

科技部補助專題研究計畫成果報告

臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：MOST 102-2621-M-492-001, MOST103-2621-M-865-001, MOST104-2621-M-865-001

執行期間：102 年 3 月 1 日至 105 年 7 月 31 日

執行機構及系所：國家災害防救科技中心、交通部中央氣象局、衛生福利部疾病管制署、國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所、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、國立中央大學大氣科學系、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、長榮大學職業安全與衛生學系、中央研究院環境變遷研究中心、農委會農業試驗所農業工程組、財團法人國家實驗研究院高速網路與計算中心

計畫主持人：林李耀研究員

共同主持人：葉天降副局長、盧孟明研究員、柳再明簡任技正、劉宇倫主治醫師、鄭克聲教授、翁叔平副教授、洪致文教授、鄒治華教授、黃婉如助理教授、陳正達教授、葉克家教授、林沛練教授、洪志誠教授、蘇世顥助理教授、吳佩芝副教授、劉紹臣院士、許晃雄研究員、林傳堯副研究員、姚銘輝研究員、林錫慶研究員、于宜強副研究員、陳韻如副研究員、張志新副研究員、吳宜昭助研究員、朱容練副研究員、劉俊志助研究員、鄭兆尊副研究員、陳永明副研究員

協同研究人員：陳亮全教授、程家平主任、陳雲蘭技正、陳孟詩課長、卓盈旻博士、沈里音科長、陳進益技士、鄭琇孺技正、吳亭燁助研究員、黃柏誠助研究員、李欣輯副研究員、郭士筠助研究員、陳偉柏助研究員、蘇元風助研究員、魏曉萍助研究員

博士後研究：趙益群博士、徐永衡博士、童裕翔博士

中華民國 105 年 10 月

摘要

科技部長期推動國內氣候變遷科學研究並強化政策落實應用，民國 98 年起科技部陸續推動三個氣候變遷優勢領域計畫，以建立氣候變遷衝擊評估與強化調適能力；「臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫」在整體架構中扮演中堅角色。TCCIP 第二期計畫（簡稱 TCCIP-II）以第一期計畫成果為基礎，透過三年計畫的推動，結合不同領域、不同單位的共同合作，進行氣候變遷應用研究以及氣候變遷科學服務。TCCIP-II 所產製的最新 AR5 資料，除了提供外界使用外，團隊內部也針對不確定性分析、模式挑選、AR4/AR5 比較以及災害、水文、農業、公衛等領域進行資料應用測試研究。

TCCIP-II 另一重要成果是透過新版的氣候變遷資訊平台建置 (<http://tccip.ncdr.nat.gov.tw>) 提供更友善、更完善的氣候變遷服務平台介面，網站服務人次超過 200,000 人次，透過此平台進行氣候變遷資料申請的計畫數超過 110 個，其中包含政府、學校以及研究單位之氣候變遷研究或業務推動計畫，以及涵蓋八大調適領域，是目前國內提供氣候變遷研究資料最重要的平台。

本計畫分為四個工作群組，研究成果繁多，本成果報告整理三年重要成果於第三章至第六章呈現各分組重要成果彙整，並於第二章呈現第二期計畫跨分組且有具體應用實例與績效的七大亮點成果：

1. 更完善的氣候變遷研究資料庫
2. 更多元的統計降尺度應用
3. 更前瞻的動力降尺度模擬與應用
4. 更完整的氣候變遷特性與不確定性分析研究
5. 更進步的模式挑選方法與應用案例
6. 更精進的應用需求之資料產製工具模組
7. 更貼近應用端的氣候變遷服務平台

關鍵詞：氣候現象評估量表、氣候推估、資料應用技術、知識轉譯、氣候資料服務

Abstract

As a longtime supporter, The Ministry of Science and Technology (MOST) promotes the climate change research and enhances the policy implementation in Taiwan. To formulate the climate change impact assessment and strengthen adaptation ability, MOST successively launched three climate change programs since 2009; among all, “Taiwan Climate Change Projection and Information Platform Project (TCCIP)” fits substantially in the framework. Based on the foundation from TCCIP phase 1 (TCCIP-1), TCCIP phase 2 (TCCIP-II) spent three years integrating various fields and different organizations, focusing on climate change application research and its scientific service. TCCIP-II produced the latest AR5 data available for external usage; teams within also concentrated on data’s uncertainties, models selection, AR4/AR5 comparison, as well as the data applicability assessment for disasters, hydrology, agriculture, and public health.

TCCIP-II’s another prominent achievement is the new version of climate change information platform (<http://tccip.ncdr.nat.gov.tw>). As a principal platform providing climate change research data in Taiwan, its more user friendly and more complete interface attracts over 200,000 visitors; more than 110 programs processed climate change data application throughout the platform, those include government departments, schools , academic organizations for the purpose of the relating research, business promotion and the National Climate Change Adaptation Policy Framework.

Divided to 4 teams, TCCIP-II generated abundant research results. This report contains the three-year significant achievements: chapter 3-6 introduces each team’s major work in order, and chapter 2 presents 7 prominent achievements with concrete cross-teams application examples and performances in TCCIP-II.

Keywords: Phenomenon Metrics, Projection, Data Application, Knowledge Transfer, Climate Data Service

目錄

第一章 前言	1
1.1 TCCIP 第二期計畫整體規劃	1
1.2 TCCIP 第二期計畫工作重點	4
第二章 TCCIP-II 亮點成果	7
2.1 更完善的氣候變遷研究資料庫	8
2.1.1 氣候變遷資料處理與更新	8
2.1.2 資料服務成效範例：服務政府相關部門的科研工作	9
2.2 更多元的統計降尺度應用	9
2.2.1 AR5 統計降尺度資料產製：讓國內研究資料能與國際接軌	9
2.2.2 AR4 與 AR5 統計降尺度比較：讓國內研究能夠順利承接	10
2.2.3 農業領域之應用：水稻生產量評估	12
2.2.4 公衛領域之應用：登革熱分佈研究	12
2.3 更前瞻的動力降尺度模擬與應用	13
2.3.1 更多模式的模擬結果：掌握更多的劇烈天氣風險資訊	13
2.3.2 颱風推估分析：颱風變少、極端強颱增強、颱風降雨增強	15
2.3.3 災害應用：極端災害模擬	16
2.4 更完整的不確定性分析研究	18
2.4.1 AR5 氣象資料不確定性分析：溫度雨量不同	18
2.4.2 流量未來推估不確定性分析：從水文應用挑選模式，可縮減一半模式成員	19
2.5 更進步的模式挑選方法與應用案例	20
2.5.1 氣候現象評估量表(Phenomenon Metrics) 與模式表現評估量表 (Performance Metrics) 建立：讓使用者更了解眾多模式的特性	20
2.5.2 水資源應用範例：透過模式挑選，降低不確定性範圍	21
2.6 更精進的應用需求之資料產製工具模組	23
2.6.1 水文、農業應用需求：日資料以及時資料繁衍、工具模組化	23
2.6.2 農業應用需求：輻射資料處理，跨界合作	23
2.7 更貼近應用端的氣候變遷服務平台	24
2.7.1 新版網站：嶄新介面與多元化服務內容	25
2.7.2 科學報告：氣候變遷最新科學知識的總和	25
2.7.3 服務績效：以做好科學服務與溝通為計畫目標	26
第三章 臺灣地區氣候變遷觀測與模式資料分析	29
3.1 臺灣氣候變遷基礎資料數位化與均一化	29
3.1.1 氣象資料數位化	29
3.1.2 資料均一化與網格化	30
3.1.3 海平面資料均一化校正工作	33

3.2 氣候變遷下的臺灣年代際變化與極端事件趨勢分析.....	35
3.2.1 降雨指數 (TRI) 在氣候變遷議題上之應用.....	35
3.2.2 溫度與雨量氣候變遷/變異分析.....	37
3.2.3 乾旱事件分析.....	38
3.2.4 極端降雨變化趨勢.....	39
3.3 東亞地區之變遷趨勢對臺灣的影響.....	41
3.3.1 臺灣與華南地區梅雨季降水之年代際變化.....	41
3.3.2 臺灣地區百年來乾溼變化的低頻特徵與大尺度環流場之遙相關.....	43
3.3.3 東亞地區氣候變遷 / 變異分析.....	44
3.3.4 西北太平洋颱風氣候變遷 / 變異研究.....	44
3.3.5 IPCC AR4 模式資料分析與評估 (Team1 與 Team2 整合研究).....	45
3.3.6 MRI 模式資料分析.....	46
3.4 氣候現象與模式表現評估表.....	47
第四章 氣候變遷降尺度推估技術發展與資料產製.....	59
4.1 統計降尺度資料產製與技術研發.....	59
4.1.1 月均溫及月降雨.....	60
4.1.2 不確定性分析.....	66
4.1.3 極端事件統計降尺度的應用研發.....	68
4.1.4 日降雨資料統計降尺度之技術研發與應用.....	71
4.2 動力降尺度技術研發 (TCCIP-I).....	73
4.2.1 大尺度環流場模式資料說明.....	73
4.2.2 研究方法.....	73
4.2.3 具體成果.....	75
4.2.4 小結.....	77
4.3 動力降尺度資料產製與技術研發 (TCCIP-II).....	78
4.3.1 動力降尺度_現在 (present).....	78
4.4 以動力降尺度資料探討臺灣地區季節降雨及極端事件的變遷.....	81
4.4.1 春季降雨變遷特徵之探討.....	81
4.4.2 夏季午後降雨變遷原因探討.....	83
4.4.3 颱風變遷.....	85
4.4.4 秋季颱風變遷原因探討.....	85
4.4.5 未來颱風變遷特徵之探討.....	89
4.4.6 全球暖化環境下歷史颱風事件模擬.....	91
4.4.7 臺灣地區極端溫度分析.....	92
第五章 氣候變遷資料應用技術發展與研究.....	99
5.1 氣候變遷降尺度資料應用技術研發.....	102
5.1.1 資料繁衍.....	102

5.1.2 序率暴雨模式.....	105
5.2 氣候變遷資料應用於農業領域之技術研發.....	106
5.2.1 水稻產量推估.....	106
5.2.2 颱風事件之臺灣水稻被害程度經驗模式驗證評估.....	108
5.3 氣候變遷資料應用於公衛領域之技術研發.....	109
5.3.1 環境及氣象因子與臺灣地區登革熱流行分布相關性探討.....	109
5.3.2 評估未來臺灣溫度變化情境對全死亡率及心臟血管死亡率之影響.....	111
5.3.3 氣候變遷對臺灣埃及斑蚊分布的影響.....	112
5.4 全流域防災影響評估整合方法建立.....	112
5.4.1 崩塌.....	112
5.4.2 土石流.....	114
5.4.3 輸砂.....	114
5.4.4 淹水.....	114
5.5 水資源影響與評估.....	116
5.5.1 假設最劣假設情境.....	116
5.5.2 氣候變遷降雨特性探討.....	117
5.5.3 氣候變遷對流量影響.....	118
5.5.4 水資源衝擊評估模式挑選.....	119
第六章 氣候資料服務與推廣應用.....	121
6.1 氣候變遷資料服務.....	124
6.1.1 資料申請平台.....	124
6.1.2 TCCIP 氣候資料使用分析.....	127
6.2 氣候變遷知識轉譯_TCCIP 第二版資訊平台.....	128
6.3 TCCIP 計畫成果推廣.....	133
6.3.1 資料應用推廣活動.....	133
6.3.2 成果發表會.....	134
6.3.3 第二版科學報告撰寫.....	135
6.3.4 其他推廣活動.....	138
6.4 國際學術交流.....	140
6.4.1 日本創生 (SOUSEI) 計畫.....	140
6.4.2 國際研討會.....	140
6.4.3 短期移地研究，擴展國際合作對象.....	142
第七章 結語與建議.....	145
附錄 期末審查綜合意見回覆表.....	

表目錄

表 2.1	前後兩期 TCCIP 計畫中，統計降尺度的主要產品。	10
表 2.2	農業、公衛領域之氣候量表與模式推估表現 (溫度)	21
表 2.3	申請計畫單位列表	27
表 3.1	每月潮位統計(1994~2013 年)	35
表 3.2	以 8 個測站進行 REOF 分析後，前 3 個主模分別在各個測站的荷重 (loadings)。個別主模內，明顯突出的測站 (95%信賴水平下) 其荷重則以粗體加陰影強調之。括號內的數字代表個別主模所佔總體變異量的分量。	43
表 3.3	重點領域關鍵議題與氣象之可能連結，並嘗試回答相關問題。	48
表 3.4	臺北測站冬季逐月之寒潮頻率及低溫日數自 1950-2011 年總數量及其佔冬季的比例。	56
表 4.1	全臺四季與年平均在 a1b 情境下各百分位世紀末溫度變化量	61
表 4.2	21 世紀末臺灣地區的季節氣候平均變化。	644
表 4.3	60km MRI 四組不同初始場模擬、20km MRI 和觀測 (1992~2006) 的侵臺颱風逐月分布、侵臺颱風總數	755
表 4.4	臺灣地區、四大分區與五大流域之世紀末降雨改變率 (單位：%)。	76
表 4.5	四大分區與五大流域之各路徑分類的世紀末降雨改變率 (單位：%)。	76
表 4.6	各模式和觀測於西北太平洋和影響臺灣地區之現在和世紀末時期的颱風總數及各強度颱風所佔比率 (單位：%)	90
表 4.7	模式與觀測之 TWCN 颱風比較表。計算範圍為 110°E -160°E，5°N -35°N。	911
表 4.8	NCEP-WRF 1979-2003 時期與 ECHAM5-WRF、MRI-WRF 在 1979-2003、2015-2039、2075-2099 三個時期極端低溫日閾值 (單位：°C)。	93
表 4.9	WRF-CFSR 分析場與 WRF-ECHAM5 及 WRF-MRI 推估結果在高溫日的平均溫度、平均標準差、25 年的熱浪事件數以及每個事件數持續的時間。	96
表 5.1	本計畫產製之資料清單與使用對象	103
表 5.2	各類型降雨事件之參數門檻值	105
表 5.3	全流域災害使用模擬氣候資料及工具彙整表	113
表 5.4	各流域土石流最極端事件模擬成果	114
表 5.5	GCM 模式的豐枯水期降雨變化區間之 GCM 模式數 (近未來)	12020
表 6.1	TCCIP 成果發表會議程草案	135
表 6.2	第二版科學報告第一冊的章節架構與主筆作者	136
表 6.3	科學報告第一冊各章節所描述的氣候現象	1377
表 6.3	TCCIP 因應 IPCC WGI AR5 報告發布之系列活動	139

圖目錄

圖 1.1	TCCIP 計畫之整體目標	2
圖 1.2	TCCIP 計畫與各部會氣候變遷相關計畫之關係圖	2
圖 1.3	TCCIP 第二期計畫之參與單位與對內對外關係架構圖	3
圖 1.4	四個工作小組分工架構圖.....	3
圖 1.5	TCCIP 計畫 Top-Down 與 Bottom-Up 之雙向溝通示意	4
圖 1.6	TCCIP 氣候資料應用技術研發分工架構	5
圖 2.1	21 世紀末臺灣地區不同暖化情境下溫度的改變，單位°C。	11
圖 2.2	21 世紀末臺灣地區不同暖化情境下降水的改變率，單位%。	11
圖 2.3	推估未來百年不同時期，在 RCP4.5 暖化情境下，可能導致之全臺一、二期稻作 產量改變率.....	12
圖 2.4	IPCC AR5 RCP8.5 情境下全台登革熱危險區域分布。	13
圖 2.5	21 世紀末時期動力降尺度的氣候推估結果在梅雨及夏季降雨大豪雨日之頻率變 化率。	14
圖 2.6	同圖 2.5，但為全年日最高溫超過攝氏 35°C 較目前增加的天數。	15
圖 2.7	圖左：MRI 模式在 RCP8.5 情境下模擬颱風影響台灣次數的頻率統計。 圖右：不同時期強度機率分佈圖.....	15
圖 2.8	年平均颱風降雨和颱風降雨強度改變率。	16
圖 2.9	濁水溪、大甲溪、新店溪上游的世紀末和基期的崩塌模擬比較。	17
圖 2.10	世紀末和基期的前 10% 極端颱風降雨在濁水溪全流域的災害衝擊模擬比較。	17
圖 2.11	臺灣地區全年平均在 90% 信賴區間下，20 年滑動平均之世紀末增溫圖。	18
圖 2.12	臺灣地區夏季在 90% 信賴區間下，20 年滑動平均之世紀末雨量變化率圖。	19
圖 2.13	不同情境下所有模式與 20 個模式於豐水期流量變化之盒鬚圖分析 (以荖濃溪為例).....	20
圖 2.14	應用 T-Skill score 評估不同的觀測資料、3 個分組系集平均 (ALLENS、TOP5ENS、 LAST5ENS) 與 18 個 CMIP5 CGCM，在東亞區域夏季季風降雨肇始 (OS: onset)、 消退 (RT: retreat) 與持續 (DR: Duration) 時間點模擬的技術得分。	22
圖 2.15	模式的降水不確定性評估。	22
圖 2.16	不同來源的年輻射資料網格化資料。	24
圖 2.17	TCCIP 網站英文版界面	25
圖 2.18	資料申請平台申請件數統計	26
圖 2.19	申請單位與應用領域統計圖.....	27
圖 3.1	以一月份為例，中央氣象局雨量測站的逐年站數與測站分佈圖。	30
圖 3.2	1960-2012 年臺北 1 月氣溫時間序列圖。	32

圖 3.3	TCCIP 新版 1 公里解析度網格資料。	33
圖 3.4	各測站均一化後的潮位逐時觀測資料	34
圖 3.5	(a)基隆海平面趨勢變化圖 (b) 臺中港海平面趨勢變化圖	34
圖 3.6	(a)臺灣沿海縣市的淹水復現期 (b)臺灣沿海各地新暴潮警戒值高度	35
圖 3.7	臺灣地區雨量分布圖 (僅以測站雨量做簡單內差) 及分區 TRI 界線	36
圖 3.8	分區 TRI 年循環圖	36
圖 3.9	1911~2011 年每 11 年滑動累加的臺灣極端乾期指數 (DSidx) 依嚴重程度區分為五種不同極端乾期類別的分布。	39
圖 3.10	氣象局 23 個局屬測站分布圖與 6 個各區域代表測站的 RX1day 每年變化時間序列。	40
圖 3.11	APHRODITE 降水資料 1979-2007 年之 EOF1 空間分布及其主分量,分析範圍由 10°N-40°N, 95°E-145°E。(a) 為 5 月份之結果, (b) 為 6 月份之結果。	41
圖 3.12	臺灣地區 1979-1993 年與 1994-2008 年兩時期 5、6 月降水分布差異。	42
圖 3.13	MRI 模式 20 公里解析度降水資料之 EOF1 空間分布及其主分量, 時間由 1979~2003 年。(a) 為 5 月份之結果, (b) 為 6 月份之結果。	46
圖 3.14	MRI 20 公里解析度資料 850 百帕水氣場及降水場。	47
圖 3.15	CMIP5 模式平均的南來水氣場、水氣輻散場變化趨勢。	49
圖 3.16	CMIP5 中 11 個模式 Performance Index 及系集平均 (avg) 的表現排行。	49
圖 3.17	模式世紀末 (2076-2099) 與基期 (1979-2003) 的環流場差異。	50
圖 3.18	模式分類	51
圖 3.19	氣候平均 5-6 月環流變化。	52
圖 3.20	梅雨季 (MJ) CMIP5 現今氣候鋒面各模式之 performance index。	54
圖 3.21	(a)為 CMIP5 鋒面頻率趨勢之模式數量統計。(b)為較佳模式未來推估與歷史模擬之降水差異。	54
圖 3.22	CMIP5 模式系集平均之全臺平均 (a) 日最低溫, (b) 寒潮頻率。(c) 低溫日、(d) 48 小時溫度降幅及 (e) 寒潮事件持續天數之時間序列。	56
圖 3.23	未來 2006-2099 大尺度環流場變化趨勢。	57
圖 3.24	觀測資料 (NCEP 20C) 的 200hPa 重力位高度場於 1960-2005 年間 7-9 月的氣候狀態(上圖), 以及同時期在 CTX90pct 定義所發生的熱浪事件做重力位高度合成分析, 並與氣候場比較所得到的差異 (中圖), 下圖如同中圖, 但為 EHF 熱浪定義。	58
圖 4.1	mri_cgcm2_3_2a 模式夏冬兩季世紀末溫度變化量之三種降尺度方式比較圖。	61
圖 4.2	臺灣地區 5 公里降尺度之世紀末降雨變化率中位數空間分布圖。	62

圖 4.3	臺灣地區 5 公里降尺度之世紀末溫度變化量中位數空間分布圖。	63
圖 4.4	五公里降尺度後全臺平均之 21 世紀末降雨改變率所有模式各百分位分布圖。	63
圖 4.5	五公里降尺度後全臺平均之 21 世紀末溫度改變量所有模式各百分位分布圖。	64
圖 4.6	臺灣地區在 RCP8.5 情境下，21 世紀末的季節降雨改變率大於 30%、15%、0% 以及小於 0%、-15%、-30% 之機率分布圖。	65
圖 4.7	臺灣地區在四種情境下，21 世紀末各地方年均溫增加超過 1°C、2°C、3°C 與 4°C 之機率分布圖。	66
圖 4.8	臺灣地區夏季、冬季和全年平均溫度在世紀末 (2081~2100) 時段三種不確定性之變異量所佔的百分比。	67
圖 4.9	臺灣地區夏季、冬季和全年平均降雨在世紀末 (2081~2100) 時段三種不確定性之變異量所佔的百分比。	67
圖 4.10	臺灣地區全年平均在 90% 信賴區間下，20 年滑動平均之 21 世紀末增溫圖。	68
圖 4.11	同圖 4.10，只是代表的是夏季與冬季雨量變化率圖。	68
圖 4.12	在 A1B、A2 及 B1 三情境下 CMIP3 各氣候模式之系集平均，臺灣地區各極端氣候指標於世紀末氣候變化百分比 (%) 分布圖。	70
圖 4.13	臺灣地區各極端氣候指標在四情境下 CMIP5 各氣候模式之中位數於世紀末氣候變化百分比 (%) 分布圖。	70
圖 4.14	臺灣地區各溫度極端氣候指標在四情境下 CMIP5 各氣候模式之中位數於世紀末氣候變化量分布圖。	71
圖 4.15	日降尺度之偏差修正示意圖。	72
圖 4.16	臺灣地區各極端氣候指標在四情境下 CMIP5 各氣候模式之中位數於世紀末氣候變化百分比 (%) 分布圖。	72
圖 4.17	(a) 為 MRI AGCM 動力降尺度執行的範圍，(b) 則為 ECHAM5 動力降尺度執行的範圍。	74
圖 4.18	颱風重置實驗中重置點分布的示意圖。圖中空心圓為可能重置的位置，其間距 60 公里。	75
圖 4.19	(a) 觀測 (1992-2006) 之颱風路徑密度分布圖、(b) 觀測平均颱風降雨分布圖、(c) 推估世紀末之降雨分布、(d) 為利用觀測資料推估之世紀末颱風降雨改變率、(e) 直接以 60km MRI 模式資料推估之世紀末颱風降雨改變率。	76
圖 4.20	觀測、MRI、HiRAM 及 CFSR 之東亞地區降雨空間分布圖。單位: mm/day。	78
圖 4.21	觀測值 (OBS)、MRI、HiRAM 及 CFSR 之春、夏、秋、冬季降雨空間分布圖，上排 AGCM 為降尺度前的結果，下排 RCM 為降尺度後的結果。	79
圖 4.22	觀測值及三組 AGCM 降尺度前後全臺灣平均之逐月雨量變化圖。	80
圖 4.23	1992~1997 年之每年颱風總降雨量分布圖。	80

圖 4.24	模式世紀末 (2076-2099) 與基期 (1979-2003) 的環流場差異。	82
圖 4.25	紅色圈為模式 Performance Index 的值。	82
圖 4.26	臺灣夏季 (JJA) 時雨量平均。	84
圖 4.27	上圖組為 TS_A 頻率 (單位: day/JJA) 分布, 下圖組為 TS_A 降雨強度 (單位: mm/ TS_A day)。 (a)、(b)、(d) 分別為 HiRAM、WRF-HiRAM, 而 (c)、(e) 為 HiRAM、WRF-HiRAM 世紀末 (2075~2099) 減去現在 (1979~2003) 的差值。	84
圖 4.28	六到十月 500 百帕重力位高度場與颱風路徑合成圖, 左圖為多颱風年 (1990、2001、2004)、右圖為少颱風年 (1983、1988、1993、2002)。	85
圖 4.29	1979-2008 年秋季颱風軌跡與影響區域劃分圖。	86
圖 4.30	1979-2010 年秋季臺北測站發生豪雨之侵臺颱風 850 hPa 合成風場。	86
圖 4.31	1960-2010 年熱帶氣旋生成個數與影響三區氣旋個數圖。	87
圖 4.32	1901-2010 年秋季臺北測站豪雨事件之 Morlet wavelet 時-頻-能量譜。	87
圖 4.33	1979-1993 年秋季 (a) 颱風軌跡圖。(b) 850 hPa 季節平均風場與颱風生成頻率。(c) 850 hPa 東西向風場的 10-90 天季內震盪變異量。(d)~(f) 同 (a)~(c), 但為 1994-2008 年。	88
圖 4.34	西北太平洋颱風路徑密度分布圖, 由左上、右上至右下分別為觀測、MRI、HiRAM 和 CAM5	89
圖 4.35	JTWC 1979-2003 年 6-11 月(a) TWCN 颱風軌跡, (c)為 $2.5 \times 2.5^\circ$ 通過頻率。	91
圖 4.36	影響西北太平洋颱風軌跡機制之示意圖。(a) 1979-2003 年, (b) 2075-2099 年。紅色陰影表示海溫增暖。實線為大尺度環流場, "A"與"C"分別為副高與季風槽。虛線為 600 hPa 相對溼度 75% 等值線。白色箭頭為 500hPa 垂直運動。	91
圖 4.37	(a) 是 2009 莫拉克颱風降雨模擬結果, (b)、(c) 是 2009 莫拉克在 A1B 及 RCP8.5 的 21 世紀末暖化情境下的總降雨改變率。	92
圖 4.38	為各時期冬季低溫日大尺度系統與冬季氣候平均的差異分布狀況。	93
圖 4.39	三組降尺度結果在 1979~2003 時期所推估極端高溫溫度閾值的分布。	94
圖 4.40	從左到右分別是 21 世紀末極端高溫閾值的改變量。上列為 WRF-ECHAM5、下列為 WRF-MRI 資料。	95
圖 4.41	WRF-ECHAM5 與 WRF-MRI 臺灣地區日最高溫度區域平均的頻率分布。	95
表 4.9	WRF-CFSR 分析場與 WRF-ECHAM5 及 WRF-MRI 推估結果在高溫日的平均溫度、平均標準差、25 年的熱浪事件數以及每個事件數持續的時間。	96
圖 4.42	現在時期臺灣地區發生熱浪時平均環流分布, 分別為 (a) NCEP-CFSRP 分析場、(b) ECHAM5 與 (c) MRI 推估結果。	97
圖 4.43	21 世紀末時期臺灣發生熱浪時平均大尺度環流分布, 分別為 (a) ECHAM5 與 (b) MRI 推估的結果。其中色階為海平面氣壓場, 風為離地 10 米風。	97

圖 5.1	Team3 與其他工作小組之關聯.....	102
圖 5.2	AR5-RCP 8.5-ensemble 資料驗證成果圖.....	103
圖 5.3	MRI-WRF 動力降尺度資料偏差校正前後展示圖 (單位: MJ/m ²).....	104
圖 5.4	AR5 RCP8.5 之統計降尺度日輻射量資料.....	104
圖 5.5	測站 466900 之水文參數平均值的驗證成果。.....	106
圖 5.6	基期至未來水稻第一期作產量平均改變率。.....	107
圖 5.7	相較於 AR4 統計降尺度基期; 近未來及世紀末水稻產量改變率之面化圖.....	107
圖 5.8	相較於基期, 在所有未來情境之世紀初、世紀中及世紀末之第一期作水稻產量 改變率之空間分布圖。.....	108
圖 5.9	WRF-MRI 動力降尺度颱風事件模擬農糧署各分署轄區縣市水稻災害基期與世 紀末(RCP8.5) 平均被害程度 (%) 及改變率 (%): (世紀末平均被害程度 / 基期 平均被害程度)-1 x 100%。.....	109
圖 5.10	WRF-MRI 颱風事件模擬, 農糧署各分署之轄區縣市水稻災害基期與世紀末 (RCP 8.5), ≥20%被害程度平均發生頻度、及改變率。.....	109
圖 5.11	IPCC AR4 在 A1B 情境下全台登革熱危險區域分布。.....	110
圖 5.12	全臺於各時期登革熱危險地區分布圖。.....	111
圖 5.13	臺灣地區於 AR5 RCP8.5 情境的增溫分布圖。.....	111
圖 5.14	以 I_{avg} 為指標考慮不同氣候變遷情境下的未來埃及斑蚊分布圖。.....	112
圖 5.15	五大流域崩塌模擬結果.....	113
圖 5.16	輸砂模擬結果.....	115
圖 5.18	世紀末各集水區最極端事件淹水模擬結果.....	116
圖 5.19	AR4 與 AR5 最劣情境之降雨改變率比較.....	117
圖 5.20	最劣情境假設下近未來與世紀末於 RCP4.5 與 RCP8.5 情境下月降雨改變率.....	117
圖 5.21	近未來與世紀末豐枯水期降雨改變率成果圖.....	118
圖 5.22	AR4 與 AR5 豐枯水期流量變化比較以隘寮溪為例.....	118
圖 5.23	T-Skill Score 統計定量整合 CMIP5 個別模式空間分布之矩陣分析圖.....	119
圖 5.24	挑選較佳 13 個 GCM 模式之各降雨月改變率.....	120
圖 6.1	TCCIP 氣候變遷科學知識溝通與服務策略.....	123
圖 6.2	TCCIP 資料申請平台瀏覽與申請流程.....	124
圖 6.3	資料申請案審查流程.....	126
圖 6.4	資料申請平台申請件數統計.....	126
圖 6.5	第二期資訊平台架構.....	129

圖 6.6	TCCIP 資訊平台資料展示	130
圖 6.7	TCCIP 資訊平台知識彙整	131
圖 6.8	TCCIP 資訊平台資料提供	132
圖 6.9	TCCIP 資訊平台英文版首頁	132
圖 6.10	科學報告第二版編輯流程示意。	136
圖 6.11	TCCIP 標誌介紹	139

第一章 前言

1.1 TCCIP 第二期計畫整體規劃

政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第一工作組 (Work Group I) 於 2013 年公布第五次評估報告 (AR5): “*Climate Change 2013: The Physical Science Basis*”。該報告指出 1880~2012 年間全球平均溫度上升 0.85°C, 並出現加速增溫的現象, 海平面高度升高, 熱浪、乾旱及豪大雨等極端氣候發生的強度與頻率增加。從 1950 年開始, 許多被觀測到的氣候變化是在過去數十年到數千年間都未曾發生過的。

在全球暖化的衝擊下, 聯合國亦多次呼籲各國政府一方面需持續減少溫室氣體排放以減緩全球暖化, 另一方面須積極面對氣候變遷產生的衝擊並採取積極的調適作為。臺灣屬於高災害風險地區, 氣候變遷的衝擊影響受到政府與民眾強烈關注, 氣候變遷與國土安全問題已成為臺灣不容忽視的課題。我國政府依據聯合國發展規劃署與全球環境基金 (United Nations Development Programme-Global Environment Facility, UNDP-GEF) 所提出的氣候變遷調適策略綱領 (Adaptation Policy Frameworks for Climate Change, APF) 擬定「國家氣候變遷調適政策綱領」, 規劃國家調適策略的整體架構; 並分別從災害、水資源、海岸、農業生產與生物多樣性、健康、基礎建設、能源供給與產業經濟、土地使用規劃與管理等八個不同領域針對氣候變遷衝擊提出具體因應行動方案。該政策綱領已於 2012 年 6 月由行政院正式核定通過。

科技部 (原國科會) 長期推動本地氣候變遷推估與衝擊研究, 已累積相當程度的氣候變遷研究能量與成效。有鑑於國家推動氣候變遷調適策略需要更多的科學數據與研究成果作為政策擬定依據, 從 2009 年開始, 科技部陸續推動三個氣候變遷優勢領域計畫。其中, 本計畫「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」(Taiwan Climate Change Projection and Information Platform, TCCIP) 在整體架構中扮演中堅角色, 以國內外最新氣候變遷推估資料的分析與降尺度資料產製為主要工作任務; 一方面建構臺灣的長期觀測資料與未來推估資料提供給使用者, 另一方面建構氣候變遷資訊應用服務的能力與服務平台。TCCIP 整體工作目標如圖 1.1。

TCCIP 在國內相關部會推動氣候變遷研究的角色定位如圖 1.2 所示。TCCIP 主要扮演氣候變遷資料使用者 (相關領域專家) 與資料產製者 (氣象科學家) 的溝通橋樑; 將氣候變遷之分析結果、推估資料與資訊有效的傳遞給使用者。無論是銜接科技部內部的研究計畫 (如 CCLiCS 與 TaiCCAT 計畫)、或是提供研究成果與資料給相關部會 (如水利署、農委會)、抑或是政策綱領相關領域的衝擊研究與調適策略研擬等各方面, 皆扮演重要的關鍵角色。

TCCIP 第二期計畫仍由國家災害防救科技中心 (National Science and Technology Center for Disaster Reduction, NCDR) 進行統籌規劃, 參與團隊除了原先的中央研究院、中央氣象局、臺灣大學、臺灣師範大學...等科研單位, 陸續加入經濟部水利署、農委會農業試驗所、衛福部疾病管制署等政府部門的合作機制 (圖 1.3)。TCCIP 第一期計畫以水部門及災害領域之資料應用為主, 第二期計畫除了強化前期水部門及災害領域的資料應用外, 增加農業、公衛以及海岸領域之資料應用與技術發展, 其他領域則將提供資料服務。

第二期計畫使用之全球氣候模式有別於第一期的 CMIP3 (IPCC AR4) 資料，改以各國氣候中心最新產製的 CMIP5 (IPCC AR5) 為主，並增加 GFDL HiRAM2 (由 CCLiCS 計畫提供) 以及 NCAR CAM5 高解析度模式資料。第二期計畫增加第四工作小組 (Team4)，構築成完整的氣候變遷科學研究、資料產製、後端應用以及服務溝通四大面向 (圖 1.4)。

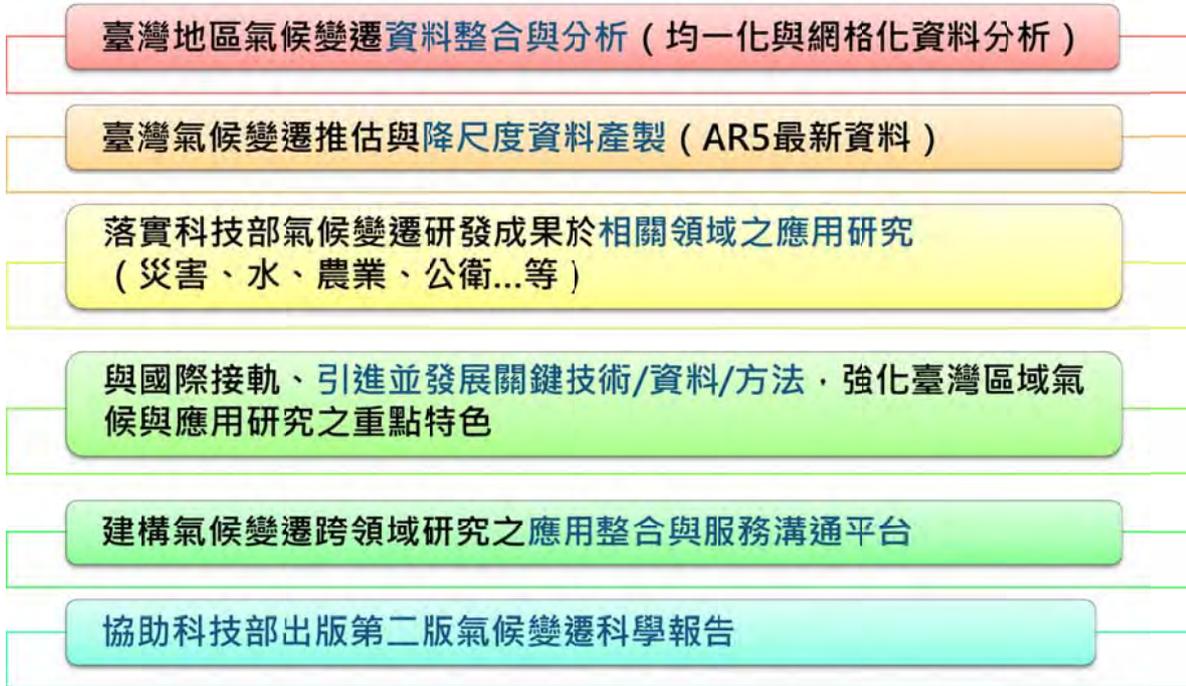


圖 1.1 TCCIP 計畫之整體目標



圖 1.2 TCCIP 計畫與各部會氣候變遷相關計畫之關係圖

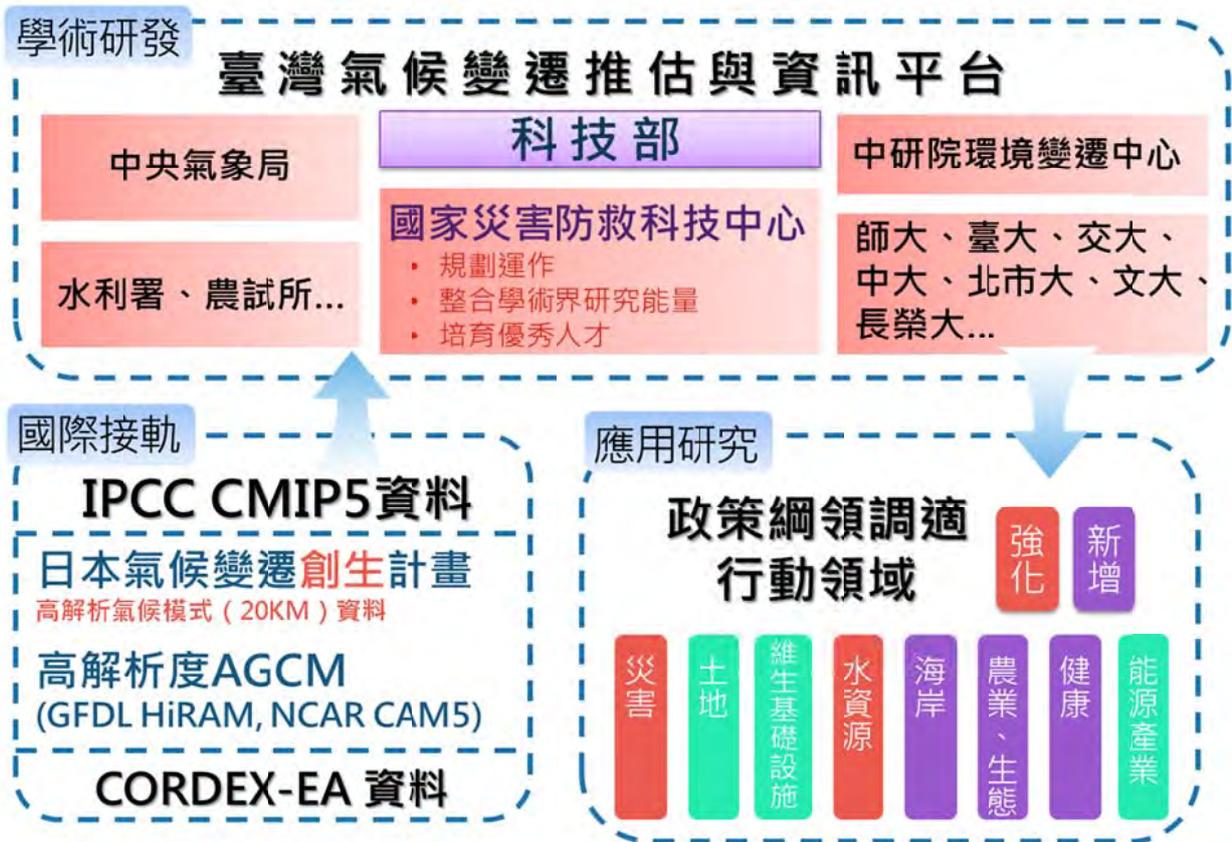


圖 1.3 TCCIP 第二期計畫之參與單位與對內對外關係架構圖

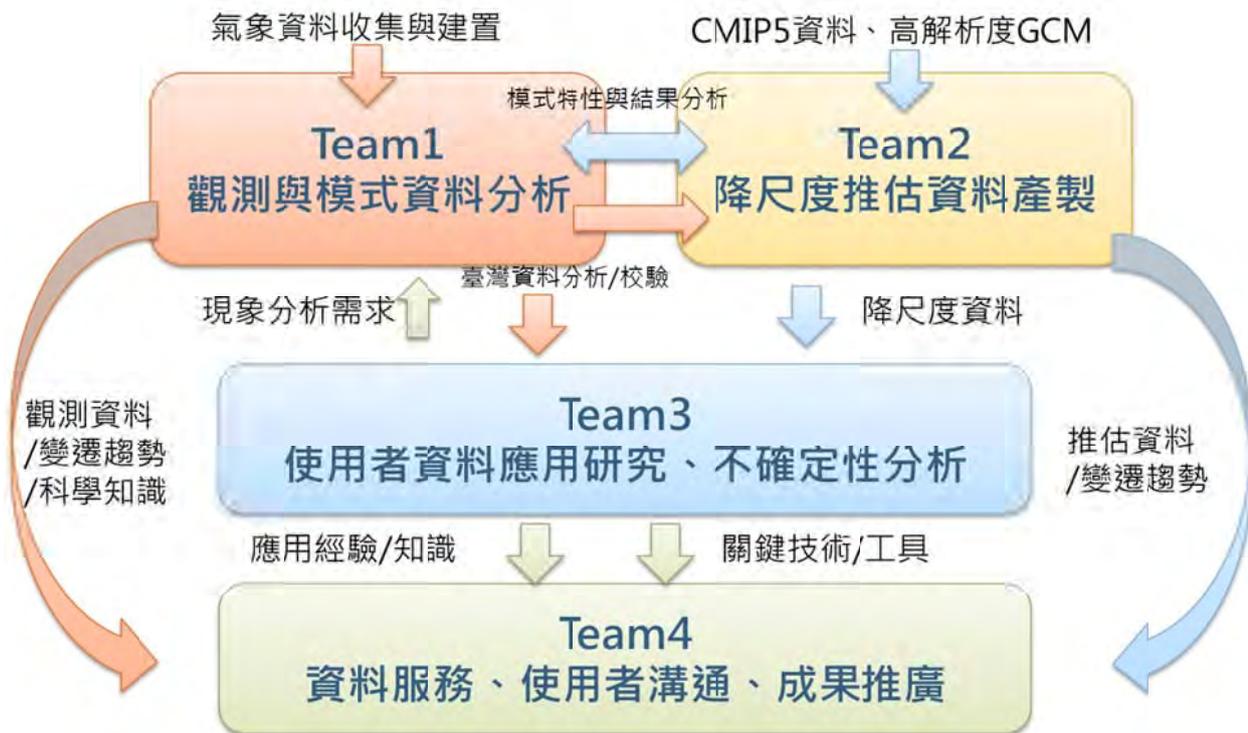


圖 1.4 四個工作小組分工架構圖

1.2 TCCIP 第二期計畫工作重點

TCCIP-II 計畫團隊在資料分析、產製、應用技術研發與使用者溝通的完整氣候資料服務架構下，持續精進氣候資料推估與後續應用技術發展的能力，強化資料產製與應用端的雙向整合溝通 (圖 1.5)。

IPCC策略: 由上而下 (Top-Down) 的情境模擬假設

APF/UNDP策略: 由下而上 (Bottom-Up) 的利害關係者的觀點出發

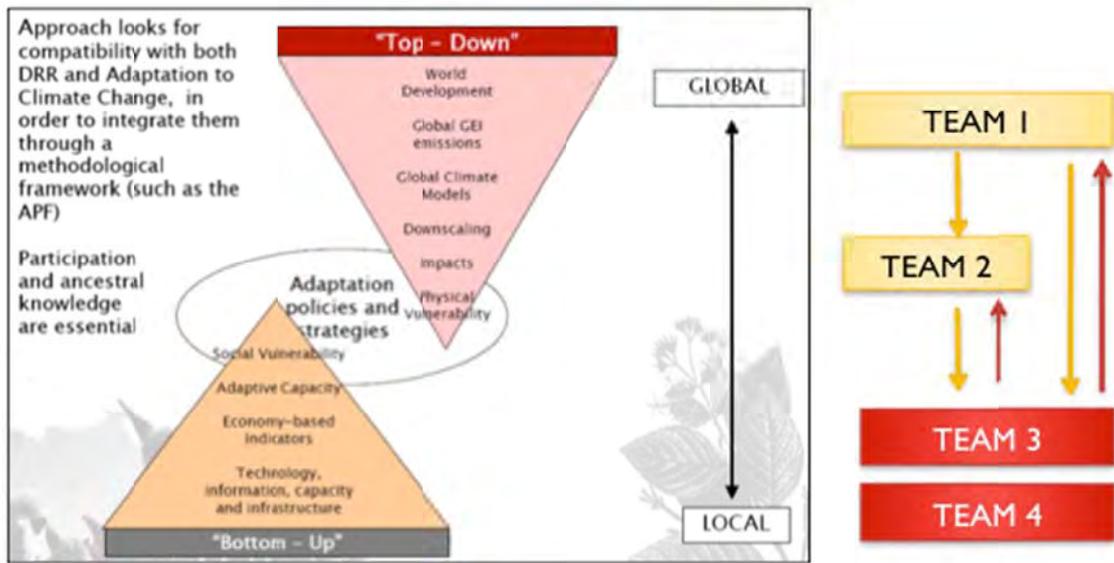


圖 1.5 TCCIP 計畫 Top-Down 與 Bottom-Up 之雙向溝通示意

TCCIP 氣候資料應用技術研發分工架構示意如圖 1.6；第一類為**深化研究**：從資料產製、應用工具與技術發展到不確定性評估，建立完整一條鞭式的研發流程，資料使用者可參考相關流程研發合適其專業領域的氣候資料使用方式 (圖 1.6 上)。第二類為**半客製化技術發展**：配合資料使用者的需求，研發資料應用技術，再由個別領域專家進行後續深化研究 (圖 1.6 中)。第三類則是一**般性的資料服務**：限於計畫的能量 (包括能力與人力)，對於大多數的資料服務需求，TCCIP 只能提供氣候資料及諮詢服務 (圖 1.6 左)。

TCCIP 各工作小組於第二期計畫工作重點分別為：

Team1: 臺灣地區氣候變遷觀測與模式資料分析

- ❖ 進行臺灣氣候變遷基礎資料數位化與均一化，強化臺灣地區氣候變遷資料之建置。
- ❖ 進行氣候變遷下的臺灣年代際變化與極端事件趨勢分析，以及東亞地區之變遷趨勢對臺灣的影響，強化臺灣地區氣候變遷現象再分析。



圖 1.6 TCCIP 氣候資料應用技術研發分工架構

- ❖ 透過建立氣候現象評估量表 (Phenomenon Metric) 及模式表現評估量表 (Performance Metric)，嘗試進行臺灣氣候變遷推估系統建置。

Team2: 氣候變遷降尺度推估技術發展與資料產製

- ❖ 應用統計分析技術降尺度產製 CMIP5 月均溫及月降雨推估資料，進行 CMIP3 與 CMIP5 推估資料的差異分析、臺灣地區高解析度降水與溫度極端指標建立及極端指標應用，以及未來推估的不確定性分析等。
- ❖ 採用 HiRAM、MRI 兩個不同的高解析度大氣環流模式 (Atmospheric General Circulation Model, AGCM) 的氣候推估資料進行動力降尺度，產製臺灣地區高時空解析度的未來推估資料；採用擬暖化 (PGW, Pseudo Global Warming) 的模擬方法研究暖化對歷史極端事件個案的影響。
- ❖ 以動力降尺度資料探討臺灣地區季節降雨及極端事件的變遷。

Team3: 氣候變遷資料應用技術發展與研究

- ❖ 進行序率暴雨模式開發與氣候模式推估資料評估、動力降尺度推估資料偏差校正、統計降尺度日資料衍生等氣候變遷降尺度資料應用技術研發。

- ❖ 深化災害領域之降尺度資料應用技術研發，建立曾文溪、高屏溪等等五大流域不同特性的全流域防災影響評估整合方法。
- ❖ 強化氣候變遷資料應用於水資源領域之影響與評估；推廣合作領域至農業、公衛領域，研發降尺度資料應用技術。**Team4: 氣候變遷資料服務與推廣應用**
- ❖ 建置線上資料申請系統、擴建 TCCIP 資訊平台，提供氣候變遷資訊、資料與知識的氣候整合服務。
- ❖ 撰寫第二版氣候變遷科學報告，持續為提供相關領域學術研究與政府部門在推動氣候變遷相關政策時的科學依據而努力。
- ❖ 建立資料生產履歷，標準化呈現資料的屬性說明及資料產製方式與流程，提升資料品質增加資料品質及使用者信心。
- ❖ 舉辦各類氣候資料服務與應用推廣活動，啟動知識轉譯與科學溝通。
- ❖ 提供資料諮詢、舉辦專家座談及訪談，強化科學社群溝通服務。

Office: TCCIP計畫成果推廣與國際學術交流

- ❖ 透過資料交換、相互參與雙方舉辦之學術研討會、資料應用研究等，維持與日本創生(SOUSEI)計畫的跨國學術合作。
- ❖ 透過國際學術討論會議的舉辦，邀請國外學者來臺，針對洪災、旱災、坡地災害與農業衝擊等災害議題做交流。
- ❖ 透過參與國際重要學術研討會議，對國外學者展示國內氣候變遷科研成果。
- ❖ 透過澳洲、英國、荷蘭等地的短期移地研究，擴展國際合作對象

第二章 TCCIP-II 亮點成果

TCCIP 第二期計畫在第一期計畫的既有基礎上，更加強調研發成果與應用段的結合，許多的研究成果促成了新的應用可能（例如高解度模式資料對災害模擬的應用），另一方面許多應用端的需求也造就了新的研究方法與課題（例如農業水稻生產對輻射變數的需求，促成了太陽輻射量估計方法的改進）。在研發與應用的不斷相互激盪下，第二期計畫涵蓋的研發與應用成果相當豐富，茲將眾多成果中整理七大亮點成果，作為本計劃之重點成果產出，此七大亮點成果如下所示：

1. 更完善的氣候變遷研究資料庫

- ❖ 氣候變遷資料處理與更新：更準確與更完善的資料庫
- ❖ 網格化資料服務範例：服務政府相關部門的科研工作

2. 更多元的統計降尺度應用

- ❖ AR5 統計降尺度資料產製：讓國內研究資料能與國際接軌
- ❖ AR4 與 AR5 統計降尺度比較：讓國內研究能夠順利承接
- ❖ 農業領域之應用：水稻生產量評估
- ❖ 公衛領域之應用：登革熱分佈區域研究

3. 更前瞻的動力降尺度模擬與應用

- ❖ 更多模式的模擬結果：掌握更多的劇烈天氣風險資訊
- ❖ 颱風推估分析：颱風變少、極端強颱增強、颱風降雨增強
- ❖ 災害應用：極端災害模擬

4. 更完整的氣候變遷特性與不確定性分析研究

- ❖ AR5 氣象資料不確定性分析：溫度雨量大不同
- ❖ 流量未來推估不確定性分析：從水文應用挑選模式，可縮減一半模式成員

5. 更進步的模式挑選方法與應用案例

- ❖ 現象量表與模式表現量表建立：讓使用者更了解眾多模式的特性
- ❖ 水資源應用範例：透過模式挑選，降低不確定性範圍

6. 更精進的應用需求之資料產製工具模組

- ❖ 水文、農業應用需求：日資料以及時資料繁衍、工具模組化
- ❖ 農業應用需求：輻射資料處理，跨界合作

7. 更貼近應用端的氣候變遷服務平台

- ❖ 新版網站：嶄新介面與多元化服務內容
- ❖ 科學報告：氣候變遷最新科學知識的總和
- ❖ 服務績效：以做好科學服務與溝通為計畫目標

研究成果眾多，選擇此七大亮點之篩選的標準及其所具有特色如下：

1. 研發成果具實質應用與服務成效者
2. 跨工作分組整合具體成效
3. 應用端需求驅動的研發成果
4. 較第一期更為突出的成果
5. 有創新意涵的研發與應用成果

2.1 更完善的氣候變遷研究資料庫

本計畫重點工作項目之一為建立臺灣長期氣候觀測資料庫以及對外提供服務，因此資料的完整性、正確性以及可用性，是本計畫努力的重點。延續第一期計畫的數位化、均一化與網格化成果的基礎，進行更多資料的數位化與均一化工作，同時改進第一期網格化資料，提供外界更好的資料服務品值。

2.1.1 氣候變遷資料處理與更新

■ 資料數位化：完善氣候變遷資料庫

- ❖ 成果：本期計畫完成 720 萬餘筆氣象資料的數位化，包含部分測站日資料的 23 項變數，以及逐時雨量資料。數位化資料經氣象局檢核後，已納入氣象局資料庫以及科技部補助的大氣研究資料庫（該資料屬於測站資料，TCCIP 不直接提供外界資料服務）。
- ❖ 成效：目前已提供團隊內部研究人員進行極端事件分析、午後暴雨、以及輻射量分析研究。該組資料對往後氣候變遷研究可提供更多變數、更高時間解析度之資料。

■ 資料均一化：有更為精準的資料

- ❖ 成果：因海平面觀測潮位站易受自然或人為因素影響，故觀測記錄會有中斷現象且可能造成基準面偏移，本期計畫氣象局團隊完成 10 個潮位測站長期潮位觀測資料均一化工作（基隆、高雄、淡水、花蓮、澎湖、塭港、蘇澳、新竹、東石、成功等站）。
- ❖ 成效：潮位資料均一化結果後，較能進行海平面長期變化的資料分析。根據分析結果

顯示高雄平均海平面上升速率為 0.37mm/yr;基隆平均海平面上升速率為 0.74mm/yr; 塭港平均海平面上升速率為 4.93mm/yr; 蘇澳平均海平面上升速率為 7.00mm/yr。此結果呈現台灣不同區域的海平面上升趨勢 (全球平均約為 3mm/yr)

■ 更新版網格化資料：使用者最常使用的資料

- ❖ 成果：第二期計畫完成第三版月資料網格化資料，資料延伸至 2012 年 (預計下半年可延升至 2015 年)，利用新的網格化方法讓網格觀測資料更為接近實際空間分佈情形，同時新版資料加上離島測站。因應外界對日資料的需求，完成新版的溫度與雨量的日資料網格化資料產製。
- ❖ 成效：網格化資料是本計劃提供外界觀測資料服務的重點項目，也成為多數使用者下載分析使用的主要內容。另外此 Team1 的網格化資料對本計劃 Team2 的統計降尺度資料的產製與 Team3 的偏差校正以及日資料反行為重要依據，相對準確的網格化資料對統計降尺度結果的產製、分析比較以及後續偏差校正都具有重要影響性。

2.1.2 資料服務成效範例：服務政府相關部門的科研工作

- ❖ 成果：本期計畫建置了新的網站服務功能，將大多數使用者需要的網格化資料提供線上即時繪圖 (呈現不同年份、月份的平均溫度、最高溫、最低溫以及平均雨量的空間分佈)、讓使用者可直接觀看完初步結果後決定是否線上申請資料服務。
- ❖ 成效：根據 Team4 的資料服務統計，申請網格化觀測資料 (含同時申請推估資料) 的研究計畫數達 72% (截至 105 年 6/30 申請計畫數 111 個計畫，164 筆申請數)，顯見國內進行氣候變遷研究，觀測資料的比對與分析非常關鍵，若以八大領域分類，申請觀測資料使用的前三名分別是生態、水資源以及災害領域，申請的計畫委託或補助單位多來自科技部、農委會、內政部、經濟部以及地方政府調適計畫。

2.2 更多元的統計降尺度應用

第一期計畫提供了 IPCC AR4 (CMIP3) 資料 24 個 GCM 的統計降尺度推估結果，結果顯示台灣未來百年呈現逐漸增溫，以及降雨型態豐越豐、枯越枯的推估情境。第二期計畫進行最新 AR5 (CMIP5) 資料的統計降尺度推估資料，收集的各國氣候中心 GCM 高達 42 個，暖化情境改為 RCP (代表濃度路徑) 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 四個情境。第二期計畫除了產製最新 AR5 統計降尺度資料外，也比第一期提供更多變數的統計降尺度資料。同時 Team3 利用統計降尺度資料進行水文、農業以及公衛領域的資料應用評估。

2.2.1 AR5 統計降尺度資料產製：讓國內研究資料能與國際接軌

在 TCCIP 計畫中，統計降尺度的特色是多情境、多模式的 GCM 降尺度資料，比目前僅能獲得的單一情境、有限模式的動力降尺度資料，有其不可取代性。但缺點是此組資料較難

應用在與極端事件相關聯的研究上。因此，本期計畫除了以 CMIP5 的推估結果更新臺灣地區統計降尺度資料外，亦發展了一些新的方法與產品，讓統計降尺度資料的應用層面能更寬廣、更合理。

- ❖ 成果：本期除了更新 AR5 資料外，新增加了日最高、最低溫的降尺度的推估資料，極端指標的降尺度...等。表 2.1 是第二期產製的資料與第一期計畫的比較。
- ❖ 成效：目前在網站上提供使用者下載的資料為 AR5 月平均溫度、雨量，其他資料目前由團隊內部進行進一步研究與應用測試（在 111 個計畫中，有 72 個計畫申請統計降尺度資料），未來將陸續提供於資訊平台讓外界下載使用。新增變數如日最高、最低溫的降尺度已經應用在 Team3 進行水稻產量推估或是能源領域使用。

表 2.1 前後兩期 TCCIP 計畫中，統計降尺度的主要產品。

TCCIP-I	TCCIP-II
CMIP3 降雨 月資料降尺度 (月) CMIP3 日均溫 月資料降尺度 (月) CMIP3 降水極端指標降尺度 (年)	CMIP3 日最高溫月資料降尺度 (月) CMIP3 日最低溫月資料降尺度 (月) CMIP5 降雨 月資料降尺度 (月) CMIP5 日均溫 月資料降尺度 (月) CMIP5 日最高溫月資料降尺度 (月) CMIP5 日最低溫月資料降尺度 (月) CMIP5 降水極端指標降尺度 (年) CMIP5 溫度極端指標降尺度 (年) CMIP5 日降雨資料降尺度 (日)
基期 : 1980~1999 近未來 : 2020-2039 21 世紀末 : 2080-2099	基期 : 1986~2005 近未來 : 2021-2030 近未來 : 2041-2060 近未來 : 2061-2080 21 世紀末 : 2081-2100
東亞地區 : 25 公里網格資料 臺灣地區 : 25、5 公里網格資料	臺灣地區 : 25、5 公里網格資料
CMIP3 情境 : B1、A1B、A2	CMIP3 情境 : B1、A1B、A2 CMIP5 情境 : RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5

2.2.2 AR4 與 AR5 統計降尺度比較：讓國內研究能夠順利承接

因為國內多使用者之前的研究已經使用過 TCCIP 計畫第一期所提供的 AR4 資料，因此本計劃對前後兩組資料進行分析比較，提供使用者參考（例如科技部 TaiCCAT 計畫以及水利署氣候變遷計畫）。

- ❖ 成果：根據圖 2.1 與圖 2.2 中 CMIP3 與 CMIP5 臺灣地區的推估資料顯示 AR4 與 AR5 兩組資料以及不同排放情境的差別比較。結果顯示：

■ 溫度

* 不同季節都呈現一致增溫趨勢，排放量越高，增溫越多

* A1B 增溫幅度大於 RCP4.5，小於 RCP8.5，略小於 RCP6.0 (但模式數目較小)

■ 雨量

* 豐越豐 (夏秋)、枯越枯 (冬春) AR4 與 AR5 整體趨勢大致相同

* 大體而言 A1B 情境的季節與年降雨變化率與 RCP8.5 類似，但不同情境對降雨造成的影響不若溫度來得明顯。

* 對乾季而言，排放情境越高，有越乾的趨勢。濕季的改變率相對而言對不同情境較不敏感，差異不大。

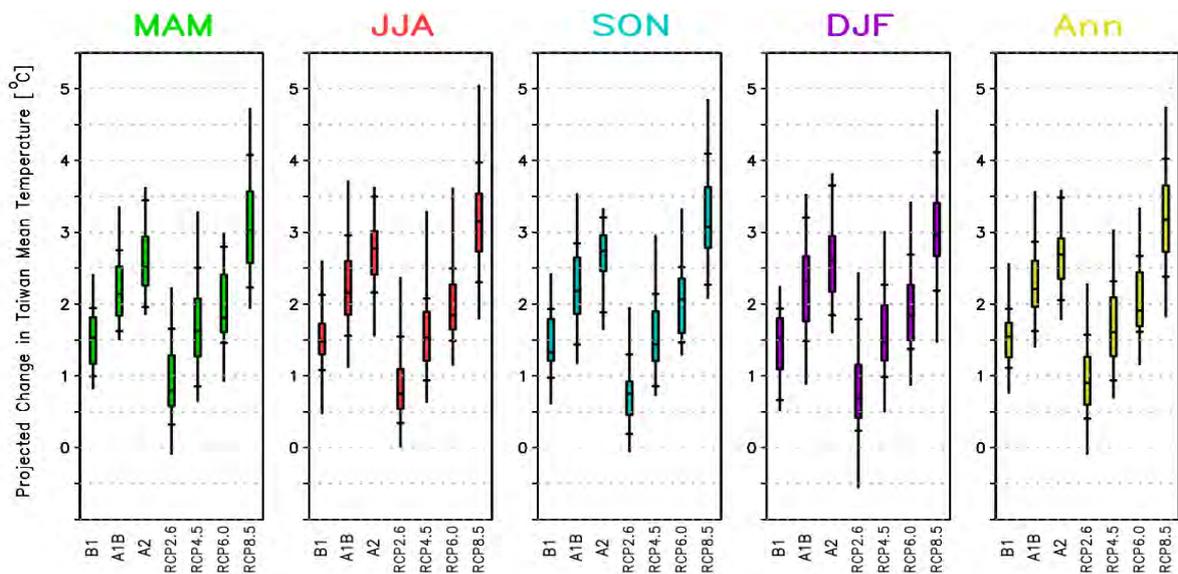


圖 2.1 21 世紀末臺灣地區不同暖化情境下溫度的改變，單位°C。

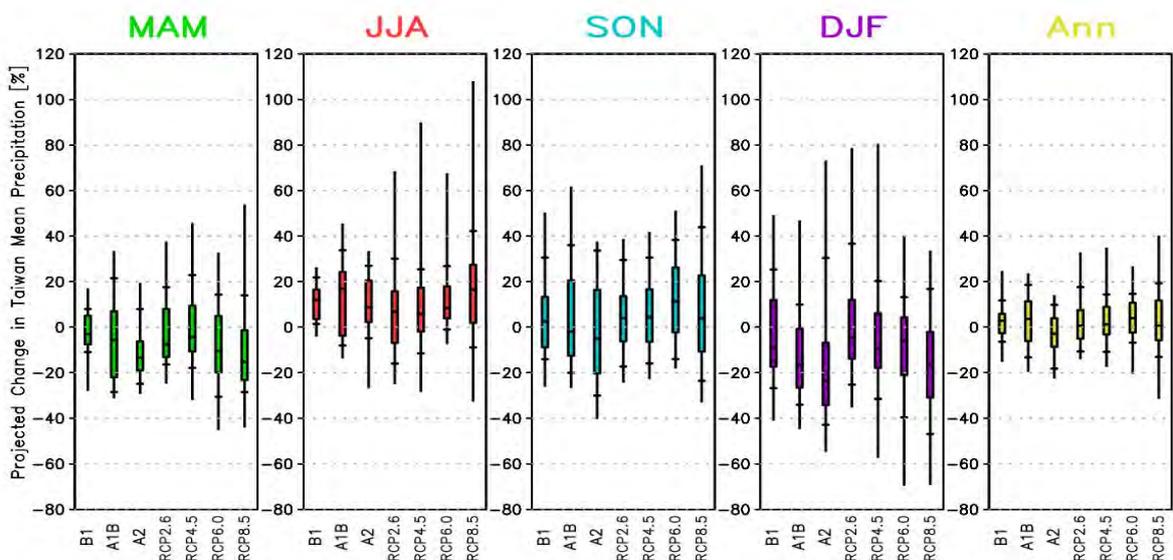


圖 2.2 21 世紀末臺灣地區不同暖化情境下降水的改變率，單位%。

- ❖ 成效：科技部 TaiCCAT 計畫、新版氣候變遷科學報告以及水利署氣候變遷團隊先前已利用 AR4 資料進行評估以及調適策略擬定，本研究結果已經提供給上述團隊或報告撰寫者，協助該產出之銜接與比對。

2.2.3 農業領域之應用：水稻生產量評估

- ❖ 成果：統計降尺度日氣象資料是對未來氣象資料的模擬，配合農業的作物生長模式，用以評估未來情境下的糧食生產情況。本計畫 Team3 農試所團隊利用 AR4、AR5 統計降尺度日氣象資料（包含日最高溫、日最低溫、日雨量和日輻射量等變數）以及 DSSAT 模式，推估未來情境下的水稻產量，並計算產量之改變率。
- ❖ 成效：圖 2.3 為 RCP4.5 情境下推估之一、二期水稻產量。根據研究結果顯示，暖化結果將導致水稻生育日數縮短，進而導致水稻產量減少，相對於溫度變數而言輻射量的影響敏感度較低。此研究結果呈現跨領域的合作績效，對未來農業與糧食領域應用提供參考範例。

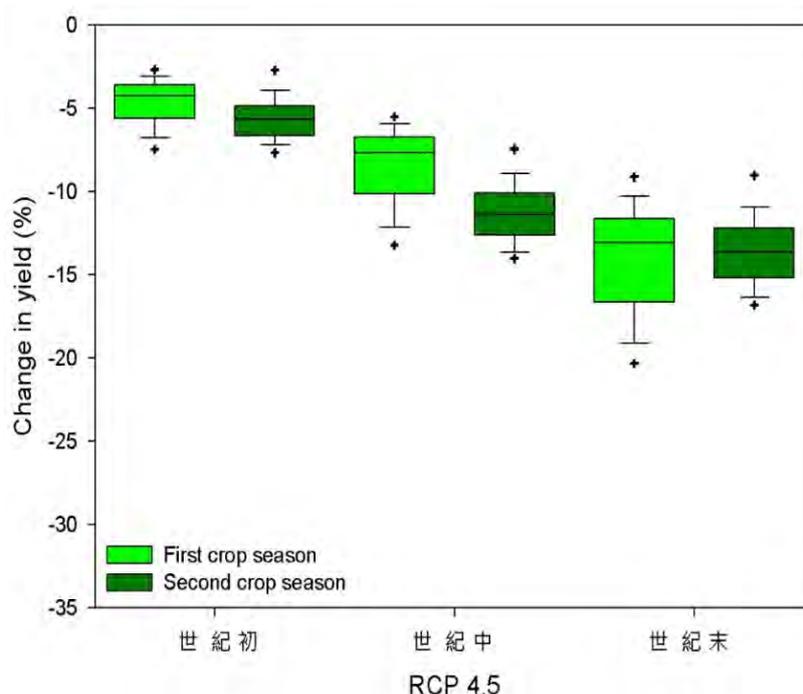


圖 2.3 推估未來百年不同時期，在 RCP4.5 暖化情境下，可能導致之全臺一、二期稻作產量改變率

2.2.4 公衛領域之應用：登革熱分佈研究

- ❖ 成果：本研究第一期已經使用 AR4 資料進行登革熱流行風險地圖製作，本期計畫長榮大學研究團隊除了更新登革熱推估模型與基礎資料外，也利用 AR5 資料進行進一步評估。同時也利用 AR5 溫度推估資料進行死亡率風險推估。

- ❖ 成效：圖 2.4 為利用 AR5 最新推估溫度資料所製作之登革熱危險區域分佈圖，相關成果已納入科技部新版氣候變遷科學報告以及衛福部相關報告。2015 年台南地區發生嚴重登革熱事件，本研究也提供相關單位與媒體參考，解釋增溫對未來可能的影響。

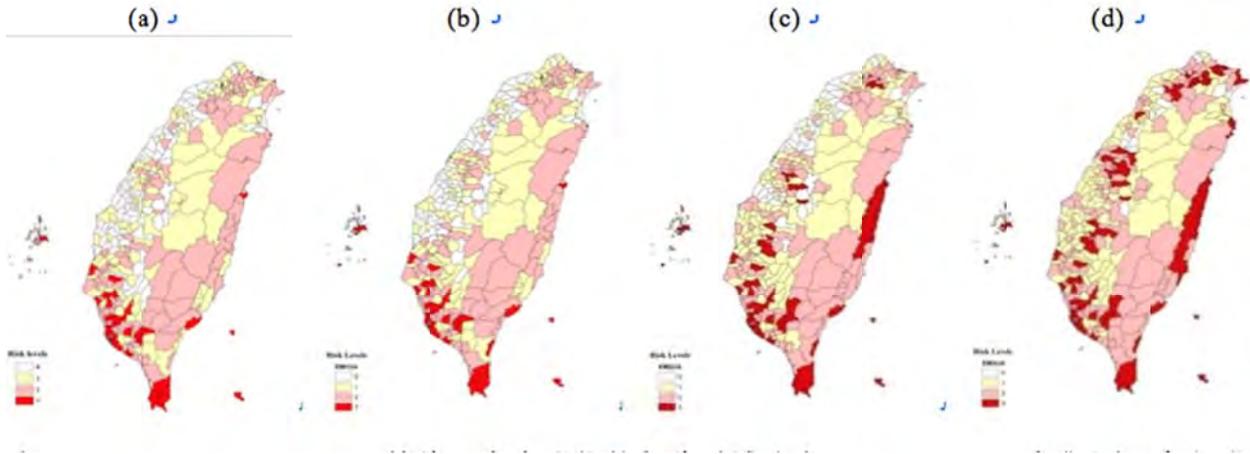


圖 2.4 IPCC AR5 RCP8.5 情境下全台登革熱危險區域分布：(a) 2003~2013 年觀測溫度之登革熱風險圖；(b) 2016~2035 年 IPCC AR5 RCP8.5 Ensemble 模式之登革熱風險圖；(c) 同 (b)，但為 2046~2065 年；(d) 同 (b)，但為 2081~2100 年。

2.3 更前瞻的動力降尺度模擬與應用

為因應高解度資料應用需求，例如災害領域，第一期計畫與日本合作引進高解析度 GCM 並進行動力降尺度模擬，第二期計畫日本 MRI 模式除了更新暖化情境至 CMIP5 之外，也增加了由科技部 CCLiCS 氣候變遷計畫所提供之 GFDL HiRAM 高解析度 GCM 模式結果，由本計畫進行動力降尺度，與 MRI 模式進行平行比較，以作為高解析度模式動力降尺度應用之參考。經過兩期計畫的努力，動力降尺度資料的應用價值逐漸浮現，對極端降雨與颱風行為的變遷趨勢推估也開始有較具體的輪廓與未來改進的討論空間，其中在災害領域的應用也發展出具體的作法與應用實例。

2.3.1 更多模式的模擬結果：掌握更多的劇烈天氣風險資訊

- ❖ 成果：本期計畫增加了一組高解析度 HiRAM GCM，同時增加 MRI 共 4 組不同海溫的模擬，讓動力降尺度可以比較不同模式、不同海溫情境以及系集平均的結果，讓動力降尺度的資料從第一期的單一模式、單一情境的結果，進一步有更多模擬結果可評估動力降尺度資料的應用價值。結果顯示，當模式成員越多，呈現的訊號有可能出現類似或是不同的結果，藉由多模式多情境的模擬結果，我們可掌握哪些訊號是在暖化情境下較為明確的訊號，哪些訊號因為模式之間有分歧，應用上除了要謹慎外，也須進一步探討期中的物理機制。

如圖 2.5 顯示針對未來梅雨季以及夏季劇烈降雨的評估結果，梅雨季劇烈降雨增加趨勢在不同模式成員有較為一致的結果，在西半部將明顯增加，夏季的訊號則是有出現較不一致的情形，表示此訊號較不穩定（與颱風路徑不確定性有關），使用上需更為謹慎。

- ❖ 成效：動力模式的應用主要是應用在劇烈的天氣現象，透過第二期的研究，可以掌握大致未來可能發展的趨勢，例如圖 2.5 顯示梅雨季的西南部劇烈降雨增加，對跨領域衝擊研究，例如短延時強降雨所造成的淹水、一期稻作倒伏災情甚至是登革熱病媒蚊孳生...等，這組資料對後續應用研究帶來許多豐富的研究課題。

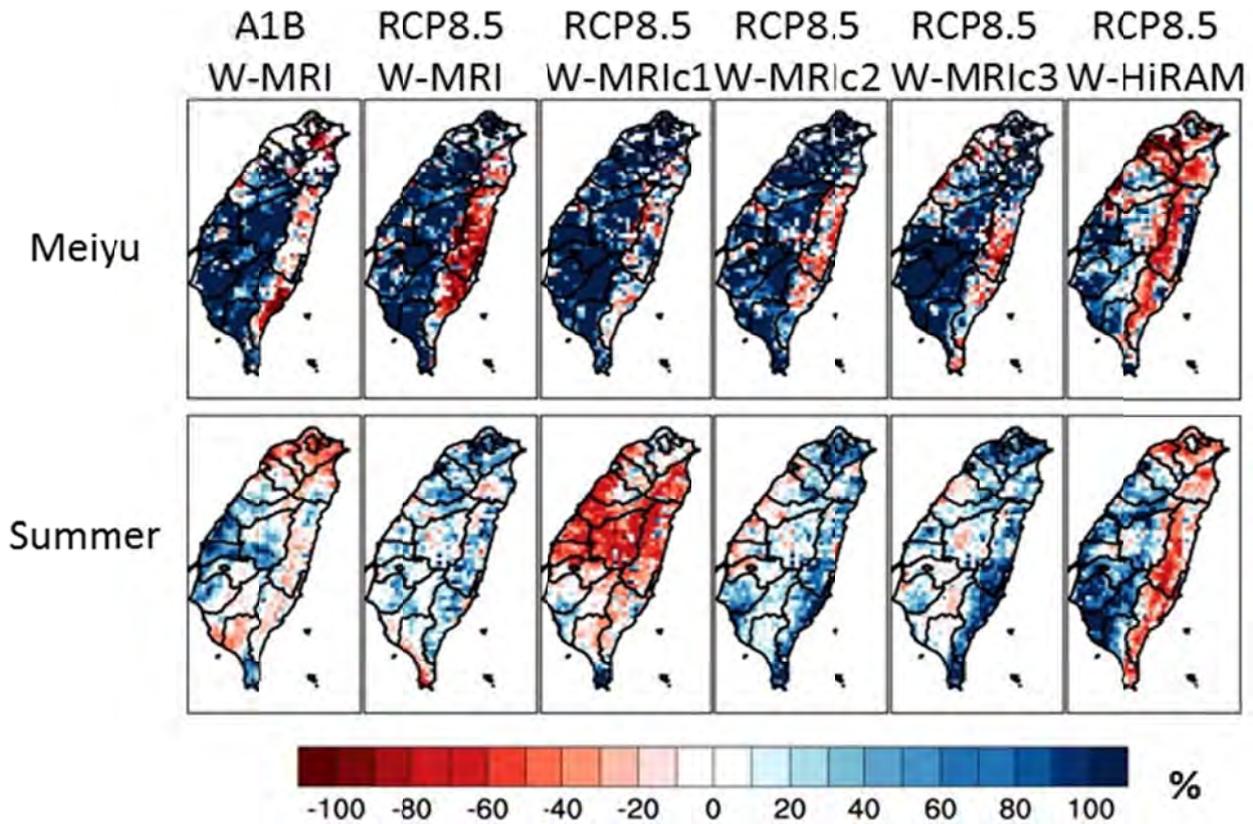


圖 2.5 21 世紀末時期動力降尺度的氣候推估結果在梅雨及夏季降雨大豪雨日之頻率變化率。單位：%。最左欄為 TCCIP1 完成的 A1B 情境下 WRF-MRI 的結果；其餘為 TCCIP2 完成的 RCP8.5 情境下的推估，由左到右分別為 W-MRI-c0、W-MRI-c1、W-MRI-c2、W-MRI-c3、W-HIRAM-C384 的推估。

另外，動力降尺度資料可呈現極端高溫的未來變化趨勢，以圖 2.6 為例，不同模式成員都一致性指出，台灣未來在西半部地區日最高溫超過 35°C 的天數將明顯增加，尤其是西部平原與大台北都會區，高溫日數將比現在多出長達 1-4 個月的時間，此結果對高溫災害、能源使用以及再生能源利用都是非常值得進一步探討的地方。

