

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC102-2621-M-492-001

執行期間：102 年 3 月 1 日至 103 年 4 月 30 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、長榮大學職業安全與衛生學系、農委會農業試驗所農業工程組

計畫主持人：林李耀研究員

共同主持人：葉天降副局長、盧孟明研究員、柳再明簡任技正、鄭克聲教授、翁叔平副教授、洪致文副教授、鄒治華教授、黃婉如助理教授、陳正達教授、葉克家教授、林沛練教授、洪志誠教授、涂建翊副教授、陳亮全教授、劉紹臣院士、許晃雄研究員、周佳研究員、林傳堯副研究員、陳韻如助研究員、張志新副研究員、吳宜昭助研究員、朱容練助研究員、于宜強副研究員、陳永明副研究員、劉俊志助研究員、鄭兆尊副研究員、姚銘輝研究員、吳佩芝副教授

協同研究人員：程家平主任、陳圭宏科長、陳雲蘭技正、陳孟詩課長、卓盈旻博士、沈里音科長、陳進益技士、鄭琇嫻技正、江申副研究員、吳亭燁助研究員、黃柏誠助研究員

博士後研究員：魏曉萍博士、朱蘭芬博士、蘇元風博士、陳偉柏博士

中 華 民 國 103 年 4 月

摘要

「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」(簡稱 TCCIP)計畫在國家氣候變遷政策下，扮演著資料產製與應用服務的重要角色，一方面建構臺灣的長期觀測資料與未來推估資料提供給使用者，另一方面建構氣候變遷資訊應用服務的能力與服務平台。TCCIP 的成果產出亦銜接科技部(原國科會)內部的研究計畫(如：CClCS 與 TaiCCAT 計畫)、提供研究成果與資料供相關部會(如：水利署、農委會)、並供國家發展委員會(原經建會)研擬調適政策綱領相關領域行動方案的衝擊研究與調適策略之科學數據與方法所需。氣候變遷議題持續受到世界各國政府的高度矚目與關心，國際主要氣候研究中心亦相繼於 2013 與 2014 提出最新的氣候變遷資料(CMIP5)，為強化國內氣候變遷研究並與國際趨勢接軌，並成為 IPCC 第五次評估報告(IPCC AR5)的主要氣候推估資料來源，TCCIP 第二期計畫(102-104 年)肩負其被賦予之角色，持續提供氣候變遷資料產製與服務之責任。第一年度計畫中，持續進行歷史觀測資料的數位化、均一化，以及網格化資料的校驗，分析主題式的氣候現象，介接國際的降尺度資料，產製臺灣地區之統計與動力降尺度資料。透過跨工作小組的討論，找出下游使用者之需求，建立氣候現象評估量表與氣候模式表現評估量表。由使用者的角度，研發氣候變遷上下游資料推廣關鍵技術，例如全流域防災模擬技術的整合，今年度擴展合作領域至農業與公衛，第一年度的合作中陸續產製其所需之氣候資料，完成未來水稻產量之推估以及未來登革熱流行風險變遷等研究課題。因應新合作領域的需求，已開發降尺度資料應用技術，例如動力降尺度資料的偏差校正、統計降尺度日資料的衍生、統計降尺度時雨量的序率模擬模式等。

第二期計畫新增的第四工作小組，致力於建構資料服務平台，供資料產製者、應用技術開發者、資料需求者以及相關領域之衝擊評估與決策者在此平台上進行氣候變遷資料/資訊/知識的溝通與服務。今年度陸續提供了 19 個研究單位或機構所需之氣候變遷資料(含第一期計畫已提供超過 40 個氣候變遷研究計畫)、完成兩組示範資料的資料生產履歷、辦理 2 場資料說明會/研討會與 1 場氣候變遷推廣活動、翻譯 IPCC 第一工作小組給決策者摘要(IPCC WGI SPM)中文版、建置了 TCCIP 內部溝通分享平台以及 TCCIP 線上資料服務系統，提升對外提供資料的效率。最後統籌協助第二版科學報告一、二冊間編撰工作協調事項及行政庶務，由 TCCIP 及 TaiCCAT 計畫團隊負責氣候變遷的科學及衝擊/調適兩大層面的撰寫，預計 103 年 5 月底完成初稿，9~10 月辦理專家審查，年底提交科技部。

關鍵詞：氣候變遷、TCCIP、氣候服務、IPCC AR5

Abstract

TCCIP (Taiwan Climate Change Projection and Information Platform) plays a critical role in producing climate change data sets and its data service under national climate change policy. The main objectives of TCCIP are two-folds. One is establishing long-term observation data in Taiwan and producing future projection data sets to end-users. The other is constructing climate change information platform for data delivery and service. The TCCIP is the major link between the related research projects in the Ministry of Science and Technology (e.g. CCLiCs and TaiCCAT), and the outputs of TCCIP provide to the major related government agencies such as Water Resource Agency and Council of Agriculture for impact studies. Finally, TCCIP also supports National Development Council for developing Adaptation Policy Frameworks for Climate Change. Recently, climate change remains an important issue in worldwide, and many major climate research centers released CMIP5 data sets from 2013. In order to connect with the worldwide research trend, TCCIP phase II (2013-2015) keep playing the role to produce newest climate change data sets and provide to end-users.

In the first year of TCCIP phase II, we continue to produce digitalized, homogenized, and gridded meteorological data sets; climate change projection data of Taiwan area; high spatial-temporal resolution data sets by statistical downscaling and dynamic downscaling. With many cross-team discussions, we illustrated the Phenomenon Metric for climate studies and Performance Metric for climate model evaluation. From the user's perspective, we proposed a comprehensive river basin assessment model to strengthen disaster-related impact study and extend the application fields to agriculture and public health. In the cooperation, we produced and provided the meteorological data needed on the topics of future rice production estimation and the change assessment of Vector-borne diseases. In the TCCIP phase II, Team 4 aims to improve data services and communication with users from various fields. In the first year, Team 4 serviced 19 requirement of climate change data; completed 2 data producing resumes; hold 2 workshops of data services and one International Workshop; translated WGI AR5 SPM into Chinese; launched new data service website. Finally, Team 4 also helps to organize the writing of "Second edition of the Scientific Report for Climate Change in Taiwan". This Report will be completed in the end of this year and officially publish in 2015.

