

科技部補助專題研究計畫成果報告

臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(I)

計畫類別： 整合型計畫

計畫編號： MOST 106-2621-M-865-001

執行期間： 106年3月1日至107年7月31日

執行機構及系所：國家災害防救科技中心、衛生福利部疾病管制署、國立臺灣大學土木工程學系暨研究所、國立臺灣大學醫學院環境暨職業醫學科、國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所、國立臺灣大學農藝學系暨研究所、國立臺灣師範大學地理學系(所)、國立臺灣師範大學地球科學系(所)、國立交通大學土木工程學系(所)、國立中央大學環境生物與漁業科學學系、國立臺北大學不動產與城鄉環境學系、國立臺灣海洋大學河海工程學系、國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系、臺北市立大學地球環境暨生物資源學系、中國文化大學大氣科學系、中央研究院環境變遷研究中心、行政院農業委員會農業試驗所農業工程組

計畫主持人：林李耀研究員

共同主持人：劉宇倫主治醫師、林銘郎教授、郭育良教授、童慶斌教授、鄭克聲教授、余化龍教授、盧虎生特聘教授、洪致文教授、翁叔平副教授、黃婉如副教授、陳正達教授、葉克家教授、李明旭教授、詹士樑教授、簡連貴教授、呂學榮教授、洪志誠教授、王嘉琪副教授、蘇世顥助理教授、許晃雄研究員、姚銘輝研究員、鄭兆尊副研究員、陳永明副研究員、張志新副研究員

計畫參與人員：鄭明典主任、程家平主任、張育承課長、沈里音科長、洪景山技正、魏嘉副研究員、陳乃慈博士、蔡宜君助理研究員、杜佳穎助理研究員、李宗祐助理教授、江益璋助理教授、林錫慶研究員、許至聰副研究員、李正國副研究員、陳韻如副研究員、李欣輯副研究員、郭士筠助理研究員、吳亭燁助理研究員、陳麒文博士、徐永衡博士、童裕翔博士、趙益群博士、劉子明博士、劉曉薇博士

中華民國 107 年 9 月

摘要

本計畫由過去台灣氣候變遷推估資訊平台 (TCCIP) 計畫及台灣氣候變遷調適科技 (TaiCCAT) 計畫核心團隊與研究人員組成，參考 NOAA CTB (Climate Testbed) 架構規劃以五年時間將過去累積氣候變遷模式、資料庫、相關評估方法、工具以及對外溝通服務經驗達成科研與應用實質整合；成為 GRIP (政府、學研、產業、公眾) 都能信賴的最佳團隊。

本計畫推動過程中，除了持續提供原有的氣候平台服務，提供更多領域使用者使用最新的氣候變遷資料之外，在本期計畫中開始強化「整合服務創新」之相關工作，為5年期計畫奠定基礎。重要成果包含

- 新資料應用：日統計降尺度資料產製，以及台灣氣候變遷指標圖集產製
- 新情境測試：增溫 2°C 情境衝擊評估為例
- 新方法測試：更細緻的風險鑑別流程與應用評估
- 新整合應用：動力降尺度系集模擬與 MMIS 應用測試
- 新整合服務：氣候變遷整合服務架構
- 新應用推廣：知識轉譯與應用推廣

本計畫年度氣候推估組 (Team1) 完成 21 世紀臺灣降雨與溫度的日資料推估與測試應用，並完成各極端氣溫與極端雨量變遷的可能趨勢與發生機率分析，同時建立多模式與多情境的動力降尺度分析，以降低應用不確定性。同時本年度著手產製臺灣氣候變遷指標圖集，透過圖表視覺強化後續氣候應用推廣之效。

調適評估組 (Team2) 建構關鍵領域風險鑑別程序，關鍵領域透過利害關係人與關鍵議題設定，進行風險評估因子之界定，淹水、坡地、水資源、農業、海岸、漁業、健康等關鍵領域已完成初步的危害地圖以及風險地圖的產製與分析。

整合服務組 (Team3) 完成氣候變遷資料之 OPEN-API，並擬定資料標準與通訊協定、發展氣候變遷多元資料模式與整合系統已進行大量模擬之測試；另舉辦部會以及使用者之應用說明會以及「台灣氣候變遷科學報告 2017」說明會，進行雙向溝通與服務推廣。本計劃另透過社群網站、知識轉譯等工作強化知識應用服務，並完成下一代氣候變遷網站的整合服務平台之規劃。

本期計畫除了階段性協助科技部 Belmont Forum EIDM 的推動工作外，另積極強化國際合作，包含持續與日本第三階段大型氣候變遷 TOUGOU (整合) 研究計畫合作、另透過德國氣候變遷國家級研究單位 (MPI、PIK、GERICS) 的參訪，強化三個工作小組未來在高解析度資料產製應用、衝擊研究以及氣候變遷服務上的國際合作以及具體產出。

關鍵詞：氣候推估、調適評估、整合服務、知識轉譯

Abstract

This project consists of the TCCIP project and the TaiCCAT project core team and researchers. This project integrates the experience accumulated in research and application, and expect to becomes the best team that can be trusted by the government, research, industry, and the public (GRIP).

The projection Team (Team1) complete the possible trends and probability analysis of extreme temperature and extreme rainfall changes in Taiwan in the 21st century, and summer rainfall diversity in Taiwan, estimates of rainfall in the rainy season, and spatial distribution, and complete the Taiwan Atlas of Extreme Climate Indicators (TWCCDI).

The Assessment Team (Team2) defines stakeholders with material flow and information flow, incorporates stakeholder opinions into the risk assessment process, and completes risk assessment procedures. And conducts climate risk assessment according to the completed risk identification process.

The Services Team (Team3) completes the OPENAPI of climate change data, formulates data standards and communication protocols, and works on community website promotion and application, knowledge translation, and creates new climate change adaptations through Co-Design process planning platform service content.

The research and development of climate change requires Think Globally and Act Locally. Team1, Team2 and Team3 have planned the corresponding partners. This project year we has continued to cooperate with TOUGOU, and has visited MPI-M (Max-Planck-Institute for Meteorology), PIK (Potsdam Institute for Climate Impact Research), GFZ (German Research Center for Geosciences), GERICS (Climate Service Center Germany) to open opportunities for substantive exchanges with Germany.

Keywords: Climate Projection, Adaptation Assessment, Integrated Service, Knowledge Translation

目 錄

摘要	I
Abstract	II
目錄	III
第一章 前言	1
1.1 團隊分工及整合架構	1
1.2 研究人力配置	2
1.3 預期效益與本年度工作重點	4
第二章 重要產品與成果	5
2.1 新資料應用：日統計降尺度資料產製，以及台灣氣候變遷指標圖集產製	5
2.1.1 圖表集製作說明	
2.1.2 氣候指標及說明	
2.2 新情境測試：增溫 2°C 情境衝擊評估為例	8
2.3 新方法測試：更細緻的風險鑑別流程與應用評估	9
2.3.1 建立可操作、可調適的風險地圖	
2.3.2 各領域風險鑑別程序成果	
2.4 新整合應用：動力降尺度系集模擬與 MMIS 應用測試	17
2.5 新整合服務：氣候變遷整合服務架構	19
2.5.1 盤點與檢視國內外相關平台	
2.5.2 Co-Design 使用者意見收集	
2.5.3 整合平台架構規劃	
2.6 新應用推廣：知識轉譯與應用推廣	
2.6.1 知識轉譯	
2.6.2 社群網站推廣應用	
第三章 氣候模擬推估、應用資料產製與分析技術	27
3.1 資料產製與加值	28
3.1.1 臺灣歷史資料模擬重建	
3.1.2 臺灣輻射資料反演及校驗	
3.1.3 臺灣多源長期氣象資料建置與檢核	
3.1.4 統計降尺度資料產製與應用研發	
3.3.5 極端事件降雨情境之時雨量資料產製	

3.2 氣候模擬推估、關鍵領域分析	35
3.2.1 臺灣熱浪評估分析	
3.2.2 不同海溫情境下臺灣寒潮的未來推估	
3.2.3 氣候多樣性分析-從臺灣夏季降水單一性趨勢看全球氣候變遷	
3.2.4 動力降尺度資料產製-颱風頻率與強度分析	
3.2.5 氣候變遷對臺灣空氣品質的影響	
3.3 氣候變遷下降雨特徵分析	42
3.3.1 雨季肇始日之變遷	
3.3.2 臺灣不同雨季之降雨型態	
3.3.3 臺灣梅雨季強降雨的未來變遷推估	
3.3.4 臺灣極端降雨事件特性-鋒面事件	
3.3.5 北部春季乾旱探討-標準化降雨指標分析	
第四章 氣候風險評估與調適應用	51
4.1 氣候調適知識與工具之深化分組成果	51
4.1.1 強化六步驟工具	
4.1.2 利害關係人參與	
4.1.3 跨領域詮釋模式	
4.1.4 使用者分析	
4.2 關鍵領域氣候風險與調適評估	61
4.2.1 水資源、淹水、坡地及農業領域成果	
4.2.2 海岸、公衛、漁業領域成果	
4.2.3 心理健康領域成果	
4.3 調適評估案例示範	72
4.3.1 跨層級與跨空間治理	
4.3.2 關鍵議題空間調整研究	
第五章 氣候變遷科學與調適服務整合平台	83
5.1 前言	83
5.2 氣候資料與調適服務功能開發與推廣	84
5.2.1 氣候變遷資料之 OPENAPI	
5.2.2 資料標準與通訊協定	
5.2.3 氣候變遷多元資料模式與整合系統	
5.2.4 學研服務與專業推動	
5.2.5 社群網站推廣應用	
5.2.6 知識轉譯	
5.2.7 資料服務與精進建議	
5.2.8 臺灣氣候變遷科學報告推廣	

5.3 整合服務平台建置	101
第六章 國際學術交流	107
6.1 國際合作	107
6.1.1 日本統合計畫 (TOUGOU)	
6.1.2 參與 Belmont Forum e-IDM	
6.1.3 德國參訪	
6.2 國際學術交流	111
6.2.1 第三屆歐洲氣候變遷調適會議 (ECCA 2017)	
6.2.2 氣候變遷衝擊國際研討會議 (Impacts World 2017)	
6.2.3 舉辦氣候統計國際學術工作坊	
6.2.4 AOGS2018	
第七章 結語與後續規劃建議	113
7.1 結語	
7.2 後續推動建議	
7.2.1 政策依據	
7.2.2 第一年推動檢討	
7.2.3 後續推動建議	
參考文獻	117

圖目錄

圖 1.1	計畫分工與推動架構	1
圖 1.2	NOAA 推動之 Climate Testbed (CTB) 架構圖	1
圖 1.3	氣候調適服務整合平台服務內容與預期效益	4
圖 1.4	本計畫之 5 年重要工作時程與產出規劃	5
圖 2.1	統計降尺度資料降雨量年循環時序變化	8
圖 2.2	氣候指標 ETCCDI 示範案例：年總降雨量 (prcpTOT) 。	10
圖 2.3	臺灣氣候指標 TWCCDI 示範案例：極端高溫指標 (TX30D5) 及虱目魚養殖魚 塭密度分布圖。	10
圖 2.4	參考 IMPACT2C 模式與情境，從統計降尺度日資料庫挑選 P2C 的暖化情境， 提供公衛、農業與水資源領域，做下游應用衝擊評估。	11
圖 2.5	風險鑑別程序中呈現工具與資料.....	12
圖 2.6	以坡地災害為例呈現不同需求的風險產製.....	13
圖 2.7	以電廠為例受到坡地災害衝擊之對策與現況問題.....	13
圖 2.8	由風險鑑別建立詮釋模式流程.....	14
圖 2.9	水資源領域風險鑑別程序成果.....	15
圖 2.10	淹水領域風險鑑別程序成果.....	16
圖 2.11	坡地領域風險鑑別程序成果.....	16
圖 2.12	農業領域風險鑑別程序成果.....	17
圖 2.13	海岸領域風險鑑別程序成果.....	17
圖 2.14	漁業領域風險鑑別程序成果—定置網合適作業區議題.....	18
圖 2.15	漁業領域風險鑑別程序成果—水產養殖漁業議題.....	18
圖 2.16	登革熱風險鑑別程序成果.....	19
圖 2.17	心理健康風險鑑別程序成果.....	19
圖 2.18	應用動力降尺度資料計算符合 95% 信賴區間，現今與未來推估極端降雨的重現 值評估。	20
圖 2.19	單一組模擬結果及系集模擬臺南地區最大淹水面積推估結果。	21
圖 2.20	整合平台 Co-Design 過程示意	24
圖 2.21	整合平台架構.....	27
圖 2.22	《臺灣氣候的過去與未來》封面.....	29
圖 2.23	《臺灣氣候的過去與未來》重點美化與重制之中英文宣傳單張.....	29
圖 2.24	動畫短片「一分鐘看懂臺灣氣候變遷科學報告 2017 第一冊」	30
圖 2.25	臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台粉絲專頁	30

圖 3.1	模擬流程示意	33
圖 3.2	臺北測站月平均溫度之 24 小時日夜變化與觀測比較圖。	34
圖 3.3	溫度觀測與模擬結果比較果。	34
圖 3.4	反演產品與測站觀測之比對	35
圖 3.5	資料量達 80%對應的測站位置。	36
圖 3.6	在四情境下，在 21 世紀末 (2081~2100 年) 之 CMIP5 模式極端溫度改變量推估的系集分佈中位數。	37
圖 3.7	在四情境下，推估臺灣周圍地區，年最大日降雨、雨日、大雨日數、豪雨日數、年最大連續無雨日、年最大連續降雨日數、雨日總雨量之極端降雨量的變化率中位數。	38
圖 3.8	466900 淡水站之年小時雨量序列圖 (基期)	38
圖 3.9	100 年重現期、24 小時延時之雨量分布。	39
圖 3.10	分別使用 CFSR、HiRAM 及 MRI 資料分析熱浪發生前 4 前 2 天、當天及結束後 2 天的 850hPa 的流函數距平場及風場距平。	41
圖 3.11	ERSST 全球 789 月標準化海溫暖化趨勢與 TCCIP 全臺 1960~2012 年夏季降水量 PC1 逐年振幅加大趨勢。	43
圖 3.12	右圖為 GPCP 全球 1979_2012 年夏季降水平方變異的 Theil-Sen 斜率及 Mann-Kendall 趨勢檢定；右圖為 GPCP 正值年減負值年之合成分析，其依據 PC1 時間序列 1979_2012 年平均值與一標準差。	43
圖 3.13	西北太平洋颱風強度分布圖	44
圖 3.14	氣候變遷對臺灣空氣品質的影響研究流程示意圖。	45
圖 3.15	2010 年逐月及全年鋒面與東北季風日數統計	46
圖 3.16	臺灣降雨年循環分布圖	46
圖 3.17	1979-2003 年春季及梅雨季長度的變化。	47
圖 3.18	REOF 分析後，各事件降雨空間分布型態。	48
圖 3.19	極端降雨事件頻率與強度	48
圖 3.20	MRI、WRF-MRI、HiRAM 及 WRF-HiRAM 於台灣地區平均降雨在世紀末減去現今時期之差異的空間分布。	49
圖 3.21	鋒面通過 21°N -25°N，119-123°E 且無消散或移出，即發生鋒面事件。	50
圖 3.22	2001-2016 鋒面天數趨勢 (a)全年、(b)冬季、(c)春季，與 (d)梅雨季	50
圖 3.23	TCCIP 觀測資料北部所有位置點 (共 270 個) dSPI1、3、9、18、27、36 所有乾旱事件的乾旱特性。	51

圖 4.1	Team 2 主要功能分組與縱向整合架構.....	53
圖 4.2	風險鑑別程序圖.....	56
圖 4.3	AdaptWGen 開發設計圖	58
圖 4.4	以 DSPiR 整合利害關係人參與之 DIKW 架構.....	58
圖 4.5	氣候變遷對漁業生產與漁產品供需影響途徑.....	59
圖 4.6	產官學各層級調查與訪談面向.....	59
圖 4.7	由風險鑑別建立詮釋模式流程.....	64
圖 4.8	詮釋模式原型示範.....	64
圖 4.9	支援調適決策工具設計邏輯圖.....	65
圖 4.10	縣市政府評分結果.....	65
圖 4.11	分組 2.2 關鍵領域分類與各課題執行關聯圖	66
圖 4.12	氣候變遷下近未來生活用水、工業用水與農業用水風險圖	67
圖 4.13	近未來桃園灌區旬缺水率分析.....	68
圖 4.14	近未來台北、板新、桃園地區生活用水之最大缺水率 10 年重現期分析圖。	68
圖 4.15	氣候變遷影響下淹水危害圖；(a) 20 世紀末與 (b) 21 世紀末.....	69
圖 4.16	氣候變遷影響下淹水危害-暴露圖；(a) 20 世紀末與 (b) 21 世紀末.....	70
圖 4.17	全臺崩塌危害圖.....	70
圖 4.18	各土地利用類型面對崩塌之危害暴露圖，並以權責單位管轄的空間尺度分類.....	71
圖 4.19	不同時期全臺各鄉鎮地區玉米第一期作風險圖.....	72
圖 4.20	綜合九大路徑現況颱風風浪條件下，臺灣海堤風險圖。	72
圖 4.21	以冬季平均日最低溫、春季累計降雨日數和春季、多雨季、少雨季平均日降雨量建立之懲罰羅吉斯回歸模式，考慮氣候變遷 RCP 8.5 情境下，使用五種全球氣候模式及其平均的氣象推估資料，估計的世紀末埃及斑蚊分布圖。	73
圖 4.22	2000-2017 年虱目魚養殖作業區風險圖	75
圖 4.23	重鬱症於暖化下之未來風險變化趨勢.....	76
圖 4.24	空間規劃議題之跨層級/尺度示意圖.....	78
圖 4.25	空間規劃與氣候變遷調適六步驟連結概念圖.....	78
圖 4.26	桃園市產業發展區域氣候變遷風險結構圖.....	79
圖 4.27	桃園市產業分布氣候變遷風險評估架構示意圖.....	81
圖 4.28	桃園市產業現況分布與淹水潛勢.....	81
圖 4.29	桃園市產業未來空間規劃與淹水潛勢.....	81
圖 4.30	雲林縣農業發展地區氣候變遷風險結構圖.....	82

圖 4.31 雲林縣農地氣候變遷風險評估架構示意圖.....	83
圖 4.32 農地分布與不同危害疊圖的暴露程度與氣候變遷雨量模擬疊圖暴露程度.....	84
圖 4.33 雲林縣水稻分布與溫度變化模擬疊圖暴露程度.....	84
圖 5.1 OpenAPI 測試圖.....	89
圖 5.2 MMIS 整合多元資料與模式之示意圖.....	91
圖 5.3 MMIS 淹水模式河川水位結果展示 (SOBEK 1D 模式).....	93
圖 5.4 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台粉絲專頁.....	94
圖 5.5 粉絲頁熱門貼文，觸及人數 8,213 人，按讚、留言與分享共 374 次.....	95
圖 5.6 粉絲頁藉影片貼文以吸引更多社群連結.....	95
圖 5.7 本計畫官方網站上知識專欄下的「氣候變遷新聞」.....	95
圖 5.8 電子報，以第 17 期封面圖片為例.....	96
圖 5.9 《臺灣氣候的過去與未來》封面.....	97
圖 5.10 《臺灣氣候的過去與未來》重點美化與重制之中英文宣傳單張.....	97
圖 5.11 動畫短片「一分鐘看懂臺灣氣候變遷科學報告 2017 第一冊」.....	98
圖 5.12 問卷調查官網知識轉譯部分的結果.....	98
圖 5.13 不同申請機構的申請量與應用領域.....	99
圖 5.14 申請資料的用途之字詞分析.....	99
圖 5.15 不同應用領域各年申請資料之類別.....	100
圖 5.16 TCCIP 資料與政府學研鏈結及槓桿效應.....	101
圖 5.17 TCCIP 資料帶動政府與學研氣候變遷調適應用.....	101
圖 5.18 科學報告下載頁面 (https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/publish_book.aspx).....	103
圖 5.19 整合服務平台後續一年推動架構.....	105
圖 5.20 現有 TCCIP 網站仍持續提供服務並完成資料更新網頁截圖.....	107
圖 5.21 RWD (Responsive Web Design) 響應式網頁可針對不同平台自動調整頁面.....	107
圖 5.22 新版首頁截圖.....	107
圖 5.23 新版提供未來推估之單點多模式資訊與資料下載.....	108
圖 5.24 新版出版品提供線上電子書閱讀功能.....	108
圖 5.25 整合服務平台後續四年推動架構.....	109
圖 6.1 拜訪 DPRI 中北教授，並取回 TOUGOU-D 的相關介紹文件。.....	112
圖 6.2 TOUGOU-D 成員與 Team 2 成員會後合影。.....	112
圖 6.3 與 DPRI 於 AOGS 2018 共同開設討論議題.....	113

圖 6.4	SEI 計畫徵求重點與推動時程.....	114
圖 6.5	RDA 開幕座談 (左圖) 與分組討論— BoF 開放研究與資料管理議題 (右圖).....	114
圖 6.6	拜訪討論會議結束後合影。資料來源：GERICS.....	115
圖 6.7	研討會花絮.....	116
圖 6.8	AOGS2018 研討會花絮.....	117
圖 7.1	下階段氣候變遷調適行動方案，部會及科技部分工 (資料來源：環保署規劃簡報).....	120
圖 7.2	環保署規劃推動之「國家氣候變遷風險評估」(草案)，科技部扮演之角色 (資料來源：環保署規劃簡報)	120

表目錄

表 1.1	研究人力配置圖.....	2
表 2.1	本計畫年度重要產品與成果.....	7
表 2.2	全球極端氣候指標 ETCCDI 列表，括弧內為該指標代號。左列為使用日降雨資料計算；右列為使用日平均/最高/最低溫度計算。.....	9
表 2.3	藉由利害關係人詳細定義漁業危害因子.....	15
表 2.4	氣候變遷影響下曾文溪主河道最大流量推估值與規劃值比較結果.....	21
表 2.5	綜整部會意見所整理之整合平台產品需求與服務建議.....	24
表 2.6	已規劃與執行中之使用者資料需求列表.....	26
表 2.7	規劃中或需要評估之使用者資料需求列表.....	26
表 2.8	使用者座談所彙整之資料需求列表.....	27
表 3.1	Team1 本年度重點工作項目進度與成果.....	31
表 3.2	資料建置相關研究主題.....	32
表 3.3	氣候模擬推估相關研究主題.....	40
表 3.4	各模式在 CTX、EHF 定義下所平均的熱浪發生頻率、持續時間及強度。.....	40
表 3.5	MRI 模式在不同海溫情境下，寒潮年平均發生次數、持續時間以及 48 小時降溫幅度。.....	42
表 3.6	HiRAM 模式在不同海溫情境下，寒潮年平均發生次數、持續時間以及 48 小時降溫幅度。.....	42
表 3.7	HiRAM 模式西北太平洋與影響臺灣颱風頻率分析。.....	44
表 4.1	Team2 工作項目、具體產出與目前縱橫向整合表.....	54
表 4.2	漁業領域物質流界定利害關係人名單.....	59
表 4.3	各層級海洋漁業關鍵氣候危害因子之確認.....	60
表 4.4	各層級水產養殖漁業關鍵氣候危害因子之確認.....	61
表 4.5	海洋漁業與水產養殖漁業暴露之確認.....	61
表 4.6	中央與地方政府氣候衝擊調適策略之潛在風險與不確定性.....	62
表 4.7	各領域氣候調適六步驟成果彙整表 (第一年成果).....	67
表 4.8	氣候極端危害指標之界定 (極端高溫與低溫指標).....	74
表 4.9	氣象因子與精神疾患之相關性 (HRs, 95% CI).....	76
表 4.10	氣候變遷調適與縣市國土計畫諮詢小組成員.....	85
表 5.1	Team3 工作成果概況。.....	87
表 5.2	科學數據原則-FAIR (Wilkinson et al., 2016).....	90
表 5.3	MMIS 不同物理量展示成果.....	92

表 5.4	使用 TCCIP 網站資料之教學與實作課程	93
表 5.5	使用者分析問題與對策.....	102
表 5.6	臺灣氣候變遷科學報告 2017 說明會暨氣候變遷資料使用經驗座談會」	104
表 5.7	舊有 TCCIP 網站完成更新之資料列表	106
表 6.1	國際學術交流重點項目及進展.....	111
表 7.1	後四年推動規劃建議.....	122

第一章 前言

1.1 團隊分工及整合架構

本期計畫包含氣候推估、調適評估及整合服務三個工作小組（分工架構如圖 1.1）；由過去 TCCIP 計畫及 TaiCCAT 計畫核心團隊與研究人員組成，將過去已累積之氣候變遷模式、資料庫、相關評估方法、工具以及對外溝通服務經驗，參考 NOAA CTB（Climate Testbed）架構進行有效的整合與創新服務（圖 1.2），透過 Team1 與 Team2 的縱向整合（關鍵領域之氣候資料、客製化分析、風險評估、調適策略）以及 Team2 的橫向整合（跨領域調適方法建立與應用、示範案例計劃之推動），以及 Team3 單一對外服務窗口，以達成科研與應用的實質整合。



圖 1.1 計畫分工與推動架構

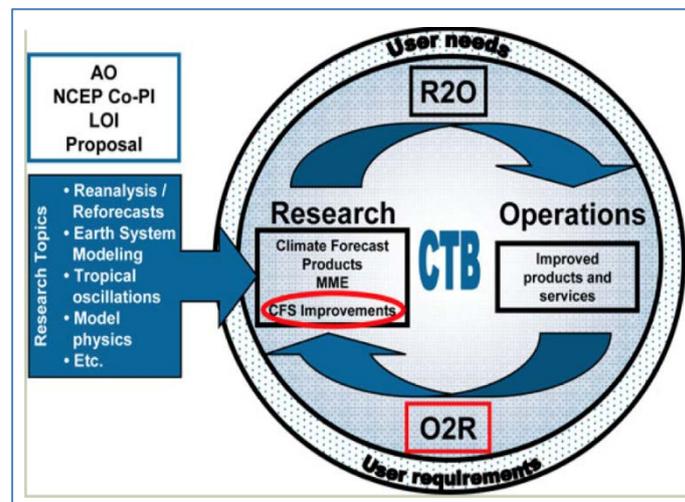


圖 1.2 NOAA 推動之 Climate Testbed (CTB) 架構圖

1.2 研究人力配置

本計畫牽涉的研究領域相當廣，相關研究人員都是該領域的一時之選，也充分體現跨部門、跨領域以及人才培育的精神，由 20 個學研單位及業務機關的 50 餘位研究人員共同合作，並由 3 位博士後研究協調三個工作組分工內容，以充分考量組間橫向連接 (表 1.1)。

表 1.1 研究人力配置圖

Team1	工作細項	主要研究人員	協同研究人員
歷史觀測資料建置與資料庫強化	臺灣 30 年歷史重分析資料動力降尺度	鄭兆尊 (NCDR)	洪景山 (氣象局)
	臺灣地區網格化資料更新與應用	翁叔平 (臺師大地理)	
	臺灣多源長期氣象資料建置與檢核	沈里音 (氣象局)	
	臺灣輻射資料反演及校驗	陳嘉榮 (氣象局)	張育承 (氣象局)
氣候模擬推估	HiRAM 全球模式氣候推估模擬	許晃雄 (中研院)	杜佳穎 (中研院)
	動力降尺度資料產製	鄭兆尊 (NCDR)	程家平 (氣象局)
	氣候推估於空氣污染物質濃度模擬與分析	許晃雄 (中研院)	蔡宜君 (中研院)
	統計降尺度資料產製與技術研發	陳正達 (臺師大地科)	
	小時資料產製與降雨頻率變遷分析	鄭克聲 (臺大生工)	
不同情境之高解析度氣候變遷特徵分析	寒潮與冬季季風變遷	洪志誠 (北市大生環)	
	夏季午後對流與降雨變遷	黃婉如 (臺師大地科)	
	副熱帶高壓變遷與影響	王嘉琪 (文化大氣)	
	自然季節變遷分析	洪致文 (臺師大)	
	臺灣區域風力變遷	許晃雄 (中研院)	
	建立大數據分析方法分析極端降雨事件與發生頻率	蘇世穎 (文化大氣)	
	臺灣極端天氣變遷趨勢	林李耀 (NCDR)	陳永明 (NCDR) 于宜強 (NCDR)
Team2	工作細項	主要研究人員	協同研究人員
氣候調適知識與工具之深化	強化氣候調適六步驟工具	童慶斌 (臺大生工)	江益璋 (文大建築) 李宗祐 (臺師大地理)
	建立利害關係人參與方法		
	建立跨領域詮釋模式		
	A. 淹水領域	葉克家 (交大土木)	許至璉 (國網中心)

Team2	工作細項	主要研究人員	協同研究人員
關鍵領域氣候風險與調適評估 (落實氣候調適六步驟、建立社會經濟情境需求架構、應用風險地圖)	B. 坡地災害	林銘郎 (臺大土木)	張志新 (NCDR) 吳亭燁 (NCDR)
	C. 水資源	李明旭 (中大水文)	陳韻如 (NCDR)
	D.糧食安全	盧虎生 (臺大農藝) 姚銘輝 (農試所)	徐永衡 (NCDR)
	E.健康_登革熱	劉宇倫 (疾管署)	魏嘉 (疾管署)
	E.健康_心理健康	郭育良 (臺大環醫)	陳乃慈 (國衛院)
	F.海岸	簡連貴 (海大河海) 陳偉柏 (NCDR)	
	G.漁業	呂學榮 (海大環漁)	侯清賢 (水產所)
調適評估案例示範	跨層級與跨空間治理	詹士樑 (北大城鄉)	李欣輯 (NCDR)
	關鍵議題跨領域研究	童慶斌 (臺大生工) 余化龍 (臺大生工)	李宗祐 (臺師大地理) 江益璋 (文大建築)

Team3	工作細項	主要研究人員	協同研究人員
計畫整合運作	統籌計畫跨分組與整體運作 計畫整合推動	林李耀 (NCDR) 許晃雄 (中研院) 陳正達 (臺師大地科) 童慶斌 (臺大生工) 陳永明 (NCDR)	童裕翔 (博士後) 趙益群 (博士後) 劉子明 (博士後)
氣候資料與調適服務功能開發與推廣	氣候資料服務、視覺化展示與繪圖	陳永明 (NCDR)	黃柏誠 (NCDR)
	氣候調適知識萃取與整合	童慶斌 (臺大生工)	
	氣候與調適應用使用者分析及服務推廣	陳永明 (NCDR) 童慶斌 (臺大生工)	郭士筠 (NCDR)
	知識轉譯、科學服務	陳永明 (NCDR)	王嘉琪 (文化大氣)
整合服務平台建置	調適評估資訊傳遞協定	余化龍 (臺大生工)	
	風險評估工具模組化功能建置	劉俊志 (NCDR)	
	資料庫、知識庫與圖資管理服務		黃柏誠 (NCDR)
	網站建置	陳永明 (NCDR) 童慶斌 (臺大生工)	黃柏誠 (NCDR) 李正國 (國網)
國際合作	Post-SOUSEI	許晃雄 (中研院) 鄭兆尊 (NCDR)	
	CORDEX-EA	陳正達 (臺師大地科) 鄭兆尊 (NCDR)	
	IMPRESSIONS	童慶斌 (臺大生工)	
	Belmont Forum EIDM/ AT3	李明旭 (中大水文) 童慶斌 (臺大生工)	余化龍 (臺大生工) 林錫慶 (國網中心) 郭士筠 (NCDR)

1.3 預期效益與本年度工作重點

本期計畫全程 5 年，以發展臺灣氣候資訊與調適科學服務整合平台為主要目標，服務內容與預期效益如圖 1.3 所示；。



圖 1.3 氣候調適服務整合平台服務內容與預期效益

Team1 氣候推估組在氣候資料之資訊方面，將針對多模式、多情境以及高解析度之全球氣候模式以及區域氣候模式進行資料產製、分析以及應用工具發展。

Team2 調適評估組在應用領域方面包含氣候變遷調適方法論與工具的強化，並針對淹水、水資源、坡地災害、海岸災害、農業、公衛、漁業、空氣品質..等領域進行風險評估與調適應用落實示範研究。

Team3 整合服務組在氣候變遷服務方面，打造新一代氣候變遷科研資訊、知識的服務平台，針對國內氣候變遷個別領域調適政策、學研應用、產業鏈結以及民眾知識傳播提供更為友善與效率，以及符合新一代數位服務與基礎建設的應用規範。

總體目標：以使用者與應用段為出發的氣候變遷科學研究與服務

本計畫下階段整體目標包含：

- 透過台灣本土高解析度模式模擬能力，提供台灣本土衝擊研究
- 強化多模式多情境之應用，有利於決策評估

- 強化氣候變遷資料之提供，滿足不同衝擊與關鍵領域風險評估需求
- 深化整合操作工具與流程之可行性，並落實於政府具體政策
- 建構單一服務窗口與平台，整合氣候情境、風險資訊、調適工具之氣候服務，落實科研應用
- 透過本期5年計畫的推動，依據累積的能量、人才與成果，評估國內推動氣候變遷實質研究單位的可行性。

本計畫為規劃 5 年期計畫，原計畫書相關推動時程規劃如圖 1.4 所示：



圖 1.4 本計畫之 5 年重要工作時程與產出規劃

第二章 重要產品與成果

為強化 TESTBE 應用連結與強化對 GRIP 不同使用者之服務，本期成果在研發與測試過程中，特別強調可落實應用的“產品”；因此，各工作群組除了個別議題的科研發展，需加強氣候推估、調適評估及整合平台建置的縱向與橫向的整合；表 2.1 為本年度各 Team 整合之產品與成果，包含新資料應用、新情境測試、新方法測試、新整合應用、新整合服務、新應用推廣六大項。

表 2.1 本計畫年度重要產品與成果

工作重點項目	進度與成果說明	整合工作
新資料應用： 日統計降尺度資料產製，以及台灣氣候變遷指標圖集產製	<input type="checkbox"/> 有別於以往月統計降尺度資料，本期計畫強化日統計降尺度資料之產製及其應用評估 <input type="checkbox"/> 為加強複雜氣候推估結果的可讀性，著手產製臺灣氣候變遷指標圖集，以強化氣候資訊之推廣與應用	Team1、Team2 縱向整合，Team3 服務推廣
新情境測試： 以 2°C 情境衝擊評估為例	<input type="checkbox"/> 利用新完成的統計降尺度日資料，參考歐洲 IMPACT 2°C 模式與情境，挑選台灣本土 2°C 的暖化情境，提供公衛、農業與水資源領域，應用於衝擊評估。	Team1、Team2 縱向整合
新方法測試： 更細緻的風險鑑別流程與應用評估	<input type="checkbox"/> 透過八個關鍵領域的實際操作與測試，建立更細緻可彈性操作的風險評估與鑑別流程	Team2 與利害關係人之整合應用
新整合應用： 動力降尺度系集模擬與 MMIS 應用測試效益評估	<input type="checkbox"/> 動力降尺度系集模擬之成效評估，並應用於淹水衝擊評估及 MMIS 模組化工具(多元資料與模式)建置測試	Team1、Team2 縱向整合
新整合服務： 氣候變遷整合服務架構	<input type="checkbox"/> 完成氣候變遷平台整合服務架構	Team1、Team2、 Team3 縱向整合
新應用推廣： 知識轉譯以及應用推廣	<input type="checkbox"/> 完成科學報告知識轉譯、推廣影片製作以及氣候變遷社群推廣服務	Team1、Team3 縱向整合應用

2.1 新資料應用：

日統計降尺度資料產製以及氣候變遷變遷指標圖集產製

TCCIP/II 產製統計降尺度月資料，對外提供未來暖化 4 組情境 (RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0)

與 RCP8.5) 下，溫度與雨量的月尺度統計降尺度資料，應用端音日資料的需求可能需要另行進行日資料的繁衍。本期計畫利用日解析的 GCM 產製更高時間尺度的日統計降尺度資料，可直接提供應用端之應用並進一步提供氣候變遷下極端氣候相關資訊。舉例來說，圖 2.1 時序圖黑色線為氣候月平均（過去提供的資料）可呈現的降雨變化率，而本期的新日資料則可進一步呈現出更細字的氣候變遷資訊，例如防災、水資源領域最關心的年最大降雨量、雨日持續天數...等相關極端降雨指標的變化率。

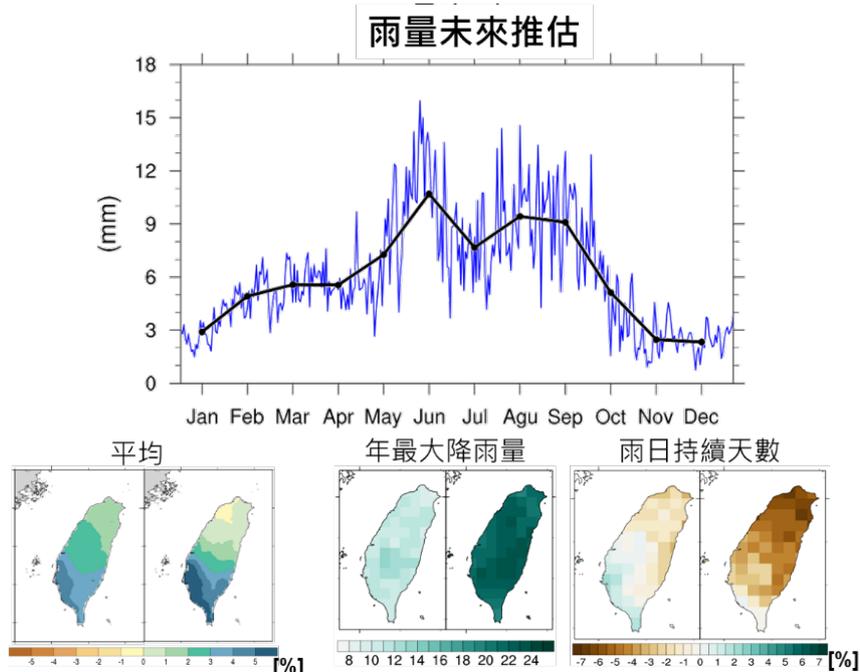


圖 2.1 上圖為統計降尺度月(黑線)/日(藍線)資料降雨量 [mm]年循環時序變化。下圖三組圖分別為暖化情境 RCP4.5 (左側) 與 RCP8.5 (右側)，21 世紀末 (2081-2100) 平均/年最大降雨/雨日持續天數的變化率[%]。

科學報告 2017 已針對此日資料的極端氣候指標進行分析與討論，然為有效推廣此氣候指標之資訊與應用，本計畫規劃產製一系列氣候相關圖表，藉由視覺化圖表，讓使用者更快速的了解臺灣氣候變遷未來推估可能變化趨勢與在地資訊。此圖集，將使用日時間尺度的 5km 網格化觀測資料及統計降尺度資料，空間範圍分別從全國，四大分區（北中南東區），以及可配合應用端擴展細緻到縣市尺度分布，產製世界氣候組織所認定之 26 個極端氣候指標 (ETCCDI)，及適用於臺灣在地化加值應用端之指標 (TWCCDI)。

2.1.1 圖表集製作說明

■ 推估未來氣候變化

未來推估的時間序列或是空間變化率，使用的參考基期時段為 1986-2005，21 世紀氣候改變的推估描述，區分為近未來 (2016~2035 年)、世紀中 (2046~2065 年) 與世紀末 (2081~

2100 年) 三個時期，並且是以各推估時期 20 年平均值減去現今氣候基期 (1986~2005 年) 20 年平均值，以計算得出各時期平均改變量。

■ 空間分區

圖集表格以臺灣全區與分區的呈現。分區依範圍大小，共分為臺灣四大分區與細緻化縣市 17 分區兩類。臺灣四大分區分別為北、中、南、東，而細緻化縣市 17 分區，其中基隆、臺北、新北市、桃園、新竹縣(市)、苗栗歸類於北部地區；臺中、彰化、南投、雲林、嘉義縣(市)為中部地區；臺南、高雄縣(市)、屏東為南部地區；宜蘭、花蓮、臺東則為東部地區，所有縣市共 17 分區。

2.1.2 氣候指標及說明

■ 通用型全球極端氣候指標 ETCCDI之產製

世界氣候組織 (CCI/CLIVAR/JCOMM)所製定的極端氣候指標 (ETCCDI, Expert Team on Climate Change Detection and Indices)，長期應用於評估全球極端氣候變化情況，去除不適用於臺灣氣候特徵後，應用到降雨 (13 個)/ 溫度 (13 個) 共計使用 26 個 (如表 2.2 所示)。

表 2.2 全球極端氣候指標 ETCCDI 列表，括弧內為該指標代號。左列為使用日降雨資料計算；右列為使用日平均/最高/最低溫度計算。

降雨	溫度
最大日降雨(RX1DAY)	日高溫的最大值(TXx)
最大連續五日累積降雨量(RX5DAY)	日低溫的最大值(TNx)
簡單日降雨強度(SDII)	日高溫的最小值(TXn)
大雨日數(R10mm)	日低溫的最小值(TNn)
非常大雨日數(R20mm)	冷夜日數(TN10p)
日雨量大於 80mm 天數(R80mm)	冷日日數(TX10p)
日雨量大於 200mm 天數(R200mm)	暖夜日數(TN90p)
雨日(RR1)	暖日日數(TX90p)
乾期連續日數(CDD)	暖期持續指標(WSDI)
雨期連續日數(CWD)	冷期持續指標(CSDI)
非常大雨日累積雨量(R95pTOT)	熱浪持續指標(HWDI)
極端大雨日累積雨量(R99pTOT)	寒潮持續指標(CWDI)
雨日累積雨量(prcpTOT)	平均日溫差(DTR)

以年總降雨量 prcpTOT (Annual total precipitation in wet days) 做為示範案例。定義為所有兩日 (日降雨量 $\geq 1\text{mm}$) 的累積降雨量 (單位: mm)。圖集配置如圖 2.2 所示, 左側空間分布包含觀測網格(TCCIP 5km)與模式基期; 右側未來推估以長條圖表示不同區域各時期/各情境的平均改變率(單位: %)。

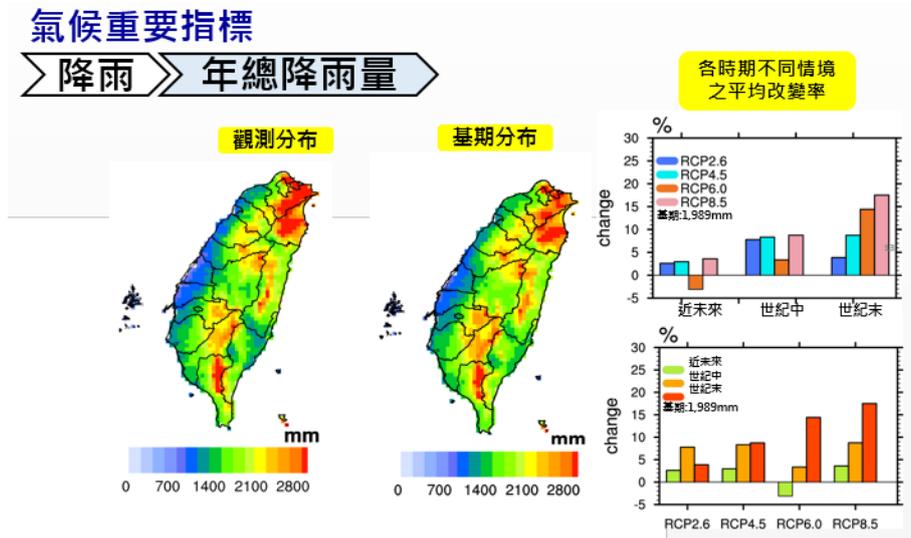


圖 2.2 氣候指標 ETCCDI 示範案例：年總降雨量 (prcpTOT)。

■ 客製化臺灣極端氣候指標 TWCCDI之產製與應用

為發揮統計降尺度日資料多模式資料組最大綜效, 逐步建立適用於臺灣在地化特色的臺灣極端氣候指標 (Taiwan Climate Change Detection and Indices, TWCCDI)。透過 Team1 與 Team2 隻討論, 針對新的日資料組可提供暖化情境下極端氣候相關資訊進行應用評估。以虱目魚養殖漁業需求為例 (如圖 2.3 所示), 客制化日最高溫 30 度持續 5 天的事件指標 (TX30D5), 鏈結 Team2 漁業領域分析每 5 年平均虱目魚魚塭養殖區塊位置變化(虱目魚較適於高溫環境), 近一步討論並應用於此魚種之養殖區域擴張之研究。

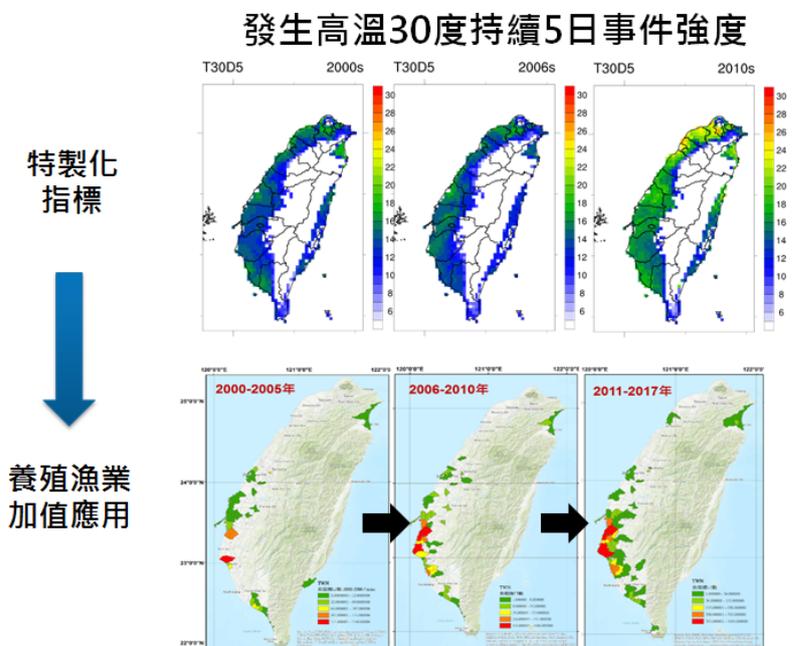


圖 2.3 臺灣氣候指標 TWCCDI 示範案例：極端高溫指標 TX30D5 (單位: 天)(上圖); 虱目魚養殖魚塭密度分布圖 (下圖)。

2.2 新情境測試：增溫 2°C 情境衝擊評估為例

本期計畫應用統計降尺度日資料，提供使用者 AR5 的 4 種暖化情境未來推估資料外，新增加一組增溫 2°C 情境 (Plus 2°C, P2C)。此為目前世界各先進國家根據巴黎協議，為了減緩全球增溫趨勢進行減碳目標所訂定的暖化情境，在應用上也有別於 RCP 情境對應用端的複雜情境解釋。本研究參考德國 PIK 所執行的增溫 2°C 衝擊評估計畫 IMPACT2C(Quantifying projected impacts under 2°C warming)(D. Jacob, 2015)，從 CMIP5 未來推估資料挑選 12 組模擬結果提供衝擊評估模擬，此研究可以指出不同 RCP 情境發生 2°C 的可能時間點及其可能的衝擊情形，以強化應用端在研擬調適對策的時間點以及啟動時機。

本計畫先行測試公衛、農業以及水資源領域在 2°C 的應用(如圖 2.4)。公衛應用統計降尺度日資料評估登革熱病媒蚊遷徙移動變化範圍；農業則是評估玉米產量的趨勢變化；水資源應用降雨資料評估乾/濕季大漢溪流量變化。此情境資料/資訊流的串接了，上游氣候模式資料情境挑選，到下游各領域的衝擊評估，完整應用平台氣候變遷大數據資料庫將上-下游整合，此應用評估結果可作為後續國家情境之設定參考依據。

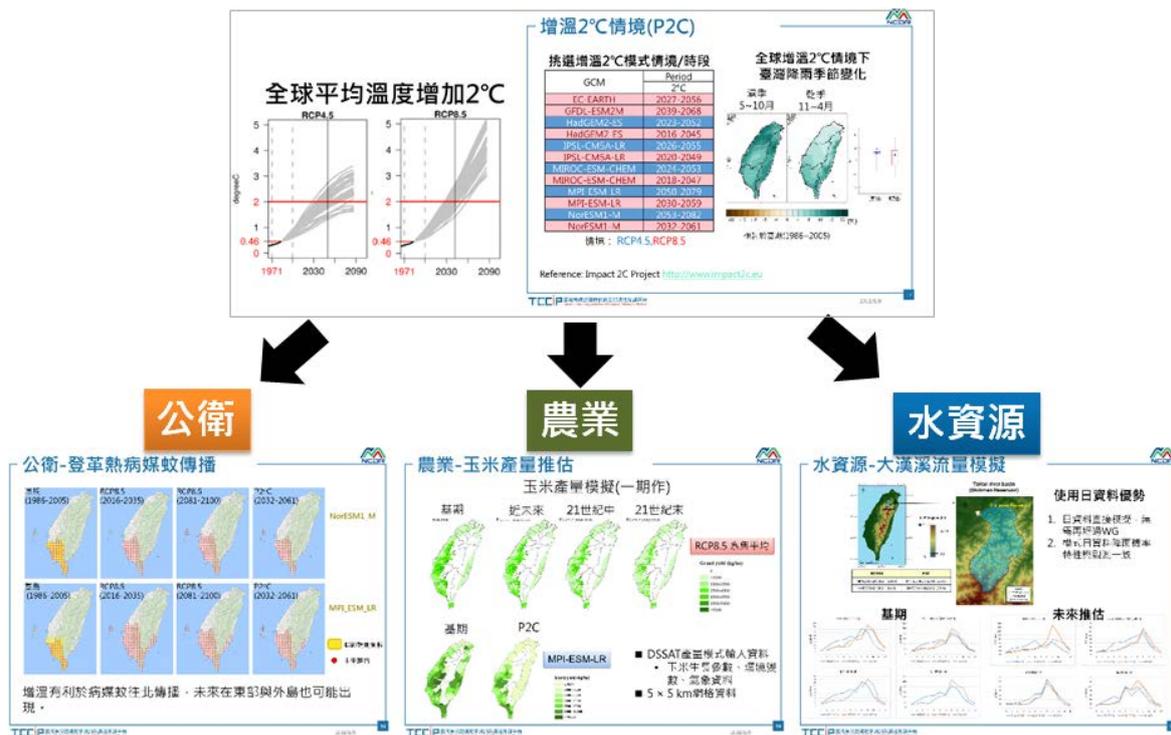


圖 2.4 參考 IMPACT2C 模式與情境，從統計降尺度日資料庫挑選 P2C 的暖化情境，提供公衛、農業與水資源領域，做下游應用衝擊評估。

2.3 新方式測試：更細緻的風險鑑別流程與應用評估

本計畫「Team 2：氣候風險評估與調適應用」小組中之氣候調適知識工具的開發，係以

TaiCCAT 調適六步驟為主軸。為了建立後續跨領域、跨層級的使用者導向服務，需要一個共同的開發核心，「標準風險鑑別程序」。自 IPCC 在 AR5 定義風險為暴露、脆弱度及危害這三個因子的交集後，使之後續在實際應用操作上，一直欠缺一個標準的且可操作的詳細因子定義，導致在解釋氣候風險時常會出現無法精準表達之狀況，故本計畫全新詮釋且建立一套展新的標準風險鑑別程序，此標準風險鑑別程序特點如下。

2.3.1 建立可操作、可調適的風險地圖

在風險鑑別程序中，清楚說明暴露、危害及脆弱度因子為何，同時更進一步將在評估過程中所使用的模式工具列出，建立輸入資料-模式-產出等資訊流，可協助日後進行調適時之因子確認，如圖 2.5 上半部紅框。意即選擇調適選項所變動的因子，便可瞭解在整體風險鑑別程序中的位置 (圖 2.5)，並作模擬分析調適的效果。

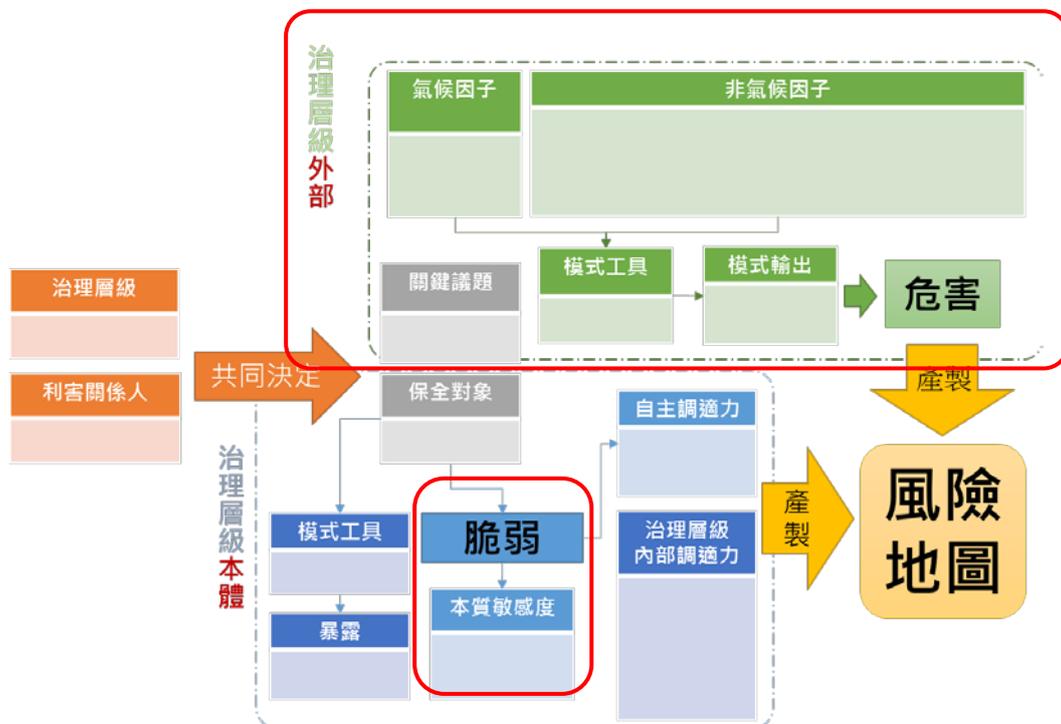


圖 2.5 風險鑑別程序中呈現工具與資料

■ 分析不同決策觀點的風險成因，清楚界定治理層級的調適權責

風險鑑別程序中，在符合 IPCC 對風險的定義解讀下，將決策層級內部本體之因子歸為脆弱度，決策層級以外的視為危害，輔以進行不同層級的風險鑑別，便可瞭解降低氣候風險之權責歸屬應屬於哪個治理層級。舉例來說，對於縣市政府而言中央管河川上之構造物屬外部危害因子中的非氣候因子，自身沒有權限進行主動的調適，必須往上呈報；若以中央層級的觀點來看，這些構造物就是屬於脆弱度裡面的內部調適力。

