

臺灣氣候變遷科學報告 2017

- 衝擊與調適面向

(總摘要)



臺灣氣候變遷科學報告 2017

- 衝擊與調適面向

(總摘要)

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

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。

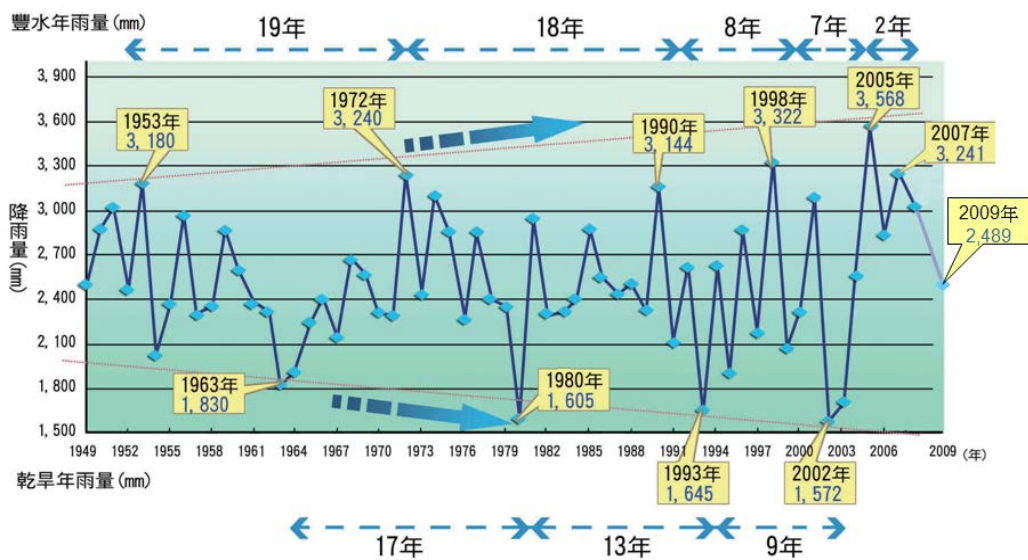


圖 S1.1 近六十年來豐枯水年變化趨勢(修正自水資源領域行動方案 102-106 年，經濟部，2014)

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。

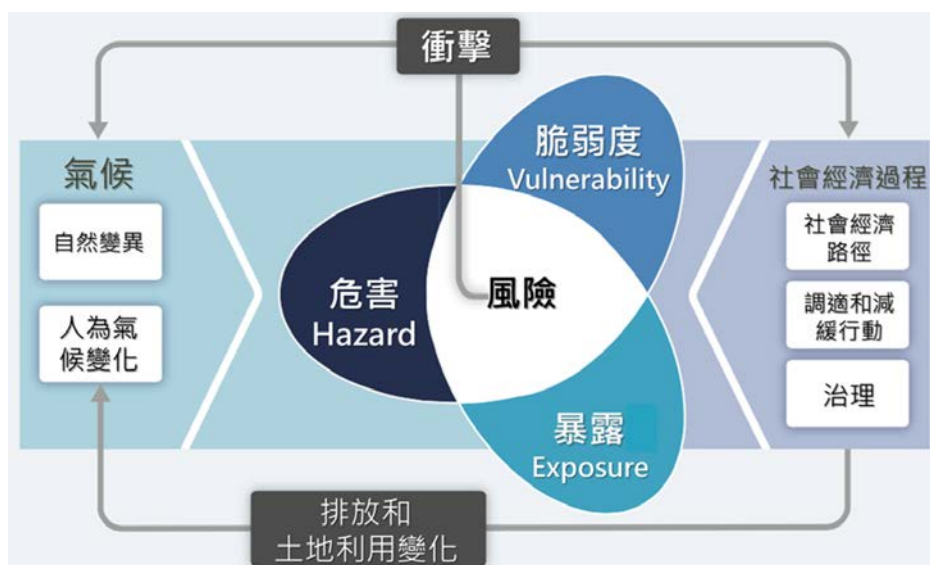


圖 S1.2 氣候變遷風險影響因子 (修正自 IPCC AR5, 2014)