Keywords: Climate change, TCCIP, Climate Service, IPCC AR5

目錄

| | |
|---|-----------|
| 第一章 前言 | 1 |
| 1.1 TCCIP-II 計畫整體規劃 | 1 |
| 1.2 本年度工作重點及成果 | 4 |
| 1.2.1 Team1 臺灣地區氣候變遷觀測與模式資料分析 | 5 |
| 1.2.2 Team2 氣候變遷降尺度推估技術發展與資料產製 | 6 |
| 1.2.3 Team3 氣候變遷資料應用技術發展與研究 | 7 |
| 1.2.4 Team4 氣候變遷資料服務與推廣應用 | 7 |
| 第二章 臺灣地區氣候變遷觀測與模式資料分析 | 9 |
| 2.1 強化臺灣地區氣候變遷資料之建置與現象再分析 | 10 |
| 2.1.1 臺灣測站資料更新與分析(詳見附錄 1.1) | 10 |
| 2.1.2 氣象資料數位化 | 13 |
| 2.1.3 臺灣降雨分區指數之建立(詳見附錄 1.2) | 14 |
| 2.1.4 臺灣降雨指數更新 | 16 |
| 2.1.5 網格化資料不確定性分析(詳見附錄 1.3) | 16 |
| 2.1.6 海平面資料均一化校正工作(詳見附錄 1.4) | 17 |
| 2.2 氣候現象評估量表 | 19 |
| 2.2.1 冬半季降雨分析(詳見附錄 1.2) | 19 |
| 2.2.2 春季乾旱(詳見附錄 1.5) | 23 |
| 2.2.3 梅雨季之氣候現象分析 | 29 |
| 2.2.4 鋒面定位技術之建立(詳見附錄 1.8) | 32 |
| 2.2.5 熱浪分析(詳見附錄 1.9) | 36 |
| 2.3 氣候模式表現評估量表 | 38 |
| 2.3.1 華南梅雨的變遷：CMIP5 模擬分析(詳見附錄 1.7) | 38 |
| 第三章 氣候變遷降尺度推估技術發展與資料產製 | 41 |
| 3.1 統計降尺度資料產製與技術研發(詳見附錄 2.1) | 41 |
| 3.1.1 月均溫及月降雨 | 42 |
| 3.1.2 不確定性分析 | 48 |

| | |
|---|------------|
| 3.2 動力降尺度資料產製與技術研發 | 51 |
| 3.2.1 區域模式建置與作業環境測試(詳見附錄 2.2) | 51 |
| 3.2.2 區域模式設定測試..... | 53 |
| 3.2.3 動力降尺度_現在 (present)..... | 59 |
| 3.3 以動力降尺度資料探討臺灣地區季節降雨及極端事件的變遷 | 63 |
| 3.3.1 春季降雨變遷原因探討(詳見附錄 2.4) | 63 |
| 3.3.2 夏季午後降雨變遷原因探討(詳見附錄 2.5) | 67 |
| 3.3.3 颱風變遷原因探討 (詳見附錄 2.6) | 70 |
| 3.3.4 秋季颱風變遷原因探討(詳見附錄 2.7) | 76 |
| 3.3.5 臺灣地區極端溫度分析(詳見附錄 2.8) | 79 |
| 第四章 氣候變遷資料應用技術發展與研究 | 85 |
| 4.1 農業、公衛相關領域應用技術研發 | 86 |
| 4.1.1 農業領域—氣候變遷下臺灣地區未來水稻產量生產潛勢 (詳見附錄 3.1 與 3.2) | 86 |
| 4.1.2 公衛領域—氣候變遷對民眾健康影響 (詳見附錄 3.3) | 93 |
| 4.2 極端颱風豪雨事件之全流域防災衝擊評估整合方法建立..... | 97 |
| 4.2.1 上游土砂災害之土砂量推估及模式資料串接 (詳見附錄 3.4)..... | 97 |
| 4.2.2 海岸暴潮與溢淹模擬 (詳見附錄 3.5) | 105 |
| 4.2.3 河道水位演算與都市淹水模擬(詳見附錄 3.6) | 108 |
| 4.3 氣候變遷降尺度資料應用技術研發 | 113 |
| 4.3.1 模式資料偏差修正 (詳見附錄 3.7) | 113 |
| 4.3.2 全台五公里解析度之日資料衍生(詳見附錄 3.8) | 116 |
| 4.3.3 序率暴雨模擬之模組化 (詳見附錄 3.9) | 121 |
| 第五章 氣候變遷資料服務與推廣應用 | 127 |
| 5.1 科學社群溝通及資料服務 | 127 |
| 5.1.1 氣候變遷資料與知識服務..... | 127 |
| 5.1.2 資訊平台 | 134 |
| 5.1.3 科學報告第二版 | 142 |

| | |
|---|------------|
| 5.2 國際合作與學術交流..... | 143 |
| 5.2.1 與日本創生計畫的合作..... | 143 |
| 5.2.2 澳洲移地研究..... | 147 |
| 5.2.3 英國氣象總部移地研究..... | 150 |
| 5.2.4 2014 TCCIP International Workshop on Climate Change | 151 |
| 第六章 結語..... | 155 |
| 6.1 第一年度成果總結..... | 155 |
| 6.2 第二年度重點工作規劃..... | 157 |
| 6.2.1 第一工作小組..... | 157 |
| 6.2.2 第二工作小組..... | 157 |
| 6.2.3 第三工作小組..... | 158 |
| 6.2.4 第四工作小組..... | 159 |
| 參考文獻..... | 161 |

表目錄

| | | |
|--------|--|-----|
| 表 2.1 | 本年度計畫氣象局屬臺北、臺南、花蓮及臺東測站早期觀測資料數位化 | 14 |
| 表 2.2 | 春季不降雨日之氣候現象評估量表 | 19 |
| 表 2.3 | 華南地區 5、6 月份降水量(PR)與圖 3.11a 各區間之交叉相關係數表。 | 32 |
| 表 3.1 | 全臺四季與年平均在 a1b 情境下各百分位世紀末溫度變化量 | 42 |
| 表 3.2 | 21 世紀末臺灣地區的季節氣候平均變化。 | 46 |
| 表 3.3 | 動降尺度前、後的現在時期及 21 世紀末時期 5-8 月的侵臺颱風個數和時數 | 54 |
| 表 3.4 | WRF 模式設定測試實驗中的 8 組模式設定。 | 55 |
| 表 3.5 | 臺北測站乾濕年降雨量及鋒面影響日數之比較。 | 64 |
| 表 3.6 | WRF-CFSR 分析場與 WRF-ECHAM5 及 WRF-MRI 推估結果在高溫日的平均溫度、平均標準差、25 年的熱浪事件數以及每個事件數持續的時間。 | 83 |
| 表 4.1 | 1980-1999 年臺南、高雄地區之趨勢分析 | 90 |
| 表 4.2 | 臺南、高雄地區一期稻作生長期間近未來 (2020-2039) 、世紀末 (2080-2099) 之統計降尺度氣候情境資料 | 90 |
| 表 4.3 | 統計作物模型之迴歸分析最適結果 | 91 |
| 表 4.4 | 臺南地區 100 組拔靴樣本 (取前 15 組樣本為例) 之估計結果 | 91 |
| 表 4.5 | 高雄地區 100 組拔靴樣本 (取前 15 組樣本為例) 之估計結果 | 92 |
| 表 4.6 | 不同 IPCC AR4，A1B 情境下各鄉鎮登革熱風險人口之變化 | 96 |
| 表 4.7 | 潛勢溪流設定參數表 | 102 |
| 表 4.8 | 17 條潛勢溪流土石流模擬情境資料設定 | 102 |
| 表 4.9 | 土石流模擬結果 | 104 |
| 表 4.10 | 挑選世紀末前十大颱風降雨事件進行偏差修正 | 108 |

| | |
|--|-----|
| 表 4.11 動力降尺與修正後之動力降尺度資料 QP 之比較..... | 110 |
| 表 4.12 動力降尺度與修正後之動力降尺度資料總流量之比較 | 110 |
| 表 4.13 迴歸係數數值分布範圍..... | 121 |
| 表 4.14 降雨特性參數 (高雄站【467440】) | 123 |
| 表 5.1 「TCCIP 氣候變遷資料使用經驗分享研討會」議程表..... | 130 |
| 表 5.2 TCCIP 因應 IPCC WGI AR5 報告發布之系列活動。 | 131 |
| 表 5.3 AR5 導讀主題及講者 | 133 |
| 表 5.4 歷史觀測網格月溫度資料之資料生產履歷 | 140 |
| 表 5.5 統計降尺度日資料衍生時間序列的資料生產履歷..... | 142 |
| 表 5.6 臺灣氣候變遷科學報告第二版章節架構及主筆者..... | 144 |
| 表 5.7 2014 TCCIP IWCC 國外講者名單 | 152 |
| 表 5.8 2014 TCCIP IWCC 議程 | 152 |

圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖 1.1 科技部 (原國科會) 三個氣候變遷主軸計畫主要內容與推動時程..... | 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 TCCIP 扮演氣候變遷資料與資訊整合平台角色..... | 3 |
| 圖 1.5 TCCIP 第二期計畫之參與單位與對內對外關係架構圖..... | 4 |
| 圖 1.6 四個工作小組分工架構圖 | 5 |
| 圖 2.1 Team1 工作規劃架構圖..... | 9 |
| 圖 2.2 1951~2010 年臺灣年平均溫度變化趨勢。 | 10 |
| 圖 2.3 同圖 2.2，但為季節平均溫度之變化趨勢。 | 11 |
| 圖 2.4 同圖 2.3，但為季節雨量之變化趨勢。 | 12 |
| 圖 2.5 同圖 2.3，但為季節降雨日數之變化趨勢。 | 13 |
| 圖 2.6 臺灣地區雨量分布圖 (僅以測站雨量做簡單內差) 及分區 TRI 界線..... | 15 |
| 圖 2.7 分區 TRI 年循環圖 | 15 |
| 圖 2.8 各分區 TRI 年代與年代際變化 | 15 |
| 圖 2.9 1960-2012 年臺北 1 月氣溫時間序列圖。 | 17 |
| 圖 2.10 (a) ~ (d) 為各測站均一化之前的潮位逐時觀測資料；(e)~(h) 為各測站均一化後的潮位逐時觀測資料..... | 18 |
| 圖 2.11 (a) 1974-2009 年 MJO 相位 1-8 的 TRI 指數平均值。(b) 1974-2009 各個 MJO 相位臺灣附近 (118-124E, 20-28N) 有鋒面之天數。 | 20 |
| 圖 2.12 經過 20-100 天濾波處理的 OLR 距平圖，a 至 h 分別為 MJO 相位 1-8。 | 21 |
| 圖 2.13 (a) MJO phase 2 合成圖 (20-100 天濾波) 距平場, 200hPa 重力位高度及 200hPa 氣流線。 (b)、(c)與(a)相似，但分別為 MJO 相位 3 及 4。(d)、(e)及(f)相似於 (a)、(b)及(c)，但為 | |

| | |
|---|----|
| 850hPa 。 | 21 |
| 圖 2.14 (a) MJO phase 2 合成圖 (20-100 天濾波) 距平場, 500hPa 垂直速度及 850hPa 流線場。 (b)、(c) 與 (a) 相似，但為相位 3 及 4。(d)、(e)及(f) 分別與 (a)、(b)及(c) 相似，但 是 850hPa 的水氣傳送場 u_{qi} 及 v_{qj}，及水氣幅散場。 | 22 |
| 圖 2.15 MJO 影響臺灣冬半季降雨的兩種機制概念圖。 | 22 |
| 圖 2.16 石門水庫集水區的乾旱指數 (SPEI) 距平值。 | 23 |
| 圖 2.17 經過資料補遺後，測站的 SPEI 資料，計算剩水量 (累積降雨-潛在蒸發散量) 峰度 (Kurtosis, τ_4) 和偏度 (Skewness, τ_3) 分佈結果。 | 25 |
| 圖 2.18 同圖 2.17 但為經過資料補遺後，測站的 SPI 資料，計算峰度和偏度後的分佈。 | 26 |
| 圖 2.19 同時間尺度下，測站 SPEI 資料 (左邊 6 張圖) 和 SPI 資料 (右邊 6 張圖)，計算平均值 後，內插到 1km 解析度網格的空間分佈。 | 27 |
| 圖 2.20 同圖 2.19，但為測站 SPEI 和 SPI 資料計算標準差後內插的結果。 | 27 |
| 圖 2.21 (a) 在 1 個月的時間尺度下，1 公里解析度的 SPEI 網格資料，在每個月的氣候場分佈； (b) 同圖(a)，但為 1 個月的時間尺度下，1 公里解析度的 SPI 網格資料。 | 28 |
| 圖 2.22 (a)在 1 個月的時間尺度下，1963 年 1~12 月的 SPEI 空間分佈；(b) 圖(a)，但為 SPI 的 空間分佈。 | 29 |
| 圖 2.23 臺灣梅雨季極端降雨關鍵區域。 | 30 |
| 圖 2.25 (a)5 月份、(b)6 月份多雨年 850hPa 環流場距平合成圖。 | 31 |
| 圖 2.26 (a)5 月份、(b)6 月份多雨年降水量距平合成圖。 | 31 |
| 圖 2.27 850hPa u, v 風場、流函數、500hPa 重力位高度及海平面溫度與梅雨季降水高相關性之 區域標示。 | 32 |
| 圖 2.28 鋒面位置圖，藍線為鋒面所在位置，黑線為等濕球位溫線。 | 33 |
| 圖 2.29 1997-2012 年全年平均鋒面頻率分布。 | 33 |
| 圖 2.30 1997-2012 年 1 至 6 月逐月平均鋒面頻率分布。 | 34 |
| 圖 2.31 1997-2012 年 7 至 12 月逐月平均鋒面頻率分布。 | 35 |
| 圖 2.32 CTX90pct 方法所得到的模式資料在 RCP85 情境下的熱浪發生頻率。時間為 2006-2100 | |

| | |
|--|-----------|
| 年間 5-10 月份。 | 37 |
| 圖 2.33 同圖 2.30，但為熱浪持續天數。 | 37 |
| 圖 2.34 東亞地區 6 月份降水空間分布圖。 | 39 |
| 圖 2.35 CMIP5 模式系集平均後各時期華南地區降水與 U850、V850、H500 距平值之時間序列與相關係數。 | 40 |
| 圖 3.1 mri_cgcm2_3_2a 模式夏冬兩季世紀末溫度變化量之三種降尺度方式比較圖。 | 43 |
| 圖 3.2 臺灣地區 5 公里降尺度之世紀末降雨變化率中位數空間分布圖。 | 44 |
| 圖 3.3 臺灣地區 5 公里降尺度之世紀末溫度變化量中位數空間分布圖。 | 45 |
| 圖 3.4 五公里降尺度後全臺平均之 21 世紀末降雨改變率所有模式各百分位分布圖。 | 45 |
| 圖 3.5 五公里降尺度後全臺平均之 21 世紀末溫度改變量所有模式各百分位分布圖。 | 46 |
| 圖 3.6 臺灣地區在 RCP8.5 情境下，21 世紀末的季節降雨改變率大於 30%、15%、0% 以及小於 0%、-15%、-30% 之機率分布圖。 | 47 |
| 圖 3.7 臺灣地區在四種情境下，21 世紀末各地方年均溫增加超過 1°C、2°C、3°C 與 4°C 之機率分布圖。 | 48 |
| 圖 3.8 臺灣地區夏季、冬季和全年平均溫度在世紀末 (2081~2100) 時段三種不確定性之變異量所佔的百分比。 | 49 |
| 圖 3.9 臺灣地區夏季、冬季和全年平均降雨在世紀末 (2081~2100) 時段三種不確定性之變異量所佔的百分比。 | 49 |
| 圖 3.10 臺灣地區全年平均在 90% 信賴區間下，20 年滑動平均之 21 世紀末增溫圖 | 50 |
| 圖 3.11 同圖 3.10，只是代表的是夏季與冬季雨量變化率圖。 | 50 |
| 圖 3.12 本計畫建置於氣象局的儲存系統與氣象局既有的機器之間的關聯性。 | 52 |
| 圖 3.13 粗線條黃色方框為臺灣地區 5 公里解析度的動力降尺度所模擬的範圍。 | 53 |
| 圖 3.14 以臺灣地區每個網格點的日降雨量計算 rerun2 各區間降雨量占總降雨量之百分比分布。 | 54 |
| 圖 3.15 現在時期 CFSR (上排) 與 rerun2 (中排) 的梅雨季 Top 5 % 降雨事件的環流場與降雨合成圖。下排為 WRF (rerun²) 推估世紀末 (2075-2099 年) 梅雨季環流場的改變量，圖左 | |