■ 在相同的框架上讓不同的使用者、研究開發者得到客製化的資訊或是在一定的基礎上進行個別的深入分析

國內雖有許多針對水資源、淹水、坡地及海岸災害等領域進行的風險研究，然而，卻因無法滿足使用者需求，欠缺靈活的評估彈性，使得風險地圖產製時，僅呈現現況的風險程度，而較無法進行後續的應用。因此，本計畫依據所提出之風險鑑別程序，透過考量不同層級的使用者，依階段透過危害圖、選取特定保全對象、以及考量其暴露度，以不同空間尺度的資料套疊計算風險和展示可能的高風險熱區，以解決無法彈性評估之問題。以本計畫中之坡地災害為例，透過雨量改變量和崩塌潛勢可定義危害，對應到不同保全對象時，因保全對象所在和管理的空間尺度不同，會有不同程度的風險 (圖 2.6)。後續進一步依照不同使用者的需求，套疊相關圖資，可單獨針對某一項保全對象類型探討，以釐清針對該保全對象在氣候變遷情境之下，現況的對策及後續待釐清和解決的問題 (圖 2.7)。

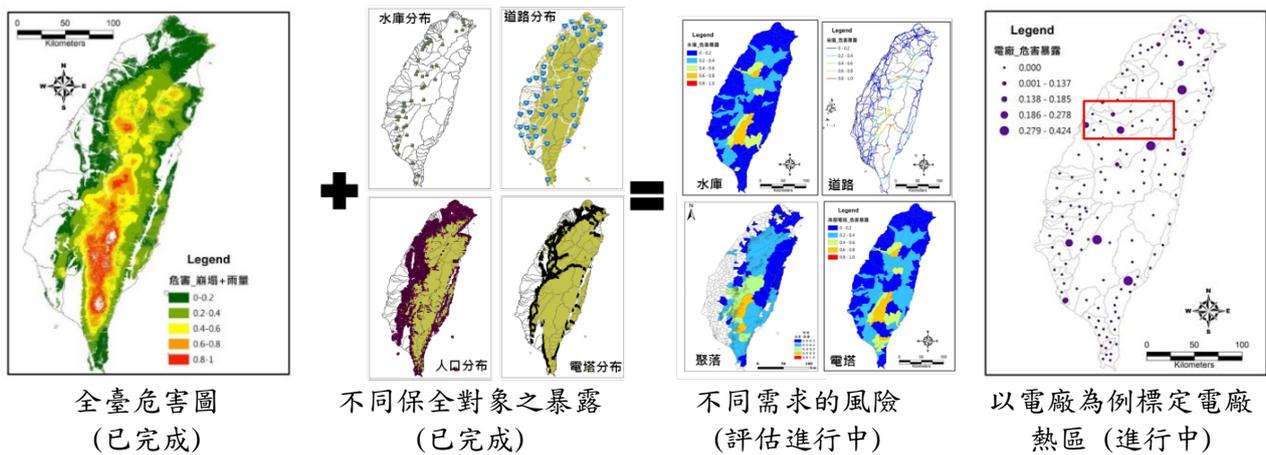


圖 2.6 以坡地災害為例呈現不同需求的風險產製

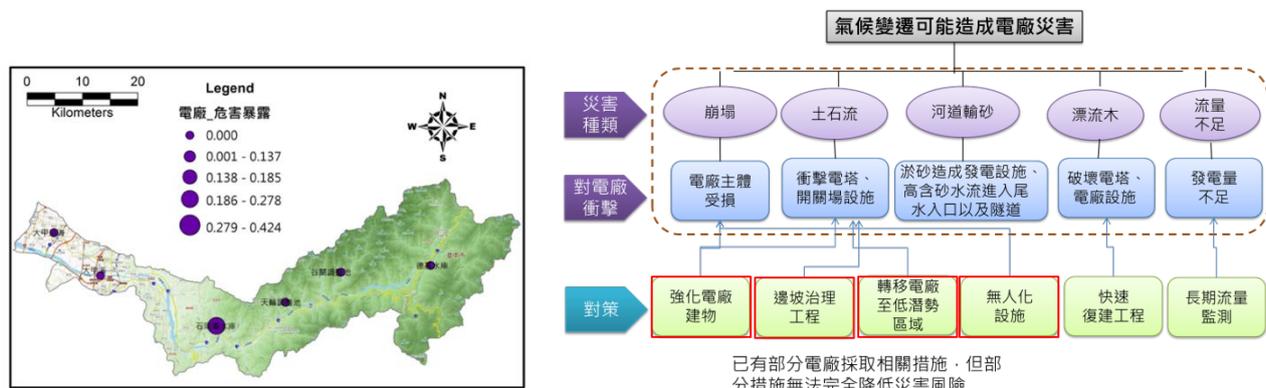


圖 2.7 以電廠為例受到坡地災害衝擊之對策與現況問題

■ 不同的研究領域採用相同的架構，以利跨領域評估的進行

跨領域整合一直是氣候變遷研究中所面對一項挑戰。整合的過程需要有共同的規範與傳輸連結，故風險鑑別程序在這裡就是跨領域評估的核心。透過風險鑑別程序的因子界定，進一步形成不同領域之間的連結網路，在這個階段就可以利用網路分析指標進行因子的重要程度分析，分析的結果可作為調適的重點參考，代表該因子相關的調適選項影響層面或是程度甚廣，最後在依照不同的使用者需求進行詮釋模式的訓練，讓使用者不需要原本繁瑣的模擬模式，在一定可接受的不確定性下進行跨領域的風險評估 (圖 2.8)。

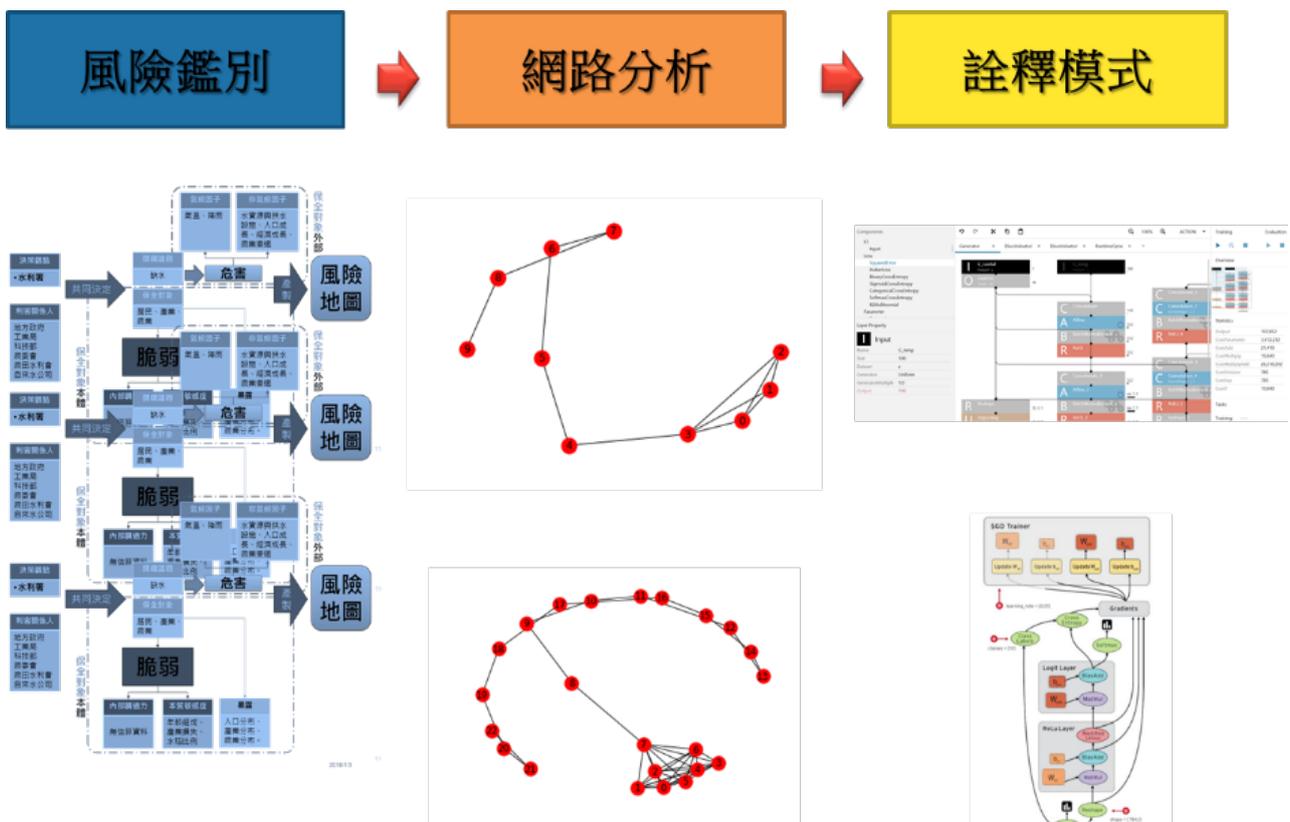


圖 2.8 由風險鑑別建立詮釋模式流程

■ 納入利害關係人的觀點於風險評估流程

利害關係人參與氣候風險調適的目的，絕非單向性的聽取專家學者的研究報告結果。而是應該在研究一開始便針對不同的需求進行整體研究設計。故在風險鑑別程序的開端，係由利害關係人與治理層級共同決定關鍵議題。本計畫中針對關鍵議題有非常嚴謹的要求，以漁業為例同樣是評估養殖漁業的危害中，相同的氣溫因子，在文蛤業者所關注的是高溫，但是在虱目魚業者所關注的卻是低溫。若在不同的養殖規模中討論，就會對於連續不同天數的高低溫事件有不同的危害判斷標準 (表 2.3)。

表 2.3 藉由利害關係人詳細定義漁業危害因子

評斷標準	高溫				低溫		
	指標1	指標2	指標3	指標4	指標1	指標2	指標3
連續3天	27°C	30°C	32°C	35°C	6°C	8°C	10°C
連續5天	27°C	30°C	32°C	35°C	6°C	8°C	10°C
連續7天	27°C	30°C	32°C	35°C	6°C	8°C	10°C
連續10天	27°C	30°C	32°C	35°C	6°C	8°C	10°C

2.3.2 各領域風險鑑別程序成果

各領域風險鑑別程序應用成果，如圖 2.9 至圖 2.17 所示。

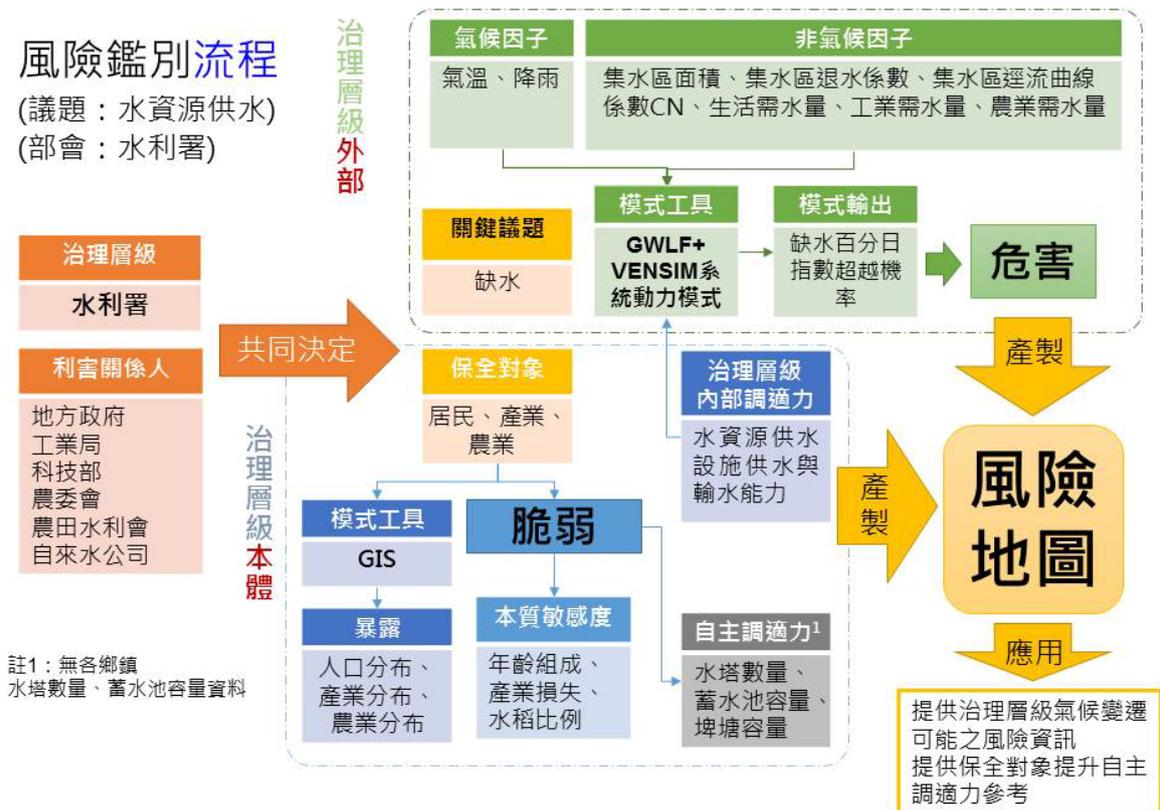


圖 2.9 水資源領域風險鑑別程序成果

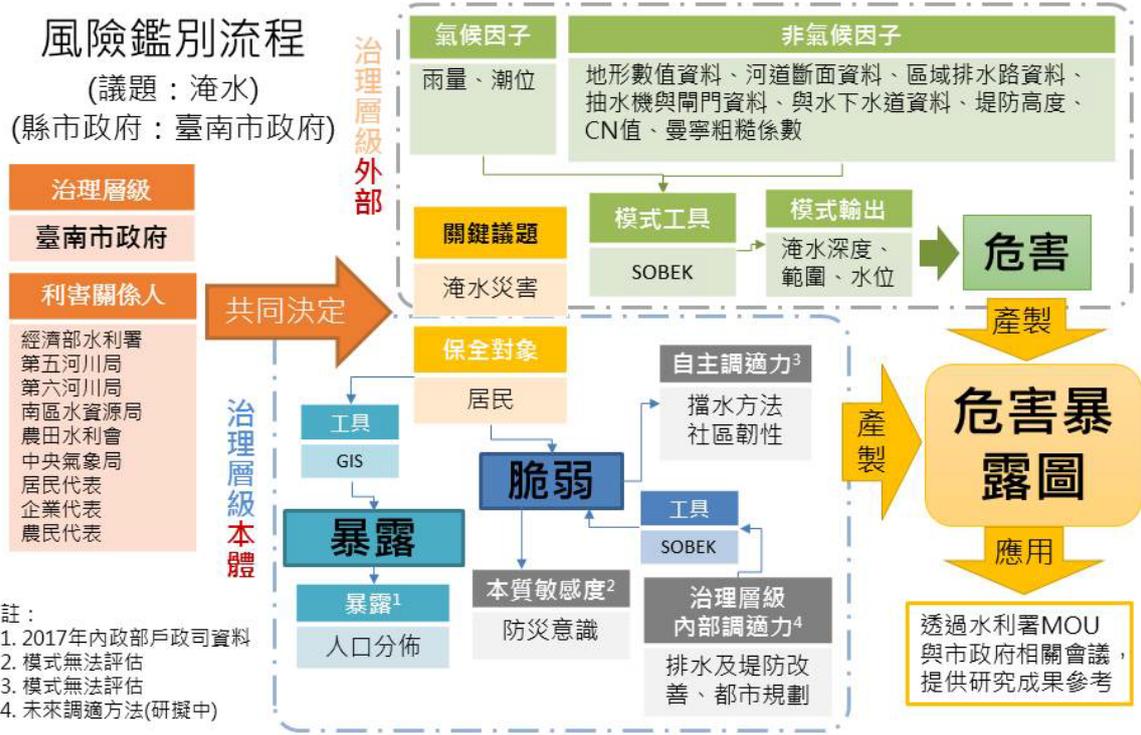


圖 2.10 淹水領域風險鑑別程序成果

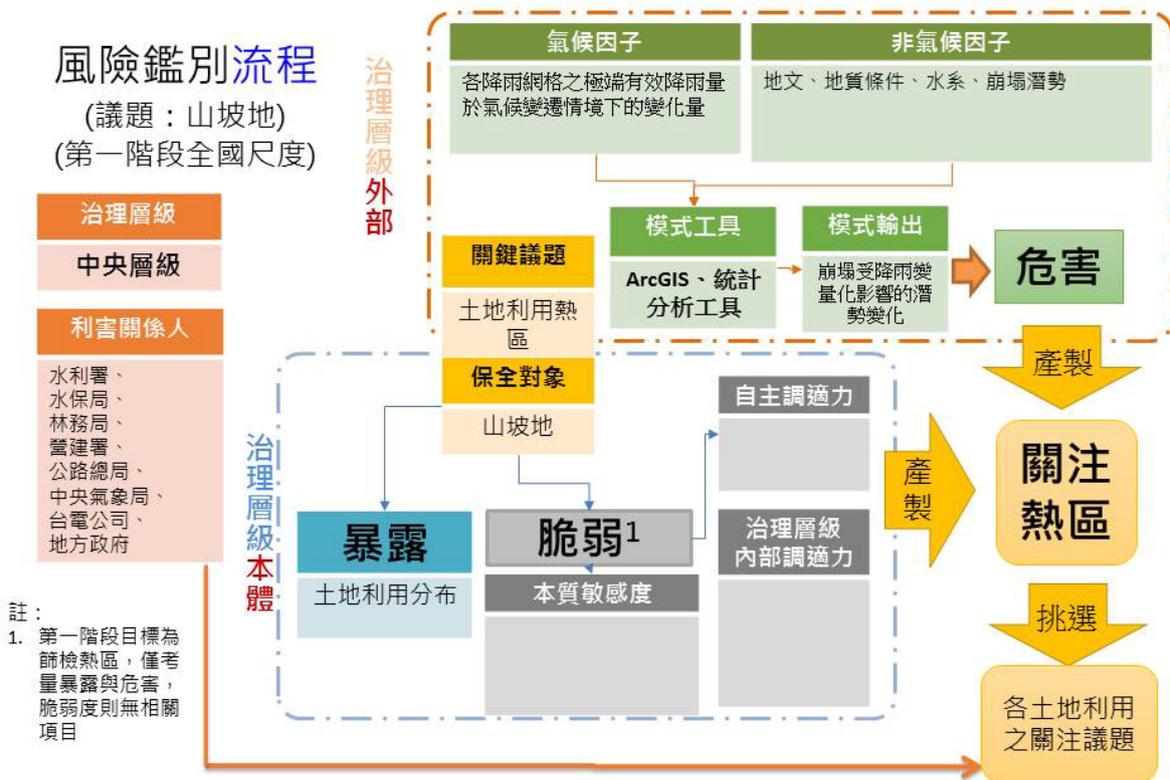


圖 2.11 坡地領域風險鑑別程序成果

風險鑑別流程

(議題：糧食安全)
(中央部會：農糧署)

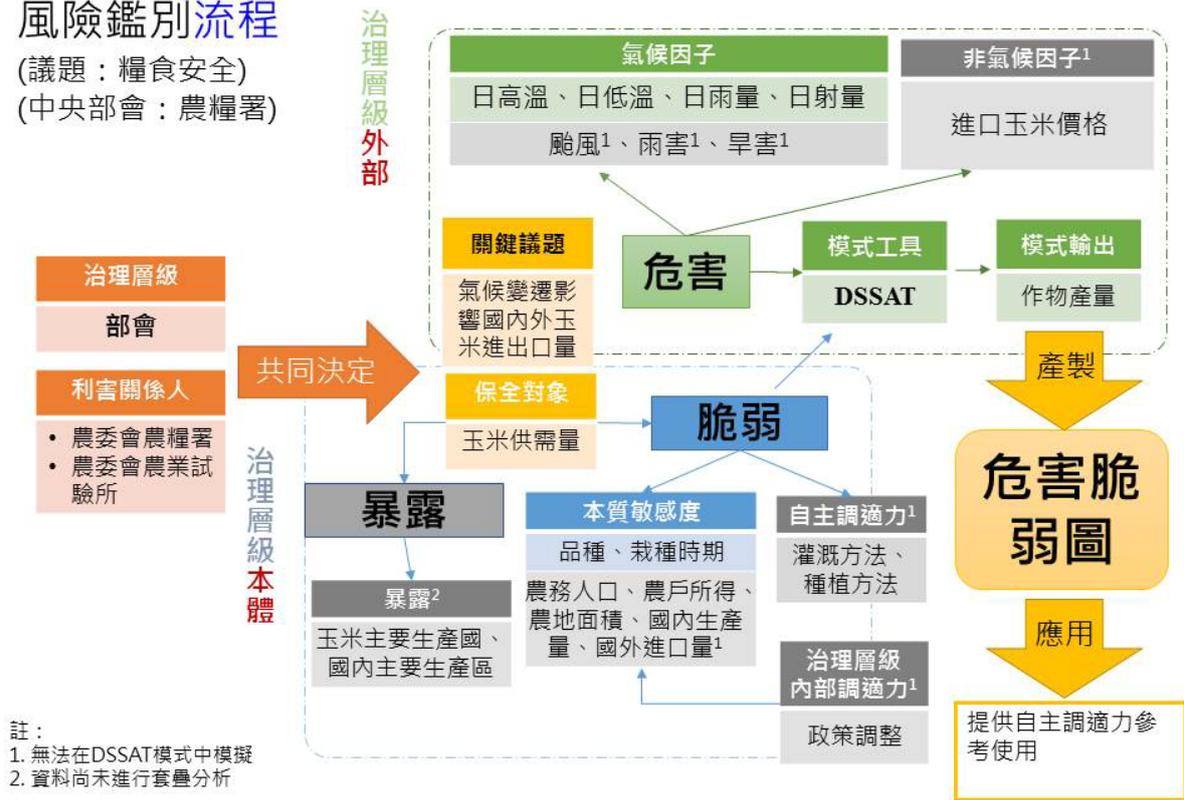


圖 2.12 農業領域風險鑑別程序成果

風險鑑別流程

(議題：海岸)
(中央部會：水利署)

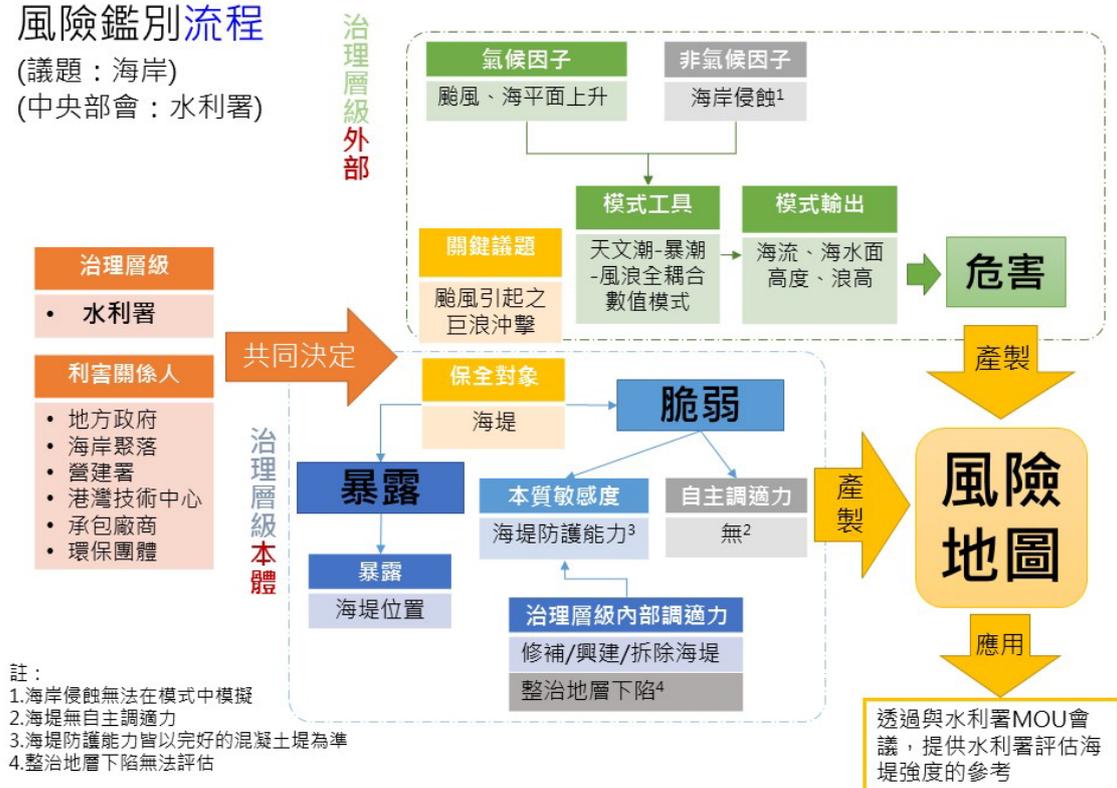


圖 2.13 海岸領域風險鑑別程序成果

風險鑑別流程

(議題：海洋漁業)
(中央部會：漁業署)

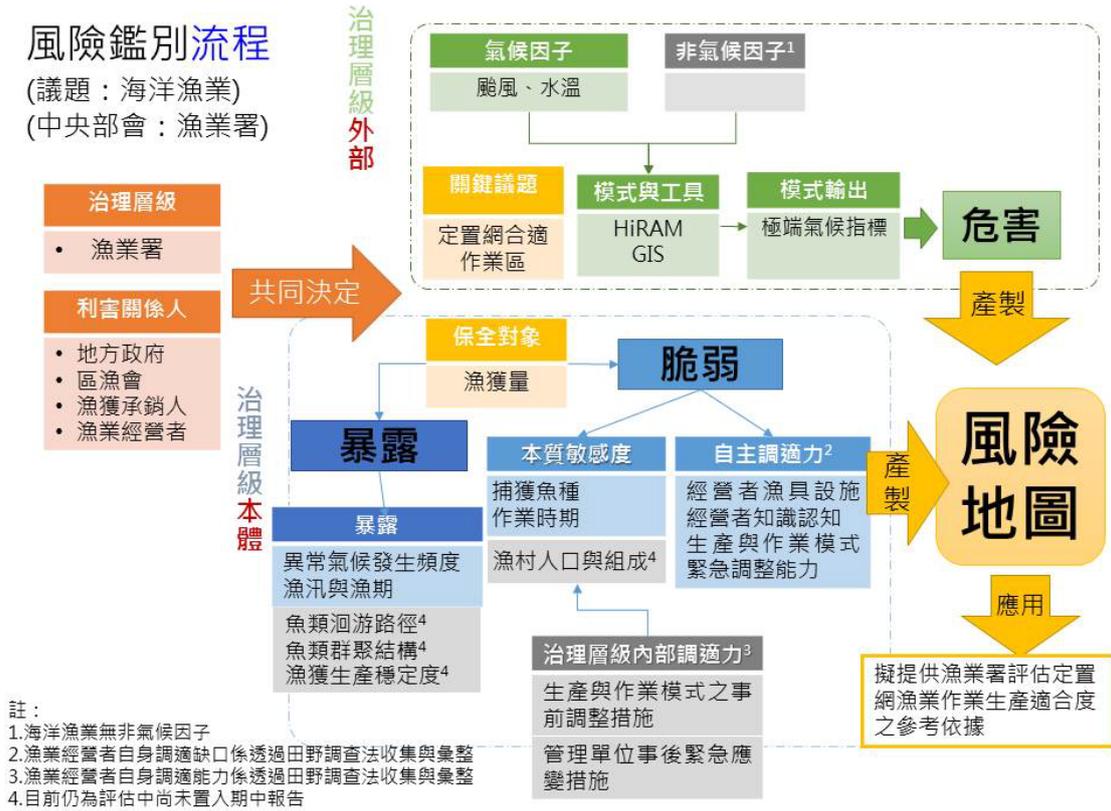


圖 2.14 漁業領域風險鑑別程序成果—定置網合適作業區議題

風險鑑別流程

(議題：水產養殖漁業)
(中央部會：漁業署)

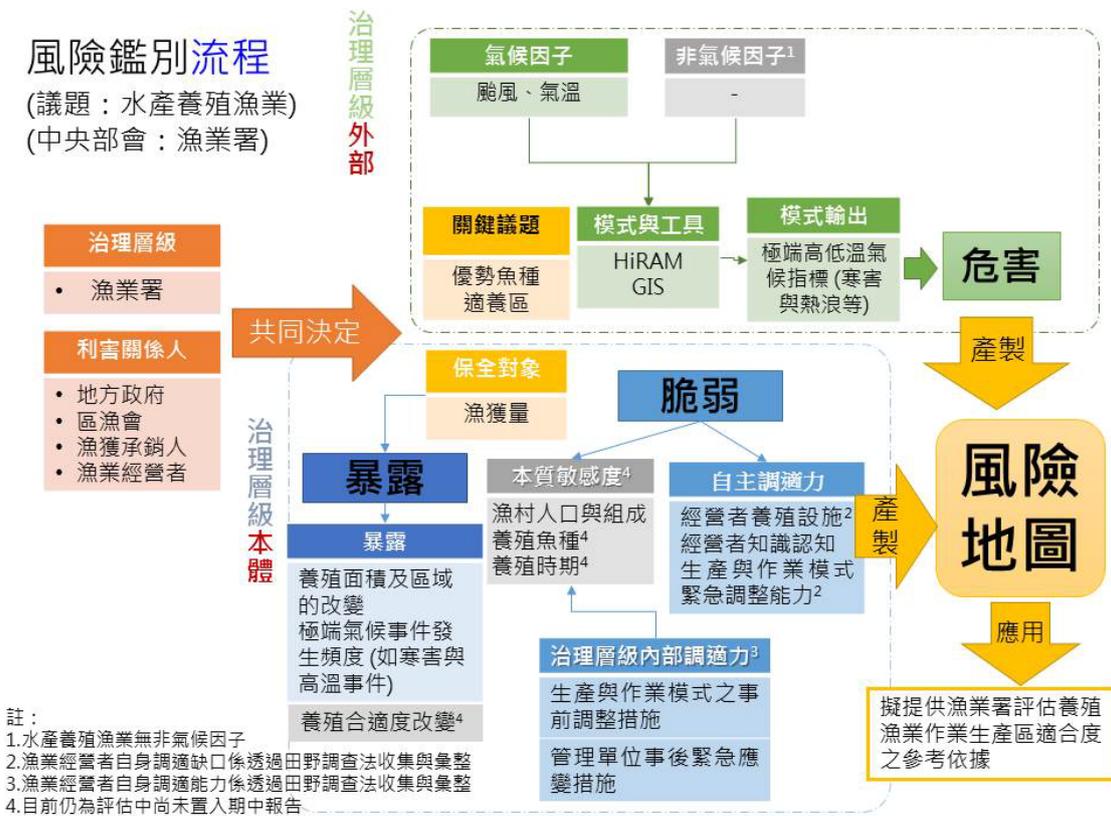


圖 2.15 漁業領域風險鑑別程序成果—水產養殖漁業議題

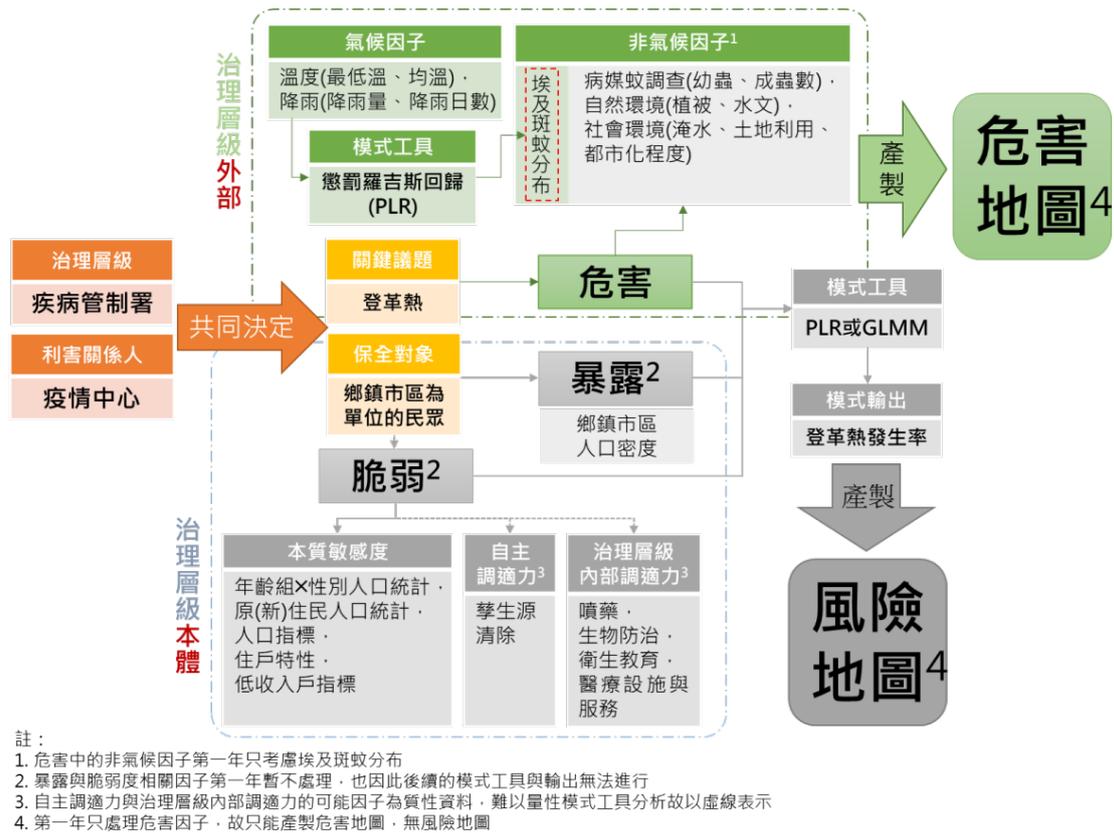


圖 2.16 登革熱風險鑑別程序成果

風險鑑別流程

(議題：心理健康)
(地方)

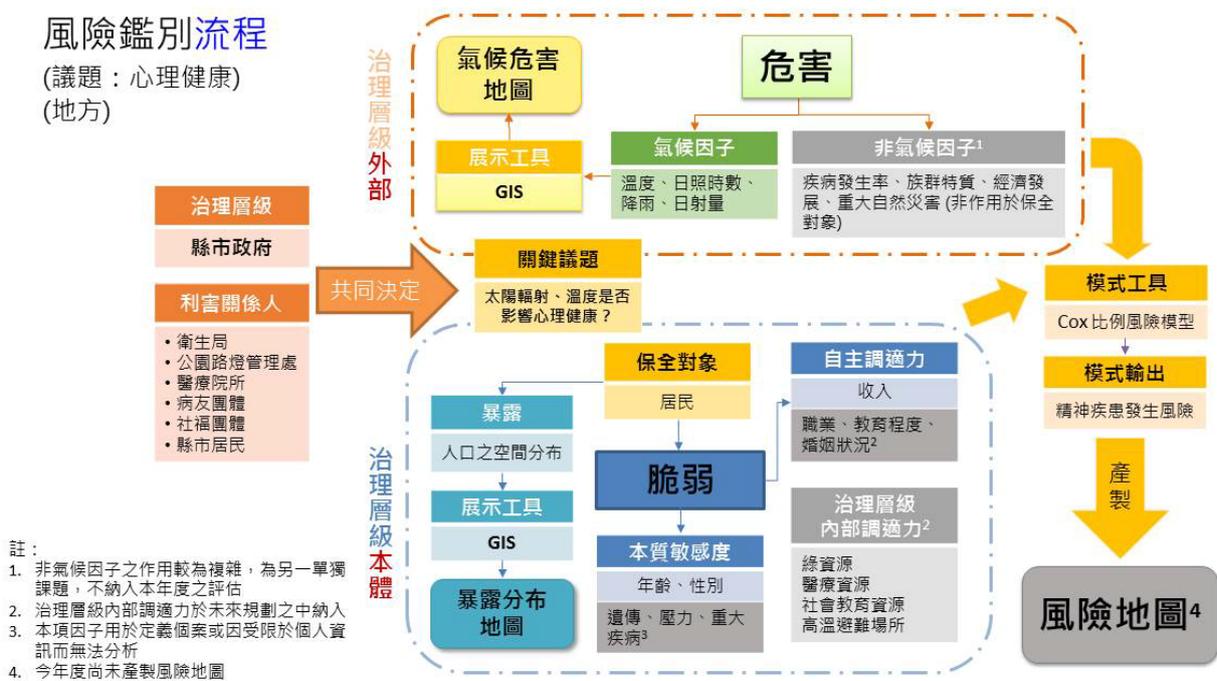


圖 2.17 心理健康風險鑑別程序成果

2.4 新整合應用：動力降尺度系集模擬與 MMIS 應用測試

臺灣氣候變遷的未來推估，時間尺度為月的平均氣候趨勢，或者時間尺度為日的極端氣候推估，都可應用本期計畫產製的統計降尺度日資料，以多模式系集平均的方式，尚可以提供概括的特徵描述。但對於颱風、坡地及淹水等類似相關的短延時災害，需要更高時/空解析度的動力降尺度模擬。以圖 2.18a 及圖 2.18b 為例，使用多個系集成員模擬、相對於少數個成員，除可減少推估結果的不確定性，在數量多到可以提供統計信賴區間下，災害的未來推估將可以機率的方式呈現，而不是以少數模擬決定性預測，有利於降低政策決定的風險。

本期計畫依此歐洲及日本氣候變遷調適政策決定概念，應用動力降尺度多組系集模擬颱風期間，臺灣 5 大流域在最極端排序前 5 名的降雨量推估呈現類似的結果。圖 2.18c 使用 2 組動力降尺度資料 (WRF-HiRAM、WRF-MRI) 單一系集模擬，未來推估呈現不同的變化趨勢；當各別使用 4 組系集成員可呈現一致性降雨增加的變化情況 (圖 2.18d)。但此階段成果對於坡災、防洪尚不足做為決策上的應用，未來 4 年內應用動力降尺度技術模擬千場颱風個案，將可以符合統計可信度範圍內發生機率的方式呈現災害風險。

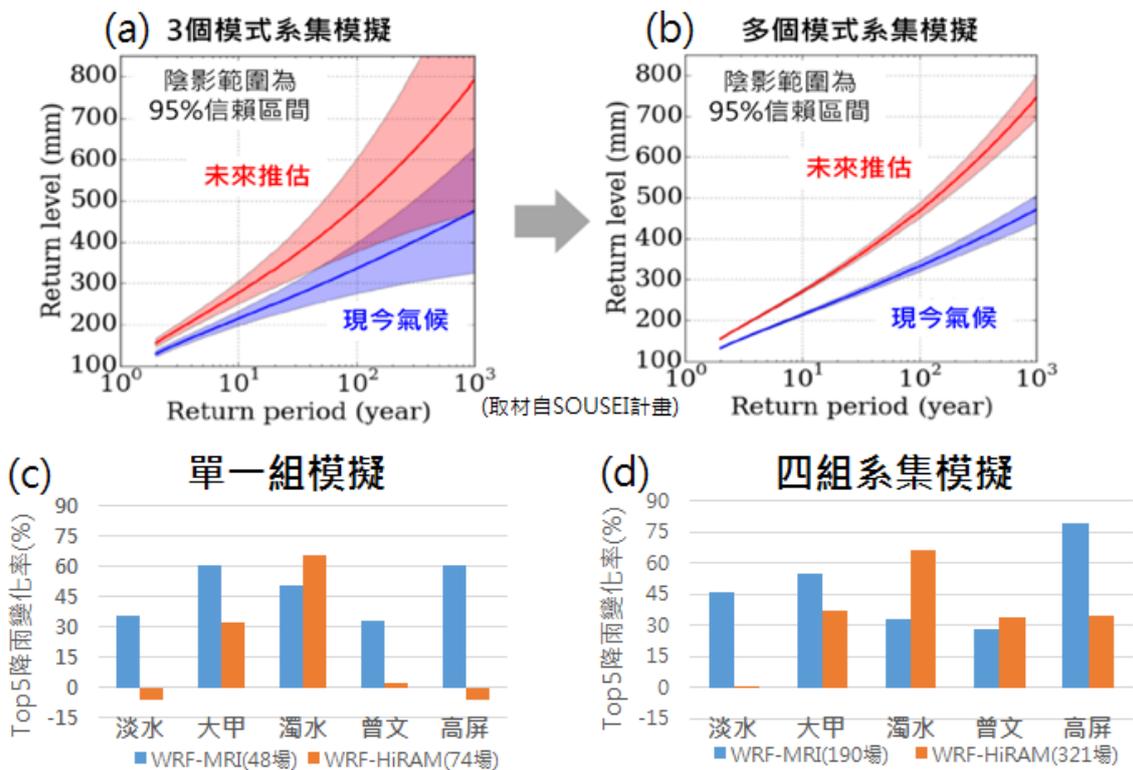


圖 2.18 應用動力降尺度資料計算符合 95% 信賴區間，現今與未來推估極端降雨的重現值評估。(a) 是使用 3 個模式、(b) 則是使用多組長時間系集模式資料 (取材自 SOUSEI 計畫網站)。使用 WRF-MRI 與 WRF-HiRAM 用類似的作法，推估未來臺灣 5 大流域最劣 TOP5 降雨量的變化率，(c) 為使用單一組模擬分析結果；(d) 則是用四組系集模擬分析結果。

臺灣 5 大流域系集模擬結果透過淹水領域，首次應用於今年度臺南地區淹水衝擊評估成果中。**表 2.4** 為氣候變遷影響下曾文溪主河道流量推估與規劃值比較結果。結果顯示，利用單一模式推估氣候變遷下之極端降雨事件造成之河段最大推估流量，僅在官田溪匯流前之最大推估流量值大於所公告之規劃值外，其餘河段之最大推估值均小於公告值。此結果代表，未來在氣候變遷影響下，曾文溪主河道僅在官田溪匯流前會有外水溢堤機會。但是，當考慮系集模擬結果後，可發現各河段氣候變遷下之最大流量推估值均大於公告值。此代表未來曾文溪各河段在氣候變遷影響下，均有機會發生外水溢堤之機會；其溢堤發生率均介於 1~2% 間。由此結果可知，系集模擬結果除了可提供更大量的極端降雨事件外，更可從這些大量的極端降雨事件中，選擇出氣候變遷影響下最嚴重之代表極端降雨事件。另外，在最大淹水面積推估上，透過系集模擬結果所推估之臺南地區未來平均最大淹水面積較單一模式增加 2 倍，且最大淹水面積接近 385 km²，約佔臺南地區面積之 17.6%，如**圖 2.19** 所示。

未來政府相關政策規劃，需考量氣候變遷對各類災害所造成之衝擊評估結果，以利後續相關政策規劃。而災害領域在氣候變遷影響下之衝擊評估結果，需靠大量模擬增加樣本以及統計特性來提升可信度與參考價值；因此系集模擬在未來是不可或缺之要角。目前 Team 1 僅能提供四組系集模擬結果，共 511 場颱風事件，Team 1 將透過不同模式來源、不同情境產製大量颱風樣本（預估超過千場颱風），以利進行後續應用評估。

表 2.4 氣候變遷影響下曾文溪主河道最大流量推估值與規劃值比較結果

Unit : m ³ /s	83年公告值(a)	單一模式(b)	差異(c)=(b)/(a)	系集模式(d)	差異(d)=(d)/(a)
後嵴溪匯流前	4,940	4,372	0.88 (-)	5,828	1.18 (+)
菜寮溪匯流前	6,800	6,175	0.91 (-)	7,341	1.08 (+)
官田溪匯流前	8,030	8,199	1.02 (+)	8,892	1.11 (+)
西港大橋	9,200	8,465	0.92 (-)	9,538	1.04 (+)
曾文溪口	9,200	8,322	0.90 (-)	9,600	1.04 (+)

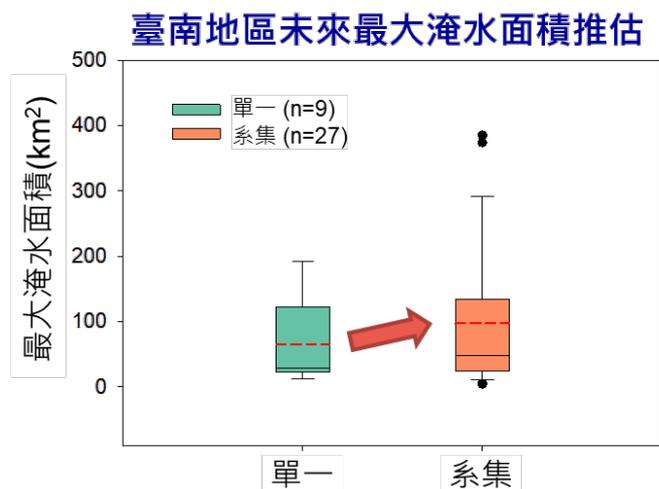


圖 2.19 單一組模擬結果及系集模擬臺南地區最大淹水面積推估結果。

另一方面，此數千場極端降雨事件再提出政策規劃前，各領域仍需進行相關模擬與分析。以淹水領域為例，雖然今年與水利署及國網合作，使用高效能淹水模組進行相關模擬，但未來如需分析千場極端降雨事件，為有效計算及其快速評估模擬結果，仍需搭配本計畫已經建置之「氣候變遷多元資料與模式整合系統」(Multi-data Multi-model Integrated System，下列簡稱 MMIS)，來縮減模擬及分析時間。

從上述整合測試結果顯示，本計畫所推動的大量系及模擬策略以及 MMIS 模組化工具，在未來資料應用強化上有其不可或缺的重要性。

2.5 新整合服務：氣候變遷整合服務架構

為打造符合國內部會、地方政府、產業以及大眾面對氣候變遷調適所需之整合平台，本計畫參考國內外氣候變遷調適相關平台，擷取服務經驗與參考服務內容，透過 Co-Design 過程規劃平台服務內容，再依照前期計畫之服務經驗，打造全新的氣候變遷科學與調適服務整合平台。

2.5.1 盤點與檢視國內外相關平台

■ 盤點國內氣候變遷科學與調適服務相關平台

本研究為建立國內氣候變遷科學與調適服務平台，乃探索國發會、環保署、水利署以及教育部等部會所建立之氣候變遷網站，以了解目前國內氣候變遷科學與調適服務面向與廣度，藉此探討國內氣候變遷科學與調適服務之科技缺口，以規劃出適合國內氣候變遷科學與調適服務之整合平台。

1. 國發會：共築方舟-氣候變遷調適入口網(<http://theme.ndc.gov.tw/tcap/www/index.html>)
國發會為推動國內各部會以及地方政府之氣候變遷行動計畫，乃以共築方舟-氣候變遷入口網為輔，提供基礎知識、專家專欄、國家與地方調適指引及案例，就此協助推動國家與地方調適計畫。
2. 環保署：氣候變遷資訊網(<https://ccis.epa.gov.tw/default.aspx>)
環保署肩負國內氣候變遷減緩工作之重責大任，因此由環保署建置之氣候變遷調適網乃以氣候變遷減緩議題為主，提供氣候變遷基礎知識、因應作為、國際行動、與環保署減緩工作具體成果。
3. 水利署：氣候變遷水環境知識庫(<http://demosite.sinotech-eng.com/CCKMV2/>)
水利署在氣候變遷風險與調適評估等工作已推動多年，許多經驗與知識陸續集結而成，乃藉由氣候變遷水環境知識庫，彙整過去水利署氣候變遷相關計畫之成果，包括水資源管理、洪水防護及土砂管理、海岸防護、水文情境與知識管理、跨領域研究等面向，藉此提供各界深入了解與參考。

4. 教育部：防減災及氣候變遷調適教育資訊網

(<https://disaster.moe.edu.tw/Safecampus/Main/index.aspx>)

教育部肩負推動校園防減災與氣候變遷調適通識與專業教育之任務，因此乃建置防減災及氣候變遷調適教育資訊網，提供氣候變遷教學資源、素養檢測與師資銀行，提供各級學校參考。

綜合上述四個氣候變遷相關網站，顯示國內氣候變遷相關網站已提供相當多之氣候變遷基礎知識，雖有過去推動氣候變遷相關工作之豐碩成果，但對於氣候變遷資料服務、氣候變遷科學評估方法、氣候變遷評估資訊、氣候變遷調適專業知識、完整評估與調適案例、以及科學支援政策之知識科技等可以再進一步強化。科技部推動的本計畫可在氣候變遷科學與調適服務上扮演重要關鍵角色，以達部會合作、相輔相成之效。

■ 檢視國外氣候變遷科學與調適服務相關平台

國際上已有不少氣候變遷科學與調適相關之平台，除了看出國外氣候變遷相關研究發展之成熟度，亦可看出開發氣候變遷科學與調適服務整合平台之重要性。本研究分別參考了德國的 GERICS-Climate Service for Adaptation、歐盟計畫 SWICCA- Copernicus Climate Change Service、歐盟 FP7 計畫 IMPACT2C web-atlas、荷蘭國家研究計畫 CAS-Climate Adaptation Service、以及紐西蘭的 CLIMSystems 等五個氣候變遷科學與調適相關服務平台，以了解國際氣候變遷科學服務主要產品與特色如下：

1. 提供直覺性的氣候與風險資訊：如 GERICS 的 Climate Fact Sheet，以制式氣候事實表呈現各國家、區域之歷史與未來氣候資訊。
2. Co-Design 而成的氣候資料服務：如 SWICCA 的氣候資料商店，藉由了解使用者之問題需求，設計符合使用者需要之產品，最後再將客製化產品轉換為通用產品，以此方式打造氣候資料服務。
3. 不同領域之衝擊或風險資訊：如 IMPACT2C 提供 8 個領域或空間，以及底下共數十個子題之衝擊資訊。
4. 一圖一表的氣候與衝擊圖集：五個平台均有氣候分析圖集或是不同領域的衝擊圖集，重點在於這些圖集均有清楚之說明與資訊提供使用者參考。
5. 氣候變遷專業訓練課程：如 GERICS 提供其產品之專業訓練課程
6. 網頁互動式風險圖或衝擊圖：五個平台均有互動式的風險地圖或衝擊地圖，提供使用者於網頁上即使操作獲得資訊。
7. 支援調適工具：如 GERICS 的 Adaptation toolkit for cities (都市調適工具組) 以及 Adaptation toolkit for companies (企業調適工具組)、CAS 的 Climate Costs Tool、Rapid Assessment Tool 以及 Touch Table、CLIMSystem 的 SimCLIM 等，目的都在利用工具協助決策者將複雜的調適評估過程簡單化。

2.5.2 Co-Design 使用者意見收集

本計畫為打造符合國內各部會層級政府 (Government)、學研 (Research)、產業 (Industry) 以及大眾 (Public) (四者簡稱 GRIP) 面對氣候變遷調適所需之氣候變遷科學與調適服務整合平台，乃透過 Co-Design 過程，如圖 2.20 所示，藉由部會座談或訪談、使用者問卷分析、學研工作坊回饋等方式，了解各部會層級政府、學研、產業以及大眾面對氣候變遷調適所需要的科學資訊與服務，以設計出符合 GRIP 之氣候變遷整合服務平台。

(1) 部會座談與訪談 (詳附錄3.1)

透過部會座談與訪談，歸納與綜整氣候變遷調適所需之資料、資訊、知識、智慧與工具等內容如表 2.5 所示。



圖 2.20 整合平台 Co-Design 過程示意

表 2.5 綜整部會意見所整理之整合平台產品需求與服務建議

類別	產品與建議	整合平台產品
資料	<ul style="list-style-type: none"> 土砂洪水氣候變遷情境以及模擬所需時雨量資料 極端降雨情境 統一的情境資料 評估過程輸入輸出資料 平台上各圖表之數據 對應測站之情境資料 更新 TCCIP 網格觀測資料至最新 	<ul style="list-style-type: none"> 增加統計降尺度時雨量產品 動力降尺度提供極端降雨情境 本計畫以 RCP8.5 統一分析 未來部分領域可提供輸入與輸出資料 提供圖表數據下載 提供對應測站情境 更新網格觀測資料

