

# 臺灣氣候變遷科學報告 2017

## - 衝擊與調適面向





# 臺灣氣候變遷科學報告 2017

## - 衝擊與調適面向

童慶斌 \* 國家災害防救科技中心 \*

李培芬 \* 林幸助 \* 李明旭 \* 盧虎生 \*

蘇慧貞 \* 張靜貞 \* 詹士樑 \* 許泰文 \*

李河清

主筆

## 計畫主持人

劉振榮／中央大學太空及遙測研究中心

## 主編

童慶斌／臺灣大學生物環境系統工程學系

## 各章主筆

童慶斌／臺灣大學生物環境系統工程學系

國家災害防救科技中心

李培芬／臺灣大學生態學與演化生物學研究所

林幸助／中興大學生命科學系暨全球變遷生物學研究中心

李明旭／中央大學水文與海洋研究所

盧虎生／臺灣大學農藝學系

蘇慧貞／成功大學環境醫學研究所

張靜貞／中央研究院經濟研究所

詹士樑／臺北大學不動產與城鄉環境學系

許泰文／成功大學水利與海洋工程系

李河清／營建管理研究所

## 編輯工作小組

「臺灣氣候變遷調適科技整合研究計畫」團隊

## 補助單位

科技部自然科學與永續研究發展司

## 編印

國家災害防救科技中心



## 目錄

執行摘要 .....	1
科學摘要 .....	19
第一章 第二冊介紹 .....	67
1.1 前言 .....	67
1.1.1 關於第二冊	
1.2 氣候變遷衝擊與風險 .....	70
1.2.1 氣候變遷調適流程	
1.3 氣候變遷調適與回復力 .....	73
1.4 關於不確定性與可能性 .....	74
1.4.1 不確定性(Uncertainty)	
1.4.2 可能性 (Likelihood)	
1.5 文獻資料來源 .....	77
1.6 本冊編審組成與時程 .....	78
參考文獻 .....	79
第二章 災害衝擊 .....	81
摘要 .....	81
2.1 前言 .....	83
2.1.1 現況問題—全球及臺灣面臨的氣候變遷災害衝擊	
2.1.2 本章範疇與架構	
2.2 氣候變遷之淹水災害衝擊評估 .....	87

2.2.1 臺灣淹水災害現況潛勢與風險	
2.2.2 水災風險驅動因子	
2.2.3 氣候變遷淹水災害衝擊評估	
2.3 氣候變遷之坡地災害衝擊評估 .....	103
2.3.1 臺灣坡地災害現況潛勢與風險	
2.3.2 坡災風險驅動因子	
2.3.3 氣候變遷坡地災害衝擊評估	
2.4 氣候變遷之乾旱災害衝擊評估 .....	118
2.4.1 臺灣乾旱災害現況潛勢與風險	
2.4.2 旱災風險驅動因子	
2.4.3 氣候變遷乾旱災害衝擊評估	
2.5 結語 .....	134
2.5.1 氣候變遷災害衝擊之調適作為	
2.5.2 結論與建議	
參考文獻 .....	138
<b>第三章 陸域生態.....</b>	<b>141</b>
摘要 .....	141
3.1 前言 .....	141
3.2 現況 .....	142
3.2.1 自然植群	
3.2.2 濕地生態系	
3.2.3 淡水生態系	
3.3 問題 .....	149
3.4 可能的衝擊 .....	150
3.4.1 觀測現況之改變	
3.4.2 模擬未來之衝擊	

3.4.3 海岸生態	
3.4.4 生態保護區	
3.5 調適策略 .....	169
3.5.1 加強投資生態研究	
3.5.2 評析生態系受氣候變遷影響之脆弱度與恢復力	
3.5.3 生態資料庫與資訊中心之建置	
3.5.4 生態監測體系之建立	
3.5.5 保護區邊界的檢討與網絡之建構	
3.5.6 落實外來入侵種之防治	
3.5.7 評估與預測方法之建立	
3.5.8 界定並增進對生態敏感區之瞭解	
3.5.9 減少沿岸地區之開發	
3.5.10 國土規劃	
3.6 結語 .....	173
參考文獻 .....	175
<b>第四章 海域生態.....</b>	<b>179</b>
摘要 .....	179
4.1 前言 .....	180
4.2 臺灣海洋棲地與生物多樣性現況.....	181
4.2.1 泥沙灘	
4.2.2 河口潟湖	
4.2.3 鹽澤	
4.2.4 紅樹林	
4.2.5 岩礁	
4.2.6 藻礁	
4.2.7 珊瑚礁	

4.2.8 海草床	
4.2.9 大洋及沿近海	
4.3 氣候變遷影響臺灣海域生態之研究案例.....	205
4.3.1 珊瑚礁	
4.3.2 大洋及沿近海	
4.4 氣候變遷對臺灣海域生態的可能影響.....	210
4.4.1 泥沙灘	
4.4.2 河口潟湖	
4.4.3 鹽澤	
4.4.4 紅樹林	
4.4.5 岩礁	
4.4.6 藻礁	
4.4.7 珊瑚礁	
4.4.8 海草床	
4.4.9 大洋及沿近海	
4.5 調適措施 .....	221
4.6 結語 .....	225
參考文獻 .....	228
<b>第五章 水資源 .....</b>	<b>247</b>
摘要 .....	247
5.1 前言 .....	248
5.2 水資源現況 .....	249
5.2.1 各區域水資源潛能水量	
5.2.2 水資源設施	
5.2.3 水資源利用	

5.3 水資源供需問題 ( 不同空間之關鍵議題 ) .....	256
5.3.1 降雨異常	
5.3.2 水源及供水設施不足	
5.3.3 設施永續	
5.3.4 用水環境	
5.3.5 用水需求	
5.4 氣候變遷對水資源供給之影響 .....	264
5.4.1 氣候變遷衝擊水資源供給之關鍵因子	
5.4.2 水源不足之衝擊	
5.4.3 高濁度之衝擊影響	
5.4.4 水庫淤積之衝擊影響	
5.4.5 地下水供水潛能之衝擊影響	
5.5 氣候變遷對水資源需求之影響 .....	306
5.5.1 氣候變遷衝擊水資源需求的關鍵因子	
5.5.2 氣候變遷對農業用水之衝擊影響	
5.5.3 氣候變遷對公共給水之衝擊影響	
5.6 水資源調適策略 .....	324
5.6.1 水資源調適選項	
5.6.2 水資源調適選項評估	
5.6.3 水資源調適策略檢核機制	
5.7 結語 .....	328
參考文獻 .....	330
<b>第六章 糧食生產和糧食安全 .....</b>	<b>335</b>
摘要 .....	335
6.1 前言 .....	335



6.2 台灣農糧作物生產現況及問題 .....	336
6.2.1 台灣農糧作物生產現況	
6.2.2 台灣農糧作物生產問題	
6.3 台灣漁業生產現況及問題 .....	341
6.3.1 台灣漁業生產狀況	
6.3.2 台灣漁業生產問題	
6.4 台灣畜牧生產現況及問題 .....	345
6.4.1 台灣畜牧生產現況	
6.4.2 台灣畜牧生產問題	
6.5 氣候變遷下台灣糧食作物生產之影響.....	347
6.5.1 氣候變遷對台灣糧食作物生產之直接影響	
6.5.2 氣候變遷對台灣糧食作物生產之間接影響	
6.5.3 氣候變遷對台灣糧食進口之影響	
6.5.4 我國有關氣候變遷之農業政策	
6.6 氣候變遷下台灣漁業生產之影響.....	351
6.6.1 捕撈漁業面臨之衝擊	
6.6.2 養殖漁業面臨之衝擊	
6.7 氣候變遷下台灣畜牧生產之影響.....	355
6.7.1 氣候變遷對畜牧的意義	
6.7.2 畜牧與畜產產生之溫室效應	
6.7.3 台灣畜牧生產面臨之衝擊	
6.8 達成糧食安全之可能措施 .....	369
6.8.1 作物安全與達成之可能措施	
6.8.2 漁業安全與達成之可能措施	
6.8.3 畜產安全與達成之可能措施	
6.9 結語 .....	357
參考文獻 .....	366

第七章 人類健康.....	373
摘要 .....	373
7.1 前言 .....	373
7.2 健康決定因素：目前與未來趨勢 .....	374
7.2.1 氣候變異對健康的危害分級	
7.2.2 氣候變遷下臺灣地區健康調適策略	
7.3 易感氣候變遷之健康議題 .....	383
7.3.1 傳染性疾病	
7.3.2 非傳染性疾病	
7.4 水資源的可獲性、安全性與品質對健康之影響.....	401
7.5 脆弱族群、健康不平等與邊緣人口問題.....	407
7.6 結語 .....	413
參考文獻 .....	416
第八章 經濟與社會 .....	441
摘要 .....	441
8.1 前言 .....	442
8.2 氣候變遷對整體經濟的影響 .....	442
8.2.1 經濟評估方法	
8.2.2 經濟評估結果	
8.3 氣候變遷對維生基礎設施之衝擊 .....	449
8.4 氣候變遷對產業部門之衝擊 .....	461
8.5 氣候變遷對經濟與社會的衝擊 .....	473

8.6 氣候變遷對未來經濟發展之挑戰與因應.....	476
8.6.1 產業之因應對策	
8.6.2 政府之因應對策	
8.6.3 公私部門之合作	
8.7 結語 .....	479
參考文獻 .....	482
<b>第九章 都市與鄉村 .....</b>	<b>495</b>
摘要 .....	495
9.1 前言 .....	496
9.2 氣候變遷調適與空間規劃之連結.....	496
9.2.1 氣候變遷調適政策綱領	
9.2.2 地方氣候變遷調適計畫之推動	
9.2.3 氣候變遷農地調適規劃	
9.3 氣候變遷與都市脆弱度 (Climate Change and Urban Vulnerability).....	503
9.3.1 都市氣候與都市熱島	
9.3.2 都市的水資源與水災	
9.3.3 都市民眾健康	
9.3.4 都市的經濟與其他衝擊	
9.4 都市地區調適因應策略 .....	511
9.4.1 都市的轉型：回復力與永續性都市發展 (Urban Transition to Resilience and Sustainability)	
9.4.2 都市地區的調適 (adapting Urban Areas)	
9.5 鄉村空間之現況與氣候變遷衝擊.....	520
9.5.1 鄉村與山地空間之現況及氣候變遷議題	
9.5.2 鄉村與山地之氣候變遷衝擊 (Observed and Future Impacts)	
9.5.3 鄉村與山地空間之衝擊評估、脆弱度與風險	

9.5.4 關鍵的脆弱度與風險 (Key Vulnerabilities and Risks)	
9.6 鄉村地區空間調適策略 .....	527
9.6.1 鄉村地區調適的實務經驗 (Practical Experiences of Adaptation in Rural Areas)	
9.6.2 鄉村地區調適的限制 (Limits and Constraints to Rural Adaptation)	
9.7 結語 .....	531
參考文獻 .....	534
<b>第十章 海岸與離島 .....</b>	<b>543</b>
摘要 .....	543
10.1 前言 .....	544
10.2 台灣地區海岸空間現況 .....	544
10.2.1 台灣海岸地質與地形	
10.2.2 海岸空間利用	
10.2.3 海岸自然資源與應用	
10.3 台灣海岸問題分析 .....	559
10.3.1 海岸侵淤失衡	
10.3.2 海岸溢淹災害	
10.3.3 地層下陷	
10.3.4 近岸海洋環境劣化	
10.4 氣候變遷對海岸災害之連結 .....	571
10.4.1 降雨型態改變與河口沙源供給	
10.4.2 颱風強度增加引致之波候改變	
10.4.3 海水位上升與颱風強度增加引致之暴潮特性	
10.4.4 海水表面溫度增高與海岸缺氧	
10.4.5 西伯利亞高壓強度減低引致之台灣海峽海流特性改變	

10.5 海岸空間調適策略與措施 .....	580
10.5.1 海岸緩衝帶	
10.5.2 提昇海岸災害預警能力	
10.5.3 加強災害防護與污染控制	
10.5.4 合理管制開發、整合土地使用類型、強化海岸帶綜合管理	
10.6 結語 .....	601
參考文獻 .....	602
<b>第十一章 調適治理 .....</b>	<b>617</b>
摘要 .....	617
11.1 台灣：調適治理架構與推動現況 .....	617
11.1.1 調適領域與權責規劃	
11.1.2 調適政策	
11.1.3 調適科學研究發展	
11.2 調適策略發展建議 .....	624
11.2.1 關鍵課題一：強化公私部門的參與	
11.2.2 關鍵課題二：重視都市尺度的調適規劃	
11.2.3 關鍵課題三：深耕並深化調適科學研究	
11.2.4 關鍵課題四：加強調適科技轉移與擴散	
11.2.5 關鍵課題五：重視調適發展的經濟面向	
11.3 結語：調適與跨世代正義的實踐 .....	640
參考文獻 .....	643



## 執行摘要

本報告整理並分析彙整氣候變遷可能帶來之衝擊與可能採取之調適行動，並以我國國內科學發展結果為主要探討對象，討論氣候變遷對我國災害、生態、水資源、糧食生產與安全、人類健康、社會經濟與空間發展等議題上的衝擊與可能的調適作為。

### 介紹

1. 近二十年來，極端天氣帶來全球性之災害，即使高度開發國家如美國、日本、與歐洲各國，無不遭逢極大的生命與財產損失。臺灣本來就是會有多種天然災害之高風險地區，近年來極端事件發生的頻率與強度均有增加的趨勢，年雨量高的越高，低的越低，高雨量與低雨量發生的間距也越來越短，天氣極端化之趨勢明顯。(1.1 節)
2. 解決氣候變遷的問題主要分成兩個主要策略：減輕策略與調適策略。減輕策略主要在透過節能減碳等措施達到減少溫室氣體排放之目的；調適策略則是在瞭解未來氣候變遷可能之影響下，如何採取措施降低衝擊，以調整適應於未來之氣候。(1.1 節)
3. 本科學報告第二冊與第一冊以 IPCC 第五版評估報告 (Fifth Assessment Report, AR5) 之氣候推估撰寫說明有所不同。本冊科學報告將在此重要面向分別介紹：(一) 面臨的關鍵問題；(二) 目前現況風險；(三) 氣候變遷下未來可能面臨的風險；(四) 面對未來問題可能之調適選項；(五) 最後針對推動調適措施可能之挑戰進行探討，包括科學研究與應變體制不足等，並提出科學發展與推動機制之建議。本冊從第二章到第九章分別亦不同領域面向切入，第十章則是探討不同空間之問題，最後第十一章將綜合討論調適治理之問題。

### 氣候變遷衝擊與風險

1. 脆弱度用以表示某個系統在氣候變遷所來的氣候變異與極端事件下，易受

影響、無法消弭負面作用的程度，可將其視為暴露 (exposure)、敏感度 (sensitivity) 與調適能力 (adaptive capacity) 的函數」(IPCC, 2007)。脆弱度的大小與暴露的大小有關，暴露為氣候變異與極端事件所帶來的衝擊，暴露於危害越大則該系統潛在的脆弱度也就可能越大；脆弱度的大小亦與該系統可容受的敏感程度有關，敏感度是系統容易受到擾動的難易程度，敏感度高的系統容易暴露在同樣危害下有較高的脆弱度。(1.2 節)

2. IPCC 在 2014 年出版第五版評估報告 (AR5) 的第二冊，將風險重新定義為危害、暴露與脆弱度的函數。雖然 AR5 重新定義風險，然其與 AR4 所稱之脆弱度十分相近。(圖 1.2)
3. 科技部-「氣候變遷調適科技整合研究計畫」(TaiCCAT) 以 IPCC 第五版評估報告書對於風險的定義為核心基礎，彙整國際間與國內氣候變遷調適步驟，同時參考我國氣候變遷地方調適計畫，訂定「TaiCCAT 氣候調適六步驟」，包括：1. 界定問題與設定目標；2. 評估與分析現況風險；3. 評估與分析未來風險；4. 界定與評估調適選項；5. 規劃與執行調適路徑；6. 監測與修正調適路徑。(1.2.1 節)
4. 承上，在評估資料分析工具的建立上，除了針對上述六大步驟的流程進行定義外，亦針對了上述步驟所包含的次步驟、細部工作項目進行分項，並對流程中所需使用到的資料、工具以及各流程對應之產出設計了分析評估資料的檢核表，提供上述六大步驟調適流程詳細資訊，以利調適計畫之建構與執行，並作為滾動修正時，重新確認調適流程與資料、工具產出完整性之檢核用途。

### 氣候變遷調適與回復力

1. 回復力 (Resilience) 的概念其最早用來描述材料在沒有斷裂或完全變形的情况下，由受力而變形回復至原本狀態的能力。(1.3 節)
2. 在氣候變遷研究上，能夠承受多大限度的衝擊仍然能夠回復原有狀態的能力稱為「生態回復力」；需要多久時間能回復系統原有的狀態，則稱為「工程回復力」。提高生態回復力能夠使系統有較大的承受衝擊能力，並可增加緩衝的空間以及維持運作的能力；提高工程回復力則可以確保系統在受到衝擊之後，能在短時間之內回復原本該有的機能。(1.3 節)

## 不確定性與可能性

1. 不確定性 (Uncertainty) 指發生事件無法精確的推估，分析結果具有多種可能，但哪個分析結果會發生並無法確定。不確定性來源可能包括自然不確定性與政策不確定性，在氣候變遷研究中多了科學的不確定性，面對氣候變遷要採取有智慧的行動，就必須了解與掌握不確定性。(1.4 節)
2. 可能性 (Likelihood) 則指彙整許多研究報告後，根據研究成果是否一致或相近，提出綜合結果可能性之分析。國內各領域較少有多組研究團隊同時進行研究，因此，本科學報告將彙整國內研究成果，並與 IPCC AR5 主要結論比對，以探討國內與國外研究成果之一致性。以下分別針對不確定性與一致性進一步說明。(1.4 節)
3. 不確定性可能導源於對系統沒有足夠知識或是有關環境因素的資訊來描述當前情況，使其未來的分布範圍和狀態不能確知，組織決策者無法精確地預測某個事件或某種決策的結果。不確定性範疇包括自然不確定性，與分析過程採用方法時所衍生之科學不確定性。(1.4.1 節)
4. 一般不確定性評估流程包括 (一) 訂定影響未來氣候之溫室氣體或直接定義輻射力之可能趨勢情境；(二) 藉由大氣環流模式 (General Circulation Models, GCMs) 模擬推估未來可能之氣候；(三) 進行推估氣候之降尺度分析，以符合研究區域與分析模式所需要之空間與時間尺度；(四) 前一步驟產生之資料，在輸入評估模式進行模擬；(五) 分析根據現況與未來之模擬結果，探討可能之衝擊與脆弱度。上述每個步驟都隱含相當之不確定性，導致分析結果亦具有不確定性。(1.4.1 節)
5. 導致全球暖化的原因主要是人類活動增加了溫室氣體排放，不管過去所訂定的溫室氣體排放情境或是 IPCC 第五次科學評估報告所直接定義的輻射力 (Radiative Forcing)，均可看到有許多可能，但目前並無法確定在未來那個情境必然發生。此外，世界各國均積極發展大氣環流模式，不同環流模式利用相同溫室氣體情境往往模擬結果也不盡相同。加上為了考量電腦模擬能力，模擬結果之空間解析度與研究所需空間尺度往往不同，所以需要應用降尺度技術進行資料轉換，不同降尺度方法也可能帶來不確定性。最後，評估模式本身往往會簡化與具有參數，因此，除了輸入氣象資料之不

確定性外，評估模式之模擬歷程與參數亦具有影響結果之不確定性。(1.4.1 節)

6. 可能性主要藉由許多相同目的研究之比對，探討其結果之一致性 (consistency)。例如，所有研究成果均有相同結論，則此結果有相當高之一致性，對此結果我們可以具有較高之信心，亦即其發生之可能性較高。對於研究結果之可能性可以機率來表達，其發生的機率稱為可能性，可藉由彙整許多研究成果，並統計不同研究結果之機率。可藉函數描述，經由機率分布與統計分析方法，得到具有代表性、符合真實情況的結果。(1.4.2 節)

## 災害

1. 在過去數十年間，淹水災害、坡地災害，以及乾旱災害等三項災害均發生過許多造成重大傷亡及經濟損失的事件，在時間特性上，可以發現梅雨季及颱風季是造成淹水災害及坡地災害的兩個季節，而春季至夏季則是造成乾旱災害的主要季節。在空間特性上，淹水災害易發生在我國西南沿海地勢較低窪之縣市，坡地災害易發生在臺灣中央山脈西側山麓，而乾旱災害則易發生在嘉南高雄等南部區域及桃園新竹的北部地區。(2.2.1 節, 2.3.1 節, 2.4.1 節)
2. 「降雨量」為最主要的氣候驅動因子，淹水災害為短延時與長延時極端降雨，坡地災害為累積降雨量與降雨強度，乾旱災害為降雨量 (春雨)、連續三個月降雨量指標，以及連續不降雨日數。此外，可以發現影響三項災害風險之環境、社會經濟驅動因子十分複雜，包括地層下陷、平均坡度、地質災害面積比率、人口密度、土地利用強度、水庫蓄水量、管理問題等等，目前只能進行定性的描述，無法將環境、社會經濟驅動因子納入定量的風險評估之中。(2.2.2 節, 2.3.2 節, 2.4.2 節)
3. 針對臺灣氣候變遷災害衝擊之現況風險評估，截至目前可收集之文獻顯示，隨著極端降雨頻率的增加，部分河川流量也隨之增加，在水利及區域排水設施防護標準未調整的狀況下，淹水災害風險有增加的趨勢。此外，隨著降雨集中，亦可以發現部分流域邊坡崩塌量，以及河川土砂量有增加的趨勢，坡地災害風險有增加的趨勢。最後，隨著乾濕季節越趨分明，乾旱災害風險有增加的趨勢，但是存在有地區的差異 (北部次數增加、中南部延時及強度增加)。(2.2 節, 2.3 節, 2.4 節)

4. 針對臺灣氣候變遷災害衝擊之未來風險評估，截至目前可收集之文獻顯示，結果朝向不樂觀之方向前進。若在目前脆弱度、暴露量與調適力等社經環境驅動因子均不改變，僅單獨考量氣候驅動因子（降雨量）的情境之下，臺灣未來極端降雨頻率與強度可能增加，因此，極端暴雨事件造成的淹水災害風險可能增加（河川洪水溢淹、都市積淹水）；累積的極端降雨（連續 24 小時的降雨）亦可能增加坡地災害風險（土砂崩塌、土石流）；豐枯季節分明的情形則可能增加我國乾旱災害風險，尤其是用水量相對高的都市地區。  
(2.2.3 節, 2.3.3 節, 2.4.3 節)
5. 我國目前的氣候變遷災害衝擊研究仍屬發展、示範區階段，學者專家們仍致力研究最適當模式與方法，建議未來在模式方法、空間分布、跨領域（考量社經環境因子），以及調適效益評估方面，仍需累積更全面完整的研究。此外，除了三項災害類型外，學者們亦須著手研究其他類型的氣候變遷災害（例如：極端溫度之熱危害）。最後，因為災害風險驅動因子十分複雜，目前觀察到的氣候變遷現象是否確切造成或加劇災害事件，仍待進一步的歸因研究。(2.5 節)
6. 我國亦在氣候變遷調適與災害風險減輕策略整合上已有相關行動，我國政府於國家氣候變遷調適政策綱領中，將「災害」視為一項關鍵的衝擊與調適領域，因而訂定五年期的災害領域行動方案（102-106 年），針對集中型與廣泛型災害風險，更訂定調適策略與措施，共包含六項調適策略、18 項措施、48 項行動計畫。希望未來在氣候變遷災害衝擊風險評估更加成熟之後，能將具體的風險評估結果納入各相關部會的災害調適作為中，以確實降低氣候變遷所導致之災害風險。(2.5 節)

## 陸域生態

1. 臺灣位處熱帶與亞熱帶交接，氣候溫和，雨量充沛，加上早先的板塊與地質活動，山巒起伏，形成獨特的生態環境。至 2015 年 9 月底為止，在臺灣所記錄到的生物種類已達 57,990 種，以臺灣的物種多樣性而論，從已記錄到的物種數來看，節肢動物最高，27,227 種，其次是植物界（8,559 種）與真菌界（6,246 種）；而就臺灣特有種的比例來看，則以哺乳動物為首（64%），依序為昆蟲（62.5%）、植物（26%）、兩生類（25%）、爬蟲類（18%）、鳥類



(13%)、真菌 (2%) 與魚類 (2%) (TaiBIF 臺灣生物多樣性資訊入口網 2015)。  
(3.2 節)

2. 玉山國家公園高海拔地區，自 1992 年起，迄 2009 年在 3100 公尺以上山區的高山繁殖期鳥類監測 (李培芬 2008)，發現越來越多的鳥種出現於海拔 3,600 公尺以上的地區。透過 13 種鳥類的監測顯示，其中 3 種屬於中海拔出現的鳥種，即這些鳥類主要原分布範圍為 2,000~3,000 公尺，在 3100 公尺以上山區的族群密度有增加的趨勢；而在 10 種高海拔鳥種中，即這些鳥類主要分布範圍於 3,000 公尺以上的地區，有 5 種族群密度呈現減少，另外 5 種則尚未有明顯的變化。以鳥種分布的海拔上限而言，有 6 種鳥種的海拔分布向更高海拔延伸，包含白眉林鴉 (*Erithacus johnstoniae*)、灰鸞 (*Pyrrhula erythaca*)、煤山雀 (*Periparus ater ptilosus*)、火冠戴菊鳥 (*Regulus goodfellowi*)、深山鶯 (*Cettia acanthizoides*) 與褐頭花翼畫眉 (*Fulvetta formosana*)。(3.4.1 節)
3. 臺灣中部中高海拔地區的植物在 20 世紀早期與現在之分布情形 (約在 1906 到 2006 年之間)，Chou et al. (2011) 發現，在約 100 年的時間內，有許多的物種從較低海拔區域遷移到更高海拔的區域，而原已出現在高海拔的物種，因為這種向上遷移的情形，將面臨無處可去的威脅，進而因為缺乏可以生息的空間而有可能滅絕的危機。這些植物種類包括玉山金絲桃 (*Hypericum nagasawai*)、細葉山艾 (*Artemisia morrisonensis*)、玉山當歸 (*Angelica morrisonicola*)、阿里山薊 (*Cirsium arisanensis*)、戀大當藥 (*Swertia randaiensis*) 和玉山抱莖籜蕭 (*Anaphalis morrisonicola*) 等 6 種。(3.4.1 節)
4. 黑面琵鷺是臺灣稀有性物種，從族群數量的變化來看，近兩年黑面琵鷺的棲息地已從主棲地 (七股和四草地區) 向北 (雲林縣) 或南 (高雄市) 擴增分布。在七股度冬區的調查發現，休息區和攝食區的存在，以及兩者之間的空間區位是黑面琵鷺很重要的棲地條件。運用海平面上升的模式與地形因子，評估黑面琵鷺棲息地受到氣候變遷的衝擊情形，發現部分沿海區域可能會因為海平面之上升而被淹沒，目前的相關預測的發現，以海平面上升 2 公尺以上，所造成的衝擊程度較高，此影響主要是部分攝食區的消失，以及休息區的淹沒。因此，若未來魚塢的養殖情形不變，氣候變遷的衝擊主要是造成黑面琵鷺攝食區的減少，同時也會少部分的影響到其休息棲地。  
(3.4.2 節)

5. 八色鳥亦為臺灣稀有性物種，若未來的溫度持續上升，則八色鳥在臺灣的適溫分布範圍，將由低海拔改變為中海拔，且未來可資利用的棲息地面積，也有明顯的縮小。這種情形在 2050 年之後，變得更加的明顯。不同的溫度模式所產生的結果雖然不盡相同，但是其預測方向均有類似的內容，若加上人類可能的干擾情形，在氣候變遷下，八色鳥在臺灣所面臨的挑戰嚴重(李培芬等 2006)。(3.4.2 節)
6. 為了有效減緩氣候變遷所可能導致的生態衝擊，以及保育自然資源與生態，建議以下十大策略：加強投資生態研究、評析生態系受氣候變遷影響之脆弱度與恢復力、生態資料庫與資訊中心之建置、生態監測體系之建立、保護區邊界的檢討與網絡之建構、落實外來入侵種之防治、評估與預測方法之建立、界定並增進對生態敏感區之瞭解、減少沿岸地區之開發、國土規劃。(3.5 節)

## 海域生態

1. 臺灣面積雖然只佔地球表面積約 0.003%，但是，其海洋生物種類數可達到全球種類數的 10%，單位面積的海洋生物多樣性比例極高。究其原因之一為擁有多樣的海域生態系，包含泥沙灘、河口潟湖、鹽澤、紅樹林、海草床、岩礁、珊瑚礁、藻礁與大洋等，其中以珊瑚礁、海草床、紅樹林、岩礁與藻礁的生物種類較多。根據 IPCC 第五次評估報告 (AR5) 氣候變遷對於臺灣海域生態系的影響相對於其他地區可能更為嚴重，因此本章將評估台灣海域生態系之現況脆弱度、分析氣候變遷影響下未來脆弱度以及調適選項之建議。(4.2 節)
2. 目前除珊瑚礁與大洋漁業資源外，臺灣針對氣候變遷影響的海域生態研究案例仍較少。相對而言，人為活動對於臺灣海域生態系的破壞更為明顯，係因泥沙灘、河口潟湖、鹽澤與海草床常面臨工業區、港口與垃圾場等開發案的威脅，而紅樹林、珊瑚礁與藻礁則常受到污水排放的影響，至於岩礁與大洋受到的人為干擾相對較輕。(4.2 節)
3. 本章關鍵議題是氣候變遷如何影響臺灣海域生態，以及氣候變遷之威脅下臺灣何種海域生態系脆弱度最高。氣候變遷所導致海平面上升對泥沙灘、河口潟湖、鹽澤、紅樹林與海草床的威脅較大，海水暖化對於珊瑚礁與大

洋的影響較大，而海水酸化對藻礁與珊瑚礁有極大威脅；綜觀之，氣候變遷威脅下最為脆弱的海洋生態系是珊瑚礁。(4.3 節, 4.4 節)

4. 因應氣候變遷的調適措施建議為：一、將相關調適措施列為國家施政的重大政策；二、改善沿海地區綜合管理制度；三、強化公權力與相關法律；四、厲行迴避、減輕與補償保育措施；五、進行政策跨領域溝通與協商；六、由地方團體在地管理；七、支持有系統且長期的基礎科學研究；八、強化地區性的人為影響研究。(4.6 節)

## 水資源

1. 台灣地區年平均降雨量達 2,500 毫米，其中以南區之降水豐枯比最懸殊，北區有較平均之降水豐枯比；而各分區地表水供水潛能水量差異不大，中區與南區有較大之地下水供水潛能。而若以單位面積供水潛能分析，北區與東區相對於中區與南區有較高的單位面積地表水供水潛能；在單位面積地下供水潛能部分，則是中區與南區相對於北區與東區有較高的單位面積地下水供水潛能。(5.2 節)
2. 台灣地區水資源供水來源主要為河川引用水(占約 53%)，其次為地下水(占約 27%)和水庫調節供水(占約 20%)，顯示用水來源雖以地表水為主，但地下水使用量仍占有一定比例，且平均地下水抽用量(59 億噸/年)仍大於推估之天然補注量(50 億噸/年)，對地下水資源之永續使用不利。在水資源需求部分，標的用水以農業用水(占約 76%)為最大宗，其次為生活用水(占約 16%)，工業用水(占約 8%)的比例最低。(5.2.3 節, 圖 5.3)
2. 豐枯水期時空差異使得水資源供給需仰賴水利設施進行調配、地面水為主要用水來源。目前面臨現有水利設施調蓄能力不足、泥沙淤積降低水利設施調蓄能力、地下水資源超限使用等問題。(5.3 節)
3. 水資源需求面主要以農業用水為主，農業用水占整體用水比例仍高、調蓄能力不足的水利設施亦因持續農業用水需求而降低供水能力。中、長期之民生與工業用水需求推估仍欠缺、氣候變遷對農業用水需求在不同區域與期作之影響仍需進一步研究、水資源跨領域研究能量需提升，如何兼顧糧食安全與公共用水無虞。(5.5 節)

4. 氣候變遷下，台灣可能面臨之水資源問題為：(1)全區枯水期流量減少，北部及東部地區有豐水期縮短、枯水期延長的趨勢；(2)極端降雨有增加的趨勢；(3)水庫淤積量呈現增加的趨勢；(4)地下水供水潛能互有增減的趨勢，存在較高不確定性；(5)多數地區目標年之生活及工業需水量增加，導致供水能力無法滿足；(6)影響農業需水之因素多，台灣各灌區有不同的增減趨勢，但在公共需水無法滿足的情況下會間接影響到農業用水之使用。(5.4 節, 5.5 節)
5. 在水資源永續經營與利用的前提下，確保水資源供需平衡為總目標，依此擬訂水資源之調適策略包括：(1) 穩定供水能力；(2) 確保合理用水需求負荷；(3) 強化彈性管理能力；(4) 掌握水資源資訊與不確定性；(5) 集水區保育與合理土地利用規劃及 (6) 其他 (社會經濟、產業與科技發展) 等。(5.6 節)

## 糧食生產和糧食安全

1. 氣候的緩變 (年均溫的上升、海水暖化、海平面上升) 與驟變 (強降雨、颱風、乾旱) 對我國乃至於全世界的糧食生產，產生了緩慢、深淺不依程度的影響，不論作物、漁業、畜產皆因氣候結構改變造成影響，對我國之糧食安全產生衝擊。(6.5.1 節, 6.6 節)
2. 我國之糧食安全政策應建立在以國產農產品為核心的基礎上，以農產貿易及糧食庫存來加以補充。瞭解未來糧食安全受氣候變遷之衝擊程度，並發展糧食供給脆弱度評估與風險管理的決策工具，提供氣候變遷調適策略研擬及執行之依據，以達到支援我國糧食安全決策及資源整合永續性發展之目的。(6.8.1 節)

## 農業

1. 我國目前的糧食消費組成，包括以稻米及小麥為主之主食作物類，以及生產肉、奶、及蛋之畜產及油脂為主的玉米、大豆之飼料作物類。水稻是目前可以自產自足之大宗糧食作物，但在保價收購政策下，造成稻米生產過剩，而玉米、小麥、大豆及蔗糖反而高度依賴進口。(6.2.2 節)

2. 進口糧食作物主要為玉米、小麥、大豆，其中以玉米進口量最多，大多為飼料用。雖然玉米在我國各地皆可種植，但目前因進口價格相對較低，農民無種植意願。然而當世界穀類價格因氣候變遷而激漲時，勢將影響糧食進口，如何規劃國產玉米種植之面積及區域之互補潛能，是因應糧食危機重要工作。(6.2.2 節)
3. 我國之大豆及小麥，因氣候適應性及病蟲害等問題較難種植，如何由栽培技術及品種選擇方面進行改良，或尋找替代性作物，也是維持糧食安全的課題。(6.2.2 節)
4. 國人消費型態上存在著穀類作物國產與進口比重失衡的問題，近 10 年來對於國內生產的稻米、水果及豬肉消費量遞減，而對於國外進口的小麥、水果及牛肉消費卻持續增加。整體糧食進口依存度不斷上升，農產貿易逆差持續惡化。(6.2.2 節)
5. 糧食政策受政治因素、社會意識及農民意願的影響，目前之補貼政策，活化休耕地及小地主大佃農等激勵耕作措施，促進國內生產以減少進口依賴，擴大耕作面積及導入機械化以降低生產成本，對於整體糧食安全具有正面意義。(6.2.1 節)
6. 氣候變遷對現有糧食作物生產的影響，除升溫對於作物適栽區產生北移，及縮短作物生育日期間接導致產量減少外，氣候變遷導致氣候不確定性提高，由於作物生長主要受氣候影響，極端氣候發生頻率增加，將使作物瞬間受損，不僅是國內糧食生產量減少的問題，其他糧食輸出國也會面臨相同威脅，將使全球糧食供應鏈更加脆弱。(6.5 節)
7. 氣候變遷造成自然災害增加及世界糧食經濟的快速轉變等，這些因素將影響未來糧食安全，就國內生產及國外進口相比較，後者受許多因素影響(如氣候、政經情勢)及選擇性低，相對脆弱度較高，當主要進口國未來糧食輸出配額減產或停止時，對於糧食進口依賴程度高的我國將是一大危機。(6.5.3 節)

## 漁業

1. 台灣位於有利漁業發展的地理位置，加上氣候與水文條件的配合，使台灣



周邊海域成為許多洄游性魚類必經之道，充滿多樣性的漁業逐漸成為重要的初級產業。更是供給國人所需之動物性蛋白質與 Omg3 的重要來源，對於我國糧食供應與糧食安全有舉足輕重的影響。(6.3 節)

2. 影響台灣沿近海漁業生產的主要原因為沿近海漁業作業規模與範圍較為狹小，易造成過度捕撈現象，以及近年來海域受工商業環境汙染影響，漁業資源受到嚴重破壞，導致產量難以提高。(6.3.2 節)
3. 影響台灣養殖漁業生產方面，養殖魚塢經多年養殖後，土地大多劣化，加上沿岸工業化造成沿岸汙染與水質惡化等壓力，以致養殖漁業處於不穩定狀態，而超抽地下水導致地層下陷等問題，使得養殖面積逐漸縮減。(6.3.2 節)
4. 除漁業生產自身問題外，氣候變遷造成的環境變動將直接或間接影響漁業生產的質與量，並使得漁產供應的不確定性與風險增加，進而衝擊我國糧食供應鏈。(6.6 節)
5. 根據 IPCC 與 FAO 指出，氣候的緩變(海水暖化、海洋酸化等)與驟變(水溫異常、降雨型態與頻度改變、颶風等)將改變海洋混合層、營養物質循環及基礎生產力，進而影響對象水產資源的成長、死亡、資源量及其生態結構，最終導致漁業產能的改變，以致漁業生產量與力波動性增高。(6.6 節)
6. 氣候變遷對台灣沿近海漁業的衝擊為部分定棲性與洄游性種群的消失與季節來游性改變或遠離現象，造成漁產量減少、漁獲物種組成改變、生態系統失衡、漁場分佈改變、漁撈作業困難度增加等。養殖漁業生產方面，氣候變遷產生的衝擊為土石流發生，使得養殖水質的破壞、降雨量減少養殖用水短缺、海洋漁產供應穩定性降低，使得魚粉與魚油來源不穩定、海平面上升養殖面積減少等。(6.3.2 節)
7. 台灣漁業經營日漸困難，氣候變遷將使得漁業作業與生產更為險峻，漁業增產更為不易，因應氣候變遷的衝擊，未來應盡早進行漁業生產供應方式之調整與建立因應措施，制定合適的氣候變遷調適策略，以提高我國漁產供應穩定度。(6.8.2 節)

## 畜牧業

1. 飼料是人類的間接糧食，飼料生產的 90% 成本為原料成本，因此，原料供

應狀況與價格漲跌直接影響飼料的生產。飼料原料以玉米與黃豆為主，受限於地理環境，台灣飼料的原料如玉米與大豆等，僅能依賴進口，因此國際穀物行情的波動及匯率變化牽動飼料產業的獲利狀況。(6.4 節)

2. 我國畜產自給率相當高，並不須依賴進口畜產品來維持國人的糧食來源，但是我國畜產安全面臨了諸多的問題，主要是生產成本過高，因為過度依賴進口飼料原料，而國際間穀物價格節節升高，使得我國畜產業面臨成本提高的困境。(6.4.2 節)
3. 影響畜產安全尚包括，進口產品的衝擊、存在的多數小農缺乏競爭力、疫病的管控、食品安全及畜產品之藥物殘留及飼料添加物等諸多問題。(6.4.2 節)
4. 畜牧生產也面臨對環境的衝擊，畜牧養殖會產生大量的畜產廢棄物，需要妥適的處理，才不會對環境造成汙染，而在台灣有限的農地上，集約生產帶來大量的畜禽排泄物、死廢畜禽及廢水，已經超過環境涵容與復原能力。(6.4.2 節)
5. 畜禽受氣候變遷影響的層面，除了因暖化有關的熱緊迫、疾病之威脅，以及極端狀況(風、雨災害等)之直接效應外，亦受間接後果之衝擊。例如，暖化效應促進微生物的滋生，而玉米等飼料原料中的黴菌毒素也因而提高，畜禽的飼料品質惡化，影響其健康狀況，也是氣候暖化間接造成的影響。(6.7 節)
6. 氣候變遷有礙作物收成而助漲了穀物價格，使得畜牧生產成本受著穀物價格變動的影響而牽動，深化了人類缺糧的危機，也同時提高畜禽營養失衡的可能(畜主被迫使用劣等原料)，而降低動物的抗病能力。因此，畜牧獸醫因應氣候變遷的措施中，加強生物安全管控的急迫性，遠大於抗熱品種的選育。(6.7 節)
7. 此外自台灣加入 WTO 以來，開放活禽畜、肉類及雜碎肉之進口持續成長，與國內畜產業抗衡，造成嚴重的衝擊。(6.7.3 節)
8. 台灣地狹人稠，土地的取得與環境污染之環保問題限制了畜產業的發展，尤其近年來動物福祉意識抬頭，畜產業面對國際趨勢與消費者及社會團體所訴求的提升動物福祉的友善飼養模式，也加深轉型壓力及成本的衝擊。而因應動物福祉的畜牧生產形式與節能減碳是不同步的，因為友善的飼養

環境需要更大的空間及使用更多的能源，兩者之間如何取得平衡也是重要的議題。(6.7.3 節)

## 經濟與社會

1. 不同的產業面對氣候變遷有不同的脆弱度，所造成的衝擊也因個別產業對氣候變化之敏感性而異。如農業的衝擊以農損提高、農產品歉收及價格上揚為主；製造業之衝擊包括廠房設施破壞、外移或停業、供應鏈中斷；金融觀光產業則是保險業理賠負擔沉重、觀光人口及收益之降低等。(第 8 章)
2. 在氣溫上升與降雨型態改變上，台灣的水資源供給受到的影響首當其衝，將造成水庫供水能力下降，進而影響農工業生產，民生供水吃緊，使疫病發生的機率升高，也將加重公共衛生與醫療體系的負擔，並引發產業經濟與能源供給的衝擊。(8.6 節)
3. 全球升溫與冰山溶解引發的海平面上升將導致國土流失及產業之遷徙，極端降雨洪水會造成產業的硬體設施較大的損失，而乾旱和熱浪則會造成較多間接性的經濟損失。在高度分工與全球佈局之結構下，這些衝擊將會透過產業關聯與全球供應鏈而產生遞延之間接影響，長期而言，這些間接影響可能大過直接影響。(8.6 節)
4. 基礎設施與產業發展密不可分，極端氣候事件發生的強度與頻率升高，容易導致山坡地土砂災害及維生基礎設施的損害，提高災後重建的困難度。也可能有空間或功能上的交互作用，如上游防洪設施發生災害不但會造成中下游淹水，也會造成水力發電或自來水提供之中斷，這也意味著政府對某些基礎建設之加強調適可間接強化另一基礎設施之安全。(8.3 節)
5. 產業對於氣候變遷具有自我調適的能力，多反應在成本和價格的變化，如物流、躉售和零售商通常會藉由改變儲藏和運輸的方式來做調適，資通訊產業之研發與創新也會隨各產業部門與民眾生活在調適過程中所衍生之需求而產生新的商機。(8.4 節, 8.6 節)
6. 政府單位在整合與協調風險降低策略上扮演了至關重要的角色，公私部門之合作可提高全球供應鏈災前準備、災中應變、與災後重建之能力。政府有責任從預防的角度，把降低災害風險的建築法規、採購標準、天災保險、

防災型都市更新等作法納入施政規劃，以減輕氣候災害對經濟與永續發展的負面衝擊。(8.6 節)

7. 我國應盡速研發以風險管理為基礎之產業調適政策，以協助產業自我檢視脆弱度及進行災損控管與分散，也應建立氣候變遷對於產業之長短期衝擊評估機制，研發客觀之評估工具與建置資料庫，俾利降低未來的氣候風險與不確定性。(8.4 節)

## 都市與鄉村

1. 都市空間因人口產業聚集，活動系統具高度動態與複雜特性，增加氣候變遷調適推動的難度；農業生產為主體的鄉村地區，其生產與生活功能更直接受到氣候變遷之衝擊，在氣候變遷調適因應上更需受到關注。都市與鄉村這兩類空間在台灣未來的國土規劃架構下，佔有重要的功能角色。(9.1 節)
2. 本章就都市與鄉村兩種型態的國土空間，對近年在氣候變遷調適因應的相關研究成果，進行收集整理，從氣候變遷衝擊、脆弱度評估以及調適等三面向，呈現不同空間型態下的研究概況，期能從中獲致未來的參考應用知識，以及後續在推動上的努力方向。(9.1 節)
3. 近年國內在連結空間規劃與氣候變遷調適的作法上，較著重在程序建置與應用，主要依循 APF (adaptation policy framework, UNDP) 為架構，透過一套針對特定區域 (如縣市) 或資源 (如農地)，以進行氣候變遷衝擊評估與風險分析、並且提供規劃調適策略的程序，可以用來組織以及設計與調適相關的計畫。類型上包括兩類：策略規劃 (strategic planning) 與協作式規劃 (collaborative planning)。(9.2 節)
4. 策略規劃 (strategic planning)：著重於有系統、有條理地產生決策的過程，包括蒐集重要資訊、關鍵決策者的參與及溝通、調解利益與價值衝突、分析與發展策略方案、評估前當決策與行動對未來發展的影響等重要程序。主要成果為國發會透過示範計畫與「地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引」，推動各縣市之相關氣候變遷調適計畫，至 103 年底，已有 16 縣市完成地方調適計畫的擬定，並接續試行推動第二階段特定之調適行動計畫。(9.2.2 節)
5. 協作式規劃 (collaborative planning)：促進夥伴關係和建立制度能力

(institutional capacity) 的社會過程，為一種多元性規劃的價值基礎，其牽涉各地關係者建立於規劃發展，以及達成共識的一種互動形式，為一種長期性關係者之間面對面的互相影響的過程。主要成果為農地資源氣候變遷調適規劃，以雲林縣為實作地區所完成之農地脆弱度評估、地方農地氣候變遷調適計畫、以及熱點地區之農地氣候變遷調適規劃。(9.2.3 節)

6. 整體觀之，國內在此議題的作法，主要依循著由上而下之訂定政策綱領、部會行動計畫，由下而上之地方調適計畫、地方農地調適規劃等原則推動，與國際間的相關作法相當一致，亦有相當之執行成果。(9.7 節)
7. 國內在空間規劃之氣候變遷調適，主要以程序性研究型態以及脆弱度評估成果較多，較缺乏個別議題或都市發展部門之調適實質空間之行動計畫成果。(9.7 節)
8. 都市空間部分，未來應以實質調適行動方案之設計、推動、監測為後續推動努力，同時以都會地區整體調適能力為探討標的。鄉村地區相對於都市空間屬氣候變遷調適之相對弱勢，更需投入相關資源，目前雖有農業生產之氣候變遷調適策略之研究成果，仍須有基礎研究之進一步支持，以更全面提出鄉村地區之調適策略，特別針對其人口老化、人口外移、平均所得低、基盤設施不足、經濟來源多樣性低與生活環境條件的社會特性，所進行的基礎研究與調適策略。(9.7 節)

## 海岸與離島

### 台灣地區海岸空間現況

1. 早期台灣海岸土地之開發多為管制使用，主要以捕魚、養殖及農耕為主，近年漁業整體環境變遷，包括漁業國際合作成本增加、國際公海漁業管理趨勢轉強、流刺網全面禁止以及沿岸棲地環境劣化和過度撈捕，導致台灣地區沿近海漁業資源枯竭，漁港的建設已不再擴張。海埔地與工業區的使用成為海岸利用之要項 (郭、李，2006)。(10.2.2 節)
2. 受暖化影響，北極海融冰迅速，北極航道可望開通，成為連結歐亞間最近的航道。台灣海峽位置作為東北北極航道的樞紐，其重要性可能取代蘇伊

士運河與麻六甲海峽，在未來台灣海岸空間使用上，可考慮港埠設施需求加以規劃。(10.2.2 節)

3. 海岸環境中的再生能源可分為波浪能、潮差能、海流 (黑潮) 能、溫差能及鹽差能，以波浪發電之理論年發電量為最大可達 8,000~80,000 TWh，目前台灣海洋再生能源開發處於起始階段，應先進行潛在能源的詳細調查評估，作為後續相關技術開發依據 (陳等人，2008；何，2012)。(10.2.3 節)
4. 台灣海岸潛藏的資源及礦物主要為天然氣水合物，其存在於高屏峽谷和枋寮峽谷之間的高屏斜坡 (陳，2007；黃、陳，2013)。(10.2.3 節)

### 台灣海岸問題分析

1. 台灣海岸侵蝕、颱風暴潮溢淹、海岸棲地減少、生態劣化與近海漁業資源枯竭等問題日趨嚴重，若現象持續或是進一步加劇，將造成整體海岸系統產生持久性的變化，並導致社會與經濟層面的衝擊 (郭，1996；許，1997；郭，2006)。(10.3 節)
2. 台灣海岸約有 80% 區段處於侵蝕狀態，10% 淤積、僅 10% 處於侵淤平衡，危及國土安全。台灣海岸侵蝕可歸納有下列幾項原因：(1) 河口輸沙量供給的減少；(2) 河口沉積物輸送途徑的改變；(3) 海岸結構物的突堤效應；(4) 波候特徵變遷；(5) 海水位上升、地層下陷。(10.3.1 節)
3. 台灣海岸地區溢淹多發生在台灣西部雲嘉南海岸、西南高屏海岸及東部宜蘭海岸，這三處海岸皆位於台灣的地殼沉降區。此外，雲嘉南海岸與高屏海岸尚因沿海養殖超抽地下水引致人為的地層下陷，於暴潮期間更容易因海堤高度不足產生嚴重的波浪越堤、海水倒灌，導致嚴重的海岸溢淹。(10.3.2 節)
4. 地層下陷方面，海岸水產養殖，在地下水使用成本較低之情況下，超抽地下水引致地層下陷，情形嚴重，其中雲林下陷情況較為嚴重，103 年資料顯示雲林顯著下陷面積為 307.6 km<sup>2</sup>，最大下陷速率由 92 年 12.2 cm yr<sup>-1</sup> 至 103 年 6.1cm yr<sup>-1</sup>，彰化、雲林、嘉義地區下陷速率、持續下陷面積有略為減緩及減少的趨勢。(10.3.3 節)



## 氣候變遷對海岸災害之連結

1. 肇因於氣候變遷對台灣海岸帶造成威脅，依據尺度分別為：海水溫上升、平均海面上升、水循環方式的改變、營養鹽與汙染物排放強度改變、河川水源、沙源傳輸量改變、沿岸土地利用方式改變。(10.4 節)
2. 氣候變遷直接與間接影響可分為：(1) 降雨型態改變與河口沙源供給變化；(2) 颱風強度增加引致之波浪、波高、週期與入射方向等波候改變；(3) 海水位上升與颱風強度增加引致之暴潮變化；(4) 海水表面溫度增高，層化效應增強與海岸缺氧；(5) 冬季西伯利亞高壓強度變化引致之台灣海峽海流特性改變。(10.4 節)
3. 在降雨強度改變下，台灣主要河川包括濁水溪、高屏溪、蘭陽溪、卑南溪每年均發生數次河口異重流 (Milliman et al., 2005, 2007、Dadson et al., 2003, 2005、Chiang and Yu, 2008、Chien et al., 2011)。河口輸砂量總量增加，但由於河口沉積物輸送途徑改變，可能使能夠回補海岸的沙源減少，增加海岸侵蝕的發生。(10.4.1 節)
5. 氣候變遷導致 1990 年以後的颱風個數和 1961 年至 1989 年相比有增多的現象。颱風發生次數及強度增加使台灣周邊海域夏季波候改變以及增加暴潮發生次數及強度。(10.4.2 節)
6. 受到全球暖化影響，全球平均海水面呈現上升的趨勢，上升的平均速率為每年  $3.1 \text{ mm yr}^{-1}$  (IPCC 第五次評估報告)。台灣西北海岸平均海水位上升約為  $3.2\text{-}5.3 \text{ mm yr}^{-1}$ ；台灣中部海岸平均海水位上升  $3.2\text{-}3.5 \text{ mm yr}^{-1}$ ；台灣西南海岸平均海水位上升  $2.3\text{-}6.7 \text{ mm yr}^{-1}$  (許等人, 2010、2011、2012、2013)。台灣地區平均海水位上升的速率，大部分結果較全球平均海面上升速率高。台灣周遭海域驗潮站測得的海平面高度資料顯示至 1993 年至 2003 年間台灣附近的平均海平面上升速度為每年  $5.77 \text{ mm}$ ，上升速率為過去 50 年的 2 倍，較 IPCC 氣候變遷評估報告高 (許, 2011)。(10.4.3 節)
7. 台灣週邊海域海水表面溫度的增溫程度遠高於西北太平洋海水表面增溫，造成海水溶氧濃度下降、層化效應增強、海水垂直方向的水體交換不易，增加海底缺氧的程度與範圍 (Bopp et al., 2002)。河口區域因淡水、海水比重差異，垂直方向水體對流較少，加上人工固氮產生的農業肥料產量逐年

上升 (Boyer and Howarth, 2008)，氮肥等營養鹽順著河流注入河口，導致海水優養化，造成河口海域缺氧的現象，淡水河口曾有海底缺氧的報告 (Liang et al., 2008)。(10.4.4 節)

8. 海洋垃圾的輸送與海流特性有關，台灣海峽表面流場可以產生東西向跨越海峽的輸送，將大陸沿岸的汙染水體、塑膠垃圾與外來物種攜至台灣海岸。當東北季風強度降低，豫弛發生頻率增高，可能會增加跨海峽輸送的頻率 (Oey et al., 2013)。(10.4.5 節)

### 海岸空間調適策略與措施

1. 調適策略大致分為面向：一、設置海岸緩衝帶，強化海岸防護，減緩氣候變遷海平面上升衝擊與海岸脆弱度；二、提昇海岸災害預警能力；三、加強災害防護與污染控制；四、合理管制開發，整合土地利用類型，強化海岸地區綜合管理。(10.5 節)



## 科學報告總摘要

### 一、介紹

近二十年來，極端天氣帶來全球性之災害，即使高度開發國家如美國、日本、與歐洲各國，無不遭逢極大的生命與財產損失。臺灣本來就是會有多種天然災害之高風險地區，近年來極端事件發生的頻率與強度均有增加的趨勢，如圖 S1.1，年雨量高的越高，低的越低，高雨量與低雨量發生的間距也越來越短，天氣極端化之趨勢明顯。

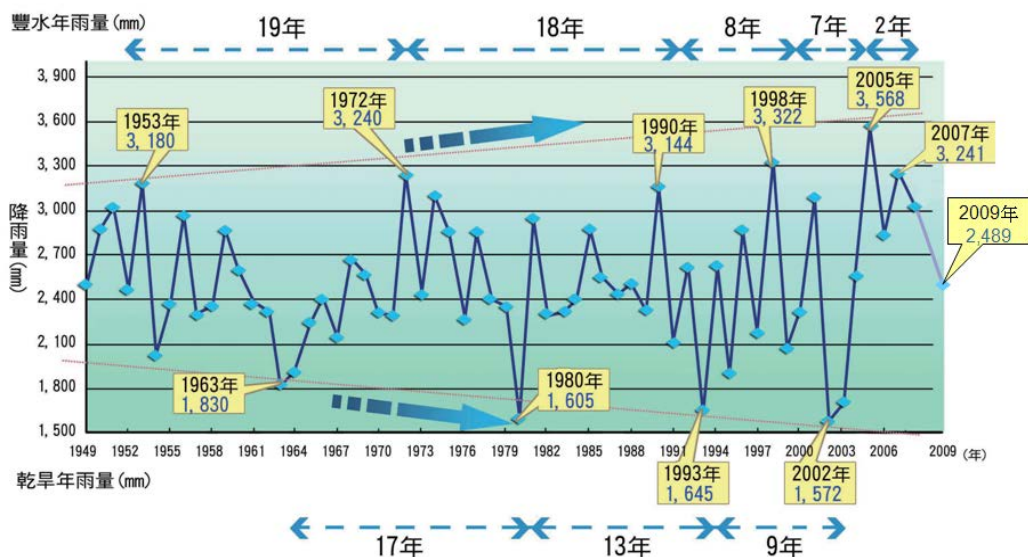


圖 S1.1 近六十年來豐枯水年變化趨勢(修正自水資源領域行動方案 102-106 年，經濟部，2014)

解決氣候變遷的問題主要分成兩個主要策略：減輕策略與調適策略。減輕策略主要在透過節能減碳等措施達到減少溫室氣體排放之目的；調適策略則是在了解未來氣候變遷可能之影響下，如何採取措施降低衝擊，以調整適應於未來之氣候。

國家氣候變遷科學報告分成兩大冊，第一冊主要在分析彙整影響氣候因子與氣候之變化趨勢，第二冊主要則注重與分析彙整氣候變遷可能帶來之衝擊與可能採取之調適行動，並以我國國內科學發展結果為主要探討對象。本科學報告第二冊與第一冊以 IPCC 第五版評估報告 (Fifth Assessment Report, AR5) 之氣候推估撰寫說明有所不同。本冊科學報告將在此重要面向分別介紹：(一) 面臨的關鍵問題；(二) 目前現況風險；(三) 氣候變遷下未來可能面臨的風險；(四) 面對未來問題可能之調適選項；(五) 最後針對推動調適措施可能之挑戰進行探討，包括科學研究與應變體制不足等，並提出科學發展與推動機制之建議。本冊從第二章到第九章分別亦不同領域面向切入，第十章則是探討不同空間之問題，最後第十一章將綜合討論調適治理之問題。

### 氣候變遷衝擊與風險

脆弱度用以表示某個系統在氣候變遷所來的氣候變異與極端事件下，易受影響、無法消弭負面作用的程度，可將其視為「暴露 (exposure)、敏感度 (sensitivity) 與調適能力 (adaptive capacity) 的函數」(IPCC, 2007)。脆弱度的大小與暴露的大小有關，暴露為氣候變異與極端事件所帶來的衝擊，暴露於危害越大則該系統潛在的脆弱度也就可能越大；脆弱度的大小亦與該系統可承受的敏感程度有關，敏感度是系統容易受到擾動的難易程度，敏感度高的系統容易暴露在同樣危害下有較高的脆弱度，換句話說，暴露在同樣的危害程度下，敏感度高者其脆弱度高。調適能力則可解釋成系統處理或是吸收氣候變遷衝擊的能力，系統的組織結構、行為能力、資源與科技都會影響其調適能力，進而降低氣候變遷帶來災害的可能性與程度。系統在綜合考量脆弱度的三個因子暴露、敏感度與調適能力後，即可界定一個處理環境變動的能力。

IPCC 在 2014 年出版第五版評估報告 (AR5) 的第二冊，將風險重新定義為危害、暴露與脆弱度的函數，如圖 1.2。雖然，AR5 重新定義風險，然其與 AR4 所稱之脆弱度十分相近。本科學報告主要在彙整國內氣候變遷衝擊、調適與脆弱度評估研究成果，為避免讀者閱讀之誤解，特整理氣候變遷 AR5 風險定義、AR4 脆弱度定義與災害風險因子之名詞對照關係，可參考表 S1.1 之比較說明。

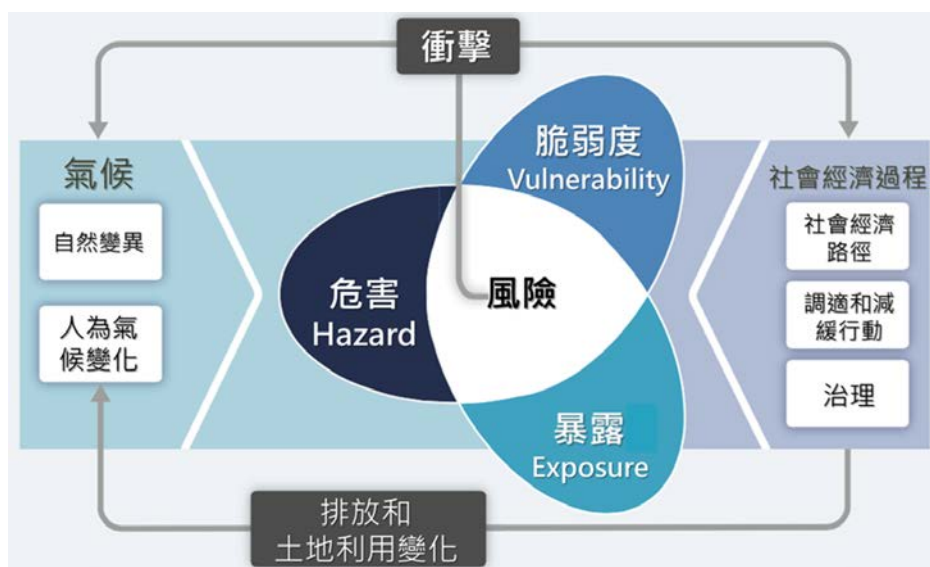


圖 S1.2 氣候變遷風險影響因子 (修正自 IPCC AR5, 2014)

表 S1.1 氣候變遷脆弱度與災害風險因子之對應關係

項目	因子		
AR5 氣候變遷風險	危害	脆弱度 (敏感度、調適力)	暴露
AR4 氣候變遷脆弱度	暴露	敏感度	調適力
災害風險	危害	脆弱度	

### 氣候變遷調適流程

科技部-「氣候變遷調適科技整合研究計畫」(TaiCCAT) 以 IPCC 第五版評估報告書對於風險的定義為核心基礎，彙整國際間與國內氣候變遷調適步驟，同時參考我國氣候變遷地方調適計畫，訂定「TaiCCAT 氣候調適六步驟」，包括：1. 界定問題與設定目標；2. 評估與分析現況風險；3. 評估與分析未來風險；4. 界定與評估調適選項；5. 規劃與執行調適路徑；6. 監測與修正調適路徑。在評估資料分析工具的建立上，除了針對上述六大步驟的流程進行定義外，亦針對了上述步驟所包含的次步驟、細部工作項目進行分項，並對流程中所需使用到的資料、工具以及各流程對應之產出設計了分析評估資料的檢核表，提供上述六大步驟調適流程詳細資訊，以利調適計畫之建構與執行，並作為滾動修正時，重新確認調適流程與資料、工具產出完整性之檢核用途。

## 氣候變遷調適與回復力

回復力 (Resilience) 的概念其最早用來描述材料在沒有斷裂或完全變形的情况下，由受力而變形回復至原本狀態的能力。在氣候變遷研究上，能夠承受多大限度的衝擊仍然能夠回復原有狀態的能力稱為「生態回復力」；需要多久時間能回復系統原有的狀態，則稱為「工程回復力」。提高生態回復力能夠使系統有較大的承受衝擊能力，並可增加緩衝的空間以及維持運作的能力；提高工程回復力則可以確保系統在受到衝擊之後，能在短時間之內回復原本該有的機能。

## 關於不確定性與可能性

不確定性 (Uncertainty) 指發生事件無法精確的推估，分析結果具有多種可能，但哪個分析結果會發生並無法確定。不確定性來源可能包括自然不確定性與政策不確定性，在氣候變遷研究中多了科學的不確定性，面對氣候變遷要採取有智慧的行動，就必須了解與掌握不確定性。另一方面，可能性 (Likelihood) 則指彙整許多研究報告後，根據研究成果是否一致或相近，提出綜合結果可能性之分析。國內各領域較少有多組研究團隊同時進行研究，因此，本科學報告將彙整國內研究成果，並與 IPCC AR5 主要結論比對，以探討國內與國外研究成果之一致性。以下分別針對不確定性與一致性進一步說明。

### 不確定性 (Uncertainty)

導致全球暖化的原因主要是人類活動增加了溫室氣體排放，不管過去所訂定的溫室氣體排放情境 (如圖 S1.3) 或是 IPCC 第五次科學評估報告所直接定義的輻射力 (Radiative Forcing, 如圖 S1.4)，均可看到有許多可能，但目前並無法確定在未來那個情境必然發生。此外，世界各國均積極發展大氣環流模式，不同環流模式利用相同溫室氣體情境往往模擬結果也不盡相同。加上為了考量電腦模擬能力，模擬結果之空間解析度與研究所需空間尺度往往不同，所以需要應用降尺度技術進行資料轉換，不同降尺度方法也可能帶來不確定性。最後，評估模式本身往往會簡化與具有參數，因此，除了輸入氣象資料之不確定性外，評估模式之模擬歷程與參數亦具有影響結果之不確定性。

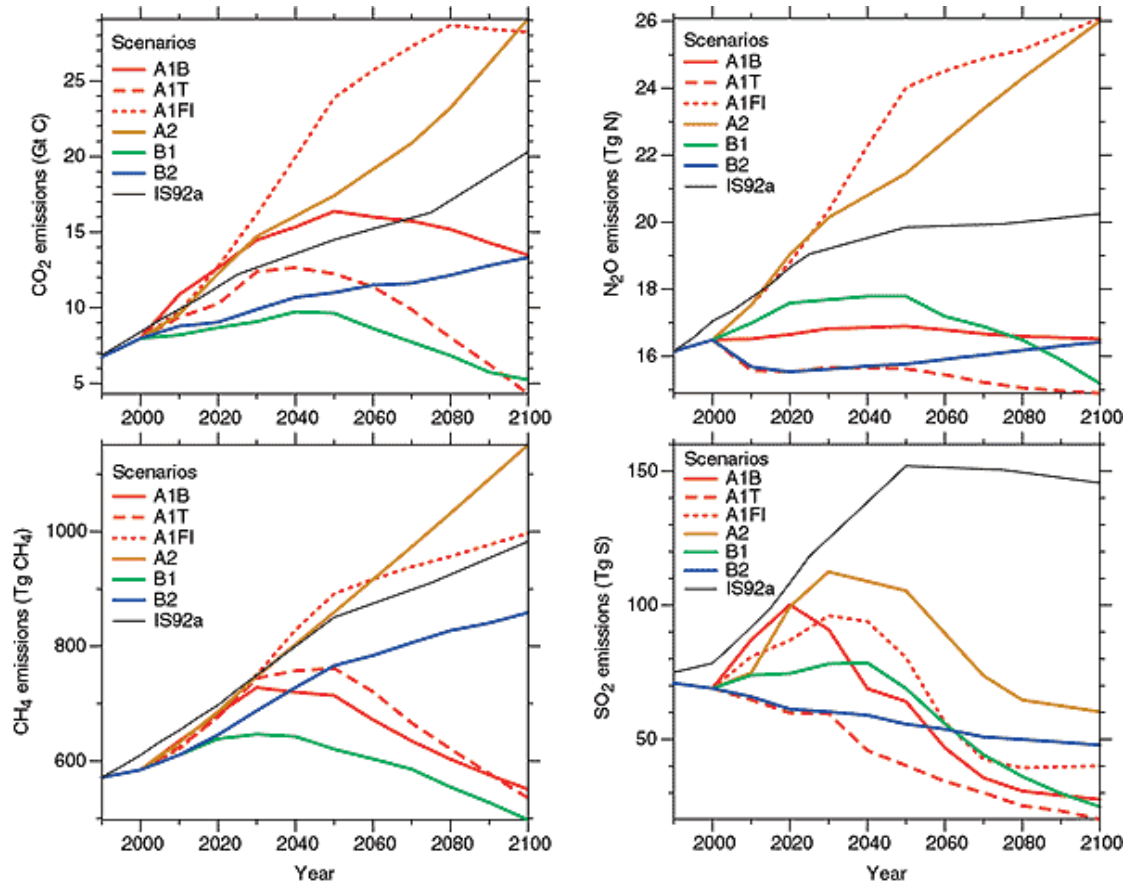


圖 S1.3 SRES 溫室氣體排放情境 (IPCC 2001)

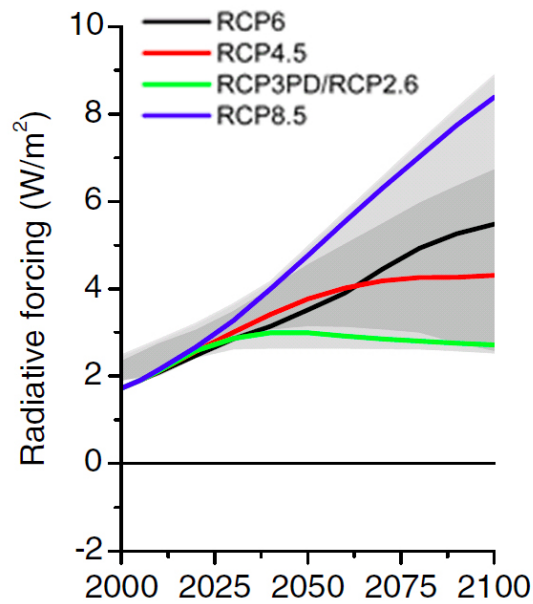


圖 S1.4 IPCC AR5 輻射力情境. From van Vuuren et al (2011)



## 二、災害衝擊

受全球氣候變遷之影響，科學家們已觀察到許多地區的溫度、降雨量，以及海平面在過去數十年至百年間呈現漸進卻明顯的變化，此外，近年來全世界各地更頻傳極端天氣與氣候事件（簡稱極端氣候事件）所釀成之災害（例如：水災、颱/颶風、乾旱、熱浪等）。根據統計資料顯示，自 1950 年開始至今，全球重大天災害事件數量逐漸增多，尤其是氣象、水文、氣候類型災害。這些發生頻率小、較少發生，但強度規模超過歷史經驗值之災害，不僅造成重大生命與財產的損失，更嚴重威脅該地區的經濟發展與社會安全，這使得全世界政府及科學家逐漸重視極端氣候事件造成的災害，也開始將極端氣候事件列為關鍵的氣候變遷風險。

針對此不容忽視的威脅，我國累積了數年的氣候科學研究，發現臺灣過去一百年間的氣候狀態已有明顯的變化，其中包括全年平均氣溫增加、全年及夏季平均最高氣溫亦增加、大豪雨日數增加、小雨日數減少，以及極端強降雨颱風發生頻率增加等溫度及降雨強度的變化趨勢。此外，我國於 21 世紀末，在不同情境之下，全臺四個分區的平均氣溫皆持續增加的增溫現象。而在降雨型態的變化上，則可能呈現乾濕季節越趨分明（豐越豐、枯越枯）、極端降雨越趨頻繁的現象。

受到溫度與降雨型態的改變以及海平面上升的影響，氣候變遷與災害專家們共同關注的問題在於：「氣候變遷會如何改變我國原有的水文氣象類災害特性？未來的災害風險是否增加？」因此，本章彙整來自我國相關部會以及各領域的專家學者近年來針對氣候變遷的災害衝擊與風險的科研成果，尤其是於我國發生頻繁且相對具有科研成果的淹水災害、坡地災害，以及乾旱災害等三項災害類型。

在過去數十年間，上述三項災害均發生過許多造成重大傷亡及經濟損失的事件，在時間特性上，可以發現梅雨季及颱風季是造成淹水災害及坡地災害的兩個季節，而春季至夏季則是造成乾旱災害的主要季節。在空間特性上，淹水災害易發生在我國西南沿海地勢較低窪之縣市，坡地災害易發生在臺灣中央山脈西側山麓，而乾旱災害則易發生在嘉南高雄等南部區域及桃園新竹的北部地區。

分析三項災害的風險驅動因子，可以發現雖然「降雨量」為最主要的氣候驅動因子，但亦有所不同，淹水災害為短延時與長延時極端降雨，坡地災害為累積降雨量與降雨強度，乾旱災害為降雨量（春雨）、連續三個月降雨量指標，以及連續不降雨日數。此外，可以發現影響三項災害風險之環境、社會經濟驅動因子十

分複雜，包括地層下陷、平均坡度、地質災害面積比率、人口密度、土地利用強度、水庫蓄水量、管理問題等等，目前只能進行定性的描述，無法將環境、社會經濟驅動因子納入定量的風險評估之中。

針對臺灣氣候變遷災害衝擊之現況風險評估，截至目前可收集之文獻顯示，隨著極端降雨頻率的增加，部分河川流量也隨之增加，在水利及區域排水設施防護標準未調整的狀況下，淹水災害風險有增加的趨勢。此外，隨著降雨集中，亦可以發現部分流域邊坡崩塌量，以及河川土砂量有增加的趨勢，坡地災害風險有增加的趨勢。最後，隨著乾濕季節越趨分明，乾旱災害風險有增加的趨勢，但是存在有地區的差異（北部次數增加、中南部延時及強度增加）。

針對臺灣氣候變遷災害衝擊之未來風險評估，截至目前可收集之文獻顯示，結果朝向不樂觀之方向前進。若在目前脆弱度、暴露量與調適力等社經環境驅動因子均不改變，僅單獨考量氣候驅動因子（降雨量）的情境之下，臺灣未來極端降雨頻率與強度可能增加，因此，極端暴雨事件造成的淹水災害風險可能增加（河川洪水溢淹、都市積淹水）；累積的極端降雨（連續 24 小時的降雨）亦可能增加坡地災害風險（土砂崩塌、土石流）；豐枯季節分明的情形則可能增加我國乾旱災害風險，尤其是用水量相對高的都市地區。

綜整以上，我國目前的氣候變遷災害衝擊研究仍屬發展、示範區階段，學者專家們仍致力研究最適當模式與方法，建議未來在模式方法、空間分布、跨領域（考量社經環境因子），以及調適效益評估方面，仍需累積更全面完整的研究。此外，除了三項災害類型外，學者們亦須著手研究其他類型的氣候變遷災害（例如：極端溫度之熱危害）。最後，因為災害風險驅動因子十分複雜，目前觀察到的氣候變遷現象是否確切造成或加劇災害事件，仍待進一步的歸因研究。

雖然如此，我國亦在氣候變遷調適與災害風險減輕策略整合上已有相關行動，我國政府於國家氣候變遷調適政策綱領中，將「災害」視為一項關鍵的衝擊與調適領域，因而訂定五年期的災害領域行動方案（102-106 年），針對集中型與廣泛型災害風險，更訂定調適策略與措施，共包含六項調適策略、18 項措施、48 項行動計畫。希望未來在氣候變遷災害衝擊風險評估更加成熟之後，能將具體的風險評估結果納入各相關部會的災害調適作為中，以確實降低氣候變遷所導致之災害風險。

### 三、陸域生態

氣候變遷對於生態系之衝擊，並不僅止於物種或生態系，也可能從物種而到農業生態系，例如藉由影響昆蟲之生理與生態，進而影響其寄主植物、天敵之分布或出現，最後可能衝擊到農業生態系之生產力和人類的糧食供應。

本章針對臺灣生態的特色，介紹陸域生態的特色與現況，並說明目前所面臨的問題，進而從已發表的國內外研究或相關計畫成果，以臺灣的實例（植物與繁殖鳥類分布改變），以及模擬的預測結果，針對生物分布的課題，從指標物種與生態系，包括附生植物、重要森林樹種（冷衫、鐵杉、雲衫、紅檜、扁柏）、鳥類（黑面琵鷺、八色鳥、特有種植物、繁殖鳥類）、兩生類、淡水魚類、海岸生態、生態保護區等項之預測成果，說明臺灣陸域生態受到氣候變遷影響下可能遭受的衝擊。

臺灣位處熱帶與亞熱帶交接，氣候溫和，雨量充沛，加上早先的板塊與地質活動，山巒起伏，形成獨特的生態環境。至 2015 年 9 月底為止，在臺灣所記錄到的生物種類已達 57,990 種，以臺灣的物種多樣性而論，從已記錄到的物種數來看，節肢動物最高，27,227 種，其次是植物界（8,559 種）與真菌界（6,246 種）；而就臺灣特有種的比例來看，則以哺乳動物為首（64%），依序為昆蟲（62.5%）、植物（26%）、兩生類（25%）、爬蟲類（18%）、鳥類（13%）、真菌（2%）與魚類（2%）（TaiBIF 臺灣生物多樣性資訊入口網 2015）。

氣候型態是決定地球上各種生物分布的重要關鍵，當溫度和其他氣候因子的改變，對於生物多樣性將具有很大的影響。Wang et al. (2011) 以花粉資料證實臺灣在過去長時間（2000 年）的變化中確有氣候變遷的情形。依據 IPCC 的相關預測中，雖然預測情況隨各模式而有差異，我們也可以預期在未來也會出現氣候變遷的情況。

玉山國家公園高海拔地區，自 1992 年起，迄 2009 年在 3100 公尺以上山區的高山繁殖期鳥類監測（李培芬 2008），發現越來越多的鳥種出現於海拔 3,600 公尺以上的地區（圖 S3.1）。



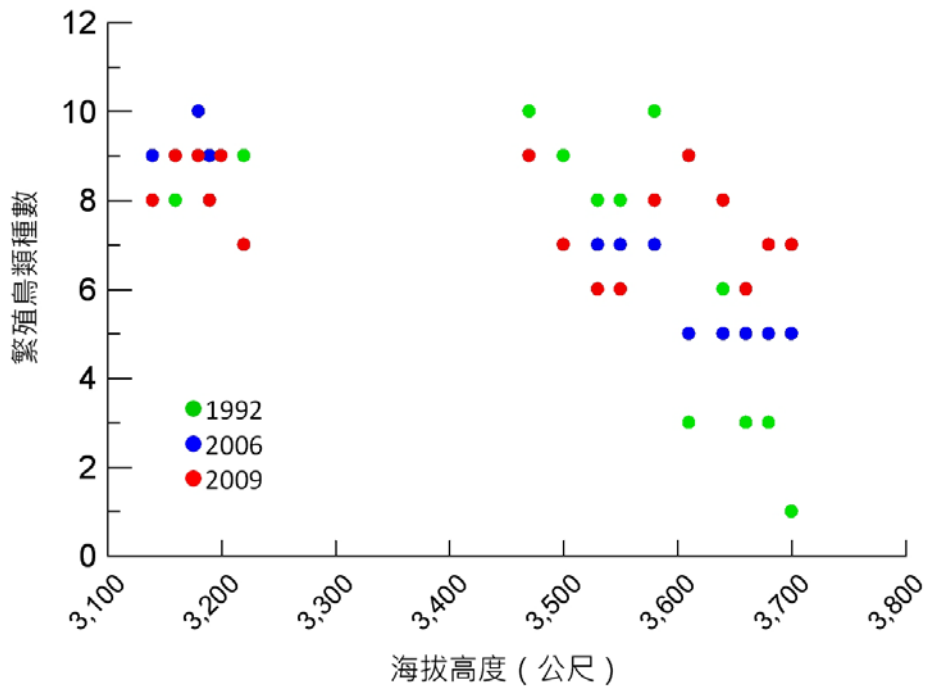


圖 S3.1 1992~2009 年之 3100~3600 公尺以上的山區繁殖鳥類的種數

透過 13 種鳥類的監測顯示，其中 3 種屬於中海拔出現的鳥種，即這些鳥類主要原分布範圍為 2,000~3,000 公尺，在 3100 公尺以上山區的族群密度有增加的趨勢；而在 10 種高海拔鳥種中，即這些鳥類主要分布範圍於 3,000 公尺以上的地區，有 5 種族群密度呈現減少，另外 5 種則尚未有明顯的變化。以鳥種分布的海拔上限而言，有 6 種鳥種的海拔分布向更高海拔延伸，包含白眉林鴉 (*Erithacus johnstoniae*)、灰鸞 (*Pyrrhula erythaca*)、煤山雀 (*Periparus ater ptilosus*)、火冠戴菊鳥 (*Regulus goodfellowi*)、深山鶯 (*Cettia acanthizoides*) 與褐頭花翼畫眉 (*Fulvetta formosana*)。

臺灣中部中高海拔地區的植物在 20 世紀早期與現在之分布情形 (約在 1906 到 2006 年之間)，Chou et al. (2011) 發現，在約 100 年的時間內，有許多的物種從較低海拔區域遷移到更高海拔的區域，而原已出現在高海拔的物種，因為這種向上遷移的情形，將面臨無處可去的威脅，進而因為缺乏可以生息的空間而有可能滅絕的危機。這些植物種類包括玉山金絲桃 (*Hypericum nagasawai*)、細葉山艾 (*Artemisia morrisonensis*)、玉山當歸 (*Angelica morrisonicola*)、阿里山薊 (*Cirsium arisanensis*)、巒大當藥 (*Swertia randaiensis*) 和玉山抱莖籜蕭 (*Anaphalis morrisonicola*) 等 6 種。

某些鳥類也受到氣候變遷的影響，未來在分布上有很多的改變。以下以稀有性物種（黑面琵鷺和八色鳥）與種類生物多樣性為例子，介紹臺灣鳥類受到氣候變遷之影響預測。

### 黑面琵鷺

從族群數量的變化來看，近兩年黑面琵鷺的棲息地已從主棲地（七股和四草地區）向北（雲林縣）或南（高雄市）擴增分布的現象（圖 S3.2）。在七股度冬區的調查發現，休息區和攝食區的存在，以及兩者之間的空間區位是黑面琵鷺很重要的棲地條件。

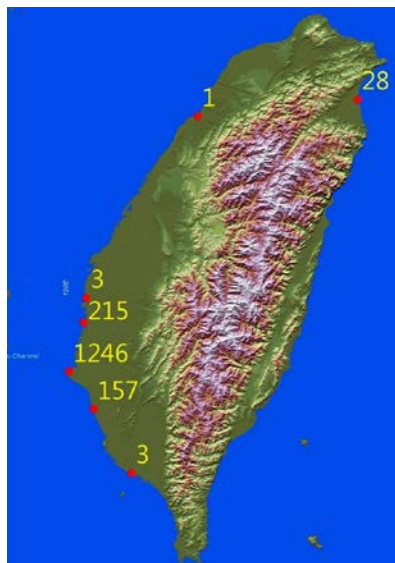


圖 S3.2 黑面琵鷺的度冬區在臺灣之分布

運用海平面上升的模式與地形因子，評估黑面琵鷺棲息地受到氣候變遷的衝擊情形，發現部分沿海區域可能會因為海平面之上升而被淹沒（圖 S3.3），圖中黃色區域為國家重要濕地的邊界，藍色區域為被淹沒的區位，淹沒情形以臺南市七股、嘉義縣沿海濕地、高雄市茄苳和宜蘭縣濕地的情形較為嚴重。目前的相關預測的發現，以海平面上升 2 公尺以上，所造成的衝擊程度較高，此影響主要是部分攝食區的消失，以及休息區的淹沒。以目前的氣候變遷預測情景而言，雖然我們不能精準預測到海平面上升的幅度，但是，整體而言，海平面上升 3 公尺以上的機率仍偏低 (Pittock, 2009)。因此，若未來魚塢的養殖情形不變，氣候變遷的衝擊主要是造成黑面琵鷺攝食區的減少，同時也會少部分的影響到其休息棲地。以黑面琵鷺對於棲地的高忠誠度 (site fidelity) 而言，預期會有一些的影響。

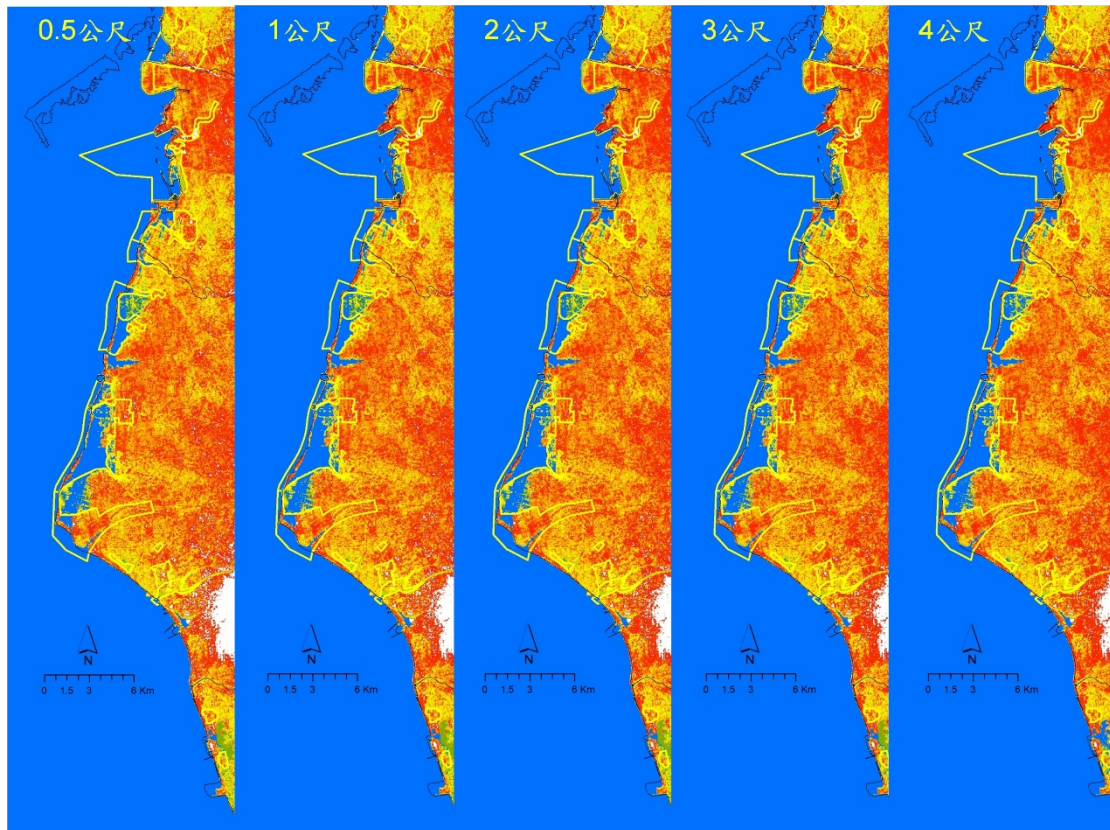


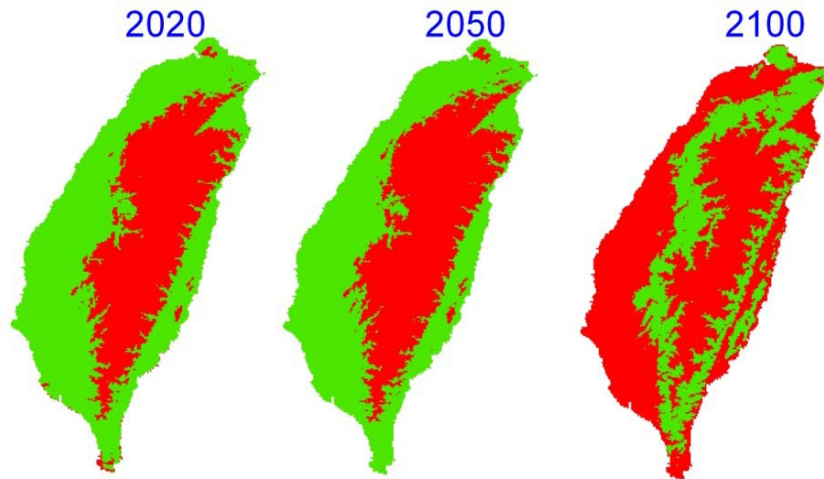
圖 S3.3 不同海平面上升情景下黑面琵鷺在臺灣西南沿海地區（雲林縣到高雄市）的棲地所受到之可能衝擊。

### 八色鳥

八色鳥 (*Pitta nympha*) 是世界性稀有鳥種，其族群量可能在 10,000 隻左右。八色鳥的適溫範圍出現在 20~25°C 之間，若在未來氣候變遷的情景下，八色鳥在生理的適應上沒有明顯的改變，則我們可以用運用此資訊，結合 IPCC 所公布的未來氣候預測情況，預測氣候變遷對於八色鳥出現區域的可能情形，進而評估氣候變遷的影響。

若未來的溫度持續上升，則八色鳥在臺灣的適溫分布範圍，將由低海拔改變為中海拔（圖 S3.4），且未來可資利用的棲息地面積，也有明顯的縮小。這種情形在 2050 年之後，變得更加的明顯。不同的溫度模式所產生的結果雖然不盡相同，但是其預測方向均有類似的內容，若加上人類可能的干擾情形，在氣候變遷下，八色鳥在臺灣所面臨的挑戰嚴重（李培芬等，2006）。

模式與情境：CMA-A2



模式與情境：CMA-B2

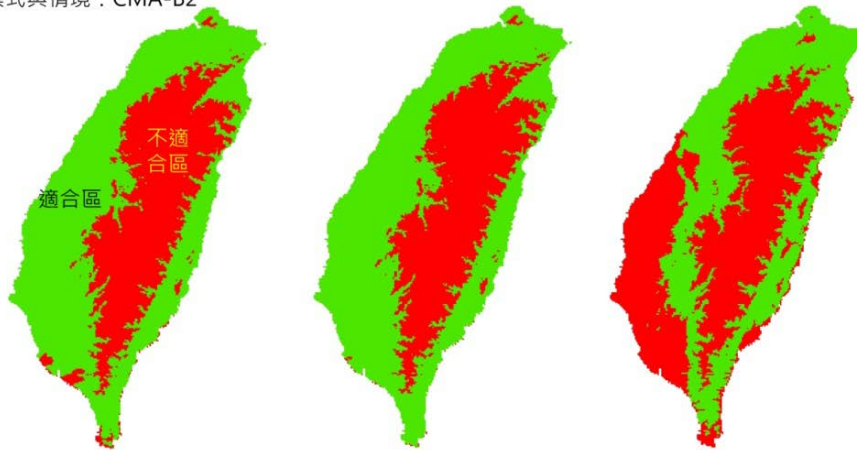


圖 S3.4 氣候變遷下八色鳥未來在臺灣的分布情形

臺灣地處海島，有多樣的生態環境，如前所述，不同的區域受到氣候變遷的威脅與衝擊，不盡相同。臺灣腹地狹小，資源缺乏，調適的能力欠佳；在後天上，也因為過去對生態研究的忽視，基礎資料的欠缺，統整系統又不健全。這些先天與後天的不利因素，都造成生態系於面對氣候變遷時的高度脆弱性。整體而言，目前臺灣在因應氣候變遷的生物多樣性調適與減緩，尚無完整而通盤的方案。減緩人為活動所造成氣候變遷的速度與幅度，找出適當的調適策略。為了有效減緩氣候變遷所可能導致的生態衝擊，以及保育自然資源與生態，建議以下十大策略：

#### 加強投資生態研究

臺灣的生態研究資料向來不多，能夠用來作為氣候變遷研究和監測的資料更少，不論是陸域或海域生物多樣性研究及基礎環境資料蒐集皆是很重要的工作。落實基礎生態調查，了解臺灣陸域的生物多樣性、生物群聚的組成和結構，及其



對氣候變遷的可能反應，對於促進生態環境的保育將很有幫助。在過去，臺灣主要的補助研究機關為國家科學委員會（現為科技部），林務局與各國家公園管理處亦有因業務需要而有補助計畫，但是，這些研究大多欠缺整體性與持續性，不重視基礎，對於氣候變遷下所需的評估資料內容，亦缺乏規劃。

即使是 1992 年開始的長期生態研究，雖然在觀念和作法上，可以作為氣候變遷生態研究的主力資料，但是受限於人力、物力與財力，此項計畫已瀕臨滅絕，許多的資料也因為計畫無法延續、時程太短、資料收集方法不一致、缺乏全面性等課題，也無法作為支援氣候變遷的研究。

### 評析生態系受氣候變遷影響之脆弱度與恢復力

臺灣物種達 5 萬種以上，加上多樣化的生態環境，要能評估氣候變遷對生物多樣性之衝擊，必須選擇重點。評析易受氣候變遷影響之生態系與可能的脆弱度，並研究氣候變遷對生物多樣性之影響，是擬定減輕衝擊對策中之必要基礎。尤其是物種保存與復育劣化之生態系（如污染農田、魚塭、鹽漬地、崩坍地、地層下陷區等），整體評析易受氣候變遷影響之生物多樣性，並確認其脆弱度，是減少氣候變遷衝擊的重點工作。此外，藉此界定生物之重要保育指標與保育策略，並確立物種遷移廊道，使物種得以因應氣候變遷而遷移，建立庇護場所、自然公園或保護區，甚至利用捕捉、人工餵養，將特定物種移入適宜的生存區域等，均是減輕可能衝擊之作法。

### 生態資料庫與資訊中心之建置

不可諱言，國內在生物資料庫的建設已有一段時間，但是缺乏必要之整合，且對於氣候變遷所需要的資料，亦缺乏全盤考慮。因此，建構生物多樣性資料庫和設立資訊中心，以保存、整合、有效分析與運用物種監測資料，並建立評估及預測方法及模式，方可提供監測數據，據以調整經營管理策略與行動。

### 生態監測體系之建立

建立生態系監測架構，持續監測與評估其變化，並建置監測資料庫，是因應氣候變遷衝擊的必要工作，唯有翔實的資訊，才能進行必要的調適工作。而且，未來政府許多的因應措施也需要監測資料的收集，作為滾動式檢討的依據，並了解其成效的參考。針對快速的氣候變遷趨勢，需要更立即有效的方法，以發展適應性經營管理與策略。建議在不同的生態系類型下，運用生物指標，監測氣候變

遷對生態環境和保護區的衝擊，以期能做到在改變之前，能事先擬定並執行應變的措施，並調整保護區經營管理的方式。

### 保護區邊界的檢討與網絡之建構

由於氣候的改變，現在受到保護的環境，在未來可能無法提供原保護物種的生存。因此，保護區的現狀與未來保護區設立應該考量到物種未來可能的分布範圍。同時，也可以考慮將數個獨立的保護區，以生態廊道的方串聯，建立保護區網絡。目前，在中高海拔地區已有中央山脈保育廊道，在西南沿海地區由於濕地的分布較為密集，也有類似廊道的功能，但是在其他區域仍未有整體性的考量與檢討，例如在低海拔到 1500 公尺的山區，自然保護區較少，其中包括有許多水庫的集水區，未來若能設立保護區，如國家自然公園，將可更完整的建立臺灣自然保留區網絡。

### 落實外來入侵種之防治

臺灣有非常多的外來種生物，許多的外來種生物已造成環境問題 (如紅火蟻、福壽螺、銀合歡、小花蔓澤蘭、互花米草)，在氣候變遷下，外來種的擴散將更加嚴重，為了維護良好的生態環境，有必要針對出現在臺灣的外來種生物，進行整體的了解，減少放生行為，並針對一些已造成問題的物種，進行防治上的規劃與研究。

### 評估與預測方法之建立

目前，有關氣候變遷的生態衝擊預測分析，大多採用生態模式與分析的方式進行，以未來環境的預測情境 (資料大多源自大氣的研究) 為基礎，再利用生態系統各層面與環境間的關係，預測未來的可能改變趨勢和結果。利用這些預測模式所產生的結果，多半顯示出未來所面臨問題的嚴重性。但是，受限於資料的解析度與準確性，仍有許多的不確定性。建議持續開發生物多樣性因應氣候變遷所需的工具，如評估方法、經濟效益評估及決策模式，以期能協助釐訂更好的減輕對策。

### 界定並增進對生態敏感區之瞭解

許多的生態系統，例如高山環境，對於氣候變遷的調適能力較低，過去也由於環境的限制，我們對於其生態系的瞭解也較少，因此難以預估可能產生的衝擊。

也難以擬定適宜的調適策略與方法。對於這類的敏感區域，或是生物多樣性豐富(熱點)、生態功能較重要的地區，如霧林帶、濕地生態系、森林生態系，儘速界定並投入較多的相關研究與保護工作。

### 減少沿岸地區之開發

臺灣多年來，由於許多沿岸地區都已被開發為海埔地、工業區、港口，海堤及消波塊大量的設置，到 2000 年為止，海堤的長度已佔臺灣海岸線的 50% 以上。這樣的開發利用，以大量硬體性保護措施的構築，已經大幅降低沿岸環境對氣候變遷的調適能力。又加上西南沿海長期抽取地下水，進行水產養殖，造成沿岸地層下陷，也常因海水倒灌，滲入低窪地區，造成鹽化現象。臺灣的國家重要濕地，大部分位於沿海地區。因此，減少沿岸地區的開發應列為重要目標。

### 國土規劃

陸域生態系的保護良窳關係著氣候變遷調適的抵抗力與回復力，與在減低氣候變遷的衝擊方面，降低能源消耗、減少二氧化碳排放、推動污染源減量，都是重要的工作。完善的國土規劃，讓土地盡其所用，該保護的保護，該利用的充分利用，避免土地的過度開發與不當利用，維持原有的土地覆蓋型態，以維持或增進自然生態系對氣候變遷的調適能力。

## 四、海域生態

### 臺灣海洋棲地與生物多樣性現況

臺灣只佔地表面積約 0.003%，但是海洋生物的種類數高達全球種類數的 10%。推測原因一為地理演化因素，臺灣位於全球海洋生物多樣性最高的印度太平洋海域的珊瑚大三角、紅樹林大三角及海草大三角之邊緣區域；二是臺灣位於中國大陸閩浙沿岸流、黑潮與南海水團等三大水團交會的生態推移帶，因此得以同時匯聚溫帶與熱帶海洋生物於同一海域；三是臺灣周遭海域因為地質、地形、氣候、潮汐與波浪作用力不同，棲地呈現多樣型態，廣納不同的生物種類，台灣海域生態系包含泥沙灘、河口潟湖、鹽澤、紅樹林、岩礁、藻礁、珊瑚礁、海草床與大洋等，其中以珊瑚礁、海草床、紅樹林、岩礁與藻礁的生物種類較多。



### 氣候變遷影響臺灣海域生態之研究案例

氣候變遷對於臺灣海域生態系的影響，目前較為肯定且有研究可資佐證的研究案例並不多，例如 1998 年聖嬰造成珊瑚白化、颱風侵襲造成珊瑚礁受損及魚類群集改變、鱈魷等大洋漁業資源的長期變動、2008 年反聖嬰導致冷水流入侵澎湖造成大量死魚事件等。大多數的影響仍缺少臺灣在地的基礎數據，包括影響機制、評估及預測模式，更缺乏過去長期生態分布背景資料的蒐集與整合，難以在時間（今昔）及空間（實驗組與對照組）軸上作比較分析，故目前尚無法斷言這些現象與氣候變遷有直接的因果關係。相對而言，如過漁、棲地破壞、污染、外來種入侵等人為活動，對於臺灣海洋生物多樣性所造成的直接破壞反而更為明顯，且較氣候變遷的影響更加快速與劇烈。

#### 1. 珊瑚礁分布變遷模擬

以三種臺灣海域較常見的珊瑚做分布機率模擬：尖枝列孔珊瑚、萼形柱珊瑚與細枝鹿角珊瑚。結果發現當海水暖化，短期內（2025 年）珊瑚的分布範圍變廣，各地的物種豐度亦增加。然而，在中期（2055 年）及長期（2085 年）的影響下，珊瑚的分布範圍會縮減並往北移，未來將導致珊瑚礁生態功能逐漸喪失。

#### 2. 大洋研究

海洋由於暖化及層化之加強，溶氧濃度隨升溫而減少，層化現象之強化會使得表水溶氧不易向下傳遞，底層缺氧現象會更加嚴重，再加上沿岸優養化，底層缺氧發生機率將會提高。氣候變遷造成海水表面溫度上升亦改變漁獲之季節性變化，導致春季型與夏季型漁獲比例逐年遞增，而冬季型漁獲比例逐年遞減。氣候變遷所引起的風應力減弱，導致黑潮流量降低。當黑潮大蛇行狀態減弱，湧升與潮境之減弱或位置轉移，皆可能影響到臺灣鯖鱈圍網漁業。剛孵化的鰻苗缺乏自主游泳能力，需依賴洋流系統漂流至有淡水來源的河口沿岸。若氣候變遷改變了洋流流向，例如，聖嬰年間有較多的鰻苗會往南流入民答那峨洋流，當年東亞邊緣鰻苗捕獲量就會減少。但是黑潮暖流之流勢較強，反而會將較多鰻苗帶到臺灣沿岸海域。

### 氣候變遷對臺灣海域生態的可能影響

根據 IPCC 第五次評估報告 (AR5)，台灣表層水溫上升幅度高於全球海域平

均，而且北部較南部明顯。水溫上升會造成表層暖水與底層海水的水體交換停滯，營養鹽濃度減少，海洋基礎生產力下降。若氣候變遷使海水溫度持續升高，估計至 2050 年時，將使 15~37% 物種消失。暖化造成低緯度地區的暖水性物種向北遷移。高溫海水可能使生物生長季節拉長、生長速率加快、生命週期縮短、生殖能力降低、幼生期死亡率增加、個體變小。高溫提升水中耗氧率，易造成低溶氧環境，進而出現死亡區。

模擬結果顯示，大氣二氧化碳濃度持續增加的情形下，2100 年海水平均 pH 值將由工業革命前的 8.2 下降到 7.8。而海水優養化是另一項造成沿岸海水酸化的因素。因河流帶來的營養量增加，沿海生產力因而提升，所生成之有機碳會慢慢沉積到海底。夏季表層水受熱，海水層化而減少海水的垂直交換。這些有機物一旦分解，除了消耗底層水溶氧外，同時也會釋出二氧化碳及酸性物質，造成海水酸化。酸化會降低魚卵孵化率，減緩魚類發育初期階段之生長能力、影響骨骼生成、耳石發育及味覺等。

臺灣周圍海域的海平面變化率預計約為全球平均之三倍。臺灣附近海域的海平面變化，發現 1993~2003 年間，海平面上升趨勢約為  $5.7 \text{ mm yr}^{-1}$ 。若以大氣海洋環流模式預估海平面上升量，到 21 世紀後期 (2081~2100 年)，四種情境海平面上升量為 0.40~0.62 m。沿海低窪及地層下陷的地區勢必受到影響，宜及早制定調適策略因應。

不同棲地對氣候變遷的影響有不同程度的反應，預期氣候變遷對於臺灣海域生態系的影響相對於其他地區可能更為嚴重。而臺灣不同的海洋棲地面對的威脅也不盡相同。例如海平面上升對於紅樹林、鹽澤及泥沙灘的威脅較大。珊瑚礁與海草床則是對水溫、沉積物、濁度、風暴潮、水下光度、鹽度及鄰近地區淡水入流量的變化較為敏感。水溫升高及二氧化碳濃度增加在短時間會加速植物生長，但是，長時間看來不但使沿岸紅樹林、鹽澤及海草數量下降、沿岸生物棲地減少。暴潮或暴雨時，會加速沿海濕地的侵蝕速率，甚至在一夕之間使整個沿海棲地消失殆盡，導致其生物盡數絕滅。

相對氣候變遷的影響，其實人類活動對於臺灣海域生態系的破壞更為直接明顯。泥沙灘、河口潟湖、鹽澤與海草床常面臨工業區、港口與垃圾場等開發案的威脅，紅樹林、珊瑚礁與藻礁常受到污水排放的影響，而岩礁與大洋受到的人為干擾程度相對較小。

## 調適措施

1. 將相關調適措施列為國家施政的重大政策；
2. 改善沿海地區綜合管理制度；
3. 強化公權力與相關法律；
4. 厲行迴避、減輕與補償保育措施；
5. 進行政策跨領域溝通協商；
6. 地方團體在地管理；
7. 支持有系統且長期的基礎科學研究；
8. 強化地區性的人為活動影響研究。

## 五、水資源

氣候變遷的影響主要在水文循環的改變，將直接衝擊現在與未來水資源的使用與調配。政府間氣候變遷委員會 (IPCC, 2014) 指出溫室氣體排放的持續增加，將會增加用水風險度，對河川流量及用水品質產生衝擊，且可能會增加洪災與乾旱等極端事件發生頻率，並加劇不同領域間對水資源的競爭。台灣雖有豐沛降水，但時空分配不均，隨著氣候變遷可能帶來的衝擊，水資源相關議題應審慎評估及制定有彈性之因應策略。本章說明台灣地區水資源現況與所面臨的水資源供需問題，氣候變遷對水資源供給與需求的可能衝擊，及水資源調適策略與建議。

台灣地區年平均降雨量達 2,500 毫米，依經濟部水利署水資源分區之各區豐枯雨量比與供水潛能量整理如表 S5.1 所示，其中以南區之降水豐枯比最懸殊，北區有較平均之降水豐枯比；而各分區地表水供水潛能水量差異不大，中區與南區有較大之地下水供水潛能。而若以單位面積供水潛能分析，北區與東區相對於中區與南區有較高的單位面積地表水供水潛能；在單位面積地下供水潛能部分，則是中區與南區相對於北區與東區有較高的單位面積地下水供水潛能。

表 S5.1 台灣各分區水資源現況表

項目 分區	面積 (km <sup>2</sup> )	雨量豐枯比	地表水供水潛能水量 (億 m <sup>3</sup> /年)	地下水供水潛能水量 (億 m <sup>3</sup> /年)
北區	7,347	6:4	56.15	7.0
中區	10,507	8:2	53.27	19.6
南區	10,004	9:1	52.69	19.0
東區	8,144	8:2	57.45	2.9

台灣地區水資源供水來源主要為河川引用水 (占約 53%)，其次為地下水 (占約 27%) 和水庫調節供水 (占約 20%)，顯示用水來源雖以地表水為主，但地下水使用量仍占有一定比例，且平均地下水抽用量 (59 億噸/年) 仍大於推估之天然補注量 (50 億噸/年)，對地下水資源之永續使用不利。在水資源需求部分，標的用水以農業用水 (占約 76%) 為最大宗，其次為生活用水 (占約 16%)，工業用水 (占約 8%) 的比例最低。在天然降水時空差異明顯與農業用水佔整體水資源使用比例較高等時空環境特性下，台灣現況水資源面臨之供需議題整理如表 S5.2 所示。

表 S5.2 水資源之供需議題

水資源供需議題	說明
降雨異常	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 歷年乾旱及極端暴雨事件，皆使水資源之調配出現危機。</li> <li>2. 台灣各區年不降雨日數及年最長連續不降雨日數均呈增加趨勢，中南部存在明顯乾旱季節，乾旱之平均延時拉長。</li> <li>3. 降雨集中於豐水期尤其是颱風季，易使水庫原水濁度飆高。</li> </ol>
水源及供水設施不足	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 豐枯水期在流量及延時皆呈現越極端化現象，地下水入滲量有漸減的趨勢，造成可用水量減少。</li> <li>2. 在供水設施部分，北部之翡翠水庫與石門水庫供水負荷極重；中部烏溪流域、南部高屏溪流域缺乏大型調蓄設施，導致水資源利用率低；東部之供水管線不易連通，難以達成區域運用。</li> </ol>
設施永續	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 因地勢關係加上山區過度開發，極端暴雨事件使集水區土石崩塌並淤積於蓄水設施中，導致水資源調配能力降低，衝擊設施永續性。</li> <li>2. 石門水庫為桃園地區重要供水來源，曾文與南化水庫為南部地區重要供水來源，皆須提升水庫防洪防淤能力以穩定供水。</li> </ol>
用水環境	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 經濟發展、人口增加、都市化效應下，都市之水源涵養能力降低，地下</li> </ol>

水資源供需議題	說明
	水入滲減少，暴雨來臨時排水不及。 2. 颱風過境使原水濁度飆高，淨水廠處理不及導致折減出水甚至停供。 3. 中部濁水溪沖積扇與南部屏東平原較嚴重地下水超抽問題。
用水需求	1. 農業用水佔用比遠大於生活與工業用水，乾旱時往往需調度農業用水以支應生活與工業用水急需。 2. 溫度上升與人口增加將使農業及生活用水需求上升，經濟發展也使得生活及工業用水需求上升，如何有效調度運用且同時滿足國內糧食安全、每人每日需水量及科技的發展，實為台灣地區重要的議題。

氣候變遷影響水文循環將進一步衝擊水資源的供給及需求，以下整理國內過去研究針對各分區評估結果之說明：

1. 北區之供需能力分析如表 S5.3 所示，包含 5 種 GCM 與 3 種情境評估結果，氣候變遷下流量大致呈現豐水期增加、枯水期減少的趨勢；地下水則在 MIMR 模式為減少的趨勢，其他 GCM 皆為增加的趨勢；桃園與新竹地區在 A2 情境下需水有增加的趨勢，新竹在三種情境下供需都會出現缺口，桃園則有二種情境下供需出現缺口。總結來說，北部地區在未來氣候變遷下，宜蘭、基隆供需尚可滿足，台北及新北供需無缺口外還可支援其他區域，桃園、新竹地區則供水能力不足，在未來氣候變遷可能出現供需缺口，所受衝擊較大。
2. 中區之供需能力如表 S5.4 所示，利用 5 種 GCM 與 3 種情境做評估，除了 GFCM21 模式為豐枯水期流量均減少，其他模式大致呈現豐水期增加、枯水期減少的趨勢；地下水潛能則為有增有減的趨勢；除了台中市，其他縣市的需水量皆為增加的趨勢。總結來說，苗栗、台中、彰化因供水能力不足且尚須支援其他區域，導致未來氣候變遷可能出現供需缺口，雲林、南投地區則因地下水供水能力充足，較不受氣候變遷衝擊影響。
3. 東區之供需能力分析如表 S5.5，利用 5 種 GCM 與 3 種情境做評估，氣候變遷下流量大致呈現豐水期增加、枯水期減少的趨勢；地下水潛能則為有增有減的趨勢。總結來說，東部地區主要供水來源為地下水，在氣候變遷影響下供需尚可滿足，不會出現缺口。

表 S5.3 氣候變遷下北區水資源供需能力分析

北區		氣候變遷下流量變化 (GWLF)		地下水 潛能評估 (GWLF)	供需能力分析 (SI 反推)		
GCM	情境	豐水期	枯水期		分區	情境	供需缺 口
CSMK35	A1B	+	-	+	宜蘭基 隆	A1B	O
	A2	-	-	-		A2	O
	B1	+	-	+		B1	O
GFCM21	A1B	-	-	+	大台北	A1B	O
	A2	+	-	+		A2	O
	B1	-	-	+		B1	O
MIMR	A1B	-	-	-	板新	A1B	O
	A2	+	-	-		A2	O
	B1	-	-	-		B1	O
MPEH5	A1B	-	+	+	桃園	A1B	X
	A2	+	-	+		A2	X
	B1	+	+	+		B1	O
MRCGCM	A1B	+	-	+	新竹	A1B	X
	A2	+	-	+		A2	X
	B1	+	-	+		B1	X

註：+表增加趨勢，-表減少趨勢，O表供需滿足，X表供需出現缺口。

表 S5.4 氣候變遷下水資源中區供需能力分析

中區		氣候變遷下流量變化 (GWLF)		地下水 潛能評估 (水平衡法)	供需能力分析 (SI 反推)		
GCM	情境	豐水期	枯水期		分區	情境	供需缺 口
CSMK35	A1B	+	-	+	苗栗	A1B	X
	A2	-	-	-		A2	X
	B1	+	-	+		B1	X
GFCM21	A1B	-	-	+	台中	A1B	X
	A2	-	-	-		A2	X
	B1	-	-	-		B1	X
MIMR	A1B	-	+	-	彰化	A1B	X
	A2	+	-	-		A2	X
	B1	-	-	+		B1	X
MPEH5	A1B	-	+	-	雲林	A1B	O
	A2	+	-	+		A2	O
	B1	+	+	+		B1	O
MRCGCM	A1B	+	-	+	南投	A1B	O
	A2	+	-	+		A2	O
	B1	+	-	-		B1	O

註：+表增加趨勢，-表減少趨勢，O表供需滿足，X表供需出現缺口。

4. 南區之供需能力分析如表 S5.6，利用 5 種 GCM、3 種情境，並分短、中、長期做評估，氣候變遷下的流量大致呈現豐水期增加的趨勢，枯水期則在不同情境、不同流域有不同的表現；地下水潛能在屏東平原為增加的趨勢；而南區之需水量皆為增加的趨勢。總結來說，南部區域的現況供水能力不足，未來需水皆為增加的趨勢，導致未來氣候變遷可能出現供需缺口，所受衝擊較大。

表 S5.5 氣候變遷下水資源東區供需能力分析

東區		氣候變遷下流量變化 (GWLF)		地下水潛能評估 (水平衡法)	供需能力分析 (SI 反推)		
GCM	情境	豐水期	枯水期		分區	情境	供需缺口
CSMK35	A1B A2 B1	+	-	有增有減 (-5.5%~3.3%)	花蓮	A1B	O
GFCM21						A2	O
MIMR						B1	O
MPEH5					台東	A1B	O
MRCGCM						A2	O
					B1	O	

註：+表增加趨勢，-表減少趨勢，O 表供需滿足，X 表供需出現缺口。

表 S5.6 氣候變遷下水資源南區供需能力分析

南部			氣候變遷下流量變化(GWLF)		地下水潛能評估 (GWLF)			供需能力分析 (SI 反推)		
GCM	時期	情境	豐水期	枯水期	區域	情境	趨勢	分區	情境	供需缺口
CSMK35 GFCM21MI MR MPEH5 MRCGCM	短	A1B	+	*	嘉南平原	A1B	+	嘉義	A1B	X
		A2	+	+					A2	X
		B1	+	+				台南	A1B	X
	中	A1B	+	*		A2	-		A2	X
		A2	+	-		高雄	A1B		X	
		B1	+	*			A2	X		
	長	A1B	+	-	屏東平原	A1B	+	屏東	A1B	X
		A2	+	-					A2	X
		B1	+	*				A2	+	A2

註：+表增加趨勢，-表減少趨勢，\*表不同流域間互為有增有減的趨勢，O 表供需滿足，X 表供需出現缺口。



其他與水資源供給有關之關鍵因子如高濁度之衝擊影響，經由雨量區域分析之結果得知，在氣候變遷影響下未來極端降雨為增加的趨勢。另外，針對台灣六座主要水庫，包含曾文、翡翠、石門、鯉魚潭、德基、明德水庫之氣候變遷衝擊分析成果，氣候變遷情境推估下淤積率皆增加，將使水庫營運安全風險升高。整體而言，氣候變遷下，台灣可能面臨之水資源問題為：(1) 全區枯水期流量減少，北部及東部地區有豐水期縮短、枯水期延長的趨勢；(2) 極端降雨有增加的趨勢；(3) 水庫淤積量呈現增加的趨勢；(4) 地下水供水潛能互有增減的趨勢，存在較高不確定性；(5) 多數地區目標年之生活及工業需水量增加，導致供水能力無法滿足；(6) 影響農業需水之因素多，台灣各灌區有不同的增減趨勢，但在公共需水無法滿足的情況下會間接影響到農業用水之使用。

面對氣候變遷威脅，水資源調適策略的擬定可遵循聯合國氣候變遷調適綱領之架構，由觀察與評估水資源問題與脆弱度，擬定可行之調適策略與選項，評估適當之調適策略，再訂定監測檢核方案，以滾動修正調適方案。在水資源永續經營與利用的前提下，確保水資源供需平衡為總目標，依此擬訂水資源之調適策略包括：(1) 穩定供水能力；(2) 確保合理用水需求負荷；(3) 強化彈性管理能力；(4) 掌握水資源資訊與不確定性；(5) 集水區保育與合理土地利用規劃及 (6) 其他（社會經濟、產業與科技發展）等。為避免水資源調適方案落入單以效用考量為出發點，決策者或規劃單位可由多個面向進行評估，挑選適合之評估準則，綜合考量多項準則下各調適方案之優劣，並選擇適合之調適選項或規劃調適路徑。而各項策略方案執行過程中，必須有一套檢核機制，參考 UKCIP 可將檢核流程分為三階段檢討：(1) 調適策略或方案是否有效；(2) 多久該檢核調適策略或方案；(3) 何時該改變或修正氣候變遷調適策略。氣候變遷存在高度不確定性，一旦氣候變遷狀況與預期不符，伴隨的風險也隨之改變，因此須不斷監測與修正，以確保調適方案運作得當，提供台灣地區安全的基礎用水並可兼顧追求水資源永續利用之目標。

## 六、糧食生產和糧食安全

糧食供應是糧食安全中的重要議題，亦是人類攝取熱量與人體所需必要元素的主要來源，台灣地狹人稠，可耕地面積破碎，在加上受到農地移作他用、農村人口外移、農民高齡化、以及國人的飲食習慣逐漸西化等因素影響下，國內糧食

自給率偏低，導致糧食供應仰賴進口比例過大。此外，氣候變遷及異常氣候發生頻率加劇下，國際間糧食價格持續處於高原階段，及糧食生產大國當遭遇天然災害則緊縮糧食出口量等因素，皆將使我國陷入糧食危機之中。國際間對糧食多採廣義的定義，包括作物、畜產及漁產，我國在這三個領域所遭遇的問題皆不盡相同，現分述如下：

## 農業

目前我國作物生產結構存在著不平衡的問題，我國目前的糧食消費組成，包括以稻米及小麥為主之主食作物類，以及生產肉、奶、及蛋之畜產及油脂為主的玉米、大豆之飼料作物類。水稻是目前可以自產自足之大宗糧食作物，但在保價收購政策下，造成稻米生產過剩，而玉米、小麥、大豆及蔗糖反而高度依賴進口；同時，在有限的耕地下，休耕期作面積高達 20 萬公頃。另在消費型態上也存在著穀類作物國產與進口比重失衡的問題，近 30 年來對於國內生產的稻米及雜糧量明顯減少（圖 S6.1），而對於國外進口的小麥、水果及牛肉消費卻持續增加。整體糧食進口依存度不斷上升，農產貿易逆差持續惡化。

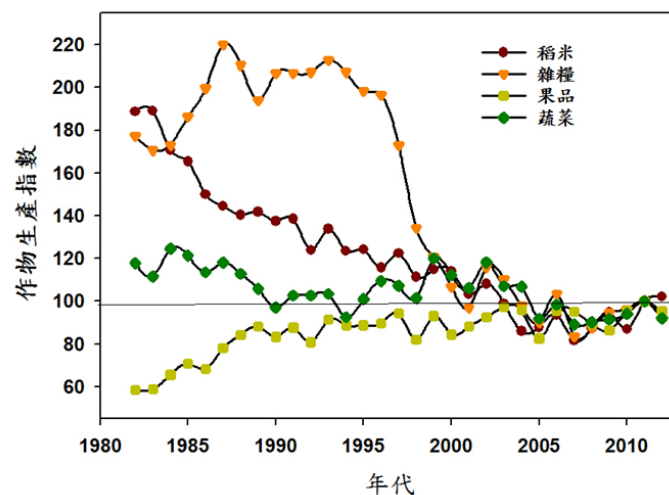


圖 S6.1 1982~2012 年之作物生產指數（資料來源：行政院農業委員會 2012）

水稻是我國目前可以自產自足之大宗糧食作物，大多種植於台中市至屏東縣之農耕區，其餘在蘭陽平原及花東縱谷也是水稻重要生產區。進口糧食作物主要為玉米、小麥、大豆，其中以玉米進口量最多，大多為飼料用。雖然玉米在我國各地皆可種植，但目前因進口價格相對較低，農民無種植意願。然而當世界穀類

價格因氣候變遷而激漲時，勢將影響糧食進口，如何規劃國產玉米種植之面積及區域之互補潛能，是因應糧食危機重要工作。至於我國之大豆及小麥，因氣候適應性及病蟲害等問題較難種植，如何由栽培技術及品種選擇方面進行改良，或尋找替代性作物，也是維持糧食安全的課題。

糧食政策受政治因素、社會意識及農民意願的影響，包括目前之補貼政策，活化休耕地及小地主大佃農等激勵耕作措施，雖然對於促進糧食生產的成效仍有待分析，但其促進國內生產以減少進口依賴，擴大耕作面積及導入機械化以降低生產成本，對於整體糧食安全是具有正面意義。

氣候變遷對現有糧食作物生產的影響，除升溫對於作物適栽區產生北移，及縮短作物生育日期間接導致產量減少外，氣候變遷導致氣候不確定性提高，由於作物生長主要受氣候影響，極端氣候發生頻率增加，如豪雨、乾旱、極端高溫、極端低溫，將使作物瞬間受損，不僅是國內糧食生產量減少的問題，其他糧食輸出國也會面臨相同威脅，將使全球糧食供應鏈更加脆弱。因此，除了研擬調適策略以降低氣候變遷衝擊外，糧食安全之脆弱度及恢復力評估，災變氣候下之農業減災技術研發，對於減緩氣候變遷衝擊皆相當重要。

氣候變遷造成自然災害增加及世界糧食經濟的快速轉變等，這些因素將影響未來糧食安全，就國內生產及國外進口相比較，後者受許多因素影響(如氣候、政經情勢)及選擇性低，相對脆弱度較高，當主要進口國未來糧食輸出配額減產或停止時，對於糧食進口依賴程度高的我國將是一大危機。

## 漁業

台灣位於有利漁業發展的地理位置，加上氣候與水文條件的配合，使台灣周邊海域成為許多洄游性魚類必經之道，充滿多樣性的漁業逐漸成為重要的初級產業。台灣漁業除是重要初級產業外，更是供給國人所需之動物性蛋白質與 Omega-3 的重要來源，對於我國糧食供應與糧食安全有舉足輕重的影響。

台灣的漁業由沿岸漁業、近海漁業與養殖漁業與遠洋漁業四大漁業構成，目前約有 32.5 萬漁民 (含專兼業)，漁業年產值約 900 億元 (圖 S6.2)，佔農業總產量的 27% 左右。沿近海漁業生產方面，影響生產的主要原因為沿近海漁業作業規模與範圍較為狹小，易造成過度捕撈現象，以及近年來海域受工商業環境汙染影

響，漁業資源受到嚴重破壞，導致產量難以提高。其次為人口與工業快速成長，以及漁業資源過度利用，造成海洋生態環境與資源量受到破壞，導致漁業資源的衰退。養殖漁業生產方面，養殖魚塭經多年養殖後，土地大多劣化，加上沿岸工業化造成沿岸汙染與水質惡化等壓力，以致養殖漁業處於不穩定狀態，而超抽地下水導致地層下陷等問題，使得養殖面積逐漸縮減。

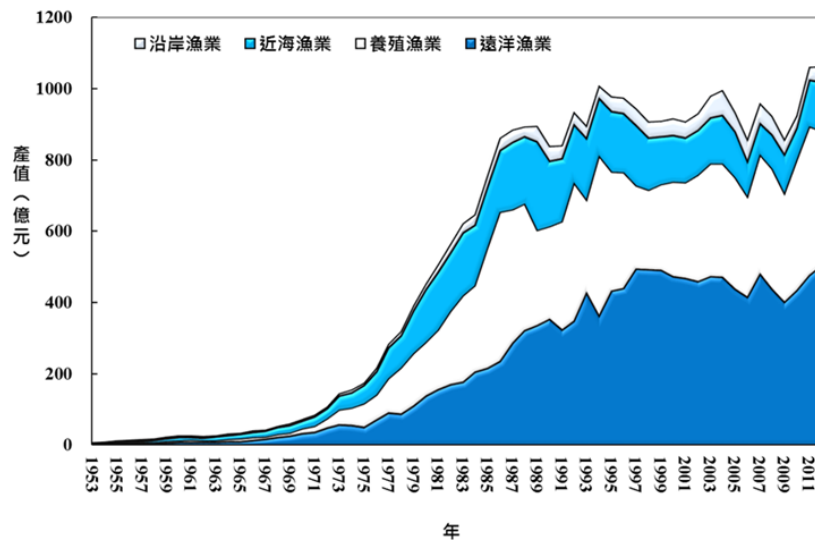


圖 S6.2 1950~2012 年臺灣四大漁業產值。(資料來源：中華民國臺閩地區漁業統計年報 2013)

除漁業生產自身問題外，氣候變遷造成的環境變動將直接或間接影響漁業生產的質與量，並使得漁產供應的不確定性與風險增加，進而衝擊我國糧食供應鏈。根據 IPCC 與 FAO 指出，氣候的緩變（海水暖化、海洋酸化等）與驟變（水溫異常、降雨型態與頻度改變、颶風等）將改變海洋混合層、營養物質循環及基礎生產力，進而影響對象水產資源的成長、死亡、資源量及其生態結構，最終導致漁業產能的改變，以致漁業生產量與力波動性增高。氣候變遷對台灣沿近海漁業的衝擊為部分定棲性與洄游性種群的消失與季節來游性改變或遠離現象，造成漁產量減少、漁獲物種組成改變、生態系統失衡、漁場分佈改變、漁撈作業困難度增加等。養殖漁業生產方面，氣候變遷產生的衝擊為土石流發生，使得養殖水質的破壞、降雨量減少養殖用水短缺、海洋漁產供應穩定性降低，使得魚粉與魚油來源不穩定、海平面上升養殖面積減少等。

台灣漁業經營日漸困難，氣候變遷將使得漁業作業與生產更為險峻，漁業增產更為不易。為滿足國民對漁產品的需求與穩定供應，以及因應氣候變遷的衝擊，

未來應盡早進行漁業生產供應方式之調整與建立因應措施，並應重視我國環境資源狀況，優先考慮國人對漁產的需求，制定合適的氣候變遷調適策略，以提高我國漁產供應穩定度。

## 畜牧業

飼料是人類的間接糧食，是畜牧業之主要投入，飼料業對下游的畜牧業之依賴度頗高，使得飼料業的成長空間與畜牧業景氣息息相關。飼料生產的 90% 成本為原料成本，因此，原料供應狀況與價格漲跌直接影響飼料的生產。飼料原料以玉米與黃豆為主，受限於地理環境，台灣飼料的原料如玉米與大豆等，僅能依賴進口，因此國際穀物行情的波動及匯率變化牽動飼料產業的獲利狀況。

台灣畜牧生產面臨的問題與畜產安全的問題並不相同。畜產安全問題屬於糧食安全問題，主要考量為人類食物來源之供給。畜牧生產面臨的問題主要是生產成本過高、進口產品衝擊、存在的多數小農缺乏競爭力、疫病的管控、食品安全及畜產品之藥物殘留等問題。但針對畜產安全而言，最主要問題還是在生產成本過高的部分，其主因就是過度依賴進口飼料原料，而國際間穀物價格節節升高，使得重度依賴進口飼料原料之畜產業面臨成本提高的困境。開放進口畜產品雖然對畜產業衝擊大，但對畜產安全衝擊並不大，主要因為我國畜產自給率相當高，並不須依賴進口畜產品來維持國人的糧食來源。食品安全如藥物殘留問題及飼料添加物之安全等是另一影響畜產安全的重要課題，此外，畜牧生產也面臨對環境的衝擊，畜牧養殖會產生大量的排泄物、廢水及斃死動物，這些都是畜產廢棄物，需要妥適的處理，才不會對環境造成汙染。台灣地區在有限的農地上，集約生產帶來大量的畜禽排泄物、死廢畜禽及廢水，已經超過環境涵容與復原能力。

畜禽受氣候變遷影響的層面，除了因暖化有關的熱緊迫、疾病之威脅，以及極端狀況（風、雨災害等）之直接效應外，亦受間接後果之衝擊。例如，暖化效應促進微生物的滋生，而玉米等飼料原料中的黴菌毒素也因而提高，畜禽的飼料品質惡化，影響其健康狀況，也是氣候暖化間接造成的影響。當然，氣候變遷有礙作物收成而助漲了穀物價格，深化了人類缺糧的危機，也同時提高畜禽營養失衡的可能（畜主被迫使用劣等原料），而降低動物的抗病能力，繼而增加了健康的風險。因此，畜牧獸醫因應氣候變遷的措施中，加強生物安全管控的急迫性，遠大於抗熱品種的選育。



台灣畜牧生產面臨最大的衝擊是生產成本居高不下，而其中最大的因素便是對於進口飼料原料之高度依賴性。而因為氣候變遷的影響，全球糧食減產，進口飼料原料價格節節上漲，使得畜牧生產成本受著價格變動的影響而牽動。此外自台灣加入 WTO 以來，開放活禽畜、肉類及雜碎肉之進口持續成長，與國內畜產業抗衡，造成嚴重的衝擊。台灣地狹人稠，土地的取得與環境污染之環保問題限制了畜產業的發展，尤其近年來動物福祉意識抬頭，畜產業面對國際趨勢與消費者及社會團體所訴求的提升動物福祉的友善飼養模式，也加深轉型壓力及成本的衝擊。然因應動物福祉的畜牧生產形式與節能減碳是不同步的，因為友善的飼養環境需要更大的空間及使用更多的能源，兩者之間如何取得平衡也是重要的議題。

## 七、人類健康

大氣條件異變所致的各類災害不僅撼動人類之居住環境，同時亦透過不同途徑，嚴重影響人類健康。由於熱浪、乍寒、乾旱、洪氾、龍捲風與野火等極端氣候事件發生頻率增加，導致生態系統改變、國家基礎設施和民眾居住環境破壞，增加人們流離失所的風險，使得民眾賴以為生的糧食和水源供應中斷，進而直接或間接地造成民眾生命安全與健康損害，長期而言甚至可能衝擊心理健康、導致人類社會經濟秩序的崩解。

### 健康決定因素

氣候變遷對健康衝擊，世界衛生組織 (World Health Organization; WHO) 指出，氣候能透過不同機制，直接造成人類死亡，或間接經由空氣污染等途徑導致心血管、肺部、腦部損害與癌症，或是透過暖化、水與社會經濟的變化影響傳染性疾病散布與營養失調 (WHO 2009)。其中，AR4 更指出，氣候變遷將導致環境暴露風險增加，對於健康可能較重大之影響議題包含：增加全球營養不良及其相關疾病，特別是孩童成長發育的問題；增加民眾受異常天候事件之直接傷害或死亡；改變傳染病病媒之分佈；對於瘧疾流行的影響有具有正負的影響，如某些地區傳播將受限，但某些地區流行範圍將擴大；增加腸胃道疾病的發生；大氣臭氧濃度增加而使心臟及呼吸道疾病的發生及死亡率增加、居住在登革熱流行區的民眾將會有所提高；對人類整體健康也帶來一些好處，如減少特定地區冷危害所造成的死亡等，然整體而言，氣候變遷對健康之危害遠大於益處 (IPCC 2007)。

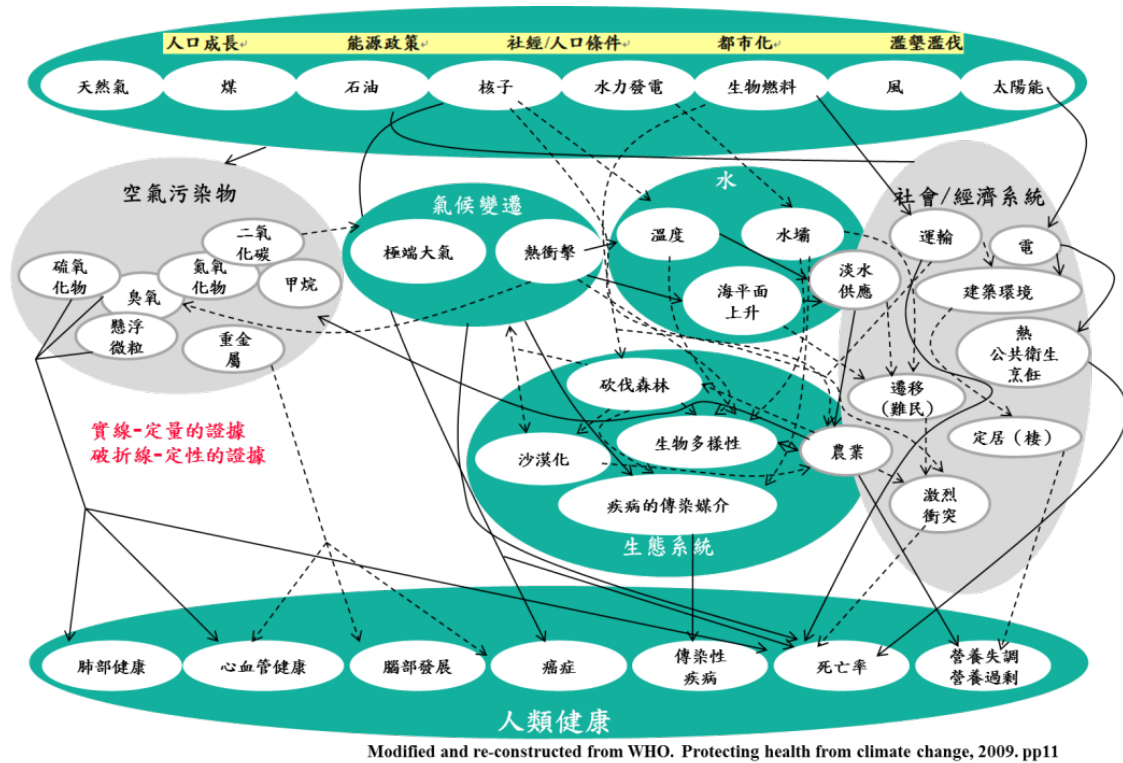


圖 S7.1 氣候條件改變透過多重路徑對人類健康產生影響

依氣候的變異對健康造成的影響可分為初級、次級與三級健康的危害 (Butler and Harley, 2010)。一級健康危害是指氣候直接造成人類健康的身體危害，主要包括極端事件如熱浪、叢林火災與水災引起的死亡、創傷以及疾病猝發。二級的影響是間接的，如節肢動物的分佈改變，宿主和病原體會產生變化，造成流行病學傳染病的增加與分佈變化；過敏原的分布擴散與生產期延長，使得呼吸道疾病發生機率的增加；氣候變遷造成空氣、水或土壤汙染，影響食物與水的充足性與安全性，進而對健康造成傷害。對於氣候變化，影響到人的健康與社會秩序，造成大幅度且長遠的後果則列為三級的影響，例如心理疾病的產生、社會經濟損失、氣候難民、饑荒、戰爭衝突和人類流離失所。

## 傳染性疾病

氣候變遷所引起之微環境氣象條件變化會影響微生物繁衍及傳染之途徑，特別是透過水及昆蟲為媒介之疾病，其對於氣候之變異特別敏感。另外，氣候條件變化對空氣傳媒傳染性疾病之影響，亦不容小覷。尤其氣候的暖化和極端雨量的問題，延長了傳染性疾病的發生時間，其流行空間亦因此擴張，進而使得人類遭



受傳染性疾病威脅的風險增加。例如，溫度的上升可能導致登革熱、屈公熱、瘧疾之蚊媒活動範圍由低海拔向高海拔、低緯度像高緯度擴張，而提高傳染病流行的區域和風險；極端雨量造成的洪水帶來了汙濁水土在洪患區堆積成災，人類如接觸汙濁水土，可能會感染腸胃道或水相關傳染性疾病（如感染性腹瀉，霍亂或桿菌性痢疾）；甚至由於淹水，而與動物之排泄物交叉感染得到鉤端螺旋體病或類鼻疽等疾病（Confalonieri et al. 2007; Patrick et al. 2011; Myers and Bernstein 2011; Semenza and Menne 2009; McMichael et al. 2006）。

### 非傳染性疾病

就生理上而言，非傳染性疾病常伴隨著慢性損傷，病患承受疾病的過程緩慢冗長，且需長期仰賴醫療體系之照護。截至目前為止，部分氣候條件的改變，已被證實將加劇、甚或導致慢性疾病的發生。例如，臭氧層的破裂導致人類暴露在過高的紫外線中，長期下來可能造成白內障、黑色素瘤與免疫系統疾病（Leun 2008）。而暖化的趨勢使得人們暴露在熱環境之時間增加，若無立即補充水分，則會導致體內電解質不平衡，長期來說，亦可能衍生腎臟慢性發炎之問題（Knowlton 2006; Basu 2012）。另外，暴露在過高之細懸浮微粒，亦可能產生血壓升高、心率加快及血糖升高，長期累積這些生理上的慢性損傷，則可能進一步造成高血壓、心血管疾病與糖尿病等疾病之發生（Coogan et al., 2012）。

### 水資源的安全性

因氣候變遷以致水溫上升的現象也會影響到水體環境化學反應之動力，並增加水質惡化之潛勢，進而影響水資源的可獲性、安全性與品質，造成地區性水資源短缺、飲用水缺乏或品質不佳，進一步由於地下水之減少，而致農地鹽化，進而間接影響農作物收成、漁獲供應及公眾健康。氣候變遷亦增加極端氣候發生之頻率，洪水及乾旱的發生除影響供水系統外，暴雨沖刷也會影響到下游區域的水環境系統。水溫的提高及水滯留時間的增加將導致藻類大量繁殖，除影響水體溶氧外，也增加水中微生物數量及有機物濃度，衍生消毒副產物濃度大幅上升之問題，直接影響供水安全（Confalonieri et al. 2007）。

## 脆弱族群

氣候變遷的脆弱族群可概略分為四種，一為地理區之脆弱，例如海岸地區、低窪地區等；其次為人口特性之脆弱，如女性、小孩、老人，或是貧窮等邊緣人口等四大族群；再者為職業性質上之脆弱，如戶外工作者、農林漁牧業者等；最後一項係生理機能上之脆弱，如心血管疾病、呼吸道疾病患者或具慢性腎臟病患者等。例如，多數第三世界國家之取水工作有近 70% 落在女性身上，而這些女性因家事之需求，通常會攜帶小孩同步前往取水，故極端氣候下的水相關疾病，對女性與小孩這兩個族群來說，實具有較高的危險性；此外，文獻中亦發現，極端氣候對於老人的衝擊高於其他年齡層之族群，尤其是極端高溫/低溫之發生，將使得老年人猝死的機會增高，對於具有心血管或呼吸道疾病之老年人所造成的影響更為劇烈；而在貧窮的狀況下，除了飲食與醫療無法自足外，窮困之族群通常生活於食物較易腐敗、且氣候更有威脅性之環境中 (McMichael, Neira, and Heymann 2008; Patz et al. 2005)。

## 結語

IPCC AR5 報告中針對氣候變遷攸關到人類健康、安全、生計與貧窮分別討論，嚴重的極端氣候事件如熱浪、火災、水災與乾旱，使受傷、疾病與死亡的可能性增加；貧窮地區糧食產量減少而增加營養不良的可能性；食物和水傳播的疾病與病媒感染的疾病增加，使得工作能力的喪失與降低弱勢族群勞動生產率。短期內對減少健康脆弱度最有效的方法為實施與提高基本公共衛生措施，如提供乾淨的水源與衛生設施、安全的基本醫療保健、疫苗接種與兒童健康服務、提高備災與救災方案的能力及減緩貧窮。

未來在政策上需要以聚焦的方式規劃，如政府部門制定災害風險管理、水資源管理與能源管理，採用調適選項，著重彈性與學習，增加對社會價值、制度以及生態系統的認知，調適經驗是需要透過公私部門的溝通累積，不同層級的政府部門及國家發展調適計畫及政策，並在更廣泛發展的計畫中納入氣候變遷考慮。

## 八、經濟與社會

氣候變遷對於台灣的經濟所帶來的衝擊以及主要調適策略，包括基礎設施(能源供給、供水及水利、交通、及通訊四大系統)以及各產業部門(農業、製造業、服務業)。綜觀歷年之國際研究，多數認為氣候變遷對於各地區的 GDP(國內生產毛額 Gross Domestic Product 的縮寫，為代表某地經濟發展狀況的基本指標)將有負面衝擊，但估計的結果並不一致，如 Rehdanz and Maddison (2005) 及 Maddison (2003) 指出，氣候變遷雖將造成 GDP 降低，但降幅不大，分別為 0.4% 及 0.1%；Bosello et al. (2012) 的結果顯示氣候變遷對 GDP 的衝擊極小，但英國 Stern (2007) 之估計，直至 21 世紀中，極端氣候的經濟成本將高達全球 GDP 的 0.5-1%，並且會隨著溫度持續上升而增加。而 Tol (2009)、Hope (2006)、Tol (2002a、2002b)、Mendelsohn et al. (2000) 等研究則顯示平均溫度上升對 GDP 之衝擊並非是固定的反向關係，當研究地區之平均溫度上升之始，對 GDP 是具有正面影響的，然隨溫度持續增加，GDP 成長速度開始趨緩，當溫度增加超過約 2°C 時，GDP 反而下降，甚至低於原始之 GDP。產生前述差異之原因可能在氣候變遷之不確定性，雖然部分研究所估計之 GDP 衝擊看起來並不大，但實際上氣候變遷可能帶來永久性的傷害，實不容忽視。

農業受氣候變遷之衝擊主要來自於增溫及降雨的改變，溫度升高除了不利於水稻、多數蔬菜及溫帶果樹的生產外，但氣候暖化導致的二氧化碳濃度增高，對於糧食作物具有增產效果。氣候變遷對農業昆蟲或植物病原微生物的影響也與降雨量及二氧化碳濃度變化有關，雖充滿不確定性，但暖化現象會提高昆蟲越冬的存活率以及熱帶地區害蟲的北移，導致台灣農畜產品的疫病與蟲害的損失增加；也造成台灣附近水域的漁場遞漸向北推移，北方海域漁船作業空間將受到嚴重壓縮；沿岸魚種產生交替現象，冷水性魚種逐漸被暖水性魚種取代之勢，台灣沿海漁業資源因氣候變遷因素而有結構性轉變之虞。此外，氣候變遷加劇的結果，亦將間接導致原物料及後端商品之價格上漲或供給改變，各國在能源政策制定上將致力增加自主能源，積極轉向選擇替代能源，生質能源即成為重要選項之一。然而，提高生質能源生產將造成糧食供應短缺、價格提高等衍生問題。

製造業受氣候變遷之衝擊主要來自於極端氣候事件所造成之廠房設備損壞、減產、停工等直接效果，也包括來自於電力、水力、鐵公路、橋樑以及原物料供應鏈中斷的間接效果，例如因製程改變、訂單移轉、交貨延誤賠償、購水支出、

趕工成本等損失。連續流程製造業 (Continuous Process Manufacturing, CPM) 通常需要在機器中連續引進原料，機器在生產過程中常處於高溫，為最受電力影響產業之一 (Campbell 2012)，行業包括如造紙業、煉油業、橡膠或塑料業、玻璃製造業等。長期而言，如企業被迫面臨資源短缺及更高的投入成本(如能源、水、原物料等)，勢必將威脅製造業的生存，被迫外移或歇業，就產業供應鏈方面，亞洲國家有許多為歐美等國的代工大廠，極端事件的頻率及嚴重程度增加，不但影響代工產業供應鏈，亦造成外匯損失，以 2011 年 11 月泰國水災為例，沖垮全球硬碟供應鏈及造成汽車零件停止供應，導致全球供應鏈中斷，亦造成我國筆電產業面臨硬碟價格翻倍上升而於市場大量掃貨。但國內外有關氣候變遷對製造業衝擊之研究仍相當缺乏。

服務業為台灣最重要的產業之一，亦是 GDP 的主要來源。氣候變遷對服務業的直接影響主要分為金融、觀光、及醫療等三大業別，金融業中以保險產業與氣候變遷關係衝擊最受重視，除作為災害風險移轉與管理工具外，其本身所受之衝擊亦不容忽視，台灣保險業的危機則在於其所致的巨災風險將大幅影響保險費率，或使保險業者對天然災害事故喪失承保意願。氣候變遷對觀光產業之衝擊則是潛在而緩慢的，並非短期可見。近年來台灣觀光外匯收入逐年攀升，來台旅客亦不斷增加，然而氣候變遷引發的極端事件除了造成各縣市景點受創、建物及硬體設施的損害外，災情報導及同理心因素影響國人出遊意願，頻繁的極端事件如熱浪、低溫等也會影響到遊客對旅遊目的地之選擇，甚至衝擊整體觀光產業競爭力，影響深遠。氣候變遷導致之異常高溫，將使得空氣污染或傳染病發生的頻率、時間、及密集度增加，國際間探討氣候變遷對醫療服務業衝擊之探討，多著重於人類傳染病以及住院、急診及保健支出等相關醫療支出的增加，然而近年極端事件如夏季熱浪、冬季極端低溫等，皆可能提高熱中暑、流感、肺炎等發生率，將可能是醫療支出增加的因素之一，對戶外工作者與勞動生產力之衝擊不容忽略，但受限於統計資料及估計方法的缺乏，整體經濟成本仍難以估計。

氣候變遷對能源供給的衝擊主要在供給設施所在區位的安全性，溫度持續升高將影響建築、煉油及發電設施等設施的耐受性，而愈趨頻繁的極端事件將影響能源設施的安全性。而氣候變遷對能源需求之影響並非單一方向，需視影響範圍之氣候條件與地理位置而定，對高所得國家而言，溫度上升導致的能源消費增加，對 GDP 並無顯著影響；然而對於貧窮地區而言，能源消費增加將提高部門之經濟損失，對 GDP 衝擊甚鉅。此外，能源需求提高可能加劇溫室氣體排放，形成

惡性循環的現象。

氣候變遷對供水設施的損壞，極端降雨過後，洪水夾帶之泥沙淤積，亦會影響水庫、淨水場等設施日後的供水功能。除短期內會產生停水或實施分區供水之經濟衝擊外，也會造成長期的水資源調配能力降低。就自來水系統而言，其中的跨河管線可能因洪流衝擊或河床沖刷，導致損壞而影響供水，溫度上升亦容易導致用水量上升，使管線末端供水不穩定或無法供水。然而，國際間目前仍相當缺乏相關水資源與供水中斷對經濟衝擊之研究。Liu (2011) 以歷史與社會的角度回顧台灣過去百年環境的變遷，在水資源概況方面，季節性降雨的變動對於台灣水資源利用有相當重要的影響，然而，過去三十年間，溫度上升與降雨減少的情形愈趨明顯，未來水資源短缺的情況將更加嚴重，將造成水庫供水能力下降，進而影響農工業生產，民生供水吃緊，使疫病發生的機率升高，也將加重公共衛生與醫療體系的負擔，並引發產業經濟與能源供給的衝擊。

交通設施包括港口、鐵路、公路及橋梁、及機場等，極端事件可導致交通設施的破壞，不但延長人民的通勤時間，嚴重將會中斷運輸，影響生產鏈運作，降低生產力 (DOE, 2012)。而地球暖化造成的水位上升會使颱風波浪增強，影響港灣構造物的結構安全，影響港埠營運作業；降雨與強風增強會造成鐵公路系統受到淹水、邊坡滑動崩塌等威脅，造成系統的中斷，若是區域排水無法負荷暴雨雨量，也將造成機場場站、跑道淹水，影響班機起降。整體社會經濟之間接衝擊通常是複雜而難以估計的，國際城市如倫敦、巴黎、紐約等皆高度依賴大眾運輸，且深受地鐵系統中斷威脅，必須納入所有影響經濟運作之元素及其關係，才能進行全面性的評估 (Hallegatte and Henriot 2011)。

全球升溫與冰山溶解引發的海平面上升將導致國土流失及產業之遷徙，極端降雨洪水會造成產業的硬體設施較大的損失，而乾旱和熱浪則會造成較多間接性的經濟損失。在高度分工與全球佈局之結構下，這些衝擊將會透過產業關聯與全球供應鏈而產生遞延之間接影響，長期而言，這些間接影響可能大過直接影響。

基礎設施與產業發展密不可分，極端氣候事件發生的強度與頻率升高，容易導致山坡地土砂災害及維生基礎設施的損害，提高災後重建的困難度。也可能有空間或功能上的交互作用，如上游防洪設施發生災害不但會造成中下游淹水，也會造成水力發電或自來水提供之中斷，這也意味著政府對某些基礎建設之加強調適可間接強化另一基礎設施之安全。



產業對於氣候變遷具有自我調適的能力，多反應在成本和價格的變化，如物流、躉售和零售商通常會藉由改變儲藏和運輸的方式來做調適，資通訊產業之研發與創新也會隨各產業部門與民眾生活在調適過程中所衍生之需求而產生新的商機。

政府單位在整合與協調風險降低策略上扮演了至關重要的角色，公私部門之合作可提高全球供應鏈災前準備、災中應變、與災後重建之能力。政府有責任從預防的角度，把降低災害風險的建築法規、採購標準、天災保險、防災型都市更新等作法納入施政規劃，以減輕氣候災害對經濟與永續發展的負面衝擊。我國應盡速研發以風險管理為基礎之產業調適政策，以協助產業自我檢視脆弱度及進行災損控管與分散，也應建立氣候變遷對於產業之長短期衝擊評估機制，研發客觀之評估工具與建置資料庫，俾利降低未來的氣候風險與不確定性。

## 九、都市與鄉村

臺灣國土空間呈現多元發展，空間的發展與型態結構差異，因應氣候變遷所帶來的衝擊與挑戰作法亦不同。本章討論「都市」與「鄉村」兩種型態的國土空間為主，針對國內近年在都市與鄉村兩類空間的氣候變遷調適因應的相關成果，進行蒐集整理，從氣候變遷衝擊、脆弱度評估以及調適等三面向，呈現不同空間型態下的研究概況，期能從中獲致未來的參考應用知識，以及後續在推動上的努力方向。

### 氣候變遷調適與空間規劃之連結

目前各國面對上述氣候變遷衝擊之因應作法，主要集中在減緩 (mitigation) 與調適 (adaptation) 兩方面，而近年來的重要方向之一，即透過空間規劃為主要工具，亦即透過空間規劃的途徑，提供影響土地使用的機制以及達成更整體性與策略性的發展，以因應氣候變遷的威脅。

#### (一) 氣候變遷調適政策綱領

隨著氣候變遷議題受到高度關注，國家發展委員會 (原經建會) 為強化國家調適能力、降低社會脆弱度，並建立我國整合性的運作機制，作為政策架構與計

畫推動的實施基礎，透過「規劃推動氣候變遷調適政策綱領及行動計畫」專案小組，研擬國家層級的氣候變遷調適政策綱領，並於民國 101 年核定發佈「國家氣候變遷調適政策綱領」，作為面對氣候變遷挑戰的全國性的調適指導方針，其中將土地使用列為重要調適領域之一，以接續推動地方調適策略研擬，足見其重要性。此項政策綱領以「建構能適應氣候風險的永續臺灣」為政策願景，據以訂定政策原則與目標，進而研擬總體調適策略，在總體調適策略之擬訂基本上依循著避開風險與降低風險二大思維。前者就空間發展而言，即優先避開高風險區位，免於遭受氣候變遷的衝擊影響；後者則主要透過提升能力來降低風險，且可分為強化及預防兩種角度思考，以降低氣候變遷的衝擊。依據綱領，調適工作分為八大領域，包括災害、基礎維生設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性、健康，各領域由部會分工推動，並由其負責成立各領域之領域小組，進行規劃與行動方案整合後提出該領域之調適行動方案。

### (二) 地方氣候變遷調適計畫之推動與氣候變遷農地調適規劃

全球氣候變遷除了在不同領域造成各種類型的影響外，也因不同的地理區位、空間層次、地方發展，產生各類型的衝擊與挑戰。為使氣候變遷調適的政策與計畫內容能夠反映地理空間上之差異，並且針對不同地域之環境資源與社會經濟特性擬定因地制宜的調適政策與計畫，國發會（原經建會）於 100 年度開始推動地方調適計畫，至 103 年底已有 16 縣市完成地方調適計劃的擬定，並接續試行推動第二階段特定之調適行動計畫。地方氣候變遷調適策略與行動計畫採用策略規劃 (strategic planning) 的理念與程序 (黃書禮等 2012)，如圖 S9.1 所示。

在氣候變遷國家調適政策綱領下，八個調適領域中，由農委會負責農業生產及生物多樣性領域，將「地方氣候變遷農地調適計畫」的成果，納入「地方氣候變遷調適計畫」的領域計畫內，加以實踐。作法結合國發會「地方氣候變遷調適計畫」，引用聯合國開發總署 (UNDP) 與全球環境機構 (GEF)「氣候變遷調適政策綱領」(Adaptation Policy Frameworks For Climate Change, APF) 之架構內含與操作程序，建構「地方農地調適規劃」之程序，如圖 S9.2 所示。



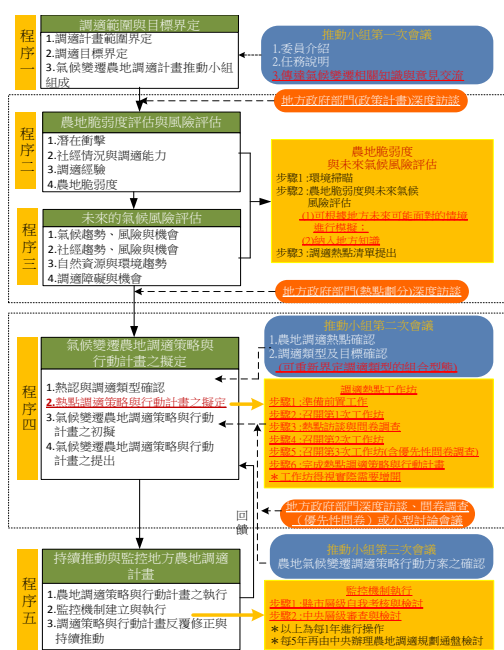
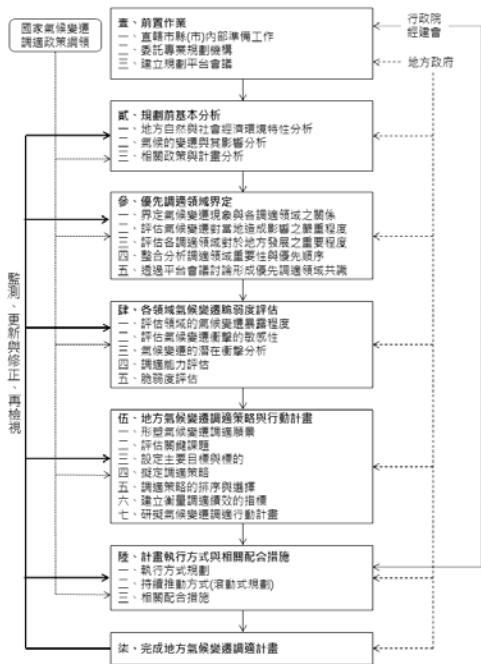


圖 S9.1 地方氣候變遷調適策略規劃流程圖。資料來源：行政院經濟建設委員會 (2012)

圖 S9.2 地方農地調適規劃架構流程圖。資料來源：李承嘉等 (2013)

## 氣候變遷與都市脆弱度 (Climate Change and Urban Vulnerability)

台灣將有近 80% 的人口聚集在都市地區，都市集中了人口、經濟、政治、社會的高度發展，而且許多都市發展在沿海及臨近河川的地區，原本就是易致災的地區。在氣候變遷引發的各種衝擊下，都市面臨較大的氣候衝擊風險，造成更嚴重的損害。考量台灣都市地區的高氣候脆弱度，應積極推動氣候變遷調適，以提升都會地區整體調適能力。以下分別就都市氣候（與都市熱島）、都市的水資源與水災、都市民眾健康說明之。

- (一) 都市氣候（與都市熱島）：台灣的都市熱島現象受到海陸氣候特性，以及都市土地使用狀況之影響甚大，關於都市熱島效應的相關研究，包括實測與遙測的方法探討溫度與土地使用之間的關係。
- (二) 都市的水資源與水災：未來台灣的水資源將受氣候變遷影響，在降雨量、逕流量及蒸發量都可能有增加的趨勢下，河川豐枯差異將更加明顯，使水庫的供水及減洪能力皆受到衝擊。特別是台灣南部地區原本就有豐枯差異

大的問題，氣候變遷影響將使豐枯差異加劇，而致使缺水風險提高，台灣各水資源分區受氣候變遷下流量的衝擊評估可參考 6.4.2 節「水源不足之衝擊」之整理。再者，河川豐枯期流量極端化也會影響河川的水質，威脅河川中生物的生存，而破壞河川生態系統。此外，極端氣候事件也會造成水利工程結構遭受洪水破壞的風險提高，可能導致供水困難或不足之風險，尤其是極端氣候事件引發的複合型災害會升高缺水的風險，對於蓄水設施的永續性也有一定的影響（詳如 6.3.3 節）。

- (三) 都市民眾健康：氣溫若持續上升，強降雨所帶來的公共衛生威脅將逐漸增強（金傳春等人，2012），亦影響各類傳染性疾病流行規模與流行分佈（蘇慧貞等，2013）。Wang et al. (2012) 針對台灣四個主要都市在 2000-2009 年間，與溫度與極端氣溫相關引起心肺疾病的急診室就診風險作評估。董宗華等人 (2011) 以大尺度社會與政治變遷為背景溯析與登革流行相關的外在變化，進而由組織架構更替、登革偵測系統、防治作為與全球氣候變遷的面向，嘗試探索其對流行的影響。金傳春 (2013) 的指出，由於全球暖化，登革防治為全球衛生的重要議題，因此系統化跨年檢討台灣登革流行，才能鑑往知來，對未來全球登革防治盡力。臺灣在氣候變遷災害、空氣汙染、氣喘對台灣重大病毒傳染病的影響與公共衛生威脅下，應提早未雨綢繆。

由以上的研究探討可知都市脆弱度評估的多元向度，從自然環境、生態到社會制度、經濟與都市治理等，皆可能是都市脆弱度指標選取的對象之一，當然也與該地區的氣候衝擊現象相互連結。

### 都市地區調適因應策略

延續脆弱度評估，都市地區的調適策略從相關研究文獻較常出現的型態包括：都市空間發展的願景與定位，瞭解都市空間本身所受的氣候衝擊以及脆弱度進行分析並落實於土地使用計畫上的調整，皆屬於都市空間中可操作之調適作為。國際間許多以都市組成單元的氣候變遷網絡組織近年來紛紛成立與運作，作為分享及推廣都市氣候治理經驗之平台，協助全球各國的都市進行氣候變遷減緩與調適的工作。

- (一) 回復力與永續性都市發展方面，永續指標系統提供整體性的評量工具，藉

以掌握調適的方向，鄒克萬等 (2000)、李永展 (2002)、黃書禮等 (2005) 分別建構都市永續發展指標系統，其成果有助於因應氣候變遷，推動相關調適政策。

- (二) 空間與土地使用規劃方面，透過土地使用規劃或空間系統規劃策略的應用以降低天然災害的風險與損害，是許多地方政府與規劃者共同關心的課題 (李玉生等，2009；詹士樑等，2009)。相關類型包括：對於調整傳統規劃，藉由創新思維與方法面對氣候變遷的不確定性 (郭瓊瑩與葉佳宗，2011)；因應都市地區氣候變遷調採用的適策略與行動評選方法 (白仁德與賴炳樹，2012)；透過土地使用規劃與管理之調適手段避免自然危險所導致之災害 (楊重信、華昌宜，2009)。
- (三) 都市水資源與洪災調適方面：針對因氣候變遷所引致河川洪水增加量對流域現有防洪系統之衝擊影響，研究指出現有堤防防洪能力、法規設計標準及災害管理系統等方面須進行檢討 (謝龍生等，2012；林鎮洋等，2012)。游保杉 (2013) 建立台灣中部地區氣候變遷衝擊分析模式，並結合氣候變遷分情境進行水源供應與水患脆弱度風險圖，此與 6.6 節「水資源調適策略」為相同的概念。研擬水資源因應氣候變遷之調適策略，涉及科技研發、土地利用、產業發展、社會經濟、環境生態及資源保育等相關面向議題，應由國家層級之氣候變遷調適專責單位負責統籌決策，水資源部門負責相關策略研究及橫向協調，並依權責範圍共同研討推動氣候變遷整體性調適策略，如 5.6 節「水資源調適策略」所述，在「國家氣候變遷調適政策綱領」中訂定水資源調適策略的總目標，並據以擬定各水資源調適策略以因應氣候變遷。
- (四) 都市實質環境：劉小蘭與賴玫錡 (2011) 的研究探討都市的調適行動在不同的空間尺度會有其差異，邱英浩 (2009) 以都市水域空間為主要的研究對象建立物理環境參數與熱環境舒適度之預測模型。宋長虹、高立新 (2012) 認為在都市地區如何有效廣泛運用公園、綠地、廣場、操場、停車場、運動場、建築物等空間，進行滯洪空間整體性的規劃，達到降低洪峰流量，減輕都市洪災影響。
- (五) 組織與治理方面：考量政府推動氣候治理策略時若無地方的配合實難以落實，而都市欲推動的氣候治理政策與措施，若無更上層政府相關部門的

支持，則不可能有足夠的資源或有效率。國家可利用完整的資訊、知識、策略工具協助地方採取因應氣候變遷的行動，並且透過提供都市政府誘因都市的推動氣候治理策略。李長晏與曾士璋 (2010) 分析「自治」、「賦能」、「供應」，以及「權威」等四項治理模式之意涵與功用，以說明都市政府採用不同治理模式時的角色特質。吳杰穎 (2010) 將空間規劃之減災調適措施分為「實質規劃」與「開發管理」兩個層面。曾梓峰、丁澈士 (2012) 將當前以「點、線」的河道治理方式，透過都會流域治理拓展為都市「面狀」的治理，將地表逕流與都市暴雨之處理任務延伸至每一塊都市土地之上。

### 鄉村空間之現況與氣候變遷衝擊

臺灣鄉村地區的土地佔臺灣土地面積的 87%，然而，近年來鄉村人口嚴重外移與農村高齡化等因素，加上公共設施建設不足，使得鄉村產業環境受到衝擊易受氣候變遷衝擊之地區，此外，鄉村土地卻持續的被轉用為建地，此一趨勢不斷增加其不透水土地覆蓋的比例以及減少原有農地的生態系統服務功能，大幅提高其氣候變遷衝擊的脆弱度，加上農村的自然環境與地理空間的外在發展限制，在各種災害發生後進一步造成的環境汙染、傳染病與心理創傷等衝擊，為鄉村地區所面臨的關鍵課題 (陳美芬，2012；張桂鳳，2012；郭翡玉，2010；李俊霖、李俊鴻，2012)。

有關農業用水衝擊部分，於 5.5.2 節「氣候變遷對農業用水之衝擊影響」，另有整理其他探討氣溫與降雨對於農業需水量造成的影響可參考。地區性的衝擊研究方面，童慶斌 (2011) 針對南部地區水資源設施之評估中發現，台南與高雄之供水穩定度與高濁度風險的變化下，提高了農業、工業與民生用水的缺水機率與不穩定性，對臺灣鄉村地區之經濟來源與生活環境都將造成衝擊。對於氣候變遷衝擊的區位討論，另包括雲嘉南地區農地資源 (詹士樑，2012)、臺灣東部與中南部沿海鄉村 (郭翡玉，2010)、總體鄉村地區受到極端天氣事件帶來的災害衝擊 (陳美芬，2012)。

臺灣鄉村地區之經濟來源主要為農、林、漁、牧業，對氣候之改變具有高度敏感性，因此，氣候變遷對鄉村地區未來之經濟基礎與生活將造成明顯的衝擊，而臺灣鄉村地區大部份之基盤設施水準低於都市地區，在極端天氣事件發生強度

提高、降雨集中化與其他氣候變遷趨勢下，山坡地鄉村地區之道路系統、電力與電信系統等基盤設施受到暴雨與土石流災害之衝擊將提高。此外，較低的排水系統設計標準與較少之維護與清淤經費，亦將使得平地與沿海鄉村地區（如：嘉義沿海低窪及地層下陷地區）排水系統之功能，受到較高之衝擊而提高淹水機率。因此，臺灣鄉村地區之供水系統在氣候變遷趨勢下，所受到之衝擊將提高，亦將進一步造成廢耕並衝擊鄉村地區之基本生活（郭翡玉，2010；張桂鳳，2012；童慶斌等，2011；楊純明 2007）。

氣候變遷衝擊之評估為鄉村地區調適策略研擬之基礎，然而，由於氣候變遷模擬資料的不確定性，與鄉村地區精確衝擊評估的困難，目前國內文獻多僅點出可能的衝擊方向，整體農業損失金額評估與農作產量衝擊評估及鄉村地區的衝擊仍有待評估，其主要以，並缺乏對臺灣鄉村地區之基盤設施、居民生活、經濟來源、觀光遊憩、水資源、漁業、林業與其周邊生物多樣性等相關研究。

## 鄉村地區空間調適策略

臺灣鄉村地區多位於高脆弱度與低回復力之地區，且受到氣候變遷多面向 (multi-perspectives) 的衝擊，國發會「氣候變遷調適政策綱領」中的八大領域均與鄉村地區所受到的衝擊與調適有關，而這些相關的衝擊面向不論在中央或地方政府都歸屬不同主管單位。此外，鄉村地區的氣候變遷調適必須能夠回應地方受到衝擊的異質性 (heterogeneity)，因此，對於鄉村地區之氣候變遷調適，需一套調適架構來整合不同衝擊，並回應各縣市鄉村地區遭遇到的不同衝擊。

(一) 農村生活與災害調適部份：氣候變遷將對臺灣鄉村地區所帶來的衝擊中，極端天氣事件與海平面上升為重要的因素，由於這些鄉村地區之基盤設施條件原本較差，人口與社會結構脆弱度較高的狀況下，如何強化其災害發生時之調適能力將為重要的工作之一。包括：災害現況的衝擊及脆弱度進行風險評估，繼而由預測災害發展及未來情境進行風險模擬與分析，以獲得有效的控管策略（楊純明 2010）；強化發展跨領域技術層面、替代能源發展技術層面、廢棄物資源化技術層面等方向之策略（林維君 2011）；災前時期政府開設氣候變遷教育課程、諮詢服務及防災設施宣傳，緊急救援組織等，及透過「建立氣候變遷基礎資料庫」與「強化農民自主調適能力」的方式，強化臺灣鄉村地區在地化概念的精神，建構社區支持型農業（陳



美芬，2011；詹士樑，2012；白仁德，2010)。

- (二) 農地生產之調適部份：雲嘉南為臺灣重要稻作生產地區，農委會農地氣候變遷調適計畫以該地區在「災害潛勢情境」、「海平面上升情境」與「氣候預測對稻作影響情境」下提出氣候變遷調適策略建議 (詹士樑，2012)。此外，農業生產技術與時序的調整亦為農地生產之重要調適策略之一，包括透過選育抗逆境 (耐旱、鹽與極端氣候) 的優良品種加以調適 (劉大江，2011)，以及調整水稻栽培時序策略進行模擬與探討 (申雍，2007)。此外，擴大農場經營規模之農地儲備：經由農地儲備銀行之買賣、租賃、重劃、交換等方式，使農場經營規模擴大，提高農地生產效能及農業競爭力，亦為由制度上調整，以提高農地經營競爭力之重要調適策略 (李承嘉，2011)。
- (三) 水資源之調適部份：台灣特殊的地理與水文特性使得水資源之利用，在降雨極端化的趨勢下，以及缺水時農業灌溉用水撥用給民生與工業用水的政策下，鄉村地區可利用的水資源亦將直接受到影響。因此，為強化農業生產在水資源部份的調適能力，需建立農業、畜牧及養殖用水再利用的機制 (陳啟明，2011)。此外，亦應「加強有關提高作物使用水分效率的研究，尤應著重於提高水稻作物的使用水分效率」、「加強灌溉輸水設施，減水輸水損失」與「加強水資源調配能力 (如越域引水)，有效應用水資源」(申雍，2008；龔誠山，2010)，以強化農業灌溉系統之回復力 (童慶斌，2012)。
- (四) 多元調適部份：農業栽種為鄉村地區生物多樣性重要的一環，尤其水稻田與其灌溉系統具有多樣的生態系統服務功能，因此，沿海、平原與山坡地鄉村地區，為因應氣候變遷的衝擊，應強化水稻田與灌溉系統之生態回復力，亦可透過環境生態保護之農地儲備，經由農地儲備銀行之收買、交換、承租或出租，使農地使用逐漸調整為兼顧生產及生態環境 (童慶斌，2012；李承嘉，2011)。
- (五) 鄉村地區調適的限制：鄉村地區針對氣候變遷進行調適時受到相當多社會、經濟與地理特性的限制。鄉村地區之資訊落差與認知程度：鄉村地區居民對氣候變遷問題的認知有相對較低的認同程度 (林豐瑞 2011)，其主要因鄉村地區之資訊落差所造成，且其既有的氣候變遷問題認知多以過去受災經驗為基礎，對於未曾經歷過之氣候變遷趨勢與衝擊有較低之認知，在調適策略的推動與溝通上將較為困難。



## 結語

本章整理臺灣近年對於都市與鄉村地區在氣候變遷調適之研究，從氣候變遷衝擊、脆弱度評估、以及調適策略設計等重點觀之，與國際間的作法相符，依循著由上而下之訂定政策綱領、部會行動計畫，由下而上之地方調適計畫、地方農地調適規劃等原則推動，其成果應足以與各國比對。整體而言，國內在空間規劃之氣候變遷調適，以程序性研究型態以及脆弱度評估成果較多，較少觸及個別議題或都市發展部門之調適實質空間之行動計畫成果，此應為後續工作重點，目前國發會延伸第一階段地方氣候變遷調適規劃，刻正進行第二階段之實質調適行動計畫擬定與推動，應可在此方向上提供參考。都市空間規劃是因應氣候變遷的重要手段，透過空間規劃的途徑，可以提供影響土地使用的機制以及達成整體性與策略性的發展，以因應氣候變遷的威脅，地方政府應將氣候變遷調適納入其發展規劃和政策，基礎設施建設。後續，在都市空間的氣候變遷調適方面，考量台灣都市地區的高氣候脆弱度，在既有地方氣候變遷調適計畫的規劃成果上，應積極推動氣候變遷調適行動計畫。鄉村地區之社會經濟特性，使其相對於都市地區屬氣候變遷調適之相對弱勢，更需投入相關資源，農業生產為臺灣鄉村地區最主要的經濟來源，因應氣候變遷可能造成鄉村地區農業生產的衝擊，雖已有部分研究指出農業生產之氣候變遷調適策略，目前，仍須強化鄉村地區之「衝擊評估」基礎研究，以有效提出鄉村地區農業生產之調適策略。除了生產空間之外，近年推動的「農村再生計畫」已由地方農村（而非僅農業）發展的角度推動鄉村地區的再生，進一步將氣候變遷調適納入農村再生整體之思維，此一政策方向之推動將可由農村整體發展的角度，提供鄉村地區氣候變遷調適架構發展的基礎，需要積極推動。

## 十、海岸與離島

本章彙整研究國內外期刊論文、政府部會研究報告等文獻，說明台灣海岸與離島區域因氣候變遷所面臨之問題與挑戰，並提供對此所應採取之調適策略與措施。

台灣四面環海並位於西太平洋邊緣之太平洋最大海洋-大氣波動 ENSO 效應延伸處，除了中央山脈之外，大部分陸地都屬於海岸地區。隨著海岸地區土地利

用強度增加，人口與工商業設施向海岸地區的遷移，海岸地區承載著日益增加社會經濟壓力。同時，在近海海域的經濟活動，包括海洋能源開發利用、養殖漁業、航運及海域遊憩等非常活躍。近岸海洋環境與國家社會經濟活動聯繫緊密，與所有居民的生活息息相關。

海岸地區是陸地和海洋的空間交界地區，存在陸地和海洋之間的強烈相互作用，同時又是人口密集及經濟活動旺盛地區，受到人類活動和自然過程的影響而處於一種動態變化的狀態，對全球暖化回應非常顯著且敏感。

台灣海岸特點四點如下，一、台灣位於板塊聚合碰撞帶和東亞陸棚的邊緣，花東海岸抬升的速率最快，地體構造的特性造成東海岸外水深陡降至數千公尺，其他海岸則鄰接相對平淺的大陸棚；二、東海岸山脈走向與海岸線大致平行，北海岸山脈走向與海岸線相交；三、主要分水嶺位置偏東，大河多向西流入臺灣海峽大陸棚區域，有利於西海岸發育海灘；四、位於副熱帶季風區，北部冬季受東北季風影響，風浪較強且氣溫較低，南部則終年高溫有利珊瑚生長（沈，2013；林，1957；楊，2010）。

早期台灣海岸土地之開發多為管制使用，主要以捕魚、養殖及農耕為主，近年漁業整體環境變遷，包括漁業國際合作成本增加、國際公海漁業管理趨勢轉強、流刺網全面禁止以及沿岸棲地環境劣化和過度撈捕，導致台灣地區沿近海漁業資源枯竭，漁港的建設已不再擴張。海埔地與工業區的使用成為海岸利用之要項（郭、李，2006）。受暖化影響，北極海融冰迅速，北極航道可望開通，成為連結歐亞間最近的航道。台灣海峽位置作為東北北極航道的樞紐，其重要性可能取代蘇伊士運河與麻六甲海峽，在未來台灣海岸空間使用上，可考慮港埠設施需求加以規劃。

海岸環境中的再生能源可分為波浪能、潮差能、海流（黑潮）能、溫差能及鹽差能（陳等人，2008；何，2012），以波浪發電之理論年發電量為最大可達8,000~80,000 TWh，目前台灣海洋再生能源開發處於起始階段，應先進行潛在能源的詳細調查評估，作為後續相關技術開發依據。台灣海岸潛藏的資源及礦物方面，主要為天然氣水合物，其存在於高屏峽谷和枋寮峽谷之間的高屏斜坡（陳，2007；黃、陳，2013）。台灣海岸現況於本章第二節依台灣海岸地質與地形、海岸空間利用、海岸自然資源分別詳述。

近年來台灣海岸侵蝕、颱風暴潮溢淹程度增加、海岸棲地減少、生態劣化與漁業資源枯竭等問題越來越嚴重 (許, 1997; 郭, 1996; 郭, 2006), 若進一步加劇, 將對海岸系統產生持久的變化 (Ringuet and Mackenzie, 2005)。面對台灣現況及未來受氣候變遷影響下的海岸問題, 由政府主導的相關研究針對問題的原因、描述及衝擊, 仍缺乏系統性及全面性的研究。

台灣現況海岸問題主要為海岸侵淤失衡、海岸溢淹災害、地層下陷、近岸海洋汙染、生態劣化。台灣海岸約有 80% 區段處於侵蝕狀態, 10% 淤積、僅 10% 處於侵淤平衡, 危及國土安全。台灣海岸侵蝕可歸納有下列幾項原因: (1) 河口輸沙量供給的減少; (2) 河口沉積物輸送途徑的改變; (3) 海岸結構物的突堤效應; (4) 波候特徵變遷; (5) 海水位上升、地層下陷。台灣西南部逐漸由淤積轉為侵蝕; 海岸地區溢淹多發生在台灣西南部及東部海岸, 台灣西南部因沿海養殖超抽地下水引致地層下陷, 於暴潮期間更容易因地層下陷使海堤高度不足產生嚴重的波浪越堤、海水倒灌的現象發生, 導致嚴重的海岸溢淹災情出現; 台灣地區地層下陷主要為西南部地區, 其中雲林下陷情況較為嚴重, 103 年資料顯示雲林顯著下陷面積為 307.6 km<sup>2</sup>, 最大下陷速率由 92 年 12.2 cm yr<sup>-1</sup> 至 103 年 6.1 cm yr<sup>-1</sup>, 其下陷速率、持續下陷面積有略為減緩及減少的趨勢; 台灣近岸海洋汙染主要來源包括沿海及河川上游工業區的工業廢水、家庭汙水排放汙染河口及其附近的海域, 農業開發所使用之農藥及肥料等化學物質流入河中、電廠熱排水汙染、船舶廢水排放及漏油廢油汙染、海岸漂流木、海岸垃圾、海洋觀光產業生態破壞等, 除了本地的來源外, 也有來自大陸的廢棄物或垃圾汙染與台灣海岸之間相互影響。台灣海岸問題分析於本章第三節有詳細說明。

近百年全球暖化對於台灣天氣系統之影響已經有相當多的研究, 氣候變遷預測情境指出大尺度上東亞的冬季季風不斷減弱 (Chen et al., 2000; 許, 2001)、台灣冬季升溫、降雨型態與降雨天數也隨之改變等。氣候變遷之各種自然環境改變現象引致之台灣海岸災害 (海岸侵淤失衡、海岸溢淹、近岸海洋環境劣化) 連結與說明如圖 S10.1 所示, 肇因於氣候變遷對台灣海岸帶造成威脅, 依據尺度分別為: 海水溫上升、平均海水面上升、水循環方式的改變、營養鹽與汙染物排放強度改變、河川水源、沙源傳輸量改變、沿岸土地利用方式改變。氣候變遷直接與間接影響可分為: (1) 降雨型態改變與河口沙源供給變化; (2) 颱風強度增加引致之波浪、波高、週期與入射方向等波候改變; (3) 海水位上升與颱風強度增加引致之暴潮變化; (4) 海水表面溫度增高, 層化效應增強與海岸缺氧; (5) 冬季西

伯利亞高壓強度變化引致之台灣海峽海流特性改變。本章第四節針對以上五點有詳細說明。

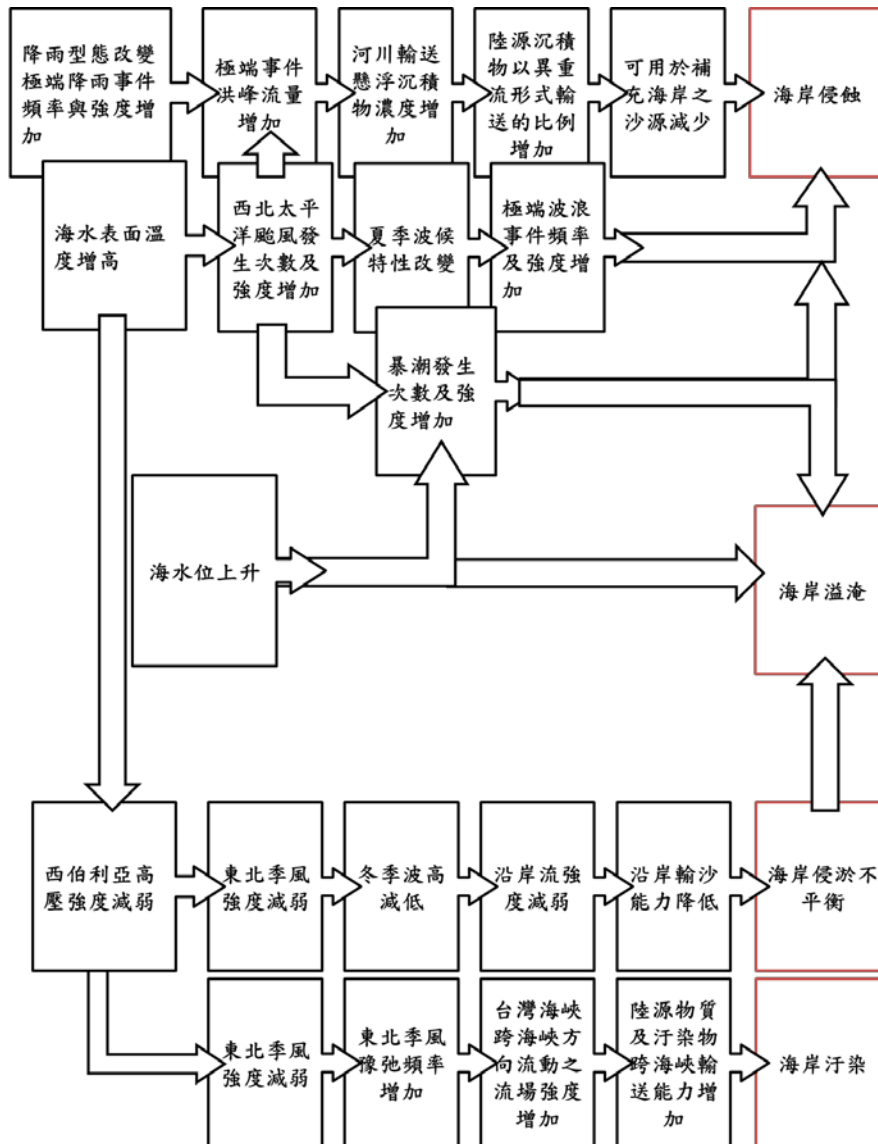


圖 S10.1 氣候變遷與海岸災害之連結

氣候變化的人為驅動影響、回應及其相互之間聯繫，減緩 (mitigation) 與調適 (adaptation) 是因應氣候變遷對策兩大策略，各國致力於「減緩」策略之外，作為早期預防的「調適」措施，亦日益受到重視 (施，2011)。海岸空間調適策略與措施除了可參考國際間因應氣候變遷所研擬之海岸調適策略之外，我國相關權責之部會以及研究單位也都針對此一議題進行了檢討與策略研擬之工作。調適策略大致分為四個面向：一、設置海岸緩衝帶，強化海岸防護，減緩氣候變遷海平面上升衝擊與海岸脆弱度；二、提昇海岸災害預警能力；三、加強災害防護與污

染控制；四、合理管制開發，整合土地利用類型，強化海岸地區綜合管理。本章第五節詳述海岸空間調適策略與措施。

本章彙整說明台灣海岸現況及環境問題，加上近年來受氣候變遷對台灣影響，台灣海岸產生各種類型之海岸災害。近期研究之目的為理解與預測台灣各地海岸因氣候變遷所產生之變化趨勢，根據研究成果作為氣候變遷調適政策擬定之依據，進行生態、環境、人文等重要海岸之保護與管理，本章也說明台灣近況對海岸空間調適之策略與措施，並提供未來調適策略之各項建議。





# 第一章 第二冊介紹

童慶斌

## 1.1 前言

近二十年來的極端天氣帶來全球性之災害，即使高度開發國家如美國、日本、與歐洲各國，無不遭逢極大的生命與財產損失，更遑論其他開發中與低開發國家。臺灣本來就是會有多種天然災害之高風險地區，如颱風、淹水、土石流、乾旱等，並進而影響自然生態環境與人類經濟社會，對臺灣的永續發展帶來嚴重威脅。近年來極端事件發生的頻率與強度均有增加的趨勢，如水利署所繪製的圖 1.1，年雨量高的越高，低的越低，高雨量與低雨量發生的間距也越來越短，天氣極端化之趨勢明顯。

### ● 溫室氣體

溫室氣體是指大氣中有些氣體能如同溫室玻璃，讓太陽短波輻射穿透，卻保留大部份由溫室向上發射之長波輻射，所以有較高能量被保留在溫室內，致使溫室內溫度升高。主要溫室氣體包括二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、與氟氯碳化物等，其會保留較高能量在近地表，進而導致全球暖化。

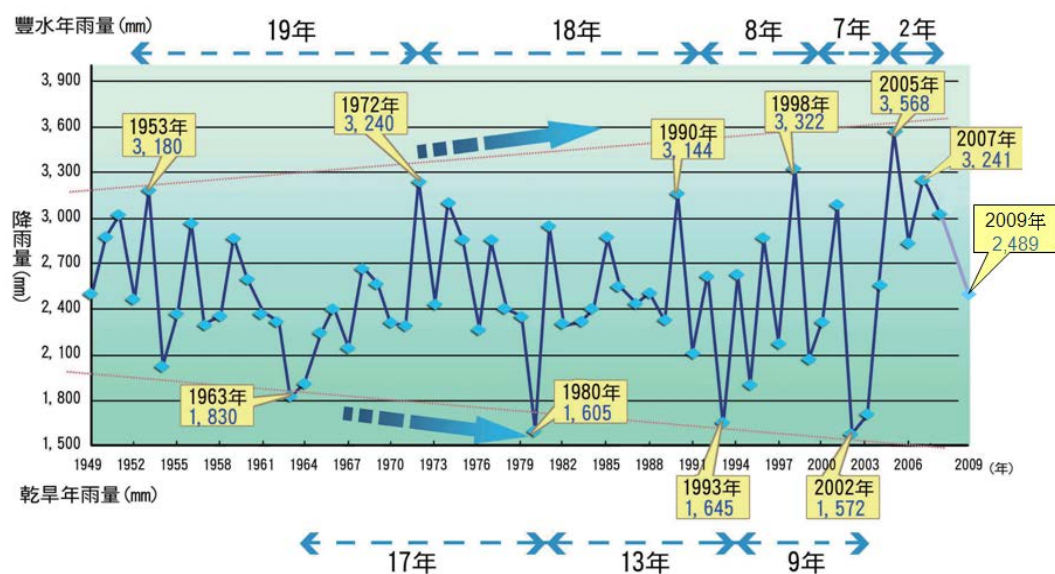


圖 1.1 近六十年來豐枯水年變化趨勢 (修正自：水資源領域行動方案 102-106 年，經濟部，2014)

氣候變遷會強化天氣的極端化，帶來衝擊不容忽視，過去臺灣雖然有相當防災經驗，然面對氣候變遷，我們的防災能力是否足夠以削減災害風險？此外，氣候變遷是否會衍生新類型之問題，亦是應該關注的焦點。

要解決氣候變遷的問題主要分成兩個主要策略：減輕策略與調適策略。減輕策略主要在透過節能減碳等措施達到減少溫室氣體排放之目的；調適策略則是在瞭解未來氣候變遷可能之影響下，如何採取措施降低衝擊，以調整適應於未來之氣候。國際上簽定「京都議定書」，明確規範各國溫室氣體排放管制之目標。工業革命前大氣二氧化碳濃度約 280ppm，圖 1.2 顯示 2013 年五月夏威夷測站量測，地球二氧化碳濃度已達 400ppm，即使節能減碳措施奏效，本世紀末恐大氣二氧化碳都無法穩定在 560ppm。積極推動調適行動刻不容緩。聯合國氣候變化綱要公約 (United Nation Framework on Climate Change Convention, UNFCCC) 簽約國會議 (Conference of the Parties, COP) 已逐漸將重點由減輕措施推動轉向調適措施，2007 年在印尼巴厘島召開的第 13 次簽約國大會，會議之重要結論即是訂定巴厘島路徑 (Bali Roadmap)，積極呼籲推動調適行動。

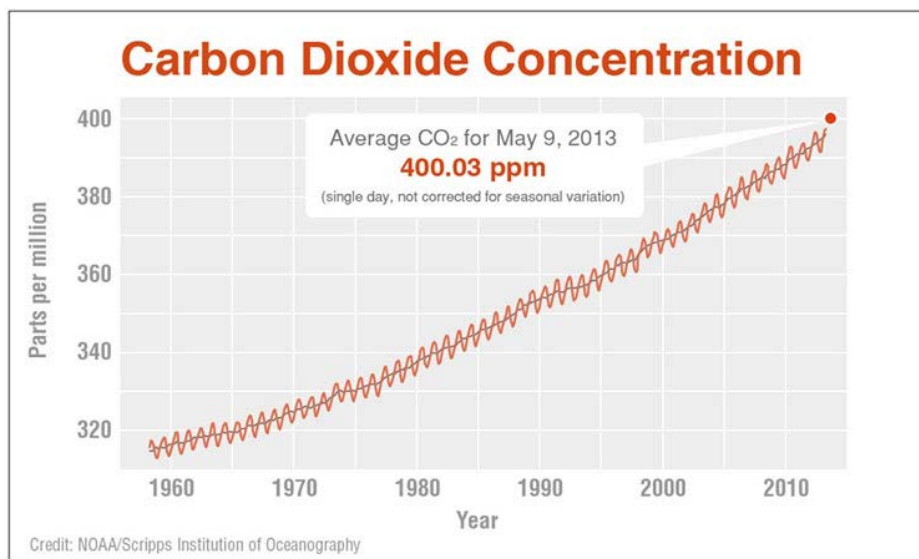


圖 1.2 美國夏威夷二氧化碳量測結果。

(資料來源：<http://climate.nasa.gov/news/916>)

氣候變遷主要導致氣溫與降雨等平均天氣特性的改變，進而影響環境與在環境上賴以為生之生態系統與人類社會，如：溫度與降雨的改變會進而影響河川流量；強降雨與高流量會導致淹水與土石災害；長期不雨與低流量會導致乾旱。淹水、土砂災害以及乾旱一直是影響臺灣最重要的天然災害，不管因土砂崩坍所導

致之高濁度流量，亦或高溫低流量，均會對水生生態系統產生顯著衝擊；土石崩坍與天氣形態改變也可能顯著影響陸域生態系統，當然，隨著海洋環境改變，海域生態受到衝擊亦不可避免。

臺灣人口稠密、可居住區域狹小，本來就是高風險地區，氣候與環境的變遷可能進而影響糧食生產、人類健康、經濟發展。為降低未來氣候變遷所帶來衝擊，必須了解未來氣候變化趨勢，並分析氣候與環境變遷可能帶來各面向之衝擊，然後根據分析結果瞭解問題所在，具體提出能力建構措施。國家氣候變遷科學報告分成兩大冊，第一冊主要在分析彙整影響氣候因子與氣候之變化趨勢，第二冊主要則注重與分析彙整氣候變遷可能帶來之衝擊與可能採取之調適行動，並以我國國內科學發展結果為主要探討對象。

國內在過去不僅防災科技積極發展，科技部與其他各部會亦積極推動氣候變遷衝擊與調適之相關研究，研究面向包括環境災害、生態系統、公共衛生、糧食生產、水資源供給與經濟發展等，並有從不同空間面向切入，包括山區、都市、鄉村、海岸與離島等。本冊氣候變遷科學報告將彙整國內重要研究成果，希望能提高一般民眾的認知、提供政府調適決策參考與滿足學界研擬未來科學發展之需求。本章將介紹第二冊之主要內容安排，並介紹與氣候變遷有關之重要觀念，如風險、脆弱度與回復力之定義與重要性，以協助讀者瞭解後續章節描述所採用專有名詞之意義。此外，本科學報告主要為彙整國內重要之研究成果，因此，亦將說明採用文獻之準則，以協助讀者瞭解報告內容之科學正確性。由於氣候變遷研究之本質仍具有相當高之不確定性，即對未來氣候與衝擊之掌握並無法提供精確數字，過去不確定性往往導致調適行動之躊躇不前，然在環境衝擊越來越劇烈之趨勢下，已無法不採取行動，必須在瞭解不確定性下採取聰明決策，本章最後說明不確定性之本質，並說明本冊各章描述不確定性之共同形式，以協助讀者瞭解本報告提供資訊之不確定性程度。

### 1.1.1 關於第二冊

2011 年科技部（前國家科學發展委員會）發佈我國第一版氣候變遷科學報告，並注重在分析國際與國內過去天氣的變化趨勢與未來氣候變遷之推估，報告中並探討導致氣候變遷與全球暖化之可能影響因子，雖然氣候變遷帶來之衝擊也有相關探討，但相對較少。本冊報告屬於科技部第二版氣候變遷科學報告之第二

冊，重點將對應政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 定期發佈評估科學報告之第二冊，即針對衝擊、調適與脆弱度進行科學資料進行彙整與分析，並以我國過去的研究做為探討的重點。由於國內在本報告開始撰寫前，有關衝擊、調適與脆弱度評估之研究成果多根據 IPCC 第四版評估報告 (Fourth Assessment Report, AR4) 之氣候情境，因此本科學報告第二冊與第一冊以 IPCC 第五版評估報告 (Fifth Assessment Report, AR5) 之氣候推估撰寫說明有所不同。

環境災害是我國過去以來對經濟社會最大挑戰，故本冊第二章將先從環境災害切入，介紹我國環境災害的現況與面對氣候變遷可能遭遇的問題，最後探討防災科技的發展與說明可能解決的調適措施。陸域生態、海域生態、水資源、糧食生產、公共衛生、經濟社會發展等均為影響我國是否可永續之關鍵，本冊科學報告將在此重要面向分別介紹 (一) 面臨的關鍵問題；(二) 目前現況風險；(三) 氣候變遷下未來可能面臨的風險；(四) 面對未來問題可能之調適選項；(五) 最後針對推動調適措施可能之挑戰進行探討，包括科學研究與應變體制不足等，並提出科學發展與推動機制之建議。此外，氣候變遷調適行動之推動過程亦有許多發展之機會，報告亦將盡可能進行研究資料收集與分析。土地利用合理使用與規劃為面對氣候變遷之重要手段，然不同土地空間亦可能具有不同氣候變遷衝擊之特性，也可能需要採取不同之調適措施，本冊報告在第二部分將空間分成山區、農村、都市、海岸與離島，分別探討面對氣候變遷可能之關鍵議題，同時亦探討可能採取之調適措施。綜上，本冊從第二章到第八章分別亦不同領域面向切入，第九章及第十章則是探討不同空間之問題，最後第十一章將綜合討論調適治理之問題。

## 1.2 氣候變遷衝擊與風險

脆弱度是用以表示某個系統在氣候變遷所來的氣候變異與極端事件下，易受影響、無法消弭負面作用的程度，可將其視為暴露 (exposure)、敏感度 (sensitivity) 與調適能力 (adaptive capacity) 的函數 (IPCC, 2007)。此為國際上對於「脆弱度」一詞普遍接受度最高的定義。其中，脆弱度的大小與暴露的大小有關，暴露為氣候變異與極端事件所帶來的衝擊，暴露於危害越大則該系統潛在的脆弱度也就可能越大；脆弱度的大小亦與該系統可容受的敏感程度有關，敏感度是系統容易受



到擾動的難易程度，敏感度高的系統容易暴露在同樣危害下有較高的脆弱度，換句話說，暴露在同樣的危害程度下，敏感度高者其脆弱度高，例如老年人受災的敏感度高，遭受同樣的淹水事件，有較多老人族群的區域其脆弱度就會相對較高。此外，調適能力亦是影響脆弱度之關鍵，例如在老人人口比例較高的區域遭受淹水事件，如無適當調適措施則脆弱度將相當高，然透過強化防洪與疏散措施可減低淹水深度與時間，同時可撤離老年人離開災區，所以最後可能受災十分有限。

調適能力則可解釋成系統處理或是吸收氣候變遷衝擊的能力，系統的組織結構、行為能力、資源與科技都會影響其調適能力，進而降低氣候變遷帶來災害的可能性與程度。在面對氣候變遷挑戰的當下，永續發展是我們在各個領域努力追求的共同目標，而永續發展最基本的精神，即為管理持續發展所帶來之負荷 (loading) 不超過環境承載力 (carrying capacity)，因而確保環境不退化，以持續滿足現在與下一世代之需求；為達到永續發展之目的而應採取之措施必須是社會可行、經濟可行、及技術可行。系統在綜合考量脆弱度的三個因子暴露、敏感度與調適能力後，即可界定一個處理環境變動的能力，一般可將這樣的能力視為上述定義中的承載力。然而，氣候變遷可能導致環境變動加劇，使得系統的承載力與負荷隨之變化，故當前面對氣候變遷衝擊的挑戰，必須評估氣候變遷對承載力與負荷之影響，與確認承載力與負荷是否維持平衡，以維持朝永續發展之目標前進。若偏離了承載力與負荷之平衡關係，則需提出調適措施以強化承載力或降低負荷。

過去防災系統透過因子分析進行風險評估時，考量風險主要是由危害因子 (hazard) 與脆弱度因子 (vulnerability) 決定，災害風險之脆弱因子並非前述氣候變遷研究中所定義之脆弱度，在災害風險中脆弱因子可包括環境脆弱與社會脆弱等，例如崩坍地與老年族群，其實即為前述氣候變遷脆弱度定義之敏感度。另一方面，災害危害因子其實即為如前所言之暴露度。由於國內目前在風險評估與脆弱度評估用語尚未一致，為避免讀者誤解，特此說明，以提醒在看相關報告時能確實了解其意涵。IPCC 在 2014 年出版第五版評估報告 (AR5) 的第二冊，並將風險重新定義為危害、暴露與脆弱度的函數，如圖 1.3。雖然，AR5 重新定義風險，然其與 AR4 所稱之脆弱度十分相近。本科學報告主要在彙整國內氣候變遷衝擊、調適與脆弱度評估研究成果，特整理氣候變遷 AR5 風險定義、AR4 脆弱度定義與災害風險因子之名詞對照關係，可參考表 1.1 之比較說明。

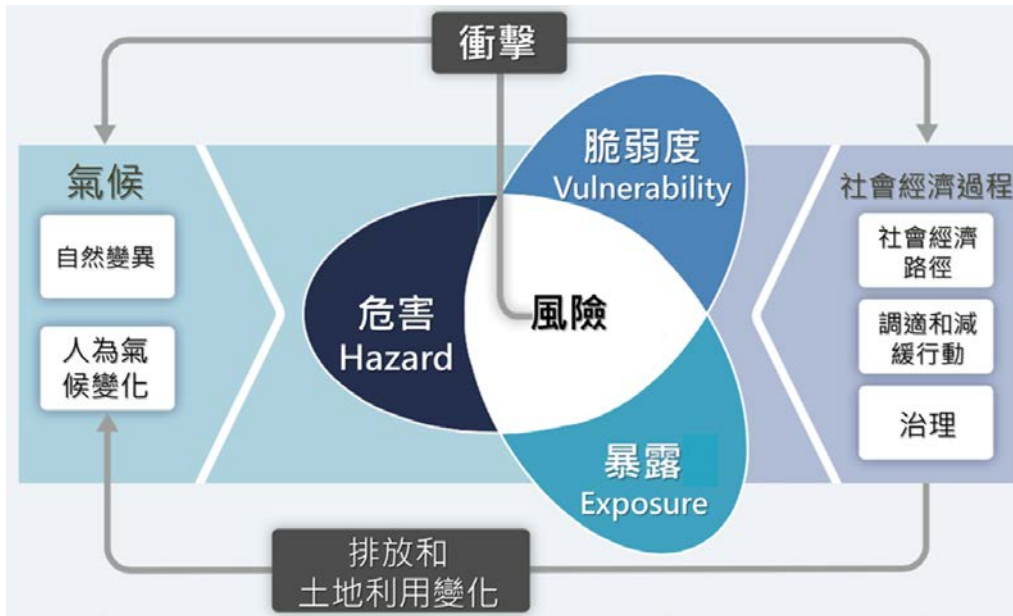


圖 1.3 氣候變遷風險影響因子 (修正自 IPCC AR5, 2014)

表 1.1 氣候變遷脆弱度與災害風險因子之對應關係

項目	因子		
AR5 氣候變遷風險	危害	脆弱度 (敏感度、調適力)	暴露
AR4 氣候變遷脆弱度	暴露	敏感度	調適力
災害風險	危害	脆弱度	

### 1.2.1 氣候變遷調適流程

在氣候變遷的調適上，國際上諸多國際組織與氣候變遷研究機構，均基於 IPCC 所提出之氣候變遷風險概念，提出或發展各自之氣候變遷調適流程，將整體決策流程予以方法化與工具化，以供外界做為參考依據，如：聯合國氣候變遷調適政策綱領 (UNDP APF)、英國氣候衝擊計畫的調適精靈 (UKCIP Adaptation Wizard)、歐洲氣候調適平台的調適支援工具 (CLIMATE-ADAPT Adaptation



Support Tool)、美國氣候韌性工具 (U.S. Climate Resilience Toolkit)...等。除上述國際上之氣候變遷評估流程外，我國行政院於 2012 年 6 月正式核定「國家氣候變遷調適政策綱領」，作為我國推動氣候變遷調適相關計畫之核心。行政院經濟建設委員會（現為國家發展委員會）則在國家氣候變遷調適政策綱領進行修訂工作的同時，於 2011 年委託專業團隊辦理「地方氣候變遷調適示範計畫」，選定台北市與屏東縣兩縣市研擬各自之地方氣候變遷調適計畫，並基於兩縣市之相關經驗彙整出「地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引」（經建會，2012）。

科技部-「氣候變遷調適科技整合研究計畫」(TaiCCAT) 則以 IPCC 第五版評估報告書對於風險的定義為核心基礎，彙整國際間與國內氣候變遷調適步驟，同時參考我國氣候變遷地方調適計畫，訂定「TaiCCAT 氣候調適六步驟」，包括：1. 界定問題與設定目標；2. 評估與分析現況風險；3. 評估與分析未來風險；4. 界定與評估調適選項；5. 規劃與執行調適路徑；6. 監測與修正調適路徑。在評估資料分析工具的建立上，除了針對上述六大步驟的流程進行定義外，亦針對了上述步驟所包含的次步驟、細部工作項目進行分項，並對流程中所需使用到的資料、工具以及各流程對應之產出設計了分析評估資料的檢核表，提供上述六大步驟調適流程詳細資訊，以利調適計畫之建構與執行，並作為滾動修正時，重新確認調適流程與資料、工具產出完整性之檢核用途。

若以 TaiCCAT 氣候調適六步驟之觀點來檢視我國過去執行之氣候變遷相關調適計畫，則多數既已施行之調適計畫大多已執行至第四步驟（界定與評估調適選項），然而在調適計劃之執行上並未將調適路徑的概念付諸實行，亦未針對調適計劃安排後續之監測與修正機制。面對氣候變遷帶來之風險與高度不確定性，調適計劃的執行必須更具有彈性與滾動修正之特性，方能建構更具有調適能力之系統，以因應未來可能遭遇之風險與挑戰。

### 1.3 氣候變遷調適與回復力

回復力 (Resilience) 的概念其最早源自於力學研究，用來描述材料在沒有斷裂或完全變形的情況下，由受力而變形回復至原本狀態的能力。將回復力的概念應用於自然環境相關領域的研究，則是始於 1970 年代的生態學家 C.S. Holling。Holling 將回復力概念運用於生態學領域，藉以量測生態系統吸收擾動與改變的能力。隨著氣候變遷帶來的變異性與極端氣象事件日益嚴重，自然生態與人類社

會系統勢必無法完全消弭這樣的衝擊，如何在衝擊之後快速回復系統原有的功能，即是回復力在氣候變遷調適中的一項課題。其中，能夠承受多大限度的衝擊仍然能夠回復原有狀態的能力稱為「生態回復力」；需要多久時間能回復系統原有的狀態，則稱為「工程回復力」。提高生態回復力能夠使系統有較大的承受衝擊能力，並可增加緩衝的空間以及維持運作的能力；提高工程回復力則可以確保系統在受到衝擊之後，能在短時間之內回復原本該有的機能，亦可解釋成有較快的回復速度 (Pimm, 1984)。而這樣回復時間的概念與在可靠度工程 (Reliability Engineering) 中常用平均失效時間 (Mean Time to Failure) 如出一轍，Hashimoto (1982) 與 Kjeldsen (2004) 對於回復力的想法就是用這樣的觀念去做定義，與永續發展與氣候變遷的領域中的承載力與負荷做連結用以詮釋回復力。

身處於第一個直接面對全球變遷的年代，當代的人類被迫必須思考改變人類與地球系統的關係，以邁向下一個永續的世代。加強調適能力除了得以降低系統的脆弱度之外，亦可強化系統的回復力。其中，降低脆弱度則能夠降低氣候變遷所帶來衝擊與其發生影響的程度與機率。再者，系統如受到衝擊，在回復前其原有狀態前其敏感度較高，因此可能導致較高之脆弱度，換言之，回復力越高則其脆弱度越低。氣候變遷非常可能導致更頻繁的極端事件，因此回復力在氣候變遷研究中受到越來越多之重視，因此，降低脆弱度與提高回復力在今後面對未來氣候變遷的衝擊與挑戰時，均是不容忽視的重要課題。然國內過去各領域在回復力之研究較少，本報告仍會盡量收集，並探討臺灣未來回復力之研究需求。國外在回復力研究有時會稱其為韌性，如韌性城市、韌性社區、與韌性防洪系統等。

## 1.4 關於不確定性與可能性

本節將針對本冊報告內容中可能牽涉不確定性 (Uncertainty) 與可能性 (Likelihood) 進行說明。不確定性是指發生事件無法精確的推估，分析結果具有多種可能，最後哪個分析結果會發生並無法確定。不確定性來源可能包括自然不確定性與政策不確定性，在氣候變遷研究中多了科學的不確定性，面對氣候變遷要採取有智慧的行動，就必須了解與掌握不確定性。另一方面，不同研究團隊均在進行相關之研究，可能性則主要在彙整許多研究報告後，根據研究成果是否一致或相近，提出綜合結果可能性之分析。國內各領域較少有多組研究團隊同時進行研究，因此，本科學報告將彙整國內研究成果，並與 IPCC AR5 主要結論比對，

以探討國內與國外研究成果之一致性。以下分別針對不確定性與一致性進一步說明。

### 1.4.1 不確定性 (Uncertainty)

不確定性可能導源於對系統沒有足夠知識或是有關環境因素的資訊來描述當前情況，使其未來的分布範圍和狀態不能確知，組織決策者無法精確地預測某個事件或某種決策的結果。在分析中，用確定的數無法完全地表達其所具有之不確定性，常以一範圍表達之，例如明天會不會下雨，是無法百分之一百確定的，只能表示為明天降雨機率可能是 30%到 60%間、明天台北市的溫度是 26°C 到 30°C 之間。其不確定性範疇包括自然不確定性，與分析過程採用方法時所衍生之科學不確定性。氣候變遷衝擊獲得廣泛注意，然積極採取調適行動卻受限於衝擊評估結果之不確定性。然如何量化不確定性，亦為本科學報告探討之重點，惟過去國內在不確定性研究較不足，所以以下所列量化方法可做為後續研究參考。描述不確定性方法主要有三種：當資料少時可用最大值與最小值形成之區間來表示不確定性；若資料筆數夠多，足以檢定資料之機率分布，可利用機率分布來描述不確定性；介於兩者之間則用模糊理論之隸屬函數來描述不確定性。此外，區間數可以盒鬚圖 (Box Plot) 方式進一步標出 25%、50%、與 75%百分位數，提供較多資料說明資料分布範圍與變動情形。

不確定性的來源很多，要瞭解此不確定性，就必須先瞭解評估衝擊的流程。一般評估流程包括 (一) 訂定影響未來氣候之溫室氣體或直接定義輻射力之可能趨勢情境；(二) 藉由大氣環流模式 (General Circulation Models, GCMs) 模擬推估未來可能之氣候；(三) 進行推估氣候之降尺度分析，以符合研究區域與分析模式所需要之空間與時間尺度；(四) 前一步驟產生之資料，在輸入評估模式進行模擬；(五) 分析根據現況與未來之模擬結果，探討可能之衝擊與脆弱度。上述每個步驟都隱含相當之不確定性，導致分析結果亦具有不確定性。

導致全球暖化的原因主要是人類活動增加了溫室氣體排放，不管過去所訂定的溫室氣體排放情境 (如圖 1.4) 或是 IPCC 第五次科學評估報告所直接定義的輻射力 (Radiative Forcing, 如圖 1.5)，均可看到有許多可能，目前並無法確定在未來那個情境必然發生。此外，世界各國均積極發展大氣環流模式，不同環流模式利用相同溫室氣體情境往往模擬結果也不盡相同。加上為了考量電腦模擬能力，

模擬結果之空間解析度與研究所需空間尺度往往不同，所以需要應用降尺度技術進行資料轉換，不同降尺度方法也可能帶來不確定性。最後，評估模式本身往往會簡化與具有參數，因此，除了輸入氣象資料之不確定性外，評估模式之模擬歷程與參數亦具有影響結果之不確定性。本報告目的主要在彙整氣候變遷研究資訊以提高民眾認知、決策資訊合理、與科學繼續發展基礎，因此，本研究將透過彙整分析結果探討不確定性，並把彙整結果之可能性進行說明。

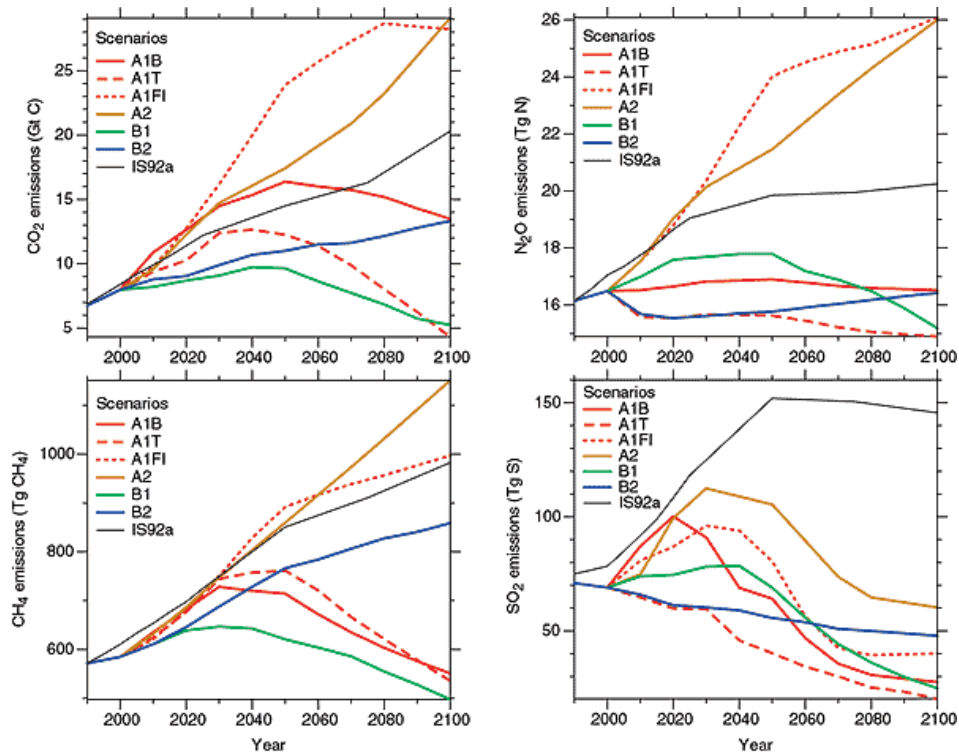


圖 1.4 SRES 溫室氣體排放情境 (IPCC 2001)

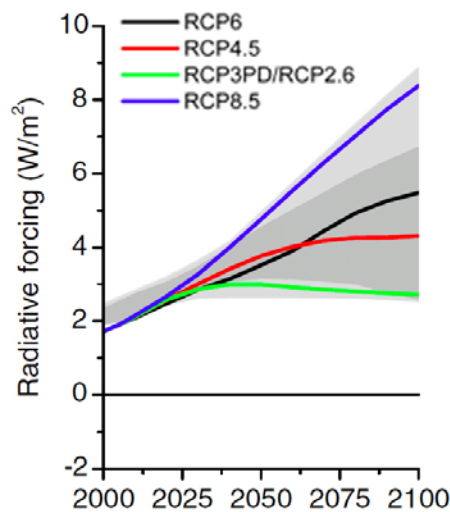


圖 1.5 IPCC AR5 輻射力情境. From van Vuuren et al (2011)

## 1.4.2 可能性 (Likelihood)

可能性主要藉由許多相同目的研究之比對，探討其結果之一致性 (consistency)。例如，所有研究成果均有相同結論，則此結果有相當高之一致性，對此結果我們可以具有較高之信心，亦即其發生之可能性較高。對於研究結果之可能性可以機率來表達，其發生的機率稱為可能性，可藉由彙整許多研究成果，並統計不同研究結果之機率。可藉函數描述，經由機率分布與統計分析方法，得到具有代表性、符合真實情況的結果。可能性為不確定性量化的其中一項要點。對於量化不確定性的機率方面，IPCC 報告將其分為 7 個級別，機率範圍如下表 1.2 所示，可用來說明單一事件的機率評估或是某結果評估的可能性。

表 1.2 可能性分析一覽表

分級 (Term)	結果可能性
非常肯定 (Virtually Certain)	99%~100%
很可能 (Very Likely)	90%~99%
可能 (Likely)	66%~90%
介於可能與不可能之間 (About as likely as not)	33%~66%
不可能 (Unlikely)	10%~33%
非常不可能 (Very Unlikely)	1%~10%
極不可能 (Exceptionally Unlikely)	0%~1%

## 1.5 文獻資料來源

氣候變遷科學報告目的主要在提供我國目前相關研究之進展與有科學依據之研究結果，本科學報告並會與 IPCC 第五版科學報告之第二冊進行比較，說明國內外面臨氣候變遷關鍵議題與採取調適措施之差異，以提供國內一般民眾、政府決策單位、與學術界參考。本報告每個章節均邀請撰稿群，然內容並不侷限于撰稿群之研究成果，還要廣泛收集國內相關研究成果，並儘量以經過審查機制之發表論文、科技部研究成果、各中央部會委辦計畫研究成果為主。由於國內各研究面向在氣候變遷調適研究之進程不一，因此，研究所之碩士與博士論文成果亦將納入。在時間上，儘量採用最近之研究成果，並以採用 IPCC 第四版與第五版

科學報告所發佈之氣候情境做為基礎之研究成果為主。為確保知識之正確性，編撰過程各章主筆均需針對內容進行專業判讀，並說明結果。

## 1.6 本冊編審組成與時程

本冊(科學報告第二冊)編審人員組成包括：1 位主編 (搭配本冊工作小組)；10 位各章召集人 (Coordinating Lead Authors)；10 位主要作者 (Lead Authors)；44 位共同作者 (Contributing Authors)；24 位審查編輯 (Review Editors)；46 位審查委員 (Expert Reviewers)。各章召集人組成各章撰寫小組，包括一位主要作者與 1 到 5 位共同作者。各章撰寫小組的工作在完成各章初稿與定稿。各章內容經過學術與政府專家檢視的程序。另有審查編輯 (各章 2 到 3 位) 的角色在確保作者能適度反應審查意見。本冊各章作者與審查編輯，係由科技部氣候變遷調適科技整合研究計畫 (TaiCCAT) 總計畫規劃，再結合科技部自然處意見後，透過書面邀請程序所產生；邀請對象為國內氣候變遷衝擊與調適研究領域中，具代表性的專家學者。本冊審查委員，除了政府部會提名的專家，尚包括經 TaiCCAT 總計畫主持人與本冊主編，就其對於相關文獻與國內外研究趨勢的掌握，共同審視過的科學家與研究人員。



## 參考文獻

水資源領域行動方案 102-106 年 · 經濟部水利署

McCarthy, J. J., 2001: Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Griggs, D. J., & Noguera, M., 2002: Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Weather*, **57**(8), 267-269.

Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... & Masui, T., 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, **109**, 5-31.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. *Climate Change 2014—Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge University Press.

Climate Change: Vital Signs of the Planet: For first time, Earth's single-day CO<sub>2</sub> tops 400 ppm: <http://climate.nasa.gov/news/916/for-first-time-earths-single-day-co2-tops-400-ppm/>

Hashimoto, T., Stedinger, J. R. & Loucks, D. P., 1982: Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance. *Water Resour. Res.* **18**(1), 14–20.

Kjeldsen, T. R. & Rosbjerg, D., 2004: Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems. *Hydrol. Sci. J.* **49**(5), 755–767.



## 第二章 災害衝擊

國家災害防救科技中心<sup>1</sup>

### 摘要

受全球氣候變遷之影響，科學家們已觀察到許多地區的溫度、降雨量，以及海平面在過去數十年至百年間呈現漸進卻明顯的變化，除此之外，近年來全世界各地更頻傳極端天氣與氣候事件（簡稱極端氣候事件）所釀成之災害（例如：水災、颱風/颶風、乾旱、熱浪等），這些超過歷史經驗值之災害，不僅造成重大生命與財產的損失，更嚴重威脅該地區的經濟發展與社會安全，這使得全世界科學家逐漸重視極端氣候事件造成的災害，也開始將極端氣候事件列為關鍵的氣候變遷風險（IPCC，2012；IPCC，2013；IPCC，2014）。

政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）於 2014 年公布的第五次評估報告中，除了直接點出「極端溫度」、「極端降雨」、「致災性熱帶氣旋」為極端氣候的驅動因子。更指出亞洲地區的三項關鍵風險分別為：1) 極端降雨、海平面上升、熱帶氣旋造成的水災，將可能對基礎建設、人類生計與聚落造成衝擊；2) 溫度升高及極端溫度將造成許多高溫引發的健康衝擊，甚至提高死亡率；3) 旱災引發的水資源及糧食短缺問題，並造成營養不足或飢荒問題。針對此不容忽視的威脅，我國的氣候科學家一方面針對巨大氣候資料進行系統性的彙整，以了解臺灣過去氣候變遷狀況，另一方面也使用全球氣候模式的資料，透過降尺度技術後，了解我國未來可能的氣候狀態，希望經過數年科學證據的累積，能提供「在地化」的氣候變遷資訊，藉此也能更了解海島臺灣實際可能面臨的氣候變遷衝擊。

根據行政院國家科學委員會（現為科技部）出版的「臺灣氣候變遷科學報告 2011」以及「臺灣氣候變遷科學報告 2016：第一冊」，我國的氣候科學家們更加確認臺灣過去一百年間的氣候狀態已有明顯的變化，其中包括全年平均氣溫增加、全年及夏季平均最高氣溫亦增加、大豪雨日數增加，以及小雨日數減少等溫度及降雨強度的變化趨勢。而兩份報告分別使用 IPCC 的 AR4 及 AR5 氣候模式資料，推估我國未來的氣候狀態，結果顯示我國於 21 世紀末，在不同情境之下，全臺

<sup>1</sup> 本章由國家災害防救科技中心編輯撰寫，主要作者包含朱容練、陳永明、陳韻如、郭士筠、劉俊志（依姓名筆畫排列）。

灣四個分區的平均氣溫皆持續增加的增溫現象。而在降雨型態的變化上，則可能呈現乾濕季節越趨分明（豐越豐、枯越枯）、極端降雨越趨頻繁的現象（國科會，2011；科技部，2016）。

在臺灣的八大衝擊及調適領域中，又以「災害衝擊」為最重要、最關鍵、最須優先處理的氣候變遷風險，因為極端氣候事件雖然較為罕見，但其強度往往超過原有工程防護的設計標準，故一旦發生，便常常釀成災害。此外，災害衝擊可被視為中間衝擊 (Interim Impact)，除了直接造成人命的傷亡、財產的損失之外，亦會直接影響其他衝擊與調適領域，例如：水資源、農業等等。因此，考量臺灣原就屬於高災害風險的地區 (World Bank, 2005)，當未來極端氣候事件的發生頻率及強度可能增加的時候，為保障國民的安全，首當其衝的衝擊領域即為我國的災害防救領域。

受到溫度與降雨型態的改變以及海平面上升的影響，氣候變遷與災害專家們共同關注的問題在於：「氣候變遷會如何改變我國原有的水文氣象類災害特性？未來的災害風險是否增加？」因此，本章彙整來自我國相關部會以及各領域的專家學者近年來針對氣候變遷的災害衝擊與風險的科研成果，本章將重點放置於我國發生頻繁且相對具有科研成果的淹水災害、坡地災害（含河道土砂衝擊），以及乾旱災害等三項災害類型，至於溫度類型災害，以及災害引發的間接衝擊（例如：農業、公衛等）則不在本章檢視分析的範疇之內。

截至目前可收集之文獻顯示，臺灣氣候變遷災害衝擊評估結果朝向不樂觀之方向前進。假設不改變目前的脆弱度、暴露與調適力等社經環境驅動因子的情形，若單獨考量氣候變遷風險的氣候驅動因子，臺灣未來極端降雨（短延時強降雨）頻率與強度可能增加，因此，極端暴雨事件造成的淹水災害風險可能增加（河川洪水溢淹、都市積淹水）；累積的極端降雨（連續 24 小時的降雨）亦可能增加坡地災害風險（土砂崩塌、土石流）；豐枯季節分明的情形則可能增加我國乾旱災害風險，尤其是用水量相對高的都市地區。綜整以上，我國目前的氣候變遷災害衝擊研究仍屬發展、示範區階段，學者專家們仍致力研究最適當模式與方法，建議未來在模式方法、空間分布、跨領域（考量社經環境因子），以及調適效益評估方面，仍需累積更全面完整的研究。

**關鍵字：**氣候變遷、極端氣候事件、災害衝擊、水災、坡地災害、乾旱、災害調適

## 2.1 前言

### 2.1.1 現況問題—全球及臺灣面臨的氣候變遷災害衝擊

受到地理位置、地質、水文等先天環境因素，以及人口成長、都市化等後天社經發展因素的影響，臺灣每年皆會發生種類不同、數量不一、衝擊程度不均的天然災害。世界銀行於 2005 年刊行的報告中，因為臺灣位居環太平洋地震帶，也處在西北太平洋地區颱風侵襲的主要路徑上，臺灣同時暴露於三項以上天然災害之土地面積與面臨災害威脅之人口為 73%，同時暴露於兩項以上天然災害之土地面積與面臨災害威脅之人口為 99%，故屬於全世界高災害風險的地區之一 (World Bank, 2005)。

如同全球災害數量趨勢一般，臺灣的天災害事件數量近 55 年以來有逐漸增多的趨勢，且氣象、水文、氣候類型災害為常發生的災害類型，此乃極端強降雨颱風頻率增加之緣故 (國家災害防救科技中心, 2014; 內政部消防署, 2015; 國科會, 2011; Munich Re, 2015)。此外，受都市發展之影響，暴露在天然災害事件的人口與資產亦有增加的趨勢，使得這些災害除了造成人員傷亡之外，更造成我國許多財物及經濟的直接損失，例如：房屋倒塌、公共建設損毀、農林漁牧業以及其他工商產業損失等。

聯合國國際減災策略 (United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 簡稱 UNISDR) 在 2015 年出版的全球災害風險減輕評估報告中 (Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, 簡稱 GAR), 明確指出「全球氣候變遷」將改變天然災害的特性，並增加未來的災害風險及損失 (UNISDR, 2015a)。其中包含發生頻率小、較少發生，但強度規模大之極端氣候事件 (集中型災害風險) 的特性改變 (例如：頻率、強度、時間性等)，以及因為氣候因子長時間的漸進變化，所造成發生頻率大、較常發生，但強度規模小之一般災害的特性改變 (廣泛型災害風險) (UNISDR, 2011)。

根據政府間氣候變遷專門委員會 (International Panel on Climate Change, 簡稱 IPCC) 的第五次評估報告 (Assessment Report, 簡稱 AR5), 地球氣候系統的暖化是毋庸置疑的，自 1950 年代開始，科學家們觀測到地表和海洋變暖、冰雪量減少、海平面上升等現象 (IPCC, 2013)。此外，針對極端氣候事件在歷史觀測

變遷與未來推估研究，IPCC (2013) 亦指出約自 1950 年起，隨著全球平均溫度上升，可以發現陸地區域出現極高溫的頻率增加，而出現極低溫的頻率則下降，熱浪的出現頻率和持續時間都非常可能會增加。此外，陸地上豪大雨事件增加的區域可能多於減少的區域，而在本世紀末，部分地區的極端降雨事件非常可能呈現更高的強度和頻率 (表 2.1)。

表 2.1 極端氣候事件：歷史觀測變遷與未來推估

現象與趨勢走向	對變遷是否發生的評估 (多數為 1950 年至今)	進一步變遷的可能性	
		21 世紀早期	21 世紀後期
大多數陸地地區變得較暖及/或寒日及寒夜減少	非常可能	可能	幾乎確定
大多數陸地地區變得較暖及/或暖日及暖夜更頻繁	非常可能	可能	幾乎確定
暖期/熱浪：大多數陸地地區的頻率及/或持續時間增加	中等可信度 在全球尺度上 可能 在歐洲、亞洲及澳洲的大範圍區域	未正式評估	非常可能
豪大雨事件：發生的頻率、強度及/或降雨量增加	可能 陸地上增加的區域多於減少的區域	可能 許多陸地地區	非常可能 大部分中緯度陸地及潮濕熱帶地區
乾旱的強度及/或持續時間增加	低等可信度 在全球尺度 可能 部分地區	低可信度	可能 (中等可信度) 區域尺度到全球尺度
強烈熱帶氣旋活動增加	低可信度 長期 (世紀尺度) 的變遷/幾乎確定 北大西洋 自 1970 年以來	低可信度	比較可能 西北太平洋及北大西洋海域
極端高海平面發生率及/或程度增加	可能 (自 1970 年以來)	可能	非常可能

資料來源：IPCC，2013；國家災害防救科技中心 (2016) 整理。

IPCC 進一步於 2014 年公布的第二工作小組第五次評估報告中，直接點出「極端溫度」、「極端降雨」、「致災性熱帶氣旋」為極端氣候的驅動因子，更指出亞洲地區的三項關鍵風險分別為：1) 極端降雨、海平面上升、熱帶氣旋造成的水災，將可能對基礎建設、人類生計與聚落造成衝擊；2) 溫度升高及極端溫度將造成許多高溫引發的健康衝擊，甚至提高死亡率；3) 旱災引發的水資源及糧食短缺問題，並造成營養不足或飢荒問題 (圖 2.1) (IPCC，2014)。



IPCC (2014) 更針對此三項關鍵風險進行調適效益評估，結果顯示即使採取高度調適，長期而言 (21 世紀末)，剩餘的風險仍然是中高程度 (實心橘色長條圖)。因此，IPCC 於 2012 年出版「促進氣候變遷調適之極端事件與災害之風險管理」，目的即在強調「極端氣候事件致災」議題以及採取減災作為的重要性 (IPCC, 2012)，但是，必須先克服此議題在科學評估的困難，例如：基礎資料方面 (例如：氣候資料、水文環境資料等)、衝擊推估模式準確度等等。

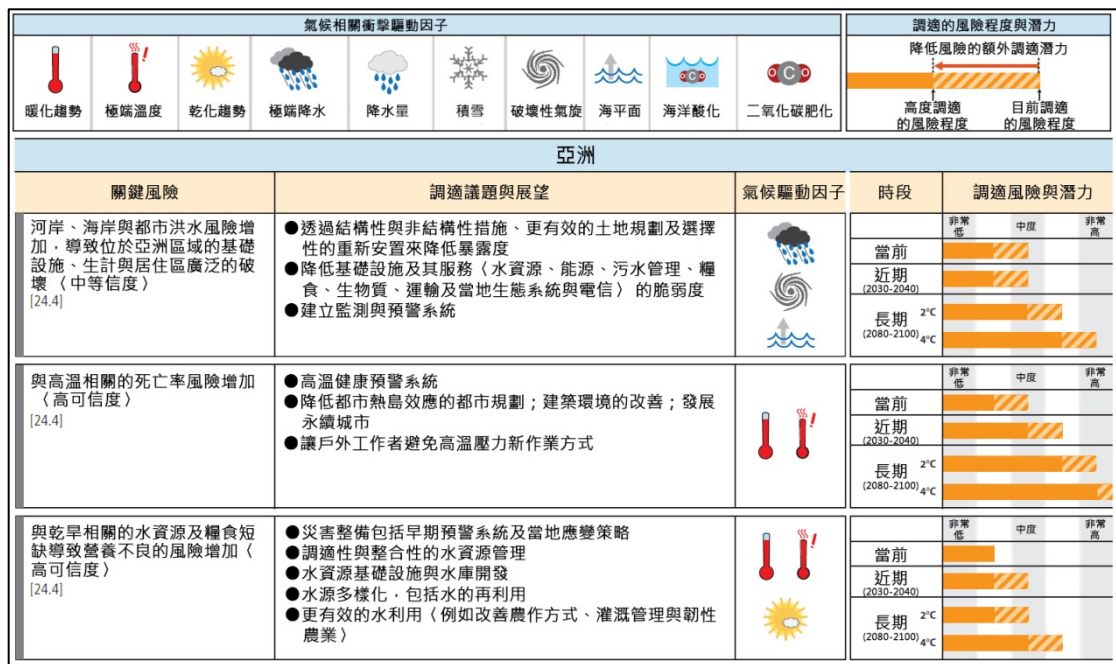


圖 2.1 亞洲地區氣候相關之風險 (資料來源：IPCC, 2014)

由表 2.1 可發現目前科學家對於極端氣候事件的觀測與推估，部分現象仍有「空間尺度」、「時間尺度」、「科學證據」的歧異與不確定性。針對此一挑戰，臺灣的氣候科學家使用行政院科技部臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫 (簡稱 TCCIP) 整合之氣候觀測與推估資料，一方面進行氣候狀態的長期平均變化研究，另一方面則針對氣候狀態之極端值進行研究，希望能提供海島臺灣「在地化」的氣候變遷資訊，並得以進行後續的災害衝擊評估。

根據行政院國科會 (現稱科技部) 出版的「臺灣氣候變遷科學報告 2011」以及「臺灣氣候變遷科學報告 2016：第一冊」，我國的氣候科學家們更加確認臺灣過去一百年間的氣候狀態已有明顯的變化，其中包括全年平均氣溫增加、全年及夏季平均最高氣溫亦增加、大豪雨日數增加，以及小雨日數減少等溫度及降雨強

度的變化趨勢。而兩份報告分別使用 IPCC 的 AR4 及 AR5 氣候模式資料，推估我國未來的氣候狀態，結果顯示我國於 21 世紀末，在不同情境之下，全臺灣四個分區的平均氣溫皆持續增加的增溫現象。而在降雨型態的變化上，則可能呈現乾濕季節越趨分明（豐越豐、枯越枯）、極端降雨越趨頻繁的現象（包含短延時及長延時強降雨），這些現象更是增加我國災害風險的重要驅動因子（國科會，2011；科技部，2016；國家災害防救科技中心，2016）。

爰此，在我國推動氣候變遷調適的作為上，「災害衝擊」為其中極為重要的氣候變遷風險（經建會，2012），主要原因除了前述的臺灣本就屬高災害風險地區之外，災害衝擊更將連帶影響其他衝擊與調適領域，例如：水資源、農業、維生基礎設施等等，因此，若能降低災害衝擊，即能有效降低其他領域之衝擊。此外，災害的發生（尤其為極端氣候事件的集中型災害風險）常常造成許多民眾直接傷亡或其他財產的損失，因此，當決策者視保障國民的安全為政治正確性的議題時，防救災措施常常取得政策的優先性（郭士筠等，2014a）。

綜整以上，受到溫度與降雨型態的改變以及海平面上升的影響，氣候變遷災害議題對於位於海島、資源有限的臺灣是必須面對的一項重大挑戰。當未來極端氣候事件的發生頻率及強度可能增加的時候，首當其衝的衝擊領域即為我國的災害防救領域。故本章主要目的即為彙整我國相關部會以及各領域的專家學者近年來的氣候變遷災害衝擊研究成果，以了解臺灣必須面對的氣候變遷災害問題，最終希望能夠為臺灣未來面臨的氣候變遷災害衝擊尋求因應及調適措施。

### 2.1.2 本章範疇與架構

國科會（2011）指出與氣候變遷相關的災害為水文、氣象、氣候類型災害，包含：淹水/海岸暴潮、坡地相關災害（土石流、山崩、雪崩）、熱帶氣旋（颱風、颶風、暴風雪）、極端溫度（熱浪、寒潮）、乾旱/野火等等。本章採用國家災害防救科技中心（2016）之研究問題範疇設定方法，考量「災害衝擊規模與強度、災害發生頻率，以及相關科研成果」等三條件，選定我國重要、發生頻繁且相對具有科研成果的三項災害類型，分別是：淹水災害、坡地災害，以及乾旱災害。其中，將我國常見的颱風災害及豪雨災害視為氣象驅動因子，探討其劇烈降雨釀成的淹水與坡地災害，故會於此二類型災害段落說明之，並不另闢颱風與豪雨災害章節。

本章總共包含五個小節，第 2.1 節說明氣候變遷災害衝擊之問題背景；第 2.2 節至第 2.4 節分別針對淹水災害 (含海岸溢淹)、坡地災害 (含河道土砂衝擊)、以及乾旱災害 (含農業乾旱)，探討這些災害的特性、風險驅動因子 (氣候因子、環境社經因子)，以及我國目前在氣候變遷災害衝擊之科學研究及重要成果；第 2.5 節則以氣候變遷災害調適作為及目前科學研究的侷限與未來發展方向作為結語 (圖 2.2)。

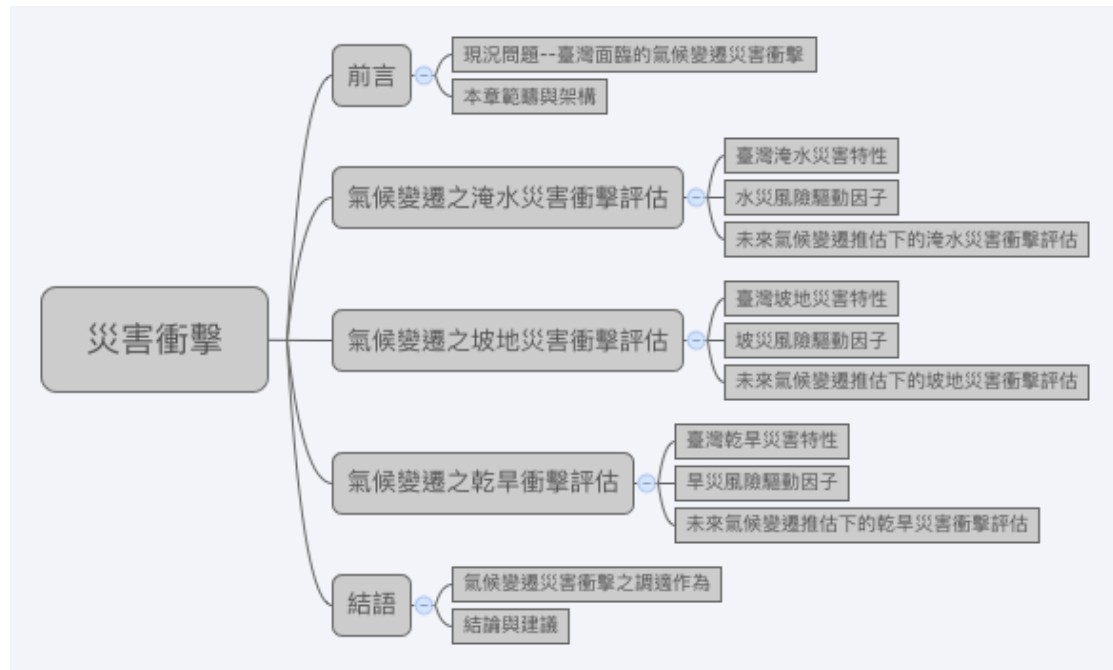


圖 2.2 第二章章節架構

## 2.2 氣候變遷之淹水災害衝擊評估

### 2.2.1 臺灣淹水災害現況潛勢與風險

國家災害防救科技中心 (2016) 彙整淹水災害之定義，指出淹水災害 (另稱洪水災害，簡稱水災) 係指因自然降水過量、排水不及、水流溢淹或其他意外因素，造成原本乾燥的陸地被大量水體淹沒的現象<sup>2</sup>，進而危害人類生命財產和生存條件的事件 (Chow, 1956; Ward, 1978; Yevjevich, 1992; Parker, 2000; 交

<sup>2</sup> 這些現象包括 1) 因豪雨、冰雪融化、海水暴潮，或水體沿岸堤壩潰決，所造成大面積水體 (例如：河川、湖泊、海洋等) 的水位上漲，超過常態水位，漫溢淹沒鄰近陸地的水流現象 (包括：暴雨洪水、山洪、融雪洪水、冰凌洪水、潰壩洪水、海嘯)；2) 豪雨導致都會區排水不及的積淹水事件。

通部中央氣象局，2010；吳杰穎等，2007)。經濟部水利署 (2008) 將水災定義為三類：外水淹水 (河川行水區之水)、內水淹水 (堤防保護區內排水溝之水)，以及海岸暴潮溢淹 (海岸防禦設施外之水) (表 2.2)。

表 2.2 三類型淹水災害之定義

類型	定義說明
內水淹水	豪雨/暴雨發生時，因地勢平坦、排水系統不良，或降雨量超出排水系統設計標準，造成局部之積淹水，殆降雨結束後淹水即迅速消退，其淹水區域與降雨區域之重合度較高。
外水淹水	河川上游集水區發生豪雨/暴雨時，當洪峰流量超出堤防設計標準，河川水位暴漲而溢堤或潰堤，以致淹沒洪水平原，其淹水經常發生於河川下游地勢較平坦之地區。此類型之淹水區域與最大降雨區域未必相同。
海岸暴潮溢淹	颱風的強烈天氣系統作用 (強風與氣壓驟變) 引發的風暴潮或暴潮 (Storm Surge)，將造成海面異常升降現象，又因河水沿海地區地勢低窪，當受影響的海區潮位大大地超過禦潮設施之設計標準，就會使海水位暴漲，海水湧進內陸，造成巨大破壞。

經濟部水利署，2008；國家災害防救科技中心 2016

若不論潰堤或人為疏失等意外因素，水災發生的主要原因是「自然降水超過系統承载力」，其中「降水量」部分主要驅動因子即是降雨量 (尤其是強降雨)。由我國降雨的時間特性可知，雖然我國一年四季皆可能降雨，但是主要的雨水來源及強降雨來源為五、六月的春季 (梅雨季)，以及七至九月的夏季 (西南氣流及颱風)。國家災害防救科技中心 (2016) 彙整經濟部水利署水利緊急應變經驗學習中心之歷年水災事件，發現在 1996 至 2013 年期間共有 37 場引發重大淹水的颱風與豪雨事件中，僅有 3 場為梅雨季的豪雨事件，其他皆為颱風事件。此外，受颱風侵台路徑之影響，主要災情地區多位於降雨量最大地區，而由此可知，降雨量為淹水災害很重要的變數，且梅雨季及颱風季帶來的豪雨是最容易造成淹水災害的兩個季節 (經濟部水利署，2015；國家災害防救科技中心，2016)。

上述所謂的系統承载力，除了原本水文系統的涵容能力之外，更包含人為的防洪設施，而這些設施防護標準因地區特性而有所差異。余濬 (2012) 指出國內雨水下水道保護標準皆在 1 年至 5 年一次重現期距之間 (降雨延時小於 2 小時)，

區排保護標準為 25 年重現期距 (降雨延時為 24 小時、48 小時與 72 小時)· 河川之保護標準為 50 年重現期距 (降雨延時為 24 小時、48 小時與 72 小時)· 中央管河川與縣管河川之重現期距又不相同。這也代表著淹水災害之大小 (面積與深度) 除了與總降雨量或最大延時降雨量有關之外· 更與受影響區域之範圍、當地區域特性以及防災設施等因素有密切關聯。

此外· 我國地形地理特性更影響淹水災害空間特性與誘發機制· 臺灣四面環海· 西部為地勢平緩的平原地形· 西南沿海地區地勢低窪· 又受過度抽取地下水之影響· 導致地層下陷· 海岸侵蝕。每遇暴雨強浪· 尤其是颱風事件· 都易致沿海地區易發生海水倒灌· 海水越堤溢淹· 低窪地區積水數日難以消退 (簡連貴與郭瓊瑩· 2012; 中華民國海洋及水下技術協會· 2011; 黃怡婷· 2009)。國家災害防救科技中心彙整全臺灣 2001-2014 期間的淹水災害事件· 並實際繪製淹水區域· 藉此了解我國歷史淹水災害的空間分布 (圖 2.3)。由圖中可見· 我國曾經發生的淹水災害多分布於彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南縣、高雄市、屏東縣等西南沿海縣市 (國家災害防救科技中心· 2016)。

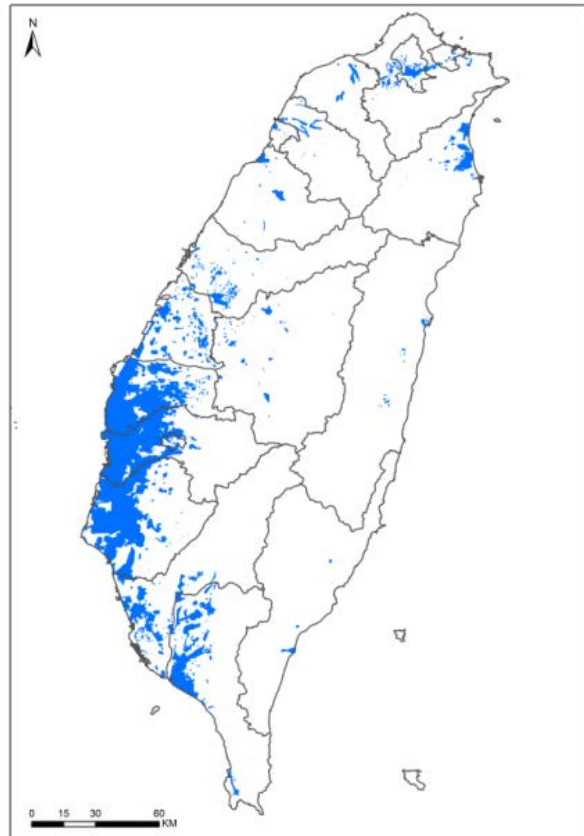


圖 2.3 全臺灣歷史淹水區域 (統計年限：2001-2014；資料來源：水利署；國家災害防救科技中心繪製)

臺灣中央地勢高峻陡峭· 由此向東西兩側· 逐漸降低為較平緩的丘陵或台地· 受此地形影響· 具有河川坡度大· 河川上游集水區地質脆弱· 表土沖蝕量顯著等特徵· 河川之含砂量高· 易造成河道及水庫淤積· 使得河道通洪容量降低· 當河川上游 (多為高降雨量之山區) 發生劇烈降雨量時· 上游集水區之川流量快速流向下游地勢較平坦之地區· 大量洪水不易宣洩· 造成中下游溢堤或潰堤· 易發生



水災，這顯示著我國河川面臨極端降雨事件時，呈現上游山區降雨量高，中上游河水暴漲，下游都會區排水不及的流域型水災特性（國家災害防救科技中心，2016）。

以發生在 2009 年 8 月的莫拉克颱風為例，此為造成我國重大傷亡及損失的極端強降雨颱風（673 人死亡，農損逾 195 億元，總經濟損失達 2,000 億元）。由圖 2.4a 可見，其主要降雨區域位於南部嘉義、臺南與高屏山區，降雨量最高記錄為阿里山站，總累積雨量高達 3,059.5mm。但是，由圖 2.4b 可見，此次颱風事件造成的淹水區域位於下游，主要淹水縣市包含臺東、屏東、高雄縣、臺南縣市、嘉義縣市、雲林縣、彰化縣、臺中縣及南投縣等，總計淹水面積達 400 平方公里以上，此案例即證實前述之淹水區域與最大降雨區域未必相同的流域型水災特性（國家災害防救科技中心，2016）。

經濟部水利署調查我國易淹水地區，發現臺灣易淹水低窪地區總面積約 1,150 平方公里，八成集中於縣（市）管河川、區域排水、事業海堤等未完成改善地區或地層下陷等地區。其中並以宜蘭、彰化、雲林、嘉義、臺南、高雄、屏東等沿海地區鄉鎮為甚。水利署更於 2007 年至 2010 年期間製作淹水潛勢圖資，以重現期距及累積降雨為條件值做不同縣市之模擬。

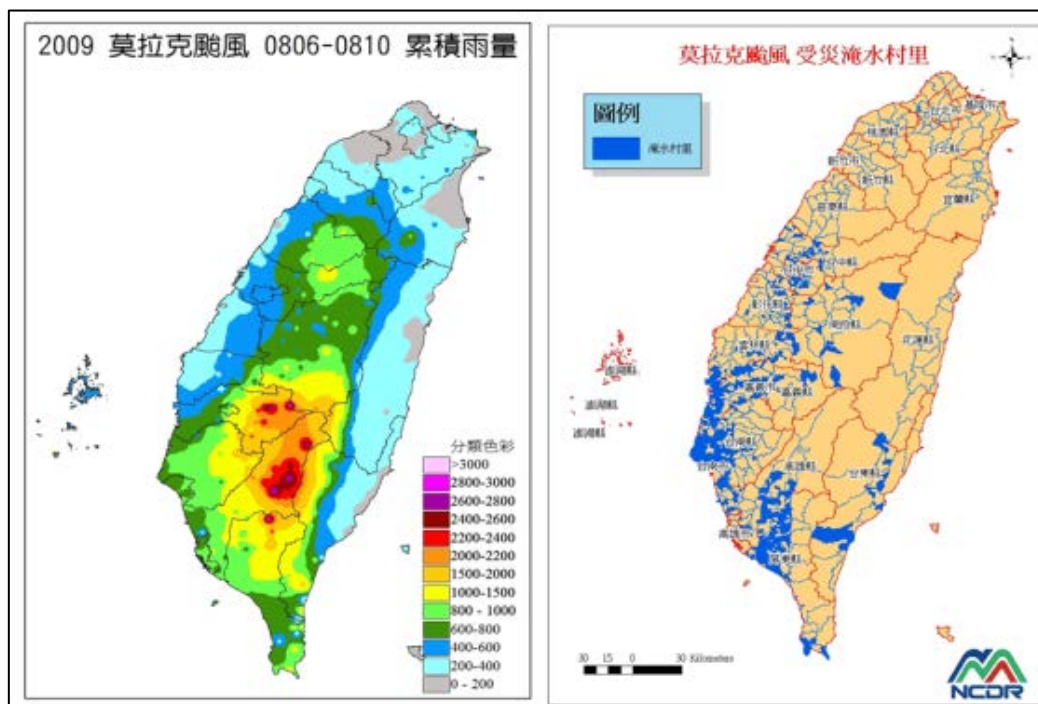


圖 2.4 莫拉克颱風累積降雨區域(a) 與淹水區域(b)（國家災害防救科技中心繪製）



因不同颱風或暴雨事件之降雨時間、空間分佈、地區特性不同，淹水災害之程度及規模亦有所不同，故經濟部水利署考量各地區特性及其涵容能力，針對不同鄉鎮訂定不同的一級警戒淹水警戒值（24 小時降雨延時），圖 2.5 呈現全台鄉鎮淹水警戒值分布圖，以易淹水的西南沿海鄉鎮為例（紅色區域），其一級淹水警戒值為 200-250mm，代表當 24 小時降雨延時達 200-250mm 時（中央氣象局定義之豪雨等級），這些鄉鎮將有可能造成淹水災害；反觀不易淹水的鄉鎮（綠色區域），其一級淹水警戒值為 401-500mm，代表當 24 小時降雨延時達 401-500mm 時，才有可能會淹水（國家災害防救科技中心，2016）。

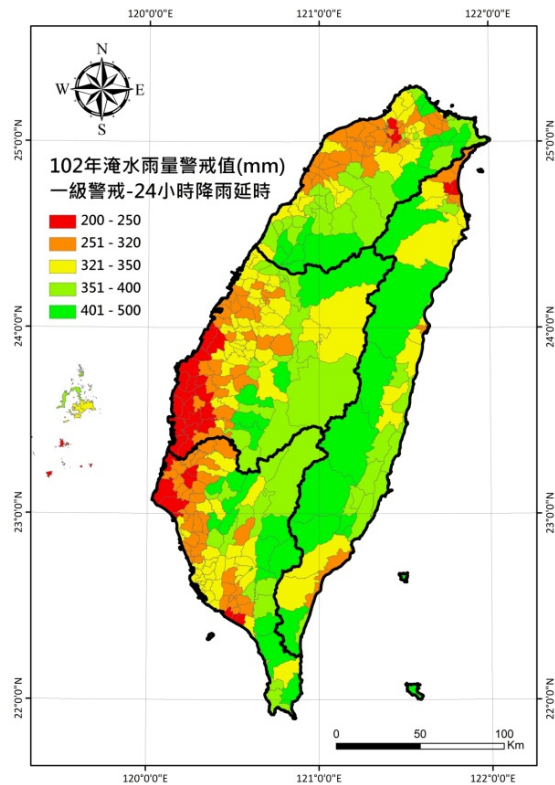


圖 2.5 全台鄉鎮淹水警戒分布圖（資料來源：水利署；國家災害防救科技中心繪製）

### 2.2.2 水災風險驅動因子

陳亮全等 (2008) 根據淹水災害特性（氣象、水文、地文等），將我國淹水災害的致災原因區分為自然因素（例如：降雨量過大、地勢低窪等）與人為因素（例如：防洪排水設施不足、土地開發及維護管理不當等），如表 2.3 所示（國家災害防救科技中心，2016）。

除了此分類之外，IPCC (2012；2014) 將氣候變遷衝擊之風險定義為危害度 (Hazard)、暴露 (Exposure)、脆弱度 (Vulnerability) 等三者之交集，災害風險大小亦受到此三者所影響。許多學者選用不同的指標以評估此三因子，例如：陳韻如等 (2014) 使用 24 小時雨量超過 600mm 發生之機率作為危害度指標，而脆弱度則是區分為環境脆弱度（包含日雨量為 600mm 之淹水潛勢與地層下陷深度），以及社會經濟脆弱度（包含人口密度以及人類發展指標）。

表 2.3 我國淹水災害之致災原因

自然因素	人為因素
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 降雨量大、暴雨洪流超過防洪設施設計標準</li> <li>● 河川與天然地形不利排洪</li> <li>● 流域水流瓶頸</li> <li>● 河川上、中游河床遭土石堆積，減少通水斷面積</li> <li>● 地勢低窪排水不易</li> <li>● 受河口漲潮影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 防洪排水設施不足</li> <li>● 缺乏整體治理方案或尚未執行</li> <li>● 土地開發快速與建物過多</li> <li>● 橋樑阻礙河川水流</li> <li>● 橋樑過多，對洪水位具有抬升作用</li> <li>● 河道淤塞或佔用河道</li> <li>● 路堤效應</li> <li>● 灌溉排水工程設置沒有整體防洪考量</li> <li>● 未確實執行重要公共工程防洪安檢措施</li> <li>● 應變體制不明確，缺乏緊急應變措施及防範意識</li> </ul>

陳亮全等，2008

水利署採用張倉榮等 (2009) 之定義，將水災風險定義為水災之危險度及脆弱度之綜合評估結果，危險度因子包含淹水深度、水流流速、水位上升率及淹水時間；脆弱度因子包括：居民生命以及居住環境因子（總人口數、脆弱人口數、救難設施、建物型態以及河海區排距離等）、財產產業因子（土地利用、平均所得、防淹設施、地下設施、可支配所得及縣市財政、產業面積之所占比率）(水利署，2011a；游保杉等，2011)。

國家災害防救科技中心 (2016) 探討影響淹水災害衝擊風險的驅動因子，包含外在的氣候驅動因子 (危害度)，以及受影響系統的環境、社會經濟驅動因子 (暴露、脆弱度)。首先，影響水災的最主要氣候驅動因子為降雨量 (尤其是極端降雨)，國家災害防救科技中心 (2015) 依據中央氣象局自動雨量測站及傳統測站的雨量觀測資料，分析 1992 年至 2013 年全臺各縣市各延時極端降雨事件前 15 名，發現這些事件中，多發生於夏、秋兩季，且超過半數 (52%) 的天氣型態是受到「熱帶氣旋 (颱風)」的影響，其次為梅雨鋒面 (16%) (圖 2.6)。

國家災害防救科技中心 (2016) 進一步繪製臺灣地區於 1987 年至 2012 年間，每年發生短延時與長延時極端降雨事件的平均次數圖 (3 小時累積雨量超過 130mm、24 小時累積雨量超過 350mm) (圖 2.7)，以及每年發布淹水一級警戒的平均次數圖 (24 小時累積雨量超過其鄉鎮淹水警戒值) (圖 2.8)，若發布淹水警戒之鄉 (鎮、市、區) 持續降雨，其轄內易淹水村里及道路可能開始積淹水，藉此了解我國極端降雨與淹水發生頻率。由圖 2.8 可知，臺灣最容易發生極端降雨的

## 各類天氣影響下之極端降雨事件比例

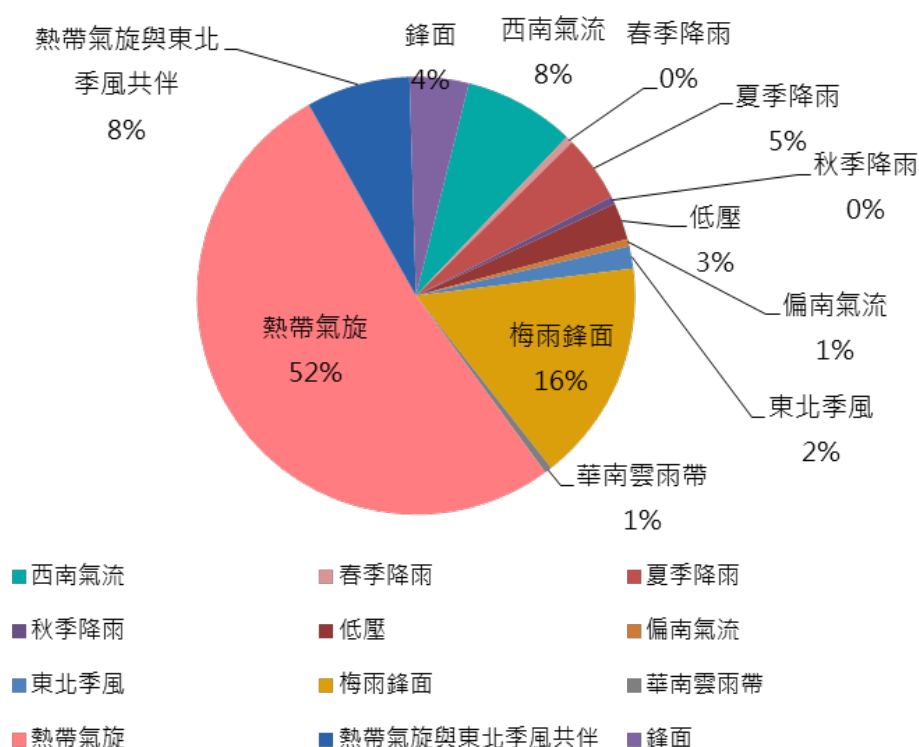


圖 2.6 各類天氣型態影響之極端降雨事件比例 (國家災害防救科技中心, 2015)

區域為中南部山區及宜蘭地區，但是發布淹水警戒之區域，除了降雨區域之外，更擴及西南沿海地區，這也印證前述的我國的淹水特性。

而在影響水災的環境、社會經濟驅動因子方面，國家災害防救科技中心(2016)針對潛在受影響地區之地區特性(自然環境、社會經濟等)，進行易受災程度之評估分析。因部分臺灣易淹水低窪地區位於地層下陷區域，故陳韻如等(2014)以「臺灣各鄉鎮近十年地層下陷速率」作為環境脆弱度指標，製作地層下陷脆弱度地圖(圖 2.9)，從圖中可知地層下陷脆弱度最高處是位於彰化、雲林及嘉義沿海鄉鎮，以及屏東部分沿海鄉鎮區域，嚴重程度由沿海往山區遞減。又因淹水災害最主要衝擊其中一項為受影響人數，故陳韻如等(2014)使用人口密度指標以及人類發展指標，合併繪製社會經濟脆弱度指標圖(圖 2.10)，由圖可見，在桃園、南投、雲林、嘉義、臺南、高雄等縣市之部分鄉鎮，因人口密度較高，其社會經濟脆弱度越高。

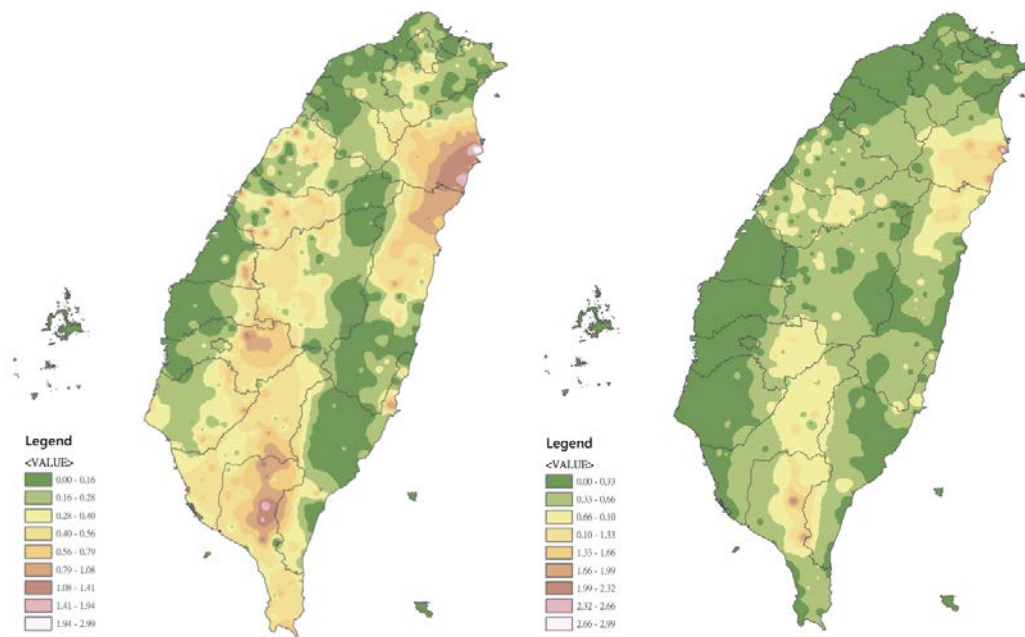


圖 2.7 全臺極端降雨之年發生次數 (1987 至 2012 年): a)短延時; b)長延時 (國家災害防救科技中心 · 2016)

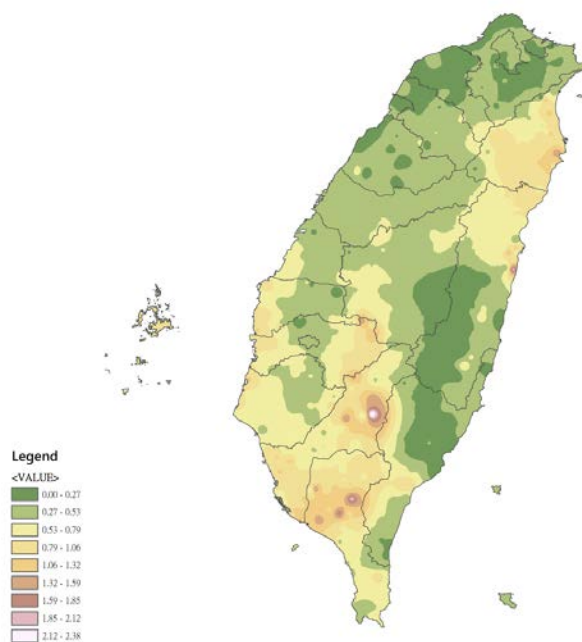


圖 2.8 全臺發佈淹水警戒之年發生次數 (1987 至 2012 年) (國家災害防救科技中心 · 2016)

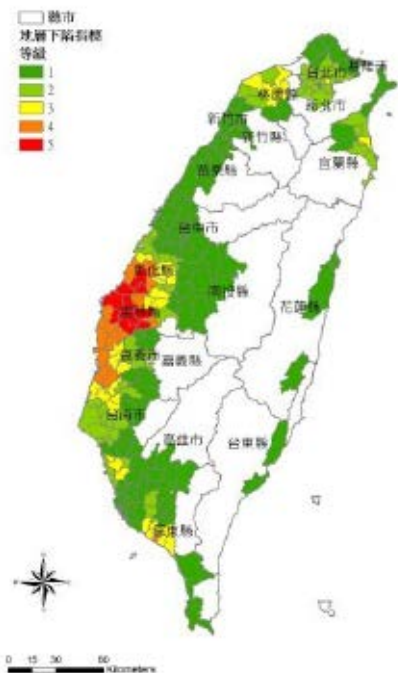


圖 2.9 環境脆弱度 (地層下陷指標)  
資料來源：陳韻如等 (2014)

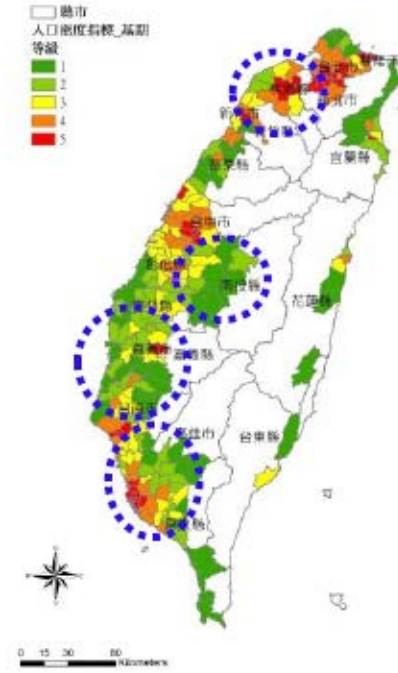


圖 2.10 社會經濟脆弱度圖

### 2.2.3 氣候變遷淹水災害衝擊評估

面對影響我國人民及財產重大的淹水災害，許多單位及學者紛紛展開氣候變遷淹水災害衝擊評估，國家災害防救科技中心 (2016) 彙整了這些研究成果。首先，在已觀察到的淹水災害衝擊方面，學者們使用歷史長期觀測資料進行變遷偵測，在極端暴雨特性之變動趨勢研究中，鍾侑達等 (2009) 指出極端降雨在全臺灣各地區都有增加之趨勢；許晃雄 (2001) 指出豪、大雨日數方面，在台北、淡水、花蓮皆有增加之趨勢；李亮廷 (2008) 指出陳有蘭河流域鄰近玉山、阿里山以及日月潭氣象測站，在 1990 年以後年最大一日雨量、最大二日雨量、單場颱風事件的累積降雨量、最大時降雨強度以及最大日雨量均有明顯增多；譚義績 (2010) 蒐集 1994 年至 2006 年共 12 年期間的氣象局雨量來分析，資料顯示陳有蘭河流域之年最大時雨量及年最大一日雨量之統計，都有隨年增加的趨勢；廖俊璋等 (2012) 指出台東太麻里溪集水區 1996 年以後的年一日最大雨量推估值均比 1996 年以前高，變動率介於 10.3% 至 59.3% 間，後期的年一日最大雨量平均值比前期高出 16.1%，標準差則高出 109.3%。



而在降雨頻率改變的研究方面，Liu 等 (2009) 以臺灣過去觀測資料發現，因全球氣候變遷之影響，臺灣前 10% 強降雨亦有增加的趨勢。Tu 與 Chou (2013) 指出全台強降雨事件之時間變動趨勢為降雨強度增強且事件頻率增加，而颱風事件之變動趨勢為降雨強度增強；林昀靜與盧孟明 (2010) 指出由颱風造成的可能致災降雨事件佔所有颱風個數的比例，在長延時 (48、72 小時) 有較為明顯增加的趨勢，在短延時則不明顯 (國家災害防救科技中心，2016)。

在洪水特性之變動趨勢的研究方面包括，廖俊瑋等 (2012) 指出台東太麻里溪集水區 1996 年以後之年最大日流量推估值均比 1996 年以前高出許多，變動率介於 37.93% 至 57.88% 間，後期的年最大日流量平均值也比前期高出 40.63%，標準差更高出 67.94%。

而在海岸溢淹之變動趨勢方面，水利署與許多專家學者使用歷史觀測資料推估未來海平面變化趨勢，結果顯示相較於基期，我國附近海域在近未來及世紀末的海平面，以及颱風最大波高、颱風最大潮位皆有上升的趨勢，地區包括有嘉義、台南、高雄、屏東地區海域、西北海域等，使得西北及西南許多海堤無法滿足 50 年重現期颱風波浪及潮位作用下之安全標準 (游保杉等，2011；許泰文，2010；許泰文，2012；陳啟明與龔誠山，2013；鍾文祥等，2010) (國家災害防救科技中心，2016)。

另一方面，對於未來氣候變遷情境之淹水災害衝擊研究方面，早期的方法為使用歷史長期觀測資料進行變遷偵測或外延分析而得，隨著近年來 GCM 資料的引進，以及推估技術的精進，許多學者使用 GCM 未來推估資料分析模擬而得。除了使用不同資料及方法之外，我國針對氣候變遷淹水災害衝擊評估研究，區分為下列幾類，國家災害防救科技中心 (2016) 彙整了這些研究成果。

首先，在設計降雨量之未來變化趨勢方面，陳啟明與龔誠山 (2013) 彙整水利署 (2012~2013) 委辦計畫之成果，這些研究使用 AR4 資料，指出近未來 (2020-2039 年) 時，北部地區 100 年重現期距 24 小時降雨延時的設計雨量變化率約為 -7~84% (動力降尺度方法的設計雨量變化則約為 -28~101%)；中部地區的變化幅度約 -1~33% 的情形 (動力降尺度的變化幅度較大約為 -66~141%)；南部地區之增加幅度約為 0.4~34%，(動力降尺度仍為有增減的情形，變化幅度為 -25~29%)；東部地區之設計雨量變化幅度為 -1~13% (動力降尺度結果變化幅度為 3~20%)。

在極端暴雨特性之未來變動趨勢方面，Huang 等 (2012) 使用 AR4 資料分析



5 個 GCM 資料，指出世紀末時中南東三區，一至三日連續暴雨皆有上升之趨勢，代表水災發生風險將提高；陳韻如等 (2014) 使用 MRI-WRF 資料，發現世紀末時中南部日雨量超過 600mm 極端降雨之機率有明顯增加的趨勢。

在未來洪峰變化趨勢方面，謝龍生等 (2004) 使用 TAR 資料，指出臺灣地區各河川流域之洪峰流量於近未來與 21 世紀末皆有升高之趨勢，其洪峰流量平均增加率分別為 16.0% 及 34.3%；謝龍生等 (2012) 使用 AR4 資料指出 21 世紀末時，臺灣五個流域之河川尖峰流量將超過目前防洪系統設計標準 30% 以上；游保杉等 (2011) 使用 AR4 資料指出近未來一日暴雨之洪峰流量平均較現況洪峰流量增加約 9.56%，近未來二日暴雨之洪峰流量平均較現況洪峰流量增加約 16.50%；魏曉萍等 (2013) 分析 MRI-WRF 資料並指出 21 世紀末尖峰流量約為近未來的 1.5 倍。Kimura 等 (2014) 使用 MRI-WRF 基期、近未來與世紀末前 10 大累積總雨量排名之颱風降雨事件分析，分析曾文水庫入流尖峰流量之改變率，近未來對基期之尖峰流量改變率分布為 0.8-1.6，世紀末對基期之尖峰流量改變率分布為 0.9-2.2。游保杉等 (2013) 使用 AR4 資料指出濁水溪五水文站 (包含：玉峰橋站、彰雲橋站、溪州大橋站、桶頭站及內茅埔站) 之洪峰流量增加率為：一日暴雨之洪峰流量平均較基期洪峰流量增加約 28.59~41.71%，二日暴雨之洪峰流量平均較基期洪峰流量增加約 34.11~62.15%，重現期 200 年一日暴雨及二日暴雨淹水深度大於 1.5m 之面積增加率，分別為 48.97% 及 39.22%，洪峰流量的增加代表水災發生風險將提高。

在防洪設施未來風險檢視方面，陳啟明與龔誠山 (2013) 彙整水利署 (2012~2013) 委辦計畫之成果，這些研究使用 AR4 資料，結果顯示淡水河流域風險度高與非常高多集中於中上游處，其原因為水位高程增加及單位河川功率較大，且上游處河道斷面較窄因素；濁水河流域風險度高與非常高多集中於主流彰雲大橋下游處，以及支流陳有蘭溪及清水溪中下游河道；曾文河流域主流之中下游段以中等級風險為主，少部分為高風險；高屏河流域風險高與非常高之區域較集中在荖濃溪、隘寮溪和旗山溪上游處。陳韻如等 (2014) 使用 MRI-WRF 資料，指出世紀末時，中南部淹水風險有明顯增加的趨勢。

在河道溢堤未來衝擊部分，陳啟明與龔誠山 (2013) 彙整水利署 (2012~2013) 委辦計畫之成果，這些研究使用 AR4 資料指出淡水河流域整體防洪能力足夠，惟淡水河、基隆河、景美溪及新店溪局部河段可能溢堤或出水高不足；濁水河流域主要包括清水溪上游及匯流口、陳有蘭溪上游部分河段有溢淹風險，本流則是

彰雲大橋下游處兩岸，以及出海口右岸出水高不足；曾文溪流域上游段溢淹風險較高，且大內、大內山上河段與北岸官田一帶為河道通洪瓶頸；高屏溪流域部分，高屏溪本流河道斷面大多出水高不足，其他包括萬丹圳固床工左岸、攔河堰上游至 74 號斷面兩岸、旗山溪下游及荖濃溪中游部分區域有溢淹之風險。

在海岸溢淹衝擊方面，學者們使用歷史觀測資料外延分析而得，游保杉等 (2011) 發現近未來台南地區海域附近的海水位上升速率為每年 2.2~4.4 毫米；許泰文 (2012) 得到近未來西北海域海平面上升變遷量之變動範圍約在 4.02 至 11.82 公分，平均上升量為 7.53 公分，而上升率則為 0.38 公分/年，颱風最大波高可能增加 50.3%，颱風最大潮位 (暴潮 + 天文潮) 可能增加 38% (相較於基期)，將導致現有西北海堤高度於近未來時無法滿足 50 年重現期之安全標準；許泰文 (2010) 指出嘉義、台南海域於近未來時海平面變遷量之變動範圍約在 36 至 59 公分，且颱風最大波浪波高將增加 45%，颱風最大潮位 (暴潮 + 天文潮) 將增加 39%；高雄、屏東海域近未來颱風最大波浪波高可能增加 50%，颱風最大潮位 (暴潮 + 天文潮) 可能增加 27%，西南海域多數海堤均無法滿足 50 年重現期之颱風波浪及潮位作用下之溢流安全量。

綜合考量上述因子，吳亭燁等 (2014) 以及李欣輯等 (2015) 使用 MRI-WRF 資料，針對曾文溪及高屏溪進行極端氣候下的淹水模擬，結果顯示曾文溪氣候變遷下 Top 1 極端降雨颱風事件可能造成曾文溪河道中游河段有多處有溢堤風險，且海岸溢淹面積有增加的趨勢；而高屏溪氣候變遷下 Top 1 極端降雨颱風事件淹水災害模擬，顯示淹水區域位於高屏溪下游低窪地區，更有可能增加六處溢堤地區。

另外一類型呈現氣候變遷淹水風險的方式為使用風險圖資，陳韻如等 (2014) 使用 MRI-WRF 資料並使用不同氣候變遷衝擊風險因子指標，以發生極端降雨之機率作為危害度指標，以淹水潛勢指標 (考量淹水面積及淹水深度) 及地層下陷深度作為環境脆弱度指標，再以人口密度作為暴露指標，以人類發展指標做為社會脆弱度指標，將綜合風險值予以計算並給予風險等級，最後以圖資的方式呈現臺灣氣候變遷災害風險之熱點區域 (圖 2.11)。

陳韻如等 (2014) 使用危害度作為主要氣候變遷變動指標，而環境及社會脆弱度部分假設固定不變的情形，由圖 2.11 可見，因為 21 世紀末時中南部日雨量超過 600mm 極端降雨之機率有明顯增加的趨勢，故在綜合風險方面，近未來高

風險地區落於中部地區，至 21 世紀末延伸至彰雲等較內陸的區域以及往南延伸至高雄沿海鄉鎮，且因西南沿海環境脆弱度偏高，故在氣候變遷衝擊下，西南沿海鄉鎮海岸溢淹災害風險有增加的趨勢。

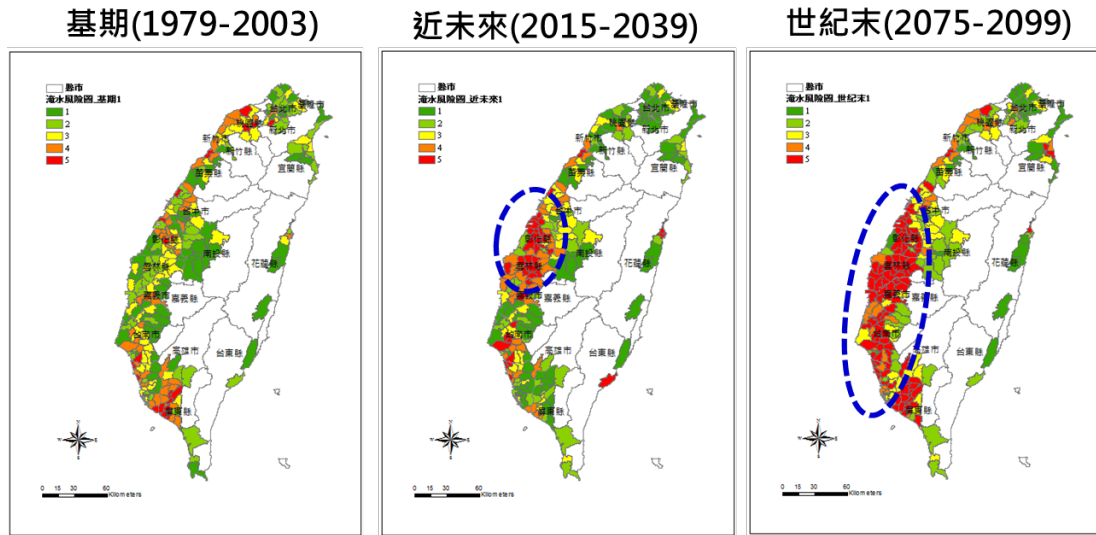


圖 2.11 氣候變遷淹水風險圖 (資料來源：陳韻如等，2014)

## 2.3 氣候變遷之坡地災害衝擊評估

### 2.3.1 臺灣坡地災害現況潛勢與風險

國家災害防救科技中心 (2016) 彙整坡地災害之定義，指出坡地災害<sup>3</sup>泛指標高一公尺以上或平均坡度在百分之五之山坡地邊坡上的土壤、岩屑與岩石等坡地材料，因颱風、暴雨、地震及人為不當開墾等因素，受到重力作用，而發生的土壤沖蝕、崩塌、地滑，或是土石流等現象，部分土壤碎屑落入河道中成為河川水體中土砂，形成河道土砂衝擊，這些現象威脅位於坡地上、山坡下，甚至河道旁的房舍或建設，進而造成人類生命、社會、經濟與生態環境等損失 (洪如江，2009；吳杰穎等，2007)。

坡地災害成因、運動形態及反應機制相當複雜，且經常受外在地震、雨量、風力及氣候等誘因，以及本身地形、地質等基因條件而影響 (陳宏宇，2000；洪如江，2002；2009)，我國許多學者利用不同的坡地災害特性，進行坡地災害分類

<sup>3</sup> 坡地災害在不同領域有不同慣用名次，一般民眾普遍稱「山崩」；土木工程界稱「坍方」或「邊坡破壞」；水土保持界稱「崩塌」；地質學界有時稱為「崩山」；公路沿線山崩，多使用「坍方」(楊樹榮等，2011)。

(洪如江，2009；李錫堤，2009；林銘郎等人，2008；林又青等人，2014)。林又青等 (2014) 將臺灣常見的坡地災害，分為落石、岩體滑動、順向坡、岩屑崩滑，以及土石流等五類，其中順向坡原屬於岩體滑動災害的一種，但近年來我國順向坡災害頻傳且災情往往十分嚴重，故特別將其獨立成為一類 (表 2.4)。

國家災害防救科技中心 (2016) 探討坡地災害特性，指出我國因地勢陡峭 (地理因子)、地質脆弱 (地質因子)、降雨集中 (氣象因子)、坡地超限利用增加 (社會經濟因子) 等特性，使得我國發生坡地災害的機率頗高。首先，臺灣為一高山島嶼國家，地勢陡峭，超過 70% 以上的國土面積屬於山坡地及高山林地。此外，臺灣位處環太平洋地震帶，板塊運動活躍，地質構造複雜破碎，提供了豐富的土石材料。再者，臺灣季節性颱風豪雨，帶來豐沛集中的降雨量，導致臺灣地區崩塌和土石流災害頻傳 (林美聆與陳彥澄，2014)。最後，受限於平地面積較小，人類居住以及休閒遊憩的需求逐漸增加，山坡地區的開發利用亦逐漸增加，也因如此，暴露在坡地災害風險的人命財產也愈益增加。

表 2.4 坡地災害類型與定義

類型	定義說明
落石	指岩塊或岩體從陡峭的岩壁上分離後，以自由落體、滾動或彈跳的方式，快速向下移動的現象。由於落石掉落的力道很大，凡是在落石運動範圍內的人和設施物，都可能被砸到。一般來說，峭壁、斷崖與峽谷等地形，都是容易發生落石的地區。
岩體滑動	岩體滑動的滑動破壞面通常會深入岩層內，滑動時多是整片岩體完整地往下滑動，滑動範圍甚至可以達數十公頃以上，是屬於規模較大、滑動面較深的坡地災害現象。
順向坡	順向坡災害屬於平面型岩體滑動的一種，臺灣曾發生過的大規模岩體滑動，大多是由順向坡地形所產生的。因為順向坡滑動通常事出突然，且滑動速度可能超過每小時 100 公里 (或是每秒 28 公尺)，不但難以預知且往往逃避不及，所以容易釀成重大災害。
岩屑崩滑	岩屑崩滑是臺灣最常見的山崩現象，指較鬆軟破碎的岩屑、崩積層或土壤等材料，在陡坡與緩坡發生崩落與滑動的情形。岩屑崩滑後的裸露坡面經常呈現細長條狀，崩滑下來的土石則大多堆積於坡腳處。
土石流	土石流是指泥、砂石、礫石及巨石等材料與水混合後，受到重力的影響，沿著斜坡、河道或溝渠等路徑，由高處流至低處的現象。土石流的流速快、沖蝕力道強且衝擊力又大，所以土石流所流經的田地、房屋、道路及其他設施物，都會遭到嚴重的破壞。

林又青等，2014

除了上述特性之外，坡地災害尚有數量統計、範圍不易確認以及災因歸因困難的特性。首先，坡地災害多以「個案事件」的方式，記錄重大坡地災害，例如：一個地震或颱風事件可能引發許多地方的災情（例如：土石流、崩塌），並以「災點」的方式記錄發生地點（例如：崩塌路段、崩塌地座標），崩塌面積或崩塌土石量皆須為概估的結果，但若坡地災害若發生在人煙稀少、無人通報勘查的山坡地地區，這些災情將不會被記錄，故數量上將可能低估，空間範圍亦可能被遺漏。因此，坡地災害數量多寡不易反應出該事件的強度與影響範圍（國家災害防救科技中心，2016）。此外，降雨引發的坡地災害有「累積及延遲發生」、「坡災地點的降雨不易得知」的特性，臨前降雨量與土壤含水量影響著坡災發生，當兩者超過坡面承载力時則易發生災害，但是，目前山區的雨量測站較少，故無法得知發生坡地災害的地點確切的降雨量，此二特性造成坡地災害歸因的困難，尤其是事件降雨量與坡地災害的關係（國家災害防救科技中心，2016）。

國家災害防救科技中心（2016）彙整水土保持局之重大土石災情，發現在自2006年至2014年期間共有46個事件、392個災點。排名第一名2009年莫拉克颱風對中南部八個縣市造成123個災點，而排名第二名2008年卡玫基颱風則造成37個災點。在由累積降雨量可知，發生災害的地區與該地區的強降雨有關，這些強降雨事件在災點數量上、災害規模上都造成臺灣中南部山區嚴重土石流與崩塌之坡地災害，故可證實劇烈降雨是誘發坡地災害發生的關鍵因子（水土保持局，2015a）。除此之外，國家災害防救科技中心（2013）彙整水保局、公路總局資料（含道路崩塌紀錄），收集的1989年至2013年坡地災害紀錄，圖2.12顯示歷史災害點位遍布全臺灣各地山區，尤其是臺灣中央山脈西側山麓，坡地災害紀錄最多的縣市分別為南投、臺中、苗栗、嘉義、高雄及臺南，而我國的坡地災害類型，以落石類型最多，其餘依序是崩塌、路基塌陷、土石流、地滑等（國家災害防救科技中心，2013；林又青等，2014）。

這些坡地災害災點位置將影響複合型災害的衝擊程度，若位於河道兩側之邊坡，邊坡崩落之大量土石被洪水沖刷至河川，會使得河道斷面窄縮，且崩塌的土砂量可能會隨著河川流入水庫中，造成水庫淤積問題，這些河道土砂不僅可能衝擊河川原本型態與水庫容量，更可能增加氾濫機會，進而影響防洪系統與水庫供水能力的影響。另一方面，坡地災害若發生於道路兩側，邊坡崩塌將影響道路設施以及其連結的村里聚落，陳韻如等（2011）依據過去道路致災的特性，計算各主要省道之分段致災比率，並區分成高、中、低三個致災等級，製成山區道路分



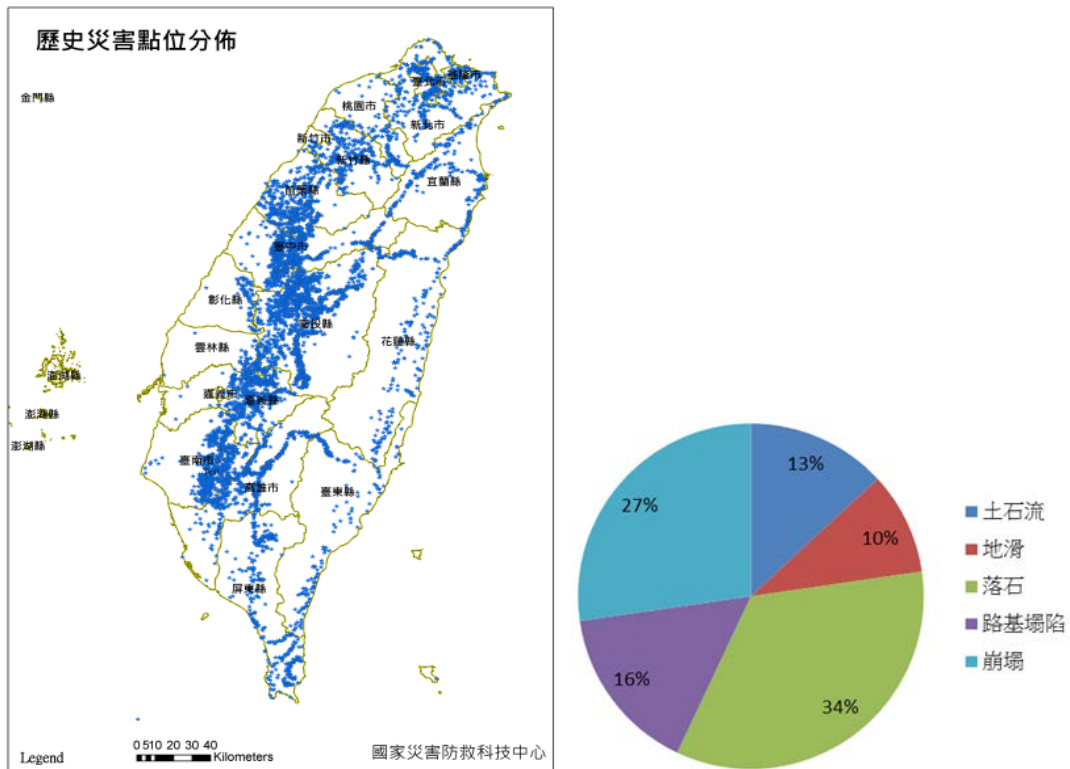


圖 2.12 我國歷史災害點位分布 (1989-2013 年) 與坡地災害種類 (國家災害防救科技中心，2013)

段的致災潛勢圖 (圖 2.13)。由圖可知我國高坡地災害潛勢路段與影響的村里分佈，分別有：北部地區台 9 線、台 7 線；中部地區台 8 線、台 21 線；南部地區台 18、台 21、台 27；東部地區台 7 甲、台 9 線、台 20 等易致災路段。

國家災害防救科技中心 (2016) 彙整我國坡地災害之空間分布，首先，根據水保局公布的全台土石流潛勢溪流條數統計，目前共有 1,673 條分布於 17 縣 (市)、159 鄉 (鎮、市、區)、684 村 (里)。其中，原住民地區計 767 條，高潛勢的土石流共有 431 條 (水保局，2015b)，其中，以南投縣有較多的高潛勢土石流潛勢溪流，其次為新北市、花蓮縣、臺東縣，以及宜蘭縣 (圖 2.14)。此外，國家災害防救科技中心繪製呈現我國坡地災害的潛勢區域，其中包含土石流潛勢溪流、順向坡、落石、岩體滑動，以及岩屑崩滑 (圖 2.15)，由圖中亦可知坡地災害高潛勢地區集中在全台各地的山區，尤其是中央山脈西麓山區，顯示這些地區為相對脆弱地區。



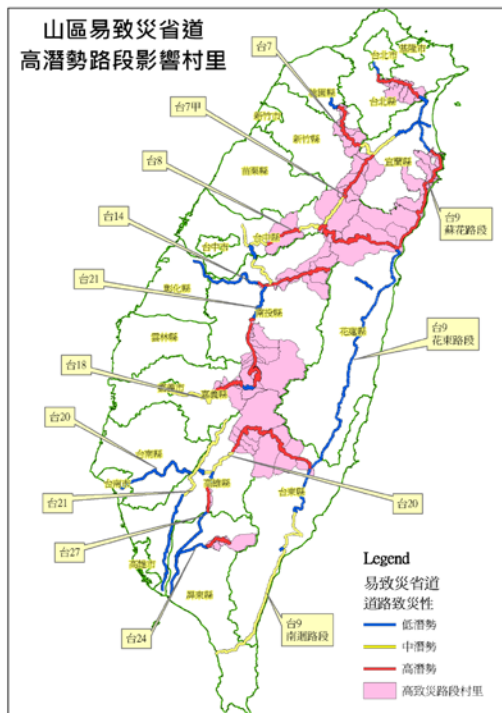


圖 2.13 易致災道路高潛勢路段影響的村里分佈圖 (資料來源：陳韻如等，2011)

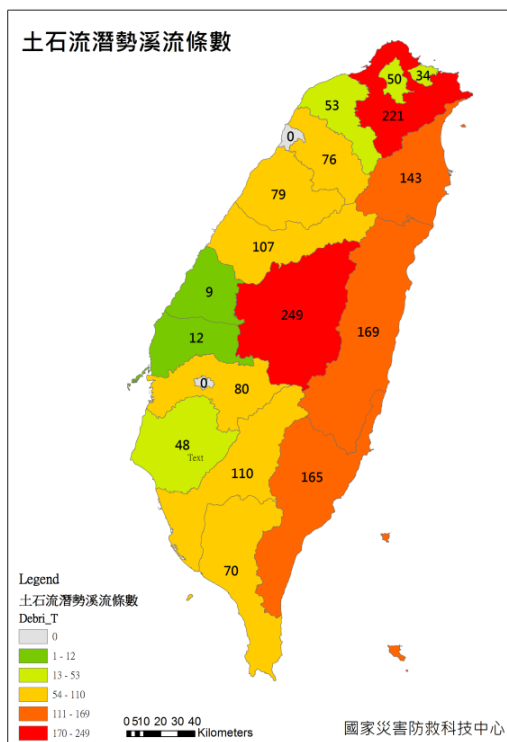


圖 2.14 全台土石流潛勢溪流條數分布 (資料來源：水土保持局，2015b；國家災害防救科技中心繪製)

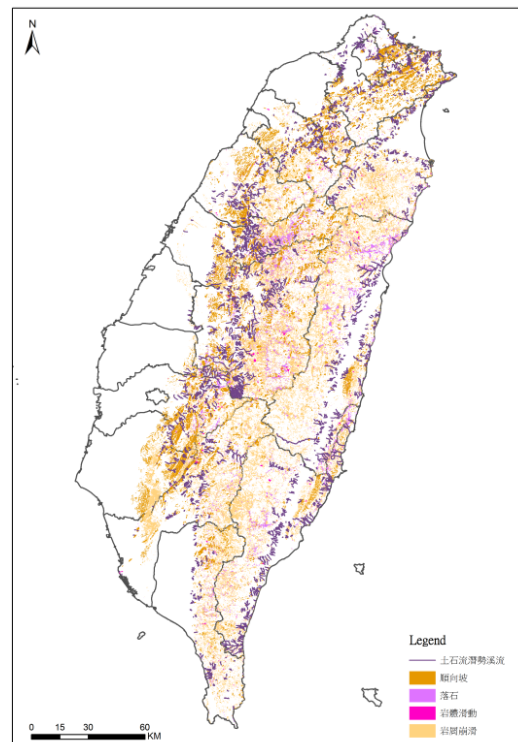


圖 2.15 全台坡地災害潛勢圖 (資料來源：中央地質調查所；國家災害防救科技中心繪製)

為避免降雨對各地釀成坡地災害，國家災害防救科技中心與水保局，分別利用降雨驅動指標，訂定全台鄉鎮坡地災害與土石流災害警戒值，希望藉此降雨警戒值即早採取各項防減災措施。圖 2.16 呈現坡地鄉鎮的降雨警戒值，由圖中可知中部山區鄉鎮（紅色區塊）在 24 小時降雨延時達 130-210mm 時，即有可能造成坡地災害，而其他相對低潛勢地區（綠色區塊）在 24 小時降雨延時達 381-660mm 時，才有可能造成坡地災害，這項圖資也再度證實中部山區為坡地災害之高潛勢地區。

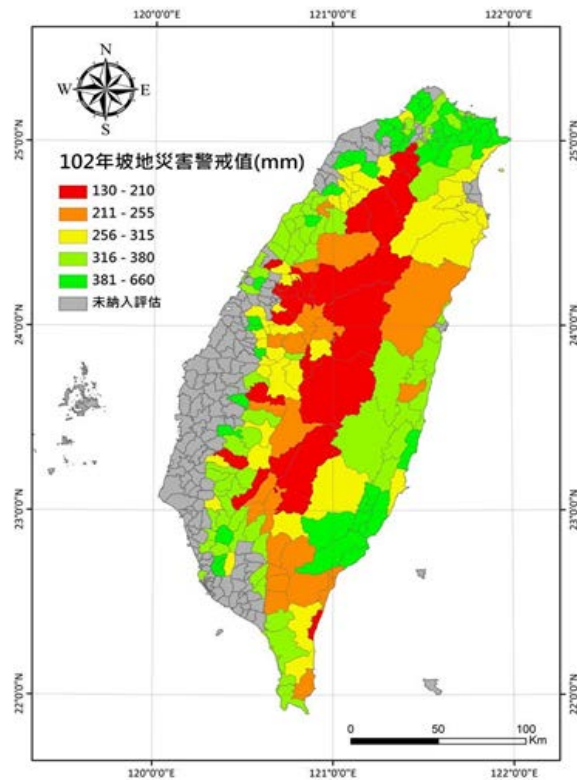


圖 2.16 全台鄉鎮坡地災害警戒分布圖 (資料來源：災害潛勢地圖網站，<http://dmap.ncdr.nat.gov.tw/>；國家災害防救科技中心，2014)

### 2.3.2 坡災風險驅動因子

影響坡地災害的發生影響因素相當多，國內外相關研究中，曾被考慮或使用過的崩塌潛勢因子超過五十種 (林彥享，2003；陳樹群等，2012a；陳宏宇，2000；洪如江，2002；2009)，國家災害防救科技中心 (2016) 參考陳榮河等 (2004) 之邊坡崩塌風險影響因子分類，再考量前述引發坡地災害的內在與外在因素，將我國坡地災害的致災原因區分為自然因素與人為因素 (表 2.5)。

承上所述，IPCC (2012；2014) 將氣候變遷衝擊之風險定義為危害度、暴露，以及脆弱度等三者之交集，我國過去探討坡地災害風險及其風險圖的研究中多數僅探討危害度及脆弱度的因子，這些研究報告選用的危害度指標包括降雨量、坡地災害潛勢 (例如：土石流潛勢、崩塌潛勢)；而脆弱度指標則選用社會因子 (例如：人口密度、人類發展指標、防災避難設施)、經濟發展因子 (例如：土地利用

強度)，以及環境因子（例如：歷史崩塌率）(水保局，2011；水保局，2012；內政部營建署，2011；林又青等，2010；陳韻如等，2014)。

表 2.5 我國坡地災害之致災原因

自然因素	人為因素
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 地形地勢陡峭 (坡度)</li> <li>● 地質脆弱地區 (地質構造、土壤岩石特性)</li> <li>● 地震破壞地質穩定</li> <li>● 當地環境因素 (風化程度、植被)</li> <li>● 地下水位</li> <li>● 降雨過大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 森林砍伐</li> <li>● 集水區內山坡地過度開發及超限利用</li> <li>● 山區開闢道路或興建水庫</li> <li>● 工程選址或道路選項不當</li> <li>● 邊坡排水系統與護坡工程維護不周</li> <li>● 坡地保育政策不足</li> </ul>

國家災害防救科技中心，2016

在氣候因子中以降雨為坡地災害發生的最主要驅動力之一，受高山地形地勢影響，我國的山區降雨量本就多於平地降雨量，再受到 1999 年 921 地震對中部山區的地質破碎所造成的影響，近十多年來，每逢颱風、豪雨等降雨季節期間，劇烈降雨的特性經常會誘發嚴重的坡地災害，例如：2009 年莫拉克颱風造成高雄縣甲仙鄉小林村之嚴重順向坡崩塌災害 (陳樹群與吳俊鎰，2009)。其中，又以累積降雨量 (中長延時或降雨時數超過 12 小時) 與降雨強度 (平均降雨強度超過 30mm/hr) 為引發坡地災害之重要指標 (詹錢登與李明燾，2004；陳樹群等，2012a)。例如：李錫堤 (2012，2013) 與水利署水規所 (2011) 分別以 100 年重現期下的連續三天累積雨量，以及 100 年重現期最大 48 小時降雨量作為極端降雨事件之條件，評估各流域之崩塌狀況、土石流造成的土砂生產量。

部分研究結果證實劇烈降雨會誘發坡地災害，陳樹群等 (2012b) 發現平均年降雨量的增加，促使旗山溪集水區下邊坡崩塌大量增加。詹錢登 (2008) 發現平均時降雨強度增加造成陳有蘭溪流域嚴重的坡地災害。顧承宇等 (2012) 針對基隆河流域，以降雨延時 24 小時之 200 年重現期下的雨量，在汐止之南北區域崩塌潛勢較高。林美聆 (2013) 發現極端降雨下造成的坡地災害將增加河川流域崩塌率，以莫拉克颱風衝擊高雄那瑪夏區為例，可發現極端降雨事件，造成嚴重大規模崩塌，使得流出的土砂量體增多，對流域後續的影響也將越嚴重。

國家災害防救科技中心 (2016) 繪製我國極端降雨之發生頻率，圖 2.7a 呈現每年發生連續 24 小時降雨量超過 350mm 的年平均次數，此外，更進行年最大 24 小時降雨的頻率分析結果 (頻率年 100 年) (圖 2.17)，由圖可發現我國易發生強降雨驅動崩塌的區位集中在嘉義、南投、高雄、屏東的山區，這些極端降雨威脅，使得地表土壤沖蝕量增加，因此將加重坡地災害的衝擊。

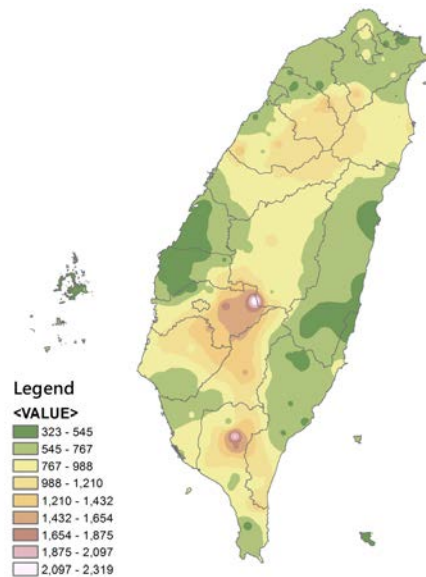


圖 2.17 降雨延時 24 小時重現期 100 年降雨空間分佈 (國家災害防救科技中心，2016)

而在影響坡地災害的環境、社會經濟驅動因子方面，國家災害防救科技中心 (2016) 探討了下述因子。在環境脆弱度方面包含高聳坡度與脆弱地質地質 (陳樹群與吳俊鏞，2005；陳宏宇，2000)，洪如江等 (2000) 研究發現百分之九十的崩塌破壞發生在坡度大於 45 度以上，且坡度越陡其破壞之潛勢越高。圖 2.18 呈現我國山坡地鄉鎮的平均坡度圖，發現中央山脈周圍區域之坡度較陡，因此，其易發生坡地災害的環境脆弱性高。此外，則參考中央地質調查所公告的岩屑崩滑、岩體滑動、落石與順向坡等四類的地質災害區面積總和，呈現全台各鄉鎮之地質災害面積比率圖 (圖 2.19)，由圖可知在都會區周圍的山坡地鄉鎮中，屬於坡地災害較高潛勢的區域。

再者，地文脆弱地區包含歷史崩塌地區，以及大規模地震造成之土石鬆動地區，這些地區未來再發生崩塌的可能性相對較高，國家災害防救科技中心繪製 2004 年至 2013 年期間的歷史崩塌面積分布 (圖 2.20)，如圖所示，主要在中部、南部及東部中央山脈周圍 (台中市、花蓮縣以南的山區) 崩塌面積為較多，故屬於高坡地環境脆弱區。圖 2.21 呈現 921 地震之震度的分布圖與震後 10 年的坡地災害記錄位置，發現地震過後，坡地災害發生位置集中在芮氏五級以上震度範圍內，由此可知地震與坡地災害息息相關 (國家災害防救科技中心，2016)。

而在社會經濟脆弱度方面，除了前述的人口密度指標及人類發表指標之外(請見圖 2.10)，坡地災害更受山坡地的開發情形與土地管理不當影響。例如：人口集中於都市，使得都市不斷向外擴張，甚而向鄰近山坡地地區發展，1997 年溫妮颱風造成「林肯大郡」社區的順向坡下滑災害。此外，各項開發計畫往外擴張到鄰近山坡地造成觀光過度發展或土地超限利用的情形，例如：休閒民宿、茶園、高山農業等，因部分的坡地開發因無妥善的限制管理，造成部份開發破壞水土保持，在面臨颱風、豪雨侵襲時，在已頻繁地發生坡地災害的區位，將更加重坡地災害的嚴重性(國家災害防救科技中心，2016)。

再者，隨著山坡地的開發利用，山區道路亦須進行開發，其大量挖填方工程，將可能影響坡腳穩定，即容易有發生崩塌等坡地災害(洪如江，2002；2009)。另外，目前國內的坡地保育政策不足：國土復育條例(草案)原定將山坡地分級嚴格管理，但因國土計畫法(草案)的推動而緩議，造成目前坡地保育政策不足。這些因子，過度的山坡地開發、道路不當開發、以及未進行國土規劃等問題，都是加重坡地災害發生的影響因子(國家災害防救科技中心，2016)。

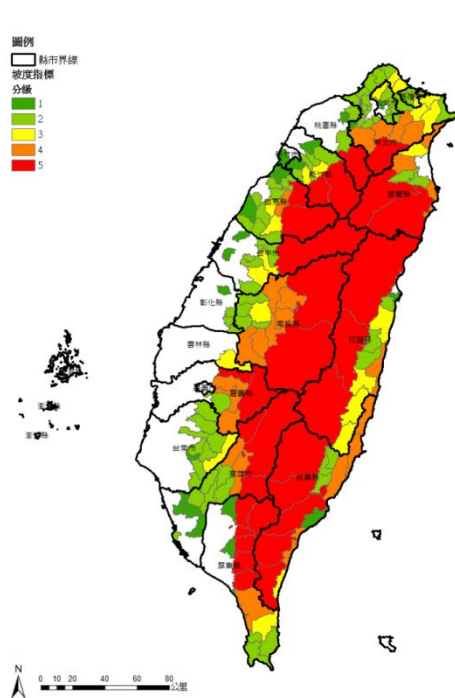


圖 2.18 山坡地鄉鎮平均坡度指標

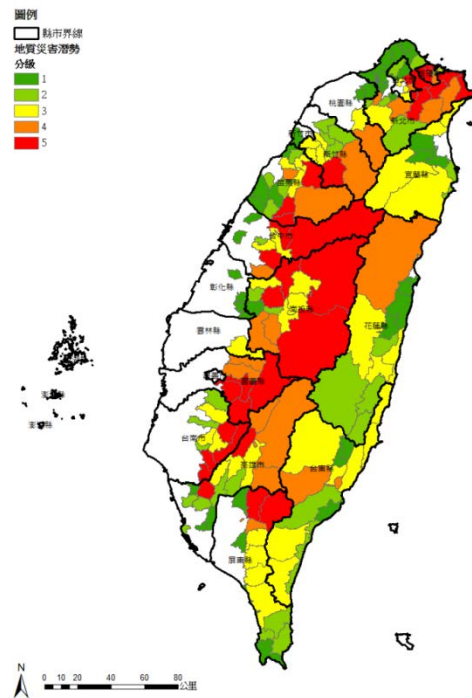


圖 2.19 地質災害面積比率



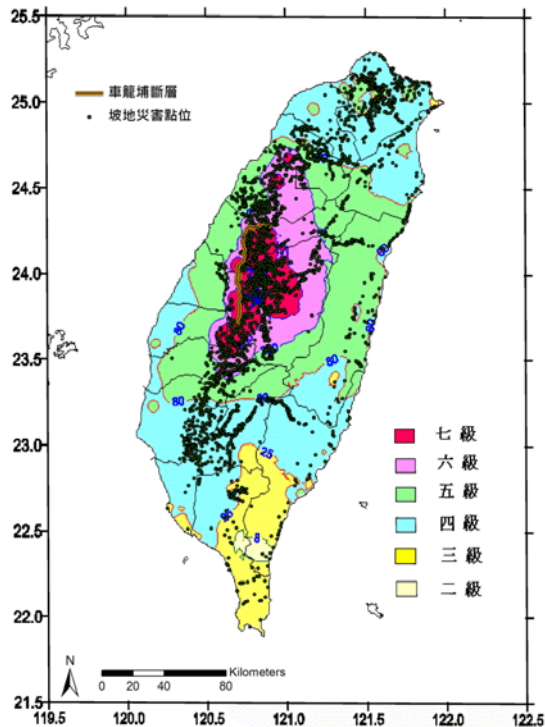
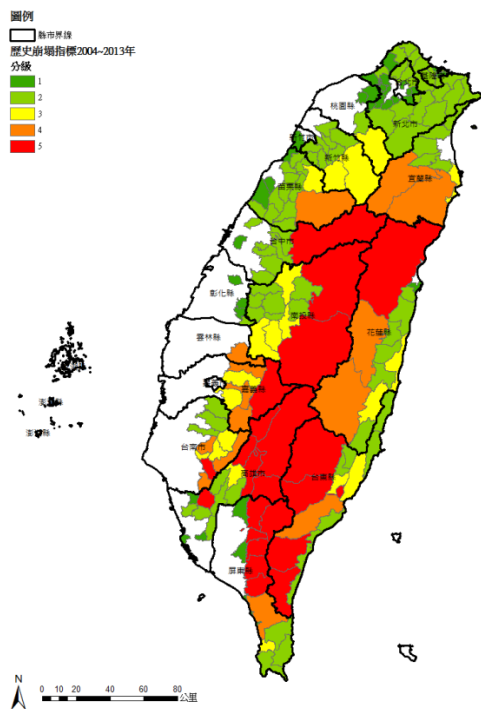


圖 2.20 歷史崩塌面積 (2004~2013) 圖 2.21 921 地震後十年之坡地災害圖

(資料來源：林務局、水土保持局與中央地質調查所；國家災害防救科技中心繪製)

### 2.3.3 氣候變遷坡地災害衝擊評估

國家災害防救科技中心 (2016) 彙整了目前國內針對氣候變遷坡地災害衝擊分析，依據災害特性可分為崩塌災害與土石流災害等兩類，前者主要是分析集水區上游崩塌可能產生的土砂量對下游的衝擊影響，後者則是評估在氣候變遷衝擊下可能增加的土石流條數量。如同淹水災害衝擊評估研究一樣，坡地災害評估方法亦分成兩類，一類在無氣候變遷情境資料的情況下，使用歷史觀測資料，假設極端氣候事件降雨量，計算重現期距較長情況下的累積雨量對坡地災害可能造成的衝擊；另一類則是利用 GCM 推估的情境資料，分析流域內可能發生的土砂災害。

首先，利用歷史降雨觀測趨勢評估可能的坡地災害研究方面，目前國內的崩塌潛勢評估或預測之相關模式，則大致分為定性分析、定量統計分析及物理機制分析三大類。目前進行氣候變遷對坡地災害衝擊評估，多是採用多變量分析之邏輯斯迴歸或稱二元迴歸模式，進行崩塌及土石流災害發生潛勢之分析，經由國家災害防救科技中心 (2016) 綜整得知，國內的學者們使用的降雨指標包括：100 年



重現期下的連續三天累積雨量、降雨延時 24 小時之 200 年頻率年的雨量、100 年重現期最大 48 小時降雨等，研究的流域包括基隆河流域、高屏溪流域、曾文溪流域、朴子溪流域、八掌溪流域、急水溪流域、陳有蘭溪等等 (李錫堤，2012、2013；顧承宇等，2012；水利署水規所，2011，2013a，2013b，2013c；詹錢登，2008；陳樹群等，2013)。

由這些研究可知氣候變遷衝擊下降雨強度的增加將可能造成大量土砂衝擊，巨量的土砂將衝擊河川原本型態。陳樹群等 (2013) 以陳有蘭溪集水區為研究區域，發現巨量土砂產出在主河段造成河段淤積、拓寬及擺盪；而支流匯入溪處是主要土砂堆積處，在上游河段以河道擺盪及河岸淘刷為主，在下游河段則以河道拓寬及主深槽刷深為主。故氣候變遷衝擊下，產製巨量的土砂災害，將會影響河道型態。此外，詹錢登 (2008) 以曾文溪流域為例，比較 1970~1990 年及 1990~2009 年前後兩個時期之資料，顯示降雨沖蝕指數增加 49%，以及懸移質輸砂量增加 1 至 2 倍；曾文水庫集水區及陳有蘭溪流域崩塌面積均有逐年增加的趨勢，莫拉克颱風後崩塌面積各增加約 5 倍及約 0.3 倍。曾文溪流域及陳有蘭溪流域土石流流出量變異分析顯示，土石流流出量分別增加為 16% 及 26% (國家災害防救科技中心，2016)。

另一方面，目前在使用 GCM 資料推估的研究上，多使用 AR4 統計降尺度資料，以流域為主要的研究區域，藉由建立降雨驅動因子 (例如：200 年重現期 48 小時雨量)，配合序率暴雨模式，建立崩塌風險評估模式 (二元迴歸方法)，模擬評估上游崩塌與流域內土砂災害之影響。

在崩塌量推估研究方面，水利署水規所 (2011，2013a，2013b，2013c) 研究中分析淡水河、濁水溪、曾文溪與高屏溪等四大流域之土砂產生量，如表 2.6 所示，北部地區的淡水河流域，在氣候變遷衝擊下在近未來推估期，增加約 20% 坡面的崩塌面積 (在 A1B 情境下的崩塌面積為 2,032 km<sup>2</sup>)；崩塌產砂量增加為 783 萬立方公尺。中部地區的濁水溪流域，未來面臨土砂衝擊量相對北部與布的流域相對較高，濁水溪流域中的清水溪，可能產生 58,158 萬立方公尺的土砂量。南部地區的曾文溪流域，則是以曾文水庫上游氣候變遷造成的土砂災害衝擊最為嚴重會增加 14,562 萬立方公尺，這個研究結果顯示未來氣候變遷下，流域土砂量較高風險的區位主要在濁水溪流域內。

表 2.6 氣候變遷衝擊下流域土砂產生量

分區	區域	土砂產生量 (萬立方公尺)
北	石門水庫	542
	翡翠水庫	79
	基隆河	212
中	清水溪	58,158
	陳有蘭溪	11,005
	濁水溪本流	2,347
	丹大溪	16,537
	霧社水庫	16,476
	卡社溪	8,692
南	曾文水庫	14,652
	南化水庫	2,920
	隘寮溪	6,860
	荖濃溪	9,687
	旗山溪	3,531

資料來源：水利署水規所，2011，2013a，2013b，2013c

Chiang and Chang (2011) 則是以淡水河流域內的白石集水區 (石門水庫上游) 為例，利用統計降尺度資料 (AR4)，分析年最大日雨量，並利用物理模式評估坡面的安全因子，以瞭解在氣候變遷衝擊下崩塌活動發生的次數及坡面的穩定性的變化，研究得知資料白石集水區的不穩定坡面增加 13% 左右。水保局 (2011，2012，2013) 發現大漢溪流域區內發生崩塌災害頻率在 10 年以下的面積增加 144.9 km<sup>2</sup> (32.6%)，而高屏溪與陳有蘭溪發生崩塌災害頻率在 10 年以下的面積增加至 236 km<sup>2</sup> (崩塌潛勢面積增加 2.6 倍)。

氣候變遷對土石流衝擊影響研究方面，水保局 (2011，2012，2013) 使用 AR4 資料，配合三種 GCMs 模式 (GFCM21、INCM3、MPEH5)、三種未來情境 (A2、A1B 及 B1)，以多變量分析之邏輯斯迴歸，進行高屏溪、陳有蘭溪與大漢溪流域土石流災害發生潛勢之分析。結果得知高屏溪與陳有蘭溪土石流發生頻率在 10 年以下的潛勢溪流數量則增加至 21 條 (極高土石流潛勢溪流增加 2.5 倍)，而大

漢溪土石流發生頻率在 10 年以下的潛勢溪流數量則增加 64 條 (94.1%)。

綜合考量崩塌與土石流所造成的土砂災害衝擊，吳亭燁等 (2014) 以及李欣輯等 (2015) 針對曾文溪及高屏溪進行進一步的坡地災害衝擊分析 (包含崩塌和土石流，進入主河道之土砂量推估)，研究使用 TCCIP 產製之高解析度颱風個案降雨量資料 (日本氣象廳大氣環流模式 MRI-AGCM、WRF 區域模式進行動力降尺度、5 公里解析度)，並使用 TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability) 數值模式及 Flo-2D 數值模式，以了解極端氣候下流域災害衝擊。研究結果發現，同時考量土石流和崩塌兩部分，推估曾文溪上游崩塌所產生的土方量為 74,326,000 m<sup>3</sup>。上游 17 條土石流所產土砂流入水庫量約為 14,730,000m<sup>3</sup>，和崩塌所產土砂量加總後，總土砂流入水庫量為 89,056,000 m<sup>3</sup>，和莫拉克颱風事件推估之量甚為相近 (莫拉克颱風後推估進入曾文水庫土砂量為 91,080,000m<sup>3</sup>) (吳亭燁等，2014)。而在高屏溪方面，研究結果發現長延時且強降雨之特性造成大量崩塌的發生，進而推演出相當大的土砂量，而在上游集水區總體土砂量方面，發現最大是六龜區，主要原因是該區的潛勢溪流數量較高所致。而其次是甲仙區和桃源區，顯示該區之平均堆積高度也會有較高的傾向 (李欣輯等，2015) (國家災害防救科技中心，2016)。

由上述結果可知，氣候變遷衝擊對於土砂量衝擊以濁水溪的影響最大，且氣候變遷也都會造成土石流潛勢溪流的數量明顯增加，南部的曾文水庫上游的坡地土砂災害亦不容小覷，都是未來氣候變遷下坡地災害高風險區域。

另外一類型呈現氣候變遷坡地風險的方式是使用風險圖資，陳韻如等 (2014) 使用不同氣候變遷衝擊風險因子指標，以發生極端降雨之機率作為危害度指標 (24 小時累積雨量達 350mm 以上 (超大豪雨))，以歷史崩塌率、坡度、地質災害面積作為環境脆弱度指標，再同樣以人口密度作為暴露量指標、人類發展指標作為社會脆弱度指標，綜合風險為這些指標的乘積，並給予風險等級，最後以圖資的方式呈現臺灣氣候變遷災害風險之熱點區域 (圖 2.22)。

陳韻如等 (2014) 使用危害度作為主要氣候變遷變動指標，而環境及社會脆弱度部分假設固定不變的情形，由圖 2.22 可見，因極端降雨 (24hr 雨量超過 350mm) 發生機率提高，加重中部與南部與花蓮等山區之坡地災害風險，此外，因中南部與新竹與花蓮山區本身環境脆弱度高，故基期災害風險相對高，受危害度增加之影響，世紀末期間將加重中部與南部與花蓮等山區鄉鎮之坡地災害風險。

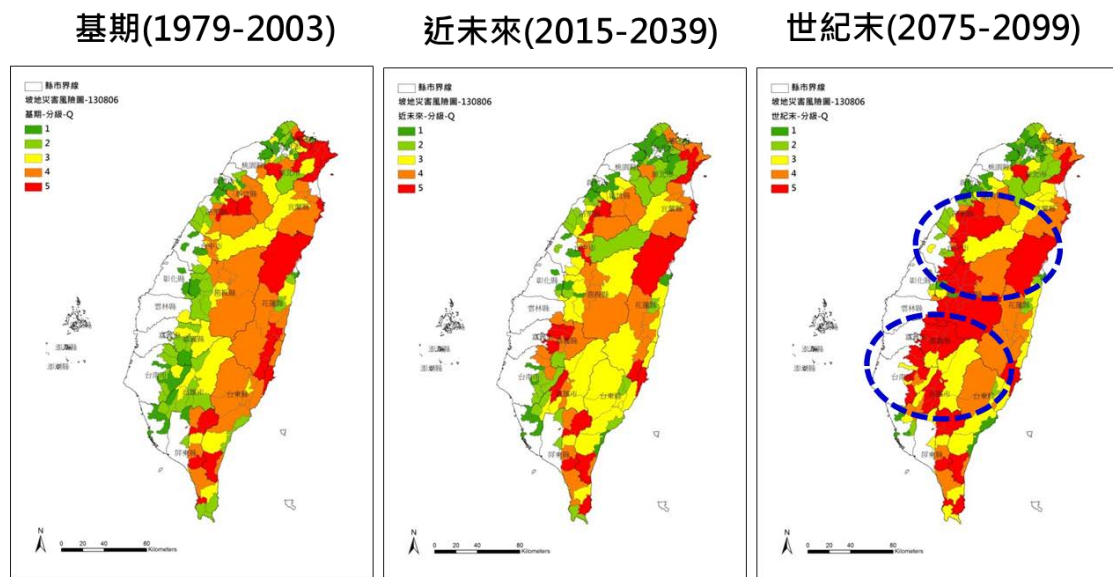


圖 2.22 氣候變遷衝擊下坡地災害風險圖 (資料來源：陳韻如等，2014)

## 2.4 氣候變遷之乾旱災害衝擊評估

### 2.4.1 臺灣乾旱災害現況潛勢與風險

國家災害防救科技中心 (2016) 彙整乾旱災害之定義，指出乾旱 (Drought) (簡稱旱災) 係指水文循環中的儲水體 (河川、湖泊、水庫、積雪、土壤、地下水) 或其中之通流量 (降水量、蒸發量、逕流量) 在廣大的空間範圍、長時間缺乏水份的狀態，且當此缺水狀態已超過其正常含水量之門檻值，乃至於造成負面的影響與損失，這些影響包括農糧產量減少、環境水質、空氣、衛生惡化，以及消防風險提高等 (Sheffield 和 Wood，2011；經濟部，2009)。

乾旱類型依受影響的程度可分為氣象乾旱、農業乾旱、水文乾旱，以及社會經濟乾旱等四類型，分別指平均降雨量顯著缺乏、土壤含水量缺乏造成的農作物減量、地表與地下水供水不足，以及綜合上述三類型造成的社會經濟衝擊等 (圖 2.23) (AMS，2013；Sheffield 和 Wood，2011)。雖然這四類型乾旱在定義及影響範疇上有所不同，但是相互之間並非完全獨立，而是依循著水文至社會經濟系統的水資源供需途徑，彼此關聯的關係 (國家災害防救科技中心，2016)。

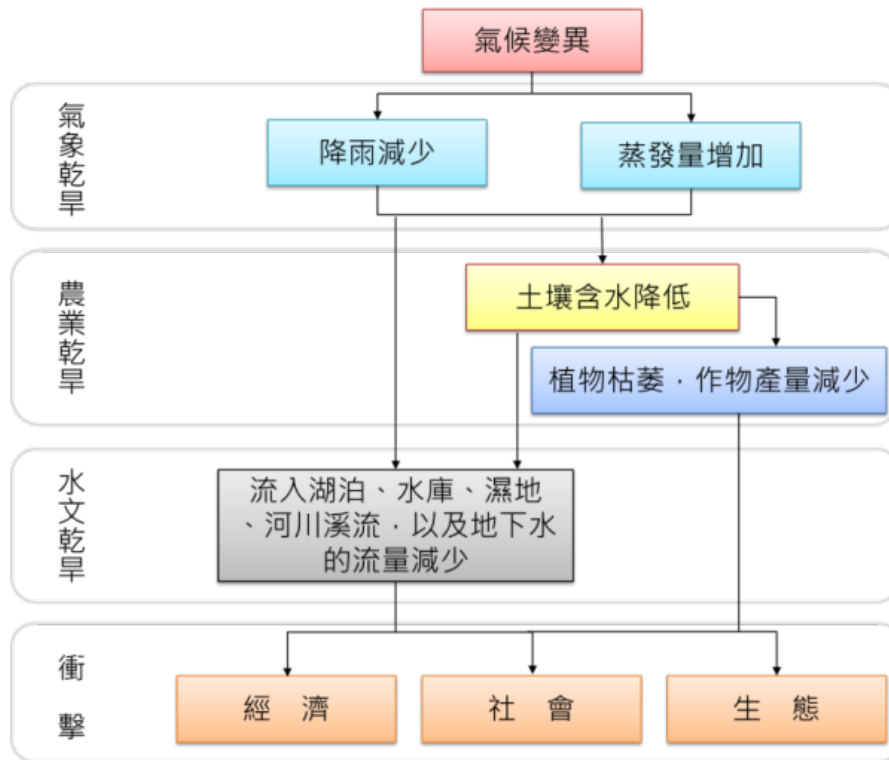


圖 2.23 不同乾旱類型的相互關係及衝擊 (Sheffield 和 Wood, 2011)

由圖 2.23 可知，氣候變異造成的長時期降雨量不足或蒸發量增加，將直接造成「氣象乾旱」；這現象也將導致土壤含水量逐漸減少，甚而降低農作物產量，形成「農業乾旱」；另一方面，氣象乾旱也使得地表逕流、河川流量，以及地下水補注量也會逐漸減少，進而產生「水文乾旱」；水資源系統的蓄水量減少造成供水不足之缺水問題，更將造成社會經濟損失的「社經乾旱」等。

因此，氣象上的降雨量度，是顯示乾旱與否的第一個訊息，當降雨量明顯少於當地正常降雨狀態時，就會有造成乾旱的可能，故衡量的基準與方式，往往與當地的氣候狀態有關，例如：在美國，48 小時內降雨少於 2.5mm 即被稱為乾旱；在英國則是連續 15 天降雨少於 0.25mm 時之稱乾旱；印度地區則是以實際季節降雨少於平均值兩倍作為氣象乾旱之定義；位於熱帶地區的峇厘島，若連續六個月沒有下雨，即稱為乾旱 (WMO, 2006)。我國針對不同乾旱類型亦採用不同的衡量基準，包括「累積降水量過低」、「連續不降雨日數」，以及「公共及農業給水缺水率」。

表 2.7 我國不同乾旱類型之衡量基準

類型	我國乾旱衡量基準
氣象乾旱	中央氣象局定義若連續二十日以上降水量均未達 0.5mm，且累積降水年量未達最近期準平均之 60%，或者是累積降水三十日量低於同期間第一個十分位值（若第一個十分位值低於 0.5 公釐者則不計，視為屬預期性之乾旱）者稱為臺灣地區之非預期性氣象乾旱。
農業乾旱	以「不降雨日數」對農業可能產生的影響來定義，不降雨日的定義為日雨量低於 0.6mm，若該地區連續 20 日無可量測的降水紀錄，即可稱為「乾旱」；若連續 50 天以上、未達 100 天不降雨稱為「小旱」，連續 100 天以上不降雨，則稱為「大旱」。
社經乾旱	依缺水率進行旱災分級，當公共給水缺水率達 10 至 20%，農業給水缺水率達 30 至 40% 時，旱災達三級狀況；當公共給水缺水率達介於 20 至 30%，農業給水缺水率介於 40 至 50% 時，旱災達二級狀況；當公共給水缺水率達 30% 以上，農業給水缺水率 50% 以上時，旱災達一級狀況。

資料來源：吳杰穎等，2007；經濟部，2009；國家災害防救科技中心（2016）整理

旱災為影響全世界人類福祉的主要天然災害之一，因其造成的糧食短缺（飢荒）造成的受影響及死亡人口，在 1900 年至 2004 年之間約占有所有天然災害受影響及死亡人口的 35% 及 53% (EM-DAT, 2009；Sheffield 和 Wood, 2011)。IPCC (2014) 更指出因旱災造成水資源及糧食短缺，亞洲地區其中一項關鍵氣候變遷風險即是旱災導致的營養不良之健康風險將逐漸增加。有別於其他天然災害相對快速發生、易偵查、且造成直接衝擊的特性（例如：颱風造成的人員傷亡等），旱災往往經過長時間的醞釀。此外，其「缺水狀態」不僅只牽涉氣象因素（降雨量降低、高溫導致的高蒸發量）而已，更牽涉水資源利用與分配等社會經濟因素，氣象與社會經濟因素交互作用造成水資源供需失衡的情形之下，才釀成旱災，也由於此發展緩慢以及牽涉複雜社經因子的災害特性，使得在旱災發生與結束，以及災因的判定上，相對較為困難。

如前所述，降雨量是乾旱災害影響因子之一，臺灣屬亞熱帶氣候，每年平均降雨量大約 2,500mm，約為全球年平均雨量 973mm 的 2.6 倍，總雨量雖然充沛，然因受季節、地形等影響，降雨不平均分布於全年各季節及各地區，使得部分地區有供需不平衡的缺水情形。在降雨季節方面，我國的豐水期（春夏季節：5-10 月）及枯水期（秋冬季節：11-4 月）區分明顯，致使冬春之際常生乾旱，偶有持續四、五個月之久；而在地形地勢方面，因我國的河川短小流急，致使河川流量



變化甚大，水量不易儲存，故須於部分河川流域興建水庫以儲存水資源。再加上臺灣的島嶼地形，無法自鄰國運輸購買水資源，使得我國的水資源必須自給自足，因此，乾旱議題不僅是我國在氣象、水文、水利等領域的科學研究重點，更是重要的水資源議題（國家災害防救科技中心，2016）。

國家災害防救科技中心（2016）彙整我國過去四十年歷史乾旱事件，發現較為嚴重乾旱發生在 1993 年至 1995 年期間，以及 2002 年至 2003 年期間這兩個時段（虞國興，2007；經濟部水利署，2008）。國家災害防救科技中心（2016）統計歷史乾旱次數，發現在乾旱發生的季節上，多發生於春季，起因為冬季本就為我國乾季，若無足夠的春雨，且又在農業水稻第一期作用水量最大的時期，降雨不足再加上用水需求量增加的影響，將導致乾旱事件的發生（陳昭銘，2008）。而乾旱發生的空間分佈特性上，發現南部區域發生乾旱的次數相對是最高的，嘉南高雄等區域過去發生乾旱的次數較多次；北部地區則是桃園與新竹地區發生乾旱的次數較多（圖 2.24）。

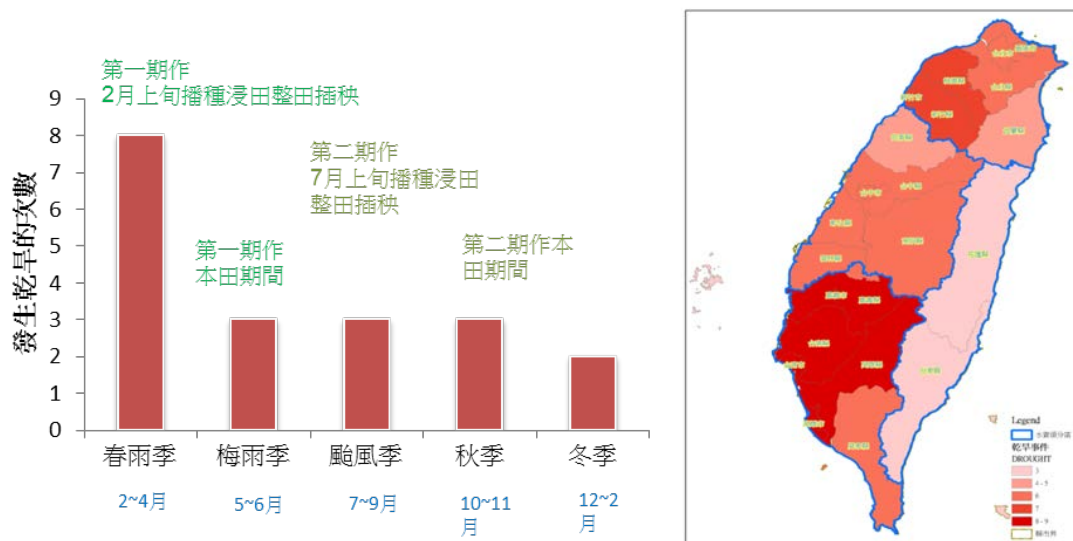


圖 2.24 歷史乾旱發生季節與發生區位示意圖（國家災害防救科技中心，2016）

我國很多學者針對乾旱災害的各項議題進行研究，例如：區域降雨以及乾旱特性（王博義，1978；虞國興與莊明德，1992；郭振泰與林國峰，1992；李錦育等，2005；蕭政宗與楊志傑，2006；陳儒賢等，2012）；農業乾旱特性及因應策略（朱榮彬，1989；蔡明華，1989；歐日正與胡治洪，1995；林尉濤，1998；陳韻如等，2010）；水資源調度及社會經濟乾旱議題進行研究（吳約西與張承宗，2002；張廣智與潘惠民，2002；林美君等，2011）。

國家災害防救科技中心 (2016) 彙整氣象乾旱及農業乾旱特性之研究，在地區乾旱特性之研究方面，從過去的降雨資料可以發現北部區域的豐枯期水量比為 6:4；中部為 8:2；南部為 9:1；東部為 8:2；結果顯示我國豐枯懸殊的趨勢，由北向南愈趨明顯 (經濟部，2009)。在川流量的分析上，南部地區的年平均川流量在過去 30、40 年來呈現減少的狀況 (吳，莊與童，1999)。在乾旱發生的機率及延時方面，北部區域發生乾旱機率約為 18.7%，中部約為 25.3%，南部約為 34.3%，東部約為 18.4%，結果顯示乾旱發生的機率及延時愈往南部有增加的趨勢 (李錦育等，2005)。在乾旱週期的研究方面，北部區域之平均乾旱週期約為 9 年；中部約為 10 年；南部約為 11 年；東部約為 9 年，這些研究顯示出臺灣地區的氣象乾旱現象有區域差異的特性 (經濟部，2009)。

而在農業乾旱特性方面，分析臺灣過去歷史農業乾旱資料發現，東部地區發生乾旱次數較少，且集中在 3-5 月；北部地區以東北部與桃園新竹地區的發生的乾旱次數較多，且集中在第二期作的時間 (颱風季與秋季)；中部地區以彰化地區發生乾旱的頻率較高，多集中於第一期作的時間 (春雨季)；南部地區則是以屏東地區發生乾旱的頻率最高，多集中於第一期作的時間 (春雨季) (經濟部水資源局，1999)。這些農業乾旱事件牽涉原因除了降雨量不足之外，亦牽涉當地是否有水庫等水利設施蓄存多餘的水量 (例如：彰化及屏東皆無水庫，僅能以河川引水作為水源；嘉南平原上游有三個水庫可支援其廣大的灌溉面積)，甚而與用水需求季節相關，例如春雨季 (2-4 月) 為我國第一期稻作播種浸田整田插秧的農業用水高峰期間 (國家災害防救科技中心，2016)。

游保杉 (2007) 分析我國過去的降雨資料發現，近 80 年來北部地區發生乾旱的次數有略為增加的趨勢；中、南部地區乾旱發生次數雖然略呈現減少的趨勢，但是在乾旱延時、乾旱量與乾旱強度等三方面均呈現嚴重化的趨勢。黃文政 (2003) 分析臺灣水文乾旱的趨勢發現西部地區發生小旱的範圍有向上游集水區擴展的跡象，且西部平原均屬大旱可能發生的地區，但南部地區大旱發生機會趨緩。北部及東部每年發生小旱機率低於 0.01，屬於不易發生乾旱的地區。

水利署在 2011 年以區域各標的年平均缺水率作為乾旱潛勢圖資製作的依據，並假設全年流量為 Q90 且水庫水位為嚴重下限的情形下 (嚴重乾旱的最劣情境)，所模擬製作之全臺灣旱災缺水潛勢資料。其中，民生及工業用水之展示空間單元是以鄉鎮呈現，而農業用水之展示空間單元，則是農田水利會之工作站 (圖 2.25)。由圖可見，農業用水缺水潛勢區域位於桃園市、宜蘭縣、中南部縣市等農業縣市。

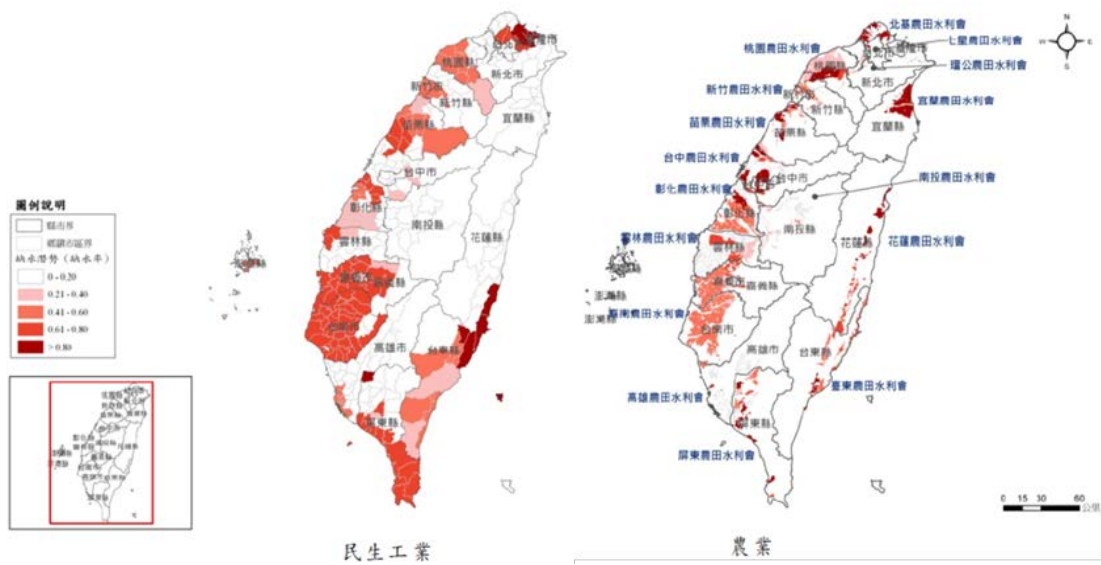


圖 2.25 嚴重乾旱且水庫嚴重下限水位情況下模擬之平均長期缺水潛勢圖 (資料來源：水利署·2011)

### 2.4.2 旱災風險驅動因子

旱災除了罕見的極端氣候事件造成之外，通常一個地區發生乾旱與否受當地自然氣候因子與人為的社會經濟因子交互作用所影響，國家災害防救科技中心(2016)將我國乾旱災害的致災原因彙整至表 2.8。

表 2.8 我國乾旱災害之致災原因

自然因素	人為因素
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 降雨量減少</li> <li>● 不降雨日數增加</li> <li>● 高溫、蒸發量增加</li> <li>● 河川流量減少</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 都市化 (人口集中增加導致用水量增加)</li> <li>● 產業類型改變</li> <li>● 過度放牧、森林砍伐，改變集水區蓄水功能</li> <li>● 過度抽取地下水</li> <li>● 高強度農業耕作</li> <li>● 水質汙染</li> <li>● 水庫有效容量減少</li> <li>● 供水管線老舊</li> </ul>

資料來源：國家災害防救科技中心 (2016)

此外，承上所述，IPCC (2012; 2014) 將氣候變遷衝擊之風險定義為危害度、暴露，以及脆弱度等三者之交集，但乾旱災害之類別有異，故其風險驅動因子也應有所差異，因此，陳韻如等 (2014) 針對農業乾旱 (農業用水) 及社會經濟乾旱 (公共用水) 分別界定其環境、社會經濟脆弱度，他們使用乾旱強度作為危害度指標，缺水潛勢作為環境脆弱度指標 (農業用水缺水潛勢、公共用水缺水潛勢)，而在社會經濟脆弱度指標則選用稻米產量 (農業乾旱)，以及人口密度與工業產值 (社會經濟乾旱) (國家災害防救科技中心，2016)。

國家災害防救科技中心 (2016) 探討乾旱災害的氣候驅動因子，主要因子為降雨量減少與不降雨日的延時，當降雨量持續偏低或不降雨日延時長，將加重缺水問題，使得發生旱災的機率增加。國科會 (2011) 分析過去百年臺灣氣象測站資料顯示，在年總降雨量的百年變化上，並沒有明顯上升或是下降的趨勢 (盧孟明與麥如俊 2003; 汪中和，2006; 柳中明等，2008)，但是，全島平均年總降雨日數不論是 100 年、50 年以及 30 年的變化都有明顯下降的趨勢，類似的結論亦出現在陳雲蘭 (2008)、Hsu and Chen (2002) 以及 Hung and Kao (2009) 的研究中，總降雨量不變但總降雨日數減少代表著降雨集中於有降雨的日子，使得不降雨日數增加。

國科會 (2011) 報告中指出整體而言，未來臺灣地區的降雨，模式大致呈現豐水期降雨增加，枯水期降雨減少的變遷趨勢，其中南部地區又比北部地區顯著，如圖 2.26，未來臺灣春季平均降水變遷推估發生機率最高的變化區段為-25%至-5%之間，雖然有少數幾個模式推估未來春季會增加，夏季平均降水變遷推估發生機率最高的變化區段為+10%至+20%之間，不過有少數模式在臺灣區域的降水增加超過+50%，增加的幅度與其他模式有明顯的差異，秋季降水變化百分比的機率分布仍是以增加的部份偏多，雖然推估降水將減少的模式數量比夏季更多一些，冬季未來臺灣降水變化推估發生機率最高的變化區段為-10%至-20%之間，與春季的改變結構相當類似。

此外，針對降雨量減少的趨勢方面，學者們更針對季節降雨的變化進行研究，近 30 年來，春季雨量減少的趨勢比過去的變化大，其中又以阿里山減少的趨勢最明顯 (柳中明等，2008)。分區來看，北部雨量有增多趨勢，西南部和東南部地區則是有降雨減少的趨勢 (柳中明等 2008, Hsu and Chen 2002)。林士堯等 (2013) 的研究指出，臺灣春季降雨主要發生於臺灣西北部以及北、中部山區，約佔全年降雨的 20~25%；該區域的春雨主要來自於鋒面系統，每年受鋒面影響所造成的



降雨在春季約佔總降雨量的 74.7%。從圖 2.27 所示，在過去 31 年（1979 年-2009 年）間的總雨量及鋒面影響日數變化顯示，春季降雨量（藍色折線）存在一逐年減少的趨勢（紅色線），而鋒面影響日數（綠色區塊）也同樣有減少的趨勢（黑色線）（國家災害防救科技中心，2016）。

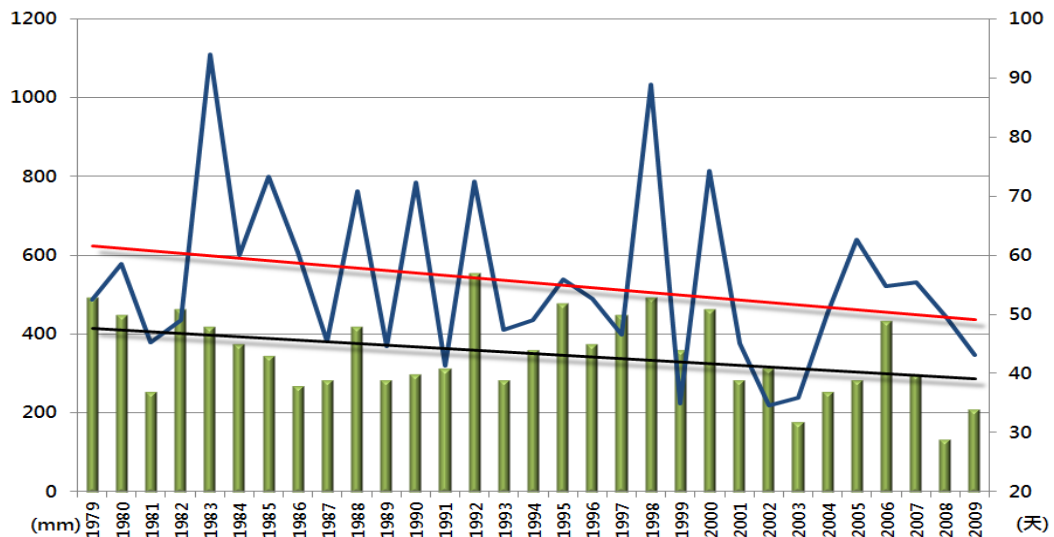


圖 2.27 台北測站 31 年（1979 年-2009 年）春季降雨總雨量及鋒面影響日數歷線圖（國家災害防救科技中心，2016）

目前針對氣候變遷對乾期 (dry spell) 的影響可藉分析極端連續不降雨事件的日數變化得知，連續不降雨日數重現期大於 2 年者為極端連續不降雨事件。國科會 (2011) 指出我國 6 個測站連續最大不降雨日數 2 年重現期的日數門檻值分別為臺北 18 天、臺中 43 天、臺南 51 天、恆春 32 天、花蓮 17 天和臺東 23 天；由於中、南部地區的乾季和雨季對比明顯，降雨主要集中在梅雨和颱風季，所以連續不降雨日時間較長。圖 2.28 為各測站乾期超過 2 年重現期門檻值的 10 年累計發生次數，其中以花蓮極端偏長乾期出現頻率的增加現象最明顯，恆春在 1980 年代之後也有類似的特徵，臺北的極端偏長乾期也是在 1970 年之後的 30 年比之前的 30 年頻繁（國科會，2011；國家災害防救科技中心，2016）。



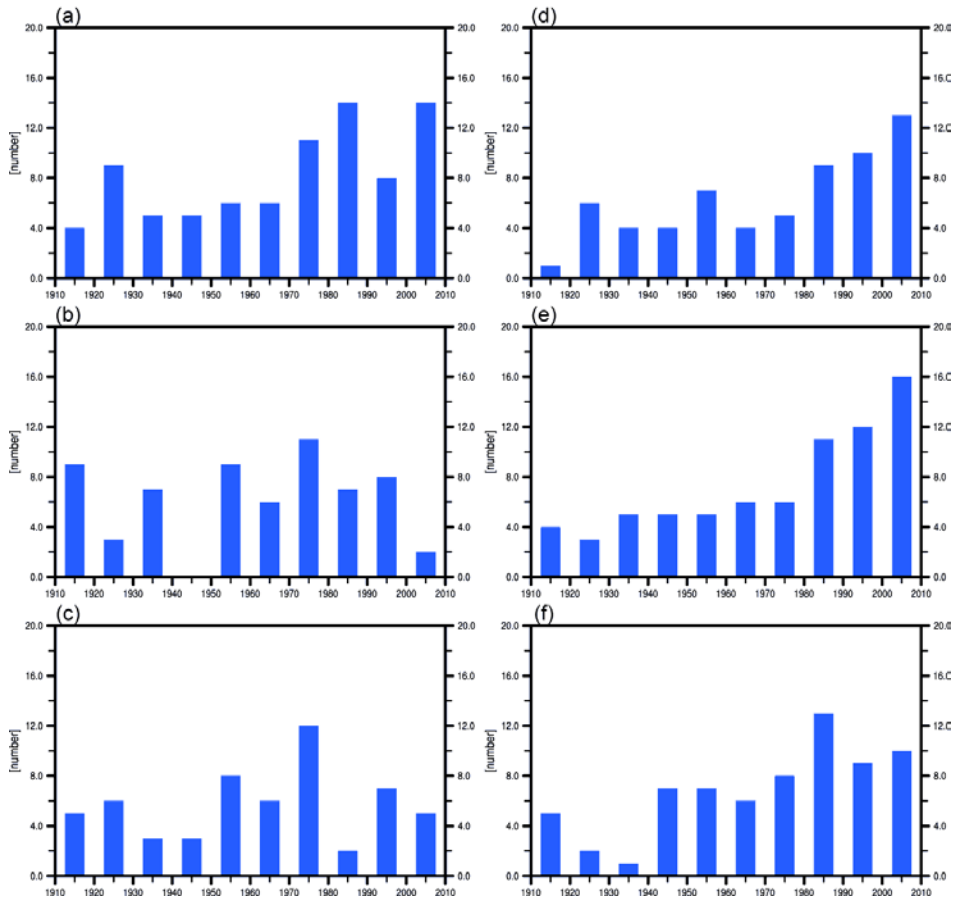


圖 2.28 以 10 年為期距統計乾期超過 2 年重現期門檻值的計發生次數，分別為 (a) 臺北、(b) 臺中、(c) 臺南、(d) 恆春、(e) 花蓮、(f) 臺東。(資料來源：國科會，2011)

另一方面，除上述的降雨量及不降雨延時之外，學者們更會使用標準化降水指數-連續三個月降雨量 (Standardized Precipitation Index 3, SPI3) 作為乾旱的指標，陳儒賢等 (2012) 發現我國乾旱量及乾旱延時最大值皆發生在北部地區，最小值則發生在臺灣中部地區；而臺灣地區乾旱強度最大值發生在西北部地區；最小值則發生在臺灣東部地區。圖 2.29 為國家災害防救科技中心 (2016) 利用 TCCIP 月網格雨量所計算之 SPI-3 乾旱事件統計分布。由圖可知，過去 53 年間，乾旱發生次數以恆春半島最多 (約 46 次)；嘉南平原與北部山區發生次數也在 40 次以上，其中北部山區降雨為石門水庫集水區之重要水資源，乾旱發生次數頻繁，將不利桃園、新竹以及苗栗地區農業、工業以及民生之水資源供應。

除了降雨量之外，氣溫增加亦將使得水文循環中蒸發散量增加，對於無妥善規劃的水資源蓄水措施的地區將加重其旱災程度。在溫度的變遷趨勢部分，臺灣暖化現象十分明顯，不論是 100 年、50 年或是 30 年的年平均溫度變化均呈現上升趨勢。其中百年變化以秋季溫度的暖化幅度最大，但近 30 年則是以冬季的暖化程度最為明顯，西岸測站的增溫趨勢則是明顯高於東岸（國科會，2011）。翁叔平與楊承道（2013）利用臺灣百年測站降雨及溫度進行 SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) 計算，並應用於臺灣乾濕年之氣候分析，惟溫度（連續高溫）如何實質影響乾旱仍須進一步的科學研究。

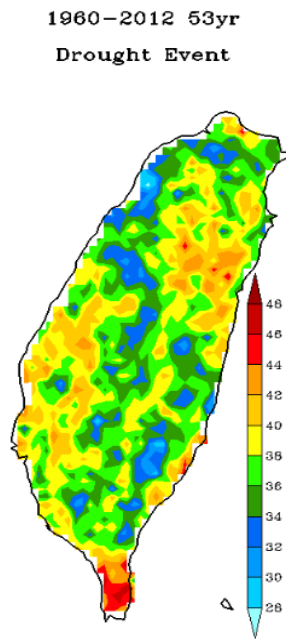


圖 2.29 1960~2012 年 SPI-3 乾旱事件統計分布圖（資料來源：國家災害防救科技中心，2016）

國家災害防救科技中心（2016）更探討旱災的環境、社會、經濟風險驅動因子，雖然這些因子如何實質影響乾旱仍須進一步的科學研究，但下列敘述仍可幫助了解我國乾旱災害的問題。

首先，在自然環境驅動因子方面，近年來，受到人為大量濫墾破壞上游集水區植被的衝擊，使得土壤保水及水源涵養能力降低，地表儲蓄雨水量減少，而減少枯水期的基流量，增加旱災之脆弱度。此外，雖然，興建水庫為我國水資源調配的重要策略，但因水庫上游容易崩塌並淤積在水庫之中，根據水利署統計，全國 40 座水庫，已有 12 座水庫淤積量已超過水庫設計容量的 40%。大量崩塌土方淤積在水庫，將使得水庫的有效蓄水量減少，造成缺水之問題。另外，近年來我國的水資源污染亦加重旱災的衝擊，一方面因為污染使水質惡化無法正常供水加重旱災衝擊，尤其是水庫上游集水區若無管制開發，上游的污染順著地表逕流入水庫中，將造成水庫的優養化，影響供應的水量。另一方面因為氣象與水文乾旱使河川流量不足，造成水質自淨能力下降，加重水質惡化的程度，使得符合水質標準的可用水量減少（國家災害防救科技中心，2016）。

另外，在社會經濟驅動因子方面，隨著生活水準的提升，再加上水價便宜，民眾用水習慣日趨浪費，使得民生的用水量有逐漸增加的趨勢。此外，我國產業型態改變（原有用水量少的傳統產業，改變成高耗水工業或觀光休閒農場等產業時）亦增加用水需求量，根據水利署統計，我國的年用水總量約為 171 億立方公尺，其中農業用水占約 71%，民生用水占約 19%，工業用水占約 10%，但我國的民生生活用水以及產業用水於幾十年間明顯增加許多（國家災害防救科技中心，2016）。

除了需水量增加的趨勢之外，我國亦面臨水資源管理不當的問題，例如：自來水管線漏水的問題，依據水利署評估臺灣自來水管線因老舊，漏水率都在 20%-30%，與世界各國平均漏水率 18% 是明顯偏高，每年漏掉的水量至少十二億噸，達三個翡翠水庫滿庫的庫容。此外，雖然目前最常見的旱災及水資源調適策略為大規模休耕將農業用水移轉至其他用水，但假設未來國際糧食供給面臨嚴重短缺，國際糧食價格提高時，我國將會考量提高臺灣糧食自給率，復耕休耕的農地，種植水稻和芎料等糧食作物，以確保未來糧食供應無虞，但如此一來，休耕地從不需要水量灌溉的農田，變成需要大量的水供應水稻田時，農業用水量明顯增加，將在水資源短缺時增加其脆弱度，而加重旱災的衝擊（國家災害防救科技中心，2016）。

### 2.4.3 氣候變遷乾旱災害衝擊評估

面對影響我國水資源甚大的乾旱災害，許多單位及學者紛紛展開氣候變遷乾旱災害衝擊評估，國家災害防救科技中心（2016）彙整了這些研究成果。臺灣在氣候變遷推估下之旱災衝擊研究上，往往以水資源災害衝擊的方式呈現，其中又以流量變遷趨勢作為衝擊評估的主要分析標的（流量減少）。空間尺度上，通常是以水庫集水區、流域或是水資源分區作為研究區域。在流量模擬的模式上，則是以連續型的水文模式來評估水資源特性。

首先，許多學者利用歷史觀測氣象資料為主、GCM 資料為輔，作為水文模式模擬時之輸入參數（Rao and Al-Wagdany 1995），進行河川流量變化之評估。Yu 等（2002）進行臺灣南部地區之水資源氣候變遷衝擊分析，結果顯示，枯水期流量有減少的趨勢。洪念民等（1998）於 1998 年利用 GCM 資料結合不同倍數之二氧化碳濃度時之降雨比值來分析氣候變遷對台中大安溪缺水率之影響，發現枯水

期流量減少的情形極為明顯，將影響臺灣一期稻作之栽種。

另一方面，在臺灣，目前在評估氣候變遷對於旱災之衝擊上，大多是使用 GCM 之推估降雨，藉由降尺度技術（統計降尺度或是動力降尺度）將 GCM 之氣候變遷推估資訊導入臺灣地區提高空間解析度，輔以天氣衍生器（Weather Generation）以提高時間解析度（Tung and Haith, 1995），並搭配水文模式進行水資源之區域衝擊推估（Wilby and Fowler, 2010）。

雖然使用的 GCM 情境推估資料與降尺度的方法不同會導致對於臺灣未來氣候變遷下乾旱之衝擊程度亦有所差異，但其變遷趨勢仍大致相同。舉例來說，童慶斌（1997）藉由模式模擬氣候變遷對大甲溪上游河川流量之衝擊，發現衝擊影響有極端化現象，即豐水期流量增加，枯水期流量減少。在其所設計之情境當中，在同時考慮溫度及降雨的變化下，豐水期流量約增加 7%，枯水期流量則減少 3%。若只考慮溫度變化，則豐、枯水期分別減少約 3% 及 10% 的流量。童慶斌與李宗祐（2001）應用於評估七家灣溪河川流量的衝擊，其結果顯示雖然平均年流量均有增加的趨勢，但豐枯水期流量將呈現極端化的變化趨勢，類似的結論亦出現於 Huang et al. (2012) 年的研究中。豐枯水期流量極端化的情形對於我國十分不利，因豐水期增加的水資源並無法儲存，而枯水期減少的水資源卻可能造成嚴重的乾旱。在水庫操作上，氣候變遷導致河川流量豐枯水期差異增加，改變上游入流量統計特性，將造成用水調配將更加困難。

陳韻如等（2013）在氣候變遷對水文流量衝擊的研究上，使用 AR4 資料進行全台四大流域（淡水河、大甲溪、曾文溪與高屏溪）的流量變化模擬，結果大致呈現豐水期流量增加；枯水期流量減少的趨勢。其研究結果顯示，近未來約有六成的模式資料顯示豐水期增加（+20%），而枯水期則是有八成模式顯示流量減少（-40%）。在四大流域的衝擊比較上，主要是以枯水期的流量有較大差異，其中以南部地區的高屏河流域受氣候變遷衝擊最大（模式流量變化介於-40%~100%）、北部淡水河次之、中部大甲河流域衝擊最小。

除了流量變化之評估之外，乾旱災害衝擊評估更有推估缺水率及缺水潛勢推估的部分，在缺水率的推估部分，水利署（2011）使用 IPCC AR4 統計降尺度情境資料（豐水期增加一倍標準差降雨改變率，枯水期減少一倍降雨改變率）進行南部於民國 120 年之缺水潛勢推估，結果顯示，未來缺水潛勢有趨於嚴重的趨勢。此外，許多學者及水利署更進行氣候變遷情境下各標的用水缺水風險之評估，分

析臺灣的北、中、南及東部四個水資源分區之水環境因子變動趨勢，並設定未來水資源需求的情境以及可運用之水源，評估氣候變遷對河川流量以及各水資源設施之衝擊，並以水資源系統模擬的方式評估各標的用水缺水風險，以 A1B 情境下的五個 GCM 模式模擬結果中的最劣的缺水程度，分別繪製農業、民生與工業等三類風險圖（圖 2.30）。

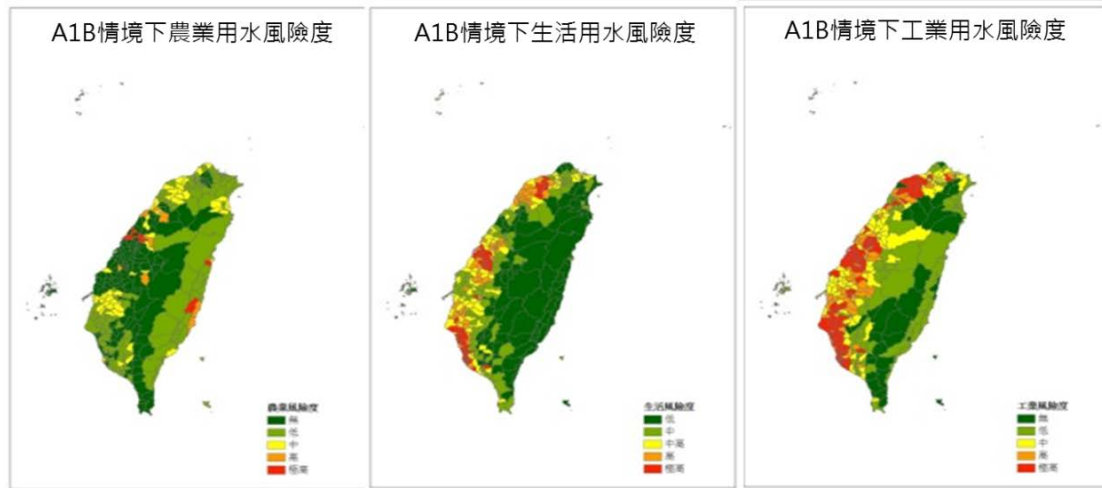


圖 2.30 氣候變遷衝擊下水資源風險圖（水利署，2012）

結果發現，在農業用水方面，在中部地區及部分花蓮地區是高農業缺水風險地區，在生活用水方面，主要都會區為高風險地區，在工業用水方面，則落在我國北部及中南部地區，研究更建議臺灣各縣市各標的用水風險等級達 4 級以上者需擬定強化策略；而風險等級在 3 級以下者，無論氣候變遷與否，其供水能力應可滿足需求（林裕彬，2013；水利署，2012）。在乾旱風險推估的研究上，陳韻如等（2014）以標準化後的 SPI3 降雨指標作為危害度指標，以工業產值、人口密度、水稻產量與缺水潛勢等指標，作為脆弱度指標，以繪製乾旱風險圖，其中更區分為農業用水乾旱風險圖（圖 2.31）與公共用水乾旱風險圖（圖 2.32）。

在農業用水綜合乾旱風險上，由圖 2.31 可見，一期作乾旱風險圖，在氣候變遷衝擊下，於近未來與世紀末時期，高風險區（熱點區域）是呈現增加趨勢。在基期的熱點區域主要集中在中部地區，至近未來時期，多數地區風險等級都呈現提高之情形，且高風險的空間分布擴展至南部地區與東部地區。在世紀末時期，農業乾旱的高風險鄉鎮數量增加更多，以台中、彰化、雲林與嘉義縣市之鄉鎮最為顯著。二期作農業乾旱風險，在基期期間的熱點區域，相對一期作少許多。在氣候變遷衝擊下，二期作則是以近未來的乾旱風險較世紀末高，且熱點區域增加



許多。主要因為二期作期間 (7~12 月) 降雨來源主要是颱風降雨，在近未來期間的颱風降雨相對在世紀末期間少，故高乾旱風險的空間影響範圍擴大許多。且二期作環境脆弱度較高的區域是中部與東部地區，中部的水稻產量又高，故農業乾旱風險對中部影響較大 (國家災害防救科技中心，2016)。

在公共用水綜合乾旱風險上，三個推估時期 (基期、近未來與世紀末) 之枯水期之公共用水風險，有逐漸增加之趨勢，而乾旱高風險區域，則從中部擴大至苗栗與台南區域；在豐水期的乾旱風險部分，近未來時期的豐水期乾旱風險圖之衝擊影響，較世紀末時期嚴重，其高風險區域之空間分布，從少數北部與中部鄉鎮為高風險區，擴大至苗栗與高雄區域都是高風險等級。其中世紀末豐水期乾旱風險機率降低的原因，可能與世紀末颱風季降雨增多的模擬結果有關 (國家災害防救科技中心，2016)。

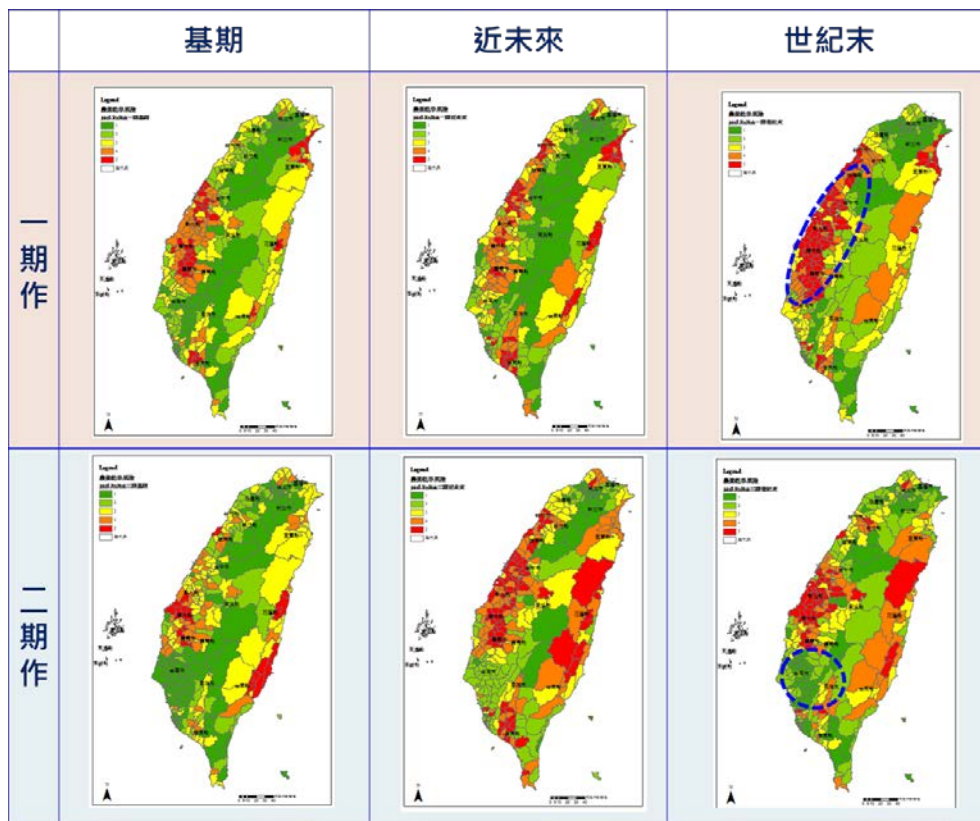


圖 2.31 農業用水乾旱風險圖 (陳韻如等，2014)



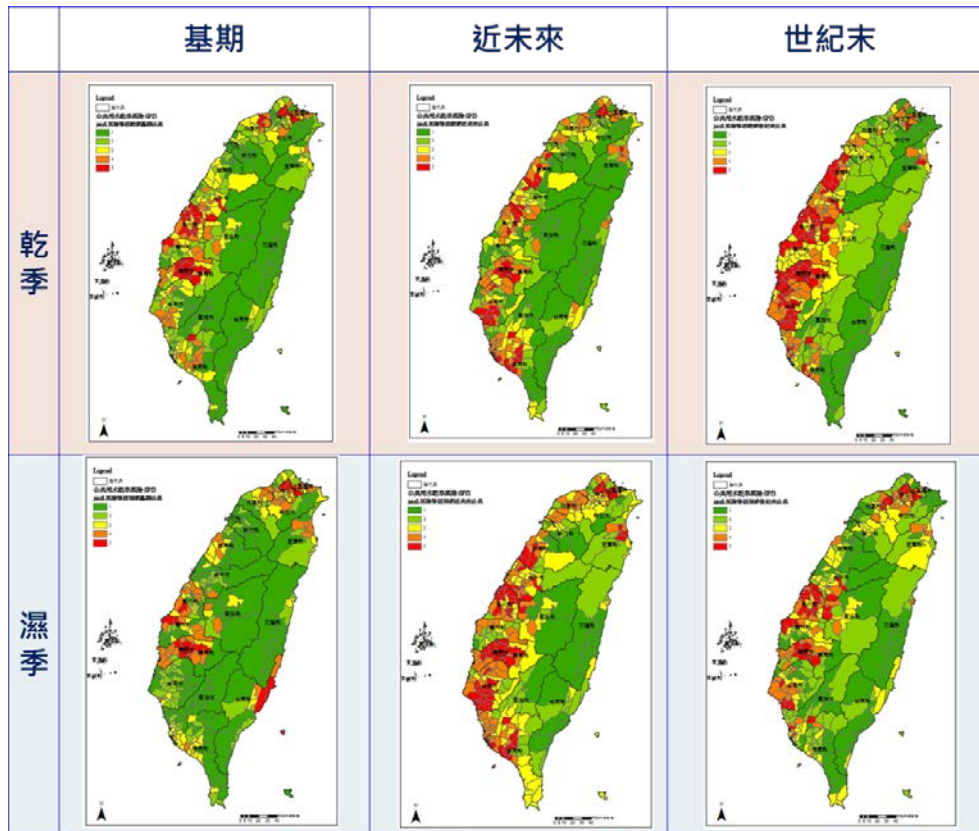


圖 2.32 公共用水乾旱風險圖 (陳韻如等, 2014)

## 2.5 結語

### 2.5.1 氣候變遷災害衝擊之調適作為

國家災害防救科技中心 (2016) 探討了我國的氣候變遷災害調適策略以及各災害風險的調適策略，其中，發現我國根據聯合國發展規劃署 (UNDP) 的調適政策綱領 (Adaptation Policy Framework, 簡稱 APF) 之原則，將氣候變遷調適策略融入原有國家發展及永續發展政策 (例如：災害管理策略)，希望能達到政策一致性 (Policy Coherence) 的效益，以及更有效地使用資源 (財務、人力、自然)，以發揮雙贏的綜效 (UNDP, 2004)。

爰此，我國的國家氣候變遷調適政策綱領中，將「災害」視為一項關鍵的衝擊與調適領域，因而訂定五年期的災害領域行動方案 (102-106 年)，總計共有 18 個部會署參與，48 項行動計畫，其中明訂災害調適領域之總目標為「經由災害風險評估與綜合調適政策推動，降低氣候變遷所導致之災害風險，強化整體防救災

調適能力」並包含 6 項調適策略、18 項措施 (表 2.9) (科技部，2014)。

表 2.9 國家氣候變遷調適行動方案—災害領域行動方案調適策略與措施

調適策略	措施
1 推動氣候變遷災害風險評估及高災害風險區與潛在危險地區的劃設	1.1 推動氣候變遷之災害衝擊跨領域整合應用研究
	1.2 氣候變遷之複合型災害脆弱度與極端災害規模之推估
	1.3 調查與劃設國土潛在危險地區，評估氣候變遷衝擊之高災害風險區與脆弱地點
2 加速國土監測資源與災害預警資訊系統之整合，以強化氣候變遷衝擊之因應能力	2.1 加強辦理國土監測與強化現有監測資源整合
	2.2 加速推動災害預警科技整合，強化災害模擬與預警，以作為減災、防災、預警、土地管理之決策依據
3 檢視、評估現有重大公共工程設施之脆弱度與防護能力，並強化災害防護計畫	3.1 檢視並評估現有重大公共工程與關鍵基礎設施之災害脆弱度與防護能力
	3.2 強化高災害脆弱度之公共工程之監測與災害防護計畫
4 重大建設與開發計畫應重視氣候變遷衝擊	4.1 重大建設與開發計畫應落實防災脆弱度評估，並強化災害防護
	4.2 重大建設與開發計畫需與國土計畫相連結
5 推動綜合流域治理，降低氣候風險	5.1 研究流域綜合治理災害脆弱度評估方法與流程、流域防護能力與設計標準的檢討與評估以及高致災風險區位及其調適能力的評估
	5.2 以流域為單元，整合水、土、林等資源之保育使用及復育，並優先推動流域綜合治理示範區計畫
	5.3 掌握山崩、土石流、流域土砂、海岸侵蝕間之互動關係，推動流域土砂管理與回收處理
	5.4 推動流域治理事務協調與制度建立，短期建立協調機制，整合流域整體治理工作，長期透過組織再造，建立單一專責單位負責流域整體治理工作
6 強化極端天氣事件之衝擊因應能力，推動衝擊與危險地區資訊公開、宣導、預警、防災避災教育與演習	6.1 擬訂極端災害衝擊與災害風險分散之因應對策，規劃與確定防救災政策與體系，並強化地方與社區因應極端天氣事件之災害調適能力
	6.2 加強氣候變遷防災教育、災害資訊流通、民眾參與及風險溝通
	6.3 研究透過保險機制強化災害預防及救助
	6.4 檢討訂定土石流、堰塞湖之警戒值、範圍及發布警戒時間，並擴大、強化土石流防災專業與水情通報系統以降低災害風險
	6.5 強化災防軟體與硬體之專業人力與資源，建立災害撤離標準化流程，研究建立分級撤離機制；增進各級災害應變中心機制之專業能力，達到自主性防救災以及撤離強制效益提升之目標

針對前述臺灣常見的三項災害衝擊風險，郭士筠等 (2014b) 蒐集我國各項災害防救政策 (包括：各類災害防救法規、各層級機關之災害防救相關計畫)，並依氣候變遷之需求，歸納彙整成氣候變遷災害調適選項清單 (表 2.10)，這也是進行調適策略/政策評估步驟之前，很重要的一項工作，惟我國的氣候變遷災害調適策略尚未進入完善的調適評估階段，故未來仍需要進一步評估，以利決策者選擇，並研擬規劃後續的調適計畫。

表 2.10 三項災害調適選項

淹水災害調適選項	坡地災害調適選項	乾旱災害調適選項
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 強化長期監測與警戒系統</li> <li>● 推動防汛社區與防災教育宣導</li> <li>● 強化災害緊急應變與避災 (緊急疏散避難與安置)</li> <li>● 提升淹水潛勢地區之建築物、維生設施、市鎮聚落、產業區位等耐災力</li> <li>● 強化防洪設施 (河岸及海岸之結構性/工程措施)</li> <li>● 加強水庫防洪操作</li> <li>● 推動綜合流域治理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 坡地災害防災資料蒐集、應用與管理</li> <li>● 強化坡地災害潛勢地圖及監測系統之應用</li> <li>● 坡地災害應變策略與緊急應變措施之強化</li> <li>● 強化各相關機構的整合；並聯繫民間可資調度之救災 (難) 團體，隨時配合因應準備救災</li> <li>● 山坡地土地使用合理規劃</li> <li>● 改善國土空間發展與土地利用管理措施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 水土保育：減少上游土砂量沖蝕入水庫</li> <li>● 增加可利用之水資源：雨水收集系統、新水源之開發、水庫清淤</li> <li>● 獎勵節水措施：雨水、再生水之再利用、水價之調整</li> <li>● 減少水資源消耗：降低現有供水設施之漏水率</li> <li>● 擬定乾旱發生後的應變對策，例如：重要設施之備援供水</li> <li>● 加強農牧業的水資源管理：栽培作物種類、栽培方法之調整</li> <li>● 跨區域水資源聯合運用</li> </ul>

## 2.5.2 結論與建議

雖然目前觀察到的氣候變遷現象是否確切造成或加劇災害事件，仍待進一步的歸因研究，但是，截至目前可收集之文獻顯示，國家災害防救科技中心 (2016) 提出六大發現：1) 「極端降雨」為氣候變遷災害衝擊最主要的風險驅動因子，而短延時強降雨與中長延時強降雨對我國災害衝擊極大；2) 受極端降雨頻率與強度可能增加的趨勢 (尤其是短延時強降雨)，臺灣的淹水災害風險有逐漸提高的

趨勢 (河川溢淹、都市積淹水)；3) 受極端降雨頻率與強度可能增加的趨勢 (尤其是中長延時強降雨)，臺灣的坡地災害風險有逐漸提高的趨勢 (土砂崩塌、土石流)；4) 受乾濕季節越趨分明 (豐越豐、枯越枯) 的趨勢，臺灣的乾旱災害風險有逐漸增加的趨勢 (公共用水及農業用水)；5) 在假設不改變目前的脆弱度、暴露與調適力等環境、社會經濟風險驅動因子的情形，僅單獨考量氣候變遷風險的氣候驅動因子，臺灣整體氣候變遷災害衝擊風險有增加的趨勢；6) 雖然目前氣候變遷災害衝擊風險評估已有初步成果，但是仍需要持續精進氣候變遷衝擊評估方法，尤其在「氣候科學資訊的應用」，以及「災害衝擊模擬方法」兩方面。

針對我國的氣候變遷災害衝擊研究，國家災害防救科技中心 (2016) 亦提出目前的科學研究仍屬發展、示範區階段，當專家學者們使用不同的資料、模式、方法時，其研究成果將難以進行比較與綜整，此外，亦建議氣候變遷科研單位勢必需要持續投入資源，針對氣候資料應用、災害模擬模式方法、空間分布、跨領域 (考量社經環境因子)、調適效益評估，以及科技政策支援等研究課題，進行更深入的研究，以累積更全面完整的研究成果。

## 參考文獻

- 王博義，1978：近年來國內乾旱研究之評介。《大氣科學》，第五卷第一期，p59-60。
- 中華民國海洋及水下技術協會，2011：海岸防護計畫先期規劃研究 (2/3)，經濟部水利署委辦計畫。
- 朱榮彬，1989：嘉南灌區乾旱時期灌溉營運模式之研究，《臺灣水利》，37 卷 3 期總號 147，頁 33-54。
- 汪中和，2006：氣候暖化對臺灣水文環境的衝擊。《東苑理工學院學報》，13，4，74-79。
- 吳杰穎、邵珮君、林文苑、柯于璋、洪鴻智、陳天健、陳亮全、黃智彥、詹士樑、薩支平。2007，《災害管理學辭典》，五南圖書出版有限公司。台北市。
- 吳約西與張承宗，2002：乾旱時期頭前溪水源調度策略分析，《水資源管理季刊》，4 卷 3 期，頁 11-14。
- 吳亭燁、魏曉萍、陳偉柏、李欣輯、陳永明、蘇元風、劉俊志、施虹如、葉克家，2014：氣候變遷極端颱風豪雨事件之坡地、河川、都會以及海岸之衝擊評估，國家災害防救科技中心，NCDR 102-T19。
- 李欣輯、吳亭燁、魏曉萍、施虹如、蘇元風、陳偉柏、劉俊志、陳永明，2015：氣候變遷極端颱風豪雨於高屏溪之全流域災害衝擊評估。國家災害防救科技中心，NCDR 103-T18。
- 李亮廷，2008：「集水區降雨特性、溪流流量及輸砂量變異分析-以陳有蘭溪流域為例」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- 李錫堤，2009：山崩及土石流災害分析的方法學回顧與展望。《臺灣公共工程學刊》，第五卷第一期，pp.1~29。
- 李錫堤，2009：居住的智慧：坡地災害的趨吉避凶，《地質季刊》，第 28 卷第 4 期，頁 36-39。
- 李錫堤，2012：氣候變遷調適科技整合研究計畫 - 區域地質監測研究成果報告。行政院國家科學委員會。
- 李錫堤，2013：氣候變遷調適科技整合研究計畫 - 區域地質監測與分析研究成果報告。行政院國家科學委員會。
- 李錦育、林家榮、劉文賢，2005：臺灣區域性降雨及乾旱特性之研究，《作物、環境與生物資訊》，第二卷第二期，p157-p166。
- 余濬，2012：雨水下水道與河川重現期距差異之研究-以臺北市雨水下水道與景美溪為例，《水利會訊》，15，頁 31-39。
- 林又青、張志新、陳韻如、李香潔、陳永明、黃柏誠，2010：坡地災害風險地圖製作與應用 (一)。國家災害防救科技中心技術報告 NCDR 99-T38。
- 林又青、林聖琪、張志新、劉怡君、曾敏惠，2014：社區坡地災害環境檢查手冊，國家災害防救科技中心出版。
- 林士堯、朱容練、吳宜昭、陳韻如、劉俊志，2013：台灣春季乾旱與鋒面之關聯性分析，102 年天氣分析與預報研討會，A3-8，龍潭，台灣。



- 林美君、林俊宏、蘇明道、王國樑、蔡展銘，2011：區域缺水風險評估機制，*臺灣水利*，59 卷 2 期總號 234，頁 33-42。
- 林美聆與陳彥澄，2014：應用光達地形資料於莫拉克災後陳有蘭河流域崩塌與土石流地質敏感地區判釋與分析，*航測及遙測學刊*，18 (2)：129 - 143。
- 林美聆，2013：流域崩塌及土砂災害演化對土石流災害影響研究，民國 102 年 12 月，行政院農業委員會水土保持局委託研究。
- 林昀靜與盧孟明，2010：近五十年極端降雨之分析，台北災害管理研討會論文集，第 3-4 頁。
- 林彥享，2003：「運用類神經網路進行地震誘發山崩之潛感分析」，國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
- 林尉濤，1998：農業水旱災因應對策，*科學農業*，46 卷 1/2，頁 77-84。
- 林裕彬，2013：臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究。水利署水規所。
- 林銘郎、吳文隆、周坤賢、楊智堯、王景平，2008：臺灣坡地災害地理區位類型及整治案例探討，*中華技術*，第 77 期，PP42~53。
- 洪如江，2002：「順向坡之破壞與穩定」，*地工技術*，第 94 期，P5-18。
- 洪如江，2009：坡地災害防治，*水利土木科技資訊季刊*，第 46 期，PP7-15。
- 洪如江、林美聆、陳天健、王國隆，2000：921 集集大地震相關的坡地災害、坡地破壞特性與案例分析，*地工技術*，第 81 期，第 17-32 頁。
- 洪念民、童慶斌、譚義績，1998：氣候變遷對台中水利會大安溪灌渠缺水率之影響。*臺灣水利*，46 (2)，48-59。
- 柳中明、華昌宜、游保杉，2008：氣候變遷長期影響評估及因應策略研議委託計畫報告。行政院經濟建設委員會。
- 陳宏宇，2000：臺灣山崩之工程地質特性，*地工技術*，第 79 期，第 59-70 頁。
- 陳亮全、李清勝、游保杉、游繁結、溫國樑、歐陽嶠暉、蔣偉寧、林峰田、黃宏斌，2008：*生活防災*。空大出版。
- 陳雲蘭，2008：由極端氣候指標看臺灣氣候變化。2008 臺灣氣候變遷研討會。
- 陳昭銘，2008：『臺灣之自然季節』，*水利土木科技資訊季刊*，42，1-9。
- 陳榮河、林美聆、廖洪鈞、林三賢、廖瑞堂、周南山、李維峰，2004：臺灣坡地與土石災害防治之回顧與展望，*地工技術*，100: 107 - 126。
- 陳樹群與吳俊鉉，2005：集集地震引發九九峰地區之崩塌型態探討，*中華水土保持學報*，36 (1)：101 - 112。
- 陳樹群與吳俊鉉，2009)：高雄縣小林村獻肚山巨型深層崩塌引致之地形變遷特性，*中華水土保持學報*，40 (4)：359 - 376。
- 陳樹群、吳俊毅、謝政道，2012a：崩塌危害分析模型之建立 - 以臺北水源特定區為例，*中華水土保持學報*，43 (4)：332 - 345。
- 陳樹群、諸予涵、吳俊鉉，2012b：旗山溪集水區長期降雨特性改變與崩塌分佈關係，*中華水土保持學報*，43 (4)：293 - 301。



- 陳樹群、施佩瑜、吳俊鋹，2013：極端水文事件土砂量對陳有蘭溪河川型態演變影響分析，*中華水土保持學報*，44 (4)：311-323。
- 陳啟明與龔誠山，2013：氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究第 2 階段管理計畫 (3/4)，經濟部水利署委辦計畫。
- 陳韻如、謝龍生、陳品妤、黃柏誠，2010：由農業乾旱特性談氣候變遷下農業用水的調適，*農業世界*，324 期，頁 40-47。
- 陳韻如、林聖琪、王俞婷、李宗融，2011：山區道路崩塌災害潛勢評估，*臺灣公路工程*，第 37 卷第 1 期，PP5-24。
- 陳韻如、劉俊志、蘇元風、陳永明、林李耀、葉克家，2013：氣候變遷對四大流域流量之衝擊。國家災害防救科技中心，NCDR 101-T34。
- 陳韻如、陳偉柏、林又青、劉佩鈴、施虹如、蘇元風、陳永明、張志新，2014：氣候變遷衝擊下災害風險地圖，國家災害防救科技中心技術報告 NCDR 102-T17。
- 陳儒賢、洪毓婷、陳清田，2012：臺灣地區乾旱特性之研究，*中華水土保持學報*，43 卷 1 期，頁 85-95。
- 郭振泰與林國峰，1992：臺灣地區乾旱問題之回顧與前瞻，*土木水利*，18 卷 4 期，頁 33-37。
- 黃怡婷，2009：應用 GIS 於海岸颱風災害資訊系統建置之研究，碩士論文，國立臺灣海洋大學河海工程所。
- 郭士筠、陳亮全、陳永明、胡琇雯，2014a：氣候變遷災害衝擊之整合性風險治理機制之研究，國家災害防救科技中心，台北市，NCDR 103-T19。
- 郭士筠、陳韻如、徐硯庭、鄭卉儀、胡琇雯，2014b：氣候變遷災害調適政策之初探，國家災害防救科技中心，台北市，NCDR 103-T20。
- 翁叔平與楊承道，2013：應用標準化降水蒸發散指數分析臺灣百年來乾溼變化的低頻特徵與遙地相關，*大氣科學*，41 (2)，139-170。
- 許泰文，2010：強化臺灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫 (1/2)，經濟部水利署委辦計畫。
- 許泰文，2012：強化臺灣西北及東北地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫 (1/2)，經濟部水利署委辦計畫。
- 許晃雄，2001：「臺灣環境變遷與全球氣候變遷衝擊之評析-氣候 (III)」。
- 張倉榮、許銘熙、林國峰，2009：脆弱度及風險地圖分析方法之研究，經濟部水利署委辦計畫。
- 張廣智與潘惠民，2002：讓園區用水無虞 不再乾等待--臺灣新竹科學工業園區旱災應變處理對策，*節約用水*，28 期，頁 14-22。
- 游保杉，2007：臺灣地區乾旱變異趨勢與辨識研究 (I)。國家科學委員會研究計畫報告。
- 游保杉、蔡長泰、林漢良、李振誥，2011：氣候變遷對水旱災災害防救衝擊評估研究計畫(2/2)，經濟部水利署委辦計畫。
- 游保杉、林漢良、林妤蓁、李振誥、蔡長泰，2013：氣候變遷對中部地區水旱災災害防救衝擊評估及調適策略擬定 (2/2)，經濟部水利署委辦計畫。

- 童慶斌，1997：氣候變遷對大甲溪上游河川流量之衝擊。《臺灣水利》，45 (2)，64-69。
- 童慶斌、李宗祐，2001：氣候變遷對七家灣溪流量之影響評估。《中國農業工程學報》，第47卷，第一期，65-74。
- 黃文政、張守陽、陳孝宇、吳建興、劉欣霖、張益家、蘇元風，2003：臺灣地區近三十年來連續不降雨日數分析與探討。《臺灣水利》，51 (2)，1-9。
- 詹錢登，2008：氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究-子計畫：氣候變遷對坡地土砂災害之衝擊評估 (III)。行政院國家科學委員會。
- 詹錢登與李明熹，2004：土石流發生降雨警戒模式。《中華水土保持學報》，35 (3)：275 - 285。
- 楊樹榮、林忠志、鄭錦桐、潘國樑、蔡如君、李正利，2011：臺灣常用山崩分類系統，第十四屆大地工程研討會。
- 虞國興，2007：「水文情勢變化與區域乾旱程度影響之關聯性探討」。行政院農業委員會補助研究計畫。96農科-12.1.1-利-b1 (5)。淡江江大學水資源管理與政策研究中心。
- 虞國興與莊明德，1992：臺灣乾旱特性之研究。《臺灣水利》，40卷4期總號160，頁20-33。
- 廖俊璋、葉春國、詹仕堅、劉一新、廖學誠，2012：太麻里溪集水區極端水文事件的頻率分析。《工程環境會刊》，第二十八期民國一百零一年一月第89-103頁。
- 蔡明華，1989：乾旱時期灌溉營運因應措施。《農田水利》，36卷6期，頁28-38。
- 歐日正與胡治洪，1995：臺灣地區乾旱灌溉因應措施之探討。《臺灣經濟研究月刊》，18卷7期總號211，頁44-52。
- 盧孟明與麥如俊，2003：臺灣與全球雨量長期變化研究 (一) 1920~1995 變化趨勢。《大氣科學》，31 (3)，199-220。
- 簡連貴、郭瓊瑩，2012：海岸地區土地使用整體防護策略研究，內政部營建署委辦計畫。
- 蕭政宗與楊志傑，2006：臺灣地區之區域乾旱頻率分析。《農業工程學報》，52卷2期，頁83-101。
- 謝龍生、柳文成、童慶斌，2004：氣候變遷對大漢溪及新店河流域防洪系統潛在衝擊影響之研究。《農業工程學報》，第50卷，第3期，第32-47頁。
- 謝龍生、張駿暉、童慶斌、柳文成，2012：氣候變遷對臺灣河川尖峰流量之影響及相關流域管理措施。《中國土木水利工程學刊》，24卷3期，頁245 - 252。
- 鍾文祥、蔡文豪、龔誠山，2010：水利建設因應全球氣候變遷白皮書，經濟部水利署委辦計畫。
- 鍾侑達、郭峻菖、陳昶憲，2009：臺灣區域降雨趨勢分析。《農業工程學報》第55卷第4期，第1~18頁，中華民國98年12月。
- 魏曉萍、葉克家、楊昇學，2013：氣候變遷下極端事件之流量推估—以曾文溪為例。《農業工程學報》，第59卷第4期，第12-22頁。
- 譚義績，2010：強化高屏河流域因應氣候變遷防洪調適能力研究計畫 (1/2)，經濟部水利署委辦計畫。
- 顧承宇、陳建忠、張怡文、許世孟、陳耐錦、溫惠鈺，2012：氣候變遷下極端降雨引致

- 廣域坡地災害評估技術之研究，*中華水土保持學報*，43 (1) : 75-84。
- 內政部消防署，2015：天然災害統計。取自 <http://www.stat.gov.tw/ct.asp?xItem=15396&CtNode=3602&mp=4>。
- 內政部營建署城鄉發展分署，2011：建立易致災地區之安全建地劃設機制與準則（第三期）。
- 交通部中央氣象局，2010：天然災害災防問答集。
- 水土保持局，2011：氣候變遷對高屏流域坡地災害發生潛勢之影響評估。
- 水土保持局，2012：『氣候變遷對坡地防災規劃之影響評估』。
- 水土保持局，2013：氣候變遷下坡地災害潛勢評估及調適策略制定之研究。
- 水土保持局，2015a：重大土石災情報告，行政院農業委員會水土保持局土石流防災資訊網。取自 <http://gis.swcb.gov.tw/disasterInfo/ImpDisasterReport.aspx>。
- 水土保持局，2015b：土石流潛勢溪流統計。行政院農業委員會水土保持局土石流防災資訊網。取自 <http://gis.swcb.gov.tw/debrisClassInfo/potential/potential4.aspx>。
- 科技部，2014：國家氣候變遷調適行動計畫—災害領域行動計畫。行政院科技部。台北市。
- 科技部，2016：臺灣氣候變遷科學報告 2016—第一冊。行政院科技部，台北市，臺灣。
- 經建會，2012：國家氣候變遷調適政策綱領。行政院經濟建設委員會（現稱行政院國家發展委員會），台北市，臺灣。
- 經濟部，2009：旱災災害防救業務計畫。
- 水利署，2011：水災危險度、脆弱度與風險圖製作技術手冊。
- 水利署，2012：氣候變遷對流域洪水防護與土砂災害衝擊。
- 水利署，2008：水利建造物工程設計基準之檢討。
- 水利署，2012：氣候變遷水文情境評估研究，執行單位：國立臺灣大學水工試驗所。
- 水利署，2015：水災事件，經濟部水利署水利緊急應變經驗學習中心，取自 [http://wra.caece.net/llc/source/104\\_Dujuan.html](http://wra.caece.net/llc/source/104_Dujuan.html)。
- 水利署水規所，2011：氣候變遷下臺灣南部河川流域土砂處理對策研究-以高屏溪為例。經濟部水利署水利規劃試驗所。
- 水利署水規所，2013a：高屏河流域因應氣候變遷防洪及土砂更新研究計畫。經濟部水利署水利規劃試驗所。執行單位：國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心。
- 水利署水規所，2013b：曾文河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫。經濟部水利署水利規劃試驗所。執行單位：財團法人成大研究發展基金會。
- 水利署水規所，2013c：淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究。經濟部水利署水利規劃試驗所。執行單位：國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心。
- 國家災害防救科技中心，2013：2012 天然災害紀實。行政法人國家災害防救科技中心。新北市。
- 國家災害防救科技中心，2014：2013 天然災害紀實。行政法人國家災害防救科技中心。新北市。

- 國家災害防救科技中心，2015：台灣極端降雨事件：1992-2013 年重要事件彙整。行政法人國家災害防救科技中心。新北市。
- 國家災害防救科技中心，2016：臺灣氣候變遷災害衝擊風險評估報告。行政法人國家災害防救科技中心。新北市。
- 國科會，2011：臺灣氣候變遷科學報告 2011。行政院國家科學委員會（現稱行政院科技部），台北市，臺灣。
- American Meteorological Society., 2013: Drought: An Information Statement of the American Meteorological Society. Retrieved from <https://www.ametsoc.org/ams/index.cfm/about-ams/ams-statements/statements-of-the-ams-in-force/drought/>
- Birkmann, J. and von Teichman, K., 2010: Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: key challenges—scales, knowledge, and norms. *Sustainability Science* 5(2), pp.171-184.
- Chen, S-T, Yu, P-S, Tang, Y-H, 2010: Statistical downscaling of daily precipitation using support vector machines and multivariate analysis, *Journal of Hydrology*, 385(1-4), PP. 13~22.
- Chiang, Shou-Hao and Chang, Kang-Tsung, 2011: The potential impact of climate change on typhoon-triggered landslides in Taiwan, *Geomorphology* 133(3-4), pp.143-151.
- Chow, V.T., 1956: Hydrologic studies of floods in the United States, *International Association of Scientific Hydrology* 42:134 170.
- Chu, J.-L., H. Kang, C.-Y. Tam, C.-K. Park, and C.-T. Chen, 2008: Seasonal forecast for local precipitation over northern Taiwan using statistical downscaling, *J. Geophys. Res.*, 112.
- CRED., 2014: The International Disaster Database. Explanatory Notes: Classification. Retreved in March 2014 at <http://www.emdat.be/classification>.
- EM-DAT, 2009: The OFDA/CRED International Disaster Database. Universite Catholique de Louvain, Brussels, Belgium.
- Global Change Research Program., 2009: Global Climate Change Impacts in the United States. USA: Global Change Research Program. Retrieved from <http://downloads.globalchange.gov/usimpacts/pdfs/climate-impacts-report.pdf>
- Hammer, W., 1972: Handbook of system and product safety. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.
- Huang, Wen-Cheng, Chiang, Yun, Wu, Ruo-Ying, Lee, Jyun-Long, and Lin, Shu-Hua., 2012: The Impact of Climate Change on Rainfall Frequency in Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* 23(5), pp.553-564.
- Hung, C.-W. and Kao, P.-K., 2010: Weakening of the Winter Monsoon and Abrupt Increase of Winter Rainfalls over Northern Taiwan and Southern China in the Early 1980s. *Journal of Climate* 23, pp.2357-2367.
- Hsieh, L-S., Jang, J-H, Tung, C-P, and Liu, W-C., 2012: RUNOFF PEAK UNDER CLIMATE CHANGE AND ASSOCIATED, *Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering*, Vol. 24, No. 3, pp. 245-252.

- Hsu, H.-H. and Chen, C.-T., 2002: Observed and Projected Climate Change in Taiwan. *Meteorol. Atmos. Phys.* 79, pp.87-104.
- Innocenti, D. and Albrito, P., 2011: Reducing the risks posed by natural hazards and climate change: the need for a participatory dialogue between the scientific community and policy makers. *Environmental Science & Policy* 14, pp.730-733.
- IPCC., 1994: IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). London. United Kingdom.
- IPCC., 2007a: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC., 2007b: Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.
- IPCC., 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, New York, NY, USA, 582 pp.
- IPCC., 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC., 2014: Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1820 pp.
- Liu, Shaw Chen, Fu, Congbin, Shiu, Chein-Jung, Chen, Jen-Ping, and Wu, Futing., 2009: Temperature dependence of global precipitation extremes, *Geophysical research Letters* 36 L17702.
- McBean, G. and Ajibade, I., 2009: Climate change, related hazards and human settlements. *Current Opinion in Environmental sustainability* 1, pp.179-786.
- Munich Re., 2015: Loss events worldwide 1980-2014. Retrieved at [https://www.munichre.com/site/touch-naturalhazards/get/documents\\_E2080665585/mr/assetpool.shared/Documents/5\\_Touch/\\_NatCatService/Focus\\_analyses/1980-2014-Loss-events-worldwide.pdf](https://www.munichre.com/site/touch-naturalhazards/get/documents_E2080665585/mr/assetpool.shared/Documents/5_Touch/_NatCatService/Focus_analyses/1980-2014-Loss-events-worldwide.pdf).
- Murakami, H., Wang, B., and Kitoh, A., 2011: Future change of western North Pacific typhoons: projections by a 20-km-mesh global atmospheric model. *Journal of Climate* 24, pp.1154-1169.
- Kimura, Nobuaki, Chiang, Shen, Wei, Hsiao-Ping, Su, Yuan-Fong, Chu, Jung-Lien, Cheng, Chao-Tzuen, Liou, Jun-Jih, Chen, Yung-Ming, and Lin, Lee-Yaw., 2014: Tsengwen Reservoir Watershed Hydrological Flood Simulation Under Global Climate Change Using the 20 km Mesh Meteorological Research Institute Atmospheric General



- Circulation Model (MRI-AGCM), *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 25, No. 3, 449-461
- Knutson, T.R., McBride, J.L., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Held, I., Kossin, J.P., Srivastava, A.K., and Sugi, M., 2010: Tropical cyclone and climate change. *Nature Geoscience* 3, pp.157-163.
- O'Brien, G., et al., 2006: Climate change and disaster management. *Disaster* 30(1), pp.64-80.
- Parker, D.J., 2000: Introduction to floods and flood management. In *Floods* (eds. By Parker, D.J.). Routledge, London.
- Rao, A. and Al-Wagdany, A., 1995: Effects of Climatic Change in Wabash River Basin, *J. Irrig. Drain Eng.*, 121(2), 207–215.
- Sheffield, J. and Wood, E.F., 2011: Drought: past problems and future scenarios. Earthscan. London, UK.
- Sperling, F. and Szekely, F., 2005: Disaster risk management in a changing climate. In the World Conference on Disaster Reduction. Kobe, Japan.
- Sugi, M., Murakami, H., and Yoshimura, J., 2009: A reduction in global tropical cyclone frequency due to global warming. *Scientific Online Letters on the Atmosphere* 5, pp. 164-167.
- von Storch, Hans, 1999: On the use of 'inflation' in statistical downscaling. *Journal of Climate* 12(12), pp. 3505-3506.
- Thomalla, F., et al., 2006: Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation. *Disaster* 30(1), pp.39-48.
- Tu, Jien-Yi and Chia Chou, 2013: Changes in precipitation frequency and intensity in the vicinity of Taiwan: typhoon vs. non-typhoon events. *Environmental Research Letters* 8(1).
- Tung, C. and Haith, D., 1995: Global-Warming Effects on New York Streamflows, *J. Water Resour. Plan. Manage.*, 121(2), 216–225.
- Turnbull, M., Sterrett, C.L., and Hilleboe, A., 2013: *Toward resilience: a guide to disaster risk reduction and climate change adaptation*. Practical Action Publishing, Warwickshire, UK.
- UNDP, 2004: *Adaptation policy frameworks for climate change: developing strategies, policies and measures*. United Nations Development Programme (UNDP). New York, NY, USA.
- UNEP, 2013: *PROVIA guidance on assessing vulnerability, impacts and adaptation to climate change*. United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi, Kenya.
- UNFCCC, 2008: *Integrating practices, tools and systems for climate risk assessment and management and strategies for disaster risk reduction into national policies and programmes*. United Nations Framework Convention on GJO3Y9 Climate Change (UNFCCC). 47pp.
- UNFCCC, 2015: Paris Agreement. Retrieved at [http://unfccc.int/meetings/paris\\_nov\\_2015/items/9445.php](http://unfccc.int/meetings/paris_nov_2015/items/9445.php)
- UNISDR, 2009: *2009 Terminology on Disaster Risk Reduction*. United Nations International



- Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Geneva, Switzerland. 35 pp.
- UNISDR, 2011: Global assessment report on disaster risk reduction (GAR). United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Oxford, UK.
- UNISDR, 2012: Annual Report 2011. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Geneva, Switzerland. 76 pp.
- UNISDR, 2013: Global assessment report on disaster risk reduction (GAR). United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Oxford, UK.
- UNISDR, 2015a: Global assessment report on disaster risk reduction (GAR). United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Oxford, UK.
- UNISDR, 2015b: Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Geneva, Switzerland. 37 pp.
- Venton, P. and La Trobe, S., 2008: Linking climate change adaptation and disaster risk reduction. Tearfund. Teddington, United Kingdom. 19 pp.
- Ward, R., 1978: Floods: A Geographical Perspective, London: Macmillan.
- Wilby, R. L., and H. J. Fowler, 2010: Regional climate downscaling, in Modelling the Impact of Climate Change on Water Resources, edited by C. F. Fung, A. Lopez, and M. New, chap. 3, pp. 34–85, Wiley-Blackwell, Chichester, U. K.
- World Bank, 2005: Natural disaster hotspots a global risk analysis. The World Bank. Washington, D.C., 148pp.
- WMO, 2006: Drought Monitoring and Early Warning: Concepts, Progress and Future Challenges, World Meteorological Organisation (WMO). Geneva.
- Wood, A.W., Leung, L.R., Sridhar, V. and Lettenmaier, D.P., 2004: Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climatic Change* 62, pp.189–216.
- Yevjevich, V., 1992: Floods and society, in G. Rossi, N. Harmancioglu and V. Yevjevich (eds) *Coping with Floods*, NATO ASI Series, Dordrecht: Kluwer, pp. 3–9.
- Yu, Pao-Shan, Yang, Tao-Chang and Wu, Chih-Kang, 2002: Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. *Journal of Hydrology*, **260**(1-4), 161-175.