| | |
|--|----|
| 至右為海平面氣壓場 (hPa) 、850 hPa 高度場 (hPa) 、可降水量 (kg/m^2) 與 10 風場 (m/s) 、水氣通量場 ($\text{g}\text{kg}^{-1} \cdot \text{ms}^{-1}$) 以及降雨改變率 (%)。 | 56 |
| 圖 3.16 8 組測試模擬在 200 hPa 、500 hPa 、850 hPa 及 SLP 重力為高度場的誤差之時序變化。 | 57 |
| 圖 3.17 8 組測試模擬與觀測值 (NCDR) 的臺灣地區降水及其誤差之時序變化。 | 58 |
| 圖 3.18 1999 年侵臺颱風之近中心颱風降雨機率密度函數分布圖。 | 58 |
| 圖 3.19 1999 年侵臺颱風之最低海平面氣壓 (上) 和近中心颱風降雨 (下) 時間序列圖。 | 59 |
| 圖 3.20 觀測、MRI、HiRAM 及 CFSR 之東亞地區降雨空間分布圖。 | 60 |
| 圖 3.21 觀測值 (OBS)、MRI、HiRAM 及 CFSR 之春、夏、秋、冬季降雨空間分布圖。 | 61 |
| 圖 3.22 觀測值及三組 AGCM 降尺度前後全臺灣平均之逐月雨量變化圖。 | 62 |
| 圖 3.23 1992~1997 年之每年颱風總降雨量分布圖，上排為觀測、下排為 WRF-CFSR。 | 62 |
| 圖 3.24 臺北測站 1979 年-2009 年春季降雨總雨量及鋒面影響日數歷線圖。 | 64 |
| 圖 3.25 臺灣地區平均年總雨量、春季平均總雨量及春季降雨主要影響區域。 | 65 |
| 圖 3.26 NCEP 春季乾濕樣本年物理量距平合成分布圖。 | 66 |
| 圖 3.27 1960~2012 年 6~8 月臺灣本島總降雨 (a) 降雨量 (b) 降雨發生頻率 (c) 降雨強度。 | 68 |
| 圖 3.28 1960~2012 年 6~8 月臺灣本島 TSA (a) 降雨量 (b) 降雨發生頻率 (c) 降雨強度。 | 68 |
| 圖 3.29 1960~2012 年 6~8 月在臺灣 (a) 北區、(b) 中區、(c) 南區、(d) 東區和 (e) 中部山區之 TSA 區域平均降雨強度。 | 69 |
| 圖 3.30 1979~2012 年 1000mb ~ 700mb 間平均垂直不穩定度在 (a) 6~8 月分布圖；1000mb ~ 700mb 平均垂直不穩定度趨勢在 (b) 6~8 月以及 (c) TSA 個案合成之分布圖。 | 70 |
| 圖 3.31 左方為 1960 ~ 2012 年臺灣臺灣 (a) 北區、(b) 中區、(c) 南區、(d) 東區和 (e) 山區 TSA 降雨強度活躍年合成 850mb 環流場；右方為 1960~2012 年 (a) 北區、(b) 中區、(c) 南區、(d) 東區和 (e) 山區 TSA 降雨強度活躍年減不活躍年合成 850mb 環流場。填色部份為流函數。 | 71 |
| 圖 3.32 1965 至 2012 年西北太平洋颱風 (左側) 與侵臺颱風 (右側) 特性的日變化。由上至下依序為颱風頻率、累積氣旋能量 (Accumulated Cyclone Energy, ACE) 與颶風威力消耗指數 (Power Dissipation Index, PDI)。 | 72 |

| | |
|--|----|
| 圖 3.33 1981 至 2010 年西北太平洋五月到十一月等高度線月變化。..... | 73 |
| 圖 3.34 六到十月 500 百帕重力位高度場與颱風路徑合成圖。..... | 73 |
| 圖 3.35 1965 至 2012 年侵臺颱風頻率的日變化與定義太平洋副熱帶高壓位置指數日變化。..... | 74 |
| 圖 3.36 上圖為 1979 至 2009 年間副高脊年循環季節變化。..... | 74 |
| 圖 3.37 500 百帕重力位高度與颱風路徑合成圖。..... | 75 |
| 圖 3.38 MRI-AGCM 推估夏 (左側)、秋 (右側) 兩季 500 百帕重力位高度與副高脊位置。..... | 75 |
| 圖 3.39 1979-2008 年秋季颱風軌跡與影響區域劃分圖。圖上數字為氣候上通過區域比例。..... | 77 |
| 圖 3.40 1979-2010 年秋季臺北測站發生豪雨之侵臺颱風 850 hPa 合成風場。(a) 季節平均風場。 (b) 10-90 天季內震盪風場。(c) 10 天以上風場 (含季節平均與 10-90 天季內震盪)。..... | 77 |
| 圖 3.41 1960-2010 年熱帶氣旋生成個數與影響三區氣旋個數圖。(a) 為夏季，(b) 秋季。線條 為 11 年滑動平均之標準化。..... | 78 |
| 圖 3.42 1901-2010 年秋季臺北測站豪雨事件之 Morlet wavelet 時-頻-能量譜。..... | 79 |
| 圖 3.43 1979-1993 年秋季 (a) 颱風軌跡圖。(b) 850 hPa 季節平均風場與颱風生成頻率。(c) 850 hPa 東西向風場的 10-90 天季內震盪變異量。(d)~(f) 同 (a)~(c)，但為 1994-2008 年。 | 80 |
| 圖 3.44 三組降尺度結果在 1979~2003 時期所推估極端高溫溫度閥值的分布。..... | 81 |
| 圖 3.45 從左到右分別是 21 世紀末極端高溫閥值的改變量，21 世紀末高溫日數，單位：日、 21 世紀末熱浪發生事件數，單位：次數。..... | 82 |
| 圖 3.46 (a) WRF-ECHAM5 與 (b) WRF-MRI 臺灣地區日最高溫度區域平均的頻率分布。..... | 82 |
| 圖 3.47 現在時期臺灣地區發生熱浪時平均環流分布，分別為 (a) NCEP-CFSRP 分析場、(b) ECHAM5 與 (c) MRI 推估結果。..... | 84 |
| 圖 3.48 21 世紀末時期臺灣發生熱浪時平均大尺度環流分布，分別為 (b) ECHAM5 與 (d) MRI 推估的結果。..... | 84 |
| 圖 4.1 Team3 與其他工作小組之關聯..... | 85 |
| 圖 4.2 水稻第一期作產量平均變化趨勢。(a) 基期 1979 – 2003 產量平均；(b) 近未來 2015 – 2039 產量平均；(c) 21 世紀末 2079 – 2099 產量平均..... | 88 |