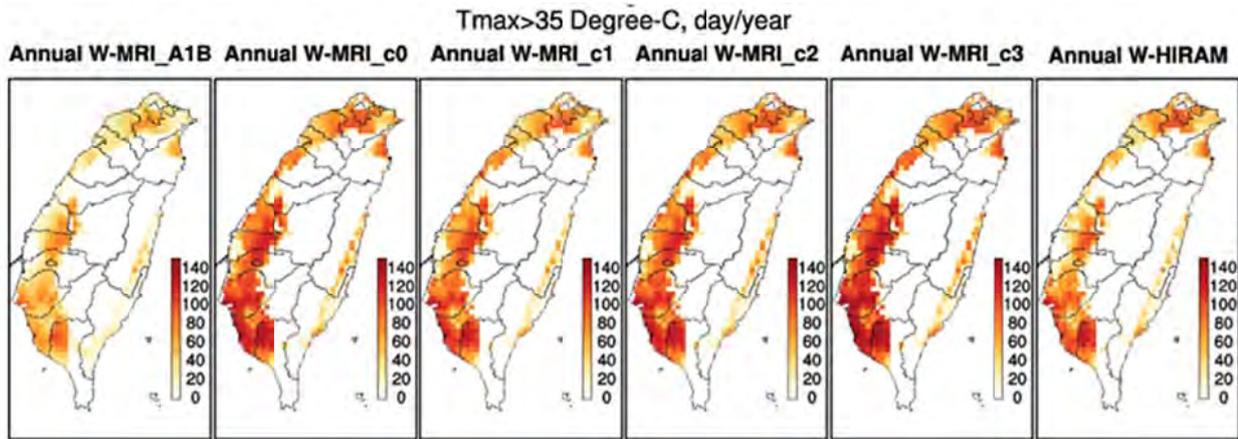


圖 2.6 同圖 2.5，但為全年日最高溫超過攝氏 35°C 較目前增加的天數，單位：日/年。

2.3.2 颱風推估分析：颱風變少、極端強颱增強、颱風降雨增強

第一期計畫引進高解析度 GCM 的主要目的之一是高解析度全球模式具有模擬「颱風」的能力，颱風的行為是否會因暖化的效果造成改變，是本計劃的重點工作之一也是使用者非常關心的議題。

- ❖ 成果：本期計畫根據 MRI 以及 HiRAM 模式的結果進行颱風變遷特徵研究，研究結果顯示暖化將導致西北太平洋颱風生成個數以及影響台灣的次數明顯變少（圖 2.7 左），但是極端的颱風強度有更為增強趨勢（圖 2.7 右）。同時颱風降雨強度也會增強，圖 2.8 顯示，不同的模式成員與海溫情境均顯示未來颱風個數變少，直接造成颱風對台灣降雨的整體貢獻會減少，但是降雨強度卻有增強的趨勢，尤其是西半部地區。

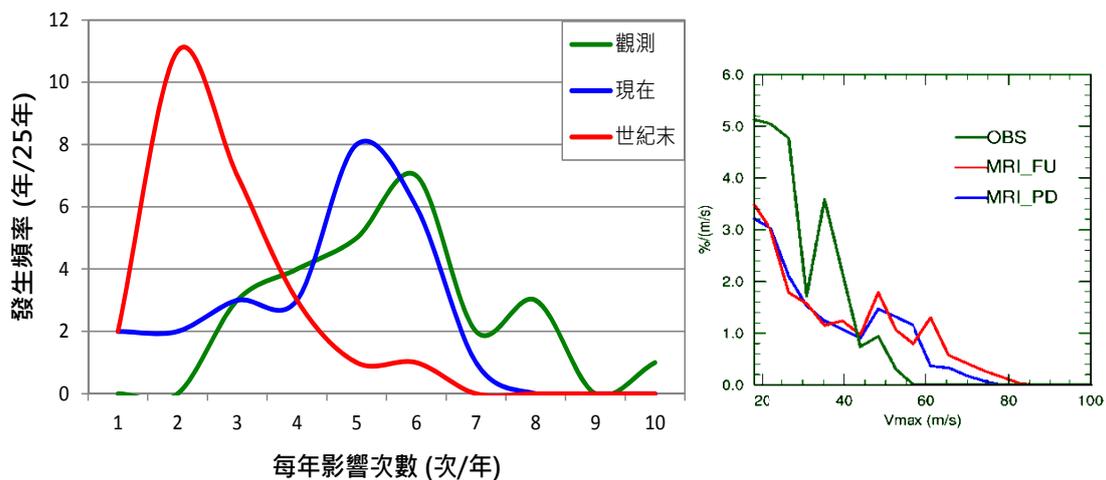


圖 2.7 圖左：MRI 模式在 RCP8.5 情境下模擬颱風影響台灣次數的頻率統計，綠色是 1979-2003 觀測資料，藍色是 MRI 模擬的影響台灣颱風次數，紅色為世紀末 (2075-2099) 時期。圖右：不同時期強度機率分佈圖

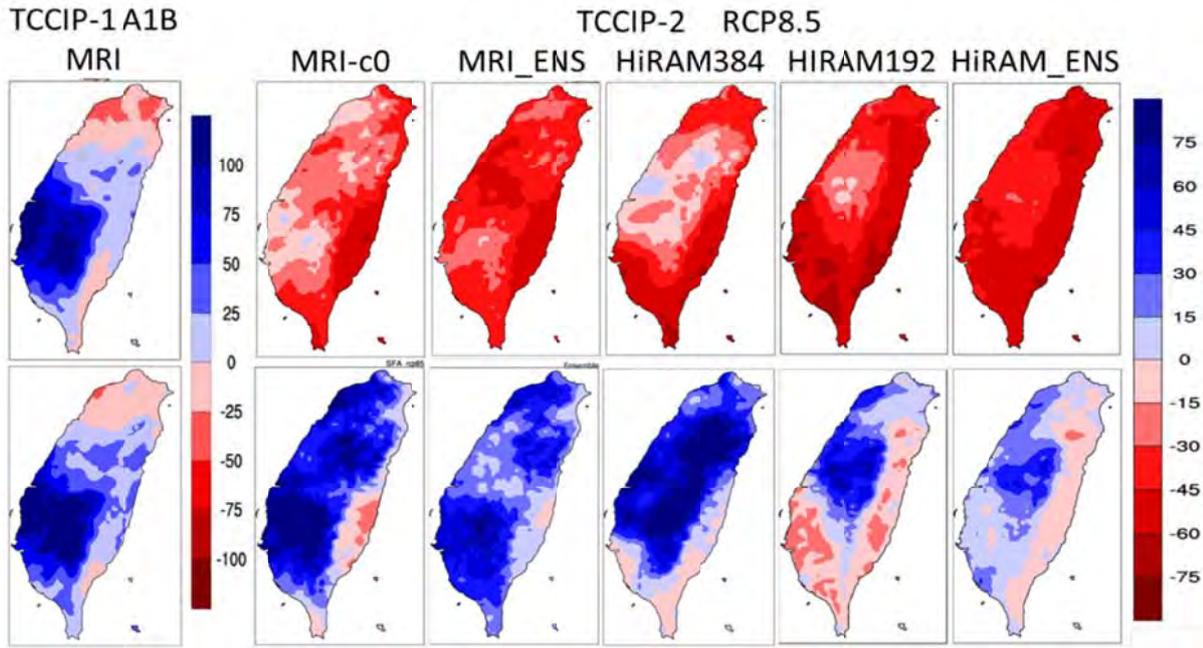


圖 2.8 年平均颱風降雨（上排）和颱風降雨強度（下排）改變率，最左欄為 WRF-MRI-A1B 推估結果，其餘為 RCP8.5 情境的推估，左至右分別為 WRF-MRI、WRF-MRI 系集平均、WRF-HiRAM-C384、WRF-HIRAM-C192-c0 和 WRF-HIRAM-C192 系集平均。

- ❖ 成效：颱風對臺灣的災害、水資源等領域影響甚鉅，IPCC AR5 的模式無法呈現颱風在暖化後的衝擊，但高解析度模式結果可顯示暖化後颱風行為趨勢的改變，如研究成果顯示未來颱風個數變少、極端強颱風增強同時颱風降雨增強，對水資源以及災害影響甚鉅，此研究成果與相關資料已陸續提供相關進階使用者進行後續衝擊影響評估，例如國家災害防救科技中心利用此資料產製「氣候變遷淹水與坡地災害風險地圖」

2.3.3 災害應用：極端災害模擬

根據 TCCIP 第二期規劃，災害領域使用氣候變遷推估資料在設定上是屬於最深入的一個應用領域（請參見圖 1.6），包含從資料產製、應用工具發展到資料應用的深化研究。Team3 為強化防災領域的整合應用，進行極端颱風事件全流域災害模擬評估應用。在第二期計畫中，本團隊已階段性完成臺灣五大流域全流域極端災害模擬評估，從北至南分別為淡水河支流新店溪、大甲溪、濁水溪、曾文溪及高屏溪。全流域災害模擬從上游至下游分別包括崩塌、土石流、河道輸砂、下游淹水以及暴潮模擬等，這些極端颱風事件均來自上述動力降尺度的模擬結果。

- ❖ 成果：依據動力降尺度所提供的極端降雨颱風，可以比較世紀末（2075-2099）與基期（1979-2003）在不同流域極端颱風事件所造成的不同災害型態的衝擊比較，並探討可能的致災降雨型態。以崩塌模擬為例，圖 2.9 顯示不同流域前 10% 極端降雨颱風的

比較，受到世紀末極端颱風降雨量增加影響，導致崩塌總面積也有明顯增加趨勢，同時因為短延時強降雨強度有增強趨勢，也致使世紀末崩塌速率也明顯增加。

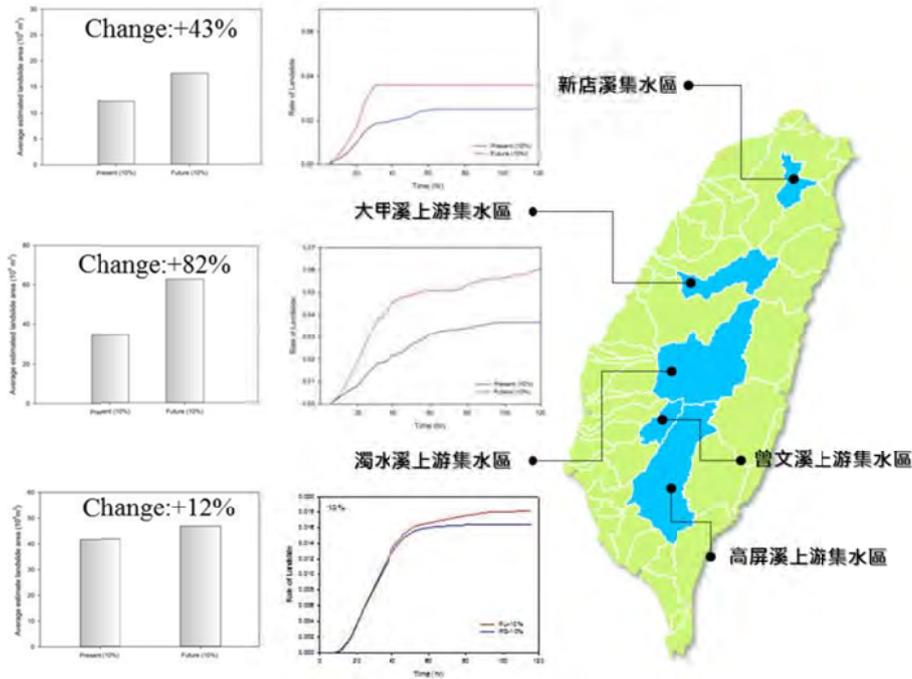


圖 2.9 濁水溪、大甲溪、新店溪上游的世紀末和基期的崩塌模擬比較，左邊是整體崩塌面積，中間是指崩塌速率比較。

另外，在災害應用上也可進行全流域極端災害整體評估。圖 2.10 以濁水溪為例，可分別計算上中下游不同災害形態（崩塌、土石流、輸砂以及淹水）整體性影響，結果顯示會分別增加 10% 左右的衝擊量，藉此成果可進行全流域災害衝擊評估，以及未來調適策略擬定參考。

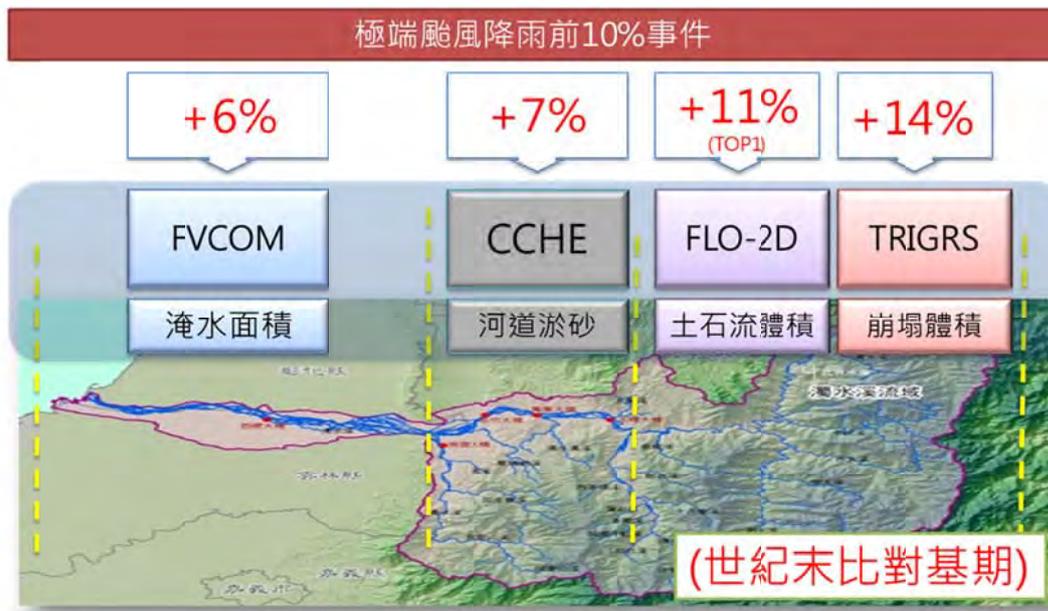


圖 2.10 世紀末和基期的前 10% 極端颱風降雨在濁水溪全流域的災害衝擊模擬比較。

- ❖ 成效：過去在進行氣候變遷對災害的衝擊研究，因為缺乏合適高時空解析度資料的關係，未來雨量大多以歷史經驗外延推估或是主觀增加百分比的方式進行模擬，藉由此計畫所提供的高時空解析度的極端降雨資料，可進行較接近真實物理特性的災害模擬，未來進行風險評估與調適策略擬定將更具有科學參考意義。

2.4 更完整的不確定性分析研究

從第一期計畫開始，「不確定性分析」一直是使用者關心的重點，尤其是與決策或風險評估相關的應用。AR5 的多模式、多情境資料與 AR4 不同，模式成員更多，因此第二期計畫針對不確定性分析，具體量化比較不同不確定性來源所占之比重，或者給予不同程度之可信程度予以區別不確定性之程度，以及利用機率（信心區間）描述未來可能之改變率（取代單一改變率），以利使用者更了解資料應用時各階段之不確定性內涵。以下分別對未來推估溫度與雨量之不確定性來源比較、未來流量改變率之不確定性兩方面進行簡要說明。

2.4.1 AR5 氣象資料不確定性分析：溫度雨量大不同

- ❖ 成果：在溫度方面，情境間的差異最大；在降雨方面，GCM 模式間的差異最大。

未來推估氣象資料不確定性來源包含模式內部自然變異量、不同模式間的不確定性與暖化情境的不確定性三種，以時間序列觀察未來推估時三種不確定性的變化為例，圖 2.11 為臺灣地區全年平均溫度之 90% 信賴區間時間序列圖，模式內部的變異量（橘色）從頭到尾是相同；模式間的不確定性（藍色）以非常緩慢的速率增加；情境間的不確定性（綠色）在 21 世紀初非常小，在 21 世紀末呈現最大；亦即越到暖化後期，不同情境間的所導致的增溫差異越大。圖 2.12 為臺灣地區夏季降雨之 90% 信賴區間時間序列圖，模式間的不確定性（藍色）為最大，情境間的不確定性（綠色）與模式內部變異量（橘色）較小，也就是不同暖化情境對平均降雨的差異性遠較模式之間的差異來得小，這與溫度的狀況不同。

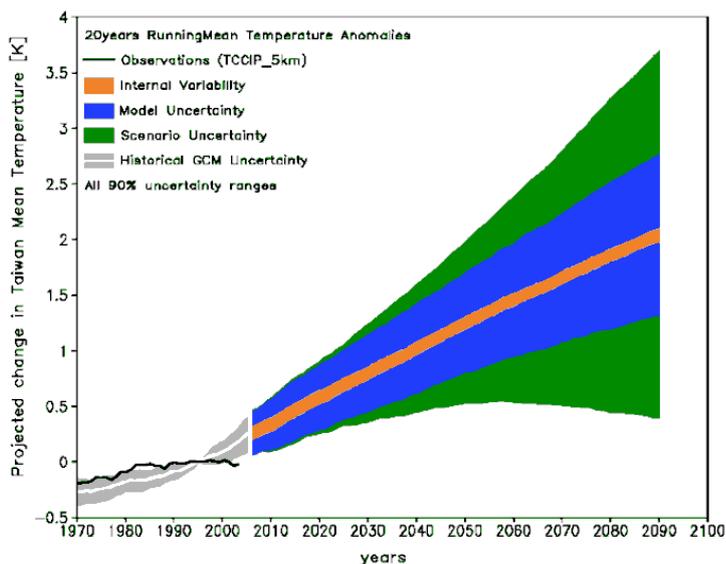


圖 2.11 臺灣地區全年平均在 90% 信賴區間下，20 年滑動平均之世紀末增溫圖（三種顏色各表示不確定性所佔的比重，橘色為模式內部的變異量、綠色為模式間的不確定性、藍色為情境間的不確定性）

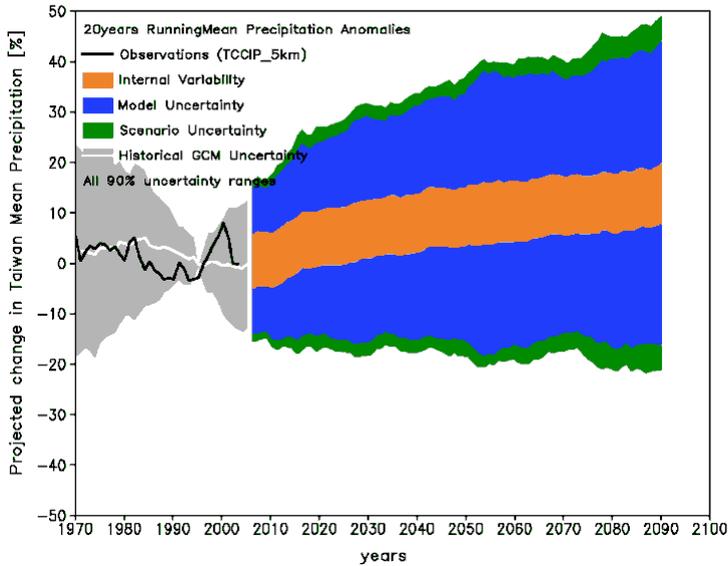


圖 2.12 臺灣地區夏季在 90%信賴區間下，20 年滑動平均之世紀末雨量變化率圖（三種顏色各表示不確定性所佔的比重，橘色為模式內部的變異量、綠色為模式間的不確定性、藍色為情境間的不確定性）

- ❖ 成效：分析不同變數的不確定性來源對應用端非常重要，以上述成果顯示，**如果應用端關注的氣象因素是「溫度」**（例如本計畫的登革熱、水稻生產研究），**就必須分析不同暖化情境**（例如 RCP4.5、RCP8.5）可能的改變量，比分析不同模式間的差異要來得重要。**如果應用端關注的是「雨量」**（例如水文分析），那模式之間的差異就可能遠大於不同的暖化情境所造成的差異，那**挑選不同「模式」會直接影響最後的結果**，因此「選擇模式」在水文應用上有其一定程度的需要。（在 2.5 節挑選模式中描述成果）。

2.4.2 流量未來推估不確定性分析：從水文應用挑選模式，可縮減一半模式成員

於 AR5 情境下所有 43 組 GCM 模式中，其中有 20 個 GCM 模式提供了四種排放情境（RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5）的推估資料，此 20 個模式涵蓋了國際上 13 個主要氣候機構所提供的模擬的結果。如前所述，「模式挑選」是「水文應用」的特點，是否能減少「模式樣本」，乃為重要工作之一，此點可從水文應用不確定性分析下手。

- ❖ 成果：圖 2.13 是本計畫利用各情境中的所有模式與挑選交集的 20 個模式，分析的荖濃溪之豐水期流量衝擊的結果（其他流域結果類似，圖略），以盒鬚圖呈現所有 43 個 GCM 模式的評估之變異性，就盒鬚圖的大小與趨勢，不同情境下差異不大，然而此結果與共同交集的 20 個 GCM 模式的流量分析結果類似，故水文應用使用者可分析此 20 個模式樣本取代 43 個模式結果，大量減少分析樣本。
- ❖ 成效：從 43 個模式樣本降到 20 個模式樣本，對水文應用將可大量減少分析量，也可避免同個氣候中心類似的模式結果重複計算的問題，因此當水文應用端無法分析該情境所有的 GCM 模式的資料使用者，建議可優先分析此 20 個模式。

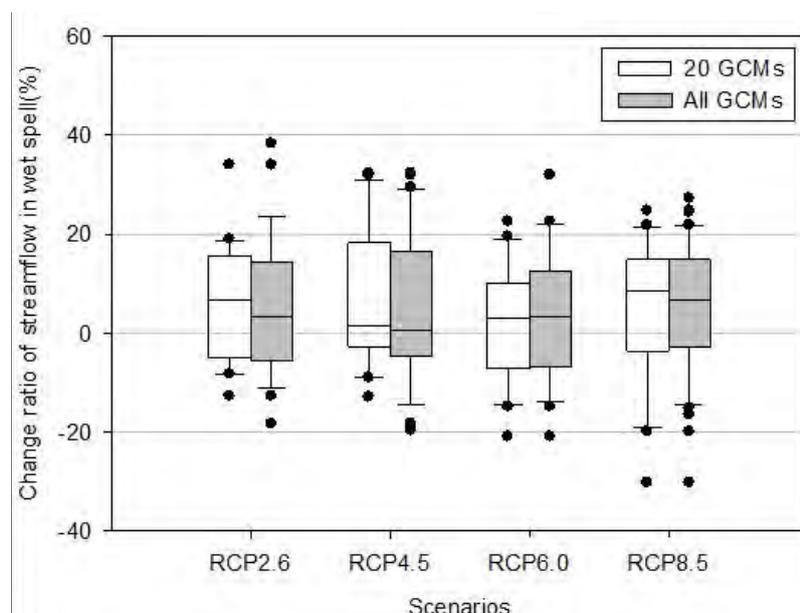


圖 2.13 不同情境下所有模式與 20 個模式於豐水期流量變化之盒鬚圖分析 (以荖濃溪為例)

2.5 更進步的模式挑選方法與應用案例

本期計畫所使用的 AR5 GCM 個數高達 43 個，一般都會建議使用者直接分析所有模式或是系集平均 (Ensemble Mean) 結果，若應用端在分析上需要減少分析模式數量以利相關工作進行，則必須建立模式挑選方法，此項從應用端需求建立可操作的應用工具與方法之工作也是本期計畫重點工作之一。

2.5.1 氣候現象評估量表 (Phenomenon Metrics) 與模式表現評估量表

(Performance Metrics) 建立：讓使用者更了解眾多模式的特性

多模式雖然可以提供更多的「風險評估」之參考依據，但由於各家氣候模式對不同氣候特徵模擬的能力不一而同，是否要「盡信之」也是使用者所關心的課題。所以此項需求衍生兩個問題：

- A：使用者關心的氣象變數，與何氣候特徵有關？例如，寒害的發生是否與東北季風或是寒潮有關？此即為「氣候現象評估量表」(Phenomenon Metrics) 的概念。
- B：當確定是何項氣象因子之後，眾多模式裡對此氣象因子的模擬能力為何？是否可以作為挑選模式的參考依據？此為「模式表現評估量表」(Performance Metrics)

本計畫針對使用者可能的不同需求建立了現象量表，同時依據不同現象，建立「模式表現量表」。

- ❖ 成果：本計畫針對農業、公衛、災害、水資源進行現象量表與模式量表的分析工作，表 2.2 為農業、公衛應用端關心的高低溫衝擊與相關的氣候量表之範例說明。相關模式評估工作結果，可參考本報告第 3.4 節「氣候現象與模式量表。」

表 2.2 農業、公衛領域之氣候量表與模式推估表現 (溫度)

領域	影響因子 (例)	共同氣候特徵	氣候量表	觀測分析	模式推估
農業 公衛	<ul style="list-style-type: none"> * 2 月低溫小於攝氏 10 度，將抑制秧苗生長，影響一期稻育苗工作 * 冬天低溫或是溫差變化太劇烈造成心血管疾病 	<ul style="list-style-type: none"> * 低溫發生頻率、幅度 * 溫差變化幅度 	<ul style="list-style-type: none"> * 寒潮 * 東北季風 	<p>全台低溫事件減少趨勢明確、屬於氣候變遷尺度、主要是發生於冬季(DJF)、屬於全球整體增溫趨勢，大陸冷高壓減弱</p>	<p>模式推估表現一致，極端低溫頻率降低，但溫差幅度變大</p>
農業 公衛	<ul style="list-style-type: none"> * 5 月高溫大於攝氏 35 度，將水稻不易結穗，影響一期稻作產量 * 極端日高溫、濕度變化對心血管疾病的衝擊 	<ul style="list-style-type: none"> * 熱浪 * 極端高溫發生頻率、幅度 	<ul style="list-style-type: none"> * 太平洋副高位置、強度 	<p>屬於大尺度現象，全球整體增溫趨勢，熱浪發生時大都為太平洋高壓偏強 (西伸)，台灣地區的平均氣壓較氣候平均高</p>	<p>模式間表現一致，極端高溫發生頻率增高。</p>

另外災害部分主要為極端降雨颱風、梅雨季降雨以及午後對流，在動力模式中較能表現其行為，在 2.3 節已簡述其部分成果與應用。水資源應用範例於 2.5.2 節特別說明其應用範例。

- ❖ 成效：現象量表與模式量表的應用，在建立使用者關心的現象特徵在氣候模式裡的表現特徵，若研究人員有進一步需求需挑選模式進行衝擊影響評估，則此結果可作為應用參考。(水資源領域應用於下節說明)

2.5.2 水資源應用範例：透過模式挑選，降低不確定性範圍

如 2.4 節所述，水文應用端對「模式挑選」有其需求，因此本研究乃依據台灣的水文應用需求以及台灣季風降雨特性 (氣候現象評估量表) 進行模式的挑選 (模式表現評估量表)，透過此研究能降低模式挑選樣本，同時也降低不確定性範圍。

- ❖ 成果：本研究根據台灣水文豐枯特性，利用東亞夏季季風的肇始、持續時間以及季風消退做為氣候量表，進行模式評估與篩選。圖 2.14 乃利用此指標進行表現能力之篩選，挑出最好的五個模式 (TOP5) 以及表現最不好的五個模式 (LAST5)，並進行比

較分析。圖 2.15 顯示利用此方法篩選出來的模式所表現出的推估表現，該結果顯示，表現好的模式 (TOP5) 在未來推估的改變率不確定性可適度縮小，而原先所有模式散布的較大極值須多都來自於表現較不好模式的貢獻 (LAST5)。

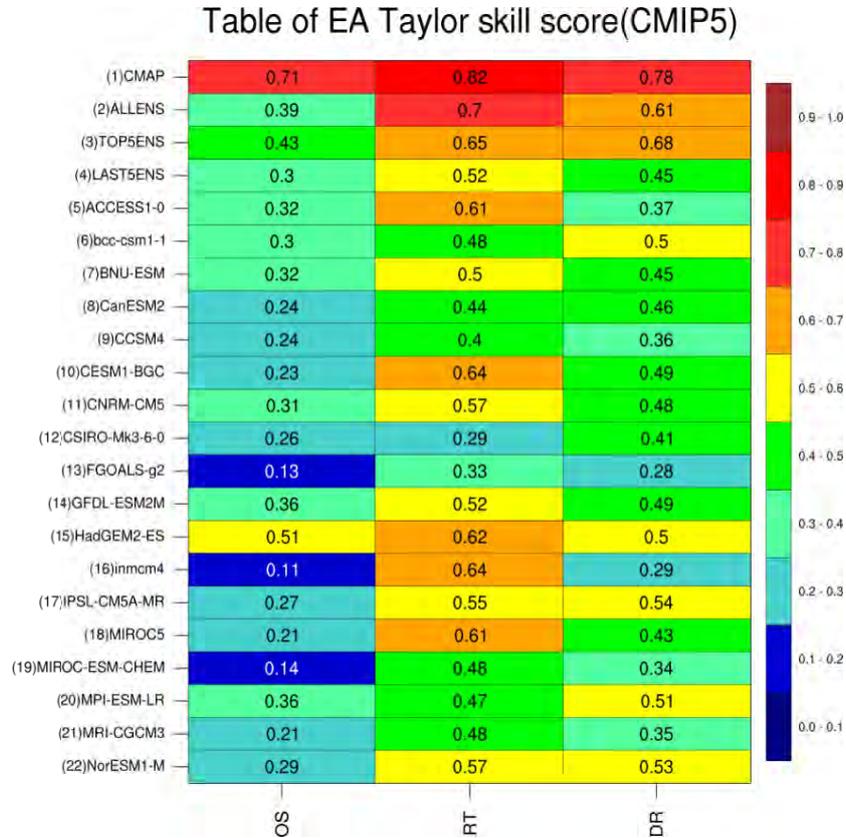


圖 2.14 應用 T-Skill score 評估不同的觀測資料 (CMAP)、3 個分組系集平均 (ALLENS、TOP5ENS、LAST5ENS) 與 18 個 CMIP5 CGCM，在東亞區域夏季季風降雨肇始 (OS: onset)、消退 (RT: retreat) 與持續 (DR: Duration) 時間點模擬的技術得分。顏色偏紅為分數愈高，偏藍色則分數愈低。

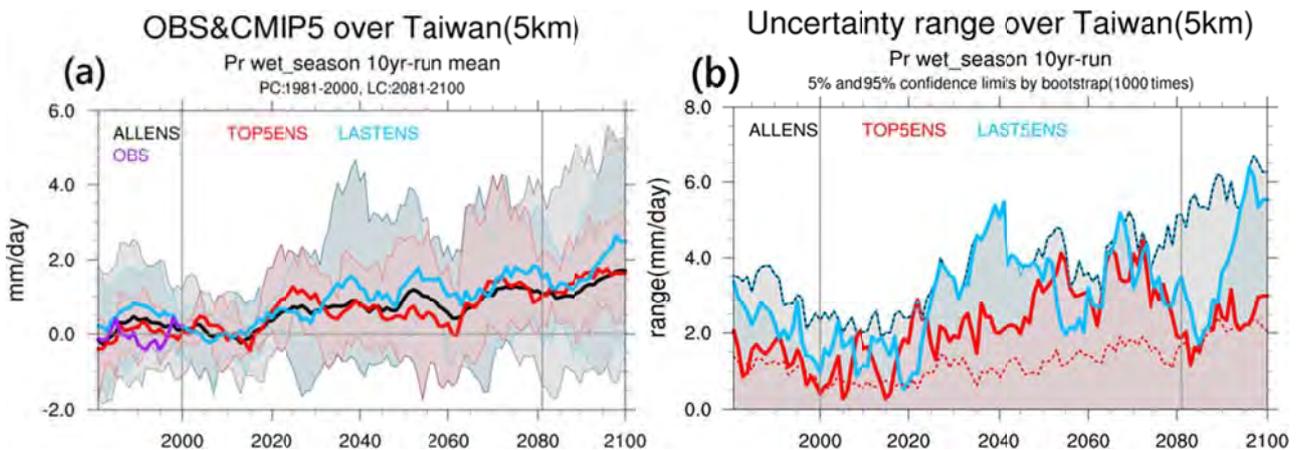


圖 2.15 模式的降水不確定性評估。根據圖 2.14 的模式挑選結果，使用 TCCIP 5km 統計降尺度資料。圖 a 為 Historical 與 RCP8.5 連結的時序變化。圖 b 為 3 種分組在各時間點的不確定性變動範圍。單位：mm/day。

- ❖ 成效：此結果對水文應用端非常重要，如果使用所有模式的系集平均結果，改變率太小無法突顯衝擊量，所以必須考量模式可能的極值，此研究結果顯示 TOP5 模式可以適度表達合理的極值範圍，而變化不至於太過極端。此結果已經提供水利署應用端參考，並投稿重要國際期刊。

2.6 更精進的應用需求之資料產製工具模組

Team2 產製的資料大多為模式推估的降尺度結果，在特殊情況下，可能不敷使用者需求，例如使用者需要比月解析度更高時間解析度的資料，在不考慮動力降尺度資料的情況下，需要從統計降尺度的月資料反衍出日資料，甚至是小時資料，或是需要特殊變數需要特別處理(例如輻射資料)，而動力降尺度資料需要進一步進行偏差校正等。所以針對應用端需求發展「客製化」資料，甚至「模組化」工具，是 Team3 的重要工作項目之一。

2.6.1 水文、農業應用需求：日資料以及時資料繁衍、工具模組化

- ❖ 成果：以水利署衝擊評估與調適決策的需求，首要考量統計降尺度多模式與多情境資料，而水文應用需要日降雨資料進行流量模擬，在防洪土砂的災害衝擊模擬上則需要到小時資料的反衍資料。另一方面，農業部門在進行水稻產量評估時，也需要日最高溫、日最低溫、日雨量與日輻射量等變數。

本研究使用 LARS-WG 天氣衍生器，並因應台灣極端天氣特性修改門檻值，輸入資料為 Team1 產製之歷史觀測網格資料和 Team 產製之統計降尺度資料，即可繁衍對應 5km*5km 網格點之基期和未來時期的日最高溫、日最低溫和日雨量。

針對時雨量部分：利用序率暴雨模擬模式 (Stochastic Storm Rainfall Simulation Modeling, SSRSM) 與本計畫所建立之水文參數經驗模式，進行時雨量模擬之工作，以此技術繁衍未來情境下的時雨量資料。

- ❖ 成效：本計畫所產製之日降雨資料已提供科技部 TaiCCAT 計畫、水利署相關計畫以及國家災害防救科技中心等單位進行水文衝擊評估使用。另外，時雨量模擬工具已建置完成，預計於 105 年下半年提供水利署團隊使用測試。

日最高溫、日最低溫等日資料繁衍提供本計畫農試所團隊、TaiCCAT 計畫農業領域使用。同時也已提供日最高溫繁衍資料給能源局委託之執行團隊進行衝擊評估使用。

2.6.2 農業應用需求：輻射資料處理，跨界合作

- ❖ 成果：上述所提，水稻生產評估需要網格化的日輻射資料，但是因為輻射量變數觀測不多，無法像溫度及雨量等資料直接利用天氣衍生器繁衍，因此本計畫利用日最高溫、日最低溫及統計迴歸方式進行輻射量繁衍。圖 2.16 是繁衍後的年輻射平均資料

與其他不同方式產製（衛星、測站 GCM、RCM、統計、偏差校正）之資料比對。整體而言，比其直接使用 GCM 資料有改善效果，但與測站內差仍有差距；衛星資料與動力降尺度似乎較合理反映空間型態，但量值與觀測有所差距。此部分研究為進行中替代方式，未來仍須要更長的衛星資料以及動力降尺度重新模擬等方法重建「歷史觀測」輻射量，以利後續評估。

- ❖ 成效：利用不足的觀測資料卻要產製全臺網格化資料，對本計劃團隊是一大挑戰；以輻射量為例，為發展不同估計方法並與觀測資料比對，所以本研究結合中央氣象局、農委會農試所以及國家災害防救科技中心相關研究人員進行跨界的資料模擬與比對，結果雖差強人意，但往前跨進一步；未來在風場、濕度場等變數都會面臨類似問題，此次經驗可作為未來發展技術的重要參考。

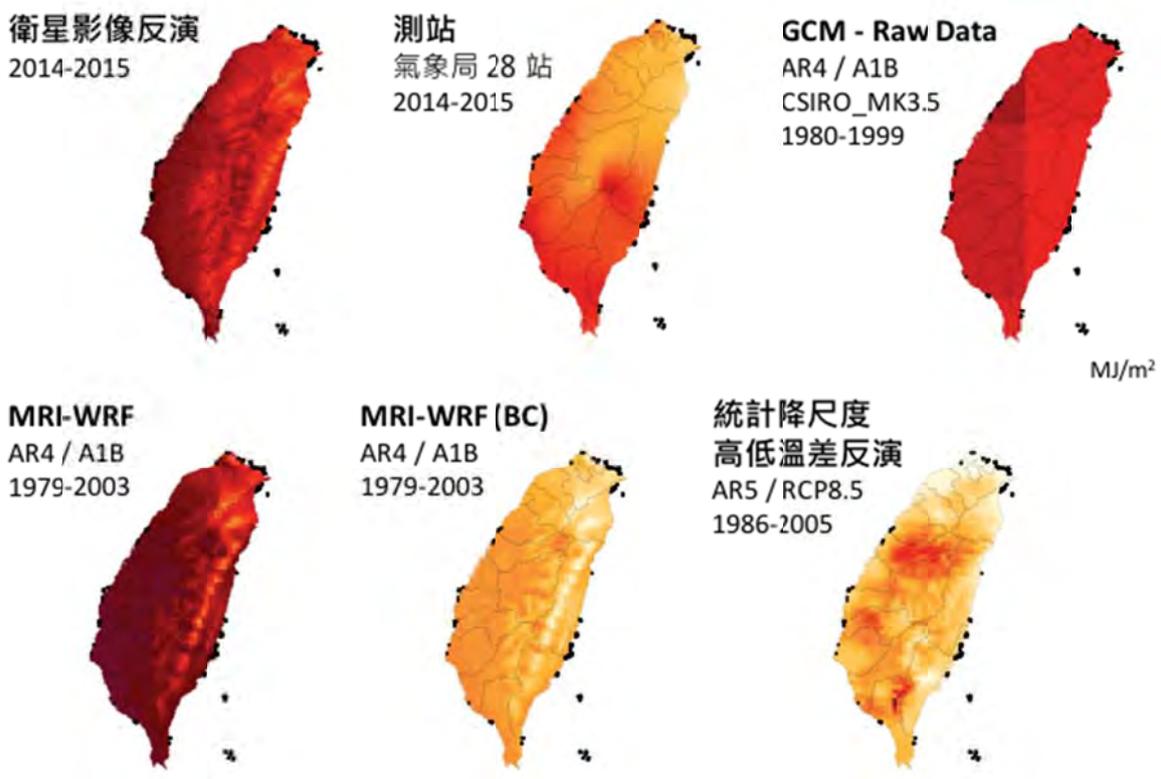


圖 2.16 不同來源的年輻射資料網格化資料，分別為衛星影像繁衍、氣象局 28 個測站網格化資料、AR5 模式 (CSIRO) 輻射資料、MRI-WRF 動力降尺度資料、MRI-WRF 動力降尺度資料偏差校正後資料、以及利用最高溫最低溫繁衍之輻射資料。

2.7 更貼近應用端的氣候變遷服務平台

第一期計畫以科研能力建構為主，科學服務為輔。當計畫至第二期後，整體內容與成效，便轉型為科學服務為主，同時鏈結科研內容需盡可能支援科學服務。因此嶄新的氣候變遷資訊服務平台，便結合氣候變遷資料、資訊與知識的整合平台概念建置，期待將 TCCIP 的整體成果能夠有累積成果以及服務的管道與機制。

2.7.1 新版網站：嶄新介面與多元化服務內容

- ❖ 成果：本期計畫針對資訊平台全面改版，並因應計畫成果的上限，TCCIP 資訊平台網站架構與內容全面更新，於 2015 年 6 月於科技部召開記者會對外公布，瀏覽人數超過 20 萬人次。網站內容包含線上繪圖展示、知識專欄、歷屆研討會影音資料、電子報以及研究報告...等豐富資訊。同時因應國際化合作需求，本網站於 2016 年第一季完成英文版界面 (圖 2.17)。

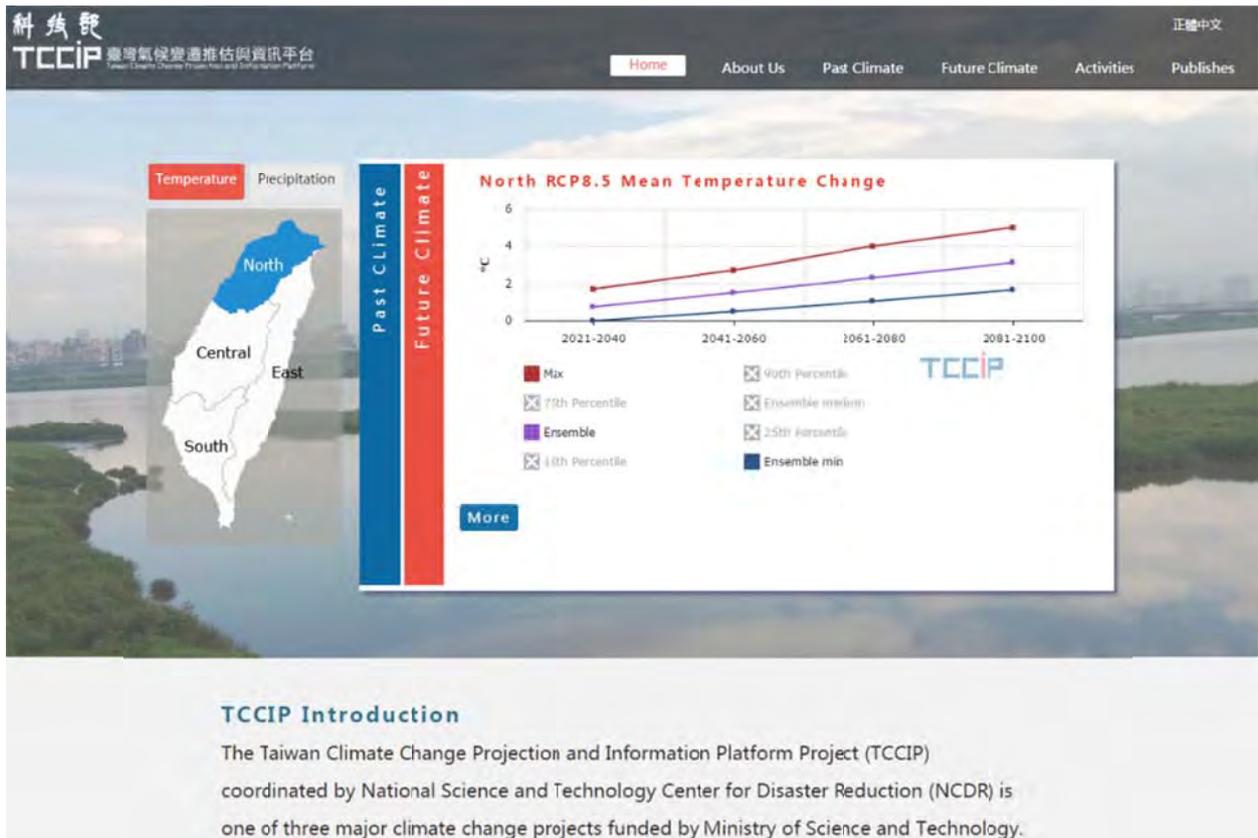


圖 2.17 TCCIP 網站英文版界面

- ❖ 成效：TCCIP 資訊平台以成果國內查詢氣候變遷相關資料、資訊與知識之重要網站，無論是科研單位、政府部門、教育單位是或一般民眾需要了解氣候變遷過去與未來之相關資訊，都可以利用此網站。另外，國發會所建立之各領域之氣候變遷資訊整合平台，TCCIP 網站即代表科技部列為「科學資料」提供的代表性網站。

2.7.2 科學報告：氣候變遷最新科學知識的總和

- ❖ 成果：繼科技部 2011 年發表「台灣氣候變遷科學報告 2011」後，因應 IPCC AR5 的最新資料以及研究成果，TCCIP 計畫結果國內重要氣候變遷研究人員，共同撰寫第

二版的氣候變遷科學報告，作為近年研究成果的彙整與總和，預定於 2016 年 7 月底 TCCIP 計畫成果發表會時對外正式公佈。

- ❖ 成效：TCCIP 計畫做了許多研究與應用服務，外界在知識整合上仍有其需求，科學報告的發佈可以作為政府部門、科研人員以及對氣候變遷有興趣的一般民眾對氣候變遷能有完整參考的依據。未來此報告應可像第一版報告一般，廣受相關人員、報告與單位引用。

2.7.3 服務績效：以做好科學服務與溝通為計畫目標

對外界提供氣候變遷資料服務，並了解使用者需求、溝通氣候變遷資料特性與收集使用者資料是本期計畫新增 Team4 工作小組的最主要工作之一。因此從網站建置、強化資料申請介面、辦理資料使用說明會、電子報主動通知訊息、知識專欄、問卷調查、使用者經驗分析... 等都是完善科學服務的重要工作。

- ❖ 成果：針對本計畫產製的龐大的氣候資料，第二期計畫第一年即開始建置線上資料服務系統—「資料申請平台」，於 2014 年 3 月正式上線對外服務，使用者可於資料申請平台觀看資料申請清單、資料範本展示；通過申請帳號並經過計畫辦公室的資料使用溝通後可於平台上下載所需資料，截至 2016 年 6 月底為止申請帳號的人數 125 人，透過平台申請資料的件數為 142 件次，平均每個月申請件數約為 5 件次 (圖 2.18)。

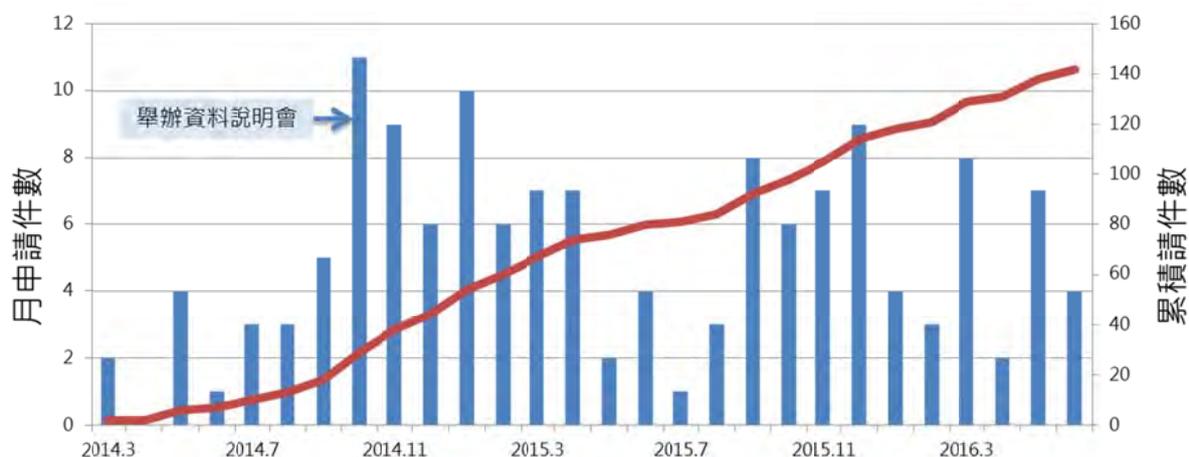


圖 2.18 資料申請平台申請件數統計

本計畫並針對使用者進行分析，圖 2.19 呈現的是資料申請單位與應用領域的統計。表 2.3 呈現不同申請單位的多元性，本計畫成果不只提供科技部的研究計畫使用，在中央與地方政府其他部門的相關研究計畫，以及研究單位的自主性研究都會利用本計畫之成果產出。

- ❖ 成效：本計畫提供國內最新的氣候變遷研究資料，目前看來對國內相關領域的研究以及政府部門推動氣候變遷相關工作產生具體且實質的貢獻與影響，影響領域從第一

期的災害、水文擴展到農業、生態、能源等相關領域，同時也透過和使用者的互動、溝通與反饋，掌握氣候變遷服務的關鍵知識與經驗，作為未來持續推動氣候變遷科學服務的基礎。

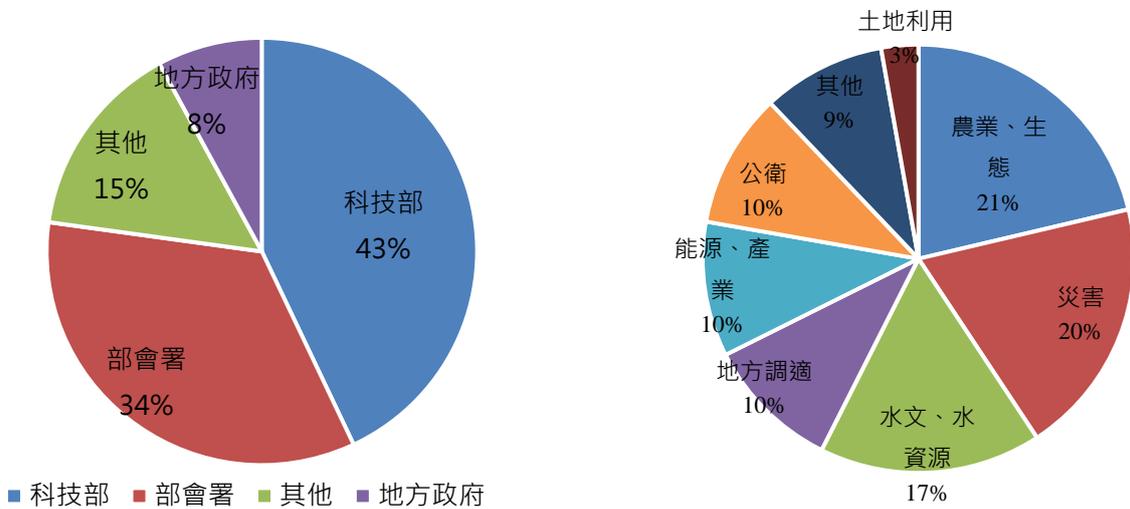


圖 2.19 申請單位 (左) 與應用領域 (右) 統計圖

表 2.3 申請計畫單位列表

計畫來源	計畫數	單位
科技部	49	中研院、中國醫藥大學、中興大學、文化大學、臺南大學、臺灣大學、成功大學、屏科大、海洋大學、高雄海洋大學、中央大學、臺北大學、國立臺北教育大學、國立聯合大學、NCDR、淡江大學、師範大學
部會署	39	經濟部能源局計畫、內政部營建署計畫、國發會計畫、農委會林務局計畫、雪霸國家公園計畫、農委會水利處計畫、水保局計畫、衛福部計畫、玉山國家公園計畫、經濟部工業局計畫、水利署計畫、墾丁國家公園管理處計畫
地方政府	9	高雄市政府、雲林縣政府、臺南市政府、嘉義市政府、桃園市政府、嘉義縣政府、臺中市政府、新北市政府
其他	17	中央大學、臺灣大學、中研院、中興大學、工研院、國研院颱洪中心、商發院、勤益科大、國衛院

第三章 臺灣地區氣候變遷觀測與模式資料分析

Team1:臺灣地區氣候變遷觀測與模式資料分析	
工作重點項目	進度與成果說明
1.強化臺灣地區氣候變遷資料之建置與現象再分析	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 氣象資料數位化 ■ 日溫度與降雨資料網格化 ■ 波候、暴潮與海平面統計分析 	<ul style="list-style-type: none"> □ 完成雨量資料品質檢覈及雨量特殊碼合理處理，提供更準確的資料給予下游應用端使用分析。[3.1.1 節] □ 利用新版的地形資料與方法，將日均溫、日最高溫、日最低溫以及日降雨網格化，提供農業、公衛、水資源領域更好的資料。[3.1.2 節] □ 完成氣候潮位高度特徵分析、沿海暴潮警戒值訂定與海平面高度分析；可提供臺灣沿海防災工程及生態環境領域參考。[3.1.3 節]
2.氣候現象與模式表現評估量	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 重點領域關鍵議題與氣象之可能連結，並嘗試回答相關問題。 ■ 冬、春季降水評估 ■ 鋒面定位技術之建立 ■ 臺灣梅雨季極端降雨事件發生頻率推估 ■ 臺灣寒潮長期變遷趨勢 ■ 極端高溫 	<ul style="list-style-type: none"> □ 從重點領域關鍵議題對應到氣候現象的聯結，進一步評估模式的表現並挑選模式進行未來推估；模式評估的結果可應用於風險與衝擊相關應用的研究。[3.4 節] □ 分析臺灣地區冬半季降雨與 MJO 的關係，並探討未來氣候變遷之下冬、春季降水之改變；相關成果可應用於農業、水資源評估。[3.4 節，冬、春季降水] □ 模式模擬鋒面表現評估量表與未來推估環流場特徵分析，可應用於極端降雨及水資源相關研究。[3.4 節，鋒面定位技術之建立] □ 完成未來臺灣梅雨季極端降雨變遷推估分析，可供極端降雨與防災的應用。[3.4 節，臺灣梅雨季極端降雨事件發生頻率推估] □ 完成臺灣寒潮模式表現評估量表分析，可供能源政策、水稻播種與心血管疾病之應用。[3.4 節，臺灣寒潮長期變遷趨勢] □ 完成極端高溫氣候特徵模式表現評估量表分析，可供公衛領域進行熱衰竭、登革熱研究應用。[3.4 節，極端高溫]

3.1 臺灣氣候變遷基礎資料數位化與均一化

3.1.1 氣象資料數位化

臺灣氣候變遷資料建置於第一年度完成中央氣象局臺北及臺南氣象站測站氣壓、氣溫、

相對濕度、平均風速、平均風向、日照時數等 6 項逐時觀測資料數位化。第二年度針對部分氣象測站的逐時雨量及部分氣象測站的日資料進行補齊工作，日資料共計 23 項，各測站登錄項目不一，包含了平均測站氣壓、最高測站氣壓、最低測站氣壓、平均氣溫、氣溫日較差、最高氣溫、最低氣溫、平均露點溫度、平均水氣壓、最大水氣壓、最小水氣壓、平均相對濕度、最小相對濕度、平均風風速、平均風風向、最大平均風風速、最大平均風風向、降水量、降水時數、最大十分鐘降水量、最大一小時降水量、日照時數、日照率。第三年工作重點為數位化後資料的檢核；主要內容為：(1) 目標測站挑選及雨量資料 QC 技術開發；整理 1998~2015 年共 18 年的資料，總計挑選出 318 個參考測站 (圖 3.1)；品質檢覈處理雨量特殊碼累計於後 (特殊碼記為-9996)。(2)高解析網格化資料不確定性分析。(3)強降水頻率分析。

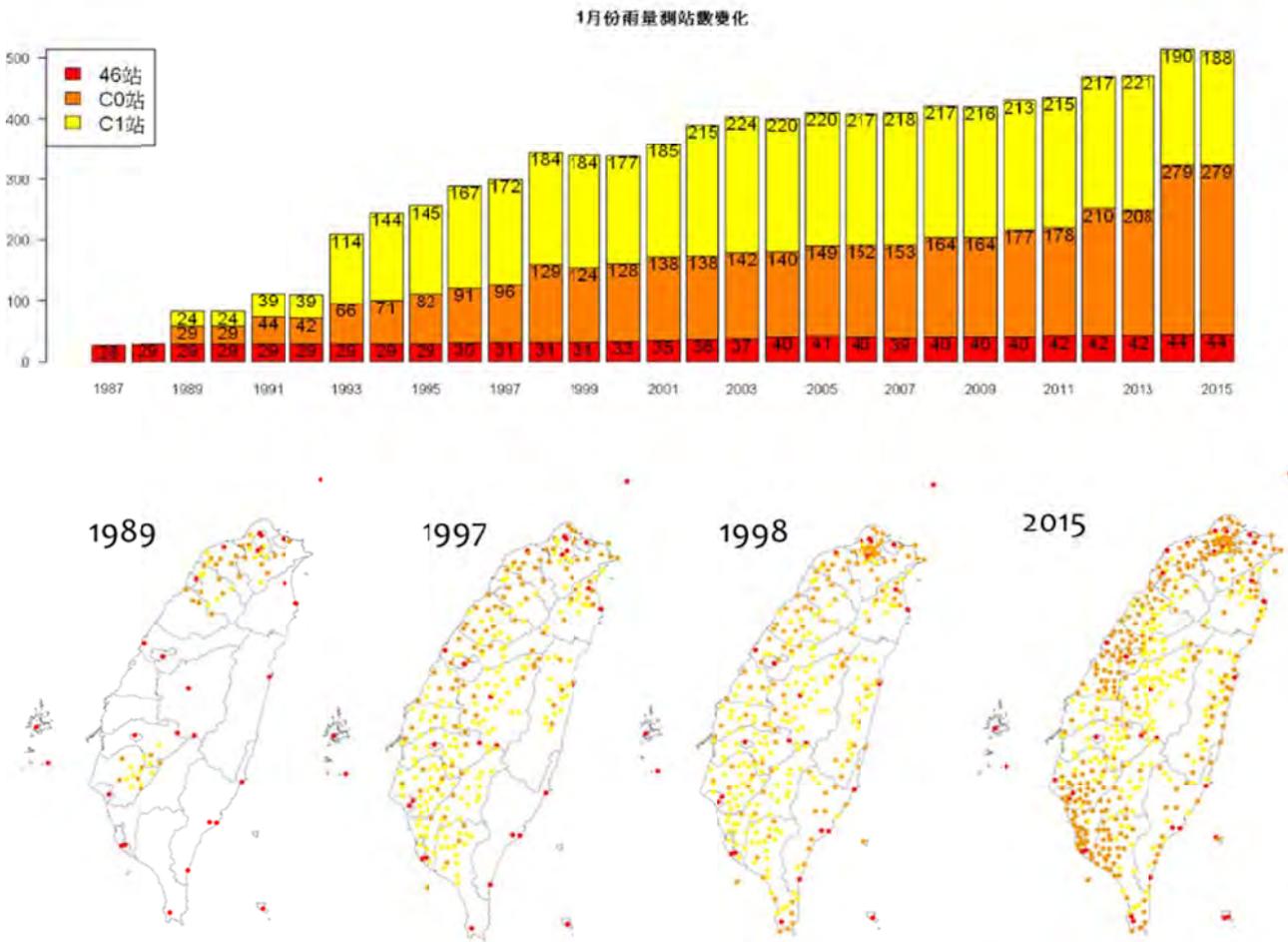


圖 3.1 以一月份為例，中央氣象局雨量測站的逐年站數與測站分佈圖。

3.1.2 資料均一化與網格化

雨量的極端、多重時間尺度變異，以及區域空間差異等特性，是許多研究在處理降雨資料上非常大的問題。在中央氣象局、水利署及各地農田水利會協助下，TCCIP 計畫蒐集了全臺將近 1,500 個測站的各時代雨量數據，匯集成「臺灣雨量測站資料」(Taiwan Rainfall Data，簡稱 TRD)。TRD 原始數據均為日資料，年代起自 1900 年，至 2010 年止共 111 年，總站數

為 1,497 站。經過嚴謹的資料篩選程序整理出 1,187 個測站的歷史紀錄，統整為「臺灣降雨指數」(Taiwan Rainfall Index, 簡稱 TRI)。建立包含 TRI-m (TRI-monthly 之簡稱)、TRI-d (TRI-daily 之簡稱)、TRI-mex (TRI-monthly extend 之簡稱)、TRI-dex (TRI-daily extend 之簡稱) 等四組資料。

臺灣目前缺乏高解析之降雨網格資料，導致氣象資料應用上之限制，本計畫第一年已完成測站月降雨資料網格化的技術建立，根據上述資料（未完全均一化）建立空間解析度 1Km x 1Km 的月降雨網格資料，命名為 TCCIP_precip.monthly_v1 降水資料第一版，並且對此一產品進行交叉驗證以及初步分析的工作。計畫產出之網格點資料 (TCCIP_precip.monthly_v1) 比日本 APHRODITE 降水 (0.25x0.25 度, V1003R1 版) 在氣候場和聖嬰冷暖相位情況更能夠凸顯出局部地區空間分布上的差異。

■ 月網格化資料不確定性分析

網格化資料乃為估計分析值，以客觀的校驗分析方法進行細網格資料的不確定性分析，彙整重要結論如下：

- (1) 完成使用與 TCCIP 第一期計畫 (TCCIP-I) 完全相同的測站資料及地形產製一套由克利金方法所分析出的細網格溫度資料，指出與第一版 TCCIP 網格月溫度資料在西南部有大範圍的差異，提供計劃團隊檢查修正資訊參考。其後亦發現修正後之網格月溫度資料所新增使用的環保署觀測資料的海拔高度資訊有引用錯誤情形，並協助提供修正資訊。
- (2) 對於 TCCIP-I 網格化方法與克利金方法給予比較評析，克利金方法乃是先找出資料在空間中的統計結構，再透過最小估計誤差原理，決定觀測站之間的統計關係矩陣，和觀測站和估計值之間的統計關係向量，最後決定權重係數。而 TCCIP-I 網格化方法採用網格權重與距離成反比的內插方法，並配合權重平均法去分配不同網格的權重值，此統計方法只有觀測值和估計值之間的統計關係，欠缺觀測值之間彼此的統計關係矩陣，可能出現相依觀測資料權重配比不恰當的問題。另外，在以去一法 (take one out) 檢查網格化方法的可信度時，2 個方法皆顯示測站數較少的山區及東部地區有較大估計誤差，我們提醒使用此部份的高解析度資料進行氣候變遷分析可能需要更為謹慎。
- (3) 在比對不同方法所產製網格化資料的差異程度方面，以具 50 年以上長期資料的代表站為例，檢查上述 2 種網格化方法是否能正確估計其觀測所見趨勢 (圖 3.2)。結果顯示 TCCIP-I 網格化方法的估計值並未能呈現出部分測站所觀測到的長期暖化趨勢。而克利金網格化方法的估計值則相對表現較好。
- (4) 網格化資料在各年的估計誤差可能因鄰近測站數的多寡、關連程度等影響而存在年代差異。此種誤差的幅度甚至可能影響真實氣候變遷訊號的判斷。
- (5) 經由網格化資料近 30 年迴歸分析初步結果所表現出的臺灣山區冷化趨勢，提出一些可能需注意的問題，例如所見具冷化趨勢的網格化資料，並非產製於全部時程皆有固定觀測數量的資料序列。另外包含觀測資料品質的檢查、異源資料的統計差異特性也是進行網格化分析前應該要先行處理的問題。

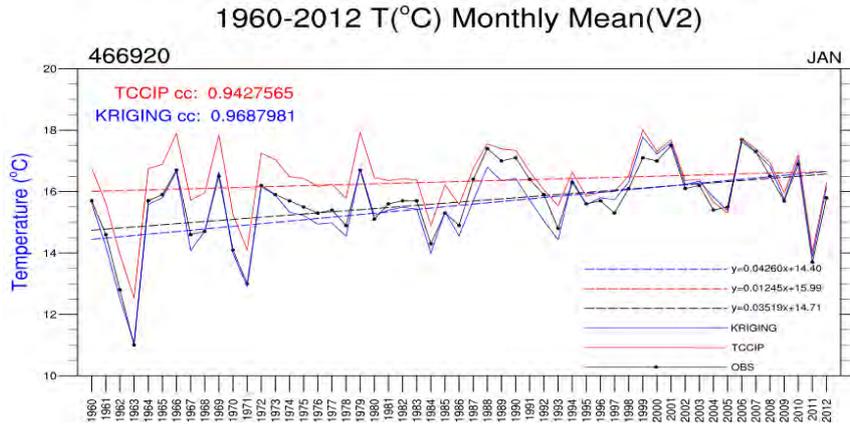


圖 3.2 1960-2012 年臺北 1 月氣溫時間序列圖。其中黑色曲線為實測值，紅色及藍色分別為 TCCIP-V2 及克利金方法在臺北鄰近點的網格估計值。

日溫度與降雨資料網格化

❖ 日溫度資料網格化更新

延續之前月溫度網格化 (v3 版) 做法，利用新版地形資料 (包含有澎湖地區)，將三組溫度資料 (日均溫、日最高溫、日最低溫) 視為互相影響的群組。並對目標網格點和參考測站間的溫度，按不同月份做高度差修正。日溫度網格化資料的氣候場 (圖 3.3 左) 的地形效應明顯，隨高度增加，溫度降低。

❖ 日降雨資料網格化更新

參考 Glasbey and Nevison (1997) 的研究，利用隱藏式高斯分配 (Latent Gaussian variable, LGV)，對測站不同月份的日降雨資料做標準化與參數化，同時處理有雨日和無雨日，並使日降水資料轉為常態分佈的型式。使用多達 8 種統計分佈模型，最多達 11 個參數的方程式；用最大概似法 (Maximum likelihood) 做參數推估每種統計模型。進一步在空間上用經驗正交函數 (Empirical orthogonal function, EOF) 的方法，對特徵向量做網格化。

冬季東北部受東北季風影響，夏季山區受颱風影響不確定性較大。雨日強度和頻率的空間分佈在各個月份的氣候值十分相似。冬季 (12、1、2 月) 東北部的雨日較多，受東北季風影響。梅雨季和夏季 (4~8 月) 則受地形影響，山區雨日頻率較平地大。1960~1975 年 (前期) 和 2000~2015 年 (後期) 的差異 (圖 3.3 右) 在冬季臺灣東北部沿岸降雨強度和雨日頻率皆增加的趨勢；夏季則為降雨強度增加，但雨日頻率減少的趨勢。校驗 7 個侵臺颱風個案發現，降雨空間分佈和氣象局的資料十分接近，且解析度更高。

目前 (2015 年版) 的日溫度網格化資料包含日均溫、日最高溫、日最低溫三組資料庫，時間長度為 1960~2014 年，有 1km 和 5km 兩種解析度。日降雨資料，時間長度為 1960~2015 年，預計產出 1km 和 5km 兩種解析度。而 5km 解析度是從 1km 解析度的網格資料做區域平均計算後得到。

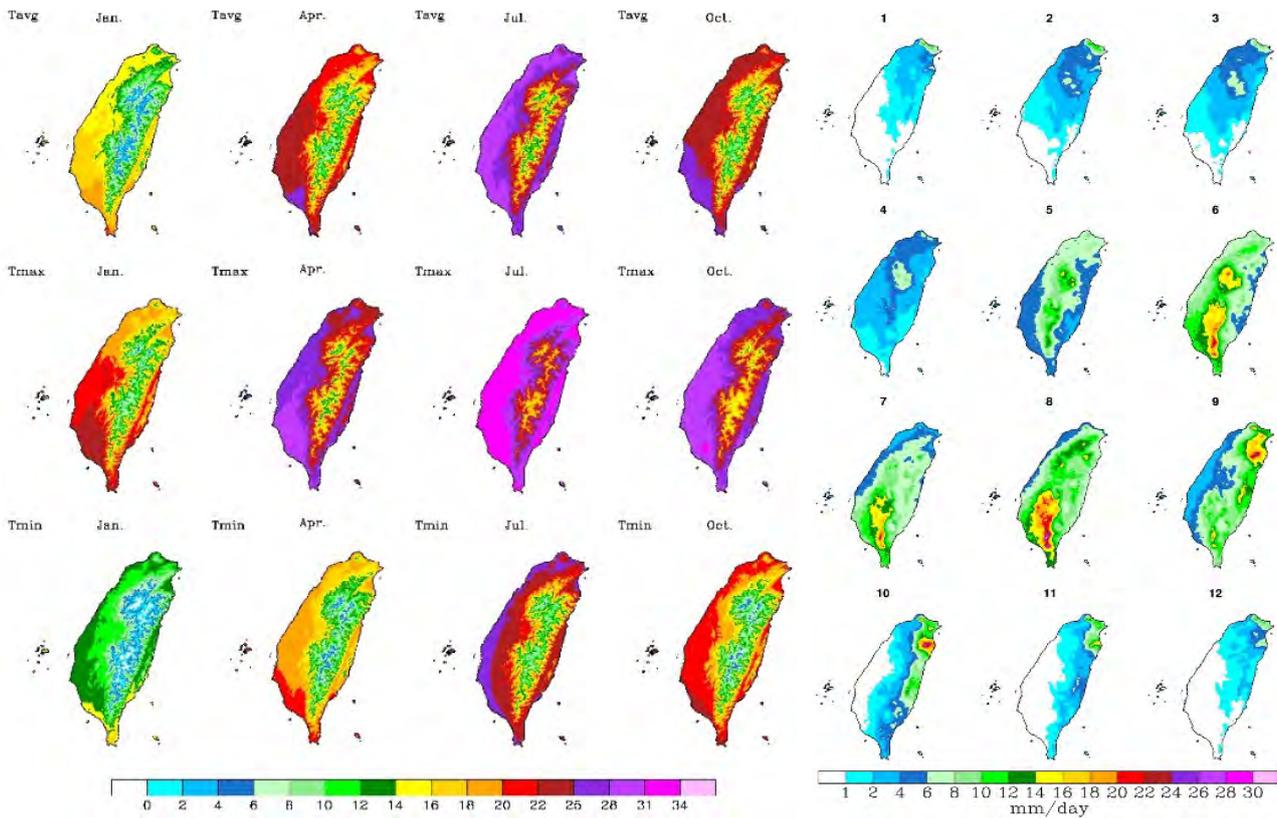


圖 3.3 新版 1 公里解析度網格資料。左圖由上至下為日均溫、最高溫、最低溫度資料的 1、4、7、10 月氣候場 (單位:°C)。右圖為各月份氣候平均降雨 (單位:mm/day)。

3.1.3 海平面資料均一化校正工作

架設於全臺岸邊之海平面觀測潮位站易受到風災、地殼變動、地層下陷、儀器問題 (故障、更換儀器、變更設置地點)、或人為因素 (廠商維護) 等影響，故觀測記錄會有中斷現象且可能造成基準面偏移；因此，應用氣象局開發海平面資料檢校系統。此系統目標為針對觀測潮位資料龐大與記錄缺失的特性，設計出自動檢核模組與手動校正模組；自動檢核模組可自動檢核挑錯，並記錄需要修正的時段；手動校正模組可建立不同的方法計算基準面調整差值，對潮位觀測資料中異常偏移的基準面進行修正，使得潮位觀測資料可運用於海平面長期統計分析。

本期選定基隆、高雄、淡水、花蓮、澎湖、塭港、蘇澳、新竹、東石、成功等 10 個潮位測站對其長期潮位觀測資料進行均一化作業。未均一化前的海平面，大部分皆有水準面偏移的情形；經過本研究的系統性均一化修正後，海平面資料的偏移皆已趨於合理。從均一化後的 10 個測站中，挑選缺值比例較少，且資料提供品質較穩定的基隆、高雄、塭港及蘇澳 4 個潮位測站進行長期資料的分析；4 站皆已經由前述步驟進行分站合併與檢校，完成海水基準面的調整。從圖 3.4 可知，線性迴歸分析得到高雄平均海平面上升速率為 0.37mm/yr；基隆平均海平面上升速率為 0.74mm/yr；塭港平均海平面上升速率為 4.93mm/yr；蘇澳平均海平面上升速率為 7.00mm/yr。

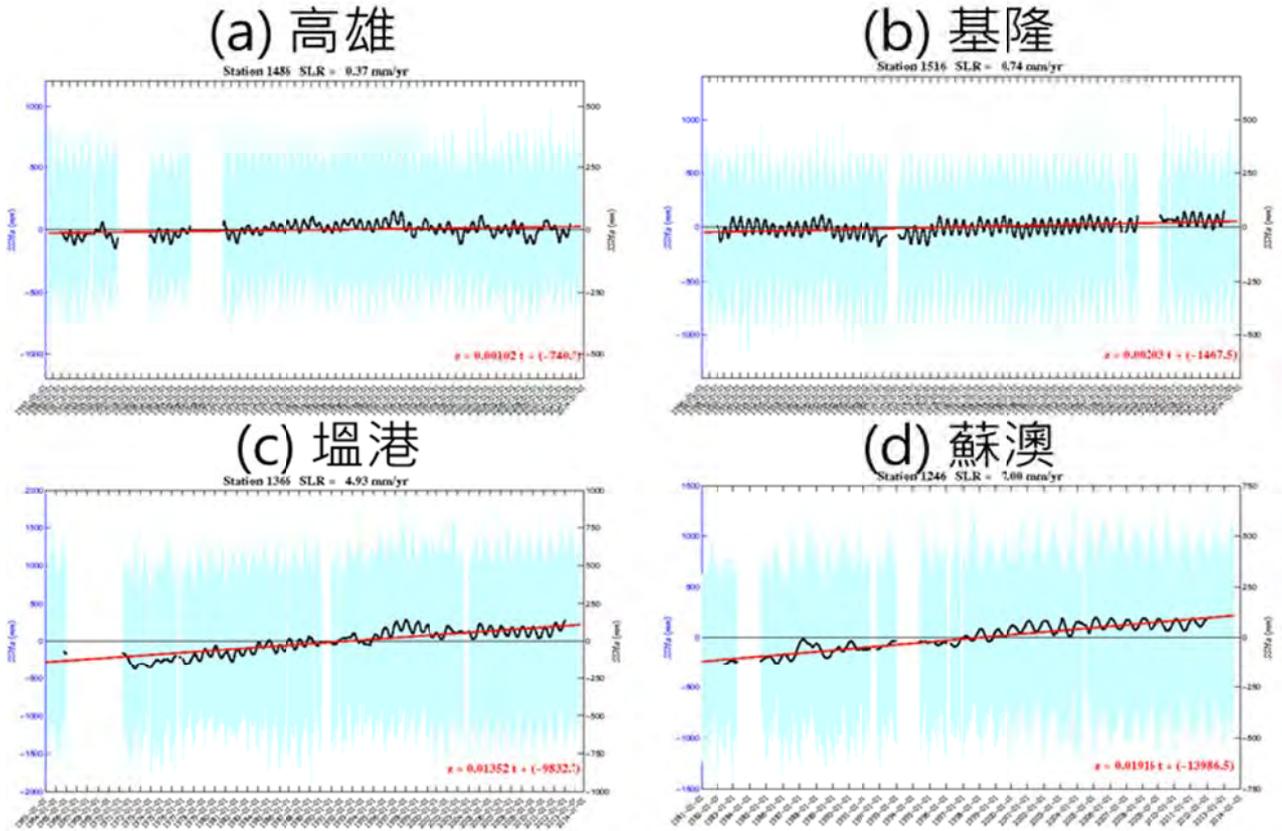


圖 3.4 (a) ~ (d) 為各測站均一化後的潮位逐時觀測資料

波候、暴潮與海平面統計分析

為瞭解臺灣周遭海域海象之氣候特徵，進行海平面、暴潮、波候的氣候統計分析。過去約 60 年 (至 2013 年) 與最近 20 年 (1994 至 2013 年) 海平面變化趨勢間的差異，發現大部分測站的近 20 年海平面上升趨勢變化皆大於過去 60 年的海平面上升趨勢 (圖 3.5)。

歷史潮汐統計資料 (如表 3.1 所示)，最高高潮位與最低低潮位即相當於最高與最低之暴潮現象，其餘則是潮汐或天文潮現象。因受海面氣壓影響，各項潮汐統計資料均會顯示夏季潮位高度較高，冬季則較低。

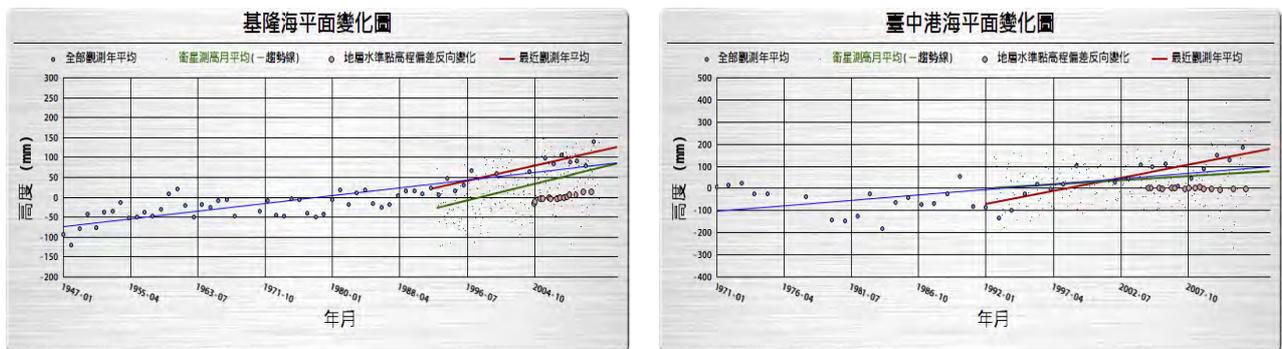


圖 3.5 (a)基隆海平面趨勢變化圖 (b) 臺中港海平面趨勢變化圖

表 3.1 每月潮位統計(1994~2013 年)