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。

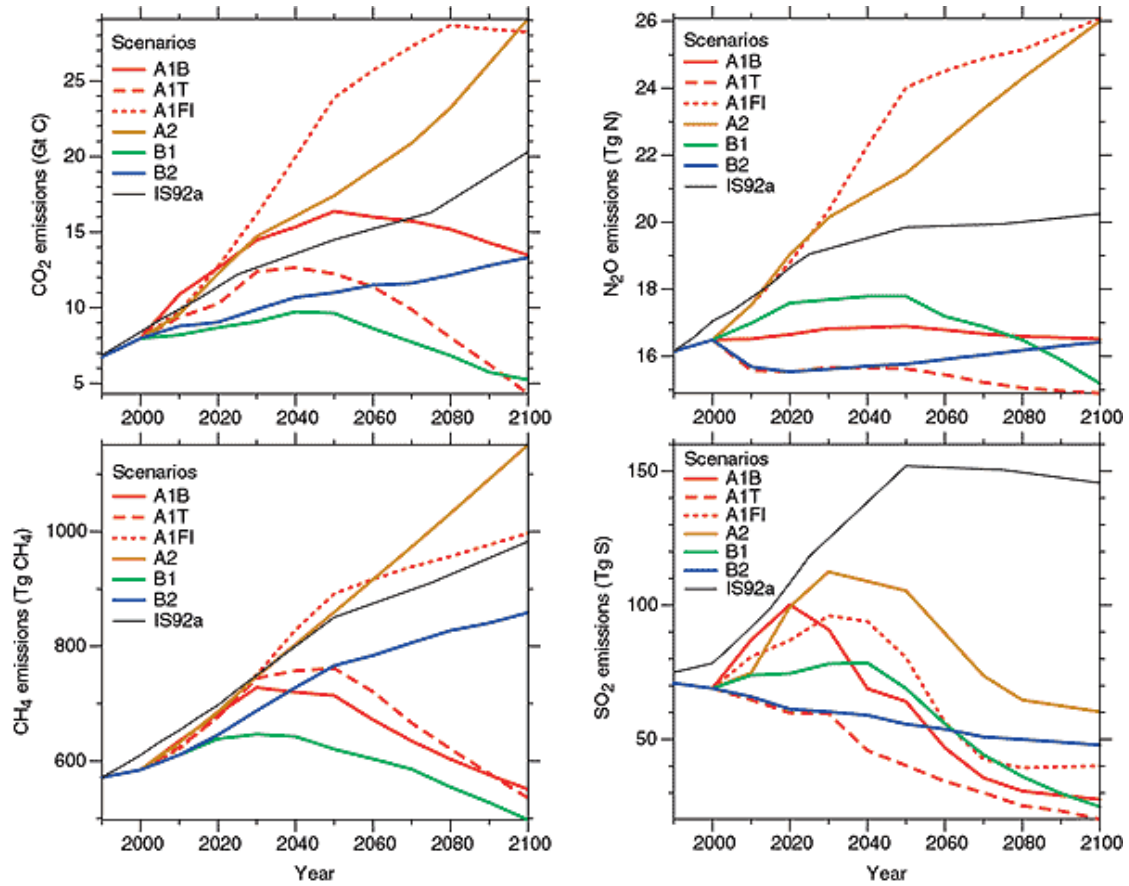


圖 S1.3 SRES 溫室氣體排放情境 (IPCC 2001)

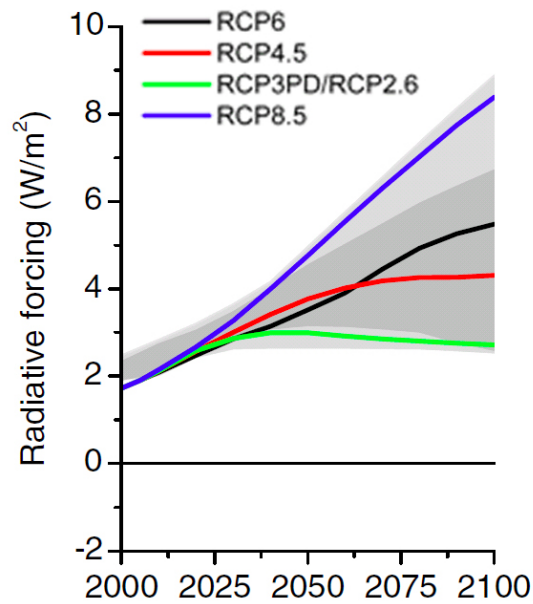


圖 S1.4 IPCC AR5 輻射力情境. From van Vuuren et al (2011)