| | |
|---|-----|
| 圖 4.3 基期至未來水稻第一期作產量平均改變率。(a) 基期至近未來水稻第一期作產量改變率；(b) 基期至 21 世紀末水稻第一期作產量改變率 | 89 |
| 圖 4.4 1980-1999 年臺南、高雄之單位面積產量趨勢圖 | 89 |
| 圖 4.5 溫度變化與登革熱潛在流行危險地區關係示意圖。 | 95 |
| 圖 4.6 IPCC AR4 在 A1B 情境下全台登革熱危險區域分布。 | 95 |
| 圖 4.7 進行境況模擬之曾文溪上游區域及 17 條土石流潛勢溪流 | 98 |
| 圖 4.8 土砂災害資料串接研究流程圖 | 99 |
| 圖 4.9 降雨 48 小時累積雨量分布圖 | 100 |
| 圖 4.10 初始模擬結果與各小時最小安全係數變化情形 (多地質分區) | 100 |
| 圖 4.11 莫拉克於曾文水庫上游崩塌圖層 | 101 |
| 圖 4.13 土石流潛勢溪流境況模擬結果 | 103 |
| 圖 4.10 模擬與觀測之將軍站時序潮位圖 | 105 |
| 圖 4.11 動力降尺度颱風事件海岸暴潮溢淹模擬 | 106 |
| 圖 4.12 以世紀末 7 號路徑颱風所模擬之模型颱風風場與氣壓場分布 | 107 |
| 圖 4.13 有海堤以及颱風偏移情境下之暴潮溢淹分布 | 107 |
| 圖 4.14 基期、近未來與遠未來 Top1 極端事件流量模擬 | 109 |
| 圖 4.15 基期、近未來與遠未來 Top1 極端事件總流量 (144hr) | 110 |
| 圖 4.16 模擬流程圖 | 111 |
| 圖 4.17 世紀末最烈情境下颱風 (Top1_BC) 之平均降雨量 | 112 |
| 圖 4.18 最烈情境下潮位資料 | 112 |
| 圖 4.19 淹水深度 (m) 模擬結果 | 113 |
| 圖 4.20 農試所合作中日輻射量資料產製與提供示意圖。藍色為需求、橘色填滿方框為現有資料，橘色空心方框為尚未產製的資料、紅色方框為今年度新增之工作項目、綠色方框為合作過程中發現之問題。 | 114 |

| | |
|---|-----|
| 圖 4.21 颱風降雨事件之總降雨量 (a) 測站資料；(b) MRI-WRF 校正前；(c) MRI-WRF 校正後。 | 115 |
| 圖 4.22 動力降尺度日輻射量偏差校正之校正因子 (校正後與校正前輻射量比值)..... | 115 |
| 圖 4.23 淡水站 (466900) 與桃園農改場 (72C440) 之月平均日輻射量，紅色為校正後之動力降尺度，藍色為觀測。 | 115 |
| 圖 4.24 動力降尺度日輻射量校正前後比較 (a) 測站資料；(b) MRI-WRF 校正前；(c) MRI-WRF 校正後。註：(b) 的 Colorbar 與另外兩者不同。 | 116 |
| 圖 4.25 上圖為 A1B 各模式一月份之月尺度低溫資料，下圖為 A1B 各模式一月份之日尺度平均低溫資料，兩者之空間分布有極良好的相關性 | 117 |
| 圖 4.26 上圖為 A1B 各模式七月份之月尺度高溫資料，下圖為 A1B 各模式七月份之日尺度平均高溫資料，兩者之空間分布有極良好的相關性 | 118 |
| 圖 4.27 左圖為 A1B 各模式近未來七月份各模式平均日降雨，右圖為 A1B 各模式七月份各模式最大日降雨 | 119 |
| 圖 4.28 1 至 12 月之迴歸係數 a 。 | 120 |
| 圖 4.29 1 至 12 月之迴歸係數 b 。 | 120 |
| 圖 4.30 1 至 12 月迴歸模式之判定係數 (R-square)..... | 121 |
| 圖 4.31 降雨百分率模擬示意圖 | 123 |
| 圖 4.32 歷史事件與模擬事件的 CDF 與 ECDF 的套配圖 (颱風)..... | 124 |
| 圖 4.33 颱風雨各時段降雨百分比之觀測資料與模擬資料參數比較圖 | 125 |
| 圖 4.34 高雄站之序率模擬聯程 | 125 |
| 圖 5.1 TCCIP 資料應用技術研發分工架構圖 | 128 |
| 圖 5.2 本計畫年度資料提供狀況。 | 128 |
| 圖 5.3 縣市政府推動氣候變遷調適計畫對氣候資訊之需求 | 129 |
| 圖 5.4 WGI AR5 紿決策者摘要中文版封面 | 132 |
| 圖 5.5 AR5 導讀講座(左)與會者比例；(右) 會場一隅。 | 133 |
| 圖 5.6 第一期資訊平台與第二期資訊平台差異..... | 134 |

| | |
|---|-----|
| 圖 5.7 TCCIP 內部溝通平台 | 135 |
| 圖 5.8 TCCIP 資料申請平台首頁 | 136 |
| 圖 5.9 TCCIP 資料申請平台資料展示頁面 | 137 |
| 圖 5.10 TCCIP 資料申請平台資料申請頁面 | 137 |
| 圖 5.11 TCCIP 資料申請平台資料暫存區 | 137 |
| 圖 5.12 TCCIP 資料申請平台資料服務建議 | 137 |
| 圖 5.13 TCCIP 資料申請平台的資料申請審核流程 | 138 |
| 圖 5.14 第二期 TCCIP 資訊平台架構示意圖 | 139 |
| 圖 5.15 歷史觀測網格月溫度資料的資料生產履歷之進階應用分析。 | 141 |
| 圖 5.16 天氣衍生日資料時間序列之各項說明 | 141 |
| 圖 5.17 TCCIP-SOUISEI (左) 會議照片 (右) 會議重要結論。 | 147 |
| 圖 5.18 澳洲研修期間與 8 個研究機構相關成員合影。 | 149 |
| 圖 5.19 國際研討會花絮 | 153 |

第一章 前言

1.1 TCCIP-II 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 年公布第四次評估報告，揭示過去 100 年的氣候變遷狀況，與未來 100 年在暖化效應持續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) 已於 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，我國政府依據聯合國發展規劃署與全球環境基金 (United Nations Development Programme-Global Environment Facility, UNDP-GEF) 所提出的氣候變遷調適策略綱領 (Adaptation Policy Frameworks for Climate Change, APF) 擬定「國家氣候變遷調適政策綱領」，規劃國家調適策略的整體架構；並分別從災害、水資源、海岸、農業生產與生物多樣性、健康、基礎建設、能源供給與產業經濟、土地使用規劃與管理等八個不同領域針對氣候變遷衝擊提出具體因應行動方案。該政策綱領已於 2012 年 6 月由行政院正式核定通過。