## 第三章 陸域生態

<sup>1</sup>李培芬、<sup>2</sup>柯佳吟

<sup>1</sup>國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所、<sup>2</sup>中央研究院環境變遷研究中心

### 摘要

氣候變遷對於生態系之衝擊，並不僅止於物種或生態系等自然界，其影響也可能從物種而到人類賴以維生的農業或經濟發展，例如藉由影響昆蟲之生理與生態，進而影響其寄主植物、天敵之分布或出現，最後可能衝擊到農業生態系之生產力和人類的糧食供應。

本章針對臺灣生態的特色，介紹陸域生態的特色與現況，並說明目前所面臨的問題，進而從已發表的國內外研究或相關計畫成果，以臺灣的實例（植物與繁殖鳥類分布改變），以及模擬的預測結果，針對生物分布的課題，從指標物種與生態系，包括附生植物、重要森林樹種（冷杉、鐵杉、雲杉、紅檜、扁柏）、鳥類（黑面琵鷺、八色鳥、特有種植物、繁殖鳥類）、兩生類、淡水魚類、海岸生態、生態保護區等項之預測成果，說明臺灣陸域生態受到氣候變遷影響下可能遭受的衝擊。

最後提出十項調適策略與後續發展的建議，包括 1. 加強投資生態研究，2. 評析各生態系受氣候變遷影響之脆弱度與恢復力，3. 生態資料庫與資訊中心之建置，4. 生態監測體系之建立，5. 保護區邊界的檢討與網絡之建構，6. 落實外來入侵種之防治，7. 評估與預測方法之建立，8. 界定並增進對生態敏感區之瞭解，9. 減少沿岸地區之開發，10. 國土規劃。

**關鍵字：**生物多樣性、指標指種、稀有物種、生態系、分布改變、海平面上升、調適策略

### 3.1 前言

臺灣為一小島，島內高山多，可為人類使用的面積有限，但是過去開發行為

多，造成許多重要的生態區域受到擾動，加上島嶼本身就缺乏緩衝空間，在生態上極為脆弱。和大陸型的相似區域比較，在國土維護或復育上會困難許多。許多的環境、生物多樣性與自然資源，不僅具有獨特性，而且一旦遭受破壞，就很難復原。在氣候變遷的壓力下，島嶼生態系所受到的衝擊將更為顯著，能採取的因應對策，也因為腹地的受限，選項有限，也更為困難。

雖然臺灣面積小，由於地形變化複雜，氣候上包含有熱、暖、溫、寒等生態系類型，高山林立，生態系多樣性高，加上鄰近歐亞大陸，又是候鳥遷移的中繼站，動、植物種類繁多，更包含許多特有種生物。所以，臺灣所擁有的生態環境正是北半球生態系的縮影。

氣候變遷對於生態系之衝擊，並不僅止於物種或生態系，也可能從物種而到農業生態系，進而影響人類社會的經濟和永續發展。例如氣候變遷可藉由影響昆蟲之生理、行為、生活史和分布，進而影響其寄主植物、天敵之分布或出現，最後可能衝擊到農業生態系之生產力和人類的糧食供應 (Huang et al. 2010)。

本章針對臺灣生態的特色，說明陸域生態的特色與現況，並探討目前所面臨的問題。進而從已發表的研究或相關計畫成果，以實例和模擬的預測結果，介紹臺灣陸域生態受到氣候變遷的可能衝擊，最後提出調適策略與後續發展的建議。

## 3.2 現況

臺灣位處熱帶與亞熱帶交接，氣候溫和，雨量充沛，加上早先的板塊與地質活動，山巒起伏，形成獨特的生態環境。至 2015 年 9 月底為止，在臺灣所記錄到的生物種類已達 57,990 種 (取自 TaiBIF 臺灣生物多樣性資訊入口網，<http://taibif.tw/>)，相較於全球超過 175 萬種已被命名的生物種類而言，看似不高，但比較單位面積下的物種數 (密度) 而言，臺灣所涵養的生物種類可謂相當的高，再加上特殊的地理環境所孕育出高比例的特有種數，臺灣可說是全世界生態學研究的重要地區之一。此外，沿著海拔梯度所觀測到的植物種類與生態系的變化，臺灣的生態系分布可說是北半球生態系的縮影，以主要生態系類型而言，從海岸到高山，恰可比擬從赤道區域到高緯度寒帶地區的分布情形，相當於北半球從赤道到約北緯 40 多度的地區。這種極具代表性的物種和生態系之間的變化，以及豐富的生物多樣性，使得臺灣在全球生態課題的探討上，佔有指標性的特殊意義。

以臺灣的物種多樣性而論，從已記錄到的物種數來看，節肢動物最高，27,227 種，其次是植物界 (8,559 種) 與真菌界 (6,246 種)；而就臺灣特有種的比例來看，則以哺乳動物為首 (64%)，依序為昆蟲 (62.5%)、植物 (26%)、兩生類 (25%)、爬蟲類 (18%)、鳥類 (13%)、真菌 (2%) 與魚類 (2%) (TaiBIF 臺灣生物多樣性資訊入口網 2015)。

從生態系多樣性的角度而言，由於臺灣的特殊地理位置，同時具有陸域生態系與海域生態系兩大型態。在陸域生態系部分，分為由海拔梯度構成的多樣化植物區群，以及由河川、溪流、湖泊等構成的淡水生態系 (含濕地)。在各類植群分布沿海拔梯度所形成的生態系，從低海拔的熱帶季風林、亞熱帶常綠闊葉林，到中海拔的暖溫帶常綠闊葉林、中高海拔的涼溫帶針闊葉混合林，進而到高海拔的冷溫帶針葉林、亞高山針葉林、高山寒原的自然植群，再加上濕地植群與人工植群，形成了不同且多樣化的陸域生態系，各生態系也涵養著特殊的生物相；而淡水生態系則包含沿岸濕地和溪流環境，各類型的浮游生物與高等植物、節肢動物、軟體動物與脊椎動物 (魚類、兩生類、鳥類) 等物種，構成臺灣陸域生態系的主角。以下簡介臺灣陸域生態系中自然植群所構成生態系、濕地生態系和淡水生態系類型 (李培芬 2013)。

### 3.2.1 自然植群

#### 熱帶季風林

熱帶季風林僅出現在臺灣南部地區，海拔 200 公尺以下的區域。本區植被分層明顯，上層為高大闊葉樹與藤類，中下層為灌木與耐陰的草本植物與灌叢，林內鬱閉陰暗。常見植物有白榕、桑樹、草海桐、欖仁樹、黃槿、蓮葉桐、海欖果、瓊崖海棠、棋盤腳、銀葉樹、象牙樹、林投、馬鞍藤等。代表地點在恆春半島，半島上珊瑚礁地形因地層不斷抬升，形成特殊的熱帶高位珊瑚礁海岸林，植物具有耐鹽、抗風與可接受強日照的特性。

#### 亞熱帶常綠闊葉林

主要分布在海拔 500 公尺以下 (在南部為海拔 200-700 公尺) 的平地或山坡

地。植物組成以桑科與樟科為主。在過去，這個區域是臺灣蝴蝶物種的分布熱點，不過，因海拔低且地勢平緩、開發歷史較早等因素，目前僅臺灣東部的少數地區仍保留原始狀態，其餘區域的原始植被多已消失，僅有一些殘存的次生林與人工林，造成蝴蝶多樣性和豐度的銳減。代表植物種類有稜果榕、構樹、小葉桑、香楠、茄苳、青剛櫟；次生林以白匏仔、山黃麻、血桐、野桐為主；人工林則有相思樹、油桐、桂竹、綠竹、麻竹等。

#### 暖溫帶常綠闊葉林

暖溫帶闊葉林位於海拔 500-1,800 公尺 (因為緯度差異，在南部為海拔 700-1,800 公尺)，土壤富含腐植質，森林鬱閉度高。全世界類似的植群，僅分布於臺灣、東南亞與婆羅洲。代表植物為常綠闊葉樹，以樟科、茶科或殼斗科植物為主，如大頭茶、日本槿楠、大葉楠、火燒栲、卡氏櫛、臺灣山香圓等。也常散生一些臺灣肖楠、臺灣黃杉之類的針葉樹，與次生林，如山黃麻、楓香、臺灣櫟、栓皮櫟等。此外，本區也常見桂竹、柳杉、孟宗竹之類的人工林，或是各種附生蕨類與筆筒樹等大型蕨類。在海拔 1,300-2,000 公尺的山脈稜脊上，還有臺灣唯一的闊葉落葉性山毛櫟林 (*Fagus hayatae*，又名台灣水青岡，是文化資產保存法所規範的珍貴稀有植物之一)。此區域也是臺灣植物種類多樣性最高的區域，同時位於該區域的老齡林，孕育著多樣的野生動物。

#### 涼溫帶針闊葉混合林

涼溫帶針闊葉混合林又稱為「盛行雲霧帶」、「霧林帶」或檜木林帶，分布在海拔 1,800-2,500 公尺。本區雲霧終年繚繞，地球上品質最好、材積最大的紅檜，就是代表樹種之一。區內的植被混合針葉林與闊葉林，針葉林以紅檜、扁柏、戀大杉、臺灣杉、鐵杉與紅豆杉為主，闊葉林則以殼斗科與楠科的植物為主，如長尾柯、森氏櫟、紅楠等。山地池沼與苔林是此區域中霧林帶的特色。

#### 冷溫帶針葉林

冷溫帶針葉林分布於海拔 2,500-3,000 公尺地區，組成林型以鐵杉、雲杉為主，也可見臺灣華山松、臺灣二葉松、高山櫟、高山芒等，松林下常可見玉山箭



竹伴生。本區較常受到火災與侵蝕作用的影響，植被亦常見到臺灣赤楊、玉山箭竹等演替早期的植物。林下植物以臺灣馬醉木、玉山假沙梨、紅毛杜鵑為主。

## 亞高山針葉林

亞高山針葉林分布於海拔約 3,000-3,500 公尺的地區，代表植物如臺灣冷杉、玉山箭竹，地面上常見玉山龍膽、高山白珠樹等，冷杉林的分布海拔上限就是臺灣的森林線。冷杉林與玉山箭竹為亞高山針葉林帶最具代表性的兩種植物社會。

## 高山寒原

高山寒原約位於海拔 3,500 公尺以上，又稱為「高山植物群帶」或「亞寒帶」。只有某些灌木及草本植物能夠在此生長，植物以矮性灌木或草本為主，如玉山圓柏、玉山杜鵑、玉山小蘗、巒大花楸等。由於森林無法生長，在海拔 3,500 公尺的區域形成一道自然的界限，稱為森林界限（或森林線）。此區域主要分為灌叢類的高山灌叢與生長在碎石坡的草本植物兩大類：高山灌叢的主要組成分子是玉山圓柏與玉山杜鵑，灌木高度約兩公尺；而碎石坡上的草本植物，常具有深埋地下的莖部或根部，在大雪覆蓋後仍能生存，臺灣的特有植物南湖柳葉菜，就是一例。

### 3.2.2 濕地生態系

濕地保育法於 2015 年 2 月 2 日施行後，臺灣的濕地獲得更多的重視和保護，現有 2 處國際級與 40 處國家級的國家重要濕地，另有 41 處地方級濕地正處於再評定的階段。

水生植物生長在濕地中，散布在臺灣各處，從高海拔的高山湖泊到平地的河口、海岸地區，種類多樣化。濕地是陸地與水域的過渡地帶，包括林澤、草澤、泥沼、水塘、低窪積水區及潮汐灘地等區域。濕地的三個要素為濕土、水生植群與水域。濕地不包含河流、湖泊或海洋這類永久性的水域，但湖泊邊緣的淺水區域、河口海岸地區、經常或間歇為洪水或潮汐所淹沒的土地，均是構成濕地生態的重要部份。

臺灣的濕地可分為河口與淡水濕地兩大類型。河口包括大部分海岸半含鹽濕

地，如潮地鹽生草澤、紅樹林沼澤、潮間泥質灘地等；淡水濕地包含草澤地、灌叢沼地與森林濕地。代表性植物有紅樹林（有數種）、蘆葦、田蔥、燈心草、香蒲、水燭、臺灣萍蓬草、水車前、臺灣水韭、大萍、東亞黑三稜等。

紅樹林是在臺灣最為人所熟知的濕地植群，且臺灣和琉球群島正是東亞地區紅樹林植物分布的北界。臺灣的紅樹林分布於西海岸地區和金門，尤其在河口淡、鹹水交會處。臺灣的西部河口泥灘地所屬的紅樹林植物共有 6 種，其中有 2 種已因區域性開發而滅絕，現僅存的紅樹林植物包括水筆仔、海茄苳、五梨跤和欖李，不同區域有不同的物種，例如在臺北市與新北市的淡水河沿岸，僅出現水筆仔。

沿海的濕地也是許多候鳥的重要棲息地，約有 350 種以上的候鳥利用濕地的環境，曾文溪口、蘭陽溪口、大肚溪口、淡水河口沿岸均屬於臺灣的國家重要濕地，候鳥資源豐富。在眾多候鳥種類中，有些鳥類為過境性質，但也有許多候鳥留在臺灣過冬，主要的種類包括鷺、鵝、鴛科與雁鴨等。位於曾文溪口附近濕地，包括七股和四草，屬國際級的國家重要濕地，更是全世界稀有性黑面琵鷺的主要度冬區之一，2015 年全球黑面琵鷺的總數量約 3300 隻，出現於臺灣者約 2034 隻，而此區黑面琵鷺的數量佔全球族群的 35% 以上。

#### 3.2.3 淡水生態系

臺灣的降水豐沛、山勢陡峻，因此產生了約四百多條的河流，整個流域面積達 28,429 平方公里，占臺灣面積的 80%，形成臺灣島上相當明顯的自然景觀之一，同時也是頗具代表性的自然生態系。河川大多發源於中央山脈與雪山山脈，並直流注入海洋，而且普遍短小，河川主流長度大多在 10 公里以內，僅有七條長度超過 100 公里者，都分布在西部。臺灣河川水系切割緻密，河川密度高。

整體而言，臺灣的河川一般具有河短流急、河床坡度大、流量豐枯差異大等特性。本島最寬處不到 200 公里，加上山脈的聳立，造成流域面積普遍狹小，75% 以上的河川流域面積不超過 10 平方公里。

由於山脈主軸為南北向，臺灣的水系因而呈現東西散布。河川長度大多偏短，然而，因海拔高度落差最大可達 3,500 公尺，所以形成了「山高水急」的現象。由於中央山脈主軸略為偏東，因此東半部的河川比西半部的略短，更加陡且急。

臺灣島上的地盤運動不斷間歇隆起，有三分之一以上的土地在海拔 1,000 公

尺以上，造成河床坡降特別高，尤其是東部河川。再加上降雨集中，地質脆弱，常會發生土石崩落，形成上游侵蝕力強，下游淤積量大的現象。因此臺灣河川的年輸沙量頗高，河川下游平原堆積旺盛，河階、谷中谷、穿入曲流、隆起沖積扇等地形到處可見。

除了少數高山偶有降雪外，臺灣主要的降水型態是以降雨為主，因此雨水成為河川主要的水源。雖然，臺灣的年總降雨量很高，但是在季節和區域分布上，卻顯得不平均，因此形成一年中有豐水期與枯水期的區別，河川的流量變異懸殊。一般而言，豐水期多出現於 5 至 10 月間，其他月份則為枯水期。在豐水期時，河川的水量充沛、水流湍急；而在枯水期時，雨水少，蒸發量大，在許多高山源頭，水量甚至消失，使得許多河川的河床裸露，因此成為季節性的間歇河。除了季節分布，雨量在空間的分布上也不平均，臺灣西南部區河川流量的豐枯變化，差異程度最高。

在生態上，河川可視為一條動態又連續的系統，由高山源頭開始，一直到出海口，可以概分「上游森林區」、「中游農墾區」（其間也流經都會區）、「下游出海口」這三大區域。不同的河川區域，因為環境條件的差異，產生不同類型的生物。

河川的上游是森林，坡度較陡、水流湍急，但水溫低，底質有比較多的中、大型石塊，也會形成淺瀨或急瀨，水中溶氧高，是許多藻類與水生昆蟲的棲息地。由於森林樹木密布，透光度差，光合作用量並不高，水生植物較難生存，只有一些附著性的藻類（生產者）出現。

在水潭區，因為有樹上掉下來的枯枝落葉，經過分解後，會釋放出營養鹽，成為上游區重要的營養鹽來源，也因此吸引許多生物前來棲息。營養鹽被微生物與水棲昆蟲利用，經過食物鏈，再被河川內的其他動物利用，形成河川生態系之營養鹽循環。整體而言，生活於上游區的魚，體型不大，且能適應低溫與急流環境，著名的櫻花鉤吻鮭就生活在這個區域。

中游河段由於受到上游的影響，加上地形逐漸開闊，呈現出不同的生態特色。河流由上游山區進入中游時，因為河道逐漸開闊、坡度趨緩，出現更多的深潭類的緩流水體。由於四周有人類聚集，也可能有農耕，許多的地區會被開發，因而當人類越來越多時，也會形成都會區。因為樹木較少，透光度和水量也增高，生產者方面由大型固著型水草與浮游性藻類為主，消費者則為體型較大的魚類與底

棲動物。

下游區匯集了各主、支流的水體，再加上流經人類主要活動區域，接收了許多家庭和工業的污水，影響了河川的水質與生物棲地，對河流中的生物造成生存壓力，形成程度不等的衝擊。下游區生物種類與中游類似，但因為接近出海口，在洄游季節，可以見到許多洄游性動物出現。同時，這個區域因為交通便利、遭受污染、環境單一化，使得環境品質稍差，能生活於這種環境的生物較少，除非是一些適應能力強的生物，因此常可以見到許多生命力強悍的外來種。

河流最後會流入海中，在河川與海洋的交會處的河口區，生產力高，無論是河川與海洋的生物，均可在本區域出現。國家重要濕地大多分布於此。

節肢動物為淡水生態系中的最大族，並以底棲昆蟲為最多，蝦、蟹、螺、貝類次之。常見的水生昆蟲包括水黽、蜉蝣、水蠶、蜻蜓、豆娘等，這些動物可以利用水中的有機營養鹽和藻類，同時也是大型魚、蝦、蟹類的食物。臺灣的淡水蝦至少有 33 種。淡水蟹也至少有 37 種，不同種的蝦類棲息環境也有不同，若該區蝦蟹類的幼體量多，則可成為許多魚類和其他水生動物的食物來源。

魚類為河川的主要脊椎動物，臺灣溪流中已知的淡水魚類約 200 多種，其中純淡水魚至少 80 種以上，已知有 37 種為特有種。在上游區，以國寶魚櫻花鉤吻鮭最有名；上、中游的魚種，如臺灣櫻口鰍、臺灣馬口魚和鰕虎類。在下游，以慈鯛科魚類（如吳郭魚）為優勢魚種。

在兩生類中，蛙類、蟾蜍均可生活於河川內，如斯文豪氏赤蛙、褐樹蛙、長腳赤蛙，許多青蛙的幼年期也會利用溪流。在高山，則有山椒魚出現於山間小溪流的石塊下，台灣目前已知有 5 種山椒魚，均屬於瀕臨絕種的保育類。

利用溪流的脊椎動物，也包括一些哺乳類、鳥類和爬蟲類。在哺乳類中，包括水獺（罕見的珍稀動物，在金門尚可發現）、靈貓科動物（白鼻心、棕蓑貓、鼬獾...）、山羌、水鹿等；鳥類之出現則依不同區域而有差異，上游以鉛色水鶉、河烏、臺灣紫嘯鶉和小剪尾較為常見，鴛鴦亦偶而可見；在中、下游區域，以魚狗、鷺科、鶺鴒科和鴉科鳥類較多。

湖泊部分除了沿岸區著生在底部的挺水性植物和浮水性植物，以及螺、蛙與水棲昆蟲等浮游植物外，在水深略深的湖沼區則有矽藻、綠藻和藍綠藻等浮游植物，以及輪蟲、水蚤和魚類等。湖泊附近的森林或箭竹原，湖泊附近因沖刷而堆

積出的大量有機物幫助長出水草以及果實，則出現一些水棲性昆蟲，同時吸引水鳥來此棲息，其中又以雁鴨科鳥類居多。此外，臺灣的高山地區則因排水不良或自然積水而形成特殊的「高山湖泊」，以水棲昆蟲和貝類等為主，或人為放養的外來魚種，缺乏較大型水棲動物。

埤塘是水生植物的天堂，但是，若受到污染，過多的磷酸鹽或硝酸鹽，會造成藻類大量繁衍，呈現優養化；有些埤塘也會因土壤流入淤積，逐漸轉變為陸域生態系。在埤塘中，生產者是植物性浮游生物，水域內有許多浮游動、植物。大型的水生植物，如睡蓮、香蒲、慈菇、水蘊草等。較大型的消費者有水棲昆蟲、螺貝、魚類、蝌蚪、蛙類等，也有水鳥出現覓食，如鷺鷥鳥、白腹秧雞、紅冠水雞、翠鳥等。鳥類遷移季節，還可以看到許多的候鳥出現。桃園市和嘉南區域是埤塘深部的主要地點。

臺灣的一些池塘也常用來種植蓮花、菱角、茭白筍、等，並有魚類養殖。另外，水庫所構成的淡水生態系，則因水域深度較湖泊為深，浮游性植物相較為多，種類以矽藻類為主，也有一些藍綠藻與綠藻，養殖魚類則是水庫常見的魚種。

### 3.3 問題

氣候變遷造成生態系改變，主要是來自二氧化碳濃度增加，加上不斷的土地開發行為，造成溫度上升、降雨型態與分布的改變、海平面上升、紫外線增加、水質改變、極端氣候頻率與嚴重性增加等。這些環境因子的改變，則進一步造成生態系統的變化。國外的研究顯示，超過 80% 的物種，包含軟體動物到哺乳動物、禾草到樹木，均有一些明顯的改變。顯示氣候變遷對生物多樣性已產生影響，而且範圍廣泛。

氣候變遷不僅直接影響環境條件因子的變動，也反應在物種的遷移及特殊生態系的組成與分布的變化，而氣候變化造成的衝擊則取決於該生態系的健全性，以及是否具備足夠的抵抗力 (resistance) 與回復力 (resilience)。

不同的區域遭受氣候變遷之衝擊程度並不相同，以臺灣而言，因為土地面積有限，過去 400 多年來的開發，加上缺乏整體的國土規劃，已讓可用區域不多，也造成人類對於生物多樣性與生態環境的干擾頗大。加上臺灣地處海島，島嶼生態的特性，可以使用的緩衝區域不多。蝴蝶王國的消失與野外梅花鹿的滅絕，可



以顯示這種威脅的嚴重性。這類型的環境一旦遭受破壞，這種衝擊會造成不可回復的影響，若再加上氣候變遷的衝擊，抵抗能力不佳，脆弱度高，恢復力也幾乎不存在。

生態保護區是自然保育的最佳途徑之一，臺灣發展自然保護區系統，最早可以追溯到日本據臺時期，雖然這項規劃因為戰爭的影響並未實現，其後的發展卻也因為戰後的恢復而延到 1970 年之後，才有立法和實際的行動，在國家公園法、文化資產保存法、野生動物保育法、森林法、濕地保育法、海岸管理法等的規範下，產生了國家公園、自然保留區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境、自然保護區、國家自然公園、國家重要濕地等不同型態的保護區，目前海域和陸域的保護區的總面積已佔臺灣面積的 20% 以上，在世界各國中，保護區的比率可算是較高者。這些區域都是我們的自然寶藏，孕育許多重要資源，更是我們的自然保險。

在氣候變遷的威脅下，物種分布如何改變？生態系特色與功能如何變化？這些保護區涵蓋區域足夠嗎？未來會有什麼衝擊和變化？都值得我們注意，並作適當的因應，才能減輕這種衝擊。

## 3.4 可能的衝擊

氣候型態是決定地球上各種生物分布的重要關鍵，當溫度和其他氣候因子的改變，對於生物多樣性將具有很大的影響。本節檢視氣候變遷對於生態上之影響，針對陸域與沿岸生態系的衝擊，利用研究資料成果，檢視臺灣生態受氣候變遷影響。

Wang et al. (2011) 以花粉資料證實臺灣在過去長時間 (2000 年) 的變化中確有氣候變遷的情形。依據 IPCC 的相關預測中，雖然預測情況隨各模式而有差異，我們也可以預期在未來也會出現氣候變遷的情況。

來自溫度的上升、降雨型態與分布的改變、極端氣候頻率與嚴重性的增加等氣候變遷型態，造成了對陸域生態系統改變的主要影響，越來越多的國際研究證實，物種可能因而消失或改變其分布，以及改變其原有的物候表現。Chen et al. (2011) 發現，在氣候變遷下，在海拔上，陸域生態系的物種往更高海拔移動的速度約為每 10 年 11 公尺，而在緯度上，則往更高緯度的區域移動，每 10 年約 16.9



公里。

不同物種或不同類群的生物面對氣候變遷的反應，也不一樣，其改變速度與物種的生態習性和外在環境壓力，以及生物性之交互關係有關。這種差異性的改變，可能造成不和諧的狀態 (mismatch)，亦即某種生物的出現需要另一種生物的協助 (例如作為蝴蝶食草、蜜源植物或其他的功能)，氣候變遷下可能造成物種分布改變或物種出現時間改變，造成這種生物間關係的變化，進而影響到生物族群數量和生態系的穩定狀態。

就物種層面而言，不但直接衝擊生物群聚內物種組成的改變，以及成員間彼此關係的調整，造成生態系功能與類型上的改變，同時勢必影響棲息地品質，進而影響其族群的存活，此外，亦會促使外來種的移入，造成物種間關係的改變，生態系內的食物網結構因而大幅變動；就空間分布而言，小從物種分布，大至森林植群與林相的改變，環環相扣的生產者、消費者與分解者間的關係，都可能在氣候變遷的衝擊下迫使改變。面對氣候變遷的衝擊下，生物多樣性的功能趨於喪失、生態系產品與服務的減少，進而衝擊人類的永續發展。

### 3.4.1 觀測現況之改變

在臺灣，生物性的歷史資料較少，且缺少較長期、有系統而持續的監測研究，難以真正量化氣候變遷對生態的衝擊，然而，即便如此，從舊資料與新近資料的比較，我們仍舊可以發現物種的分布，在面臨過去氣候變遷下，正在或已經發生改變。

在陸域生態部分，一些非正式的觀察顯示，在蝴蝶的分布調查中，原屬於菲律賓與東南亞地區的熱帶蝴蝶，在臺灣出現的記錄有增加的趨勢，而且，這些蝶種在臺灣定居的案例，逐漸增加。例如外來種蝴蝶，包括曲波灰蝶 (*Catopyrops ancyra almora*) 與鑲邊尖粉蝶 (*Appias olferna peducaea*)，分別被發現定居於蘭嶼及綠島，並成為南臺灣常見的種類，這兩類蝶種皆屬於菲律賓系統的蝶類，目前已在南臺灣出現了不少族群；相對的，臺灣本土的蝶類分布，也有向北部和中部、高海拔移動的現象，如臺灣原生種的翠斑青鳳蝶 (又名綠斑鳳蝶，*Graphium Agamemnon*) 原本活躍於臺東、高屏一帶，最近在中臺灣的臺中、彰化等地，也可以看得到這些物種的蹤跡，往北移動的現象頗為明顯。

### 3.4.1.1 高山鳥類

玉山國家公園高海拔地區，自 1992 年起，迄 2009 年在 3100 公尺以上山區的高山繁殖期鳥類監測 (李培芬 2008)，發現越來越多的鳥種出現於海拔 3,600 公尺以上的地區 (圖 3.1)。

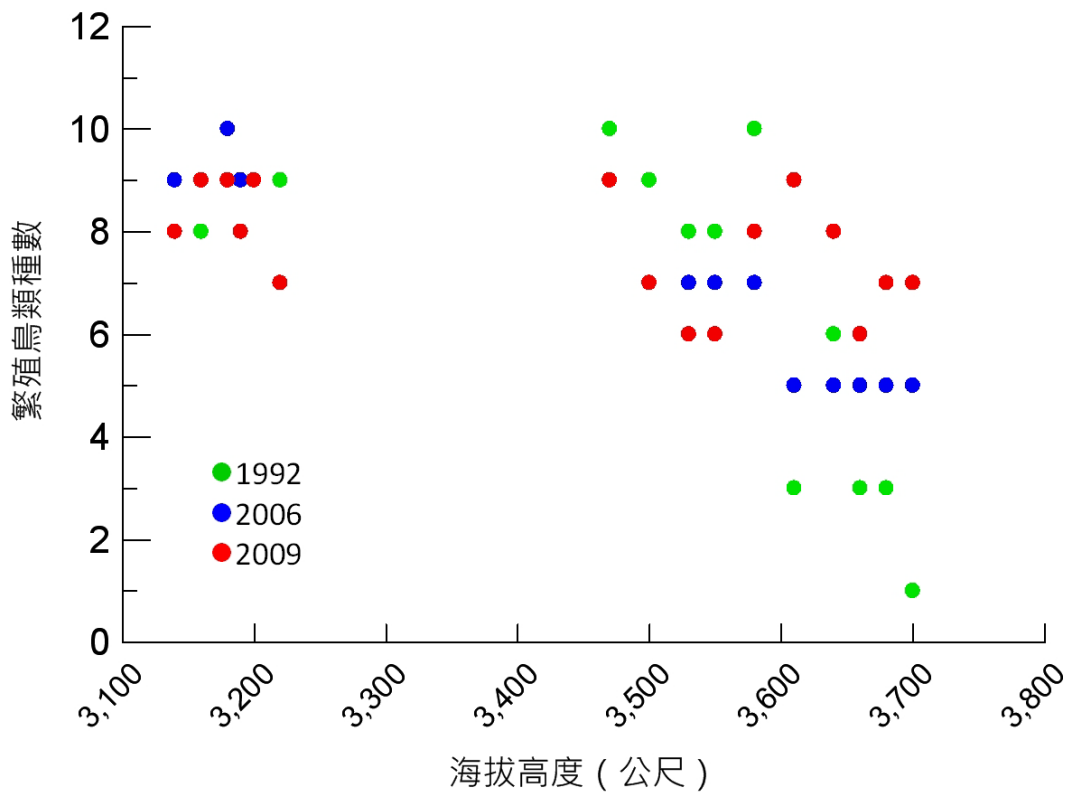


圖 3.1 目前已觀察到繁殖鳥類之生態改變情形。時間為 1992 到 2009 年，觀察地點在玉山國家公園的 3100 公尺以上山區，本區域保護良好，溫度有上升趨勢，降雪天數從 40 天下降到 10 多天，在 3600 公尺以上的山區，繁殖鳥類的種數有明顯的增高

透過 13 種鳥類的監測顯示，其中 3 種屬於中海拔出現的鳥種，即這些鳥類主要分布範圍為 2,000-3,000 公尺，在 3100 公尺以上山區的族群密度有增加的趨勢；而在 10 種高海拔鳥種中，即這些鳥類主要分布範圍於 3,000 公尺以上的地區，有 5 種族群密度呈現減少，另外 5 種則尚未有明顯的變化。以鳥種分布的海拔上限而言，有 6 種鳥種的海拔分布向更高海拔延伸，包含白眉林鴉 (*Erithacus*

*johnstoniae*)、灰鷲 (*Pyrrhula erythaca*)、煤山雀 (*Periparus ater ptilosus*)、火冠戴菊鳥 (*Regulus goodfellowi*)、深山鶯 (*Cettia acanthizoides*) 與褐頭花翼畫眉 (*Fulvetta formosana*)。

比對中央氣象局資料中玉山國家公園內的環境變化，溫度已略有增加，且該地區降雪日數於此十多年間由 40 日減少為 10 多日。這樣的綜合物種監測與氣候環境結果顯示，臺灣鳥種確實已受到暖化影響產生了改變，海拔的分布上限朝更高海拔移動，同時族群數量於更高海拔處也逐漸增加。

比較臺灣的鳥類觀測資料庫與臺灣繁殖鳥類大調查的資料，丁宗蘇 (2014) 的研究也發現在近 40 年 (1972-2012 年) 來，至少有 36 種的海拔分布有明顯的改變，大多為往更高海拔區域移動。顯示在氣候變遷下，對於臺灣山區鳥類分布有明顯的影響。

#### 3.4.1.2 中高海拔植物

臺灣中高海拔地區的植物已有一些可以觀測到的分布改變 (Jump et al., 2012)。比較臺灣中部中高海拔地區的植物在 20 世紀早期與現在之分布情形 (約在 1906 到 2006 年間)，Chou et al. (2011) 發現，在約 100 年的時間內，有許多的物種從較低海拔區域遷移到更高海拔的區域，而原已出現在高海拔的物種，因為這種向上遷移的情形，將面臨無處可去的威脅，進而因為缺乏可以生息的空間而有可能滅絕的危機。這些植物種類至少包括玉山金絲桃 (*Hypericum nagasawai*)、細葉山艾 (*Artemisia morrisonensis*)、玉山當歸 (*Angelica morrisonicola*)、阿里山薊 (*Cirsium arisanensis*)、巒大當藥 (*Swertia randaiensis*) 和玉山抱莖籜蕭 (*Anaphalis morrisonicola*) 等 6 種。

Jump et al. (2012) 利用臺灣各研究單位 (包括中央研究院、臺灣大學、林業試驗所、特有生物研究保育中心) 的超過 1000 多種出現在海拔 2000 公尺以上的植物分布歷史資料，在 24 種 (其中 13 種為臺灣特有種) 可以進行分析的物種中，發現在氣候變遷下，植物物種分布的上升速度約為每年 3.6 公尺。在此種情形下，高山植物也和全世界高山植物面臨同樣的威脅，而且這種威脅日益增加。出現在臺灣高山的特有種植物種類約有 55% (Jump et al. 2012)，種類頗多，這些物種在未來也所面臨的威脅或瀕臨滅絕的可能性亦高。

### 3.4.2 模擬未來之衝擊

前節所談的為生物種類在過去的實際觀測分布改變，未來的變化為何？模擬未來可能出現的各式氣候增溫情形，推估臺灣陸域物種的變化，可剖析各類物種於未來一百年間所可能發生的改變。此種模擬利用現有物種出現紀錄資料，藉由了解各類物種對環境的利用與需求，運用預測模式，產生出物種面臨氣候變遷下可能的分布改變情形。以下的介紹以物種和物種群為評估的基礎，說明臺灣的生物多樣性在未來的變化趨勢。受限於研究資料與成果，無法探討生態系生產力或生態系服務等課題。

#### 3.4.2.1 附生植物

附生植物 (epiphyte) 是指附著在其他植物 (如樹種) 上的植物，在生態上的角色和地位頗為特殊，某些物種對於被附著的植物種類有不等程度的專一性 (host specificity)，樹種、年齡、大小、樹皮、空間的分布...等因子，均可能影響附生植物的分布情形 (Wagner et al. 2015)。

附生植物的分布主要受到盛行風和森林型態的影響，某些種類更受到氣候因子的影響，如溫度和雨量。臺灣的附生植物約有 336 種 (Hsu 2013)，主要的組成份子為蕨類植物 171 種和蘭科植物 120 種。其中特有種比例約為 21%，半數為蘭花。以目前相對有限的資料而言，臺灣附生植物的分布以中海拔 (500-1500 公尺) 的種類最多，此種現象推測與附生植物與中海拔植物種類有明顯的交互作用有關 (Hsu 2013)。

某些種類的附生植物未來可能受到氣候變遷的衝擊，在空間分布 (主要為海拔帶) 上會有變化。以蘭花為例，其傳粉可能需要某些昆蟲為媒介，在 mismatch 的情況下，會因而無法傳粉而由族群數量減少的可能性。

Hsu et al. (2012) 和 Hsu et al. (2013) 運用生物分布預測模式，以 237 種附生植物為對象，探討氣候變遷下，這些植物分布上的改變情形，發現 78% 的物種會喪失 45–58% 的分布範圍，而且預測海拔分布上升幅度，平均約 400 公尺。從分布轉換速率而言，分布改變較不顯著的種類大多為出現在較低海拔或廣泛分布的種類，而分布改變較顯著的物種則是地理分布有限且對於溫度改變敏感者。

### 3.4.2.2 森林樹種

運用生物分布預測，臺灣的主要森林樹種，如雲杉 (*Picea morrissonicola*)、冷杉 (*Abies kawakamii*)、鐵杉 (*Tsuga chinensis* var. *formosana*)、扁柏 (*Chamaecyparis taiwanensis*) 與紅檜 (*Chamaecyparis formosensis*)，都被預測在未來環境溫度與雨量改變後，在海拔分布上均會有上升的趨勢。以 2100 年為預測目標年，雲杉和檜木 (扁柏與紅檜) 的海拔分布上限約分別上升 400 和 300 公尺 (Hsu et al. 2012)。另一項研究從棲地適合度的觀點出發，也發現冷杉和鐵杉會因為溫度的上升而增高海拔分布的上限 (Lin et al. 2014)。

兩項研究的成果均說明構成臺灣森林的主要樹種，會因為氣候變遷而有分布在海拔高度上升的情形，顯示這些生態系的位置會有改變，此種情形也將影響到動物的分布與生物之間的交互關係。不同類型的動物生活於不同的生態系，受到氣候變遷的衝擊也各有差異。

### 3.4.2.3 鳥類

某些鳥類也受到氣候變遷的影響，未來在分布上有很多的改變。以下以稀有性物種 (黑面琵鷺和八色鳥) 與鳥類物種多樣性為例子，介紹臺灣鳥類受到氣候變遷之影響預測。

#### 黑面琵鷺

黑面琵鷺 (*Platalea minor*) 為全世界瀕臨滅絕的遷移性鳥類，2015 年的族群量為 3285 隻，其中有 62% 出現在臺灣 (圖 3.2)，在臺南市七股和四草的主棲地則占約 33%。牠們以南、北韓附近之海岸或無人小島為營巢區，在每年 6—8 月間繁殖，9 月後飛向日本、中國、臺灣、香港、澳門、越南和菲律賓等地度冬 (圖 3.2)。已知的資料顯示黑面琵鷺以小型魚類和蝦類為主食 (曾惠珠、汪佩儀 2011; Swennen and Yu 2005)。

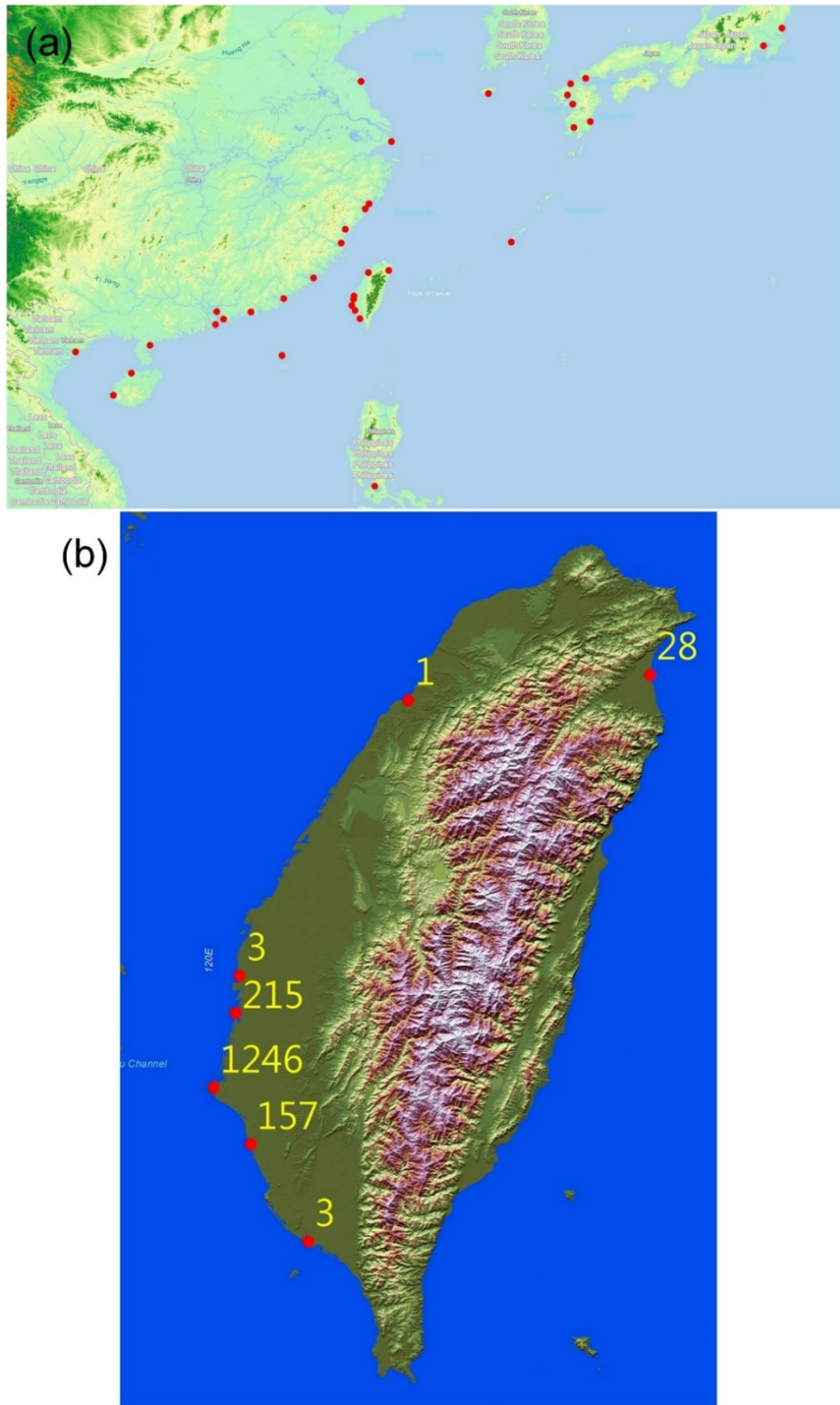


圖 3.2 黑面琵鷺的度冬區在 (a) 全球與 (b) 臺灣之分布。(b) 為 2014 年調查，以縣市為基礎所統計的黑面琵鷺數量，此圖顯示黑面琵鷺已從主棲地(七股與四草)向西南沿海縣市(北到臺中市，南到高雄市)擴張其分布範圍



從族群數量的變化來看，近兩年（2014-2015）黑面琵鷺的棲息地已從主棲地（七股和四草地區）向北（臺中市）或南（高雄市）擴增分布的現象（圖 3.3）。在七股度冬區的調查發現，休息區和攝食區的存在，以及兩者之間的空間區位是黑面琵鷺很重要的棲地條件（Lee et al. 1995），香港的研究也有類似的發現（Yu and Swennen 2004）。對黑面琵鷺而言，沿海區域的魚塭是黑面琵鷺主要的攝食區。在臺灣的西南沿海和宜蘭地區因為有許多的魚塭，若飼養的魚種合適黑面琵鷺攝食，是很好的攝食環境。相對地，因為臺灣沿海有許多的人為活動，人為干擾造成適合黑面琵鷺可以利用作為休息的空間相對有限，也造成黑面琵鷺在臺灣之分布呈現集中於某些地區的現象，尤其是西南沿海的區域（圖 3.3）。以目前的情況而言，因為濕地保育法，部分的濕地已被納入國家重要濕地，受到保護，雖然部分地區屬於暫定濕地，但仍受到關注（如圖 3.3 最南端的茄荳暫定濕地和永安暫定濕地），黑面琵鷺之棲息地有增多的情形。

運用海平面上升的模式與地形因子，評估黑面琵鷺棲息地受到氣候變遷的衝擊情形，發現部分沿海區域可能會因為海平面之上升而被淹沒（圖 3.4），此情形以臺南市七股、嘉義縣沿海濕地、高雄市茄荳和宜蘭縣濕地的情形較為嚴重。目前的相關預測的發現，以海平面上升 2 公尺以上，所造成的衝擊程度較高，此影響主要是部分攝食區的消失，以及休息區的淹沒。以目前的氣候變遷預測情景而言，雖然我們不能精準預測到海平面上升的幅度，但是，整體而言，海平面上升 3 公尺以上的機率仍偏低（Pittock 2009）。因此，若未來魚塭的養殖情形不變，預期未來在氣候變遷下，主要的衝擊是造成黑面琵鷺攝食區的減少，同時也會少部分的影響到其休息棲地。以黑面琵鷺對於棲地的高忠誠度（site fidelity）而言，預期會有一些的影響。不過，近年來許多魚塭地養殖的魚種已轉向較具經濟價值的石斑，此魚種似乎不是黑面琵鷺的喜好，因此，黑面琵鷺的攝食狀態值得關注。

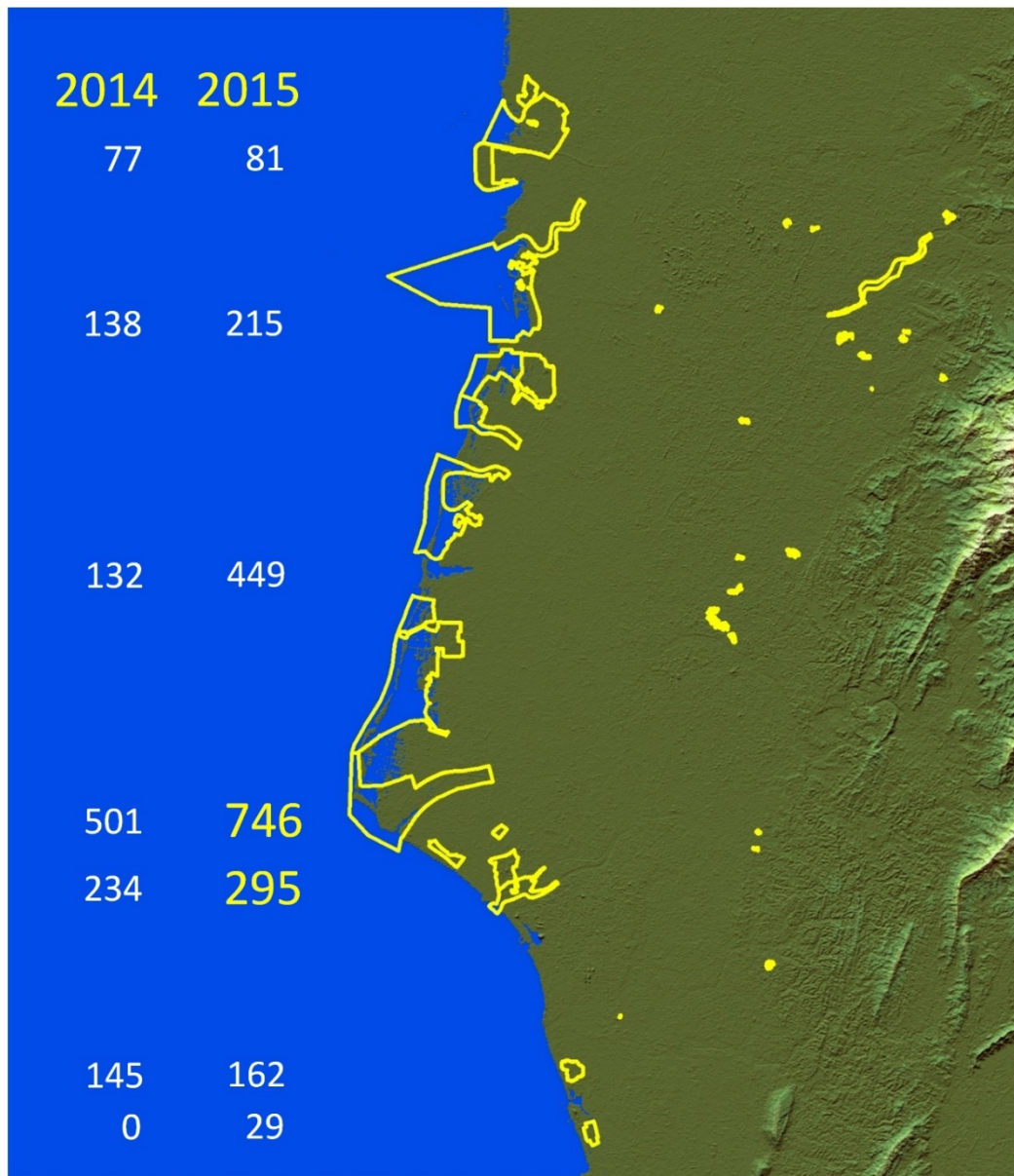


圖 3.3 臺灣西南沿海國家重要濕地 (黃色線) 是黑面琵鷺利用作為度冬的場所，此圖呈現 2014 和 2015 年黑面琵鷺數量估計。目前黑面琵鷺的分布已從主棲地 (臺南市七股和四草) 向南 (高雄市) 和北 (至臺中市) 擴張，此區也是全世界已知最多黑面琵鷺聚集的區域，屬於國際級的濕地，氣候變遷下，預測將對黑面琵鷺造成負面的衝擊。圖中最下方的兩塊濕地，位在高雄市，分別是茄萣暫定濕地與永安暫定濕地，黑面琵鷺的數量有增多趨勢

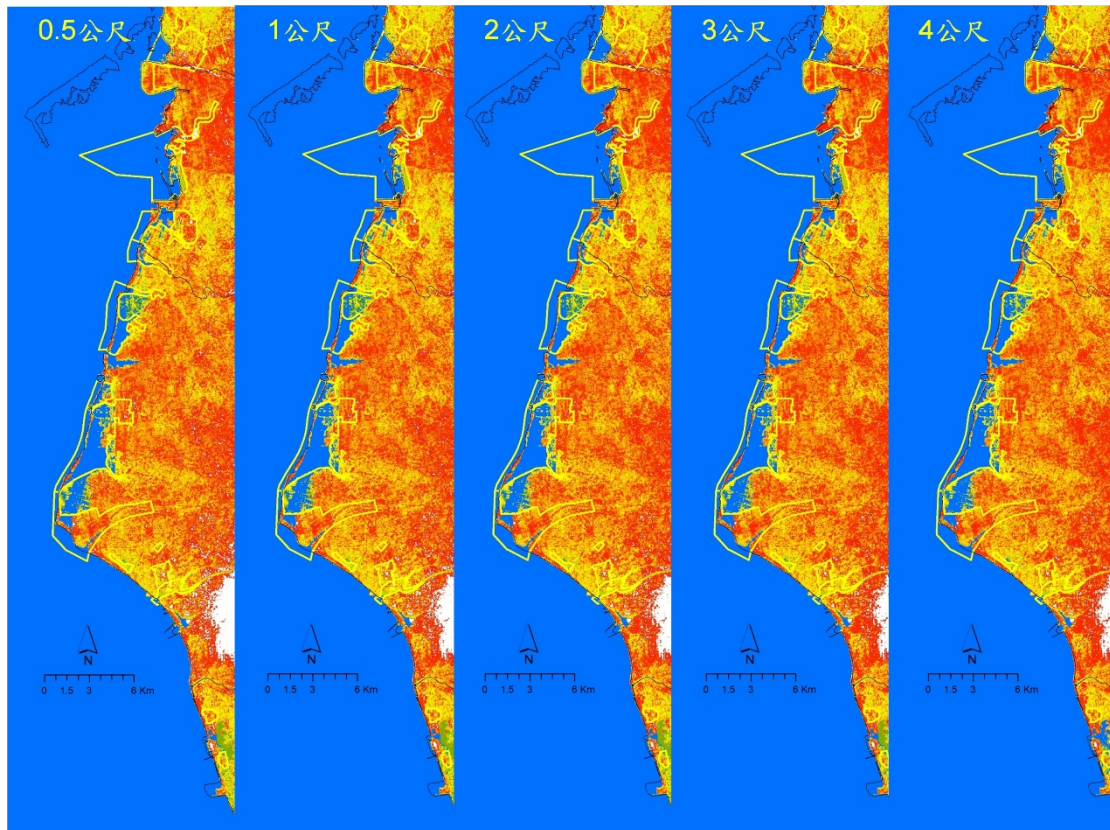


圖 3.4 以地形資料為基礎，模擬黑面琵鷺在臺灣西南沿海地區（雲林縣到高雄市）的棲地，在不同海平面上升情景下，所受到之可能衝擊，圖中黃色線為國家重要濕地的邊界，藍色區域為被淹沒的區位，海平面上升 3 公尺時，將會淹沒非常多的區域，進而對黑面琵鷺造成威脅

## 八色鳥

八色鳥 (*Pitta nympha*) 是世界性稀有鳥種，其族群量可能在 10,000 隻左右。主要分布在東亞地區，已知的度冬地在婆羅洲，繁殖區則在臺灣、中國、日本與韓國，對於棲地也有極高的忠誠度。在臺灣八色鳥為夏候鳥且會進行繁殖，主要分布在海拔 1000 公尺以下的森林地區 (Ko et al. 009)，闊葉林生態系且擁有蚯蚓的食物資源，是八色鳥偏好的棲息地 (Lin et al. 2007a)。

利用八色鳥的全島調查資料 (Lin et al. 2007b)，結合當地的年均溫，發現 98% 已知八色鳥的適溫範圍出現在 20-25°C 之間 (圖 3.5)。若在未來氣候變遷的情景下，八色鳥在生理的適應上沒有明顯的改變，則我們可以用運用此資訊，結合 IPCC 所公布的未來氣候預測情況，預測氣候變遷對於八色鳥出現區域的可能情



形，進而評估氣候變遷的影響。

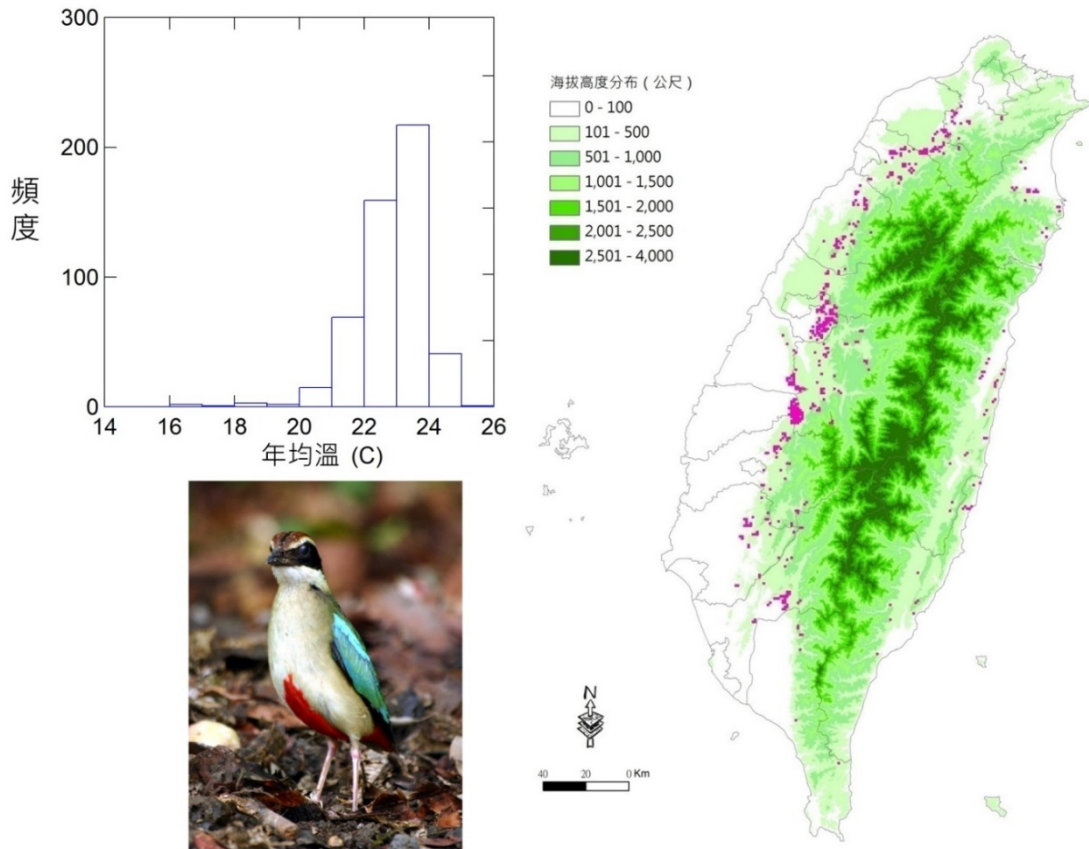
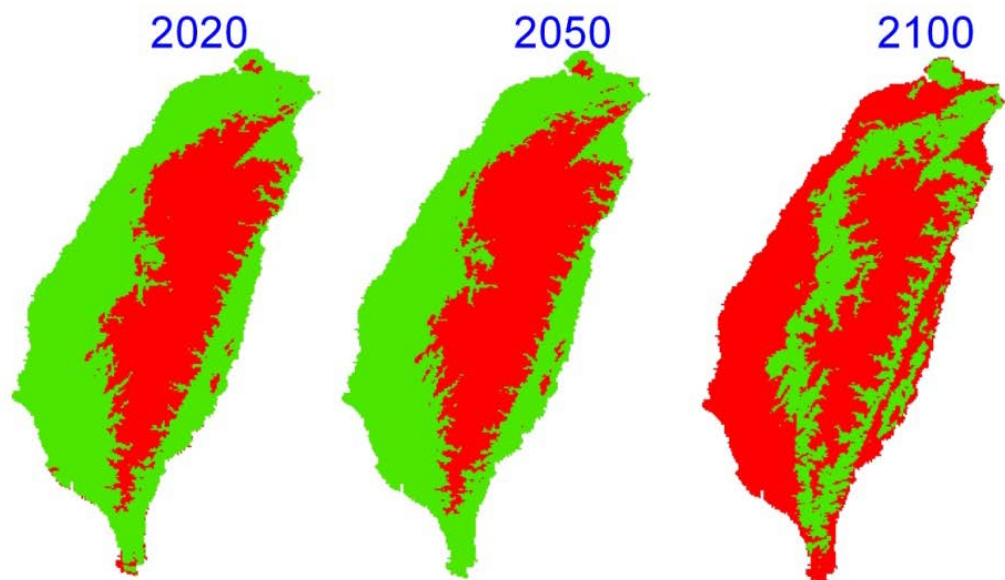


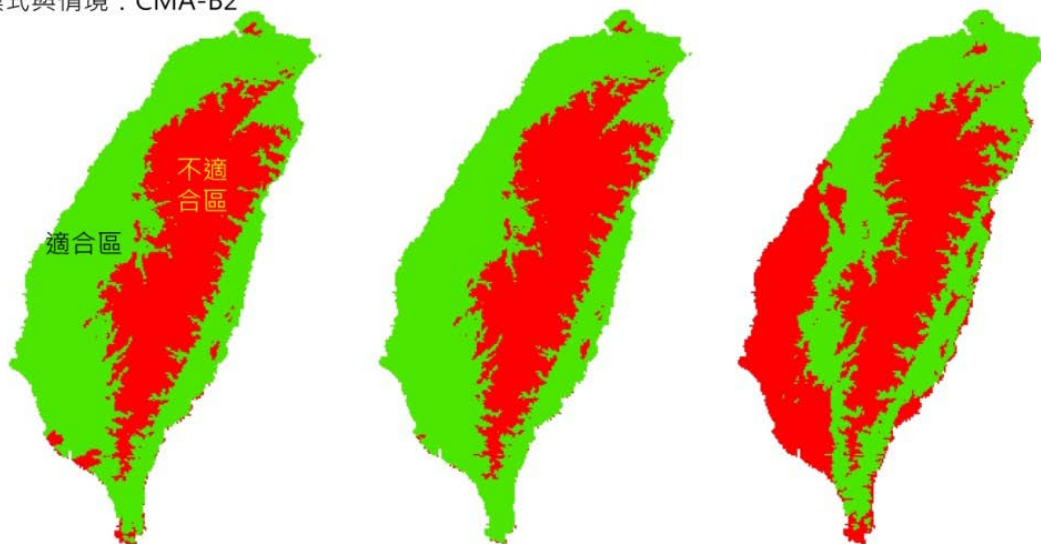
圖 3.5 全世界瀕危鳥類八色鳥在臺灣的已知適溫 (年均溫) 分布範圍，其中有 98% 的位置在 20-25°C 之間。

若未來的溫度持續上升，則八色鳥在臺灣的適溫分布範圍，將由低海拔改變為中海拔 (圖 3.6)，且未來可資利用的棲息地面積，也有明顯的縮小。這種情形在 2050 年之後，變得更加的明顯。不同的溫度模式所產生的結果雖然不盡相同，但是其預測方向均有類似的內容，若加上人類可能的干擾情形，在氣候變遷下，八色鳥在臺灣所面臨的挑戰頗為嚴重 (李培芬等 2006)。

模式與情境：CMA-A2



模式與情境：CMA-B2



25

圖 3.6 以八色鳥的適溫分布範圍，預測在氣候變遷下，八色鳥未來(2020、2050、2100 年) 在臺灣的分布情形。紅色為不適合區域，綠色則為適合區域

類似八色鳥的可能遭遇，也會在臺灣其他的稀有性物種（包括所有的保育類種類）上發現，這些物種大多有族群量稀少、分布區域有限、對於人類干擾敏感的特性，可惜由於資源有限，目前我們不清楚其真正之受影響程度，未來有必要針對此項課題多做了解。

## 特有種

根據大氣環流模式 (General Circulation Model, GCM) 模擬 17 種臺灣特有鳥種在氣候變遷下，未來氣溫改變不同情境假設中可能的分布情形，從海拔分布上下限的變化而言，Ko et al. (2012) 發現絕大多數的鳥種 (15 種) 於 2020 至 2100 年間將可能減少其在臺灣的整體分布範圍，且各鳥種的未來分布將往高海拔地區移動 (圖 3.7、3.8)，可以利用的棲息地面積縮小，僅少數的 2 個物種，即烏頭翁 (*Pycnonotus taivanus*) 與畫眉 (*Garrulax canorus*)，將可能會增加分布範圍，不僅能繼續生活於原較低海拔的棲息地，同時也會往較高海拔地區移動。相對的，在可能減少分布範圍的 15 種鳥種中，棲息於低、中海拔的鳥種在 2100 年分布減少的情形，比棲息於中、高海拔的鳥種，更為嚴重。

以目前的研究而言，預測這些特有種鳥類可能滅絕的機率不高，但是在氣候持續的增溫下，出現在高海拔的物種，將因為棲息地的縮小而有族群數量減少的可能性。

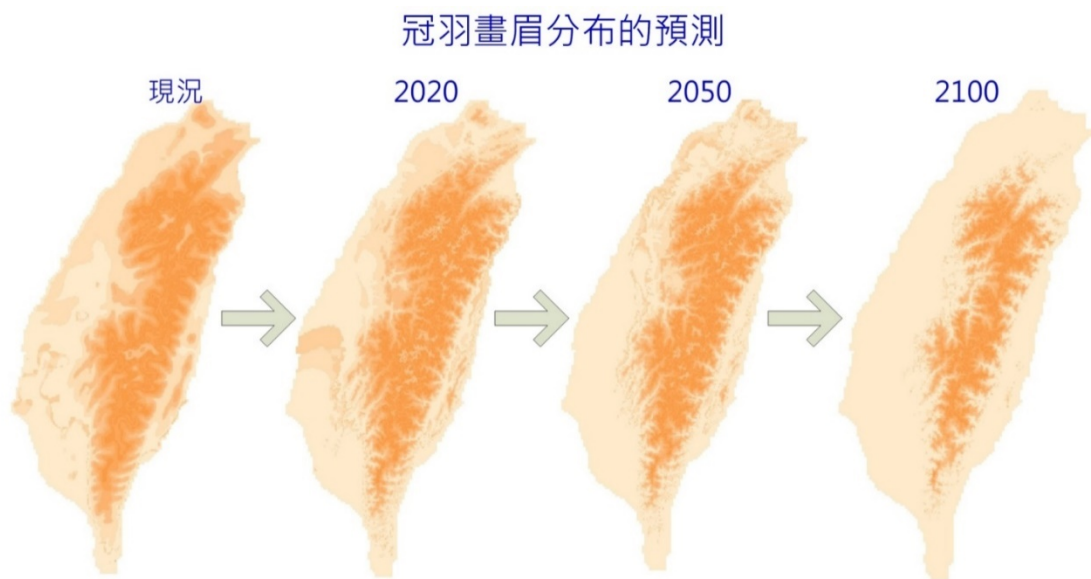


圖 3.7 以臺灣特有鳥種冠羽畫眉為例，利用分布預測模式，探討氣候變遷下生物分布的改變情形，色調越深者，出現機率越高



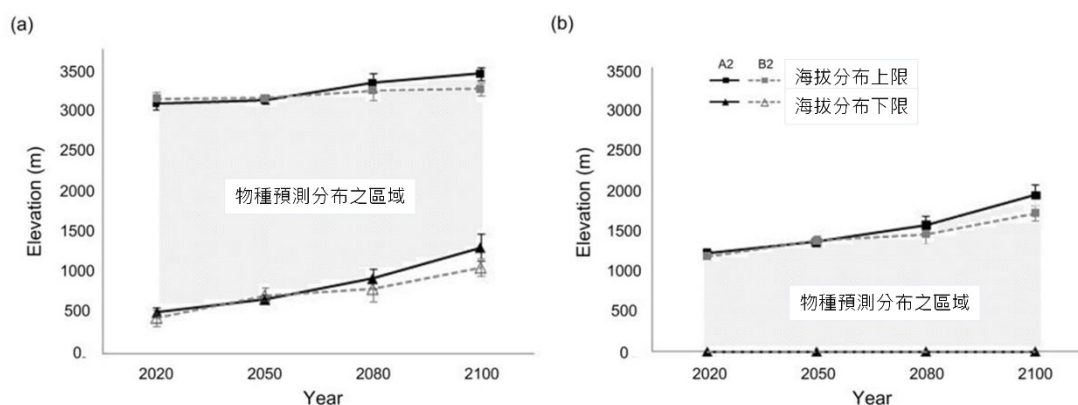


圖 3.8 臺灣 17 種特有種鳥類未來受到氣候變遷影響，海拔分布上下限在 A2 與 B2 兩種情境下在 2020、2050、2080 與 2100 年的變化，(a) 15 種鳥類呈現整體海拔範圍縮小的平均情形，(b) 2 種鳥類呈現整體海拔範圍擴張的平均情形

## 鳥種豐富度

若就整體繁殖期鳥種豐富度來看，在氣候變遷下，鳥種豐富度最高區域（物種數多於 70 的區域，可稱為繁殖鳥類的生物多樣性熱點，biodiversity hotspots）的面積有減少的情形，且有向高海拔推移的趨勢。

依據現有針對 2100 年氣候改變的預測結果，在 2×2 平方公里的解析度，臺灣全島總計 9,388 個網格的情形下，鳥種數大於 70 的網格數有 1,557 格，2100 年氣候變遷後，網格數減為 1291 格，減損百分比約為 17% (圖 3.9)；而現今鳥種數大於 70 的網格之平均海拔高度為 1,580 公尺，預測全球暖化後之平均高度則上升至 1,980 公尺。

比較現今與氣候變遷後臺灣地區內每一網格的鳥種豐富度的變化情形，豐富度減少的網格數有 7,942 個，為全島面積的 85%。相對的，豐富度增加的網格有 1,003 格，僅佔全島的 11%，這些區域多位於高海拔區域 (圖 3.9)。

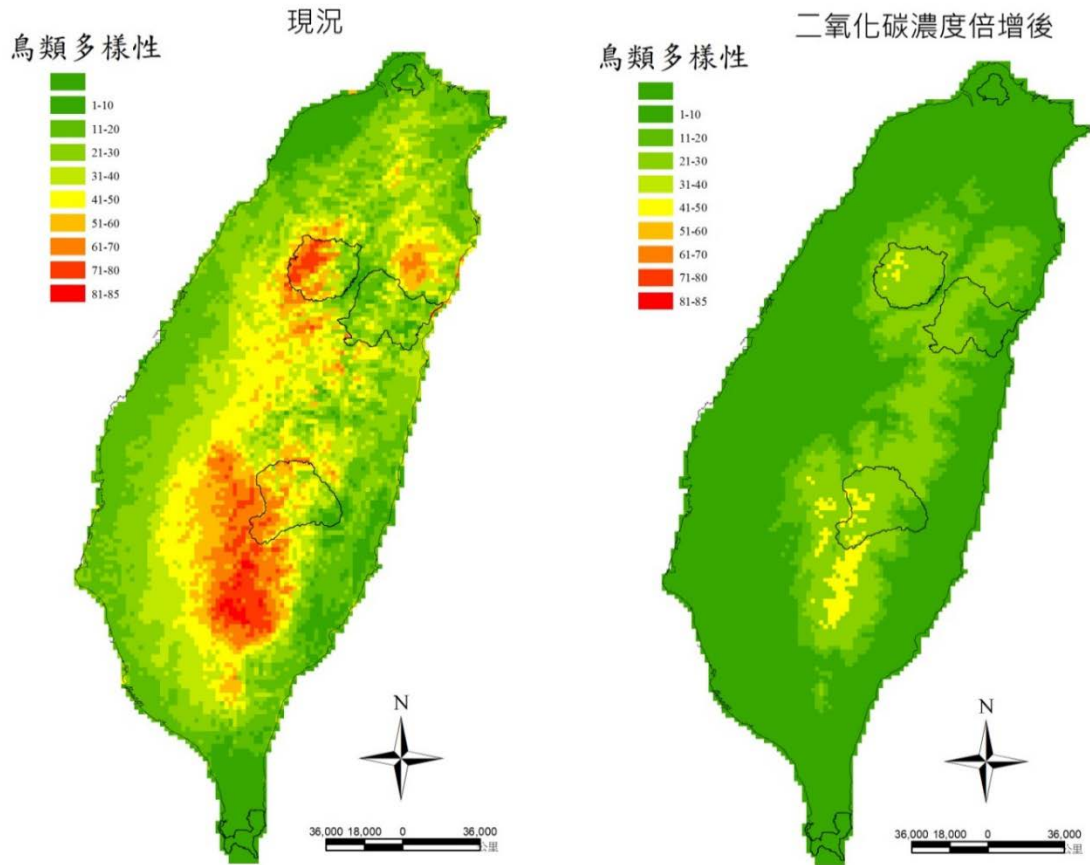


圖 3.9 利用預測模式評估氣候變遷對臺灣繁殖鳥類的影響，比較目前與未來二氧化碳濃度倍增後（約 2100 年）時，繁殖鳥類多樣性的變化

因此，不論就個別物種或整體鳥類豐度的分布情形，皆可發現臺灣鳥類面臨氣候變遷衝擊下，分布範圍將有明顯的改變，而這樣的改變對於該海拔段的鳥種種內群聚或與其他物種的種間關係，預計將會有重大的影響。

### 3.4.2.4 兩生類

臺灣的兩生類以低海拔為主要的分布區域，隨著海拔上升物種總數有減少的趨勢。氣候變遷的衝擊下，在兩生類（以無尾類的青蛙為基礎）的分布預測中發現，大多數的物種分布範圍呈現原地縮小的情形，從種類多樣性的角度來看，種類多樣性明顯的減少（圖 3.10），此減少程度可以區分為全面性與地區性減少兩大類型，全面性的減少主要原因來自年均溫的升高，而地區性的減少則來自區域性年雨量的減少。以臺灣全島而言，在 2×2 公里網格的空間解析度下，兩生類可能於氣溫增加 1.5-2°C 時，平均每一網格內減少 0.6 種。從空間分布來看，在較高海拔地區，兩生類種豐富度減少，部分兩生類物種多樣性熱點的地區被隔離，產

生分布破碎化的情形。

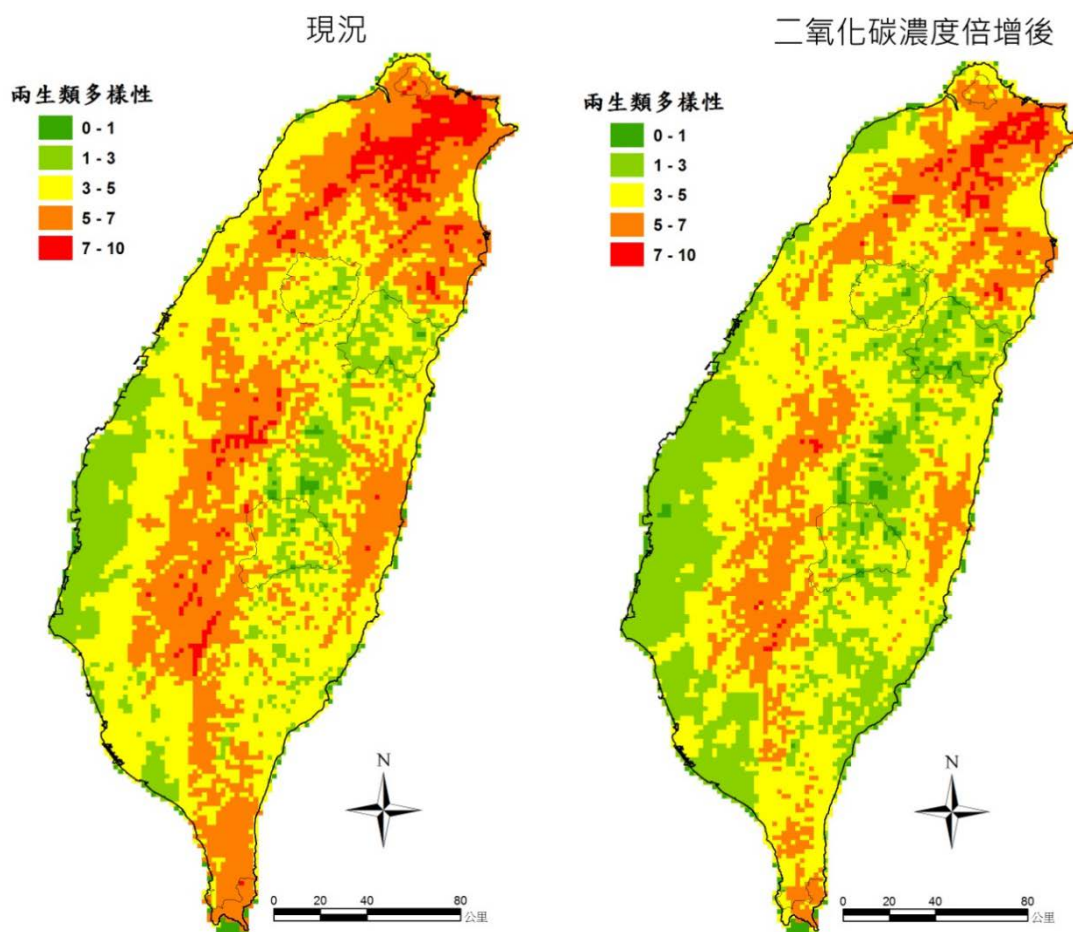


圖 3.10 利用預測模式評估氣候變遷對臺灣兩生類 (青蛙) 的影響，比較目前與未來二氧化碳濃度倍增後 (約 2100 年) 時，兩生類多樣性的變化

### 3.4.2.5 淡水魚類

以 25 種初級性淡水魚 (純淡水魚，終生在淡水水域中生活者) 預測在氣候變遷下的分布改變，除了臺灣間爬岩鰍、高身鏟頰魚、粗首鱧、赤斑吻鰕虎與南臺吻鰕虎等 6 種魚種沒有特定的衝擊後的變化型態外，多數的魚種亦呈現分布範圍縮減的情形，減少的情形與現今情況相比，大約為 20% - 90% 不等 (圖 3.11) (白梅玲等 2006)。

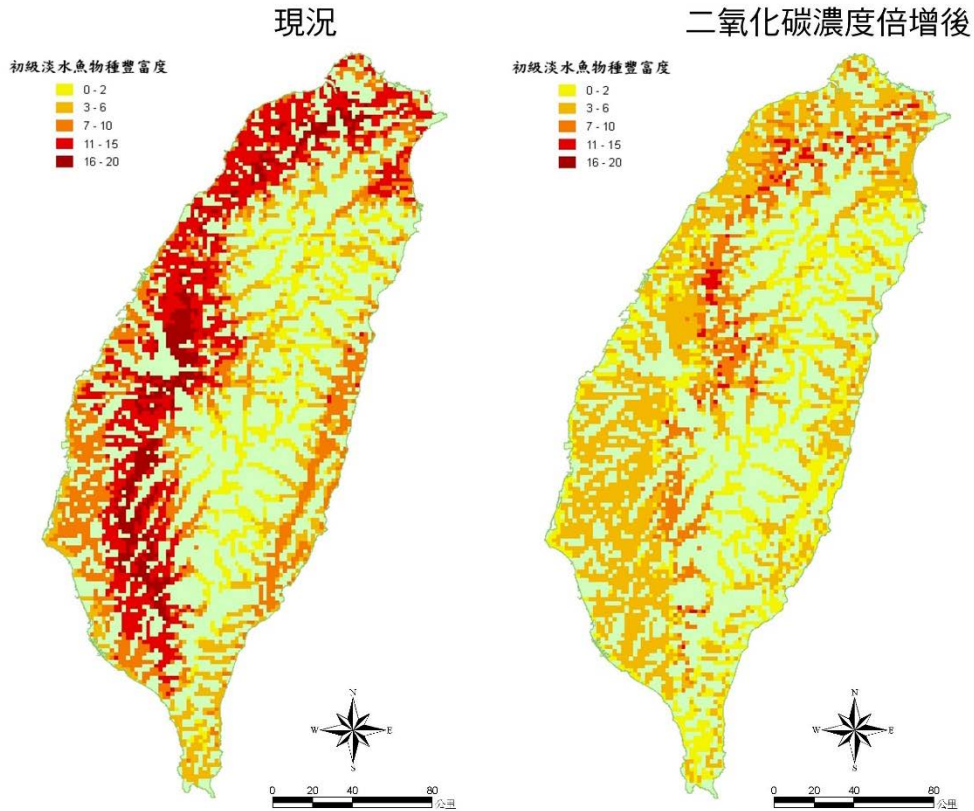


圖 3.11 利用預測模式評估氣候變遷對臺灣淡水魚類的影響，比較目前與未來二氧化碳濃度倍增後（約 2100 年）時，淡水魚類種豐富度的變化

其中臺灣纓口鰍未來將成為此 25 種淡水魚種中分布範圍最小的魚種，所出現的網格數僅在 100 格以下，即 400 平方公里的範圍內，且侷限於北部山區；其次為何氏棘魷及高身鏞柄魚。屬於珍貴稀有種的埔里中華爬岩鰍在空間分布上將減少 50% 左右，其分布範圍則顯著地往高海拔移動。就整體魚種豐富度而言，現今魚種豐富度多以西部低海拔地區為最高，主要落於海拔 50 - 250 公尺之間，且生物多樣性熱點區域可出現平均為 16.8 種的魚種；在氣候變遷下，生物多樣性熱點區域平均出現魚種降為 10 種，平均減少魚種數高達 7 種，且海拔分布向上推移至 200 - 750 公尺之間。若以臺灣全島來看，則平均每四平方公里的範圍內，魚種豐富度將可能減少 4 - 5 種（白梅玲等 2006）。

### 3.4.3 海岸生態

氣候變遷對海岸地區最大的衝擊當屬海平面上升導致的海岸棲地喪失與海岸變遷。IPCC 曾預測到 2100 年時，海平面上升 9 到 88 公分之間。而過去在澳



洲的觀察發現，1993 到 2008 年間，海平面以每年 3 公釐的速度上升中 (Pittock, 2009)，但這種速度在未來被預測將逐漸加劇。雖然我們不知臺灣未來面臨海平面上升的程度，但從相關的研究中已可預測未來會有明顯的衝擊。

海岸生態系基礎生產力高，生物多樣性亦很豐富，因為海平面上升而造成的海岸變遷，可能導致生物因棲地喪失而消失或滅絕，對沿海生物多樣性和生產力將造成重大衝擊，生態遭受破壞。

海水面上升直接造成海岸侵蝕、海岸線後退。一般海岸的坡度值為 1/50 或 1/100，若海水面上升 1 公分，海岸後退約 0.5~1 公尺；在河口淺灘、潟湖、海岸濕地等地形中，坡度更為緩和，受影響更大。海平面升高，波浪、潮汐、暴潮的物理特性也會改變，根據一些模式顯示，海水面升高 1 公尺，最高海水面上升約 2.1 公尺。海水面上升會造成鹽水入侵，海水可從河口直接上溯，增加內陸河流鹽度，或從土壤滲入地下水，使沿海地下水及土壤鹽化，導致海岸生態系的破壞。

臺灣的西南海岸由於開發多，將同時面臨人為破壞與氣候變遷的影響，此區也是許多國家重要濕地分布的區域，其內有許多重要或稀有性的野生動物，海岸與濕地生態系勢必面臨更大的壓力。再以黑面琵鷺為例，在海平面上升下，黑面琵鷺將面臨缺乏的棲息地與攝食區的困境 (如圖 3.4)。

#### 3.4.4 生態保護區

生態保護區的劃設以自然保育為目的，達到在有限的範圍內保育最多數的物種或是特殊棲地環境需求的物種，自 1980 年後，依據不同的法令，陸續成立了國家公園、自然保留區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境、國有林自然保護區、國家自然公園、國家重要濕地等大類型保護區，雖然保護區之類型不同，但亦有重疊之處，例如櫻花鉤吻鮭所在的七家灣溪，不僅是雪霸國家公園的範圍，也是野生動物保護區、野生動物重要棲息環境和國家重要濕地所在。這些保護區構成臺灣的自然保護區系統，總面積超過臺灣面積的 20%，是臺灣生態保育的重要基礎區域。

以 2100 年為評估年，氣候變遷對生態保護區的影響，大致而言，所有的保護區均面臨溫度增高的問題，至於雨量上的變化，則有增亦有減的情形 (Pauli et

al., 2013)。以各類型生態保護區而言，國家公園因為面積較大，所以雨量和溫度改變都在整體平均之中，但小型的保護區則所受到的影響相對較大：預測 2100 年的溫度改變情形，以自然保留區內溫度上升幅度最高，可達 6.5°C，野生動物保護區為 2.5 - 3.5°C，國家公園則平均上升 2°C。整體來說，在面積小、沿海、需水環境與高海拔的保護區受到的氣候變遷衝擊程度最高。

就生態保護區內氣候變化情形來看，國家公園系統中，雪霸國家公園上升溫度最高，年均溫上升平均 2.3°C，依序為玉山、陽明山、太魯閣與墾丁國家公園，各國家公園年均溫上升平均皆接近 2°C；年雨量變化除最低海拔的墾丁國家公園呈現減少的趨勢，約減少 80 公釐外，其餘國家公園則可能增加 50 - 250 公釐不等的年雨量。位於離島的金門國家公園、東沙環礁國家公園、澎湖南方四島國家公園則可能受到海水的調節而有所不同，而台江國家公園，溫度之增幅亦將頗為明顯。值得注意的是，東沙環礁國家公園內唯一的陸地面積 - 東沙島，其最高海拔僅達 6 公尺，若考慮海平面上升的影響時，東沙島可能將是國家公園範圍內受到最大衝擊的陸域區域。同樣的，台江國家公園受到的衝擊亦高。

在自然保留區系統中，平均年均溫上升幅度較國家公園為大，由 1 - 6.5°C 不等，其中以哈盆自然保留區上升溫度為最高，年均溫上升可達 5 - 6.5°C，接續為南澳闊葉林自然保留區與大武山自然保留區，此兩保留區年均溫上升皆超過 5°C；九九峰自然保留區則為保留區中受氣候變遷影響最為不顯著者。

氣候變遷對國家重要濕地的衝擊，主要在水域生態系。此生態系可能因為缺雨而面臨乾旱，導致濕地陸域化，也可能因為海平面上升而被淹沒，改變其水域鹽度，進而造成適應於此的物種族群數量改變。

就各個生態保護區的保護重點來看，不同的保護區所面臨的氣候變遷壓力也不盡相同。例如：無尾港野生動物保護區以水鳥為保護對象，溫度升高的影響可能會影響到候鳥的出現時間和數量，但是在海平面上升的衝擊上，就會有直接的影響；同樣地，目前全世界最多黑面琵鷺聚集的臺南市七股和四草的黑面琵鷺保護區，在未來氣候變遷下，物種物候的改變與海平面的上升，將對黑面琵鷺造成負面的影響；屬於小型保護區的臺灣一葉蘭自然保留區，受到高溫和多雨的影響，一葉蘭的棲地也將會有明顯的改變。

除了溫度與雨量的影響外，海平面的上升對沿海地區的直接衝擊，這些區域也是許多國家重要濕地的分布區域，海平面的上升使得部份海岸區域的減少或消



失，進而將造成生物族群數量和養殖漁業的改變。

透過數位高程 (Digital Elevation Model) 資料模擬長期海平面上升的情境發現，臺灣地區以西南沿海、北部淡水河口和東部蘭陽溪口附近的淹沒面積較多，其中將受到主要衝擊的重要濕地與生態保護區包括臺北附近的挖子尾、淡水河紅樹林與關渡自然保留區、野雁保護區、彰化大城濕地、嘉義布袋與鰲鼓濕地、臺南北門、青鯤身、七股與四草、宜蘭竹安、蘭陽溪口和利澤簡，隨著氣溫增溫情形益加嚴重，海平面上升高度亦將同步增加，被淹沒的面積也將會更多，所造成的衝擊也將更加劇烈。這些區域均是國家重要濕地的區域，也是許多自然保留區和野生動物保護區的範圍。

如前面所談，在氣候變遷下，物種的分布範圍會有明顯的改變，勢必物種會被迫離開保護區的範圍，造成保護區無法保護原本應該保護到的物種。這種威脅將對於那些長壽命物種 (如樹木) 的快速消失，尤其是高山型、對溫度敏感、耐受性較差的植物種類將會有較大的影響。此種情形國際間已有相當的重視，成立 GLORIA 計畫 (The Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) 進行研究計畫和監測 (Lin et al. 2014)。

### 3.5 調適策略

氣候變遷的速度越快，對生態與生物多樣性的衝擊將會越高。目前已無法遏止其影響，僅能針對這種衝擊做適當的經營調適，以降低氣候變遷的威脅。調適策略可分為兩大部分，即屬於自發性的調適與計畫性的調適。自發性的調適指的是生態系在氣候變遷的刺激下，自發性產生的反應，以減輕氣候的改變所帶來的衝擊。在生物多樣性方面，這類的自發性調適就是我們現在所觀察到的生態系改變，例如物種的分布往兩極與高海拔方向移動，就是為了避免因為溫度上升，超過物種生理上所能承受的範圍。又如物種生殖季節時間的改變，也是反應氣溫與降雨的變化。

這些自發性的調適確實可以減輕氣候變遷所帶來的衝擊，不過由於人類的活動，不僅產生大量的溫室氣體，導致自然界無法有效地吸收這些氣體，而且又不斷破壞自然界吸收溫室氣體的能力，造成氣候變遷的幅度與速度，超過了生態系自發性調適的負荷程度。因此，如果僅依賴自發性調適，來因應氣候變遷的影響，

對人類的代價將非常巨大。因此，有必要運用有計畫和預防性的調適策略，來降低衝擊。

研究認為如果在未來 40 年內，我們能夠將二氧化碳的排放量降低 80%，可以大大地保護地球。80% 是一個大數字，但是換個角度想，若每年以 2% 的量降低，只需持續努力 40 年就可以達到目標，這就非常可行。要完成此目標，每一個人都需要盡點責任，當然，政府階層的責任也很重要。

臺灣地處海島，有多樣的生態環境，如前所述，不同的區域受到氣候變遷的威脅與衝擊，不盡相同。臺灣腹地狹小，資源缺乏，調適的能力欠佳；在後天上，也因為過去對生態研究的忽視，基礎資料的欠缺，統整系統又不健全。這些先天與後天的不利因素，都造成生態系於面對氣候變遷時的高度脆弱性。整體而言，目前臺灣在因應氣候變遷的生物多樣性調適與減緩，尚無完整而通盤的方案。減緩人為活動所造成氣候變遷的速度與幅度，找出適當的調適策略。為了有效減緩氣候變遷所可能導致的生態衝擊，以及保育自然資源與生態，建議以下十大策略：

#### 3.5.1 加強投資生態研究

臺灣的生態研究資料向來不多，能夠用來作為氣候變遷研究和監測的資料更少，不論是陸域或海域生物多樣性研究及基礎環境資料蒐集，都是很重要的工作。落實基礎生態調查，了解臺灣陸域的生物多樣性、生物群聚的組成和結構，及其對氣候變遷的可能反應，對於促進生態環境的保育將很有幫助。在過去，臺灣主要的補助研究機關為國家科學委員會（現為科技部），林務局與各國家公園管理處亦有因業務需要而有補助計畫，但是，這些研究大多欠缺整體性與持續性，不重視基礎，對於氣候變遷下所需的評估資料內容，亦缺乏規劃。

即使是 1992 年開始的長期生態研究，雖然在觀念和作法上，可以作為氣候變遷生態研究的主力資料，但是受限於人力、物力與財力，此項計畫已瀕臨滅絕，許多的資料也因為計畫無法延續、時程太短、資料收集方法不一致、缺乏全面性等課題，也無法作為支援氣候變遷的研究。

#### 3.5.2 評析生態系受氣候變遷影響之脆弱度與恢復力

臺灣物種達 5 萬種以上，加上多樣化的生態環境，要能評估氣候變遷對生物

多樣性之衝擊，必須選擇重點。評析易受氣候變遷影響之生態系與可能的脆弱度，並研究氣候變遷對生物多樣性之影響，是擬定減輕衝擊對策中之必要基礎。尤其是物種保存與復育劣化之生態系（如污染農田、魚塭、鹽漬地、崩坍地、地層下陷區等），整體評析易受氣候變遷影響之生物多樣性，並確認其脆弱度，是減少氣候變遷衝擊的重點工作。此外，藉此界定生物之重要保育指標與保育策略，並確立物種遷移廊道，使物種得以因應氣候變遷而遷移，建立庇護場所、自然公園或保護區，甚至利用捕捉、人工餵養，將特定物種移入適宜的生存區域等，均是減輕可能衝擊之作法。

### 3.5.3 生態資料庫與資訊中心之建置

不可諱言，國內在生物分布資料庫的建設已有一段時間，但是缺乏必要之整合，且對於氣候變遷所需要的資料，亦缺乏全盤考慮。因此，建構生物多樣性資料庫和設立資訊中心，以保存、整合、有效分析與運用物種監測資料，並建立評估及預測方法及模式，方可提供監測數據，據以調整經營管理策略與行動。

### 3.5.4 生態監測體系之建立

建立生態系監測架構，持續監測與評估其變化，並建置監測資料庫，是因應氣候變遷衝擊的必要工作，唯有翔實的資訊，才能進行必要的調適工作。而且，未來政府許多的因應措施也需要監測資料的收集，作為滾動式檢討的依據，並了解其成效的參考。針對快速的氣候變遷趨勢，需要更立即有效的方法，以發展適應性經營管理與策略。建議在不同的生態系類型下，運用生物指標，監測氣候變遷對生態環境和保護區的衝擊，以期能做到在改變之前，能事先擬定並執行應變的措施，並調整保護區經營管理的方式。

### 3.5.5 保護區邊界的檢討與網絡之建構

由於氣候的改變，現在受到保護的環境，在未來可能無法提供原保護物種的生存。因此，保護區的現狀與未來保護區設立應該考量到物種未來可能的分布範圍。同時，也可以考慮將數個獨立的保護區，以生態廊道的方串聯，建立保護區網絡。目前，在中高海拔地區已有中央山脈保育廊道，在西南沿海地區由於濕地

的分布較為密集，也有類似廊道的功能，但是在其他區域仍未有整體性的考量與檢討，例如在低海拔到 1500 公尺的山區，自然保護區較少，其中包括有許多水庫的集水區，未來若能設立保護區，如國家自然公園，將可更完整的建立臺灣自然保留區網絡。

#### 3.5.6 落實外來入侵種之防治

臺灣有非常多的外來種生物，許多的外來種生物已造成環境問題（如紅火蟻、福壽螺、銀合歡、小花蔓澤蘭、互花米草），在氣候變遷下，外來種的擴散將更加嚴重，為了維護良好的生態環境，有必要針對出現在臺灣的外來種生物，進行整體的了解，減少放生行為，並針對一些已造成問題的物種，進行防治上的規劃與研究。

#### 3.5.7 評估與預測方法之建立

目前，有關氣候變遷的生態衝擊預測分析，大多採用生態模式與分析的方式進行，以未來環境的預測情境（資料大多源自大氣的研究）為基礎，再利用生態系統各層面與環境間的關係，預測未來的可能改變趨勢和結果。利用這些預測模式所產生的結果，多半顯示出未來所面臨問題的嚴重性。但是，受限於資料的解析度與準確性，仍有許多的不確定性。建議持續開發生物多樣性因應氣候變遷所需的工具，如評估方法、經濟效益評估及決策模式，以期能協助釐訂更好的減輕對策。

#### 3.5.8 界定並增進對生態敏感區之瞭解

許多的生態系統，例如高山環境，對於氣候變遷的調適能力較低，過去也由於環境的限制，我們對於其生態系的瞭解也較少，因此難以預估可能產生的衝擊，也難以擬定適宜的調適策略與方法。對於這類的敏感區域，或是生物多樣性豐富（熱點）、生態功能較重要的地區，如霧林帶、濕地生態系、森林生態系，儘速界定並投入較多的相關研究與保護工作。

### 3.5.9 減少沿岸地區之開發

臺灣多年來，由於許多沿岸地區都已被開發為海埔地、工業區、港口，海堤及消波塊大量的設置，到 2000 年為止，海堤的長度已佔臺灣海岸線的 50% 以上。這樣的開發利用，以大量硬體性保護措施的構築，已經大幅降低沿岸環境對氣候變遷的調適能力。又加上西南沿海長期抽取地下水，進行水產養殖，造成沿岸地層下陷，也常因海水倒灌，滲入低窪地區，造成鹽化現象。臺灣的國家重要濕地，大部分位於沿海地區。因此，減少沿岸地區的開發應列為重要目標。

### 3.5.10 國土規劃

陸域生態系的保護良窳關係著氣候變遷調適的抵抗力與回復力，與在減低氣候變遷的衝擊方面，降低能源消耗、減少二氧化碳排放、推動污染源減量，都是重要的工作。完善的國土規劃，讓土地盡其所用，該保護的保護，該利用的充分利用，避免土地的過度開發與不當利用，維持原有的土地覆蓋型態，以維持或增進自然生態系對氣候變遷的調適能力。

## 3.6 結語

「變」是自然生態中的常態。雖然「生命總會找到出路」，但是在氣候變遷的威脅下，此出路不見得是我們所想要的。在過去，人類對於環境的影響力還不高時，這種環境的改變可說是處在趨近平衡的狀態，但是當人類的行為大量改變自然環境時，就容易產生了明顯的變化。

處於島嶼生態系的我們，面臨了屬於相對嚴苛的挑戰，所需的努力也將會更多。值得注意的是，這些自然的改變和目前所進行的減緩措施，都耗時甚久，絕不是幾年內可以完成的，需有每一個人具備長久且持續的努力心態。

為了避免不可預知的災難，我們應該購買保險來保護資產。在環境保險上，將許多區域劃為國家公園、自然保留區、野生動物保護區、保護生物多樣性等措施，就是具體的展現。誰知未來 100 年後，現生的哪些物種對人類是有用的呢？在處理氣候變遷的環境問題，端正心態，富有智慧的謙卑，營造「藍天綠地，青



山淨水」的永續家園。

本章主要聚焦議題	
現況	臺灣面積小，地形變化複雜，氣候上有熱、暖、溫、寒等類型，高山林立，至少有 57,990 種生物，生態系多樣性高，加上鄰近歐亞大陸，又是候鳥遷移的中繼站，動、植物種類繁多，更包含許多特有種生物。所以，臺灣所擁有的生態環境正是北半球生態系的縮影。
目前面臨的問題	臺灣為一小島，島內高山多，可為人類使用的面積有限，但是過去開發行為多，造成許多重要的生態區域受到擾動，缺乏緩衝空間，在生態上極為脆弱。和大陸型的相似區域比較，在國土維護或復育上會困難許多。因此，氣候變遷對生態的威脅程度更高，許多物種之分布已有向更高海拔遷移之現象。
未來氣候變遷的影響	在氣候變遷下，陸域生態系的物種會往更高海拔移動，許多物種可能會從低緯度移入，生態系的組成份子改變，生物群聚重組，部分物種之族群量可能會有減少或增加的情形。不同種或不同類群的生物面對氣候變遷的反應，也不相同，其改變速度與物種的生態習性和外在環境壓力，以及生物性之交互關係有關。尤其是稀有性物種、沿海濕地、高海拔森林、草原生態系之衝擊將更為嚴重。

## 參考文獻

- 丁宗蘇，2013：氣候變遷之高山生態系研究-鳥類指標物種調查及脆弱度分析。玉山國家公園管理處，集集。
- 白梅玲、李培芬、端木茂甯，2006：氣候變遷對臺灣淡水魚多樣性之衝擊評估，全球變遷通訊雜誌，49:23-37。
- 李培芬，2013：台灣的生態系，新版。遠足出版社，新北市。
- 李培芬、林瑞興、白梅玲、柯智仁，2006：建立台灣氣候變遷的生態預警系統-以八色鳥為例。全球變遷通訊雜誌，49:10-18。
- 李培芬，2008：氣候變遷對生態的衝擊。科學發展，424:34-43。
- 曾惠珠、汪佩儀，2011：2010年七股黑面琵鷺保護區魚類資源調查：99年度結果報告。台江國家公園，臺南。
- TaiBIF 臺灣生物多樣性資訊入口網，2015：Available from <http://www.taibif.org.tw/>
- Chen, I. C., J. K. Hill, R. Ohlemuller, D. B. Roy, and C. D. Thomas, 2011: Rapid Range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* **333**:1024-1026.
- Chou, C. H., T. J. Huang, Y. P. Lee, C. Y. Chen, T. W. Hsu, and C. H. Chen, 2011: Diversity of the alpine vegetation in central Taiwan is affected by climate change based on a century of floristic inventories. *Botanical Studies* **52**: 503-516.
- Hsu, R. C.-C., 2013: Vascular epiphytes in Taiwan and their potential response to climate change. PhD thesis, University of Amsterdam, Amsterdam.
- Hsu, R. C.-C., and J. H. D. Wolf, 2013: A novel approach to simulate climate change impacts on vascular epiphytes: case study in Taiwan. Pages 123-130 in *Treetops at Risk*, M. Lowman, S. Devy, and G. T. Soubadra, editors. Springer, New York.
- Hsu, R. C.-C., W. L. M. Tamis, N. Raes, G. R. de Snoo, J. H. D. Wolf, G. Oostermeijer,

- and S. H. Lin, 2012: Simulating climate change impacts on forests and associated vascular epiphytes in a subtropical island of East Asia. *Diversity and Distribution* **18**:334-347.
- Huang, S. H., C. H. Cheng, and W. J. Wu, 2010: Possible impacts of climate change on rice insect pests and management tactics in Taiwan. *Crop, Environment & Bioinformatics* **7**: 269-279.
- Jump, A. S., T. J. Huang, and C. H. Chou, 2012: Rapid altitudinal migration of mountain plants in Taiwan and its implications for high altitude biodiversity. *Ecography* **35**: 204–210.
- Ko, C. Y., P. F. Lee, M. L. Bai, and R. S. Lin, 2009: A rule-based species predictive model for the vulnerable Fairy Pitta (*Pitta nympha*) in Taiwan. *Taiwania* **54**:28-36.
- Ko, C. Y., T. L. Root, S. H. Lin, S. H. Schneider, and P. F. Lee, 2012: Global change projections for Taiwan island birds: Linking current and future distributions. *Nature Conservation* **2**:21-40.
- Lee, P. F., J. E. Sheu and B. W. Tsai, 1995: Wintering habitat characteristics of Black-faced Spoonbill (*Platalea minor*) at Chi-ku, Taiwan. *Acta Zoologica Taiwanica* **6**: 67-78.
- Lin, R. S., C. T. Yao, and P. F. Lee, 2007a: The diet of Fairy Pitta *Pitta nympha* nestlings in Taiwan as revealed by videotaping. *Zoological Studies* **46**:355-361.
- Lin, R. S., P. F. Lee, T. S. Ding, and Y. T. K. Lin, 2007b: Effectiveness of playbacks in censusing the Fairy Pitta (*Pitta nympha*) during the breeding season in Taiwan. *Zoological Studies* **46**:242-248.
- Lin, W. C., Y. P. Lin, W. Y. Lien, Y. C. Wang, C. T. Lin, C. R. Chiou, J. Anthony, and N. D. Crossman, 2014: Expansion of protected areas under climate change: An example of mountainous tree species in Taiwan. *Forests* **5**:2882-2904.
- Pauli, H., M. Gottfried, A. Lamprecht, S. Nießner, and G. Grabherr, 2013: Protected areas and climate change impact research: roles, challenges, needs. Pages 563 -

566 in The 5th Symposium for Research in Protected Areas, Mittersill.

Pittock, A. B., 2009: *Climate Change: The Science, Impacts, and Solutions*, second edition. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.

Swennen, C. (K.) , and Y. T. Yu, 2005: Food and feeding behavior of the Black-faced Spoonbill. *Waterbirds* 28:19-27.

Wagner, K., G. Mendieta-Leiva, and G. Zotz, 2015: Host specificity in vascular epiphytes: a review of methodology, empirical evidence and potential mechanisms. *AoB Plants* S 7: plu092; doi:10.1093/aobpla/plu092

Wang, L. C., J. T. Wu, T. Q. Lee, P. F. Lee, and S. H. Chen, 2011: Climate changes inferred from integrated multi-site pollen data in northern Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences* 40:1164-1170.

Yu, Y. T., and C. (K.) Swennen, 2004: Habitat Use of the Black-faced Spoonbill. *Waterbirds* 27:129-133.





## 第四章 海域生態

本章召集人：林幸助教授

<sup>1</sup> 林幸助、童莉婷、賴郁卉、劉倩彤、林哲宇、陳登俞、何瓊紋

<sup>1</sup> 國立中興大學生命科學系暨全球變遷生物學研究中心

### 摘要

臺灣面積雖然只佔地球陸地積約 0.025%，但是，其海洋生物種類數可達到全球種類數的 10%，單位面積的海洋生物多樣性比例極高。究其原因之一為擁有多樣的海域生態系，包含泥沙灘、河口潟湖、鹽澤、紅樹林、海草床、岩礁、珊瑚礁、藻礁與大洋等，其中以珊瑚礁、海草床、紅樹林、岩礁與藻礁的生物種類較多。因此氣候變遷對於臺灣海域生態系的影響相對於其他地區可能更為複雜及嚴重，但除了珊瑚礁與大洋漁業資源外，臺灣針對氣候變遷影響的海域生態研究案例仍較少。相對而言，人為活動對於臺灣海域生態系的破壞遠較氣候變遷更為直接及明顯，係因泥沙灘、河口潟湖、鹽澤與海草床常面臨工業區、港口與垃圾場等開發案的威脅，而紅樹林、珊瑚礁與藻礁則常受到汙水排放的影響，至於岩礁與大洋受到的人為干擾相對較輕。因本章關鍵議題是氣候變遷如何影響臺灣海域生態，以及氣候變遷之威脅下臺灣何種海域生態系脆弱度最高，故主要論述將以氣候變遷為主。氣候變遷所導致的大海平面上升對泥沙灘、河口潟湖、鹽澤、紅樹林與海草床的威脅較大，海水暖化對於珊瑚礁與大洋的影響較大，而海水酸化對藻礁與珊瑚礁有極大威脅；綜觀之，氣候變遷威脅下最為脆弱的海洋生態系應是珊瑚礁。因應氣候變遷的調適措施建議為：一、將相關調適措施列為國家施政的重大政策；二、改善沿海地區綜合管理制度；三、強化公權力與相關法律；四、厲行迴避、減輕與補償保育措施；五、進行政策跨領域溝通與協商；六、由地方團體在地管理；七、支持有系統且長期的基礎科學研究；八、強化地區性的人為影響研究。

**關鍵字：**氣候變遷、脆弱度、海域生態、調適、減緩

## 4.1 前言

自兩百年以來，化石燃料使用量大增、自然資源過度開發及土地利用型態改變等，破壞了全球碳循環之平衡，大氣中二氧化碳濃度目前仍持續增加中，地球面臨暖化危機。在 1991~2005 年間，全世界因氣候變遷所損失的金額總計為 1.19 兆美元，這些經濟損失主要集中在農作物、漁業、水資源與人類健康（或公共衛生）等四個部分，不過，生物多樣性與生態系的損失應更為嚴重，卻無從估計。

生態系的穩定與發展深受氣候驅動力的影響，當氣候改變時，生態系也無法避免地連帶變異。變異首先呈現在生物的物種層級上，物種的存活與分布範圍直接受到氣候影響而改變。單一物種的變動，將會連鎖影響到生態系中其他物種組成 (Pasinelli et al. 2001)，尤其是適應範圍比較狹窄的物種，較易受到環境變動而有所影響 (Carey and Alexander 2003)，脆弱度相對較高。若觀察到該類物種的狀況，將有助於提前獲知關於氣候變遷的警訊，能更有效的預測氣候變遷所造成的影響 (Midgley et al. 2002)。近年來，全球暖化及其所造成的氣候變遷，讓極端氣候事件發生頻率日益增加，尤其臺灣已被列為最易受到天然災害侵襲的地區 (Dilley 2005)，更應該發展監測機制及調適對策，以面對未來日益嚴重的災害侵襲。

聯合國氣候變遷綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 於 1994 年生效，要求所有締約國要以當代與未來人類的利益為依歸，善盡保護氣候系統的義務，因此各締約國有義務要進行各國的減量與調適行動。減量行動是為了減少溫室氣體的排放量，避免或減緩氣候變化的現象發生。調適活動則是人類針對已經因人為或自然因素而改變的環境所做的調整行為，改變生活方式以適應新的自然環境；另一種類型則是改變現今人類的高碳排放生活模式，保護自然資源與環境，因此減量也是調適的方法之一。「調適」是一種持續性的過程，可定義為「調整自然界或人類系統為因應氣候變遷的影響，以減少損害，或開發有益的機會」，也就是探討與實施為適應氣候變遷衝擊所採取之措施。「調適」可以是一種評估目前或預測未來生態系統，及人類社會與氣候變遷有關的負面或正面效果，並加以調整的程序或行動；也可以是一段調整的過程，以強化生態系統、人類社會與經濟活動強度，降低氣候變遷的脆弱性，以及所帶來的長期或短期負面衝擊。

2007年，聯合國氣候變遷綱要公約 (UNFCCC) 建議開發中國家對衝擊、脆弱度及調適報告三大區塊做評估。其中衝擊的評估面向分為溫度、降雨與極端氣候事件三大類；脆弱度評估分為五大領域，分別為水資源、農業與糧食安全、公共衛生與健康、陸域生態系、海岸地帶與海洋生態系；調適能力評估則包含社會結構、文化、經濟能力、地理環境及環境狀態。從公約的決議內容可見海域生態系統的脆弱度評估，是發展調適國家政策時要考慮的必要項目，也是本章的主要目標。

聯合國開發計畫署 (United Nations Development Programme, UNDP) 與全球環境機構 (Global Environment Facility, GEF) 於 2004 年提出「氣候變遷調適政策綱領 (Adaptation Policy Frameworks for Climate Change, APF)」之彈性方法與指導原則，作為各國因應國際氣候變遷法制而進行調適政策與措施規劃時之參考準則。氣候變遷調適政策綱領 (APF) 鼓勵各國在制定國家發展政策時，納入更為深廣的氣候變遷調適方針，讓使用者能釐清自身面對議題的優先順序，發展出適合該處環境的調適策略、政策與措施，並執行之。本章將依循氣候變遷調適政策綱領 (APF) 的主要步驟撰寫：界定問題與設定目標、評估現況脆弱度、分析氣候變遷影響下未來脆弱度以及調適選項之建議。

## 4.2 臺灣海洋棲地與生物多樣性現況

臺灣面積約有 36,000 平方公里，只佔地球陸地面積約 0.025%，但是海洋生物的種類數可達到全球種類數的 10%，以單位面積估算的海洋生物多樣性比例極高。推測原因有三：一為地理演化因素，臺灣位於全球海洋生物多樣性最高的印度太平洋海域的珊瑚大三角、紅樹林大三角及海草大三角之邊緣區域，因此海洋生物多樣性相對高於其他海域；二是臺灣位於中國大陸閩浙沿岸流、黑潮與南海水團等三大水團交會的生態推移帶，因此得以同時匯聚溫帶與熱帶海洋生物於同一海域；三是臺灣周遭海域因為地質、地形、氣候、潮汐與波浪作用力不同，棲地呈現多樣型態，而多樣化的棲地類型可以廣納不同的生物種類。

臺灣本島周遭的海岸棲地包括軟底質的泥沙灘、河口潟湖、鹽澤、紅樹林、海草床等，受沿岸地質影響，這些棲地大多分布於地勢和緩的西部海岸，而東部海岸僅在有泥沙沉積的河口處可見。其海洋生物種類與數量與本島北部、南部與東部硬底質的岩礁、珊瑚礁與藻礁等沿岸棲地，或者東部沿岸外之大洋生態系極

為不同。在離島方面，馬祖沿岸多為岩礁，金門沿岸為岩礁與泥沙灘交錯，而位於南海的東沙島與南沙太平島則是沙灘、海草床與珊瑚礁交互錯落。其中生物相較豐富的紅樹林與珊瑚礁，為國內研究較多且較詳盡的海岸棲地。由於不同計畫的調查方法、頻度不一，以及可能有取樣偏差、調查不足的問題，本章僅概述上述九種棲地類型之海洋生物，以期能廣泛且概要性地了解豐富又繁複多變的臺灣周遭海域生態系統（圖 4.1）。

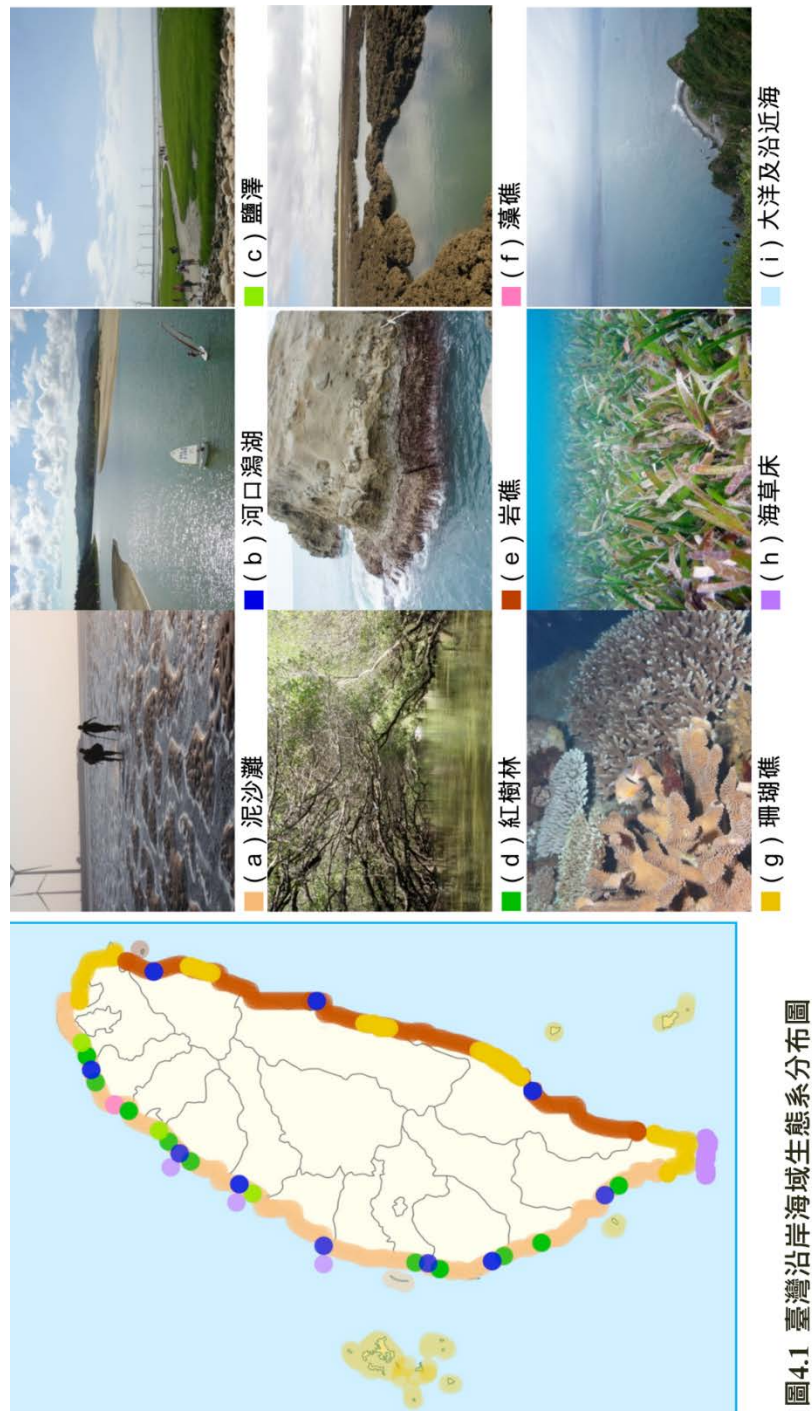


圖 4.1 臺灣沿岸海域生態系分布圖



#### 4.2.1 泥沙灘

泥沙灘地由河流與海流所帶來的沙泥堆積而成，常見於地勢平緩的海灣、河流出口一帶。其中，泥質灘地由河流與海流所帶來的沙泥（粒徑小於 0.06 公釐）堆積而成，沙質灘地之基質則由細沙（粒徑介於 0.06~2 公釐）組成。泥質灘地由於藉由水流沉降堆積的泥，其有機質含量高，能支持多樣的底棲生物生長，來此攝食的鳥類也多；而沙質灘地的細沙常隨著海浪及海風而漂移吹動，底質不穩定，使藻類不易附著生長，因此基礎生產量不高，導致生物種類較泥灘或其他棲地少。

泥沙灘地形主要分布於臺灣西部沿岸，北起新北市淡水河，南至屏東縣枋山鄉。由於地形與潮汐落差之因素，此類棲地在臺灣中部可延伸達數公里之遠。泥沙灘因為太陽直射、空曠且缺乏遮蔽物與支持附著物，日夜環境變動甚大，屬於環境惡劣之棲地，故多數生物以穴居或行固著的方式生活，以藻類、多毛類、端足類、星蟲、貝類、蟹類及鳥類為主。大型藻類有無隔藻、游苔、絲藻及鞘絲藻；微藻則以矽藻為主（林等 2007）。貝類常見有臺灣玉黍螺、射線青螺、黑鐘螺、蚵岩螺、瘤珠螺、文蛤、花蛤、黑齒牡蠣、長牡蠣；蟹類有弧邊招潮蟹、伍氏厚蟹、摺痕擬相手蟹、斯氏沙蟹、絨毛近方蟹、短趾和尚蟹、角眼沙蟹（優達景觀 2012），亦有特有種臺灣招潮蟹；魚類主要有黑點多紀魷、花身魴及芝燕綾鯉；鳥類主要有東方環頸鴉、小白鷺與濱鴉。亦在金門地區泥沙灘地發現活化石三棘鱗，與現已十分少見的文昌魚。然而，因為臺灣目前關於泥沙灘的研究很少，而且多以特定物種與植物相做為調查對象，如蟹類及鳥類，目前有極大的可能性低估了此類棲地的生物多樣性（表 4.1）。

表 4.1 臺灣泥沙灘生物多樣性概況

物種數	高美濕地 (林等 2007)	香山濕地 (新竹市野 鳥學會 1995)	優勢物種
藻類	5	43	高美：無隔藻、滄苔、絲藻、鞘絲藻 香山：海鏈藻科、角毛藻科、鐵氏束毛藻
軟體動物	9	65	高美：文蛤、豹斑玉螺、燒酒海蜷 香山：海蜷、文蛤、玉黍螺
環節動物	13	-	多毛類 高美：長趾股窗蟹、短指和尚蟹、乳白招
節肢動物	16	16	潮蟹 香山：招潮蟹、隱蟹、濱蟹
魚類	46	9	高美：黑點多紀魷、花身鰱、芝蕪綾鯢 香山：彈塗魚、吳郭魚、大鱗龜鮫
鳥類	43	201	東方環頸鴉、小白鷺、濱鴉
總和	132	334	

#### 4.2.2 河口潟湖

河口為淡水與海水交會的半封閉沿岸海灣，可與開放的海洋在某種程度上相連接。其海岸地形複雜多樣，且因沉降作用的關係，河口與泥沙灘地通常有空間上的關聯性；而潟湖是河口地形的一種，為半封閉狀的內海，有常年性的開口或是變動性的開口與海洋相連。潟湖因水文物理作用及形成過程，可分為沙洲潟湖、河口潟湖與環礁潟湖等不同型態。在臺灣最常見的潟湖地貌為河口與沙洲潟湖，其為離岸沙洲與海岸所圍成的半封閉性海域。由於近岸許多潟湖位於河口地區，有陸源營養物質輸入，使其成為高生產力的魚蝦蟹類棲地，亦為許多非定棲性魚類之幼魚的重要孵育地，甚至是遷移性底棲游泳生物早期發育的重要棲地。潟湖具有調節陸源營養輸入的重要緩衝功能，但也時常受到陸地、大氣與海洋等自然營力的影響而變動劇烈。常因為人類活動，如土地利用的改變，營養輸入速率增加而導致潟湖水域優養化，產生藻華，惡化水質，甚至形成死亡區，導致水生生物大量死亡。現今，潟湖已為人類活動極為頻繁之處，應以永續的方式來明智利用與經營海岸資源，並減緩環境的污染與破壞，提升其生態系統回復力，以便未



來因應氣候變遷更大的挑戰。

臺灣的河川分為中央管河川 24 水系、跨縣市河川 2 水系 (淡水河、磺溪) 以及縣 (市) 管河川 92 水系，合計 118 個水系或流域，因此臺灣具有豐富多樣的河口生態系。臺灣的潟湖多分佈於西南部沿海地區，共有 11 個較具代表性潟湖，分別為雲林縣外傘頂洲潟湖、嘉義縣好美寮潟湖、臺南市北門潟湖、臺南市七股潟湖、臺南市曾文溪口北岸和南岸潟湖、臺南市四草內海潟湖、高雄市興達港潟湖、高雄市左營潟湖、高雄市高雄潟湖與屏東縣大鵬灣潟湖等。其中高雄與左營潟湖已被開發成商港與軍港，而興達港潟湖也被開發為火力發電廠。在河口潟湖的生態研究以鳥類與魚類為多，以七股地區的黑面琵鷺調查最廣為人知。以下為 4 個有較多研究的河口潟湖之生物多樣性概況 (表 4.2)：

1. 宜蘭縣蘭陽溪河口：施 (2007) 在蘭陽溪河口設置待袋網與燈光誘捕器採集仔稚魚，共鑑定出 16 科 23 屬 24 種。其中以斑帶吻鰕虎數量最多，其次依序為日本瓢鰕虎、鯔科仔稚魚及鱸鰻。底棲無脊椎動物的總密度在 44~28,800 隻/平方公尺之間，以宜蘭河支流的密度最高，主要組成多毛類；蘭陽溪出海口底質的篩選度佳、表層粒徑較粗、粉泥黏土含量低，以端腳類為主 (陳等 2004)。甲殼類共發現 5 科 13 種蝦蟹類，其種類和生物量以蘭陽大橋最多，其次是河口。河口地區發現到可以生活在半淡鹹水的蝦類，如等齒沼蝦與鹹水的草對蝦和鋸緣青蟹 (曾 2004)。優勢蟹類有日行性的北方呼喚招潮蟹及萬歲大眼蟹，而夜行性種類則以紅螯螳臂蟹及無齒螳臂蟹為主 (鄭 2004)。
2. 新北市貢寮區鹽寮灣：葉 (2007) 共採集到 45 科 79 種魚類，其中以鰱科佔種數 12 種為最多，尾數則以日本鯷最多，其次為單角革單棘魷。
3. 臺南市七股潟湖與曾文溪口：根據 Kuo et al. (2001) 於七股潟湖的調查，共發現了 46 科 111 種魚類，優勢種為大鱗龜鮫、長鰭凡鯔、四線雞魚、短吻鰻與鑽嘴魚。林等 (2011) 於曾文溪口、曾文溪口北岸的黑面琵鷺保護區與七股潟湖進行海岸濕地與河口生態系變遷的研究，魚類調查共紀錄到 44 科 92 種魚類，其中以鰕虎科 11 種為最多，其次為鯔科、鰻科與鯔科各 6 種。底棲螺貝類調查共發現 30 科 71 種，優勢物種為中華玉黍螺、居間玉黍螺、蚵岩螺、顆粒玉黍螺與高腰蜚螺。底棲無脊椎動物調查在七股潟湖採集到海葵、螺類、二枚貝、多毛類、端腳類、蟹、蝦、異尾類、星蟲、水棲昆蟲

與紐型動物等，生物個體數的平均密度為 2,090 隻/平方公尺，其中以端腳類數量最多，次多為多毛類。而在曾文溪口採到二枚貝、多毛類、端腳類、蝦等 4 大類，以多毛類數量最多，其次為端腳類。鳥類調查共記錄到 33 科 83 種，其中以小白鷺、東方環頸鴉、高蹺鴉、裏海燕鷗、彎嘴濱鴉、黑腹濱鴉、赤足鴉與黑面琵鷺為優勢。而邱 (2010) 曾在七股潟湖之潮間帶研究底棲多毛類的種類組成，共發現 19 科 25 屬，其中沙蠶科之腺帶刺沙蠶佔 37.8%、錐頭蟲科之膜囊錐頭蟲佔 13.2%、海稚蟲科之印度海稚蟲佔 11.1% 與小頭蟲科之小頭蟲佔 10.1%，此 4 種為主要優勢種，佔總數 72.2%。浮游生物方面，葉 (2000) 於臺南市七股潟湖及附近海域進行浮游橈足類種類組成及分佈的研究，結果共發現了 18 科 82 種，主要的優勢種大多為暖水性種類，例如駝背絹水蚤、駝背隆哲水蚤、錐形寬水蚤、微駝隆哲水蚤、小擬哲水蚤、強額小哲水蚤及橈足類幼生等。

4. 屏東縣大鵬灣潟湖：陳等 (2003) 以待袋網法、電魚法及流刺網在大鵬灣潟湖內採集魚類樣本，共計採獲到 51 科 173 種魚類。其中包含了 5 種當地獨特之魚種，分別為弓線天竺鯛、扁頭天竺鯛、側身天竺鯛、眉鬚鱗頭鮠與條紋鰻。而大鵬灣內優勢魚科為鰕虎科、天竺鯛科、笛鯛科及雀鯛科。該研究結果也指出大鵬灣潟湖內以肉食性魚種為主，顯示潟湖內可提供多量的蛋白質食物來源。以大型藻為食的魚種則以海水魚種佔多數，且多分佈於河口地區。

表 4.2 臺灣河口潟湖生物多樣性概況

物種數	宜蘭縣		新北市		苗栗縣		臺中市		臺南市七股		屏東縣		優勢物種
	蘭陽溪 河口	貢寮區 鹽寮灣	淡水河口	中港溪口	後龍溪口	西湖溪口	大肚溪口	潟湖與曾文 溪口	大鵬灣 潟湖	大鵬灣 潟湖	大鵬灣 潟湖	大鵬灣 潟湖	
刺胞動物	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	水螅水母綱、管水母目、鉢水母綱
軟體動物	-	-	-	9	-	18	10	71	-	-	-	-	中華玉黍螺、鐵尖海蜷、半紋斧蛤
環節動物	-	-	-	5	-	-	1	25	屬	-	-	-	腺帶刺沙蠶
節肢動物	13	-	76	13	-	11	6	82	-	-	-	-	刀額新對蝦、遠海梭子蟹、紅星梭子蟹
棘皮動物	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	沙錢目
魚類	24	79	69	13	16	18	4	111	-	173	-	-	大鱗龜鮫、花身刺、縱紋鑽嘴魚
鳥類	130	-	112	45	54	32	135	83	-	-	-	-	小白鷺、高蹺鴉
其他動物	-	-	-	28	-	37	-	-	-	-	-	-	黑眶蟾蜍、眼蚺蝶

資料來源：宜蘭縣蘭陽溪河口（曾 2004，林等 2006，施 2007）、新北市貢寮區鹽寮灣（葉 2007）、新北市淡水河口（邵等 2002）、苗栗縣中港溪口（朱等 2011）、苗栗縣後龍溪口（李和朱 2011）、苗栗縣西湖溪口（優達景觀 2012）、臺中市大肚溪口（吳等 2000）、臺南市七股潟湖與曾文溪口（葉 2000，Kuo et al. 2001，邱 2010，林等 2011）、屏東縣大鵬灣潟湖（陳等 2003）。

## 4.2.3 鹽澤

鹽澤常分布在河海交會所沖積出來，有地形庇護的灘地上，受潮汐漲退變化影響，容易形成由單一種類草本植物所組成的大片草原。生長於此的生物因為適應鹽分波動的逆境，具有複雜的帶狀分布與生物結構，因此鹽澤生態系一般生物多樣性低，但是生產力高的碳匯場所。其藉著沿岸輸入豐富的有機營養物質，能支持多樣的底棲動物、甲殼類和鳥類生活，亦可做為海洋生物繁殖及覓食地、遷徙性水鳥的覓食中繼站，並能吸收陸源汙水中過多的營養鹽，避免藻華危害，同時能集聚多種重金屬淨化環境，且有減緩海浪衝擊與固陸護岸的生態系統服務。

臺灣的鹽澤由東北部宜蘭無尾港至南部高屏溪口皆有分布，主要分布於宜蘭縣蘭陽溪口、臺北市與新北市淡水河口、新竹市客雅溪口（香山濕地）、臺中市大甲溪口（高美濕地）、嘉義縣八掌溪口、臺南市四草區、臺南市七股區及高屏溪口等地（表 4.3、表 4.4）。

表 4.3 臺灣鹽澤植物相 (葉 2005)

地點	物種數	優勢物種
宜蘭縣蘭陽溪口	68	雲林莞草、開卡蘆、白茅
新北市淡水河口	24	開卡蘆、海雀稗、巴拉草
新竹縣新豐溪口	20	巴拉草、鹽地鼠尾粟、海雀稗
新竹市客雅溪口（香山濕地）	22	海雀稗、鹽地鼠尾粟、雲林莞草
苗栗縣中港溪口	15	中華結縷草
臺中市大甲溪口（高美濕地）	44	雲林莞草、海雀稗、鹽地鼠尾粟
雲林縣北港溪口	34	開卡蘆、海雀稗、鹽地鼠尾粟
嘉義縣朴子溪口	43	巴拉草、開卡蘆、海雀稗
嘉義縣八掌溪口	43	海雀稗、海馬齒、流蘇菜
臺南市曾文溪口	34	開卡蘆、海雀稗、海馬齒
臺南市鹽水溪口	20	開卡蘆、海雀稗、海馬齒
高雄市永安濕地	10	開卡蘆、海雀稗、鹽地鼠尾粟
高雄市高屏溪口	26	開卡蘆、海雀稗、單葉鹹草

表 4.4 臺灣鹽澤生物多樣性概況

物種數	高美濕地 (林等 2007)	關渡濕地 (邵等 2000)	優勢物種
軟體動物	-	43	瘤蜷、流紋蜷、網蜷
環節動物	-	6	貧毛類
節肢動物	49 科	26	雙翅目、同翅目、膜翅目 弧邊招潮蟹、清白招潮蟹、臺灣厚蟹
魚類	14	38	高美：黑點多紀魷、花身雞魚、前鱗鮫 關渡：大鱗龜鮫、吳郭魚、大肚魚
鳥類	43	76	高美：東方環頸鴿、小白鷺、濱鴿 關渡：小水鴨、小白鷺、黃頭鷺

但是，北部受人為開發影響，分布面積較少，中部分布區域多已遭破壞（如彰化縣大肚溪口），僅存高美濕地較為完整，南部則多是廢棄魚塢、鹽田等次生濕地（葉 2005），其優勢植物物種為雲林莞草、鹽地鼠尾粟、海雀稗與蘆葦等（林等 2007）。其中，高美濕地是全臺雲林莞草的最大族群生育地（翁等 2011），然而近年來，當地發現外來種互花米草入侵（臺江國家公園管理處 2010），改變當處底質粒徑特性與底棲生物組成。

#### 4.2.4 紅樹林

紅樹林是生長於 25°N~25°S 熱帶及亞熱帶海岸濕地、沼澤及河口潮間帶等半鹹水區域的耐鹽性常綠木本植物群落的統稱，為熱帶三大沿海生態系之一。狹義的紅樹林通常指在半鹹水地區具有胎生苗等演化特徵之木本植物，常為熱帶與亞熱帶河口海岸地區重要的基礎生產者。全球生長分布最北可至 32°N 的百慕達地區與日本南部，最南可至 30°S 的巴西南部海岸、33°S 的東非海岸和 38°S 的紐澳地區。又因紅樹科植物體內含有二次代謝物單寧（tannin），當單寧於空氣中氧化後會呈紅棕色，故得「紅樹林」之名。

生長於海岸邊的紅樹林有許多為適應環境的特化生理構造，諸如葉片泌鹽的鹽腺、氣根及胎生苗等構造。雖然相較於其他內陸植物，對鹽分具有較高的耐受力，而容易發展為海岸地區的優勢植物，但其生長依然會受到溫度、底質粒徑、潮汐波浪作用力、鹽度及潮間帶寬度等之影響。臺灣的野外紅樹林原有 6 種，現

存 4 種，以水筆仔和海茄苳為主，主要分布在臺灣本島西部沿海各河口附近，其中淡水河沿岸（臺北市關渡與新北市竹圍與挖子尾）、中港溪出海口（苗栗縣竹南鎮）、溫仔寮河口（臺中市大安區）、四草濕地與七股濕地（臺南市安南區）等地有較集中之族群，總面積約有 300 公頃。其中淡水河口的水筆仔是紅樹林自然分佈緯度最北的種類，而臺南四草地區是全臺灣唯一有 4 種紅樹林共存的區域。

紅樹林多樣性的棲地和富含有機碎屑的底質，構成了世界上生產力最高的生態系之一。各種食底泥生物與底棲生物所形成的次級生產力，負責將有機碎屑的能量從食物鏈底層向上傳遞，如淡水竹圍紅樹林的底棲生物優勢物種小頭蟲，其次級生產量可達 254.73 克/平方公尺/年之多（曾 2006）。臺灣紅樹林蟹類有 6 科 46 種（薛 2011），其中以乳白招潮蟹、網紋招潮蟹、北方呼喚招潮蟹、弧邊招潮蟹及短指和尚蟹等為常見的種類，而稀有種臺灣招潮蟹在新竹海山罟及臺南七股紅樹林均有龐大族群。另外，具有經濟價值之鋸緣青蟳、擬深穴青蟳和欖綠青蟳等也常以紅樹林為棲息地。軟體動物估計有 24 科 42 種（巫和廖 1995），包含具經濟價值的牡蠣、環文蛤、文蛤、西施舌及竹蛸等，而玉黍螺科及海蜷科的螺類，時常為了躲避漲潮水爬上樹。另外，在嘉義好美寮、淡水及高雄紅樹林區中發現稀有的紅樹蜆（又名馬蹄蛤），但是近年來由於其高經濟價值而遭受極大的採捕壓力，目前淡水河的貝類調查已無紅樹蜆之蹤跡，疑似瀕臨絕種。紅樹林也是沿海魚類孵育及攝食的最佳場所，亦能作為外海近岸生物的食物來源場所，因此在該區活動的魚種及生物量均較其他沿海域豐富。會進入紅樹林水域的魚群以仔稚魚居多，係因此處不僅有豐富的食物來源，樹體複雜的根系結構和高濁度的水體可提供良好的隱蔽性，減少被掠食的機會。魚群多在漲潮時進入紅樹林區覓食，退潮時又回到海裡。主要魚類是以天竺鯛科、笛鯛科、鯛科、玻璃魚科及鰕虎科等為優勢種（林 2006），包括彈塗魚、大彈塗魚、虱目魚、烏魚與花身雞魚等。鳥類族群眾多，主要有雁鴨科、鷗科、鷺科、鸕科與鴿科等，其中以候鳥佔絕大多數，只有部分屬於常年棲息的留鳥。紅樹林亦提供許多保育類珍稀鳥種棲息、渡冬及覓食的處所，如第三級保育類動物紅尾伯勞、第二級保育類動物小燕鷗及黑翅鳶、第一級保育類動物黑面琵鷺與東方白鸕等。此外，在西部各沿海濕地多有發現外來種，例如埃及聖鸕的繁殖族群，由於在食物、巢樹等生態資源上的諸多重疊，已然對本土鳥類造成生存及繁殖上的競爭排除效應。



表 4.5 臺灣紅樹林植物

物種	分佈區域
水筆仔	紅樹科 數量多，耐寒性較高，主要分佈於臺灣中北部，四草地區有觀光用途的人工栽育種，為知名度最高的一種。
紅海欖	紅樹科 數量不多，喜愛較溫暖的環境，只分佈於四草一帶之潟湖，五梨跤為以前鑑種錯誤之稱。
海茄苳	馬鞭草科 分佈廣，主要分佈於臺灣中南部。
欖李	使君子科 數量不多，只分佈於臺南市安南區的四草潟湖。
紅茄苳	紅樹科 已於臺灣絕種，原分佈於高雄市的潟湖，1969 年高雄
細蕊紅樹	紅樹科 港進行第二港口修建時遭清除，於 1990 年代晚期有民間公司向國外引進這二種紅樹林的幼苗進行復育。

表4.6 臺灣紅樹林生物多樣性概況

類群 (科/種)	淡水河		竹苗地區		中彰大肚 溪口		彰化縣 芳苑地區		嘉義地區	臺南地區	高屏地區	優勢物種
	1/1	2/2	2/2	-	2/2	3/4	3/3	3/4				
紅樹林植物	1/1	2/2	-	-	2/2	3/4	3/3	3/4	-	3/3	3/4	水筆仔、紅海欖、海茄苳、欖李
其他植物	-	-	-	-	-	-	-	36/125	-	-	36/125	土沉香、銀葉樹、黃槿、苦林盤
軟體動物	8/12	8/12	-	8/12	6/8	24/39	12/18 (舊南 縣)	8/11	7/10 (舊南 市)	-	-	粗紋玉黍螺、蚵岩螺、環文蛤、文 蛤、海蛸
環節動物	5/9	-	11/- (多毛 綱)	-	-	-	-	10/11 (多毛 綱)	-	-	-	小頭蟲、纓總蟲
節肢動物	7/49 (蟹)	23/33 (蟹)	4/13 (蟹)	-	-	-	-	6/10 (蟹)	5/14 (舊南 市)	-	6/10 (蟹)	斯氏沙蟹、弧邊招潮蟹、北方呼喚招 潮蟹、短指和尚蟹、摺痕擬相手蟹、 雙齒近相手蟹、大眼蟹科
魚類	-	-	-	-	-	32/67 (好美 寮)	42/88+ (仔稚 魚)	4/4	-	-	-	吳郭魚、環球海鯨、大鱗龜鯨、黑尾 小魷

類群 (科/種)	淡水河	竹苗地區	中彰大肚 溪口	彰化縣 芳苑地區	嘉義地區	臺南地區	高屏地區	優勢物種
	鳥類	26/258	26/248	-	38/141	-/154	-/143	36/141
爬蟲類	-	-	-	-	-	-	3/31	蝮虎、長尾南蜥
類群總和	47/329	59/295	15/13+	46/151	59+/264	57+/273+ (舊南縣)	99/281	58+/258 (舊南市)

資料來源：淡水河紅樹林 (史等 1991, 中華民國野鳥學會 1992, 巫和廖 1995)、竹苗地區 (新竹市野鳥學會 1995, 巫和廖 1995, 趙 2003)、中彰大肚溪口濕地 (蘇 2003)、彰化縣芳苑紅樹林 (巫和廖 1995)、嘉義地區 (王等 1983, 巫和廖 1995, 林和郭 2006)、臺南地區 (巫和廖 1995, 林等 2011)、高屏地區 (李 2013, 巫和廖 1995, 余 2004)。

### 4.2.5 岩礁

岩礁海岸為非生物性岩石構成沿岸底質的濱海區域，臺灣岩礁地形主要分佈於本島北海岸、東北部、東部、恆春半島及金門、馬祖、澎湖、綠島與蘭嶼等外島地區。其地形變化較為簡單，因此全球岩礁生物相大體上十分類似。岩礁質地堅硬，可讓生物固著生長，還由於強烈海濤、風力等物理因素侵蝕之下形成多孔隙，為一優良生物棲息環境，提供許多不同的生物攀附和躲藏。礁岩生物大多有堅硬的外殼，如蝦、蟹、螺、貝與海膽等，此類動物一來可承受浪花的沖擊，二來可減少在活動時被天敵捕食的機會。由於不同生物對乾旱、溫度、對海浪沖擊之抵抗力，以及日照容忍度的不同，再加以生物空間及食物資源上的競爭，造成岩礁海岸潮間帶的生物多呈現明顯的垂直帶狀分佈（表 4.7）。位於高潮帶生物，如玉黍螺與海蟑螂，常常必須忍受乾燥、日曬、雨水以及往復浪潮的衝擊，因應溫度與鹽度的劇烈變化，演化出其特殊的生存適應方法；低潮帶生物如海藻、海膽等，大多生活在海面下，適應乾旱能力較差，有些隨潮水搖曳，有些則棲居洞中；在激浪區的生物如黑齒牡蠣，則週而復始地承受著海浪的衝擊，因此通常有較強的附著力和耐擊性。除了呈現垂直帶狀分佈外，岩礁中的潮溝和坑洞，因為較為陰暗潮濕且隱蔽，生物密集，加上因幼生附著不均，被捕食的機會也不等，所以生物常有塊狀聚集的現象。

表4.7 臺灣岩礁生物多樣性概況

類群 (科/種)	澎湖	東北部 卯澳灣	東北角 天然岩礁	東北角和 美巨礁區	北海岸 岩礁	北海岸 礫石	烏鼻石海岸 自然保留區	東北角	臺灣岩礁 海岸	優勢物種
植物	-	-	-	-	-	-	110/389	-	-	臺灣蘆竹、石板菜、 闊片烏蕨、全緣貫眾 蕨、濱當歸
大型藻類	-	-	-	-	-/22	-/13	-	50/200+	-	礁膜、石蓴、裂片石 蓴、網球藻、石花菜 綠海葵、狄
刺胞動物	-	-	-	-	-/3	-/2	-	-	-	氏襟疣海葵、日輪海 葵、瘤菟葵、王岩菟 葵
軟體動物	-	-	-	-	-/28	-/11	-	-	78/340 (貝類)	顆粒玉黍螺、臺灣玉 黍螺、黑齒牡蠣、花 松螺、花笠螺
環節動物	-	-	-	-	-/2	-/2	-	-	-	環唇沙蠶、襟首葉蝨 蟲、白管線蟲
節肢動物	-	-	-	9/33 (十足 類)	-/13	-/9	5/70 (蝶類)	-	-	扇蟹科、酋婦蟹科、 寄居蟹科、方蟹科

類群 (科/種)	澎湖	東北部 卯澳灣	東北角 天然岩礁	東北角和美 巨礫區	北海岸 岩礁	北海岸 礫石	烏鼻石海岸 自然保留區	東北角	臺灣岩 礁海岸	優勢物種
棘皮動物	-	5/11 (海膽)	-	-	- / 5	- / 2	-	-	-	白尖紫叢海 膽、梅氏長 海膽
其它動物	1/1 (哺乳類)	-	-	-	- / 6	- / 1	13/18 (哺乳類) 8/15 (爬蟲類) 4/12 (兩生類)	-	-	鼬獾、梭德 氏遊蛇、拉 都西氏赤蛙
魚類	-	-	28/95	-	-	-	-	33/154	-	霓虹雀鯛、 孟加拉豆娘 魚、六線豆 娘魚
鳥類	29/91	-	-	-	-	-	24/43	-	-	灰喉山椒鳥 、紅嘴黑鶇 、白腹鶇
棘皮動物	-	5/11 (海膽)	-	-	- / 5	- / 2	-	-	-	白尖紫叢海 膽、梅氏長 海膽
類群總和	29/91	5/11	28/95	9/33	- / 81	- / 41	188/585	140/644+	78/340	

參考文獻：東北部卯澳灣 (陳 2003)、澎湖 (鄭等 2012)、東北角天然岩礁 (甘 2010)、東北角和美巨礫區 (張 2008)、東北角和美巨礫區 (張 2008)、臺北海岸岩礁 (廖等 2011)、北海岸礫石 (廖等 2011)、烏鼻石海岸自然保留區 (毛和陳 2009)、東北角 (黃 2000)、臺灣岩礁海岸 (賴 2008)。



#### 4.2.6 藻礁

藻礁是由殼狀珊瑚藻 (crustose coralline algae) 覆蓋於原生岩石等硬基質生長而形成的生物礁，通常生長在潮池及較淺的亞潮帶。相比於造礁珊瑚，殼狀珊瑚藻能生長在水體較濁的環境裡，也可耐受高能量且持續的水流或較強的波浪衝擊，因此在水體環境更為惡劣的地點，殼狀珊瑚藻仍然能夠生長形成藻礁，成為主要的造礁生物。但是，跟其他造礁生物相比較，殼狀珊瑚藻的生長速率與其鈣質藻體的累積速率都較慢。過去在加勒比海維京群島的研究顯示，在去除生物侵蝕作用的情形下，藻體生長速率仍然很慢，礁體厚度增長速率每年僅有 1.0~4.2 公釐 (Adey and Vassar 1975)。在自然環境中，藻礁發育期間會遭遇到暴風及強浪等物理破壞、生物侵蝕作用、海水對碳酸鈣的溶解作用與漂砂沉積物的覆蓋等因素影響，因此，野外環境中藻礁之生長或厚度增長速率應該更慢。

藻礁所構成的立體多孔隙結構，能提供許多動物作為棲地之用，而殼狀珊瑚藻也提供有機碎屑及基礎生產量，作為許多動物的食物來源。礁體內部多孔隙的特性，可供不同種類之底棲生物躲藏，提供多樣的生存空間讓生物棲息。藻礁生物的生長與族群分布狀態，除了可直接反映其棲地的環境特徵外，經由詳盡的分析，也可以呈現當地環境的時空變化，其生物對環境變遷的反應亦可作為環境品質監控的依據。因為，鈣化藻體表具有生長黏結的特性，所以在新生代生物礁的發育歷程中，殼狀珊瑚藻也是穩定底質與形成強固礁體架構極為重要的生物。藻礁結構雖與珊瑚礁類似，具有豐富的生物多樣性；藻礁所生成的環境往往比起珊瑚礁更為惡劣 (如水體濁度較高等)，許多耐性較強的物種，在珊瑚礁或其他區域的競爭力較弱，但是由於可以適應藻礁的環境而成為當地優勢物種，常形成極為特殊的藻礁生態系統。然而，相對於珊瑚礁生態系的研究，現今全球對藻礁生態系及其形成方式的研究仍相當缺乏。

臺灣藻礁海岸分布於新北市石門區白沙灣、三芝區淺水灣、淡水區海岸、桃園縣觀音鄉海域、屏東縣九棚至旭海的濱臺 (王 2010)。其中以桃園大園至新屋鄉之沿岸的觀新藻礁面積最大，此處礁體南北綿延長度近 27 公里，最大寬度可達 500 公尺，其中參雜許多面積不等的藻礁礁體 (劉 2008，王 2010)。根據放射性定年的研究結果，推測此處的生物礁約在 7500 年前便開始形成，起初的造礁生物主要由對陸源沉積物耐受性較高的石珊瑚為主，並在 4400 年前轉變為珊瑚藻為主要的造礁生物 (戴等 2009)，且主要的殼狀珊瑚藻為石葉藻屬與水石藻屬

(台灣濕地學會 2014)。但是，此地區目前正遭受人為汙染及工業區開發，面臨岌岌可危的風險。

早期臺灣藻礁研究著重於殼狀珊瑚藻的形成年代探討 (戴等 2009) 或生物多樣性的定性觀察 (劉 2012)。戴等 (2009) 對觀音海岸藻礁進行生物群聚調查，記錄了 30 屬 79 種矽藻、22 種甲殼類、12 種軟體動物、24 種魚類、2 種刺胞動物、3 種棘皮動物和 3 種環節動物。廖等 (2011) 在北海岸及觀音山國家風景區海岸潮間帶的生物監測研究報告記錄指出，北海岸的藻礁有 88 科 169 種生物類群。台灣濕地學會 (2014) 研究桃園藻礁，記錄了 10 種大型藻類、25 種甲殼類、25 種軟體動物、39 種魚類、4 種刺胞動物、2 種棘皮動物、9 種環節動物和 12 種鳥類 (表 4.8)。

表 4.8 臺灣藻礁生物多樣性概況

物種數	桃園縣觀新藻礁			北海岸藻礁	
	台灣濕地學會 2014	戴等 2009	劉 2012	廖等 2011	優勢物種
大型藻類	10	6	43	41	石蓴、浒苔
刺胞動物	4	22	14	44	環菊珊瑚、紫柳珊瑚
軟體動物	25	4	1	2	珠螺、蚵岩螺
環節動物	9	28	20	22	多毛綱
節肢動物	25	3	4	1	司氏酋婦蟹、底棲短槳蟹、平背蜞
棘皮動物	2	33	8	3	花冠海燕、小雙鱗蛇尾
魚類	39	-	-	-	黑深蝦虎、圓鰭深蝦虎、火斑笛鯛
鳥類	12	-	-	-	小白鷺、黑腹濱鵝
其他動物	3	1	-	7	大盤扁蟲、黑革

物種總和	129	97	90	120
------	-----	----	----	-----

#### 4.2.7 珊瑚礁

珊瑚礁為地球上最重要的生態系之一，其環境提供了海洋生物極佳棲所及豐富食物來源，具有基礎生產力高、清澈水質及高生物多樣性的特性，被譽為「海洋中熱帶雨林」，也是熱帶三大沿海生態系之一。珊瑚對生長條件十分敏感，需生活在溫暖海域、充足的陽光、清澈乾淨之淺海環境。臺灣四面環海，位處熱帶及亞熱帶，加上黑潮流經，沿海環境除了泥沙質的西海岸外，大部分海岸地區均適合珊瑚生長。臺灣西部河口多，河流帶來泥沙含量高的沉積物，導致海水混濁，不適合珊瑚生存。並非所有珊瑚適合生長的海域都能發展出珊瑚礁，唯有在碳酸鈣堆積速率大於侵蝕作用的環境下方可形成。

臺灣珊瑚礁主要分佈於本島的恆春半島、東北角、臺東三仙臺等地，以及外島的綠島、蘭嶼、小琉球、澎湖群島、東沙島與南沙太平島。全世界的珊瑚至少有 1000 多種，墾丁國家公園約有 350 種，推估臺灣應有 400 種左右 (趙和蘇 2000)，現生種類最多、最主要且優勢的是軸孔珊瑚科，以及包括鹿角珊瑚科、蓮珊瑚科、蕈珊瑚科、微孔珊瑚科、菊珊瑚科等。其中，臺灣蕈珊瑚為臺灣特有種，而福爾摩沙偽絲珊瑚 (Pichon et al. 2012) 和柴山多杯孔珊瑚 (Lin et al. 2012) 則是近年發表的新種珊瑚。

生長在珊瑚礁裡的大型藻類、海草及珊瑚體內的共生藻，是珊瑚礁生態系的基礎生產者。牠們利用太陽能合成有機物質藉以支持眾多珊瑚礁生物的生存。珊瑚礁生態系的食物網以這些有機物質為基礎，發展出複雜且特化的生物群聚，因此珊瑚礁為一良好棲地，孕育多種生物，如海綿、海星、海膽、蟹類、貝類等，海蛇和海龜也常現身於此。其中，最廣為人知的為色彩斑斕、豐富多樣的熱帶魚類。全球大約有 6000~8000 種魚類以珊瑚礁為家，在臺灣附近則有 2000 多種珊瑚礁魚類，以墾丁、綠島和蘭嶼為魚種最豐富的海域。珊瑚礁魚類的體態和體色變化極大，且具多種生活形態，尤其在形態、行為和食性等方面有明顯的特化表現，其中數量最多的代表魚種為隆頭魚科、雀鯛科和蝶魚科 (戴 2011) (表 4.9)。

表4.9 臺灣珊瑚礁生物多樣性概況

種類	屏東縣墾丁地區																優勢種	
	高雄市																	
	後壁湖	帆船石	入水	香蕉灣	出水口外眺石	後壁湖	合界	萬里洞	貓鼻頭	雷打石	後灣	南灣	龍坑	佳樂水	風吹沙	東沙		南沙
魚類	130	130	127	112	109	155	90	90	82	-	-	-	-	-	-	323	418	雙點天竺鯛、 蒂爾烏尾鯨、 金花鮨
螺貝類	38	-	-	30	-	-	-	-	26	47	41	38	-	-	-	133	94	白紋方蟹、 小厚紋蟹、 細紋方蟹
甲殼類	-	-	-	12	-	17	-	24	-	-	12	23	21	14	10	-	55	

參考文獻：屏東縣墾丁地區（何等 2011）、高雄市東沙（Chen et al. 2005、陳 2005）、高雄市南沙(邵及林 2014)。

#### 4.2.8 海草床

海草為生活在海洋沉水環境中，具有維管束及根、莖、葉、花、果實等器官分化的單子葉植物，以海水傳粉，在海水中完成開花、結果與播種等生活史。由於海草具高生產力，在沿岸生態系扮演重要的生產者角色，而且海草床可提供幼蝦、仔魚、海馬、儒艮、海龜及無脊椎動物等進行繁殖、孵幼與藏匿的棲地，也可成為其主要食物來源，也是熱帶三大沿海生態系之一。海草床同時是成魚的主要覓食區，亦能提供穩固底質沈積物、過濾海水、減緩波浪、調節海水流量、穩定堤防基質等生態系服務，因而與漁業及生態保育有密切的關係。如上所示，海草床能提供的生態功能繁多，其與海洋生物、臨近的珊瑚礁及紅樹林緊密連結，因此，未來須加強維護海草床，以提升其回復力，以因應未來氣候變遷所造成的暖化與海水酸化影響，避免海草床崩解，進而影響鄰近之珊瑚礁與紅樹林生態系等。

臺灣主要的海草床位於屏東縣恆春半島墾丁海域、澎湖縣澎湖群島大倉灣及高雄市東沙島與南沙太平島海域，其中以東沙島海域的海草床面積最大，達 11.85 平方公里，且海草種類最多樣 (Lin et al. 2005) (表 4.10)。

表 4.10 臺灣海草種類與分布

名稱	分布區域	棲地類型
<b>甘草科</b>		
甘草	澎湖、金門、台中、新竹	灘地
<b>水螳科</b>		
毛葉鹽草	澎湖、屏東	淺海底
貝克鹽草	嘉義	鹽田
卵葉鹽草	澎湖、嘉南、屏東、東沙	灘地
泰來草	屏東、綠島、小琉球、東沙、南沙	珊瑚礁
<b>水絲草科</b>		
鋸齒葉水絲草	澎湖、東沙	珊瑚礁
圓葉水絲草	東沙	珊瑚礁
水韭菜	澎湖、東沙	珊瑚礁
線葉二藥草	澎湖、屏東	珊瑚礁
單脈二藥草	澎湖、屏東、小琉球、東沙、南沙	珊瑚礁
鐮葉叢草	東沙	珊瑚礁

目前，臺灣本島及離島共記載有 3 科 7 屬 11 種的海草 (柯 2004, Lin et al. 2005, 冼等 2012)。臺灣海草的生長棲地類型大致可分成四類：泥沙質灘地、珊瑚礁平台及潮池、海蝕平台與海底細沙泥地。海草床中有非常豐富的生物多樣性，尤其在東沙海草床，仍然存在許多未知的物種，林等 (2010) 先前研究中已採集到約 50 種未知種，其中數種極可能是台灣的新紀錄種，甚至是新種 (表 4.11)。

表 4.11 臺灣海草床生物多樣性概況

物種數	屏東縣墾丁	澎湖縣大倉灣	高雄市東沙	優勢種
大型藻類	-	-	148	蕨藻
海草	5	7	7	泰來草、單脈二藥草、圓葉水絲草
刺胞動物	-	-	2	群體菟葵、海葵、仙后水母
軟體動物	91	-	25	芝麻蟹守螺、黑頂織紋螺、花麥螺
環節動物	-	-	47	多毛綱
節肢動物	53	-	6	軟甲綱、隱伏硬殼寄居蟹、棘軸蝦
棘皮動物	-	-	3	呂宋棘海星、喇叭毒棘海星、醜海參
魚類	77	74	134	隆頭魚科、鬚鯛科、龍占魚科、鸚哥魚科、褐臭肚魚、青嘴龍占、六斑刺河豚、單斑龍占、虹紋紫胸魚、織鸚鯉
其他動物	-	-	2	魯卡側殖文昌魚、海綿多囊海鞘
物種總和	226	81	374	

資料來源：屏東縣墾丁 (李 2009, 邱 2009, 何等 2011)，澎湖縣大倉灣 (冼等 2012)，高雄市東沙 (林等 2010, 柯等 2010, 林和蕭 2011, 鍾 2012)

#### 4.2.9 大洋及沿岸海

大洋指的是大陸棚之外的海域，包含大陸斜坡、深海平原等主要水深超過 200 公尺的海洋區域。因為陽光無法照到海底，大都依賴直接以陽光為能量的浮游植物為食物來源。生活在此區的大型動物大多具有良好的游泳能力，用於覓食和逃避



捕食者，並常有明顯的日夜垂直遷移行為。這些生物多集中分布於海洋表層，即光線能穿透的水體區域，並且依賴浮游動物或浮游植物提供的能量生存。臺灣有一半的沿海地區是屬於深海範疇，包括東部和南部海岸，在離岸不遠處水深便可達 200 公尺以上。

臺灣東部海域為典型的大洋生態系，此類型的海域有水溫高、水質清澈、光線充足的特性，基礎生產力主要受到營養限制。由於位於黑潮流經處，生物資源豐富，包括許多迴游性魚類和鯨豚 (戴 2003)。針對此區域的魚類研究指出至少有鯖科魚 8 屬 14 種，以花鰹、齒鯖、花鯖為主要魚種 (謝 2002)，在花蓮海域中可確認的鯨豚共 13 科 14 種 (何 2013)。無脊椎動物則有水母、頭足類和蝦類等 (戴 2003)。此外，日本鰻卵孵化後，鰻魚幼生會隨著黑潮暖流洄游至臺灣沿岸海域，進入河川後溯游而上並成長，為沿海重要的經濟魚種之一。

臺灣北部海域的東海陸棚與西北太平洋的黑潮為重要漁場與海洋生態區，此為許多經濟性魚種和大洋迴游性魚類集結或必經之區域，包括白帶魚、海鰻、紅目鱧、烏賊 (程 2013)、鱷齒鯖、鼠尾鱈、鱈鯧 (張 2013) 等。東海在黑潮與中國大陸沿岸冷水團兩種不同性質水團之勢力消長及相互推移作用下，造成其海水溫度、鹽度、營養等生化元素通量的經常性變化，其中仔稚魚因游泳能力弱，常隨著海洋環境變動而有中、小尺度時空之生物量及分佈變動的特性。隨季節改變，此區的水文流場變動相當大，不同水團交會造成仔稚魚組成多樣性高，且冬與夏兩季分群明顯，顯示兩季物種組成不同 (林 2008)；另一影響因素則為長江輸入的大量營養，使此區擁有豐富的漁業資源。但是，也有研究指出東海海域生物多樣性指數呈現由離岸向近岸降低的趨勢，且夏季時物種多樣性和底部溶氧呈顯著負相關，與多種營養鹽濃度亦呈顯著負相關 (張 2013)，顯示長江水污染的負面影響。係因營養鹽增加可能導致水體優養化使得水中溶氧減少，形成不利於生物生存之環境。

臺灣西南海域因為經常受季節性降雨、高屏溪陸源水、黑潮支流、南海表層水以及潮汐流之交互影響，水文狀況十分複雜。海域浮游動物群集分布受到這些環境因子交互影響，加上各物種的不同習性，而呈現不規律之分布模式 (羅 2011)。西部海域之營養鹽濃度較高，東部海域則較低。臺灣周邊海域因有許多的颱風經過，產生冷渦流湧升，帶來底層豐富營養鹽，可促使浮游生物增長，並提高基礎生產力 (行政院農業委員會漁業署 2009)。

臺灣週邊的海洋生態系中，2/3 的範圍為深海環境，因此預期應有很高的生物多樣性，但過去少有研究船進行系統性的研究，只能從宜蘭大溪魚市場及屏東東港華僑魚市場的深海底拖漁獲中得到無法確定捕獲地點的樣本。直到 2001 年由科技部計畫支援並提供研究船才開始有系統地進行深海生物多樣性的調查。此計畫共記錄到 26 目 88 科 198 屬 366 種的深海魚類 (Shao et al. 2014)。頭足類有 19 科 36 屬 47 種，非頭足類之軟體動物共 87 科，至少 275 種 (盧 2005)。甲殼類至少有 5 世界新屬，37 世界新種，1 世界新亞種，新紀錄至少 6 科 170 種。棘皮動物至少有 78 新紀錄種 (楊 2007)。深海生物的探測再一次證明了臺灣附近海域的高生物多樣性，如鼠尾鱈及彷彿刺鎧蝦在台灣種類數皆為世界第一；又如龍蝦類和對蝦類在台灣已記錄的種數約佔全世界的 1/3-1/4 (楊 2007)，不過由於缺乏相關研究人員，仍有許多深海生物類群未能深入了解。

臺灣的海底熱泉主要分布於東北部海域，沿著沖繩海槽由深海向西南延伸至龜山島附近的淺海海域 (郭 2001)，因此淺海和深海熱泉皆能發現。龜山島地區的淺海熱泉生態系 (15-30 公尺深) 極為特殊，其生態系運作方式自成一格，並於當地發現如烏龜怪方蟹等新物種 (Ng et al. 2000, Jeng et al. 2004)。而龜山島深海熱泉 (200-323 公尺深) 的生物已記錄有 7 種熱泉特有生物及一種特有貝類化石種，分別為淺海深海熱泉皆有的烏龜怪方蟹、熱泉寄居蟹 (Lemaitre 2004)、熱泉美人蝦 (Lin et al. 2007)、及兩種熱泉蝦 *Alvinocaris chelys*、*Alvinocaridinides formosa* (Komai and Chen 2010)、熱泉特有臺灣深貽貝 (von Cosel 2008)、臺灣滿月蛤 (von Cosel and Bouchet 2008) 與世界最大的滿月蛤化石種 (Bouchet and von Cosel 2004)。這些特有生物與熱泉的化學自營性合成生態系息息相關，其中烏龜怪方蟹扮演著將熱泉能量傳遞至周圍海域的重要角色 (Wang et al. 2013)。而水深更深的深海熱泉生物至今仍極缺乏相關研究，目前在臺灣東北部海域水深 976-1,483 公尺深的深海熱泉發現一種熱泉特有的柯氏潛鎧蝦 (Chan et al. 2000)。

臺灣西南海域更發現有深海冷泉區蘊藏豐富天然氣水合物資源，被視為是目前能源問題之重要解決方案之一。為確保海洋資源之永續，引發了天然氣水合物賦存區與當地深海生物群聚多樣性和生態系功能間關係的研究契機，相關研究目前仍在進行中 (Chen and Lin 2014)。目前鄰近海域固著性與遊走性的動物至少已鑑定出 78 科 138 種 (林等 2015)，與深海冷泉生態系關係密切的冷泉貽貝 (*Bathymodiolus platifrons*)、一種寄生在貽貝上的多毛蟲 (*Branchipolynoe pettibonae*) 以及柯氏潛鎧蝦。

### 4.3 氣候變遷影響臺灣海域生態之研究案例

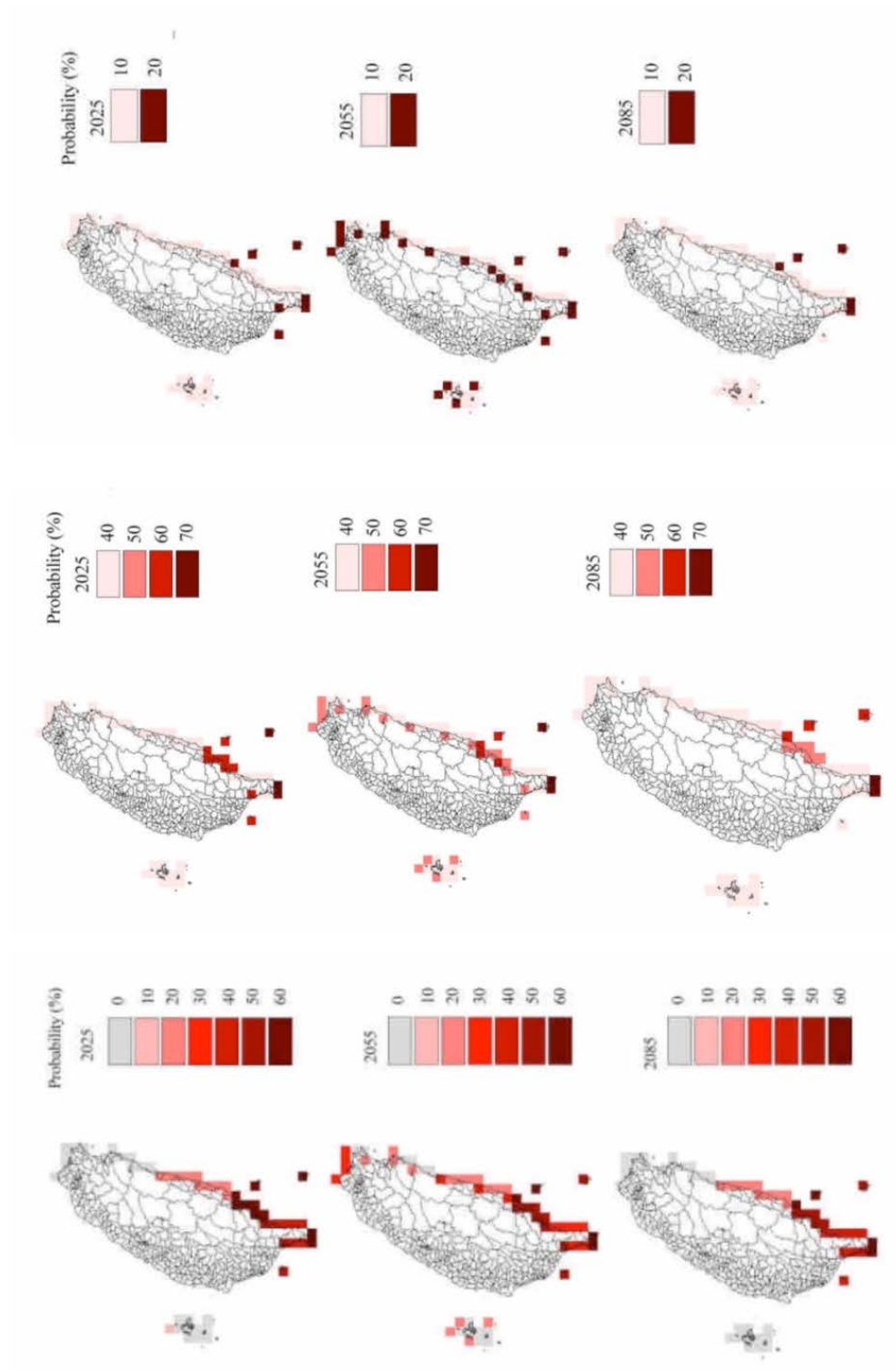
氣候變遷對於臺灣海域生態系的影響，目前結論較為肯定且有研究可資佐證的研究案例並不多，例如 1998 年聖嬰現象造成珊瑚白化、颱風侵襲造成珊瑚礁受損及魚類群集改變、鯨魷等大洋漁業資源的長期變動、2008 年反聖嬰現象導致冷水流入侵澎湖造成大量死魚事件等少數案例。氣候變遷所造成的其他可能影響包括二氧化碳濃度升高導致海水酸化，進而影響到海水碳酸鈣飽和濃度；海平面上升改變海岸生態系統；颱風增強、海流及水溫的異常變動，改變生物組成及分布，乃至於影響物種的生態或生物習性以及相關的食物網結構等。然而，大多數的影響仍然缺少臺灣在地的基礎數據，包括其影響機制、評估及預測模式，更缺乏過去長期生態分布背景資料的蒐集與整合，難在時間（今昔）及空間（實驗組與對照組）軸上作比較分析，故目前尚無法斷言這些現象與氣候變遷有直接的因果關係。

相對而言，如過漁、棲地破壞、污染、外來種入侵等人為活動，對於臺灣海洋生物多樣性所造成的直接破壞反而更為明顯，並且較氣候變遷的影響更加快速與劇烈，實在不容忽視。此外，海洋資源保育管理以及人類活動分布地區與密集度等，對海洋生態系統的維持能力不但有密切相關，且與氣候變遷的作用有加乘效應，因此，海洋資源保育及管理將變得極為重要。現階段臺灣有關於氣候變遷對於海域生態系影響之研究，除了珊瑚本身及共生藻，以及大洋生態系之漁業資源外，生態系統層面的研究仍然付之闕如。

#### 4.3.1 珊瑚礁

洪 (2006) 與戴 (2006) 研究海水升溫對臺灣珊瑚礁生態系的影響，以三種臺灣海域較常見的珊瑚做分布機率模擬：尖枝列孔珊瑚、萼形柱珊瑚與細枝鹿角珊瑚 (圖 4.2)。結果發現當海水暖化，短期內 (2025 年) 珊瑚的分布範圍變廣，各地的物種豐度亦增加。然而，在中期 (2055 年) 及長期 (2085 年) 的影響下，珊瑚分布範圍會縮減並往北移，未來將導致珊瑚礁生態功能逐漸喪失，在氣候異常的衝擊之下更加脆弱 (洪 2006, 戴 2006)。珊瑚覆蓋率也會因海水升溫而減少 (朱 2009)，當珊瑚位於持續高溫的海水中，其死亡率會上升、共生藻濃度下降，最大光合作用效率也逐漸下降 (劉等 2013)。當大幅提高或降低海水溫度時，會

妨礙軟木軟柳珊瑚的活性和攝食能力，破壞其自我保護行為，最終造成不可彌補的傷害，甚至導致珊瑚礁群死亡 (徐 1998)。另外，生長在海水平均溫度較高的萼柱珊瑚可適應高溫海水，具有較好的耐熱能力，其耐熱防禦機制來自於共生藻細胞 (許 2008)，珊瑚的緊迫相關基因亦可回應環境溫度之改變 (劉 2010)。



(a) 尖枝列孔珊瑚

(b) 萼形柱珊瑚

(c) 細枝鹿角珊瑚

圖4.2 臺灣海域三種常見珊瑚在氣候變遷海水升溫衝擊之下的模擬分布情形，圖摘自戴(2006)。



海水升溫經常導致珊瑚白化，珊瑚宿主白化程度的表現是源自於不同共生藻的白化反應，而非珊瑚本身的變異。當簡單軸孔珊瑚白化時，珊瑚的共生藻數目會減少，其單位共生藻色素量也會減少，在珊瑚細胞上會發現不完整的共生藻 (劉 1990)。珊瑚白化現象會減少珊瑚礁魚類群集的種數及個體數 (林 1999)。海水酸化對珊瑚礁影響研究顯示，在低 pH 值的海水環境中，珊瑚碳酸鈣骨骼形成作用可能會受到抑制 (艾 2013)。連續性中度颱風侵襲會造成珊瑚礁魚類群聚個體數減少，而且嚴重干擾仔稚魚的入添 (林 1999)。

### 4.3.2 大洋及沿近海

全球暖化導致海洋表層水溫升高，造成層化現象，對流不易使得表層浮游植物生長所需的營養更加缺乏 (張 2012)。但是，臺灣周邊海域水溫高低對下一季基礎生產力並無顯著關係，在針對聖嬰或反聖嬰現象前後的基礎生產力研究中亦無特別異常變化，故氣候變遷對基礎生產力之影響目前並無明顯趨勢 (行政院農業委員會漁業署 2009)。然而，海洋由於暖化及層化之加強，溶氧濃度隨升溫而減少，層化現象之強化會使得表水溶氧不易向下傳遞，底層缺氧現象會更加嚴重，再加上沿岸優養化，底層缺氧發生機率將會提高。在臺灣附近，東海長江口外之陸棚底水，夏季缺氧現象已頗為常見 (Chen et al. 2007)，勢必影響到其地區的底棲生物。

表層海洋 (0~200 公尺) 的水溫結構與颱風強度的變化有密切相關，而且，目前西北太平洋的海洋條件變得越來越有利於形成颱風與增強作用 (潘 2012)。現今全球氣候異常也造成臺灣地區降雨量顯著改變 (周等 2008)，由於氣候變遷所引起的風應力減弱，導致黑潮流量降低。當黑潮大蛇行狀態減弱，湧升與潮境之減弱或位置轉移，皆可能影響到臺灣鯖鱈圍網漁業 (李 2006)。

臺灣沿岸漁業資源已呈現失衡的現象。除了人為過漁壓力使得高營養位階的大型魚減少、小型魚增多，導致沿岸漁業資源之能量塔結構變化之外，氣候變遷造成海水表面溫度上升亦可能助長此失衡趨勢，改變漁獲之季節性變化，導致春季型與夏季型漁獲比例逐年遞增，而冬季型漁獲比例逐年遞減。如魩仔魚漁業從 1982 年至 2010 年間，北部主要魚種日本鯷 (*Engraulis japonicus*) 所佔比例由 90% 降為 5-20%，南部則 100% 被公鯷屬魚種 (*Encrasicholina punctifer*, *E. heteroloba*) 取代 (李和呂 2013)，總漁獲量也在 2005 年之後持續低迷 (李 2014)。高 (2006)



的研究則指出，當海水溫度降低時，中印度洋南方黑魴魚獲量會上升。

臺灣東北部沿海的湧升流會將下層富含營養鹽的海水帶至陽光充足的表層，提升當地基礎生產力，因而形成臺灣沿海重要漁場。然而，因為氣候變遷導致黑潮東西向擺動時，會影響表層湧升流的出現，間接減弱湧升流，進而減少當地漁業資源 (Wu et al. 2008)。

日本鰻苗是台灣重要的漁業資源，鰻魚產卵處主要位於菲律賓島東方約 1,000 公里遠的海域。剛孵化的鰻苗缺乏自主游泳能力，需依賴洋流系統漂流至有淡水來源的河口沿岸。若氣候變遷改變了洋流流向，例如，聖嬰年間有較多的鰻苗會往南流入民答那峨洋流，當年東亞邊緣鰻苗捕獲量就會減少 (Kim 2007)。臺灣南部海域水溫也是影響鰻苗來游量的重要因子之一，短期分析推測，當西伯利亞高壓南下至臺灣時，氣溫下降、氣壓升高，中國閩浙沿岸冷水流流勢變強，使得把鰻苗帶入的黑潮暖流不易流入貢寮外海，在臺灣之漁獲量因而減少；當聖嬰現象發生時，黑潮暖流之流勢較強，反而會將較多鰻苗帶到臺灣沿岸海域 (行政院農業委員會漁業署 2010)。

臺灣冬季沿近海漁業最重要的經濟漁獲之一-烏魚，其漁獲量與漁場變動的情形同時受到短期與長期海洋環境變動的影響。分析 1977-2014 年烏魚產量與聖嬰年的關係發現聖嬰年的平均漁獲量較前一年減少，而反聖嬰年則較前一年增加，這與大陸沿岸流深入台灣海峽的程度有關。此外，長期觀測烏魚漁獲量資料與雲彰隆起水域之時間序列水溫變動比較，則呈現隨著海水表面溫度上升，漁獲量隨之下降的趨勢 (王等 2015)。

小型浮游動物之豐度和物種數多有顯著的季節變化。浮游橈足類豐度與海水溫度呈現正相關，多屬沿岸廣鹽性種類，並以近岸的豐度較高；翼足類則與水溫呈現負相關，多屬於大洋性種類，在受陸源濁水影響較小的遠岸有較高之豐度及種類數。因此，臺灣西南近岸海域浮游動物群聚分布明顯受到陸源水及季節性水溫或水團變化之影響 (羅 2011)。若氣候變遷改變水溫或降雨量，極可能影響小型浮游動物。

大氣沙塵暴可提升溫帶海域的海洋基礎生產力，但是，針對亞熱帶貧營養鹽海域的影響研究仍相當少。在日照不受抑制的環境下，基礎生產力的劇烈變動與風速的強弱呈現顯著正相關，但是其與沙塵暴指標的強弱並無明顯相關性，而且，沙塵沉降對於基礎生產力的貢獻度僅約 2.7%。可能機制是春季沙塵暴期間，黑

潮貧營養鹽海域基礎生產力的高低變化主要仍是受到風驅動造成的海水擾動影響，以致於營養鹽往上輸送的機制被抑制而無法提升 (楊 2013)。

### 4.4 氣候變遷對臺灣海域生態的可能影響

氣候變遷透過許多方式影響到海洋生物與其生態系，包括水溫上升、海平面上升、海水酸化、洋流型態改變、颱風、暴雨、暴潮及泥沙沉積物大量輸入等。在這些因素的交互作用之下，已經對海洋基礎生產力、生物多樣性、生物組成之時空分布，以及海洋生物之生態習性與生理功能 (如生長、代謝、生殖、行為等) 造成極大影響，甚至透過階梯效應影響到整個食物網結構與功能，造成海洋生態系統之相變。Jones et al. (2014) 指出下個世紀，全球深海海底生物將減少超過 5%，北大西洋則銳減約 38%，主要原因出在淺海生物受氣候變遷影響而數量減少，導致倚靠他們遺骸的深海生物因食物短缺而影響生存。

不同棲地對氣候變遷的影響有不同程度的反應。海平面上升對於紅樹林、鹽澤及泥沙灘的威脅較大，而珊瑚礁與海草床則是對水溫、沉積物、濁度、風暴潮、水下光度、鹽度及鄰近地區淡水入流量的變化較為敏感。雖然，水溫升高及二氧化碳濃度增加在短時間會加速植物生長，但是，長時間看來不但使沿岸紅樹林、鹽澤及海草數量下降、沿岸生物棲地減少，尤其是當引發暴潮或暴雨時，會加速沿海濕地的侵蝕速率，甚至在一夕之間使整個沿海棲地消失殆盡，導致其生物盡數絕滅。

氣候變遷對於臺灣海域生態的影響相對於其他海域可能更為嚴重，根據第五次評估報告 (AR5)，以四種情境推估臺灣周邊海域 (22~26°N、117~124°E) 之表層水溫，顯示上升幅度高於全球海域平均。預估 2060 年水溫上升 0.5~3.0 °C，夏季與冬季平均水溫分別上升至 27~31 °C 和 20~24 °C，而且北部海域較南部明顯。水溫上升會造成表層暖水與底層海水的水體交換停滯，水層營養鹽濃度減少，影響表層微藻生長，進而降低基礎生產者之固碳速率，海洋基礎生產力下降，嚴重影響海洋生態系食物網。倘若氣候變遷使海水溫度持續升高，估計至 2050 年時，將使 15~37% 物種消失。全球暖化造成生活在低緯度地區的暖水性物種向兩極遷移，而因棲地變小，使得滅絕的危機增加 (Deutsch et al. 2015)。高溫海水可能使生物生長季節拉長、生長速率加快、生命週期縮短，而讓生物量高峰期提前出現，亦使海洋生物生殖能力降低、幼生期死亡率增加、個體變小。同時高溫提

升水中耗氧率，易造成低溶氧環境，進而出現死亡區 (Praetorius et al. 2015)，適於滋長許多海水細菌導致生物疾病發生。而且溫度亦會影響赤蠹龜等海生兩爬類的卵孵化率及孵化性別比例。雖然全球氣候模式並沒有指出熱帶太平洋地區的氣旋或颱風發生頻率將提高，但是，在本世紀結束以前，氣旋所產生風暴強度增加的可能性極高，尤其是氣旋風速會以海平面溫度每升高 1 °C 即提升 1~8 % 的速度增加。

各種海水實測的 pH 值時間序列變化，都呈現下降趨勢，下降率在 0.0004/年至 0.0024/年之間，表示海洋處在逐漸酸化狀態。模擬結果顯示，於 2100 年海水平均 pH 值將由工業革命前的 8.2 下降到 7.8。位處於熱帶及亞熱帶的臺灣海域， $\Omega$ aragonite (海水碳酸鈣飽和度之一，文石飽和度) 於 2100 年時預估仍能維持在飽和以上，因為這些海域有比較高  $\text{CO}_3^{2-}$  濃度及水溫 (Chen et al. 2006)。除了人為二氧化碳所造成的海水酸化外，海水優養化是另一項造成沿岸海水酸化的因素。其主因是河流帶來的營養量增加，沿海生產力因而提升，所生成之有機碳會慢慢沉積到海底。夏季表層水受熱，海水層化而減少海水的垂直交換。這些有機物一旦分解，除了消耗底層水的溶氧外，同時也會釋出二氧化碳及酸性物質，造成海水酸化。當溶氧由飽和到被耗盡，pH 值下降 0.34，足足是工業革命至今人為二氧化碳所造成海水酸化的 3 倍以上。臺灣附近顯而易見的例子是流進東海的長江水，其營養鹽濃度持續上升 (Wang 2006)，造成東海底層水低氧範圍持續擴大，廣達 12000 平方公里 (Chen et al. 2007)。東海若持續優養化，將加快東海海水的酸化，可能更進一步影響到臺灣北部海域的酸化。大氣中持續累積的二氧化碳，透過氣液界面傳輸使海洋環境逐漸酸化，會降低魚卵孵化率，減緩魚類發育初期階段之生長能力、影響骨骼生成、耳石發育及味覺等。

臺灣周圍海域的海平面變化率亦高於全球海域平均，約為全球平均之三倍。Tseng et al. (2010) 分析臺灣附近海域的海平面變化，發現 1993~2003 年間，海平面上升趨勢約為 4.7 公釐/年。若以大氣海洋環流模式預估海平面上升量，到 21 世紀後期 (2081~2100 年)，四種情境海平面上升量為 0.40~0.62 公尺，我國沿海低窪及地層下陷的地區勢必受到影響，宜及早制定調適策略因應。

#### 4.4.1 泥沙灘

目前針對氣候變遷對熱帶太平洋潮間帶灘地及底棲動物的影響研究很少，照

推測最有可能的危害為海平面上升。自工業時代開始，海平面就持續上升，但是由於大氣壓力和聖嬰 - 南方震盪現象 (El Niño-Southern Oscillation, ENSO) 對海平面的影響與作用，使其難以偵測，尤其在高度變異的自然狀態下更難發現。而且，靠近城市的潮間帶泥沙灘地因為人為活動的直接干擾，如工業汙染、採砂、沿海開發、過漁和廢汙水輸入等因素，都會模糊氣候變遷所造成的環境變化，使得觀測更加困難。由於海平面上升，地勢陡峭處的沿岸泥沙灘可能會因此消失，同時也限制了緩衝土地面積小的環礁往陸域方向的繼續擴展和潟湖的沖積等。

### 4.4.2 河口潟湖

由於海平面上升，對河口潟湖、三角洲與濕地等沿岸生態系最大的影響莫過於對其生物分布及豐度的變動，甚至有可能在生物尚未適應海平面升高之前，發生波浪、潮汐和暴潮等物理特性之改變讓整個棲地直接消失。然而，對於許多河口環境而言，硝酸鹽輸入升高所導致的水體優養化反而是目前最大的威脅之一 (Cloern 2001)，例如，美國超過一半的河口有中度至高度的優養化問題 (Bricker et al. 1999)，而臺灣整個西海岸大部分都有優養化的問題。未來氣候變遷可能會藉由改變淡水逕流量、溫度、海平面高度及與沿岸海水交換量等途徑，影響河口優養化的程度，造成其脆弱度提升 (Najjar et al. 2000)，並惡化河口潟湖的環境壓力，如氮循環變動 (Vitousek et al. 1997)。對於河口生物而言，溫度與鹽度的改變可能直接影響到濾食者 (如貽貝、蛤蜊和牡蠣) 的豐富度與分佈，進而改變浮游藻類的豐富度與水質的透明度 (Board 2000)。此外，氣候變遷所導致的淡水入流量、氣溫及降雨型態的改變，也會影響水體滯留時間、營養物質輸送、物質稀釋、水體垂直分層及浮游植物生長速率的控制等 (Buskey et al. 1998)。

### 4.4.3 鹽澤

臺灣鹽澤與紅樹林的生長環境相似，所遭遇到的氣候變遷壓力也頗為類似，故與紅樹林篇幅共述之。

### 4.4.4 紅樹林

紅樹林對沿岸環境改變的反應極為敏感，即使是微量的排水模式異動、鹹水

干擾、或由於海平面改變造成的沉積或侵蝕等，皆可能改變紅樹林棲地之物種組成與豐度。在未受人為干擾的情境下，紅樹林對環境變動的現象適應是漸進式的，故紅樹林的覆蓋率和物種組成變化可作為紅樹林在氣候或環境因子變動下的監測指標。

以下為近年來，已觀測到因海平面上升，造成紅樹林生態系改變的案例 (Bell et al. 2011)：

1. 新幾內亞島：新幾內亞島南部的紅樹林區，由於海平面上升，沿海植被逐漸向內陸地區退縮。
2. 美國薩摩亞群島：在海平面以每年 2 公釐上升的速度下，以地理資訊系統分析近四十年來紅樹林區濱線變化情形，發現濱線每年約向內陸退縮 25~72 公釐。
3. 加勒比海：此處的海平面上升速率約為 2.8 公釐/年，使加勒比海周邊面積最大的紅樹林遭受嚴重的氾濫壓力，已減少約 26% 棲地面積。
4. 密克羅尼西亞：紅樹林沉積物的累積速率已不及近年來海平面上升的速度，可能使棲地面積逐漸減少。
5. 斐濟：紅樹林開花與結果成功率受到降雨模式的影響，相較於其他較乾燥的海岸，維提萊霧島西岸的紅樹林繁殖成功率較高，而正常年也比早年具有較高的成功率。

一般而言，熱帶太平洋地區紅樹林覆蓋度和健康情況的偵測工作非常困難，因為缺乏所需的基準線數據和監測數據，例如氣象、水文、地質及水質等數據，使得問題更顯複雜。此外，亦缺乏集水區物理、化學及生物層面之相關數據，包括土壤侵蝕速率、生物多樣性消失程度和土地開墾面積等，因此不易釐清氣候變遷與沿岸地區開發及土地利用形態之間，何者造成的影響為大，更不利於判斷何種肇因是紅樹林棲地變化主因。有鑒於此，臺灣應及早建立上述重要基礎資料。

除海平面上升外，紅樹林生態系在氣候變遷下，亦遭受到諸多壓力 (Bell et al. 2011)：



### 1. 太陽輻射

由於水循環變強，造成陰雨天氣增多，預期許多熱帶太平洋地區紅樹林會受制於光照逐漸減少的環境中。由於紅樹林需要的光照比環境中平均太陽輻射量來得少，因此推測紅樹林將不會受到因水循環變強而引發光照減少的影響。反之，吸收過多的光照將使太陽能量轉化為加速水分流失的熱能。因此太陽輻射對紅樹林造成潛在衝擊的預期影響很低，除非是生長在強烈太陽輻射或淡水供應受限區域的植群。

### 2. 溫度

熱帶太平洋地區紅樹林預期將暴露於大氣溫度及海水表面溫度皆升高的環境中，由於目前尚不清楚紅樹林對於氣溫和海水溫度升高的敏感程度，推估升溫的衝擊應是和緩的。當水溫升高 5°C 時，美國紅樹會增生支持根以增加單位面積，且會生長數量較多但較小的葉片來適應；可是當海水溫度介於 39~40°C 時，則會導致海茄苳的幼苗死亡；然而生長在沿岸發電廠附近的紅樹林卻極少受到排放溫水的影響。

相較於其他植物，紅樹林擁有較高的耐受能力，因此預期升溫不會對紅樹林的生長和生存造成重大的衝擊。可是當溫度每升高 10°C 時，將使土壤微生物群集呼吸作用倍增，降低碳淨吸收量，同時會增加甲烷排放量，減少土壤碳儲存量。即使紅樹林受到升溫的衝擊極低，但是對於外圍有珊瑚礁分布的紅樹林而言，海水升溫引起珊瑚白化使珊瑚覆蓋率降低，進而減少沉積物累積並增加浪潮之作用力，仍會間接影響到紅樹林生態系。

### 3. 降雨量

極端降雨和乾旱程度將隨著氣候變遷而越發嚴重。紅樹林是對降雨量為中度敏感的生態體系，因為潮間帶土壤鹽度同時受到潮水、降雨量與蒸發量的影響。短時間內（2035 年）赤道地區因降雨量增加，所造成的低鹽度環境將對紅樹林生態系有益，然而，在亞熱帶地區則會因為降雨量減少，環境鹽度提高，對紅樹林的生長與發展產生不利影響。推測至 2100 年時，降雨型態已產生劇烈變動，不論對赤道或亞熱帶地區的紅樹林都會有不良影響。雨量減少亦降低輸往河口紅樹林的逕流量，連帶影響河口沉積量，使生長在靠近海岸線處的紅樹林難以累積沉積物，以適應升高的海平面。同時乾旱頻度增加，會降低紅樹林的開花和結果率。



並且可能會出現高潮線鹽灘，不利其他物種拓殖。

紅樹林可藉由更有效率的使用水分，及減少蒸散作用，將水分喪失降到最低，使生長率提升至最高。此種生理可塑性是紅樹林能夠成功生長於潮間帶的原因之一，亦有益於適應乾燥的環境。但是，過多的淡水也會對紅樹林造成威脅，在不流動的積水土地中，紅樹林發展出許多特化根以因應缺氧的土壤環境，但是剛發芽的幼苗不具有發育良好的呼吸根，故相較於成株會受到較嚴重的危害。

#### 4. 營養輸入

降雨量改變將會影響河川逕流模式和輸送至紅樹林的營養，故推測未來營養收支的定量工作是非常困難。預測赤道地區的紅樹林將因逕流量變動使營養輸入增加，營養增加及根部累積沉積物增多，可提高紅樹林的植被拓殖和樹高。對於在營養受限地區的紅樹林，其適應的形式是更複雜的。而且，紅樹林種類和地理位置的不同，也會導致多種營養物質利用程度的差異。一般來說，增加營養鹽對紅樹林是有益的，可幫助它們有更好的體質去適應海平面上升的威脅，如在赤道地區，增加氮及磷物質輸入，可能會改變植株生長和營養傳輸而增加植物生產力。但是，當降雨量減少時，紅樹林死亡率將因為氮的累積而升高，最後由於不同種類紅樹林對氮磷需求差異而造成生長速率差異，影響到群集的內部組成。

由於紅樹林會將大量營養物質和碳儲存在土壤及植體生物量中，營養微量的改變將不會造成嚴重的影響。然而，當營養大量減少和高溫及大氣二氧化碳濃度增加同時發生時，會對植物組織造成負面的影響。紅樹林對營養輸送改變的適應能力，最主要以不同種類之群集尺度呈現，即不同的營養條件下的優勢物種不盡相同，群集內部組成因而有所改變。這將影響到紅樹林棲地中的物種多樣性和結構，以及它所能提供給魚類和無脊椎動物的生態功能。

#### 5. 暴風

紅樹林對於氣旋與風暴帶來的強風極為敏感，例如陣風會損傷葉片，使植物組織脫水，並增加水分蒸發率以及造成鹽分逆境，而且氣旋來襲時增加的浪潮會侵蝕紅樹林根系累積的沉積物。而在長時間且劇烈的風力侵襲下，蒸發造成的水分喪失，可能會導致紅樹林的枝梢乾枯，強勁的浪潮也可能導致向海緣側的紅樹林生育地遭移除。若倒木被沖刷至潮下帶時，則能為生存在此處的許多仔稚魚提供庇護所，此外，高潮時會沖移許多木質沉積物，也將會對苗木生長的穩定性造

成衝擊。但是，以正面的影響看來，強風可能會促進紅海欖及土沉香等紅樹林植物的授粉和種子傳播。

不同的紅樹林物種有不盡相同的風暴傷害耐受能力，如紅樹科植物具低耐受性，而且無法如海茄苳等種類一樣，以休眠芽重新發芽來承受風暴傷害。當紅樹林因風暴逆境造成植株死亡，可能會導致當處灘地生態系與水文交換環境的崩潰。一般而言，除非是樹體結構受到破壞或是根系遭大量沉積物包埋而受損，紅樹林會在風暴過去之後重新長出葉片。但是，假以時日，從鄰近未受損害地區補充的幼苗將使受破壞的紅樹林棲地恢復原有的穩定結構，亦能透過重栽復育計畫回復原先的生態功能。

### 6. 二氧化碳

如果棲地環境的鹽度和濕度適宜植物生長，在未來大氣二氧化碳濃度逐漸提高時，紅樹林的生產力也會隨之提升，尤其可以減少因濕度及降雨減少造成的負面影響。二氧化碳濃度提高也可能改變物種的優勢演替模式，加快紅樹林向鄰近內陸半淡鹹水和淡水區域拓殖。然而，當增加二氧化碳的氣候環境結合高溫和高營養鹽等的環境條件時，就可能會對植物組織的內部平衡造成負面影響。此乃因為一般植物會減少葉片中的氮投資並提高植物組織的碳氮比，以適應二氧化碳濃度漸高的環境。此種適應將會影響以紅樹林為主的食物網及養分循環。再者，由於海水酸化可能會造成珊瑚礁鈣化速率降低，減少水體中可利用的碳酸根離子，使得紅樹林地區的碳酸鹽沉積補注下降，對紅樹林形成間接威脅，並可能會影響低位島嶼紅樹林對海平面升高的調適能力。

整體而言，大氣二氧化碳濃度漸高的環境不太會對紅樹林有負面影響，甚至有機會提高基礎生產力而提升其碳匯能力。紅樹林亦可藉由增加地下部生物量的生長分配策略來因應環境變化，有助於植群穩定度與棲地高程提升，以增強對海平面上升的適應性。

### 7. 海平面

紅樹林生長在平均海平面和平均高潮線之間，而且紅樹林的分布情形會受到潮水淹沒頻率及範圍決定。若是紅樹林生長區的潮汐特性改變，其樹木生長與生存條件也將會受到影響。模擬因海平面上升所引起的氾淹情形對美國紅樹生長造成的影響後，發現在提升海平面高度 16 公分的條件下，2.5 年後實驗組苗木生長

的情形要比對照組差 10~20 %。

海平面上升預期將嚴重影響紅樹林生態系。紅樹林抵抗海平面上升的能力依沉積物的來源及累積速度而定，而沉積特性又受到降雨、潮差、沿岸流和波能等因素影響，而且根部生長速率與拓殖能力也將是紅樹林回應海平面上升的關鍵之一。在能夠持續以適當速度累積沉積物的紅樹林地區，海平面上升之危害會顯得較輕微，尤其是生長在低位的紅樹林，沉積物補償速率更顯得重要。儘管如此，地貌與生物間交互作用是非常龐雜的，舉凡沉積物堆積及侵蝕作用、生物貢獻程度、地下部基礎生產量、底質緻密化、地下水位波動及孔隙水儲存等。若以沉積速率作為評估紅樹林對海平面上升的適應能力之單一指標，則會過於簡化衝擊之層面。因此，適宜紅樹林發展穩定族群的地區特性為：地勢與地貌適合紅樹林拓植、海平面上升速率與紅樹林生命週期具兼容性、合適的水文特性與沉積物組成，與較少的非紅樹林植物之競爭作用。

大體而言，未來環境太陽輻射、溫度、雨量、營養以及二氧化碳濃度改變對熱帶太平洋地區的紅樹林生態系影響極小，並且可能促進植株生長以及提高其基礎生產力。然而，這些潛在效益可能會因海平面上升的不利影響而互相抵消。

#### 4.4.5 岩礁

居住於岩礁的生物，其群集結構及分布狀況受到溫度、食物供應以及曝露時間長短的影響 (Robles et al. 2001)，因此氣候變遷將會影響生物的分布、群集組成和物種豐度。大型藻類的生存和成長明顯與溫度波動及乾早有密切關係 (Helmuth et al. 2005)；刮食藻類的螺貝類等草食性動物則會隨著藻類分布的改變而遷移 (Hawkins et al. 2008)；暖化能夠提升岩礁生物的繁殖量以及窩卵數 (Hawkins et al. 2008)；和其他固著性無脊椎動物競爭附生基質的藤壺，其分布及族群組成也同樣受到浪潮活動和氣候條件改變的影響 (Hawkins et al. 2008)。岩礁潮間帶之無脊椎動物和藻類往往生存在各項生理條件處於耐受極限的邊緣地帶，因此短時間內，若有大尺度的環境因子變化，無疑地將會導致該地區生物相改變 (Connell 1972)。

岩礁生物已生長在生理耐受度極限之邊緣時，任何顯著的物理環境變化將會影響生物棲位之劃分 (Helmuth et al. 2005)。Lubchenco et al. (1993) 發現當溫度提高時，會使岩礁潮間帶生物的高位分區限制降低，尤其對具有冷或熱適應性的

生物具有顯著影響 (Sagarin and Gaines 2002)。全球暖化導致暴潮出現頻率增加，颶風的強度以及發生頻率亦有顯著提升 (Goldenberg et al. 2001)。浪高增加會強化潮水流體動力對岩礁生物造成的拉扯力度。若力度超越生物的附著能力或對造成生物傷害，該物種則會逐漸遷移至浪潮較平緩之處 (Helmuth et al. 2005)。

### 4.4.6 藻礁

水溫升高對於藻礁之影響仍未有研究，但是，氣候變遷造成的極端氣候事件與海平面上升，將使藻礁受到面臨劇烈侵蝕和漂砂淤積的問題，漂砂會堆積壓埋藻礁，預期將不利於藻礁與其共生物之生存。氣候變遷導致颱風生成頻率及強度增加，藻礁沿岸的降雨量與風暴浪濤增加，都會使水中濁度與沉積物增加，提高輸入至藻礁的營養鹽濃度。優養化可能會讓藻類生長加劇，讓此處環境漸漸轉變為大型藻類生長的環境，預期將不利於藻礁。雖然尚未有相關研究，但是推測大氣二氧化碳濃度增加造成的海洋酸化無疑地也會對構成藻礁之無殼珊瑚藻造成威脅，降低珊瑚藻鈣化速度與生產力。

### 4.4.7 珊瑚礁

造礁石珊瑚和其共生藻共同形成大規模、具波浪耐受力的珊瑚礁，在熱帶淺海中扮演十分重要的角色。然而，珊瑚與珊瑚蟲之共生關係對於許多環境壓力都十分敏感。在近十幾年內，珊瑚礁已頻繁地遭受到干擾與破壞，使得珊瑚礁生態功能弱化，棲地減少並出現珊瑚白化。珊瑚白化程度又可分為小規模地域性和大規模廣域性。小規模、獨立的白化事件，其壓力來自極端溫度、鹽度、光度、沉積物、汙染物和珊瑚疾病；大規模白化事件則較難以解釋，可能肇因於溫室效應、紫外線輻射通量、生態系統健康每況愈下等現象，但此推測尚無信服力。當淺礁區海水表層溫度高過珊瑚適宜閾值時，會造成地域性珊瑚白化，而在較大島嶼的背風面引發海水升溫時，會明顯造成對溫度較敏感的珊瑚物種大範圍白化，其影響範圍可深至 20 公尺的海底 (Jokiel and Coles 1990)。珊瑚白化起於共生藻離開寄主或其光合色素濃度降低 (Glynn 1993)，白化現象通常和海水表面溫度異常高溫有關，推測是因為高水溫會造成珊瑚共生藻離開寄主 (Hoegh - Guldborg 1999)。Lesser et al. (1990) 研究顯示，當海水溫度上升時，會顯著降低珊瑚水螅體內的共生藻總數。導致珊瑚白化的影響因子包括溫度、鹽度和紫外線輻射量的改變、高

海溫和高陽光輻射 (尤其是紫外光) , 以及兩者之交互作用 (Glynn 1996) , 還有其他人為或自然的環境壓力等 (Glynn 1991) 。白化現象對珊瑚礁的破壞包括削弱珊瑚骨骼成長和生產力、降低自清沉積物能力、削弱對入侵種和疾病的抵抗能力等。嚴重並持續的白化現象會造成部分或總體珊瑚群聚死亡, 亦會弱化造礁功能, 將造礁群集轉變為非造礁群集, 加劇侵蝕作用的危害, 最終造成珊瑚礁礁石結構消失 (Glynn 1996) 。

適宜珊瑚生長的海水溫度約為 23~28°C , 當環境溫度超過珊瑚和其共生藻的耐熱閾值時, 會導致珊瑚白化。而在近 100 年內, 許多熱帶地區的海水溫度已升高近 1°C , 推測未來每世紀將會持續提高 1~2°C , 對珊瑚生存可能會造成威脅。但是, 不論是數天短期或是數周長期的海水升溫影響, 均可引發珊瑚白化。高光度會同時加速高溫造成的白化現象, 不過, 部分珊瑚物種的白化閾值較高, 也必須注意高溫會傷害其生長與繁殖能力 (Jokiel and Coles 1990) 。除此之外, 低溫寒害也是影響珊瑚礁健康程度的因子之一 (Kleypas et al. 1999) 。同時, 大氣二氧化碳濃度增加造成的海洋酸化也會對珊瑚礁造成威脅, 會降低珊瑚骨骼鈣化速度與生產力 (Anthony et al. 2008) 。

世界上有許多活珊瑚因為大量的白化現象而消失 (Hoegh - Guldberg 1999) 。諸多證據顯示珊瑚的生理與基因條件無法適應明顯且快速的升溫環境 (Glynn 1993) , 世界各地的珊瑚礁生態功能將無法避免地下降, 因此持續暖化的環境勢必會造成全球珊瑚礁生態系崩解。

#### 4.4.8 海草床

氣候變遷對海草床影響之研究, 僅止於海草生產力、分布與其生理功能。雖然尚未有氣候變遷對海草床關鍵消費者物種之影響研究, 但是, 仍能以海草生產力等反應, 推估整體海草床生態系所受的影響程度。氣候變遷對海草的主要影響為海平面上升、海水暖化與海水酸化。

海草床對於海平面上升的反應不若紅樹林與泥沙灘明顯。氣候變遷導致的大氣溫度與表層海水溫度、降雨量與風暴浪濤的增強, 對海草床的影響較大 (Bell et al. 2011) 。海草棲地水深因海平面上升而增加, 使海草所接收日照量與強度減少, 導致其生產力降低 (Short and Neckles 1999) , 也會使其族群向陸拓殖而改變海草床分佈範圍 (林等 2010) 。海水暖化對海草最主要的影響為生長速率與生理



功能的改變。沿岸海域因升溫而水體鹽度增加，進而改變海草種子萌芽、繁殖體形成與生長速率等，最終讓海草分布範圍變動 (Short and Neckles 1999)，此威脅對於半封閉海域潟湖內的海草床尤為嚴重 (林等 2010)。氣候變遷導致颱風生成頻度及強度增加，海草床鄰近地區的降雨量與風暴浪濤增加，都會使得海草床環境光度與鹽度降低，濁度與沉積物增加，且提高輸入至海草床的營養鹽濃度。優養化可能讓附生藻類生長加劇，讓此處環境漸漸轉變為不適合海草生長的環境 (Bell et al. 2011)。過多過強的颱風干擾，將降低海草葉片長度、地下莖與地上部生物量，甚至有可能讓整個海草床一夕之間消失殆盡 (Yang and Huang 2011，林等 2010)。

海水二氧化碳濃度升高，可能會使屬於碳限制的海草生產力增加，不過此助益現象能否於長期二氧化碳濃度持續升高的環境下維持住，仍無法確定 (Short and Neckles 1999)。隨著二氧化碳濃度增高，海草地上部組織的氮含量卻明顯地下降，地下部組織則無明顯改變，原因可能為海草葉片的硝酸鹽吸收率降低，此現象也說明海草硝酸鹽吸收作用並非與氫離子共運輸之機制。至於，非結構性碳氫化合物含量也顯著增加，可能可抵消因為嚴重環境干擾所帶來的負面影響，諸如水面下日照量因濁度升高而減少 (Alexandre et al. 2012，Jiang et al. 2010)。Campbell and Fourqurean (2013) 的野外操作性實驗研究結果也指出了增加二氧化碳可用性，可能會改變海草組織的化學組成，會影響該生態系統的營養狀態與回復力。Russell et al. (2013) 的研究結果亦顯示海草群落的生產力隨著二氧化碳濃度增加而增加，形成可被埋藏於地底數千年的碳匯。

自 1980 年以來，全球海草床以每年 110 平方公里的速率消失，已知約有 29% 面積的海草床消失了。海草消失程度已相當於地球上最受威脅的紅樹林、珊瑚礁與熱帶雨林等生態系統 (Waycott et al. 2009)。生長在河口、裙礁、海灣或潟湖等棲地的近岸海草床受到陸源逕流輸入增加的影響，承受的環境壓力較生長於環礁、堡礁或塊礁的離岸海草床為高，脆弱度亦較高。雖然，海平面上升對海草床的威脅不大，但是對於生長於深度較深的海草而言，上述的氣候變遷環境壓力加上海平面上升皆使得原先的生長環境更為險峻，降低海草的存活率與生產力。

### 4.4.9 大洋及沿近海

不只海洋中上層生物對氣候變遷有所反應，各種大洋生物將依群集及季節變



化會有不同程度的反應，不同營養階層與功能群也會有反應不一的情況 (Edwards and Richardson 2004)。然而，自然週期與氣候變遷之人為活動所改變的生物程度，仍有待確認 (Hayward 1997)。

大洋浮游植物在春季有大爆發的現象，但是，浮游動物族群較少與春季大爆發緊密耦合，係因其對水溫極為敏感。當春季大爆發發生於冷水域時，低溫會限制浮游動物的生產量、幼魚的存活率及大型肉食魚類族群的入添數。若此情況持續數十年，將造成上行限制，使高營養位階的肉食魚類生物量下降。反之，若當大爆發周期性地發生於溫水域時，浮游動物族群便會迅速增長，為幼魚提供豐沛的食物來源，亦能支持龐大入添魚群。

在寒冷的環境下，因較無大型肉食性魚類爭食冷水域的草食魚類，故肉食性海鳥和鰭腳類動物能有較高的幼體數量及存活率。1970 年代中期開始，東南白令海的生物類群有重大變化。大型肉食魚類的生物量明顯增加，同時伴隨著草食性魚類數量的減少。北方海狗及三趾鷗等海鳥在普里比洛夫群島的族群數量下降，反映出掠食棲地減少的隱憂。這些長期的變化不太可能是由當年基礎生產力減少所帶來的結果 (Hunt et al. 2002)，反而可能與暖化有關。有研究指出 1987~1994 年間，位於加州洋流系統中的龐大海鳥數量大幅減少了約 40%，而其數量變化是伴隨著海面溫度逐步長期上升，亦可能與 1992~1993 年間的聖嬰現象相關 (Veit et al. 1996)。

就生態系統功能而言，生態氣候學具有舉足輕重的地位，係因生態系統對氣候變遷所做出反應的程度有可能會因功能群及多種營養階層而異。脫鉤的物候關係，如大洋溫鹽環流變動會對營養階層相互作用造成重大的影響，它會改變食物網結構或改變適宜的繁殖漁場環境，最終導致生態系統層級的改變。其中溫帶海洋環境可能較易受到此種影響，因為較高營養階層物種的入添成功度是高度仰賴浮游生物產量，並與其有波動之同步效應。

## 4.5 調適措施

溫室氣體減量措施可減緩所有氣候變遷帶來的環境壓力，仍應視為主要調適方向。然而，氣候變遷已經發生且難以逆轉，故調適措施就變得更為必要。目前生態系調適措施常以保護區為主流，但保護區的設置皆為一固定區域，較不符目

前需求。傳統之保育考量將需要更細膩、具動態及可替代的積極措施，包括移地保育、再引入與協助生物遷移等。由於遷徙為物種適應氣候變遷的重要機制，故維持棲地之聯結性、生態廊道與緩衝區設置等均已成為重要考量方向。再加上持續且積極投入生物及生態的基礎研究，並鼓勵公民科學家參與，才能隨時隨處掌握生物多樣性資源及生態系服務之變化。

聯合國永續發展目標 (SDGs · Sustainable Development Goals) 中的目標 14，針對海洋的永續發展目標，主要包括過度及非法捕撈、海洋保護區、污染防治、以及海水酸化四大項，是目前全球最需要推動的工作項目。然而臺灣過去的海洋保育政策並未針對氣候變遷影響之海洋生態與生物多樣性的調適策略多做著墨，反而多為農漁民遭受災損的補償與救濟措施。根據 Gattuso et al. (2015) 的研究論及氣候變遷對海洋生態的衝擊及其因應對策的文章中，呼籲要立即採取四種行動：減緩 (mitigate)、調適 (adapt)、保護 (protect)、及修復 (repair)。減緩也就是俗稱的減排或減碳；調適則包括防災、撤離、以及以生態系為基礎的管理；還有保護，也就是要減少人為的破壞因子，以及推廣海洋保護區並落實管理；至於修復則是需要復育劣化的生態系。保護及修復這兩部分常常會被忽略掉或是被包括在調適裡面而不受到重視。事實上，人為因子才是目前最急迫需要去解決的問題，特別是過度捕撈、棲地破壞、污染等。如何能加強管理，減少這些人為破壞因子，如限漁、以及海洋保護區中的海岸藍碳，也就是保護好海岸濕地，才是減緩及調適氣候變遷帶來衝擊的最佳自然解決方案。因此現階段應先阻止人為活動中的過漁、棲地破壞、環境污染、外來種入侵等對臺灣海域生態系統所造成的人為破壞，加強保育工作以提升其回復力。臺灣的海洋保護區雖已有 70 餘處，比例仍然偏低，而且多數保護區缺乏實質且積極管理，以致於保護區的成效不彰，因此，我國的海洋保護區網絡仍有待建構與有效管理。

其中，臺灣海洋保護區也有少數成功的案例，如屏東縣後壁湖海洋資源保護示範區、臺東縣富山禁漁區及臺東縣綠島保育區。雖然學界建議有許多地區都可劃為保護區，仍需與地方居民商討磨合，才能順利推動保護區之劃設。此外，臺灣是否尚有待保護的生物多樣性熱點，以及如何促進保護區周邊社區積極參與保護區的管理，避免保護區成為生物多樣性的孤島等，都應該加速研究瞭解，或加以鼓吹設立，以便緩和氣候變遷的影響並扮演調適之重要角色。未來政府在推動國土規劃工作時，亦須將海洋國土包括在內。行政院國家永續政策綱領中已納入海洋保護之專章，並訂定目標為至民國 109 年 (2020 年) 時，臺灣沿近海水域應

有 20% 的範圍劃入保護區，且其中一半需為禁漁區。總統亦在民國 102 年 7 月 3 日公布「濕地保育法」(2013 年) 公告了三十六處屬於海岸的國家重要濕地，明訂濕地主管機關應定期會同相關機關進行濕地生態、汙染與周邊社會、經濟、土地利用等基礎調查，並應定期更新資料與發布濕地現況公報。

在物種保育方面，民國 97 年已明令禁捕鯨鯊。深海貴重珊瑚雖無法全面禁止採捕，但是我國已訂有沿岸三哩內禁止底拖的嚴格監管措施。建立完整長期之漁獲資料為分析，以及了解人為因子及氣候變遷對海洋生物多樣性及生態系統影響之重要基礎工作。目前除了遠洋漁業已建立良好的觀察員制度及裝設漁船監控系統 (Vessel Monitoring System, VMS) 系統外，近沿海漁業亦應朝建立漁獲日誌及裝設航程紀錄器 (Voyage Data Recorder, VDR) 方向努力。

珊瑚礁、紅樹林、海草床與沿岸濕地 (含泥沙灘、河口潟湖、鹽澤、岩礁、藻礁等) 之間具有極高的連結性，可視為鑲嵌式沿海棲地，意即失去其中任一棲地便會牽連到其餘的棲地。規劃管理方法時，應著重於維繫其連結性、增強棲地回復力與鞏固沿海保護區及漁獲生產量，以面對氣候變遷導致的衝擊 (Bell et al. 2011)。

因此，建議氣候變遷對於海域生態影響的調適措施為：

1. 將海洋生態系統因應氣候變化的調適措施列為國家施政的重大政策。
2. 改善沿海地區綜合管理制度，以降低現存人類活動對珊瑚礁、紅樹林、海草床、藻礁等生物多樣性熱點的直接衝擊。此舉能助於棲地發揮其本身的自然調適潛力與回復力，降低氣候變遷與陸源汙染造成的協同影響。
3. 強化公權力與法律，加強管理和立法，以確保永續利用與保育沿岸生態系。需建立有效的管理機構與制度，管理部門須加強：(1) 工作人員須了解沿海棲地所遭受的威脅；(2) 具知識傳遞網絡功能的跨管理部門協調組織平台；(3) 有效保護沿岸生態系的國家法規；(4) 國家與地方單位的法規執行力。
4. 厲行迴避、減輕與補償之保育措施，實施並促進有助於沿海棲地適應氣候變遷的方法，如移除低地屏障讓紅樹林、海草床和鹽澤易於向近岸發展之緩衝區，或管理水資源與改變土地利用方式。
5. 進行政策制定單位、學界研究單位和漁業管理人員等相關人員之跨領域溝

通協商，協助各部門應對氣候變遷可能帶來的危害，以確保將沿海棲地調適之障礙最小化。

6. 委託地方團體在地管理沿海棲地，推動以社區為基礎的聯合管理辦法，並促進跨地方團體與管理部門的協調共識。在國家資源管理或限制使用的保護區周邊，推動以社區為基礎的地方管理委員會，由當地權益相關者、地方和國家政府機構和非政府組織密切合作執行。調適聯合管理可達到最佳的社會資源利用，如現有或分配的資源權、地方管理與違法舉報、傳統知識傳遞等，更能向社會大眾傳遞研究和監測等資訊，促進公民對生態系服務與經濟發展的認識，共同攜手保育海域生態系統。推動社區一同參與營造與管理保護區的做法，已逐漸被大眾視為自然生態保護工作執行及管理的有效途徑之一，如台江國家公園推動的志工守護家園計畫。
7. 寬列充裕資金支持有系統且長期的基礎科學研究。氣候變遷研究需要長期生態監測過去的背景資料作為基準點來做參考比較。但台灣非常缺乏生態調查長期監測研究，以及資料庫的收集、整合與公開分享，特別是分類學家式微，這些都不利於未來氣候變遷的減緩與調適。例如對於臺灣地區的紅樹林、海草床、鹽澤、藻礁等之分布、物種多樣性及覆蓋面積，仍存在許多未知的知識空缺。未來研究重點在於有系統地，長期描繪各棲地面積、植群密度和物種組成及其變化。以海草床而言，所繪製的圖層需要呈現出目前海草生長的深度。此基礎研究資訊將有助於：(1) 提高政策規劃者對重要沿岸棲地資源與規模的認識；(2) 提供監測各棲地面積、密度及物種組成的環境變化評估基準值。亦須進行各區域海平面上升與沉積速率的相關研究，將有利於更精準地預測沿海生態系的沉積速率變化，並建構出相關的地貌結構圖，找出應優先被保護的淹沒區域。而關於珊瑚礁、紅樹林、海草床與藻礁的食物網及生態系服務與生態功能的研究，將有助於了解此處環境所扮演的生態功能與服務，便能將從受限於單一棲地的區域研究知識，拓展為對臺灣整體沿岸生態系作用過程點線面的瞭解，以提供未來永續經營管理的必要參考資訊。
8. 強化地區性的人為影響研究。由於諸多對氣候變遷影響的知識空缺，學界仍難以將氣候變遷對特定沿海地區所造成的影響區分出是自然或人為活動的衝擊，因此須研究氣候變遷帶來的潛在威脅外，也應進行當地集水區、土地利用與海岸線樣貌的相關研究。通常在短、中期內，人為活動如農業、

林業或礦業的衝擊較氣候變遷衝擊更為顯著。若能了解其中的作用過程，便能更妥善地規畫調適方案。降尺度全球氣候模式的研究便能進行更精準的變遷評估，並綜合上述的研究後，可向管理者確定：(1) 當地衝擊對沿海生態系造成的影響；(2) 應著重當地的管理效益；(3) 更應與學術研究機構和當地民間組織建立研究夥伴關係。

## 4.6 結語

生態系的穩定與發展深受氣候驅動力的影響。近年來，全球暖化及其所造成的氣候變遷，讓極端氣候事件發生頻率日益增加，而臺灣已被列為最易受到天然災害侵襲的地區，更應該發展監測機制及調適對策，以面對未來日益嚴重的災害侵襲。「調適」是一種持續性的過程，探討與實施為適應氣候變遷帶來衝擊所採取之措施。「調適」可以是一種評估目前，或預測未來生態系統，及人類社會與氣候變遷有關的負面或正面效果，並加以調整的程序或行動；也可以是一段調整的過程，以強化生態系統、人類社會與經濟活動強度，降低氣候變遷所造成的脆弱性以及所帶來的長期或短期負面衝擊。

臺灣面積雖小，但是優越的地理位置與環境條件，讓臺灣除了擁有熱帶三大海洋沿岸生物多樣性熱點的珊瑚礁、紅樹林與海草床外，也擁有漁獲生產力旺盛的河口潟湖與鹽澤生態系，以及自然遺產藻礁生態系。預期氣候變遷對於臺灣海域生態系的影響相對於其他地區可能更為嚴重，但除了珊瑚本身及其共生藻與大洋生態系之漁業資源外，臺灣相關的研究案例仍少。相對而言，人類活動對於臺灣海域生態系的破壞更為直接明顯。泥沙灘、河口潟湖、鹽澤與海草床常面臨工業區、港口與垃圾場等開發案的威脅，紅樹林、珊瑚礁與藻礁常受到污水排放的影響，岩礁與大洋受到的人為干擾程度相對較小（表 4.12）。因此，為因應氣候變遷，海域生態的調適措施建議為：

1. 將相關調適措施列為國家施政的重大政策；
2. 改善沿海地區綜合管理制度；
3. 強化公權力與相關法律；
4. 厲行迴避、減輕與補償保育措施；



5. 進行政策跨領域溝通協商；
6. 地方團體在地管理；
7. 支持有系統且長期的基礎科學研究；
8. 強化地區性的人為活動影響研究。

表 4.12 臺灣沿岸海域生態系所受衝擊種類

衝擊種類	主要氣候變遷衝擊	人為活動衝擊
泥沙灘	海平面上升	大型沿海工業區開發
河口潟湖	海平面上升、暴雨	興建港口
鹽澤	海平面上升	挖築魚塭、興建垃圾場、汙水輸入
紅樹林	海平面上升	鋪建沿海公路、過漁
岩礁	風暴潮	大型沿海工業區開發、鋪建沿海公路
藻礁	海水酸化	汙水輸入、沉積物過多
珊瑚礁	海水酸化、海水暖化	過漁、汙水輸入、沉積物過多
海草床	海平面上升、風暴潮	興建港口
大洋	海水暖化	過漁



### 本章主要聚焦議題

現況	台灣除了擁有熱帶三大海洋沿岸生物多樣性熱點的珊瑚礁、紅樹林與海草床外，也擁有漁獲生產力旺盛的河口潟湖與鹽澤生態系，以及自然遺產藻礁生態系。
目前面臨的問題	預期氣候變遷對於臺灣海域生態系的影響相對於其他地區可能更為嚴重，但臺灣相關的研究案例仍少。相對而言，人類活動對於臺灣海域生態系的破壞更為直接明顯。
未來氣候變遷的影響	<p>氣候變遷如何影響臺灣海域生態？</p> <p>氣候變遷威脅下，臺灣海域生態系的脆弱度分布圖？</p> <p>人類活動(如污水排放或優養化)是否對於氣候變遷之影響(如暖化與海水酸化)有加乘效應？</p>

## 參考文獻

- 中華民國野鳥學會，1992：淡水河沿岸溼地鳥類調查(一)。中華民國野鳥學會鳥類保育研究叢刊，第1號。臺北：中華民國野鳥學會，73頁。
- 毛俊傑、陳子英，2009：烏石鼻海岸自然保留區動、植物資源與群聚之研究。行政院農業委員會林務局。
- 王士偉，2010：找礁、藻礁、找藻礁。國立自然科學博物館館訊，275，1-8。
- 王沛元、李明安、藍國璋，2015：海洋環境變動與烏魚漁況的關聯。漁業推廣，343，14-17。
- 王鑫、呂光洋、陳明義、張長義、張崑雄、柯澤東，1983：台灣沿海地區自然環境保護計畫。內政部。
- 台灣濕地學會，2014：桃園藻礁委託研究案期末報告。桃園縣政府農業發展局，462頁。
- 史金燾、呂光洋、王嘉祥，1991：淡水紅樹林沼澤區蟹類相及十種蟹類的活動週期。臺灣省立博物館年刊，34，121-140。
- 甘昆平，2010：臺灣東北角天然岩岸與人工海岸(水泥消波塊)魚類群聚之比較。國立臺灣海洋大學海洋生物研究所碩士學位論文。
- 朱達仁等人，2011：中港溪口濕地保育行動計畫。苗栗縣政府。
- 朱蘭芬，2009：氣候變遷與自然資源的經濟分析 - 以珊瑚礁、水資源為例。國立中興大學應用經濟系研究所碩士學位論文。
- 艾墨，2013：珊瑚重金屬累積研究與酸化海水對珊瑚影響之研究。國立臺灣海洋大學海洋生物研究所博士學位論文。
- 行政院農業委員會漁業署，2009：氣候變遷對臺灣週邊海域基礎生產力影響監測計畫。98農科-7.3.1-漁-F1(2)。行政院農業委員會漁業署。
- 行政院農業委員會漁業署，2010：氣候變遷對鰻苗資源影響之研究計畫。99農科-7.3.1-漁-F1(2)。行政院農業委員會漁業署。
- 何平合等人，2011：墾丁國家公園海域珊瑚礁長期生態監測計畫。墾丁國家公園管理處。

- 何承璋，2013：花蓮海域鯨豚的時空分布之研究。國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系研究所碩士學位論文。
- 何珈欣，2008：臺灣沿岸海域漁獲物組成變遷之研究。國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系碩士學位論文。
- 余豐任，2004：高屏地區紅樹林組成與分佈之調查。國立中山大學生物科技系在職專班碩士學位論文。
- 吳自強、周大慶、謝宗宇，2000：大肚溪口野生動物保護區（台中縣部分）初期棲地改善計畫。台中縣政府。
- 巫文隆、廖國焱，1995：淡水河紅樹林底棲動物重金屬及能含量研究。紅樹林生態系研討會論文集。
- 李立武，2013：蚵子寮濕地之生態現況。臺灣濕地季刊，90，14-20。
- 李明安、呂學榮，2013：因應氣候變遷－海洋漁業的衝擊與調適。農政與農情，252，15-17。
- 李承錄，2009：墾丁大光泰來草與單脈二藥草海草床之魚類群聚變化與魚類胃內含物研究。國立中興大學生命科學系研究所碩士學位論文。
- 李國添，2006：氣候變遷對鯖鱒圍網漁業衝擊之研究。行政院農業委員會。
- 李國添，2014：氣候變遷下的台灣-魷鱈漁業與管理評析。漁業推廣，331，12-17。
- 李麗雪、朱達仁，2011：後龍溪口濕地生態復育保護計畫。苗栗縣政府。
- 冼宜樂等人，2012：澎湖海域海草（床）生態調查及與漁業資源保育相關性研究 II - 澎湖海草床魚類群聚組成及季節性變化。澎湖海洋生物研究中心。
- 周昌弘等人，2008：氣候變遷對臺灣生態系之衝擊及脆弱性評估與因應策略。氣候變遷對臺灣地區衝擊、脆弱性與因應策略整合研究第一年執行成果發表研討會。
- 林幸助、蕭淑娟，2011：東沙海域海草床生物群集調查與指標物種評估。內政部營建署海洋國家公園管理處。
- 林幸助等人，2006：蘭陽河流域與河口生態系食物網的動態鏈結論文集。中央研究院生物多樣性研究中心與國立中興大學生命科學系。
- 林幸助等人，2007：高美濕地生態系承载力研究。教育部計畫成果報告。

林幸助等人，2010：波光綠茵 - 東沙海草床 (東沙環礁國家公園解說叢書 - 海草床篇)。高雄市：海洋國家公園管理處，207 頁。

林幸助等人，2011：臺江國家公園及周緣地區重要生物類群分佈及海岸濕地河口生態系變遷。臺江國家公園管理處委託研究報告。國立中興大學生命科學系。

林俊諭，1999：臺灣南部珊瑚礁魚類群聚時空變遷之研究。國立臺灣海洋大學海洋生物研究所碩士學位論文。

林哲宇等人，2015：臺灣西南近海域深海生物多樣性調查：以橫桿底拖網、中層拖網及搖曳式深海相機為研究方法。第三屆兩岸海洋生物多樣性研討會摘要。

林家暉、郭世榮，2006：嘉義縣好美寮紅樹林潟湖區魚類食性及其營養關係之研究。中華生質能源學會會誌，25，21-31。

林矩平，2008：2007 年夏季與 2008 年冬季東海陸棚仔稚魚的時空分布。國立臺灣大學海洋研究所碩士學位論文。

邱仕涵，2009：墾丁大光潮間帶泰來草床之無脊椎動物群集及碳收支模式。國立中興大學生命科學系研究所碩士學位論文。

邱英哲，2010：七股潟湖潮間帶底棲多毛類群聚及其與環境因子關係研究。國立臺南大學環境生態研究所碩士學位論文。

邵廣昭等人，2000：關渡自然保留區及關渡自然公園環境監測與研究 (第二期)。臺北市政府建設局。

邵廣昭等人，2002：淡水河口生態監測系統的建立第三年報告集。中央研究院。

邵廣昭、林幸助，2014：南疆沃海-南沙太平島生物多樣性。內政部營建署。236 頁。

施佳宏，2007：蘭陽溪河口仔稚魚類群聚結構之研究。國立臺灣海洋大學海洋生物研究所碩士學位論文。

柯風溪等人，2010：東沙礁台底棲生物資源調查 - 東沙島潟湖生態系調查。海洋國家公園管理處。

柯智仁，2004：臺灣海草分類與分布之研究。國立中山大學生物科學系研究所碩士學位論文。

洪聖雯，2006：臺灣珊瑚群聚分布及氣候變遷對其衝擊之研究。國立臺灣大學海

- 洋研究所碩士學位論文。
- 徐志宏，1998：溫度對軟木軟柳珊瑚活動行為與復育的研究。國立臺灣海洋大學海洋生物研究所碩士學位論文。
- 翁義聰、楊英欽、陳坤能（主編），2011：2011 國家重要濕地彙編。台北市：內政部營建署，192 頁。
- 高淑真，2006：中印度洋南方黑鮪漁況與海溫變動關係之研究。國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系碩士學位論文。
- 張正，2012：全球變遷因子對東海及西北太平洋黑潮海域矽藻營養鹽限制之影響。國家科學委員會委託報告補助研究計畫。國立臺灣海洋大學海洋生物研究所。
- 張妮娜，2013：東海底棲性魚類群聚與環境因子之關聯：論優養化之影響。國立臺灣大學海洋研究所博士學位論文。
- 張韶真，2008：臺灣東北角和美地區潮間帶大型甲殼類多樣性及群聚結構時空變遷之研究。國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學系碩士學位論文。
- 許嘉合，2008：臺灣熱帶與副熱帶地區的萼柱珊瑚熱抗性與逆境蛋白表現的空間差異。國立臺灣大學海洋研究所碩士學位論文。
- 陳天任，2005：臺灣深海生物多樣性之調查研究 - 臺灣深海甲殼十足類多樣性之調查研究 (I)。國家科學委員會委託報告補助研究計畫。國立臺灣海洋大學海洋生物研究所。
- 陳高松，2003：臺灣東北部卯澳灣海域之海膽生物多樣性與年齡決定研究。國立海洋大學食品科學系碩士學位論文。
- 陳章波、楊小慧、黃元照，2004：蘭陽溪流域與河口生態系食物網的動態連結 - 底棲無脊椎動物。蘭陽集水區及濕地生物多樣性研究討論會摘要。
- 陳靜怡、陳正平、邵廣昭，2003：大鵬灣潟湖魚類群聚之時空變化。中華民國環境保護學會學刊，26(1)，71-95。
- 郭富雯，2001：龜山島海底熱液活動初步調查。國立中山大學海洋地質及化學研究所碩士學位論文。
- 曾文彥，2006：食底泥動物 *Capitella* sp. T 在淡水竹圍紅樹林區生活史研究和族群動態。國立臺灣海洋大學海洋生物研究所碩士學位論文。

- 曾晴賢，2004：蘭陽溪流域與河口生態系食物網動態的鏈結 - 甲殼類部分。蘭陽集水區及濕地生物多樣性研究討論會摘要。
- 程予，2013：中國陸棚底棲魚類資源 1974~1989 年間之時空分布特徵。國立臺灣大學海洋研究所碩士學位論文。
- 黃淑芳，2000：臺灣東北角海藻圖錄。臺北市：國立台灣博物館，233 頁。
- 新竹市野鳥學會，1995：新竹香山區海埔地造地開發計劃環境影響評估鳥類調查分析評估報告。內政部營建署。
- 楊佳樺，2013：亞洲沙塵暴期間大氣效應對臺灣東北黑潮海域海洋基礎生產力變動的影響。國立臺灣海洋大學海洋環境化學與生態研究所碩士學位論文。
- 楊淑閔，2007 年 5 月 17 日。台灣深海生物研究 6 年發現 80 種世界新種生物。大紀元。
- 葉念慈，2007：鹽寮灣魚類群聚結構、功能群及生態系模式初步之建構。國立臺灣海洋大學海洋生物研究所碩士學位論文。
- 葉秋好，2005：臺灣沿海濕地草澤之植群生態研究。國立中山大學生物科學系研究所碩士學位論文。
- 葉曉菁，2000：臺南七股潟湖區及附近海域浮游橈足類的種類組成、分佈及其攝食研究。國立中山大學海洋資源研究所碩士學位論文。
- 廖運志、邵廣昭、張睿昇，2011：北海岸及觀音山國家風景區海岸地區潮間帶生物資源監測計畫。交通部觀光局北海岸及觀音山國家風景區管理處。
- 臺江國家公園管理處，2010：高美濕地劃入國家公園可行性評估報告。臺江國家公園管理處。
- 趙世民，2003：臺灣礁岩海岸地圖。臺中市：晨星出版有限公司，411 頁。
- 趙世民、蘇焉，2000：珊瑚礁 - 海中的熱帶雨林。臺中市：國立自然科學博物館，202 頁。
- 劉大維，2010：腎型真葉珊瑚緊迫相關基因在環境溫度變化時之表現。國立臺灣海洋大學水產養殖學系研究所碩士學位論文。
- 劉弼仁等人，2013：以中觀生態池實驗探討全球氣候變遷改變海水表層溫度對珊瑚礁的影響。2013 年臺灣地球科學聯合學術研討會論文摘要。



- 劉銘欽，1990：珊瑚 *Galaxea fascicularis* 和 *Acropora austra* 細胞內共生藻異同之比較及其白化之研究。國立中山大學海洋生物研究所碩士學位論文。
- 劉靜榆，2008：揭開藻礁的神秘面紗。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。
- 劉靜榆，2012：搶救台灣藻礁 - 消失中的生命聚寶盆。南投縣：行政院農業委員會特有生物研究保育中心，44 頁。
- 潘任飛，2012：利用衛星測高觀測西北太平洋的上層海洋溫度結構。國立臺灣大學大氣科學研究所碩士學位論文。
- 鄭明修，2004：蘭陽溪及其河口海岸濕地甲殼類十足目生物多樣性研究。蘭陽集水區及濕地生物多樣性研究討論會摘要。
- 鄭謙遜等人，2012：澎湖縣貓嶼及自然保留區鳥類資源調查。澎湖縣政府農漁局。
- 賴景陽，2008：臺灣貝類圖鑑。臺北市：貓頭鷹出版，384 頁。
- 盧重成，2005：臺灣深海生物多樣性之調查研究-臺灣附近深海軟體動物多樣性之調查研究(II)。行政院科技部計畫報告。
- 優達景觀設計有限公司，2012：西湖溪口濕地保育行動計畫委託專業服務案。苗栗縣政府。
- 戴昌鳳，2003：臺灣的海洋。臺北市：遠足文化，216 頁。
- 戴昌鳳，2006：大海的故事：海洋保護區與國內的海洋生態保育。國家公園雙月刊，1，20-29。
- 戴昌鳳，2011：臺灣珊瑚礁地圖。臺北市：天下文化，256 頁。
- 戴昌鳳等人，2009：桃園觀音藻礁生態解說手冊。臺北市：臺灣中油股份有限公司液化天然氣工程處，93 頁。
- 薛美莉，2011：臺灣紅樹林。特有生物研究保育中心。
- 謝沐璇，2002：臺灣東部黑潮邊緣大洋性洄游鯖科魚類群集之組成變化。國立東華大學自然資源管理研究所碩士學位論文。
- 鍾佳芸，2012：東沙島海草床大型無脊椎動物群集的時空變化。國立中興大學生命科學系研究所碩士學位論文。
- 羅文增，2011：氣候變化對臺灣西南部海域浮游動物群聚分布之影響。國家科學委員會委託報告補助研究計畫。國立中山大學海洋生物科技暨資源學系。
- 蘇曉音，2003：大肚溪口南岸半封閉圍堤灘地內外底質組成與螃蟹級多毛類群聚

差異之研究。東海大學環境科學系研究所碩士學位論文。

- Adey, W. H. and J. Michael Vassar, 1975: Colonization, succession and growth rates of tropical crustose coralline algae (Rhodophyta, Cryptonemiales). *Phycologia*, 14(2), 55-69.
- Alexandre, A., et al., 2012: Effects of CO<sub>2</sub> enrichment on photosynthesis, growth, and nitrogen metabolism of the seagrass *Zostera noltii*. *Ecology and Evolution*, 2(10), 2625-2634.
- Anthony, K. R., et al., 2008: Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(45), 17442-17446.
- Bell J. D., J. E. Johnson, and A. J. Hobday (eds), 2011: Vulnerability of Tropical Pacific Fisheries and Aquaculture to Climate Change. Secretariat of the Pacific Community, Noumea, New Caledonia.
- Board, O. S., 2000: Clean coastal waters: understanding and reducing the effects of nutrient pollution. National Academies Press, Washington, D.C.
- Bouchet, P., and R. von Cosel. 2004. The world's largest Lucinid is an underscribed species from Taiwan (Mollusca: Bivalvia). *Zool. Stud.*, 43, 704-711.
- Bricker, S. B., et al., 1999: National estuarine eutrophication assessment: A summary of conditions, historical trends, and future outlook. National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Springs, MD.
- Buskey, E. J., B. Wysor, and C. Hyatt, 1998: The role of hypersalinity in the persistence of the Texas "brown tide" in the Laguna Madre. *J. Plankton Res.*, 20(8), 1553-1564.
- Campbell, J. E. and J. W. Fourqurean, 2013: Effects of in situ CO<sub>2</sub> enrichment on the structural and chemical characteristics of the seagrass *Thalassia testudinum*. *Mar. Biol.*, 160(6), 1465-1474.
- Carey, C. and M. A. Alexander, 2003: Climate change and amphibian declines: is there a link? *Diversity and Distributions*, 9(2), 111-121.
- Chan, T. Y., D. A. Lee, C. S. Lee, 2000: The first deep-sea hydrothermal animal reported from Taiwan: *Shinkaia crosnieri*, Baba and Williams, 1998 (Decapoda:

- Porcellanidae). *Bull. Mar. Sci.*, 67, 799-804.
- Chen, H. W. and H. J. Lin, 2014: Trophic structure of megabenthos at seep and surrounding areas in the South China Sea. Presented in “The 3rd World Congress on Marine Biodiversity”, Qindao, China.
- Chen, C. C., G. C. Gong, and F. K. Shiah, 2007: Hypoxia in the East China Sea: One of the largest coastal low-oxygen areas in the world. *Marine Environmental Research*, 64(4), 399-408.
- Chen, C. T. A., et al., 2006: Carbonate chemistry and projected future changes in pH and CaCO<sub>3</sub> saturation state of the South China Sea. *Mar. Chem.*, 101(3-4), 277-304.
- Chen, J. P., et al., 2005: A Study on Fish Fauna from Dongsha Atoll (Pratas Island) in 2004. *Platax*, 2005(1), 1-24.
- Cloern, J. E., 2001: Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 210, 223-253.
- Connell, J. H., 1972: Community interactions on marine rocky intertidal shores. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 169-192.
- Dilley, M., 2005: Natural disaster hotspots: a global risk analysis (Vol. 5). World Bank Publications.
- Deutsch, C., et al., 2015: Climate change tightens a metabolic constraint on marine habitats. *Science*, 348(6239).
- Edwards, M. and A. J. Richardson, 2004: Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, 430(7002), 881-884.
- Gattuso, J. P., et al., 2015: Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions scenarios. *Science*, 349(6243).
- Glynn, P. W., 1991: Coral reef bleaching in the 1980s and possible connections with global warming. *Trends in Ecology & Evolution*, 6(6), 175-179.
- Glynn, P. W., 1993: Coral reef bleaching: ecological perspectives. *Coral reefs*, 12(1), 1-17.
- Glynn, P. W., 1996: Coral reef bleaching: facts, hypotheses and implications. *Global*

- Change Biology*, 2(6), 495-509.
- Goldenberg, S. B., et al., 2001: The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications. *Science*, 293(5529), 474-479.
- Hawkins, S. J., et al., 2008: Complex interactions in a rapidly changing world: responses of rocky shore communities to recent climate change. *Climate Research*, 37, 123-133.
- Hayward, T. L., 1997: Pacific Ocean climate change: atmospheric forcing, ocean circulation and ecosystem response. *Trends in ecology & evolution*, 12(4), 150-154.
- Helmuth, B., J. G. Kingsolver, and E. Carrington, 2005: Biophysics, physiological ecology, and climate change: does mechanism matter? *Annu. Rev. Physiol.*, 67, 177-201.
- Hoegh-Guldberg, O., 1999: Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and freshwater research*, 50(8), 839-866.
- Hunt Jr., G. L., et al., 2002: Climate change and control of the southeastern Bering Sea pelagic ecosystem. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49(26), 5821-5853.
- Jeng, M. S., N. K. Ng, and P. K. L. Ng. 2004: Feeding behaviour: hydrothermal vent crabs feast on sea 'snow' . *Nature*, 432(7020), 969-969.
- Jiang, Z. J., X. P. Huang, and J. P. Zhang, 2010: Effects of CO<sub>2</sub> enrichment on photosynthesis, growth, and biochemical composition of seagrass *Thalassia hemprichii* (Ehrenb.). *Aschers. J. Integr. Plant Biol.*, 52(10), 904-913.
- Jokiel, P. L. and S. L. Coles, 1990: Response of Hawaiian and other Indo-Pacific reef corals to elevated temperature. *Coral reefs*, 8(4), 155-162.
- Jones, D. O. B., A. Yool, C.-L. Wei, S. A. Henson, H. A. Ruhl, R. A. Watson and M. Gehlen, 2014. Global reductions in seafloor biomass in response to climate change, *Glob. Change Biol.*, 20, 1861–1872.
- Kim, H., S. Kimura, A. Shinoda, T. Kitagawa, Y. Sasai and H. Sasaki, 2007: Effect of *El Niño* on migration and larval transport of the Japanese eel (*Anguilla japonica*). *ICES J. Mar. Sci.* (2007) 64 (7):1387-1394.