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）。

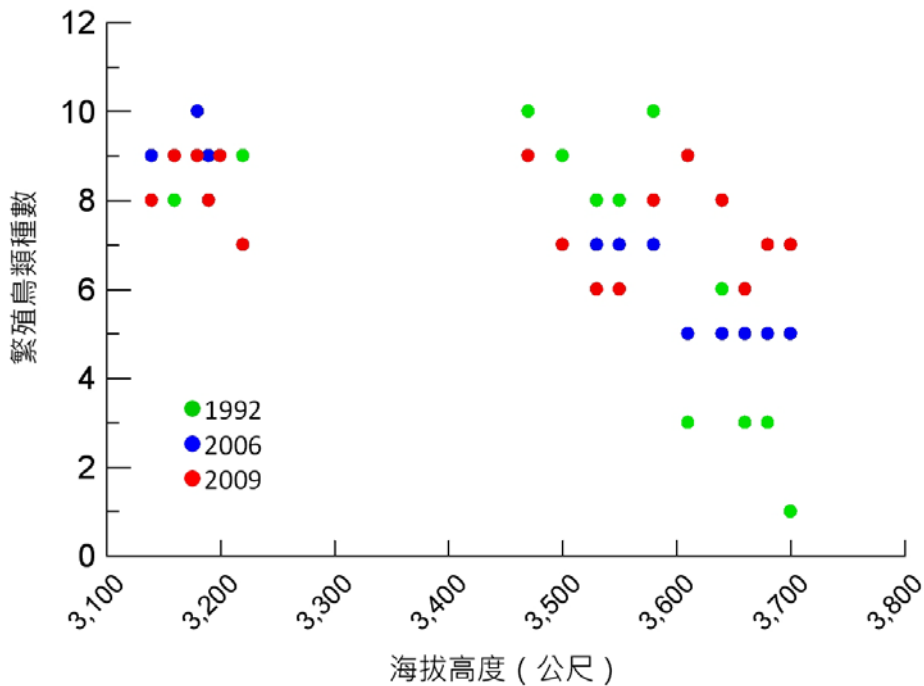


圖 S3.1 1992~2009 年之 3100~3600 公尺以上的山區繁殖鳥類的種數

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。

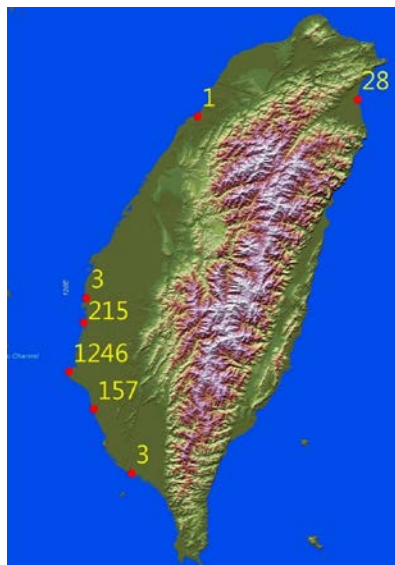


圖 S3.2 黑面琵鷺的度冬區在臺灣之分布

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、高雄市茄萣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。