單位：公尺	基隆	淡水	新竹	台中港	澎湖	將軍	高雄	恆春	蘇澳	花蓮	成功
最高高潮位	1.272	2.45	3.84	3.206	1.51	1.591	1.289	2.459	1.545	1.587	1.464
最高天文潮	0.693	2.0	2.8	3.11	1.279	1.341	1.18	1.26	1.18	1.143	1.028
大潮平均高潮位	0.436	1.528	2.14	2.351	0.858	1.044	0.761	0.797	0.821	0.822	0.701
平均高潮位	0.363	1.299	1.821	2.033	0.683	0.919	0.569	0.538	0.559	0.585	0.447
平均潮位	0.072	0.253	0.115	0.147	-0.412	0.328	0.3	0.242	0.081	0.089	-0.094
平均低潮位	-0.199	-0.718	-1.571	-1.753	-1.316	-0.212	0.023	-0.064	-0.39	-0.401	-0.625
大潮平均低潮位	-0.429	-0.952	-1.969	-2.343	-1.674	-0.51	-0.084	-0.175	-0.684	-0.695	-0.925
最低天文潮	-0.913	-1.67	-2.91	-3.24	-2.17	-0.98	-0.466	-0.438	-1.17	-1.11	-1.29
最低低潮位	-1.104	-1.727	-2.7	-3.187	-2.207	-1.093	-0.528	-0.756	-1.182	-1.303	-1.402

分析全臺灣 42 個潮位站 1977 至 2013 年共 36 年的每 6 分鐘潮位觀測資料，經過潮汐調和分析方法回推每年天文潮之每 6 分鐘潮位，統計 36 年颱風各地最大暴潮排名：歷年最大暴潮偏差為 1.93 公尺，發生於 2013 年的蘇力颱風，地點是位於臺灣東北角的龍洞測；排名第 2 的暴潮偏差為 2001 年尤特颱風期間位於金門的料羅灣潮位站，其最大暴潮偏差為 1.81 公尺；第 3 名則為 1990 年楊希颱風期間的臺中港測站，最大暴潮偏差值為 1.71 公尺，此 3 站僅龍洞潮位站的最大暴潮事件是發生於天文大潮期間，引發當地海水倒灌災情。

重新計算過去 36 年 (1978~2013 年) 歷史颱風暴潮偏差，並藉由水利署 2001~2010 年海岸淹水資料來計算臺灣沿海縣市的淹水復現期 (如圖 3.6a)，之後再以統計學中的韋伯分布 (Weibull distribution) 分析方法來推算暴潮復現期高度，最後再將計算所得的結果作為修正、釐定臺灣沿海各地新暴潮警戒值高度的參考依據 (如圖 3.6b)。



圖 3.6 (a)臺灣沿海縣市的淹水復現期 (b)臺灣沿海各地新暴潮警戒值高度

3.2 氣候變遷下的臺灣年代際變化與極端事件趨勢分析

3.2.1 降雨指數 (TRI) 在氣候變遷議題上之應用

各類的 TRI 指數可作為臺灣整體一致降雨狀況的指標；以 TRI-m 與 TRI-mex 兩種指數而言，是長期氣候變遷課題上分析臺灣雨量狀況的基本數據；應用成果包括：總雨量年代際變化、季節降雨概況、冬半年降雨、極端降雨分析等。TRI 指數的建立，是臺灣氣象史上第一

次運用最多與最長雨量測站資料，所整合成的臺灣降雨氣象數據，可以提供科學界與各種文史研究者加以使用，能拉近國內氣象界與文史研究者間的距離，進而釐清臺灣近代百年來，可能與降雨有關所衍生出的各類人文社經議題。

降雨指數的製作，目的是要提供依地理區分的降雨指數，提供對不同區域降雨特性之差異有所需求的使用者應用。旨在提供長時間降雨資料，而且是能代表全臺灣降雨狀況的一個數值，區分為日指數 (TRI-dex、TRI-d) 及月累積指數 (TRI-mex、TRI-m)。考量臺灣山高陡峻，走向為南北向，且臺灣位處亞洲季風區，地形效應使得迎風及背風側受季風的影響，因而有不同的降雨型態。在探討氣候變遷下影響自然及人文發展的南北或東西不同特性時，各地區降雨量的差異應當被估量，因此本研究從分析降雨特性出發，尋找適當的方法為臺灣降雨特性分區。

研究中使用的分區方法主要沿山脈稜線區分東西；濁水溪、雪山、南湖大山連線區分南北 (如圖 3.7)。分析結果重點整理如下：年循環特性-臺灣地區降雨集中在六月及八月，形成各區域的雨量峰值區 (除了東北區八月沒有峰值)。秋季 (SO) 則是東北區及東南區降雨最多的時段。冬季 (NDJ) 降雨以東北區最多，春季降雨則以西北區最重要 (如圖 3.8)。年代際變化 (21 年滑動平均) 增加趨勢者：夏季 (JA) 東北區，秋季 (SO) 各區；減少趨勢者：春季 (FMA) 各區，梅雨季 (MJ) 東北、東南區。持平者：夏季 (JA) 西北、東南區。有週期性年代際變化：春季 (FMA) 各區，夏季 (JA) 西南區。其他-西北、西南區春雨、秋雨與 PDO 相關，1960~1970 年東北區的秋雨明顯增加、西南區秋雨明顯減少。各區重要的季節降雨分別為：西北區—梅雨、夏季，西南區—夏季、梅雨，東北區—秋季、冬季。

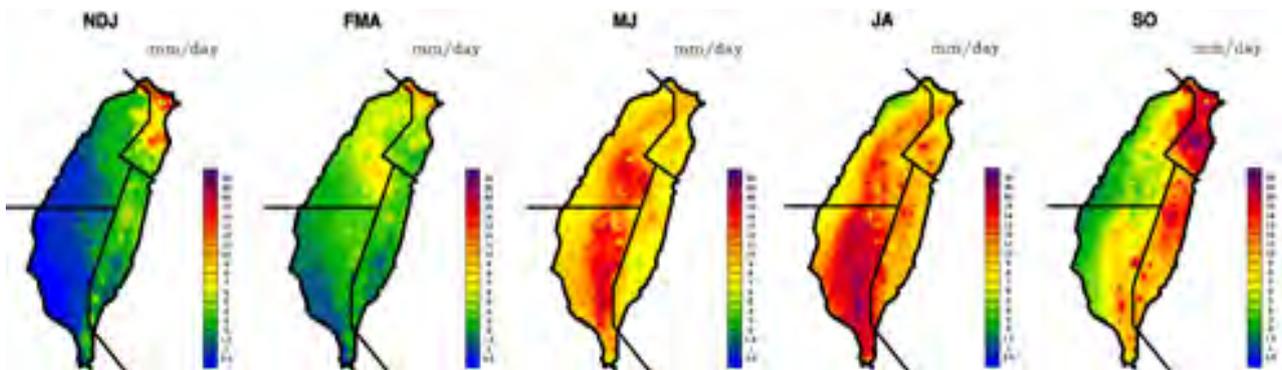


圖 3.7 臺灣地區雨量分布圖 (僅以測站雨量做簡單內差) 及分區 TRI 界線

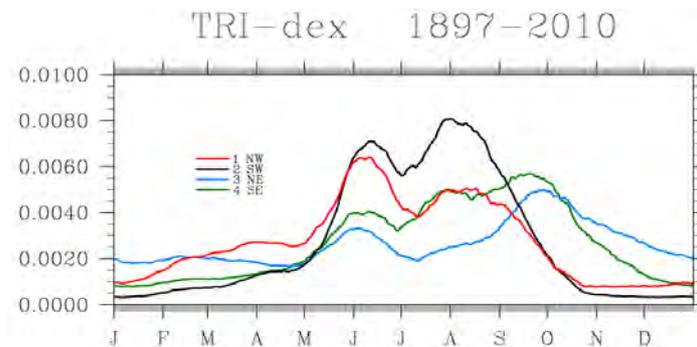


圖 3.8 分區 TRI 年循環圖

臺灣降雨指數 (TRI) 於 TCCIP 第一期計畫中收錄了 1885~2010 年的資料，資料品項分為日資料與月資料，第二期計畫中目前已更新至 2012 年的資料。TRI 更新：2013 年新測站資料與舊測站資料有些許更新，舊測站資料有 22 筆測站高度不同，加上已於近日獲得水利署提供 2009~2012 年所屬測站降雨資料，TRI 將進行進一步之更新。測站數目對 TRI 值影響測試：經過比較，TRI-mex 及 TRI-m 與僅以氣象局綜觀測站所算出之指數比較，兩者十分相似。加上 TRI 指數所使用的在 1960 年代以後，已經達到 500 站以上，測站的增減對 TRI 指數值的影響很小。

3.2.2 溫度與雨量氣候變遷/變異分析

- ※ 針對臺灣地區長期氣候變化趨勢之研究結果，蒐集與彙整過去已發表之臺灣相關氣候研究文獻，更針對特定變數 (如降雨、溫度、風、極端氣候以及颱風等)，進行臺灣地區氣候變遷分析研究，分析測站以臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮、臺東 6 個百年測站 (1911~2009) 為主。
- ※ 臺灣年總雨量的百年變化趨勢並不明顯。在降雨日數 (日雨量 ≥ 0.1 mm) 的變化方面，研究顯示年度總降雨日數不論是在 100 年、50 年與 30 年則是有明顯下降的趨勢。
- ※ 溫度上升趨勢，以臺灣年平均溫 (6 個平地測站平均)，1911~2009 年的一百年間上升了 1.4°C ，增溫幅度相當於 $0.14^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 。近 30 年的增溫速率明顯加快，增溫幅度為 $0.29^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ ，是百年趨勢值的 2 倍。另外根據中央氣象局出版之「1897-2008 臺灣氣候變化統計報告」顯示，近百年來全臺平均氣溫，考量都會區與山區之平均上升幅度為 0.8°C 。
- ※ 暴雨分析部分，從 100 年的線性變化趨勢來看豪雨和大豪雨日數的變化趨勢都不顯著，但是近 50、30 年則有明顯增多的趨勢。臺灣大豪雨日數有以大約 10-20 年為一期的年代際變化現象。
- ※ 在颱風研究部分，本計畫定義出距離臺灣海岸線約 300 公里的「影響臺灣颱風」範圍邊界，進行颱風個數與路徑分析。結果顯示，從 11 年移動平均可以看到在 1960~1990 年颱風個數並沒有明顯的上升或減少趨勢，至 1990 年以後才出現上升，表示影響臺灣的颱風於最近 20 年有增加的趨勢。此外，颱風個數出現明顯的年代際變化，1970~1990 年期間影響臺灣的颱風以輕颱較多，中颱與強颱都較少；而 2000 年之後輕颱個數沒有明顯變化，中颱與強颱則是都有增加趨勢。
- ※ 海水位上升部分，臺灣測站為自 1955 年後海平面上升速率比較，在 1993-2003 年間驗潮儀所測得海平面上升速率為 $5.7\text{mm}/\text{yr}$ ，略高於衛星所測得的 $5.3\text{mm}/\text{yr}$ ，與西太平洋其它區域性海平面上升速率相近，而遠大於全球平均值 $3.1\text{mm}/\text{yr}$ 。原因可能是年際 (如聖嬰現象) 與年代際變化影響，近幾十年東太平洋海平面持續下降，西太平洋海平面持續上升所造成，鄰近海域 (如南海) 海平面變化，都可能是造成臺灣地區海平面高度變化較為劇烈的原因。

3.2.3 乾旱事件分析

發展乾旱監測指數SPEI與應用性評估

為了改善 SPI，Vicente-Serrano et al. (2010) 最近發展的標準化降雨蒸發散指數 (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI) 納入溫度所反應的地表潛在蒸發散量，可以探查水文乾旱。由於測站通常保有相當長的溫度和降水記錄，使用 SPEI 相當有利於研究當地水文乾旱的長期特徵。納入氣溫訊號後，也比只依賴不確定性高的降雨（國內廣泛使用的 SPI）更適合用來推估正在暖化中的世界的未來場景。本研究目標：(1) 介紹適用在臺灣季風氣候的 SPEI 之計算流程；(2) 探查臺灣地區乾溼變化的低頻特徵和空間歧異度；(3) 大尺度環流影響下，探查上述區域特徵在全球的遙地相關。

SPEI 的計算過程包含潛在蒸發散量的計算、SPEI 的建立以及參數推估等三個步驟。採用桑氏維特法 (Thornthwaite, 1948) 計算潛在蒸發散量 (PET) 過往經驗顯示，使用簡單的方法尚不致於影響研究長期變化的結論 (Mavromatis, 2007)。以桑氏法計算 PET (單位：mm) 只需要單一的測站月均溫 T (單位： $^{\circ}\text{C}$) 變數。

藉由 SPEI 以結合降水和溫度對地表水文收支的影響，本研究利用百年測站記錄，解析臺灣地區長期乾溼變化的時空歧異度。轉動經驗正交函數分析 (REOFA) 的結果顯示它有以下 3 種主要型態：(1) 以西部平原為中心、全島乾溼變化趨向一致的西部型：1960 年代以前偏溼，以後變乾；(2) 以花東縱谷為主的東南型：呈現乾溼期交替，週期約 18~20 年，明顯的多年代變異；(3) 以北部沿海為主的北區型：1970 年代以前偏乾，以後變溼。標準化後的 SPEI 有利於線性統計工具的應用，使得 3 種型態共解釋了 77.3% 的總變異量。

目前該部分研究工作已完成適合臺灣的 SPEI 指數計算流程，後續將以此方法應用於計畫團隊所產製之高解析度網格資料中，進行全臺高解析度 SPEI 指數建立，提供應用端進行乾旱研究。

極端乾期指標設計與應用

根據 6 個百年以上日雨量資料記錄的測站（臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮和臺東），以 90 天為一窗區分別逐日滑動統計各個測站 1951~2010 年期間連續不降雨日數的發生機率，定出各測站連續不降雨日數發生次數達到累積機率 99%（即超越機率 1%）為異常極端乾期 (DS99) 門檻值，針對臺灣極端乾期變化進行分析。

臺灣極端乾期有顯著的年代際變化特徵，1930~1940 年代期間極端乾期較少出現，1960 年之後的發生頻率明顯增多。1960~1980 年代的極端乾期主要發生在夏季和秋季，梅雨季偏乾現象在 1960 年之後較常出現，11 月至隔年 4 月的冬半年則是在 1990 年代之後發生頻率有明顯增多的趨勢。近 20 年來，乾季的極端乾期發生頻率高於雨季，臺灣雨季非常嚴重的極端乾期發生頻率有減少的情形，而乾季發生頻率則明顯增多，顯示極端乾期增強乾季越乾、濕季越濕的特徵 (圖 3.9)。

分析臺灣極端乾期頻繁發生的大尺度環流場變化，發現冬季臺灣附近存在反氣旋環流時，會減弱北方東亞季風的南下，使得冬季鋒面形成的降雨減少，因此極端乾期主要發生在較弱的東亞冬季季風狀態。夏季受到西太平洋副熱帶高壓向西增強的影響，減弱了西南氣流的強度，使得臺灣夏季降雨減少，而增加了極端乾期的發生機率。在研究過程中分析極端乾期指數與雨量、雨日變化的關係，發現臺灣極端乾期指數和兩日之間有較好的相關性，和雨量的相關則較差，因此採用連續不降雨日數作為判斷極端乾期是一個比較好氣象因子。

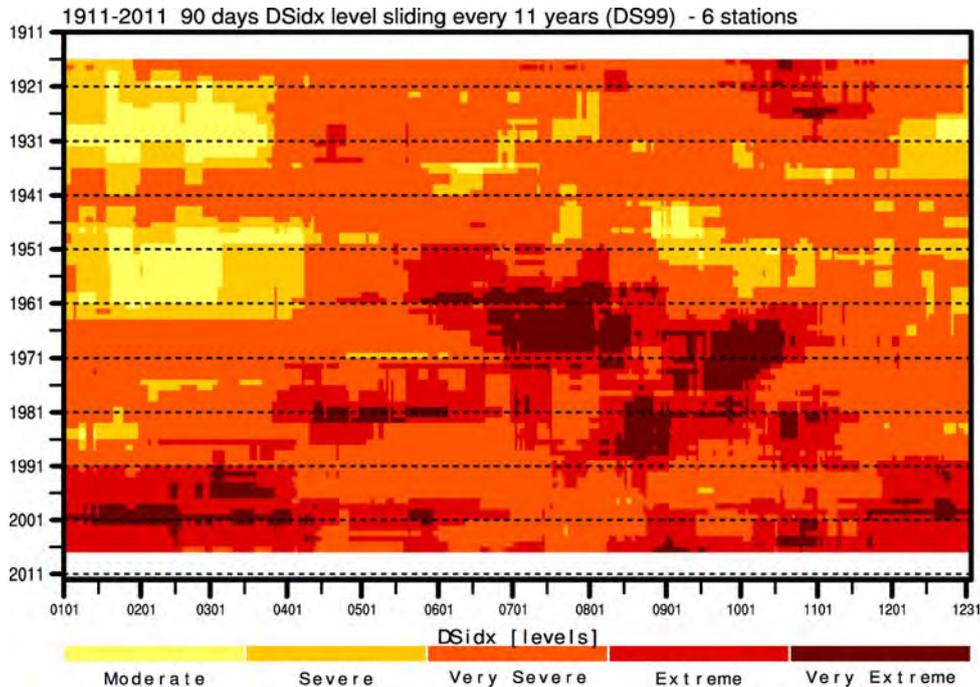


圖 3.9 1911~2011 年每 11 年滑動累加的臺灣極端乾期指數 (DSidx) 依嚴重程度區分為五種不同極端乾期類別的分布。

3.2.4 極端降雨變化趨勢

極端的降水常伴隨災害性的損失 (如淹水、土石流...等)，而對於臺灣水資源管理而言，這類的降水 (如：颱風、梅雨、午後對流...等降雨型態) 又是重要的貢獻來源；因此，分析極端降雨的趨勢變化為氣候變遷的背景下的重要議題。在過去水文統計學的研究，把單一測站極端降水記錄視為空間獨立事件 (Chen and Lu, 2005)，但就氣象的角度而言，鄰近不同測站位置每年發生極端事件原因，往往都是同一氣象事件所引起的短延時強降雨。分析每年最大日降雨量 (RX1day)，應用統計上一般極值理論 (General Extreme Value, GEV) 分布，得到相對應可能性指標 (Probability Index, PI)。此均一化轉換，在評估極端降雨變化趨勢時，修正因一些奇異值 (outliner) 所帶來的影響，且讓不同空間位置的長期資料可以相互比較。同時運用在分析多模式模擬 (multi-model) 結果時，減少模式間因系統性誤差所造成的不確定性而影響過去氣候評估與未來情境推估結果。

使用 TCCIP-II 產製 5 公里高解度的每日降雨網格資料 (TCCIP_5km)，分析 1960~2009 年間每年 RX1day 變化趨勢，與臺灣各地的氣象局 23 個人工測候站 (TW_STN) 長期觀測記

錄，其中並包含 2 個高山測站作為交叉驗證分析。比較 RX1day 均一化前後距平分析的結果 (圖 3.10)，以臺北站 (Taipei) 與臺中 (Taichung) 為例，在均一化轉換為 PI 後，值的變動範圍可以限制在 0-100 之間，50 年極端降雨線性趨勢分別由 0.67 與 1.09 [單位：(mm/day)/年] 變成 0.17 與 0.28 [單位：%/年]。另比較 2 個中部鄰近的高山測站，阿里山 (Alishan) 的 RX1day 在轉換前的變動範圍在 -400 ~ 400 mm/day 間，而玉山 (Yushan) 則是 -200 ~ 200 mm/day 間；均一化後收斂在 -60 ~ 60 % 間。此結果有助於量化分析極端值的長期變動趨勢，特別是不同空間分布具有不同降雨特性的測站或網格點間的比較。

就各別區域特性趨勢而言，中、南部的極端降雨的線性增加趨勢最明顯，北部次之而東部最弱。類似結果顯示於各區域平均 (北、中、南、東) 的 TCCIP_5km 網格資料。此交叉驗證結果說明 2 筆觀測資料的一致性與均一化分析的應用能力。在 2000 年以後極端降雨有顯著增加的情況，此結果與 Tu et al. (2009) 分析西北太平洋颱風路徑的年代際變化轉換的時間點一致。

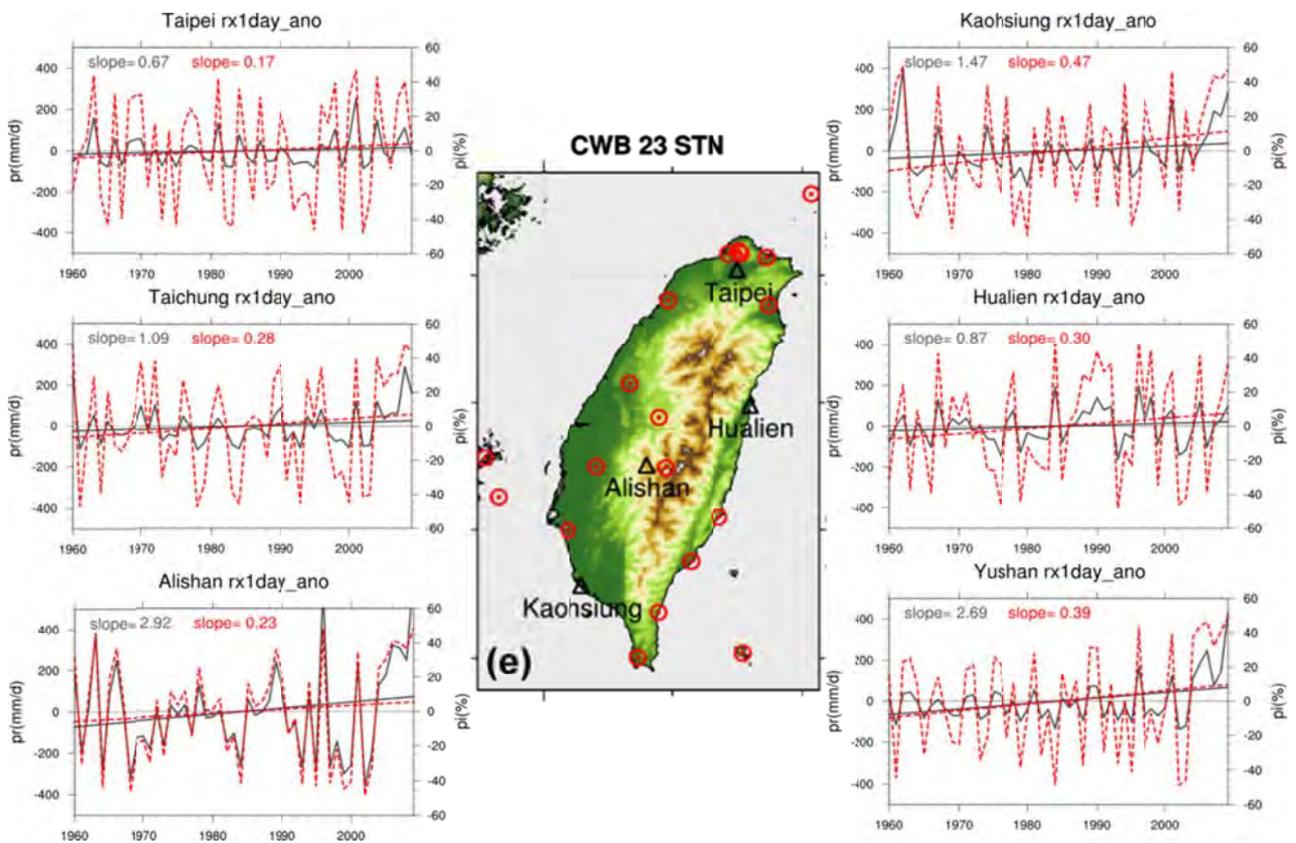


圖 3.10 氣象局 23 個局屬測站分布圖 (e) 與 6 個各區域代表測站的 RX1day 每年變化時間序列，其中阿里山 (Alishan) 與玉山 (Yushan) 為高山測站。黑色實線為 RX1day 距平值 (單位：mm/day)。紅色虛線為均一化後的 PI 距平值 (單位：%)。時間序列圖左上數值表各別的線性趨勢。

3.3 東亞地區之變遷趨勢對臺灣的影響

3.3.1 臺灣與華南地區梅雨季降水之年代際變化

本研究主要利用目前現有的全球降水觀測資料，以及 TCCIP 計畫所產出之 TRI 指數、臺灣均一化網格化測站資料，個別分析華南地區與臺灣 5、6 月降水之年代際變化以及大尺度環流的改變，瞭解梅雨季降水與大尺度環境長期的改變趨勢，並進一步探討造成其改變的原因與機制，另比較 MRI 20 公里高解析度模式之模擬結果與實際觀測值之異同，評估模式在梅雨季降水的表現能力。分析方法主要有經驗正交函數 (Experimental Orthogonal Function, EOF) 分析、奇異值分解 (Singular Value Decomposition, SVD) 分析、帶通濾波器 (Band-Pass Filter, BPF) 分析、氣候遷移指數 (Regime Shift Index, RSI) 以及各種環境場變數在兩個不同時間間的距平值差異之比較分析。

本章節利用不同降水資料，以及 850 百帕的東西向水平風場，分別進行 EOF 分析，討論東亞地區降水和風場的時間與空間分布特徵，分析範圍由經度 $95^{\circ}\text{E}\sim 145^{\circ}\text{E}$ ，緯度 $10^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ (圖 3.11)。由空間分布配合其主分量正負改變可以看到在 1994 年以前，5 月份華南地區的降水普遍呈現為減少的狀態，臺灣則是增加的時期，大陸西部、中南半島及菲律賓則是呈現為增加的情形。1994 年以後開始華南地區與臺灣開始進入降水量增多的時期，中南半島及菲律賓等較低緯度地區則轉變為降水減少的時期。藉由 RSI 值的計算也可以明顯看出在 1994 年 RSI 值有較大正值，代表氣候態在該年發生轉變。

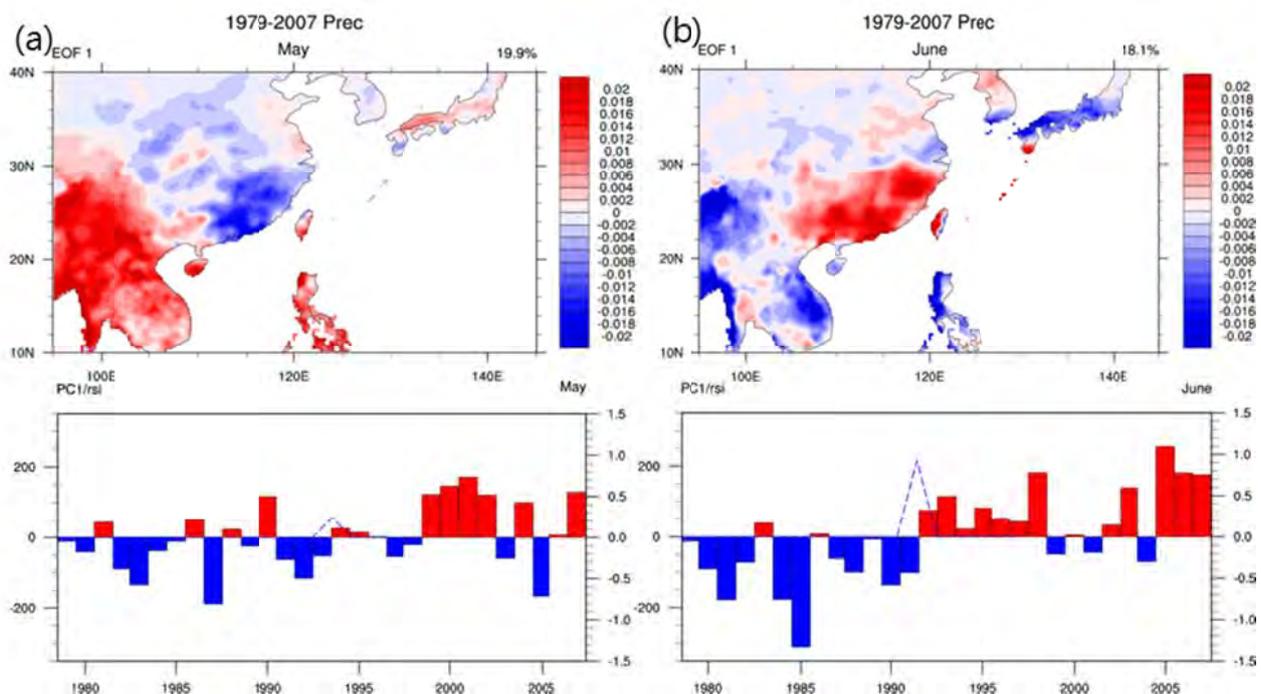


圖 3.11 APHRODITE 降水資料 1979-2007 年之 EOF1 空間分布及其主分量，分析範圍由 $10^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ ， $95^{\circ}\text{E}\sim 145^{\circ}\text{E}$ 。(a) 為 5 月份之結果，(b) 為 6 月份之結果。

到了 6 月份時則是呈現與 5 月份相反的改變，RSI 值在 1992 年有大於 1.0 的正值，代表該年氣候態發生明顯的轉變，單純看其主分量也可以看出在 1992 年前後有明顯的轉變。6 月份時，在華南地區及臺灣有較一致的降水改變，在 1992 年之前為降水較少的時期，1993 年以後轉變為降水量較多的時期。中南半島及菲律賓與華南地區呈現相反的轉變，在 1993 年以後轉變為減少的時期，但其在空間結構上的強度較不如 5 月份那麼明顯，區域間變化也較不一致。EOF1 所占的比重在 5 月份約為 20%，6 月份較少，占 18.1%，就年代際變化而言已具有明顯的訊號，也大於 EOF2 (5 月：10.5%；6 月：9.7%) 及 EOF3 (5 月：10.7%；6 月：9.6%) 所占的比重。

圖 3.12 為臺灣測站 5km 解析度網格化資料與 TRI 的 2 時期降水分布差異，此 2 組資料所呈現的降水差異的分布整體上一致，但仍有少部分地區在兩組資料中出現不同結果，5 月份臺灣西部平原與東部沿岸在 P2 時期降水減少，中部山區則為增加的分布，6 月份則有明顯的區域性差異，臺灣西南部降水有明顯的增加，東北部呈現減少的分布。由大範圍的降水差異與高解析度的臺灣降水資料中皆可看出 1994~2008 年時期的降水有 5 月份減少、6 月份增加的明顯改變，也可以看出臺灣地區降水差異又受到地形因素影響更出現了區域性的差異，顯示臺灣雖處在有利降水增加的時期，但區域降水仍然受到區域條件的影響而出現差異。

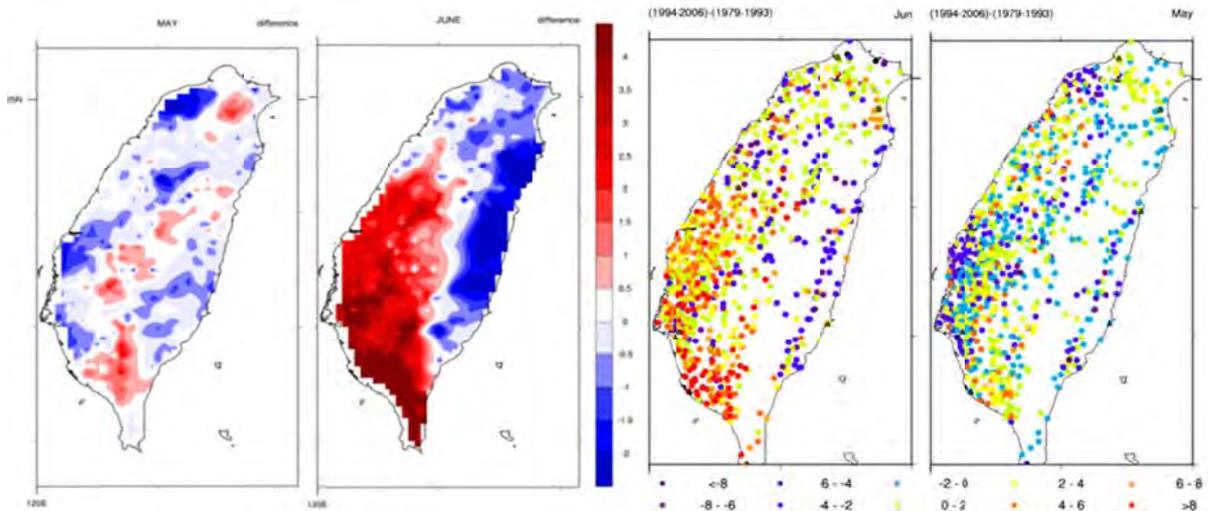


圖 3.12 臺灣地區 P1 (1979-1993 年) 與 P2 (1994-2008 年) 兩時期 5、6 月降水分布差異。(a) 為 TCCIP 5 公里解析度網格資料，(b) 為 TRI 資料。

藉由經驗正交函數 (EOF) 分析發現，梅雨季 5、6 月降水型態都有年代際變化的發生。5 月份 1994 年之後華南地區轉變為雨量偏少的時期，南海地區轉為多雨的時期。6 月份約在 1991 年發生氣候態的轉變，華南地區轉為多雨的時期，南海地區進入少雨的時期。降水資料之分析也顯示南海與華南地區 5、6 月降水分布呈現明顯的對比。

分析大尺度環境場的結果發現，垂直環流的分布與副熱帶高壓西伸的範圍以及地面溫度在 1990 年代前後有明顯的變化，可能為導致梅雨季降水分布與水氣來源的改變之因素，進一步利用帶通濾波 (BPF) 方法分析風場、空氣溫度與外逸長波輻射發現，熱帶地區低頻擾動的增強與中高緯地區高頻擾動的減弱現象，也對梅雨季降水型態的改變，具有相當程度的影響。

3.3.2 臺灣地區百年來乾溼變化的低頻特徵與大尺度環流場之遙相關

為了客觀的偵測作為點源的各地測站記錄所可能共同擁有的諧和訊號以及強化其區域差異的雙重目的，我們先利用經驗正交函數分析 (Empirical Orthogonal Function Analysis, EOF)，對擁有百年 (1911~2011 年) 記錄的 8 個測站所伴隨的 SPEI 變異，進行訊號分解。再將 EOF 得到的 3 個突出的主模 (outstanding modes; North et al. 1982) 進行變異最大化旋轉 (Variance maximization rotation; Richman 1986)，稱為轉動經驗正交函數分析 (REOFA)。

表 3.2 總結 REOFA 得到的 3 個主模分別在 8 個測站的荷重 (loadings) 分佈。第 1 個主模 (REOF1) 解釋了總變異量的 41.2%。荷重符號暨大小顯示，雖然在乾溼相位上全島近乎一致 (花蓮除外)，我們發現訊號主要集中在中央山脈以西的平原地帶 (臺中、臺南)，以及位於海峽的澎湖和本島南端的恆春。相反地，貢獻到第 2 個 (REOF2) 和第 3 個 (REOF3) 主模所代表的空間變異則主要分別來自中央山脈以東的花蓮、臺東，以及位在北部的臺北、彭佳嶼。異於 REOF1 所呈現的全島近乎一致的空間相位，REOF2 顯示介於東南 (花蓮、臺東) 與西北 (臺北、臺中) 地區之間存在反相位的乾溼趨勢；REOF3 則有南 (恆春、臺東)、北 (臺北、彭佳嶼) 相位相反的趨勢。注意，REOF2 (20.0%) 和 REOF3 (16.1%) 共同解釋的變異量 (36.1%) 與 REOF1 (41.2%) 約略相當，不能被忽略。

表 3.2 以 8 個測站進行 REOF 分析後，前 3 個主模分別在各個測站的荷重 (loadings)。個別主模內，明顯突出的測站 (95% 信賴水平下) 其荷重則以粗體加陰影強調之。括號內的數字代表個別主模所佔據總體變異量的分量。

	REOF1 (41.2%)	REOF2 (20.0%)	REOF3 (16.1%)
臺北 (46692)	0.00	-0.05	0.60
彭佳嶼 (46695)	0.06	0.09	0.71
臺中 (46749)	0.47	-0.11	0.17
臺南 (46741)	0.55	0.07	-0.07
恆春 (46759)	0.46	0.29	-0.12
澎湖 (46735)	0.49	0.10	0.14
花蓮 (46699)	-0.03	0.62	0.17
臺東 (46766)	0.19	0.71	-0.20

用全球環境資料進行各型態的遙相關分析結果顯示 (1) 變乾訊號實為亞非洲際尺度的區域印記；(2) 該印記反應暖化時熱帶變寬和風暴路徑北移；(3) 1970 年以前較乾的北部型歸因於區域哈德雷環流變弱時，較強 (弱) 的西南 (東北) 季風。濾掉聖嬰後，南北半球分佈不

對稱的陸塊對大尺度環流的影響和其對水文平衡之衝擊，被彰顯在因暖化而增強的水文循環。分析南半球遙相關特徵後我們提出一個概念模型解釋熱帶初始變異如何被維持。一個連結熱帶水汽輻合，平流層經向環流，中緯度行星波擾動的正迴饋圈能解釋 IPCC 何以傾向低估暖化脚步。

3.3.3 東亞地區氣候變遷／變異分析

夏季東亞區域的溫度大多呈現上升趨勢，僅於中國華北部分區域略微下降，其應與人為排放溫室氣體與懸浮氣膠有關。低緯度地區增溫多在每 10 年 0.1°C 以上，高緯度地區的增溫幅度較低緯度為大，與大多數研究之結果一致。至於東亞地區夏季降水的變化趨勢則是較不顯著。

東亞夏季季風以盛行風的強度來看減弱。雖然降水總量的趨勢有所不同，且受年代際變化的影響大，但極端降水的頻率與強度，在多數區域皆有增加的情形。

在年代際變化的部分，本研究回顧了 1950 年代初期、1970 年代的氣候瞬變、1993/1994 年前後影響東亞地區之大尺度環流與降水變化，重製並驗證東亞地區大尺度環流空間分布的主要特徵。例如以 1977-78 為分界來呈現此分界前後各 15 年之降水量差異，長江流域降水量於 1970 年代後期以後增加，尤其中游一帶增加逾 30%。反之，華北與華南兩區域的降水量減少，於近海岸的區域減少的比例較大。而與冬季季風強度有關的阿留申低壓，亦於 1976-1977 年間有相位的變化。

在東亞冬季季風的部分，結果顯示東亞冬季季風受到各種時間尺度的氣候現象所影響，年際變化所扮演的角色相當重要，也受到年代際變化影響；因此在氣候變遷整體增溫的趨勢下，年際與年代際變化是不可忽視的因素。

3.3.4 西北太平洋颱風氣候變遷／變異研究

■ 年際變化

西北太平洋熱帶氣旋活動的年際變化與聖嬰—南方振盪 (ENSO) 的狀態有顯著的關係。科學界關於 ENSO 影響熱帶氣旋平均生成位置較具共識，但 ENSO 影響西北太平洋熱帶氣旋生成頻率是否有影響，則有不一致的看法。在路徑方面，日本/韓國半島及中南半島分別易受熱帶氣旋侵襲，中國東南沿海相對較不易受熱帶氣旋侵襲；而反聖嬰年的秋季及隔年的初夏，中國東南沿海有熱帶氣旋登陸的機會較高，鄰近的臺灣也一樣較易受到熱帶氣旋的威脅。在聖嬰事件的颱風季，相較於反聖嬰年，聖嬰年間的熱帶氣旋都較強，也有較長的生命期。

■ 年代/年代際變化

根據現有的颱風觀測資料顯示，西北太平洋的年熱帶氣旋個數具有年代際的變異。在強度方面雖然 Webster 等 (2005) 強調從 1970 年起在西北太平洋地區強度屬 Saffir-Simpson scale

等級 4 與 5 ($v_{max} \geq 59 \text{ m s}^{-1}$) 的熱帶氣旋明顯地增加；然而，相關研究顯示近期西北太平洋強烈熱帶氣旋個數與強度的增加（特別是 1970 年以後）是否反應全球暖化，目前學界並沒有是一致的共識。另外，西北太平洋熱帶氣旋的路徑也有顯著的年代/年代際變化。自 2000 年起熱帶氣旋路徑有一突然的改變，因而接近臺灣附近的熱帶氣旋也急劇增加。

■ 颱風強度與氣候變遷

目前的研究顯示西北太平洋的熱帶氣旋活動，包括生成個數、強度、登陸個數...等並無統計上明顯的與全球暖化趨勢有關。但依據模式推估未來在二十一世紀溫室氣體排放情境下的變化，全球颱風的總數量可能會減少，但是颱風的強度可能會增加 (Zhao et al., 2009, Knutson et al., 2010)。針對西北太平洋熱帶氣旋生成頻率的變化，推估未來將減少者較推估將增加或不變者多。至於未來熱帶氣旋的強度（如最大風速或相關降雨）將如何變化，仍存有很高的不確定性，這和各模式的推估相當分歧有關。

3.3.5 IPCC AR4 模式資料分析與評估 (Team1 與 Team2 整合研究)

本研究嘗試評估 IPCC AR4 24 個全球模式對於東亞夏、冬二季季風模擬的表現，分析結果可作為 Team2 統計降尺度不確定性分析參考。

- ❖ **梅雨季**：雖然 GCM 模式無法看到觀測的明顯雨帶，但有些模式如 MPIM-echam5、MRI-cgcm3、MIROC-hi、MIROC-med 以及 UKMO-hadcm3 可以模擬出強度中等的雨帶。然而梅雨季雨帶的季節移行無法被 24 個 GCM 所模擬出來。如果考慮梅雨季降水在 $60^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{E}$ 的緯向平均，我們可以發現大部分的模式低估 $0 \sim 30^{\circ}\text{N}$ ，高估 $30^{\circ}\text{N} \sim 50^{\circ}\text{N}$ 的降水，大部分模式可以模擬到 $100^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{E}$ 緯向平均的降水，某些模式如 UKMO-hadcm3、MRI、IPSL、MPIM-echam5 與觀測有很高的一致性。
- ❖ **夏季**：溫度的模擬大部分模式模擬得不錯，但夏季降水模擬的表現較不一致，CCCMA-t47、CSIRO-mk3.0、CSIRO-mk3.5、CNRM、MIUB-echo、NCAR-pcm1、INM-cm3 等模式對於南中國海、菲律賓海高變化的區域模擬地非常好。評估 5-25N 平均的經向平均降水，除 MPIM-echam5 表現良好外，大部分模式有低估的表現，東亞夏季季風區域的降水 GCM 普遍低估。
- ❖ **冬季**：冬季平均降水的配置顯示，幾乎所有模式與觀測資料有良好的相關性，所有 GCM 對於平均溫度也模擬地非常好。模式對於北方的平均海平面氣壓場高估，但 UKMO-hadgm1 與 MRI-cgcm2 的結果與觀測值較接近。在冬季風方面顯示多數模式可以模擬出東北風，但風速的強度有時於觀測不符。MPIM-echam5、UKMO-hadgm1 與觀測結果較接近。

根據東夏季季風指數模擬分析結果顯示，很難找到一個模式適用所有變數，但 MPI-echam5 似乎是其中表現最好的一個。

3.3.6 MRI 模式資料分析

MRI 模式梅雨季之模擬表現

MRI 現在氣候態的模擬部分可以有效的掌握到降水的年代際變化訊號，在轉變時間與空間結構上都與各組觀測資料分析所得到的結果十分一致，代表模式對於氣候態的模擬具有相當不錯的準確度 (圖 3.13)。MRI 模式的降水資料經過 EOF 分析之後可以找出與觀測資料相近的空間分布與年代際變化訊號，在兩個時期的平均降水分布，5 月份雨量有略為偏多的現象；整體來看，模式對於大尺度降水的分布有很高的準確度，但在區域性的降水則會出現差異，如模式中臺灣降水較大處集中在東部地區，與實際的降水分布出現不同的結果。模式在降水日的模擬也出現與實際觀測資料相似的结果，但豪大雨的發生頻率在模式中有低估的現象，甚至出現相反的结果，此一現象在 6 月特別明顯，6 月份豪大雨日數都有明顯的偏少，與觀測資料顯示的豪大雨日數增加為完全相反的结果。

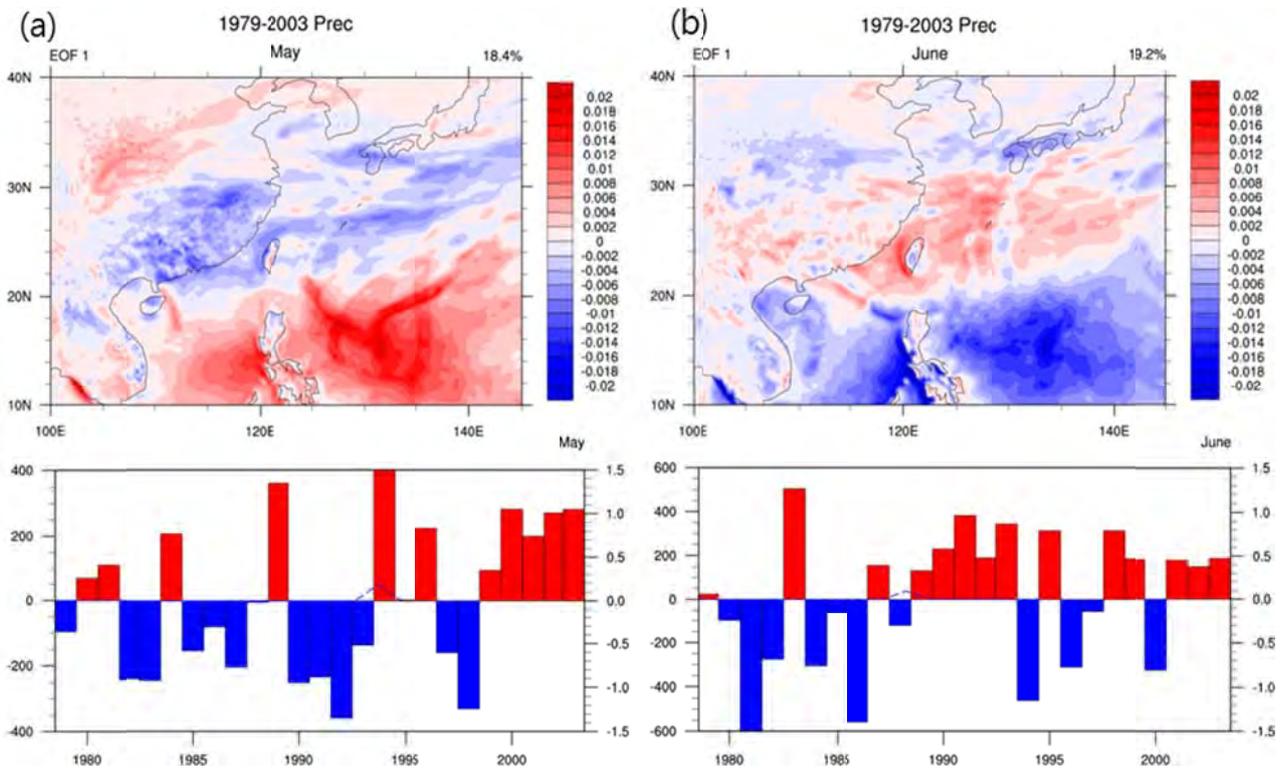


圖 3.13 MRI 模式 20 公里解析度降水資料之 EOF1 空間分布及其主分量，時間由 1979~2003 年。(a) 為 5 月份之結果，(b) 為 6 月份之結果。

MRI 模式對季內尺度擾動模擬之評估與分析

MRI 模式除了模擬目前氣候狀態之外，另外還加入全球暖化效應，來模擬未來氣候的變遷。該模式發展的目的是為了研究氣候以及天氣尺度的現象。模式降水場與觀測結果一致 (圖 3.14)，OLR 及 500 百帕高度場對流區皆與降水區一致，顯示模式在降水與對流方面的模擬相當不錯。未來變遷的分析結果，顯示大部分地區的降水沒有顯著增加或減少的情形，僅 ITCZ

處與海洋大陸東方洋面上有顯著的降水量增加。而在秋季時亞洲季風減弱，因此季風在南亞地區所降的降水也明顯減少，西北太平洋地區的主要降水區約在 20°N 以南的區域，幾乎與颱風通過路徑一致。而降水變遷方面，近未來沒有明顯的水氣變化，但是到了世紀末，東太平洋 ITCZ 與 SPCZ 等地的降水有顯著的增加。JMA/MRI 模式所模擬出的各時期的大尺度環流場、降水場等，皆與目前觀測得到的結果一致。然而在未來，幾乎各海域的颱風都有減少的趨勢。

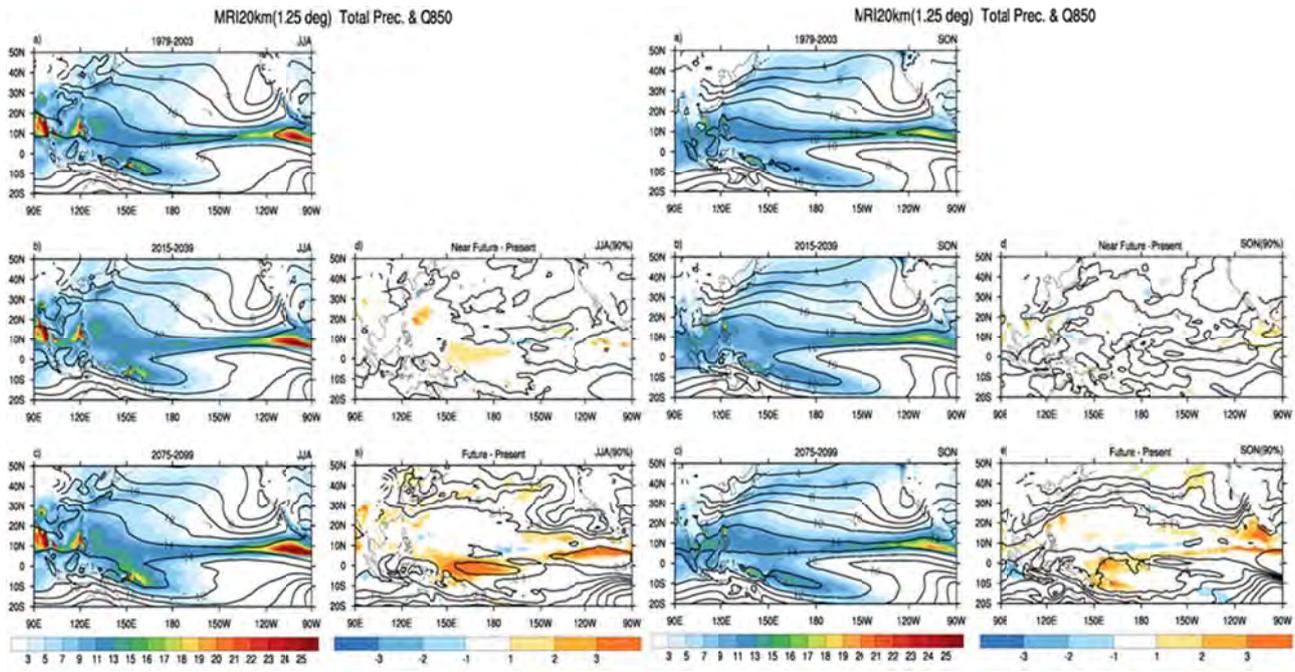


圖 3.14 MRI 20 公里解析度資料 850 百帕水氣場及降水場左圖組為夏季，右側為秋。a)、b)、c) 分別為 1979-2003 年、2015-2039 年、2075-2099 年間之氣候值。d) 為近未來與現在的差，e) 為世紀末與現在的差值。d)、e) 的降水場及水氣場差異皆通過 90% 統計檢定。等值線為降水資料，單位為 $\text{kg/m}^2/\text{s}$ 。色彩部分為 850 百帕比濕資料，單位 kg/kg 。

3.4 氣候現象與模式表現評估表

氣候變遷研究中氣象事件必須要與人民及社會的活動產生連結才有分析的意義，然而此種氣象事件往往模式模擬中無法確切模擬出，因此需透過科學研究，找出與此事件有高度相關並可觀測與模擬之氣候現象評估量表 (Phenomena metrics) 與其空間範圍，並透過度量因子，檢視模式對其度量因子之模擬能力，以間接判定該模式對所選取出之氣象事件模擬程度。以此方法選取對於該氣象事件較能模擬掌握之模式，亦即模式表現評估量表 (Performance metrics)。在先進技術國家 (如日本、美國) 也都使用此概念之推估系統。本計畫將藉此次研究機會，嘗試進行臺灣氣候變遷推估系統之建立工作。

以春季不降雨日為例，每年二、三、四月為臺灣地區春季降雨主要季節，更是臺灣西北部地區主要降雨之時期。也因臺灣西北部地區有其降雨特性，提供了臺灣中北部地區第一期農作主要水資源來源。由農委會農糧署資料顯示，臺灣中北部地區之第一期水稻產量占全台

40%。若春季時期降雨特徵有所改變，對於農業、工業、科技業甚至民生皆有影響。然而，春季不降雨日在模式中，較無法掌握與模擬，因此該天氣事件需藉由氣候變遷推估系統建立其氣候現象評估量表 (Phenomenon Metrics)。透過文獻彙整與資料分析製成與不降雨日相關之度量因子，綜整春季不降雨日之度量因子與其空間範圍，以表 3.3 所示。

表 3.3 重點領域關鍵議題與氣象之可能連結，並嘗試回答相關問題。

領域	impact	可能連結	嘗試解答問題
農業	2 月低溫小於攝氏 10 度，將抑制秧苗生長，影響一期稻育苗工作	寒潮(東北季風)	氣候變遷下，寒潮發生頻率與強度
	5 月高溫大於攝氏 35 度，將水稻不易結穗，影響一期稻作產量	太平洋副高	太平洋副高位置與強度
	6、10 月日降雨大於 130mm，易造成稻作倒伏	梅雨季、颱風季極端降雨	梅雨季極端降雨發生頻率、侵台頻率
乾旱	冬、春雨偏少將影響春季水資源供需問題	鋒面個數、低層環流、ENSO、PDO、	氣候變遷下，各連結變化
公衛	每年月溫度大於 18 度 C 的月份超過 11 個月=>登革熱	月溫度的變化	氣候變遷下月溫度的變化
	極端日高溫、濕度變化對心血管疾病的衝擊	溫度、濕度的變化	氣候變遷下北中南東的溫度變化
	水災受災地區易有傳染病的發生 (A 肝、腸病毒、細菌性痢疾)	極端降雨的發生頻率	氣候變遷下極端降雨的變化
坡洪災	極端降雨易導致坡地災害	颱風降雨(48 小時累積雨量)	氣候變遷下的颱風發生頻率

冬、春季降水評估

時間	11 月至隔年 4 月	
天候現象	冬、春季降水	
影響	臺灣冬、春季水資源分配	
氣象因子	vq	6.97653~18.139N,104.062~112.5E 與 9.76715~23.7202N,123.75~126.562E 水氣場
	-Div(uqi,vqj)	20.9296~26.5108N,112.5~126.562E 水氣輻散場

本研究利用 Hung et al. (2014) 臺灣冬春季 (NDJFMA) 降雨與 Madden-Julian Oscillation (MJO) 關係，南來水氣與 MJO 誘發的低壓距平對臺灣降雨的正貢獻，來評估未來臺灣地區降雨的變化。但多數 CMIP5 模式無法直接有效地模擬出 MJO 的向東移動 (Hung et al. 2013)，對臺灣地區的降雨模擬也不盡理想。本研究發現觀測南來水氣場 (vq)、水氣輻散場 (-Div(uqi,vqj)) 與臺灣降雨有良好的正相關，因此應用在模式未來 (2075-2099) 相對於現在 (1979-2003) 的變化量，來推估未來冬春季降雨的改變趨勢 (圖 3.15)。結果顯示臺灣未來冬

春季降雨有減少的趨勢。針對 u、v、q 參數計算 11 個 CIMP5 模式的 Performance Index (如圖 3.16)。

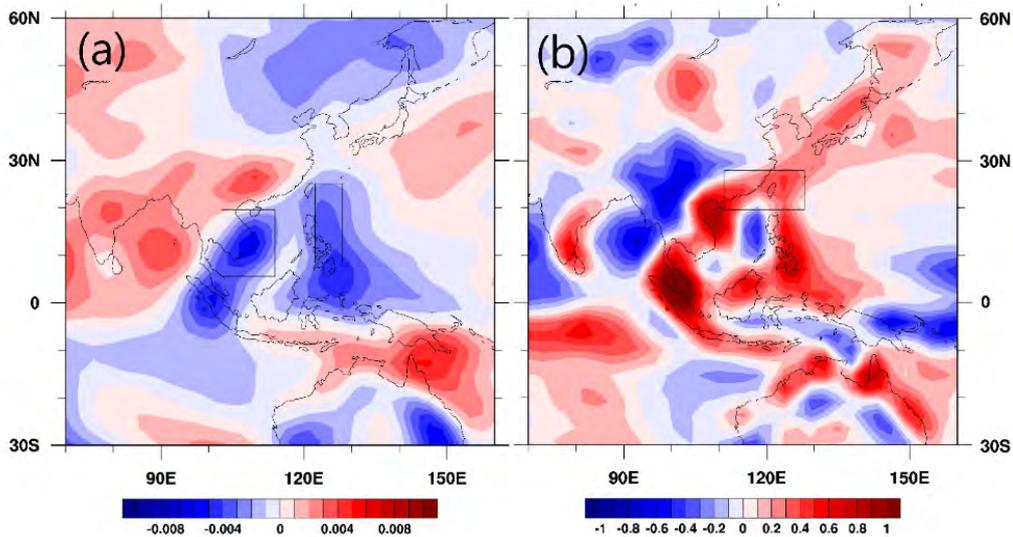


圖 3.15 CMIP5 模式平均的南來水氣場、水氣輻散場變化趨勢，世紀末(2075-2099)減去現今氣候(1979-2003)。

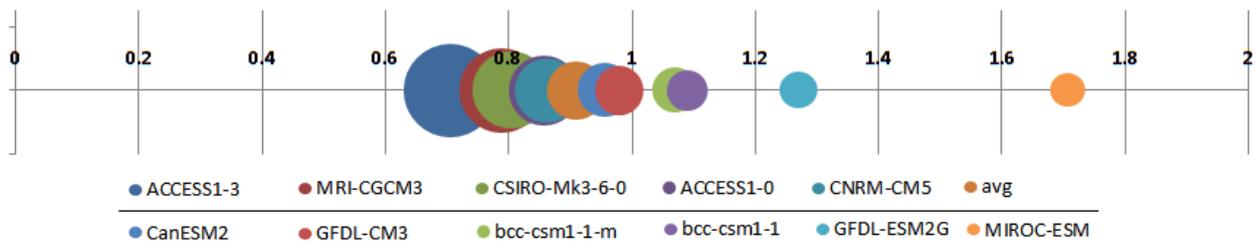


圖 3.16 CMIP5 中 11 個模式 Performance Index 及系集平均 (avg) 的表現排行。

春季降雨

時間	2,3,4 月	
天候現象	春季降雨	
影響	臺灣春季水資源分配	
氣象因子	V925	5N~25N,110E~130E 南風分量負相關
	U200	15N~35N,110E~130E 西風分量負相關
	DIV200	5N~25N,130E~150E DIV 正相關 30N~40N,170E~170W DIV 負相關
	SLP	菲律賓東方之氣壓負距平
	SST	冬季 Nino3.4 海溫負距平
其它定性描述	850 渦度場	華南地區負渦度距平

本研究仿照 Recher and Kim (2008)的評估方式，利用海平面氣壓場、U200、U850、V850、Q850 等五個春雨的氣象變數 (圖 3.17)，計算四個動力模式的 Performance Index，以判斷模式對臺灣春雨的掌握能力。

將 HiRAM、MRI_v1 與 MRI_v2 模式與 AR5 模式進行分類，比較模式世紀末與基期海平面氣壓之改變差異 (圖 3.18)。結果顯示，若以三個族群說明時，HiRAM 模式與 ACCESS1.0 及 MRICGCM3 之海平面氣壓變化差異較為類似；而 MRI_v1、MRI_v2 則被歸類為同一族群，而且與 HiRAM 的表現明顯不同。

透過上述的分析與比較，配合春季降雨之氣候現象評估量表，將動力降尺度與統計降尺度推估結果進行初步整合。另一方面，亦可透過群集分析的過程，率定動力降尺度推估結果之穩定性，如果動力降尺度之上游氣候模式之海平面氣壓空間分布與絕大多數之 AR5 氣候模式之空間分布不同，則說明了該組動力降尺度結果的獨特性；反之，若與大多數 AR5 氣候模式歸類於同一群集，表示推估結果可能具有較高之合理性。透過這樣的評估過程，在動力降尺度尚未系集化前，可有效提供相關動力降尺度結果之不確定性分析。

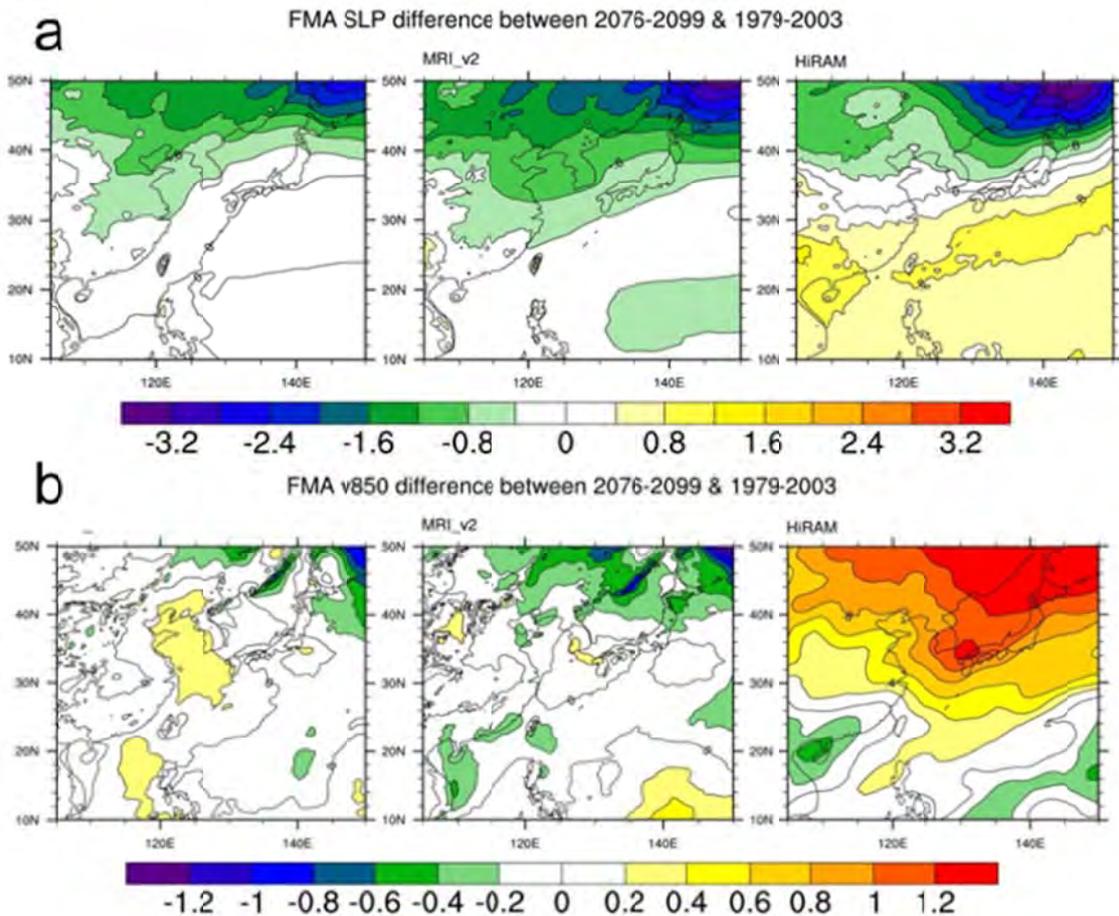


圖 3.17 模式世紀末 (2076-2099) 與基期 (1979-2003) 的環流場差異。a 為海平面氣壓場 (hPa)、b 為 850hPa 南北向風場(m/s)的春季氣候值分布圖。(由左至右分別為第一期 MRI 模式、第二期的 MRI 模式及 HiRAM 模式等三組動力模式降尺度資料。)

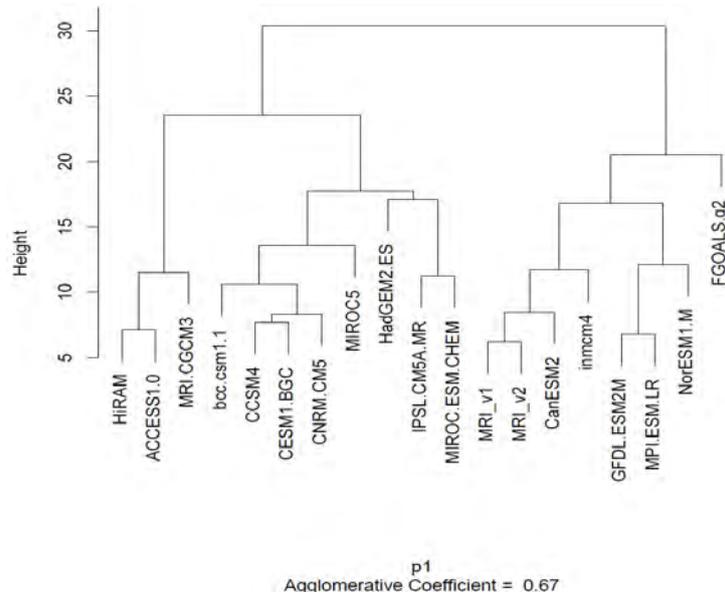


圖 3.18 模式分類

臺灣梅雨季極端降雨事件發生頻率推估

時間	5,6	
天候現象	梅雨	
影響	極端降雨	
氣象因子	VOR850	10N~30N, 110E~140E 北方有正渦度, 南方有負渦度的空間分布(pattern)
	V850	15N~25N, 110E~140E 南風分量為正值
	U850	15N~25N, 110E~140E 西風分量為正值, 且風速達到 40% 的最大風速
指標	SWFI	每年達到三項條件的天數

本研究以大尺度環流指數代表臺灣極端降雨發生頻率，並依據此來推估氣候變遷對臺灣梅雨季極端降雨事件發生頻率的影響。低層環流特徵設計西南氣流指數 (Southwest Flow Index, SWFI)，並建立與極端降雨年發生率的迴歸關係。

應用在模式推估未來梅雨季極端降雨變化時，步驟如下：

- (1) 將 1951~2015 年 65 年的 SWFI 指數大小分為偏少 (Less)、正常 (Normal) 和偏多 (More) 三類。
- (2) 以 Poisson 分布模擬不同 SWFI 類別的極端降雨年發生率。
- (3) 根據極端降雨三分類的比例和 Poisson PDF 便可建立極端降雨年發生率關係式，計算整體極端降雨年發生率。

挑選 10 個模式分析 RCP4.5 與 RCP8.5 暖化情境下，近未來 (2046~2065) 和遠未來 (2081~2100) 極端降雨年發生率機率函數相對於基準值的變化。計算 2 情境下模式近未來和

遠未來超過第 75 百分位個數，發現多數模式顯示 (RCP8.5 : 7、RCP4.5 : 6) 近未來臺灣極端降雨事件發生頻率會減少。

圖 3.19 以兩個模式為例，IPSL_CM5A_MR 模式推估近未來和遠未來極端降雨年發生頻率都是呈減少趨勢，顯示未來 5-6 月氣候和現在氣候平均環流的差異，在臺灣北部和南部分別存在高壓和低壓異常環流，且菲律賓附近的高壓環流減弱，造成由南海來的西南氣流減弱，因而極端降雨發生頻率減少。MIROC5 模式推估近未來和遠未來的發生頻率都是增加的，菲律賓附近反氣旋環流增強，臺灣北部的低壓也會增強，使南海的西南氣流增強，造成臺灣極端降雨事件的發生頻率增多。

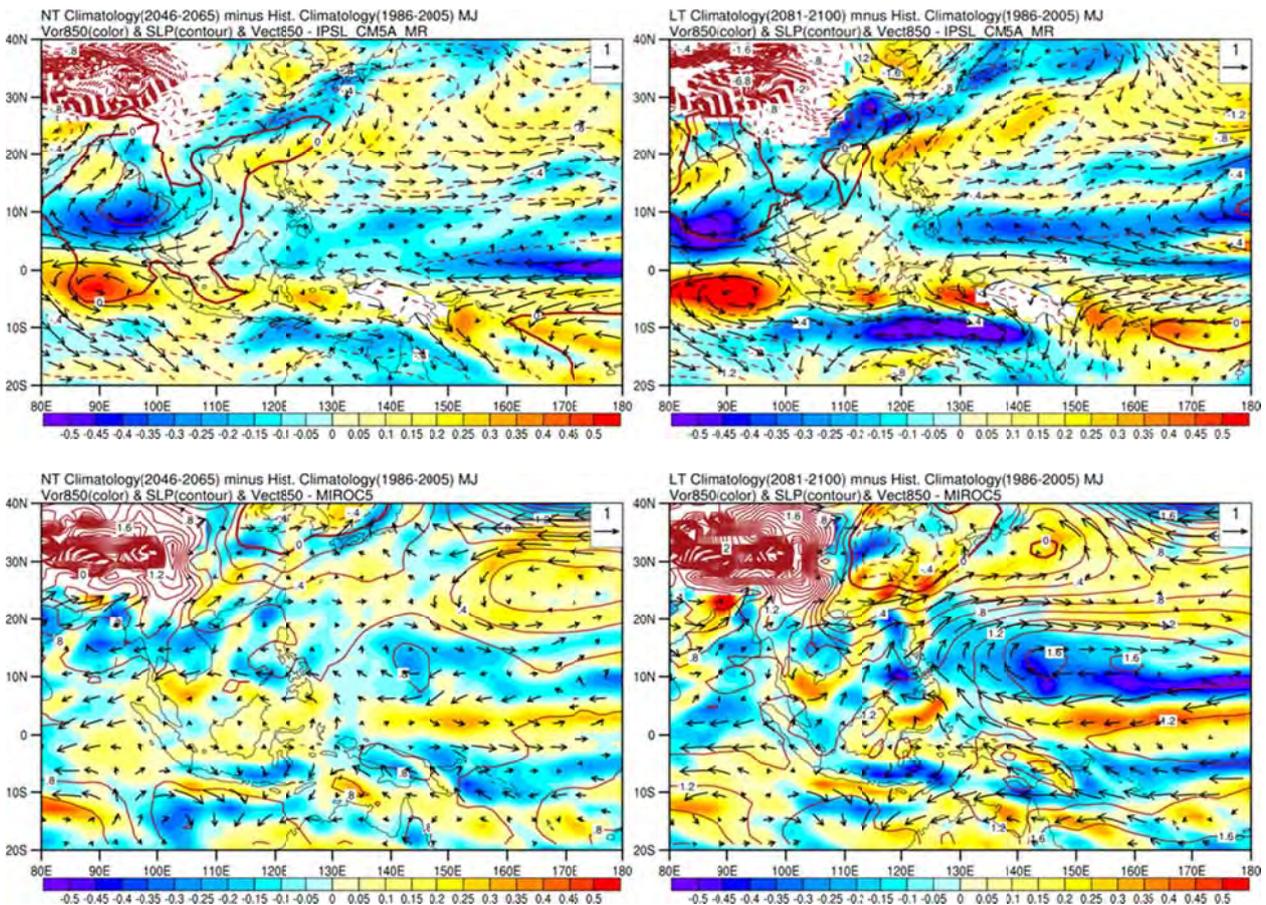


圖 3.19 氣候平均 5-6 月環流變化。第 1 列為 IPSL_CM5A_MR，第 2 列為 MIROC5。左側近未來 (2046-2065) 環流變化(相對於現今氣候)，右側為遠未來 (2046-2065)。陰影為 850mb 渦度場，流線為 850mb 水平風場，等值線為海平面氣壓。

■ 華南梅雨的變遷：CMIP5 模擬分析

◆ 模式檢驗

CMAP 降水資料顯示，5 月份降水較大區域呈東北-西南向的帶狀分布，6 個模式的氣候平均結果均能看出此分布，僅在降水量上各模式有些許的差異性，HadGEM2 模式在華南地區的降水量有較明顯的高估。6 月整體平均降水量大於 5 月份，且降水較大的地

區沿著副熱帶高壓的外緣分布，降水最大值在南中國海上。HadGEM2 模式華南地區的陸地降水與觀測資料相比有高估的現象。各個模式之間的差異較大，但大致上可以掌握 6 月份的降水特徵。

東亞地區 5 月份渦度場氣候平均值之空間分布圖 (圖略)，華南地區北方有一正渦度，南方有一負渦度存在，與降水同樣呈現東北-西南向分布，並往東延伸至日本南方與西北太平洋海上。6 個模式的結果均可看到華南地區有相同的渦度場配置，降水較多的區域也位在正負渦度場之間，顯示 CMIP5 模式對於環流場的模擬也能正確的掌握。6 月份渦度場與 5 月份相似，北方正渦度增強並往南延伸至南海上。僅 MRI-CGCM3 模式之結果與觀測差異較大。

檢驗 U850、V850 及 H500 在 32 個 CMIP5 模式中之表現，結果顯示 32 個模式所得到的結果具有很大的差異性，大部分的模式之 U850、V850 與模式中的華南地區降水仍然有不錯的相關性，但 U850 與 V850 並不一定同時與降水具有高相關性。

H500 於模式中與華南降水的關係較差，部分模式甚至呈現與觀測所得到的結果相反呈負相關，大部分模式 H500 與華南降水之相關性普遍偏低。模式中副熱帶高壓的模擬在強度與位置上都與實際觀測結果有明顯的不同，模式間彼此的差異也十分顯著，可能為 H500 與華南降水相關性降低的原因。

系集平均的結果顯示現在時期 5 月份 U850、V850 與降水的相關性相較於觀測所得到的結果都顯示偏低，相關係數約為 0.3 左右，H500 也呈微弱的負相關，6 月份 U850 與 V850 都有與華南降水量不錯的相關性，H500 的結果仍然偏低，但相較於 5 月份，6 月份與三個降水指數間的關係都較好，而比較三個不同時期的結果，本研究所定之降水指數在暖化下的氣候狀態中，除了 5 月份 V850 在 P1 時期相關係數為 0.3，至 P3 時期後提升至 0.6，其他部分的相關性並無明顯的增加或減少出現。

❖ 鋒面定位技術之建立

時間	冬季(DJF)、春季(FMA)、梅雨季(MJ)
天候現象	鋒面降雨
影響	水資源管理、冬、春季乾旱、極端降雨
氣象因子	850hPa 比濕、溫度、相對溼度、風場與重力位高度以及垂直速度場
指標	鋒面溫度梯度變化[M1]、鄰近斜壓區溫度梯度[M2]大於氣候值，同時溫度梯度變化最劇烈的位置[L]

以客觀的方法進行 CMIP5 模式鋒面的分析與研究；三個參數分別代表溫度梯度的大小、變化率、變化率的輻合輻散。鋒面定位方法可偵測到鋒面帶隨季節的移動，透過量化鋒面影響日數，得到臺灣受鋒面影響時的環流場配置為：低層水氣輻合，溫度梯度密集且多雨，上空有氣旋式風切特徵。

多數模式歷史模擬 (historical) 可以模擬出鋒面好發區，但頻率低於觀測。從 Performance matrix (圖 3.20) 評估各模式表現，挑選出較佳模式進行鋒面環流場分析。21 世紀末未來模擬 (RCP85) 鋒面分布型態與歷史模擬類似。臺灣冬季鋒面有略微減少的趨勢 (圖 21a)，日本與臺灣東側海面鋒面增加。日韓至中國東北區域頻率減少趨勢明顯。東亞春季鋒面趨勢明顯且呈現三極的分布，中國北方鋒面減少，日韓與華北華中一帶鋒面增加，臺灣與中國華南鋒面減少。在梅雨季除了日本北部、東亞普遍鋒面增加。

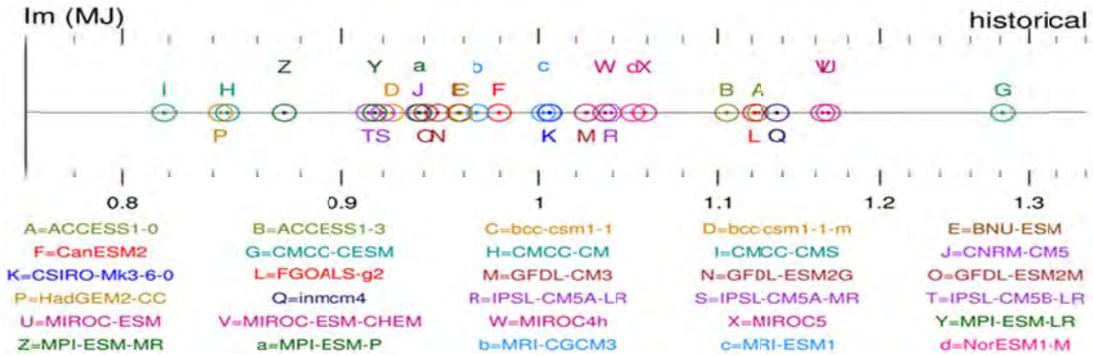


圖 3.20 梅雨季 (MJ) CMIP5 現今氣候鋒面各模式之 performance index (數值愈小，表現愈好)。模式名稱與顏色以及代號對應表列於圖示，相同顏色為同一模式發展團隊產出的模式。