類別	產品與建議	整合平台產品
資訊	<ul style="list-style-type: none"> • 極端天氣變化趨勢與可能衝擊 • 臺灣跟其他國家氣候變化趨勢的比較 • 風險圖資與結果 <ul style="list-style-type: none"> - 統一情境評估結果 - 不同保全對象的風險暴露 • 報告或簡報上相同的圖集與說明可以下載 • 海平面上升資訊 • 情境資料附加與現況以及最危險的情境資料比較 • 有具體數字之未來氣候可能之趨勢（如降雨量等）、極端氣候可能之程度 • 不同土地使用之風險評估 • 原始分析資料視覺化呈現 • 情境綜合結果或資訊，如最嚴重或最可能發生（機率最高）之結果或資訊 	<ul style="list-style-type: none"> • 提供氣候關鍵分析 • 提供年度氣候圖集（同時與國際比較） • 提供風險評估結果與圖資 • 提供報告或簡報上相同的圖集與說明 • 提供未來海平面上升資訊 • 未來增加現況以及最危險的情境資料比較 • 未來增加量化說明未來氣候變化趨勢 • 以案例提供不同土地使用之風險評估資訊 • 提供原始資料視覺化呈現 • 未來增加情境綜合結果或資訊，如最嚴重或最可能發生（機率最高）之結果或資訊
知識	<ul style="list-style-type: none"> • 國外氣候變遷科學新知 • 調適相關知識 • 相關研究報告與計畫 • 科學研究結果科普化 • 科學報告 	<ul style="list-style-type: none"> • 提供氣候變遷科學新知 • 提供調適相關知識 • 提供相關研究報告與計畫連結 • 科學研究結果科普化 • 科學報告
智慧	<ul style="list-style-type: none"> • 可能調適方案及不同層級的建議 • 國內外案例 • 跨領域、部會與空間整合方法 	<ul style="list-style-type: none"> • 提供對應不同層級之調適案例 • 提供本計畫提出之跨領域、部會與空間整合方法
工具	<ul style="list-style-type: none"> • 資料服務 API • 視覺化界面選取資料方式，由使用者於介面上指定欲下載之資料範圍 • 自訂選擇範圍、網格或對應雨量站、縣市別、流域別與自訂分析年限等方式 • 可套疊風險圖資 • 互動式的圖表，並提供下載圖檔功能 • 可與都市計畫圖資套疊 	<ul style="list-style-type: none"> • 提供資料服務 API • 提供風險探索工具

(2) 使用者問卷分析 (詳附錄3.2)

透過使用者問卷分析，我們將使用者的需求對應四種資料類型，並整理成已規劃與執行中的彙整表 (如表 2.6)，以及規劃中或需要評估等類型資料需求 (如表 2.7)，可以了解到使用者多數需求均在已規劃以及執行中之項目，部分特殊需求因為必須進一步評估資料合理性而需要進一步評估。

表 2.6 已規劃與執行中之使用者資料需求列表

觀測/歷史資料	統計降尺度	動力降尺度	資料加值/工具
<ul style="list-style-type: none"> • 1960 年前的氣溫，雨量，風速，濕度，日照時數 • 提供更多觀測資訊，如濕度、輻射、氣壓、風速、雲量等 • 1km 的空間解析度資料 • 日尺度之網格式觀測資料 • 歷史風場分佈 	<ul style="list-style-type: none"> • AR5 情境日最高溫、最低溫、均溫 • 提供氣候繁衍的日資料 • 提供原始 GCM 資料 • 區域性的降尺度預測 	<ul style="list-style-type: none"> • AR5 動力降尺度雨量資料 • AR5 情境日最高溫、最低溫、均溫以及濕度資料；區域日輻射量推估；區域風速推估 • 未來風速 • 其他氣候變數資料 	<ul style="list-style-type: none"> • 氣溫超過某一特定溫度 (如 38°C) 在未來年 (如 2050 年) 可能發生天數 • 降尺度工具 (weather generator) • Open API

表 2.7 規劃中或需要評估之使用者資料需求列表

規劃中	需進一步評估	非本計畫提供
<ul style="list-style-type: none"> • 氣候變遷趨勢與事件 (即極端之颱風、豪雨、暴潮等) 之影響 • 海平面、海溫推估 	<ul style="list-style-type: none"> • 台灣周圍海岸波候統計降尺度 • 降雨機率、條件降雨機率 • 統計降尺度增加「相對濕度」變數 • 因應氣候變遷下的未來社會經濟情境模擬資料(SSP) 	<ul style="list-style-type: none"> • 海岸線的資料 • 海域酸鹼度

(3) 使用者座談 (詳附錄3.3)

本計畫於 3/29 於科技部舉辦使用者座談，透過座談現場使用者意見以及問卷分析，整理出使用者資料需求列表如表 2.8 所示，可以了解各領域使用者對於加值資料以及氣候變遷資訊的強烈需求。此外，也提供許多服務寶貴建議做為整合服務平台設計之參考。許多意見與需求都已納入整合服務平台規劃中，以作為 Co-design 整合平台之重要內容。

表 2.8 使用者座談所彙整之資料需求列表

類型	已規劃	需研議	其他單位提供
加值資料	颱風路徑、日高溫、日低溫、極端溫度、月風速、月濕度、日射量、行政區氣溫	洪峰抵達時間、冬季季風	PM10、PM2.5、CO2、
資訊需求	台灣集水區或行政區氣候變化趨勢比較、氣候變遷與空氣的品質間的關係、GIS shapefiles 圖資提供	溫室氣體資訊（如二氧化碳等）、風速分布與變遷	土石流發生相關條件、都市排水系統、空氣品質變化
服務建議	開放資料、簡化資料取得流程、詳列所有可提供資料、推廣及教育、情境與 GCM 模式不同領域擇定建議、取得資料的方法與工具	相關研究進展、資料管道、使用者成果報告（調適案例）	調適策略和執行進度盤點、中央各部會在因應氣候變遷下，所採取的調適計畫或方案、天氣、氣候預報網站（各國）

2.5.3 整合平台架構規劃

本計畫為打造符合國內部會、地方政府、產業以及大眾面對氣候變遷調適所需之整合平台，參考國內外氣候變遷調適相關平台，擷取服務經驗與參考服務內容，透過 Co-Design 過程規劃平台服務內容，再依照前期計畫 TCCIP 以及 TaiCCAT 之服務經驗，打造全新的氣候變遷調適服務整合平台。整合平台以氣候調適六步驟為核心架構，建立臺灣跨領域風險評估與調適建構之科技服務基礎，從氣候變遷資料服務、資訊服務、調適知識、智慧傳承到應用工具完整的科技服務，如圖 2.21 所示。



圖 2.21 整合平台架構

- (1) **資料服務**：發展數位基礎建設 (e-infrastructure)，提供氣候調適評估過程所需之基礎資料與資料倉儲，包括觀測資料、情境資料、統計降尺度資料、動力降尺度資料、以及各領域所需之加值資料，並清楚呈現資料生產履歷供使用者了解。再將所有資料依照類型、領域、行政區、集水區等進行分類，以類似購物平台方式建立「氣候變遷資料商店」，以提供資料索取便利。同時推動資料 OpenAPI，以增加資料下載應用性。
- (2) **資訊服務**：建立氣候變遷所需氣候與風險資訊，從年度氣候指標、氣候圖集、氣候關鍵分析、到氣候變遷危害分析，以提供各層級調適過程所需之現況與未來之不同領域危害資訊。所有圖集均附上科普化之詳細說明。
- (3) **調適知識**：提供氣候變遷調適建構所需之知識，包括支援決策所需之氣候調適六步驟，建立與整合調適科技知識，以提供國內氣候調適科技新知與科學轉譯等相關內容。
- (4) **智慧傳承**：建立智慧交流與傳遞平台，包括國內外調適案例、建立「專家資料庫」以提供國內各領域評估所需之專家資料；發展「訓練課程」與專業訓練教材，除了落實與應用科技部成果，並借此作為專業知識與智慧之傳遞與回饋機制。
- (5) **應用工具**：提供風險地圖探索圖台介面（風險探索），以供使用者藉由網頁介面操作，直接獲取所需之衝擊、風險與調適結果地圖。並提供本計畫開發之支援調適工具 Meta-Model 以及學研應用之評估模組。

新的整合平台具備特點如下：

1. 提供與更新國內氣候變遷資料，包括新的網格化觀測資料、氣候變遷土砂模擬所需之時雨量資料、動力降尺度模擬結果資料，每筆資料並清楚呈現資料生產履歷供使用者了解。
2. 製作氣候變遷資料 OpenAPI，將原本 TCCIP 服務之資料，進化為 OpenAPI 資料服務，使用者可直接透過網頁 API，獲取所需任何時間段與空間區塊之資料，使資料流通更加快速便利。
3. 提供關鍵氣候分析圖集，於平台提供各界所需之關鍵氣候分析圖集，並以一圖一表方式，讓每個圖集都有完整之資訊與說明。
4. 科普化研究成果與科學圖表，提供專屬於臺灣各區的氣候資訊、衝擊與風險資訊給政府、學研、產業、大眾之氣候變遷調適參考。
5. 發展支援調適應用工具，以科學角度釐清氣候變遷調適決策過程，發展工具以簡化複雜資訊與過程。

2.6 新應用推廣：知識轉譯與應用推廣

2.6.1 知識轉譯

為推廣 TCCIP 與 TaiCCAT 計畫出版的《臺灣氣候變遷科學報告 2017》，本計畫今年度嘗

試透過知識轉譯的過程，擷取該報告第一冊的重點內容，包括 7 大重要發現、10 大常見問題，編撰重點小冊《臺灣氣候的過去與未來》(如圖 2.22)。本小冊的文字圖表不侷限報告原始版本，而改以科普的角度出發，檢視單一重點的原文圖表，視情況重製。小冊除能使大眾讀者能清楚明瞭地領略該報告第一冊的重要科學新知，還能引發興趣，藉此引導一般讀者閱讀完整版的報告。

為了使本計畫成果更普及、更容易被使用，並輔助加強國際間的合作，本團隊再將《臺灣氣候的過去與未來》書中六大重點美化與重制，制作成圖文精美、方便閱讀且容易傳達臺灣氣候變遷重點概念的中英文宣傳單張，如圖 2.23。這項成品深受教育工作者與科普推廣者的喜愛，讓首次接觸的民眾能在最短的時間內有初步的概念。

本計畫本年度新嘗試用動畫短片的方式，轉譯氣候變遷的新知，製作短片「一分鐘看懂臺灣氣候變遷科學報告 2017 第一冊」(如圖 2.24)。配合前述小冊的 7 大重點，利用動畫物件流暢地呈現《臺灣氣候變遷科學報告 2017》的製作過程、臺灣的氣候變遷現況、推估與可能造成的災害。本動畫不僅上線於本計畫官網，也可見於影音平台 Youtube，以更多的推廣空間提高點閱率。

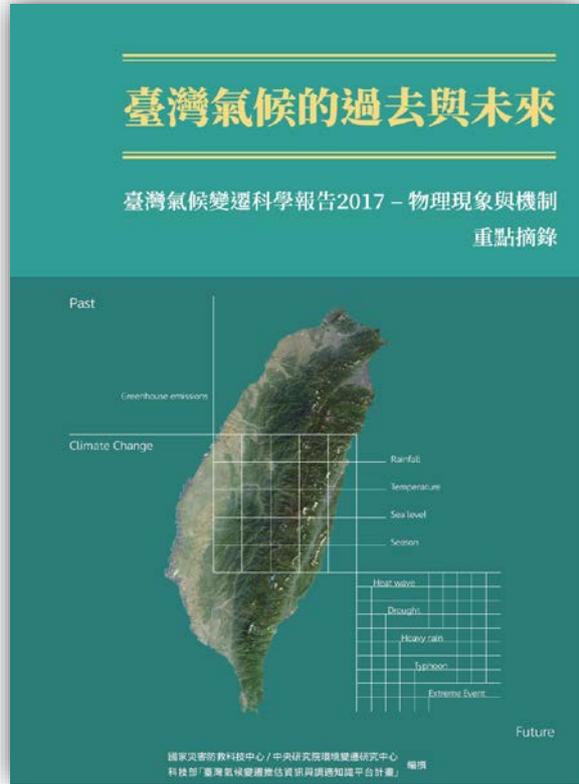


圖 2.22 《臺灣氣候的過去與未來》封面

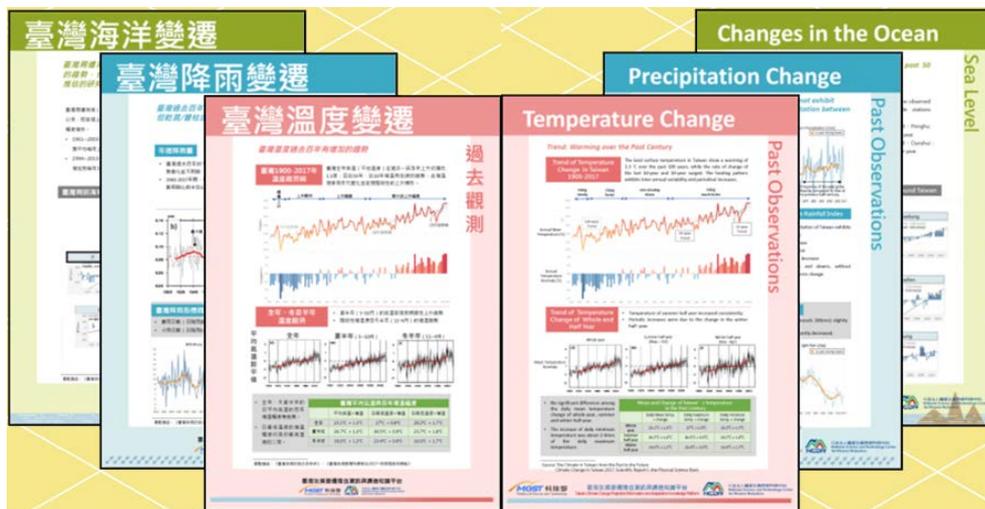


圖 2.23 《臺灣氣候的過去與未來》重點美化與重制之中英文宣傳單張



圖 2.24 動畫短片「一分鐘看懂臺灣氣候變遷科學報告 2017 第一冊」
(<https://youtu.be/7c2LlSqbd-c>)

2.6.2 社群網站推廣應用

為加速本計畫平台宣傳與氣候變遷相關知識推廣，自 2017 年 8 月起，以臉書 (Facebook) 粉絲專頁之社群網站做為媒介，搭配計畫活動推播最新資訊，並不定時舉辦贈獎活動，與使用者產生良性互動，以迎合當代潮流，提升計畫能見度與普及性，粉絲專頁截圖如圖 2.25。

推動過程，本計畫精心設計能夠引起社群共鳴之文字圖說或動畫，藉此引起社群廣播效應，讓各多人接觸本計畫之科普內容。經過十個月的經營 (2017 年 8 到 2018 年 5 月)，累積發文已達 215 篇，與 Facebook 使用者互動超過 8,900 次，觸及人數則突破 7.5 萬人次，而氣候變遷主網站最高約有 13% 的流量是透過 Facebook 粉絲頁轉進，可見社群網站對氣候變遷推廣與應用的助力及其效益。



圖 2.25 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台粉絲專頁
(<https://www.facebook.com/TaiwanClimateChange>)

第三章 氣候模擬推估、應用資料產製與分析技術

Team1 資料建置工作，將以 Team2 應用端所需變數為優先氣象變數，進行資料收集與數位化。並與 Team2 應用端持續溝通與回饋，針對 Team2 關鍵領域端的需求，盡可能嘗試解釋相關大氣現象與關鍵領域分析標的之關係，衍伸本期研究主題。本年度重點工作項目進度與成果如表 3.1。

表 3.1 Team1 本年度重點工作項目進度與成果

工作重點項目	進度與成果說明
1. 臺灣地區氣候變遷歷史觀測資料之建置	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 臺灣歷史資料模擬重建 ■ 臺灣輻射資料反演及校驗 ■ 臺灣多源長期氣象資料建置與檢核 ■ 統計降尺度日資料產製與應用研發 ■ 極端事件降雨情境之時雨量資料產製 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 進行臺灣地區長時間較高解析度的三維網格化氣象資料模擬重建，本年度為前模擬測試，已開始進行模擬重建 <input type="checkbox"/> 完成 2016 年 1 月至 2018 年 3 月之每日上午六時至下午七時每小時之日射量資料。 <input type="checkbox"/> 氣象局團隊整理歸納出各資料的可用性程度，提供更準確資料給予應用端使用分析。 <input type="checkbox"/> 完成 21 世紀臺灣日資料產製與測試，並進行各極端氣溫與極端雨量變遷的可能趨勢與發生機率分析，可提供相關領域之應用。 <input type="checkbox"/> 完成臺灣北部 12 站、中部 14 站及南部 17 站，共計 43 個的雨量情境資料分析。
2. 氣候模擬推估、關鍵領域分析	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 臺灣熱浪評估分析 ■ 寒潮變遷 ■ 夏季降雨多樣性分析 ■ 颱風頻率與強度分析 ■ 氣候變遷對臺灣空氣品質的影響 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 完成臺灣熱浪環流特徵分析及未來氣候變遷推估，可供於公衛領域與登革熱研究應用。 <input type="checkbox"/> 完成 MRI 及 HiRAM 模式，不同海溫情境下寒潮發生頻率、持續時間及強度變化之未來推估分析。 <input type="checkbox"/> 完成臺灣夏季降雨多樣性評估，未來可助於天氣預報和防災應用。 <input type="checkbox"/> 完成 HRAM C384 與 C192 20 世紀末與 21 世紀末颱風頻率與強度分析。 <input type="checkbox"/> 完成 WRF_CTRL 全年模擬及驗證，以冬天預報分數表現最好。
3. 氣候變遷-降雨特徵分析	

工作重點項目	進度與成果說明
<ul style="list-style-type: none"> ■ 雨季肇始日 ■ 降雨事件型態特性 ■ 梅雨季降雨的未來變遷推估 ■ 鋒面事件特性分析 ■ 春季乾旱探討 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 完成雨季肇始日分析，可助於洪旱相關議題研究。 <input type="checkbox"/> 完成臺灣不同雨季之降雨型態分析，可應用於極端降雨及水資源相關研究。 <input type="checkbox"/> 完成梅雨季降雨的未來推估與空間分布情形。可應用於極端降雨之防災與水資源相關研究。 <input type="checkbox"/> 完成 2010-2016 鋒面事件特性分析。 <input type="checkbox"/> 完成 1980 至 2012 年間，臺灣北部各時間尺度所有乾旱事件的乾旱特性，未來有應用於水資源相關議題研究。

3.1 資料產製與加值

臺灣地區氣候變遷歷史觀測資料之建置包含表 3.2 所列主題。

表 3.2 資料建置相關研究主題

主題	領域	重要議題	本期相關成果主題
1. 臺灣地區氣候變遷歷史資料之模擬重建	健康 登革熱 / 心理健康	日射量對心血管疾 病影響	<ul style="list-style-type: none"> • 衛星反演日射量資料 • 時雨量資料產製 • 統計降尺度資料產製 • 氣象資料建置與檢核 • 產製高解析度的三維網格化氣象資訊
	坡地 淹水	劇烈降雨造成土石 崩塌或淹水	
	其他	氣象資料均一化 歷史觀測資料建置	

3.1.1 臺灣歷史資料模擬重建 (詳附錄 1.1)

為因應更多元應用端在過去歷史資料的不足(如表 3.2 所示)，包含變數以及時空間解析度氣候資料的需求，提供網格化的長期歷史資料是本計畫的重點項目之一。過去幾年溫度與降雨之網格資料一直是本計畫對外提供資料服務的大宗，隨著資料使用者的領與逐漸拓展，溫度與降雨之外的網格資料需求也越來越多。考慮到其他氣象變數的測站空間分布密度不足，無以直接做出高解析度(如 5 公里)的網格資料，本計畫決定採用氣象上常見的使用重分析(Reanalysis)資料來代表網格觀測資料，常用的 ERA-INTERM 解析度約 80 公里，並以動力降尺度的技術增加重分析資料的時空解析度。重分析資料的降尺度結果可以很好的重現過去的天氣狀況，對於長期的天氣變化及歷史極端事件的了解也有很大幫助。

模擬期間預計由 1980 年至 2016 年，最小 domain 模擬範圍包含整個臺灣，流程架構 (圖 3.1) 區域模式在長期積分後，模式的表現會隨著時間快速下降，為解決此問題，模擬配合 ERA-interim 之資料時間間隔，每 6 小時啟動一組新的模擬；為了保留模式解析出的小尺度結果，本研究參考中央氣象局使用 blending 方法的經驗 (Hsiao *et al.*, 2015)，利用 Yang (2005) 所提出的方法，混合重分析資料與前一時間之模式模擬結果，結合重分析場與模式之模擬，引入重分析場的大尺度特徵並保留前一時間模擬出的小尺度特徵，再將混合完的結果做為下一次模擬的初始場。

由於數值模式在模擬初期會有不平衡的問題，模擬初期之結果多受到雜訊的干擾，而導致模擬結果不佳，為減緩模擬初期的雜訊及不平衡問題，每次模擬的前 6 小時都作為模式起轉 (spin up) 時間而不採用，並使用 Lynch and Huang (1992) 提出的 digital filter initialization (dfi) 方法進行濾波。因此，比較結果時僅採用第 7 到 12 小時之結果，再將每個模擬的第 7 到 12 小時結果串接成一組連續的資料，模擬流程可參考圖 3.1。

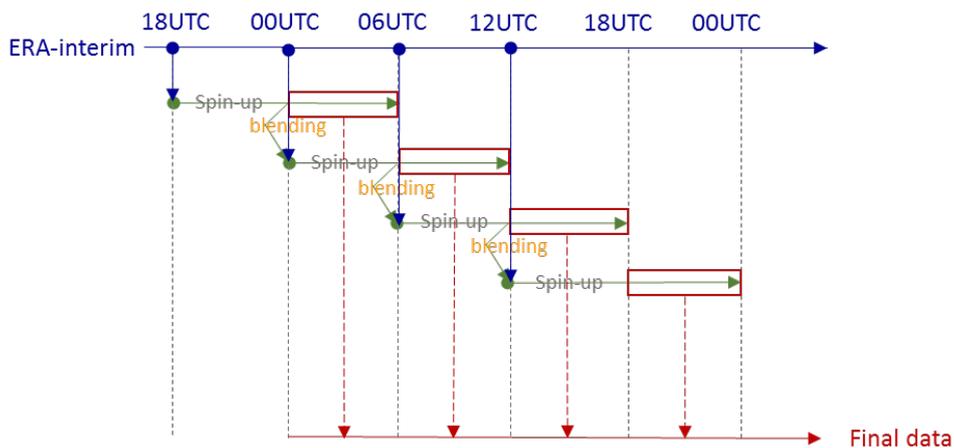


圖 3.1 模擬流程示意，第一次模擬僅使用重分析資料作為初始場

■ 測試結果

本階段測試內容則包括月尺度模擬測試、typhoon bogus 測試、都市冠層模式 (UCM model) 測試及土壤 spin up 時間測試等。月尺度模擬選取 2016 年 1 月 (冬季)、4 月 (春季)、7 月 (夏季) 及 10 月 (秋季) 做為各季節代表進行測試。圖 3.2 所示為 1 月及 7 月的臺北測站月平均溫度之日夜變化以及時資料誤差的盒鬚圖，1 月模擬結果較好、誤差多小於 1°C；7 月的夜間溫度則有高估多到 1°C 的情形。推測模式在綜觀系統較顯著狀況下的表現較好，弱綜觀情形下反應局地特徵的模擬能力較差。測試使用都市冠層模式 (Urban canopy model, UCM) 與在地表熱通量加入人為熱源的影響，發現在使用 UCM 後，臺北、臺中測站在夜間溫度的高估有所改善 (如圖 3.3)。

模式參數的測試已逐漸完成，預計第二年度開始進行正式的模擬，逐步重建 1980-2016 的台灣三度空間的氣候資訊。

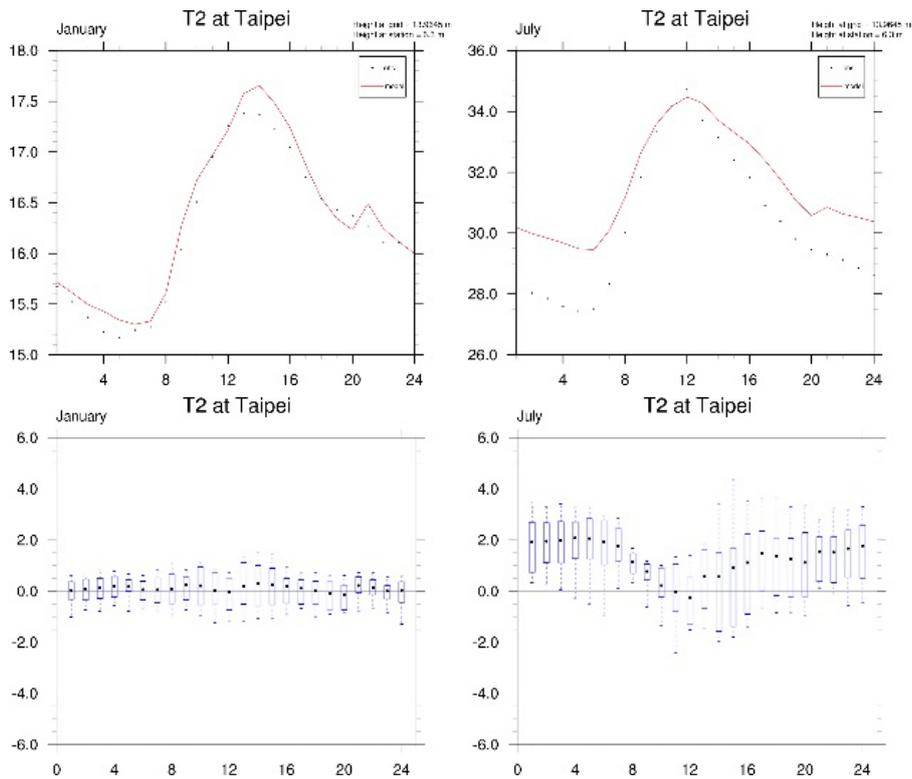


圖 3.2 臺北測站月平均溫度之 24 小時日夜變化與觀測比較圖，黑色點為觀測，紅色線為模擬結果；盒鬚圖為模擬溫度減去觀測溫度之結果，黑色點為平均，其餘別分為 4 分位數及十分位數。

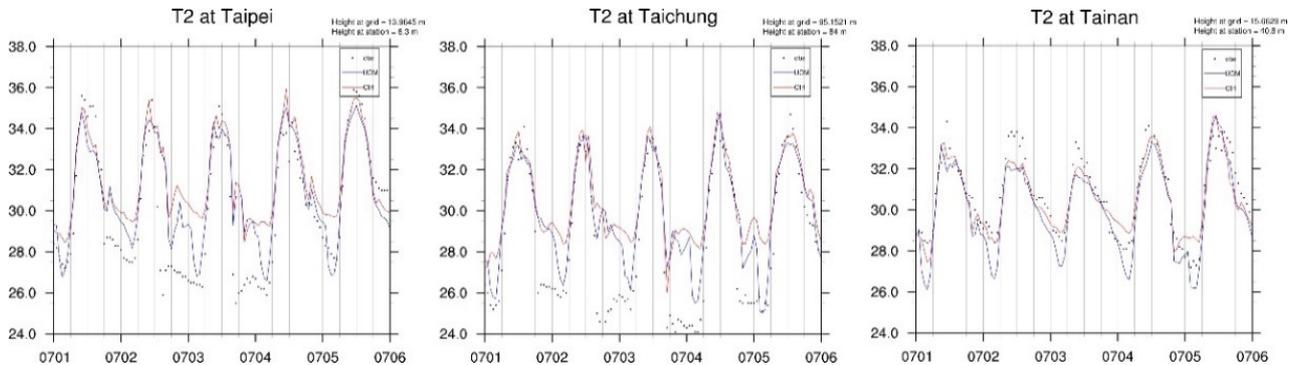


圖 3.3 溫度觀測與模擬結果比較，由左而右分別為臺北站、臺中站及臺南站。黑色點為觀測之溫度，紅色線為未使用 UCM 之模擬，藍色線為使用 UCM 並考慮通量之結果。

3.1.2 臺灣輻射資料反演及校驗 (詳附錄 1.2)

因應農業、公衛、生態...等領域的需求，本計畫強化輻射網格化觀測資料的建置。本研究主要利用衛星建立長期臺灣區域日射量之資料，增加臺灣氣候資料的完整度。因此，採用日本新一代地球同步衛星向日葵 8 號 (Himawari-8) 的可見光頻道 (Band 03)、紅外線頻道

(Band 13 與 Band 15) 資料，及考慮影響日射量因子 (如天文幾何、大氣效應及地形等)，求得臺灣地區之網格日射量資訊，並將反演的日射量與測站觀測資料進行逐時比對。

■ 日輻射反演進度

已完成反演 2016 年 1 月至 2018 年 3 月之每日上午六時至下午七時每小時之日射量資料，空間解析度為 0.01 度。資料期間內逐時反演產品與測站觀測之比對驗證如圖 3.4，結果顯示衛星反演之日射量有上午低估、下午高估的現象，兩者間的相關係數皆高於 0.75，且大部分達 0.9 以上，衛星反演值與測站觀測值一致性高。未來將陸續產製 2015 年及 2018 年 4 月日射量之產品。

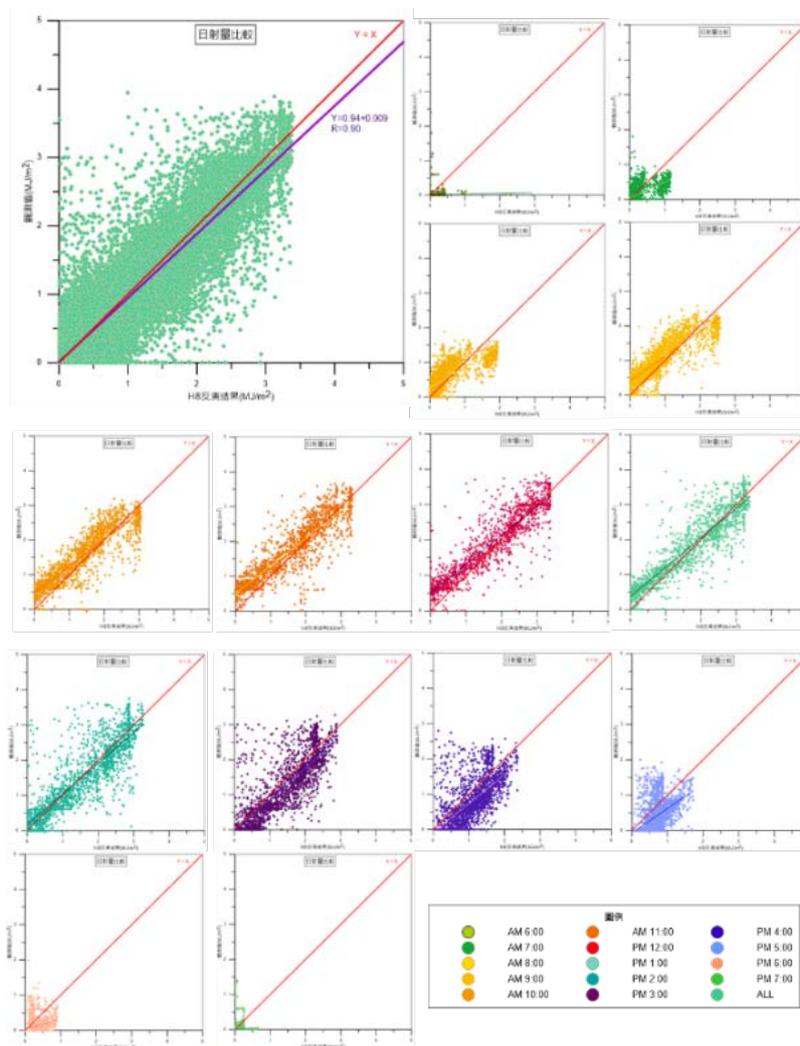


圖 3.4 反演產品與測站觀測之比對

3.1.3 臺灣多源長期氣象資料建置與檢核 (詳附錄 1.3)

經 TCCIP 第二期計畫所累積的經驗與開發技術，採用克利金方法產製之網格資料，能反應觀測資料本身的特性，因此在進行使用氣象觀測資料或網格化之前，需要特別加強對觀測

資料的檢查與處理。不過由於有些資料的不連續、站況不明或特殊碼意義不明確而無法使用，本研究之氣象局團隊希望可透過查證詮釋及迴歸方法回推過去的資料，為增加網格化資料早期的年份，需要檢視其他觀測單位的日雨量資料。

■ 檢核結果-時雨量資料

根據 TCCIP 計畫所提供的經濟部水利署（以下簡稱水利署）時雨量資料，雖然觀測資料從 1952 年開始，但實際的紀錄卻多為缺值，以年資料量達 80% 來篩選測站數（以單站有達 365 天的 80% 就是約 292 天，所有的特殊碼都包含在內去統計。）並將符合條件的站數繪製如圖 3.5 所示，較完整的觀測紀錄在 1963~1969 年只有 1 站，之後沒有任何 1 個測站資料量達 80%，直到 1987 年才有 8 個測站有較完整的觀測資料，隔年增加到 17 個測站，之後陸續增減後，到了 2004 年有 64 個測站，2005 年才普遍分布在全臺，計有 160 個測站。綜合以上各種狀況：資料不夠完整、長度不夠長、基礎的詮釋資料不夠完備等，故目前暫不考慮使用 2005 年之前的水利署測站的時雨量資料。

未來將持續盤點各機關的日雨量資料，了解其有效的測站數量及資料長度，以氣象局的雨量目標測站為主，找尋其鄰近的非氣象局的測站，比較其兩兩間的統計特性、相關性程度及其他指標。

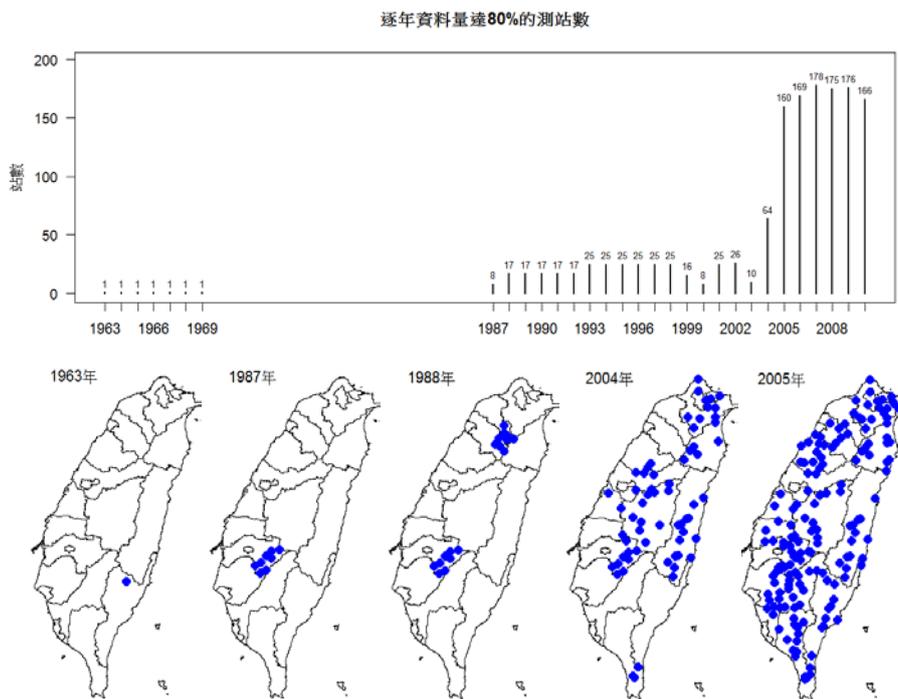


圖 3.5 資料量達 80% 對應的測站位置。

3.1.4 統計降尺度資料產製與應用研發 (詳附錄 1.4)

為呈現臺灣的氣候特性，產製在地化與細緻化氣象推估資料，將應用過去執行統計降尺度的經驗產製高解析度 5 公里網格資料，以提供後續的衝擊研究及調適政策應用。日降雨資

料統計降尺度之方法分為兩步驟，第一步驟為內差 (Interpolation)，由於每個模式之解析度並不一致，先透過內差的方式將所有模式解析度降至與觀測資料 (Aphrodite) 相同之 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，本研究採用內差之方式為 Bilinear interpolation。第二步驟為偏差校正法 BC (Bias correction)。

■ 評估結果

臺灣未來氣候變遷的推估主要是依據參與第五期耦合模式比對計畫 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) 所規劃氣候變遷研究相關數值實驗的全球氣候模式所做的推估模擬結果，透過統計與動力降尺度方法呈現在各種排放情境下，在 21 世紀臺灣各極端氣溫與極端雨量變遷的可能趨勢與發生機率。整體而言，臺灣地區的暖化幅度雖然較全球化程度略低，但在 21 世紀末時臺灣將變成幾乎整個夏天都處於現今氣候的熱浪極端事件中，也同樣是越往臺灣南部增加的幅度越顯著 (如圖 3.6)。在未來暖化情境下，高溫事件的發生將成為常態，而且持續天數也有增加的趨勢，對於能源使用、公共衛生健康等都可能帶來前所未有的衝擊。在降雨方面 (圖 3.7 所示)，總雨量的變遷雖不顯著，但是卻呈現濕季降雨增加、乾季降雨減少，降雨分配趨向兩極化的趨勢，這也導致澇與旱的災難性天氣型態在未來發生的機率將增加，且暖化愈嚴重，此一趨勢愈明顯。

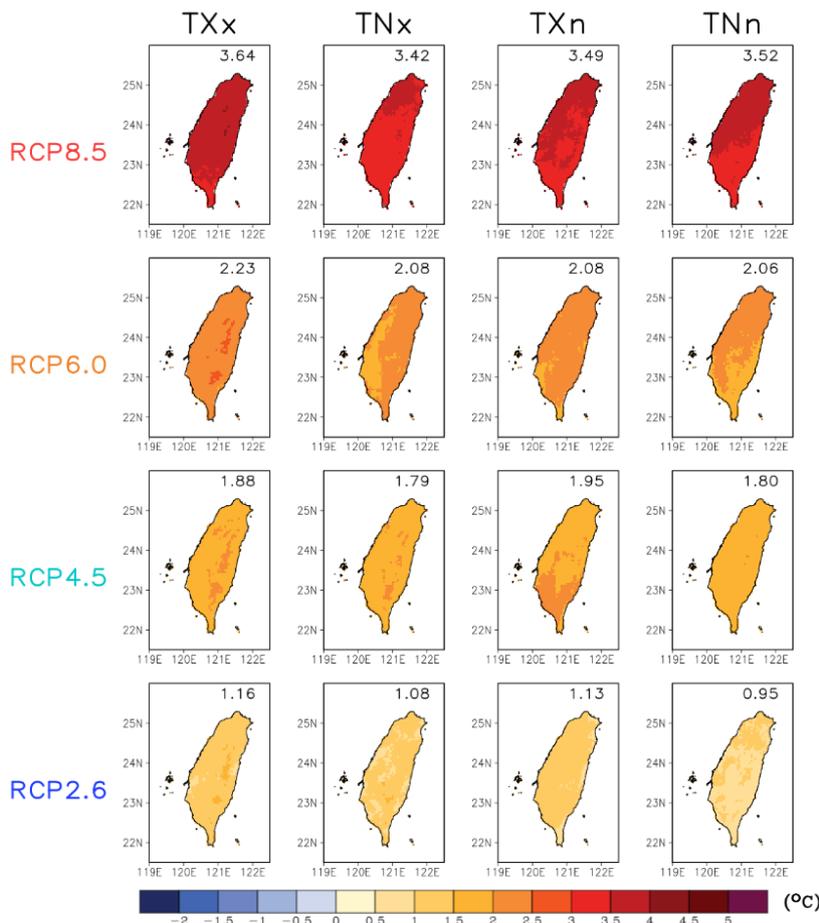


圖 3.6 在四情境下，在 21 世紀末 (2081~2100 年) 之 CMIP5 模式極端溫度改變量推估的系集分佈中位數，右上角數字為全臺區域平均值。分別為年日高溫的最大值 (TXx)、年日低溫的最大值 (TNx)、年日高溫的最小值 (TXn) 與年日低溫的最小值 (TNn)。單位： $^{\circ}\text{C}$

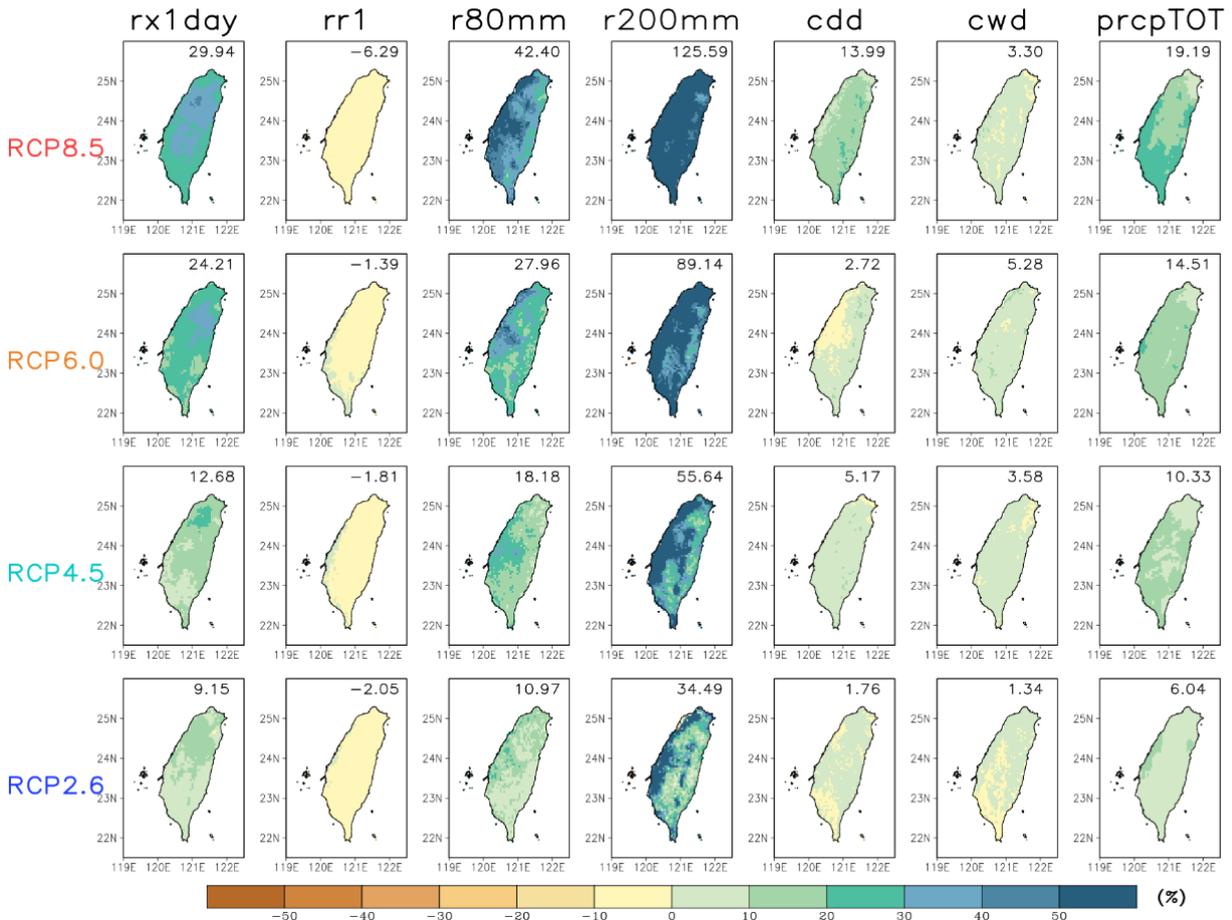


圖 3.7 在四情境下，推估臺灣周圍地區，年最大日降雨 (RX1day)、雨日(RR1)、大雨日數 (R80mm)、豪雨日數 (R200mm)、年最大連續無雨日 (CDD)、年最大連續降雨日數 (CWD)、雨日總雨量(prcpTOT) 之極端降雨量的變化率中位數 (2081~2100 年減去 1986~2005 年平均變化率)。單位：%

3.1.5 極端事件降雨情境之時雨量資料產製 (詳附錄 1.5)

降雨事件的發生及雨量隨時間的變化可視為一種隨機過程，其特性由數個隨機變量描述，進而根據隨機過程理論模擬整個降雨系統。降雨歷程如圖 3.8 顯示，可由數個水文參數描述，包括：(1) 延時(duration)、(2) 總降雨量(total rainfall depth)、(3) 總降雨量在延時內的分配，以及 (4) 降雨事件間距(inter-event time)。這些水文參數就是描述降雨這個隨機過程的重要的隨機變量。採用序率暴雨模式進行模擬：使用 41 組 RCP8.5 GCMs 之

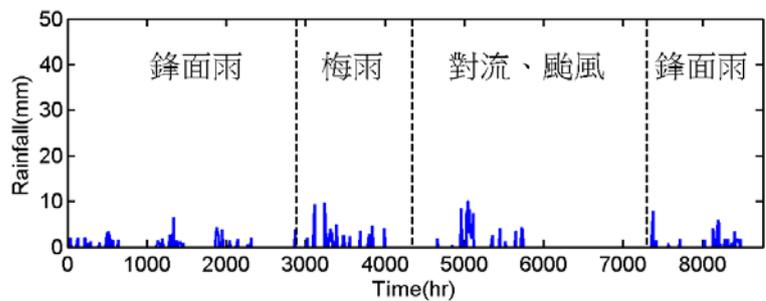


圖 3.8 466900 淡水站之年小時雨量序列圖 (基期)

改變率平均值，產製北中南部 43 個雨量測站之基期與近未來時雨量。

■ 統計降尺度降雨頻率分析結果比較

比較重現期 100 年、24 小時延時之基期與近未來時期之頻率分析雨量分布圖 (如圖 3.9)，可看出近未來時期的雨量值比基期之雨量值高，原因推測為溼季之雨量值在氣候變遷的影響下有往上提升的趨勢 (乾季越乾、溼季越溼)，進而帶動整體雨量值之增加。

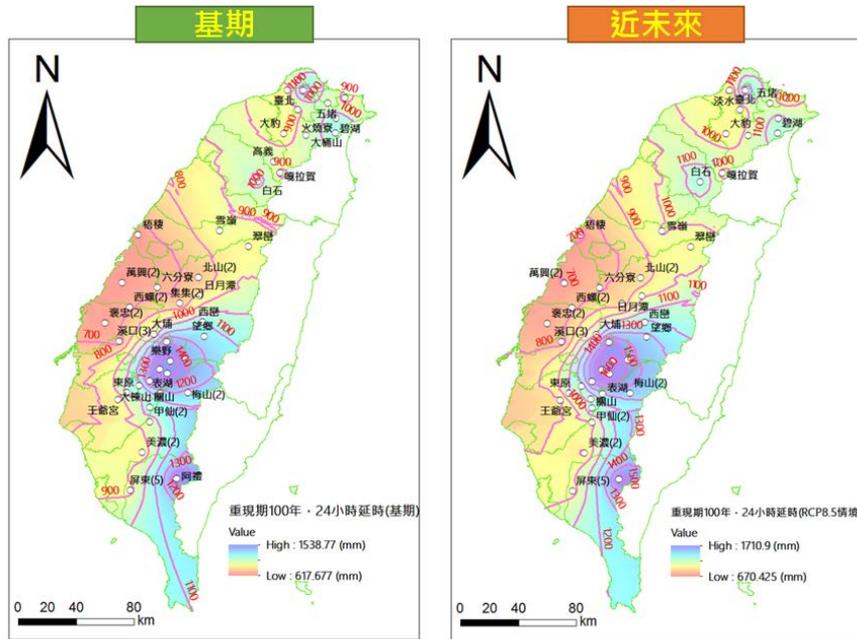


圖 3.9 100 年重現期、24 小時延時之雨量分布 (左：基期，右：RCP8.5 情境)

3.2 氣候模擬推估、關鍵領域分析

氣候模擬推估相關研究主題如表 3.3；簡單介紹本期計畫氣候模擬推估所使用的氣候模式：HiRAM 與 MRI 氣候模式。其中高解析度全球氣候模式 (High-Resolution Atmospheric Model, HIRAM) 是美國地球物理流體力學實驗室 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL) 所發展的全球大氣氣候模式，空間解析度有 c192 (50 公里) 及 c384 (25 公里)。此模式資料因起始時間不同，因此分作 06、07、08、09 模式資料，而每筆模式資料包括 AMIP (1979-2015 年) 及 RCP85 (2075-2100 年)，RCP85 部分因海溫分布不同，又分為 ensemble、c1、c2、c3。

另一組為採用日本氣象廳 (Japan Meteorological Agency, JMA) 氣象研究所 (Meteorological Research Institute, MRI) 發展的高解析度大氣環流模式 (MRI-AGCM，後面簡稱 MRI 模式) 所模擬的氣候推估結果，當作初始場及邊界條件來進行動力降尺度另一組所使用的高解析度全球模式為 MRI-AGCM，空間解析度為 55 公里 (1.25°x1.25°) 及 20 公里，因時間分為 AMIP (1979-2003 年) 及 RCP85 (2075-2099 年)

表 3.3 氣候模擬推估相關研究主題

主題	領域	重要議題	氣候知識	本期相關成果主題
2. 氣候模擬推估、關鍵領域分析	農業	極端高/低溫度影響農作物播種與產量	溫度 季節變遷	<ul style="list-style-type: none"> 熱浪分析 (未來熱浪次數增多，持續時間增長) 寒潮變遷評估 夏季降雨多樣性分析 降雨事件分布型態分析 HiRAM 未來颱風強度頻推估 (颱風頻率減少，強度增強) 空氣品質分析 (臺灣南部空氣品質較差且冬季較為嚴重)
	海岸	颱風路徑變遷與強度 (暴潮)	劇烈降雨 颱風	
	空污	空氣品質影響過敏族群	空氣品質	

3.2.1 臺灣熱浪評估分析 (詳附錄 1.6)

本研究使用 HiRAM、CMIP5、MRI 模式資料探討臺灣夏季熱浪的長期變遷分析，熱浪定義部分則參考 Perkins and Alexander (2013) 及 Nairn *et al.* (2009) 所使用的方法 (分別簡稱 CTX、EHF)。比較所有模式發現 (表 3.4)，EHF 在現代時熱浪發生頻率較 CTX 多，熱浪持續時間也較長，但熱浪強度較弱。而與 TCCIP 相比，在此兩種定義下，模式發生的熱浪頻率跟持續時間較多於 TCCIP，但熱浪強度方面則是 TCCIP 比模式強。若現代夏季熱浪的門檻值判斷世紀末熱浪個案，模式中顯示，世紀末的熱浪發生次數雖較現代少，但持續時間卻從平均 4.5 天增長至整個夏季，且強度較強，說明在世紀末時，幾乎整個夏季皆超過熱浪門檻值。

表 3.4 各模式在 CTX、EHF 定義下所平均的熱浪發生頻率、持續時間及強度。

	CTX						EHF					
	頻率(次/年)		持續時間(天/次)		強度(°C/次)		頻率(次/年)		持續時間(天/次)		強度(°C/次)	
	historical	RCP85										
TCCIP	1.0		4.0		30.1		1.5		5.3		29.6	
CMIP5	1.1	1.3	4.8	80.6	28.6	30.6	1.5	1.1	5.9	86.7	28.2	30.6
MRI_20km	1.2	1	4.5	92	27.7	30.0	1.0	1	5.4	92	27.4	30.0
MRI_1.25deg	0.9	1	4.0	92	29.3	31.1	1.5	1	5.3	92	28.6	31.1
HiRAM	1.1	1	4.1	92	28.6	30.7	1.5	1	5.4	92	28.2	30.7

■臺灣夏季熱浪環流變化

將分別使用 CFSR、HiRAM 及 MRI 資料所挑選出的熱浪個案作合成分析，來看臺灣地區發生熱浪前後的環流變化，並比較其結果。圖 3.10(a) 至圖 3.10(c) 為使用 CFSR 資料分析熱浪發生前後的環流變化，從流函數距平場中發現，在熱浪發生前，臺灣已籠罩在高壓距平下，此高壓距平隨著時間往左（華南地區）移動。當高壓距平最大值經過臺灣時，臺灣地區溫度超過熱浪門檻值，此時臺灣吹北風，使得低緯度水氣不利於向北傳送，臺灣為乾燥區且上空晴朗無雲，使得臺灣地區溫度超過熱浪門檻值。隨著高壓距平繼續往西移動，低壓距平漸漸籠罩臺灣，熱浪結束。從以上的結果發現，臺灣地區在熱浪發生前後有明顯波列移動現象。

而在 HiRAM (圖 3.10(d) 至圖 3.10(f)) 的部分則顯示出在熱浪發生前，臺灣東側有一高壓距平，此高壓距平隨著時間往左邊移動，當高壓距平最大值籠罩臺灣時，臺灣地區熱浪發生。而之後此高壓漸弱，當臺灣地區溫度低於熱浪門檻值，熱浪結束。此型態沒有波列移動現象，且高壓距平強度較 CFSR 來得強。相對於 CFSR 及 HiRAM，MRI (圖 3.10(g) 至圖 3.10(i)) 的環流場強度較弱，且整個環流型態與 HiRAM 類似。在熱浪發生前，臺灣東側的高壓距平強度逐漸增強並同時往臺灣靠近，使得臺灣熱浪開始，而後此高壓距平強度減弱，熱浪結束。