- Kleypas, J. A., J. W. McManus, and L. A. M. B. E. R. T. AB MEÑEZ, 1999: Environmental limits to coral reef development: where do we draw the line? *American Zoologist*, 39(1), 146-159.
- Komai, T. and T. Y. Chan, 2010. A new genus and two new species of alvinocaridid shrimps (Crustacea: Decapoda: Caridea) from a hydrothermal vent field off northeastern Taiwan. *Zootaxa*, 2372, 15-32.
- Kou, S. R., H. J. Lin, and K. T. Shao, 2001: Seasonal changes in abundance and composition of fish assemblages in Chiku Lagoon, southwestern Taiwan. *Bulletin of Marine Science*, 68(1), 85-99.
- Lemaritre, R., 2004: Discovery of the first hermit crab (Crustacea: Decapoda: Parapaguridae) associated with hydrothermal vents. *Cah. Biol. Mar.* 45, 325-334.
- Lesser, M. P., et al., 1990: Bleaching in coral reef anthozoans: effects of irradiance, ultraviolet radiation, and temperature on the activities of protective enzymes against active oxygen. *Coral Reefs*, 8(4), 225-232.
- Lin, F. J., T. Komai, and T. Y. Chan, 2007: A new species of a callinassid shrimp Taiwan. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 120, 143-158.
- Lin, H. J., L. Y. Hsieh, and P. J. Liu, 2005: Seagrasses of Tongsha Island, with descriptions of four new records to Taiwan. *Bot. Bull. Acad. Sinica*, 46, 163-168.
- Lin, M. F., et al. 2012: A new shallow-water species, *Polycyathus chaishanensis* sp. nov. (Scleractinia: Caryophylliidae), from Chaishan, Kaohsiung, Taiwan. *Zoological Studies*, 51(2), 213-221.
- Lubchenco, J., et al., 1993: Possible ecological responses to global climate change: nearshore benthic biota of northeastern Pacific coastal ecosystems. *Earth System Responses to Global Change: Contrasts Between North and South America*. Money HA, Fuentes ER, Kronberg BI, Eds.(Academic Press, San Diego), pp. 147-166.
- Midgley, G. F., et al., 2002: Assessing the vulnerability of species richness to anthropogenic climate change in a biodiversity hotspot. *Global Ecology and*

- Biogeography*, 11(6), 445-451.
- Najjar, R. G., et al., 2000: The potential impacts of climate change on the mid-Atlantic coastal region. *Clim. Res.*, 14(3), 219-233.
- Ng, N. K., J. F. Huang, and P. H. Ho, 2000: Description of a new species of hydrothermal crab, *Xenograpsus testudinatus* (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Grapsidae) from Taiwan. National Taiwan Museum Special Publication Series, 10, 191-199.
- Pasinelli, G., et al., 2001: An avifaunal zonation of Switzerland and its relation to environmental conditions. *Global Ecology and Biogeography*, 10(3), 261-274.
- Pichon, M., Y. Y. Chuang, and C. A. Chen, 2012: *Pseudosiderastrea formosa* sp. nov. (Cnidaria: Anthozoa: Scleractinia) a new coral species endemic to Taiwan. *Zoological Studies*, 51(1), 93-98.
- Praetorius, S. K., et al., 2015: North Pacific deglacial hypoxic events linked to abrupt ocean warming. *Nature*, 527, 362-366.
- Robles, C. D., M. A. Alvarado, and R. A. Desharnais, 2001: The shifting balance of littoral predator-prey interaction in regimes of hydrodynamic stress. *Oecologia*, 128(1), 142-152.
- Russell, B. D., et al., 2013: Future seagrass beds: Can increased productivity lead to increased carbon storage? *Mar. Pollut. Bull.*, 73(2), 463-469.
- Shao, K. T., J. Lin, H. M. Yeh, M. Y. Lee, L.S. Chen and H. W. Lin, 2014: A dataset of deep-sea fishes surveyed by research vessels in the waters around Taiwan. *ZooKeys*, 466, 103-110.
- Sagarin, R. D. and S. D. Gaines, 2002: The 'abundant centre' distribution: to what extent is it a biogeographical rule? *Ecology letters*, 5(1), 137-147.
- Short, F. T. and H. A. Neckles, 1999: The effects of global climate change on seagrasses. *Aquat. Bot.*, 63(3), 169-196.
- Tseng, Y. H., L. C. Breaker, and E. T. Y. Chang, 2010: Sea level variations in the regional seas around Taiwan. *Journal of oceanography*, 66(1), 27-39.
- Veit, R. R., P. Pyle, and J. A. McGowan, 1996: Ocean warming and long-term change



- in pelagic bird abundance within the California current system. *Marine Ecology Progress Series*, 139(1), 11-18.
- Vitousek, P. M., et al., 1997: Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecol. Appl.*, 7(3), 737-750.
- von Cosel, R. 2008: A new Bathymodioline mussel (Bivalvia: Mytiloidea: Mytilidae: Bathymodiolinae) from vent sites near Kueishan Isand, North East Taiwan. *Raffles Bull. Zool.*, 19, 105-114.
- von Cosel, R., and P. Bouchet, 2008: Tropical deep-water lucinids (Mollusca: Bivalvia) from the Indo-Pacific: essentially unknown, but diverse and occasionally gigantic. *Tropical Deep-Sea Benthos*, 25, 115-213.
- Wang, B., 2006: Cultural eutrophication in the Changjiang (Yangtze River) plume: History and perspective. *Estuar. Coast Shelf Sci.*, 69(3-4), 471-477.
- Wang, T. W., T. Y. Chan, B. K. K. Chan. 2013: Diversity and community structure of decapod crustaceans at hydrothermal vents and nearby deep-water fishing grounds off Kueishan island in the NW Pacific. *Bull. Mar. Sci.*, 89(2), 505-528.
- Waycott, M., et al., 2009: Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *P. Natl. Acad. Sci.*, 106(30), 12377-12381.
- Wu, C.R., H.F. Lu and S.Y. Chao, 2008: A numerical study on the formation of upwelling off northeast Taiwan. *J. Geophys. Res.*, 113, C08025, doi:10.1029/2007JC004697.
- Yang, D. and D. Huang, 2011: Impacts of Typhoons Tianying and Dawei on seagrass distribution in Xincun Bay, Hainan Province, China. *Acta Oceanol. Sin.*, 30(1), 32-39.

## 附錄 本章所提及物種學名對照表

## 藻類

學名	中文名	學名	中文名
<i>Dictyosphaeria cavernosa</i>	網球藻	<i>Monostroma</i> sp.	礁膜
<i>Gelidium amansii</i>	石花菜	<i>Ulva fasciata</i>	裂片石蓴
<i>Hydrolithon</i> sp.	水石葉屬	<i>Ulva lactuca</i>	石蓴
<i>Lyngbya majuscula</i>	鞘絲藻	<i>Vaucheria aversa</i>	無隔藻
<i>Mesophyllum</i> spp.	石葉藻屬		

## 植物

學名	中文名	學名	中文名
<i>Angelica hirsutiflora</i>	濱當歸	<i>Imperata cylindrica</i> <i>var. major</i>	白茅
<i>Arundo formosana</i>	臺灣蘆竹	<i>Kandelia obovata</i>	水筆仔
<i>Avicennia marina</i>	海茄苳	<i>Lumnitzera racemosa</i>	欖李
<i>Bolboschoenus planiculmis</i>	雲林莞草	<i>Paspalum vaginatum</i>	海雀稗
<i>Brachiaria mutica</i>	巴拉草	<i>Phragmites karka</i>	開卡蘆
<i>Caulerpa</i> spp.	蕨藻	<i>Phragmites australis</i>	蘆葦
<i>Ceriops tagal</i>	細蕊紅樹	<i>Rhizophora mangle</i>	美國紅樹
<i>Clerodendrum inerme</i>	苦林盤	<i>Rhizophora mucronata</i>	紅茄苳
<i>Cymodocea rotundata</i>	圓葉水絲草	<i>Rhizophora stylosa</i>	紅海欖
<i>Cymodocea serrulata</i>	鋸齒葉水絲草	<i>Ruppia maritima</i>	流蘇菜
<i>Cyperus malaccensis</i> <i>subsp. monophyllus</i>	單葉鹹草	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	海馬齒
<i>Cyrtomium falcatum</i>	全緣貫眾蕨	<i>Spartina alterniflora</i>	互花米草
<i>Excoecaria agallocha</i>	土沉香	<i>Sporobolus virginicus</i>	鹽地鼠尾粟
<i>Halodule pinifolia</i>	線葉二藥草	<i>Stenoloma biflorum</i>	闊片烏蕨
<i>Halodule uninervis</i>	單脈二藥草	<i>Syringodium isoetifolium</i>	水韭菜
<i>Halophila beccarii</i>	貝克鹽草	<i>Thalassia hemprichii</i>	泰來草
<i>Halophila decipiens</i>	毛葉鹽草	<i>Thalassodendron ciliatum</i>	鐮葉叢草
<i>Halophila ovalis</i>	卵葉鹽草	<i>Zostera japonica</i>	甘草

學名	中文名	學名	中文名
<i>Heritiera littoralis</i>	銀葉樹	<i>Zoysia sinica</i>	中華節縷草
<i>Hibiscus tiliaceus</i>	黃槿		

## 環節動物

學名	中文名	學名	中文名
<i>Amphitrite lobocephala</i>	襟首葉螿蟲	<i>Malacoceros indic</i>	印度海稚蟲
<i>Capitella capitata</i>	小頭蟲	<i>Neanthes glandicinca</i>	腺帶刺沙蠶
<i>Cheiloneris</i> sp.	環唇沙蠶	<i>Salmacina dysteri</i>	白管線蟲
<i>Laonoma albicingillum</i>	纓鰓蟲	<i>Scoloplos marupialis</i>	膜囊錐頭蟲

## 節肢動物

學名	中文名	學名	中文名
<i>Acrocalanus gibber</i>	駝背隆哲水蚤	<i>Paracalanus crassirostris</i>	強額小哲水蚤
<i>Acrocalanus gracilis</i>	微駝隆哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>	小擬哲水蚤
<i>Alvinocaris chelys</i>	-	<i>Paragiopagurus ventilatus</i>	熱泉寄居蟹
<i>Alvinocaridinides formosa</i>	-	<i>Shinkaia crosnieri</i>	柯氏鎧甲蝦
<i>Farranula gibbula</i>	駝背絹水蚤	<i>Tachypleus tridentatus</i>	三棘鬚
<i>Ligia exotica</i>	海蟑螂	<i>Temora tubinata</i>	錐形寬水蚤
<i>Munidopsis</i> sp.	彷彿鎧蝦	<i>Xenograpsus testudinatus</i>	烏龜怪方蟹
<i>Nihonotrypaea thermophila</i>	熱泉美人蝦		

## 棘皮動物

學名	中文名	學名	中文名
<i>Echinaster luzonicus</i>	呂宋棘海星	<i>Holothuria impatiens</i>	醜海參
<i>Echinometra mathaei</i>	梅氏長海膽	<i>Toxopneustes pileolus</i>	喇叭毒棘海星
<i>Echinostrephus aciculatus</i>	白尖叢紫海膽		

刺胞動物

學名	中文名	學名	中文名
<i>Acropora austera</i>	簡單軸孔珊瑚	<i>Pocillopora damicornis</i>	細枝鹿角珊瑚
<i>Anthopleura dixoniana</i>	狄氏襟疣海葵	<i>Polycyanthus chiashanensis</i>	柴山多杯孔珊瑚
<i>Anthopleura midori</i>	綠海葵	<i>Pseudosiderastrea formosa</i>	福爾摩沙偽絲珊瑚
<i>Cassiopeia frondosa</i>	仙后水母	<i>Seriatopora hystrix</i>	尖枝列孔珊瑚
<i>Fungia (Pleuractis) taiwanensis</i>	臺灣蕈珊瑚	<i>Stylophora pistillata</i>	萼柱珊瑚
<i>Palythoa lesueurii</i>	王岩菟葵	<i>Subergorgia suberosa</i>	軟木軟柳珊瑚
<i>Palythoa tuberculosa</i>	瘤菟葵	<i>Zoanthus</i> spp.	群體菟葵
<i>Phymantus muscosus</i>	日輪海葵		

螺貝類

學名	中文名	學名	中文名
<i>Bathymodiolus taiwanensis</i>	臺灣深貽貝	<i>Lucinoma taiwanensis</i>	臺灣滿月蛤
<i>Batillaria</i> spp.	海蜷	<i>Lunella coronata</i>	珠螺
<i>Batillaria zonalis</i>	燒酒海蜷	<i>Lunella granulata</i>	瘤珠螺
<i>Brachidontes pharaonis</i>	蕎麥蛤	<i>Meganodontia acetabulum</i>	滿月蛤化石種
<i>Cellana toreuma</i>	花笠螺	<i>Melanoides tuberculatus tuberculatus</i>	網蜷
<i>Cerithidea djadjariensis</i>	鐵尖海蜷	<i>Meretrix lusoria</i>	文蛤
<i>Chion semigranosus</i>	半紋斧蛤	<i>Natica tigrina</i>	豹斑玉螺
<i>Chlorostoma argyrostoma argyrostoma</i>	黑鐘螺	<i>Nerita striata</i>	高腰蜚螺
<i>Crassostrea gigas</i>	長牡蠣	<i>Niotha albescens</i>	黑頂織紋螺
<i>Cyclina sinensis</i>	環文蛤	<i>Nodilittorina pyramidalis</i>	顆粒玉黍螺
<i>Cypraea annulus</i>	金環寶螺	<i>Patelloida striata</i>	射線青螺
<i>Cypraea arabica</i>	阿拉伯寶螺	<i>Saccostrea mordax</i>	黑齒牡蠣
<i>Euplicia scripta</i>	花麥螺	<i>Sanguinolaria diphos</i>	西施舌
<i>Geloina erosa</i>	紅樹蜆(馬蹄蛤)	<i>Semivertagus alveolus</i>	芝麻蟹守螺
<i>Gomphina aequilatera</i>	花蛤	<i>Siphonaria laciniosa</i>	花松螺

學名	中文名	學名	中文名
<i>Granulilittorina millegrana</i>	臺灣玉黍螺	<i>Solen strictus</i>	竹蟶
<i>Littoraria</i> spp.	玉黍螺	<i>Tarebia granifera</i>	瘤蜷
<i>Littoraria scabra scabra</i>	粗紋玉黍螺	<i>Thais clavigera</i>	蚵岩螺
<i>Littoraria intermedia</i>	居間玉黍螺	<i>Thiara riqueti</i>	流紋蜷
<i>Littorina sinensis</i>	中華玉黍螺		

## 蝦蟹類

學名	中文名	學名	中文名
<i>Calcinus latens</i>	隱伏硬殼寄居蟹	<i>Penaeus monodon</i>	草對蝦 (草蝦)
<i>Carcinus</i> sp.	濱蟹	<i>Percnon planissimum</i>	裸掌盾牌蟹
<i>Chiromantes dehaani</i>	無齒螳臂蟹	<i>Perisesarma bidens</i>	雙齒近相手蟹
<i>Chiromantes haematocheir</i>	紅螯螳臂蟹	<i>Portunus pelagicus</i>	遠海梭子蟹
<i>Eriphia smithi</i>	司氏酋婦蟹	<i>Portunus sanguinolentus</i>	紅星梭子蟹
<i>Etisus laevimanus</i>	光手滑面蟹	<i>Scopimera longidactyla</i>	長趾股窗蟹
<i>Gaetice depressus</i>	平背蜚	<i>Scylla olivacea</i>	欖綠青蟳
<i>Grapsus albolineatus</i>	白紋方蟹	<i>Scylla paramamosain</i>	擬深穴青蟳
<i>Grapsus tenuicratus</i>	細紋方蟹	<i>Scylla serrata</i>	鋸緣青蟳
<i>Helice formosensis</i>	臺灣厚蟹	<i>Thalamita crenata</i>	鈍齒短漿蟹
<i>Helice wuana</i>	伍氏厚蟹	<i>Thalamita danae</i>	少刺短漿蟹
<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	絨毛近方蟹	<i>Thalamita prymna</i>	底棲短漿蟹
<i>Macrobrachium equidens</i>	等齒沼蝦	<i>Uca</i> spp.	招潮蟹
<i>Macrophthalmus banzai</i>	萬歲大眼蟹	<i>Uca arcuata</i>	弧邊招潮蟹
<i>Metapenaeus ensis</i>	刀額新對蝦	<i>Uca arcuata</i>	網紋招潮蟹
<i>Metopograpsus thukuhar</i>	方形大額蟹	<i>Uca borealis</i>	北方呼喚招潮蟹
<i>Mictyris brevidactylus</i>	短趾和尚蟹	<i>Uca formosensis</i>	臺灣招潮蟹
<i>Neaxius acanthus</i>	棘軸蝦	<i>Uca lactea</i>	清白招潮蟹
<i>Ocypode ceratophthalmus</i>	角眼沙蟹	<i>Uca lactea</i>	乳白招潮蟹
<i>Ocypode stimpsoni</i>	斯氏沙蟹	<i>Xenograpsus testudinatus</i>	烏龜怪方蟹

學名	中文名	學名	中文名
<i>Parasesarma plicatum</i>	摺痕擬相手蟹		

魚類

學名	中文名	學名	中文名
<i>Abudefduf bengalensis</i>	孟加拉豆娘魚	<i>Liza macrolepis</i>	大鱗鯪 (大鱗龜鯪)
<i>Abudefduf sexfasciatus</i>	六線豆娘魚	<i>Monacanthus chinensis</i>	中華單棘魨
<i>Aluterus monoceros</i>	單角革單棘魨	<i>Mugil cephalus</i>	烏魚
<i>Anguilla japonica</i>	日本鰻	<i>Mulloidichthys flavolineatus</i>	黃帶擬鬚鯛
<i>Anguilla marmorata</i>	鱸鰻	<i>Muraenesox cinereus</i>	海鰻
<i>Apogon ambonensis</i>	弓線天竺鯛	<i>Nematalosa come</i>	環球海鯨
<i>Apogon hyalosoma</i>	扁頭天竺鯛	<i>Oreochromis mossambicus</i>	吳郭魚
<i>Apogon lateralis</i>	側身天竺鯛	<i>Pelates quadrilineatus</i>	四線雞魚
<i>Auxis rochei rochei</i>	圓花鯷	<i>Periophthalmus sp.</i>	彈塗魚
<i>Auxis thazard thazard</i>	扁花鯷	<i>Pomacentrus coelestis</i>	霓虹雀鯛
<i>Boleophthalmus pectinirostris</i>	大彈塗魚	<i>Priacanthus macracanthus</i>	大眼鯛 (紅目鯧)
<i>Champsodon guentheri</i>	貢氏鱷齒鱚 (黑狗母)	<i>Psettina ijimae</i>	鱧鯧
<i>Champsodon snyderi</i>	史氏鱷齒鱚 (黑狗母)	<i>Rhinogobius maculafasciatus</i>	斑帶吻蝦虎
<i>Chanos chanos</i>	虱目魚	<i>Sarda orientalis</i>	齒鱈
<i>Diodon holocanthus</i>	六斑刺河豚	<i>Sardinella melanura</i>	黑尾小魷
<i>Engraulis japonicas</i>	日本鯷	<i>Scomber australasicus</i>	花鱈
<i>Gadomus introniger</i>	鼠尾鱈	<i>Sebastapistes strongia</i>	眉鬚鱈頭鮋
<i>Gambusia affinis</i>	大肚魚	<i>Sicyopterus japonicas</i>	日本瓢鱈蝦虎
<i>Gerres abbreviatus</i>	鑽嘴魚	<i>Siganus fuscescens</i>	褐臭肚魚
<i>Gerres oyena</i>	奧奈鑽嘴魚	<i>Sphyræna flavicauda</i>	黃尾金梭魚
<i>Gerres shima</i>	縱紋鑽嘴魚	<i>Spratelloides gracilis</i>	灰海荷鯧
<i>Leiognathus brevirostris</i>	短吻鰻	<i>Stethojulis strigiventer</i>	虹紋紫胸魚
<i>Leiognathus fasciata</i>	條紋鰻	<i>Takifugu niphobles</i>	黑點多紀魨



學名	中文名	學名	中文名
<i>Leptoscarus vaigiensis</i>	織鰯鯉	<i>Terapon jarbua</i>	花身鰺 (花身雞魚)
<i>Lethrinus harak</i>	單斑龍占	<i>Thryssa chefuensis</i>	芝蕪綾鯉
<i>Lethrinus nebulosus</i>	青嘴龍占	<i>Trichiurus lepturus</i>	白帶魚
<i>Liza affinis</i>	前鱗鯪	<i>Valamugil cunnesius</i>	長鰭凡鯪

## 鳥類

學名	中文名	學名	中文名
<i>Anas crecca</i>	小水鴨	<i>Hydroprogne caspia</i>	裏海燕鷗
<i>Bubulcus ibis coromandus</i>	黃頭鷺	<i>Hypsipetes madagascariensis</i>	紅嘴黑鵝
<i>Calidris</i> sp.	濱鷸	<i>Lanius cristatus</i>	紅尾伯勞
<i>Calidris alpina</i>	黑腹濱鷸	<i>Pericrocotus solaris</i>	灰喉山椒鳥
<i>Calidris ferruginea</i>	彎嘴濱鷸	<i>Platalea minor</i>	黑面琵鷺
<i>Charadrius alexandrinus dealbatus</i>	東方環頸鴉	<i>Rissa</i> spp.	三趾鷗
<i>Ciconia boyciana</i>	東方白鶴	<i>Sterna albifrons</i>	小燕鷗
<i>Egretta garzetta</i>	小白鷺	<i>Threskiornis aethiopicus</i>	埃及聖鸛
<i>Elanus caeruleus</i>	黑翅鷂	<i>Tringa totanus</i>	赤足鷸
<i>Himantopus himantopus</i>	高蹺鴉	<i>Turdus pallidus</i>	白腹鶇

## 其他

學名	中文名	學名	中文名
<i>Amphiesma sauteri</i>	梭德氏遊蛇	<i>Junonia almana</i>	眼蛺蝶
<i>Callorhinus ursinus</i>	北方海狗	<i>Mabuya longicaudata</i>	長尾南蜥
<i>Caretta caretta</i>	赤蠵龜	<i>Melogale moshata subaurantiaca</i>	鼬獾
<i>Duttaphrynus melanostictus</i>	黑眶蟾蜍	<i>Platyurus platyurus</i>	蝎虎
<i>Epigonichthys lucayanus</i>	魯卡側殖文昌魚	<i>Polycitor proliferus</i>	海綿多囊海鞘
<i>Hylarana latouchii</i>	拉都西氏赤蛙	<i>Rhincodon typus</i>	鯨鯊



## 第五章 水資源

<sup>1</sup>李明旭、<sup>2</sup>游保杉、<sup>3</sup>楊偉甫、<sup>3</sup>江明郎、<sup>4</sup>張良正、<sup>5</sup>吳瑞賢、<sup>6</sup>童慶斌

<sup>1</sup>國立中央大學水文與海洋研究所、<sup>2</sup>國立成功大學水利及海洋工程學系、<sup>3</sup>經濟部水利署、

<sup>4</sup>國立交通大學土木工程學系、<sup>5</sup>國立中央大學土木工程學系、

<sup>6</sup>國立台灣大學生物環境系統工程學系

### 摘要

氣候變遷的影響主要在水文循環的改變，將直接衝擊現在與未來水資源的使用與調配，台灣地區雖然降雨豐沛，但受限於時空分布不均與顯著之豐枯水期降水差異，因此需仰賴水利設施進行調配，然而由於河川流短與地形坡陡，蓄水設施容量多有限，再加上長久以來之國土超限使用，泥沙沖刷淤積更限縮水庫之蓄水容量與壽命，因此每遇枯旱時期往往需調用農業用水以支應迫切之民生與工業用水需求，也進而衝擊糧食安全。IPCC 2014 AR5 即指出如果溫室氣體的排放持續增加，將會增加氣候變遷下水用的風險度，對於河川流量及用水品質有負面衝擊，且可能會增加洪災、氣象乾旱、農業乾旱等極端氣候事件之頻率。國內近年來的相關研究已顯示，氣候變遷將使台灣地區的豐枯水期極端化愈趨明顯，這意味著水資源的調配將需有更大的彈性以因應，其中尤以南部地區所可能遭受之衝擊較為嚴重，主要由於南部地區之豐枯水期差異原就最懸殊，氣候變遷所可能造成之極端化現象將使南部地區水資源風險上升。在面對氣候變遷所應有的調適作為部分，水資源的中央集中式硬體調適措施（如新增水庫）往往需投注較大經費與時日，在確切科學佐證資訊下，理應提早因應與規劃，更重要的是軟性的調適，透過結合短期預警與分散式的小系統調適措施，將可提高面對氣候變遷的水資源調度彈性，也可避免一旦發生整體系統性失誤的可能較大災害發生。

**關鍵字：**生活用水、工業用水、農業用水、乾旱

## 5.1 前言

水文循環過程由地表逕流與入滲將大氣落至地表的降水進行水平與垂直方向上之重分配，而透過蒸發散使這些水分得以重返大氣，這些能量與水氣交換過程在整個地球水文循環之中扮演著相當重要的角色，而自然氣候的週期與變化(如聖嬰及南方震盪與氣候變遷)與人為的環境過度開發(如土地利用改變)，則又影響這些過程的時空分布與傳輸特性，如洪水與乾旱發生之頻率與災害程度、土壤水分之季節性變化等。政府間氣候變遷專門委員會(IPCC 2014)即指出在暖化的趨勢下，有90%以上信心水準，本世紀末大部分中緯度陸地區域與熱帶的濕潤區域，極端降雨事件可能更劇烈且更頻繁，而極端降水最明顯且直接之影響就是在水文循環的改變，在實務面上就是水資源的供需衝擊。

氣候變遷對不同議題可能產生不同程度的衝擊，其中又以水資源相關所可能面對的挑戰更為嚴峻，主要由於水資源不僅是社會、經濟與工業發展所賴以維持命脈，更是糧食生產得以提升或維繫的重要用水來源，此外由於水資源又與其他氣候變遷敏感議題存在許多不同程度的競合或依存關係，政府間氣候變遷專門委員會(IPCC 2014)即指出，在21世紀末，氣候變遷將減少再生的地表水與地下水資源，尤其是最乾燥的亞熱帶地區，且加劇不同領域間對水資源的競爭，例如農業用水的增加將提高水資源的需求，水土災害的頻繁將使可供調配的原水水源量減少，而枯旱時期的水源減少有可能破壞原有水生態平衡，衝擊各標的用水的需求，亦有可能誘發相關公共衛生議題等。而隨著氣候變遷所可能帶來的不同面向衝擊，水資源相關議題有必要審慎因應。

台灣地區雖有豐沛之降水，但由於降雨時空豐枯不均，而且河川源短流急，加上近年來新水源開發不易且受限，因此面對氣候變遷的衝擊，水資源面相的妥適因應策略將是迫不及待。本章將以水資源議題為核心，綜整國內外近年來氣候變遷水資源相關研究成果，從台灣地區的水資源現況為出發點，論述現階段我們所面臨的水資源供需問題，進而評析氣候變遷對水資源在供給與需求面向的可能衝擊，並提出可能的水資源調適策略與建議。

## 5.2 水資源現況

(游保杉、楊偉甫、江明郎)

台灣地區年平均降雨量達 2,500 毫米左右，約為全球降雨量平均值約 900 毫米的 2.8 倍，係單位面積降雨量相對較多的國家。台灣降雨雖豐，惟在時間及空間上分佈極不均勻，11~4 月枯水期與 5~10 月豐水期的雨量比，北部區域 4:6，中部區域 2:8，南部區域 1:9 (如圖 5.1)。豐、枯水期雨量差異懸殊，導致枯水期水量無法供應平日用水需求，須透過水庫蓄豐濟枯及地下水維持供水穩定。惟台灣水庫目前總容量約僅有 19 億立方公尺，但每年卻必須供應約 43 億立方公尺水量，平均每座水庫年運用次數超過 2 次才能滿足用水需求 (石門水庫甚至超過 4 次)。又近年全球降雨異常加劇，已造成旱澇災害交替頻繁，水文極端現象明顯且強度增高，受災範圍與程度均較過去嚴重，導致缺水風險已逐漸影響經濟發展，並對國家永續發展造成威脅。

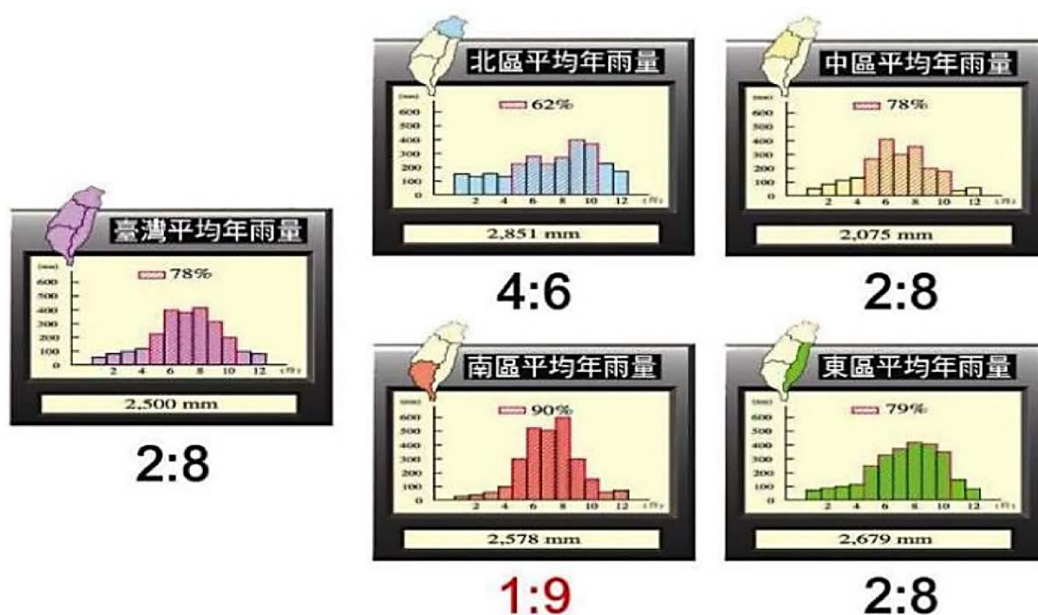


圖 5.1 台灣枯水期與豐水期降雨量比較。

此外，台灣地區由於地勢因素，河川多屬源短流急的特性，加上主要水庫庫容均較小且受上游泥砂輸入積淤而逐年減少，大部分的降雨無法蓄存而迅速排入海中，因此水資源擷取利用頗為不易，近年來，台灣水資源建設在各種不同階段之經濟發展過程中，雖然可以不斷突破困難以提供穩定供水，然而在水資源環境

日趨複雜的壓力下，台灣的水資源經營日益困難。921 地震造成中部山區嚴重的山崩及土石鬆動的現象，加重了地質環境的脆弱性，以莫拉克颱風事件為例，在南部地區崩塌造成的土砂達 12 億立方公尺，大量淤積於河道與水庫，使得水資源問題更加惡化。

以下針對三方面來說明目前台灣水資源的現況：1.各區域水源供水現況、2.水資源設施、3.水資源利用。

## 5.2.1 各區域水資源潛能水量

### 1. 地面水資源供水潛能

地面水潛能水量為地面水可供水量，經初步概估台灣每年地面水潛能水量約 219.56 億立方公尺，其中北部區域約 55.15 億立方公尺、中部區域約 53.27 億立方公尺、南部區域約 52.69 億立方公尺、東部區域約 57.45 億立方公尺，如表 5.1 所示，資料統計年份為民國 38-90 年。

表 5.1 台灣地區各區域地面水潛能水量 (單位：億立方公尺/年)。(摘自經濟部水利署，水資源開發利用總量管制策略推動規劃 2012)

區域	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
北部	4.33	4.36	4.81	3.40	4.24	5.69	3.08	4.78	5.73	5.74	5.12	3.87	55.15
中部	1.85	1.35	1.79	2.44	5.43	11.00	7.11	9.46	5.06	2.84	2.18	1.76	53.27
南部	1.09	0.85	0.92	0.92	2.22	8.20	8.30	14.55	8.55	3.87	1.85	1.37	52.69
東部	2.82	2.31	2.54	2.37	3.18	5.79	5.19	7.39	10.46	7.21	4.00	3.19	57.45
總計	10.09	8.87	10.06	9.13	15.07	30.68	24.68	35.18	31.80	19.66	13.15	10.19	219.56

### 2. 地下水資源供水潛能

台灣每年地下水潛能水量約 48.5 億立方公尺，其中北部區域約 7.0 億立方公尺、中部區域約 19.6 億立方公尺、南部區域約 19 億立方公尺，東部區域約 2.9 億立方公尺。各水資源分區地下水供水潛能如表 5.2，資料統計年份為民國 55-99 年。

由上述得知台灣天然供水潛能量含地面水約 219.56 億立方公尺、地下水約



48.5 億立方公尺，共約 268 億立方公尺，其中北部區域約 63 億立方公尺，中部區域約 73 億立方公尺，南部區域約 72 億立方公尺，東部區域約 60 億立方公尺。

表 5.2 各水資源分區地下水供水潛能。(摘自經濟部水利署，水資源開發利用總量管制策略推動規劃 2012)

用水分區		地下水供水潛能 (億立方公尺/年)	
北區	宜蘭	2.0	7.0
	基隆	0.0	
	台北	0.1	
	新北	0.6	
	桃園	2.5	
	新竹	1.8	
中區	苗栗	2.0	19.6
	台中	5.4	
	南投	1.4	
	彰化	5.3	
	雲林	5.5	
南區	嘉義	3.1	19.0
	台南	4.4	
	高雄	3.9	
	屏東	7.6	
東區	花蓮	1.9	2.9
	臺東	1.0	
台灣全區		48.5	

### 5.2.2 水資源設施

台灣因地勢陡峻、河床比降極大，遇雨則山洪暴漲，氾濫成災，逢旱則乾涸見底；興築水庫或攔河堰等，可達到有效治理河川，攔洪蓄水，調節盈虛，增加灌溉、發電、工業及公共給水等標的用水，兼收防洪息災，增加農工生產，發展觀光事業等功效。至 2012 年底，現有之水庫壩堰計有 102 座 (經公告水庫有 96 座)。其設計蓄水總容量有 28 億 5,635 萬立方公尺，目前僅剩容量 19 億 684 萬立

方公尺，淤積率 28.13%；各水庫容量以南部的曾文水庫最大，設計總容量 7 億 4,840 萬立方公尺，目前因淤積僅餘 4 億 7,955 萬立方公尺；其次為北部的翡翠水庫，設計總容量 4 億 600 萬立方公尺，目前容量 3 億 3,477 萬立方公尺。目前公告水庫計有 96 座，若以座數來看，離島地區 29 座數量雖多，但皆容量甚小，就台灣本島 67 座而言，南區 24 座占 35% 最多，北區 23 座占 34% 次之；若以現有水庫容量來看，以南區 7 億 7,380 萬立方公尺占 40.7% 為最多，北區 6 億 358 萬立方公尺占 31.7% 次之。表 5.3~5.5 為北、中、南三區現有主要水庫堰壩設施現況資料，其中，東部並無水庫設施。圖 5.2 為台灣水資源設施空間分布。

表 5.3 北部區域現有主要水庫、堰壩設施

名稱	溪流名稱	集水區面積 (平方公里)	型式	壩高 (公尺)	目前容量 (萬立方公尺)	設計總容量 (萬立方公尺)	功能
羅東攔河堰	羅東溪	-	橡皮壩	1.5	-	-	公共給水
新山水庫	新山溪	1.6	土石壩	65.0	1,000	1,000	公共給水
西勢水庫	西勢溪	5.5	混凝土重力壩	29.6	44	45	公共給水
翡翠水庫	北勢溪	303.0	混凝土拱壩	122.5	33,477	40,600	公共給水、發電、防洪
直潭壩	新店溪	0.7	混凝土堰	12.5	192	418	公共給水
青潭堰	新店溪	0.2	混凝土堰	5.5	24	83	公共給水
石門水庫	大漢溪	763.4	土石壩	133.1	20,876	30,912	灌溉、公共給水、發電、防洪、觀光
鳶山堰	大漢溪	88.0	混凝土堰	15.0	440	477	公共給水、灌溉
寶山水庫	柴梳溪、頭前溪、上坪溪	3.2	滾壓式土壩	34.5	538	547	公共給水
寶山第二水庫	中港溪 (越域取水 - 上坪溪)	2.9	中央心層分土壩	61.0	3,141	3,190	公共給水、工業用水
隆恩堰	頭前溪	-	混泥土柱半透水堰	7.0	-	-	公共給水、灌溉

表 5.4 中部區域現有主要水庫、堰壩設施

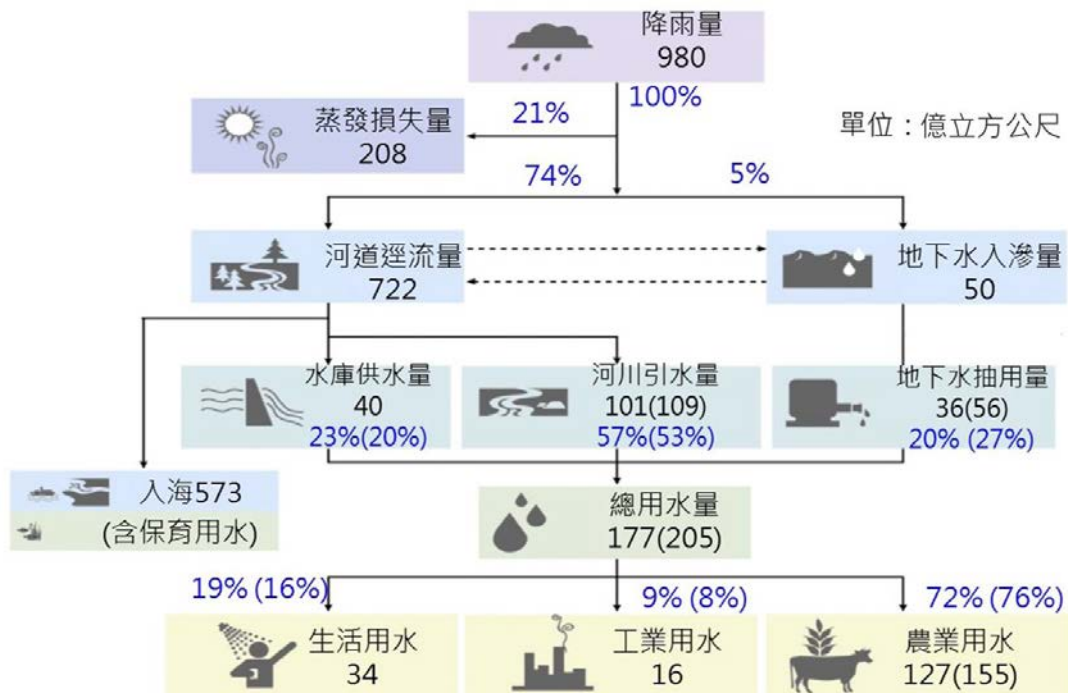
名稱	溪流名稱	集水區面積 (平方公里)	型式	壩高 (公尺)	目前容量 (萬立方公尺)	設計總容量 (萬立方公尺)	功能
永和山水庫	南庄溪	4.8	滾壓式土壩	62.5	2,810	2,957	公共給水
明德水庫	老田寮溪	61.1	土壩	35.5	1,276	1,770	公共給水、灌溉、工業用水、觀光
士林攔河堰	大安溪	447.1	混凝土重力壩	21.0	53	105	發電
鯉魚潭水庫	景山溪	53.5	滾壓式土石壩	95.0	11,547	12,607	公共給水、灌溉、觀光
德基水庫	志樂溪	592.0	雙曲線拱壩	180.0	15,177	26,221	發電
谷關水庫	小雪溪	707.8	混凝土拱壩	85.1	522	1,710	發電
青山壩	大甲溪	595.8	混凝土重力壩	45.0	39	69	發電
天輪壩	大甲溪	827.0	混凝土重力壩	48.2	27	82	發電
馬鞍壩	大甲溪	915.4	混凝土重力壩	23.5	33	58	發電
石岡壩	大甲溪	1,061.0	閘門控制溢流堰	25.0	113	184	公共給水、灌溉、觀光
霧社水庫	霧社溪	219.0	拱形重力式混凝土壩	114.0	4,487	14,860	發電
日月潭水庫	濁水溪	17.0	混凝土心牆土壩	30.3	13,218	17,162	發電、公共給水、觀光
武界壩	萬大溪	501.0	混凝土重力壩	57.6	70	1,400	引水
明湖下池水庫	水里溪	37.0	混凝土重力壩	57.5	745	976	發電
明潭下池水庫	水里溪	20.5	混凝土重力壩	61.5	1,139	1,440	發電
集集堰	濁水溪	2,034.0	閘門控制溢流堰	15.0	498	1,005	公共給水、灌溉、工業用水、觀光

表 5.5 南部區域現有主要水庫、堰壩設施

名稱	溪流名稱	集水區面積 (平方公里)	型式	壩高 (公尺)	目前容量 (萬立方公尺)	設計總容量 (萬立方公尺)	功能
仁義潭水庫	八掌溪	3.7	土石壩	28.0	2,580	2,911	公共給水、 觀光
蘭潭水庫	八掌溪	2.1	混凝土心 牆土壩	34.0	924	949	公共給水、 觀光
白河水庫	白水溪	25.6	土壩	42.5	970	2,509	公共給水、 灌溉、觀光
德元埤水庫	塹厝廓溪	32.1	土壩	5.7	179	385	灌溉
烏山頭水庫	官田溪	58.2	土壩	55.0	7,982	15,415	公共給水、 灌溉、觀光
曾文水庫	曾文溪	481.0	土石壩	133.0	47,955	74,840	公共給水、 灌溉、觀光、發電、 防洪
南化水庫	後堀溪、 旗山溪	108.3	土石壩	87.5	9,943	15,441	公共給水
甲仙攔河堰	旗山溪	585.0	混凝土固 定堰	7.0	-	-	公共給水
鏡面水庫	鏡面溪	2.7	混凝土壩	35.0	101	115	公共給水、 灌溉
鹽水埤水庫	茄苳溪	5.7	土壩	8.5	45	76	灌溉
虎頭埤水庫	茄苳崁溪	7.2	土壩	15.3	106	136	灌溉、觀光
阿公店水庫	阿公店 溪、旗山 溪	31.9	土壩	31.0	1,669	2,825	公共給水、 灌溉、防洪
澄清湖水庫	高屏溪	3.6	土壩	5.4	263	412	公共給水、 灌溉、觀光
鳳山水庫	高屏溪及 東港溪	2.8	土壩	39.5	751	920	公共給水、 工業用水、 觀光
高屏溪攔河堰	高屏溪	4.1	橡皮壩	2.0	-	-	公共給水
牡丹水庫	汝仍溪及 牡丹溪	69.2	滾壓土石 壩	65.0	2,700	3,119	灌溉、公共 給水、觀光



地下水使用量仍佔有極高比例。而且，值得注意的是年平均地下水總抽用量約 56 億立方公尺/年，仍大於推估之台灣地區年平均地下水天然補注量約 50 億立方公尺/年。水資源利用現況如圖 5.3 所示。台灣地區各標的用水於近 30 年間的的比例變化可參考 9.3.2 節「供水及水利系統」之說明。



註：( ) 為含農民自行取水量 28 億立方公尺

圖 5.3 台灣目前平均水資源利用現況 (民國 92~101 年)。(資料來源：楊偉甫 2010)

### 5.3 水資源供需問題 (不同空間之關鍵議題)

(李明旭)

台灣之降雨量非常豐富，但由於地域性及季節性分配不均，80%降雨集中在豐水期，主要降水為颱風，其次為梅雨，而南部的豐枯現象又較北部嚴重，枯水期之雨量僅有 10%，因此水源的儲蓄及調配十分重要。台灣地區近年來因降雨異常、高科技產業群聚與產業轉型效應、土地利用及社經環境快速變化等因素，使水資源供應日趨困難，其主要面臨的問題可歸納分類為用水環境、設施永續、用水效率、降雨異常、水源及供水設施不足等面向 (經濟部水利署 2011)。以下就上述分類分析台灣整體水資源的供需問題。



### 5.3.1 降雨異常

台灣地區因氣候變遷，降雨型態的改變，導致豐枯更加懸殊，降雨日數減少，降雨強度卻增加，極端事件如暴雨或乾旱等事件發生頻率增高，均會造成用水的風險。許書平 (1997) 藉由數值檢定、區域整合趨勢分析等方法，針對台灣長期雨量趨勢作探討，研究結果顯示台灣全省各區之年不降雨日數及年最長連續不降雨日數均呈增加趨勢，中南部存在明顯乾旱季節。呂季蓉 (2006) 從長期雨量分析，台灣南部地區發生乾旱頻率增加，乾旱之平均延時亦拉長，顯示乾旱現象漸趨嚴重。蔡宏欣 (2008) 探討氣候變遷對石門水庫的水文衝擊，分析結果顯示未來降雨量將集中於豐水期尤其是颱風季，發生連續枯流現象的頻率亦有增加趨勢。本章節著重於近年較重要之乾旱及強降雨事件對台灣地區整體水資源的影響，過去四十年之歷史乾旱事件詳如 2.4.1 節「台灣乾旱災害特性」表 2-11，降雨異常事件於特定空間尺度如都市、鄉村或山地空間的衝擊可參考第九章「都市與鄉村」之說明與整理。

在 2001 年海燕颱風 (10/15~10/16) 過後，北部地區降雨量偏少，僅為歷年平均之 33% 左右，2002 年之梅雨季節及僅三場颱風均無帶來有效降雨，造成 2002 年北部地區發生乾旱，新竹、石門灌區休耕，桃園、苗栗地區農業用水減供，改調供生活用水，台北地區也停止提供遊樂性用水，新竹科學園區之用水也受到影響。到了 2003 年 7 月，全台降雨普遍偏低，與歷年平均相比少了 31.5%，翡翠水庫更創下完工以來 7 月最低雨量紀錄 (35.4 毫米)，為減輕災情，經濟部與農委會決議桃園、石門、新竹、苗栗、嘉南等地區停灌休耕，並於台北、桃園、新竹、澎湖等地區限水，召開多次水源調度協調會議。直到 2003 年 8 月接連數場颱風事件帶來之充沛降雨才解除乾旱。2006 年，春季降雨偏少，桃竹苗地區缺水達旱災狀況 (公共給水缺水率 30%、農業給水缺水率 50%)，此次乾旱僅北部地區雨量偏少，並未擴及全台，由於天氣監測預報系統無法準確預測，只能以消極休耕因應，無法即早調配水資源。2010 年梅姬颱風過後 (10/23)，全台降雨開始減少，河川流量及水庫進水量持續減少，造成水庫蓄水偏低，缺水旱象從中部開始擴及全台灣，北部寶二水庫、中部明德及鯉魚潭水庫、南部曾文及烏山頭水庫，蓄水量均低於歷年同時期，北部及中部各地實施降低管壓供水，並對用水做總量管制，且加強灌溉管理用水。回顧歷年主要乾旱事件，為降低乾旱缺水風險有賴密切注意及推估水情變化，建立水資源供需資料庫，規劃相關監測系統，以提供乾旱預

警及應變決策的資訊，將抗旱列為常態性工作。

台灣地區的主要降水—颱風，雖可帶來豐沛雨水，卻也常因短時間累積降雨量大，挾帶泥沙大量沖刷淤積於蓄水設施，使水庫原水濁度升高，淨水場處理不及而停水或實施分區供水。2004 年艾莉颱風 (8/23~8/26)，大量土石沖刷進入石門水庫，使原水濁度飆高，關閉桃園所有淨水場，影響桃園地區供水問題。2005 年馬莎颱風 (8/3~8/6) 累積雨量高達 800 毫米，使上游集水區之崩積土流入水庫，造成石門水庫原水濁度高達 13,000 NTU，必須實施分區供水，並且進行排砂工作使原水濁度下降至 3,000 NTU 始能正常供水，影響民生及工業用水長達 7 天。96 年柯蘿莎颱風 (10/4~10/7) 帶來的豪雨同樣導致石門水庫原水濁度升高，但此時即時啟動石門水庫 96 萬立方公尺/日臨時抽水系統，供應大桃園民生及工業用水，度過用水危機。2009 年莫拉克颱風 (8/5~8/9) 重創南台灣，高屏攔河堰抽水設備遭淹沒，水庫原水濁度飆高 (遠大於 5,000 NTU)，影響高雄 30 萬戶用水 (楊偉甫 2010)。

### 5.3.2 水源及供水設施不足

降雨的改變也使得河川流量、地下水補注量改變。童慶斌 (1997) 及童慶斌等 (1999) 利用 IPCC-SAR 的資料，利用水文模式模擬氣候變遷對北勢溪、大甲溪、曾文溪與秀姑巒溪等河川流量之衝擊影響，發現豐枯水期呈現極端化現象，而上游入流量的改變將會使用水調配更加困難，且無法符合水庫原本設計的功能。田維婷 (2003) 利用 IPCC-TAR 的資料分析指出，氣候變遷衝擊下，不同模式間預測雖有差異，但大部分案例顯示台灣地區降雨與逕流有極端化現象，且地下水入滲量以長時間來看有漸減的趨勢。馬楷崑 (2004) 進行屏東平原水文地質模式建構，顯示衝擊最嚴重的地區為山麓地區，尤其在豐水期更為明顯，該區地下水位出現下降趨勢；陳祐誠 (2009) 研究知本河流域氣候變遷下地下水資源所受影響，得知中、上游山麓地帶減少幅度高於下游平原地帶。台灣山區佔全島的三分之二，屬於平原區重要的地下水補注來源，但是在追求觀光與經濟發展下，山區持續開發，如雪山隧道的開挖，隧道每天之湧水量平均高達 8640 立方公尺，除了造成地下水的浪費、工程的延宕，更重要的是破壞了地下水的補助來源 (許等 2010, 交通部 2000)。張廷暉 (2007) 分析石門水庫集水區的歷史水文與氣候資料，結果顯示降雨強度有逐年上升的趨勢；溫度亦呈現逐年緩慢上升 ( $0.0018\sim 0.034\text{ }^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ )；但是石門水庫入流量的年逕流比值是逐年下降的 (-

0.0009yr<sup>-1</sup>)。經濟部水利署水利規劃所 (2012) 經由政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC) 的第四次評估報告 (AR4) 中 5 個大氣環流模式 (GCM) 搭配 SRES-A1B 情境下分析氣候變遷下的逕流量，結果顯示北部及中部雖然豐水期間的總流量有增加趨勢，但豐水期延時相較於一般認知的豐水期 (5~10 月) 卻有縮短的趨勢；而枯水期流量全國均有減少的趨勢，且北部及東部在枯水期延時有拉長的特性，顯示豐水期極端事件的強度將增加，枯水期的旱象將加劇，將使水資源的調配更不易，造成可用水量減少。

降雨在時空上的分配不均，豐水期降雨強度大，但是枯水期不降雨日數長，水資源利用率不佳，因此更需仰賴調蓄措施。台灣雖現有 96 座公告水庫，但水庫有效容量 (19.68 億立方公尺) 僅占年總用水量 (177 億立方公尺) 的 11%。分區供水設施部分，北部的翡翠水庫及石門水庫佔北部水資源區總有效容量的 90%，顯示該兩座水庫調蓄供水負荷極重，西勢、寶山及寶山二水庫餘裕水量有限，如遇緊急事件，可能影響水源之穩定供應 (經濟部水利署 2009)。中部雖有明德、鯉魚潭、德基等水庫，但是在烏溪流域缺乏調蓄設施，水資源利用率低，抗旱能力不足 (經濟部水利署 2006)。南部地區有南化水庫、曾文水庫等大型水庫，但是高屏溪缺乏大型蓄水設施，導致豐水期河川水資源利用偏低，枯水期需靠水源調度因應 (經濟部水利署 2011)。東部地區地形被河川、山岳切割，水源規模小且分布零散，供水管線不易連通支援，難以達成區域聯合運用 (經濟部水利署 2002)。既有設施的調蓄能力不佳，淨水場緊急處理能力也不足，由於近年生態環保意識抬頭，建造水壩除了破壞棲地更會改變河道，對環境衝擊甚大，水庫開發不易，應朝向多元開發新水源的方向努力，如人工湖、海水淡化等方法，增加水源供應的穩定。

### 5.3.3 設施永續

台灣因地勢關係，再加上山區過度開發，極端暴雨事件使集水區土石沖刷與崩塌，泥沙隨雨進入並淤積於蓄水設施之中，使可使用的庫容減少，水資源調配能力降低，也使蓄水設施永續性受到衝擊。北部的石門水庫完工同年即受葛樂禮颱風侵襲，淤積量達 1,947 萬立方公尺，2004 年的艾利、敏督利颱風更帶來 2,784 萬立方公尺的淤積量，現總容量淤積率為 31.05%，石門水庫設計為多功能多目標之水庫，而且為桃園地區重要供水來源，必須有效防洪防淤以穩定供水。中部地區霧社水庫受到濁水溪流經地質環境影響，加上土地開發影響水土保持，總容

量淤積率為 63.8%，谷關水庫總容量淤積率更高達 72.75%，中部其餘中大型水庫容積率均在 30% 以下。南部地區的尖山埤水庫、鹿寮溪水庫、白河水庫總容量淤積率均在 60% 以上，烏山頭水庫與阿公店水庫也有 45%，98 年莫拉克颱風帶來曾文水庫淤積量 9,162 萬立方公尺，南化水庫 1,706 萬立方公尺，目前總容量淤積率均為 34%，曾文與南化水庫為南部地區重要供水來源，須提升水庫防淤能力以維持供水 (鍾等 2011)。經濟部水利署 (2012) 評估氣候變遷下異常事件對水庫的安全風險，如圖 5.4，案例水庫的供水營運以明德、石門、曾文等危險度較高。極端事件的發生導致蓄水設施或供水管線遭受破壞的風險，可參考 8.3.2 節「供水及水利系統」與 9.3 節「氣候變遷與都市脆弱度」之說明。

供水脆弱度(P) 淤積危害度(S)	極低 (1)	低 (2)	中 (3)	高 (4)	極高 (5)
極低危害度 (1)	綠	綠	綠	綠	綠
低危害度 (2)	綠	綠	黃	黃	翡翠水庫
中危害度 (3)	綠	黃	黃	黃	紅
高危害度 (4)	綠	黃	黃	紅	明德水庫
極高危害度 (5)	綠	鯉魚潭水庫 德基水庫	紅	紅	石門水庫 曾文水庫

圖 5.4 案例水庫供水營運風險矩陣圖。(摘自經濟部水利署，氣候變遷下異常事件對既有水庫安全風險與改善對策研究 (2/2) 2012)

### 5.3.4 用水環境

台灣近年來經濟發展，人口增加，都市化效應下，都市中的綠地減少，水源涵養能力降低，暴雨來臨時排水不及，也造成地下水入滲減少，此外由於都市化發展及土地利用的改變，極端氣候可能引發的複合型災害對應不同空間之衝擊，可參考第九章「都市與鄉村」之說明；而工業及科技園區迅速成長，加上缺乏環保意識，台灣河川水質遭受汙染，如高雄後勁溪溪水受到強酸汙染。而集水區上游也因開發不當，破壞水土保持，使土石流發生機率增高 (陳伸賢 2010)，每每颱風過境總造成水庫雖有大量水入庫，但因濁度過高，淨水場處理不及，反而陷入得限制生活用水甚至停水的窘境，如 2004 年艾利颱風、2005 年馬莎颱風均使

石門水庫原水濁度飆高，2009 年莫拉克颱風也因原水濁度飆高影響高雄用水。中部的大甲溪、濁水溪原水濁度高，且豐原、林內淨水場處理能力不足，當集水區發生豪大雨時，將折減出水能力，嚴重時甚至得停止供水，台中地區需分區供水因應（經濟部水利署 2006）。除了原水濁度高，中部地區如濁水溪沖積扇所在之彰雲投地區，及台中沿海，還有地下水超抽之問題，水利署已將地層下陷嚴重區畫設為地下水管制區，同樣地在南部沿海地區也因養殖業興盛及自來水普及率不高而超抽地下水引發地層下陷。氣候變遷下影響的其他水質問題，如暴雨沖刷破壞水生生態系、水溫升高導致藻類大量繁殖、原水之有機物濃度上升導致淨水場必須添加較多消毒劑量等，可參考 7.4 節「水資源的可獲性、安全性與品質對健康的影響」之說明。

### 5.3.5 用水需求

台灣地區用水需求包含生活用水、農業用水、工業用水，其中以農業用水占用水需求之最大宗，因此每遇乾旱枯水時期，往往需調用農業用水以滿足工業與生活用水之迫切需求，如 9.6 節「鄉村地區空間調適策略」所述，使得鄉村地區成為氣候變遷調適的弱勢地區。而經濟快速發展下，人口集中於都市，使得每人每日用水量上升及缺水容忍度下降，如圖 5.5 和圖 5.6，人口的增加與經濟成長均造成用水需求量大增，但是每人每年可分配到水資源卻不多，都市化或自來水管線的普及率不一也造成用水並未合理分配，圖 5.7 即可說明台灣不同地區之每人每日生活用水量存在差異，在 8.2.3 節「供水及水利系統」也利用台灣地區自來水供應人口近 80 年之變化圖說明目前台灣地區仍有 8% 人口無自來水可用；而屏東向來以抽地下水做為生活用水，惟地下水水質近年劣化，對自來水需求提高，但其自來水普及率仍為全台灣最低。台灣近年來觀光業也發展興盛，鄉村、山區等地區的觀光用水需求可能也會因此提高。台灣水價與其他各國相比有偏低的現象，楊晴雯等人 (2009) 比較國內外之水價結構，並評估水價合理化對台灣的影響，得知台水公司漏水問題嚴重，肇因於供水系統改善投資不足，且水價確實偏低導致民眾較不知節約用水，而於 8.2.3 節「供水及水利系統」提及，管線更換為水資源中斷之要素之一，也使得台水公司遲遲無法進行大系統的管線更新；雖水價提高對實質 GDP 有負面的影響，但是對促進節約用水具正面影響。工業用水的部分，如同前述所提到工業及科技園區成長迅速，高科技產業所需用水品質高，且缺水忍耐度低，致使用水需求大增。高科技產業群聚於新竹與桃園地區，



使需求水量增加及枯旱時水源調度困難。中部科學園區、彰濱工業區、雲林離島工業區，未來若持續成長，對用水需求也為增加的趨勢，需有充分之水源調度供應。其他用水需求變化導致的缺水問題可參考 2.4.2.2「影響旱災的環境、社會經濟驅動因子」。總結來說，溫度上升、人口增加均使農業及生活用水需求上升，但經濟發展也使得民生及工業用水需求上升，如何有效調度運用且同時滿足國內糧食安全、每人每日需水量及科技的發展，實為重要的議題。

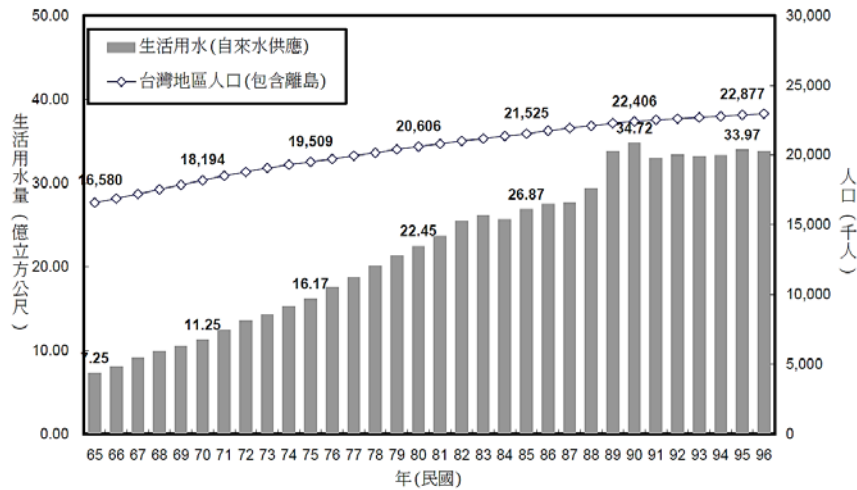


圖 5.5 台灣地區 (含離島) 生活用水量與人口趨勢圖。(資料來源：台北自來水事業統計年報、內政部戶政司，圖摘自經濟部水利署 2009)

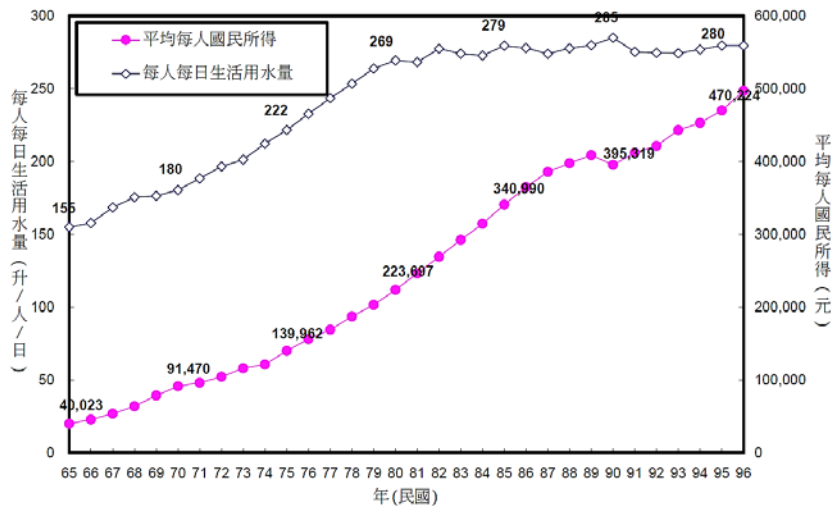


圖 5.6 台灣地區 (不含金馬) 平均每人國民所額與每人每日生活用水量趨勢圖。(摘自經濟部水利署 2009)



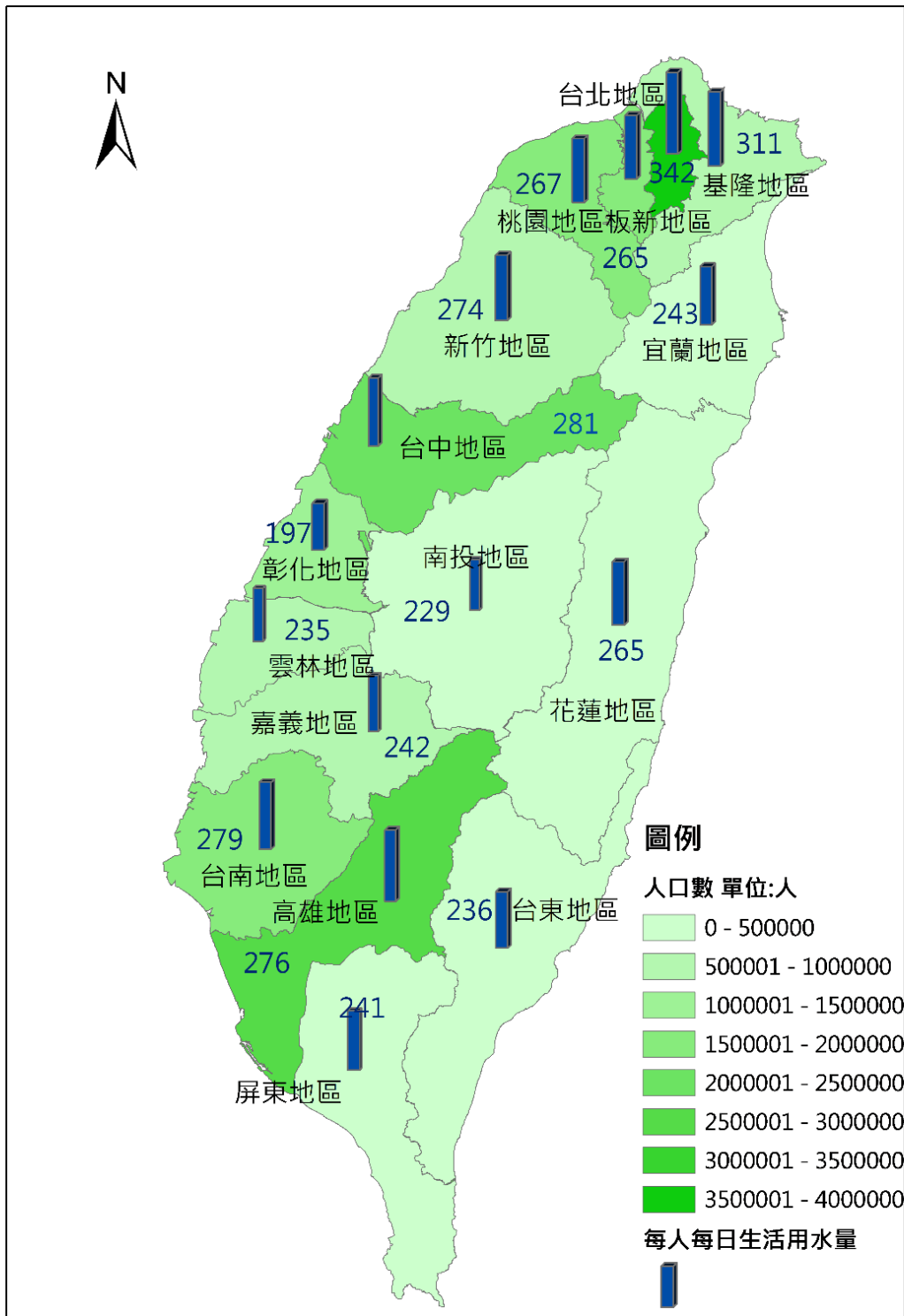


圖 5.7 台灣地區 (不含離島) 民國 96 年各用水分區之每人每日生活用水量分布 (單位為公升每人每日)。(摘自經濟部水利署 2009)

## 5.4 氣候變遷對水資源供給之影響

(張良正)

### 5.4.1 氣候變遷衝擊水資源供給之關鍵因子

台灣地區水資源供給來源主要來自地面水及地下水，根據水利署台灣地區水文年報及各項用水統計年報之資料得知（詳圖 5.3），台灣地區每年平均降下約 980 億立方公尺的降雨量，其中 74% 流入河道、5% 成為地下水入滲補注，其餘 21% 為蒸發散損失，但由於山高坡陡、降雨分配不均，加上水庫蓄存容量不足，河道逕流量約有 79% 直接入海而無法取用，剩餘之地面水透過水庫攔蓄或經攔河堰引取河川水供給各項用水標的，水庫供水量每年約 40 億立方公尺，河川引水量每年約 109 億立方公尺，另有 56 億立方公尺取自地下水抽用量。由前述資料分析得知，影響水資源供給之關鍵因子為水庫供水、河川引水與地下水，根據國內相關研究指出（詳表 5.6），台灣地區與氣候變遷相關之水資源特性大致為：(1) 溫度於長期趨勢分析有顯著增加之趨勢。(2) 不降雨日數增加。(3) 降雨強度增加。(4) 海平面上升。(5) 各流域之流量大致呈現豐水期增加、枯水期減少、且年平均流量增加、地下水入滲量減少之趨勢。(6) 由於流量豐枯之變化加劇，造成用水調配更加困難。故本節將針對水資源供給之關鍵因子受氣候變遷衝擊之可能影響進行探討，內容包含衝擊評估方法說明與國內研究成果彙整。

表 5.6 氣候變遷下台灣地區水資源特性之相關文獻。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

文獻來源	研究內容概述
游保杉 (民國 89 年)	主要探討氣候變遷對高屏溪流域水資源之衝擊評估，並針對月均溫、月降雨量、濕日數及日降雨之乾濕日移轉機率等降雨特性進行分析，分析結果顯示，溫度於長期趨勢分析上有顯著增加之趨勢，且乾濕日移轉機率为影響降雨之顯著因素。
吳至剛	研究目的探討高屏溪流域新發大橋之上游集水區受氣候變遷

文獻來源	研究內容概述
(民國 89 年)	之衝擊影響，研究發現溫度於長期觀察有顯著增加之趨勢，而乾濕日移轉機率之趨勢為影響降雨之顯著因素，最後於水資源之衝擊方面，豐水期之河川水量上升，而枯水其水量減少，導致水資源之差異更加明顯。
童慶斌 (民國 86 年)  童慶斌、洪念民 與陳主惠 (民國 88 年)	藉由模式模擬氣候變遷對河川流量之衝擊影響，發現衝擊影響有極端化現象，即豐水期流量增加，枯水期流量減少。水庫操作規則根據上游入流量或水庫蓄水量進行配水及防洪調節，氣候變遷導致河川流量豐枯水期差異增加，改變上游入流量統計特性，將造成用水調配將更加困難，且無法符合水庫原本設計的功能。
吳明進、莊秉潔 與童慶斌 (民國 88 年)	研究結果顯示過去三、四十年來南部水資源分區年平均川流量呈現減少之狀況，但將氣候變遷納入評估後，則顯示臺灣各地區之河川流量將依不同之氣候變遷預設情境而受到不同程度之衝擊。
童慶斌與李宗祐 (民國 90 年)	應用於評估七家灣溪河川流量的衝擊，其結果顯示雖然平均年流量均有增加的趨勢，但豐枯水期流量極端化。
童慶斌與吳明進 (民國 91 年)	藉由使用全球尺度的大氣 NCAR-CCM3 模式連結 NCEP/RSM-96V 和 NCEP/RSM-97V 區域模式的氣候模式系統進行不同模式解析度下，目前二氧化碳濃度與二氧化碳濃度倍增情境下，臺灣四季區域氣候變化之模擬實驗，評估全球變遷對臺灣區域氣候衝擊。其次將不同氣候模式模擬輸出輸入於 GWLF 水文模式模擬臺灣北、中、南、東 4 個集水區的河川流量之變化，探討全球變遷對臺灣水資源供給面的影響。整體而言結果顯示，兩種版本的 RSM0 模式皆預測臺灣 4 個集水區全年的河川流量皆有增加之趨勢。
吳明進、陸雲、 童慶斌與許少華 (民國 91 年)	使用全球環流模式，評估全球變遷對臺灣區域氣候衝擊，並以 GWLF 水文模式模擬臺灣北、中、南、東 4 個集水區的河川流量之變化，並發現臺灣 4 個集水區全年的河川流量皆有增加之趨勢。

文獻來源	研究內容概述
<p>田維婷 (民國 92 年)</p>	<p>建立水收支平衡模式，根據水利署之水資源分區，計算各分區內之降雨、逕流、蒸發散與地水入滲等主要水文分量，配合不同氣候變遷預設情境的輸出值，模擬未來受氣候變遷影響下臺灣地區之降雨量、逕流量、蒸發散量和入滲量之可能變化。研究分析結果如下，目前臺灣本島平均年降雨量約為 928 億立方公尺，蒸發散量為 314 億立方公尺，地表逕流量為 414 億立方公尺，地下水入滲量為 200 億立方公尺。該研究於氣候變遷衝擊部分顯示，雖然不同模式間預測值有差異，然大部分案例顯示降雨與逕流皆有極端化之現象。臺灣地區之地下水入滲量以長時間來看有漸減的趨勢。</p>
<p>馬楷崑 (民國 92 年)</p>	<p>探討氣候變遷對屏東平原地下水系統之影響，以地質及水化學資料為基礎，進行屏東平原水文地質模式的建構。數值模擬程式則先進行比較後選用適當的模式進行模擬。由模擬結果顯示，在氣候變遷條件下，屏東平原地下水受到衝擊最嚴重之區域為山麓地區，此現象尤其是在補注地下水最多的豐水期更為明顯。由於山麓區域為地下水系統補注的主要區域，因此在氣候變遷狀況下該區域地下水位出現下降趨勢，對整個屏東平原之地下水儲量，提供逐漸降低的重要警訊。</p>
<p>吳明進、莊秉潔 與董慶斌 (民國 88 年)</p>	<p>研究結果顯示過去三、四十年來南部水資源分區年平均川流量呈現減少之狀況，但將氣候變遷納入評估後，則顯示臺灣各地區之河川流量將依不同之氣候變遷預設情境而受到不同程度之衝擊。</p>
<p>吳瑞賢與洪念民 (民國 97 年)</p>	<p>主要針對臺灣集水區，運用土地利用現況資料及 SRES 氣候預設情境，探討氣候變遷與土地利用改變對河川流量與泥沙產量之影響，研究顯示於石門地區未來降雨量、流量及泥沙產量於氣候變遷影下將呈下降之趨勢，而枯水期之下降趨勢又顯著於豐水期，代表未來降雨分佈不均之情況將更為嚴重，且易發生嚴重之乾旱。</p>
<p>吳瑞賢 (民國 96 年)</p>	<p>利用降雨歷史資料，模擬未來日降雨並探討有效雨量及降雨型態受氣候變遷之影響，研究結果顯示平均降雨量及降雨強度皆呈上升之趨勢，但 3 至 6 月之降雨量相較過去卻是減少的。</p>

文獻來源	研究內容概述
蔡宏欣 (民國 97 年)	利用簡易降尺度，配合馬可夫鏈繁衍未來雨量及溫度資料，並輸入連續型水文模式，推估石門地區在氣候變遷下之水文衝擊現象，包含降雨量，蒸發散量，土壤補注量及逕流量之可能變化，分析結果顯示未來降雨量與逕流量將集中於豐水期尤其是颱風季，全年蒸發散量及土壤補注量則呈增加之趨勢，但因水資源分配不均之現象將比現況嚴重，因此連續發生枯流量事件亦有增加之趨勢。
顏子豪 (民國 97 年)	為評估氣候變遷下水庫集水區受到之影響，以翡翠水庫為研究區域，經分析翡翠水庫之雨量有減少之趨勢，而溫度則為增加，而降雨機率之分佈也將因氣候變遷而產生變化，如 7、10、11、12 月之流量將增加，但 5、6 月將減少，代表著豐枯水期之分界將產生變化。
陳憲宗等人 (民國 100 年)	針對臺灣曾文水庫集水區分析未來氣候變遷情境下雨量及流量之可能變化，並預測未來低流量可能趨於減少，關於氣候變遷影響乾旱發生頻率、規模、發生時間及其不確定性均有更進一步的討論。

#### 5.4.2 水源不足之衝擊

台灣地區氣候變遷下之雨量變化趨勢多採用國家災害防救科技中心 (NCDR) 執行國科會計畫「台灣氣候變遷情境推估與資訊平台建置」(Taiwan Climate Change Projection and Information Platform Project, 簡稱 TCCIP) 所產出之降尺度結果進行雨量繁衍分析。TCCIP 提供每個網格 19~24 個大氣環流模式 (GCM) 降尺度成果，可依不同調適領域之特性選用不同模式。根據「國家氣候變遷調適政策綱領」台灣地區分為災害、維生基礎設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業及生物多樣性、健康等八個調適領域，其中水資源領域大氣環流模式 (GCM) 挑選原則為符合東亞季風特性及豐枯水期變化特性，根據經濟部水利署水利規劃試驗所 2013 年「臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究」指出 CSMK35、MRCGCM、MIMR、GFCM21 及 MPEH5 等五個模式符合前述特性，以下針對地面水水源衝擊評估之研究成果說明如下：

氣候變遷地面水資源衝擊評估分析流程如圖 5.8，由 TCCIP 產出的降尺度結果透過氣候繁衍模式繁衍不同情境下之雨量，再經降雨逕流模式分析流量變化後，最後透過水資源調配模式進行地面水資源衝擊分析。經濟部水利署 (2013) 採用 GWLF 模式進行降雨逕流分析，台灣本島各水資源分區 A1B 情境之流量變化分析示如表 5.7，北部區域 5~8 月、中部區域 5~7 月流量呈現增加之趨勢，且北部區域及東部區域在 9~10 月之流量有減少之趨勢，顯示豐水期有縮短之趨勢。此外，北部區域 1~4 月及 9~12 月、中部區域之 3~4 月、南部區域之 1~4 月、東部水資源區域之 1~4 月及 9~12 月均有流量減少之趨勢，顯示枯水期在北部區域與東部區域有延長之特性，且各水資源分區枯水期流量均有減少之趨勢。整體而言，氣候變遷造成台灣地區流量豐枯變化加劇，各流域之流量大致呈現豐水期增加、枯水期減少、且年平均流量增加之趨勢，造成用水調配更加困難。

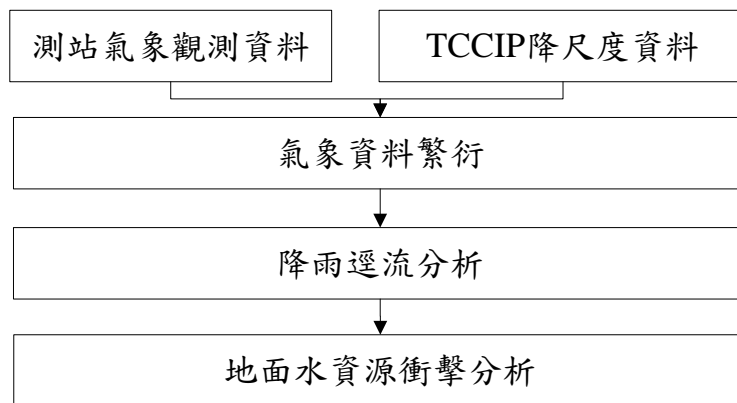


圖 5.8 地面水氣候變遷衝擊評估流程圖



表 5.7 台灣本島各水資源分區 AIB 情境之流量變化分析。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無氣候變遷流量 (立方公尺/日)	1817	2413	2451	2133	2416	3139	2441	3665	4719	4309	3161	2166
CSMK35	-19	-18	-12	-7	6	5	7	34	-5	-7	-6	-5
GFCM21	20	7	-21	-14	-10	-1	-8	14	-9	-38	-25	-16
MIMR	-22	-2	17	-6	8	8	3	-20	-17	-29	-15	-14
MPEH5	8	6	6	22	16	9	-26	-57	-7	20	-3	-6
MRGCM	-6	-4	-13	-7	12	8	49	19	13	-1	-22	-23

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無氣候變遷流量 (立方公尺/日)	1090	2048	2839	3071	3905	7086	5373	6605	5270	2558	1601	1114
CSMK35	-17	-27	-20	-8	3	1	5	25	8	-3	12	-27
GFCM21	103	33	-21	-15	-9	-1	-4	9	0	-18	-39	-47
MIMR	-33	9	28	-4	5	7	8	-10	-12	-17	3	-21
MPEH5	24	11	0	22	14	11	-17	-37	-21	8	34	15
MARGCM	10	-7	-15	-9	16	9	33	17	12	-3	-31	-47

水資源分區  
 中 各 GCM  
 部 流量變  
 化之  
 (%)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無氣候變遷流量 (立方公尺/日)	71	193	263	558	1301	2618	2361	3534	2086	839	279	101
CSMK35	-14	-31	-37	-17	5	-1	5	34	-2	5	15	14
GFCM21	35	47	-18	-17	-27	-3	-4	27	-5	-18	-27	-26
MIMR	-47	-5	56	-16	-2	-2	-3	-15	-11	-17	-22	-24
MPEH5	12	19	10	39	13	8	-30	-43	-3	17	31	8
MRGCM	-16	-33	-27	-24	14	10	43	18	27	12	7	-9

水資源分區  
南部各GCM  
流量變化之  
(%)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
無氣候變遷流量 (立方公尺/日)	1310	1302	1276	1284	2479	3912	4658	5294	6430	4998	2746	1864
CSMK35	-5	-11	-23	-14	16	-1	6	37	-16	14	6	4
GFCM21	16	13	-22	-16	-25	-4	-3	32	-18	-38	-21	-18
MIMR	-20	2	32	-10	6	-3	4	-15	-17	-34	-13	-17
MPEH5	-18	4	35	-7	8	-2	5	-14	-16	-33	-11	-15
MRGCM	-3	-18	-16	-22	19	13	55	17	23	-7	-14	-13

水資源分區  
東部各GCM  
流量變化之  
(%)

為進一步探討流量變化對系統之供水能力影響，經濟部水利署 (2013) 利用系統動力模式 Vensim 建置供水調配模式，在同時考量水源豐枯變化與供水設施容量及操作規則下，分析缺水指數 (Shortage Index, SI) 在一定之缺水忍受度下之地面水供水能力。缺水指數是計算期距內各年缺水率平方後加總，以凸顯缺水的嚴重性，其公式表示如下

$$SI = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{SH_i}{D_i} \right)^2 \quad \text{式 1}$$

其中  $n$  為模擬總年數， $SH_i$  為第  $i$  年之缺水量， $D_i$  為第  $i$  年之需求量。中部區域、南部區域及東部區域缺水忍受度採用  $SI=1$ ，北部地區除台北及宜蘭外缺水忍受度採用  $SI=0.5$ ，台北地區缺水忍受度採用  $SI=0.1$ ，宜蘭地區缺水忍受度採用  $SI=1$ 。以下摘錄「臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究」(經濟部水利署水利規劃試驗所 2013) 以民國 120 年作為目標年評估各分區供需水趨勢之分析結果。另各標的用水的缺水風險圖可參考 2.4.3 節「未來氣候變遷推估下的乾旱災害衝擊」。

## 1. 北部區域

北部區域氣候變遷供水能力分析成果如表 5.8。宜蘭地區之供水能力並未因採用不同 GCM、情境而影響其推估結果，且用水需求較低，供水能力於各氣候變遷情境下仍能滿足目標年之用水需求；基隆地區在氣候變遷影響下，地面水供水能力受不同 GCM、情境影響由原先供應 58 萬立方公尺/日變為 54~59 萬立方公尺/日，其中 MPEH5 的 A1B 情境為基隆地區降雨量最少的情境，使供水能力降到 54 萬立方公尺/日，雖供給尚可滿足需水，但若未來氣候變遷發生較嚴重的預測模擬結果則會造成較大衝擊；台北市及新北市在氣候變遷影響下，地面水供水能力受到不同 GCM、情境影響由原先供應 492 萬立方公尺/日變為 480~496 萬立方公尺/日，但因需水量遠比供水量低，其供水能力均可滿足目標年之用水需求且還可支援其他區域；桃園地區在無氣候變遷影響下，供需即無法平衡，而在氣候變遷影響下，因 A1B、A2 情境下推估之需水量皆為增加，供水能力無增加的情況下無法滿足目標年需水，B1 情境下推估之需水量則是減少，故供水能力尚可滿足目標年需水，推測桃園地區之供水能力是受到供水設施的限制，導致氣候變遷下可能受到的衝擊較大；新竹地區在無氣候變遷影響下，供需即無法平衡，

而在氣候變遷影響下，地面水供水能力受到不同 GCM、情境影響由原先供應 54 萬立方公尺/日變為 47~64 萬立方公尺/日，各情境之供水能力仍無法滿足目標年需水量。總結來說，北部地區在未來氣候變遷下，宜蘭、基隆供需尚可滿足，台北及新北供需無缺口外還可支援其他區域，桃園、新竹地區則供水能力不足，在無氣候變遷下供水即無法滿足需水，在未來氣候變遷可能出現供需缺口，所受衝擊較大。



表 5.8 北部區域氣候變遷地面水供水能力分析成果，單位：萬立方公尺/日。缺口為需求減供給量，負值表示無缺口。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

縣市別	A1B			A2			B1			
	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM
宜蘭	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
需求量	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
供水能力	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
目標年 供需缺口	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9
基隆	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
需求量	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
供水能力	58	58	54	59	58	59	58	59	58	59
目標年 供需缺口	-7	-8	-7	-3	-8	-7	-7	-8	-8	-7

台北 及 新北	需求量	262	227	227	227	227	205	205	205	205	205	243	243	243	243	243
	供水能力	492	492	486	484	488	492	483	492	491	492	488	480	496	494	494
	目標年 供需缺口	-230	-265	-259	-257	-261	-265	-251	-278	-286	-249	-245	-237	-253	-251	-251
桃園	需求量	137	131	131	131	131	159	159	159	159	116	115	116	116	116	
	供水能力	114	114	114	114	114	115	115	115	115	116	115	115	116	116	
	目標年 供需缺口	23	17	17	17	17	44	44	44	44	0	0	0	0	0	
新竹	需求量	64	64	64	64	64	67	67	67	67	63	63	63	63	63	
	供水能力	54	53	54	50	55	56	49	56	55	53	59	49	64	55	
	目標年 供需缺口	10	11	10	14	9	8	20	11	12	10	4	14	-1	8	

## 2. 中部區域

中部區域氣候變遷地面水供水能力分析成果如表 5.9。苗栗地區在無氣候變遷影響下，該區地面水供水能力、地下水及其他區域支援量即無法滿足需水，氣候變遷影響下，地面水供水能力受到不同 GCM、情境影響由原先供應 21.4 萬立方公尺/日變為 13.24~28.24 萬立方公尺/日，而推估該地區未來之需水皆為增加，故無論在何種氣候變遷情境下，供水能力均無法滿足目標年之用水需求；台中地區因需支援其他區域需水，在無氣候變遷情境下，供水即無法滿足需水，氣候變遷影響下，地面水供水能力受到不同 GCM、情境影響由原先供應 178.5 萬立方公尺/日變為 159.33~199.4 萬立方公尺/日，推估該區之未來需水量雖未增加，但供水能力均無法滿足目標年需水，以 CSMK35 模式之 A2 情境最為嚴重；彰化地區之地面水供水能力較低，主要依靠地下水及其他區域支援量，在無氣候變遷影響下，該區總供水能力即無法滿足需水，氣候變遷影響下，地面水供水能力受到不同 GCM、情境影響由原先供應 4.41 萬立方公尺/日變為 4~5.99 萬立方公尺/日，推估未來需水量皆增加，故供水能力均無法滿足目標年之用水需求；雲林地區雖需支援其他區域，但其地面水及地下水供水能力充足，在無氣候變遷影響下，供水能力大於需水，地面水供水能力受不同 GCM、情境影響由原先供應 41 萬立方公尺/日變為 35.43~43.1 萬立方公尺/日，該區推估之需水量在 A1B、A2 情境下為增加，B1 情境下為減少，但無論在何種氣候變遷情境下，供水能力均可滿足目標年用水需求；南投地區地面水供水能力為 0，主要供水來源為地下水與區外支援，在氣候變遷影響下，A1B 與 B1 情境下之需水量增加較緩，供水能力尚可滿足需水，而 A2 情境下推估之未來需水增加較多，供水能力無法滿足目標年需求。總結來說，苗栗、台中、彰化因供水能力不足且尚須支援其他區域，導致未來氣候變遷可能出現供需缺口，雲林、南投地區則因地下水供水能力充足，較不受氣候變遷衝擊影響。

表 5.9 中部區域氣候變遷地面水供水能力分析成果，單位：萬立方公尺/日。缺口為需求減供給量，負值表示無缺口。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

縣市別	A1B				A2				B1							
	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	
無氣候變遷	41.64	45.03	45.03	45.03	48.04	48.04	48.04	48.04	48.04	48.04	43.57	43.57	43.57	43.57	43.57	
需求量	45.03	45.03	45.03	45.03	48.04	48.04	48.04	48.04	48.04	48.04	43.57	43.57	43.57	43.57	43.57	
供水能力	18.50	25.57	18.50	15.75	27.79	13.78	25.83	20.50	24.69	14.29	24.80	25.65	13.24	28.24	27.94	
地下水供應量	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	
區域支援量	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
目標年供需缺口	5.74	13.03	5.96	13.03	14.78	3.74	20.76	7.71	14.04	9.85	20.25	5.27	3.42	15.83	1.83	2.13

縣市別	無氣候變遷														
	A1B			A2			B1								
	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM
需求量	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76
供水能力	178.50	175.20	174.80	175.10	175.80	159.33	190.80	169.20	180.94	168.75	177.92	189.75	165.36	199.40	179.60
地下水供應量	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
區域支援量	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00	-38.00
目標年供需缺口	20.26	22.56	23.96	22.66	21.96	39.43	7.96	29.56	17.82	30.01	20.84	9.01	32.40	-0.64	19.16

縣市別	無氣候變遷														
	A1B			A2			B1								
	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM
需求量	41.58	48.34	48.77	47.55	48.47	49.47	49.90	50.31	50.19	50.03	45.62	47.42	47.73	42.87	42.87
供水能力	4.41	4.10	4.30	5.20	4.11	4.00	4.41	4.10	4.50	4.40	4.35	4.78	4.10	5.99	4.31
地下水供應量	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
彰化區域支援量	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
目標年供需缺口	3.17	10.24	10.47	8.35	10.36	11.47	11.49	12.21	11.69	11.63	8.27	8.64	9.63	1.88	4.56



縣市別	無氣候變遷														
	A1B			A2			B1								
	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM
需求量	31.37	35.71	35.71	35.71	35.71	41.58	41.58	41.58	41.58	41.58	34.39	34.39	34.39	34.39	34.39
供水能力	41.00	38.20	38.91	38.33	42.90	37.68	41.36	35.77	39.54	38.68	38.58	41.05	38.47	43.10	38.07
地下水供應量	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
區域支援量	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80	-3.80
目標年供需缺口	-25.83	-17.69	-18.40	-17.82	-22.39	-17.17	-11.05	-15.98	-14.16	-13.30	-20.39	-22.86	-20.28	-24.91	-19.88

縣市別	無氣候變遷			A1B			A2			B1					
	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM
需求量	17.56	21.10	21.10	21.10	21.10	24.30	24.30	24.30	24.30	24.30	19.57	19.57	19.57	19.57	19.57
供水能力	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
地下水供應量	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
區域支援量	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
目標年供需缺口	-4.94	-1.40	-1.40	-1.40	-1.40	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	-2.93	-2.93	-2.93	-2.93	-2.93

### 3. 南部區域

南部區域氣候變遷地面水供水能力分析成果如表 5.10。嘉義地區在無氣候變遷影響下，供水能力即無法滿足需水，而在氣候變遷影響下，供水能力受到不同 GCM、情境影響由原先供應 31.63 萬立方公尺/日變為 28.84~33.8 萬立方公尺/日，推估該區未來之需水皆為增加，故無論在何種氣候變遷情境，供水能力均無法滿足目標年之用水需求；台南地區在無氣候變遷影響下，供水能力即無法滿足需水，而在氣候變遷影響下，供水能力受到不同 GCM、情境影響由原先供應 90.66 萬立方公尺/日變為 85.22~97.28 萬立方公尺/日，推估該區未來之需水皆有顯著增加，故無論在何種氣候變遷情境下，供水能力均無法滿足目標年之用水需求，以 CSMK35 模式 A2 情境最為嚴重，供需缺口為 62.68 萬立方公尺/日；高雄地區在無氣候變遷影響下，供水能力即無法滿足需水，供需缺口達 43.31 萬立方公尺/日，而在氣候變遷下，供水能力受到不同 GCM、情境影響由原先供應 152.09 萬立方公尺/日變為 133.14~168.32 萬立方公尺/日，推估該區之未來需水量為增加，故無論在何種氣候變遷情境，供水能力均無法滿足目標年之用水需求，以 CSMK35 模式 A2 情境最為嚴重，供需缺口達 62.92 萬立方公尺/日；屏東地區在無氣候變遷影響下，供水能力即無法滿足需水，而在氣候變遷下，供水能力受到不同 GCM、情境影響由原先供應 10.73 萬立方公尺/日變為 10.4~12.31 萬立方公尺/日，推估該區之未來需水量為增加，故無論在何種氣候變遷情境，供水能力均無法滿足目標年之用水需求。其中高屏地區在氣候變遷下所面臨之衝擊影響可參考 8.4 節「水資源的可獲性、安全性與品質對健康的影響中」之整理說明。總結來說，南部區域的現況供水能力不足，未來需水皆為增加的趨勢，導致未來氣候變遷可能出現供需缺口，所受衝擊較大。

表 5.10 南部區域氣候變遷地面水供水能力分析成果，單位：萬立方公尺/日。缺口為需求減供給量，負值表示無缺口。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

縣市別	無氣候變遷	A1B					A2					
		CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	
嘉義	需求量	41.84	42.26	42.26	42.26	42.26	49.21	49.21	49.21	49.21	49.21	49.21
	供水能力	31.63	32.66	31.88	29.69	28.84	33.6	31.43	31.8	33.8	30.94	31.27
	目標年供需缺口	10.21	9.6	10.38	12.57	13.42	8.66	20.76	7.71	14.04	9.85	20.25
台南	需求量	119.04	132.74	132.74	132.74	132.74	132.74	147.9	147.9	147.9	147.9	147.9
	供水能力	90.66	95.96	90.53	88.99	91.87	97.28	85.22	89.95	91.98	90.43	90.73
	目標年供需缺口	28.38	35.78	42.21	43.75	40.87	35.46	62.68	57.95	55.92	57.47	57.17
高雄	需求量	195.4	195.39	195.1	195.57	195.04	195.03	197.59	197.24	197.5	197.17	197.18

供水能力	152.09	152.59	134.04	137.44	168.32	153.09	133.14	148.81	134.58	151.89	153.74
目標年供需缺口	43.31	43.8	62.06	59.13	27.72	42.94	64.45	48.43	62.92	45.28	43.44
需求	19.46	19.85	19.85	19.85	19.85	19.85	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89
屏東	10.73	12.31	10.29	10.54	12.19	11.36	10.62	11.24	10.4	11.32	11.32
目標年供需缺口	8.73	7.54	9.56	9.31	7.66	8.49	13.27	12.65	13.49	12.57	12.57

### 4. 東部區域

東部區域氣候變遷地面水供水能力分析成果如表 5.11。花蓮地區之供水來源主要為地下水，在無氣候變遷影響下，地面水與地下水供水能力可滿足需水，氣候變遷影響下，地面水供水能力受不同 GCM、情境影響由原先供應 4.482 萬立方公尺/日變為 4.158~4.435 萬立方公尺/日，地下水供應量則由 19.334 萬立方公尺/日變為 20.685 萬立方公尺/日，加上該地區用水需求不高，故無論在何種氣候變遷情境均能滿足目標年之用水需求；台東地區之供水來源主要也為地下水，在無氣候變遷影響下，地面水與地下水供水能力可滿足需水，氣候變遷影響下，地面水供水能力受不同 GCM、情境影響由原先供應 3.317 萬立方公尺/日變為 1.968~3.21 萬立方公尺/日，地下水供應量則由 8.024 萬立方公尺/日變為 7.979~8.466 萬立方公尺/日，加上該地區用水需求不高，故無論在何種氣候變遷情境均能滿足目標年之用水需求。總結來說，東部地區主要供水來源為地下水，在氣候變遷影響下供需尚可滿足，不會出現缺口。



表 5.11 東部區域氣候變遷地面水供水能力分析成果，單位：萬立方公尺/日。缺口為需求減供給量，負值表示無缺口。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

縣市別	無氣候變遷			A1B					A2					B1						
	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM
需求量	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868
供水能力	4.482	4.3	4.37	4.368	4.435	4.289	4.169	4.331	4.158	4.173	4.271	4.313	4.369	4.243	4.27	4.312				
地下水 供應量	19.334	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685	20.685
氣候變遷 供需缺口	0	0.182	0.112	0.114	0.047	0.193	0.313	0.151	0.325	0.31	0.212	0.17	0.113	0.24	0.212	0.171				
目標年 供需缺口	-12.948	-14.116	-14.186	-14.185	-14.252	-14.106	-13.986	-14.147	-13.974	-13.989	-14.087	-14.129	-14.186	-14.059	-14.087	-14.128				



### 5.4.3 高濁度之衝擊影響

台灣地區由於山高坡陡，加上天然災害頻傳，水庫集水區地質鬆動，每逢豪大雨便造成地表水質濁度暴增，且高濁水發生之歷時與頻率與年俱增，如艾利、海棠、馬莎、泰利、卡努及龍王等颱風，造成石門水庫原水濁度遽增，嚴重影響桃園地區用水，張良正等 (2009) 採用多場颱風濁度資料進行石門水庫高濁度供水風險分析，結果顯示考量氣候變遷下，系統供水量低於未考量氣候變遷下之量，南桃園供水風險較高。台灣目前並未有直接針對氣候變遷造成高濁度之影響的相關研究，然而根據過去研究顯示，尖峰流量對尖峰濁度與尖峰流量間之稽延時間呈線性關係，降雨量亦與流量成線性相關，故降雨量之衝擊變化亦可反映氣候變遷對高濁度事件之衝擊影響，如林伯勳 (2013) 利用雲解析風暴模式 (CReSS)，模擬辛樂克及薔蜜颱風於長時間氣候變遷下之降雨影響，結果顯示累積雨量及強降雨均會增加，也提高濁度的風險與衝擊。經濟部水利署 (2012)，從北、中、南部區域各選出數個雨量站做為代表，探討不同重現期距不同降尺度方法之情境雨量與歷史雨量之差異，其中降尺度方法包括統計降尺度與動力降尺度兩種，均採 A1B 情境。統計降尺度為提供各網格 24 個大氣環流模式 (GCMs) 各網格的月降雨變化率，網格解析度為 5×5km，採用「24 個 GCM 模式月雨量變化率之平均值依豐枯水期加減一倍標準偏差」做為水文情境評估；動力降尺度為單一模式 (MRI)，網格解析度亦為 5×5km，此兩種降尺度資料之詳細取得方式與適用性可見 2.3.3.1 節「氣候變遷情境」。分析成果如圖 5.9~5.11 所示，圖中之降雨量為 24 小時延時之不同重現期距設計降雨量，結果分述如下，統計降尺度之設計降雨量，在北、中、南部皆為增加趨勢，幅度分別為 4~31%、6~36%、1-19%；動力降尺度之設計降雨量則依測站而異，在北、中、南部區域皆為有增有減。總體而言，藉由雨量區域分析之結果可知，在氣候變遷影響下未來極端降雨為增加趨勢。統計降尺度的分析結果顯示極端降雨有增加的趨勢，其全台降雨分布結果可見 2.3.3.1 節之圖 2.24；動力降尺度的分析結果呈現極端降雨則有增有減趨勢。

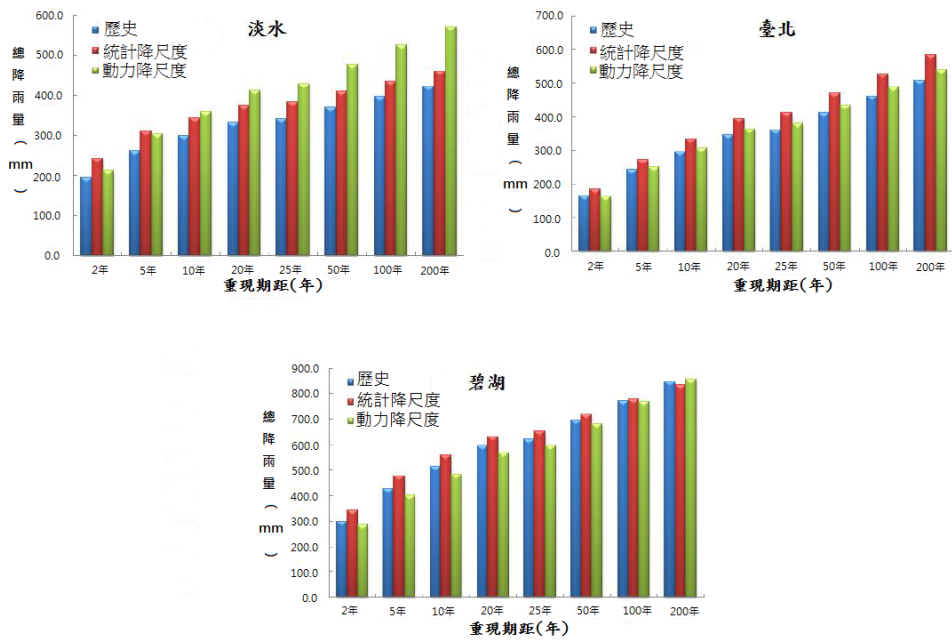


圖 5.9 北部區域氣候變遷情境下不同降尺度方法的情境雨量與歷史雨量比較，圖中之降雨量為 24 小時延時之設計降雨量。(資料來源：經濟部水利署，氣候變遷水文情境評估研究 (1/2) 2012)

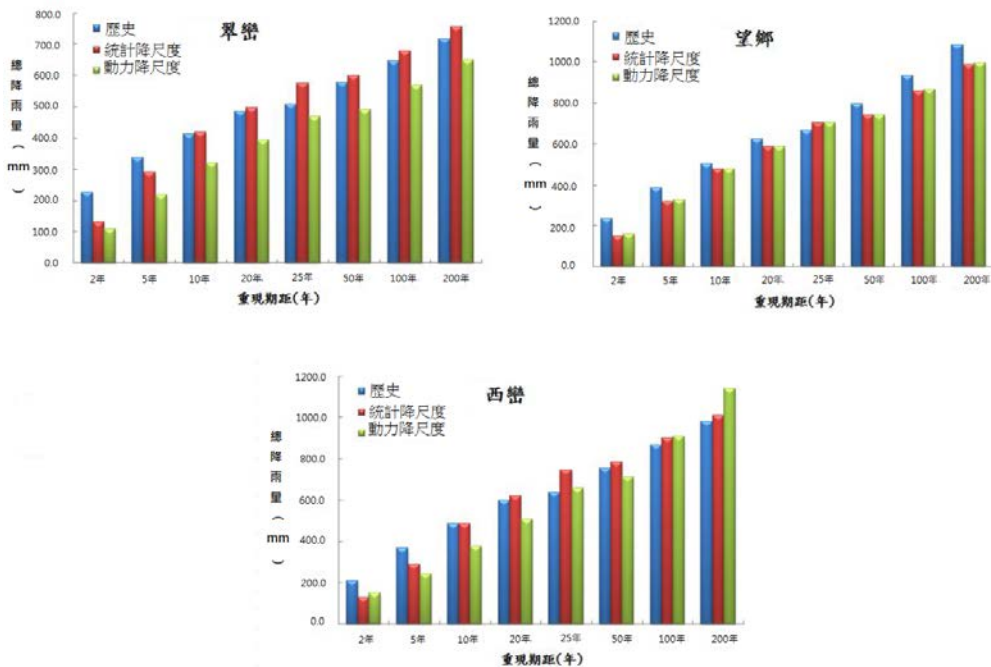


圖 5.10 中部區域氣候變遷情境下不同降尺度方法的情境雨量與歷史雨量比較，圖中之降雨量為 24 小時延時之設計降雨量。(資料來源：經濟部水利署，氣候變遷水文情境評估研究 (1/2) 2012)

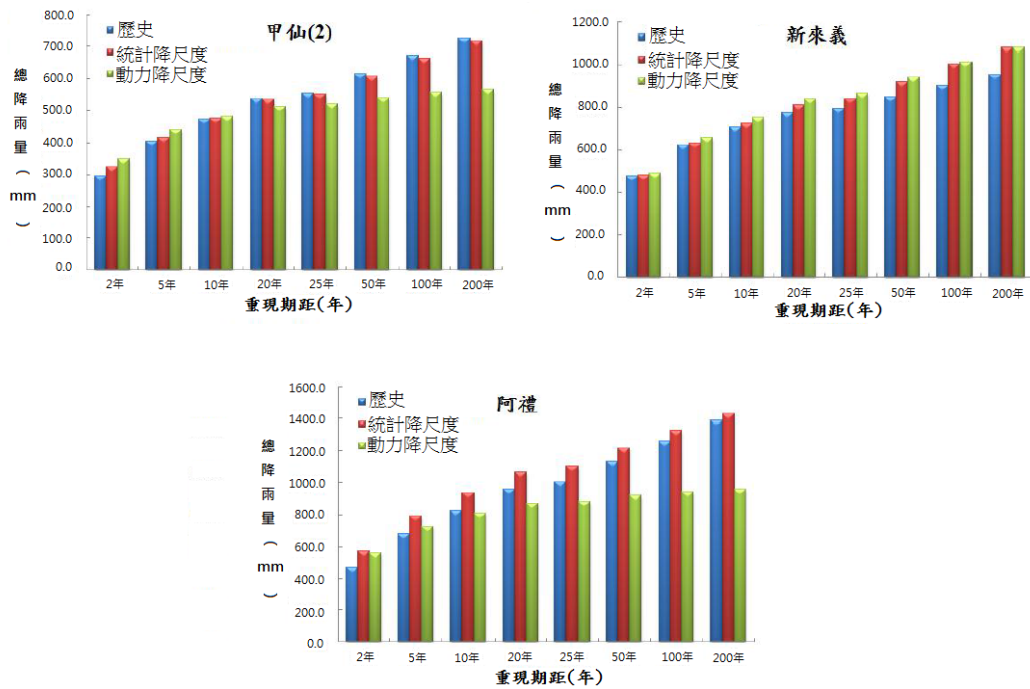


圖 5.11 南部區域氣候變遷情境下不同降尺度方法的情境雨量與歷史雨量比較，圖中之降雨量為 24 小時延時之設計降雨量。(資料來源：經濟部水利署，氣候變遷水文情境評估研究 (1/2) 2012)

#### 5.4.4 水庫淤積之衝擊影響

根據經濟部水利署 (2012)，為了解氣候變遷對水庫淤積可能之衝擊程度，以近十年 (2001~2010 年) 之年平均來砂量作為氣候變遷情境，並以 2030 年為目標年推估未來水庫淤積趨勢。本節主要介紹水庫淤積趨勢，各流域之崩塌量推估和土石流衝擊評估可見 2.3.3.2「氣候變遷對坡地災害衝擊」。以下茲針對曾文水庫、翡翠水庫、石門水庫、鯉魚潭水庫、德基水庫、明德水庫等六座水庫之分析結果說明如下：

##### (一) 曾文水庫

依水庫建壩迄今之年平均入流量及年平均來砂量當作係未來的來水來砂情境，進行未來 (2030 年) 水庫容量及淤積率的推估，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 34,843 萬立方公尺，總量淤積率為 53.4%，有效容量淤積率則為 44.8%。依 2001~2010 年之年平均來砂量作為氣候變遷情境，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 16,733 萬立方公尺，總量淤積率達 77.6%，有效容量淤積率則為 73.5%。

顯示氣候變遷影響下，總量淤積率提高 24.2%，有效容量淤積率提高 28.7%。分析成果詳見表 5.12。

### (二) 翡翠水庫

依水庫建壩迄今之年平均入流量及年平均來砂量當作係未來的來水來砂情境，進行未來（2030 年）水庫容量及淤積率的推估，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 32,696 萬立方公尺，總量淤積率為 7.8%，有效容量淤積率則為 8.9%。依 2001~2010 年之年平均來砂量作為氣候變遷情境，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 31,781 萬立方公尺，總量淤積率達 10.1%，有效容量淤積率則為 11.5%。顯示氣候變遷影響下，總量淤積率提高 2.3%，有效容量淤積率提高 2.6%。分析成果詳見表 5.13。

### (三) 石門水庫

依水庫建壩迄今之年平均入流量及年平均來砂量當作係未來的來水來砂情境，進行未來（2030 年）水庫容量及淤積率的推估，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 15,317 萬立方公尺，總量淤積率為 48.6%，有效容量淤積率則為 39.2%。依 2001~2010 年之年平均來砂量作為氣候變遷情境，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 11,167 萬立方公尺，總量淤積率達 62.0%，有效容量淤積率則為 55.7%。顯示氣候變遷影響下，總量淤積率提高 13.4%，有效容量淤積率提高 15.5%。分析成果詳見表 5.14。

### (四) 鯉魚潭水庫

依水庫建壩迄今之年平均入流量及年平均來砂量當作係未來的來水來砂情境，進行未來（2030 年）水庫容量及淤積率的推估，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 10,758 萬立方公尺，總量淤積率為 11.9%，有效容量淤積率則為 10.3%。依 2001~2010 年之年平均來砂量作為氣候變遷情境，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 10,396 萬立方公尺，總量淤積率達 14.8%，有效容量淤積率則為 13.3%。顯示氣候變遷影響下，總量淤積率提高 2.9%，有效容量淤積率提高 3.0%。分析成果詳見表 5.15。



#### (五) 德基水庫

依水庫建壩迄今之年平均入流量及年平均來砂量當作係未來的來水來砂情境，進行未來（2030 年）水庫容量及淤積率的推估，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 11,882 萬立方公尺，總量淤積率為 39.8%，有效容量淤積率則為 35.1%。依 2001~2010 年之年平均來砂量作為氣候變遷情境，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 6,326 萬立方公尺，總量淤積率達 61.0%，有效容量淤積率則為 65.4%，顯示氣候變遷影響下，總量淤積率提高 21.2%，有效容量淤積率提高 30.3%。分析成果詳見表 5.16。

#### (六) 明德水庫

依水庫建壩迄今之年平均入流量及年平均來砂量當作係未來的來水來砂情境，進行未來（2030 年）水庫容量及淤積率的推估，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 932 萬立方公尺，總量淤積率為 45.9%，有效容量淤積率則為 43.2%。依 2001~2010 年之年平均來砂量作為氣候變遷情境，此情境下推估未來水庫剩餘有效容量為 735 萬立方公尺，總量淤積率達 57.8%，有效容量淤積率則為 55.0%，顯示氣候變遷影響下，總量淤積率提高 10.9%，有效容量淤積率提高 11.8%。分析成果詳見表 5.17。

表 5.12 曾文水庫淤積情境推估表。(資料來源：經濟部水利署·氣候變遷下異常事件對既有水庫安全風險與改善對策研究 (2/2) 2012)

推估基準	現況淤積資料			趨勢推估資料					未來趨勢推估 (2030 年)				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	設計總 容量	設計有 效容量	現況總 容量	現況有 效容量	總容量 淤積率	有效容 量淤積 率	年均入 流量	年均來 砂量	囚砂率	剩餘有 效容量	有效容 量淤積 率	剩餘總 容量	總容量 淤積率
	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	%	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%
近十年 (2001~2010)	74,840	63,120	49,159	49,159	34.3	22.1	140,429	1,637	99.07	16,733	73.5	16,733	77.6
建庫至今 (1973~2010)							112,501	723	99.07	34,843	44.8	34,843	53.4

說明：

(5) =  $[(1) - (3)] / (1) \times 100\%$

(6) =  $[(2) - (4)] / (2) \times 100\%$

(11) =  $[(2) - (10)] / (2) \times 100\%$

(13) =  $[(1) - (12)] / (1) \times 100\%$

表 5.13 翡翠水庫淤積情境推估表。(資料來源：經濟部水利署，氣候變遷下異常事件對既有水庫安全風險與改善對策研究 (2/2) 2012)

推估基準	現況淤積資料			趨勢推估資料				未來趨勢推估 (2030 年)					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	設計總 容量	設計有 效容量	現況總 容量	現況有 效容量	總容量 淤積率	有效容 量淤積 率	年均入 流量	年均來 年砂量	囚砂率	剩餘有 效容量	有效容 量淤積 率	剩餘總 容量	總容量 淤積率
	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	%	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%
近十年 (2001~2010)	40,600	35,900	38,287	33,555	5.7	5.5	99,034	95	93.37	31,781	11.5	36,513	10.1
建庫至今 (1973~2010)							99,023	46	93.37	32,696	8.9	37,428	7.8

說明：

(5) = [(1) - (3)] / (1) × 100%

(6) = [(2) - (4)] / (2) × 100%

(11) = [(2) - (10)] / (2) × 100%

(13) = [(1) - (12)] / (1) × 100%

表 5.14 石門水庫淤積情境推估表。(資料來源：經濟部水利署·氣候變遷下異常事件對既有水庫安全風險與改善對策研究 (2/2) 2012)

推估基準	現況淤積資料			趨勢推估資料				未來趨勢推估 (2030 年)					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	設計總 容量	設計有 效容量	現況總 容量	現況有 效容量	總容量 淤積率	有效容 量淤積 率	年均入 流量	年均來 砂量	因砂率	剩餘有 效容量	有效容 量淤積 率	剩餘總 容量	總容量 淤積率
	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	%	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%
近十年 (2001~2010)	30,912	25,188	21,314	20,731	31.0	17.7	145,816	624	75.69	11,167	55.7	11,750	62.0
建庫至今 (1973~2010)							96,975	353	75.69	15,317	39.2	15,900	48.6

說明：  
 (5) = [(1) - (3)] / (1) × 100%  
 (6) = [(2) - (4)] / (2) × 100%  
 (11) = [(2) - (10)] / (2) × 100%  
 (13) = [(1) - (12)] / (1) × 100%

表 5.15 鯉魚潭水庫淤積情境推估表。(資料來源：經濟部水利署·氣候變遷下異常事件對既有水庫安全風險與改善對策研究 (2/2) 2012)

推估基準	現況淤積資料			趨勢推估資料				未來趨勢推估 (2030 年)					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	設計總 容量	設計有 效容量	現況總 容量	現況有 效容量	總容量 淤積率	有效容 量淤積 率	年均入 流量	年均來 砂量	凸砂率	剩餘有 效容量	有效容 量淤積 率	剩餘總 容量	總容量 淤積率
	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	%	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%
近十年 (2001~2010)	12,607	11,987	11,908	11,565	5.5	3.5	38,765	60	95.97	10,396	13.3	10,739	14.8
建庫至今 (1973~2010)							30,109	42	95.91	10,758	10.3	11,101	11.9

說明：  
(5) = [(1) - (3)] / (1) × 100%  
(6) = [(2) - (4)] / (2) × 100%  
(11) = [(2) - (10)] / (2) × 100%  
(13) = [(1) - (12)] / (1) × 100%

表 5.16 德基水庫淤積情境推估表。(資料來源：經濟部水利署·氣候變遷下異常事件對既有水庫安全風險與改善對策研究 (2/2) 2012)

推估基準	現況淤積資料			趨勢推估資料				未來趨勢推估 (2030 年)					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	設計總 容量	設計有 效容量	現況總 容量	現況有 效容量	總容量 淤積率	有效容 量淤積 率	年均入 流量	年均來 砂量	囚砂率	剩餘有 效容量	有效容 量淤積 率	剩餘總 容量	總容量 淤積率
	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	%	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%
近十年 (2001~2010)	26,211	18,300	19,309	15,411	25.4	15.8	109,720	478	95.11	6,326	65.4	10,224	61.0
建庫至今 (1973~2010)							83,712	186	95.11	11,882	35.1	15,780	39.8

說明：  
 (5) = [(1) - (3)] / (1) × 100%  
 (6) = [(2) - (4)] / (2) × 100%  
 (11) = [(2) - (10)] / (2) × 100%  
 (13) = [(1) - (12)] / (1) × 100%



表 5.17 明德水庫淤積情境推估表。(資料來源：經濟部水利署·氣候變遷下異常事件對既有水庫安全風險與改善對策研究 (2/2) 2012)

推估基準	現況淤積資料			趨勢推估資料				未來趨勢推估 (2030 年)					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	設計總 容量	設計有 效容量	現況總 容量	現況有 效容量	總容量 淤積率	有效容 量淤積 率	年均入 流量	年均來 砂量	囚砂率	剩餘有 效容量	有效容 量淤積 率	剩餘總 容量	總容量 淤積率
	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	%	萬 m <sup>3</sup>	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%	萬 m <sup>3</sup>	%
近十年 (2001~2010)	1,770	1,640	1,285	1,276	27.4	22.2	14,180	30	91.03	738	55.0	747	57.8
建庫至今 (1973~2010)							3,775	19	91.03	932	43.2	941	45.9

說明：

(5) =  $[(1) - (3)] / (1) \times 100\%$

(6) =  $[(2) - (4)] / (2) \times 100\%$

(11) =  $[(2) - (10)] / (2) \times 100\%$

(13) =  $[(1) - (12)] / (1) \times 100\%$

### 5.4.5 地下水供水潛能之衝擊影響

地下水資源管理相關最重要的名詞之一為地下水安全出水量 (Safe Yield) , 惟地下水安全出水量雖有其定性的定義, 其定量的評估方式至今仍不一致, 過去研究曾有將地下水補注量作為安全出水量者, 惟此種方式將過於高估地下水的可用水量, 蓋地下水補注量將與其它各種進出系統的水量達到平衡, 若將地下水補注量全部利用將嚴重干擾此種平衡, 尤其是枯水期地下水對河川之出滲量, 從而降低枯水期河川流量, 可能對環境生態產生重大影響。因此在此本文將地下水補注量視為地下水可永續使用的上限, 將其定義為地下水供水潛能量, 而氣候變遷對地下水資源最大的影響莫過於由於降兩量變化所導致的補注量變化, 因此本小節將著重於地下水補注量 (地下水供水潛能) 受氣候變遷影響之說明。經濟部水利署水利規劃試驗所 (2013) 估算台灣地區在不同氣候變遷情境下不同地區之地下水供水潛能, 其分析結果如下。

#### (一) 北部區域

淡水河流域地下水潛能量衝擊分析成果示如圖 5.12, 地下水潛能量增減比例介於-6~5.38%。就 A1B 情境而言, 除 GFCM21 及 MIMR 外, 其它模式地下水潛能量皆有增加之趨勢; 就 A2 情境而言, 除 MRCGCM 及 MPEH5 外, 其它模式地下水潛能量皆有減少之趨勢。

蘭陽溪流域地下水潛能量衝擊分析成果示如圖 5.13, 地下水潛能量增減比例介於-1.68~2.43%。就 A1B 情境而言, 除 GFCM21 及 MIMR 外, 其它模式地下水潛能量皆有增加之趨勢; 就 A2 情境而言, 除 CSMK35 及 MIMR 外, 其它模式地下水潛能量皆有增加之趨勢。

鳳山溪及頭前溪流域地下水潛能量衝擊分析成果示如圖 5.14, 地下水潛能量增減比例介於-0.39~2.41%。就 A1B 情境而言, 各模式地下水潛能量皆有增加之趨勢; 就 A2 情境而言, 除 CSMK35 外, 其它模式地下水潛能量皆有增加之趨勢。

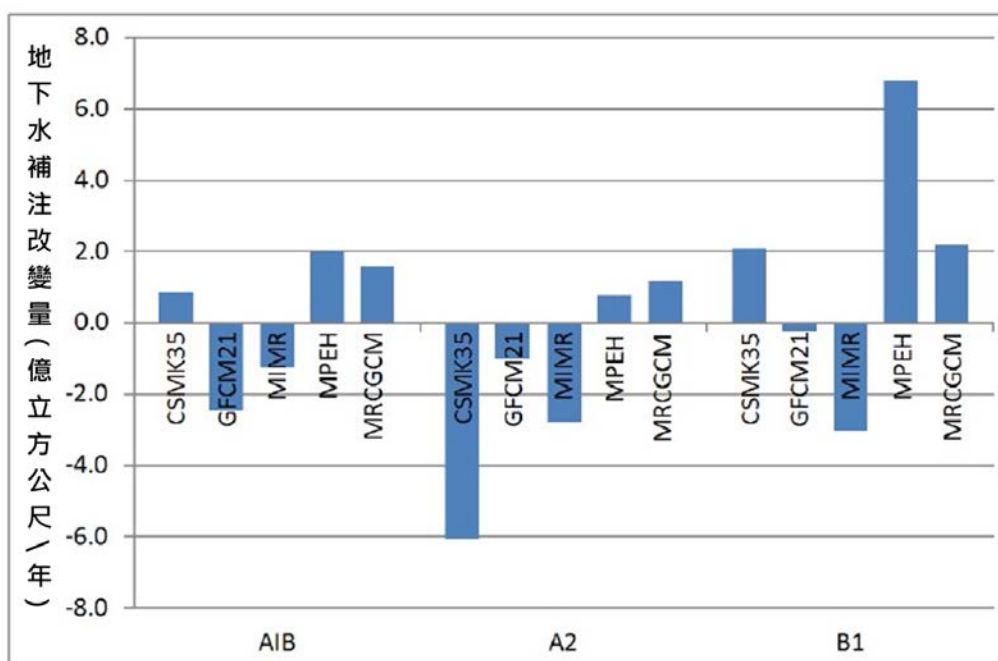


圖 5.12 淡水河流域氣候變遷地下水供水潛能衝擊分析。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，強化北部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

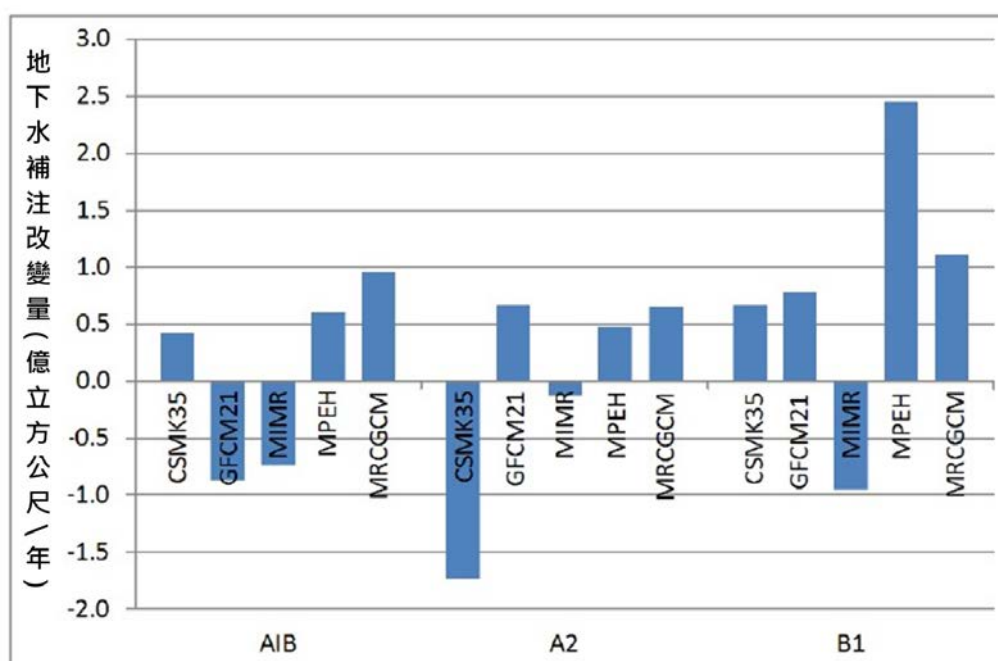


圖 5.13 蘭陽河流域氣候變遷地下水供水潛能衝擊分析。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，強化北部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

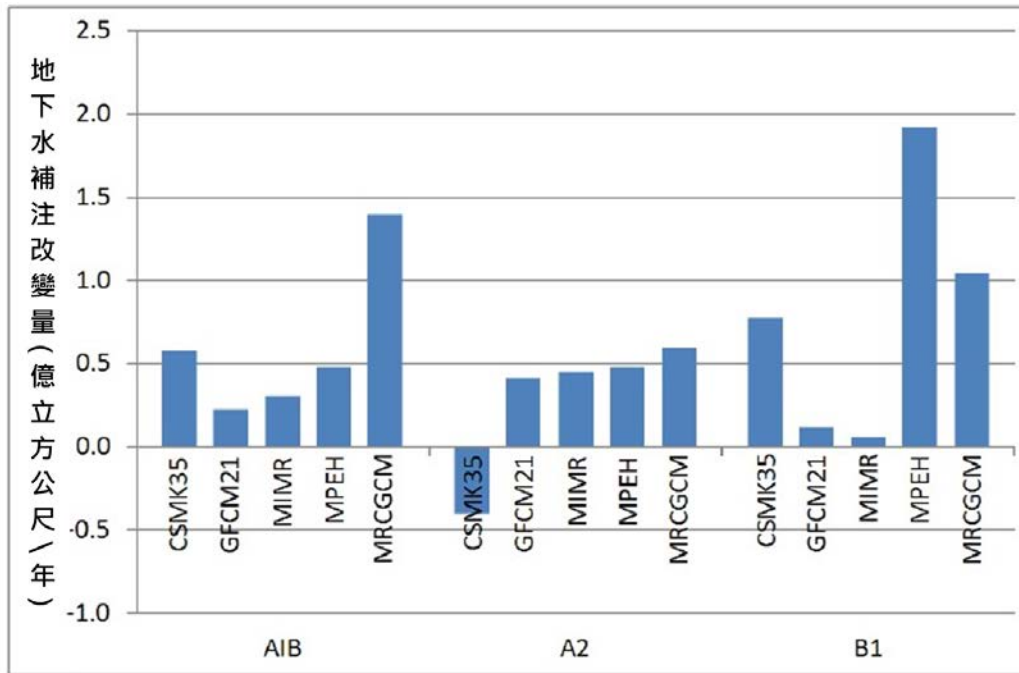


圖 5.14 鳳山溪及頭前溪流流域氣候變遷下地下水供水潛能衝擊分析。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，強化北部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

## (二) 中部區域

苗栗地區地下水潛能量衝擊分析成果示如圖 5.15，地下水潛能量增減比例介於-5.47~8.07%。就 A1B 情境而言，除 MPEH5 外，其它模式地下水潛能量皆有增加之趨勢；就 A2 情境而言，除 MRCGCM 及 MPEH5 外，其它模式地下水潛能量皆有減少之趨勢。

台中地區地下水潛能量衝擊分析成果示如圖 5.16，地下水潛能量增減比例介於-4.80~3.68%。就 A1B 情境而言，除 MIMR 及 MPEH5 外，其它模式地下水潛能量皆有增加之趨勢；就 A2 情境而言，除 MRCGCM 及 MPEH5 外，其它模式地下水潛能量皆有減少之趨勢。

濁水溪沖積扇地下水潛能量衝擊分析成果示如圖 5.17，地下水潛能量增減比例介於-1.77~3.91%。就 A1B 情境而言，除 CSMK35 及 MRCGCM 外，其它模式地下水潛能量皆有減少之趨勢；就 A2 情境而言，除 MIMR 外，其它模式地下水潛能量皆有減少之趨勢。

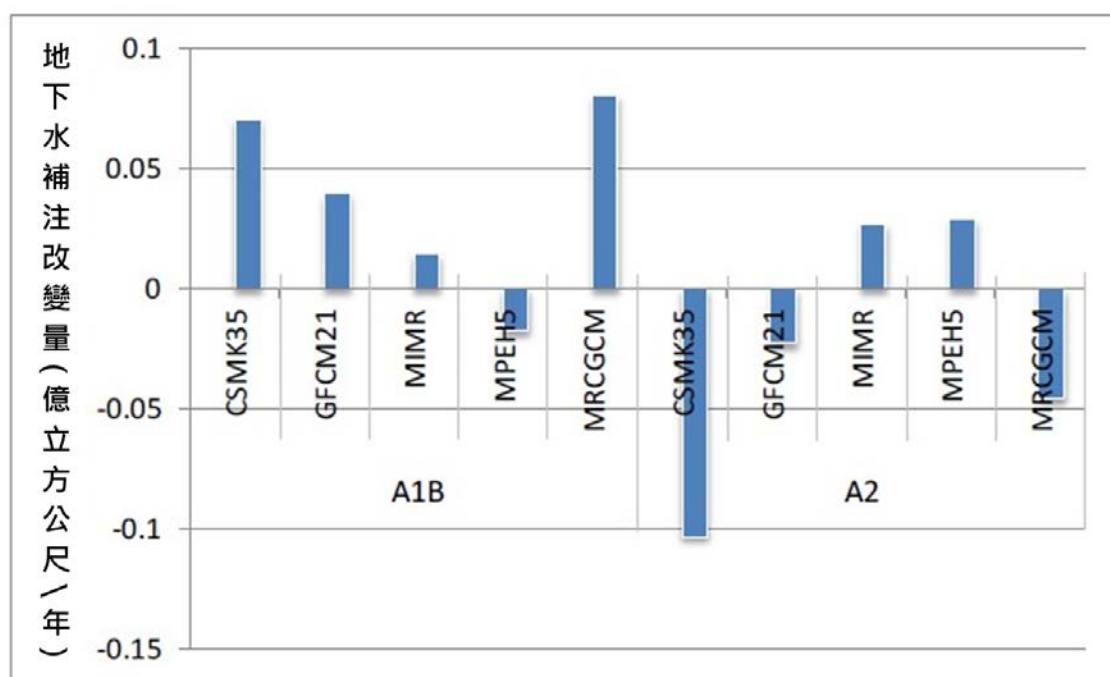


圖 5.15 苗栗地區氣候變遷下地下水供水潛能衝擊分析。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，強化中部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

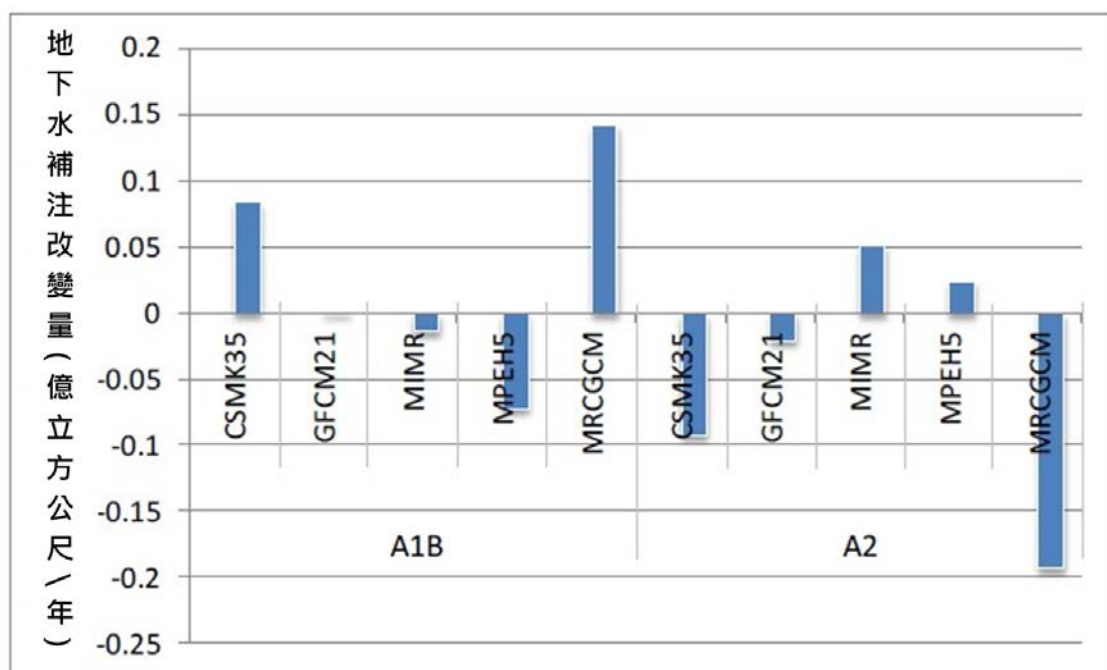


圖 5.16 台中地區氣候變遷下地下水供水潛能衝擊分析 (資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，強化中部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

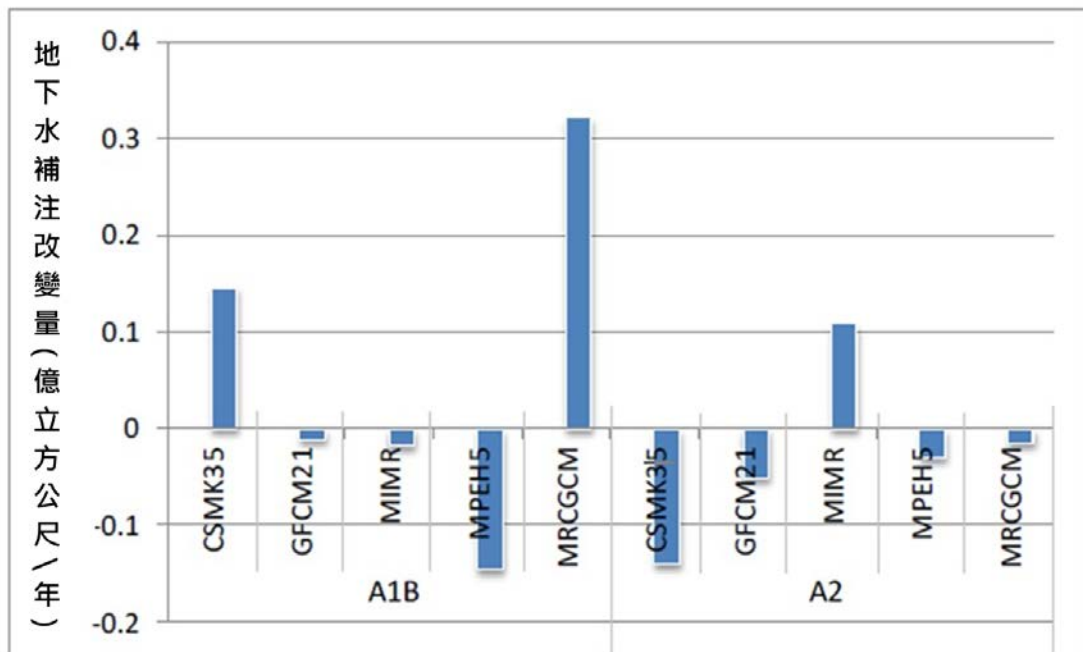


圖 5.17 濁水溪沖積扇氣候變遷地下水供水潛能衝擊分析。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，強化中部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

### (三) 南部區域

嘉南地下水潛能量衝擊分析成果示如圖 5.18，地下水潛能量增減比例介於-0.78~1.13%。就 A1B 情境而言，除 CSMK35 及 MRCGCM 外，其它模式地下水潛能量皆有減少之趨勢；就 A2 情境而言，除 MIMR 外，其它模式地下水潛能量皆有減少之趨勢。

屏東平原地下水潛能量衝擊分析成果示如圖 5.19，地下水潛能量增減比例介於-0.18~1.07%。就 A1B 情境而言，除 MIMR 外，其它模式地下水潛能量皆有增加之趨勢；就 A2 情境而言，除 CSMK35 外，其它模式地下水潛能量皆有增加之趨勢。



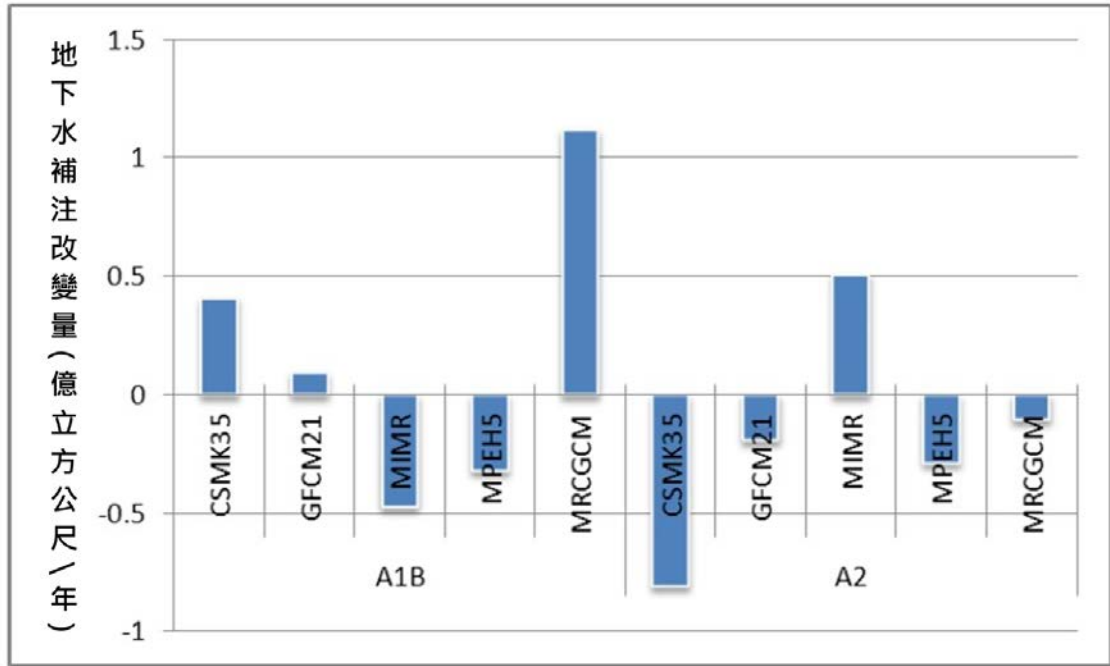


圖 5.18 嘉南平原氣候變遷地下水供水潛能衝擊分析。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

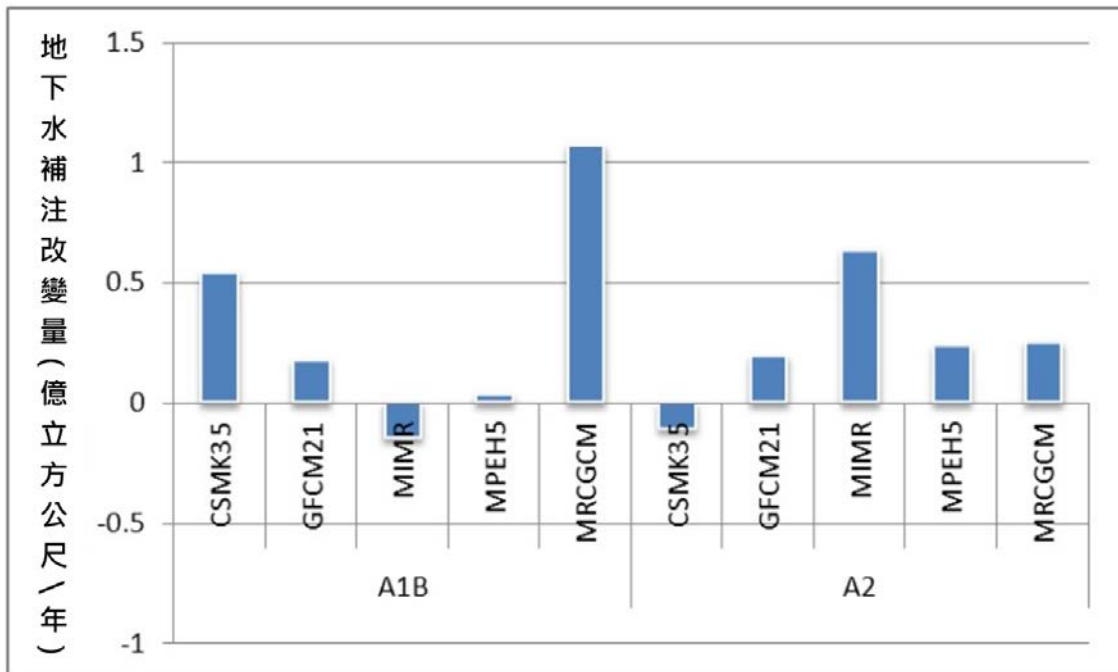


圖 5.19 屏東平原氣候變遷地下水供水潛能衝擊分析。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

(四) 東部區域

花東地區地下水潛能衝擊分析成果示如圖 5.20。地下水潛能增減比例介於-0.26~0.16%。就 A1B 情境而言，除 CSMK35 及 MRCGCM 外，其它模式地下水潛能皆有減少之趨勢；就 A2 情境而言，除 CSMK35 外，其它模式地下水潛能皆有增加之趨勢。

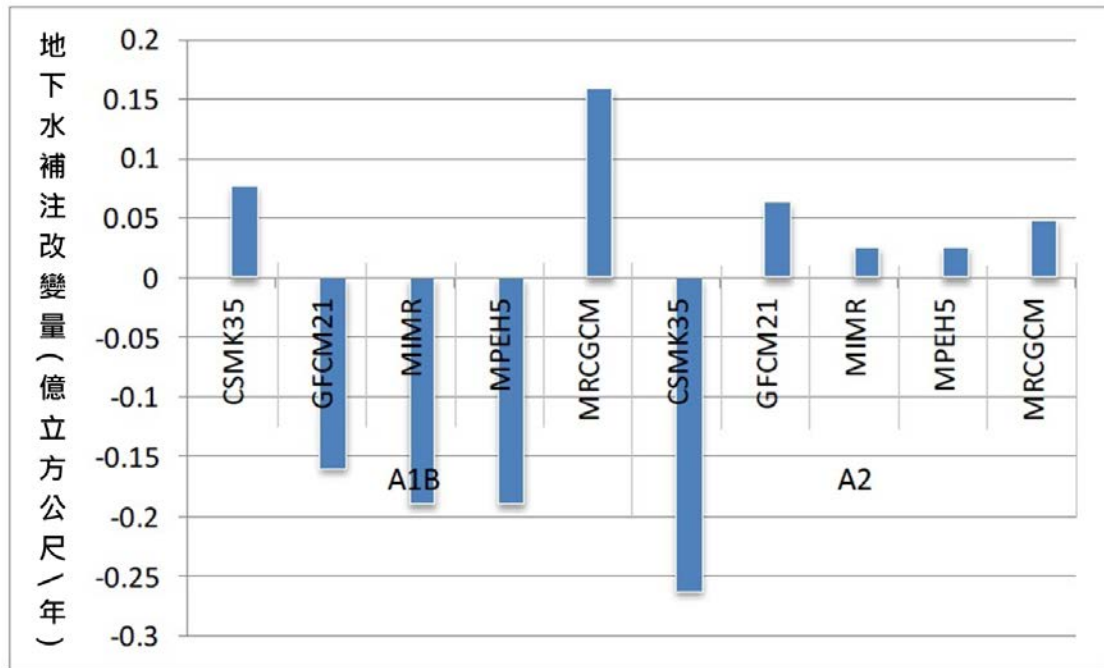


圖 5.20 花東地區氣候變遷下地下水供水潛能衝擊分析。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

## 5.5 氣候變遷對水資源需求之影響

(吳瑞賢)

水資源需求包含公共給水及農業用水，公共給水又包含生活用水及工業用水，生活用水泛指人民在食衣住行育樂上所需之用水；工業用水為工業用地上的水資源使用量；農業用水又細分為灌溉用水、畜牧用水及養殖用水，其中因為畜牧用水及養殖用水大都使用地下水資源，故不在本章節所討論的範圍內。

Downing et al. (2003) 評估英格蘭及威爾斯在氣候變遷下水資源需求的衝擊影響評估，研究中提到民生及工業需水只有少許的影響（約在 5% 左右），但是在農業灌溉需水方面平均會增加 20% 的需水量，氣候變遷會對水資源需求帶來衝擊。Frederick and Major (1997) 的研究中也指出以美國為背景來模擬氣候變遷對水資源需求的衝擊，結果也是以農業用水最為敏感，而生活用水與工業用水受到的波動較小。但政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC 2014) 的第五次評估報告亦指出，許多跨領域互相影響的因素，如：溫度上升、強降雨所引致的汙染、因乾旱使汙染濃度增加、因洪氾使汙水處理設施損壞，將降低原生水的品質，即將間接對生活用水造成風險。

### 5.5.1 氣候變遷衝擊水資源需求的關鍵因子

台灣在水資源的需求方面以農業用水為大宗大約占總需水量的七成以上（如圖 5.3），在農業用水方面的影響因子有氣象（溫度、日照時間、濕度、風速、降雨等）、土壤（土壤質地、地下水位等）、作物品種、生長階段等等；在工業用水方面的影響因子則以工業種類與其規模來影響；最後在民生方面的影響因子則以人口數為主要的變因，輔以國內生產毛額 (GDP) 和溫度變化的影響；而氣候變遷主要則是以影響氣象因子為主，如同上述提及之文獻所述，在農業方面氣候變遷的衝擊較顯著。

水利規劃試驗所 (2012) 針對北部水資源分區因應水資源管理調適研究能力研究計畫的研究報告中，針對未來生活用水變化的推估主要考量 GDP 成長的修正與溫度增加的修正，但受限於歷史資料有限，此部分的修正僅提供概估，而在未來工業用水變化的推估，主要以水利署 2009 年提出之民國 120 年不同開發情境之工業用水量為基準，且由於用水量成長已隱含 GDP 之成長在其中，因此不另作修正，並暫不考慮氣候環境對於工業用水的影響。而農業用水的變化則考慮氣溫與降雨的變化透過作物需水量模式加以推估。各標的用水量之推估方法與對應氣候變遷情境如表 5.18。

表 5.18 各標的用水量與氣候變遷情境對應關係。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，強化北部水資源分區因應水資源管理調適能力研究 2012)

情境\ 標的	生活用水			工業用水	農業用水
	民國 120 年 用水量	GDP 成長幅度	溫度		
A2		3.85%		高成長	
A1B	水利署推估 120 年生活 用水量	2.13%	依不同情境對溫度的 影響，配合門檻 值設定，修正生活 用水量。	中成長	依照不同情境 對溫度的影響， 修正農業 用水量。
B1		1.24%		低成長	

### 5.5.2 氣候變遷對農業用水之衝擊影響

氣候變遷所造成的影響，如溫度上升、極端降雨出現頻率增加，且全台總雨量無太大的變化趨勢下，降雨強度卻有增加的趨勢，而從上述所說的氣候變遷主要影響的領域為農業相關用水，以上兩點都將直接衝擊到台灣農業用水需求。

全球暖化所造成的溫度上升對於作物的灌溉需水量影響劇烈，溫度上升會增加蒸發散量使得灌溉水的需水量增加，而輸水損失也會因此上升造成灌溉用水大幅成長，但是溫度增加亦會使得作物的生長期縮短，造成需水量減少；由於氣候變遷造成的乾濕季更加的分明，降雨分布不均也將造成灌溉水的需水量增加，因一期稻作需要灌溉的時間點在枯水期，遇春雨不足則無法供應作物需水量，而嚴重乾旱發生時往往將農業用水調度以供應生活用水，這也使農作物產量受到影響，提高糧食安全的風險。氣候變遷對農業用水需求的影響有不同的模擬結果。在 Frederick and Major (1997) 針對美國的研究報告顯示溫度的升高會造成穀物的需水量增加，並且指出穀物對於溫度的變化較為敏感，而對於降水的敏感度較低。Arnell (1998) 用英國的資料作預測，生活用水將因為溫度上升使得用水量增加 5% 左右，在作物方面則預測 2021 年將會比 1991 年增加 69%。中國方面 Piao et

al. (2010) 的研究中提到因為全球暖化所以中國境內一些原本不適合種植作物的地方也開始可以種植一些旱作，而原本種植旱作的地區也開始可以種植灌溉作物，這種型態的轉變將使得中國的農業需水量大增。

國內農業用水衝擊相關研究部分，如毛承善 (2013) 在氣候變遷對新竹灌區灌溉用水量之影響中提到，在氣候變遷全球暖化條件下以大氣環流模式 (GCM) 分析，增加各時期的溫度會導致作物需水量增加，且二期作增加的幅度又較一期作大。陳榮松 (2011) 模擬彰化灌區農業灌溉用水，顯示生長期有縮短的趨勢，且部分結果顯示一期作 3 月及 5 月的缺水程度加重，容易使得作物無法順利成長。陳亭羽 (2012) 在氣候變遷對桃園地區水稻產量及灌溉需水量之影響中，使用農業技術轉移決策輔助支援系統的作物模式 (DSSAT) 模式模擬出作物在高溫下雖會增加灌溉需水量，但是也會縮短作物的生長期，兩個因素綜合之下灌溉需水量將會減少。吳明進等 (2002) 於全球氣候變遷對台灣區域氣候與水資源衝擊之評析中利用 RSM 系統來模擬氣候變遷後降雨與溫度對於農業需水量所造成的影響，提到雖然溫度與降雨的變化將造成灌溉用水量上升，但由於成長期的縮短影響力還是較大，所以農業需水量還是會減少，其他相關文獻如 9.5 節「鄉村空間之現況與氣候變遷衝擊」所述，需水量也為減少的趨勢。

在氣候變遷影響下，可能因溫度上升而縮短作物生長期，灌溉需水量的變化則會受控於作物於不同時期之需水量與氣溫及降雨之關係。分析各灌區之需水量結果差異原因為氣候以及氣候變遷情境均有空間上之差異，不可將單一模式結果去代表未來之農業需水量變化，可藉由不同之 GCM 模式去評估不同氣候變遷情境對農業用水需求之影響，去了解農業用水需求之改變率範圍 (經濟部水利署水利規劃試驗所 2013)。在此呈現水利規劃試驗所，推估各灌區於氣候變遷影響下灌溉需水量的變化。

北部區域氣候變遷下之灌溉需水量如圖 5.21~5.23，宜蘭灌區除了模式 MPEH4，其他模式及情境都呈現需水量增加的結果；北基灌區所有情境及模式均呈現需水量減少的結果；桃園、石門灌區呈現略為減少的趨勢。

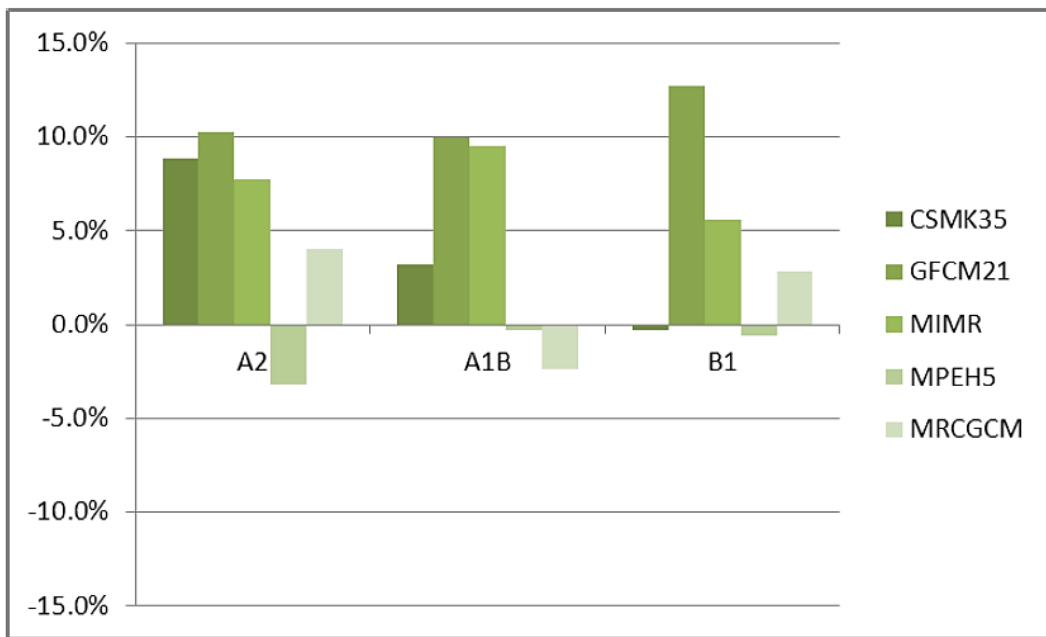


圖 5.21 宜蘭灌區 A1B 情境下年灌溉需水量改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所·強化北部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究計畫 2013)

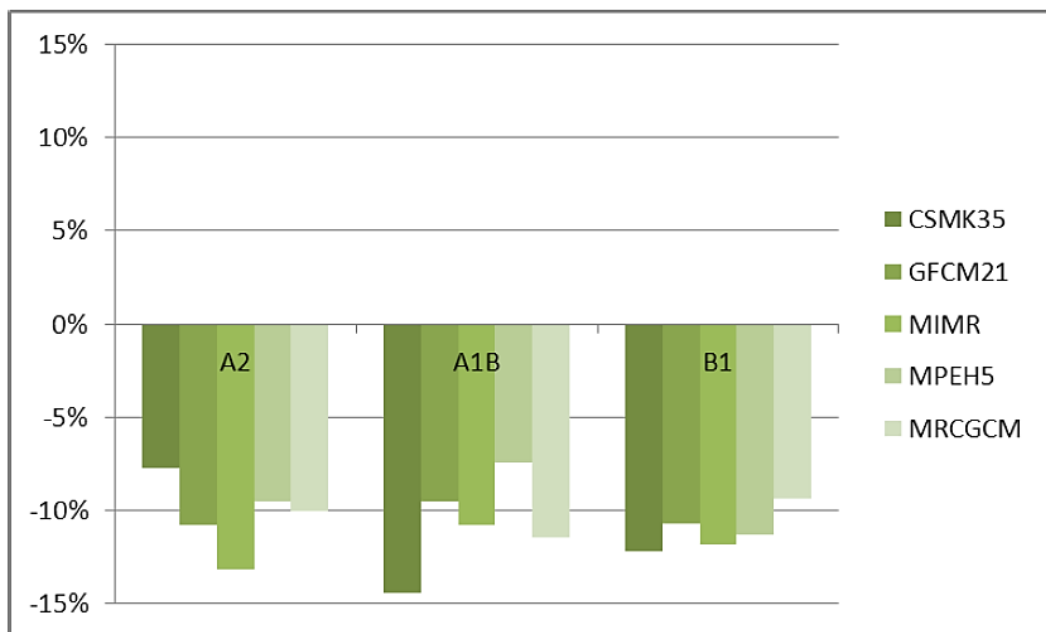


圖 5.22 北基灌區 A1B 情境下年灌溉需水量改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所·強化北部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究計畫 2013)



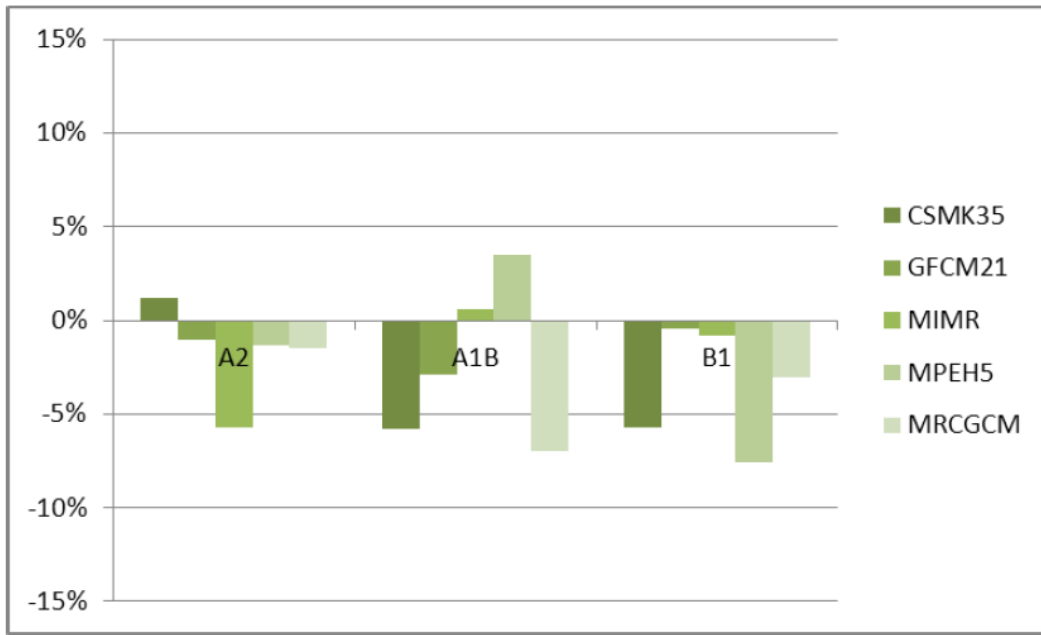


圖 5.23 桃園及石門灌區 A1B 情境下年灌溉需水量改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，強化北部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究計畫 2013)

中部區域氣候變遷下之灌溉需水量變化以中港溪上游灌區為例，如圖 5.24~5.26，圖中的改變率係指氣候變遷下灌溉需水量相較於無考量氣候變遷之灌溉需水量之變化率。不同大氣環流模式 (GCM) 與不同情境之變化率不同，變化率介於-1~2.72%。

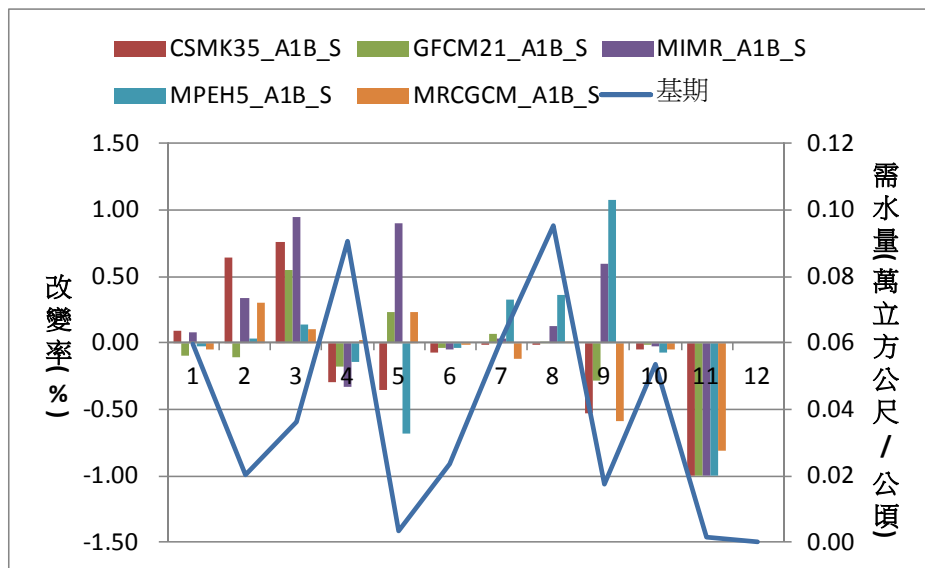


圖 5.24 A1B 情境下中港溪上游灌區各月灌溉需水量改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所·強化中部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

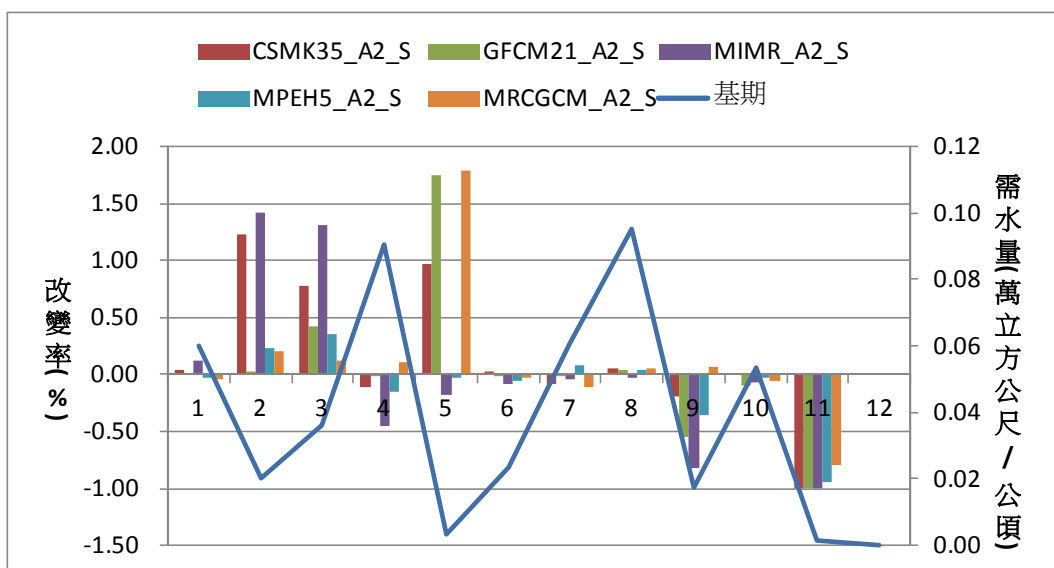


圖 5.25 A2 情境下中港溪上游灌區各月灌溉需水量改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所·強化中部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

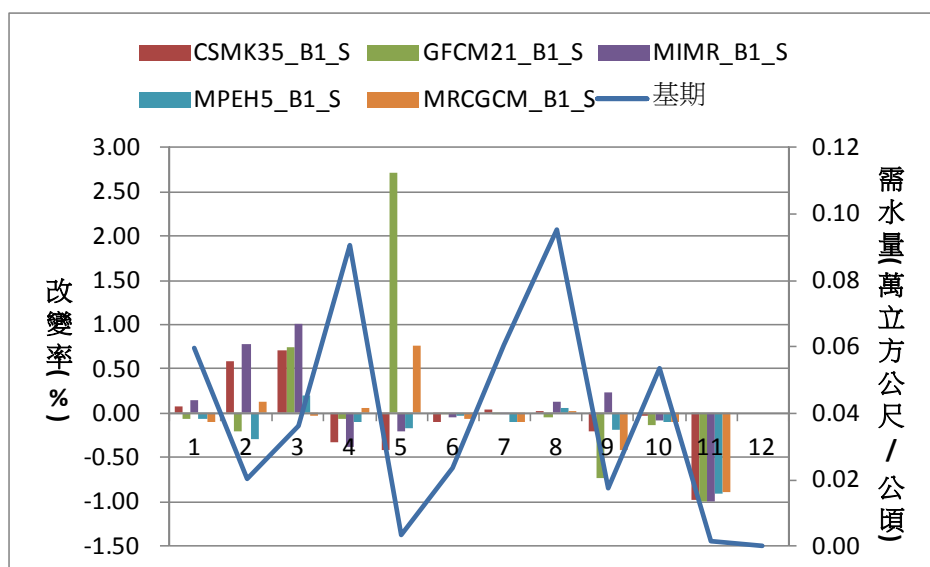


圖 5.26 A2 情境下中港溪上游灌區各月灌溉需水量改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，強化中部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

南部區域氣候變遷下灌溉需水量改變率如圖 5.27~5.29，嘉南灌區在 A2 及 A1B 情境下均為需水量增加，高雄及屏東灌區在 A2 及 A1B 均為需水量減少的趨勢。

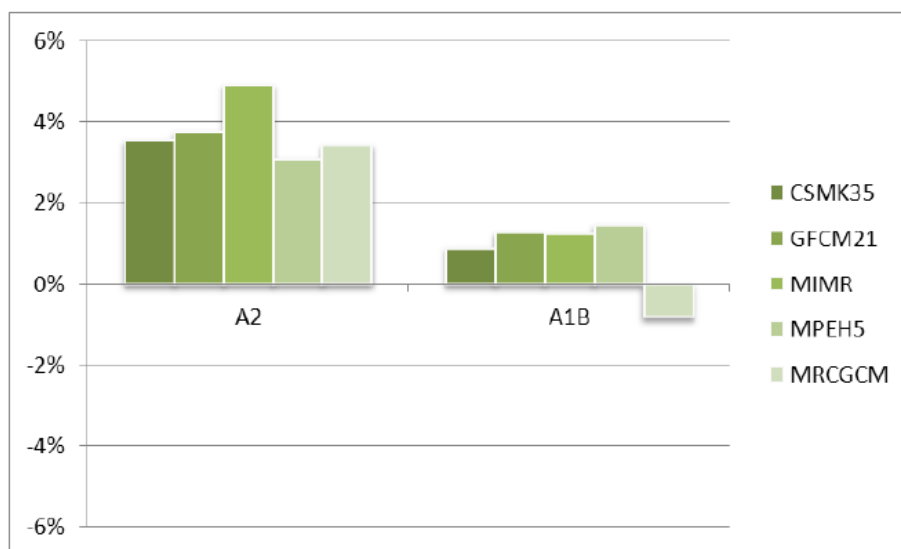


圖 5.27 氣候變遷下嘉南灌區年灌溉需水量改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

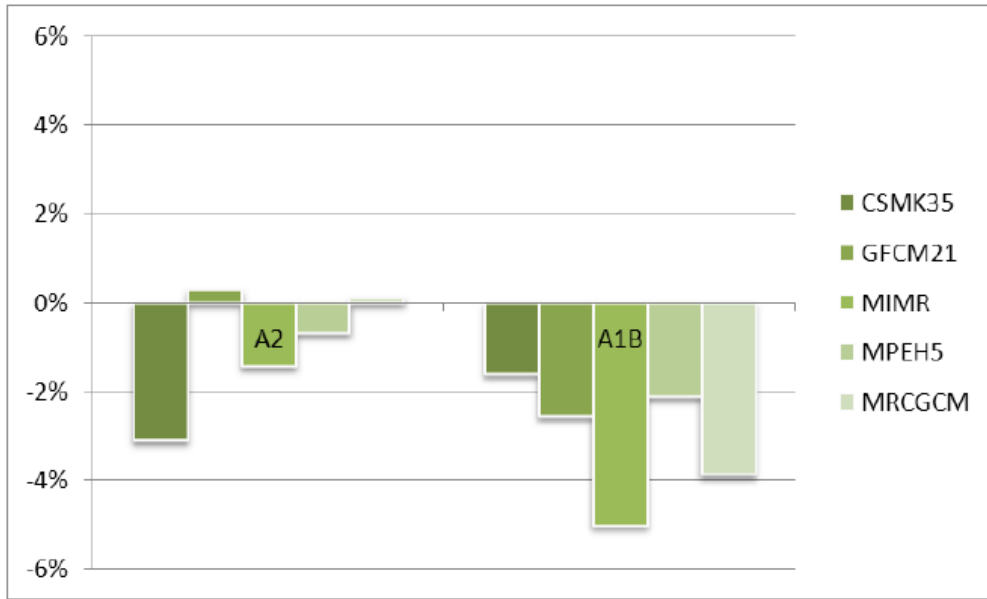


圖 5.28 氣候變遷下高雄灌區年灌溉需水量改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

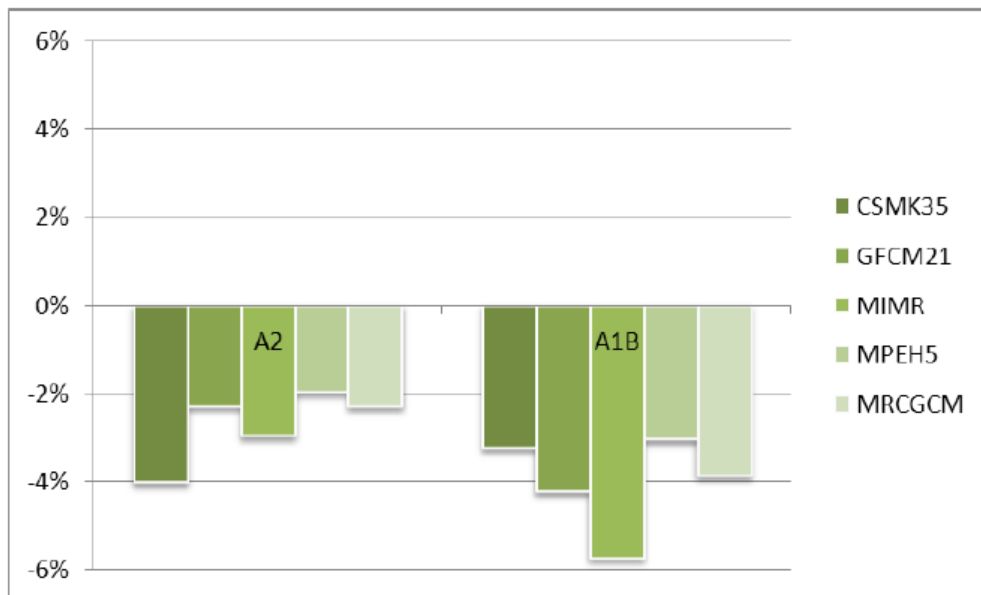


圖 5.29 氣候變遷下屏東灌區年灌溉需水量改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

東部區域氣候變遷下之農業需水量改變率如圖 5.30~5.35，在 A1B 情境下，各個大氣環流模式 (GCM) 的結果不同，如 CSMK35 均為減少需水量的結果，

但 MPEH5、GFCM21 大多為增加需水量，整體來說 A1B 情境下，花蓮水利會的農業需水量改變率介於-22~20%；而台東水利會農業需水量改變率介於-25~15%。在 A2 情境下，花蓮水利會的農業需水量改變率介於-10~20%；台東水利會農業需水量改變率介於-20~15%。在 B1 情境下，花蓮水利會的農業需水量改變率介於-10~10%；台東水利會農業需水量改變率介於-20~15%。

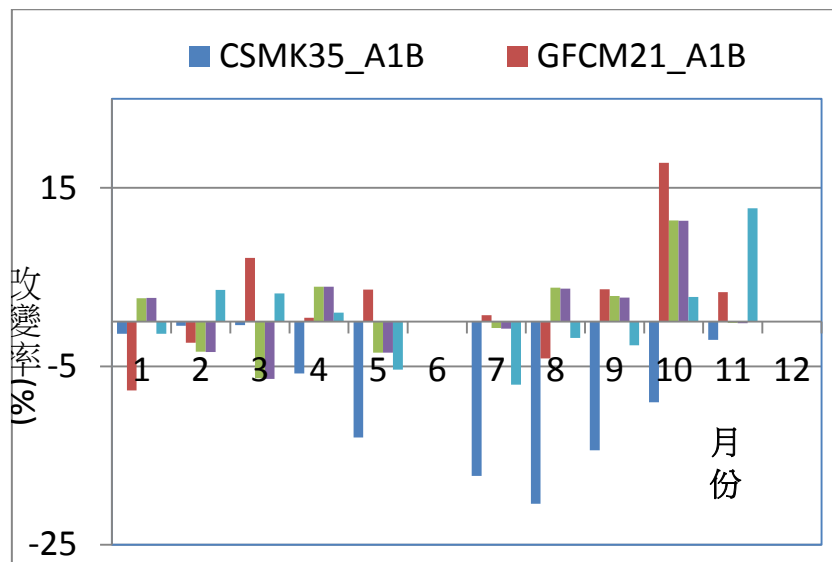


圖 5.30 花蓮農田水利會在 A1B 情境下之各月年農業需求改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，強化東部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

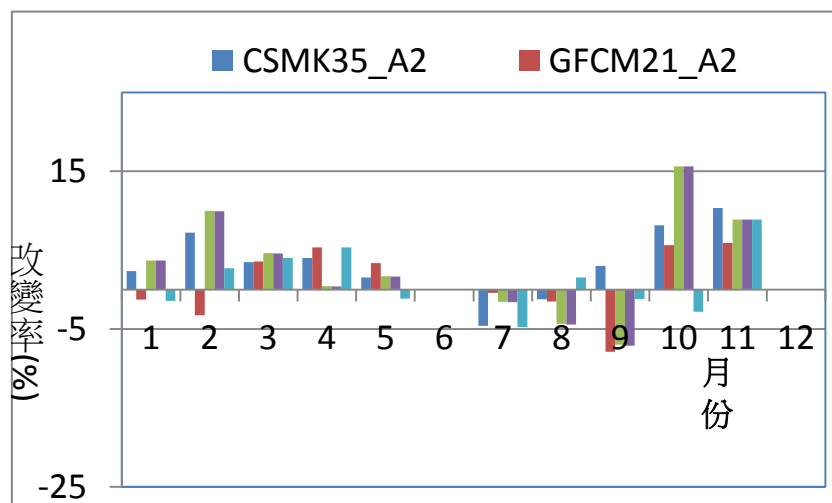


圖 5.31 花蓮農田水利會在 A2 情境下之各月年農業需求改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，強化東部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

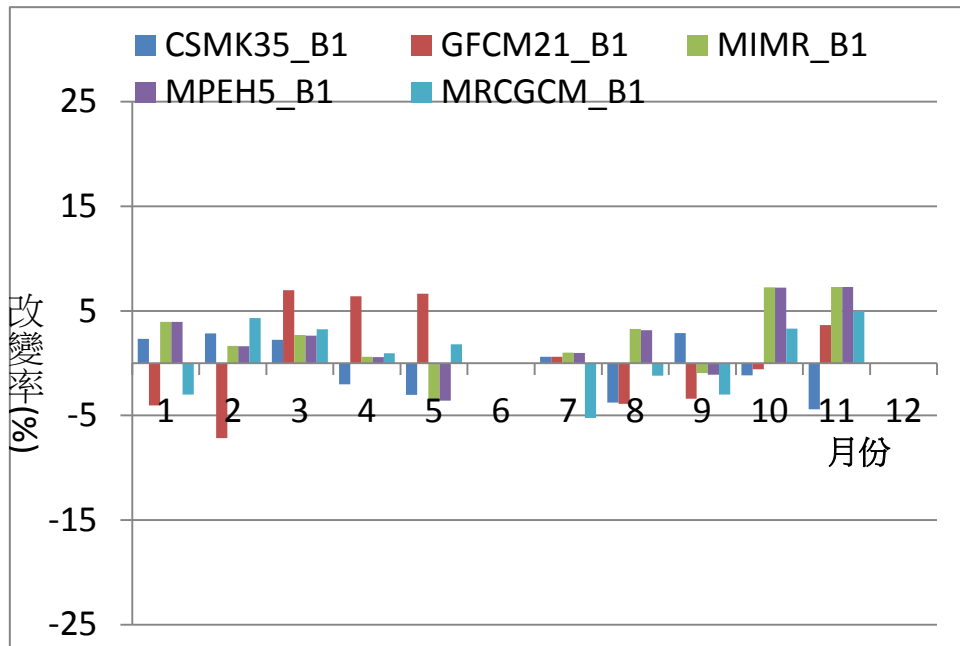


圖 5.32 花蓮農田水利會在 B1 情境下之各月年農業需求改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所·強化東部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

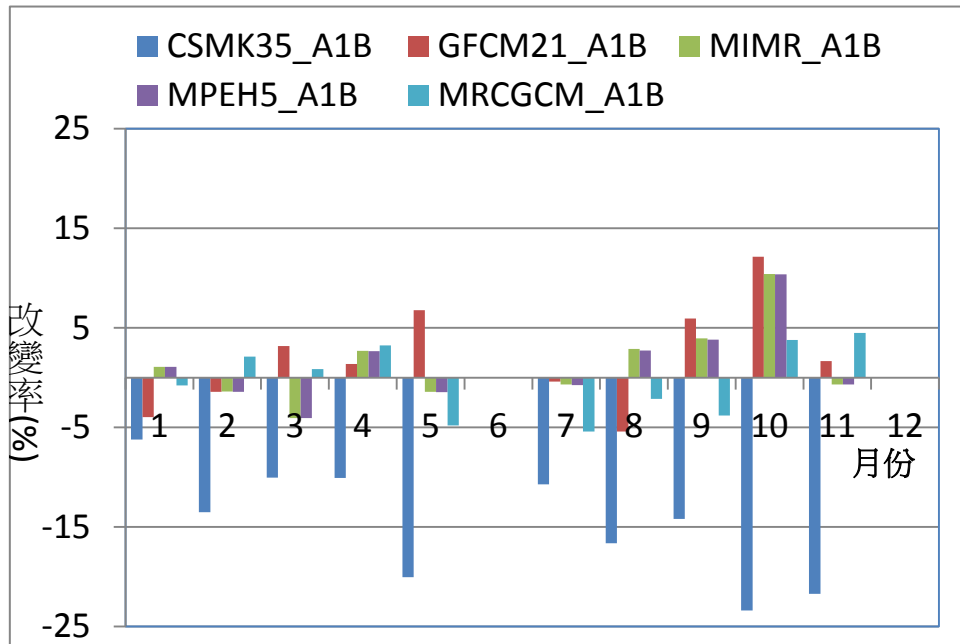


圖 5.33 台東農田水利會在 A1B 情境下之各月年農業需求改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所·強化東部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)



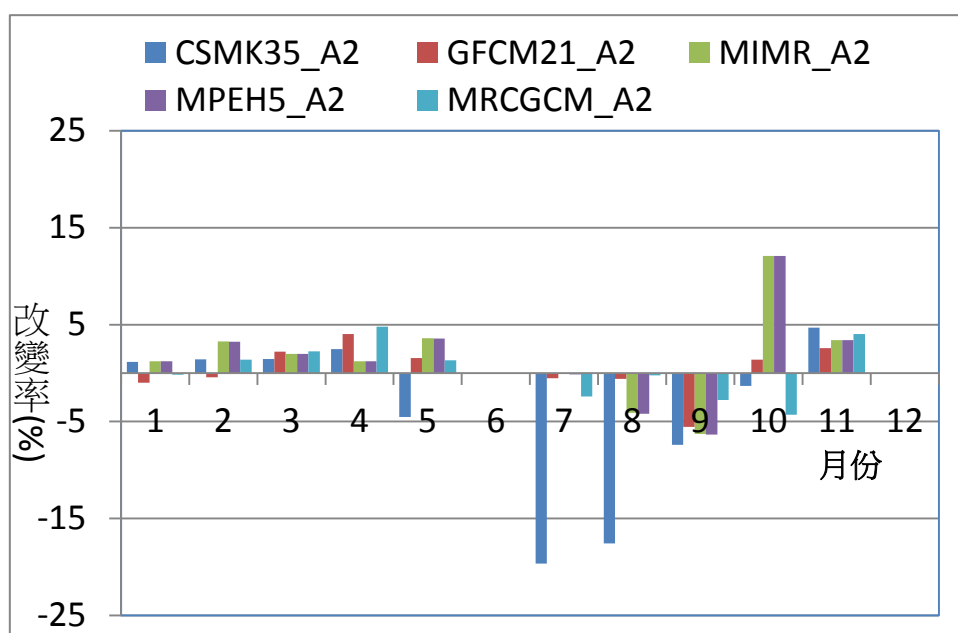


圖 5.34 台東農田水利會在 A2 情境下之各月年農業需求改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，強化東部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

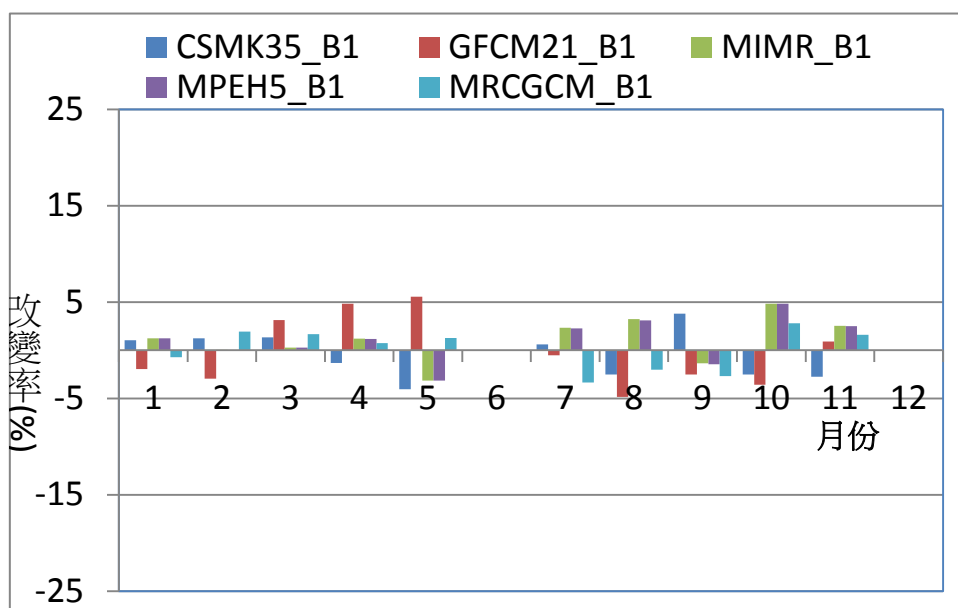


圖 5.35 台東農田水利會在 B1 情境下之各月年農業需求改變率。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所，強化東部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究 2012)

### 5.5.3 氣候變遷對公共給水之衝擊影響

公共給水分為生活用水與工業用水。生活用水部分，Alcamo 等 (2000) 曾分析瑞士、日本、韓國等 7 個國家，建立人均國內生產毛額 (GDP) 與生活用水量之關係，認為人均 GDP 在 \$10,000-15,000 元時，生活用水量呈上升趨勢，而人均 GDP 在 \$15,000-20,000 元時生活用水量呈下降趨勢。溫度的增加也可能導致需水量增加 (Protopapas et al. 2000, Frederick and Major 1997)。各縣市供水系統之人口數、普及率、抄見率也與生活需水量有關。

表 5.19 為考慮 GDP、溫度修正量，再利用民國 96 年的用水量為基準，推求出民國 120 年的生活用水需水量，並考慮無氣候變遷與氣候變遷各情境下的需水量變化。GDP 的改變對於生活需水量是否須修正是依據各區域 GDP 與 LPCD 相關性是否顯著，而修正方式為依照其回歸出的公式，求人均 GDP 每變化一單位之於 LPCD 的改變；溫度的改變對於生活需水量則是先以各區域氣溫差與 LPCD 差之相關性是否顯著去定義門檻值，再根據各區域不同模式不同排放情境下產生氣候變遷下之月均溫，判斷其若超過門檻值，再將氣溫改變量帶入回歸出之公式作修正。依據上述說明推估出各區之未來需水量，其中北部區域在宜蘭、基隆地區氣候變遷下未來需水量不變，台北地區在氣候變遷的情境下需水量則是減少，桃園、新竹地區則在不同氣候變遷的情境下有不同改變，其中以 A2 情境下需水量增加，A1B、B1 情境下需水量為不變或減少。中部區域，苗栗、南投、雲林、彰化地區在氣候變遷的情境下需水量均增加，只有台中地區在氣候變遷的情境下需水量幾乎不變。南部區域在嘉義、台南、屏東地區氣候在變遷的情境下需水量均增加，高雄地區增加幅度較小。東部區域的花蓮及台東地區在氣候變遷的情境下需水量幾乎不變。

表 5.19 台灣地區生活用水需水量各情境推估表，單位：萬立方公尺/日。(資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究 2013)