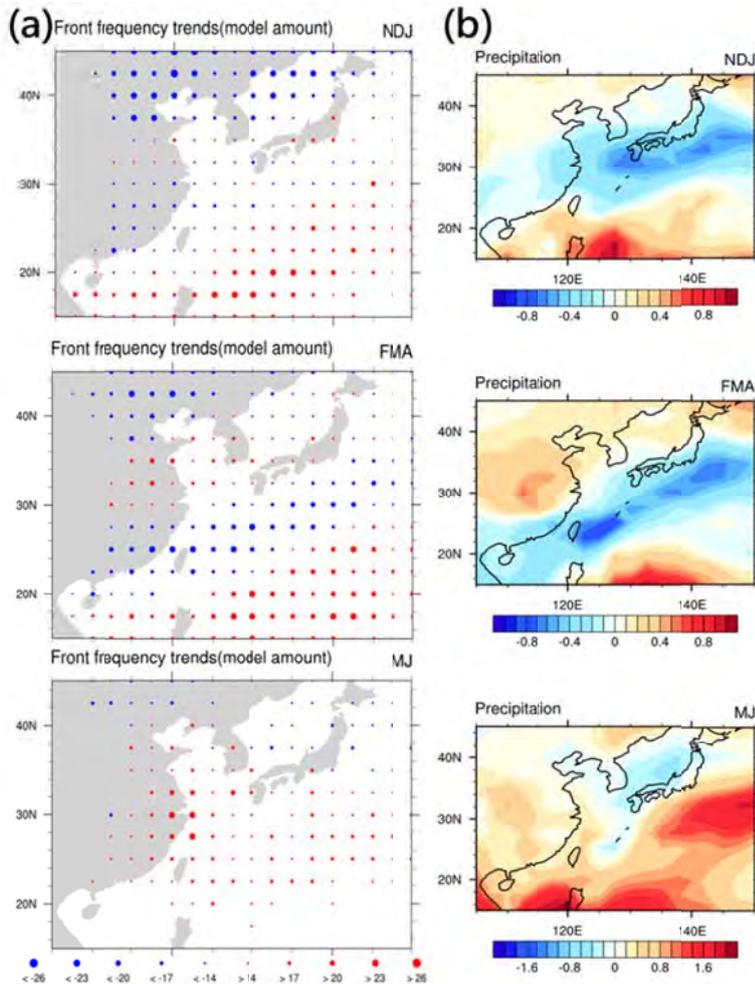


圖 3.21 (a)為 CMIP5 鋒面頻率趨勢之模式數量統計，紅(藍)色代表增加(減少)。(b)為較佳模式未來推估與歷史模擬之降水差異。

環流場未來變遷部份。冬、春季為高壓距平，南北溫度梯度降低，中緯度下沉區南移，水氣與降水減少。梅雨季溫度梯度增強，氣壓與風場無顯著變化，但熱帶水氣增加，暖濕的西南氣流利於梅雨鋒面的產生和維持，梅雨季降水增加。降水與鋒面變化趨勢相似，鋒面頻率的增減使鋒面季降水的分布發生改變 (圖 3.21b)。

臺灣寒潮長期變遷趨勢: CMIP5模式對於東亞冬季氣候模擬表現之評估

時間	12,1,2 月	
天候現象	冬季低溫事件	
影響	一期稻育苗工作	
氣象因子	SLP	<ul style="list-style-type: none"> ● 寒潮發生的頻率與 SOI (Southern Oscillation Index) 呈正相關。 ● AO(北極震盪)負相位時，西伯利亞高壓加強，東亞主槽加深，東亞冬季季風增強。 ● NAO(北大西洋震盪)指數異常偏低時，冷高壓與東亞冬季風轉強。 ● 計算 20N-70N 之間 160E(SMH)與 110E(AL)的緯向氣壓差來定義冬季季風指數，與臺灣寒潮發生頻率、低溫天數有顯著相關。 (Chang et al., 2006, Wu and Wang, 2002, Zhang et al., 1997, 武與黃, 1999, 李與盧, 2009)
	SST	<ul style="list-style-type: none"> ● 短天期的臺灣寒潮次數與 Nino3.4 並不顯著，但在長天期的持續性低溫事件方面，8 個個案中有 7 個個案皆發生在反聖嬰發生期間。 ● 2 月份平均氣溫與前 3 個月的赤道東太平洋海溫呈正相關，與南海至臺灣附近同時期海面溫度呈正相關。 (吳, 2010, 許與陳, 1991)
	U200	<ul style="list-style-type: none"> ● IEAWM5 $[U200(30-35N/90-160E)-U200(50-60N/70-170E)]+[U200(30-35N/90-160E)-U200(5S-10N/90-160E)]/2$ 逐年平均值變化與臺灣寒潮發生頻率、低溫天數有顯著相關，與低溫程度沒有關係。 (Li and Yang, 2010, 李與盧, 2013)
	U300	<ul style="list-style-type: none"> ● 利用 SH 發展時與 U300,低溫的良好關係，以中高緯 300hPa 的緯向風切來定義東亞冬季季風指數。EAWMI = $U300(27.58-37.58N, 1108-1708E) - U300(508-608N, 808-1408E)$，與臺灣寒潮發生頻率、低溫天數有顯著相關。 (Jhun and Lee, 2004, 李與盧, 2013)
其它定性描述	寒潮爆發時，東亞主槽與貝加爾湖一帶的高空脊出現加強現象，華南、臺灣一帶的北風分量皆出現明顯增強的現象。	

以臺北測站代表分析，寒潮事件發生日的降溫幅度以長期以及近 30 年來看並無明顯趨勢出現。近 30 年及近 50 年的寒潮頻率在 5 個測站都為明顯減少，南部減少幅度最大；以 100 年變化來看，恆春每 100 年減少 2.8 次最大。1950~2010 的氣候平均值分析結果如表 3.4。網格化資料也有類似的長期變遷趨勢。

表 3.4 臺北測站冬季逐月之寒潮頻率及低溫日數自 1950-2011 年總數量及其佔冬季的比例。

台北	12月	1月	2月	冬季
寒潮次數	53 (26.5%)	84 (42.0%)	63 (31.5%)	200
低溫日數	109 (19.6%)	282 (50.8%)	164 (29.5%)	555

發生寒潮日合成圖顯示，海平面氣壓在華中華南地區有正距平，臺灣處於正距平右側邊緣，日本一帶呈現負距平；500hPa 高度場顯示東亞主槽處有負距平及貝加爾湖西側正距平，代表東亞主槽的加深以及上游高壓脊的增強，對應到低層環流場的改變即為臺灣及華帶一帶北風分量的增強，有利於冷氣團向南移動。臺灣寒潮頻率與西伯利亞高壓指數及東亞主槽指數在年際尺度的變化上有較好的關係存在，相關係數分別為 0.5 及 -0.6，在寒潮偏多及偏少年都能維持良好的正/負相關。

將 CMIP5 模式現今氣候模擬各變數的 performance index 平均值用在未來推估，RCP4.5 情境下世紀末日最低溫度約上升 2°C；RCP8.5 世紀末平均溫度提高約 3°C~4°C，且寒潮的減少最為明顯且劇烈，世紀末已幾乎沒有寒潮事件的發生，寒潮頻率及低溫日由現今氣候平均 3.7 [次/年] 及 8.5 [日/年] 減少至世紀末的 0.6 [次/年] 及 0.6 [日/年]。以個別月份來看，未來寒潮整體發生頻率雖然減少，但 1 月份寒潮的發生機率顯示上升 (RCP4.5：+6.2%；RCP8.5：+8.6%)，低溫日也呈現相同變化 (RCP4.5：+6.2%；RCP8.5：+9.0%)。寒潮發生的平均 48 小時降溫率有明顯逐年上升的趨勢出現，且 RCP8.5 增加的幅度大於 RCP4.5 (圖 3.22)。

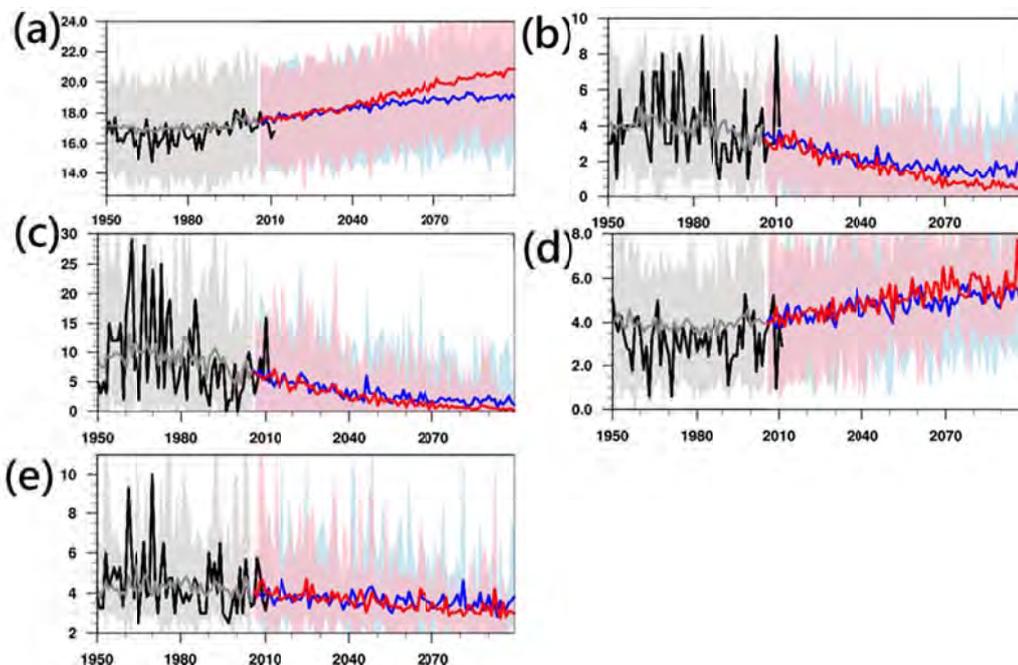


圖 3.22 CMIP5 模式系集平均之全臺平均 (a) 日最低溫，(b) 寒潮頻率。(c) 低溫日、(d) 48 小時溫度降幅及 (e) 寒潮事件持續天數之時間序列。圖中黑色實線為觀測值，灰色實線代表 historical 情境，藍色及紅色實線分別為 RCP4.5 及 RCP8.5 情境的結果。顏色區域代表各情境下模式間差異。

大尺度環流場的變化部份，阿留申低壓呈現明顯的下降趨勢，但在西伯利亞地區則沒有明顯的趨勢出現 (圖 3.23)。但高壓範圍於世紀末則無沒有明顯的改變。機率密度分布在未來並沒有太大的改變，但隨著暖化往高值區偏移。

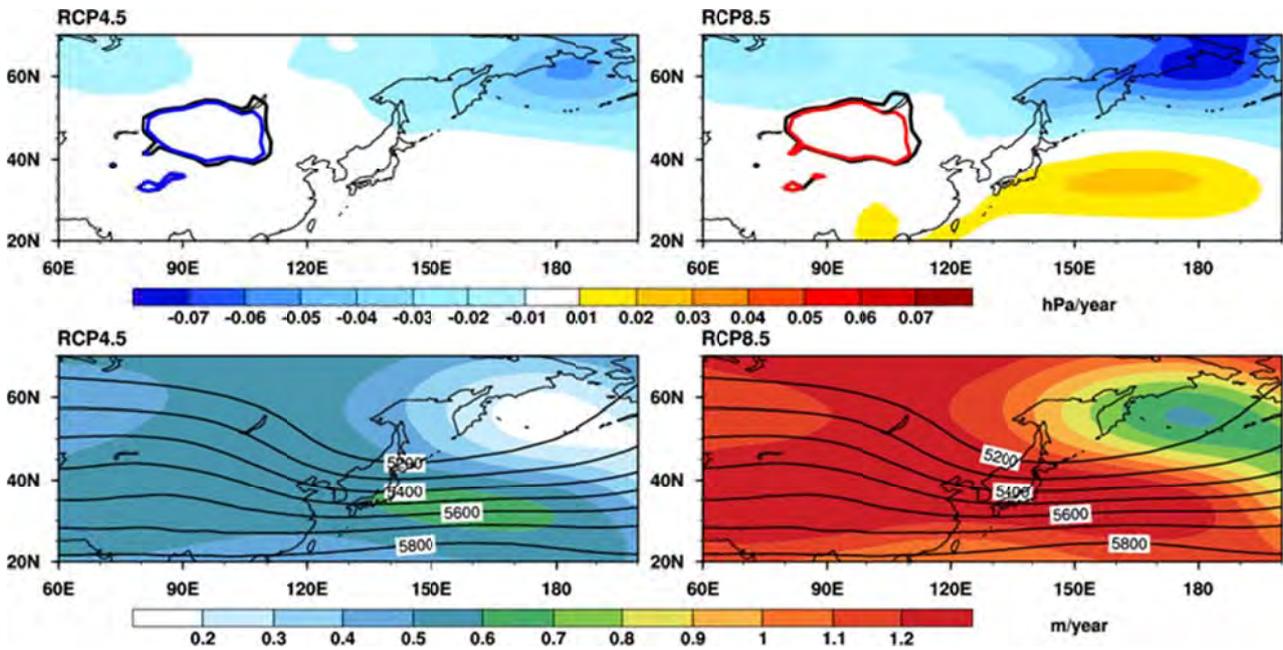


圖 3.23 未來 2006-2099 大尺度環流場變化趨勢。第 1 列為海平面氣壓線性趨勢，第 2 列為 500hPa 重力位高度線性趨勢。左側為 RCP4.5；右側為 RCP8.5。海平面氣壓圖中黑色實線為 1979-2003 氣候平均之 1030hPa 等值線，藍色及紅色實線為未來 2075-2099 氣候平均 1030hPa 等值線。重力位高度等值線代表 1979-2003 年氣候平均場。

極端高溫現象量表

時間	7,8,9 月	
天候現象	夏季熱浪	
影響	引發人類心血管、腦血管疾病，甚至熱衰竭死亡。影響作物收成。增加傳染病發生機會。	
氣象因子	500hPa 高度場	副高延伸至 110E 以西，脊線在 28N 以南，且呈滯留時，華南地區易有高溫事件 (徐等，2009 中國高溫熱浪危害特徵的研究綜述)

本研究主題使用 TCCIP 所產製之臺灣測站網格化資料以及 CMIP5 中 12 個模式的日最高溫資料，分析時間為 1960 至 2005 年間的 5 至 10 月份。採用 CTX90pct、EHF 等兩種熱浪定義方法，分別探討各方法的熱浪發生頻率、持續天數以及強度。兩種方法下，模式對於熱浪的掌握還算不錯，分析結果皆與觀測相近。進一步分析模式中對於造成熱浪的機制，透過大環境場的重力位高度場、溫度場、下沉氣流場以及環流場的分析，發現 12 個 CMIP5 模式中有近 50% 的模式顯示與觀測的熱浪發生機制結果一致。

副高的西伸是在熱浪發生時所有模式中最一致的特徵。在熱浪發生時，200hPa 的重力位高度距平場的特定區塊與臺灣熱浪事件很好的關係 (圖 3.24)。分析 CMIP5 模式的 200hPa 重力位高度距平 Performance Matrix，建議使用表現較好的模式 (MPI-ESM-LR、CMCC-CMS 和 ACCESS1-3) 在推估未來的熱浪研究。

未來的輻射量增加的愈多，則熱浪的持續時間與強度都會明顯增加增強。RCP85 在世紀末的環境場也顯示，除了溫度會增加約 $4^{\circ}\text{C} \sim 8^{\circ}\text{C}$ ，模式對於重力位高度的變化也一致呈現上升的趨勢，多數模式認為臺灣地區的西南季風未來有減弱的趨勢。

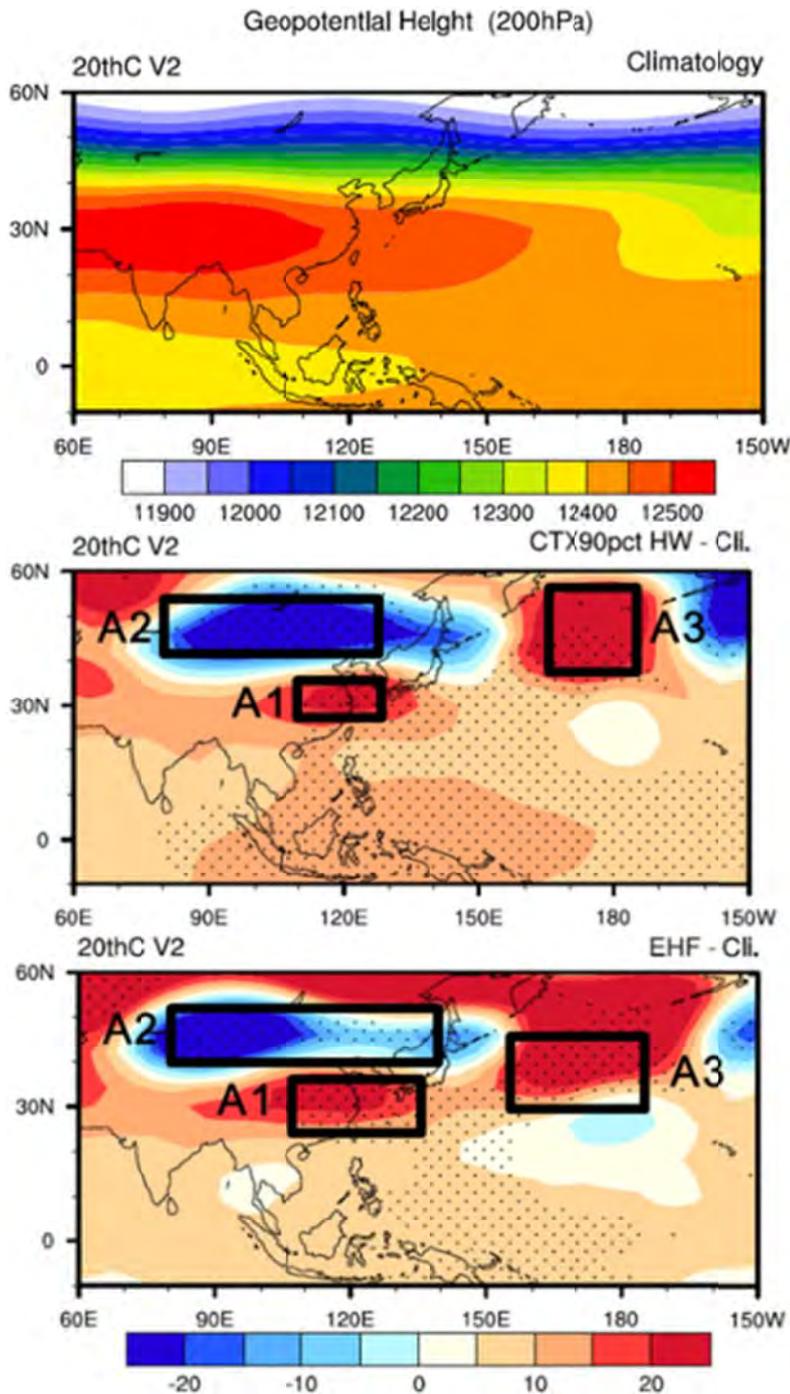


圖 3.24 觀測資料 (NCEP 20C) 的 200hPa 重力位高度場於 1960-2005 年間 7-9 月的氣候狀態(上圖)，以及同時期在 CTX90pct 定義所發生的熱浪事件做重力位高度合成分析，並與氣候場比較所得到的差異 (中圖)，下圖如同中圖，但為 EHF 熱浪定義。圖中黑點的部分為有通過百分之 90 統計顯著性檢定的區域。

第四章 氣候變遷降尺度推估技術發展與資料產製

Team2 氣候變遷降尺度推估技術發展與資料產製	
工作重點項目	進度與成果說明
1.統計降尺度	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 日降雨資料研發與應用 	<ul style="list-style-type: none"> □ 建立日雨量統計降尺度方法→可與 Team3 應用月資料反演的結果比較，並可加快資料庫建立的進程。 □ 完成高解析度降水極端指標的分析→合理化極端指標的應用。
2.動力降尺度	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 產製未來系集模擬氣候推估的臺灣地區動力降尺度資料。 ■ 系集模擬氣候推估的臺灣地區季節降水、溫度及颱風降水分析。 	<ul style="list-style-type: none"> □ 完成 MRI-AGCM 三組不同未來海溫氣候推估的動力降尺度。 □ 完成 HiRAM 四組系集模擬的侵台颱風事件動力降尺度。
3. 動力降尺度中氣候變遷原因主題式的探討	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 春季降雨變遷特徵之探討 ■ 日夜變化與夏季午後陣雨變遷特徵之探討 ■ 颱風變遷特徵之探討 ■ 極端氣溫變遷特徵之探討 	<ul style="list-style-type: none"> □ 分析臺灣地區春雨變遷與高解析度 GCM 中的環流場變遷的關係。(Team1 報告) □ 分析 HiRAM 與 MRI 動力降尺度資料的夏季午後對流降雨(TSA)特徵→降雨型態的改變，有利於災害衝擊的應用。 □ 分析西北太平洋與侵台颱風個數、強度特性分析→極端降雨型態改變，有利災害衝擊的應用。 □ 完成觀測及模式發生極端高(低)溫事件的特徵，與其大尺度環流特徵分析→對於公衛領域預防心血管、熱衰竭發生率的應用。

4.1 統計降尺度資料產製與技術研發

統計降尺度 (Wilby et al., 2004)，所使用的原理是以統計方法分析高解析度觀測資料與全球氣候模式低解析網格模擬資料結果間的關係，修正模式模擬推估的誤差並提高資料的解析度，可以涵蓋資料庫中所有不同全球氣候模式的推估結果，有效保留原有推估的可能性機率分布範圍。但缺點是不見得所有的氣候變數都有長期的高解析度觀測資料可以進行上述的分

析。在全球耦合氣候模式數值實驗計畫 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) 中有數個氣候模式進行了系集模擬，提供一組以上的氣候推估結果。本研究中對每個模式都只取一組系集成員的推估結果，亦即機會一致地 (Allen and Stainforth, 2002) 包含不同模式結構與其氣候敏感度的對可能性機率分布的影響。

本計畫統計降尺度所採用的方法是 Wood et al., (2002, 2004) 與 Maurer (2007) 所發展的誤差校正空間分解法 BCSD (Bias correction and spatial disaggregation)，依據高解析度的觀測資料來源進行統計降尺度分析，以獲得東亞和臺灣地區詳細的未來推估氣候變化情形。這個統計降尺度方法的設計幾乎保證不會產生系統性誤差，即使已用交互驗證的方式估算。所使用的觀測資料是本計畫產出的 5 公里解析度的網格觀測資料以及日本最新的 APHRODITE (Asia Precipitation Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources) 計畫所分析 25 公里解析度的日平均降雨 (Yatagai et al., 2012) 與溫度資料 (Yasutomi et al., 2011)。最高溫與最低溫的觀測資料選用英國 Climate Research Unit (CRU) 的 CRU TS3.21 版資料 (Mitchell and Jones, 2005)，但是其空間解析度只有 0.5° 。由於全球氣候模式的解析度 (近 300 公里網格) 與最新的臺灣區域長期氣候網格資料解析度 (5 公里) 差異較大，計劃將以兩階段的方式逐步進行降尺度，先區域化至 25 公里，再降尺度到 5 公里，以避免誤差修正時的過度平滑效應。同時對 IPCC 第四評估報告 (Fourth Assessment Report, AR4) 與第五評估報告 (Fifth Assessment Report, AR5) 中全球氣候模式氣候推估資料進行最高溫及最低溫的降尺度。

4.1.1 月均溫及月降雨

(1) CMIP3 月平均最高溫與最低溫 50 公里與 5 公里降尺度：

考慮到本期計畫新加入氣候變遷對農糧與公衛的衝擊研究，本期計畫新增日最高溫及日最低溫二變數的降尺度資料產製。今年先完成 A1B、A2、B1 三情境月平均日最高溫 (tasmax) 與月平均日最低溫 (tasmin) 兩變數的降尺度分析，又依據臺灣地區高解析度觀測分析網格氣候資料 (翁與楊, 2012)，更進一步將 50 公里解析度降尺度至 5 公里。由於 CMIP3 實驗中僅有少數模式有提供月平均最高溫與月平均最低溫，本研究進行降尺度的模式包括：A1B 情境的 8 個模式；A2 情境的 6 個模式；B1 情境的 8 個模式。表 4.1 為 A1B 情境下世紀末臺灣地區區域平均溫度變化量之各模式百分位比較表，其中 tasmax 與 tasmin 為 8 模式支系集平均，tas 為 24 模式之系集平均。tas 有 24 模式其中在中位數與系集平均值較為接近，tasmax 與 tasmin 由於模式數量較少，分布較為分散。CMIP3 中提供月平均最高溫與月平均最低溫之模式數量偏少，這部份的研究僅能當作方法建立，未來應用到 CMIP5 上模式數量較多，其結果之可信度也較高。

(2) CMIP3 月平均溫度 25 公里與 50 公里降尺度之比較：

今年度本研究使用日本的 APHRODITE 的東亞地區 25 公里解析度之月均溫 (tas) 觀測資料，進行東亞地區 25 公里解析度降尺度分析，再二階段降尺度至 5 公里解析度。並與直接一

次降尺度至 5 公里和前期計畫所完成的 CRU 50 公里解析度降尺度和 5 公里降尺度結果進行比較。以日本模式 mri_cgcm2_3_2a 為例，在 20c3m 1980~1999 年 20 年平均之氣候值來說，經 APHRODITE 降尺度之 25 公里解析度在臺灣山區有較良好之模擬，但降至五公里後三者結果皆非常相近。在 2080~2099 年 20 年平均減去 1980~1999 年 20 年平均之世紀末平均溫度改變量圖而言 (圖 4.1)，在 50 公里與 25 公里解析度之分布狀況一致，但在經 25 公里降尺度至 5 公里之細部分布更為突顯。

表 4.1 全臺四季與年平均在 alb 情境下各百分位世紀末溫度變化量

		minimum	25 th percentile	media	ensemble mean	75 th percentile	maximum
MAM	tasmax	1.42	1.70	1.94	2.17	2.12	3.38
	tas	1.55	2.00	2.26	2.30	2.55	3.44
	tasmin	1.60	1.68	2.08	2.26	2.41	3.41
JJA	tasmax	1.03	1.65	1.93	2.25	2.39	3.84
	tas	1.21	1.89	2.24	2.32	2.65	3.75
	tasmin	1.27	1.63	2.13	2.27	2.49	3.39
SON	tasmax	1.19	1.45	2.04	2.22	2.27	3.67
	tas	1.24	1.94	2.27	2.31	2.71	3.56
	tasmin	1.18	1.55	2.19	2.22	2.34	3.39
DJF	tasmax	0.99	1.81	2.16	2.21	2.40	3.16
	tas	1.17	1.84	2.34	2.37	2.77	3.32
	tasmin	1.07	1.82	2.17	2.29	2.73	3.27
Ann	tasmax	1.49	1.68	2.19	2.35	2.31	3.73
	tas	1.51	2.00	2.30	2.37	2.63	3.68
	tasmin	1.43	1.63	2.17	2.29	2.37	3.56

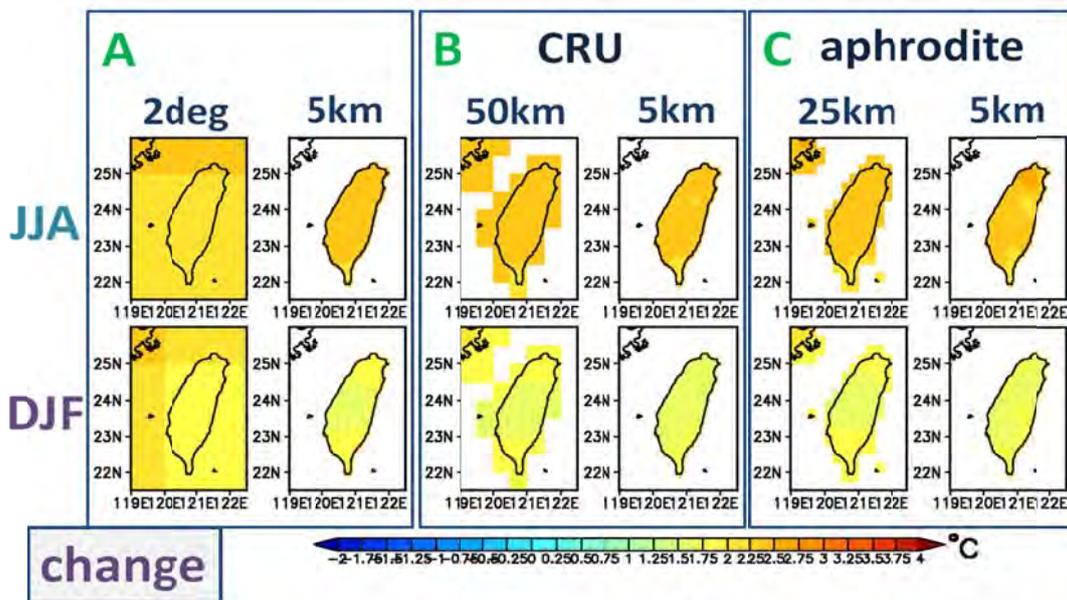


圖 4.1 mri_cgcm2_3_2a 模式夏冬兩季世紀末溫度變化量之三種降尺度方式比較圖，A 為兩度直接降尺度至 5 公里；B 為兩階段降尺度，先降到 50 公里後再降至 5 公里；C 亦為兩階段降尺度，先降到 25 公里後再降至 5 公里。

(3) CMIP5 模式降尺度

本研究使用 IPCC AR5 中四情境之各氣候模式，分別針對降雨 (pr) 與月均溫 (tas) 進行統計降尺度分析。AR5 中四情境為 CMIP5 實驗中所設計的四種情境 (Meinshausen et al., 2011)，情境設定為世紀末溫室氣體之不同長波輻射量，單位為 W/m^2 。舉例來說：RCP8.5 為模式在世紀末溫室氣體長波輻射達到 $8.5W/m^2$ 的暖化情境。本計畫選取源自 22 個研究中心，共 40 多組完整的模式結果，進行本計畫之研究使用所選用的模式，主要考慮以下三點：1.同時有模擬 historical 與未來情境之模式；2.模擬 1961-1999 年和 2006-2099 年時段之模式；3.同時有月平均的日均溫、降雨。所選用各情境的模式個數 RCP2.6 有 26 個、RCP4.5 有 38 個、RCP6.0 有 21 個、RCP8.5 有 41 個。其中 RCP4.5 為未來較可能之模擬與 RCP8.5 外來較極端之模擬此兩者模式數量較多。研究中使用未來推估部分為 2006~2100 共 95 年。下述探討世紀末之溫度改變量與降雨變化率之基期為 1986~2005 共 20 年，世紀末時段為 1981~2100 共 20 年。

臺灣地區 5 公里降尺度後結果而言，世紀末之降雨變化率在四情境間之差異不大，但在夏秋兩季增加、春冬兩季減少，與 CMIP3 之乾季降雨變少、濕季降雨變多的結果一致 (如圖 4.2)。RCP8.5 情境的推估結果中，顯示春、夏與冬三季的全臺分布狀況差異不大，僅有秋季的空間分布上差異較為明顯，呈現臺灣西部與南部降雨變化率最多 (變化率在 5~10%)，其次是中部與北部 (變化率為 0~5%)，最少的是東北部地區 (0~-5% 左右)。

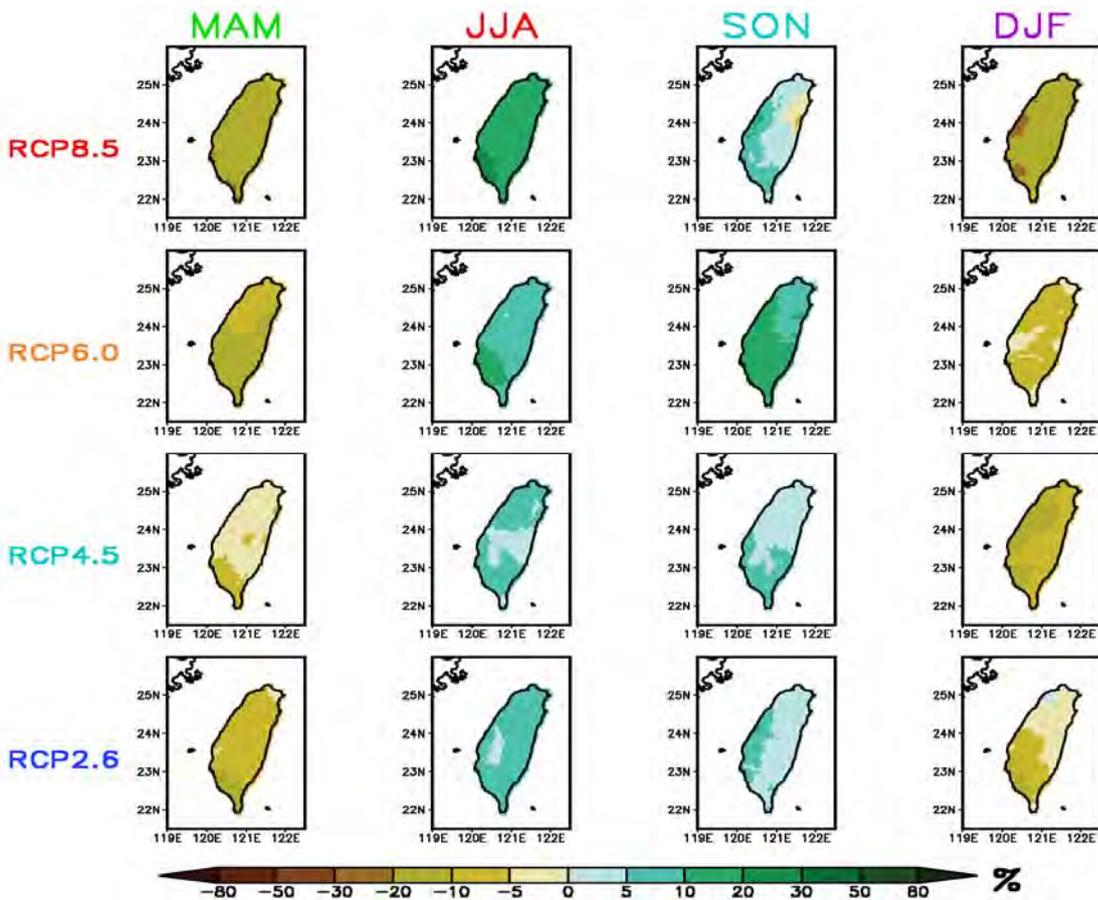


圖 4.2 臺灣地區 5 公里降尺度之世紀末降雨變化率 (2080~2099 年減去 1980~1999 年平均變化) 中位數空間分布圖。

在溫度方面，臺灣地區世紀末升溫情形四季均相似，各情境升溫之差異與情境設定相同

(如圖 4.3)。RCP8.5 模式推估的變化量大於其他三模式，主要是介於 $2.75^{\circ}\text{C}\sim 3.75^{\circ}\text{C}$ 之間，臺灣西北部的變化比東南部推估的範圍更大。而 RCP2.6 模式推估的變化範圍最小，變化範圍在 $0.25\sim 1.25$ 之間，北部及西部變化量大於中部及東部，其中冬季變化在全臺大多數地區都較為一致。在 RCP4.5 與 RCP8.5 兩情境在全臺平均之分布較 RCP2.6 與 RCP6.0 更為分散，由於 RCP4.5 與 RCP8.5 模式數量較多所致 (如圖 4.4、圖 4.5)，各百分位變化量參照表 4.2。

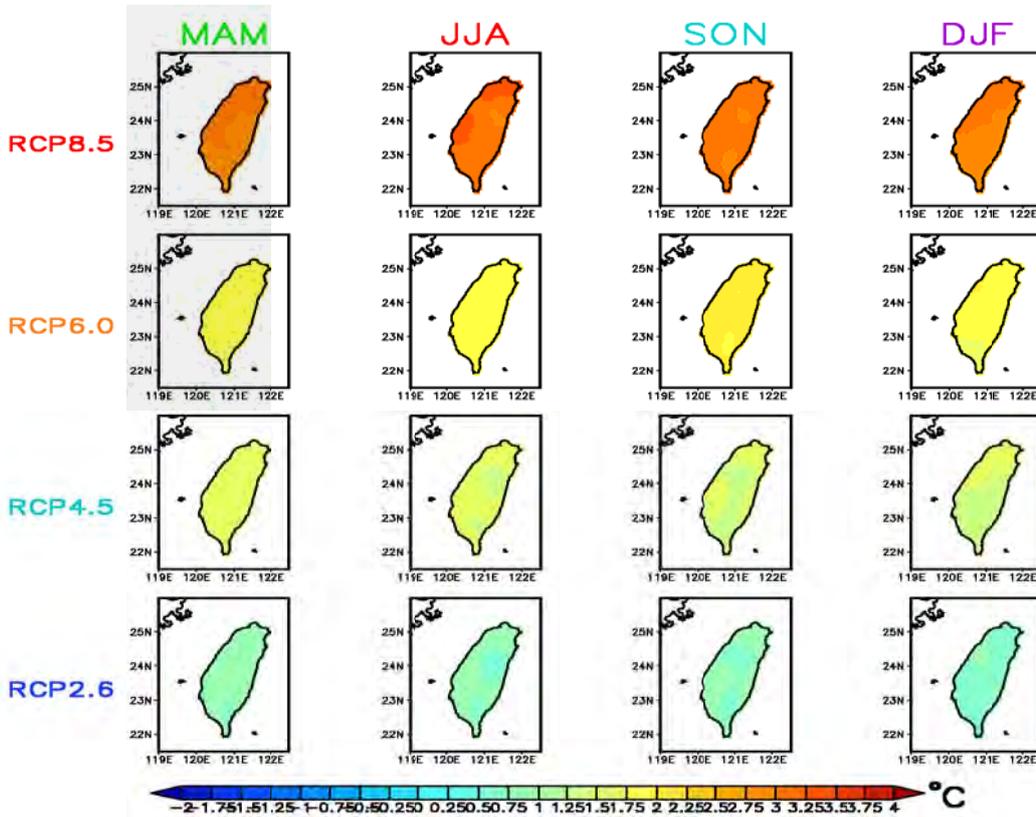


圖 4.3 臺灣地區 5 公里降尺度之世紀末溫度變化量中位數空間分布圖。

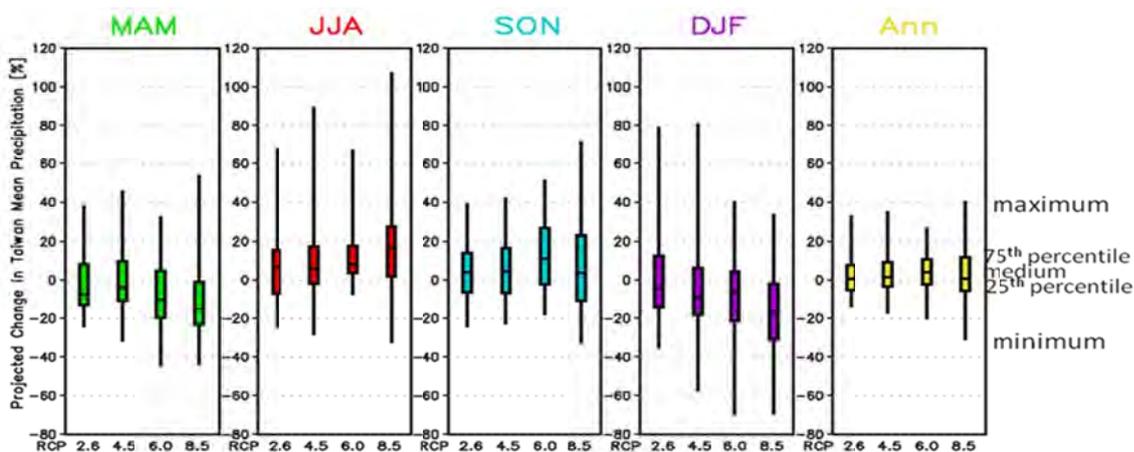


圖 4.4 五公里降尺度後全臺平均之 21 世紀末降雨改變率所有模式各百分位分布圖，橫坐標依序為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 四情境。左到右分別是春、夏、秋、冬與年平均。

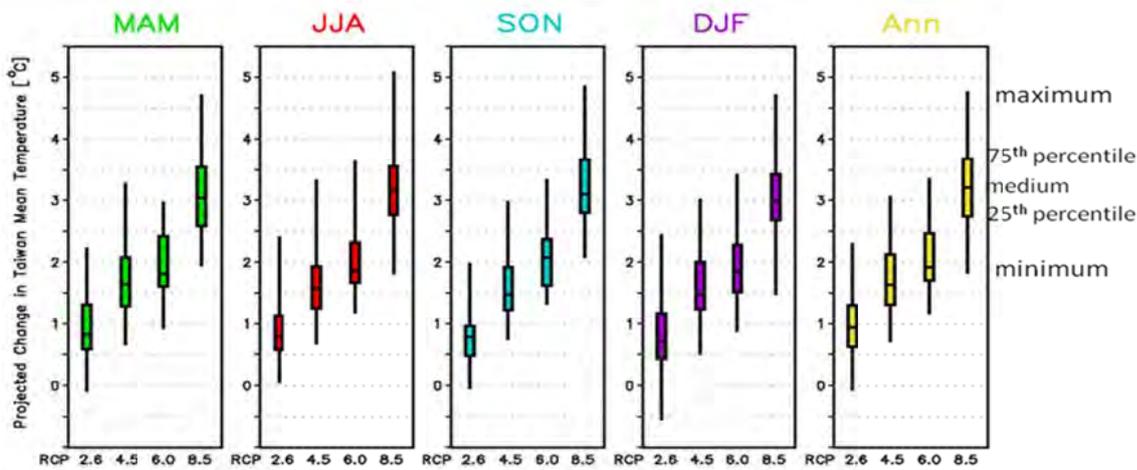


圖 4.5 五公里降尺度後全臺平均之 21 世紀末溫度改變量所有模式各百分位分布圖，橫坐標依序為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 四情境。左到右分別是春、夏、秋、冬與年平均。

表 4.2 21 世紀末臺灣地區的季節氣候平均變化，表中標題列中的 10、25、50、75、90 分別代表該區該季節平均值統計機率密度分布的百分位值。降水量變化部分有標記顏色的表示其將近有 3/4 以上的模式都有相同的符號，藍色為降水量增加，橘色為減少。

情境	季節	近地表氣溫平均變化 (°C)							降水量平均百分比變化 (%)						
		最小	10	25	50	75	90	最大	最小	10	25	50	75	90	最大
RCP 2.6	春(MAM)	-0.1	0.3	0.6	0.8	1.3	1.7	2.2	-24.2	-16.4	-13.2	-7.6	7.9	17.6	37.5
	夏(JJA)	0.1	0.4	0.6	0.8	1.1	1.6	2.4	-24.6	-16.0	-7.0	6.7	15.6	29.9	67.7
	秋(SON)	0.0	0.2	0.5	0.8	1.0	1.3	2.0	-24.0	-17.3	-6.4	4.0	13.8	29.6	38.6
	冬(DJF)	-0.5	0.3	0.4	0.7	1.2	1.8	2.4	-35.3	-25.5	-14.2	-4.6	12.4	37.2	78.8
RCP 4.5	春(MAM)	0.7	0.9	1.3	1.6	2.1	2.5	3.3	-31.6	-17.8	-10.7	-4.3	9.5	22.8	45.3
	夏(JJA)	0.7	1.0	1.2	1.6	1.9	2.1	3.3	-28.0	-11.4	-1.9	5.9	17.3	25.3	89.0
	秋(SON)	0.8	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	3.0	-22.7	-16.0	-6.5	4.3	16.5	30.8	41.5
	冬(DJF)	0.5	1.0	1.2	1.5	2.0	2.3	3.0	-57.4	-31.9	-18.1	-9.4	6.2	20.4	80.4
RCP 6.0	春(MAM)	0.9	1.5	1.6	1.8	2.4	2.8	3.0	-44.5	-30.6	-19.8	-10.6	4.7	14.2	32.1
	夏(JJA)	1.2	1.5	1.7	1.9	2.3	2.5	3.6	-7.1	-1.1	3.8	8.2	17.7	26.9	66.8
	秋(SON)	1.3	1.5	1.6	2.1	2.4	2.6	3.3	-17.7	-14.2	-2.3	11.1	26.3	38.6	51.1
	冬(DJF)	0.9	1.4	1.5	1.8	2.3	2.7	3.4	-69.5	-39.9	-21.4	-6.0	4.4	13.3	39.7
RCP 8.5	春(MAM)	2.0	2.2	2.6	3.0	3.5	4.1	4.7	-43.7	-28.5	-23.2	-15.2	-1.4	13.9	53.6
	夏(JJA)	1.8	2.3	2.8	3.2	3.6	4.0	5.1	-32.3	-8.8	1.8	16.4	27.3	42.1	106.6
	秋(SON)	2.1	2.3	2.8	3.1	3.7	4.1	4.9	-32.7	-23.9	-10.7	3.8	22.8	44.2	71.4
	冬(DJF)	1.5	2.2	2.7	3.0	3.4	4.1	4.7	-69.3	-47.3	-31.3	-16.8	-2.0	16.7	33.3

除了由各百分位值探討其分部外，也由機率的角度，觀察多模式表現是否一致。以各季節平均降雨的改變率為例，各地區在 21 世紀末降雨改變率大於或小於某降雨改變率標準的模式佔全體模式之百分比，以此百分比來表示此設定發生的機率。如圖 4.6，RCP8.5 情境下，21 世紀末各季節降雨改變率大於 30%、15%、0% 以及小於 0%、-15%、-30% 之機率分布圖所

示，紅色表示機率達 100%，深藍色表示機率 0%。可看到夏秋兩季降雨訊號為正（改變率大於 0）的發生機率超過 50%，反之春冬兩季降雨減少的機率也超過 50%；夏季降雨增加及冬季降水減少幅度超過 15% 的發生機率在大部分地方也都超過 50%。圖 4.7 則表示，21 世紀末各地方增溫超過 1°C、2°C、3°C 與 4°C 之發生機率。

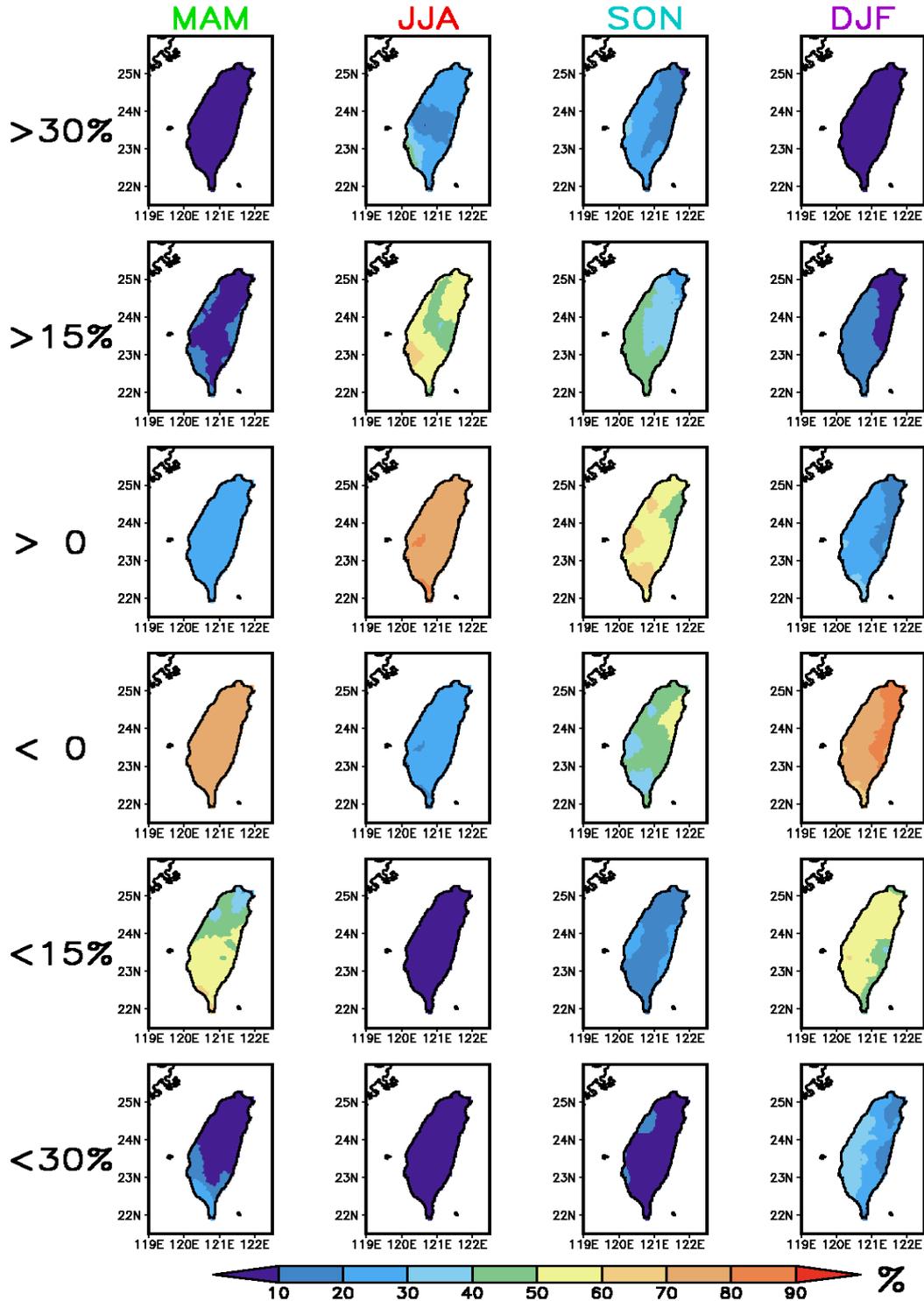


圖 4.6 臺灣地區在 RCP8.5 情境下，21 世紀末的季節降雨改變率大於 30%、15%、0% 以及小於 0%、-15%、-30% 之機率分布圖。

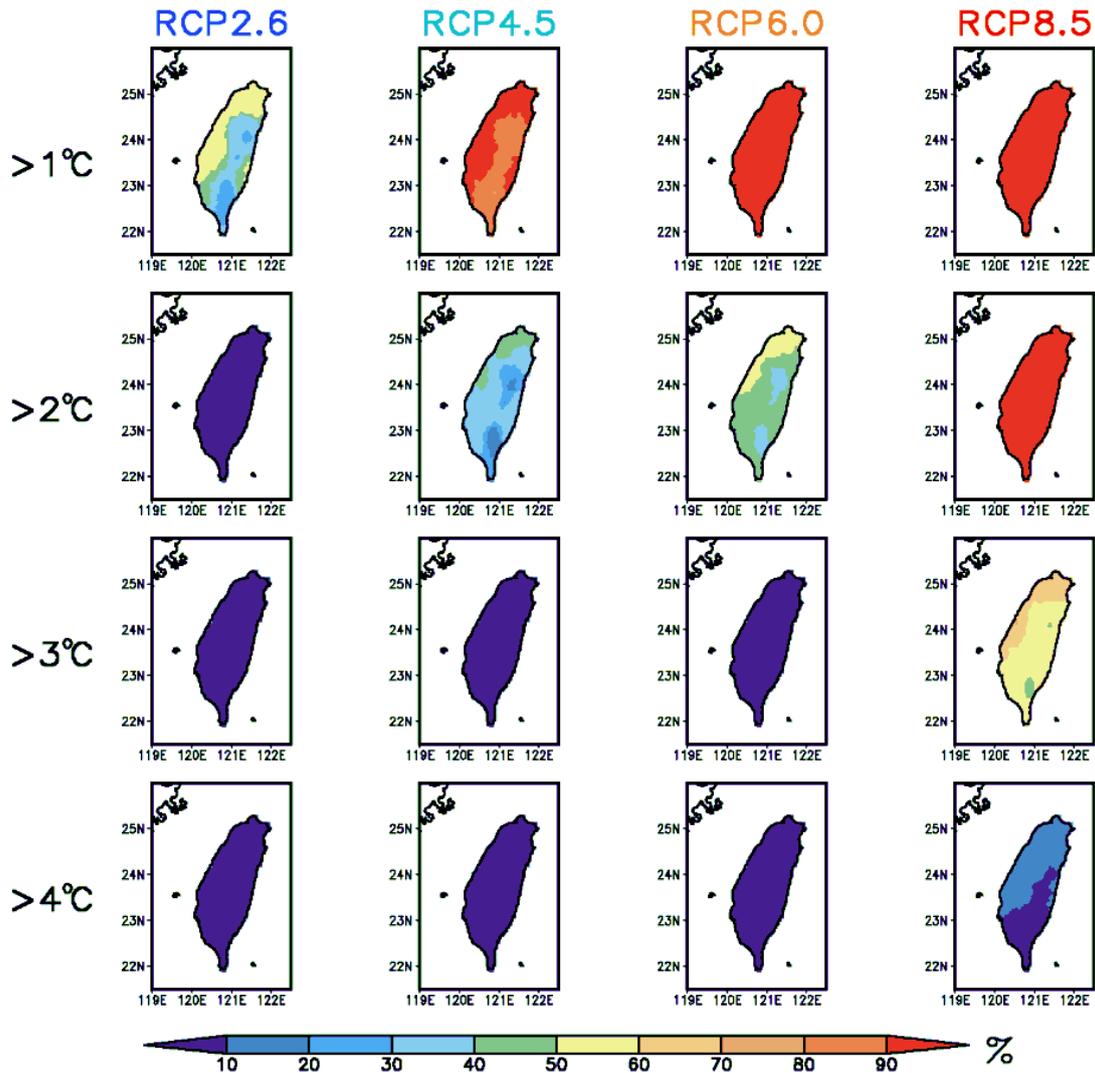


圖 4.7 臺灣地區在四種情境下，21 世紀末各地方年均溫增加超過 1°C 、 2°C 、 3°C 與 4°C 之機率分布圖。

4.1.2 不確定性分析

在模式的未來推估模擬過程中有著各種不確定性的因素存在，本研究使用 Hawkins and Sutton (2009; 2011) 的方法來對不確定性做評估。其方法以一四次多項式去模擬模式在長期的氣候變遷中的趨勢，並計算模式內部的變異量 (Internal Variability)、模式間的不確定性 (Model uncertainty) 以及情境間的不確定性 (Scenario uncertainty)。由此可將不同時間點之三種不確定性以量化的方式呈現，本研究中視所有模式為平等，並沒有針對模式表現之好壞給予不同之權重。

在此將臺灣地區的不確定性評估主要分成兩部分來討論，一是在上述討論 21 世紀末時期 (2081~2100 年) 模式內部變異量、模式間的不確定性與情境間的不確定性的變異數分布情形；二是由時間序列觀察未來推估時三種不確定性的變化。在 21 世紀末時段臺灣地區溫度方面，由於各模式都是有一明顯的趨勢，造成模式內部的變異量都很小所占比重不到 1%，在夏季與

全年平均之模式間的不確定性佔 1/3，情境間的不確定性佔 2/3。在冬季則是模式間的不確定性佔 4 成情境間的不確定性約佔 6 成，詳細比例請參照圖 4.8。在 21 世紀末時期臺灣之降雨方面，由於小區域降雨的變化十分劇烈就算有做 20 年的滑動平均，模式與模式間的差異還是非常之大，造成模式間的不確定性變異數佔 8~9 成；情境間的不確定性反而在 5% 左右，模式內的變異量也在 10% 內，詳細比例請參照圖 4.9。

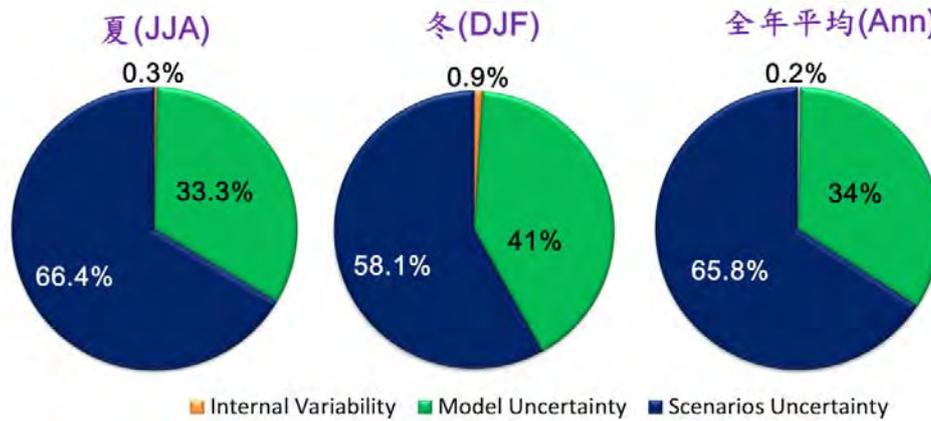


圖 4.8 臺灣地區夏季、冬季和全年平均溫度在世紀末 (2081~2100) 時段三種不確定性之變異量所佔的百分比。

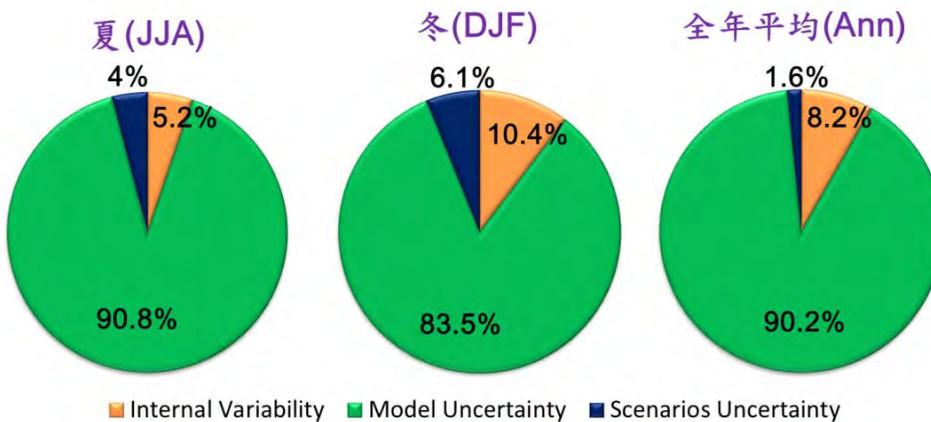


圖 4.9 臺灣地區夏季、冬季和全年平均降雨在世紀末 (2081~2100) 時段三種不確定性之變異量所佔的百分比。

在時間序列的呈現方面，採用 90% 的信賴區間計算方式，將三種不確定性之變異數開根號為三種不確定性之標準差，正負 1.65 倍標準差即為 90% 之信賴區間範圍。圖 4.10 為臺灣地區全年平均溫度之 90% 信賴區間時間序列圖，模式內部的變異量 (橘色) 從頭到尾是相同；模式間的不確定性 (藍色) 以非常緩慢的速率增加；情境間的不確定性 (綠色) 在 21 世紀初非常小，在 21 世紀末呈現最大。圖左圖為臺灣地區夏季降雨之 90% 信賴區間時間序列圖，模式間的不確定性 (綠色) 為最大，情境間的不確定性 (藍色) 與模式內部變異量 (橘色) 較小，其降雨改變率範圍為減少 20% 至增加 50%。圖 4.11 右圖為臺灣地區冬季降雨之 90% 信賴區間時間序列圖，結果與夏季相似，只是其降雨改變率範圍為減少 45% 至增加 30%。

由於不確定性的評估所選取模式為四情境共有之模式，數量只有 19 個，與上述章節所討論之模式數量上並不一致。雖然不能很精準地呈現，但仍能提供相當的資訊。總結，在溫度方面，情境間的不確定性最大；在降雨方面，模式間的不確定性最大。

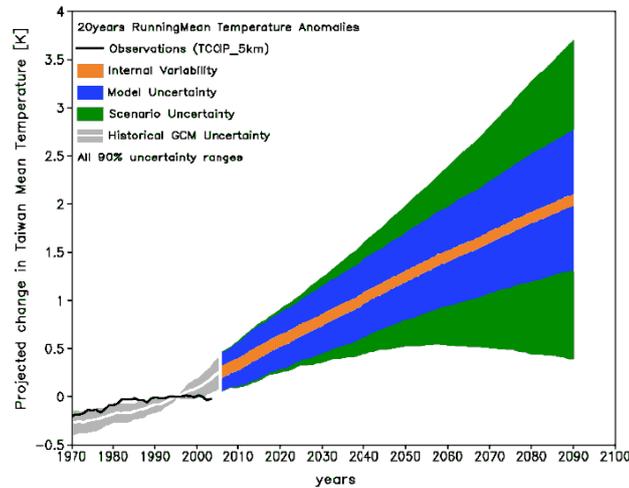


圖 4.10 臺灣地區全年平均在 90%信賴區間下，20 年滑動平均之 21 世紀末增溫圖（三種顏色各表示不確定性所佔的比重，橘色為模式內部的變異量、綠色為模式間的不確定性、藍色為情境間的不確定性）

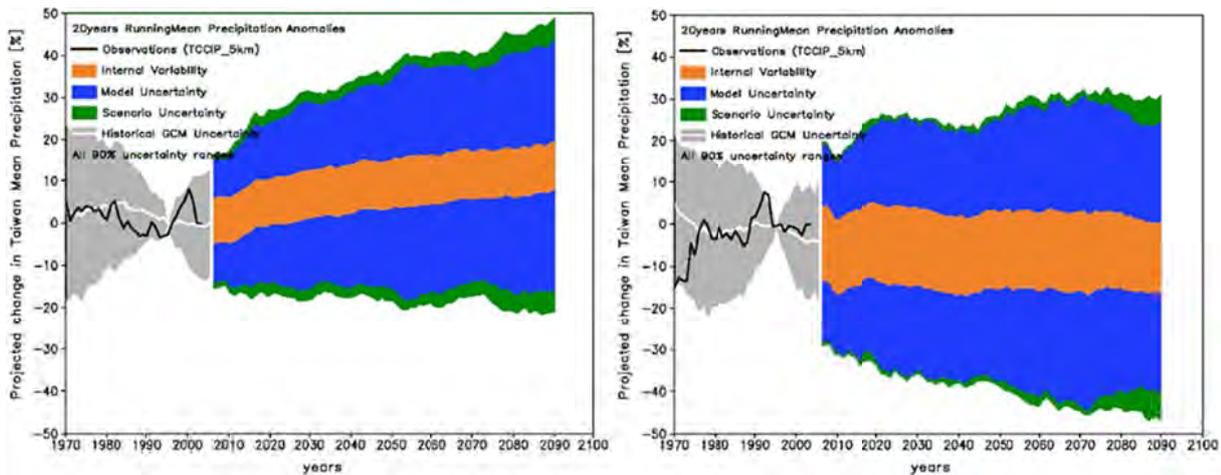


圖 4.11 同圖 10，只是代表的是夏季（左圖）與冬季（右圖）雨量變化率圖。

4.1.3 極端事件統計降尺度的應用研發

極端天氣與氣候事件對於社會、經濟與環境的衝擊遠大於平均氣候狀態的些許改變，IPCC 第四次評估報告整理多數氣候模式所模擬推估的極端氣溫與降雨在未來的變化，認為未來許多地方都可能增加破紀錄的高溫，但也減少極端低溫發生的機率，在極端降雨型態變化方面，則是發生豪大雨的機率增加，但小雨發生的機率也大量減少 (Allen and Ingram 2002, Trenberth et al. 2003, Gutowski et al. 2008)。

不過現階段氣候模式的解析度不足，對於極端降雨模擬準確性令人質疑，對伴隨熱帶氣

旋的強烈降雨也可能無法解析。目前大多數全球氣候模式的模式網格大小約為三百公里。對臺灣而言，這種氣候模式的解析度下無法提供更細部的氣候資訊，同時在低解析度下的臺灣地形會造成氣候模式的模擬結果與臺灣區域細部觀測資料的差距，特別是地形對極端降雨預期會有明顯的作用。

目前，已有一些研究利用氣候模式數值實驗計畫結果，包含現今與未來氣候的數十年逐日模擬降雨資料，用以計算降雨的極端氣候指標 (Alexander *et al.*, 2006)，例如年最大日降雨量 (RX1DAY) 或日雨量超過 50mm 的日數等。由於上述極端降雨指標受到資料 (模式) 解析度的影響很大 (Chen and Knutson, 2008)。如果只計算極端降雨改變量，固定的系統性誤差也許對結果影響有限，但是還是無法評估極端降雨受到海陸分布與地形的影響。因此，對於極端降雨事件對臺灣影響的評估，必須有高解析度的氣候資料才能滿足應用端的需求，需要發展將全球氣候模式模擬結果誤差修正與提高解析度的方法。

(1) CMIP3極端指標

在東亞地區及臺灣未來氣候變遷影響推估上，本研究針對八種雨量氣候指標分析三種未來情境 (A1B、A2 及 B1) 變化，討論兩個地區世紀末極端降雨事件的改變率，在未來氣候變遷下對東亞地區及臺灣經濟社會以及環境的可能影響，因此在挑選極端氣候指標上，以降雨指標為主。

本研究分析臺灣地區各氣候指標在三種未來情境中，其系集平均 (ensemble mean) 世紀末改變率 (如圖 4.12 所示)，除了 CWD 連續降雨日於三情境之系集平均中略有差異外，其他七種指標數值於三種情境下的趨勢均相同。結果顯示臺灣地區世紀末期間的強降雨事件，不論在強度 (rx1day、rx5day、sdii) 或是在頻率 (r20mm、r50mm) 上均會增多；雨日 (RR1) 天數減少與連續不降雨日 (cdd) 增加顯示世紀末發生乾旱的機會增加；至於連續雨日 (CWD) 可能受梅雨鋒面或是颱風降雨等多種因素影響，世紀末的變化並不明顯。

(2) CMIP5極端指標

IPCC 第五次評估報告 (IPCC AR5) 整理出多數氣候模式所模擬推估的極端降雨，在未來發生豪大雨的機率增加，且小雨發生的機率也大量減少。本研究使用 IPCC AR5 評估報告中所使用的耦合氣候模式數值實驗計畫 CMIP5 之模式。

與 CMIP3 極端指標不同的是，此版本是透過熱帶降雨觀測計畫 (Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM) 所估計的高解析度降雨觀測資料。

臺灣地區世紀末 (2081~2100) 對於基期 (1986~2005) 的降雨指標變化率來說 (圖 4.13)，四情境都在強度 (RX1DAY、RX5DAY、SDII、R95pTOT、R99pTOT、P TOT) 或是在頻率 (R20mm) 上均會增加，顯示未來會較容易發生極端降雨事件 (RX1DAY)；雨日 (RR1) 與連續降雨日 (CWD) 天數減少、連續不降雨日 (CDD) 增加，顯示未來發生乾旱的機會提升，臺灣地區未來正走向乾越乾、濕越濕的極端氣候類型。

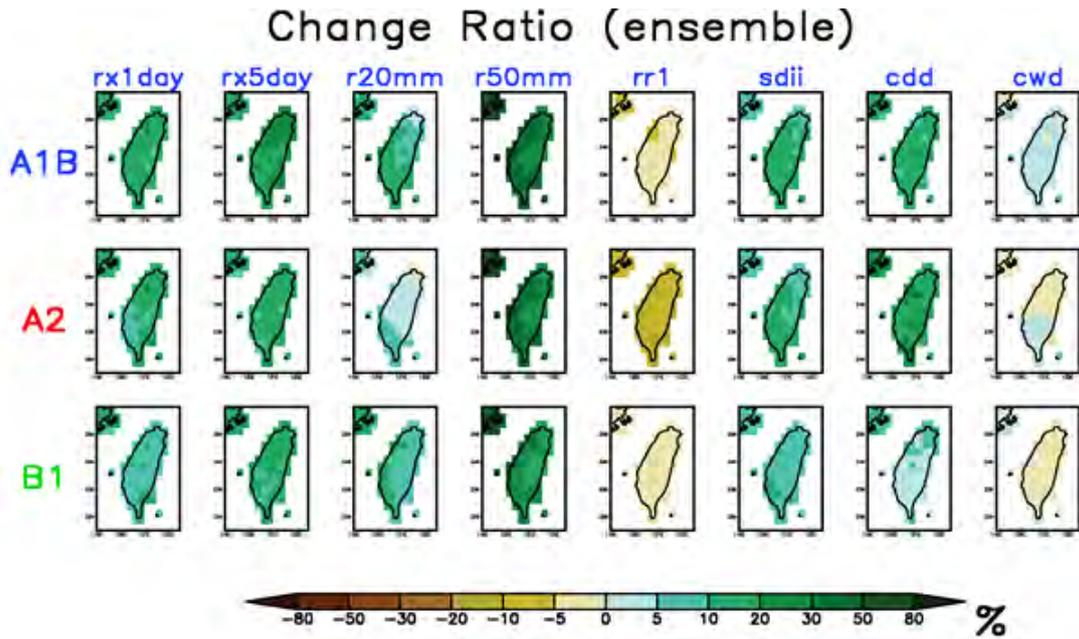


圖 4.12 在 A1B、A2 及 B1 三情境下 CMIP3 各氣候模式之系集平均，臺灣地區各極端氣候指標於世紀末氣候變化百分比 (%) 分布圖。

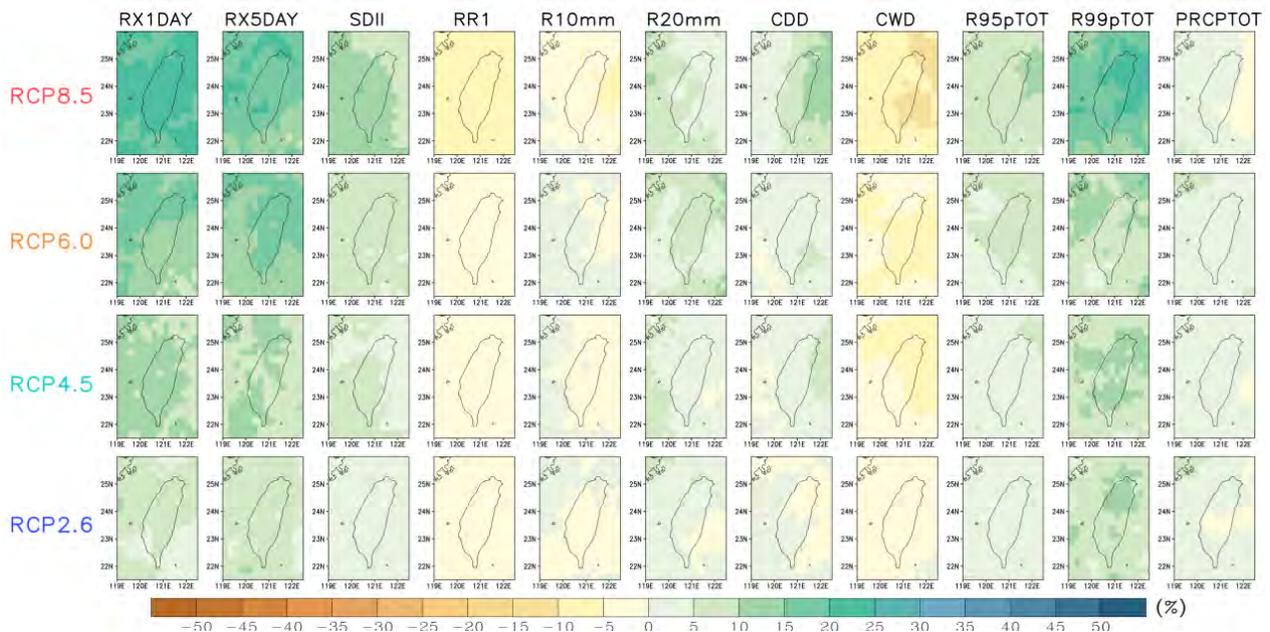


圖 4.13 臺灣地區各極端氣候指標在四情境下 CMIP5 各氣候模式之中位數於世紀末氣候變化百分比 (%) 分布圖。

極端溫度指標方面，由於無高解析度日觀測資料，而模式本身又有誤差的存在，因此避開一些需要絕對溫度的指標，進而挑選使用相對溫度的前述 9 種指標，臺灣地區世紀末 (2081~2100) 對於基期(1986~2005)的變化量來說 (圖 4.14)，日夜溫差 (DTR) 並無明顯改變；TXx、TNx、TXn、TNn 四者變化一致，空間分布也相同；WSDI 與 HWDI 明顯上升呈現南部略高於北部；CSDI 與 CWDI 明顯減少。顯示世紀末明顯升溫造成臺灣地區全面暖化，熱浪 RCP8.5 的情境下甚至半年以上都是處於熱浪事件。

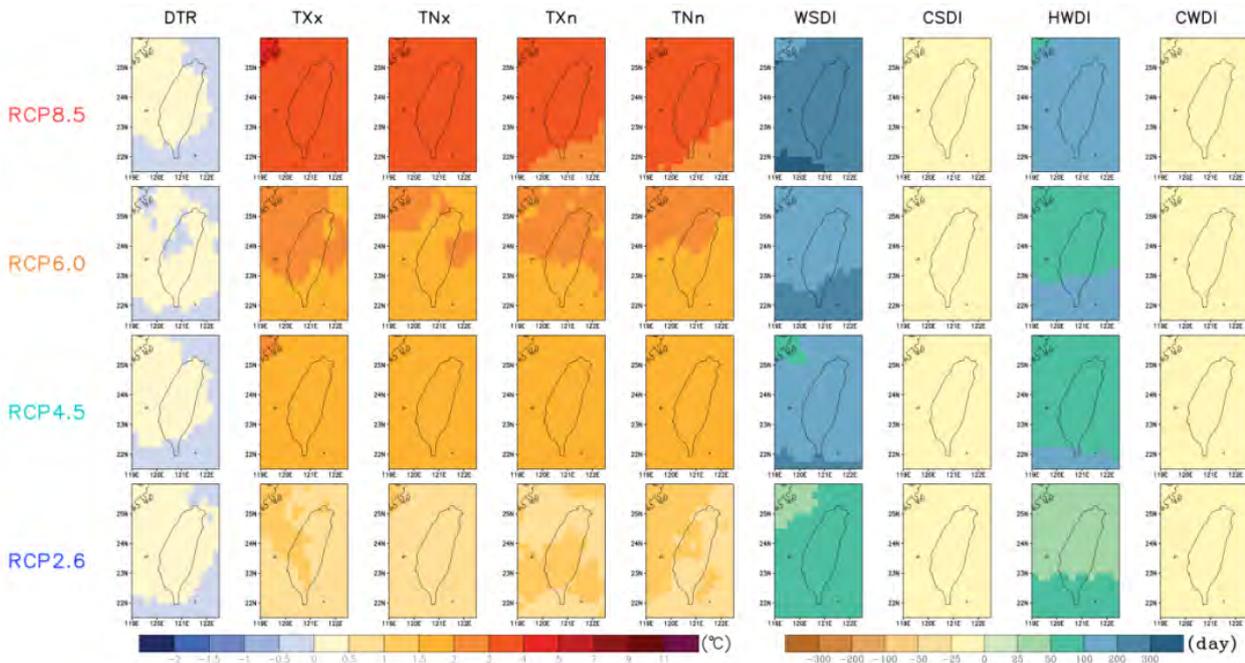


圖 4.14 臺灣地區各溫度極端氣候指標在四情境下 CMIP5 各氣候模式之中位數於世紀末氣候變化量分布圖。

4.1.4 日降雨資料統計降尺度之技術研發與應用

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)，主要是依據高解析度的觀測資料來進行統計降尺度分析，此偏差修正共有兩個步驟，首先是為能夠增加資料筆數，所設計的時間採樣區間 (TimeWindow)，透過較多的資料樣本，所獲得的 CDF 函數分布，模式與觀測兩者之間曲線才不至於型態差異過大。接著是百分位分級制，這步驟特別能針對高百分位降雨的部份進行較佳的處理，由於增加 CDF 函數樣本，則同時可能增加了觀測 CDF 曲線高百分位降雨強度的變化性，因此模式越高百分位進行偏差修正時，可能得到的偏差修正率過大而失當，故計劃則透過百分位的分級方式，將偏差修正的係數成等級式地轉換。經過測試後，獲得時間區間 31 天，每個區間 10 筆降雨資料 (W7B10) 的設定為最佳。日降尺度之偏差修正示意如圖 4.15。

