

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫期末報告

臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC100-2621-M-492-001

執行期間：100 年 12 月 1 日至 102 年 2 月 28 日

執行機構及系所：財團法人國家實驗研究院地震工程研究中心、交通部中央氣象局氣象預報中心、交通部中央氣象局氣象科技研究中心、國立臺灣大學大氣科學系暨研究所、國立臺灣大學建築與城鄉研究所、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)、國立中央大學大氣科學系、臺北市立教育大學地球環境暨生物資源學系、中央研究院環境變遷研究中心、財團法人國家實驗研究院國家災害防救科技中心

計畫主持人：林李耀研究員

共同主持人：紀水上副局長、盧孟明研究員、隋中興教授、陳亮全教授、童慶斌教授、鄭克聲教授、洪致文副教授、翁叔平副教授、陳正達教授、葉克家教授、林傳堯副研究員、周佳研究員、劉紹臣特聘研究員、許晃雄研究員、陳永明副研究員、于宜強副研究員、陳韻如助研究員、朱容練助研究員、吳宜昭助研究員、江申副研究員、鄭兆尊副研究員

協同研究人員：劉俊志助研究員

博士後研究員：魏曉萍博士、朱蘭芬博士、蘇元風博士、張振瑋博士、木村延明博士

本計畫除繳交成果報告外，另含下列出國報告，共 2 份：

- 移地研究心得報告
- 出席國際學術會議心得報告

處理方式：得立即公開查詢

中 華 民 國 102 年 5 月

摘要

第一期臺灣氣候變遷推估暨資訊平台建置計畫 (The Taiwan Climate Change Projection and Information Platform Project, 以下簡稱 TCCIP 計畫) 在執行的三年期間 (99 年-101 年) 產出不少豐碩的研究成果，如建置氣象資料數位化、均一化及網格化資料，推估臺灣地區氣候變遷情況，產製高時空間解析度之統計降尺度與動力降尺度資料，應用氣候變遷推估資料於災害及水部門之衝擊評估之相關技術發展，並完成「臺灣氣候變遷科學報告 2011」以及「臺灣氣候變遷推估與資訊平台網站」。除了產製高解析度臺灣地區氣候變遷推估資料之外，本計畫最主要的角色之一為扮演氣候變遷資料使用者與資料產製者之主要溝通介面，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。

本計畫所架構之氣候變遷資料與資訊之研究與應用整合平台有助於臺灣地區氣候變遷研究與分析，資料交換與加值，衝擊評估應用之數據與方法提供，或是國際合作以及資料服務與溝通。TCCIP 計畫的研究團隊在第一期計畫中累積了豐富的經驗並逐漸建立起使用者網絡，未來將在第二期計畫推動過程中，強化整合平台的能量，將部會資料、科學研究與使用者溝通及服務，在這個平台上持續累積其能量，展現國科會推動此主軸計畫之價值。

未來第二期計畫中，第一工作小組將強化臺灣地區氣候變遷資料之建置與現象再分析，並建立氣候現象評估量表與模式表現評估量表。第二工作小組則將持續產製統計與動力降尺度資料及其技術研發與應用。第三工作小組在第一期計畫中是以災害領域為溝通測試的主要對象，第二期計畫除了強化災害與水領域之深化研究，如使用者最為關切之資料應用極限性、可靠度以及不確定性問題…等，使用者將增加農業與公衛領域的相關單位與學者，進行資料應用的相關技術研發。本計畫第一期便已嘗試兼顧氣候變遷研究與使用者的需求進行雙向整合與溝通，在第二期的規畫中將更強化雙向的溝通。另外針對其他領域的使用的資料服務與溝通，第二期計畫將新增第四工作小組 (Team4)，強化科學社群溝通與服務、強化資訊平台網站資料的線上服務、氣候變遷知識轉譯與服務，以及第二版氣候變遷科學報告之撰寫。

關鍵詞：臺灣地區氣候變遷、統計降尺度、動力降尺度、資料服務與溝通

Abstract

The Taiwan Climate Change Projection and Information Platform Project (TCCIP) phase 1(from 2010 to 2012) has produce substantial results such as producing digitalized, homogenized, and gridded meteorological data sets; projecting climate change projection of Taiwan area; producing high spatial-temporal resolution data sets by statistical downscaling and dynamic downscaling; developing technologies of applying climate change data to the studies of disaster reduction and water resources management, publishing “Climate Change in Taiwan: Scientific Report 2011”, and building TCCIP website. In addition to being a producer of high resolution climate change projection data, the TCCIP project is also meant to be a good communication interface, effectively passing not only the data itself but also the related information about data to data users.

The platform which the TCCIP project built can benefit the Climate Change research and analysis of Taiwan area, development of projection data for policy options assessment, climate change data providing service to users, and international collaboration on data exchange. The TCCIP team has accumulated abundant research experiences and user network. The second phase of TCCIP will further strengthen the information platform’s integration on inter-ministerial information with scientific research results and data communication service.

In TCCIP phase 2, Team 1 will focus on refinement of local climate change database and its reanalysis in Taiwan and development of Phenomenon Metric and Performance Metric for climate study. Team 2 will continue to produce statistical and dynamic downscaling data sets and its applications. Disaster-related field is the main user of climate change data sets during the TCCIP phase 1. The operation of TCCIP phase 1 focused on finding the balance between Top-Down approach (from researcher’s point of view) and Bottom-Up approach (from user’s demand). The phase 2 project Team 3 will aim to extend the data user fields to agriculture and public health for relative technology development. In the meantime, the project also aims to reinforce the studies on disaster reduction and water resources management applications such as issues of data limitations, reliability, and uncertainty etc. In phase 2, the project will continue on communication between data users and providers. To this purpose, a new Team 4 will dedicate to improve communications and services within scientific societies, update the information platform and reinforcement of on-line service, translate and disseminate climate change knowledge, and conduct “Climate Change in Taiwan: Second Scientific Report 2015”.

Keywords: Climate change in Taiwan, statistical downscaling, dynamic downscaling, data service and communication

目 錄

第一章 前言及成果報告架構說明	1
1.1 計畫整體規劃	1
1.1.1 工作目標	1
1.1.2 本計畫於國內推動氣候變遷之定位	3
1.1.3 三個工作小組分工架構	3
1.2 三年執行成果概述	3
1.3 章節架構說明	9
第二章 整合性研發議題成果	1
2.1 臺灣氣候變遷基礎資料數位化與均一化資料應用	1
2.1.1 臺灣測站紙本資料數位化 (附錄一:第一章)	3
2.1.2 均一化資料應用 (附錄一:第一章)	3
2.1.3 臺灣降雨指數 (TRI) 在氣候變遷議題上之應用	3
2.1.4 發展乾旱監測指數 SPEI 與應用性評估 (附錄一:第三章)	6
2.2 氣候變遷下的臺灣年代際變化與乾旱趨勢分析	8
2.2.1 臺灣溫度與雨量趨勢分析 (附錄一:第二章)	8
2.2.2 極端乾期指標設計與應用 (附錄一:第二章)	10
2.3 東亞地區之變遷趨勢對臺灣的影響	11
2.3.1 臺灣與華南地區梅雨季降水之年代際變化 (附錄一:第四章)	11
2.3.2 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 (附錄一:第五章)	14
2.3.3 北極海冰之時空變異特徵與對東亞地區之影響研究 (附錄一:第七章)	15
2.3.4 MRI 模式資料分析	19
2.4 氣候變遷推估之極端事件統計降尺度的應用研發	25
2.4.1 資料來源	26
2.4.2 研究方法概述	27
2.4.3 具體成果	34
2.4.4 小結	37
2.5 高解析度動力降尺度技術研發	38
2.5.1 資料說明	39
2.5.2 研究方法	40
2.5.3 具體成果	44

2.5.4 小結	55
2.5.5 參考文獻	55
2.6 氣候變遷推估之暴雨分析	57
2.6.1 降雨事件定義	58
2.6.2 颱風事件降雨參數變遷結果	59
2.7 氣候變遷極端事件模擬與災害衝擊評估	62
2.7.1 氣候變遷下之雨量推估資料	63
2.7.2 SOBEK 一維河道水理模擬	63
2.7.3 SOBEK 二維淹水模式	70
2.7.4 災害損失與衝擊評估	73
2.7.5 颱風氣象因子與水稻災損之相關性分析	76
2.8 氣候變遷於四大流域流量衝擊	78
2.8.1 研究區域	78
2.8.2 水文模式流量驗證	80
2.8.3 具體成果	80
第三章 氣候變遷應用技術研發與資訊服務	93
3.1 因應水文領域應用需求之情境設定	93
3.1.1 降尺度資料應用-GCM 模式資料提供	93
3.1.2 降尺度資料應用- GCM 模式之豐枯水期降雨特性分類	98
3.1.3 模式挑選之建議	106
3.2 氣候變遷氣象資料之衍生	106
3.2.1 LARS-WG 模式描述	108
3.2.2 WGEN 模式描述	108
3.2.3 模式校驗	108
3.2.4 天氣衍生器優化—發展長延時日降雨	110
3.2.5 WG 資料應用與案例分析	113
3.2.6 天氣衍生器研究結果與建議	117
3.3 使用者溝通及資料服務	117
3.4 資訊平台網站更新	118
3.5 其他資訊服務	120
3.5.1 國際研討會暨成果發表會	120
3.5.2 資料應用說明會	123

3.5.3 英文科學報告	123
第四章 結語與未來展望	125
4.1 結語	125
4.2 TCCIP 未來展望	128
4.2.1 第二期計畫參與單位與對內對外關係	128
4.2.2 第二期計畫四個工作小組分工架構	129

表目錄

表 2.1	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)。	15
表 2.2	情境所選用之模式列表	28
表 2.3	梅雨季降水的敏感度實驗設計。	42
表 2.4	60KM MRI 四組不同初始場模擬、20KM MRI 和觀測 (1992~2006) 的侵臺颱風逐月分佈、侵臺颱風總數	43
表 2.5	ECHAM5 與 MRI AGCM 降尺度後與觀測資料的比較。由上而下分別是與觀測資料的差異、近未來與現在以及世紀末與現在的差異。單位：°C。	46
表 2.6	為降水差異百分比。向上紅箭頭表示未來降雨較現在多，向下藍箭頭表示未來降雨較現在少，-：表示該區域降雨增減的趨勢不明顯。	47
表 2.7	臺灣地區、四大分區與五大流域之世紀末降雨改變率 (單位：%)。	52
表 2.8	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：%)。	53
表 2.9	降雨事件類型與其門檻值	59
表 2.10	MRI-WRF-5KM 動力降尺度之極端事件與莫拉克颱風事件降雨量分析	63
表 2.11	五大流域警戒水位	64
表 2.12	五大流域計畫流量	64
表 2.13	基本資料收集	71
表 2.14	嘉義、台南、高雄地區稻作損失之迴歸結果 (OLS)	77
表 2.15	南部地區 20、50、100 年重現期降雨下之災損情況	77
表 3.1	利用東亞季風特性挑選之 GCM 模式	97
表 3.2	利用豐枯水期特性挑選之 GCM 模式	97
表 3.3	十三個流域時段與空間分佈具有一致性之 GCM.....	99
表 3.4	挑選九個 GCM 模式空間分布差異性	105
表 3.5	不同推估年空間一致性 GCM 模式	105
表 3.6	東亞季風表現佳且網格點的變化具有空間一致性的 GCM 模式.....	106
表 3.7	2013 INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLIMATE CHANGE 議程大綱	121

圖目錄

圖 1.1 國科會優勢領域氣候變遷計畫	2
圖 1.2 TCCIP 計畫之整體目標	2
圖 1.3 TCCIP 計畫與相關氣候變遷計畫之關係圖	3
圖 1.4 三個工作小組分工架構	4
圖 1.5 TEAM1 主要成果	5
圖 1.6 TEAM1 歷年成果	5
圖 1.7 TEAM2 主要成果	6
圖 1.8 TEAM2 歷年成果	6
圖 1.9 TEAM3 主要成果	7
圖 1.10 TEAM3 歷年成果	8
圖 1.11 TCCIP 計畫過去氣候資料應用與服務的重點成果	8
圖 2.1 臺灣雨量測站 (TRD) 資料處理流程圖。	2
圖 2.2 TRI-MEX 滑動平均所呈現的各自然季節年代際變化。	4
圖 2.3 各季節 TRI-MEX 與 PDO、全球溫度之年代際變化。	5
圖 2.4 1911~2010 年台灣全島年平均溫度的趨勢變化。	9
圖 2.5 1911~2009 年台灣全島年總雨量的趨勢變化。	9
圖 2.6 1911~2011 年每 11 年滑動累加的台灣極端乾期指數 (DSIDX) 依嚴重程度區分為五種不同極端乾期類別的分布。	10
圖 2.7 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。	13
圖 2.8 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。	13
圖 2.9 左圖為北緯 45 度至 90 度的冬夏季海冰濃度年際變化。右圖同左圖，但選定區域為 65°N - 80°N ， 30°E - 60°E ，即巴倫支海海域。	16
圖 2.10 白令海與鄂霍次克海海域冬季海冰濃度 EOF 空間型態與主分量。	17

圖 2.11 白令海與鄂霍次克海冬季海冰濃度與溫度 SVD 與時間序列。	18
圖 2.12 (A)、(c) SVD1 與 CRU 溫度與降水之相關係數。	18
圖 2.13 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。	20
圖 2.14 MRI 模式 20 公里解析度降水資料 5、6 月兩時期降水空間分布。	21
圖 2.15 MRI 模式 20 公里解析度降水資料所推算之降水日數距平值。	22
圖 2.16 MRI 20 公里解析度資料於夏季的 850 百帕水氣場及降水場。	24
圖 2.17 同圖 2.16。但為秋季。	25
圖 2.18 誤差校正示意圖。	29
圖 2.19 不同解析度下年最大降雨之分布圖.....	31
圖 2.20 空間影響因子 ΔR 示意圖.....	31
圖 2.21 降尺度流程之示意圖	32
圖 2.22 觀測與模式降尺度前後之 20 年平均年最大降雨值。	33
圖 2.23 原始模式、誤差校正後、降尺度後之世紀末年最大降雨改變率.....	33
圖 2.24 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。	38
圖 2.25 (A) MRI AGCM 動力降尺度執行的範圍，(B) ECHAM5 動力降尺度執行的範圍。	41
圖 2.26 颱風中心所在位置 (框線標示處) 與平均颱風降雨及颱風降雨改變率的分布圖。	43
圖 2.27 颱風重置實驗中重置點分布的示意圖。	44
圖 2.28 兩米溫度區域平均的時序圖	45
圖 2.29 經動力降尺度後世紀末時期春、夏、秋、冬四季日均溫變化.....	46
圖 2.30 動力降尺度之季節降雨分佈。	47
圖 2.31 WRF 模式推估現在 (1979-2003 年) 及世紀末 (2075-2099 年) 之連續高溫 (溫度 > 35 °C) 頻率分布。	49
圖 2.32 1979-2003 年 5、6 月降水空間分布。	49
圖 2.33 以臺灣全區每個網格點的日降雨量計算各區間降雨量佔總降雨量之百分比分布。	50

圖 2.34 觀測、5KM WRF 及 1.66KM WRF (升尺度至 5KM) 在現在時期之降雨強度指標氣候值的 (SDII) 空間分布。	51
圖 2.35 現在時期之颱風日降雨機率密度函數.....	51
圖 2.36 (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。	52
圖 2.37 成功完成颱風重置的個案之一。	54
圖 2.38 成功完成颱風重置的個案之二。	54
圖 2.39 降雨事件特性	58
圖 2.40 第二類降雨事件 (颱風) 之統計參數 (A) - (D) 事件數；(E) - (H) 降雨延時；(I) - (L) 總降雨量；(M) - (P) 間隔時距。	61
圖 2.41 第二類降雨事件 (颱風) 參數改變率 (A) - (D) 近未來；(E) - (H) 世紀末。	62
圖 2.42 TOP1 至 TOP10 極端事件之下游流量歷線	66
圖 2.43 淡水河近未來之水文事件於土地公鼻水位歷線.....	66
圖 2.44 淡水河世紀末之水文事件於土地公鼻水位歷線.....	66
圖 2.45 淡水河近未來之水文事件於土地公鼻流量歷線.....	67
圖 2.46 淡水河世紀末之水文事件於土地公鼻流量歷線.....	67
圖 2.47 大甲溪近未來之水文事件於大甲溪橋之水位歷線.....	67
圖 2.48 大甲溪世紀末之水文事件於大甲溪橋之水位歷線.....	67
圖 2.49 大甲溪近未來之水文事件於大甲溪橋之流量歷線.....	67
圖 2.50 大甲溪 近未來之水文事件於大甲溪橋之流量歷線.....	67
圖 2.51 濁水溪近未來之水文事件於西濱大橋水位歷線.....	68
圖 2.52 濁水溪世紀末之水文事件於西濱大橋水位歷線.....	68
圖 2.53 濁水溪近未來之水文事件於西濱大橋流量位歷線.....	68
圖 2.54 濁水溪世紀末之水文事件於西濱大橋流量歷線.....	68
圖 2.55 曾文溪近未來之水文事件於於新中 (1) 之水位歷線	68
圖 2.56 曾文溪世紀末之水文事件於於新中 (1) 之水位歷線	68

圖 2.57 曾文溪近未來之水文事件於新中 (1) 之流量歷線.....	69
圖 2.58 曾文溪世紀末之水文事件於新中 (1) 之流量歷線.....	69
圖 2.59 高屏溪近未來年之水文事件於里嶺大橋之水位歷線.....	69
圖 2.60 高屏溪世紀末年之水文事件於里嶺大橋之水位歷線.....	69
圖 2.61 高屏溪近未來之水文事件於里嶺大橋之流量歷線.....	69
圖 2.62 高屏溪近未來之水文事件於里嶺大橋之流量歷線.....	69
圖 2.63 曾文溪流域模擬範圍	71
圖 2.64 莫拉克事件模擬之結果	72
圖 2.65 TOP1 極端事件模擬之結果	72
圖 2.66 各土地利用下之淹水面積	75
圖 2.67 十場極端淹水事件之各類損失	75
圖 2.68 十場極端淹水事件之總損失	76
圖 2.69 不同延時降雨對稻作損失之影響程度 (平減後).....	77
圖 2.70 氣候變遷對流量衝擊評估流程架構.....	79
圖 2.71 四大流域分佈與採用之雨量站名.....	79
圖 2.72 四大流域豐枯水期流量變化之累積機率.....	81
圖 2.73 淡水河流域豐枯水期流量改變率之累積機率 (以大漢溪為例)	81
表 2.16 不同情境豐枯水期流量變化之變異性大小 (以高屏溪為例)	82
圖 2.74 不同情境下豐水期流量改變率範圍 (以高屏溪為例)	82
圖 2.75 不同情境下枯水期流量改變率範圍 (以高屏溪為例)	83
圖 2.76 假設最劣情境與多模式平均結果 (以荖濃溪為例)	84
圖 2.77 (E) 為所有模式近未來各月份降雨改變率之盒鬚圖，(F) 東亞季風挑選模式近未來各月份降雨改變率，(G) 豐枯水期近未來各月份降雨改變率之盒鬚圖。.....	85
圖 2.78 水利署挑選之 GCM 模式之近未來流量改變率 (以大漢溪與荖濃溪為例)	86
圖 2.79 水利署挑選之 GCM 模式之世紀末流量改變率 (以大漢溪與荖濃溪為例)	86
圖 2.80 所有 GCM 模式之世紀末豐枯水期流量改變率 (以大漢溪與荖濃溪為例)	87

圖 2.81 所有 GCM 之豐枯水期流量改變率分析結果之模式統計數 (以大漢溪與荖濃溪為例)	89
圖 2.82 不同空間解析度網格點分布	89
圖 2.83 高屏溪流域不同解析度網格點與雨量站分布	90
圖 2.84 不同空間解析度月流量改變率之差異	91
圖 2.85 不同空間解析度流量改變率差異	91
圖 3.1 因應水文領域應用需求各年提供的資料內容	94
圖 3.2 假設最劣情境之示意圖 (第二年)	94
圖 3.3 挑選模式之流程	95
圖 3.4 挑選模式示意圖	96
圖 3.5 以豐枯特性挑選模式示意圖	96
圖 3.6 統計降尺度後網格點分佈圖	98
圖 3.7 所有排放情境與推估時段之 GCM 模式之分類	99
圖 3.8 A1B 情境下東亞季風特性挑選之九個 GCM 模式豐枯水期平均降雨特性	101
圖 3.9 A2 情境下東亞季風特性挑選之八個 GCM 模式豐枯水期平均降雨特性	102
圖 3.10 B1 情境下東亞季風特性挑選之八個 GCM 模式豐枯水期平均降雨特性	104
圖 3.11 研究架構	107
圖 3.12 衍生資料網格與矩陣校驗	109
圖 3.13 五大流域降雨 CDF 圖之基期資料、LARS-WG 與 WGEN 比較	109
圖 3.14 A1B 情境，近未來與世紀末極端日降雨之 24 組 GCM 中位數與 IQR 值 (LARS-WG)	111
圖 3.15 A1B 情境，近未來與世紀末極端日降雨之 24 組 GCM 中位數與 IQR 值 (WGEN)	111
圖 3.16 研究定位示意圖	112
圖 3.17 未來氣候時間序列用於各領域之統計分析	113
圖 3.18 A1B 情境之各季與各月 24 組 GCM 於世紀末之降雨累積 CDF	114
圖 3.19 充實期臨界溫度 (26°C) 於未來氣候變遷下，A1B 24 組 GCM 各旬臨界日數之中位數累積 CDF，以台南為例。	115

圖 3.20 石門水庫集水區於 A1B 情境下全模式預測未來連續不降雨日數	116
圖 3.21 網格化資料空間分佈頁面	119
圖 3.22 網格化資料時序變化頁面	119
圖 3.23 資料服務說明頁面	120
圖 3.24 國際研討會暨成果發表會花絮	122
圖 3.25 資料說明會問卷	124
圖 4.1 TCCIP 扮演氣候變遷資料與資訊整合平台角色	125
圖 4.2 TCCIP 計畫雙向溝通示意圖，以及相關工作小組之關聯性。	126
圖 4.3 TCCIP 第一期主要成果	127
圖 4.4 TCCIP 第二期計畫之參與單位與對內對外關係架構圖	128
圖 4.5 四個工作小組分工架構圖	129

第一章 前言及成果報告架構說明

1.1 計畫整體規劃

政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 於 2007 年公布氣候變遷第四次評估報告揭示過去 100 年的氣候變遷現況，與未來 100 年在暖化效應持續的情況下可能的衝擊影響。該報告指出，過去 100 年全球平均溫度上升 0.74°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，IPCC 第五次評估報告 (AR5) 預計於 2013~2014 陸續公布，將揭露國際最新的氣候變遷研究成果與科學證據。

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。因此台灣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) 所提出之氣候變遷調適策略綱領 (Adaptation Policy Frameworks for Climate Change, APF)，擬定台灣「氣候變遷國家政策調適政策綱領與行動方案」，規劃國家的調適策略整體架構，並分別從不同領域（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）針對氣候變遷衝擊提出具體因應行動方案。該行動綱領已於 2012 年 6 月行政院正式核定推動。

在政府之氣候變遷政策綱領與行動計畫推動過程中，科學數據與評估方法是非常重要的參考依據，國家科學委員會過去長期推動本地氣候變遷推估與衝擊研究，已累積部分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，國科會推動氣候變遷優勢領域計畫，從 2009 年開始到未來 2015 年，有三個主軸計畫陸續推動 (如圖 1.1 所示)，分別為五年期計畫氣候變遷實驗室 (CCliCS)，以及 TCCIP 計畫則強調氣候資訊之服務與應用，最後是 TaiCCAT 計畫進行環境資料庫建置與脆弱度分析技術，TCCIP 可依據 TaiCCAT 計畫需求提供氣候變遷推估資料，若有因領域、尺度或應用上溝通問題，雙方建立利實質對話關係，以達氣候資料的有效應用。

1.1.1 工作目標

本計畫「台灣氣候變遷推估與資訊平台建置」(簡稱 TCCIP 計畫)，以建構氣候變遷跨領

域研究與應用整合平台、落實研發成果於跨部會調適政策應用、建立臺灣氣候變遷未來推估、強化臺灣區域氣候研究等為整體目標，進行區域氣候變遷分析與情境推估、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。本計畫之整體主要目標如圖 1.2 所示。



圖 1.1 國科會優勢領域氣候變遷計畫



圖 1.2 TCCIP 計畫之整體目標

1.1.2 本計畫於國內推動氣候變遷之定位

TCCIP 計畫在國內相關部會的角色定位如圖 1.3 所示，最主要的角色為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）之主要溝通介面，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，因此無論是銜接國科會內部的研究計畫（如 CCICS 與 TaiCCAT 計畫），或是提供研究成果與資料給相關部會如水利署、農委會或是政策綱領相關領域的衝擊研究與調適策略研擬，都扮演重要之關鍵角色。

1.1.3 三個工作小組分工架構

TCCIP 主要分為三個工作小組，第一工作小組主要負責台灣地區氣候變遷觀測與模式資料分析，第二工作小組負責氣候變遷降尺度推估技術發展與資料產製，第三工作小組則為氣候變遷資料應用技術發展與研究，其彼此之間密切合作與連結，其關係如圖 1.4 所示。

1.2 三年執行成果概述

前三年計畫成果分為三個工作小組與計畫辦公室分別說明：

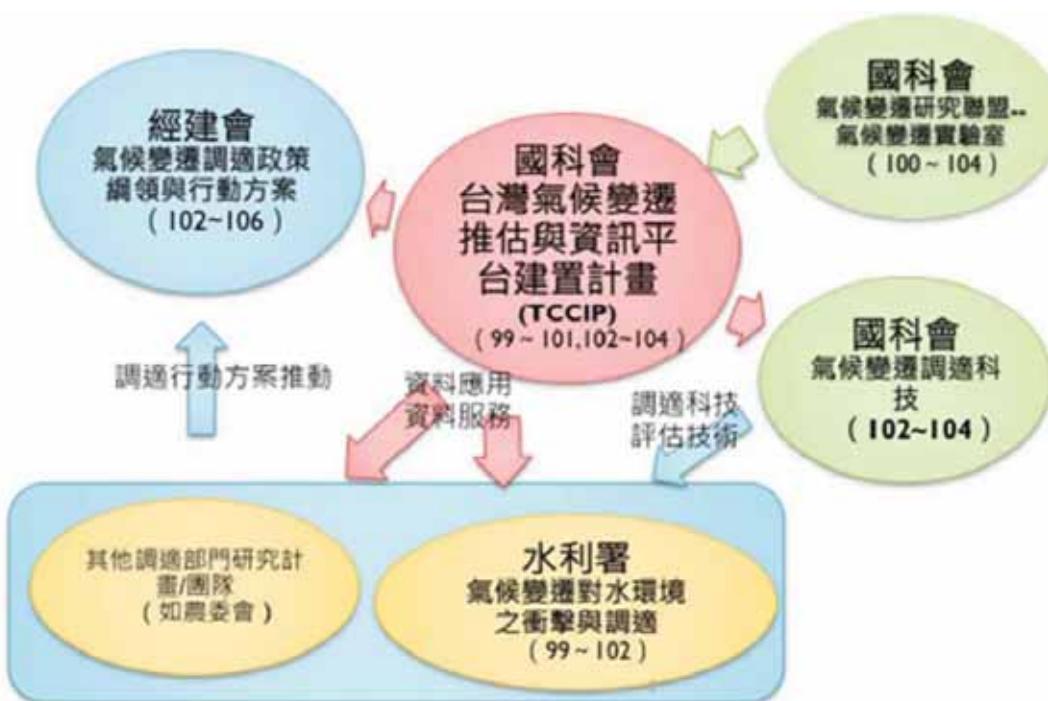


圖 1.3 TCCIP 計畫與相關氣候變遷計畫之關係圖

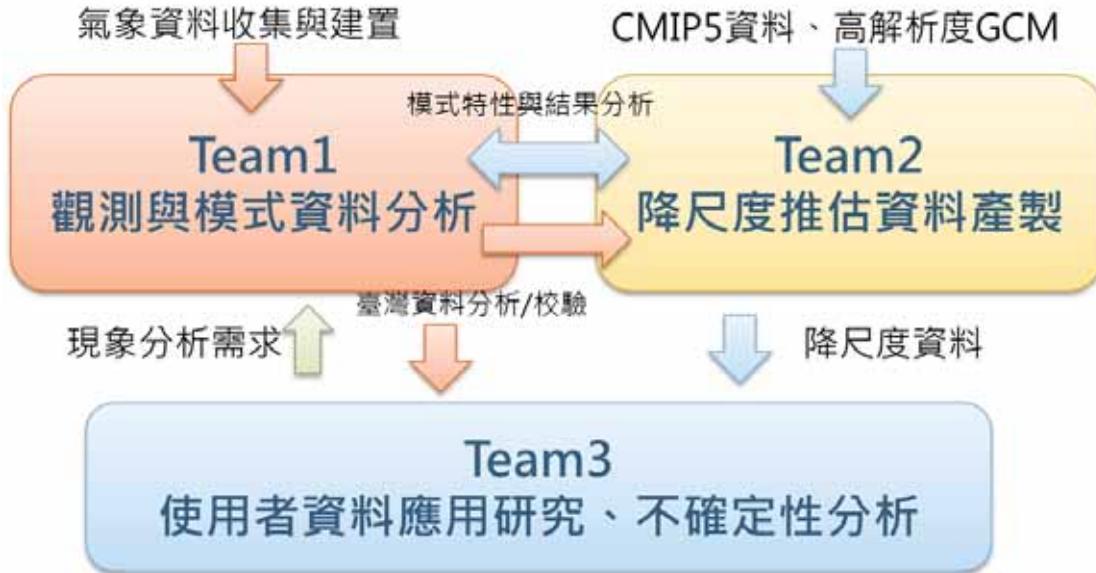


圖 1.4 三個工作小組分工架構

(1) Team1：台灣地區氣候變遷觀測與模式資料分析

本計畫第一工作小組 (Team1) 之主要成果可歸類為四大項，包含臺灣測站資料均一化與網格化、臺灣氣候變異分析、東亞氣候變異分析與模式資料分析與評估，如下圖 1.5 所示。從將近 2500 個測站中篩選出 1187 站可說是均一化過程中最耗時耗力的步驟，將均一化後的資料加值成為臺灣高解析度之網格化資料，完成後提供 Team2 進行 5Km 空間解析度之統計降尺度資料產製，另一方面，該組網格化觀測資料則是提供 Team3 水資源評估時，歷史資料分析與驗證之用。再者，透過長期歷史資料分析，了解臺灣過去之氣候變化情形，發表於「臺灣氣候變遷科學報告 2011」，藉由嚴謹的科學方法，闡述臺灣及東亞地區的氣候變遷趨勢，提供各領域應用端進行衝擊與調適研究時之參考。最後，從 IPCC AR4 的模式表現分析結果，則是 Team1 用以協助 Team3 進行水資源研究技術開發時，模式挑選的重要依據。各年度完成的工作項目如圖 1.6 所示。Team1 所產製的資料包含數位化氣象測站資料、均一化與網格化資料以及觀測與模式資料分析。

(2) Team2：氣候變遷降尺度推估技術發展與資料產製

本計畫第二工作小組 (Team2) 之主要成果可歸類為四大項，包含統計降尺度、動力降尺度、極端事件分析、以及資料服務，如下圖 1.7 所示。所產製資料交由 Team3、公部門及學術單位應用於衝擊評估，包含風力與能源、海岸暴潮、坡地沖刷、洪患與水資源的衝擊等，並由資料使用者將資料應用上所遭遇的問題回饋給 Team2，以達到資料需求相互間溝通銜接。

之目的。除了提供資料之外，Team2 亦針對極端降雨及溫度事件做分析。在服務方面除了提供資料給使用者，試著協助使用者遭遇的問題，例如分析極端事件的特徵及其在未來變遷，除了對現象做初步了解之外，也試著為部分使用者(主要是 Team3)所得到的研究結果找到一些氣象上的解釋。各年度完成的工作項目如圖 1.8 所示。



圖 1.5 Team1 主要成果

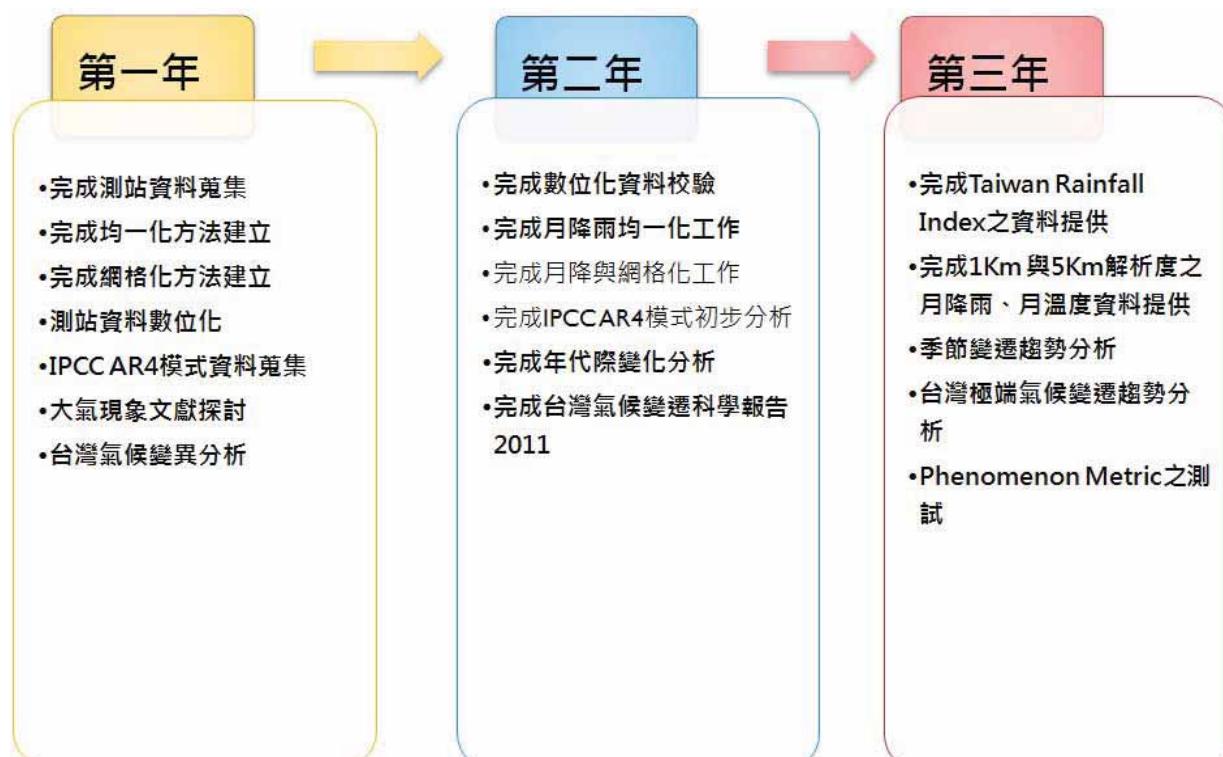


圖 1.6 Team1 歷年成果



圖 1.7 Team2 主要成果



圖 1.8 Team2 歷年成果

(3) TEAM 3：氣候變遷資料應用技術發展與研究

本計畫第三工作小組 (Team3) 之主要成果有五大項，包含洪患模擬評估、水資源管理、不確定性分析、以及服務與相關技術研發，如圖 1.9 所示。Team3 將 TCCIP 產製之資料應用於水部門相關評估，包含洪患與水資源的評估，並將資料應用上所遭遇的問題回饋給 Team2，以達到資料需求相互間溝通銜接之目的，在服務方面除了提供資料給使用者，並協助解決使用者遭遇的問題，如情境假設，以及研發新的技術以提供使用端所需要之暴雨特性資料與產製日氣象資料。各年度完成的工作項目如圖 1.10 所示。

(4) 計畫辦公室：氣候變遷資料服務與推廣應用

計畫辦公室部分除了例行性地協助計畫順利運作之外，並建置計畫網站，將各 Team 初步分析結果放置於網站上。資料服務方面，將 Team1 與 Team2 完成加值的觀測資料與氣候變遷推估資料提供給學界及部會，並積極與各單位溝通使用之需求，從中獲得回饋與使用經驗。國際交流方面，則是積極協助本計畫研究人員與國外學者之交流事宜，第一年度最主要以日本 MRI 為主，並舉辦 TCCIP 氣候變遷國際研討會，邀請國外學者來台針對氣候變遷議題進行演講，使本計畫成員能與國外學者面對面交換氣候變遷之研究心得，拓展國際視野。再者，計畫辦公室協助成立台灣氣候變遷科學報告工作小組，針對台灣地區氣候變遷趨勢提供科學上之證明與說明，完成台灣氣候變遷科學報告，並於 2011 年 11 月正式出版。氣候資料應用與服務的重點成果如圖 1.11 所示。



圖 1.9 Team3 主要成果

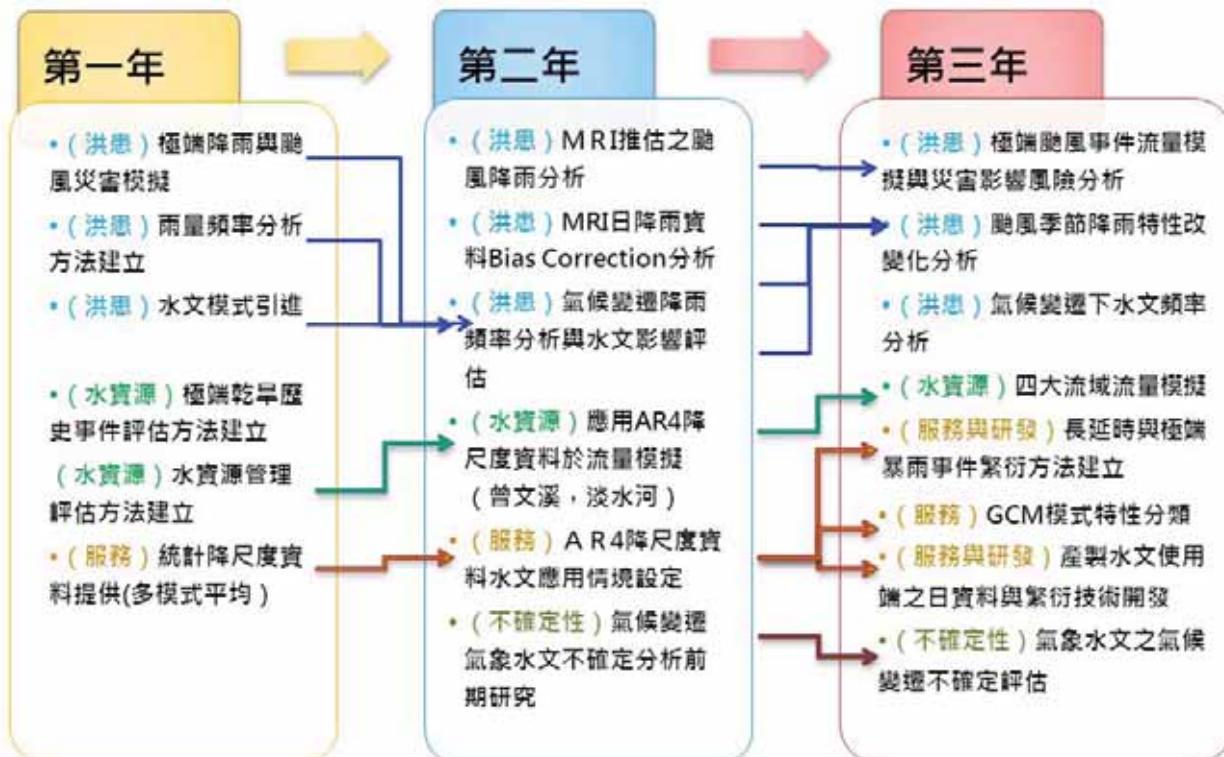


圖 1.10 Team3 歷年成果



圖 1.11 TCCIP 計畫過去氣候資料應用與服務的重點成果

1.3 章節架構說明

本報告第一章為前言，第二章為整合性研發議題成果，第三章為氣候變遷應用技術研發與資訊服務，最後第四章為結語。在主要成果報告無法完整呈現部分，以附錄方式呈現，相關附錄內容為本研究報告之重要產出，相關附錄內容及負責團隊如下所示：

附錄一 第一工作組 (Team1) 年度工作報告

- 第一章 臺灣降雨指數(TRI)設計與應用／洪致文、林和駿
- 第二章 臺灣氣候變異分析／盧孟明、卓盈旻、楊子憶
- 第三章 臺灣極端乾期指標設計與應用／翁叔平、楊承道
- 第四章 臺灣與華南地區梅雨季降水之年代際變化／洪志誠、張智鈞
- 第五章 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／翁叔平、楊承道
- 第六章 MRI 模式對季內尺度擾動模擬之評估與分析／許晃雄、李庭慧
- 第七章 北極海冰之時空變異特徵與對東亞地區之影響研究／許晃雄、陳英婷
- 第八章 日降雨網格資料不確定性分析／翁叔平、朱容練、楊承道

附錄一 第一工作組 (Team1) 年度工作報告

- 第一章 極端氣候指標之統計降尺度技術研發／林修立、陳正達
- 第二章 MRI AGCM 動力降尺度之極端溫度及梅雨季降水分析／林宜穎、鄭兆尊
- 第三章 MRI AGCM 系集模擬颱風降雨的應用技術發展與 1.66 公里解析度動力降尺度之颱風降雨分析／陳淡容、鄭兆尊
- 第四章 ECHAM5 與 MRI AGCM 動力降尺度結果的比較／莊穎叡、林傳堯
- 第五章 臺灣地區颱風重置實驗技術發展／鄭兆尊

附錄三 第三工作組 (Team3) 年度工作報告

- 第一章 氣候變遷對水文頻率分析與暴雨特性之影響／蘇元風
- 第二章 氣候變遷之颱洪農損分析／朱蘭芬
- 第三章 未來推估氣候資料應用於淹水模擬／魏曉萍
- 第四章 氣候變遷下曾文水庫集水區洪災模擬／木村延明
- 第五章 氣候變遷對四大流域流量之衝擊／陳韻如、劉俊志、蘇元風、陳永明、林李耀、葉克家
- 第六章 統計降尺度模式資料挑選與天氣衍生器應用／謝佳穎、陳韻如、劉俊志

附錄四 英文版科學報告_Climate Change in Taiwan: Scientific Report 2011 (Summary)

附錄五 TCCIP 相關會議資料

附錄六 數位化資料清單

附錄七 對外資訊服務清單

第二章 整合性研發議題成果

本計畫在國科會三個主軸計畫中扮演氣候資訊服務與應用之關鍵角色，產製許多觀測與未來氣候推估資料並將其應用於大氣、水文、農糧等領域。本章以研究議題方式說明三個工作小組在應用與分析本計畫所產製資料之成果，其中 2.1~2.3 節說明台灣歷史觀測資料數位化與均一化工作及其應用、臺灣地區溫度與雨量變化趨勢分析、東亞地區變遷趨勢對臺灣的影響。2.4 與 2.5 節則描述氣候變遷推估之極端事件統計降尺度的應用研發及高解析度動力降尺度技術研發。2.6~2.8 節則描述水文領域應用動力與統計降尺度資料之成果，分別有動力降尺度資料於降雨特性變異之探討、極端降雨於淹水模擬與災害損失之研究、統計降尺度資料應用於河川流量衝擊研究等。

2.1 臺灣氣候變遷基礎資料數位化與均一化資料應用

雨量的極端、多重時間尺度變異、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。對於非氣象學界的研究者而言，要處理這些繁雜的時間與空間雨量資料相當困難，要如何選取適當的雨量記錄來配合文史、經濟、疾病、生態等各面相的研究也是莫衷一是。因此，有些研究簡單挑選少數氣象局長期觀測的綜觀測站數據加以分析，有些選擇空間分布上最近的雨量測站資料處理，但若要整體的以臺灣地區的降雨狀況來做探討，則面臨如何整合，如何一體描述臺灣降雨特性的難題。因此，本計畫收集了臺灣過去超過一百年的各式雨量測站紀錄，以總數超過一千五百站的各時代雨量數據，統整為一方便使用的「臺灣降雨指數」(TCCIP Taiwan Rainfall Index，簡稱 TRI) 提供外界使用。

本次透過 NCDR 徵集 51 個單位所匯集成的「臺灣雨量測站資料」(Taiwan Rainfall Data，簡稱 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。由於這份資料的數據量極大，應用上必須處理的程序也相當複雜，故在取得原始數據後，本研究依照以下步驟進行：

(1) 刪除缺乏測站資訊之測站

獲得之 TRD 原始資料共有 1,497 站，經查發現其中 14 站缺乏測站資訊（經度、緯度或高度位置資料），故剔除這些測站後，獲得完整測站資訊之測站共有 1,483 站。

(2) 刪除無數據資料之測站

1,483 站中，只有站名站號但無觀測數據資料的測站有 217 站，故刪除這些有名無實之測站後，有資料之測站數減為 1,266 站。

(3) 刪除經緯度錯誤與資料錯誤或不齊之測站

1,266 站中，發現火燒寮測站資料實為十日累積雨量而非日雨量，故在日資料處理時刪除該站，而臺中港、池上、外傘頂測站，其經緯度錯標至海上，因 TRD 資料的正確經緯度無法從資料提供者處獲得，故只能刪除，剩下可用的 1,262 站。

(4) 經緯度重複測站之處理

在剩下的 1,262 站中，研究發現有 146 站有經緯度重複問題。不少經緯度重複的測站，起因於單位名稱或直屬單位的更迭，導致重新改變站名或站號，因此經過一一比對，有的測站以合併成一站的方式來解決；有些則因其中一站的數據長度非常短（可能是測試性質之測站），故刪除極短測站而保留較長紀錄一站的方式處理。在交叉比對後，146 站中經緯度兩兩相同的有 134 站（即 67 組），三站經緯度相同的有 12 站（即 4 組）。在一考慮各組測站地理位置、資料長度、資料重疊情形後，分別將各組合併或刪除該組其中一站，最後的處理結果是：經緯度兩兩重複之測站（67 組）：兩站合併成一站的有 49 組（從 98 站併為 49 站），刪除一站而保留一站的有 18 組（從 36 站併為 18 站）；而三站經緯度重複的 4 組，則合併為 4 站。上述的統整過程，簡單於圖 2.1 中呈現。

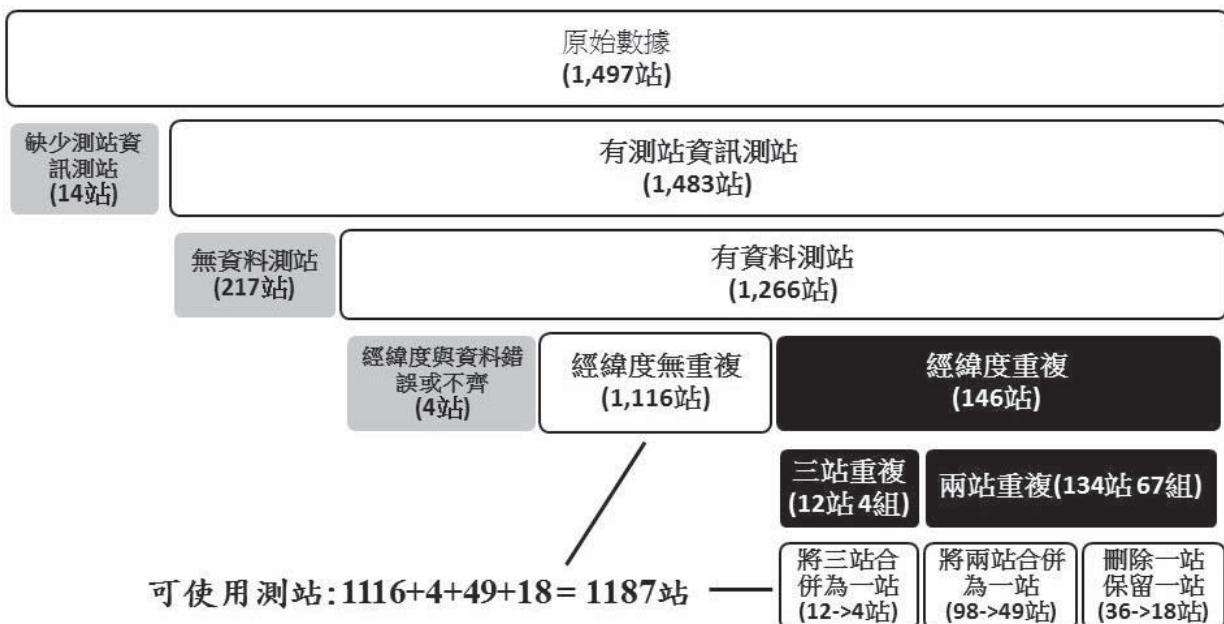


圖 2.1 臺灣雨量測站 (TRD) 資料處理流程圖，說明：臺灣雨量測站 (TRD) 資料處理步驟，灰底部分為刪除之測站，黑底部分為內部處理過程，白底部分為保留之測站，最終使用 1,187 站。

這份指數，保留了雨量只有正值而無負值的基本統計特性，讓使用者可以視其需要自行處理距平 (anomaly) 問題；而為了因應不同需求與目的，本研究也設計出四種不同的指數提供使用者選擇。以日資料與月資料分別處理成的 TRI-d (TRI-daily 之簡稱) 與 TRI-m (TRI-monthly 之簡稱)，是以較嚴苛的數據長度條件篩選測站後，加以計算出的臺灣降雨百年指數 (起迄時間為 1901~2000 年)。至於 TRI-dex (TRI-daily extend 之簡稱) 與 TRI-mex (TRI-monthly extend 之簡稱) 指數，則是以較寬鬆的資料長度條件篩選後，納入清代資料與近年的觀測數據，將臺灣降雨紀錄往前與往後延伸 (並可持續更新)，所計算出的臺灣長期日與月降雨指數 (目前的月指數起迄時間為 1885~2010 年，後續可每年增長)。

2.1.1 臺灣測站紙本資料數位化 (附錄一:第一章)

臺灣氣候變遷資料之建置於去年度已陸續完成部分工作，目前資料數位化已針對中央氣象局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，將近 720 萬筆的紙本資料進行數位化工作。登打工作已於計畫第二年底完成，第三年工作重點為數位化後資料的檢核，該部分工作由氣象局工作團隊負責，所有約 720 萬筆數位化後資料已全數檢核完成，並已匯入資料庫中，該組資料將有助於本計畫團隊往前延伸臺灣過去的氣候變遷過程。

2.1.2 均一化資料應用 (附錄一:第一章)

資料均一化的工作已完成臺灣降雨指數 (Taiwan Rainfall Index, 簡稱 TRI) 之建立，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。本年度計畫著重於臺灣氣候變遷資料之分析及其應用，使用臺灣降雨指數 (TRI) 在氣候變遷議題上之討論，分成四部分：第一部分為總雨量之年代際變化，第二部分為季節降雨，第三部分為冬半年降雨，最後為極端降雨。

2.1.3 臺灣降雨指數 (TRI) 在氣候變遷議題上之應用 (附錄一:第一章)

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；而日尺度的 TRI-d 與 TRI-dex

指數，則適合做極端降雨或較小時間尺度的雨量指標。

(1) TRI 於總雨量年代際變化分析上之應用

TRI 指數計算最重要的貢獻，確認了過去一百多年臺灣整體年總雨量的變化（圖 2.2），大致呈現 1920-1960 年雨量偏高，1960-1990 年雨量偏少，1990 年代中期後（特別是 2000 年後）又開始明顯增加。TRI 指數的分析，可提供過去被忽略的一些現象給政府相關單位參考。例如，水利單位的防洪設計，常僅使用最近二、三十年之雨量記錄來計算，對於近十幾年來臺灣地區一再出現的豪大雨災難事件，統計上往往將其視作是氣候變遷下人們難以掌握的離群值。但事實上，這些所謂的離群值出現頻仍，歷史上也發生過，因此從統計上的盲點來看，亦即真正自然界在臺灣的雨量特徵，並未在這僅使用短短二、三十年之雨量記錄中被忠實完整考慮。

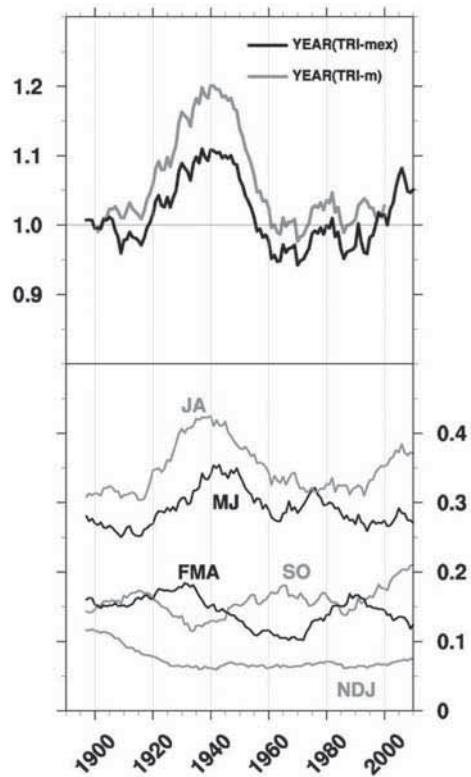


圖 2.2 TRI-mex 滑動平均所呈現的各自然季節年代際變化。上圖粗黑線為 TRI-mex、粗灰線為 TRI-m 所分別算出的年平均年代際變化。下圖細線中，各線條分別為 11-1 月 (NDJ)、2-4 月 (FMA)、5-6 月 (MJ)、7-8 月 (JA) 以及 9-10 月 (SO)，依各季節所含月份累加之 TRI-mex 數值，呈現各季節的年代際變化。以上各線，均為 21 年滑動平均，左側所標之數值，為 TRI 指數的大小。