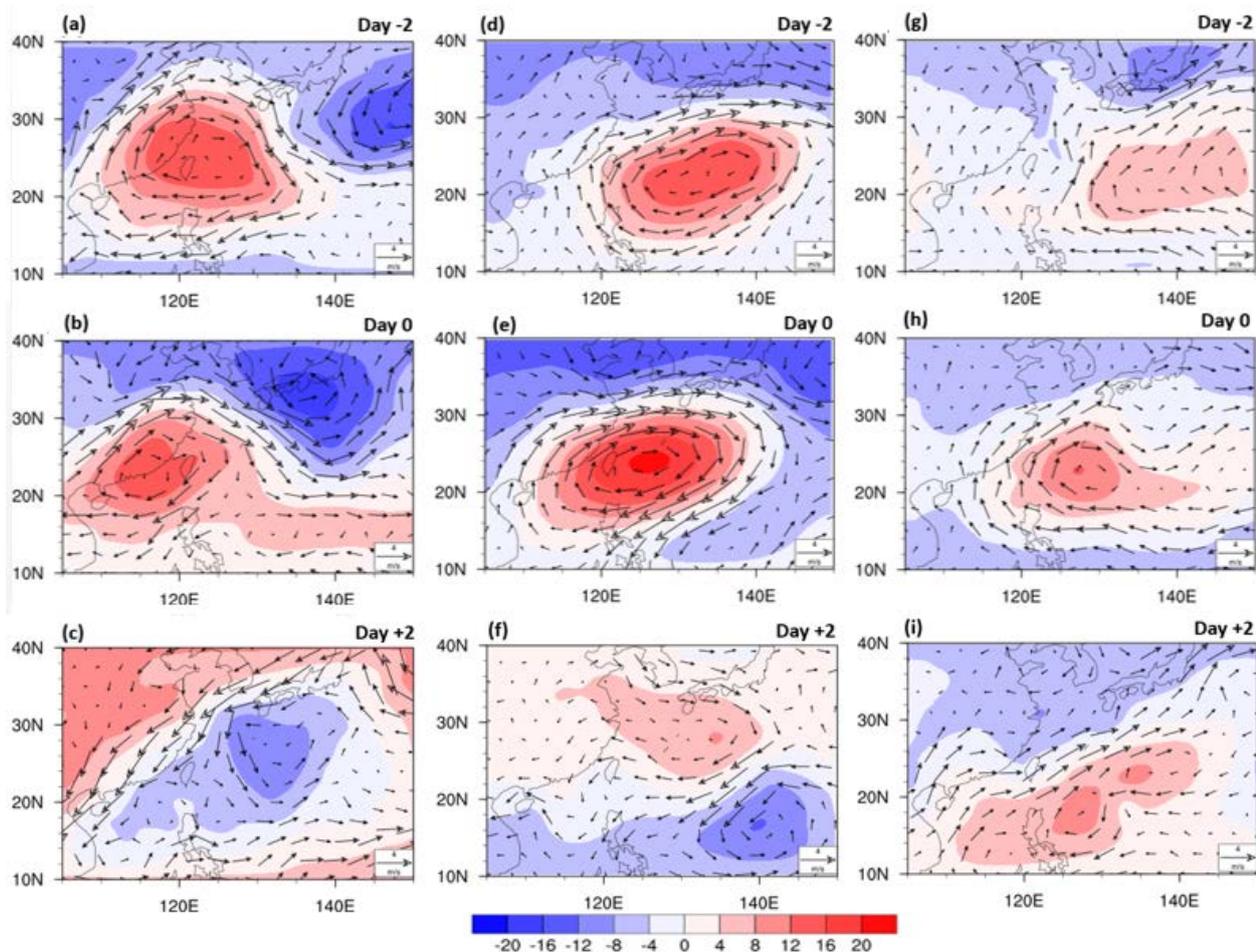


圖 3.10 分別使用 CFSR (圖(a)~圖(c))、HiRAM (圖(d)~圖(f)) 及 MRI (圖(g)~圖(i)) 資料分析熱浪發生前 4 前 2 天、當天及結束後 2 天的 850hPa 的流函數距平場(色彩)及風場距平 (線條；單位：m/s)

3.2.2 不同海溫情境下臺灣寒潮的未來推估 (詳附錄 1.7)

本研究利用 MRI 及 HiRAM 二種模式，探討不同的暖化因子（海溫情境 C0、C1、C2 及 C3）底下，臺灣在現今與世紀末的冬季環流場、寒潮發生頻率、持續時間及強度變化。不論何種模式，我們發現，在不同的海溫情境中，東亞主槽以及西伯利亞高壓在世紀末皆是減弱的現象，說明暖化情境下的世紀末冬季環流場不利於寒潮的發生，發生頻率也明顯降低。

其中，表 3.5 與表 3.6 所示，世紀末 C1 較其它情境有利寒潮發生。世紀末寒潮發生的平均持續時間，皆為較現今縮短的情形；而強度方面，我們利用寒潮發生當天的 48 小時降溫幅度來作為強度指標，世紀末各情境下的寒潮發生時皆較現今強烈。但寒潮持續時間及強度與各情境間差異並無顯著關係。路徑上的變化，世紀末大多以快速發展類型的路徑為主，因此我們可以了解，世紀末寒潮發生的頻率雖降低很多，但只要發生，其強度是不容小覷的。

表 3.5 MRI 模式在不同海溫情境下，寒潮年平均發生次數、持續時間以及 48 小時降溫幅度。

MRI	現今	C0	C1	C2	C3
年平均次數 (頻率)	6.00	1.00	1.50	0.60	0.63
平均持續時間 (天)	3.67	2.77	2.89	2.29	2.60
48 小時降溫幅度 (°C)	3.11	4.65	4.42	4.79	5.08

表 3.6 HiRAM 模式在不同海溫情境下，寒潮年平均發生次數、持續時間以及 48 小時降溫幅度。

HiRAM	現今	C0	C1	C2	C3
年平均次數 (頻率)	4.50	1.40	1.80	1.20	1.60
平均持續時間 (天)	4.32	3.00	2.98	3.06	2.87
48 小時降溫幅度 (°C)	4.44	5.19	4.80	5.50	5.30

3.2.3 氣候多樣性分析-從臺灣夏季降水單一性趨勢看全球氣候變遷 (詳附錄 1.8)

本研究應用旋轉經驗正交函數 (REOF) 發現 TCCIP5 公里網格資料在 1960 年到 2012 年夏季平均降水量中 REOF1 模態顯示，臺灣西南部有較大的解釋變異，這描述單一性氣候狀態的發生 (圖 3.11)。其主成分 PC1 隨全球海溫暖化始自 1970 年代後期振幅逐年增大。這單一性訊息對臺灣影響將是趨於陷入低壓帶環境場，使得颱風侵臺機率提高，而夏季降水變得更極端。從 GPCP 全球 1979_2012 年夏季降水振幅逐年變化趨勢 (圖 3.12 左)，西北太平洋降水振幅顯著逐年加大，此反映臺灣夏季降水的單一性趨勢是大尺度環境氣候變遷下的結果。我們將在這份研究說明全球海溫如何加強東亞三極降水結構 (tripole rainfall 或 Pacific-Japan

pattern) (圖 3.12 右)，以構易於侵台的颱風渠道。未來，基礎於此發現，我們將檢驗 HiRAM 模式在這特徵上的表現，有助於天氣預報和防災。

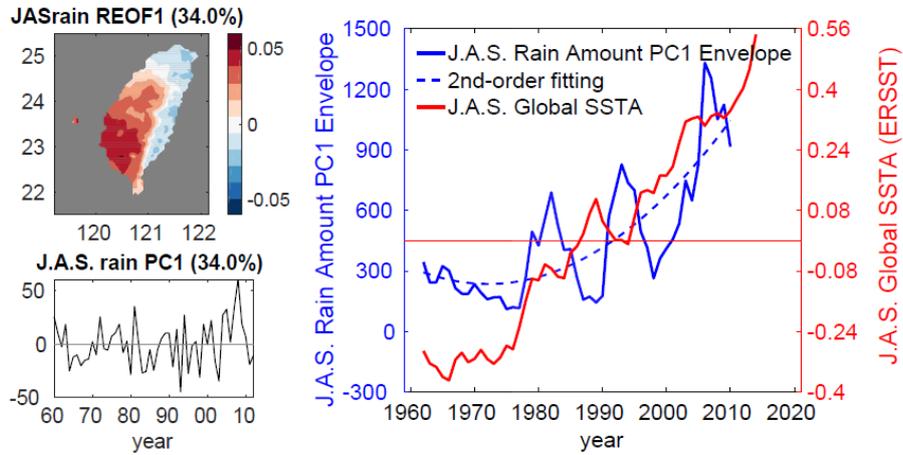


圖 3.11 ERSST 全球 789 月標準化海溫暖化趨勢與 TCCIP 全臺 1960~2012 年夏季降水量 PC1 逐年振幅加大趨勢。

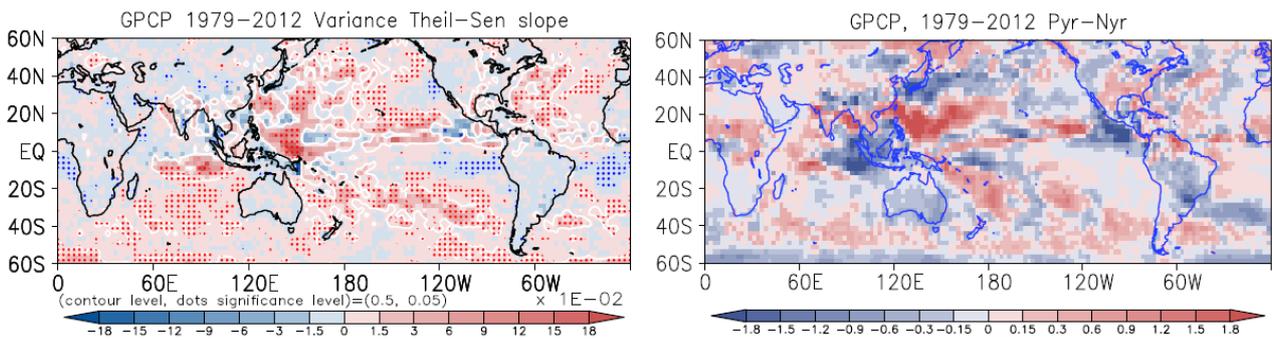


圖 3.12 左圖為 GPCP 全球 1979_2012 年夏季降水平方變異的 Theil-Sen 斜率 $[(\text{mm}/\text{day})^2/\text{year}]$ (陰影) 及 Mann-Kendall 趨勢檢定 (點)；右圖為 GPCP 正值年減負值年之合成分析，其依據 PC1 時間序列 1979_2012 年平均值與一標準差，正值年 (Pyr) 有 1981、1994、2004、2005、2007、2008 年，負值年 (Nyr) 有 1980、1983、1984、1986、1993、1995、1998、2003 年

3.2.4 動力降尺度資料產製-颱風頻率與強度分析 (詳附錄 1.9)

為評估 HiRAM 模式模擬西北太平洋颱風之能力，使用颱風觀測資料與 HiRAM 模擬之颱風針對基期 (1979-2008 年) 進行比較，分析方法包含 Accumulated cyclone energy (ACE) 與 Power Dissipation Index (PDI)，前者代表一個熱帶氣旋系統在生命期中的能量近似值，後者能顯現出颱風的持續時間和強度，可作為量度颱風活躍度之指標。

■ 結果

未來颱風無論是西北太平洋或影響臺灣之颱風，在世紀中與世紀末的颱風生成頻率皆呈

減少趨勢，且世紀末颱風減少的幅度大於世紀中，唯世紀中之秋季影響臺灣颱風略增加 (表 3.7)。雖然未來的颱風數量減少，但 21 世紀中與 21 世紀末平均氣旋能量皆呈現增強趨勢，強度有隨著暖化程度的增加而增強 (圖 3.13)。

表 3.7 HiRAM 模式西北太平洋與影響臺灣颱風頻率分析。

20世紀末、21世紀中、21世紀末颱風頻率						
資料 颱風 數目	觀測 (IBTrACS)	HiRAM C384 20世紀末	HiRAM C384 21世紀中	HiRAM C384 21世紀末	HiRAM C192 Ensemble 20世紀末	HiRAM C192 Ensemble 21世紀末
全年	25	36.73 (+47%)	32.27 (-12%)	20.65 (-44%)	41.08 (+64%)	25.59 (-38%)
JJASON	21.17	26.97 (+27%)	23.81 (-12%)	14.27 (-47%)	31.84 (+50%)	19.5 (-39%)
JJA	10.67	14.53 (+36%)	12.65 (-13%)	8.19 (-44%)	16.63 (+56%)	10.86 (-35%)
SON	10.5	12.43 (+18%)	11.15 (-10%)	6.08 (-51%)	15.21 (+45%)	8.64 (-43%)
20世紀末、21世紀中、21世紀末影響台灣颱風頻率						
資料 颱風 數目	觀測 (IBTrACS)	HiRAM C384 20世紀末	HiRAM C384 21世紀中	HiRAM C384 21世紀末	HiRAM C192 Ensemble 20世紀末	HiRAM C192 Ensemble 21世紀末
全年	5.6	5.23 (-7%)	4.92 (-6%)	2.62 (-50%)	6.36 (+14%)	3.25 (-49%)
JJASON	5.2	4.8 (-8%)	4.46 (-7%)	2.35 (-51%)	5.78 (+11%)	2.97 (-49%)
JJA	3.6	3.6	3.04 (-16%)	1.96 (-46%)	4.01 (+11%)	2.21 (-45%)
SON	1.6	1.2 (-25%)	1.42 (+18%)	0.38 (-68%)	1.78 (+11%)	0.76 (-57%)

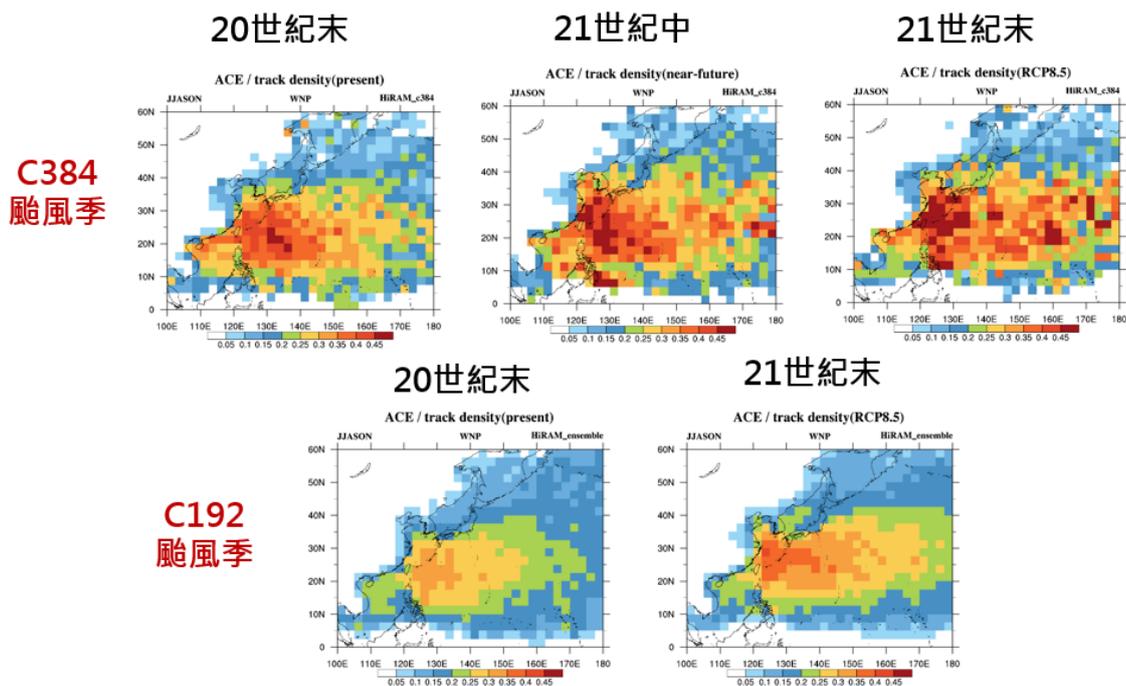


圖 3.13 西北太平洋颱風強度分布圖

3.2.5 氣候變遷對臺灣空氣品質的影響 (詳附錄 1.10)

本研究與中研院環變中心合作，應用空氣污染擴散模式 CMAQ (Community Multi-scale Air Quality Modeling System) (Byun and Schere, 2006)，此模式由美國環保署支持發展，為三維 Eulerian 網格模式，可由 WRF 模式提供氣象場及排放資料驅動，選擇不同化學反應，進行氣體、一次及二次氣膠的生成、沉降及傳輸等過程的模擬。本計畫實驗設計如圖 3.14 所示，控制組 (CTRL) 以 2010 年 NCEP FNL 再分析資料作為初始場條件，實驗組 (PGW) 則假設全球暖化效應最顯著 (RCP8.5) 的情況，兩組實驗均使用美國大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research, NCAR) 發展的區域大氣模式 Weather Research and Forecasting (WRF) (Skamarock, 2008) 模擬 2010 年台灣地區氣象場，再搭配東亞及台灣地區排放資料，驅動美國環保署發展的第三代空氣品質模式 Community Multiscale Air Quality Model (CMAQ) 4.7 版 (Byun and Schere, 2006)，用以評估氣候變遷對空氣品質的影響。

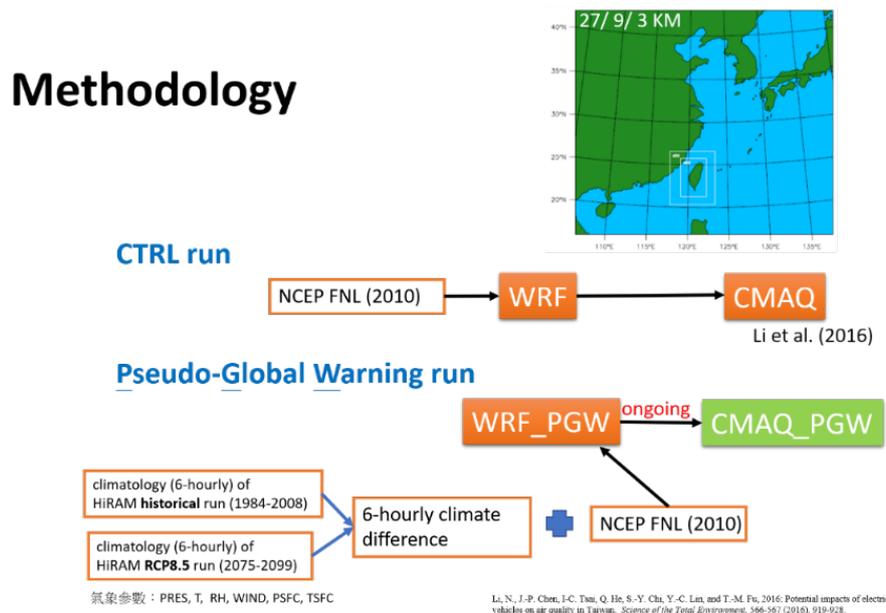


圖 3.14 本計畫流程示意圖。預計將進行對照組 (CTRL)及實驗組 (PGW)，分別以 WRF 及 CMAQ 模擬現在及未來氣候狀態的空氣品質。CTRL 使用 NCEP FNL 資料，PGW 則考慮未來氣候變化差異。

目前現階段完成 WRF_CTRL 全年模擬及驗證。如圖 3.15 顯示，鋒面中模式在冬天鋒面預報能力較好。但在 5-6 月的梅雨鋒面預報較差。東北季風秋冬天 (9 月至隔年 2 月) 的預報分數表現最好，其中春季誤報率最高。整體而言，模式大致能模擬秋冬季節的天氣系統，也意味著在後續模式環境場分析具備相當程度的可信度。

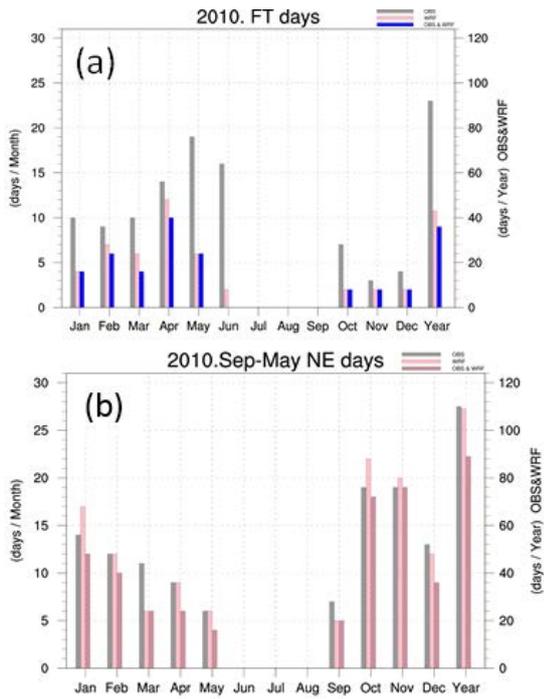


圖 3.15 2010 年逐月及全年 (a) 鋒面與 (b) 東北季風日數統計

3.3 氣候變遷下降雨特徵分析

臺灣地區降雨的自然季節大約可分為春季、梅雨季、夏季 (或颱風季) 與冬季四個季節 (如圖 3.16)。各個季節的主要降雨機制不盡相同：冬季降雨主要來自中高緯度鋒面系統與迎風面的地形降雨；春季降雨類似於冬季，但是來自於南方的水氣供應更充足，降雨量較冬季多、降雨面積也較廣；梅雨季降雨意味著東亞夏季季風的肇始，強勁的跨赤道流自南半球源源不絕供應水氣，降雨強度更強；颱風季西北太平洋生成的颱風明顯增多，大多的降雨也跟颱風雨有關係。如此由春季到冬季的天氣變化年復一年地出現，每年發生的時間相近，卻又不盡相同。本計畫透過分析大尺度環流系統與臺灣區降雨，來瞭解過去季節轉變時間在一年之中提前或延後發生的情形和各季降雨特性。

3.3.1 雨季肇始日之變遷 (詳附錄 1.11)

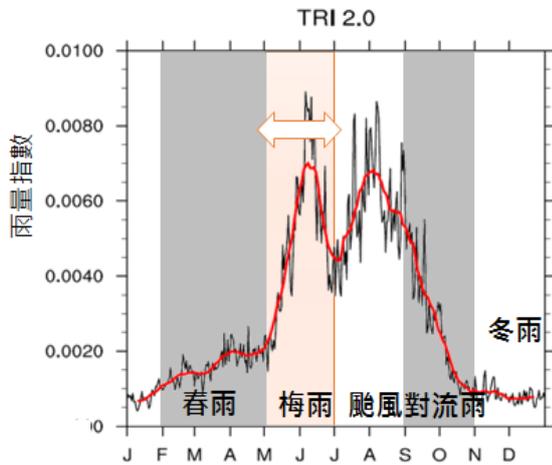


圖 3.16 臺灣降雨年循環分布圖

利用大尺度環流及雨量判斷降雨季節的起始日及變遷，先找出定義季節開始與結束日期的方法。臺灣雨量的自然季節，分為春季、梅雨季、夏季、冬季如圖 3.16 顯示。以梅雨季為例，季節的開始正是亞洲季風的肇始，其主要特徵是環流反轉與降雨的增多。本研究使用 EOF 方法分析 4-6 月低層環流 (850hPa Stream function)，EOF1 指出 onset 亞洲大陸低層大氣處於反氣旋環境，印度洋擇為氣旋環流。Onset 後，印度洋為順時針轉的環流，將南半球的水氣帶到東亞來。分析時將台灣雨量增多與 PC1 變號當作季風 Onset 指標。

■ 季節起迄判定方法

- 春季的開始：雨量連續四天達到門檻值的第一天為開始日，門檻為該年 2~4 月日降雨平均的一半。
- 春季的結束：以梅雨季開始，為春季的結束日。

- **梅雨季開始**：使用 EOF 方法分析低層 (850hPa) stream function 日資料，觀察 AMJ 月份、30°E-180°E 及 30°S-50°N 的範圍的 PC1，當 PC1 變號之後雨量值也升高，則定義 PC1 變號的那天為肇始日。
- **梅雨季結束**：使用 500hPa 高度場資料，以 120°E-180°E、0°N-50°N 範圍，計算每一個經度的高度場最大值，以此連線為高壓脊線。當高壓脊指向臺灣，碰觸到 120°E、22.5°N 或 25.5°N 時，因為高壓脊的影響，使得降雨稍為停歇，此為梅雨季結束日。

■ 分析結果

統計 1979-2003 年的 25 年間，春季日數為自春雨開始至梅雨季肇始止，25 年的平均春季為 82 天。梅雨季自肇始到結束，平均為 39 天。這兩個季節的長度在這 25 年中看不出有明顯的趨勢變化 (圖 3.17)，有待分析模式推估資料後，比對現在與未來的變化趨勢。

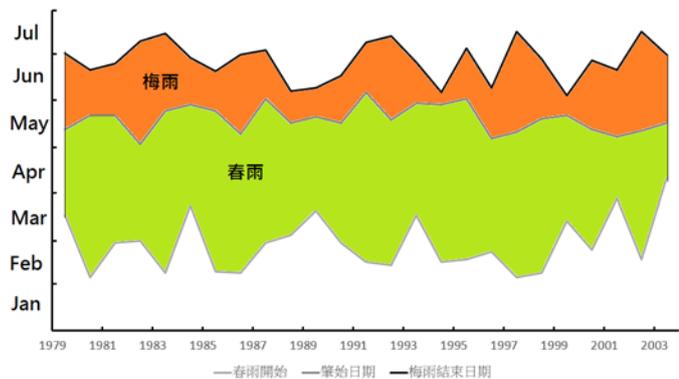


圖 3.17 1979-2003 年春季及梅雨季長度的變化。
(綠色區塊為春雨，橘色區塊為梅雨)

3.3.2 臺灣不同雨季之降雨型態

(詳附錄 1.12)

希望藉由 TCCIP II 計畫所產製的日降雨網格化資料庫 (v2 版) 分析台灣不同雨季，冬雨 (NDJ)、春雨(FMA)、梅雨(MJ)、夏季非颱風降雨和颱風雨 (JASO) 的降雨型態，並從氣候變遷角度分析不同降雨型態是否有年代際變化，還有不同降雨型態之間是否有特定關係。最後利用歐洲中期天氣預報中心的 ERA Interim 模式資料，分析不同降雨型態與大尺度環流場的關係是否一致，並驗證 TCCIP II 計畫產製的日降雨網格化資料庫 (v2 版) 之可信度。

利用將降水為高斯變數的測站資料 (Z 值)，挑出降雨事件的天數，先做 EOF 分析，再做轉動的經驗正交函數分析 (REOF)。如圖 3.18 顯示，冬雨季的降雨型態主要以臺灣東北部降雨為主 (型態 1)。春雨季的 5 種主要降雨型態剛好可互相分開，而發生次數最多的為降雨區分布為臺灣西北部 (型態 1)。梅雨季的降雨分布型態主要 6 種降雨型態，以山區降雨 (型態 4) 發生最多。未來有助於相關防災之應用。

3.3.3 臺灣梅雨季強降雨的未來變遷推估 (詳附錄 1.13)

本研究規劃利用全球模式 MRI、HiRAM 和降尺度模式 WRF-MRI、WRF-HiRAM，模擬現今時期 (1980~2003) 與 21 世紀末 (2076~2099) 東亞地區五、六月梅雨季之降雨和環流，藉以探討台灣梅雨季中極端降雨於未來的變化。在未來變遷的部分，模式的設計主要將多組海溫變遷特性當成邊界條件，以利進行模擬結果的系集推估。

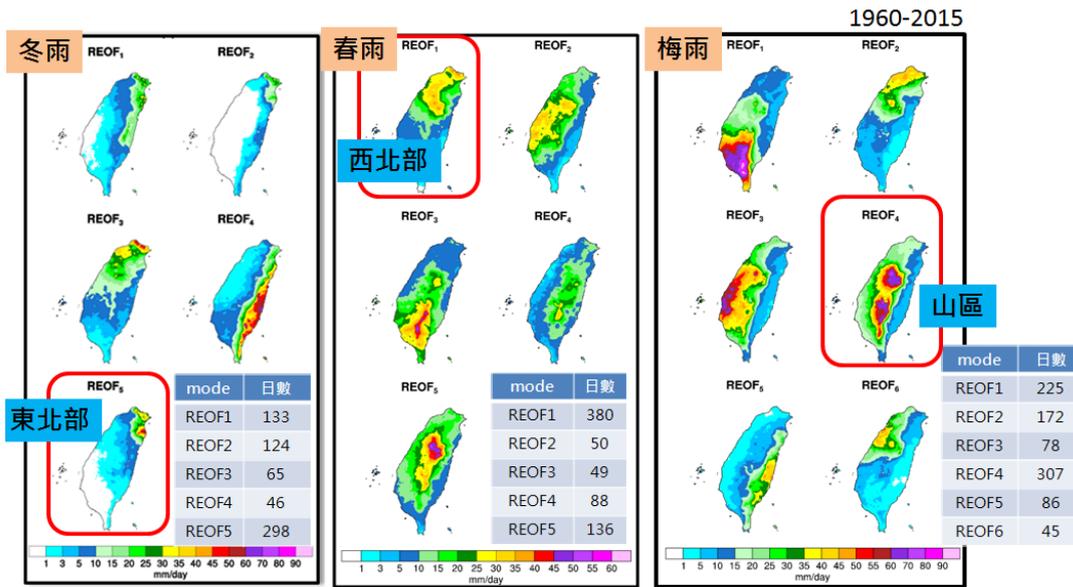


圖 3.18 REOF 分析後，各事件降雨空間分布型態；紅色框為事件中發生次數最多之型態。

分析結果

以各模式本身之基期 90% 降雨強度為標準，降雨頻率與強度於各模式中結果如圖 3.19 所示，頻率於未來推估結果，多數模式顯示未來 (C0、C1、C2、C3) 梅雨季強降雨頻率有增加的趨勢。降雨強度於未來推估結果，各模式顯示未來 (C0、C1、C2、C3) 梅雨季強降雨強度有增強趨勢。

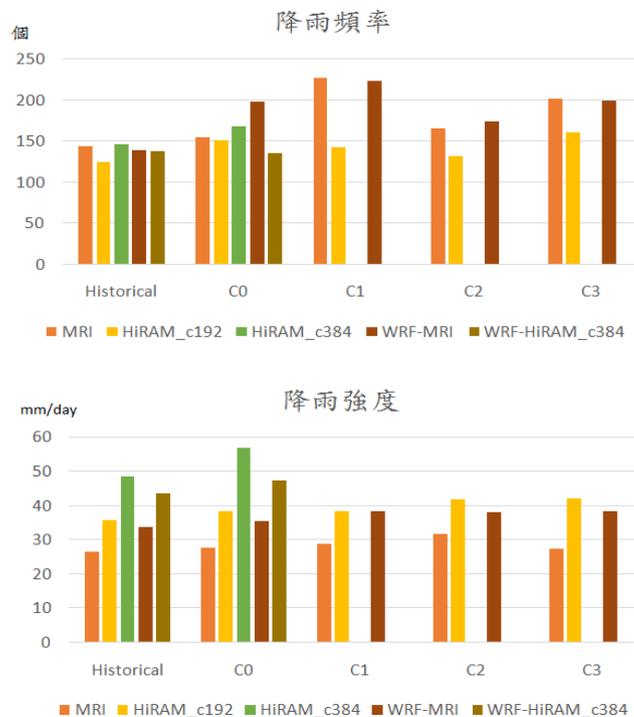


圖 3.19 極端降雨事件頻率與強度

空間分布結果顯示 (如圖 3.20)，在全球模式方面，MRI 與 HiRAM 皆推估大部分台灣地區於未來的梅雨季雨水將較現今時期增加，且台灣西側的降雨增加量將高於東側。然而，在動力降尺度模式方面，WRF-MRI 與 WRF-HiRAM 皆推估未來的梅雨季雨水與現今相比並非是全台灣都增加，而是區域性的；其中未來降雨在台灣西側大多呈現增加的趨勢，但在台灣東側則有部分地區出現減少的趨勢。

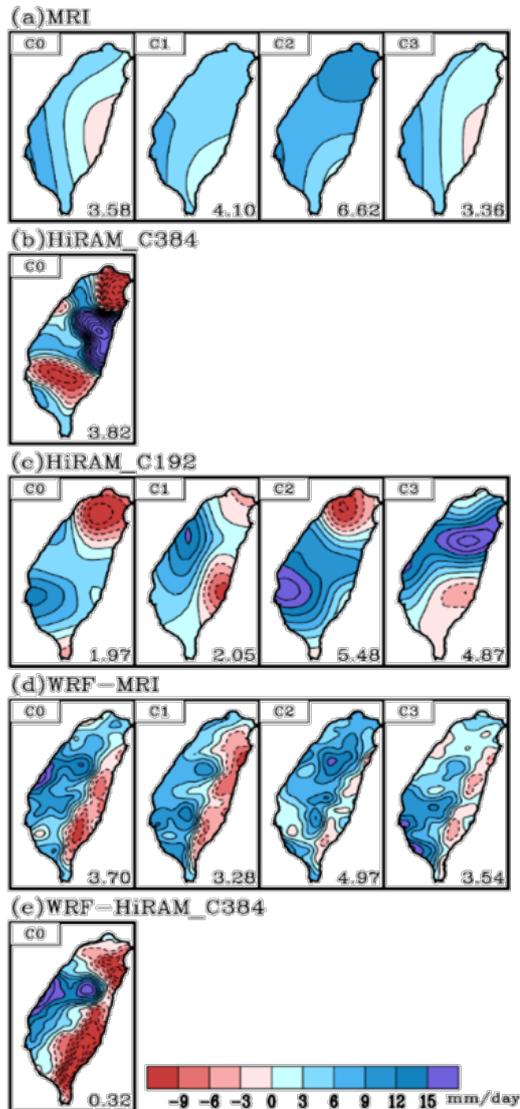


圖 3.20 MRI、WRF-MRI、HiRAM 及 WRF-HiRAM 於台灣地區平均降雨在世紀末減去現今時期之差異的空間分布，陰影為降雨 (單位：mm/day)，由左至右依序為世紀末時期 (C0、C1、C2、C3)；右方長條圖為台灣地區世紀末時期 (C0、C1、C2、C3) 減去現今時期的台灣區域平均降雨量 (單位：mm/day)

3.3.4 臺灣極端降雨事件特性-鋒面事件 (詳附錄 1.14)

不同季節的綜觀系統分類是十分重要的分析指標工具之一，但目前所使用的主觀分析方法在資料品質、資料長度與資料連續性上都存在著一定程度的不確定性。本研究第一階段進度為歷史氣象觀測資料之收集與整理，透過 TCCIP 平台我們收集 2001-2016 年之地面天氣分析圖、地面測站原始觀測資料與再分析氣候資料。使用 2001-2016 年中央氣象局一天四報之地面天氣圖來定義鋒面事件 (圖 3.21)，鋒面通過 21-25°N, 119-123°E (紅色框) 且無消散或移出，即為鋒面事件，一日 4 報中任一報發生鋒面事件即標定該日為鋒面影響日。

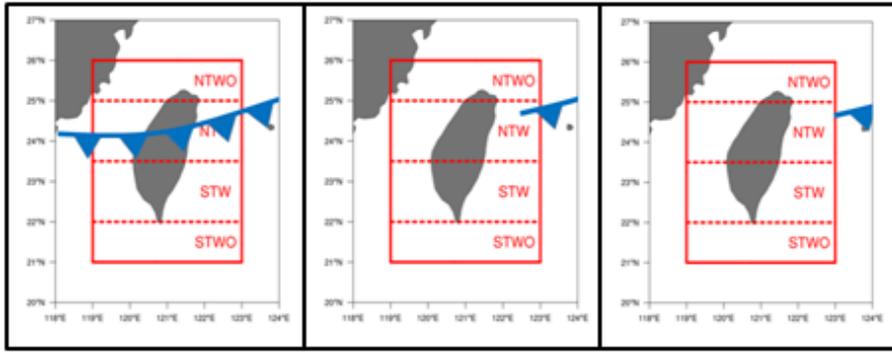


圖 3.21 鋒面通過 21 °N -25 °N，119-123 °E (紅色框)且無消散或移出，即發生鋒面事件。

■ 分析結果

鋒面影響天數趨勢分析結果顯示，2001-2016 年全年鋒面影響天數呈現下降趨勢為 -0.57 天/年，冬季為 -0.3 天/年，春季為 -0.55 天/年，梅雨季為 0.003 天/年，其中僅春季的趨勢具有統計顯著性 (圖 3.22)。

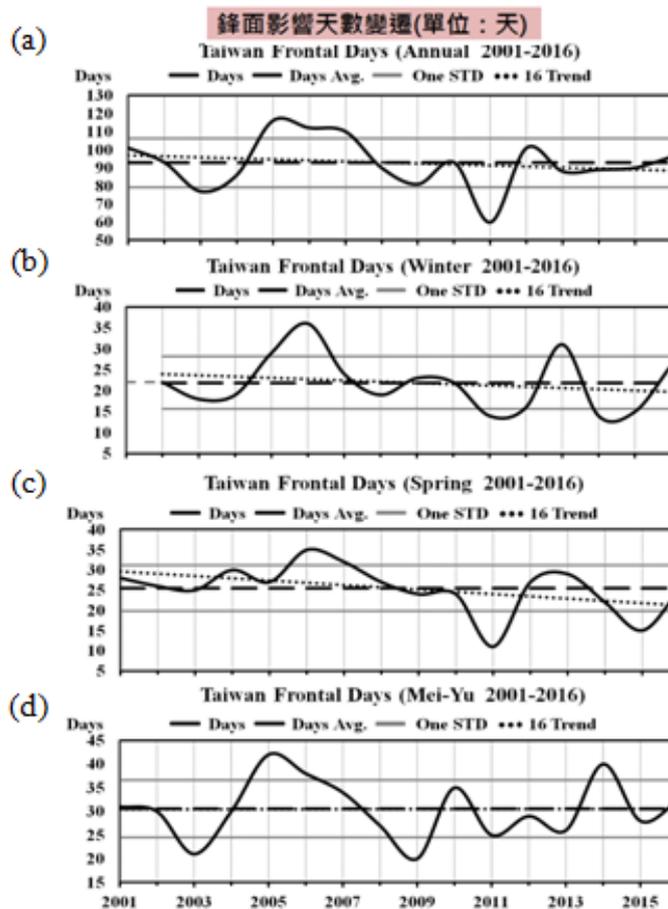


圖 3.22 2001-2016 鋒面天數趨勢 (a) 全年-0.57 day/yr、(b) 冬季(DJF) -0.3 day/yr、(c) 春季(MAM) -0.55 day/yr、與 (d) 梅雨季(MJ) 0.003 day/yr

3.3.5 北部春季乾旱探討-標準化降雨指標分析 (詳附錄 1.15)

乾旱是一種自然災害，一段時期的降雨量與氣候平均狀態相比，異常偏少。有別於其他的自然災害，乾旱發展的過程緩慢，影響範圍廣且歷時長，加上其他天氣因素的影響(如高溫、風速大以及較低的相對濕度)以及發生的時間點(如：稻作成長期)，使得每一次乾旱事件的特性都不盡相同，再加上每一個地區都有其獨特的氣候狀態，因此在乾旱的監測上有一定的難度。

Withite and Glantz (1985) 提出了六種乾旱類別，其中較常見的分類為氣象乾旱、農業乾旱以及水文乾旱。McKee *et al.* (1993) 提出了標準化降雨指標 (Standard Precipitation Index, SPI)。SPI 可以針對不同時間尺度進行計算，McKee *et al.* (1993) 提出時為計算 3-、6-、12-、24-以及 48-個月的時間尺度，土壤濕度對應到較短時間尺度的降雨變異，而地下水、徑流及水庫蓄水則對應到較長時間尺度的降雨變異。

■ 分析結果

圖 3.23 為北部所有位置點 (共 270 個) 各時間尺度所有乾旱事件的乾旱特性。第一列由左至右為 dSPI1、dSPI3、dSPI9，第二列由左至右為 dSPI18、dSPI27、dSPI36。橫軸為乾旱延時，縱軸為乾旱嚴重度，黑色線為乾旱嚴重度與延時 1:1 的線。在短時間尺度的 dSPI1 及 dSPI3，乾旱嚴重度與乾旱延時均勻分佈於黑線附近，到中、長時間尺度的 dSPI9、dSPI18、dSPI27 及 dSPI36 則可以看到一些嚴重度較大或是延時較長的乾旱事件，如 2002、2003 的乾旱事件。

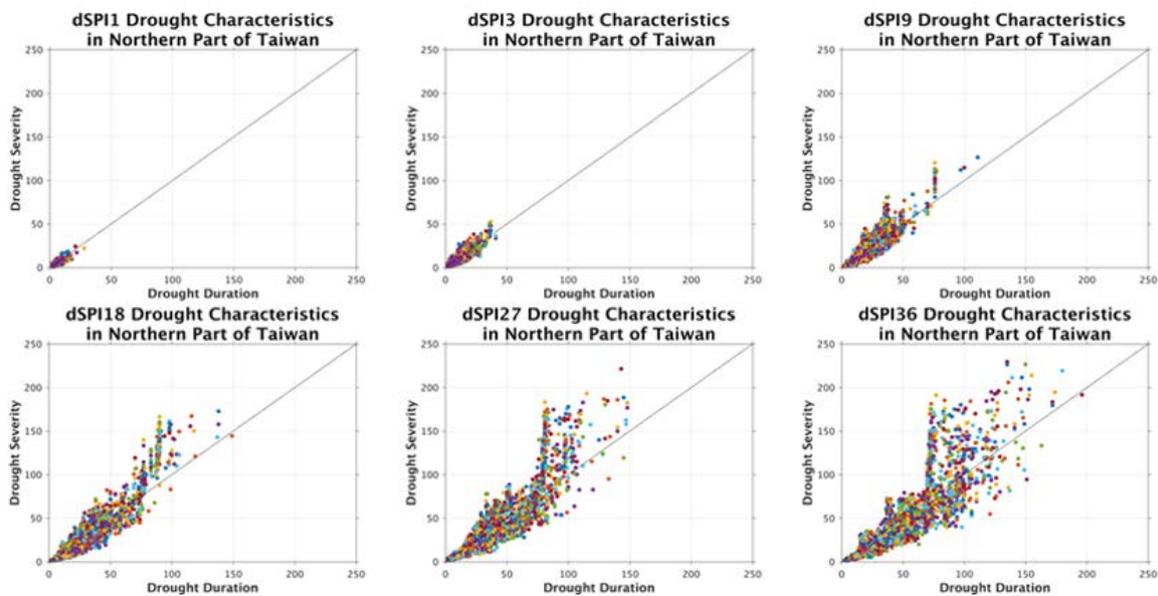


圖 3.23 TCCIP 觀測資料北部所有位置點 (共 270 個) dSPI1、3、9、18、27、36 所有乾旱事件的乾旱特性。第一列由左至右分別為 dSPI1、dSPI3、dSPI9，第二列由左至右分別為 dSPI18、dSPI27、dSPI36。橫軸為乾旱延時，縱軸為乾旱嚴重度，黑色線為乾旱嚴重度與延時 1:1 的線。

第四章 氣候風險評估與調適應用

Team 2 於本計畫中，主要負責關鍵領域風險評估、調適規劃與跨領域個案研究、產製氣候風險評估與調適所需資訊、工具與知識。上述執行過程將透過「TESTBED」方式，站在風險評估與調適評估執行者之角度上，提出風險評估所需氣候資料給 Team 1，以期 Team 1 能夠完善提出多領域氣候風險評估所需氣候資料。同時以政府 (Government)、學研 (Research)、產業 (Industry) 及民眾 (Public)(本計畫簡稱 GRIP) 為主要服務對象，透過 TESTBED 方法，將 GRIP 在氣候評估與調適上所需資料、資訊、知識與智慧、透過 Team 3 之服務整合平台，提供給 GRIP 完善之氣候調適服務。希冀透過此計畫產出，提供政府未來評估相關政策有所依據，增加學術研究資料與資訊，並透過此計畫提供氣候變遷相關資訊讓產業瞭解未來風險，及民眾可獲取相關知識，讓物來氣候變遷所造成的影響降至最低。圖 4.1 為 Team 2 主要功能分組及與 Team 1 跟 Team 3 縱向整合架構圖。

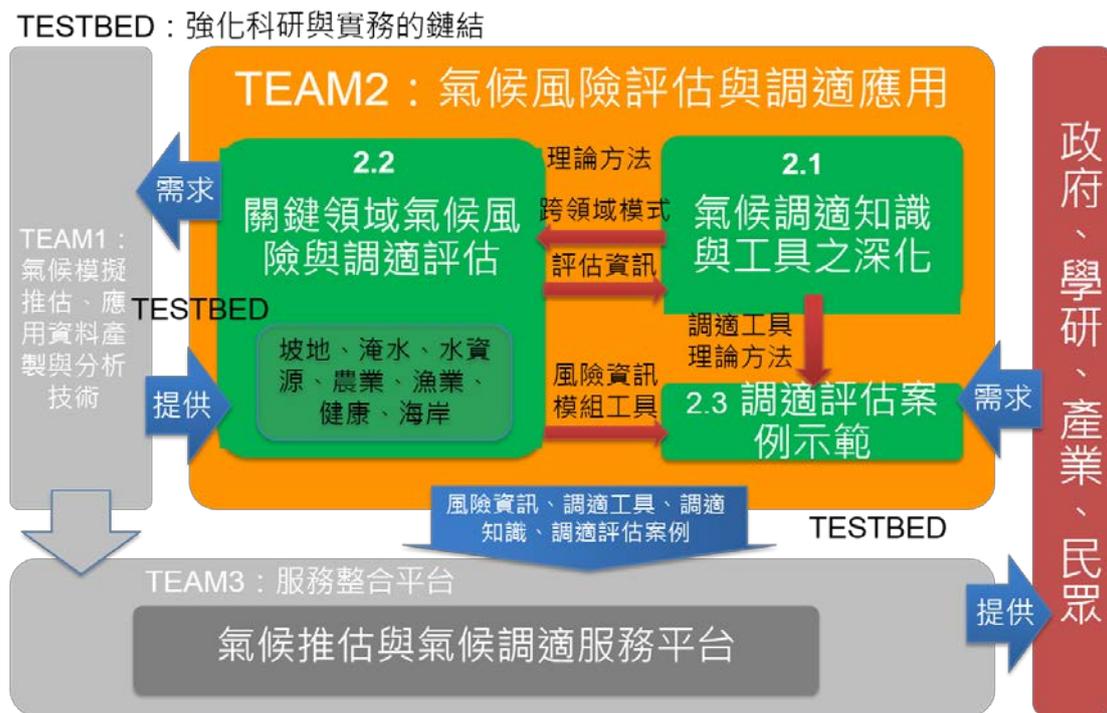


圖 4.1 Team 2 主要功能分組與縱向整合架構

為達成上述目標與縱橫向整合故產生 3 個功能分組，分別為 2.1 氣候調適知識與工具之深化、2.2 關鍵領域氣候風險與調適評估及 2.3 調適評估案例示範等分組。以下表 4.1 為 Team2 今年度主要工作項目於現階段的具體產出，各分組相關精簡分述於表 4.1 後呈現。

表 4.1 Team2 工作項目、具體產出與目前縱橫向整合表

工作項目	具體產出	縱向整合	橫向整合
分組2.1 氣候調適知識與工具之深化			
強化六步驟工具	<input type="checkbox"/> 完成標準風險鑑別程序 <input type="checkbox"/> 完成 AdaptWGEN 產品 <input type="checkbox"/> 完成調適路徑建構方法	分組 2.2 分組 2.3	Team 1 氣象資料整合
利害關係人參與	<input type="checkbox"/> 以物質流與資訊流界定利害關係人 <input type="checkbox"/> 以 DSPIR 架構整合利害關係人與 DIKW	分組 2.2	
跨領域詮釋模式	<input type="checkbox"/> 跨領域光譜建立與分析 <input type="checkbox"/> 完成詮釋模式原型	分組 2.2	
使用者分析	<input type="checkbox"/> 完成 AdaptStep 產品 <input type="checkbox"/> 縣市層級政府使用者(G)分析結果	分組 2.3	
分組2.2 關鍵領域氣候風險與調適評估			
水資源	<input type="checkbox"/> 完成目標年臺北地區、板新地區與桃園地區生活用水之最大缺水率重現期分析 <input type="checkbox"/> 完成北部地區生活、農業及工業用水風險圖	分組 2.3	Team 1 氣象資料整合
淹水	<input type="checkbox"/> 完成臺南地區氣候變遷下 20 世紀末與 21 世紀末不同尺度淹水危害-暴露圖 <input type="checkbox"/> 完成增加堤防高度與抽水機等 4 種調適方案	分組 2.3	Team 1 氣象資料整合
坡地	<input type="checkbox"/> 完成氣候變遷影響下不同降雨機率之全臺崩塌危害圖 <input type="checkbox"/> 完成各土地利用類型面對山崩的危害暴露圖	分組 2.3	Team 1 氣象資料整合
農業	<input type="checkbox"/> 完成基期、世紀初、世紀中及世紀末不同時期全臺各鄉鎮地區硬質玉米第一期作風險圖	分組 2.3	Team 1 氣象資料整合
海岸	<input type="checkbox"/> 完成海岸地區抵禦氣候變遷之現況評估 <input type="checkbox"/> 完成九大颱風路徑與現況颱風路徑海堤風險圖	分組 2.3	Team 1 氣象資料整合
公衛 (登革熱)	<input type="checkbox"/> 完成 4 組統計降尺度 GCM 模式 RCP 8.5 情境下所估計的世紀末埃及斑蚊分布圖 <input type="checkbox"/> 完成 2°C 升溫情境下，埃及斑蚊分布圖	分組 2.3	Team 1 氣象資料整合
漁業	<input type="checkbox"/> 完成海洋漁業及水產養殖利害關係人訪談，並透過訪談內容界定出水產養殖危害因子。	分組 2.3	Team 1

工作項目	具體產出	縱向整合	橫向整合
	<input type="checkbox"/> 完成虱目魚、鱸魚與文蛤低溫寒害與高溫熱浪風險圖。 <input type="checkbox"/> 完成海洋漁業漁獲組成及優勢魚種變動分析		氣象資料整合
心理健康	<input type="checkbox"/> 完成氣象因子與精神疾患之相關性分析 <input type="checkbox"/> 完成重鬱症於暖化下未來風險的變化趨勢	分組 2.3	Team 1 氣象資料整合
分組2.3 調適評估案例示範			
跨層級與跨空間治理	<input type="checkbox"/> 氣候變遷調適與國土計畫之關聯 <input type="checkbox"/> 空間規劃與氣候變遷調適六步驟	分組 2.1	
關鍵議題空間調整研究	<input type="checkbox"/> 關鍵議題風險評估-桃園市氣候變遷調適之空間規劃風險評估 <input type="checkbox"/> 關鍵議題風險評估-雲林縣氣候變遷調適之空間規劃風險評估 <input type="checkbox"/> 空間調整調適策略研擬方法	分組 2.1 分組 2.2	

4.1 氣候調適知識與工具之深化分組成果 – 分組 2.1 (詳附錄 2.1)

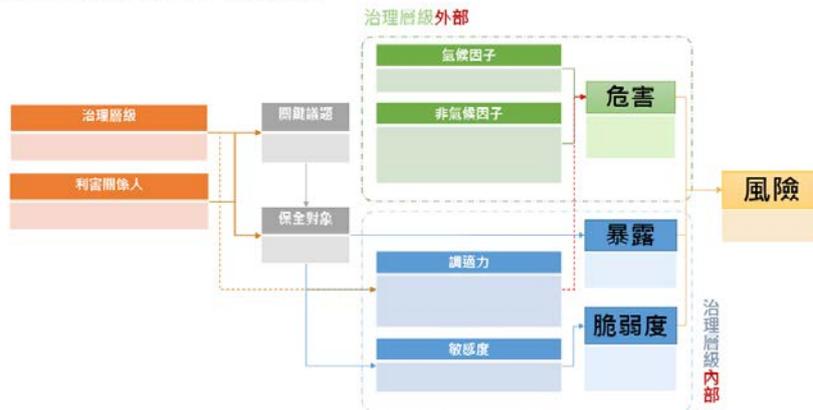
該分組為 Team 2 核心，主要定位在於擔任整體團隊研發部門，故建立一個可以在不同領域、不同空間以及不同層級操作的評估核心至關重要，故整體工作皆以此為出發。

4.1.1 強化六步驟工具

(1) 標準風險鑑別程序

氣候調適工具知識工具的開發以 TaiCCAT 調適六步驟為主軸，本年度主要以 IPCC 提出之風險因子定義為主要依據，重新定義與設計一套共為細緻且合乎未來可進行調適操作之相關風險因子。為強調未來之可操作性，因此以使用者，即保全對象，為出發點，進行風險鑑別。再根據不同決定層級，界定不同調適選項。可以 ACTION 呈現五大特點：可進行調適評估 (Adaptable)、利害關係人共同設計 (Co-Design)、客製化 (Tailor-Made)、跨領域 (Inter-Disciplinary) 與跨層級 (Cross-Level) 應用、配合調適六步驟持續前進 (ONgoing)。整個風險鑑別的程序，如圖 4.2 示。此應用成果已在分組 2.2 中之八大領域有更詳細的應用成果。由於此風險鑑別程序尚為研析與測試階段，未來會透過分組 2.2 與分組 2.3 之應用結果，進行滾動式修正。

風險鑑別流程 (因子關係圖)



風險鑑別流程 (指標產出圖)

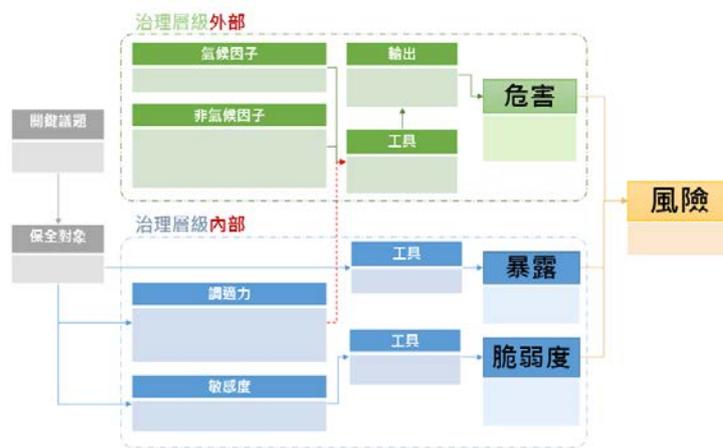


圖 4.2 風險鑑別程序圖

(2) 完成AdaptWGEN產品

隨著網路資訊科技進步，為快速界接、整合與提供各界資料，應用程式介面 (Application Programming Interface, API) 則越顯重要。本計畫所提供之各項氣候調適服務產品，為連接政府、學研及民眾，未來將透過 API 方式，式應邀第三方單位參與，協助資訊服務系統建置更加完善，並且透過多觸角的延伸，找尋跨足更多領域研究應用的可能性 (圖 4.3)。故今年度以 AdaptWGen 做為示範的工作項目產出。其中以包含三種合成方法可應用於全台 21 個氣象站，除了 Team1 提供的氣象資料之外，更提供給使用者自行合成的選擇。