目前已完成 CMIP5 臺灣地區之降雨日資料統計降尺度，各情境模式個數為 RCP26: 22；RCP45: 30；RCP60: 17；RCP85: 33。其中 RCP45 為未來較可能之模擬與 RCP85 外來較極端之模擬此兩者模式數量較多。在應用方面，本研究對日降尺度後之模式資料進行極端降雨指標之研究與分析，在此挑選了 (1) 最大日降雨 (RX1DAY)。 (2) 最大連續五日累積降雨量 (RX5DAY)。 (3) 簡單日降雨強度 (SDII)。 (4) 雨日 (RR1)。 (5) 大雨日數 (R10mm)。 (6) 非常大雨日數 (R20mm)。 (7) 乾期連續日數 (CDD)。 (8) 雨期連續日數 (CWD)。 (9) 非常大雨日累積雨量 (R95pTOT)。 (10) 極端大雨日累積雨量 (R99pTOT)。 (11) 雨日累積雨量

(PRCPTOT)，等 11 項指標進行分析。如圖 4.16 所示，臺灣地區世紀末 (2081~2100) 對於基期 (1986~2005) 的變化率來說，四情境都在強度 (RX1DAY、RX5DAY、SDII、R95pTOT、R99pTOT、PRCPTOT) 或是在頻率 (R20mm) 上均會增加，顯示未來會較容易發生極端強降雨事件；雨日 (RR1) 天數減少、連續不降雨日 (CDD) 增加，顯示未來發生乾旱的機會提升。由上述兩點可知，臺灣地區未來正走向乾越乾、濕越濕的極端氣候類型。在前期計畫中也有針對極端降雨指標進行分析，但並未進行偏差修正，而觀測資料是用 TRMM 也與這期計畫所指用之 Aphrodite 有所差異。

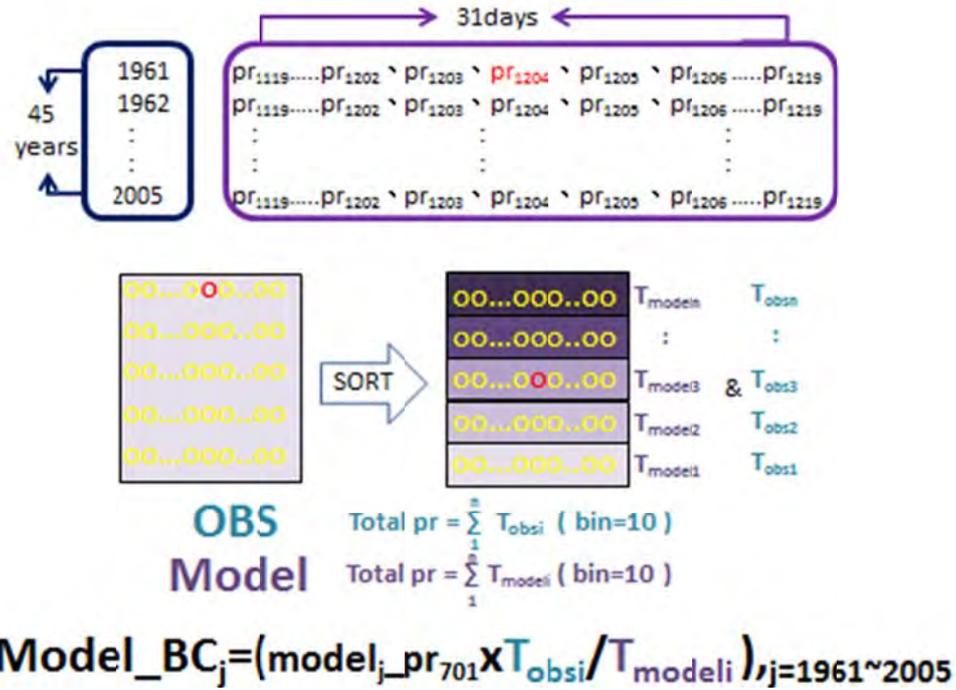


圖 4.15 日降尺度之偏差修正示意圖。

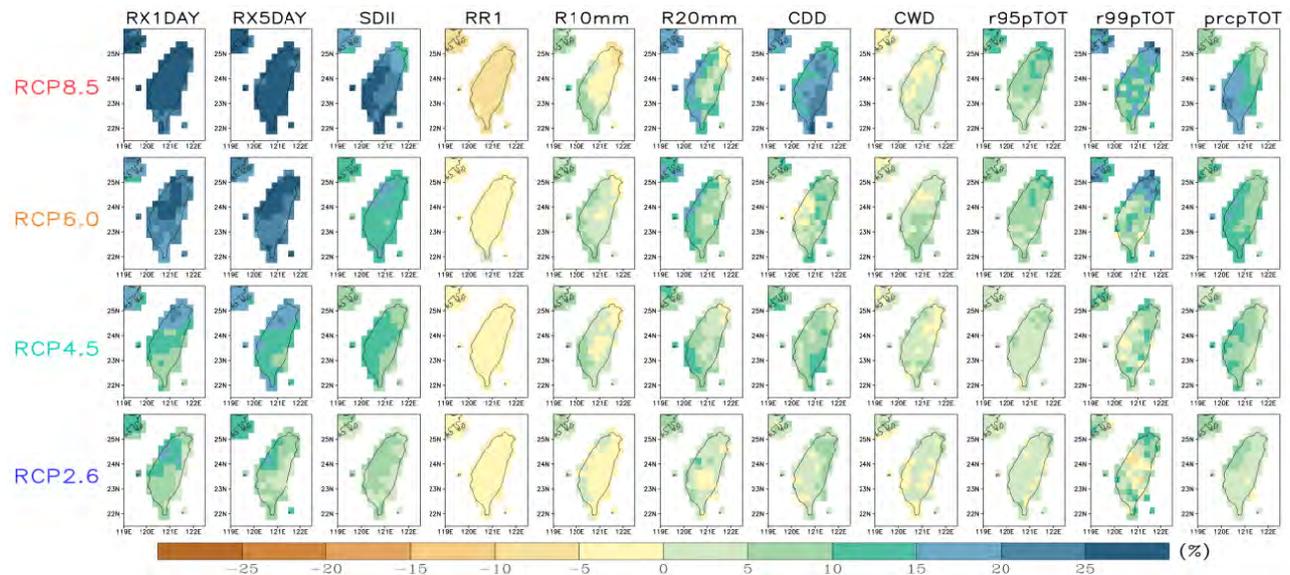


圖 4.16 臺灣地區各極端氣候指標在四情境下 CMIP5 各氣候模式之中位數於世紀末氣候變化百分比 (%) 分布圖。

4.2 動力降尺度技術研發 (TCCIP-I)

為了獲得臺灣地區高時空解析度的資料以呈現較細緻的區域氣候特徵，TCCIP 計畫的另一工作項目為高解析度動力降尺度技術研發。動力降尺度是透過執行由物理定律所建構的高解析度的動力模式（不限於全球模式或是區域模式）來模擬四維大氣環流狀態的演變情況，用以推估未來氣候狀態。本計劃去年度使用 MRI 以及 ECHAM5 兩個全球模式的氣候推估來進行動力降尺度，完成現在（1979~2003）、近未來（2015~2039）及 21 世紀末（2075~2099）這三個時期的 5 公里解析度動力降尺度。

4.2.1 大尺度環流場模式資料說明

(1) MRI全球模式

本計畫動力降尺度的工作之一為採用日本氣象廳 (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。水平解析度約 20 公里，全球網格數為 1920×960。此模式係採 "time-slice" 的實驗設計方式，先以 CMIP3 的大氣海洋環流耦合模式模擬出未來海溫隨時間線性增加的趨勢，再將現今海溫的變異加諸在隨時間線性增加的海溫上，用以驅動高解析度大氣環流模式 (Mizuta et al, 2011)。

(2) ECHAM5全球模式

本研究亦使用 ECHAM5 的資料做為背景場，ECHAM5 氣候模式是由德國 Max Planck Institute 發展的 (第五版) 模式 (Roeckner et al., 2006)，大氣模式的動力模組使用波譜法，此模式目前為許多國家所採用作為氣候研究 (Connolley and Bracegirdle, 2007)，並應用於 IPCC Fourth Assessment Report (IPCC, 2007)。在本研究利用 IPCC AR4 中 ECHAM5 的模擬結果作為動力降尺度之基本場，解析度為 T63，網格間距約為 200 公里，垂直分為 17 層，模式最頂層氣壓為 10 hPa，資料每 6 個小時一筆。

4.2.2 研究方法

(1) 區域氣候模式的執行

本研究使用的區域模式是美國大氣研究中心 (NCAR) 所主導發展的天氣研究與預報模式系統 (Weather Research and Forecasting modeling system, 之後簡稱為 WRF 模式)。在此我們使用 Fita et al. (2009) 針對 WRF3.1.1 版稍加修改為 CLWRF，納入 A1B 情境的溫室氣體濃度改變的情境輻射的計算，並輸出氣候分析常用的參數。除了更高解析度的地形之外，亦更新模式中臺灣目前土地使用現況的地表資料。關於本研究模式所使用的物理模組的細節可參考去年度的期末報告。

MRI AGCM 的動力降尺度使用一層巢狀網格，網格點數 380×400 ，垂直解析度為 36 層，模擬區域如圖 4.17a 黃色外框所示。颱風個案動力降尺度則使用兩層巢狀網格，外層 5 公里解析度的範圍依舊，內層空間解析度則提昇至 1.66 公里，模擬區域如圖 4.17a 黃色內框所示。因為 ECHAM5 資料的解析度較粗，所以在進行降尺度時必需使用兩層巢狀網格，外層網格水平間距為 15 公里，水平網格點數為 301×301 ；內層網格水平間隔為 5 公里，水平網格點數為 382×400 ，兩層巢狀網格垂直解析度均為 45 層，所涵蓋的範圍如圖 4.17b 所示。為了避免執行降尺度所導致太大的氣候偏移，此計畫的控制實驗在外層模擬區域採用 spectral nudging 的方法（內層則否）。除了使用 spectral nudging 之外，ECHAM5 動力降尺度的執行是每積分一個月後重新啟動模式（亦稱冷啟動 cold start）以進行下個月的模擬。而 MRI AGCM 的動力降尺度則是每個月的模擬接續上個月的結果重新啟動進行。

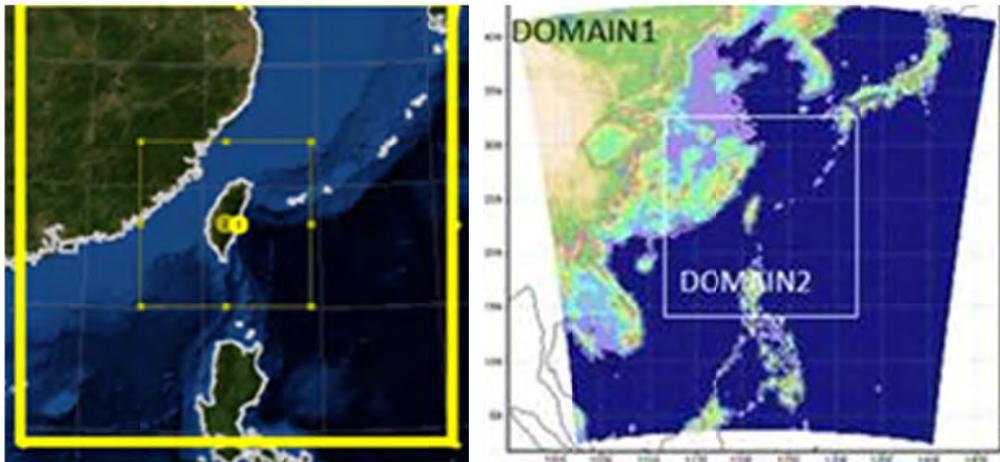


圖 4.17 (a) 為 MRI AGCM 動力降尺度執行的範圍，(b) 則為 ECHAM5 動力降尺度執行的範圍。

(2) 世紀末颱風降雨推估

前一年度的計畫成果中可以看到，颱風路徑的偏差對颱風降水的空間分布有相當大的影響，侵臺颱風路徑若在未來的推估中呈現有意義的系統性偏移，也會主宰颱風降雨的變遷。但是單一模式的結果中侵臺颱風的個數有限，很難評估所呈現的路徑及降水變遷是有意義的。本研究使用 4 組 60 公里解析度的 MRI AGCM 模擬中所有的颱風個案資料（表 4.3）；由於颱風的數目亦隨之大幅增加，在此利用此筆資料搭配上歷史颱風路徑與降水的觀測值，發展出一套估計颱風降雨氣候值的方法，所產製颱風降雨的推估資料可以減少因颱風路徑推估的不確定性造成的誤差。

(3) 颱風重置實驗

運用 60km MRI AGCM 資料為統計方法建置颱風降雨的氣候值，此外本計畫亦嘗試使用區域模式來增加颱風的樣本數。透過颱風重置實驗，來增加所模擬的颱風樣本數再用其結果來開發颱風個案降尺度資料的應用，以提供更為合理的降尺度資料給應用端使用。颱風重置點的安排示意如圖 4.18。重置颱風的初始位置後，大尺度的環流還是由相同的側邊界條件在驅動著，並估算相同一個颱風若行經不同的路徑，對特定區域所能帶來最大的衝擊為何。

表 4.3 60km MRI 四組不同初始場模擬、20km MRI 和觀測 (1992~2006) 的侵臺颱風逐月分布、侵臺颱風總數

月份	4	5	6	7	8	9	10	11	12	侵臺總數
HPA	0	3	6	24	26	18	15	5	0	97
HPA_m00	2	4	2	22	21	16	11	1	1	80
HPA_m01	1	2	4	20	19	19	6	4	0	75
HPA_m02	0	1	9	25	21	20	7	4	1	88
OBS	1	3	9	16	25	18	9	1	1	83

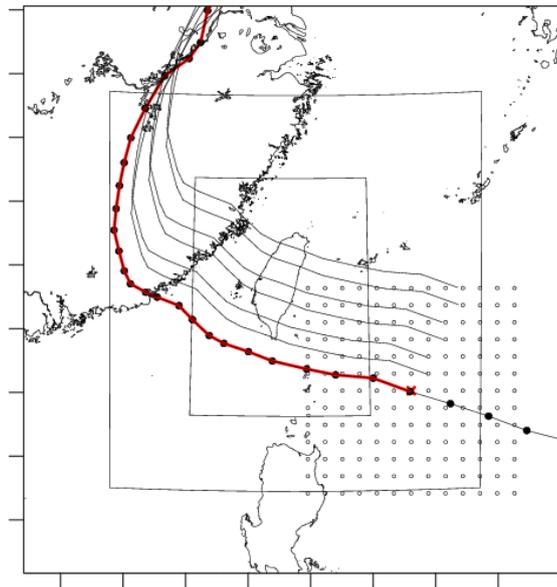


圖 4.18 颱風重置實驗中重置點分布的示意圖。圖中空心圓為可能重置的位置，其間距 60 公里。

4.2.3 具體成果

(1) 世紀末颱風降雨推估

本研究採用 60KM MRI AGCM 多模式系集模擬的結果所推算出的颱風降雨改變率的統計值，搭配上 1992-2006 年之颱風降水觀測來建立一套對未來颱風降雨推估的計算方法，此方法可搭配上任意選定的颱風路徑。由多模式的結果看出侵臺颱風的路徑不確定性高，並無法歸納出暖化對未來颱風路徑的影響。為排除路徑影響之不確定性，本研究在推估世紀末颱風降雨時暫不考慮颱風路徑變遷之影響，使用觀測之颱風路徑密度分布 (圖 4.19a)，故本研究結果所反映出的大多來自受暖化影響下之颱風降雨強度的改變。

世紀末之颱風降雨推估是以觀測之降雨分布的統計值為基礎，再加入模式對降雨改變率的統計值來推估未來颱風降雨的空間分布。進一步將 1992-2006 年間所有颱風路徑密度氣候

值的空間分布 (圖 4.19a) 當作權重，對所有侵臺颱風中心所在位置對應之颱風降雨分布 (圖 4.19b 及圖 4.19d) 做加權平均後，則可以合成颱風降水的氣候值 (圖 4.19b 及圖 4.19c)。分析結果顯示，在侵臺颱風路徑不變的情境之下，世紀末臺灣地區的颱風降雨仍是增加的趨勢，尤其是中部地區及中北部山區增加較為顯著 (圖 4.19d)。圖 4.19e 則是直接以 60km MRI AGCM 資料推估之世紀末颱風降雨改變率。表 4.4 則為各分區的改變率，其中以中部地區 (46.66%) 和曾文河流域 (46.29%) 增加最顯著。

表 4.5 為各路徑之颱風降雨於臺灣四大分區和五大流域之改變率，顯示北部地區降雨增加最為顯著的路徑為第一、第二和第三路徑，而造成南部降雨增加最顯著的路徑為第三、第四和第七路徑。五大流域中除了以第八路徑侵臺的曾文河流域呈現降雨減少的趨勢外，其餘皆顯示世紀末時降雨呈現增加的趨勢，其中以第四路徑侵臺的曾文河流域增加最為顯著 (111.74%)。

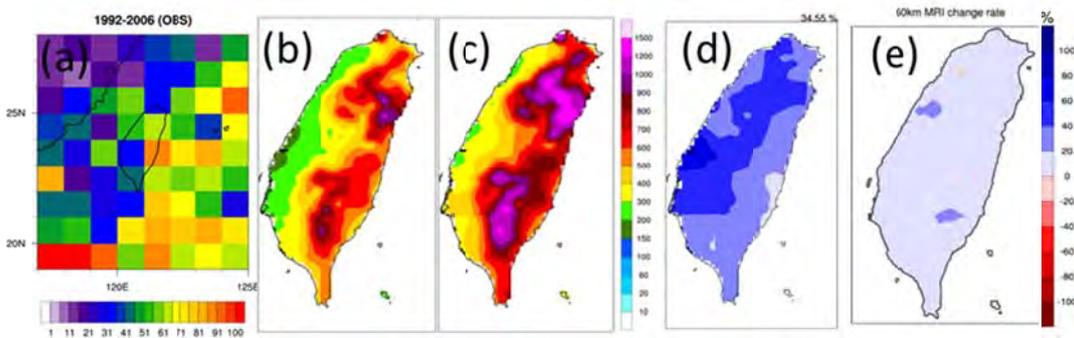


圖 4.19 (a) 觀測 (1992-2006) 之颱風路徑密度分布圖 (單位：次數)、(b) 觀測平均颱風降雨分布圖 (單位：mm/yr)、(c) 推估世紀末之降雨分布、(d) 為利用觀測資料推估之世紀末颱風降雨改變率、(e) 直接以 60km MRI 模式資料推估之世紀末颱風降雨改變率。

表 4.4 臺灣地區、四大分區與五大流域之世紀末降雨改變率 (單位：%)。

北	中	南	東	臺灣
39.65	46.66	33.54	30.26	37.55
淡水河	高屏溪	曾文溪	濁水溪	大甲溪
43.44	32.88	46.29	43.63	42.01

表 4.5 四大分區與五大流域之各路徑分類的世紀末降雨改變率 (單位：%)。

路徑	北	中	南	東	臺灣	淡水	高雄	曾文	濁水	大甲
1	38.46	20.69	18.91	31.66	26.83	51.34	19.24	15.9	15.72	32.61
2	47.32	42.69	21.79	39.12	37.82	54.6	24.47	28.25	43.81	48.69
3	42.89	63.57	41.9	35.88	46.56	50.95	42.29	63.86	61.2	50.86
4	31.69	99.47	69.58	28.07	59.05	31.82	51.43	111.74	62.33	25.8

路徑	北	中	南	東	臺灣	淡水	高雄	曾文	濁水	大甲
5	0.87	1.2	6.94	6.28	3.9	1.68	6.48	1.82	2.35	1.35
6	28.42	18.2	18.45	21.47	21.16	30.55	20.67	16.42	21.71	29
7	12.16	38.82	30.35	10.28	23.61	5.92	20.22	39.48	18.04	14.19
8	17.03	1.28	6.79	15.4	9.71	25.92	4.1	-0.56	0.79	6.04
9	22.79	19.03	23.14	10.66	18.13	24.72	26.03	30.98	15.03	21.23

4.2.4 小結

前述本期動力降尺度相關研究的主要成果可簡單歸納如下：

- (1) 本研究以 ECHAM5 與 MRI 在經過 WRF 模式降尺度前後的差異做比較，發現兩個模式大尺度環流的差異也主導著降尺度後結果的差異。在低對流層中，MRI 資料的表現都優於 ECHAM5。而在中高對流層中 ECHAM5 的表現則優於 MRI。在分區的降水時序圖中，ECHAM5-WRF 四個區域降水明顯都比觀測高，特別是在 7、8 月，MRI-WRF 降雨量較接近觀測值，尤其是東部的降雨。
- (2) 夏季連續高溫（日最高溫大於 35°C）事件分析中，WRF 的模擬結果顯示世紀末西半部地區有明顯增加之趨勢，尤其是臺北都會區、中部平原及高屏一帶地區。以連續 5 天高溫事件為例，頻率從一年約小於 1 次增加至 4-5 次。在全球暖化之趨勢下，臺灣地區連續高溫與極端高溫出現的頻率將越來越頻繁且範圍越來越廣；而發生極端低溫的頻率有越來越少的趨勢。
- (3) 在梅雨季降水對模式設定的敏感度測試中，發現波譜調整與對流參數化的移除，不僅能讓模式模擬出較佳的降水強度，也改善對降雨好發的位置。模式中梅雨季極端降水發生時的大氣環境與真實大氣中梅雨季強降水發生時的環境極為類似，有助於研究暖化對梅雨季強降水的影響。因為模式中過去與未來極端事件的大氣環流強度相似，降水強度的增加應該與大氣中水氣量的增加有較大的關係。
- (4) 1.66 公里解析度的颱風事件降尺度的研究結果顯示模式更有能力模擬出強降水，但是卻讓原先被高估的強降雨發生頻率增加得更多，並未能改善模式的表現。此外模式中降雨強度的增加，也有部分原因是來自波譜調整及積雲參數化被移除了，這部分需要更進一步的探討及驗證。
- (5) 由 60 公里 MRI AGCM 系集模擬結果所建構的對未來颱風降雨氣候推估值方法可以將颱風路徑變遷的不確定性獨立出來，只去探討在相同颱風路徑的狀況下，暖化對侵臺颱風降水增加量的影響。以歷史颱風路徑所推估的結果顯示，暖化是會增加臺灣地區颱風降雨量的氣候值，在各地區的增加量從 30%~50% 不等。
- (6) 颱風重置實驗的成功率並不高，對於增加有效的侵臺颱風樣本效果似乎有限。

4.3 動力降尺度資料產製與技術研發 (TCCIP-II)

本期計畫擬採 HiRAM、MRI 以及 CAM5 三個不同的高解析度大氣環流模式 (Atmospheric General Circulation Mode, AGCM) 的氣候推估資料進行動力降尺度。本期計畫使用的 MRI AGCM3.2S (Mizuta et al., 2012) 與前一期使用的相同，是日本氣象研究所 (Meteorological Research Institute, MRI) 發展的高解析度大氣環流模式，水平解析度約 20 公里，可以模擬出強的深對流以及颱風。由於對現在時期大氣環流的模擬掌握得相當不錯，未來暖化的情境採用的是 CMIP5 的洋溫暖化趨勢來設定未來海溫情境以驅動模式。其他兩組 AGCM (HiRAM 及 CAM5) 亦將採類似的方法來處理未來的洋溫。這裡的 HiRAM 指的是美國普林斯頓大學地物流力動力實驗室 (GFDL) 所發展的 HiRAM2 (High-Resolution Atmospheric Model, version 2)，使用的 C384 版本在臺灣附近的網格水平解析度約 23 公里。CAM5 則是一個由美國國家大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research, NCAR) 所發展出來的第一版第五代的社群大氣模式 (Community Atmosphere Model)。使用 25 公里水平解析度來進行氣候模擬，現已完成 1979-2005 年間的模擬，對未來氣候的推估則還在進行當中。本期使用 WRF 3.5.1 版來進行動力降尺度的工作。

4.3.1 動力降尺度_現在 (present)

三組高解析度全球大氣模式 (MRI-AGCM、GFDL HiRAM 及 NCAR CAM5) 之動力降尺度模擬為本計畫的執行重點，但因為 NCAR CAM5 模式對世紀末時期的模擬策略及期程尚不明確，今年的暫緩對其現在時期的結果進行動力降尺度，所預留的計算資源將對水平解析度為 0.5 度、1979-2003 年間的 CFSR 觀測資料進行動力降尺度，以做為比對之用。由於現在時期 (1979-2003 年) 的模擬工作尚未完成，故以 1980-1994 年共 15 年的平均來評估三組 AGCM 的初步結果。降尺度前東亞地區的降水模擬結果 (圖 4.20)，三組 AGCM 的結果大致能掌握其降水的配置，HiRAM 除了夏季有高估之外，其他季節皆為低估；而 MRI 在梅雨季有些微的低估之外，其他季節與觀測值相近；比較意外的是 CFSR 在全年皆為高估許多。整體來說，降尺度前 AGCM 的模擬結果對於東亞地區的季節降水分布特性皆有不錯的掌握。

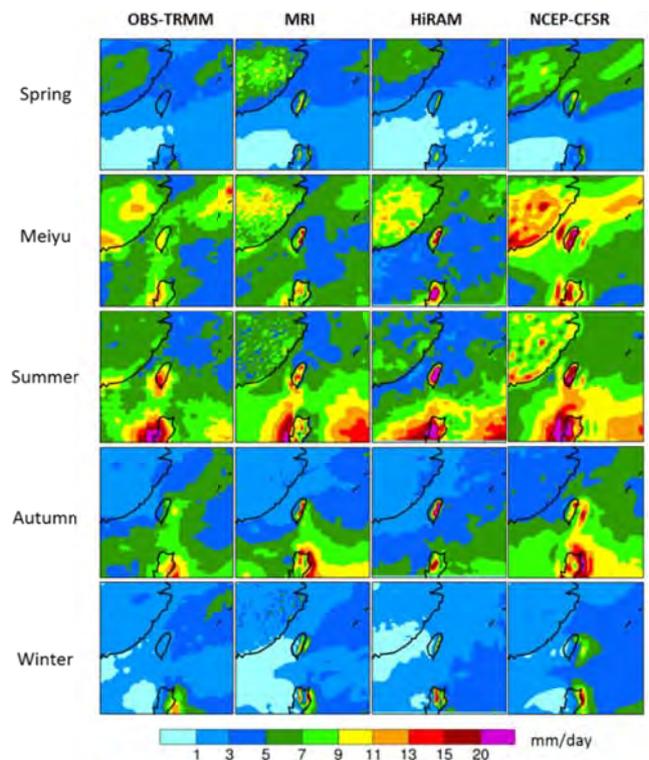


圖 4.20 觀測、MRI、HiRAM 及 CFSR 之東亞地區降雨空間分布圖。單位: mm/day。

臺灣地區的降雨方面，比對的觀測值為 1979-2003 年共 25 年的平均值。圖 4.21 為臺灣地區春季、夏季、秋季及冬季平均降水之空間分布圖。春季時觀測值的主要降水地區集中在西北部地區、東北部沿岸及中部山區，而三組 AGCM 的降水配置非常相似，在臺灣東半部地區皆有高估之現象，降尺度後的模擬結果明顯改善，其中以 WRF-MRI 的結果最接近觀測值。整體而言，WRF-CFSR 在全年的表現上皆為高估，WRF-MRI 最接近觀測值。

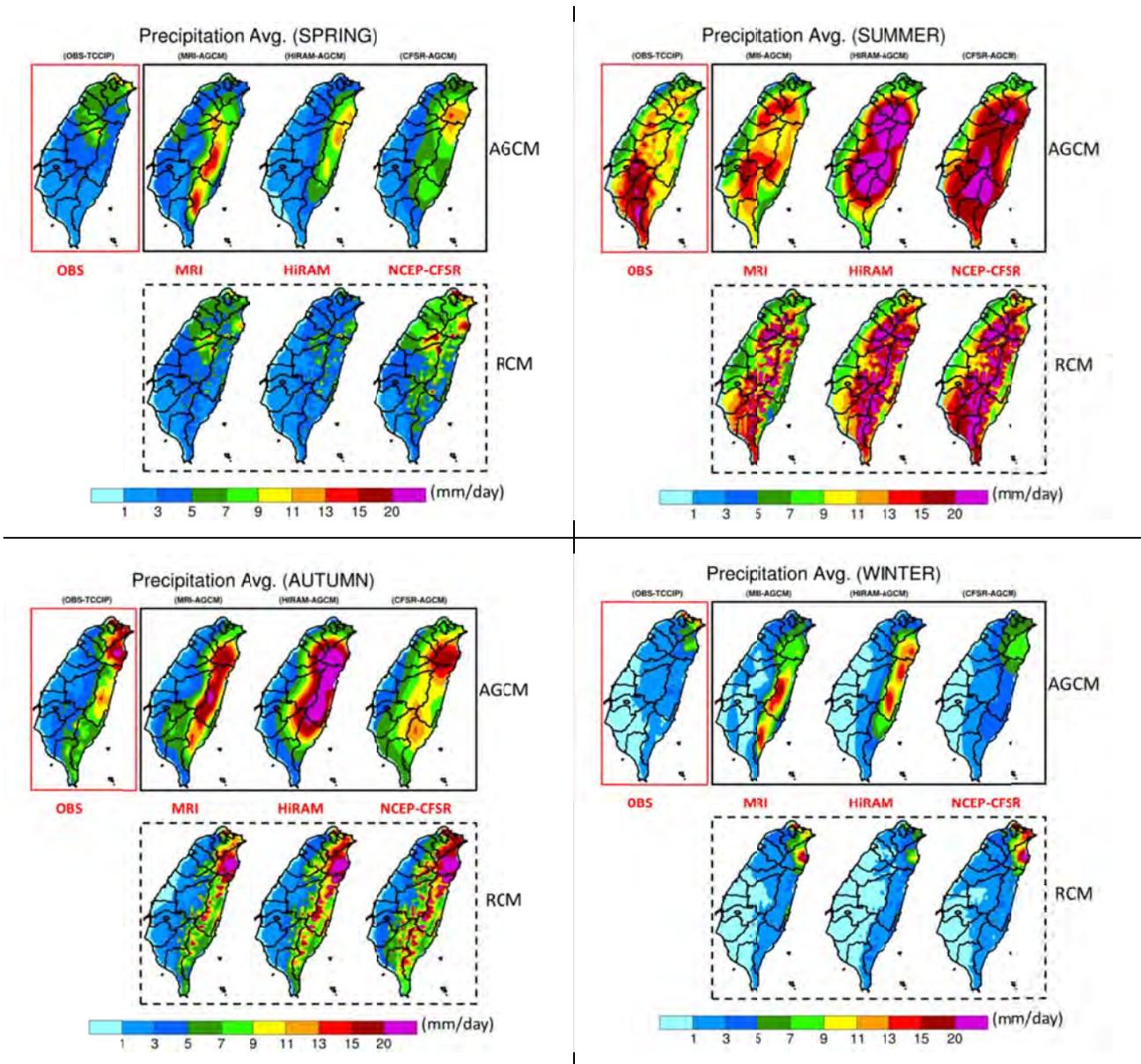


圖 4.21 觀測值 (OBS)、MRI、HiRAM 及 CFSR 之春、夏、秋、冬季降雨空間分布圖，上排 AGCM 為降尺度前的結果，下排 RCM 為降尺度後的結果。單位: mm/day。

圖 4.22 為降尺度前、後全臺灣平均之逐月雨量圖。由圖中可以看到，僅有 CFSR 呈現正確的雙峰的結構，降水高峰值出現在 6 月及 8 月。在降尺度前後的比對分析中，CFSR 的差異不大，降尺度前後皆為全年高估的情形，尤其是 5 月到 9 月；HiRAM 在 7 月至 12 月為明顯高估之現象，降尺度後雖然有修正了一些，但仍高估許多，其他月份與觀測值一致；MRI

的降尺度結果明顯改善了降尺度前 1 月至 5 月及 10 月至 12 月的高估情形，而梅雨季仍有些為低估之現象。

1992 至 1997 年共有 28 場侵襲颱風，圖 4.23 為 1992 至 1997 年侵襲颱風年總降雨量分布，顯示除了 1997 年總颱風降雨量分布與觀測存在較大差異外，其餘 1992 至 1996 年之降雨分布與觀測結果相似。量值部分，普遍而言 WRF-CFSR 有些微高估的情形，但有部分年份 (1994、1996 及 1997 年) 於雪山山脈有低估的現象。

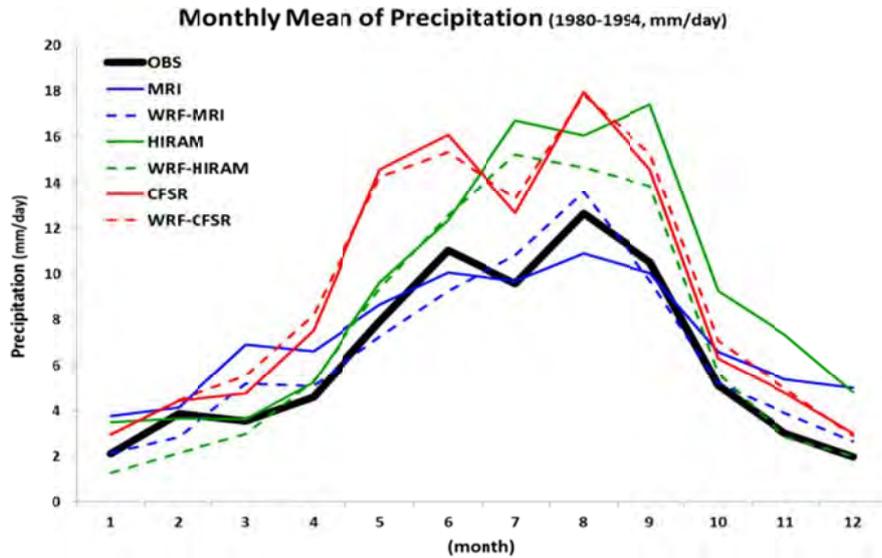


圖 4.22 觀測值及三組 AGCM 降尺度前後全臺灣平均之逐月雨量變化圖。

黑色粗線為觀測值，藍色線段為 MRI，紅色線段為 HiRAM，綠色線段為 CFSR，其中實線代表 AGCM 的結果，虛線代表降尺度後的結果。單位: mm/day

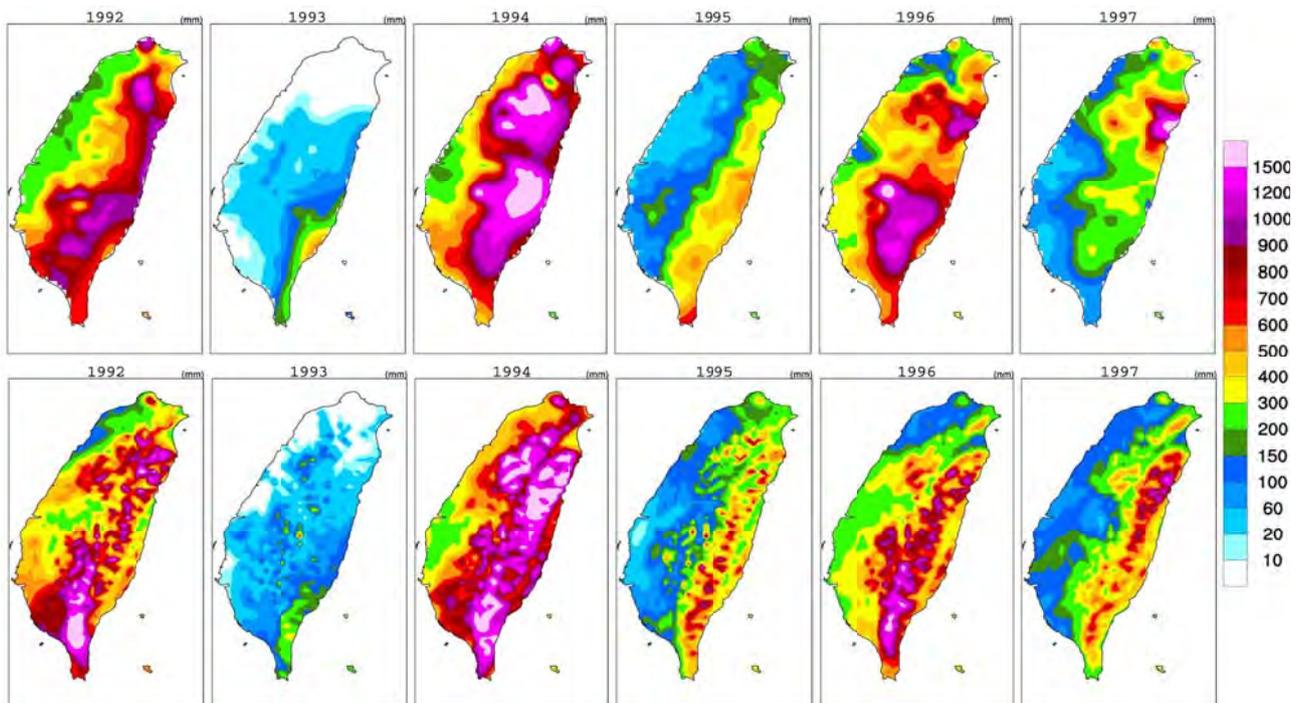


圖 4.23 1992~1997 年之每年颱風總降雨量分布圖，上排為觀測、下排為 WRF-CFSR。

4.4 以動力降尺度資料探討臺灣地區季節降雨及極端事件的變遷

分析降尺度前後臺灣地區特定現象的變遷原因，包括春季降雨雨乾旱、夏季午後雷陣雨、夏季颱風、秋颱與降雨、以及夏冬兩季的極端氣溫。

4.4.1 春季降雨變遷特徵之探討

(1) 春雨氣候特徵

春季對農業而言一直是很重要的耕種時節，相對於使用量較固定的工業及民生用水，需要更為充足的水源供應在農作灌溉階段。若能充分了解臺灣春季降雨的機制，相信能對氣候變遷下的水資源管理做更為有效的運用。

因春雨主要降雨區域為臺灣北部含山區以及東北部地區，本研究使用水利署水庫集水區石門測站資料與氣象局臺北測站資料，針對東亞冬春季鋒面活動與兩個測站降雨量之關聯性進行分析，時間長度取 1979 至 2009 年之間冬春季 (12 月至 4 月) 的逐日變化情形，統計臺灣地區受鋒面所影響的日數。從鋒面活動變化的角度來分析，每年春季鋒面平均影響日數約 42 天 (約占總日數的 47%); 冬季約 28 天 (約占總日數的 31%)。分析總雨量及鋒面影響日數，春季降雨量存在有一逐年減少的趨勢，而鋒面影響日數也同樣有減少的趨勢。

接著利用測站資料所挑選出的乾濕樣本年，繪製不同物理量資料的大尺度環流系統，藉以比較乾濕年的差異。發現濕年的大平洋副高是呈現高於氣候值的狀況，低層一條水氣帶自華南地區向東北延伸經過臺灣到高緯日本韓國一帶，且為西南風距平所籠罩。從地表長波輻射，在濕年時臺灣地區為正相位，即濕年對流旺盛所以雲量較多，且位在正渦度距平區域。相對的，乾年則出現反向的特徵。

(2) 模式表現

從多組動力模式的氣象資料估算氣候變遷情境下，春季鋒面對臺灣的影響；並利用模式降尺度後的降雨情境資料，和觀測資料進行比較分析，評估模式在春季模擬上的掌握能力，並將方法延續到近未來及世紀末兩個未來的時期，藉以了解春季降雨在未來的變化情形。

使用 MRI_v1 模式鋒面資料進行分析，和 WRF-MRI_v1 模式的降雨計算相關性。透過動力模式世紀末 (2076-2099) 與基期 (1979-2003) 的環流差異分析，來了解模式春雨的表現 (如圖 4.24)。結果顯示，氣候變遷下，動力降尺度模式春雨於世紀末與基期的差異，以 WRF-MRI_v1 和 WRF-HiRAM 的變化較為明顯，其中 WRF-MRI_v1 在世紀末時呈現春雨增加的情形；WRF-HiRAM 則為減少情況。這樣的差異可能與模式環流結構有關。由環流分析結果可知，世紀末時的 HiRAM 春季 SLP 明顯偏強，由日本向西延伸至華南地區，間接抑制臺灣春季降雨，造成該模式世紀末春雨明顯減少。WRF-MRI_v1 世紀末春雨增多的與春雨環流配置特徵吻合。

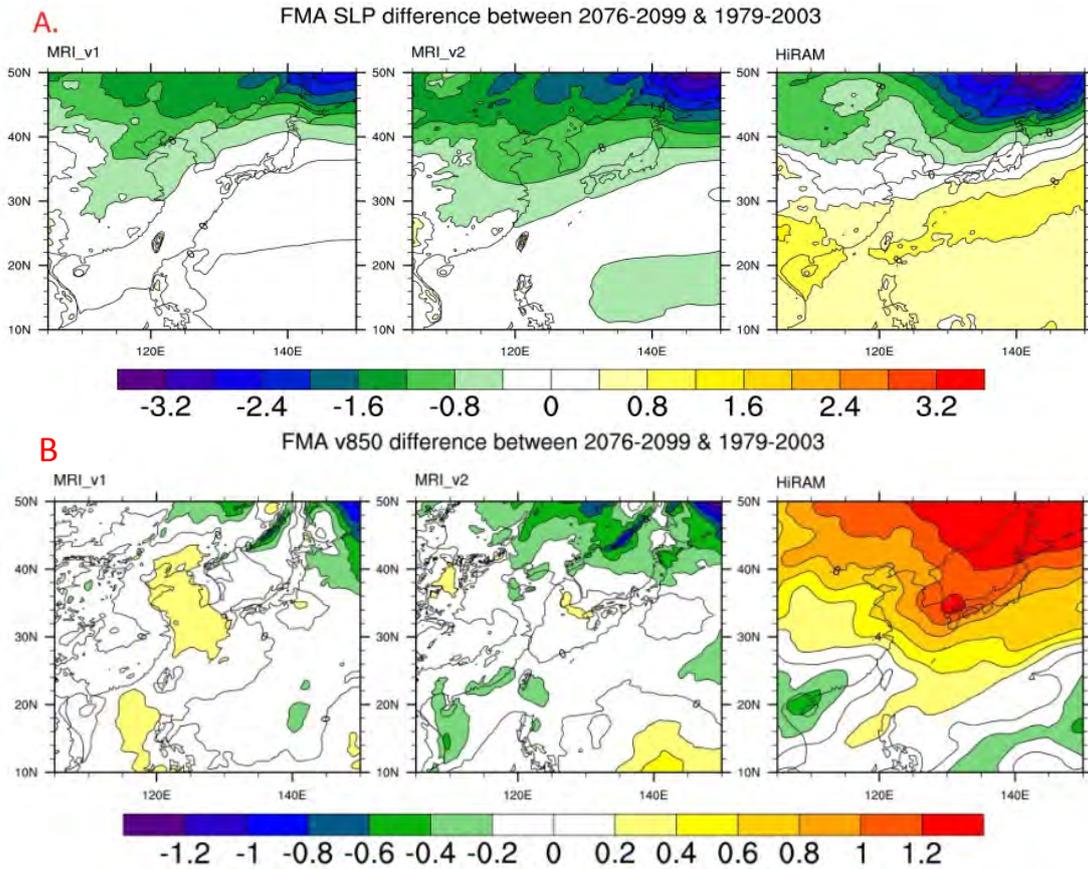


圖 4.24 模式世紀末 (2076-2099) 與基期 (1979-2003) 的環流場差異。分別為 A. 海平面氣壓場 (hPa)、B. 850hPa 南北向風場 (m/s) 的春季氣候值分布圖。(由左至右分別為第一期 MRI 模式、第二期的 MRI 模式及 HiRAM 模式等三組動力模式降尺度資料。)

利用海平面氣壓場、U200、U850、V850、Q850 等五個春雨的氣象變數，計算四個動力模式的 Performance Index (圖 4.25)，以判斷這些模式對臺灣春雨的掌握能力。分析動力降尺度模式之春雨環流特性發現，WRF-MRI_v1 模式和 WRF-MRI_v2 模式較接近觀測數值。WRF-MRI_v1 模式與 WRF-HiRAM 模式於世紀末時之春雨分別有增加及減少的結果差異，該部分之差異則與原始 GCM 模式本身之低層風與場 SLP 變化特性有關。由 Performance Index 計算而得模擬春雨主要變數最佳的是 HiRAM；CAM5 則較為不理想，惟使用方式與時機尚待進一步討論。將 MRI_v1 的鋒面資料進行分析篩選後，所得到的鋒面影響日數和 WRF-MRI_v1 模式的降雨資料進行相關分析，其結果並沒有十分符合期待，除了篩選方法是一種原因之外，春季的鋒面尺度較小，在模式資料中常呈現破碎狀而非線狀，顯示此種鋒面偵測的方法不完全適合應用於春雨分析。

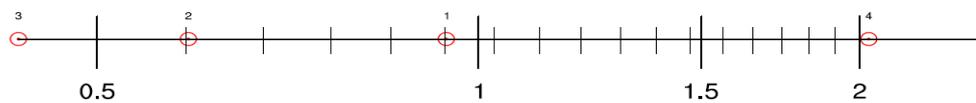


圖 4.25 紅色圈為模式 Performance Index 的值。模式 1-4 分別代表第一期 MRI 模式、第二期的 MRI 模式 HiRAM 模式及 CAM5 模式等四組動力模式降尺度資料。

4.4.2 夏季午後降雨變遷原因探討

過去研究臺灣地區之各季節降水氣候值分布結果發現，顯著降水主要發生在暖季（5~9月）除了梅雨鋒面和颱風所帶來的豐沛雨量之外，午後對流降雨的貢獻亦相當顯著。

(1) 夏季午後降雨氣候特徵

臺灣暖季在弱綜觀環境下，午後對流發生地點主要分布在臺北盆地南方與雪山山脈及中央山脈西側斜坡帶，隨後對流加強並逐漸擴大往地形較低地區移動發展。此降雨時空分布特徵與局部環流和地形效應息息相關—白天太陽輻射加熱使大氣不穩定度增加，山脈地形配合海陸風與上坡風，使局部地區產生氣旋式環流和中尺度渦旋，提供有利降水的強迫機制，而對流降雨所導致的外流與上坡風產生輻合作用，使對流往地形較低之處傳播發展。

利用中央氣象局所屬 21 個臺灣本島傳統測站資料，對 1979~2012 年夏季 6~8 月午後對流降雨特性之變遷進行分析。午後對流 (TSA) 以當日降雨的比例來定義，即午前 1~11 時的降雨小於等於整日降雨的 10%，且午後 12~22 時的降雨大於等於整日降雨的 80%，該站達到此條件則記錄為一午後對流降雨日，此定義亦可以去除颱風和鋒面系統的影響。

分析總雨量，臺灣中部以南總降雨量增加、頻率減少、總降雨強度增加的趨勢。北部地區的午後對流雨量、頻率上升。而臺中以南的區域均為 TSA 發生頻率下降的趨勢。降雨強度則大部分測站為上升的趨勢，而通過 95% 檢定的測站有臺北、臺南、高雄和大武，僅基隆、花蓮、成功、日月潭、玉山和阿里山六站呈現下降，其他測站則較不顯著。降雨趨勢變化部份，分為北、中、南、東和山區（日月潭、阿里山、玉山）。TSA 在臺灣各區域的變化特性皆不相同，但中部山區不論在雨量、發生頻率和降雨強度方面皆有顯著減少的變化。垂直不穩定度的趨勢分析發現，中部區域的不穩定度呈現下降，此夏季平均現象與 TSA 降雨強度趨勢變化相似。從個案合成環流場分析發現，TSA 活躍時臺灣附近環流場大部分吹較強的西南風，且流函數在臺灣附近皆為負值。但唯有南區的環流場與其他區域不相同，臺灣附近環流場吹西北風，此現象是否為在選取個案時環境場中有颱風在臺灣附近而導致影響環流場的合成分析。

(2) 模式模擬結果

應用觀測及模式模擬(MRI, CAM5, HiRAM, WRF-MRI, WRF-CAM5, WRF-HiRAM) 資料分析比較，並且進一步對於臺灣地區世紀末夏季降雨進行推估。三組 AGCM 對於臺灣夏季的降水分布及日夜變化與觀測皆存在明顯的誤差，而從三組動力降尺度結果來看，可以發現降尺度後的結果明顯受地形影響，但也同時修正了臺灣西南部地區的降雨分布。另外，模式對於臺灣日夜降雨中發生最大降雨的時間皆無法掌握同於實際觀測的時間 (圖 4.26a)，其結果發現 HiRAM 有延遲的現象 (圖 4.26b)，MRI 則相反。從三組 WRF 降尺度的結果可以得知，利用動力降尺度的方法有將降雨時間修正較接近實際觀測的降雨時間 (圖 4.26c)。整體而言 HiRAM 和 MRI 的表現較 CAM5 佳，動力降尺度後模式在中部、西南部地區皆較接近觀測結果，且之間之差異性小。

從模式對於世紀末的推估結果來看，模式及其動力降尺度之結果，對於臺灣地區降雨世紀末之推估，會與現在之模擬結果有相同的特徵分布。此外，雖然降尺度前後對於臺灣地區 TSA 的模擬、推估結果會有不同的影響，但整體而言，在模式的模擬及降尺度後的推估下，臺灣地區夏季降雨及日夜變化皆顯現出在東半部有相同的特徵；另外，降尺度前後皆顯現出世紀末 TSA 的發生頻率在西半部明顯的減少（圖 4.27b、圖 4.27e），降雨強度東半部的增加量大於西半部的情形（圖 4.27b、圖 4.27e）。

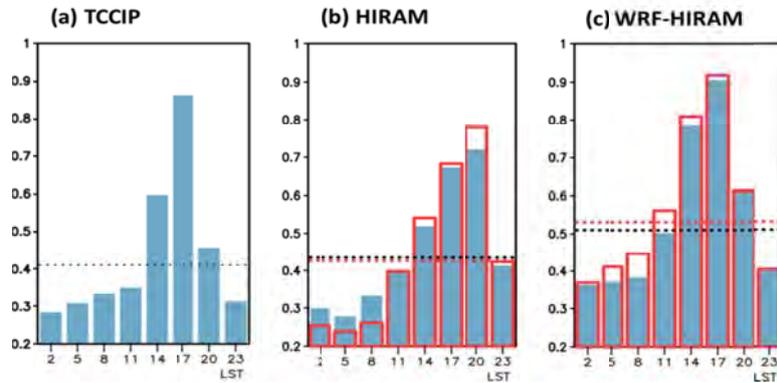


圖 4.26 臺灣夏季 (JJA) 時雨量平均，點線為日平均值，其中 (a) 為 TCCIP 網格式降雨資料 (Grid-TCCIP v2)，(b)、(c) 分別為 HiRAM、WRF-HiRAM 之分析結果。藍色實心長條圖及黑色點線為現在 (1979~2003) 之分析結果；紅色空心長條圖及紅色點線為世紀末 (2075~2099) 之分析結果。(單位：mm/hr)

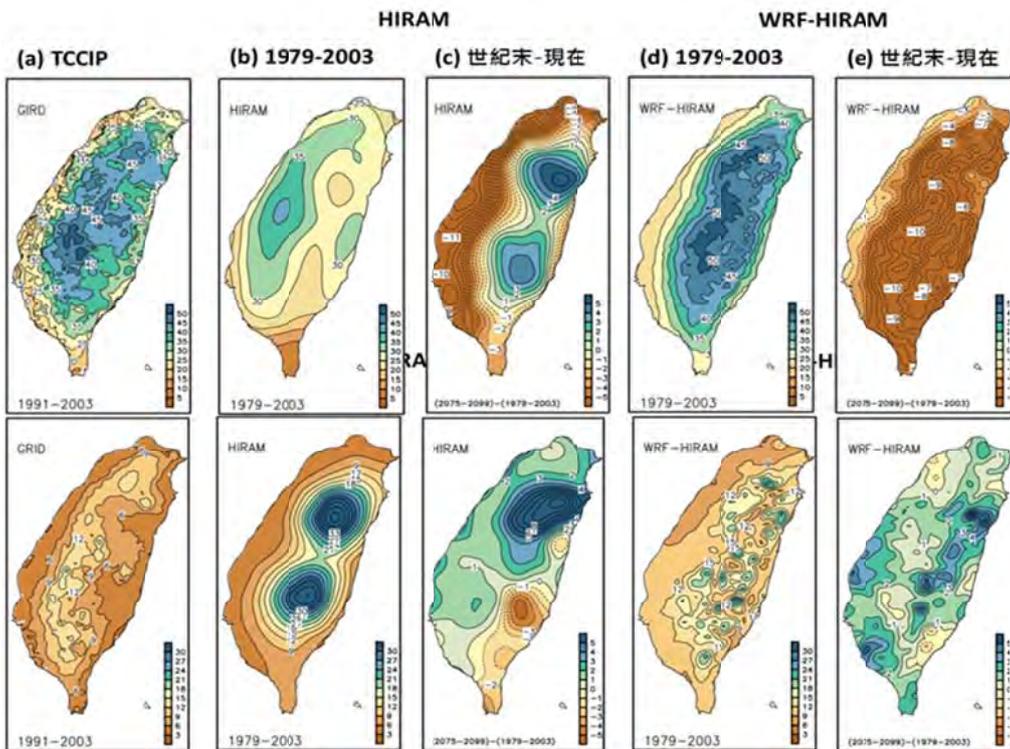


圖 4.27 上圖組為 TS_A 頻率 (單位：day/JJA) 分布，下圖組為 TS_A 降雨強度 (單位：mm/ TS_A day)。 (a)、(b)、(d) 分別為 HiRAM、WRF-HiRAM，而 (c)、(e) 為 HiRAM、WRF-HiRAM 世紀末 (2075~2099) 減去現在 (1979~2003) 的差值。

4.4.3 颱風變遷

臺灣位於全球颱風發生頻率最高的西北太平洋海域，每年都會受到颱風夾帶的狂風和豪雨影響，產生災害損失，然而颱風也是提供臺灣水資源最重要的天氣系統，重要性不可言喻。影響臺灣的颱風定義以颱風中心進入離臺灣海岸 300 公里內的範圍，至少停留 12 小時，且近中心平均最大風速達到每小時 34 海浬 (含) 以上。颱風的資訊則取自美國聯合颱風警報中心 (Joint Typhoon Warning Center, JTWC) 所提供每 6 小時一筆的最佳路徑資料，年份則自 1965 至 2012 年，共計 48 年。從整個西北太平洋的颱風頻率季節變化大約從六月中旬開始，進入颱風活躍期，八月底九月初到達一高峰，並於九月中旬開始逐漸下降，十月中旬後，下降幅度更加明顯，直至年底為止；從能量分析來看季節變化特性與頻率變化相當一致，侵臺颱風也呈現相同的結果。另外，九月份的颱風強度，明顯偏強，累積動能與強度指標均是九月達到最高值。

近年來，西北太平洋海域生成的颱風個數有減少的趨勢，不過影響臺灣的颱風個數卻增加了，可能與西北太平洋颱風移動路徑往北偏移增加，造成侵臺颱風個數增加有關。選取了多颱風侵襲的 1990、2001、2004 等三年，以及少颱風侵襲的 1983、1988、1993、2002 等四年，並分析六到十月份重力位高度場與颱風路徑的關係圖 (圖 4.28)。由圖中可以發現，多颱風年，太平洋副高偏弱，副高脊也較為偏北，颱風往臺灣的機率相對較高，少颱風年則太平洋副高明顯往西延伸，且副高脊較為偏南，也因此往西移動的颱風偏多，侵臺機率相對較少。

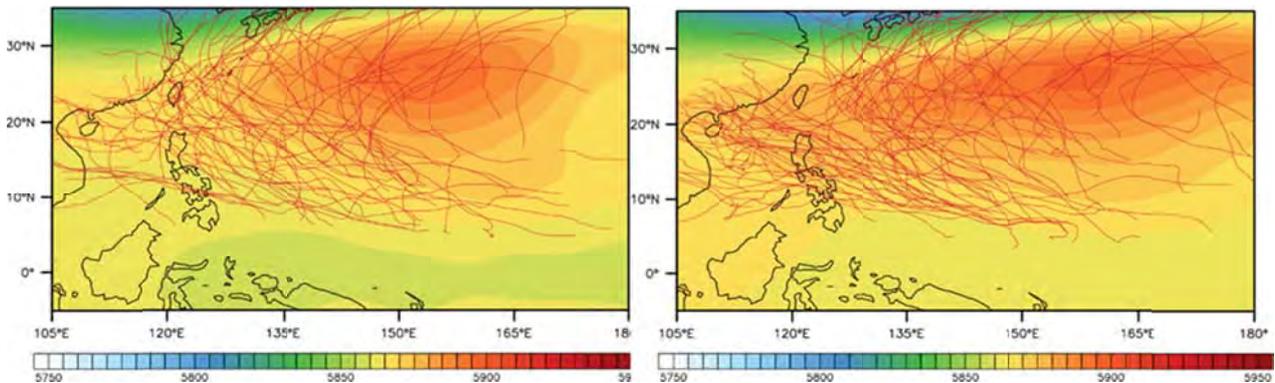


圖 4.28 六到十月 500 百帕重力位高度場與颱風路徑合成圖，左圖為多颱風年 (1990、2001、2004)、右圖為少颱風年 (1983、1988、1993、2002)。

4.4.4 秋季颱風變遷原因探討

西北太平洋強颱風最常發生於秋季，尤其是十月，秋強颱風次數占全年 50.5% 左右，臺灣位於西北太平洋颱風的主要路徑上，伴隨颱風而來的強烈豪雨，是造成臺灣地區秋季豪雨的主要因素。西北太平洋地區颱風生成個數、軌跡及發展強度，是影響侵臺颱風次數及雨量的重要因素。但西北太平洋地區颱風活動具有顯著年代際變化，亦會受到季內震盪及 MJO (Madden and Julian Oscillation) 的影響，而 10-20 天的準雙週震盪顯著影響菲律賓與日本的氣旋登陸。

使用小波轉換 (Wavelet Transform) 及黃鐸-希爾伯特法 (Huang-Hilbert transform, 又稱為 empirical normal mode decomposition, EMD, Huang and Coauthors 1998) 擷取季內震盪的訊號。先利用 Morlet wavelet 對原始資料作預處理, 再用 EMD 方法, 進行較無邊際污染的濾波, 有效率地從即時季節預報資料中擷取 10-90 天的季內震盪頻段訊號。

本研究將西北太平洋的沿海地區劃分為三大區域, 探討颱風路徑對三大區域的影響 (圖 4.29)。秋季颱風受到低層大尺度季節風場的影響 (以低緯度東風與副高駛流為主, 如圖 4.29a 所示), 颱風主要軌跡為向西影響菲律賓 (39.1%), 與向北轉向影響日本 (38.6%) 兩種軌跡為主。向西北移行影響臺灣與中國東部沿海的颱風軌跡較少, 只占 22.3%。因為當臺北有豪雨發生時, 颱風侵襲 A 區軌跡增加, 本研究以臺北測站為例, 進一步分析造成秋季臺灣豪雨的侵臺颱風路徑, 可看出造成臺北發生豪雨的侵臺颱風, 90% 為向西北移行而侵襲 A 區的颱風路徑。圖 4.30 是造成臺北豪雨的侵臺颱風合成風場, 由圖 4.30b 的 10-90 天季內震盪風場, 顯示當臺北有豪雨發生時, 在臺灣北部有明顯的 10-90 天季內震盪低壓。因此, 受季內震盪的氣旋式環流影響, 十天以上大尺度風場 (含季節平均與 10-90 天季內震盪, 圖 4.30c) 在東經 130°E 處有東南風, 可引導颱風向西北移行, 侵襲 A 區軌跡增加, 進而影響臺灣地區。此外, 10 天以上大尺度風場 (圖 4.30c) 受到 10-90 天季內震盪低壓東南部的西南風 (圖 4.30b) 影響, 使得在臺灣南部至菲律賓有明顯的西南風, 可向北傳遞水氣, 提供颱風有利的降水條件。並且由於臺灣北部位於 10 天以上大尺度環流與東北季風的合流處, 使臺灣北部產生豪雨。

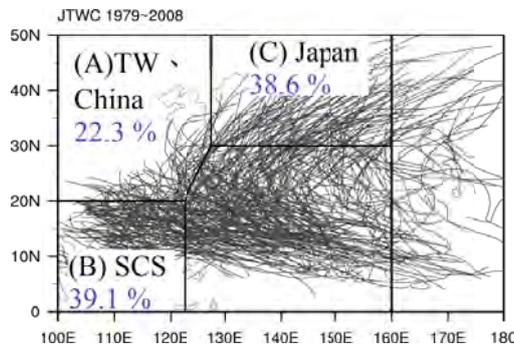


圖 4.29 1979-2008 年秋季颱風軌跡與影響區域劃分圖。圖上數字為氣候上通過區域比例。

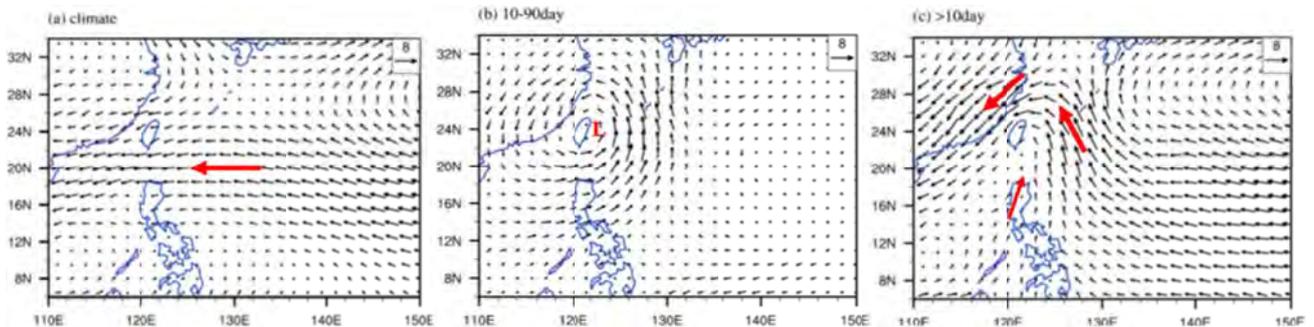


圖 4.30 1979-2010 年秋季臺北測站發生豪雨之侵臺颱風 850 hPa 合成風場。(a) 季節平均風場。(b) 10-90 天季內震盪風場。(c) 10 天以上風場 (含季節平均與 10-90 天季內震盪)。

分析 1960~2010 年西北太平洋颱風分區生成頻率隨時間變化 (圖 4.31) 可看到，夏季侵襲三區的頻率與生成頻率具明顯且有著相同相位的年代際變化；秋季侵襲 A 區的頻率自 1984 至 2010 年有明顯上升趨勢，從 80 年代開始，臺灣與中國東部沿海地區在秋季受到颱風的侵襲次數變多。影響 B 區與 C 區的頻率亦具有明顯的年代際變化，且與秋季生成頻率為相同相位。Liu and Chan (2008) 指出影響向北轉向日本的軌跡的年代際變異是受到 PDO 影響太平洋副高的關係。由 Morlet wavelet 分析可看到夏秋兩季侵襲三區的頻率均有明顯 2-4 年短週期年際震盪訊號。夏季 B 區和 C 區也有 20-30 年週期的訊號，但未通過顯著檢定。秋季，B 和 C 區亦有顯著 20-30 年週期的年代際震盪。A 區此週期訊號微弱，可能存在更長週期的訊號。

分析圖 4.31 中 1979-2008 年颱風生成與侵襲區域頻率的相關係數可知，夏季影響三區的頻率 (相關係數為 A 區 0.8、B 區 0.87、C 區是 0.9)，以及秋季影響 B、C 兩區的頻率 (B 區 0.95，C 區是 0.81)，皆與兩季的生成頻率有著高度的正相關。顯示當西北太平洋颱風生成頻率增加時，則夏季與秋季侵襲區域颱風頻率亦隨之增加，唯有秋季 A 區例外，呈現負相關 (相關係數為-0.41)，顯示在西北太平洋颱風生成頻率年代際變化減少的情況下，影響臺灣與中國東部沿岸的 A 區頻率卻有增加趨勢。

由於影響臺北發生豪雨的侵臺颱風，主要受到向西北移行侵襲 A 區的軌跡影響為主。因此自 1980 年起，臺北的豪雨事件和豪雨總雨量隨時間有增加趨勢，並使得臺北測站的秋季總雨量也隨時間增加。臺北的豪雨事件與豪雨總雨量同樣也顯示有著約 30 年週期的年代際震盪訊號，1975-1992 年為低谷，1993-2010 年為高峰。由於臺北測站具有可信賴的長期觀測資料，因此我們將豪雨事件的分析時間延伸為 1901 至 2010 年。圖 4.32 為臺北測站百年豪雨事件的小波分析。分析結果顯示臺北豪雨事件年際震盪訊號明顯，年際震盪週期約為 2-4 年。臺北豪雨事件在 1960 至 2010 年，有明顯的 10 年週期震盪訊號。臺北豪雨並具有 30 年的長週期震盪反應。

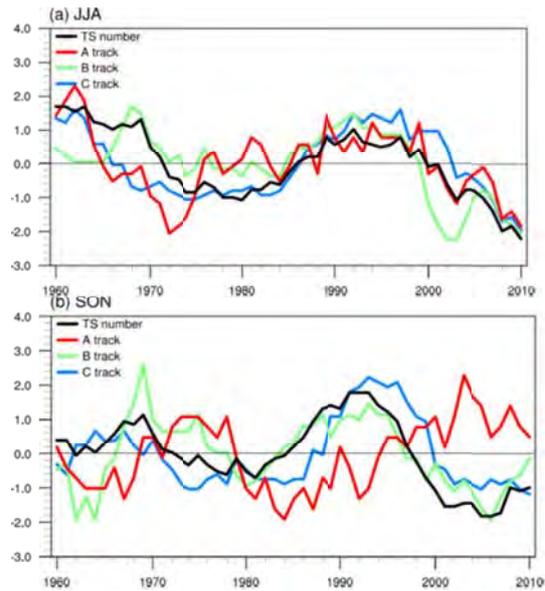


圖 4.31 1960-2010 年熱帶氣旋生成個數與影響三區氣旋個數圖。(a) 為夏季，(b) 秋季。線條為 11 年滑動平均之標準化。黑色為氣旋個數，紅色為通過 A 區個數，綠色為 B 區，藍色為 C 區。

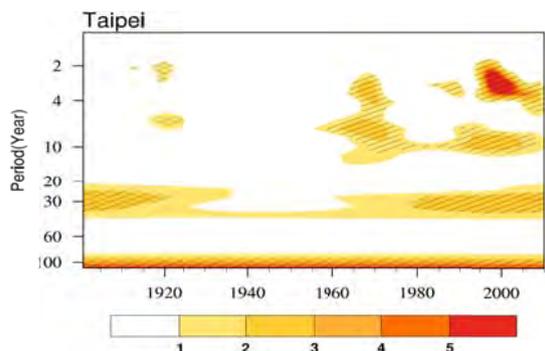


圖 4.32 1901-2010 年秋季臺北測站豪雨事件之 Morlet wavelet 時-頻-能量譜。(單位： $\text{numbers}^2/\text{year}^2$)，斜線區域為超過 95% 顯著信賴區間。

因為秋季侵襲 A 區颱風頻率自 1980 年起有增加趨勢，本研究根據秋季侵襲 A 區的頻率，將 1979-1993 年定為 A 區侵襲不活躍時期，1994-2008 年為 A 區侵襲活躍期。圖 4.33a 與圖 4.33d 的颱風軌跡清楚顯示，A 區侵襲活躍期通過 A 區的颱風較 A 區侵襲不活躍期多。由圖 4.33b 與圖 4.33e 的颱風生成頻率圖可知，A 區侵襲活躍期的生成位置明顯偏西。若以東經 140°E 為分界，西北太平洋颱風生成於 140°E 以西的生成個數，A 區侵襲活躍期 (87 個) 多於不活躍期 (72 個)。由於 A 區侵襲活躍期之颱風生成位置偏西，較有機會向西北移行而影響臺灣。秋季颱風生成區主要在氣旋式環流與副高的合流區，因此颱風生成位置於 A 區侵襲活躍期偏西，可能與氣旋式環流減弱而使合流區向西偏移有關 (圖 4.33b 和圖 4.33e)。

由於季內震盪會影響西北太平洋區颱風生成，因此大尺度環流場的氣候變遷可能受到季節風場變遷與季內震盪變遷的影響。由圖 4.33c 與圖 4.33f 的季內震盪變異數圖，顯示 10-90 天季內震盪變異數在 A 區侵襲活躍期，比 A 區侵襲不活躍期較強且位置偏西。因此 10 天以上大尺度環流，可能影響較多颱風生成位置偏西。西北太平洋季節風場與季內震盪的變遷差異，皆可能影響秋颱生成位置，進而影響路徑變遷的影響機制。

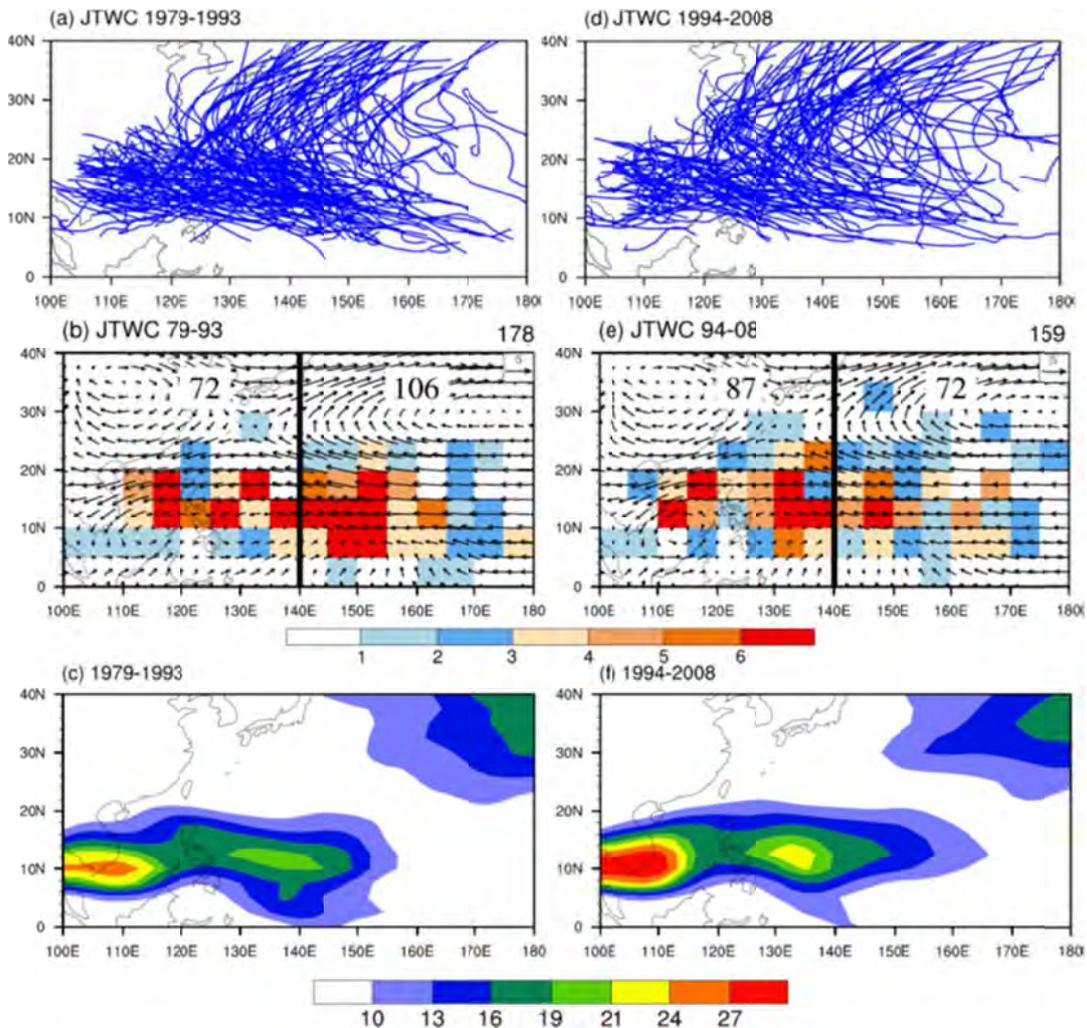


圖 4.33 1979-1993 年秋季 (a) 颱風軌跡圖。(b) 850 hPa 季節平均風場與颱風生成頻率 (單位：個數/15 年，網格點為 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$)。(c) 850 hPa 東西向風場的 10-90 天季內震盪變異量。(d)~(f) 同 (a)~(c)，但為 1994-2008 年。

4.4.5 未來颱風變遷特徵之探討

本研究利用 20 公里的 HiRAM 高解析度氣候模式，分析模式對於現在 (1979-2003) 的颱風活動模擬情形，並推估在 RCP85 情境下，全球暖化對世紀末 (2075-2099) 西北太平洋、影響臺灣 (中心進入到距臺灣本島海岸線 300km 範圍內之颱風)、以及通過臺灣華南地區 (TWCN) 颱風活動的變遷。本研究利用 GPI 和 PI 分析颱風活動變遷的機制。

(1) 西北太平洋以及影響臺灣颱風變遷

在西北太平洋，颱風移動方向主要受副熱帶高壓影響，除了在南海生成的颱風，多數颱風在太平洋形成後沿著高壓南緣邊西行，向南海、中國大陸移動，或轉往北/東北方向朝韓國、日本移動，在這些區域會有較高的颱風密度分布。除了 CAM5 嚴重低估颱風生成的頻率，HiRAM 及 MRI 皆可以成功模擬出西北太平洋颱風路徑的特徵 (圖 4.34)。表 1 為統計模式和觀測於西北太平洋和影響臺灣地區的颱風。MRI 所模擬之西北太平洋颱風總數偏低 (為觀測的 60%)，HiRAM 模擬個數則偏高 (為觀測的 140%)。颱風強度部分，MRI 模擬的強度明顯偏強，強颱所占比率 (~32%) 顯著偏高，輕颱明顯偏低 (~18%)；HiRAM 模擬的強度則明顯偏弱，強颱所占比率僅不到 1%，輕度颱風所占比率偏高。MRI 和 HiRAM 模擬皆顯示世紀末颱風個數有減少的趨勢，強颱所占比率則有增加的趨勢，在西北太平洋 MRI 推估減少約 46%、HiRAM 的推估則是減少了約 42%。

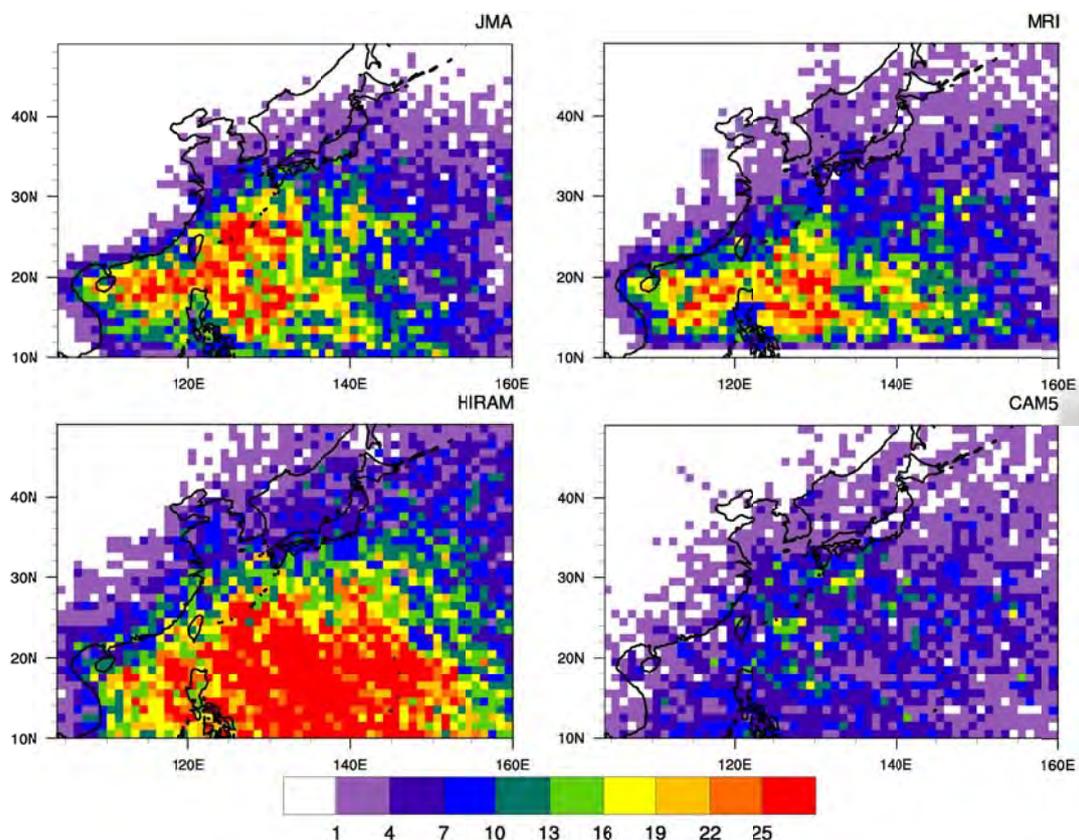


圖 4.34 西北太平洋颱風路徑密度分布圖，由左上、右上至右下分別為觀測、MRI、HiRAM 和 CAM5

MRI 模擬顯示影響臺灣之颱風個數有低估的情形，HiRAM 則為高估 (表 4.6)。強度部分，MRI 強度偏強，強颱所占比率顯著高估；HiRAM 則有偏弱的情形，輕颱所占比率偏高，強颱偏低。於 21 世紀末時期，MRI 和 HiRAM 皆顯示強颱的比率有增加的趨勢。分析平均每場颱風影響臺灣的時數顯示，兩組模式皆顯示與觀測的影響時數相似。至於影響臺灣颱風個數的變遷，在 MRI 與西北太平洋颱風個數減少的比例相近，約為 50%；但在 HiRAM 中，減為原來的三分之一左右，高於西北太平洋颱風個數減少的比率 (減為現代的二分之一左右)。