分區	縣市	無氣候變遷					A1B					A2					B1					
		CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	CSMK35	GFCM21	MIMR	MPEH5	MRCGCM	
北部區域	宜蘭	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	基隆	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
	大台北	262	227	227	227	227	205	205	205	205	205	205	205	205	205	243	243	243	243	243	243	243
	桃園	137	131	131	131	131	159	159	159	159	159	159	159	159	159	116	116	116	116	116	116	116
	新竹	64	64	64	64	64	67	67	67	67	67	67	67	67	67	63	63	63	63	63	63	63
中部區域	苗栗	41.64	45.03	45.03	45.03	45.03	48.04	48.04	48.04	48.04	48.04	48.04	48.04	48.04	48.04	43.57	43.57	43.57	43.57	43.57	43.57	43.57
	台中	170.8	170.76	170.76	170.8	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76	170.76
	彰化	41.58	48.39	48.34	48.77	47.55	48.47	49.47	49.9	49.9	50.3	50.19	50.03	50.03	50.03	45.62	47.42	47.42	47.42	47.42	42.87	42.87
	南投	17.56	21.1	21.1	21.1	21.1	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	19.57	19.57	19.57	19.57	19.57	19.57	19.57
	雲林	31.37	35.71	35.71	35.71	35.71	41.58	41.58	41.58	41.58	41.58	41.58	41.58	41.58	41.58	34.39	34.39	34.39	34.39	34.39	34.39	34.39
南部區域	嘉義	41.84	42.26	42.26	42.26	42.26	49.21	49.21	49.21	49.21	49.21	49.21	49.21	49.21	49.21	-	-	-	-	-	-	-
	台南	119	132.74	132.74	132.7	132.7	147.9	147.9	147.9	147.9	147.9	147.9	147.9	147.9	147.9	-	-	-	-	-	-	-
	高雄	195.4	195.39	195.1	195.6	196	195.03	197.59	197.24	198	197.2	197.2	197.2	197.2	197.2	-	-	-	-	-	-	-
	屏東	19.46	19.85	19.85	19.85	19.85	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89	23.89	-	-	-	-	-	-	-
東部區域	花蓮	10.87	10.868	10.868	10.87	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868
	台東	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884	5.884

工業用水部分，則參考水利署 2009 年提出之不同開發情境之工業用水量 (含自行取水量)，低、中、高成長工業需水量推估如表 5.20~5.22 所示。低成長為既有工業區及開發中電力事業之用水成長加上目前開發中工業區完成後所需用水；中成長為包括低成長加上報編及編定中工業區完成後所需之用水；高成長為包括中成長再加上規劃研議中工業區用水及規劃中電力事業用水後所需之用水。台灣各用水分區的工業用水都呈現需求增加的情況。

表 5.20 各用水分區之目標年工業用水水源需求量 (含自行取水量)\_低成長，單位：立方公尺/日。(摘自台灣地區水資源需求潛勢評估及經理策略探討 2009)。

用水分區		目標年工業用水水源需求量 (含自行取水量)					96 及各目標	
		96 年現況	100 年	105 年	110 年	115 年	120 年	年自行取水
北部 區域	宜蘭地區	132,389	135,037	139,907	141,495	142,289	143,082	111,223
	基隆地區	43,932	43,932	51,567	53,011	53,011	53,011	31,635
	台北地區	34,385	35,017	35,807	36,597	36,992	37,387	18,585
	板新地區	278,644	285,134	288,931	292,791	294,721	296,651	200,914
	桃園地區	917,580	1,009,413	1,056,973	1,071,419	1,078,162	1,084,904	533,516
	新竹地區	282,876	358,502	370,237	373,500	375,131	376,763	26,979
	小計	<b>1,689,805</b>	<b>1,867,035</b>	<b>1,943,422</b>	<b>1,968,813</b>	<b>1,980,306</b>	<b>1,991,798</b>	<b>922,852</b>
中部 區域	苗栗地區	200,835	240,171	304,990	307,531	308,801	310,071	129,029
	台中地區	404,433	488,062	717,318	892,907	893,454	894,000	296,851
	南投地區	58,622	59,073	59,637	60,201	60,483	60,765	47,342
	彰化地區	303,009	340,030	339,000	339,529	339,794	340,058	282,953
	雲林地區	255,794	297,162	309,127	310,603	312,079	313,555	237,291
	小計	<b>1,222,692</b>	<b>1,424,498</b>	<b>1,730,073</b>	<b>1,910,771</b>	<b>1,914,610</b>	<b>1,918,450</b>	<b>993,466</b>
	彰化專管	0	0	6,000	15,000	20,000	22,000	-
雲林專管	320,000	364,752	440,752	440,752	440,752	440,752	-	
小計	<b>320,000</b>	<b>364,752</b>	<b>446,752</b>	<b>455,752</b>	<b>460,752</b>	<b>462,752</b>	<b>-</b>	
合計	<b>1,542,692</b>	<b>1,789,250</b>	<b>2,176,825</b>	<b>2,366,523</b>	<b>2,375,362</b>	<b>2,381,202</b>	<b>993,466</b>	
南部 區域	嘉義地區	199,950	207,888	209,207	211,187	212,176	213,166	146,536
	台南地區	606,482	701,750	786,520	798,561	799,645	800,730	411,252
	高雄地區	836,265	882,115	962,651	1,012,845	1,018,860	1,024,876	145,529
	屏東地區	117,148	117,426	117,775	118,124	118,298	118,472	112,500
	小計	<b>1,759,844</b>	<b>1,909,179</b>	<b>2,076,153</b>	<b>2,140,715</b>	<b>2,148,980</b>	<b>2,157,244</b>	<b>1,809,283</b>
東部 區域	花蓮地區	125,015	127,783	127,937	128,196	128,326	128,456	119,828
	台東地區	34,695	34,696	34,696	34,697	34,697	34,697	34,686
	小計	<b>159,710</b>	<b>162,479</b>	<b>162,633</b>	<b>162,893</b>	<b>163,023</b>	<b>163,153</b>	<b>154,514</b>
台灣地區	<b>4,832,052</b>	<b>5,363,190</b>	<b>5,912,281</b>	<b>6,183,192</b>	<b>6,206,918</b>	<b>6,230,645</b>	<b>3,880,115</b>	
台灣地區含專管	<b>5,152,052</b>	<b>5,727,942</b>	<b>6,359,033</b>	<b>6,638,944</b>	<b>6,667,670</b>	<b>6,693,397</b>	<b>3,880,115</b>	

表 5.21 各用水分區之目標年工業用水水源需求量 (含自行取水量)\_中成長·單位：立方公尺/日。(摘自台灣地區水資源需求潛勢評估及經理策略探討)

2009)。

用水分區	目標年工業用水水源需求量 (含自行取水量)						96 及各目標 年自行取水	
	96 年現況	100 年	105 年	110 年	115 年	120 年		
北部 區域	宜蘭地區	132,389	136,851	142,127	143,715	144,508	145,302	111,223
	基隆地區	43,932	45,686	55,305	56,749	56,749	56,749	31,635
	台北地區	34,385	35,017	35,807	36,597	36,992	37,387	18,585
	板新地區	278,644	286,754	291,310	295,501	297,431	299,361	200,914
	桃園地區	917,580	1,101,602	1,178,499	1,192,945	1,199,688	1,206,430	533,516
	新竹地區	282,876	370,223	384,264	387,527	389,158	390,790	26,979
	小 計	<b>1,689,805</b>	<b>1,976,132</b>	<b>2,087,311</b>	<b>2,113,033</b>	<b>2,124,526</b>	<b>2,136,019</b>	<b>922,852</b>
中部 區域	苗栗地區	200,835	253,051	323,632	385,056	389,014	390,285	129,029
	台中地區	404,433	500,707	742,289	933,428	938,670	941,186	296,851
	南投地區	58,622	59,073	59,637	60,201	60,483	60,765	47,342
	彰化地區	303,009	340,030	339,000	339,529	339,794	340,058	282,953
	雲林地區	255,794	297,162	309,127	310,603	312,079	313,555	237,291
	小 計	<b>1,222,692</b>	<b>1,450,023</b>	<b>1,773,685</b>	<b>2,028,818</b>	<b>2,040,040</b>	<b>2,045,849</b>	<b>993,466</b>
	彰化專管	0	5,505	181,100	558,793	575,287	577,287	-
	雲林專管	320,000	461,752	758,352	796,858	860,000	860,000	-
	小 計	<b>320,000</b>	<b>467,257</b>	<b>939,452</b>	<b>1,355,651</b>	<b>1,435,287</b>	<b>1,437,287</b>	<b>-</b>
	合計	<b>1,542,692</b>	<b>1,917,280</b>	<b>2,713,137</b>	<b>3,384,469</b>	<b>3,475,327</b>	<b>3,483,136</b>	<b>993,466</b>
南部 區域	嘉義地區	199,950	209,906	248,493	310,092	311,082	312,071	146,536
	台南地區	606,482	711,371	880,394	901,073	921,902	922,986	411,252
	高雄地區	836,265	896,029	987,969	1,038,163	1,074,588	1,080,604	145,529
	屏東地區	117,148	122,140	122,310	122,658	122,833	123,007	112,500
	小 計	<b>1,759,844</b>	<b>1,939,446</b>	<b>2,239,166</b>	<b>2,371,987</b>	<b>2,430,404</b>	<b>2,438,668</b>	<b>1,809,283</b>
東部 區域	花蓮地區	125,015	182,411	204,875	205,134	205,264	205,394	119,828
	台東地區	34,695	34,696	34,696	34,697	34,697	34,697	34,686
	小 計	<b>159,710</b>	<b>217,106</b>	<b>239,571</b>	<b>239,831</b>	<b>239,961</b>	<b>240,091</b>	<b>154,514</b>
台灣地區	<b>4,832,052</b>	<b>5,582,707</b>	<b>6,339,734</b>	<b>6,753,668</b>	<b>6,834,931</b>	<b>6,860,626</b>	<b>3,880,115</b>	
台灣地區含專管	<b>5,152,052</b>	<b>6,049,964</b>	<b>7,279,186</b>	<b>8,109,319</b>	<b>8,270,218</b>	<b>8,297,913</b>	<b>3,880,115</b>	

表 5.22 各用水分區之目標年工業用水水源需求量 (含自行取水量)\_高成長·單



位：立方公尺/日。(摘自台灣地區水資源需求潛勢評估及經理策略探討  
2009)。

		目標年工業用水水源需求量 (含自行取水量)					96 及各目標	
		96 年現況	100 年	105 年	110 年	115 年	120 年	年自行取水
北部 區域	宜蘭地區	132,389	136,851	142,127	143,715	144,508	145,302	111,223
	基隆地區	43,932	45,686	55,305	56,749	56,749	56,749	31,635
	台北地區	34,385	35,017	35,807	36,597	36,992	37,387	18,585
	板新地區	278,644	286,754	291,310	295,501	297,431	299,361	200,914
	桃園地區	917,580	1,431,512	1,530,999	1,560,619	1,567,362	1,574,104	533,516
	新竹地區	282,876	370,223	384,264	387,527	389,158	390,790	26,979
	小計	<b>1,689,805</b>	<b>2,306,043</b>	<b>2,439,811</b>	<b>2,480,707</b>	<b>2,492,200</b>	<b>2,503,692</b>	<b>922,852</b>
中部 區域	苗栗地區	200,835	253,051	323,632	385,056	389,014	390,285	129,029
	台中地區	404,433	500,707	742,289	933,428	938,670	941,186	296,851
	南投地區	58,622	59,073	59,637	60,201	60,483	60,765	47,342
	彰化地區	303,009	340,030	339,000	339,529	339,794	340,058	282,953
	雲林地區	255,794	297,162	309,127	310,603	312,079	313,555	237,291
	小計	<b>1,222,692</b>	<b>1,450,023</b>	<b>1,773,685</b>	<b>2,028,818</b>	<b>2,040,040</b>	<b>2,045,849</b>	<b>993,466</b>
		彰化專管	0	8,505	197,100	574,793	591,287	593,287
雲林專管		320,000	461,752	758,352	796,858	860,000	860,000	-
小計		<b>320,000</b>	<b>470,257</b>	<b>955,452</b>	<b>1,371,651</b>	<b>1,451,287</b>	<b>1,453,287</b>	<b>-</b>
合計		<b>1,542,692</b>	<b>1,920,280</b>	<b>2,729,137</b>	<b>3,400,469</b>	<b>3,491,327</b>	<b>3,499,136</b>	<b>993,466</b>
南部 區域	嘉義地區	199,950	209,906	248,493	310,092	381,404	382,393	146,536
	台南地區	606,482	711,371	880,394	901,073	921,902	922,986	411,252
	高雄地區	836,265	907,860	999,606	1,049,799	1,086,225	1,092,241	145,529
	屏東地區	117,148	140,994	149,518	158,937	163,646	163,820	112,500
	小計	<b>1,759,844</b>	<b>1,970,131</b>	<b>2,278,012</b>	<b>2,419,901</b>	<b>2,553,176</b>	<b>2,561,440</b>	<b>1,809,283</b>
東部 區域	花蓮地區	125,015	182,411	204,875	205,134	205,264	205,394	119,828
	台東地區	34,695	34,696	34,696	34,697	34,697	34,697	34,686
	小計	<b>159,710</b>	<b>217,106</b>	<b>239,571</b>	<b>239,831</b>	<b>239,961</b>	<b>240,091</b>	<b>154,514</b>
台灣地區		<b>4,832,052</b>	<b>5,943,303</b>	<b>6,731,079</b>	<b>7,175,903</b>	<b>7,332,022</b>	<b>7,357,717</b>	<b>3,880,115</b>
台灣地區含專管		<b>5,152,052</b>	<b>6,413,560</b>	<b>7,686,531</b>	<b>8,540,908</b>	<b>8,776,664</b>	<b>8,804,359</b>	<b>3,880,115</b>

## 5.6 水資源調適策略

(童慶斌)

面對氣候變遷威脅，水資源調適策略的擬定，應遵循聯合國氣候變遷調適綱領 APF (Adaptation Policy Framework) 的架構，由確定問題與目標、評估與了解水資源現況脆弱度、以及評估水資源未來脆弱度，然後依問題與評估結果，界定與評估調適選項，再進而擬定與規劃水資源調適方案，並訂定監測檢核計畫，以滾動修正調適方案。(經濟部水利署水利規劃試驗所 2011, 經濟部水利署水利規劃試驗所 2012, 經濟部水利署水利規劃試驗所 2013, 經濟部水利署水利規劃試驗所 2013b, 童慶斌等 2013)。因此，水資源調適策略的擬定關鍵在於如何由觀察與評估的水資源問題與脆弱度，擬定可行之調適策略與選項，評估適當之調適策略，然後再規劃與執行。水資源對應不同特定空間尺度之調適策略，可參考 9.4 節「都市地區調適因應策略」與 9.6 節「鄉村地區空間調適策略」之說明；而供水系統與飲水供應之相關因應機制，則於 7.4 節「水資源的可獲性、安全性與品質對健康的影響」有整理說明。

### 5.6.1 水資源調適選項

我國「國家氣候變遷調適政策綱領」中水資源調適策略以「在水資源永續經營與利用之前提下，確保水資源供需平衡」為總目標。依此目標擬定之水資源調適策略包括：1. 穩定供水能力；2. 確保合理用水需求負荷；3. 強化彈性管理能力；4. 掌握水資源資訊與不確定性；5. 集水區保育與合理土地利用規劃及 5. 其他（社會經濟、產業與科技發展）等（經濟部水利署水利規劃試驗所，2012）。由觀察與評估的水資源問題與脆弱度，可以擬定對應之調適策略以及調適方案選項，如表 5.23 所示（經濟部水利署水利規劃試驗所，2012）。這些調適方案選項為水利署於水資源經理基本計畫中常用之水資源規劃方案，面對氣候變遷之威脅，必須因地制宜，並依照 APF 調適策略擬定步驟，由水資源問題、現況與未來評估之水資源脆弱度，進而針對影響原因，界定適當之調適方案。再進一步由界定出之調適方案，以多項準則進行評估，以符合水資源永續發展之精神。

表 5.23 不同調適策略所對應之水資源問題與方案選項。(摘自經濟部水利署水利規劃試驗所：強化北部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力

研究 2012)

調適策略	影響因子	編號	措施
穩定供水能力	水源不足	1	增建水庫或蓄水設施
		2	設置地下水水庫
		3	人工湖
		4	雨水儲集系統
		5	埤塘
	設施不足	6	伏流水
		7	地下水井新增
		8	地下水井復抽
		9	海水淡化廠
		10	淨水場供水能力增加
		11	地表透水率提升
確保合理用水需求負荷	加強管理	12	生活節水方案
		13	工業節水方案
		14	農業節水方案
		15	農業耕作制度調整
		16	建立初始水權分配制度
	設施不足	17	建立水權轉讓制度
		18	水庫淤積清理
		19	汰換舊漏自來水管線
		20	降低灌溉渠道輸水損失
		21	新增輸水管線
強化彈性管理能力	加強管理	22	廢汙水回收、循環利用
	設施不足	23	跨流域引水
掌握水資源資訊與不確定性	加強管理	24	加強供需情勢監測
		25	非氣候因子之資料收集與分析
集水區保育與合理土地利用規劃	加強管理	26	土地利用改變
		27	加強水庫上游集水區水土保持
		28	下游生態基流量之分析
		29	工業區之規劃與調整
其他 (社會經濟、產業與科技發展)	加強管理	30	建立水資源災害保險制度

### 5.6.2 水資源調適選項評估

為避免水資源調適方案評估落入單以效用考量為出發點，必須從多個面向進

行評估，綜合考量多項準則下各方案之優劣，以選擇適當之水資源調適選項（經濟部水利署水利規劃試驗所 2013c）。

參考英國氣候衝擊規劃署 UKCIP (UK Climate Impacts Programme) 調適精靈 (Adaptation Wizard) 建議之 10 項評估準則 (UKCIP, 2013)，考量氣候變遷的不確定性以及新設水資源設施可能增加能耗使用影響，建議水資源調適方案評估準則如下（經濟部水利署水利規劃試驗所 2013c）：

1. 效用：評估調適方案每單位成本可增加水量或節約水量，或可以降低缺水風險能力為依據。
2. 效益：評估調適方案執行，是否利益大於花費。
3. 公平性：該區域調適方案是否對其他區域造成負面影響。
4. 彈性：方案後續是否有增加或調整空間。
5. 永續性：評估方案對現況環境之影響與衝擊。
6. 實用性：方案是否在不同的時間尺度上依然可以被執行。
7. 可行性：評估是否符合現有政策制度、民眾對於方案之接受度及方案執行難易度，亦可評估經濟可行性。
8. 急迫性：當系統已面臨威脅，急需較快能完成之方案。
9. 強健性：在氣候變遷不確定性下，方案是否依然強健。
10. 協同：該調適方案可否幫助其他調適方案達到目標。
11. 不確定性容忍度：方案受大氣環流模式 (GCM)、SRES 情境、氣象資料合成模式、水文模式和需水量等影響的程度。
12. 無悔性：評估調適方案在面對沒有預期程度的氣候變遷時仍可以產生效益的大小，例如降低水管的滲漏率被視為即使在沒有氣候變遷的情況下，仍然是一項很值得去做的好投資。
13. 能耗程度：評估調適方案每單位供水量將造成的能耗大小變化。

評估準則的決定可由決策與規劃單位，由以上準則經過審議討論挑選適合之

準則進行評估，以客觀評估適當之調適選項。以多準則評估各項調適選項時，可採多準則排序評估法 (multicriteria ordering method)，將各方案依各準則進行排序評分，再將各準則評分加總後比較，作為調適方案執行優先順序之參考 (經濟部水利署水利規劃試驗所 2013c)；或採用分析層級法 (Analytic hierarchy process, AHP) (Satty 1980) 進行分析。

### 5.6.3 水資源調適策略檢核機制

水資源調適策略以「在水資源永續經營與利用之前提下，確保水資源供需平衡」為水資源調適策略之總目標，因此每項水資源策略應有其預計達成之供水效益，在各項策略方案執行過程，必須有一套檢核機制，以確保執行之策略有達到預期之目標。UKCIP (2013) 提到調適策略執行後，就認定其可滿足需求是錯誤的想法；調適策略方案執行應是一迭代的過程，藉由不斷的觀察與修正以確定調適方案運作得當。水利署參考英國 UKCIP 調適精靈提出調適方案檢核及檢討流程，可將檢核流程分為三階段檢討 (經濟部水利署水利規劃試驗所 2011)：

#### A. 調適策略或方案是否有效？

在方案實施之後，UKCIP 建議決策者團隊可藉由回答關鍵問題，協助確定調適策略或方案是否有效：

- (1) 策略方案是否正在達成決策者所訂立的策略目標？
- (2) 方案之整體表現是否無法滿足決策者之前所想像之標準，或表現的與決策者的當初所想完全不同？
- (3) 氣候變遷下調適策略方案是否正在強化系統回復力？
- (4) 方案是否正在降低現況脆弱度？未來調適方案是否仍可繼續降低脆弱度？
- (5) 調適方案在經濟面上是否持續可行？是否可能讓方案的收益大於方案的支出？
- (6) 調適方案可否滿足或改善其他不同面向之狀況，如社會、經濟或環境面？
- (7) 再次檢核調適方案執行的合理性。

- (8) 當資訊改變或調適方案執行之優先順序發生改變時，該調適方案是否缺乏調整彈性？
- (9) 近期有得到任何新的重要資訊足以讓決策者重新檢視或調整調適方案？
- (10) 該調適方案可否容易被其他相關者了解或取得其資訊？

### B. 多久檢核調適策略方案

環境狀況隨著時間不斷改變，氣候狀況也可能不斷改變，一旦氣候變遷狀況與預期不符，伴隨之風險也隨之改變，因此決策者之目標與調適方案執行之優先順序亦可能發生變化。而多久檢核氣候變遷調適策略？UKCIP 之建議雖為每年檢核，但因氣候變遷調適策略需較長時間評估其成效，建議針對水資源供水系統之調適方案可採每三年檢覈。當區域遭受極端水文或氣象事件衝擊後，或是得到新的重要氣候變遷資訊時，都需立即再次檢核調適策略或方案（經濟部水利署水利規劃試驗所 2011）。

### C. 何時該改變或修正氣候變遷調適策略

當調適方案之效用不如決策者預期時，即應考量改善或重新評估調適方案；並且，決策者對於氣候變遷之知識應與時俱進，並且不斷蒐集最新氣候變遷影響、衝擊及調適相關資訊，且氣候變遷下環境之風險不斷改變，當得到之資訊明確顯示與過往評估不同時，應修正或重新檢討調適策略或方案。

## 5.7 結語

台灣地區年降雨量雖豐沛，但依據政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC 2014) 決策者摘要指出，因應二十一世紀的暖化現象而出現的全球水循環變化將呈現不平均的狀況，潮濕和乾燥地區之間，以及乾濕季之間的降雨量變化差異將持續擴大，而由於國內之水利調蓄設施之容量皆過小，再加上上游集水區在暴雨時期流入之大量泥沙，進而降低氣候變遷下，水利調蓄設施之調配能力，增加水資源調配之難度。台灣地區整體水資源使用，仍以地面水為主，而受氣候變遷的影響，地面水源的穩定性將是未來挑戰。而我國對於氣候變遷下，中、長期之民生與工業用水需求推估目前仍欠缺，且對農業用水需求在不同區域與期作之影響也需進一步的研究以釐清，由於農業用水仍佔整體水資源使用的大宗，未來在溫度上升



與大氣中二氧化碳的濃度增加下，作物生育期是否可能大幅縮短或改變，進而改變農業灌溉需水量與期程，將直接影響整體水資源之調配。然而除地面水源外，國內過去對地下水資源多已超限使用，進而產生如地層下陷等衝擊，氣候變遷的影響，將益發凸顯國內對地下水資源的保育仍有待努力，未來對於地下水資源的合理使用與如何有效增加地下水補注仍待進一步研究。面對氣候變遷的可能衝擊，水資源的首要議題在確保地面水源的穩定性與地下水資源的保育。政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC 2014) 指出，極端降水、乾旱等造成的水資源短缺對都市地區人們的資產、經濟、生態系統等將造成風險，透過建立分散式水資源調適措施、短期預警機制等，除可避免單一大系統潰敗的風險，也有助於降低氣候變遷下不確定的水文變化所可能造成的衝擊，降低水資源系統的脆弱度與增加回復力。而為降低氣候變遷對臺灣地區水資源的影響，提供安全的基礎用水並兼顧追求水資源永續利用之計畫目標，水利署已擬定未來水資源之經營管理必須在「天然水資源開發利用總量管制 (上限 200 億噸)」及「枯水期天然水資源取水量零成長」兩項策略下，推動「節約用水」、「有效管理」、「彈性調度」與「多元開發」等四項水資源經理措施 (經濟部水利署 2011)。

本章主要聚焦議題	
現況	豐枯水期時空差異使得水資源供給需仰賴水利設施進行調配、地面水為主要用水來源
目前面臨的問題	現有水利設施調蓄能力不足、泥沙淤積降低水利設施調蓄能力、地下水資源超限使用
未來氣候變遷的影響	豐枯水期極端化使地面水供應不穩定、泥沙淤積降低水利設施調蓄能力、需建立分散式水資源調適措施、需建立短期預警機制、開發新興水源、建立備援用水機制、加強地下水保育
現況	水資源需求面主要以農業用水為主
目前面臨的問題	農業用水占整體用水比例仍高、調蓄能力不足的水利設施亦因持續農業用水需求而降低供水能力
未來氣候變遷的影響	中、長期之民生與工業用水需求推估仍欠缺、氣候變遷對農業用水需求在不同區域與期作之影響仍需進一步研究、水資源跨領域研究能量需提升，如何兼顧糧食安全與公共用水無虞

## 參考文獻

- 毛承善，2013：「氣候變遷對新竹灌區灌溉用水量之影響」，國立台灣海洋大學河海工程學系，碩士論文。
- 田維婷，2003：「氣候變遷對台灣地區地表水文量之影響」，國立中央大學水文科學研究所，碩士論文。
- 交通部台灣區國道新建工程局，2000：北宜高速公路施工階段坪林隧道湧水問題評估調查服務工作—第三期評估調查報告。
- 吳至剛，2000：「氣候變遷對高屏溪流域水資源衝擊之探討」，成功大學水利及海洋工程學系碩博士班，碩士論文。
- 吳明進，莊秉潔，童慶斌，1999：台灣環境變遷與全球氣候變遷衝擊之評析-水資源 (I)，行政院國家科學委員會。
- 吳明進，陸雲，許少華，童慶斌，2002：區域氣候變遷模擬系統之整合與應用子計畫六：全球氣候變遷對台灣區域氣候與水資源衝擊之評析 (I)，行政院國家科學委員會。
- 吳瑞賢，2007：田間有效雨量受氣候變遷將與型態改變之初步案例探討，行政院農業委員會。
- 吳瑞賢，洪念民，2008：台灣地區水文循環與水文環境研究-總計畫暨子計畫四：台灣地區水文環境研究 (III)，行政院國家科學委員會。
- 呂季蓉，2006：「台灣南部地區長期乾旱趨勢分析之研究」，成功大學水利及海洋工程學系碩博士班，碩士論文。
- 林伯勳，2004：「長期氣候變遷對於侵台颱風個案降雨影響之探討」，國立成功大學地資源工程學系碩博士班，碩士論文。
- 馬楷歲，2004：「氣候變遷下屏東平原地下水資源利用之預測」，淡江大學水資源及環境工程學系，碩士論文。
- 許書平，1997：「氣候變遷對水資源之衝擊-雨量分析」，淡江大學水資源及環境工

程學系，碩士論文。

許世孟，柯建仲，冀樹勇，林燕初，黃志昭，王詠絢，2010：台灣山區地下水資源探勘—潛藏台灣山區地下的保命水，*土木水利*，第 37 卷，第六期，1-8。

陳祐誠，2009：「氣候變遷下流域地下水資源合理使用之研究」，國立成功大學資源工程學系碩博士班，碩士論文。

陳亭羽，2012：「氣候變遷對桃園地區水稻產量及灌溉需水量之影響」，國立中央大學土木工程研究所，碩士論文。

陳榮松，2011：氣候變遷對農業用水衝擊推估模式之建立。行政院農業委員會，99 農科-7.4.1-利-b1 (5)。

陳仲賢，2010：氣候變遷對水利工程挑戰與調適。

陳憲宗等人，氣候變遷情境下曾文水庫集水區乾旱特性推估，*農業工程學報*，第 57 卷，第三期，44-60。

張廷暉，「氣候變遷下對水庫集水區入流量之衝擊評估-以石門水庫集水區為例」，國立中央大學水文科學研究所，碩士論文，2007。

張良正，何智超，陳佑誠，2009：氣候變遷對石門水庫供水風險之影響分析，經濟部水利署。

游保杉，2000：高屏河流域區域日降雨-逕流模式之研究 (III)-氣候變遷對高屏河流域水資源衝擊之探討，行政院國家科學委員會。

童慶斌，1997：氣候變遷對大甲溪上游河川流量之衝擊，*台灣水利季刊*，第 45 卷，第二期，64-70。

童慶斌，洪念民，陳主惠，1999：氣候變遷對水資源影響評估與適應策略研擬，*農業工程學報*，第 45 卷，第四期，73-90。

童慶斌，李宗祐：氣候變遷對七家灣溪流量之影響評估，*農業工程學報*，第 47 卷，第一期，65-74。

童慶斌，李明旭，游保杉，倪春發，張靜貞，洪念民，2011：強化南部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究。經濟部水利署。

- 童慶斌，李培芬，詹士樑，余化龍，2013：氣候變遷調適科技整合研究計畫-跨領域脆弱度評估與回復力建構科技發展計畫。行政院國家科學委員會。
- 楊晴雯，林子伶，黃耿信，2009：台灣自來水公司水價合理化對經濟影響之研究，台灣經濟研究院。
- 楊偉甫，2010：台灣地區水資源利用現況與未來發展問題。
- 經濟部水利署，2002：台灣地區水資源開發綱領計畫。
- 經濟部水利署，2006：中區水資源永續經營管理策略規劃。
- 經濟部水利署，2009：台灣北部區域水資源經理基本計畫。
- 經濟部水利署，2009：台灣地區水資源需求潛勢評估及經理策略探討。
- 經濟部水利署，2011：台灣南部區域水資源經理基本計畫。
- 經濟部水利署，2012：氣候變遷水文情境評估研究 (1/2)。
- 經濟部水利署，2012：氣候變遷下異常事件對既有水庫安全風險與改善對策研究。
- 經濟部水利署，水文年報。
- 經濟部水利署，各項用水統計年報。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，2011：強化南部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究計畫 (2/2)。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012：強化北部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究計畫。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012：強化中部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究計畫。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012：強化東部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究計畫。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，2013：臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究。

經濟部水利署水利規劃試驗所，2013b：水資源領域因應氣候變遷不確定性之決策機制研究。

經濟部水利署水利規劃試驗所，2013c：建立綜合考量氣候與能源之水資源規劃方法研究總報告。

經濟部水利署水利緊急應變經驗學習中心，  
[http://wra.caece.net/llc/source/101\\_tembin.html](http://wra.caece.net/llc/source/101_tembin.html)

經濟部水利署北區水資源局，石門水庫浚渫作業簡介，2012：  
<http://www.wranb.gov.tw/ct.asp?xItem=2573&ctNode=703&mp=5>

蔡宏欣，2008：「氣候變遷對石門水庫集水區的水文衝擊」，國立成功大學水利及海洋工程學系碩博士班，碩士論文。

鍾文祥，蔡文豪，俞維昇，謝國正，蔡漢傑，鄒依純，林立峰，2011：氣候變遷下水庫排砂對策研究。經濟部水利署。

顏子豪，2008：「氣候變遷對於集水區入流量之衝擊評估-以翡翠水庫集水區為例」，台灣大學土木工程學研究所，碩士論文。

Alcamo J., Heinrichs T. and Rosch ., 2000: World Water in 2025-Global Modeling and Scenario Analysis for the 21th Century, Center for Enviromental System Research.

Arnell N. W., 1998: Climate change and water resources in Britain, *Climate Change*, **39** (1), 83-110.

Ayers M. A., Wolock D. M., McCabe G. J., Hay L.E., and Tasker G. D., 1994: Sensitivity of Water Resources in the Delaware River Basin to Climate Variability and Change, *U.S. Geological Survey Water Supply Paper*, 24-42.

Downing T. E., Butterfield R. E., Edmonds B., Knox J. W., Moss S., Piper B.S., and Weatherhead E. K., 2003: Climate Change and the Demand for Water, Research Report, Stockholm Environment Institute, Oxford.

Frederick K. D., and Major D. C., 1997: Climate Change and Water Resources, *Climate Change*, **37** (1), 7-23.

Gleick P. H., 1986: Method for Evaluation the Regional Hydrologic Impacts of Global Climate Changes, *Journal of Hydrology*, **88**, 97-161.

Idos S. B., 1984: Rising Atmospheric Carbon Dioxide Concentration may Increase Streamflow, *Nature*, **312**, 51-53.

IPCC., 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC Climate Change.

Piao S., Ciais P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., and Fang, J., 2010: The impacts of climate change on water resources and agriculture in China, *Nature*, **467** (7311) , 43-51.

Protopapas L., S. Katchamart and A. Plantonova, 2000: Weather Effects on Daily Water Use in New York City, *J. Hydrol. Eng.*, **5**, 332-338.

Satty T.L., 1980: The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. McGraw-Hill, New York.

Tung C.P. and Haith D.A., 1995: Global Warming Effects on New York Stream flows (WGEN) . *Journal of Water Resources Planning and Management*, **121** (2) , 216-225.

UKCIP, 2013: The UKCIP Adaptation Wizard v 4.0. UKCIP, Oxford.



## 第六章 糧食生產和糧食安全

<sup>1</sup>盧虎生、<sup>2</sup>姚銘輝、<sup>3</sup>呂學榮、<sup>4</sup>王淑音

<sup>1</sup>國立臺灣大學農藝學系、<sup>2</sup>行政院農業委員會農業試驗所、

<sup>3</sup>國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學系、<sup>4</sup>中國文化大學生物科技研究所

### 摘要

氣候變遷衝擊糧食供應體系是各國所關注的議題，不論是農業、漁業及畜產業皆深受氣候變遷影響，進而威脅到國家的糧食安全。我國以熱量計算之綜合糧食自給率僅 33.5%，顯示我國糧食進口依存度過大，而國內糧食作物生產屢受氣象災害侵襲，耕地過小不易以機械化降低成本，及農地休耕及移作他用等問題，皆顯著衝擊糧食生產潛能，因此應透過政策推動以確保國內長期且穩定的糧食生產，同時也宜透過合作及協議確保國外進口糧食供應無虞。另依據最新氣候變遷評估報告預測，未來全球農作物生產可能朝向負面發展，威脅人類糧食供應及畜牧生產，而海面增暖及海平面上升則衝擊漁業資源維續及應用。因此，我國應積極評估整體糧食安全之脆弱度及恢復力，研擬調適策略以因應氣候變遷造成之衝擊，同時加強研發災變天氣下農業減災科技，對我國糧食生產因應氣候變遷作完整規劃，以確保糧食安全及農業永續發展。

**關鍵字：**糧食生產、糧食安全、作物、漁業、畜產

### 6.1 前言

糧食供應是糧食安全中的重要議題，也是人類賴以生存的重要依據，2013 年全球人口已約 70 億人，預估至 2050 年將達到 90 億人。依據 2008 年聯合國農糧組織 (FAO) 報告，為了因應全球人口與經濟的持續成長，全球糧食產量在 40 年後必須比 2005 年之水準增加 40%，在 60 年後必須增加 70% 的供應量才足夠，以此估算必須增加 16 億公頃的新墾土地加入生產，才可以有足夠的供應量，且此評估結果的前提是不考慮生產風險性，包括因氣候變遷所帶來之災害。實際上，

國際糧食供應量亦與能源價格、總體經濟、氣候變遷的關係相當密切，同時隨著國際經貿自由化的趨勢，將使得糧食議題影響範圍更寬廣、更敏感 (Schmidhuber and Tubiello 2007)。除了糧食供需與價格高低等市場因素外，國際間糧食分配不均、貧國飢餓人口的增加，也是各國必須面對並積極合作解決的迫切問題。此外，依據 IPCC AR5 部分研究指出全球暖化將使中高緯度地區之農作物生育時期加長，有助於新墾地擴增及產量增加，但正面及負面的影響平衡仍尚未確定，而對大多數地區之小麥及玉米產量及全球供應量仍是呈負面的影響。當 21 世紀末或全球氣溫上升 4.5°C 時 (RCP8.5 情境)，世界人口增加對於糧食需求增大，將對全球與區域的糧食安全造成很大的衝擊，尤其在低緯度地區之糧食安全風險將更高。

台灣地狹人稠，可耕地面積破碎，在加上近年來農地移作他用、農村人口外移、農民高齡化、以及國人的飲食習慣逐漸西化等因素下，國內糧食自給率偏低，導致糧食仰賴進口比例過大。此外，氣候變遷及異常氣候發生頻率加劇下，國際間糧食價格持續處於高原階段，及糧食生產大國當遭遇天然災害則緊縮糧食出口量等因素，皆將使我國陷入糧食危機之中。如何評估現有糧食生產現況，包括作物、畜產及漁業等面向，及未來所面臨之問題，尤其是針對氣候變遷趨勢下糧食安全所需有之因應策略，是迫切的重要課題。

## 6.2 台灣農糧作物生產現況及問題

(姚銘輝)

糧食為維繫人類生命和健康不可或缺的基本元素，聯合國農糧組織定義『糧食』，狹義上單指禾本科作物 (cereal) 的種子，廣義上糧食還包括可供食用的根或莖部之作物 (例如馬鈴薯)，但是不包含果樹、蔬菜以及花卉。本文所探討之糧食範圍則更為廣泛，泛指人類所需之食物，包括禾穀類、畜產品及漁產品所構成之糧食安全議題。在 1996 年舉行的世界糧食高峰會 (World Food Summit) 即定義糧食安全 (food security) 為：任何人在任何時候均能實質且有效的獲得充分、安全且營養的糧食，以達符合其飲食及糧食偏好之活力健康生活。

我國行政院農業委員會於 2011 年召開「全國糧食安全會議」，在會議中更明確的提出我國達到糧食安全的目標：(一) 提高糧食自給率，增加國產糧食生產及消費，並設定 2020 年達到 40% 之目標；(二) 掌握糧食進口來源，加強國際農業

投資與合作，打造無國界之糧食安全防護網；(三) 建構糧食安全分級管理體系，掌握糧食安全存量，建立儲備機制；(四) 提升農業用水及農地之利用效率，維護優質糧食生產所需之水土資源，確保糧食安全 (陳 2011)。

### 6.2.1 台灣農糧作物生產現況

我國糧食生產隨著社會進展、經濟能力、農村勞力及農地使用等因素，生產規模及類型有明顯變化。圖 6.1 為過去 30 年之農業生產指數變化，以 2011 年為基準年 (=100)，農業平均指數過去 30 年大約在 90-110 之間浮動，但近 5 年有下滑趨勢，其中以農產指數下滑趨勢最為明顯，畜產由 1990 年起大幅成長，至 1995 年達最高點後逐漸下滑，漁產指數近年遞減趨勢明顯。進一步由作物生產指數顯示 (圖 6.2)，屬於糧食作物之稻米及雜糧在過去 30 年生產指數下降幅度非常明顯，這也是造成糧食自給率偏低的原因。除了因為飲食習慣改變外，大宗穀物國際價格較國產價格低廉也是主因，也導致稻米及雜糧種植面積逐年減少，所減少種植的農田面積則多為休耕地或移作他用。另外蔬菜指數呈現下降，果品指數則為增加，顯示過去 30 年來作物生產結構呈大幅改變，惟近年作物生產指數漸趨於穩定。

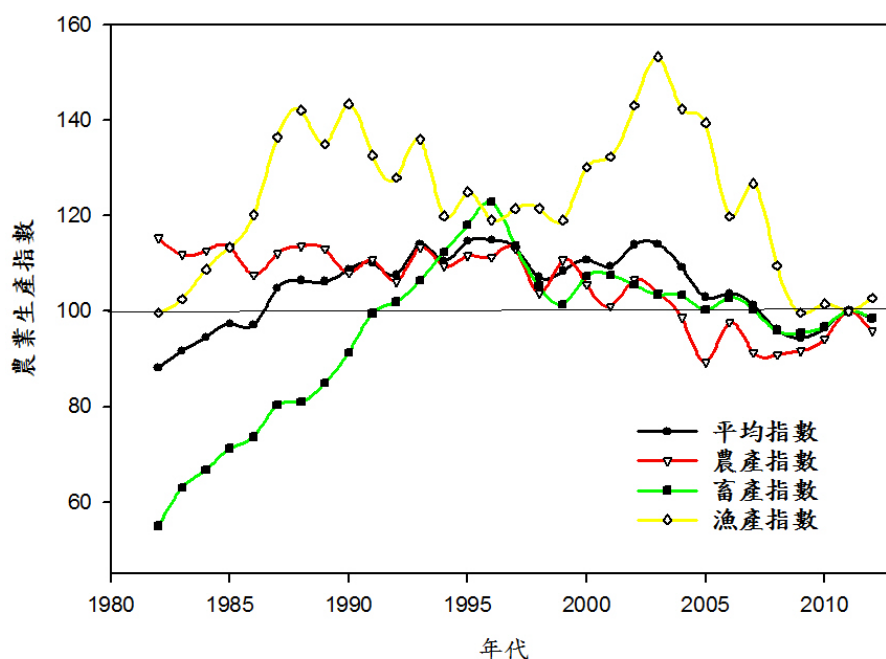


圖 6.1 1982-2012 年台灣農業生產指數 (資料來源：行政院農業委員會 2012)

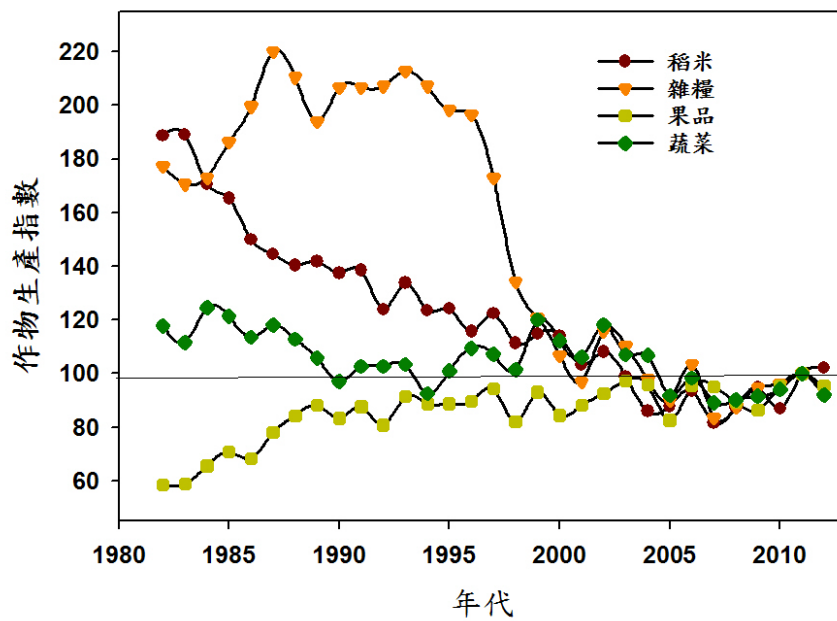


圖 6.2 1982-2012 年之作物生產指數 (資料來源：行政院農業委員會 2012)

台灣糧食自給率，根據農委會糧食供需年報 (2011) 指出，以人均膳食熱量計算之綜合糧食自給率僅為 33.5%。主要原因是小麥、飼料玉米、大豆等穀物大多仰賴進口，自給率均小於 2%，反觀其他糧食包括稻米 (108.2%)、蔬菜 (92.1%)、水果 (88.7%)、肉類 (82.9%)、蛋類 (100.2%)、水產 (156.7%) 等自給率均能維持 82% 以上。

水稻是我國目前可以自足之大宗糧食作物，由於我國糧食生產因地形及耕作環境而有地域上的差異，以西南部為主要糧食作物種植區域，由台中市至屏東縣大多為平整之農耕區，生產農作物約占農業產值 80%。水稻即大多種植於此區域，其餘在蘭陽平原及花東縱谷也是水稻重要生產區。以 2011 年為例，水稻種植面積為 25 萬公頃，稻穀產量為 167 萬公噸 (行政院農業委員會 2011)。

依據我國目前的糧食消費組成，包括以稻米及小麥為主之主食作物類，以及生產肉、奶、及蛋之畜產及油脂為主的玉米、黃豆之飼料作物類。其中除稻米可以自給自足之外，小麥、玉米、黃豆皆全依賴進口。根據 2010 年財政部關稅總局發布的國際貿易統計資料顯示，我國小麥進口主要來自於美國 (占總進口量的 67.5%)、澳洲 (占總進口量的 27.5%) 與加拿大 (占總進口量的 4.9%)；玉米進口主要來自美國 (占總進口量的 64.8%)、巴西 (占總進口量的 24.2%) 與阿根廷 (占總進口量的 10%)；黃豆進口主要來自美國 (占總進口量的 60.4%)、巴西 (占

總進口量的 34.4%) 與阿根廷 (占總進口量的 5%)。由圖 6.3 可知，我國四大糧食作物中有三項皆依賴進口，其最大進口國為美國，同時美國也是全球主要農產品的主要出口國，美國的農業已經控制了全球農產品出口市場的一半以上。隨著全球人口規模的加速上升，未來全球糧食產量必須大幅增長才可以滿足糧食需求，而全球對美國的依賴程度，亦將威脅我國的糧食供應安全。

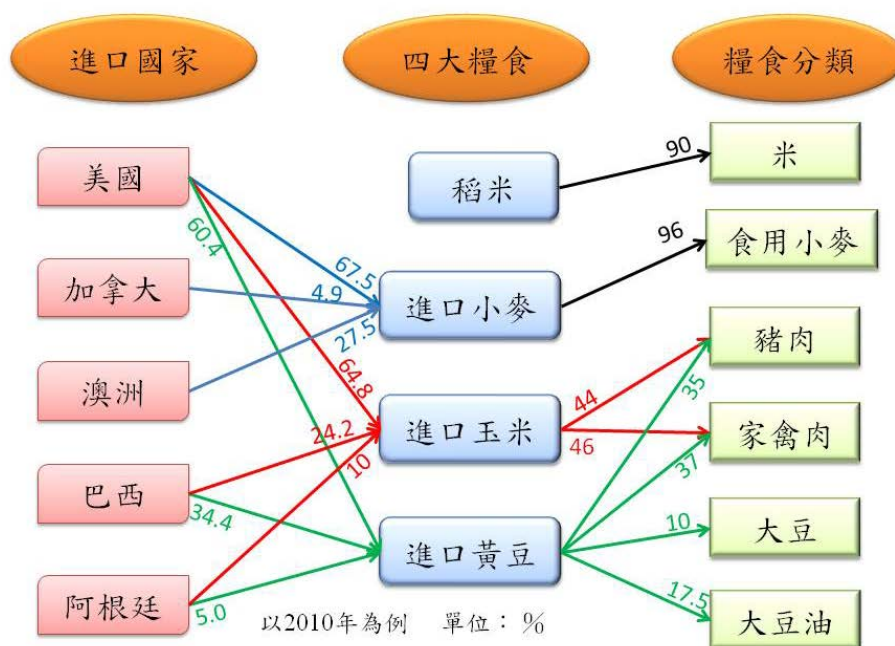


圖 6.3 我國四大糧食進口國進口比例圖

糧食政策受政治因素、社會意識及農民意願的影響，包括目前之補貼政策，活化休耕地及小地主大佃農等激勵耕作措施，雖然對於促進糧食生產的成效仍有待分析，但其促進國內生產以減少進口依賴，擴大耕作面積及導入機械化以降低生產成本，對於整體糧食安全是具有正面意義。水稻是自給率高的糧食作物，同時仍有增加供應的潛力，農委會推動在地消費，提振米食消費量，鼓勵國人多消費國產白米，平均每人每天多吃一口飯，估計每年可增加 5,600 公頃稻作面積，提高綜合糧食自給率 0.24%，並可縮短食物里程，達到節能減碳效果。另充分利用 20 萬公頃休耕農地，獎勵種植飼料玉米、雜糧等進口替代作物。其中飼料玉米部分，自 2013 年起辦理「調整耕作制度活化農地計畫」，鼓勵休耕地復耕種植以替代進口作物已有明顯成效。此外，續推小地主大佃農政策，至 2013 年底大佃農總經營面積 1 萬 3,187 公頃，平均經營規模 8.4 公頃，較一般農戶平均農地面積 1.1 公頃擴大為 7.6 倍 (陳 2014)，顯著提升糧食作物生產潛能。



糧食儲運安全方面，國內稻米安全存量應設定在不低於 40 萬公噸糙米量 (陳 2011)，健全風險管理體系，確保緊急糧食供應，同時尋求與糧食生產國合作，以因應天災時之緊急糧食援助，例如推動「APEC 緊急糧食儲備機制」，架構區域緊急糧食儲備網絡，當天然災害發生時，受災成員向執行委員會提出援助需求，由災區鄰近成員提供糧食援助，並由人道組織協助運送至災區，維持當地糧食供給之穩定 (溫 2010)。

### 6.2.2 台灣農糧作物生產問題

我國綜合糧食自給率僅為 33.5%，但糧食自給率不等於糧食安全，以台灣現有可耕地面積雖不足以提供全部糧食需求，但可依據個別糧食生產及進口的脆弱度，排列作物生產優先次序，提高作物生產指數，或可將糧食安全控制在容許範圍下。

目前我國作物生產結構存在著不平衡的問題，例如 2011 年的稻作面積 25 萬公頃，在保價收購政策下造成稻米生產過剩，而玉米、小麥、大豆及蔗糖反而高度依賴進口；同時，在有限的耕地下，休耕期作面積高達 20 萬公頃。另在消費型態上也存在著國產與進口穀類作物比重失衡的問題，近 10 年來對於國內生產的稻米、水果及豬肉消費量遞減，而對於國外進口的小麥、水果及牛肉消費卻持續增加。整體糧食進口依存度不斷上升，農產貿易逆差持續惡化 (申 2008)。

我國糧食作物生產以水稻為主，但因膳食習慣、糧食價格及農耕制度的因素，糧食自給率偏低，如何有效利用現有農地，如何增加單位面積產量，如何減少災害所造成之損失，皆是目前國內糧食生產所需面臨之問題 (Huang et al. 2009)。此外，若以現在人均膳食熱量及其組成分而言，要維持現有水準約 2,600-2,800 大卡/人日，僅靠國內農地生產之糧食是不足的，如何確保國外糧食進口之穩定機制，或當糧食供應不足時之替代方案，皆需作完整探討與規劃，以確立未來我國糧食政策發展。進口糧食作物主要為玉米、小麥、大豆，其中以玉米進口量最多，每年約需 421 萬公噸 (行政院農業委員會 2011)，大多為飼料用。雖然玉米在我國各地皆可種植，但目前因進口價格相對較低，農民無種植意願，然而當世界穀類價格因氣候變遷而激漲時，勢將影響糧食進口，如何規劃國產玉米種植之面積及區域之互補潛能，是因應糧食危機管理的重要工作。至於我國之大豆及小麥，因氣候適應性及病蟲害問題較難大量種植，如何由栽培技術及品種選擇方面進行



改良，或尋找替代性作物，也是維持糧食安全的課題。

### 6.3 台灣漁業生產現況及問題

(呂學榮)

台灣位於有利漁業發展的地理位置，加上氣候與水文條件的配合，使台灣周邊海域成為許多洄游性魚類必經之道，充滿多樣性的漁業逐漸成為重要的初級產業。台灣漁業除是重要初級產業外，更是供給國人所需之動物性蛋白質的重要來源。根據 2012 年度糧食供需年報統計，肉、蛋及乳品類佔每人每日蛋白質比例為 35.31%，漁產品佔每人每日蛋白質比例為 10.95%，而漁產品提供之動物性蛋白質佔總動物性蛋白質的 23.66% (表 6.1)，其平均每人每年消費 39 公斤左右。

表 6.1 1999-2012 年臺灣漁產品供應動物性蛋白質比例

年	肉、蛋及乳品類 佔蛋白質比例	漁產類佔蛋白質 比例	漁產品佔動物性 蛋白質比例
1999	37.85%	13.92%	26.89%
2000	37.96%	12.61%	24.93%
2001	37.10%	10.73%	22.43%
2002	37.24%	10.77%	22.43%
2003	36.66%	11.99%	24.64%
2004	36.73%	9.35%	20.29%
2005	35.85%	8.57%	19.30%
2006	36.61%	8.15%	18.21%
2007	34.98%	11.20%	24.25%
2008	33.18%	10.10%	23.33%
2009	34.06%	9.28%	21.41%
2010	34.71%	10.12%	22.58%
2011	34.80%	10.51%	23.19%
2012	35.31%	10.95%	23.66%

(資料來源：行政院農業委員會 2012)

台灣的漁業由遠洋漁業、近海漁業、沿岸漁業與養殖漁業等四大漁業所構成，目前約有 32.5 萬的漁民（含專兼業），漁業年產值約 900 億元，佔農業總產量的 27% 左右。遠洋漁業除秋刀魚及魷魚回銷比例較高外，絕大部份漁獲直接外銷，對國內漁產供應貢獻較少。漁產品自給率方面，若以生產量與消費量比例計算，我國漁產品自給率為 100% 以上，但遠洋漁業的生產量有很大部份並未供應內需，直接銷售至國外，若扣除遠洋漁業基地銷售量，其他漁產量合計不到 50 萬噸，則將使我國漁產品自給率降至 56%。過去 20 年來，我國沿近海與養殖漁業產量約為 47-50 萬噸左右，約佔國內漁產品供應的 50% 左右。因此，我國漁產品的供應量有半數仰賴進口，在氣候變遷趨勢下，未來漁產品進口的安全性與否對我國漁產品供應與糧食安全有舉足輕重的影響（侯和呂 2013）。

### 6.3.1 台灣漁業生產狀況

台灣的漁業由沿岸漁業、近海漁業、遠洋漁業與養殖漁業等四大漁業所構成。沿岸及近海漁業產量自 1953 年的 6 萬噸逐年增加至 1989 年的產量高峰 36 萬噸，成長幅度為六倍之多。由於快速的發展，以及缺乏有效的資源保護措施，1980 年後我國沿近海漁業生產的成長趨勢逐漸趨緩甚至出現衰退現象。1990 年後至今，我國沿近海漁業產量均維持在 20 萬餘噸左右（圖 6.4）。

根據 2011 年漁業年報統計，沿近海漁業的總產量為 20 萬 1,696 公噸，總產值為 166 億 3,340 萬元。沿岸漁業方面，總產量為 2 萬 8,117 公噸，產值為 35 億 9,120 萬元（圖 6.4、6.5），主要的漁業別為定置網漁業、火誘網漁業、刺網漁業、櫻花蝦漁業、鏢旗魚漁業、一支釣漁業、延繩釣漁業等。近海漁業部分，總產量為 17 萬 3,579 公噸，產值為 130 億 4,219 萬元，主要的漁業別為巾著網漁業、鯖鱆圍網漁業、火誘網漁業、拖網漁業、刺網漁業、鮪延繩釣漁業、扒網漁業、飛魚卵漁業等。

養殖漁業大致可區分為海面養殖、內陸養殖兩大類，海面養殖可區分為淺海養殖及箱網養殖，而內陸養殖可區分成鹹水魚塭養殖及淡水魚塭養殖。1970 年以前因政府發展重心以海洋漁業為主，養殖漁業發展有限，年產量僅 7 萬 2,695 公噸。1970 年後，因人工繁殖生產種苗、鰻魚養殖技術的開發、吳郭魚品種的改良、蝦苗的繁殖成功等技術的增進，使得養殖漁業大幅增產，養殖面積亦隨之增加，成長相當迅速。1990 年，臺灣養殖面積達 7 萬 6,281 公頃，產量為 34 萬 1,453

公噸，均為養殖漁業史上最高峰。但產業的快速發展亦導致地下水過度抽取，而造成台灣西南沿海地區地層下陷情形日益嚴重，其中下陷較為嚴重的區域為雲林、嘉義、台南與屏東。1990 年以後養殖漁業開始進行產業調整與轉型，在政府減少地下水抽用量，相關計劃的推行與政策的調整，以及國人對海水魚類消費市場需求轉強，促成海水魚養殖逐漸成為養殖漁業的發展主流。2001 年以後迄今，養殖漁業產量均維持於 31 萬公噸左右，年產值由 269 億元 (2001 年) 成長至 417 億元 (2012 年) (圖 6.4、6.5)。

遠洋漁業主要是由拖網漁業、魷釣漁業、鮪漁業所構成，遠洋漁業發展初期是由拖網漁業前往南中國海、澳洲，流刺網漁船則遠赴印度洋與北太平洋，爾後鮪釣漁船遍佈三大洋，鯷鮪圍網崛起以及季節性在西南大西洋捕捉魷魚，再轉北太平洋捕秋刀魚及魷釣，使得遠洋漁業產量於臺灣四大漁業產量比例由 1950 年代的 19% 逐漸增加到 2000 年的 54%；遠洋漁業產量則由 1950 年代的 3.6 萬噸增加到 2012 年的 73 萬噸，占臺灣漁業總產量之 58% (圖 6.4、6.5)。鯷鮪漁業產量達 54 萬噸，並與日本並居世界第一、第二位生產國，秋刀魚與魷魚產量則達 39 萬噸，北太平洋秋刀魚與阿根廷魷魚產量分居世界第二與第三位。

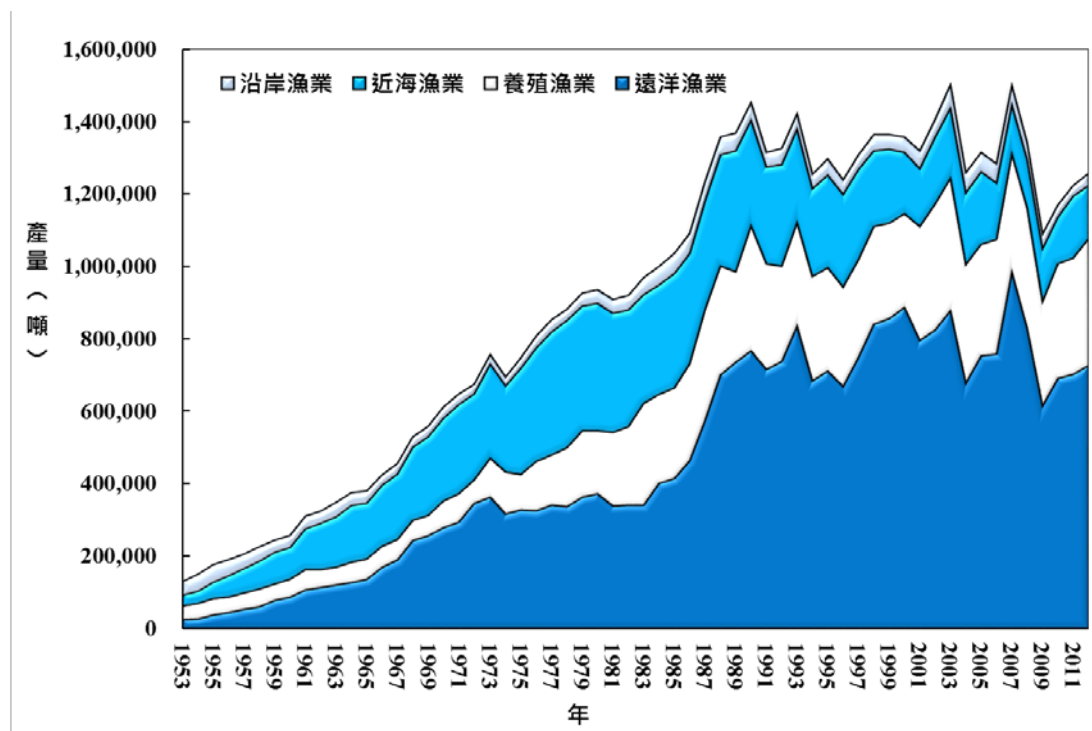


圖 6.4 1950-2012 年臺灣四大漁業產量 (資料來源：中華民國臺閩地區漁業統計年報 2013)

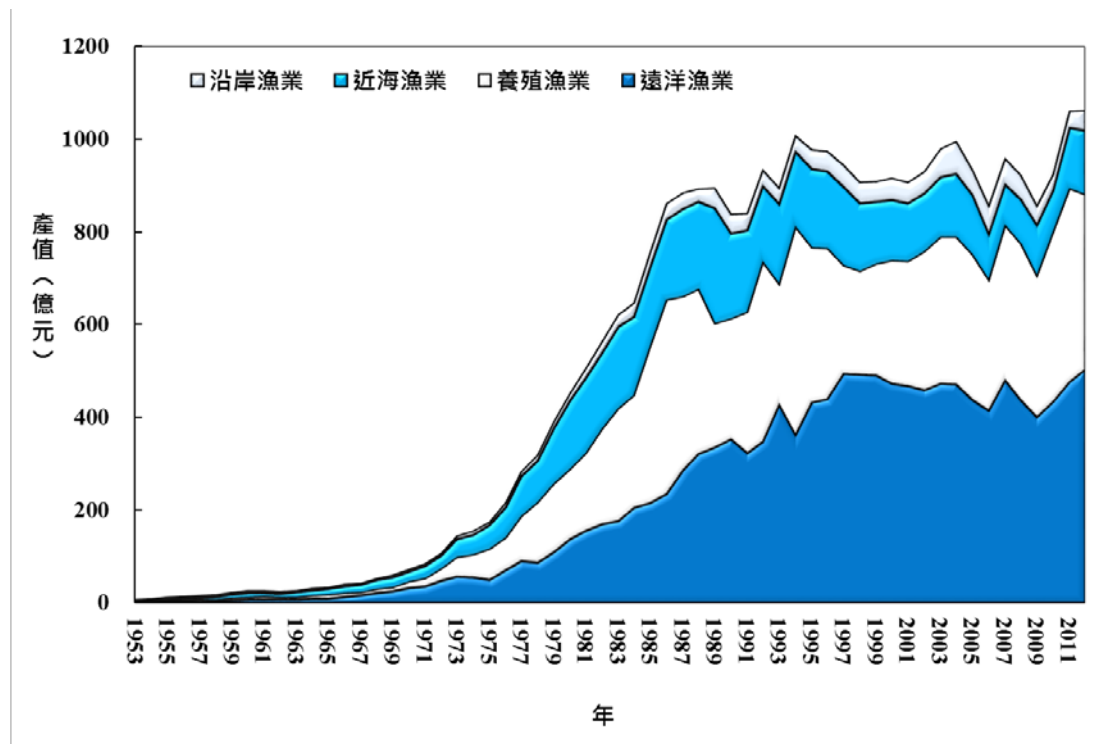


圖 6.5 1950-2012 年臺灣四大漁業產值 (資料來源：中華民國臺閩地區漁業統計年報 2013)

### 6.3.2 台灣漁業生產問題

台灣漁業生產包括沿岸漁業、近海漁業、養殖漁業與遠洋漁業，除遠洋漁業因牽涉範圍較廣且較為複雜不於本文討論外，因捕撈漁業與養殖漁業的本質與漁業特性皆不同，其面臨之生產問題亦不相同，故本文探討我國漁業生產問題時區分為沿近海漁業與養殖漁業兩大部分進行後續之探討。

沿近海漁業生產方面，影響生產的主要原因為沿近海漁業作業規模與範圍較為狹小，易造成過度捕撈現象，以及近年來海域受工商業環境汙染影響，漁業資源受到嚴重破壞，導致產量難以提高。沿岸漁業部分，沿岸漁業之漁獲種類繁多，但漁獲量大多均呈現逐年下降的現象，大多數漁獲物種的產量在 1980 年達到高峰後，便開始呈現下降的趨勢。近海漁業部分，因與鄰國經濟海域重疊問題，導致漁場嚴重壓縮，其漁獲量減少情形較沿岸漁業更為嚴重。漁業經營環境的惡化，導致漁民收入逐年下降，漁村經濟受到嚴重之打擊外，漁業勞動力不足與高齡化之趨勢十分明顯，穩定提供水產品資源之人力結構有瓦解之傾向。沿近海漁業資

源衰退的另一個因素為人口與工業快速成長，以及漁業資源過度利用所致，造成海洋生態環境與資源量受到破壞。此外，近年來極端氣候事件（如水溫上升、異常冷水等）也證實已對我國漁業生產造成衝擊，可能導致部分定棲性與洄游性種群的消失與季節來游性改變或遠離現象，造成漁產量減少、漁獲物種組成改變與生態系統失衡等現象。

養殖漁業生產方面，西岸到西南岸（即彰化至屏東）的縣市，因具有沿海土地廣闊、人口密度較低、地價較為低廉、農業發達、氣候較為溫暖等特性，故成為養殖漁業之重鎮，佔全國總面積的 86.5%。但因產業發展過於迅速，使得土地與水資源使用過度，以及魚蝦疾病與產銷衛生上產生的問題，無法立即獲得改善，導致地層下陷、產銷失衡與漁產品汙染等人為因素導致的負面影響。此外，養殖魚塭經多年養殖後，土地大多劣化，加上沿岸工業化造成沿岸汙染與水質惡化等壓力，將導致養殖漁業處於不穩定狀態。而超抽地下水導致地層下陷等問題，更促使養殖面積逐漸縮減。此外，氣候變遷也可能造成的不利因素，包括暖化、鹽度變化、水位上升、酸雨、降雨量改變等，均使養殖漁業的脆弱度更為提升。

## 6.4 台灣畜牧生產現況及問題

(王淑音)

飼料是人類的間接糧食，是畜牧業之主要投入，而家畜、家禽等產品，供應人類對肉類、蛋類等動物性蛋白質食物之需求。飼料業對下游的畜牧業之依賴度頗高，使得飼料業的成長空間與畜牧業景氣息息相關。大宗穀物為飼料業之上游原料，因此，國際穀物行情的波動及匯率變化，也牽動著飼料業的營運結果。

飼料生產的 90% 成本為原料成本，因此，原料供應狀況與價格漲跌直接影響飼料的生產。飼料原料以玉米與黃豆為主，豬飼料的原料配方中，約有 60%~70% 是玉米，15%~20% 是黃豆粉，其餘為魚粉、麩皮及糖蜜等。家禽飼料的原料配方與豬類似，仍以玉米與黃豆為主，約 50%~60% 是玉米，30%~40% 是大豆，其餘為魚粉、大豆濃縮蛋白等。反芻動物之飼料原料除了也用到玉米、大豆、麩皮以外，因為反芻動物特殊的消化方式，需要用到大量芻料。受限於地理環境，台灣飼料的原料如玉米與大豆等，僅能依賴進口，因此原料價格的起伏牽動飼料

產業的獲利狀況。芻料部分，台灣生產牧草以盤固草、狼尾草、尼羅草及青割玉米為主，雖夏季生產量充足，但冬季牧草產量嚴重不足，因此必須依賴進口乾草，而近年來進口乾草價格也是持續高漲，尤其是 2007 年起，國際能源價格漲多跌少，世界各地大量將牧草農地轉植黃豆或玉米等生質能源作物，導致芻料市場呈現量減價漲之趨勢，2012 年因為美國乾旱之故，乾草價格飆漲 2 倍，更甚於稻米與大豆。

### 6.4.1 台灣畜牧生產現況

台灣畜牧產業包含肉豬、肉雞（白色肉雞、有色肉雞）、蛋雞、肉鴨、蛋鴨、鵝、鶇鶇、駝鳥、乳牛、肉牛、乳羊、肉羊等。畜產業於 1972 年時之產值僅 167 億元，穩定成長至 1992 年時超過 1 千億元後持續攀升至目前 2012 年為 1,485 億元，期間僅在豬隻口蹄疫爆發後有較明顯之降低，但也都一直維持在千億元以上。歷年來畜產佔農業產值大概平均都在 1/3 左右。依據農業統計年報 2012 年畜產業之產值當中，肉類（含豬、牛、羊、馬、鹿、兔，及雞、鴨、鵝、火雞等禽類）佔 77.7%，蛋類佔 14.3%，而乳類僅佔 6.5%，可見我國國民主要動物性蛋白質來源仍以肉類為主。現今台灣的畜禽產業的規模以飼養頭數觀之，有逐年增加現象，但飼養戶數則有明顯的減少，顯見農戶飼養規模日漸擴大，此特性乃因為重視生物安全管理且使用自動化設備，減少人力需求等之因素使然。以養豬產業為例，比較 1971 年與 2012 年之養豬頭數與戶數，頭數自 3 百萬頭倍增至 6 百多萬頭，戶數卻從 54 萬 583 戶減少至 9,273 戶。縱然如此，台灣畜牧產業仍然以小農為主。

### 6.4.2 台灣畜牧生產問題

台灣畜牧生產面臨的問題與畜產安全的問題並不相同。畜產安全問題屬於糧食安全問題，主要考量為人類食物來源之供給。畜牧生產面臨的問題主要是生產成本過高、進口產品衝擊、存在的多數小農缺乏競爭力、疫病的管控、食品安全及畜產品之藥物殘留等問題。但針對畜產安全而言，最主要問題還是在生產成本過高的部分，而其主因就是過度依賴進口飼料原料，而國際間穀物價格節節升高，使得重度依賴進口飼料原料之畜產業面臨成本提高的困境。開放進口畜產品雖然對畜產業衝擊大，但對畜產安全衝擊並不大，主要因為我國畜產自給率相當高，



並不須依賴進口畜產品來維持國人的糧食來源。食品安全如藥物殘留問題及飼料添加物之安全等是另一影響畜產安全的重要課題，尤其在消費者日益高漲的食品安全意識，使得畜產品只要稍有食安問題，整個產業就會受到大規模的影響，尤其一旦發生食安問題，活畜禽或畜產品需大量回收及銷毀，價格因而慘跌造成產銷失衡。此外，畜牧生產也面臨對環境的衝擊，畜牧養殖會產生大量的排泄物、廢水及斃死動物，這些都是畜產廢棄物，需要妥適的處理，才不會對環境造成污染。此外，養殖場或堆肥場所彌散之臭味對環境也造成衝擊。我國畜牧生產之早期是以小規模經營為主，所產生的畜禽糞尿大多以液肥或堆肥形式施用於農田，並無處理利用上的困擾。然而近年來因應人口增加及人民生活水準提高所帶來的糧食需求與動物性蛋白質需求壓力，各項畜牧生產皆大幅增加。台灣地區在有限的農地上，集約生產帶來大量的畜禽排泄物、死廢畜禽及廢水，已經超過環境涵容與復原能力。依經濟部水利署 2012 年用水量統計，台灣畜牧用水雖然只佔農業用水的 0.6%，但因為畜牧業多在中南部，夏季炎熱時需要大量水沖洗畜舍及動物身體降溫，若無適當的廢水處理，便有可能造成河川的污染，也因此政府自 1980 年代起推廣養豬場實施三段式廢水處理，對廢水的減廢產生奏效 (施 2012)。

## 6.5 氣候變遷下台灣糧食作物生產之影響

(姚銘輝)

氣候變遷對現有糧食作物生產的影響，除升溫對於作物適栽區產生北移，及縮短作物生育日期間接導致產量減少外，氣候變遷導致氣候不確定性提高，由於作物生長主要受氣候影響，極端氣候事件發生頻率增加，如豪雨、乾旱、極端高溫、極端低溫，將使作物瞬間受損，不僅是國內糧食生產量減少的問題，其他糧食輸出國也會面臨相同威脅，將使全球糧食供應鏈更加脆弱。

### 6.5.1 氣候變遷對台灣糧食作物生產之直接影響

IPCC AR4 提到氣候變遷對於農業可能造成的衝擊，包括在熱帶與副熱帶氣候區之炎熱日數與熱浪發生頻率增加，導致糧食作物產量減少；寒冷日數減少則使病蟲害發生嚴重；熱帶氣旋及強降雨發生頻率增加造成作物受損，另對土壤沖

蝕或積水導致耕作受到限制；乾旱發生導致地力衰退及牲畜死亡，而海平面上升則可能造成土壤與灌溉水質鹽鹼化等現象。而最新 AR5 報告則指出，現在氣候變遷與極端氣候事件相關的風險（例如熱浪、極端降雨及海平面上升），目前為中度風險（medium confidence），但待全球暖化增加 1°C 則為高度風險（high confidence）。氣候災變在不同國家或地區所受衝擊程度雖不同，但因耕作減少、農地破壞、地力衰退及水源缺乏將造成之糧食供應短缺，不僅是生產端收益減少及消費端價格上漲，而將危及國家層級的糧食安全問題，及人類物種能否存續的危機。因此，除了研擬調適策略以降低氣候變遷衝擊外，糧食安全之脆弱度及恢復力評估，災變氣候下之農業減災技術研發，對於減緩氣候變遷衝擊皆相當重要。

### 6.5.1.1 氣候之緩變對台灣糧食作物生產之影響

對於未來氣候變化的評估，雖然氣候本身具有很高的變異性，使得預測上存在極大的不確定性，但目前科學界對於二氧化碳（CO<sub>2</sub>）濃度及氣溫的持續增加則具有共識，差別僅在上升速率的估算幅度。依據預測在 21 世紀結束前，如果未積極有效的減緩溫室氣體排放，而 CO<sub>2</sub> 濃度將達到 936 ppm，另由不同氣候情境或模式的評估結果，全球平均溫度皆高於 1.5°C 以上（IPCC AR5 2013）。對農業生產而言，雖然作物有所謂『CO<sub>2</sub> 肥料效應』（Centritto et al. 2002），也就是提高大氣 CO<sub>2</sub> 濃度有助於葉片光合作用之進行，使作物生質量（biomass）累積增加，但大氣 CO<sub>2</sub> 濃度增加所帶來增溫現象卻縮短作物生育期，可能造成穀粒充實不足而減產（Gouache et al. 2012）。姚等人（2009）利用四種不同大氣環流模式評估未來我國水稻產量改變情形，結果指出我國北部將呈減產趨勢，但在中南部水稻主要種植區則有增產現象，同時此現象 2080 年較 2050 年更明顯，但如果以台灣全區之平均而言，是呈減產趨勢，2020 年減產 3.5%，2050 年減產 4.7%，2080 年減產 7%。當然這僅就氣候影響評估，但未考慮氣象災害、水資源供應、病蟲害發生及雜草競爭等，若將這些因素納入評估，則未來國內水稻生產將更悲觀。

### 6.5.1.2 異常氣象對台灣糧食作物生產之影響

台灣地理環境特殊，四季受到大陸及海洋截然不同之氣候型態交互作用下，加上地形陡峭而孕育豐富氣象環境，但同時也遭受不同災害的侵襲，尤其是農產品生產過程常遭遇氣象災害的侵襲，由過去 30 年（1981 年至 2010 年）的農業統

計年報資料顯示，每年造成農業損失約 10~180 億元，不僅農民無收成可言，也因供應量減少使價格飆漲，引起消費者的抱怨。常見主要氣象災害包括颱風、豪雨、寒害及乾旱等，另一些氣象異常變化造成區域性災害，也影響農作物生長而導致產量下降，例如病蟲害、冰雹、焚風及風害。依據農委會統計資料，我國水稻生產受颱風及豪雨的損失占其全部災損金額的 90% 以上，在穀粒充實期及成熟期因豪雨而倒伏，使稻穀無法收割造成損失，其餘尚包括一期作整田期乾旱、秧苗期寒害，及營養生長期之病蟲害等，水稻過去 30 年之災損金額平均每年約在 8 億元之間。

氣象災害對於糧食安全的穩定度是一項威脅，不論是國內生產或是國外進口皆然，尤其是面對氣候變遷所導致之極端氣候事件發生頻率增加的影響。但氣象預報仍有科學上的限制，無法達到完全準確，且有些災害也難以完全避免損失，但透過在災害發生前進行防範可減少損失，尤其應宣導農民有關災害機率訊息的利用，及相對防災作業規範的建立，不論災害是否發生，進行防災作業對農產品穩定供應具有實質幫助，也可減輕政府災害救助的負擔，同時研究機構也應加強防災技術的研發，及發佈災害預警即時發送訊息機制，以淺顯易懂方式傳遞給農民而達到減災的效果。

### 6.5.2 氣候變遷對台灣糧食作物生產之間接影響

農業用水約占臺灣一年總用水量的 71.3%，由於農業的缺水容忍度相對較高，所以在缺水乾旱時期，經常調度農業用水供民生及工業使用。但在氣候變遷衝擊下，我國水資源的調配將可能面臨更大問題，依據 Tung (1997) 以大甲溪為例的研究發現，在二倍 CO<sub>2</sub> 的氣候情景下，我國總雨量將增加 4%，但在豐水期增加 7%，在枯水期卻減少 3%。由此可知，未來降雨呈極端化，豐水期 (夏季) 雨量增多，逕流增大，容易對農作物造成降水傷害；枯水期 (冬季) 則降雨日數減少，溫度升高結果，加速蒸發散量，使水資源更形緊縮。尤其水稻一期作所需灌溉用水可能因冬季缺水而受到排擠，甚至導致政策性休耕。2014 年之冬季嚴重乾旱，導致 2015 年之一期作進行政策性休耕 4 萬餘公頃即是一實例。

另未來氣候變遷趨勢仍有許多尚待研究的議題，不同糧食相關研究可能因設定情景差異而有不同的結論，甚至是相互矛盾，但糧食生產有季節性，同時受土壤特性、水資源及需要成本投入，尤其氣象災害更是糧食穩定供給的最大變數，

我國整體糧食安全脆弱性高，能夠預期或掌握的要素不多，惟有增強災害後之恢復力，及加大糧食提供之緩衝力上限，才能確保糧食安全。

### 6.5.3 氣候變遷對台灣糧食進口之影響

作物生長過程直接受氣候的影響，氣候變化影響糧食的產量，也牽動價格的波動，這不只是國內生產部份，氣候變異也同樣影響全球各區域之糧食生產。由於我國四大糧食作物（水稻、玉米、黃豆及小麥），除水稻可自給自足外，其餘皆需進口，進口除受價格影響外，出口國之生產潛力、意願、及運輸成本也會影響我國進口風險。

我國主要糧食進口國為美國，同時美國也是全球主要農產品的主要出口國。由於長時期以來之調整，北美地區之氣候對目前栽培之作物品種而言已為最適溫度，故當氣候持續暖化，產量減少程度將多於增加。然而，伴隨 CO<sub>2</sub> 濃度上升，對於不同作物之產量也產生不同之影響。根據 Hatfield 等之研究 (2011)，當溫度上升 0.8°C，且 CO<sub>2</sub> 濃度上升影響下，美國中西部、東南部的玉米產量將減產 5%，大豆分別增產 9.1% 與 2.4%，北美大平原之小麥則增產 2.4%。Stöckle 等之研究 (2010) 也指出，當於氣候變遷下僅考慮 CO<sub>2</sub> 濃度上升影響時，美國西北部之冬小麥與春小麥產量於 2040 年時將各別增加 20% 與 7%，2080 年時，增加 30% 與 3%。然而，如果同時考慮溫度的變化，IPCC AR5 報告中指出，當全球平均溫度上升 2°C 時 (RCP4.5 情境)，極可能導致北美地區極端高溫與極端日降雨事件更頻繁發生，年降雪量減少與提早融雪事件發生頻率也將提高。當極端氣候事件在作物主要產區且於生育關鍵時期發生時，將對作物產量產生嚴重負影響，進而影響全球糧食價格。此外，海平面升高、暴風增大浪潮、劇烈之乾旱與降雨變異等氣候災害相繼發生，也將導致水資源、農業、經濟活動、鄉村與城市面臨更大之災害壓力。全球平均溫度上升 4.5°C 時 (RCP8.5 情境) 時，上述氣候事件發生之規模與頻率將更為加劇，衝擊糧食出口國自身的生產能力。

氣候變遷造成自然災害增加及世界糧食經濟的快速轉變等，這些因素將影響未來糧食安全，就國內生產及國外進口相比較，後者受許多因素影響（如氣候、政經情勢）及選擇性低，相對脆弱度較高，當主要進口國未來糧食輸出配額減產或停止時，對於糧食進口依賴程度高的我國將是一大危機。

#### 6.5.4 我國有關氣候變遷之農業政策

我國政府目前對於氣候變遷已經有相關規劃與行動，行政院自 2009 年即積極強化「國家永續發展委員會」的功能，下設節能減碳及氣候變遷組，作為氣候變遷減緩與調適政策推動之平台，並分由行政院環境保護署與行政院經濟建設委員會整合推動相關工作，以健全國家調適能力，降低社會脆弱度並建立我國整合性的運作機制。並於 2010 年成立「規劃推動氣候變遷調適政策綱領及行動計畫」專案小組，研擬我國氣候變遷調適政策綱領與行動計畫，協調推動我國調適政策。2011 年出版的「台灣氣候變遷科學報告 2011」即針對 IPCC AR4 中有關全球與台灣的氣候現況進行論述與分析，說明台灣過去、現在、未來氣候的改變與可能面臨的衝擊（行政院，2011）。2012 年提出「國家氣候變遷調適政策綱領」下分八大領域，分領域描述衝擊與挑戰以及調適策略（行政院，2012）。在農業與生物多樣性領域方面，面臨的衝擊為農業灌溉型態的衝擊，以及農業生產的衝擊。而提出的農業生產調適策略有四點：（一）依風險程度建構糧食安全體系；（二）整合科技提升產業抗逆境能力；（三）建立多目標與永續優質之林業經營調適模式，並推動綠色造林。（四）建立農業氣象及國內外市場變動之監測評估系統。希望能加強事前的衝擊調適能力，以及在災害過後，能夠儘速回復正常。

### 6.6 氣候變遷下台灣漁業生產之影響

(呂學榮)

除漁業生產自身問題外，氣候變遷造成的環境變動將直接或間接影響漁業生產的質與量，並使得漁產供應的不確定性與風險增加，進而衝擊我國糧食供應鏈。根據 IPCC 與 FAO 指出，氣候的緩變（海水暖化、海洋酸化等）與驟變（水溫異常、降雨型態與頻度改變、颶風等）將改變海洋混合層、營養物質循環及基礎生產力，進而影響對象水產資源的成長、死亡、資源量及其生態結構，最終導致漁業產能的改變，以致漁業生產力波動性增高（Brander 2007, Cochrane et al. 2009, IPCC 2013, Sandifer et al. 2014）。氣候變遷對漁業生產造成的影響及途徑十分複雜，也充滿不確定，其影響層面包括海洋環境、海洋生物、社會與經濟等（圖 6.6）。



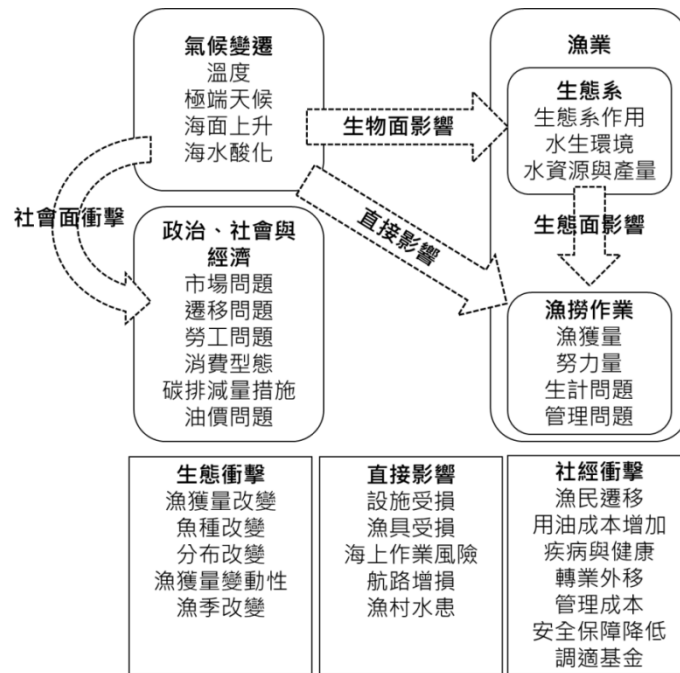


圖 6.6 氣候變遷對漁業生態影響、直接影響及社會經濟影響 (資料來源：Cochrane et al. 2009)

### 6.6.1 捕撈漁業面臨之衝擊

許多沿近海捕撈漁業之存在，是建立在每年固定隨大陸沿岸流來的冷水性魚類或隨黑潮而來的暖水性魚類資源上。受到水溫上升、海水酸化、海平面上升、洋流型態改變及氣候異常的交互影響，對海洋基礎生產力、生物多樣性、生物群集分佈及海洋生物生理功能（如成長、代謝、生殖、行為）等造成不同程度的影響（IPCC 2013），但捕撈漁業受到的衝擊則較不清楚。而遠洋漁業遍佈三大洋公海及他國經濟水域，生產問題牽涉較複雜的因素，且在全球性的資源保育意識的抬頭與責任制漁業的推行下，許多國際組織強化其功能，增加許多管理規範。基於海洋資源永續利用與落實有效管理之前提，我國遠洋漁業產量無再增加之可能，但影響各海區遠洋漁業生產之因素複雜，本文之後續探討將遠洋漁業排除在外。

歸納目前氣候變遷對捕撈漁業可能衝擊包括：(1) 漁場分佈的改變及捕獲量降低；捕撈漁業的漁獲物種組成與海水表面溫度極為相關（Cheung et al. 2013，IPCC 2013），而台灣周邊海域因水溫上升已造成以往南下產卵及越冬魚種向北退縮，黑潮主流、支流及南海海流所帶來的暖水性魚種向北擴展（李 2010a，李 2010b，Lan et al. 2014）。未來海表溫度將繼續上升，周邊海流消長將更明顯，主



權水域的漁獲量將更減少；(2) 捕獲量變動加劇：受到過度捕撈、棲地破壞、汙染及溫排水、外來種入侵等人為因素影響，海洋生物多樣性遭受破壞，生命週期短、體型小、食物塔下層之魚類成為漁獲主體，使漁業資源在面臨氣候變遷衝擊時更形脆弱，漁獲量變動將更加劇烈 (李 2010a, 邵 2010, Ho et al. 2013, IPCC 2013); (3) 漁撈作業的影響：漁場位移與資源的變動，海上風暴次數與強度增加，對海上作業安全危害增加，使從事漁業工作的危險性增高，漁業生產成本增加 (呂 2010, Daw et al. 2009, IPCC 2013)。

氣候變遷造成洪水、乾旱等立即性損害，對生態環境造成緩慢卻不容忽視的衝擊，而這些變化目前已經發生，預計未來可能會對海洋生物生產造成嚴重的影響。過去已有研究針對台灣周邊海域水溫增溫趨勢進行模擬 (2030 年、2050 年、2100 年)，其結果顯示未來台灣周邊水域之表面水溫不論冬季、夏季或各區域，皆呈現逐漸升溫的現象 ( $0.01\sim 0.04^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ ) (Cheung 2010)。台灣周邊水溫的上升已造成冷水性魚種如烏魚、烏魚苗、鯖魚與日本鯷等魚種來游量減少 (李 2010a, Lu et al. 2012, Lan et al. 2014)，未來暖化現象持續發展，則此趨勢可能更加劇，造成這些洄游性種群的完全隔離或區域性種群的消失。例如李 (2012) 指出，根據 SRES-A2 與 SRES-B2 情境模擬，台灣氣溫將會升高  $0.45^{\circ}\text{C}$  與  $0.7^{\circ}\text{C}$ ，氣溫持續上升情況下，台灣周邊海水表面溫度亦會逐漸升高，並會造成洄游至台灣產卵的烏魚減少，若溫室效應不被控制，則 2040 年後烏魚可能不會再洄游到台灣附近海域產卵。

未來水溫上升除對魚類造成影響外，對珊瑚礁亦會造成影響。夏季時台灣周邊水溫就接近珊瑚成長水溫的臨界點 ( $30^{\circ}\text{C}$ )。根據 IPCC (2013) 評估，1971-2010 年間全球海平面以下 75 公尺以內的上層海水每十年增溫  $0.11^{\circ}\text{C}$ ，21 世紀末海洋上層 100 公尺的暖化程度為  $0.6\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ ，1000 公尺深處暖化程度為  $0.3\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ 。故未來水溫若持續上升，將可能造成大範圍的珊瑚白化，對許多具有商業價值的魚類、軟體動物 (螺類、雙殼貝類、頭足類)、甲殼類 (蝦、蟹、龍蝦) 與海草而言，珊瑚維繫著許多海洋生物資源的繁衍與成長，為孕育沿近海漁業資源的重要棲所。因此，若珊瑚礁遭受破壞將會間接影響漁業發展、漁民工作與食物的穩定供給，故珊瑚礁遭受破壞將會嚴重影響國家經濟與糧食供應 (Wilson 2006)。

## 6.6.2 養殖漁業面臨之衝擊

氣候變遷對養殖漁業的影響與海洋捕撈漁業較為不同，其影響較為直接，主因為養殖魚塢或設施為固定地點。但因養殖魚塢受小環境短期氣候的影響較大，因而忽略氣候變遷因素的影響。養殖漁業的經營與自然環境有著密切的關係，當颱風、豪雨等極端氣候事件發生時，相對容易發生災害，進而導致水質惡化、養殖物種流失、魚塢受淤泥掩埋等情況發生，並造成養殖漁民的損失 (Cochrane et al. 2009, 繆等 2010)。然而，未來氣候變遷造成的極端氣候事件將成常態，其對養殖產業造成的衝擊將無法避免。

目前養殖漁業面臨的衝擊可分為直接衝擊與間接衝擊，直接衝擊包括：(1) 海平面的上升，造成海水入侵而限縮養殖面積，並使土地鹹化更趨嚴重 (蘇 2010, Daw et al. 2009, IPCC 2013)；(2) 極端氣候事件 (譬如颱風的衝擊、暴雨及洪流等) 造成的低溫寒害，將導致養殖環境或水質改變，並會導致魚類突發性的大量死亡 (繆等 2010, 蘇 2012)；(3) 颱風暴雨引發土石流、漂流木與污染物，嚴重影響養殖池與沿岸養殖海域的水質與環境。間接衝擊則包括：(1) 降雨量的減少將使得淡水資源不足，淡水養殖面臨更大挑戰；(2) 漁業資源降低，衝擊飼料來源；(3) 原物料價格上漲，增加養殖業者的成本支出；(4) 天然環境的改變易導致基礎生產力的改變，造成養殖物種罹病率與死亡率提高 (De Silva and Soto 2009)；(5) 漁產品價格波動幅度加劇；(6) 魚油與魚粉的供給問題 (繆等 2010, 蘇 2012)。

海平面上升造成之直接衝擊應特別注意，因養殖地區的地質構造大多屬海埔新生地，本就易發生地層下陷的情形，養殖業抽取地下水已造成土地下陷問題，其中又以中南部下陷最為嚴重 (繆等 2010)。呂 (2010) 以 IPCC AR4 (2007) 預測海平面上升值進行模擬，結果顯示 2030 與 2100 年海平面上升約為 0.18 與 0.66 公尺，則台灣西南部的養殖魚塢分布最多的縣市，其相對海平面水位上升將超過 1 公尺，可能造成台南地區淹沒範圍約 10%，雲林縣約 9%。然而，IPCC AR5 (2013) 評估報告指出 2081-2100 年全球海平面上升為 0.26-0.55 公尺 (RCP2.6 情境)，其海平面趨勢更為迅速，故對於我國養殖漁業面積將造成相當程度的衝擊，加上台灣西部沿海近年來地層下陷嚴重，更可能促進海面淹沒範圍更廣，影響亦更大，故海平面上升不僅影響台灣養殖漁業，亦會影響海岸濕地。

## 6.7 氣候變遷下台灣畜牧生產之影響

(王淑音)

畜禽受氣候變遷影響的層面，除了因暖化有關的熱緊迫、疾病之威脅，以及極端氣候事件（風、雨災害等）之直接效應外，亦受間接後果之衝擊。例如，暖化效應促進微生物的滋生，而玉米等飼料原料中的黴菌毒素也因而提高，畜禽的飼料品質惡化，影響其健康狀況，也是氣候暖化間接造成的影響。當然，氣候變遷有礙作物收成而助漲了穀物價格，深化了人類缺糧的危機，也同時提高畜禽營養失衡的可能（畜主被迫使用劣等原料），而降低動物的抗病能力，繼而增加了健康的風險。

暖化的間接效應包括各種疾病預防措施，或是生物安全保障作法皆日趨昂貴。在節能減碳及降低成本之考量下，健康防護疏失的機率增加，加上外界病原侵襲的危機提高，因而擴大畜禽健康風險。因此，畜牧獸醫因應氣候變遷的措施中，加強生物安全管控的急迫性，遠大於抗熱品種的選育。

### 6.7.1 氣候變遷對畜牧的意義

氣候變遷對畜牧造成的衝擊主要是影響飼料作物的生產、畜禽的生產性能及畜產品的品質 (Babinszky et al. 2011, Gregory 2009)。氣候變遷會影響氣溫及降雨量之變化，進而對影響牧草之產量、品質及病蟲害之危害 (Tubiello et al. 2007)。氣溫的上升有利於病蟲害的發展與疾病媒蚊之傳播，使得畜禽疾病增加，生產性能降低 (Forman et al. 2008)。氣溫上升造成動物之熱緊迫，使得動物採食量減少、生理機能下降而影響產量，對於動物之繁殖性能亦有相當之影響如動情週期變長，發情徵候減弱及縮短發情期，並且受胎率降低及胚胎死亡率增高 (Pritchard and Whay 2010)。熱緊迫對於家禽則使呼吸過速、飼料效率下降、雞隻存活率下降、育成率減低、受精率降低、產蛋率、孵化率、蛋重及蛋殼品質皆受影響。高溫時畜禽患病率升高、抑制動物免疫系統，病媒活動增強，可能產生新的疾病，造成動物大量死亡 (Summers 2009, Skuce et al. 2013)。雖然動物對環境之逆境亦有所調適，但畢竟調適需要長時間藉由物競天擇的原理由物種演化來適應，但若氣候變遷之速度無法減緩，可能目前的畜禽物種並無法快速調適環境的變遷。綜言之，氣候變遷對畜牧的意義便是直接威脅到生產效率、產量、畜產品品質及畜禽健康

等畜產安全。

### 6.7.2 畜牧與畜產產生之溫室效應

畜牧產生之溫室效應來自於動物攝食食物後消化、吸收、代謝及排泄的過程所排放的溫室氣體。其來源主要分為腸內發酵及糞尿處理。腸內發酵的排放氣體為主要為甲烷，是食物當中的碳源經過腸胃道的細菌發酵後所產生的氣體，其排放量受消化道型態、動物年齡、體重、飼料的質與量及動物的能量消耗情形。反芻動物（牛、羊等）因為攝取大量含纖維素成分的芻料且其消化道有大量微生物可以進行發酵作用，因此其甲烷排放量遠大於其他畜禽物種（如豬、禽類）。我國飼養之反芻動物量少，因此由腸內發酵所排放之甲烷相對並不多，依據國內研究資料顯示，我國之乳牛腸胃發酵排放係數（134.7 公斤/頭/年）較 IPCC 定義的係數（56 公斤/頭/年）高，即便在係數較高的估算下，在 2012 年我國反芻動物（乳牛、非乳牛、水牛、山羊）腸胃發酵所排放之甲烷佔畜牧業所有動物總和之 60%（農業清冊），若加上糞尿處理的甲烷排放，則占畜牧業之 48%。相較世界糧食組織估計之全球畜牧生產，反芻動物腸胃發酵排放的甲烷佔畜牧之 74%（牛：62%，羊：12%）少很多（Key 2009），主要原因還是因為我國牛、羊產業生產的畜產品並不多。豬隻與家禽腸內發酵排放之甲烷佔畜牧生產所排放之 40%，家禽的腸胃發酵甲烷因為排放量極少之故，在國際間是被忽視的，但我國卻有相關研究提供係數供國家通訊估計（Wang and Huang 2005），以本土係數估算結果，2012 年家禽腸內發酵排放之甲烷佔畜牧生產排放甲烷之 1.6%（農業清冊）。

糞尿處理則因糞便中含有食物中殘留未消化之碳及氮源或代謝後之氮源（尿素、尿酸等），經由不同糞尿處理方式後釋放出甲烷及氧化亞氮。我國目前畜禽糞尿處理以養豬業之三段式廢水處理系統（固液分離→厭氣發酵→好氣處理）與其他畜禽之堆肥製作為主。三段式廢水處理因厭氣發酵之故產生沼氣，內含 60%-80% 之甲烷；堆肥製作則因不同程度之發酵過程而產生不同程度之甲烷與氧化亞氮。我國畜產無論產值或產量都是以豬為最，豬糞尿處理雖產生大量甲烷，但若充分利用甲烷轉變為熱能或電能等資源再利用，可以減少許多排放到大氣中的甲烷量。

依據行政院環境保護署之我國國家通訊第 2 版（草案）統計，我國各部門溫室氣體總排放量為 270 百萬公噸 CO<sub>2</sub> 當量，其中農業部門約占 4.2%，而畜牧業

占農業部門中之 10.2%；另依畜種別區分責任排放，甲烷之排放為豬、雞及牛與羊分占 29.9%、37.4%及 32.8%，而氧化亞氮則為 7.7%、91.6%及 0.7%。

畜產品所產生的溫室氣體一般以生命週期 (Life Cycle Assessment) 的概念來算，則是除前述畜牧生產飼養動物直接排放的溫室氣體外，間接因其生產的飼料製造與運輸，畜產品 (乳、肉、蛋) 的製造、加工、運輸等過程產生的溫室氣體，糞尿堆肥處理後的農地施放等也要算進來。針對這些排放源，以碳足跡的觀點來看，改善飼養管理方法、減少進口飼料之使用率、在地生產及在地消費是降低碳足跡的不二法門。

### 6.7.3 台灣畜牧生產面臨之衝擊

台灣畜牧生產面臨最大的衝擊是生產成本居高不下，而其中最大的因素便是對於進口飼料原料之高度依賴性。而因為氣候變遷的影響，全球糧食減產，進口飼料原料價格節節上漲，使得畜牧生產成本受著價格變動的影響而牽動。此外自台灣加入 WTO 以來，開放活禽畜、肉類及雜碎肉之進口持續成長，與國內畜產業抗衡，造成嚴重的衝擊。台灣地狹人稠，土地的取得與環境污染之環保問題限制了畜產業的發展，因為土地的限制及高密度飼養，臭味所造成的空氣污染一直都是受到重視的議題。近年來動物福祉意識抬頭，畜產業面對國際趨勢與消費者及社會團體所訴求的提升動物福祉的友善飼養模式，也是會面對轉型及成本的衝擊。而因應動物福祉的畜牧生產形式與節能減碳是不同步的，因為友善的飼養環境需要更大的空間及使用更多的能源，兩者之間如何取得平衡也是重要的議題。

## 6.8 達成糧食安全之可能措施

國際糧價動態自 2007 年以來即受各國高度的重視，由於氣候變遷、穀物產區氣候惡劣、油價上漲、發展生質燃料、開發中國家需求增加，以及全球庫存量偏低等因素；簡單而言，就是糧食的供給減少，同時又需求增加，所以導致國際糧價持續上漲。這不但加重糧食進口國的成本，甚至許多國家也在糧食安全的顧慮下開始管制出口，更加深依賴糧食進口國家的隱憂。聯合國糧農組織 (FAO) 在 2008 年即提出警告，全球糧食庫存量已處於 25 年的最低水平，且至少 10 年內糧食價格都將居高不下；世界經濟論壇 (WEF) 在 2008 年的全球風險報告中也



指出，糧食安全將成為未來 10 年全球經濟四大風險之一。

面對糧食危機，可以預期全球糧食短缺與供給不穩定現象應該會越來越嚴重，而且不會和緩。根據 1996 年聯合國糧農組織 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) 召開的世界糧食高峰會 (World Food Summit, WFS) 之定義，糧食安全同時包括四個面向，分別為糧食供給度 (food availability)、糧食可獲取度 (food access)、糧食利用 (food utilization) 和糧食供應穩定度 (food stability) 等方面。前三面向為影響糧食安全的實質決定因素 (physical determinant)，最後一個面向則為時間決定因素 (temporal determinant)，而四個面向必須同時滿足，才符合糧食安全之目標。糧食安全之所以如此重要，主要是因為其背後亦涉及到許多政治、社會、經濟、環境方面等諸多因素。根據糧食安全架構的重要面向，可知一國的糧食安全狀態，必須確保糧食供給面的充分供給，並在糧食充分供給的前提之下，確保家計單位或個人在消費面有能力獲得糧食，並具有將糧食轉化為營養的糧食利用能力，此為影響個人最終營養狀態的重要三個面向。糧食穩定供應能力則可能由於氣候變遷造成的極端氣候事件、政治或經濟不穩定等諸多因素，對糧食安全三項實質決定因素造成不良的影響。

自糧食的需求面來看，新興國家的人口與消費需求擴張、多方面用途的需求成長 (如生質燃料原料需求) 等是近年來造成糧食需求提升的重點因素。中國、印度等開發中國家近年來經濟快速成長，人口膨脹同時帶動糧食需求的提升，預期未來糧食需求的增加仍相當快速。從農業生產面來看，全球農業可耕地有限，現有可耕作面積與 50 年前水準差異不大，顯示全球耕地資源已達飽和，半世紀來農業增產係仰賴種苗、技術、肥料等耕作方式的進步來提升單位面積產能，然而這樣的作法仍有其極限，FAO (2008) 的統計資料顯示，近年來單位產量提升的幅度有逐年下降的趨勢。未來若沒有突破性的農業科技出現，全球糧食增產量將越來越有限。再者，加上全球氣候變遷日益顯著，將對農業產生許多短期與長期性的負面影響。短期影響包括極端氣候事件的頻繁發生，如乾旱、洪水，使農業產量不穩定；長期影響包括平均氣溫變化、海平面上升等，直接且永久的影響農業耕作環境，如作物適應之區域分布改變、農地消失、土壤及地下水鹽化等。氣候變遷的因素又使已漸趨疲乏的糧食增產能力雪上加霜，顯見未來全球農業生產並不樂觀。

除經濟層面的供需因素外，政策面的出口管制也是導致國際糧食貿易流通量變化的主要原因之一，主要糧食輸出國可能實施強度不一的出口管制政策。換句



話說，各國逐漸意識到糧食生產逐漸不敷快速擴張的需求，紛紛以供應國內為優先，此也透露出一個重要的訊息，即為基於糧食安全考量，各國應具備相當程度的糧食自給能力，即使是糧食出口國也不例外。因此我國應開始重新審視糧食自給率，並著手研擬各種提升糧食自給能力的相關作為。以下分別就作物安全、漁業安全及畜產安全提出可能之因應措施。

### 6.8.1 作物安全與達成之可能措施

(姚銘輝)

為確保我國的糧食安全，政府應研擬平時與非常時期之因應對策。我國之糧食安全政策宜建立在以國產農產品為核心的基礎上，以農產貿易及糧食庫存來加以補充，同時針對我國糧食安全現況之各項因素的脆弱度評估，及國際糧價上漲及天然災害等衝擊下之恢復力評估，皆有賴於科學研究及驗證，以建構完整糧食安全之預警機制及因應措施。

- (1) 糧食安全決策支援系統之建置：有關建制糧食安全系統的研究，國內早有學者提出相關之研究。萬與楊 (1999) 提出建構可反映台灣糧食安全體系之線性規畫模型 TFSM (Taiwan Food System Model)，此模型為同時考量農業生產模型、運輸模型及營養模型特質的綜合模型。李朝賢等 (2001) 藉由比較糧食供給與需求，設計我國糧食安全指標，當供給大於需求則表示安全 (比值  $> 1$ )，反之供給小於需求即為糧食不安全 (比值  $< 1$ )，並區分為三種層次 (理想、警戒、維生)。吳 (2012) 提出建立「糧食安全應變處置與預警系統」從風險管理角度切入，首先確認糧食供應風險的來源，蒐集影響我國糧食安全之各項因子之脆弱度及恢復力，接著設計風險評估工具，將各項抽象的風險予以量化，此可藉由計算指標的方式加以評估；後續將評估後的風險進行描述，可採用燈號式之糧食安全指數描述個別及整體糧食安全狀況，並依據糧食安全的風險檢討和報告結果，擬定因應的策略。然而為滿足長期糧食穩定供給，糧食安全研究必須納入氣候變遷的變因，評估不同氣候情境糧食產量可能的變動情形，透過資訊整合來建置糧食安全對氣候變異之早期預測與預警系統，使決策單位能事前知曉可能面對的風險程度，並及早做出必要的因應處置，方能有效降低或避免潛在的危機，提高糧食管理應變與回復能力，以因應未來糧食需求，達到長期糧食安全目標。

- (2) 因應糧食供應之飲食習慣改變：我國糧食自給率偏低主要來自進口大量飼料作物以養殖禽畜用，但由國人每人每日可以由食物中取得熱量之蛋白質、脂肪和碳水化合物之比值，和平均壽命較高之國家如日本國民相較，蛋白質比值兩國相近，但我國國民脂肪攝取量是日本的 137%，碳水化合物比值僅有 82%，說明若以熱量來源組成成分而言，國人攝取太多脂肪，而脂肪來源主要為肉品，肉品來源又來自於進口之飼料作物，因此改變飲食習慣對於緩解糧食安全是有幫助，同時多攝取國產之米飯以增加碳水化合物比值，對於國民健康也有實質益處。
- (3) 增加國內糧食生產之政策落實：我國原有農地面積為 81 萬公頃，但 2010 年農林普查結果僅剩 54 萬公頃，農地移作工廠或農舍比例逐年增高，將危及我國糧食生產。另就農地使用方面，休耕政策大幅降低糧食生產力，雖近年政策改變，以活化休耕地及小地主大佃農的推廣，鼓勵大面積栽培進口替代性作物，以降低生產成本及增加與進口糧食之競爭力，對糧食安全而言是具有正面意義，但仍持續宣導及落實。此外，過多的補貼會造成政策推動不易，同時削弱農民對自由競爭市場的調適與因應能力，因此整體糧食政策仍需作調整，才能引領農民更積極加入農耕及糧食生產之行列。
- (4) 分散糧食進口來源國以降低進口風險：目前我國小麥、大豆不利於國內生產，幾乎全靠國外進口，且集中於少數國家，對於糧食取得有極大的風險，政府可鼓勵大企業在世界其他適合栽種小麥、大豆的國家，尤其是地廣人稀經濟未發達國家，從事跨國農業投資，包括運銷設備例如糧倉，從事農業生產以取得穩定及廉價糧食，紓解單一作物的進口風險。
- (5) 維持糧食安全之替代作物：當主要糧食發生短缺時，一些雜糧作物可作為替代作物，如甘藷、落花生或樹薯等，這些作物皆適合生長在台灣的气候下，對於災害逆境的耐性也高，同時耕作制度已形成及產量穩定，可作為因應糧食安全策略之一。台灣飼料來源大多來自國外進口，畜牧業發展深受進口飼料作物的影響，在未來可預期受氣候變遷衝擊及糧價高漲下，導致飼料作物取之不易。當務之急乃是尋找替代性飼料作物，以降低進口飼料之依賴，進而發展本土性之飼料作物產業，以維持台灣畜牧業之發展。甘藷於早期農村社會中，除鮮食使用之外，另外地上部莖葉及地下部塊根皆為養豬主要飼料，後因為進口之飼料玉米價格便宜，使畜牧業大幅改變飼料成分，皆以飼料玉米為主要來源。但由氣候變遷評估結果，未來全球玉米生產將朝負面發展，因此，選育出適合飼料用之高產優質甘藷品種，以國產甘

諸替代部分飼料玉米，可作為糧食安全因應調適的一環。樹薯 (Cassava) 又名木薯，台灣於日據時代即有種植，但於 1981 年以後，因飼料多以玉米為能量飼料原料，山區農民又改種植經濟價值較高之香蕉、芒果等，樹薯種植逐漸減少。樹薯適於種植於炎熱氣候，生育期溫度不能低於 10°C，但耐旱又耐雨，若能將休耕農地加以利用種植樹薯，不但能解決飼料原料不足之問題，尚可達到活化休耕地而提高農民收益，目前許多東南亞國家使用樹薯取代玉米為飼料 (Taylor 2012)，值得我國借鏡。飼養禽畜之來源主要為牧草與穀物飼料，而適合台灣地區種植的飼料作物種類繁多，除傳統上大量使用的玉米及大豆外，甘藷、高粱、水稻、薏仁、蕎麥、油菜、胡麻、落花生、紅豆、綠豆等均可全部或部分提供飼料用。其中落花生為彰化、雲林、嘉義沿海地區之重要傳統經濟作物，每年栽培面積約 2 萬 6,500 公頃，年產量約 6 萬 7,000 公噸，是目前種植面積最高之雜糧作物。花生的種子含豐富的脂肪 (約 50%) 和蛋白質 (24~36%)，蛋白質中含有人體所必需的幾種胺基酸，故營養價值甚高，由於落花生在台灣種植已有很長歷史，栽培技術及機械化已成熟，雖然目前落花生果實以食用或榨油為主，花生油可部分取代進口大豆油，榨油後之豆粕也可供餵食禽畜，提供蛋白質及脂質來源。

### 6.8.2 漁業安全與達成之可能措施

(呂學榮)

台灣漁業經營日漸困難，未來漁業增產更加不易，為滿足國民對漁產品的需求，應進行漁業生產供應方式之調整，並應重視我國環境資源狀況，優先考慮國人對這些漁產品的需求。面對氣候變遷的衝擊，確保漁業安全的可能措施初步列提如下：

- (1) 作業方式的調適：對個別漁業作業上的調整，包括改變漁獲對象魚種、實施休漁期或改變作業水域等方面進行調適，以減緩氣候變遷對受衝擊之漁業或魚種帶來的影響。
- (2) 適正漁業規模調適：漁業規模的調整為必要之調適策略，漁業參與者之退場機制必須加強，且繼續進行漁船收購，以維持適度的漁業規模，藉以減少沿近海漁業過漁的壓力、恢復漁業資源、提高漁獲效率，以有效促進漁業資源之永續利用。
- (3) 跨界魚種的區域管理：暖化造成北方南下魚種分佈改變、產卵場北移、來游量減少等現象，物種面臨適應力、生產力、活存率的新考驗，透過區域的合作管理，降低物種適應過程中的額外負擔，以免因漁場位移而導致物種的消失。
- (4) 人工繁養殖技術開發：藉以減少對野生魚種的需求與破壞，甚至補充經濟魚種之資源量，例如烏魚養殖技術的突破，供應了超過80%以上的漁獲量，是降低氣候變遷衝擊的最好例子。
- (5) 漁業生產供應方式之調整：沿近海產量已不可能增產，特別是國外基地就地銷售與轉載的行銷方式，以及針對外銷市場將優良漁產品優先外銷等作法都需有所調整。
- (6) 養殖地域的調適：藉由養殖地區的調動，將養殖生物遷移到其他合適的地區，亦或是縮小養殖面積，藉此解決氣候變遷對養殖生物造成無法適應、生產力降低、競爭力減弱等問題。
- (7) 養殖方式的調適：為減少氣候變化對養殖生物產生的負面影響，對養殖環境

與條件有不同程度的調控。

- (8) 養殖時間的調適：調整養殖時間或時段，藉由分段式養殖方式讓魚類避開不利的養殖環境，以提高存活率。
- (9) 養植物種多元化：面對不同的氣候變化趨勢時，養植物種多元化可以應對市場的突然性變動，讓養殖業者有更好的應對能力。
- (10) 建立養殖區域預警系統：例如水質與養殖生物預警系統等。
- (11) 規劃合理水產養殖的保險制度：以補救因氣候現象而損失的漁獲，激勵養殖業者面對極端氣候事件。

### 6.8.3 畜產安全與達成之可能措施

(王淑音)

台灣畜產業雖然除了乳業以外，肉類、蛋類之自給率都相當高，但畜產業之生產卻需仰賴大宗進口飼料原料。因此為確保畜產的安全，必須降低對進口飼料的依賴度。因此如開發替代進口飼料原料且非為人類主食之作物、推廣在地畜產品消費、加強生物安全生產管理及選育抗逆境禽畜品種等都是可能的重要措施。

- (1) 在降低仰賴進口飼料的部分，政府近年來提倡活化休耕地，鼓勵農民種植飼料稻米，尤其是鼓勵連休地在復耕之其中一個期作種植替代作物如硬質玉米(飼料玉米)、大豆、小麥、牧草及青割玉米等。另外在進口價格高漲時釋出公糧搗碎糙米以供飼料配方之需。多項研究亦針對本土可取代進口玉米之作物研究，如飼料稻米(賴等 2013)、樹薯(李等 2013)、廢菇包(謝等 2013)、發酵血粉(魏等 2013)等。
- (2) 在地消費最主要的意義在減少運輸的成本與能量耗費，鼓勵消費者在農民市集消費或是畜產品經過「安全農法」、「農產品標章」、「農業認證制度」及「食品原產地品質保護制度」等認證措施，皆可提高在地消費的比例。
- (3) 加強飼養管理與選育抗逆境禽畜品種是有效的促進動物健康及提升生產效率的措施，但需要專業的知識及長期的研究。選育抗熱緊迫、飼料利用率高、抗病力高及繁殖率高的品種是因應氣候變遷對畜產安全的衝擊的有效調適措施(Hoffmann 2010)。如巴西學者選育出能維持較低體溫及正常血液性狀

的乳牛品種 (McManus et al. 2009)，而美國學者則選育出同時可以抗熱緊迫及提高繁殖率的品種 (Hayes et al. 2009)。

- (4) 提升飼料利用率主要是可以減少未消化之碳源或氮源被腸胃道細菌發酵產生甲烷或氧化亞氮。因為反芻動物排放的甲烷最多，因此如何減少瘤胃釋放甲烷為主要研究方向。目前研究朝向飼料添加物如皂素 (Wang et al. 2009)、大蒜 (Verma et al. 2012) 等都已證實能降低反芻動物瘤胃消化所釋放之甲烷。
- (5) 減少畜牧生產的溫室氣體排放量同時，有效的將資源再利用也是一個有效措施。我國養豬業對於排泄物的處理有別於其他國家，三段式廢水處理可以產生大量的沼氣，若能有效利用其甲烷轉換為燃料或發電，可運用為鍋爐、汽車、瓦斯爐等燃料，或製成甲烷燃料電池，或再製為甲醇等化學物質，對於溫室氣體的減量有很大的貢獻 (蘇 2012)。然而沼氣利用需要先進行脫硫及純化，早期國內沼氣利用缺乏有效的脫硫技術，導致沼氣中腐蝕性氣體 (硫化氫) 將沼氣發電機之金屬零件腐蝕而無法運作。國內目前在沼氣利用技術已有相當先進之研究成果 (蘇 2012)，未來應可推廣執行。

### 6.9 結語

氣候的緩變 (年均溫的上升、海水暖化、海平面上升) 與驟變 (強降雨、颱風、乾旱) 對我國乃至於全世界的糧食生產，產生了緩慢、深淺不一程度的影響，不論作物、漁業、畜產皆因氣候結構改變造成影響，對我國之糧食安全產生衝擊。

近年因氣候變遷所導致的糧食安全問題受到政府的重視，並將此議題提升至國家安全層級，應全面檢討我國之糧食安全政策。我國之糧食安全政策應建立在以國產農產品為核心的基礎上，以農產貿易及糧食庫存來加以補充。我國過去對於氣候對糧食作物及漁產衝擊之預測相當有限，且多僅限於資料調查及個案性推估研究，缺乏多面向的脆弱度科學評估研究基礎，不利於擬訂整體氣候變遷因應策略。因此瞭解未來糧食安全受氣候變遷之衝擊程度，並發展糧食供給脆弱度評估與風險管理的決策工具，提供氣候變遷調適策略研擬及執行之依據，以達到支援我國糧食安全決策及資源整合永續性發展之目的。



本章主要聚焦議題 (作物)	
現況	氣候變遷下的極端氣候事件 (豪雨、乾旱、極端高低溫) 以及氣候異常。
目前面臨的問題	耕地面積破碎、糧食自給率低、國民飲食組成偏向進口糧食、國內糧食生產量比例偏低、農業政策影響。
未來氣候變遷的影響	極端氣候事件可能導致糧食生產短缺及供給不穩定，使得糧食價格高漲，影響進出口自由貿易。氣候異常可能使得作物適栽區改變，影響栽種制度以及作物種類。

本章主要聚焦議題 (漁業)	
現況	氣候變遷下的水溫上升與異常冷水
目前面臨的問題	臺灣周邊海域的水溫上升，已導致冷暖水性魚種交替、冷水性多獲魚種減產、淺海漁業生物與養殖物大量暴斃等。
未來氣候變遷的影響	氣候變遷可能進一步導致海洋基礎生產力下降、漁業生產潛能下降，將使上列問題更加劇。

本章主要聚焦議題 (畜產)	
現況	氣候變遷下的暖化效應
目前面臨的問題	飼料成本高漲，畜牧廢棄物的排放造成環境汙染，肉品安全問題。
未來氣候變遷的影響	氣候變遷之下可能導致微生物的孳生、飼料中黴菌毒素的污染；動物的熱緊迫、影響牲畜健康；原料價格的起伏則會牽動飼料產業的供貨情況及農民的成本獲利情況。

## 參考文獻

- 申雍，2008：氣候變遷對台灣地區農業衝擊之評估及因應策略研究。國科會研究計劃成果報告。NSC97-2625-M-005-005。
- 行政院農委會漁業署，2013：中華民國 102 年台閩地區漁業統計年報。台北。
- 行政院，2011：台灣氣候變遷科學報告 2011。台北。
- 行政院，2012：國家氣候變遷調適政策綱領。台北。
- 吳榮杰，2012：建立糧食安全應變處置與預警系統之研究。行政院農業委員會科技計畫。101 農科-14.1.1-企-Q1 (2)。
- 呂學榮，2010：海洋漁業因應氣候變遷衝擊之調適策略。因應氣候變遷漁業調適政策探討彙編專刊。臺北：行政院農委會漁業署，21-28。
- 李昇儒、王淑音，2013：因應全球性極端氣候及糧食危機，開發多元化飼料原料-樹薯替代玉米為家禽能量飼料之研究。102 年度成果發表暨研討會摘要集，66 頁。
- 李明安，2010b：因應極端氣候衝擊之調適策略。因應氣候變遷漁業調適政策探討彙編專刊。臺北：行政院農委會漁業署，35-43。
- 李國添，2010a：因應氣候變遷漁業調適政策探討。因應氣候變遷漁業調適政策探討彙編專刊。臺北：行政院農委會漁業署，05-08。
- 李國添，2012：臺灣周邊海域因氣候變遷流系消長對重要經濟性魚類漁業資源變動影響之研究。行政院農委會漁業署成果報告，46 頁。
- 李朝賢、萬鍾汶、陳淑恩、林啟淵、簡立賢、陳吉仲，2001：我國糧食需求預測及糧食安全管理機制之研究。行政院農業委員會 90 年農業經濟科技計畫。90 農科-1.6.1-企-Q1 (1)。國立中興大學。
- 邵廣昭、林幸助，2010：因應氣候變遷對海洋生態衝擊之調適策略。因應氣候變遷漁業調適政策探討彙編專刊。臺北：行政院農委會漁業署，9-20。
- 侯清賢、呂學榮，2013：我國水產品進口的氣候風險。台灣水產，681，48-59。

- 姚銘輝、陳守泓，2009：氣候變遷下水稻生長及產量之衝擊評估。《作物、環境與生物資訊》，6，185-192。
- 施愛燕，2012：臺灣畜牧業污染防治推動成果及未來展望。《農政與農情》，243，29-32。
- 陳武雄，2011：全國糧食安全會議結論。《農政與農情》，228，14-18。
- 陳帥如，2011：當前我國糧食安全政策規劃方向。《農政與農情》，226，75-81。
- 陳祈睿，2014：發現臺灣農業競爭力—建構新價值鏈農業，擴大農業增值與版圖。《農政與農情》，260，8-13。
- 溫祖康，2010：舉辦 APEC 糧食安全論壇推動建構亞太地區糧食安全機制。《農政與農情》，219，18-21。
- 萬鍾汶、楊素珍，1999：台灣糧食安全體系模型之研究 (二)。行政院農委會補助研究計畫。88 科技-1.9-企-01 (1)。國立中興大學農業經濟系。
- 農委會，2011：100 年度糧食供需年報。行政院農業委員會。
- 農委會，2012：101 年度糧食供需年報。行政院農業委員會。農委會，2012：101 年度農業統計年報。行政院農業委員會。
- 賴明信、吳東鴻、李長沛，2013：高產飼料稻米專用品種之選育。因應氣候變遷與糧食安全之農業創新研究 102 年度成果發表暨研討會摘要集，61-62。
- 謝育哲、劉祐廷、呂冠辰、謝瑜玲、廖曉涵、江信毅、范揚廣，2013：廢菇包轉化為肉牛飼料之研究。因應氣候變遷與糧食安全之農業創新研究 102 年度成果發表暨研討會摘要集，67 頁。
- 繆峽、黃振庭、楊欣怡，2010：因應養殖漁業管理及漁業設施之衝擊與調適策略。因應氣候變遷漁業調適政策探討彙編專刊，44-52。
- 魏恒巍、林泰宏、呂誌翼、韋振群、丁煜軒，2013：發酵雞血粉搭配樹薯粉與童子雞飼糧之應用。因應氣候變遷與糧食安全之農業創新研究 102 年度成果發表暨研討會摘要集，68 頁。
- 蘇忠楨，2012：畜牧業沼氣利用推廣。《臺大農業推廣通訊雙月刊》，96，1-7。

- Babinszky, Laszlo, V. Halas, and M. W.A. Verstegen, 2011: Impacts of Climate Change on Animal Production and Quality of Animal Food Products, *Climate Change - Socioeconomic Effects*, Dr Houshan Kheradmand (Ed.) , DOI: 10.5772/23840.
- Brander, K. M, 2007: Global fish production and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.*, **104**, 19709-19714.
- Centritto M, M. E. Lucas and P. G. Jarvis. 2002: Gas exchange, biomass, whole-plant water-use efficiency and water uptake of peach (*Prunus persica*) seedling in response to elevated carbon dioxide concentration and water availability. *Tree Physiol.* **22**, 699-706.
- Cheung, W. W. L., V. W. Y. Lam., J. L. Sarmiento., K. Kearney., R. Watson., D. Zeller and D. Pauly, 2010: Large-Scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology.*, **16**, 24-35.
- Cheung, W.L., R. Watson., and D. Pauly, 2013: Signature of ocean warming in global fisheries catch. *Nature*, **497**, 365-368.
- Cochrane, K., C. De Young, D. Soto, and T. Bahri, 2009: Climate change implications for fisheries and aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, **530**, 212.
- Daw, T., W. Adger., K. Brown., and M. C. Badjeck, 2009: Climate change and capture fisheries: potential impacts, adaptation and mitigation. In K. Cochrane, C. De Young, D. Soto and T. Bahri (eds) . *Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture: Overview of Current Scientific Knowledge*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 530. Rome: FAO, 107-150.
- De Silva, S.S. and D. Soto, 2009: Climate change and capture fisheries: potential impacts, adaptation and mitigation. In K. Cochrane, C. De Young, D. Soto and T. Bahri (eds) . *Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture: Overview of Current Scientific Knowledge*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 530. Rome: FAO, 151-203.

- FAO, 1996: Rome Declaration on World Food Security, Rome. (<http://www.fao.org/docrep/003/w3613e/w3613e00.HTM>)
- FAO, 2008: The State of Food Insecurity in the World 2008. High food prices and food security-threats and opportunities. Rome, (<http://www.fao.org/publications/card/en/c/3d431db5-34c8-5e01-9ad9-b2b0a2b9b918/>)
- Forman, S., M. Hungerford, M. Yamakawa, T. Yanase, H.J. Tsai, Y.S. Joo, D.K. Yang and J.J. Nha. 2008: Climate change impacts and risks for animal health in Asia. *Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties*, **27**, 587-591.
- Gouache, D., L.B. Xavier, B. Matthieu, D. Olivier, P. Christian, G. Philippe, 2012: Evaluating agronomic adaptation options to increasing heat stress under climate change during wheat grain filling in France. *European journal of agronomy*, **39**, 62-70.
- Gregory, N.G. 2009: How climatic changes could affect meat quality. *Food Research International*, **43**, 1866-1873.
- Hatfield, J.L., K.J. Boote, B.A. Kimball, L.H. Ziska, R.C. Izaurralde, D. Ort, A.M. Thomson, and D. Wolfe, 2011: Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agronomy Journal*, **103**, 351-370.
- Hayes, B. J., P.J. Bowman, A.J. Chamberlain, K. Savin, C.P. van Tassell, T.S. Sonstegard and M.E. Goddard. 2009: A validated genome wide association study to breed cattle adapted to an environment altered by climate change. *Plos One*, **4**, 1-5.
- Ho. C. H., K. W. Yen., and H. J. Lu, 2013: Long-term (1963-2010) change in seasonality of fish from catch data of Taiwan coastal fisheries. *International Conference on Challenges in Aquatic Sciences*, 129.
- Hoffmann, I. 2010: Impacts of climate change on livestock genetic selection and diversity. *Proceedings of the 9th World congress on genetic applied to livestock*

production. Leipzig, Germany. August 6-10.

Huang, C. T., T. Y. Fu, and S. S. Chang. 2009: Crops and food security- experiences and perspectives from Taiwan. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* **18**, 520-526.

IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Groups I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Key, N. 2009: Methane Emissions from Livestock: Policy Issues and Analysis. Proceedings of the symposium on mitigating greenhouse gas emissions from animal production: a policy agenda. Asuncion, Paraguay, 6-7 May 2009.

Lu, H. J., C. H. Ho., and K. W. Yen, 2012: On the adaptations of capture fishery to climate change in Taiwan. APEC Seminar on Sharing the Experience of Mitigating the Impact of Extreme Climate on Aquaculture and Fisheries, 190-196.

Lan, K. W., M. A. Lee, C. I. Zhang, P. Y. Wang, L. J. Wu, and K. T. Lee, 2014: Effects of climate variability and climate change on the fishing conditions for grey mullet (*mugil cephalus l.*) in the Taiwan strait. *Climatic Change*, **126**, 189-202.

McManus C., E. Prescott, G. R. Paludo, E. Bianchini, H. Louvandini and A. S. Mariante. 2009: Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. *Livestock Science*, **120**, 256-264.

Pritchard, J. C. and H.R. Why. 2010: Heat stress, climate change and animal welfare. *Veterinary Record*, **166**, 798-798.

Sandifer, P. A., and A. E. Sutton-Grier, 2014: Connecting stressors, ocean ecosystem services, and human health. *Natural Resources Forum*, **38**, 157-167.

Schmidhuber, J., and F.N. Tubiello, 2007: Global food security under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **104**, 19703-19708, doi:10.1073/pnas.0701976104

Skuce, P. J., E.R. Morgan, J. van Dijk and M. Mitchell. 2013: Animal health aspects of adaptation to climate change: beating the heat and parasites in a warming.



- Europe.*, **7**, 333-345.
- Stöckle, C.O., R.L. Nelson, S. Higgins, J. Brunner, G. Grove, R. Boydston, M. Whiting, and C. Kruger, 2010: Assessment of climate change impact on Eastern Washington agriculture. *Climatic Change*, **102**, 77-102.
- Summers, B. A. 2009: Climate change and animal disease. *Veterinary Pathology*, **46**, 1185-1186.
- Taylor, N. J. 2012: Overview of cassava special issue. *Tropical plant biology*, **5**, 1-3.
- Tubiello, F. N., J. F. Soussana and S. M. Howden. 2007: Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **104**, 19686-19690.
- Tung, CP 1997: The impacts of climate change on Dai-Chia creek upstream flows. *Taiwan Water Conservancy*, **45**, 64-70.
- Verma, V., L.C. Chaudhary, N. Agarwal, R. Bhar and D.N. Kamra. 2012: Effect of feeding mixture of garlic bulb and peppermint oil on methane emission, rumen fermentation and microbial profile in buffaloes. *Animal Nutrition and Feed Technology*, **12**, 157-164.
- Wang, C. J., S.P. Wang and H. Zhou. 2009: Influences of flavomycin, ropadiar, and saponin on nutrient digestibility, rumen fermentation, and methane emission from sheep. *Animal Feed Science and Technology*, **148**, 157-166.
- Wang, S. Y. and D. J. Huang. 2005: Assessment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, **18**, 873-878.
- Wilson, S. K., N. J. Graham., M. S. Pratchett., G. P. Jones. and V. C. Polunin, 2006: Multiple disturbances and the global degradation of coral reefs: Are reef fishes at risk or resilient?. *Global Change Biology*, **12**, 2220-2234.



## 第七章 人類健康

<sup>1</sup>蘇慧貞、<sup>2</sup>陳國東、<sup>2</sup>陳美霞、<sup>3</sup>王玉純、<sup>4</sup>王根樹

<sup>1</sup>國立成功大學環境醫學研究所、<sup>2</sup>國立成功大學公共衛生研究所、

<sup>3</sup>中原大學環境工程學系、<sup>4</sup>國立台灣大學公共衛生學系

### 摘要

近年來氣候系統紊亂，熱浪、乍寒、乾旱、洪氾等極端氣候事件在各地陸續上演，不僅衝擊生態系統的穩定，更影響民眾生活環境的良窳，直接或間接地威脅民眾健康與生命安全。在 2014 年 IPCC 發表之第五版氣候變遷評估報告中，更再次強調了氣候變遷對人類健康衝擊的重要性。本章首先描述氣候變遷對人類健康之危害分級；其次討論氣候變遷健康議題中的傳染病與非傳染病、水資源可獲性、安全性與品質對健康之影響；最後闡述氣候變遷下之健康脆弱族群、健康不平等與邊緣人口問題。

**關鍵字：**人類健康、傳染病、非傳染病、水資源、脆弱族群、健康不平等

### 7.1 前言

氣候系統的改變除了與自然變異（例如火山噴發）有關，頻繁的人類活動（例如工業、交通或農業所產生的溫室氣體排放）更嚴重干擾氣候平衡，使得熱浪、乍寒、乾旱、洪氾、龍捲風與野火等極端氣候事件發生頻率增加，導致生態系統改變、國家基礎設施和民眾居住環境破壞，增加人們流離失所的風險，使得民眾賴以為生的糧食和水源供應中斷，進而直接或間接地造成民眾生命安全與健康損害，長期而言甚至可能衝擊心理健康、導致人類社會經濟秩序的崩解。

近年來臺灣地區本地氣候暖化，屢破紀錄的夏季高溫、冬季乍寒、連年重創的颱風豪雨，再再應證氣候改變與極端氣候威脅為「現在進行式」（陳雲蘭 2008; Tu and Chou 2013）。無論是極端高溫、低溫，或是豪雨洪氾，氣候變異除直接增

加本地民眾發生猝死或意外身亡的風險外，暖化與豪雨後潮濕的環境，亦優化了微生物與病媒繁衍及傳染之途徑，間接延長本地登革熱傳染期與其流行地區北移的風險（蘇慧貞等 2008; Wu et al. 2011）。接踵而至的氣候衝擊，使得臺灣社會與經濟體系備受考驗，更造成民眾恐慌與心理壓力。以 2009 年莫拉克颱風為例，強勁豪雨造成全臺農災，經濟損失超過新臺幣 195 億元，造成 673 位民眾死亡，高雄市甲仙區小林聚落更慘遭滅村，對災難及失怙的恐慌使當地學童陸續罹患創傷症候群（Yu et al. 2006）。

上述案例，再再佐證氣候變異對臺灣民眾健康衝擊的嚴重性。為能逐步呈現氣候變異對本地健康之影響，本章首先描繪本地氣候特性、未來趨勢與其可能的健康衝擊與調適，並討論本地關鍵項目，包含非傳染病、傳染病、以及地狹人稠的臺灣亟需關注的水資源等議題，進而對脆弱（易感）族群與健康不平等問題予以系統性的整理。

## 7.2 健康決定因素：目前與未來趨勢

(蘇慧貞)

IPCC 發表之第四版評估報告 (AR4) 提及，過去 100 年 (1906~2005) 全球平均溫度增幅為  $0.74^{\circ}\text{C}$  (Solomon 2007)，較 2001 年時提出的  $0.6^{\circ}\text{C}$  上修。第五版評估報告 (AR5) 更直指，全球暖化將持續發生，暖化程度與人類溫室氣體排放成正比，若人類對溫室氣體排放毫無管制，21 世紀末全球均溫預估將提升  $4.8^{\circ}\text{C}$  (Stocker 2014)。顯示全球增溫估計不斷上修，亦代表全球暖化日趨嚴重，大氣活動更為劇烈，氣候更趨極端。

氣候變異對健康衝擊，世界衛生組織 (World Health Organization; WHO) 指出，氣候能透過不同機制，直接造成人類死亡，或間接經由空氣污染等途徑導致心血管、肺部、腦部損害與癌症，或是透過暖化、水與社會經濟的變化影響傳染性疾病散布與營養失調 (圖 7.1) (WHO 2009)。其中，AR4 更指出，氣候變遷將導致環境暴露風險增加，對於健康可能較重大之影響議題包含：增加全球營養不良及其相關疾病，特別是孩童成長發育的問題；增加民眾受異常天候事件之直接傷害或死亡；改變傳染病病媒之分佈；對於瘧疾流行的影響有具有正負的影響，如某些地區傳播將受限，但某些地區流行範圍將擴大；增加腸胃道疾病的發生；

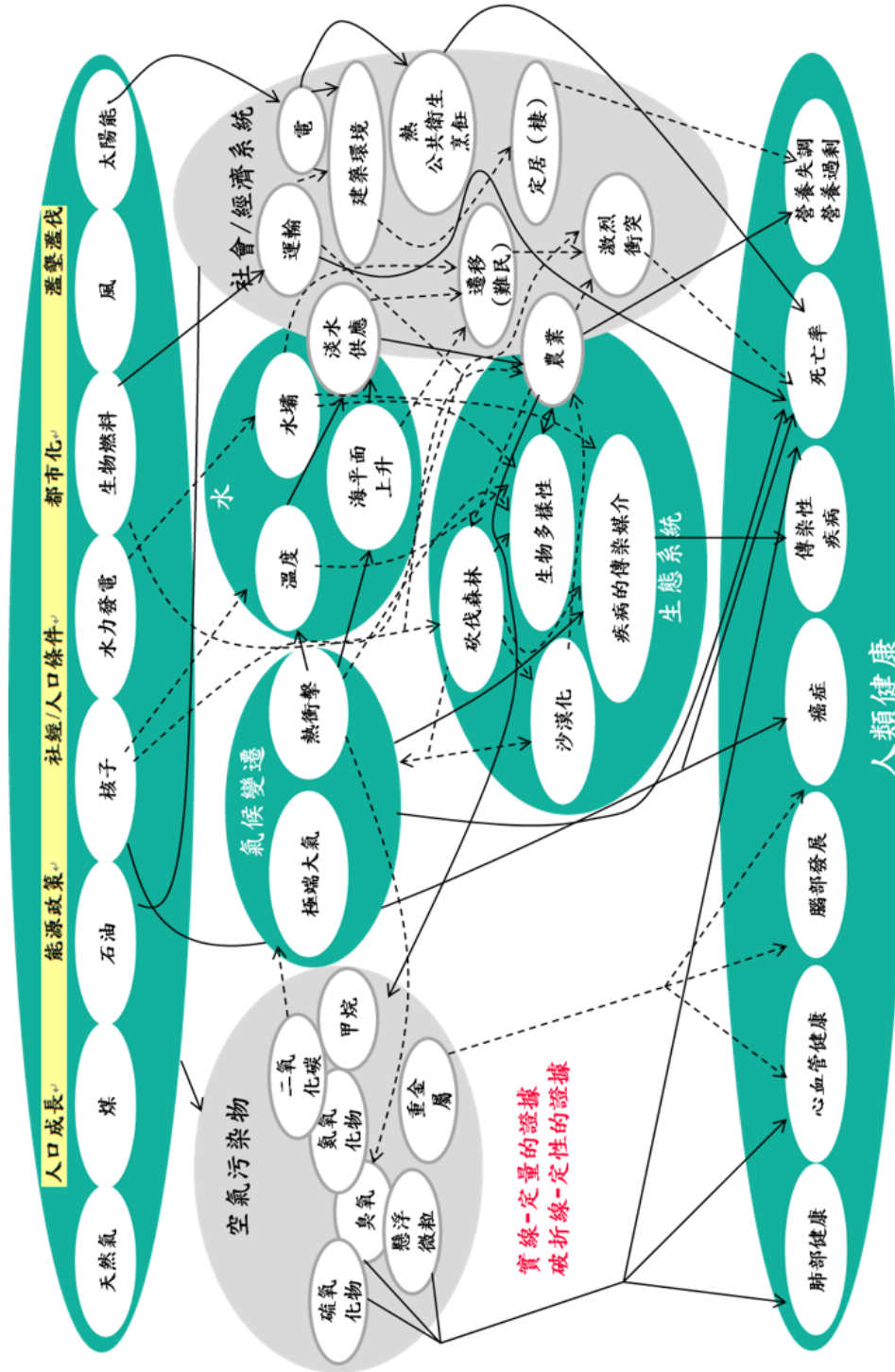
大氣臭氧濃度增加而使心臟及呼吸道疾病的發生及死亡率增加、居住在登革熱流行區的民眾將會有所提高；對人類整體健康也帶來一些好處，如減少特定地區冷危害所造成的死亡等，然整體而言，氣候變遷對健康之危害遠大於益處 (IPCC 2007)。

在臺灣方面，本地氣溫在過去 100 年 (1906~2005) 平均上升約 1.4°C，增溫幅度約為全球平均的 2 倍 (陳雲蘭 2008)，且發現極端高溫日數有增加的情形 (許晃雄等 2012)，證實本地暖化現象與極端高溫問題。降雨部分，儘管資料顯示臺灣年均總雨量無長期增加或減少趨勢，但小雨日數減少、強降雨日數增加，降雨強度有增強趨勢 (Yu et al. 2006; 吳宜昭等 2010; Tu and Chou 2013)，且在 1980 年後強烈颱風侵襲的比例增加，代表本地降雨型態趨於兩極，而颱風對本地衝擊加劇 (許晃雄等 2012)。

「國家氣候變遷調適政策綱領」依據臺灣地區目前與未來氣候改變，以氣溫及降雨兩面向，彙整本地健康衝擊證據。氣溫的影響包含兩部分，其一為溫度持續上升，氣溫上升將延長本地氣候相關蟲媒傳染性疾病，包括登革熱、恙蟲病、日本腦炎等的發生的時間，以及擴大其流行地區。未來也可能出現東南亞地區氣候相關傳染性疾病 (如瘧疾、屈公熱) 境外移入，導致境外傳染病本土化。另則為熱浪及寒潮，對臺灣民眾而言，低溫對健康的衝擊相對比高溫的危害大，在極端高溫或低溫下，因心血管疾病而死亡的風險相對於因呼吸道疾病而死亡的風險為高 (行政院經濟建設委員會 2012)。至於在降雨對本地健康影響方面，由於降雨越趨極端，未來乾旱與水災的機率提高，可能使民眾無法獲得足夠潔淨水，並增加與接觸污水機會，提高皮膚感染、A 型肝炎、桿菌性痢疾、鉤端螺旋體與類鼻疽等傳染性疾病等疾病的發生風險 (行政院經濟建設委員會 2012)。

### 7.2.1 氣候變異對健康的危害分級

氣候變異可藉由各種途徑影響人類健康 (圖 7.1)，如以暴露途徑進行危害分級，可分為直接、間接及長期或衍生性健康危害三類 (Butler and Harley 2010)。



Modified and re-constructed from WHO. Protecting health from climate change, 2009, pp11

圖 7.1 氣候條件改變透過多重路徑對人類健康產生影響



直接健康危害，係指因直接暴露於氣候衝擊所致的立即健康損傷，例如熱浪、乍寒、野火與洪氾等極端氣候事件引起的死亡、創傷或疾病猝發；間接健康危害，係指氣候改變人類生命元素（陽光、空氣、水）暴露的穩定性，或是改變微生物或病媒生長與傳播途徑而致的健康損傷。例如：暖化使過敏原的分布擴散與生產期延長，增加過敏性呼吸道症狀發生機率；豪雨導致水源或土壤汙染，影響食物與飲用水的充足性與安全性，進而增加腸胃道傳染病、鉤端螺旋體或類鼻疽等污水相關傳染性疾病的發生。長期或衍生性健康危害，係指長期氣候變化對民眾健康與社會秩序的衝擊，或是氣候災難而衍生的健康問題，例如社會經濟損失、氣候難民、饑荒、戰爭衝突和人類流離失所、心理壓力及創傷等。以下分別各級之氣候變遷健康危害加以詳述之。

氣候直接衝擊所致健康損傷，多數係源於極端氣候事件所致立即性傷害。對臺灣地區影響較鉅者為暴雨造成之洪氾與土石流，以及極端高低溫事件所導致之猝死危害。由於臺灣每年都會面臨颱風與暴雨問題，造成本地自然系統以及人類社會極大衝擊，衍生出水災及土石流更造成大量死傷。根據內政部消防署災害統計報告，臺灣地區自 1958 年至 2014 年，累計發生 221 次颱風災害，共造成 17,437 人傷亡，平均每年發生 4 次災情，每次造成 79 人次傷亡（內政部消防署 2014）。尤其，近年來颱風與降雨強度增加，以十年來直間造成最嚴重災情之 2009 年莫拉克颱風為例，除造成超過新臺幣 195 億元之經濟損失外，更導致 673 位民眾死亡。

此外，溫度的上升、驟降及突如其來的溫差，易使心血管、呼吸道與慢性疾病患者，發生心肌梗塞或氣喘等病症猝發，甚至造成猝死。臺灣之科學研究證據指出，以溫度對本地心血管疾病、呼吸道疾病的影響來說，低溫的危害比高溫更甚；在極端高溫或低溫下，發生心血管疾病患者猝死，相對於因呼吸道疾病而死亡的風險高。且無論高溫或低溫所造成的心血管與呼吸道疾病的死亡，對非都會區民眾的衝擊一般高於都會地區（圖 7.2 a-d）（Yang et al. 2009; Wu et al. 2011; Lin et al. 2013b; Yang et al. 2013）。獨居老人比例、老年人比例、身心障礙比例、以及原住民比例愈高的鄉鎮，其民眾可能因極端溫度變化而死亡的風險較高（Wu et al. 2011）。另外，隨著氣候逐漸暖化，暖冬雖可能使得冬季之凍死人數降低，但若暖化幅度日益嚴重，亦可能造成臺灣本地民眾對於低溫難以調適，反而增加因驟降低溫產生猝死的可能性。此外，極端高溫持續的日數增加，將可能增加心臟血管呼吸道疾病死亡率（Yang et al. 2009; Sung et al. 2013b）。

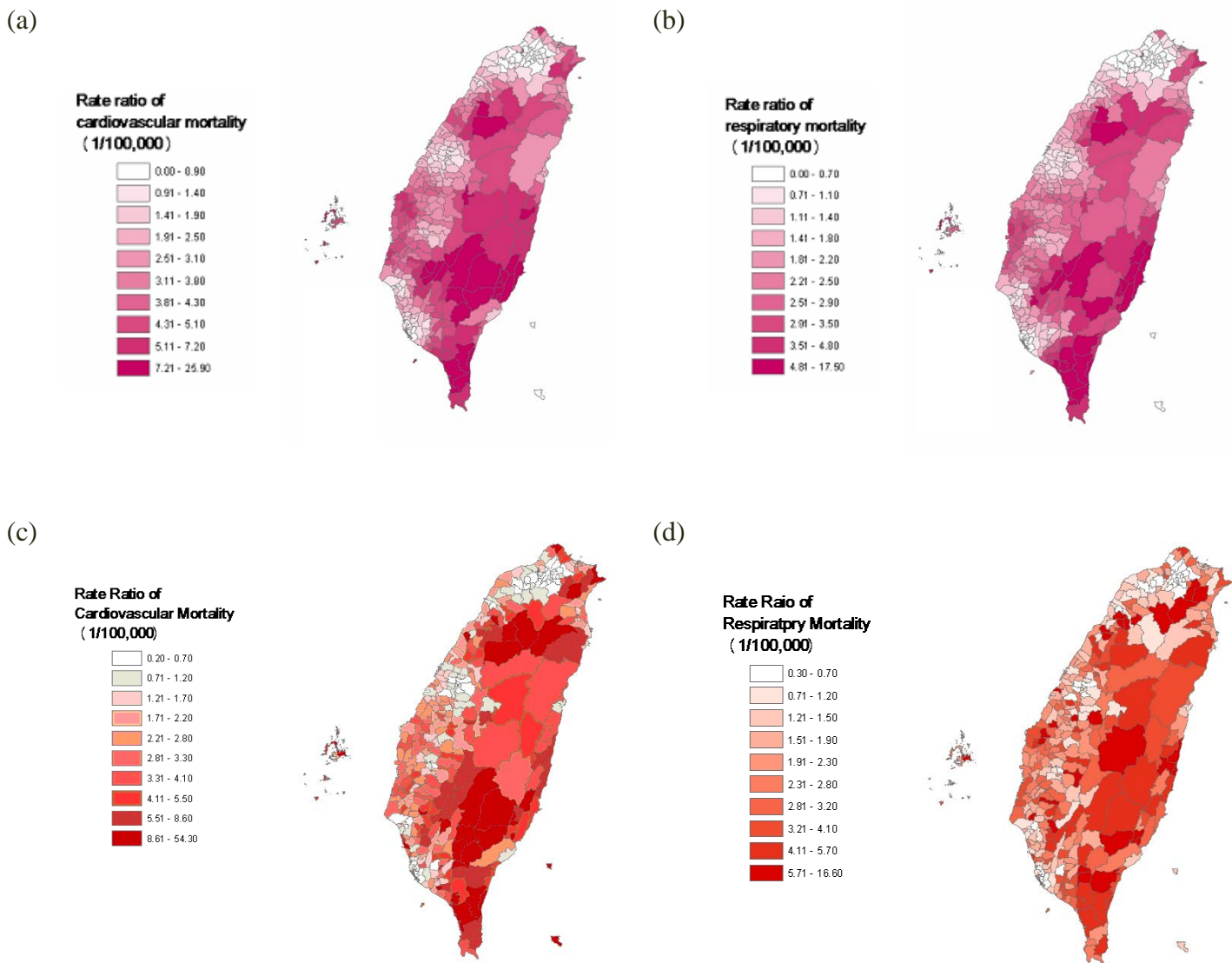


圖 7.2 臺灣地區極端溫度與死亡風險：(a) 24 個寒潮事件前後 2 週心臟血管疾病死亡比；(b) 24 個寒潮事件前後 2 週呼吸道疾病死亡比；(c) 熱浪事件前後 2 週心臟血管疾病死亡比；(d) 熱浪事件前後 2 週呼吸道疾病死亡比

### 間接健康危害

氣候改變影響陽光、空氣、水等人類生存所需元素的品質，進而造成健康損害。例如較高的溫度會促進二次空氣污染物如臭氧之生成，伴隨著雲量少、日照量強之環境，更會延長空氣污染物停留時間，使得臭氧濃度提升 (Civerolo et al.

2008)·增加民眾出現呼吸道病症的機會。此外更令人擔憂的是·氣候改變可能伴隨著各類生態系統之變化·間接影響微生物與各物種間之平衡狀態·進一步對人類族群帶來新興傳染病之危害·特別是透過水、微生物或蟲為媒介傳播之疾病對於氣候條件變異特別敏感·例如全球溫度的上升·將導致瘧疾、登革熱、屈公熱的蚊媒活動範圍由低緯度開始往高緯度、低海拔往高海拔擴張·造成更大規模的疫病流行 (Patz et al. 1996; Patz et al. 2003; Dobson 2009; Harley et al. 2011; Semenza et al. 2012; Altizer et al. 2013)。

臺灣氣候高溫多濕·各種微生物與蟲媒易滋生·雨量及溫度改變更間接促使多種疾病流行。由於雨量變化間接所致的健康問題·大多衍生自強降雨·當每日累積降雨量達豪大雨 (200~350mm) 標準時·與氣候相關之蟲媒傳染性疾病如登革熱與日本腦炎·其發生風險將較一般降雨量時增加2至10倍 (Chen et al. 2012)°。但若每日降雨量超過超大豪雨 (350mm 以上) 之程度·則可能因蟲媒棲息地完全被破壞·使得發生疾病爆發之風險反而下降 (Chen et al. 2012)°。另外·研究亦發現在颱風、淹水或強降雨期間·鉤端螺旋體與類鼻疽等因接觸不潔水土而致的傳染性疾病發生風險有顯著增加的情形·尤其以類鼻疽暴發最為明顯 (Ko et al. 2007; Su et al. 2011; Chen et al. 2012)°。基於臺灣極端降雨可能趨劇之前題·逢乾旱可能會發生潔淨水不足·而水災則有較高機會接觸不潔汙水·使得皮膚感染發生風險提高·如 2009 年莫拉克颱風暴雨後·明顯發現下肢蜂窩性組織炎的風險上升 (Lin et al. 2013a)°。

在溫度的間接效應部分·持續暖化將可能延長在地氣候相關蟲媒傳染性疾病·包括登革熱、恙蟲病、日本腦炎等的發生的時間·以及擴大其流行地區。根據本地科學證據預測·臺灣地區未來平均增溫 1°C 時·登革熱發生之高風險鄉鎮區將增加為 86 個 (人口數約為 7,748,267)·另中度風險地區亦將增加為 203 個 (圖 7.3 a-b) (Wu et al. 2009)°。暖化狀態不僅將使登革熱在臺灣地區之流行範圍明顯提升·也可能使蚊媒與本地相同·但過去不在臺灣流行之東南亞地區氣候相關傳染性疾病 (如瘧疾、屈公熱)·未來因境外移入·導致境外傳染病本土化問題 (行政院經濟建設委員會 2012)°。

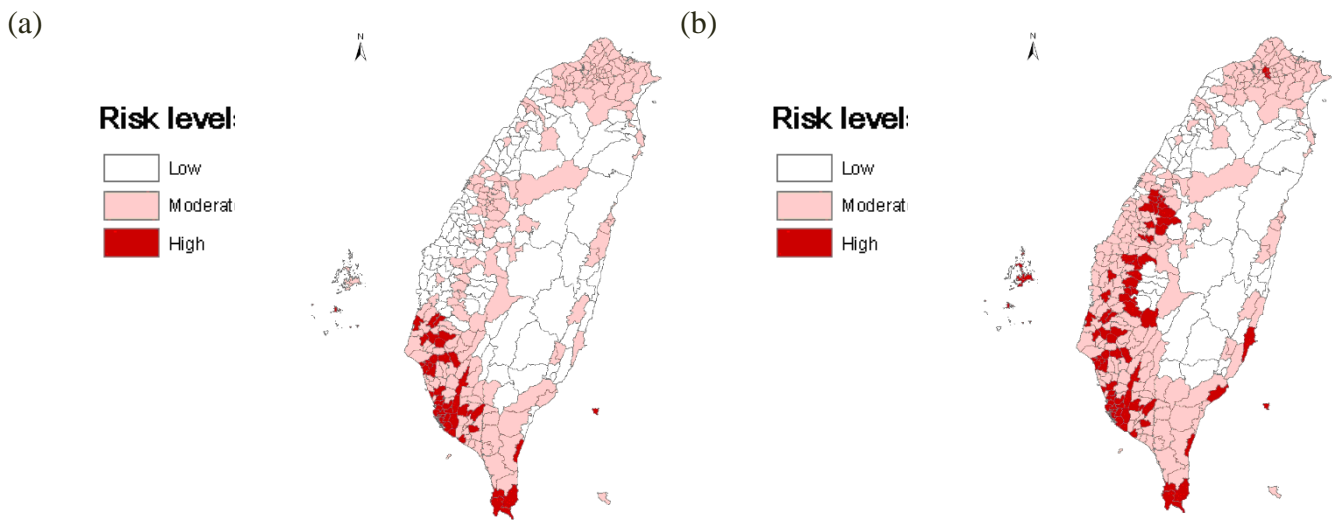


圖 7.3 (a) 臺灣地區現階段登革熱流行之風險地圖 (1998~2006) · (b) 臺灣地區未來平均增溫 1°C 後登革熱流行風險地圖

### 長期或衍生性健康危害

氣候改變對人體健康，亦可能造緩慢且冗長的危害，並且不易被察覺。而極端氣候事件所造成之社會經濟衝擊，也可能對人類心理造成傷害。例如過去針對臺灣地區 2009 年莫拉克颱風重災區之學童進行調查研究，在 271 位重災區之高中學童中發現有 73 位 (26.9%) 被診斷出創傷症候群，其中 68 位皆與莫拉克颱風之創傷事件有關聯，顯示災後心理健康問題為相當重要 (Yen et al. 2011)。

此外，氣候變遷下最嚴重的衝擊，為長期極端氣候反覆交替，民眾身處極度不安全穩定的生活環境，而無法獲得充足飲用水與食物之情況時，除了飲用水匱乏與飢荒會造腸胃道疾病與營養不良問題外，更嚴重者會導致社會秩序崩解、迫使無安全環境可居住者成為氣候難民，甚至國家間、民眾間發生因水源及可耕作地爭奪的戰爭，造成更大規模的死傷。例如尼羅河流經非洲 10 個國家，但位居下游的埃及，為避免上游地區過度取水導致埃及發生缺水危機，當上游國家過度取用尼羅河之水源，埃及將發動戰爭以壓制上游國取用水資源 (Haile 2005)。雖然上述問題目前未見在臺灣本地發生，但隨著臺灣降雨趨向極端化，故上述之問題仍然值得我們省思。

## 7.2.2 氣候變遷下臺灣地區健康調適策略

面對氣候改變之可能影響，世界各國均積極針對環境、生態及公共衛生之衝擊議題研擬因應策略。整體來說，因應策略主要分為減緩 (Mitigation) 與調適 (Adaptation) 兩個面向。減緩係指減少人造溫室氣體 (如一氧化碳、一氧化氮等) 排放至大氣中，包括溫室氣體減量與加強溫室氣體的吸收存取；調適面向則係指調整自然系統與人類系統因應氣候變遷影響，減少損害或開發有益的政策及機會 (IPCC 2007)。

臺灣全島 75% 以上為山地，地形特徵使得境內河川具有坡度大、水流急等特點，且本地四周環海、地狹人稠，近年來大規模的土地開發、都市化與頻繁的地震，使得臺灣地區土地鬆動且含水能力差。又再加上長期暖化、極端溫度與颱風豪雨等衝擊，對全島之水文、水資源、農業生產與農業需水量及生態環境均造成嚴重的影響，而這些影響效應連帶著亦會衝擊居民的健康。

針對氣候變遷對國人健康之可能衝擊，「國家氣候變遷調適政策綱領」特別指出，本地調適策略之擬訂有三大基本思維，即避開風險與降低風險。前者係優先避開高風險區位或行為，免於遭受氣候變遷的衝擊影響；後者則主要透過提升能力來降低風險，進一步又可從強化 (strengthen) 及預防 (prevention) 兩種角度進行思考，其中有關臺灣健康調適規範之說明描述如下 (行政院經濟建設委員會 2012)：

1. 強化法令施行之效能。
  - 強化法令施行之效能，必要時考慮立法規範企業、社會、民間團體及個人之行為，以保護國民健康。
  - 強化環境維護、相關防疫法與維護國人健康命令之執行，以確實達到保護國民生命安全與健康。
2. 增進環境與健康相關部門之績效與分工。
  - 改進分工結構，提高健康維護及防疫方案之有效性。
  - 緊急防治與醫療系統，應確切達成健康維護、監測通報、防疫與災後處理之目標，以達成無縫接軌。



3. 落實各級單位之防災防疫演練。
  - 落實演練，精進預防、減災、應變與復原各階段緊急醫療救護與後續醫療啟動及醫療需求評估機制，並納入各類演訓，以提升整體防災防疫能力。
  - 強化各層級防災防疫單位之應變，包括地方衛生單位、在地醫療院所、急救責任醫院及各區緊急與國軍之醫療訓練等。
  - 定期更新與檢討防災防疫演練內容。
4. 強化氣候變遷教育與災後防疫知能。
  - 衛生教育單位應開發與更新氣候變遷教育與災後防疫衛生教育教材，經由各式傳播管道強化民眾之相關知能。
5. 持續進行健康衝擊與調適評估。
  - 持續追蹤評估氣候變遷對於公共衛生的衝擊，依更新之資訊定期評估氣候變遷風險，並依據風險評估，彙整建構健康防護系統與調適策略，以確保相關資源之運用與得以積極回應新興之需求。
  - 建立氣候變遷與健康調適考評制度、效益管理，持續監測與評估相關策略方案之可行性與實際績效，抑或透過跨國比較，據以調整後續規劃。
  - 進行多年期之氣候變遷與健康衝擊、調適策略之整合性研究，繼續開發可利用之軟硬體資源，以更新國家調適走向。
6. 擴大疾病相關評估相關資料庫之匯併。
  - 行政院衛生署所轄各部門所持有之健康資訊須以單一平臺進行整併，以利進行完整之健康衝擊與調適評估。
  - 水平整併各類健康、氣象、環境監測、病蟲媒、社會經濟指標與地理資訊系統等資料庫，並輔以貫時性資料之垂直追蹤，使未來相關政策之規劃更能植基於全面且長期之資料評估。
7. 強化監測系統之建置與維護。
  - 建置即時、不間斷的疾病通報與監測系統，以有效達成疾病控制與健康維護。



- 提高生物性傳媒快篩技術之改良與開發，及出入境健康監測與管控，以防治新興傳染性疾病。

綜合來說，對臺灣地區而言，當前最重要之任務是依據本土之氣候地理特性，基於目前已發現或是已被預測之氣候改變健康衝擊證據下，在既有的政策中重新修正或重新排序施政重點，進而擬定重點適應方案。並考慮兼顧環境永續發展之前題下，與世界接軌，落實氣候、環境永續與健康共存之知能教育，正視環境破壞問題，推行氣候變遷健康調適方案，如此方能使氣候變遷對本地帶來之負面健康效應減到最低，進而增進國人健康。

## 7.3 易感氣候變遷之健康議題

### 7.3.1 傳染性疾病

(陳國東)

自 1906 年至 2005 年，全球的平均氣溫上升約  $0.74^{\circ}\text{C}$ ，而海平面從 1961 年起每年平均上升 2 毫米。新興與再浮現傳染病強烈受到氣溫與環境因素影響，尤其是經由病媒傳染的疾病、腸道疾病、呼吸道傳染病的病原體對於氣溫與環境因子敏感度更高。因此，氣候可以改變傳染病的發生率、季節性、傳染力及地理分布。早期偵測傳染病爆發流行是預防傳染病對人類威脅的重要手段之一。本節以台灣地區較常見之傳染病的流行病學特徵季節型態及其與氣候因子的相關性做進一步之敘述，讓我們能提高警覺，預防傳染性疾病造成的威脅。

#### 7.3.1.1 蟲媒傳播之疾病

病媒傳染病是經由已感染的節肢動物之叮咬而傳播之疾病，其傳播源含蚊子、硬蜱、果蠅等。節肢動物是冷血動物，所以對氣候因素特別敏感。天氣影響病媒的存活及生殖率，進而影響它們棲息地的穩定度、分布，以及病媒活動的型態 (Rogers and Randolph 2006)。

- 瘧疾 (Malaria)

瘧疾是經由瘧蚊叮咬而傳染。瘧疾仍是世界上重要公共衛生問題。全世界約有 180 個國家仍是瘧疾流行區，每年約有 500 萬人被感染，其中約 100 萬人因而死亡 (WHO 2012)。感染瘧疾的危險性隨時間的改變而有變化，其原因是國際瘧疾流行病學的變化、旅遊習慣改變、國際間人口的移動，以及瘧疾抗藥性的增加 (Smith et al. 2008; MacPherson et al. 2009)。近年來許多瘧疾雖已根除，但仍有捲土重來的趨勢。世界衛生組織提出的全球瘧疾根除計畫提醒世人要留意這現象有可能發生，要各國提高警覺，加強瘧疾、氣候變遷及可能造成瘧疾傳播的監測系統 (Mendis et al. 2009)。

瘧疾是被認為病媒疾病中對環境改變最敏感的疾病之一 (Rogers and Randolph 2000)。環境變項例如溫度、溼度、雨量，及風速都會影響瘧疾的發生。它是受到瘧蚊的生存期間或瘧蚊的生活史改變，進而影響人類感染瘧疾的風險 (Gubler et al. 2001)。不過目前氣候對於瘧疾感染力的影響仍然在學者間有相當多的爭論 (Zhou et al. 2004)。會引起結論不一致的主要原因是，許多研究雖使用統計模式來探討環境變項與病媒蚊傳染病的相關性 (Randolph and Rogers 2000)，但很少研究是直接探討環境變項與瘧疾傳染力之研究 (Hoshen and Morse 2004)。Parham 等研究就是直接分析氣候對瘧疾傳染力的影響，結果發現瘧疾的發生及其傳染力與氣候三者有很強的相關，尤其是雨量較氣溫對於瘧疾的發生，其相關性更強 (Parham and Michael 2010)。

除季節變化對傳染病的發生具影響性外，聖嬰現象/南方振盪 (ENSO) 也會影響傳染病的發生 (Ropelewski and Halpert 1987)。有學者研究瘧疾與聖嬰現象的相關性，結果發現聖嬰現象造成氣候的改變與瘧疾的發生呈比例的成長 (Ropelewski and Halpert 1987)。

評估瘧疾再浮現的危險性可根據某一區域或國家控制病媒蚊疾病的傳染能力 (receptivity)、境外瘧疾發生率 (malaria importation rate)，以瘧疾發生潛力 (malariogenic potential) 而判斷 (WHO 1966, 2007; Cohen et al. 2010)。因此，在瘧疾已根除地區，要繼續消除瘧疾，必需維持低的瘧疾再生數，或者減低境外移入病例數 (Feachem et al. 2010; Moonen et al. 2010)。世界衛生組織於 1955 年開始推動全球瘧疾根除計畫 (WHO 1999)，雖然全球病例數有顯著減低，但有不少地方如斯里蘭卡 (Sri Lanka) 及馬達加斯加 (Madagascar) 仍然發生瘧疾大流行 (Chareonviriyaphap et al. 2000; Roberts et al. 2000)。

台灣地處亞熱帶，在 1960 年代前曾是瘧疾流行地區，每年感染人數高過 1.2 百萬 (Chen 1991)。當時台灣地區經由改善居住與社會經濟情況、環境的管理、殘留 DDT 噴藥計畫等努力，終於在 1965 年根除了瘧疾 (Yip 2000; Chen and Chen 2009)。但這些年來境外病例仍不斷地發生，而且在花東等地區發現仍有矮小瘧蚊的存在 (Chang et al. 2008)。台灣地區 2002 年至 2010 年間共有 193 例境外移入病例，其中 44% 是在非洲地區感染，49% 是感染惡性瘧，感染的主要原因是到瘧疾流行地區旅行 (Wang et al. 2012a)。台灣地區由於各種條件是有可能再次瘧疾流行的高危險區，究其原因為：(1) 台灣地區於 1965 年以前是瘧疾的流行區，它的緯度含括溫帶與熱帶。(2) 周邊的東南亞國家，如印尼、泰國仍是瘧疾流行區，而近年來有不少人是由這些地區移入台灣 (Yip 2000; Tang et al. 2003)。(3) 台灣地區仍有矮小瘧蚊存在，是重要的傳播瘧疾的媒介 (Yip 2000; Tang et al. 2003)。(4) 台灣地區已有近五十年未有瘧疾流行，民眾均缺乏瘧疾免疫力。(5) 台灣地區處東南亞瘧疾流行區，這些地區的瘧疾很可能經由未控制的途徑傳入。(6) 氣候變遷將可能會改變台灣瘧蚊的生態及習性。以上因素使台灣地區再次發生瘧疾流行的風險大大提高。

再方面，間日瘧原蟲 (*Plasmodium vivax*) 可在體內潛伏相當長的時間，如果未及時被診斷出來，有可能會變成潛在性的感染者。希臘即有報導於 1974 年消除了瘧疾，但於 2011 年再度發生瘧疾流行 (Danis et al. 2011)。為此，做好風險評估，了解瘧疾原蟲的生物學、人類免疫學、病媒蚊的行為特徵、基因的改變、氣候變遷對瘧疾感染力的影響，並提出新的防治策略，對減少瘧疾在台灣地區再次發生大流行應為必要。

### ● 登革熱 (Dengue Fever)

登革熱是世界上極為重要的人類病毒性疾病之一。登革熱又稱折骨熱，主要症狀有皮疹、發燒、全身痠痛，嚴重的會併發登革出血熱，甚至死亡。Bhatt 等 (Bhatt et al. 2013) 估計 2010 年全世界 390 百萬例登革熱病例發生，其中有 96 百萬症狀較嚴重。亞洲地區每年約有 67 百萬受感染的病例，登革熱的傳染媒介是白線斑蚊及埃及斑蚊。它主要是因容器積水引起孳生源。在已開發中國家，登革熱常是由旅遊或移民人口帶入病原。

台灣南部地區處於熱帶地區，而且全年溫度與溼度都相當高，相當適合傳播登革熱病媒蚊的孳生。文獻的記載，台灣在過去曾發生數次登革熱大流行，例如

1902、1915 年及 1922 年於澎湖地區；1924、1927、1931 於南台灣地區；1942~43 於全島發生 (King et al. 2000)。之後到 1945 年台灣地區未再有登革熱流行的報導，然而在 1988 年登革熱又再度侵襲南台灣，疫情由屏東擴及高雄、台南等地區，雖然經各界的努力防治，但登革熱疫情並沒有停止，每年都會給南台灣造成極大的威脅，2014 年在高雄、2015 年在台南均有上萬個通報病例發生。造成如此嚴重的疫情，原因甚多，有研究認為與氣候因子有相關 (紀錦昇等 2014; 紀錦昇等 2015; 陳秋美等 2015)。整體而言，在過去數十年，台灣每年都有登革熱病例發生，而且在九月至十二月是發生的高峰期 (Lin et al. 2012)。登革熱為我國重要之病媒傳播疾病之一，由歷年台灣本島確定案例數看來，影響最為嚴重的一次是在 2002 年的大爆發，總案例數到達 5,375 人次，且 2002 年以後每年通報案例數有快速增加之趨勢。此外，臺灣的登革熱，因氣候變遷已經改變了登革熱病媒蚊的病媒潛能。這兩種傳播登革熱的媒蚊 - 「埃及斑蚊」與「白線斑蚊」在臺灣地區的密度已逐年提升、分布地點逐漸擴展，且活動季節逐漸延長。資料顯示台灣地區病媒蚊布氏指數各月份之平均值之高峰期 (每年八月) 與最高平均氣溫 (每年七月) 間有一區隔，而登革熱病例通報顯示在高氣溫與登革熱疫情爆發間有一時間間隔存在。氣溫是登革熱傳播的重要因素 (WHO 2002)。氣候變遷造成氣溫與溼度的改變，連帶會使登革熱流行的地區均可能改變 (Jetten and Focks 1997)。

登革熱的流行型態，與外在的氣候及宿主的免疫力有很大的相關性 (Gubler 1998; Yang et al. 2008; Lambrechts et al. 2011; Racloz et al. 2012)。吳等的研究 (Wu et al. 2007) 發現氣候的變異例如每月的最高溫、最低溫、降雨量，及溼度與登革熱的發生有相關。陳等研究 (Chen et al. 2010a) 認為溫暖的氣溫經三個月的間隔 (time-lag) 病媒蚊指數會增加，溼度上升病媒蚊密度也會增加，進而促使登革熱感染的傳播率也會上升。Lambrechts 等 (Lambrechts et al. 2011) 認為短期的溫度變化對於埃及斑蚊傳播登革熱病毒皆有影響。來自登革出血熱盛行的東南亞諸國之境外移入病例 (imported cases) 與氣候 (溫度、濕度) 合宜這兩個條件，皆促發了臺灣登革出血熱之流行。若將氣候因素同時納入登革熱的相關研究，將有助於公共衛生的準備和預測，並能有效地防範登革熱的流行。

### ● 日本腦炎 (Japanese Encephalitis)

日本腦炎是由黃病毒科 (Flaviviridae) 下，黃病毒屬 (Flavivirus) 中的日本腦炎病毒引起，在台灣傳播日本腦炎之病媒蚊為三斑家蚊、環紋家蚊及白頭家蚊。

其中以三斑家蚊為最主要之傳播媒介，三斑家蚊繁殖的棲息地包括水稻田、溝渠、池塘及人工容器等，因此，在台灣分布範圍亦很廣。但日本腦炎的傳播與週遭動物有密切關係，一般而言，豬、鳥等動物受到有日本腦炎病毒的病媒蚊叮吮而受到感染，由於動物本身不會發病而成為病毒的感染窩 (reservoir)，一般而言，豬及鳥類的病毒血症期通常為 2~5 天，而未帶病毒的病媒蚊則在叮吮正處於病毒血症的動物時受到感染，病毒在蚊蟲體內大量增殖 2~20 天後，即可在叮咬過程透過唾液傳給健康民眾，一般而言，三斑家蚊雌蚊成蚊壽命約為 30 天，而帶有大量增殖的病媒蚊終生具有傳播病毒的能力 (Chin 2000)。相較於登革熱主要為都市地區流行之疾病，日本腦炎則是鄉村地區流行之疾病。

臺灣本島各縣市均曾有確定病例發生，1993~2005 日本腦炎通報病例數每年約 180~464 人，確定病例每年則有 4~57 例，其中以 2005 年為確定案例數最多的一年。一般而言，日本腦炎主要案例發生在每年 5 至 10 月間，病例高峰通常出現在 6~7 月之間，由於幼兒全面接種日本腦炎自 1998 年後之案例均以 20 歲以上之成人為主 (疾病管制署 2006)。溫度愈暖則日本腦炎病例愈多，而且高峰期也會提前，當氣溫低於 20°C 時日本腦炎病毒即不會複製繁衍 (Macdonald 1957; Mellor and Leake 2000)。

### ● 屈公病 (Chikungunya)

屈公病病毒分類上是屬於 *Togaviridae* 科 *Alphavirus* 屬，它是經由受感染的蚊蟲叮咬而傳播。病媒蚊包括埃及斑蚊及白線斑蚊，傳播媒介與登革熱類似。

在 2007 年義大利東北部曾發生屈公病大流行 (Beltrame et al. 2007; Fiore et al. 2007)。當地發生流行的主要原因是因為白線斑蚊傳播所引起。為什麼當地會有大量白線斑蚊呢？可能原因是與氣候因子相關，如年平均雨量上升、夏季平均氣溫升高超過 20°C (Medlock et al. 2006)。台灣目前雖尚無屈公病病例發生，但我國近鄰屈公病流行地區，而且其傳染媒介也與登革熱相似 - 埃及斑蚊及白線斑蚊，因此，我們不可不及早作準備，預防它們在台灣地區造成流行。

### 7.3.1.2 水媒性疾病

水媒性疾病 (water-borne disease) 包括食物中毒、腹瀉等。這些疾病也會受氣溫變化的影響，大氣溫度每增加 5°C，每日腹瀉病人就可能較一般狀況增加兩



倍 (Checkley et al. 2000)。以霍亂為例，它是腸道疾病的一種，1893~1940 年及 1980~2001 年在孟加拉地區的研究發現，在聖嬰年期間，霍亂發生率較平時增加，其原因可能是聖嬰年海中藻類 (algae) 增加，相對浮游動物也增加，因而造成霍亂感染者增加 (Pascual et al. 2000)。

水媒性疾病主要傳染途徑分為娛樂用水與飲用水引起。娛樂性用水 (游泳池、海水浴場等) 與傳染病有相關，飲用水也是造成水因性暴發流行發生的重要途徑 (Semenza and Nichols 2007)。尤其是老舊的處理水廠及飲用水水管對於極端氣候更容易遭到損害與考驗。環境污染與氣候變遷相互作用可能會使得人類暴露更加嚴重。

理論上，即使降雨量維持恆定，氣溫越高大氣中水蒸氣壓就越高，因而促使更多巨量降雨事件 (Groisman et al. 1999; Karl and Trenberth 2003)。這可能造成水量溢流及上游大量雨水沖刷造成海岸的水源攜帶大量病原，營養物質及毒性化學的機率增加，這些因素均可能會對水中生物及公共衛生有不良的影響。在人群聚居的沿海分水嶺，這種現象會更明顯。之外，暴風雨將上游污染物沖刷到下游，增加沿海地區的汙染風險，也使得疾病流行風險增加。以往有許多類似的例子發生，如聖嬰現象造成南加州沿海地區傳染病的增加 (Dwight et al. 2004)。另有研究認為腸胃道及呼吸道疾病在雨季會較乾燥季節高 (Brinks et al. 2008)。

### ● 霍亂 (Cholera)

霍亂是由受霍亂弧菌污染的海產食物或飲用水所引起的一種急性腹瀉疾病，症狀為無痛性大量水瀉、偶爾伴有嘔吐及快速脫水，嚴重者甚至能在數小時內造成休克或死亡，致死率高達 50%。此病好發於夏秋之際，霍亂弧菌存在於水中，最常見的感染原因是食用被病人糞便污染過的水或食物，其血清型通常是 O1 型的霍亂弧菌所致，但根據文獻資料顯示 1992 年在南亞洲曾經有新血清型 O139 之菌種造成流行 (疾病管制署 2014)。

自十九世紀以來，霍亂曾多次在世界各地造成大流行，因流行範圍之廣和造成死亡人數之多，使人們聞之色變。根據台灣地區的資料記載，自民國以來共發生四次大流行 (民國一年、八至九年、三十五年 and 五十一年)。前三次患者人數約 10,648 人，死亡 6,834 人 (64%)。由於醫療技術日益進步，民國五十一年度的霍亂流行共有 383 名患者，其中 24 名死亡 (約 6%)。台灣地區，近年來隨著生活品質的提升，公共衛生設施的改善及興建污水下水道，霍亂病例降低至僅有零星個



案。在世界衛生組織的報告中，全世界每年霍亂病例數也有下降之趨勢，但霍亂在非洲、亞洲等部份衛生條件不良的國家仍然是一大威脅（疾病管制署 2014）。

世界各國許多地區均觀察到氣候暖化現象對於霍亂疫情之影響，如 1997~1998 年聖嬰現象 (El Nino) 造成的海水及大氣溫度上升，使得祕魯地區因腹瀉而住院的病人增加一倍以上，更有許多研究發現霍亂弧菌屬 (*Vibrio cholerae*, *V. parahemolyticus*, *V. vulnificus*) 的繁殖及疾病的發生與氣候的變化 (特別是溫度) 有明顯的相關 (Checkley et al. 2000; Pascual et al. 2000; Pascual et al. 2002; Rodo et al. 2002)。有學者研究發現，印度地區每年的霍亂爆發的嚴重程度也與聖嬰現象及氣候暖化作用有相關 (Pascual et al. 2000)。

#### ● A 型肝炎 (Hepatitis A)

由於 A 型肝炎是透過糞口感染之疾病，一般而言，平均潛伏期為 28~30 天，而發病情況通常為發燒，全身倦怠不適，食慾不振，嘔吐及腹部不舒服，數天之後發生黃疸，通常臨床症狀的嚴重度會隨年齡增加而增加。而於發病前 1~2 週可於糞便中檢出大量病毒，此時感染力最強，而共同感染源的爆發流行通常與受污染的水、具傳染性的食物調理人污染食物有關。雖然大台北地區 A 型肝炎之流行沒有一定的季節性，但是幾次的案例激增均發生於春季且連續幾週降雨量少的時候 (2001、2002、2005 年)，台北地區雖為自來水及衛生系統普及之城市，累積降雨量減少似乎對於 A 型肝炎案例增加仍有一定程度貢獻，但機制為何仍需未來持續利用其他資料如結合水庫水位、供水量、持續無降雨日等乾旱指標進一步確認期相關性 (疾病管制署 2014)。

### 7.3.1.3 食因性疾病

氣候會影響病原的生長與存活以及傳播的途徑 (FAO 2008)。氣溫越高，食因性病原的增殖循環也會增加，而且會延長其生存的季節。在這情況下，就可能增加食物在處理流程中受到汙染的機會 (Tirado and Schmidt 2001)。

#### ● 沙門氏菌症 (Salmonellosis)

沙門氏菌是食因性疾病的重要原因的前幾位。在 2007 年，歐洲就曾發生 151,995 例因沙門氏菌引起的病例 (Helwich and Korsgaard 2007)。它是由於蛋、雞肉或豬肉受到汙染，而人們食用到這些受汙染的食品，就可能造成沙門氏菌症。

氣溫升高，沙門氏菌症可能會因而增加，大約每增加 5°C 就可能增加 5~10% 的病例數 (D'Souza et al. 2004; Kovats et al. 2004)。

### ● 桿菌性痢疾 (Shigellosis)

桿菌性痢疾主要是經由攝食被病人或帶菌者糞便污染的食物或飲水而感染，桿菌性痢疾之潛伏期為 12 至 96 小時 (通常 1 至 3 天)，有時長達 1 週。症狀包括程度不等的腹瀉、發燒、噁心、嘔吐、痙攣及裏急後重 (有便意，卻拉不出來)、血便、粘液便等症狀 (疾病管制署 2014)。

氣溫也會造成痢疾桿菌在生殖率、生存率方面的改變 (Gubler 1998)。除了痢疾桿菌，其他病原如沙門氏菌也會受氣溫的影響。氣溫對這些病原的影響有些在短時間就會發生作用，有些則可能需要較長時間才會發生 (Hales et al. 2002; Kuhn et al. 2003)。氣溫不僅對病媒疾病有相關，對於許多食因性疾病也有相關性，比方氣溫高可造成沙門氏菌感染增加 30% 以上 (Kovats et al. 2004)。在美國就曾有報導食物中毒每月發生率與氣溫有極大相關性 (Bentham and Langford 2001)。

### 7.3.1.4 空氣及接觸傳播之疾病

#### ● 腸病毒 71 型感染 (Human enterovirus 71)

傳染病的發生是病原、宿主及環境三者間交互作用而成。在這模式中，如果有任何一個要素改變，破壞了原有的平衡，即會導致疾病的發生。隨著全球氣候變遷的影響，可能直接或間接的衝擊人類生存條件以及健康，其中氣候因子的改變可能會影響自然生態與環境中動、植物及微生物之繁衍生長情形、分佈及傳染途徑。傳染病的流行模式可能因而有所改變。在台灣地區，全年皆有腸病毒感染的病例出現，好發於夏秋季節，至今已成為台灣的地方性流行傳染病。台灣腸病毒最大的流行是發生在 1998 年，當時造成 129,106 個手足口症病患、405 例重症病患、其中有 78 位兒童死亡 (Ho et al. 1999)。

學者針對 1998 年台灣地區腸病毒 71 型大流行的原因進行研討發現，腸病毒 71 型感染重症與氣溫呈 V 型相關，當溫度在 14°C 以上，病例數隨溫度增加而增加，溫度高於 26°C 時，病例數會因溫度上升而減少；另，與平均溼度亦成正相關，每增加 5% 溼度，病例數增加 80% (Chang et al. 2012)。腸病毒 71 型流行除了與氣候因子有相關外，目前研究結果推論腸病毒 71 型感染流行的可能原因為 (1)

宿主缺乏抗體，易感受性者增加；(2) 腸病毒之基因變異；(3) 病毒傳播途徑的改變 (Chonmaitree et al. 1981)；及 (4) 氣候及環境因子的影響 (Lee et al. 2009; Chang et al. 2012)。

### ● 流行性感冒 (influenza)

流行性感冒的臨床特徵是急性上呼吸道感染、發燒、頭痛、全身倦怠、虛脫、喉嚨痛、咳嗽等症狀。一般人大約在感染後 2~7 天就會康復，有些人則會引起較嚴重的併發症如肺炎，甚至休克死亡。流行感冒有時與一般感冒不易區分，需仰賴實驗室檢驗才能區別出來。流行性感冒很容易就造成大流行，尤其是病毒發生變異的時候。全世界在以往紀錄已發生數次大流行，重要的有 1918 年、1957 年、1968 年。每次大流行均有相當多人罹病及死亡，例如 1918 年大流行據估計有數百萬人死亡 (Heymann 2004)。所以流行性感冒是人類重要的呼吸道傳染病，不容我們忽視。

對於呼吸道傳染病，雖然有學者以天竺鼠 (guinea pig) 作研究發現，乾冷的空氣是有助於流感病毒飛沫傳染 (aerosol transmission) (Lowen et al. 2007)，但這個發現並未能完全解釋流感在不同地區的流行模式。因此有學者則提出另外假說，例如：雨季時，人們留在室內，室內因擁擠而使得呼吸道傳染病傳播率的增加 (Murray et al. 2012)。這也能解釋為何流感在溫帶地區是於冬季流行，而在熱帶地區卻在夏季流行的可能原因。不過這個理論仍面臨許多挑戰，例如：為何在雨季結束前呼吸道疾病就減少了？雖然有人能解釋這是因為人口群的免疫力已足夠的緣故 (Dowell 2012)。但事實上，研究指出人口群中僅有 5~20% 受到流感病毒感染 (Dowell 2012)。最近有研究指出人體維他命 D 不足是造成流感發生率增加的原因之一 (Li-Ng et al. 2009; Urashima et al. 2010)。不過這些理論尚待更多研究來證實。目前有研究指出流感病毒在低溫下經飛沫傳染會較有效力，但對接觸傳染較沒影響。低的絕對溼度會增加病毒存活及飛沫傳染 (Tamerius et al. 2011)。

### ● 侵襲性肺炎鏈球菌感染 (Streptococcus pneumoniae)

每年冬天肺炎鏈球菌感染的病例就會增加，這種現象一直未有好的理由加以解釋。病毒性疾病的病例數在冬天增加，有學者認為是與天氣冷、低濕度以及易感宿主聚集在一起有關。但在肺炎鏈球菌感染的季節性變化卻有許多矛盾的地方，例如在荷蘭地區的研究發現侵襲性肺炎疾病是在冬天較嚴重，但在阿拉斯加就在夏天較多病例。這種現象在成人較小孩更為明顯。台灣地區的情況又是如何呢？

台灣地區近年來，國際旅遊、移民人口與境外移入均有增長趨勢，這些因素將與促使肺炎雙球菌感染的病例數增加及散播有著密切相關性。再方面，氣候變遷可能會改變宿主及病原的易感性及感染力。以上這些因素有可能影響台灣地區肺炎鏈球菌的傳播，進而增加台灣地區肺炎球菌發生的可能性。

肺炎鏈球菌 (*Streptococcus pneumoniae* ; pneumococcus) 是一種柳葉刀狀 (lancet-shaped) 的革蘭氏陽性雙球菌，目前以莢膜多醣類抗體之莢膜腫脹試驗 (Quellung reaction)，可將其區分為 93 種血清型 (Henrichsen 1995; Park et al. 2007; Bratcher et al. 2010; Calix and Nahm 2010)，但不是每種血清型都會致病。

此菌可於人體鼻咽部呈現無症狀帶菌情形，隨著年齡增長，帶菌率會逐漸減少，通常嬰幼兒帶菌情形較成年人高。研究指出台灣地區兒童鼻咽腔帶菌年齡的最高峰出現在 18~24 個月大的嬰幼兒，其次是介於 2 歲到 5 歲之間的孩童 (沈雅慧 2010)。傳染途徑可經由人與人之間直接接觸，或經由吸入含有此病原菌之呼吸道分泌物微粒。社區中爆發肺炎鏈球菌群聚的事件較為罕見，發生群聚事件大多是位於人口密集的機構，如：托兒所、護理之家等擁擠的環境。

所有年齡層的人均可能受到肺炎鏈球菌感染引發疾病，但多發於 5 歲以下兒童及 65 歲以上的老年人。臺灣於 2007 年 10 月 15 日後將侵襲性肺炎鏈球菌感染症列為第四類法定傳染病，經資料分析結果，從 2007 年 10 月 15 日至 2008 年 9 月 30 日疾病管制局共接獲通報 729 例確定病例，其中男性 486 名、女性 243 名，以男性居多；各年齡層所占人數，以 75 歲以上者 166 (22.8%) 人居冠，其次為 65~74 歲 124 (17.0%) 人。發生率較高集中於 4 歲以下與 65 歲以上，年齡層發生率呈『V』字型分布。各年齡層的致死率，呈現階梯狀上升的趨勢，以 $\geq 75$  歲者為最高 (9%)，其次為 35~64 歲 (約 8%)，小於 5 歲族群則以 1 歲為高 (3%) (莊聖儀等 2009)。

此外，無脾症、HIV 感染、糖尿病、肝硬化、慢性腎衰竭或慢性腎病、何杰金氏病 (Hodgkin's disease) 等癌症患者、近期進行器官移植手術、植入人工電子耳 (cochlear implant)、免疫功能缺失及使用類固醇或免疫抑制劑者，均為侵襲性肺炎鏈球菌感染症的高危險族群 (Overturf 2000; Parsons and Dockrell 2002; Pickering et al. 2009)。

在美國，肺炎鏈球菌疾病的發生率具有種族/族裔上的差異，研究指出黑人的疾病發生率明顯高於高加索人 (Flannery et al. 2004)。國家之間的發生率也有很

大的差異，開發中國家疾病發生率明顯高於已開發國家。在發展中國家因肺炎鏈球菌每年導致 500 萬 5 歲以下的兒童死於肺炎，10 至 50 萬兒童死於腦膜炎 (Greenwood 1999)，90% 感染肺炎鏈球菌死亡多發生於開發中國家 (O'Brien et al. 2009)，相關研究推估這樣的結果可能是由於社會經濟差異與先天基因因素所造成 (Henneberger et al. 1983; Wong et al. 1992)。由台灣地區疾病管制署的資料初步分發現肺炎鏈球菌疾病每月均有病例發生，其中以冬季至春季為疾病發生之高峰期，有明顯的季節性 (疾病管制署 2014)。

肺炎鏈球菌的血清型多達 93 幾種，但並不是每一種血清型均會導致疾病發生，在全球觀點來看，造成 IPD 其中以 20 種血清型為主佔 80% 以上。不同的血清型其鼻咽腔帶原比率、細菌毒力與感染 IPD 的風險也不同 (Pemba et al. 2008; Jansen et al. 2009)。在全球調查中，血清型 1、5、6A、6B、14、19F 和 23F 最容易引起侵襲性肺炎鏈球菌感染症，在開發中國家血清型 1、5、6A/6B 和 14 尤為盛行 (Johnson et al. 2010)。

林等研究指出 1999 年至 2004 年，臺灣地區年齡  $\leq 14$  歲的兒童具有 5 種最常見的血清型分別為血清型 14 (28.3%)、23F (21.0%)、6B (17.1%)、19F (13.6%) 和血清型 3 (4.9%) (Lin et al. 2006)。2010 年台灣疾病管制局調查結果發現， $\leq 5$  歲嬰幼兒盛行的血清型前三名為，血清型 19A (36.2%)、19F (12.5%)、14 (12.1%)，其中血清型 3、14、19A、23F 四型合計所占的比例約為 63%。

有關於侵襲性肺炎球菌感染的季節性模式已反覆被證明，但解釋肺炎球菌的季節性經常出現矛盾，如：在荷蘭肺炎鏈球菌引起的疾病發病率最高都在嚴冬 (De Neeling et al. 1999)，但在阿拉斯加病例數最多的反而是在夏季 (Davidson et al. 1989)。Dowell 等的研究發現 IPD 有明顯的季節性，在冬天病例數明顯增加，而且發現其相關性因地域不同而有不同 (Dowell et al. 2003; Dowell 2012)。Tvedebrink 等在丹麥經八年的追蹤研究發現侵襲性肺炎雙球菌疾病與氣候因子有統計上的相關性 (Tvedebrink et al. 2008)。溫度上升肺炎雙球菌疾病也隨之上升，其時間差 (time-lag) 約 16 天 (95% 信賴區間為 14~18 天)。2012 年在日本也有類似研究 (Matsubara et al. 2012)。它是以日本 Kobe 地區的學童為研究對象，經過七年的追蹤研究，結果發現侵襲性肺炎雙球菌疾病發生高峰期在每年 4 月到 8 月及 11 月到 12 月，至於侵襲性肺炎雙球菌疾病發生率分別在這兩個時段增加，是否是因氣候因子的原因，該研究未有明確證據。另外，White 等以美國費城的病人作為研究對象，結果發現侵襲性肺炎鏈球菌疾病的高峰是冬季，經作者進一



步分析發現，與紫外線的暴露有統計學上的負相關 ( $R^2=0.70$ , 95% CI 0.54-0.91) (White et al. 2009)。

### 7.3.1.5 嚙齒動物性疾病

嚙齒動物是人類許多疾病的儲主 (reservoirs)。嚙齒動物可以作為感染宿主與對於節肢媒介動物的宿主 (如跳蚤) 之中間媒介。嚙齒動物族群是受到天氣情況影響。特別是溫暖、潮濕的冬天及春天會增加它們的族群數 (Kausrud et al. 2007)。氣候變遷的條件下，在溫帶區的嚙齒動物族群的數目可能會增加，造成人類與嚙齒動物間有更多機會接觸，同時會增加疾病的傳播風險，特別是在都會地區。

漢他病毒 (Hantavirus infections) 是經由嚙齒動物傳播的疾病，它有四種基因型別。其中 Puumala, Dobrava, Saaremaa 病毒被認為可以感染人類，而使人類致病 (Linderholm and Elgh 2001)。人類若吸入被感染的嚙齒動物排泄物飛沫 (aerosols) 就可能致病。嚙齒動物的數目與氣候變遷有極大相關性，所以也會造成人類健康的威脅。漢他病毒感染是對氣候狀況相當敏感，例如雨量增加後，草的種子生長增加，接著鹿鼠 (deer mouse) 的密度也跟著增加，這就是美國墨西哥州四角 (Four Corners) 地區發生漢他病毒大流行的原因 (Engelthaler et al. 1999)。

台灣地區雖然還沒有漢他病毒肺症候群的病例發生，但漢他病毒腎症候群的病例卻已有病例通報 (疾病管制署 2014)。所以，我們仍不能忽略這疾病在台灣發生的潛力。

### 7.3.1.6 公共衛生的因應策略

隨著全球氣候變遷與溫室效應的影響日益明顯，如何因應氣候變遷造成傳染性疾病的衝擊，是當前世界各國面臨的挑戰。近年來對於氣候與傳染病間的相關性，雖已有許多研究問世，但對於這方面的知識與實際的需求仍有一大段差距，例如氣候變遷對於病媒的分布、病媒與宿主間的關係、新興傳染病病原的特性及發生、食因性病原的傳播，以及水因性病媒的毒力等知識均有待學者再深入探討。

氣候變遷與傳染病間的相關性不僅是涉及微生物學門、氣象學門或地理學門而已，它也涉及到社會經濟的發展、都市化、土地使用、人口遷移，以及傳染病的全球化傳播等。因此，在進行這方面的研究時，需有不同學門的合作與貢獻窺



問題之全貌。

換句話說，各個學門各有其專精的知識，包括方法學、昆蟲學、生態學，以及環境資料等，這些資料可與流行病學資料合併在一起，以探討解決氣候變遷所帶來的問題。有了這樣整合的資料可以讓我們產生更多信息，以瞭解氣候變遷與傳染病的相關性，進而推論氣候變遷可能造成的傳染病病媒的分布、傳染病原的傳播，及疾病的分布。集合上述這些資料我們才有可能對氣候變遷對傳染病的衝擊提出適當的公共衛生應變策略，以及建立有效的預警系統與充實應變能力。

### 7.3.2 非傳染性疾病

(王玉純)

根據緊急災難資料庫 (Emergency Disasters Data Base) 的記錄顯示，自 1950 年來地球發生的自然災害有顯著的上升趨勢 (Munich 2006)，其中，極端高溫發生頻率及強度日益增加均可能使疾病死亡率及就醫率的風險上升。美國的疾病管制中心 (U. S. Centers for Disease Control and Prevention, CDC) 評估每年有 240 名個案死於熱相關因子，其中，在著名的 1995 年芝加哥熱浪中，相關死亡人數較他年同期增加了 85%，就醫率增加了 11%，該時期因熱導致的死亡個案至少有 700 名左右 (Semenza et al. 1996; Semenza et al. 1999)。此外，估計法國 2003 年發生的熱浪事件相關死亡人數 (Belmin 2003)，約有 11,435 人由於連續十五日的高溫而死亡，對 75 歲以上年齡層更造成 69% 以上的額外死亡率。進一步分區調查，發現巴黎地區的額外死亡率更高出 138~142% (Vandentorren et al. 2004)。兩份報告均顯示短時間極端高溫事件對人體健康衝擊極大。

世界衛生組織 (World Health Organization) 暨世界氣象組織 (World Meteorology Organization) 之聯合報告 (Kovats and Hajat 2008; Matthies and Menne 2009) 指出糖尿病及內分泌系統疾病 (diabetes mellitus, other endocrine disorders)、器質性精神病 (organic mental disorders)、癡呆 (dementia)、阿茲海默症 (Alzheimer disease)、藥癮及酒癮導致精神及行為異常者、精神分裂症 (schizophrenia)、錐體外系及運動障礙疾病 (extrapyramidal and movement disorders, 如: 帕金森氏症)、心血管疾病 (cardiovascular disease)、高血壓 (hypertension)、腦血管疾病 (coronary artery disease)、心傳導系統疾病 (heart conduction disorders)、呼吸系統疾病 (respiratory diseases)、慢性肺部疾病 (chronic lower respiratory

disease)、腎臟系統疾病 (renal diseases)、腎衰竭 (renal failure) 及腎結石 (kidney stones)...等，均是極端高溫之高敏感度族群。

至於人口學及其他社會因子對高溫健康危害之影響上，目前未證實性別有明確的影響，歐洲地區年長族群為女性風險高於男性，但在美國地區卻為相反趨勢。若觀察全年齡人口族群，男女並無顯著差異。除了極端高溫的健康影響，極端低溫對於位處東南亞的臺灣影響甚鉅。研究證實寒冷氣候相關死因及疾病除了失溫外，另為心血管疾病 (冠狀動脈痙攣、動脈粥樣化、腦中風...等)、呼吸道傳染性疾病 (流行性感冒、肺部感染...等) 及高血壓...等 (Kalkstein and Greene 1997; Alberdi et al. 1998)。在年齡方面，老人是最受溫度影響的敏感性族群 (Hajat et al. 2006; Ha et al. 2009; Almeida et al. 2010)。地區差異、都市化程度、人口組成、社會經濟條件及空調系統的普及均與溫度相關的死亡率變化有關 (O'Neill and Ebi 2009)。

極端氣象事件因其突發性而造成無法預期的嚴重傷害，使得近年來逐漸重視事件發生頻率預測及其衝擊評估。但截至目前，可能是因各地氣候不同，國際上有關極端氣象的定義，目前並無一定標準。研究進行時，極端氣溫主要以百分位數為主要區分準則，極端高溫可訂為 99.5 百分位、99 百分位、97 百分位、95 百分位及 90 百分位之溫度值，極端低溫則可訂為 1.5 或 10 百分位之溫度值 (Braga et al. 2002; Diaz et al. 2002; Hajat et al. 2002; Pattenden et al. 2003; Hajat et al. 2006; Anderson and Bell 2009; D'Ippoliti et al. 2010; Tong et al. 2010; Anderson and Bell 2011)。至於連續天數可連續 2 天或 4 天以上 (Hajat et al. 2006; Tong et al. 2010; Anderson and Bell 2011; Anderson et al. 2012; Wang et al. 2012b)，亦有部分研究探討極端高溫連續 8 天以上之影響 (Hémon and Jouglé 2003; Gasparri and Armstrong 2011)。近年各國研究證實不論是偶發單一極端溫度事件 (Semenza et al. 1996; Vandentorren et al. 2004)，或是經人為定義之極端溫度事件，均顯著增加當地群眾死亡及就醫風險 (Mastrangelo et al. 2007; Theoharatos et al. 2010; Gasparri and Armstrong 2011; Lin et al. 2011; Wang et al. 2012c)。在臺灣極端高低溫及其連續事件對國人之健康具顯著影響，四大都會區 (臺北、臺中、臺南及高雄) 年長者總死因、心血管及呼吸道疾病死亡在平均溫度為 26°C 時死亡風險最低 (Lin et al. 2011)，低溫相較於高溫造成較高的死亡風險，心血管疾病死亡對溫度最為敏感。持續極端高溫事件會增加總死因及心肺疾病死亡之風險，99 百分位之溫度值延續 4 天以上事件會增加額外死亡風險為 4~5%；97 百分位之溫度值

延續 9 天以上事件會增加額外死亡風險為 1~5%。在各極端高溫定義下，若延續天數較短，則死亡風險不顯著。另一研究分析臺灣臺北市、臺中市、嘉義市、臺南市、高雄市與基隆市每日死亡與酷熱指數 (heat index) 之相關性 (Sung et al. 2013b)，觀察到除了基隆市之外，在 95 百分位之酷熱指數值與每日死亡人數呈顯著相關，影響時間為暴露當日至延遲 3 日。

進一步分析臺灣四大都會區總病因、心血管及呼吸道疾病急診就醫與持續極端高溫之相關性 (Wang et al. 2012c)，同樣發現低溫與本國心肺疾病急診就醫較具正相關。但是極端低溫事件顯著增加呼吸道急診就醫情形，當 5 百分位之溫度值連續出現 9 天以上時，呼吸道急診就醫增加 28%。亦證實每年度第一次低溫事件 (5 百分位溫度值以下) 會增加 16~26% 呼吸道急診就醫及 9~12% 全病因急診就醫。而每年度第一次高溫事件會增加 4~8% 全病因及 13% 心血管急診就醫。整體而言，極端低溫及其事件對呼吸道急診就醫影響最大。

極端高溫可能影響生理熱調節機制進而增加體內的腎臟壓力 (Kovats and Hajat 2008)。年長者及腎臟疾病患者暴露在熱浪下會有較高風險發生腎功能異常、中暑 (hyperthermia)、脫水、體液及電解液失衡、急性腎衰竭 (acute renal failure)、熱中風 (heat stroke) 及熱衰竭 (heat exhaustion) (Tan et al. 1995; Flynn et al. 2005; Varghese et al. 2005; Kovats and Hajat 2008)。1995 年芝加哥熱浪 (Semenza et al. 1999)、2006 年加州熱浪 (Knowlton et al. 2009)，以及澳洲及法國熱浪 (Josseran et al. 2009; Nitschke et al. 2011; Wang et al. 2012c) 期間，腎臟疾病之就醫率均顯著高於非熱浪期間。影響程度仍受當地人口特性、社經狀態、疾病盛行率、氣象特性、敏感族群之調適能力而有所變異 (Kinney et al. 2008; Kovats and Hajat 2008)。近期，部分學者提出低體溫與腎病發生風險具有顯著相關性 (Yamada et al. 2010)。在暴露低溫的環境下，人體內之酵素活性會降低，並可能進而導致腎臟衰竭死亡 (CDC 2004, 2006)。

研究分析臺灣本島七大分區 (臺北都會區、桃竹苗、中彰投、雲嘉南、高高屏、宜基及花東地區) 腎臟疾病 (腎炎、腎病症候群及腎病，國際疾病分類碼第 9 版臨床修訂版編碼 580-589) 就醫與極端溫度及其連續事件之相關性 (Lin et al. 2013c)。結果證實極端高低溫均會顯著增加國人之腎臟疾病就醫風險，腎病就醫最低風險的溫度為 25°C，溫度與就醫相關性呈 V 型或 U 型相關曲線，因地而異。全年齡分析結果呈現高溫的影響比低溫影響大，高溫的影響沒有年齡上的分別。隨著連續極端高溫日數增加，國人腎病就醫風險隨之增加。每年度的第一次極端

低溫事件亦顯著增加年長者腎病就醫之風險。

除了極端高低溫之外，敏感族群本身具有的共同病症，如：高血壓及相關心血管疾病，亦被認為是誘發腎臟疾病就醫之重要危險因子 (Kuo et al. 2007; Garcia-Donaire and Ruilope 2010)，反之亦然。近期研究已證實患有腎臟疾病之心血管病患，在暴露極低溫時，其心血管疾病發病風險顯著高於非腎臟疾病共病患者 (Lavigne et al. 2014)。根據 2008 年衛生福利部資料統計，因腎臟疾病死亡為本國十大死因中排名第 10 名。此外，本國末期腎病 (end-stage renal disease) 之發生率及盛行率為全球排名之第一名及第二名 (Yang and Hwang 2008)。顯現出本國極端高低溫之腎病敏感族群眾多，相關單位應提出因應未來極端氣溫之相關防應對策。

暴露極端高溫亦會增加糖尿病之就醫率 (Green et al. 2010; Ostro et al. 2010; Pudpong and Hajat 2011)，溫度會影響血流速度及胰島素之藥物動力機制 (Binder et al. 1984)，間接性的增加疾病發病風險。另外，部分研究證實缺血性心臟病 (ischemic heart disease) 與腦中風 (stroke) 發病與溫度具顯著相關性 (Green et al. 2010; Ostro et al. 2010; Basu et al. 2012)。德國一研究發現急性心肌梗塞發病與極端高低溫具相關 (Wolf et al. 2009)。然而，有些研究則僅發現與低溫具相關性 (Morabito et al. 2011; Hintsala et al. 2014)。林氏等人分析 1994 年至 2007 年間臺北、臺中、臺南及高雄都會區腦血管 (cerebrovascular diseases)、心臟病 (heart disease) 及缺血性心臟病死亡與溫度的相關性，分析結果發現心血管病因最低死亡之溫度為 27°C，極端高溫 (平均溫度 31°C) 發生時，腦血管及心臟病死亡會顯著升高。極端低溫 (平均溫度 15°C) 發生時，三種心血管疾病死亡均會顯著增加。不論極端高低溫，暴露後 3 天內即可觀察其負面健康衝擊。