(2) 季節降雨概況之應用

TRI 指數顯示春雨（二至四月）與秋季（九月與十月）的降雨變化與太平洋上的 PDO 有高度關連（圖 2.3a），且春雨與秋雨正好是負相關；春雨多秋雨少，秋雨多春雨少，對於年總雨量長期變化的貢獻不大，主要的關鍵反而是落在梅雨季（五月與六月）與颱風季前期（七月與八月）。這五至八月的降雨長期年代際變化，與全球地表溫度去掉百年線性成長趨勢後的年代際變化相當類似。這樣的結果，隱約透露一路往上爬的全球暖化並非影響臺灣地區五至八月降雨的主因，反而是去掉這個趨勢後，全球溫度的年代際起伏變化，才是影響的關鍵。而這連結中的物理機制，則有待更進一步的分析。

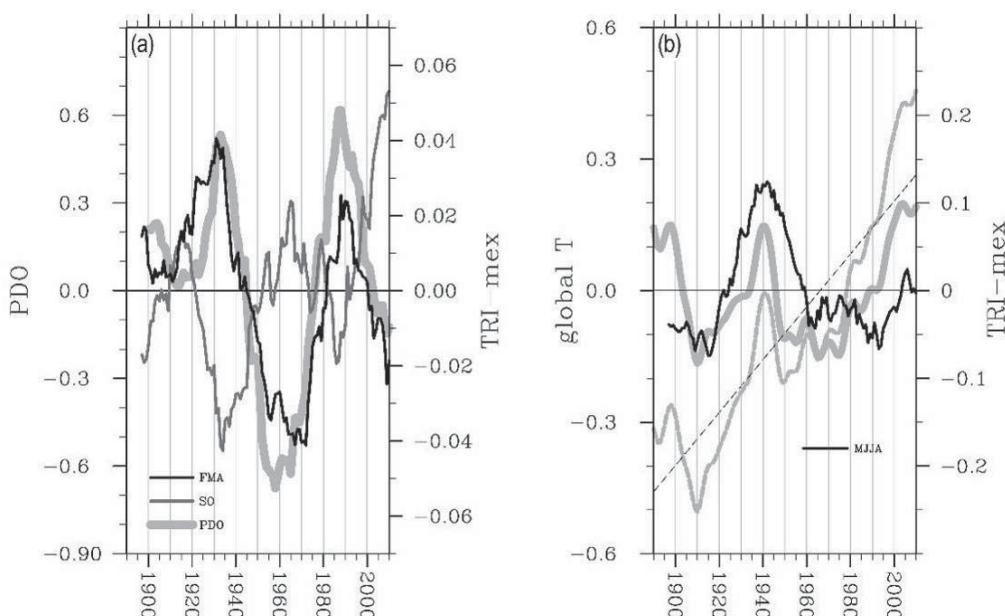


圖 2.3 各季節 TRI-mex 與 PDO、全球溫度之年代際變化。(a) 黑線為 2-4 月 (FMA) 累加之 TRI-mex，細灰線是 9-10 月 (SO) 累加之 TRI-mex，粗灰線淺是 PDO 指數。(b) 黑線為 5-8 月 (MJJA) 累加之 TRI-mex，灰折線為全球溫度距平，灰虛線為全球溫度距平之趨勢線，深灰線為全球溫度距平 (灰折線) 減去趨勢線 (灰虛線) 之值。上述各線的計算，均先經過 21 年滑動平均處理。

(3) 冬半年降雨

臺灣地區冬季降雨受熱帶地區對流系統之影響可以從 MJO 不同相位來討論，本研究發現相位 3 時，臺灣降雨指數 TRI-dex 為八個相位中降水最多的相位。此時期 MJO 主要對流中心位於印度洋，伴隨的區域哈德里環流在臺灣地區為上升氣流區，有利於形成對流性降雨；而

區域哈德里環流的底層由南向北吹向華南及臺灣地區，加上 850 百帕環流場為西南風，此時氣流源頭的低層水氣供應則成為影響華南及臺灣區降雨的關鍵因素。另外，南北海溫差的年際變化與 TRI-dex 的年際變化為反向位，顯示南邊海溫 (15°N - 20°N) 大於北邊海溫 (20°N - 25°N) 時，臺灣地區有較多的降雨，也就是說，南海海溫梯度是向北的時候，有利於臺灣地區的對流降水之發展。

(4) 以 TRI 於極端降雨分析之應用

初步的分析結果顯示，1897-2010 年間指數前 1% 強度的強降雨事件中，55.4% 與颱風有關，45.6% 與颱風無關。而這些前 1% 極端降雨事件的分布月份，與颱風無關的強降雨事件幾乎都是發生在六月，顯示梅雨季後期的六月，是非颱風所造成之強降雨的好發月份；至於與颱風有關的個案，則不意外地集中在七至九月間。更進一步分析這些強降雨事件的分布年代，可見其 1930-1960 年代較多，1960-1990 年間較少，近十年又增加。

(5) 小結

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。未來，指數的設計，還可以依照區域的特色，區分成不同類型來對應相關的研究，例如嘉南平原的農業區、海拔較高的高山區域，或者東北季風迎風面區域…等。本計畫所提供的 TRI-d 與 TRI-m 指數，是完整描述臺灣二十世紀降雨狀態的數據，未來不會繼續更新，但 TRI-dex 與 TRI-mex 指數，則可在增加新的觀測數據後，重新整理持續增長。期待這樣的指數建立，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。

2.1.4 發展乾旱監測指數 SPEI 與應用性評估 (附錄一：第三章)

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後，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。再者，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。本文研究目標有：(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，該部分研究成果將於 2.3 節討論。

由臺灣颱風洪水研究中心管理的大氣研究資料庫，提供中央氣象局綜觀氣象測站所記錄月均溫和月累積降雨量的長期資料庫（資料庫網站為：<http://dbar.ttfri.narl.org.tw>）。隸屬於英國氣象辦公室 (British Met Office) 的哈德雷中心的觀測資料庫 (Hadley Centre Observations datasets)，提供自 1860 年起，2.5 度經緯網格的全球月平均海平面氣壓 (版本 2r, HadSLP2r)；以及自 1856 年 1 月到 2006 年 8 月，2.5 度經緯網格的全球月平均歷史洋面晚上空氣溫度 (4.0 版, MOHMATN 4.0) 等環境變數的長期記錄。設立在英國東安格利亞大學 (University of East Anglia) 的「氣候研究單位」 (Climatic Research Unit, CRU) 提供自 1901 年 1 月到 2009 年 12 月，0.5 度經緯網格的全球陸表月平均氣溫 (3.1 版, CRU_TS3.1) 和月累積降水 (3.1.1 版, CRU_PRCP 3.1.1)。以上資料庫可經由英國大氣資料中心 (British Atmospheric Data Centre, BADC) 的入口網站 (<http://badc.nerc.ac.uk/home/>) 取得相關資訊。美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 的氣候診斷中心 (Climate Diagnostics Center, CDC) 提供國家環境預報中心暨國家大氣研究中心 (National Center of Environmental Prediction/National Center of Atmospheric Research, NCEP/NCAR) 自 1948 年起，2.5°經緯網格的全球三維環流，溫度，和水汽場的再分析 (reanalysis) 資料 (1.0 版, NCEP R1)。NCEP R1 可從 CDC 的 FTP 網站取得 (<ftp://cdc.noaa.gov>)。其相關資訊請參考 Kalnay et al. (1996)。

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。本文採用桑氏維特法 (Thorntwaite 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。詳細的計算過程與參數的推估，請參考附錄一，第三章。

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，則呈現乾溼期交替，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之 SPEI 指數之計算流程，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，進行全臺高解析度之 SPEI 指數建立，提供應用端進行乾旱研究。

2.2 氣候變遷下的臺灣年代際變化與乾旱趨勢分析

本計畫所發表的「臺灣氣候變遷科學報告 2011」(許等 2011) 中，曾針對臺灣地區氣候變遷趨勢進行分析，主要是選用 6 個有百年以上紀錄的測站資料，分析近百年臺灣氣候的線性變化趨勢。以往長期趨勢分析採用線性趨勢分析法，這是由於線性變化趨勢相當直觀易懂。然而氣候為一個非線性 (non-linear) 和非平穩 (non-stationary) 變化的系統，與傳統線性分析方法的基本假設有所出入。為改進此缺點，本計畫與黃鍔院士合作採用整體平均經驗模態分解法 (Ensemble Empirical Mode Decomposition, EEMD) 重新分析臺灣測站資料的長期變化趨勢。EEMD 分析方法具有隨分析資料調整的自適性 (adaptive)，相當適合用於非線性及非平穩狀態資料的分析，可以將資料從高頻到低頻分解成多個不同時間尺度的訊號，有助於於詮釋資料所代表的物理意義。

為了改進傳統線性方法的限制，本研究採用整體平均經驗模態分解法 (Ensemble Empirical Mode Decomposition, EEMD) 重新分析臺灣測站資料的長期變化趨勢。EEMD 分析方法具有隨分析資料調整的自適性 (adaptive)，沒有線性方法的線性 (linear) 和平穩 (stationary) 的假設，也沒有多項式擬合或傅立葉分析的基底函數假設，可完全依據資料本身的特性，將時間序列從高頻到低頻分解成多個不同時間尺度的訊號。利用 EEMD 解出的長期變化趨勢是將不符合趨勢定義具有類似週期變化的訊號濾除乾淨之後獲得的殘餘項，因此可把「趨勢」和「週期性」 (有波峰和波谷起伏) 變化清楚分離，有助於發現不同時間序列之間是否在一些特定的時間尺度有類似的變化，增加了解或解釋氣候變化現象的機會。

本研究選用 6 個具有百年長期記錄的氣象測站，分別是臺北 (TP)、臺中 (TC)、臺南 (TN)、恆春 (HC)、花蓮 (HL) 和臺東 (TT)，分析時間取 6 個測站都有資料紀錄的 1911~2010 年。針對各測站平均溫度和總雨量做長期變化趨勢分析，長期變化分為全年和季節平均，季節平均為每 3 個月的移動平均，一年有 12 個季平均值。將 6 個測站的資料作平均用來臺灣全島的平均變化。

2.2.1 臺灣溫度與雨量趨勢分析 (附錄一:第二章)

全島年均溫變化除了有上升趨勢之外，還有一個約 51.9 年週期的振盪 (通過 90% 顯著檢定)，此波動造成台灣溫度有明顯的增溫和降溫的變化 (圖 2.4)，在 1910~1920 年代和 1970~1980 年代為低溫階段，1940~1950 年代為高溫期間，在 1990 年之後溫度又開始上升，顯示台灣的氣溫的增暖現象為上升趨勢疊加上一個 50 年週期振盪在內的結果。

圖 2.5 為由 6 個測站統計的台灣全島年總雨量變化趨勢，顯示台灣地區年總雨量的 EEMD 與線性分析結果一致，約有下降的趨勢，雖然 EEMD 趨勢線的雨量減少幅度較線性結果多，但 EEMD 趨勢線較接近原始資料的變化，而且兩者都沒有明顯長期變化趨勢。

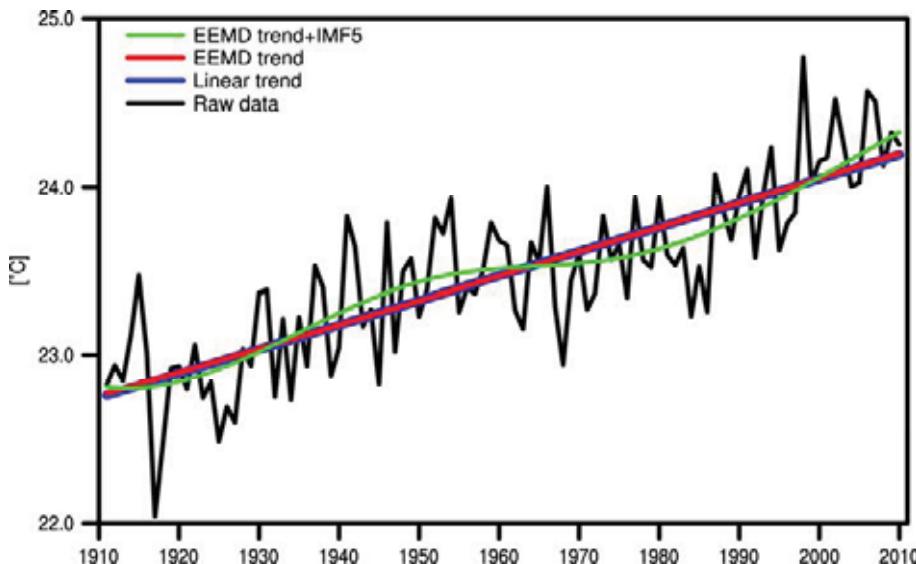


圖 2.4 1911~2010 年台灣全島年平均溫度的趨勢變化，圖中黑色線為原始資料，藍色線是線性分析結果的趨勢變化，紅色線為 EEMD 分解後的趨勢結果，綠色線為 EEMD 趨勢線加上第五個 IMF 週期分量。

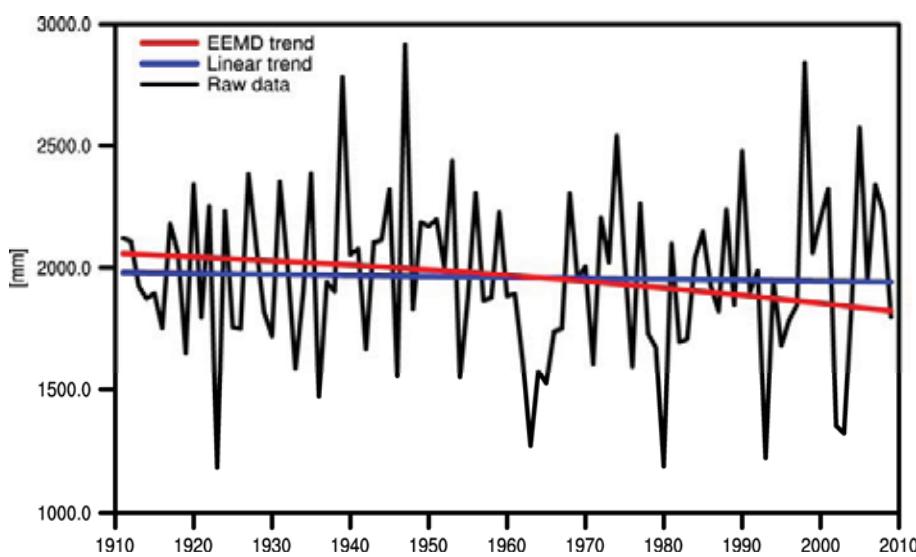


圖 2.5 1911~2009 年台灣全島年總雨量的趨勢變化，圖中黑色線為原始資料，藍色線是線性分析結果的趨勢變化，紅色線為 EEMD 分解後的趨勢結果。

2.2.2 極端乾期指標設計與應用（附錄一：第二章）

本計畫建立一個可以代表台灣異常偏乾狀態的指標，分別根據 6 個百年以上日雨量資料記錄的測站（台北、台中、台南、恆春、花蓮和台東），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，針對台灣極端乾期之變化進行分析。

台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，台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 2.6）。

分析台灣極端乾期頻繁發生的大尺度環流場變化，發現冬季台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，使得台灣夏季降雨減少，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，發現台灣極端乾期指數和雨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。

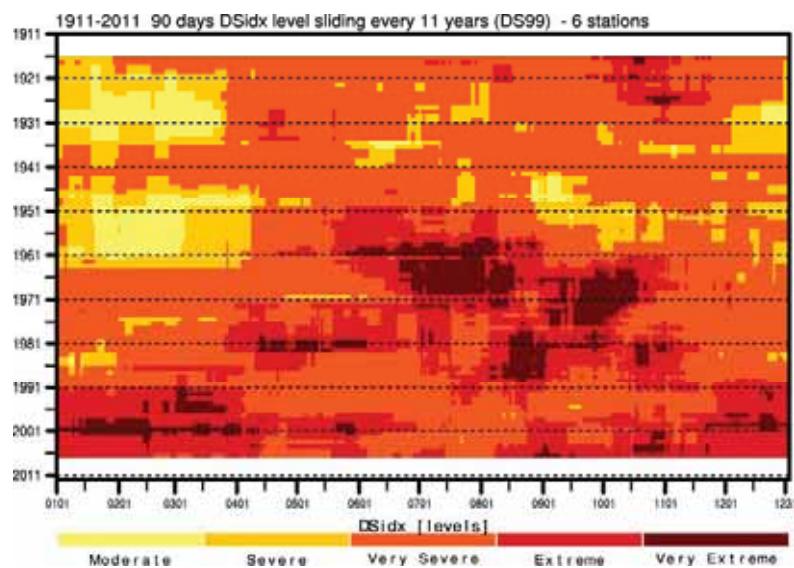


圖 2.6 1911~2011 年每 11 年滑動累加的台灣極端乾期指數（DSidx）依嚴重程度區分為五種不同極端乾期類別的分布。

2.3 東亞地區之變遷趨勢對臺灣的影響

2.3.1 臺灣與華南地區梅雨季降水之年代際變化 (附錄一:第四章)

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。MRI 模式於梅雨季的表現分析，將於 2.3.4 節闡述。

本研究所使用之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期間的距平值差異之比較分析。

(1) 經驗正交函數 (EOF)

又稱主分量分析，藉由計算一組資料之特徵向量 (Eigenvector) 與特徵值 (Eigenvalue)，可以得到空間及時間分布的合成，來呈現一組資料的統計特徵，再進一步求取特徵常數 (eigencoefficient) 及每個模式 (mode) 所佔的百分比 (variance)，分析資料的主要特性。在本研究中主要進行降水資料的 EOF 分析，以求得華南地區的降水結構特徵。

(2) 帶通濾波 (BPF)

主要作用在於方便解析某一特定波段的訊號，濾除不必要之訊號，大氣運動包含多重尺度的現象，要了解特定時間尺度的影響，必須將資料做濾波處理，才可以清楚的顯示其特徵變化。本研究主要運用 BPF 分析方法對風場及氣壓場等變數分別對高頻 (2-8 天) 及低頻 (20-70 天) 的波段進行分析，探討其特性在不同時期下的變化。

(3) 氣候遷移指數指數 (RSI)

利用數學方法計算兩個區間內的差異，以量化方式找出氣候狀態發生突變 (abrupt change or regime shift) 的時間點，所謂氣候遷移指的是一個長時期氣候穩定狀態在短時間內迅速轉變為另一個氣候穩定狀態的現象，RSI 值的計算主要依據 Sergei N. Rodionov 於 2004

年提出之公式， $RSI_{i,j} = \sum_{i=j}^{j+m} \frac{x_i^*}{l\sigma_l}$, $m = 0, 1, \dots, l - 1$ ，當 RSI 值大於 0 時代表氣候態在第 j

年時發生轉變，當 RSI 值小於 0 代表轉變失敗，則 $RSI = 0$ ，因此利用 RSI 值的變化可以客觀的定義出梅雨季降水發生變異的年份。

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 $10^{\circ}\text{N} \sim 40^{\circ}\text{N}$ 。比較各組資料的分析結果在空間結構上的分布與強弱差異，並利用其主分量計算 RSI 值，判斷年代際變化發生的時間點。初步進行 EOF 分析時輸出 EOF1-3 共三個模態 (mode) 的結果，可發現 EOF1 的結果相較於另外 2 個模態具有較明顯的年代際變化，因此以下分析皆採用 EOF1 之結果作為主要討論的對象。

圖 2.7 為 APHRODITE 降水資料由 1979-2007 共 29 年的 5 月份及 6 月份 EOF1 空間結構與其主分量。其中右圖時間序列中之藍色虛線代表 RSI 值，標示發生氣候變異的轉變時間。EOF 分析所選取之範圍較廣，除華南及臺灣以外可一併討論其周邊區域，如日本、韓國、菲律賓、中南半島之降水長期改變。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。

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 2.8 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。

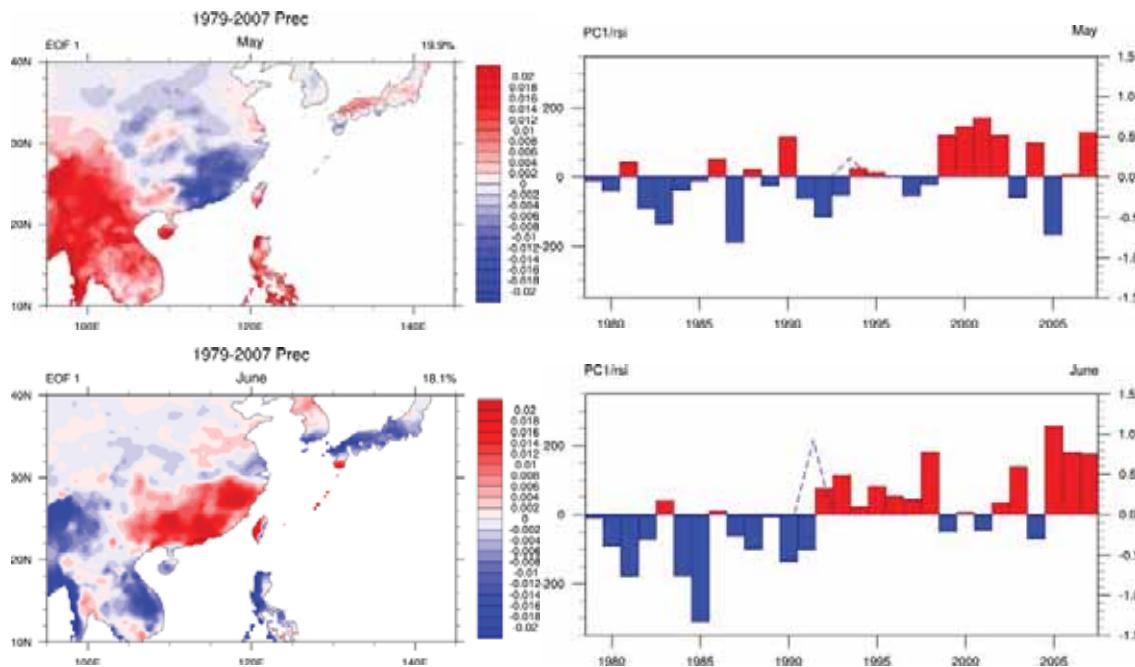


圖 2.7 APHRODITE 降水資料 1979-2007 年之 EOF1 空間分布及其主分量，分析範圍由 10°N - 40°N , 95°E - 145°E 。(a) 為 5 月份之結果，(b) 為 6 月份之結果。

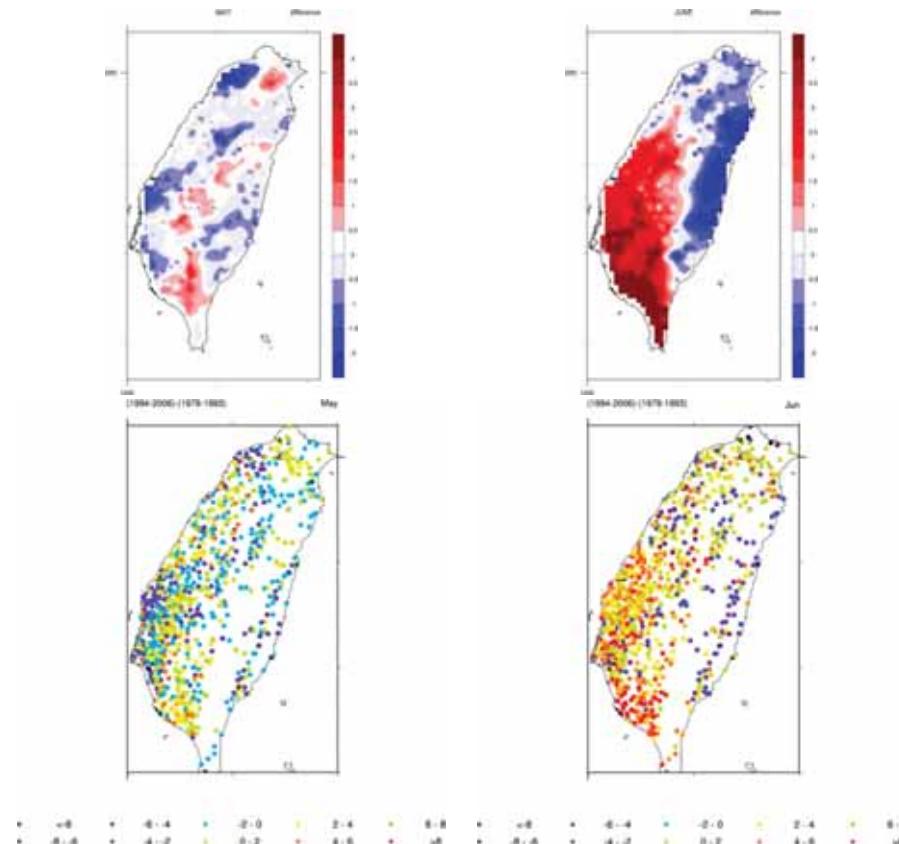


圖 2.8 臺灣地區 P1 (1979-1993 年) 與 P2 (1994-2008 年) 兩時期 5、6 月降水分布差異。(a) 為 TCCIP 5 公里解析度網格資料，(b) 為 TRI 資料。

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。

2.3.2 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（附錄一：第五章）

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, EOFA)，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 EOFA 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 2.1 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。為方便本文下面的討論，我們依據荷重的分佈，分別簡稱以上 3 個 REOF 為西部，東南，和北區型態。

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。

表 2.1 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占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

2.3.3 北極海冰之時空變異特徵與對東亞地區之影響研究 (附錄一:第七章)

海冰的變化影響了中緯度與東亞的大氣環流，並促使極端天氣發生的頻率增加。本研究試圖透過觀測資料分析海冰的主要分布型態，並透過相關分析了解海冰對環流場之影響。

本研究所用之環流場資料，資料來源為 NCEP-NCAR reanalysis 1 (NCEP R1)，分析的季節為冬季，定義該年 1-2 月以及前一年的 12 月之平均，為該年的季平均，資料長度為 1949 至 2010 年。使用的數有海平面氣壓、溫度、高度場、經向風場、緯向風場、垂直風場與比濕以及可降水量，網格解析度為 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。海冰濃度 (sea ice fraction)，資料來源為 Hadley Center，資料全長為 1870-2011 年，為搭配 NCEP R1 資料長度，同樣選取時間為 1949-2010 年冬季，網格解析度為 $1^\circ \times 1^\circ$ 。地表溫度與降雨，資料來源為 Climate Research Unit (CRU)，僅有陸地資料，資料全長為 1901-2009 年，選取時間為 1949-2010 年冬季，網格解析度為 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。

圖 2.9 左圖為北緯 45 度至 90 度的冬夏季海冰濃度年際變化，可以明顯看出無論是冬季還是夏季，都呈現明顯下降的趨勢，但在 1960-1965 年有略微上升的情形。夏季下降趨勢大

於冬季，且冬夏季海冰濃度差值有逐漸增加的趨勢。右圖為變異最大的區域巴倫支海一帶的年際變化，選定區域為 $65^{\circ}\text{N}-80^{\circ}\text{N}$, $30^{\circ}\text{E}-60^{\circ}\text{E}$ ，亦是海冰變化最敏感的區域，海冰濃度均小於大區域的可能原因是大區域中包含海冰幾乎長年不化的更北方的區域。巴倫支海海冰在 1969 年有海冰特別增加的狀況，冬夏季的差值隨時間則無明顯差異甚至略為減小，整體而言同樣亦呈現明顯下降的趨勢。

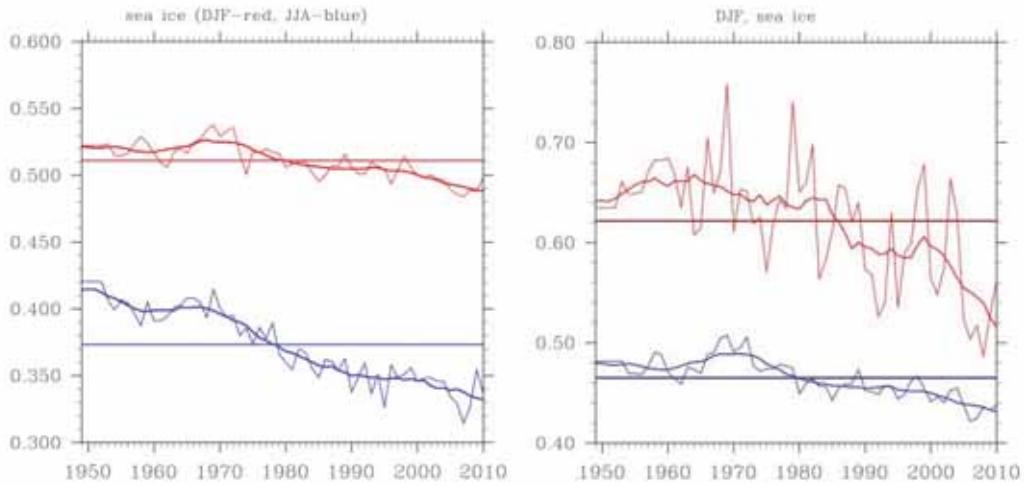


圖 2.9 左圖為北緯 45 度至 90 度的冬夏季海冰濃度年際變化，紅線為冬季，藍線為夏季，粗折線為 11 年滑動平均，粗直線為平均值。右圖同左圖，但選定區域為 $65^{\circ}\text{N}-80^{\circ}\text{N}$, $30^{\circ}\text{E}-60^{\circ}\text{E}$ ，即巴倫支海海域。

海冰趨勢呈現明顯下降趨勢，最明顯的區域為巴倫支海、喀拉海與鄂霍次克海，其中在鄂霍次克海內則同時有海冰增加與減少的區域。分析結果顯示 1980 年後海冰減少趨勢增加，變化最大的區域即為巴倫支海與喀拉海，且在東西半球海冰變化有相反相位的訊號。

海冰減少時，高度場呈現接近正壓的配置，中低緯度為高壓，高緯為低壓，阿留申低壓、冰島低壓與大陸冷高壓增強，500 百帕高度場波列範圍自歐洲至東亞。大西洋環流場在格陵蘭與中大西洋有兩極的結構，低層風場， 60°N 以北為氣旋式環流，以南為反氣旋式環流。加拿大一帶西風增強。溫度、比濕、可降水量分布大致類似，主要熱源與水氣位在東亞與歐洲，且與 500 百帕高度場波列中的高壓位置相符。大西洋與太平洋溫度較低也較乾燥，尤其是在阿留申和冰島。

秋季的鄂霍次克海與白令海海冰變化呈反相位，且兩處的海冰有正相位趨向負相位的年代際變化，該處海冰變化會激發波動的能量傳遞，影響東亞下一個季節的冬季的降水。當

白令海海冰較多時，東亞 30°N 以北有降水負距平，而 30°N 以南則降水較多，北太平洋冬季海冰亦有類似變化、降水相關分析也有南北距平相反 (Tripole Pattern) 的情形。

Liu et al. (2007) 針對 1978-2001 年北太平洋海域白令海 (Bering Sea) 與鄂霍次克海 (Sea of Okhotsk) (以下以 B-O 統稱兩個海域) 作經驗正交函數分析 (圖 2.10)，發現 EOF1 中白令海和鄂霍次克海海冰訊號相反，兩地呈現相反的訊號。臺灣冬季天氣受東亞冬季季風影響，而北太平洋 B-O 又和冬季季風連結，因此進一步將研究主題放在北太平洋海冰的分布型態對東亞環流之影響。

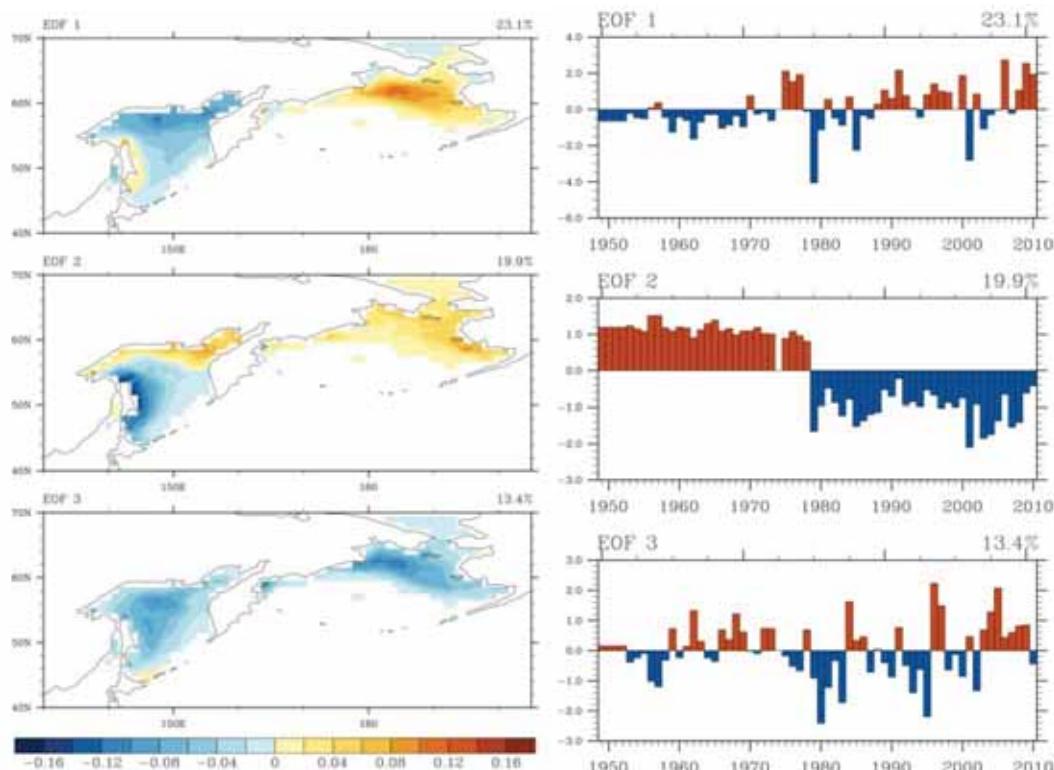


圖 2.10 白令海與鄂霍次克海海域冬季海冰濃度 EOF 空間型態與主分量。

臺灣冬季氣候受東亞冬季季風影響，將研究範圍縮小至放在海冰對臺灣一帶冬季氣候的影響，將 B-O 海域 SVD (圖 2.11) 與 CRU 溫度與降水做相關分析，如圖 2.12。SVD1 方面，正相位時，日本、韓國與華北一帶增溫，臺灣也呈現些許增溫，華中、華南降溫。日本韓國與華南以及臺灣降水減少，華中降雨增加，呈現三極降水結構 (Tripole Pattern)。SVD2 正相位時，東亞整體均為降溫，尤其是華中與日韓一帶，臺灣此時微弱的增溫，但訊號不明顯。韓國與華南以及臺灣降水減少，華中降雨增加，呈現三極降水結構，和 SVD1 (圖 2.12(c)) 相似。

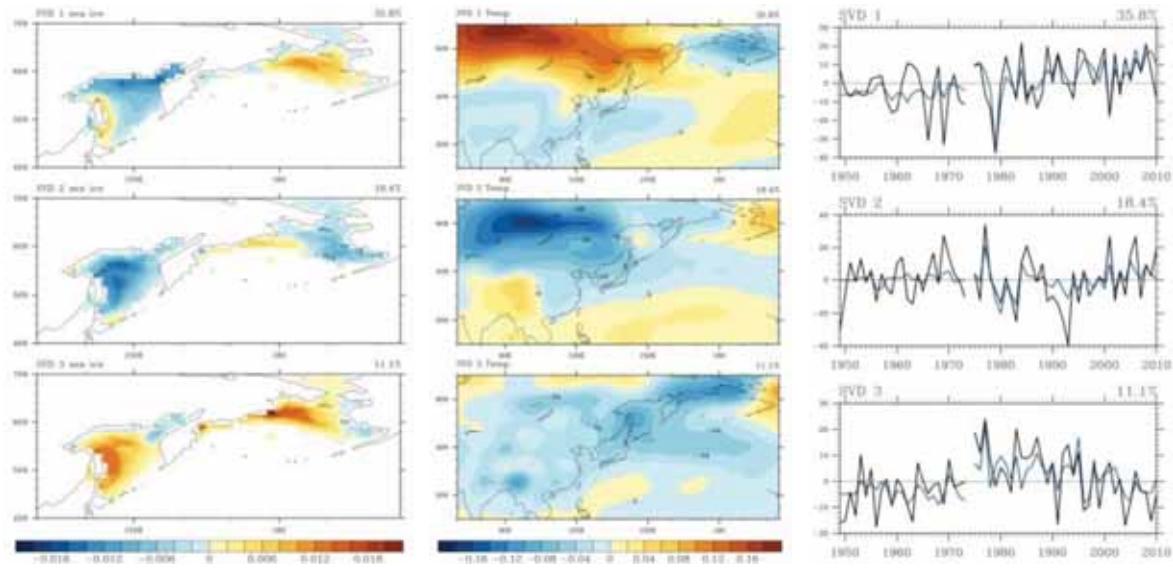


圖 2.11 白令海與鄂霍次克海冬季海冰濃度與溫度 SVD 與時間序列，黑線為海平面氣壓，藍線為海冰。

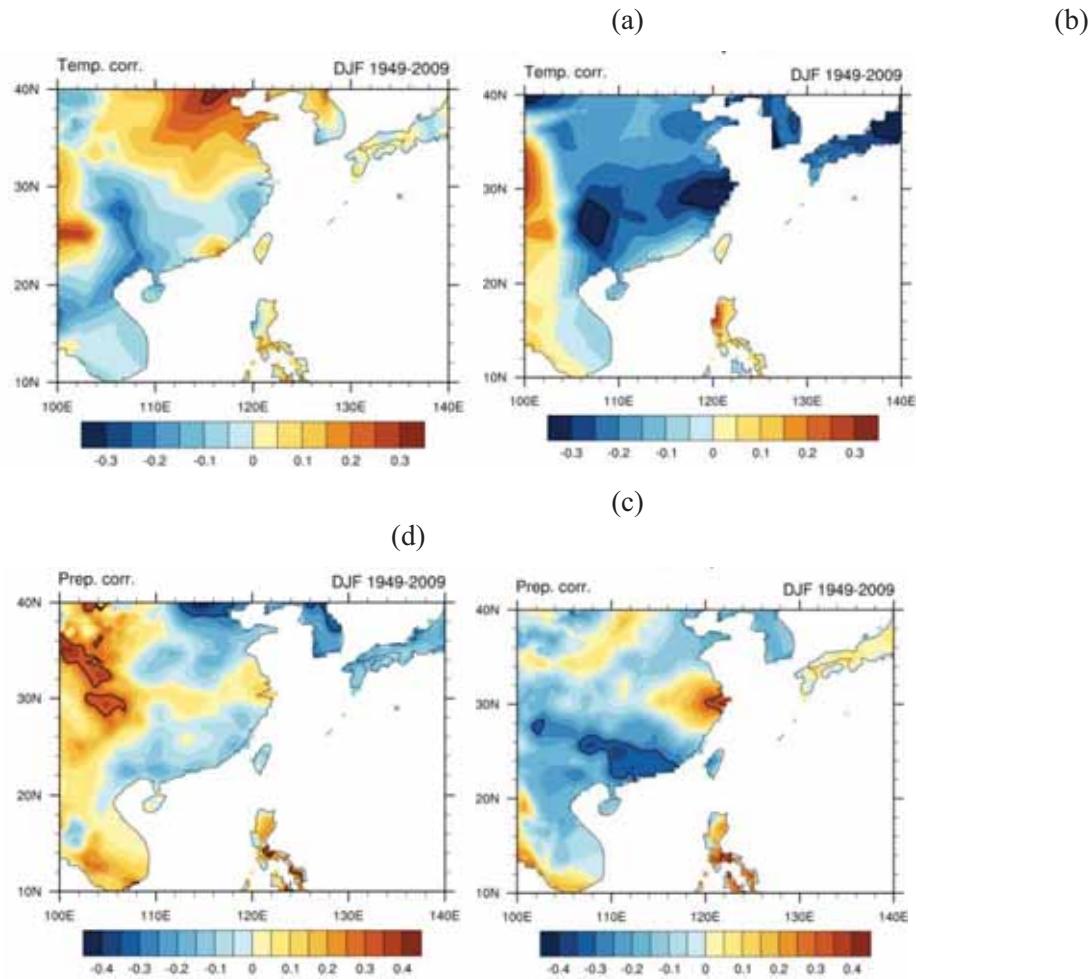


圖 2.12 (a)、(c) SVD1 與 CRU 溫度與降水之相關係數。(c)、(d) 同 (a)、(c)，但為 SVD2 粗黑線為相關係數 0.3、0.5 與 0.7 之等值線。

相對於北部迎風面測站，自 80 年代以來，海洋部分，南海海表面溫度增加、水氣增加，使得鋒面雨帶向東移動，臺灣西側測站降水增加，不同地區的降水的影響機制有所不同。因此之後也計劃加入中央氣象局綜觀氣象站測站的降水資料進行分析，以更釐清北太平洋的海冰對臺灣的春雨是否有所影響，以及海洋條件所扮演的角色及影響為何。

2.3.4 MRI 模式資料分析

(1) MRI 模式梅雨季之模擬表現 (附錄一:第四章)

圖 2.13 為 MRI 20km 降水資料由 1979-2003 年的 EOF1 空間分布，以及主分量與其 RSI 值結果。空間分布與觀測資料所得到的結果相似，呈現南北方向對稱的結構，RSI 值的計算部分，由於模式模擬時間長度較短，在計算上將變數 m (區間平均年份) 由 12 年改為 10 年，以便找出較準確的氣候態轉變時間。RSI 值顯示 5 月份降水在 1994 年發生氣候態轉變，其改變時間與觀測資料結果一致。6 月份則在 1989 年發生轉變，雖然仍能定出明顯的年代際變化發生時間，但相較於觀測結果的 1992 年有明顯的提前，因此在探討兩個時期的降水量及降水日數差異時，將重新定義兩個時期的年份，5 月份 P1 為 1979-1993 年平均，P2 為 1994-2003 年平均。6 月份 P1 為 1979-1988 年，P2 為 1989-2003 年。5 月份華南地區在 1979-1993 年間為多雨的時期，1994 年以後轉變為少雨的時期，而臺灣以東的西太平洋地區也為同樣的轉變，此處則與 CMAP 資料的 EOF 分析呈現相反的結果。6 月份除了在中國內陸地區有部分差異之外，大致上與觀測資料分析結果一致。整體來看，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 2.14 為 MRI 20km 兩時期的平均降水量與兩時期差異的空間分布。經與觀測資料比對，可以發現 MRI 兩時期 5 月份的平均降水量在華中一帶與中南半島偏多，在華南地區較少，整體而言 MRI 模式在 5 月份東亞地區降水量有高估的情形，模式中臺灣的降水量較大處集中在臺灣東部，觀測資料結果則為中南部地區降水量較多。6 月份 MRI 整體降水量則較接近觀測值，但仍存在區域性的差異，臺灣東部仍然有降水量偏多的情形。兩時期降水量的差異，MRI 模式可以確實掌握到 P2 時期 5 月份華南地區雨量減少，南海地區雨量增加的變化，空間分布大致上符合觀測結果，但改變量較觀測值來得劇烈。6 月份 MRI 於華南地區的模擬與觀測結果接近，P2 時期雨量增加，南海地區雨量減少則較不明顯， 30°N 以北的日本、韓國一帶則產生與觀測資料相反的結果。

圖 2.15 為 MRI 20km 的雨日及豪大雨日數距平值，時間由 1979-2003 年。5 月份降水日數於 RSI 值並沒有反應出年代際變化的出現，但仍可以看出雨日在 1994 年以後有略為減少的趨勢，與觀測資料所得結果接近。6 月份雨日由 RSI 值計算出在 1989 年有氣候態的轉變，雨日由少轉為增加的時期，觀測資料的 6 月份年代際變化發生在 1992 年，MRI 模式的雨日與降水的年代際變化都有提前發生的現象，且同時在 1989 年時發生轉變。MRI 模式的大雨日數由 RSI 值結果顯示 5、6 月無明顯的年代際變化，5 月份大雨日數在 1994 年開始出現減少的趨勢，觀測資料則是在 1998 年後進入大雨日數增加的時期。6 月份每年大雨日數多低於氣候平均值，大雨日數偏少，並且沒有氣候態轉變的現象出現。5 月份豪雨日數在 1998 年之後似乎有增加的情形，其逐年變化與觀測資料所得結果較為接近。6 月份豪雨日數則與大雨日數相同，呈現普遍較少的情形，且 RSI 值在 1989 年有微弱的訊號，代表 1989 年後豪雨日數轉為偏少的時期，出現與觀測資料相反的結果。

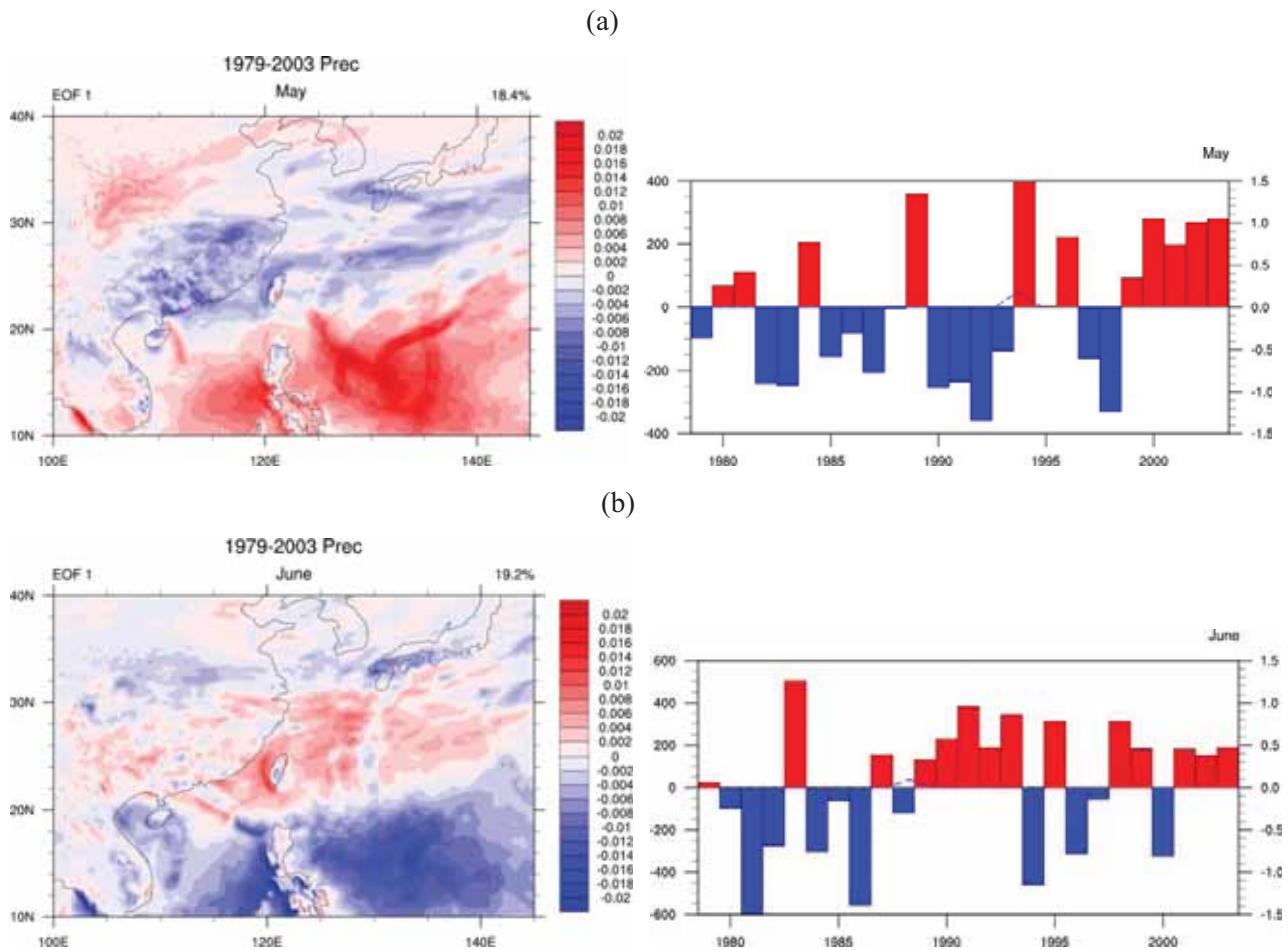


圖 2.13 MRI 模式 20 公里解析度降水資料之 EOF1 空間分布及其主分量，時間由 1979~2003 年。(a) 為 5 月份之結果，(b) 為 6 月份之結果。

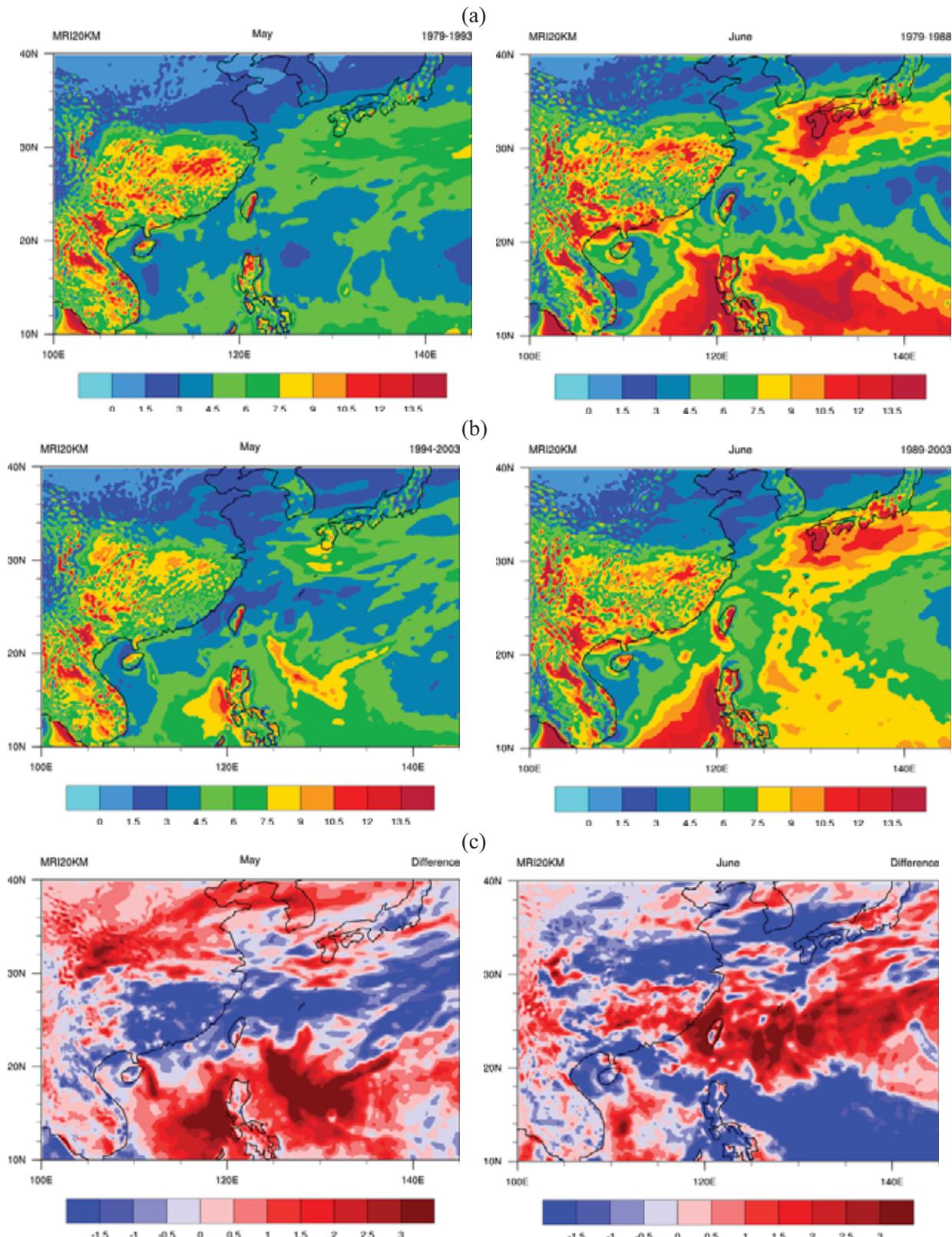


圖 2.14 MRI 模式 20 公里解析度降水資料 5、6 月兩時期降水空間分布。(a) 為 5 月份 P1 時期 (1979~1993 年) 及 6 月份 P1 時期 (1979~1988 年) 平均場。(b) 為 5 月份 P2 時期 (1994~2003 年) 及 6 月份 P2 時期 (1989~2003 年) 平均場。(c) 為 5、6 月兩時期差異。