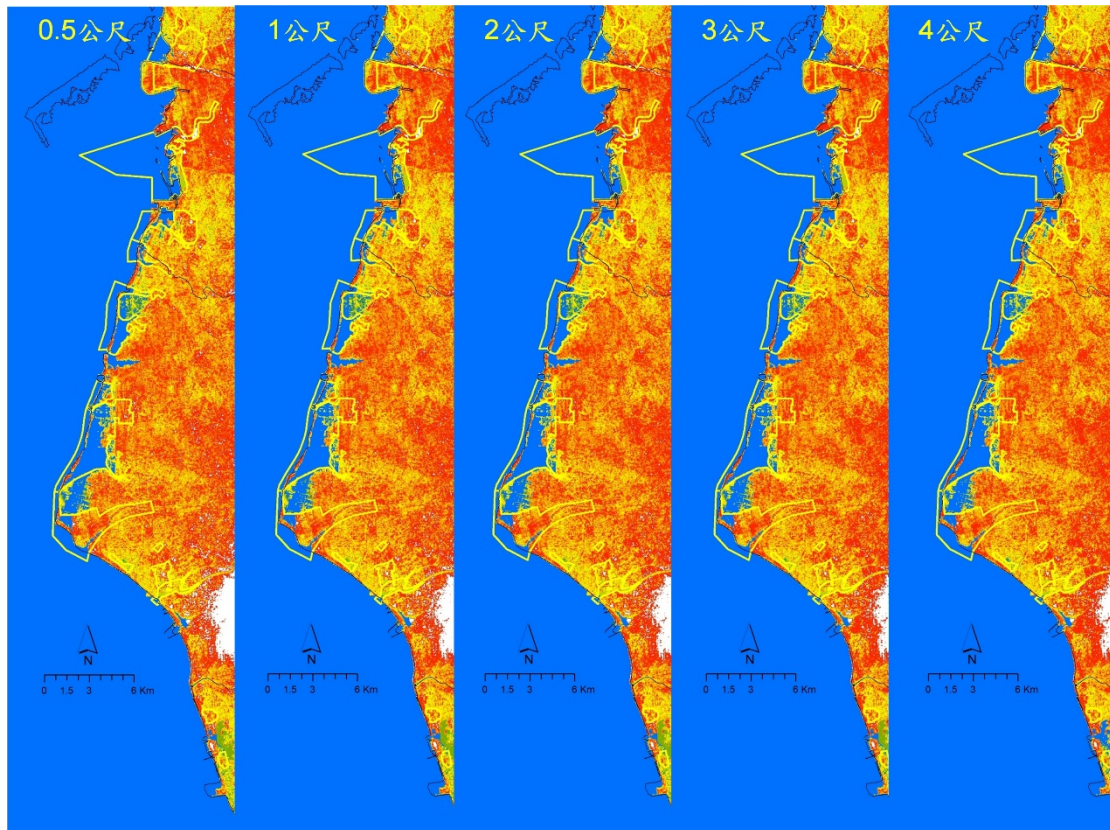


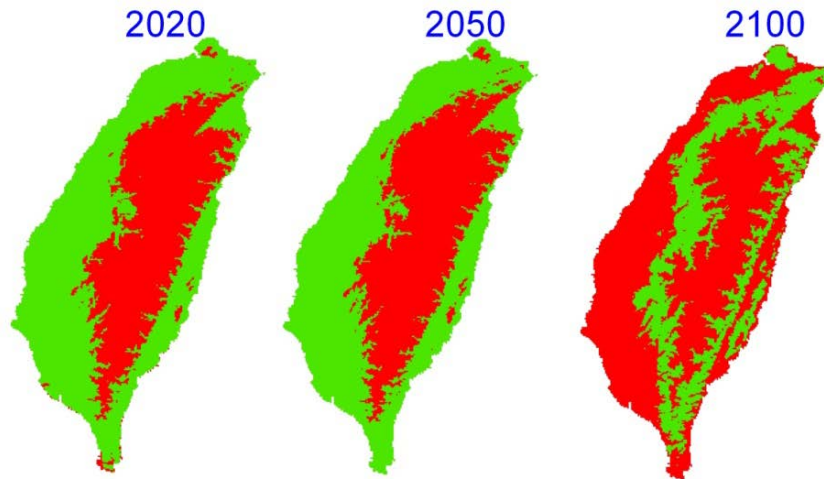
圖 S3.3 不同海平面上升情景下黑面琵鷺在臺灣西南沿海地區（雲林縣到高雄市）的棲地所受到之可能衝擊。