精神疾病的就醫量增加也被認為與自然災害發生相關。Fewtrell 等人利用失能調整生命年 (disability-adjusted life years, DALYs) 比較 3 個水災地區資料，結果顯示精神疾病的失能損失年 (Years Lost due to Disability) (0.22~0.36) 較其他身體疾病的失能損失年 (0.005~0.007) 來的高 (Fewtrell and Kay 2008)。臺灣本土研究分析 1996 年至 2007 年間精神疾病-精神分裂症 (schizophrenia) 住院率與每日溫度差的相關性 (Sung et al. 2011)，臺灣地區日溫差之範圍為 1.7°C 至 12.1°C 之間 (為 1 百分位至 99 百分位)，分析結果顯示在每日溫度差為 12.1°C 時，精神分裂症住院率風險最高，若分析地區僅限大都市，則相關性越強，且與低溫有關，溫度與每日溫度差可做為精神疾病住院之預測因子。同一團隊分析雙極人格失常

(bipolar disorder) 住院率與每日溫度差之相關性 (Sung et al. 2013a)，分析發現當溫度高於 24°C 時，成年人與女性有較有風險會因雙極人格失常病症住院，極高溫時，住院風險越高。

除了溫度外，近年來臭氧趨勢在世界各國均不斷攀升，其成因及控制策略廣泛引起討論。研究人員提出氣候變遷造成的暖化可能是引起臭氧濃度持續上升的主因。IPCC 亦在第四次評估報告書 (AR4) 中明確指出氣候變遷另外一個受重視的議題便是空氣污染的生成，其中以臭氧最受到注目，近年來臭氧趨勢在世界各國均不斷攀升，並預測此趨勢將延續 50 年以上 (Fusco and Logan 2003; Prather et al. 2003)。

Bell 等人曾探討氣候變遷對臭氧與健康之影響，假設未來維持目前的二氧化碳排放情形，預估暖化不僅會造成糧食危機與疾病的重新分布，加上暖化所導致的臭氧造成的健康效應，不容忽視。預測在 2050 年代，臭氧每日最大小時平均值約增加 4.4 ppb，約有 68% 以上監測值會超過美國目前每日最大 8 小時平均值的管制標準，同時也會額外增加 0.11~0.27% 的總死亡率 (Bell et al. 2007)。另一研究在去除人口成長與前驅物排放等影響後，若只考量溫度相關之臭氧生成，除了前述溫度對臭氧生成之直接影響外，溫度上升將促使動植物生物性揮發性有機物質排放量增加，或是人口增加造成之溫室效應惡化，臭氧對於健康上之影響將更為顯著，預測 2050 年美國紐約州 31 個郡將因氣候變遷影響而增加 0.4%~7.0% 的死亡率 (Knowlton et al. 2004)。另一群美國學者在考量 5 種人口成長預測、不同空氣品質模式及不同的臭氧-健康劑量效應關係後，模擬估計在 2000~2050 年代間，氣候變遷衍生臭氧升高導致之死亡人數為 600~2,500 人，死亡衝擊估計不確定性以空氣品質模式的選擇影響最大 (Post et al. 2012)。

目前正在進行許多區域性或跨洲性的臭氧健康效應評估計畫，除了臭氧暴露的影響外，也希望了解不同區域與種族間在臭氧暴露健康效應上之差異 (Ebi and McGregor 2008)。一份歐洲研究採用 ECHAM4 及 HadCM3 氣候模式，在溫室氣體排放情境 SRES A2 及 A1B 下，估算 2021~2050 年及 2041~2060 年整個歐洲族群暴露於升高臭氧濃度之死亡及就醫健康危害 (Orru et al. 2013)。研究結果指出相較於 1961~1990 年，在 1990~2009 年間氣候變遷衍伸之臭氧健康危害約占 4~5%，主要發生在比利時、愛爾蘭、荷蘭及英國。推測 2021~2050 年及 2041~2060 年，比利時、法國、西班牙及葡萄牙等國之臭氧導致死亡及就醫將會大幅增加，然而，北歐及波羅的海等區域臭氧濃度及相關衝擊將下降。該研究指出即使是氣候變遷



導致之臭氧升高健康危害，在歐洲各國也會有不同正反效應出現。另一份澳洲研究探討氣候變遷導致臭氧升高對雪梨地區民眾的健康影響 (Physick et al. 2014)，在溫室氣體排放情境 SRES A2 下，預測 2051~2060 年雪梨地區每年約有 55~65 名因臭氧導致之額外死亡。臭氧導致之健康危害與人口密度、預測臭氧升高程度並無相關。

相較於臭氧，國際上僅少數研究評估氣候變遷導致懸浮微粒升高之健康影響。Tagaris 等人採用多尺度空氣品質模式 (The Community Multi-scale Air Quality modeling) 評估氣候變遷下細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 及臭氧對美國群眾健康影響 (Tagaris et al. 2009)，分析結果發現氣候變遷衍生之空氣品質不良，將影響美國三分之二之領域範圍，細懸浮微粒導致之死亡人數將為臭氧之 15 倍，估計細懸浮微粒每年導致 4,000 名額外死亡，而臭氧將導致 300 名額外死亡，兩者影響程度因地而異，互有消長。然而，模式估計仍有需多不確定性存在，建議後續應持續更新相關研究成果。

另一相關研究指出溫室氣體將降低平流層溫度並加速氣流循環，將使地表熱帶地區臭氧總量降低，但會使中高緯度地區的總臭氧量增高。平流層臭氧量改變亦會影響地表大氣循環，改變地表風場及降雨特性。相較於 1980 年代，21 世紀高緯度紫外光量會降低 5~20%，低緯度的紫外光量會略微增加 2~3%。這些估計仍有許多不確定存在，氣候變遷影響之地表覆雲率、空氣污染量及氣膠濃度均影響估計結果 (McKenzie et al. 2011)。

科學家發現在 2011 年時，鄰近北極圈平流層臭氧亦出現稀薄化的情形，相較於原本已知的南極圈臭氧層稀薄化問題，北極圈臭氧層稀薄化影響更鉅大，北半球高密度人口區-北美、歐洲及亞洲將暴露於日益增量的紫外光。紫外光暴露涵蓋了光週期季節訊息在內，具有潛在生理節奏時鐘調節機制。生理節奏被干擾可能與體內的細胞癌化發生有關。研究人員認為紫外光增量暴露仍需一段時間才能觀察其負面健康危害，但根據現存細胞研究結果，可推論紫外光增量暴露將使皮膚癌相關細胞調節因子 AhR 及 Nrf2 喪失正常調控機制 (Dugo et al. 2012)。UV 暴露相關的皮膚疾病有黑色素瘤 (melanoma)、非黑色素瘤皮膚癌 (non-melanoma skin cancers)、基底細胞癌 (basal cell carcinoma) 及鱗狀上皮細胞癌 (squamous cell carcinoma)，這些皮膚癌在過去 50 年來，發生率有顯著上升的情形 (Norval et al. 2011)。研究人員估計澳洲每年約有 450,000 人得到皮膚癌，紫外光暴露為超過 95% 皮膚癌之主要原因。澳洲維多利亞政府自 1988 年起，啟動了



SunSmart program，宣導年輕民眾應採取日曬保護措施以避免曬傷並降低黑色素瘤之發生率 (Makin 2011)。暴露紫外光也可能抑制人體免疫調節，改變傳染病、腫瘤或疫苗接種結果。另外，光敏症 (多形性日光疹，polymorphic light eruption)，也是經日曬導致之免疫失衡反應，預期將會增多 (Norval et al. 2011)。

除了皮膚癌，UV 暴露與眼睛健康也有關係。UV 光為白內障 (cataract) 及翼狀贅片 (pterygium) 的風險因子 (Norval et al. 2011)。為減緩氣候變遷，各國採用的節能減碳策略之一便是使用節能螢光燈 (fluorescent lighting)。不傷害眼睛的紫外光波長為高於 500nm，然而，現今部分螢光燈管之波長卻不在此安全範圍中。澳洲一研究評估暴露螢光可能會增加 UV 光相關之眼睛疾病，增量高達 12%，約導致澳洲境內每年 3,000 名白內障病患及 7,500 名翼狀贅片病。研究人員建議已開發國家及高緯度國家中老年族群更應關注此交互作用的影響，因為他們使用燈具的頻率較高 (Walls et al. 2011)。

紫外光增量對人體健康唯一的好處為可能提升人體內維他命 D 的生成量，論述認為其對部分癌症，如：直腸癌，具有保護作用，但仍未有足夠科學數據證實其效果。維他命 D 另一保護作用為減緩部分人體自我免疫疾病，如：多發性硬化症 (multiple sclerosis)，或是對傳染病及冠心病具有保護作用 (Norval et al. 2011)。

## 7.4 水資源的可獲性、安全性與品質對健康之影響

(王根樹)

已有許多調查數據及研究結果顯示人為活動引發的氣候變遷已是無法避免的現象，並對人類生活及未來生存產生重大影響。在眾多可能的衝擊項目中，氣候變遷對水資源的衝擊及飲水供應、水質安全的潛在影響也逐漸受到各方關切，但是，有關氣候暖化對水資源供應，特別是水質變化的影響，因缺乏足夠的資訊而尚待整合。以往研究顯示氣候暖化的趨勢下，氣溫及雨量的變化將會影響到河川流量，並進而影響到汙染物傳輸及河川稀釋汙染物的能力及特性。因氣候變遷導致水溫上升的現象，也會影響到水體環境化學反應之動力，並增加水質惡化之潛勢，進而影響水環境之生態穩定性，間接影響農作物收成、漁獲供應及公眾健康。河川流量的增加導致底泥沉積物沖刷問題，亦直接影響到水資源供應及淨水廠之操作，飲水供應及水質問題會受到影響，蓄水設施之永續性也受到衝擊 (詳

如 5.3.3 節)。氣候變遷亦增加極端氣候事件發生之頻率，而洪水及乾旱除影響供水系統外，暴雨沖刷也會影響到下游區域的水環境系統並破壞水生生態系。水溫的提高及水滯留時間的增加將導致藻類大量繁殖的問題，除影響水體溶氧外，也增加水中微生物數量及有機物濃度，衍生消毒副產物濃度大幅上升之問題，直接影響供水安全。水利署的研究成果以氣候變遷情境模擬我國未來降雨及河川流量變化之結果顯示，未來我國將面臨河川豐水期縮短、枯水期流量減少之特性，可用地表水水量減少之現象將影響民生用水供應，詳細之台灣各區域水資源評估可參考 5.4.2 節「水源不足之衝擊」之說明。颱風或暴雨所產生之逕流會挾帶集水區泥沙進入地面水體，導致以地面水為水源之淨水場原水濁度提高而迫使淨水場因出水水質不良而需減量供水或暫停供水。此外，原水中有機物濃度也會因暴雨所致地表逕流沖刷而增加，有機物濃度上升除衍生水中不同污染物對健康影響之疑慮外，也導致清水中消毒副產物濃度上升，特別在氣候暖化的環境條件下，淨水處理時必須增加氯的劑量，而水溫上升也增加餘氯消耗，水廠必須添加更多的氯而導致更多消毒副產物生成。

氣候變遷所導致的環境衝擊中，包括暴雨及乾旱等極端氣候事件發生頻率的增加是廣被接受的結果，且過去數十年的氣候異常事件也顯示極端氣候事件發生的次數、頻率及嚴重程度不斷增加。在此之下，氣候變遷如何影響水資源使用及水質安全的問題也廣受政府部門及供水單位注意。雖然在 2007 年 IPCC 所提出第四次氣候變遷評估報告中並未特別針對氣候變遷對水質的影響有詳細的討論，但近來此問題則越來越受到關注 (Kundzewicz et al. 2007)。目前已有一些調查計畫針對氣候變遷對河川、湖泊、濕地的影響進行評估，並透過實驗室模擬和田野間調查及試驗之數據進行分析，嘗試評估氣候變遷對地表水資源系統的潛在影響 (Battarbee et al. 2008)。此類有關水資源系統相關研究主題包括氣候變遷如何影響河流流量、對污染物在水體環境中之擴散或稀釋之影響、暴雨及乾旱等極端氣候事件頻率增加如何影響水資源供應及城市排水系統以及其對河川、湖泊和河口營養源和沉積物負荷的影響、氣溫上升與水質變化如何影響淡水生態系、水環境系統之碳平衡和水體酸化的復原過程 (Whitehead et al. 2009)。

根據氣候變遷衝擊相關研究之結果及歷年氣候變化之觀察，可預期氣候變遷將增加未來天氣變化的嚴重程度，亦即洪水和乾旱的發生頻率將會增加。這顯示某些地區可能將經歷一個降雨量和洪水頻率增加的風險，而另一些原本容易受到乾旱影響的區域則可能會遇到更極端的乾旱事件 (IPCC 2007)。在氣候變遷的情

境況下，可預期未來平均氣溫將會持續上升，因此某些地區將經歷溫度上升幅度的比其他地區顯著的現象。在地表溫度較為溫暖的地區，水文循環的速度將會因區域性氣溫上升而增加，並導致較快的水分蒸發及更多的降雨。氣候變遷也將導致河川流量在時間和流量上的變化。而降雨的增加將導致許多地區洪水風險的增加，降雨的增加也會影響因地表沖刷帶入污染物，流量增加的稀釋效應而影響到河川水質。因為暴雨所產生的洪水會造成污染物及病媒的快速擴散，因此導致環境衛生惡化而增加人體暴露於不同病原體的機會。當氣候暖化導致某些地區冬季有更多的水流流過地表及河川時，夏季和秋季的低流量現象也可能因此而增加。這些河川流量的變化不僅將影響水質，也可能增加不同用水需求間的衝突，例如用於維持基礎河川生態所需的生態流量和供應工業及民生用途所需的用水需求間的競爭現象可能加劇，如 5.1 節「前言」所述，可能帶來不同面向的衝擊。氣候變遷也可能引起某些地區地下水補注量、地下水位、以及基礎流量 (base flow) 的減少 (台灣各水資源分區之地下水供水潛能於 5.4.5 節「地下水供水潛能之衝擊影響」有較詳盡的評估及敘述)，進而影響地下水之基礎流量以及其補充河川、湖泊和濕地的水量，間接影響到地表水的供給。降雨量降低時河川的流量將下降，而較低的流量意味著稀釋能力也隨之下降，因此點污染源下游的污染物濃度將增加，這將直接影響下游河川水質，並降低淡水生態系統的自淨能力。受家庭或農業畜牧汙水汙染影響的河川中磷的濃度在夏季如因降雨量下降而增加，可能大幅增加下游水體優養化的機會。河川稀釋能力下降除了增加污染物濃度外，也將增加生物需氧量 (BOD)、降低溶氧 (DO)，而污染物濃度上升也導致夏季藻華的頻率和強度將因此增加，進一步惡化水體水質，包括水體有機污染及毒性物質之累積 (Cox and Whitehead 2009)。

氣候模式也被用來模擬氣候變遷對未來水資源使用及水質之潛在影響。一些針對河川水質的模擬調查結果顯示氣候變遷對河水之 BOD、DO、硝酸鹽、氨和水溫都有影響；雖然受限於可用參數及缺乏足夠之水質數據來校正和驗證水質預測模式，模式模擬結果已可顯示氣候變遷與河川水質之間的關聯性。模擬結果顯示在夏天流量減少的狀態下，BOD 和磷的含量會增加，而氨的濃度則因較高的消化速率而下降，並進而增加硝酸鹽的濃度。因此在氣候暖化的情境下，藻類大量繁殖的機會將增加，進而影響水體 DO 和供水的水質。而在暴雨事件增加的情境下，可能增加下水道系統排出的汙染物，影響下游水域的水質，但是，暴雨事件的發生也可能沖走水中因藻華而大量繁殖的藻類 (Conlan et al. 2007)。由於已經可以觀察到氣候變遷引起的災害，加以未來可預期發生極端氣候事件的頻率會

更加頻繁，因此水資源管理及飲水供應相關部門必須採取適當行動以適應未來的氣候變化並降低其所造成之影響。政府部門應建立適當的作業準則以評估應優先採取之調適措施，並透過環境監測系統之建立以及短期預警系統的建置來以蒐集更多的資訊 (Tung et al. 2012)。

除了極端暴雨的影響外，水溫的變化也必須考慮。氣候暖化對水體最直接的影響是河流和湖泊水溫的上升。一般而言水體溫度與空氣溫度應處於平衡狀態。在過去 100 年歐洲大型河流如萊茵河和多瑙河已因氣候暖化而上升 1~3°C (EEA 2007)。當氣溫發生急劇變化時，可能促使水溫隨之變化，水溫突然升高可能對某些水生生物產生重大影響，物種特性無法適應水溫急遽變化時受到的影響更大。根據臺灣地區六個具一百年以上完整觀測記錄的氣象測站資料，臺灣年均溫在 1911 年至 2009 年期間上升了 1.4°C，增溫速率約為全球平均的兩倍。而近 30 年 (1980~2009) 氣溫的增加速度明顯加快，每 10 年的上升幅度為 0.29°C，也幾乎是百年趨勢值的兩倍 (許晃雄等 2012)。再考慮台灣地區地理環境及水資源特性，未來氣候變遷對我國水資源使用之衝擊更不能忽視。

根據已知的研究結果，可預期氣候變遷所導致之氣候變化將對河川流速、水力特性、水位、水體停留時間、濕地區域和生物棲息地的分布產生深遠的影響 (Brown et al. 2007)；而越來越多的暴雨和洪水事件也將導致水中懸浮固體、河川輸砂量、致病微生物、以及各種有機及無機汙染物濃度的增加。在此情況下河流生態系統將受到衝擊而發生變化，雖然生態系統在一段時間後可能自行恢復到原有狀態，但是氣候變遷導致的長期效應可能使得生態系統恢復變得困難 (Orr and Walsh 2006)。許多淡水生物物種對水溫極為敏感，對於水溫變化的忍受範圍有限。因此，水溫的變化可能對一些水生生物的生命週期有顯著的影響。而水溫變化的影響如果與水量及水質的變化同時發生，可能讓這些影響更為嚴重。由於水溫上升將促進水媒性致病微生物的增長，因此對於娛樂用水的使用與在氣溫上升時的水質變化，特別是致病微生物數量的變化更須加以注意，例如湖泊水庫之水上遊憩活動和游泳就很可能因為致病微生物數量增加而導致疫情發生風險上升 (Prüss-Üstün and Corvalán 2006; SDWF 2010)。整體而言，氣候變遷可能影響河川流量及水質變化之的幅度、頻率 (重現期)、季節性、變異性 (平均值和極端值)，也會改變生態系統及棲息其中生物物種對環境變化的應變能力。

雖然許多因人為活動而進入不同環境介質中之有毒物質已被禁止或限制使用，但很多持久性汙染物質仍沈積在水體、土壤和底泥中，這些汙染物可能透過



食物鏈的傳輸而與人體有所接觸。高濃度的金屬（如汞、鉛）和持久性有機污染物（如多氯聯苯, PCBs）可存在於淡水魚的組織內而被人類攝取。水環境系統中經由食物鏈的生物放大作用提高魚體內污染物之濃度因而危害人類健康，甚至有致命危機。探討氣候變遷對水環境中毒性物質的影響，主要關注的是毒性物質可能因氣候暖化所導致之洪水而增加其在水環境之長途傳輸能力。暴雨及洪水也可能增加土壤和沉積物的侵蝕作用，導致原已被固定之金屬污染物和持久性有機化合物因沖刷作用而被擾動，因而增加其移動性並影響到生態環境及人類健康 (Munthe 2008)。

為評估氣候變遷對我國水資源及我國水利事業的潛在衝擊及可採取之因應策略，經濟部水利署自 98 年開始執行氣候變遷對水環境之衝擊與調適相關計畫，並針對台灣不同地區因應氣候變遷水資源管理調適進行評估。水利署研究以 IPCC 於 2007 年第四次評估報告認為最可能之氣候變遷情境模擬我國未來水資源變化趨勢，結果顯示在最可能之氣候變遷情境下未來全國降雨量變化在 5~8 月較有增加之趨勢，9~12 月則有減少之趨勢。整體來看豐水期之流量雖可能因降雨量增加而增加，但雨量較豐富之北部及東北部之豐水期卻有縮短之趨勢；與此相較，北部與東部之枯水期有所延長，且全國各地區枯水期之流量均有減少之趨勢。此種結果顯示在所採用之氣候變遷化情境下，河川豐水期縮短、枯水期流量減少之特性將導致我國未來可用地表水水量減少之現象，對未來水資源供應（特別是飲用水供應）之影響必須及早因應 (林裕彬等, 2012)。

為瞭解我國在氣候變遷影響下可能發生之缺水情況，水利署之研究同時以現況系統分析之用水需求量、以供水能力為基礎評估各地區因氣候變遷之衝擊而造成之供需缺口，其結果顯示在全國不同區域都可能有供需缺口，並且在可能之氣候變遷情境下供需缺口將增大 (詳如 5.4.2 節)。水資源供應之脆弱度及危害度分析結果顯示，雖然一些縣市在目標年有氣候變遷影響之情況下，供水能力應可滿足需求，但有部分地區在最劣氣候變遷情境下維持供水能力之風險度高，需擬定調適方案及因應策略以減輕未來潛在缺水地區供水疑慮 (林裕彬等 2012)。童慶斌等則結合氣候變遷情境、氣象模式、水文模式建立之整合評估系統分析未來氣候變遷對供水能力之影響，以北部地區各供水系統為對象評估其供水現況及未來供水能力之永續性 (童慶斌等 2014)。由於不同研究結果均顯示高雄地區未來在需水量成長及氣候變遷影響之雙重壓力下將面臨缺水風險提高之風險，特別是高屏地區主要供水來源之高屏溪，原本即有豐、枯水期流量變異性大之問題；未來

在氣候變遷之影響下，可預期高屏地區河川在豐、枯水期流量差異增加之趨勢。童慶斌等亦以短期氣候變遷情境之氣候條件進行模擬，探討高屏溪流流域供水系統在氣候變遷及需水量成長之雙重壓力下所面臨之衝擊。評估結果顯示，未來河川流量可能因為氣候變遷之影響呈現枯水期流量減少之現象，使原本在豐、枯水期流量差異已大於我國其他地區之高屏溪更為惡化，並影響未來高屏地區供水設施之供水能力。但因在不同氣候變遷情境下之氣象模擬結果具有相當高的不確定性，可預期未來在氣候變遷影響下之水資源供需變化將有相當之不確定性，如何考量不同氣候變遷情境影響下之水資源供應以進行適當之決策，仍需透過政府相關部門、供水單位及學術界之合作方能採取適當之因應措施 (童慶斌等 2013)。

由於氣候變遷的結果將導致極端氣候事件頻率的增加，可預期極端暴雨事件的機會將持續上升。臺灣地區因地形特性影響，每當發生暴雨或颱風事件時，暴雨逕流常會挾帶集水區大量泥沙進入河川、水庫等地面水體，導致以地面水為水源之淨水場原水濁度大為提高，甚而達到 10,000 濁度單位 (NTU) 以上 (一般常為 20 NTU 以下)。高濁度原水將大幅增加傳統混凝沉澱處理程序之負荷，導致淨水程序過濾單元的濾程縮短、反沖洗頻率增加等問題；由於淨水系統無法達成應有之淨水能力，常迫使淨水場因出水水質無法符合標準而需減量供水或暫停供水，因此颱風或暴雨期間民生用水供應常受到影響。為改善高濁度原水之處理以符合供水水質，淨水系統常需進行緊急應變程序，必要時會改採高分子聚合物搭配傳統混凝劑處理高濁度原水 (葉宣顯等 2003; 駱尚廉等 2010)。雖然使用高分子聚合物能提高對高濁度原水之混凝效果，但是考慮其對人體健康之潛在危害，國內外對其使用於飲用水之淨水處理均有嚴格的限制。以我國為例，環保署依飲用水管理條例之規定規範淨水單位在飲用水水源之原水濁度大於 250 NTU 時，始得使用經公告許可之高分子凝聚劑，並應於每次使用後七日內向環保署申報。在極端氣候事件頻率增加時，此類事件發生之頻率亦可能隨之增加。除原水濁度因颱風及暴雨上升而影響出水品質外，原水中有機物濃度也會因暴雨所致地表逕流沖刷而增加。集水區植被及土壤中之有機物也會因地表水及地下水之影響而進入水源區。此種原水中有機物濃度上升的現象除衍生水中不同污染物對健康影響之疑慮外，也導致清水中消毒副產物濃度上升；特別在氣候暖化的環境條件下，供水單位常透過增加消毒劑劑量的方式消滅清水中致病性微生物，此時消毒副產物之生成更需加以注意。由於臺灣地區海島型地理環境特性，在自來水水質方面更需注意消毒副產物生成受到水溫的影響。主要原因是三鹵甲烷等消毒副產物的生成是因為由氯和有機物質之間的反應，因為反應速率隨水的溫度增加，因而在水溫



上升時會增加消毒副產物的生成。此外，水溫上升不僅增加水體中微生物的活性而導致淨水處理時必須增加氯的劑量，水溫上升同時也增加餘氯的消耗，因此促使水廠必須添加更多的氯來進行消毒，更增加消毒副產物的生成。氣候暖化也影響到湖泊及水庫的藻華現象。由於水溫上升，湖泊水庫優養化將加劇並增加藻華的頻率、延時及嚴重程度，藻類大量繁殖除導致水中有機質（包括釋放藻毒素）增加而增加消毒副產物生成外，也會影響湖泊及水庫生態系並降低水庫壽命（駱尚廉等 2013）。此外，氣候變遷將導致海平面上升的現象，海水淹沒區域之水體中溴離子濃度增加將導致自來水水源中溴離子濃度上升，因此消毒副產物之物種分佈將有利於含溴種之生成。由於含溴消毒副產物對人體之健康效應高於含氯物種，此現象對沿海地區水質安全之影響更須加以注意。特別是西南沿海及屏東地區因地層下陷而受到海水入侵影響之區域，其地下水中溴離子濃度因海水影響而上升，如何影響地下水後續使用亟需加以評估。針對供水系統管理方面，即使我國水資源調配及管理具備隨氣候變化調整之機制，供水系統要適應新的水文狀況很可能造成實際經營成本的增加。供水系統應該要透過供水系統脆弱性評估，重新檢視工程設計及條件、操作規範、系統最佳化；未來也要思考原本為了應付突發性極端氣候而建立之緊急應變體系啟動頻率大幅增加的問題，以因應未來越趨嚴酷的供水需求。

## 7.5 脆弱族群、健康不平等與邊緣人口問題

(陳美霞)

前文已分析氣候變遷對人類已經造成或將造成之健康危害，那麼，這樣的危害，對不同地區、不同群體是平等、是一視同仁的嗎？無論是從 IPCC 報告、世界衛生組織報告、世界英文文獻、或台灣的研究結果來研判，這個問題的答案明顯是否定的。也就是說，如世界衛生組織在 2009 年的 "Protecting health from climate change" 的報告 (WHO 2009) 中指出的：面對越來越嚴重的氣候變遷威脅，雖然所有地區、所有群體的健康都在某個程度上是脆弱的，但是，有些地區、有些群體卻是更脆弱的。本節的目的就是要分析這個問題。

氣候變遷的危害是災難的一種，而社會科學對災難的研究已經累積相當一些成果，這些成果對我們於理解氣候變遷在不同地區及不同群體之間造成不平等的健康危害這個問題的分析會有一些啟發，所以，在進入本節正題之前，我們先向

這些社會科學的研究成果學習：全球幾乎所有社會——尤其資本主義社會——內部，或多或少都存在不同地區及不同群體之間不平等的問題——這個不平等的問題在有些社會甚至是非常嚴重的 (Townsend 1979; Wright and Wright 1985; Wilson 1991; Townsend et al. 1992; Wright 1997)。這個社會不平等中比較弱勢的一端，我們稱為弱勢地區或弱勢群體，後者包括階級、族群、社會經濟地位、教育、年齡、職業、性別等等的弱勢群體。這些本來就已經是弱勢的地區或群體，他們的經濟及物質資源相對缺乏，而且他們掌握的權力也相對薄弱，因此，他們沒有足夠的資源可以買到可承受災難衝擊的住屋、他們沒有足夠權力可以促使政府在他們社區建立災害預警系統或防災避難設施、他們掌握防災資訊的能力比較弱、他們沒有足夠的經濟或物質資源可以預防或應對災難的襲擊。是這些社會既存的弱勢地區/群體的不利因素，使得他們變成災難的「脆弱地區/群體」<sup>1</sup>，也就是說，他們受災的機率比較非弱勢地區/群體高。更嚴重的是，他們薄弱的經濟、物質、及權力資源也使得他們能掌握的災後恢復能力弱很多，因此，災難發生的後果時常進一步惡化本來就已經存在的社會不平等問題 (Cutter et al. 2003; Klinenberg 2003; Wisner 2004; Adger 2006; Gunewardena 2008; Bankston III et al. 2010; 張宜君和林宗弘 2012)。

世界有關氣候變遷健康不平等的研究，才剛開始——大約是在 2000 年之後——起步，沒有像上述有關一般災難的社會科學研究成果那麼豐富，但是，類似上述有關災難不平等的研究分析，也逐漸被研究氣候變遷健康不平等的研究學者或團隊提出來 (Klinenberg 2003; Costello et al. 2009; Friel et al. 2011; Sheffield and Landrigan 2011)。他們指出，種種類似上述分析的社會既存的弱勢地區/群體的不利因素，使得這些地區/群體也變成氣候變遷健康危害的「脆弱地區/群體」，而氣候變遷危害的侵襲使得已經存在的弱勢地區/群體與非弱勢地區/群體之間的健康不平等問題更加惡化。

### A · 西方英文文獻

接下來我們就先回顧氣候變遷健康危害的脆弱群體的相關研究的英文文獻<sup>2</sup>，這些英文文獻主要包括聯合國 IPCC 報告、世界衛生組織的報告、及西方英文期

<sup>1</sup> 這裡的「脆弱」( vulnerability ) 是指個人或團體受災的機率或災後的恢復能力

<sup>2</sup> 限於本文作者的語言能力，本章節僅回顧英文文獻及台灣研究相關文獻，本文作者期望將來可以進一步回顧中文以外的非英文文獻

刊論文。然後我們將回顧台灣的相關研究文獻。

綜合相關英文文獻，氣候變遷健康危害的脆弱群體大致可以分為幾類：(1) 脆弱地區；(2) 脆弱人口學特徵群體；(3) 低社會經濟地位群體；(4) 生理上比較容易受氣候變遷的影響的群體；(5) 某些職業群體。

### (1) 脆弱地區

世界衛生組織在 2009 年 (WHO 2009) 的報告中指出，小島型發展中國家以及低窪地區是氣候變遷侵襲的最前線。因此，這裡的居民最容易因為越來越嚴重的熱帶颱風以及海平面上升而導致的水源及農地的鹽化而有越來越高的死亡或受傷的風險。另外，這些地區或國家也因為水災、乾旱、高溫的問題而無法保障乾淨的水的供給及公共衛生體系的正常運作，因此，居民腹瀉及營養不良的盛行率在升高中。熱帶地區的巨大城市，因為不安全的建築規劃、地下水道系統不完善、不良的水土保持等等問題，容易有水災發生，居民的疾病風險也同時增加；再加上缺乏安全的供水系統、衛生設備、垃圾或廢物處理，與氣候相關的傳染病如腹瀉及登革熱發生的風險也會增加。巨大城市也因為燃燒化石燃料，時常有嚴重空氣污染問題，進而導致居民呼吸道或血管疾病風險增高；全球氣溫的升高，再加上巨大城市的熱島效應，也增加熱浪發生的風險，導致種種健康問題。世界衛生組織的報告也進一步指出，山區居民也因為不安全不穩定的水源、水災、及土石流，而有發生傳染病的風險。山區漸漸消失的冰川導致冰川湖泊滿溢而突然造成的水災會造成湖泊下方的社區居民的傷亡、甚至整個社區的毀壞。世界衛生組織也指出，近南北極區域的原住民特別會受到全球暖化的影響，例如，因為氣溫的變化造成的物質環境的變化將使這些區域的原住民的傳統生活無法繼續維持，使得原住民不得不改變長久習慣的行為及生計，導致他們的心理健康問題，也減損他們的社區凝聚力。其他研究也發現海岸邊及低窪地區的居民也因為容易受到氣候變遷的侵襲而變成氣候變遷健康衝擊的脆弱地區 (Balbus and Malina 2009)。上述這些脆弱地區居民的健康受到氣候變遷影響的機率比非脆弱地區高、恢復能力較弱，除了因為他們住在氣候變遷衝擊的最前線，也因為他們在經濟、物質、及其他社會資源方面是處於比較弱勢的。

### (2) 脆弱人口學特徵群體

文獻中提到的氣候變遷健康危害脆弱人口學特徵群體主要包括小孩、老人、女性、及少數民族。一篇回顧氣候變遷對小孩的健康影響之研究論文 (Sheffield

and Landrigan 2011) 指出，氣候變遷已經增加了全球的疾病負擔，進而導致 2000 年 15 萬人的死亡，而這個疾病負擔竟然有 88% 落在 5 歲以下小孩身上！相對於成年人，小孩出生才短短幾年，理論上，他們不應該為氣候變遷問題負責任的，但是，他們反而必須扛下完全不成比例的疾病負擔！這是多麼巨大的「代間不正義」呀！導致這些小孩死亡的原因包括病媒傳染病如瘧疾及登革熱、腹瀉及呼吸道疾病、極端氣候事件造成的疾病及死亡、有毒的化學物暴露、不安全不穩定的食物供給、不安全的生活環境等等。曝露到高溫氣候事件的小孩因呼吸道疾病及心血管疾病的發生率及死亡率也比較高 (Haines and Patz 2004; Balbus and Malina 2009; Basu 2009)。我們必須指出，雖然小孩是脆弱群體，來自貧窮及低社經地位的地區或群體的小孩受到的影響尤其嚴重，可以說，他們是「脆弱群體中的脆弱群體」(Sheffield and Landrigan 2011; Smith et al. 2014)。

氣候變遷對老年人的健康會有很大的影響。例如，老年人對極端氣候——特別是高溫——更敏感 (Haines and Patz 2004; Balbus and Malina 2009; Basu 2009)。1995 年芝加哥的熱浪，使得很多居民死亡，其中 65 歲及以上的老年人就佔了 72% (Whitman et al. 1997)。另外，因為老年人較有可能有心血管或呼吸道疾病或行動不便的問題，他們更容易因為氣候變遷而生病或死亡 (Balbus and Malina 2009)。還有，老年人對空氣污染導致的健康風險比較高 (Medina-Ramon and Schwartz 2008)。空氣污染中的微粒對不同年齡層的群體導致的死亡率中，老年群體是最高的 (Zeka et al. 2006)。與上面我們提到小孩「脆弱群體中的脆弱群體」一樣的現象，老年人這個脆弱群體中，也是貧窮及社經地位較低的人更容易受到氣候變遷造成的健康危害。

氣候變遷對不同性別的群體的健康影響隨著不同地區、不同社會，因為不同性別的角色及女性權力的高低而有所不同 (Basu 2009)。發展中國家的女性與她們的小孩特別容易受到自然災害的健康傷害——包括疾病及死亡 (WHO 2009)。例如，孟加拉 1991 年的颶風災難造成 14 萬人死亡，其中女性的死亡率是男性的 4 倍，而 10 歲以下的小孩則是男性成年人的 6 倍 (Bern et al. 1993; Cell 2009)。又如，自然災害之後的重建工作使得婦女遭受家庭暴力衝擊以及罹患創傷後症候群的機率更為增加 (Ariyabandu and Wickramasinghe 2005; Galea et al. 2005)。這些容易受到氣候變遷負面健康影響的女性，多是來自於低社經地位或性別不平等的家庭或地區 (WHO 2009)。

少數民族比非少數民族擁有較低的社經地位及權力，也是氣候變遷健康危害

的脆弱群體。例如，美國的黑人 (O'Neill et al. 2005; Basu and Ostro 2008) 是高溫氣候健康危害的高風險族群。又如，因美國紐奧良風災而死亡的多數是黑人或其他非白人少數民族 (Stallings 2002; Cutter et al. 2003)。另外，加拿大 (Furgal and Seguin 2006) 及澳洲的研究 (Berry et al. 2010) 也發現，原住民也是氣候變遷健康危害的脆弱族群之一。

### (3) 低社會經濟地位群體

第三類氣候變遷健康危害的脆弱群體是低社會經濟地位的群體，他們的收入低、財富少 (或幾乎沒有)、教育程度低、職業地位低，因此他們也缺乏權力；他們的農作物因氣候變遷而產量減低、他們受飢荒衝擊或食物安全發生問題、他們的生計更困難、他們沒有好的災害保護環境、他們缺乏醫療可近性，這些種種的不利因素，使得他們容易因氣候變遷而被逼承受更高的疾病風險。世界衛生組織的報告 (WHO 2009) 及美國的文獻回顧研究 (Balbus and Malina 2009) 均指出，低社經地位的群體承受了最大比例的氣候變遷的健康問題及疾病負擔。不論低收入國家或高收入國家，低社經地位群體都是氣候變遷下的脆弱群體。例如，在低收入國家，經由水、土壤、蟲媒感染的疾病 (如血吸蟲病、鉤蟲病、絲蟲病) 的盛行率，在低收入群體中是高好幾倍的；而在高收入國家如美國紐奧良的克摧納 (Katrina) 風災，低收入群體受到健康危害的風險高出許多 (Balbus and Malina 2009)。聯合國 IPCC 對這類脆弱群體特別關注，無論在第四次或第五次氣候變遷評估報告都指出這個問題的嚴重性，第五次評估報告甚至特別挪出一章 (第 13 章)，詳細分析氣候變遷、貧窮、與貧窮群體的生計相互加乘的、對低收入群體健康及福祉的惡劣影響。在我們回顧的有關氣候變遷健康危害脆弱群體的英文文獻中，指出低社經地位是氣候變遷健康危害脆弱群體的研究也最多。

### (4) 生理上比較容易受氣候變遷的影響的群體

生理上比較容易受氣候變遷的影響的群體是本節討論的第四類脆弱群體。例如，美國研究發現 (Schwartz 2005)，糖尿病病人的健康特別容易受到極端高熱氣溫事件影響，而有阻塞性肺病病人的健康比較容易受到極端低氣溫的影響而惡化。另外，殘障群體是容易受熱浪或其他極端氣候事件影響的脆弱群體 (EPA 2006)。美國有關紐奧良的克摧納 (Katrina) 風災的研究發現，這個風災導致的約 15,000 名死亡受害者中，許多是醫院或養老院的病人或在家需要照顧的老人或殘障者



(Senate 2006)。另外一群因為生理性的原因而容易受到氣候變遷健康危害的是懷孕的婦女 (Balbus and Malina 2009)，因為環境毒物暴露、安全食物或用水的缺乏、心裡壓力、醫療服務的中斷等等原因，極端氣候事件對他們的健康將造成威脅。美國一篇對紐奧良的克摧納 (Katrina) 風災的研究發現，風災之後，懷孕婦女的負面妊娠情況是增加的 (Callaghan et al. 2007)；其他研究也發現，懷孕會使得婦女比較容易受到與氣候密切相關的傳染病的感染，例如瘧疾 (Gerba et al. 1996; Jamieson et al. 2006)。當然，我們必須指出，第四類脆弱群體中，低社經地位的成員還是最容易受到衝擊的。

### (5) 某些職業群體

目前有關最後一類脆弱群體 (某些職業群體) 的研究較有限，美國研究發現，長時間在室外工作的工人，容易受到氣候變遷的健康危害。例如，電氣工人及管線工人比較會受到萊姆病的感染 (Piacentino and Schwartz 2002)。長時間在室外工作的工人因為長時間暴露在臭氧空氣污染及熱壓力下，他們的健康會受到不利的影響 (CDC 2008)。

## B · 台灣文獻

台灣有關氣候變遷健康不平等的研究才剛剛起步，但是也已經有數篇論文發表，下面我們將回顧這些文獻所呈現的結果。三篇論文研究了台灣不同鄉鎮與極端高溫或低溫導致的心血管疾病死亡率 (Yang et al. 2009; Chen et al. 2010b; Wu et al. 2011)，主要的發現是：台灣確實有受到氣候極端高溫或低溫健康影響的脆弱地區。例如，極端高溫或低溫造成的心血管疾病死亡率在非都會地區的鄉鎮比都會地區高，另外，獨居老人、身心障礙的人、老年人、或原住民比例比較高的弱勢地區，因為極端氣溫變化而死於心血管疾病的風險比其他地區高，還有，中南部地區，相對於北部地區，在寒流來的時候的心血管疾病死亡率升高比較多。在人口學特徵群體中，台灣的老年人群體也被研究發現是脆弱群體。例如，因為老年人在生理上對環境溫度變化比較不敏感、排汗比較慢，他們在高溫氣候影響下，中暑的機率比較高，其中 75 歲以上的老人群體中暑的發生率是一般成年人的 3 倍 (國民健康局社區健康組 2010)。老年群體也是空氣污染造成心血管疾病或呼吸道疾病的高危險群 (蘇慧貞 2007)。台灣有關氣候變遷健康危害的低社經地位脆弱群體的研究還沒有開始，但是國民健康局社區健康組 2010 年的重要研究發



現，居住公寓頂樓或缺乏適當通風及空調系統的居民群體是中暑的高危險群；假如我們將這個特徵--居住公寓頂樓或缺乏適當通風及空調系統--當作一個低社經地位的代理指標的話，這個研究似乎透露台灣的低社經地位群體也可能是高溫氣候的脆弱群體。這個研究也發現，慢性病患—特別是心血管疾病或糖尿病患者--中暑的機率也是比較高的。最後，這個研究也發現在從事高溫或密閉空間工作的職業是中暑的高危險群。雖然台灣有關氣候變遷健康不平等的研究不多，但是，回顧的上面少數幾篇有關氣候變遷健康危害脆弱群體的研究結果，卻也大致呼應了我們前面回顧的西方英文文獻的結果。

西方豐富的、有關災難的社會科學研究基本上至少有個共識，即，「根本沒有所謂自然災難這回事 (There is no such thing as a natural disaster)」。這個共識至少包含兩層意涵：(1) 造成「自然災難」的原因主要還是人為的；(2) 災難不平等主要也是人為的。連結到氣候變遷，第一層意涵，即，氣候變遷的肇因，聯合國 IPCC、世界衛生組織、以及許許多多關注這個深深影響人類福祉及命運的問題的學者、專家、社會人士也同意，導致氣候變遷的問題的原因主要是人為的，這個議題在本書其他章節已經多所闡述。這裡我們反思第二層意涵：氣候變遷的健康不平等也主要是人為的，亦即因為現存制度人為的不平等、不公義，導致弱勢群體的出現及長久存在，也使得這些弱勢群體無法與非弱勢群體在同樣的基礎上預防、面對、處理氣候變遷問題的侵襲與危害，也使得他們必須扛下更高比例的氣候變遷造成的健康問題及疾病負擔，導致現存的健康不平等再度惡化。要疏解這樣的不公義、這樣的健康不平等，台灣社會—進而全球所有社會—必須對現有制度做深刻的反思及再教育，甚至形成全民集體的共識、訴求、及行動。這樣的反思及再教育將會是一條漫漫長路，而這條路的第一步應該是研究工作，而我們上面的文獻回顧顯現：台灣社會的第一步都還沒有完全跨出—大量的研究工作期待台灣關注氣候變遷健康不平等議題的學者、知識分子、社會人士的投入！

## 7.6 結語

IPCC AR5 報告中針對氣候變遷攸關到人類健康、安全、生計與貧窮分別討論，嚴重的極端氣候事件如熱浪、火災、水災與乾旱，使受傷、疾病與死亡的可能性增加；貧窮地區糧食產量減少而增加營養不良的可能性；食物和水傳播的疾病與病媒感染的疾病增加，使得工作能力的喪失與降低弱勢族群勞動生產率。短

期內對減少健康脆弱度最有效的方法為實施與提高基本公共衛生措施，如提供乾淨的水源與衛生設施、安全的基本醫療保健、疫苗接種與兒童健康服務、提高備災與救災方案的能力及減緩貧窮。

氣候變遷與人類健康兩者間的關係是多樣且複雜的，涵蓋科學、生物、社會經濟等相關的知識基礎，文獻的增加可促進廣泛的跨主題與領域的綜合評估，涵蓋範圍可包含人類系統與調適，目前針對現象的描述與未來情境的推估有較多的研究，但對於風險的預測、調適、脆弱度與回復力的評估還是一大挑戰，需要更多跨領域與跨國等大規模合作，才有辦法解決全球性的氣候變遷問題。

未來在政策上需要以聚焦的方式規劃，如政府部門制定災害風險管理、水資源管理與能源管理，採用調適選項，著重彈性與學習，增加對社會價值、制度以及生態系統的認知，調適經驗是需要透過公私部門的溝通累積，不同層級的政府部門及國家發展調適計畫及政策，並在更廣泛發展的計畫中納入氣候變遷考慮。

本章主要聚焦議題	
現況	氣候變遷下的暖化效應
目前面臨的問題	延長傳染性疾病的發生時間，並擴張其流行空間，進而使得人類遭受傳染性疾病威脅的風險增加
未來氣候變遷的影響	溫度的上升可能導致登革熱、屈公熱、瘧疾之蚊媒活動範圍由低海拔向高海拔、低緯度像高緯度擴張，而提高傳染病流行的區域和風險

本章主要聚焦議題	
現況	氣候變遷下的極端雨量
目前面臨的問題	增加極端氣候事件 (洪水和乾旱) 發生的頻率，影響微生物繁衍及傳染之途徑

未來氣候變遷的影響	極端雨量事件所產生的洪水會造成污染物及病媒的快速擴散，導致環境衛生惡化而增加人體暴露於不同病原體的機會
-----------	---

## 參考文獻

- 內政部消防署，2014：103年消防統計年報。內政部消防署104年6月。
- 吳宜昭，陳永明，朱容練，2010：台灣氣候變遷趨勢。國研科技(25)：40-6。
- 沈雅慧，2010：台灣兒童侵襲性肺炎鏈球菌感染症流行病學的變化-疫苗政策的應用。國立成功大學公共衛生研究所碩士論文。
- 林裕彬，蘇明道，鄭克聲，張良正，洪念民，何智超，2012：臺灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究。經濟部水利署水利規劃試驗所委託研究報告。
- 紀錦昇，王欽賢，林建生，王仁德，劉碧隆，鄭萬金，2014：2012年臺南市本土登革熱疫情回顧。疫情報導，30(4)：52-70。
- 紀錦昇，陳婉青，羅一鈞，2015：2011-2013年臺南市之登革熱病媒蚊監測系統評估。疫情報導，31(15)：375-86。
- 疾病管制署，2006：傳染病統計暨監視年報，83-6。
- 疾病管制署，2014：傳染病防治工作手冊。
- 國民健康局社區健康組，2010：氣溫飆高，75歲以上老人嚴防中暑。
- 張宜君，林宗弘，2012：不平等的災難：921地震下的受災風險與社會階層化。人文及社會科學集刊，24(2)：193-231。
- 莊聖儀，顏哲傑，吳俊賢，黃繼慶，江春雪，程筱雯，陳英彥，2009：台灣侵襲性肺炎鏈球菌感染症列為第四類法定傳染病後之監測狀況與流行病學分析。疫情報導 25(1)：3-17。
- 許晃雄，周佳，吳宜昭，盧孟明，陳正達，陳永明，2012：台灣氣候變遷的關鍵

議題。 *臺灣醫學* 16(5) : 459-70。

陳秋美，郭宏偉，劉定萍，2015：2015 年入夏以來臺灣登革熱死亡個案初探。  
*疫情報導* 31(23) : 605-9。

陳雲蘭，2008：台灣氣候變化的百年觀察， *科學發展* 424: 6-11。

童慶斌，劉子明，李明旭，洪念民，宋睿唐，林嘉佑，曹榮軒，2013：氣候變遷  
下區域水資源供水承载力整合評估之研究， *臺灣水利* 61(3) : 1-13。

葉宣顯，賴文亮，翁韻雅，2003：高濁度原水混凝技術之研究， *中華民國自來水  
協會研究報告*。

駱尚廉，宋家驥，賴進松，胡景堯，張嘉玲，黃裕君，2010：公共給水緊急應變  
管理系統及高濁原水處理應變技術之建立， *水利署 99 年度委辦計畫成果  
發表會*。

駱尚廉，劉聰桂，蔣本基，吳先琪，林正芳，王根樹，林郁真，童心欣，關蓓德，  
黃志彬，林志高，林財富，李志源，林鎮洋，2013：金門水資源與水質改  
善整合計畫-金門水資源及水質改善計畫。 *科技部研究計畫成果報告*。

蘇慧貞，2007：火力電廠之健康與社會成本研究委託案。

蘇慧貞，林乾坤，陳培詩，2008：氣候變遷對公共衛生的衝擊。 *科學發展* 421: 12-  
7。

行政院經濟建設委員會，2012：國家氣候變遷調適政策綱領 (核定版)。 *行政院 101  
年 6 月 25 日院臺環字第 1010036440 號*。

Adger WN., 2006: Vulnerability. *Global Environmental Change* 16(3) : 268-81.

Alberdi JC, Diaz J, Montero JC, Miron I., 1998: Daily mortality in Madrid community  
1986-1992: relationship with meteorological variables. *Eur J Epidemiol* 14(6) :  
571-8.

Almeida SP, Casimiro E, Calheiros J., 2010: Effects of apparent temperature on daily  
mortality in Lisbon and Oporto, Portugal. *Environ Health* 9: 12.

Altizer S, Ostfeld RS, Johnson PT, Kutz S, Harvell CD., 2013: Climate change and

- infectious diseases: from evidence to a predictive framework. *Science* **341**(6145) : 514-9.
- Anderson BG, Bell ML., 2009: Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology* **20**(2) : 205-13.
- Anderson GB, Bell ML., 2011: Heat waves in the United States: mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 U.S. communities. *Environ Health Perspect* **119**(2) : 210-8.
- Anderson JG, Wilmoth DM, Smith JB, Sayres DS., 2012: UV dosage levels in summer: increased risk of ozone loss from convectively injected water vapor. *Science* **337**(6096) : 835-9.
- Ariyabandu MM, Wickramasinghe M., 2005: Gender dimensions in disaster management: a guide for South Asia. *Zubaan*.
- Balbus JM, Malina C., 2009: Identifying vulnerable subpopulations for climate change health effects in the United States. *J Occup Environ Med* **51**(1) : 33-7.
- Bankston III CL, Barnshaw J, Bevc C, Capowich GE, Clarke L, Das SK, Donato KM, Dynes RR, Eargle LA, Elliott JR., 2010: The sociology of Katrina: Perspectives on a modern catastrophe. *Rowman & Littlefield Publishers*.
- Basu R, Ostro BD., 2008: A multicounty analysis identifying the populations vulnerable to mortality associated with high ambient temperature in California. *Am J Epidemiol* **168**(6) : 632-7.
- Basu R., 2009: High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environ Health* **8**: 40.
- Basu R, Pearson D, Malig B, Broadwin R, Green R., 2012: The effect of high ambient temperature on emergency room visits. *Epidemiology* **23**(6) : 813-20.
- Battarbee RW, Kernan M, Livingstone D, Nickus U, Verdonschot P, Hering D, Moss B, Wright R, Evans C, Grimalt J., 2008: Freshwater ecosystem responses to climate change: the Euro-limpacs project. The Water Framework Directive—Ecological

and Chemical Status Monitoring. *Wiley, London*.

Bell ML, Goldberg R, Hogrefe C, Kinney PL, Knowlton K, Lynn B, Rosenthal J, Rosenzweig C, Patz JA., 2007: Climate change, ambient ozone, and health in 50 US cities. *Climatic Change* **82**(1-2) : 61-76.

Belmin J., 2003: [The consequences of the heat wave in August 2003 on the mortality of the elderly. The first overview]. *Presse Med* **32**(34) : 1591-4.

Beltrame A, Angheben A, Bisoffi Z, Monteiro G, Marocco S, Calleri G, Lipani F, Gobbi F, Canta F, Castelli F, Gulletta M, Bigoni S, Del Punta V, Iacovazzi T, Romi R, Nicoletti L, Ciufolini MG, Rorato G, Negri C, Viale P., 2007: Imported chikungunya infection, Italy. *Emerg Infect Dis* **13**(8) : 1264-6.

Bentham G, Langford IH., 2001: Environmental temperatures and the incidence of food poisoning in England and Wales. *Int J Biometeorol* **45**(1) : 22-6.

Bern C, Sniezek J, Mathbor GM, Siddiqi MS, Ronsmans C, Chowdhury AM, Choudhury AE, Islam K, Bennish M, Noji E, et al., 1993: Risk factors for mortality in the Bangladesh cyclone of 1991. *Bull World Health Organ* **71**(1) : 73-8.

Berry HL, Bowen K, Kjellstrom T., 2010: Climate change and mental health: a causal pathways framework. *Int J Public Health* **55**(2) : 123-32.

Bhatt S, Gething PW, Brady OJ, Messina JP, Farlow AW, Moyes CL, Drake JM, Brownstein JS, Hoen AG, Sankoh O, Myers MF, George DB, Jaenisch T, Wint GR, Simmons CP, Scott TW, Farrar JJ, Hay SI., 2013: The global distribution and burden of dengue. *Nature* **496**(7446) : 504-7.

Binder C, Lauritzen T, Faber O, Pramming S., 1984: Insulin pharmacokinetics. *Diabetes Care* **7**(2) : 188-99.

Braga AL, Zanobetti A, Schwartz J., 2002: The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities. *Environ Health Perspect* **110**(9) : 859-63.



- Bratcher PE, Kim KH, Kang JH, Hong JY, Nahm MH., 2010: Identification of natural pneumococcal isolates expressing serotype 6D by genetic, biochemical and serological characterization. *Microbiology* **156**(Pt 2) : 555-60.
- Brinks MV, Dwight RH, Osgood ND, Sharavanakumar G, Turbow DJ, El-Gohary M, Caplan JS, Semenza JC. 2008: Health risk of bathing in Southern California coastal waters. *Arch Environ Occup Health* **63**(3) : 123-35.
- Brown LE, Hannah DM, Milner AM. 2007: Vulnerability of alpine stream biodiversity to shrinking glaciers and snowpacks. *Global Change Biology* **13**(5) : 958-66.
- Butler CD, Harley D. 2010: Primary, secondary and tertiary effects of eco-climatic change: the medical response. *Postgrad Med J* **86**(1014) : 230-4.
- Calix JJ, Nahm MH. 2010: A new pneumococcal serotype, 11E, has a variably inactivated wcjE gene. *J Infect Dis* **202**(1) : 29-38.
- Callaghan WM, Rasmussen SA, Jamieson DJ, Ventura SJ, Farr SL, Sutton PD, Mathews TJ, Hamilton BE, Shealy KR, Brantley D, Posner SF. 2007: Health concerns of women and infants in times of natural disasters: lessons learned from Hurricane Katrina. *Matern Child Health J* **11**(4) : 307-11.
- CDC. 2004: Hypothermia-related deaths--United States, 2003. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* **53**(8) : 172-3.
- CDC. 2006: Hypothermia-related deaths--United States, 1999-2002 and 2005. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* **55**(10) : 282-4.
- CDC. 2008: Heat-related deaths among crop workers--United States, 1992--2006. *MMWR: Morbidity and mortality weekly report* **57**(24) : 649-53.
- Cell CC. 2009: Climate change, gender and vulnerable groups in Bangladesh. *Climate Change Cell, DoE, MoEF, CDMP, MoFDM, Dhaka, Bangladesh*.
- Chang HL, Chio CP, Su HJ, Liao CM, Lin CY, Shau WY, Chi YC, Cheng YT, Chou YL, Li CY, Chen KL, Chen KT. 2012: The association between enterovirus 71 infections and meteorological parameters in Taiwan. *PLoS One* **7**(10) : e46845.

- Chang MC, Teng HJ, Chen CF, Chen YC, Jeng CR. 2008: The resting sites and blood-meal sources of *Anopheles minimus* in Taiwan. *Malar J* 7: 105.
- Chareonviriyaphap T, Bangs MJ, Ratanatham S. 2000: Status of malaria in Thailand. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 31(2) : 225-37.
- Checkley W, Epstein LD, Gilman RH, Figueroa D, Cama RI, Patz JA, Black RE. 2000: Effect of El Nino and ambient temperature on hospital admissions for diarrhoeal diseases in Peruvian children. *Lancet* 355(9202) : 442-50.
- Chen HH, Chen AL. 2009: Indoor residual spraying of DDT for malaria control. *Am J Public Health* 99(8) : 1350-1; author reply 1.
- Chen MJ, Lin CY, Wu YT, Wu PC, Lung SC, Su HJ. 2012: Effects of extreme precipitation to the distribution of infectious diseases in Taiwan, 1994-2008. *PLoS One* 7(6) : e34651.
- Chen SC, Liao CM, Chio CP, Chou HH, You SH, Cheng YH. 2010a: Lagged temperature effect with mosquito transmission potential explains dengue variability in southern Taiwan: insights from a statistical analysis. *Sci Total Environ* 408(19) : 4069-75.
- Chen VY, Wu PC, Yang TC, Su HJ. 2010b: Examining non-stationary effects of social determinants on cardiovascular mortality after cold surges in Taiwan. *Sci Total Environ* 408(9) : 2042-9.
- Chen WI. 1991: Malaria eradication in Taiwan, 1952-1964--some memorable facts. *Gaoxiong Yi Xue Ke Xue Za Zhi* 7(5) : 263-70.
- Chin J. 2000: Control of communicable diseases manual. *American Public Health Association Washington, DC*.
- Chonmaitree T, Menegus MA, Schervish-Swierkosz EM, Schwalenstocker E. 1981: Enterovirus 71 infection: report of an outbreak with two cases of paralysis and a review of the literature. *Pediatrics* 67(4) : 489-93.
- Civerolo KL, Hogrefe C, Lynn B, Rosenzweig C, Goldberg R, Rosenthal J, Knowlton

- K, Kinney PL. 2008: Simulated effects of climate change on summertime nitrogen deposition in the eastern US. *Atmospheric Environment* **42**(9) : 2074-82.
- Cohen JM, Moonen B, Snow RW, Smith DL. 2010: How absolute is zero? An evaluation of historical and current definitions of malaria elimination. *Malar J* **9**: 213.
- Conlan K, Wade T, Ormerod S, Lane S, Durance I, Yu D. 2007: Preparing for climate change impacts on freshwater ecosystems (PRINCE) . *Environment Agency. Bristol, UK.*
- Costello A, Abbas M, Allen A, Ball S, Bell S, Bellamy R, Friel S, Groce N, Johnson A, Kett M, Lee M, Levy C, Maslin M, McCoy D, McGuire B, Montgomery H, Napier D, Pagel C, Patel J, de Oliveira JA, Redclift N, Rees H, Rogger D, Scott J, Stephenson J, Twigg J, Wolff J, Patterson C. 2009: Managing the health effects of climate change: Lancet and University College London Institute for Global Health Commission. *Lancet* **373**(9676) : 1693-733.
- Cox BA, Whitehead PG. 2009: Impacts of climate change scenarios on dissolved oxygen in the River Thames, UK. *Hydrology Research* **40**(2-3) : 138-52.
- Cutter SL, Boruff BJ, Shirley WL. 2003: Social vulnerability to environmental hazards\*. *Social science quarterly* **84**(2) : 242-61.
- D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de'Donato F, Menne B, Katsouyanni K, Kirchmayer U, Analitis A, Medina-Ramon M, Paldy A, Atkinson R, Kovats S, Bisanti L, Schneider A, Lefranc A, Iniguez C, Perucci CA. 2010: The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health* **9**: 37.
- D'Souza RM, Becker NG, Hall G, Moodie KB. 2004: Does ambient temperature affect foodborne disease? *Epidemiology* **15**(1) : 86-92.
- Danis K, Baka A, Lenglet A, Van Bortel W, Terzaki I, Tseroni M, Detsis M, Papanikolaou E, Balaska A, Gewehr S, Dougas G, Sideroglou T,

- Economopoulou A, Vakalis N, Tsiodras S, Bonovas S, Kremastinou J. 2011: Autochthonous *Plasmodium vivax* malaria in Greece, 2011. *Euro Surveill* **16**(42) .
- Davidson M, Schraer CD, Parkinson AJ, Campbell JF, Facklam RR, Wainwright RB, Lanier AP, Heyward WL. 1989: Invasive pneumococcal disease in an Alaska native population, 1980 through 1986. *Jama* **261**(5) : 715-8.
- De Neeling AJ, Van Pelt W, Hol C, Ligtoet EE, Sabbe LJ, Bartelds A, Van Embden JD. 1999: Temporary increase in incidence of invasive infection due to *Streptococcus pneumoniae* in The Netherlands. *Clin Infect Dis* **29**(6) : 1579-80.
- Diaz J, Garcia R, Velazquez de Castro F, Hernandez E, Lopez C, Otero A. 2002: Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *Int J Biometeorol* **46**(3) : 145-9.
- Dobson A. 2009: Climate variability, global change, immunity, and the dynamics of infectious diseases. *Ecology* **90**(4) : 920-7.
- Dowell SF, Whitney CG, Wright C, Rose CE, Jr., Schuchat A. 2003: Seasonal patterns of invasive pneumococcal disease. *Emerg Infect Dis* **9**(5) : 573-9.
- Dowell SF. 2012: Seasonality--still confusing. *Epidemiol Infect* **140**(1) : 87-90.
- Dugo MA, Han F, Tchounwou PB. 2012: Persistent polar depletion of stratospheric ozone and emergent mechanisms of ultraviolet radiation-mediated health dysregulation. *Rev Environ Health* **27**(2-3) : 103-16.
- Dwight RH, Baker DB, Semenza JC, Olson BH. 2004: Health effects associated with recreational coastal water use: urban versus rural California. *Am J Public Health* **94**(4) : 565-7.
- Ebi KL, McGregor G. 2008: Climate change, tropospheric ozone and particulate matter, and health impacts. *Environ Health Perspect* **116**(11) : 1449-55.
- EEA. 2007: EEA environmental statement 2007. *Office for Official Publications of the European Communities*.

- Engelthaler DM, Mosley DG, Cheek JE, Levy CE, Komatsu KK, Ettestad P, Davis T, Tanda DT, Miller L, Frampton JW, Porter R, Bryan RT. 1999: Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners region, United States. *Emerg Infect Dis* **5**(1) : 87-94.
- EPA. 2006: Excessive heat events guidebook. *Environmental Protection Agency Office of Atmospheric Programs*.
- FAO. 2008: Food and Agriculture organization of the United Nations.
- Feachem RG, Phillips AA, Hwang J, Cotter C, Wielgosz B, Greenwood BM, Sabot O, Rodriguez MH, Abeyasinghe RR, Ghebreyesus TA, Snow RW. 2010: Shrinking the malaria map: progress and prospects. *Lancet* **376**(9752) : 1566-78.
- Fewtrell L, Kay D. 2008: An attempt to quantify the health impacts of flooding in the UK using an urban case study. *Public Health* **122**(5) : 446-51.
- Fiore AE, Shay DK, Haber P, Iskander JK, Uyeki TM, Mootrey G, Bresee JS, Cox NJ. 2007: Prevention and control of influenza. Recommendations of the Advisory Committee on Immunization Practices (ACIP) , 2007. *MMWR Recomm Rep* **56**(Rr-6) : 1-54.
- Flannery B, Schrag S, Bennett NM, Lynfield R, Harrison LH, Reingold A, Cieslak PR, Hadler J, Farley MM, Facklam RR, Zell ER, Whitney CG. 2004: Impact of childhood vaccination on racial disparities in invasive *Streptococcus pneumoniae* infections. *Jama* **291**(18) : 2197-203.
- Flynn A, McGreevy C, Mulkerrin EC. 2005: Why do older patients die in a heatwave? *Qjm* **98**(3) : 227-9.
- Friel S, Bowen K, Campbell-Lendrum D, Frumkin H, McMichael AJ, Rasanathan K. 2011: Climate change, noncommunicable diseases, and development: the relationships and common policy opportunities. *Annu Rev Public Health* **32**: 133-47.
- Furgal C, Seguin J. 2006: Climate change, health, and vulnerability in Canadian northern Aboriginal communities. *Environ Health Perspect* **114**(12) : 1964-70.

- Fusco AC, Logan JA. 2003: Analysis of 1970–1995 trends in tropospheric ozone at Northern Hemisphere midlatitudes with the GEOS-CHEM model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **108**(D15) .
- Galea S, Nandi A, Vlahov D. 2005: The epidemiology of post-traumatic stress disorder after disasters. *Epidemiol Rev* **27**: 78-91.
- Garcia-Donaire JA, Ruilope LM. 2010: Systolic pressure, diastolic pressure, or pulse pressure as a cardiovascular risk factor in renal disease. *Curr Hypertens Rep* **12**(4) : 307-12.
- Gasparri A, Armstrong B. 2011: The impact of heat waves on mortality. *Epidemiology* **22**(1) : 68-73.
- Gerba CP, Rose JB, Haas CN. 1996: Sensitive populations: who is at the greatest risk? *Int J Food Microbiol* **30**(1-2) : 113-23.
- Green RS, Basu R, Malig B, Broadwin R, Kim JJ, Ostro B. 2010: The effect of temperature on hospital admissions in nine California counties. *Int J Public Health* **55**(2) : 113-21.
- Greenwood B. 1999: The epidemiology of pneumococcal infection in children in the developing world. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* **354**(1384) : 777-85.
- Groisman PY, Karl TR, Easterling DR, Knight RW, Jamason PF, Hennessy KJ, Suppiah R, Page CM, Wibig J, Fortuniak K, Razuvaev VN, Douglas A, Førland E, Zhai PM. 1999: Changes in the Probability of Heavy Precipitation: Important Indicators of Climatic Change. *Climatic Change* **42**(1) : 243-83.
- Gubler DJ. 1998: Dengue and dengue hemorrhagic fever. *Clin Microbiol Rev* **11**(3) : 480-96.
- Gubler DJ, Reiter P, Ebi KL, Yap W, Nasci R, Patz JA. 2001: Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector- and rodent-borne diseases. *Environ Health Perspect* **109** Suppl 2: 223-33.
- Gunewardena N. 2008: Capitalizing on catastrophe: Neoliberal strategies in disaster



reconstruction. *Rowman Altamira*.

Hémon D, Jouglé E., 2003: Surmortalité liée à la canicule d'août 2003: rapport d'étape. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire* (45-46) : 221-5.

Ha J, Yoon J, Kim H. 2009: Relationship between winter temperature and mortality in Seoul, South Korea, from 1994 to 2006. *Sci Total Environ* **407**(7) : 2158-64.

Haile M. 2005: Weather patterns, food security and humanitarian response in sub-Saharan Africa. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* **360**(1463) : 2169-82.

Haines A, Patz JA. 2004: Health effects of climate change. *JAMA* **291**(1) : 99-103.

Hajat S, Kovats RS, Atkinson RW, Haines A. 2002: Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *J Epidemiol Community Health* **56**(5) : 367-72.

Hajat S, Armstrong B, Baccini M, Biggeri A, Bisanti L, Russo A, Paldy A, Menne B, Kosatsky T. 2006: Impact of high temperatures on mortality: is there an added heat wave effect? *Epidemiology* **17**(6) : 632-8.

Hales S, de Wet N, Maindonald J, Woodward A. 2002: Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. *Lancet* **360**(9336) : 830-4.

Harley D, Bi P, Hall G, Swaminathan A, Tong S, Williams C. 2011: Climate change and infectious diseases in Australia: future prospects, adaptation options, and research priorities. *Asia Pac J Public Health* **23**(2 Suppl) : 54s-66.

Helwig B, Korsgaard H. 2007: The community summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents, antimicrobial resistance and foodborne outbreaks in the European Union in 2006. *European Food Safety Authority*

*European Centre for Disease Prevention and Control*.

Henneberger PK, Galaid EI, Marr JS. 1983: The descriptive epidemiology of pneumococcal meningitis in New York City. *Am J Epidemiol* **117**(4) : 484-91.

- Henrichsen J. 1995: Six newly recognized types of *Streptococcus pneumoniae*. *J Clin Microbiol* **33**(10) : 2759-62.
- Heymann D. 2004: Influenza Control of Communicable Disease Manual. *American Public Health Association*.
- Hintsala H, Kandelberg A, Herzig KH, Rintamaki H, Mantysaari M, Rantala A, Antikainen R, Keinanen-Kiukaanniemi S, Jaakkola JJ, Ikaheimo TM. 2014: Central aortic blood pressure of hypertensive men during short-term cold exposure. *Am J Hypertens* **27**(5) : 656-64.
- Ho M, Chen ER, Hsu KH, Twu SJ, Chen KT, Tsai SF, Wang JR, Shih SR. 1999: An Epidemic of Enterovirus 71 Infection in Taiwan. *New England Journal of Medicine* **341**(13) : 929-35.
- Hoshen MB, Morse AP. 2004: A weather-driven model of malaria transmission. *Malar J* **3**: 32.
- IPCC. 2007: the Fourth Assessment Report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) . *Working Group I, The Physical Science Basis of Climate Change*.
- Jamieson DJ, Theiler RN, Rasmussen SA. 2006: Emerging Infections and Pregnancy. *Emerging Infectious Diseases* **12**(11) : 1638-43.
- Jansen AG, Rodenburg GD, van der Ende A, van Alphen L, Veenhoven RH, Spanjaard L, Sanders EA, Hak E. 2009: Invasive pneumococcal disease among adults: associations among serotypes, disease characteristics, and outcome. *Clin Infect Dis* **49**(2) : e23-9.
- Jetten TH, Focks DA. 1997: Potential changes in the distribution of dengue transmission under climate warming. *Am J Trop Med Hyg* **57**(3) : 285-97.
- Johnson HL, Deloria-Knoll M, Levine OS, Stoszek SK, Freimanis Hance L, Reithinger R, Muenz LR, O'Brien KL. 2010: Systematic evaluation of serotypes causing invasive pneumococcal disease among children under five: the pneumococcal global serotype project. *PLoS Med* **7** (10) .

- Josseran L, Caillere N, Brun-Ney D, Rottner J, Filleul L, Brucker G, Astagneau P. 2009: Syndromic surveillance and heat wave morbidity: a pilot study based on emergency departments in France. *BMC Med Inform Decis Mak* 9: 14.
- Kalkstein LS, Greene JS. 1997: An evaluation of climate/mortality relationships in large U.S. cities and the possible impacts of a climate change. *Environ Health Perspect* 105(1) : 84-93.
- Karl TR, Trenberth KE. 2003: Modern Global Climate Change. *Science* 302(5651) : 1719-23.
- Kausrud KL, Viljugrein H, Frigessi A, Begon M, Davis S, Leirs H, Dubyanskiy V, Stenseth NC. 2007: Climatically driven synchrony of gerbil populations allows large-scale plague outbreaks. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 274(1621) : 1963-9.
- King CC, Wu YC, Chao DY, Lin TH, Chow L, Wang HT, Ku CC, Kao CL, Chien LJ, Chang HJ. 2000: Major epidemics of dengue in Taiwan in 1981–2000: related to intensive virus activities in Asia.
- Kinney PL, O’Neill MS, Bell ML, Schwartz J. 2008: Approaches for estimating effects of climate change on heat-related deaths: challenges and opportunities. *Environmental Science & Policy* 11(1) : 87-96.
- Klinenberg E. 2003: Heat Wave: A Social Autopsy of Disaster in Chicago. *University of Chicago Press*.
- Knowlton K, Rosenthal JE, Hogrefe C, Lynn B, Gaffin S, Goldberg R, Rosenzweig C, Civerolo K, Ku JY, Kinney PL. 2004: Assessing ozone-related health impacts under a changing climate. *Environ Health Perspect* 112(15) : 1557-63.
- Knowlton K, Rotkin-Ellman M, King G, Margolis HG, Smith D, Solomon G, Trent R, English P. 2009: The 2006 California heat wave: impacts on hospitalizations and emergency department visits. *Environ Health Perspect* 117(1) : 61-7.
- Ko WC, Cheung BM, Tang HJ, Shih HI, Lau YJ, Wang LR, Chuang YC. 2007: Melioidosis outbreak after typhoon, southern Taiwan. *Emerg Infect Dis* 13(6) :

896-8.

Kovats RS, Edwards SJ, Hajat S, Armstrong BG, Ebi KL, Menne B. 2004: The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiol Infect* **132**(3) : 443-53.

Kovats RS, Hajat S. 2008: Heat stress and public health: a critical review. *Annu Rev Public Health* 29: 41-55.

Kuhn KG, Campbell-Lendrum DH, Armstrong B, Davies CR. 2003: Malaria in Britain: past, present, and future. *Proc Natl Acad Sci U S A* **100**(17) : 9997-10001.

Kundzewicz ZW, Mata LJ, Arnell NW, Doll P, Kabat P, Jimenez B, Miller K, Oki T, Zekai S, Shiklomanov I. 2007: Freshwater resources and their management. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*: 173-210.

Kuo HW, Tsai SS, Tiao MM, Yang CY. 2007: Epidemiological Features of CKD in Taiwan. *American Journal of Kidney Diseases* **49**(1) : 46-55.

Lambrechts L, Paaijmans KP, Fansiri T, Carrington LB, Kramer LD, Thomas MB, Scott TW. 2011: Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. *Proc Natl Acad Sci U S A* **108**(18) : 7460-5.

Lavigne E, Gasparini A, Wang X, Chen H, Yagouti A, Fleury MD, Cakmak S. 2014: Extreme ambient temperatures and cardiorespiratory emergency room visits: assessing risk by comorbid health conditions in a time series study. *Environ Health* **13**(1) : 5.

Lee TC, Guo HR, Su HJ, Yang YC, Chang HL, Chen KT. 2009: Diseases caused by enterovirus 71 infection. *Pediatr Infect Dis J* **28**(10) : 904-10.

Li-Ng M, Aloia JF, Pollack S, Cunha BA, Mikhail M, Yeh J, Berbari N. 2009: A randomized controlled trial of vitamin D3 supplementation for the prevention of symptomatic upper respiratory tract infections. *Epidemiol Infect* **137**(10) : 1396-404.

Lin CH, Schioler KL, Jepsen MR, Ho CK, Li SH, Konradsen F. 2012: Dengue

- outbreaks in high-income area, Kaohsiung City, Taiwan, 2003-2009. *Emerg Infect Dis* **18**(10) : 1603-11.
- Lin PC, Lin HJ, Guo HR, Chen KT. 2013a: Epidemiological characteristics of lower extremity cellulitis after a typhoon flood. *PLoS One* **8**(6) : e65655.
- Lin WJ, Lo WT, Chou CY, Chen YY, Tsai SY, Chu ML, Wang CC. 2006: Antimicrobial resistance patterns and serotype distribution of invasive *Streptococcus pneumoniae* isolates from children in Taiwan from 1999 to 2004. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease* **56**(2) : 189-96.
- Lin YK, Ho TJ, Wang YC. 2011: Mortality risk associated with temperature and prolonged temperature extremes in elderly populations in Taiwan. *Environ Res* **111**(8) : 1156-63.
- Lin YK, Chang CK, Wang YC, Ho TJ. 2013b: Acute and prolonged adverse effects of temperature on mortality from cardiovascular diseases. *PLoS One* **8**(12) : e82678.
- Lin YK, Wang YC, Ho TJ, Lu CA. 2013c: Temperature effects on hospital admissions for kidney morbidity in Taiwan. *Sci Total Environ* **443**: 812-20.
- Linderholm M, Elgh F. 2001: Clinical characteristics of hantavirus infections on the Eurasian continent. *Curr Top Microbiol Immunol* **256**: 135-51.
- Lowen AC, Mubareka S, Steel J, Palese P. 2007: Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathog* **3**(10) : 1470-6.
- Macdonald G. 1957: The epidemiology and control of malaria. *The Epidemiology and Control of Malaria*.
- MacPherson DW, Gushulak BD, Baine WB, Bala S, Gubbins PO, Holtom P, Segarra-Newnham M. 2009: Population mobility, globalization, and antimicrobial drug resistance. *Emerg Infect Dis* **15**(11) : 1727-32.
- Makin J. 2011: Implications of climate change for skin cancer prevention in Australia. *Health Promot J Austr* **22** Spec No: S39-41.

- Mastrangelo G, Fedeli U, Visentin C, Milan G, Fadda E, Spolaore P. 2007: Pattern and determinants of hospitalization during heat waves: an ecologic study. *BMC Public Health* 7: 200.
- Matsubara K, Nigami H, Iwata A, Uchida Y, Yamamoto G, Chang B, Wada A. 2012: Seasonal changes of invasive pneumococcal disease in children and association with day care attendance. *Kansenshogaku Zasshi* 86(1) : 7-12.
- Matthies F, Menne B. 2009: Prevention and management of health hazards related to heatwaves. *Int J Circumpolar Health* 68(1) : 8-22.
- McKenzie RL, Aucamp PJ, Bais AF, Bjorn LO, Ilyas M, Madronich S. 2011: Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. *Photochem Photobiol Sci* 10(2) : 182-98.
- Medina-Ramon M, Schwartz J. 2008: Who is more vulnerable to die from ozone air pollution? *Epidemiology* 19(5) : 672-9.
- Medlock JM, Avenell D, Barrass I, Leach S. 2006: Analysis of the potential for survival and seasonal activity of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in the United Kingdom. *J Vector Ecol* 31(2) : 292-304.
- Mellor PS, Leake CJ. 2000: Climatic and geographic influences on arboviral infections and vectors. *Rev Sci Tech* 19(1) : 41-54.
- Mendis K, Rietveld A, Warsame M, Bosman A, Greenwood B, Wernsdorfer WH. 2009: From malaria control to eradication: The WHO perspective. *Trop Med Int Health* 14(7) : 802-9.
- Moonen B, Cohen JM, Snow RW, Slutsker L, Drakeley C, Smith DL, Abeyasinghe RR, Rodriguez MH, Maharaj R, Tanner M, Targett G. 2010: Operational strategies to achieve and maintain malaria elimination. *Lancet* 376(9752) : 1592-603.
- Morabito M, Crisci A, Vallorani R, Modesti PA, Gensini GF, Orlandini S. 2011: Innovative approaches helpful to enhance knowledge on weather-related stroke events over a wide geographical area and a large population. *Stroke* 42(3) : 593-600.



- Munich R. 2006: Topics—Geo Annual review: Natural catastrophes 2005. *Munich Re-Munich Reinsurance Company, Munich*.
- Munthe J. 2008: Hydrological experiments at Gardsjon and release of methylmercury under wet conditions. Deliverable 107.
- Murray EL, Klein M, Brondi L, McGowan JE, Jr., van Mels C, Brooks WA, Kleinbaum D, Goswami D, Ryan PB, Bridges CB. 2012: Rainfall, household crowding, and acute respiratory infections in the tropics. *Epidemiol Infect* **140**(1) : 78-86.
- Nitschke M, Tucker GR, Hansen AL, Williams S, Zhang Y, Bi P. 2011: Impact of two recent extreme heat episodes on morbidity and mortality in Adelaide, South Australia: a case-series analysis. *Environ Health* 10: 42.
- Norval M, Lucas RM, Cullen AP, de Gruijl FR, Longstreth J, Takizawa Y, van der Leun JC. 2011: The human health effects of ozone depletion and interactions with climate change. *Photochem Photobiol Sci* **10**(2) : 199-225.
- O'Brien KL, Wolfson LJ, Watt JP, Henkle E, Deloria-Knoll M, McCall N, Lee E, Mulholland K, Levine OS, Cherian T. 2009: Burden of disease caused by *Streptococcus pneumoniae* in children younger than 5 years: global estimates. *Lancet* **374**(9693) : 893-902.
- O'Neill MS, Zanobetti A, Schwartz J. 2005: Disparities by race in heat-related mortality in four US cities: the role of air conditioning prevalence. *J Urban Health* **82**(2) : 191-7.
- O'Neill MS, Ebi KL. 2009: Temperature extremes and health: impacts of climate variability and change in the United States. *J Occup Environ Med* **51**(1) : 13-25.
- Orr HG, Walsh CL. 2006: Incorporating climate change in channel typologies for the Water Framework Directive. *Environment Agency Science Report SC030301/SR, Bristol, UK*.
- Orru H, Andersson C, Ebi KL, Langner J, Astrom C, Forsberg B. 2013: Impact of climate change on ozone-related mortality and morbidity in Europe. *Eur Respir J* **41**(2) : 285-94.

- Ostro B, Rauch S, Green R, Malig B, Basu R. 2010: The effects of temperature and use of air conditioning on hospitalizations. *Am J Epidemiol* **172**(9) : 1053-61.
- Overturf GD. 2000: American Academy of Pediatrics. Committee on Infectious Diseases. Technical report: prevention of pneumococcal infections, including the use of pneumococcal conjugate and polysaccharide vaccines and antibiotic prophylaxis. *Pediatrics* **106**(2 Pt 1) : 367-76.
- Parham PE, Michael E. 2010: Modeling the effects of weather and climate change on malaria transmission. *Environ Health Perspect* **118**(5) : 620-6.
- Park IH, Pritchard DG, Cartee R, Brandao A, Brandileone MC, Nahm MH. 2007: Discovery of a new capsular serotype (6C) within serogroup 6 of *Streptococcus pneumoniae*. *J Clin Microbiol* **45**(4) : 1225-33.
- Parsons HK, Dockrell DH. 2002: The burden of invasive pneumococcal disease and the potential for reduction by immunisation. *Int J Antimicrob Agents* **19**(2) : 85-93.
- Pascual M, Rodo X, Ellner SP, Colwell R, Bouma MJ. 2000: Cholera dynamics and El Nino-Southern Oscillation. *Science* **289**(5485) : 1766-9.
- Pascual M, Bouma MJ, Dobson AP. 2002: Cholera and climate: revisiting the quantitative evidence. *Microbes Infect* **4**(2) : 237-45.
- Pattenden S, Nikiforov B, Armstrong BG. 2003: Mortality and temperature in Sofia and London. *J Epidemiol Community Health* **57**(8) : 628-33.
- Patz JA, Epstein PR, Burke TA, Balbus JM. 1996: Global climate change and emerging infectious diseases. *Jama* **275**(3) : 217-23.
- Patz JA, Githeko AK, McCarty JP, Hussein S, Confalonieri U, De Wet N. 2003: Climate change and infectious diseases. *Climate change and human health: risks and responses*.
- Pemba L, Charalambous S, von Gottberg A, Magadla B, Moloji V, Seabi O, Wasas A, Klugman KP, Chaisson RE, Fielding K, Churchyard GJ, Grant AD. 2008: Impact of cotrimoxazole on non-susceptibility to antibiotics in *Streptococcus*

- pneumoniae carriage isolates among HIV-infected mineworkers in South Africa. *J Infect* **56**(3) : 171-8.
- Physick W, Cope M, Lee S. 2014: The impact of climate change on ozone-related mortality in Sydney. *Int J Environ Res Public Health* **11**(1) : 1034-48.
- Piacentino JD, Schwartz BS. 2002: Occupational risk of Lyme disease: an epidemiological review. *Occup Environ Med* **59**(2) : 75-84.
- Pickering LK, Baker CJ, Long SS, Kimberlin DW. 2009: Red Book: 2009 Report of the Committee on Infectious Diseases. *American Academy of Pediatrics*.
- Post ES, Grambsch A, Weaver C, Morefield P, Huang J, Leung LY, Nolte CG, Adams P, Liang XZ, Zhu JH, Mahoney H. 2012: Variation in estimated ozone-related health impacts of climate change due to modeling choices and assumptions. *Environ Health Perspect* **120**(11) : 1559-64.
- Prüss-Üstün A, Corvalán C. 2006: Preventing disease through healthy environments. *World Health Organization Geneva, Switzerland*.
- Prather M, Gauss M, Berntsen T, Isaksen I, Sundet J, Bey I, Brasseur G, Dentener F, Derwent R, Stevenson D, Grenfell L, Hauglustaine D, Horowitz L, Jacob D, Mickley L, Lawrence M, von Kuhlmann R, Müller J-F, Pitari G, Rogers H, Johnson M, Pyle J, Law K, van Weele M, Wild O. 2003: Fresh air in the 21st century? *Geophysical Research Letters* **30**(2) : n/a-n/a.
- Pudpong N, Hajat S. 2011: High temperature effects on out-patient visits and hospital admissions in Chiang Mai, Thailand. *Sci Total Environ* **409**(24) : 5260-7.
- Racloz V, Ramsey R, Tong S, Hu W. 2012: Surveillance of dengue fever virus: a review of epidemiological models and early warning systems. *PLoS Negl Trop Dis* **6**(5) : e1648.
- Randolph SE, Rogers DJ. 2000: Fragile transmission cycles of tick-borne encephalitis virus may be disrupted by predicted climate change. *Proc Biol Sci* **267**(1454) : 1741-4.

- Roberts DR, Manguin S, Mouchet J. 2000: DDT house spraying and re-emerging malaria. *Lancet* **356**(9226) : 330-2.
- Rodo X, Pascual M, Fuchs G, Faruque AS. 2002: ENSO and cholera: a nonstationary link related to climate change? *Proc Natl Acad Sci U S A* **99**(20) : 12901-6.
- Rogers DJ, Randolph SE. 2000: The global spread of malaria in a future, warmer world. *Science* **289**(5485) : 1763-6.
- Rogers DJ, Randolph SE. 2006: Climate change and vector-borne diseases. *Advances in parasitology* 62: 345-81.
- Ropelewski CF, Halpert MS. 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly weather review* **115**(8) : 1606-26.
- Schwartz J. 2005: Who is sensitive to extremes of temperature?: A case-only analysis. *Epidemiology* **16**(1) : 67-72.
- SDWF. 2010: The Effect of Climate Change on Waterborne Diseases. *Safe Drinking Water Foundation*.
- Semenza JC, Rubin CH, Falter KH, Selanikio JD, Flanders WD, Howe HL, Wilhelm JL. 1996: Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *N Engl J Med* **335**(2) : 84-90.
- Semenza JC, McCullough JE, Flanders WD, McGeehin MA, Lumpkin JR. 1999: Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. *Am J Prev Med* **16**(4) : 269-77.
- Semenza JC, Nichols G. 2007: Cryptosporidiosis surveillance and water-borne outbreaks in Europe. *Euro Surveill* **12**(5) : E13-4.
- Semenza JC, Suk JE, Estevez V, Ebi KL, Lindgren E. 2012: Mapping climate change vulnerabilities to infectious diseases in Europe. *Environ Health Perspect* **120**(3) : 385-92.
- Senate US. 2006: Hurricane Katrina: A nation still unprepared, report of the Committee

- on Homeland Security and Governmental Affairs. *Washington, DC: Government Printing Office.*
- Sheffield PE, Landrigan PJ. 2011: Global climate change and children's health: threats and strategies for prevention. *Environ Health Perspect* **119**(3) : 291-8.
- Smith AD, Bradley DJ, Smith V, Blaze M, Behrens RH, Chiodini PL, Whitty CJ. 2008: Imported malaria and high risk groups: observational study using UK surveillance data 1987-2006. *Bmj* **337**: a120.
- Smith KR, Woodward A, Campbell-Lendrum D, Chadee DD, Honda Y, Liu Q, Olwoch J, Revich B, Sauerborn R. 2014: Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. *Climate change IPCC WGII AR5*. Stanford, CA, IPCC Working Group II: 709-54.
- Solomon S. 2007: Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. *Cambridge University Press.*
- Stallings RA. Weberian political sociology and sociological disaster studies. In: *Proceedings of the Sociological Forum*, 2002, Vol. 17. Springer, 281-305.
- Stocker TF. 2014: Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press.*
- Su HP, Chan TC, Chang CC. 2011: Typhoon-related leptospirosis and melioidosis, Taiwan, 2009. *Emerg Infect Dis* **17**(7) : 1322-4.
- Sung TI, Chen MJ, Lin CY, Lung SC, Su HJ. 2011: Relationship between mean daily ambient temperature range and hospital admissions for schizophrenia: Results from a national cohort of psychiatric inpatients. *Sci Total Environ* **410-411**: 41-6.
- Sung TI, Chen MJ, Su HJ. 2013a: A positive relationship between ambient temperature and bipolar disorder identified using a national cohort of psychiatric inpatients. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol* **48**(2) : 295-302.

- Sung TI, Wu PC, Lung SC, Lin CY, Chen MJ, Su HJ. 2013b: Relationship between heat index and mortality of 6 major cities in Taiwan. *Sci Total Environ* 442: 275-81.
- Tagaris E, Liao KJ, Delucia AJ, Deck L, Amar P, Russell AG. 2009: Potential impact of climate change on air pollution-related human health effects. *Environ Sci Technol* 43(13) : 4979-88.
- Tamerius J, Nelson MI, Zhou SZ, Viboud C, Miller MA, Alonso WJ. 2011: Global influenza seasonality: reconciling patterns across temperate and tropical regions. *Environ Health Perspect* 119(4) : 439-45.
- Tan W, Herzlich BC, Funaro R, Koutelos K, Pagala M, Amaladevi B, Grob D. 1995: Rhabdomyolysis and myoglobinuric acute renal failure associated with classic heat stroke. *South Med J* 88(10) : 1065-8.
- Tang JS, Chen CL, Ko WC, Chuang CC. 2003: Imported malaria in southern Taiwan from 1991 to 2002: a single hospital's experience. *Kaohsiung J Med Sci* 19(8) : 398-405.
- Theoharatos G, Pantavou K, Mavrakis A, Spanou A, Katavoutas G, Efstathiou P, Mpekas P, Asimakopoulos D. 2010: Heat waves observed in 2007 in Athens, Greece: synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects. *Environ Res* 110(2) : 152-61.
- Tirado C, Schmidt K. 2001: WHO surveillance programme for control of foodborne infections and intoxications: preliminary results and trends across greater Europe. World Health Organization. *J Infect* 43(1) : 80-4.
- Tong S, Wang XY, Barnett AG. 2010: Assessment of heat-related health impacts in Brisbane, Australia: comparison of different heatwave definitions. *PLoS One* 5(8) : e12155.
- Townsend P. 1979: Poverty in the United Kingdom: a survey of household resources and standards of living. *Univ of California Press*.
- Townsend P, Whitehead M, Davidson N. 1992: Inequalities in health. *Penguin Books Harmondsworth, Middlesex*.



- Tu JY, Chou C. 2013: Changes in precipitation frequency and intensity in the vicinity of Taiwan: typhoon versus non-typhoon events. *Environmental Research Letters* **8**(1) : 014023.
- Tung CP, Lee TC, Liao WT, Chen YJ. 2012: Climate Change Impact Assessment for Sustainable Water Quality Management. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences* **23**(5) .
- Tung CP, Liu TM, Chen SW, Ke KY, Li MH. 2014: Carrying Capacity and Sustainability Appraisals on Regional Water Supply Systems under Climate Change. *British Journal of Environment and Climate Change* **4**(1) : 27.
- Tvedebrink T, Lundbye-Christensen S, Thomsen RW, Dethlefsen C, Schonheyder HC. 2008: Seasonal changes in climatic parameters and their relationship with the incidence of pneumococcal bacteraemia in Denmark. *Clin Microbiol Infect* **14**(12) : 1183-6.
- Urashima M, Segawa T, Okazaki M, Kurihara M, Wada Y, Ida H. 2010: Randomized trial of vitamin D supplementation to prevent seasonal influenza A in schoolchildren. *Am J Clin Nutr* **91**(5) : 1255-60.
- Vandentorren S, Suzan F, Medina S, Pascal M, Maulpoix A, Cohen JC, Ledrans M. 2004: Mortality in 13 French cities during the August 2003 heat wave. *Am J Public Health* **94**(9) : 1518-20.
- Varghese GM, John G, Thomas K, Abraham OC, Mathai D. 2005: Predictors of multi-organ dysfunction in heatstroke. *Emerg Med J* **22**(3) : 185-7.
- Walls HL, Walls KL, Benke G. 2011: Eye disease resulting from increased use of fluorescent lighting as a climate change mitigation strategy. *Am J Public Health* **101**(12) : 2222-5.
- Wang CM, Hu SC, Hung WS, Chang HL, Wu HS, Chen KL, Chen KH, Chen KT. 2012a: The absence of endemic malaria transmission in Taiwan from 2002 to 2010: the implications of sustained malaria elimination in Taiwan. *Travel Med Infect Dis* **10**(5-6) : 240-6.

- Wang XY, Barnett AG, Yu W, FitzGerald G, Tippet V, Aitken P, Neville G, McRae D, Verrall K, Tong S. 2012b: The impact of heatwaves on mortality and emergency hospital admissions from non-external causes in Brisbane, Australia. *Occup Environ Med* **69**(3) : 163-9.
- Wang YC, Lin YK, Chuang CY, Li MH, Chou CH, Liao CH, Sung FC. 2012c: Associating emergency room visits with first and prolonged extreme temperature event in Taiwan: A population-based cohort study. *Sci Total Environ* 416: 97-104.
- White AN, Ng V, Spain CV, Johnson CC, Kinlin LM, Fisman DN. 2009: Let the sun shine in: effects of ultraviolet radiation on invasive pneumococcal disease risk in Philadelphia, Pennsylvania. *BMC Infect Dis* 9: 196.
- Whitehead PG, Wilby RL, Battarbee RW, Kernan M, Wade AJ. 2009: A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences Journal* **54**(1) : 101-23.
- Whitman S, Good G, Donoghue ER, Benbow N, Shou W, Mou S. 1997: Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave. *Am J Public Health* **87**(9) : 1515-8.
- WHO. 1966: WHO Expert Committee on Malaria: Twelfth Report. *World Health Organization*.
- WHO. 1999: The World health report: 1999: Making a difference: message from the Director-General.
- WHO. 2002: The world health report 2002: reducing risks, promoting healthy life. *World Health Organization*.
- WHO. 2007: Malaria elimination: a field manual for low and moderate endemic countries.
- WHO. 2009: Protecting health from climate change: connecting science, policy and people.

- WHO. 2012: World malaria report. *World Health Organization*.
- Wilson WJ. 1991: Public policy research and the truly disadvantaged. *The urban underclass*: 460-81.
- Wisner B. 2004: At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. *Psychology Press*.
- Wolf K, Schneider A, Breitner S, von Klot S, Meisinger C, Cyrus J, Hymer H, Wichmann HE, Peters A. 2009: Air temperature and the occurrence of myocardial infarction in Augsburg, Germany. *Circulation* **120**(9) : 735-42.
- Wong WY, Overturf GD, Powars DR. 1992: Infection caused by *Streptococcus pneumoniae* in children with sickle cell disease: epidemiology, immunologic mechanisms, prophylaxis, and vaccination. *Clin Infect Dis* **14**(5) : 1124-36.
- Wright EO, Wright EL. 1985: *Classes*. Verso London.
- Wright EO. 1997: *Class counts: Comparative studies in class analysis*. Cambridge University Press.
- Wu PC, Guo HR, Lung SC, Lin CY, Su HJ. 2007: Weather as an effective predictor for occurrence of dengue fever in Taiwan. *Acta Trop* **103**(1) : 50-7.
- Wu PC, Lay JG, Guo HR, Lin CY, Lung SC, Su HJ. 2009: Higher temperature and urbanization affect the spatial patterns of dengue fever transmission in subtropical Taiwan. *Sci Total Environ* **407**(7) : 2224-33.
- Wu PC, Lin CY, Lung SC, Guo HR, Chou CH, Su HJ. 2011: Cardiovascular mortality during heat and cold events: determinants of regional vulnerability in Taiwan. *Occup Environ Med* **68**(7) : 525-30.
- Yamada S, Shimomura Y, Ohsaki M, Fujisaki A, Tsuruya K, Iida M. 2010: Hypothermia-induced acute kidney injury in a diabetic patient with nephropathy and neuropathy. *Intern Med* **49**(2) : 171-4.
- Yang GJ, Bradshaw CJ, Whelan PI, Brook BW. 2008: Importance of endogenous feedback controlling the long-term abundance of tropical mosquito species.

*Population Ecology* **50**(3) : 293-305.

Yang J, Liu HZ, Ou CQ, Lin GZ, Ding Y, Zhou Q, Shen JC, Chen PY. 2013: Impact of heat wave in 2005 on mortality in Guangzhou, China. *Biomed Environ Sci* **26**(8) : 647-54.

Yang TC, Wu PC, Chen VY, Su HJ. 2009: Cold surge: a sudden and spatially varying threat to health? *Sci Total Environ* **407**(10) : 3421-4.

Yang WC, Hwang SJ. 2008: Incidence, prevalence and mortality trends of dialysis end-stage renal disease in Taiwan from 1990 to 2001: the impact of national health insurance. *Nephrol Dial Transplant* **23**(12) : 3977-82.

Yen CF, Tang TC, Yang P, Chen CS, Cheng CP, Yang RC, Huang MS, Jong YJ, Yu HS. 2011: A multidimensional anxiety assessment of adolescents after Typhoon Morakot-associated mudslides. *J Anxiety Disord* **25**(1) : 106-11.

Yip K. 2000: Malaria eradication: the Taiwan experience. *Parassitologia* **42**(1-2) : 117-26.

Yu PS, Yang TC, Kuo CC. 2006: Evaluating long-term trends in annual and seasonal precipitation in Taiwan. *Water Resources Management* **20**(6) : 1007-23.

Zeka A, Zanobetti A, Schwartz J. 2006: Individual-level modifiers of the effects of particulate matter on daily mortality. *Am J Epidemiol* **163**(9) : 849-59.

Zhou G, Minakawa N, Githeko AK, Yan G., 2004: Association between climate variability and malaria epidemics in the East African highlands. *Proc Natl Acad Sci U S A* **101**(8) : 2375-80.

## 第八章 經濟與社會

<sup>1</sup>張靜貞、<sup>2</sup>洪志銘

<sup>1</sup>中央研究院經濟研究所、<sup>2</sup>中華經濟研究院台灣經濟所

### 摘要

不同的產業面對氣候變遷有不同的脆弱度，所造成的影響也因個別產業對氣候變化之敏感性而異。本章的重點在於說明氣候變遷對於台灣各產業部門所帶來的衝擊，包括基礎建設、農業、製造業、以及服務業。一般而言，氣候變遷所導致的極端降雨或洪水會造成產業的硬體設施較大的損害，而乾旱和熱浪則會造成較多間接性的經濟損失。其次，在高度分工與全球佈局之結構下，這些損害將會透過產業關聯與全世界供應鏈產生遞延性之間接影響，長期而言，這些間接影響可能大過直接影響。第三、氣候變遷對不同維生基礎設施的影響也可能有空間或功能上的交互作用，如上游防洪設施發生災害不但會造成中下游淹水，也會造成水力發電或自來水提供之中斷，這也意味著政府對某些基礎建設之加強調適可間接強化另一基礎設施之安全。第四、產業對於氣候變遷具有自我調適的能力，多反應在成本和價格的變化，如物流、躉售和零售商通常會藉著改變儲藏和運輸的方式來做氣候調適，資通訊產業之研發與創新也會隨各產業部門與民眾生活在調適過程中所衍生之需求而產生新的商機。最後，我國應盡速研發以風險管理為基礎之產業調適政策，以協助產業自我檢視脆弱度及進行災損控管與分散，也應建立氣候變遷對於產業之長短期衝擊評估機制，研發客觀之評估工具與建置資料庫，俾利降低未來的氣候風險與不確定性。

**關鍵字：**氣候變遷、經濟衝擊評估、基礎設施、農業、製造業、服務業、脆弱度

## 8.1 前言

根據政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第四次與第五次的評估報告 (IPCC 2007; IPCC 2013) 以及許多科學家的研究報告指出，全球氣候變遷的構成因素相當複雜，包括溫室氣體排放增加、大氣組成改變、地球升溫、全球氣候運作模式改變等，所帶來的影響也無遠弗屆，例如：地球升溫會造成全球水文循環的改變，使蒸發作用強度增高，導致大氣濕度改變、降雨強度升高、降雨分布產生變化，發生各種極端氣候事件的可能性因此升高，近年來全球各地颶風災害頻傳與此有極為密切的關係。

台灣也面對相同之現象，Hsu and Chen (2001) 推論此與大尺度環流的變化有關，然而局部地區及區域效應 (包括懸浮微粒及土地利用變遷如都市熱島效應等) 也可能是其導因。近年來，Liu et al (2009), Shiu et al (2009) 以及劉紹臣 (2011) 等學者根據中央氣象局觀測站的百年資料進行統計分析，結果顯示在過去這一百年來，全台平均氣溫顯著上升，且過去 50 年熱浪發生頻率及持續天數明顯增加，尤其是都會地區。平均而言，北部溫度變化明顯比其他地區來得高，三大都會區氣溫增高 ( $\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ ) 比北半球氣溫 ( $\sim 0.7^{\circ}\text{C}$ ) 或台灣周圍夜間海面氣溫 ( $\sim 0.7^{\circ}\text{C}$ ) 高出約兩倍。

本章旨在於透過國內外文獻回顧，說明氣候變遷對臺灣經濟與社會所帶來的衝擊，以及如何透過科技與制度調整來協助產業以及民眾提昇因應之能力。首先，本章將在第二節討論氣候變遷對整體經濟發展之影響以及評估方法，第三節與第四節則分別說明氣候變遷對台灣經濟體系運作所仰賴的維生基礎設施 (包括能源、供水、交通、通訊) 以及主要產業活動 (包括農業、製造業、服務業) 所帶來的衝擊，第五節則從全球尺度來說明氣候變遷在全球供應鏈的牽引下將對台灣產業帶來哪些影響，第六節則說明政府與民間在面對氣候變遷所帶來的挑戰時所具備之調適能力，以及國家氣候變遷調適政策綱領如何減緩前述的影響，俾利經濟成長與社會整體發展兼容並蓄。

## 8.2 氣候變遷對整體經濟的影響

氣候變遷究竟對於台灣的經濟發展帶來哪些機會與威脅一直是社會大眾所



關切的議題，也是政府在制定調適政策時的重要參考指標之一。自從政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC) 在 2001 年公布第三次氣候變遷評估報告後，許多國際機構也推動許多大型跨領域的研究，針對氣候變遷對經濟社會之影響進行評估與風險分析，最主要目的是在協助開發中與低度開發國家制定調適計劃，因此，氣候變遷對經濟成長之影響可視為是國家因應氣候變遷衝擊的調適能力之一。對於已開發國家而言，則是透過這些經濟量化之分析結果，把調適計畫作為引導企業投資與實現永續發展目標的一環。因此，本節將彙整國際相關研究中有關氣候變遷對整體經濟成長之影響，重點包括評估的方法以及主要的結果。

### 8.2.1 經濟評估方法

早期氣候變遷研究所採用的經濟評估方法可分為部分均衡分析與一般均衡分析兩大類，主要是透過生產及消費行為的改變來檢視氣候變遷對於產業部門及家計部門之影響。前者（部分均衡）多半針對特定之產業或部門進行評估，分析方法多半採用投入產出模型或計量模型；而後者（一般均衡）則以國家整體為對象，除投入產出模型外，也經常使用可計算一般均衡模型 (Computable General Equilibrium, CGE)。

投入產出模型為早期文獻中最常使用的方法之一，也是分析氣候因素對於區域經濟影響最廣泛使用的工具之一 (Rose 2004)，最早可追溯至 Cochrane (1974)，此後 (如 Cochrane 1997; Gordon and Richardson, 1996; Rose et al. 1997; and Okuyama et al. 1999)。模型的核心是經濟體各產業部門所具備的生產技術，透過投入產出的縱向關係與商品供需的橫向關係來達到均衡狀態，並用產業關聯係數來表達各部門間的相互依賴性。換言之，一旦某些部門受到氣候因素的衝擊，其他部門甚至整個經濟體系將如何變動。模型的優點包括能夠顯示經濟體系內各產業部門資料，使該經濟結構透明化。然而，其缺點來自於資源供應無限制之假設，且假設價格為固定不變，故無法將市場價格改變之效果納入考量，也導致對未來情境無法進行合理的推估。此外，此類模型的產業關聯係數均為固定係數，使其無法反映出投入要素與生產力之改變或進口替代的可能性，比較適合用來評估短期之政策效果，不適用於中長期的氣候變遷政策分析。

爾後，隨著可計算一般均衡 (CGE) 模型的發展，將價格機制鑲入實證模型內，藉由機會成本的概念，充分考量資源的稀少性，可說是投入產出模型的延伸。

CGE 模型除修正了投入產出模型之靜態、線性固定係數等缺點外，主要優點來自於涵蓋了經濟個體和各項資源配置與市場績效的相互關係，能夠進行特定氣候變遷情境（或極端事件）發生前後重要經濟變數之比較分析，還可藉由投入產出關聯來描述經濟體中各產業部門間與最終需求部門的關聯性，將氣候變遷對於整體經濟與個別產業部門之中長期影響效果同時呈現出來，故 CGE 模型也經常被許多國際研究機構用來作為調適政策之分析工具。

近十年來，氣候變遷研究不僅是跨領域，更進一步整合成一套系統以評估氣候變遷在經濟與社會的影響，其中「整合性模型」(Integrated Assessment Models, IAMs) 即為此整合研究的成果之一。整合評估模型是以整合評估為目的，透過簡化的數學方程式，描繪人類體系與自然系統的運作邏輯，整合社經體系與自然系統。輔以電腦的演算能力，輸入參數值與資料數據後進行演算與模擬，演算後所產生的量化與貨幣化模擬結果可作為決策者的參考<sup>1</sup>。IAMs 與目前國內常用的總體分析模型最主要的不同之處在於前者備有可模擬大氣變化的氣候模組以及損害模組，其優點是可連結自然系統與經濟體。整合評估模型以簡化的數學方程式鏈結社經系統與自然體系之間的關係，形成衝擊路徑。衝擊路徑的設計藍圖可以是單向或是回饋形式，視模型設計者想要探討的議題及研究目的而定。最常見的衝擊路徑的步驟是先建立基準情境，情境內容包括各種情境驅動力（例：人口、經濟成長率等）。接著由外生給定人為活動對環境的干擾（例：溫室氣體排放），下一步描繪此人為干擾所導致的種種環境衝擊（例：暖化、海平面上升等），最後將環境衝擊貨幣化，以估計暖化所造成的損害成本（如圖 8.1 所示）。

---

<sup>1</sup>整合評估模型的定義，首見於 Weyant et al. (1996) 在 IPCC 第二評估報告的所提出廣義的 IAMs 的定義，Weyant et al.認為只要是整合跨領域學科知識的模型都可稱為 IAMs，Tol(2006)則提出較明確的定義，他認為 IAMs 類似簡化的地球系統模型(earth system model)，必須結合自然科學與社會科學於一身，且模型的規模大小與複雜程度必須適中，單一團隊或一個人即可操作，Kelly and Kolstad (1998) 提出更具體的說法，即 IAMs 除了必須結合科學與社會經濟層面，其模擬結果還必須能夠詮釋，作為決策者擬定因應策略之評估參考。

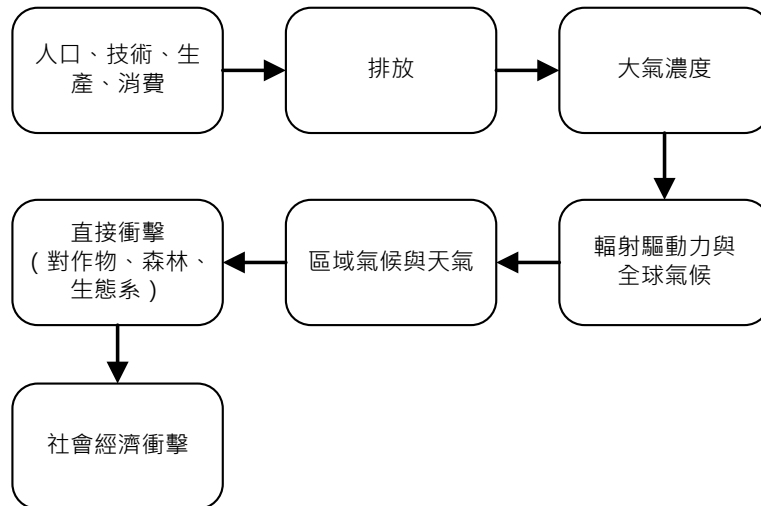


圖 8.1 全球暖化之衝擊路徑圖。(資料來源：Stern (2006))

不同的 IAMs 探討的議題及研究目的各不相同，因此 IAMs 沒有特定的模型格式與範疇，目前最常見的整合評估模型的研究焦點以氣候變遷議題為主，其次為酸雨、空氣污染、廢棄物生命週期管理等。目前已知的氣候變遷整合評估模型多達數十種，其中最具代表性與常被引用者包括 DICE/RICE、FUND、PAGE、MERGE、AIM、MARIA 等。以下重點說明 DICE、FUND 與 PAGE 的特色。

- DICE 模型 (Dynamic Integrated Climate-Economy model)

任教於耶魯大學的 William Nordhaus 是國際上極負盛名的經濟學家，同時也是最早投入氣候變遷之成本效益分析的學者。由他一手建構的 DICE 模型 (Dynamic Integrated Climate-Economy) 堪稱整合評估模型的典範，而 Nordhaus 在其個人網站上也公開分享 DICE 模型與應用文章，讓學界下載以公開討論並檢討模型之優缺。

DICE 模型是福利極大化的全球最適模型，DICE 將全球區分為 12 個區域，並以加總後的資料 (產出水準、資本存量、排放量、衝擊程度等)，以估算氣候變遷對全球經濟與環境影響。DICE 模型的特色係根據新古典成長經濟理論基礎建構而成，將氣候系統提供的服務視為自然財 (natural capital)，而導致溫室效應的溫室氣體濃度被視為不好的自然財，減排被視為是提高自然財品質的投資。由於 Nordhaus 認為 CO<sub>2</sub> 是導致全球暖化之主要溫室氣體，因此 DICE 模型只考量工業排放 CO<sub>2</sub> 一種溫室氣體來源，而其它溫室氣體或 CO<sub>2</sub> 排放源可透過不同手段控制。另外，DICE 建置碳循環系統，以數學模型呈現三種碳儲存庫 (carbon reservoir)-大氣層、淺海與生物圈、深海的碳循環系統，再與經濟評估系統相連。

DICE 考量了減量技術，假定技術變動型態分為經濟面技術變更與低碳技術變更（降低碳密集度），但由於 DICE 兩種技術變動皆為外生給定，因此將無法納入碳價變動對新技術研發的效果。除了 DICE 以外，Nordhaus 與 Zili Yang 合作研發多區域版本的 DICE 模型，稱為 RICE 模型 (Regional Integrated model of Climate and the Economy)，此與 DICE 僅能評估全球總和影響不同，RICE 可分析氣候變遷對 12 個區域的個別影響。

- **FUND 模型 (Climate Framework of Uncertainty, Negotiation and Distribution model)**

FUND 由美國卡內基大學 Richard Tol 所設計<sup>2</sup>。該模型最初設計的目的係用於分析氣候政策下國際間資本移轉的情形。經過多年不斷更新，FUND 模型從最初的 FUND 1.0 發展至今，衍生逾 20 種版本模型，與其他分析氣候變遷的 IAM 相同，FUND 的分析時間考慮至長遠未來（可模擬至 2300 年），以反映全球暖化損害發生在未來的特性。模型把全球分為 16 區，分為氣候模組、CO<sub>2</sub> 減量成本模組與損害模組，FUND 模型有兩大特色，第一點是模型主張以精簡而具代表性的方程式組成。雖然模型規模不大，但氣候模組與經濟評估並顧，具備完整的 IAM 架構。另一項特色是模型可推估不同部門的損害函數，可模擬農、林、水資源、生態系統、海平面上升、能源消費、人體健康等七個部門的暖化損害，其中幾個部門的暖化損害函數又可再計算更細緻的暖化損害（例：因暖化而誘發的病媒傳染病）。FUND 刻劃暖化損害的細膩程度，是該模型與其他 IAM 最大的不同之處。

- **PAGE 模型 (Policy Analysis for Greenhouse Effects model)**

PAGE 模型由英國劍橋大學 Chris Hope 所建構，PAGE2002 該版本模型已被應不同研究機構所採用，並發表許多研究報告 (Stern, 2006；ADB, 2009；Chae, Kim and Kim, 2007)。2010 年底的 PAGE09 模型承襲 PAGE2002 模型，將全球分為為歐盟 (EU)、美國 (US)、東歐 (EE)、其他 OECD 國家 (OT)、中國與集權式亞洲國家 (CA)、印度與東南亞國家 (IA)、拉丁美洲 (LA) 及非洲 (AF) 等八區，相較於 Nordhaus 的 DICE/RICE 模型的全球/區域各自獨立的模型架構，PAGE09 模型可同時模擬全球與區域氣候政策的成本與效益。PAGE09 模型架構分為氣候模組、損害模組、減量成本模組和調適成本模組。模型在計算非歐盟的 7 個區域

---

<sup>2</sup> FUND 有公開網站：<http://www.fund-model.org/>，該網站除了介紹 FUND 模型不同版本的內容，也開放部份與 FUND 有關的文章免費下載。

損害、減量或調適成本時，是以歐盟區為核心區域，乘上各區的權重或乘數因子，以換算各區的損害或減量成本。

PAGE 模型可根據最新的科學證據與氣候變遷經濟學之研究成果，擴充及更新 PAGE 模型各模組之內涵，從而提高模型的解釋能力，並具應用 Monte-Carlo 演算法模擬氣候變遷的不確定性，以機率分配之潛在發生區間的概念呈現暖化衝擊或減量/調適成本。例如 PAGE09 模型加入了更多的新元素（例：碳回饋效果、緯度對各區溫度的影響、將硫氧化物內生為政策變數、加入海平面上升等），顯示 PAGE 模型架構透明且具有彈性的特色。

整合性模型早在 1990 年代即作為政策討論之用，1990 年代是 IAMs 發展的萌芽期，當時溫室效應議題已引起舉世關注，1992 年各國簽訂「聯合國氣候變遷綱要公約」(United Nation Framework of Climate Change Convention, UNFCCC)，證實人為溫室氣體排放是引起暖化的元兇，並要簽約國應控管任何可能危害自然生態體系正常運作的人類經濟活動，1997 年，在日本簽署的京都議定書 (Kyoto Protocol) 更進一步強制約束附件一國家在 2008 年至 2012 年的溫室氣體排放量，減排量至少等於 1990 年排放水準的 5.2%。但此具約束力的公約的減量標準一來不具科學證據證明其可行性與合理性，有鑑於此，當時 IAMs 的研究主題即針對該減量目標應積極或寬鬆 (modest control) 進行研究。以 Nordhaus (1994) 為代表的氣候變遷經濟學家都提出各國應該採取寬鬆的減量政策，理由有三：較高的折現率、減量投資所排擠的高報酬投資的機會成本太高、且未來世代較為富有，應該讓未來世代承擔暖化的挑戰。在 90 年代，Nordhaus 所主張的小規模且寬鬆的減量政策形成主流，IAMs 模擬結果與當時各國對於國際間的氣候政策談判的潮流呈現迥然不同的論點。Stern (2007) 在著名的史騰報告 (The Stern Report) 中使用 PAGE2002 模型為溫室氣體減量與調適政策做了極佳的詮釋。美國為了將溫室氣體的損害成本 (或減量效益) 納入政府計畫的成本效益分析之中，於是以 DICE、PAGE 與 FUND 三個模型損害評估計算出的單位溫室氣體損害金額<sup>3</sup>，作為計畫評估中涉及溫室氣體排放的成效的計算 (Interagency Working Group, 2010; 2013)。

IPCC 的 AR5 將圖 8.1 的單向評估模式中做了修正，未來氣候變遷下的社會經濟情境 (或排放路徑) 是採用「代表濃度途徑」(Representative Concentration

<sup>3</sup> 稱為 SCC (Social Cost of Carbon)。



Pathways，簡稱 RCPs) 的方式來定義，並以輻射驅動力在 2100 年與 1750 年之間的差異量當作指標性的數值來區分之，RCP2.6 的情境意味著每平方公尺的輻射驅動力在 2100 年增加了 2.6 瓦，而 RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5 則代表每平方公尺的輻射驅動力分別增加了 4.5、6.0 與 8.5 瓦。RCP2.6 所代表的是個暖化減緩的情境；RCP4.5 與 RCP6.0 代表暖化較為穩定的情境；而 RCP8.5 則是個溫室氣體高度排放的情境。

AR5 的架構非常重視氣候變遷與社會經濟互為因果的動態關係，故必須仰賴三個研究群組間的協調整合來共同設計情境，包括：IAM Integrated Assessment Modeling 研究群、Impacts, Adaptation, and Vulnerability (IAV) 研究群、以及 climate modeling (CM) 研究群。CM 研究群主要任務是在 RCP 的基礎上探索氣候變遷對全球與區域性影響，IAM 研究群負責探索所有可能導致四種 RCP 的社會經濟情境，IAV 研究群則透過 CMs 與 IAMs 的資訊交流與回饋，評估減緩政策、調適政策與脆弱度。目前這些研究群多半是利用情境矩陣 (Scenario matrix) 的方式，將四種 RCP 與社會經濟情境 (Shared Socioeconomic Pathways，簡稱 SSPs) 加以交叉組合，再透過量化或質化方式來描述未來不同氣候與社會經濟狀況 (Van Vuuren et al., 2014; O'Neill et al., 2014; Kriegler et al., 2014)。這些情境矩陣的分析方法仍在發展中，相關資料庫可參考奧地利 IIASA 研究機構網站的 SSP Database (Shared Socioeconomic Pathways) - Version 1.0。

## 8.2.2 經濟評估結果

綜觀近年之國際研究，多數認為氣候變遷對於亞洲地區的 GDP 將有負面衝擊，但估計的結果並不一致，如 Rehdanz and Maddison (2005) 及 Maddison (2003) 的結果指出，氣候變遷雖將造成 GDP 降低，但降幅不大，分別為 0.4% 及 0.1%；Bosello et al. (2012) 的結果亦顯示，氣候變遷導致海平面上升，對 GDP 的衝擊極小 (最大為 -0.046%)，然而，其影響並不僅在沿海區域，間接影響不容小覷，雖然目前估計結果影響不大，卻極需適當的調適策略來維持此可容忍的衝擊程度。

Hope (2006)、Plambeck and Hope (1996) 估計未來海平面溫度若上升 2.5 度，亞洲平均 GDP 分別將減少 2.6%、8.6%，而 Nordhaus and Yang (1996) 亦指出，全球海平面平均溫度若上升 2.5 度，開發中國家之平均 GDP 將減少 2.1%；Stern (2007) 估計，直至 21 世紀中，極端氣候的經濟成本將高達全球 GDP 的 0.5-1%。



並且會隨著溫度持續上升而增加。此外，若全球平均溫度上升達 3~4°C，僅英國每年因洪水導致的損失，即將佔全球 GDP 的 0.1%。依據 Tol (2009) 及 Stern (2007) 的分析，產生前述差異之原因可能在於許多文獻估計時並未納入氣候變遷之不確定性，因此估計之損失往往會被低估，甚至會被忽略，反而可能帶來更大的衝擊，因此，雖然部分研究所估計之 GDP 衝擊看起來並不大，但實際上氣候變遷可能帶來永久性的傷害，實不容忽視。

部分研究顯示，平均溫度上升對 GDP 之衝擊並非是固定的反向關係 (Tol 2009)，Hope (2006)、Tol (2002a、2002b)、Mendelsohn et al. (2000) 等研究之結果顯示，當研究地區之平均溫度上升之始，對 GDP 是具有正面影響的，然隨溫度持續增加，GDP 成長速度開始趨緩，當溫度增加超過約 2°C 時，GDP 反而下降，甚至低於原始之 GDP。此外，近年有許多研究認為颱風或風暴會導致經濟損失或家庭所得降低 (Hsiang and Jina 2013；Hsiang and Narita 2012；Anttila-Hughes and Hsiang 2011；Yang 2008)。如 Hsiang and Jina (2013) 以風暴的每年波動 (annual fluctuations)，發現風暴會負面影響經濟成長，且影響將隨時間累積。該研究指出，自 1970~2008 年，全球 GDP 成長率已因風暴或氣旋下跌 1.3%。Anttila-Hughes and Hsiang (2011) 以結合橫斷面與縱斷面資料的 panel data，估計菲律賓各省在颱風下的經濟衝擊，研究指出，密集的颱風造成菲律賓之家庭所得 (household income) 平均減少 6.7%。

### 8.3 氣候變遷對維生基礎設施之衝擊

基礎建設是一經濟體系維持運作的根本基礎，良好運作的基礎建設，不僅能夠維持人民基本的生活需求，亦有助於經濟成長。然而，近年因氣候變遷而導致的極端事件頻繁發生，基礎建設的因應能力便至關重要。基礎設施受到的氣候變遷衝擊，大抵在於極端溫度 (如熱浪、寒流)、暴雨、及颱風路徑改變等 (DOE 2012)，不僅可能使經濟活動延宕，基礎設施之修繕費用亦可能造成國庫龐大支出 (Larsen et al. 2007)。

不同的基礎建設面對氣候變遷有不同的脆弱度，一般而言，氣象事件會造成硬體基礎建設一連串的影響，如上游防洪設施發生災害不但會造成中下游淹水，也會中斷水力發電或自來水的供應，這也意味著對某些建設之加強調適可間接強化另一基礎設施之安全。發展以風險為基礎之管理方式，除可避免災害再次發生，

並可依據風險評估高低，進行基礎設施之維護成本控管及災害後果影響範圍評估，俾利災害風險降低。

考量台灣實務上相關維生基礎設施間之重要性與脆弱性，國家發展委員會於 2012 年 10 月發布之「國家氣候變遷調適政策綱領」將維生基礎設施分為能源供給設施、供水及水利系統、交通系統、及通訊系統等四大部份<sup>4</sup>。本節將依序整理相關設施面對氣候變遷之可能衝擊。

### 8.3.1 能源供給設施

在氣候變遷下，能源供給的衝擊主要在於供給設施所在區位的安全性，若環境溫度持續升高，將可能影響建築、煉油及發電設施等相關設施的耐受性，而愈趨頻繁的極端事件如暴雨、颱風等，亦將影響能源設施的安全性<sup>5</sup>。目前台灣主要最終能源消費以電力為最大宗，佔所有最終能源消費平均將近 50%，其次為石油，比例亦達約 40%<sup>6</sup>；近年雖開始發展生質能等替代能源，然比重極低（低於 0.2%）。若進一步檢視近年各能源之使用趨勢，如圖 8.2，可知主要能源包括煤、石油產品、天然氣、及電力的需求幾乎是逐年上升。

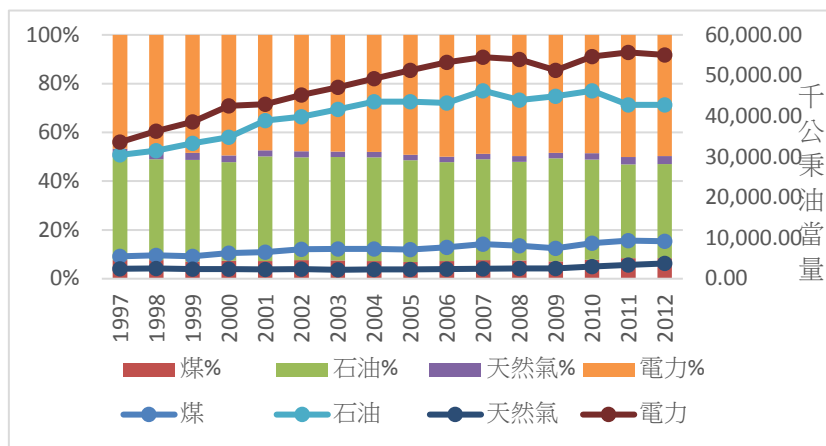


圖 8.2 台灣 1997~2012 年之能源需求趨勢 (依能源類別)。(資料來源：103 年能源統計年報，經濟部能源局)

台灣的最終能源消費，按部門別分，可分為工業、運輸、農業、服務業、及

<sup>4</sup> 共築方舟 - 氣候變遷調適入口網 <http://www.tcap.ndc.gov.tw/subsistence-infrastructure.html>。

<sup>5</sup> 整理自「氣候變遷調適政策綱領」，國家發展委員會；共築方舟 - 氣候變遷調適入口網 <http://www.tcap.ndc.gov.tw/subsistence-infrastructure.html>。

<sup>6</sup> 計算自 103 年能源統計年報，經濟部能源局。

住宅等部門。自 1999 年起最終電力消費由 14 萬 5 千百萬度，增加為 2014 年之 23 萬 1 千百萬度，幅度達 60%，顯示對於能源的需求持續增加中。其中又以工業部門為能源使用量之最大宗，約佔總能源使用將近一半（圖 8.3），第二與第三分別為服務部門與住宅。然而，若單獨比較各部門自 1999 年至 2014 年之成長幅度，則以運輸部門為第一，成長率高達 221%，其次為工業部門，成長率為 74%（圖 8.4）。

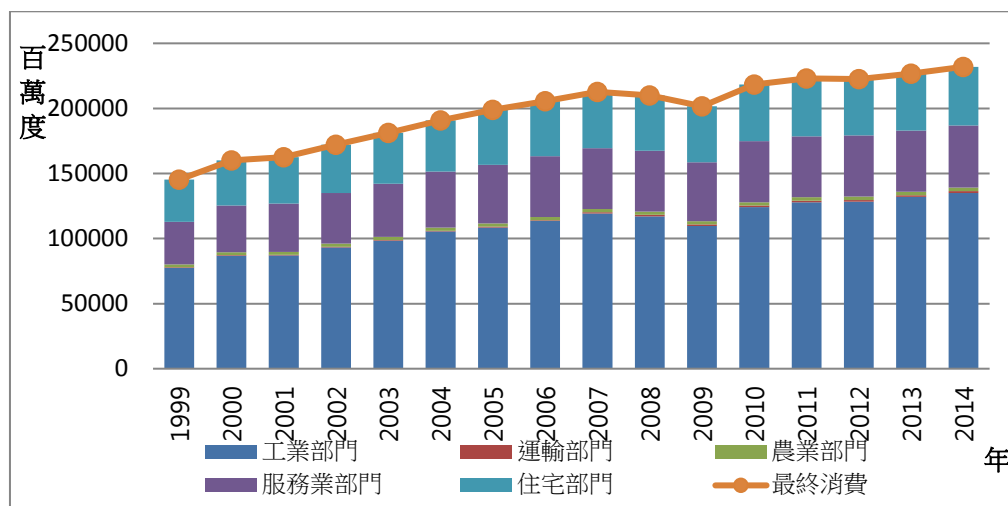


圖 8.3 台灣 1999~2014 年電力需求趨勢 (依產業部門)。(資料來源：103 年能源統計年報，經濟部能源局)

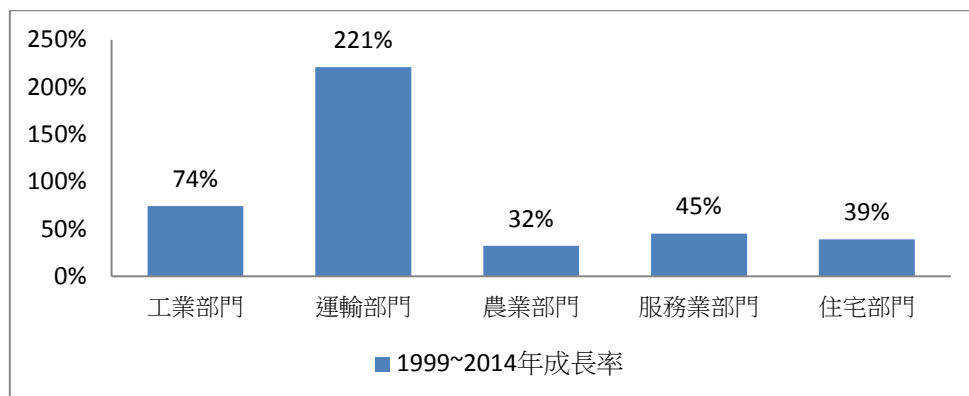


圖 8.4 台灣 1999~2014 年電力最終消費成長率 (依產業部門)。(資料來源：103 年能源統計年報，經濟部能源局)

回顧有關氣候變遷對能源部門經濟衝擊之文獻，多為探討能源消費與需求改變方面。氣候變遷對能源需求之影響並非單一方向，需視影響範圍之氣候條件與地理位置而定 (Dell et al, 2013)，部分文獻則認為氣候變遷導致的能源需求改變將有助經濟產值成長。以瑞士為例，Gonseth and Vielle (2012) 估計氣候暖化會降

低人類對於暖氣之能源需求，但也同時提高冷氣的能源需求，透過經濟模型模擬後，他們發現前者的效果會大於後者，因而使得整體的能源成本隨著能源需求的減少而降低。換言之，包括建築業、服務業、及工業等產業都將減少對石油產品、天然氣、及電力等能源消費需求，從產業面的角度來看，生產成本將大幅降低，這對高度仰賴進口能源的國家而言，將會有提升整體經濟產值之長期正向效果。

然而，多數研究並不抱持樂觀看法，以電力為例，美國能源部 (U.S. Department of Energy, DOE) 之報告指出<sup>7</sup>，若因氣候變遷導致的極端溫度持續發生，夏季高溫將使空調、冷氣使用增加，而冬季的低溫也將使暖氣設備使用提升，連帶提高電力的需求，導致更多的電費支出，民眾的經濟及生活壓力將日漸增加。

其次，龐大的電力需求將提高跳電發生的頻率，若生產設備缺乏緊急供應電力等設備，嚴重將導致生產鏈中斷，並衝擊整體生產力。該報告亦指出，冷暖氣等溫度調節設備的使用提高亦將排放更多的溫室氣體，使溫度持續上升，長此以往勢必成為惡性循環。

Mideska and Kallbekken (2010) 彙整相關研究，指出未來持續的氣候變遷將改變電力市場供需。整體而言，若溫度持續上升，將減少冬季使用暖氣需求，而提升夏季空調設備使用，供需互相消長之下，將降低火力發電之生產成本，然而非火力發電來源之生產成本改變則視當地之預期溫度及降雨變化。

De Cian et al. (2007) 估計全球能源在溫度持續改變之需求影響，該研究使用 1978~2000 年 31 個國家的長期跨國資料進行研究，結果發現氣候溫暖的國家夏季電力消費將增加，夏季溫度對電力之需求彈性為 1.17、冬季溫度對電力之需求彈性為 0.10；反之，較寒冷地區之冬季電力消費將降低，其夏季溫度對電力之需求彈性為-0.21、冬季溫度對電力之需求彈性為-0.07。

Deschênes and Greenstone (2011) 探討美國住宅部門之能源消費。該研究以 1968~2002 年之長期數據，估計出住宅部門能源需求與溫度間呈現 U 型的曲線關係，若每多一天溫度低於 10°F (約-12.2°C) 或高於 90°F (約 32.2°C) 時，將提升 0.3~0.4% 的年均能源需求 (圖 8.4)。Auffhammer and Aroonruengsawat (2011) 則以 2003-2006 年加州家計單位每月之用電數據，指出溫度與能源需求之關係會隨氣

<sup>7</sup> Climate Change, Infrastructure, Urban Systems, and Vulnerabilities, Technical Report to the U.S. Department of Energy, 29 Feb 2012.

候帶而呈現不同的結果，同時亦估計出當每多一天溫度高於 90°F 時，將增加家計單位之能源消費，部分驗證了 Deschênes and Greenstone (2011) 所述之能源需求與溫度間的 U 型關係。此外，Deschênes and Greenstone (2011) 及 Auffhammer and Aroonruengsawat (2011) 皆認為，氣候暖化的結果，將大幅提高 21 世紀之能源需求，在其他條件不變之下，溫度上升將分別提高 11% 及 3% 之能源消費。

值得注意的是，氣候變遷對能源的影響不僅是需求改變，其他消費亦可能受到衝擊，如 Bhattacharya et al. (2003) 利用消費者支出調查，估計發現低溫將導致更多的燃料支出，對於較貧窮的家庭，將連帶壓縮食物類之消費；而較富有的家庭由於有較寬鬆的預算，即便在冬季面臨更高的能源成本，結果顯示其在食物類的消費將不受影響，此現象在美國南部尤其明顯。

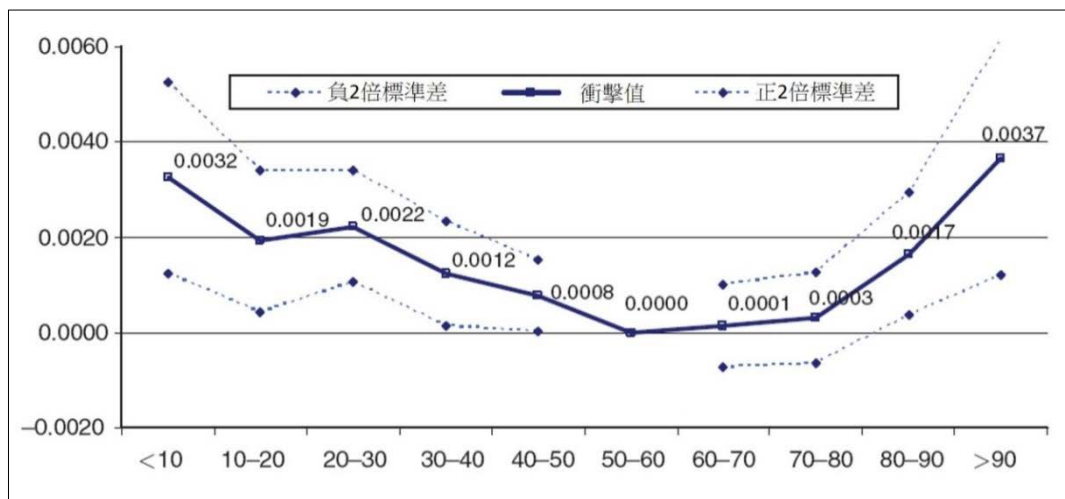


圖 8.5 溫度與住宅部門能源消費之 U 型曲線關係 (以美國為例)。(資料來源：摘自 Deschênes and Greenstone 2011)

綜合前述文獻，Dell et al. (2013) 認為，氣候變遷對能源消費的影響，在不同所得之地區將有不同結果，對高所得國家而言，溫度上升導致的能源消費增加，對 GDP 並無顯著影響；然而對於貧窮地區而言，能源消費增加將提高部門之經濟損失，對 GDP 衝擊甚鉅。此外，能源需求提高可能加劇溫室氣體排放，形成惡性循環的現象。

台灣為自產能源匱乏的海島型國家，且高度仰賴化石燃料進口，然而化石燃料密集型的能源供應結構卻導致高碳排放。根據 IEA 統計，2011 年台灣 CO<sub>2</sub> 總排放量達到 2.65 億公噸，占全球排放量 0.84%，每人的平均排放量則達到 11.31 噸/人，遠高於全球平均 (4.5 噸/人) (IEA,2013b)。再加上台灣處於天然災害的高



風險區域，能源設施將容易因地震、颱風、水災等災害因素而承擔更高的風險（黃郁棻 2014）。為抑制氣候變遷的加劇，根據 WTO 有關貿易障礙的規定，對環保有例外條款，即基於環保考慮可對進出口物品課徵環保稅，但對外貿易卻是台灣的經濟的命脈，台灣出口占 GDP 高達七成，若受到歐盟等國家的貿易制裁，台灣經濟勢必遭受重大打擊（梁啟源 2008）。

### 8.3.2 供水及水利系統

水資源是生活必須且為人民福利及社會永續發展的核心，而水循環與氣候的變化是息息相關。供水及水利系統包括水庫、攔河堰、淨水廠、自來水系統、及水利系統等。水資源的不穩定性，將造成水力發電困難（柳中明 2011），甚而影響民生經濟。若極端降雨愈趨頻繁、暴雨量愈大，則可能導致洪澇，衝擊設施安全；而極端溫度的上升，亦會導致混凝土熱漲冷縮的程度超出所能負荷的限度，造成壩體扭曲、損壞、甚至潰決，引發嚴重的淹水災害。

此外，極端降雨過後，洪水夾帶之泥沙淤積，亦會影響水庫、淨水場等設施日後的供水功能。第六章 6.3.2 與 6.3.3 中已舉例詳述台灣在夏秋季之際的颱風與極端暴雨事件，經常因累積降雨量過大或挾帶泥沙，造成集水區土石沖刷與崩塌，淤積於蓄水設施，使水庫的容量減少，原水濁度也因而升高。除短期內會產生停水或實施分區供水之經濟衝擊外，也會造成長期的水資源調配能力降低。就自來水系統而言，其中的跨河管線可能因洪流衝擊或河床沖刷，導致損壞而影響供水，溫度上升亦容易導致用水量上升，使管線末端供水不穩定或無法供水<sup>8</sup>。

然而，國際間目前仍相當缺乏相關水資源與供水中斷對經濟衝擊之研究，少數如 Rose and Liao (2005) 以管線更換為水資源中斷之要素，估計出波蘭都會地區若用水系統管線更換，將造成各項產業 24~35% 的產值損失。該研究雖未討論氣候變遷因素，然如前段所言，氣候變遷對供水設施的損壞，亦可能導致諸如設備維修以致用水中斷之情形。

Liu (2011) 以歷史與社會的角度回顧台灣過去百年環境的變遷，在水資源概況方面，季節性降雨的變動對於台灣水資源利用有相當重要的影響，然而，過去三十年間，溫度上升與降雨減少的情形愈趨明顯，未來水資源短缺的情況將更加

<sup>8</sup> 整理自「氣候變遷調適政策綱領」，國家發展委員會。



嚴重。圖 8.5 顯示農業、民生、及工業等部門的水資源用量比例，整體而言，農業用水量比例最高，其比例由 91.1% 遞減至 2000 年的 69.1%，爾後小幅上升至 2009 年的 74.2%；在民生用水方面，用水量比例在 1971 年僅為 3.1%，後增加至 20.7%，至 2006 年降低為 17.6；工業部門消耗的水量由 5.7% 增加至 10.5%，然 2001 年後開始逐年遞減，至 2009 年為 8.1%。

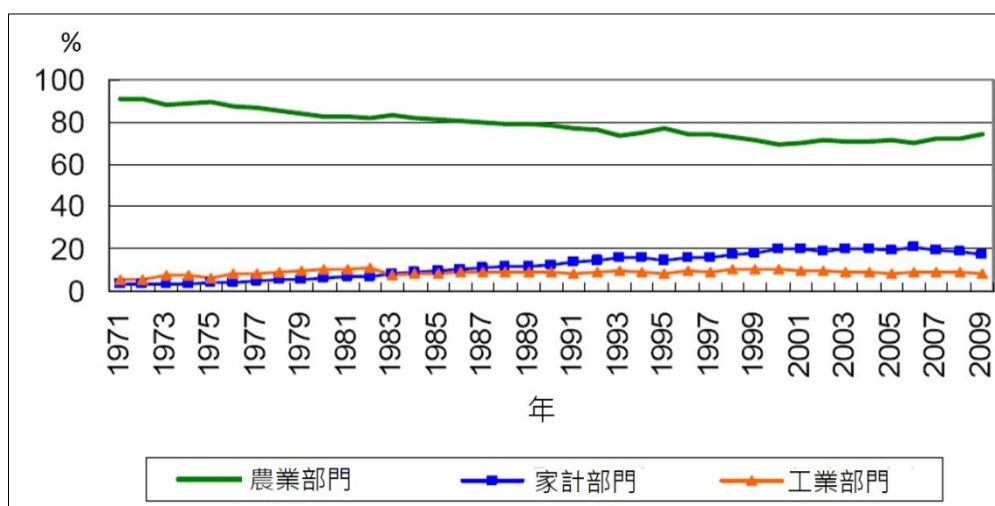


圖 8.6 台灣 1971~2009 年各部門用水比重趨勢 (資料來源:本圖摘自 Liu (2011))

台灣於 1896 年興建第一座自來水廠，自來水用水人口統計如圖 8.6 所示。1930 年，自來水供應率僅為 9.2%，二次大戰期間，雖有自來水供應設施遭摧毀，供應率仍上升至 16.3%，爾後逐年上升，2010 年達 92.3% 的供應率，然而這也代表仍有 8% 的人口無自來水供應。

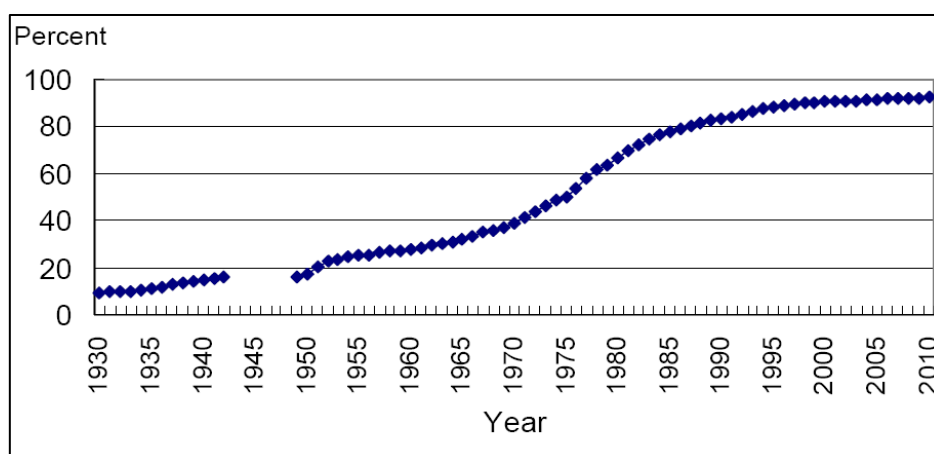


圖 8.7 台灣 1930~2010 年自來水供應人口 (資料來源:本圖摘自 Liu (2011))

近年台灣河川堤防等水利設施損毀情形如圖 8.7 所示，根據經濟部水利署統計，河川堤防等水利設施損毀原因多來自於颱風或暴雨，如 2009 年因莫拉克及芭瑪颱風，堤防及護岸損毀 128,627 公尺，為自 1999 年以來最嚴重損害，此外，2001 年桃芝與納莉颱風、2008 年之卡玫基、鳳凰、辛樂克及薔蜜颱風，亦造成堤防及護岸設施嚴重損毀。水利設施之損害不但將導致後續修繕之經濟損失，河堤倒塌亦將使水質汙染物增加，連帶影響社會整體生產力及居民生活品質 (DOE, 2012)。

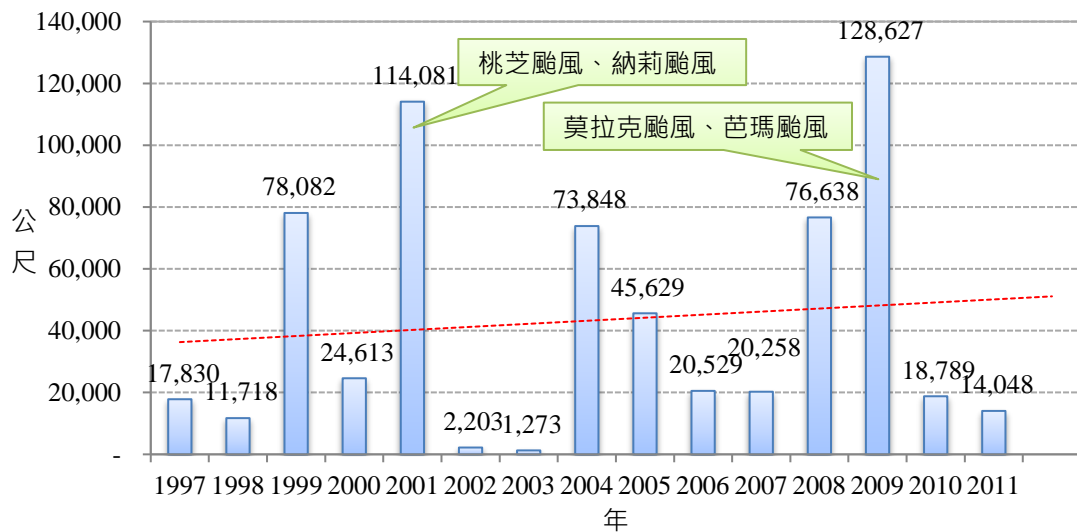


圖 8.8 台灣 1997~2011 年河川堤防及護岸損毀情形 (資料來源：經濟部水利署水利統計簡訊)

### 8.3.3 交通與通訊部門

#### 交通部門

交通設施包括港口、鐵路、公路及橋梁、及機場等。因地球暖化造成的水位上升會使颱風波浪增強，影響港灣構造物的結構安全，影響港埠營運作業；鐵路系統因降雨與強風增強，平原低窪地區容易造成淹水，山區易受到邊坡滑動崩塌的威脅，甚至造成鐵路系統中斷；山區公路建設多沿河谷開鑿構築，在暴雨作用下，容易受到邊坡滑動崩塌的威脅；亦常因河谷沖蝕加劇而危及道路路基，造成公路系統中斷，若是區域排水無法負荷暴雨雨量，將造成機場跑道淹水，影響班

機起降。另外，在暴雨侵襲下，也會破壞機場設施，如場站、跑道等<sup>9</sup>。

極端事件導致交通設施的破壞，不但延長人民的通勤時間，嚴重將會中斷運輸，影響生產鏈運作，降低生產力 (DOE, 2012)。因此，文獻中評估氣候變遷對交通設施之影響時通常需包括：

1. 設施損壞之直接成本 (如 2007 年孟加拉洪水造成交通設備損壞，估計損失約 363 百萬美元，為基礎建設損失之 34%，同年發生於印尼的洪災使運輸部門損失佔基礎建設損失比例達四分之一，約 35 百萬美元 (Regmi and Hanaoka 2011)；
2. 運輸成本及價格之提高 (Jonkeren et al. 2013; Jonkeren et al. 2007; Millerd 2005; Olsen et al. 2005; Riza et al. 2005)；
3. 因交通或運輸中斷導致的經濟成本 (De Leeuw van Weenen et al. 2011; MacKenzie et al. 2011)。

然而，相關經濟評估較多著重於水路交通，陸路運輸相關研究且將經濟衝擊量化者並不多見，如 Koetse and Rietveld (2009) 綜合過去研究，探討氣候變遷對交通部門之衝擊，其中在經濟成本部分，如 Suarez et al. (2005) 以情境模擬探討極端事件對美國波士頓都會區之交通衝擊，推論海平面上升導致的洪水或極端降雨將導致旅途取消或交通壅塞，若每年海平面平均上升 0.3 公分，且極端降雨事件增加 0.31%，則自 2000~2100 年，將有 80% 的航班取消。然而 Koetse and Rietveld (2009) 認為，100 年來海平面上升 30 公分之估計，可能低估了氣候變遷的影響。此外，Changnon (1999) 以芝加哥為研究地區，說明極端事件如洪水對公路影響甚鉅，僅 1996 年之洪災便造成 46,000 名通勤族連續三天無法到達芝加哥、超過 300 個航班被迫誤點甚至取消、大量橋墩毀損等，估計造成經濟損失約 48 百萬美元。

極端事件之影響亦可能表現在用路人行為的改變，如 Martin et al. (2000) 的研究結果顯示，用路人在氣候潮濕時會減速 10%，如同時遇到道路泥濘，將減速 25%；Hranac et al. (2006) 以 2002~2004 年美國西雅圖等都會區之交通與天氣數據進行估計，發現微雨會導致用路人減速 3~9%；Maze et al. (2006) 則指出，降雨、下雪、及空氣能見度低將會使交通流速分別降低 6%、13%、及 12%。因氣

<sup>9</sup> 整理自「氣候變遷調適政策綱領」，國家發展委員會。

候事件導致的交通阻塞，除了導致經濟活動延遲甚至中斷，導致經濟損失外，亦可能引發陸路交通之安全議題，如 Andrey et al. (2003) 指出，以加拿大城市為例，極端降雨發生的頻率提高，可能導致交通事故發生率高出 75%，死傷人數高出 45%。

而在水路交通運輸方面，氣候變遷對河、海水位的改變，也可能影響國內海運發展，以歐洲為例，2003 年夏季為自 15 世紀以來歐洲最炎熱季節，Jonkeren et al. (2007) 以德國考布鎮 (Kaub，萊茵河遊船常經過的小鎮之一) 之水運價格、船舶噸位、及萊茵河水位等資料，以及迴歸分析估計發現當水位過低時，水運價格將大幅上漲，而水位與船舶乘載率 (load factor) 間亦具有同向關係，結果指出，當水位低於 180 公分時，船舶乘載率可能降低超過 50%，航運價格漲幅亦達高達 75%。在福利損失方面，Jonkeren et al. (2007) 福利函數估計出 1986~2004 年歐洲因水位過低造成的損失每年平均約 28 百萬歐元 (約新台幣 1,092 百萬元)，其中以 2003 年損失最高，達 91 百萬歐元 (約新台幣 3,550 百萬元)<sup>10</sup>。

Jonkeren et al. (2013) 綜合過去文獻，提出 2003 年歐洲乾旱，導致西歐及北歐地區損失估計達約 480 百萬歐元，未來歐洲受到夏季乾旱影響，造成水位過低，限制國內水運之能力與市場的情形將愈趨嚴重，運輸價格亦將持續飆漲，研究指出，運輸價格上漲幅度將達 2 倍之多，且長期而言，氣候變遷縮減水運空間的結果，將導致航線甚至經濟活動的重分配。

觀察台灣交通運輸部門因極端事件衝擊之損失，根據氣象局資料庫<sup>11</sup>統計，歷年來氣候極端事件 (包括乾旱、寒害、颱風、豪雨等) 對於交通設施的經濟損失以公路設施損害最多，佔總交通設施損失金額高達 88.3%，其次為鐵路 (10.5%)、及港務設施 (1.2%) 等，整體並有逐漸增加之態勢。2009 年，莫拉克颱風導致台灣東部及南部公路系統嚴重破壞，交通設施損失金額為歷年之冠 (圖 8.9)。

在交通部門的衝擊評估上，雖然可估計極端事件之直接衝擊，然而整體社會經濟之間接衝擊通常是複雜而難以估計的，且由於都會區集中多數經濟活動，並整合各產業部門與基礎設施運作，因此其間接衝擊相對重要。國際城市如倫敦、巴黎、紐約等，皆高度依賴大眾運輸，且深受地鐵系統中斷威脅，在交通衝擊評

<sup>10</sup> 以 2003 年匯率 39.0146 計。

<sup>11</sup> 台灣氣象災害統計 <http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/hazards/meteo-hazards-main.htm>，中央氣象局。

估方面必須建立整合評估系統，納入所有影響經濟運作之元素及其關係，才能進行全面性的評估 (Hallegatte and Henriet 2011)。

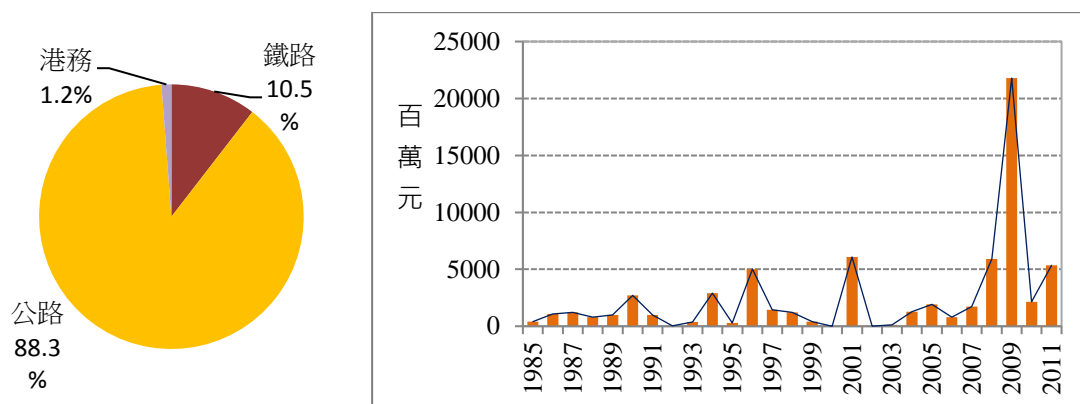


圖 8.9 台灣 1985~2011 年氣候因素導致之交通設施損失及趨勢 (資料來源：侵台颱風資料庫，中央氣象局)

## 通訊部門

目前國際間相當缺乏有關氣候變遷對於通訊系統影響之研究，根據「氣候變遷調適政策綱領」，暴雨對於電磁波容易產生干擾現象，影響通信品質，若發生頻率持續提高，所導致的淹水、土石流沖刷基地台基座土壤，將造成傳輸纜線斷裂及基地台倒塌，間接影響通訊系統正常運作或產生通信中斷事故。此外暴雨若造成淹水，將損壞低樓層機房之通信設備，而高溫氣候亦會造成通信設備使用年限縮短，增加電信業者營運成本<sup>12</sup>。

通訊部門受氣候變遷之衝擊是既深且遠，通訊系統與交通及能源等基礎設施間具有緊密結合的關係，氣候變遷造成的通訊影響，有時會導致交通或能源系統中斷。台灣是相當高度依賴網路通訊之經濟體系，近年台灣使用網路人口大致呈逐年穩定成長的趨勢，至 2012 年，台灣使用網路人口佔總人口比例已高達 68.4% (表 8.1)，網路交易金額亦逐年上升，至 2010 年已達新台幣 3,583 億元 (圖 8.9)。若氣候變遷影響路通訊，如 Cambell (2012) 及 Defra (2011) 所述，對於近年高度依賴網路進行經濟活動 (如網路購物、股市網路下單、線上訂房等) 的台灣而言，將是一大衝擊。

<sup>12</sup> 整理自「氣候變遷調適政策綱領」，國家發展委員會

表 8.1 台灣 2004~2012 年網路使用人口統計

年	使用網路總人口數* (人)	年成長率 (%)	佔總人口數比例 (%)
2004	11,598,787	-	51.1%
2005	13,801,867	18.99%	60.6%
2006	12,789,114	-7.34%	55.9%
2007	13,268,592	3.75%	57.8%
2008	13,563,102	2.22%	58.9%
2009	14,188,292	4.61%	61.4%
2010	14,669,915	3.39%	63.3%
2011	15,389,527	4.91%	66.3%
2012	15,936,977	3.56%	68.4%

\*含寬頻、無線、及行動上網。

資料來源：財團法人台灣網路資訊中心。

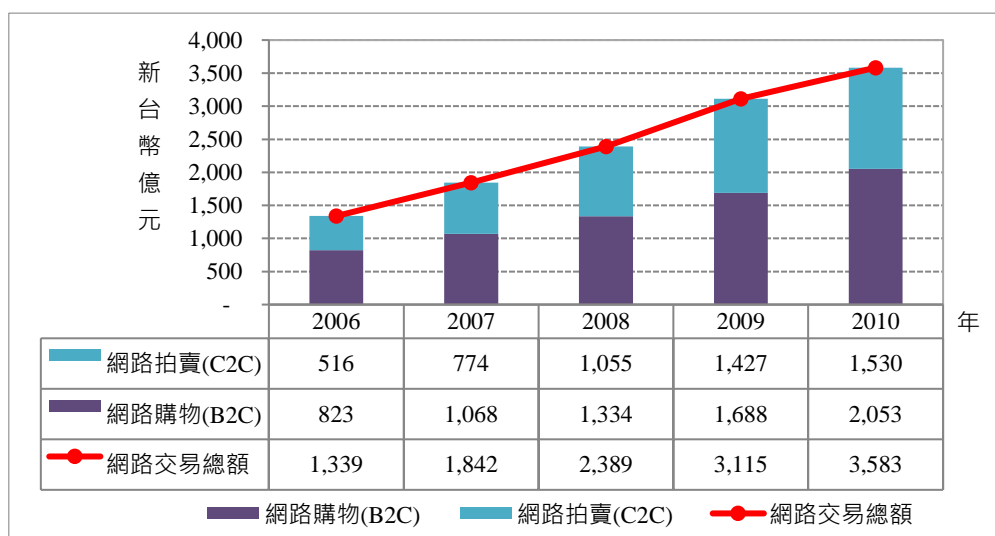


圖 8.10 台灣 2006~2010 年網路購物市場規模 (資料來源：Market Intelligence & Consulting Institute, MIC)

在某些情況下，氣候變遷導致電力中斷引發的通訊問題，亦會干擾部分依賴通訊或資料儲存技術的產業，如電信業、網路訂房系統、生物科技、電子製造業、及金融業等 (Campbell 2012)。聯合國報告亦指出，小型的發展中國家由於資源相對少及地理位置限制，以及缺乏足夠規模與競爭力之經濟活動，其通訊及交通成本相對較高，面對自然災害的脆弱度亦較高 (UN 2008)。



以休士頓交通管理暨緊急應變中心 (Houston TranStar, 以下稱該中心) 為例, 該中心當地主要的交通運輸管理系統, 其中包括 730 架道路監控的閉路電視錄影機、動態消息系統、及同步交通信號等, 皆高度依賴通訊技術和電力。然而 2005 年的颶風麗塔 (Rita), 由於多達三百萬居民試圖撤離, 該中心通訊服務系統在颶風登陸期間達到 1,400 萬人次造訪, 系統負荷不堪導致中斷; 爾後 2008 年颶風艾克 (Ike) 導致高達 90% 的交通訊號錯亂, 耗時三周才予以修復 (DOE 2012)。

此外, 英國環境、糧食暨農村事務部 (Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra) 曾於 2011 年的報告指出, 氣候變遷導致的高溫, 可能縮短無線網路的訊號距離, 而降雨或濕度的改變則會影響訊號接收, 降低無線網路的穩定性及訊號品質 (Defra 2011)。

## 8.4 氣候變遷對產業部門之衝擊

氣候變遷會有三個方式影響產業部門: (一) 影響經濟活動中的投入的價格和數量; (二) 製造及生產過程的改變, 如對能源需求的改變等; (三) 氣候變遷也在消費者之需求上產生了影響。觀察自 1963 年後台灣的產業結構, 可知在 1980 年代, 由於各項經濟建設及方案起飛, 工業佔 GDP 比例大幅提高, 然而此後幾乎呈逐年下降的趨勢; 農業佔 GDP 比例更是逐漸式微, 至 2012 年僅為 1.78%, 在台灣顯見已處於次要地位; 反觀服務業在 1990 年後的比重逐年上升, 2000 年後雖有停滯現象, 然相比於農業及工業, 其 2012 年佔 GDP 比重仍高達 69.14%, 顯示服務業仍是目前台灣 GDP 組成的重要來源 (圖 8.10)。

2009 年莫拉克颱風重創台灣, 造成的經濟損失高達 904.7 億元, 約占 GDP 的 0.75%<sup>13</sup>, 嚴重的經濟損失及龐大的災後重建預算, 加上前一年 (2008 年) 金融海嘯衝擊, 導致該年經濟成長率跌至 -0.81%。莫拉克風災對產業導致的經濟損失, 以農業及觀光業為主, 其中農作物損失高達約 101 億元, 農田損失亦達約 7,651 萬元。根據國家災害防救科技中心報告指出<sup>14</sup>, 農作物多為短期作物, 且可透過許多公私部門申請救助, 雖然其損失金額雖較農田及生產設備龐大, 但就長期而言, 農田生產設備之損害修繕需時, 且修繕過程亦可能影響生產過程, 損

<sup>13</sup> 「莫拉克颱風之災情勘查與分析」, 國家災害防救科技中心。

<sup>14</sup> 「莫拉克颱風之災情勘查與分析」, 國家災害防救科技中心。

害影響可能反而更為深遠，顯見氣候變遷對產業影響實不容小覷。

本節除介紹氣候變遷對臺灣農業、工業、製造業、服務業等各部門的直接影響外，也將說明氣候變遷對服務部門所造成的影響，多半來自於產業特性對氣候變化之敏感性，如觀光旅遊等服務業。在市場需求方面，旅客會因氣候改變而選擇改變旅遊之地點、時間、以及休閒的方式。產業的調適策略多半會反應在成本和價格的變化，如物流、躉售、零售商通常會藉著改變儲藏和運輸的方式來做氣候調適，健康醫療也會因極端氣候（高溫）所導致之傳染疫病防治與保健需求之增加而調整資源整備與人力配置，海平面上升造成海邊活動受限，旅遊業者必須改變營業價格或增加新的室內活動項目來留住遊客。

此外，本節亦將討論在貿易自由化、高度分工與全球佈局之趨勢下，氣候變遷如何透過關聯產業、供應鏈及跨國貿易，產生間接的經濟影響，且長期而言，這些間接的影響很有可能會超過直接影響，如 Okuyama (2012) 即認為，製造及服務業是位於生產鏈的末端，在間接影響的結果下，其受到氣候變遷的衝擊將大於農業或礦業等位於生產鏈開端等產業。

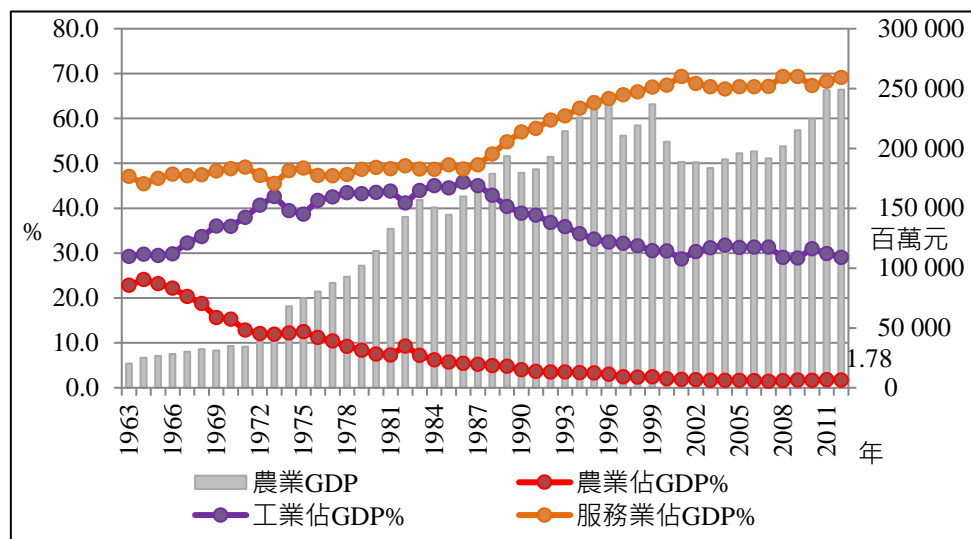


圖 8.11 台灣 1963~2011 年國內生產毛額之組成 (資料來源:行政院農業委員會, 本章整理)

### 8.4.1 農業

根據國際農業發展基金 (IFAD, 2008)，在經濟發展情況不變下，全球的平均

農業生產力至 2080 年將降低 10~25%。而對於部分主要依賴降雨的農業國家來說，其農業生產力甚至可能降低 50%，而在開發中國家，小農在面對氣候變遷衝擊時是最為脆弱的 (Easterling et al. 2007)。台灣的農業型態以小農為主，無論資源或是人力，皆無法與國外大型農企業競爭，面對氣候變遷影響時的脆弱度較高，調適能力亦相對不足。IFAD 的評估報告指出<sup>15</sup>，氣候變遷對小農型態的農業環境威脅甚鉅，其衝擊可能包括：(一) 作物歉收的機率增加；(二) 牲畜發生疾病及死亡率提高，或只能低價售出；(三) 農業資產賤價銷售，造成農民外移或更加依賴食物援助；(四) 間接影響人民健康，並可能衝擊未來人類發展。

溫度上升所帶來的社經影響會隨地區而不同，高溫會降低作物產量的地區包括撒哈拉以南的非洲地區 (Sub-Saharan Africa, Schlenker and Lobell 2010)、印度 (Guiteras 2009)、及墨西哥 (Feng et al. 2010) 等；但亦有研究指出，溫度與農作物產量兼具有非線性關係，如 Welch et al. (2010) 指出，在部分亞洲國家，若低溫上升，對作物產量將有正面影響，但如果高溫繼續升高，反而會降低作物產量。

農業受氣候變遷衝擊的因素主要包括溫度及降雨，且降雨的影響程度較溫度來得大 (Chang 2002)，而隨作物種類或種植地區不同，受到的衝擊亦有所差異 (Chang et al. 2012)。綜觀過去文獻，農業受氣候變遷之經濟衝擊主要反映在 (一) 生產資源及產值損失；(二) 糧食供給及價格改變等二部分，以下依次說明。

首先，在生產資源及產值損失方面，依據 Dasgupta et al. (2009) 的估計結果，可得知未來海平面若上升 1、2、3、4 及 5 公尺，台灣的可耕地面積將分別減少 1.052%、1.813%、2.719%、3.854% 及 4.91%，造成國內農業產值減少 635 百萬元至 3,720 百萬元，而社會福利 (或經濟損失) 更高達 855 百萬元至 4,123 百萬元。值得注意的是，上述之估計僅包括農作物及畜產部分，若納入沿海養殖漁業的部分，將加劇海平面上升之衝擊。此外，Chang (2002) 以台灣農業部門模型模擬 11 種氣候變遷的情境，說明氣候變遷將衝擊財富分配，生產者受到的衝擊將較消費者來得大。

呂學榮等 (2005) 指出氣候變遷造成週邊水溫的暖化，對沿近海漁業之主要衝擊包括重要洄游魚種來游量的減少，造成烏魚、鯖鱈等之漁獲量日益減產；暖化現象造成漁場遞漸向北推移，北方海域漁船作業空間將受到嚴重壓縮；沿岸魚種產生交替現象，冷水性魚種逐漸被暖水性魚種取代之勢。台灣沿近海漁業資源

<sup>15</sup> IFAD 2008。

因氣候變遷因素而有結構性轉變之虞。

其次，氣候變遷加劇的結果，亦將間接導致原物料及後端商品之價格上漲或供給改變 (Ruth et al. 2007)，原因之一在於，氣候變遷引發溫室效應及石化能源供應短缺，導致各國在能源政策制定上，在供給面部分致力增加自主能源，積極轉向選擇替代能源，生質能源即成為重要選項之一。然而，提高生質能源生產將造成糧食供應短缺、價格提高等衍生問題 (Muller et al. 2011)。台灣經濟研究院曾指出，自 2006 年中開始以至 2007 年，以往長期供應充裕、價格穩定的小麥、玉米及黃豆等大宗穀物，出現全球性供需失衡、價格不斷創歷史新高的現象，2008 年初更進一步出現糧食危機的警訊<sup>16</sup>。

然而，氣候變遷對農作物之衝擊並不一致，以溫度而言，作物在不同的生長階段皆有其最適溫度範圍，以及可忍受的高溫上限 (陳守泓等 2005；Kimball et al. 2002)。雖然氣候暖化導致的二氧化碳濃度增高，對於糧食作物具有增產效果，但同時亦會提高昆蟲越冬的存活率，以及熱帶地區害蟲的北移，反而降低糧食作物產量。此外，溫度升高除了不利於水稻、多數蔬菜、及溫帶果樹的生產外，也將導致病蟲害損失增加，及減少畜產品及漁產品的產量 (陳守泓等 2005；Rosenzweig et al. 2000)。

Chang (2002) 探討台灣 60 種不同作物對於氣候變遷之影響，發現稻米受到高溫及強降雨之衝擊最鉅，而其他農作物如黃豆、紅豆、甘蔗，及果品類如香蕉、鳳梨、葡萄、蘋果等，亦不利在高溫下生長，惟番茄便偏好較高的生長溫度。Chang et al. (2012) 的結果亦指出，在各種氣候模擬情境下，當降雨增加幅度大於溫度上升幅度時，將導致地瓜、香蕉、葡萄柚、及豌豆等作物減產，卻會提升馬鈴薯、胡蘿蔔、薑、蔥等作物產量。若進一步考慮未來海平面上升 1 公尺的情境下，以豆科作物 (花生、黃豆)、特殊作物 (甘蔗)、及果品類 (蓮霧、芒果) 種植於沿海的作物之價格漲幅最大，分別為 6.13%、7.10%、及 2.24%，其他作物價格影響幅度雖不大，但若無近一步調適作為及配套措施，作物減產及價格上漲情形將會持續加劇。

在台灣農業調適作為方面，陳守泓等 (2005) 提出重要的調適決策包括 (一) 整合農地政策以兼顧糧食安全、生態保護、產業發展、和國際貿易；(二) 調整作物生產制度，以全盤考慮資源有效利用的均衡性，如 Lur et al. (2009) 發現，農

<sup>16</sup> 「從能源危機至糧食危機——生質能源發展的思辯」，台灣經濟研究院。

民為因應年平均溫度上升造成米質不穩定的問題，農民在田間的栽培管理上，已因應氣候變遷進行調整；(三) 建立農地溫室氣體排放清冊與監測技術，進行減量措施成效評估，推動溫室氣體排放權交易；(四) 推動精準農業以減少溫室氣體排放，減少水資源浪費，減少農業非點源污染，提高作物生產效率，協助補強目前我國糧食生產的脆弱之處。

## 8.4.2 製造業

以目前研究趨勢而言，氣候變遷多歸咎於製造業排放的溫室氣體，相關研究亦多為探討製造業如何導致氣候變遷，然而製造業受氣候變遷影響之衝擊往往連帶影響整體供應鏈。2009 年莫拉克颱風造成南部地區的製造業及服務業重大損失，受損嚴重地區集中於台南、高雄及屏東等縣市，受災廠商超過 700 家，廠房損毀、機台泡水損失，商圈及特色產業多被摧毀，廠商損失合計約新台幣 42.75 億元<sup>17</sup>。

國際間有關氣候變遷對製造業衝擊之研究相當缺乏。製造業所受之衝擊主要來自於氣候變遷導致電力或水力中斷的間接效果，包括設備損壞、減產、及停工等，其中連續流程製造業 (Continuous Process Manufacturing, CPM) 通常需要在機器中連續引進原料，機器在生產過程中常處於高溫，為最受電力影響產業之一 (Campbell 2012)，行業包括如造紙業、煉油業、橡膠或塑料業、玻璃製造業等。

美國電力研究機構 (Electric Power Research Institute, EPRI) 報告指出，若惡劣天候造成美國製造業廠房電力中斷一小時，則平均每家產業將損失 \$7,795 美元。Cachon et al. (2012) 以 1994~2005 年間美國 64 家車廠之每週生產資料，來探討惡劣天氣對於汽車組裝產業生產力之影響。結果發現，極端天候對產量呈現負面影響，舉例而言，若一周有六天以上日均溫超過 90°F，則當週生產力將降低 8%。此外，就車廠分布的地理位置而言，最少與最常發生天災事件的車廠其生產力平均下降分別為 0.5% 及 3.0%，整體樣本之生產力在十年間則平均減少 1.5%。

就台灣而言，根據柏雲昌 (2014) 的回顧，過去共進行三次產業缺電成本之調查研究，各約間隔十年左右。第一次為 1989 年，許志義等 (1990) 針對台灣的工業部門進行了兩次缺電成本問卷調查。調查結果分別為 64.8 元/度與 78.3 元/

<sup>17</sup> 「莫拉克颱風災後重建區產業重建計畫」，行政院莫拉克颱風災後重建推動委員會。



度，而總體經濟模型所推估之間接成本為 11.18 元/度。十年後，張建隆、林正義、吳再益等 (2002) 於 1999 年進行了一次缺電成本的調查，調查結果顯示，工業部門缺電成本每度約 118~690 元，服務業部門為 20~353 元/度。惟該次調查僅針對特高壓用戶，且亦無使用經濟模型推估平均缺電成本，故無法與其他兩次調查相互比較。2011 年楊豐碩、陳士麟、林師模等 (2011) 之調查結果顯示，工業區平均缺電淨損失約 45~1,043 元/度 (有事前通知) 與 126~1,574 元/度 (若事前無通知)，其間的差異頗大。2014 年行政院原子能委員會委託柏雲昌 (2014) 所做的估算可能之缺電成本，如以產值估計，缺電成本為 2.54~6.62 元/度；如以附加價值估計，缺電成本僅 1.31~4.01 元/度，皆小於以往問卷調查所推估之缺電成本。

就產業供應鏈方面，亞洲國家有許多為歐美等國的代工大廠，極端事件的頻率及嚴重程度增加，不但影響代工產業供應鏈，亦造成外匯損失。對於製造業而言，極端氣候事件將造成企業不得不面臨資源短缺，及更高的投入成本 (如能源、水、原物料等)，亦加速物料、設備及基礎建設的損壞 (UKCIP 2010)。綜合目前台灣研究，有關氣候變遷對於製造業之衝擊大致可分為幾項<sup>18</sup>：

- 廠區受損

如 2010 年凡那比颱風侵台，豪大雨造成南部地區淹水，不但重創區內石化重鎮，亦造成高雄縣仁武及大社等工業區之嚴重損失；2012 年 612 水災導致桃園縣大園、龜山、中壢等工業區受創嚴重。

- 供水中斷

2004 年艾莉颱風造成桃園地區因原水水質濁度過高而缺水 21 天，導致縣內半導體業、化學製品業、食品業等，因製程改變、訂單移轉、交貨延誤賠償、購水支出、趕工成本等，造成總損失金額約 43 億元；2012 年 6 月洪水沖毀集集攔河堰南幹渠，六輕面臨斷水威脅、停爐問題，也牽動化纖原料、紡織與印刷電路板等產業的原料供給。

- 供電不穩或中斷

如 1999 年台南山區大雨，引發山崩及地層滑動，造成輸電線鐵塔倒塌，345

---

<sup>18</sup> 部分摘錄自「製造業氣候變遷調適指引」，經濟部工業局，  
<http://proj.tgpf.org.tw/ghg/files/publish/%BBs%B3y%B7~%AE%F0%AD%D4%C5%DC%BEE%BD%D5%BEA%AB%FC%A4%DE.pdf>。



仟伏輸電線同時跳脫，導致南北電力失衡，中、北部地區電壓瞬間下降，引發各發電機組連鎖跳脫，導致台灣本島大部分地區停電<sup>19</sup>，嚴重影響各項經濟活動。

- 供應鏈中斷

2011年11月泰國水災，沖垮全球硬碟供應鏈及造成汽車零件停止供應，導致全球供應鏈中斷，亦造成我國筆電產業面臨硬碟價格翻倍上升而於市場大量掃貨。全球最大再保公司之一的瑞士再保公司 (Swiss Re) 評估報告指出，印度、泰國、印尼、馬來西亞、及中國等，皆為高洪災風險國家，其廠房卻對洪水與暴風侵襲的抵抗力不足 (Bevere et al. 2012)；然而，這些國家都是台灣製造業供應鏈中的重要環節，若氣候變遷衝擊，將威脅台灣製造業的生產。

- 原物料成本上升

2010年澳洲水患推升了國際煤炭價格；同年俄羅斯的熱浪造成當地26%的小麥田損毀，導致穀物禁止出口，引發全球穀物價格上漲；2012年夏天，美國遭受半個多世紀以來最嚴重的熱浪與旱災，使得小麥、玉米、大豆等作物產量受影響。因其為全球糧食作物生產重地，導致國際糧價上漲，亦造成台灣飼料廠與畜牧業者成本壓力。

### 8.4.3 服務業

服務業為台灣最重要的產業之一，亦是GDP的主要來源，根據統計<sup>20</sup>，2012年服務業佔GDP百分比達58.0%。綜合氣候變遷對服務業的直接影響，可分為金融 (Shiffman 2005)、觀光 (Scott et al. 2007 ; Berrittella et al. 2006 ; Hamilton et al. 2005)、及醫療產業等三類 (Knowlton et al. 2011)，以下依序說明。

- 金融業

金融產業影響部分，根據行政院環保署資料，氣候變遷對金融業影響包括：(一) 銀行業，目前銀行業仍以不動產 (土地及建物為主) 及動產 (車輛、機器設備) 為主要擔保品，極端氣候引起的天然災害，相對會連帶影響銀行業所徵提之擔保品價值及存在與否；(二) 保險業，為可轉移氣候風險之產業，該產業因氣候

<sup>19</sup> 「輸電線路災害防救業務計畫」，台灣電力公司。

<sup>20</sup> 中華民國統計資訊網，行政院主計處。

變遷衝擊所致之損失，取決於其他產業對氣候變遷衝擊之損害防阻成效；(三) 證券期貨業，受劇烈天氣（如颱風）可能造成市場休市等影響。回顧國內外文獻，金融業中以保險產業與氣候變遷關係衝擊討論最多，然多探討保險業作為災害風險管理工具之可行性（Botzen and Bergh 2012；姚大鈞等 2011；Dlugolecki 2008；Shiffman 2005）。然而，根據全球最大再保公司之一的 Munich Re 統計，在人口較為稠密的地區，地震與氣候災害，使 2011 年的保險理賠高達 3,800 億美元，當中以亞洲與北美洲最高，為損失最慘重的一年，且 90% 的事件皆來自於氣候災害，而 70% 的經濟損失發生在亞洲。此外，若與過去相比，1980 年代每年平均發生的天然災害事故約 300~400 件，但在 2000 年之後，天然災害事故達 600~800 件之多，在 2007 年甚至超過 1,000 件<sup>21</sup>，可見保險雖可能有助災害風險轉移，然其本身所受之衝擊亦不容忽視。

國內少數有關保險業受災害衝擊研究（如蔡學琳 2009）指出，氣候變遷對保險業的危機在於其所致的巨災風險將大幅影響保險費率，或使保險業者對天然災害事故喪失承保意願。傳統保險商品以「損害補償原則」為基礎，較少考慮到氣候變遷增加的天氣風險因子（Dlugolecki，2008）。異常氣候所致巨災風險損失頻率雖低，但是一旦發生巨額損失，將造成原保險人嚴重虧損、資本額不足、信用評等等級下滑甚至倒閉等不利情況。再者，台灣對再保險的依賴程度相當高。若再保險人資本額受理賠侵蝕，將引發續年度承保能量不足及再保險費率提升的問題，全球保險市場將無法避免地受到波及。

### ● 觀光業

觀光業對經濟的貢獻在於創造觀光產值、促進消費、及間接增加就業機會。除了可藉由多項產業商機製造財富，觀光活動也可讓民眾在工作之餘，從事休閒育樂活動，並能與自然資源、商務活動結合，進一步透過觀光交流，展現一國的人文內涵、經濟實力及基礎建設現代化程度，對改善整體環境、提升國家文化素質均助益匪淺<sup>22</sup>。

根據世界旅遊委員會（World Travel & Tourism，WTTC）報告，2013 年台灣旅遊業觀光收入達新台幣 7,671 億元，對 GDP 貢獻達 5.3%，並創造約 91 萬個就

<sup>21</sup> Munich Re Press Release, <http://www.munichre.com/en/media-relations/publications/press-releases/2012/2012-01-04-press-release/index.html>, 4 Jan 2012.

<sup>22</sup> 「台灣觀光產業的現況與未來發展」，譚瑾瑜。財團法人國家政策研究基金會，科經(研)094-023 號，<http://old.npf.org.tw/PUBLICATION/TE/094/TE-R-094-023.htm>。

業機會，佔總就業機會 8.4%<sup>23</sup>，並吸納投資 1,624 億新臺幣，佔總投資額 5.8%，顯見觀光產業對台灣之重要性。

然而，氣候變遷對觀光產業之衝擊是潛在而緩慢的，並非短期可見 (Scott et al. 2007)。近年來，台灣觀光外匯收入逐年攀升，來台旅客亦不斷增加 (圖 8.11)，然而氣候變遷引發的極端事件，如 2009 年莫拉克颱風重創許多知名觀光景點，如阿里山、知本溫泉等，其硬體結構損失方面高達約 19.3 億元，其中國家風景區災損約 8.9 億元，且多家旅館受到損害，旅宿業者損失約 4.7 億元，總損失高達 105.3 億元。除了建物及硬體設施的損害外，屏東、高雄、台南、嘉義、南投及台東等縣市景點受創，鐵公路、橋樑等交通設施多處受損，災情報導及同理心因素影響國人出遊意願，2009 年 8 月國民旅遊市場與 2008 年同期比較，旅遊人次下降比率約 6.99%<sup>24</sup>，影響深遠。

檢視近年國人出國旅遊之目的地，可知自 2006 年，亞洲國家所佔的比例開始明顯增加，爾後幾乎是逐年提高；反之，美洲國家受到的青睞程度則不如以往，歐洲國家的旅遊人口亦小幅縮減，其中雖有經濟景氣問題，然近年歐美國家頻繁的極端事件如暴雨、颶風、寒流等，可能亦是降低旅客意願的原因之一 (圖 8.12)。

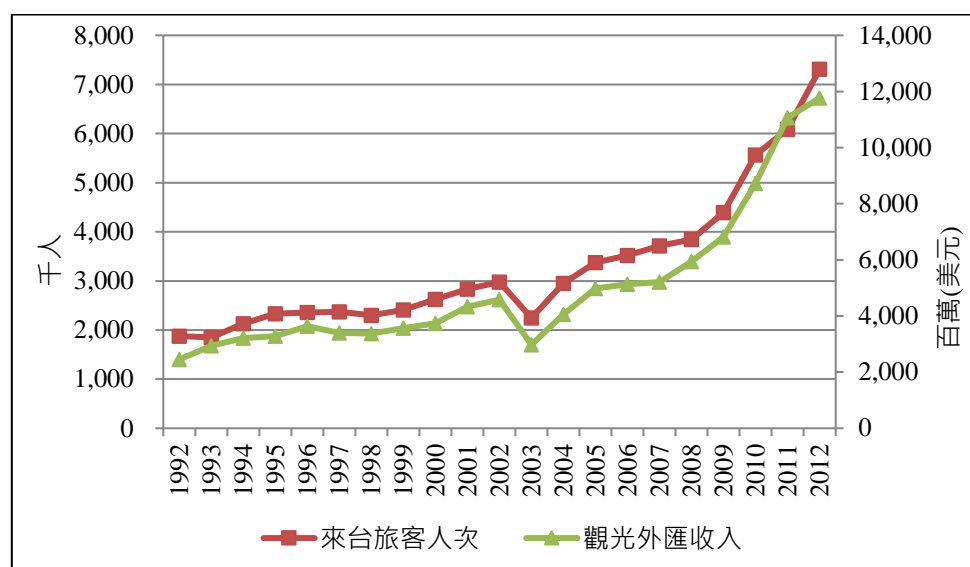


圖 8.12 台灣 1992~2012 年來台旅客人次及觀光外匯收入

(資料來源：歷年觀光外匯收入統計，交通部觀光局)

<sup>23</sup> 包括直接創造約 27 萬個就業機會(佔總就業機會 2.5%)、間接創造約 64 萬個就業機會(佔總就業機會 5.9%)。

<sup>24</sup> 「莫拉克颱風災後重建區產業重建計畫」，行政院莫拉克颱風災後重建推動委員會。

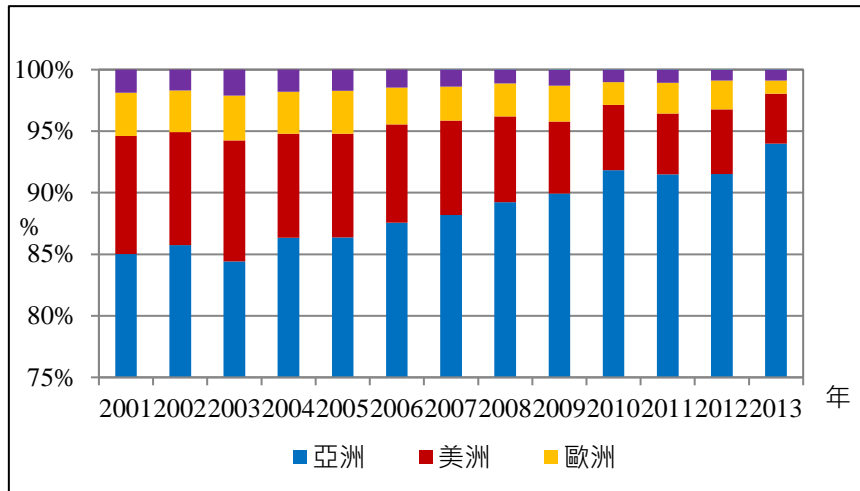


圖 8.13 台灣 2001~2013 年國人旅遊目的地佔總旅遊人數之比重變化

(資料來源：中華民國統計資訊網，行政院主計處)

回顧目前文獻，氣候變遷對觀光產業之衝擊已普遍受到關注。2008 年聯合國世界旅遊組織 (United Nation World Tourism Organization, UNWTO) 報告曾說明，氣候變遷將影響旅客對旅遊目的地之選擇，甚至衝擊整體觀光產業競爭力。氣候變遷之影響包括 (UNWTO, 2008)：

1. 氣候的直接影響：包括氣候在地域上及季節上的重新分布，與旅遊地經營成本的改變等，如極端溫度導致氣候保險費率提高；
2. 氣候對環境的間接影響：包括水資源短缺、生物多樣性降低 (biodiversity loss)、景觀品質降低、疾病傳播媒介增加、及基礎設施受損等；
3. 減量政策影響旅客流動性：包括因減量政策導致的旅遊團費上漲、航空路線改變等；
4. 間接的社會變遷衝擊：包括旅遊地的經濟景氣、發展模式、政治穩定性、及人身安全等因素，影響旅遊業或相關部門的安全議題。

部分研究認為，觀光產業受氣候變遷衝擊主要來自於硬體設備之損失，如 Su et al. (2013)、Gössling et al. (2012) 等。Su et al. (2013) 以問卷訪查方式探討台灣旅館業對於氣候變遷影響之因應，調查對象包括全台北、中、南、東四個區域 104 家國際觀光旅館及一般觀光旅館<sup>25</sup>，結果顯示，95% 的受訪旅館已感受到氣候的

<sup>25</sup> Su et al. (2013) 依據交通局觀光局規範，定義國際觀光旅館房間數須達 80 以上，一般觀光旅館房間數需達 50 以上。

變遷，並認為氣候變遷在長期之下勢必對旅遊產業帶來負面衝擊<sup>26</sup>。受訪旅館並認為，未來夏季溫度會持續上升，更多的極端氣候事件如颱風、豪雨等，將會影響用電及用水，衝擊旅館業（表 8.2）。

表 8.2 旅館業對於氣候變遷衝擊認知調查

	未來5年變遷				未來20年變遷			
	中部	東部	北部	南部	中部	東部	北部	南部
夏季高溫				V	V		V	V
極端降雨	V	V			V	V	V	V
颱風	V	V	V	V	V	V	V	V
洪水		V				V	V	V
可用水資源						V	V	
可用電力							V	

資料來源：本表摘自Su et al. (2013)。

氣候變遷亦可能反映在旅客改變旅遊地點方面，Hamilton et al. (2005) 指出，美洲及歐洲國家近年頻繁的極端事件如熱浪、低溫等，極可能影響旅客赴當地旅遊的意願。Scott et al. (2007) 以問卷調查方式，討論加拿大國家公園風景區在氣候變遷下之可能衝擊。該研究提供三種未來氣候變遷下之情境，調查遊客在何種情境下將減少至國家公園旅遊之次數，研究發現，當溫度上升 4°C 時，由於變得較為溫暖，多達 36% 之受訪者表示會增加至國家公園旅遊次數；然而當溫度持續上升至 7°C 時，由於生態環境受到影響，包括物種減少、冰山消失等，將會影響遊客入園次數。遊客人次的減少，將影響國家公園在門票、園內服務費用等收入，而國家公園鄰近城鎮、社區之經濟活動亦將大受衝擊。台灣擁有八座國家公園，即便目前並未全面收費，然而未來氣候變遷之衝擊，將可能提高園區生態維護費用，影響國庫財政，提早因應實為重要課題。

就旅遊產業而言，由於消費者可自由調整其旅遊預算及時間，對於旅遊地點的選擇具有相當大的彈性，然而對旅遊業者而言，旅遊地點的飯店、觀光景點等皆是較無法變動的，對於消費者而言的吸引力即受限許多。對此，若旅遊業者能從綠色或永續經營的角度出發，將能建立自身的差異化，並且吸引更多同樣注意環境議題的旅客 (Kyriakidis and Felton 2008)，而國際旅遊合作夥伴 (International Tourism Partnership, ITP) 於 2007 年的報告則提出建議，可從政策框架、員工訓

<sup>26</sup> 104 家旅館中，有 45 家旅館受訪，包括 25 家連鎖觀光旅館及 20 家一般觀光旅館，問卷回收率達 43.3%。

練、能源管理、採購、人力資源、及景觀保護等六大方向出發，以降低氣候變遷的影響。

### ● 醫療產業

氣候變遷導致之異常高溫，將使得空氣污染或傳染病發生的頻率、時間、及密集度增加 (Sheffield and Landrigan 2010)。由於統計資料及估計方法的缺乏或不一致，氣候變遷衝擊下之經濟成本通常難以估計 (Knowlton et al. 2011)。

國際間探討氣候變遷對醫療服務業衝擊之探討，多著重於人類傳染病等議題，而研究醫療成本損失之文獻，則多著墨於方法論部分，Knowlton et al. (2011) 為最早估算氣候變遷實際醫療損失的研究之一，該研究估計美國於 2000~2009 年間的 6 起因極端溫度導致的天災事件<sup>27</sup>，即造成高達 140 億美元的住院、急診及保健支出等醫療成本。未來因氣候變遷造成的醫療經濟損失，將會相當可觀。雖然，醫療支出增加的原因包括許多其他社會經濟因素，然而近年極端事件如夏季熱浪、冬季極端低溫等，皆可能提高熱中暑、流感、肺炎等發生率，人民醫療需求提高，將可能是醫療支出增加的因素之一。

台灣目前仍相當缺乏氣候變遷的醫療經濟衝擊研究，相關研究如 Tseng et al. (2009)，以計量模型估計當溫度上升及降雨增加、蚊蟲密度提高時，民眾受登革熱傳染之風險，此外，該研究利用條件評估法 (Contingent Valuation Method, CVM) 來衡量民眾在溫度上升時避免登革熱傳染的願付價格 (willingness to pay, WTP)，研究結果指出，民眾為避免登革熱傳染，每人每年願付價格為新台幣 724~5,114 元，並將隨傳染機率提高而增加。此願付價格代表民眾在未來氣候變遷衝擊下的經濟損失，如進一步以台灣 2,300 萬人口推算，可知未來全民在預防登革熱之經濟成本將高達新台幣 166.5~1,176.2 億元。

同樣地，Liao et al. (2010) 亦以相同的估計方法，探討台灣氣候變遷下心血管疾病之風險及其經濟衝擊。該研究探討溫度變動對於心血管疾病<sup>28</sup>患者死亡率之影響，估計出當每月平均溫度變動率達 1% 時，死亡率將提升 0.226%，而在各種政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC) 氣候變遷模擬情境下，未來溫度上升將導致死亡率增加 1.2~4.1%。在經濟衝擊方面，每人每年預防心血管疾病致死之願付

<sup>27</sup> 包括 2000~2002 年間的空氣汙染、2002 年 nile 病毒爆發事件、2003 年南加州的森林大火、2004 年的佛羅里達颶風季、2006 年的加州熱浪、及 2009 年北達科他的洪水等。

<sup>28</sup> 包括原發性高血壓、高血壓性心臟病、急性心肌梗塞、心絞痛、診斷欠明之急性腦血管疾病。



價格介於 51~97 美元之間，若進一步換算為全民之經濟成本將高達 880~1680 百萬美元。Tseng et al. (2009) 與 Liao et al. (2010) 皆認為，民眾對於預防氣候變遷下患病風險之願付價格，可作為決策者制定相關調適及因應策略之依據。

## 8.5 氣候變遷對經濟與社會的衝擊

氣候變遷對社會經濟的間接衝擊 (indirect effects、higher-order effects) 指的是即使產業本身的財產或生產設備並無因極端事件損壞，仍可能因其他部門或產業之財產或生產設備損壞，而導致其經濟或生產活動中斷。舉例而言，若颱風嚴重破壞某一地的橋樑，當地依賴該橋樑運輸的工廠便可能因此中斷生產，甚至倒閉。氣候變遷之間接衝擊通常並不僅止於某家工廠或某個產業的影響，而往往是一連串的連鎖反應，因此其影響往往大於直接衝擊 (Rose 2004)；

間接衝擊的評估為近年氣候變遷衝擊文獻探討的主軸之一 (Abe and Ye 2013 ; Okuyama 2009 ; Ruth et al. 2007 ; Rose 2004)。間接衝擊並不受限於災害發生地區，可透過貿易及供應鏈等外溢至其他國家或經濟體，甚至造成全球性的衝擊 (Abe and Ye 2013)，因此其效果雖不立見，然長期而言影響深遠。當氣候變遷直接導致原物料減產，後端商品價格便因此上漲，削弱企業競爭力，可能導致企業裁員，進而影響人均或家戶所得。因此，直接與間接衝擊的釐清，有助於產業或國家因應氣候變遷時之相關調適及應變決策。

回顧過去文獻，氣候變遷之間接衝擊多反映在供應鏈影響上；若上游廠商受氣候變遷影響導致生產中斷，則勢必影響對下游廠商的供貨；反之，若下游廠商無法生產，則亦將影響對上游貨源的需求 (Rose 2004)。Dasaklis and Pappis (2013) 以相關文獻歸納出產業供應鏈上的關鍵部門與其可能影響，包括製造業、運輸、供應鏈、及國際貿易等，以下遂分別說明。

### ● 製造業

除了氣候變遷的直接衝擊，由於碳排放量多歸咎於製造業，因此後續的碳排放量監控亦間接衝擊製造業。例如汽車產業需要調整以適應各項監控標準，包括燃油效率標準、環境稅及生化燃料標的等。目前氣候公約規範正進入後京都

(post-Kyoto) 的諮商談判階段<sup>29</sup>能源部門面臨的風險將來自於此階段可能變化的不確定性，包括因實施碳稅導致的成本增加。

其次，極端氣候可能影響公共事業部門的許多運作，如傳輸電纜在連續高溫下的使用電量龐大，可能間接導致發電廠輸電中斷；材料產業相當受到降雨型態與水資源改變的影響，水資源短缺很可能間接提高營運成本，並引發材料廠與當地社區爭水的問題。

此外，對工業部門而言，極端氣候事件引起的海平面上升、產量減少，可能導致物價上漲，使原料進貨困難，嚴重將間接導致工廠生產線停擺甚至倒閉。製藥行業，由於氣候變遷造成的生物多樣性降低及水資源短缺，將間接衝擊該產業的生產要素，最終將導致生產過程中斷。

### ● 運輸

氣候變遷對全球運輸部門的影響正在加速，且可能愈趨嚴重，並造成相當「昂貴」的影響，舉例而言，極端事件如豪雨，使得行車速度減慢，亦間接降低旅遊效益 (Maoh et al. 2008)；Sussman and Freed (2008) 指出，夏季高溫可能導致軌道扭曲或路面粗糙的機率增加，將間接導致相當可觀的維修成本。

其次，運輸部門也被視為是導致全球暖化最主要的產業之一 (Halldorsson and Kovacs 2010)。短時間內的豪雨可能導致洪水氾濫，影響運輸基礎設施、破壞道路、延誤商品交付，而燃料使用與碳稅實施可能增加運輸成本或減少消費者非必需品的需求。對於批發及零售貿易而言，由於是商品的集散流程，其受到不同地區氣候變遷之影響甚鉅，故氣候變遷導致的運輸損害，亦將透過批發及零售貿易等經濟活動，連帶影響其他地區。

### ● 供應鏈

氣候變遷與極端事件之關係已經在新的政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC) 評估報告中獲得證實，這些極端事件對台灣產業供應鏈的衝擊將不容小覷。英國風險顧問公司 Maplecroft 於 2014 年最新的全球評估報告中指出，全球 197 個國家處於天災時的經濟風險，前十名風險最高的國家，有六國位處亞洲，台灣更是名列第三<sup>30</sup>。以 2011 年泰國水災為例，不僅間接導致 Toshiba、Honda Motors 及

<sup>29</sup> 行政院環境保護署，<http://www.epa.gov.tw/ct.asp?xItem=9967&ctNode=31353&mp=epa>。

<sup>30</sup> *Natural Hazards Risk Atlas 2014*, <http://maplecroft.com/portfolio/new-analysis/2014/02/19/natural->

Toyota 等國際大廠關閉廠房或停工，亦縮減全球硬碟的供給，連帶壓縮筆記型電腦出貨量，影響該年台灣 IC 製造業的表現<sup>31</sup>。

另外，氣候變遷導致天災發生頻率及強度增加，亦提高部分小規模企業的脆弱度。以 APEC 經濟體為例，根據一項各會員體的調查指出 (Ono and Shibata 2011)，APEC 經濟體之中小企業占有所有企業 90%，並提供 60% 的工作機會。中小企業在經濟活動中占有舉足輕重的角色，亦代表一旦中小企業的營運活動因緊急事件而中斷時，整個國家的經濟都會受到重創，此時「企業營運接續計畫」(Business Continuity Plan，簡稱 BCP) 的制定便至關重要 (張靜貞及鍾秋悅，2013)。

BCP 指的是在緊急情況發生前，為了消弭其對組織的影響而制定的準備計畫。BCP 內容主要包括：「營運衝擊分析」(Business Impact Analysis，簡稱 BIA)、「緊急應變復原計畫」(Contingency Recovery Plan)、以及「訓練與測試」(Training and Testing) 等三部分。營運衝擊分析指的是找出重要營運機能的外部與內部風險，並根據災害發生的機率、強度和自身脆弱性列出不同風險等級。由於災害難以預料，這些評估最好在可能發生的情境之下進行預測，包含不同等級的災害潛在強度。另一方面，即使中小企業都面臨同樣風險，各自承擔風險的脆弱性也大不相同。相較於位在低窪地區、易受水患之苦的中小企業，其他位置較佳或擁有防水設備場地的公司，面對水患便具有較高的韌性。

BCP 已成為中小企業加入全球營運供應鏈的條件之一。舉例而言，日本知名車廠豐田汽車和本田汽車都在 2012 年泰國水災與 2011 年東日本大地震及隨之而來的海嘯中蒙受巨大損失。此後上述企業要求協力廠商制定 BCP，以確保供應鏈與協力廠商能在未來災害發生後兩週內恢復穩定供應。目前，BCP 已經成為國際標準的核心，國際標準組織 (ISO) 已正式頒布 ISO 22301 (社會安全 - 營運持續管理系統 - 要求)，各國亦紛紛發布各自的 BCP 標準<sup>31</sup>，目前亦有部分國內產業已經針對重大災害事件的預防與應變來制定 BCP<sup>32</sup>。

---

[hazards-risk-atlas-2014/](#)

<sup>31</sup> 工研院電子報，「2011 年台灣 IC 製造業在經濟風暴中衰退」，第 10011 期，

<http://edm.itri.org.tw/enews/epaper/10011/c01.htm>。

<sup>31</sup> 例如 BCP 標準 BS 25999 第一部分與第二部分(由英國標準協會頒布)、NFPA1600:2010(美國國家消防協會)、ASIS SPC.1-2009(美國產業安全學會)、AS/NZS 5050(澳洲 / 紐西蘭標準)、SS540(新加坡標準)、CSA Z1600(加拿大標準)、日本政府 BCP 守則、NASD 3510/3520(美國證券交易商協會)、NIST SP 800-34(美國國家標準技術協會)、及 NYSE Rule 446(紐約證券交易所)等。

<sup>32</sup> 如旺宏電子、美孚曲面科技等。

### ● 國際貿易

在國際貿易方面，若氣候災害發生在出口國，其受到的衝擊將會大於進口國 (Sahin 2011)。貨物集散的過程將使用倉儲設施、物料移動設施、交通設施、及通訊設施等，間接對氣候變遷的敏感度亦較其他產業要來的大。

WTO-UNEP (2009) 指出，氣候變遷對貿易之效應可分成兩部分，第一，氣候變遷可能會改變某一國家的比較利益，以致該國既有之國際貿易類型轉移，亦即主要受衝擊的國家，將會是過去的比較利益優勢來自於氣候或地理等因素的資產。產生的負面效應，主要是愈依賴農業為主的國家，愈能體會氣候變遷對於農作物收益的衝擊。至於氣候變遷的衝擊，不僅是消費品，非商品的服務業也可能受衝擊，尤其是過去高度依賴自然資源，如海灘、潔淨海洋、熱帶氣候、積雪等條件的經濟體。

第二，氣候變遷可能會增加國際貿易所依賴的產業供應鏈與物流配送運輸的脆弱性。在政府間氣候變遷專門委員會 (IPCC) 於 2007 年出版的第四次評估報告中有過詳細說明，例如貿易商品進出之港口，可能因為颶風等氣候變遷遭受損失或影響正常運作、依賴內陸運輸如萊茵河乾涸將受衝擊。而開發中國家與全球經濟的整合，常依賴的就是這類需要高度參與全球經濟分工的商品鏈，藉以找尋其比較利益。換句話說，開發中國家因為經濟基礎比較脆弱，在全球氣候變遷的潛在衝擊效應下，可能會比已開發國家更容易遭受負面的衝擊 (Tamiotti et al. 2009)。

## 8.6 氣候變遷對未來經濟發展之挑戰與因應

綜合前述及依據國家氣候變遷調適政策綱領，由於台灣本身的地理特性，氣候變遷脆弱度與災害風險遠高於其他地區，未來氣候變遷帶來的最大挑戰來自原本常態性的災害，包括水災、土石流、旱災等，容易形成摧毀性的巨災，造成嚴重損害。氣候變遷的主要現象包括氣溫上升、降雨型態改變、極端氣候事件發生的強度與頻率升高以及海平面上升等，皆已造成台灣未來經濟發展上無可避免的挑戰。

首先，在氣溫上升與降雨型態改變上，水資源供給受到的影響首當其衝，將造成水庫供水能力下降，進而影響農業生產，使疫病發生的機率升高而加重公共

衛生與醫療體系的負擔，並引發產業經濟與能源供給的衝擊。例如降水量變化導致旱災或洪澇災害，造成產業的嚴重損失。

第二、極端氣候事件發生的強度與頻率升高，容易導致山坡地災害，造成土地資源損失。此外，維生基礎設施受到的損害一方面可能導致供應鏈中斷，一方面亦提高災後重建的困難度。

第三、全球升溫，冰山溶解引發的海平面上升，將導致國土流失，使沿海地區居民與產業未來勢必須往地勢高處遷徙。此外，氣溫上升、海水入侵、災害威脅、水資源短缺等衝擊，都將成為臺灣城鄉發展與運作的重要限制。

依據 Stern (2007) 估計，在沒有任何調適行動的情況下，對於氣候變遷的直接衝擊，全球每年將付出至少 5% GDP 的代價，而若計入間接衝擊，估計損失將高達全球 GDP 的 20%；但若採取減量與調適政策，則全球因應氣候變遷衝擊的代價則可縮減至 1%GDP。因此調適政策或各部門的調適作為將是未來因應氣候變遷的關鍵之一。

世界銀行報告指出，未來自然災害可能在經濟成長與發展上帶來更多的成本，這意味者未來全球的發展需要提升更大的回復力，亦即災後的重建能力，包括(一) 建立早期預測及預警系統以減低損失；(二) 成立天然災害基金 (Rainy-Day Funds)<sup>33</sup>與保險與再保險等，作為災後重建經費來源；(三) 透過國際合作計畫協調各國一同因應氣候變遷災害；(四) 充實氣候變遷知識庫與數據，以為研究基礎 (Hallegatte 2013)。

### 8.6.1 產業之因應對策

在氣候變遷的挑戰下，極端事件的發生往往造成經濟震撼的衝擊，加上企業本身對災害發生時的準備計畫不足，常導致設備損害、生產延遲或中斷、因交貨不準時導致影響商譽等一連串的效應。即便只有單一廠商受災害衝擊，亦很可能引發整體供應鏈無可抹滅的傷害。根據經濟部中小企業處所出版的「APEC 中小企業趨勢監測」2012 年第 1 期之專家觀點報導，一項於 2010 年針對亞太經濟合作 (APEC) 區域內超過 200 家企業所做的調查顯示，僅有 28% 的企業已經

<sup>33</sup> 意指財政資源無法重新分配，或財政赤字不斷追加預算時，以有結餘的地方政府經費來補助當年度財務吃緊或短缺的地方，或是遇到天災人禍時，所需的臨時經費，來避免財政吃緊的作法。



設置商業連續性計畫，約 37% 的企業表示他們根本不瞭解何謂商業連續性計畫。

身處全球供應鏈中的產業必須採取降低風險的策略，以提高面對自然災害的回復力，關鍵策略包括：

1. 供應鏈效率與災害風險應變產生之效果有時會相互影響，因此在供應鏈管理中應審慎權衡。舉例而言，當企業指定單一廠商供應原料時，雖可降低成本，然一旦該廠商受極端氣候事件衝擊中斷供應，勢必影響企業生產，因此，如能以多家不同地點之廠商供應原料，或擬訂備用或替代廠商清單等，長期而言，可降低來自自然災害之風險，確保供應鏈安全；
2. 為取得效率與風險之間的平衡，企業應進行審慎的成本效益分析，並將風險考慮在內及採取相關措施，提升自然災害之回復力，包括：(1) 以風險考量取代成本最小的原則來選擇供應商 (Christopher and Holweg 2011); (2) 縮短供應鏈，並透過監控系統提高供應鏈的能見度；(3) 透過各類型的銷售渠道與上游供應商以分散風險。

### 8.6.2 政府之因應對策

政府單位在整合與協調風險降低策略上扮演了至關重要的角色，災前的準備可能比災後因應更有效率 (Blomquist et al., 2002)，因為災前的措施如減量政策及財務預算等，可緩和災害衝擊的力道，然而災後措施可能引發消費波動之副作用，導致社會福利損失，並可能引發道德風險問題 (Phaup and Kirschner, 2010)。再者，災前沒有規劃的結果，也可能致使災後重建預算或資源短缺。因此，政府有責任從預防的角度，把降低災害風險的標準納入施政規劃，以減輕災害的負面影響。例如，可透過更嚴格的建築法規、氣候訊息發布標準的調整、多元化的能源及原物料採購來源、防災型的城市更新計劃等，以降低全球供應鏈的災害風險與脆弱度。

其次，政府應提供相對弱勢的中小型企業足夠的保護，如協助準備應變計畫與提升企業的天災投保率等 (Baez, de la Fuente and Santos, 2010)，因為這些中小型企業可能缺乏商業連續性計畫，但往往他們所製造的產品卻有可能是整體供應鏈中重要的關鍵元件，因此，商業連續性計劃將有助減少直接與後續復工的損失，亦可降低對整體供應鏈的間接衝擊。



災後重建是政府的另一項重要議題，原因在於重建時間長短是減輕全球供應鏈影響之關鍵。為縮短回復期間，相關措施包括提供企業財務資源與促進就業等。財務資源包括直接的現金轉移、額外信貸額度、長期優惠貸款 (soft loans)、及社會基金開發等 (Skoufias 2003)；在就業援助方面，如薪資補貼可刺激就業供給，技能培訓與就業輔導等方案能夠縮減災後勞工與市場需求之間的差距，對勞動力市場產生長期的正面影響。

### 8.6.3 公私部門之合作

公私部門間之合作，可透過釐清彼此相互依存之關係，及掌握彼此的可用資源，以提高全球供應鏈災前準備、災中應變、與災後重建之能力，舒緩災害帶來的衝擊 (Abe and Ye 2013)。未來極端事件對於台灣產業供應鏈可能的衝擊，近年已愈趨受到政府重視，經濟部中小企業處積極舉辦國際論壇探討因應對策，並出版教戰手冊等供企業使用<sup>34</sup>。此外，部分企業如電機電子、物流等公會亦開始培訓相關人才以因應未來所需。然而，目前仍相當缺乏有關前述因應對策的實踐或演練評估，此有待相關單位持續關注與追蹤。

此外，天災保險也是公私部門合作重要的潛力策略之一。保險為全球供應鏈與國際貿易的重要元素，不僅提供災害損失補償，同時亦是災前準備的工具之一。然而由於自然災害的損失往往相當龐大，保險產業分散風險的能力有限，且對於弱勢中小企業而言，保險業者承保的意願亦較低。因此，政府可與私營保險機構合作，共同開發氣候災害保險計畫，針對中小企業或其他供應鏈組成設計保險專案，如小額保險商品等，以轉移災害風險。此外，公私部門也可共同收集有關災害風險及相關措施資訊，以達減災之目的。

## 8.7 結語

台灣位於亞洲大陸東南沿海的亞熱帶地區，四面環海，氣候同時受到海洋和大陸氣候型態的影響，也受到台灣島上中央山脈地形的影響，再加上人口密度高，民生經濟活動與氣候之關係極為密切，氣候變遷對於國家競爭力與區域經濟社會

<sup>34</sup> 經濟部中小企業處，「中小企業持續營運教戰手冊」，

[http://book.moeasmea.gov.tw/book/doc\\_detail.jsp?pub\\_SerialNo=2014A01189&click=2014A01189](http://book.moeasmea.gov.tw/book/doc_detail.jsp?pub_SerialNo=2014A01189&click=2014A01189)。

可能有不同程度之影響 (Liu, 2011)。

本章以文獻回顧的方式，彙整氣候變遷對經濟的可能衝擊與因應對策，結論歸納如下：

第一、未來全球發展趨勢已進一步將經濟、環境、與社會緊密結合，並以永續發展目標 (SDGs) 的標準繼續引領各產業、國家、甚至地區性共同努力，因此氣候變遷之影響評估，已非單一產業或領域之課題，整合性的評估方式儼然已成為研究主流。此外，在相關經濟衝擊評估研究中，評估方法不盡相同，這往往會導致結果的差異，因此，決策者必須要發展出適合我國國情的衝擊評估機制。

第二、基礎設施與產業發展密不可分，而基礎設施中，不同部門間亦有環環相扣的關係，如電力中斷可能影響交通運輸，連帶衝擊相關產業。在產業衝擊中，農業與製造業顯然對氣候變遷有較高的敏感度，在農業方面，氣候變遷將直接衝擊作物生產，間接影響物價及民生經濟；製造業部份，突如其來的極端事件將導致廠房損壞中斷生產，亦可能破壞交通設施間接影響訂單交付。由此可知，產業供應鏈將深受自然災害影響，對經濟亦可能造成難以估計或回復的損失。

第三、雖然產業受氣候變遷衝擊將非常深遠，然而研究指出，災前準備將可降低災後風險並提升回復力，且各產業部門或政府皆有其調適對策可遵循，在產業方面，可透過改變製程或原料供應途徑以分散風險，並輔以成本效率分析提升災害回復力；政府部門則扮演了整合與協調各產業調適對策的關鍵角色，而未來氣候持續變遷之下，產業或政府獨自因應的能力顯然已經不足，公私部門的合作勢必成為未來趨勢。在此情形下，風險分散工具的引進將是合作模式之一。

第四、目前國內仍相當缺乏氣候變遷對基礎設施及產業等經濟衝擊之相關研究，現有研究多討論特定極端事件對硬體造成之損害，由於氣候變遷之影響是長期的，需要大量資料及完善的評估模型等資源，因此相關知識或資料庫的開發建構將有助於豐富未來氣候變遷經濟衝擊之研究。

依據國家氣候變遷調適政策綱領，台灣調適策略包括避開風險及降低風險兩大部分，總體調適策略包括：(一) 落實國土規劃與管理；(二) 加強防災避災的自然、社會、經濟體系之能力；(三) 推動流域綜合治理；(四) 優先處理氣候變遷的高風險地區；(五) 提升都會地區的調適防護能力等。綜合本章研究，台灣應盡速就前述調適策略研發以風險管理為基礎之產業調適政策，以協助產業自我檢視脆

弱度及進行災損控管與分散，也應建立氣候變遷對於產業之長短期衝擊評估機制，研發客觀之評估工具與建置資料庫，俾利降低未來的氣候風險與不確定性。

本章主要聚焦議題	
現況	氣候變遷導致的極端事件對於產業的營運成本與生產力造成直接影響，也對供應鏈、運輸、貿易等相關經濟活動造成嚴重威脅，對於進出口導向的產業部門以及在全球供應鏈佔有重要地位的的中小企業而言，都必須強化緊急應變與風險分散的能力。
目前面臨的問題	極端事件的強度與頻率提高，政府與企業須共同設法因應，其中氣候變遷的間接衝擊將是影響台灣經濟的重要關鍵。
未來氣候變遷的影響	農業：農損提高、作物歉收、農產品價格上揚 製造業：設施破壞、廠房關閉或停業、供應鏈中斷 醫療產業：醫療資源不足及成本提高 金融產業：保險業理賠負擔沉重 觀光產業：觀光人口及收益降低

## 參考文獻

- 呂學榮，2005：氣候變遷對臺灣衝擊與調適策略研析—子計畫三：漁業面向。行政院國家科學委員會委託研究計畫，NSC94-2621-Z-019-001。國立海洋大學環境生物與漁業科學系。
- 姚大鈞、董悟熹、許思放，2011：巨災風險管理與保險。《台電工程月刊》，759期，108-118頁。
- 柳中明，2011：氣候變遷對電力需求的預期分析：文獻回顧。《台電工程月刊》，759期，44-60頁。
- 柏雲昌，2014：我國產業缺電成本估計及其應用於分級電價規劃方案之研究。行政院原子能委員會委託研究計劃研究報告，1032001INER036。
- 陳守泓、姚銘輝、申雍，2005：氣候變遷對台灣地區糧食安全之衝擊與因應對策。《全球變遷通訊雜誌》，46期，7-13頁。
- 許志義、鄭欽龍、周文賢、陳澤義，1990：台灣產業缺電成本之研究。《經濟叢書》，第20號。
- 梁啟源，2008：氣候變遷對台灣經濟的影響。《科學發展》，424期。
- 張建隆、林正義、吳再益，2002：系統最適供電可靠度與合理備用容量之研究。《台電工程月刊》，650期，53-65頁。
- 張靜貞、鍾秋悅，2013：中小企業災後生機—解析企業營運持續計畫。《APEC 中小企業趨勢監測》，15期，2-3頁。
- 黃郁棻，2014：未來能源願景下我國面臨的挑戰及因應對策，財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心。
- 楊豐碩、陳士麟、林師模，2011：缺電成本之調查研究。《台電工程月刊》，754期，55-75頁。
- 經濟部中小企業處：亞洲黑天鵝事件與美國供應鏈崩解—從亞洲黑天鵝事件中學到的三堂課。《APEC 中小企業趨勢監測》，1期，17頁。

- 蔡學琳，2009：淺談保險業因應氣候變遷之危機與轉機。《全球變遷通訊雜誌》，**62**期，25-31 頁。
- 劉紹臣，2011：台灣氣候變遷。《台電工程月刊》，**759**期，1-8 頁。
- Abe, M. and L. Ye, 2013: Building Resilient Supply Chains against Natural Disasters: The Cases of Japan and Thailand. *Global Business Review*, **14**(4), 567-586.
- Andrey, J. C., B. Mills, M. Leahy and J. Suggett, 2003: Weather as a Chronic Hazard for Road Transportation in Canadian Cities. *Natural Hazards*, **28**, 319-343.
- Anttila-Hughes, J. K. and S. M. Hsiang, 2011: Destruction, Disinvestment, and Death: Economic and Human Losses Following Environmental Disaster. *Working Paper (February 18, 2013). Agricultural Economics*, **43**, 205-214. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2220501>, Columbia University.
- Asian Development Bank, 2009: The Economics of Climate Change in Southeast Asia: A Regional Review. Mandaluyong City.
- Auffhammer, M. and A. Aroonruengsawat, 2011: Simulating the Impacts of Climate Change, Prices and Population on California's Residential Electricity Consumption. *Climatic Change*, **109**(1), S191-S210.
- Baez, J., A. Fuente and I. Santos, 2010: *Do Natural Disasters Affect Human Capital? An Assessment Based on Existing Empirical Evidence*. Bonn: The Institute for the Study of Labor (IZA).
- Berrittella, M., A. Bigano, R. Roson and R. S. J. Tol, 2006: A General Equilibrium Analysis of Climate Change Impacts on Tourism. *Tourism Management*, **27**(5), 913-924.
- Bevere, L., et al., 2012: *Natural Catastrophes and Man-Made Disasters in 2011: Historic Losses Surface from Record Earthquakes and Floods*. Swiss Reinsurance Company Ltd. Zurich, Switerland.
- Bhattacharya, J., T. DeLeire, S. Haider and J. Currie, 2003: Heat or Eat? Cold-Weather Shocks and Nutrition in Poor American Families. *American Journal of Public*

*Health*, **93**(7), 1149-1154.