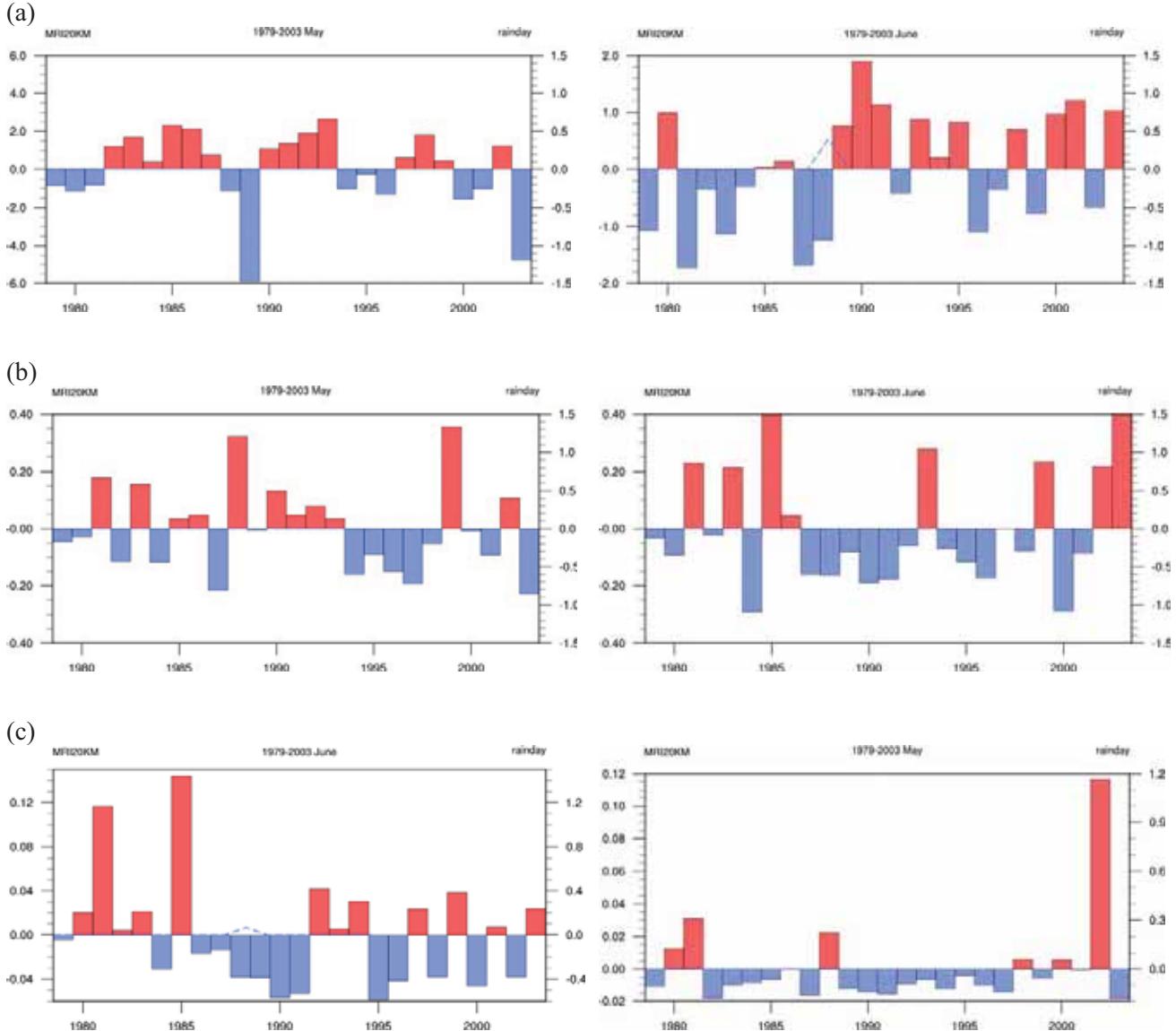


圖 2.15 MRI 模式 20 公里解析度降水資料所推算之降水日數距平值。圖(a) 為雨日 ($>0.1\text{mm}$)，圖(b) 為大雨日數 ($>50\text{mm}$)，圖(c) 為豪大雨日數 ($>130\text{mm}$)。

結果顯示，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結果，但豪大雨的發生頻率在模式中有低估的現象，甚至出現相反的結果，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結果。

(2) MRI 模式對季內尺度擾動模擬之評估與分析 (附錄一:第六章)

觀測資料方面，使用 ERA interim 的重分析資料，該資料網格點為 1.5 度，共 37 層，本研究使用 850 百帕之水平風場資料。另外也有加入 NCEP R2 的 850 百帕之水平風場資料，該重分析資料網格解析度為 2.5 度。

模式資料方面，該模式是由 JMA 及 MRI 所共同發展的高解析度大氣環流模式。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。解析度有 20 公里及 60 公里。更詳細的模式介紹請參考 Mizuta et al. (2012)。這裡使用 20 公里的資料，包含日平均及六小時平均的資料，經向及緯向風場 (m/s)、降水場 (kg/m²/s)、比濕 (Kg/Kg)、MRI 偵測到的颱風，範圍取 20°S-50°N, 90°E-70°W。雖然模式解析度為 20 公里，但由於儲存空間的限制，已將資料的網格點重新升尺度為 1.25 度。共有三個時期，分別為 1979-2003 年 (現在)、2015-2039 年 (近未來) 以及 2075-2099 年 (世紀末) 三個時期。

另外還有使用 MRI 60 公里解析度的日平均資料，資料範圍較大，取 50°S-50°N, 30°E-80°W，網格點同樣也升尺度到 1.25 度。但本研究僅使用 MRI 60 公里解析度 2075 年至 2099 年間的世紀末資料，該資料乃根據 CMIP3 中 18 個在 A1B 情境下的模式所模擬到的海溫結果，使用聚類分析法 (Cluster Analysis. Wilks, 2006) 將 18 個模式分成類內各模式的海溫空間結構差異最小，類與類之間差異最大的三個海溫群體，而後平均成三種不同型態、暖化程度的海溫 (分別命名為 cluster1 (較冷海溫)、cluster2 (平均海溫) 以及 cluster3 (較暖海溫))，再將這三種海溫做為 MRI 模式在世紀末時期的初始海溫邊界條件，如此可比較未來在不同的海溫條件下，全球氣候變遷的情況 (Murakami et. al, 2011)。

降水場部分 (如圖 2.16、圖 2.17 中有顏色處)。圖 2.16a 至圖 2.16c 中由於亞洲夏季季風盛行，因此在阿拉伯海、孟加拉灣至海洋大陸等地區都有明顯的降水訊號，特別是在洋面的東側，幾乎降水的極大值都出現在此，與觀測及 Mizuta et al. (2006)、Mizuta et al. (2012) 研究結果一致。另外 ITCZ 以及 SPCZ 所造成的降水在此也有模擬到，而 OLR 及 500 百帕高度場 (兩圖皆未顯示) 所顯示的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 (圖 2.16d、圖 2.16e)，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。ITCZ 的降水增加與前面分析看到的水氣增加一致，因此推測可能與之有關；而海洋大陸東方洋面上的水氣增加可能與海溫有關，這部分會在後面做詳細的分析。而在秋季時 (圖 2.17a、圖 2.17c)，亞洲季風減弱，因此季風在南亞地區所的降水也明顯減少，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。另一部分由於太陽移至南半球，因此造成 ITCZ 向

南偏移且對流與降水也減弱，不過位於南半球的 STCZ，其所造成的降水較夏季多。而在秋季的降水變遷方面，近未來（圖 2.17d）沒有明顯的水氣變化，但是到了世紀末（圖 2.17e），東太平洋 ITCZ 與 SPCZ 等地的降水有顯著的增加，此部分與夏季的分析結果一致。

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（圖未示）。MRI 60 公里模式資料中，各 cluster 有不同的海溫配置，模擬出的氣候場也有所差異。在暖化最明顯的 cluster3 中，環流場、水氣場等皆呈現有利颱風生長的條件，因此颱風也呈現增加的趨勢。在變異度分析方面，MRI 模式對於高、低頻擾動出現的位置掌握得不錯，但是有過度模擬的情況。

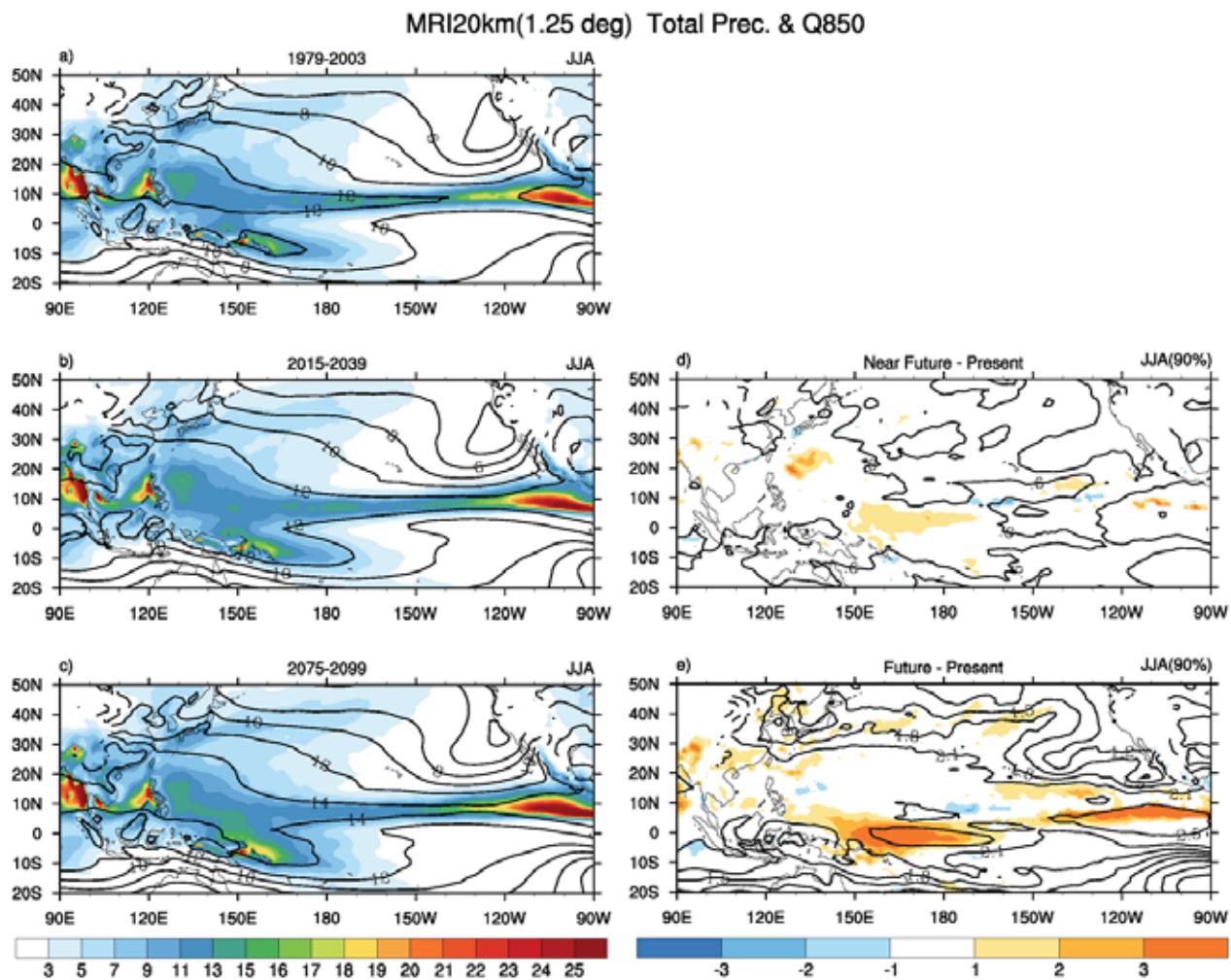


圖 2.16 MRI 20 公里解析度資料於夏季的 850 百帕水氣場及降水場。a)、b)、c) 分別為 1979-2003 年、2015-2039 年、2075-2099 年間之氣候值。d) 為近未來與現在的差，e) 為世紀末與現在的差值。d)、e) 的降水場及水氣場差異皆通過 90% 統計檢定。等值線為降水資料，單位為 $\text{kg}/\text{m}^{**2}/\text{s}$ 。色彩部分為 850 百帕比濕資料，單位 kg/kg 。

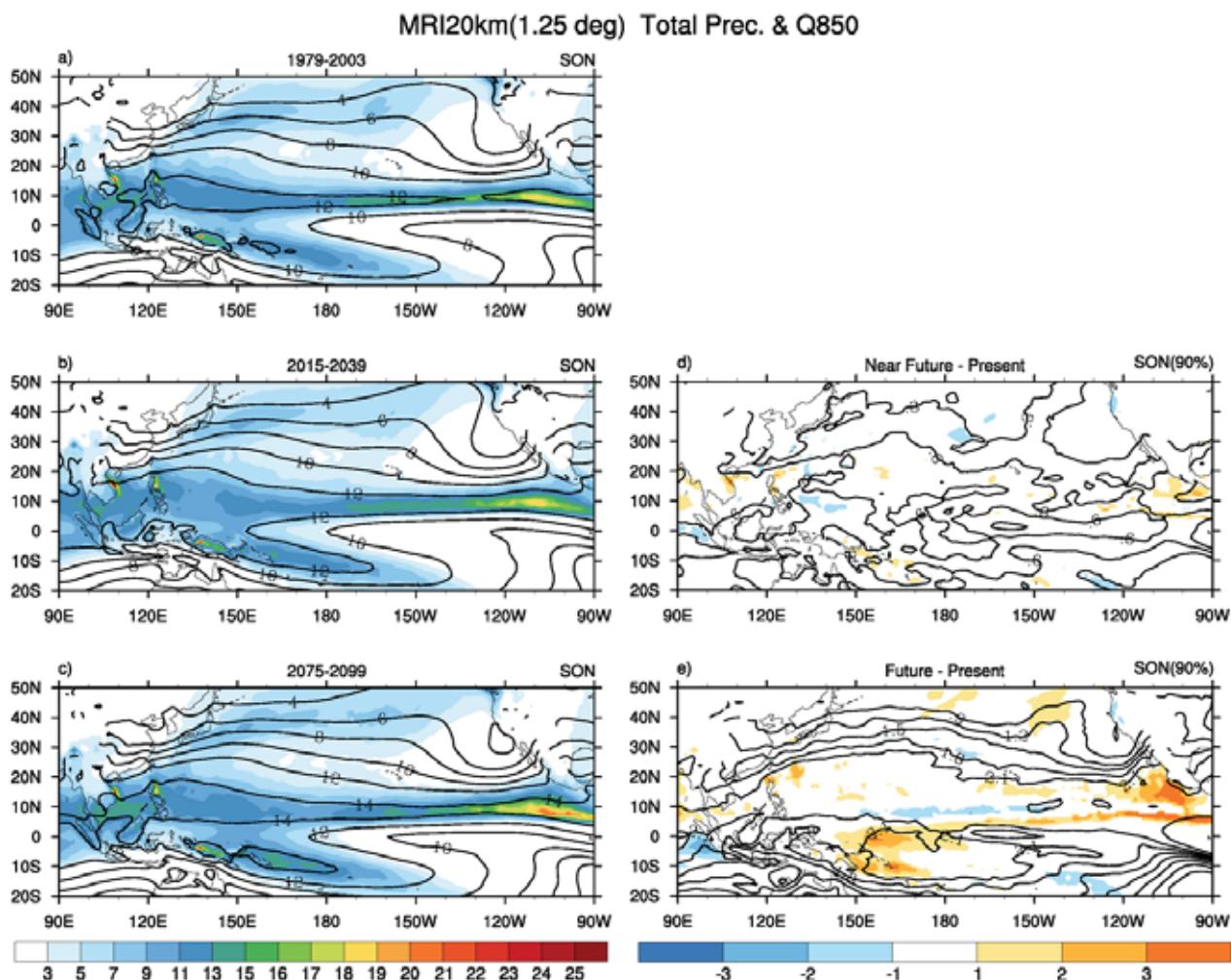


圖 2.17 同圖 2.16。但為秋季。

未來變遷方面，模式中呈現未來季內尺度以及綜觀尺度的擾動有減少的趨勢。另外看到 MRI 60 公里各 cluster 間，在不同尺度的渦度場變異度的差異。在模式存在明顯的暖化情況下，不管是高頻擾動或是低頻擾動，在夏、秋兩季的西北太平洋地區都有很顯著的渦度場變異度增加的趨勢。

2.4 氣候變遷推估之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。

2.4.1 資料來源

(1) 觀測資料

本研究在探討極端降雨事件時，需要長時間及高空間解析度之觀測資料，測站資料和衛星雷達資料都能完整的呈現極端降雨事件。雖然測站資料在使用上有些限制，例如測站資料的連續性、各測站間資料同化…等問題，但因具有較多年份的觀測資料可供分析研究，故本研究使用日本的高解析度日平均降雨量觀測資料 -APHRODITE (Asia Precipitation Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources, Yagatai et al. 2005)，其資料時間長度為 1951~2007 年，網格解析度 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 。但此筆資料是由測站資料網格化後的觀測分析資料，故在海上並沒有資料。為了配合三種模式分析，觀測資料的選擇時間範圍由 1961~1999 共計 39 年，主要進行 Monsoon Asia 地區 ($60^\circ\text{E} \sim 150^\circ\text{E}$ ； $15^\circ\text{S} \sim 55^\circ\text{N}$) 的極端降雨量分析。

(2) CMIP3 氣候模式資料

本計畫選取 IPCC 第四次評估報告 (AR4) 所用的第三階段耦合氣候模式數值實驗計畫 (CMIP3) 中，針對過去二十世紀歷史模擬實驗以及未來發展情境進行模擬的氣候模式進行分析討論。根據 IPCC 排放情況報告 (The Emissions Scenarios of the Special Report on Emissions Scenarios; SRES, 1996) 中，預測未來可能的環境、人口、工業和經濟的發展趨勢，根據此類

因素之考量提出未來溫室氣體成長之趨勢，進而將此類情境放入氣候模式中模擬出不同情境下之未來氣候變化情形。在 SRES 報告中以經濟發展方式的不同、能源使用方式的改變及環境永續發展的技術為最主要之考量變數，依上述考量之變數進而將情境區分為 A1、A2、B1 及 B2 四大類，而主要之四種情境下又可分成數種不同情境，敘述如下：

A1 情境描述全球致力於經濟發展、於市場經濟導向走向全球性的經濟發展，第三世界國家和發展中國家與已開發國家間的貧富差距消失，全球的教育程度、資訊成長和流通度、生活水準和醫療資源都有大幅度的提高。

A1FI：人類大幅使用化石燃料。

A1T：再生能源發展迅速，人類不再使用化石燃料。

A1B：再生能源與石化燃料平衡使用。

A2 情境描述全球經濟朝地區性的發展導致全經濟成長幅度不一，進而使開發中國家或未開發國家與已開國家間平均國民所得有極大之差異，科技、資訊和人口的流動較不流暢，A2 的人口成長率相較於其他情境是最高者。

B1 情境描述全球對環境與生態保護的意識高漲，並結合科技追求環境生態的永續發展，在環境保護為前提考量下發展經濟和科技。並朝全球性概念發展，縮小已開發國家和開發中、未開發國家間的貧富差距。

B2 情境描述全球各國對環境生的永恆發展越加重視，且致力於地區性的特色發展，政府政策在發展精實也有環境保育等考量。全球朝地區性的發展，全球化的腳步日漸趨緩而地域性的決策機制顯得更為重視。

本研究計畫將採用 A1B、A2 和 B1 三種不同情境來推估臺灣氣候變化的可能性機率分布範圍。本研究選用模式的主要篩選條件有以下兩點：1.模式模擬水平解析度比 T42 高；2.同時有 20 世紀歷史模擬 (20c3m)，其中包含 1961-1999 年時段，與未來情境模擬結果，其中包含 2081-2100 年時段之日降雨量之結果，根據以上之條件，於 A1B 情境選擇 15 個模式進行分析，A2 情境選擇了 12 個模式，而至於 B1 情境之分析則包含了 14 個模式（表 2.2）。

2.4.2 研究方法概述

本研究目標為評估全球氣候變遷對臺灣極端降雨指標影響，因此需要有一客觀的高解析資料才可對臺灣未來強降雨變化進行推估，故以科學方法進一步提高耦合氣候模式數值實驗計畫 (CMIP3) 模式模擬結果的解析度（即所謂降尺度方法），推演其模擬結果在臺灣局地細部的解析，利用該解析結果，計算出降雨極端氣候指標，並應用指標來評估氣候變遷對臺灣極端降雨的變化。

表 2.2 各情境所選用之模式列表

CMIP3 Daily Precipitation					
模式	解析度	20c3m	a1b	a2	b1
bccr_bcm2_0	128x64	○	○	○	○
cccmca_cgcm3_1_t63	128x64	○	○	-	○
cnrm_cm3	128x64	○	○	○	○
csiro_mk3_0	192x96	○	○	○	○
csiro_mk3_5	192x96	○	○	○	○
gfdl_cm2_0	144x90	○	○	○	○
gfdl_cm2_1	144x90	○	○	○	○
iap_fgoals1_0_g	128x64	○	○	-	○
ingv_echam4	320x160	○	○	○	-
miroc3_2_hires	320x160	○	○	-	○
miroc3_2_medres	128x64	○	○	○	○
mpi_echam5	192x96	○	○	○	○
mri_cgcm2_3_2a	128x64	○	○	○	○
ncar_ccsm3_0	256x128	○	○	○	○
ncar_pcm1	128x64	○	○	○	○
Total		15	15	12	14

(1) 降尺度方法說明

本研究統計降尺度 (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，由於只針對有興趣的氣候變數目標進行分析，所以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。

本研究所探討之各種極端氣候指標均由日降雨量所延伸，且有長時間高解析度之觀測資料相佐，其統計上特性與統計降尺度是一致的。藉由分析高解析度之觀測資料與低解析度之模式資料中各種極端氣候指標的差異，可發現觀測場之強度遠大於模式所模擬之結果，此種結果最主要來自模式特性及參數化過程中產生之偏差量與空間解析度上平散作用所產生的偏差量。本研究基於統計降尺度的概念，使用 Wood et al. (2002, 2004) 與 Maurer (2007) 所發展的”誤差校正” (Bias correction) 解決模式特性及參數化過程中產生之偏差量；在挑選極端

氣候指標後使用”空間影響因子” (Areal Reduction Factor; ARFs) 解決因不同解析度所造成之空間解析度上平散作用所造成之誤差。

(2) 誤差校正

本研究採用 Wood et al. (2002, 2004) 與 Maurer (2007) 所發展的誤差校正之概念，將高解析度日降雨觀測資料降低至與氣候模式之解析度相同，再運用每個網格的觀測時間累積機率分布 (Cumulative Distribution Function, CDF) 修正模式的時間累積機率分布。為避免只是資料互換，本研究以交互驗證 (cross-validation) 的方式進行，即先將要估計的日期排除後，再以其他筆觀測與模式資料累積機率分布進行估算該年模式資料的修正值，同時該年實際觀測值可以做為誤差估算的基準，完成所有日數的個別計算後，再進一步分析累計所有年份資料後的誤差變化。此外當該年模式模擬值大於其他日期時，必須運用累積機率分布外插的方式處理，由於選取的降雨日數樣本夠大所需外插的部分相對少數。目前以最大降雨與平均降雨、最小降雨與零降雨進行線性外插，並以平均值加 3 個標準差與 0 做為外插值的上下限，由於 3 個標準差以常態分布而言為接近 400 年才發生一次的事件，即使做為未來百年氣候變遷的推估基準，應不致於過度高估。此法可將模式的降雨強度轉換成跟觀測的降雨強度一致，但保有模式原本之降雨特性（圖 2.18）。

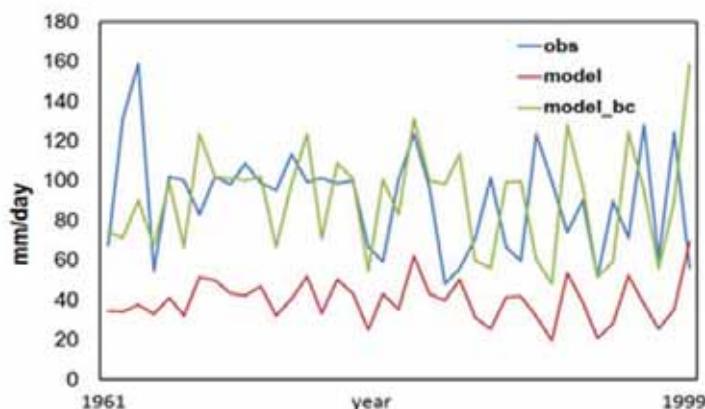


圖 2.18 誤差校正示意圖。紅線為模式資料，藍線為觀測資料，綠線為誤差校正後之模式資料。

(3) 極端氣候強降雨指標及說明

在各氣候模式之日降雨做完誤差校正後進行極端氣候指標挑選，常見的極端氣候指標有

RX1DAY、RX5DAY、R20mm、R50mm、RR1, SDII, CDD, CWD：

1. 年最大日降雨強度 (RX1DAY) 為一年中最大的日降雨量，其單位為 mm。
2. 年最大連續五日累積降雨量 (RX5DAY) 為一年中連續五日最大的日降雨量，其單位為 mm。
3. R20mm 大雨日，其定義為一年中日累積降雨量大於 20mm 的天數。
4. R50mm 豪雨日，其定義為一年中日累積降雨量大於 50mm 的天數。以全球的觀點來說，R20mm 大雨日與 R50mm 豪雨日之大值分布與年最大日降雨強度之分布相近，但大值的分布範圍或水平梯度變化上，則比年最大日降雨強度之分布更具有區域性集中的特質，較能表現地區性氣候的特徵。
5. 年期間單日累積雨量超過 1 毫米 ($RR \geq 1 \text{ mm}$) 的總日數。
6. 年平均雨日 (日降雨超過 1mm) 之降雨強度 SDII，將全年累積降雨量除以降雨日，即為該年的雨日降雨強度指標。
7. 連續乾燥天數 (Consecutive dry days, CDD) 為連續最多單日累積雨量少於 1mm ($RR < 1 \text{ mm}$) 之天數。藉由連續不降雨日數之長短、影響區域之大小可評估乾旱嚴重與否。
8. 連續降雨日數 (Consecutive wet days, CWD) 為連續最多單日累積雨量大於 1mm ($RR > 1 \text{ mm}$) 之天數。在東亞地區 (特別是臺灣)，連續雨日多由梅雨鋒面系統所影響，因此可藉由 CWD 指標評估梅雨季影響之地區與時間長短。

(4) 空間影響因子

探討不同水平解析度資料時，一般會將資料轉換至較低解析度再做比較和分析，但轉換解析度時往往犧牲了高解析度上原有的空間細節與強度，而此差異在解析度轉換越大時越明顯，此作用稱為空間平散作用。空間平散作用會使原網格點上之降雨特性分散給鄰近網格點，而造成原網格點在低解析度時無法維持其原有之強度和變異度。

Aphrodite 觀測場資料由原始水平解析度 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 做空間內插至 0.5° 、 1° 、 1.5° 、 2° 、T42 或每個不同解析度上，並計算出欲討論之降雨氣候指標，則可得到在不同解析度下相對應的強度 (如圖 2.19)。圖中顯示在轉換解析度時大部分的影響是由空間平散作用所產生，內插過程只有很微小的影響，除非遠小於原始網格解析度，大部分之情形在高低解析度間最主要之影響仍由空間平散作用所造成。

由上述方法了解到在使用不同解析度資料時存在一空間關係，本研究將此差異稱為”空間影響因子”(Areal Reduction Factor, ARFs)，並可求得一關係式：

$$\Delta R = \frac{R_{\text{高解析度}}}{R_{\text{低解析度}}} ; \quad \Delta R > 1 \text{ 增強} , \Delta R < 1 \text{ 減弱}$$

其中 $R_{\text{高解析度}}$ 為原觀測資料解析度下的物理參數氣候指標， $R_{\text{低解析度}}$ 為轉換解析度後的物理參數氣候指標。當 ΔR 大於 1 時，代表此網格點由低解析度轉換成 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 的高解析度時需要增強其強度；當 ΔR 小於 1 時，則代表此網格點由低解析度轉換成 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 的高解析度時需要減弱其強度，其示意圖如圖 2.20 所示。

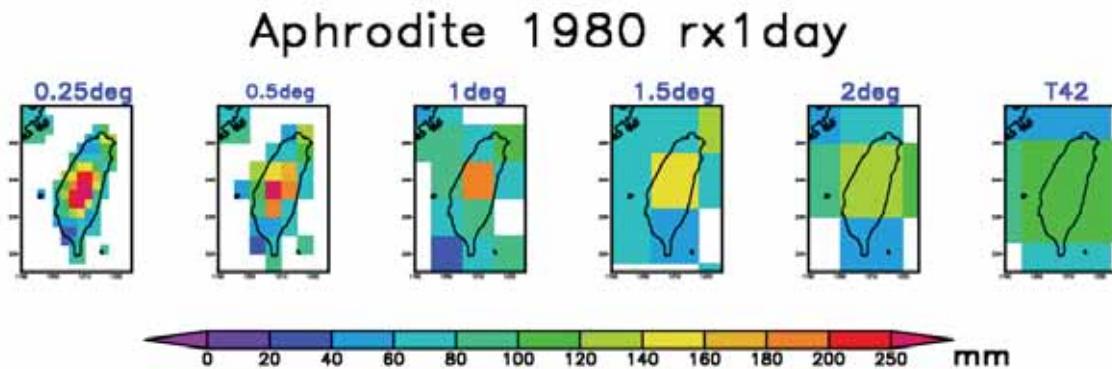


圖 2.19 不同解析度下年最大降雨之分布圖

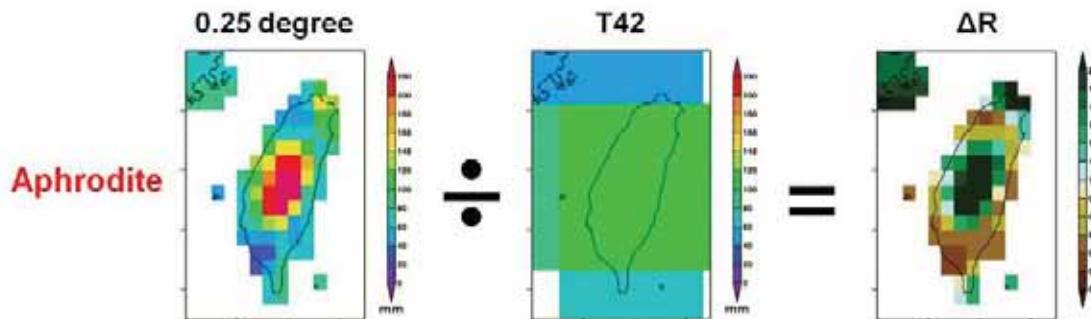


圖 2.20 空間影響因子 ΔR 示意圖

(5) 本研究使用統計降尺度方法說明

由上述之關係可得到在真實觀測所呈現的高、低解析度間之關係（空間影響因子），則可

利用此空間影響因子在每個網格點上將模式指標還原成高解析度之特性和強度。首先，由高解析度觀測場資料中取出極端氣候指標；第二，再將觀測場高解析度資料轉換到相對應模式解析度上，並將在此解析度上之氣候指標求出後再轉換成高解析度；第三，在每個高解析度網格點下，計算高、低解析度之極端氣候指標之觀測時間累積機率分布 (Cumulative Distribution Function, CDF)，相除得到空間影響因子之累積機率分布，再求得各年份之空間影響因子 (圖 2.20)；最後，將模式中求得之極端降雨氣候指標先內插成高解析度後，再加入在觀測場下所求得的空間影響因子還原每格網格點上之降雨強度和特性 (圖 2.21)。在第三步中使用累積機率分布的概念與誤差校正過程相同，目的是在未來情境中也可利用差分的方式找到其對應年份之空間影響因子。

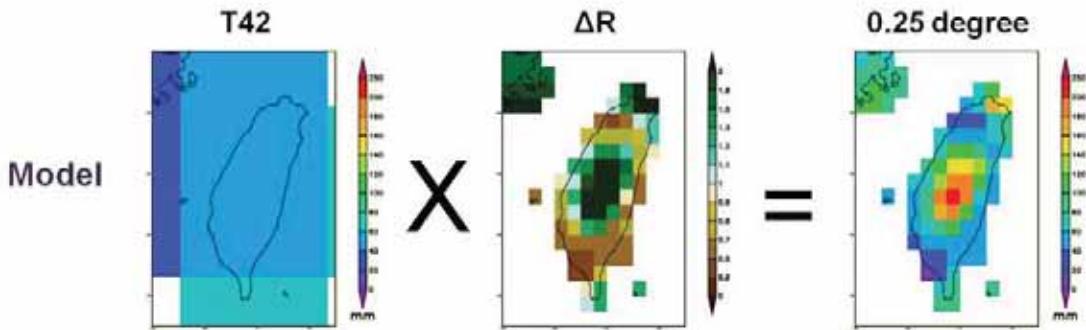


圖 2.21 降尺度流程之示意圖

上述方法可簡單歸納成下述之公式，若假設模式能完美模擬觀測場環境，而模擬之結果因與觀測場相同，則從觀測場所得之空間影響因子在模式上也應呈現相同之情況。因現今之模式無法完全模擬真實觀測場，但透過系集模式將各個模式所評估之不確定性所加入則能更接近於觀測場。因此將觀測空間影響因子加入模式低解析度的結果中，就能有效修正空間誤差所帶來之誤差。

$$Model_{\text{降尺度結果}} = Model_{(0.25 \times 0.25)} \times \Delta R_i, \quad 20c3m:i=1961 \sim 1999; a1b:i=2080 \sim 2099$$

將此方法應用在 IPCC AR4 氣候模式中，利用 Aphrodite 共 39 年之觀測資料建立每年所對應之空間影響因子，修正過後之氣候模式結果則可得到較高解析度之未來推估資料 (圖 2.22 右上)。此方法可維持模式對整體降雨指標之分布，對模式未來之推估也可得到高解析度之極端氣候指標 (圖 2.22 右下)，進而分析各極端氣候指標之世紀末改變率 (如圖 2.23)。

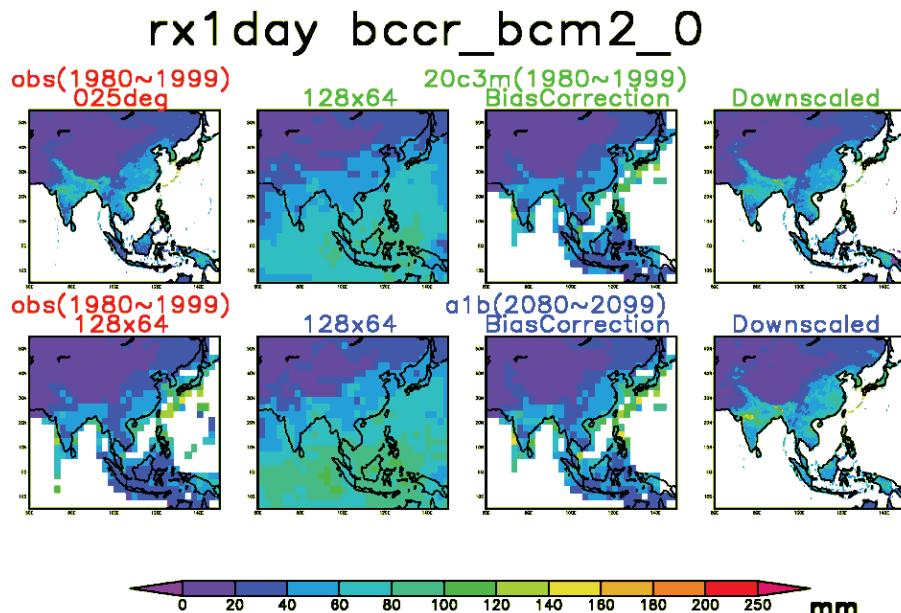


圖 2.22 觀測與模式降尺度前後之 20 年平均年最大降雨值，左上下各為觀測資料 0.25o 與 T42 解析度之 20 年平均年最大降雨量；右上三張為 20c3m 模式原始解析度、誤差校正後與降尺度後之 20 年平均年最大降雨；右下三張為 a1b 模式原始解析度、誤差校正後與降尺度後之 20 年平均年最大降雨。

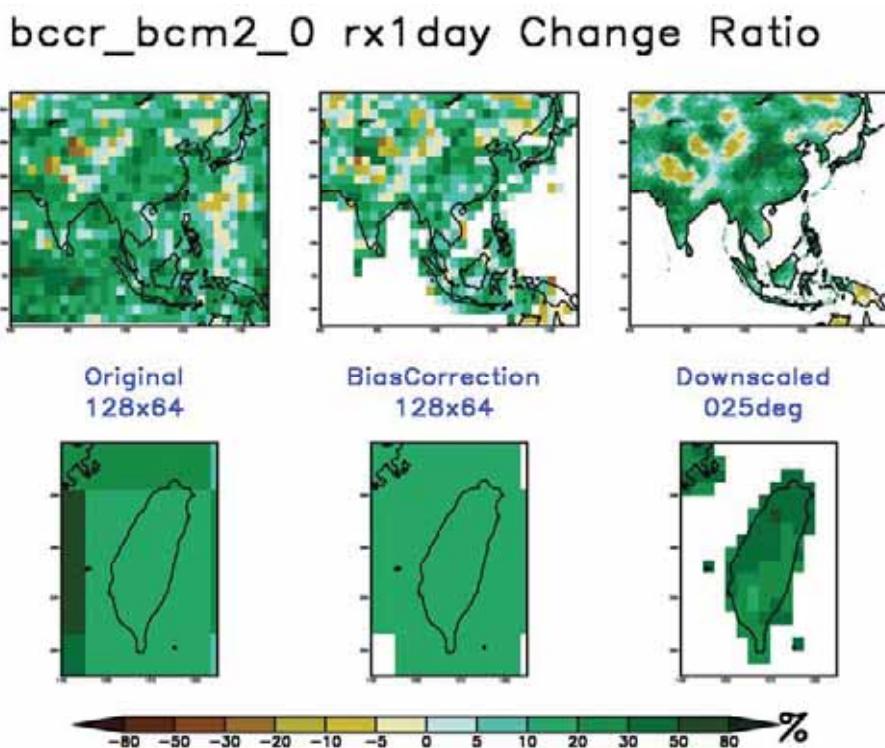


圖 2.23 左邊為原始模式、中間為誤差校正後、右邊為降尺度後之世紀末年最大降雨改變率

2.4.3 具體成果

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。以下結果將依照不同雨量氣候指標分別進行探討：

（1）RX1DAY 最大日降雨強度

東亞地區在 A1B 情境中 15 種模式分析下，其年最大日降雨強度在大多數地區中均為增加的狀況，而有 13 個模式推估中亞部分地區會呈現減少的趨勢，其中有二模式更顯示南亞群島多數地區其最大日降雨強度也將會減少。A2 情境下的東亞最大日降雨強度趨勢與 A1B 情境差不多，減少區域也是分布在中亞一帶。B1 情境中各模式推估的結果下，最大日降雨強度減少的地區比 A1B 及 A2 兩情境還多，主要分散在中亞及中國東北部區域，南亞群島也有減少的趨勢。

臺灣地區的世紀末最大日降雨強度在 A1B 情境中，有 8 個模式推估全臺均會增加，有 4 個模式認為會全臺均輕微減低。A2 情境中大多數模式推估全臺最大日降雨強度增加。B1 情境下亦是多數模式顯示臺灣最大日降雨強度會增加。

（2）RX5DAY 年最大連續五日累積降雨量

東亞地區在 A1B 情境中 15 種模式分析下，僅一模式評估年最大連續五日累積降雨量在所有地區幾乎呈現增加的趨勢，其餘模式均推估中亞地區（尤其是印度半島北部）之年最大連續五日累積降雨量會減少。A2 情境下的結果顯示，僅一模式表示中亞地區的印度半島幾乎全島呈現降低的趨勢，與其餘模式較為不同。在 B1 情境下的推估結果顯示年最大連續五日累積降雨量會減少的地區比起前兩個情境都還要多。各模式均推測中亞、北亞及部分南亞群島地區都會降低其年最大連續五日累積降雨量。

在臺灣地區的年最大連續五日累積降雨量的地區分析中，於 A1B 情境下，15 個模式裡有 12 個模式推測會在世紀末其間增加。在 A2 情境下的分析中，大多數的模式認為全臺年最大連續五日累積降雨量會增加。在 B1 情境中，幾乎所有模式推估結果顯示全臺年最大連續五日累積降雨量為增加的趨勢。

(3) R20mm 大雨日指標

東亞地區 A1B 情境中觀察世紀末時期的 R20mm 大雨日指標，中亞內陸地區出現許多空白處，顯示這些地區的降與標準均不到 R20mm 的大雨日指標。東亞與南亞沿岸及南亞群島在多數的模式推估下，其大雨日的天數是會增加的，而中亞空白處的周邊在多數模式推測中是會減少的，有呈現乾燥的地區越乾，而潮濕的地方有越濕的趨勢，其中有五個模式推測南亞群島部分地區的大雨日會減少。中亞地區情境 A2 與 B1 在 R20mm 大雨日指標的推測結果中很相近，多數模式均顯示東亞及南亞沿海地區的大雨日數會增加，而中亞與北亞內陸空白處的周遭地區會減少。其中有三模式更在 A2 情境中預測印度半島大部分區域的大雨日數會明顯減少。

臺灣地區世紀末的 R20mm 大雨日的推估中，A1B 情境的 15 個模式有 10 個模式認為全臺地區均會是增加的，其中有兩模式則完全相反，預測全臺地區的大雨日會減少。在 A2 情境中，12 個模式只有 5 個模式推測全臺大雨日數會增加，有 5 個模式則推估大多數區域都是減少的趨勢，其中有一模式更認為全臺灣所有地區都會顯著減少。B1 情境中，多數模式 (9 個) 推測多數地區的大雨日會增加，其中有 6 個模式更推估全臺均呈現增加的趨勢。然而有三個模式的推估結果則相反，顯示全臺所有地區的 R20mm 大雨日會減少。

(4) R50mm 豪雨日

東亞地區世紀末的豪雨日偵測推估上，北亞地區在各模式的評估下均達不到 R50mm 豪雨日的標準，呈現空白處。在 A1B 情境中，東亞、南亞及南亞群島大多模式都是推測豪雨日會增加的情況。A2 情境也是多數模式推測大部分東亞區域的豪雨日是會在世紀末增加的，其中有半數模式預測南亞群島處有部分區域豪雨日會減少。而在 B1 情境中，各模式推測豪雨日數會減少的地區都比前兩個情境多，這些區域集中在印度半島北部、華中華北一帶與南洋群島等地。

臺灣地區的世紀末豪雨日預估上，有 6 個模式推測在全臺所有區域有明顯增加的趨勢，僅一個模式推估全臺豪雨日在世紀末有減少的趨勢。在 A2 情境中，12 個模式中有 11 個模式推測全臺大部分區域在世紀末的豪雨日是增加的，其中有 4 個模式更呈現顯著增加的趨勢。在 B1 情境中，多數模式推估結果顯示臺灣世紀末豪雨日亦呈現全臺均增加的趨勢。

(5) RR1 雨日

在東亞世紀末雨日天數的分析中，A1B 情境裡的多數模式認為北亞會增加，而南亞半島

一帶多數區域會減少。在 A2 情境中，有 6 個模式顯示北亞地區的世紀末雨日會增加。多數模式顯示東亞中的印度半島西北部、大陸華北到華南一帶在世紀末雨日會減少。在 B1 情境中，世紀末雨日減少的區域也大多集中在中亞印度半島西北部、華中至華南、與南亞一帶。

在臺灣地區世紀末雨日天數的推測上，A1B 情境中有 10 個模式顯示全臺大部分區域都會減少，其中有 5 個模式呈現顯著減少的趨勢。而有 5 個模式的推估結果則顯示全臺會增加。在 A2 情境中，有 11 個模式推估臺灣大部分區域之雨日數在世紀末會降低，其中有兩個模式顯示減少的趨勢非常顯著。其中有一個模式則顯示全臺的雨日會些微增加。在 B1 情境中，各模式的推估結果剛好分成兩類，半數認為全臺多數區域會增加，而半數則認為全臺多數區域雨日數會減少。

(6) SDII 年平均雨日降雨強度

世紀末 SDII 年平均雨日降雨強度在 A1B 情境中，所有模式都顯示東亞大部分地區是增強的，僅有零星中亞及北亞地區有強度減弱的趨勢。A2 及 B1 情境的情況很相似，各模式都顯示大部分區域是增加的。在 A2 情境中，有兩個模式顯示印度半島上會有多數區域之年平均雨日降雨強度會減低。而 B1 情境中的減少區域都是些微的改變，沒有明顯減少的地區。

臺灣地區世紀末年平均雨日降雨強度在 A1B 情境中，僅一個模式顯示臺灣北部及中部地區會些微降低，而其餘模式則推測臺灣大多數區域是增加的情況，其中有 6 個模式顯示增加的趨勢非常顯著。在 A2 情境中，多數模式亦推估全臺多數地區都是增加的趨勢，僅兩個模式認為臺灣多數區域有減少的趨勢。在 B1 情境中，有兩個模式推估全臺都是降低的趨勢，其餘模式則顯示大多數區域為增強的趨勢，尤其是臺灣西南部地區。

(7) CDD 連續不降雨日

東亞地區世紀末的連續不降雨日指標推估，在 A1B 的情境下，各模式均顯示大部分區域是減少的，尤其是東北亞、北亞一帶，南亞群島也有數個模式顯示部分地區會降低。A2 及 B1 情境也是相似，所有模式都顯示東亞地區的連續不降雨日會在世紀末期間減少，其中有二模式更顯示在東北亞一帶會有顯著的減少趨勢。而在 B1 情境下，各模式推估的減少量都較為平均。

在臺灣地區 A1B 情境的世紀末連續不降雨日指標上，僅 4 個模式顯示臺灣多數地區的天數會降低，其餘模式則顯示臺灣多數地區的連續不降雨日會增加。A2 情境中，多數模式亦推估臺灣多數區域之連續不降雨日會增加，僅二模式顯示南臺灣有減少的趨勢。B1 情境則與上

述兩種情境不相同，有 6 個模式認為臺灣多數地區在世紀末時連續不降雨日會增加，而有 6 個模式顯示臺灣多數地區是減少的。

(8) CWD 連續降雨日

東亞地區在世紀末的連續降雨日推估上，於 A1B 的情境中，各模式的推估結果都不太相同，有兩個模式推估大部分地區的連續降雨日是減少的，尤其在中亞及印度半島西北部一帶更為明顯，有 6 個模式則推估東亞沿海一帶地區的連續降雨日數也會下降。在 A2 情境中，有兩個模式推估連續降雨日減少的地區僅零星分布在華中、華南及中亞一帶。有兩個模式則推估印度半島及西北邊內陸地區有明顯的減少趨勢，而有兩個模式的推估結果則是相反，顯示印度半島西北部有一區在世紀末有顯著增加的趨勢。在 B1 情境中，有兩個模式推估結果顯示印度半島西北部的減少趨勢較為顯著。另有兩個模式推估印度半島西北部有一區域在世紀末有顯著增加的趨勢。

在 A1B 情境臺灣世紀末連續降雨日數的推估上，半數模式顯示全臺多數地區會增加，半數模式則顯示減少。在 A2 情境中，有 5 個模式推估多數地區會減少，其中一個模式推估全臺為顯著下降的趨勢。然而有二模式則顯示全臺有顯著增加的趨勢，尤其是西部及南部地區。B1 情境中，有 5 個模式推估結果呈現全臺多數區域會降低。而有兩個模式則推估全臺有增加的趨勢，尤其是西北部地區。

2.4.4 小結

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 2.24 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。

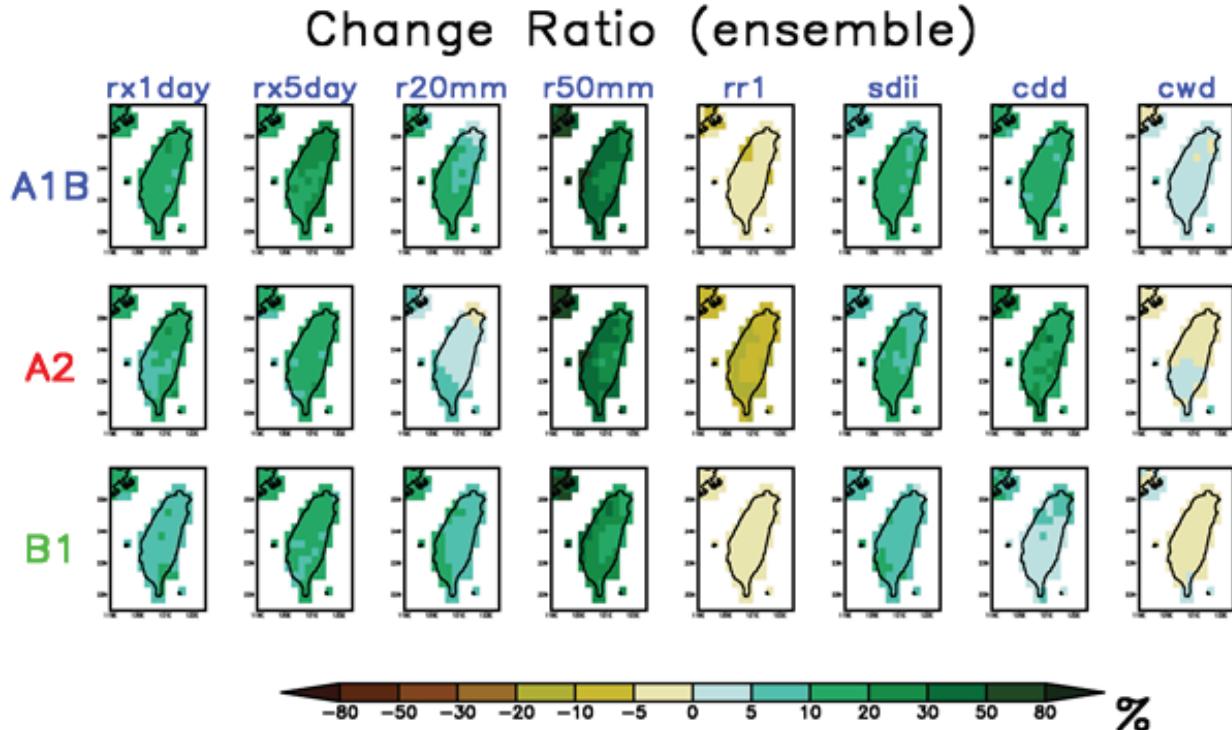


圖 2.24 在 A1B、A2 及 B1 三情境下 CMIP3 各氣候模式之系集平均，臺灣地區各極端氣候指標於世紀末氣候變化百分比 (%) 分布圖。

2.5 高解析度動力降尺度技術研發

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，用以推估氣候狀態。自 1990 年起區域氣候模式的研究興起後 (Giorgi and Bate, 1989 ; Giorgi and Mearns, 1991)，區域氣候模式便成為執行動力降尺度非常有效率的工具，在過去通常用來獲得數十公里解析度的結果。由於臺灣的地形複雜崎嶇，考慮了較高解析度地形及土地利用的動力降尺度應能發揮它極大的價值，提供更為細緻合理的氣候推估。

最近幾年隨著電腦計算能力的增加，高解析度的全球氣候模式的發展已有普及化的趨勢，國外幾個較具規模的機構也都致力於發展高解析度的全球氣候模式。除了全面性增加傳統經緯網格的解析度之外，也發展了特殊網格設計，在有限的計算資源下卻可大幅增加局部區域的空間解析度到 10 公里以下，以達到降尺度的目的，這些模式包括：法國國家氣象中心的 ARPEGE、加拿大氣象中心的 GEM、以及美國 NASA/GSFC 的 GEOS 模式 (Fox-Rabinovitz et.

al, 2008)；美國 GFDL 的 HiRAM (Chen and Lin, 2011) 及澳洲 CSIRO 的 C-CAM (Nguyen and McGregor, 2009)，日本 JAMSTEC 的 NICAM (Satoh et al, 2008)、德國 MPI 的 ICON (Bonaventura and Ringler, 2005)、美國 UCAR 的 MPAS (Scamarock et al 2012)、法國 IPSL 的 DYNAMICO。

然而，在使用全球模式來做動力降尺度的成本仍高、技術尚未成熟前，使用區域模式來執行動力降尺度仍是一有效率的方法，尤其是像臺灣地區降尺度的解析度要高於 5 或甚至於 5 公里以下，若以全球模式來進行動力降尺度所需的資源將會非常龐大。此外，區域模式可以有效率地針對特定時段進行重複的模擬測試，甚至執行多模式的系集實驗，以利更進一步的應用。

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。動力降尺度的成果顯示降尺度之後對局部地區的天氣及氣候特徵的描述已有大幅的改善，但是對未來變遷的趨勢所造成的原因以及兩組不同全球模式降尺度的結果的差異性也缺乏描述。此外，5~8 月份降雨的模擬並不理想以及因颱風路徑偏差導致降水分布的偏差，這些都降低了使用此季節降水氣候值推估做進一步應用的價值。本年度的研究針對兩組動力降尺度資料的差異性、梅雨季降水分布不佳、溫度及降水變遷的原因、颱風路徑偏差等主題進行探討。針對上述的問題本年度動力降尺度研究主要的任務有：1. 比較 MRI AGCM 與 ECHAM5 的動力降尺度結果的差異；2. 分析 5 公里解析度動力降尺度的氣候資料，主要是溫度與梅雨季降水部分，並且調整模式的設定以得到較佳的梅雨季降水模擬；3. 對颱風進行更高解析度 (1.66 公里) 的降尺度，以評估更高解析度降尺度的需求；4. 利用 60 公里解析度的 MRI AGCM 系集模擬資料，以推估未來颱風降雨氣候值並進行颱風重置實驗，以開發颱風個案降尺度資料的應用。希望這些工作能夠對去年推估的產出做進一步的了解及改善，以提供更為合理的降尺度資料給應用端使用。

2.5.1 資料說明

(1) 觀測資料

本研究所使用來校驗比對的觀測資料有 TCCIP 計畫所產製的月平均降水及溫度的網格資料、氣象局雨量站資料、衛星估計降水資料及全球氣候預報系統重分析資料。TCCIP 計畫所產製的月平均降水及溫度 (最高溫、日平均溫及日最低溫) 的網格資料，資料長度為 1960~2010 年，提供模式季節降雨及溫度的校驗分析用。在降雨頻率及降雨特性分析中，則使用中央氣象局自動雨量站的逐時資料，經過客觀分析後內插至空間解析度為 0.0125 度 x

0.0125 度的網格點，時間長度為 1992-2010 年，共 19 年的資料。為了瞭解降雨在海上的分布情形，我們也使用資料長度從 1998-2010 年 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 產品 3B43V6 的衛星降雨估計資料，空間解析度為 0.25 度。另外，使用美國國家環境預測中心 (National Centers for Environmental Prediction) 全球氣候預報系統重分析 (Climate Forecast System Reanalysis，之後此筆資料稱為 NCEP-CFSR) 的資料當作觀測值來做環流場合成。

(2) 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。MRI AGCM 具有極高水平解析度，網格間距約 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)。此組資料將用以執行動力降尺度。

除了 20 公里解析度的 MRI AGCM，本計畫亦取得多組的 60 公里解析度 MRI AGCM (Kusunoki et al, 2011; Murakami et al, 2012)，除了解析度以及海溫的設定不同之外，其他模式的架構是一樣的。在此我們分析 4 組 60KM MRI AGCM 的模擬作為系集模擬結果的分析，這 4 組全球模式所用的海溫與 20KM MRI AGCM 相同，為一的不同是初始場略有差異。

(3) 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。

2.5.2 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 2.25a 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 2.25a 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 ，兩巢狀網格垂直解析度均為 45 層，所涵蓋的範圍如圖 1b 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。