表 4.6 各模式和觀測於西北太平洋和影響臺灣地區之現在和世紀末時期的颱風總數及各強度颱風所占比率 (單位：%)

		西北太平洋				影響臺灣				
模式	時期	總數	輕度	中度	強烈	總數	輕度	中度	強烈	時數
MRI	1979-2003	393	19.08	41.22	39.69	85	17.65	50.59	31.76	31
	2075-2099	212	14.62	34.91	50.47	43	13.95	44.19	41.86	41
HiRAM	1979-2003	918	59.26	40.20	0.54	128	50.00	50.00	0.00	34
	2075-2099	537	63.50	33.33	3.17	44	38.64	50.00	11.36	30
OBS	1979-2003	658	44.53	42.40	13.07	115	30.43	53.04	16.52	34

(2) 臺灣華南地區颱風活動模擬與未來推估

西北太平洋地區的颱風軌跡可分為向西、向西北與向北轉向三種類型。而影響臺灣的颱風主要為西北行軌跡 (圖 4.35)，我們將侵襲此區域的颱風，定義為 TWCN 颱風。每年 6~11 月侵襲 TWCN 的颱風數目統計於表 4.7。HiRAM 模擬 TWCN 颱風數目，與觀測極為相似，且侵襲 TWCN 颱風軌跡頻率的模擬優，與觀測頻率相關可高達 0.8。HiRAM 侵襲 TWCN 颱風的 TY1 與 TY2 颱風數目較多，而模擬 TY4 與 TY5 的颱風數目極少，因此模擬低估颱風平均強度。世紀末時期，由於西北太平洋颱風生成數目顯著減少，因此侵襲 TWCN 颱風生成數目亦減少。因此，模式推估未來臺灣附近颱風頻率減少。未來侵襲 TWCN 的弱颱 (TY1 及 TY2) 數目減少，然而強颱 (TY4 及 TY5) 數目增加，平均最大風速增強。而通過臺灣附近的颱風平均風速亦增強。

(3) 利用 GPI 和 PI 探討影響未來颱風活動變遷機制

本研究利用 GPI¹ 公式 (Murakami and Wang, 2010) 及 PI 公式，分別探討未來颱風生成數目減少及強度增強的原因。分析方法請參考完整報告。世紀末時期颱風生成數目減少機制以示意圖 (圖 4.36) 顯示。在世紀末時期，雖然海溫增高與垂直風切減小使颱風生成數目增加，但相對濕度減少、相對渦度與垂直速度變弱則使颱風生成數目減少。PI 計算顯示在世紀末時期，海溫增高使 20°N 以北的西北行颱風強度增強。

¹ $GPI = |10^5 \eta|^{3/2} \left(\frac{RH}{50}\right)^3 \left(\frac{PI}{70}\right)^3 (1+0.1V)^{-2} \left(\frac{-\omega+0.1}{0.1}\right)$

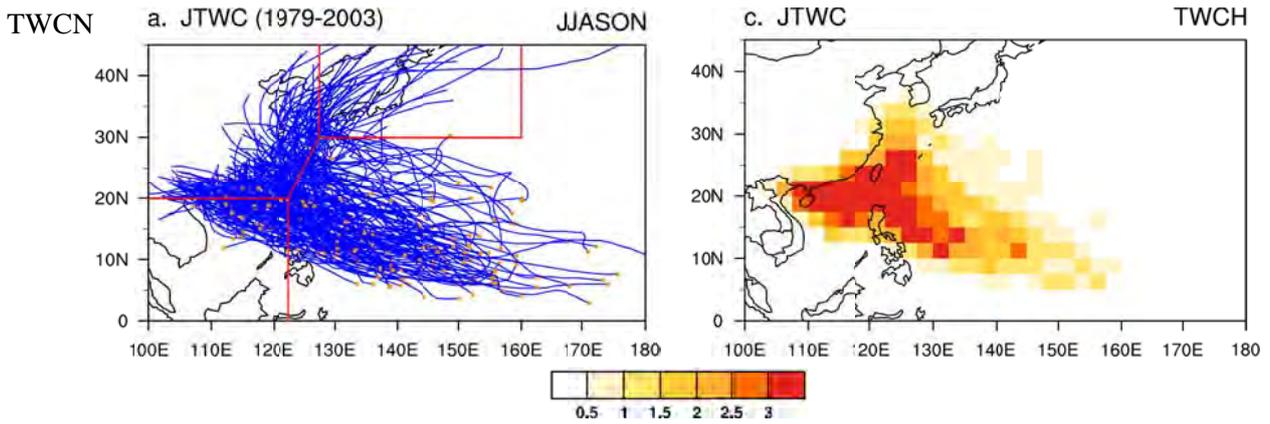


圖 4.35 JTWC 1979-2003 年 6-11 月(a) TWCN 颱風軌跡，(c)為 2.5x2.5°通過頻率。

表 4.7 模式與觀測之 TWCN 颱風比較表。相關計算範圍為 110°E-160°E，5°N-35°N。

TWCN	生成數目 (個數/年)	軌跡頻率 相關係數	TY1 與 TY2 (個數/年)	TY4 與 TY5 (個數/年)	平均最大強度 (m/s)
JTWC	8.9		3.2	2.00	43.5
HiRAM	8.6	0.83	4.6	0.04	38.2
2075-2099	3.8		1.6	0.3	41.2

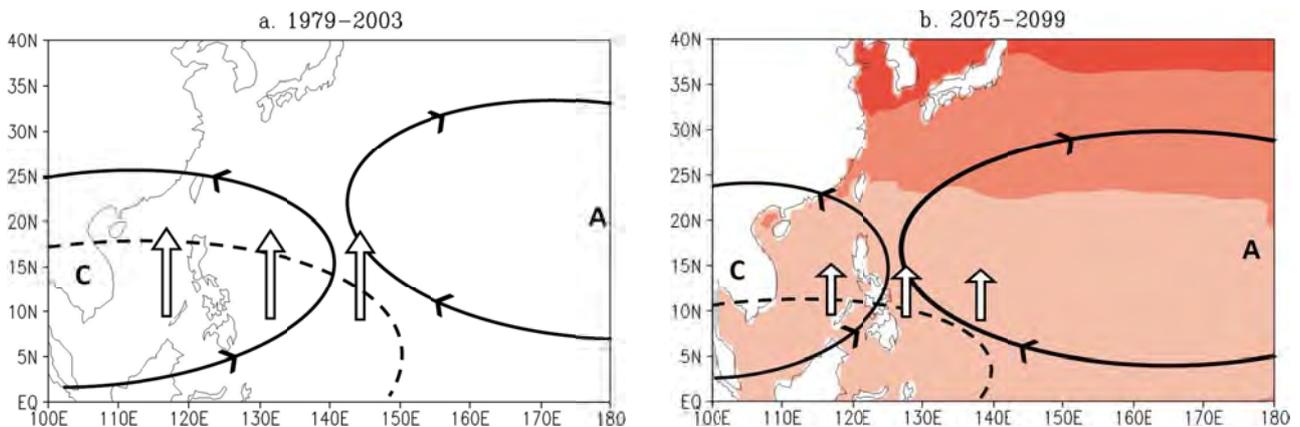


圖 4.36 影響西北太平洋颱風軌跡機制之示意圖。(a) 1979-2003 年，(b) 2075-2099 年。紅色陰影表示海溫增暖。實線為大尺度環流場，”A”與”C”分別為副高與季風槽。虛線為 600 hPa 相對溼度 75% 等值線。白色箭頭為 500hPa 垂直運動。

4.4.6 全球暖化環境下歷史颱風事件模擬

採用擬暖化 (PGW, Pseudo Global Warming) 的模擬方法，來研究暖化對歷史極端事件個案的影響。PGW 的大氣環流 (C_{PGW}) 是以歷史個案的環流 ($C_{history}$) 加上暖化所造成的大氣環流差異 (兩時期溫度、相對濕度、風場、高度場及海溫氣候值的差異)。

本研究選擇的極端降雨事件為 2009 年重創臺灣的莫拉克颱風，由 MRI-AGCM3.2S 的氣候推估計算出 A1B 以及 RCP8.5 暖化情境下的大氣環流改變量。採用多模式系集模擬的平均值來呈現降雨的改變。使用 WRF 模式中 96 種不同輻射、積雲、雲微物理以及邊界層參數化的組合，在現在、A1B、RCP8.5 暖化情境下，各進行了 96 場模擬。圖 4.37 所示為實驗的結果，顯示模式可以合理地模擬出莫拉克颱風降雨的空間分布與降雨量，除了臺中山區與阿里山區的降水有點低估。在暖化情境下的 2009 莫拉克颱風除了在山的背風面少雨區降水無顯著變化之外，在其他地區的降水多是增加的。在 A1B 情境下西部平地降雨增加率 (10%~40%) 高於山區 (5%~10%)；在 RCP8.5 情境下的增加更為明顯，西部平地增加率大於 60%，而山區的增加也達到 20~40%。

2009-Morakot Precip. 08-05_00 - 08-10_00

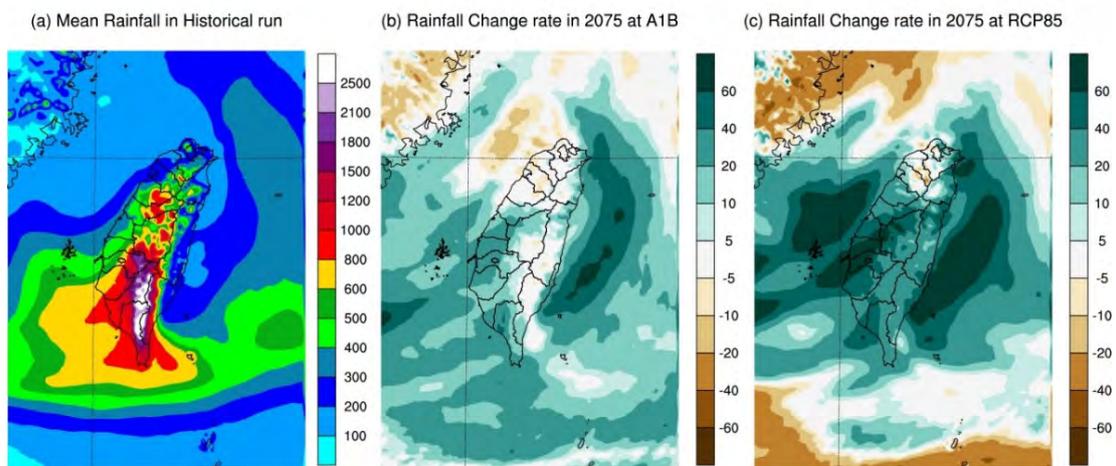


圖 4.37 (a) 是 2009 莫拉克颱風降雨模擬結果 (單位：毫米)，(b)、(c) 是 2009 莫拉克在 A1B 及 RCP8.5 的 21 世紀末暖化情境下的總降雨改變率 (單位：%)。

4.4.7 臺灣地區極端溫度分析

(1) 極端低溫

因為溫度分布受地形影響極大，本研究著重在分析動力降尺度後的高解析度氣候資料，目前分析以 A1B 情境 (前期計畫 MRI-AGCM 與 ECHAM5 動力降尺度資料) 中的極端溫度事件，探討極端溫度事件發生時特徵的異同，以及發生的原因。

極端低溫的定義主要是參考去年極端高溫研究的定義，並且考慮人類活動範圍以及山區溫度會拉低閾值，因此將判斷的範圍限定在臺灣地區 500 公尺以下區域，極端低溫的閾值是以每個時期各自的日最低溫排序百分位數 5 的溫度做為各時期自己的閾值 (表 4.8)，而日最低溫小於這個閾值溫度即為低溫日。

受地形高度主宰，未來與現在的低溫日平均溫度的空間分布差異不大，僅溫度增加，可以兩時期的差異來突顯兩時期間的不同 (圖未示)。可以發現，兩模式未來低溫日平均溫度在

山區增加的溫度較平地明顯，且都有北部增溫較南部增溫顯著。未來兩個模式在臺灣發生極端低溫時，大尺度環流系統的空間分布與現在時期並無太大不同，所以在此以大尺度環流系統的距平（減去當期的氣候值）來顯示未來發生低溫時的系統特徵。在圖 4.38 中兩個模式在三個不同時期臺灣發生極端低溫時都顯示，影響臺灣的大陸高壓與北方南下的冷風強度比當時期的氣候平均強，也就是現在與未來臺灣低溫日時大尺度系統分布的特徵都很相近。

表 4.8 NCEP-WRF 1979-2003 時期與 ECHAM5-WRF、MRI-WRF 在 1979-2003、2015-2039、2075-2099 三個時期極端低溫日閾值（單位：°C）。

各時期門檻值	NCEP-WRF	ECHAN5-WRF	MRI-WRF
1979-2003	12.40	12.22	10.84
2015-2039		12.74	11.81
2075-2099		15.10	13.45

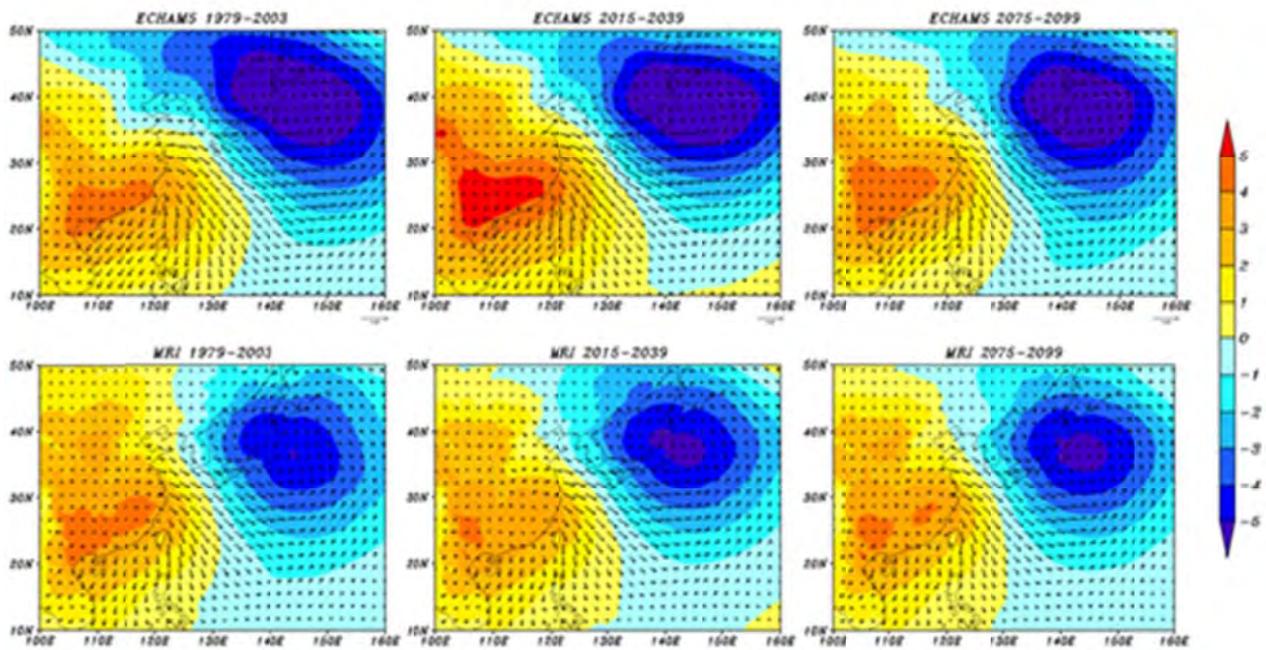


圖 4.38 為各時期冬季低溫日大尺度系統與冬季氣候平均的差異分布狀況，分別為 (a) ECHAM5 1979-2003 時期、(b) ECHAM5 2015-2039 時期、(c) ECHAM5 2075-2099 時期、(d) MRI 1979-2003 時期、(e) MRI 2015-2039 時期與(f) MRI 2075-2099 時期。

(2) 極端高溫

近年來全球各地發生自然災害天氣與氣候異常的事件頻傳，顯示全球氣候正在改變中。平均氣溫及海溫顯著上升，旱災、豪雨、熱浪與龍捲風等劇烈天氣系統的頻繁發生，對於人類生活與自然環境帶來嚴重的影響。本研究分析的方式參考澳大利亞地質調查機構在 Natural hazards and the risks they pose to South-East Queensland 第 10 章中對極端高溫的定義，以

1979~2003 為基準期，在此基準期中的日最高溫排序百分位數 (percentile) 95 的溫度做為極端高溫的溫度閾值，而日最高溫大於這個溫度閾值即為高溫日；若高溫日持續三天以上稱為熱浪事件，而熱浪事件中高溫日持續的天數即為熱浪持續天數。

目前是以以前一期計畫產出的兩組動力降尺度產品 WRF-MRI 及 WRF-ECHAM5 作為分析的依據。ECHAM5 是德國 Max Planck Institute 發展的 ECHAM5/MPI-OM 氣候模式，推估未來在 A1B 的情境下。另外也使用 NCEP-CFSR 資料及其動力降尺度的結果 (WRF-CFSR) 做為 1979~2003 時期比較的參考資料。在本研究中，使用這三組 5 公里解析度的動力降尺度結果，計算臺灣地區每一個網格點上或是整個區域平均的極端高溫溫度閾值，用以了解臺灣發生極端高溫時溫度分布。

圖 4.39 為現在時期 (1979~2003 年) 每個網格點上極端高溫溫度閾值分布的狀況，圖中 WRF-ECHAM5 溫度閾值相較於 WRF-CFSR 有高估的情況，WRF-MRI 溫度閾值則呈低估，三種降尺度推估顯示極端高溫空間分布的型態都很相近，呈現臺灣西半部較東半部有較高的溫度閾值，顯示西部的極端高溫較高，而西半部中又以中南部較北部為高。

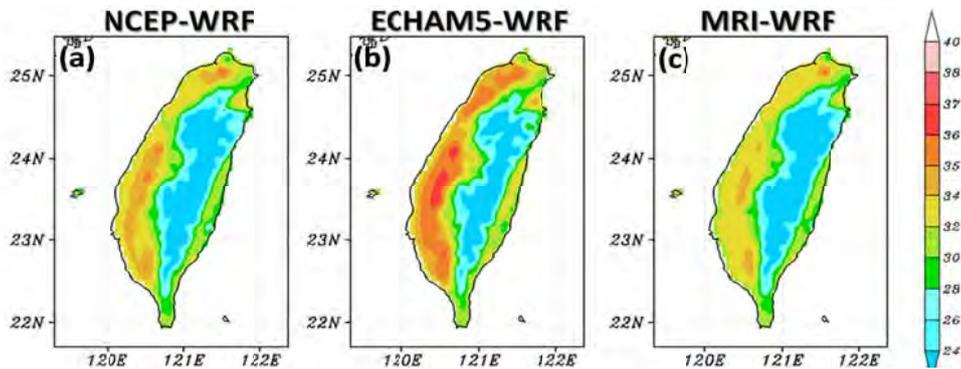


圖 4.39 三組降尺度結果在 1979~2003 時期所推估極端高溫溫度閾值的分布，分別為 (a) WRF-CFSR、(b) WRF-ECHAM5 及 (c) WRF-MRI 的推估結果。

到了 21 世紀末時期 (2075~2099 年)，推估結果的高溫閾值顯示一致的增溫趨勢，增溫比較明顯的地區在北部、東部及山區 (圖 4.40a、圖 4.40d)，但 WRF-ECHAM5 增溫的幅度明顯高於 WRF-MRI。隨著全球暖化，未來能超過現在時期高溫閾值的高溫日數也增加。在 21 世紀末時期，以現在時期高溫閾值所定義出來的高溫日數及熱浪而言，高溫日數在 WRF-ECHAM5 與 WRF-MRI 中的空間分布相當類似 (圖 4.40b、圖 4.40e)，都是南部與山區高溫日數較多，而北部的高溫日數則是都有比其他區域為少的現象，而熱浪事件分布型態亦相當接近 (圖 4.40c、圖 4.40f)，次數較多的區域都是在中部與南部，發生的次數則是 WRF-ECHAM5 大於 WRF-MRI。

為了探討臺灣地區發生高溫或熱浪時所處的大尺度環流特徵，以下拿臺灣地區日最高溫度之區域平均作為計量的標準，定義高溫日的閾值為現在時期的臺灣地區日最高溫區域平均排序的 95 百分位，若高溫日持續三天以上稱為熱浪事件，而熱浪事件中高溫日持續的天數即為熱浪持續天數。比較兩模式推估的臺灣地區日最高溫度區域平均的頻率分布狀況 (圖 4.41)，

眾數的溫度在 WRF-ECHAM5 分別為現在時期的 28°C、21 世紀末時期的 31°C，在 WRF-MRI 則為現在時期的 27°C、21 世紀末時期的 30°C。兩推估在 21 世紀末都增加了 3°C。在分布型態上，WRF-ECHAM5 高溫端 29°C~32°C 區域平均的頻率分布都超過 800 天，WRF-MRI 則區域平均的頻率分布超過 800 天則為 28°C~30°C。

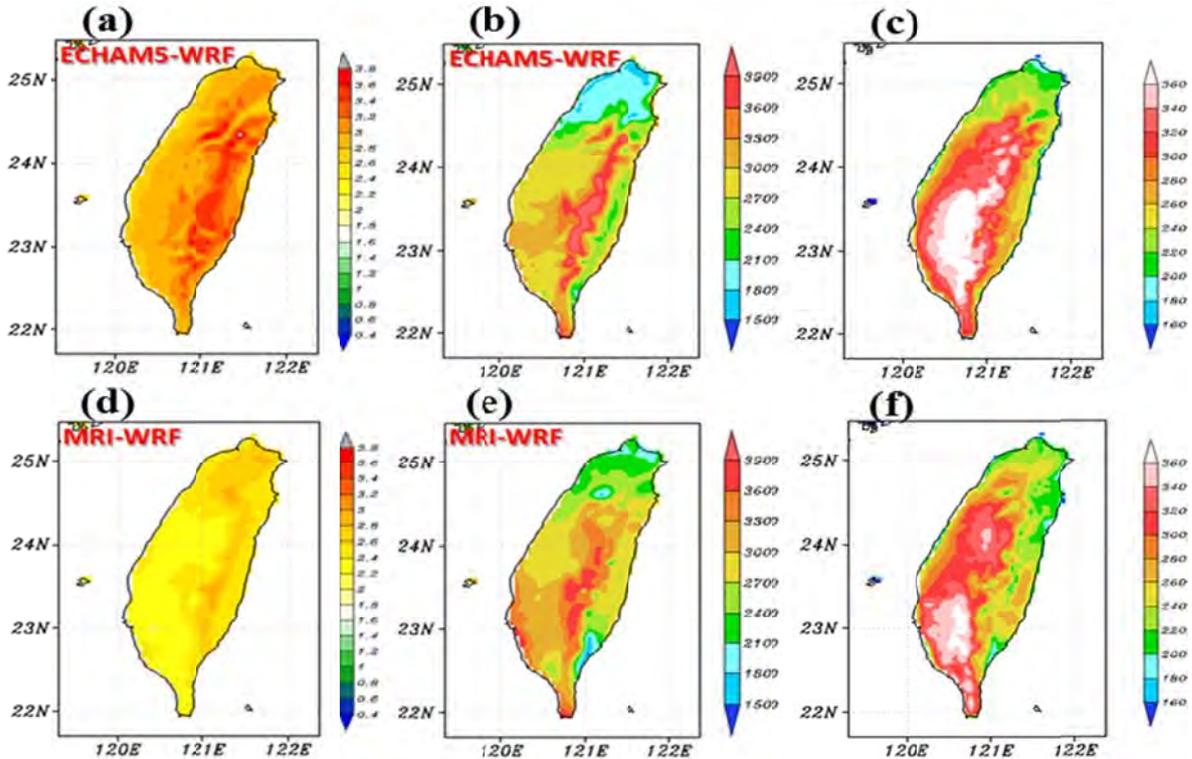


圖 4.40 從左到右分別是 21 世紀末極端高溫閾值的改變量，單位：°C、21 世紀末高溫日數，單位：日、21 世紀末熱浪發生事件數，單位：次數。上列為 WRF-ECHAM5、下列為 WRF-MRI 資料。

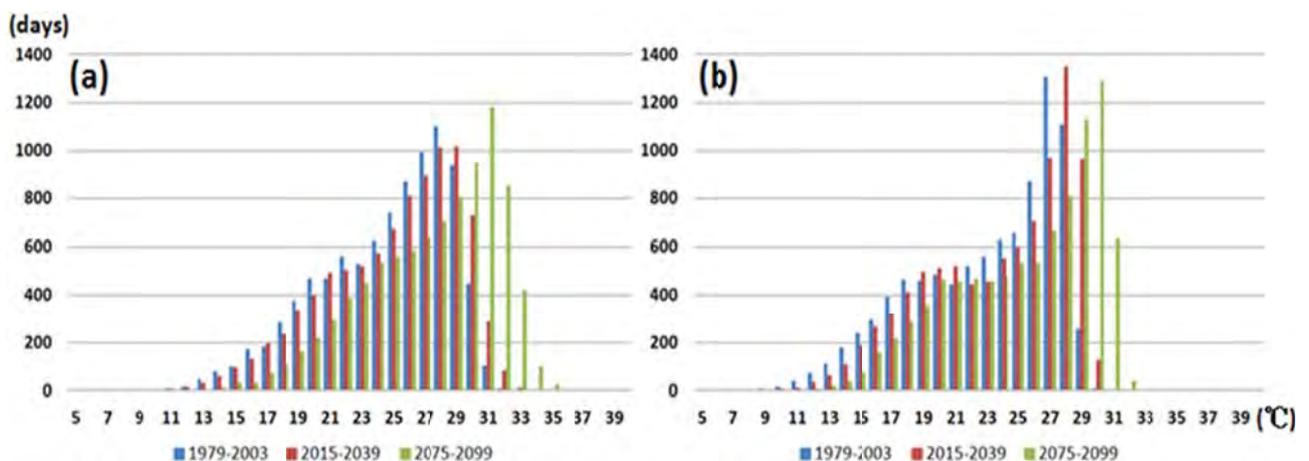


圖 4.41 (a) WRF-ECHAM5 與 (b) WRF-MRI 臺灣地區日最高溫度區域平均的頻率分布，藍線為現在時期，紅線為近未來時期，綠色線為 21 世紀末時期時期。

表 4.9 為各模式在臺灣地區高溫日的平均溫度、平均標準差、25 年的熱浪事件數以及每個事件數持續的時間。在高溫日平均最高溫度方面，現在時期 WRF-ECHAM5 與 WRF-CFSR 相比有明顯高估的情況，WRF-MRI 則與 WRF-CFSR 較相近，21 世紀末時期 WRF-ECHAM5 的平均溫度也都比 WRF-MRI 高；高溫日平均日最高溫標準差方面，WRF-MRI 與 WRF-CFSR 是一致的，而 WRF-ECHAM5 同樣有偏高的情況，21 世紀末時期 WRF-MRI 的標準差雖然持續擴大，但都比 WRF-ECHAM5 小；在熱浪事件數方面，現在時 WRF-ECHAM5 與 WRF-MRI 都有高估的情況，21 世紀末時期 WRF-ECHAM5 發生的次數多；以熱浪天數除以熱浪事件數，得到平均每個熱浪事件所持續的時間可知，WRF-ECHAM5 與 WRF-MRI 在現在時期的熱浪持續天數都有低估的情況，在 21 世紀末時期 WRF-MRI 的熱浪持續的時間都比 WRF-ECHAM5 為長。

表 4.9 WRF-CFSR 分析場與 WRF-ECHAM5 及 WRF-MRI 推估結果在高溫日的平均溫度、平均標準差、25 年的熱浪事件數以及每個事件數持續的時間。

		1979-2003	2015-2039	2075-2099
高溫日平均日 最高溫	NCEP-WRF	28.15		
	ECHAM5-WRF	29.69	29.86	30.99
	MRI-WRF	28.09	28.33	29.24
高溫日平均日 最高溫標準差	NCEP-WRF	0.26		
	ECHAM5-WRF	0.41	0.52	1.05
	MRI-WRF	0.26	0.39	0.79
熱浪事件數	NCEP-WRF	46		
	ECHAM5-WRF	56	108	248
	MRI-WRF	56	160	182
熱浪持續天數	NCEP-WRF	5.91		
	ECHAM5-WRF	4.80	6.53	12.55
	MRI-WRF	4.52	7.15	17.22

在分析高溫事件發生時的大氣環流特徵，發現高溫日平均大尺度環流特徵與熱浪發生時平均大尺度環流的特徵是極類似的，在此僅呈現熱浪發生時的環流特徵。現在時期熱浪發生時，三組背景場大尺度環流分布的狀況如圖 4.42 所示，NCEP-CFSR 分析場資料顯示太平洋高壓脊線約在臺灣南方，且高壓影響的範圍向西延伸到臺灣東方，影響臺灣的風呈南風。MRI 推估結果中太平洋高壓分布的位置與 NCEP-CFSR 相近，但強度低估，且高壓脊的位置略為偏北，風場則都是為南風。ECHAM5 推估資料與 NCEP-CFSR 資料有較大的差異，太平洋高壓的位置太過北偏，影響臺灣的風呈東南風。而 NCEP-CFSR 分析場與 ECHAM5 及 MRI 推估結果在臺灣發生熱浪時，臺灣都在氣壓相對較低的範圍中。

在 21 世紀末時期推估結果中，發生熱浪時大尺度環流的分布型態（圖 4.43）與圖 4.42 中現在時期環流差異不大，比較明顯的差異是太平洋高壓的強度增強且向西延伸，ECHAM5 太平洋高壓位置依然偏北，東風分量明顯增強，風場由現在時期的東南風轉變為東風，MRI 的風場則都為南風。

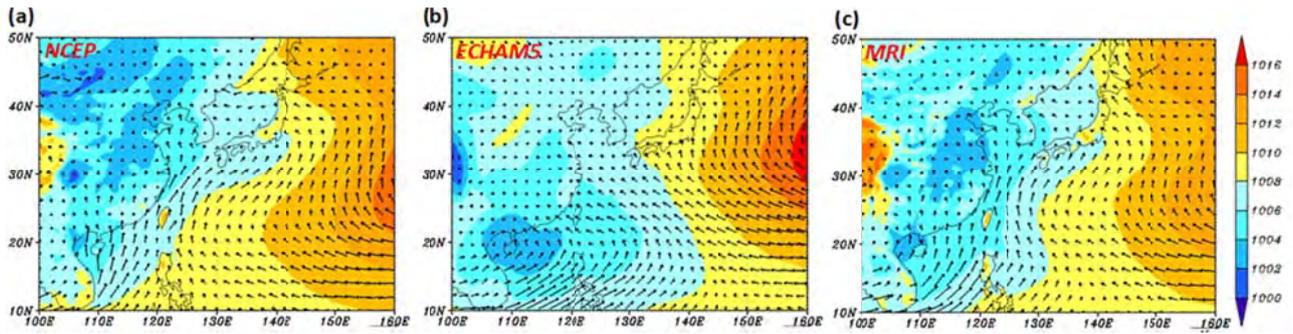


圖 4.42 現在時期臺灣地區發生熱浪時平均環流分布，分別為 (a) NCEP-CFSRP 分析場、(b) ECHAM5 與 (c) MRI 推估結果。其中色階為海平面氣壓場，風為離地 10 米風。

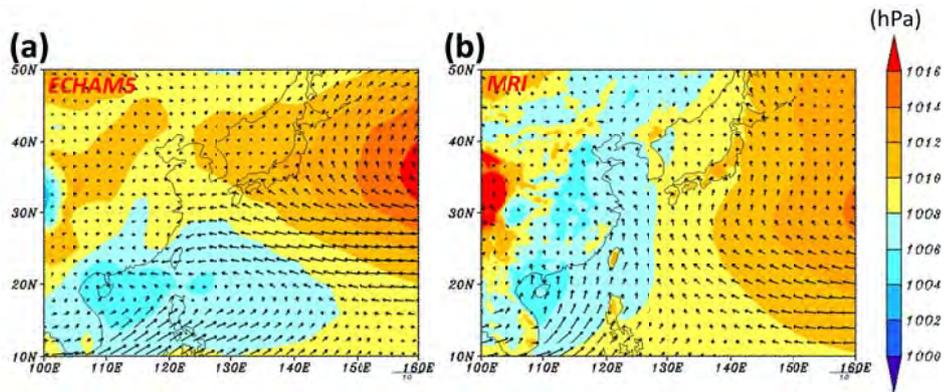


圖 4.43 21 世紀末時期臺灣發生熱浪時平均大尺度環流分布，分別為 (a) ECHAM5 與 (b) MRI 推估的結果。其中色階為海平面氣壓場，風為離地 10 米風。

第五章 氣候變遷資料應用技術發展與研究

Team3：氣候資料服務與推廣應用	
工作重點項目	進度與成果說明
1. 氣候變遷降尺度資料應用技術研發	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 以天氣衍生器產製 AR5 未來情境之日氣象資料 ■ 未來情境之時雨量模擬模組建立 	<ul style="list-style-type: none"> □ 已繁衍 AR4 及 AR5 各情境 Ensemble, GFDL-CM3 模式之日雨量、日最高溫及日最低溫；並利用統計迴歸推估對應的日輻射量。[5.1.1 節] □ 完成原始 GCM 資料日輻射量改變率的計算。[5.1.1 節] □ 序率暴雨模擬模式與水文參數經驗模式主要架構建置完成，並進行測試、驗證與改良。[5.1.2 節]
2. 農業領域應用技術研發	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 利用動力及統計降尺度氣候資料評析臺灣水稻栽培環境及生產潛勢 ■ 颱風事件之臺灣水稻被害程度經驗模式驗證評估 	<ul style="list-style-type: none"> □ 增溫造成北部及東部地區為水稻產量減產程度相對較大之地區，而以中部及南部減產相對較小。[5.2.1 節] □ 應用 TCCIP 繁衍之日最高溫、日最低溫、日輻射進行作物產量模擬分析：[5.2.1 節] <ul style="list-style-type: none"> * AR4 統計降尺度之氣象因子分析結果顯示，在 A1B 氣候情境發展下，預估，未來臺灣地區水稻生育日數縮短且產量呈現減產的趨勢，水稻高產區位於中部及南部地區，產量較低的地區大多落於北部及東部地區。 * AR5 統計降尺度之氣象因子分析結果中，在各情境水稻一期作之產量皆隨著未來期程減少，二期作產量仍略遜於一期作產量，二個期作減產趨勢是相一致，但空間差異上，二期作全台皆減產，一期作則減產集中在東北部及西南部。 * 本研究結果提供氣候變遷下水稻減產之分布與結果。 □ 第二年度以倒傳遞網路 (Back-Propagation Network) 進行數值型的被害經驗模式建立，第三年度利用支援向量機(Support Vector Machines, SVM)以 1960-2009 年資料建立類別型之經驗模式。[5.2.2 節] <ul style="list-style-type: none"> * 本模式利用團隊 Team1 產製之歷史雨量網格資料，及 Team2 模擬之 MRI 颱風動力資料推估未來颱風事件。 * 未來颱風農損事件，與前年度結果相同，水稻被害程度影響是增加趨勢，受限於颱風資料樣本數及降雨分布之限制，推估結果需要再進一步驗證。本研究能協助評估氣候變遷下，

Team3：氣候資料服務與推廣應用	
工作重點項目	進度與成果說明
	颱風事件對於水稻受害程度之影響趨勢。
3. 公衛相關領域應用技術研發	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 環境與氣象因子對登熱分布之探討 ■ 溫度變化對心血管疾病之影響 ■ 臺灣埃及斑蚊未來分布預測 	<ul style="list-style-type: none"> □ 根據 AR4 及 AR5 統計降尺度所提供之環境與氣象因子針對未來登革熱分布結果可發現，未來可能增加的高風險鄉鎮則主要集中於中北部以及北部地區，而東部主要縣市的風險也會提升。[5.3.1 節] □ 利用溫熱指標臨界值與相對風險值加以運算其相對應之心血管健康影響函數；結果顯示，如單純增溫可能造成每年死亡人次增加約 1,200 人，且主要分布於西部人口密集之都會區。[5.3.2 節] □ 以測站歷史觀測氣象資料，只考慮氣溫變數下建立埃及斑蚊分布指標。結果顯示，不論何種 RCP 情境，近未來埃及斑蚊分布可能會北移至嘉義。在 RCP 8.5 情境，世紀末埃及斑蚊的分布有機會遍布全台主要平地區。[5.3.3 節]
4. 全流域防災影響評估	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 坡地崩塌災害評估 ■ 土石流災害評估 ■ 主流河道沖淤評估 ■ 集水區下游淹水評估 	<ul style="list-style-type: none"> □ 坡地崩塌災害評估透過多場歷史颱風事件的參數反算率定，以及現地調查資料的蒐集佐證，成功建立了淡水河上游新店新、大甲溪、濁水溪、曾文溪及高屏溪等五大集水區之崩塌物理模式。結果顯示，多數集水區世紀末崩塌率比基期嚴重，且隨著未來降雨型態改變導致崩塌衝擊有提高且增快之現象。[5.4.1 節] □ 新店溪、大甲溪與濁水溪世紀末土石流災害均較基期嚴重，尤其以大甲溪土石流泥砂產量增加最多。而高屏溪在世紀末時期的土石流災害則較基期減緩；此結果主要為降雨型態改變所造成。[5.4.2 節] □ 河道沖淤評估透過數值模擬方式，建立大甲溪、濁水溪及高屏溪主河道沖淤模式。整體而言，濁水溪與高屏溪餘位賴呈現淤積之結果；而大甲溪則呈現下刷之趨勢，須注意河道刷深所帶來之影響。[5.4.3 節] □ 集水區下游淹水模擬結果顯示，極端降雨事件在世紀末所造成的淹水範圍均大於基期。大甲溪與濁水溪的淹水問題均為區域排水不及宣洩洪水所造成，為內水問題；曾文溪及高屏溪在中上游少部分堤防，則會有發生溢堤機會。[5.4.4 節]

Team3：氣候資料服務與推廣應用	
工作重點項目	進度與成果說明
5. 水資源衝擊評估模式挑選	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 假設最劣假設情境 ■ 氣候變遷降雨特性探討 ■ 氣候變遷對流量影響 ■ 水資源衝擊評估模式挑選 	<ul style="list-style-type: none"> □ 最劣情境(worst case)假設依據多重模式平均(multi-model ensemble)之各月降雨豐枯改變率為參考座標，並假設最劣情境是將豐枯水期加減 1 倍標準差所產製的月降雨改變率。結果顯示，世紀末豐增枯減趨勢較近未來明確，故世紀末影響大於近未來時期。[5.5.1 節] □ 豐枯水期的降雨特性評估，主要是依據各月降雨改變率計算豐枯水期的平均降雨改變率呈現。降雨改變率約於在近未來期間，豐水期降雨變化增加約為 20%，而枯水期則是減少-20%；世紀末降雨改變率衝擊加重成豐水期增加 40%，而枯水期則減少 40%。[5.5.2 節] □ 氣候變遷對水資源的影響部分，豐水期時 AR4 與 AR5 均呈現流量增加之趨勢，以 AR5 的情境其增加的趨勢更為顯著。在枯水期時，AR4 與 AR5 中均有 65%以上模式呈現枯水期流量減少的情形。[5.5.3 節] □ 提供使用者於氣候變遷水資源應用上的模式選擇方式。透果此方式成功挑選出降雨區間中較多的模式之外，亦可挑選相對有較極端的改變率的 GCM 模式進行評估，並，進一步分析氣候變遷可能造成的衝擊。[5.5.4 節]

Team3 在 TCCIP 計畫的定位，主要是與 Team1、Team2 產製（資料產製者）之氣候資料的應用技術研發與溝通互動，以落實從使用者需求強化氣候變遷研究之核心精神 (Bottom-Up)，滿足各領域（資料使用者）對氣候變遷資料應用之需求。Team3 關鍵核心價值在於氣候變遷上下游資料推廣關鍵技術研發，注重氣候變遷資料銜接與應用推廣（圖 5.1）。

第一期計畫之 Team3 的工作以水部門之災害應用為主，相關研究成果提供水利署及 NCDR 相關之災害影響及水資源影響評估應用為主，過程中已累積經驗與成果。第二期計畫中，Team3 除了強化防災領域的整合應用之外，加入了農業以及公衛領域，目標在於以氣候變遷資料應用技術與研究，協助並滿足各領域氣候變遷資料使用者之需求。各年度成果彙整如下：

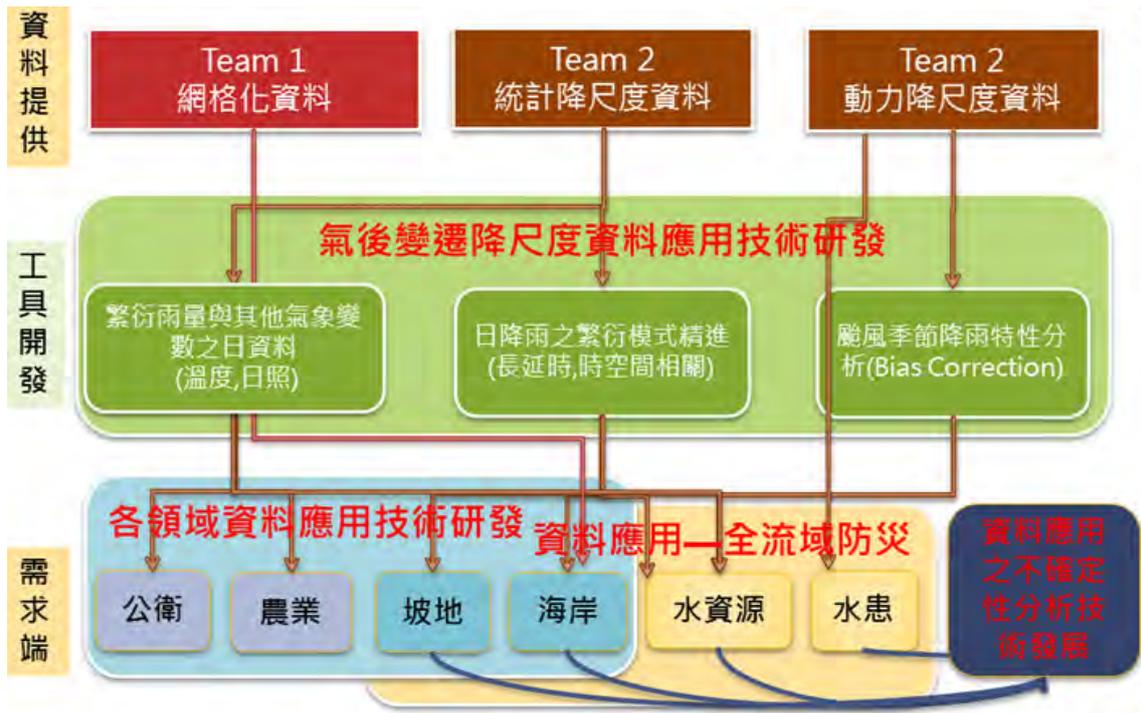


圖 5.1 Team3 與其他工作小組之關聯

5.1 氣候變遷降尺度資料應用技術研發

5.1.1 資料繁衍

為了提供農業與公衛領域進行相關研究使用，TCCIP 團隊利用統計方式，進行未來氣候情境下的日氣象資料繁衍，下列分就日最高溫、日最低溫與日雨量資料及以統計迴歸推估日射量資料進行成果概述。

本研究以 LARS-WG 繁衍 CMIP3、CMIP5 中數個全球氣候模式 (Global Climate Model, GCM) 之統計降尺度資料的日氣象資料 (包括日最高溫、日最低溫和日雨量等參數)；再以統計迴歸的方式推估日射量資料，所有產製之資料詳列於表 5.1。由圖 5.2 可看出利用統計降尺度技術所衍生資料的空間分佈特性與歷史觀測資料一致；在時序變化方面，無論是日最高溫或日最低溫，兩個未來時期的溫度相較於基期均為增加，變化趨勢與情境檔描述大致相同。日射量衍生資料與驗證結果部分。由於日射量無 5 公里解析度之歷史觀測網格資料，所以利用統計迴歸模式進行推估，由結果顯示，未來日射量相較於基期變化不大，呈現北部略減、中南部略增的現象。

表 5.1 本計畫產製之資料清單與使用對象

	情境	GCM	時期	衍生資料長度	包含參數	使用對象
AR4	--	baseline	1980-1999	1000 年	T_{\max} (日最高溫) ¹ T_{\min} (日最低溫) ¹ rain (日雨量) ¹ srad (日射量) ²	農業試驗所 工研院綠環所 長榮大學 TaiCCAT
	A1B	ensemble bccr_bcm2_0 csiro_mk3_0 csiro_mk3_5 giss_aom inmcm3_0 miroc3_2_hires miroc3_2_medres ncar_ccsm3_0	2020-2039 2080-2099	200 年		
AR5	--	baseline	1986-2005	1000 年		
	RCP2.6 RCP4.5 RCP6.0 RCP8.5	ensemble GFDL-CM3	2016-2035 2046-2065 2081-2100	200 年		

¹由 LARS-WG 繁衍

註：²由統計迴歸推估，其關係式為： $R_{sp}/R_a = a(T_{\max}-T_{\min})^b$ 。式中， R_a 為大氣層外日射量(MJ/m^2)、 R_{sp} 為近地表之全天空日射量(MJ/m^2)、 T_{\max} 與 T_{\min} 為日最高溫與日最低溫($^{\circ}C$)、 a 與 b 則為迴歸係數

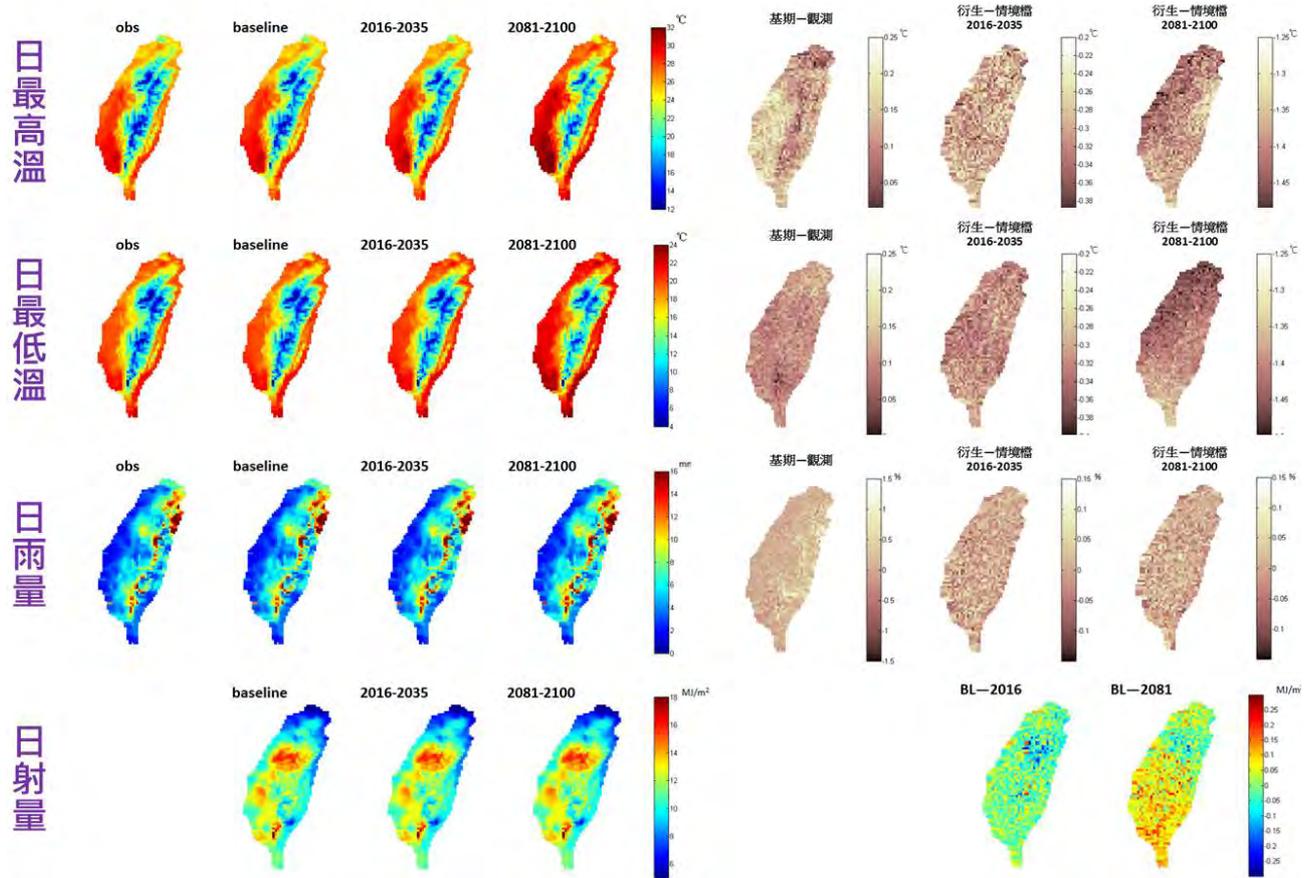


圖 5.2 AR5-RCP 8.5-ensemble 資料驗證成果圖

日輻射資料部分，則分為動力降尺度及統計降尺度資料兩部分。在動力降尺度方面，資料為 AR4 A1B 情境之 MRI-WRF 動力降尺度資料。圖 5.3 展示偏差校正前後之資料，經過偏差校正後，日輻射量之數值範圍 (圖 5.3c) 已接近圖 5.3b 所示之測站觀測資料。與觀測資料比較，動力降尺度資料的空間分佈趨勢與衛星影像估算的資料類似；另外，在偏差校正前其數值範圍亦與衛星影像資料接近。

統計降尺度資料係根據本計畫 Team2 產製的 AR5 RCP8.5 統計降尺度資料，由天氣衍生器繁衍日氣象變數，再根據其中的日最高溫、日最低溫變數以統計迴歸的方式推估日輻射量。圖 5.4 為統計降尺度資料繁衍 200 年的平均，包括 AR5 基期、近未來及世紀末等三個期程。由於統計降尺度資料來自於測站的歷史觀測資料，因此無論空間分佈趨勢或數值範圍均較接近測站資料。

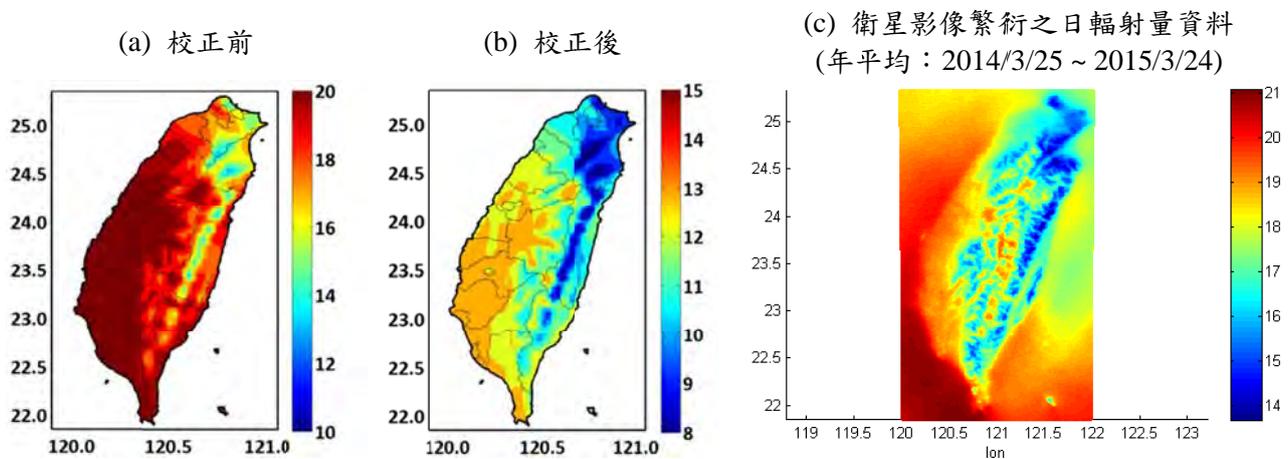


圖 5.3 MRI-WRF 動力降尺度資料偏差校正前後展示圖 (單位：MJ/m²)

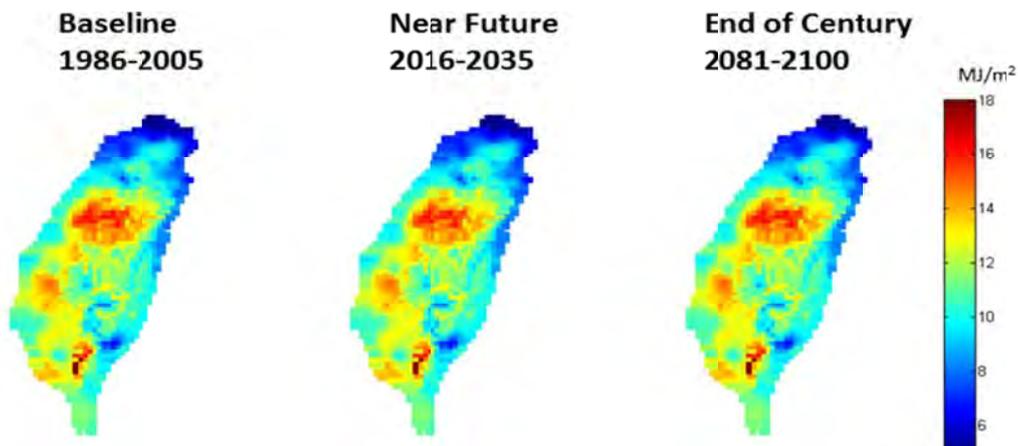


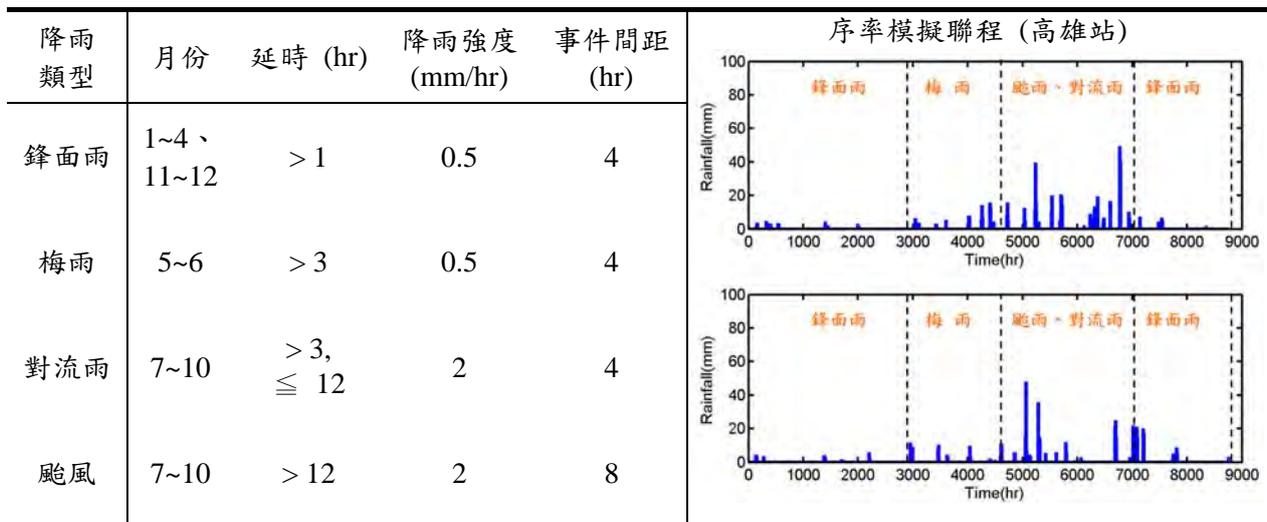
圖 5.4 AR5 RCP8.5 之統計降尺度日輻射量資料

5.1.2 序率暴雨模式

時雨量模擬的工作分為兩部分：序率暴雨模擬模式 (Stochastic Storm Rainfall Simulation Modeling, SSRSM) 與水文參數經驗模式。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；其特性由延時、總降雨量、總降雨量在延時內的分配，及降雨事件間距等水文參數描述。序率暴雨模擬模式將臺灣地區的降雨分為四種類型，各類型降雨事件定義如表 5.2。針對各降雨類型，序率暴雨模擬模式首先分析歷史觀測資料的降雨事件，用以率定水文參數。再利用這些水文參數和假設的統計分布依序進行降雨百分率、延時、總降雨量及事件間距的模擬。水文參數經驗模式的任務，係為率定未來情境下的參數改變率。利用類神經網路建立歷史觀測資料中日雨量和時雨量的關係，再以天氣衍生器繁衍之未來情境下的日雨量資料推估對應的水文參數改變率。依照此改變率修改歷史觀測資料求得的水文參數，即可得未來情境下的水文參數，並以此繁衍未來情境下的時雨量資料。

序率暴雨模擬模式的驗證主要目的是測試：(1) 隨機模擬過程是否具收斂性，以及 (2) 模擬資料是否能如實反映出輸入 (觀測) 資料之特性。利用序率暴雨模擬模式繁衍各測站時間長度為 n 年的模擬資料 ($n = 10, 20, 50, 100$)，每種情況重複模擬 100 次，計算每次模擬資料的水文參數平均值，繪製盒鬚圖，再與觀測資料的水文參數平均值互相比較。圖 5.5 為測站 466900 (淡水) 之驗證成果。圖中可看出，隨著時間長度 (n) 增加，模擬資料的水文參數平均值愈密集，顯示模式具有收斂性。然而，模式收斂的方向不盡然會趨向歷史觀測資料的水文參數 (綠色菱形處)，顯示觀測資料水文參數的分布並不完全符合假設之統計分布。若比較模擬資料水文參數收斂處和歷史觀測資料水文參數的絕對差值，可發現延時的差異大多小於一小時、雨量的差異在數公厘內，表示序率暴雨模擬模式重現一地區時雨量資料的能力仍有達到一定的水準。

表 5.2 各類型降雨事件之參數門檻值



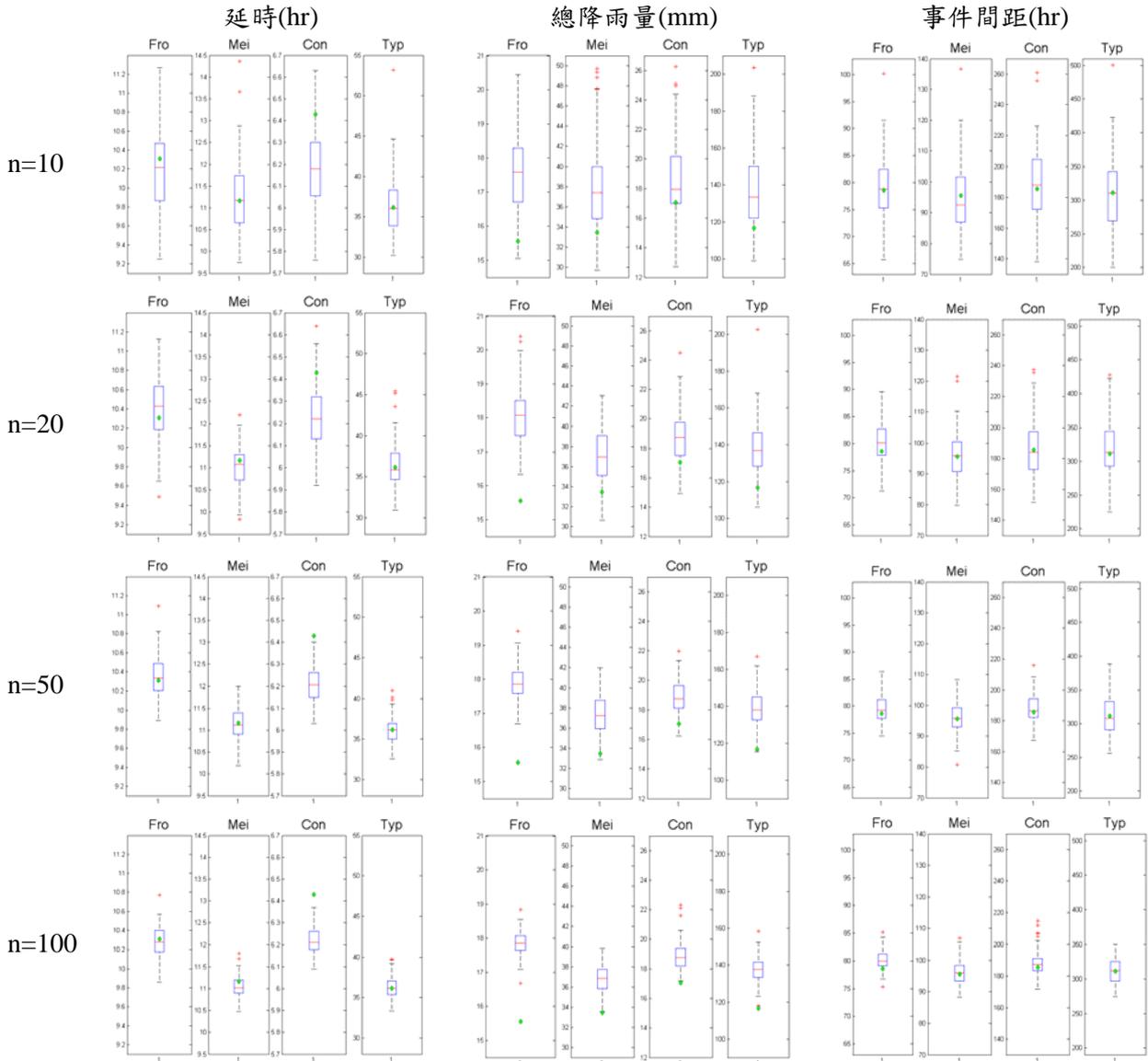


圖 5.5 測站 466900 之水文參數平均值的驗證成果，其中 n 為模擬資料長度（單位為年）、盒鬚圖為重複模擬 100 次之水文參數、綠色菱形為歷史觀測資料之水文參數

5.2 氣候變遷資料應用於農業領域之技術研發

5.2.1 水稻產量推估

水稻產量推估分別利用動力降尺度 A1B、統計降尺度 AR4 及 AR5 資料進行模擬。動力降尺度部分，比較近未來與基期兩時期水稻產量的改變（圖 5.6a），平均改變率約-3.6%，近未來臺灣大部分地區均呈現減產，其中以南部地區的變化較大（約-7.8%~6.7%）。比較 21 世紀末與基期水稻第一期作平均單位面積產量（圖 5.6b），平均改變率約-15.0%，至 21 世紀末臺灣地區水稻第一期作產量均呈現減產，並以宜蘭縣地區的變化最多（約-22.9%~19.8%），其次以

基隆市、新北市、臺北市、桃園縣、花蓮縣、臺東縣、苗栗縣、臺中市、高雄市、屏東縣改變率較多 (約-19.7%~16.7%)，改變率最少的地方在東部 (-7%~3.9%)。改變率越大代表此地區未來在氣候變遷幅度較大，發生氣象災害機率也越大，水稻生產過程也較受影響。

統計降尺度 AR4 模擬結果部分，相較於基期水稻產量，近未來改變率平均約-5.5%，平均減產 480 kg ha⁻¹。近未來臺灣地區水稻第一期作產量均呈現減產趨勢。相較於基期水稻產量，世紀末改變率平均約-12.9%，平均減產約 1048kg ha⁻¹ (圖 5.7)。在 AR5 資料模擬方面，世紀末臺灣大部分地區均呈現減產，並同樣以北部及東部地區的變化較大。在 RCP8.5 情境甚至一半以上的鄉鎮減產超過 20%，其中東部及北部之產量減少率全超過 20% (圖 5.8)。

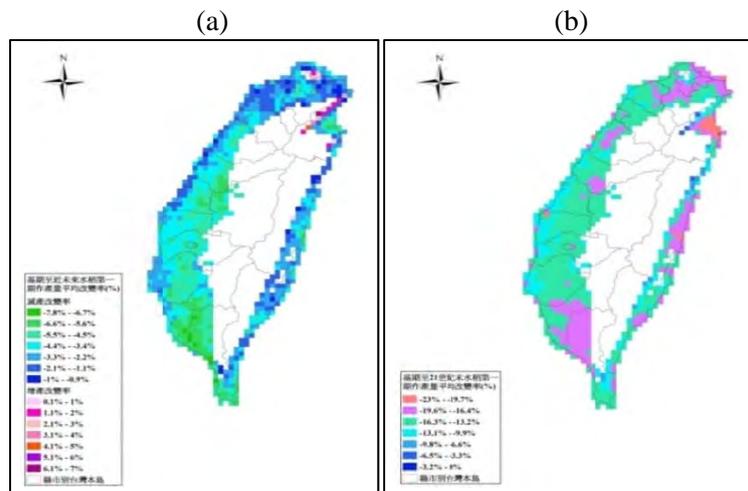


圖 5.6 基期至未來水稻第一期作產量平均改變率。(a) 基期至近未來水稻第一期作產量改變率；(b) 基期至 21 世紀末水稻第一期作產量改變率

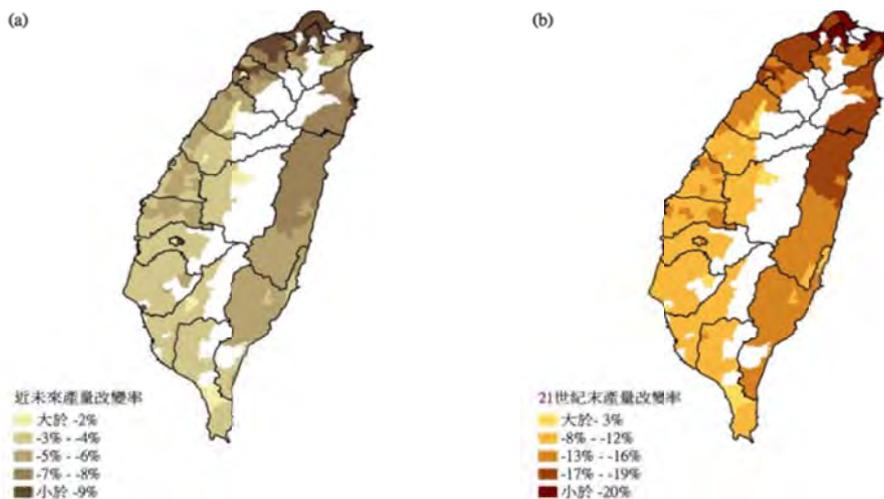


圖 5.7 相較於 AR4 統計降尺度基期；(a) 近未來及 (b) 世紀末水稻產量改變率之面化圖

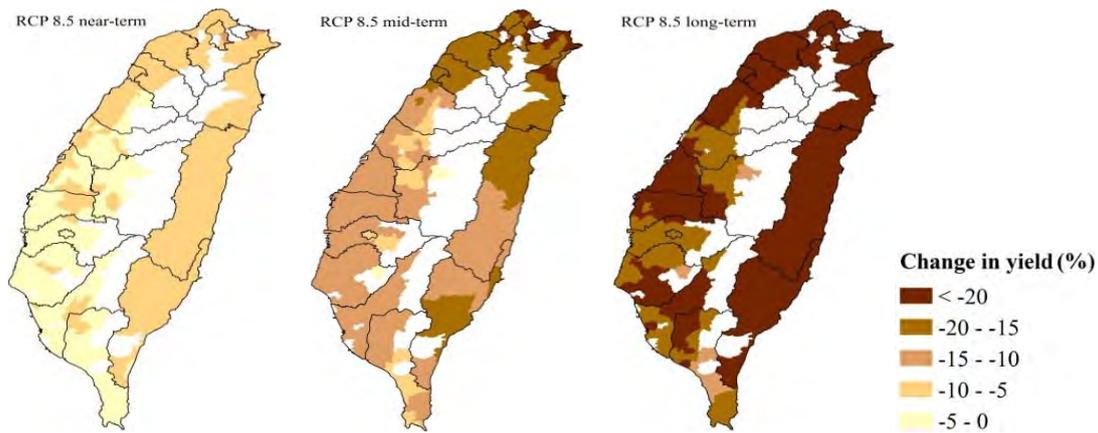


圖 5.8 相較於基期，在所有未來情境之世紀初 (near-term)、世紀中 (mid-term) 及世紀末 (long-term) 之第一期作水稻產量改變率之空間分布圖。

5.2.2 颱風事件之臺灣水稻被害程度經驗模式驗證評估

在未來氣候長期變遷的研究中，根據 Knutson et al. (2010) 的研究指出，在 2100 年暖化的環境將使颱風強度增加 2-11%，暴風半徑 100 公里內的降雨將增強 20%。本研發工作之經驗模式的建模資料年份長度為 1960-2009，總樣本數為 1,052 筆，去年的倒傳遞網路模式 (back-propagation neural network, BPN)，根據臺灣各分區模擬結果而言 (圖 5.9)，臺灣中部地區在世紀末遭受颱風事件的改變率較基期提高 18.05%，南部地區 15.09%，雖然東部地區的改變率為 9.09%，但臺灣東部所面臨的颱風威脅仍就比其他區域高，整體而言，在世紀末的 RCP 8.5 情境下，臺灣全區遭受颱風事件的縣市平均被害程度將提高到 32% 以上。

本年度利用支援向量機 (support vector machines, SVM) (Chang and Lin, 2011) 建立颱風農損經驗模式。根據去年資料應用之經驗，本團隊所模擬的 AR5 WRF-MRI 颱風事件動力降尺度資料，存在資料使用上的限制因子，因為電腦大量模擬運算的動力資料，會存在系統上的偏差，造成颱風路徑、侵台時間、發生日期、實際風速及雨量數值上的偏差等不確定性，因此對於結果需要謹慎討論。不同於去年度直接探討數值型的輸出變數，本年度模式選擇使用類別型的被害程度 (%) 做為預測標的，並將被害程度分成兩個等級的類別變數：<20% 及 ≥20%，被害程度在農業統計年報中的定義，為作物受害的比例，選用 20% 為門檻為參考農委會農損補助標準，因此在模式推估應用上，此門檻為一種客觀的災害評估指標。

假設在世紀末暖化的情境下，臺灣水稻栽培系統慣行的耕種時間，以及栽培的區域分布沒有改變，在氣候變遷暖化 RCP 8.5 情境下，颱風事件對臺灣水稻生產的威脅是增加的趨勢。根據所建立的經驗模式模擬推估結果，基期縣市 ≥20% 被害程度平均發生頻度為 40.64%，世紀末為 51.06%，風險改變率上升 25.63%。以臺灣各分區模擬結果而言 (圖 5.10)，縣市平均被害程度由大到小排列分別為東、北、中、南區。臺灣南部地區在世紀末遭受颱風事件的改變率較基期提高 42.46%，其次是中部地區 33.87%，雖然東部地區的改變率為 23.21%，但臺灣東部所面臨的颱風威脅仍就比其他區域高，基期的縣市平均被害程度為 57.25%，為四大區中最高者。但由於 WRF-MRI 颱風模擬事件可能存在系統模擬的偏差、及模擬樣本數不足的

限制因子，導致颱風路徑、降雨分布不確定性的問題，因此本研究模擬之農損結果仍需保守看待，需要導入更多的颱風模擬事件資料進行驗證。



圖 5.9 WRF-MRI 動力降尺度颱風事件模擬農糧署各分署轄區縣市水稻災害基期與世紀末 (RCP8.5) 平均被害程度 (%) 及改變率 (%): (世紀末平均被害程度 / 基期平均被害程度) - 1 x 100%。各分署負責地區：北區-臺北、桃園、新竹、苗栗；中區-臺中、彰化、南投、雲林；南區-嘉義、臺南、高雄、屏東；東區-宜蘭、花蓮、臺東。

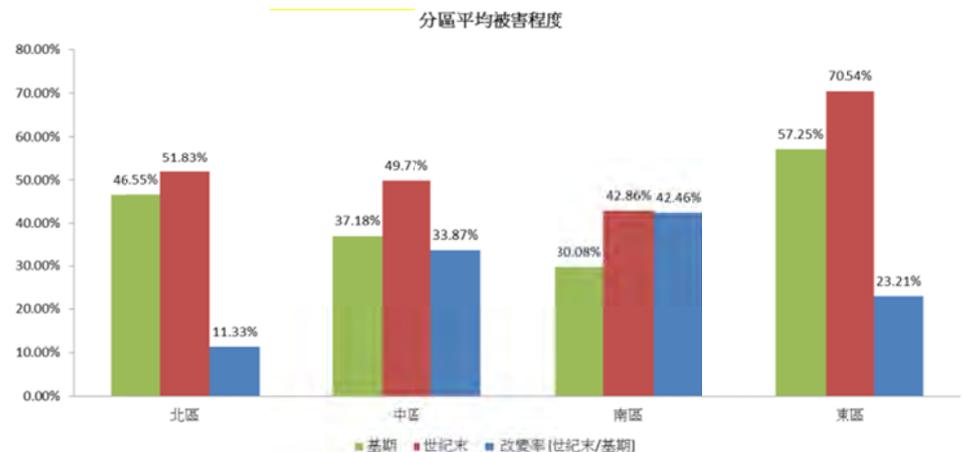


圖 5.10 WRF-MRI 颱風事件模擬，農糧署各分署之轄區縣市水稻災害基期與世紀末 (RCP 8.5)， $\geq 20\%$ 被害程度平均發生頻度、及改變率。農糧署各分署負責地區為，北區分署：臺北、桃園、新竹、苗栗，中區分署：臺中、彰化、南投、雲林，南區分署：嘉義、臺南、高雄、屏東、東區分署：宜蘭、花蓮、臺東。

5.3 氣候變遷資料應用於公衛領域之技術研發

5.3.1 環境及氣象因子與臺灣地區登革熱流行分布相關性探討

整體而言，將圖 5.11 臺灣各區域推估溫度數據之結果與前期假設全台各區域每月平均氣溫皆上升 1°C 的結果比較可以發現，登革熱流行區域皆會有擴大且北移的趨勢，但以 AR4

為基礎推估之結果 (圖 5.11a) 其近未來的登革熱高風險區域將會比各區域每月均溫皆上升 1 °C 的結果增加約 2 倍 (由 86 個鄉鎮增加為 168 個)。從鄉鎮區來看，登革熱流行風險區除了原本的南部及北部地區外，中部及東部區域風險也會提高，而未來可能增加的高風險鄉鎮則主要集中於中北部以及北部地區，而東部主要縣市的風險也會提升。

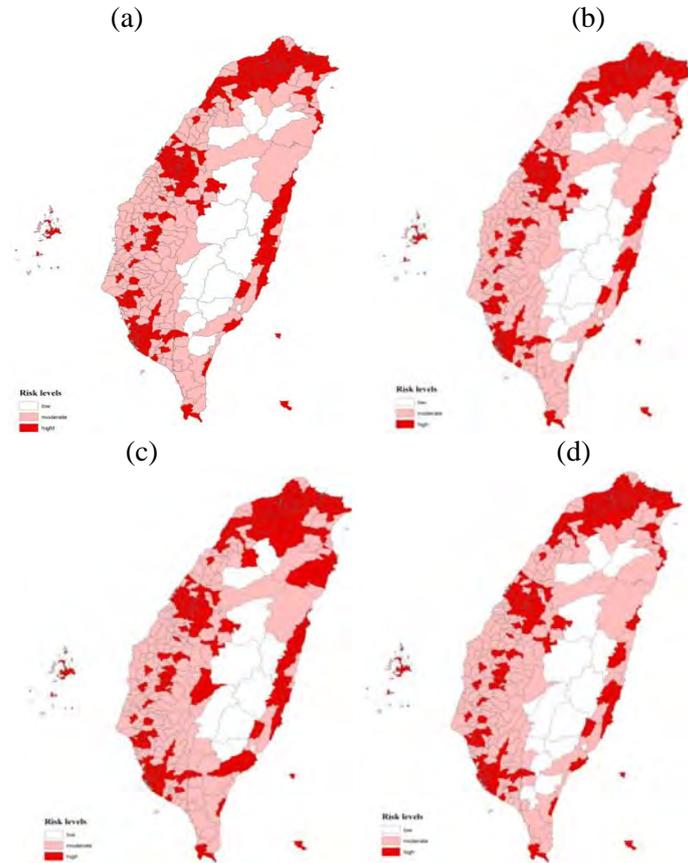


圖 5.11 IPCC AR4 在 A1B 情境下全台登革熱危險區域分布。(a) 24 個推估模式之平均數據；(b) giss_aom 模式；(c) iap_fggoals1_0_g 模式；(d) ukmo_hadcm3 模式。