Blomquist, J., et al., 2002: *Social Safety Nets in Response to Crisis: Lessons and Guidelines from Asia and Latin America*. OECD. Paris, France, 297-332.

Bosello, F., et al., 2012: Economic Impacts of Climate Change in Europe: Sea-Level Rise. *Climatic Change*, **112**, 63-81.

Botzen, W. J. W. and J. C. J. M. van den Bergh, 2012: Risk Attitudes to Low-Probability Climate Change Risks: Wtp for flood Insurance. *Journal of Economic Behavior & Organization*, **82**, 151-166.

Cachon, G. P., S. Gallino and M. Olivares, 2012: Severe Weather and Automobile Assembly Productivity. Columbia Business School Research Paper No. 12/37. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2099798>.

Campbell, R. J., 2012: *Weather-Related Power Outages and Electric System Resiliency*. Congressional Research Service.

Chang, C.-C., 2002: The Potential Impact of Climate Change on Taiwan's Agriculture. *Agricultural Economics*, **27**(1), 51-64.

Chang, C.-C., Chen C.C. and B.A. McCarl, 2012: Evaluating the Economic Impacts of Crop Yield Change and Sea Level Rise Induced by Climate Change on Taiwan's Agricultural Sector. *Agricultural Economics*, **43**, 205-214.

Changnon, S. A., 1999: Record flood-Producing Rainstorms of 17-18 July 1996 in the Chicago Metropolitan Area. Part III: Impacts and Responses to the Flash Flooding. *Journal of Applied Meteorology*, **38**, 273-280.

Christopher, M. and C. Holweg, 2011: "Supply Chain 2.0": Managing Supply Chains in The Era of Turbulence, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(1), 63 – 82

Cochrane, H., J. E. Haas, M. J. Bowden and R. W. Kates, 1974: Social Science Perspectives on the Coming San Francisco Earthquake- Economic Impact, Prediction, and Reconstruction. *Natural Hazards Research*, Working Paper No.



25, University of Colorado, Boulder.

Cochrane, H. C., 1997: *Forecasting the Economic Impact of a Midwest Earthquake*. National Center for Earthquake Engineering Research Buffalo, NY, 223-247.

Dasaklis, T. K. and C. P. Pappis, 2013: Supply Chain Management in View of Climate Change: An Overview of Possible Impacts and the Road Ahead. *Journal of Industrial Engineering and Management*, **6**(4), 1124-1138.

Dasgupta, S., et al., 2009: The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis. *Climate Change Economics*, **93**, 9-388.

De Cian, E., E. Lanzi and R. Roson, 2007: *The Impact of Temperature Change on Energy Demand: A Dynamic Panel Analysis*. Fondazione Eni Enrico Mattei.

De Leeuw van Weenen RP, Quispel M, and J. Visser, 2011: Closure of River Rhine at the Lorelei Rock: Estimate of Impact and Allocation of Damage. Reference R20110191/31639000/RLE/ EGR, NEA, Zoetermeer

Defra, 2011: *Climate Resilient Infrastructure: Preparing for a Changing Climate*. Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK.

Dell, M., B. F. Jones and B. A. Olken, 2013: What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature. *Forthcoming, Journal of Economic Literature*.

Deschênes, O. and M. Greenstone, 2011: Climate Change, Mortality, and Adaptation: Evidence from Annual Fluctuations in Weather in the US. *American Economic Journal: Applied Economics*, **3**, 152-185.

Dlugolecki, A., 2008: Climate Change and the Insurance Sector *The Geneva Papers*, **33**, 71-90.

Easterling, W. E., et al. 2007: Food, Fibre and Forest Products. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 273-313.

- Feng, S., A. B. Kruegera and M. Oppenheimera, 2010: Linkages among Climate Change, Crop Yields and Mexico–Us Cross-Border Migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **107**(32), 14257-14262.
- Gonseth, C. and M. Vielle, 2012: *Modeling the Impacts of Climate Change on the Energy Sector: A Swiss Perspective*. GTAP Events: 15th Annual Conference on Global Economic Analysis. Geneva, Switzerland.
- Gordon, P., H. W. Richardson and B. Davis, 1998: Transport-Related Impacts of the Northridge Earthquake. *Journal of Transportation and Statistics*, **1**, 22-36.
- Gössling, S., et al., 2012: Tourism and Water Use: Supply, Demand, and Security. An International Review. *Tourism Management*, **33**, 1-15.
- Guiteras, R., 2009: The Impact of Climate Change on Indian Agriculture. Manuscript, Department of Economics, University of Maryland.
- Halldórsson, A. and G. Kovács, 2010: The Sustainable Agenda and Energy Efficiency: Logistics Solutions and Supply Chains in Times of Climate Change. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, **40**(1-2), 5-13.
- Hallegatte, S., 2013: *An Exploration of the Link between Development, Economic Growth, and Natural Risk*. The World Bank. Washington D. C., USA.
- Hallegatte, S., F. Henriot and J. Corfee-Morlot, 2011: The Economics of Climate Change Impacts and Policy Benefits at City Scale: A Conceptual Framework. *Climatic Change*, **104**, 51-87.
- Hamilton, J. M., D. J. Maddison and R. S. J. Tol, 2005: Climate Change and International Tourism: A Simulation Study. *Global Environmental Change*, **15**, 253-266.
- Hope, C. W., 2006: The Marginal Impact of CO<sub>2</sub> from Page2002: An Integrated Assessment Model Incorporating the IPCC's Five Reasons for Concern. *Integrated Assessment Journal*, **6**(1), 19-56.

- Hranac, R., et al., 2006: *Empirical Studies on Traffic Flow in Inclement Weather*. Federal Highway Administration. Washington, DC,
- Hsiang, S. M. and A. Jina, 2013: *The Causal Effects of Environmental Catastrophe on Economic Growth*. Cambridge University Press, Cambridge, UK,
- Hsiang, S. M. and D. Narita, 2012: Adaptation to Cyclone Risk: Evidence from the Global Cross- Section. *Climate Change Economics*, **3(02)**, 1-28.
- Hsu, H.-H. and C.-T. Chen, 2002: Observed and Projected Climate Change in Taiwan. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **79**, 87-104.
- IEA (2013)b, Key World Energy Statistics 2013.
- Interagency Working Group, 2010: Technical Support Document: Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866. <http://www.epa.gov/oms/climate/regulations/scc-tsd.pdf>.
- Interagency Working Group, 2013: Technical Support Document: Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866. [http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/inforeg/social\\_cost\\_of\\_carbon\\_for\\_ria\\_2013\\_update.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/inforeg/social_cost_of_carbon_for_ria_2013_update.pdf)
- Jonkeren, O., P. Rietveld and J. van Ommeren, 2007: Climate Change and Inland Waterway Transport: Welfare Effects of Low Water Levels on the River Rhine. *J Transp Econ Policy*, **41(3)**, 387-411.
- Jonkeren, O., P. Rietveld, J. van Ommeren and t. A. Linde, 2013: Climate Change and Economic Consequences for Inland Waterway Transport in Europe. *Reg Environ Change*.
- Klein, R. J. T., et al. 2007: *Inter-Relationships between Adaptation and Mitigation*. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge, UK, 745-777.
- Kelly, D. L. and C. D. Kolstad, 1998: Integrated Assessment Models For Climate Change Control. The international yearbook of environmental and resource

- economics 1999/2000. Henk Folmer and Tom Tietenberg ed. Edward Elgar: Cheltenham.
- Kimball, B. A., K. Kobayashi and M. Bindi, 2002: Responses of Agricultural Crops to Free-Air Co<sub>2</sub> Enrichment. *Advances in Agronomy*, **77**, 293-368.
- Knowlton, K., et al., 2011: Six Climate Change-related Events in the United States Accounted for About \$14 Billion in Lost Lives and Health Costs. *Health Affairs*, **30**(11), 2167-2176.
- Koetse, M. J. and P. Rietveld, 2009: The Impact of Climate Change and Weather on Transport: An Overview of Empirical Findings. *Transportation Research Part D*, **14**, 205-221.
- Kriegler E, Edmonds J, Hallegatte S, Ebi KL, Kram T, Riahl K, Winkler H, van Vuuren DP, 2014: A New Scenario Framework for Climate Change Research: the Concept of Shared Climate Policy Assumptions. *Climatic Change*, **122**, 401-414.
- Kyriakidis, A. and J. Felton, 2008: *Too Hot to Handle? The Hospitality Industry Faces up to Climate Change*. 2008 World Economic Forum.
- Larsen, P., et al., 2007: Estimating Future Costs for Alaska Public Infrastructure at Risk from Climate Change. University of Alaska, Anchorage. Available online at <http://www.iser.uaa.alaska.edu/Publications/JuneICICLE.pdf>.
- Liao, S.-Y., et al., 2010: Estimating the Economic Impact of Climate Change on Cardiovascular Diseases—Evidence from Taiwan *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **7**, 4250-4266.
- Liu, S. C., et al., 2009: Temperature Dependence of Global Precipitation Extremes. *Geophysical Research Letters*, **36**, L17702.
- Liu, T. u.-j. 2011: *Climate Changes and Water Resources in Taiwan History*. 2011 Pacific Neighborhood Consortium (PNC) Annual Conference, Bangkok.
- Lur, H.-S., et al., 2009: Changes in Temperature, Cultivation Timing and Grain Quality

- of Rice in Taiwan in Recent Years *Crop, Environment & Bioinformatics*, **6**, 175-182.
- MacKenzie, C. A., K. Barker and F. H. Grant, 2011: Evaluating the Consequences of an Inland Waterway Port Closure with a Dynamic Multiregional Interdependence Model. *IEEE Trans Syst Man Cybern A Syst Hum*, **42**(2), 359-370.
- Maddison, D. J., 2003: The Amenity Value of the Climate: The Household Production Function Approach. *Resource and Energy Economics*, **25**(2), 155-175.
- Maoh, H., P. Kanaroglou and C. Woudsma, 2008: Simulation Model for Assessing the Impact of Climate Change on Transportation and the Economy in Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, **2067**, 84-92.
- Martin, P. T., J. Perrin, B. Hansen and I. Quintana, 2000: *Inclement Weather Signal Timings*. Utah Traffic Lab, University of Utah Salt Lake City, USA.
- Maze, T. H., M. Agarwal and G. Burchett, 2006: Whether Weather Matters to Traffic Demand, Traffic Safety, and Traffic Operations and flow. *Transportation Research Record*, **1948**, 170-176.
- Mendelsohn, R. O., M. E. Schlesinger and L. J. Williams, 2000: Comparing Impacts across Climate Models *Integrated Assessment*, **1**(1), 37-48.
- Metcalf, G., K. Jenkinson and K. Johnstone, 2010: *A Changing Climate for Business*. UK Climate Impacts Programme. Oxford, UK.
- Mideska, T. K. and S. Kallbekken, 2010: The Impact of Climate Change on the Electricity Market: A Review. *Energy Policy*, **38**, 3579-3585.
- Millerd, F., 2005: The Economic Impact of Climate Change on Canadian Commercial Navigation on the Great Lakes. *Can Water Resour J*, **30**(4), 269-280.
- Mueller, S. A., J. E. Anderson and T. J. Wallington, 2011: Impact of Biofuel Production and Other Supply and Demand Factors on Food Price Increases in 2008.

*Biomass and Bioenergy*, **35**, 1623-1632.

Nordhaus, W. D. and Z. Yang, 1996: A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate Change Strategies. *American Economic Review*, **86**(4), 741-65.

Nordhaus, W. D., 1994: *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*. The MIT Press.

Okuyama, Y., G. J. D. Hewings and M. Sonis, 1999: Economic Impacts of an Unscheduled, Disruptive Event: A Miyazawa Multiplier Analysis. *Understanding and Interpreting Economic Structure*. Berlin, Germany, Springer-Verlag.

Okuyama, Y., 2009: *Economic Impacts of Natural Disasters: Development Issues and Empirical Analysis*. 17th International Input-output Conference. Sao Paulo, Brazil.

Okuyama, Y., 2012: *Economic Impacts of Natural Disasters: Development Issues and Empirical Analysis*. Manuscript, Graduate School of International Relations, International University of Japan, Niigata, Japan.

Olsen, J. R., L. J. Zepp and C. A. Dager, 2005: *Climate Impacts on Inland Navigation*. World Water and Environmental Resources Congress 2005 Anchorage.

O'Neill BC, Kriegler E, Riahl K, Ebi KL, Hallegatte S, Carter TR, Mathur R, van Vuuren D, 2013: A New Scenario Framework for Climate Change Research: the Concept of Shared Socio-economic Pathways. *Climate Change*, **122**, 387-400.

Ono, T. and S. Shibata, 2011: *Survey Report on the BCP Status of the Private Sector in the APEC Region*. Asia Pacific Economic Cooperation Secretariat, APEC Publication Number APEC#211-EM-01.5.

Phaup, M. and C. Kirschner, 2010: Budgeting for Disasters: Focusing on the Good Times. *OECD Journal on Budgeting*, **2010**(1), 1-24.

Plamberk, E. L. and C. W. Hope., 1996: Page95: An Updated Valuation of the Impacts



- of Global Warming. *Energy Policy*, **24**(9), 783-793.
- Regmi, M. B. and S. Hanaoka, 2011: A Survey on Impacts of Climate Change on Road Transport Infrastructure and Adaptation Strategies in Asia. *Environ Econ Policy Study*, **13**, 21-41.
- Rehdanz, K. and D. J. Maddison, 2005: Climate and Happiness. *Ecological Economics*, **52**(1), 111-125.
- Riza, A. K., Korbee & Hovelynck, Klopstra D, Versteeg R, Kroon T., 2005: Droogtestudie Nederland; Aard, Ernst En Omvang Van Watertekorten in Nederland, Riza Rapport 2005.016.
- Rose, A., et al., 1997: The Regional Economic Impact of an Earthquake: Direct and Indirect Effects of Electricity Lifeline Disruptions. *Journal of Regional Science*, **37**, 437-458.
- Rose, A. 2004: Economic Principles, Issues, and Research Priorities in Hazard Loss Estimation. *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters*. Springer Berlin Heidelberg. 13-36.
- Rose, A. and S.-Y. Liao, 2005: Modeling Regional Economic Resilience to Disasters: A Computable General Equilibrium Analysis of Water Service Disruption. *Journal of Regional Science*, **45**(1), 75-112.
- Rosenzweig, C., et al., 2000: Climate Change and U.S. Agriculture: The Impacts of Warming and Extreme Weather Events on Productivity, Plant Diseases, and Pests. Center for Health and the Global Environment, Harvard Medical School, Boston, MA, USA, 46.
- Ruth, M., D. Coelho and D. Karetnikov, 2007: The Us Economic Impacts of Climate Change and the Costs of Inaction. Center for Integrative Environmental Research (CIER), University of Maryland.
- Sahin, S., 2011: Estimation of Disasters' Economic Impact in 1990-2007: Global Perspectives. Draft version, February 13th, 2011, The World Bank, Washington, D.C.

- Schlenker, W. and D.B. Lobell, 2010: Robust Negative Impacts of Climate Change on African Agriculture. *Environmental Research Letters*, **5**(1), 1-8.
- Scott, D., B. Jones and J. Konopek, 2007: Implications of Climate and Environmental Change for Nature-Based Tourism in the Canadian Rocky Mountains: A Case Study of Waterton Lakes National Park. *Tourism Management*, **28**, 570-579.
- Sheffield, P. and P. Landrigan, 2010: Global Climate Change and Children's Health: Threats and Strategies for Prevention. *Environ Health Perspect*, **119**(3), 291-298.
- Shiffman, C., 2005: The Financial Service Industry and Climate Change: Insurance and Reinsurance. *Sustainable Development Law & Policy*, **5**(2), 9-13.
- Shiu, C.-J., S. C. Liu and J.-P. Chen, 2009: Diurnally Asymmetric Trends of Temperature, Humidity and Precipitation in Taiwan. *Journal of Climate*, **22**, 5635-5649.
- Skoufias, E., 2003: Economic Crises and Natural Disasters Coping Strategies and Policy Implications. *World Development*, **31**(7), 1087-1102.
- Stern, N. and G. B. Treasury, 2007: *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Stern, N., 2006: *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press.
- Su, Y.-P., C. M. Hall and L. Ozanne, 2013: Hospitality Industry Responses to Climate Change: A Benchmark Study of Taiwanese Tourist Hotels. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, **18**(1-2), 92-107.
- Suarez, P., W. Anderson, V. Nahal and T. R. Lakshmanan, 2005: Impacts of flooding and Climate Change on Urban Transportation: A System Wide Performance Assessment of the Boston Metro Area. *Transportation Research Part D*, **10**, 231-244.
- Sussman, F. and J. Freed, 2008: *Adapting to Climate Change: A Business Approach*.

- Pew Center on Global Climate Change. Retrieved October 12, 2012 from <http://www.pewclimate.org/docUploads/Business-Adaptation.pdf>.
- Tamiotti, L., et al., 2009: *Trade and Climate Change*. WTO-UNEP Report World Trade Organization Switzerland.
- Tol, R. S. J., 2002a: Estimates of the Damage Costs of Climate Change? Part 1: Benchmark Estimates. *Environmental and Resource Economics*, **21**(1), 47-73.
- Tol, R. S. J., 2002b: Estimates of the Damage Costs of Climate Change? Part II: Dynamic Estimates. *Environmental and Resource Economics*, **21**(2), 135-160.
- Tol, R. S. J., 2006: Integrated assessment modeling. Working Paper FNU-102.
- Tol, R. S. J., 2009: The Economic Effects of Climate Change. *The Journal of Economic Perspectives*, **23**(2), 29-51.
- Tseng, W. C., C. C. Chen, C. C. Chang and Y. H. Chu, 2009: Estimating the Economic Impacts of Climate Change on Infectious Diseases: A Case Study on Dengue Fever in Taiwan. *Climatic Change*, **92**, 123-140.
- United Nations, 2008: *World Economic and Social Survey 2008: Overcoming Economic Insecurity*. NY, USA.
- UNWTO, 2008: *Climate Change and Tourism - Responding to Global Challenges*. World Tourism Organization and the United Nations Environment Programme Madrid, Spain.
- van Vuuren DP, Kriegler E, O'Neill BC, Ebi KL, Riahi R, Carter TR, Edmonds J, Hallegatte S, Kram T, Mathur R, Winkler H, 2013: A New Scenario Framework for Climate Change Research: Scenario Matrix Architecture. *Climate Change*, **122**, 373-386.
- Welch, J. R., et al., 2010: Rice Yields in Tropical/Subtropical Asia Exhibit Large but Opposing Sensitivities to Minimum and Maximum Temperatures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **107**(33), 14562–14567.
- Weyant, J., et al., 1996: Integrated assessment of climate change: An overview and

comparison of approaches and results,” In *Climate Change 1995--Economic and Social Dimensions of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, eds. J. Bruce et al. Cambridge: Cambridge University Press.

Wilbanks, T., et al., 2012: *Climate Change and Infrastructure, Urban Systems, and Vulnerabilities*. U.S. Department of Energy (DOE).

Yang, D., 2008: Coping with Disaster: The Impact of Hurricanes on International Financial Flows, 1970-2002. *The BE Journal of Economic Analysis & Policy* 8(1).

Yeora, C., J. E. Kim and S. H. Kim, 2007: *Estimation of Costs and Impacts for various options of Post-Kyoto climate regime*. Korean Environment Institute.

## 第九章 都市與鄉村

<sup>1</sup>詹士樑、<sup>2</sup>葉佳宗、<sup>3</sup>李俊霖、<sup>1</sup>洪鴻智

<sup>1</sup>國立臺北大學不動產與城鄉環境學系、<sup>2</sup>國立臺北大學都市計劃研究所、

<sup>3</sup>中國文化大學景觀學系

### 摘要

氣候變遷的衝擊隨著空間型態而有差異，因應的調適作法亦隨之不同，其中都市空間因人口產業聚集，活動系統具高度動態與複雜特性，增加氣候變遷調適推動的難度，在農業生產為主體的鄉村地區，生產與生活功能更直接受到氣候變遷之衝擊，對於氣候變遷調適因應上更需受到關注。這兩類空間在台灣未來的國土規劃架構下，佔有重要的功能角色。本章就都市與鄉村兩種型態的國土空間，對近年在氣候變遷調適因應的相關研究成果，進行收集整理，從氣候變遷衝擊、脆弱度評估以及調適等三面向，呈現不同空間型態下的研究概況，期能從中獲致未來的參考應用知識，以及後續在推動上的努力方向。

整體觀之，國內在此議題的作法，主要依循著由上而下訂定政策綱領、部會行動計畫，以及由下而上之地方調適計畫、地方農地調適規劃等原則推動，與國際間的相關作法一致，亦有相當之執行成果。國內在空間規劃之氣候變遷調適，主要以程序性研究型態以及脆弱度評估成果較多，較缺乏個別議題或都市發展部門之調適實質空間之行動計畫成果，未來應以實質調適行動方案之設計、推動、監測為後續推動努力，同時以都會地區整體調適能力為探討標的。鄉村地區相對於都市空間屬氣候變遷調適之相對弱勢，更需投入相關資源，目前雖有農業生產之氣候變遷調適策略之研究成果，仍須有基礎研究之進一步支持，以更全面提出鄉村地區之調適策略，特別針對其人口老化、人口外移、平均所得低、基盤設施不足、經濟來源多樣性低與生活環境條件的社會特性，所進行的基礎研究與調適策略。

**關鍵字：**都市、鄉村、氣候變遷、脆弱度、調適

## 9.1 前言

臺灣地形、地貌起伏多變且具有豐富的自然環境，氣候上亦存在地理區位(南-北、東-西) 以及海拔高度上的差異，加上各區域之間的社會經濟發展各有特質，因此在國土空間呈現多元發展，從氣候變遷對國土的影響以及空間規劃如何回應氣候變遷課題的觀點，國土空間可概分為「都市」、「鄉村」、「山地」、「流域」、「海岸」及「離島」等幾類氣候變遷調適的關鍵空間型態。空間的發展與型態結構差異，對於氣候變遷所帶來的衝擊與挑戰因應作法亦不同。伴隨著我國工業化及經濟的起飛，臺灣都市化至今仍持續進行當中，都市計畫劃設面積雖僅佔總國土面積約 13%，卻容納了全國近八成的總人口，其餘人口分佈於都市計畫外的非都市土地上（大多為鄉村、山地或海岸地區）。其中都市空間因人口產業聚集，活動系統具高度動態與複雜特性，增加氣候變遷調適推動的難度，而鄉村地區以農業生產為主體的空間特性，生產與生活功能亦直接受到氣候變遷之衝擊，這兩類空間在台灣未來的國土規劃架構下，佔有重要的功能角色，因此，本章將以討論「都市」與「鄉村」兩種型態的國土空間為主，整理自西元 2000 年後，針對國內近年在都市與鄉村兩類空間的氣候變遷調適因應的相關成果，進行蒐集整理，從氣候變遷衝擊、脆弱度評估以及調適等三面向，呈現不同空間型態下的研究概況，期能從中獲致未來的參考應用知識，以及後續在推動上的努力方向。

## 9.2 氣候變遷調適與空間規劃之連結

目前各國面對上述氣候變遷衝擊之因應作法，主要集中在減緩 (mitigation) 與調適 (adaptation) 兩方面，而近年來的重要方向之一，即透過空間規劃為主要工具，亦即透過空間規劃的途徑，提供影響土地使用的機制以及達成更整體性與策略性的發展，以因應氣候變遷的威脅。在 2006 年發表的史登報告中，即強調空間規劃在促進氣候變遷調適及調適因應，必須整合到各層級的空間計劃內的重要性 (Stern 2006)。歐洲各國如英國與荷蘭，均積極研擬空間規劃性質的因應策略，例如透過空間規劃提高都市的緊密發展，提高公共運輸以及降低私人運具的使用，進而降低 CO<sub>2</sub> 的排放；又如透過緩衝區的設置，可以減緩洪水的衝擊，亦可保護水資源以及維持生物多樣性與地景，更可對經濟旅遊與觀光提供新的機會。

近年國內在連結空間規劃與氣候變遷調適的作法上，較著重在程序建置與應



用，主要依循 APF (adaptation policy framework, UNDP) 為架構，針對特定區域 (如縣市) 或資源 (如農地)，進行氣候變遷衝擊評估與風險分析、透過規劃調適策略的程序，組織及設計與調適相關的計畫。類型上主要包括兩類：其一為策略規劃 (strategic planning)，著重於有系統、有條理地產生決策的過程，包括蒐集重要資訊、關鍵決策者的參與及溝通、調解利益與價值衝突、分析與發展策略方案、評估前當決策與行動對未來發展的影響等重要程序 (黃書禮 2012)。其二為協作式規劃 (collaborative planning)，透過促進夥伴關係和建立制度能力 (institutional capacity) 的社會過程，為一種多元性規劃的價值基礎，其牽涉各地關係者建立於規劃發展，以及達成共識的一種互動形式，為一種長期性關係者之間面對面的互相影響的過程 (李承嘉等 2013)。

### 9.2.1 氣候變遷調適政策綱領

隨著氣候變遷議題受到高度關注，國家發展委員會 (原經建會) 為強化國家調適能力、降低社會脆弱度，並建立我國整合性的運作機制，作為政策架構與計畫推動的實施基礎，透過「規劃推動氣候變遷調適政策綱領及行動計畫」專案小組，研擬國家層級的氣候變遷調適政策綱領，並於民國 101 年核定發佈「國家氣候變遷調適政策綱領」，作為面對氣候變遷挑戰的全國性的調適指導方針，其中將土地使用列為重要調適領域之一，以接續推動地方調適策略研擬，足見其重要性。此項政策綱領以「建構能適應氣候風險的永續臺灣」為政策願景，據以訂定政策原則與目標，進而研擬總體調適策略，在總體調適策略之擬訂基本上依循著避開風險與降低風險二大思維。前者就空間發展而言，即優先避開高風險區位，免於遭受氣候變遷的衝擊影響；後者則主要透過提升能力來降低風險，且可分為強化及預防兩種角度思考，以降低氣候變遷的衝擊。總體調適策略包括：

#### 1. 落實國土規劃與管理

同時將減緩與調適氣候變遷的概念融入空間規劃體系，進一步納入各層級的國土計畫、區域計畫、都市計畫與非都市土地管制中，評估氣候變遷的可能衝擊，以調整發展方向，採取因應措施，並延續落實於後續的國土管理。

#### 2. 加強防災避災的自然、社會、經濟體系之能力

自然、社會與經濟體系之間的調適能力相互影響，為降低台灣在氣候變遷上

的脆弱度，應同時強化防災避災的自然、社會、經濟體系之能力，以面對環境變遷與災害風險提高的嚴峻挑戰。

### 3. 推動流域綜合治理

以流域為單元，協調整合國家重要河川流域內之水土林資源、集水區保育、防汛、環境營造、海岸防護及土地使用等事項，優先推動流域整體規劃及治理。

### 4. 優先處理氣候變遷的高風險地區

高風險地區面臨水土複合性災害風險增加，考量其脆弱度與復原難度，應優先處理高風險地區，以減少氣候變遷衝擊與生命財產損失。

### 5. 提升都會地區的調適防護能力

台灣將近 80% 的人口聚集在都市地區，而相關都市土地的規劃與管理制度缺乏對氣候變遷的回應，都市地區的氣候脆弱度高，應積極推動氣候變遷調適，以提升都會地區整體調適防護能力。

依據「國家氣候變遷調適政策綱領」，調適工作分為八大領域，由中央部會單位擔任彙整機關進行總籌工作（各領域部會分工見表 9-1），並由其負責成立各領域之領域小組，進行規劃與行動方案整合後提出該領域之調適行動方案。各部會則視實際推動氣候變遷調適工作之需要，自行成立部會內之調適小組，針對該部會負責之調適策略，協調並整合部會內各機關之氣候變遷調適工作，綜理、統合各主、協辦機關之相關行動計畫研提工作，並依據國內氣候變遷趨勢及脆弱度與影響評估的相關研究成果，進一步提出調適行動計畫，此項工作經彙整於 103 年核定「國家氣候變遷調適行動計畫 (102-106 年)」，作為未來政府各部門推動調適工作之主要行動，以具體落實政策綱領。

## 9.2.2 地方氣候變遷調適計畫之推動

全球氣候變遷除了在不同領域造成各種類型的影響外，也因不同的地理區位、空間層次、地方發展，產生各類型的衝擊與挑戰。為使氣候變遷調適的政策與計畫內容能夠反映地理空間上之差異，並且針對不同地域之環境資源與社會經濟特性擬定因地制宜的調適政策與計畫，國發會（原經建會）於 100 年度開始推動地方調適計畫，選定臺北市、屏東縣作為臺灣氣候變遷調適示範縣市，並依據此年

表 9.1 臺灣國家層級調適工作各領域分工部會

調適領域	分工部會
災害	國科會、經濟部、農委會、國防部、交通部、內政部
基礎維生設施	交通部、經濟部、農委會、內政部
水資源	經濟部、環保署
土地使用	內政部、環保署
海岸	內政部、經濟部、交通部
能源供給及產業	經濟部、交通部、環保署
農業生產及生物多樣性	農委會、內政部
健康	衛生署、環保署

資料來源：行政院經濟建設委員會 (2012)

度推行之經驗與蒐集其他國外地方調適計畫之資料，完成「地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引」，作為後續推動地方氣候變遷調適規劃之依據。透過示範計畫的進行，顯示不同空間特性因應氣候變遷亦有不同的處理程序以及成效，也進一步推動其他各縣市之相關氣候變遷調適計畫，至 103 年底，已有 16 縣市完成地方調適計劃的擬定，並接續試行推動第二階段特定之調適行動計畫。

為落實地方氣候變遷調適策略與行動計畫的規劃工作，作業指引的設計採用策略規劃 (strategic planning) 的理念與程序。策略規劃著重於有系統、有條理地產生決策的過程，包括蒐集重要資訊、關鍵決策者的參與及溝通、調解利益與價值衝突、分析與發展策略方案、評估前當決策與行動對未來發展的影響等重要程序。策略規劃理念強調，在有限的資源條件下，規劃應著重於關鍵議題的解決，並且重視環境的優勢、劣勢、潛力與威脅之分析。規劃應在探究外在的趨勢與資源的可行性後，廣泛吸納多樣的參與，確認主要的利害關係人 (stakeholder)，並且整合他們的力量。策略規劃透過決策結構的設計，發展被眾人接受的意象以及管理變化的重要決策。策略規劃能夠促進彼此的了解，協助建立共識，並且重視決策、行動、結果、實踐，並且能整合監測、回饋與改善工作 (黃書禮等 2012)。

策略規劃目的在協助地方政府打破傳統的規劃方式，以更巨觀、更接近市場及更易落實的觀點，提出規劃課題、情境、及策略方案，成為計畫與管理環境架構時的關鍵工具。策略規劃之另一重要精神在於延攬各權力相關人建立夥伴關係，透過互相了解、溝通討論以達成共識，據以採取各方皆能同意之因應措施，甚至激發出創新之積極行動。根據策略規劃的理念與程序，該作業手冊對於氣候變遷調適策略與行動計畫的基本規劃程序作相關建議，如圖 9.1 所示，作為地方推動相關工作之參考依據。

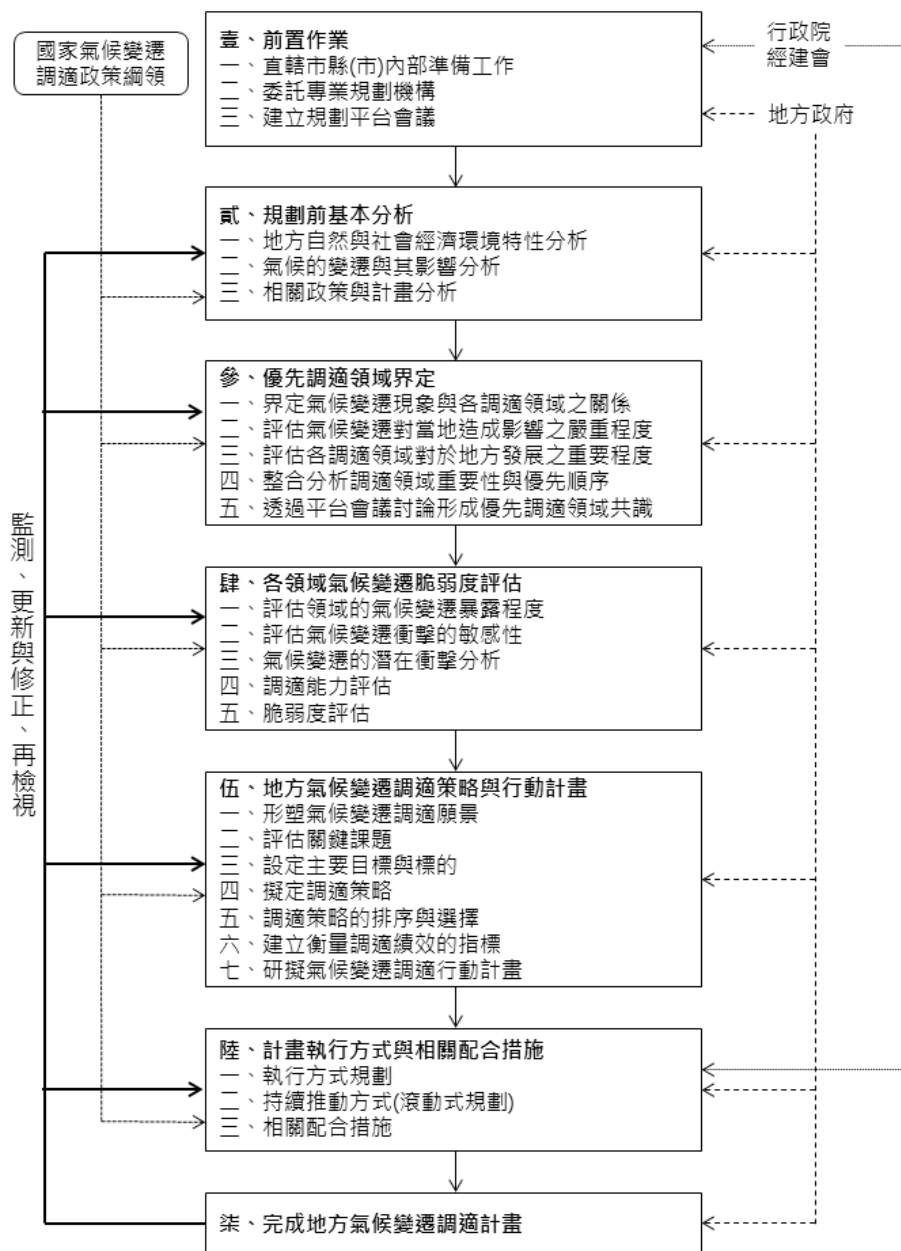


圖 9.1 地方氣候變遷調適策略規劃流程圖 (資料來源：行政院經濟建設委員會 2012)

### 9.2.3 氣候變遷農地調適規劃

行政院農業委員會（以下簡稱農委會）為配合國家氣候變遷調適政策，於 2011 年 6 月召開「因應氣候變遷農業調適政策會議」，確立了台灣農業面對全球氣候變遷衝擊，應秉持「健康、效率、永續發展」的農業施政方針，研擬以「低風險、低碳排、新商機」為願景的調適策略。在氣候變遷國家調適政策綱領下，八個調適領域中，由農委會負責農業生產及生物多樣性領域，將「地方氣候變遷農地調適計畫」的成果，納入「地方氣候變遷調適計畫」的領域計畫內，加以實踐。在「地方氣候變遷調適計畫」中，若「農業及生物多樣性」或「土地使用」被列為關鍵領域時，「地方氣候變遷農地調適計畫」即應展開，其主要原因為：

1. 在氣候變遷調適中，「農業及生物多樣性」原本即由農政單位負責；
2. 「土地使用」被列為關鍵領域，意味著農地在氣候變遷的調適中亦扮演關鍵角色。換言之，「農業及生物多樣性」及「土地使用」與農地調適關係密切，一旦前述兩大領域被規劃界定為關鍵領域，應即啟動地方農地調適計畫，並將地方農地調適計畫之結果回饋至地方調適計畫之中。地方農地調適策計畫啟動時機，與其他調適策略計畫的關係如圖 9.2 所示（李承嘉等，2013）。

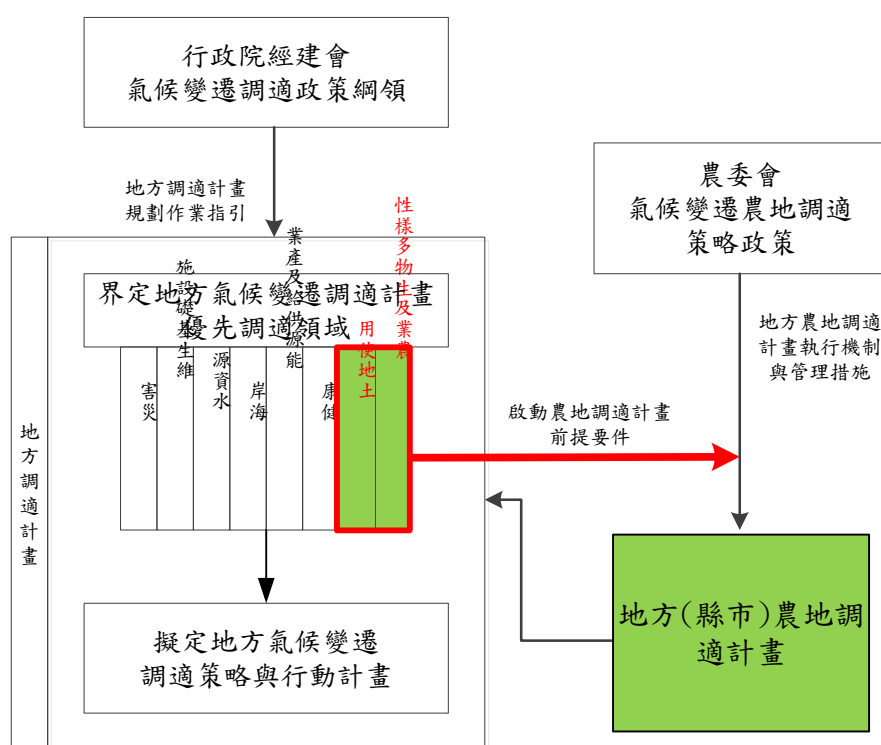


圖 9.2 地方農地調適計畫推動架構 (資料來源：李承嘉等 2013)

在由中央農地調適策略落實到「地方農地調適計畫」的過程中，嘗試結合國發會「地方氣候變遷調適計畫」，引用聯合國開發總署 (UNDP) 與全球環境機構 (GEF) 於 2004 年所提出「氣候變遷調適政策綱領」(Adaptation Policy Frameworks For Climate Change, APF) 之架構內含與操作程序，建構「地方農地調適規劃」之程序，包括：「調適範圍與目標界定」、「農地脆弱度評估」、「未來農地氣候風險評估」、「農地氣候變遷調適策略與行動計畫之擬定」，以及「持續推動與監控地方農地調適計畫」等五個程序 (如圖 9.3 所示)。農地調適規劃係指擬定農地調適

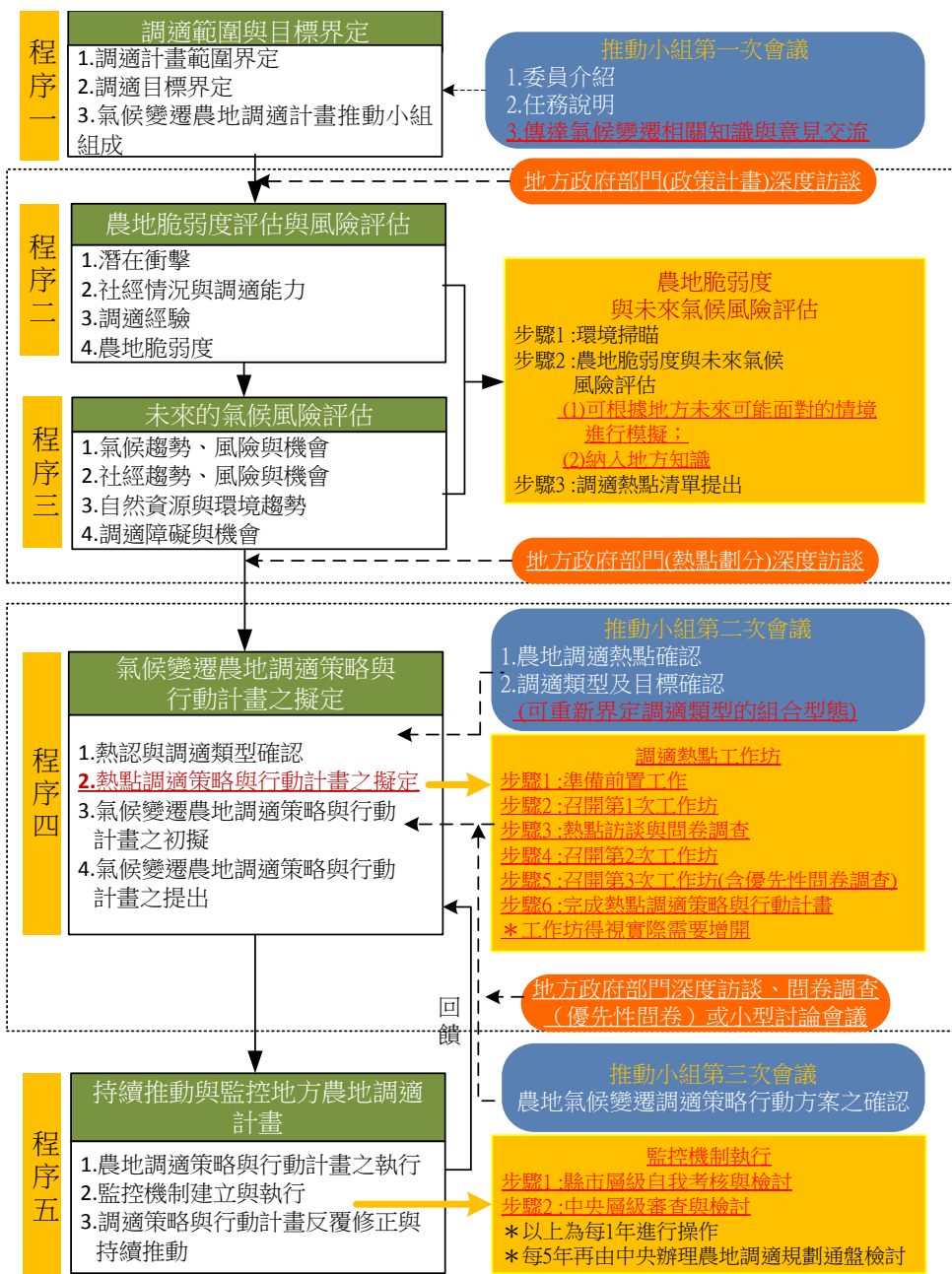


圖 9.3 臺灣鄉村地區調適決策架構圖 (資料來源：李承嘉等 2013)



策略與行動計畫的過程，在這個過程中應具有包容性、及時性與靈活性。農地調適規劃亦應鼓勵民眾積極參與，以及以地方層級為尺度，分析和評估地方氣候變遷下農地脆弱度問題和找出調適策略的實踐路徑。透過這個路徑，將可找出氣候變遷下農地調適熱點與脆弱度較高地區的居民，並讓其可以明智的決定農地調適的優先行動。

### 9.3 氣候變遷與都市脆弱度 (Climate Change and Urban Vulnerability)

隨著台灣都市化發展過程，都市地區逐漸成為國家的經濟活動中心，也經常是消費與財富的中心。目前台灣將有近 80% 的人口聚集在都市地區生活，都市集中了人口、經濟、政治、社會的高度發展，而且許多都市發展在沿海及臨近河川的地區，原本就是易致災的地區。在氣候變遷引發的各種衝擊下，都市面臨較大的氣候衝擊風險，造成更嚴重的損害。考量台灣都市地區的高氣候脆弱度，應積極推動氣候變遷調適，以提升都會地區整體調適能力。分析台灣都市的環境特性、氣候變遷下的風險、衝擊以及因應氣候變遷的調適能力，是都市地區面對氣候變遷挑戰的重要工作。

#### 9.3.1 都市氣候與都市熱島

台灣目前仍將持續朝著都市化與工業化的發展，都市發展過程改變土地利用會對自然環境產生負面的衝擊，尤其是影響到較敏感的都市溫度，都市溫暖化的趨勢將無法避免。台灣的都市熱島現象受到海陸氣候特性，以及都市土地使用狀況之影響甚大。臺灣關於都市熱島效應的相關研究為數不少，包括實測與遙測的方法探討溫度與土地使用之間的關係。根據林憲德等人 (2001) 之研究，台南、高雄與新竹之都市熱島中心，在白天與晚上會有明顯之差異。此研究也指出，建蔽率、水域密度、綠覆率都具有降溫效果，證明都市土地利用狀況對於都市溫度環境具有實質與關鍵的影響力。在氣候變遷與都市化發展的交互作用之下，都市的熱島強度可能有逐年上升的趨勢。徐森雄等人 (2007) 採用 1949 年至 2005 年間，臺中與彭佳嶼兩氣象站之年平均氣溫資料，分析其差異，藉以瞭解臺中市於都市化發展過程中，各項因素與氣溫變化之關係。分析結果得知，都市化發展過

程中，用電量、人口密度、道路面積與機動車輛總數之增加與氣溫之升高有明顯正相關，水田面積則呈明顯負相關。台灣地狹人稠，人口和產業朝向都市集中的趨勢更為明顯，都市化程度已高達 70%。鄒克萬、黃書偉 (2007) 研究顯示臺南市隨著與市中心距離越遠，熱島效應之地表溫度增加越大。

近年來，許多學者投入於都市地區溫度變化的空間分布，以及都市土地使用對都市氣溫上升影響之研究，如劉小蘭與賴玫錡 (2011) 使用地理資訊系統之內插法 (interpolation) 和空間分析方法，以及迴歸分析工具，得到台北都會區年平均氣溫自 1996 年至 2006 年上升之幅度與範圍有擴大的趨勢，呈現放射狀的溫度分布。林焯明 (2010) 指出熱島效應對都市氣候的影響包括：(1) 能源供給壓力增加、(2) 日照時數減少、(3) 相對濕度減少、(4) 降水型態改變，都市水患機率增加、(5) 熱島效應伴隨全球溫室效應，反聖嬰現象與高溫機率增加、(6) 影響空氣品質監測，危害民眾健康、(7) 混淆全球暖化訊號，影響全球暖化之評估等七個主要面向。近期，陸象豫等 (2014) 等人利用實測都市地區以及鄉野綠地的溫度方式，探討不同的都市結構對溫度的影響。透過 6 個月溫度變化紀錄，結果顯示樹冠層頂、林下及建築物頂樓的平均溫度分別為 26.15、24.80 與 28.04°C，表示都市中的建物地區造成地表溫度的上升情形最顯著。另外，林傳堯等人 (2014) 研究台灣巨型城市中的空氣汙染物排放源，造成熱島效應影響大氣環流，進一步導致巨型城市的空氣汙染物影響加劇，導致高濃度的空氣汙染事件使民眾健康受衝擊。

### 9.3.2 都市的水資源與水災

未來台灣的水資源將受氣候變遷影響，在降雨量、逕流量及蒸發量都可能有增加的趨勢下，河川豐枯差異將更加明顯，使水庫的供水及減洪能力皆受到衝擊。特別是台灣南部地區原本就有豐枯差異大的問題，氣候變遷影響將使豐枯差異加劇，而致使缺水風險提高，台灣各水資源分區受氣候變遷下流量的衝擊評估可參考 6.4.2 節「水源不足之衝擊」之整理。再者，河川豐枯期流量極端化也會影響河川的水質，威脅河川中生物的生存，而破壞河川生態系統。此外，極端氣候事件也會造成水利工程結構遭受洪水破壞的風險提高，可能導致供水困難或不足之風險，尤其是極端氣候事件引發的複合型災害會升高缺水的風險，對於蓄水設施的永續性也有一定的影響 (詳如 6.3.3 節)。面對氣候變遷，在台灣的水資源管理方面，水資源的操作、運用及調配日益困難，溫度升高造成水質惡化，用水未能

進行良好管控，造成供需失衡；還有其他相關衍伸的問題，如地下水超抽造成地層下陷、海水入侵、地下水污染，海平面上升造成低窪地區淹水、國土損失等（吳瑞賢等 2010）。

都市是人口密集且各種經濟活動集中的地區，都市地區的水患可能造成更為嚴重的損害。嚴重的水患可能對各種都市基礎設施造成影響，甚至造成整個都市運作機能的癱瘓。台灣在快速都市化的發展下，都市的建築物、道路、基礎設施大幅增加不透水層面積，導致地表逕流之增加，且都市排水系統取代原有自然水道，使地表逕流快速匯集到下游，導致河川下游地區之洪峰到達時間縮短且洪峰流量更加升高，許多都市的發展將原有的河川或渠道加蓋，且填平了許多自然的濕地與埤塘，減損了自然環境的滯洪的功能，且都市的不當擴張爭搶許多河川行水區域，束縮了河道的通水斷面，致使排洪能力受損，水患發生機率必然提高（中央研究院 2011）。

在氣候變遷影響下，極端氣候事件引發水災的規模與頻率有上升的趨勢（詳如 5.3.1 節），可能造成生命財產的嚴重損失。謝龍生等人（2012）評估未來短中長期各種可能氣候變遷情境條件下全台重要河川洪峰流量對於集水區防洪系統之整體性衝擊影響，研究結果顯示，不論是以平衡試驗氣候變遷預設情境，或是在氣候變遷預設情境下，其各區域主要河川流域最大保護標準洪峰流量皆將有增加之趨勢；於 5.4.3 節「高濁度之衝擊影響」引用水利署利用不同降尺度方法評估未來極端降雨之成果也多為增加之趨勢。在氣候變遷之影響下，未來除了極端氣候事件之強度可能強化之外，極端氣候事件發生之頻率亦可能因氣候變遷之影響而提昇對於防洪設施之衝擊。賴進松等人（2009）蒐集大氣環流模式（GCMs）對氣候變遷之預測資料，以降尺度模式修正 GCMs 之預測資料，並應用降尺度模式之結果，預測未來降雨量之變化，以降雨—逕流模式計算未來員山子分洪隧道增加之分洪量，研究中將未來之分洪量與員山子分洪隧道之最大分洪量，以脆弱度表現未來員山子分洪可能受到之衝擊程度。

水資源為人類重要的維生需求，然而氣候變遷會導致水文氣象環境極端化，進而影響水資源的供需，未來發展時應考量水資源的永續利用，以因應氣候變遷帶來的衝擊，增加調適力。但在進行水資源評估時會受到許多不確定性的研究限制，因此童慶斌（2013）評估極端氣候下的缺水風險，探討必要的強化措施，透過文獻分析、探討不確定來源以及量化不確定來源，並評估不確定性供水與調適措施的影響性，最後將上述的因子納入決策機制。童慶斌（2013）的分析結果顯

示，形成水資源的不確定性主要有 (1) 氣候變遷推估資料 (2) 降尺度方法 (3) 水文模式 (4) 水資源系統動力模式 (5) 社會經濟等五大面向。為了使擬定的調適方案執行計畫符合現實，實質推動與研擬水資源調適力前，應將氣候變遷不確定性納入考量。

陸象豫等 (2014) 等人的研究發現台灣都會區的都市熱島效應會引發午後熱對流改變的大氣環流，對降雨型態會有所影響。李振誥等 (2015) 探討氣候變遷影響下，各地區氣溫與降雨量變化，以及對地表水與地下水造成影響與衝擊，進而影響台灣水資源之利用與規劃，而未來全球氣候之變遷，更將對台灣各地區之水資源造成影響。此研究指出台灣地區山高水急，造成地表水保留不易，而氣候變遷可能造成強降雨與短延時效應，使得地表水之利用將更趨困難。研究也指出，氣候變遷造成降雨量變化會引起河川流量變化，進而改變地表水與地下水之交互作用機制，影響河川對地下水之補注；降雨與氣溫之變化，則會改變降雨與蒸發散等作用而影響地下水補注。

鄒克萬等 (2014) 建構以馬可夫鍊為基礎之細胞自動機空間動態模擬架構，並結合空間多準則評估模型，以深入了解在氣候變遷可能造成之極端淹水潛勢情況下未來都市土地利用之型態變化。此研究在台北市之實證研究中建立之細胞自動機動態模擬架構，而在加入極端淹水潛勢之模擬結果顯示，在增高之淹水潛勢下都市發展將會呈現更為蔓延之情形，且原高淹水深度地區將逐漸轉作低人口密度之使用。此研究指出藉由漸進式的規劃模式，有助於因應淹水潛勢改變所造成土地利用之時空演變，進而確保未來公共設施與交通運輸能夠有效率配合新聚落的發展而達到理想情形。為因應氣候變遷對都市地區的衝擊，因此近年來不同行政區域提出因應計畫。水利署於 2009 年提出「氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究計畫」，而淡水河及高屏溪等流域皆為旗下的子計畫。譚義績 (2013) 針對淡水河流域的水文因子進行情境設定、衝擊評估、脆弱度評估以及風險評估。其結果顯示淡水河的 48 小時鋒值定量流的通洪能力並不足；在氣候變遷的情境下，崩塌產砂量貢獻比例會明顯的增加，造成整體流域土砂生產量明顯。而林永峻 (2013) 利用國家災害防救科技中心所提供之統計降尺度 A1B 模式進行情境模擬全球大氣環流模式 (GCMs) 月降雨量變化資料。其研究結果顯示高屏溪的築堤禦洪等工程對策已無法因應近年氣候變遷造成之災害，且高屏溪的降雨強度逐年增加且豐枯水期差距加大之趨勢，使得水資源分布空間不均等現象伴隨發生。

氣候變遷對我國都市地區的衝擊，以極端天氣如：颱風、暴雨所造成的洪災與淹水最受重視。由於都市地區的人口稠密、都市蔓延現象持續，且歷年颱風所引發的大規模災害記憶猶新，從 2001 年北部的納莉風災、2008 年中部的卡玫基颱風發生大於 200 年重現期的超大豪雨以及 2009 年重創南部的八八風災等事件，引發對都市地區的極端降雨事件及其所導致的災害研究較為重視。另外，全球暖化導致的海平面上升以及加劇都市熱島效應的影響，也是臺灣都市地區不可忽視的衝擊。呂育勳等 (2011) 認為，都市化程度愈高地區，因地面逕流量增加，集流時間縮短，加速都市下游河川洪峰，引發水災及洪泛機會自然提高許多，並且認為對都市六大防災系統 (防災路線、避難、消防、警察、醫療及物資集散) 造成影響；虞國興 (2006) 則針對大臺北都會區在既有之防洪排水系統保護下，以若遭遇各種極端暴雨事件侵襲時的情境分析，模擬當堤防溢堤或破堤、抽排系統喪失功能時，大臺北都會區發生複合型災害及可能產生的淹水情形。鄭明淵等 (2010) 亦指出 2009 年八八風災的慘痛經驗，認為由於極端氣候的影響，台灣處於高度複合性的災害風險之下，都市的災害規模及特性將演變成難以預測及控制之情況，該研究並以台北市為例說明複合性都市災害防治工作的重要性。李欣輯等人 (2009) 透過社會脆弱性指標之建立，提升政府在減災及應變時所能取得的資訊豐富性，使得指揮或災害管理者能容易就指標數值判別社會脆弱度，並提供有效的減災與救災決策。此研究提出之社會脆弱性指標的架構共有三個面向，包括：(1) 最大可能損失，(2) 自保能力，(3) 復原與適應能力。其評估結果顯示，東部地區 (台東、花蓮縣) 相較其他縣市而言，水災的社會脆弱度較高，嘉義縣的社會脆弱度則較低。

另外，張倉榮 (2009) 則以臺中都會區人口最密集且精華之旱溪排水與筏子溪流域為研究區域，進行為期三年 (2010~2012) 的研究計畫，探討該地區在氣候變異與都市化下，區域排水及雨水下水道容量等所受之影響，研究目的為提出臺中都會區在氣候變遷下淹水災害防治之建議。張倉榮等 (2013) 指出，「在都市化的過程中，商業用地及住宅用地之面積需求高，使得大量農牧用地改變土地使用用途，造成地面不透水面積增加，入滲不易，改變都會區區域水文狀況……」，研究並以臺中地區近年來最嚴重降雨事件卡玫基颱風為例，模擬分析 1997 年與 2007 年不同階段都市化程度淹水結果，顯示都市化程度越高，淹水災害之衝擊就愈明顯 (表 9.2)。



表 9.2 卡玫基颱風於 1997 年以及 2007 年都市化程度淹水情形比較

都市化程度	筏子溪集水分區		旱溪集水分區	
	淹水範圍(ha)	淹水體積( $\times 10^5 \text{ m}^3$ )	淹水範圍(ha)	淹水體積( $\times 10^5 \text{ m}^3$ )
1997 年	394.1	385	421.8	510
2007 年	458.1	482	448.0	583
改變量	16.24%	25.19%	6.21%	14.09%

資料來源：張倉榮等 (2013)

曾梓峰等 (2012) 則指出，「近年全球氣候變遷而來的突發性事件如異常暴雨、洪氾土石流，甚至是乾旱，以及趨勢性的干擾如氣候暖化、海平面上升為各大都市地區帶來了前所未有的挑戰...。」同時，該研究認為颱風帶來的豐沛水氣往往造成洪患，所造成的「都市型洪災」是臺灣面對極端氣候最具挑戰性的衝擊型態之一，並且認為伴隨著流域開發的都市化發展，將導致都市地區發生災害的風險逐漸上升。

陳正昕 (2008) 認為臺灣身為海島國家，將無可避免得面臨海平面上升的衝擊，以臺北都會區為例，該研究指出若海平面上升將對都會區內的人口流動產生影響；而陳玉玲 (2012) 則針對台南市沿海地區提出災害風險的五個等級分析。不過相較於颱風、淹水之事件，海平面上升、高溫或熱浪的氣候衝擊則較少受到都市空間研究領域的關注。

### 9.3.3 都市民眾健康

科學證據指出，氣候變遷已引起許多地區氣候系統的混亂、生態系統衝擊，所引起之微環境氣象條件變化對微生物繁衍及傳染途徑造成影響，亦將改變各類傳染性疾病流行規模與流行分佈。對慢性病患者而言，氣候變遷不僅影響其生理感受與心理壓力，其對醫療輸送管道也會形成破壞，降低醫療系統之可近性與醫療物資傳遞的持續性 (蘇慧貞等 2013)。未來氣候變遷造成海平面上升對台灣造成之影響嚴峻，包括海岸侵蝕、沿海地區地下水鹽化、颱風造成的海水倒灌，尤其是在地層下陷地區，特別須注意引爆傳染病流行的可能。另外，氣溫若持續上升，強降雨所帶來的公共衛生威脅將逐漸增強 (金傳春等人 2012)。

呂毓倫 (2008) 將台南市的社會經濟變數資料，如土地使用類型、人口分佈密度、建築物比率、道路鋪面比率、綠覆率等套疊於地表溫度圖，以了解都市在



高溫下的脆弱特性。對於氣候變遷引發端氣候事件造成都市民眾健康的衝擊，近年來有許多研究紛紛投入。Chung et al. (2009) 的研究當中曾對於臺北市 1994 年至 2003 年之間的資料進行分析，結果顯示當氣溫超過 31.5°C 後，每上升 1°C 則呼吸疾病的致死率即增加 9.3%；而溫度超過 25.2°C 後，每上升 1°C 則心血管疾病的致死率即增加 1.1%。顯示臺北市的死亡率與溫度確有相關性。蘇慧貞、胡淑貞 (2013) 研究結果中，不分區的每日糖尿病門診次數與當天平均溫度、最高溫度及累積雨量均有顯著相關；而每日平均溫度與心血管疾病死亡人數則呈現最顯著之相關。而多數南部地區的鄉鎮，其心血管死亡人數與溫差因子呈顯著相關，且受影響的鄉鎮明顯多於北部。此外，此研究以台灣六大都會區為例，利用廣義加乘模式，針對其最高溫度對死亡之影響進行估計，結果發現，除基隆地區之外，前一天每日最高溫對死亡的影響閥值約介於 30 (台北) 至 33 (嘉義) 度間；當前一日高溫達 35 度時，除台北與台中地區外，其他四大都會區之相對死亡風險皆上升了 10%。

蘇慧貞 (2010) 利用國內外文獻檢所了解國際氣候變遷對空氣品質影響程度、影響因子、方法論、潛在的公共衛生衝擊，並彙整相關調適策略架構與原則。並且透過台灣歷年的氣候資料分析極端氣候發生頻率對臭氧之影響，擬出可行調適策略，並利用成本效益分析評估提出調適策略所需成本。此研究也著重於空氣污染對環境及人類所造成之影響，如潛在公共衛生問題，除傳統呼吸道與心血管疾病，也包含新生兒先天缺陷風險。分析台灣因應氣候變遷對於空氣品質衝擊，並試圖找出可行的調適策略，並以經濟學角度評估調適策略成本效益進一步建議更適之策略。Wang et al. (2012) 針對台灣四個主要都市在 2000-2009 年間，與溫度與極端氣溫相關引起心肺疾病的急診室就診風險作評估。將特定都市每天的平均氣溫中，高溫的第 95、97、99 百分比定義為極端熱，而低溫的第 10、5、1 百分比定義為極端冷。透過分佈式滯後非線性模型去評估與氣溫 (0~3 天的滯後) 及持續 2-9 天或更久的極熱或極冷情況下，急診室就診相關的發病風險之間的關係。研究發現，低溫對於循環系統相關疾病的急診室就診風險較有關聯性。此研究結果顯示，每年的第一次極端氣溫事件以及長期的極端低溫事件都與台灣急診室就診的增加有關連。

董宗華等人 (2011) 以大尺度社會與政治變遷為背景溯析與登革流行相關的外在變化，進而由組織架構更替、登革偵測系統、防治作為與全球氣候變遷的面向，嘗試探索其對流行的影響。此研究指出指出台灣近年在偵測系統與實驗診斷

有長足的進步是目前登革防治的最大優勢，但基層公共衛生功能與防疫人才流失為兩大隱憂，尤其過去與民眾關係最密切的里長及衛生所防疫功能漸失。金傳春(2013)的指出，由於全球暖化，登革防治為全球衛生的重要議題，因此系統化跨年檢討台灣登革流行，才能鑑往知來，對未來全球登革防治盡力。臺灣在氣候變遷災害、空氣汙染、氣喘對台灣重大病毒傳染病的影響與公共衛生威脅下，應提早未雨綢繆。

### 9.3.4 都市的經濟與其他衝擊

吳珮瑛(2012)指出，面對氣候變遷帶來的襲擊，或是伴隨而來的極端事件發生頻率的增加，可以預期其對城市造成的衝擊必然是比非城市或鄉村地區顯著，台灣各城市基礎建設的特質，能否配合各城市在面對氣候變遷的脆弱度，將在城市未來的發展上扮演關鍵的角色。也就是說，在面對可能發生得更頻繁的洪患、暴風雨等問題，將使得港口城市及其他城市脆弱度加大。由於減量措施與調適措施彼此是相互競爭資源(政府預算)。其研究強調必須要有適當的方法確實評估每一種減量措施或/與調適措施的成本與效益，如此方能提供城市級的地方政府做為選擇適當措施與政策工具的依據，否則任何減緩或是調適措施的提出與目標設定，終將成為沒有評估依據下的任意選擇。劉文宏(2013)表示，台灣四面環海，許多資源接取之於海洋，近人口增加和經濟結構轉變，海岸帶的開始大規模的利用與開發，然而普遍的沿海地帶缺乏完善且整體的開發規劃。若加上氣候變遷的負面衝擊，將導致海岸地區環境和生態系統受到嚴重破壞，增加海岸地區相關產業的脆弱性。由於海岸帶是面對全球氣候變遷直接衝擊的區域，其衝擊不僅影響海洋環境、生態和以海洋活動維持生計的社區，也直接衝擊國家社會經濟的永續發展，而目前臺灣海岸脆弱地區主要分布於西南沿海，如嘉義、臺南、高雄和屏東一帶。

在全球環境變遷人文面向研究(International Human Dimensions Programe, IHDP)的提倡下，土地利用變遷與社經代謝作用(泛指社會經濟系統的資源消耗、資產累積與廢棄物排放)的研究逐漸受到重視。李俊霖(2009)以SEMLUC(Socio-Economic Metabolism and Land-Use Change)模型，來探討社經代謝作用與土地利用變遷之空間型態。研究發現以台北都會區在極端降雨趨勢與地表氣溫上升的影響下，台北都會區對於外來不可再生能量的依賴顯著提升，而自然資產的空間分佈呈現出往高海拔地區集中的空間型態，坡地農業則逐漸消失，廢棄物的

產生亦有明顯的增加。

除了土地利用之外，氣候變遷對於產業也會造成衝擊，如都市活動與溫室氣體相互影響，導致氣候變遷的事實，甚至已有研究直指 2050 年時，氣候變遷對觀光產業所造成的經濟損失將會非常嚴重 (葉源鎰 2013)。近年來人類對於能源供給設備的倚賴程度隨之上漲，然而，一旦遭受氣候變遷所帶來的極端氣候衝擊時，能源的產業經濟也會受到嚴重的傷害，並且影響人民的生活品質。基於我國許多能源設施處於海岸地區，且部分輸、配電系統則位於易發生坡地災害之環境脆弱區 (徐玉度、吳郁真、羅慧瑋 2014)。

由以上的研究探討可知都市脆弱度評估的多元向度，從自然環境、生態到社會制度、經濟與都市治理等，皆可能是都市脆弱度指標選取的對象之一，當然也與該地區的氣候衝擊現象相互連結。

## 9.4 都市地區調適因應策略

延續脆弱度評估對都市系統功能的界定，都市地區的調適策略從相關研究文獻較常出現的型態包括：都市空間發展的願景與定位，例如：宣示打造綠色、低碳的永續城市；瞭解都市空間本身所受的氣候衝擊以及脆弱度進行分析並予以規劃，接著即是落實於土地使用計畫上的調整，例如：增加都市地區的自然災害避難場所、健全防災路線規劃或增加都市滯洪空間、設置防災公園等；對於建築基地開發的保水、都市地表逕流量的管控、以及實施綠建築設計準則或將調適措施納入都市計畫審議制度等作法，皆屬於都市空間中可操作之調適作為。以下整理相關文獻中之研究成果。

### 9.4.1 都市的轉型：回復力與永續性都市發展 (Urban Transition to Resilience and Sustainability)

鄒克萬等 (2000) 進行有關都市內部空間永續性結構的探討，藉由擬定適於探討都市永續性結構之指標系統，並結合多變量分析與地理資訊系統，進行都市永續性空間結構的探討。以台南市為例，結果顯示 12 個永續性因子在台南市區呈現同心圓、多核心、塊狀跳躍式、單核心與單核心放射狀之 5 種結構型態，進

一步可將台南市區分為 12 個永續發展群落。依各個群落之發展特質與課題，進行永續發展改善方向的建議，提供「因地制宜」的經營管理策略，期盼對都市永續發展有所助益。

李永展 (2002) 以聯合國都市指標系統作為發展共同知識基礎，並輔以聯合國於 1990 年所提出人類發展指數，就區域空間及發展程度的觀點，探討台北市在區域上及全球都市發展中所呈現出的都市特質。其根據聯合國都市指標系統並參考台北市之特建構出台北市之都市指標系統，並據此衡量台北市之永續性趨勢，以 1989 年到 1998 年的資料探討台北市都市發展之趨勢，依此衡量台北市各面向之表現。計算結果以背景資料、地方政府、及住宅三大類較邁向永續，亦即行政部門在市政建設及住宅政策上均有較佳的執行成果。為進行不同城市間的比較與接軌。

黃書禮等 (2005) 回顧國際上相關的都市永續發展指標系統，探討指標系統架構與內涵之間的差異，進而建立「都市台灣」指標系統的項目與其理論基礎。藉由永續台灣評量系統中 22 個範疇的型態辨識，分析了都市在台灣永續發展中所扮演的角色，確認都市生產與生活型態對於國家整體永續發展的重要性，也驗證了生態系統觀點中都市對於環境的依存與影響。利用都市永續發展指標作為政策評估的重要變數，應用互動式電腦軟體「感受性系統模型 (Sensitivity Model Tools)」以系統性觀點進行都市發展政策永續性的評析。並且藉由系統模擬瞭解變數之間的互動關係，而政策評估案例分析顯示台北市硬體建設政策較空間調整政策發揮較大的效果。

因應氣候變遷，推動相關調適政策，脆弱性評估是擬定調適政策的重要參考依據。李堅明與陳建智 (2010) 的研究建立了台灣氣候變遷的脆弱性指標系統，並且檢定系統的耦合性以及評估台灣的脆弱性狀態，作為未來調適政策擬定之參考。在其建構的指標系統當中，包括都會區小客車持有率、都會區每年空氣嚴重污染比率、都市大眾運輸乘客人次等指標，都是與都市發展關係密切的指標項目。

由於全球氣候變遷現象，使得臺灣將面對更高頻率、嚴重的天然災害。由於臺灣山坡地地質脆弱、坡度陡峭、河川湍急短促，屢屢釀成土石流失、崩塌及土石流在颱風、豪雨季節，地震與颱風災害是臺灣最常面對的天然災害，臺灣可能是世界最脆弱的地區，臺灣約有 73% 的人口是居住在有三種以上災害可能衝擊之地區。王思樺 (2010) 根據生態系統回復力的定義與內涵，以台灣重大天然災害

—颱風為對象，提出生態系統回復力分析方法，以分析台北-桃園都市周邊地區土地利用變遷所造成的生態系統衝擊。本研究之模擬結果指出都市土地大量增加是土地利用變遷的主因，其變遷趨勢由台北盆地沿基隆河谷蔓延至基隆市，並隨著主要交通路網擴張至桃園台地。其研究進一步探討土地利用變遷與回復力改變的關係，指出土地利用改變時，生態系統回復力明顯降低，一旦干擾強度增加時，生態系統回復力亦會隨之降低，尤其以鄰近河川地區最為明顯。

對於都市產業受氣候變遷影響以及調適行為，葉源鎰 (2013) 以「環境脆弱性觀點」發展觀光旅遊產業利害關係人對旅遊目的地受全球氣候變遷影響之認知量表，並進一步檢測其與「旅遊風險知覺」以及「調適行為」之關係。徐玉度等 (2014) 透過能源產業與設施關鍵性氣候衝擊資訊蒐集與分析、脆弱度盤查、風險評估、調適能力的強化等，建置能源供給領域氣候衝擊資訊管理平台與淹水模擬分析，協助能源產業建立氣候衝擊調適能力，降低未來遭受氣候變遷衝擊的潛在風險與損害程度。近代探討永續時，除了實質的治理政策，對於永續的管理意識開始提升，如余泰毅 (2014) 探討降低危害或發展有利契機，提倡永續教育並發展關切或覺知環境相關問題。其表示全球氣候變遷永續教育，建置適當的行為模型以描述個體在環境素養、態度、意圖、技術或行為，兼顧各構面的彼此相關性或路徑關係，有助於釐清全球氣候變遷應進行的永續素養調適策略。

#### 9.4.2 都市地區的調適 (adapting Urban Areas)

從全球暖化趨勢及全球溫室氣體減量總體成效來看，全球的暖化趨勢未見緩，而且地球溫室氣體減量並未達成重大成果。除持續致力於溫室氣體減量之外，必須作好各種因應氣候變遷衝擊的調整與準備，以降低自然生態與社會經濟系統受氣候變遷的衝擊的脆弱度。氣候變遷調適主要是在於對氣候變遷所產生之結果做出回應，著重於妥善處理氣候變遷所造成的衝擊，氣候變遷議題具有的高度不確定性，涉及複雜的自然與人類系統交互作用中，要規劃與執行氣候變遷調適策略是一項新而巨大的挑戰。

都市地區是地球上最大的能源消耗者，也是最為關鍵的溫室氣體排放者。都市一方面必須設法降低能源消耗與溫室氣體排放量以減緩全球氣候變遷的趨勢，在另一方面氣候變遷衍生的各種衝擊又會嚴重影響都市發展與運作。氣候變遷可能造成全球氣候系統改變，造成的廣泛性的衝擊及眾多領域的議題，難以傳統的



行政與領域分工模式思考氣候變遷的因應之道，必須跨越的框架進行氣候的治理，以互動性的新思維面對氣候變遷的衝擊。為使都市能夠調適氣候變遷的衝擊，必須要掌握影響都市及其人文社會脆弱度與回復力狀態的因素。許多先進國家都已長期關注氣候變遷調適之推動，各國陸續提出的國家層級調適策略，這些調適策略主要的目標在於提升適應氣候變遷的能力、降低面對氣候變遷效應的脆弱度、評估長期氣候變遷的影響與可能的危害與風險、建立溝通網絡以提高私部門與民眾的警覺，進而提供政府政策的決策支援資訊等等面向。

世界各國多以都市為推動地方氣候變遷調適行動方的主體，以發揮因地制宜的效果，並且讓調適策略落實於地方的調適行動。為推動氣候變遷的調適策略，都市土地使用與空間發展模式必須進行重大調整。氣候變遷也可能為都市帶來重新檢討、調整生產與消費模式的改革契機。例如，都市有較高的人口密度與經濟效率，能夠運用各種創新科技與技術，使得都市減緩與調適氣候變遷的潛力受到高度期待。在氣候變遷衝擊下，都市空間規劃必須將傳統規劃理念進行調整與改變，以新的思維與方法面對全球氣候變遷的不確定性。

都市逐漸扮演氣候變遷治理的重要角色，國際間許多以都市組成單元的氣候變遷網絡組織近年來紛紛成立與運作，作為分享及推廣都市氣候治理經驗之平台，協助全球各國的都市進行氣候變遷減緩與調適的工作。例如，地方環境行動國際委員會 (The International Council for Local Environmental Initiatives, ICLEI) 是全球第一個以城市與地方政府層級來推動永續發展的國際組織，目的在強化地方政府之間的合作，支持地方永續發展的國際性政策討論環境。ICLEI 自 1990 年成立，於 1993 年提出城市氣候保護聯盟 (The Cities for Climate Protection, CCP)，已從初期 200 餘個會員城市，發展為至現今超過 1,220 個會員城市之規模，這個組織也是目前對抗氣候變遷規模最大、會員最多的全球城市網絡，我國多個縣市層級地方政府，包括臺北市、新北市、宜蘭縣、桃園市、新竹市、新竹縣、臺中市、雲林縣、嘉義市、嘉義縣、臺南市、高雄市、屏東縣等 13 縣市皆為該國際組織正式會員。

考量台灣將近 80% 的人口聚集在都市地區生活，而過去相關的都市土地規劃與管理制度卻是嚴重缺乏對氣候變遷的討論。建議應積極推動氣候變遷調適，以提升都會地區整體調適能力。都市空間規劃是因應氣候變遷的重要手段，亦即透過空間規劃的途徑，提供影響土地使用的機制以及達成整體性與策略性的發展，以因應氣候變遷的威脅。後續，相關研究應著重於分析台灣都市的環境特性以及



氣候變遷下的脆弱度，探討都市地區的重要調適策略的選項，並且探究如何透過都市空間規劃提升因應氣候變遷的調適能力。

氣候變遷的對策應該以社會的調適為主，災害減輕為輔，要做到社會的調適，傳統由上而下的管制制度是無效的，必須改變各級政府的決策組織與制度，讓各級政府自動調整決策考量因素，將氣候變遷納入考量，改變社會變遷的方向，才能降低氣候變遷造成損失。當前的國土規劃及管理之因應氣候變遷亟需調整，包括土地政策、土地權屬、土地使用結構，及土地行政管理皆應做結構性調整，以期達成永續發展目標。而有效氣候調適策略，是跨部門的，評估過程應同時考量實質環境、社會及制度面之的因素，以期有效落實 (郭翡玉，2010)。

氣候變遷可能引致增溫、降雨改變、極端氣候等異常的氣候現象，將對都市地區產生不同以往的災害類型及災害強度的增加，並且可能擴大災害的風險與損失，都市地區因應氣候變遷的防救災計畫因此顯得更為重要。由於人口與活動的聚集，自然災害尤其會對人口密集的都市造成巨大的風險與損失，都市防災規劃的工作將更形重要。對此，詹士樑等 (2009) 透過用聯合分析法 (Conjoint Analysis)，擬定 11 個調整之替選方案，並透過專家問卷之結果，選取其中效用值最高之方案五，配合目前都市防災空間系統規劃體制，建議較需配合氣候變遷衝擊作調整的部分，以強化都市防救災體制的因應能力。

台灣都市的過度開發，在氣候變遷衝擊下，不僅造成開發地區遭受自然災害侵害的機率大增，亦使城鄉發展面臨脆弱度大幅提昇的威脅，透過土地使用規劃或空間系統規劃策略的應用以降低天然災害的風險與損害，是許多地方政府與規劃者共同關心的課題。對於氣候變遷下都市發展與防災之規劃，李玉生等人 (2009) 曾以台灣科技產業發展重要腹地的竹北地區作為防災空間系統規劃示範地區，進行竹北地區都市防災相關資料蒐集、資料庫建立與土地使用現況與設施調查，以擬定竹北地區防災空間系統計畫與繪製相關計畫圖，做為未來都市地區防減災工作推動的檢討依據與參考。

2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風帶來的超大豪雨 (八八水災) 重創了臺灣中、南部地區，其所引發之災害無論是規模與損失創下臺灣新紀錄，讓國人對於氣候變遷帶來的極端氣候事件有更深刻的感受，相關研究也對於此類型災變的調適提出建議。例如，陳永森 (2010) 透過八八水災之省思，就環境規劃與災害識覺研究及實務面上提出建議，指出應認知臺灣地理環境的脆弱性、加速國土規劃與改變

傳統土地利用管理型態、政府應重新思考防救災政策、政府與民眾需有與更嚴苛環境災害共存的準備、重視環境災害發生地區居民災害識覺變遷等重點。

台北市雖未受到八八水災之衝擊，但自 2010 年代起，對於氣候變遷引發都市水患格外重視。林鎮洋等人 (2012) 就曾指出，臺北市由於都市化發展的結果使得淹水成本上揚，但受限交通及地下管線問題，既有排水設施改善愈發困難。

謝龍生等人 (2012) 針對因氣候變遷所引致河川洪水增加量對流域現有防洪系統之衝擊影響，指出現有堤防防洪能力、法規設計標準及災害管理系統等方面須進行檢討，並且對此提出具體之潛在衝擊影響，以及對此潛在衝擊影響提出短、中、長期之及其調適策略。游保杉 (2013) 建立台灣中部地區氣候變遷衝擊分析模式，並結合氣候變遷分情境進行水源供應與水患脆弱度風險圖，此與 6.6 節「水資源調適策略」中，水資源調適策略擬定的關鍵在於如何由水資源的問題與脆弱度擬訂可行之調適選項為相同的概念，其將成果呈現於地理資訊系統平台，形成「氣候變遷對水旱災災害防救衝擊評估決策支持系統」。研究主要著重於評估氣候變遷中的極端情境，了解水旱災衝擊，並預演防救災步驟。系統搭配中央氣象局預測數據，研擬「季長期區域缺水預測模組」。

近年來，透過都市空間規劃以調適氣候變遷衝擊的作法逐漸受到重視，都市必須將傳統規劃進行調整與改變，藉由創新思維與方法面對氣候變遷的不確定性。都市空間規劃之氣候變遷調適策略主要包括改善建成環境、提升基盤設施、選擇區位與調整土地使用等，降低風險同時保護生物多樣性與水資源，並且產生綜效 (synergy)。為因應全球暖化引發的環境變遷，都市需要生態系統性的規劃與管理對策，以調適環境變遷帶來的衝擊。郭瓊瑩與葉佳宗 (2011) 曾回顧、分析城市治理歷史脈絡下，探究前人因應極端氣候變遷發展出各種深具智慧的適應作法，對於台灣的都市發展在面臨各種氣候變遷的威脅，提出以景觀生態為取向之綠色基盤設施系統作為回應氣候變遷之策略，包括視城市為一可彈性調節之有機體、依地理氣候條件策訂城市發展基盤與策略、建構以景觀生態系統為載體之城市公共建設系統、平原低窪地區與水共生之城市治理雛型等經營策略與規劃方針。由於都市地區人口密度高、政治與經濟活動群聚、各種設施與財富集中，也經常容易受到氣候變遷衝擊而造成嚴重損害。都市空間規劃能使氣候變遷調適策略具有共效益，例如都市綠帶的建構，具有都市環境生態與休閒遊憩的功能，也同時具有調適氣候變遷衝擊的效果。

都市中各項調適策略與行動可能產生不同部門之間的權衡取捨 (trade-off) , 需要適當空間規劃的整合機制來協調部門之間的衝突。空間規劃透過都市發展定位之擬定、土地使用與開放空間之配置、基礎設施及交通運輸之規劃等, 影響都市對氣候變遷及其衝擊之因應, 同時實踐減緩和調適氣候變遷的目標。都市地區因應氣候變遷調適可以採用的適策略與行動非常廣泛眾多, 對於不同的都市都必須要有適當的規劃與設計, 並且充分考量不同都市的環境、社會、經濟等等面向之特性, 對於各種可能的作為適當的選擇。白仁德與賴炳樹 (2012) 以及賴炳樹 (2012) 應用模糊德爾非法 (Fuzzy Delphi) 與分析網路程序法 (AHP) 於洪災調適策略規劃, 建立具體可操作, 並適用於都市之調適策略評估指標與模式, 嘗試提供各級政府制定相關空間規劃政策與災害管理策略, 包括加強生態土地使用規劃、禁止超限利用、加強集水區的保育、土地開發總量管制、都市計畫通盤檢討、劃設縣、市國土保育地區。

都市的調適行動在不同的空間尺度會有其差異, 較大的尺度在於整體的都市區域生態系統服務當中調適服務能力之保育。例如, 森林、綠色植被、濕地等空間之保育。劉小蘭與賴玫錡 (2011) 的研究指出, 若一地區有廣大的公園、綠地、或是有河川流域的經過, 對於降低當地氣溫有明顯的幫助。在較小的尺度, 如都市建築密度, 對都市居民在極端氣候衝擊之下, 心理及生理舒適度有需多關聯。許多研究關注都市中綠地、植栽、透水性鋪面及水體等對於調節都市微氣候的效果。邱英浩 (2009) 以都市水域空間為主要的研究對象, 嘗試由問卷調查及相對客觀之實際測量進行研究, 分析都市水域空間對周圍物理環境之影響, 以及各物理因子對熱環境舒適度之影響, 並加入探討可能影響熱環境舒適度之物理因子, 於相互比較分析後, 初步建立物理環境參數與熱環境舒適度之預測模型。作為日後都市計畫、都市設計之參考依據, 藉以改善都市微氣候提升生活環境品質。都市發展與氣候變遷息息相關, 密集的建築配置形式對都市環境風場亦產生影響, 包括戶外環境品質及周圍建築物之室內環境品質, 因此都市內環境與生活品質等課題已逐漸成為都市發展的重點。邱英浩 (2011) 探討三種建築配置形式 (包括連棟建築、獨棟並排、中庭空間) 對戶外空間風環境之影響, 進行三種建築配置形式之戶外空間物理環境模擬, 分析項目包括平均風速比與街谷流況。其研究結果可知, 不論何種街道配置形式, 呈現出隨街道尺度越小, 平均風速比變化越小之結果。

研擬水資源因應氣候變遷之調適策略, 涉及科技研發、土地利用、產業發展、

社會經濟、環境生態及資源保育等相關面向議題，應由國家層級之氣候變遷調適專責單位負責統籌決策，水資源部門負責相關策略研究及橫向協調，並依權責範圍共同研討推動氣候變遷整體性調適策略，如 5.6 節「水資源調適策略」所述，在「國家氣候變遷調適政策綱領」中訂定水資源調適策略的總目標，並據以擬定各水資源調適策略以因應氣候變遷。政府應加強宣導氣候變遷影響及災害風險防範觀念，透過資訊公開及溝通對話，提升民眾風險意識及防範認知，改變行為、轉變觀念，以能順利推動各項政策措施（楊豐碩 2010）。

考量政府推動氣候治理策略時若無地方的配合實難以落實，而都市欲推動的氣候治理政策與措施，若無更上層政府相關部門的支持，則不可能有足夠的資源或有效率。國家可利用完整的資訊、知識、策略工具協助地方採取因應氣候變遷的行動，並且透過提供都市政府誘因都市的推動氣候治理策略。較積極的都市亦會由先行於國家政府，透過由下而上的方式，影響國家的氣候治理政策。為提升氣候變遷的調適能力，許多都市致力於發展各種制度機制（institutional mechanisms），透過各種不同的利害關係人，包括政府、企業、第三部門組織、民眾，扮演著不同的角色，發揮不同的力量，透過各種機制共同為調適氣候變遷而努力。對此，台灣的都市應如何與藉由何種都市治理來因應氣候變遷成為重要的研究議題。都市為因應氣候危機，有必要採取嶄新的治理模式，以取代傳統官僚組織之無法治理性和國家回應力之嚴重不足，同時有效統合公、私與第三部門之專業及資源，以促進全面性政策方案之實踐。李長晏與曾士瑋（2010）探討氣候變遷調適策略難以落實之因素，並分析「自治」、「賦能」、「供應」，以及「權威」等四項治理模式之意涵與功用，以說明都市政府採用不同治理模式時的角色特質。再者，探討多層次體系中各種協力運作機制之影響，包括水平性的都會區域、城市網絡，以及垂直性的國家政府統治作用。

考量台灣都市地區的高氣候脆弱度，應積極推動氣候變遷調適，以提升都會地區整體調適能力。都市空間規劃是因應氣候變遷的重要手段，亦即透過空間規劃的途徑，提供影響土地使用的機制以及達成整體性與策略性的發展，以因應氣候變遷的威脅。後續，相關研究應著重於分析台灣都市的環境特性以及氣候變遷下的脆弱度，探討都市地區的重要調適策略的選項，並且探究如何透過都市空間規劃提升因應氣候變遷的調適能力。

楊重信、華昌宜（2009）指出「氣候變遷與極端氣候事件所帶來之自然危險（nature hazards）是不可避免的，但自然危險所導致之自然災害（nature disasters）



是可以透過調適手段而降低的，有些自然災害甚至可以透過土地使用規劃與管理之調適手段而完全避免的。」以因應極端氣候所帶來的暴雨現象來看，呂育勳等 (2011) 指出由於都市地區與水爭地情況嚴重，現代之防災工作已經不再僅是水利單位規劃相關防洪設施進行大規模阻水與排洪，而是需要各部會運用工程及非工程手段來共同承擔風險。因排水改善之工程方法有其設計標準，僅能降低某種程度之洪災損失，無法完全避免洪災之發生，應輔以「非工程方法」以減少災損，該研究建議應加強防災預警系統的建置、建立緊急避難路線、改善防災救助通報與救助系統等。該研究並提出合適之非工程方法包含：適當的土地利用規劃、住宅防水能力提升計畫、鼓勵新設建築物屋頂設置雨水貯留設施、教育宣導、開發區實施排水總量管制等。相同地，陳家揚 (2012) 亦指出在極端氣候之下，應結合水利工程以及非工程之都市計畫與建築管理為手段形成綜合治水對策，以降低氣候災害的衝擊與影響。

吳杰穎 (2010) 則認為，脆弱度及回復力與都市規劃管理之間是以減災措施、調適策略進行概念串聯，並指出空間規劃之減災調適措施可分為「實質規劃」與「開發管理」兩個層面。「實質規劃」層面屬於傳統都市計畫、硬體建設的內涵，包含：土地使用規劃、公共與防救災設施等；而「開發管理」層面則是屬於軟體性的管理內容，如：分期分區、風險溝通、財稅制度以及合作機制等。鄭明淵等 (2010) 也認為我國都市防災作業中未考量複合性災害或極端氣候下之影響，導致都市災害規模及特性將可能變成難以預測及控制，該研究建議政府需體認超大型災害極有再發生的可能。曾梓峰、丁澈士 (2012) 則認為，發生於臺灣五大都會區之都市型洪災應以「都會流域治理」發展概念，將當前以「點、線」的河道治理方式，透過都會流域治理拓展為都市「面狀」的治理，將地表逕流與都市暴雨之處理任務延伸至每一塊都市土地之上。同時，也建議都市計畫通盤檢討時，對相鄰接之都市計畫或可能的災害潛勢地區得合併辦理，以便於就都市防災避難場所及設施、流域型蓄洪及滯洪設施、救災路線等事項進行整體的規劃及檢討，且能進一步在相關的土使用分區或管制規定上取得一致性。相同地，宋長虹、高立新 (2012) 認為在都市地區如何有效廣泛運用公園、綠地、廣場、操場、停車場、運動場、建築物等空間，進行滯洪空間整體性的規劃，達到降低洪峰流量，減輕都市洪災影響，該研究指出在綜合治水原則下，應以流域防災觀點審視都市發展定位，並在都市設計規範中考慮滯洪空間之可行性，其研究成果可供地方政府進行都市計畫通盤檢討或辦理防洪治水計畫之參考。

另外，吳珮瑛 (2012) 雖主要是分析氣候變遷對各國城市經濟發展的影響，但於其文末提出對台灣城市的啟示：「...台灣由中央至地方層級的政府，在因應氣候變遷措施的選擇，基本上是以減量措施為主。...一般的減量目標都是設在長遠的未來，然如何可以讓災害降到最低的當前走到未來，則有賴調適措施的有效執行。」該文強調因應氣候變遷的「調適」措施應優先於「減量」措施，且指出我國雖然於 2012 年 6 月正式核定『國家氣候變遷調適政策綱領』，但此全國一體適用的原則性調適政策規劃，並非能完全呼應特定城市因地制宜的調適需求，因此建議我國應於不同城市個別研擬其自身的氣候變遷調適政策與計畫。

由以上相關研究的探討可知，以空間規劃為手段的調適作為仍以因應颱風、極端降雨可能導致的淹水災害為主，從流域綜合治水的角度進行滯洪、防災空間的配置，在土地使用管理制度面上則強化非工程手段的氣候變遷調適觀念，並將其落實於相關的都市計畫或都市設計的審議規範之中，期與傳統的水利工程調適措施結合，以達相輔相成之綜效。

## 9.5 鄉村空間之現況與氣候變遷衝擊

### 9.5.1 鄉村與山地空間之現況及氣候變遷議題

臺灣鄉村地區的土地佔臺灣土地面積的 87%，然而，居住於鄉村地區的人口出現嚴重的外移現象，自 1970 至 2013 年間台灣人口快速成長的同時，鄉村地區的總人口數卻減少約 18 萬人，其佔臺灣總人口數的比例亦自 48.8%，快速下滑為 32%。此外，三十年前快速經濟起飛、產業轉型至產業外移，臺灣鄉村地區的經濟收入來源亦持續縮減，2007 年臺灣鄉村地區平均每人所得僅有全臺平均的 62.58%，而 2014 年臺灣農家每人的平均所得亦僅有非農家的 74.0%。此外，鄉村地區低所得與快速的人口外移已造成社會結構的改變，低所得與青壯人口快速的人口外移，造成鄉村地區農家人口高齡化日趨嚴重，根據農委會農業區域統計資料顯示，鄉村地區的農家戶內人口 65 歲及以上者占 20.5%，較全國人口 65 歲以上者所占比率 11.2% 高了 9.3 個百分點，顯示農戶家庭人口高齡化情形嚴重；而非主要都市之扶養率自 1990 年的 49.28% 雖降低為 2014 年的 39.26%，但其主要之原因為扶幼率的下降 (37.42% 降至 17.77%)，而人口的老化與青壯年人口的外移已使扶老比自 11.85% 提升了將近兩倍達到 21.49%，亦使鄉村地區青壯年



人口的負擔遠高於扶養率數字表現所呈現出來的。

因此，近年來鄉村人口嚴重外移與農村高齡化等因素，再加上鄉村公共設施建設原本就不足，造成鄉村窳陋敗壞與社區生活機能不足，並使得鄉村產業環境受到衝擊（張桂鳳，2012）。此外，臺灣沿海鄉鎮因人口密度低、年輕人口外流嚴重、公共及社會服務水準低與發展遲緩等社經條件，以及位於地層下陷、海岸保護區、淤害地區與海岸侵蝕地區等易受氣候變遷衝擊之地區，大幅提升了其脆弱度（郭翊玉 2010）。臺灣鄉村的居民係屬較為弱勢的族群之一，再加上農村的自然環境與地理空間的外在發展限制，在各種災後發生後進一步造成的環境汙染、傳染病與心理創傷等衝擊，為鄉村地區所面臨的關鍵課題（陳美芬 2012）。此外，鄉村地區的人口雖持續外移，但其土地卻持續的被轉用為建地，陳維斌等人（2016）指出蘭陽平原（1977-1995）非都市地區之稻作與旱作地，受到該地區農地破碎化的影響，持續提高被轉用為住宅的比例，而 1995~2006 年間蘭陽平原農地的廢耕，亦被指認為農地轉用的徵兆。因此，此一趨勢不斷增加其不透水土地覆蓋（land-cover）的比例以及減少原有農地的生態系統服務功能（李俊霖、李俊鴻 2012），在未能有完整而有效的排水系統狀況下，暴雨發生時其脆弱度將持續增加。

此外，雲嘉南地區為台灣主要的農業生產區域，其中卻有 159,243.53 公頃（佔雲嘉南地區總農地面積的 51.53%）的土地是屬於邊際土地，其中更有 38.40% 的優良農地位於邊際土地上，因此，氣候變遷對於農村地區主要經濟來源的農業栽種來說，將造成嚴重的威脅（詹士樑 2012）。此外，鄉村環境衛生部份，因整體污水處理系統規劃不良，污水處理設備效能不佳與民眾缺乏維護觀念，導致了環境水質污染情況日益嚴重（韓選棠 2007）。整體而言，不論沿海、平地與坡地之鄉村地區，原本就不足的公共設施與生活機能，再加上嚴重的人口外移、高扶養比、低所得來源多樣性與農地轉用等現象，使得台灣的鄉村地區處在「高脆弱度」與「低回復力」的狀態中，面對未來海平面上升與極端天氣事件頻率與強度增加的趨勢，氣候變遷已經成為台灣鄉村地區所必須面對的關鍵課題。

### 9.5.2 鄉村與山地之氣候變遷衝擊 (Observed and Future Impacts)

過去 50 年臺灣的降雨量變化未出現明顯的長期趨勢，不過由於降雨時間顯著的減少，意謂著台灣的降雨出現集中化的趨勢，強降水機率的增加已造成地表

逕流加速、土壤沖蝕、養分流失等問題，相對的弱降水的減少則使得土壤乾化，乾旱的機率變高，不利農業發展 (朱鴻鈞 2012)。台灣在 1999 年至 2008 年間因水災和乾旱所造成的農業損失高達新台幣 849 億元 (黃振文 2009)，而台灣因異常氣候狀況所導致的嚴重氣象災害將持續發生，且農業的受損失金額有逐年擴大的趨勢 (陳守泓等人 2005)。由於農業屬於氣候變遷高風險產業，對經濟來源主要依賴農業的平地與坡地鄉村來說，氣候變遷導致的災害及其農業損失，對鄉村的發展造成嚴重的衝擊。從廣泛的觀點來看，鄉村地區之主要經濟來源 (農、林、漁、牧業) 均屬於氣候敏感產業 (climate sensitive sectors)，也皆是糧食安全中的一環，因此，對於氣象災害或氣候變遷造成的衝擊需更加關注 (楊純明 2010)。

此外，不僅農業生產與養殖漁業本身，氣候變遷帶來的降雨極端化趨勢與臺灣陡峭的地形條件下，水資源的不穩定性不僅將直接衝擊農業與養殖漁業，亦會對鄉村地區原本較差的公共設施與環境衛生條件造成影響。童慶斌 (2011) 針對南部地區水資源設施之評估中發現，台南與高雄之供水穩定度與高濁度風險的變化下，提高了農業、工業與民生用水的缺水機率與不穩定性，此一現象，對臺灣鄉村地區之經濟來源與生活環境都將造成衝擊。

氣候變遷趨勢下鄉村地區除經濟來源不穩定性提高外，其居住環境受到災害衝擊之脆弱度與風險亦顯著增加，詹士樑 (2012) 指出雲嘉南地區受到氣候變遷衝擊的區位主要為於東側山坡地地區、西側沿海地區以及部份地勢低窪的平原地區，其主要因極端暴雨、海平面上升與地層下陷之影響，有較高之暴露性與敏感性。此外，臺灣東部與中南部沿海鄉村多為發展遲緩地區，除本身居住環境條件較差外，在氣候變遷趨勢下亦多成為高脆弱度地區 (郭翡玉 2010)，而容易受到氣候變遷影響其居住環境之安全性。此外，鄉村地區在受到極端天氣事件帶來的災害衝擊 (如：暴雨造成的土石流與淹水狀況) 後，因原本基礎設施與居住環境水準較低，其受災後的回復力亦偏低，需要政府加強其公共衛生與健康管理的支持 (陳美芬 2012)。整體而言，近年來臺灣的沿海、平地與山坡地的鄉村地區由於位在高脆弱度地區，易受到氣候變遷災害直接衝擊其居住環境；而經濟來源的穩定性與水資源可獲得性亦受到氣候變遷之嚴重影響，而災後低回復力的鄉村環境亦成為重要議題。

由於臺灣鄉村地區之經濟來源主要為農、林、漁、牧業，該類產業對氣候之改變具有高度敏感性，因此，氣候變遷對鄉村地區未來之經濟基礎與生活將造成明顯的衝擊。其中，陳吉仲 (2009) 將氣候變遷影響農作物的因素納入農業部門

模型中分析，即發現長期發展下國內的農業部門產值每年將減少 342 至 4,617 百萬元。此外，陳郁蕙等人 (2016) 亦指出當 24 小時累積降雨達 600mm 時，雲林縣的潛在農損面積將達 43,662 公頃，其中以稻作 (33.97%) 及雜糧類作物 (21.36%) 受影響比例較高；嘉義縣的潛在農損面積約 32,447 公頃，其中以特用作物 (34.91%)、稻作 (25.84%) 與花卉 (25.04%) 受影響比例較高；臺南市潛在農損面積則約 25,056 公頃，主要以花卉 (42.97%)、特用作物 (31.46%) 受影響比例較高。若進一步將氣候變遷對水資源可獲得性、土壤養分、最低氣溫升高、病蟲害與海平面上升趨勢的影響納入考量，並以現行作物的栽培品種進行分析，未來臺灣各縣市之稻作產量均會產生嚴重程度不一的影響 (申雍等，2007)。而若在重現期 200 年二日暴雨的極端天氣事件情境下，將造成臺灣南部區域農業危害度 (目標年危害度減掉基期危害度) 顯著的衝擊，變化較劇烈的區域集中在大內區、左鎮區、玉井區、山上區與新市區等地區 (陳啟明 2011)。此外，李承嘉 (2011) 將農地資源與海平面上升影響進行套圖分析後指出，受到影響的範圍主要在台南與雲林地區，而優良農地方面受影響地區則以雲林地區為主。

沿海地區以漁業為主要經濟來源之鄉村地區亦有類似狀況，其中，沿海與養殖漁業亦會受到與氣候變遷相關之洋流改變、表層海水暖化、海平面上升與極端海象等現象之衝擊，而影響沿海鄉村地區經濟收入之穩定 (林坤龍 2010)。此外，山坡地鄉村除了農業方面的經濟衝擊外，因其具有高度的社會脆弱度，亦將遭受極端天氣事件帶來土石流災害對基本生活的衝擊 (陳志嘉 2010)。因此，未來的氣候變遷趨勢中，不論直接的溫度型態的改變、極端天氣事件、降雨型態改變或海平面上升，或間接可能引起的水資源可獲得性、土壤養分與病蟲害等狀況，都將直接衝擊臺灣沿海、平地與山坡地各鄉村地區之經濟基礎、社會結構與基本生活。

臺灣鄉村地區大部份之基盤設施水準低於都市地區，在極端天氣事件發生強度提高、降雨集中化與其他氣候變遷趨勢下，山坡地鄉村地區之道路系統、電力與電信系統等基盤設施受到暴雨與土石流災害之衝擊將提高。此外，較低的排水系統設計標準與較少之維護與清淤經費，亦將使得平地與沿海鄉村地區 (如：嘉義沿海低窪及地層下陷地區) 排水系統之功能，受到較高之衝擊而提高淹水機率 (郭翊玉 2010；張桂鳳 2012)。此外，童慶斌等 (2011) 在南臺灣用水風險評估的研究中，亦指出民國 120 年高雄美濃與旗山地區的農業及鄉村地區用水將成為高風險之地區。而在全球暖化效應下，升高的水溫將使得水質優氧化現象更加劇烈。

優氧化的水質不僅危害水中生物，也不適於人類飲用與農耕灌溉（楊純明 2007）。因此，臺灣鄉村地區之供水系統在氣候變遷趨勢下，其所受到之衝擊將提高，亦將進一步造成廢耕並衝擊鄉村地區之基本生活。

然而，道路與橋樑系統、電力系統與電信系統等基盤設施功能之損壞，亦將使得人口老化與外移之鄉村地區，失去其與外部空間之連結與物資支援，而影響鄉村地區民眾的基本生活；相對的，道路與橋樑系統的破壞提高鄉村地區農產品往外運輸之困難度，而使得都市與其他鄉村地區之農作物供給連結受到衝擊。整體而言，氣候變遷將產生許多環境乃至於經濟社會問題，並因此為農、林、漁、牧各產業帶來深遠影響，也對人體健康及生物多樣性等造成相當衝擊（楊純明 2009），而對臺灣人口老化、公共設施服務水準低以及經濟來源單一且高風險的鄉村地區而言，氣候變遷所帶來之衝擊將高於都市地區。

此外，鄭祈全（2007）針對蛟龍溪集水區（位於天然林保護區中）之河川進行模擬分析後發現，月平均流量、年總流量與年平均流量未來短期、中期或長期之模擬結果均有所變化，該集水區在豐水期發生暴雨與洪水的頻率將大幅增加，反之在枯水期時，河川流量將變為乾旱。因此，具有類似氣候變遷趨勢之山地與坡地鄉村周邊地區，其生物多樣性亦將面臨乾旱與暴雨之衝擊。

### 9.5.3 鄉村與山地空間之衝擊評估、脆弱度與風險

據估計氣候變遷若造成海平面上升 1 公尺時，台灣的農地面積將減少 1.05%，而台灣農業部門的產值將減少 6.3 億元，社會福利減少 8.5 億元；當上升至 5 公尺時，農地面積將減少 4.91%，產值和福利各會減少 37 億元和 41 億元（徐世勳 2010）。此外，若以 IPCC 的 SRES-B2 情境進行模擬，可發現臺灣北部區域受影響之農地面積為 28,834 公頃，約佔北部區域農地面積 20%，其中以宜蘭縣與台北縣較為嚴重（章佩如 2008）。而申雍（2007）的模擬結果顯示，2010-2039 與 2070-2099 兩個時段，沿海低窪農地遭淹沒後，台灣地區稻米總產量將分別減少約 1.2 和 1.4%。

此外，氣候變遷造成溫度上升和雨量變化後，造成產值的損失將在 3 億元至 46 億元之間，而福利的損失則在 8.9 億元至 18 億元之間，視未來氣候變遷的情境而定，其中，蔬菜和穀物為受氣候變遷影響較顯著的作物（徐世勳 2010）。未來由於氣溫增高水稻生育期將相對縮短，每期作所需的灌溉水量也將相對減少，



在 2070-2099 年時段將可減少約 20% 的灌溉用水需求，此外，未來一期作期間可影響水稻生產的災變性天氣發生頻率會增加，二期作期間則相對減少（申雍 2007），於 5.5.2 節「氣候變遷對農業用水之衝擊影響」，另有整理其他探討氣溫與降雨對於農業需水量造成的影響可參考。

氣候變遷衝擊之評估為鄉村地區調適策略研擬之基礎，然而，由於氣候變遷模擬資料的不確定性，與鄉村地區精確衝擊評估的困難，目前國內文獻多僅點出可能的衝擊方向，整體農業損失金額評估與農作產量衝擊評估及鄉村地區的衝擊仍有待評估，其主要以，並缺乏對臺灣鄉村地區之基盤設施、居民生活、經濟來源、觀光遊憩、水資源、漁業、林業與其周邊生物多樣性等相關研究。

#### 9.5.4 關鍵的脆弱度與風險 (Key Vulnerabilities and Risks)

臺灣沿海、平原與山地鄉村具有不同的地形、氣候與農業生產條件，在不同的氣候變遷影響下，亦呈現出不同的脆弱度與風險狀況。詹士樑 (2012) 針對雲嘉南地區農地脆弱度評估的研究指出，在暴露面 (exposure) 的模擬結果中，未來「氣候預測」主要影響的地區為「台南的平原地區」與「雲林古坑、嘉義梅山與台南東南坡地地區」，該平原與山地地區農村之農業生產與經濟來源在氣候變遷的趨勢下有較高之脆弱度；而「災害潛勢」則主要影響「雲嘉南沿海地帶」以及「雲林縣西半部」，其中雲林縣的這些農地為重要的生產地區，因此，雲嘉南沿海與雲林縣西半部鄉村因其具有較高之災害潛勢，在極端降雨事件的影響下將有高度之災害風險與脆弱度；此外，海平面上升將對農地造成最大範圍的衝擊，其雖不會影響到原來的主要生產重地，但卻將大幅提高沿海低窪地區鄉村之脆弱度。

在敏感性 (sensitivities) 面向的脆弱度評估方面，雲嘉南地區主要的脆弱地區位於「雲林與台南沿海地區」以及「台南的東南坡地地區」，該地區沿海與山坡地鄉村具有較高之脆弱度。此外，調適性 (adaptive) 的脆弱度評估則發現在「農戶特性指標」上，農戶脆弱性最高的為沿海地區，往東逐漸遞減，到坡地地區則最低，此顯示雲嘉南地區之平原地區與坡地地區的農戶之個體特性較能因應氣候變遷衝擊的影響。在「社經特性指標」方面，脆弱度較高的地區為「雲林嘉義交界」與「嘉義台南交界且延伸之左鎮、龍崎鄉等帶狀地區」，該地區之鄉村主要因其高扶養比與人口老化狀況，在氣候變遷衝擊發生時具有較低之調適性。

就農地特性與脆弱度等級分布來看，不論在何種等級，雲嘉南地區的沿海地

帶為主要的高脆弱地區，其次為雲林縣西半部地區，再其次則為台南市中心到東南地區的鄉鎮地帶（詹士樑 2012）。這些沿海鄉村地區由於本身地勢低窪、地層下陷與災害潛勢的特性，承受著海平面上升與極端天氣事件的高風險，而成為衝擊的高脆弱度地區，其不僅在經濟來源與基本生活上易受到衝擊，亦因較差的環境與公共設施條件，在受到衝擊時亦有較低之調適能力。此外，南投縣水里鄉的脆弱度評估中（吳杰穎 2011），亦發現水里鄉偏遠山區具有高脆弱度，其主要原因偏遠鄉村具有較多的弱勢人口，與較低的教育程度、經濟收入。

整體而言，台灣各鄉鎮市區在氣候變遷下之災害風險程度較高之地區，主要集中於東部、南部以及中央山區。其中，台南、高雄、屏東、台東以及花蓮等縣市，均有超過半數之鄉鎮市區屬災害風險高較之地區。而位於環境敏感地、崩塌地與地層下陷地區之鄉鎮，未來災害風險程度亦較高。此外，高屏地區亦為高災害風險聚集明顯之地區（張佑慈 2010）。而針對全臺坡地鄉村災害衝擊之社會脆弱度評估中指出，參見圖 9.4，臺灣北部宜蘭、桃園、新竹與苗栗縣之山坡地鄉

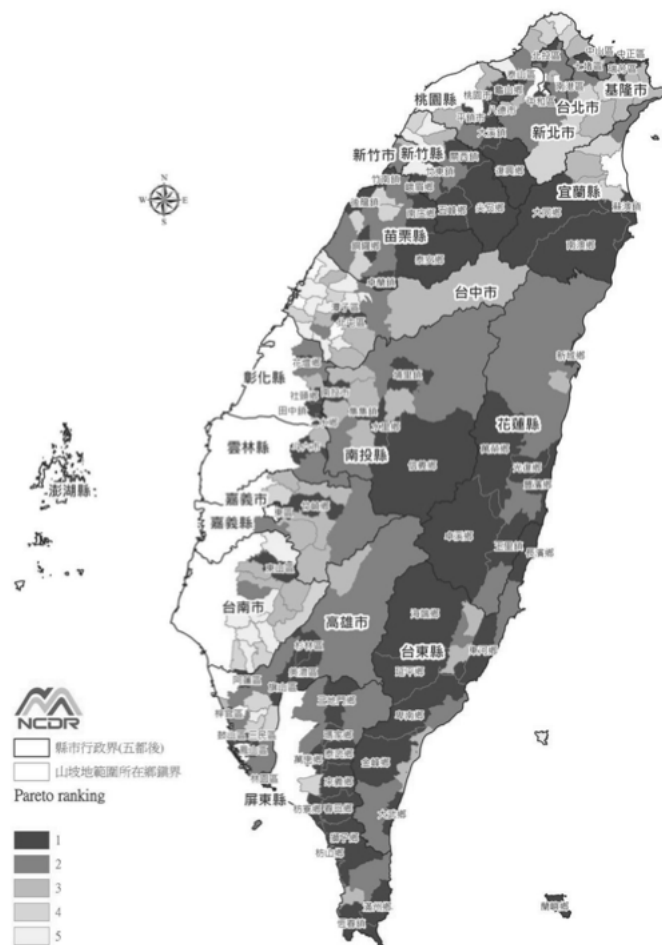


圖 9.4 臺灣山坡地鄉村社會脆弱度評估（李欣輯、楊惠萱，2012）



村，以及中南部南投、花蓮、台東與屏東縣之山坡地鄉村具有高度社會脆弱度。其中，嘉義市境內的山坡地鄉鎮均為高脆弱度地區，而桃園縣境內之坡地鄉鎮因社會條件處於劣勢，亦有 67% 為高脆弱度地區 (李欣輯、楊惠萱 2012)。

## 9.6 鄉村地區空間調適策略

臺灣鄉村地區多位於高脆弱度與低回復力之地區，且受到氣候變遷多面向 (multi-perspectives) 的衝擊，國發會「氣候變遷調適政策綱領」中的災害、維生基礎設施、水資源、海岸、能源供給及產業、健康、土地使用與農業及生物多樣性等八大領域中，均與鄉村地區所受到的衝擊與調適有關，而這些相關的衝擊面向不論在中央或地方政府都歸屬不同主管單位。此外，鄉村地區的氣候變遷調適必須能夠回應地方受到衝擊的異質性 (heterogeneity)，因此，對於鄉村地區之氣候變遷調適，急需一套調適架構來整合不同衝擊，並回應各縣市鄉村地區遭遇到的不同衝擊。

### 9.6.1 鄉村地區調適的實務經驗 (Practical Experiences of Adaptation in Rural Areas)

農村生活與災害調適部份：氣候變遷將對臺灣鄉村地區所帶來的衝擊中，極端天氣事件與海平面上升為重要的因素之一，其主要對地勢低窪與地層下陷之沿海地區鄉村，以及高災害潛勢之山坡地鄉村，直接透過災害的發生帶來鄉村居民生活上之衝擊。此外，由於這些鄉村地區之基礎設施條件原本較差，人口與社會結構脆弱度較高的狀況下，如何強化其災害發生時之調適能力將為重要的工作之一。楊純明 (2010) 指出有關單位應當就災害現況的衝擊及脆弱度進行風險評估，繼而由預測災害發展及未來情境進行風險模擬與分析，以獲得有效的控管策略。而因應極端氣候的頻繁發生，應加強天然災害防救因應策略、緊急糧食供應調適及建立農村安全防護體系等措施，研擬因應策略及行動計畫。其中，應強化發展跨領域技術層面、替代能源發展技術層面、廢棄物資源化技術層面等方向之策略 (林維君 2011)。

陳美芬 (2011) 亦指出可透過「建立機關雙向聯繫管道，優先妥善處理環境衛生問題」、「協助災區環境整頓，建置醫療照護體系」、「依據不同受災群體在公共衛生與健康管理之關注情形，對症下藥」、「擬定不同受災群體之差異化公共衛生與健康管理調適策略」等策略，在沒有發生災害時期，政府開設氣候變遷教育課程、提供農場諮詢服務及防災設施為優先宣傳內容，其次宣傳調整農場經營管理方式的資訊。在氣候災害發生之前，成立當地災害的緊急救援組織，如建立災情與救援聯繫管道為優先須要政府宣傳的內容，其次宣傳蒐集氣候災害對農業衝擊影響資訊，以及如何因應立即性氣候天災危害的基本知識。

此外，亦應透過「建立氣候變遷基礎資料庫」與「強化農民自主調適能力」的方式 (詹士樑 2012)，強化臺灣鄉村地區在地化概念的精神，關心其生產模式的生活方式與生態景觀，作為建構社區支持型農業 (Community Supported Agriculture, CSA) 的基礎 (白仁德 2010)。而調整農業勞動結構年輕化，改善農業經營結構以降低生產成本並提高農業經營效益及競爭力，亦為農村生活重要的調適策略之一 (林豐瑞 2011)，以進一步提高社區居民氣候變遷調適行為 (盧禹廷 2011)。然而，不論是沿海、平原與山坡地之鄉村地區，其發展多在區域計畫法與非都市土地分區與編定的規範下進行，因此，就整體鄉村地區的規劃與氣候變遷衝擊的因應與調適方面，區域計畫法與非都市土地使用分區與編定應扮演重要角色，以整體規劃的觀點並納入氣候變遷調適之作為 (郭碧玉 2010)。

農地生產之調適部份：雲嘉南為臺灣重要稻作生產地區，該地區在「災害潛勢情境」、「海平面上升情境」與「氣候預測對稻作影響情境」下氣候變遷調適策略建議如表 9.3 (詹士樑 2012)。此外，對平原之鄉村地區而言，氣候變遷趨勢下造成的降雨與氣溫型態 (時間與空間)，對農民原本的作物栽種習慣亦會產生影響，因此，農業生產技術與時序的調整亦為農地生產之重要調適策略之一，前者需透過選育抗逆境 (耐旱、鹽與極端氣候) 的優良品種 (劉大江 2011) 加以調適，後者，申雍 (2007) 以調整水稻栽培時序策略進行模擬顯示，一期作若將插秧日期由二月初延後至二月中，有提高一期作產量的效果，在 B (2010-2039) 和 D (2070-2099) 兩時段可分別提高約 5% 和 15%；而一期作提早插秧或二期作延後插秧都對產量有不利的影響。此外，氣候變遷趨勢下，對於上游地區的衝擊高於下游地區，因此因應氣候變遷所造成的乾旱問題，農地休耕區域應以上游地區為主 (蔡存孝 2010)。因此，各種作物的栽種策略如何配合氣候變遷進行調整，以及抗旱作物、低灌溉水需求與短生長期作物的培育等作物改良策略，均為鄉村地

區仰賴農業為主要經濟來源之重要挑戰。此外，擴大農場經營規模之農地儲備：經由農地儲備銀行之買賣、租賃、重劃、交換等方式，使農場經營規模擴大，提高農地生產效能及農業競爭力，亦為由制度上調整，以提高農地經營競爭力之重要調適策略 (李承嘉 2011)。

表 9.3 雲嘉南地區各情境下之調適重點策略彙整表

情境	高脆弱度地區	短期調適策略	長期調適策略
災害潛勢情境	雲林元長鄉以西至沿海地帶，以及嘉義台南沿海地區之農地屬邊際農地，且可能面臨到地層下陷、洪澇災害或海岸災害等衝擊，該地區應發揮其環境生態滯洪功能，甚至以還地於自然為目標。	避免於邊際地栽種作物、洪氾地區可進行濕地保育或平地造林，並給予適當環境補貼。	整合型生態系統的規劃與管理、制定自然環境土地使用相關規定、制定棲息地與物種法令規範、規劃邊際土地造林及發揮生態滯洪功能等。
海平面上升情境	雲林元長鄉、東勢鄉因距海較遠，較不受到海平面上升之影響，而調整為三級調適方案「農業環境維護型」，亦即農業生產功能相對較弱，且易受氣候變遷衝擊，不易維持原有生產條件的情況下，宜以朝向維護具多元功能之農業環境為目標。	提供休耕造林、種植綠肥等環境補貼、調整耕作方式(精準農業、有機農業) 以及保護整合農業、生態、文化等農村遺產與休閒農業之推廣等。	整合農地生態系統規劃與管理、檢討休耕政策之綠色環境給付等。
氣候預測對稻作影響情境	台南包括後壁、白河、新營、柳營、麻豆、佳里、西港、安定、善化、官田等區受到影響較大。其中：後壁、白河、柳營等地區屬於稻米專業區。	採取調整稻作耕作期、興(修)築灌溉設施或規劃設計地下水庫等方式以確保灌溉水源等方式。	發展節水耕作技術、發展大型流域方案、加強水資源調配等。
	麻豆、佳里、西港、善化等地區原已屬於旱作區。	選擇種植耐旱(熱)作物減輕用水壓力、調整耕作方式以減少地表逕流等。	培育節水作物、發展區域基因品種儲存中心、加強水資源市場並提供誘因鼓勵節約用水等。

資料來源：彙整自詹士樑等 (2012)

水資源之調適部份：台灣特殊的地理與水文特性使得水資源之利用原本就不容易，在降雨極端化的趨勢下，以及缺水時農業灌溉用水撥用給民生與工業用水的政策下，鄉村地區可利用的水資源亦將直接受到影響。目前，當缺水天數達 30 天以上時（供水量 60~80%），水利會將開始勸導農民轉作或休耕，當供水量低於 50% 時，多數水利會勸導農民轉作耐旱作物或休耕，並報請政府補助乾旱帶來的損失（林裕彬 2012）。枯水期時農業用水的調度使用，由於有乾旱損失的補助，雖不置於造成鄉村地區居民嚴重的經濟來源缺乏，但長遠來看仍會對鄉村地區農業發展造成衝擊。因此，為強化農業生產在水資源部份的調適能力，需建立農業、畜牧及養殖用水再利用的機制（陳啟明 2011）。此外，亦應「加強有關提高作物使用水分效率的研究，尤應著重於提高水稻作物的使用水分效率」、「加強灌溉輸水設施，減水輸水損失」與「加強水資源調配能力（如越域引水），有效應用水資源」（申雍 2008；龔誠山 2010），以強化農業灌溉系統之回復力（童慶斌 2012）。

生物多樣性調適部份：農業栽種為鄉村地區生物多樣性重要的一環，尤其水稻田與其灌溉系統具有多樣的生態系統服務功能，因此，沿海、平原與山坡地鄉村地區，為因應氣候變遷的衝擊，應強化水稻田與灌溉系統之生態回復力（童慶斌 2012）。此外，亦可透過環境生態保護之農地儲備，經由農地儲備銀行之收買、交換、承租或出租，使農地使用逐漸調整為兼顧生產及生態環境；而於肥沃地區或適應氣候條件地區，亦可優先作為農業生產，並規範負面外部環境衝擊在可接受的範圍內；在較不肥沃或面臨較艱困的氣候條件地區，應優先提供財政補貼以維持農業系統的環境與社會功能；介於兩極端較多的農場系統具多樣化，應尋求社會與環境功能的財政補貼（李承嘉 2011）。

### 9.6.2 鄉村地區調適的限制 (Limits and Constraints to Rural Adaptation)

臺灣鄉村地區普遍具有人口老化、人口外移、平均所得低、基盤設施水準低、經濟來源多樣性低，以及仰賴氣候變遷高風險產業等特性；而沿海鄉村亦多受到地層下陷與地下水鹽化之影響，坡地鄉村則多位於坡地災害潛勢地區；此外，部份鄉村地區周邊的科學園區或工業區開發造成不透水層增加，亦提高周圍鄉村與農地的淹水風險，因此，臺灣之鄉村地區針對氣候變遷進行調適時受到相當多社會、經濟與地理特性的限制。

鄉村地區為氣候變遷調適的弱勢地區：臺灣之鄉村地區在乾旱時期水資源的調配多彈性撥用農業灌溉用水，而整體氣候變遷淹水災害管理之綜合性（上游、中游與下游）策略，亦利用農地空間（水田、休耕中農地、農塘及溼地）做為雨水貯留設施，以減少降雨造成之逕流量（黃良雄 2011）。因此，氣候變遷調適策略多以其他範疇為核心，而使得鄉村地區在調適上多為被動配合之角色，而有較低的調適策略優先性。

鄉村地區之資訊落差與認知程度：鄉村地區居民對氣候變遷問題的認知有相對較低的認同程度（林豐瑞 2011），其主要因鄉村地區之資訊落差所造成，且其既有的氣候變遷問題認知多以過去受災經驗為基礎，對於未曾經歷過之氣候變遷趨勢與衝擊有較低之認知，在調適策略的推動與溝通上將較為困難。

## 9.7 結語

本章整理臺灣近年對於都市與鄉村地區在氣候變遷調適之研究，從氣候變遷衝擊、脆弱度評估、以及調適策略設計等重點觀之，與國際間的作法相符，依循著由上而下之訂定政策綱領、部會行動計畫，由下而上之地方調適計畫、地方農地調適規劃等原則推動，其成果應足以與各國比對。整體而言，國內在空間規劃之氣候變遷調適，以程序性研究型態以及脆弱度評估成果較多，較少觸及個別議題或都市發展部門之調適實質空間之行動計畫成果，此應為後續工作重點，目前國發會延伸第一階段地方氣候變遷調適規劃，刻正進行第二階段之實質調適行動計畫擬定與推動，應可在此方向上提供參考。

都市空間規劃是因應氣候變遷的重要手段，透過空間規劃的途徑，可以提供影響土地使用的機制以及達成整體性與策略性的發展，以因應氣候變遷的威脅，地方政府應將氣候變遷調適納入其發展規劃和政策，基礎設施建設。後續，在都市空間的氣候變遷調適方面，考量台灣都市地區的高氣候脆弱度，在既有地方氣候變遷調適計畫的規劃成果上，應積極推動氣候變遷調適行動計畫，包括：提升基礎設施服務提供和覆蓋範圍質量、厚植土地使用管理的能力、提升建築物和基礎設施符合衛生和安全標準的程度等（IPCC AR5）；此外，除上述以實質調適行動方案之設計、推動、監測的努力外，以都會地區整體調適能力為探討標的，以為後續重要工作。



鄉村地區之社會經濟特性，使其相對於都市地區屬氣候變遷調適之相對弱勢，更需投入相關資源，農業生產為臺灣鄉村地區最主要的經濟來源，因應氣候變遷可能造成鄉村地區農業生產的衝擊，雖已有部分研究指出農業生產之氣候變遷調適策略，目前，仍須基礎研究之進一步支持以有效提出鄉村地區農業生產之調適策略，特別針對其人口老化、人口外移、平均所得低、基盤設施水準低、經濟來源多樣性低與生活環境條件差的社會特性，所進行的基礎研究與調適策略仍相對缺乏，尤其是氣候變遷情境下對不同鄉村地區在考量上述面向後之「衝擊評估」。農地與週邊環境之生態系統服務功能關聯性，所受到的氣候變遷影響亦應進一步被探討。除了生產空間之外，近年推動的「農村再生計畫」已由地方農村（而非僅農業）發展的角度推動鄉村地區的再生，進一步將氣候變遷調適納入農村再生整體之思維，此一政策方向之推動將可由農村整體發展的角度，提供鄉村地區氣候變遷調適架構發展的基礎，需要積極推動。

#### 本章主要聚焦議題：調適規劃與計畫發展

現況	都市地區集中人口、經濟、政治、社會高度發展的趨勢，未來仍將持續，面對少子化、高齡化、全球化等變遷議題，都市空間發展面臨更大挑戰。
目前面臨的問題	都市地區之氣候變遷調適規劃，已建構綱要性以及程序性作為，對於都市空間內部之實質發展計畫以及發展管理，需要有更多的氣候變遷調適研究。
未來氣候變遷的影響	都市空間對於氣候變遷衝擊本質上就是高敏感度的地區，在未來各種氣候變遷衝擊的趨勢下，都市面臨較大的風險，可能造成更嚴重的損害。因此，分析台灣都市的環境特性、氣候變遷下的風險、衝擊以及因應氣候變遷的調適能力，是都市地區面對氣候變遷挑戰的重要工作。



**本章主要聚焦議題：強化鄉村地區基礎設施之調適能力**

現況	臺灣鄉村地區之排水系統、道路橋樑、污水下水道與防洪設施等基礎設施水平較低，而農地遭到大量住宅開發的不當轉用。
目前面臨的問題	相較於都市地區，臺灣鄉村地區各類基礎設施水平較低，環境髒亂與健康問題較為嚴重，而大量農舍住宅開發破壞原本農地之滯洪功能。
未來氣候變遷的影響	臺灣氣候變遷趨勢下之暴雨與極端天氣事件，對原本基礎設施水準低之鄉村地區，將造成較大之淹水衝擊，再加上農地原本滯洪功能之破壞，亦提高其氣候變遷衝擊之脆弱度，此外，基礎設施服務水準低與人口老化亦造成其低回復力之狀況，將造成鄉村地區衝擊後之環境衛生與醫療照護問題。

**本章主要聚焦議題：強化山地地區基礎設施之調適能力**

現況	臺灣部份坡地鄉村地區交通設施條件不良，且所得來源多樣性低，仰賴坡地農業為其主要經濟來源。
目前面臨的問題	臺灣部份坡地鄉村地區，遇颱風帶來的坡地災害，直接影響其交通與通訊，並衝擊坡地農村經濟。
未來氣候變遷的影響	氣候變遷趨勢提高極端天氣事件衝擊之強度後，對臺灣坡地農村經濟將造成更大之衝擊，再加上其交通條件的因素，坡地鄉村具有高脆弱度與低回復力之特性。

## 參考文獻

- 中央研究院，2011：因應氣候變遷之國土空間規劃與管理政策建議書，中央研究院報告 No. 007。
- 王思樺、張力方，2009：都市週邊土地使用與地表覆蓋變遷：驅動力與環境變遷議題，*都市與計劃*，第 36 卷，第 4 期，第 361-385 頁。
- 申雍，2008：氣候變遷對台灣生態系之衝擊及脆弱度評估與因應策略(III)---氣候變遷對台灣地區農業衝擊之評析及因應策略研究。行政院國家科學委員會，NSC97-2625-M005-005，國立中興大學土壤環境科學系(所)。
- 申雍、唐琦，2007：氣候變遷及農業氣象災害發生潛勢評估與因應之研究。行政院農業委員會，96 農科-10.2.1-糧-Z1。中興大學土壤環境科學系(所)。
- 白仁德、吳貞儀，2010：永續性農業運動--社區支持型農業與土地倫理的對話。*城市學學刊*，1 卷 2 期，頁 1-35。
- 白仁德、賴炳樹，2012：因應氣候變遷之洪災調適策略規劃。*災害科技與管理學刊* 1 卷 1 期，頁 66-86。
- 行政院經濟建設委員會，2012，國家氣候變遷調適政策綱領，行政院經濟建設委員會。
- 朱鴻鈞，2012：因應氣候變遷之農業科技研討會議報導。*臺灣經濟研究月刊*，35 卷 3 期，頁 79-83。
- 余泰毅，2014：因應全球氣候變遷的永續素養調適策略。行政院國家科學委員會，NSC102-2511-S130-003 委託計畫。
- 吳杰穎，2009：各層級國土空間規劃與管理之脆弱度與回復力之評估研究---以鄉鎮空間為例(II)。行政院國家科學委員會，NSC98-2621-M130-001，銘傳大學都市規劃與防災學系。
- 吳杰穎、黃昱翔，2011：颱風災害脆弱度評估指標之建立：以南投縣水里鄉為例。*都市與計劃*，38 卷 2 期，頁 195-218。

- 吳珮瑛，2012：氣候變遷對城市的經濟影響 - 對台灣城市的啟示。《台灣國際研究季刊》，第 8 卷，第 4 期，131-60。
- 吳瑞賢、王其美，2010：亞洲地區水資源的衝突與展望。《前瞻科技與管理》特刊，75-89。
- 呂育勳、林鈺、戴宏文、戴永惠，2011：極端降雨氣候事件對都市六大防災系統衝擊情境模擬與對策研究。內政部建築研究所，PG10001-0181 委託計畫，環興科技股份有限公司。
- 呂毓倫，2008：應用遙測衛星地表溫度資料探討都市熱島現象與社經空間發展之關係。國立成功大學都市計畫研究所碩士論文。
- 宋長虹、高立新、陳葦庭、林君怡，2012：氣候變遷下都市地區滯洪空間之規劃，內政部建築研究所，10115G0026 委託計畫，巨廷工程顧問股份有限公司。
- 李永展，2002：以都市指標系統檢視台北市之永續性趨勢，《都市與計畫》，第 29 卷，第 4 期，551-574。
- 李玉生、解鴻年、閻克勤、李怡先，2009：都市防災空間系統建立之研究 - 以新竹縣竹北市都市地區為例。《建築與規劃學報》，10 卷 3 期，201-219。
- 李承嘉、詹士樑，2011：氣候變遷影響下農地資源合理利用與儲備機制之研究。行政院農業委員會，100 農科-5.1.3-企-Q1(1)。台北大學公共事務學院不動產與城鄉環境學系。
- 李欣輯、楊惠萱，2012：坡地災害社會脆弱度指標評估與應用。《都市與計劃》，39 卷 4 期，頁 375-406。
- 李欣輯、楊惠萱、廖楷民、蕭代基，2009：水災社會脆弱性指標之建立。《建築與規劃學報》，第 10 卷 3 期，163-182。
- 李長晏、曾士瑋，2010：城市氣候治理理論初探 - 策略變遷、治理模式與風險評估。《城市學學刊》，1 卷 2 期，37-73。
- 李俊霖，2009：全球氣候變遷下社經代謝作用與土地利用變遷之空間型態：SEMLUC 模型之應用。《都市與計劃》，36 卷 4 期，445-472。

- 李俊霖、李俊鴻，2012：農地轉用對生態系統服務功能衝擊之經濟評估。《農業經濟叢刊》，17：2，頁 111-144。
- 李恒綺，2010：氣候變遷對台灣和歐盟的漁業之影響和因應策略之調適。行政院農業委員會，99 農科-4.1.1-國-I3(4)，高雄第一科技大學運籌管理系。
- 李振誥、游保杉、王士榮，2015：氣候變遷下臺灣九大地下水資源區地下水潛能變化之研究。經濟部水利署，MOEAWRA1030239 委託計畫。
- 李堅明、陳建智，2010：台灣脆弱性指標建構與評估之研究。《都市與計劃》，37 卷 1 期，71-96。
- 林永峻，2013：高屏河流域因應氣候變遷及土砂更新研究計畫。經濟部水利署，MOEAWRA1020201 委託計畫。
- 林坤龍、劉文宏，2010：因應氣候變遷各國漁業政策調適之研究。行政院農業委員會，99 農科-5.1.2-漁-F1(1)。高雄海洋科技大學漁業生產與管理系。
- 林炯明，2010：都市熱島效應之影響及其環境意涵。國立臺南大學「環境與生態學報」，第 3 卷，第 1 期，1-15。
- 林傳堯，2014：台灣巨型城市環境研究—邊界層細微粒之氣膠化學及環境衝擊-都會區有機氣膠對大氣環境影響之模擬研究(II)。中央研究院環境變遷研究報告，MOST103-2111-M001-005 委託計畫。
- 林裕彬、張良正、蘇明道、洪念民、何智超、鄭克聲、黃彥禎，2012：台灣地區各水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力綜合研究。經濟部水利署，MOEAWRA1010289。國立台灣大學生物環境系統工程系。
- 林維君，2011：因應全球氣候變遷之農業技術發展趨勢。《臺灣經濟研究月刊》，34 卷 2 期，頁 38-44。
- 林憲德、郭曉青、李魁鵬、陳子謙、陳冠廷，2001：台灣海岸型城市之都市熱島現象與改善對策解析—以台南、高雄及新竹為例。《都市與計劃》，28 卷 3 期，323-341。
- 林豐瑞、謝孟紋，2011：農民因應氣候變遷的基礎資源、對氣候變遷問題的認知與因應行為對調適策略與因應方法之影響--以臺東縣稻作農民為例。《臺灣

- 農學會報, 12 卷 4 期, 頁 314-334。
- 林鎮洋、陳起鳳、王佳偉、陳志方、莫懿美、杜凱立、黃子珉, 2012: 臺北市總合治水成效評量及控管系統開發建置。中華技術, 96 期, 68-84。
- 邱英浩, 2009: 都市水域空間對周圍熱環境舒適度影響之研究。都市與計劃, 36 卷 2 期, 173-199。
- 邱英浩, 2011: 建築配置形式對戶外空間環境風場之影響。都市與計劃, 38 卷 3 期, 303-325。
- 金傳春、彭文正, 2013: 臺灣氣候變遷對病毒傳染病的流行影響及公共衛生預警與因應管理機制-臺灣氣候變遷對病毒傳染病的流行影響(III)。科技部, MOST103-2621-M002-004 委託計畫。
- 金傳春、詹大千、董宗華、賴毓敏、顏慕庸、石富元、金傳蓬、陳錦儀、高瑞鴻、彭文正、陳端容、劉紹臣, 2012: 氣候變遷與傳染病的流行趨勢: 公共衛生的挑戰、因應及管理。臺灣醫學, 16 卷 5 期, 489-502。
- 姚銘輝、陳守泓, 2009: 氣候與作物--談農業氣象之發展。科學農業, 57 卷 1-3, 頁 4-12。
- 徐世勳, 2010: 氣候變遷對台灣和歐盟農業部門的影響和調適策略之分析。行政院農業委員會, 99 農科-4.1.1-國-I3(1)。台灣大學農業經濟學系(所)。
- 徐玉度、吳郁真、羅慧瑋, 2014: 能源產業因應氣候變遷調適輔導。經濟部能源局, 104-A0205 委託計畫。
- 徐森雄、唐琦、陳品如、黃雅琳, 2007: 臺中市之都市化對氣溫變化之影響。作物、環境與生物資訊, 4 卷 4 期, 307-313。
- 張佑慈, 2010: 氣候變遷下鄉鎮層級災害風險之探討。銘傳大學建築與都市防災研究所碩士論文。
- 張倉榮, 2010: 氣候變異與都市化對台中盆地洪災之影響研究—總計畫暨子計畫: 氣候變異與都市化對都會區淹水之影響研究(I)。行政院國家科學委員會, NSC 98-2625-M-002-007 委託計畫, 台灣大學生物環境系統工程學。

- 張倉榮·2011:氣候變異與都市化對台中盆地洪災之影響研究—總計畫暨子計畫:  
氣候變異與都市化對都會區淹水之影響研究(II)。行政院國家科學委員會,  
NSC 99-2625-M-002-002 委託計畫,台灣大學生物環境系統工程學。
- 張倉榮·2012:氣候變異與都市化對台中盆地洪災之影響研究—總計畫暨子計畫:  
氣候變異與都市化對都會區淹水之影響研究(III)。行政院國家科學委員會,  
NSC 100-2625-M-002-004 委託計畫,台灣大學生物環境系統工程學。
- 張倉榮、林國峰、柳文成·2013:氣候變異與都市化對台中盆地洪災之影響研究。  
*自然科學簡訊* 25 卷 1 期,頁 16-21。
- 張桂鳳·2012:應用永續觀點探討社區條件對於農村再生發展潛力之影響。*空間  
設計學報*, 14 期,頁 1-10。
- 張慧嫻·2006:健康與氣候變遷:政策行動指引。*全球變遷通訊雜誌*, 51 期, 1-  
9。
- 張靜貞·2014:氣候變遷調適科技整合研究計畫(II)-氣候變遷之調適治理與風險  
決策模式及應用(II)。科技部, MOST103-2621-M001-001 委託計畫。
- 章佩如·2008:氣候變遷對農地影響之研究 - 以稻作適宜性為例。國立臺北大學  
-不動產與城鄉環境學系。
- 郭翡玉·2010:因應氣候變遷之國土調適策略--以臺灣沿海地區為例。*都市與計  
劃*, 37 卷 1 期,頁 47-69。
- 郭瓊瑩、葉佳宗·2011:自景觀生態取向之綠色基盤系統建設探討氣候變遷回應  
之城市治理。*城市學學刊*, 2 卷 1 期, 31-63。
- 陳正昕·2009:應用都市模型於因應海平面上升之空間調適策略。國立台灣大學  
地理環境資源學研究所碩士論文。
- 陳永森·2010:極端氣候影響下對臺灣環境規劃與災害識覺之省思—以八八水災  
為例。*工程環境會刊*, 第 25 期, 33-44。
- 陳玉玲·2012:氣候變遷下台南市沿海地區調適策略分析。康寧大學休閒資源暨  
綠色產業研究所碩士論文。



- 陳吉仲，2009：氣候變遷對農業的經濟影響、調適及政策意涵。台灣農業推廣學會 98 年會員大會會議資料，頁 16-44。
- 陳志嘉、陳怡如、徐勝一，2010：土石流災害的社會脆弱性研究--以南投縣水里鄉上安社區為例。《社會與區域發展學報》，2 卷 2 期，頁 1-28。
- 陳郁蕙、李俊霖、陳雅惠、王瓊芯，2016：雲嘉南淹水潛勢地區之農業損失評估：GIS 與農林漁牧業普查之整合應用。《主計月刊》，723 期，頁 40-47。
- 陳建緯、張博文，2014：能源部門因應氣候變遷調適策略研析。經濟部能源局，103-A0204 委託計畫。
- 陳維斌、李俊霖、張琪如、王瓊芯，2016：蘭陽平原農地轉用影響因子分析與空間規劃政策探討：系統方法之引入。《台灣土地研究》，19 卷 2 期，出版中。
- 陳美芬、王俊豪，2011：建立因應氣候變遷之農業知識系統及策略之研究。100 農科-5.2.1-輔-#1(3)，行政院農業委員會。
- 陳美芬、王俊豪，2012：氣候變遷災後農村公共衛生及健康管理調適策略之研究，101 農科-14.1.1-輔-#1(2)。行政院農業委員會。
- 陳啟明、龔誠山，2011：氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究第 2 階段管理計畫 (2/4)。經濟部水利署，MOEAWRA1000068。環興科技股份有限公司。
- 陸象豫、劉一新、王秋嫻(2014) 都市熱島效應及城鄉降雨型態差異之調查研究(I)。行政院農業委員會林業試驗所科技計畫研究報告，103 農科-13.4.1-森-G5。
- 曾梓峰、丁澈士，2012：因應氣候變遷都市水患問題探討與因應對策。行政院研究發展考核委員會，RDEC-RES-100-010 委託計畫，國立高雄大學。
- 游保杉，2013：氣候變遷對中部地區水旱災災害防救衝擊評估及調適策略擬定 (2/2)。經濟部水利署，MOEAWRA1020314 委託計畫，財團法人成大研究發展基金會。
- 童慶斌，2013：水資源領域因應氣候變遷不確定性下之決策機制研究。經濟部水利署，MOEAWRA1020149 委託計畫。
- 童慶斌，2012：韌性理論應用於氣候變遷對灌溉系統之影響評估。行政院農業委

- 員會，101 農科-8.2.5-利-b1(15)，台灣大學生物環境系統工程學系(所)。
- 童慶斌、李明旭、游保杉、洪念民、倪春發、張靜貞，2011：強化南部水資源分區因應氣候變遷水資源管理調適能力研究計畫(2/2)。經濟部水利署，MOEAWRA1000071。國立台灣大學生物環境系統工程系。
- 黃良雄、林孟郁、黃仲偉，2011：因應氣候變遷區域淹水模擬與災害管理規劃技術研究(2/3)。經濟部水利署，MOEAWRA1000073，國立台灣大學。
- 黃書禮，2012：推動地方氣候變遷調適計畫專案管理計畫，行政院經濟建設委員會委託研究。
- 黃書禮、葉佳宗、陳俐伶，2005：檢視都市永續發展指標的發展歷程與內涵：從指標建構到政策評估，*都市與計劃*，第 32 卷，第 2 期，第 141-165 頁。
- 楊重信、華昌宜，2009：都市土地使用因應氣候變遷衝擊之減災與調適策略研究。內政部建築研究所，PG9802-0354 委託計畫，財團法人國土規劃及不動產資訊中心。
- 楊純明，2007：全球氣候變遷對農作物生產之潛在影響。*中華民國雜草學會會刊*，28 卷 1 期，頁 112-130。
- 楊純明，2009：氣候變遷與糧食生產。*作物、環境與生物資訊*，6 卷 2 期，頁 134-140。
- 楊純明，2010：農業氣象災害之因應策略。*作物、環境與生物資訊*，7 卷 1 期，頁 63-71。
- 楊豐碩，2010：重視水資源因應氣候變遷之調適策略規劃。*臺灣經濟研究月刊*，33 卷 5 期，6-7。
- 葉源鎰，2013：氣候變遷之環境脆弱認知、風險知覺與調適行為之關係研究：以觀光系統之利害關係者觀點論之。行政院國家科學委員會，NSC102-2410-H126-021 委託計畫。
- 董宗華、蔡坤憲、金傳蓬、黃彥彰、金傳春，2011：台灣社會政治環境變遷、防治策略與登革熱流行及未來展望。*台灣衛誌*，30 卷 6 期，頁 517-532。

- 詹士樑、李承嘉，2012：氣候變遷下農地脆弱度評估與調適策略之研究。行政院農業委員會，101 農科-14.1.1-企-Q2。國立臺北大學。
- 詹士樑、黃書禮、蕭婷允，2009：氣候變遷下都市防災空間規劃程序調整之研究。*建築與規劃學報*，**10** 卷 3 期，183-200。
- 鄒克萬、洪于婷，2000：都市永續性結構分析。*都市與計劃*，**27** 卷 2 期，141-164。
- 鄒克萬、黃書偉，2007：都市土地利用變遷對自然環境衝擊之空間影響分析。*地理學報*，第 **48** 期，1-18。
- 劉大江，2011：一百年來臺灣農業科技研發的回顧。*科學發展月刊*，**457** 期，頁 140-145。
- 劉小蘭、賴玫錡，2011：都市化與氣候暖化關係之研究—以台北都會區為例。*臺灣土地研究*，**14** 卷 2 期，39-66。
- 劉文宏，2013：台灣西南沿海地區氣候變遷社會脆弱性評估及其調適策略之研究。行政院國家科學委員會，NSC102-2410-H022-006 委託計畫。
- 劉滄琴、林鳳琪、陳純葳、石憲宗，2012：氣候變遷之農業生產調適決策支援系統之建置。行政院農業委員會，101 農科-14.1.2-農-C3，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組。
- 蔡存孝，2010：因應氣候變遷下地下水補充灌溉折扣模式建立。行政院農業委員會，99 農科-7.4.1-利-b1(13)。僑光科技大學環境資源管理系。
- 鄭祈全、吳治達、莊永忠，2007：土地利用變遷和氣候變遷對集水區流量模擬影響之研究—以林試所蓮華池試驗林之蛟龍溪集水區為例。*台灣林業科學*，**22** 卷 4 期，頁 483-495。
- 盧禹廷，2011：應用社會資本探討社區居民的氣候變遷調適行為—以東港林邊佳冬為例。國立臺北大學-都市計劃研究所。
- 賴炳樹，2012：應用模糊德爾菲法於洪災調適策略規劃。*土地經濟年刊*，**23** 期，頁 73-93。

- 賴進松、潘宗毅、童慶斌、張國強、譚義績、林彥廷，2009：員山子分洪隧道受氣候變遷影響之脆弱度分析。《農業工程學報》，第 55 卷第 2 期，65-80。
- 謝龍生、柳文成、童慶斌，2014：未來氣候變遷趨勢對台灣流域防洪系統整體性潛在衝擊影響及其調適策略之研究。《聯合學報》，第 24 期。
- 韓選棠、張尊國、陳江河，2007：臺灣鄉村住宅生活污水處理改善方式之研究--以「蘆葦床處理系統」為例。《農業工程學報》，53 卷 3 期，頁 62-74。
- 譚義績，2013：淡水河流域因應氣候變遷防洪及砂土計畫。經濟部水利署，MOEAWRA1020022 委託計畫。
- 蘇慧貞，2010：台灣地區氣候變遷對空氣品質衝擊及調整策略可行性研究，99 年環保署/國科會空污防制科研合作計畫，NSC 99-EPA-M-003-002，國立成功大學。
- 蘇慧貞、胡淑貞，2013：氣候變遷事件與慢性病就醫之相關分析及介入計畫(100-102 年)。衛生福利部國民健康署，DOH102-HP-1107 委託計畫。
- 龔誠山、譚仲哲、陳啟明，2010：氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究第 2 階段管理計畫(1/4)。經濟部水利署，MOEAWRA0990246，環興科技股份有限公司。
- Chung, J.-Y., Honda, Y., Hong, Y.-C., Pan, X.-C., Guo, Y.-L., & Kim, H, 2009. Ambient temperature and mortality: an international study in four capital cities of East Asia. *The Science of the Total Environment*, **408**(2), 390-406.
- Stern, N, 2006. Stern Review on the Economics of Climate Change, London, UK: Her Majesty's Treasury.
- Wang, Y.-C., Lin, Y.-K., Chuang C.-Y., Li, M.-H., Chou C.-H., Liao C.-H., Sung F.-C, 2012. Associating emergency room visits with first and prolonged extreme temperature event in Taiwan: A population-based cohort study. *Science of the Total Environment* **416**, 97-104.

## 第十章 海岸與離島

<sup>1,2</sup>許泰文、<sup>3</sup>林宗儀、<sup>4</sup>江文山、<sup>5</sup>錢樺、<sup>6</sup>藍元志

<sup>1</sup>國立成功大學水利與海洋工程系、<sup>2</sup>國立台灣海洋大學河海工程學系、

<sup>3</sup>國立台灣師範大學地理學系、<sup>4</sup>國立成功大學水工試驗所、

<sup>5</sup>國立中央大學水文與海洋科學研究所、<sup>6</sup>國立台灣海洋大學海洋能源與政策研究中心

### 摘要

本章彙整研究國內期刊論文以及政府部會研究報告文獻，說明台灣海岸與離島區域因氣候變遷所面臨之問題與挑戰，並提供對此所應採取之調適策略與措施。本章分為六節：第一節簡述台灣海岸自然與社會環境特性；第二節說明台灣海岸地區地質、地形及海岸空間土地利用情況，海岸地質與地形以區域及縣市為基礎單位，分成十小節詳述各地海岸不同地質地形分段的現況，台灣海岸空間利用根據現況主要開發利用分為水產養殖、海埔地、工業區、港口等四大項分別討論；第三節針對台灣海岸現況問題進行描述與分析，台灣主要海岸問題為海岸侵淤失衡、海岸溢淹災害、地層下陷、近岸海洋汙染與海岸環境劣化；第四節為氣候變遷對海岸災害之連結，主要以五項論述：(1) 降雨型態改變與河口沙源供給；(2) 颱風強度增加引致之波候改變；(3) 海水位上升與颱風強度增加引致之暴潮特性；(4) 海水表面溫度增高與海岸缺氧；(5) 西伯利亞高壓強度減低引致之台灣海峽海流特性改變；第五節陳述各種海岸災害所應採取之調適策略與措施，調適工作分為四項主軸：建立海岸緩衝帶、提升海岸災害預警能力、加強災害防護與污染控制、合理管制開發與整合土地使用類型，以達到維護海岸環境之安全；第六節為本章之結語。

**關鍵字：**氣候變遷、台灣海岸與離島、海岸災害、海岸調適

## 10.1 前言

台灣島四面環海並位於西太平洋邊緣之最大海洋與大氣波動 ENSO 效應延伸處，島內土地除了中央山脈之外，大部分都屬於海岸地區。隨著經濟的發展，海岸地區土地利用強度增加，人口與工商業設施也逐漸向海岸地區的遷移，因而使海岸地區承載著日益增加的社會經濟壓力。此外台灣近海海域的經濟活動（包括海洋能源開發利用、養殖漁業、航運及海域遊憩等）非常活躍。近岸海洋環境與國家社會經濟活動聯繫緊密，與所有居民的生活息息相關。

海岸地區是陸地和海洋的空間交界地區，存在陸地和海洋之間的強烈相互作用，同時又是人口密集及經濟活動旺盛地區，受到人類活動和自然過程的影響而處於一種動態變化的狀態，對全球暖化回應非常顯著且敏感。隨全球氣候變遷引致的極端天氣事件頻發及強度增強，突發性天氣事件對所經過海域的海洋水動力、海洋水文、化學及生物等過程將產生脈衝式擾動，改變界面之間的物質和能量交換，從而對於海岸產生物理性質與生態性質的衝擊 (Easterling et al. 2000; Parmesan and Yohe 2003; Barnett et al. 2006)。各項衝擊之綜合效應對海岸系統產生持久的變化，對於社會產生重大影響。

為因應氣候變遷對台灣海岸造成之衝擊，本章依序彙整說明台灣地區海岸空間之現況、台灣海岸現況之問題分析、氣候變遷對海岸災害之連結、海岸空間調適策略與措施。

## 10.2 台灣地區海岸空間現況

### 10.2.1 台灣海岸地質與地形

台灣本島四面環海，海岸線長約 1,200 公里，含澎湖群島總長約 1,520 公里，海岸型態多變化。台灣於五百萬年前，因呂宋島弧和歐亞大陸的聚合碰撞和擠壓造山抬昇而露出水面。海島的海岸地形發育深受大地構造和地質特性的影響，持續受到各種內、外營力的作用，逐漸演變成今日綿長而多樣的海岸形貌。



沈 (2013)、林 (1957)、楊等 (2010) 說明台灣海岸特點：(1) 台灣位於板塊聚合碰撞帶和東亞陸棚的邊緣，花東海岸抬升的速率最快，地體構造的特性造成東海岸外水深陡降至數千公尺，其他海岸則鄰接相對平淺的大陸棚；(2) 東海岸山脈走向與海岸線大致平行，北海岸山脈走向與海岸線相交；(3) 主要分水嶺位置偏東，大河多向西流入臺灣海峽大陸棚區域，有利於西海岸發育海灘；(4) 位於副熱帶季風區，北部冬季受東北季風影響，風浪較強且氣溫較低，南部則終年高溫有利珊瑚生長。

在台灣海岸分類方面，過去許多文獻 (王 1980；林、周 1984；石 2000；張 2000；俞 2001；郭 2005) 以三貂角、淡水河口、楓港、旭海等地點，將海岸劃分為北部、西部、南部、東部等四大分區。西部從淡水河口到楓港之間，有連續的海灘發育，除了沙灘以外，實際另有泥灘或礫灘的分布。一般多以砂岸來泛稱這種以沉積物堆積作用為主所形成的海岸，其餘的海岸則概稱為岩岸。岩岸包括從淡水河口到宜蘭北段的地層岩石海岸，沉積岩層直接延伸傾沒入海，海岸多濱台地形發育；在北部火山群分佈的部分區域，則是火山熔岩和噴發碎屑堆積岩體和海水的直接接觸；東部的斷層岩石海岸，多高聳海崖，以蘇花段海岸為最典型的例子，花東海岸沿線，有從各種不同高度的海階崖發育，這類岩石海崖類型的海岸一直向南延伸到旭海、佳樂水一帶；進入恆春半島後，繞過鵝鑾鼻到西岸的楓港之間，珊瑚裙礁發達，是屬生物礁岩海岸的一種。

面臨全球氣候變遷及海平面上升的情境，各區段地質構造和海岸地形是提供海岸系統分析最基礎的資訊。以下詳述各地海岸不同地質地形分段的現況，參考如圖 10.1。

## 一、新北基隆海岸

淡水河口是台灣北部海岸與西部海岸的分界，淡水河口以南到新北與桃園邊界間的八里、林口海岸之地質條件卻略有不同，八里海岸的地質應屬觀音山邊緣的火成岩底岩，上覆全新世的河口、海岸沉積層。沉積層堆積的最前緣有沙灘和沙丘地形。基本上和淡水河口北岸大屯火山群分布的海岸段 (淡水河口至跳石海岸間) 類似，屬火山海岸地形。緊鄰的林口海岸為林口台地古沖積扇向西傾斜入海，有部分海岸侵蝕崖面。因古沖積扇上頂部的紅土礫石層堆積，故海灘多礫石，往西近林口電廠處，則開始有狹窄的沙灘出現。



圖 10.1 台灣海岸分段圖

淡水河口以北至跳石海岸（金山灣）間，是大屯火山群分布的火山海岸，以火山碎屑堆積物為主。淡水河口至麟山鼻間，多海岸階地，依高度可區分為高位和低位兩段，階面向海傾斜，臨海處有則有高低不等的階崖形成。階地因受火山放射狀河流切割，大致呈平行長條狀。淡水河口北岸的沙崙和部分小海灣則有沙灘、沙丘的堆積。麟山鼻和富貴角是兩輝安山岩所組成的兩個岬角，中間是白沙灣。海岸有藻礁、灘岩、沙丘和著名的風稜石。石門附近之海岸，凝灰角礫岩出露，公路旁有海蝕拱門，是海岸離水之證明。石門至跳石海岸則有連綿的火成岩礫灘，亦有藻礁的分布。

從金山灣往東至鼻頭角之間，漸新世和中新世的沉積地層直接延伸到海岸，地層走向和海岸線相交，屬岩石海岸，局部夾有火山岩體（基隆山）。岩質堅硬者，形成岬角，岩層較軟者形成海灣，是岬灣交替出現的海岸。岬角向海突出處，海岸多受波浪的直接侵蝕，多出現海蝕洞、海成壺穴、風化窗、豆腐岩等微地形，

海蝕濱台上多奇岩怪石。岩石海岸線附近全無沙灘，僅萬里到野柳岬之間有一長達 1.5 公里的沙灘，是由河川帶出來的泥沙堆積而成。

鼻頭角至三貂角萊萊鼻間，岬角多海崖，海崖下方有寬窄不等的濱臺，並因地層砂頁岩互層而產生侵蝕差異，而在濱台上亦出現海蝕洞、海蝕拱門、海蝕凹壁、海成壺穴等侵蝕地形。與金山灣至鼻頭角海岸較不同之處，在於本段海岸線型態呈凹入岸線，因為地層的岩性較為軟弱，再加上有澳底斷層及龍洞斷層等與海岸線相交，因此長期侵蝕作用後形成雙溪河谷及寬廣的福隆灣。雙溪河口處形成大片沙灘和沙丘，在福隆灣堆出一段長約 3 公里的平直砂岸。三貂角半島其突出方向與地質構造線及地層走向一致，半島之西側有小規模的卯澳灣，東側有萊萊鼻等發育良好的濱臺，寬度在 100 公尺左右，濱臺上砂頁岩互層的岩層，可以形成高數十公分之小單面山。

## 二、宜蘭海岸

從三貂角南方的萊萊鼻至頭城之間，漸新世之硬頁岩夾帶薄至厚層砂岩地層延伸入海，經差異侵蝕，形成單面山之層階地形，海岸多濱臺，寬在 100~200 公尺之間。沿岸有高 20 公尺以下的狹小海階，鐵路等交通建設就在階面上。西北側雪山山脈呈陡崖，且明顯被一些短小河流切割，河流沉積物在崖下形成小沖積扇，整段海岸僅有少數軟弱岩層或斷層所造成的凹入的小港灣。

從頭城至北方澳之間，主要是蘭陽溪和其他幾條溪流沖積物所構成的蘭陽平原沙質海岸，海岸線在蘭陽溪與宜蘭河、冬山河的共同河口略為突出，南北兩側各呈現弧形海岸線，整段沙岸有沙灘和平行海岸的沙丘發育。沙丘帶寬闊，愈往南愈有多條的沙丘脊發育，在過嶺一帶只有 1 條，到了冬山河與新城溪之間則有 4 條以上。沙丘的背側，因平行沙丘的小河流排水不良而形成沼澤，是為後背濕地。

從蘇澳起至和平溪口的宜蘭海岸南段，是中央山脈變質岩地層延伸至海岸的岩石地層，數百公尺高的大斷崖直逼海岸，可能為斷層作用所造成。最北端的蘇澳灣似為沈水作用所形成的谷灣，旁側南方澳原是灣側之小島，現已因連島沙洲的發育形成陸連島，其所圍小灣亦開闢為南方澳漁港。

南方澳至東澳間的斷崖，未受明顯河流切割，而東澳、南澳間之斷崖，有突

出岬角烏石鼻，也有南澳溪河口的扇洲地形，形成海灣，有沙灘和局部沙丘地形。此處岬灣的交替出現，有學者認為是受到區域性節理構造的控制。岩層薄弱或節理發達之處，海岸退夷成灣，較耐侵蝕的片麻岩組成岩體，則成岬角，在長期波浪侵蝕下，斷崖底部多海蝕洞、海蝕凹壁和落石堆等地形。

再往南從南澳至漢本之間，主要岩層為岩性均勻的黑色片岩和綠色片岩，海岸平直，陡崖臨海，海崖底部有狹窄的沙灘地形。漢本以南，進入和平溪扇洲範圍，扇洲向海突出呈圓弧狀，沿岸有沙嘴發育，使河水必須平行沙嘴流動一段距離之後才能入海，扇洲上有局部砂丘發育。

### 三、花蓮海岸

宜蘭、花蓮以和平溪為界。和平以南至崇德之間，是有名的清水大斷崖，崖高 1,000 公尺以上，地質上屬中央山脈的緻密片麻岩和大理岩。地質構造線呈東北與北北東方向，和海岸呈小角度斜交，山脊與海岸相交之處，陡崖逼海，崖腳偶有狹窄沙灘出現。

崇德以南是立霧溪所成之扇洲地形，是砂、礫混合的海灘。扇洲南緣開始則進入花蓮平原，呈沙質海灘，沙丘亦發達。但美崙台地東側，因有台地和美崙山的礫石來源，海岸又呈礫質海灘，一直維持至花蓮，從花蓮至花蓮溪口又呈沙質海灘，有狹窄之沙丘。

從花蓮溪口至秀姑巒溪口，海岸線大致呈直線狀。整段海岸緊貼西側之海岸山脈，都是巒山層火山角礫岩分布地區，由於岩層堅硬耐蝕，山崖臨海，海蝕地形發達，常見有海蝕洞、海蝕凹壁等。少數河流切割海岸山脈，在海岸沿線堆積形成狹小平原，加上離水作用，形成海階，本段海岸海階都狹窄，僅在新社至豐濱之間，有較寬的海階面，階面上常裸露粗大礫石。另外沿岸有新期的離水濱台，高約 2 公尺，在新社以北，為火山角礫岩質，以南是大港口層分布區，多屬砂、頁岩岩質，如豐濱、靜浦等地。沿岸也有離水珊瑚礁的間續分布，包括石梯坪、大港口等。

### 四、台東海岸

延續從秀姑巒溪往南到台東富岡的海岸，基本上仍是海岸山脈地層和海岸交

會而成的陡峭海岸線，比較明顯的變化是海岸階地發達，明顯變多變寬。海階是向海側傾斜的平緩斜坡，頂部有礫石層覆蓋，下為岩盤，其寬度從山腳至海濱，大約是 0.5 公里；在最寬廣處，如都蘭、成功及長濱等地，可達 2 公里寬。從海岸山脈南北段海階發育的差異，推測可能和南北不等量的上升運動有關。其他新期離水濱台，如石雨傘、小野柳等地，屬大港口層砂、頁岩質分布區。離水珊瑚礁，如三仙臺、小野柳等地皆可見。小野柳是在砂頁岩互層構成的濱台地形上，因為砂頁岩抗蝕能力的差異，常形成參差的小單面山地形。其他也可見到蕈岩、豆腐岩等些小地形。

台東到達仁的海岸，除最北段的臺東平原海岸，屬沙岸地形外，從知本溪河口以南，則延續花東斷層海岸的特徵，海岸普遍呈直線狀，有高達 500 公尺以上的斷崖，崖下偶有礫灘分布。太麻里、金崙、大武等溪口有小型扇洲，太麻里南北和新香蘭等地有小型沖積扇。安朔溪河口有沙丘，平行海岸分布，臨近海岸主要是礫石海灘。

## 五、屏東海岸

屏東海岸，可以分成東部、南部和西部三段，環繞著恆春半島。在恆春半島的東岸，第三紀地層構成的山地與珊瑚礁台地，逼近海岸線，海濱狹窄，波浪直接侵蝕海崖，在差別侵蝕下，海岸常有突出的岬角和凹入之港灣。突出的岬角有觀音鼻、港仔鼻、南仁鬱鼻、出風鼻、烏石鼻等，屬岩石海岸，侵蝕旺盛，有高聳海崖及海岸濱臺等地形，佳樂水海岸有多樣的海蝕地形景觀，包括蜂窩岩，海崖下方的海蝕凹壁、海蝕洞、海蝕門。蕈岩和壺穴等。海灣則有牡丹灣、八瑤灣、港口灣等，其中八瑤灣有九棚溪入海，廣闊的沙灘、沙丘分布。

旭海以南，開始有現生與隆起的珊瑚礁發育。經過佳樂水，往南繞過鵝鑾鼻，到達西岸的楓港一帶，是台灣造礁珊瑚分布的主要區域，現生裙礁與隆起珊瑚礁圍繞恆春半島，是典型的珊瑚礁海岸。風吹沙一帶，有沙丘堆積覆蓋在珊瑚礁岩之上。

鵝鑾鼻至貓鼻頭之間，海岸線因海蝕而向北凹，形成南灣。南灣有珊瑚礁和貝殼碎片堆積而成的海灘，後壁湖的珊瑚礁有廣闊礁臺和礁池。貓鼻頭岬角處，離水裙礁在海蝕作用下，多海蝕溝、海蝕柱等地形。礁崖多逼臨海岸，且留下眾多的凹壁，珊瑚礁層也經常崩塌成巨大的礁塊，沿坡散布甚或掉落海底。貓鼻頭



與關山之間有白沙灣的沙灘堆積，萬里桐至關山間，則有顯著海蝕崖。

除了珊瑚礁海岸之外，恆春半島沿岸還有發達的海階。沿海的低位海階分布在墾丁、鵝鑾鼻等沿海地帶，高度大多 20 公尺以下，向海緩傾，與現生裙礁相接。

楓港以北屏東海岸，一般被劃入台灣西部沙岸的範圍。從高屏溪口南岸的東港到枋寮一帶，以沙灘為主，東港沙嘴圍成的大鵬灣是單一開口的潟湖地形，在枋寮至楓港間，則因逼近中央山脈西麓，較大的河流如率芒、枋山、楓港等溪的河口均形成圓弧狀扇洲，沿岸以礫石灘為主。

### 六、高雄海岸

高雄海岸從高屏溪口至二仁溪口，仍屬平原沙質海岸。原外側為沙洲或沙嘴地形，內側有潟湖，然因為土地開發利用，沙洲多已和陸地連接，原潟湖地形，則多開闢為港口。高雄港即是利用旗津沙洲所圍的潟湖建構而成。海岸線上在鳳鼻頭、旗后山和壽山等處有隆起珊瑚礁，形成海岸的突出處，礁體的兩側沙洲則成弧狀延伸。

### 七、雲嘉南海岸

雲林、嘉義、臺南海岸，從二仁溪口至濁水溪口以南，同屬沙岸，有寬大的潮埔地，外側則有濱外沙洲島或在靠近海岸處有沙嘴發育，由沙洲、沙嘴所圍的淺海部分即為潟湖，構成獨特的洲潟海岸。近幾十年來，由於土地的墾殖利用，中間的潟湖常闢為鹽田、魚塢、農墾地甚至工業區等。致使這些濱外沙洲島和內側陸地相連結，成為全新世沖積平原前緣的沙灘。

濱外沙洲主要發育於舊虎尾溪口至曾文溪口之間的淺海灘地，可分為嘉義和臺南兩群。北港溪口一帶者稱為嘉義濱外沙洲群，分布於雲林、嘉義兩縣境內，自北而南有臺西外海的海豐島，口湖至東石外側的外傘頂洲（原有統汕洲、茆子寮汕和外傘頂洲三段沙汕，近年已併合成一，統稱外傘頂洲），這些濱外沙洲與本島之間隔著潟湖、海灣，沙洲本身有沙灘、沙丘地形發育，其潟湖側也常有寬闊的潮埔地，有許多潮溝。



八掌溪口至曾文溪口的濱外沙洲群，統稱為臺南濱外沙洲群，包括東石港洲、白水湖洲、新北門港洲、海汕洲、王爺港洲、青山港洲、網子寮洲、頂頭額洲及新浮崙洲等，形成一系列東北 - 西南向之細長沙洲，沙洲之間以潮口相隔。

台南曾文溪口以南至二仁溪口海岸，仍以沙灘為主，昔日發育的潮埔、沙洲及潟湖多已陸化。在老地圖中，這段海岸曾有濱外沙洲群，圍繞鹿耳門溪口與臺南「內海仔」潟湖。現今鹿耳門溪口北側的青草崙海岸、南側的四草海岸，以及安平、鯤鯓、灣裡等皆為明末的系列濱外沙洲島。

## 八、中彰海岸

台中的大安溪和大甲溪因河川多礫石沉積物，河口海岸亦多礫石堆在泥、沙灘地上。大甲溪以南，地勢平坦，幾全為泥質海岸，直至彰化南界的濁水溪河口。台中的大甲溪到大肚溪間海岸，因為潮差較大，灘地較廣，飛沙活動相當活躍。在梧棲漁港附近開闢的臺中港，就在其北側廣植防風林以利防沙。港區北側則淤成高美濕地。

大肚溪以南的彰化海岸，直至濁水溪口，全段皆屬泥質潮埔，而且不斷在增廣。由於海岸平原相當寬廣，河流西流入臺灣海峽，因此在河口形成大型扇洲。彰化海岸地區乃濁水溪河口擺盪所形成的堆積平原。海岸堆積迅速，海底平淺，再加上潮差大，因而在沿海形成廣大潮埔地，低潮時可露出寬達數公里的泥灘地。

## 九、桃竹苗海岸

桃園海岸從竹圍到新屋蚵殼港，屬砂質海岸，在桃園台地西緣連接的狹窄海岸平原發育。沙灘的內側有發育極為良好的海岸沙丘地形，以大園西方之草漯沙丘群最為發達。沙丘因阻礙小河流的直接入海，其背後常有後背濕地形成。在沙丘帶的新期海濱堆積層底部，發現有厚數十公分的珊瑚礁層，係由造礁珊瑚、石灰藻、貝殼和小礫等混結而成。在觀音、新屋一帶，則有現生的藻礁層在潮間帶間形成藻礁平台。海灘上多見礫石分布，但河口附近則多沙灘。

新竹海岸介於福興溪及鹽港溪間，屬沙、泥質海岸，其特性為潮差大，有寬廣潮間帶，海岸地形有沙灘、脊溝系統及潮埔地等，客雅溪口北側的港南海岸沙灘，向南延伸出一沙嘴地形，使內側的香山濕地，較少受波浪侵襲，泥質堆積增

加，紅樹林生長良好。香山濕地南側有鹽港溪入海，在河口南側有沙灘和沙丘發育。

接著進入苗栗的青天泉海岸，一直往南到大安溪口的苑裡，都是寬闊的沙灘海岸，內緣側有良好的沙丘及防風林區。其中竹南至白沙屯間之後龍沙丘群，範圍更是寬闊，廣布在中港溪、後龍溪河口海岸一帶。沙源一般認為來自附近的頭嵙山層香山段砂岩層，該砂岩層主要分布於竹東、苗栗丘陵。白沙屯沙丘下有時露出礫石層，源自於北部的頭嵙山礫石層，因此在寬闊的沙灘上，常可見局部的礫石堆積。

### 十、離島海岸

台灣附屬島嶼和離島的海岸地形特性，也和島嶼的生成條件及氣候與潮、波、流、風等海氣象營力條件相關，大致可以分為三類：(1) 馬祖列島、金門列島（花崗岩）本應與大陸相連，後因海峽之曲陷和海蝕而分離，海灘內緣常見高低不一的海崖；(2) 南海諸島、琉球嶼（底岩為沉積岩）以及蘭嶼、綠島（安山岩島嶼）的珊瑚礁發育良好，南海諸島有典型的環礁發育，其他各島則有發達的裙礁環繞；(3) 其他島嶼均屬火山島海岸地形，以海崖或濱台（海蝕平台、波蝕棚）為主，澎湖群島（玄武岩）局部地區若條件合適則有裙礁或海灘，龜山島和臺灣東北部諸島（安山岩）的海岸則多為陡峭的海崖（陳 2006；沈 2013）。

#### 10.2.2 海岸空間利用

早期台灣海岸土地之開發多為管制使用，受傳統農業社會影響，主要以捕魚、養殖及農耕為主，隨時代改變，海埔地與工業區的開發成為海岸利用之要項（郭、李 2006），根據吳（2007）「海岸資源管理」說明海岸地區現有之廣義的土地利用型態可細分為：耕地、林地、魚塭養殖及淺海養殖、鹽田、住宅社區、工業區、港口、公路及鐵路、大型機場、國家公園、國家風景區、野生動物保護區及自然保留區、濕地、休閒遊樂區及高爾夫球場、海水域場、發電廠、海岸管制區及重要軍事設施管制區、漁業資源保育區、環境保護設施、禦潮設施、海水淡化廠、探採石油及天然氣。以上細項中，根據台灣現況主要開發利用可分為以下四大項分別討論：(1) 水產養殖；(2) 海埔地；(3) 工業區；(4) 港口。

## 一、水產養殖

主要有魚塭養殖及淺海養殖兩種型態，開發方式分為四種 (吳 2007): (1) 利用潮間帶 (海埔地) 或河口從事漁業養殖。養殖方式為無固定之養殖設施，主要為插竿式或懸掛式之牡蠣養殖及貝類養殖，小部分為箱網養殖，主要分布新竹香山、大肚溪以南至台南、高雄間之沿海一帶、澎湖沿海地區。(2) 利用潟湖、淺灘及海埔新生地開闢而成之魚塭養殖。多以泥土或鋼筋混凝土配合紅磚圍築而成之固定式塭堤，主要飼養鹹水半鹹水或淡水魚類。分布於大肚溪以南至屏東沿海一帶，其中以嘉義、台南沿海地區最為廣大。(3) 利用海蝕平台闢建而成之半開放式魚塭養殖。利用潮差變化，從事高經濟價值之魚貝類養殖為主。分布以岩質海岸為主，集中於東北角海岸，花東海岸亦有少數分布。(4) 利用淺海域從事海洋牧場之經營。以沿海地區高生產力及海洋空間特性 (淺海域可分為上、中、下三層海域)，分別栽培漁業生物資源。台灣西岸各縣市於距海岸線 3 哩之海域內大多投放有人工魚礁，懸掛式牡蠣養殖和箱網養殖則主要分布於澎湖沿海地區。台灣地區歷年水產養殖面積如表 10.1。

## 二、海埔地

早期台灣海埔地開發目的主要提供農漁鹽業用地，自 1959 年在新竹海埔地實驗區進行試驗性開發後，至 1977 年間產生約 5,880 公頃新生地。後續由地方政府於 1984 至 1988 年間陸續於各地開發海埔新生地。根據調查台灣西海岸自桃園縣南崁溪至高雄縣興達港間約 282 公里之海岸線上，海埔地面積約有 53,870 公頃，依分布情形劃分為北部、台中、彰化、雲林、嘉義、台南與南部等七區海埔地，其中以彰化與嘉義兩區之海埔新生地面積較大，達 15,000 公頃 (郭、李 2006)。

## 三、工業區

位於台灣海岸地區主要的大型工業區如表 10.2。

表 10.1 台灣地區水產養殖面積

年度 (民國)	海面養殖		內陸養殖	
	淺海養殖 (公頃)	箱網養殖 (立方公尺)	鹹水魚塢 (公頃)	淡水魚塢 (公頃)
102 年	11,037	295,556	19,193	13,656
95 年	13,167	973,663	22,598	18,506
85 年	15,371	533,728	25,537	23,783
75 年	14,966	無統計資料	25,707	17,556
65 年	14,116	無統計資料	18,048	12,698
55 年	9,822	無統計資料	15,587	5,336
45 年	5,818	無統計資料	14,264	4,443
35 年	無統計資料	無統計資料	無統計資料	5,335

資料來源：吳(2007)、行政院農業委員會漁業署漁業統計年報

表 10.2 台灣海岸地區之工業區

工業區名稱	主要產業類別	面積(公頃)	管理機構
高雄臨海工業區	綜合性(金屬基本設備、機械設備、運輸工具等)	1,556	經濟部工業局
高雄加工出口區	綜合性	72	經濟部加工區管理處
楠梓加工出口區	綜合性	97.8	經濟部加工區管理處
林園工業區	石油化學(化學材料、化學製品、石油及煤製品等)	395	經濟部工業局
安平工業區	綜合性(塑膠製品、印刷、機械設備等)	198	經濟部工業局
台南科技工業區	科技工業(電力及電子機械器材、運輸工具、金屬製品等)	709(東區 496、西區 213)	經濟部工業局

工業區名稱	主要產業類別	面積(公頃)	管理機構
雲林離島式基礎工業區	綜合性	13,980(包括麥寮、台西、四湖、口湖等四區)	經濟部工業局
麥寮六輕工業區(為雲林離島式基礎工業區之部分)	化學材料、化學製品、發電業	2,680	台灣塑膠公司
彰化濱海工業區	綜合性(金屬製品、金屬基本設備、化學製品等)	3,643(線西區 1,046、崙尾區 1,343、鹿港區 1,189、聯絡道路 65)	經濟部工業局
台中港關連工業區	綜合性(機械設備、塑膠製品、化學製品等)	143	經濟部工業局
大園工業區	綜合性(紡織業、金屬製品、化學材料等)	204	經濟部工業局
觀音工業區	化學、電力及電子機械、紡織等	626	經濟部工業局
桃園科技工業區	綜合性	274	桃園市政府
大潭濱海工業區	電力	44	桃園市政府
利澤工業區	綜合性(機械設備、金屬製品、食品製造等)	329(東區 290、西區 39)	經濟部工業局
和平工業區	水泥工業(非金屬礦物、電力及電子機械、運輸工具等)	451	經濟部工業局
美崙工業區	綜合性	136	經濟部工業局

資料來源：吳(2007)、經濟部工業局台灣工業用地供給與服務資訊網

#### 四、港口

台灣港口的建置面臨許多困難，台灣東岸因瀕臨太平洋，每年受颱風侵襲頻率高，海岸多為岩質灣澳，山脈直逼海岸，落差大，腹地小，水深坡陡，交通不便。西岸雖瀕臨台灣海峽風浪較小，但漂沙盛行港內淤積問題嚴重，潮差大，潮間帶寬廣，建港不易。南北部多灣澳地形漁業資源豐富，因此台灣漁港集中在南北兩端縣市。台灣漁港分為兩類，第一類漁港屬全國性或配合漁業發展特殊需要者，共 9 處；不屬於第一類漁港則為第二類漁港，全台共 215 處（農委會漁業署 2014）。早期漁港功能係以漁業生產目的為主；近年漁業整體環境變遷多，如各國沿岸劃定二百海里經濟海域，漁業合作成本逐年增加；國際公海漁業管理趨勢轉強，流刺網全面禁止以及沿岸水質汙染和過度撈捕；台灣地區沿近海漁業資源枯竭等因素，漁港的建設已不再擴張（郭和李 2006）。

商港的發展方面：台灣目前有七個國際商港，分別為基隆港、台北港、台中港、安平港、高雄港、花蓮港與蘇澳港以及一個麥寮工業港。商港的發展是台灣發展國際貿易非常重要的一環。其中的高雄港、基隆港曾保有樞紐港的地位，主航線與集貨航線匯集。但近年來受台灣經濟產業轉型，台灣本身進出口貨物量減少，加上中國大陸港埠迅速竄起，持續大幅擴建深水貨櫃碼頭，同時台灣受限港埠管理體制改革緩慢，未能吸收大陸地區經濟快速成長所產生之貨櫃量前來轉運，使得台灣港埠裝卸量落後鄰近國家，也遠較全球貨櫃市場規模成長速度緩慢。國際航港競爭非常激烈，除加強港口經營策略之外，全球暖化也將影響台灣港埠競爭力。

受到全球暖化影響，北極海融冰迅速，已經出現夏季可通航的西北、東北兩條北極航道，其中西北航道為連結北大西洋和太平洋最近的航道，航線比通過巴拿馬運河縮短約 7,000 公里，相同地也可能取代蘇伊士運河在歐亞海運之重要性，於西歐與東亞之間的航程，北極航道比蘇伊士運河航線縮短約 5,500 公里。依據《聯合國海洋法公約》第 56 條規定，北極週邊俄羅斯、美國、加拿大、丹麥、挪威、瑞典、芬蘭及冰島等國依法擁有向外延伸 200 海里的「專屬經濟海域」，合法壟斷海域內的資源開採，包含海床、底土、水域之生物與非生物資源，但此非天然疆界畫分難免部分重疊，因此北極航道的興盛促使「環北極經濟圈」的興起，新航路之經濟效益及潛在天然資源必使各國爭相捍衛，並形成另一個與東南亞各國競爭的全球海運中心，改變世界與東亞的地緣政治經濟局勢。



北極航道的誕生會使東北亞成為東南亞、紐澳與歐洲三區之間的轉運樞紐，以台灣地理位置之便，有機會提升港口競爭力，提供台灣沿岸港口的發展機會。對於台灣海岸土地開發利用，相關港灣設施管理與招商應該要針對北極航道問題，提出前瞻性的規劃。

### 10.2.3 海岸自然資源與應用

海岸自然資源分為動物、植物及礦物資源以及海洋再生能源，此節針對礦物資源及再生能源加以描述。台灣海岸動植物自然資源部分於本報告第四章「海域生態」介紹。

台灣海岸地區礦產資源並不豐富：一般具有經濟價值之礦產資源可概分為能源礦物、金屬礦物、工業原料礦物及土石四大類 26 種。能源礦物主要有煤礦、石油、天然氣礦，其中僅僅於高雄與新竹外海海域曾開發油氣資源。金屬礦僅金瓜石礦山於民國 40、50 年代有生產，主要有金、銀、銅、硫化鐵、重砂等。非金屬中已開發者有石灰石、大理石、白雲石、蛇紋石、滑石、石棉、石膏、水晶、瓷土、火粘土、寶石、雲母、鹽等，除鹽產於西南部沿海地區，石灰石、瓷土、火粘土產於西南及南部外，其餘礦物多產於台灣東部。砂石資源依賦存狀態、地點可分為河川、陸地、海域砂石三類，河川及陸上砂石資源分布不均，並由於運輸費佔砂石價格極大的比例，因此海底砂石資源可能成為未來砂石供應的主要來源。天然氣水合物是一種非傳統的天然氣，主要是由天然氣與水組成，呈固體狀，燃燒後只產生少量的二氧化碳和水，為汙染比傳統能源少的新能源。天然氣水合物的開採會改變儲存層的溫度、壓力條件，引起天然氣水合物的分解並釋出甲烷氣。台灣西南海域之高屏峽谷和枋寮峽谷間的高屏斜坡發現有天然氣水合物的存在，已於 2003 年開始調查研究 (陳 2007；黃、陳 2013)。

海洋的再生能源主要可分為波浪能、潮差能、海(潮)流能、溫差能及鹽差能 (陳等人 2008；何 2012)。海流通常包含兩大分量，一是潮汐造成的漲退潮流 (tidal current)，自數  $\text{cm sec}^{-1}$  (大洋中) 可大到  $3\sim 4 \text{ m sec}^{-1}$  (如英國北部蘇格蘭某些島嶼間水道)；二是大洋上風力旋度跟地球旋轉作用之產生之恆常性大洋環流中，在每個大洋環流的西側都是強勁的西方邊界流 (western boundary current)，如北太平洋的黑潮 (Kuroshio) 和北大西洋的灣流 (Gulf Stream)，兩者最大流速都達  $2.0\sim 3.0 \text{ m sec}^{-1}$ ，流幅達 50~150 公里。洋流發電的概念簡言之即是利用水下渦輪

發電機擷取洋流動能轉換成電能。波浪則是因風吹海面而產生的海面紛紜起伏，其中蘊含的能量包括海表面起伏造成的位能變動和海面下垂直波壓的週期變化，兩者都可藉由多元的能量擷取方式將波浪能轉換為電力。

臺灣周邊海域波浪發電潛勢方面，Tsai et al. 2012； Chien et al. 2014 依據美國大氣海洋總署發布之歷史西太平洋表面風場再分析數據，利用數值模式推算近 60 年逐時示性波高 (Significant Wave Height) 變化，台灣東岸之波浪較西岸顯著為大，其中以東北三貂角海岸與台東卑南溪河口至九鵬海岸之波浪波高最大能量最強。實際利用中央氣象局資料標觀測 1998 至 2008 十年之波浪資料計算單位波能密度，則該海域冬季 (十二月至隔年二月) 波浪能量密度平均值為  $16.8 \text{ kW m}^{-1}$ ，而夏季 (六至八月) 僅有  $2.6 \text{ kW m}^{-1}$ ，全年平均為  $8.9 \text{ kW m}^{-1}$ 。

另外工研院 (徐及顏, 2007) 於行政院產業策略科技會議中指出：「台灣周圍海域受東北季風影響，北部及東部波能均較大，粗估近岸之波浪能量約為  $13 \text{ kW m}^{-1}$ 」，其他海岸波能潛勢均要更小。這些數據顯示：台灣周邊海域波能季節性變異程度極為劇烈，楊等 (2010) 統計東北海域及基隆港外海，夏季完全無發電潛勢，即便在冬季，也僅有 (20~70%) 的時間可發電。

潮汐發電的原理是利用潮汐造成的海水水位變動推動渦輪，發電原理近似水力發電，是目前海洋能技術最成熟的，潮汐引起的海流速度最高約在  $4 \text{ m sec}^{-1}$  左右，一般約在  $0.5\sim 2.5 \text{ m sec}^{-1}$ ，而海洋上層約 100m 洋流的速度最高約  $1.5 \text{ m sec}^{-1}$  左右，潮差發電地點以潮差較大的河口或海灣為佳，台灣以台中附近有較大的潮差，但沒有良好的峽灣地形。以 2010 年代技術而言海流發電有經濟效益的流速約在  $2 \text{ m sec}^{-1}$  左右，目前歐美各國有關海流發電的發展均集中在潮汐海流發電，目前開發的機組以軸流式最多，機組的發電容量從數百仟瓦到百萬瓦，發電機之啟動流速在  $0.7\sim 1.0 \text{ m sec}^{-1}$  之間，額定流速則大多在  $2 \text{ m sec}^{-1}$  以上。現有機組的研發主要都以擷取淺海地區的往復性潮流能而開發，故機組適合之水深多為淺水地區。徑流式潮流發電機組 (流向與旋轉軸呈垂直) 的設置容量在  $O(1) \text{ kW}$  到  $O(10) \text{ MW}$ ，海流流速在  $2 \text{ m sec}^{-1}$  以上，可裝置於任何水深位置或是水深會變化之海流中。水翼式海流發電機組的開發主要有英國、美國、日本，海流速度在  $1.5\sim 2 \text{ m sec}^{-1}$ ，設置深度可深達 100 公尺。台灣海岸具備潮流發電開發經濟可行性的區域，以目前發電技術而言，還是有限。基隆和平島、基隆嶼之間的基隆海檻及澎湖附近海域受地形影響潮流流速較強，可能較具有開發潮流能的潛力。

台灣東部海域北太平洋黑潮經過，過去對黑潮在臺灣東部的一般印象是其為一支恆常穩定的北太平洋西方邊界流。近年科技部「黑潮流量及變異之觀測」整合計畫 (Observations of the Kuroshio Transports and their Variability，簡稱 OKTV) 於 2012 年 9 月到 2014 年 9 月之間在花蓮外海東西向 KTV1 測線，共 9 個研究船航次量到的斷面流速，由海流觀測資料統計得出的黑潮北向最大流速的變動範圍在  $0.7\sim 1.4\text{ m sec}^{-1}$ ，洋流厚度大約 400~600 公尺，最大流速軸的位置在 2013 年 12 月的觀測結果顯示甚至離臺灣東岸 100 多公里遠，600 公尺深以下水流速度相對低許多，且在花蓮外海會出現南流狀況。北向黑潮流量介於 10.46 和 22.92 Sv ( $1\text{ Sv}=106\text{ m}^3\text{ sec}^{-1}$ ) 之間變動。本項研究結果證實黑潮在臺灣東部不是一支穩定的大洋西方邊界流 (Jan et al. 2015)，因此未來在應用黑潮能發電的發展上，還要再更仔細觀測黑潮在臺灣東部的時空變化，確切掌握。

溫差發電原理是利用海洋表面較高溫的海水，使沸點低的液體汽化，進而推動渦輪發電，再由深海汲取的冷水冷凝為液體，循環使用，熱帶海洋海水表面溫度四季變化溫差小，海水表層、深層溫差大，且台灣東部黑潮經過，表層溫度高，水深超過 1,000 公尺，具有開發溫差能條件，但相關發電技術尚未成熟，尚無經濟效益。鹽差發電原理是利用淡鹹水鹽度差異的化學電位差能，目前台灣鹽差發電缺少研究。

### 10.3 台灣海岸問題分析

近年來台灣海岸侵蝕、颱風暴潮溢淹、海岸棲地減少、生態劣化與近海漁業資源枯竭等問題日趨嚴重 (郭 1996；許 1997；郭 2006)，若現象持續或是進一步加劇，將造成整體海岸系統產生持久性的變化 (Ringuet and Mackenzie 2005)，並導致社會與經濟層面的衝擊。本報告企圖蒐集國內相關研究文獻，針對未來受氣候變遷影響台灣的海岸問題，彙整其定量描述、原因機制與過程以及衝擊評估的研究成果，然而發現現有研究成果缺乏系統性及全面性，對於相海岸關研究尚有必要加強整合、推動與支持。依據有限的國內各部會委託學術單位研究之成果，以及少量的期刊文獻，本節對台灣海岸侵淤失衡、海岸溢淹災害、地層下陷、近岸海洋環境劣化問題進行說明。

### 10.3.1 海岸侵淤失衡

依據經濟部水利署執行研究調查及國立成功大學水工試驗所 (2000 ; 2001 ; 2002 ; 2004) 之分析研究顯示，台灣海岸約有 80% 區段處於侵蝕狀態，10% 淤積、僅 10% 處於侵淤平衡，危及國土安全。海岸侵淤失衡意為沿岸輸砂淨通量收支不平衡：當沉積物供應量大於流失的砂量，海岸淤積，反之則發生海岸侵蝕。台灣海岸侵蝕可歸納有下列幾項原因：(1) 海崖與沙丘破壞；(2) 河口輸沙量供給的減少；(3) 河口沉積物輸送途徑的改變；(4) 波候特徵變遷；(5) 海岸結構物的突堤效應；(6) 海水位上升、地層下陷。

- (1) 海崖與沙丘破壞：海崖為軟質泥岩或堆積岩的基部，因受波浪長期作用及上部荷重，使陸岸崩陷而形成海崖侵蝕。沙丘為海岸漂沙或風沙之沉積，較大之波浪能量如直接作用於沙丘，則波浪所衍生之回流 (return flow) 易造成沙丘之侵蝕 (歐等人 2001)。
- (2) 河口輸沙量供給的減少：河川輸出之泥沙為海岸輸沙之主要來源。河川自上游集水區匯集土石沉積物，隨河水輸送至河口，因流速變慢而沉積於出海口及近岸。若河口輸沙供給量大於波浪與海流作用之輸沙，則於海岸形成堆積作用，反之則形成海岸侵蝕。若上游因興建水庫、攔沙壩、砂石開採、河川整治或水土保持良好，將造成河川輸砂供給量的減少，使得海岸沙源補充短少造成海岸侵蝕。
- (3) 河口沉積物輸送途徑的改變：由於全球性氣候變遷造成降雨型態的改變，台灣地區降雨強度增加，當極端強降雨事件發生時，河水懸浮沉積物濃度陡增造成水體密度大於海水密度，致使異重流 (濁流) 的發生。河口異重流發生頻率增加，將陸源沉積物沿陸棚斜坡底床輸送至離岸較遠處，使之被沿岸流及波浪作用帶回海岸之機會變小，有可能造成海岸沙源無法補充。
- (4) 波候特徵變遷：垂直海岸入射之波浪，產生之波揚使碎波帶產生回流 (return flow)，再加重力之作用而使底質向外海移動。波浪尖銳度較大或前灘坡度較陡則回流流速隨之增加，容易使海灘侵蝕。反之如波浪尖銳度小且底質孔隙大或坡度較緩，容易堆積。全球氣候變遷導致波候尖銳度特徵改變對海岸輸沙過程造成改變 (RJ Hallermeier 1981; K Orviku et

al. 2003)。另外考慮波浪入射海岸的平均角度，波高、與波能的改變，均導致近岸流強度與特性變化，使沿岸漂沙的輸送能力改變，影響海岸漂沙的收支平衡。

- (5) 海岸結構物的突堤效應：港灣、防波堤、海岸突堤、與離岸堤等海岸結構物不僅阻擋海流，也使波浪產生繞射與反射，導致遮蔽區之波浪變小，波能降低而使泥沙沉澱，反射區之波浪則波能變大且流速增加而使泥沙向外海移動。若堤長太長將沿岸漂沙完全阻擋，堤下游處無法獲得沙源，產生突堤效應 (歐等人 2001；郭 2004)，對下游海岸造成侵蝕。
- (6) 海水位的上升及地層下陷：受全球暖化引致之海水位的上升，加上受結構物重量之沉壓、土壤性質改變、地下水位降低引致之地層下陷，導致近岸水深變大，使海線位置改變，因水深變化使波浪碎波型態改變，碎波帶向陸側靠近進而影響漂沙的運動，造成淘刷能力增強，加劇沙灘之侵蝕。