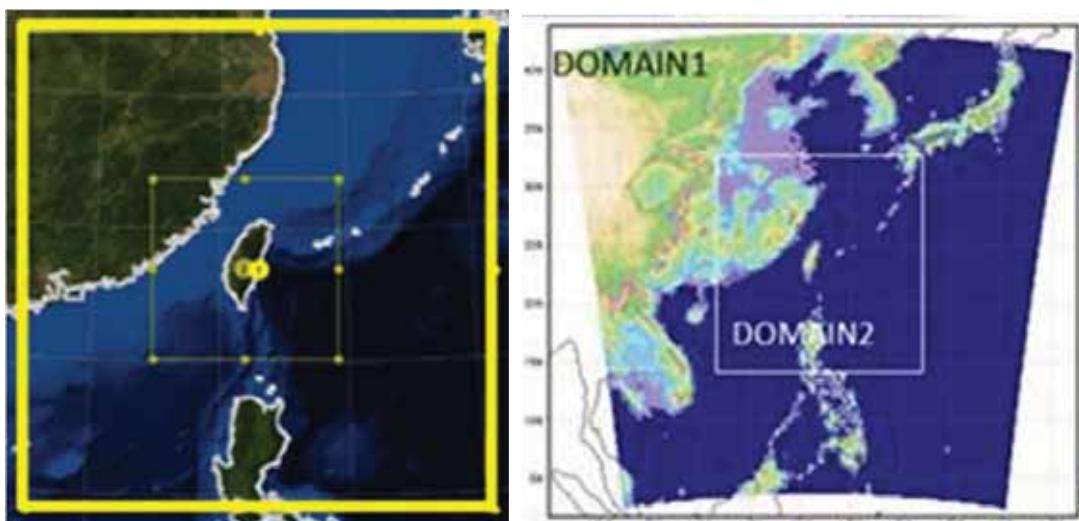


圖 2.25 (a) 為 MRI AGCM 動力降尺度執行的範圍，(b) 則為 ECHAM5 動力降尺度執行的範圍。

(2) 極端溫度分析及梅雨季降水的敏感度測試

在氣候變遷的研究中一個很重要的議題：暖化對極端溫度的影響為何？為此本研究針對夏季日最高溫以及冬季日最低溫進行頻率分析。除了溫度分析之外，本研究在分析 MRI

AGCM 的資料時，發現臺灣附近梅雨季降水的低估不僅出現在區域模式中，也出現在全球模式的模擬結果，推測模擬結果低估有可能會受限於全球模式的環流之影響。為此，本研究調整模式所做的設定，移除模式中波譜調整 (spectral nudging) 的功能，以減少全球模式所模擬的大氣環流對區域模式的影響。在測試的過程中發現模式所使用的對流參數化對降水型態及發生的位置有很大的影響，所以在有限的計算資源下，針對波譜調整以及對流參數化的使用情況做敏感度，模擬的季節為 5、6 兩個月。所設計的實驗如表 2.3 所示。

表 2.3 梅雨季降水的敏感度實驗設計。

實驗	波譜修正	積雲參數化	模擬時期
Ctrl	✓	✓	1979-2003 2015-2039 2075-2099
	X	✓	1979-2003 2075-2099
	X	X	1979-2003 2075-2099
EXP 3	✓ 僅用於 300 hPa 以上	✓	1990-1999

(3) 更高解析度颱風個案動力降尺度

考慮到解析度提高至 5 公里後降雨的分布與強度獲得大幅改善，本研究亦針對颱風個案，嘗試將解析度做進一步提升至 1.66 公里。此更高解析度的颱風個案降尺度是個實驗性質的工作，用意在於探討模式解析度提高後，對於颱風降水推估的影響程度，根據此結果來評估進一步提高解析度的必要性。在進行 1.66 公里降尺度時，模式並未計算積雲參數化以及波譜調整。

(4) 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 2.4）；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。

表 2.4 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 2.26(a) 及圖 2.26(b) 為颱風中心落在 $1^\circ \times 1^\circ$ 的藍色框之中的一個例子，模式和觀測結果皆顯示臺灣地區的平均降雨主要發生在中南部山區，受限於模式 60km 的解析度無法在模式中有效地呈現出臺灣複雜陡峭的地形對降雨的影響，模式推估的量值有明顯低估的現象。圖 2.26(c) 則為 21 世紀末時當颱風中心落於圖中綠色框框中之颱風降雨改變率的推估，暖色系表示未來降雨減少，冷色系表示降雨增加，圖中顯示受暖化影響，臺灣地區平均降雨皆增加，距颱風中心所在位置較近的地方增加率較大。圖 2.26(d) 則是考慮了圖 2.26(b) (現在颱風降水分布) 及圖 2.26(c) (未來改變率) 所推估出來的未來颱風降雨。

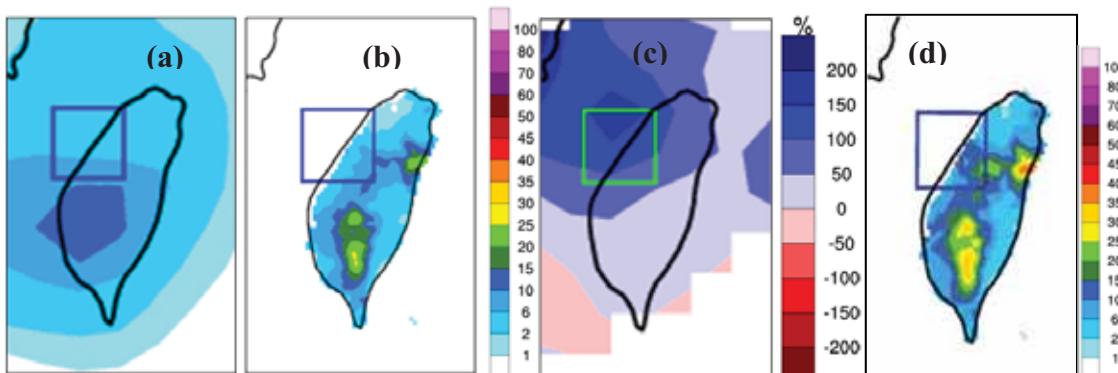


圖 2.26 颱風中心所在位置 (框線標示處) 與平均颱風降雨及颱風降雨改變率的分布圖。(a) 為 60km MRI-AGCM 現在時期之結果，(b) 為觀測 (1992~2006)，(c) 為模式推估之降雨改變率，(d) 為模式推估之降雨。

(5) 颱風重置實驗

上述 60km MRI AGCM 資料的使用是運用統計方法來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。其方法是透過颱風重置實驗，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 2.27，圖中實心圓點為原颱風中心位置，紅線為原颱風路徑，其他六條線條僅代表將紅線隨重置點位置平移之後的結果，用來初步評估重置點的選擇是否適合，並非重置後颱風將會走的路徑。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，並決定之後所走的路徑。本實驗所使用的核心技術是位渦的計算及反衍 (Davis and Emanuel, 1991)，日本京都大學防災研究所 (DPRI) 曾運用這項技術來診斷颱風的發展及衰減 (Yoshino et al, 2003a,b)。DPRI 在這幾年將其運用到颱風重置上，用以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 (Oku et al., 2010)。

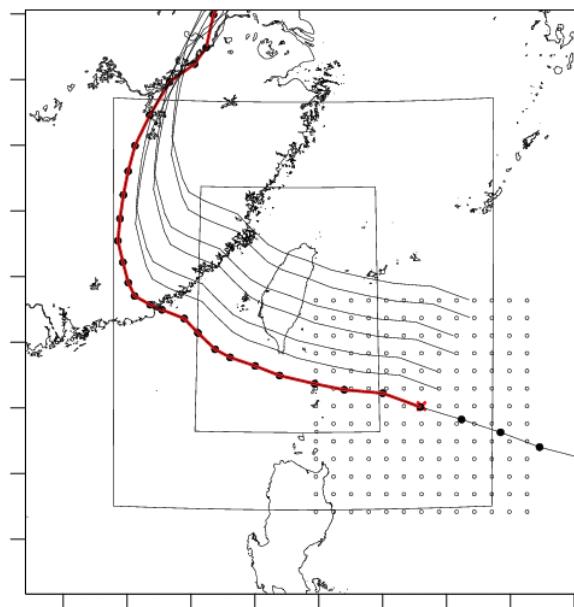


圖 2.27 颱風重置實驗中重置點分布的示意圖。圖中空心圓為可能重置的位置，其間距 60 公里。

2.5.3 具體成果

(1) 兩組動力降尺度結果的比較

ECHAM5 與 MRI 大氣環流的比較：ECHAM5 的高壓脊在夏季有偏北以及影響臺灣地區

的低壓強度有高估的情況；MRI 則是在夏季高壓呈現低估，但整體來看，MRI 的系統分布較接近 NCEP。850hPa ECHAM5 高度場大致是呈現臺灣以北的區域高估，臺灣以南的區域則低估的情況。而風場的差異則顯示，影響臺灣地區的東風有明顯高估的現象；MRI 的高度場則是在六到九月太平洋上有低估的現象，其餘的月份都是有高估的情況。同時六到九月則是有北風高估的情況。在 1000hPa 與 850hPa 層，MRI 資料的表現RMSE 與相關係數的表現都優於 ECHAM5，這表示 MRI 在這兩層中，增減的趨勢較接近 NCEP，同時與 NCEP 資料間的誤差值也較小。而在 500hPa 及 200hPa 兩高度層，ECHAM5 的表現則優於 MRI，雖然區域平均高度場都呈現高估，但是其與 NCEP 間的誤差較小且變化的趨勢也較接近。

在溫度方面，兩模式在 $112^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E}, 15^{\circ}\text{N} \sim 32^{\circ}\text{N}$ 地區兩米溫度區域平均的時序圖中（圖 2.28）顯示，現在時期 ECHAM5 平均的溫度約 23.5°C ；MRI 的平均溫度約 22.5°C 。近未來時期 MRI 增溫的現象較明顯，平均溫度升高到 23.3°C ；ECHAM5 平均溫度只增加約 0.5°C 。世紀末時 ECHAM5 平均溫度大幅增加 2.4°C 達 26.4°C ；MRI 則只增加到 24.9°C 。三個時期 ECHAM5 的平均溫度都高於 MRI，兩組資料的溫度在世紀末時期的溫度差最多。不像 MRI AGCM 現在時期使用的是觀測的海溫，ECHAM5 的海溫是與海洋模式耦合所模擬出來的，與觀測值存在一明顯差異。

在世紀末時期，ECHAM5-WRF 模式日均溫變化幅度大於 MRI-WRF，而且在四季的山區增溫幅度皆明顯大於平地。ECHAM5-WRF 日均溫在秋季山區增溫最明顯，MRI-WRF 也是在冬季山區有較多的增溫現象（圖 2.29、表 2.5）。

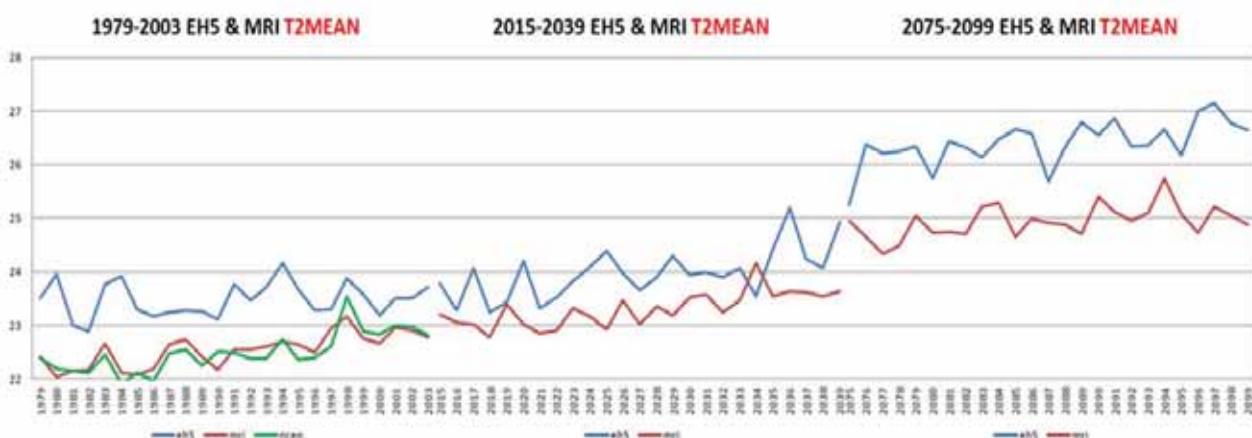


圖 2.28 兩米溫度區域平均的時序圖，圖中數值為 $112^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E}, 15^{\circ}\text{N} \sim 32^{\circ}\text{N}$ 範圍的區域平均。藍色線為 ECHAM5，紅色線為 MRI，綠色線為 NCEP。由左而右分別是現在時期、近未來時期以及世紀末時期。單位 $^{\circ}\text{C}$

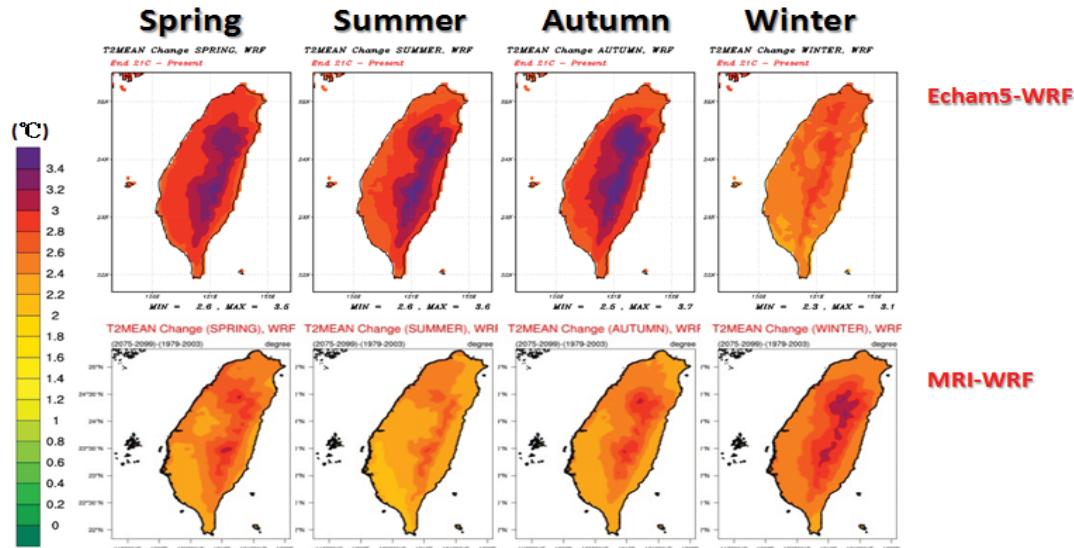


圖 2.29 經動力降尺度後世紀末時期春、夏、秋、冬四季日均溫變化，上排為 ECHAM5，下排則為 MRI AGCM。單位： $^{\circ}\text{C}$

表 2.5 ECHAM5 與 MRI AGCM 降尺度後與觀測資料的比較。由上而下分別是與觀測資料的差異、近未來與現在以及世紀末與現在的差異。單位： $^{\circ}\text{C}$ 。

兩米溫度	ECHAM5-WRF				現在時期	MRI-WRF			
	春季	夏季	秋季	冬季		春季	夏季	秋季	冬季
v.s.觀測	↑ 1.217	↑ 0.683	↑ 0.906	↑ 0.915		↑ 0.37	↑ 0.09	↓ -0.1	↓ -0.46
近未來 change	↑ 0.51	↑ 0.57	↑ 0.62	↑ 0.39		↑ 0.82	↑ 0.7	↑ 0.65	↑ 0.87
世紀末 change	↑ 2.95	↑ 2.94	↑ 2.96	↑ 2.58		↑ 2.52	↑ 2.36	↑ 2.47	↑ 2.58

MRI 與 ECHAM5 經 WRF 動力降尺度後季節降雨的特徵（圖 2.30）。在此季節的劃分由引發降雨的機制來決定：春季為 2 月至 4 月；梅雨季為 5 月至 6 月；夏季為 7 月至 8 月；秋季為 9 月至 11 月；冬季為 12 月至 1 月。ECHAM5-WRF 季節降雨分布，以秋、冬季的降雨模擬結果與觀測的降雨分布最接近，但在降雨量的預估上則有高估的情況。而在春季、夏季及梅雨季，降雨多集中在東部迎風面，且雨量高估的情況更為明顯，夏季降雨最多可達 70mm/day ，遠遠高於觀測的 20mm/day 。MRI-WRF 模式能掌握到春季、秋季及冬季的氣候特徵，模擬出比較接近觀測的降雨空間配置以及平均值。降尺度後的降雨對夏季及梅雨季西南部地區降雨低估的情形較為嚴重，而秋季及冬季則明顯地高估蘭陽平原南邊山區的降雨。

Seasonal Mean Precipitation

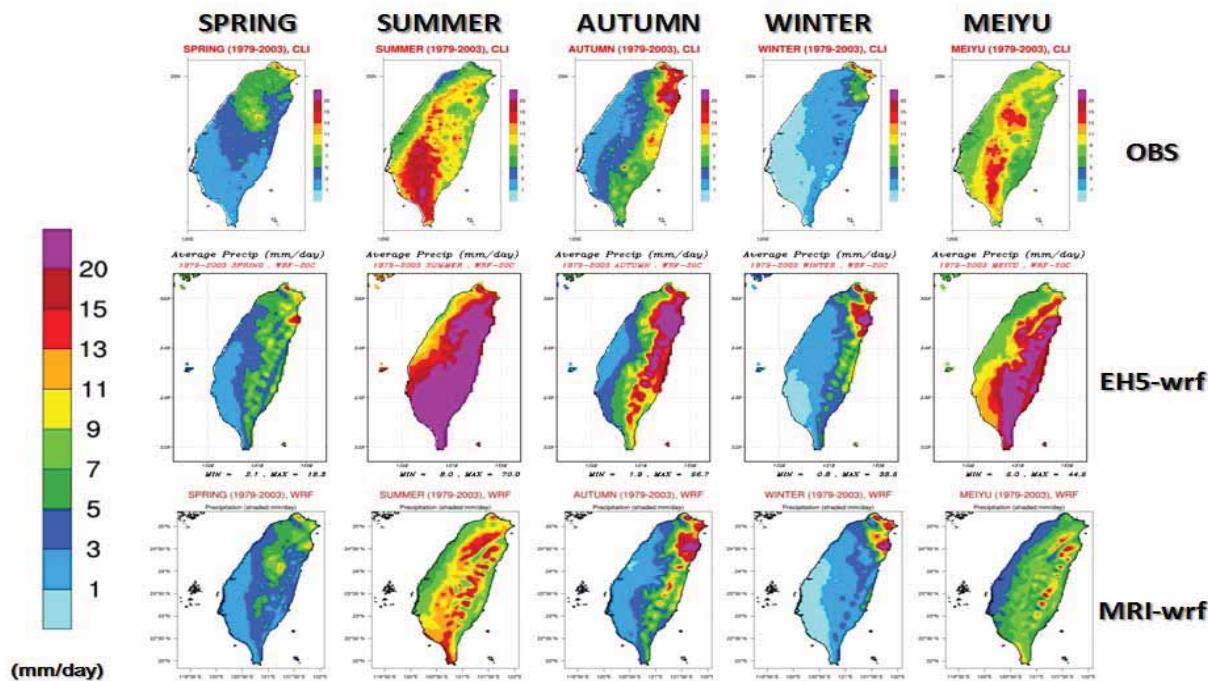


圖 2.30 動力降尺度之季節降雨分佈。由上而下分別為觀測、ECHAM5-WRF 與 MRI-WRF 降雨，由左至右分別為春、夏、秋、冬及梅雨季。單位 mm/day。

表 2.6 為降水差異百分比。向上紅箭頭表示未來降雨較現在多，向下藍箭頭表示未來降雨較現在少，—：表示該區域降雨增減的趨勢不明顯。

	ECHAM5-WRF						MRI-WRF				
	春季	夏季	秋季	冬季	梅雨季		春季	夏季	秋季	冬季	梅雨季
降水分佈變化											
北部	↑	↑	↑	↓	↑		↓	↓	↓	↓	↓
中部	↑	↑	↓	↑	↑		↑	↑	↑	↑	↑
南部	↓	↓	↑	↓	↑		↓	↓	↑	↑	↑
東部	↓	↓	↑	↓	↓		↓	↓	↓	↓	↓
	春季	夏季	秋季	冬季	梅雨季	世紀末	春季	夏季	秋季	冬季	梅雨季
北部	↓	↑	↓	↓	↑		↑	↓	↓	↑	↓
中部	↑	↑	↓	↓	↓		↑	↑	↑	↑	↑
南部	↓	↑	↑	↓	↓		↑	↓	↑	—	↑
東部	↑	↓	↑	↓	↑		↑	↑	↓	—	↓

為了更進一步了解降尺度之後的降水特性，將臺灣地區分為北、中、南及東四區與觀測降水進行分區比較。以表 2.6 示之，表中可見近未來時期，以區域區分 ECHAM5-WRF 降水，在北部與中部主要呈現增加的狀況，東部大部分為減少；MRI-WRF 降水則是在北部及東部整年都是減少，中部則為增加。以季節區分，ECHAM5-WRF 在秋季跟梅雨季有較大範圍的降水是增加的，冬季則是較大範圍呈現減少；MRI-WRF 在春季以及夏季降水增加的區域較小。在世紀末時期，以區域區分 ECHAM5-WRF 降水並無明顯區域降水的特徵；MRI-WRF 降水則是在中部整年的降水都有增加的現象。以季節區分，ECHAM5-WRF 在夏季降水增加的區域較大，冬季則是全臺灣的降雨都呈減少；MRI-WRF 在春季全臺灣的降水都是增加的。

(2) 極端溫度與梅雨季降水的敏感度測試

在連續高溫事件是以模式中夏季日最高溫大於 35°C 的天數計算連續 2 天、3 天至連續 10 天的次數。圖 2.31 為現在 (1979~2003 年) 及世紀末 (2075~2099 年) 連續高溫事件的頻率分布，由圖可看到連續高溫發生的地區大多在臺北都會區、中部平原及高屏一帶，且在世紀末有明顯增加的趨勢。以連續 5 天高溫事件為例，臺北都會區在現在 (1979~2003 年) 時期平均一年約小於 1 次，到了世紀末則增加至 4~5 次。由以上分析結果顯示，在全球暖化的趨勢下，臺灣地區極端高溫及連續高溫事件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。

在梅雨季降水的敏感度實驗中，5 月及 6 月的降雨空間分布顯示（圖 2.32），EXP1 及 EXP2（皆移除波譜調整）模擬結果已明顯改善去年度 Ctrl 梅雨季中、南部山區嚴重低估之問題。EXP3 實驗（僅在高層使用波譜調整）的模擬結果與 Ctrl 實驗的結果一致，中、南部山區皆明顯低估，顯示此設定僅做高層的波譜調整便可對梅雨季降水有極強的抑制作用。而 EXP1（使用積雲參數化）及 EXP2（移除積雲參數化）的差異在於，EXP1 的主要降水位置多發生山腳下，而 EXP2 中降雨多發生在山坡或山脊上比較接近觀測值。此結果顯示積雲參數化的使用與否，會改變降水的主要位置，從山脊上移動至山脚下。整體而言，EXP2 實驗的梅雨季降水及空間分布雖未完美，但已經獲得明顯改善。

圖 2.33 為臺灣地區各降雨區間佔總降雨的百分比，是由每個網格點日降雨強度所算出的。結果顯示 EXP2 實驗與觀測值 (OBS, 1992~2010 年) 非常接近，以 $53.2\sim69.3 \text{ mm/day}$ 這個降雨區間的降雨貢獻最多，在 Ctrl 及 EXP1 實驗中以 $24\sim1.3 \text{ mm/day}$ 的降雨區間所佔的比例最高。Ctrl 及 EXP1 實驗的日累積雨量小於 53.2 mm 是明顯高估的，而日累積雨量大於 53.2 mm 是明顯低估的，EXP1 實驗在日雨量大於 100 mm/day 的降雨比 Ctrl 實驗要好很多。若搭配圖 8 來看，EXP1 在梅雨季的降雨其量值與觀測值是蠻接近的，但從日降雨強度特性來看，EXP1 對

日雨量小於 53.2 mm/day 的高估彌補了對日雨量大於 53.2 mm/day 的低估，但對大於 200 mm/day 的大豪雨降雨還是嚴重低估的。

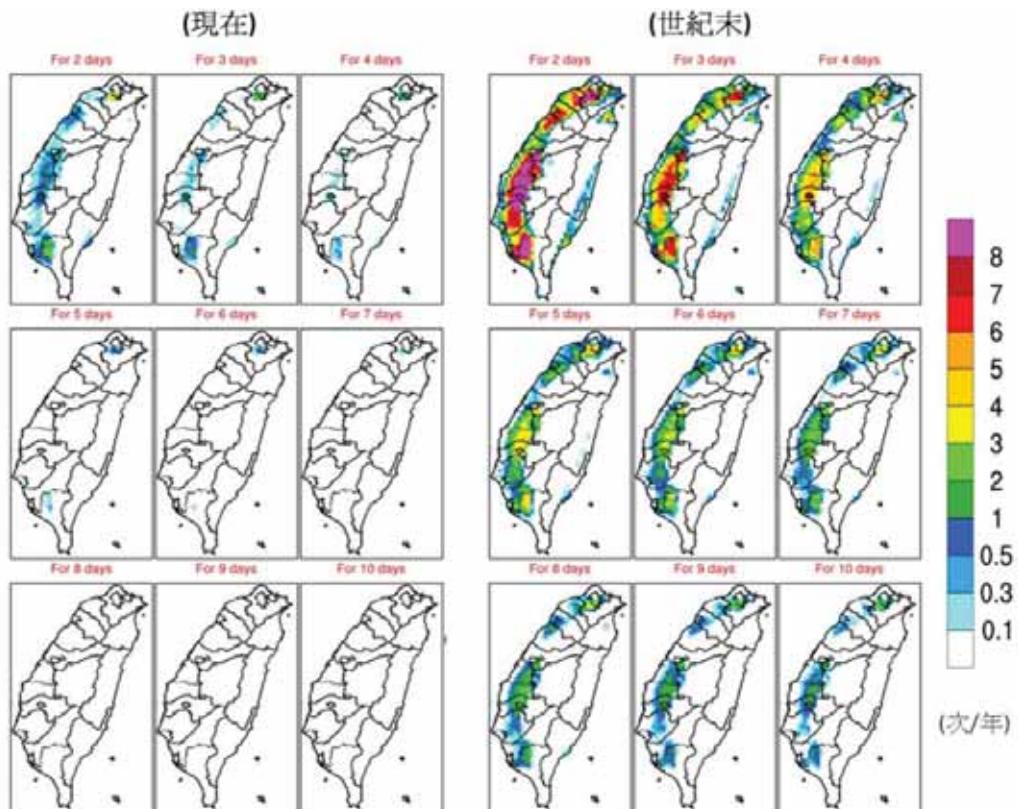


圖 2.31 WRF 模式推估現在 (1979-2003 年) 及世紀末 (2075-2099 年) 之連續高溫 (溫度>35 °C) 頻率分布。單位: 次/年

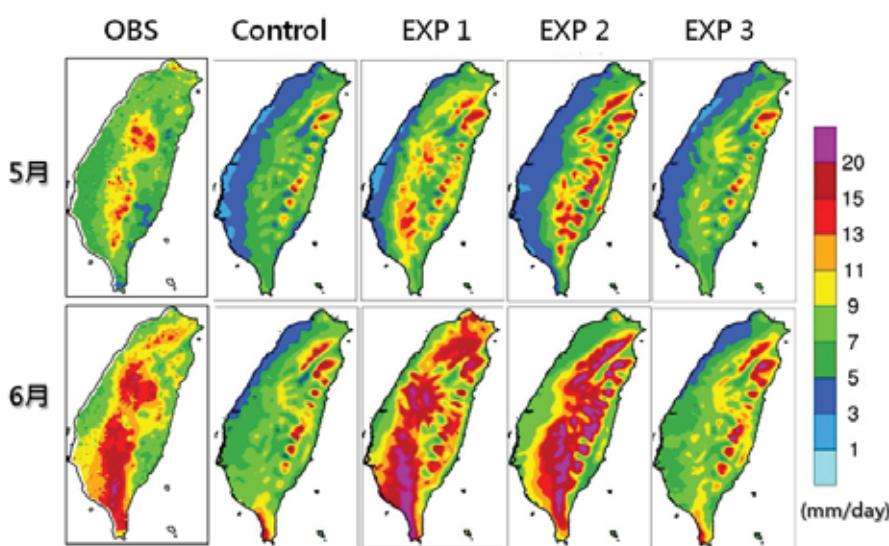


圖 2.32 1979-2003 年 5、6 月降水空間分布。由左至右觀測值、控制實驗、EXP1、EXP2 及 EXP3。單位: mm/day

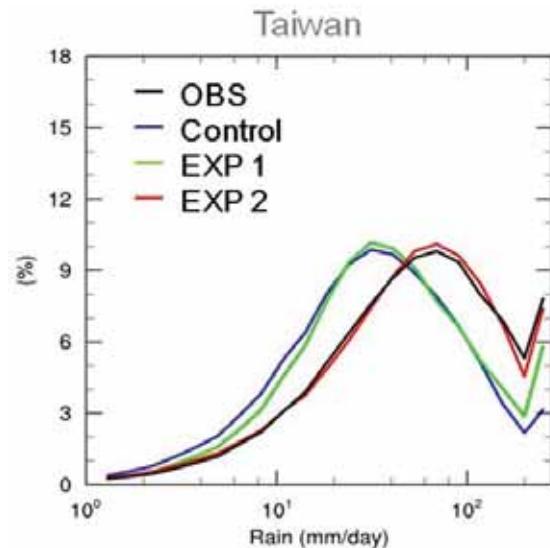


圖 2.33 以臺灣全區每個網格點的日降雨量計算各區間降雨量佔總降雨量之百分比分布。降雨區間為 1、1.3、1.7、2.2、2.9、3.8、4.9、6.4、8.3、10.9、14.1、18.4、24、31.3、40.8、53.2、69.3、90.3、117.7、153.5、200 及 200 mm 以上，共 22 個降雨區間。
單位：%

(3) 更高解析度颱風個案動力降尺度

因 1.66km 和 5km 動力降尺度的資料解析度相差 3 倍之多，為便於比較，將 1.66km 動力降尺度的資料升尺度至 5km 後再進行比較。比較兩組不同解析度動力降尺度之降雨強度指標（圖 2.34），結果顯示 5km 解析度的結果較接近於觀測值，1.66km 解析度所模擬的降雨強度則高估了許多。由機率密度函數分布（圖 2.35）的分析雖也顯示出類似的結果，但是更多的細節顯示 5km 動力降尺度的資料在降雨強度小於 10mm/day 的發生頻率有高估、大於 10mm/day 的發生頻率則有低估的情形。1.66km 降尺度資料則顯示這個分界由 10mm/day 增加到 50mm/day。在強降雨方面 WRF 在 1.6km 與 5km 的結果相似，皆是高估的情況，解析度提高之後高估的情況更為嚴重。

由分析結果看來，提高解析度到 1.66 公里後對強降雨會被高估的更多，這背後的原因不僅僅是因為解析度提高了這麼單純。需知道在進行 1.66 公里降尺度時，模式並未計算積雲參數化以及波譜調整，而在梅雨季降水敏感度實驗中可看出，光是移除積雲參數化以及波譜調整就有可能讓模式模擬強降水的能力增加。

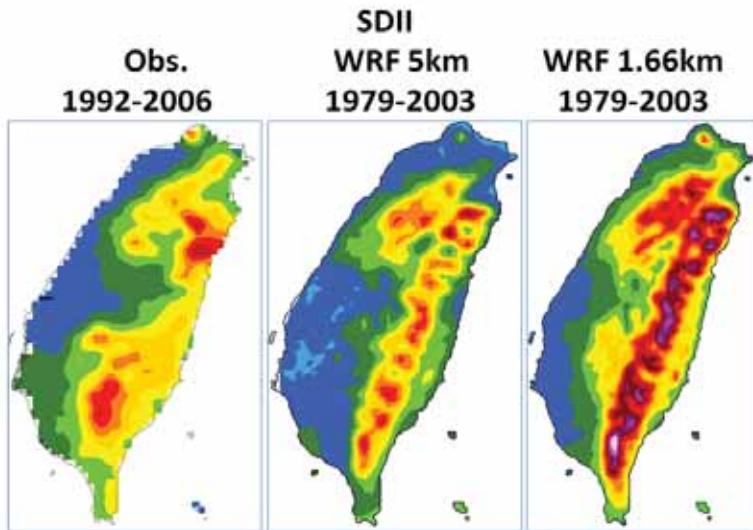


圖 2.34 觀測、5km WRF 及 1.66km WRF (升尺度至 5km) 在現在時期之降雨強度指標氣候值的 (SDII) 空間分布。

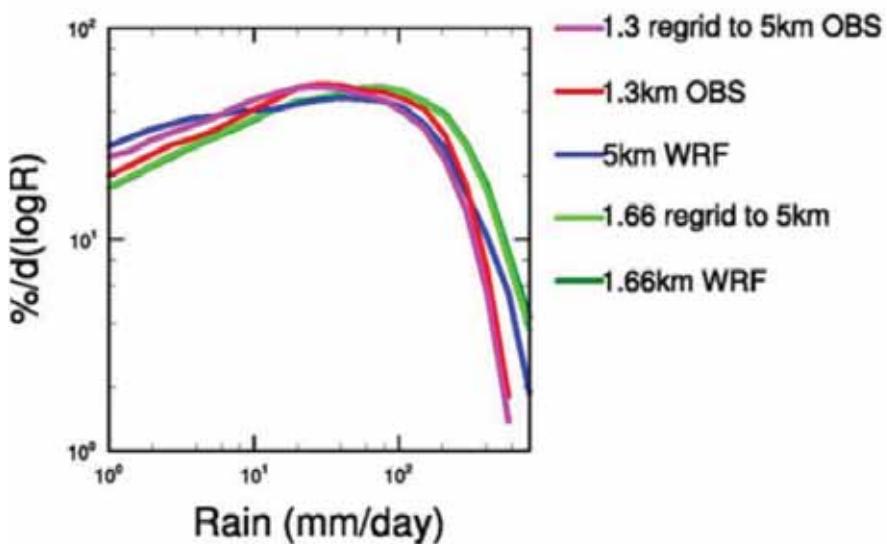


圖 2.35 現在時期之颱風日降雨機率密度函數，縱軸為發生機率（%），橫軸為日降雨量，其中綠色為 1.66km WRF、藍色為 5km WRF、紅色為觀測的分布曲線，左上至右下分別為北、中、南、東和臺灣全區

(4) 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 2.36a），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 2.36a）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 2.36b 及 2.36d）做加權平均後，則可以合成颱風降水的氣候值（圖 2.36b 及 2.36c）。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 2.36d）。圖 2.36e 則是直接以 60km MRI AGCM 資料推估之世紀末颱風降雨改變率。表 2.7 則為各分區的改變率，其中以中部地區（46.66%）和曾文溪流域（46.29%）增加最顯著。

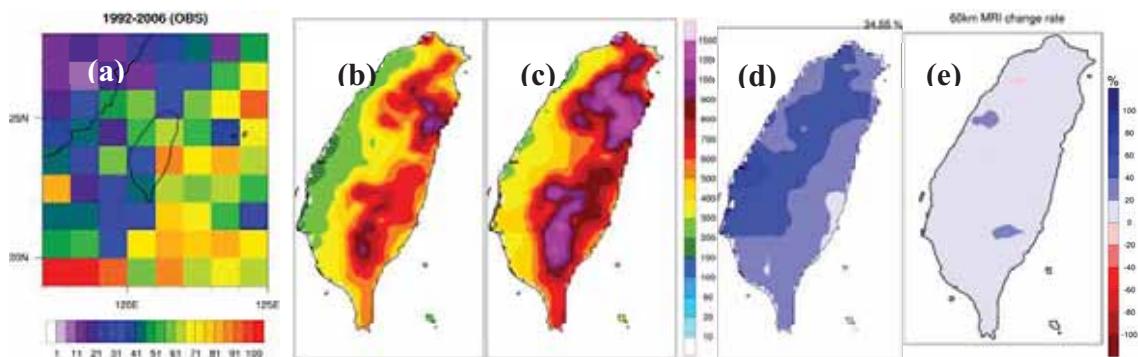


圖 2.36 (a) 觀測（1992-2006）之颱風路徑密度分布圖（單位：次數）、(b) 觀測平均颱風降雨分布圖（單位：mm/yr）、(c) 推估世紀末之降雨分布、(d) 為利用觀測資料推估之世紀末颱風降雨改變率、(e) 直接以 60km MRI 模式資料推估之世紀末颱風降雨改變率。

表 2.7 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

本研究所發展的這個方法可使用特定的颱風路徑密度分布作為權重，來估算特定的颱風降雨。在此亦依據氣象局之九大路徑分類，算出歷史上九大路徑颱風的路徑密度分布後，計算出各路徑颱風在現在及未來之平均降雨分布以及降雨改變率。表 2.8 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溪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溪流域增加最為顯著 (111.74%)。

表 2.8 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
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

(5) 颱風重置實驗

颱風重置的核心技術在於使用數值方法從被移動過的位渦場反衍出環境風場及熱力場。數值方法中需反覆計算讓誤差收斂以得到數值解，不幸的是這樣的解法並不保證誤差一定都會收斂。影響臺灣的颱風多半從北緯 20 度以南過來，再加上有時受到呂宋島地形的影響，位渦反衍計算的成功率並不算高。我們在執行現代時期 70 場 * 7 個重置點 = 490 場颱風的初始位置重置的過程中，490 場颱風只有約 1/3 的案例成功完成反衍。圖 2.37 所示者為一成功個案，原颱風從恆春半島經過，經重置後颱風可以從臺東、花蓮、宜蘭登陸臺灣或是從臺灣東北角海域掠過，不同的路徑也為臺灣帶來不同的降雨分布。

然而不是所有重置成功的颱風的模擬結果都能滿足我們想增加有影響力的颱風樣本數的需求。颱風重置實驗所遇到的另一個困難是，重置後颱風所處的環境可能不利於颱風的發展，導致颱風強度迅速衰減。圖 2.38 所示者為一颱風迅速衰減的案例，在颱風重置後一天，多數

重置後的颱風都減弱，即使是中心登陸了臺灣，亦未能對臺灣帶來豐沛的雨水，降雨強度的規模僅達一般午後雷陣雨。

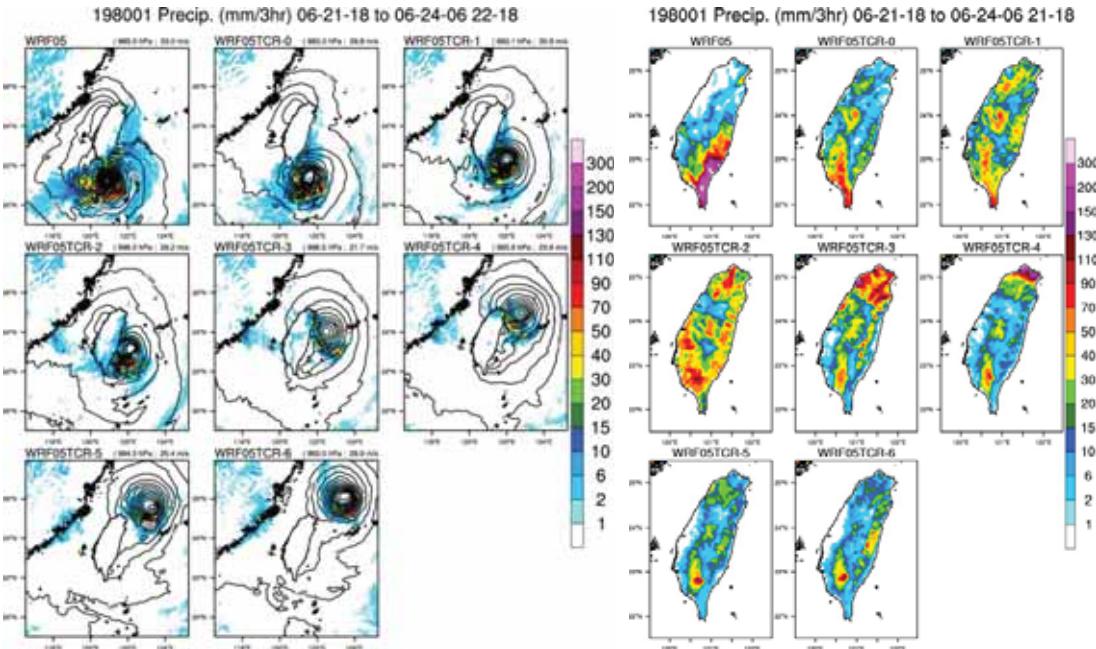


圖 2.37 成功完成颱風重置的個案之一。左圖為颱風重置後 24 小時的海平面氣壓，以及相應的整場颱風降雨。

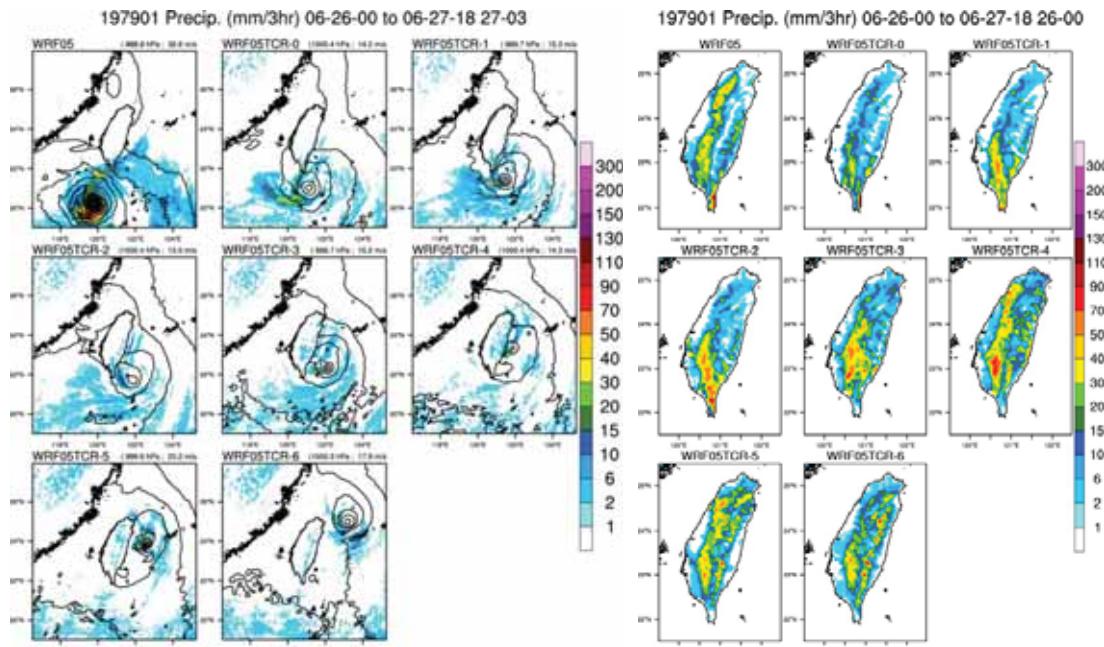


圖 2.38 成功完成颱風重置的個案之二。左圖為颱風重置後 27 小時的海平面氣壓，以及相應的整場颱風降雨。

2.5.4 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。

2.5.5 參考文獻

Bonaventura, L. and T. D. Ringler, 2005: Analysis of Discrete Shallow-Water Models on Geodesic Delaunay Grids with C-Type Staggering. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 2351-2373.

- Chen, J.-H., and S.-J. Lin, 2011: The remarkable predictability of inter-annual variability of Atlantic hurricanes during the past decade. *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L11804, doi:10.1029/2011GL047629.
- Davis, C. A. , and K. A. Emanuel, 1991: Potential vorticity diagnostics of cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1929–1953.
- Connolley, W. M., and T. J. Bracegirdle, 2007, An Antarctic assessment of IPCC AR4 coupled models, *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L22505, doi:10.1029/2007GL031648.
- Fita, L., J. Fernandez, and M. Garcia-Diez, 2010: CLWRF: WRF modifications for regional climate simulation under future scenarios. Extended Abstracts, 11th WRF Users' Workshop, Boulder, CO, National Center for Atmospheric Research, 4.
- Fox-Rabinovitz, M., J. Cote, B. Dugas, M. Deque, J. L. McGregor, and A. Belochitski, 2008: Stretched-grid Model Intercomparison Project: decadal regional climate simulations with enhanced variable and uniform-resolution GCMs. *Meteorol Atmos Phys*, **100(1-4)**, 159.
- Giorgi, F. and G. T. Bates, 1989: The climatological skill of a regional model over complex terrain. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 2325-2347.
- Giorgi, F. and L.O. Mearns, 1991: Approaches to the simulation of regional climate change: a review. III-85 *Reviews of Geophysics*, **29**, 191–216.
- Kusunoki, S., R. Mizuta, and M. Matsueda, 2011: Future changes in the East Asian rain band projected by global atmospheric models with 20-km and 60-km grid size. *Clim. Dyn.*, DOI 10.1007/s00382-011-1000-x
- Mizuta, R., K. Oouchi, H. Yoshimura, A. Noda, K. Katayama, S. Yukimoto, M. Hosaka, S. Kusunoki, H. Kawai, and M. Nakagawa, 2006: 20-km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model – mean climate states –. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 165–185, doi:10.2151/jmsj.84.165.
- Mizuta, R., H. Yoshimura, H. Murakami, M. Matsueda, H. Endo, T. Ose, K. Kamiguchi, M. Hosaka, M. Sugi, S. Yukimoto, S. Kusunoki, and A. Kitoh, 2012: Climate simulations using the improved MRI-AGCM with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 235-260.
- Murakami, H., Y. Wang, H. Yoshimura, R. Mizuta, M. Sugi, E. Shindo, Y. Adachi, S. Yukimoto, M. Hosaka, S. Kusunoki, T. Ose, and A. Kitoh, 2012: Future changes in tropical cyclone activity projected by the new high-resolution MRI-AGCM. *J. Climate*, **25**, 3237-3260.

- Nguyen, K. C. and J. L. McGregor, 2009: Modelling the Asian summer monsoon using CCAM. *Climate Dynamics*, **32**, 219-236.
- Oku, Y., J. Yoshino, H. Ishikawa, T. Takemi, and E. Nakakita, 2010: Maximun Damage Estimation by Multi-Track approach of extreme typhoon in future climate. *Annuals. Of Disas. Prev. Res. Inst.*, Kyoto Univ., **53B**, 371-375 (In Japanese).
- Roeckner, Erich ; Lautenschlager, Michael ; Schneider, Heiko 2006, IPCC-AR4 MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40 20C3M run no.1: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaD Germany. World Data Center for Climate. [doi: 10.1594/WDCC/EH5-T63L31_OM-GR1.5L40_20C_1_6H]
- Satoh, M., T. Matsuno, H. Tomita, H. Miura, T. Nasuno, and S. Iga, 2008: Nonhydrostatic icosahedral atmospheric model (NICAM) for global cloud resolving simulations. *J. Comput. Phys.*, **7**, 3486-3514.
- Yoshino, J., H. Ishikawa, and H. Ueda, 2003: Piecewise Potential Vorticity Inversion Diagnosis on the Rapid Decaying and Re-intensification of Typhoon Bart (1999) in Mid-latitude Baroclinic Zone. *Annuals. Of Disas. Prev. Res. Inst.*, Kyoto Univ., **46B**, 423-442 (In Japanese).
- Yoshino, J., H. Ishikawa, and H. Ueda, 2003: Numerical study on the extratropical transition of Typhoon Bart (1991) over the western North Pacific Ocean. Tenth Conference on Mesoscale Meteorology, Portland, OR, Amer. Meteor. Soc.