(3) 完成調適路徑建構方法

調適路徑的建構為調適六步驟中第五步驟的重要工作項目，在此彙整過去相關研究將調適路徑的建置方法分為：權重評估法路徑、計畫評核法(Program Evaluation and Review Technique, PERT)路徑與 BS(Black-Sholes)模式路徑。權重評估法可應用於小尺度的風險調適方案優先順序設計；計畫評核法可適用於在有控制條件下調適選項施行的排序；BS 模式路徑則可應用於在有資訊不確定性下的動態決策。因應使用者需求與不同層級的治理單位，可支援完成氣候調適六步驟。

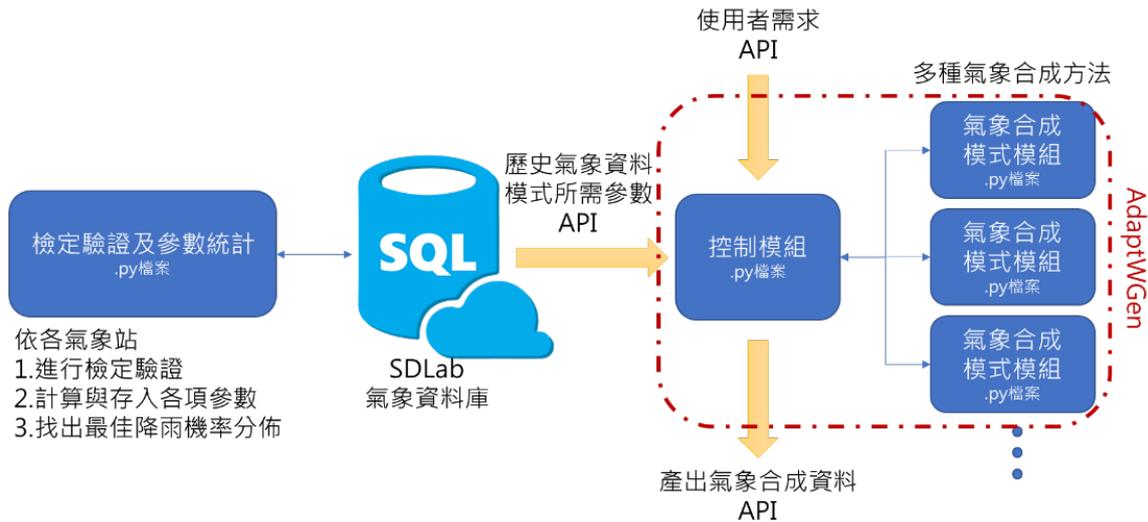


圖 4.3 AdaptWGen 開發設計圖

4.1.2 利害關係人參與

(1) 以物質流與資訊流界定利害關係人

對於利害相關者的定義，最廣泛的說法就是受到氣候變遷調適影響的單位或是可以影響氣候變遷調適的單位。為了清楚界定利害關係人，本計畫透過實體的網路連結（物質流）或虛擬的資料與資訊流動（資訊流）來架構整個議題中的各個腳色，再將點與點之間的流動確認，即能有效界定與議題有關之利害關係人。

物質流的背景理論是採取 Alliance for Water Stewardship (AWS) 所提出的架構。AWS 的界定利害關係人方法可視為以系統界定的物質流動來找尋跟此有關的所有單位，在某些領域比較難以真正去定義實體的物質流動情形，就以資訊流的方式承襲 AWS 精神，找尋有關的利害關係人。

(2) 以 DPSIR 架構整合利害關係人與 DIKW

氣候變遷會導致環境系統衝擊日益增加，評估系統脆弱度時必須兼顧暴露度、敏感度與調適力，涉及人與環境的因果交互作用，跨領域脆弱度評估也因此成為諸多研究焦點；本計畫將運用已建立之 Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) 因果模型研究架構（圖 4.4），探究因應氣候變遷涉及之人與環境交互作用，以了解各個環節的脆弱度問題，有助於提出適當的海岸社區韌性建構方向與合宜的政策建議。本計畫視氣候變遷為 Driver（驅動力），導致海域漂流物對環境產生 Pressure（壓力），改變海岸社區狀態（State），並因此帶來海岸汙染衝擊（Impact），政府與居民因此應採取作為因應（Response）；期能透過不斷地反應，改善現況與減緩衝擊程度。該根據 DPSIR 模型建立之氣候變遷下之海岸社區韌性建構模式，解釋了氣候變遷與人類活動之間複雜的交互作用，強調當環境現況改變時，對人類、生態帶來衝擊，社會必須有所反應；最後因為人類的環境感知而調整行為，使壓力與衝擊降低，有效引導人類與

環境的良好互動，朝向永續發展的方向。另本計畫將以該架構，參考科學實證與推估，進行深度訪談與分析口述資料；強調分析結果有助於提出不同層次的調適建議，而當地居民的環境感知，有助於海岸社區面對氣候變遷衝擊獲得在地解決之道。

(3) 以漁業領域為例

目前氣候變遷調適已從單純的學術研究及政策建議，慢慢轉變納入利害關係人觀點，進行相關調適建議。對於利害相關者的定義，最廣泛的說法則為受到氣候變遷調適影響的單位或可以影響氣候變遷調適的單位。上述的單位，在歐洲國家調適計畫中可以泛指是一個組織、政府部門、研究單位、公司法人或是一般社會大眾。

漁業生產穩定與否對於糧食安全、漁產品供需、地方漁村與漁業經營者的生計均具扮演重要關鍵角色。氣候變遷產生的環境變化將對漁業生產造成的直接與間接影響，並透過各產業間的關聯性產生廣泛的生態系、漁村社會與經濟等層面的影響 (圖 4.5)。因此，漁業領域可透過影響因子的評估過程進行資訊流利害關係人的分析，藉此瞭解評估關鍵議題過程中的每個因子與對應單位，進而界定利害關係人，分析成果如表 4.2 所示。

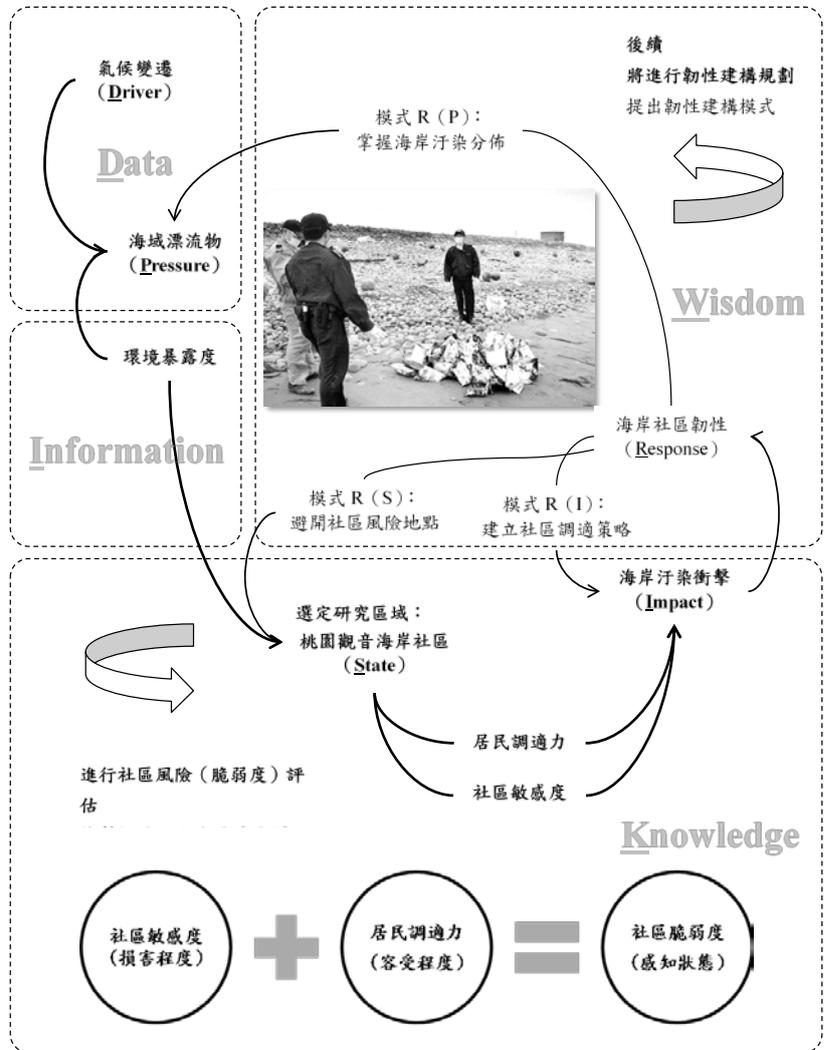


圖 4.4 以 DSPIR 整合利害關係人參與之 DIKW 架構

■ 氣候變遷下地方漁業面臨之危害因子與暴露度

透過上述利害關係人界定名單，漁業領域結至目前為止共訪談了 40 位利害關係人。並根據產官學界的組成特性與層級之不同，規劃了不同的訪談主軸，如圖 4.6 所示。相關訪談成果彙整分述如下。

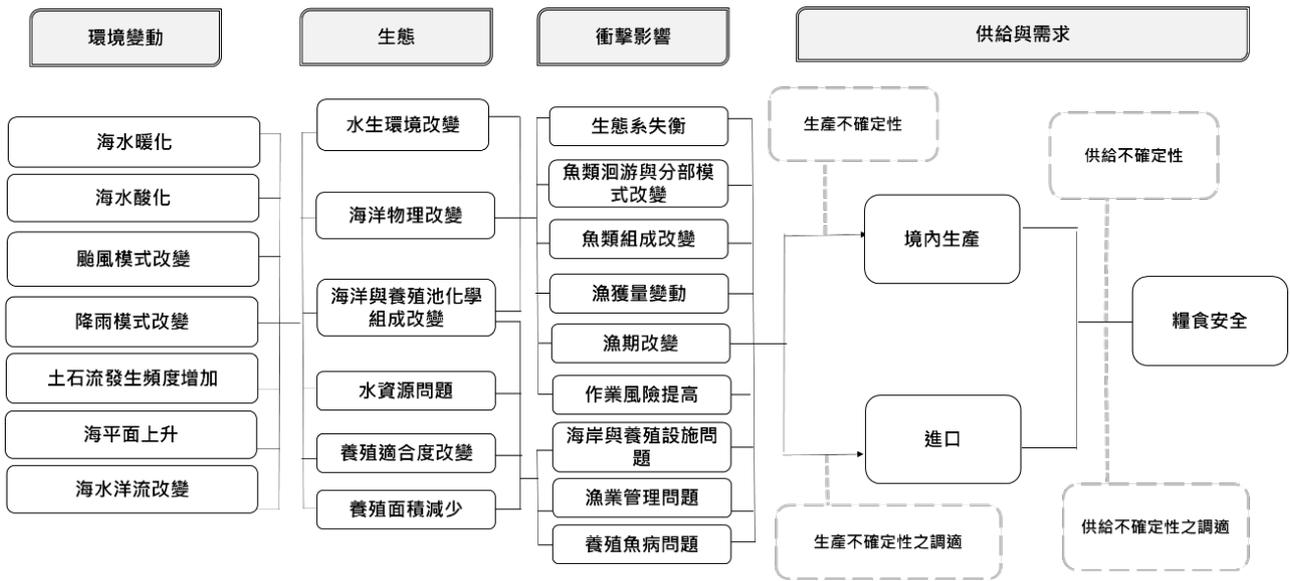


圖 4.5 氣候變遷對漁業生產與漁產品供需影響途徑

表 4.2 漁業領域物質流界定利害關係人名單

對應因子	水溫暖化	漁民生計問題	作業風險改變	漁具設施與 養殖設備問題	漁業管理問題	漁產貿易供給 不確定性與市場衝擊
對應單位	<ul style="list-style-type: none"> 農委會 漁業署 	<ul style="list-style-type: none"> 地方漁政單位 區漁會 	<ul style="list-style-type: none"> 漁業經營者 漁村居民 	<ul style="list-style-type: none"> 地方漁政單位 漁業經營者 	<ul style="list-style-type: none"> 漁業署 地方漁政單位 NGO 團體 學研單位 	<ul style="list-style-type: none"> 漁業署 地方漁政單位 學研單位



圖 4.6 產官學各層級調查與訪談面向

(1) 氣候危害因子之判定

海洋漁業方面，先藉由文獻分析綜整數項氣候危害因子，包括長期性海溫升溫、暴潮、颱風特性改變、海洋酸化、降雨特性改變、洋流模式改變、異常海象等。訪談結果顯示，地方漁業經營者關注之氣候危害因子，除海溫的長期性變動外，多數以急潮、颱風模式與頻度等立即性極端氣候災害為主要關注危害因子。然而，治理單位與學研單位關注因子則以海溫升溫、降雨模式改變、海平面上升、洋流模式改變等長期性氣候衝擊為主要關注因子，其調查詳細內容，如表 4.3 所示。

水產養殖漁業方面，文獻回顧綜整出數項氣候危害因子包括極端強降雨、極端高溫、極端低溫、極端強颱風、淹水、水資源供應問題等。根據田野調查與訪談結果顯示，地方漁業經營者關注之氣候危害因子以強降雨事件、藻華、高溫事件、低溫寒害事件、強颱風等極端氣候變異為主。然而，管理單位則以淹水事件、海平面上升、暴潮與水資源供應問題為主，其各層級關注之氣候危害因子詳細內容，如表 4.4 所示。

(2) 暴露度之判定

氣候變遷對漁業領域的衝擊影響可分為漁業生產與漁產品供需兩層面，其暴露包含漁獲組成改變、優勢漁獲或養殖魚種改變、漁汛期或養殖期混亂、漁獲生產與供給穩定度降低、漁業生產力與產業競爭力下降等，其海洋漁業與水產養殖漁業暴露詳細內容，如表 4.5 所示。

表 4.3 各層級海洋漁業關鍵氣候危害因子之確認

氣候危害因子*1	經營者 A	經營者 B	經營者 C	研究者 D	研究者 E	研究者 F	管理者 G	管理者 H	管理者 I
長期性海溫升溫	◎	-	-	◎	◎	◎	-	◎	◎
暴潮	-	◎	-	◎	-	◎	-	-	-
急潮	◎	◎	◎	◎	-	◎	-	-	-
颱風模式改變	◎	◎	◎	-	◎	-	◎	◎	-
海洋酸化	-	-	-	◎	-	◎	-	-	◎
土石流發生頻度增加	-	-	-	◎	-	-	◎	-	-
降雨模式改變	-	-	-	◎	◎	◎	◎	◎	-
海平面上升	-	-	-	-	-	◎	-	◎	◎
洋流模式改變	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
異常冷水入侵	-	-	-	◎	◎	◎	◎	-	-
異常暖水入侵	-	-	-	◎	◎	◎	-	-	-
異常海象	◎	◎	-	◎	◎	-	◎	◎	◎

*1 氣候危害因子擬定以 FAO (2009) 與 Ho et al. (2017) 評估之漁業領域氣候災害因子為主。

*調查與訪談對象持續增加中，部分訪談結果持續彙整中。

表 4.4 各層級水產養殖漁業關鍵氣候危害因子之確認

氣候危害因子*1	經營者	經營者	經營者	經營者	經營者	承銷人	管理者	管理者	管理者
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
極端強降雨事件	◎	◎	-	-	◎	◎	-	◎	◎
極端高溫事件	-	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-
極端低溫事件	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-
極端強颶事件	◎	-	◎	-	-	-	◎	-	-
藻華事件	◎	-	-	◎	-	-	-	-	-
淹水事件	-	◎	-	-	-	◎	◎	◎	-
水資源供應問題	-	◎	◎	◎	-	◎	◎		◎
溶氧不足問題	◎	◎	◎	-	◎	-	-		-
海平面上升	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎
焚風	-	-	-	-	-	-	-	-	-
地震	-	-	-	-	-	-	-	-	-
暴潮	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎

*1 氣候危害因子擬定以 FAO (2009)與 Ho et al. (2017)評估之漁業領域氣候災害因子為主。

*調查與訪談對象持續增加中，部分訪談結果持續彙整中。

表 4.5 海洋漁業與水產養殖漁業暴露之確認

衝擊層面	暴露	海洋定置網漁業	水產養殖漁業
漁業生產面	地方性漁業產生漁獲組成與群聚組成改變	●	-
	非目標魚種漁獲對象漁獲比例突發性增加	●	-
	大洋性洄游魚類之冬春季魚種漁獲比例減少	●	-
	優勢漁獲或養殖魚種改變	●	●
	黑潮(暖流)流勢增強，冬春季魚種漁獲比例呈現負相關，分布範圍逐漸往北退縮	●	-
	因物種分布範圍改變，漁獲物種消失或減少	●	-
	暖水性物種的漁場位置向北擴張	●	-
	適水溫窄溫性養殖魚類的養殖區域向北擴張	-	●
	漁汛期或養殖期混亂	●	-
	漁業經營者生產與作業風險提高	●	●
	極端氣候災害發生頻度增加擾亂作業	●	●
	極端氣候導致漁產量突發性減產亦或大量暴斃	●	●
漁民作業穩定度下降	●	●	

衝擊層面	暴露	海洋定置網漁業	水產養殖漁業
	漁獲物年間組成變動大	●	-
漁獲供給與需求面	漁獲生產與供給穩定度降低	●	●
	漁民銷售與生產成本增加	●	●
	漁村社會暴露度與脆弱度增加	●	●
	漁獲品質穩定度下降	●	●
	非目標魚種產量增加	●	●
	漁業生產力與產業競爭力下降	●	●

■ 漁業領域氣候變遷調適缺口之確認 (危害與關鍵議題之界定)

面對氣候變遷與極端氣候變異造成環境、生態與漁村社會經濟的影響與衝擊時，臺灣漁業管理單位已針對漁產品國內生產與市場供需擬定相關調適措施，其主要的調適方針共可歸納為三層面，包括 (1) 針對漁業生產擬定的漁業生產模式調整；(2) 針對漁產供需與銷售推行的產銷平衡計畫；(3) 強化產銷預警與供應調適作業 (表 4.6)。

表 4.6 中央與地方政府氣候衝擊調適策略之潛在風險與不確定性

衝擊層面	漁業生產與漁產供需潛在風險與暴露	強化預警與 供需調適作業*2	生產模式 調整*2	產銷平衡 計畫*2	事前 調適*3	事後 調適*3
漁業生產面	地方性漁業產生漁獲組成與群聚組成改變	-	●	-	●	-
	非目標魚種漁獲對象漁獲比例突發性增加	-	●	-	●	-
	大洋性洄游魚類之冬春季魚種漁獲比例減少	-	●	-	●	-
	優勢魚種改變	-	●	-	●	-
	黑潮(暖流)流勢增強，冬春季魚種漁獲比例呈現負相關，分布範圍逐漸往北退縮	-	●	-	●	-
	因物種分布範圍改變，漁獲物種消失或減少	-	●	-	●	-
	冷水性物種的漁場位置或養殖區域向北退縮	-	●	-	●	-
	漁汛期或養殖期混亂	●	●	-	●	-
	漁業經營者生產與與作業風險提高	●	●	-	●	-
	極端氣候災害發生頻度增加擾亂作業	-	●	-	●	-
	極端氣候導致漁產量突發性減產亦或大量暴斃	●	●	●	●	●
	漁民作業穩定度下降	●	●	-	●	-

衝擊層面	漁業生產與漁產供需潛在風險與暴露	強化預警與 供需調適作業*2	生產模式 調整*2	產銷平衡 計畫*2	事前 調適*3	事後 調適*3
	漁獲物年間組成變動大	●	-	-	●	-
漁獲供給與需求面	漁獲生產與供給穩定度降低	●	●	-	●	-
	漁民銷售與生產成本增加	-	-	●	●	●
	漁村社會暴露度與脆弱度增加	-	●	-	●	-
	漁獲品質穩定度下降	●	-	-	●	-
	非目標魚種產量增加	-	●	-	●	-
	漁業生產力與產業競爭力下降	●	●	-	●	-

* 本表由本研究彙整

*2 強化產銷預警與供需調適作業、漁業生產模式調整、產銷平衡計畫三大調適策略參照行政院公告之「國家氣候變遷行動綱領 (2017)」

*3 風險管理之事前/事後調適策略評估標準參照 FAO (2009) 與 Ho *et al.* (2017)

臺灣漁業領域治理單位面對氣候變遷災害時，現存的氣候調適策略多數係以事前預防性管理減輕氣候變遷對境內漁業生產與漁民經濟的影響與衝擊程度，調適衝擊以長期性氣候災害為治理主軸。事後調適規劃僅實施實物平準計畫，以特定漁獲物種做為短期漁產品與價格波動時的調節性漁產，藉此降低氣候變遷災害對漁產品供需對民生衝擊程度。然而，根據訪談與田野調查結果顯示，隨著極端氣候災害發生頻度與影響層面的加劇，地方產業關注與面臨問題多數以極端氣候災害造成的立即性衝擊為主（如極端降雨、寒害、熱浪等），為立即調節氣候災害產生的損失與影響，事後調適規劃重要性逐漸提高，但漁業治理單位現行規劃的調適策略之事後調適規劃未來將可能無法因應產業與治理所需，仍顯不足之處。

4.1.3 跨領域詮釋模式

詮釋模式的優點在於能夠快速地評估使用者所需要的結果，但是否每一個不同的模式及需求都適合跨領域詮釋模式就需要清楚的界定。藉由前期研究所界定領域的關係，在跨領域的光譜中至少要達到弱-跨領域的階段，並將重點放在支援 2.2 跨領域架構的建置，藉由風險鑑別程序所界定的因子視為端點，並連結每個端點，藉由網路分析的指標了解連結的方式，並以實際案例架構以建立詮釋模式（圖 4.7）；最後才能在超領域的階段，將詮釋模式進行推廣與延伸的動作，藉由多觸角的發展，連結到更多未知的領域以創造在原本領域內所不存在的服務價值，並藉由參與式的雙向溝通機制落實 GRIP 使用者導向的設計服務，讓整個計畫的產出更臻實用智慧。在今年度工作中以水資源、淹水、農業與坡地災害的風險鑑別流程為基礎，經過上述分析之後已完成後續詮釋模式工具之開發與展示頁面的建置（圖 4.8），後續將針對模式的內容與使用者需求加強連結，強化詮釋模式的應用特性。

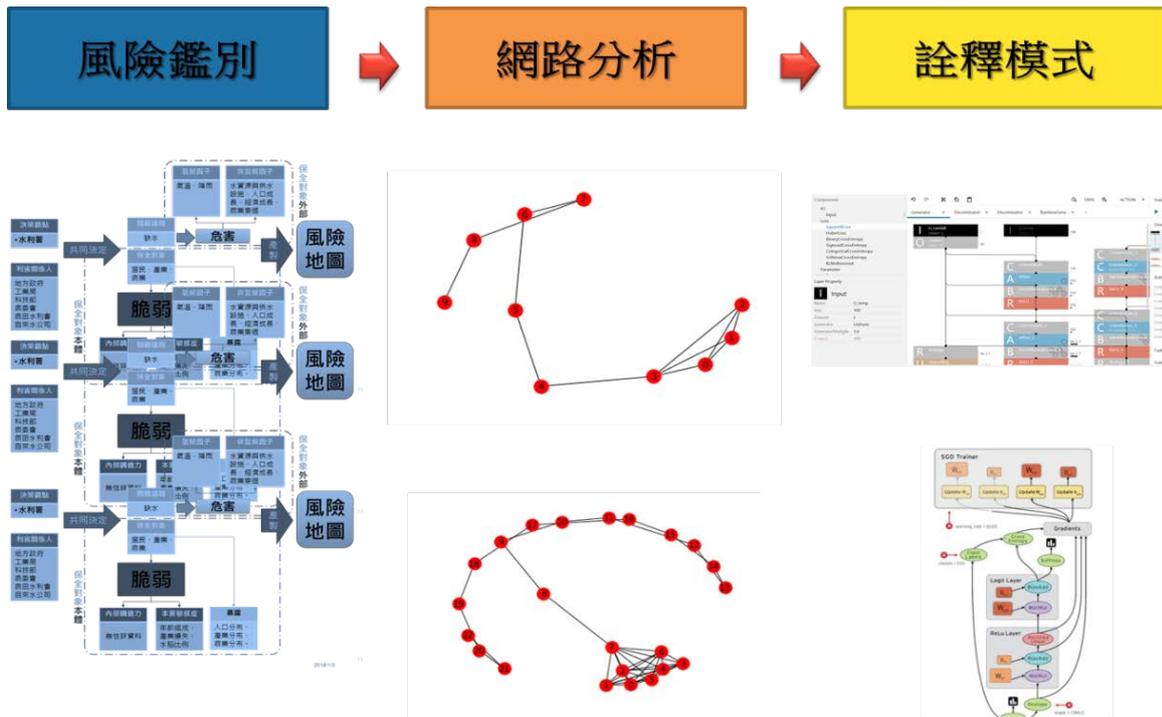


圖 4.7 由風險鑑別建立詮釋模式流程

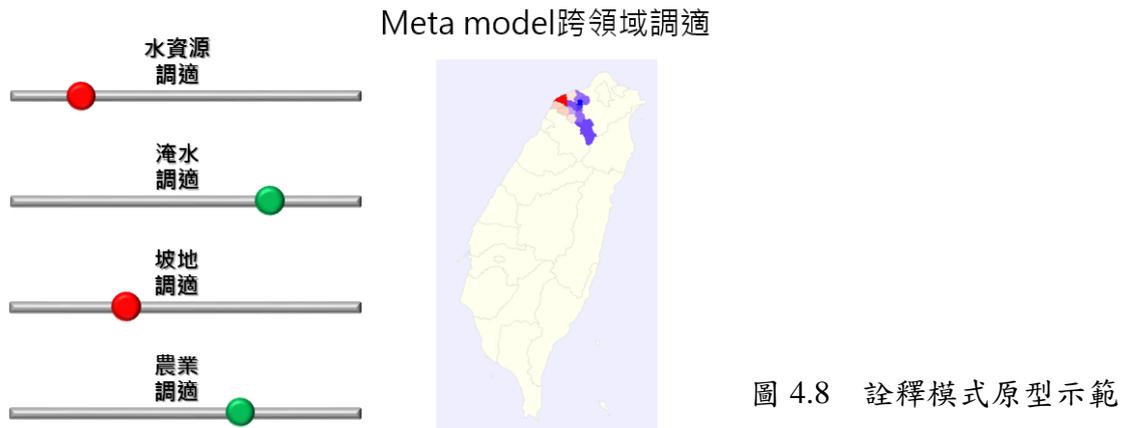


圖 4.8 詮釋模式原型示範

4.1.4 使用者分析

支援決策調適工具以氣候變遷調適六大步驟為基礎，起初設計為使用表格供使用者依序自我檢核，依循氣候變遷調適六大步驟內的各項次步驟與工作項目，瞭解整個調適計畫可能出現之缺漏，進而滾動式修正調適計畫，使計畫趨於完整可行。為使工具的使用上能夠更為便利直覺，特採問卷式的自我檢核流程來建構，並於檢核過程之中加入各個項目的介紹說明，讓各種類型的使用者都能夠在第一次使用時，便瞭解整個氣候變遷調適六大步驟的各個步驟用途，進而對於氣候變遷調適計畫有更透徹的分析及認識。初版的工具建置於 Office Excel 上，透過方便的表格與 VBA 功能，讓後續工具的調整修正上有較大的便利性，也可達成多

方編輯的目的。然未來工具成熟後將進一步建置於網路知識平台上，讓支援調適決策工具能夠直接於雲端運作，便利更多使用者，同時也能藉此收集各使用者族群之資訊，作為未來支援調適決策工具精進之依據，如圖 4.9。目前也以 AdaptStep 作縣市政府在調適行動計劃內的初步評估如圖 4.10，藉由評估的結果能補足現階段使用者不足的需求，做為未來計畫團隊服務設計與開發的需求導向。

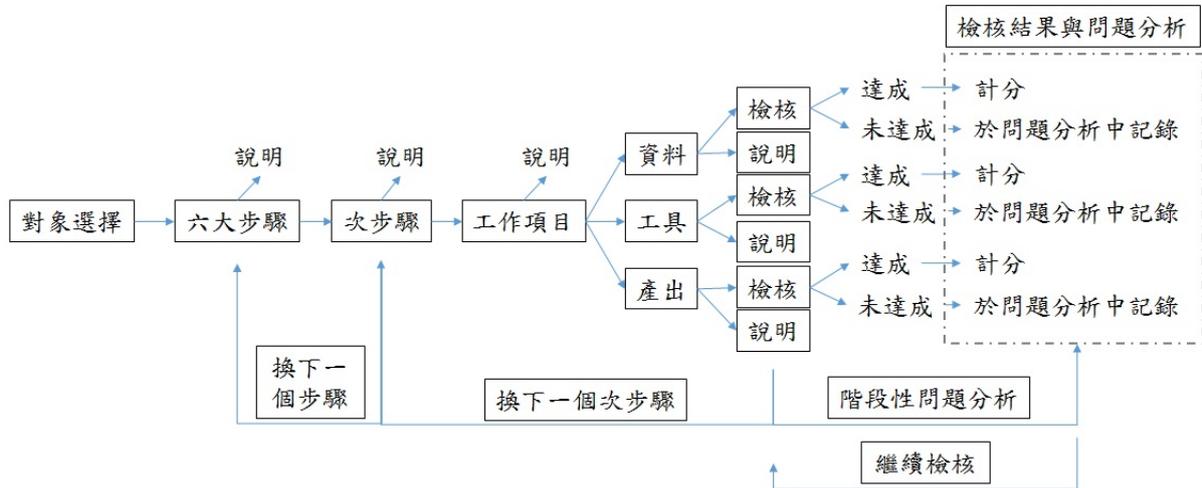


圖 4.9 支援調適決策工具設計邏輯圖

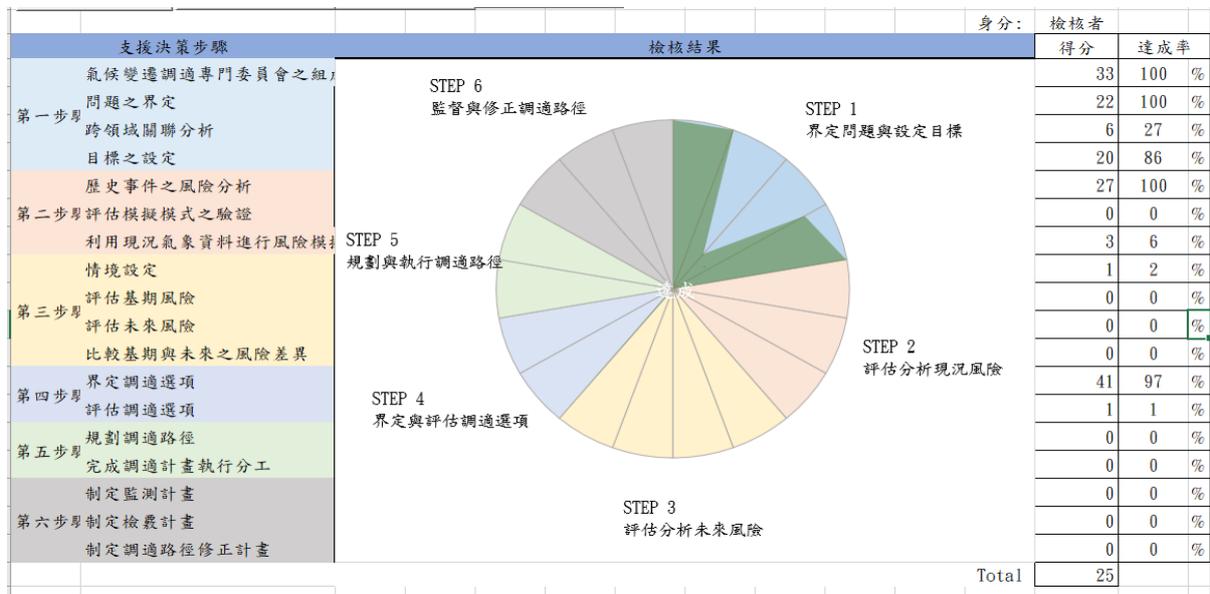


圖 4.10 縣市政府評分結果

4.2 關鍵領域氣候風險與調適評估

盤點過去個別領域在氣候變遷的進展及研究能量，同時兼顧新課題發展與計畫資源，以領域進展來選擇領域，並已成熟度來進行各領域之分類；因此，在關鍵領域氣候風險與調適評估分組中，分為 3 個群組共 8 個領域課題。

各群組與課題選擇原則，如圖 4.11 所示。Group 1 為前期 TaiCCAT 與 TCCIP 計畫中已建立評估模式與衝擊評估之團隊，未來可完成特定議題之風險評估與調適建議為主軸，分別為水資源、淹水、坡地及農業等領域。Group 2 為前期已具備評估經驗，於本計畫可完成特定議題之風險評估，並逐漸進展到調適建議者為主軸，分別為海岸、公共衛生及漁業等領域。Group 3 則為氣候變遷新興課題，已具備相關模式，但缺乏氣候變遷完整評估經驗，可完成特定議題之危害分析，並逐漸到衝擊與風險分析者，本計畫選擇心理健康作為此新興課題。

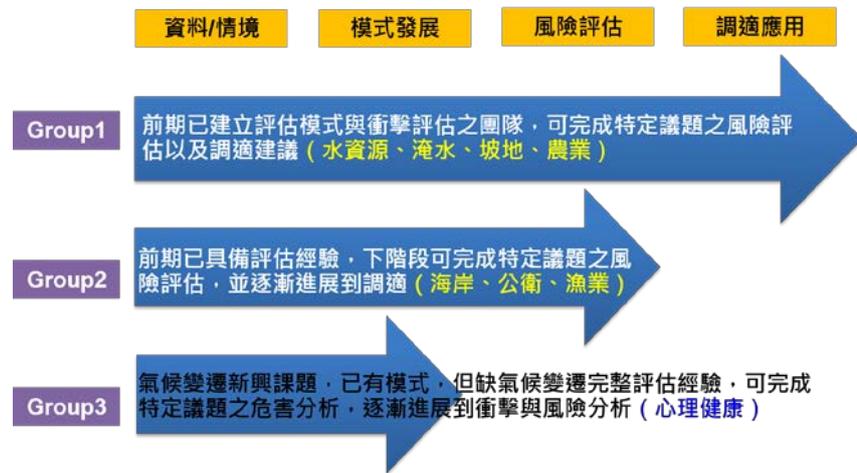


圖 4.11 分組 2.2 關鍵領域分類與各課題執行關聯圖

此 8 個領域的氣候風險與調適評估流程，主要根據 TaiCCAT 計畫所提之臺灣氣候變遷調適六步驟來進行，分別為 (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及 (6) 監測與修正調適路徑等。由於各領域對於氣候變遷風險評估之研究成熟度不同，因此今年度各領域之研究成果，進度略有不同。表 4.7 為各領域今年度成果彙整表，根據彙整結果，各領域均已達成今年度預計項目，並有部分領域已超前預計進度。

4.2.1 Group 1 – 水資源、淹水、坡地及農業領域成果

Group 1 各領域於本年度已完成至氣候變遷調適六步驟第三步驟：評估與分析未來風險，相關成果分述如下。

(1) 水資源領域 (詳附錄 2.2.1)

- * 氣候情境設定：統計降尺度 (RCP 8.5)、動力降尺度 (HiRAM, RCP8.5)
- * 所需氣象變數與時間尺度：月雨量(統計)、月溫度(統計)；日雨量(動力)、日溫度(動力)
- * 主要成果：

包括針對公共用水以及農業用水兩部分的評估結果。首先，近未來公共用水缺水分析評估成果如下，臺北地區世紀末僅在七月時有些許缺水，但並不影響正常供水，氣候變遷之近未來期間亦不影響供水。板新與桃園地區主要缺水發生在 1 月至 3 月期間，近未來在板新二期計畫啟動之後，缺水率明顯降低，近未來五個 GCM 結果皆顯示氣候變遷不影響供水，生活用水、工業用水與農業用水風險圖如圖 4.12 所示。其次，在農業用水缺水分析結果部分，一

表 4.7 各領域氣候調適六步驟成果彙整表 (第一年成果)

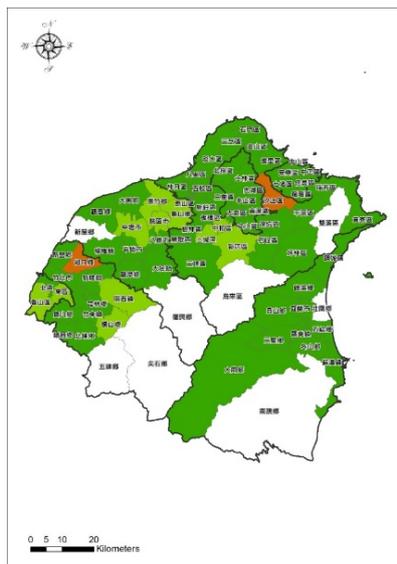
步驟	次步驟	Group 1				Group 2			Group 3
		水資源	淹水	坡地	農業	海岸	漁業	公衛	心理
1	界定問題與設定目標	○	○	○	○	○	○	○	○
	關鍵議題界定	○	○	○	○	○	○	○	○
2	評估與分析現況風險	○	○	○	○	○	○	○	○
	評估模式之驗證	○	○	○	○	○	○	○	○
3	評估與分析未來風險	○	○	○	○			○	
	情境設定	○	○	○	○			○	
4	界定與評估調適選項		○						
	評估調適選項		○						
5	規劃與執行調適路徑								
	規劃調適路徑								
6	監測與修正調適路徑								
	制定監測與檢覆計畫								
	制定調適路徑修正計畫								

註：○表示已完成；△表示2月完成；黑粗框表示各領第一年預計完成進度。

(a)生活用水



(b)工業用水



(c)農業用水

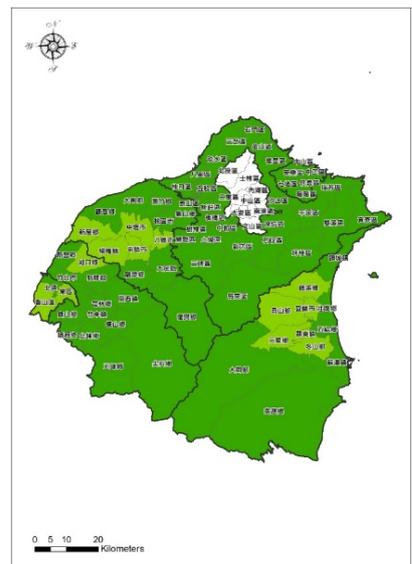


圖 4.12 氣候變遷下近未來生活用水、工業用水與農業用水風險圖 (RCP8.5_HadGEM-CC)

期作開始時間為春季，正好是灌溉需水量較高但水源較為不足的時期，因此春季有較高缺水率。但此模擬乃使用農業灌溉水權量作為需水量進行模擬，實際需水量會因為灌溉計畫有所變動，較實際水權量小，因此實際缺水率應比模擬結果小。近未來氣候變遷可能造成缺水率降低，但仍有 GCM 結果顯示近未來缺水率會增加 (HadGEM2-CC)，如圖 4.13。

利用五個 GCM 模擬成果中缺水情形最為嚴重之模式 HadGEM2-CC，進行近未來台北地區、板新地區、桃園地區生活用水之最大缺水率重現期分析，如圖 4.14。結果顯示雖然未來在規劃下不會遭遇嚴重缺水，但在氣候變遷影響下(HadGEM2-CC_RCP8.5 情境)，台北、板新以及桃園每十年仍可能遭遇 5%、43% 以及 30% 最大缺水率之缺水事件。

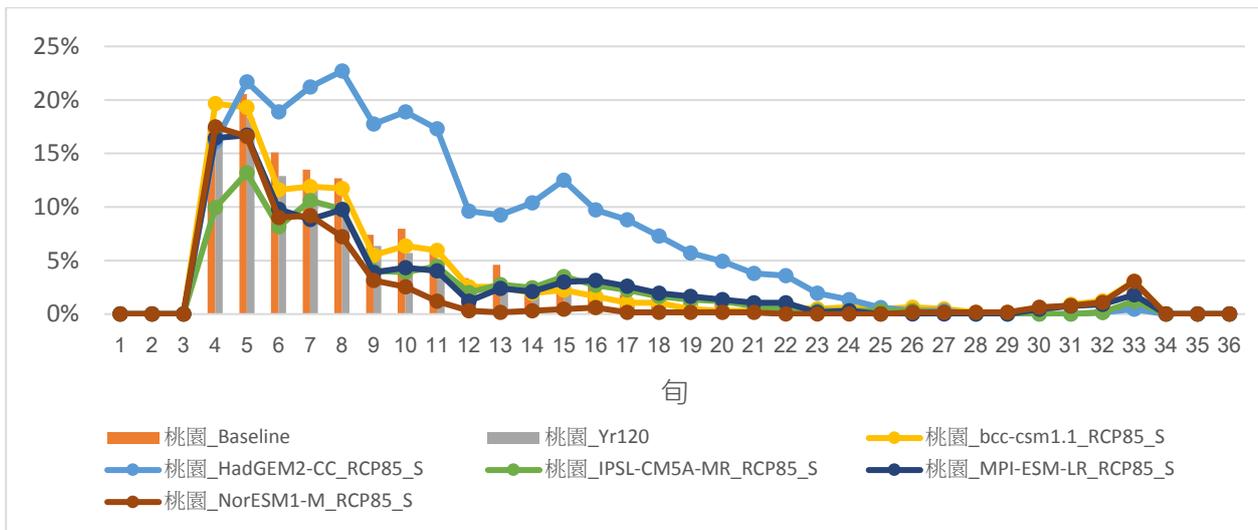


圖 4.13 近未來桃園灌區旬缺水率分析

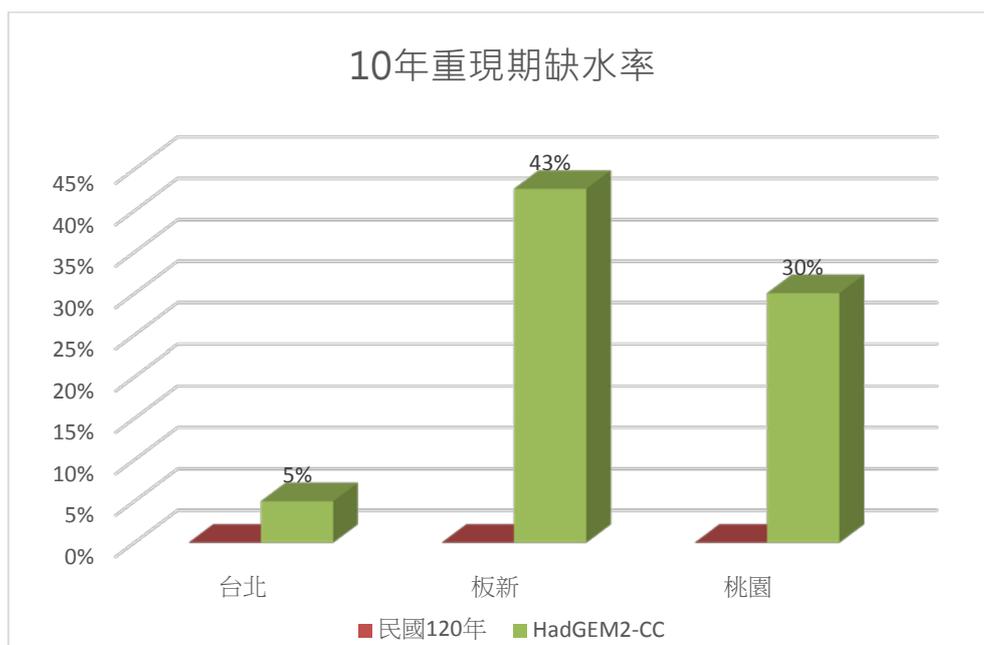


圖 4.14 近未來台北、板新、桃園地區生活用水之最大缺水率 10 年重現期分析圖。

(2) 淹水領域 (詳附錄2.2.2)

* 氣候情境設定：動力降尺度 (WRF-MRI, RCP 8.5)

* 所需氣象變數與時間尺度：時雨量

* 主要成果：

近年來，臺灣各地因淹水災害層出不窮，各地區之防洪設施及保護標準已逐漸無法抵抗氣候變遷所帶來之衝擊。因此，本研究為探討氣候變遷情境下之極端降雨所造成之淹水境況，故使用 MRI-AGCM 3.2S (Mizuta *et al.*, 2012) 接續降尺度後之颱風推估資料，進行相關分析。結果顯示，21 世紀末期在所模擬的 50 場極端降雨事件中，有高達 27 場最大 24 小時累積超過模擬區域排水路 10 年防護標準 (24 小時累積雨量為 250mm)。其中，21 世紀末最嚴重場次 24 小時累積雨量達 1,114 mm，淹水面積高達 385 km²。圖 4.15 為氣候變遷下 20 世紀末與 21 世紀末淹水危害圖。圖 4.16 為套疊人口鄉鎮密度後所萃取出之氣候變遷下臺南地區淹水危害-暴露圖。另本計畫今年度亦加入增加堤防高度與抽水機等調適方案，希冀此類常見之工程方法，可以減少淹水危害。然而結果顯示，此種調適方案減緩淹水危害程度有限；因此未來建議可朝增加淹水災害回復力與民眾防災意識，來減緩淹水災害所造成的影響。

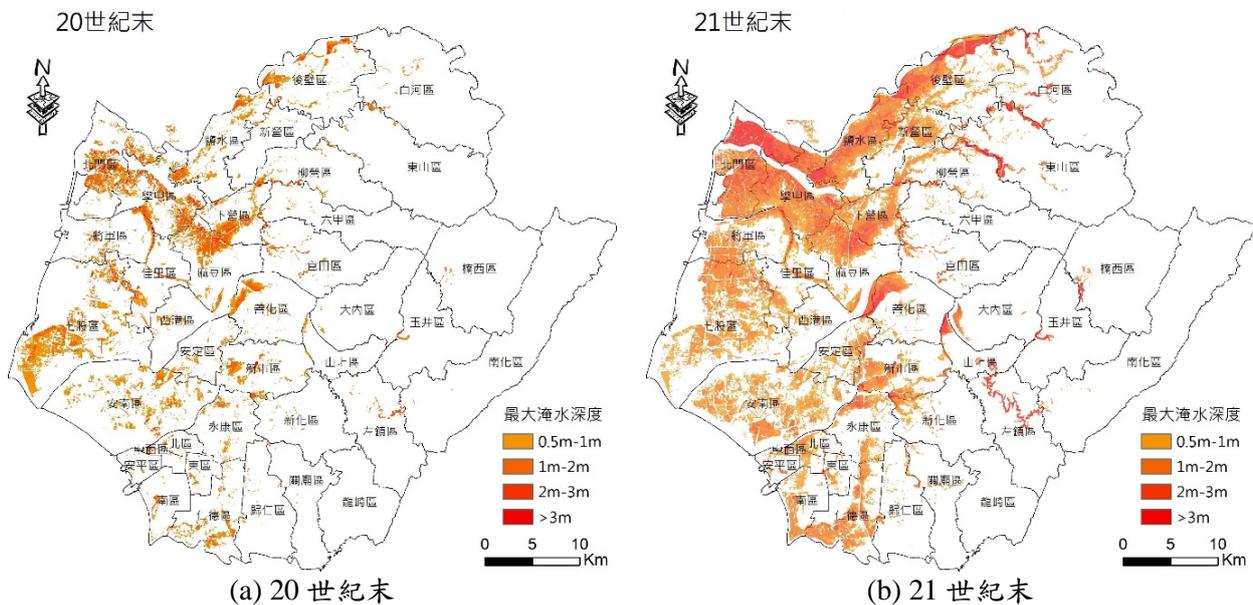


圖 4.15 氣候變遷影響下淹水危害圖；(a) 20 世紀末與 (b) 21 世紀末

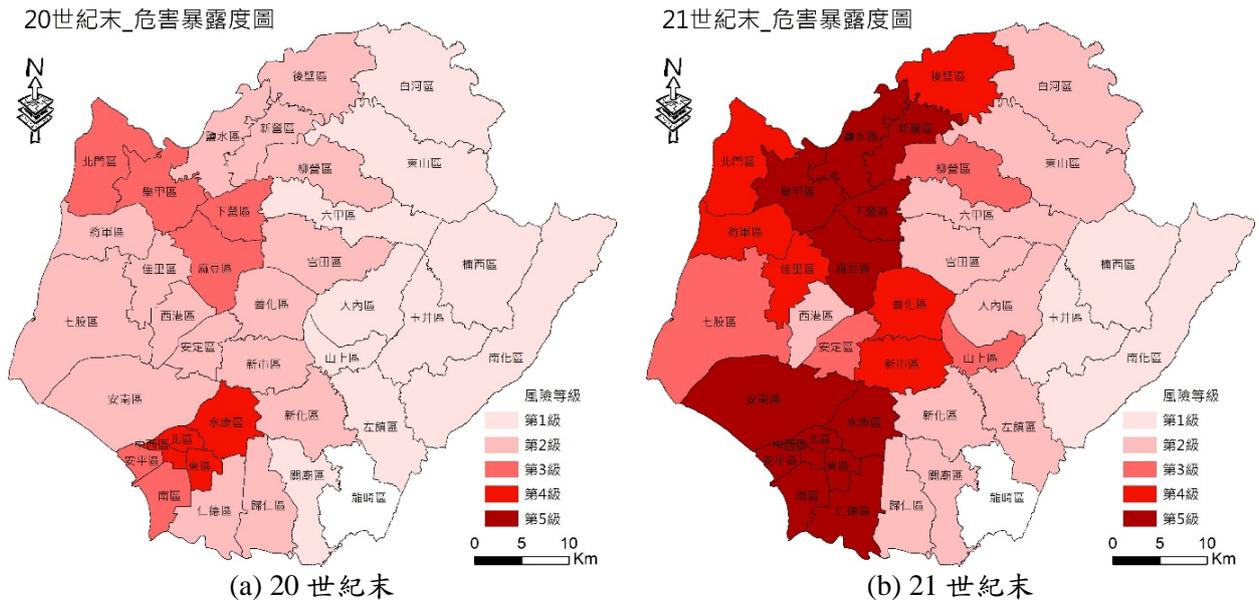


圖 4.16 氣候變遷影響下淹水危害-暴露圖；(a) 20 世紀末與 (b) 21 世紀末

(3) 坡地領域 (詳附錄2.2.3)

- * 氣候情境設定：動力降尺度(WRF-MRI, RCP 8.5)
- * 所需氣象變數與時間尺度：颱風事件之有效降雨量
- * 主要成果：

坡地領域本年度主要針對全臺山坡地區域範圍及不同土地利用對象繪製危害暴露圖，藉此找出不同土地利用受到氣候變遷長期趨勢影響下的衝擊差異，並以危害暴露圖作為後續調適擬定與評估的依據。氣候變遷情境下因降雨改變所導致的危害度變化，以涵蓋台灣地區網格點之有效降雨量計算結果，與崩塌頻率計算之崩塌熱區相乘後所得之結果，如圖 4.17。暴露度的設定，依據不同土地利用類型進行分類，依據各特定土地利用之權責單位管轄的空間尺度為基準，排序特定土地利用所在位置的危險度後所得之分級，如圖 4.18。從本階段的評估結果發現，透過此方式的初步評估，可有效篩選各種土地利用類別之危害較為嚴重區域，作為後續風險評估和調適探討的依據。

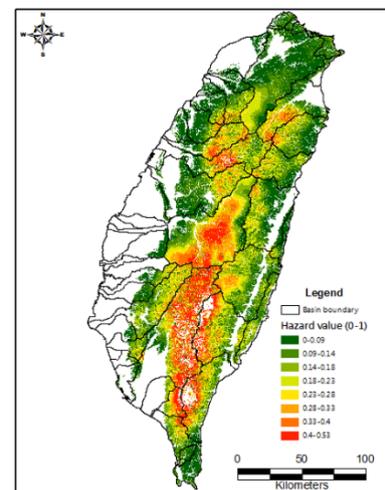


圖 4.17 全臺崩塌危害圖

(4) 農業領域 (詳附錄2.2.4)