科技部（原國科會）長期推動本地氣候變遷推估與衝擊研究，已累積相當程度的氣候變遷研究能量與成效。有鑑於國家推動氣候變遷調適策略需要更多的科學數據與研究成果作為政策擬定依據，從 2009 年開始，科技部（原國科會）陸續推動三個氣候變遷優勢領域計畫（如圖 1.1 所示）。其中，本計畫（臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置，以下簡稱 TCCIP）在整體架構中扮演中堅角色，以國內外最新氣候變遷推估資料的分析與降尺度資料產製為主要工作任務；一方面建構臺灣的長期觀測資料與未來推估資料提供給使用者，另一方面建構氣候變遷資訊應用服務的能力與服務平台。TCCIP 整體工作目標如圖 1.2。

TCCIP 在國內相關部會推動氣候變遷研究的角色定位如圖 1.3 所示。TCCIP 主要扮演氣候變遷資料使用者（相關領域專家）與資料產製者（氣象科學家）的溝通橋樑；將氣候變遷之分析結果、推估資料與資訊有效的傳遞給使用者。無論是銜接科技部（原國科會）內部的研究計畫（如 CCLiCS 與 TaiCCAT 計畫）、或是提供研究成果與資料給相關部會（如水利署、農委會）、抑或是政策綱領相關領域的衝擊研究與調適策略研擬等各方面都扮演重要的關鍵角色。

依據 TCCIP 的計畫目標、部會間相關計畫的角色定位，以及第一期計畫的推動經驗，TCCIP 所架構與運作的氣候變遷資料與資訊整合平台如圖 1.4 所示。無論是臺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、國際合作與資料交換，或是資料服務與溝通等，TCCIP 的研究團隊在第一期計畫中已累積豐富的經驗與使用者網絡。在第二期計畫推動過程中，將強化整合平台的能量；將部會資料、科學研究及使用者溝通與服務，在這個平台上持續累積能量，展現科技部（原國科會）推動此優勢領域計畫之價值。

TCCIP 第二期計畫仍由 NCDR 進行統籌規劃，參與團隊除了原先的中央研究院、中央氣象局、臺灣大學、臺灣師範大學…等研究團隊外，加入經濟部水利署、農委會農業試驗所等政府部門的合作機制（圖 1.5）。