2.6 氣候變遷推估之暴雨分析

本計畫使用 Team2 產製之動力降尺度提供的時雨量資料（詳見第 2.5 節），產製過程為本中心由日本 MRI 資料結合 WRF 進行動力降尺度，產出 5 公里解析度的時雨量資料（簡稱為 MRI-WRF-5km），此資料在空間與時間解析度均高於統計降尺度資料，使得吾人得以探討氣候變遷下事件尺度之降雨特性改變。本計畫探討各降雨類型（颱風、鋒面、對流與梅雨）之統計參數特性，並評估氣候變遷下之近未來與世紀末的變化。

過去探討氣候變遷對於降雨特性影響的相關研究中，大多以年、季節、或月降雨量為研究對象，對於事件尺度的研究甚少。然而，許多水資源與水利規劃設計、水庫供水調度而言，了解事件降雨特性是相當重要的工作。諸多重要水文議題經常需要小時降雨量的資料作為分析的基礎，動力降尺度提供之時雨量資料，適時補遺氣候變遷下事件降雨特性評估之研究。

2.6.1 降雨事件定義

事件降雨特性主要可由三個參數來做描述（圖 2.39），首先是降雨發生的延時（duration）；其次為在此降雨延時內降雨的總降雨量（total depth）；最後是降雨事件結束到下一次降雨事件發生之間的間隔時距（inter-event time）。此三個參數即可完整描述一場降雨事件，結合序率暴雨模擬模式（Wu et al., 2011），即可模擬並統計氣候變遷下未來預設年期之降雨歷程。模擬結果也將提供水利署的氣候變遷相關研究計畫案使用。

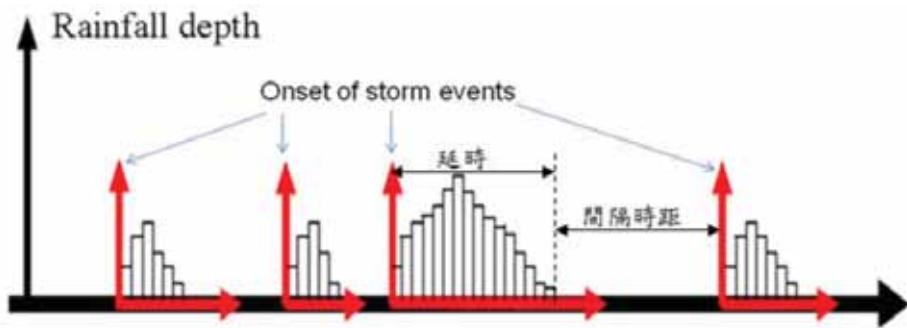


圖 2.39 降雨事件特性

MRI-WRF-5km 資料可分為基期（1979~2003 年）、近未來（2015~2039 年）與世紀末（2075~2099 年）等三時期。為比較 MRI-WRF-5km 與實際觀測資料所計算之統計參數差異，本計畫亦收集全台灣約 84 個雨量測站的時雨量資料，測站之空間分布請見附錄三。

由降雨序列資料中定義降雨事件以及降雨門檻值的設定，此降雨門檻值分為兩部份，一為時雨量門檻、另一為降雨延時門檻。本計畫將全年分為三時期，在各個時期間依照降雨延時分為四種降雨事件類型，各類型降雨事件均有其各自之降雨門檻，如表 2.9 所列。大於 2.5mm/hr 之降雨量門檻值是參考世界氣象組織（WMO）觀測手冊規定中對於小雨的定義，旨在於移除過小的降雨。此外，為決定獨立降雨事件，必須決定相鄰降雨事件間最小連續不降雨時間，本計畫沿用經濟部水利署計畫「氣候變遷水文環境風險評估研究」之設定為 4 小時。表 2.9 中亦列出 MRI-WRF-5km 資料所決定之降雨門檻值，除了第一類與第四類降雨的時雨量為 2mm/hr 以外（大於測站資料之 0.5mm/hr），其值與測站資料所訂之門檻值相同，此設定的目的在於濾除降雨量較低的降雨，避免所擷取之事件延時過長，及避免納入過多總降雨量較低的事件而影響統計參數之代表性。

表 2.9 降雨事件類型與其門檻值

降雨類型	時期	測站資料之降雨門檻	MRI-WRF-5km 之降雨門檻
第一類 (梅雨)	5-6 月	降雨延時>3 小時 時雨量>0.5mm/hr	降雨延時>3 小時 時雨量>2mm/hr
第二類 (颱風)	7-10 月	降雨延時>8 小時 時雨量>2.5mm/hr	降雨延時>8 小時 時雨量>2.5mm/hr
第三類 (對流)	7-10 月	3 小時<降雨延時≤8 小時 時雨量>2.5mm/hr	3 小時<降雨延時≤8 小時 時雨量>2.5mm/hr
第四類 (鋒面)	11-隔年 4 月	降雨延時>4 小時 時雨量>0.5mm/hr	降雨延時>4 小時 時雨量>2mm/hr

測站資料與 MRI-WRF-5km 資料可分別依照門檻擷取各類型之降雨事件，每一場事件可計算其延時、總降雨量與間隔時距等降雨特性參數，檢驗兩資料所計算之參數是否相近，以評估 MRI-WRF-5km 資料是否能重現觀測資料之統計特性，並應用於近未來與世紀末的 MRI-WRF-5km F 資料以計算降雨參數，近而比較基期的資料得到降雨參數之改變率，此降雨參數改變率即可應用於序率暴雨模擬模式及後續水文相關之應用。本計畫擷取鄰近測站位置之 MRI-WRF-5km 網格與測站資料比較，由 84 個測站時雨量以及 MRI-WRF-5km 網格之時雨量資料所計算之三個降雨參數，分別利用距離平方法比法 (Inverse distance weighting, IDW) 推估等高線圖以利比較其空間分布特徵。

2.6.2 颱風事件降雨參數變遷結果

颱風是台灣地區最主要容易致災的極端降雨事件，下述討論僅針對颱風（第二類）探討其降雨特性變化，其他降雨類別之討論請見附錄三。由 84 個雨量測站所計算之降雨參數僅作為決定門檻值之參考，而由 MRI-WRF-5km 所計算之降雨參數是由 1566 個均勻分布的網格所計算而得，兩者的樣本數與採樣空間分布不同，僅可觀察其大尺度之空間分布特性。

以颱風（第二類降雨）而言，由 84 個雨量測站所計算在基期（1979~2003 年）間之第二類降雨事件數，可以發現在台灣東北角與南端發生降雨延時超過八小時的事件數明顯較其他地區多，西半部則受到地形遮蔽而較少事件發生（圖 2.40(a)）。由 MRI-WRF-5km 5 公里網格所計算之事件數分布來看，東北部與台灣南端的表現高事件數特性，但東北部的最大事件數的區塊由陽明山一帶稍微偏移至宜蘭蘇澳地區（圖 2.40(b)）。近未來與世紀末的事件數分布則沒有明顯變化（圖 2.40(c)、圖 2.40 (d)）。其次，在平均降雨延時的空間分布上，較長延時降雨發生的區域主要位於北部與南部山區，北部地區主要位於大雪山山脈與火燒寮一帶，南部則是在高屏地區的桃源與山地門一帶（圖 2.40 (e)），MRI-WRF-5km 基期所計算之平均延時在

空間分布上雖能大致掌握分布趨勢，但北部長延時的區域稍微偏移至宜蘭靠近沿岸地區，南部則偏移至屏東恆春地區。此外 MRI-WRF-5km 所計算之平均延時比測站資料所算之延時低（圖 2.40(f))。近未來與世紀末的變化趨勢顯示未來此類降雨的平均延時將逐漸下降（圖 2.40(g)、圖 2.40(h))。總降雨量的部分，測站資料顯示在北部雪山山脈與南部山區有較大的降雨量（圖 2.40(i))，而 MRI-WRF-5km 唯獨在總降雨量的強度方面比測站資料低，顯示 MRI-WRF-5km 資料有低估此類降雨的情形（圖 2.40 (j))。近未來的趨勢與基期差異不大，但世紀末則顯示出新竹以南總降雨量增加，北部地區則是減少（圖 2.40 (k)、圖 2.40 (l))。另外，間隔時距越短，事件數越多，間隔時距所反映之特性與事件數相反。例如測站資料所得之空間分布顯示東北角與台灣南端間隔時距較短（圖 2.40 (m)），則事件數較多（圖 2.40 (a))。MRI-WRF-5km 資料則顯示基期時，間隔時距略低於測站資料所得之間隔時距，但空間分布特性接近（圖 2.40(n))。近未來時間隔時距的分布僅有些微變化，最長間隔時距的位置由台東地區北移到新竹苗栗地區（圖 2.40(o))，在世紀末則有較大的變化，整個台灣中部與西北部間隔時距均增加（圖 2.40(p))。整體而言，MRI-WRF-5km 資料對於第二類降雨（颱風）之統計參數大致上能掌握其空間分布特性，唯在平均延時較短、總降雨量較低的現象。

參數改變率的部份（圖 2.41），可發現近未來與世紀末的颱風事件數僅在中部與東部有些微增加，其餘地方為減少的趨勢（圖 2.41(a)，圖 2.41(e))；平均延時則是在未來時普遍減少（圖 2.41 (b)，圖 2.41(f)）；總降雨量的部分則是在近未來時，台中以南的地區在世紀末則總降雨量明顯增加，北部地區的總降雨量則是減少的趨勢（圖 2.41(c)，圖 2.41 (g))；間隔時距則反映出未來颱風事件侵襲的間距也拉長（圖 32.41(d)，圖 2.41 (h))。反映出未來颱風颱風降雨在台灣中、南部的延時減少，降雨強度日益劇烈。

由事件降雨特性之統計參數的評估，發現 MRI-WRF-5km 資料所計算之統計參數能大致掌握測站資料所計算之事件降雨統計參數，雖然有少部分參數在數值上沒有非常接近，但是能掌握空間分布特徵，顯示雖然 MRI-WRF-5km 資料對於實際降雨特性的描述仍有改善空間，但是確實能反映出較大尺度的地形特性。針對颱風季節與梅雨季節的降雨事件分析，發現在近未來與世紀末於台灣中部與南部山區的降雨延時為減少，而總降雨量有明顯的增加趨勢，顯示出未來極端降雨的強度增加的訊息。

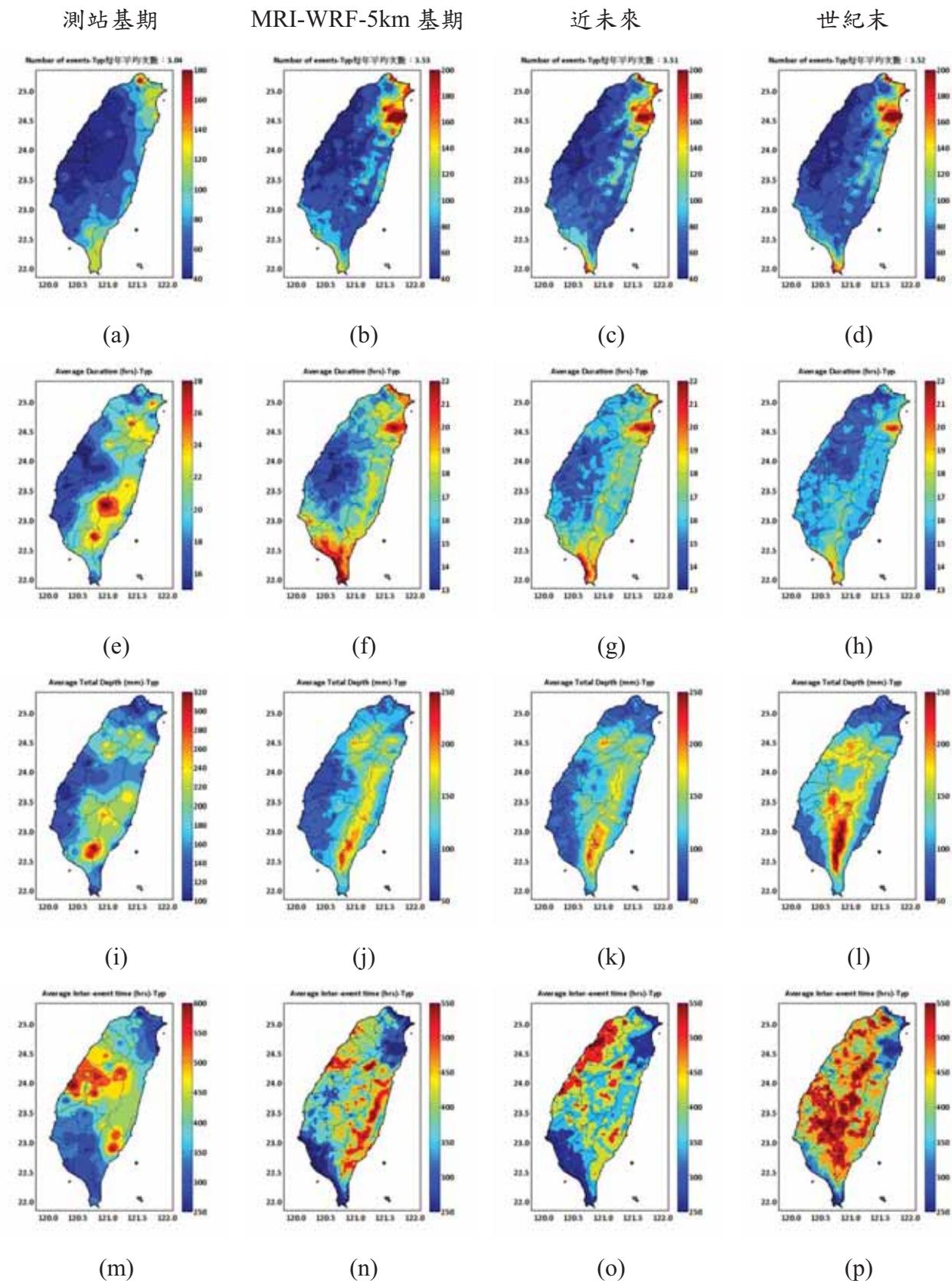


圖 2.40 第二類降雨事件 (颱風) 之統計參數 (a) - (d) 事件數；(e) - (h) 降雨延時；(i) - (l) 總降雨量；(m) - (p) 間隔時距。

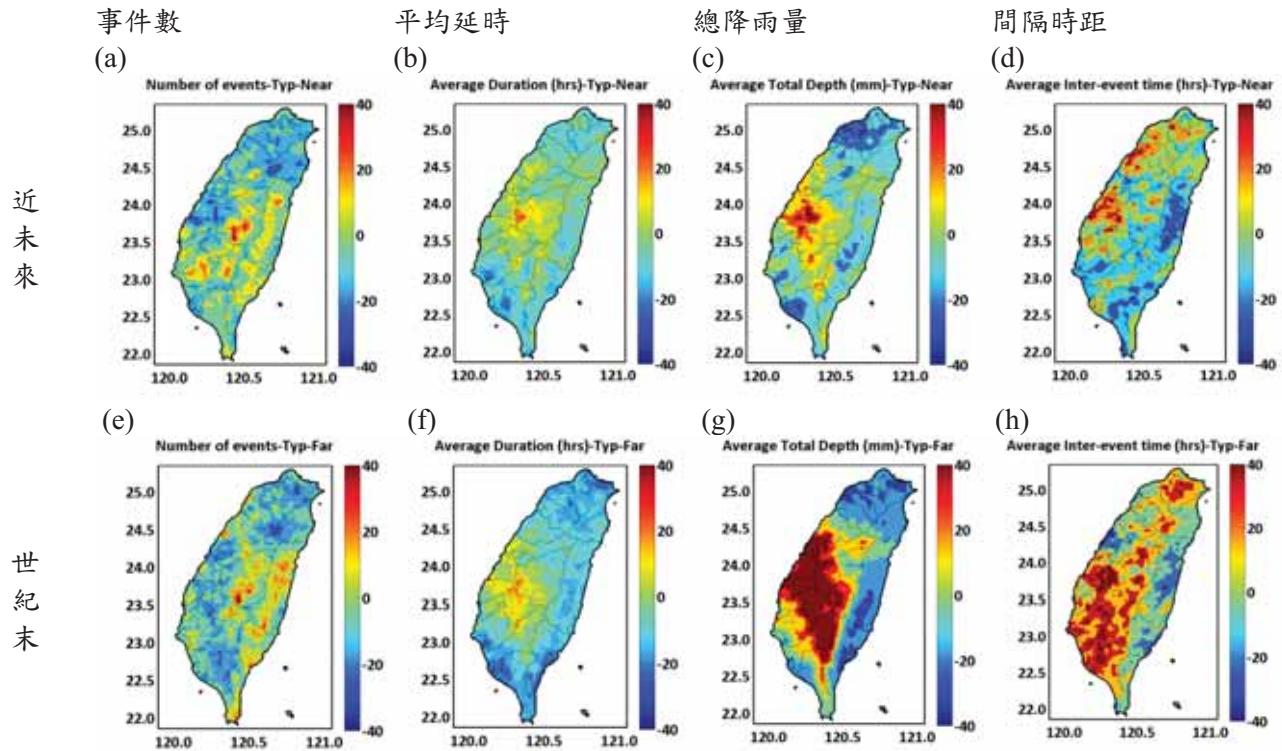


圖 2.41 第二類降雨事件（颱風）參數改變率 (a) - (d) 近未來；(e) - (h) 世紀末。

2.7 氣候變遷極端事件模擬與災害衝擊評估

全球暖化氣候變遷影響下，水文極端事件頻傳，流域可能面臨的災害衝擊恐成常態，如何降低災害風險，需擬定相關因應策略。本計畫利用 SOBEK 的模擬技術，結合未來極端颱風降雨事件資料推估未來可能之河道流量改變及淹水，經由模擬結果對未來可能發生的影響做一探討。本研究利用 SOBEK 的淹水模擬技術，進行未來極端颱風降雨事件可能造成之淹水規模分析，並依據土地利用之分類進行各類極端事件損失之評估，期望藉由災害風險分析的程序，推估未來極端颱風事件可能造成的災害與衝擊，進而提供給相關單位有用的防減災策略。

本計畫所使用的 SOBEK 模式為荷蘭 WL|Delft Hydraulics 公司所研發，為一套整合河川、區域排水與都市排水系統之商用水文、水理程式。模式分為 SOBEK Rural、SOBEK Urban 及 SOBEK River 三套模式，其中包含降雨逕流、河道演算、水質模式、輸砂模組、即時控制 (real time control) 及漫地流 (overland flow) 等模組。目前 SOBEK 模式較常應用於一維河川、二維都市下水道系統之水理及區域淹水之模擬，模擬結果可供防洪及水資源管理者進行管理、決策與分析之參考。

2.7.1 氣候變遷下之雨量推估資料

降雨推估資料同樣使用 Team 2 產製之 MRI-WRF-5km 動力降尺度資料，研究中採用近未來 (2015-2039) 與世紀末 (2075-2099) 依據颱風事件之總降雨量之排名，挑選出前十大颱風事件進行分析，前 10 大極端事件 (Top1-Top10) 之統計雨量統計值如表 2.10 所示。

表 2.10 MRI-WRF-5km 動力降尺度之極端事件與莫拉克颱風事件降雨量分析

颱風事件	總降雨量 (mm)	總延時 (hr)	最大降雨強度					
			3 小時 (mm)	6 小時 (mm)	12 小時 (mm)	24 小時 (mm)	48 小時 (mm)	72 小時 (mm)
Top1	1045	49	178	278	463	893	1045	1045
Top2	844	67	164	299	461	651	838	844
Top3	674	49	117	222	391	608	674	674
Top4	629	103	86	161	301	535	625	629
Top5	607	133	136	209	321	460	546	580
Top6	517	49	133	226	377	513	517	517
Top7	493	43	165	269	393	491	493	493
Top8	483	37	126	222	335	458	483	483
Top9	395	61	62	115	195	265	382	395
Top10	385	67	86	151	250	330	368	385
莫拉克	1069	72	164	249	463	672	942.6	1069

2.7.2 SOBEK 一維河道水理模擬

SOBEK 一維水理模式包含河道與降雨逕流等模組組合，降雨逕流模組之水文分析採用 Sacramento 模式，模擬降雨至地面形成逕流之每一過程，包括蒸發、入滲、地表下逕流、地下水等，為一以物理機制為基礎之模式 (physically based model)。河道模擬可於渠道上設置相關橋樑、水庫、跨河構造物等相關構造物。一維河道水理的模擬工作針對全台五大流域進行，模式之詳細介紹請見附錄三。

(1) 警戒水位與計畫流量

氣候變遷下將造成河川流量改變，水工結構物可能遭受較高之風險。因此，對於目前的警戒水位與計畫流量需做一全面性探討。本計畫以五大溪流域為示範區域，使用國內首見之

動力降尺度資料，挑選近未來（2015 至 2039 年間）與世紀末（2075 至 2099 年間）前 10 大極端颱風降雨事件，結合 SOBEK 河道模式，模擬未來氣候變遷下河道流量之變化趨勢，且進一步與水利主管單位所公告之現有警戒水位值與現有堤防防洪能力進行比較，評估其衝擊影響，表 2.11 為本計畫整理現今中央管河川所隸屬河川局之現行公告警戒水位，其中新中（1）與里嶺大橋為現行公告警戒水位，其餘為警戒水位與區域排水警戒雨量之檢討與應用報告建議值，表 2.12 為本計畫整理之計畫流量資料。

表 2.11 五大流域警戒水位

	水位站	一級警戒水位	二級警戒水位	三級警戒水位
淡水河	土地公鼻	4.7	2.3	-
大甲溪	大甲溪橋	-	56	-
濁水溪	西濱大橋	9.74	9.11	7.51
曾文溪	新中（1）	12.27	11.43	10.78
高屏溪	里嶺大橋	31.5	28.7	26.7

表 2.12 五大流域計畫流量

	水位站	重現期（年）	計畫流量 (cms)
淡水河	土地公鼻	200	25,000
	台北橋		14,300
	大漢溪新海橋		13,200
	新店溪中正橋		10,300
大甲溪	基隆河百齡橋	200	5,790
	谷關大橋		4,960
	東勢大橋		8,800
	大甲溪橋		10,300
濁水溪	玉峰橋	100	23,600
	彰雲大橋		30,400
	西濱大橋		30,400
曾文溪	玉豐大橋	100	6,900
	二溪大橋		8,740
	新中（1）		9,890
高屏溪	旗山橋	100	5,800
	六龜大橋		10,500
	里嶺大橋		30,600

(2) 河道水位與流量模擬結果

圖 2.42 為曾文溪十場極端事件之流量歷線。由圖 2.42 可觀察出，TOP1 與 TOP2 尖峰流量分別為 13047.4 cms 與 12977.1cms，而莫拉克颱風尖峰流量則為 12048.5cms，莫拉克颱風尖峰流量落於 TOP2 與 TOP3 之間。

圖 2.43 與圖 2.44 分別為淡水河於土地公鼻之近未來與世紀末的水位歷線圖。目前土地公鼻一級警戒水位為 4.7m，二級警戒水位為 2.3m，由圖中可得知，世紀末所模擬 TOP1 最高水位有高於一級警戒水位之慮。圖 2.45 與圖 2.46 分別為土地公鼻近未來與世紀末的流量歷線圖。土地公鼻水位站河段 200 年治理計畫流量為 25,000cms，模擬結果如圖所示，近未來 TOP1 最高流量 11,000cms，世紀末 TOP1 最高流量約 23,000cms，其模擬流量無超越 200 年治理計畫流量。

圖 2.47 與圖 2.48 分別為大甲溪於大甲溪橋之近未來與世紀末的水位歷線圖。目前大甲溪橋二級警戒水位為 56m，近未來與世紀末所模擬 TOP1 至 TOP10 颱風最高水位無高於警戒水位之慮。圖 8 與圖 9 分別為大甲溪橋近未來與世紀末的流量歷線圖。大甲溪橋水位站河段 200 年治理計畫流量為 10,300cms，模擬結果所示，近未來流量與世紀末流量尚無高於計畫流量之慮。

圖 2.49 與圖 2.50 分別為濁水溪於西濱大橋之近未來與世紀末的水位歷線圖。目前濁水溪西濱大橋一級警戒水位為 9.74m，二級警戒水位為 9.11m，三級警戒水位為 7.51m，世紀末所模擬 TOP1 與 TOP2 颱風最高水位有高於警戒水位之慮，模擬 10 場事件中約有 2 場最高水位高於 9.74m，超越場次為 2/10。圖 2.51 與圖 2.52 分別為西濱大橋近未來與世紀末的流量歷線圖。西濱大橋水位站河段 100 年治理計畫流量為 30,400cms，模擬結果所示，近未來 TOP1 最流量約 33,600cms、世紀末 TOP1 最流量約 41,000cms，超越設計流量。

圖 2.53 與圖 2.54 分別為曾文溪於新中 (1) 之近未來與世紀末的水位歷線圖。目前新中 (1) 一級警戒水位為 12.27m，二級警戒水位為 11.43m，三級警戒水位為 10.78m。近未來所模擬 10 場颱風最高水位有 6 場高於警戒水位，超越場次為 6/10。世紀末所模擬 10 場颱風最高水位都高於警戒水位，超越場次為 10/10。圖 2.55 與圖 2.56 分別為新中 (1) 近未來與世紀末的流量歷線圖。新中 (1) 水位站河段 100 年治理計畫流量為 9,890cms，模擬結果所示，近未來 TOP1 最流量約 7,600cms、世紀末 TOP1 最流量約 13,000cms，超越設計流量。

圖 2.57 與圖 2.58 分別為高屏溪於里嶺大橋之近未來與世紀末水位歷線圖。目前里嶺大橋一級警戒水位為 30.5m，二級警戒水位為 28.7m，三級警戒水位為 26.7 m，世紀末所模擬 10 場事件中約有 7 場最高水位高於 30.5m，超越場次為 7/10。圖 2.59 與圖 2.60 分別為里嶺大

橋近未來與世紀末的流量歷線圖。里嶺大橋水位站河段 100 年治理計畫流量為 30,600cms，模擬結果所示，近未來 TOP1 最流量約 11,100cms、世紀末 TOP1 最流量約 23,700cms，近未來流量與世紀末流量尚無高於計畫流量之慮。

經由上述結果得知，目前五大流域中近未來高屏溪里嶺大橋水位就有超過警戒水位之慮，且世紀末時淡水河於土地公鼻、濁水溪於西濱大橋、溪曾文溪新中（1）與高屏溪里嶺大橋水位都有超過警戒水位之慮。濁水溪於西濱大橋及曾文溪新中（1）流量有超過治理計畫流量之慮。

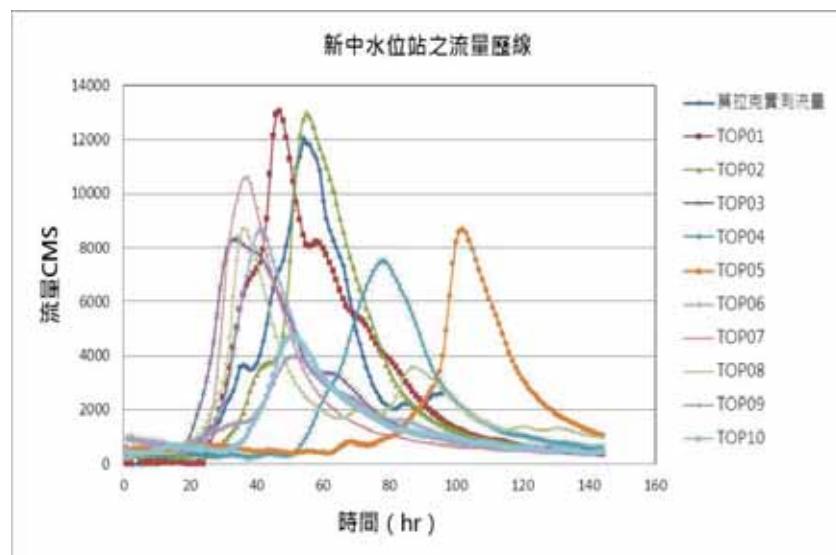


圖 2.42 TOP1 至 TOP10 極端事件之下游流量歷線

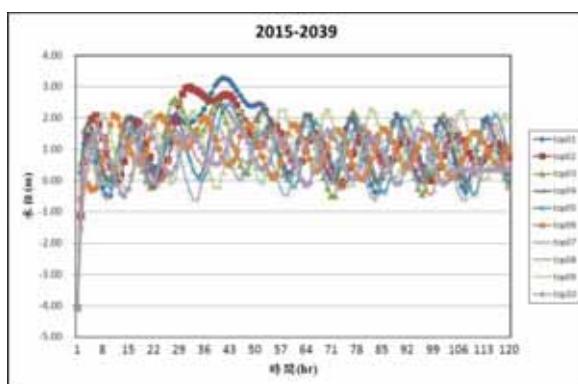


圖 2.43 淡水河近未來之水文事件於土地公鼻水位歷線

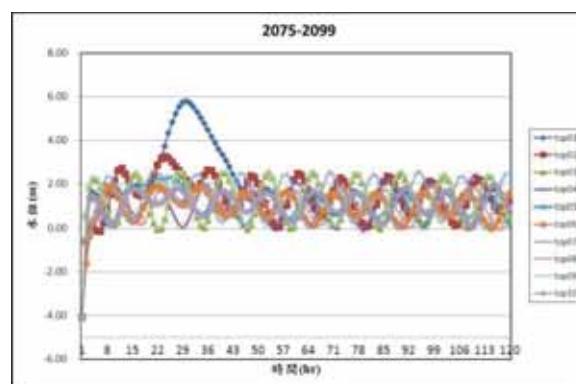


圖 2.44 淡水河世紀末之水文事件於土地公鼻水位歷線

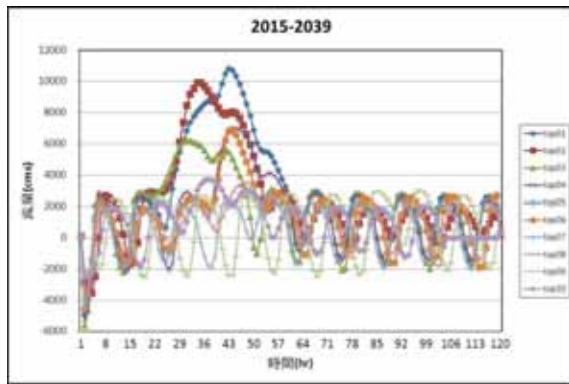


圖 2.45 淡水河近未來之水文事件於土地公鼻流量歷線

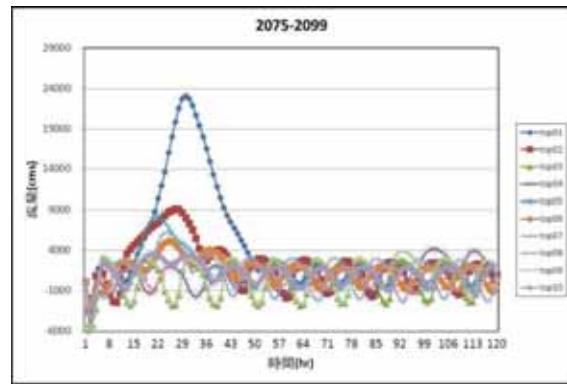


圖 2.46 淡水河世紀末之水文事件於土地公鼻流量歷線

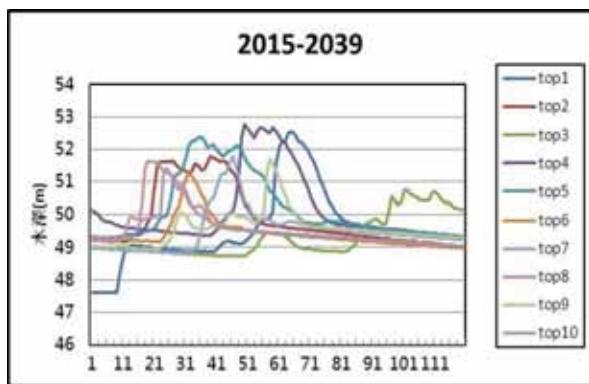


圖 2.47 大甲溪近未來之水文事件於大甲溪橋之水位歷線

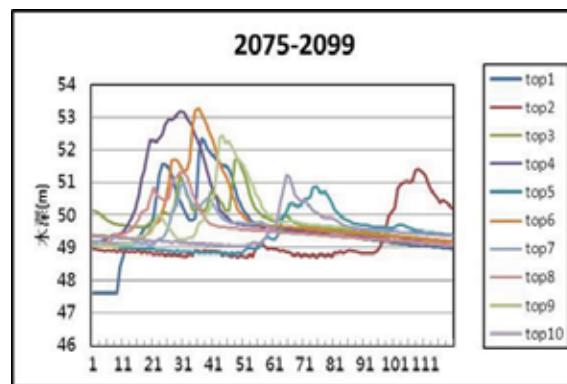


圖 2.48 大甲溪世紀末之水文事件於大甲溪橋之水位歷線

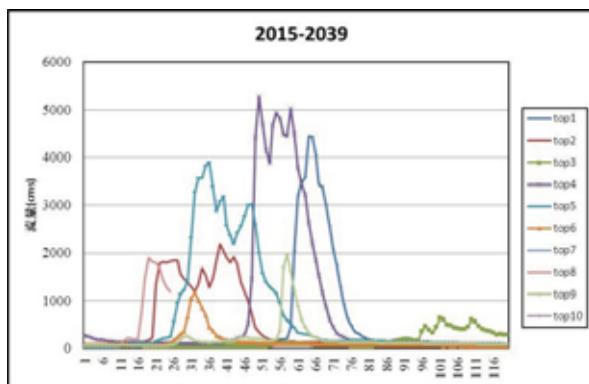


圖 2.49 大甲溪近未來之水文事件於大甲溪橋之流量歷線

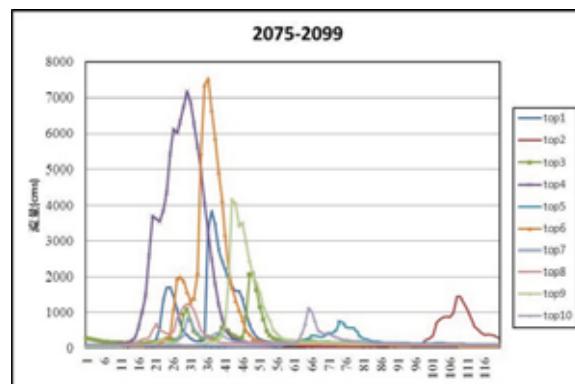


圖 2.50 大甲溪 近未來之水文事件於大甲溪橋之流量歷線

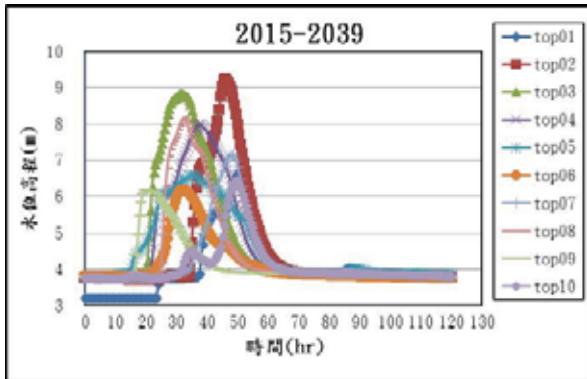


圖 2.51 濁水溪近未來之水文事件於西濱大橋水位歷線

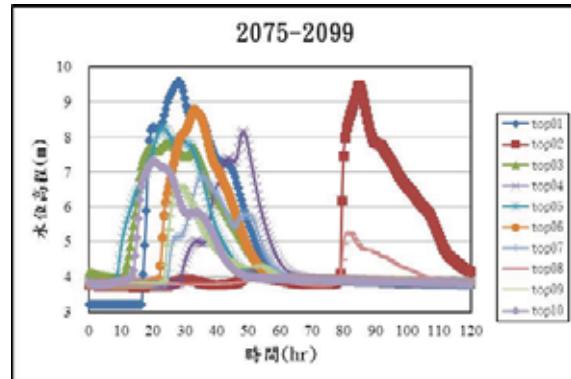


圖 2.52 濁水溪世紀末之水文事件於西濱大橋水位歷線

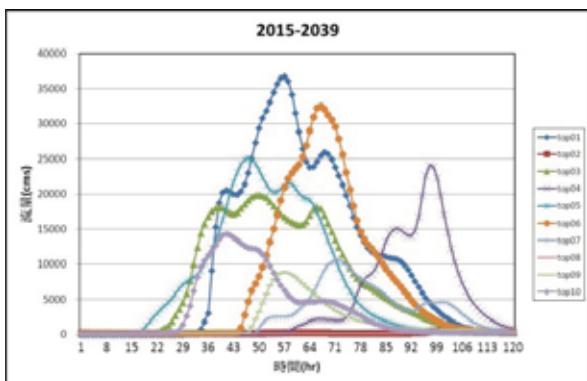


圖 2.53 濁水溪近未來之水文事件於西濱大橋流量歷線

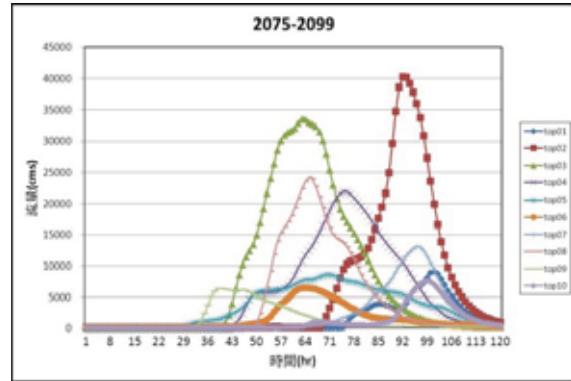


圖 2.54 濁水溪世紀末之水文事件於西濱大橋流量歷線

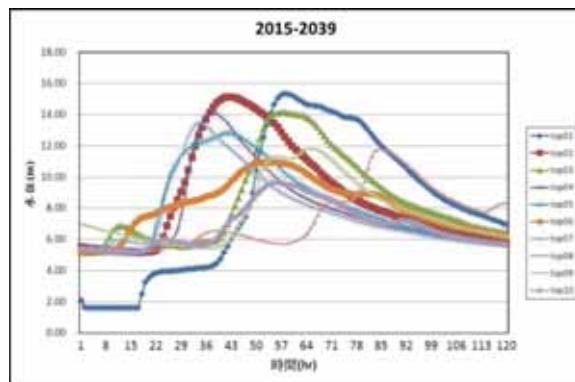


圖 2.55 曾文溪近未來之水文事件於於新中(1)之水位歷線

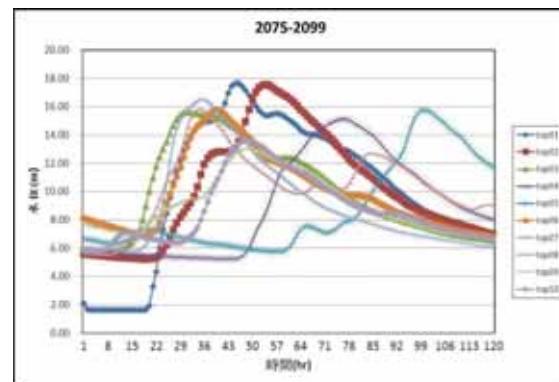
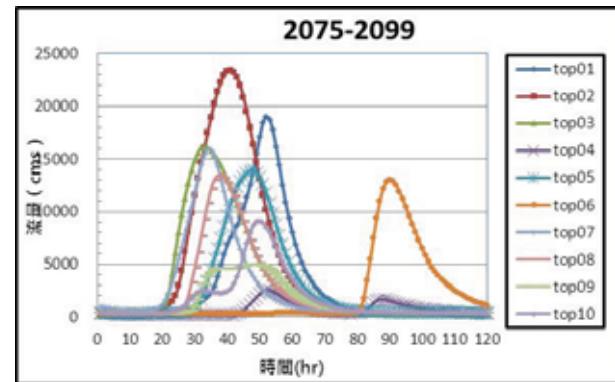
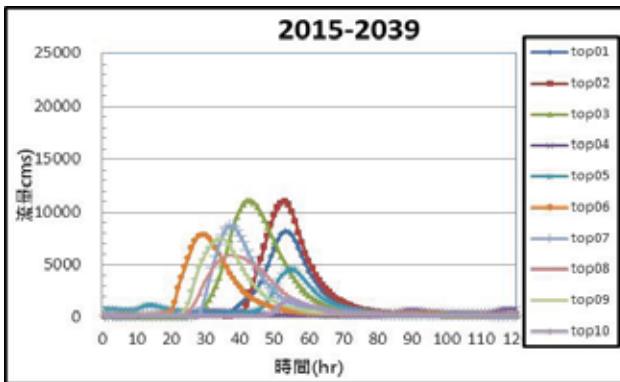
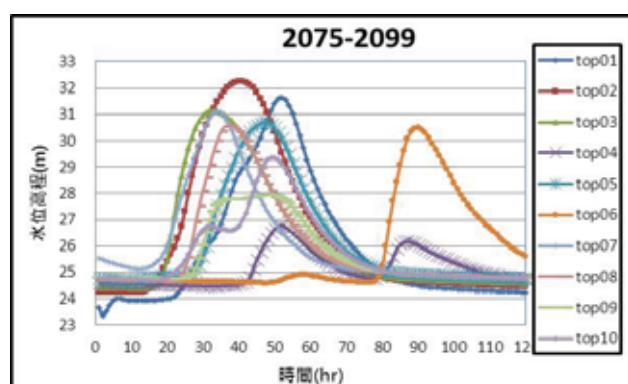
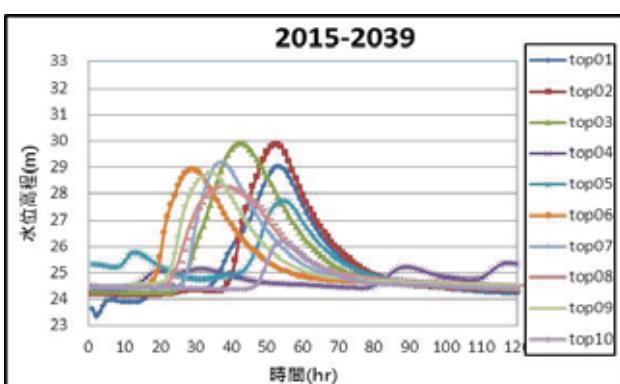
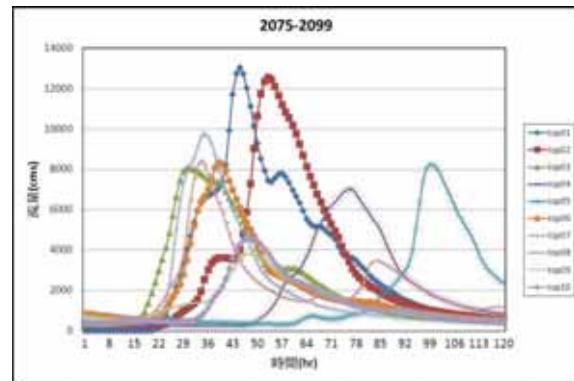
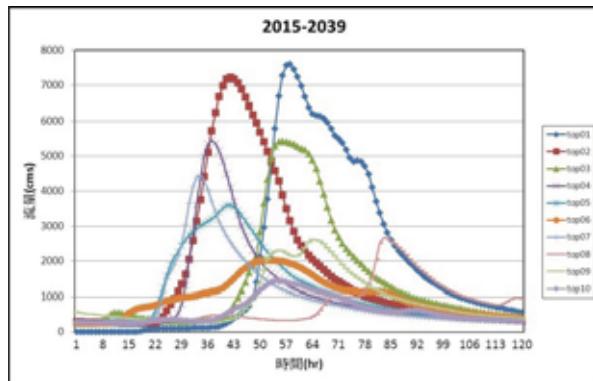


圖 2.56 曾文溪世紀末之水文事件於於新中(1)之水位歷線



2.7.3 SOBEK 二維淹水模式

二維淹水模式包含水理模式、降雨逕流模式、雨水下水道與淹水模式，可瞭解淹水地區漫地流及河川洪水位特性。二維淹水模擬於河道內邊界條件為一維水理模擬結果之流量與水位，作為二維河道邊界條件。而河道外則利用區域降雨至地表產生地表漫地流進行演算。

本計畫將所收集之地文與水文資料建置至 SOBEK 模式中，模擬中考慮內外水影響，不過由於內水的區域排水資料較不足，因此模擬時先不考慮雨水下水道與區域排水，且假設內水因河道水位高漲而無法排至河川。

(1) 流域基本資料

首先使用 SOBEK 模式建置曾文溪流域（模擬範圍如圖 2.63 所示）進行未來極端颱風事件淹水模擬，需要有河道斷面、水工建造物、未來氣候雨量、土地利用及水位等資料。由於 2009 年莫拉克颱風所夾帶大量雨量造成台灣地區大規模的淹水，因此選用莫拉克颱風雨量作為模式之檢定場次。模擬使用之地文與水文資料如表 2.13 所示。

由於 MRI-WRF-5km 動力降尺度資料為網格資料，因此挑選鄰近水利署雨量站的四個 MRI-WRF-5km 網格點取雨量平均值為 SOBEK 輸入雨量資料，作為流域水文模式之流量分析使用，雨量站與 MRI-WRF-5km 網格點位置如圖 2.63 所示。水位資料之蒐集主要包含河川水位測站資料與河口附近之潮位測站資料。收集現有河川水位站之時水位資料，可供水理模式之檢定與驗證使用。由於曾文溪河口未設置潮位站，因此藉由 NOAA 之天文潮模式先推估河口潮位，再加上颱風所引起之暴潮水位，而為河口下游邊界水位資料，藉此進行水理演算。

流域之集水區面積、流域長度與河川坡降為根據水利署水利規劃試驗所 94 年「台灣地區主要河川流域整體規劃地文與水文資訊查詢系統建立」計畫，利用其 GIUH 工具，可求得各流域相關之集水區面積、流域長度與河川坡降等資料。河川斷面資料來自水利署各河川局與水利規劃試驗所相關計畫之大斷面測量資料，目前各河川最新斷面資料年份。



圖 2.63 曾文溪流域模擬範圍

表 2.13 基本資料收集

水文特性	地文特性
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 莫拉克颱風之雨量 ◆ 莫拉克颱風之水位資料 ◆ 莫拉克颱風之潮位資料 ◆ 氣候變遷下之雨量資料 ◆ 氣候變遷下最大潮位推估 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 河道斷面資料：民國 99 年大斷面測量資料 ◆ 數值高程資料 (DEM)：內政部提供之民國 95 年 DEM 資料之地表資料。 ◆ 土地利用資料：民國 95-96 年土地利用資料。 ◆ 跨河結構物資料：橋樑、取水堰 ◆ 水庫資料：曾文水庫、南化水庫、烏山頭水庫主、支流集水區面積與地理特性資料：曾文溪主流、後堀溪、菜寮溪、官田溪、區域排水等支流。

(2) 二維淹水模擬結果

圖 2.64 為莫拉克事件模擬之結果，由圖 2.64 可觀察出，淹水較為顯著之區域均沿著曾文溪河岸較低窪地區，如善化鎮、大內鄉、山上鄉、官田鄉、安定鄉、西港鄉、左鎮鄉、安南區、麻豆鎮等。

圖 2.65 為 TOP1 事件模擬之結果，由模擬結果可觀查出，淹水區域與莫拉克模擬結果相似。因此，由此模擬結果可得知，未來氣候變遷下嚴重淹水災害將可能再次上演。

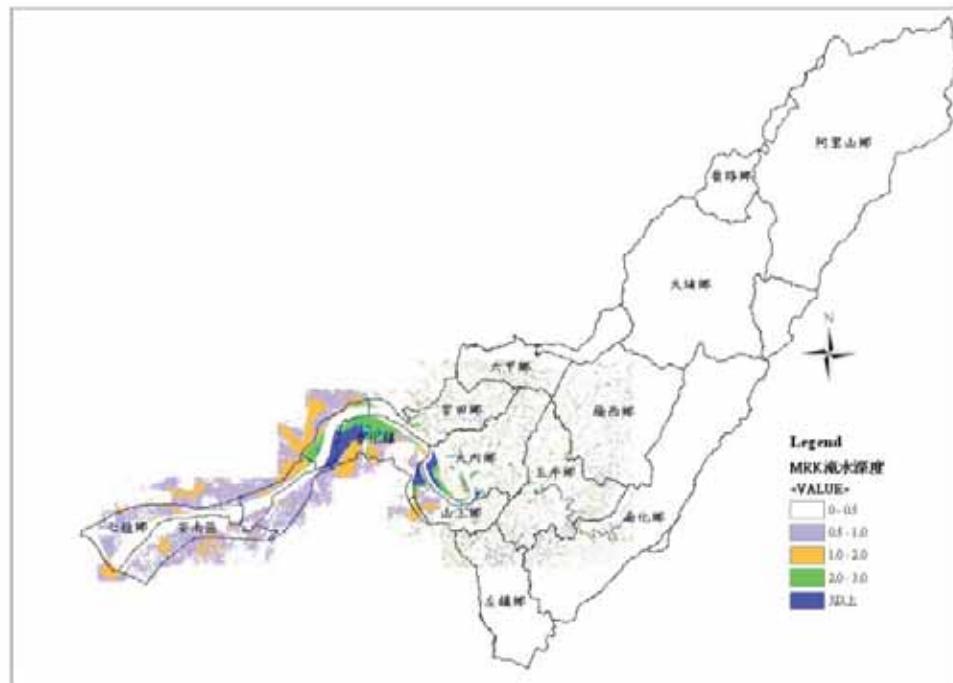


圖 2.64 莫拉克事件模擬之結果

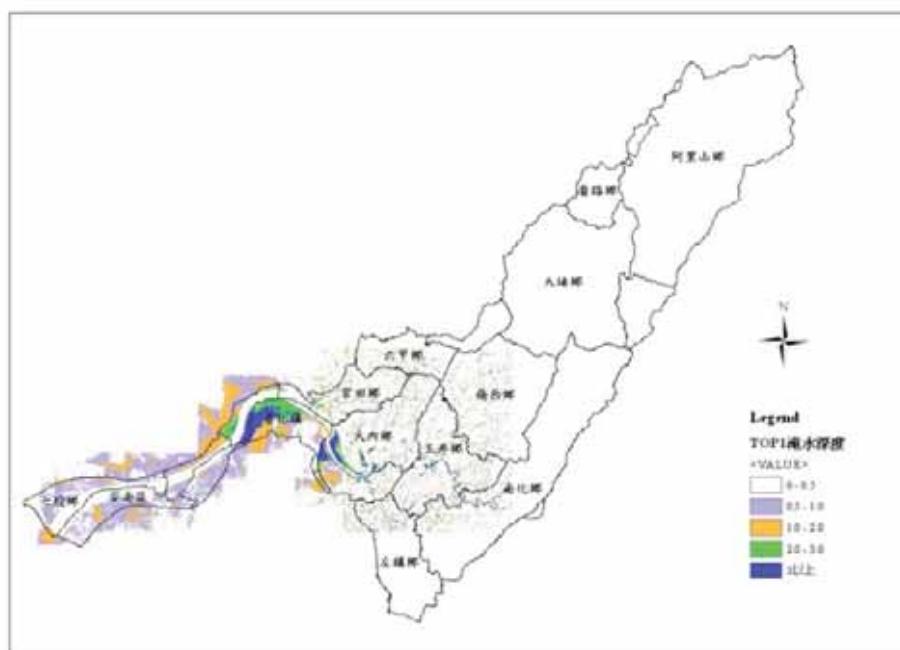


圖 2.65 TOP1 極端事件模擬之結果

本計畫現階段僅就河道加以模擬，並未考慮排水設施，造成模擬出的淹水程度較為嚴重，未來可加入排水設施此一課題加以探討，且使用 SOBEK 模式模擬真實環境的反應，會受限許不確定因子的影響。因此，模擬結果與實際觀測狀況未必能完全相吻合。目前進行未來氣候模擬，所使用的地文與水文資料，除了雨量資料外大多無未來推估資料，對於模擬結果準確性較低，未來若有潮位推估資料、土地利用情境，將可提升模擬的準確度。

(3) 流域衝擊評估與建議

本計畫以曾文溪流域為示範區域，使用未來推估氣候之動力降尺度資料，挑選近未來與世紀末極端颱風降雨事件，且將挑選出之雨量資料當 SOBEK 模式的輸入參數進行未來河道流量與淹水模擬，期望有助於減輕曾文溪流域未來可能面對的極端災害衝擊。

經由莫拉克事件模擬之結果可得知，淹水較為顯著之區域均沿著曾文溪河岸較低窪地區，如善化鎮、大內鄉、山上鄉、官田鄉、安定鄉、西港鄉、左鎮鄉、安南區、麻豆鎮等。且 TOP1 事件模擬之淹水區域與莫拉克模擬結果相似。因此，未來氣候變遷下於曾文流域嚴重淹水災害將可能再次上演。

目前五大流域中近未來高屏溪里嶺大橋水位就有超過警戒水位之慮，且世紀末時淡水河於土地公鼻、濁水溪於西濱大橋、溪曾文溪新中 (1) 與高屏溪里嶺大橋水位都有超過警戒水位之慮。濁水溪於西濱大橋及曾文溪新中 (1) 流量有超過治理計畫流量之慮。

最後，目前直接使用 MRI-WRF-5km 資料有低估，後續研究方向擬進行 MRI-WRF-5km 資料的偏差校正 (bias-correction)，且現階段僅就河道加以模擬，並未考慮排水設施，未來可加入此一課題加以探討。目前進行未來氣候模擬，所使用的地文與水文資料，大多因為無未來推估資料，除了雨量資料，對於模擬結果準確性較低，未來若有潮位推估資料、土地利用情境，將可提升模擬的準確度。

2.7.4 災害損失與衝擊評估

對於災害衝擊的評估除了前述的淹水面積之外，亦針對災害損失進行評估。所謂的損失，包含不只是實際上財產的損失而已，更多無形損失也必需考量的。Breaden (1973)、Grigg, Heiweg (1975)、Grigg et. al. (1976) 等，針對洪水災害所產生之淹水損失分類為直接損失 (direct damages)、間接損失 (indirect damages)、次要損失 (secondary damages)、無形損失 (intangible damages) 及不確定損失 (uncertain damages) 等五類。早期國內洪災損失的推估方法，多半以單位面積之淹水損失乘上海水面積來進行估算 (Grigg 1975, 蔡長泰 1995)。故本

計畫之災害損失評估部分承接前述之 SOBEK 模式於曾文溪流域之二維淹水模擬結果進行評估，災損評估則採用國家災害防救科技中心研發之 TLAS 災損評估模式。

災害衝擊分析根據 Li et al. (2008) 提出的災害損失分析架構，可以明確知得損失分析流程，主要分成災害度分析 (hazard)、受體資料分析 (inventory)、脆弱性分析 (vulnerability) 三大類。一般來說災害的損失的計算結果即為這三項的乘績，分述如下：

危害度分析 (hazard)

洪災危害度分析主要是針對區域的地形、地貌、氣候，以及排水系統、雨量站、水文站、河川及堤防斷面等現況資料加以蒐集，所進行的洪災潛勢模擬，透過此模擬結果，可以劃定不同降雨頻率下可能的淹水範圍。

受體 (inventory) 及脆弱性 (vulnerability) 分析

藉由上述的危害度分析與受體量推估的結果，災害衝擊的損失計算，主要是利用地理資訊系統，將模擬後的淹水潛勢資料輸出為網格資料，並套疊求得的暴露量資料，即可得知坐落於淹水範圍中之不同淹水深度之上地物分佈，再依據各類損失的計算公式，進行損失的推估。

災害損失推估結果

本研究之受體主要是指受到水災危害之各類土地利用上之上地物。本文依據國土測繪中心於 97 年最新完成之全國土地利用調查結果。此圖層共分九大類，在套入淹水模擬結果 (如圖 2.65) 及土地利用圖層後，再利用 GIS 內建之計算功能，可以擷取淹水模擬圖層及土地利用圖層交集的面積，同時將兩圖層之屬性資料合併，估算出該算範圍內各類土地利用之受淹面積，如圖 2.66 所示。圖 2.66 中得知，這十場事件中受創最嚴重的為均農作，其次為水產及林地。

依各土地利用類別之淹水面積與各類損失的計算公式，推估各場颱風事件下之災害損失如圖 2.67 與圖 2.68 所示。根據 SOBEK 模擬及結合 TLAS 評估結果，TOP1 至 TOP10 十場事件中，總損失的平均金額為 136 億，其中以 TOP1 極端事件受淹水損失為 214 億元為最嚴重。

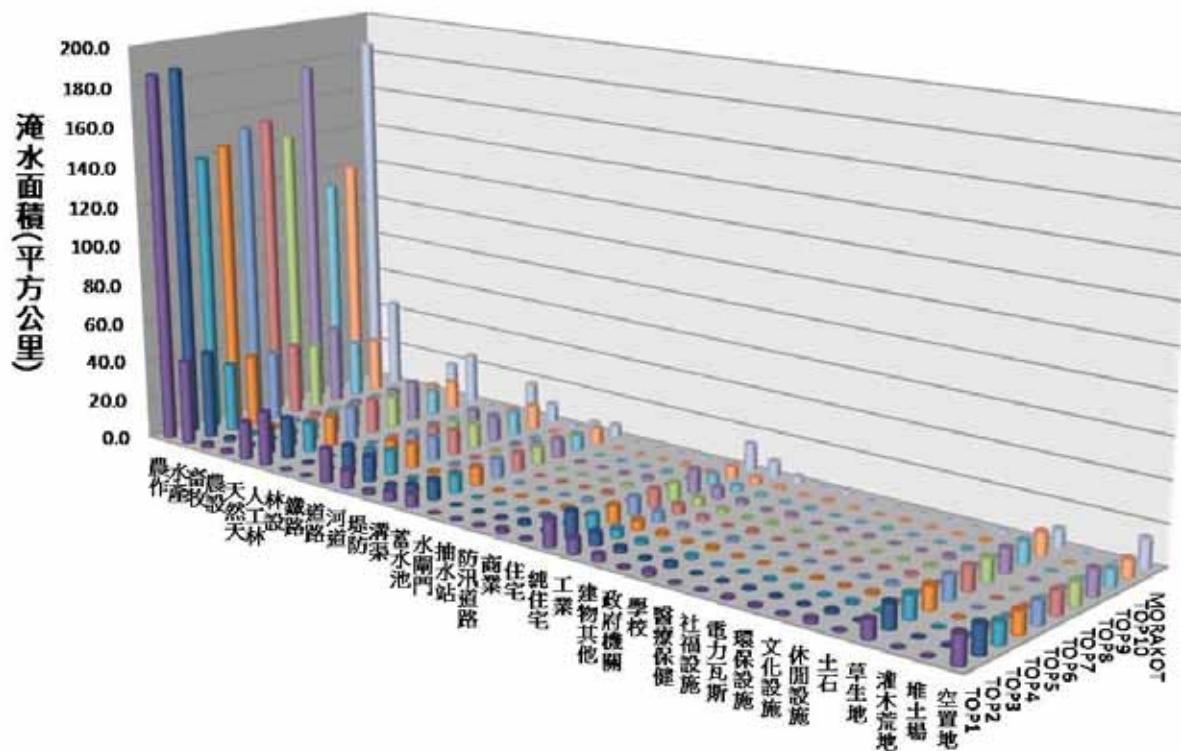


圖 2.66 各土地利用下之淹水面積

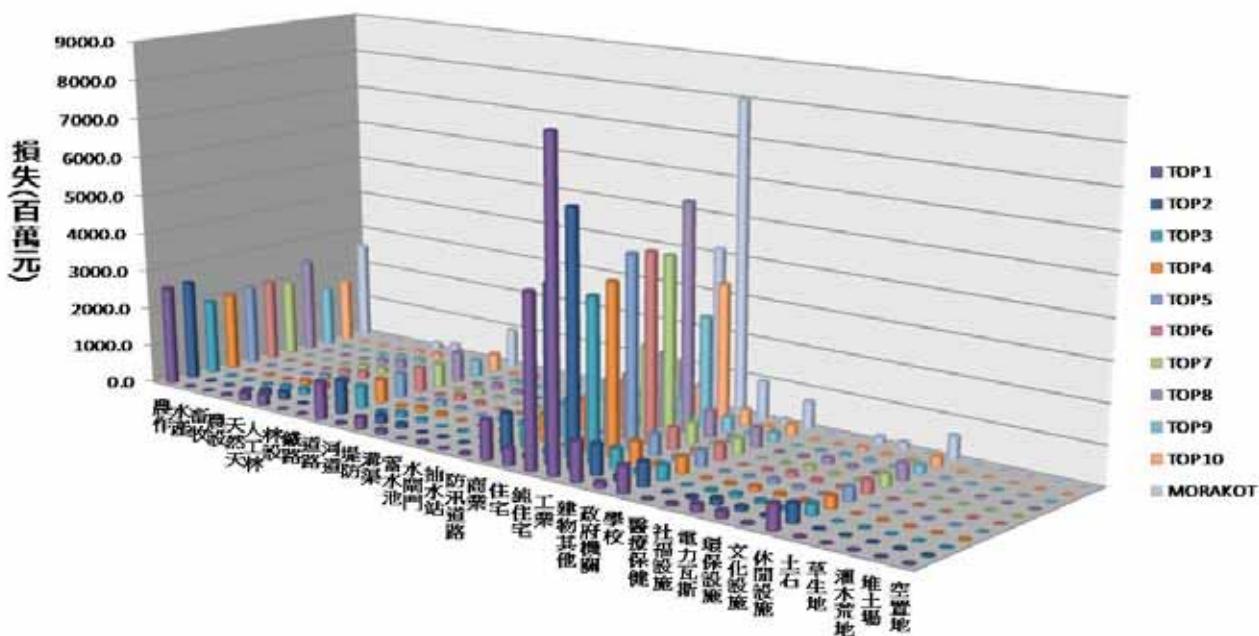


圖 2.67 十場極端淹水事件之各類損失

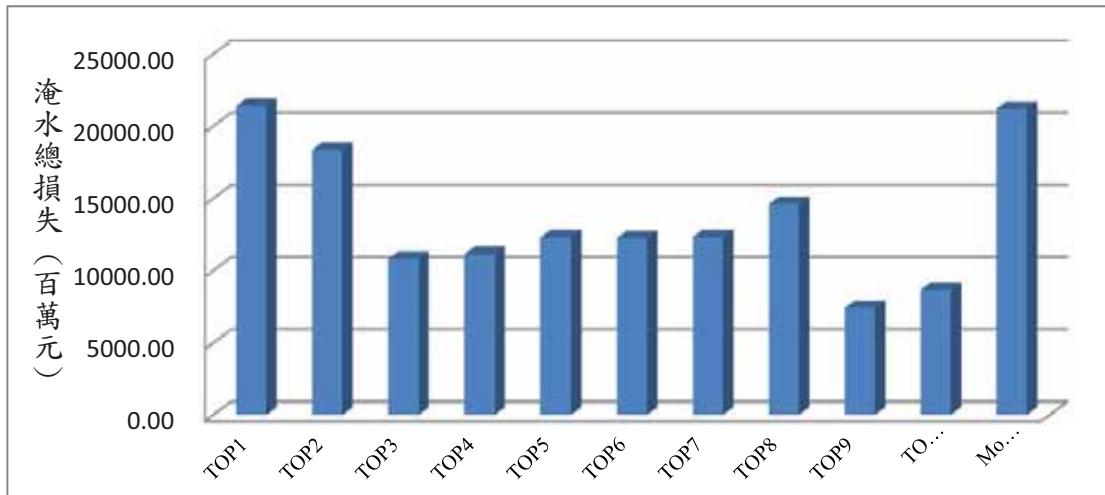


圖 2.68 十場極端淹水事件之總損失

2.7.5 颱風氣象因子與水稻災損之相關性分析

本小節主要針對氣候變遷下淹水與農業損失進行分析與探討，利用 TCCIP 之日衍生資料評估農業損失，首先以迴歸方程式建構颱風氣候因子與稻作損失的關係，再以極端值理論所估計出來的回復期的降雨量、利用衍生的資料作為迴歸預測因子，推估未來降雨量對稻作損失的影響。