使用主成分分析法分析 2010 年人口普查資料，從中萃取出 3 個主要成分，分別為都市化、老年人口及原住民人口，搭配運用 TCCIP 提供之 AR5 氣象資料。將歷年每月溫度平均後，計算其均溫大於 18 °C 之月份個數及歷年平均累積年雨量接著藉由空間迴歸分析法配適模型，其結果顯示每年月均溫高於 18 °C 之月份個數、都市化及原住民人口對發生率皆有顯著解釋力。圖 5.12 顯示登革熱流行風險區域除南部地區以外，中、北部及東部地區風險也相對提升。更進一步分析顯示，以 2016~2035 年 IPCC AR5 RCP8.5 之 41 個模式之月平均溫度推估屬於高風險鄉鎮數為 38 個；2046~2065 年月平均溫度推估屬於高風險鄉鎮數為 63 個；2081-2100 年月平均溫度推估屬於高風險鄉鎮數為 91 個。世紀末隨著溫度提高，世紀末的高風險鄉鎮數為現階段的 2.6 倍。以未來溫度變化情境評估，全臺灣各地區登革熱高風險鄉鎮的地理版圖將擴張。

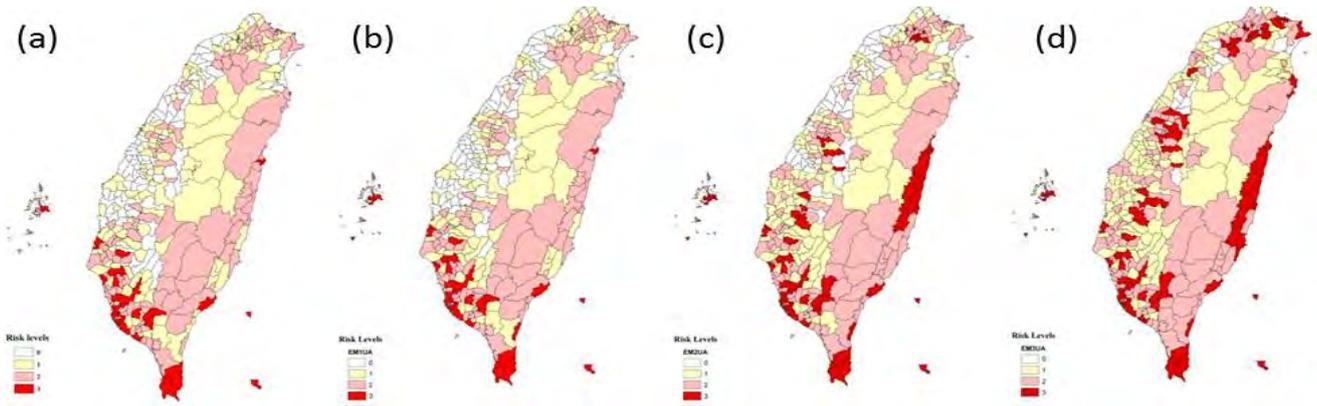


圖 5.12 全臺於各時期登革熱危險地區分布圖。(a) 2003-2013 年歷史觀測溫度資料 (b) 2016-2035 年 IPCC AR5 RCP8.5 之 Ensemble 模式 (c) 2046-2065 年 IPCC AR5 RCP8.5 之 Ensemble 模式 (d) 2081-2100 年 IPCC AR5 RCP8.5 之 Ensemble 模式

5.3.2 評估未來臺灣溫度變化情境對全死亡率及心臟血管死亡率之影響

利用溫熱指標臨界值與相對風險值，加以運算其相對應之健康影響函數 (β)，並搭配 TCCIP 提供之統計降尺度 RCP8.5 情境下 41 個模式資料進行未來情境估算 (圖 5.13)。受限於未來濕度情境資料暫時無法取得，本年度推估未來情境時，暫不考慮濕度資料變化，以月平均溫度之數據取代溫熱指標 (Heat Index)。由分析結果顯示，整體年均增溫分佈顯示未來溫度情境相較於 2010 年溫度情境皆為升溫狀況。更進一步解釋，如單純增溫可能造成每年死亡人次增加約 1,214~1,249 人之間，且主要分布於西部人口密集之都會區。本研究初步僅以單一影響函數估算全臺各區域之未來影響情境，但由於高溫或低溫對臺灣死亡率之影響受到人口組成，如高齡族群比率、醫療資源、原住民易感族群的影響相當顯著 (Wu et al., 2012)，不同地區之影響效應 (影響函數) 應進一步校正入空間上這些因子，組成及變動量之影響。

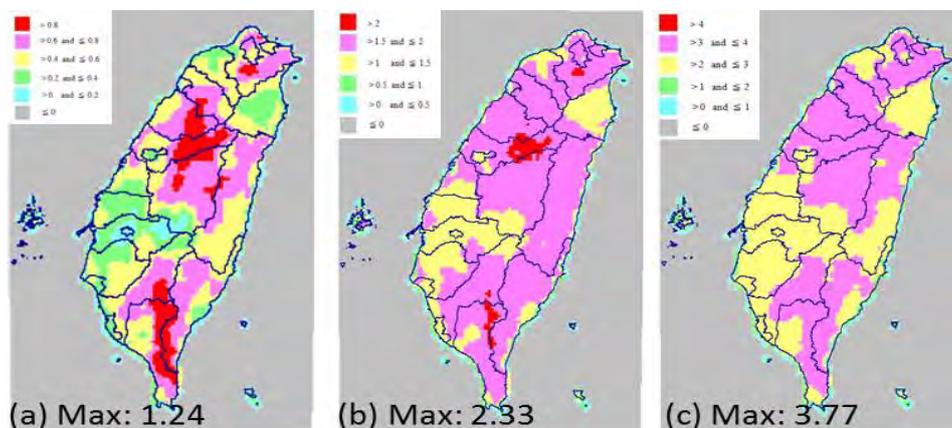


圖 5.13 臺灣地區於 AR5 RCP8.5 情境的增溫分布圖 (a) 2016-2035 年 (b) 2046-2065 年 (c) 2081-2100 年

5.3.3 氣候變遷對臺灣埃及斑蚊分布的影響

埃及斑蚊為臺灣登革熱最主要的病媒蚊，其分布集中在北回歸線以南的平地地區。本研究以臺南測站的月平均溫度 24.55 度作為有無埃及斑蚊分布的指標 I_{avg} 。已知一地的月均溫為 Y_{avg} 時，指標定為 $I_{avg} = I(Y_{avg} > 24.55)$ 。再利用 TCCIP 所提供之 AR5 準則下的 ensemble 統計降尺度未來氣象推估資料，分別探討 RCP4.5 及 RCP8.5 情境下，月均溫改變對埃及斑蚊分布造成的影響。結果相對於基期 (1986-2005 年)，不論何種 RCP 情境，在近未來 (2016-2035 年) 埃及斑蚊分布可能會北移至嘉義；而在 RCP4.5 與 RCP6.0 情境，在遠未來 (2046-2065 年) 埃及斑蚊可能會在臺中都會區開始棲息；在 RCP 8.5 情境，在世紀末 (2081-2100 年) 埃及斑蚊的分布有機會遍布全台主要平地區 (圖 5.14)。

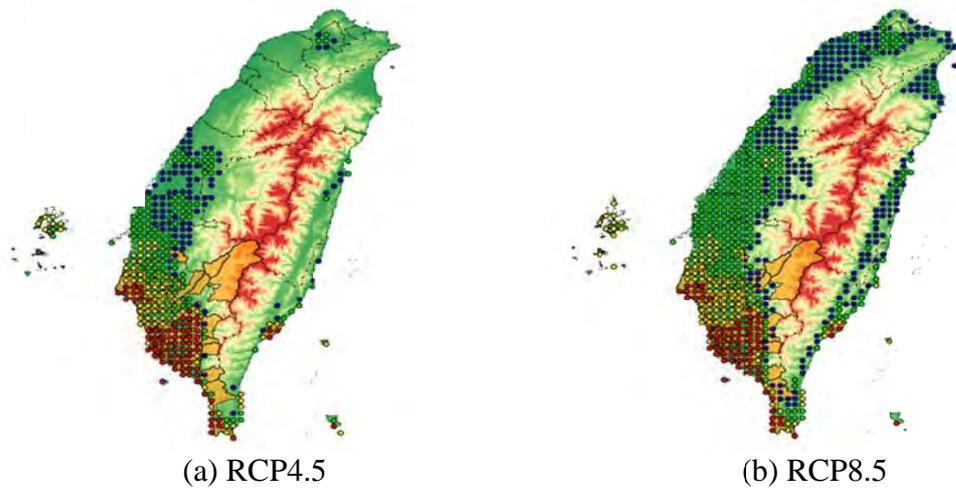


圖 5.14 以 I_{avg} 為指標考慮不同氣候變遷情境下的未來埃及斑蚊分布圖。紅點代表基期的埃及斑蚊分布，黃、綠、藍點分別代表近未來、遠未來與世紀末較前一時期相比新增的最大分布，橘區則為 2003-2011 年實際埃及斑蚊分布。

5.4 全流域防災影響評估整合方法建立

TCCIP 第二期計畫中，Team3 為強化防災領域的整合應用，加入極端颱風事件全流域防災影響評估。在第二期計畫中，本團隊已完成臺灣五大流域全流域防災影響評估，從北至南分別為淡水河支流新店溪、大甲溪、濁水溪、曾文溪及高屏溪等。全流域災害模擬從上游至下游分別包括崩塌、土石流、河道輸砂、下游淹水模擬等。但是，淡水河流域因河川水理及輸砂模擬複雜度高，本計畫僅以上游新店溪為模擬對象，並僅針對崩塌及土石流進行模擬。曾文溪流域因有曾文水庫，故下游無考慮河道輸砂問題。各流域所模擬氣候資料及模擬工具請參考表 5.3，各模擬結果如下所示。

5.4.1 崩塌

為探討氣候變遷下極端降雨特性的改變，其可能造成崩塌衝擊的不同。本研究利用 USGS

所發展的 TRIGRS 崩塌物理模式，透過多場歷史颱風事件的參數反算率定，以及現地調查資料的蒐集佐證，成功建立了淡水河上游新店新、大甲溪、濁水溪、曾文溪及高屏溪等五大集水區之崩塌物理模式，成果如圖 5.15 所示。整體而言，大多數集水區世紀末崩塌率比基期嚴重；然而高屏溪在基期時的崩塌率較世紀末高。逐時崩塌速率部分，因世紀末在短時間內即有很高的降雨量，所以在模式上呈現世紀末崩塌速率較基期提早且增快之現象。

表 5.3 全流域災害使用模擬氣候資料及工具彙整表

		淡水河	大甲溪	濁水溪	曾文溪	高屏溪
氣候資料	氣候變遷資料	AR5	AR 5	AR 5	AR4	AR4
	極端降雨事件選擇	總降雨	總降雨	總降雨	總降雨	24 小時
	模擬事件數	10%	10%	10%	前 20 場	前 20 場
模擬項目	崩塌	○	○	○	○	○
	土石流	○ ¹	○ ²	○	○	○
	輸砂		○	○		○ ³
	淹水		○	○ ⁴	○	○
模擬工具	崩塌	TRIGRS				
	土石流	物理模式：FLO-2D、Debris2D ¹ 統計模式：羅吉斯迴歸 ²				
	輸砂	CCHE1D、CCHE2D ³				
	淹水	SOBEK、FVCOM ⁴				

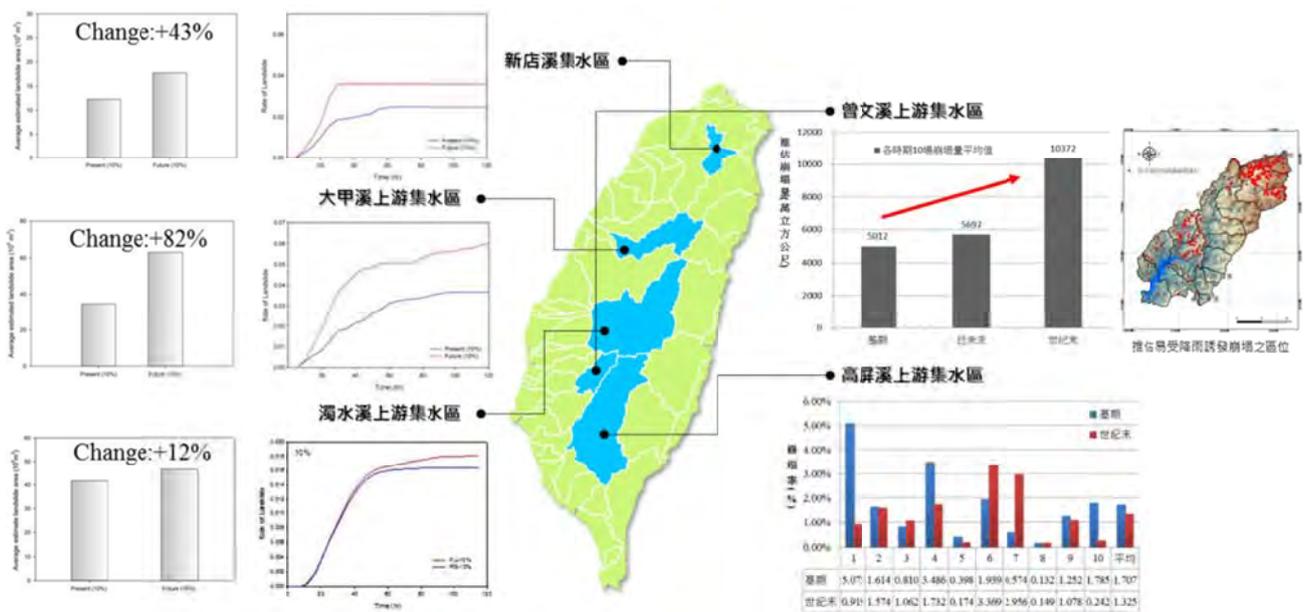


圖 5.15 五大流域崩塌模擬結果

5.4.2 土石流

各流域土石流最極端事件模擬成果如表 5.4；以濁水溪為界，臺灣北部的土石流模擬結果以世紀末較為嚴重。整體而言，世紀末土石流所產生的泥砂量較基期增加 11%~130%，尤其以大甲溪增加 130% 最為顯著。因大甲溪流域在 TOP1 中，世紀末總降雨量較基期增加 15%，且降雨延時亦增加 6 小時；造成大甲溪上游集水區土石流的泥砂產量大增。高屏溪部分，土石流造成的土砂量世紀末較基期減少了 19%。此結果與崩塌模擬相似，均為基期較世紀末嚴重。雖然世紀末的 24 小時累積雨量，世紀末為基期的 1.34 倍；但是總雨量卻是世紀末較基期減少 2.6%，而且基期的降雨延時多世紀末 6 小時。由於降雨延時基期較世紀末長，故造成土石流及崩塌在基期所造成的土砂量較世紀末嚴重。另外因曾文溪集水區僅模擬世紀末事件，故無法比較。

表 5.4 各流域土石流最極端事件模擬成果

	基期(m ³)	世紀末(m ³)	改變率(%)
新店溪	1.2 × 10 ⁸	1.5 × 10 ⁸	29
大甲溪	8.3 × 10 ⁸	19.2 × 10 ⁸	130
濁水溪	84.5 × 10 ⁶	93.9 × 10 ⁶	11
曾文溪	-	31.5 × 10 ⁶	-
高屏溪	88.0 × 10 ⁶	71.6 × 10 ⁶	- 19

5.4.3 輸砂

由於淡水河及曾文溪均假設上游土砂進入水庫後不往下游運移，故成果呈現大甲溪、濁水溪及高屏溪等三個流域的輸砂沖淤模擬 (圖 5.16)。整體而言，濁水溪與高屏溪呈現淤積情形；而大甲溪在未來則會呈現河道下刷之情形，須注意河道刷深所帶來之影響。而濁水溪流域則因基期與世紀末流量推估結果並無明顯差異，所以在世紀末淤積情形僅較基期微幅增加。在高屏溪流域雖然基期與世紀末均呈現淤積之情形。雖然高屏溪流量推估，世紀末最極端事件流量高出基期甚多；但基期的淤砂情形較世紀末嚴重。因此，在高屏溪流域未來仍需注意淤砂所造成的供水問題。

5.4.4 淹水

根據模擬結果顯示，極端降雨事件在世紀末所造成的淹水範圍均大於基期。以大甲溪下游為例，極端降雨事件前 10% 的世紀末總降雨量大於基期，且降雨延時世紀末較基期短之結果。此結果造成世紀末時期，洪峰流量增加且洪峰到達時間縮短；因此大甲溪下游地區受淹水面積比率世紀末較基期提升了 3.7% (圖 5.17)。

圖 5.18 為世紀末最極端事件淹水模擬成果圖。另結果顯示，大甲溪與濁水溪的淹水問題均為區域排水不及宣洩洪水所造成，故為內水問題。而曾文溪及高屏溪在中上游少部分堤防，經模擬結果發現，會發生溢堤情形。所有模擬結果並未加入區域排水與下水道設施，未來若有資料建議加入模式中，可使模擬結果更趨近真實。

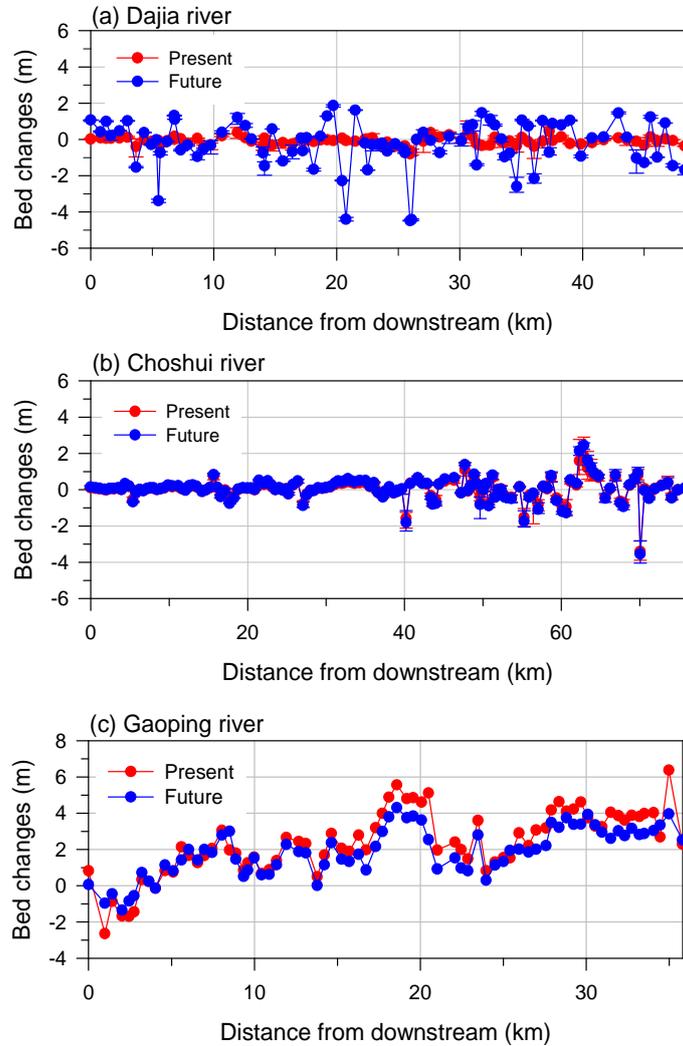


圖 5.16 輸砂模擬結果

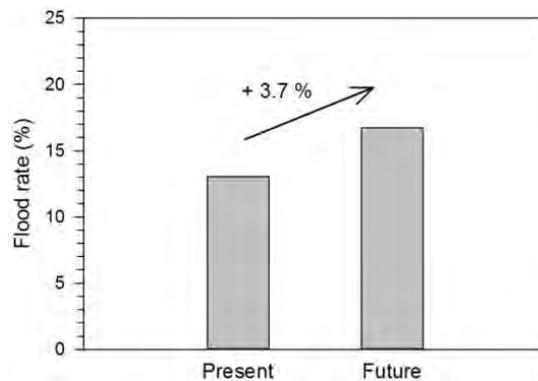


圖 5.17 大甲溪下游極端降雨事件前 10% 淹水模擬結果

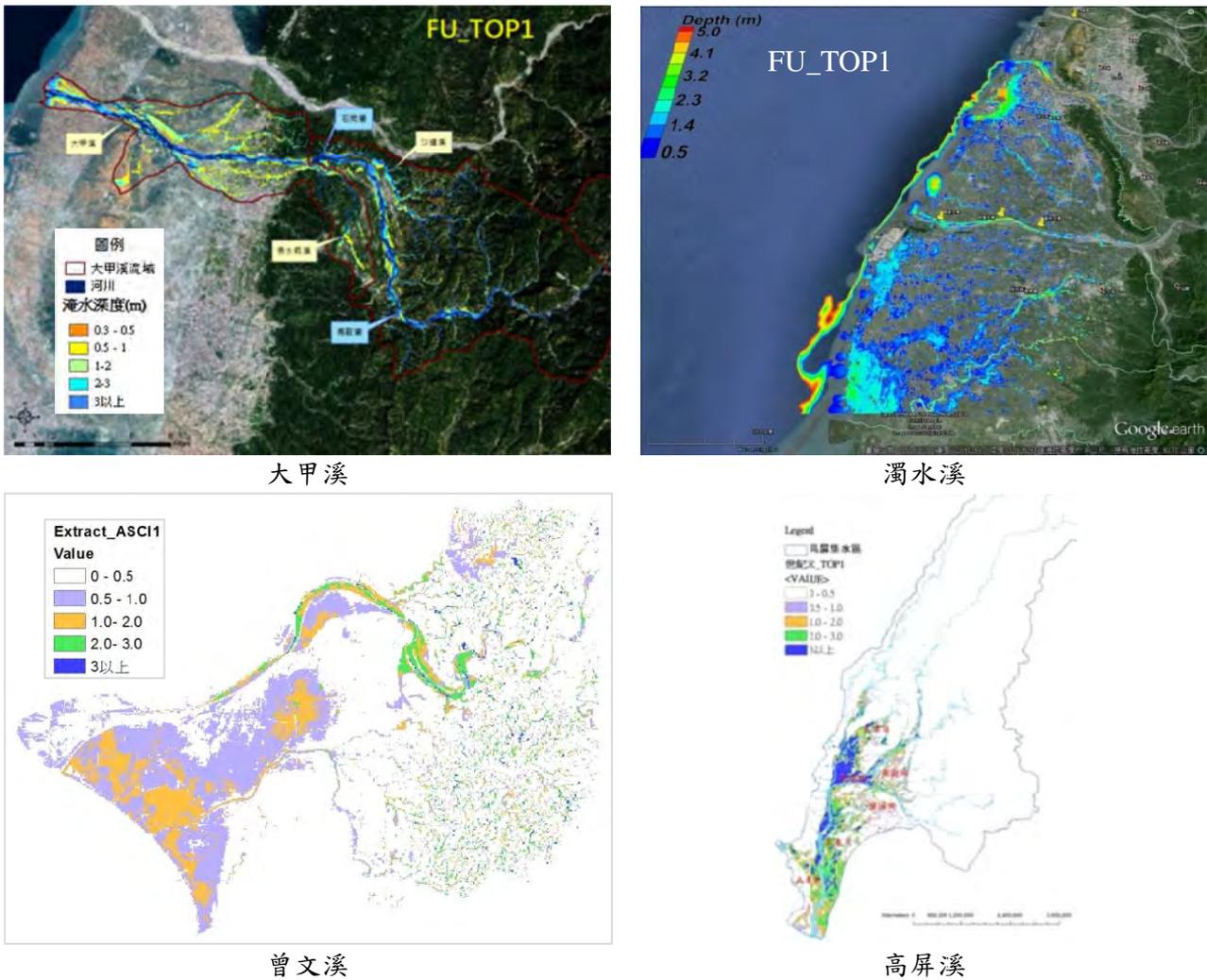


圖 5.18 世紀末各集水區最極端事件淹水模擬結果

5.5 水資源影響與評估

5.5.1 假設最劣假設情境為滿足水文領域對氣候變遷條件下降尺度資料之需求，其中假設最劣情境 (worst case) 依據多重模式平均 (multi-model ensemble) 之各月降雨豐枯改變率為參考座標，為符合多重模式平均豐愈豐且枯愈枯之降雨情境，假設最劣情境是將豐水期 (5~10月) 加 1 倍標準差枯水期減 1 倍標準差之所產製的月降雨改變率；其中標準差來自於該月份所有模式降雨變化之統計值。為瞭解 AR4 與 AR5 資料對水資源之影響，本計畫將 AR4 與 AR5 全臺網格平均各月降雨改變率進行比較。圖 5.19 呈現近未來與世紀末期間各月份之系集平均 (ensemble mean) 與假設最劣情境的降雨變化。另外，從圖 5.19 可明顯發現，AR5 於世紀末豐增枯減趨勢較近未來明確，故世紀末影響大於近未來時期。

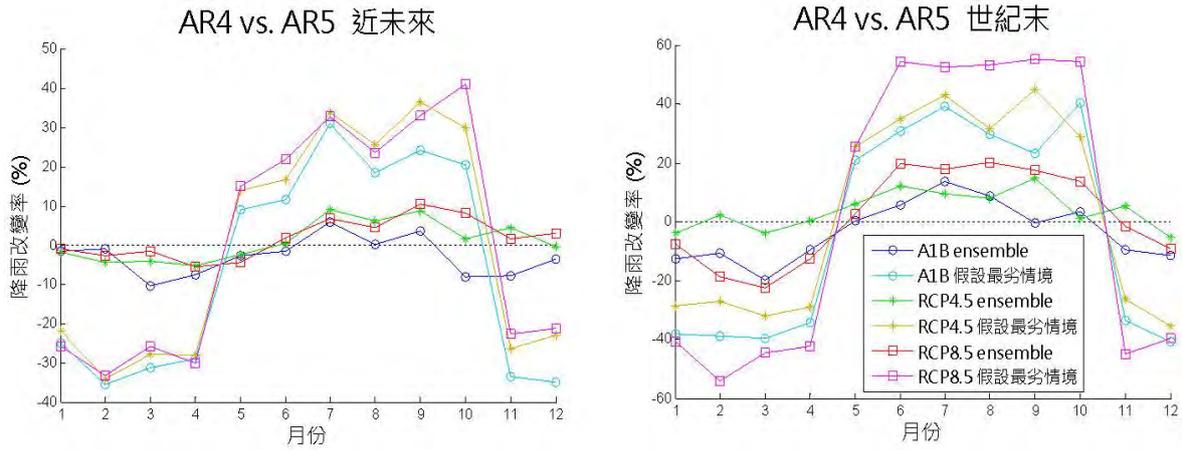


圖 5.19 AR4 與 AR5 最劣情境之降雨改變率比較

5.5.2 氣候變遷降雨特性探討

將 AR5 各 GCM 模式之各月降雨改變率，利用盒鬚圖呈現降雨變化率的分佈，並將各月份降雨改變率的多模式平均結果與假設最劣情境，繪製於圖 5.20 中。在近未來時期，月降雨改變率約介於 -20 ~ -30% 之間，而豐水期的降雨改變率介於 15% ~ 30% 之間；故枯水期在不同 RCPs 中各月差異不大。然而在世紀末時期，RCP8.5 的改變率約介於 -50%，而 RCP4.5 則是介於 -30% 之間。由此可知，在枯水期 RCP8.5 的改變率明顯較 RCP4.5 嚴重許多。根據上述結果可瞭解，假設最劣情境在近未來期間的不同排放情境的降雨影響差異不大，在世紀末時 RCP8.5 的降雨影響量較為顯著。

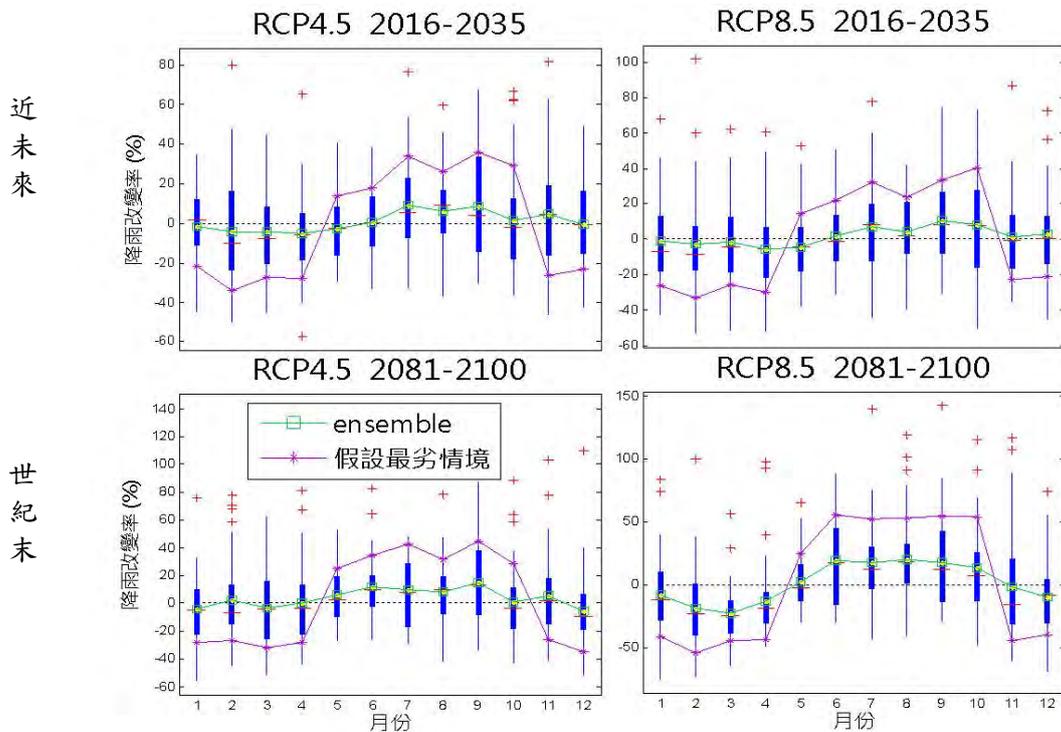


圖 5.20 最劣情境假設下近未來與世紀末於 RCP4.5 與 RCP8.5 情境下月降雨改變率

豐枯水期的降雨特性評估，主要是依據各月降雨改變率計算豐枯水期的平均降雨改變率，並以 4 個象限呈現變化。圖 5.21 為近未來與世紀末期間各 GCM 模式豐枯特性結果，圖中可知全臺降雨區域平均，RCP4.5 與 8.5 情境於兩個推估期都是以豐增枯減特性（第 IV 象限）的模式數量相對較多。其模式降雨改變率約於在近未來期間，豐水期降雨變化增加約為 20%，而枯水期則是減少-20%；世紀末降雨改變率衝擊加重成豐水期增加 40%，而枯水期則減少 40%。

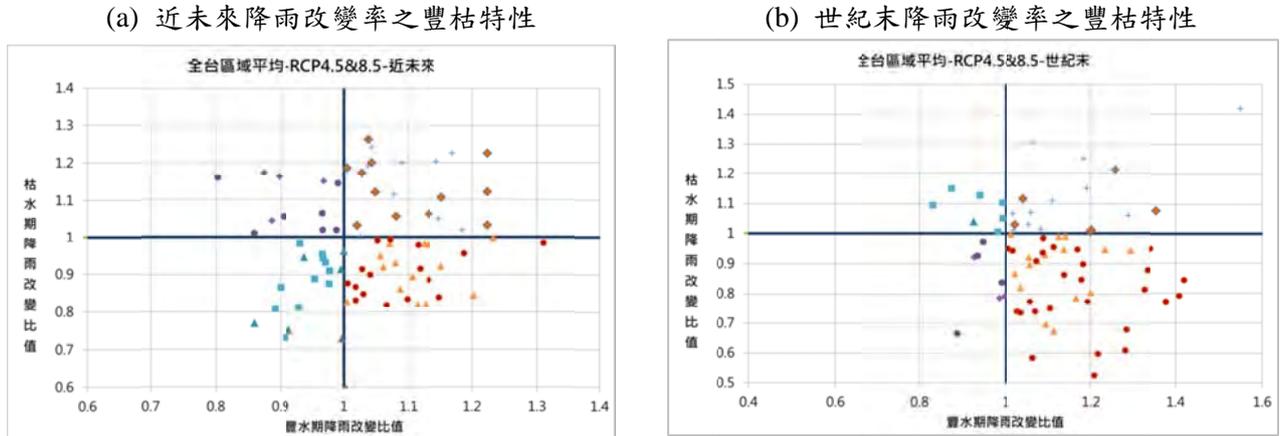


圖 5.21 近未來與世紀末豐枯水期降雨改變率成果圖

5.5.3 氣候變遷對流量影響

氣候變遷對水資源的影響部分，主要利用 AR5 統計降尺度的 5 km 網格的月降雨與月溫度資料，進一步分析各月份的流量變化，評估近未來與世紀末期間，豐枯水期平均流量的變化。圖 5.22 利用累積機率圖表示所有 GCM 模式在豐枯水期時之流量變化率，圖中包含 AR5 的 4 種情境與 AR4 中 3 種情境 (A1B、A2、B1) 流量改變率結果。再豐水期時，AR4 情境下流量增加量約 0~15%，而 AR5 情境下豐水期流量影響增加至 0~40%，且有 50% 以上的機率是呈現流量增加的趨勢；故 AR5 相對 AR4 的情境其增加的趨勢更為顯著。在枯水期時，AR4 中約 70% 模式呈現枯水期流量減少的情形。但 AR5 情境下，約 65% 之模式於隘寮溪呈現枯水期流量增加的情形，其流量變化介於 0~100% 之間，約增加 1 倍的流量。

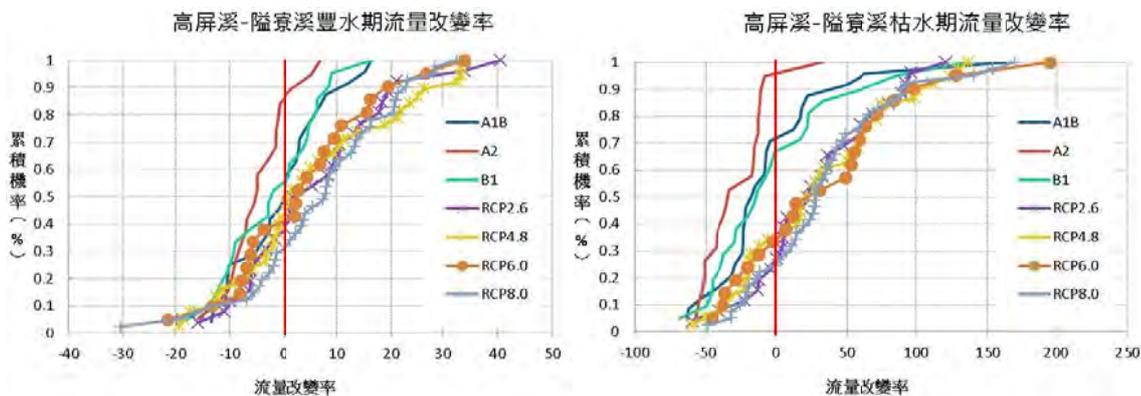


圖 5.22 AR4 與 AR5 豐枯水期流量變化比較以隘寮溪為例

5.5.4 水資源衝擊評估模式挑選

TCCIP 針對 AR5 情境與模式的挑選上，除了延續 AR4 挑選模式方法，並進一步改善挑選模式的不確定與主觀性問題，以提供使用者更多資訊，以利使用者應用於衝擊端評估。首先挑選 GCM 模式模擬夏季季風時序表現較佳之模式；再依據 T-Skill Score 定量整合分析各 GCM 模式於夏季季風降雨時序之模擬結果進行排名 (圖 5.23)。

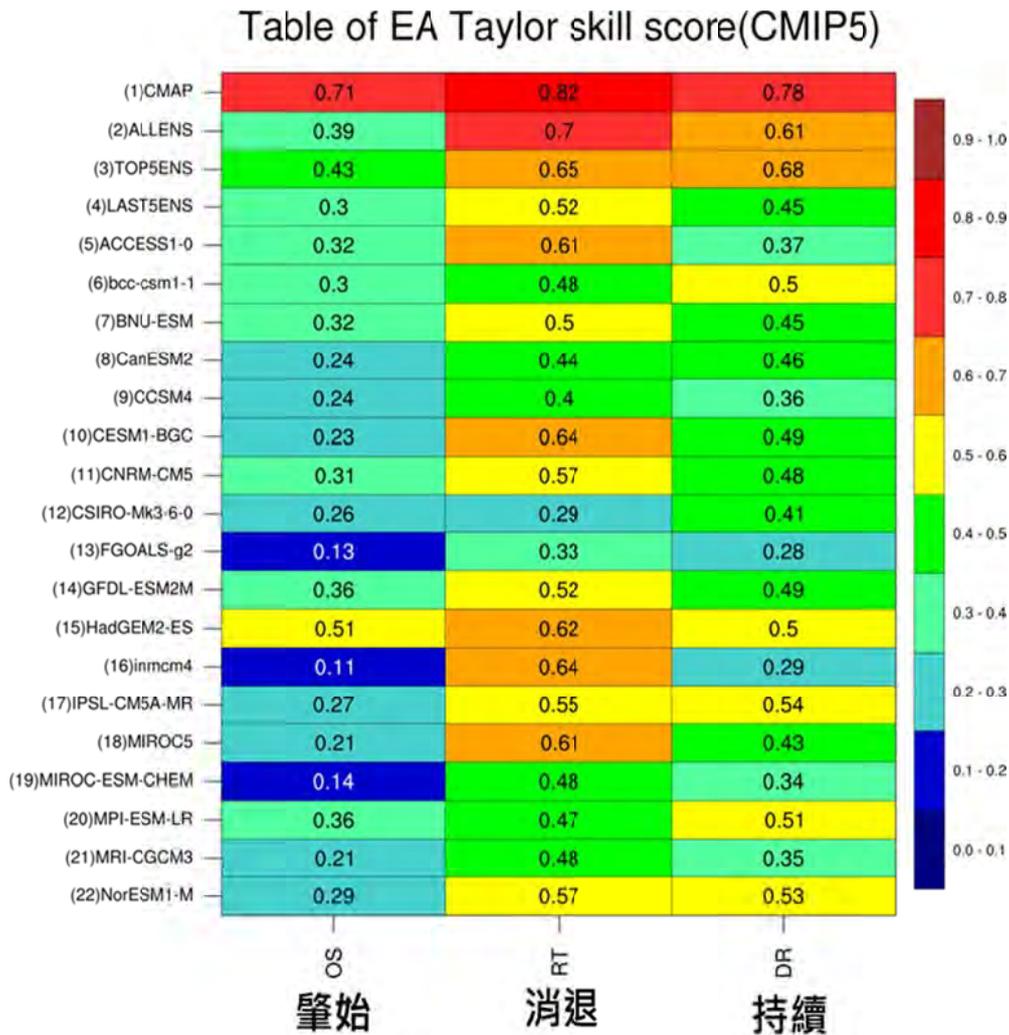


圖 5.23 T-Skill Score 統計定量整合 CMIP5 個別模式空間分布之矩陣分析圖

最終選取 13 個相對模擬東亞季風時序較佳 GCM 模式，進一步分析氣候變遷可能造成的衝擊。可由此 13 模式變化區間瞭解未來可能的降雨變化，以挑選相對最劣的情境進行衝擊評估分析 (圖 5.24)。此部分改善過去 TCCIP 第一期，以較主觀的方式，將各月份的降雨依據豐枯水期加減一倍標準差的方式設定最劣情境。除了區分模式的豐枯特性的類別之外，並提供在不同降雨變化區間內 GCM 模式的數量，如表 5.5 所示。表中統計在近未來期間 RCP8.5 與 RCP4.5 情境中，在豐枯水期降雨改變率區間之模式數，由表中可知降雨改變率以豐水期雨量

增加 0~15% 且枯水期減少 10% 以上的模式數量較多，此區間矩陣表提供使用者可以更加瞭解 GCM 模式的豐枯水期降雨變化，使用者除了可挑選降雨區間中較多的模式之外，亦可挑選相對有較極端的改變率的 GCM 模式進行評估。

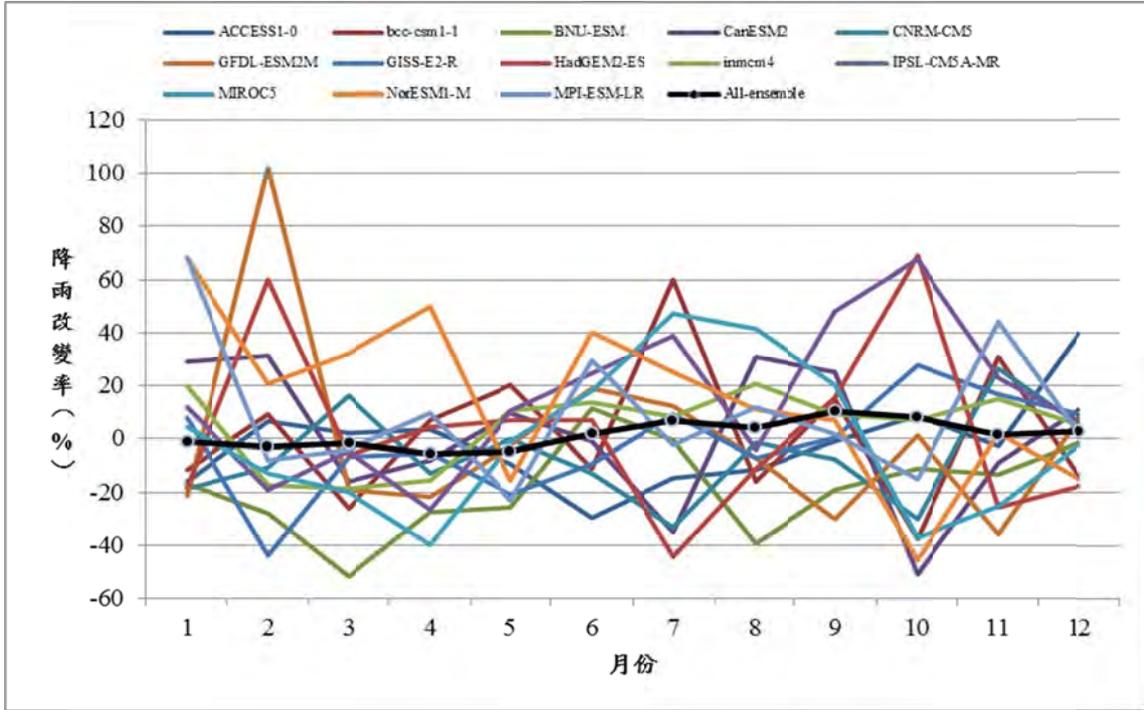


圖 5.24 挑選較佳 13 個 GCM 模式之各降雨月改變率

表 5.5 GCM 模式的豐枯水期降雨變化區間之 GCM 模式數 (近未來)

		枯水期平均降雨改變率					
		>15	6~15	0~5	-5~-1	-10~-6	<-10
豐水期平均 降雨改變率	>15	2	2	2	3	1	1
	6~15	2	3	1	7	3	8
	0~5	6	1	2	0	2	5
	-5~-1	1	2	2	2	4	3
	-6~-10	0	1	0	1	1	3
	<-10	3	0	2	0	0	3

第六章 氣候資料服務與推廣應用

Team 4：氣候資料服務與推廣應用	
工作重點項目	進度與成果說明
1. 提供氣候資料服務	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 資料申請平台 ■ TCCIP 氣候資料使用分析 ■ 資料生產履歷 	<ul style="list-style-type: none"> □ 完成資料申請平台網站。彙整 TCCIP Team1、Team2 所產製之歷史觀測與未來推估資料，建構資料申請平台，設計友善介面，提供使用者線上申請與下載服務，並於 103 年 3 月正式上線。相較第一期，已明顯提高資料申請效率，大幅縮短申請者資料取得時間。[6.1.1 節] □ 申請者有 43% 來自科技部補助之計畫，34% 為部會屬下研究計畫，15% 為其他類別，如各學校補助項下研究計畫或是法人單位使用，8% 為地方政府執行地方調適計畫應用。[6.1.2 節] □ 分析申請者使用屬性發現，八個領域中，近一半的領域皆為觀測與推估資料一併申請，公衛領域則以申請觀測資料之比率較高，可能原因為公衛領域大多以季節尺度的研究為主，如：登革熱、心血管疾病。透過使用者分析，可提高資料使用效率及作為開發新產品之研發方向。[6.1.2 節] □ 本申請平台上線後，資料申請案件持續增加，截至 2016 年 5 月底為止申請帳號的人數 118 人，資料申請的件數則為 138 件次，平均每個月申請件數約為 5 件次。[6.1.1 節] □ 建置完成下列資料的生產履歷：歷史網格化資料（月雨量、溫度）、動力降尺度未來前十名強降雨颱風時雨量、AR4 月推估網格化資料（雨量、溫度）。[6.1.1 節]
2. 建置第二期資訊平台	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 第二期資訊平台建置與維運 ■ 氣候變遷知識轉譯與服務 	<ul style="list-style-type: none"> □ 本年度完成第二期新版資訊平台，並於 104 年 3 月正式上線測試，6 月 24 日科技部召開記者會對外正式發布。呈現資料以最新 AR5 資料為主。研究結果更於記者會後受到能源領域相關部門的重視。[6.2 節] □ 新版網站除了呈現氣候變遷推估結果與過去變遷趨勢分析外，更重視氣候變遷資訊之傳遞與轉譯，其內容包含三個單元：氣候變遷資料與圖資、氣候變遷知識、即時資訊。相關訊息持續更新中。[6.2 節] □ 完成氣候知識 FAQ，以及國內外重要報告摘要整理，本計畫歷年計畫簡報、演講以及研討會相關影音檔整理。[6.2 節]

Team 4：氣候資料服務與推廣應用	
工作重點項目	進度與成果說明
	<input type="checkbox"/> 完成 IPCC 第五次評估報告 Working Group I 之導讀工作，並統整報告及影片之中文版製作，提供於網路上推廣介紹。[6.3 節, 6.4 節] <input type="checkbox"/> 英文版資訊平台於 105 年 3 月正式上線，提高國際交流效率與能見度。[6.2 節]
3. TCCIP 計畫成果推廣	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 資料使用者經驗分享研討會 ■ 分區資料說明會 ■ 科學社群溝通 	<input type="checkbox"/> 103 年 3 月舉辦資料使用者經驗分享研討會，參與人數約 100 人。本計畫根據不同領域使用者分享之經驗與意見，彙整相關意見，作為本計畫執行推動之參考，例如能源領域所需之風場、輻射量等資料，本計畫持續評估目前資料之可用性。 <input type="checkbox"/> AR5 統計降尺度資料產製以及資料申請平台完成後，於 103 年 10 月舉辦北、中、南、東四區資料說明會，四場參與總人數超過 350 人。辦理之後資料申請人數明顯增加。 <input type="checkbox"/> 瞭解科學資料如何被運用，也為了瞭解氣候科學資料供給與需求之間是否存有落差，執行期間針對「資料申請者/使用者」、「調適政策制定者」進行調查訪談研究，一方面希望能將資料使用經驗回饋至資料服務流程中，二方面也希望藉由面對面的溝通了解未來氣候服務的發展潛能。 <input type="checkbox"/> 於 2016 年臺灣地球科學聯合學術研討會舉辦期間 (5/16~5/20)，設立展覽攤位介紹與推廣 TCCIP 研發成果與資料服務。
4. 計畫形象與推廣文宣設計	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 文宣設計 	<input type="checkbox"/> 為有效推廣本計畫成果與宣達本計畫之形象，完成計畫 logo 設計、文宣品、簡報版型、海報版型，並於相關資料說明會、文宣推廣、研討會、對外演講與教育訓練使用。
5. 科學報告第二版	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 科學報告撰寫 ■ 編輯工作小組 	<input type="checkbox"/> 完成第二版科學報告物理現象之描述，預計年底完成出版。
6. 國際交流	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 與日本 SOUSEI 計畫之交流 ■ 國際研討會 	<input type="checkbox"/> 本期計畫持續與日本 SOUSEI 計畫進行國際合作，項目包括：高解析度模式資料交換、相互參與雙方舉辦之學術研討會、資料應用研究等，也會利用參與其他國際學術研討會的機會召開

Team 4：氣候資料服務與推廣應用	
工作重點項目	進度與成果說明
<ul style="list-style-type: none"> ■ 擴展國際合作對象 	<p>閉門會議。</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 每年舉辦國際研討會，並逐步收斂討論議題。 □ 先後拜訪澳洲、英國與荷蘭等國家之氣候變遷發展方向，收穫頗豐。

氣候變遷的資料服務與溝通是 TCCIP 計畫的核心價值；將科學訊息（包括知識、觀念等資訊）正確、廣泛、深入、快速且有效地傳遞出來給接收者則是 Team4 的工作核心。訊息傳遞流程中的基本要素包含：資訊來源 (Information Source)、傳送者 (Sender)、管道與媒介 (Channel)、接收者 (Receiver)、訊息接收目的地 (Destination)、訊息 (Message)、轉譯 (Encode 及 Decode)、回饋 (Feedback) 等，在訊息及資訊傳遞的過程中，有許多因素會影響資訊傳遞的效果，其中理解科學知識便是解決問題的第一步驟。訊息的接收者（包括不同領域科技社群學者、政策制定者、利害團體等）因其學術背景及對氣候變遷知識的理解能力不同，需要不同程度的轉譯；如何將相關複雜的氣候變遷科學資訊正確且有效地傳遞，以利接收者作出適當的因應措施，便是 Team4 的重要任務。

Team4 針對科學研究者、政策制定者、利害團體及一般大眾等不同對象設定不同的氣候變遷資料／資訊／知識溝通與服務的執行策略及目標 (圖 6.1)，並以第一類 (科學研究者) 及第二類 (政策制定者) 為主要服務對象。針對不同資訊接收者，TCCIP 計畫團隊設計不同資訊傳遞的管道與媒介，期待接收者透過視覺、聽覺及動手操作等方式有效的接收到計畫團隊所要傳遞的訊息內涵，並給予適當的回饋。



圖 6.1 TCCIP 氣候變遷科學知識溝通與服務策略

6.1 氣候變遷資料服務

6.1.1 資料申請平台

針對本計畫產製的龐大的氣候資料，本計畫第一期之資料提供服務僅以書面方式列表及後續聯絡，為加快資料應用推廣，第二期計畫第一年即開始建置線上資料服務系統—「資料申請平台」；經過內部測試，已於 2014 年 3 月正式上線對外服務，使用者可於資料申請平台觀看資料申請清單、資料範本展示；通過申請帳號並經過計畫辦公室的資料使用溝通後可於平台上下載所需資料（資料申請流程如圖 6.2）。

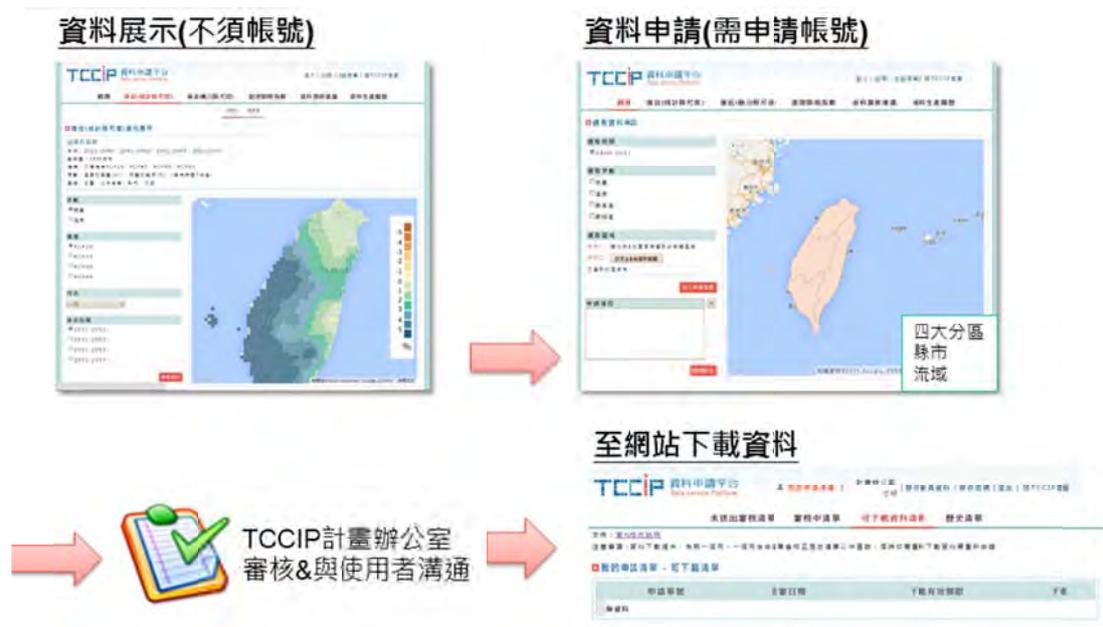


圖 6.2 TCCIP 資料申請平台瀏覽與申請流程

目前資料申請平台內有臺灣過去觀測資料及臺灣未來推估資料可供申請，包含觀測網格化資料、推估（統計降尺度）、推估（動力降尺度）及臺灣降雨指數（TRI-m、TRI-mex）等，各類型資料內容概述如下：

- (1) 觀測網格化資料：是由 Team1 所產製 1960~2012 年全台 5 公里解析度月降雨、平均溫度、最高溫及最低溫。
- (2) 推估(統計降尺度資料)：是由 Team2 所產製 IPCC AR4 & AR5 大氣海洋環流模式 5 公里解析度推估未來 2020~2100 年月溫度、雨量資料。
- (3) 推估(動力降尺度資料)：是由 Team2 所產製 WRF 5 公里動力降尺度推估(使用 AR4 資料)，未來 2020~2100 年前 20 名颱風事件時雨量。
- (4) 臺灣月降雨指數(TRI-m)：是由 Team1 所產製 1901~2000 年測站月降雨指數時序。

(5) 臺灣月降雨指數延伸(TRI-mex):是由 Team1 所產製 1885~2010 年測站月降雨指數時序。

TCCIP 資料申請平台內容架構分為資料展示頁面、資料申請頁面、個人申請清單頁面、個人資料修改頁面、資料審核介面及管理介面等，另外提供使用者以情境的方式來選取資料及資料生產履歷等，以下針對各項功能做說明：

❖ 資料展示頁面

資料展示頁面說明資料的種類及類型，並簡單展示資料呈現的面貌，例如觀測展示各項溫度、雨量四季的分布，統計降尺度則展示不同推估時間、不同情境下每個月的變化狀況等，使用者可於此頁面先了解資料的特性，並於各資料頁面進行該種資料的申請作業。

❖ 資料申請頁面

使用者在未登入的狀態下可使用圖形化的方式選擇四大分區、流域、縣市，先加入各種資料申請清單後，確定要申請就須先申請會員並登入，才能統一彙整到資料暫存區。

❖ 我的申請清單

此區提供使用者資料申請的項目、進度等包括檢視所申請資料的項目、審核中清單、可下載清單及歷史清單等功能，於未送出審核清單可挑選或刪減此次要申請的項目，並送出申請；當資料審核完畢後，使用者即可到可下載資料清單下載所申請資料，在該區域也有資料格式說明，每份資料可預設可下載期限為一個月，之後即會移到歷史清單當中。

❖ 資料服務建議

由於氣候變遷資料並不是那麼容易了解，且依據過去的經驗，大部分的申請者都是申請所有的資料項目，因此設計此欄位，以情境式引導使用者可能的資料用途，並可選取所有的資料項目或是提出其他的需求。

❖ 資料生產履歷

雖然每件次的資料申請案都會先與申請者就資料特性及應用限制與使用者溝通；為增加資料品質及提升使用者信心，計畫團隊建立資料生產履歷，標準化呈現資料的屬性說明及資料產製方式與流程。

❖ 資料審核介面

為了解資料使用狀況及使用者需求，仍需通過審核之後才能讓使用者下載資料，審核的流程，包括一開始由 TEAM4 負責依據資料屬性分派給 TEAM1~TEAM3，TEAM1~TEAM3 與使用者溝通完畢後，並經過計畫主持人審核後，始可提供資料 (審核流程如圖 6.3)。

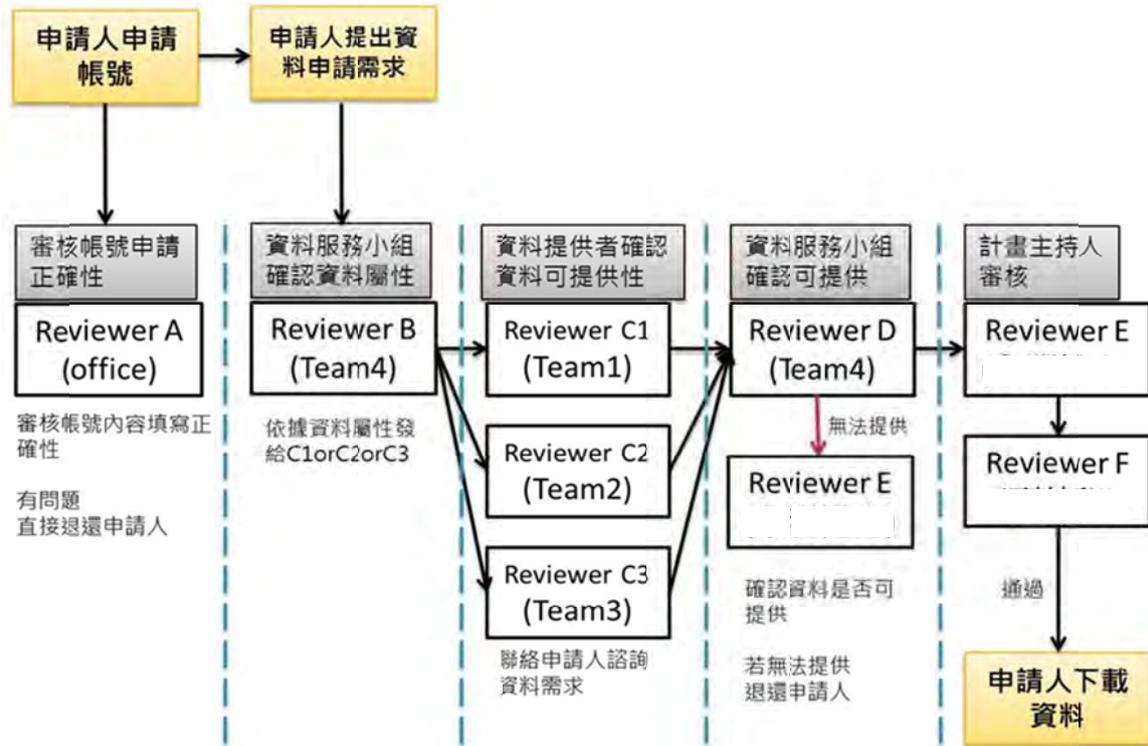


圖 6.3 資料申請案審查流程

❖ 管理介面

管理介面提供了審核者帳號管理、申請者資料管理、申請資料進度管理等帳號及資料審核進度管理的功能，另外提供申請資料統計的功能，可快速製作資料申請的統計圖表。

截至 2016 年 6 月底為止申請帳號的人數 125 人，資料申請的件數則為 142 件次，平均每個月申請件數約為 5 件次 (圖 6.4)。

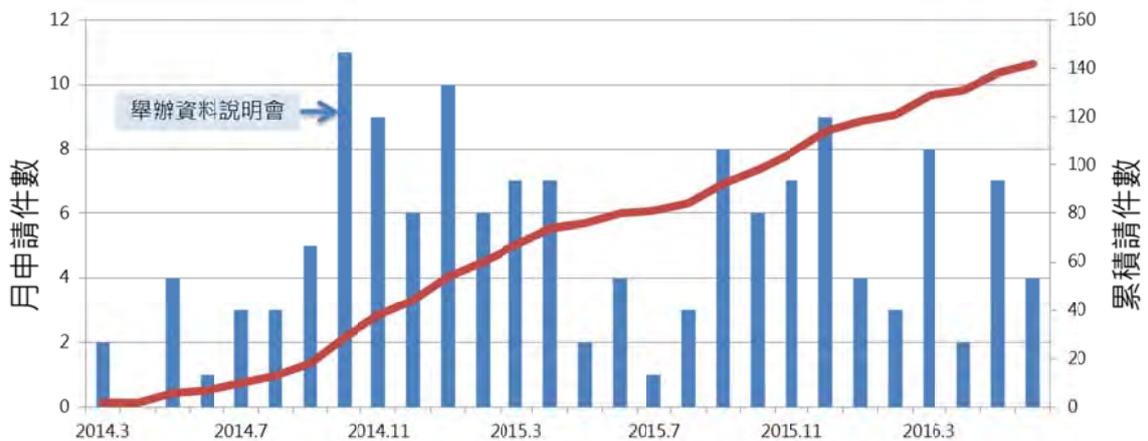
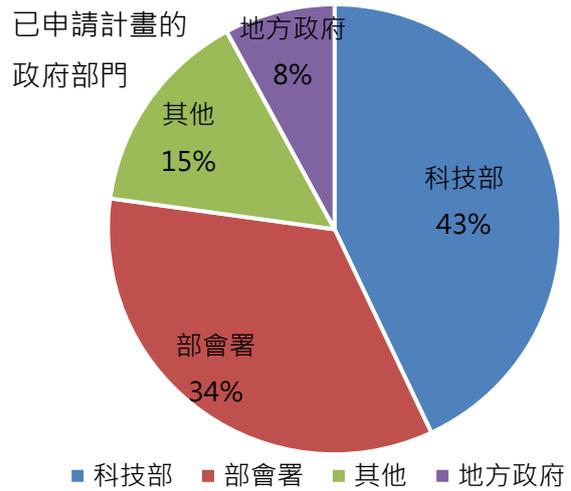


圖 6.4 資料申請平台申請件數統計

6.1.2 TCCIP 氣候資料使用分析

本期計畫第三年度執行期間完成第一版資料使用者分析報告；相關結果則可用以調整計畫推動策略與產品優化。分析結果概述如下：

- ❖ 超過 95% 均為學校與學術機構申請研究用，其中 68% 來自大專院校，另外則有如中央研究院、商業發展研究院、中華經濟研究院、國土規劃及不動產資訊中心、國家衛生研究院、特有生物研究保育中心、農委會林業試驗所等機構申請。
- ❖ 申請的計畫 43% 來自科技部補助，34% 為部會署研究計畫，8% 為地方政府執行地方調適計畫；另外 15% 則為各學校補助項下研究計畫或是法人單位使用，應用單位如下表。

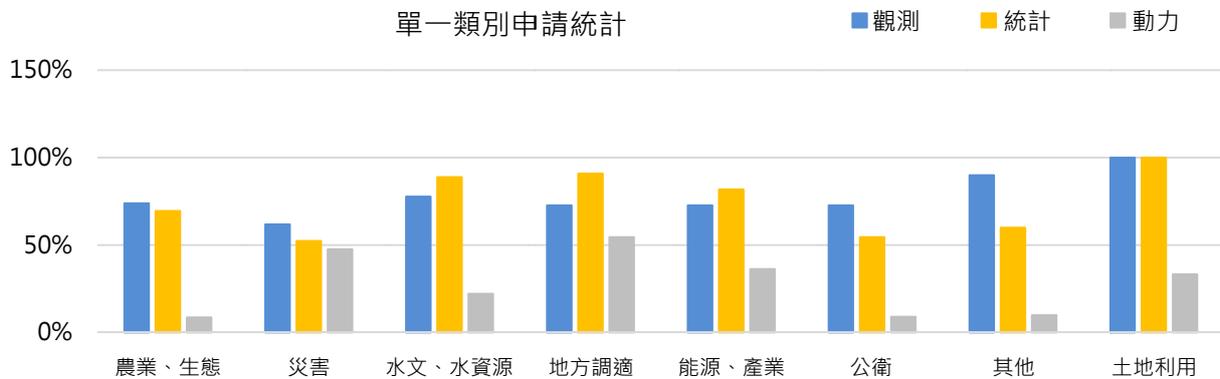
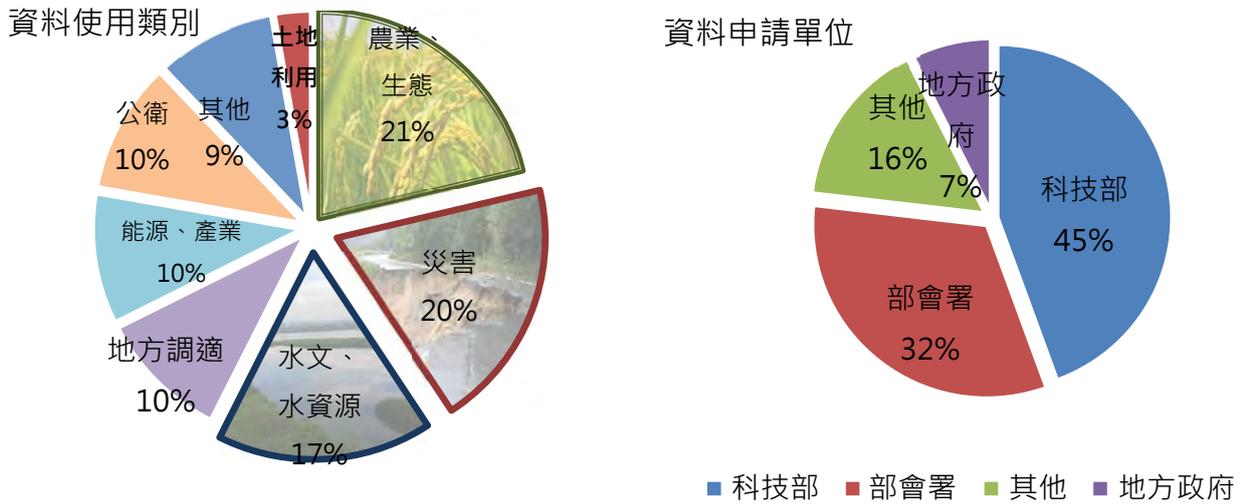


計畫來源	計畫數	單位
科技部	49	中研院、中國醫藥大學、中興大學、文化大學、臺南大學、臺灣大學、成功大學、屏科大、海洋大學、高雄海洋大學、中央大學、臺北大學、國立臺北教育大學、國立聯合大學、NCDR、淡江大學、師範大學
部會署	39	經濟部能源局計畫、內政部營建署計畫、國發會計畫、農委會林務局計畫、雪霸國家公園計畫、農委會水利處計畫、水保局計畫、衛福部計畫、玉山國家公園計畫、經濟部工業局計畫、水利署計畫、墾丁國家公園管理處計畫、
地方政府	9	高雄市政府、雲林縣政府、臺南市政府、嘉義市政府、桃園市政府、嘉義縣政府、臺中市政府、新北市政府
其他	17	中央大學、臺灣大學、中研院、中興大學、工研院、國研院鮑洪中心、商發院、勤益科大、國衛院

- ❖ 使用者研究領域大致可分成以下八類：農業/生態、災害、水文/水資源、地方調適、能源/產業、公衛、土地利用、其他(氣象)。其中農業/生態申請案件最多佔 21%，災害次之佔 20%，接下來則是水文/水資源，約佔 18%。
- ❖ 各領域對資料的需求屬性不同，農業/生態及災害領域在資料申請上申請觀測+推估資料類別比例約佔 40%；災害領域單申請推估、觀測+推估比例約各占一半；水文/水資源、地方調適、能源/產業同時申請觀測+推估超過 60% 以上；公衛申請較多觀測資料；土地利用領域則是全部申請觀測加推估作分析研究。
- ❖ 近一半的領域都是觀測加上推估資料一併申請，可以用觀測資料和未來推估的狀況做比較，除公衛及其他選項中偏氣象的部分，僅申請觀測比率較高，原因是因為公衛領域及

氣象領域大多著重季節尺度的問題作研究，如：登革熱、心血管疾病。

- ❖ 動力降尺度資料較少申請，動力降尺度的申請領域多為地方調適及災害類別，其使用需較細網格及區域的資料，但動力降尺度為單一模式結果，在使用提供上會較謹慎，在提供前本計畫的溝通需較謹慎，確定期計畫研究可以用動力降尺度資料，才予以提供，並告知其為單一模式的結果，不確定性較高，因此在申請比數上也較少計畫申請動力降尺度資料，如何用多模式的結果，修正動力降尺度的資料，這部分是需加強的地方。



6.2 氣候變遷知識轉譯_TCCIP 第二版資訊平台

TCCIP 計畫自 2010 年起開始建構臺灣氣候變遷資訊平台網站，並於 2011 年 8 月正式上線服務 (<http://tccip.ncdr.nat.gov.tw/>)，以互動式操作及圖形化介面，提供政府單位及研究人員有關臺灣過去氣候變遷的狀況，以及未來氣候變遷的推估結果，並於 2012 年開始作為提供氣候變遷數據資料的入口網站，至 2015 年 6 月為止已有 6 萬到訪人次。

因應 IPCC 第五次評估報告的公布，TCCIP 資訊平台網站架構與內容全面更新，依據 TCCIP-I 使用者的經驗回饋發現，TCCIP 資訊平台對使用者來說仍是一個展示臺灣氣候變遷資料為核心的網站，另外使用者會想要知道更多氣候變遷的知識，以利他們取得資料後進行

研究，而 TCCIP 歷年來也舉辦了相當多的活動，但是並無統一的入口可知道 TCCIP 最新資訊的地方。依據以上的概念，第二期資訊平台，定位需有三個主要的主題：「資料、知識、資訊」，並希望提供互動視覺化可使用的資料讓使用者可自行挑選想要查看的區域過去及未來變化、邀請團隊成員或是外部撰稿者撰寫正確及客觀的專家知識並有定期更新的資訊以增加網站的黏著度，其中後兩者是第一期網站非常缺乏或是沒有的，但是如前所述，TCCIP 計畫的核心仍是資料，藉由資料展示進而提供服務，是目前資訊平台主要提供的功能，因此在第二期資訊平台資料展示部分仍是會佔最大的比例約 60%，知識則是第二期計畫想要積極推廣的因此會佔第二大的比例約 30%，資訊則礙於人力收集有用的資訊並不容易，因此會佔比較小的比例約 10%，第二期資訊平台架構如圖 6.5 所示。



圖 6.5 第二期資訊平台架構

在依照上述的比例進行網頁的比重的分配進行網站的製作後，第二期資訊平台已於 2015 年 6 月 24 日「全球氣候變遷/在地科學資料：自己的氣候自己算」氣候變遷推估資訊平台」新版網站發表記者會上正式公開上線。新版網站整合我國原始氣象資料以及模式推估未來百年的氣候變遷資料，並加值處理，使其資料可提供進階研究使用；其中，未來推估資料因應 IPCC AR5 的發布，已更新到使用 AR5 的 4 種情境及 41 種模式來推估未來臺灣百年的變化趨勢。

除了資料展示之外，TCCIP 計畫也肩負著氣候變遷知識推廣的任務，因此新版資訊平台增加了氣候知識專欄、TCCIP 歷年舉辦推廣活動及 TCCIP 出版品等，提供更多元的知識與資訊；網站內容彙整超過 7 萬筆氣候資料、10 萬張圖片。更擴充功能提供一使用者友善之互動

介面（可依使用者不同需求輸入選項出圖，並進行比較分析）。同時該網站也整理了 TCCIP 舉辦之歷年研討會的簡報 180 份、影片 140 則，以及 TCCIP 出版的專書 3 本…等。總計研究團隊所產製之氣候變遷資料將近 600 Terabyte。

到 2016 年 4 月為止將近一年間，到訪人次已超過 16 萬人，遠超過第一期 4 年間的到訪人次，每日到訪人數也平均有 400 人次。

資料(過去變遷、未來推估)：

過去變遷包含測站資料、網格資料及颱風資料，測站資料觀測時間較長（依測站設站時間，最長達百年），為 28 個中央氣象局局屬測站的溫度、雨量、溼度、風速的時序變化資料；網格資料則是 TCCIP 計畫使用全臺 51 個單位超過 1500 個測站進行資料網格化後的 5km x 5km 溫度及雨量網格資料，時間為 1960-2012 年，網格資料時間較短但是較測站資料多了空間分佈，另外也提供了時序變化及分區比較資料；颱風資料則包含了影響臺灣颱風、路徑 4 分類（TCCIP 定義）及 10 分類（CWB 定義）及西太平洋個數/強度年際變化。未來推估則使用 IPCC AR5 的 5km x 5km 網格推估 2021-2100 年的溫度及雨量，除了有空間分佈外，為讓使用者能比較不同情境、模式、未來推估時段，另外有推估時間比較、情境比較、單情境/多情境時序變化比較等功能（圖 6.6）。

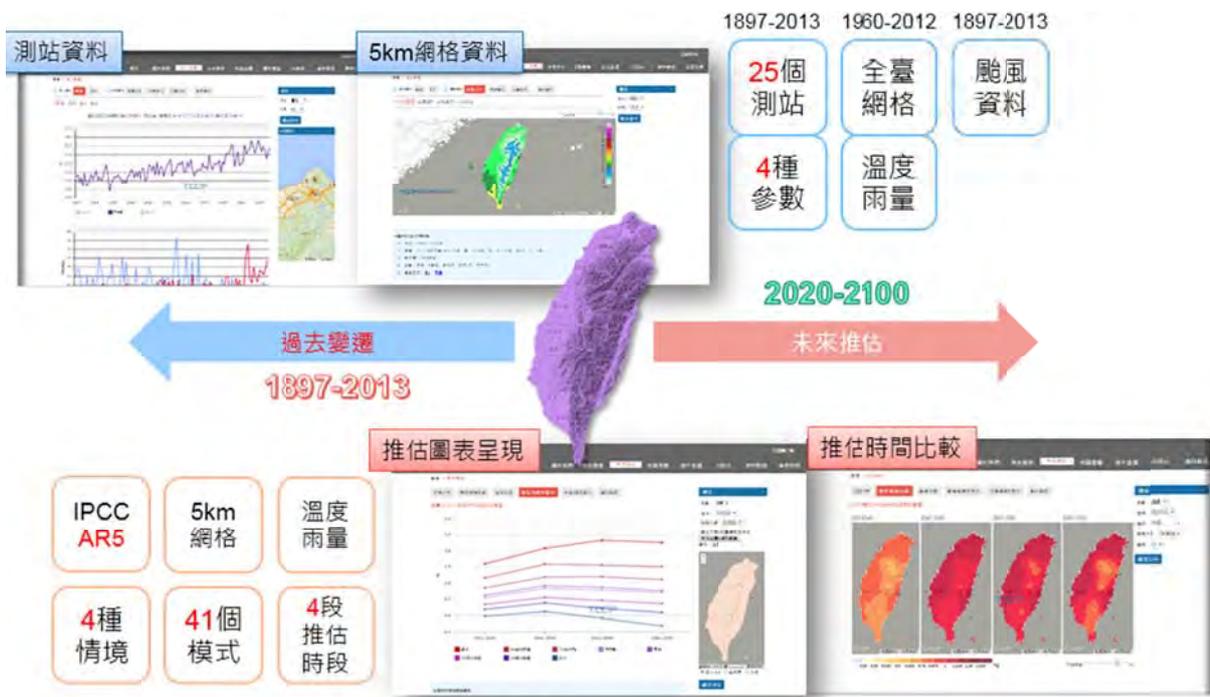


圖 6.6 TCCIP 資訊平台資料展示

知識 (知識專欄、出版品)：

知識專欄包含氣候變遷新聞、氣候知識 FAQ、摘要報告、氣候專欄及電子報。氣候變遷新聞摘錄部份，每天進行相關新聞的蒐集，更新國際研究趨勢新聞，內容包含氣候科學新發

現、國際氣候變遷政策、產業及社會衝擊及極端天氣災害等四類；氣候知識 FAQ 則不定期針對氣候變遷相關的常見問題設計並撰寫主題式科普文章，進行淺顯易懂的回答；摘要報告部份，蒐整相關的新聞及國際重要氣候變遷研究報告進行轉譯及撰寫，提供國人最新氣候變遷研究進展；而氣候專欄則邀請專家學者進行氣候變遷相關議題進行撰寫。知識專欄內容定期更新，提供與使用者及一般大眾交流氣候變遷資訊的另一管道；104 年 8 月起發行電子報 (TCCIPaper) 營造更積極有效的與使用者及大眾溝通的管道。

出版品則是團隊的成果產出，分為專書、簡報、圖集、影音、研究報告及團隊發表文章；專書是 TCCIP 歷年來出版的專書 (如：臺灣氣候變遷科學報告)、簡報及圖集則是彙整計畫歷年來重要的簡報及圖片，讓使用者可直接引用，影音內有計畫的宣傳影片及翻譯國外氣候變遷影片等，研究報告則是 TCCIP 歷年的成果報告 (圖 6.7)。