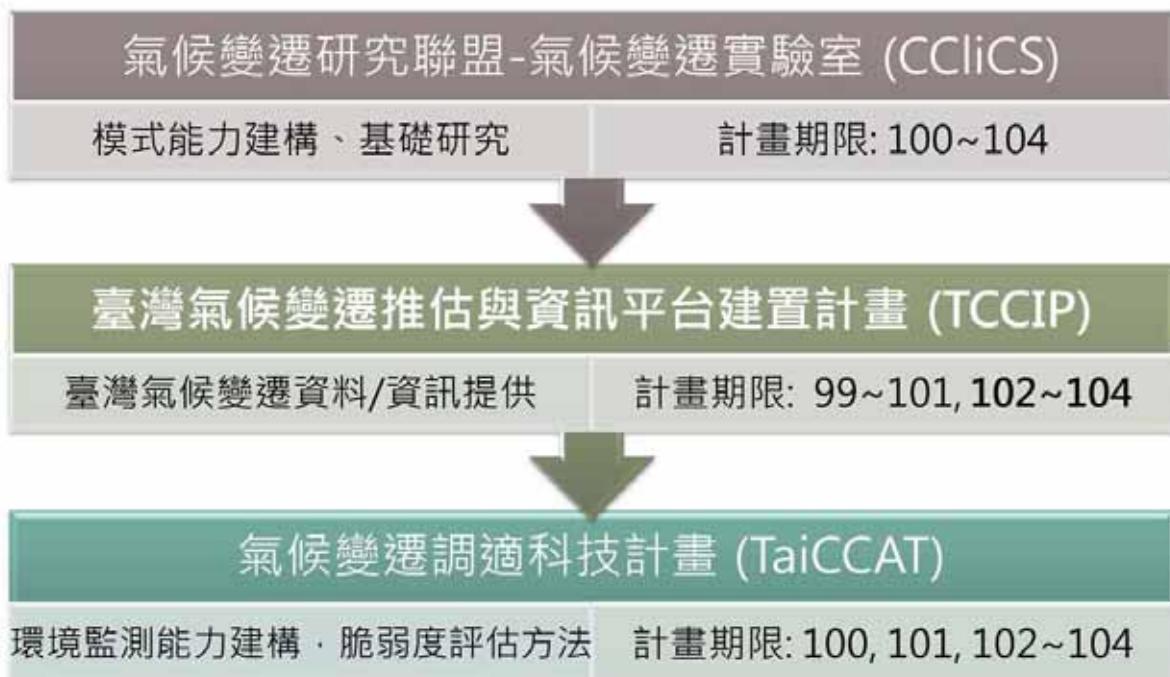


圖 1.1 科技部（原國科會）三個氣候變遷主軸計畫主要內容與推動時程



圖 1.2 TCCIP 計畫之整體目標

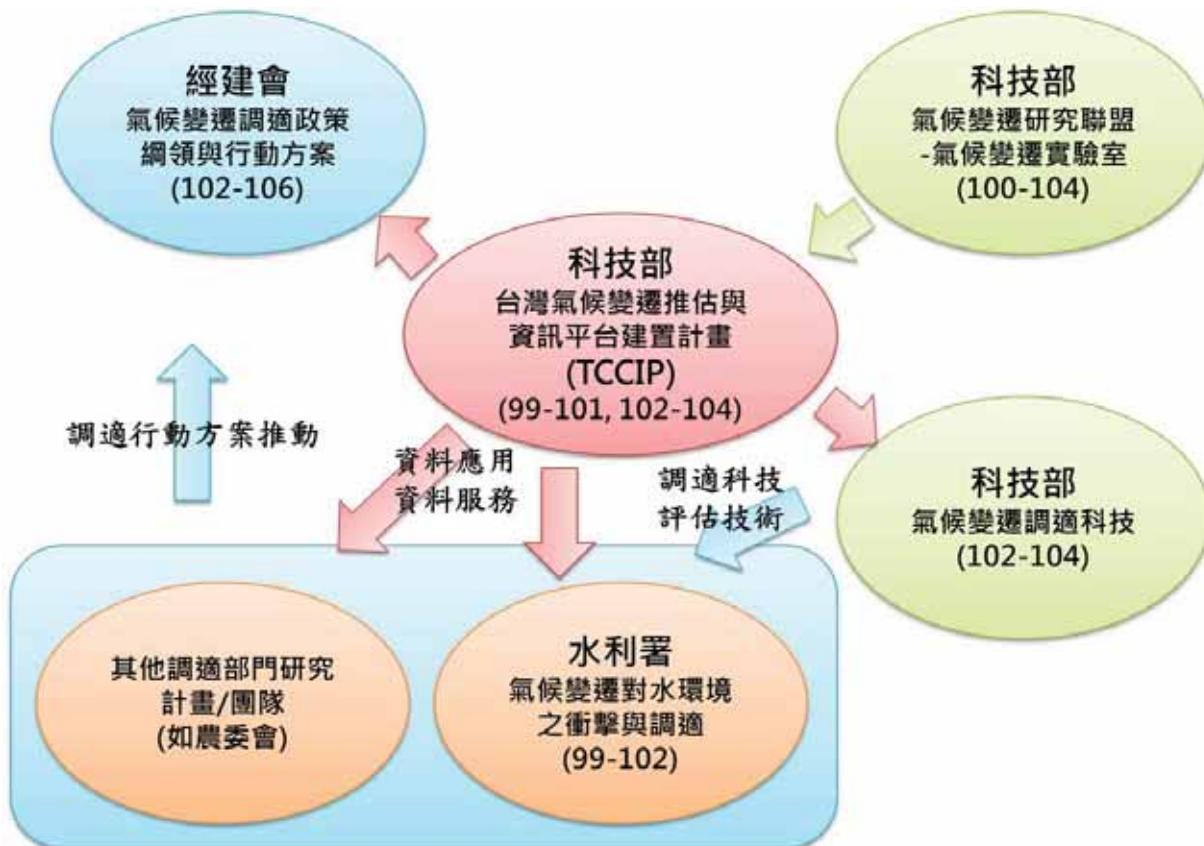


圖 1.3 TCCIP 計畫與相關氣候變遷計畫之關係圖



圖 1.4 TCCIP 扮演氣候變遷資料與資訊整合平台角色

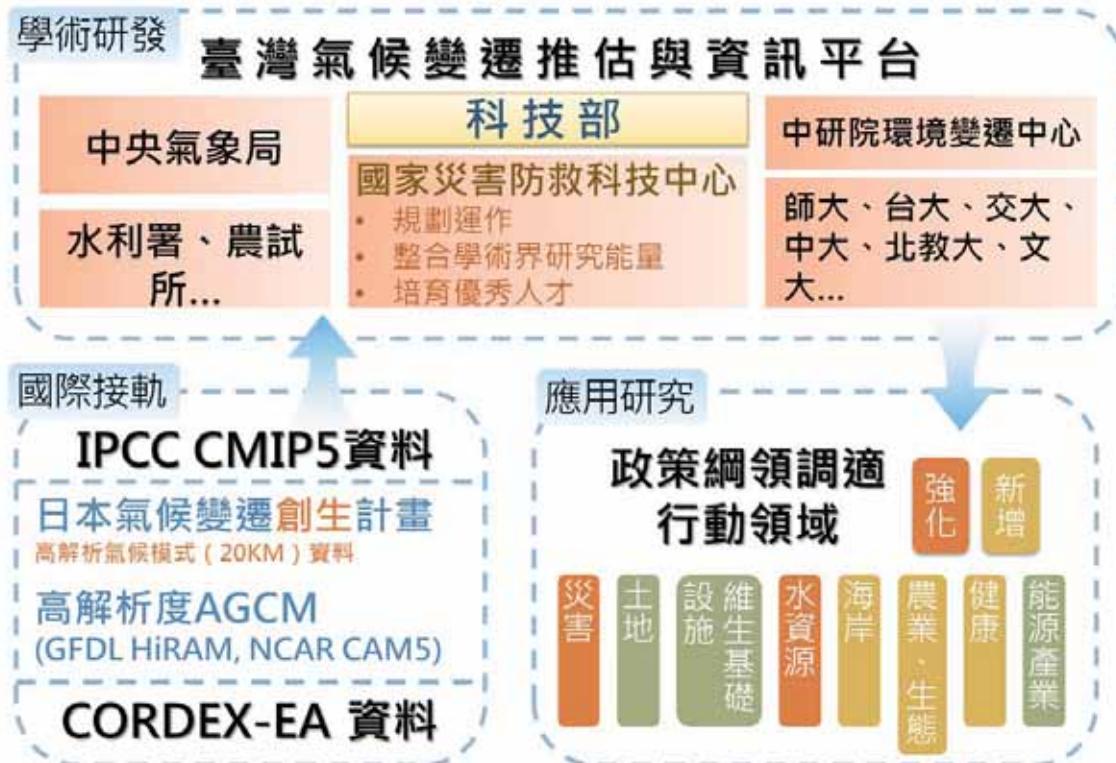


圖 1.5 TCCIP 第二期計畫之參與單位與對內對外關係架構圖

TCCIP 第一期計畫以水部門及災害領域之資料應用為主，第二期計畫除了強化前期水部門及災害領域的資料應用外，由「國家氣候變遷調適政策綱領」架構的八大領域中，增加農業、公衛以及海岸領域之資料應用與技術發展，其他領域則將提供資料服務。

TCCIP 第一期計畫的國際合作對象日本文部科學省的氣候變動革新 (KAKUSHIN) 計畫已進入下一階段的創生 (SOUSEI) 計畫，TCCIP 第二期計畫仍持續與創生計畫合作，由日方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的 CMIP3 (IPCC AR4) 資料，改以各國氣候中心最新產製的 CMIP5 (IPCC AR5) 為主，並增加 WCRP 的 CORDEX-EA 區域氣候模式資料 (由韓國 KMA 及 APEC Climate Center 提供)、GFDL HiRAM2 (由 CCLiCS 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。