本研究旨在討論颱風之氣象特性對稻米損失的影響的關聯性，故將作物損失定義為稻米損失的金額，被解釋變數為颱風的氣候特性，如不同的延時降雨、近中心最大風速等（詳細之研究方法說明請見附錄三）。

農損模擬結果

圖 2.69 表示不同延時降雨對稻作損失之顯著性，就顯著性看來，不同的延時降雨的確對稻作損失有正向影響，且影響的程度隨著降雨的延時增加而有增加的現象。表 2.14 為迴歸結果（經 AIC 準則判斷之最適模型）。近中心最大風速與對稻作損失的預期符號與本研究之預期不符且顯著性不高，因此，於迴歸估算時暫不考慮該變數。另外，為估算稻作受損面積對災損金額的影響，故納入迴歸方程式中。

由於稻米損失亦受物價波動的影響，進行迴歸分析之前，先將該變數做平減。根據表 2.14 之迴歸推估結果（輔以 AIC 與 BIC 準則判斷，AIC 與 BIC 的值越小，配適的結果愈佳），可以發現 12 小時之延時降雨量對嘉義、台南地區稻作損失的最具有解釋力；

48 小時之延時降雨對高雄地區之稻作損失解釋力最佳。

根據極端值理論所模擬之嘉義、台南、高雄等地，分別在重現期為 20 年、50 年與 100 年之降雨量下，模擬得到之水稻災害損失如表 2.15 所示（詳細之計算結果請見附錄三）。

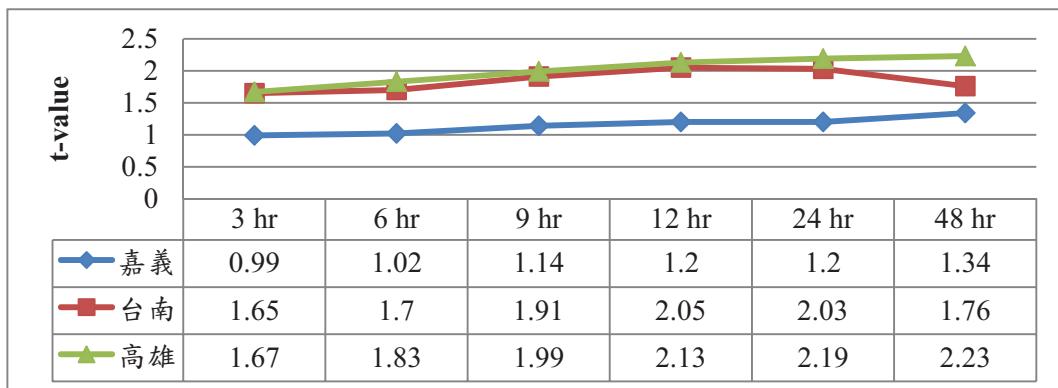


圖 2.69 不同延時降雨對稻作損失之影響程度（平減後）

表 2.14 嘉義、台南、高雄地區稻作損失之迴歸結果 (OLS)

	嘉義 (12 hr)	台南 (12 hr)	高雄 (48 hr)
截距	3.54 (2.49)	2.67 (1.62)	4.74 (2.82)
面積	1.00 (21.85)	0.85 (13.82)	0.74 (7.85)
降雨量	0.10 (1.20)	0.32 (2.05)	0.29 (2.23)
R-squ	0.950	0.85	0.660
Adj R-squ	0.950	0.850	0.620
AIC	1.617	2.374	3.050
BIC	1.846	2.571	3.246

表 2.15 南部地區 20、50、100 年重現期降雨下之災損情況

	嘉義 (12hr)	台南 (12hr)	高雄 (48hr)
20-year	126,146	290,633	1,992
50-year	131,619	329,741	2,324
100-year	135,586	378,756	2,585

2.8 氣候變遷於四大流域流量衝擊

未來氣候變化趨勢仰賴全球氣候模式之推估，欲了解氣候變遷對於局部地區河川流量之衝擊，其訊號來源勢必來自全球氣候模式之推估結果，如何藉由降尺度後的資料應用於局部地區水文水資源分析與評估，將會是氣候變遷研究上的重點之一。有鑑於此，本計畫主要建立一套氣候變遷對河川流量衝擊評估的流程，今年度則是主要是建立氣候變遷對河川流量衝擊評估的方法，藉由氣候變遷對降雨與溫度改變的影響，評估對於流域的豐枯水期流量的影響，未來將再進一步考量水資源系統，以分析著氣候變遷對水資源供需的影響，以做為未來水資源管理決策之參考。

本計畫今年度主要的工作為建立氣候變遷對河川流量衝擊評估之方法，藉由 team2 降尺度後的氣候變遷情境資料，應用於模擬流域的流量，分析氣候變遷前後可能的衝擊。研究中以臺灣北部之淡水河、中部大甲溪及南部之曾文溪與高屏溪流域為研究區域，利用日本的 25km×25km 之 APHRODITE 的觀測值與 24 個 GCM 模式模擬氣候變遷 A1B 情境進行統計降尺度分析，取 GCM 模式結果的平均值，根據流域範圍內的網格資料，進一步利用氣候繁衍模式 (weather generation) 產生流域內的日降雨量與日溫度，並以 GWLF 模式評估其河川流量在氣候變遷衝擊下對豐枯水期的衝擊，研究中分別模擬此兩個區域，分別利用區域平均的降雨量與單一代表雨量站評估氣候變遷對河川流量結果的差異性，以作為未來評估氣候變遷衝擊採用雨量站的參考依據。分析三個氣候情境 (A1B、A1 與 B2) 與多 GCM 模式平均的結果，各種情境下不同模式的流量結果，以做為未來水資源調適策略之訂定參考。

氣候變遷對河川流量的影響評估方式，其細部分析流程如圖 2.70。詳細之分析模式介紹與說明請見附錄三。根據此氣候變遷對流域流量衝擊評估研究方法，應用於四大流域（淡水河、大甲溪曾文溪與高屏溪等流域），其分析結果分析如下列章節所述。

2.8.1 研究區域

本計畫針對台灣西部地區由北至南，挑選四大流域進行流量衝擊評估分析，其流域分布位置與研究中採用的雨量站，如圖 2.71。四大流域分別是淡水河、大甲溪、曾文溪與高屏溪等，其中淡水河流域與高屏溪流域支流相對較多，故將其流域中之主要支流個別再進行模擬，淡水河流域模擬五個子集水區分別是北勢溪、南勢溪、三峽河、大漢溪與基隆河，而高屏溪則是包含旗山溪、美濃溪、荖濃溪、濁口溪與隘寮溪等，故研究中共分析 12 個集水區流量變化。

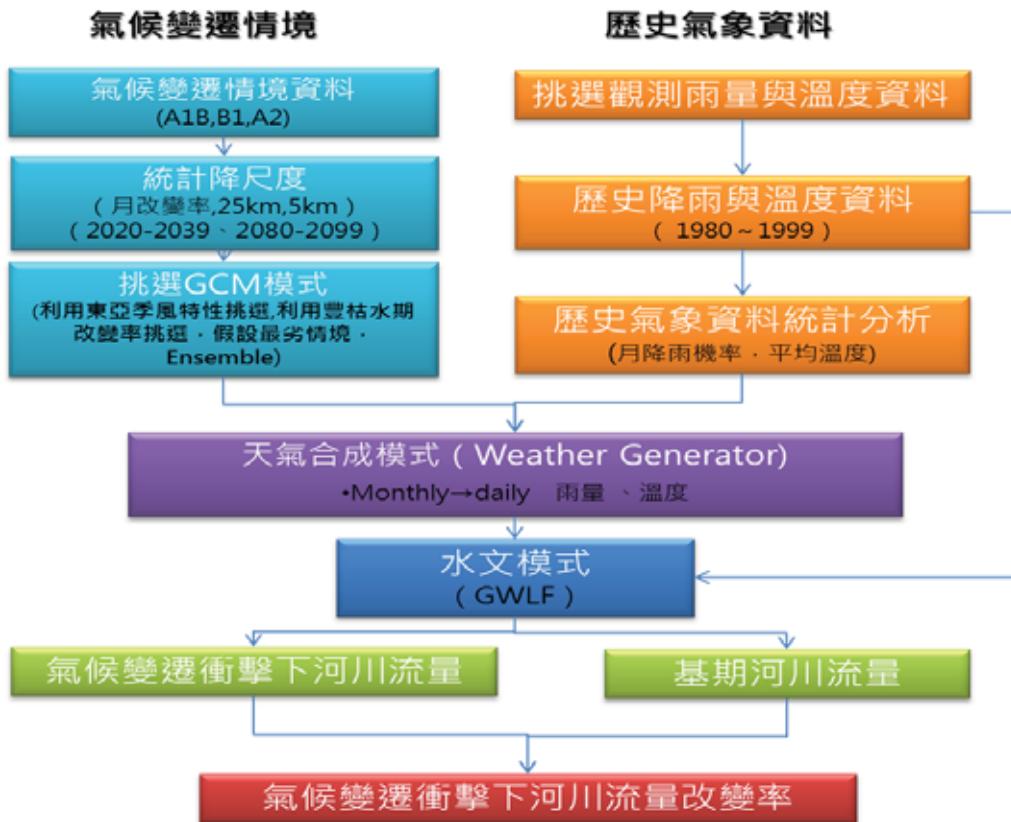


圖 2.70 氣候變遷對流量衝擊評估流程架構

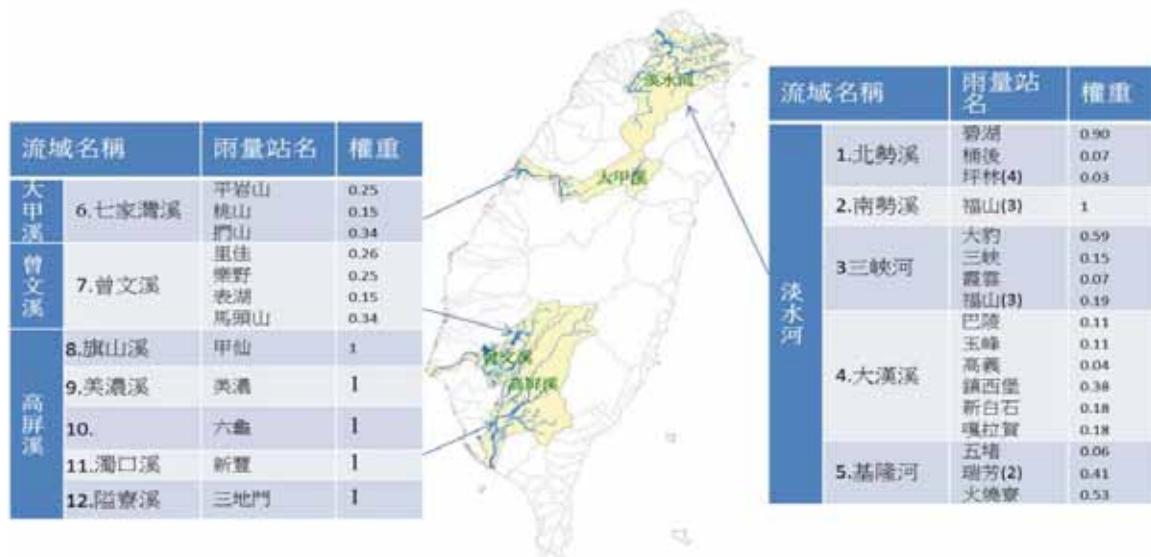


圖 2.71 四大流域分佈與採用之雨量站名

2.8.2 水文模式流量驗證

針對四大流域各個支流集水區歷史流量模擬結果進行以驗證，以確認水文模式可反應該集水區逕流之特性。下文說明分析過程中採用之氣象資料與流量站，分別利用效率係數 (Nash-Sutcliffe efficiency coefficient, NE)、相關係數 (Coefficient of correlation, R)、平均誤差比值 (MEratio) 以及總體積變化百分比 (\triangle) 四項指標作為驗證結果的評估指標。整體而言，GWLF 模擬歷史逕流量的特性大致與觀測值一致，故 GWLF 模式可應用於評估氣候變遷對流量之衝擊（詳見附錄三）。

2.8.3 具體成果

(1) 四大流域豐枯水期流量衝擊

氣候變遷對四大流域之流量衝擊，考量了三種不同溫室氣體排放情境，以及所有經過統計降尺度 (TCCIP 之 Team2) 之 GCM 模式，利用累積機率之方式呈現不同豐枯水期流量改變率。圖 2.72 呈現氣候變遷下近未來期間 (2020~2039 年) 平均豐枯水期之流量改變率，研究中四大流域共分析 12 個支流，同流域內不同支流的變化差異不大，故在此以淡水河之大漢溪與高屏溪之荖濃溪呈現。圖中左半部為不同流域豐水期變化，右半邊則是枯水期流量變化，可發現豐水期在不同情境下之變化差異不大，不同流域的豐水期流量變化約在 -20%~+20% 之間且南北流域豐水期改變率差異不大；而枯水期則是以 A2 情境下對枯水期造成的流量減少比率較高，且在不同流域也有不同的改變率區間，大部分的模式呈現流量改變率 -40%~+40%，其中中部大甲溪流域衝擊量較小，南部高屏溪的衝擊則較大，枯水期流量改變約介於 -60%~100%。

將圖 2.72 中淡水河流域之豐枯水期改變為例，說明所有 GCM 模式豐枯水期流量變化之特性，由依據累積機率圖之分布可發現，所有 GCM 模式與排放情境顯示約有六成的模式呈現豐水期流量是增加，增加最大至 20% 左右；而約有八成的模式枯水期呈現減少的趨勢，最多高達減少 40%，如圖 2.73。

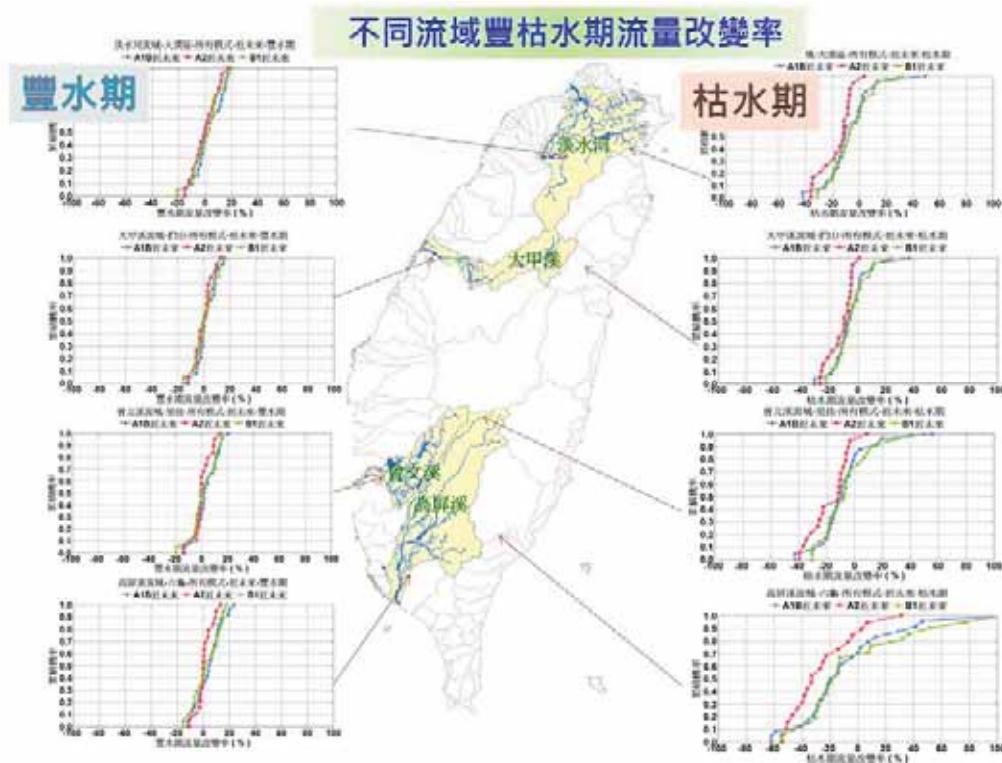


圖 2.72 四大流域豐枯水期流量變化之累積機率

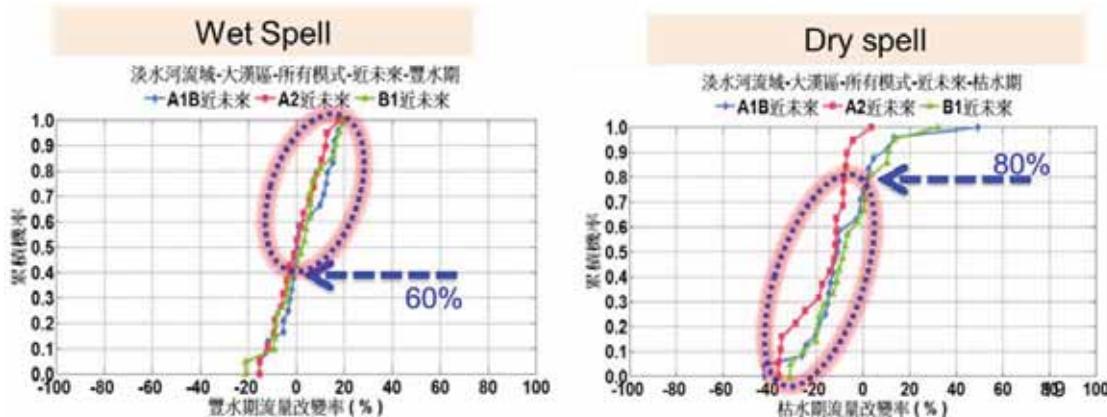


圖 2.73 淡水河流域豐枯水期流量改變率之累積機率（以大漢溪為例）

(2) 不同情境下豐枯水期流量改變率範圍

兩個推估時期三個氣候變遷情境之豐枯水期流量變化，以高屏溪之五個支流為例。圖 2.74 豐水期變化範圍，於近未來期間，A1B 情境在不同 GCM 模式間，呈現較大差異，故改變率的範圍亦較大，以 A2 情境的變異性為最小；於世紀末時豐水期是以 B1 情境之變異性為最小，

A1B 與 A2 情境之變異性相當，但以 A1B 情境造成的流量的增加量較高。以豐水期而言，世紀末的變異性多數大於近未來，但 B1 情境例外。可能是大部分的模式在 B1 情境下，多數模式都呈現豐水期增加。圖 2.75 是枯水期變化範圍，五個流域多是以世紀末的變異性小於近未來。相對於豐水期之流量改變率有較多之離群值（outliers）。

表 2.16 為高屏溪流域近未來與世紀末兩個時期，不同情境豐枯水期流量變化之變異性大小排序，由表 2.16 中可知除了世紀末豐水期的排序與其他不同，其餘都是呈現以 A2 情境的變異性為最小，進而是 B1，但在枯水期兩個時段 B1 與 A1B 的情境變異性相差無幾，且三個情境的變異性排序，在兩個時期較豐水期一致。

表 2.16 不同情境豐枯水期流量變化之變異性大小（以高屏溪為例）

	豐水期	枯水期
近未來（2020~2039）	$A2 < B1 < A1B$	$A2 < B1 \approx A1B$
世紀末（2080~2099）	$B1 < A1B \approx A2$	$A2 < B1 \approx A1B$

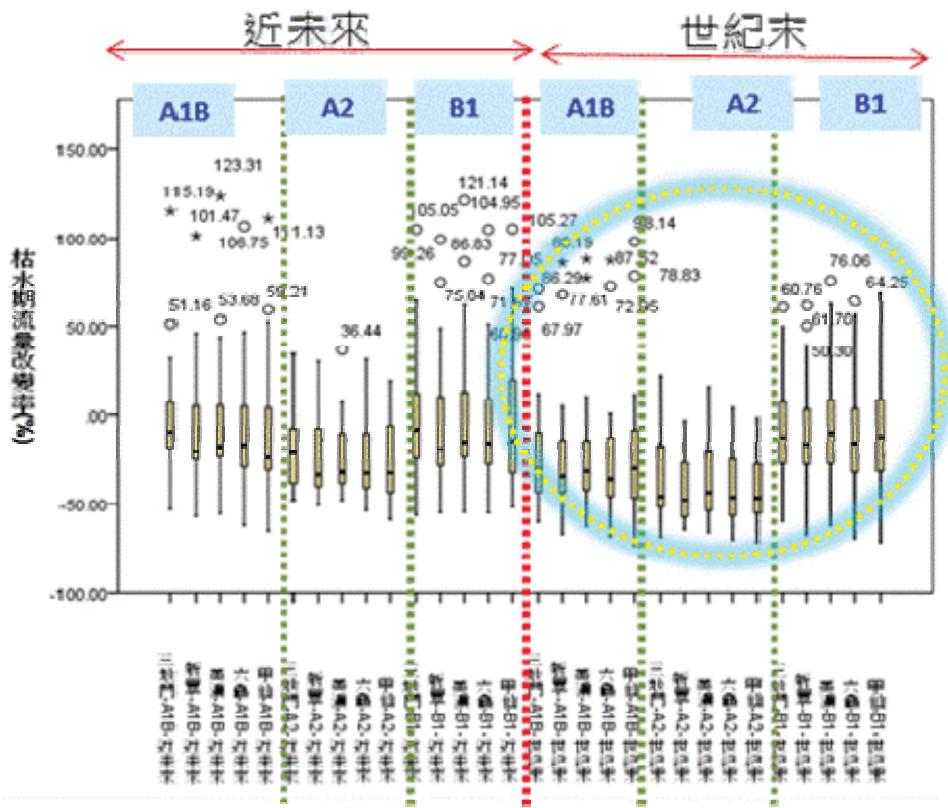


圖 2.74 不同情境下豐水期流量改變率範圍（以高屏溪為例）

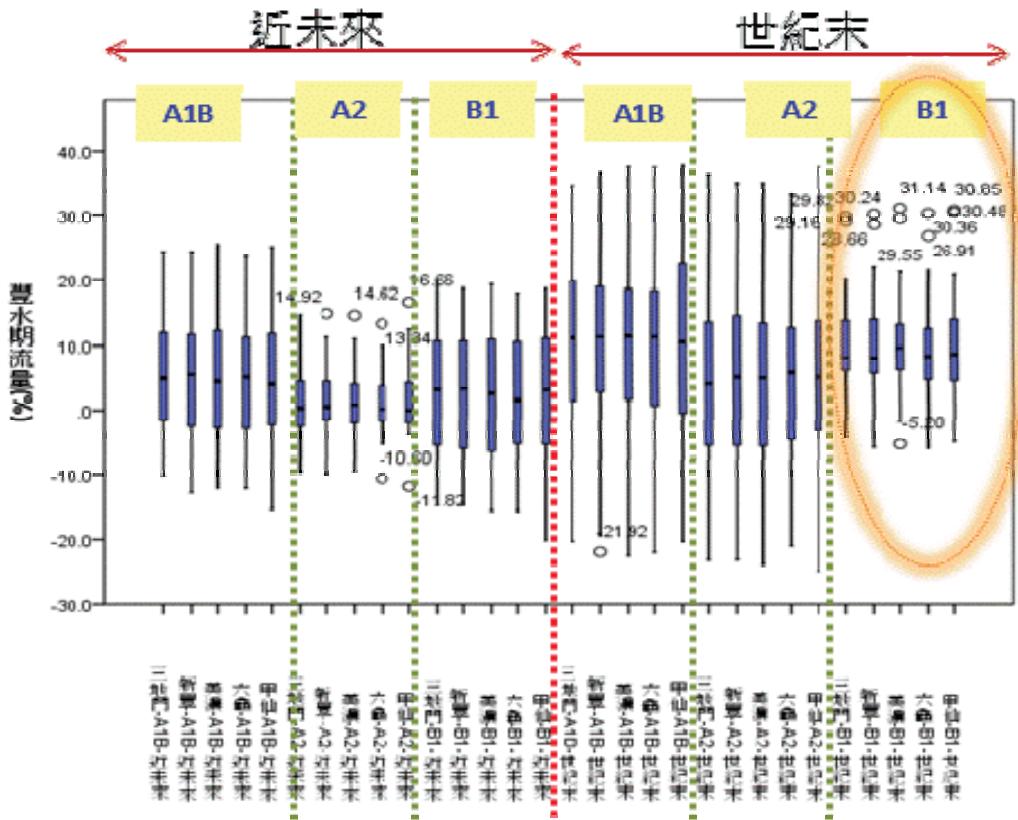


圖 2.75 不同情境下枯水期流量改變率範圍（以高屏溪為例）

(3) 假設最劣情境與多模式平均結果

將所有 GCM 模式模擬的流量衝擊結果之最大與最小、多模式平均假設與最劣情境列於圖 2.76。圖中以荖濃溪流域為例是，發現豐水期期間，假設最劣情境造成的流量增加量超過，所有 GCM 模式中最大值的改變率所有模式的最大改變率之結果，最劣情境於世紀末改變率高達 35%以上的流量變化。

枯水期的衝擊程度，則假設最劣情境的流量變化略低極端值，其世紀末枯水期流量改變率約-65%，所有模式中最小值的改變率是減少-70%。故採用最劣情境進行調適策略，考量了較大的衝擊量，需花費較高的成本因應氣候變遷對流量的衝擊，因已將較極端的流量改變率納入，相對於採用單一模式的結果進行調適，未來無法因應的風險相對較小。

多模式平均結果在豐水期近未來改變率約 5%，較不明顯；世紀末則增加到 10%。對於枯水期的影響較為顯著，近未來的變化約-10～-30%；世紀末則增加到-15～-45%。故採用多模式平均進行調適，於豐水期的調適可能會低估氣候變遷可能的衝擊。

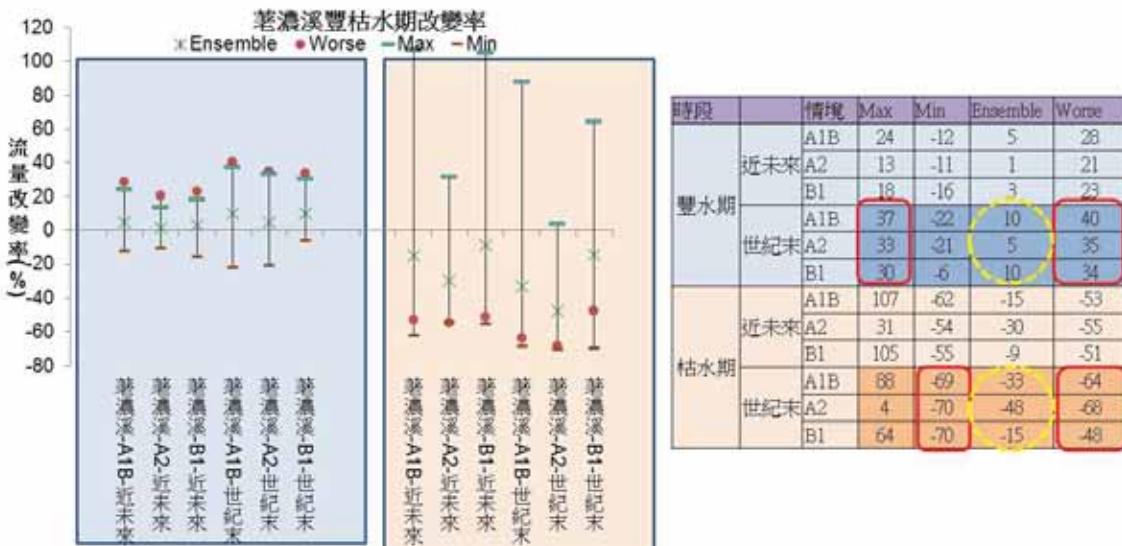


圖 2.76 假設最劣情境與多模式平均結果（以荖濃溪為例）

(4) 比較挑選模式對流量衝擊之差異

研究中採取兩種挑選模式之方式，進而與所有模式的結果進行比較。圖 2.77 為採用不同挑選模式方式之枯水期流量變化累積機率圖與各月份流量改變率之盒鬚圖。其他流域之豐枯水期累積機率圖與各月份流量改變率盒鬚圖則可參閱附錄一與附錄二。

圖 2.77 (a) 為所有模式皆納入分析之枯水期流量改變率累積機率圖，圖 2.77(b) 為利用東亞季風特性挑選之 GCM 模式所分析之枯水期流量改變率累積機率圖，圖 2.77(c) 為依據豐枯水期雨量特性所分析之枯水期流量改變率累積機率圖。以累積機率變動範圍比較挑選模式方式是否降低時期變異性範圍，圖 2.77(a) 與圖 2.77(b) 相比，東亞季風挑選模式其變異範圍與所有模式的在枯水期改變率相當，並無改善其變異性範圍。圖 2.77(a) 與圖 2.77(c) 相比，豐枯水期降雨特性挑選模式，則枯水期流量的變化趨於一致，都是呈現減少的變化，且變異範圍相對所有模式小，故豐枯特性的挑選模式方式可降低其變異性範圍。

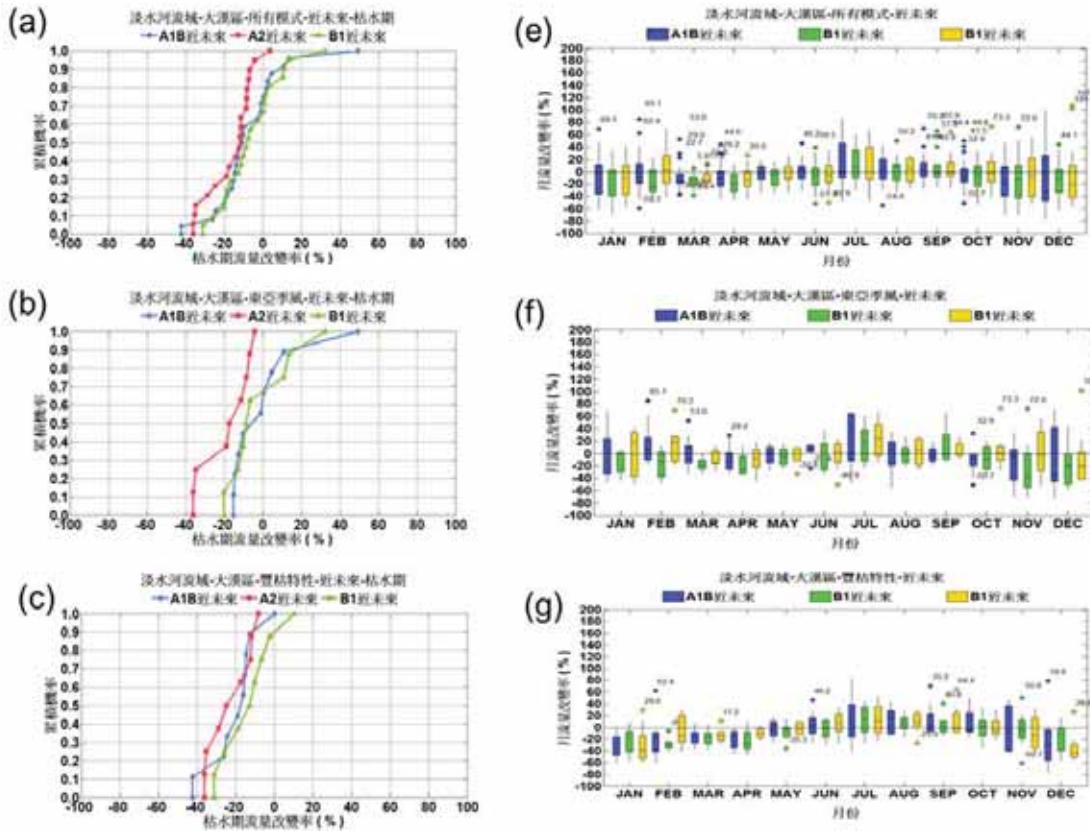


圖 2.77 (e) 為所有模式近未來各月份降雨改變率之盒鬚圖，(f) 東亞季風挑選模式近未來各月份降雨改變率，(g) 豐枯水期近未來各月份降雨改變率之盒鬚圖，盒鬚圖的內容呈現包含資料的最小值、最大值、下四分位數、上四分位數與中位數。不在盒鬚圖內的點為離群值（outliers），由於 (e) 圖中所有模式分析在各月變化上相對較多故離群值較多。若以盒鬚圖大小呈現其採用挑選模式之變異性，可發現在部分月份的降雨改變率 (f) 圖東亞季風的變異性與 (e) 圖所有模式相同，(g) 圖豐枯特性則是明顯減少。

(5) 水利署挑選模式之流量衝擊

針對水利署依據本計畫挑選之豐枯水期特性模式，進而再從中挑選五個 GCM 模式，包含 CRIRO_mk3_5、GFDL_cm2_1、MIROC3.2_medres、MPI_echam5 與 MRI_cgcm2_3_2a，以大漢溪與荖濃溪為例呈現此五個 GCM 模式之豐枯水期流量改變率，所挑選之 GCM 模式，圖 2.78 與圖 2.79 分別呈現不同推估時期不同情境下流量改變率，近未來期間五個模式包含了三種衝擊，豐增枯減、豐減枯減、豐減枯增等，以大漢溪為例，在同一模式不同情境下有不同的衝擊狀況，CSIRO3.5 在 A1B 與 B1 情境下，流量的衝擊都是豐增枯減特性，在 A2 情境下則是豐枯都是呈現減少的情形。故相同 GCM 模式在不同情境下，其流量變化不至相同。

五個 GCM 模式在近未來之改變率豐水期流量變化約介於 20~ -10%，其中枯水期以 A2 情境衝擊量較大。圖 2.78 中北部大漢溪流域與南部的荖濃溪流域相比，此五個 GCM 模式對南北流域造成的衝擊不相同，以 A1B 情境為例，兩個流域於不同模式於豐枯水期之變化呈現不同的變化趨勢，以 GFDL 為例，近未來豐枯水期呈現相反之趨勢，於大漢溪呈現豐減枯減，而荖濃溪則呈現豐增枯增，但增加的改變率勢較不明顯。以 A2 情境為例，五個模式對則大漢溪枯水期的衝擊較為顯著，但對荖濃溪枯水水期的衝擊相對小許多，甚至荖濃溪在近未來於 MPI_echam5 模式呈現枯水期流量增加，與其他情境與大漢溪結果相反。

圖 2.79 則是比較世紀末兩個流域於五個 GCM 模式下的衝擊，大漢溪於此五個 GCM 模式在不同情境下多數模式呈現枯水期流量明顯減少的趨勢，而豐水期流量增加較為明顯的模式是 MRI_cgcm3，增加 20%以上，其餘都約增加 10%以下。但荖濃溪在世紀末的豐枯水期流量變化，與大漢溪有不同的變化特性，五個模式在不同情境下呈現未來豐枯水期流量多是增加趨勢，除了 MIROC3.2_medress 模式在世紀末三個情境下豐枯水期流量減少約 10%左右。

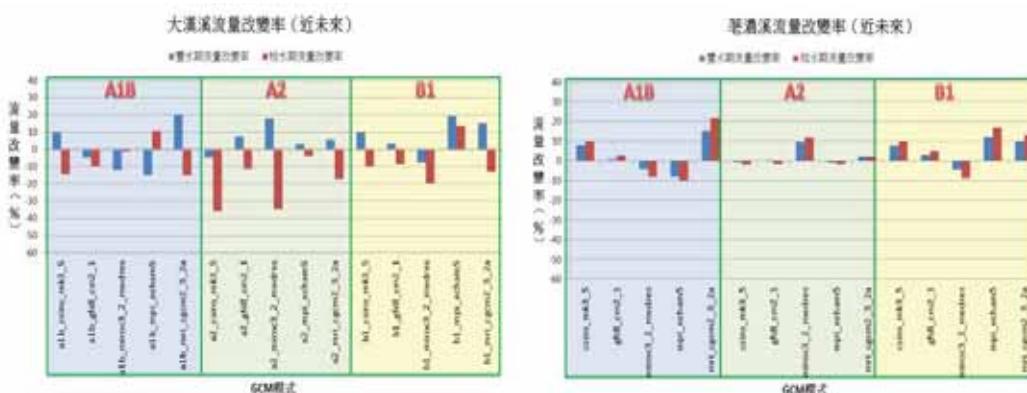


圖 2.78 水利署挑選之 GCM 模式之近未來流量改變率（以大漢溪與荖濃溪為例）

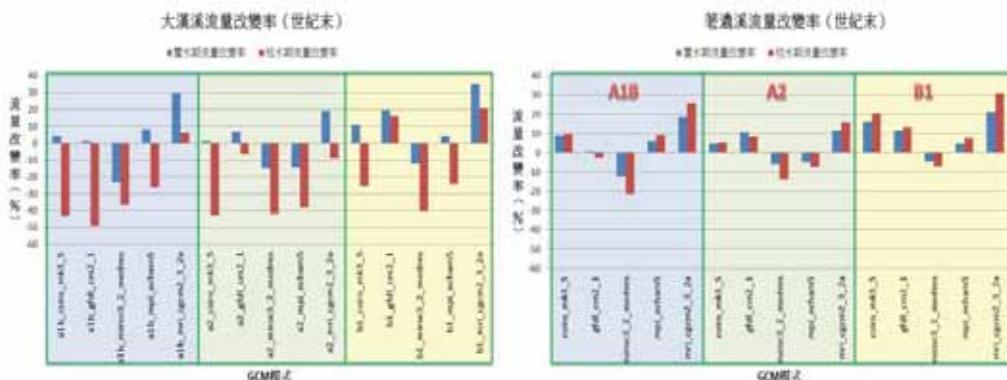


圖 2.79 水利署挑選之 GCM 模式之世紀末流量改變率（以大漢溪與荖濃溪為例）

若以整體性分析所有 GCM 模式可能造成的衝擊，如圖 2.80 以大漢溪與荖濃溪為例所有 GCM 模式之世紀末豐枯水期流量改變率之累積機率圖，圖 2.80 中 (a) 與 (c) 可發現多數的模式呈現豐水期流量變化約介於-20%~+20%，圖面上黃色範圍為水利署挑選之五個模式結果豐水期流量的範圍，大致上有將多數模式的結果納入，但圖 2.80 中 (b) 與 (d) 在枯水期之流量變化，五個模式的改變率範圍（圖面黃色部分），似乎只有北部淡水河流域考量的變化範圍將大部分模式的結果納入，在南部荖濃溪枯水期的變化範圍（黃色部分），其涵蓋所有模式可能的改變率的範圍較小 (-20%~+20%)，多數模式的枯水期流量改變率-20%~-60% 之間，故若採用五個模式的衝擊結果，進行南部地區之調適措施規劃，易低估枯水期流量的衝擊。

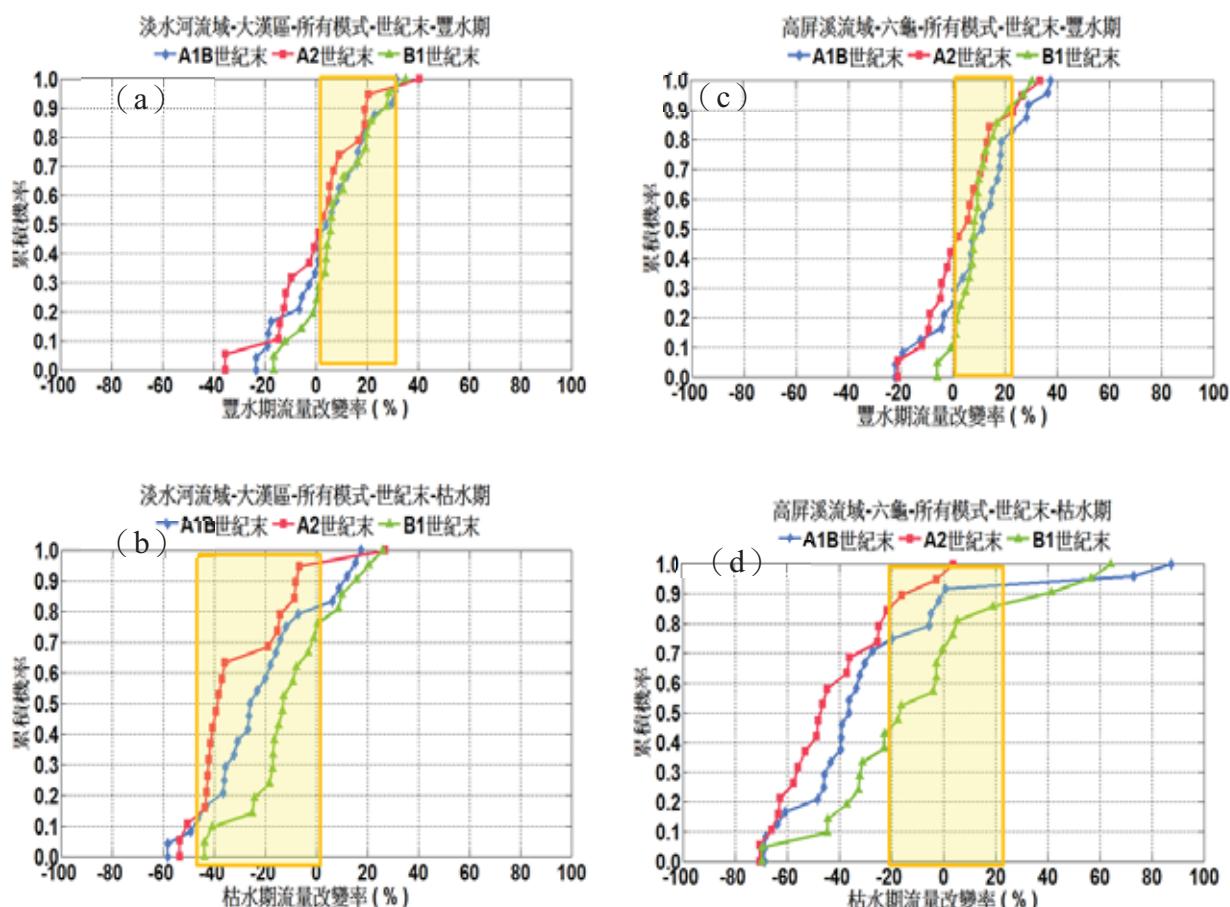


圖 2.80 所有 GCM 模式之世紀末豐枯水期流量改變率（以大漢溪與荖濃溪為例）

故依據水利署挑選的五個模式分析結果，在北部區域近未來與世紀末是枯水期的流量改變率衝擊較大，而南部區域相對衝擊的程度相對較低，在採取調適措施可能會比較針對北部地區之枯水期流量問題進行改善，且對於南部的枯水期流量衝擊可能低估。

為避免南北採用的 GCM 模式分析結果，差異甚大之問題，建議在挑選模式上，可採用全台的變動趨勢較為一致的模式進行分析。針對 GCM 模式降雨改變率空間一致性之議題，可參閱陳韻如等人（2012）所分析依據全台 13 個流域之網格點，分析 GCM 模式降雨的特性之結果，以 CSIRO_mk3_5 與 MRI_cgcm2_3_2a 此兩個模式在不同情境下，全台 13 個流域內的網格點豐枯水期雨量改變趨勢較為一致。

(6) 流量改變率之統計模式數

將模擬所有 GCM 造成的豐枯水期流量改變率結果，依據區間設定統計模式數，以瞭解多數模式呈現流量改變率的區間為何。圖 2.81 為以大漢溪與荖濃溪為例，將不同情境與不同推估期所模擬流量改變率，依據落在不同的區間數量之統計分布圖。

由圖 2.81(a) 與 圖 2.81(b) 可發現多數模式與情境於豐水期流量改變率介於-10%~20%，以豐水期流量增加 10% 區間的模式數為最多，故未來因應南北流域豐水期流量增加之問題，可考量以增加 20% 之改變率進行近未來與世紀末之調適措施。但枯水期流量變化於南北流域差異甚大，北部大漢溪流域，多數模式枯水期流量約介於-20%~10%，以落在枯水期流量減少 10% 區間的模式數為最多。

而南部荖濃溪流域則有不同，流量改變率座落的區間較分散，較多模式結果落在-20%~-40% 區間，故未來氣候變遷衝擊下，南部地區枯水期流量改變，不同模式間差異較大且枯水期流量改變率大於北部大漢溪流域。

(7) 不同空間解析度之降尺度後月流量改變率

TCCIP 之 Team2 提供 5km 與 25km 兩種不同空間解析度降尺度之月雨量與溫度資料，其網格點分布如圖 2.82。在此以高屏溪流域之荖濃溪為例，評估採用不同空間解析度對流量衝擊之差異，25km 資料於高屏溪流域內共有 5 個網格點，而 5km 資料則有 119 個網格點，在此以流域內 25km 網格點周圍四個 5km 的網格點，進行分析未來氣候變遷情境下之月流量改變率，採用之高屏溪流域網格點，如圖 2.83。

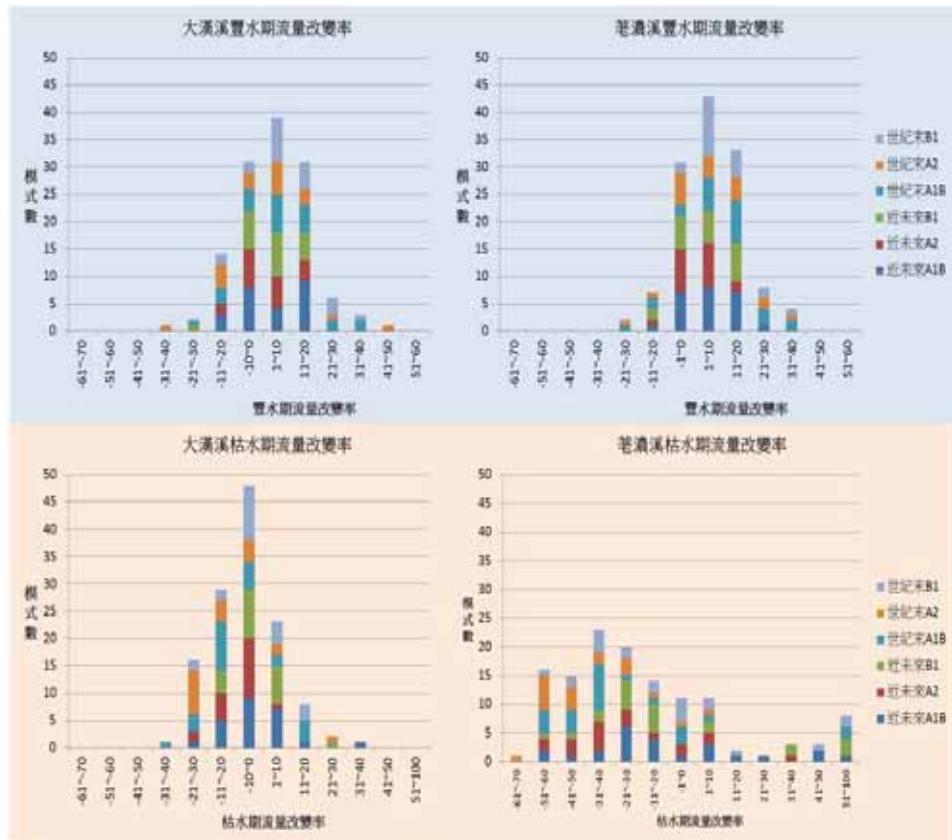


圖 2.81 所有 GCM 之豐枯水期流量改變率分析結果之模式統計數（以大漢溪與荖濃溪為例）

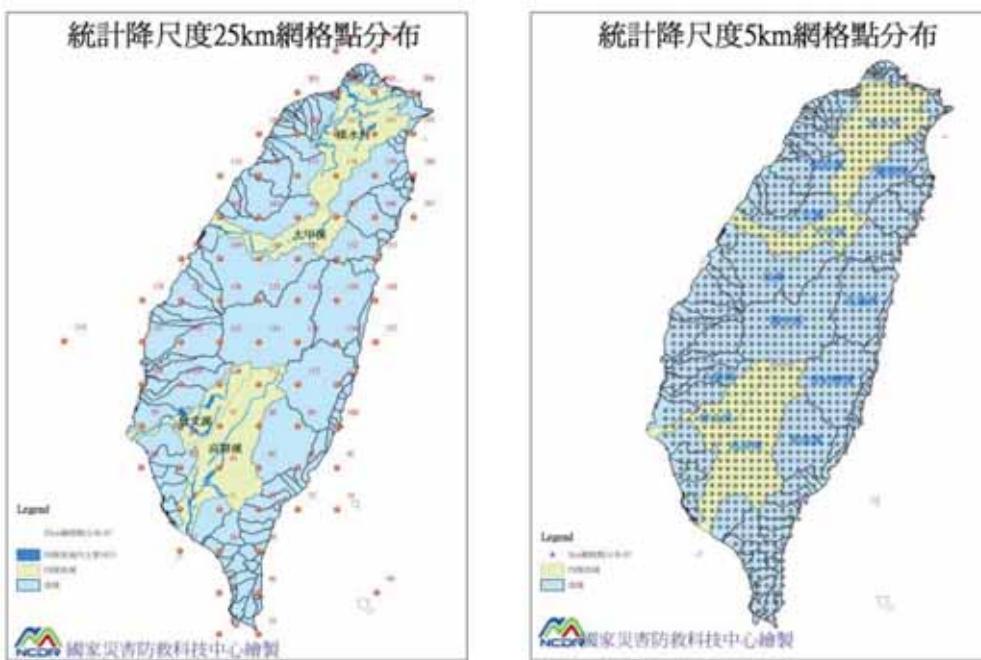


圖 2.82 不同空間解析度網格點分布

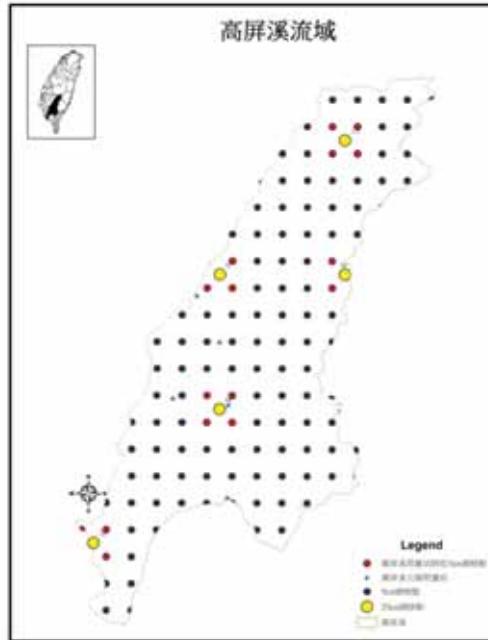


圖 2.83 高屏溪流域不同解析度網格點與雨量站分布

圖 2.84 分別是利用 25km 網格點以及利用 5km 網格點資料，分析未來三個氣候情境下各月降雨之改變率，由盒鬚圖可發現 5km 解析度分析月流量改變率，其各 GCM 模式變異性較大，較多偏離值 (outlier)，尤其在五月到十月。兩種空間解析度，都是以二月份流量改變率，變異性較大。故若採用 5km 網格資料分析，氣候變遷對各月流量之衝擊，其變異性較大，較不適合。圖 2.85 則是以荖濃溪為例，應用不同空間解析度，評估氣候變遷情境下豐枯水期流量改變率，由圖中可發現，豐水期在不同解析度的分析下差異較小，但於枯水期以 5km 解析度流量改變率較大，改變率的範圍較廣，但多數模式仍是呈現枯水期減少，故採用不同解析分析氣候變遷衝擊，針對水資源衝擊的影響對於豐枯水期結果差異不大，都是呈現豐越豐，枯越枯的特性。枯水期在較高解析度的資料雖變異性較大。