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

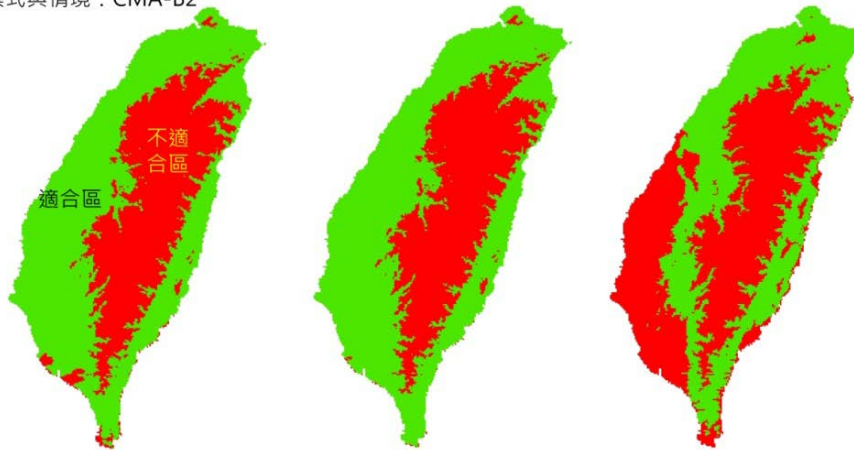


圖 S3.4 氣候變遷下八色鳥未來在臺灣的分布情形

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鱒圍網漁業。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 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 ²)	雨量豐枯比	地表水供水潛能水量 (億 m ³ /年)	地下水供水潛能水量 (億 m ³ /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"> 1. 歷年乾旱及極端暴雨事件，皆使水資源之調配出現危機。 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。 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。
水源及供水設施不足	<ol style="list-style-type: none"> 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。 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。
設施永續	<ol style="list-style-type: none"> 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。 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。
用水環境	<ol style="list-style-type: none"> 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

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原有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	X

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。

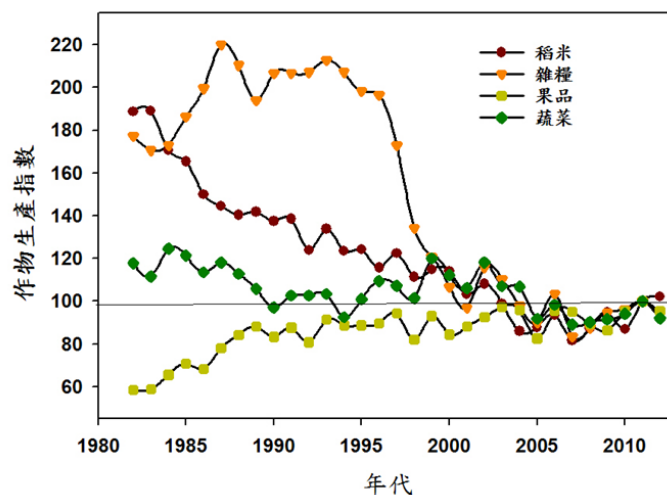


圖 S6.1 1982~2012 年之作物生產指數（資料來源：行政院農業委員會 2012）

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。

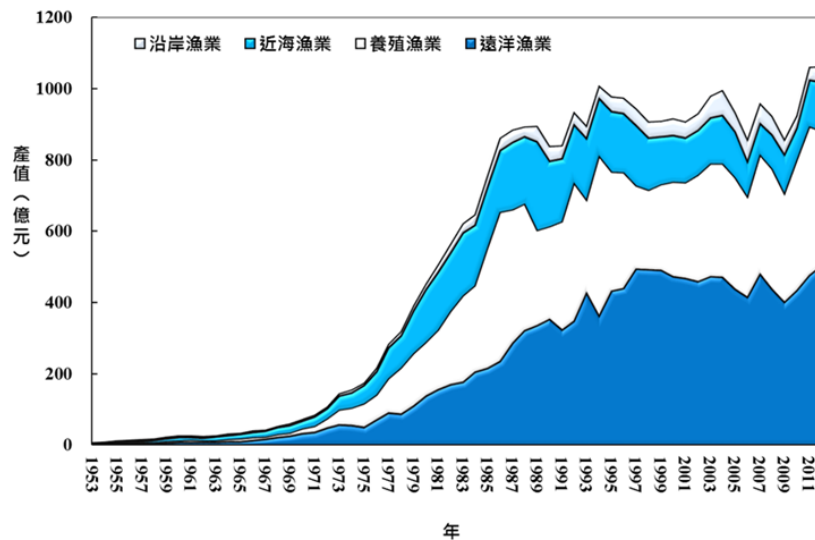


圖 S6.2 1950~2012 年臺灣四大漁業產值。(資料來源：中華民國臺閩地區漁業統計年報 2013)

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 (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)。