- * 氣候情境設定：統計降尺度(RCP 8.5)
- * 所需氣象變數與時間尺度：日射量、日高溫、日低溫、日雨量
- * 主要成果：

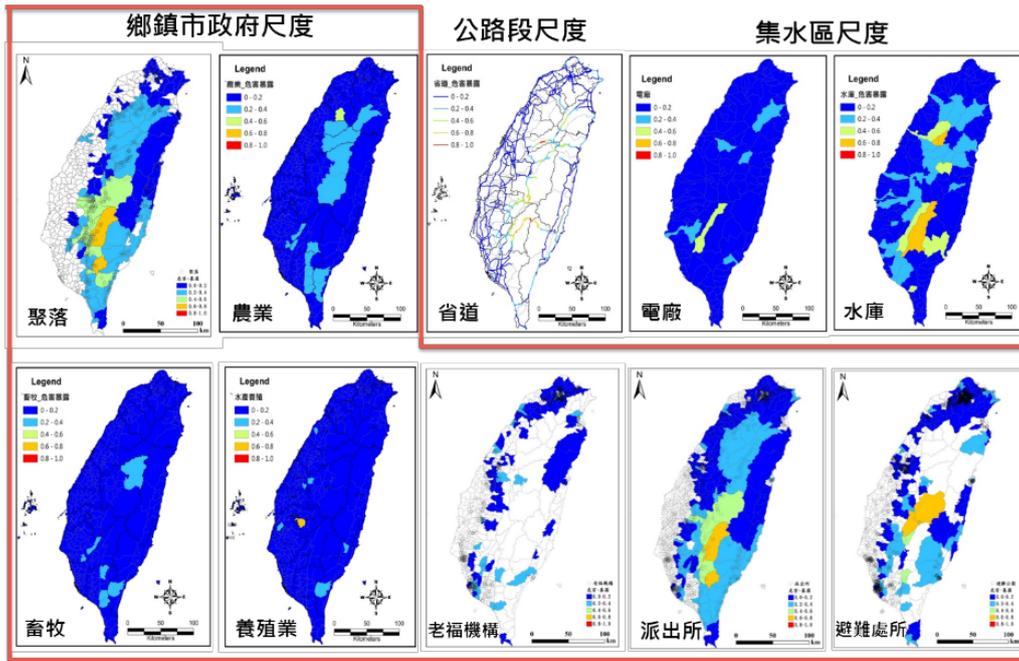


圖 4.18 各土地利用類型面對崩塌之危害暴露圖，並以權責單位管轄的空間尺度分類

玉米為台灣主要進口糧食作物之一，每年硬質玉米進口量約佔總需求量的九成，研究指出由於受到氣候變遷影響，推測進口玉米價格於 2030 年將會上升 89% (Willenbockel, 2011)。因此為避免持續受到進口國的影響，台灣自 2008 年提出「小地主、大佃農」政策，推動飼料玉米契作生產，補貼農民轉作玉米及活化農地，以期提高糧食自給率，在 2017 年接續提出「大糧倉」政策，鼓勵休耕地活化以增加本地生產，降低對國外進口玉米依賴程度。農業領域以農業試驗所整合 DSSAT 作物模式與地理資訊系統開發之「不同氣候情境糧食生產評估系統」，模擬與評估氣候變遷下全臺硬質玉米生產潛勢。結果顯示，硬質玉米第一期作受未來平均氣溫逐漸上升影響，越接近世紀末每個階段產量會逐漸地減少，在世紀初、世紀中及世紀末產量改變率之平均值，分別為減少 4%、10% 及 17%，特別是在臺灣北部地區和東部地區會受到較大的衝擊。以模式模擬結果繪製得到農業領域風險定義中的危害－脆弱度圖，與目前全臺灣鄉鎮種植硬質玉米的面積之暴露圖套疊，將相乘之結果進行分級，繪製成全臺硬質玉米第一期作風險圖。結果顯示，在世紀初，花蓮、台南及高雄部分網格屬於中風險，其餘產區則位於低風險區，但相較世紀初，在世紀末時高風險區增加，以花蓮、台南及高雄部分網格最為顯著，並且高風險區的空間分布也向北擴展至嘉義，如圖 4.19。因應未來氣候變遷下硬質玉米生產調適建議則有育成耐逆境品種、改變種植日期及農民自主性防災等措施。在未來的計畫年度中，則欲結合 Team2 其他領域產製以水稻（水田）及玉米（旱田）生育期災害臨界條件，如乾旱、淹水、高低溫害等災害發生機率圖，結合全臺灣水稻及玉米種植面積之暴露圖，以及套疊目前模式模擬結果產製之危害－脆弱度圖，以跨域整合來幫助劃分水稻及玉米生產的適合栽種區域和時期。該成果可提供調適選項給農業相關決策單位，並期許後續作為擬定於農業領域針對氣候變遷相關政策之參考。

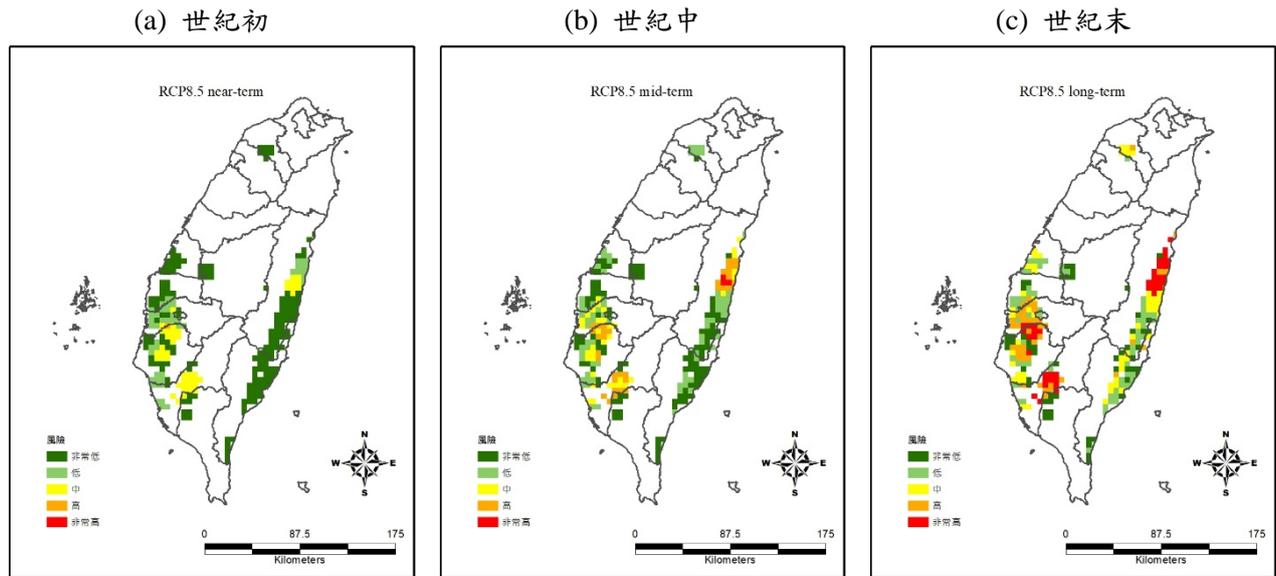


圖 4.19 不同時期全臺各鄉鎮地區玉米第一期作風風險圖

4.2.2 Group 2 – 海岸、公衛、漁業領域成果

Group 2 中海岸及漁業於本年度已至少完成氣候變遷調適六步驟第二步驟：評估與分析現況風險；公衛領域已完成至氣候變遷調適六步驟第三步驟：評估與分析未來風險。相關成果分述如下。

(1) 海岸領域 (詳附錄2.2.5)

- * 氣候情境設定：歷史颱風資料 (1977 年至 2016 年)
- * 所需氣象變數與時間尺度：颱風與海平面上升資料
- * 主要成果：

臺灣海岸線長且海岸外型複雜，沿海大小港口甚多，且許多海岸聚落或社區分布緊鄰大海。多數聚落或社區與海洋距離僅以道路區隔，毫無防護設施，若遇颱風巨浪侵襲，可能遭受嚴重損失。因此瞭解氣候變遷影響下，高強度颱風巨浪對臺灣沿岸海堤衝擊，對海岸地區抵禦氣候變遷之現況評估甚為重要。因此，海岸領域今年度已完成目標界定與現況分析為主。主要以天文潮-暴潮-風浪全耦合數值模式模擬過去 40 年 (1977 年至 2016 年)，各路徑最強颱風風浪，並產製九大颱風路徑與綜合九大颱風路徑海堤風險圖，如圖 4.20。分析結果顯示，臺灣東北部以及東部海堤 (除宜蘭縣部分海堤外) 屬高風險區域；臺灣西北部、西南部與宜蘭部分海堤屬中風險；臺灣中南部海堤則屬低

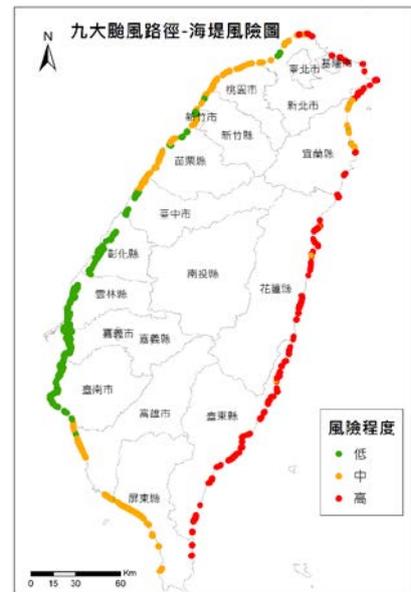


圖 4.20 綜合九大路徑現況颱風風浪條件下，臺灣海堤風險圖。

風險。造成此現象的原因包括氣象因素與海域地形因素兩大部分。氣象部分：大多數高強度颱風路徑均由東向西穿越臺灣，因此容易在臺灣東部沿海形成巨浪；海域地形部分：東岸海底地形深，底床摩擦力影響較小，是造成颱風巨浪的另一個因素。此結果可提供水利署、地方政府及當地聚落瞭解該區位海堤防護能力，並研擬相關調適措施，以減少未來氣候變遷影響下之風險。

(2) 公衛 (登革熱) 領域 (詳附錄2.2.6)

* 氣候情境設定：統計降尺度 RCP 8.5

* 所需氣象變數與時間尺度：日均溫、日高溫、日低溫、日雨量

* 主要成果：

本計畫第一年根據風險鑑別程序進行未來氣候變遷下埃及斑蚊的危害分布估計。根據疾病管制署的調查 (鄧, 2011)，目前臺灣埃及斑蚊分布於台南、高雄、屏東、台東市區與澎湖且海拔低於 1000 公尺的地區。考慮臺灣多變的降雨特性，依陳 (2008) 的臺灣自然季節將 TCCIP 提供的網格化氣象資料依春 (2-4)、梅雨 (5-6)、夏 (7-9)、秋 (10-11)、冬 (12-1) 等五季整合，以鄉鎮市區為單位透過懲罰羅吉斯回歸進行指標建立與未來推估。結果發現，氣溫以冬季平均日最低溫為最主要因子 (正效應)，降雨則以春季、少雨季 (10-1) 為負效應，多雨季 (5-9) 為正效應。推測世紀末的埃及斑蚊分布在 RCP 8.5 情境下，西部可能會到雲林和嘉義，最差情況會到台中，東部則沿花東縱谷往北，但不會遍及春、冬雨較多的苗栗以北與宜蘭多數地區 (圖 4.21)。

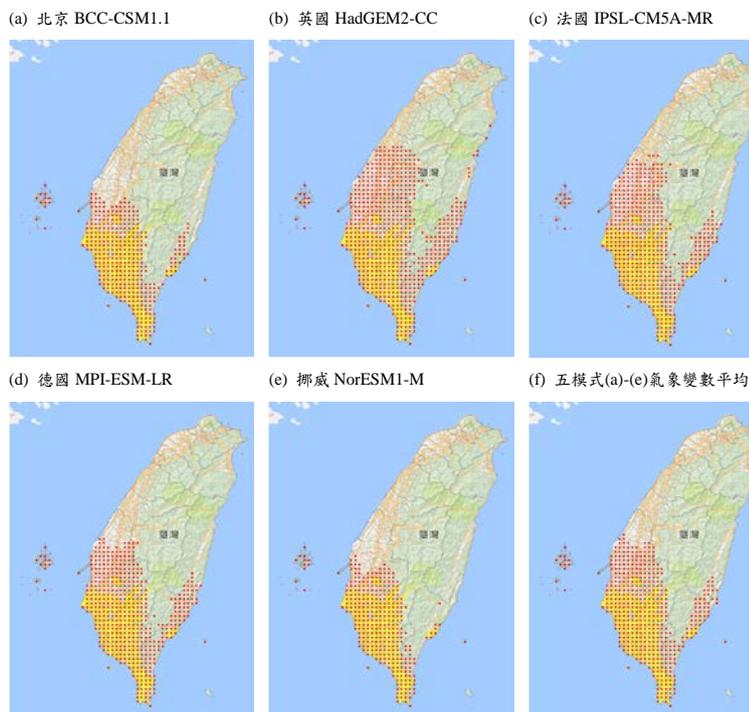


圖 4.21 以冬季平均日最低溫、春季累計降雨日數和春季、多雨季、少雨季平均日降雨量建立之懲罰羅吉斯回歸模式，考慮氣候變遷 RCP8.5 情境下，使用五種全球氣候模式及其平均的氣象推估資料，估計的世紀末埃及斑蚊分布圖。紅點代表有埃及斑蚊分布，背景黃色區塊則為 2003-2011 年疾病管制署調查的埃及斑蚊分布鄉鎮現況且海拔小於 1000 公尺的範圍。

(3) 漁業領域 (詳附錄2.2.7)

* 氣候情境設定：TCCIP 網格資料

* 所需氣象變數與時間尺度：冬季極端低溫頻度、夏季極端低溫頻度指標資料；颱風發生頻度資料

* 主要成果：

近年來氣候變遷與極端氣候災害頻傳 (如寒害)，並對臺灣漁業生產造成嚴重災損與經濟損失 (如莫拉克風災等)。為瞭解氣候變遷與氣候變異對漁業領域造成的影響與衝擊程度，本研究透過風險鑑別程序探究氣候變遷下海洋定置網漁業與水產養殖漁業作業適合度分析，其本年度主要成果以養殖漁業優勢魚種分析為主。為準確判定優勢魚種的危害因子與來源，本研究透過田野調查與專家學者深度訪談確認並界定養殖優勢物種較為常見的極端高低溫指標為極端氣候指標，以做為脆弱度評估的評斷準則，指標內容如表 4.8 所示。

過去相關研究進行漁業領域暴露判定時，多數係使用時間尺度資料進行分析，較少透過空間方式判定長期的漁業作業區變遷情形，故各地方漁業的作業變動並不明確 (如鄉鎮尺度)。基此，本研究透過 2000-2017 年養殖魚塭資料分析養殖區域的長期空間變化，並依照漁業政策、漁業能力提升等因素分為三個時期，探究不同階段的魚塭養殖變動情形。以虱目魚養殖為例，各時期虱目魚魚塭養殖分布變化，如圖 4.22 所示。

藉由魚塭分布圖發現嘉義、台南、高雄與屏東的養殖密度逐漸提高，養殖區域亦有朝內陸與北部擴張之勢。虱目魚為窄溫性魚類，為對溫度變化較為敏感的窄溫性養殖魚種之一，連續性低溫寒害即容易造成虱目魚死亡，故過去養殖區域以高雄等溫度較高的縣市為主。近年來，全球暖化造成的溫度升溫可能為虱目魚養殖區擴張與北移的主因之一，過去不適合或無法養殖的區域已逐漸成為適養區。然而，近年來極端天氣災害加劇，連續性低溫寒害發生頻度與範圍亦逐漸擴張，而部份虱目魚養殖區亦位於低溫寒害熱區，未來虱目魚養殖作業區將可能面臨更高的氣候風險與漁業災害 (圖 4.22)。

表 4.8 氣候極端危害指標之界定 (極端高溫與低溫指標)

評斷標準	高溫			低溫		
	指標 1	指標 2	指標 3	指標 1	指標 2	指標 3
連續 3 天	26°C	28°C	30°C	6°C	8°C	10°C
連續 5 天	26°C	28°C	30°C	6°C	8°C	10°C
連續 7 天	26°C	28°C	30°C	6°C	8°C	10°C
連續 10 天	26°C	28°C	30°C	6°C	8°C	10°C

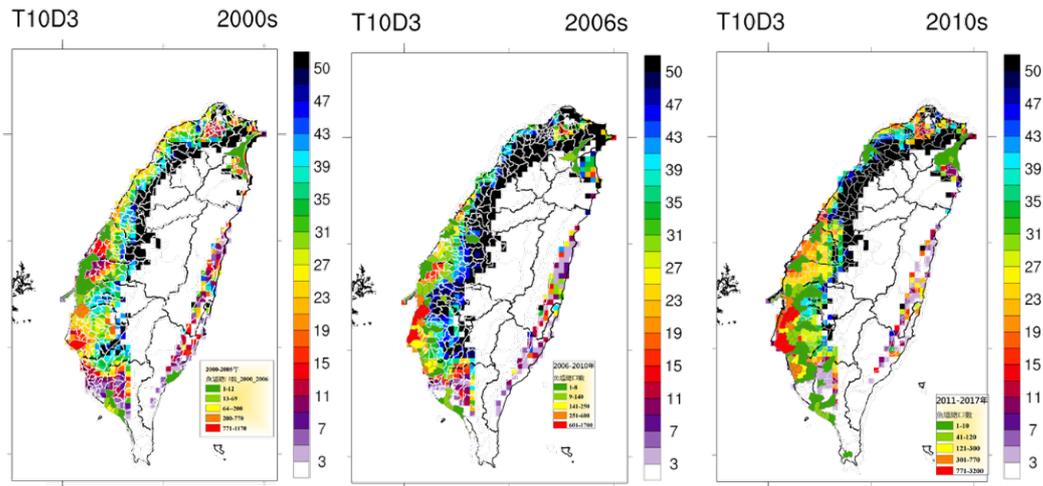


圖 4.22 2000-2017 年虱目魚養殖作業區風險圖

4.2.3 Group 3 – 心理健康領域成果 (詳附錄 2.2.8)

Group 3 心理健康領域於本年度已完成氣候變遷調適六步驟中第二步驟 (評估與分析現況風險) 與第三步驟之初步成果 (評估與分析未來風險)，相關成果如下。

- * 氣候情境設定：中央氣象局測站 2003-2013 之觀測資料
- * 所需氣象變數與時間尺度：每日之日照時數、溫度、降雨量
- * 主要成果：

全球暖化導致大氣溫度升高，而高溫對於民眾心理健康可能具不良影響 (Trombley *et al.*, 2017)，且氣溫又與日照有關，故為釐清溫度及日照對於心理健康之影響，研究以重鬱症及思覺失調症為對象，同時考量溫度及日照，探討兩者對於罹患心理疾病的影響。氣象資料取自中央氣象局 (距離研究對象最常就醫鄉鎮的最近測站)，以「2003-2013 年的日資料平均」代表個人過去之長期暴露。健康資料使用健康保險資料庫中 2005 年承保抽樣歸人檔，共 974,519 位研究個案，於 2003-2013 年追蹤期間內發生 9,723 位重鬱症與 3,778 位思覺失調症新病例。

同時考量溫度及日照時數，並校正降雨量及人口學因子後，溫度與罹患重鬱症為非線性關係；20-23°C 之罹病風險最低，而長期暴露於 >23°C，每 1°C 的增溫會顯著增加 7% 的罹病風險。較高齡、女性或較高投保金額者為罹病之風險因子 (表 4.4)。暖化下，未來隨時間往後推移，最低風險或可能有低溫風險的地區 (綠色) 逐漸減少，而高溫風險的地區 (黃色、橘色、紅色) 則越來越多 (圖 4.23)。

氣溫與思覺失調症無明顯關聯，然平均每日日照時數每增加 1 小時，罹病風險顯著上升 4%。男性、較高齡或投保金額較低者為風險族群 (表 4.9)。

表 4.9 氣象因子與精神疾患之相關性 (HRs, 95% CI)

變項	重鬱症 (>23°C)	思覺失調症
氣溫 (°C)	1.07* (1.02–1.12)	0.98 (0.96–1.01)
日照時數 (hrs)	0.99 (0.96–1.03)	1.04* (1.00–1.08)
降雨量 (mm)	1.00 (0.99–1.00)	1.00 (0.99–1.01)
年齡	1.03* (1.02–1.03)	1.02* (1.01–1.02)
性別		
男性	1	1
女性	1.89* (1.79–2.00)	0.84* (0.78–0.89)
投保金額 (萬元)	1.08* (1.06–1.09)	0.74* (0.72–0.77)

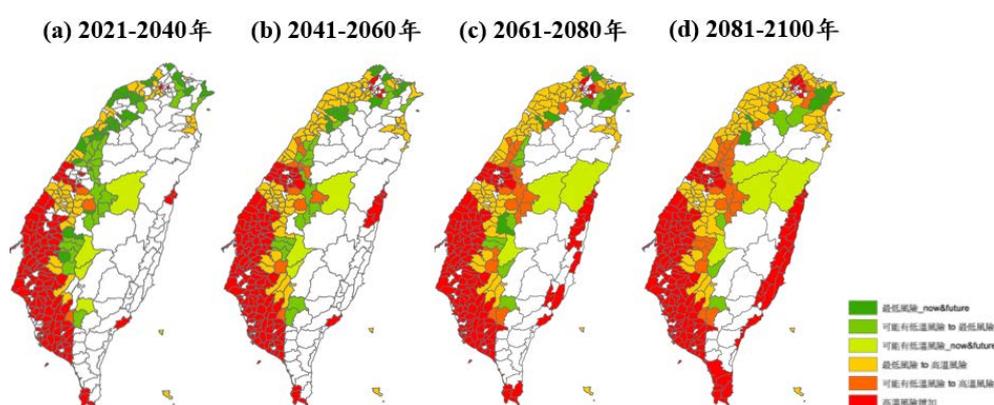
* $P < 0.05$ 

圖 4.23 重鬱症於暖化下之未來風險變化趨勢

4.3 調適評估案例示範 – 分組 2.3 (詳附錄 2.3)

本計畫為了落實氣候評估與調適資料、資訊、知識與智慧在 GRIP 上的應用。故本計畫選定產業大城桃園市與農業大城雲林縣為示範區域，將分組 2.1 的氣候調適知識與工具成果，結合分組 2.2 各領域風險與調適評估結果整合並應用於示範區域內。

空間規劃係近年來討論因應調適氣候變遷衝擊的重要方法之一。而空間規劃與氣候變遷調適之主要連結，係透過土地使用區位及開發方案調整等方法，改變風險結構中的暴露與脆弱度，進而降低氣候變遷衝擊的風險。因此，分組 2.3 主要工作項目可分為關鍵議題空間調整之調適策略、跨層級與跨空間治理等兩部分；本年度研究成果茲將分述如下。

4.3.1 跨層級與跨空間治理

進行氣候變遷調適在空間規劃的議題探討，除需界定上述之風險結構外，尚須關注不同空間階層或尺度之整合，從空間的階層/尺度而言，單一議題會依其不同空間尺度而有不同的

處理模式與方法。例如以淹水、洪患事件來說，從社區尺度，則可能需要檢討排水站分布或排水管道；從地區中心可能則與地形、區域排水設施有關。此外，不同的議題亦可能在某一空間尺度會綜合地呈現，轉換為複合型或多面向的議題等。就空間計畫而言，這些議題則會呈現在不同層級之空間計畫中。

(1) 氣候變遷調適與國土計畫之關聯

如從國土計畫架構來看，目前國土計畫分為三個空間階層體系，包括全國國土計畫、直轄市、縣市國土計畫與都市計畫，並以國土功能分區來涵蓋不同土地使用類別之使用。在這樣的體系下，部門計畫（產業發展、交通運輸、住宅部門、公共設施、能源及水資源等）分別依據不同空間計畫階層所需模式，分別提供與空間相關之綱要計畫與空間發展架構等。而這些計畫分別連結不同空間尺度類型，從全國國土計畫來說，該空間尺度涉及流域、區域（都會區域、特定區域）；直轄市縣市國土計畫則以四大國土功能分區為核心，不同功能分區則進一步涵蓋不同類型，如國土保育地區可能包括環境敏感地區、保育區；海洋資源地區則有海岸土地；農業發展地區則有農地、鄉村區、特定農業區、農產業空間佈建等；城鄉發展地區則包括各類土地使用，如工業區、商業區等、社區及其防災計畫、都市階層（都會區域、城鎮區域、鄉村區域及離島區域等）。

從這樣的角度可知，不同的空間計畫階層將面臨相同議題（可能有上下關係）的探討；所涉及的内容則包括不同部門、空間計畫體系的空間疊合。舉例來說，若該項計畫探討為產業發展（如製造業）與氣候變遷調適議題，則在不同計畫會有不同層級的關注模式。在空間計畫體系方面，全國國土計畫可能著重於產業園區的核心區位在北中南東分區，並強調政策輔導方向，並避免氣候變遷相關衝擊等；在直轄市縣市國土計畫則會進一步提出該產業園區之類型及實質的空間區位，並提出其他相關部門的輔助機制，如交通運輸改善與能源提供等，並針對該地區可能的氣候事件提出因應機制與政策方向；都市計畫則會進一步指出該地區可能的土地使用類型、強度與環境評估等等，以因應氣候事件可能引發的問題。在部門方面，該產業園區可能對應到交通運輸，則可能須從區域尺度來檢視計有的路網體系；在住宅部門，則須從社區或鄉鎮體系來探討該產業所帶動之人口引入，需考慮相關因應機制以及空間結構等；能源及水資源則可能須從流域尺度，來檢視資源分配機制等。

將前述概念彙整並進而研擬氣候變遷調適因應策略，可將空間規劃之跨層級跨領域治理模式以圖 4.24 表示之。目前國土計畫體系中，主要是以直轄市縣市國土計畫之空間規劃為主要管理與推動對象。在決策設計中，亦應以縣市國土計畫之內容為主要空間對象。在此空間尺度下，除縣市國土計畫既有內容外，亦可根據縣市區域計畫成果、地方氣候變遷調適計畫與其他相關部門或各類計畫來檢視地方縣市在氣候變遷下面臨之相關議題，並進而彙整。這些研究議題可能為單一面向或多元面向。從空間來看，從縣市階層往上則連結不同部門與空間計畫，進而探討該單一領域跨空間層級的相關處理、協調機制與總體區域發展定位等；若往下對應到不同實質空間區位尺度，如都市計畫區、社區等，進而檢視該項研究議題之可能影響與處理模式，如都市計畫區可能須檢視土地使用管制、社區單元則可能須檢視居民互動與資源分布等、產業園區則可能與區位分派或設施強化等有關等。

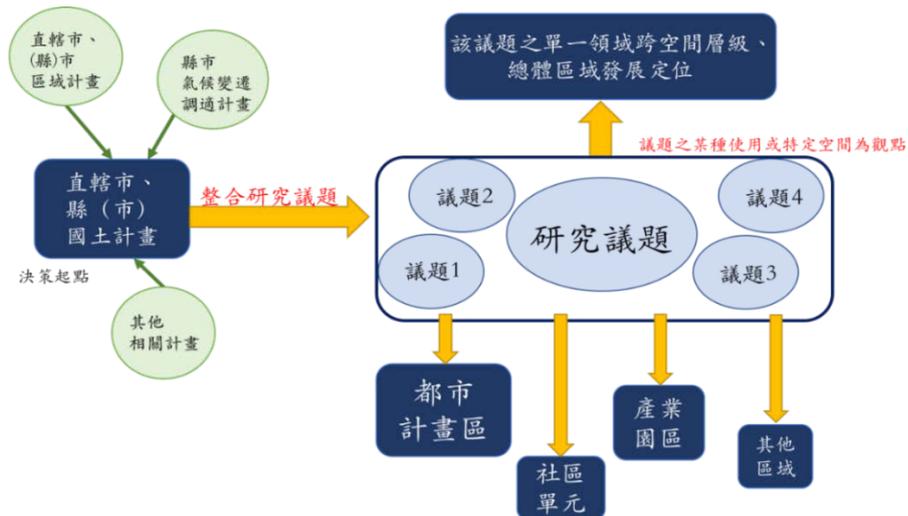


圖 4.24 空間規劃議題之跨層級/尺度示意圖

(2) 空間規劃與氣候變遷調適六步驟

氣候變遷調適六步驟包括：界定問題與設定目標、評估與分析現況風險、評估與分析未來風險、界定與評估調適選項、規劃與執行調適路徑及監測與修正調適路徑等。此一設計在空間規劃進行中若要納入氣候變遷調適時，應可嘗試進行內化或對應。以圖 4.25 左側的規劃程序步驟和氣候變遷調適決策六步驟觀之，首先在空間規劃起始步驟會進行課題辨別和初步的假設而形成目標，空間規劃程序接著透過現況調查與未來發展進行資料收集與分析來評估區域之課題，進而修正目標與決策標的，此部分可以應用到氣候變遷調適六步驟有關界定問題目標、評估與分析現況與未來之風險的三項工作；以此為基礎，空間規劃程序將聚焦於區域內的關鍵課題界定與研究，進行開發管理計畫與評估替選計畫，如透過土地使用計畫的空間配置，達到永續發展的地方願景，這部分可以將六步驟中之調適選項概念融入，使規劃的空

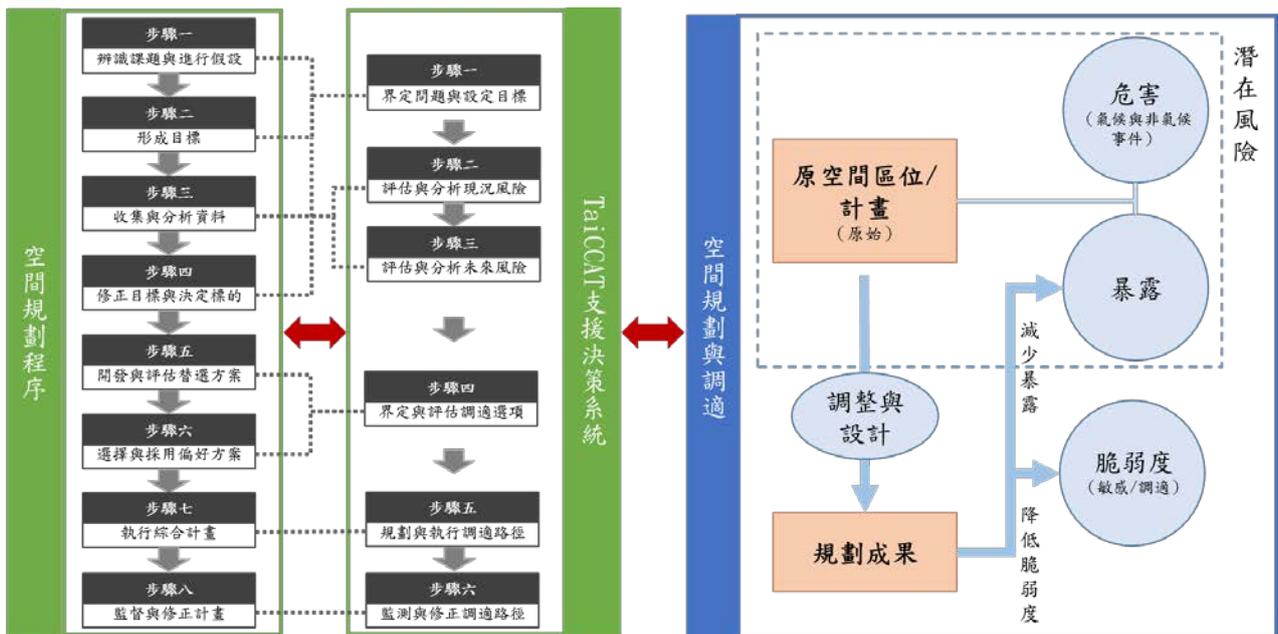


圖 4.25 空間規劃與氣候變遷調適六步驟連結概念圖

間配置具有調適的作用或功能；而空間計畫據以實現的該發管理計畫，如使用管制、分期分區、財務計畫等，此時將能對應調適六步驟有關執行未來調適之路徑設計；而空間規劃程序將持續進行監督與修正計畫，透過定期通盤檢討的機制進行檢核，而調適六步驟與最後也同樣進行監測與修正調適路徑的工作。

4.3.2 關鍵議題空間調整研究

關鍵議題跨領域研究成果，主要從關鍵議題界定、風險鑑別至風險評估架構等進行示範區域操作成果重點介紹。

(1) 關鍵議題風險評估

■ 桃園市氣候變遷調適之空間規劃風險評估

桃園市關鍵議題界定部分，除了使用桃園市土地使用分析與盤點外，並參考桃園升格直轄市總體發展計畫期中報告(2016)，找出調適重點議題空間。唯該期中報告僅提及氣候變遷影響桃園市之因子，未進一步提出因應調適策略，本研究初步整理列出桃園市之人口密集區域、農業發展地區、產業發展區域及環境敏感地區等 4 個主要區域，為未來調適討論重點。其中桃園市的為全國工業產值貢獻最高的縣市，若以空間規劃角度進行桃園市產業分布風險評估，其風險架構如圖 4.26 所示。

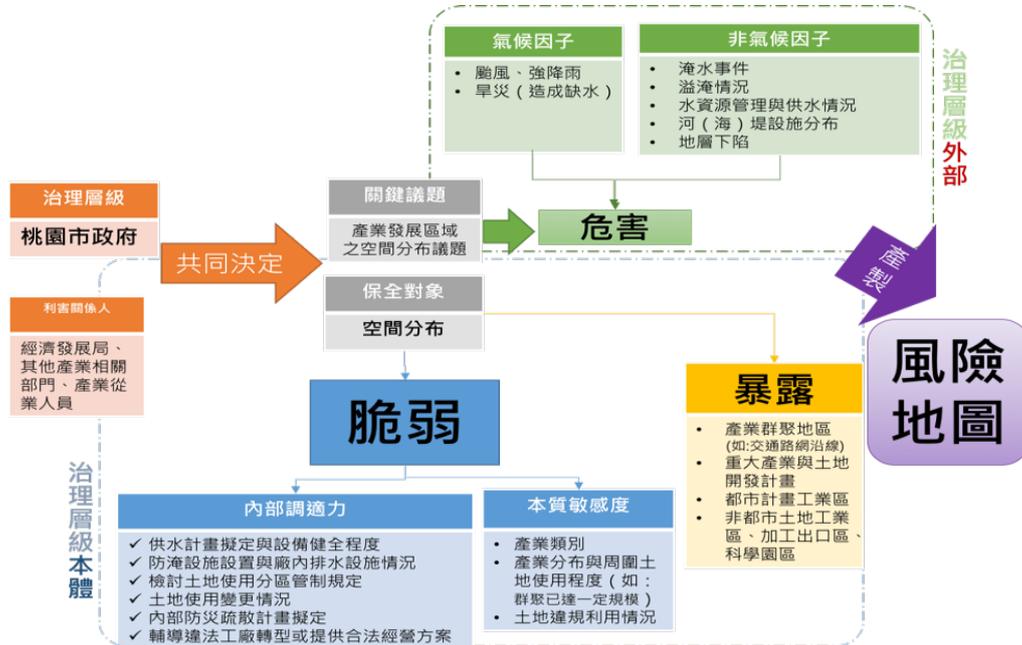


圖 4.26 桃園市產業發展區域氣候變遷風險結構圖

桃園市的產業分布主要暴露在都市土地工業區、新訂都市計畫區特定區、非都市土地工業區、產業專用區及科學園區中。危害分為氣候因子與非氣候因子，危害的氣候因子主要受

到水土複合型災害與工業用水缺乏為主，受到鋒面豪大雨、夏秋季颱風、間歇性降雨，強大降水將直接造成工業廠房淹水而影響機械設備與生產；若加上工業區所在位置地質脆弱或坐落於山坡地，將有可能產生強大降雨外的水土複合型災害；而非氣候因子則主要有地層下陷問題與土地違規使用所造成的危害，若桃園地區受到地層下陷的影響，將直接造成工業廠房內部設備受到影響，甚至有火災、有毒氣體外洩的問題，而鄰近沿海的工業區分布更可能會有海水倒灌的問題，造成更巨大的工業損失，海水侵襲後的土地將面對更艱鉅的復原，工業產值也將造成重創。

若將桃園市產業發展區域之淹水潛勢與工業區暴露區域進行疊圖分析，將初步產出產業發展區域的潛在風險，如圖 4.27 所示。然而，目前有關產業發展區域之脆弱度資訊，缺乏以空間分佈的方式呈現，需進一步產製並利用空間分佈展現脆弱度之圖資；或經由分組 2.2 各領域研究成果，進行資料轉換，以產出產業發展區域之脆弱度空間分佈。

工業區脆弱度主要分為敏感度與調適力：工業工廠的產業類別將會對敏感度有不同的影響，今產業別若較易受到淹水危害而產生較高的風險，其敏感度將因易受到氣候變遷衝擊而產生較高的風險；進行空間規劃時，可以試圖透過預先避免高危險（高脆弱度）產業暴露於淹水潛勢範圍內，透過產業區域的移轉或洪範區域的劃定降低產業的風險。

另外，工業分布與周遭土地使用類別更會產生不同程度的敏感度，桃園市部分工業區附近有工業與住宅區交雜分布的情況，若工業區受到氣候變遷衝擊，周邊住宅區非能有效減緩衝擊，甚至帶來更嚴重的住宅區人民生命財產的損傷；而桃園市工業廠房分布其調適力與工業區與廠房內部的調適能力有關，產業園區與工廠內部針對氣候變遷產生的災害有無因應的防災計畫與設備，地方人士與廠區人員有無因應氣候變遷風險的意識。若將潛在受到氣候變遷影響的工業土地與廠房進行調整，可透過土地使用分區管制、禁止開發區劃設、開發許可制的強化都能提升工業廠房因應氣候變遷的能力；工業缺水的問題，可以透過更有效的水資源分配與調整改善水資源缺乏的問題。

另外，圖 4.24 針對空間規劃程序中考慮氣候變遷與調適的概念時，可以透過空間規劃程序與調適六步驟的對應進行初步內化。今以圖 4.24 右側之概念為基礎，在桃園市產業分布區位中，可以進行產業現況分布與未來規劃分析，透過彙整將影響產業發展的不同危害（氣候與非氣候事件）圖資，作為未來疊圖的基礎。若將原空間區位與不同災害進行疊圖，將可辨別產業空間分布與危害產生不同的暴露狀況，初步點出該空間尺度受到氣候變遷議題影響的分布。若以桃園市產業發展區域為說明，針對產業發展與分布在面對氣候變遷衝擊下，以其颱風與強降雨所造成淹水事件與溢淹的狀況為例，若以 107 年政府資料開放平臺經濟部水利署針對桃園地區的「淹水潛勢圖」與「產業分布現況」進行疊圖（如圖 4.28），可得知淹水災害將可能影響目前產業的運作，而不同淹水高度將造成產業不同程度的影響，若只產生些微的積水，將對產業整體的影響不大；但若淹水高度達到一定的深度，該危害將直接造成廠房淹水、機具損害、人員損傷的情況，進而對桃園市整體產業之產量與產值造成直接影響；同時，若該區位又出現土地違規利用情況嚴重、地層下陷狀況加劇、排水系統設施不利等狀況，將使該區位暴露的情況加劇。而針對桃園市未來產業的空間分布，地方政府除了透過歷史淹

■ 雲林縣氣候變遷調適之空間規劃風險評估

關鍵議題界定部分，分析雲林縣空間規劃與氣候變遷衝擊，並回顧雲林縣縣(市)區域計劃(草案)(2012)與雲林縣氣候變遷調適計劃(2013)；初步整理發現，雲林縣之人口密集區域、農業發展地區、產業發展區域、地勢相對低窪與地層下陷地區及環境敏感地區等5個區域，為未來需進行調適探討的重點議題空間，需詳細分析討論與提供未來空間規劃調適方向。

根據分組 2.1 研擬之風險鑑別程序架構，將其納入在農業發展地區中，可進一步發展出農業發展地區風險概念，如圖 4.30 所示。其中，暴露強調農業發展地區所在區位；氣候因子與非氣候因子會引起相關的危害，如氣溫變化、海平面上升等；脆弱度則包括敏感度與調適力，分別說明該農業發展地區的環境特性、政策、組織與管理機制等。

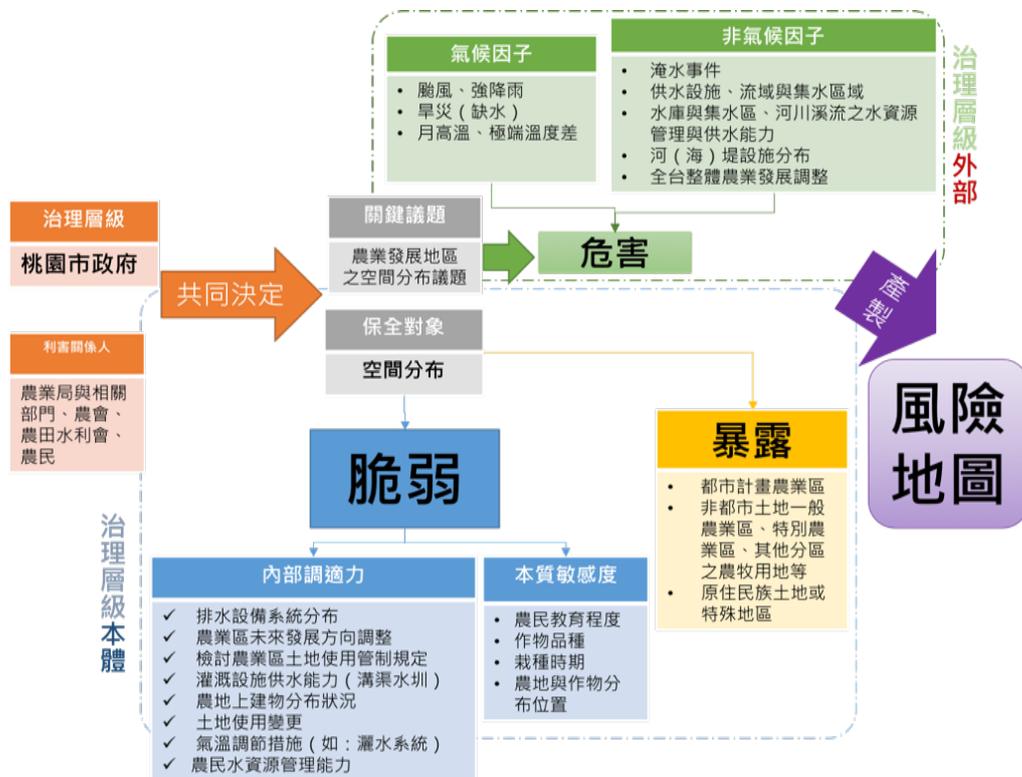


圖 4.30 雲林縣農業發展地區氣候變遷風險結構圖

圖 4.31 係根據上項風險結構評估雲林農地(農業發展地區)的氣候變遷風險，雲林縣農業發展地區風險評估為暴露、危害、脆弱度(敏感與調適力)的組合，其中暴露可視為農地的分布區位，危害則包括海平面上升、溫度變化對作物的衝擊、環境潛在災害等面向，脆弱度則考慮到農地本身的環境特質與其外部的社會互動關係。透過暴露(農地區位)與危害(海平面上升、溫度變化、潛在災害等)的空間疊合，可以初步認知農地在面對氣候變遷衝擊下可能的潛在風險區位。這些區位的潛在風險可以透過脆弱度的調整，進而影響或調整其風險的程度。其中，脆弱度包括敏感與調適力兩項，如敏感面所探討之環境特質(水、土壤等)或調適能力所檢視之社會特性(如農戶特性、農業組織架構、人口結構等等)。從空間規劃的角度，

可透過不同土地規劃工具（空間配置、強度管制、市場經濟、資訊透明等）與政策誘因而調整脆弱度的結構，包括從環境面向的緩衝區劃設、設施配置等，或從政策誘因而引導地方農業組織或農民進行農業技術的提升與多元的互動等。

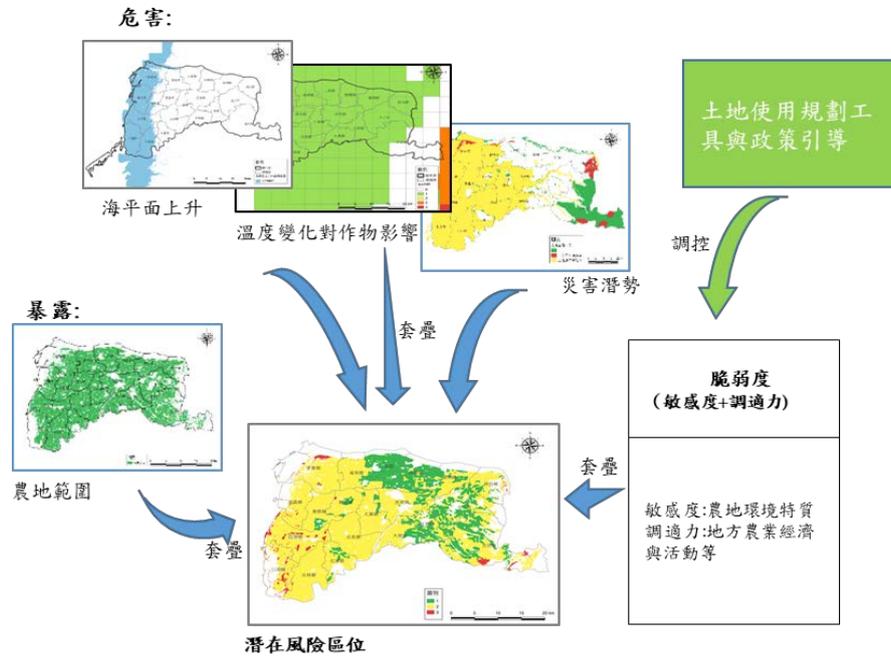


圖 4.31 雲林縣農地氣候變遷風險評估架構示意圖

另外，如前述桃園市有關空間規劃與實際調適區域辨別與操作之內容，就雲林縣農地分布與作物分布區位進行分析，透過統整影響農地分布與作物分布的危害（氣候與非氣候事件）圖資，作為未來進行疊圖的基礎，辨別農地與作物間分布與危害產生不同的暴露狀況，初步點出該空間尺度受到氣候變遷議題影響的分布。

今針對農地進行受到危害暴露程度的評估，可以透過農地分布狀況與地層下陷區域、土壤鹽化等非氣候因子進行疊圖（如圖 4.32），了解農地暴露在不同危害的程度；更進一步將氣候變遷雨量模擬與農地分布進行模擬，未來氣候變遷下極端降雨與乾旱的狀況是否會影響到農地適合栽種區域的分佈。針對作物而言，今以水稻作為示例說明。了解水稻的生長週期與溫度的關係，進一步分析災害事件與不同溫度條件對於水稻生長的影响，參考未來氣候變遷溫度模擬與四種氣候模擬情境下，雲林縣境內大部分區域的水稻生長都會受到溫度變化影响（如圖 4.33），地方政府不得不針對這些農地與作物擬定相關調適計畫與方案。

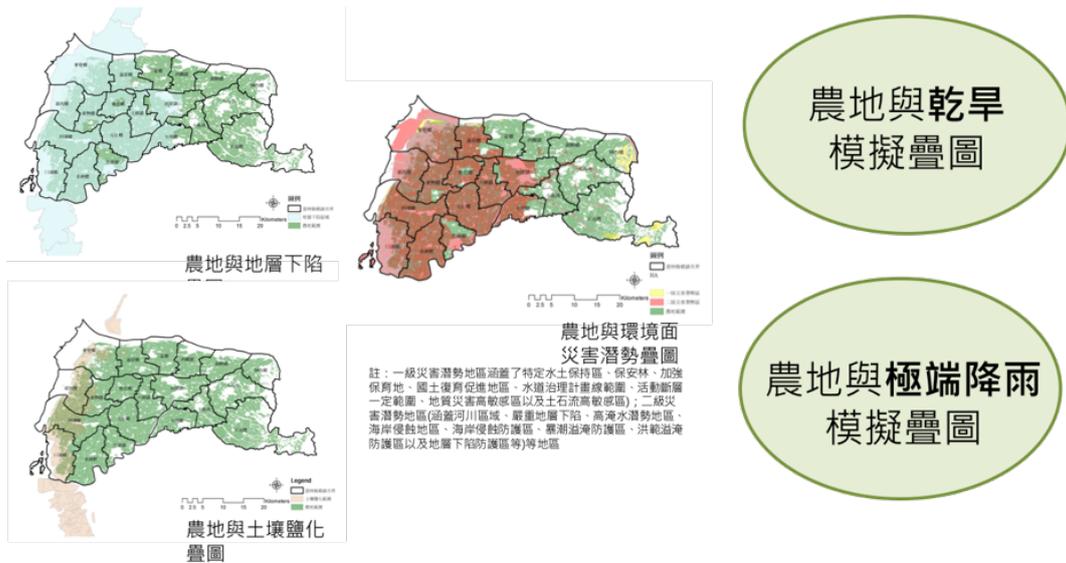


圖 4.32 農地分布與不同危害疊圖的暴露程度與氣候變遷雨量模擬疊圖暴露程度

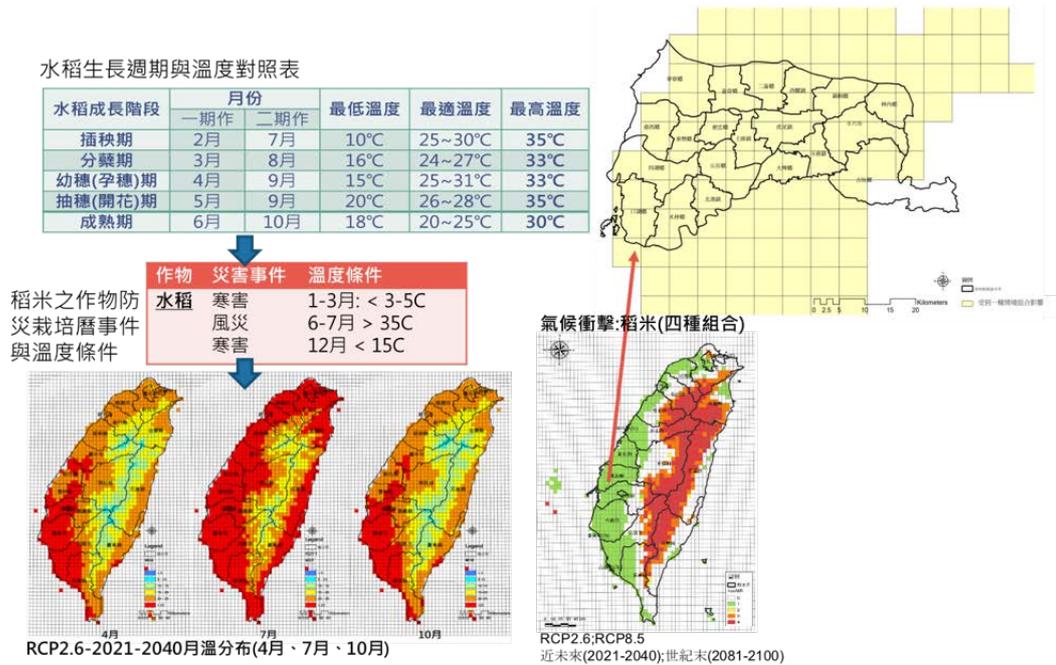


圖 4.33 雲林縣水稻分布與溫度變化模擬疊圖暴露程度

(2) 空間調整調適策略研擬方法

以上項關鍵議題之風險評估結果為基礎，可以透過空間規劃手段，進行調整區位之風險迴避、調整開發強度之風險減低等設計，近年國內在氣候變遷相關資料以及調適決策的程序與工具，已有相當之成果累積，為能進一步將此成果實際應用到國土計畫工作，尚需詳細就程序、資訊內容、工具方法等項目進行分析，此部分的工作，將配合直轄市、縣市國土計畫之推動時程，本計畫邀請縣市國土計畫參與機關、協力團隊與學者共同籌組氣候變遷諮詢小組，針對各地方縣市國土規劃內容與調適作為進行互動交流，以期讓氣候變遷調適與風險概

念能夠有效地落實於各縣市國土規劃的規劃程序與討論事項。在邀請對象方面，考量總計畫目標、各縣市空間特性與國土規劃時程安排等，本計畫選定新北市、桃園市、雲林縣與台南市等四個縣市之規劃機關代表（各 1 名）與協力團隊（各 1 名），並邀請中央主管機關（1 名）、氣候變遷調適與空間規劃領域之專家學者（3 名）共同參與，共計 10-12 名，相關名單如表 4.10 所示。會議時程安排上，目前規劃在本計畫第二年度召開第一次小組啟動會議，建立本計畫、各縣市機關、協力團隊與專家學者等之溝通管道。其後，根據縣市國土計畫的推動進程，未來小組也將分階段進行座談會之召開，包括邀請參與對象之啟動會議、國土計畫內容與氣候變遷之範疇確定、透過規劃工具建構與應用評估達到空間規劃對氣候變遷的調適效果。會議安排每隔兩個月召開一次工作會議，用以檢視與交流各地方縣市在縣市國土計畫之推動概況與相關議題。配合相關議題，本計畫嘗試推廣氣候變遷調適與風險概念，並介紹相關氣候變遷調適規劃工具與應用評估給予相關團隊進行參考，以提供縣市國土規劃在氣候變遷調適上之規劃應用方向。

表 4.10 氣候變遷調適與縣市國土計畫諮詢小組成員

類別	成員/單位	備註
學者專家	成功大學張學聖教授 銘傳大學吳杰穎教授 中華經濟研究院李永展教授	
中央主管機關	內政部營建署	城鄉分署代表
地方政府	新北市城鄉局	機關代表
	桃園市都發局	機關代表
	雲林縣城鄉處	機關代表
	台南市都發局	機關代表
地方協力團隊	長豐工程顧問公司北部辦公室	規劃團隊代表
	台灣世曦工程顧問公司	規劃團隊代表
	中華經濟研究院	規劃團隊代表
	長豐工程顧問公司中部辦公室	規劃團隊代表

資料來源：本計畫整理

第五章 氣候變遷科學與調適服務整合平台

5.1 前言

本計畫延續前期計畫 TCCIP 以及 TaiCCAT 之研究能量，持續並精進原有 TCCIP 服務內容，發展資料服務 OPENAPI，推動國內學研與專業課程服務，並科普化艱深之科學數據，以知識轉譯提供政府、學研、產業以及大眾氣候變遷調適有關之資料、資訊、知識、智慧與工具。藉由 Co-Design 過程，了解各界氣候變遷科學與調適知識所需，以設計打造氣候調適服務整合平台，並發展氣候變遷調適應用工具，如氣候變遷多元資料模式與整合系統發展以及風險圖探索等工具，以降低科學與實際應用之差距。本計畫打造的整合平台提供與更新了國內氣候變遷資料，包括新的網格化觀測資料、氣候變遷土砂模擬所需之時雨量資料、動力降尺度模擬結果資料，每筆資料並清楚呈現資料生產履歷供使用者了解。並製作氣候變遷資料 OpenAPI，將原本 TCCIP 服務之資料，進化為 OpenAPI 資料服務，使用者可直接透過網頁 API，獲取所需任何時間段與空間區塊之資料，使資料流通更加快速便利。同時提供關鍵氣候分析圖集，於平台提供各界所需之關鍵氣候分析圖集，並以一圖一表方式，讓每個圖集都有完整之資訊與說明。並科普化研究成果與科學圖表，提供專屬於臺灣各區的氣候資訊、衝擊與風險資訊給政府、學研、產業、大眾之氣候變遷調適參考。發展支援調適應用工具，以科學角度釐清氣候變遷調適決策過程，發展工具以簡化複雜資訊與過程 (表 5.1)。