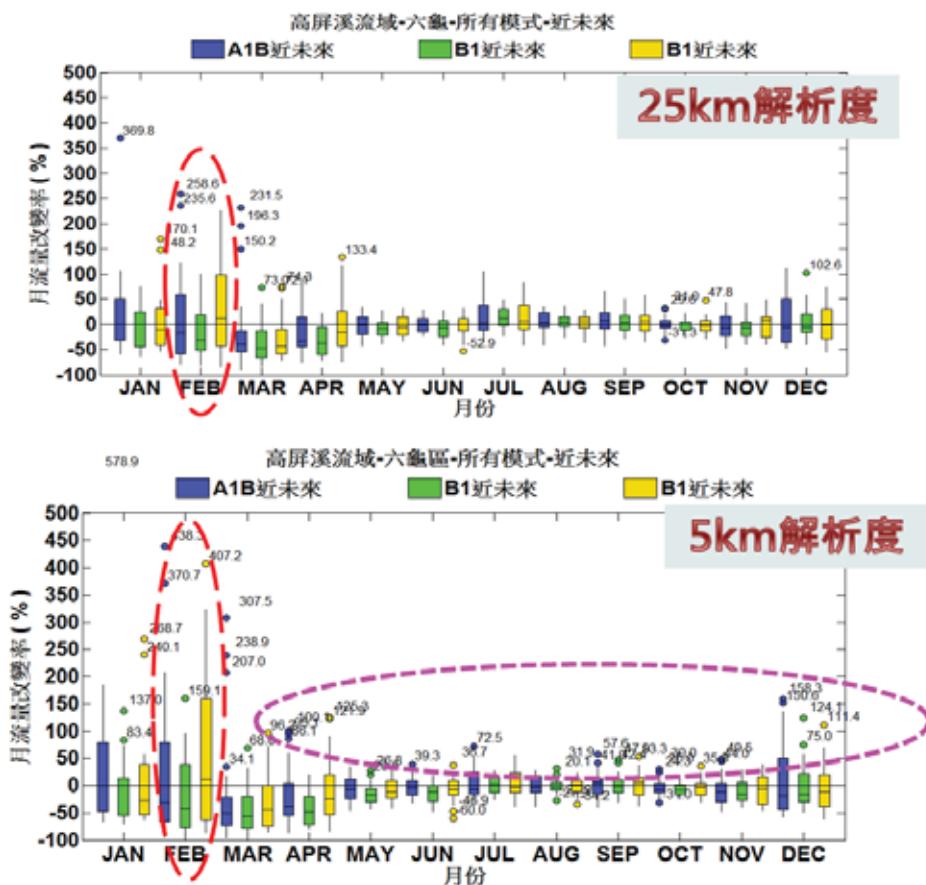


圖 2.84 不同空間解析度月流量改變率之差異

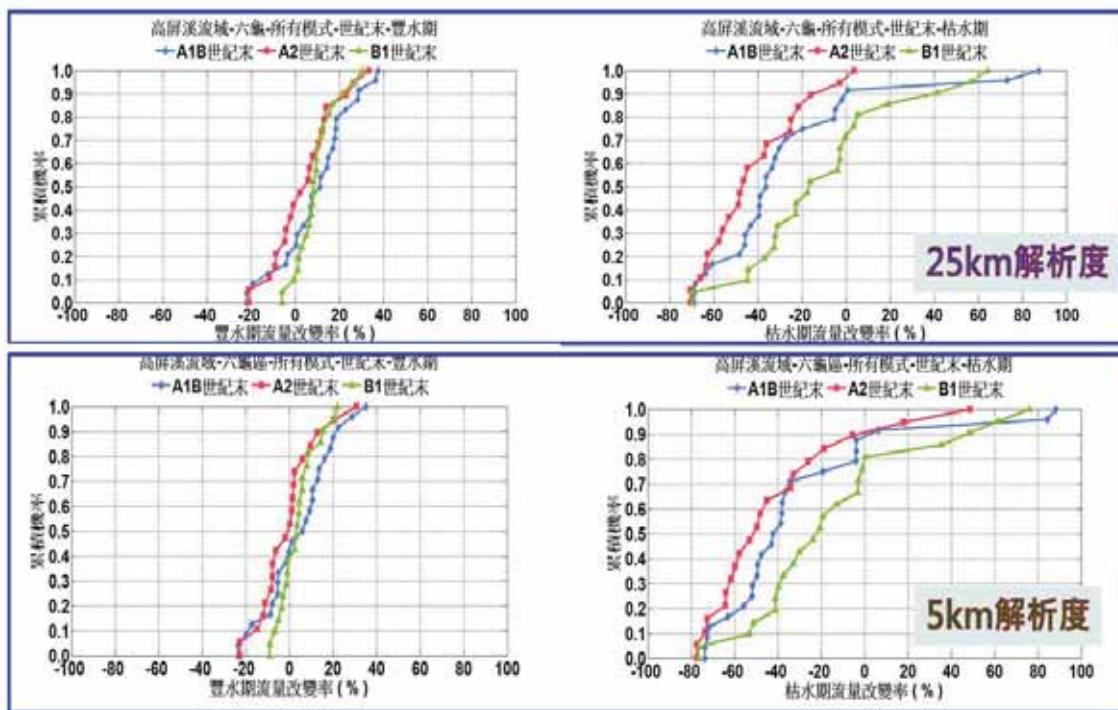


圖 2.85 不同空間解析度流量改變率差異

第三章 氣候變遷應用技術研發與資訊服務

本計畫除產製許多觀測與未來推估之氣候資料外，本團隊亦致力於這些資料在各領域之應用技術研發以及資訊服務與推廣。在資料應用技術研發方面，特別是與水利署的合作上，協助水利署挑選適當之統計降尺度模式，提供氣候變遷模式挑選上建議。此外，為滿足其他領域之需求，本計畫使用天氣衍生氣產製日尺度之降雨量與溫度資料，提供需求領域之使用。在資訊服務方面，本計畫致力於使用者溝通與推廣，除建置網路平台供使用者查詢，定期舉辦國際研討會與成果發表會，並因應需求舉辦資料應用說明會。為推廣臺灣氣候變遷研究的成果於國際中，本年度以精簡版科學報告為藍本，出版英文版科學報告“Climate Change in Taiwan: Scientific Report 2011 (Summary)” 並於 COP 18 會議中發放。

3.1 因應水文領域應用需求之情境設定

TCCIP 利用 Bias Correction Statistical Downscaling (BCSD; Wood et al. 2004) 統計降尺度方式，將多個 GCM 模式降尺度至 25km 與 5km 之解析度，並提供使用端統計降尺度資料提供近未來與世紀末兩個時段且三個排放情境 (A1B、A2、B1) 之 GCM 模式，不同排放情境分別有 24、19、21 個 GCM 的結果，但使用端在應用上，因 GCM 模式數量過多無法一一分析，且耗費分析運算時間，又因不同模式的結果其月降雨改變率的變化趨勢不太一致，使用端無法針對所有的結果，提出具體合適的氣候變遷調適策略。TCCIP 在提供資料過程中藉由與使用端多次溝通討論，依據使用端需求採用挑選 GCM 模式之方式，減低使用端分析運算時間，以利提出合適之氣候變遷調適策略。本節將說明提供使用端之資料特性，並進一步分析各模式的豐枯水期平均降雨特性，以利使用端在挑選模式之參考。

3.1.1 降尺度資料應用-GCM 模式資料提供

TCCIP 第一階段主要服務對象水利署相關計畫的使用端，包含水文情境設定、水資源衝擊評估、水旱災衝擊評估、防洪與土砂議題等計畫，執行三年期間因應使用端需求，各年度提供資料如圖 3.1。第一年產出 A1B 情境所有 GCM 模式所組成不同信賴區間（包含多模式平均以及 10%、25%、75% 與 90%）之各月份降雨改變率資料結果，提供全台 25km 網格之月平均降雨資料。

第二年經過與水文領域使用端頻繁的溝通後，基於多模式平均之豐枯水期降雨變化亦是呈現豐增枯減之特性，為凸顯月降雨變化，故根據多模式平均於豐水期增加一倍標準差，枯水期減少一倍標準差，設定成假設最劣情境，示意如圖 3.2。此假設最劣情境仍維持豐越豐，

枯越枯之特性，由於豐水期（5月~10月）的六個月份皆是設定維持相當大雨量增加率，且枯水期（11月~4月）設定為顯著之雨量減少率。除了提供A1B情境，另提供B1與A2之各月份降雨改變率與溫度增加量。



圖 3.1 因應水文領域應用需求各年提供的資料內容

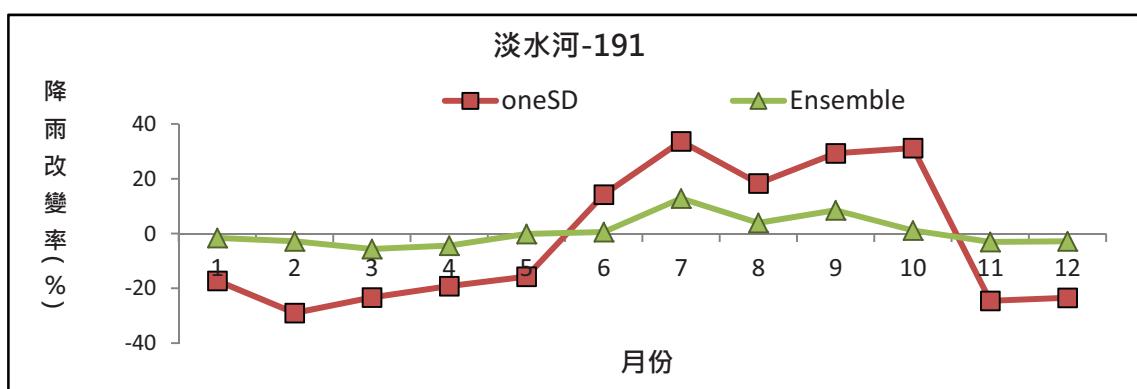


圖 3.2 假設最劣情境之示意圖（第二年）

第三年則是另提供使用者挑選 GCM 模式之選擇，依據模擬東亞季風較佳之 GCM 與豐枯水期特性，挑選 GCM 模式提供使用者進一步分析氣候變遷之衝擊，其挑選模式流程如圖 3.3，挑選統計降尺度模式之示意圖，如圖 3.4，以模擬東亞季風特性較佳之 GCM 模式，篩選出 9 個模式。另依據降雨改變率之平均豐枯水期特性，將 GCM 模式分為四類，第 I 類為豐水期雨量增加且枯水期雨量增加，全年多雨特性之 GCM 模式適於對防洪較在意的相關研究應用；第 II 類為豐水期雨量減少而枯水期雨量增加之特性；第 III 類則是豐枯水期降雨都呈現減少，全年偏乾特性之 GCM 模式，為對水資源衝擊影響較大，水資源管理者較為在意的水文特性；第 IV 類為豐水期增加而枯水期減少之特性，較符合歷史降雨資料的趨勢分析結果。詳細挑選模式評估結果，請參閱陳韻如等人 (2012) 之技術報告。採用東亞季風特性及台灣豐枯水期特性（即豐水期增加枯水期減少）之相符性交集，以 A1B 情境為例，交集之模式共有 3 個。

由於圖 3.4 之右圖中，另三類豐枯特性之 GCM 模式亦不容忽視，故在與使用者之情境座談會的結論中，水文使用端針對另兩個類別「全年少雨」與「全年多雨」之 GCM，各挑選一個 GCM 模式進行分析，並挑選該類別中相對較嚴重之 GCM 模式，進一步分析衝擊，如圖 3.5 所示。

根據模擬東亞季風較佳特性所挑選之 GCM 模式如表 3.1，以 A1B 情境為例共有九個模式，A2 與 B1 情境則各只有八個模式。表 3.2 則是利用豐枯水期特性挑選 GCM 模式，亦有九個模式屬於第四類豐增枯減之特性，其交集之模式共有三個，分別是 CSIRO_mk3_5、之 miroc3_2_hires 與 mri_cgcm2_3_2a。



圖 3.3 挑選模式之流程

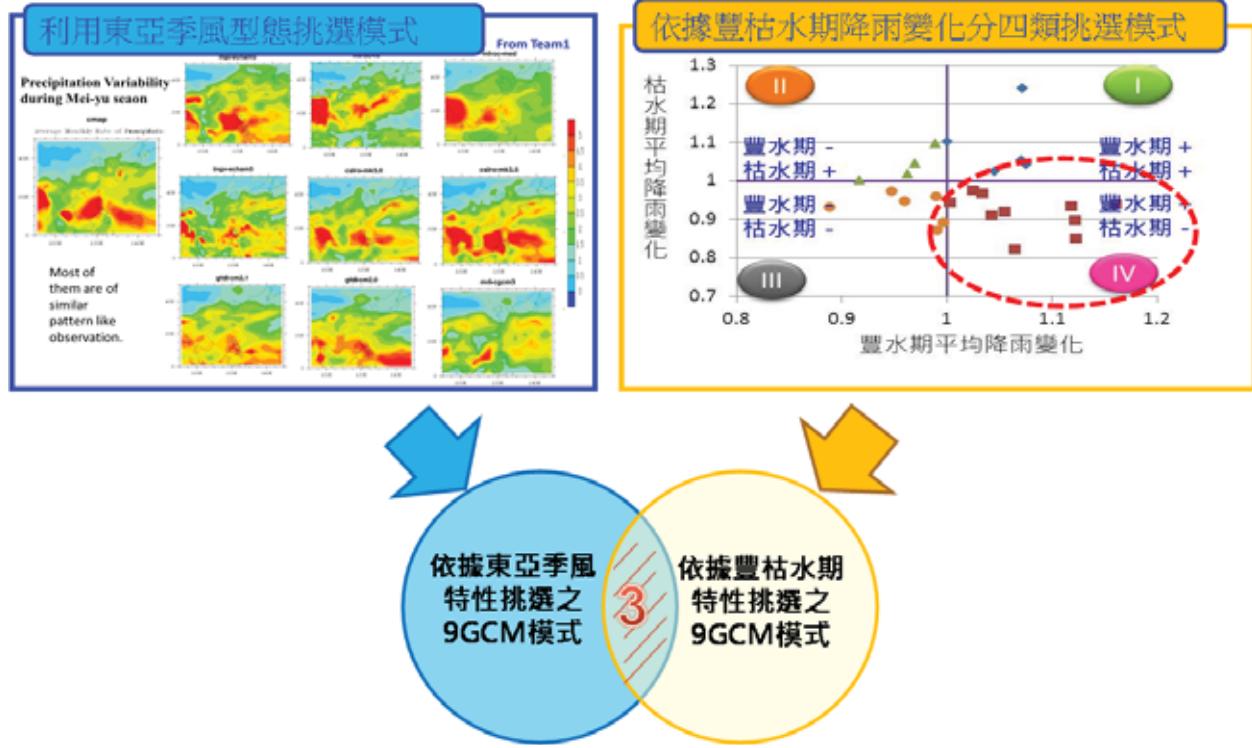


圖 3.4 挑選模式示意圖

「較符合東亞季風特性」的GCM挑選結果

淡水河(網格點編號：191)

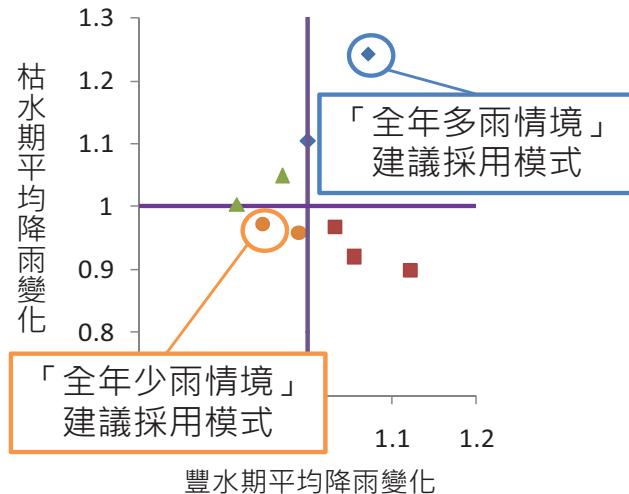


圖 3.5 以豐枯特性挑選模式示意圖

表 3.1 利用東亞季風特性挑選之 GCM 模式

No.	Short name	Alias	Describe
ES-1	Csiro_mk3_0	AUS_CSIRO_MK3	CSIRO Atmospheric Research, Australia, Mk3.0 Model
ES-2	Csiro_mk3_5	AUS_CSIRO_MK3.5	CSIRO Atmospheric Research, Australia, Mk3.5 Model
ES-3	Ingv_echam4*	INGV_ECHAM4	Italy, INGV, National Institute of Geophysics and Volcanology, ECHAM 4.6 Model
ES-4	miroc3_2_hires**	JP_CCSR3.2H	CCSR/NIES/FRCGC, MIROC Model V3.2, high resolution
ES-5	miroc3_2_medres	JP_CCSR3.2M	CCSR/NIES/FRCGC, MIROC Model V3.2, medium resolution
ES-6	mri_cgcm2_3_2a	JP_MRI2.3	Meteorological Research Institute, Japan, CGCM2.3.2a
ES-7	gfdl_cm2_0	GFDL_CCM2.0	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, CM2.0 Model
ES-8	gfdl_cm2_1	GFDL_CCM2.1	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, CM2.1 Model
ES-9	mpi_echam5	MPI_ECHAM5	Max Planck Institute for Meteorology, Germany, ECHAM5 / MPI OM

備註：表格中*表示於 B1 情境中無該模式結果，**表示於 A2 情境中無該模式結果

表 3.2 利用豐枯水期特性挑選之 GCM 模式

NO.	Short name	Alias	Describe
WD-1	bcc_cm1	CN_BCC_CM1	Beijing Climate Center, China, BCC-CM1 Model
WD-2	ccma_cgcm3_1	CA_CCCMA3.1_T47	Canadian Center for Climate Modeling and Analysis CGCM3.1 Model (T47)
WD-3	csiro_mk3_5	AUS_CSIRO_MK3.5	CSIRO Atmospheric Research, Australia, Mk3.5 Model
WD-4	inmcm3_0	Russia_INMCM3	Institute for Numerical Mathematics, Russia, INMCM3.0 Model
WD-5	ipsl_cm4	FR_IPSL_CM4.1	IPSL/LMD/LSCE, France, CM4 V1 Model
WD-6	miroc3_2_hires	JP_CCSR3.2H	CCSR/NIES/FRCGC, MIROC Model V3.2, high resolution
WD-7	mri_cgcm2_3_2a	JP_MRI2.3	Meteorological Research Institute, Japan, CGCM2.3.2a
WD-8	ncar_pcm1	NCAR_PCM1	NCAR Parallel Climate Model (Version 1)
WD-9	ukmo_hadgem1	UKMO_HadGEM1	Hadley Centre for Climate Prediction, Met Office, UK, HadGEM1 Model

3.1.2 降尺度資料應用-GCM 模式之豐枯水期降雨特性分類

(1) 所有 GCM 模式豐枯水期特性

TCCIP 統計降尺度後產製的臺灣高解析度 25km×25Km 網格資料，其分佈如圖 3.6，共有 75 個網格點。本研究挑選了主要 13 個流域範圍內的網格點，共有 39 個網格點進行分析其豐枯水期平均降雨特性（平均降雨改變率比值），評估流域內的網格點其所屬的類別是否一致。

TCCIP 提供三個氣候變遷排放情境（A1B、A2、B1）以及兩個未來推估時段（2020~2039 與 2080~2099），共有 128 個 [$(24+19+21) \times 2 = 128$] GCM 模式的結果。將十三個流域範圍內之網格點，依據豐枯水期平均降雨特性之分類，其中有 73 個（57%）GCM 模式的結果特性，空間分佈具有一致性（意旨 39 個網格點都落在同一類別）；另有 55 個（43%）GCM 模式其豐枯水期平均降雨特性，空間分佈較不一致（圖 3.7）。具有空間一致性之 GCM 模式中，其中落在第一類別的模式共有 12 個（9%）模式；落在第二類別則只有 2 個（1%）模式；第三類別則有 12 個（9%），落在第四類別的模式為最多共有 47 個（37%）。故在此十三個流域中的網格點，多數的 GCM 模式是呈現豐水期雨量增加而枯水期雨量減少的特性。

表 3.3 是將上述 128 個 GCM 模式其豐枯水期平均降雨特性在十三個流域網格點中都同屬一類別且近未來與世紀末兩個時段也符合空間一致性的模式列出，在 A1B 情境中共有五個 GCM 模式符合，其中除了 ncar-ccsm3-0 模式是屬於第一類全年多雨的特性之外，其他四個 GCM 模式都是屬於第四類豐增枯減的特性。

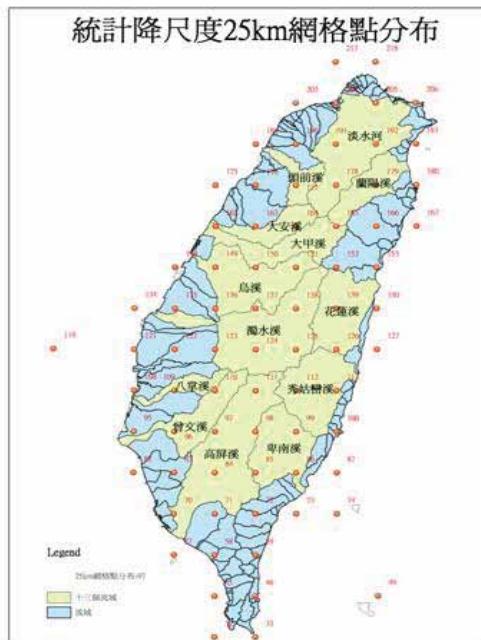


圖 3.6 統計降尺度後網格點分佈圖

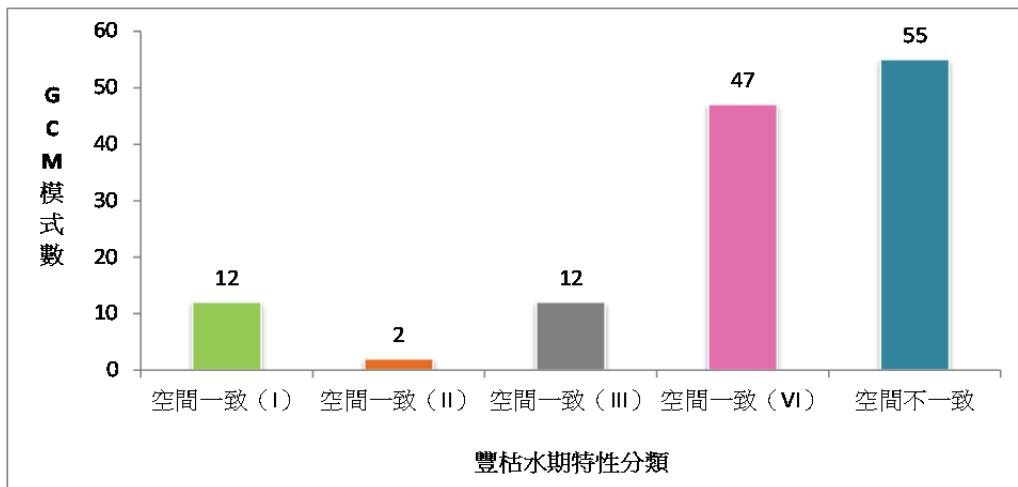


圖 3.7 所有排放情境與推估時段之 GCM 模式之分類

表 3.3 十三個流域時段與空間分佈具有一致性之 GCM

情境	GCM	第一類 全年多雨	第二類 豐減枯增	第三類 全年偏乾	第四類 豐增枯減
A1B	ncar-ccsm3-0	○	—	—	—
	bccr-bcm2-0	—	—	—	○
	ccma-cgcm3-1	—	—	—	○
	csiro-mk3-5	—	—	—	○
	inmcm3-0	—	—	—	○
A2	miub-echo-g	—	—	○	—
	mri-cgcm2-3-2a	—	—	—	○
B1	bccr-bcm2-0	—	—	—	○
	ccma-cgcm3-1	○	—	—	—
	csiro-mk3-5	—	—	—	○
	miroc3-2-medres	—	—	○	—

A2 情境中則有兩個 GCM 模式是符合空間一致性且兩個時段的特性是一致的，兩個模式分別屬於第三類全年偏乾與第四類的特性，在 B1 情境中則有四個 GCM 模式符合，分別落在三個類別中。十三個流域的網格點，在 128GCM 模式中符合具有空間與時段一致性的 GCM 模式，無屬於第二類豐減枯增特性的模式。欲挑選豐枯水期平均降雨特性在空間一致性且兩個推估時段一致的模式參考依據，共有 12 個 GCM 模式可做挑選，具有時空一致性的模式多是屬於第四類的特性。

(2) 東亞季風表現佳的 GCM 之豐枯水期特性

將模擬東亞季風較佳的九個 GCM 模式（如表 3.1），進一步分析十三個流域中網格點的其豐枯水期降雨特性，使用者可以從網格點的屬性空間分佈圖中得知欲分析流域其 GCM 降雨特性為那一類型。以近未來 A1B 情境為例，九個模式可分成下面三大類，其網格點的空間分佈圖如圖 3.8。

1. **具空間一致性的 GCM**：圖 3.8 中 39 個網格點的豐枯水期降雨特性都一樣。圖 3.8 中 (A) (B) (C) 三張圖，是屬於較具空間一致性的 GCM 模式，此類模式在應用台灣區域衝擊與調適策略方面的擬定時，則較為一致。
2. **部分區域空間不一致的 GCM**：圖 3.8 中 39 個網格點的部分區域豐枯水期降雨特性與多數網格點呈現不相同特性，如圖 3.8 中 (D) (E) (F) 三張圖則是呈現部分區域的類別（東北部、東南部）與其他網格點不一致，且所屬的類別分散於第一類、第二類與第三類中。此類模式在應用衝擊與調適策略方面的擬定時，東北部與東南部地區則與西半部地區的方式較不一致。
3. **空間較不一致的 GCM**：圖 3.8 中 39 個網格點的豐枯水期降雨特性較不一致，如圖 3.8 中 (G) (H) (I) 三張圖於十三個流域網格點其所屬類別，在空間分布上較不一致，以圖 3.8 (G) 中 Ingv_echam4 模式為例，若使用者採用該模式進行分析台灣的水文與水資源衝擊，則會呈現北、中、南分屬不同特性之豐枯水期降雨改變率的特性。若採用此模式進行調適策略，將依區域不同規劃不同的因應措施。

圖 3.9 為 A2 情境下在近未來 8 個 GCM 模式其豐枯水期分類的空間分佈圖，各個模式之特性之空間分佈說明如下：

1. **具空間一致性的 GCM**：A2 情境中 csiro_mk3_5、miroc3_2_medres、mri_cgcm2 三個 GCM 模式較具空間一致性。其中 csiro_mk3_5 是呈現全年偏乾的類別之外，另兩個 GCM 模式都是屬於第四類的豐增枯減的降雨特性。
2. **部分空間不一致性的 GCM**：A2 情境中 gfdl_cm2_1 與 mpi_echam5 兩模式，多數區域模式呈現為第四類的特性，部分區域的類別（西南沿海區三個點）與全台不一致，呈現第三類全年偏乾之降雨特性。
3. **空間較不一致性的 GCM**：A2 情境中 gfdl_cm2_0、ingv_echam4、csiro_mk3_0 三個 GCM 模式於台灣地區空間分布上較不一致，北中南且包含豐枯水期四種類別之降雨特性。

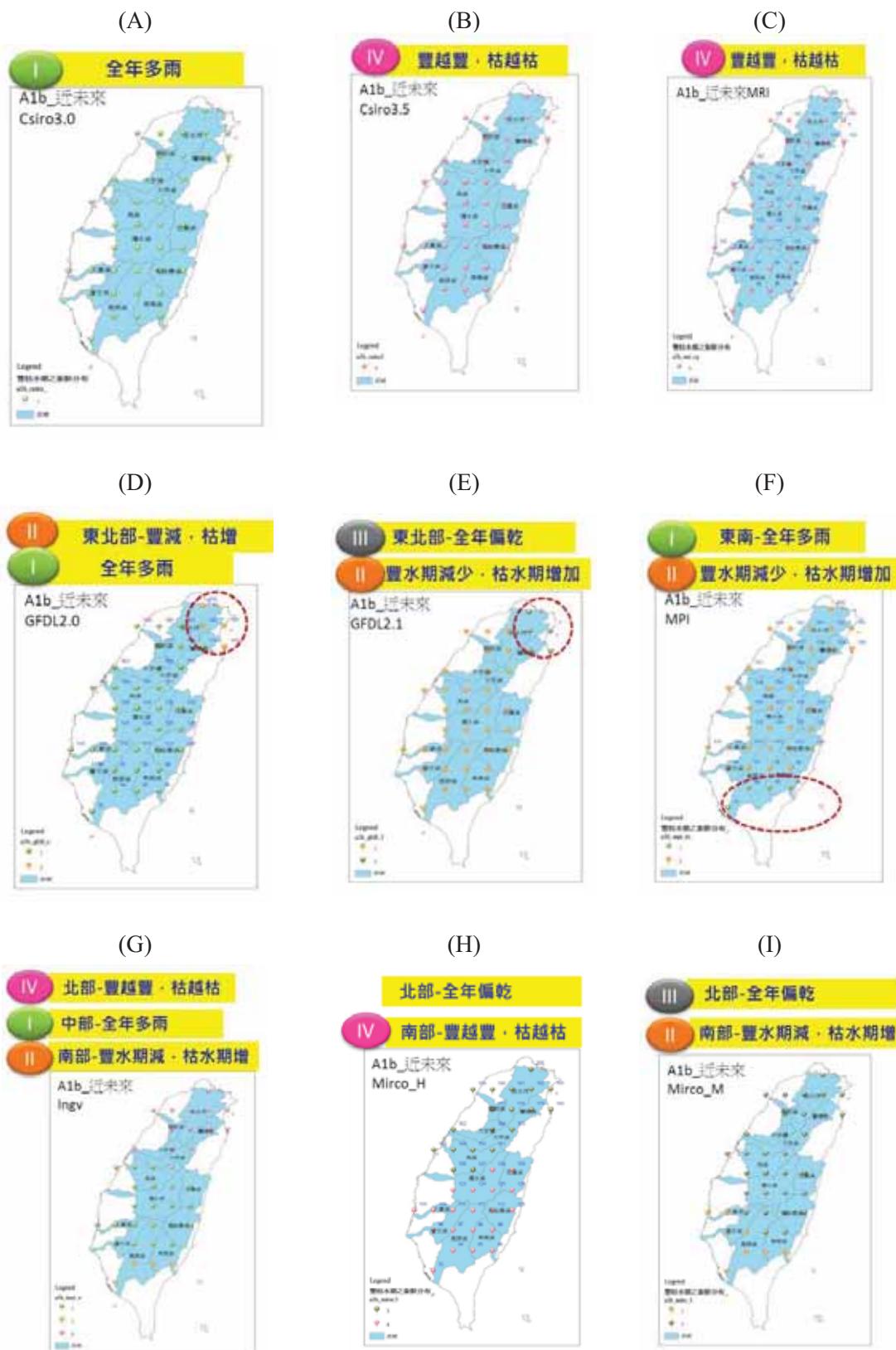


圖 3.8 A1B 情境下東亞季風特性挑選之九個 GCM 模式豐枯水期平均降雨特性



圖 3.9 A2 情境下東亞季風特性挑選之八個 GCM 模式豐枯水期平均降雨特性

圖 3.10 為 B1 情境下有較多的情境下在近未來 8 個 GCM 模式其豐枯水期分類的空間分佈圖。

1. **具空間一致性的 GCM**：B1 情境中 csiro_mk3_0、csiro_mk3_5、gfdl_cm2_0、miroc3_2_medres、mpi_echam5、mri_cgcm2_3_2a 六個模式都具有空間一致性，但所屬不同類別的豐枯水期平均降雨特性。
2. **空間較不一致性的 GCM**：B1 情境中 miroc3_2_medres、gfdl_cm2_1 兩個 GCM 模式於台灣地區空間分布上較不一致，包含南北區域的豐枯水期特性有兩種類別。

故三個情境相比，以 B1 情境下相較之下有較多具有其空間一致性之模式。且 mri_cgcm2 模式在近未來的時段三個情境下，都屬於第四類的豐增枯減特性。故使用者欲分析豐增枯減之特性在不同情境下的表現，可採用 mri_cgcm2。

將挑選的九個 GCM 模式在不同情境下的空間分佈一致性，以下表 3.4 呈現，可發現其中 mri_cgcm2 與 csiro_mk3_5 兩個 GCM 模式，三個情境下在十三個流域中的網格點的豐枯水期平均降雨特性是一致，其中 ingv_echam4 模式則是空間一致性最低的模式。表格中的最後一欄為 101 年度水利署相關氣候變遷對水資源衝擊計畫，所挑選的 5 個 GCM 模式，除了挑選空間一致較高的 mri_cgcm2 與 csiro_mk3_5，另挑選了 gfdl_cm2_1、miroc3_2_medres 與 mpi_echam5 代表不同類型的豐枯水期降雨特性的 GCM 模式，其中較需注意的是 gfdl_cm2_1 在三個情境下都是屬於豐枯水期特性之類別部分不一致性，都有部分地區的網格點的特性與其他多數網格點不一致；而 miroc3_2_medres 則是在 A1B 情境下空間一致性較低，在 A2 與 B1 情境下空間具有一致性，在 A2 情境下是豐增枯減的特性，在 B1 情境下則是全年偏乾的特性；mpi_echam5 則是除了 B1 情境下空間具有一致性，屬於全年多雨的特性，在 A1B 情境下多數網格點，是屬於第二類豐水期減少枯水期增加的特性，在 A2 情境則是多數網格點呈現豐越豐枯越枯的平均降雨特性。

前述 csiro_mk3_5 與 mri_cgcm2 模式在近未來的時段 A1B、A2 與 B1 三個情境下，豐枯水期降雨特性的空間分佈一致，進一步分析世紀末時段，各網格點的所屬類別是否符合空間一致性，其結果如表 3.5。其中除了 mri_cgcm2 在 A1B 情境下世紀末時段，有 82% 的網格點是屬於第一類，有 18% 的網格點是屬第四類，其他情境下 GCM 模式在不同推估時段都符合空間一致性。而 csiro_mk3_5 模式在 A2 情境下，兩個推估時段是屬於不同豐枯水期降雨特性，近未來是屬於全年偏乾，而世紀末則是豐增枯減的特性。mri_cgcm2 模式則是在 B1 情境下近未來屬於第四類豐枯水期特性，世紀末則是屬於全年多雨的降雨特性。



圖 3.10 B1 情境下東亞季風特性挑選之八個 GCM 模式豐枯水期平均降雨特性

表 3.4 挑選九個 GCM 模式空間分布差異性

全台類別一致性	A1B	A2	B1	水利署挑的模式
csiro_mk3_0	○	XX	○	
csiro_mk3_5	○	○	○	★
gfdl_cm2_0	×	XX	○	
gfdl_cm2_1	×	×	×	★
ingv_echam4	XX	XX		
miroc3_2_hires	XX		×	
miroc3_2_medres	XX	○	○	★
mpi_echam5	×	×	○	★
mri_cgcm2_3_2a	○	○	○	★

註解

- ：豐枯水期特性之類別空間一致性高；
- ×：豐枯水期特性之類別空間部分不一致性
- XX：豐枯水期特性之類別空間一致性低

表 3.5 不同推估年空間一致性 GCM 模式

情境-時段-GCM	第一象限	第二象限	第三象限	第四象限
a1b-2020-2039-csiro-mk3-5	0	0	0	1
a1b-2080-2099-csiro-mk3-5	0	0	0	1
a2-2020-2039-csiro-mk3-5	0	0	1	0
a2-2080-2099-csiro-mk3-5	0	0	0	1
b1-2020-2039-csiro-mk3-5	0	0	0	1
b1-2080-2099-csiro-mk3-5	0	0	0	1
a1b-2020-2039-mri-cgcm2-3-2a	0	0	0	1
a1b-2080-2099-mri-cgcm2-3-2a	0.821	0	0	0.179
a2-2020-2039-mri-cgcm2-3-2a	0	0	0	1
a2-2080-2099-mri-cgcm2-3-2a	0	0	0	1
b1-2020-2039-mri-cgcm2-3-2a	0	0	0	1
b1-2080-2099-mri-cgcm2-3-2a	1	0	0	0

針對目前水文與水資源相關研究計畫，主要著重分析近未來可能的衝擊進行評估，故在此研究中針對，將東亞季風表現佳的 GCM 模式，其降雨特性是呈現全年多雨（第一類）以及豐增枯減（第四類）特性且網格點的變化具有空間一致性（意旨 39 個網格點都落在同一類別）的模式列出，如，以提供未來使用者挑選模式之參考。

使用者若需要針對此十三個流域在氣候變遷情境下 A1B 情境下防洪議題進行分析，則可表 3.6 選擇中 a1b-csiro-mk3-0 的模式進行分析，若欲針對水資源中豐增枯減的問題，則是可以選擇 a1b-csiro-mk3-5 與 a1b-mri-cgcm2-3-2a 此兩個模式進行分析，其中又以 mri-cgcm2-3-2a 模式在 A1B、A2 及 B1 情境下其豐枯水期降雨特性一致都屬於第四類豐增枯減，故使用者挑選此 Mri-cgcm2-3-2a 模式進行分析，衝擊結果將會較一致屬於豐水期雨量增加枯水期雨量減少的趨勢，但不同排放情境下則會有不同程度上的衝擊。

表 3.6 東亞季風表現佳且網格點的變化具有空間一致性的 GCM 模式

類別	情境與模式名稱
第一類 全年多雨	a1b-csiro-mk3-0
	b1-gfdl-cm2-0
	b1-mpi-echam5
第四類 豐增枯減	a1b-csiro-mk3-5
	a1b-mri-cgcm2-3-2a
	a2-miroc3-2-medres
	a2-mri-cgcm2-3-2a
	b1-csiro-mk3-5
	b1-mri-cgcm2-3-2a

3.1.3 模式挑選之建議

依使用端需求挑選模式有以下建議：

- (1) 十三個流域範圍內之網格點，依據豐枯水期平均降雨特性之分類，其中有 73 個 (57%)GCM 模式的結果特性，流域內網格點都落在同一類別，空間分佈具有一致性。
- (2) 兩個推估時段三個情境下共 128 個 GCM，其中屬於第四類的模式最多，共有 47 個 (37%)，故多數的 GCM 模式是呈現豐水期雨量增加而枯水期雨量減少的特性。
- (3) 豐枯水期平均降雨特性在空間一致性且兩個推估時段亦一致的模式，共有 12 個 GCM 模式可做挑選。
- (4) 依據東亞季風特性挑選的九個 GCM 模式，其中 mri_cgcm2 與 csiro_mk3_5 兩個 GCM 模式，在十三個流域中的所有網格點的豐枯水期平均降雨特性是一致，且 mri_cgcm2 模式在近未來的時段 A1B、A2 與 B1 三個情境下，都屬於第四類的豐增枯減特性。而 csiro_mk3_5 在 A1B 與 B1 情境下是屬於第四類，在 A2 情境下屬於第三類的全年偏乾特性的模式。
- (5) 依據東亞季風特性挑選的九個 GCM 模式，在十三個流域中其中 ingv_echam4 模式則是空間一致性最低的模式。

3.2 氣候變遷氣象資料之衍生

由 TCCIP 團隊利用統計降尺度技術產製降尺度資料後，尚因此資料仍無法滿足日資料應用端需求，故本團隊利用學界發展出隨機天氣衍生器 (Weather Generator，WG) (Richardson,

1981)，衍生測站之與歷史觀測資料有著近似統計特性的長期合成序列氣象資料，以提供使用端逐日的未來天氣時間序列資料。天氣衍生器從 20 世紀 50 年代開發 (Racska et al. 1991)，其衍生資料所使用常見的運算技術有馬可夫鍊 (WGEN) (Richardson & Wright 1984) 與經驗分佈 (LARS-WG) (Semenov & Barrow 1997)。

在天氣衍生器優化方面，由於國內外氣候變遷研究中甚少針對 2 日以上長延時暴雨進行衝擊評估分析，因此 TCCUP 研究團隊基於臺灣特殊長延時 (2 日以上) 之暴雨特性，以及相關研究實有不足之現象，發展長延時 (2 日以上) 日降雨之衍生器優化模式，進而可做為後續進行氣候變遷長延時降雨之洪水衝擊研究，以供下游端進行各種氣候變遷衝擊評估之用。

本研究之研究架構如圖 3.11，衍生並校驗兩種衍生模式之未來逐日資料，結合氣候變遷情境資料之下，衍生資料案例分析得以用於農糧、水文、經濟、公衛等各領域之調適與風險評估。



圖 3.11 研究架構

延續 TCCIP 統計降尺度資料之踵武，結合天氣衍生器 (WG) 即能產製全台灣在未來氣候變遷下之評估資料。衍生資料先以基期 (1980~1999) 資料作校驗，基期資料取自 TCCIP 全台灣均一化五公里解析度網格資料，mapping 於統計降尺度 25 公里網格最近點，另外建立 GCM 情境檔，包含 A1B、A2、B1 情境下，台灣 75 個網格點之 24 種、21 種、19 種 GCM 情境衍生近未來 (2020~2039) 與世紀末 (2080~2099) 資料作呈現，故以 A1B 為例，共包含 75 (測站) × 24 (GCM 模式) × 2 (近未來、世紀末) 衍生 3600 筆 20 年時間序列之日資料，得到全台 75 處衍生資料，WGEN 資料衍生亦衍生 3600 筆 20 年資料與基期資料，由於本研究使

用 LARS-WG 資料，故以 WGEN 為校驗資料，說明研究使用 LARS-WG 的可行性與優勢，並依統計結果以案例方式呈現，擬供後續使用端使用。

3.2.1 LARS-WG 模式描述

LARS-WG 天氣衍生器是由英國洛桑實驗室開發的隨機天氣衍生模式，現今英國發布之 LARS-WG 模式已修改為適合台灣地區氣候特性的通用版本。LARS-WG 天氣衍生器利用累積概率分佈函數 (probability distribution function, PDF) 定義半經驗分布模型 (semi-empirical distribution, SED) 模擬降雨與乾濕序列，乾季或濕季的長度，是從乾或濕季半經驗分布函數隨機選取，氣溫模擬配適依據高斯曲線，其公式為：

$$E_{MP} = \{a_0, a_i \cdot h_i, i = 1, \dots, 10\}$$

日最高溫度與最低溫度是以乾/濕序列下的日溫度平均與標準偏差隨機產生，本模式假設觀測數據的平均值在一年中的乾期與濕期為常數。季節週期依高斯分布；月平均和標準偏差以傅立葉級數 3 階近似和常態分佈的殘差擬合，觀測殘差值可從觀測值調整平均項，用以分析最高與最低溫度的時間自相關，最低和最高溫度殘差預設值為 0.6 互相關，再利用傅立葉級數校正各月最高溫與最低溫的觀測值 (Racska et al. 1991；Semenov & Barrow 1998)。

3.2.2 WGEN 模式描述

WGEN 模式是將 GCMs 推估的月雨量到日雨量，日降雨量之模擬主要分為兩部分：(1) 利用乾濕日移轉機率決定降雨與否，降雨發生過程（判斷是乾天或是濕天）利用馬可夫鏈模式 (Markov chain) 評估；(2) 利用機率分布決定濕日降雨量之多寡，在濕天的降雨總量的決定，則是在一個適當的統計分佈隨機抽樣以獲得降雨總量，如指數分佈 (Exponential distribution)、韋伯分佈 (Weibull distribution)、伽瑪分佈 (Gamma distribution) 分佈等。藉由不同隨機亂數種子 (random seeds) 大量的序列資料便可產生，產生的序列資料與原始資料具有相同的統計特性，以檢定該統計模式。WGEN 模式的分析流程通常是先產生降雨序列，其他氣象資料的序列則是藉由與降雨之間的統計相關，針對乾天與濕天則是分別建立不同的統計關係。天氣合成模式過去的研究曾應用指數分佈 (Tung and Haith 1995；童慶斌等人，2007) 與韋伯分佈 (吳至剛，2000) 兩種機率分佈特性決定降雨量的多寡。

3.2.3 模式校驗

使用 LARS-WG 天氣衍生器衍生基期資料，資料運算之矩陣排列與校驗分項如圖 3.12，取輸出之二維資料以基期長度乘上 30 日之日資料由大至小作排序，衍生 N 倍資料形成矩陣

第三維，取三維矩陣中之最大值資料作衍生與觀測資料比對，為觀察衍生次數與觀測值統計特性。

資料衍生是否能重現基期統計特性與極值部份，關乎其演算方式與理論，故解釋或應用衍生資料上，更需謹慎驗證天氣衍生器於當地之適用與否。在本研究中，加入 LARS-WG 與 WGEN 基期校驗，由於 WGEN 為常見之天氣衍生器，發展時間亦長，應用領域極廣，故先以基期加以比較兩種模式間差異，圖 3.13 則顯示五大流域之降雨 CDF 圖，可見歷史基期與 LARS-WG 在資料衍生上，雙尾部份配適良好，而 WGEN 相較 LARS-WG 則明顯偏誤情況發生。

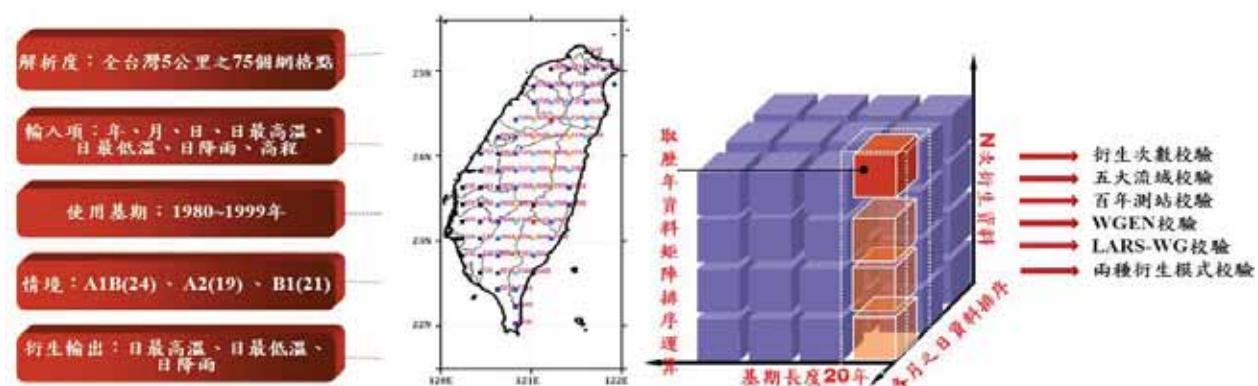


圖 3.12 衍生資料網格與矩陣校驗

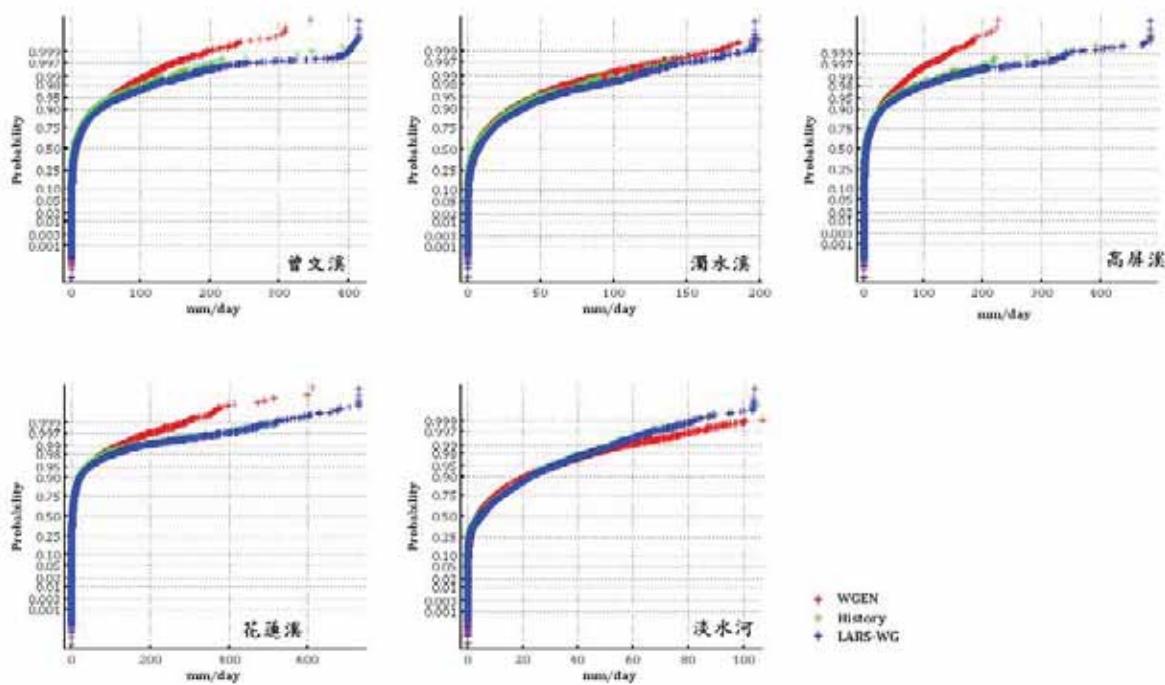


圖 3.13 五大流域降雨 CDF 圖之基期資料、LARS-WG 與 WGEN 比較

為求全球氣候變遷下之全台未來氣候變遷情形，本研究以全台網格模擬後，以台灣（五公里網格點日資料）為例，利用 LARS-WG 與 WGEN 輸入 GCM 之 A1B 情境下 24 個模式資料之月降雨改變率如圖 3.14 與圖 3.15，圖 3.14 與圖 3.15 之上排兩張小圖分別表示 2020-2039 之 GCM 之 A2 情境下 24 個模式資料極端值之中位數（左），與 2080-2099 之 GCM 之 A2 情境下 19 個模式資料極端值之中位數（右），圖下排兩張小圖分別表示 2020-2039 之 GCM 之 A2 情境下 24 個模式資料極端值之 IQR (Interquartile Range) 值（左），與 2080-2099 之 GCM 之 A1B 情境下 24 個模式資料極端值之 IQR 值（右），可以發現 LARS-WG 資料之全台降雨分布型態為西部少雨，東部及南部地區極中降雨，與 MRI 動力降尺度之降雨預測分布相似。而 WGEN 之降雨在近未來台東（綠色圈）與宜蘭地區（紅色圈）極端值中位數高於當地統計降尺度之氣候預測甚多，台東地區之極端降雨也存在空間上的不均勻，且台灣多處近未來降雨遠大於世紀末時期，明顯與輸入之統計參數相去甚遠，是故本研究以 LARS-WG 做為時間降尺度之參考工具。

3.2.4 天氣衍生器優化—發展長延時日降雨

我國受颱風之影響，降雨特性明顯與國外不同，不僅單一場降雨事件之總雨量可能高達 1000~2000mm (高於各國一年之總降雨量)，另外在長延時 (24 小時以上) 強降雨事件之發生，也是國外鮮見。國內外氣候變遷研究中甚少針對 2 日以上長延時暴雨進行衝擊評估分析，此外，常使用之天氣衍生器 (weather generator, WGEN, WG) 也未見有針對 2 日以上長延時暴雨之模擬效益評估，因此本研究基於臺灣特殊長延時 (2 日以上) 之暴雨特性，以及相關研究實有不足之現象，本研究之目的設定為發展長延時 (2 日以上) 日降雨之衍生模式，進而可做為後續進行氣候變遷 2 日以上長延時降雨之洪水衝擊研究。研究定位如圖 3.16 所示，可歸類於氣候變遷研究流程中 (1) GCM 輸出資料、(2) 降尺度技術、(3) GCM 資料應用，三個步驟之第二流程，屬於使用 GCM 空間降尺度後之資料，搭配天氣衍生器繁衍降雨序列，以供下游端進行各種氣候變遷衝擊評估之用。

衍生器優化之研究流程包括：

1. 進行 WGEN (Weather Generator) 演算理論之文獻回顧，評估常見之天氣衍生器(WGEN)是否於學術理論上能符合並重現 2 日暴雨之統計特性；
2. 編寫 WGEN (weather generator) 之 matlab 編程；
3. 進行 copula 法多變數衍生流程之文獻回顧，並使用 copulas 法改善 WGEN 不足之處，重新改版 WGEN 並編寫新 WGEN_copula 之 matlab 編程；研究資料為中央氣象局 25 個 (紀錄年限長達 30 年以上) 局屬測站之日雨量紀錄。