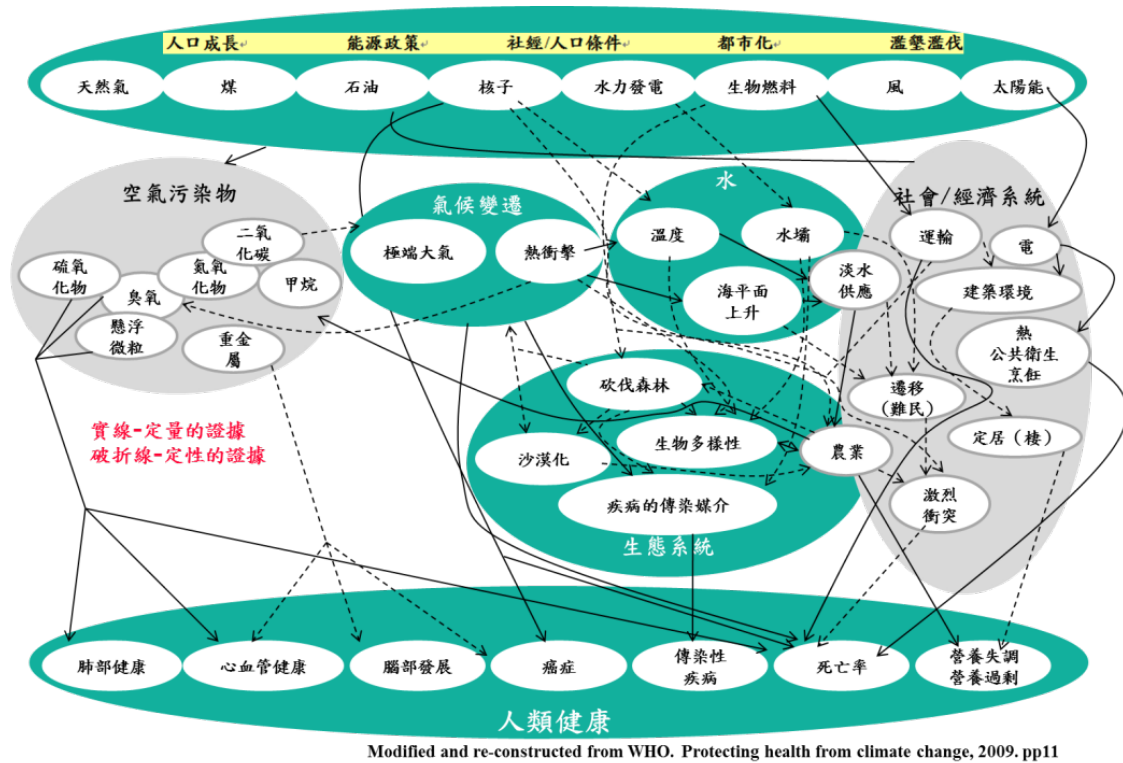


圖 S7.1 氣候條件改變透過多重路徑對人類健康產生影響

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 Henriet 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。

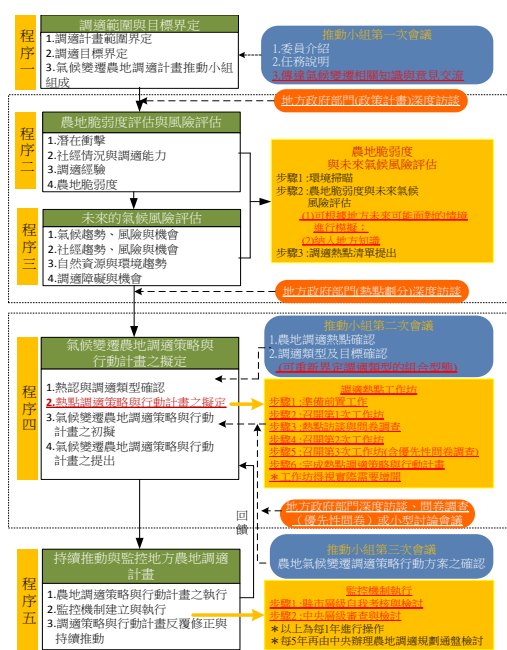
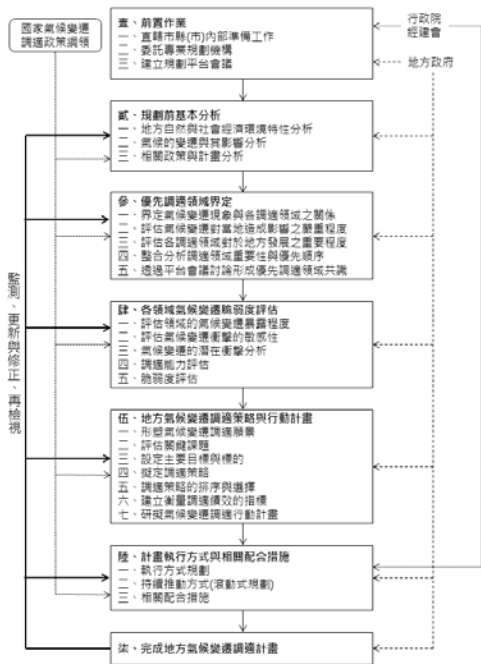