表 5.1 Team3 工作成果概況。

重點項目	進度與成果說明
1. 氣候資料與調適服務功能開發與推廣	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 氣候資料與調適服務功能開發 ■ 氣候資料與調適服務功能推廣 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 完成了氣候變遷資料之 OPENAPI，並擬定資料標準與通訊協定，以及發展氣候變遷多元資料模式與整合系統 <input type="checkbox"/> 進行學研服務與專業推動、社群網站推廣應用、知識轉譯等工作，並進行了資料服務分析與提出精進建議，同時舉辦臺灣氣候變遷科學報告推廣
2. 整合服務平台建置	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 整合服務平台服務內容與架構 ■ 整合服務平台服務內容上架期程 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 透過 Co-Design 過程規劃平台服務內容，打造全新的氣候變遷調適服務整合平台，提供氣候變遷資料服務、資訊服務、調適知識、智慧傳承到應用工具完整的科技服務 <input type="checkbox"/> 整合服務平台預計明年第三季正式上架，今年乃以舊的 TCCIP 網站平行服務與運行。整合服務平台部分資料、資訊、知識與工具將配合計畫執行，陸續上架提供服務。

5.2 氣候資料與調適服務功能開發與推廣

【氣候變遷科學與調適服務整合平台】預計年底規劃上網，將整併原有 TCCIP 網站之服務內容，原有 TCCIP 網站今年仍持續氣候變遷科學資料與資訊服務。整合服務平台雖然未正式上線，但相關服務功能已規劃與進行中，同時利用原有 TCCIP 網站繼續維持資料與資訊之服務。在功能開發部分，包括建置「氣候變遷資料之 OPENAPI」、「資料標準與通訊協定」、「氣候變遷多元資料模式與整合系統」；在資料服務與推廣部份，則進行了「學研服務與專業推動」、「社群網站推廣應用」、「知識轉譯」、「資料服務與精進建議」、「臺灣氣候變遷科學報告推廣」等相關工作。

為精進氣候變遷資料服務，本計畫將原有 TCCIP 服務之資料規劃建置 OPENAPI，以提供國內更便捷之氣候變遷資料服務，並擬定資料標準與通訊協定做為計畫內部的資料與資訊傳遞之測試，以規劃成為對外服務之資料標準；並發展氣候變遷多元資料模式與整合系統，以做為跨領域評估之重要工具；同時為國內氣候變遷研究與教育，提供學研服務與專業推動；並開設臉書粉絲頁以強化氣候變遷資訊與使用者之鏈結；並進行知識轉譯，提供 288 篇氣候變遷新聞，編輯出刊 9 篇氣候變遷電子報，完成 325 件氣候變遷資料申請，以更貼近使用者需求與應用；這一年我們仍繼續維持資料服務平台正常運作，並透過資料服務分析做為後續服務之精進方向；而本期計畫也進行 2017 臺灣氣候變遷科學報告推廣說明會，以拉近部會、地方政府以及學研對於我國氣候變遷成果與科學新知之了解。

5.2.1 氣候變遷資料之 OPENAPI

為配合本計畫氣候變遷資料開放政策之落實，本項工作使用國家災害防救科技中心之「災害防救資料服務平台擴充與備援環境建置」購案 (黃等人, 2017)，將氣候變遷網站上已公布之觀測資料以及未來推估資訊建置一 API，讓資料更為廣泛流通、更容易被使用。

本計畫產製氣候變遷相關資料中，以網格式歷史觀測以及未來推估資訊為最多使用者進行申請使用。因此本項工作將 TCCIP 以提供成熟服務之網格式歷史觀測月雨量以及月溫度資料、未來推估統計降尺度月氣溫與月降雨資料等 4 組資料，加上縣市與網格式轉換查詢等建立共五個 OPENAPI。查詢方式之設計如下：

a. 歷史觀測—

氣象變數 (雨量與溫度)、時間尺度 (月)、空間尺度 (5km)、空間查詢 (流域、縣市、測站、水資源分區)、時間查詢 (起始紀錄年至最新紀錄年)

b. 未來推估—

氣象變數 (雨量與溫度)、時間尺度 (月)、空間尺度 (5km)、空間查詢 (流域、縣市、測站、水資源分區)、時間查詢 (近未來、世紀中、世紀末)、GCM 模式、RCP

5 組 OPENAPI 已完成上架，並開始進行測試，如圖 5.1 之 API 之應用範例以及說明。待測試之後，將開發使用介面與開放申請，以加速氣候變遷資料之傳遞、流通與應用。唐政務委員鳳提過 Open Data 只是基礎，下個發展目標是 Open API。期許本項工作之完成能更落實氣候變遷資料之開放政策，讓資料更為廣泛流通、更容易被使用。

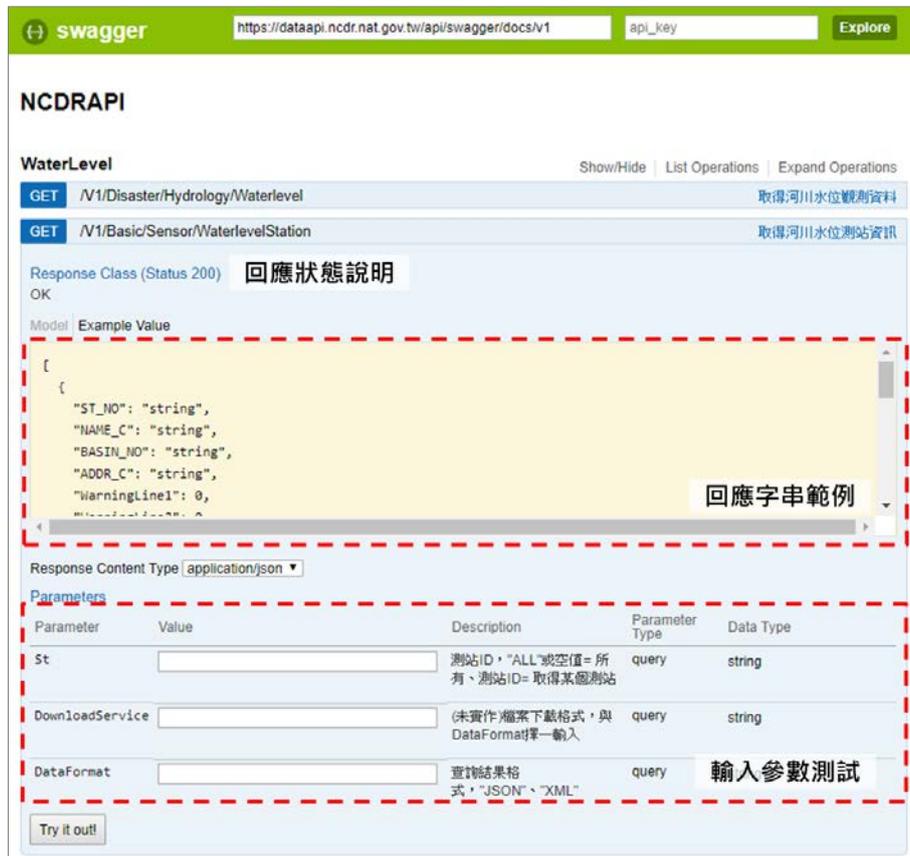


圖 5.1 OpenAPI 測試圖

5.2.2 資料標準與通訊協定

改進支持學術數據重用性的數位基礎建設是目前相當破切需要的 (Wilkinson *et al.*, 2016)。為此，由學術界，工業界，資助機構和學術出版商等共同設計出共一套簡潔而可衡量的科學數據原則-FAIR (Wilkinson *et al.*, 2016) (表 5.2)，乃目前國際上在科學數據推動上所一致推崇之基本原則。本計畫乃以 FAIR 原則為最終目標，於計畫內部進行資料標準與通訊協定之探討與設定，期許打造國內氣候變遷數位資料典範，並與國際接軌。

為使計畫內部資料傳遞與溝通順暢，並對外提供統一格式，本計畫遵循 FAIR 科學數據原則，將探討適合氣候變遷跨領域評估資料傳遞之統一標準格式，先以 TEAM2 兩個領域做測試，再反覆修正並擴大至 TEAM2 所有領域，最後再作為對內以及對外提供之統一標準格式。為符合國際與國內資料標準規範，同時能夠順應跨領域資料傳遞，本計畫先蒐集同屬於

Keyhole Markup Language (KML)、Geography Markup Language (GML) 以及水資源領域 WaterML 之資料標準規範，並參考國內已制定之資料標準規範，訂定氣候變遷跨領域評估適合之資料標準，作為對內以及對外提供之統一標準格式。

表 5.2 科學數據原則-FAIR (Wilkinson *et al.*, 2016)

<ul style="list-style-type: none">➤ 可尋找 (Findable) :<ul style="list-style-type: none">▪ F1 : (詮釋) 資料被分配一個全球唯一和持久的標識符號▪ F2 : 資料用豐富的詮釋資料描述 (由 R1 定義)▪ F3 : 詮釋資料清楚而明確地包括它描述的資料的標識符號▪ F4 : (詮釋) 資料在可搜索資源中註冊或索引➤ 可連結訪問(Accessible) :<ul style="list-style-type: none">▪ A1 : (詮釋) 資料可以通過其標識符號使用標準化的通訊協定來檢索<ul style="list-style-type: none">• A1.1 協定是開放的，自由的，普遍可實現的• A1.2 該協定允許在必要時進行認證和授權程序▪ A2 : 詮釋資料是可訪問的，即使資料不再可用➤ 互操作性(Interoperable) :<ul style="list-style-type: none">▪ I1 : (詮釋) 資料使用正式的，可訪問的，共享的，廣泛適用的知識表示語言▪ I2 : (詮釋) 資料使用符合 FAIR 原則的詞彙表▪ I3 : (詮釋) 資料包括合格引用其他 (詮釋) 資料➤ 可重用(Reusable) :<ul style="list-style-type: none">▪ R1 : 詮釋 (資料) 用多個準確和相關的屬性進行了豐富的描述<ul style="list-style-type: none">• R1.1 : (詮釋) 資料發佈時具有清晰可訪問的資料使用許可證• R1.2 : (詮釋) 資料與詳細的出處相關聯• R1.3 : (詮釋) 資料符合相關領域標準
--

1. Keyhole Markup Language (KML)

Keyhole Markup Language (KML) 是 2008 年 4 月 14 日被由開放式地理空間聯盟 (Open Geospatial Consortium, Inc., OGC) 所提出的國際標準。KML 是基於可擴展標記語言 (eXtensible Markup Language, XML) 語法標準的一種標記語言 (markup language)，用於地理標記、顯示地理數據。在目前許多地理資訊系統相關領域也已經納入 KML 做地理數據的交換。

2. Geography Markup Language (GML)

地理標記語言 (Geography Markup Language, GML) 與 KML 相似，由 OGC 發展，用來表達地理現象，也基於 XML 同時提供一個表達地理信息要素的語言模型，可在網路上進行數據交換。GML 記錄內容包含以下項目：

圖徵 Feature、幾何型狀 Geometry、座標參考系統 Coordinate reference system、幾何關係 Topology、時間 Time、動態圖徵 Dynamic feature、網格圖 Coverage (including geographic images)、測量單位 Unit of measure、方向 Directions、觀測值 Observations、地圖表示型態規則 Map presentation styling rules、Polygon、Point、LineString 皆為 gml 命名空間中的屬性，用以表示點線面的圖徵。例如 Polygon 的外圍邊界 (outerBoundaryIs) 一個環狀的線 (LinearRing)，由一組位置串列 (posList) 0,0 100,0 100,100 0,100 0,0 來表示。

3. WaterML

WaterML2.0 為 Open Geospatial Consortium (OGC) 針對水方面的觀測資料進行資料交換的開放標準，乃基於 Observation & Measurement 2.0 (O&M) 上並根據 Geography Markup Language 的規則進行應用。整體來說 WaterML2.0 為 O&M 的 Unified Modeling Language (UML) 概念模型，並於 Extensible Markup Language (XML) 模式中應用。

5.2.3 氣候變遷多元資料模式與整合系統

為發展跨領域評估模式，提供氣候變遷評估過程所需之跨領域評估資訊，本計畫使用 FEWS_NCDR (張等人，2015；張等人，2016) 技術，整合氣候變遷多元資料與模式於 MMIS

(Multi-data Multi-model Integrated System，如圖 5.2)，除了可供各領域研究人員能快速瀏覽觀測以及推估資料之外，整合各領域衝擊模式評估後，已可批次執行多場颱風事件之各領域衝擊模式演算。其中，以地理空間展示圖或者時序動態圖呈現多元資料，將能降低跨領域多元資料應用門檻，促進跨領域多元資料應用、對話與交流。

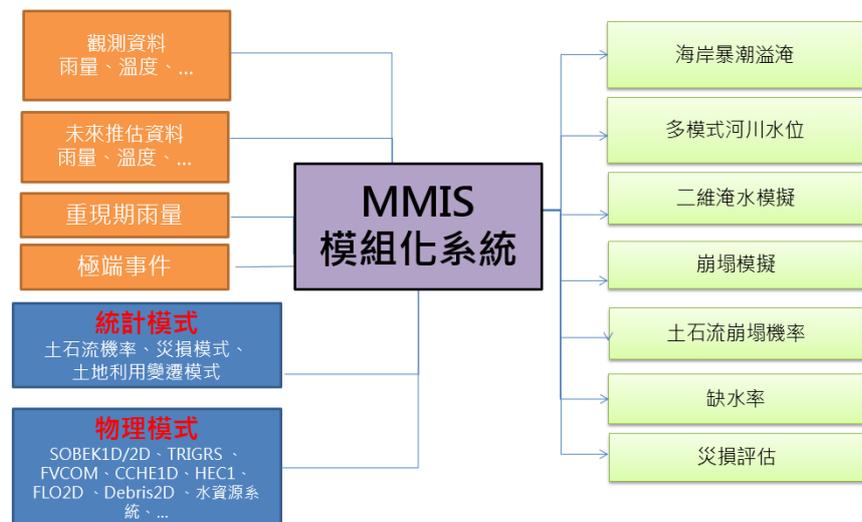
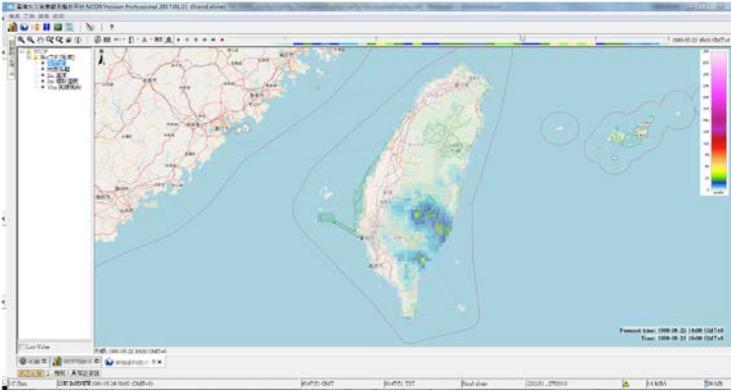
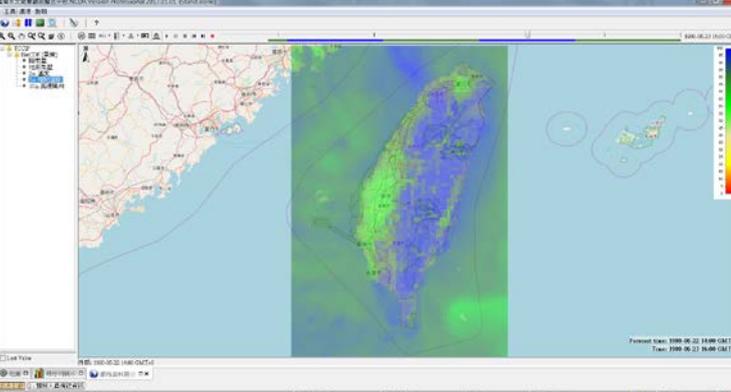
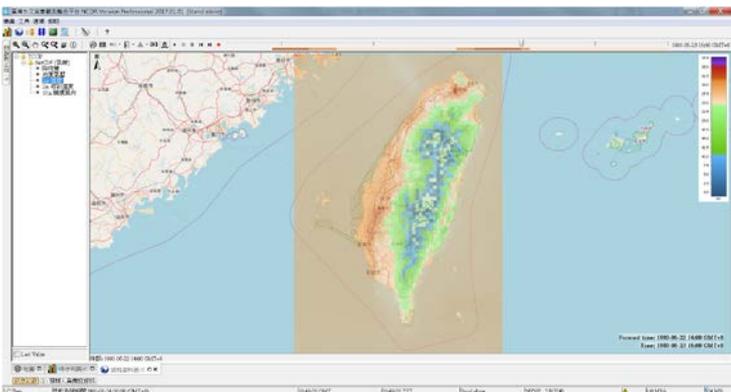
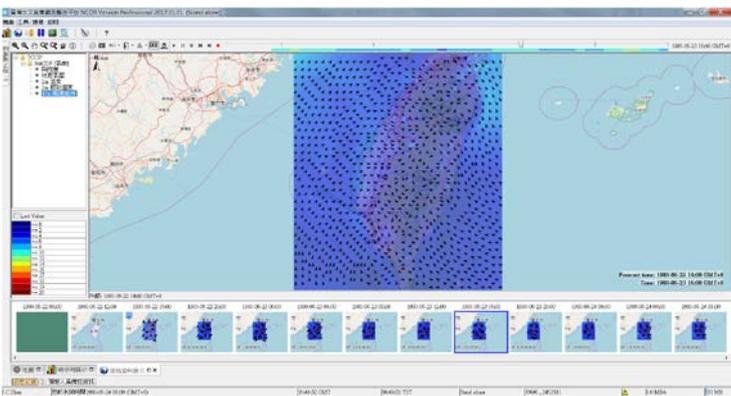


圖 5.2 MMIS 整合多元資料與模式之示意圖

本工作可謂集結氣候變遷計畫中各 Team 重要成果之大成，與各 Team 有緊密之連結，包括：(1) 匯入 Team1 歷史觀測以及推估資料；(2) 匯入 Team2 評估模式或模式運行後之評估結果。今年度成果包括：

- a. 今年示範流域優先選定曾文溪流域，MMIS 整合多模式包括國家災害防救科技中心之 SOBEK1D 以及 HEC-1 模式；
- b. MMIS 整合多元氣象變數 (資料格式為 NetCDF) 包括降雨量、相對溼度、2 米溫度、10 米風場等 (各氣象變數展示結果如表 5.3 所示)。

表 5.3 MMIS 不同物理量展示成果

物理量	展示成果
降雨量	
相對溼度	
2 米溫度	
10 米風場	

- c. 完成 MMIS 架構，並佈署至伺服器，已可進行電腦批次運算作業。(淹水模式演算結果如圖 5.3 所示)

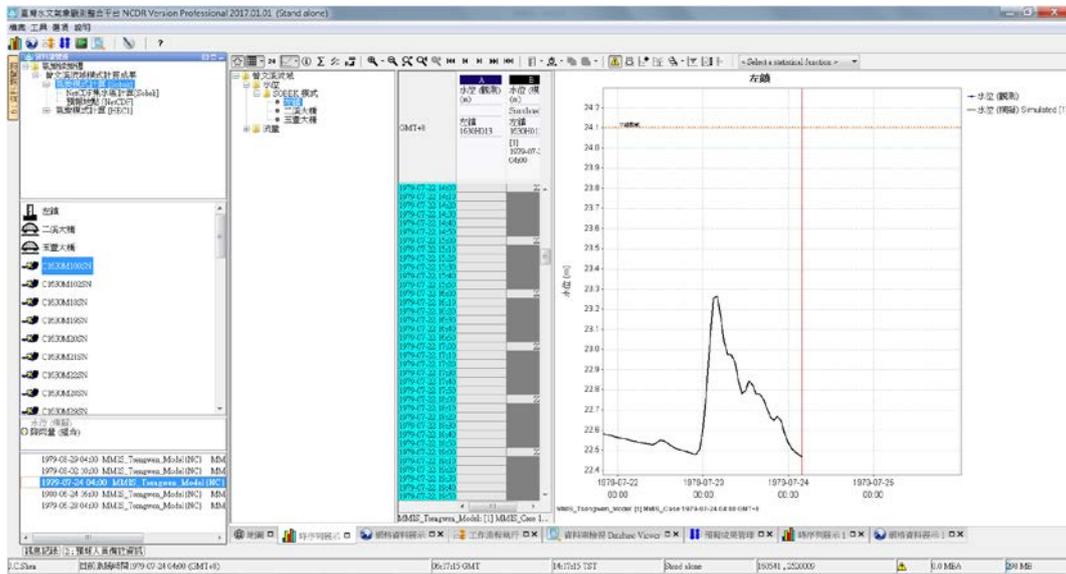


圖 5.3 MMIS 淹水模式河川水位結果展示 (SOBEK 1D 模式)

5.2.4 學研服務與專業推動

本計畫除了提供政府調適計畫之資料需求，也提供學術研究面對氣候變遷評估研究之資料需求，同時也促進了教育部氣候變遷教學聯盟之專業課程推動，提供氣候變遷專業課程所需之氣候變遷情境資料。目前統計使用 TCCIP 網站情境資料，進行授課之學校、系所與課程資訊如表 5.4 所示，後續將與教育部氣候變遷教學聯盟簽訂合作協議，以推動國內氣候變遷專業課程，持續推動國內氣候變遷研究之發展能量。

表 5.4 使用 TCCIP 網站資料之教學與實作課程

學校	系所	課程名稱	授課老師
國立台灣大學	生物環境系統工程學系	氣候變遷與環境生態	童慶斌
國立中央大學	水文與海洋科學研究所	陸地水文過程	李明旭
中原大學	通識課程	全球氣候變遷	朱容練
國立嘉義大學	森林暨自然資源學系	氣候變遷與環境健康	吳志達
國立屏東科技大學	水土保持系	水資源工程與規劃	江介倫
國立屏東科技大學	水土保持系	實務專題	江介倫

5.2.5 社群網站推廣應用

為加速本計畫平台宣傳與氣候變遷相關知識推廣，自 2017 年 8 月起，以臉書 (Facebook) 粉絲專頁之社群網站做為媒介，搭配計畫活動推播最新資訊，並不定時舉辦贈獎活動，與使用者產生良性互動，以迎合當代潮流，提升計畫能見度與普及性，粉絲專頁截圖如圖 5.4。

推動過程，本計畫精心設計能夠引起社群共鳴之文字圖說 (如圖 5.5) 或動畫 (如圖 5.6)，藉此引起社群廣播效應，讓各多人接觸本計畫之科普內容。經過十個月的經營 (2017 年 8 到 2018 年 5 月)，累積發文已達 215 篇，與 Facebook 使用者互動超過 8,900 次，觸及人數則突破 7.5 萬人次，而 TCCIP 網站最高約有 13% 的流量是透過 Facebook 粉絲頁轉進，且此參觀人數仍持續成長中。



圖 5.4 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台粉絲專頁
(<https://www.facebook.com/TaiwanClimateChange>)

5.2.6 知識轉譯

氣候變遷科學與調適服務整合平台的知識轉譯致力於將國際間最新的氣候變遷資訊提供給國內讀者，拉近國內外氣候變遷相關知識的距離。知識轉譯的成果具體呈現於本計畫官方網站的「知識專欄」欄位，共有「氣候變遷新聞」(圖 5.7)、「氣候知識 FAQ」、「摘要報告」、「氣候專欄」與「電子報」(圖 5.8) 等五個細項；本期計畫著重於「氣候變遷新聞」、「氣候專欄」、「電子報」。另為了配合新出版的《臺灣氣候變遷科學報告 2017》，本團隊也製作《臺灣氣候變遷科學報告 2017 第一冊》重點內容與圖表摘錄為小冊—《臺灣氣候的過去與未來》，並配合製作動畫短片「一分鐘看懂臺灣氣候變遷科學報告 2017 第一冊」，希望能使更多人瞭解臺灣的氣候變遷現象。



圖 5.5 粉絲頁熱門貼文，觸及人數 8,213 人，按讚、留言與分享共 374 次

你有看過臭氧層嗎?
如果你沒看過，現在就讓你看看。
1987年9月16日，為了保護臭氧層不受人造化合物的破壞，聯合國邀請所屬的26個會員國在加拿大蒙特婁簽訂環境保護議定書，禁用一系列人造的氯或溴化合物，而這部蒙特婁公約即將在下個月屆滿卅周年。
原本科學家們滿心期待，卅年過去後臭氧層的破洞情況會有改善，然而藉由過去五年的觀測發現，事實的真相總是事與願違。
這支影片是從1979年到2013年，NASA在南極上空所拍攝下來的一系列衛星影像
這麼大的洞根本就沒有變小呀!
再多看一眼吧~
如果人們再不要讓地球..
或許以後就沒機會了...
更多詳情請見: #氣候變遷新聞
<http://bit.ly/2w9Brcv>
Credit: NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER

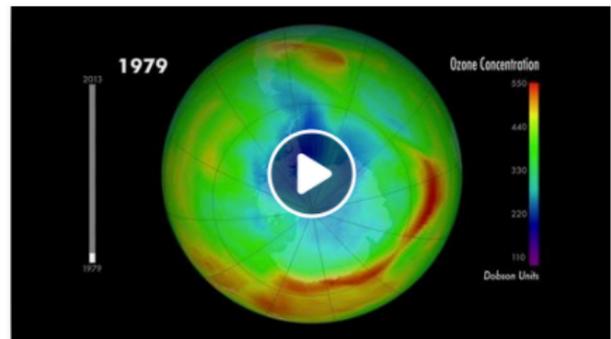


圖 5.6 粉絲頁藉影片貼文以吸引更多社群連結



圖 5.7 本計畫官方網站上知識專欄下的「氣候變遷新聞」

「氣候變遷新聞」每日翻譯並擷取國外重要的氣候變遷相關新聞，題材豐富而多元，本計畫年度至今 (2018 年 6 月 6 日) 已發行約 316 則，總發行量 838 篇。由於氣候變遷的影響遍布各種領域，新聞的內容也包羅萬象，包括世界各地的極端天氣現象 (如 2018-1-19「澳洲近日的嚴重熱浪」)、各國的最新氣候變遷政策 (如 2018-1-10「德國將修正原定 2020 年的減碳目標」)、氣候變遷對生態影響的新發現 (如 2018-4-12「氣候變遷破壞了蘭花與蜜蜂的密切關係」)、氣候變遷對經濟產業的衝擊 (如 2017-4-10「欲達巴黎協議目標，水泥業須加倍努力」)、氣候變遷對公共衛生的危害 (如 2017-12-5「UN：救氣候，少點空污」)、新科技對氣候變遷研究的貢獻 (如 2017-12-28「AI 潛入南極深處，預測未來海平面漲幅」)、熱門的氣候變遷活動 (如 2018-4-20「致力於氣候變遷的 5 位女性典範」)...等。本計畫也整理 2017 年的 10 大重點氣候變遷新聞，於電子報第 16 期以專題回顧的方式，使讀者能重點摘錄 2017 年的氣候變遷相關重要議題。「氣候變遷新聞」配合本計畫官方 Facebook 粉絲頁的推播活動，每日在粉絲頁上同步網站的最新氣候變遷新聞，期能吸引更多的閱讀人潮，也為大眾讀者提供更多的接觸管道。

本計畫年度發行「電子報」為第 9-19 期 (共 11 期)。電子報的主題包括分享並呈現現本計畫研究成果，像是 TCCIP 第二期重要成果系列報導 (全系列共 7 期，本年度發行最後 3 期，分別是電子報第 10、12、15 期)；氣候變遷對臺灣農業未來的影響 (電子報第 13 期)，深入探討國內外氣候變遷相關的熱門議題；電子報第 9 期「臺灣的暖冬現象」、電子報第 11 期「當川普退出巴黎協議」。並為讀者蒐整熱門科學研究議題的最新進展，如電子報第 14 期的「氣候變遷下，海洋魚兒跑哪去?」。最新的第 17 期主題「不能沒有你—個人如何因應氣候變遷?」(圖 5.8)，以個人的碳足跡為出發點，引導讀者思索自身行為如何對氣候變遷減緩、調適產生最大利益。



圖 5.8 電子報，以第 17 期封面圖片為例

本計畫年度新增 4 篇「氣候專欄」，分別為「誰是改變近百年地球氣候的幕後推手?」、「過去與未來—破解氣候時光機的秘密」、「面對氣候變遷的十字路口—談永續發展與調適」、「只要有心，人人都可以成為氣候變遷資料達人!」。文章以科普的口吻，為讀者初步介紹氣候變遷的科學發現、未來氣候的推估方法、面對氣候變遷衝擊的調適，以及如何利用本計畫提供的氣候變遷資料作更客製化的深入研究；文章同步刊載於國立臺灣教育館出版的《科學研習》第 57 卷第 2 期。

為推廣本計畫編撰出版的《臺灣氣候變遷科學報告 2017》，本計畫年度擷取該報告第一冊的重點內容，包括 7 大重要發現、10 大常見問題，編撰重點小冊《臺灣氣候的過去與未來》(如圖 5.9；詳附錄 3.4)。本小冊的文字圖表不侷限報告原始版本，而改以科普的角度出發，檢視單一重點的原文圖表，視情況重製。小冊除能使大眾讀者能清楚明瞭地領略該報告第一冊的重要科學新知，還能引發興趣，藉此引導一般讀者閱讀完整版的報告。

為了使本計畫成果更普及、更容易被使用，並輔助加強國際間的交流合作，本團隊再將《臺灣氣候的過去與未來》書中六大重點美化與重制，制作成圖文精美、方便閱讀且容易傳達臺灣氣候變遷重點概念的中英文宣傳單張，如圖 5.10 (詳附錄 3.5)。這項成品深受教育工作者與科普推廣者的喜愛，讓首次接觸的民眾能在最短的時間內有初步的概念。

本計畫年度新嘗試用動畫短片的方式，轉譯氣候變遷的新知，製作短片「一分鐘看懂臺灣氣候變遷科學報告 2017 第一冊」(如圖 5.11)。配合前述小冊的 7 大重點，利用動畫物件流暢地呈現《臺灣氣候變遷科學報告 2017》的製作過程、臺灣的氣候變遷現況、推估與可能造成的災害。本動畫不僅上線於本計畫官網，也可見於影音平台 Youtube，以更多的推廣空間提高點閱率。影片必搭載中英文字幕，增加本計畫的國際能見度。

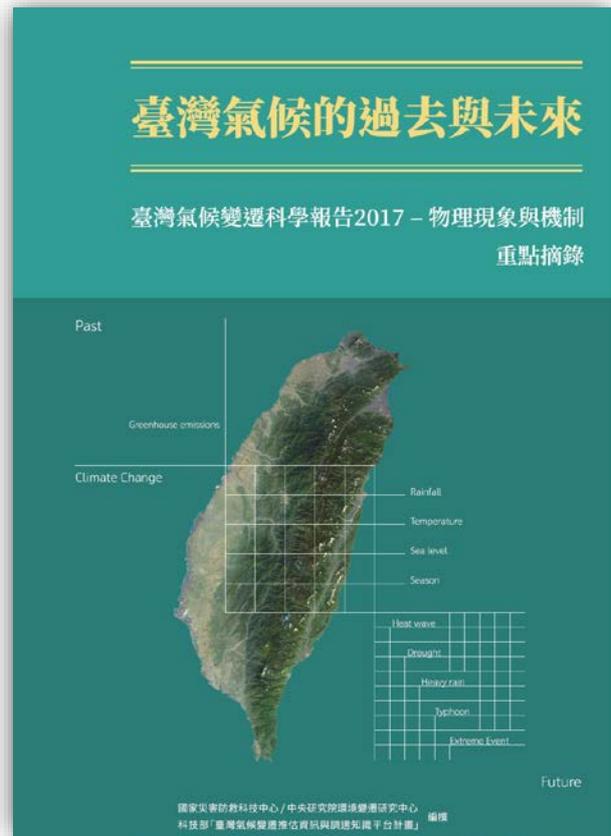


圖 5.9 《臺灣氣候的過去與未來》封面

針對中原大學 106 年度下學期通識課程「全球氣候變遷」修課學生，再使用 TCCIP 的網站使用者經驗實問卷調查，知識轉譯成果頗受好評。圖 5.12 為問卷調查結果，顯示不論是豐富度、實用度、清楚度與整體滿意度都頗佳，90%以上的受訪學生都給予大力讚賞，表示內容豐富有趣又好理解。

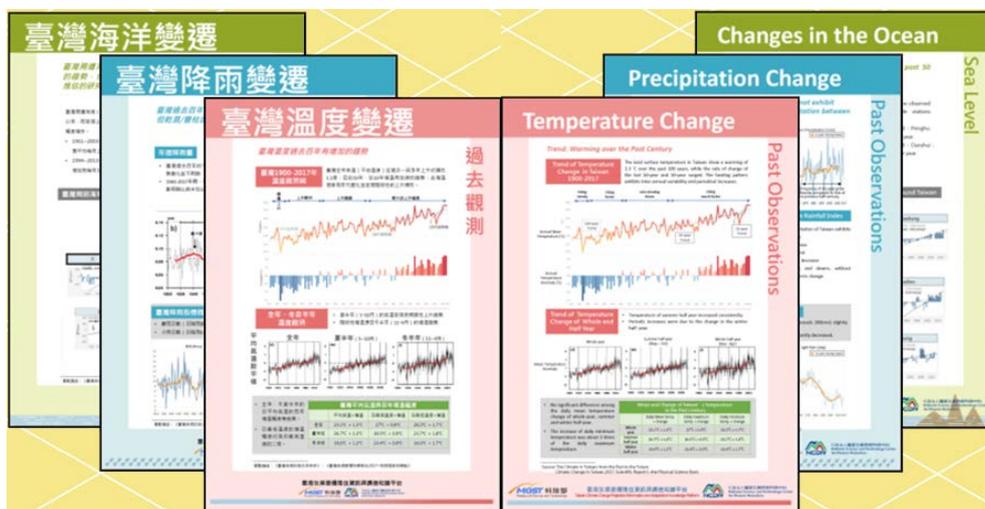


圖 5.10 《臺灣氣候的過去與未來》重點美化與重制之中英文宣傳單張

線上申請開放後，使用者申請件數逐年攀升，在 2017 年達到了 83 件，且政府部門與一般使用者申請件數亦有明顯增加，顯示推廣已顯成效，本計畫的服務更接近政府部門的需求與一般使用者的期待，如圖 5.13 所示。依據資料申請者填寫『申請資料欲應用的領域』評估，多數應用於防災、生態、水文、氣象、水資源、農業等領域，如圖 5.14，多數使用者以申請統計降尺度資料為主，觀測資料的申請者也不少數，甚至比申請推估資料件數還多，如水文、水資源、生態、農業、氣象等領域，申請觀測資料的件數相對是較多的。圖 5.14 分析使用者申請資料所填寫的資料應用用途的字詞分析，可發現多數是應用於科技部的計畫，探討暖化、脆弱度、潛勢等議題居多。

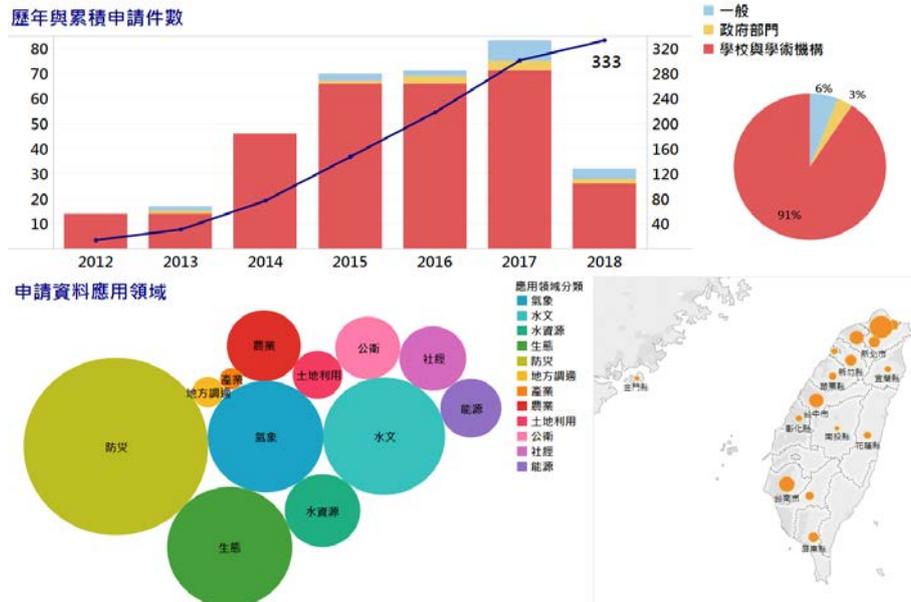


圖 5.13 不同申請機構的申請量與應用領域

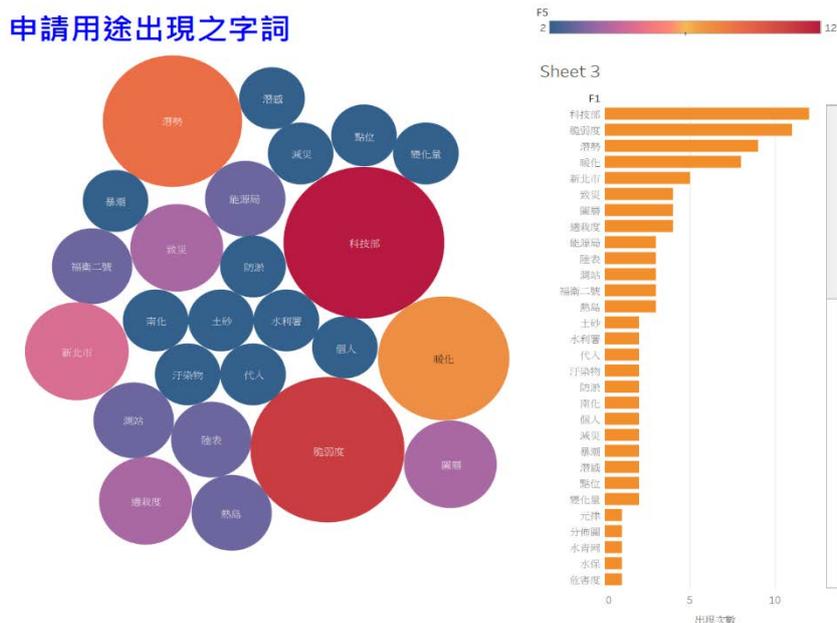


圖 5.14 申請資料的用途之字詞分析

2. 資料類型分析

目前 TCCIP 網站上提供申請的資料，主要包含五大類 (1) 觀測資料；(2) AR5 統計降尺度資料；(3) AR4 統計降尺度資料；(4) 動力降尺度資料；(5) 極端指標 (TRI)。圖 5.15 可發現防災領域所申請的資料最多元，包含過去歷史觀測以及未來不同降尺度方式的推估資料，以及可能可應用於防災領域的極端指標分析，且 AR4 情境資料近幾年仍有使用者申請。在生態與氣象領域則是以申請歷史觀測資料為較多，進而是 AR5 與 AR4 的統計降尺度資料，對於動力與極端指標的申請相對較少，水文與農業領域的資料申請亦是類似的趨勢。此外，近幾年水資源領域對於降尺度資料的需求則是相對較高。



圖 5.15 不同應用領域各年申請資料之類別

3. 政府與學研應用鏈結與槓桿效應

自經建會氣候變遷政策綱領推動以來，各部會與地方政府氣候變遷行動計畫如火如荼展開，TCCIP 資料成為氣候變遷行動計畫之重要參考資料。部會與地方政府氣候變遷資料應用，同時也帶動學研與專業團隊對於氣候變遷資料需求，其中之鏈結性如圖 5.16 所示，因為槓桿效應，也增加了學研的應用，並間接提供更多氣候變遷資訊給產業與大眾。從圖 5.17 可以得知，政府應用與學術研究也因為鏈結性與槓桿效應有成長之趨勢。

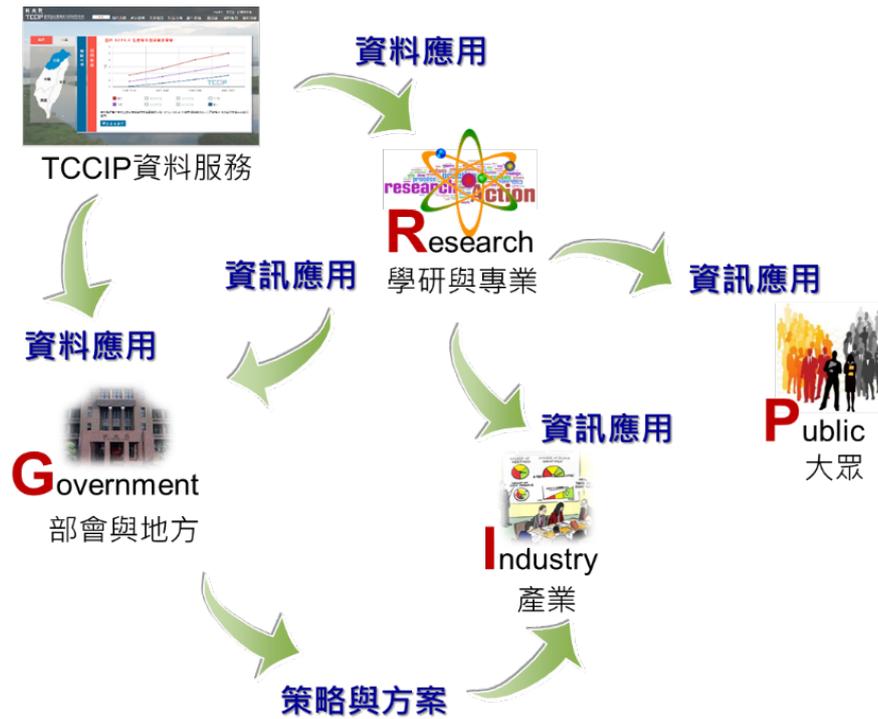


圖 5.16 TCCIP 資料與政府學研鏈結及槓桿效應

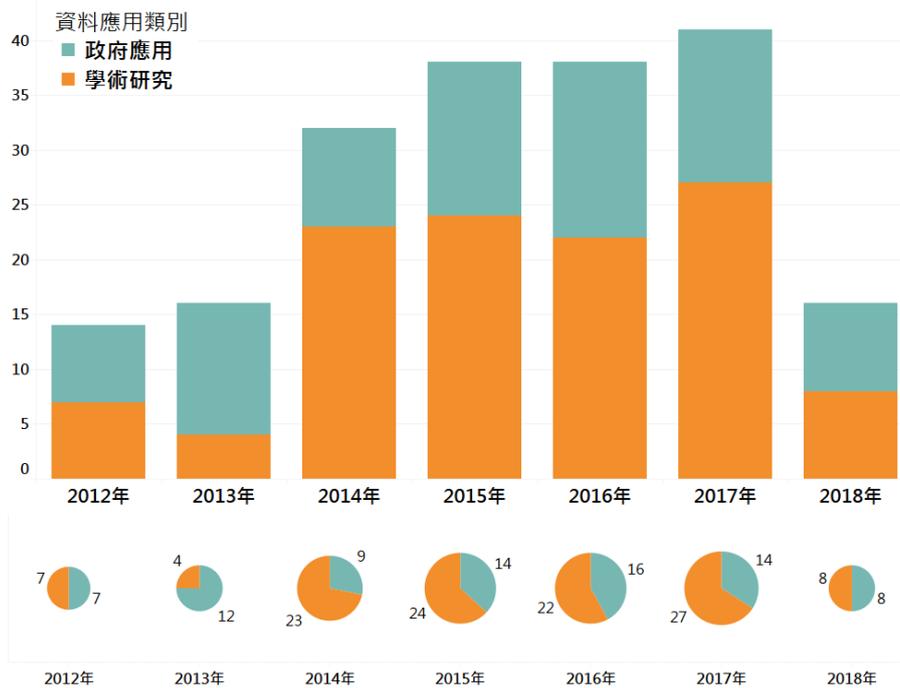


圖 5.17 TCCIP 資料帶動政府與學研氣候變遷調適應用

4. 使用者分析檢討

根據 TCCIP 使用者分析，從申請單位的統計、應用領域的增長、申請資料類型的變化、區域性、以及申請資料的變化，我們分析出一些問題，並檢討提出對策如表 5.5 所示。

表 5.5 使用者分析問題與對策

問題		對策
申請單位	使用者沿用過去的申請而無再申請，無法追蹤使用問題，或容易遺漏資料更新資訊。	<ul style="list-style-type: none"> 主動定期追蹤資料應用問題與成效。 資料應用案例分享，使用者較能瞭解如何應用資料，進一步使用。 更新觀測資料年份，並主動發布資料更新資訊，吸引使用者回流
應用領域	以防災、農業、生態、水文與水資源為主	<ul style="list-style-type: none"> 強化推廣地方調適、公衛、能源、氣象、社經與產業等領域申請。
申請的資料	使用者多數申請觀測資料與統計降尺度資料	<ul style="list-style-type: none"> 加強動力降尺度、極端指標的應用推廣。 將客製化資料轉化為常態申請資料，提供使用者較需要之產品 產製加值的指標與圖表，增加可幫助使用者進行分析且易判讀的圖表。
區域性	主要申請單位的所屬地區，以北部地區為主	<ul style="list-style-type: none"> 增加中南部與東部地區的資料說明推廣活動
申請數量	雖有攀升，但仍應推廣	<ul style="list-style-type: none"> 增加資料應用案例分享的推廣活動

■ 使用者申請資料常見問題

目前常見的問題，雖已列於資料申請 Q&A 中的，仍有許多申請者會來電詢問，如：

- (1) 資料打開後，沒有看到表頭，不知道哪個欄位是甚麼意思?
- (2) 是否提供中央氣象局的測站觀測資料?
- (3) 除了溫度及雨量資料外，是否提供其他參數的資料?
- (4) 資料使用上的問題

對於提供資料的說明檔，未來將進一步更清楚的方式呈現，或是以影片方式教學，以利使用者瞭解資料特性。另外針對進一步的資料需求常見問題如下

- (1) 是否可申請更細網格的資料?
- (2) 是否可客制化產製平台上沒有的資料?