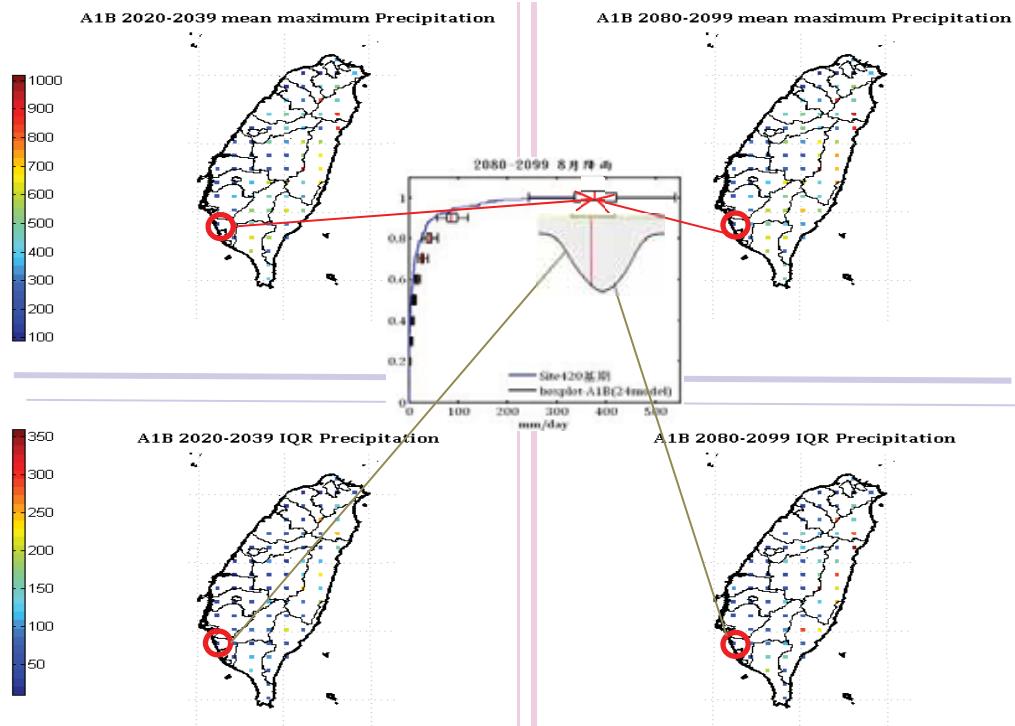


圖 3.14 A1B 情境，近未來與世紀末極端日降雨之 24 組 GCM 中位數與 IQR 值 (LARS-WG)

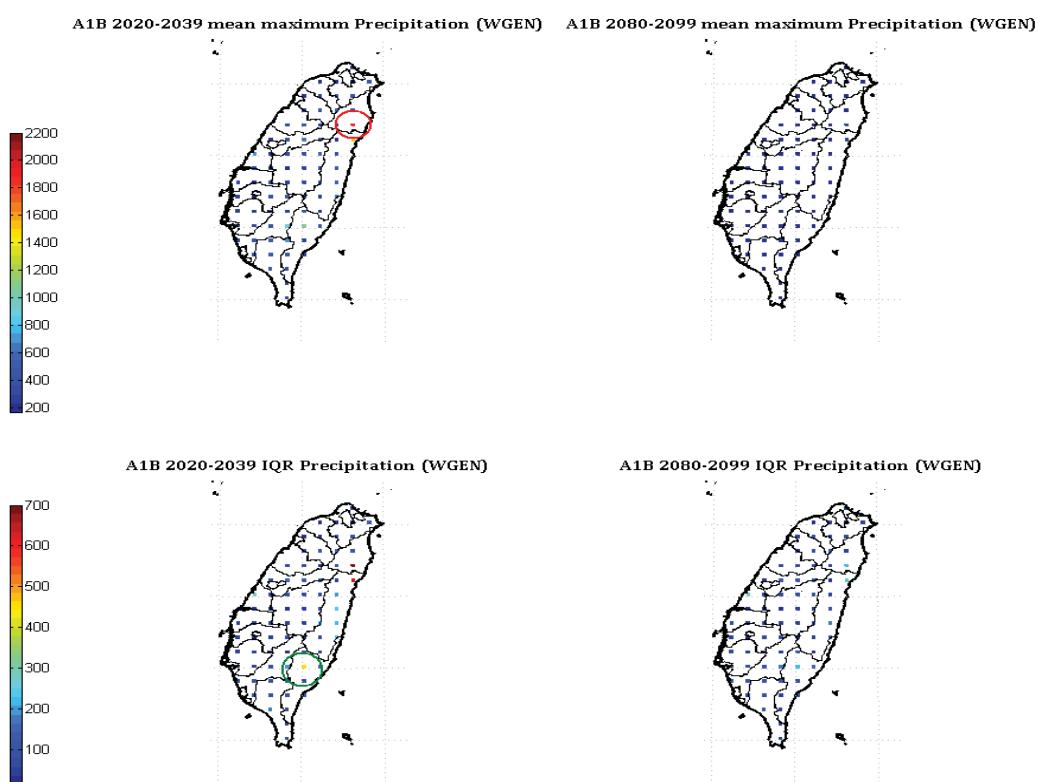


圖 3.15 A1B 情境，近未來與世紀末極端日降雨之 24 組 GCM 中位數與 IQR 值 (WGEN)

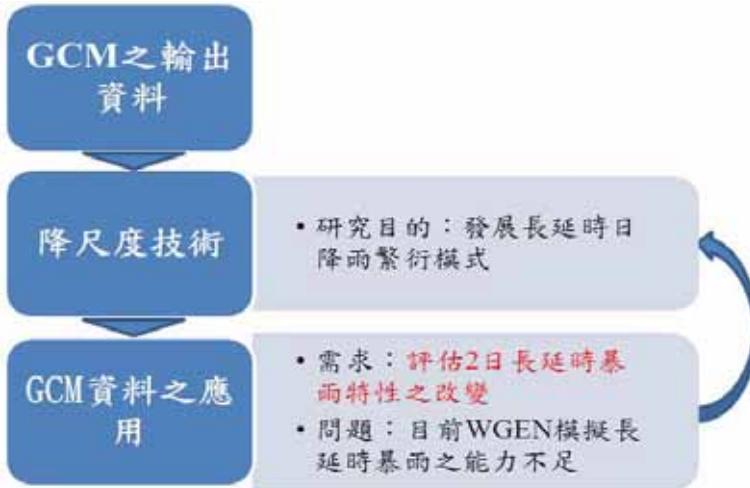


圖 3.16 研究定位示意圖

本研究提出之連續長延時日降雨 WGEN，其流程可分為兩階段，第一階段繼承 WGEN 使用一階馬可夫歷程衍生乾溼日序列，第二階段濕日之降雨量衍生則以 copula 法進行連續雨日之多變數降雨量模擬取代舊版 WGEN 使用單變數（假設連續降雨量多變數互相獨立）Weibull 或 exponential 分布進行降雨量衍生。

氣候變遷研究中最常見之天氣繁衍器包括 WGEN 與 LARS-WG，兩種 WG 相同處包括：

(1) 兩段式降雨模擬策略：先決定乾濕日再繁衍雨天之降雨量；(2) 降雨量大於 0mm 即為雨日；(3) 以月份為降雨模擬之基礎；(4) 相鄰兩雨日之雨量無設定相關性。WGEN 於乾濕日之決定乃取自一階兩狀態馬可夫鍊機率轉移矩陣，而 LARS-WG 則決定於連續乾日與連續雨日之交替繁衍程序，在每個月的日降雨量模擬參數量上，WGEN 之參數隨機率分佈之不同，可能為 1~2 個參數，而 LARS-WG 之日降雨量模擬採用半經驗機率分布 10 個區間，共 21 個參數，就參數複雜度而言，LARS-WG 約 10 倍於 WGEN，就重現歷史日降雨量累積機率分布之能力而言，LARS-WG 理論上應該優於 WGEN。

兩種天氣繁衍器均強調日降雨之機率分布適宜性，對於前日降雨與當日降雨之相關性均被忽略，故於學術理論上兩種天氣繁衍器均假設前日降雨與當日降雨互為獨立事件，無法重現觀測紀錄中 2 日暴雨之關聯性。本研究重新編寫 WGEN (matlab 語法) 程式，以作為後續改版 WGEN 之基礎，並編寫 Copula 多變數衍生法的程式，兩個衍生方法的結果亦經過詳細的衍生參數比較，結果顯示演算法得忠實重現輸入之統計參數，詳細的驗證資料請見附錄三，此衍生器優化的技術期待可改善長延時降雨資料衍生的品質。

3.2.5 WG 資料應用與案例分析

本研究利用衍生出的每日天氣時間序列應用於各領域以案例方式呈現。利用 LARS-WG 產製之未來氣候變遷時間序列資料已被證明適用於世界各地，本研究以案例分析的方式，依使用端需求產製統計分析資料，各使用端包含經濟、工程、農糧、水文、坡地、公衛等，如圖 3.17。



圖 3.17 未來氣候時間序列用於各領域之統計分析

(1) 年、月最大降雨 (經濟、工程應用)

首先以經濟使用端為例，蕭代基等(2007)利指出決策者通常需要知道每年發生最大規模的單一事件為何，建立的防洪工程規模必須抵禦此最大規模事件。在未來氣候變遷下之災害度的工程分析上，使用端可用統計降尺度之衍生降雨時序列資料，做為計算氣候變遷洪災事件的代表因素，並進行降雨的頻率分析。此處可藉由衍生之每年 24 小時累積雨量極大值的樣本估計一般化極端值分布 (generalized extreme value distribution)，即可推估未來在不同規模的豪大雨之發生機率、頻率或重現期距，再藉由結合受體存量模組、易損性分析模組進行易損性分析 (如 TCCIP 團隊所使用之 SOBEK 模式)，我們可得知不同降雨特性下的淹水潛勢與影響的資訊。

以臺南地區為例 (測站 420)，依據衍生資料之各月與各季劃分該月該季之極端降雨之 ECDF (Empirical Cumulative Distribution) 圖，如圖 3.18，皆為 A1B 情境下之世紀末 24 個 GCM 模式模擬結果，圖中綠、紅、黃、藍方框分別表示春、夏、秋、冬四季，圖中盒鬚圖為 10%、

20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%之 A1B 情境 24 組 GCM 在世紀末之降雨極值，盒鬚上下限為 0 與 100，盒子分別為四分位，盒中紅線為中間值，其中鬚線表未來降雨之可能性，也可視為其不確定性分布。

以六月降雨為例，倒立分布小圖示表 24 個模式之最大降雨(100%)之日資料分布情形，而圖中五月、七月、八月、九月、十月之紅色圈線可以看出在 A1B 的 24 個模式中，世紀末之豐水期月最大降雨皆高於基期，其中以十月差距最大；另外，從圖中十二月、一月、三月之藍色圈線可以看出枯水期則為減少趨勢；且由座標軸可見台南地區之夏季降雨量約在冬季降雨 10 倍左右，冬季降雨有嚴重短少趨勢。

圖 3.18 A1B 情境之各季與各月 24 組 GCM 於世紀末之降雨累積 CDF

(2) 热浪 (農林漁牧、公衛應用)

以農糧使用端為例，如圖 3.19，首先挑選嘉南平原之臺南網格 (420)，再依歷年台灣地區稻作生育情形旬報表之臺南市資料做為參考依據，旬報表顯示臺南地區在五月上旬與中旬為一期抽穗，在九月下旬與十月上旬為二期抽穗，抽穗後 15 天左右為充實期，據研究顯示，台灣大多栽培溫帶型的梗型水稻，其充實期適宜的生長溫度為 26 度 C 以下，此時如遭遇高

• 114 •

溫甚至是連續數日高溫，將會使不良率或是稻米之空包彈增加，如未熟米率增加等（盧虎生，2004；鄧清倫，2012）。將衍生後的日時序資料做連續高溫日數評估之 ECDF 圖，並判斷抽穗後兩旬均溫高於 26 度 C 之連續日數，做為未來氣候變遷環境下稻作風險評估，如圖 19 結果顯示，近未來與世紀末於充實期高於臨界溫度 26 度 C 將有增高趨勢，日溫度超過 26 度 C 之日高溫比起歷史記錄增加 10 %左右，且充實期遭遇連續高溫機率明顯上升，且連續高溫日數亦明顯增加，尤以五月下旬與十月下旬之連續高溫日數顯示該月有跨旬連續高溫的可能。促進或減緩農作物生長的因子，主要是以氣象環境為主，關鍵氣象變數以降雨、溫度和太陽輻射量三者為主。降雨致使土壤水分直接影響產量，不論是因豪雨而造成淹水，或缺水而使作物乾枯；溫度影響作物發育的速率與良率，可由此推估作物生育階段；太陽輻射量則影響碳水化合物分配和生質量(biomass)累積(姚明輝，2005)，故於 TCCIP 第二期計畫中，TCCIP 團隊將會依據農糧領域使用端開發相關衍生資料。

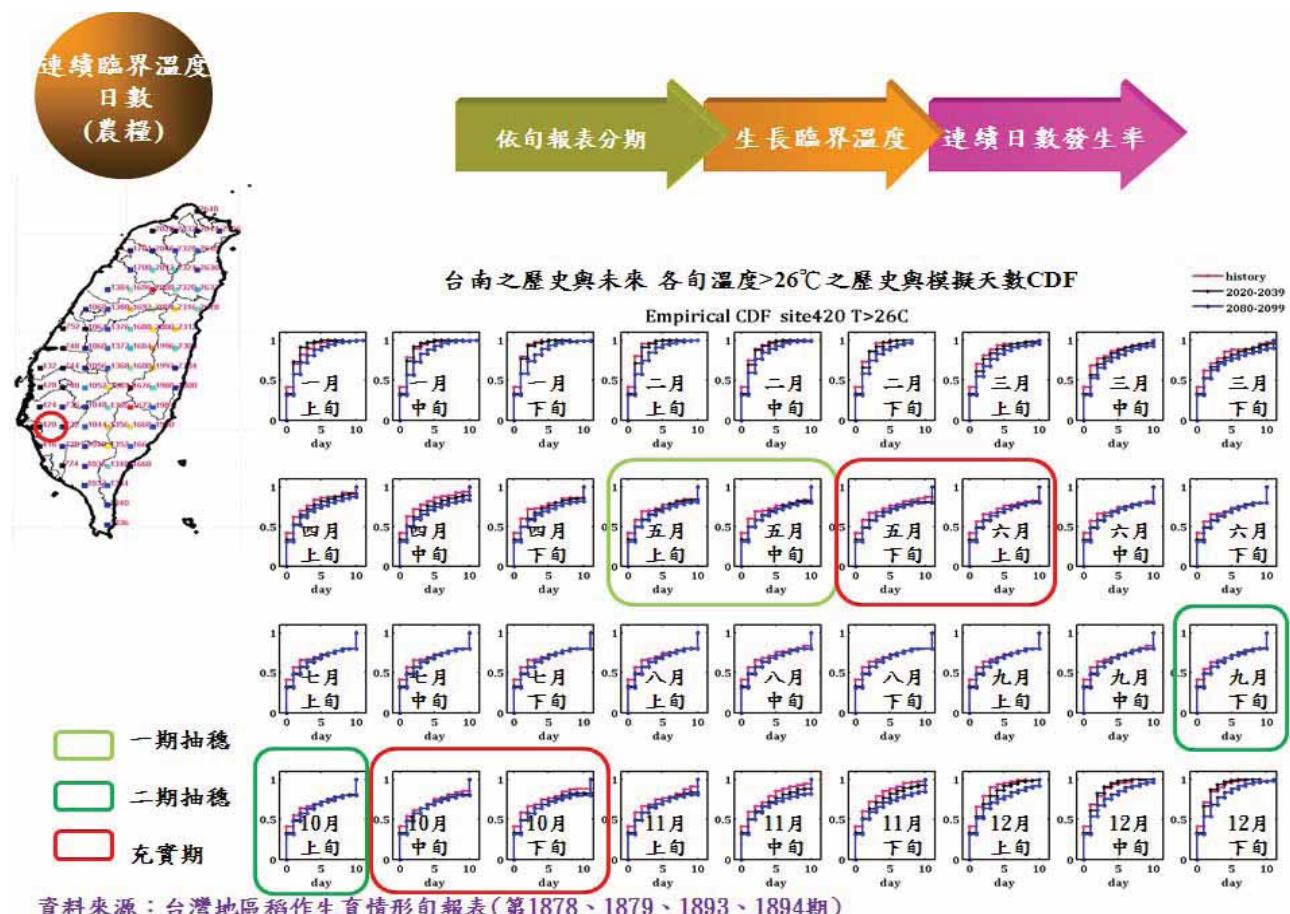


圖 3.19 充實期臨界溫度 (26°C) 於未來氣候變遷下，A1B 24 組 GCM 各旬臨界日數之中位數累積 CDF，以臺南為例。

(3) 連續最大不降雨日數（農糧、水文應用）

以石門水庫集水區為例（圖 3.20），石門水庫集水區以淡水河上游之大漢溪流域為其主流，行政區跨大溪、龍潭、復興三鄉鎮，原建庫主要標的為灌溉與防洪，目前其調節供應公共給水之功能益形重要，並達年發電量 2.3 億度。

本研究選定 5 個 TCCIP 五公里解析度之均一化網格，分別是編號 2008、2012、2016、2324、2328，投影至鄰近 25 公里解析度網格（編號位置 164、177、178、190、191）。對於石門水庫集水區在未來氣候變遷情境下模擬連續不降雨日數，本研究利用 GCM 分析 A1B 情境 24 種模式資料，圖 3.20 顯示最大不降雨日數較歷史基期增加近三成，其中在石門水庫集水區西側達到 78 日，尤以水庫庫區與玉峰溪、鎮西堡（泰崙西）一帶，連續不降雨日數較歷史紀錄呈倍數增長。整體而言，較過去研究資料相比，發生小旱的機率日增，對於農業用水與發電。

發電量而言，使用端建立水庫實際操作模式後，在 GCM 之 AR4 模式尚未發布之前，一般是以代入歷史流量記錄資料與 100 年之合成流量資料進行模擬操作，以使各給水區之缺水量最小及電廠放水量最大為目標函數，並考慮缺水之比例應與現行水庫當局減供水量之比例相同（蘇明道，2006），而本衍生資料可提供使用端使用 GCM 模式衍生資料取代合成流量所輸入的預測雨量資料，代入水庫操作優化模式中，俾使運算結果更貼近未來氣候變遷情境之變異情形。

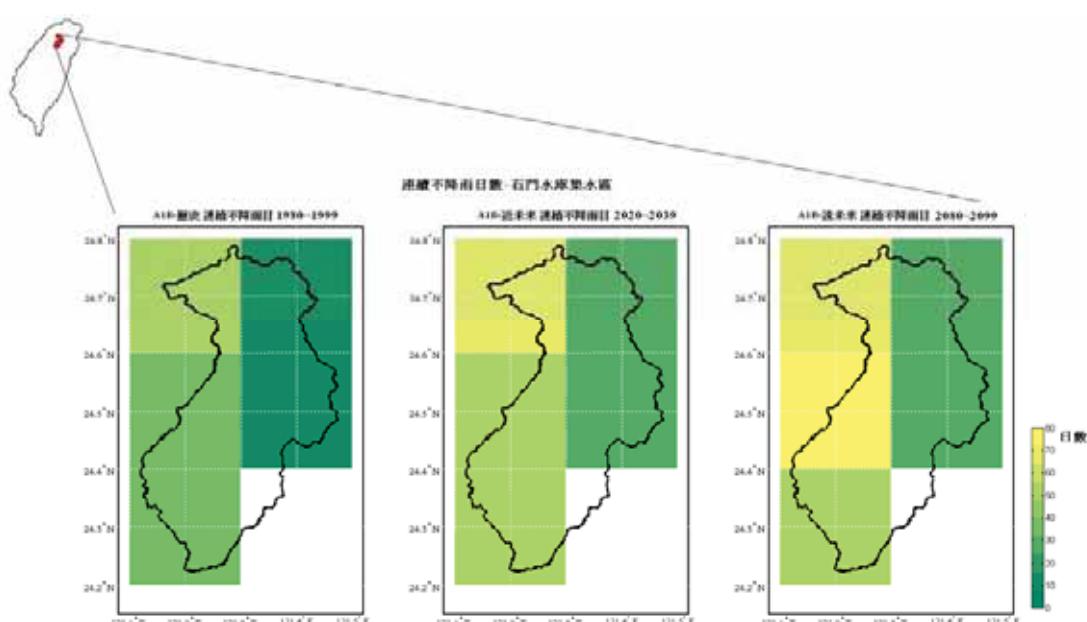


圖 3.20 石門水庫集水區於 A1B 情境下全模式預測未來連續不降雨日數

3.2.6 天氣衍生器研究結果與建議

本研究利用 LARS-WG 與 WGEN 兩種天氣衍生器進行校驗，校驗得知在時序資料夠長的前題下，長時間基期衍生資料其二十年與百年資料重現性並無顯著不同，另外依據六地百年測站、五大流域、全台極端降雨分佈之氣象資料衍生資料校驗，結果證明 LARS-WG 天氣衍生器對於台灣氣候資料衍生相較於 WGEN 有良好的配適性。

在天氣衍生器優化方面，本研究已完成 WGEN (exponential & WEIBULL) 之編程，並使用 CWB 測站之紀錄進行 WGEN 之天氣衍生，實證月最大 2 日暴雨之觀測值與 WGEN 之衍生值，有明顯差距，另外本研究針對傳統天氣衍生器連續降雨之雨量互為獨立之問題，使用 normal copulas 法重建連續降雨之雨量為多變量相關，並完成新版 WGEN (exponential & WEIBULL) 之編程；使用 CWB 測站之紀錄進行新版 WGEN 之天氣衍生，可實證新版 WGEN 衍生資料連續降雨之雨量，其相關性可忠實重現，而年最大 2 以及 3 日暴雨之觀測值與新版 WGEN 之衍生值比較上，有明顯改善舊版 WGEN 之低估現象。

最後，利用天氣衍生器台灣全區衍生未來氣候之三種情境下 GCM 模式資料天氣時間序列與台灣全區極端雨量分布情形，以 A1B 之所有模式結果為例，應用於年月最大降雨、熱浪、連續不降雨日等，一窺氣候變遷下未來天氣統計特性，對於生態、農糧、水資源、公衛與調適策略等跨領域應用具參考價值，衍生之資料與操作方式集結成冊，期佐社會產、官、學等層面之應用分析饗各方參酌。

3.3 使用者溝通及資料服務

自 TCCIP 計畫第二年起，陸續都有不同領域之研究團隊申請，計畫辦公室以單一窗口接受申請，依申請者需求提供專人諮詢，通過溝通確實了解使用需求。雖已於 101 年 10 月 25 日舉行過「台灣氣候變遷科學報告使用與資訊應用說明會」，但研究單位申請資料時，仍對資料產製過程、格式與可應用性等應用細節仍有不清楚的地方，透過溝通更能使雙方對於資料的應用達到最佳的效果。目前申請的資料有應用於防災、氣象、水文、生態、農業、公衛、經濟及其他相關性領域，主要開放學校或學術機構及公務機關申請，例如：學校或學術研究機關執行國科會計畫或跨單位研究、公部門研究單位等；暫不提供個人研究需求之申請案。截至目前為止，共接受 20 件資料申請案(詳細的申請案件列表請見附錄七)，後續將追蹤申請者應用於研究計畫上之貢獻，期能提供資料使用之經驗、問題以及研究成果等回饋，使 TCCIP 計畫於資料提供上，能有更完善的服务。

3.4 資訊平台網站更新

100~101 年 TCCIP 資訊平台持續進行介面微調更新及網站維護的工作，101 年度主要增加網格化資料展示介面及增加 TCCIP 資料服務說明頁面，詳細說明如下：

(1) 網格化資料展示頁面建置

網格化資料是計畫團隊所產製之 1960-2009 年全臺 1 公里及 5 公里降雨、溫度、最高溫及最低溫之網格化資料，為展示其成果，101 年度開始建置展示頁面，內容包含資料說明、空間分佈及時序變化，其中空間分佈可查詢參數（雨量、溫度、最高溫、最低溫）、時間（1~12 月、四季）、年份（1960~2009）圖片資料，於選單選擇指定項目後，展示圖片（圖 3.21）；時序變化可查詢參數（雨量、溫度、最高溫、最低溫）、區域（北中南東、縣市、流域），於地圖或是選單選擇指定項目後，展示時序資料（圖 3.22）。

(2) 資料申請說明頁面建置

資料服務是 TCCIP 計畫的重要工作項目，其目的是提供 TCCIP 計畫所產製之資料給研究計畫及政府單位使用，因此需有一可提供資料清單及申請方法的網頁，提供需要資料的計畫或單位來申請，因此本年度將 TCCIP 資訊平台網站中資料使用說明的內容改為資料申請的入口頁面，內容包含可提供項目清單、聯絡方式及使用注意事項等，方便使用者申請資料。（圖 3.23）

(3) 臺灣月降雨指數(TRI)資料下載服務及說明

TRI 也是由團隊所產製的資料之一，其為提供研究者一個方便處理且具有區域整體降雨特色的雨量觀測指標。產品包含 TRI-d (日降雨指數)、TRI-m (月降雨指數)、TRI-dex (日降雨指數延伸)、TRI-mex (月降雨指數延伸)。為讓使用者可充分使用這筆資料，在網站上開放下載全臺平均月降雨指數的部分，並提供詳細資料產製說明文章。

(4) 更新網頁連結區相關資料

- ◆ 更新研討會相關消息：增加 2011、2013 年氣候變遷國際研討會相關訊息，公告台灣氣候變遷科學報告使用與資訊應用說明會會議資訊（目的、主辦單位、舉辦日期、舉辦地點、執行單位、議程及簡報下載）。
- ◆ 上傳團隊發表文章：上傳台灣氣候變遷科學報告 2011、TCCIP 第二年期末報告、莫拉克颱風科學報告及臺灣降雨指數 (TRI) 的建立與其分析應用等文章。
- ◆ 更新最新消息、氣候變遷相關新聞及 2011/2013 氣候變遷國際研討會官方網站連結。

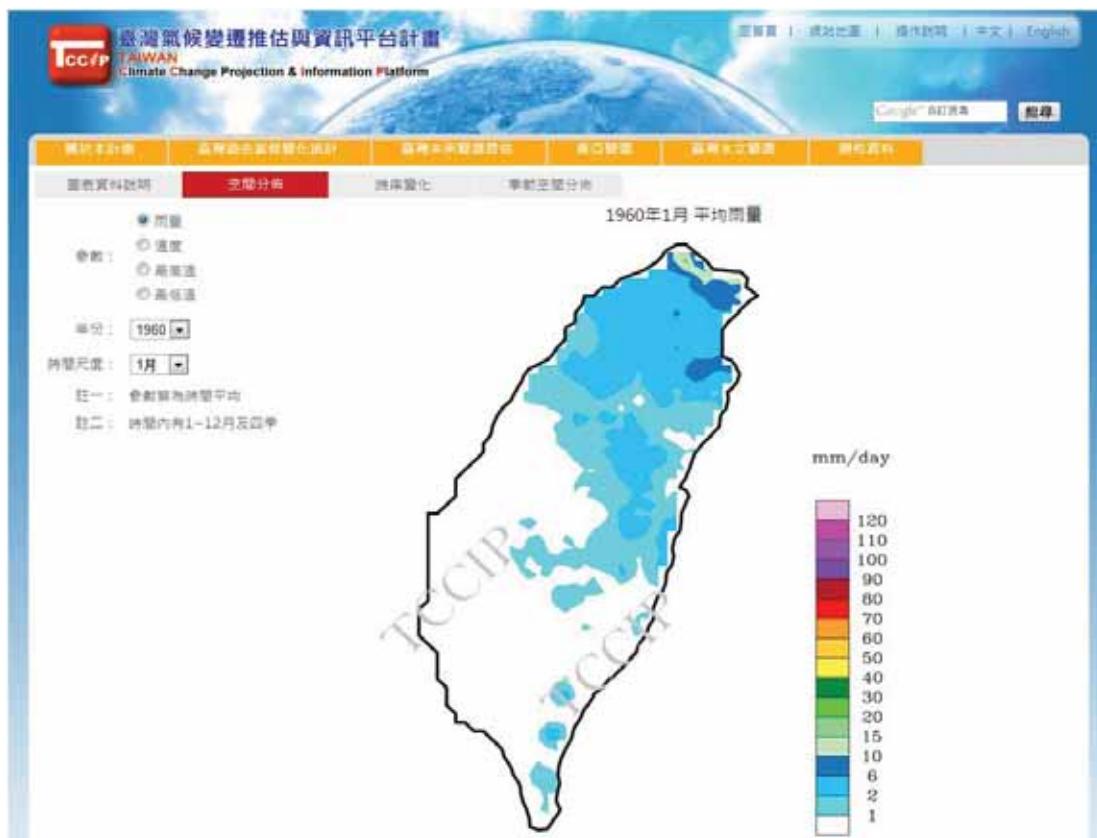


圖 3.21 網格化資料空間分佈頁面



圖 3.22 網格化資料時序變化頁面



圖 3.23 資料服務說明頁面

3.5 其他資訊服務

對於資料應用端的服務除了上述因應水文領域應用需求的情境設定、氣象資料衍生，為資料使用者建立資訊平台、提供資料及使用說明等，計畫團隊也辦理了學術研討會、資料應用說明會，並延續上年度科學報告的工作，完成英文版的科學報告摘要。

3.5.1 國際研討會暨成果發表會

氣候變遷的研究需要相關研究領域縱向與橫向的合作，舉辦國際研討會與成果發表會為本計畫為有效地與國際及國內學者溝通的重點工作。本年度的國際研討會會議正式名稱為：2013 International Conference on Climate Change，於 2013 年 1 月 15~17 日舉辦，議程大綱如表 3.7。

考量去年的經驗此次會場選擇可容納 300 人的國家圖書館，也在會議前三個星期才開放線上報名，然而，和去年情況類似，會議開放報名不到 10 天就額滿了。考量會場人數爆增的可能性，臨時增加國家圖書館的 2 間教室，並商請國家高速網路與計算中心協助會場的直播並提供視訊轉播。相關於視頻可於國家高速網路與計算中心知識大講堂網站瀏覽，請參考網址：http://knowledge.colife.org.tw/partner_one_detail.aspx。

表 3.7 2013 International Conference on Climate Change 議程大綱

地點	國家圖書館		集思臺大會議中心	
			蘇格拉底廳	柏拉圖廳
時間	1 月 15 日	1 月 16 日	1 月 17 日	
上午	開幕式	主題二： 氣候變遷推估	國科會 氣候變遷推估與 資訊平台建置計 畫成果發表會	水利署 因應氣候變遷水環 境衝擊與調適計 畫成果發表會
	主題一： 各國氣候變遷計畫 介紹	主題三： 氣候變遷衝擊研究		水利署教育訓練 (不接受線上報名)

會議在陳亮全主任及楊偉甫署長的開場白中揭開序幕，國科會賀陳弘副主任、經濟部杜紫軍次長及內政部李鴻源部長的致詞為此次國際研討會鼓舞，來自美國、澳洲、荷蘭、日本、韓國的 10 位國外學者與雙方計畫各 5 位學者，共計 20 位講者精闢的專業演說則是會議的精華。會議手冊請參考附錄五，亦可於活動網頁（網址：<http://www.ncdr.nat.gov.tw/iccc2013>）下載講者的簡報資料。

1 月 17 日於集思臺大會議中心辦理計畫的成果發表會，就臺灣氣候變遷、降尺度推估以及氣候資料應用與服務四個主題安排 9 個專題報告。會議手冊也請參考附錄五，成果發表簡報亦一併置於活動網頁上。

鑑於過去的經驗，會議開始前總是嘈雜與混亂，便於會前製作短片，簡要的提供講者的個人基本資料以及氣候變遷小常識，在開幕前及午間休息時播放，此舉對於會場的秩序及與會者的情緒確實有些效果，同時也達到了資訊傳遞的效果。

國際研討會的與會人數將近 700 人次，1 月 17 日雙方計畫於集思臺大會議中心分別辦理計畫的成果發表會與會人數也都個別有 120 人次以上；在國網中心的協助下，參與此次會議人數，包含會議現場及線上收看直播的人數，已超過 1400 人次。圖 3.24 為活動期間部份花絮。

1月14日下午，前往會場進行佈置。



1月15日，會議開幕前，與會者陸續到場，照片最左方的工作者人員正進行開幕前的最後準備，貴賓們或認真的閱覽會議資料、或彼此寒暄、交頭接耳，後方座位的與會者們也都準備好了。



報到時間尚未結束，會場內已滿座，不得已，只能請與會者至4樓的旁聽席及教室就座。



中場休息時間，工作人員仍舊忙碌著，與會者互相交流或專心的看著雙方計畫的成果展示海報。原本寬敞的空間瞬間顯得狹窄。



1月17日的成果發表會，參與情況一樣熱烈！



圖 3.24 國際研討會暨成果發表會花絮

3.5.2 資料應用說明會

上年度計畫完成之「臺灣氣候變遷科學報告 2011」納入「國家氣候變遷調適政策綱領」中，為令科學報告及本計畫相關研究成果能正確且充分地應用於各領域推動的重要工作中，且能傳達氣候變遷概念並進行實際操作面之溝通，於 101 年 10 月 25 日辦理「臺灣氣候變遷科學報告使用與資訊應用說明會」。會議手冊請參閱附錄五。

此次資料應用說明會主要服務對象為「國家氣候變遷調適政策綱領」各調適領域之中央部會及地方政府相關業務承辦（或推動）者；為初步瞭解參與本次說明會者對於氣候變遷的認知與資料需求，會議準備期間設計了簡單的問卷（圖 3.25），邀請與會者於會前填寫及回傳。本次問卷有效份數為 57 份，雖然回覆狀況並不踴躍；但仍可供後續相關資料服務之參考。對氣候變遷資料的需求，在時間尺度方面，溫度資料以月資料及日資料為主，雨量資料則以日資料及小時資料為主，風及日照量的需求則以日資料為主；空間尺度方面，依行政區劃分以縣市為大宗，以網格劃分以則 1 公里為最多。對於氣候服務需加強的部份，前三項分別是：氣候衝擊評估及應用方法、跨領域研究人力合作以及氣候資料提供。

此次會議除了安排計畫及科學報告的介紹之外，並對與會者報告計畫產製資料應用於水資源及災害領域的狀況，有利於其思考如何將本計畫產製資料及科學報告所提供的資訊應用於其調適領域。

3.5.3 英文科學報告

上年度完成中文版的科學報告，本年度則以精簡版科學報告為藍本進行編譯，於 101 年 8 月完成英文版科學報告的初稿，訂名為：“Climate Change in Taiwan: Scientific Report 2011 (Summary)”，內容包括前言、總摘要及關鍵議題；經過內容校對、潤稿、文字編修等過程，10 月份定稿及印製，並於 COP 18 會議中發放，對國際宣傳臺灣氣候變遷研究的成果。英文版科學報告內容請參考附錄四。

第四章 結語與未來展望

<p>敬啟者：</p> <p>氣候變遷對於全球與臺灣的影響受到政府與民眾的重視，政府意識到氣候變遷對臺灣的影響可趨嚴重，行政院已於 101 年 6 月 25 正式核定「國家氣候變遷資訊平臺建置計畫」(Taiwan Climate Change Projection and Information Platform, 以下簡稱 TCCIP 計畫) 透過系統性流程與方法產製本地未來氣候變遷推估資料。該計畫由國家災害防救科技中心組織執行，結合中央研究院環境變遷研究中心、中央氣象局及臺灣大學、臺灣師範大學...等科研究者共同合作，針對氣候科學研究、衝擊評估、氣候變遷資訊服務...等工作進行資料產製、技術開發與整合應用。計畫執行以來，已佈置臺灣未來氣候變遷推估資料，建置臺灣氣候變遷資訊平台，完成「臺灣氣候變遷科學報告 2011」，並強化落實氣候變遷資料服務的工作。</p> <p>該科會與經建會預計於 10 月 25 日舉辦「臺灣氣候變遷科學報告使用與資訊應用說明會」，強調科會氣候變遷之相關研究成果與各部門推動氣候行動方案之相關連結與討論，為初步瞭解參與本次說明會者對於氣候變遷的認知與資料需求，煩請填空填答下列問題。感謝您對此次說明會前置作業的協助，謹此 敬祝 工作順心</p> <p style="text-align: center;">「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫」計畫辦公室 2012/09/13</p> <p>一、基本資料</p> <p>1. 服務單位：_____</p> <p>2. 服務單位於政策綱領行動方案的角色： <input type="checkbox"/> 行動方案策劃單位(如：經濟部) <input type="checkbox"/> 承辦單位(如：經濟部能源局) <input type="checkbox"/> 行動計畫執行或受委託單位(如：工研院) <input type="checkbox"/> 地方政府</p> <p>3. 層級一大統工作組(可複選)： <input type="checkbox"/> 災害 <input type="checkbox"/> 生態基礎設施 <input type="checkbox"/> 水資源 <input type="checkbox"/> 土地使用 <input type="checkbox"/> 海岸 <input type="checkbox"/> 能源供給及產業 <input type="checkbox"/> 農漁生產及生物多樣性 <input type="checkbox"/> 健康</p> <p>4. 參與的行動計劃： _____ / <input type="checkbox"/> 服務承辦人員 <input type="checkbox"/> 研究人員 <input type="checkbox"/> 其他_____</p> <p>二、個人對於氣候變遷的想法</p> <p>6. 全球增溫幅度有其地域性的差異，各地增溫幅度(如台灣)有些會較全球平均值大，有些則較小。 <input type="checkbox"/> 非常同意 <input type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不同意 <input type="checkbox"/> 完全不同意</p> <p>7. 全球季節降雨有趨於兩極化的趨勢，亦即乾季越乾、濕季越濕的現象。 <input type="checkbox"/> 非常同意 <input type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不同意 <input type="checkbox"/> 完全不同意</p>	<p>8. 氣候變遷下，全球強烈颱風生成個數有增加的趨勢。 <input type="checkbox"/> 非常同意 <input type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不同意 <input type="checkbox"/> 完全不同意</p> <p>9. 氣候變遷下，全球極端降雪的事件有增多且降雪強度增強的趨勢。 <input type="checkbox"/> 非常同意 <input type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不同意 <input type="checkbox"/> 完全不同意</p> <p>10. 氣候的變化有其自然的擾動(如颱風颶襲)，影響時間有長有短，並非全然與氣候變遷有關。 <input type="checkbox"/> 非常同意 <input type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不同意 <input type="checkbox"/> 完全不同意</p> <p>11. 臺灣地區發生重大災害事件逐年升溫與全球暖化的衝擊有關。 <input type="checkbox"/> 非常同意 <input type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不同意 <input type="checkbox"/> 完全不同意</p> <p>12. 以氣候模式進行氣候變遷趨勢推估是世界主流，但結果仍存在相當程度之不確定性，只能以機率的角度解讀其結果，並作為政策制定的參考依據。 <input type="checkbox"/> 非常同意 <input type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不同意 <input type="checkbox"/> 完全不同意</p> <p>13. 海外氣候變遷資訊無法直接應用於臺灣地區，必須透過某種方式加以轉化(如降尺度)後應用。 <input type="checkbox"/> 非常同意 <input type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不同意 <input type="checkbox"/> 完全不同意</p> <p>三、您承辦業務中，對於氣候變遷資料的具體需求</p> <p>以下分類呈現資料項目，皆可以複選。</p> <p>14. <input type="checkbox"/> 溫度 應用目的: _____ (如:高溫對農作物之影響) 分析指標: _____ (如:高溫日數、平均溫度) 時間尺度: <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日 <input type="checkbox"/> 小時 <input type="checkbox"/> 其他: _____ (可複選) 空間尺度: 依行政區 <input type="checkbox"/> 全島 <input type="checkbox"/> 北中南東 <input type="checkbox"/> 關市 <input type="checkbox"/> 鄉鎮 <input type="checkbox"/> 村里(可複選) 依網格: <input type="checkbox"/> 1 公里 x1 公里 <input type="checkbox"/> 5 公里 x5 公里 <input type="checkbox"/> 25 公里 x25 公里(可複選) 其他: _____ (如:流域尺度)</p> <p>15. <input type="checkbox"/> 濕量 應用目的: _____ (如:乾旱對農作物之影響) 分析指標: _____ (如:不降雨日數、SPD) 時間尺度: <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日 <input type="checkbox"/> 小時 <input type="checkbox"/> 其他: _____ (可複選) 空間尺度: 依行政區 <input type="checkbox"/> 全島 <input type="checkbox"/> 北中南東 <input type="checkbox"/> 關市 <input type="checkbox"/> 鄉鎮 <input type="checkbox"/> 村里(可複選) 依網格: <input type="checkbox"/> 1 公里 x1 公里 <input type="checkbox"/> 5 公里 x5 公里 <input type="checkbox"/> 25 公里 x25 公里(可複選) 其他: _____ (如:流域尺度)</p> <p>16. <input type="checkbox"/> 風 應用目的: _____ (如:氣候變遷對風力發電之影響) 分析指標: _____ (如:十米離岸風速) 時間尺度: <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日 <input type="checkbox"/> 小時 <input type="checkbox"/> 其他: _____ (可複選) 空間尺度: 依行政區 <input type="checkbox"/> 全島 <input type="checkbox"/> 北中南東 <input type="checkbox"/> 關市 <input type="checkbox"/> 鄉鎮 <input type="checkbox"/> 村里(可複選) 依網格: <input type="checkbox"/> 1 公里 x1 公里 <input type="checkbox"/> 5 公里 x5 公里 <input type="checkbox"/> 25 公里 x25 公里(可複選) 其他: _____ (如:流域尺度)</p> <p>六、其他意見與建議： _____ _____</p>
---	---

圖 3.25 資料說明會問卷

第四章 結語與未來展望

4.1 結語

依據 TCCIP 的計畫目標、部會間相關計畫之角色定位以及第一期計畫之推動經驗，TCCIP 計畫所架構與運作之氣候變遷資料與資訊之研究與應用整合平台架構圖 4.1 所示。無論是台灣地區氣候變遷研究與分析，資料交換與加值，政策評估應用之數據與方法提供，或是國際合作與資料交換，以及資料服務與溝通，TCCIP 的研究團隊在三年期間已累積豐富的經驗與使用者網絡，在未來的規劃中，將強化整合平台的能量，將部會資料、科學研究與使用者溝通及服務，在這個平台上持續累積其能量，展現國科會推動此主軸計畫之價值。



圖 4.1 TCCIP 扮演氣候變遷資料與資訊整合平台角色

本計畫的氣候變遷研究計畫的操作模式從第一期計畫開始及嘗試兼顧氣候變遷研究與使用者需求的雙向整合與溝通（圖 4.2），有別於過去所習慣的由上而下（Top-Down）的 IPCC 情境策略，以氣候變遷的情境假設為出發點，下游應用端為單向的被動資訊接受者。在聯合國 UNDP 所建議的世界各國調適政策擬定的架構（APF），乃由氣候變遷衝擊的受體為出發點，以利害關係人（Stakeholders）的角度來界定氣候變遷的脆弱度（Vulnerability）與風險（Risk），

稱為由下而上 (Bottom-UP) 的概念。最近幾年，在氣候變遷的衝擊研究的方法論上，相關領域已逐漸的接受氣候變遷調適策略的擬定必須一方面由上而下瞭解全球尺度的氣候變遷對區域氣候的衝擊影響，另一方面必須由下而上面對本土環境在氣候與環境變遷的可能衝擊面向，界定氣候變遷衝擊之關鍵問題。需由利害關係人與氣候研究學者充分溝通、整合並發展關鍵技術，方能有效提供科學數據與方法協助政府各部門之氣候變遷調適策略研擬。

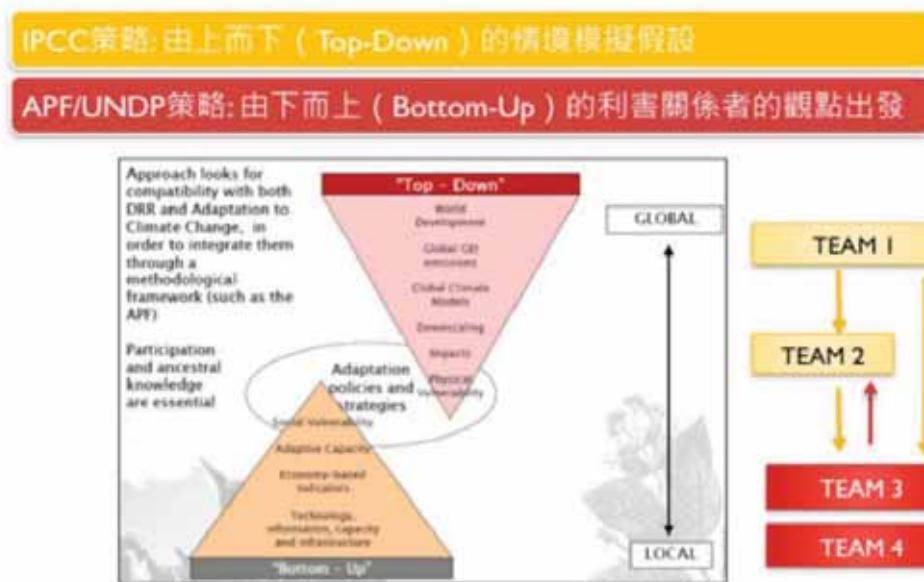


圖 4.2 TCCIP 計畫強調 Top-Down 與 Bottom-up 之雙向溝通示意圖，以及相關工作小組之關聯性。

本計畫第一期計畫不論是在技術研發或資料服務均有豐富成果，主要成果如圖 4.3 所示細項之研發與服務成果如第一章第二節所述。本計畫對於政府部分在執行氣候變遷相關計畫與工作時，亦有相當重要之貢獻：

(1) 臺灣氣候變遷科學報告

- ◆ 協助經建會「氣候變遷調適政策綱領」第二章之內容撰寫（101.6.25 核定）
- ◆ 提供「臺灣氣候變遷科學報告 2011」精簡版給相關經建會等 35 個相關部會約 70 份
- ◆ 完成「臺灣氣候變遷科學報告 2011」英文精簡版翻譯及出版，提供環保署組成之 UNFCCC COP18 官方代表團之相關文宣資料



圖 4.3 TCCIP 第一期主要成果

(2) 科學資料服務

- ◆ 提供水利署「因應氣候變遷之水環境衝擊與調適計畫」之相關氣候科學數據與應用服務
- ◆ 提供氣象局氣象資料數位化、網格化與均一化之相關技術合作與支援
- ◆ 提供超過 11 個政府部門（如經建會、國科會、能源局、工業局、林務局、水保局、農試所、建研所、工研院、中研院、雪霸公園管理局）、40 個相關研究計畫之氣候變遷科學數據與諮詢服務
- ◆ 「氣候變遷推估與資訊平台網站」服務超過 16000 人次（含所有使用者）

(3) 科學知識服務

- ◆ 與經建會共同辦理「臺灣氣候變遷科學報告與資料應用說明會」(101.10.25)
- ◆ 協助經建會地方調適團隊進行氣候變遷科學知識說明與宣導 (102.1.15)
- ◆ 完成「統計降尺度應用手冊」，提供給水利署之氣候變遷研究團隊
- ◆ 與水利署氣候變遷團隊進行氣候變遷資料應用座談會，進行資料應用說明以及水文衝擊應用之情境設定

4.2 TCCIP 未來展望

4.2.1 第二期計畫參與單位與對內對外關係

TCCIP 第二期推動架構類似，但有些微調整之處（圖 4.4），說明如下：

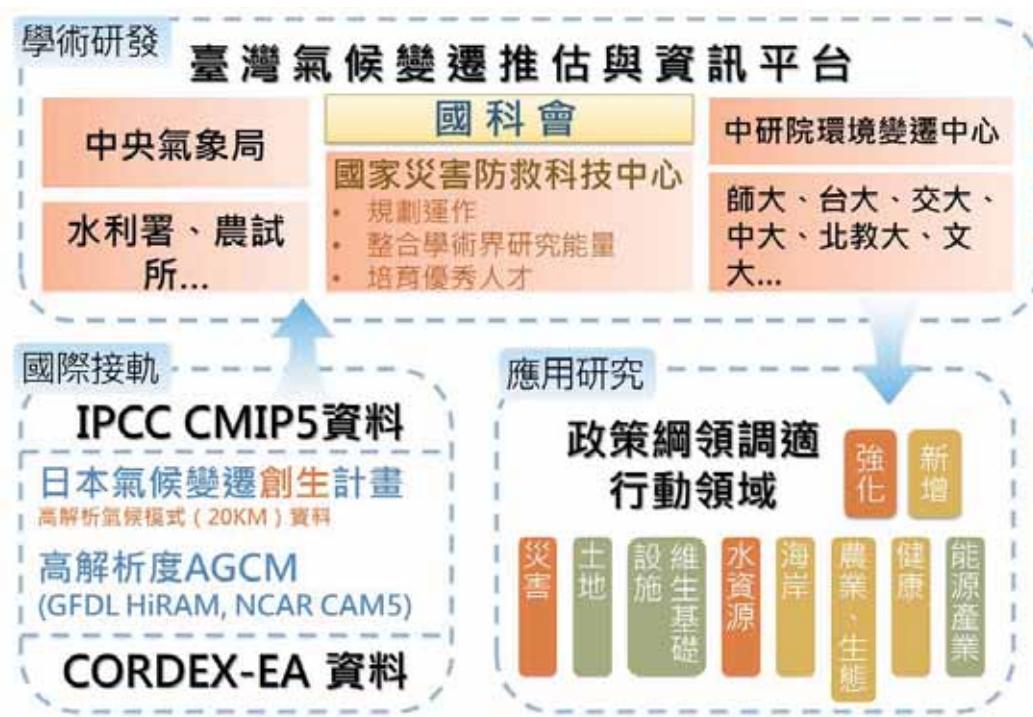


圖 4.4 TCCIP 第二期計畫之參與單位與對內對外關係架構圖

- 在國際合作部分，日本文部科學省的氣候變動革新 (KAKUSHIN) 計畫已改為下一階段之創生 (SOUSEI) 計畫，TCCIP 持續與創生計畫保持合作，日方將持續提供最新版的高解度氣候變遷模擬資料，以及在應用端資料使用經驗與相關技術合作。另外第二期計畫使用之全球氣候模式有別於第一期之 CMIP3 (IPCC AR4) 資料，改以最新之各國氣候中心所產製之 CMIP5 (IPCC AR5) 為主，另增加 WCRP 的 CORDEX-EA 區域氣候模式資料 (由韓國 KMA 及 APEC Climate Center 提供)，而在高解析度模式部分增加 GFDL HiRAM2 (由 CClCS 計畫提供) 以及 NCAR CAM5 高解析度模式資料。外部氣候模式資料遠比第一期增加許多。
- 在國內組成部分，同樣由 NCDR 進行統籌規劃，參與團隊除了原先的中研院、氣象局、台大、台師大..等研究團隊外，在政府部門的合作會加入水利署、農試所相關的合作機制。

- 在應用領域部分，第一期計畫已水部門及災害領域之應用為主，在氣候變遷政策調適政策綱領架構之八大領域下，增加農業、公衛以及海岸之相關資料應用領域與技術發展，其他領域部分將提供資料服務。

4.2.2 第二期計畫四個工作小組分工架構

第二期計畫的整體運作與第一期類似，但增加第四工作小組 (Team4)，構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。四個工作小組之分工關係如及圖 4.5 所示。各工作小組(Team1-Team4)於第二期計畫將強調的方向與重點依序分別為：

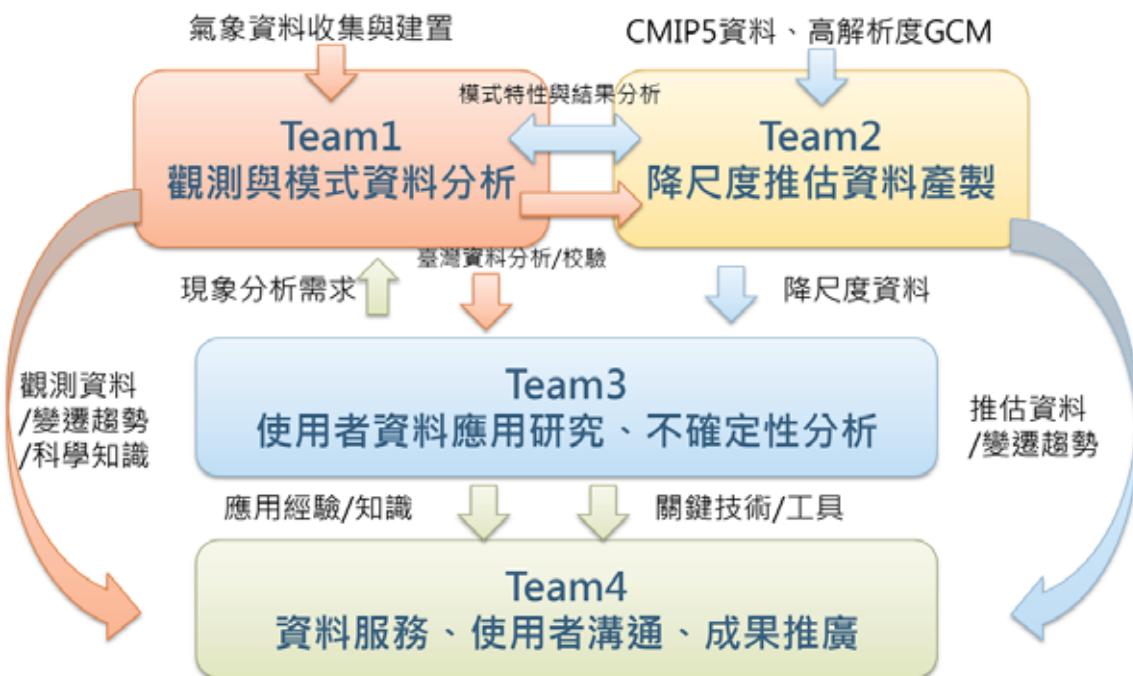


圖 4.5 四個工作小組分工架構圖

Team 1台灣地區氣候變遷觀測與模式資料分析

- 強化台灣地區氣候變遷資料之建置與現象再分析
- 氣候現象評估量表(Phenomenon Metric)建立
- 模式表現評估量表(Performance Metric)建立

Team2 氣候變遷降尺度推估技術發展與資料產製

- ◆ 統計降尺度資料產製與技術研發 (CMIP5、CORDEX-EA 資料)
- ◆ 動力降尺度資料產製與技術研發 (三個高解析度 AGCM)
- ◆ 動力降尺度季節降雨及極端事件變遷原因探討

Team3：氣候變遷資料應用技術發展與研究

- ◆ 深化災害領域之降尺度資料應用技術研發
- ◆ 推廣合作領域至農業、公衛、海岸…等領域，研發降尺度資料應用技術
- ◆ 氣候變遷資料之不確定性分析技術發展

Team4：氣候變遷資料服務與推廣應用

- ◆ 強化科學社群溝通與服務
- ◆ 資訊平台網資料的改版與強化線上服務
- ◆ 第二版氣候變遷科學報告之撰寫
- ◆ 氣候變遷知識轉譯與服務