圖 6.7 TCCIP 資訊平台知識彙整

■ 資訊 (歷年會議、最新消息、關於我們、資料服務)：

歷年會議包含 TCCIP 計畫舉辦的最新會議資訊及蒐整了 TCCIP 計畫從 2010~2015 年 10 場會議的的相關資訊，內含各場會議的簡報及講者演講影片，提供了近年完整的氣候變遷研究資訊及 TCCIP 資料介紹及使用等資訊。最新消息則是會提供目前計畫最新的活動訊息及資料服務的相關更新資訊，除了在首頁有一獨立區塊外，並有最新消息資訊看板，讓使用者可知道目前網站最新更新的內容。關於我們包含 TCCIP 計畫的簡介、人員組織及資料說明。資料服務即為資料申請平台的入口，簡單介紹資料服務的內涵、資料清單、申請流程、注意事項及 Q&A，並讓有資料申請需求的使用者導向 TCCIP 資料申請平台進行資料申請 (圖 6.8)。



圖 6.8 TCCIP 資訊平台資料提供

為提高 TCCIP 國際交流之效率與能見度，從 2015 年 10 開始進行英文版的製作，大部分的內容與中文版相似，但是較為精簡，由於主要是要介紹臺灣目前氣候變遷研究的概況及讓國外學者能知道 TCCIP 舉辦的活動，因此以核心的資料展示為主，加上部分計畫的英文出版品及每年都會舉辦的國際研討會內容，英文版已於 2016 年 3 月正式上線 (圖 6.9)。

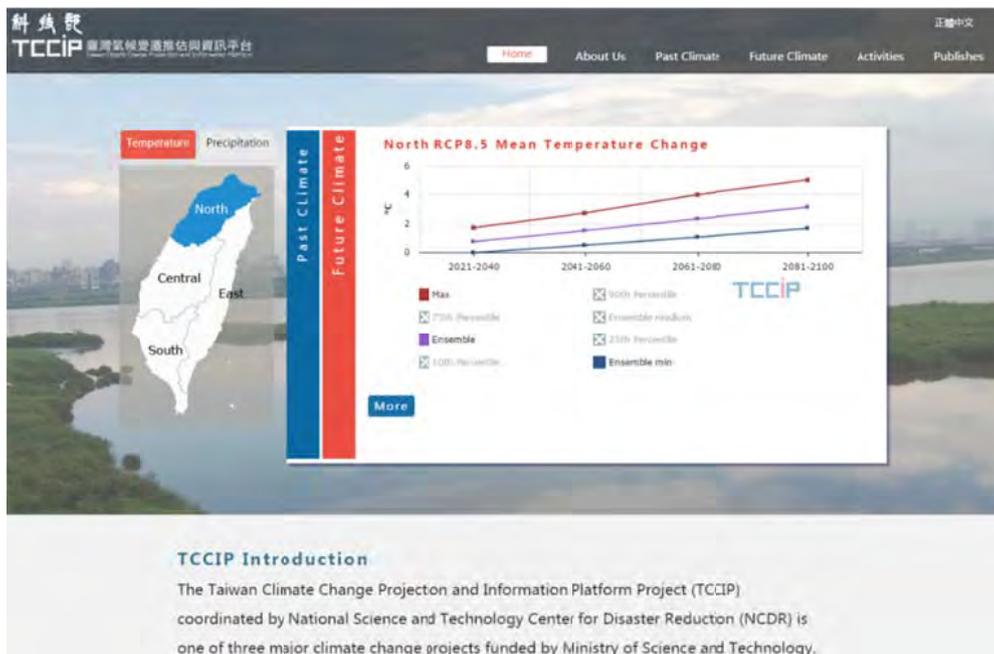


圖 6.9 TCCIP 資訊平台英文版首頁

6.3 TCCIP 計畫成果推廣

6.3.1 資料應用推廣活動

TCCIP-II 執行期間持續相關推廣活動，啟動知識轉譯與科學溝通。除了持續向使用者溝通 TCCIP 計畫產製之資料特性之外，更逐漸將重點擴充為「了解使用者需求」；意即我們不僅是單向傳遞資訊，而是逐漸開始進行雙向溝通。因此，本期計畫舉辦各式資料應用推廣活動，包括：資料說明會、使用者經驗分享討論會、專家座談及訪談等。

■ 資料應用說明

第一年度 (102 年 2 月至 103 年 3 月) 因應行政院國家發展委員會氣候變遷調適政策推動，於 102 年 7 月 26 日舉行「資料應用說明會系列-縣市政府氣候變遷調適計畫」說明會，為專案管理計畫團隊成員、縣市政府氣候變遷調適計畫業務承辦同仁與委託協辦機構人員解說如何有效利用 TCCIP 計畫所產製的多種氣候觀測與推估資料，此說明會著重氣候變遷概念之傳達與實際操作面之溝通，以期使 TCCIP 計畫研究內容與產製資料能充分應用於氣候變遷調適計畫的推動及辦理。

第二年度 (103 年 4 月至 104 年 5 月) 因應本計畫完成臺灣地區 IPCC AR5 氣候推估資料，於 103 年 10 月間舉辦北中南東四區 TCCIP 臺灣氣候變遷推估資料說明會，四場次累積參與人數超過 350 人。議程包括：IPCC AR5 簡介、TCCIP 簡介、TCCIP 提供之資料服務。場外同時也展示計畫介紹海報、各 Team 研究介紹，另有資訊平台及資料申請平台的展示介紹。

■ 資料使用者經驗分享

103 年 3 月 14 日舉辦「TCCIP 氣候變遷資料使用經驗分享研討會」，邀請防災應用 (洪災、水文、水資源、坡地災害)、生態、公共衛生、能源、農糧安全等領域資料使用者分享與討論氣候變遷資料應用於科學研究，以瞭解資料申請者在資料使用、分析上之經驗，供做未來改進資料提供服務的參考，並促進不同領域分享氣候變遷觀測與推估資料的使用方式及經驗。

■ 科學社群溝通

透過與使用者進行深度溝通才能夠真正了解使用者的需求與資料不足之處，也才能確保使用者正確的應用氣候變遷資料，並從適當的角度探討分析的結果。103 年 8 月 (第二年度執行期間) 辦理專家座談針對特定研究計畫之動力降尺度資料需求與使用進行深入的探討。主要針對水利署氣候變遷研究計畫對動力降尺度資料的使用經驗及未來需求進行討論。

為了瞭解這些科學資料如何被運用，也為了瞭解氣候科學資料供給與需求之間是否存有落差，第三年度執行期間針對「資料申請者/使用者」、「調適政策制定者」進行調查訪談研究，一方面希望能將資料使用經驗回饋至資料服務流程中，二方面也希望藉由面對面的溝通了解未來氣候服務的發展潛能。透過使用者的回覆，其中發現的問題及解決方式包括：

- ❖ 進行風險溝通時，應提供更完整的資訊，除了資料生產履歷之外，也需要資料「可靠性」的說明，幫助其了解資料特性及不確定性，避免解讀錯誤的問題。
- ❖ 資料使用者不了解「空間尺度」及「時間尺度」解析度的提升，將引起的不確定性議題。
- ❖ 進行風險溝通時，除了資料不能如此使用的說明之外，更需要說明「為何不能如此使用」的原因，顯示「了解原因」後，使用者可能更能接受溝通之訊息。
- ❖ 進行風險溝通時，資訊來源十分重要，故需要提供完整的 Reference。

6.3.2 成果發表會

氣候變遷的因素及影響包羅萬象，相關的研究需要不同研究領域縱向與橫向的合作。科學報告是傳遞氣候變遷科學訊息的媒介，而成果發表會則是科學研究交流的重要管道；二者所傳遞與交流的訊息（包含知識、觀念，以及資訊）都需要有科學的內涵與深度。TCCIP 計畫的核心價值為氣候變遷資料服務與溝通；透過成果發表會除了要展示該年度的科學研究與技術發展成果，主要仍是藉由與資料的使用者（包含潛在使用者與未來的使用者）面對面的溝通機會，將氣候變遷的科學訊息有效地傳遞給接收者，使其接收的訊息得以應用於其社群領域。在成果發表會的媒介下，不同領域的科技社群學者、政策制定者、利害團體等是訊息的接收者也是提供者，他們提供了對氣候變遷訊息的回饋，也提供了在其專業領域對於氣候變遷資訊服務的需求。成果發表會便是氣候變遷資料供需兩端科學訊息交流的最佳場合。

TCCIP-II 第一年的成果發表會與國際研討會合併辦理，配合國際研討會的主題，安排 TCCIP 計畫的成果報告；並於會場外張貼海報，展示該年度計畫推動成果。主要交流對象為國外學者，尤其是日本 SOUSEI 計畫成員；因此，對話較容易聚焦在氣候變遷科學研究的發展現況。TCCIP-II 第二年的成果發表方是則於使用者經驗分享研討會、資料說明會、專家座談等各式的推廣活動中展示各 Team 的成果；因此，對話比較是聚焦在氣候資料產製及應用的技術研發方面。

今年度為 TCCIP-II 第三年，規劃於 TCCIP 成果強化計畫結案前擴大辦理 TCCIP 成果發表會，完整呈現 TCCIP 的科學研究與技術研發成果，展示計畫推動成效；部份成果以海報展示方式呈現，配合茶敘時間的安排，有助於實質的意見交換與學術交流。TCCIP 成果發表會議程架構如表 6.1；相關規劃進行中。

表 6.1 TCCIP 成果發表會議程草案

時間	內容
08:40-09:00	報到
09:00-09:20	開幕式、TCCIP 簡介
09:20-10:20	臺灣氣候的過去、現在與未來
10:20-10:30	茶敘 / TCCIP 氣候資料服務成果展示
10:30-12:10	臺灣氣候的過去、現在與未來
12:10-13:00	午休 / TCCIP 氣候資料服務成果展示
13:00-14:40	降尺度推估資料產製技術研發
14:40-14:50	茶敘 / TCCIP 氣候資料服務成果展示
14:50-16:50	資料應用技術研發
16:50-17:20	綜合討論

6.3.3 第二版科學報告撰寫

第二版臺灣氣候變遷科學報告分兩冊；分別就氣候變遷的物理現象與機制等科學面向（第一冊）以及氣候變遷的衝擊與調適面向（第二冊）進行科學性撰述。由中研院環境變遷中心副主任許晃雄研究員擔任總召集人，統籌科學報告的編審及編輯政策等；由 TCCIP 計畫及 TaiCCAT 計畫分別主導第一冊及第二冊的撰寫及審定。經過兩次的編撰籌備會議，2013 年 9 月科學報告編輯委員會正式成立，共同決定科學報告的編審及編輯政策。

科學報告編輯委員會的組成除了編輯委員，還有工作小組協助各項工作細節及編輯委員會交辦事項；兩分冊的主要作者群另外組成兩分冊的編撰工作會議，配合工作時程及編輯委員會之決議進行相關科研議題之討論。第二版臺灣氣候變遷科學報告編輯流程示意如圖 6.10；科學報告撰寫期間，編輯委員召開過 6 次編輯委員會會議，釐清各主題的科學問題、討論及確認編輯政策、追蹤撰寫進度及比對各章節撰寫內容。各章主筆者召開超過 30 次的撰寫工作會議，釐清各章的科學問題、確認撰寫主題、比對及調整內容、校修文字；工作小組也針對版型格式召開數次會議。

科學報告第一冊共六章（表 6.2），分別從全球、東亞及臺灣等不同空間尺度探討的氣候變遷趨勢及未來推估。表 6.3 整理第一冊各章節所描述的氣候現象。



圖 6.10 科學報告第二版編輯流程示意。

表 6.2 第二版科學報告第一冊的章節架構與主筆作者

章	主筆作者	小節	
第一章 全球氣候變遷	周佳 羅敏輝 陳維婷	1.1 前言 1.2 溫度及大氣環流 1.3 降雨及水循環 1.4 極端天氣 1.5 雲、氣膠與輻射	1.6 古氣候 1.7 未來推估 1.8 北極放大 1.9 結語
第二章 海洋系統與變遷	李明安	2.1 前言 2.2 海洋系統 2.3 海流 2.4 水溫暖化 2.5 海平面	2.6 海水酸化 2.7 古海洋 2.8 未來推估 2.9 結語
第三章 年代際變化、氣候模態 與暖化停滯現象	許晃雄	3.1 前言 3.2 年代際變化 3.3 氣候遷移 3.4 氣候模態 3.5 暖化停滯	3.6 北極放大 3.7 結語
第四章 東亞與西北太平洋氣 候變異與變遷	洪志誠 鄒治華	4.1 前言 4.2 氣候特徵 4.3 古氣候 4.4 季風	4.5 熱帶氣旋 4.6 未來推估 4.7 結語
第五章 臺灣氣候觀測分析	盧孟明 洪致文	5.1 前言 5.2 資料與方法 5.3 長期變化趨勢 5.4 季節循環 5.5 極端天氣	5.6 颱風 5.7 大氣成分 5.8 臺灣周遭海域長期變化 5.9 結語
第六章 臺灣未來氣候變遷推 估	陳正達 鄭兆尊	6.1 前言 6.2 氣候推估資料的區域化 6.3 臺灣未來氣溫推估 6.4 臺灣未來降雨推估	6.5 區域特定天氣與氣候現象 的未來推估 6.6 未來氣候推估資料使用說 明指引 6.7 結語

表 6.3 科學報告第一冊各章節所描述的氣候現象

觀測	全球	海洋	氣候系統	東亞	臺灣
溫度	• 1.2 溫度 (地表, 中高對流層, 平流層)	• 2.2 海洋系統 (海表溫, 海內溫, 熱含量) • 2.4 水溫暖化	• 3.3 年代際變化 • 3.5 暖化停滯	• 4.2 氣候特徵 (溫度)	• 5.3 長期變化趨勢 (氣溫, 最高溫, 最低溫, 日較差) • 5.4 季節循環 (氣候季節, 季節變化)
降水及水循環	• 1.3 降水及水循環 (水氣, 陸地水文, 冰雪覆蓋面積)	• 2.2 海洋系統 (鹽度, 水循環) • 2.5 海平面	• 3.3 年代際變化	• 4.2 氣候特徵 (降水)	• 5.3 長期變化趨勢 (雨量, 水汽壓, 相對溼度)
組成	• 1.5 雲、氣膠與輻射	• 2.2 海洋系統 (海氣通量, 海洋水團, 海洋生地化) • 2.6 海洋酸化			• 5.3 長期變化趨勢 (雲量, 日照時數, 能見度) • 5.7 大氣成分 (二氧化碳, 甲烷, 臭氧, 氣膠)
極端天氣	• 1.4 極端天氣 (溫度、降雨、洪旱、熱帶氣旋) • 1.7 北極放大 (海冰, 永凍土)			• 4.5 熱帶氣旋 (數目, 強度)	• 5.5 極端天氣 (氣溫, 降雨, 強風) • 5.6 颱風 (強度, 路徑, 移動速度)
古氣候	• 1.6 古氣候 (冰期, 間冰期, 過去兩千年)	• 2.7 古海洋 (代用指標, 前次冰盛期以來)		• 4.4 古氣候變遷 (亞洲, 臺灣)	
洋流、環流		• 2.3 海流	• 3.2 氣候模態 • 3.4 氣候遷移	• 4.2 氣候特徵 (季風) • 4.3 季風 (夏季, 冬季)	
推估	全球	海洋	氣候系統	東亞	臺灣
溫度	• 1.8 未來推估 (溫度)	• 2.8 未來推估 (海表水溫)			• 6.3 未來氣溫推估 (年平均, 季節循環, 推估歸因, CMIP5與CMIP3差異比較)
降雨及水循環	• 1.8 未來推估 (水循環、冰雪覆蓋面積)	• 2.8 未來推估 (海平面)			• 6.4 未來降雨推估 (年平均, 季節循環, 推估歸因, CMIP5與CMIP3差異比較)
組成		• 2.8 未來推估 (海洋酸化)			
極端天氣	• 1.8 未來推估 (極端天氣與氣候事件)			• 4.6 未來推估 (西北太平洋颱風)	• 6.3 未來氣溫推估 (極端氣溫變化) • 6.4 未來降雨推估 (極端降雨變化) • 6.5 區域特定天氣與氣候現象的未來推估 (颱風, 梅雨, 熱浪)
古氣候					
洋流、環流		• 2.8 未來推估 (海流)		• 4.6 未來推估 (季風)	

為兼顧知識轉譯及閱讀流暢性，科學報告第一冊中將觀念性的定義及科普教育性質的內容以註腳或文字框穿插在本文裡，或者以常見問題的方式置於該章末尾。為了便利科學研究

者應用科學報告所提供的科學訊息，附錄全球、東亞及臺灣溫度、降雨及極端事件的氣候變遷總表；附錄名詞索引有助於讀者快速在科學報告中找到相應的章節內容。

此外，各章在描述了氣候現象的過去變遷和未來可能的狀況之後，再針對不同氣候現象間的系統性問題整理 2 至 4 個常見問題 (FAQ)；例如，第五章彙整第一章及第四章的內容，呈現 2 個 FAQ：(1) 臺灣氣候暖化程度為何大於全球平均？(2) 全球與東亞的氣候變化對臺灣氣候的最顯著影響的是什麼？第三章本文描繪了氣候模態、年代際變化、氣候遷移與暖化遲滯等現象之後，回覆 3 個資訊接收者最可能有的疑問：(1) 不是說全球暖化嗎？為何會有暖化停滯現象？(2) 地球氣候一直在變化，歷史上的幅度甚至大於過去一百多年的變化，為何我們需要重視人為暖化趨勢？(3) 能夠明確判定最近發生的極端天氣與氣候是人為暖化造成的嗎？

如今，第二版臺灣氣候變遷科學報告已進入收尾階段，預計在 TCCIP 成果強化計畫結束前完成審查及修訂，正式對外發布。

6.3.4 其他推廣活動

■ WGI AR5 導讀系列活動

2013 年底 IPCC 公布的氣候變遷第五次評估報告—第一工作小組報告(以下簡稱 WGI AR5) (IPCC 2013) 包含對過去氣候系統觀測結果的描述，也評估最新的近未來及遠未來的全球與區域的氣候變遷推估。報告包括內文 (14 章)、技術摘要與給決策者摘要，是由 209 位主要作者與 50 位編審委員，以及超過 600 位各領域的專家，評估大量的科學與技術資料並引用超過 9200 筆著作之後，撰寫完成的。經過嚴謹的審查程序所完成的評估報告，是各國政府面對未來氣候變遷的衝擊、制定與推動相關政策的重要參考資訊。

因應此報告的公佈，TCCIP 計畫團隊設計一系列導讀活動 (表 6.4) 讓參與者正確地了解全球與區域氣候變遷最新的科學分析與評估，並透過第四次和第五次氣候變遷評估報告的差異比較，協助參與者思考與重新評估東亞及臺灣區域氣候未來可能的變化。

■ 計畫形象與推廣文宣

為增強宣傳對象對計畫的印象、提升推廣的效果，特別透過統一的視覺設計，將計畫的理念和精神傳遞出去，和推廣對象建立雙向溝通的關係；完成計畫「標誌」、文宣品、簡報與海報版型三項目的設計。TCCIP logo 的「標誌」部份，以單一、連續方格表達 TCCIP 所提供的「網格化資料」，並刻意將 I 設計為小寫 i 凸顯「資訊、資料」意涵；「標準色」以氣候變遷中大氣、降雨與暖化意象的藍色、紅色為主，同時藉藍色傳達「資料值得信賴」的形象；而紅色顯現「熱忱用心」的服務 (圖 6.11)。

表 6.4 TCCIP 因應 IPCC WGI AR5 報告發布之系列活動

2013/10/04	2013/11/30	2013/12/02
AR5網頁專區	WGIAR5 決策者摘要 中譯版(審定中版本)	IPCC氣候變遷第五次 評估報告(第一工作小 組)導讀講座
<ul style="list-style-type: none"> • TCCIP團隊針對WGI AR5 總結重點說明 • 決策者摘要重點摘譯 • AR5報告時程介紹 • 提供下載連結 • 提供詳細活動訊息 	<ul style="list-style-type: none"> • 完整翻譯決策者摘要，讓國內讀者即時掌握氣候變遷研究最新成果 • 提供國內專家學者最即時的研究重點 	<ul style="list-style-type: none"> • 由團隊專家學者們帶領讀者針對報告中的科學知識做導讀 • 將全球尺度下的氣候變遷趨勢反應到台灣國內的各領域應用

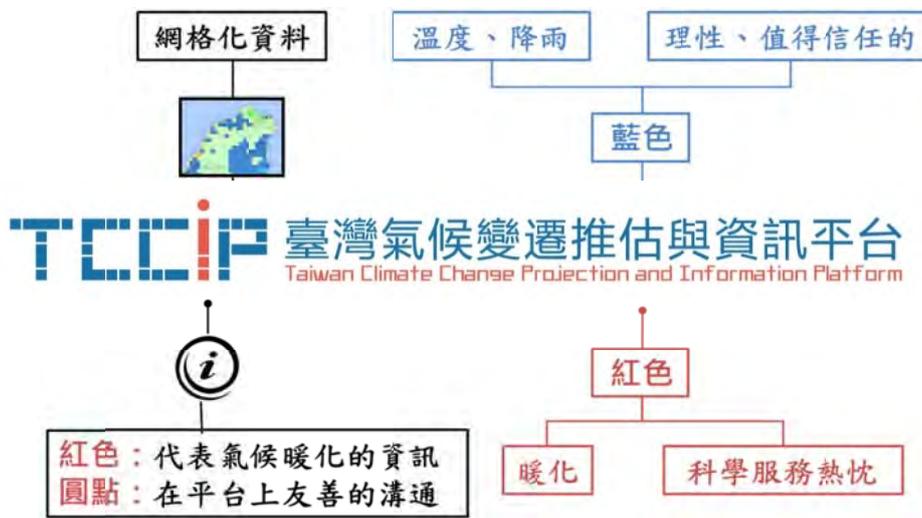
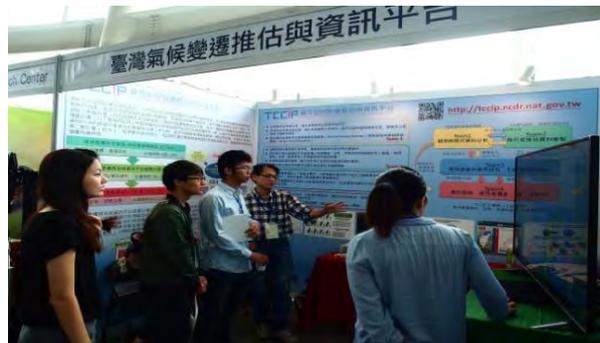
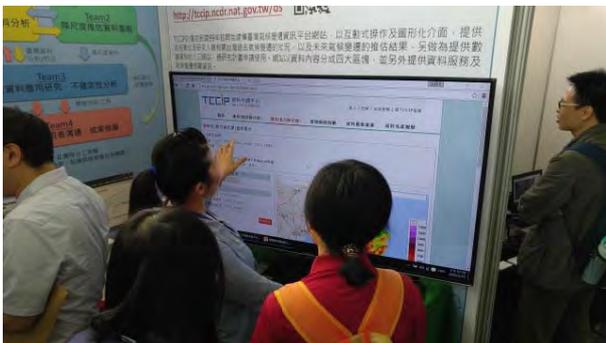


圖 6.11 TCCIP 標誌介紹

設攤展覽

於 2016 年臺灣地球科學聯合學術研討會舉辦期間 (5/16~5/20)，設立展覽攤位介紹與推廣 TCCIP 研發成果與資料服務。展覽期間舊雨新知互動頻繁、討論熱烈。



6.4 國際學術交流

6.4.1 日本創生 (SOUSEI) 計畫

本期計畫與日本 SOUSEI 計畫的合作項目包括：資料交換、相互參與雙方舉辦之學術研討會、資料應用研究等，也會利用參與其他國際學術研討會的機會召開閉門會議：

- 日本氣象研究中心 (MRI) 提供給 TCCIP 計畫 20 公里解析度 MRI-AGCM3.2S 現在及 21 世紀末時期各 25 年的氣候推估資料，以進行 5 公里解析度動力降尺度。兩個時期降尺度資料皆已在第 2 年度完成。
- 共同在 2014 AOGS 年會提案，舉辦氣候推估降尺度以及台日韓氣候變遷衝擊評估兩個議程。
- 進行 MRI-AGCM 以及 HiRAM 兩個高解析度 AGCM 模式比較的工作。MRI 與中研院雙方交換 MRI-AGCM 以及 HiRAM 氣候推估資料，進行模式表現的比較研究。
- 邀請 SOUSEI 成員參加 TCCIP 舉辦國際研討會。SOUSEI-D 邀請 TCCIP 計畫主持人參加 SOUSEI 在 11 月橫濱舉行的年會議。拜訪 DPRI 與 SOUSEI 研究人員進行學術交流。

6.4.2 國際研討會

TCCIP-II 執行期間共辦理三次國際學術研討會。展示計畫第二期全新的研究成果，亦討論氣候變遷與極端天氣災害導致的衝擊。邀請災害類別與頻率與臺灣較為相似的東南亞各國與亞洲太平洋地區國家如日本、韓國與澳洲來台分享相關經驗，尤其針對洪災、旱災、坡地災害與農業衝擊等災害議題做交流。

❖ 103年1月_國家型計畫發展全方向討論

邀請日本、韓國、澳洲、香港與英國專家學者來臺分享其在執行國家研究計畫時的近程規劃、成就及挑戰。針對氣候推估模式經驗與能力進行意見交換，亦對氣候變遷科學如何延伸至氣候變遷對產業的衝擊研究，以及大眾對氣候變遷議題的關心與科學知識理解門檻過高等問題，各國皆強調知識轉譯的重要性與複雜度。為延續 TCCIP 前期計畫與日本革新計畫之合作關係，故於會議期間安排與其後續計畫_創生 (SOUSEI) 計畫閉門會議，分享科研成果及討論後續合作規劃。



❖ 104年1月_高解析度氣候模擬、推估與應用_模式資料共享的可能性

計畫第二年適逢 IPCC 第五次評估報告結果全部公布，全球氣候模式的推估結果都隨之作調整與修正，團隊希望能藉此機會與多國討論氣候模式的表現與借接模式結果的可能性，邀請美國、日本、英國、澳洲與中國專攻於氣候模式研究的單位來台討論，從氣候變遷研究的最上游端，模式資料產製部分作專題研討，議程特別設計主題式討論時間，由英國氣象局 Malcolm Roberts 博士與中研院環境變遷研究中心副主任許晃雄老師聯合主持，日本亦積極參與討論，希望能建立資料共享的機制，增加多組模式資料。



❖ 105年：氣候資料應用與衝擊研究

計畫第三年決定將研討重點延伸至衝擊與應用方面的討論，一方面展示計畫第二期全新的研究成果，例如農業與公共衛生領域的資料應用範例，一方面討論氣候變遷與極端天氣災害導致的衝擊，特別邀請災害類別與頻率與臺灣較為相似的東南亞各國與亞洲太平洋地區國家如日本、韓國與澳洲來台分享相關經驗，尤其針對洪災、旱災、坡地災害與農業衝擊等災害議題做交流。這年有別於往年的議程是邀請 TCCIP 資料使用者於會議期間張貼海報，並安排海報交流時間讓國內資料使用者能與國外學者進行面對面的直接交流，成效顯著，會後收到許多正面回饋，達到實質交流的目的。



年度	103	104	105
主題	國家型計劃發展討論	高解析度氣候模擬、推估與應用	氣候資料應用與衝擊研究
地點	花蓮東華大學	中研院	NCDR
天數	2 天半	2 天	2 天半
形式	不公開	半公開(邀請)	公開
合辦	無	中研院環變中心	無
成果發表	海報	無	海報 (使用者與計畫成果)
人數	200	200	300
目的	全面性的討論，與他國大型氣候變遷計劃交流	全球高解析度氣候模式技術與研發討論	氣候變遷資料應用於衝擊評估方法，尤其強調災害
重點	深化 (與既有國際夥伴的合作，拓展國際夥伴)	深化 (計畫重點的強化，模式資料的增進)	擴展與延伸 (資料應用的廣度)
成效	取得更多日本模式資料，對英國國家計畫有更深入了解	各國模式專家開誠布公，開啟資料合作契機	促進使用者與國外專家直接交流，災害衝擊研究討論熱烈

6.4.3 短期移地研究，擴展國際合作對象

■ 澳洲

第一年度擴展國際合作對象以澳洲為主，透過澳洲 CSIRO 的氣候變遷調適旗艦計畫科技主任 Mark S. Smith 的幫忙，協助安排赴澳洲 8 個從事氣候變遷相關之研究單位進行移地研究 (圖 5.18)，過程中有密集而充實的討論。研究機構包含分布於墨爾本、坎培拉與雪梨的幾個 CSIRO 分部，以及澳洲氣象局 (Bureau of Meteorology, BOM)、Geoscience Australia、Department of Environment、新南威爾斯省政府以及新南威爾斯大學。這些機構均有不同程度的參與澳洲政府的國家型氣候變遷旗艦計畫 (Australian Climate Change Science Program, ACCSP)。

- Australian Climate Change Science Program (ACCSP) 為澳洲國家級大型研究計畫，每年有大約 4.5 億新台幣的預算，從最上游的氣候變遷科推估資料產製，到國家氣候變遷領域的重要決策建議，超過 100 位科學家包含在這個計畫內，著重在大氣、氣候、溫室氣體減量、碳循環、海洋及海岸、土地利用等專業領域等最先進的研究。這項計畫實質上為澳洲整個氣候變遷研究提供重要研究能量，整合各領域的科學研究資源，其運作方式為環境部、氣象局與 CSIRO 的密切合作。
- CSIRO Aspendale 分部與新南威爾斯大學皆有豐富的研究資源與產製全球氣候推估資料的能力，國內目前的資料來源大部分來自日本，也許在未來可以考慮加入更多組氣候模式資料，增加資料正確性與可靠性。
- CSIRO 所開發的 Future Climate Web Tool 功能相當健全，將多組氣候模式情境資料整合

進網站，並搭配使用者教育訓練的教材編輯幫助非氣候專業領域的資料使用者了解氣候科學，並有能力選擇適合自己需求的氣候情境。

■ 英國

為促進臺灣氣候變遷科學研究計畫與國際接軌、增進研究人員之國際交流，以及拓展潛在的國際合作對象，暨 2014 年的澳洲行之後，本期計畫於 2015 年 3 月率團前往英國進行移地研究（七天），實地探訪英國進行氣候變遷相關計畫的研究單位，主要目的為了解其國家氣候變遷計畫內容、營運情形，以及衝擊研究與調適應用現況，並同時介紹臺灣氣候變遷相關科學研究情形，加強科研意見交換，並建立未來可能的合作機會。此行預計拜訪英國四個主要從事氣候變遷之國家型計畫相關國家機構，分別為 UKCIP (UK Climate Impacts Programme)、Uni. Of Exeter 與 CORFU 計畫 (Collaborative research on flood resilience in urban areas)、MET Office，以及 Grantham Institute of Imperial College。

此次四個英國機構以及拜訪重點分別為：

- UKCIP (UK Climate Impacts Programme)：跨領域溝通、合作，以及整合；氣候相關之科學知識溝通工具；調適評估與調適政策之整合。
- Uni. Of Exeter 與 CORFU 計畫 (Collaborative research on flood resilience in urban areas)：氣候變遷對水文衝擊評估，包括水災模擬、都市防災韌性等課題。
- MET Office：高解析度氣候資料與模式、降尺度技術、季節預報等課題。
- Grantham Institute of Imperial College：針對地球氣候系統與衝擊與調適等課題，如何進行經驗分享與知識交換。

此次行程成果豐碩，除了瞭解英國 Met Office 豐富的氣候變遷研究之外，由數個機構的計畫可以觀察到，英國的氣候科學已經逐漸朝向「滿足使用者需求」、「服務導向」的方向發展，此「天氣/氣候服務 (Weather/Climate Service)」旨在提供能輔助決策者或政府制定政策的氣候資訊，也因如此，此次的機構都強調後端的調適政策研擬及中端的知識轉譯與分享，這也是我國的氣候變遷科學研究未來可以加強的部分。

■ 荷蘭

第三年度國際合作移地研究的重點為荷蘭。荷蘭主要由荷蘭氣象局 (KNMI) 主導整個氣候變遷研究計畫，在 2006 年就發表了荷蘭的國家氣候變遷情境，提出各種溫度變化的情境下，各種氣象參數的變化；另外荷蘭剛結束的國家型研究計畫 KfC (Knowledge for Climate)，除氣候變遷科學研究外，包含水資源提供與防洪等議題並提出熱點區域，強調跨領域研究，議題亦包含調適與減量策略，成果堪稱豐碩；KNMI 亦為主要協力團隊之一。

KNMI 依據荷蘭的氣候特性、應用端需求，以及氣候模式模擬結果，設定適用於本身需求之氣候變遷情境設定-KNMI'14。KNMI'14 的氣候情境資料，於情境設定上亦是依據 CMIP5 的情境設定，考量 RCP4.5 與 RCP8.5 兩個情境間的不確定性，配合暖化程度與大氣環流變化型態，設定四種情境。



KNMI 將於 2016 年 9 月至 2019 年 9 月執行 High impact weather events in EurAsia Selected, Simulated and Storified (HIWAVES3)，該計畫經費來自於英國的國家科學委員會（英國 Exeter 大學）及挪威 (CICERO)、荷蘭 (KNMI)、中國 (BNU) 與印度 (IIT) 計畫的經費約 160 萬歐元。HIWAVES3 將採用兩個全球模式 EC-Earth 與 HadGEM，提供作物生產模式計算與評估食物價格模式所需的輸入資料，並會針對歐洲、印度與中國選擇歷史極端事件為案例評估。

KNMI 投注大量的運算資源發展高解析度模式、產製多組系集高解析度氣候推估資料；與多國合作建立歐洲氣候評估資料庫 (European Climate Assessment & Dataset)、開展國際氣候服務。

KNMI 因應國家應用特性所設定的氣候變遷情境值得國內設定氣候變遷情境參考，同時他們所進行的極端事件計畫、區域氣候服務等計畫均與 TCCIP 計畫工作息息相關，未來可進一步評估與荷蘭氣象局合作的可能性。

第七章 結語與建議

TCCIP 第二期計畫 (102/03~105/07) 在科技部長期推動本地氣候變遷推估與衝擊研究累積的能量基礎，累加 TCCIP 第一期計畫 (98/11~102/02) 的實際執行經驗下，系統性的提供氣候變遷資料／資訊／知識服務；進行區域氣候變遷分析與推估、降尺度技術發展，以及極端氣候變異與災害衝擊評估等工作，以強化臺灣區域氣候研究，精進臺灣氣候變遷未來推估能力；建構臺灣氣候變遷資訊平台，提供氣候變遷科學數據與應用所需的有效資訊，將氣候變遷科學研究及氣候資料產製與加值的成果落實於跨部會調適政策應用。

瞭解臺灣氣候變遷的趨勢需要長期而穩定的氣象資料、推估氣候變遷下未來的氣候平均狀態、季節循環改變與極端事件的樣態，對於氣候變遷衝擊評估與調適策略研議極為重要。Team1 透過歷史觀測資料的數位化、均一化與網格化建置**臺灣地區氣候變遷基礎資料**；Team2 以統計特性分析及物理機制模擬方式產製**臺灣地區高解析度區域氣候推估資料**；再由 Team3 針對降尺度資料的特性與限制進行資料應用技術發展；TCCIP 計畫執行以來產製與加值超過 15 億筆觀測與推估資料，建置資料申請系統提供資料服務，大量的臺灣氣候變遷趨勢與未來氣候推估的科學數據，利於衝擊評估或調適策略研議。

為落實資料的使用效益，以農業及公衛領域為例，Team1 建立適合該領域應用所需的**氣候現象評估量表 (Phenomenon Metric)**，並與 Team2 合作建立**模式表現評估量表 (Performance Metric)**，利於其應用於相關議題的氣候變遷衝擊評估；Team2 以**極端指標**讓統計降尺度資料的應用層面能更寬廣，並透過對動力降尺度資料物理機制的探討，提供臺灣地區季節降雨及極端事件的變遷分析；Team3 則將 Team1, Team2 的分析成果應用於農業及公衛領域。接著，透過**氣候資料說明與應用推廣活動**，增加使用者對 TCCIP 產製與加值資料的信心。

氣候變遷資料服務是 TCCIP 計畫的核心價值；Team1, Team2 由上而下 (Top-Down) 分析氣候現象、產製氣候資料，Team3, Team4 由下而上 (Bottom-up) 依氣候資料使用者需求提供氣候資料應用技術研發與溝通服務。將氣候變遷科學數據所提供的有效資訊正確、廣泛、深入、快速地傳遞出來給接收者則是 TCCIP 工作核心；TCCIP 資訊平台完整架構氣候服務所需的資料、資訊與知識，然而，訊息的接收者（包括不同領域科技社群學者、政策制定者、利害團體等）因其學術背景及對氣候變遷知識的理解能力不同，需要不同程度的轉譯，在氣候變遷知識的探索仍需要不斷的創新與充實，落實氣候資料的應用，以創造科技部氣候變遷優勢領域計畫的價值。

TCCIP 第二期計畫在第一期計畫的既有基礎上，更加強調研發成果與應用端的結合，許多的研究成果促成了新的應用可能；另一方面，應用端的需求也造就了新的研究方法與課題。第一期計畫以科研能力建構為主，科學服務為輔。當計畫執行至第二期，整體內容與成效便轉型為科學服務為主，同時鏈結科研內容需盡可能支援科學服務。因此嶄新的氣候變遷資訊服務平台，便結合氣候變遷資料、資訊與知識的整合平台概念建置，將 TCCIP 的整體成果能夠有累積成果以及服務的管道與機制，從服務績效顯示目前 TCCIP 計畫成果與資訊平台是國內最重要提供氣候變遷科學研究資料的管道，也是本計畫最重要的成果。

從這兩期計畫將近七年的時間，TCCIP 團隊整合了科技研究社群，建構使用者與研究者的溝通平台，累積科學服務的經驗，為國內在氣候變遷研究上扮演重要的角色。然而當研究與科學服務工作累積越多，越發意識到未來需要強化與努力的空間很多，例如更多領域（生態、能源、公衛...等）對資料的需求與使用工具、或是高解析度模式資料作為風險評估與調適策略擬定的可行性評估以及結合更多資料使用經驗分享案例的知識服務...等。國家各部門、各層級的氣候變遷相關衝擊工作仍舊持續進行中，依據使用者需求持續強化科技部科研計畫的應用價值，是這個計畫下階段規劃需要積極思考的地方。

附錄：期末審查綜合意見及回覆 (105.10.26)

委員	委員意見	團隊回覆
林財富 委員	<p>書面審查意見：</p> <p>1. 本計畫建立臺灣氣候變遷觀測資料，降尺度推估，發展應用情境及推廣與服務應用，整體之工作內容完整，成果符合預期。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>2. 計畫成果，對於臺灣氣候變遷情境推估，具專業價值，並能將氣候變遷相關資料分享至相關研究，施政及其他單位。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>3. 計畫成果豐碩，應用面廣，對臺灣此領域具帶領作用。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>4. 在氣候推廣資料應用情境上，相較於國際上，目前研究團隊提供之數據及應用情境，是否有其他值得發展之處？建議可以補充說明。</p>	<p>統計降尺度資料本計畫均已完成原規劃內工作，接下來的挑戰的是該如何進一步處理應用的問題。由於推估有其不確定性，並無法對未來氣候變遷提供標準或一致性的答案，在應用上只能針對使用者需求進行情境設定。目前本計畫對外提供的系集平均是一個無情境設定的做法，在未來是可以考慮對外提供某種情境設定下的變遷推估資料。問題在於“如何決定情境設定”，這需取決於使用者的需求。</p> <p>本計畫移地研究參訪的澳洲 CSIRO 與荷蘭 KNMI 針對上述問題提出不同的情境設定做法。澳洲的做法較簡單，以資料產製者的角度依據變遷程度來對模式分類；荷蘭的做法則以使用者的角度出發，依據關心的現象的不同變化對模式做分類。目前團隊正在進行下一期的工作規劃，會評估是否要以澳洲或是荷蘭的方法，產製適用於臺灣的數據與應用情境。</p>
	<p>5. TCCIP 氣候資料分析，建議可加入(1)計畫內團隊及計畫外團隊下載使用情形說明；(2)下載單位使用資料之產</p>	<p>計畫團隊正積極進行使用者分析以及相關使用者經驗訪談，並列為下半年銜接下階段氣候整合服務的重點工作。然而，本計畫無</p>

委員	委員意見	團隊回覆
	<p>出，例如出版論文、報告、以及政策規劃等，以彰顯本計畫成果。</p>	<p>償提供氣候資料服務，未對使用者提出必須對計畫致謝的要求；因此，不容易掌握後續結果，後續將積極思考是否有方法可收集相關產出。</p>
	<p>會議意見單：</p> <p>1. 本計畫為臺灣氣候變遷研究及推估的上游端研究計畫，具提供其他研究輸入資料的重要價值，計畫具重要性。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>2. 整體計畫成果豐富，服務項目也相當多元，具引領變遷研究的功能。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>3. 為持續維持計畫的服務及團隊能量，建議同意其展延，以順利銜接到後續計畫。</p>	<p>感謝委員支持。</p>
	<p>4. 在本計畫的成果展現或定位部分，建議可以再強化以下：(1)目前相較於國際上，執行類似研究的團隊，本計畫團隊定位在哪、強項及弱項為何？(2)對於國內使用資料的團隊，能強化分析其成果，以使本計畫投入資源及成果能展現。(3)對於後續可能推廣領域及所需資料做較深入分析。</p>	<p>謝謝委員指教。(1) TCCIP 第二期計畫執行期間前往澳洲、英國、荷蘭等國家主要大型氣候變遷計畫執行單位進行短期研究與經驗交流，相關說明請參考期末報告 6.4 節。(2) 計畫團隊正積極進行 TCCIP 氣候資料使用者經驗分析，初步分析摘錄於期末報告 6.1.2 節；後續將規畫舉辦多場資料使用經驗研討會，共同商討不同領域之資料使用策略，期使本計畫之服務成果更加具體。(3)為因應國家綠能產業的推動規劃，本計畫擬針對能源領域之氣候變遷推估需求進行資料產製，初步以颱風風場資料，作為提供能源部會風力發電與機組受損風險之氣象研究變數。</p>
<p>林裕彬 委員</p>	<p>書面審查意見</p> <p>1. 本計畫之進度符合計畫預期目標，且與水資源、農業、公衛及災害等領域之應用已有成熟的貢獻。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>2. 本計畫之成果已推動於國內相關領域之氣候變遷衝擊研究及實務有相當程度貢獻。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>3. GCM 模式選擇；本計畫建議使用 Ensemble mean 結果其依據為何？是否</p>	<p>Ensemble mean 為各模式推估的平均狀態，研究指出使用其基期結果與歷史氣候值</p>

委員	委員意見	團隊回覆
	會依領域不同有所不同?	的誤差是最小的，以此結果做了其未來推估較佳的假設。由於推估有其不確定性，並無法對未來氣候變遷提供標準答案，在應用上只能針對使用者感興趣的情境設定來提供可能的狀況。目前本計畫對外提供的系集平均對使用者而言或有不足之處，在未來將考慮針對特定領域提供特殊情境設定下的變遷推估資料進行延伸應用。
	4. 資料介面有相當大改善，但說明及知識說明有更多的進步空間	謝謝委員指教。TCCIP 資訊平台在“過去變遷”及“未來推估”頁面的下方以簡單的文字說明氣候資料的基本屬性；“知識專欄”為第二版資訊平台新增項目，內容以氣候變遷的資訊提供及知識轉譯為主。氣候資料的應用及限制等知識性說明，則是於資料服務的過程中與使用者雙方溝通的過程中相互切磋。
	5. 本計畫團隊幾年來已有相當的經驗，提供資料確實為各領域研究及實務所用。	謝謝委員肯定。
	6. 本計畫仍須提供資料及模式使用之說明，以避免錯誤所用或解讀。	謝謝委員提醒。TCCIP 資訊平台上“過去變遷”及“未來推估”頁面提供資料屬性說明，利於使用者對資料有初步的瞭解；進入TCCIP 資料申請平台後，使用者可以透過資料生產履歷，知道相關資料的產製方法；此外，透過資料說明會，使用者可以直接與團隊研究人員討論資料應用的方法及限制。
	7. 建議未來定期舉辦使用者 workshop，以利正確使用及本計畫修正之依據。	謝謝委員建議。TCCIP-II 計畫第二年曾舉辦使用者的經驗分享研討會，邀請不同領域的使用者分享其應用本計畫產製或加值的氣候資料進行該專業領域的研究成果；歷次的資料說明會，與使用者的互動中亦獲得許多來自使用者的回饋及建議。未來將定期舉辦此類會議與使用者就資料應用進行討論。
	<p>會議意見單：</p> <p>1. 本計畫之進度符合預期目標，並已應用於水資源、農業、公衛及災害等領域，近年來已有相當貢獻。</p>	謝謝委員肯定。

委員	委員意見	團隊回覆
	2. 本計畫團隊幾年來已建立相當的經驗。且平台及介面已有相當大進步。本計畫名稱為平台建置，但計畫報告中篇幅不多，建議增加說明。	謝謝委員的肯定與指教。已在期末報告 6.1 節及 6.2 節中增補資料申請平台及第二版資訊平台建置相關說明。
	3. GCM 的選擇及說明仍需要更明確的說明，以避免錯誤的使用或成果解讀。(AR4、AR5)。	GCM 的選擇在 AR4 的版本是應用模式在濕季 (5~11 月) 的氣候平均做為評估標準。到 AR5 則進一步將模式雨季的開始與結束時間的模擬表現加入評估標準。進一步的內容將在修正版本中詳加說明。
	4. 建議未來定期舉辦使用者交流 workshop，以利更正確使用氣候變遷資料及做為本計畫資料服務方向修正依據。	謝謝委員建議。TCCIP-II 計畫第二年曾舉辦使用者的經驗分享研討會，邀請不同領域的使用者分享其應用本計畫產製或加值的氣候資料進行該專業領域的研究成果；除了自行辦理的會議，也透過其他正式的學術討論會議及訪談等活動時機推廣及宣導氣候變遷資料應用的能力與限制。
	5. 科學報告的進度可更詳細說明。	<p>謝謝委員提醒；已於科學報告編寫過程已於期末報告 6.3.3 節中補充說明。</p> <p>目前科學報告已完成初稿，唯「第六章 台灣氣候未來推估」部分，為考量氣候變遷推估資料呈現的完整性與適切性，經編輯委員同意後，擬後續再增補內容以達報告之完善，故延後初稿完成時程。預計 12 月份送交科技部進行後續行政程序。</p>
	6. 本計畫應列出目前所應用之案例以提供後續使用者參考之依據；另外，請確認案例成果展示是否正確？	謝謝委員指教；本計畫產製資料的使用者經驗報告正在撰寫中，預計於 TCCIP 成果強化計畫報告中摘要說明部份案例。
	7. 本計畫不確定性分析需要更深入的說明，例如比較 Ensemble mean，或其他方式成果，以及降雨與溫度兩者的不確定性是否相似。	不同的氣象因子其不確定性來源不同。溫度在未來推估的不確定性主要來自情境上的變化；而降雨則來自不同模式本身的降雨模擬結果。
	8. 展延之目的是完成本期之成果或是銜接下期工作的成果，若是下期目標，是否直接提下期計畫書。	計畫展延主要為銜接下階段氣候變遷整合計畫預做準備，從長計議下階段的氣候變遷研究與服務整合規劃。

委員	委員意見	團隊回覆
吳瑞賢委員	<p>書面審查意見：</p> <p>1. 進度符合目標。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>2. 提供國內氣候變遷之重要數據平台，就相關重要議題，亦能切合實務需求，如登革熱、農作產量、旱災皆有所發揮。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>3. 成果應用及轉移宜更為具體，並就不確定性及時間尺度（變遷的時間軸）說明其限制。</p>	<p>謝謝委員建議及指教。期末報告僅就計畫科研成果及服務成效進行說明；不確定性及時間尺度的說明及限制等說明，將於資料生產履歷中補述，供資料使用者參考。TCCIP 成果強化計畫期間將更強化成果應用及轉移的工作。</p>
	<p>會議意見單</p> <p>1. 申請展延的理由合理，符合科技部業務方向並能給其他部會業務使用及加值，宜建議同意。</p>	<p>謝謝委員支持。</p>
	<p>2. 計畫目前與氣象局、水利署的合作已見成效，未來建議朝各領域（北、中、南、東四個分區或都會區）的落實進行更多資料加值及應用；此工作可為下階段的重點。</p>	<p>謝謝委員肯定及建議。綜合考量研究能量（研究人力與運算資源）後，將委員建議內容列入下階段工作重點。</p>
	<p>3. 正式報告書在分析過程、結論與建議方面仍宜全面展示，避免太絕對的用詞；如颱風之推估分析之結論似過於武斷。</p>	<p>謝謝委員指教。對未來的推估中，西北太平洋颱風總數目的減少、強颱比例的增加的結論與國外許多研究相同，非本計畫成果獨有的見解。</p> <p>委員所提到應該是這與歷史資料分析中2000年後侵臺的強降雨颱風數目增加的結果似乎不同。侵臺颱風分析資料長度不足、近年的暖化與21世紀末暖化的大氣環境不同，以上皆是研究成果不完全相同的原因。</p>
駱尚廉委員	<p>書面審查意見：</p> <p>1. 進度符合原計畫之目標。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>2. 本期產製最新的AR5資料及新版的氣候變遷資訊平台，網站服務人次超過</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>

委員	委員意見	團隊回覆
	<p>20 萬人次，有超過 110 個研究計畫透過平台進行氣候變遷資料的申請，學術研究及實務應用績效甚優。</p>	
	<p>3. 水稻生產量評估結果，可能導致臺灣稻作產量減少 15% ~ 20%，此結果是否有與農作專家溝通討論？同樣地，登革熱危險區域分布結果，特別是北部、中部與東部之加劇現象，是否有與公衛專家溝通討論？</p>	<p>本計畫未來氣候變遷下水稻生產潛勢評估是由農委會農業試驗所研究人員協助執行。由 Team2 產製不同氣候情境下未來的逐日氣溫及雨量資料；Team3 由未來氣候的最高溫及最低溫產製日射量，農試所研究人員再將氣象資料輸入作物模式進行評估，建立未來作物生產評估方式。由評估結果，在極端條件下臺灣稻作產量是有可能減少 15~20%。但，產量不僅受氣候影響，也受非氣候影響(包括供水，肥料及雜草)，未來育種技術也是朝向抗逆境(耐熱、耐旱)，這些因素是難以用作物模式或其他評估方法加以量化。所以，本計畫結束報告會加強說明減量 15%~20% 是由單由氣候變因所作之評估成果，實際產量仍須納入多項因素評估。未來臺灣水稻減產趨勢由現有計畫執行結果及國內其他評估文獻是有一致的趨勢，只是減產幅度略有差異。</p> <p>疾管署團隊為本計畫成員之一，曾針對此結果共同研商並討論修正。暖化現象到本世紀末時的效應最大，登革熱危險區域由南部擴展到北、中、東部是可以預期的現象，本次 TCCIP 研究，另有針對登革熱病媒蚊(埃及斑蚊)在氣候變遷下，因溫度上昇造成病媒蚊適合生長環境的拓展，到世紀末時，在最劣狀況下(RCP8.5)，亦可發現病媒蚊分布到達臺灣北、中、東部，也呼應了登革熱危險區域擴大的預測。後續研究亦將配合 TCCIP 未來天氣參數項目增加及極端天候事件的模擬資料，持續修正模式預測。</p>
	<p>會議意見單：</p> <p>1. 水資源應用領域模式挑選方面，模式之好與不好，評估依據為何？</p>	<p>研究中利用 GCM 模式在東亞季風時序特性的表現，以 T-Skill Score 定量整合分析，去除表現較差的 GCM 模式，提供 13 個表現較佳的模式給使用者，進一步可應用於水文衝擊領域。</p>

委員	委員意見	團隊回覆
	<p>2. 同上，模式的降水不確定性評估，所用的單位為 mm/day，與一般用的 mm/year 意義不同，為何用此單位？</p>	<p>使用 mm/day 能呈現單日降雨強度的變化，討論豐越豐、枯越枯的降雨趨勢變遷，而此單位也可以轉換成 mm/year。</p>
	<p>3. 各領域之預估結果雖然重要，但評估過程之清晰說明及方法步驟之陳述更為重要，以便更多的研究者可精進之。建議在成果報告中呈現該領域評估的目的、方法與步驟，供後進研究人員從事類似研究參考。</p>	<p>謝謝委員指教。本年度期末報告以成果展現為主；氣候現象分析、資料產製及應用技術研發等論述，已刊載於 TAO 專刊 (Special Issue) “Climate Changes and Their Impacts in Taiwan”，其他專業領域學者及新進研究人員可引用及參考。TCCIP 成果強化計畫結案報告中將彙編 TCCIP-II 執行以來各項科研目的、方法與步驟。</p>
<p>郭鴻基委員</p>	<p>書面審查意見：</p> <p>1. 計畫符合期待目標，成效良好，是科技部大型多年期計畫楷模。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>2. 同意計畫報告有以下優點 (1) 更完善的氣候變遷研究資料庫，(2) 更多元的統計降尺度應用，(3) 前瞻的動力降尺度模擬與應用，(4) 更完整的氣候變遷特性與不確定性分析研究，(5) 更進步的模式挑選方法與應用案例，(6) 更精進的應用需求之資料產製工具模組。這些研究深具學術價值，並且對於水文、水資源、農業應用需求，登革熱分布的公衛應用，對於颱風劇烈天氣風險估計，都有詳細完整論述與氣候推論，計畫成果對國內因應氣候變遷衝擊之貢獻具體，有學術研究也有實務應用成果轉移。計畫亦帶動台日學術合作，有效的利用日本高解析度資料協助臺灣氣候研究；也因本計畫執行，大幅帶動國內氣候研究與應用研究，計畫成國非常好，值得科技部褒揚。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>

委員	委員意見	團隊回覆
	<p>3. 計畫報告書非常詳細完整，對於學術端，應用端，國際合作，與帶動國內重視氣候變遷，都有非常好的成果。氣候是當代最重要的科學，還有許多新領域發展中，也有許多重要細節(例如副高與颱風與大氣水氣長河與暴雨的關係) 需要持續發展；除了個人自由型科研計畫，科技部在國內應持續支持一個中大型氣候計畫，並以這個計畫帶動跨領域氣候應用。若因為經費有限，氣候研究表現最亮眼應是本計畫，值得科技部考慮後續支持的長程計畫。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>會議意見單：</p> <p>1. 計畫表現良好，申請展延理由合理，應持續努力。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
	<p>2. 和公衛等領域互動機制之產生是亮點，唯衍生資料之驗證以及評估方法之改善，應是未來可以持續工作處。</p>	<p>謝謝委員肯定及指教。未來將持續與公衛、農業、能源等領域專家進行目標導向之深度交流，藉以協助加強降尺度技術研發，衍生資料驗證與評估的技術改良。</p>
	<p>3. 未來重點仍是 decadal 及動力環流的探討，計畫未來應持續進行，並對這方向努力。</p>	<p>謝謝委員指教。年代際 (decadal) 變化的分析除了著重在歷史觀測與模擬資料部份 (3.2 節)，本期計畫更進一步針對氣候現象如：梅雨季降水 (3.3.1 節)、西北太平洋颱風路徑 (3.3.4 節) 做分析，未來將進一步落實在各種現象分析。未來氣候變遷下，各氣候現象的動力環流特徵分析在本期計畫多已落實，應用未來與現今氣候平均環流變化分析外，同時也應用個案合成分析的方式，試圖解釋氣候現象變化背後環流改變的機制。</p>
	<p>4. 衍生資料之需求，產生方法之改善與驗證，相對應之基礎研究，也是科技部氣候科學未來可以持續進行處，例如農業、生物氣象或生態領域值得重視。</p>	<p>謝謝委員指教。</p> <p>資料的衍生將會製作資料生產履歷，提供使用這參考，此外也會依照資料應用者的使用意見回饋，再次進行資料衍生技術的改善。</p>

委員	委員意見	團隊回覆
	<p>5. Uncertainty quantification 也會是長期努力的方向；評估未來時要加不確定之範圍。</p>	<p>謝謝委員指教。</p> <p>在以往本計畫的統計降尺度期末報告書完整版中是以 10、25、50、75、90 百分位的數值來呈現不確定變動的範圍，在過去報告也初步完成不確定分析，並於科學報告中進行整體呈現，此一工作項目未來將隨模式成員逐步增加，發展進一步的不確定性分析方式。</p>
	<p>6. Uncertainty quantification 會是重要基礎研究方向。可在資源不重覆的前提下與基礎學科就 Uncertainty quantification 進行合作。</p>	<p>謝謝委員指教。在以往本計畫的統計降尺度期末報告書完整版中是以 10、25、50、75、90 百分位的數值來呈現不確定變動的範圍，在過去報告也初步完成不確定分析，並於科學報告中進行整體呈現，此一工作項目未來將隨模式成員逐步增加，發展進一步的不確定性分析方式。</p>
<p>李玲玲委員</p>	<p>書面審查意見：</p> <p>1. 進度符合期待目標。</p> <p>2. 研究推動結果提供氣候變遷相關研究所需經過校準、數位化、網格化之氣象資料，並據以進行降尺度與未來氣候推估，以回應需求端所需要的資料；各項產出已為多項計畫、研究者、機關與單位使用，成果豐碩。</p> <p>3. 計畫依照所規劃的進度執行，並在執行過程中依使用者需求產出更是合適的資料項目與格式，各項推估不確定性的說明可為明確，各項產出已為許多不同類型的使用者應用於相關研究與工作。</p> <p>4. 建議：</p> <p>(1) 各項延續性工作均可盡量比照表 2.1 的方式列出第一期與第二期成果之比較，並列出各項產出涵蓋的時空範圍、精確度、資料筆數等。</p> <p>(2) 補充資料需求端資料需求分析，找出資料需求缺口，並評估後續計畫</p>	<p>謝謝委員肯定。</p> <p>謝謝委員肯定。</p> <p>謝謝委員肯定。</p> <p>感謝委員建議；將嘗試於成果強化計畫結案報告中呈現更細緻化比較第一期與第二期計畫的各項工作成果。</p> <p>初步使用者經驗分析顯示，風場、濕度、輻射量等相關變數是目前資料缺口，已列為下半年之重點技術評估工作；將進一步進行相關分析找出資料需求的其他缺口，並評估</p>

委員	委員意見	團隊回覆
	補強此缺口的可行性。	補強的可行方案。
	<p>5. 問題：</p> <p>(1) 氣象資料網格化工作是否需要仰賴團隊持續更新與維護？</p> <p>(2) 氣象資料應用於其他領域，例如農業與公衛部份，是否足以涵蓋其他作物、疾病？</p>	<p>是的，TCCIP 計畫執行以來持續氣象資料網格化的技術更新。TCCIP 資料產製加值的過程中會納入使用者的經驗或意見回饋，進行資料檢核與網格化技術調整；資料更新後會主動透過電子 email 以及相關資料說明會主動告知先前使用者，進行差異性說明。</p> <p>農業、公衛是 TCCIP 第二期計畫加入資料測試的應用領域；農業部份選擇水稻為示範作物，公衛部份則以登革熱及心血管疾病為示範議題，將 TCCIP 產製資料應用於該領域數值模式進行示範議題的分析與研究；透過團隊內部的協調會議針對資料應用成效及相關研究分析結果進行討論，做為資料檢核與技術調整的參考。TCCIP 氣候資料應用技術研發的工作透過示範議題建立跨領域合作，農業與公衛領域複雜的氣候變遷衝擊評估則回歸該領域的專業研發。</p>
	<p>會議意見單：</p> <p>1. 補充說明資料應用於生態領域的狀況？</p>	<p>受限於研究能量，TCCIP-II 以數值模式資料應用相對成熟的農業及公衛領域的資料技術研發的合作對象，其他領域的部份僅單純的提供資料服務，透過電話訪談或座談會場合瞭解其氣候資料需求。</p> <p>目前的使用者經驗分析初步僅就資料使用者的屬性進行分析，各領域的應用狀況將增補於使用者經驗分析報告，摘錄於 TCCIP 成果強化計畫結案報告中。</p>
	<p>2. 水稻生產之推估模型是既有模式或利用過去氣象資料調整之模型？</p>	<p>水稻推估模型是使用國際上常使用的 DSSAT 模式為核心，使用臺灣地區最高溫、最低溫、雨量、日輻射量資料進行模擬。</p>
	<p>3. 補充說明模式挑選方式除水文領域外，其他領域的狀況？</p>	<p>謝謝委員指導，農業領域也在不考慮模式在過去歷史觀測表現好壞前提下，初步篩選過最劣情境之模式結果進行討論。而公衛領域應用將會依不同的研究主題，加入不同模式以進行更完整的模擬與驗證評估。</p>

委員	委員意見	團隊回覆
	4. 東部流域極端災害的模擬?	TCCIP-II 中全流域模擬為嶄新的研究範疇，內容包含集水區上中游之崩塌、土石流及河道輸砂模擬，下游淹水及海岸暴潮易淹模擬等不同領域之研究。另外，在進行全流域極端災害模擬時，需要大量現地資料作為模式校準與驗證使用，因此選擇水文實測資料較豐富之淡水河、大甲溪、濁水溪、曾文溪及高屏溪等五大流域進行前期整合研究。待技術純熟後，方可加入東部流域進行極端災害模擬。
李明安委員	<p>書面審查意見：</p> <p>1. 本計畫係延續性計畫，第一、二期共七年，本年度規劃透過 4 team 持續進行歷史觀測資料的數位化、均一化，以及網格化資料的校驗，介接國際的降尺度資料，產製臺灣地區之統計與動力降尺度資料，以及氣候變遷資料應用發展與研究。成果顯示近兩年累計提供服務有 140 個以上研究單位或機構所需之氣候變遷資料，也完成 720 萬筆資料與校驗工作，及建立氣候現象評估量表與多元化服務網絡，以及在水資源、防災、農業與公衛領域應用範例。初步觀之，進度已符合年度計畫期待目標。</p> <p>2. 研究推動結果對國內因應氣候變遷衝擊之貢獻：</p> <p>(1) 學術研究：已推動 TAO special issue 及每年一場國際研討會，並逐步延伸應用至防災、農業與公衛領域之學術研究。</p> <p>(2) 實務應用：本年度已將研究重點由氣候模式調整與修正聚焦至衝擊與應用面向，並規劃有成果發表會，應可檢驗實務推廣應用之成效</p> <p>(3) 成果移轉：目前成果多屬資料申請服務之移轉。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p> <p>謝謝委員肯定。</p>

委員	委員意見	團隊回覆								
	<p>3. 綜合意見</p> <p>(1) 本計畫已依原訂年度計畫目標進行，並逐步應用至水資源、農業、公衛、災害等面向，兼具學術發展與社會服務功能，值得肯定。計畫內涵之細膩程度仍有加強必要，例如目前資料多屬申請服務之移轉，雖掌握資料應用的領域，但使用者是否產生資料加值或應用產品，似乎並不清楚，例如公衛之登革熱的探討僅限於氣溫 18°C、都市化與原住人口等資料，並未納入 ENSO 等年變動因素(Banu et al., 2015)，建議後續工作規畫可考量強化此一部份。</p> <p>(2) 本計畫主要工作之一強化科學社群溝通與服務，本年度已聚焦水資源、農業、公衛、災害等領域，值得肯定。唯審視上述領域之氣候變遷核心資料仍與降雨與氣溫有直接或間接的關聯性，建議團隊應嘗試找出上述領域之主軸議題，建立不同領域的耦合關聯性，例如 Moss et al (2010, nature) 將降雨當核心資訊進行加值分析，找出其與氣候變遷過程與社會衝擊(如農業、公衛、災害、能源與經濟等)之關聯性，據此將有利於不同部門進行調適治理政策擬訂之參考。</p> <p>(3) 本計畫已執行二期 7 年，初步成果績效佳，建議總結報告應包含氣候變遷資料平台之 SWOT 分析或檢討，並據以提出下階段規劃與執行的重點。</p>	<p>感謝委員肯定。因為使用者眾多，無法一一掌握後續資料應用狀況。目前水利署計畫團隊在資料應用上有相關進度、疑問或是成果，會透過相關會議進行意見交換；也會透過電子郵件或問卷調查等方式取得部份資料使用者回饋「資料」使用上意見，作為本計畫改進參考。</p> <p>本計畫登革熱議題之資料測試應用，著重於氣候變遷尺度之資料測試(無年際尺度變異因子)，委員所提之建議未來在短期氣候模擬應用上可考慮 ENSO 等氣候變異預測因子。</p> <p>本計畫的核心工作與定位在於「氣候變遷資料的分析、產製、測試應用以及服務」，利用氣候變遷資料加值應用及其與領域之衝擊關聯性，現階段由科技部其他學門，先前 TaiCCAT 計畫以及其他部會署計畫進行後續研究，已達相關計畫之有效分工與合作。</p> <p>感謝委員肯定計畫團隊的努力；TCCIP 計畫 SWOT 分析如下：</p> <table border="1" data-bbox="823 1171 1474 1610"> <thead> <tr> <th data-bbox="823 1171 1155 1211">S.優勢</th> <th data-bbox="1155 1171 1474 1211">W.劣勢</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="823 1211 1155 1397"> <ol style="list-style-type: none"> 累積豐富的資料、經驗、工具 有科學研究與應用服務經驗的團隊 有實體單位累積成果與人力支持 在國內已經逐漸形成以科學應用與服務為核心的氣候變遷研究科學社群與能量 </td> <td data-bbox="1155 1211 1474 1397"> <ol style="list-style-type: none"> 動力降尺度模式對極端事件分析非常重要，但模式成員依舊過少，對後續決策影響評估仍舊不足。 氣候科學轉譯與應用人才需培養，以強化跨領域研究 計畫形式，且助理許多達薪資規定上限，人員容易流動 </td> </tr> <tr> <th data-bbox="823 1397 1155 1438">O.機會</th> <th data-bbox="1155 1397 1474 1438">T.威脅</th> </tr> <tr> <td data-bbox="823 1438 1155 1610"> <ol style="list-style-type: none"> 溫管法之氣候變遷國家行動綱領，持續需要氣候科學數據 國土計畫法之氣候變遷調適入法，需要氣候變遷科學數據與應用工具 可支援科技部Belmont Forum EIDM任務 </td> <td data-bbox="1155 1438 1474 1610"> <ol style="list-style-type: none"> 資料類別、解析度無法滿足使用者 不同領域對氣候變遷「國家情懷」的需求，需要評估科技部的角色 國際合作台灣需要提估更多的經驗與成果，方能取得合作機會與模式資料 </td> </tr> </tbody> </table>	S.優勢	W.劣勢	<ol style="list-style-type: none"> 累積豐富的資料、經驗、工具 有科學研究與應用服務經驗的團隊 有實體單位累積成果與人力支持 在國內已經逐漸形成以科學應用與服務為核心的氣候變遷研究科學社群與能量 	<ol style="list-style-type: none"> 動力降尺度模式對極端事件分析非常重要，但模式成員依舊過少，對後續決策影響評估仍舊不足。 氣候科學轉譯與應用人才需培養，以強化跨領域研究 計畫形式，且助理許多達薪資規定上限，人員容易流動 	O.機會	T.威脅	<ol style="list-style-type: none"> 溫管法之氣候變遷國家行動綱領，持續需要氣候科學數據 國土計畫法之氣候變遷調適入法，需要氣候變遷科學數據與應用工具 可支援科技部Belmont Forum EIDM任務 	<ol style="list-style-type: none"> 資料類別、解析度無法滿足使用者 不同領域對氣候變遷「國家情懷」的需求，需要評估科技部的角色 國際合作台灣需要提估更多的經驗與成果，方能取得合作機會與模式資料
S.優勢	W.劣勢									
<ol style="list-style-type: none"> 累積豐富的資料、經驗、工具 有科學研究與應用服務經驗的團隊 有實體單位累積成果與人力支持 在國內已經逐漸形成以科學應用與服務為核心的氣候變遷研究科學社群與能量 	<ol style="list-style-type: none"> 動力降尺度模式對極端事件分析非常重要，但模式成員依舊過少，對後續決策影響評估仍舊不足。 氣候科學轉譯與應用人才需培養，以強化跨領域研究 計畫形式，且助理許多達薪資規定上限，人員容易流動 									
O.機會	T.威脅									
<ol style="list-style-type: none"> 溫管法之氣候變遷國家行動綱領，持續需要氣候科學數據 國土計畫法之氣候變遷調適入法，需要氣候變遷科學數據與應用工具 可支援科技部Belmont Forum EIDM任務 	<ol style="list-style-type: none"> 資料類別、解析度無法滿足使用者 不同領域對氣候變遷「國家情懷」的需求，需要評估科技部的角色 國際合作台灣需要提估更多的經驗與成果，方能取得合作機會與模式資料 									
	<p>會議意見單：</p> <p>1. 本計畫第二期成果佳，已建立完善資料庫，多元統計降尺度應用及氣候變遷服務平台等。唯更進一步模式挑選下，由原有的 20 餘個模式，建議由</p>	<p>謝謝委員肯定及指教。</p> <p>模式推估結果的不確定已然存在並無法減少。參與評估模式的模式越多可期待其不確定範圍會越大，反之亦然。</p>								

委員	委員意見	團隊回覆
	bcc-csm1-1 等 5 個最佳模式及次佳模式 (共計 13 個模式) 做水資源應用，似乎仍有降低模式不確定性的空間。	
	2. 本計畫已由 open data 朝向公衛、災害、農業需求等應用領域發展。建議計畫工作項目原分析不用領域需求或其加值產品，以供後續團隊上下游工作推動及整合之所需，例如，如何透過降雨 (水資源模式) 之 open data 在模式挑選後，分別對災害、農業、或公衛領域之衝擊或兩兩領域間的耦合作用。	謝謝委員意見。雨量資料將會提供農業在乾旱議題上的灌溉水資源操作研究、公衛領域登革熱研究等，日輻射資料的反衍技術開發，將會提供、能源、農業等領域應用。
	3. 後續工作之展延有必要性，唯資料之完整性未見完整的分析與回顧，例如，公衛之登革熱分析僅止於運用氣候資料，不見是否有其它不足資料 (例如海溫、ENSO 現象) 之建議。	謝謝委員支持及指教。 詳細的分析與回顧可參閱附錄中，公衛登革熱分析的詳細流程。本計畫 Team3 所負責各領域應用分析，在其定位上最主要是氣候變遷模擬資料的測試與訊息回饋，目前先以最基礎的氣候資料測試建立應用的 SOP 流程，後續再拓展至可能存在高度非線性關係因子的海溫、ENSO 現象的氣候特徵。
邵廣昭委員	書面審查意見： 1. 本計畫的二期計畫整合了不同領域及單位的合作，如期完成 TCCIP 資訊平台的建置，提供完善的服務介面，而且已有不少的申請者及使用者。未來應用的成效應可期待。	謝謝委員肯定。
	2. 本計畫除了完成平台建置的基礎建設之外，亦由其他工作群組利用降尺度的資料進行氣候變遷不確定性的分析，以挑選模式進行模擬等等。並已嘗應用在農業水稻生產、公共衛生的登革熱、防災的土石流及淹水等的影響評估。對國內應用氣候變遷有具體的貢獻。	謝謝委員肯定。

委員	委員意見	團隊回覆
	3. TCCIP 計畫共增加了 15 億筆觀測及推估資料，但在報告中只提到有 720 萬筆，其差異何在？	15 億筆資料為資料庫中的數據資料量；720 萬筆資料為氣象局早期測站觀測數據數位化的資料量。
	4. 不知在實際的應用案例中，是否也能有生態或生物多樣性方面的案例可供參考。	受限於研究能量，TCCIP-II 以數值模式資料應用相對成熟的農業及公衛領域的資料技術研發的合作對象，生態領域及生物多樣性等其他領域的部份僅單純的提供資料服務，透過電話訪談或座談會場合瞭解其氣候資料需求。各領域資料應用狀況將於 TCCIP 成果強化計畫結案報告中摘要呈現。
	5. 未來資料公開的期程及機制方法在第 8 頁提到氣象資料中 23 項變數的測站日資料會納入氣象局資料庫及科技部的大氣研究資料庫中，將不會直接對外服務，請敘明理由。	TCCIP 計畫因氣候變遷物理現象分析及未來推估的需求，透過科研合作協助氣象局早期測站資料數位化，亦取得數位化後的數據資料進行觀測資料網格化及料分析等加值工作。中央氣象局依氣象法提供氣象相關服務，亦依該法制定規費收費標準；因此，氣象資料的原始數據取得仍應依氣象法之規定支付規費，經過 TCCIP 加值產製的資料則無償提供。
	6. 本資料庫後續如何持續維運之機制亦請說明之。	目前正規劃下階段計畫推動方式，會將資料庫與網站的維運納入規劃考量。
	<p>會議意見單：</p> <p>1. 與國際接軌部份，不知有和哪些國際觀測或資料庫整合單位有實際合作的關係，如 GEOSS 之 GEO。</p>	目前本計畫透過科技部自然司參與 Belmont Forum 所推動的大型國際合作計畫“e-Infrastructure Data Management Project”和國際作接軌以及經驗分享。
	2. 本計畫能成功地與氣象局及水利署等機構合作，取得其原始資料予以數位化、降尺度並作出研究的成果，相當難能可貴，希望此項經驗能夠推廣到其他領域及其他機構的資料整合上，如海洋、農業、公衛、自然科學等等。	謝謝委員肯定。跨機構資料整合困難度高，本計畫在共同執行單位全力支持下得以完成相關工作；欲將此經驗推廣至其他領域、介接不同位的資料、整合不同資料庫的內容，尚需先進行科技部內部及跨部會的協調。
陳朝圳	<p>書面審查意見：</p> <p>1. 本計畫之執行完成氣候變遷研究資料庫之建立、氣候變遷之多元統計降尺度</p>	謝謝委員肯定。

委員	委員意見	團隊回覆
委員	<p>之應用、動力降尺度模擬與應用、氣候變遷特性與不確定分析研究、氣候變遷資料推估模式之挑選方法與應用案例，氣候變遷資料應用需求之資料產製工具模組的開發及氣候變遷平台之建立等七大工作項目，計畫進度符合既定目標。</p>	
	<p>2. 研究推動結果對國內因應氣候變遷衝擊之貢獻</p> <p>(1) 學術研究：本計畫所建立之氣候變遷資料庫、應用實例之探討及資料提供平台，對於臺灣在全球氣候變遷所帶來之衝擊及調適議題之研究，將可提供較為一致性、準確性之長期變遷之氣候資料，其在氣候變遷研究上為一基礎工作，該計畫執行具有學術研究之貢獻</p> <p>(2) 實務應用：本研究之推動在實務應用上可提供公私部門，在未來進行各項國家建設時，為政策擬定、工程規劃設計時，對於氣候變遷因素的考量，能提供完整有效之參考數據，對於國家基礎建設具有實務應用之價值。</p> <p>(3) 成果移轉：成果轉移之成效較顯不足，建議應尋找相關單位建立計畫執行成果技術轉移，並於報告書中提出未來可進行成果移轉之相關建議。</p>	<p>謝謝委員肯定及指教。本計畫產製資料及其應用技術研發成果已透過參與計畫執行學者逐漸轉移至相關部會，如經濟部水利署、衛福部疾管署、行政院農委會等。</p>
	<p>3. 綜合意見</p> <p>(1) 報告內文之單位表示方式，建議全面性的核對，包括上下標問題、公制單位之表示方式要統一，例如公尺及 m、公里及 km 等。</p> <p>(2) P.7~P.26 之第二章其內容在於表達</p>	<p>謝謝委員對報告圖文的指正；已於報告中編修。</p> <p>感謝委員對於資料應用推廣相關建議，此亦為本計畫團隊下一階段努力目標。</p>

委員	委員意見	團隊回覆
	<p>TCCIP2 第二期計畫之重要亮點成果，為更能顯現第一期與第二期之差異性，建議如表 2.1 將各亮點以表列方式表達前後期計畫執行的差異性。</p> <p>(3) 為增報告的易讀性建議增加專有名詞中英文及縮寫對照表。</p> <p>(4) P.23 圖 2.16 應將色階之變化數值變化，以圖例表達之。</p> <p>(5) P.28 圖 3.1 與內文所欲表達內容不符。</p> <p>(6) P.35 有關海水位上升趨勢與 P.32 之海平面統計分析有關，建議將 P.35 之內容移至 P.32 之波後、暴潮與海平面統計分析章節中。</p> <p>(7) P.58~P.64 各圖中之英文縮寫應加註中文或英文全文，以增加圖表的易讀性，例如 MAN(春季)、JJA(夏季)、SON(秋季)、DJF(冬季)。</p> <p>(8) 建議增加參考文獻的條列及英文摘要。</p> <p>(9) TCCIP 資料申請平台，觀測資料之申請其選取參數為雨量、溫度、最高溫、最低溫；而根據報告書 P.10 TCCIP_II 可提供之資料兩者間是否一致？</p> <p>(10) 成果推廣除辦理資料應用說明會及資料使用者經驗分享外，建議尋找政府相關機構簽訂合作協定，使資料能實際應用於政府業務推動上之使用，以增加資料建置之實際應用。</p> <p>(11) TCCIP 資料申請平台之資料申請目前以計畫執行為主，建議應增加公私機構部門資料申請，以增加資料使用的價值。</p>	