針對網站尚無法提供的資料，目前處理方式是經由窗口轉介所屬資料負責 TEAM 審核者，進一步連繫後，了解使用者需要使用的方向，詢問計畫主持人同意與否提供資料，或是做進一步的解釋說明資料特性。

■ 未來資料申請網站設計精進

- (1) 增加提供的資料內容：針對使用者所需的更細緻與客制化資料，經過處理後，若可提供將放在網頁上提供下載，增加資料服務量。

- (2) 追蹤使用者意見回覆：為能答覆與解決使用者意見，未來將增加使用者意見填寫與滿意度調查，與答覆的處理時間查詢。
- (3) 增資料應用範例：將挑選 2~3 個資料使用示範案例，提供給資料申請者瞭解平台有哪些資料與如何應用。以避免資料申請者誤用 TCCIP 的資料，造成研究成果錯誤，亦可以提供跨領域的資料使用者，瞭解資料的應用方式，以激盪出不同的研究成果。
- (4) 極端事件重要成果製圖：將使用者可能需要的圖表，加以繪製，提供下載。

5.2.8 臺灣氣候變遷科學報告推廣

臺灣進行氣候變遷研究十幾年，累積許多成果，並達成許多階段性任務。這些成果不僅代表我國推動氣候變遷科研的重要里程碑，其中的科學資訊對於我國推動氣候變遷相關工作的部會單位及學研單位更是十分重要。因此，科技部委請「氣候變遷研究聯盟-氣候變遷實驗室 (CCliCS)」以及「臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫 (TCCIP)」編寫「臺灣氣候變遷科學報告」第一冊，彙集與編寫我國氣候變遷觀測、模擬、氣候變遷情境成果；委請「臺灣氣候變遷調適科技計畫 (TaiCCAT)」編寫「臺灣氣候變遷科學報告」(以下簡稱科學報告)第二冊，彙集與編寫我國各領域針對氣候變遷風險評估與調適之研究成果。經過編輯、審查、修正等程序後，再委由本計畫協助完成定稿，並於 TCCIP 網站公告與開放下載 (科學報告下載頁面如圖 5.18)。



圖 5.18 科學報告下載頁面
(https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/publish_book.aspx)

為推動並說明科學報告之內容，同時了解我國各界在氣候變遷調適工作與學術研究等需求與困境，於 2018 年 3 月 28、29 日於科技部舉辦「臺灣氣候變遷科學報告 2017 說明會暨氣候變遷資料使用經驗座談會」，邀請氣候變遷資料使用者以及對氣候變遷研究有興趣的學研人員與相關部會參加，兩天共約 200 人次。議程如表 5.6 所示。第一天早上以科學報告說明會

表 5.6 臺灣氣候變遷科學報告 2017 說明會暨氣候變遷資料使用經驗座談會」

時間	3 月 28 日 (三)
13:30-14:00	報到
14:00-15:20	<p>臺灣氣候變遷科學報告 2017 重點報告與交流 【主持人：林李耀研究員/國家災害防救科技中心】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 第一冊：物理現象與機制 報告人：許晃雄教授/中央研究院環境變遷研究中心 ● 第二冊：衝擊與調適面向 報告人：董慶斌教授/臺灣大學生物環境系統工程學系
15:20-15:30	休息
15:30-17:00	<p>氣候變遷資料使用座談 (一)：土地利用/地方調適/能源/產業/氣象議題 【主持人：詹士樑教授/臺北大學不動產與城鄉環境學系】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 邀請演講： <ul style="list-style-type: none"> ■ 土地利用：林裕彬教授/臺灣大學生物環境系統工程學系 ■ 地方調適：李皓志博士/成功大學水利海洋研究發展文教基金會 ■ 能源產業：徐玉杜博士/工研院綠能所 ● 海報發表者經驗分享+現場交流
時間	3 月 29 日 (四)
09:00-09:30	報到
09:30-12:00 (中間休息 10 分鐘)	<p>氣候變遷資料使用座談 (二)：水資源/淹水/土砂/坡地/海岸議題 【主持人：葉克家教授/交通大學土木系】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 邀請演講： <ul style="list-style-type: none"> ■ 水文：游保杉教授/成功大學水利及海洋工程學系 ■ 土砂：李欣輯副研究員/國家災害防救科技中心 ■ 海岸：陳偉柏副研究員/國家災害防救科技中心 ● 海報發表者經驗分享+現場交流
12:00-13:30	午餐/氣候變遷資料使用成果海報展
13:30-16:00 (中間休息 10 分鐘)	<p>氣候變遷資料使用座談 (三)：生態/農業/漁業/健康議題 【主持人：陳正達教授/臺灣師範大學地球科學系】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 邀請演講： <ul style="list-style-type: none"> ■ 生態：邱祈榮教授/臺灣大學森林環境暨資源學系 ■ 農業：姚銘輝研究員/農委會農業試驗所 ■ 健康：陳乃慈博士/國家衛生研究院 ● 海報發表者經驗分享+現場交流
16:00-17:00	<p>綜合座談【主持人：林李耀研究員/國家災害防救科技中心】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 綜整資料使用經驗與問題 ● 未來氣候變遷資料產製規劃報告/氣候變遷計畫團隊

為主，由許晃雄教授以及童慶斌教授分別代表說明第一冊與第二冊內容，並邀請第一冊與第二冊各章節主筆教授於會議協助回應各界建議與問題。第一天下午與第二天整天，則邀請氣候變遷資料使用者進行氣候變遷資料應用分享與經驗回饋，除了促進國內氣候變遷研究發酵之外，以藉此了解使用者對於氣候變遷資料、資訊、知識與智慧之科學需求，作為本計畫氣候變遷科學與調適服務整合平台之規畫參考。

5.3 整合服務平台建置

本計畫透過 Co-Design 過程規劃平台服務內容，打造全新的氣候變遷調適服務整合平台，提供氣候變遷資料服務、資訊服務、調適知識、智慧傳承到應用工具完整的科技服務。整合服務平台後續一年推動架構如圖 5.19 所示。

本計畫初步乃以 Joomla 網站建置與管理系統，進行網站雛形建置，再依照內容委託本計畫國網團隊建置。本年度已著手進行整合平台之建置，預計於下年度第一季(2018Q3)持續委由國網團隊進行建置，並於下年度第三季 (2019Q1) 完成網站建置，在下年度第四季(2019Q2) 進行測試之後，將於下下年度 (2019Q3) 正式對外營運。舊網站在今年以及下一年度將仍維持原有之服務，並於下一年度第四季新網站平行提供服務，並預計於下下年度第二季結束舊網站之服務，並將原有服務內容移植至新網站。

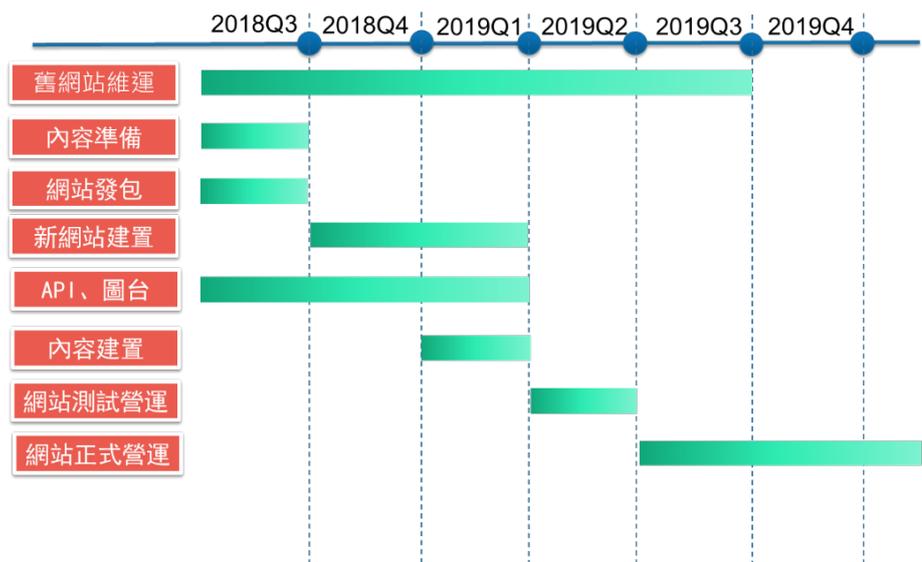


圖 5.19 整合服務平台後續一年推動架構

在下階段氣候變遷整合服務平台未正式上線之前，舊有之 TCCIP 網站將維持原有之服務內容，並且持續上傳新的內容。如表 5.6 所示，乃舊網站之“過去變遷”之資料列表，持續提供服務並完成最新資料之更新，如圖 5.20 所示。

對於新網站之設計開發，我們針對行動裝置的使用者設計並實作出一個符合 RWD (Responsive Web Design) 響應式網頁的雛型版本，如圖 5.21。已著手進行將原有 TCCIP 服務之內容搬移至雛型網站進行測試，如圖 5.22 至圖 5.24。

表 5.7 舊有 TCCIP 網站完成更新之資料列表

編號	名稱	變數名稱	時間尺度	空間尺度	時間範圍
1	heavyday_annual	大雨日數	年	測站	1981-2017
2	hightempday_annual	極端高溫日數	年	測站	1981-2017
3	humidity_annual	相對溼度	年	測站	1981-2017
4	lightday_annual	小雨日	年	測站	1981-2017
5	lowtempday_annual	極端低溫發生事件數	年	測站	1951-2017
6	maxdryspell_annual	最大連續不降雨日	年	測站	1981-2017
7	maxtemp_annual	最高溫	年	測站	1961-2017
8	mintemp_annual	最低溫	年	測站	1961-2017
9	prec_annual	降雨量	年	測站	1981-2017
10	precdaily_annual	雨日	年	測站	1981-2017
11	temp_annual	平均溫	年	測站	1961-2017
12	windspeed_annual	年平均風速	年	測站	1981-2017
13	humidity_seasonal	相對溼度	季	測站	1981-2017
14	lightday_seasonal	小雨日	季	測站	1981-2017
15	maxtemp_seasonal	最高溫	季	測站	1981-2017
16	mintemp_seasonal	最低溫	季	測站	1981-2017
17	precdaily_seasonal	雨日	季	測站	1981-2017
18	prec_seasonal	降雨量	季	測站	1981-2017
19	temp_seasonal	平均溫	季	測站	1981-2017
20	windspeed_seasonal	夏冬半年平均風速	季	測站	1981-2017
21	humidity_monthly	相對溼度	月	測站	1981-2017
22	maxtemp_monthly	最高溫	月	測站	1961-2017
23	mintemp_monthly	最低溫	月	測站	1961-2017
24	prec_monthly	降雨量	月	測站	1981-2017
25	temp_monthly	平均溫	月	測站	1961-2017

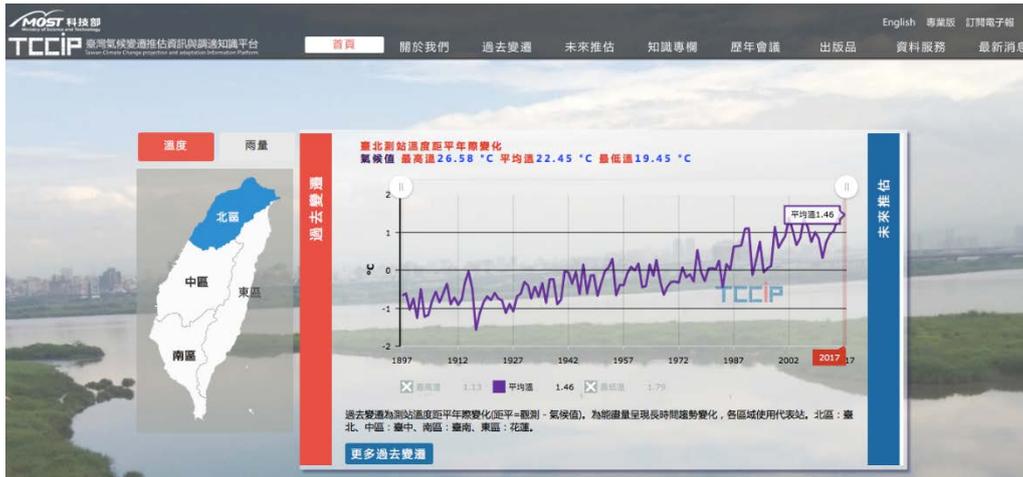


圖 5.20 現有 TCCIP 網站仍持續提供服務並完成資料更新網頁截圖



電腦瀏覽器觀看畫面

手機觀看畫面

圖 5.21 RWD (Responsive Web Design) 響應式網頁可針對不同平台自動調整頁面



計畫簡介

一、計畫緣起與目標- 奠基於科技部研究基礎，提供氣候變遷整合服務
面對全球氣候變遷的潛在威脅，世界各國無不開始研究各項因應與調適措施，為了使這些影響未來百年的決策有所依據，我國必須累積氣候變遷科學數據、發展氣候變遷科學研究、進行具體的衝擊評估等，為此，科技部以奠基於過去研究基礎，發展氣候變遷服務整合平台為目標，於2017年3月啟動-「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」。

圖 5.22 新版首頁截圖

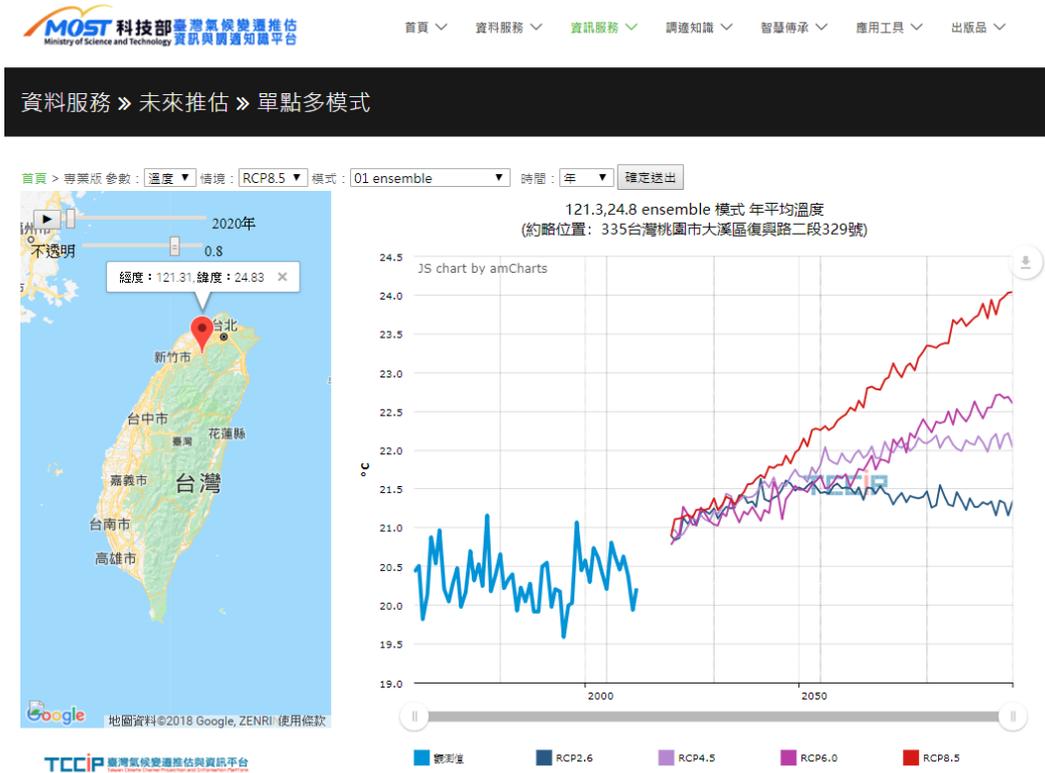


圖 5.23 新版提供未來推估之單點多模式資訊與資料下載



圖 5.24 新版出版品提供線上電子書閱讀功能

整合服務平台服務內容進程可參見後續四年推動架構，如圖 5.25 所示，所有的功能會在第一年完成，但部分內容會配合 TEAM1 以及 TEAM2 之工作成果而陸續上架，並於下下年度開始正式營運時，透過使用者座談或訪談建議，持續動態調整與修正服務內容。

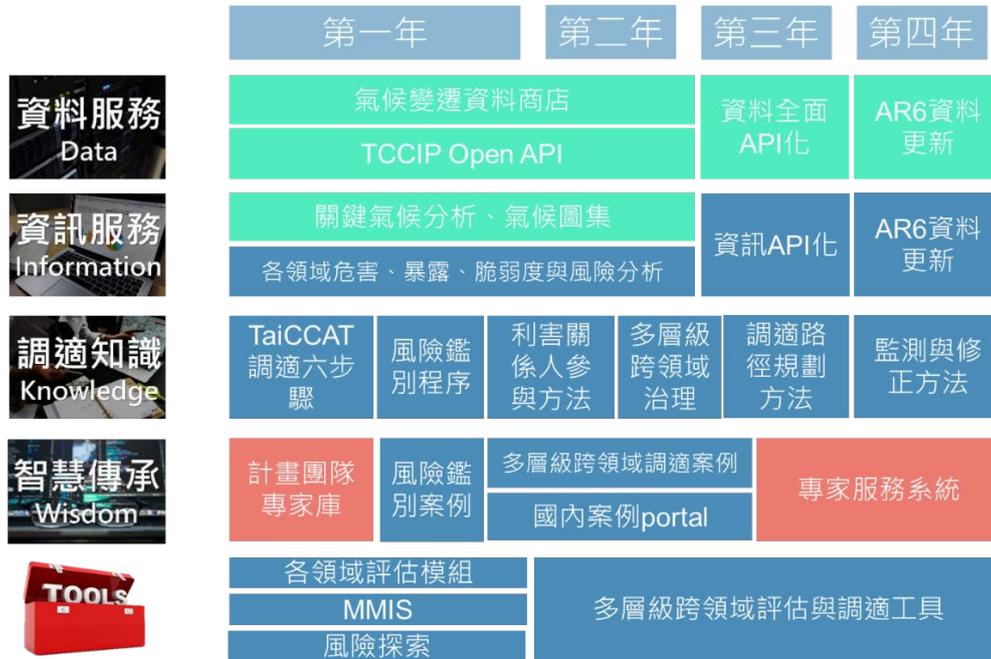


圖 5.25 整合服務平台後續四年推動架構

第六章 國際學術交流

他山之石可以攻錯。氣候變遷的研究發展需要透過全球化的思維 (Think Globally) 及在地化的行動 (Act Locally) 更能加速與國際接軌；而取法國外經驗有助於研發能量的快速積累。本期計畫將以計畫團隊累積的研究能量加強國際參與度以及能見度；在氣候推估、衝擊與調適研究以及氣候服務方面都有對應的合作對象，也會透過國際學術交流的機會觀摩及瞭解國際相關議題的最新發展，開啟國際合作管道。本計畫年度重點工作項目及交流進展如表 6.1。

表 6.1 國際學術交流重點項目及進展

工作重點項目	進度與成果說明
1. 國際合作	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 日本統合計畫 (TOUGOU) ■ Belmont Forum e-IDM ■ 德國參訪 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 2017 年 9 月赴日本筑波參加 TOUGOU 主辦之 2017 降尺度國際研討會順道拜訪 DPRI (TOUGOU-D)，雙方互相介紹未來研究方向，並訂定未來合作模式。 <input type="checkbox"/> 2017 年 12 月 TOUGOU-D 成員赴 NCDR 參訪及座談，邀請計畫團隊參與 AOGS 2018。 <input type="checkbox"/> 協助完成 Belmont Forum SEI CRA 概念重點 (Concept Note) 與計畫徵求說明 (Call for Proposal)；積極參與 Belmont Forum 相關活動，於 2017 年 9 月赴加拿大蒙特婁參加研究數據聯盟 (RDA) 第十次全體會議及 e-IDM 監督委員會會議。 <input type="checkbox"/> 2018 年 4 月赴德國參訪 MPI, PIK, GFZ, GERICS 等單位，就模式發展、衝擊評估與氣候服務等議題進行交流，藉以開啟合作契機。
2. 國際學術交流	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 參加“第三屆歐洲氣候變遷調適會議”(ECCA 2017) ■ 參加“氣候變遷衝擊國際研討會議”(Impacts World 2017) ■ 舉辦氣候統計學術工作坊 ■ 參加“亞洲大洋洲地球科學學會第十五屆年會”(AOGS 2018) 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 2017 年 6 月 ECCA 2017 以“<i>Our Climate Ready Future</i>”為會議主軸，於英國格拉斯哥舉辦；主題明確，多實務性的研究果得以參考及應用；對於本計畫未來的規劃、執行及國際合作有很大助益。 <input type="checkbox"/> 2017 年 10 月赴德國波茨坦參加 Impacts World 2017，對歐洲氣候變遷經濟社會衝擊研究國際合作投石問路；促成 2018 年 4 月德國參訪規劃。 <input type="checkbox"/> 2017 年 11 月舉辦氣候統計國際學術工作坊，8 位講者分屬大氣科學、水文與水資源，以及災害領域學者，但同以氣候變遷推估統計技術為研發方法進行相關研究。 <input type="checkbox"/> 2018 年 6 月赴夏威夷參加 AOGS 2018，並參與 TOUGOU-D 及 Belmont Forum e-IDM 的 Special Session，瞭解 e-IDM 相關議題進展。

6.1 國際合作

計畫團隊在氣候推估、衝擊與調適研究以及氣候服務方面都有對應的國際合作對象；本年度的重點在強化與日本氣候變遷計畫團隊 TOUGOU 的合作、參與 Belmont Forum e-IDM 運作，以及擴展與德國的合作與交流。

6.1.1 日本統合計畫 (TOUGOU)

多年來計畫團隊與日本大型氣候變遷計畫長期維持合作關係；從第一期的革新計畫 (KAKUSHIN)、第二期的創生計畫 (SOUSEI) 到如今的統合計畫 (TOUGOU)，雙方的交流主要在氣候變遷物理現象分析、機制探討與未來推估。TOUGOU 計畫由四個分組組成：TOUGOU-A 負責預報與推估 (Prediction and Projection of Large-Scale Climate Changes Based on Advanced Model Development)、TOUGOU-B 負責模式評估 (Sophisticated Earth system model for evaluating emission reductions needed)、TOUGOU-C 負責氣候變遷整合推估 (Integrated Climate Change Projection)、TOUGOU-D 負責衝擊評估 (Integrated Hazard Prediction)，本計畫的主要合作對象為 TOUGOU-C 及 TOUGOU-D。

本期計畫團隊加入關鍵議題風險評估與調適課題，2017 年 9 月赴日本筑波參加 TOUGOU 主辦之 2017 降尺度國際研討會之便，正式拜訪 TOUGOU-D 的主要負責單位京都大學防災研究所 (Disaster Prevention Research Institute, DPRI)；簡單寒暄後，首先由 TOUGOU-D 召集人中北教授 (Dr. Eiichi Nakakita) 說明 TOUGOU-D 如何銜接 SOUSEI-D 的業務、TOUGOU-D 的分工以及 TOUGOU-D 在 TOUGOU 計畫的角色；再由童慶斌教授說明本期計畫 Team2 的科研內容及業務推動重點；雙方互相介紹未來研究方向、訂定未來合作模式，取回 TOUGOU-D 的相關介紹文件 (圖 6.1)，並邀請 TOUGOU-D 來臺訪問。

2017 年 12 月中北教授帶領 TOUGOU-D 團隊成員來訪 (圖 6.2)；首先由童慶斌教授代表概述 Team2 的分工架構與推動重點；上半場由本計畫 Team2 成員說明水資源、坡地及淹水等關鍵議題的科研進展，



圖 6.1 拜訪 DPRI 中北教授，並取回 TOUGOU-D 的相關介紹文件。



圖 6.2 TOUGOU-D 成員與 Team 2 成員會後合影。

下半場由中北教授說明 TOUGOU 計畫的概況，再由 TOUGOU-D 成員分別介紹 TOUGOU 新產製的 d4PDF 資料特性及其應用於淹水及浪潮的分析結果；雙方再就未來研究方向及合作模式進行討論。座談結束前中北教授邀請邀請計畫團隊於 AOGS 2018 水文科學類別中，開設氣候變遷風險評估與調適主題的場次，就相關議題與國際學者群策群力 (圖 6.3)。

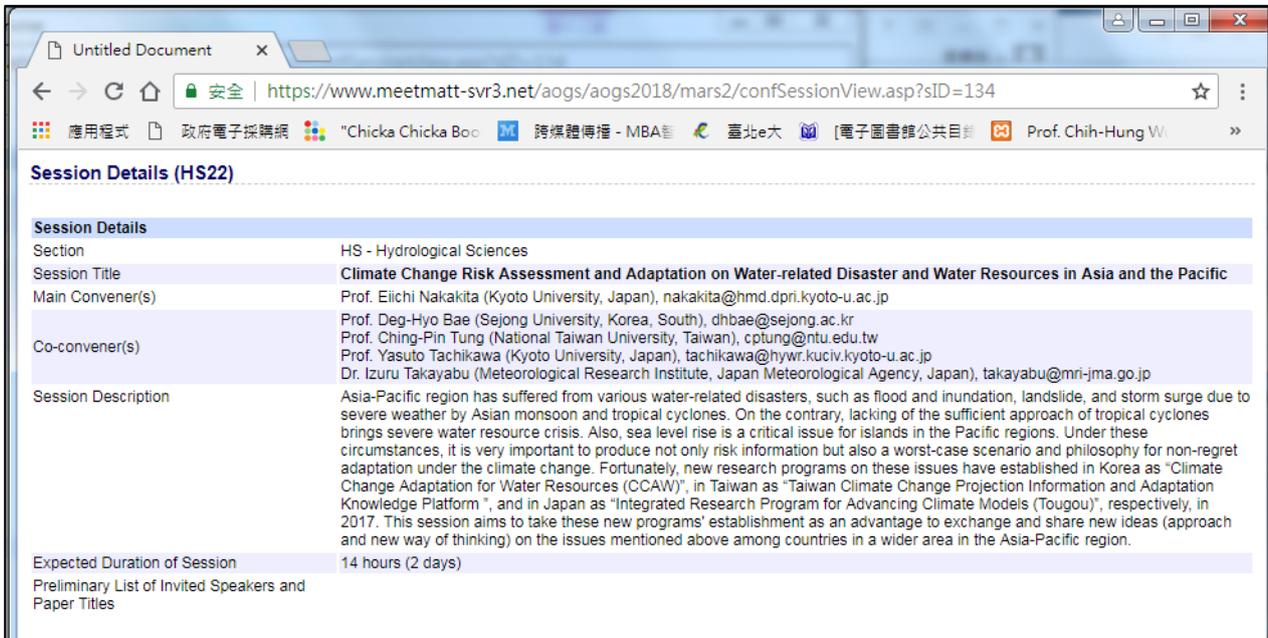


圖 6.3 與 DPRI 於 AOGS 2018 共同開設討論議題

6.1.2 參與 Belmont Forum e-IDM

科技部身為貝爾蒙特論壇 (Belmont Forum, 簡稱 BF) 的會員之一，積極參與各項議題的國際合作，其中一項議題即為「數位基礎設施與資料管理 (e-Infrastructure and Data Management, 簡稱 e-IDM)」，主要推動國家為法國 (ANR)、台灣 (MOST)、日本 (JST)、美國 (NSF)、巴西 (FAPESP)、英國 (NERC) 等國家，在國內由擁有氣候變遷資料建置經驗的氣候變遷計畫團隊協助參與。經過過去兩年的討論與會議參與 (例如：2016 年的巴黎 Scoping Workshop；不定期的跨國視訊會議)，e-IDM 於 2017 年年底的聖保羅大會上通過新的國際合作研究案，計畫名稱為：「Science-driven e-Infrastructure for the Enhancement of Transnational, Interdisciplinary and Transdisciplinary Data Use in Environmental Change Research Innovation, 簡稱 SEI CRA」 (圖 6.4)。在此過程中，本計畫提供台灣推動此議題的經驗與案例，協助完成 SEICRA 概念重點 (Concept Note) 與計畫徵求說明 (Call for Proposal)。

為展現科技部對 e-IDM 的重視，計畫團隊積極參與 Belmont Forum 相關活動，於 2017 年 9 月赴加拿大蒙特婁參加研究數據聯盟 (RDA) 第十次全體會議及 e-IDM 監督委員會會議；與 RDA 會員廣泛交流、瞭解國際數位基礎建設相關研究進展，做為接下來四年期計畫開放資料、開放研究、資料管理相關規劃之參考 (圖 6.5)。

Science-driven e-Infrastructure for the Enhancement of Transnational, Interdisciplinary and Transdisciplinary Data Use in Environmental Change Research Innovation (SEI)

Patrick Monfray (MESRI), J.-P. Vilotte (ANR) & SEI GPCs group

Goals

- Bring environmental scientists *with* data, computing & AI scientists *and* infrastructure developers and providers *around* science-driven issues and barriers
 - Advancing inter- and trans-disciplinary research, transnational data use to impact BF research and decision and policy making.
- Link research thinking *and* technological innovation in a science-driven context
 - Improving transnational data access, management and trust in transdisciplinary contexts
 - Accelerating rates at which information is gleaned from multi-source data
 - Lowering barriers to open science practices in research practices and citizen science
 - Delivering translatable and cost-effective solutions that benefit to the broader community
- Enable foundation of a Belmont Forum transnational, transdisciplinary framework
 - Federating data integration and analysis systems, built on national investments,
 - Convening international best practices to foster open data and open science.

BELM@NT

Non-exclusive Topics

- Transnational multi-source data integration and analysis systems
 - Enable and accelerate transdisciplinary high-end data analysis and model inter-comparison and high-performance data assimilation.
- Transdisciplinary disaster-information platforms
 - Enable and accelerate transnational access and streaming analysis of multi-source data for decision making by various group of users.
- Science reproducibility across disciplines
 - Enable linking research outputs and publications to new digital objects within federated transnational data infrastructures.
- Flexible and trusted transnational multi-source open data management systems
 - Including new data collection and provenance systems in transdisciplinary contexts and demonstrating integrity, quality and traceability through the knowledge cycle.
- Lower barriers to open science practices in transdisciplinary sciences
 - Enable scientific quality assessment and feedback to various group of users.

BELM@NT

Key SEI CRA features

Competitive SEI call for 4 years innovative projects

- Science-driven.** Develop innovative solutions that enable and enhance interdisciplinary and transdisciplinary environmental change research while addressing tangible research-driven objectives.
- Collaborative.** Co-develop an integrated view and tease out solutions to experienced issues in transnational data use with linking research thinking and technological innovation between and among environmental, computational and data scientists, and possibly e- and cyber-infrastructures developers and providers.
- Translatable.** Deliver translatable pilots with sustained impact on research practices so that the broader community benefit.
- End-to-end.** Target specific segments along the full path of data use in well-described science-driven contexts that will accelerate the rates at which information is gleaned from data and impact the Belmont Forum research.
- Interdisciplinary or transdisciplinary.** Transcends domain boundaries with co-designed problems, co-developed implementations and shared results enabling reproducible science through distilling knowledge for various group of users.

BELM@NT

SEI Call Agenda

SEI CRA maturation since 2015 within eI&DM AT3 led by ANR, MOST & JST

- November 2016 concept adopted at Doha & scoping workshop in Paris
- January- July 2017 : SEI CRA Concept Note and Topics examples
- July-October 2017: ad-hoc GPC (ANR, MOST, JST, NSF, FAPESP, NERC, CSIRO) to forge SEI Call Text and BF17 Documents

February 2017

- Pre-announcement of the call

March 2018

- Official launch of the call

June 2018

- Submission deadline

June-December 2018

- June-August: peer-review by external reviewers
- September : response to reviewers
- October : POE evaluation
- November : GPCs decision
- December: Start date of the selected project

January 2019

- Kick-off meeting

GPC funders and in-kind providers today

- ANR/MESRI (France), MOST (Taiwan), JST (Japan), NSF-GEO & NSF-OAC (USA), FAPESP (Brazil), CSIRO (Australia) - **still open**
- Committed level of funding: 7 M€

BELM@NT

圖 6.4 SEI 計畫徵求重點與推動時程



圖 6.5 RDA 開幕座談 (左圖) 與分組討論一 BoF 開放研究與資料管理議題 (右圖)

6.1.3 德國參訪

2018 年 4 月赴德國參訪，就模式發展、衝擊評估與氣候服務等議題進行交流。此行以德

國波茨坦氣候衝擊研究所 (Potsdam Institute for Climate Impact Research, PIK) 及德國氣候中心 (Climate Service Center Germany, GERICS) 為主要參訪對象 (圖 6.6)，汲取其氣候變遷調適應用及氣候服務的經驗；並參訪馬克斯普朗克氣象研究所 (Max-Planck-Institute for Meteorology, MPI-M) 就模式發展議題進行交流；參訪德國地球科學研究中心 (German Research Center for Geosciences, GFZ) 就氣候變遷風險評估與調適議題進行交流。此行的參訪與座談開啟了合作的契機，期望日後透過定期的交流互訪、互相學習，另一方面更期待進一步的合作，例如共同發展模式、學習更有效率地將科學成果應用、或轉換並推動到氣候調適政策等。

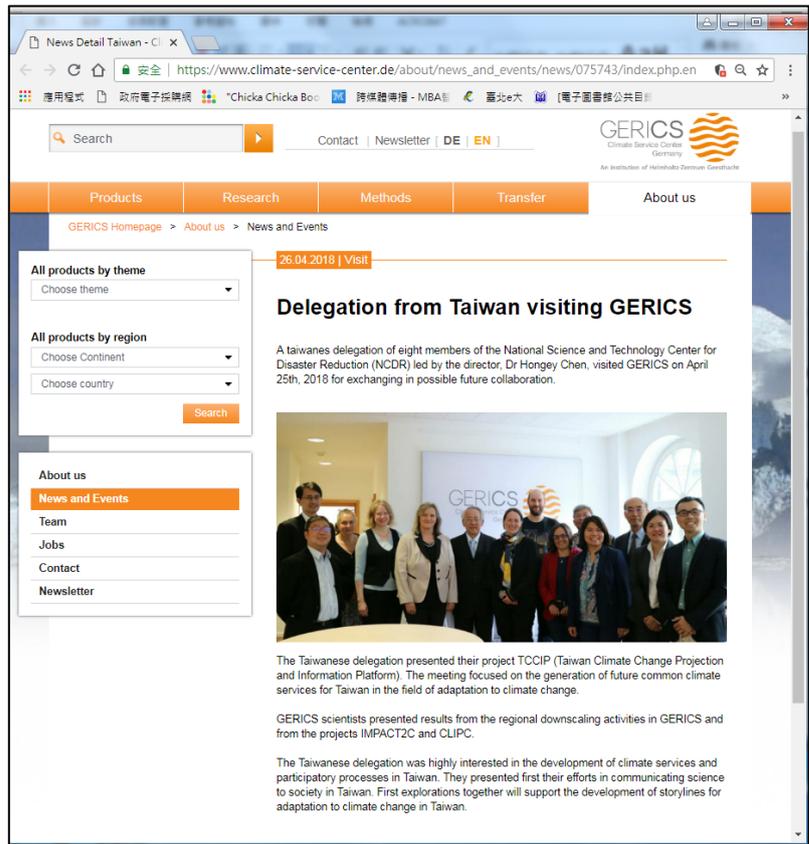


圖 6.6 拜訪討論會議結束後合影。資料來源：GERICS

6.2 國際學術交流

本計畫年度赴國外出席國際學術研討會，也於國內舉辦小型學術工作坊，透過此類活動與國際學者交流，更深入地瞭解彼此最近的研究進展。

6.2.1 第三屆歐洲氣候變遷調適會議 (ECCA 2017)

2017 年 6 月第三屆歐洲氣候變遷調適會議 (3rd European Climate Change Adaptation Conference, ECCA 2017) 以“我們的氣候未來”(Our Climate Ready Future) 為會議主軸，於英國格拉斯哥舉辦；會議主題涵蓋都市規劃 (包含能源與基礎設施)、農業與林業 (包含糧食安全)、水資源 (包含用水安全及洪旱)、生物多樣性 (包含生態系統服務)、健康等議題，以及其縱向與橫向交互作用的整合議題 (包含氣候資料服務與溝通、治理、氣候正義與倫理，以及其他與聯合國永續發展目標相關議題)。討論氣候變遷調適議題涵蓋範圍相當廣泛，且多實務性的研究成果得以參考及應用；對於本計畫未來的規劃、執行及國際合作有很大助益。

歐盟從 2000 年開始分析氣候變遷的衝擊與危害、談論如何減緩其影響，2012 年提出調適路徑的概念，掀起另一股風潮；此次會議中對於如何有效建構調適路徑地圖與如何評估調適路徑的好壞多所討論，也探討如何監控並修正調適路徑；透過此次會議，有不少知識上的交流。會議中對於未來氣候的推估與預測，氣候服務的市場開發，公私部門合作發展，氣候服務品質的提升，數位基礎建設等的討論亦是未來可發展的重點。

6.2.2 氣候變遷衝擊國際研討會議 (Impacts World 2017)

2017 年 10 月赴德國波茨坦參加由波茨坦氣候衝擊研究所 (Potsdam Institute for Climate Impact Research, PIK) 主辦的 Impacts World 2017，本次會議主軸 “Counting the true costs of climate change”，討論主題包括氣候變遷的真實經濟成本量化、人口遷移、人體健康、永續發展目標等，不同領域的科學研究人員及利害關係人，就量化氣候變遷風險與衝擊成本等關鍵議題，進行跨領域的討論。計畫團隊成員在 Impact World 2017 的會議期間，見識歐盟積極認真的態度、群策群力因應氣候變遷挑戰，以及德國面對氣候變遷議題所展現反省與自我挑戰的能力、跨國合作的用心與企圖心；參與 Impacts World 2017 即是對歐洲氣候變遷經濟社會衝擊研究國際合作投石問路；也促成 2018 年 4 月德國參訪規劃 (參考 6.1.3 節)。

6.2.3 舉辦氣候統計國際學術工作坊

計畫團隊於 2017 年 11 月舉辦氣候統計國際學術工作坊 (圖 6.7)；本次會議以小型工作坊形式辦理，以氣候變遷於統計降尺度的應用為主軸，著重研究成果的交流。8 位講者分屬大氣科學、水文與水資源，以及災害領域學者，但同以氣候變遷推估統計技術為研發方法進行相關研究。



圖 6.7 研討會花絮

6.2.4 AOGS2018

2018年6月赴夏威夷參加 AOGS 2018，並參與 TOUGOU-D 及 Belmont Forum e-IDM 的 Special Session，瞭解相關議題進展。亞洲大洋洲地球科學學會 (AOGS) 於 2003 年成立，結合地球科學相關領域的科學家們投入當年度重要研究與應用推廣議題，藉此促進亞洲大洋洲成果交流的推廣。本次參與場次為 Climate change risk assessment and adaptation on water-related disaster and water resources in Asia and the Pacific，包括日本、韓國、台灣學者介紹氣候變遷相關成果。以日本研究為例，仍以水環境災害為主，多篇研究著重在使用 d4PDF 資料於雨量、流量的評估，以及未來情境下，多種情境下的洪水叢集結果，透過大量的模擬評估水災的趨勢。韓國主要的研究亦著重在洪水的評估，臺灣的研究除了上述之外，針對不同類型的災害衝擊，有較多不同面向的評估，包括農業以及坡地災害等。



圖 6.8 AOGS2018 研討會花絮

第七章 結語與後續規劃建議

7.1 結語

科技部為因應未來國家氣候變遷行動綱領（行政院 106.2 月核定）相關科學工作推動之需求，整合與延伸科技部 100-105 年期間所推動之氣候變遷科研計畫成果，推出下一階段氣候變遷科研整合平台，發展國家整體氣候變遷推估資訊之應用、關鍵領域風險評估與調適應用，提供整合之氣候變遷服務。此次計畫由國家災害防救科技中心擔任計畫辦公室，整合 14 所大學院系、3 個行政機關以及 4 個研究單位，將近百人之研究團隊，進行氣候變遷跨領域應用研究及氣候變遷服務推廣。本計畫以政府 (Government)、學研 (Research)、產業 (Industry) 與民眾 (Public) 為主要服務對象 (簡稱 GRIP)，從使用者氣候變遷調適建構之需求出發，與部會、地方、以及各領域專家互動，提供氣候調適建構過程所需之資料、資訊、知識與智慧等服務。

本計畫推動過程中，除了持續提供原有的氣候平台服務，提供更多領域使用者使用最新的氣候變遷資料之外，在本期計畫中開始強化「整合服務創新」之相關工作，透過兩個團隊的磨合與整合，發展新的工作模式與產出，為 5 年期計畫奠定基礎。重要成果如第二章所述，包含：

- 新資料應用：日統計降尺度資料產製，以及台灣氣候變遷指標圖集產製
- 新情境測試：增溫 2°C 情境衝擊評估為例
- 新方法測試：更細緻的風險鑑別流程與應用評估
- 新整合應用：動力降尺度系集模擬與 MMIS 應用測試
- 新整合服務：氣候變遷整合服務架構
- 新應用推廣：知識轉譯與應用推廣

上述成果無論在科研發展、創新工具以及應用服務上，都有突破性的進展，也顯檢整合應用後有其一定綜效，尤其因應未來下階段氣候變遷調適行動方案以及行政院永續發展目標之推動，本計畫之持續推動有其必要性及關鍵影響力。

7.2 後續推動建議

7.2.1 政策依據

■ 溫管法「因應氣候變遷行動綱領」

科技部推動此計畫的重要政策依據為溫管法的「因應氣候變遷行動綱領」(106.2 核定)，依據該行動綱領，目前環保署正積極擬定調適行動方案(草案)，依據目前規劃草案，未來 5 年在跨部會推動氣候變遷風險評估與調適行動過程中，科技部在氣候變遷科學服務扮演重要角色(圖 7.1)，尤其是在氣候科學趨勢評估以及氣候資料提供上。另外，依據環保署規劃，下階段調適行動方案中，「風險評估報告」是中央各部會之重要產出，而各部會產出風險評估的科學數據、情境、風險評估工具...等，科技部亦扮演關鍵性提供與諮詢的角色(圖 7.2)。

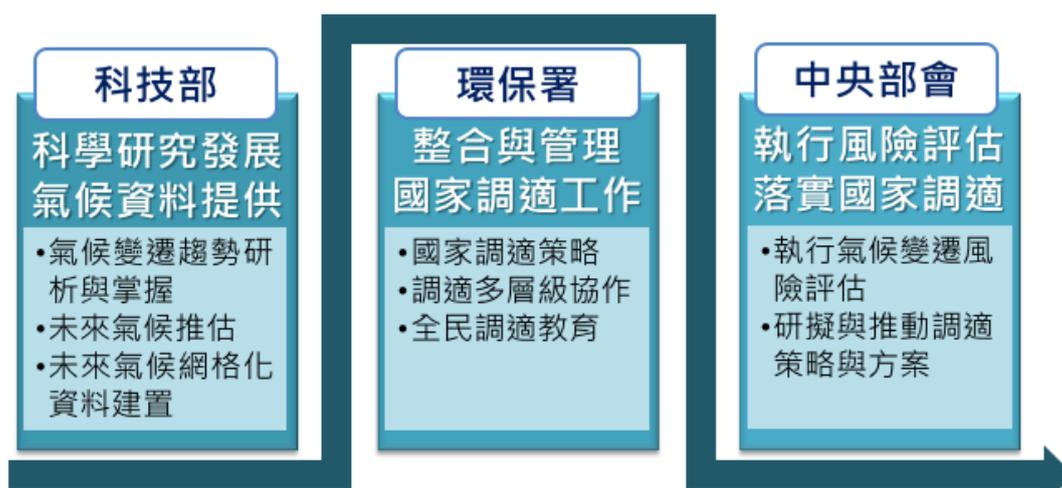


圖 7.1 下階段氣候變遷調適行動方案，部會及科技部分工(資料來源：環保署規劃簡報)

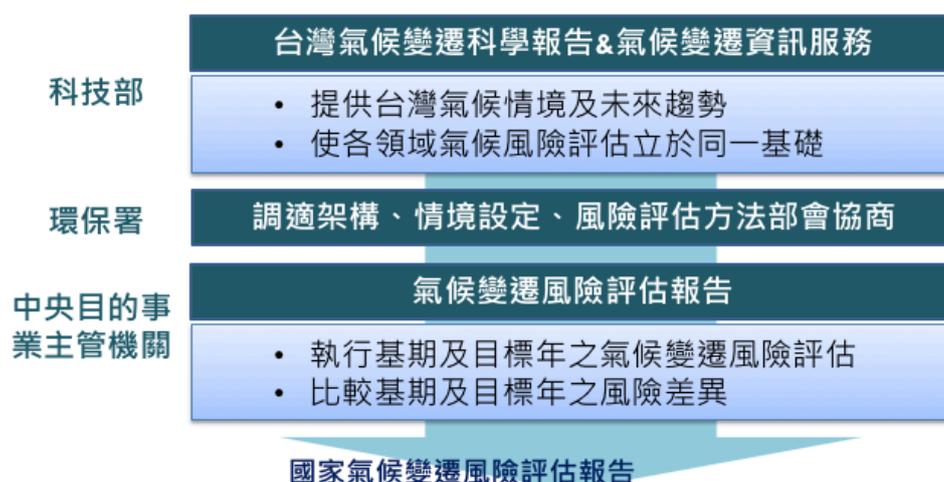


圖 7.2 環保署規劃推動之「國家氣候變遷風險評估」(草案)，科技部扮演之角色(資料來源：環保署規劃簡報)

■ 行政院永續會永續發展目標SDG

依據科技部暫時提供給行政院永續會的 SDG 指標 13.3.3：因應氣候變遷之調適科學能力建構與服務規劃（草案）之相關內容，本計畫中未來需配合之相關 2020 目標值與產出如下所示：

● 基礎值

- (1) 2010-2018 年 申請氣候變遷資料服務之研究計畫累計數 300 件。
- (2) 產製台灣 1960-2015 年溫度雨量觀測網格資料。
- (3) 產製台灣 2020-2100 年 IPCC AR4 與 AR5 5km 降尺度資料。
- (4) 建置風險評估與調適架構。
- (5) 建置氣候變遷資料服務平台網站，第一代網站 2011-2014，約 6 萬人次點閱率；第二代網站 2015-2018 年，超過 55 萬人次點閱率。

● 2020 目標值

- (1) 2010-2020 年 提供氣候變遷資料服務之累計研究計畫數達 400 件。
- (2) 更新台灣溫度雨量觀測網格資料至 2018 年，及重建 1980-2018 年台灣三度空間氣候模擬資料，提供氣候衝擊與評估應用。
- (3) 產製台灣 2020-2100 年 IPCC AR6 5km 降尺度資料。
- (4) 提供至少 8 個關鍵領域風險評估結果與 4 個調適案例。
- (5) 整合氣候資料與調適知識，建置第三代氣候變遷服務平台網站，預計每年超過 15 萬人次點閱率。

7.2.2 本計畫推動檢討

重要成果部分已於第二章及相關章節說明，在此不贅述，此節著重於在第一年度磨合/整合過程以及實質推動過程中，所遭遇的問題進行檢討

■ **部會與政策的需求不明確、不強烈，導致與部會應用之鏈結未如預期：**由於前一階段國發會「氣候變遷調適政策綱領/行動方案」已於 106 年底結案，環保署擬定的下階段行動方案尚在草擬中，因此相關部會/關鍵領域在後續推動方向上，目標與具體行動尚未明確，因此本計畫原先設定與部會加強溝通 (co-design) 加強應用連結部分，成果未如預期，仍以資料產製、技術研發為主，利害關係人參與與建議議題設定部分以訪談、資料收集、文獻回顧為主，後續示範案例之關鍵議題擬定仍需加強與部會之討論與合作。

■ **風險評估技術發展與應用瓶頸，不同領域是否適用統一架構：**無論是風險評估架構、調適步驟、應用工具發展或是跨領域整合應用，在不同領域與議題上有其發展及其面對課題之特殊性，從科研與學術角度架構之通用準則有其必要性與參考性，但確實在各部門/各

領域/各層級實質落實推動，建構一個可彈性操作的參考架構，是本計畫團隊的一大挑戰。本計畫透過方法論的建立以及八個關鍵課題測試，希望相關測試經驗與風險評估案例可以回饋到後續國家整體推動氣候變遷風險評估與調適的整合性工作推動上，但仍需要與政策實質推動者有更密切的互動。

■ **科學行政團隊面對多領域以及跨領域整合需加強整合能力：**國家災害防救科技中心雖有實質跨領域整合經驗，但專長仍在氣象與防災相關領域，此次計畫涵蓋層面擴及其他關鍵領域且複雜度較 TCCIP 計畫或 TaiCCAT 計畫為高，整合部分涵蓋氣候資料應用、關鍵領域風險評估、關鍵課題的調適示範案例推動以及整合服務平台的擴大服務要求，在博士後研究人員不足 (3 名) 且需大量仰賴 NCDR 專職人員推動的情況下，推動情形確實不如原先計劃所預期的順利，整合推動經驗顯示，未來一方面需加強跨領域整合人才之實務養成，二方面在架構推動上也有需進一步調整空間。

■ **計畫一年一核，無法進行長遠推動規劃與合作：**本計畫規劃期程為 5 年，為一強調服務應用的計畫，包含 AR6 資料產製與服務、工具開發與應用、關鍵課題之逐一檢視與風險評估以及擴大完整的氣候變遷服務，相關工作包含硬體環境建置、議題設定、利害關係人互動與合作、國外資料交換與實質合作規劃...等，都需要有人員以及經費相對穩定的支撐，若未來此計劃之推動無法再規劃架構下穩定推動，相關工作的軟硬體建置、具體規劃構思、研發能量奠基、以及對外合作互動...等，會受明顯影響，其成效也會大打折扣。

7.2.3 後續推動建議

本年度計畫為整合後的第一年計畫，經相關檢討評估後，未來推動方向整理如表 7.1 所示，需依賴團隊內部整合能量以及科技部工作推動與經費補助方向而定。

表 7.1 後四年推動規劃建議

評估 方案	簡述	實質運作規劃	優點	缺點
方案一 原規劃架構繼續推動	依據現有架構持續推動，需持續整合目前計畫過大且實質有效運作之問題	<ul style="list-style-type: none"> 強化鏈結部會與使用端需求 針對短期間較無具體產出部分，進行調整 強化計畫辦公室運作能量與整合能力 	<ul style="list-style-type: none"> 計畫辦公室能針對部會需求以及具體產出提出整合性應用成果 可以真正成為具跨領域問題解決能力的「國家隊」，並為後續成為實體單位做準備 	<ul style="list-style-type: none"> 團隊人員整合的不確定，因無法有效整合而導致計畫失敗 現有領導團隊尚未建立有效的整合與領導能力，後續成效有其風險
方案二	以 TCCIP 和	<ul style="list-style-type: none"> TCCIP 計畫專注原有的強項「資料服務」，並 	<ul style="list-style-type: none"> 議題與團隊成員變少，成果較易掌 	<ul style="list-style-type: none"> 團隊掌握跨領域整合與合作的機

評估 方案	簡述	實質運作規劃	優點	缺點
回歸整合前模式	TaiCCAT 模式運作，各自強化其特色，提供研發成果與服務	<ul style="list-style-type: none"> 持續「資料應用技術與工具研發」 強化「氣候科學轉譯與知識服務」 調適架構與跨領域風險評估推動，由原有 TaiCCAT 團隊轉型運作 	<p>握</p> <ul style="list-style-type: none"> 持續推動外部以及環保署設定的資料需求服務 	<p>會變少</p> <ul style="list-style-type: none"> 長期成立實體單位的可能性降低
方案三 創新營運模式	創造「新的營運模式」為退場轉型後續轉型做準備	<ul style="list-style-type: none"> 發展關鍵服務（開放資料、開放工具、知識轉譯、共享平台） 發展創新營運模式（開放、共享、服務、虛擬中心） 發展國際合作與輸出基礎（產品輸出） 未來有轉型彈性（民間創業，可以獲得所需資源） 	<ul style="list-style-type: none"> 轉化過去成果，帶動未來發展趨勢，不會被質疑「萬年計畫」 為「氣候變遷研究」創造新價值，為科研服務帶來新的典範 	<ul style="list-style-type: none"> 風險大、失敗機率高 團隊需要有擺脫舊思維，「創新」與「跨界結盟」的思維與能力 須強化「學者研發能力與政府資源的整合」 需考量使用者與合作對象的選擇
方案四 彈性運作方案	為因應科技部經費規劃以及團隊運作，保留整合與拆分的彈性	<ul style="list-style-type: none"> 依據產出的可預期性及其符合調適行動方案的應用優先性，進行任務功能調整 <p>子計畫一 資料產製組</p> <ul style="list-style-type: none"> 氣候模擬、降尺度、資料優化 <p>子計畫二 應用工具發展組</p> <ul style="list-style-type: none"> 圖集、衝擊評估工具、風險評估工具、模組化工具 <p>子計畫三 前瞻科研組</p> <ul style="list-style-type: none"> 氣候分析研究 上游氣候與下游應用關鍵整合議題研究 跨領域評估工具發展 <p>子計畫四 創新服務組</p> <ul style="list-style-type: none"> 政策支援 科學服務與推廣 	<ul style="list-style-type: none"> 因應科技部計畫提案方式與經費規模，可彈性調整運作方式 兼具滿足服務需求與基礎創新研究 	<ul style="list-style-type: none"> 不同子計畫的整合需有協調機制 計畫穩定與長遠規劃性較不確定

評估 方案	簡述	實質運作規劃	優點	缺點
		<ul style="list-style-type: none"> 創新服務模式發展 (未來可創造商業價值) 		

依據計畫辦公室評估建議如下：

- 若科技部評估此計畫的未來在國家整體架構下推動的必要性與迫切性，及其長遠成立國家隊與建構實體單位的考量，建議以方案一「原規劃架構繼續推動」為推動方向。
- 若科技部評估此計畫推動有其必要性，但需考量實質運作的經費彈性與保留議題發展空間，建議以方案四「彈性運作方案」為推動方向。
- 若後續實質經費刪減，又須保留必要之服務，建議以方案二「回歸整合前模式」為推動方向。
- 若現階段需積極思考此計畫的退場與轉型機制，建議以方案三「創新營運模式」為考量方向。

參考文獻

第二章

Daniela Jacob, 2015: Quantifying projected impacts under 2°C warming. 1-42 pp. www.impact2c.eu.

第三章

Byun, D., and K. L. Schere, 2006: Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system, *App. Mech. Rev.*, **59**(2), 51-77. doi:10.1115/1.2128636.

Hsiao L.-F., X.-Y. Huang, Y.-H. Kuo, D.-H. Chen, H. Wang, C.-C. Tsai, T.-C. Yeh, J.-S. Hong, C.-T. Fong and C.-S. Lee, 2015: Blending of Global and Regional Analyses with a Spatial Filter: Application to Typhoon Prediction over the Western North Pacific Ocean. *Wea. and Forecasting*, **30**, 754-770.

Kusunoki, S., R. Mizuta, and M. Matsueda, 2011: Future changes in the East Asian rain band projected by global atmospheric models with 20-km and 60-km grid size. *Clim. Dyn.*, **37**, 2481–2493, doi:10.1007/s00382-011-1000-x.

Li, J., Z. Wu, Z. Jiang, and J. He, 2010: Can Global Warming Strengthen the East Asian Summer Monsoon? *J. Clim.*, **23**, 6696–6705, doi:10.1175/2010JCLI3434.1

Lynch, P. and X.-Y. Huang, 1992: Initialization of the HIRLAM model using a Digital Filter. *Mon. Wea. Rev.* **120**, 1019-1034.

Nairn, J., R. Fawcett, and D. Ray, 2009: Defining and predicting excessive heat events: A national system. CAWCR Tech. Rep., 017, 83–86.

Perkins, S. E., and L. V. Alexander, 2013: On the Measurement of Heat Waves. *J. Climate*, **26**, 4500-4517.

Seo, K.-H., J. Ok, J.-H. Son, and D.-H. Cha, 2013: Assessing Future Changes in the East Asian Summer Monsoon Using CMIP5 Coupled Models. *J. Climate*, **26**, 7662–7675, doi:10.1175/JCLI-D-12-00694.1.

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang and J. G. Powers, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3, *NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR*, doi:10.5065/D68S4MVH

Song, F., T. Zhou, and Y. Qian, 2014: Responses of East Asian summer monsoon to natural and anthropogenic forcings in the 17 latest CMIP5 models. *Geophys. Res. Lett.*, **41**, 596–603,

doi:10.1002/2013GL058705.

Ueda, H., A. Iwai, K. Kuwako, and M. E. Hori, 2006: Impact of anthropogenic forcing on the Asian summer monsoon as simulated by eight GCMs. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, doi:10.1029/2005GL025336.

Wilhite, D. and Glantz, M. (1985). Understanding: The Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, **10(3)**, pp.111-120.

Yang, X.: Analysis blending using a spatial filter in grid-point model coupling. *HIRLAM Newsletter*, **48**, 49–55, 2005a.

第四章

行政院環境保護署 (2017)：國家因應氣候變遷行動綱領 (核定本)，8 頁。

桃園市政府都市發展局，2016：「桃園升格直轄市總體發展計畫」委託技術服務案期中報告。台灣世曦工程顧問股份有限公司。

桃園縣政府環境保護局，2013：「推動桃園縣地方氣候變遷調適計畫」。威陞環境科技有限公司。

雲林縣環境保育局，2013：「雲林縣氣候變遷調適計畫」。元律科技股份有限公司。

雲林縣城鄉發展處，2012：「擬定雲林縣區域計畫及研究規劃委託技術服務案」。

薩支平，2009：都市土地使用規劃。59, ISBN：9789571155166。

臺灣氣候變遷調適科技知識平台，2017。決策幫手－TaiCCAT 支援決策系統。
http://taiccat.ncu.edu.tw/intro/super_pages.php?ID=intro0

顧洋，2009：簡述英國氣候變遷調適策略。氣候變遷能源報導。2009 年 12 月。
<https://energymonthly.tier.org.tw/Report/200912/14.pdf>

共築方舟氣候變遷調適入口網，2018：國家發展委員會。<http://theme.ndc.gov.tw/tcap/www/resources/network-resources/foreign.html>

國立臺灣大學全球變遷研究中心，2018：<http://www.gcrc.ntu.edu.tw/downs/archive.php?class=102>

地理學報，2018：國立台灣大學地理環境資源學系。<http://www.geog.ntu.edu.tw/index.php/tw/journal/volumns/authorize>

賴炳樹、白仁德，2012：因應氣候變遷之洪災調適策略規劃都市。

賴炳樹、白仁德，2012：「因應氣候變遷之洪災調適策略規劃」。災害防救科技與管理學刊 第 1 卷第 1 期 (2012 年 3 月) 81-100 頁。

陳昭銘，2008：臺灣之自然季節。水利土木科技資訊季刊，42 期，第 1-9 頁。

鄧華真，2011：台灣地區登革熱病媒蚊分布調查與屈公病發生的可能性探討 (計畫編號：

DOH100-DC-2018)。行政院衛生福利部疾病管制署，臺北。

Committee on Climate Change. (2018). 'UK adaptation policies'. Available at: <https://www.theccc.org.uk/tackling-climate-change/preparing-for-climate-change/uk-adaptation-policy/>

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2009: Climate change implications for fisheries and aquaculture 2009, 212 pp.

Ho, C. H., H. S. Lur., M. H. Yao., F. C. Liao., Y. T. Lin., N. Yagi and H. J. Lu, 2017: The Impact on Food Security and Future Adaptation under Climate Change: A Case Study of Taiwan's Agriculture and Fisheries. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. DOI: 10.1007/s11027-017-9742-3.

Mizuta, R., and Coauthors, 2012: Climate simulations using MRI-AGCM with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 235-260

Pütz, M., Kruse, S., Butterling, M. (2011): Assessing the Climate Change Fitness of Spatial Planning: A Guidance for Planners. ETC Alpine Space Project CLISP. 21-24. Available at: http://www.alpine-space.org/2007-2013/uploads/tx_txrunningprojects/CLISP_Fitness_Assessment_Guidance_EN.pdf

Throp, K. R., K. C. Dejonge, A. L. Kaleita, W. D. Batchelor, and J. O. Paz, 2008: Methodology for the use of DSSAT models for precision agriculture decision support. *Comput. Electr. Agric.*, **64**: 276-285.

Trombley J, Chalupka S, Anderko L, 2017: Climate Change and Mental Health. *Am J Nurs.* **117(4)**: 44-52.

Wilson, E., Piper, J. (2010): Spatial Planning and Climate Change (Natural and Built Environment Series) 1st Edition. ISBN: 9780415495912.

第五章

張駿暉、陳偉柏、魏曉萍、劉哲欣、呂喬茵、葉森海、張志新：(2015)，颱風災害預警系統，國家災害防救科技中心技術報告。

張駿暉、陳偉柏、葉森海、劉哲欣、呂喬茵、魏曉萍、張志新：(2016)，颱風災害預警展示平台之建置，國家災害防救科技中心技術報告。

黃俊宏、周恆毅、張子瑩：(2017)，災害防救資料服務平台之建置，國家災害防救科技中心技術報告。

Wilkinson, M.D. et al., 2016, The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship, *Scientific Data* 3, 160018