圖 S9.1 地方氣候變遷調適策略規劃流程圖。資料來源：行政院經濟建設委員會 (2012)

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 km², 最大下陷速率由 92 年 12.2 cm yr⁻¹ 至 103 年 6.1 cm yr⁻¹, 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。

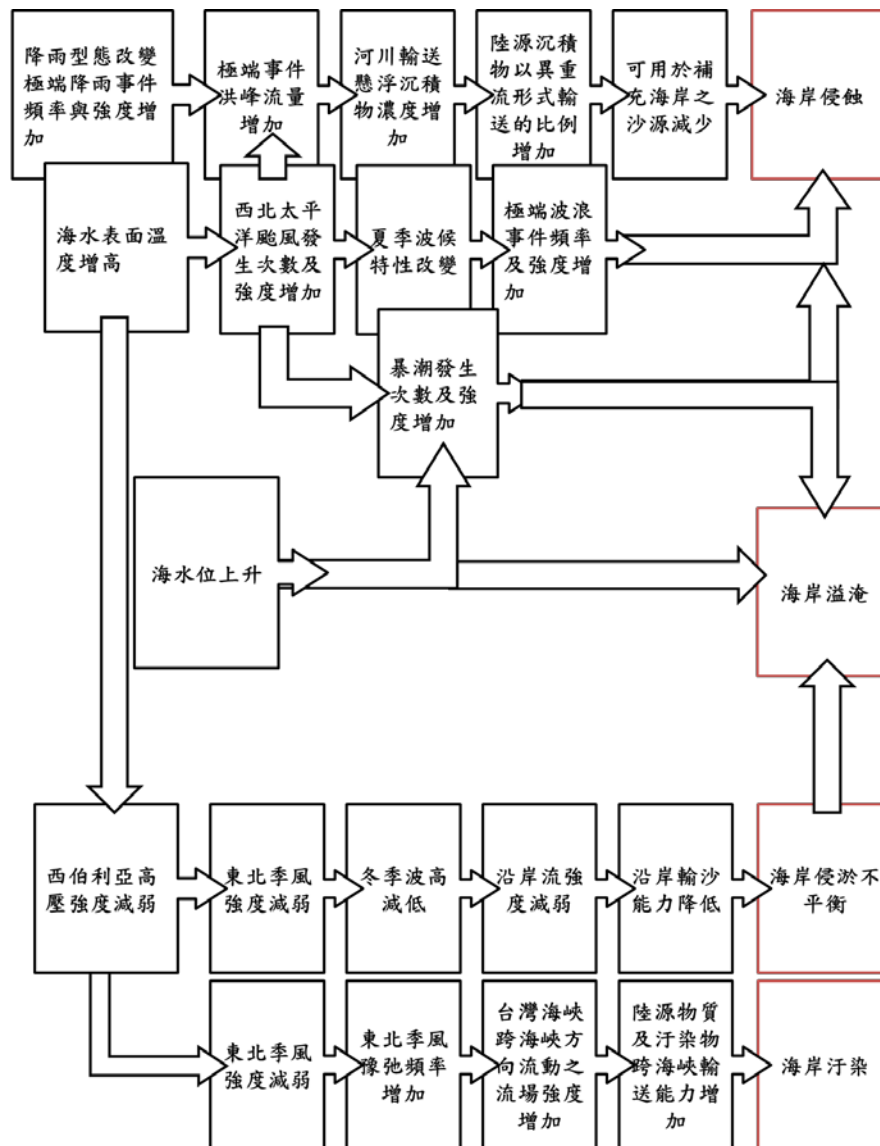


圖 S10.1 氣候變遷與海岸災害之連結

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。