海岸侵蝕的原因可能上述原因的綜合效應，台灣地區因造山運動活躍，地形抬升快速，坡地陡峭、地質脆弱，同時雨量豐沛，集水區上游旺盛侵蝕，下游坡度驟減，河川挾帶的泥沙於谷口處逐漸向外堆積，供應台灣海岸源源不絕之砂源。早年台灣海岸雖受波浪長年侵襲作用，因各河川供應之砂源大於波浪掏刷、海流沖蝕之流失量，故海岸仍然逐漸淤積，海岸線明顯呈現堆積海岸的特徵。近年受上述海岸侵蝕原因影響，台灣海岸呈現多處海岸侵蝕的現象，尤其以宜蘭海岸、台灣西部雲嘉南以及西南高屏海岸最為嚴重。相關侵蝕狀況歸納如表 10.3。

表 10.3 台灣地區海岸侵淤概況

海岸別	縣市別	海岸長度 (km)	境內重要河川水系	海岸類型	侵淤情況
宜蘭海岸	宜蘭縣	106	蘭陽溪、和平溪	石城以北：岩岸、 石城以南：砂岸	頭城海岸嚴重 侵蝕、其餘變 化不明顯。
台北海岸	基隆市	18	淡水河	淡水河口以東：岩 岸、淡水河口以 南：砂岸	變化不明顯
	新北市	122			淡水河口至林 口海岸略侵蝕
桃園海岸	桃園縣	39	淡水河	砂岸	觀音及其以南 海岸侵蝕
新竹海岸	新竹縣	12	鳳山溪、頭前溪	砂岸	港南海岸嚴重 退縮
	新竹市	17	頭前溪		
苗栗海岸	苗栗縣	50	中港溪、後龍溪、 大安溪	砂岸	侵淤互現
台中海岸	台中市	41	大安溪、大甲溪、 烏溪	砂岸	淤積
彰化海岸	彰化縣	61	烏溪、濁水溪	砂岸	大部分淤積小 部分地盤下陷
雲林海岸	雲林縣	55	濁水溪、北港溪	砂岸	由淤積轉為侵 蝕
嘉義海岸	嘉義縣	41	北港溪、朴子溪、 八掌溪	砂岸	由淤積轉為侵 蝕
台南海岸	台南市 (縣)	54	八掌溪、急水溪、 曾文溪、鹽水溪、 二仁溪	砂岸	侵蝕
	台南市	23	曾文溪、鹽水溪、 二仁溪		
高雄海岸	高雄市 (縣)	37	二仁溪、阿公店 溪、高屏溪	砂岸	侵蝕
	高雄市	26			略侵蝕



海岸別	縣市別	海岸長度 (km)	境內重要河川水系	海岸類型	侵淤情況
屏東海岸	屏東縣	152	高屏溪、東港溪、 四重溪	鵝鑾鼻段：珊瑚 礁、其餘各段：砂 岸	枋山以南：變 化不明顯、其 餘各段：侵蝕
台東海岸	台東縣	172	卑南溪、秀姑巒溪	成功以北：岩岸、 成功以南：砂岸	侵蝕
花蓮海岸	花蓮縣	175	秀姑巒溪、花蓮 溪、和平溪	新城至花蓮溪口： 砂岸、其餘各段： 岩岸	侵蝕
澎湖海岸	澎湖縣	320		岩岸(珊瑚礁)	變化不明顯
台灣省		1520			
金門海岸	金門縣			砂岸、岩岸兼有	砂岸部份侵蝕
馬祖海岸	連江縣			多數為岩岸	侵蝕

資料來源：經濟部水利署全球資訊網

### 10.3.2 海岸溢淹災害

此處所指的海岸溢淹主要為颱風侵襲時天文潮位與暴潮位疊加，海平面水位暫時性較陸地高程為高，引致大量海水向沿岸陸地延伸覆蓋之現象，亦稱為海水倒灌。暴潮為在極端天氣事件如颱風作用下，海水面受颱風中心低氣壓的倒氣壓計效應、風驅流於海岸的堆積與波浪波揚作用造成的暫時性抬升。此海水位抬升造成近岸水深增加，波浪碎波帶向陸側移動，強風生成之大浪其能量可長驅直入直接作用在海岸及結構物上，造成增加海岸侵蝕、港灣、堤防、房舍與道路損壞。

根據表 10.4 (經濟部水利署水利規劃試驗所 2012) 統計結果顯示，海岸地區溢淹多發生在台灣西部雲嘉南海岸、西南高屏海岸及東部宜蘭海岸，這三處海岸皆位於台灣的三大地殼沉降區。此外，雲嘉南海岸與高屏海岸尚因沿海養殖超抽地下水引致人為的地層下陷，於暴潮期間更容易因地層下陷使海堤高度不足產生嚴重的波浪越堤、海水倒灌，導致嚴重的海岸溢淹。沿岸坡度平緩或排水系統不佳，使積水不易退去，增加溢淹時間。

表 10.4 2001~2010 年颱風造成台灣海岸地區溢淹災害表

颱風發生日期			名稱	海岸災害	
年	月	日		洪氾溢淹	暴潮溢淹
90	05	11	西馬隆	台南、嘉義	
90	06	22	奇比	屏東	雲林、屏東
90	07	03	尤特	屏東	雲林、嘉義、台南高雄、屏東
90	07	10	潭美	高雄、屏東	
90	07	28	桃芝	雲林、嘉義、台南	
90	09	15	納莉		桃園、彰化
90	10	15	海燕		基隆、雲林
91	07	02	雷馬遜	宜蘭	
91	07	09	娜克莉		台南
91	09	05	辛樂克		花蓮
92	08	03	莫拉克	高雄、屏東、台東	
92	08	31	杜鵑		台東
92	11	02	米勒	屏東	
93	06	28	敏督利	彰化、雲林、嘉義	雲林、嘉義、台南高雄、屏東、台東
93	08	23	艾利	宜蘭、新竹、苗栗	
93	09	11	海馬	台南、高雄	
93	10	23	納坦		宜蘭
94	7	16	海棠		台南
94	8	30	泰利	雲林、嘉義、台南	
95	5	18	珍珠	屏東	
96	8	18	聖帕	彰化、雲林	
97	7	16-23	卡玫基	彰化、雲林、台南高雄、屏東	
97	7	26-31	鳳凰	嘉義、花蓮、屏東	
97	9	11-19	辛樂克	宜蘭	

颱風發生日期			名稱	海岸災害	
年	月	日		洪氾溢淹	暴潮溢淹
98	8	5-25	莫拉克	嘉義、台南、高雄屏 東、台東	
98	10	3-7	芭瑪	宜蘭	
99	9	17-21	凡那比	台南、高雄、屏東	
99	10	21-8	梅姬	宜蘭	

### 10.3.3 地層下陷

地層下陷泛指地面向下沉陷的垂直地表變形現象。地層下陷因素主要可分為自然及人為因素。自然因素包括地殼變動、受地震、火山爆發及本身地質構造影響而產生下陷，台灣地殼變化情形如圖 10.2 (陳 2014)；人為因素可分為：天然資源開採或地下工程施工、超抽地下水與地表載重等三項，分述說明如下。

- (1) 天然資源開採或地下工程施工：石油、天然氣、其他礦產開採或者是地下工程施工，使地底支撐的材料減少，致地表陷落；台灣北部八堵煤礦區所發生之下陷乃屬此類地層下陷因素。
- (2) 超抽地下水：大量抽取地下水，造成地下水位降低，而壓縮性土壤內的水壓升高，內部水壓高於外部水壓，此將使得土壤向外排水，在排水的過程中，壓縮性土層內部水所減少的壓力，將轉移由土壤顆粒骨架所承受 (有效應力增加)，此將造成土壤的壓縮，此為土壤的壓密現象，地層因而下陷。
- (3) 地表載重：地表載重之增加，尤其在軟弱地盤 (如填海新生地) 上構築工程，由於地層之壓密尚未完成，額外之載重將加速土壤之壓密而造成下陷。

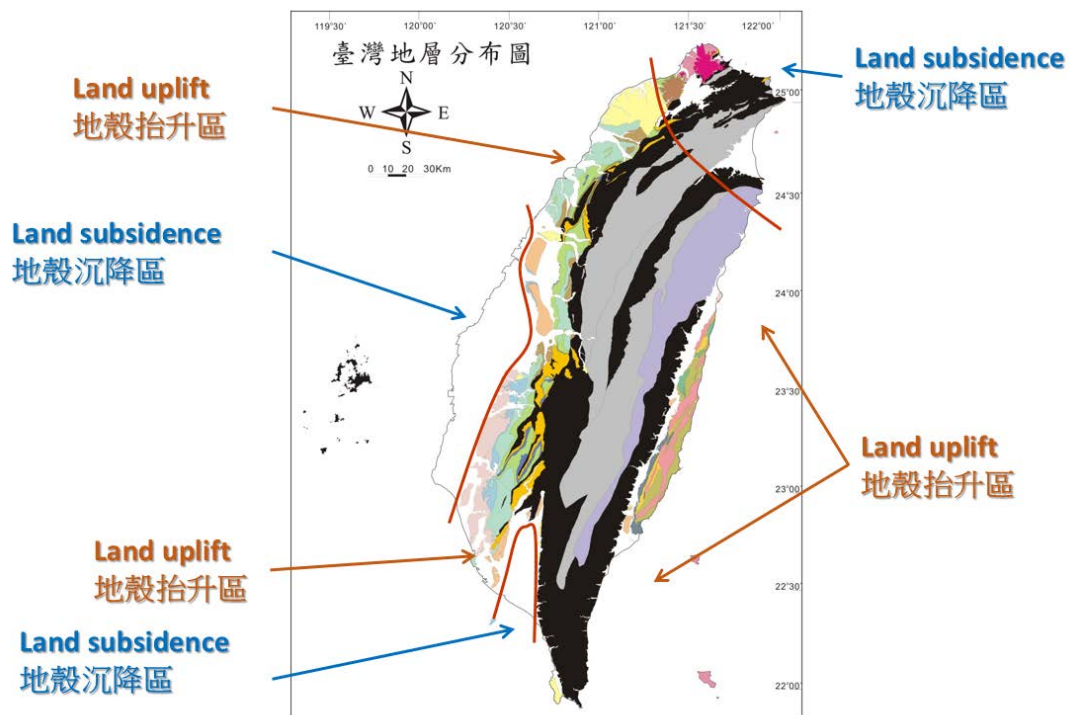


圖 10.2 台灣地殼變化趨勢圖

台灣沿岸因經濟發展，各產業用水需求量增加，在地面水供應不足，以及地下水使用成本較低之情況下，導致許多地區超抽地下水，加上沿岸土地受結構物重量之沉壓、土壤性質改變、地下水位降低引致地層下陷，情形嚴重。地層下陷於近岸地區衍生出多種海岸災害：地層下陷加上海水位上升，致使近岸水深變大、海線位置向內陸延伸、水深變化引起波浪改變，增加海岸侵蝕的速度；地層下陷使海堤高度下降更容易於暴潮期間產生波浪水位越過堤頂，造成海岸溢淹；地層下陷之近岸區域，受波浪作用、海水入侵陸地造成海水進入地下水，因而地下水位增加及地下水鹽量增加，造成土壤鹽化的現象，嚴重影響沿岸農業地區之生產力。由近幾年長期監測資料（台灣地區地層下陷區域概況如表 10.4 和圖 10.3）顯示彰化、雲林、嘉義地區下陷速率、持續下陷面積有略為減緩及減少的趨勢；而台北、宜蘭、台南則無明顯下陷區域。經濟部水利署於 1998 年於國立成功大學水工試驗所成立地層下陷防治服務團，對於臺灣地區的地層下陷之趨於穩定，甚至某些區域有趨緩的成果，有其效果。

表 10.4 91 年至 103 年度地層下陷地區最大年下陷速率統計表

(單位 :  $\text{cm yr}^{-1}$ )

地區	91 年度	92 年度	93 年度	94 年度	95 年度	96 年度	97 年度	98 年度	99 年度	100 年度	101 年度	102 年度	103 年度
台北	上升 1.1	0.7	2.9	1.5	2.6	2.1	0.6	1.3	1.4	2.6	2.4	1.5	1.5
桃園	1.1	0.5*	1.0*	0*	0.5	-	-	-	0.2	-	-	-	-
宜蘭	2.5	0.5*	0.5*	3.1	-	1.0	-	0.8	4.6	-	2.8	-	3.3
彰化	11.7*	10.4	14.2	11.0	8.9	8.4	6.4	5.7	6.4	5.3	5.4	4.8	3.4
雲林	9.5	12.2	10.6	11.6	10.1	8.2	7.1	7.4	6.4	6.8	7.4	-	6.1
嘉義	5.3	6.8*	8.7	7.0	6.1	3.8	-	4.6	5.4	4.5	4.2	2.5	1.8
台南	-	6.5	2.8*	4.0	-	2.9	-	5.5	4.3	2.4	-	-	1.4
高雄	-	2.7	1.2*	上升 0.6*	1.3	-	-	1.9	-	1.8	-	-	-
屏東	1.7*	2.6*	4.0	0.4*	2.8	-	-	2.7	-	6.8	1.9	3.9	4.7

資料來源：經濟部水利署全球資訊網。

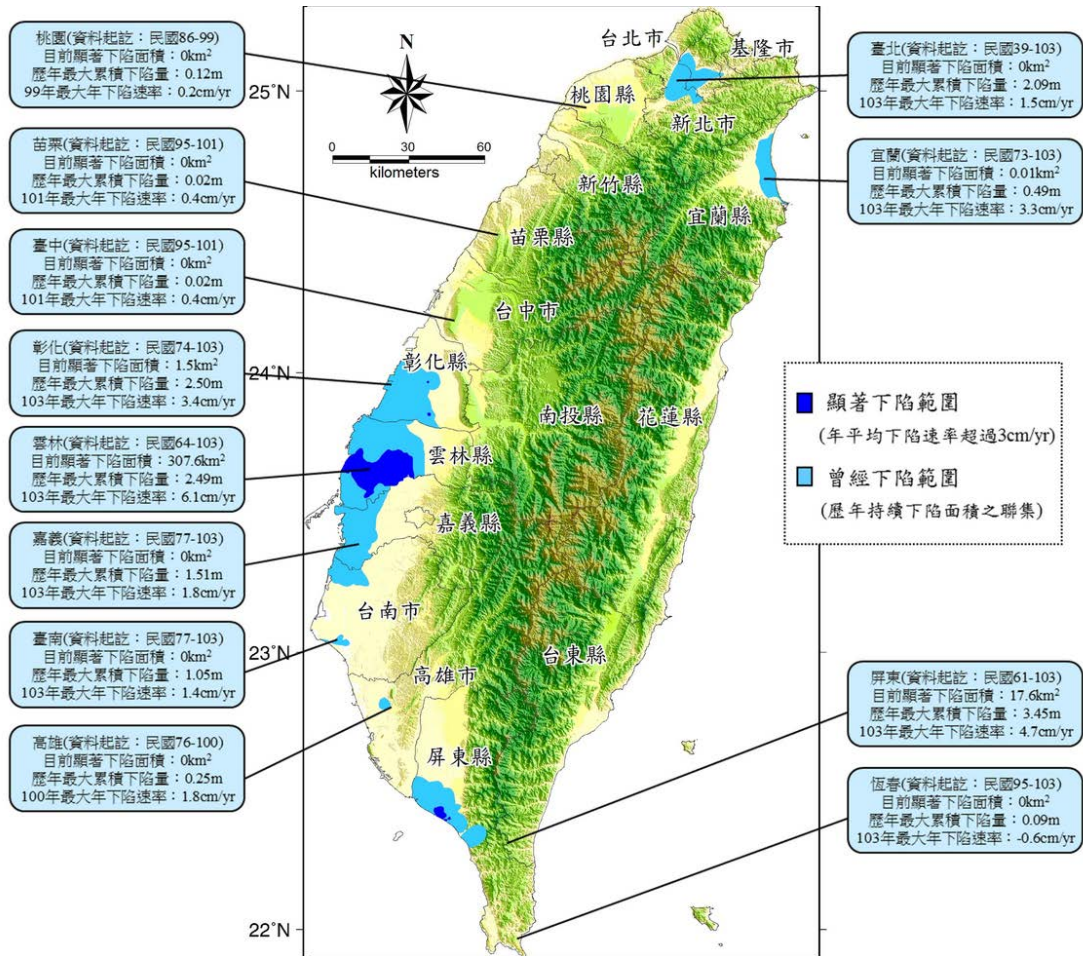


圖 10.3 台灣地區民國 103 年度地層下陷檢測概況圖

(資料來源：經濟部水利署全球資訊網。)

### 10.3.4 近岸海洋環境劣化

近岸海洋環境劣化主要是因為人為污染改變原來的海洋狀態所致，但是劣化的程度及速度有可能因氣候變遷而加速。近岸海洋的污染主要來源是人為的、陸源的，經由地表水及地下水的循環輸送入海，這些污染分為有機物營養鹽類、農藥、重金屬污染、放射性污染與固體廢棄物。其主要來源包括工業廢水、家庭污水、農業開發所使用之農藥及肥料、電廠熱排水、以及海岸漂流木、垃圾廢棄物與海洋觀光產業的影響等。除了本地的來源外，也有來自跨台灣海峽的中國大陸及周邊鄰近國家經由海洋洋流與海流輸送的來到台灣海岸。

台灣地區雨量雖然豐沛，但大部分雨量集中於五月至十月，約佔全年降雨 78%，枯水期流量極小，缺乏稀釋能力。於人口集中、工業畜牧業發達區所排放



之市鎮汙水、工業廢水、畜牧業廢水、垃圾滲出水等，有部分未經妥善處理，挾帶大量汙染物排入河川，由於汙染物及廢水量超過河川之涵容能力，致使台灣地區部分河流遭受不同程度汙染，汙染物質隨河川流至出海口，進而造成近岸海洋汙染。

自 1950 年代工業固氮法 (哈伯法製氨) 發明以來，大量氮氣轉化為氮肥增加農業生產，如圖 10.4 所示 (Glavovic et al. 2015)，圖中黑色實線是人工固氮總量，灰色帶狀為工業革命前自然界的固氮量，由圖中可知，1970 年代以後，人工固氮總量已經超越自然的總量，並且還持續上升，其中氮肥經由河川與地下水輸送至海洋的溶解態無機氮 (DIN) 濃度也逐年上升 (Liu et al. 2015)，圖 10.4 中的黑點為長江的觀測值，顯示大量有機物與營養鹽的供應，讓河口與近岸海洋水質優養化，發生藻華、赤潮。臺灣河川中含氮營養鹽濃度高，單位面積集水區所接受的氮肥量為世界平均值的 18 倍，因此河口及海岸應當具有高度發生海水優養化的潛在條件。臺灣海岸間歇的確有觀測到短暫藻華與赤潮的紀錄，例如民國 100 年夏季桃園縣大潭工業區管理處進行桃園觀音海域生態調查結果，呈現葉光藻的族群數量佔所有浮游生物的 90% 以上，但是一般而言，可能由於臺灣沿岸海水來自黑潮分支及南海水，水質較為潔淨，且台灣海岸擴散混合能力強，台灣海岸的藻華與赤潮現象相較海峽對岸的閩浙沿岸要輕微非常多。

赤潮中甲藻的毒性會經由生物鍊的層層累積作用，可能對人體造成影響。藻類生物死亡後被細菌分解消耗大量海水溶氧，引發海岸缺氧，使海域生態急遽惡化，稱為死區 (dead zone)。全球海口及海岸死區從 70 年代迄今快速擴張與增加 (Diaz, 2008)，至 2008 年至少全球有 405 個死區被報告、調查。其中台灣至少有兩處：淡水河口與二仁溪口，推論實際曾經發生，但尚未有科學研究調查被報告者可能更多。死區中海水可藉由大氣與海洋的氧氣通量回復溶氧量，但是在河口區域由於海水密度分層現象顯著，高溫的淡水位於低溫的鹽水之上形成穩定的密度分層，從而抑制了海水垂直方向的混合，使表層的溶氧難以輸送到底層，延續了死區的時間及範圍。關於因為海岸缺氧引致的生態劣化，其相關內容於第四章敘述。

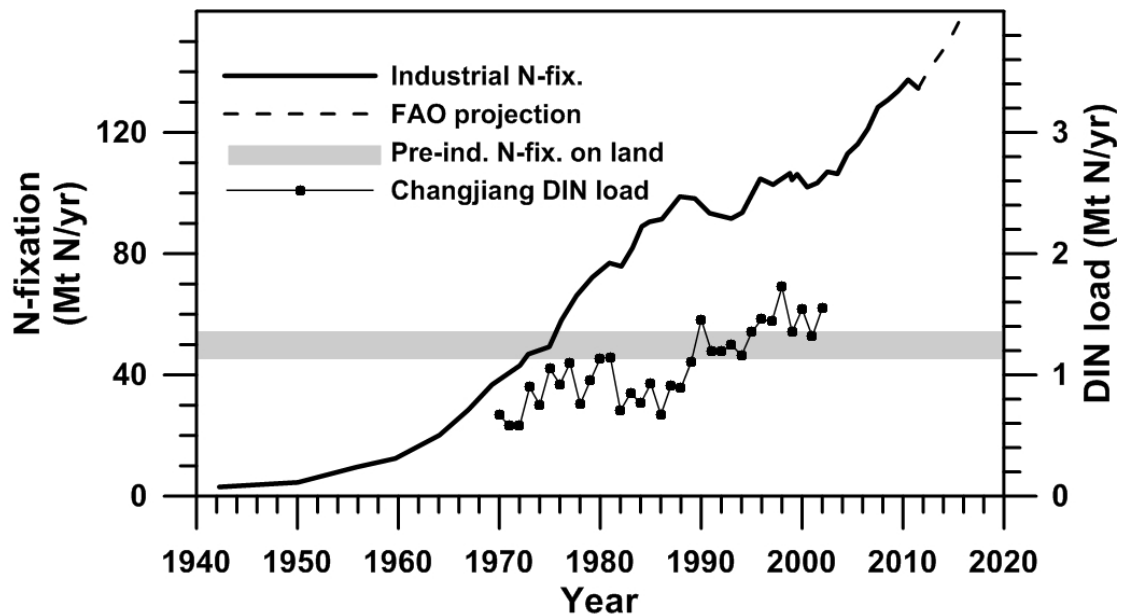


圖 10.4 工業法固氮總量 (黑色實線) 隨年代遞增曲線

台灣海岸固體廢棄物的累積，或稱為海洋垃圾也是台灣海岸環境劣化的原因，這些固態廢棄物可分為本地源以及台灣島外源經由洋流輸送，被波浪與近海流帶回海岸陸地。海洋垃圾主要為不易被分解的塑膠製品，會被鳥類、魚類、海龜與鯨豚等海洋生物誤食，造成生物死亡、生態劣化。海洋垃圾也包含非原生的物種，例如台灣西北海岸每年有大量的溫帶馬尾藻被海流輸送入侵台灣海岸及河口，外來物種的入侵對本地生態造成威脅。2015年2月 Science 的文章 (Jambeck et al. 2015) 指出台灣本身也是海洋垃圾的製造地，西太平洋的海洋垃圾池 (western pacific garbage path) 以及距離台灣 6,000 公里的中途島 (Midway Atoll) 上累積大量海洋垃圾，若依據其中打火機 (Disposal lighter) 的製造地作為垃圾源的指標，有 14% 垃圾來源來自台灣。

本地源的海岸污染中過去台灣海岸曾發生多起，如桃園沿海工業汙染導致藻礁凋零、朴仔溪工業廢水生活汙水之河川汙染、二仁溪重金屬汙染之綠牡蠣事件、核三廠南灣海域珊瑚白化現象、核二廠溫排水出口處之魚種突變、墾丁阿瑪斯號貨輪油污事件等。目前台灣地區工業廢水的排放處有高雄大林浦放流管、左營放流管等，這些廢水放流後根據現地調查顯示海域中之生化需氧量及酚類濃度有增加之趨勢。生活廢水放流方面，中洲海洋放流管是排放經接管及截流而來的高雄市都市廢水；大台北地區之廢水則是經由八里海洋放流管放流；而急水溪海洋放流管則是排放急水溪流域之汙廢水。未來為配合河川汙染整治與汙水下水道之興建，增設海洋放流管是必須的。電廠之冷卻水會影響海域的生態環境，造成海中

生物的突變或滅絕。台灣大多數河川下游，因人口密集受汙染程度嚴重，排入河川之汙染物已超過本身的涵養能力，河川汙廢水流入海中造成海水汙染嚴重（郭、李 2006）。

## 10.4 氣候變遷對海岸災害之連結

台灣海岸災害包括了海岸環境劣化、海岸侵蝕及海岸溢淹（圖 10.5·郭 2004）等災害。若從影響範疇來區分，可分為物理性災害以及生物地質化學性災害：物理性災害為海岸侵蝕以及海岸溢淹，災害成因主要為波候及海流特性的變異、降雨型態改變和颱風強度增強、海平面上升、現象為灘線退後。生地化災害方面為海洋環境的劣化，其現象包含了有害性藻華發生、海岸缺氧以及漁業資源枯竭，如圖 10.6 所示。

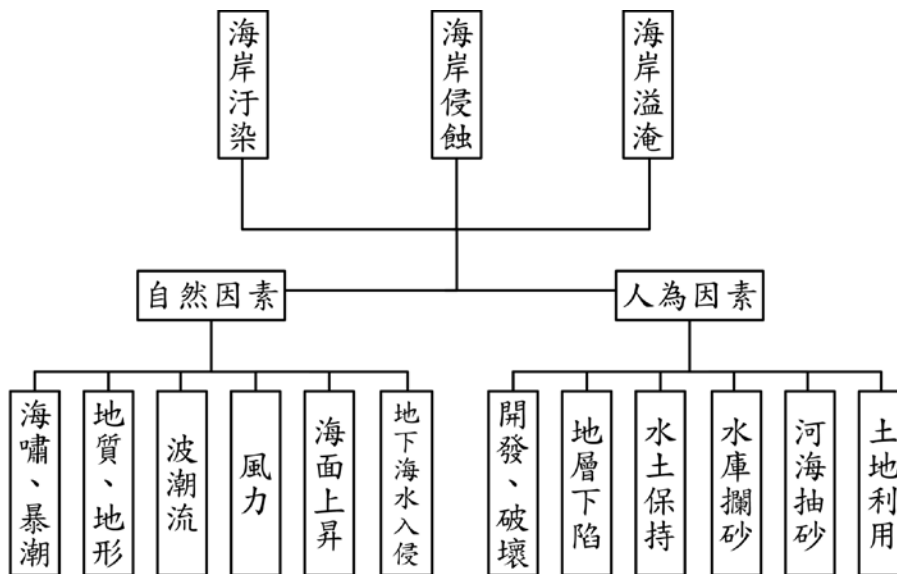


圖 10.5 海岸災害原因

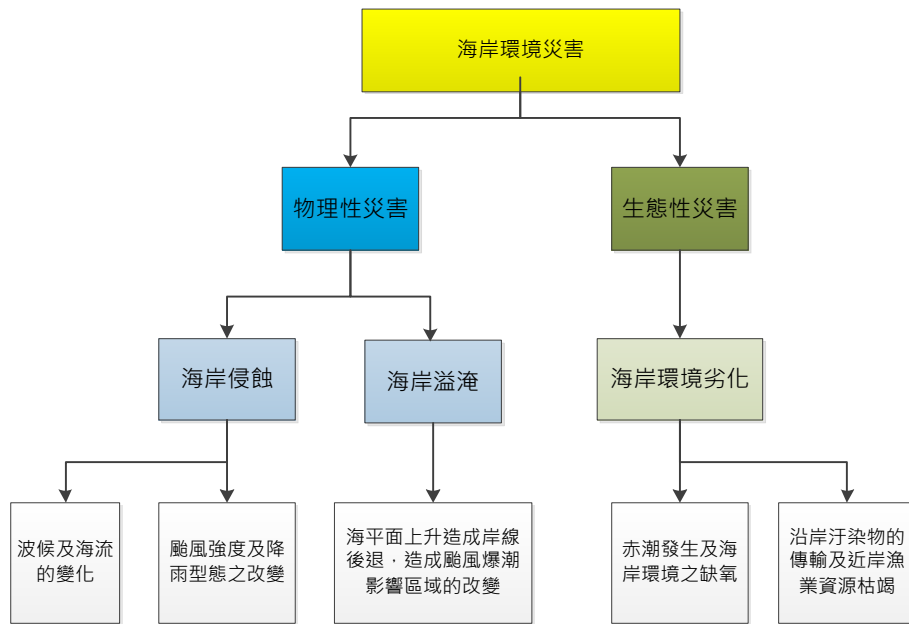


圖 10.6 海岸環境災害分類

近百年全球暖化對於台灣天氣系統之影響已經有相當多的研究，氣候變遷預測情境指出大尺度上東亞的冬季季風不斷減弱 (Chen et al. 2000；許 2001)、台灣冬季升溫、降雨型態與降雨天數也隨之改變等。本節將氣候變遷之各種自然環境改變現象引致之台灣海岸災害 (海岸侵淤失衡、海岸溢淹、近岸海洋環境劣化) 作連結與說明。再一次強調，由於國內研究文獻極其有限，本章節的內容，部分為參照國外文獻並依據海陸交互作用過程之因果觀測演譯之推論，受氣候變遷影響引致的生地化災害研究與討論可參照第四章「海域生態」。本文以物理性災害為主，可分為：(1) 降雨型態改變與河口沙源供給；(2) 颱風強度增加引致之波候改變；(3) 海水位上升與颱風強度增加引致之暴潮特性；(4) 海水表面溫度增高與海岸缺氧；(5) 西伯利亞高壓強度減低引致之台灣海峽海流特性改變，詳述如下。

#### 10.4.1 降雨型態改變與河口沙源供給

台灣近四十年來降雨時數漸減，平均時雨量強度漸增，2000 年後時雨量小於 2 毫米較 1961-1969 年時期相比降雨量及降雨日數減少幅度皆達 30%，而時雨量大於 20 毫米的大雨降雨量大幅增加了 200%，大於時雨量 10 毫米的降雨日數則增加了 50~80% (盧等 2011)。台灣氣候變遷預測報告依據數值模式推估降雨特

性變遷，未來東亞梅雨季的降水量將增加、夏季西南氣流降水增強，同時伴隨鋒面的極端降雨事件發生頻率及強度有增加趨勢。上述降雨型態的改變，包括降雨強度增加以及極端降雨事件增加，均加強集水區地表沖刷與侵蝕，使河川懸浮沉積物濃度上升，濁度增加。一般河川尖峰流量與懸浮沉積物濃度（尖峰濁度）間呈現指數相關，當極端降雨事件發生時，河川洪峰過程之河道及河口懸浮沉積物濃度（濁度）及懸浮沈積輸送通量陡增，當懸浮沉積物濃度高於 40 克/升時，河川水體密度超過海水密度，河川出海口的河水下沉發生異重流（濁流）。根據 Milliman et al. (2005, 2007)、Dadson et al. (2003, 2005), Chiang and Yu (2008) 等研究，台灣主要河川，例如濁水溪、高屏溪、蘭陽溪、卑南溪等平均每年均發生數次河口異重流。以 1986-2008 年濁水溪流流域實測含沙量之分析為例，極端降雨事件下濁水溪口可超越異重流發生門檻 (Chien et al., 2011)。

台灣目前尚未有氣候變遷對於河川懸浮濃度影響之研究，但可推論：當氣候變遷極端降雨事件增加，所造成之影響：一方面，主要河川沉積物年輸送總量增加，且發生於極端事件之量將遠大於尋常天候條件下的輸送量；另一方面，極端事件沈積物輸送以異重流形式之機率上升。也就是說台灣主要河川有可能其年平均陸源沉積物於河口的輸出以異重流（濁流）形式輸送的比例增大。當河口異重流（濁流）發生時，高密度沉積物混雜大小粒徑泥沙沿底床坡度下滑，沖積到離岸較遠的海床上 (Mulder et al. 2003, Traykovski et al. 2000)，相較於河口週邊的初始沈積 (initial deposition) 物，異重流的沈積物經波浪作用回補海岸困難。在氣候變遷降雨強度改變下，河口輸砂量總量增加，但由於河口沉積物主要輸送途徑改變，可能使能夠回補海岸的沙源減少，增加海岸侵蝕的發生。

#### 10.4.2 颱風強度增加引致之波候改變

台灣位於歐亞大陸與太平洋之交會區域，因所處地理位置及太平洋氣象條件之特殊性，經常受颱風影響，颱風引致的極端天氣事件對於台灣海岸影響非常關鍵。在台灣氣候變遷科學報告 (許, 2011) 中指出，氣候變遷導致 1990 年以後的颱風個數和 1961 年至 1989 年相比有增多的現象，不論影響台灣颱風的過程中為輕颱、中颱或是強颱，其次數都有增加之趨勢，尤其是強烈颱風 (強度 4、5 級) 侵台的比例有最為強烈增強的趨勢，熱帶氣旋平均最大強度也增強。颱風發生次數及強度增加使台灣周邊海域夏季波候改變以及增加暴潮發生次數及強度。

海岸沉積物輸送機制與波浪特性密切相關。近岸沉積物輸送的估算常分為兩個方向：垂直海岸線方向（向岸-離岸）輸送，這種輸送會造成近岸海底底床沙丘的移動（sandbar migration）；另一為沿岸方向的輸送，此方向上的輸送若受海岸結構物如港口防波堤或天然地形阻礙則造成沉積物輸送過程上下游通量失去平衡。海岸線的侵蝕或淤積為上述兩方向輸送的加成綜合結果，波浪對於長期海岸地形侵蝕或淤積扮演關鍵性的角色。舉例說明：就海岸沉積物輸送而言，相關物理機制受波浪特性主導，波浪能量（與波高平方成正比）、波浪尖銳度、及碎波特性決定底質沉積物（bed load）再懸浮（re-suspension）機制之啟動；波浪入射方向及其角度分散特性則決定了沉積物沿岸方向輸送通量大小。此外，細顆粒沉積物由於本身具有極性，導致顆粒間產生凝聚性（cohesive），再懸浮作用發生門檻較高，考慮海面不同頻率的波浪於底床產生不同頻率波壓變化，當波壓的頻率與凝聚性沉積物孔隙水壓自然頻率發生共振時，底床發生液化，此時細顆粒的泥也會被波浪捲起，發生再懸浮（Schiefer 2006；Scavie et al. 2005；Zhao 2006；Kamphuis 1991；Smith 2004）。

目前國內尚無討論氣候變遷與海岸漂沙輸送量的研究，僅有非常有限的波候變遷特性的討論，探討 1948-2008 年台灣周邊海域波候變化。（Chien et al. 2014）應用 SWAN 波浪模式以 NCEP 提供之全球歷史海表面風速場推算 1948-2008 近 60 年西北太平洋之波浪，台灣海岸極端大浪事件於 1956~1960、1966~1975、2000~2008 發生較頻繁，其中又以 1966~1975 極端事件發生頻率最高。2000 後，發生極端大浪事件次數越來越多，且極端值越來越大。將極端事件的次數依冬夏季分類，夏季波高極端事件次數有增加的趨勢；冬季波高極端事件次數慢慢減少。整體而言，60 年來冬季波高與波能有逐漸下降的趨勢，平均每年波高下降 0.8 cm，每年波能平均下降 0.2 kW m<sup>-1</sup>；夏季有逐漸上升的趨勢，平均每年波高上升 0.5 cm，每年波能上升 0.1 kW m<sup>-1</sup>。與西北太平洋颱風發生次數及強度的增加、以及東北季風減弱有關。

### 10.4.3 海水位上升與颱風強度增加引致之暴潮特性

受到全球暖化影響，全球平均海水面呈現上升的趨勢。海水面變動主要受大氣、海洋、冰界與水界各系統間交互作用而產生，平均海平面變化之主要原因大致可區分為兩方面（郭等 2015）：(1) 海水質量變化，主要肇因於冰川或冰山融化、蒸發、降雨、徑流等陸、海、大氣各系統之間的水質量交換循環；(2) 比容



海水面 (steric sea level) 變化，指的是受海水溫度與鹽度改變所引致之海水體積變化。其中，海水溫度與鹽度造成的海水面變化分別稱為熱比容 (thermosteric sealevel) 和鹽比容 (halosteric sea level) 海水面變化。

平均海水位的上升容易造成海岸的溢淹，若再加上地層下陷的因子影響，其溢淹的風險跟範圍都有加大的可能。海水位的上升也使近岸水深變大，致使海線位置的改變，因水深變化使波浪改變，進而影響漂沙的運動，造成淘刷能力增強，同時碎波帶內移更加劇海岸之侵蝕，導致近岸陸域越來越受到威脅，而暴風浪也會因海面上升而增強，造成沿岸生態、建築物及人類生命財產遭受巨大損失。

IPCC 公布氣候變遷第五次評估報告中指出，全球海平面高度自 1961 年以來，全球平均海平面上升的平均速率為每年  $1.8 \text{ mm yr}^{-1}$ ，而 1990 年後，全球海面的平均上升速率為  $3.1 \text{ mm yr}^{-1}$ 。

在台灣，海水位變化之觀測資料來源可分為兩種：長時間現場觀測之潮位站資料以及遙測衛星測高資料。潮位站資料紀錄海水位與陸地間的相對高程變化，因此陸地基準點的地表垂直變動資訊、位置分佈不平均等特性必須加以考慮。臺灣潮位站歷史資料有缺漏及資料基準偏移等情形，資料品質程序重要。衛星測高技术觀測海水面變化範圍近乎全球，但觀測時間僅約二十年，且近岸資料較少，因此應結合衛星測高資料和潮位站資料進行探討，可避免只使用單一資料之缺點。

國內學者有關海水位變動研究成果整理如表 10.5 所示，黃及蔡 (1984) 研究分析高雄與基隆海域之平均海水面變化。許等人 (2010；2011；2012；2013) 利用線性回歸、快速傅立葉轉換以及經驗模態法 (Ensemble Empirical Mode Decomposition, EEMD)，分析台灣西北、中部以及西南部海岸地帶的潮位站歷史資料以及 1992-2009 衛星觀測海面高度資料。西北海岸-竹圍潮位站 1976-1991 及 1992-2007 潮位站海平面資料及 1992-2009 衛星海平面資料，線性回歸、快速傅立葉轉換以及 EEMD 分析得到台灣西北海岸平均海水位上升約為  $3.2\text{-}5.3 \text{ mm yr}^{-1}$ ；中部海岸-台中潮位站及衛星海水面資料分析得到台灣中部海岸平均海水位上升  $3.2\text{-}3.5 \text{ mm yr}^{-1}$ ；西南海岸-將軍和高雄潮位站資料以及高雄區域衛星海水位高度資料顯示台灣西南海岸平均海水位上升  $2.3\text{-}6.7 \text{ mm yr}^{-1}$ 。歸納這些研究報告顯示台灣地區平均海水位上升的速率，大部分結果較 IPCC 第五次氣候變遷評估報告結果高 (每年  $3.1 \text{ mm}$ )，海水位上升的速率也具有區域性，根據當地海底地形以及地層下陷與否等因子有關，也顯示了台灣各區域對於全球海水位上升的反應

程度不一。台灣氣候變遷科學報告 (許,2011) 中指出,台灣周遭海域驗潮站測得的海平面高度資料分析結果顯示至 1993 年至 2003 年間台灣附近的平均海平面上升速度為每年 5.77 mm, 上升速率為過去 50 年的 2 倍, 較 IPCC 氣候變遷評估報告高。

表 10.5 國內學者有關海水位變動研究成果整理

作者	年份	文獻出處	資料來源	研究結果
黃煌輝 蔡瓊林	1984	國立成功大學台南水工試驗所研究試驗報告第六十九號	高雄、基隆潮位站	高雄平均每年上升 4 毫米/年, 基隆則無明顯變化
郭金棟	1997	環保署研究計畫報告	潮位站	基隆: 上升 0.29 毫米/年、台中港: 下降 5.04 毫米/年、高雄: 上升 3.59 毫米/年
歐善惠	1999	海岸災害防救暨永續利用整體規劃	衛星測高儀	1993-1999 年台灣附近之西太平洋海域上升 6.7 毫米/年
施學銘	2000	國科會研究計畫報告	潮位站	基隆: 上升 0.472 毫米/年
董東璟	2008	海洋工程研討會	潮位站	基隆: 上升 3.81 毫米/年、高雄: 上升 3.23 毫米/年
Zhan	2009	Chinese Journal of Geophysics	衛星測高儀	黃海、東海、南海分別為: 3.91 毫米/年、4.28 毫米/年、3.49 毫米/年
黃清哲	2009	經濟部水利署	衛星測高儀、潮位站	臺灣北部、西部、西南部、南部、東部(衛星測高/潮位站)分析結果分別為: 4.95 與 3.18 毫米/年、10.7 與 3.07 毫米/年、4.31 與 3.81 毫米/年、9.80 與 5.72 毫米/年以及 55.6 與 6.61 毫米/年

曾于恆	2010	Journal of Oceanography	衛星測高儀、潮位站	潮位站及衛星分別為：5.7 毫米/年和 5.3 毫米/年
莊文傑	2014	交通部運輸研究所出版	潮位站	臺灣西部北、中、南區海域年變率分別為：24.4 毫米/年、11.3 毫米/年、7.28 毫米/年 (2002~2009 年)；東部南、北區海域分別為：-0.1 毫米/年與 16.0 毫米/年
郭重言	2015	交通部運輸研究所出版	衛星測高儀、潮位站	臺灣北部：2.0~3.1 毫米/年，臺灣南部：2.3~3.4 毫米/年，往南至菲律賓地區：5.8~7.5 毫米/年。衛星測高資料估算整個臺灣：4.4~5.2 毫米/年

儘管台灣地區平均海水位上升的速率較全球海水位上升速率為快，但以海水位上升這種緩慢的變化對海岸溢淹之威脅而言，其程度不若如暴潮此類脈衝式的衝擊來得立即與強烈。暴潮特性變遷方面，為探討未來颱風強度增加的衝擊，許等人 (2010, 2011, 2012, 2013) 接受水利署委託研究，以參數化的袁金渦動模式 (Rankine-Vortex Model, RVM) 所模擬的颱風風場驅動暴潮數值模式，推算未來 2020-2039 當侵襲臺灣之颱風強度增強時，颱風波浪的越堤量及最大暴潮水位，結果均為增加的趨勢。該研究再根據實地勘查各縣市之海岸與海堤現況，提出台灣海岸溢淹潛勢。目前利用氣候變遷情境進行台灣海岸暴潮相關研究還有待更深入的研究。

#### 10.4.4 海水表面溫度增高與海岸缺氧

台灣週邊海域海水表面溫度的增溫程度遠較西北太平洋海水表面增溫為高，造成海水溶氧濃度下降、海水垂直方向的水體交換不易，形成層化效應 (Bopp et al. 2002)，增加海底缺氧的程度與範圍。河口區域因淡水、海水比重差異，垂直方向水體對流較少，加上人工固氮產生的農業肥料產量逐年上升 (Boyer and Howarth 2008)，氮肥等營養鹽順著河流注入河口，導致海水優養化，造成河口海域缺氧的現象，過去文獻淡水河口便有海底缺氧的現象 (Liang et al. 2008)。若未來海水表面溫度持續上升，河口區域缺氧災害會越趨嚴重，對海岸生態環境造成

衝擊，在台灣目前政府主導之相關研究仍尚缺乏。

#### 10.4.5 西伯利亞高壓強度減低引致之台灣海峽海流特性改變

外源的海洋垃圾於台灣西部海岸的堆積，從新竹海岸向北延伸至金山與萬里，甚至澎湖海岸皆可見，這些垃圾的輸送可能與台灣海峽的海流特性有關。Oey et al. (2013) 利用 ATOP (Assimilated Taiwan Ocean Prediction System) 數值模式推算台灣海峽表面流場，結果發現台灣西北海岸固體廢棄物與垃圾可能與冬末春初東北季風的豫弛 (Relaxation) 有關，該現象指的是東北季風以數天為尺度，風速強弱交替的現象。當東北季風減弱時南向之風剪力降低，南下風驅流與北上台灣暖流交互作用，造成北台灣海峽之渦旋，流場沿台灣西北海岸北上 (如圖 10.7 所示)。當東北季風強度降低，豫弛發生頻率可能增高，有可能因此增加跨海峽方向的輸送機會，造成海洋垃圾及外源生物或汙染物累積於台灣西北海岸。實例為 2012 年 3 月 15 日新加坡籍貨櫃輪 Bareli 號從寧波開往福州江陰港區途中，在江陰港附近海域觸礁，船上裝有除草劑的貨櫃落海，兩週後四月 1 日至 15 日陸續於桃園新屋觀音至新北市金山海岸發現約 1000 包農用除草劑。顯示氣候變遷下，大陸沿海與南海周邊國家之陸源汚然物、固體廢棄物經由海洋的輸送影響台灣海岸，其機率有可能受其影響。

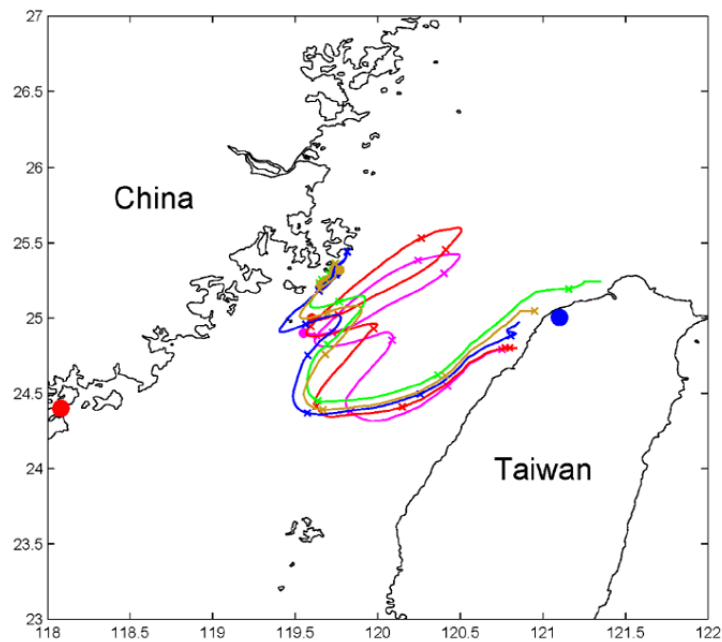


圖 10.7 ATOP 數值模式推算之表面流場

本節氣候變遷與海岸災害之連結整理如圖 10.8 所示。

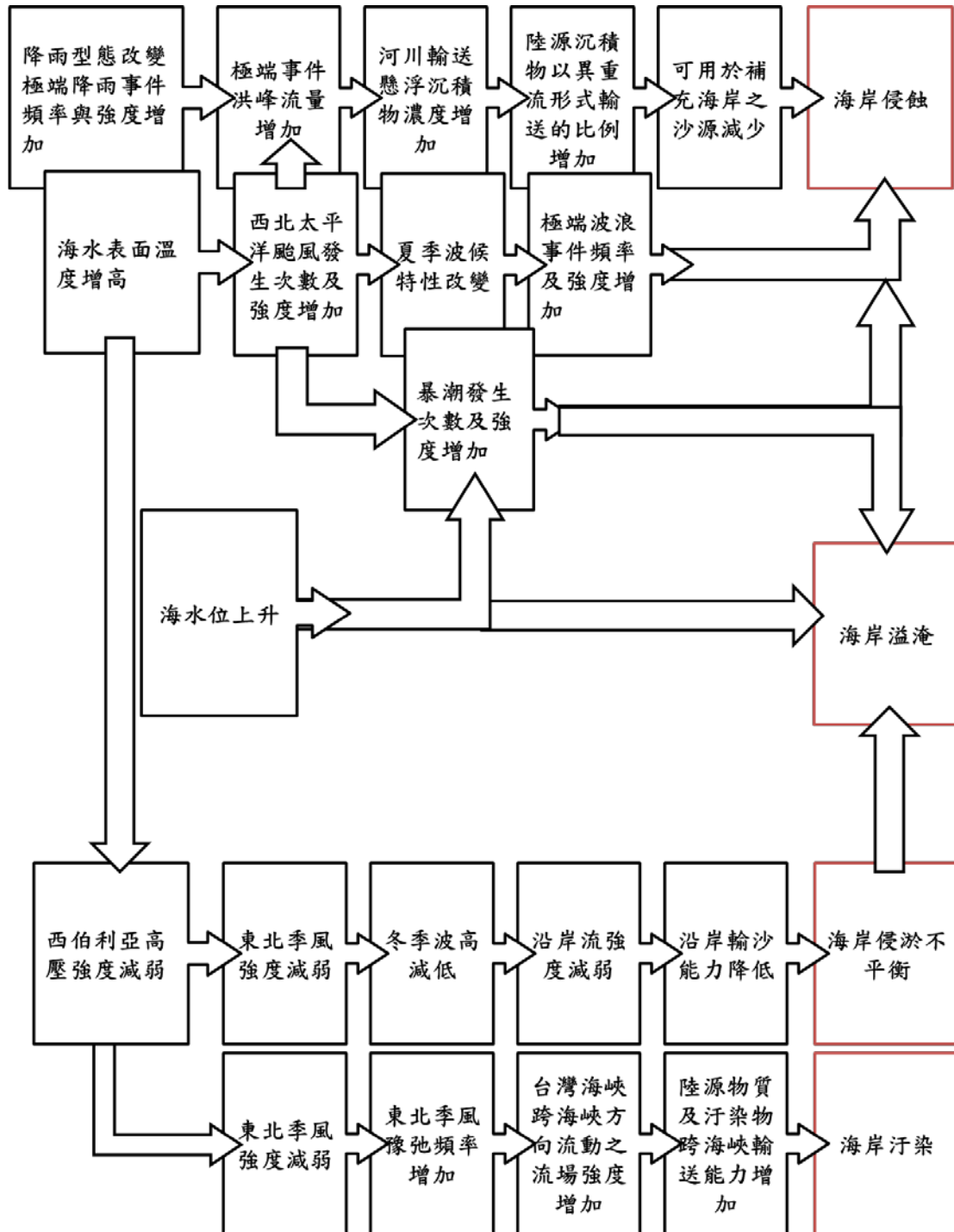


圖 10.8 氣候變遷與海岸災害之連結

## 10.5 海岸空間調適策略與措施

2007 年所公佈的第四次評估報告證實目前正在出現主要因人類活動引起的氣候變化；報告列舉了已經發生的和未來發生的全球變暖的影響 (IPCC 2007)。該份報告指出氣候變化的人為驅動影響、回應及其相互之間聯繫圖 (圖 10.9) 可看出，減緩 (mitigation) 與調適 (adaptation) 是因應氣候變遷對策兩大策略，各國致力於「減緩」策略之外，作為早期預防的「調適」措施，亦日益受到重視 (施 2011)。調適之目的在於減低人類與自然系統處於氣候變遷的影響與效應下的脆弱度 (vulnerability)，俾使在極端氣候與暖化效應下，人類與自然系統的負面衝擊能減到最小，且配合氣候變化的獲益能夠達到最大。調適策略主要著重於妥善處理氣候變遷所造成的衝擊 (中華民國都市計劃學會，2010)。世界各國海岸空間調適策略與措施可歸納分成保護性 (protection) 策略、適應性 (accommodation) 策略與後撤性 (retreat) 策略等 3 大類 (Zhu et al. 2010)。台灣地小人稠，面對氣候變遷對海岸空間可能的影響，不能將陸地與海洋視為互不相干的獨立系統，而必須同時考慮到兩者之間的交互作用。除了加強海岸災害防禦與保護外，調適策略應考量適應近岸流與海岸地形變遷特性，研擬適合的調適措施與管理準則。

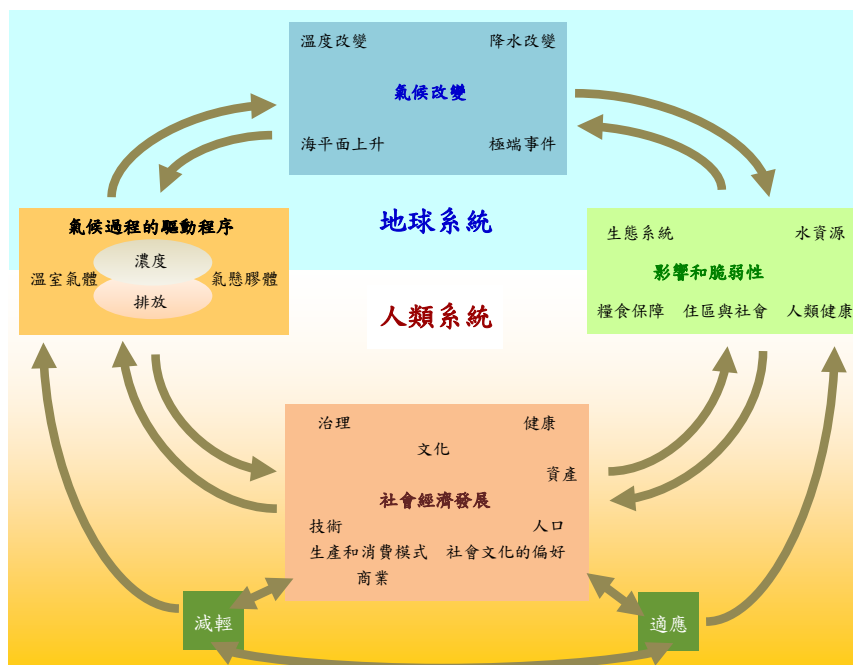


圖 10.9 氣候變化的人為驅動影響、回應及其相互之間聯繫

(資料來源：IPCC，2007)



調適策略研擬方法可依據以下五項步驟進行 (圖 10.10) (UNDP, 2004; 經濟部水利署 2013) :

(一)、調適計畫的定位及設計 (scoping and designing an adaptation project) 此一步驟是調適策略建構過程中的起步，也是工作過程中最重要的階段，目的在確保調適計畫能被整合在國家決策規劃及發展政策中，以便於調適計畫的政策措施和方法能被有效實施。

(二)、評估目標區域當前海岸地區的脆弱度 (assessing current vulnerability) 此一步驟是對當前海岸地區狀態進行評估。通常需要面臨的問題為：面對氣候變遷之風險，海岸地區當前處於何種程度的風險？是何因素主導海岸地區當前的脆弱度？調適工作是否能有效減輕當前海岸地區的風險？

(三)、評估未來氣候變遷所產生的風險 (assessing future climate risks) 評估未來氣候風險主要著重於擬定未來的氣候情境、脆弱度、社會經濟及環境發展趨勢，做為估計未來氣候變遷風險的基礎。

(四)、擬定調適策略 (formulating an adaptation strategy) 針對目前及未來的脆弱度及風險評估，提出對應的一些調適策略及方法，並將這些調適策略方法整合成政策，藉以因應對目前脆弱與未來氣候的風險。

(五)、持續調適分析過程 (continuing the adaptation process) 針對上述步驟擬定出的調適策略，持續實施、監測、評估原定調適計畫，適時改進調適計畫。

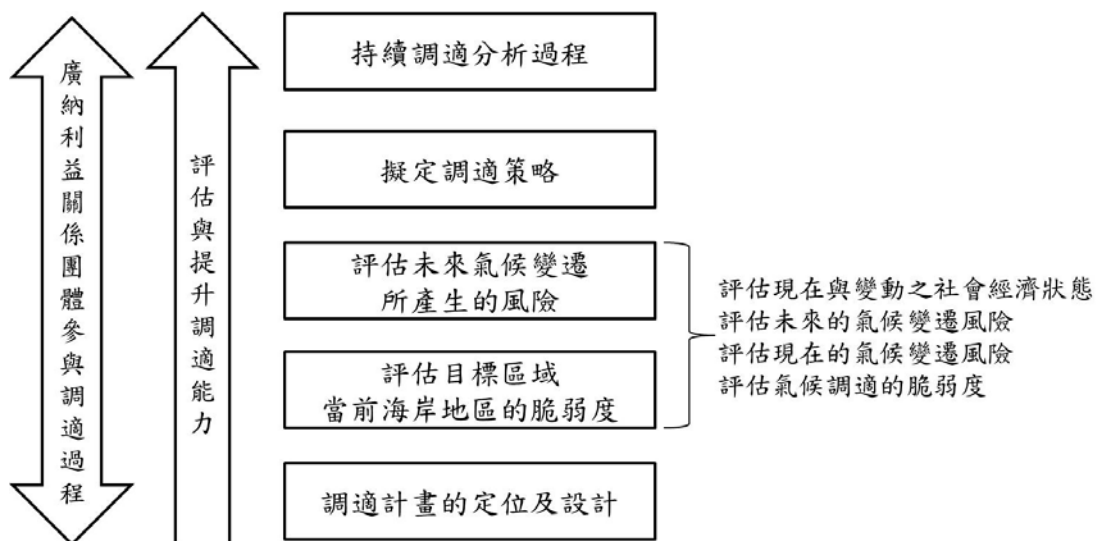


圖 10.10 因應氣候變遷衝擊的調適架構 (經濟部水利署 2013)

海岸空間調適策略與措施除了可參考國際間因應氣候變遷所研擬之海岸調適策略之外，我國相關權責之部會以及研究單位也都針對此一議題進行了檢討與策略研擬之工作。表 10.6 彙整近年國內研究論文、相關部會之計畫報告以及相關單位之網頁資料，彙整出我國當前因應氣候變遷下，海岸環境衝擊下的調適策略（經濟部水利署 2013）。總體而言，這些調適策略大致分為四個面向：(1) 設置海岸緩衝帶，強化海岸防護，減緩氣候變遷海平面上升衝擊與海岸脆弱度；(2) 提昇海岸災害預警能力；(3) 加強災害防護與污染控制；(4) 合理管制開發，整合土地利用類型，強化海岸地區綜合管理。

表 10.6 我國海岸調適策略彙整（經濟部水利署 2013）

國家或技術規範	施行策略
海平面及海岸線變動分析與適應策略研擬 (陳文俊·郭金棟)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成台灣全區海平面上升影響評估；</li> <li>2. 沿岸地區海岸保護及防潮、排水系統之重新制訂；</li> <li>3. 減低海面上升所帶之衝擊；</li> <li>4. 沿岸濕地及生態環境之維持；</li> <li>5. 大型海岸地區開發之管制；</li> <li>6. 參與國際合作吸取經驗；</li> <li>7. 無法復育產業之轉型輔導規劃；</li> <li>8. 洪氾區之劃定與洪災保險制度之實行；</li> <li>9. 建立監測系統。</li> </ol>
台灣 (水利建設因應全球氣候變遷白皮書)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 河川及海岸防護設施總體檢：               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 防洪設施總體檢；</li> <li>(2) 排水設施總體檢；</li> <li>(3) 海岸設施總體檢；</li> <li>(4) 地形資料檢測。</li> </ol> </li> <li>2. 強化綜合治水策略：               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 新建防災設施；</li> <li>(2) 維持現有設施的可靠性；</li> <li>(3) 強化流域洪水分攤設施。</li> </ol> </li> <li>3. 強化海岸帶綜合管理：               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 強化海堤及相關設施；</li> <li>(2) 沿岸沙洲保護與保全；</li> <li>(3) 考量河海土砂平衡的管理策略。</li> </ol> </li> <li>4. 提高保全對象的耐災能力：               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 強化洪水平原管理；</li> <li>(2) 強化易淹水地區土地管制；</li> <li>(3) 推動耐洪性建築物；</li> </ol> </li> </ol>

國家或技術規範	施行策略
	(4) 配合防災社區更新。 5. 強化緊急應變與避災策略： (1) 強化大規模災害應變體系； (2) 精進洪水預報與警戒技術； (3) 強化災害推定技術與避難措施。
台灣 (經建會海岸土地保護調適策略)	1. 強化海岸後退的國土保護； 2. 重視海岸棲地與濕地的保育與復育； 3. 加強海岸聚落景觀的基礎調查與維護管理策略； 4. 提升海岸污染防治與監測之能力； 5. 具體落實健全全民海岸環境識覺與相關法規； 6. 建置海岸地區開發的環境影響評估與土地開發許可作業的準則； 7. 加強海岸地區管理的事權機構與部會之橫向與縱向整合。
行政院環境保護署 (氣候變遷海平面上升對我國之衝擊評估與適應策略)	1. 持續進行監測； 2. 撤退及調適； 3. 防禦及保護； 4. 地層下陷的減緩； 5. 整體海岸區域管理計畫。
台灣 (水利署現行之調適策略)	1. 改善設施防護能力； 2. 強化災害預警與緊急應變能力； 3. 提高耐災能力及災後復原能力； 4. 建構災害風險管理體系； 5. 維護海岸自然環境。

### 10.5.1 海岸緩衝帶

面對氣候變遷海平面上升對海岸地區衝擊，調適策略上的重要觀念是需對未來（二十年、五十年、一百年等）可能發生的情境進行早期預防的調適措施，海岸緩衝帶的劃設無論在保護性策略、適應性策略與後撤性策略研擬，其重要性日益增加。

海岸緩衝帶 (coastal buffer strip) 或稱緩衝區 (buffer region; buffer zone)，係指陸域與海域間的過渡地帶，包含潟湖與潮間帶，隸屬於「海岸地區」(coastal zone) 所涵蓋的範圍內。從直觀的角度，海岸線是分隔陸地與海洋的界線，但是此一界線並非是固定不變的，它受到各種近岸水動力及海岸過程的影響（如潮汐、潮流、

波浪、近岸流、漂沙、風、暴潮等)，其位置是隨時在變動的。因此，海岸線並非只是一條簡單的界線，而是一帶狀的區域，此區域並隨著季節變動、海岸漂沙變化以及人為開發影響而有短、中、長期的變遷，即使一個平衡的自然海岸，海岸線仍是屬於「動態平衡」的狀態。海岸緩衝帶是鄰近海岸線水域及陸域的永久緩衝地帶，提供兩個不同使用目的或者必須分離衝突使用之間的過渡帶，通常所指的是海岸自然環境、生態與人為開發利用的緩衝地帶，藉以緩和兩個不同區域的衝突。海岸緩衝帶理論上應該被設置，在適應自然變化過程扮演重要的角色。從另一角度來看，海岸緩衝帶對海岸侵蝕提供了海岸防禦的必要防線，並且近岸水域的流動具有改善水質以及提升水生植物棲息地和海岸環境（藍等人 2010）。海岸緩衝帶中適當的沙灘寬度，提供濱海生物棲地或颱風巨浪作用下防護所需（李等人 2009）。使用緩衝帶在管理海岸災害緩和、減輕與預防尤其明顯，海岸緩衝帶能有效緩衝從深水到海岸的波浪傳遞之能量，提供波浪能量消散的空間，同時，海岸緩衝帶也涵蓋近岸漂沙運移的範圍。

一個適當的緩衝帶範圍對於海岸環境保護來達到保護人民生命財產安全和生態棲息地，減輕海岸災害，唯有透過了解波潮流的海岸過程思維，了解波浪的作習，才能有效達到目的。海岸緩衝帶的功能包括（李 2011）：

（一）、緩衝波浪能量：天然沙質海岸，如不加入為干擾利用，海岸會依循其自然演替過程（*successional process*）形成天然之沙灘和沙丘地形，而此種天然的沙灘、沙丘和防風林即為海岸的消浪保護屏障。海灘、高灘地和近岸區有如波浪能量之緩衝帶，主要原因乃沙灘或沙洲能使波浪在外海消耗大部份波能，因此海浪不會直撲海堤或結構物，造成波能在堤前疊加而加速海岸侵蝕。留出較寬敞足以消滅大部份能量之海灘做為消浪之緩衝帶，所剩者再藉海堤阻擋波浪之溯升能量。因此在鄰近海岸水域設置足夠海岸緩衝帶寬度，保留必要的緩衝帶土地，可防止暴潮、巨浪所引起之海水入侵、抑制越波量、確保海堤護基、緩衝來自深海的波浪能量達到減低海岸災害。

（二）、維持沿海生態系：海陸交界地區，常為生態豐富而敏感的地域。不當設計的海岸開發行為，會導致原有海洋生物生活環境的改變，造成族群的遷徙或死亡。藉由設置海岸緩衝帶，維護海洋地區的生態過程，包括水流、營養鹽的流動和棲息地。近岸流促使營養鹽流動，提供生物之食物來源，另外，海水在近岸的流動，會將海灘懸浮砂粒帶起，並向其他方向傳送，影響海岸地形和生態的棲息地。設立適當的緩衝帶加以隔離，減低人為干擾破壞生態系統，建立海岸寬廣

的生態系統，有規劃的管理經營，而能較長久的維持，故對於維持沿海生態系不可或缺。

(三)、海岸侵蝕控制和洪水控制：沿岸漂沙受沿岸流之傳送，如果不當的海岸結構物，改變原來海岸的沿岸流系統，致使漂沙優勢方向改變而造成海岸侵蝕。海岸緩衝帶提供一個海岸變遷的過渡區，能夠維持漂沙平衡，減少海水向陸地的速度，海岸緩衝帶能幫助洪氾控制，藉由減低海水速度和促進海水在沙灘滲透沈澱，減少洪氾流入陸地。另外，海岸緩衝帶常常是位於洪氾平原，因而增加海岸洪水保護。

(四)、改善水質：海岸空間的利用，由於臨海工業區的大量開發所造成的工業廢水、海岸邊電廠冷卻後的熱廢水、河川污染水以及民生用廢水皆排入海岸水域，造成水質污染。海岸緩衝帶內的近岸流是發生在靠近海岸淺海區發生於碎波帶內的一種海水流動現象。在處理碎波帶近旁的環境污染與海岸地形變化等問題時，近岸流為一不可忽視的自然外力。因為近岸流自成一個體系，流入碎波帶內的污染物質往往不易流出，而停滯蓄積於碎波帶內造成環境污染。藉由近岸流水流流動，使沿岸浮游物質、水產物質及污物等沿海岸漂流，促進沿岸物質交換，並藉離岸流帶向外海。

(五)、海岸環境營造：隨著人類經濟活動而產生的環境惡化問題，逐漸自陸地延伸至海岸。海岸空間的利用，諸如港灣建設、填海造地或廢棄物之處置場所等，造成水質污染、水產資源枯竭和景觀破壞，扼殺了人類與海洋大自然接觸的權利。海岸緩衝帶有助於潮浪災害之減輕，同時更可改善環境，整合陸域和水陸，環境更為優美。建立海岸緩衝帶，除保留必要的緩衝帶土地之外，最好的方法是能運用各種柔性工法以漸近方式增進海灘的高度和寬度，長久累積下來即可形成寬廣的海岸自然海灘。

政府為了保護人民安全，防止海岸災害發生，在台灣四周沿海構築相當數量的海堤來保護海岸；同時，台灣西部海岸亦已高度開發利用，部份地區人民居住活動的範圍非常靠近海岸線，部份地區則因海岸侵蝕造成國土流失。這些自然或人為因素的影響，導致許多應屬海岸緩衝帶或海岸災害防護區範圍的地區遭過度利用，導致國土流失，使得海岸緩衝帶消失或必須後退，氣候變遷海平面上升使得海岸地區面臨海岸災害的威脅將更為嚴峻。

作為海岸空間因應氣候變遷海平面上升的第一道防線，海岸緩衝帶範圍地區

應加強防護、保育與管理，進行調適策略與措施研擬前需先瞭解海岸地區存在之各種影響因子，包括（經濟部水利署水利規劃試驗所 2005）：

（一）、自然影響因子：

- （1）地理特性 - 如海灘，礁石海岸，海岸濕地，潟湖及潮池，沙丘，藻場，潛礁，海（岬）灣，離岸沙洲，島嶼等，以及海岸線形狀（平直、彎曲）等因素。
- （2）水文特性 - 如地下水位，河川水流，河道形狀、高程，河口輸沙等因素。
- （3）海氣象特性 - 如波浪，潮汐，潮流，近岸流，颱風，暴潮，漂沙等因素。
- （4）環境及生物特性因子 - 水域生物、潮間帶生物、陸域生物種類與對於海岸緩衝帶的貢獻等生物因素；水質、營養鹽、適棲息水流、及地層下陷等環境因素。

（二）、人為影響因子，以海岸線作為區隔，包含：

- （1）海域人為結構 - 如人工島、人工潛礁、離岸堤等。
- （2）海岸人為構造物 - 如防波堤、港埠、填海新生地、突堤、人工岬灣、海堤、護岸、導流堤、防潮閘、人工養灘、人工濕地等。
- （3）陸域人為構造物 - 如防沙籬、定沙工、防風林、防災排水設施等，以及其他位於海岸緩衝帶之人為構造物（如道路、房舍、魚池、農地等）。

而調適策略與措施之研擬方向，需要考慮台灣海岸之特性，同時吸取國外先進國家（如日本、美國、荷蘭、德國、西班牙等）的經驗，包含技術與政策兩方面：

技術面：須考慮海岸緩衝帶現有之各項影響因子，分別對於防災、海岸保育、生態等方面以及面臨氣候變遷的影響程度。

政策面：包含海岸災害防護區以及海岸緩衝帶之劃定，區域內管理法規制定或修訂等。海岸緩衝帶的範圍的設置，須兼顧海岸開發、海岸保護與生態保育。由於海岸線因自然及人為外在因素逐年變遷，因此海岸緩衝帶的界定應以變遷條件的改變而可作相應的調整。

依據台灣海岸的特性與面臨氣候變遷可能遭遇的衝擊，與海岸緩衝帶相關的



調適策略與措施有 (經濟部水利署 2013) :

(一)、減緩波浪對海堤之衝擊：當海堤前水深相對較深，理論上海底床對波浪削減之效果較為有限，亦即波浪受到波浪直接衝擊的機率相對較高。因此定期監測近岸地區海底床地形，若底床掏刷現象嚴重時，可進行沙源補充或是人工潛堤的方式，藉此消減波浪能量，進而保護海堤之安全。

(二)、強化海岸防護設施：增設海岸防護設施屬於調適策略中的保護性策略。可透過硬性建設、柔性建設或是傳統性建設等方式減少高潮位所產生波浪越波、海水倒灌的風險。在海水位及暴潮位增加速率不斷上升的情況下，海岸設施防護能力及耐災能力的提升是應當優先因應的問題。定期性的檢測既有防護設施的結構強度與維持其防護能力，也是未來必須執行的措施之一。針對海堤結構安全進行檢討時，是針對設計年限 (一般海岸構造物之設計年限為 50 年，且不低於設計年限) 之颱風波浪及高潮位等條件進行分析。可以採取的措施有：

近程：檢討現行工程技術與設施運作，並建立氣候變遷下之海岸防護設施設計標準手冊。提升高風險防護設施之防護強度，全面檢討現有防護設施並定期維護。

中、遠程：積極國際合作以學習國外海岸治理經驗。發展創新的海堤防護技術。

(三)、海岸養護，控制海岸侵蝕：海岸侵蝕速率的增加易導致海岸災害發生的風險提高且災害影響的範圍與程度也會增加。海岸侵蝕的有效控制也就能保護自然海岸線，配合各項海灘養護的措施，讓自然海岸逐漸恢復既有的防護能力，以降低海岸災害的發生機率及災害影響程度，並減少對於大型硬體防護結構物的依賴。而未來在因應氣候變遷的海岸衝擊，可運用海灘養護為基礎作法，配合海堤或其它結構性措施的海岸防護能力，建立多層次的海岸保護防線。採取的措施有：

近程：建造防護設施以減緩海岸侵蝕速率。

中程：海灘養護或種植海岸植物以穩固砂源。

遠程：提升海岸環境自然容忍能力。

(四)、自然海岸生態環境的維護：海岸自然保留區是海岸環境生態是重要自

然資產。在現階段氣候變遷的影響衝擊下，為了達到「永續海岸整體發展」的策略目標，應有目標性地執行各項海岸生態環境保育計畫，對於海岸自然保護區的治理，可階段性地評估各期對於自然海岸生態環境的保護成果。此外，可透過地方民眾的聯合力量，監督並檢舉自然保護區內的不法人為活動，使自然海岸資產能夠永續經營、發展。可以採取的措施有：

近程：調查現有海岸生態特徵，並提出不利於現有生態環境之因素。

中程：限制不利於當地生態發展之經濟活動。

遠程：結合地方居民之力量共同保護海岸生態。

(五)、管制海岸地區開發活動，加強應變能力：此項策略之目的是針對脆弱度較高之海岸區域，有效控管海岸地區之開發，藉以避免未來發生更嚴重之災情。未來在經濟發展建設與海岸環境保護兼顧的狀況下，中央主管機關及地方政府在審核開發計畫書時應當有計畫性地限制開發，並於施工過程之中監督開發單位是否有完善地執行海岸保護措施，並要求未來營運單位確實執行海岸地區防護工作，且定期呈報各項觀測報告以利後續各階段的評估作業。可以採取的措施有：

近程：評估於高脆弱度地區劃定海岸緩衝區或是建置「第二道海堤」概念之多重防禦設施的可行性。

中、遠程：在近程方案確認可行的條件下，妥善規劃緩衝帶內居民及產業管理。

(六)、沿岸居民後撤與遷離之評估：根據我國之災害防救法第 24 條規定，為保護人民生命、財產安全或防止災害擴大，直轄市、縣(市)政府、鄉(鎮、市、區)公所於災害發生或有發生之虞時，應勸告或強制其撤離，並作適當之安置。直轄市、縣(市)政府、鄉(鎮、市、區)公所於災害應變之必要範圍內，對於有擴大災害或妨礙救災之設備或物件之所有權人、使用人或管理權人，應勸告或強制其除去該設備或物件，並作適當之處置。然而遷移居民所需考量之層面並不單單僅是經費之問題，有時還必須考量到政治層面之議題。考慮到台灣本身的地理條件屬於地狹人稠之情況，部分海岸地區已呈現高度之開發。後撤性策略屬於最後之手段，必須被謹慎地研擬，以避免對當地居民的生活起居造成嚴重之衝擊。海岸緩衝帶的設置，可以爭取沿岸居民後撤與遷離之評估的時間。

圖 10.11 為美國國家研究委員會建議北卡羅來納州對於小型建築物設置 30 年的後退線和大型建築物設置 60 年的後退線規劃 (Dean and Darlymple, 2002)，即是以海岸緩衝帶概念因應未來海岸變遷所訂定之調適措施之一。

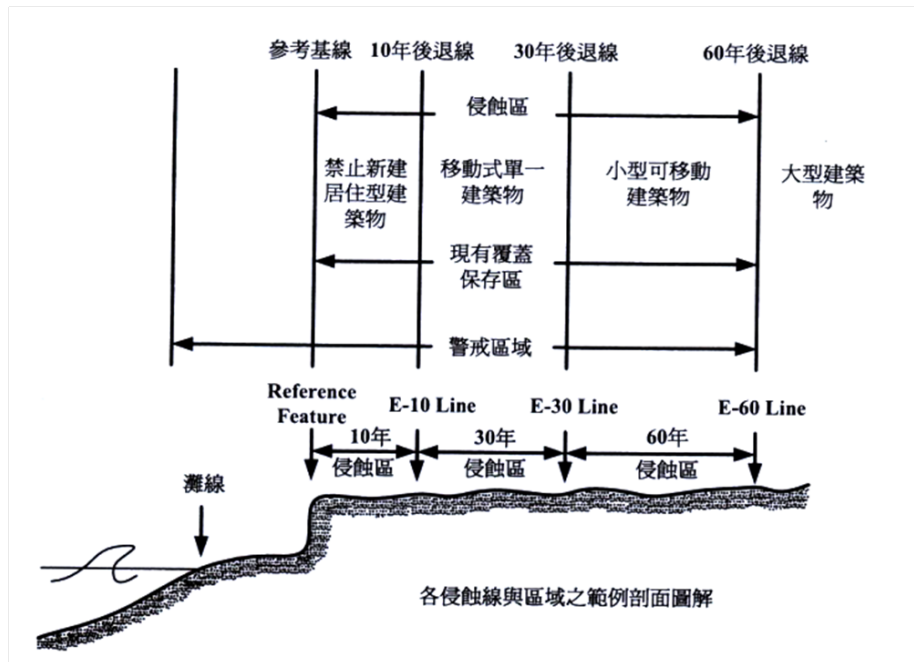


圖 10.11 美國國家研究委員會建議之後退線規劃 (Dean and Darlymple 2002)

### 10.5.2 提昇海岸災害預警能力

颱風暴潮所產生異常水位常對台灣沿海造成重大災害，由於暴潮巨浪直接侵襲海岸，造成海岸侵蝕，並越過堤頂而導致海水倒灌及沿海區域之溢淹，對農作物損害、魚塭魚苗流失等，再加上台灣地形狹長，中央山脈嶺高稜峻，溪流短而坡度陡，每遇豪雨山洪即傾洩而下，下游海岸地區往往同時遭遇強降雨洪水與海水水位頂托的影響，形成複合型災害，屢屢造成重大海岸災害損失，甚而危及民眾生命財產安全，使得台灣海洋環境的發展產生了極大的衝擊。近年隨著全球暖化效應及海洋氣候變遷的影響，全球海水位的抬昇以及颱風頻繁的發生等問題已迫切攸關到我們所生存的環境 (經濟部水利署 2010~2013)。為減緩並適應因氣候變遷可能對海岸空間的衝擊與影響，必須同時注重災害發生前的預警作業、災害發生時的反應與災後的救援作業。因此，提昇海岸災害預警能力是重要的調適策略之一。而準確地掌握近岸區域之實際海氣象特性，才能使海象資訊進一步發揮

功效，提升海平面上升、颱風波浪與暴潮、以及海岸災害預測準度，增進海岸災害預警系統效能，並且提高防救災效率。

海岸災害預警系統的基本組成包括以下幾個部分：(1) 海象監測系統：即時監測海況變動，用以掌握海象現況；(2) 海岸水位預測模式：推估未來海象變化情形，包含海平面上升、颱風暴潮、波浪等，以防範海岸災害的發生或減輕其危害的程度；(3) 海岸水情預報模式：匯集海岸水情資料，評估可能發生海岸災害的區域（如波浪溯升、越波、海岸溢淹範圍、淹水深度等），用以提供足夠的資訊協助防災救災搶險工作；(4) 資訊展示系統：展示各項海岸災害預警所需的情報，提供防災救災作業的進行。以下分別針對氣候變遷調適策略進行說明。

(一)、海象監測系統因應氣候變遷調適策略：海岸災害預警系統的基本組成之一為海象監測系統，其功能為即時監測海況變動，用以掌握海象現況，長期近海水文資料統計特性分析則為氣候變遷海平面上升、海岸脆弱度與災害風險評估、以及海岸災害防治之依據。

國內各類海岸災害管理單位均依其執掌需求建立不同目標、不同作業系統、不同觀測時距之海洋環境監測系統，進行監測項目則包括波高週期、風速風向、氣壓、氣溫、水溫、日照、濕度、雨量、海流、水位變遷等。若能充分利用國內各單位之觀測能量，整合國內現有海象觀測單位之即時測站資訊，將觀測儀器實地所量測各海象因子量值上的變動，利用無線通訊、無線網路或衛星等傳輸系統，即時回傳各地觀測到之最新海氣象狀態。至於現場影像監測儀器配合無線網路影像傳輸技術，可回傳各地之現場即時海況變動影像。如此透過觀測數據與影像監測對海岸災害的預警，是十分重要的依據。

在面臨氣候變遷可能遭遇的衝擊，整合海象監測系統，提升監測能量為重要的調適策略。除了現有已進行的監測項目，海平面上升預估準確度則有賴強化海平面監測能量。針對長期海水位之監測，目前國內外主要都是透過岸邊潮位站或是衛星高度計進行之。海象監測屬中央氣象局之業務職掌，因此於台灣環海岸邊設有潮位站，藉以進行海水位之監測。但國內的一些單位，針對自身職掌業務之需求，也在某些海岸地區設置有岸邊潮位站。為確認長期海平面變遷之現象，須持續監測海平面的變化，並定期將新觀測紀錄與歷史紀錄分析比對，檢驗是否近年來海平面上升速率確實有增加的趨勢，並根據新測海平面變動資料推估未來海平面的上升。目前台灣海岸地區，許多潮位站監測所得之潮位資料長度均不足 20

年。此外，潮位站基準可能會受到地層變動之影響，導致資料分析上產生的誤差恐無法避免，造成一定程度之影響，需要定期檢測潮位站基準點，並予以適當的校正。衛星資料在觀測上雖不受地層變動之影響，但目前的資料長度僅十餘年，且時間解析度為七天。考慮到海水位變遷量是以每年數公厘的尺度在變化，為能更有效掌握台灣海岸地區的海平面變遷量，實有必要持續提升監測技術與資料精度。採取的措施有：

近程：持續收集海水位資料，並提升觀測技術及資料分析方法。

中、遠程：預測海平面變遷量並評估預測結果之信賴度。

此外，海岸防護設施設計水位係依據歷史水位資料分析，並假設其統計特性不變來進行水位迴歸分析；或者利用颱風理論推算暴潮位再疊加天文潮位，再進行迴歸分析工作，作為設計水位，然後據以設計堤防高度。在設計波浪上則利用颱風理論進行波浪推算，再進行波浪迴歸分析工作。然而，全球氣候變遷對各項水文因子之影響最顯著的即為改變其因子之特性；其改變可能影響海水位之上升、極端事件之發生頻率增加，致使原本計算的 50 年重現期，可能降至 20 年甚至更低（經濟部水利署 2010~2013）。而影響台灣海岸水位預測的因素是包括颱風的頻率、強度、路徑機率等變化。因此，另一個影響海岸水位預測的因素是隨氣候變遷影響侵襲台灣颱風的頻率、強度、路徑機率等極端氣候因子變化的預估。

此類極端氣候因子變化評估方法有二：(1) 從過去歷史資料（侵台颱風事件之路徑、強度、風速等）進行統計分析與推估；(2) 利用區域大氣模式預估，例如國家災害防救科技中心（National Science and Technology Center for Disaster Reduction，簡稱 NCDR）動力降尺度大氣環流模式，模擬氣候變遷影響下颱風風場。海岸波浪及水位預測需要有準確的大氣風場條件，然而這兩種預測方法推估未來氣候變遷情境均有其不確定性，須透過相互比較兩種方法的結果的妥適度，瞭解所分析得到的極端氣候（颱風）相關資料其反映出來的水位變化是否合理或與現況一致，藉以修正分析方法與改良模式，提升預測氣候變遷情境極端氣候（颱風）變化的可信度。例如，可以藉由歷史颱風資料為背景資料所進行之颱風氣壓強度、颱風波浪與暴潮分析結果比較，檢討與評估 NCDR 動力降尺度大氣環流模式風場資料應用於氣候變遷下颱風波浪與暴潮變遷分析之妥適度。評估項目包括：颱風氣壓強度、颱風波浪與颱風暴潮，分析期距包括：現況或設定之基期年、情境年（颱風氣壓強度）。評估方法：颱風氣壓強度評估利用極值統計方法推



算不同重現期颱風氣壓強度；颱風波浪與暴潮評估則可採用風浪模式與暴潮與潮流模式，分別模擬歷史颱風資料與大氣環流模式各個颱風之波浪與潮位，擷取最大颱風波高與潮位，再進行極值統計分析，推算不同重現期颱風波浪與潮位結果進行比較；如經檢討後大氣環流模式所設定之颱風特性符合現況或基期年的歷史颱風特性，表示兩者妥適度高，則可預期大氣環流模式模擬未來氣候變遷情境的颱風特性具有較高的信賴度（經濟部水利署 2012）。

因此，針對海象監測系統因應氣候變遷調適策略與措施有（經濟部水利署 2013）：

近程：持續收集極端氣候相關資料，並提升觀測技術及資料分析方法；氣候變遷極端氣候因子變化預測之統計模式與動力模式妥適度評估。

中、遠程：改良區域大氣環流模式，提升氣候變遷極端氣候（颱風）因子變化的妥適度，以增加颱風引致波浪與暴潮水位變遷量預測之輸入資料的信賴度。

（二）、海岸水位預測模式因應氣候變遷調適策略：海象動態的預測是災害預警的重要資訊。從現場監測數據可以掌握目前海象狀況，但要能事先推測以瞭解未來情形，則必須仰賴數值預測模式的推估。海岸水位乃為天文潮、暴潮、溯升與波揚大小的總和，在考慮氣候變遷影響則需再加上海平面上升，因此海岸水位預測系統包括波浪數值模式、天文潮與暴潮模式等。

海岸災害預警為一項與時間賽跑的工作，十分注重時效性與機動性，為滿足預警需求，海岸水位預測系統必須滿足運作穩定、快速且計算準確的要求，需利用現場實測資料來進行模式參數校正並利用歷史資料來進行結果驗證，以確保模式推估的準確性。

面臨氣候變遷可能遭遇的衝擊，與海岸水位預測模式因應氣候變遷有關的調適策略與措施為：建立區域性颱風暴潮預警機制與預警系統整合。透過有效的預警機制，將可降低海岸地區的淹水風險。這對於海岸保護與重要經濟發展地區的管理與策略擬定，有其重要性。颱風的暴風圈雖屬於尺度較大的天氣系統，但造成海水位抬升主因之一的颱風低壓中心對於海岸地區的影響相對較為局部化。再加上不同海岸地區其底床坡度也相對不同，因此不同海岸地區因為風揚所造成的水位抬升效應也會有所差異。透過區域性颱風暴潮預警機制之建立，將能更有效準確的預測颱風暴潮對局部海岸區域所可能造成的災情，進而能針對相關防災資



源進行更合理且有效的分配。

近程：發展區域性暴潮預警模式。

中程：提高預警模式的時間以及空間解析度。

遠程：持續改進模式預測之準確度。

(三)、海岸水情資料庫與資訊展示因應氣候變遷調適策略：充足的海岸水情資訊提供為海岸災害預警作業進行十分重要的判斷依據。利用資料庫軟體彙整所有海岸災害預警、防救決策可能需要用到之輔助資料，包括現場觀測資料（波高週期、風速風向、氣溫、氣壓、水溫、海流等）、數值模式推估結果（風浪模式、海岸水位、海流預測模式結果）、歷史發生過之災害資料（溢淹、海水倒灌、海堤破壞、海岸侵蝕淤積等）、海岸地區資訊（海岸防護設施、排水設施資料、海岸土地利用情形、人口分佈等）等，提供充足情報協助多方且交叉性的分析，以獲得最佳的災害預警資訊。海岸水情資料庫所儲存之資訊須定時更新，以確保災害預警時所提供之資訊為最新、最真實的狀況。

海岸防災預警資訊展示系統與介面必須具備可即時更新資訊、可根據使用者需求更換展示內容。資訊展示系統匯集了環島海氣象即時觀測資料、海岸水位模式預測結果、環島海岸防護設施與排水設施資訊、現場海岸水位監控畫面、颱風資訊、歷史海岸災害資料，以及現況與未來氣候變遷情境之海岸脆弱度與災害風險評估地圖等。

面臨氣候變遷可能遭遇的衝擊，相應的調適策略與措施有（經濟部水利署，2013）：

(1) 評估海岸脆弱度與複合型海岸災害風險：海岸災害通常是同時受到許多不同外在影響因素（如波浪、潮汐、暴潮以及海流等）的複合效應所造成。以往為簡化問題之複雜性，會將不同影響因素獨立分析後再直接線性加總。然而對於不同影響因素的複合效應則是考慮海岸風險管理的重要依據。如颱風所引起之暴潮若發生在天文大潮期間，其合成水位對海岸地區之衝擊風險較高；但颱風暴潮若發生於低潮時，海岸地區之風險就相對減小。因此在潮差較大之海岸地區，此一議題更顯緊要。相較於天文潮之漲落雖具有一定之規律性，颱風暴潮之特性則不易掌握。未來建議可配合統計模式分析長期之區域實測資料，建立聯合機率概念，再加上先進的機率風險評估方法之研發，藉以釐清不同海域的水位抬升風險。

根據統計，「波浪」與「暴潮」是台灣近岸區域重大災害的關鍵因素，以往的研究由於缺乏同步的波浪與暴潮觀測資料，因此會將兩者認為在統計上互相獨立。然而發生大浪時同步也發生極端暴潮的機率將直接影響到海岸防災預警以及海堤工程結構的設計。因暴潮水位抬升時，近岸底床對波能之消滅效應相對較為有限，致使海堤承受強大波力的風險也會相對增加。這樣的現象在潮差較大之海岸地區相對也更為明顯。近年來開始有研究針對台灣海域的波浪與水位聯合機率分佈進行檢討（歐等 2006）。面對海岸地區的海水溢淹問題時，有必要考慮波浪與暴潮（加入天文潮的影響）之間的聯合作用及其發生機率。因此評估波浪與暴潮值同步發生的可能性是海岸地區防災預警的重要關鍵。採取的措施有（經濟部水利署 2013）：

近程：評估複合海岸災害的聯合發生機率與其對應風險。編定沿海地區災害風險地圖。依據風險地圖結果執行海岸保護治理。

中、遠程：持續更新相關資料，並檢討風險地圖的可利用性。

(2) 強化災害警戒資訊的公布管道：透過前述策略掌握海域的水位抬升風險之後，如何透過適當管道（網際網路、鄉鎮公所）提早或即時提供民眾相關之海岸警戒訊息（如海堤水位警戒資訊等），讓民眾能預先防範或進行避災。可採取的措施有（經濟部水利署 2013）：

近程：結合鄉里活動中心做為資訊發布管道。於水利署防災資訊服務網增列海岸水位警戒資訊。結合智慧型手機軟體技術，發展警戒資訊發布技術。

中、遠程：發展並評估其他可行資訊發布技術。

### 10.5.3 加強災害防護與污染控制

雖然現階段國內中央主管機關與地方政府皆已致力於易淹水地區的治理、海岸污染監測與防制等工作，但未來氣候變遷的影響下，颱風與異常氣候引致之海岸溢淹事件仍可能發生更為頻繁、溢淹水範圍擴大、淹水深度增加；氣候暖化引致海洋特性改變（海溫；海流；海水容蓄、稀釋及轉化物質能力等）。在海平面逐漸上升的威脅下，工程保護措施（海堤等）最後會到達極限而無法無限制的採用，須思考如何適應災害應變、與海共存，審慎評估可行的後撤策略，爭取時間設法降低海岸災害風險與海岸脆弱度。海平面上升亦將使海水入侵海岸地區，近岸地

區海水流動特性改變，而影響人為污染物質排放至海洋中，無法透過稀釋或化學作用轉化為無害物質，使得污染再回到海岸地區土壤、地層中，亦或因海水位上升、颱風暴潮頂托使得河川水無法順利排放甚至造成海岸溢淹而將污染物留在海岸地區土地與地下水中，因此需要審慎思考因應氣候變遷在海岸污染防治上應如何進行調適。

依據台灣海岸的特性與面臨氣候變遷可能遭遇的衝擊，與海岸災害防護及污染防治有關的調適策略與措施有：

(一)、海岸防救災人才培育：海岸災害預警與防救必須有現場監測數據、數值模式推估結果、輔助資訊蒐集展示的資料庫與網路介面以協助救災搶險作業的進行。然而海況變動捉摸不定，仍有可能發生無法預期的事件，一旦發生突發事件，雖可仰賴有經驗之作業人員的判斷外，若能有專業團隊的後勤支援，隨時提供具學理依據的建議，對預警與防災作業的進行將更有保障。由於海岸防救災作業所需之專業資訊眾多，包括近海海洋環境監測資料分析與品管、災害預報與救災緊急應變作業的演練與執行等，故此專業團隊應結合海洋、氣象、水利、資訊、決策、救難等背景的專業人才。而對於這些人力之培養與整合，是成功地進行海岸監測與海岸災害預警、救災作業重要的關鍵。

(二)、強化低窪地區排水能力：在未來沿海地區河川、海水溢堤風險增加的狀況下，改善低窪地區排水能力是刻不容緩的工作。建議可進行的工作項目有：抽水機(站)的增加、排水路線的規劃、排洪渠道的清淤、滯洪池的規劃以及現有堤防的強化等。現階段經濟部水利署致力於「易淹水地區水患治理」的計畫工作項目，而此部分也需要地方政府或有關機關的協助配合，以減少沿海地區居民因淹水災害而導致的生命財產損失。

(三)、擬定因應氣候變遷海岸災害防治策略，降低災害風險：設置指標性監測系統(如海水位上升)，研訂各階段臨界水位須執行之災害防治適應性對策與行動方案(如洪水與沿海侵蝕風險管理等)，降低災害風險。例如英國泰晤士河口2100年計畫(Thames Estuary 2100，以下稱TE2100)計畫目的乃是針對未來海平面上升的不確定性，提供多種有彈性且可信賴的決策參考，圖10.12為TE2100決策建議流程表，表示因應不同海平面上升的情境，泰晤士河水閘建議應執行的防洪對策，主要的因應對策有三大項目，為改善防洪設施、增加蓄洪量及興建新水閘。各項對策對於海平面上升的因應範圍，決策者可參考未來不同海平面上升

的推估值，擬定適合泰晤士河水閘防洪的適應性對策及行動方案（經濟部水利署 2011）。

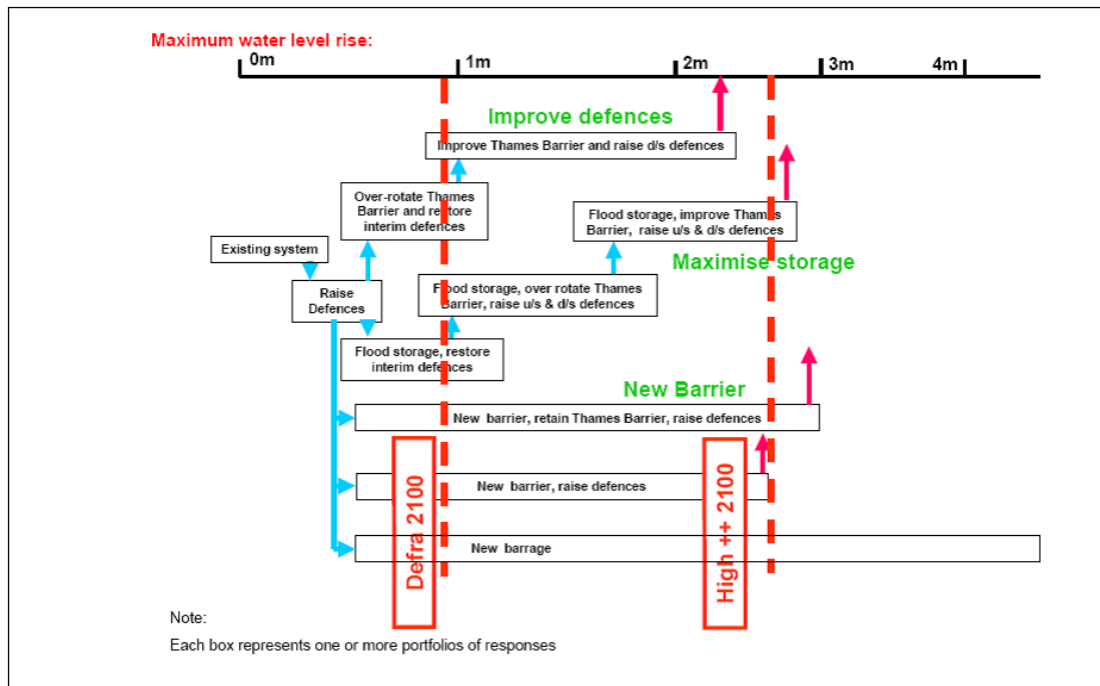


圖 10.12 TE2100 決策建議流程圖

(資料來源：TE2100 2009)

針對降低災害風險方面，可以採取的措施有：

近程：海堤前方水域之調查與海堤風險評估。針對破壞風險較大之海堤進行強化。檢討排水系統設計標準。針對淹水災害衝擊較明顯區域規劃布設緊急抽水設備。落實河道區域的疏濬清淤作業。

中、遠程：持續進行海堤前方水域之調查與海堤風險評估；建立先進完善之洪水調度預測系統，納入海岸防護設施（防潮閘、水門等）自動調節調度體系；發展創新的海堤保護技術；鼓勵低窪區住宅採用高耐洪性設計建材等。

(四)、規劃災害救難計畫，落實防災教育：重新檢視現階段之溢淹災害救難計畫是否可因應未來氣候變遷條件的衝擊，並進一步根據氣候變遷影響的程度而調整防救災應變計畫內容，確保計畫行動的適用性及執行力。

除了溢淹災害救難計畫的完善之外，地區性防洪教育的推廣也是重要的工作項目之一。整理過往沿海淹水災害案例的調查報告可發現，某些災害在人為因素

影響的層面較大，如民眾並無事先災害預防作為、閘門開啟時機不當或無法貫徹災害應變計畫等因素。因此對於沿海地區高風險海岸災害的居民，應推廣宣導淹水防治教育，結合社區組織或地方行政單位（鄉鎮市公所、村里辦公室等），對於地方單位主管進行防洪教育訓練以及洪水緊急應變計畫的演練，對於沿海居民以文宣品或廣告宣導防洪器材的準備與防洪觀念的養成。此外可定期性的舉辦洪水應變計畫演練，讓地方政府與民眾確實掌握行動流程，確保在未來洪災發生時能發揮應變計畫的成效，並使沿海地區民眾及早準備、及早因應。

針對海岸災害應變，可以採取的措施有：

近程：定期演練災害應變流程。

中、遠程：中央與地方協力健全海岸災害應變體系。檢討並改善現行緊急災害撤離路線、收容場所設施與應變計畫。

在資訊宣導與公開方面，可以採取的措施有：

近程：定期於海岸地區活動中心舉辦防災教育課程。

中、遠程：與教育主管單位以及當地學校合作，共同培育海岸防災教師資，將防災教育結合於地區中小學課程中。

(五)、強化海岸地區污染控制：海岸地區與近岸海域污染物質涵蓋相當廣泛（油污、海岸垃圾、工業廢水、家庭污水、濱海電廠溫排水等），中央機關與地方政府也已致力海岸污染監測及防治工作，例如工業局「海岸工業區及工業港污染監測及防治」、漁業署「漁港污染監測及防治計畫」、交通部「商港污染監測與防治」等，但面臨氣候變遷影響可能對海岸地區在污染防治上的衝擊，首先應整合環島海岸物理環境，如氣溫、水溫、海水鹽度、密度、混合層深、風、海潮流等及污染監測資料庫，評估氣候變遷海岸地區污染風險。建立與整合區域性海岸污染監測防制預警系統，包含區域性海流、潮流、近岸流模擬系統，區域性海域污染監測、擴散漂移模擬與預警模式，海岸地區地下水污染監測、擴散模擬系統等。並設置指標性監測系統，如海水位上升，研訂各階段臨界水位須執行之污染防治適應性對策與行動方案如海岸土地及地下水鹽化及污染風險管理等。此外，鼓勵產業界提升廢水、污染物質處理技術以及低污染、低碳排放製程新技術開發，潔淨再生能源利用技術研發等，以降低海岸污染風險。可以採取的措施有：



近程：中央與地方協力健全海岸污染防治應變體系，加強廢水排放、污染物棄置監控管理。建立區域性海岸污染監測防制預警系統。

中、遠程：提升廢水、污染物質處理新技術，產業低污染製程新技術開發，潔淨再生能源技術研發與利用等。

### 10.5.4 合理管制開發、整合土地使用類型、強化海岸帶綜合管理

由於氣候變遷導致海平面上升，可能對海岸土地造成最直接的衝擊，有必要重新思考、調整沿海土地的利用與活動型態。在氣候變遷的威脅下，各種海岸環境變化可能引發災害與損失，沿海低窪地區的土地利用型態將會產生許多限制，而必須作適當調整。然而，未來沿海地區若受到海平面上升威脅更為嚴重時，各種沿海產業與活動勢必往內陸遷移，產生國土空間利用配置的重組，此將是台灣國土空間規劃與管理更嚴峻的挑戰（中央研究院 2011）。

依據台灣海岸的特性與面臨氣候變遷可能遭遇的衝擊，擬定整合性海岸地區管理計畫、整合性海岸帶管理，為與海岸空間、土地管理有關最主要的調適策略之一。目前我國海岸管理的權責較為分歧，海岸立法在內政部營建署；海岸林管理歸農委會林務局；海堤興建禦潮為經濟部水利署；海岸未登陸土地管理屬財政部國有財產局，致使海岸似若三不管的邊陲地帶，是故強化「整合管理」實有必要（行政院國家永續發展委員會秘書處 2009）。整合性海岸帶管理的目標是為能解決海岸帶使用目的複雜而產生的衝突。因此應以多方面去思考如生態保育、教育研究、農漁牧業資源或海岸帶開發等因素，以不破壞環境自然資源為前提條件下，滿足人類活動及開發需求，以及因應氣候變遷可能面臨的衝擊。整合性海岸帶管理需要長期的監控與持續有效的管理作業方式，參與的專家學者或海洋事務管理機關除理論上的研究分析之外，也應尋求實務上的變通，如參考世界各國各項整合性海岸帶管理案例，師法其他各國海岸治理的優點，且依據目標治理海岸地區的特性，歸納整合適合治理區的管理計畫，以期在不損害生態資源環境的情況下且與海岸地區開發並重的發展下，達到永續海洋發展的目標。可採取的措施有：

近程：監測、評估海岸土地的變遷並檢討海岸土地的利用方式。檢討現行海岸地區治理相關法規。劃定應受嚴格保護的沿海地區。



(一)、為防止海岸侵蝕並改善水患，以提升海岸地區對於氣候變遷衝擊的調適能力，必須監測、評估海岸土地的變化，檢討海岸的補砂與穩定功能對於土地利用的影響。此外，必須檢討、調整海岸土地利用方式，包括農漁牧業、工業與都市聚落等發展策略方向，以引導適合海岸環境特性的土地利用方式（中央研究院 2011），同時亦需從環島海岸帶的管理思維，檢討現行海岸地區治理相關法規需修正或不足之處。

(二)、依據海平面上升影響推估成果及風險地圖，設立海岸開發管制區，並限制管制區內產業開發活動，首要執行管制區內海岸防護工程措施以抵抗海平面上升（內政部營建署 2012）。

(三)、增設建築物撤退及海岸緩衝區，撤退線可供未來人口及產業遷徙決策參考，緩衝區可依據未來海水位變化情形及海岸防護情形，調整撤退線的位置（內政部營建署 2012）。

(四)、評估管制區內現有產業建築物的耐災程度（內政部營建署 2012）。

(五)、風險地圖內若潛勢地區涵蓋重要交通設施，應立即規劃防護工程措施（內政部營建署 2012）。

(六)、若管制區內有重要歷史文化資產，應加強其保護措施或視必要遷移他處（內政部營建署 2012）。

中、遠程：擬訂新制海岸法規且考慮氣候變遷衝擊。持續檢討並修訂海岸法規，推動永續海岸環境發展計畫。在中、遠程措施需考量：

(一)、擬訂新制整合性海岸地區管理計畫，設定各階段性應執行工作項目與應達成工作目標，並設定各種績效評估指標，以鑑定在未來氣候變遷影響下，各項海岸災害治理的成果績效（經濟部水利署 2011）。

(二)、強化海岸土地保護與海岸生態環境的復育工作。為改善海岸環境，應強化海岸保安林帶的復育工作，持續加強定砂、新植、更新復育，以減緩飛砂、季節風、鹽霧的危害。並應推動自然海岸保全、沿海濕地復育、生態棲地保護等工作，以豐富海岸景觀與生態，並且回復為具有自然調適能力的海岸地區（中央研究院 2011）。

台灣許多海岸地區存在地層下陷問題，在面臨全球氣候變遷的影響，海岸地

區地層下陷將會加速遭遇衝擊的時間、擴大衝擊影響範圍。因此，另一項與海岸空間、土地管理有關調適策略，為強化地層下陷之防治與因應（經濟部水利署 2013）。

近程：定期監測地層下陷速率。落實地下水資源利用管理以防治地層下陷問題惡化。輔導地方產業轉型以降低地下水抽用量。實行地下水補注措施。可採取的措施有：

(一)、重新調查地下水使用現況，針對地下水位較低的區域使用人工技術或自然補注方式補注地下水，以減緩地層下陷趨勢（經濟部水利署 2010；2011）。對於發生地層下陷的海岸地區，應調查並規劃地下水補注區域，研發補注應用工法，加強推動地下水補注，並應結合工程及非工程手段，減低沿海地層下陷地區水患程度，保障人民生命財產安全（中央研究院 2011）。

(二)、須立即檢討海岸地區地下水之抽取，並且遏止非法、過度抽用的問題，管制每年之地下水使用量低於容許出水量。並基於國土保育及地方產業經濟的發展需要，促進中央與地方政府積極合作，檢討水資源供給、需求，以實際行動改善因地下水超抽造成地層下陷問題（中央研究院 2011）。

(三)、以資金補助或減稅等措施鼓勵沿海居民產業轉型，改植耐鹽作物，減少魚塭地的開發，降低地下水源的使用，鼓勵沿海工業區使用海水淡化系統以供給工業用水（經濟部水利署 2010；2011）。

(四)、執行「地表與地下水聯合使用」計畫，利用地面水調配策略、新水源的開發以及輸配水系統性能的提升，以減少地下水的使用（經濟部水利署 2010；2011）。

中、遠程：持續監測地層變遷情況。推動地層下陷地區產業轉型再發展。發展創新的地層下陷防治技術。

(一)、持續監測地層下陷狀況並定期分析觀測結果，擴大地層下陷監測網的範圍，依據分析結果判斷地層下陷狀況作為地下水安全使用量的指標（經濟部水利署 2010；2011）。

(二)、對於因嚴重地層下陷，而影響國土利用的地區，轉型作為生態濕地、人工湖、滯洪池，保安造林、植生綠化等用途。地層下陷區亦可朝向濕地生態園

區發展，逐步恢復濕地原生植物相與野生動物及魚類的棲息地，並輔導發展濕地生態觀光 (中央研究院 2011)。

## 10.6 結語

本章彙整說明台灣海岸現況及環境問題，加上近年來受氣候變遷之影響，台灣海岸產生各種類型之海岸災害。近期研究之目的為理解與預測台灣各地海岸因氣候變遷所產生之變化趨勢，根據研究成果作為氣候變遷調適政策擬定之依據，進行生態、環境、人文等重要海岸之保護與管理，本章也說明台灣近況對海岸空間調適之策略與措施，並提供未來調適策略之各項建議。

氣候變遷對全球各地海岸地區都帶來不小的衝擊，台灣四面環海，對未來災害衝擊的預防工作更是刻不容緩，未來必須對海岸地區持續地進行監測、了解及預測的研究工作，根據氣候變遷隨時間變化產生之不同影響與災害做出最新的調適策略與措施，以達到海岸生態、環境、人文安全的保護。

本章主要聚焦議題	
現況	台灣海岸約有 80% 區段處於侵蝕狀態，10% 淤積、僅 10% 處於侵淤平衡。侵蝕區主要為於台灣西部雲嘉南海岸、西南高屏海岸及東部宜蘭海岸。
目前面臨的問題	台灣海岸侵蝕可歸納有下列幾項原因：一、海崖與沙丘破壞；二、河口輸沙量供給的減少；三、河口沉積物輸送途徑的改變；四、波候特徵變遷；五、海岸結構物的突題效應；六、海水位上升、地層下陷。台灣海岸侵蝕的原因可能上述原因的綜合效應。
未來氣候變遷的影響	降雨型態改變引致河川出海口泥沙輸送途徑改變、未來颱風強度增強以及氣候變遷引致之波候改變、海水位上升與暴潮皆會增加海岸侵蝕的發生。

## 參考文獻

- 戴昌鳳，1997：「墾丁國家公園：珊瑚之美」。有限責任墾丁國家公園管理處員工消費合作社。
- 董東璟、楊益昇、曾國禎，2008：「基隆和高雄長期海水位變動分析」，第30屆海洋工程研討會論文集，第625-630頁。
- 李芳君、林文華、許榮中，2009：颱風巨浪侵襲下海岸緩衝帶預估與海灘剖面變化的探討，第31屆海洋工程研討會，第519-524頁。
- 李怡婷，2011：以海岸水動力及海岸漂沙劃設海岸緩衝區，國立成功大學海洋科技與事務研究所博士論文，105頁。
- 林俊全，1995：「讓我們看海去」。國立編譯館，65-90。
- 林朝棨，1957：「臺灣省通志稿卷一土地志·地理篇 - 第一冊地形」。臺灣省文獻委員會，共424頁。
- 林朝棨、周瑞墩，1984：「台灣地質」。台灣省文獻委員會。
- 藍元志、許泰文、吳柏辰、李怡婷，2010：台灣海岸緩衝區劃設之研究，第32屆海洋工程研討會，第581-586頁。
- 盧孟明、卓盈旻、徐堂家、李清滕、林昀靜、李思瑩，2011：台灣過去百年的氣候變化特性，中央氣象局科技研究中心。
- 徐晃雄，2001：淺談氣候變遷的科學。*科學發展月刊*，第29卷，第12期。
- 許晃雄，2011：「臺灣氣候變遷科學報告」。行政院國家科學委員會自然科學發展處。
- 徐鐵良，1962：臺灣海岸地形之研究。*中國地質學會會刊*，第5號，第29-45頁。
- 徐泊樺、顏志偉，2007：「淺談我國海洋能源之開發前景」，*物理雙月刊*，29卷3期，第718-726頁。
- 莊文傑、李俊穎、藍文浩，2014：「全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率

- 之評估研究(1/4) - 臺灣近岸潮位紀錄應用於平均海水位變動率之分析 - 」, 交通部運輸研究所。
- 施友元, 2011: 國際氣候變遷調適策略經濟評估方法之趨勢與啟示, *經濟研究*, 第 11 期, 第 291-319 頁 (2011)。
- 石再添, 2000: 「台灣地理概論」。台灣中華書局。
- 沈淑敏, 2013: 臺灣地區海岸地形的特徵與分類。 *地質*, 第 32 卷, 第 4 期, 第 14-19 頁。
- 邵廣昭, 1999: 「海洋生物的多樣性及其保育」, 生物多樣性研討會論文集, 台北, 行政院農業委會。
- 葛全勝, 2007: 中國可持續發展總綱-第 7 卷-中國氣候資源與可持續發展。科學出版社。
- 郭大玄, 2005: 「臺灣地理: 自然、社會與空間的圖像」。五南圖書出版股份有限公司。
- 郭一羽、李麗雪, 2006: 「海岸生態環境景觀環境營造」。明文書局股份有限公司。
- 郭金棟, 1996: 西海岸開發對海岸環境之影響。第三屆濕地生態保育研討會論文集。
- 郭金棟、蔡丁貴、簡仲和、陳文俊, 1997: 「氣候變遷對台灣海平面上升及海岸地形之影響」, 環保署計畫報告。
- 郭金棟, 2004: 「海岸保護-海岸環境創造序論」。科技圖書股份有限公司。
- 郭重言、林立青、藍文浩、莊文傑、李俊穎, 2015: 「臺灣四周海域長期性之海水水面變化趨勢評估」, 交通部運輸研究所。
- 黃煌輝、蔡瓊林, 1984: 海堤設計天文潮位頻率分析及平均海水面變化研究。國立成功大學台南水工試驗所, 研究試驗報告, 第六十九號。
- 黃富文、陳逸軒, 2013: 冰與火的傳奇-天然氣水合物。 *科學發展*, 490 期。
- 黃清哲、許泰文、吳立中, 2009: 「運用潮位與衛星資料推估海平面變遷量技術

之研發(1/2)」，經濟部水利署。

黃清哲、許泰文、吳立中，2010：「運用潮位與衛星資料推估海平面變遷量技術之研發(2/2)」，經濟部水利署。

何宗儒，2012：海洋再生能源。《科學發展》，471 期。

許泰文，2003：「近岸水動力學」。中國土木水利學會出版，科技圖書公司。

許泰文，1997：河川與海岸穩定對策之研究。國立成功大學水利及海洋工程研究所。

張瑞津，2000：「地形。台灣地理概論」。台灣中華書局。

莊慶達、胡興華、邱文彥、高松根、何立德、碧菡，2008 年：「海洋觀光休閒之理論與應用」。五南圖書出版股份有限公司。

陳培源，2006：台灣地質 - 台灣地形分區：台灣省應用地質技師公會，第 2-1~2-21 頁。

陳建志、許妙行、蔡佳玲、林東緯、何幸蓉、黃郁棻、李彥君、黃如蕙、楊鏡堂，2008：再生能源之發展趨勢與前瞻，《科學發展政策報導》，第 3 期，1-26 頁。

陳汝勤，2007：「天然氣水合物的地質研究」。《科學發展》，412 期。

陳文山，2014：「末次最大冰期以來，台灣海岸線變遷」簡報。

陳文俊，2003：外傘頂洲變遷探討(II)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。

陳永明、于宜強、黃柏誠，2008：澎湖海域 2008 年寒害分析報告。國家災害防救科技中心。災害防救科技與知識專欄。

蕭國鑫、劉進金、陳大科、徐偉城、何心瑜，2007：多時影像與空載光達資料應用於地形變遷研究-以外傘頂洲為例，《航測及遙測學刊》，第 12 卷第 4 期/頁 419-429。

蔡明彥、李玫憲，2011：北冰洋安全問題與區域安全治理之挑戰，《東吳政治學報》，第 29 卷第 1 期，113-177。



- 施學銘，1999、2000：「台灣環境變遷與全球氣候變遷之衝擊評估-海岸環境」，國科會研究計畫報告。
- 歐善惠、許泰文、張憲國、郭一羽、李兆芳，1999：「海岸災害防救暨永續利用整體規劃(I)」，經濟部水利署。
- 歐善惠、許泰文、張憲國，2001：「永續的鑽石海岸-台灣海岸災害防救與永續利用規劃」。經濟部水利署水資源局。
- 歐善惠、高家俊、董東璟，2006：海岸區域溢淹災害潛勢分析研究：聯合波浪與水位機率分佈之研究(II)，行政院國家科學委員會研究報告。
- 楊貴三、沈淑敏，2010：台灣全志(卷二)土地志 - 地形篇：國史館台灣文獻館，628 頁。
- 楊謹誌、臧效義、陳建宏，2010：「台灣東北海域波能潛勢分析」，第 32 屆海岸工程討會論文集，第 815-820 頁。
- 吳全安，2007：「海岸資源管理」。五南圖書出版股份有限公司。
- 王鑫，1980：「台灣的地形景觀」。渡假出版社。
- 俞何興，2001：「淺談台灣海岸的類型、變遷與利用」，全球變遷通訊雜誌，第 28 期。
- 中央研究院，2011：因應氣候變遷之國土空間規劃與管理政策建議書，中央研究院報告 No.007。
- 行政院國家永續發展委員會秘書處，2009：海岸保育及復育方案(草案)。
- 行政院經濟建設委員會，2010：氣候變遷調適政策綱領(草案)。執行單位：中華民國都市計劃學會。
- 行政院經濟建設委員會，2012：國家氣候變遷調適政策綱領。
- 行政院農業委員會漁業署公告，2014：「台灣地區各直轄市、縣(市)漁港類別及名稱一覽表」。
- 行政院農業委員會漁業署漁業統計年報。

<http://www.fa.gov.tw/cht/PublicationsFishYear/?pn=1>。

內政部營建署，2012：101 年度自然海岸線經營管理課題與對策暨辦理永續海岸推動實施服務團總結報告書。

內政部營建署，1995：「海岸地區整體規劃之研究。第一冊-海岸地區範圍及使用分區劃設研究報告書」。研究單位：美商西圖工程顧問國際有限公司台灣分公司。

經濟部水利署全球資訊網，<http://www.wra.gov.tw/>。

經濟部工業局台灣工業用地供給與服務資訊網，<http://idbpark.moeaidb.gov.tw/>。

經濟部水利署水利規劃試驗所，2005：海岸開發後對地形變遷影響機制分析研究(鰲鼓至曾文溪口)(3/3)，執行單位：財團法人成大研究發展基金會。

經濟部水利署水利規劃試驗所，2008：「台灣嚴重地層下陷地區之國土復育促進地區範圍劃設」，執行單位：國立成功大學水工試驗所。

經濟部水利署水利規劃試驗所，2010：「海岸防護及環境附域規劃參考手冊」，執行單位：財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會。

經濟部水利署水利規劃試驗所，2011：「海岸生態棲地評估技術研究總報告」，執行機關：國立交通大學。

經濟部水利署水利規劃試驗所，2012：「海岸防護計畫先期規劃研究總報告」，執行單位：中華民國海洋及水下技術協會。

經濟部水利署，2000，2001，2002，2004：「海灘侵蝕防治新科技研發(1/4~4/4)」，執行單位：國立成功大學水工試驗所。主持人：黃煌輝。

經濟建設委員會，2009：「氣候變遷長期影響評估及因應策略研議」，執行單位：財團法人國土規劃及不動產資訊中心，主持人：柳中明、華昌宜、游保杉。

經濟部水利署，2010：「強化台灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(1/2)」，執行單位：財團法人成大研究發展基金會。主持人：許泰文。

經濟部水利署，2011：「強化台灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(2/2)」，執行單位：財團法人成大研究發展基金會。主持人：許泰文。

經濟部水利署，2012：「強化台灣西北及東北地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(1/2)」，執行單位：財團法人成大研究發展基金會。主持人：許泰文。

經濟部水利署，2013：強化臺灣西北及東北地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(2/2)，執行單位：財團法人成大研究發展基金會。

經濟部水利署、國立成功大學地層下陷防治服務團網頁，  
<http://www.lsprc.ncku.edu.tw/index.aspx>。

經濟部水利署地層下陷防治資訊網，<http://www2.water.tku.edu.tw/sub91/>。

Adger, W.N., T.P. Hughes, C. Folke, S.R. Carpenter, and J. Rockstrom, 2005: Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters. *Science*, **309** : 1036 - 1039.

Balthis W.L., 2006: Ecosystem responses to extreme natural events: Impacts of three sequential hurricanes in fall 1999 on sediment quality and condition of benthic fauna in the Neuse river estuary, north Carolina, *Environmental Monitoring and Assessment* **119**: 367–389pp.

Bister M., Emanuel K.A., 1998: Dissipative Heating and Hurricane Intensity. *Meteorol. Atmos. Phys.* **65**, 233-240pp.

Bizikova, L., J. Robinson, and S. Cohen, 2011: Linking climate change and sustainable development at the local level. *Climate Policy*, **7** : 271 - 277.

Bopp, L., C. Le Quéré, M. Heimann, A.C. Manning and P. Monfray, 2002: Climate-induced oceanic oxygen fluxes: Implications for the contemporary carbon budget. *Global Biogeochemical Cycles*, **16**(2), 1022.

Boyer, E. W., & Howarth, R. W., 2008: Nitrogen fluxes from rivers to the coastal oceans. *Nitrogen in the Marine Environment*, second ed. Academic Press, San Diego, 1565-1587.

Chang, Y., K. T. Lee, M. A. Lee, and K. W. Lan, 2009: Satellite observation on the exceptional intrusion of cold water in the Taiwan Strait. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **20**, 661-669, doi: 10.3319/TAO.2008.08.07.01(Oc).

- Chen, Q., L. Wang, H. Zhao, and S. L. Douglass, 2007: Prediction of Storm Surges and Wind Waves on Coastal Highways in Hurricane-Prone Areas, *Journal of Coastal Research*, 1304-1317.
- Chiang, C. S., & Yu, H. S., 2008: Evidence of hyperpycnal flows at the head of the meandering Kaoping Canyon off SW Taiwan. *Geo-Marine Letters*, **28**(3), 161-169.
- Chien, H., et al., 2011: Sediment dynamics observed in the Jhoushuei River and adjacent coastal zone in the Taiwan Strait., *Oceanography*, **24**(4),122–131, doi:10.5670/oceanog.2011.100.
- Chien, H., Cheng, H. Y., & Chiou, M. D., 2014: Wave climate variability of Taiwan waters. *Journal of oceanography*, **70**(2), 133-152.
- Ching-Piao, T., Ching-Her, H., Chien, H., & Hao-Yuan, C., 2012: Study on the wave climate variation to the renewable wave energy assessment. *Renewable energy*, **38**(1), 50-61.
- D. Prandle, J. Wolf, 1978: The interaction of surge and tide in the North Sea and River Thames, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, **55**, 203-216.
- Dadson, S. J., et al., 2003: Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen, *Nature*, **426**, 648 – 651.
- Dadson, S. J., 2004: Erosion of an active mountain belt, Ph.D. thesis, Univ. of Cambridge, Cambridge, U.K.
- Dadson, S. J., et al., 2004: Earthquake-driven increase in sediment delivery from an active mountain belt, *Geology*, **32**(8), 733 – 736.
- Dadson, S., N. Hovius, S. Pegg, W.B. Dade, M.J. Horng, and H. Chen. 2005: Hyperpycnal river flows from an active mountain belt. *Journal of Geophysical Research* 110, F04016, <http://dx.doi.org/10.1029/2004JF000244>.
- Davis, R. A. and M. O. Hayes, 1984: What is a wave-dominated coast? *Marine Geology*, vol. **60**, pp. 313-329.

- Davis, R.A. Jr., 1994: Barrier island system - a geological overview. In: *Geology of Holocene Barrier Island Systems*, Davis, R.A. Jr., ed., Springer-Verlag, New York, 1-46.
- David R. Easterling, 2000: Climate Extremes Observation modeling and impact, *Science* 289, 2068.
- David W. Pierce and Tim P. Barnett, 2006: Anthropogenic Warming of the Oceans: Observations and Model Results, *Journal of Climate*, vol **19**.
- Dean, R.G. and Dalrymple, R.A., 2002: *Coastal processes with engineering applications*. Cambridge University Press, 464 pp.
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R., 2008: Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, **321**(5891), 926-929.
- Elgar Steve, Guza R.T., 1993: Observations of Nonlinear Interactions in Directionally Spread Shoaling Surface Gravity Waves, *Journal of Geophysical Research*, vol.**98**, no.c11, Pages 20, 299-20, 305.
- Emanuel, K.A., 2000: A Statistical Analysis of Tropical Cyclone Intensity, *Monthly Weather Review*, **128**(4), 1139-1152.
- Emanuel, K.A., 2005: Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30[thinsp] years, *Nature*, **436**(7051), 686-688.
- Emanuela, K.A., 2006: Atlantic Hurricane Trends Linked to Climate Change, *Eos*, Vol. 87, No. 24, 233-244.
- Glavovic, B. C., Limburg, K., Liu, K. K., Emeis, K. C., Thomas, H., Kremer, H., ... & Swaney, D. P., 2015: Living on the Margin in the Anthropocene: engagement arenas for sustainability research and action at the ocean–land interface. *Current Opinion in Environmental Sustainability*.
- Gurung, G. B., and D. Bhandari, 2009: Integrated Approach to Climate Change Adaptation. *Journal of Forest and Livelihood*, **8** : 91 - 99.
- Gómez, F., and S. Souissi, 2008: The impact of the 2003 summer heat wave and the

2005 late cold wave on the phytoplankton in the north-eastern English Channel, *Comptes Rendus Biologies*, **331**(9), 678-685.

Horsburgh K.J., Wilson C., 2007: Tide-surge interaction and its role in the distribution of surge residuals in the North Sea , *Journal of Geophysical Research*, VOL. **112**, C08003, doi:10.1029/2006JC004033.

Inman, D.L. and Nordstrom, C.E., 1971: On the tectonic and morphological classification of coasts. *Jour. of Geology*, **79**: 1-21.

IPCC, WGI, 2001: Climate Change 2001-The Scientific Basis: Contribution of Working Group I, to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Edited by J.T. Houghton, Y.Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C. A. Johnson, 2001,Cambridge University Press, Cambridge,881pp

IPCC Climate Change, 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.

IPCC, 2013: Working Group I Contribution To the IPCC Fifth Assessment Report (AR5) Climate Change: The Physical Science Basis.

Jambeck, J.R., R. Geyer, C. Wilcox, T.R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan and K.L. Law, 2015: Plastic waste inputs from land into ocean, *Science*, Vol.**347**, Issue 6223, pp.768-771

Jan, S., Y. J. Yang, J. Wang, V. Mensah, T.-H. Kuo, M.-D. Chiou, C.-S. Chern, M.-H. Chang, and H. Chien, 2015: Large variability of the Kuroshio at 23.75°N east of Taiwan. *Journal of Geophysical Research – Oceans*, **120**, doi:10.1002/2014JC010614.

K Orviku, J Jaagus, A Kont, U Ratas, R Rivis, 2003: Increasing activity of coastal processes associated with climate change in Estonia. *Journal of*



*Coastal Research.*

- Kamphuis, J. William, 1991: Alongshore Sediment Transport Rate, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. **117**, No. 6, 624-640pp.
- Katz, R. W., and B. G. Brown, 1992: Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages, *Climatic Change*, **21**(3), 289-302.
- Kawai H., 2004: Development of storm surge model coupled with wave model and hindcasting of storm wave and surges caused by Typhoon 9918, Proceedings of The Fourteenth (2004) International Offshore and Polar Engineering Conference Toulon, 616-623pp.
- Kim, S. Y., T. Yasuda, and H. Mase, 2008: Numerical analysis of effects of tidal variations on storm surges and waves, *Applied Ocean Research*, **30**(4), 311-322.
- Klein, R., S. Huq, F. Denton, T. Downing, R. Richels, J. Robinson, and F. Toth. 2007: Interrelationships between adaptation and mitigation. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge.
- Kossin, J. P., K. R. Knapp, D. J. Vimont, R. J. Murnane, and B. A. Harper, 2007: A globally consistent reanalysis of hurricane variability and trends, *Geophys. Res. Lett.*, **34**(4), L04815.
- Kremer, H. H. et al., 2005: Land–Ocean Interactions in the Coastal Zone: Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report 51 / IHDP Report 18, IGBP Secretariat, Stockholm, Sweden.
- Liang-Saw Wen, Kuo-Tung Jiann, Kon-Kee Liu, 2008: Seasonal variation and flux of dissolved nutrients in the Danshuei Estuary, Taiwan: A hypoxic subtropical mountain river. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Elsevier, 694-704.
- Liu, K.-K., Kao S.-J., Wen, L.-S., Chen, K.-L., 2007a: Carbon and nitrogen isotopic compositions of particulate organic matter and biogeochemical processes in the eutrophic Danshuei Estuary in northern Taiwan. *Sci. of the Total Environment*,

382 (1), 103-120.

Liu, W.-C., Chang, S.-W., Jiann, K.-T., Wen, L.-S., Liu, K.-K.(2007b) Modelling diagnosis of heavy metal (copper) transport in an estuary. *Sci. of the Total Environment*, **388**, 234–249.

Liu, K. K., Yan, W., Lee, H. J., Chao, S. Y., Gong, G. C., & Yeh, T. Y., 2015: Impacts of increasing dissolved inorganic nitrogen discharged from Changjiang on primary production and seafloor oxygen demand in the East China Sea from 1970 to 2002. *Journal of Marine Systems*, **141**, 200-217.

LOICZ , 2005: Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Science Plan and Implementation Strategy ,24 pp.

McClean, R.F., and A. Tsyban, 2001: In Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability, IPCC Working Group II. Cambridge University Press, Cambridge, 345 - 379.

McEvoy, D., S. Lindley, and J. Handley, 2006: Adaptation and mitigation in urban areas : synergies and conflicts. *Municipal Engineer*, **159** : 185 - 191.

Milliman, J.D., and S.J. Kao. 2005: Hyperpycnal discharge of fluvial sediment to the ocean: Impact of Super-Typhoon Herb (1996) on Taiwanese Rivers. *Journal of Geology* **113**:503–506, <http://dx.doi.org/10.1086/431906>.

Milliman J.D., S.W. Lin, S.J. Kao, J.P. Liu, C.S. Liu, J.K. Chiu, and Y.C. Lin. 2007: Short-term changes in seafloor character due to flood-derived hyperpycnal discharge: Typhoon Mindulle, Taiwan, July 2004: *Geology* **35**(9):779–782, <http://dx.doi.org/10.1130/G23760A.1>.

Moon, I.-J., 2005: Impact of a coupled ocean wave–tide–circulation system on coastal modeling, *Ocean Modelling*, **8**(3), 203-236.

Mulder T, Syvitski JPM, Migeon S, Faugères JC, Savoye B, 2003: Marine hyperpycnal flows: initiation, behavior and related deposits. A review. *Mar Petrol Geol*, **20**:861–882

- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdés, L., De Young, C., Fonseca, L., Grimsditch, G. (Eds), 2009: Blue Carbon. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, <www.grida.no>.
- Oey, L.-Y, Chang, Y.-L., Lin, Y.-C., Chang, M.-C., Varlamov S. and Miyazawa, Y, 2013: Cross flows in the Taiwan Strait in winter. *Journal of Physical Oceanography* (Accepted).
- Ondrusek M. et al, 2012: The development of a new optical total suspended matter algorithm for the Chesapeake Bay, *Remote Sensing of Environment*, **119** (2012) 243–254pp.
- Parmesan and Yohe, 2003: A globally coherent fingerprint of climate, *Integrative, Nature* vol **421**.
- PATRICIA A. TESTER, SABRINA M. VARNAM, MARY E. CULVER, DAVID L. ESLINGER, RICHARD P. STUMPF, ROBERT N. SWIFT, JAMES K. YUNGEL, MEGAN D. BLACK, R. WAYNE LITAKER, 2003: Airborne Detection of Ecosystem Responses to an Extreme Event: Phytoplankton Displacement and Abundance after Hurricane Induced Flooding in the Pamlico-Albemarle Sound System, North Carolina, *Estuaries* Vol. 26, No. 5, 1353-1364pp.
- Reid, W. V., Chen, D., Goldfarb, L., Hackmann, H., Lee, Y. T., Mokhele, K., Ostrom, E., Raivio, K., Rockström, J., Schellnhuber, H. J., Whyte, A., 2010: Earth System Science for Global Sustainability: Grand Challenges. *Science*, **330**, 916-917.
- Richard A. Davis Jr., Miles O. Hayes, 1984: What is a wave-dominated coast? *Marine Geology*, Vol. **60**, p.313-329.
- Ringuet S, Mackenzie FT, 2005: Controls on nutrient and phytoplankton dynamics during normal flow and storm runoff conditions, southern Kaneohe Bay, Hawaii. *Estuaries* 28:327–337pp.
- RJ Hallermeier, 1981: A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal engineering*.

- Roy C., 2001: Extreme oceanographic events recorded in the Southern Benguela during the 1999–2000 summer season , *South African Journal of Science*, **97**, 465-471pp.
- Schlünzen, K.H., 2011: Joint Modelling of Obstacle Induced and Mesoscale Changes – Current Limits and Challenges, *Geophys. Res. Lett.* , vol.34 issue 4.
- Schiefer, E., 2006: Contemporary sedimentation rates and depositional structures in a montane lake basin southern Coast Mountains British Columbia Canada, *Earth Surface Processes and Landforms*, Volume **31**, Issue 10, 1311–1324pp.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. J., & Street, R., 1999: The science of adaptation: a framework for assessment. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, **4**(3-4), 199-213.
- Tai-Wen Hsu, Tsung-Yi Lin, I-Fan Tseng, 2007: Human impact on coastal erosion in Taiwan. *Journal of Coastal Research*, **234**, 961-973.
- Tester, P., S. Varnam, et al., 2003: Airborne detection of ecosystem responses to an extreme event: Phytoplankton displacement and abundance after hurricane induced flooding in the Pamlico-Albemarle Sound system, North Carolina. *Estuaries and Coasts* **26**(5): 1353-1364.
- Thames Estuary 2100 Environment Agency, Thames Estuary 2100: Managing flood risk through London and the Thames Estuary (2009).
- Traykovski, P., Geyer, W. R., Irish, J. D., & Lynch, J. F., 2000: The role of wave-induced density-driven fluid mud flows for cross-shelf transport on the Eel River continental shelf. *Continental Shelf Research*, **20**(16), 2113-2140.
- UNDP (United Nations Development Programme), 2004: Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures, Cambridge University Press.
- UNEP, 2006: Assessing Coastal Vulnerability: Developing a Global Index for Measuring Risk, 54pp.

- UNEP, 2011: Marine and Coastal Strategy. UNESCO, Paris.
- Valentine, H., 1952: Die Kusten der Erde, Petermanns Geographische Mitteilungen, 246 p.
- Warner, K., K. van der Geest, S. Kreft, S. Huq, K. Kusters, and A. de Sherbinin, 2012: Evidence from the Frontlines of Climate Change: Loss and Damage to Communities Despite Coping and Adaptation. Loss and Damage in Vulnerable Countries Initiative, Policy Report, Report No. 9. United Nations University Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), Bonn.
- Webster et al., 2005: Changes in Tropical Cyclone Number Duration and Intensity in a Warming Environment, *Science*, **309**, 1844-1846.
- Wei, C. et al., 2011: Removal fluxes of Mn and Fe from the nearshore waters along the west coast of Taiwan. *Marine Pollution Bulletin* **62**, 1081–1087.
- Wen, L.-S., Jiann, K.-T., Liu, K.-K., 2008: Seasonal variation and flux of dissolved nutrients in the Danshuei Estuary, Taiwan: A hypoxic subtropical mountainous river. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **78** (4), 694-704.
- Wen-Zhou Zhang, 2010: Tide - surge Interaction Intensified by the Taiwan Strait, *Journal of Geophysical Research*, VOL. **115**, C06012, doi: 10.1029/2009JC005762, 2010.
- Wolf, J., 2008: Coupled wave and surge modelling and implications for coastal flooding, *Adv. Geosci.*, 17.
- Xie L., 2008: The effect of wave–current interactions on the storm surge and inundation in Charleston Harbor during Hurricane Hugo 1989, *Ocean Modelling*, vol. **20**, 252-269pp.
- Zhan, J.G., Y. Wang, and Y.S. Cheng, 2009: The analysis of China sea level change, *Chinese Journal of Geophysics*, **52**(7), 1725-1733.
- Zhang, Wen-Zhou, 2010: Tide-surge Interaction Intensified by the Taiwan Strait, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 2010 · **115** : C06012.

Zheng, G. M. and D. Tang, 2007: "Offshore and nearshore chlorophyll increases induced by typhoon winds and subsequent terrestrial rainwater runoff." *Marine Ecology Progress Series* **333**: 61-74.

Zhu, X., Linham, M.M., Nicholls, R.J., 2010: Technologies for Climate Change Adaptation—Coastal Erosion and Flooding, TNA Guidebook Series, UNEP.



## 第十一章 調適治理

本章召集人：劉振榮

李河清、林子平、張瓊文、劉小蘭、范建得、李育明、蕭代基、盧沛文、黃瑜惠、梁蜀昀

### 摘要

氣候變遷是一個多面向的複雜議題，減緩、衝擊與調適，已經從科學研究文章的關鍵詞融入政府決策與實際生活影響層面，故本章節綜整全冊研究精華，以科學研究報告作為出發點，將氣候變遷調適落實於政策推動與治理。本章節共分為兩大部分：第一部分摘述氣候變遷在災害、生態、水資源、糧食生產與安全、人類健康、社會經濟與空間發展等議題上的衝擊與可能的調適作為。其二則聚焦於台灣地區的調適發展，包含現況、政策與發展建議，最後以推動願景作結。

**關鍵字：**氣候變遷，調適政策，治理

### 11.1 台灣：調適治理架構與推動現況

氣候變遷的威脅急速地節節升高，人類社會該如何因應氣候變遷所帶來的大規模與高度不確定性巨災衝擊，整個社會系統又應如何調節？本章節將就台灣的調適治理概況進行說明討論。

#### 11.1.1 調適領域與權責規劃

台灣目前氣候變遷調適由行政院國家發展委員會（其前身為經濟建設委員會）負責，而中央層級的調適行動計畫由各權責部會自行根據政策綱領推動相關計畫。本節回顧決策支援工具之相關計畫，資料庫之匯併、監測系統之建置與維護等。以防災為例，包括國土監測資源與災害預警資訊系統之整合、災害性天氣監測與預報作業建置、災害預警和決策支援、全流域防災應變資訊平台暨全球化推廣等。

圖 11.1 為氣候變遷調適政策綱領中所呈現的台灣氣候變遷調適工作架構以及各部會、產學等團隊代表的關聯架構圖，包括各部會在災害、維生基礎設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性、健康等八大面向之分工。而在氣候變遷調適工作推動方面，亦有產業界與非營利組織等之參與。

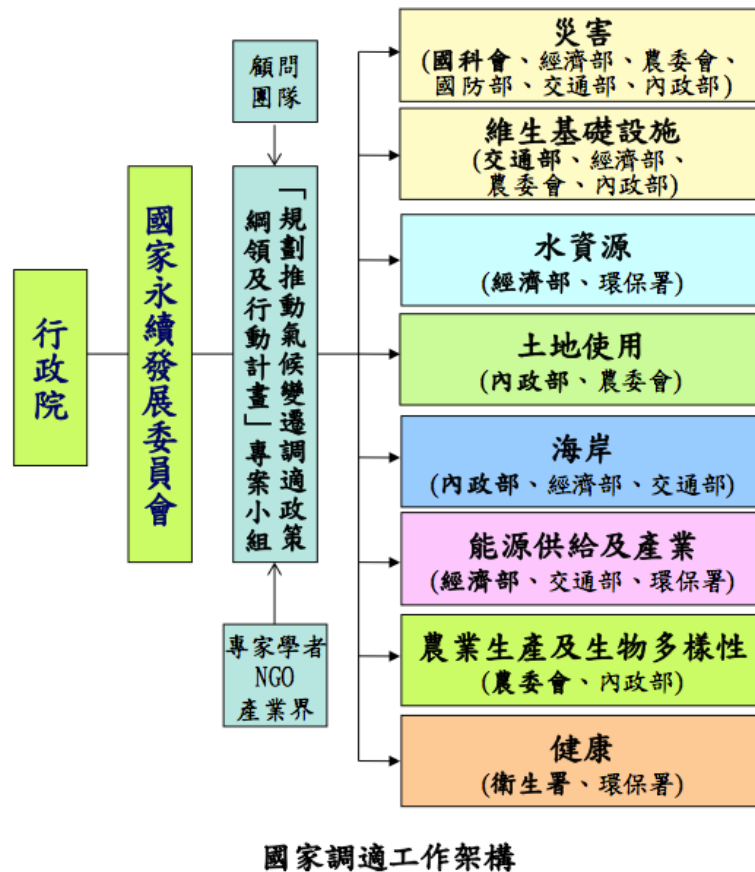


圖 11.1 國家調適工作架構 (經建會 2012)

針對災害部分：參考科技部災害領域行動方案(2014)，台灣的災害類型主要為洪災、坡地災害、及海岸災害。對應 IPCC 所提出在溫度、水循環、海洋、冰雪圈、海平面、碳及其他地生化循環、氣候穩定性及氣候變遷持續性與不可逆性的挑戰，高度變異性與不確定性將增加災害可能發生之頻率，須持續關注與監測。

維生系統基礎設施部分：交通部維生基礎設施領域行動方案(2014)指出，維生系統基礎設施包含能源供給系統 (包含供油系統、供電系統、供氣(瓦斯))、供水及水利系統 (輸水、儲水、河海水工及農田水利)、交通系統 (陸運、海運、空運基礎設施) 與通訊系統 (無線通訊、有線通訊) 等。應確保維生基礎設施穩定

發展，減少其受氣候及不可預期之變性的影響。

土地使用部分：依據內政部土地使用領域行動方案 (2014)，台灣各地的土地使用規範應提出改善方針，面對不同的土地型態 (坡地、林地、農業發展地區、都市發展地區、沿海地區) 分析其暴露、敏感度與適應力。

水資源部分：參考經濟部水資源領域行動方案 (2014)，應加強對目前台灣水資源供需現況的分析，以發展水資源面對氣候變遷的調適計畫，在考量氣候變異 (如溫度上升，不降雨日數增加，降雨強度增強，海平面上升等) 課題的條件下，針對水資源開法與保育 (地表水與地下水)、水資源供給 (水庫、河川、淨水、輸水、地下水)、水資源需求 (農業用水、生活用水、工業用水) 等議題進行檢討與發展規劃。

健康領域部分：衛生福利部 (健康領域行動方案 2014) 指出，溫度將會對心血管疾病、呼吸道疾病造成影響，嚴重導致死亡、登革熱、恙蟲病、日本腦炎、腸病毒重症、桿菌性痢疾等也會因前幾周高溫，發生風險增加，而暖化也將造成食物易腐壞，食物中毒或營養不良，氣候變化大也將使人心理或情緒發生變化，食慾不振，形成無形的壓力，造成身體的負擔，隨之影響生活。氣候變遷所帶來雨量的變化，除了直接性的造成生命危害，還有間接性的身體傷害與中毒。據統計，暴雨後增加蜂窩性組織炎的病患可能呈倍數增加，水質不淨將造成皮膚感染或飲水相關之慢性中毒，而日極端雨量 (日降雨大於 200mm) 則會使得蟲媒傳染性疾病發生率提升 2~10 倍。

海岸部分：內政部海岸領域行動方案 (2014) 指出，海平面上升、颱風暴潮、極端降雨事件、海水暖化、海岸地區不當利用與人工化，都會影響台灣的海岸安全，並造成生態物種的變化。該報告書內提出台灣海岸地區之濱海陸地與近海沿岸的範圍，並指出此區域的法規與管理法，以提出對策及規範。聯合國環境計畫署亦針對海岸脆弱度指標考量，人口密度、天然災害發生率、森林覆蓋率、地理暴露量、人類發展指標來計算海岸地區的天然災害發生率，其研究成果也可工作參考與政策擬定之依據。

能源供給及產業領域部分：參考經濟部能源供給及產業領域行動方案 (2014)，此類議題包括電力供給、油氣供給，與使用能源密集的產業，如化學材料製造業、紙漿及紙與紙製品、非金屬礦物製造業、基本金屬工業等。目前台灣主要的發電方式以核能與火力發電為主，風力，水力，太陽能發電為輔，均會因

氣候變異而造成影響。核能及火力發電除了安全與碳排放的疑慮之外，由於目前主要機具大多設置在海岸地區，淹水、坡地災害或是土石流都將會對發電造成直接影響。風力發電雖節能，卻易受到風速變化的影響而造成供電能力下降，例如，風速達 17 級時，機組將損壞（但發生機率極低，僅在 20 世紀初期發生）。水力發電主要集中於山區，易受降雨集中化、泥沙淤積，土石流災害等變異影響，無法穩定供應。太陽能發電部分，由於此發電方式深受氣候與雲量的影響，過度的高溫會降低其輸出量、強風則會增加電板磨損、或增加沙的堆積，降低輸出量，雲量則直接影響其接收與轉換效能。

能源產業方面，受氣候變遷影響的產業極廣，包含商業、觀光業、金融業、中小企業、製造業...等，自原料供應到製作、銷售、運送等。原料供應業（如農漁牧林業），會因氣候變遷造成產量不足，或提早收程等，進而影響原料價格，造成物品的成本增加。同時，氣候狀況不良也會對運輸業造成衝擊。台灣為海島國家，許多物品需仰賴進口，而國內產物將深受氣候影響，產業及物價勢必接受更加嚴峻的挑戰。

農業生產與生物多樣性部分：行政院農業委員會農業生產與生物多樣性領域行動方案（2014）指出，氣候變異對農業生產及生態的影響急劇，例如，溫度上升會導致雜草的茂盛，以及蟲害的繁殖，部分農作物會因為氣溫的變化，導致產量的減少或過量，並直接影響作物的成本與銷售量。蔬果類更面臨需要遷移栽種地點的挑戰與病蟲害、花卉面對溫室的控溫，因受到外界氣候的影響，進而提高能源及資本的消耗，蔬果花卉的保存在面對高溫，保存不易，增加運輸及儲物之成本。降雨的雨量、強度、酸度的部分也會影響作物的生產，灌溉用水、作物因降雨腐爛、爛根或阻礙生長，CO<sub>2</sub>濃度的變化，將提高植物光和作用的運行，對於根莖類作物的生長有利，但因為生長有利，植物體的體積變大，所需要的肥料也隨之增加，更增加作物對於病蟲害的敏感度。總括而言，在氣候變遷的壓力下，應加強預警系統並研擬調適策略，關鍵作物（或特定物種）應加強對策思考，以減少風險極可能的災害。例如，盡可能減少仰賴進口，增加糧食自主率，降低全球變異對台灣可能的衝擊。

由於現有法令並未硬性規範氣候變遷調適標準，調適行動主要透過社區規劃、永續論壇等方式進行公眾教育與輔導，相較於國際趨勢，顯得較得消極。建議從各項計劃中獲得資訊後，建立大方向的法令，再逐一增加其條例和規範，以面對氣候變遷時，不至於有太大的衝擊與反彈。此外，政府應在面對資方和環境永續

中取得平衡，以環境的永續與國家長遠發展為前提，勿把經濟作為國家發展的唯一考量。倘若耗盡了國土的可利用性和居住適宜性，對於國家發展將過於短視近利。

### 11.1.2 調適政策

我國中央與地方現正執行的氣候變遷調適治理行動與計畫進行探討與彙整，包括 101 年 6 月 25 日經行政院核定通過的「國家氣候變遷調適政策綱領」，其係中央針對八大部會進行國家調適行動的規劃；103 年 5 月 22 日經行政院核定通過「國家氣候變遷調適行動計畫 102-106 年」。另為使氣候變遷調適作為擴及地方並促進全民參與，行政院經建會亦於 101 年 12 月完成訂定「地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引」。

「國家氣候變遷調適政策綱領」主要是規劃程序，說明規劃原則，作為中央與部會擬定氣候變遷調適政策綱領之依據。其次為訂定國家氣候變遷調適政策願景、政策原則、政策目標及各領域調適策略，提供各領域主辦與協辦機關擬定各領域氣候變遷調適行動方案使用。調適行動共分為政策綱領、行動方案與行動計畫三個層級，政策綱領由經建會召集各部會副首長及學者專家共同研擬，其為整體的調適政策與各領域調適策略，包含政策願景、政策原則、政策目標、以及領域策略；行動方案是由跨部會整合的八個調適領域工作分組負責，包含策略目標與措施；而行動計畫亦由此八個調適領域工作分組負責，其為年度的與個別的調適計畫。

氣候變遷調適政策綱領中分就洪災、土石流、旱災等各類災害，指出氣候變遷將造成極端降雨強度增加提高淹水風險、侵台颱風頻率增加提高二次災害風險與復原難度、水庫淤砂量增加，影響水庫正常運轉等現象，據此研擬推動高災害風險區與潛在危險地區的劃設、檢視、評估現有重大公共工程設施之脆弱度與防護能力、研究透過保險機制強化災害預防及救助等調適策略。

此外，中央層級的調適行動計畫由各權責部會自行根據政策綱領推動相關計畫。在防災領域 2011 年即有 50 個相關計畫。以符合第二項調適政策 - 強化氣候變遷衝擊之因應能力，加速國土監測資源與災害預警資訊系統之整合 - 為例，科技部（原國科會）便由國家災害防救科技中心執行「國土資訊系統災害防救應用推廣服務」；經濟部地調所執行「強化坡地環境地質與防災應用」；交通部氣象局



執行「災害性天氣監測與預報作業建置計畫」；交通部公路總局公路執行「災情彙整及 GIS 決策支援應變實務操作」；經濟部水利署執行「研發洪水預警、淹水預警、災害決策支援、旱災應變技術」；農委會水保局執行「全流域防災應變資訊平台暨全球化推廣計畫」。

國發會（原經建會）於 2013 年出版「地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引」，介紹氣候變遷之國際趨勢與國家政策方向、調適規劃作業程序、推動組織架構、推動方式，希望使負責辦理調適規劃業務的地方政府、專業規劃團隊等對於台灣在進行氣候變遷調適規劃時能有參考依據。該作業指引強調，其所提出之合作模式是針對經建會補助地方政府研擬地方氣候變遷調適計畫，對於暫未參與之縣市，此模式亦可作為未來開始推動調適計畫之參考。更重要是，地方政府必須理解到氣候變遷調適計畫之規劃，其實是地方政府為推動永續發展所必然需要擔負之任務，因此，未來如何持續推動地方氣候變遷調適計畫之建立與落實，更是地方政府必須仔細思考、從長計議之課題。目前地方政府之地方氣候變遷調適計畫執行概況如表 11.1 所示。

表 11.1 地方政府氣候變遷調適計畫執行概況（至民國 104 年 12 月）

地方政府	執行狀況 / 時間 (民國-年)	地方政府	執行狀況 / 時間 (民國-年)
基隆市	執行中 · 102.3 補助	嘉義縣	執行中 · 102.3 補助
台北市	執行中 · 101 補助	嘉義市	執行中 · 102.3 補助
新北市	執行中 · 101.8 核准	台南市	執行中 · 102.7 核准
桃園縣	執行中 · 102.3 補助	高雄市	執行中 · 102.7 核准
新竹縣	執行中 · 102.3 補助	屏東縣	執行中 · 101 補助
新竹市	執行中 · 102.3 補助	宜蘭縣	執行中 · 102.3 補助
苗栗縣	執行中 · 102.3 補助	花蓮縣	執行中 · 104.3 補助
台中市	執行中 · 101.8 補助	台東縣	執行中 · 102.7 核准
彰化縣	執行中 · 102.3 補助	澎湖縣	執行中 · 102.9 核准
南投縣	執行中 · 102.3 補助	金門縣	執行中 · 102.8 核准
雲林縣	執行中 · 102.3 補助	連江縣	尚未提出計畫



資訊平台方面，行政院環保署設立氣候變遷調適資訊平台，提供氣候變遷相關資訊與模擬，以及國際相關組織活動與案例等資料瀏覽。國發會亦委託國立台北大學辦理，並由台灣環境資訊協會協助「共築方舟 - 氣候變遷調適入口網」之維運，提供調適相關法令、科普資訊，以及國內外相關新聞等。而科技部「氣候變遷調適科技知識平台」亦提供氣候變遷及調適相關科學研究，政策導讀與計畫結果呈現。

台灣在推動減緩上的努力也值得一提。我國在 2006 年完成「溫室氣體減量法(草案)」，當中第七條即提及氣候變遷調適之規定的重要性。在減緩溫室氣體排放量方面，我國累積不少跨國比較研究。美國制度在實證上獲得極佳的遵守效果，亦使其國內各界獲得寶貴的排放權交易經驗，並緩和溫室氣體減量對產業所造成的衝擊，惟英國氣候變遷政策並不具強制性，導致產業選擇性加入排放權交易制度而造成漏洞；歐盟制度內容如適用範圍、排放權分配方式、遵守之確認等，對我國日後檢討與建置排放權交易制度有相當啟示作用；至於日本自主參加型國內排放權交易制度則彰顯自願性排放權交易制度之困境與得失。

有鑒於製造業為溫室氣體排放量的大宗，對於環境變遷的調適政策若能從製造業著手，將有助於各國執行其氣候調適政策，有效減緩碳排放量。製造業調適議題之探討及規劃工作中，因有涵蓋面向廣泛、涉及單位多、推動工作多元等特色。研究指出：大部分國家未將製造業列為調適優先領域；製造業部門之調適推動工作，應著重於掌握商機及提供業者評估工具；評估工具應包含資產、製程、人員、物流、市場、及財務各面向的威脅與商機。

### 11.1.3 調適科學研究發展

國家級調適科學研究主要由行政院科技部及環境保護署推動。科技部目前推動的調適研究計劃包含「氣候變遷研究聯盟 (CCliCS)」，「台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫 (TCCIP)」及「氣候變遷調適科技整合研究計畫 (TaiCCAT)」。CCliCS 以累積氣候模式建構與模擬能量為主，TCCIP 則負責提供政府、學界氣候變遷推估資料及科學資訊服務，TaiCCAT 則負責調適科學的跨領域整合性探討。三者形成緊密的相互支援連結，透過有系統的科研方法，逐步推動氣候調適科技。行政院環境保護署透過委託「氣候變遷調適行動方案及國家調適策略專案計畫」之執行 (2013-2014)，持續強化氣候變遷之調適治理能力建構。此計畫亦

編撰「氣候變遷調適教育手冊<sup>1</sup>」。該手冊先行介紹氣候變遷成因，並闡釋調適與減緩的差異，透過模擬未來氣候趨勢與氣候變遷衝擊，協助讀者了解如何面對氣候變遷；最後介紹調適方法與案例，以充實讀者對於氣候變遷調適之基礎知識與推行能力。2014 年之計畫主軸之一則擬以環境資源部角度，研議氣候變遷調適之工作評估方法與計畫管理機制。

在氣候變遷調適教育推動方面，國發會透過規劃執行「國家氣候變遷調適行動計畫」之「強化氣候變遷調適公眾參與及能力建構」項目，整合、協調教育部與環保署以推動全民氣候變遷調適教育計畫。教育部主要以教育體系為推廣對象，透過編撰教材與培訓種子師資，以執行「氣候變遷種子師資培訓計畫」與「大專校院氣候變遷調適通識教育暨學程課程教材與學習平台 (<http://140.134.48.19/>)」等計畫項目，期能達成：規劃高等教育於氣候變遷調適議題未來之教學方針、提供相關之教學資源、教師庫等、傳播想法，落實相關課程設計之永續發展等任務。透過知識的深化、態度的建立與技能的熟悉，民眾對於氣候變遷有更深刻的理解，並且在受到培力之後，能夠參與，甚至主導氣候變遷的減緩、調適等各種作法。為培養公民領袖，並且讓學生願意針對迫切的問題來運用他們的知識，並主動發現各地的需求。

大專院校推動調適科學教育方面，教育部於民國 105 年藉由氣候變遷調適教育教學聯盟計畫成立八大專業領域之教學聯盟，藉以培養氣候變遷調適教育之專業高級人力以支援學校教師推動相關教學課程。聯盟以傳承經驗、共享資源為宗旨，以水資源領域為先驅，後續整合分為北區與南區進行。北區計畫聯盟推動水資源及災害、能源供給及產業、農業生產、生物多樣性領域；南區計畫聯盟推動土地使用、維生基礎設施-交通系統、海岸與健康領域。透過分區、分領域的平行推動與整合，期盼能促進氣候變遷教學資源共享與合作，已達氣候變遷調適深植於我國教育體系中的目標。

### 11.2 調適策略發展建議

調適的發展奠基於知識，科技與政策。綜觀台灣在各領域調適議題的討論，我們認為以下五個課題至關重要：

---

<sup>1</sup> 可參考 <http://water.sinotech-eng.com/dispPageBox/CCS/book/index.html>

### 11.2.1 關鍵課題一：強化公私部門的參與

氣候變遷的風險來自於脆弱性和暴露與各種可能觸發氣候事件，同時也涉及人為對風險的認知和願意採取行動防範程度。氣候變遷的衝擊可能產生對不同部門 (sectors) 的危害，如淡水資源、陸地和淡水生態系、海岸及低窪地區、海洋、糧食安全和糧食生產，以及都會和鄉村區，乃至於人類健康和 safety 等範疇。簡而言之，氣候變遷的調適工作，並不僅僅是一項複雜跨部門多層級議題而且，全世界各國政府、工商界和社區，都在不斷的積累調適方面的經驗，面對氣候變遷所帶來的風險及衝擊以及如何提高韌性 (Resilience) 的種種任務，由國家獨攬公共任務之履行已力有未逮，需要公私部門的共同投入。

公私部門共同參與計畫，很大原因來自政府失靈 (government failure)。肇因多種，學者歸類出幾點：第一個原因是因為直接民主，產生投票弔詭、偏好強度與集體性、權力制衡的種種影響，造成最多人決定卻不一定是最好的結果。第二個為代議政府效率低落。由選民選出代議政府制度，造成競租行為、議員的區域代表性、選舉循環等現象，造成議事效率實際上運行低落。第三個官僚供給彈性不足的問題。例如服務產出難以評量、官僚體系只能作有限競爭、永業性文官制造成僵化。第四個為政府機關分權化的問題，由於中央和地方政府各有其特定權限，因此容易產生執行問題，像是中央的政策目標，地方在執行時會另有實行方式和機制，所以不易達成中央政府的政策目標。還有財政的外部性，意即不同的地方政府間提供不同服務，民眾會傾向選擇服務較佳、義務負擔也相對少的地方政府。

理論上，公部門可透過與各種非營利組織、民間社會團體合作之方式，將部分公共任務委由私部門履行，建立公私協力關係，期待提供人民更完善的服務。面對民間單位藉由方案競標而與政府建立的契約關係，讓非營利組織與政府的互動形成許多不同的模式，透過政府與非營利組織之間關係的探究，以進一步瞭解兩者的互動關係及定位。然而，依市場邏輯所採民營化模式，雖能讓民間團體能做更有效率的執行方式，但部分目標之達成仍仰賴高度的公權力，執行年限較長，短期間內不易看出成效，且內容複雜度也相對性高，無法全權由政府或民間團體單獨執行，以求取效率和公平間平衡，此時就必須仰賴公私協力模式，我們認為對抗氣候變遷的衝擊就屬於這類。

學者認為，廣義的公私協力是一種公部門與私部門為實現公共任務而採取的一種合作夥伴關係，它可以涵蓋純粹以高權形式實現公共任務以及公共任務的完全民營化兩種極端光譜間的所有其他行政行為型態。至於所謂的公私協力關係，至少必須有以下特性：一、公私部門間藉由彼此的特性來活用現有的資源以進行相互合作。二、公私部門間是採取「自立對等」的立場與態度，雙方的互動應是屬於水平的關係。三、協力關係是為了達成共同的目的，而此目的應具備「公共性」。四、合作的過程是希望能夠達到「雙乘效果」，以提升公共服務的品質或改善行政效率，甚至創造區域性的新網絡。五、雖協力關係是以「信任」為基礎，然仍有必要以「契約」的訂定作為彼此權責劃分的依據。

就法制面而言，我國環境基本法第 2 條，明訂「永續發展係指做到滿足當代要求，同時不損及後代滿足其需要之發展」並分別規定執行之要求，一是公私協力、夥伴關係執行（第 4 條）；二是倡導聯盟，共同倡導永續發展之理念（第 9 條）；三是制度發展（第 7 條）。以制度發展整合公私夥伴與倡導聯盟，加上資訊的透明化，才能倡導，才能公私夥伴協力並且以制度加以規範。永續發展政策的有效執行在強化環境污染資訊之易見性，增訂詳細法規，讓污染者無以逃避全民的監視。

### 11.2.2 關鍵課題二：重視都市尺度的調適規劃

城市可以是回應氣候變遷影響的重要單元。都會具有個別都市規劃、公部門設施規劃權限，又作為政府接觸民眾的第一線，從而能夠彈性的因應問題。氣候變遷的地方環境行動國際理事會（ICLEI），是全球最大的城市聯盟，從 2006 年有六百多個城市參與，到現在已經有一千兩百多城市加入。可見城市層級的參與重要性與日俱漸增。此外，面對氣候變遷的政策方面，地方自治團體之課稅立法權，往往受限於地方稅法通則的諸多限制，其中以地方碳稅為最顯著的實例，2011 年高雄市政府乃提出「事業氣候變遷調適費」之開徵，引發諸多討論與質疑，即為一例。

有鑒於未來可能發生的氣候變化，一般民眾或政府都需具備足夠的調適，評估與回應的能力。臺灣屬島嶼生態系，容易受到擾動，生態上極為脆弱，在國土保育上，比大陸型的相似區域困難許多。況且生態環境、生物多樣性和自然資源，一旦遭受破壞就很難復原，在全球氣候變遷的壓力下，受到的衝擊會更為顯著，能採取的因應對策也更為艱鉅，因此事先防患於未然顯得格外重要。

然而，由於氣候變遷的衝擊面向甚廣，在有限期間內，有必要篩選較為重要、或具急迫性的調適策略，作為逐年分項評估的重點。2006 年荷蘭「國家氣候變遷空間調適計畫 (Nationaal Programma Adaptatie, Ruimte en Klimaat，簡稱 ARK，英譯為 National Program for Spatial Adaptation and Climate Change)」，採用多準則分析法 (Multi-Criteria Analysis，簡稱 MCA)，以及應用層級分析法，來決定調適領域的相對重要性評比及調適策略的優先性排序，以便能在眾多的調適策略中選出較具優先性的策略，作為政府因應氣候變遷擬定調適政策及執行調適行動計畫優先順序的參考，也許可以作為台灣在政策評估上的參考與借鏡。

### 11.2.3 關鍵課題三：深耕並深化調適科學研究

調適科學研究目的在產出調適科技，以強化自然或人類系統因應氣候變遷衝擊產生之脆弱度與回復力。在應用上，調適科技可分為「硬性科技 (如資本財貨與硬體)」，以及「軟性科技 (如能使硬性科技被應用之方法與科技之知識)」，2011 年 UNEP 發表的報告，在硬軟性調適科技之外，提出了「組織調適科技」，意指支援硬體與軟體之施行所需的制度建立與制度協調機制，並著眼於實踐層次的運用。

調適科技在整個調適行動的位階與扮演的角色，會因不同的調適治理規劃而有所異。前述建立於三種科技類型的「調適科技」，實已含括調適行動與調適治理中大部份規劃、執行與監督的項目，而可作為調適行動的上位架構，目的在協助提供研究支援，透過科技運用可使氣候回復力的機會增加與風險管理成本降低，其將持續擴張調適的可能性範圍。

科技的選擇可能帶來降低風險也可能造成加重風險的結果，在運用調適科技於調適規劃與實行時，應需考量科技所造成的潛在影響。舉例來說，科技可加強橋梁和建築物等基本設施的耐受度，使它們能承受更多極端氣候事件導致的危害；然而，高科技系統在平時可能增加調適的效率，卻可能在系統遭破壞的緊急情況下，面臨一連串系統故障、失能的風險。有時候，降低短期風險與脆弱度的科技卻會導致未來環境脆弱度的增加，而釀成更大的災禍。2008 年在美國紐奧良釀成巨災的卡翠娜颶風可為一例，因當地的洪水防禦系統的喪失功能致使洪泛區內的建築物受到極大的損害。

政策支援上，調適科技的發展並非一個全新的領域。例如，荷蘭從過往「與



水爭地、與海爭地」的觀念，發展至今日「與水共生、還地於河」的概念，透過政策支援，如土地使用管制，將房屋地基拉高以適應未來海平面上升之情形；或給予河岸邊農民補償，使其遷移農地至內陸地區，將河岸周遭土地還地於河，於河水氾濫時給予空間與滯留時間，減少衝擊傷害；抑或發展河上屋，房屋座落於水上，隨河水平面上升或下降。在德國，政府則規定新建築物之牆壁填充物應由傳統填料改變為新型科技填料並加增隔熱層以增加冷氣效應，且鼓勵屋頂採明亮顏色用以反射部分太陽光，減少太陽光落地等。

雖一般認為台灣在調適科技方面發展腳步較慢，但近年來亦漸見成效，下表即是依據我國行政院經建會所制定的八大調適領域，彙整國內已應用於調適行動的科技，或已開發的調適技術。由於本文著重於調適科技，因此減緩相關技術如減少碳排放或碳捕捉技術等未列於其中（見表 11.2）。

表 11.2 台灣氣候變遷調適科技彙整

調適類別	科技名稱與說明
災害調適 與防治	國家災害防救中心 (國家發展委員會，現為科技部)
	土石流防災資訊網 (行政院農委會—水土保持局)
	劇烈天氣監測系統：雨量、雷擊等資訊 (交通部中央氣象局)
	大氣腐蝕環境分類資訊系統 (交通部運研所港灣技術研究中心)
	水土防災預警警報系統：整合地理空間資訊、現地量測數據與計算模式技術，提供資訊查詢、擷取、監測、即時預測模擬、數據統計、異常警示與報表輸出功能，使應用於颱風期間，進行水土整合防災應變工作，以掌握即時現況與後續變化情形，以便及早進行緊急應變措施。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)
	三維影像偵測、編修及重建山崩地形技術：可以展延興趣點至鄰近山崩界限，地形重建可憑目標外圍緩衝區資料重建山崩前地形、推估該山崩流失土石體積；全部技術構成一個自動偵測、人工檢驗、電腦輔助重建的自動化山崩判釋系統。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)



調適類別	科技名稱與說明
維生基礎設施	交通部公路總局安全台灣平台 (交通部公路總局)
	綠建材技術：應用無機聚合、改質混練、抄造澆鑄、高壓模塑...等多種技術，可以將各種生態、有機、陶瓷...原料，加工製成節能、防火等高性能綠建材，而透過功能性粒子植入技術，可進一步製作機能性健康綠建材。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)
	多層過濾水質淨化裝置：一種多層過濾水質淨化裝置，係以砂濾層、光觸媒陶瓷濾材層、燈管層及活性炭層結合形成的多層柱狀體，使水污染物可達到水質淨化之效果。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)
	廢棄物資源化建築骨材產品開發：利用河川淤泥、燃煤飛灰、石材污泥等廢棄物，經添加劑及混合、造粒、燒成可以製得比重 < 1 的發泡型輕質骨材。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)
	深層海水製成的飲用水配方調控技術：針對深層海水製成的飲用水進行礦物質調配試驗，以建立的最適當製水組合條件及操作參數，調配硬度、口感及水溶性礦物質最佳比例。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)
	雨水貯留供水系統可行性評估系統：本技術主要為整合雨水貯留供水系統之相關設計技術，提供建築師或水電技師作為雨水利用規劃與設計之雨水處理設備輔助設計參考工具。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)
	有機廢棄物資源化技術：有機廢棄物資源化主要技術在於原料調理、填充材選擇及通風率設計、設備選用及適當操作技術。經由良好規劃設計，達到有機廢棄物減量及資源再應用目的。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)
	調濕型生態建材技術：本技術係一種具有吸放濕特性之竹絲/竹纖維板材，可製備具天然紋路及捲曲度之生態材料，常溫下與膠結劑、水及添加劑(如：蛭石、爐渣等)混拌均勻，置入模具壓製成型，完成抗菌節能型且具調濕能力之建築材料。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)
	生態智慧建材及高經濟特用作物設施農業應用技術開發：環保綠建材量產與萃取技術創新高值化應用。(工業技術研究院-南分院-綠能生態中心)

調適類別	科技名稱與說明
水資源	<p>經濟部水利署氣候變遷水環境知識庫 (經濟部-水利署)</p>
	<p>水資源科技發展計畫</p> <p>1.水再生利用風險管理技術研發計畫 2.水旱災減災及預警策進科技之研究 3.產業用水合理性推估及管理研究計畫 4.水文觀測技術提昇與發展計畫 5.氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究計畫 6.都會區防洪科技 7.給水風險管理與減漏節水技術育成</p> <p>(經濟部-水利署)</p>
	<p>雨水利用技術</p> <p>雨水貯留利用系統快速設計試算軟體</p> <p>深層海水水質調控技術</p> <p>水體自發電電解還原模組</p> <p>水中高濃度複雜性奈米顆粒去除技術</p> <p>Fenton 家族廢水高級氧化處理技術</p> <p>批式活性污泥法廢水處理技術</p> <p>UASB 廢水處理技術</p> <p>生物網膜 (BioNET) 水 / 廢水處理技術</p> <p>(工業技術研究所-綠能與環境研究所)</p>
	<p>現地生物復育技術處理受污染之地下水：發展利用地下水中原有的微生物，供給適當的營養源以提高地下水中的微生物數量，使其得以顯著地分解受有機物污染之地下水。目前完成部份實驗室工作。</p> <p>針對受石油類污染之地下水，已進行到現場的小規模實驗，利用現地地下水層中的微生物菌群，以工程的方式供給好氧生化反應所欠缺的溶氧，或是營養源，以促進地下水中微生物的生成，進而促進生物分解的速率。此技術除生物分解外，同時系統中也包含了地下水曝氣，及土壤氣提技術，目前此模廠實驗仍在現地操作中。</p>

調適類別	科技名稱與說明	
	(工業技術研究所-綠能與環境研究所)	
土地使用	集水區地形及地質資料庫 (經濟部中央地質調查所)	
	地層位態評估技術：地層位態評估技術係透過孔內的電阻量測設施搭配陀螺儀定位系統，達到分析地下地層及裂隙位態評估的目的。可用於有危害性場址調查評估、地下水量評估、公路隧道評估等方面。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)	
	濕地明智利用，濕地經營，結合科學及土地管理 (內政部-營建署)	
海岸	<p>海域能源開發利用技術 - 海洋科技研究：著重於潮汐能源、海流發電、波浪能源、海洋溫差能源各種分析技術，包括海洋能源之現況分析、技術發展分析、蘊藏量及分佈評估、開發潛能初步分析等相關分析評估技術及天然氣水合物之研究。</p> <p>多目標海域空間利用與系統化優選技術</p> <p>海域調查及資料處理分析評估技術</p> <p>(工業技術研究院-綠能與環境研究所)</p>	
能源供給及產業	氣候變遷調適資訊與管理平台 (經濟部能源局)	
	太陽能發電相關技術	<p>利用光觸媒反應進行水分解產氫：利用太陽能獲得氫氣，以進行氫能發電運用。</p> <p>太陽光電發電系統設計與設置技術</p> <p>太陽能模組之支架結構</p> <p>矽薄膜太陽電池用之透明導電玻璃製作技術</p> <p>應用太陽能充電與晝光量測技術之無線傳輸模組</p> <p>太陽能集熱板濺鍍技術之連續式製程建置</p> <p>市電併聯儲能調節型太陽光電電力調節器</p>

調適類別	科技名稱與說明	
		<p>單相 5kW 太陽光電電力調節器設計</p> <p>太陽電池模擬技術</p> <p>矽晶太陽電池表面鈍化技術</p> <p>(工業技術研究院-綠能與環境研究所)</p>
農業收產 及生物多 樣性		<p>生物微感測技術：為了即時監控河川土壤至直接與民眾接觸的飲用水、蔬果等行徑中有害化學物質的環境轉化宿命，本技術係利用酵素的選擇專一反應特性，可以縮短化學儀器偵測時間之特點，開發電流式酵素感測器與酵素檢驗試劑。主要應用於食品、化妝品中的重金屬偵測；以及 ppm 級農藥。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)</p>
		<p>整合式國土利用調查技術—結合多時影像與 GIS 資料應用於水稻田辨識：本技術利用多時衛星影像，結合農地的地籍坵塊 GIS 資料與水稻生長光譜曲線，並加入前一年之同一期的水稻種植資訊進行水稻田的研判，判識結果除了可以大為提升分類精度外，並可以直接更新前一年的水稻 GIS 資訊，進而估算水稻的生產量。(工業技術研究院-綠能與環境研究所)</p>
		<p>生態多孔性碳材水質控制及能源應用技術開發：多孔性生態材料創新應用，帶動深層海水東部農、養殖業高值化發展。</p> <p>特用苗木工業化生產及創新萃取多元應用技術開發：林產技術創新、應用，活化農林產業、提高林農收益。</p> <p>(工業技術研究院-南分院-綠能生態中心)</p>
健康		<p>抽氣式 FTIR —多種氣體連續性監測</p> <p>奈米微粒旋風分離收集技術</p> <p>健康生活產業環安技術開發計畫：聚焦發展室內環境品質(IEQ)優化系統與服務，提升用戶生產力與健康，強化綠建築於環境品質上的效益。</p> <p>光學氣體感測器：開發出高可靠度、高靈敏性、即時且同時量測多種氣體濃度和溫度之非侵入式氣體感測器。</p> <p>(工業技術研究院-綠能與環境研究所)</p>

#### 11.2.4 關鍵課題四：加強調適科技轉移與擴散

國際上對於「科技移轉」著力於 UNFCCC 的五大主題：科技需求與需求評估、科技資訊、能力建構及科技轉移機制，並在公約體制下建立「科技中心與網絡 (Technology Centre and Network)」作為科技移轉的平台。然而，成功的科技轉移不僅需要科技的解決方案，更需要政策配套、環境規範，以及吸收、施用和增進適當技術的能力。不論已開發國家或開發中國家，多邊機構的設置能夠鼓勵私人利益參與規範計畫或活動，進行調適行動的協作，特別在持續的資金輔助可預期的情況。其中轉移的科技路徑包括國內及國際路徑：

在台灣，科技轉即可分為兩類，(一) 政府主導，指政府主動規劃政策並實行或政府主動出資資助，如協助觀測土石流、大雨特報等科技技術發展，皆為政府機關出資發展。(二) 研究機構之技術釋出或移轉，如工研院為有效推動智慧財產的加值與運用，於 2000 年成立技術移轉與服務中心 (簡稱技轉中心)，結合技術、專利、法務、投資、管理等專長，組成專業服務團隊，從事有關智權加值、知識服務及新事業的推動業務，針對其所研發之調適工具皆有技術擴散之路徑。(三) 公益團體的資助與採購，如工研院與慈濟合作之慈悲科技等。

國際上，科技轉移與擴散的路徑也可分為三類：(一) 政府具主導地位，其中包括政府政策主導或出資，如日本 ACE 計畫；或政府主導推動國際合作，如美國透過協助最低度發展國家來推動調適科技；抑或歐盟利用基金 (HORIZON 2020 計畫) 扶持發展中國家發展調適科技。(二) 使用國際公約、國際機制作為移轉調適科技之模型；或 (三) 透過國際慈善團體來移轉調適科技，達到調適科技之推廣使用。

技術擴散為科技技術之釋出，主要為政府主導，透過政策來推動，如我國政府透過對水利署之預算編列來推動相關技術之擴散，達到水資源之永續利用。國際上綠能技術的擴散案例，如美國以國際合作方案 LEDS (The Low Emission Development Strategies- Global Partnership)，一方面支援發展中國家，一方面邀集其友邦參與協助發展中國家，或者直接推動區域合作 (如在 APEC 架構下的亞太夥伴計畫)；日本在氣候公約第 19 屆締約方大會中提出 ACE (Actions for Cool Earth) 計畫，強調其願意在創新、技術與永續發展上支援發展中國家，具體展示其成果，並以擴散其科技與綠色商業模式為導向。

雖因台灣之政治因素不能參與國際活動，但仍不應置身事外，台灣具備調適科技發展、永續經營之經驗，加上因環境與社經條件帶來的需求，建議應於國際上利用各種調適科技的擴散機制來扮演在國際上調適的角色，將國內的調適技術推廣到國際。例如：工研院與慈濟合作的慈悲科技、清華大學與工研院合作之甘比亞之計畫、或紅十字會針對緊急狀況之救急調適工具等，這些調適技術皆是已經完成可供使用之產品，惟需透過擴散途徑將其擴散到國際上，並利用氣候基金達成永續發展之目標。

### 11.2.5 關鍵課題五：重視調適發展的經濟面向

調適的推動與社會經濟的發展習習相關。台灣的調適經濟分析文獻不多，其中成本效益分析是調適經濟分析常用的政策評估工具，也是討論的重點。其次，氣候變遷剩餘損害 (residual climate change damage) 是調適經濟分析中較一般的成本效益分析具有特色的項目，也是調適經濟分析的重要觀念。將一併呈現在實務應用上的情形，並回饋一些具有經濟誘因的調適政策。其中應包含調適成本效益與損害分析、了解障礙。

成本效益分析是一個簡單且實用的工具，其核心概念就是評估為了一件事情付出了多少成本，又得到了什麼效益？若是效益大於成本，這就是值得去做的事。如此簡單思考為何能成為嚴謹的學術工具？原因之一就在於成本與效益的定義。首先，不同於一般人對於成本的理解，經濟學使用的是機會成本的概念，所謂的機會成本，就是做出一項決定時，意味著放棄了其他的選擇，而所放棄的各種選擇中，能帶給我們最大效益的那項選擇，就是機會成本。市場機制將會透過價格來反映機會成本，也就是說在健全的市場機制下市場價格等於機會成本，但是實際上我們的市場機制並不健全，導致市場價格無法完全反映完整的機會成本，因此成本效益分析採用機會成本概念，就是要反映完整的機會成本於各種決策之中，例如為了調適海平面上升的影響，可以選擇的策略之一就是築海堤，築海堤看似一種便宜且一勞永逸的作法，然而海堤的成本不單單僅有工程費用的支出，尚有因海堤而失去的海岸生態系與沙灘遊憩等功能的價值。

調適效益是因調適行動而減少的損害再加上因調適行動而增加的福祉 (IPCC 2014)，例如築海堤可避免土地被淹沒，而保留下來使用土地的機會，就是調適效益，此效益會反映在地價上。由此可知，調適的效益來自於有調適行動與



沒有調適行動的差異，所以若要明確表現調適的效益，首先需要將比較的基準定義清楚。我們將沒有調適行動的情況視為現況，也就是所謂的基準情境。需要特別注意的是，基準情境並非完全沒有變化，而是指我們的社會依照原本的規劃持續發展（即不考慮氣候變遷），任何既有政策與既定策略都屬於基礎情境的內容。

最後是調適與減量的關係，調適與減量密切相關，從基本定義來看，減量的目的是讓我們的环境變遷慢一點、緩一些，甚至不要變，而調適則是去適應變化後的新環境，也就是說若能多一些減量努力，氣候變化較小，相對地調適所需支出的成本就較少，反之若不減量，就必須投入更多的資源進行調適，且最重要的一點是調適有其極限，也就是下一部分討論的主題：剩餘損害。

調適的目的在於適應氣候變遷後的環境，減少氣候變遷帶來的衝擊，甚至積極地利用氣候變遷帶來的機會。然而，調適往往無法完全消除氣候變遷帶來的影響，而這些剩下來的影響就是剩餘損害，參考 Stern (2006)，由圖 11.2 可知，氣候變遷的總損害成本線為  $\overline{OA}$  (cost of climate change without adaptation)，隨著溫度上升，氣候變遷的總損害成本增加，而透過調適可以降低氣候變遷的損害成本，但是調適工作的效果有其限度，經過調適工作後，無法完全消除而餘留下來的損害稱為剩餘損害 (residual climate change damage)，即圖中的  $\overline{OC}$ ，另一方面，調適工作有其機會成本，因此  $\overline{OB}$  即為調適後的氣候變遷總成本線 (total cost of climate change, after adaptation)，包括剩餘損害與調適成本 (cost of adaptation)。假設溫度變化為  $2^{\circ}\text{C}$ ，則調適後的氣候變遷總成本為  $\overline{2B'}$ ，調適的淨效益為  $\overline{AB'}$ ，

如下式所示：

調適淨效益=氣候變遷總損害成本- (調適成本+剩餘損害)

$$= \overline{A'2} - (\overline{B'C'} + \overline{C'2}) = \overline{AB'}$$

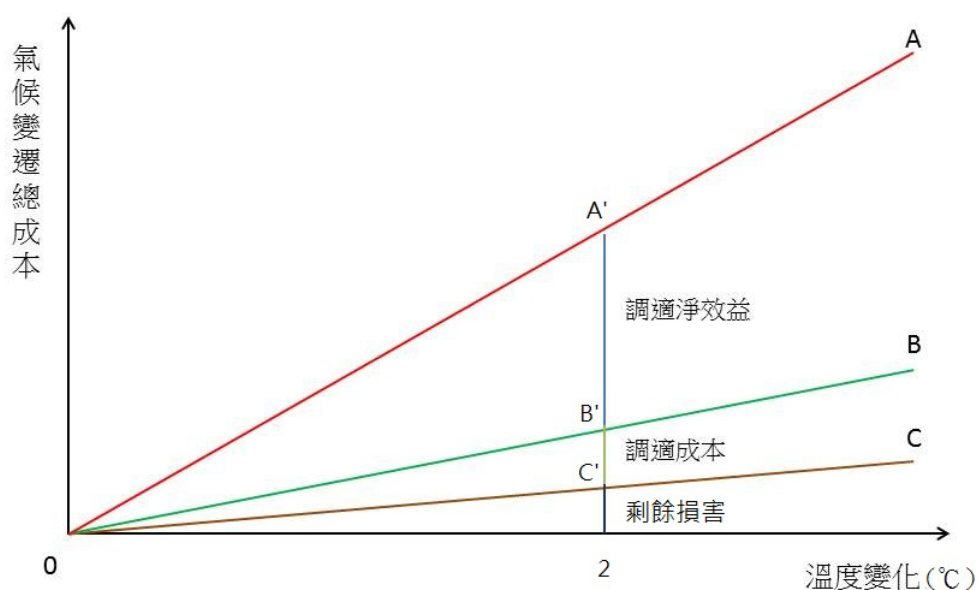


圖 11.2 氣候變遷調適總成本示意圖 (資料來源：Stern, 2006)

IPCC 第五版的評估報告中更進一步地將剩餘損害定義擴大，從原本的自然限制條件加入經濟與社會的限制條件 (IPCC 2014)。如圖 11.3 所示，圖中最外圈為我們期望透過調適完全解決氣候變遷影響的所有調適建議選項，也是調適的範疇，第二圈是在當前技術與物理限制條件下調適的極限，而第一圈與第二圈的範圍就是當前無可避免的損害，但隨著時間的推移，這個極限有可能透過科技進步來突破；第三圈則是考量資源的限制條件後，發現有些調適措施僅在理論上可行，但若要實際應用太過昂貴，或可以透過其他更便宜的方法來達到相似的目標；最後最內圈是我們最後真正執行的調適行動，第三圈與第四圈的範圍就是因為各種政治經濟與社會因素、市場失靈等影響而無法執行的調適行動，而從第一圈到第四圈的範圍就是廣義的剩餘損害。其中第四圈到第三圈可以透過制度改善、建構健全的市場機制等方法來克服；第三圈到第二圈可以透過科技研發與經濟發展來克服，而這個過程中也會遇到若干障礙。

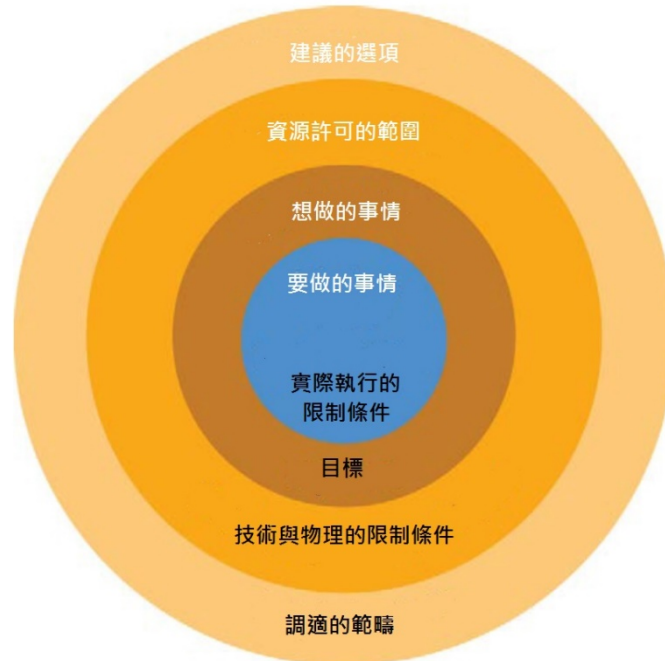


圖 11.3 氣候變遷調適剩餘損害示意圖 (資料來源：IPCC 2014)

透過成本效益分析可以發現許多值得去做的調適措施，但現實中存在許多障礙，導致政府與人民不願意執行這些措施。本節將說明有哪些決策的方法，又在決策的過程中有哪些障礙使值得去做的調適措施難以落實，同時回顧國內外相關研究成果與評估方法，作為案例說明。

不同的資料品質與數量決定了決策工具的選擇，成本效益分析雖是調適決策的重要工具，但也存在若干缺點，例如成本效益分析需要完整的成本與效益量化資訊，效益的定義不包括經濟影響等。然而，調適議題中有許多效益是無法量化的，甚至有些成本也難以評估。有許多人認為調適行動有很多經濟影響，所以在決策的過程中不可忽略經濟影響的評估。因此，為了更完整的進行調適決策，我們需利用其他的經濟工具進行輔助，例如，成本有效性評估可以在成本可評估但效益難量化時使用，而多準則評估模式可以在成本與效益都難以明確表示時協助決策。此外，調適決策中非常重要的觀念就是考慮地區差異，以及當地社會經濟的條件，因為調適必須因地制宜，例如我們不會在南投興建海牆以調適海平面上升，但是在台北地區會選擇以兩百洪水頻率年的高標準興建海牆，而非考慮撤離。最後則是折現率的考慮，折現率就是時間偏好率，鑒於目前學界在非常長期議題如氣候變遷所適用的折現率仍未產生共識，目前比較能被接受的方法是使用國家長期的實質公債利率作為折現率。

隨著調適議題愈來愈受重視，調適決策的相關研究成果也快速出現，然而國內對於調適議題的掌握仍顯不足。在國外研究方面，以英國案例說明，英國為因應氣候變遷，於 2008 通過氣候變遷法 (Climate Change Act)，依法成立氣候變遷委員會 (The Committee on Climate Change, CCC)，氣候變遷委員會下設調適次委員會 (Adaptation Sub-Committee, ASC)，調適次委員會自 2011 年起每年都會提出調適進度報告，評估政府調適工作成果，使用調適成本曲線這項評估工具，調適成本曲線屬於成本有效性分析，能夠清楚地呈現具有成本有效性的調適措施。

在台灣，政府已於 2012 年通過氣候變遷調適政策綱領，顯示調適議題逐漸受到重視，但台灣在氣候變遷調適方面的研究仍顯稀少，其中使用經濟方法分析者更是鳳毛麟角，如使用成本效益分析評估海平面上升對台灣沿海地區的影響，建立台灣海平面上升調適的最適化模型，評估結果顯示，當海平面上升 50 公分時，最適的海岸線保護程度為 9%，並以 1998 年的幣值計算成本為新台幣 357 億元 (蕭等 2008；Shaw et al. 2000)；使用成本效益分析評估氣候變遷對生物多樣性的影響，計算在 SRES A2 和 B2 情境下，森林植群分佈變化、稻作產量變化、漁業及公共衛生的經濟衝擊 (蕭等 2006&2007&2008)；以及使用調適成本曲線評估北海岸海平面上升之調適措施，結果顯示在海平面上升程度較小的情境下，執行軟性調適措施如經營海岸防風林、養灘等方法，將能夠帶來較大效益，但在海平面上升程度較大的情境下，仍須仰賴傳統硬性海岸防護工程措施 (吳 2012)。

在調適決策的過程中會到若干阻礙，從前述的分析中可以了解到，資訊的掌握度決定決策的品質，因此第一項障礙就是資訊與交易成本，目前雖有愈來愈多的資源投入調適研究，但我們對於調適資訊的掌握仍然非常不足，包括調適的效果、成本與效益，直接造成的影響就是資訊不足、資訊不對稱等問題，而交易成本也因此無法下降。

其次是市場失靈問題，包括外部性、資訊不對稱、公共財等問題，氣候變遷其實是人類有史以來最大的市場失靈問題，即我們的市場機制無法反映真實的成本所引發的問題，而調適決策也是如此，若各種調適選擇不能完整反映成本，私部門就沒有進行調適的誘因。其中，氣候變遷造成的外部性具有跨世代性 (intergenerational externality)、全球性 (global externality) 與公共性 (public externality) 等三種特性，此三特性使得氣候變遷對當代各行為人的衝擊影響很小，氣候變遷衝擊主要由世界上未來世代及他國人來承擔，雖然這些人都是氣候變遷的利害關係人，但在現在通行的政治與行政制度之下，都沒有發言權，導致上述

各種氣候變遷外部性內部化之各種良好制度僅只是口號或理想而無法實踐。

第三是行為的惰性，人們普遍偏好於短期可以獲得的效益而非長期，因此效益只發生在長期的調適行動往往不會被納入考慮，此外人們可能會因為平常的生活習慣、社會與文化等因素，而選擇次等而非理論上最佳的調適行動。第四是資源分配與道德上的問題，透過成本效益分析得到的是一個社會總福祉最大的結果，但沒有一個政策是完美的，總是有人受益且有人受害，成本效益分析並不考慮分配是否公平的問題，且弱勢族群其脆弱度愈高，能夠接受的衝擊也愈小，若一視同仁地分配資源（或受到災害），可能是弱勢族群無法接受的。最後是政府失靈，政府與地方當局的重要工作之一就是消除障礙，然而政府本身也存在自己的障礙，例如資訊不足、資源限制、組織間不合作等等，都使得政府無法發揮其消除障礙的職能，反而造成政府失靈的現象。

經濟學家認為，最適決策發生在邊際成本等於邊際效益的地方，所謂邊際效益的概念就是每增加一單位行動所需支付的成本或得到的效益，但是由於決策障礙的存在，最終難以做出最佳的選擇。如圖 11.4 所示，左邊的圖形假設調適可以完全解決所有氣候變遷帶來的衝擊，而最佳的選擇發生在切線斜率等於 45 度的地方，即邊際成本等於邊際效益；右圖表示調適有其極限，因此必然留下剩餘損害，而最佳的調適選擇同樣發生在切線斜率等於 45 度的地方，但是因為決策障礙的存在，使得最終做出的選擇無法落在理論最佳之處（IPCC 2014）。

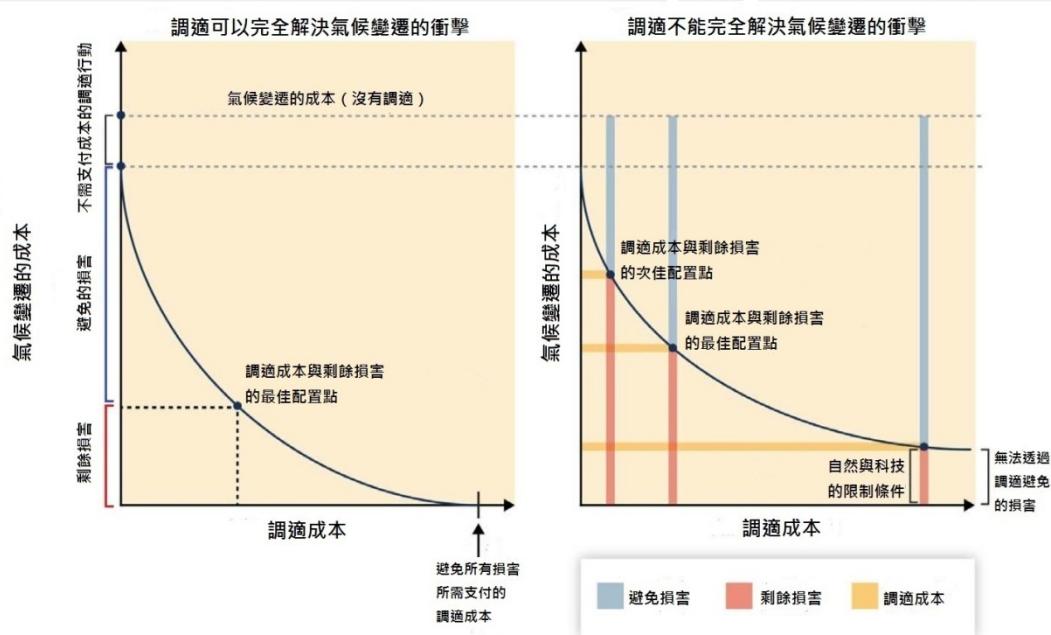


圖 11.4 氣候變遷調適剩餘損害決策圖（資料來源：IPCC 2014）



### 11.3 結語：調適與跨世代正義的實踐

為什麼需要調適？氣候變遷如今已非科學家危言聳聽的假設，而是正在發生的事實，掌握相關資訊並適時適當地做出回應，乃是調適政策存在的目的。調適本身往往屬於自發性的行為，例如天氣太熱我們會開電扇或冷氣，但是若涉及到長期、龐大的投資，這時就需要政府政策的支持，而良好的調適政策必須具有經濟誘因，使私部門得以自發性地執行調適行動。

具有經濟誘因的調適政策包括風險分攤、外部性內部化等。保險為風險分攤的主要工具；外部性內部化意即前文所提的反應完整成本，常見的制度有生態系統服務付費制度、資源價格合理化以及稅、費與補貼。土地若管理得當，將能夠提供很好的生態系統服務等外部效益，例如生物多樣性、水土保持等，都有助於建構調適能力，因此讓外部效益受益者支付價格給地主，提高地主妥善管理土地的誘因，將有助於調適能力的建構。資源價格合理化也是相同的意思，例如充分反映水價、電價的成本，包括外部成本，如此一來使用者在購買資源的同時，也支付了環境保護的成本，同時提高節能省水的誘因。稅、費與補貼是常用的外部性內部化工具。

氣候變遷造成的外部性具有跨世代性 (intergenerational externality)、全球性 (global externality) 與公共性 (public externality) 等三種特性，因此為實踐氣候變遷減量與調適政策，國際與各國都應該建立「後代權益促進機制」，以做到跨世代外部性之內部化，也就是建立「未來世代代言人制度」，使當代人在決策時，能夠同時考慮到未來世代的權益，促進跨世代公平與正義與跨世代外部性之內部化。

人民的選擇及決策在氣候變遷的調適上將扮演關鍵的角色，個人的消費型態、生活方式都深切的影響了氣候調適治理。於生活面中，減少過多的浪費、將節能減碳之意識帶入生活，減少浪費對環境帶來的衝擊，更能夠將多餘的資源分配於弱勢或未來儲蓄，為社會平衡及發展帶來永續之展望，多加利用可重複使用之物品，減少廢棄物品的數量，將減緩垃圾處理所帶來的環境汙染，考慮室內通風，減少空調使用、增加室內自然光，減少燈具電能耗費、不過度仰賴 3C 用品娛樂，減少電源的浪費、中水的再利用，以減少水資源浪費、等等，多留意生活之調節，則可避免在環境復原及修復上增加支出；在購買行為上，個人可以減少購買生長



過程可能加劇氣候對環境衝擊農作物、以國內生產之食品與蔬果花卉為主，減少跨國運送之能源耗費，帶給國內產業更多支持，提升國內糧食自主率、購買對環境友善之商品、關注國內外環境議題，個人減少戶外長時間高溫高熱輻射的暴露狀況，易淹水社區居民平時即有防災避難的知識及技術，高脆弱度的社區也應有氣候調適的組織及對應機制。更進一步地，避免到行水區/保護區內違法建造或經營的旅館/農場觀光，亦即藉由個人對氣候及環境保護認知，以及個人、家庭、社區的影響力，驅使產業、政府正視氣候變遷及調適治理的問題。

後代權益促進機制已經實踐於不少國家，許多國家都成立關於未來世代權益保障的機構及相關法律，法國於 1992 年成立「未來世代權益基金會 Council for the Right of Future Generations」，以提供與未來世代相關的建議；以色列國會中的「未來世代委員會 the Commission for Future Generations」審查各項法案是否對未來世代有嚴重的負面衝擊，有權力影響各種新法案能否順利通過；匈牙利的「基本權益委員會 the Commission for Fundamental Rights」，為了維護人權、維護弱勢團體權利、保護未來世代利益而成立；芬蘭國會中的「未來委員會 the Committee for the Future」負責各種政策、科技與科技發展對未來社會衝擊的評估與研究；以及瑞典政府的「未來瑞典委員會 the Commission on the Future of Sweden」，評估會影響未來的決策；美國、德國、英國、加拿大及澳洲等國家也有相關的組織與評估機制。我國依據環境基本法第二十九條設置「國家永續發展委員會」，以追求國家永續發展為目的，具有促進後代權益之性質，依據其設置要點，永續會第一個任務為「研訂國家永續發展願景與策略，審議國家永續發展相關議案。」

為健全我國後代權益促進機制，在行政機關，應增加賦予國家永續發展委員會監督考核各行政機關執行永續發展政策與策略成效之權責。在立法機關（立法院及各地方自治團體立法機關），應設置後代委員會，作為後代代言人，審議與未來世代福祉相關立法、政府政策、預算，發表意見與參與決策，亦可以設計及提出與未來世代福祉相關法案。

最後，氣候變遷下不同尺度的治理單位調適能力的推動是落實調適政策，實踐跨時代正義重要的一環。在臺灣，行政院已於 2012 年推出國家氣候變遷調適政策綱領與行動計畫，以健全國家調適能力，降低脆弱度，國家調適政策綱領考量了台灣環境的特殊性與歷史經驗，將內容分為災害、維生基礎設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性與健康等八個調適領域。後續各領域的行動方案以及地方政府調適計畫皆承續進行。在不同層級、不

同部會以及不同領域的共同努力之下，我國在面對氣候變遷的風險進行調適已有相當程度之經驗。然而，在現階段的目標，須將重點放在以既有基礎加速整合過去相關計畫與研究，隨著愈來愈充分的科學證據與未來的社經條件，奠定未來更完整的氣候變遷調適計畫，達到永續發展之目的。

本章主要聚焦議題：氣候變遷的落實與調適治理	
現況	在氣候變遷發展上，台灣目前由行政院國家發展委員會負責，而中央層級的調適行動計畫由各權責部會自行根據政策綱領推動相關計畫。地方政府方面，根據「地方調適變遷調適計畫規劃作業指引」，地方政府應視推動永續發展為必然需要擔負之任務，以持續推動地方氣候變遷調適計畫之建立與落實。
目前面臨的問題	調適政策經濟評估 調適推動的世代公平性 氣候變遷相關研究資料品質與資訊傳遞架構 調適推動的垂直整合與平行跨領域
對未來氣候變遷調適發展的建議	強化公私部門的參與 重視都市尺度的調適規劃 深耕並深化調適科學研究 加強調適科技轉移與擴散 重視調適發展的經濟面向

## 參考文獻

- 國家發展委員會，2014：國家氣候變遷調適行動計畫。
- 科技部，2014：災害領域行動方案。
- 交通部，2014：維生基礎設施領域行動方案。
- 經濟部，2014：水資源領域行動方案。
- 內政部，2014：土地使用領域行動方案。
- 內政部，2014：海岸領域行動方案。
- 內政部建築研究所，2012：綠建築評估手冊-社區類。
- 內政部建築研究所，2012：都市熱島與生態社區評估手冊。
- 內政部營建署，2008：建築物無障礙設施設計規範。
- 內政部營建署，2015：建築技術規則(建築設計施工編)。
- 行政院經濟建設委員會，2012：國家氣候變遷調適政策綱領
- 行政院農業委員會，2014：農業生產與生物多樣性領域行動方案。
- 吳克偉，2012：新北市三芝淡水地區海平面上升調適成本曲線之建立。台北大學碩士論文。
- 林子平，吳旻蓉，2012：氣候因子與便利商店飲料商品銷售相關性之研究，國科會「大專學生參與專題研究計畫」。
- 林子平，氣候變遷調適科技整合研究計畫(II) - 氣候變遷之調適治理與風險決策模式及應用(II)，國科會專題計畫(NSC 103-2621-M-001 -001 -)，子計畫「氣候變遷之社區調適策略建立與應用」
- 經濟部，2014：能源供給及產業領域行動方案。
- 衛生福利部，2014：健康領域行動方案。

- 黃書禮等，1996：台北市都市永續發展指標與策略研擬之研究。
- 郭彥廉、張瓊婷、朱吟晨，2012：英、荷、日、澳的氣候變遷災害調適策略比較，*碳經濟* 26: 2-16
- 蕭代基、錢玉蘭、于宏燦、李秉容、洪志銘、王肇強、王定心、吳惠婷，2006：氣候變遷對台灣生態系之衝擊及脆弱度評估與因應策略整合研究-子計劃七：氣候變遷對台灣生態系衝擊之經濟評估及因應策略 (I)，國科會 (NSC 95-2625-Z-001-004)
- 蕭代基、錢玉蘭、李秉容、王定心、李淑媛，2007：氣候變遷對台灣生態系之衝擊及脆弱度評估與因應策略整合研究-總計畫：氣候變遷對台灣生態系之衝擊及脆弱度評估與因應策略 (II)，國科會 (NSC 96-2625-Z-039-001)。
- 蕭代基、錢玉蘭、李秉容、王定心、李淑媛，2008：氣候變遷對台灣生態系之衝擊及脆弱度評估與因應策略整合研究-子計劃七：氣候變遷對台灣生態系衝擊之經濟評估及因應策略 (III)，國科會 (NSC 97-2625-Z-170-002)
- 蕭代基、施學銘、林元興、郭彥廉，1999：海平面上升對台灣海岸的影響與社會成本分析，第二屆環境系統分析研討會，成功大學環境工程學系。
- Hwang, R.L., Cheng, M.J., Lin, T.P., Ho, M.C., 2009: Thermal perceptions, general adaptation methods and occupant's idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot-humid regions. *Building and Environment* **44**(6) 1128-1134
- IPCC, 2014: The Fifth Assessment report: ch17 Economics of Adaptation. UN.
- Lin, T.P.\*, Matzarakis, A., 2008: Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *International Journal of Biometeorology* **52**(4) 281-290 (SCI)
- Lin, T.P.\*, Matzarakis, A., 2011: Tourism climate information based on human thermal perception in Taiwan and Eastern China, *Tourism Management* **32**(3) 492-500 (SSCI)
- OECD，「Environmental Indicators」，83。
- Shaw D., Shih S., Lin E., Kuo Y., 2000: A Cost-Benefit Analysis of Sea-Level Rise

Protection in Taiwan. International Conference on Global Economic Crisis, May 26-28, 2000: Chinese University of Hong Kong and Peking University, Hong Kong.

Stern NH, 2006: Stern Review: The economics of climate change. G Britain, HM Treasury, UK.

WHO, 2004: Heat- waves: risks and responses.

UNISDR, 2012: Making Cities Resilient Report 2012.

UNDP/UNEP/WHO, 1996: Indicators of Sustainable Development Framework and Methodologies °