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 (圖 1.6)。

1.2 本年度工作重點及成果

TCCIP 第二期計畫第一年度各工作小組 (Team1 ~ Team4) 之重點成果依序分別簡要整理如下，詳細描述請見後面章節及附錄：

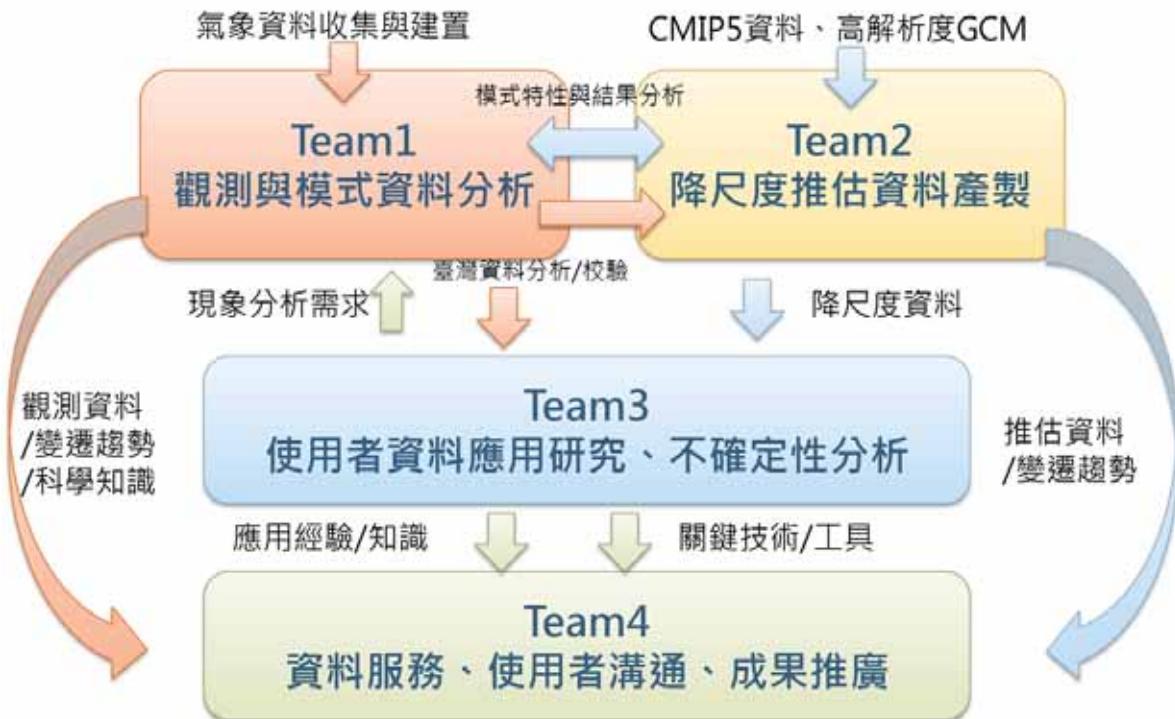


圖 1.6. 四個工作小組分工架構圖

1.2.1 Team1 臺灣地區氣候變遷觀測與模式資料分析

□ 資料數位化

完成臺北及臺南氣象站之逐時觀測資料數位化工作，包含：測站氣壓、氣溫、相對濕度、平均風速、平均風向、日照時數等 6 項。每日登打資料筆數以實際紀錄為準，部份測站早期非逐時觀測而是定時觀測，初步估算此次數位化資料總筆數約 650 萬筆。本期數位化作業已全部完成登打與檢驗工作。由於此次數位化工作於完成臺北及臺南站之後尚有餘力，因此增列花蓮與臺東測站之部分紙本資料進行數位化。相關成果，請參閱 2.1.2。

□ 海平面資料均一化

氣象局選定 10 個潮位測站對其長期潮位觀測資料進行均一化作業(基隆、高雄、淡水、花蓮、澎湖、塭港、蘇澳、新竹、東石、成功等站)，未均一化前的海平面，大部分皆有水準面偏移的情形，經過本研究的系統性均一化修正後，海平面資料的偏移皆已趨於合理，從均一化後的 10 個測站中，挑選缺值比例較少，且資料提供品質較穩定的 4 個潮位測站進行長期資料的分析，分別是基隆、高雄、塭港及蘇澳。四站皆已經由前述步驟進行分站合併與檢校，完成海水基準面的調整。本研究更進一步利用線性回歸進行初步分析以瞭解四個潮位站的長時間海平面變化趨勢。相關趨勢分析結果將提供作為第二版臺灣氣候變遷科學報告之撰寫素材。相關成果，請參見 2.1.6。

□ 氣候現象評估量表 (Phenomenon Metric)之建立

本計畫今年度嘗試針對災害領域建立 Phenomenon Metric，初步以春季乾旱及梅雨季之極端降雨為建立標的。透過大尺度環流與鋒面個數之分析，找出影響臺灣春季降雨之關鍵氣象因子，另一方面，我們也針對梅雨季極端降雨部分，利用臺灣局部地區極端降雨事件與大尺度環境場的物理關聯特性，發展監測指數。相關成果，請參閱 2.2.3 與 3.3.1。

□ TCCIP 5Km 網格資料更新版V3 (持續進行中)

由網格化資料分析中發現，計畫第一期所產製之月溫度網格化資料於高山地區有冷化現象，透過與有限測站資料之比較與修正後，預計將於今年產製第三版網格化資料，與前一版之月溫度網格化資料最大差別在於 a. 山區的溫度修正、b. 新增外島資料。相關成果請參閱 2.1.5。

1.2.2 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) (請參閱3.1)

- 降尺度技術研發：調整進行統計降尺度時所使用的網格，比較結果的敏感度。
- CMIP3/CMIP5 月資料降尺度：進行 CMIP3 資料中日最高溫及日最低溫月平均的統計降尺度。完成 CMIP5 資料的月平均溫度及降水的統計降尺度。
- 不確定性分析：針對 CMIP5 統計降尺度結果對不確定性做量化的分析。

□ 動力降尺度資料產製與技術研發 (三個高解析度AGCM) (請參閱3.2)

- 區域模式建置與測試：建置 WRF3.5.1 於氣象局超級電腦上，並進行測試。
- 現代時期降尺度：進行 8 組 NCEP-CFSR 一年資料的動力降尺度，測試不同模式設定對模擬結果的影響。完成 MRI AGCM、HIRAM、NCEP-CFSR 三組資料現在時期 25 年的動力降尺度。

□ 主題現象變遷深入分析

- 春雨：雨量及鋒面頻率分析、乾濕年環流分析 (濕度偏高、低層西風、南風偏強)、建立春雨現象量表、WRF-MRI 降尺度資料分析。(請參閱 3.3.1)
- 夏季 TS：測站降水趨勢分析 (平地增加、山區減少)，區域多/少雨年環流分析 (西南風較強…)(請參閱 3.3.2)
- 颱風 1：颱風強度、個數與副高脊位置的關係 (請參閱 3.3.3)
- 颱風 2：侵台颱風個數、颱風路徑 A、豪雨事件、季內震盪、小波分析 (年際及年代際變化)、颱風生成位置、颱風路徑模擬 (請參閱 3.3.4)
- 極端溫度：Top5%溫度空間分布，熱浪事件頻率分析，區域熱浪環流分析 (副高脊約在臺灣南方，影響臺灣的風呈南風)(請參閱 3.3.5)

1.2.3 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 (相關成果請參閱4.2)

- 全流域防災模擬技術：全流域防災模擬分由坡地、海岸以及河道三部分物理動力模式組成，今年以曾文溪流域為示範區，模式的串接方面以河道及都會區二維淹水模擬為中游，上游承接坡地災害對水庫淤積之影響，下游以海岸暴潮河口水位歷線為模擬邊界，作為全流域防災模擬之整合案例。
- 全流域防災影響評估：包括坡地崩坍潛勢、土石流、河道水位、淹水深、海岸溢淹深度與暴潮高之影響評估。

□ 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

- 農業：利用單一模式之動力降尺度分析臺灣地區未來水稻產量生產潛勢，近未來與世紀末氣候情境均造成稻作產量減產之趨勢，且世紀末比近未來更為嚴重(請參閱 4.1.1)
- 公衛：利用 AR4 氣候情境資料評估未來臺灣地區登革熱流行及風險，於氣候變遷情境下，全台登革熱風險均有明顯提高且有北移趨勢，若在 IPCC AR4 的 A1B 情境下，處於傳染高風險下的人口數更可能比現況增加將近 5 倍。(請參閱 4.1.2)

□ 降尺度資料應用技術研發

- MRI 動力降尺度資料之模式偏差修正：針對 MRI 之日輻射與颱風事件之時雨量進行模式偏差修正，明顯改善模式之日輻射偏高以及颱風時雨量偏低之問題，以提供農業領域以及防災領域有更好的評估應用。(請參閱 4.3.1)
- 未來氣候情境之日資料衍生：利用 LARS-WG 模擬未來氣候情境之日最高溫度、日最低溫度與日降雨，並以日溫差經驗式推估日輻射量，以符合農業領域對以上四個氣象因子之需求。(請參閱 4.3.2)
- 建立序率暴雨模擬之 Matlab 模組：序率暴雨模擬模式能將 GCMs 模式之月改變率，轉換為空間尺度為區域或集水區及時間尺度為日或小時之水文量。本序率暴雨模擬模組能簡化時雨量衍生之操作步驟以及批次處理。(請參閱 4.3.3)

1.2.4 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

- 資料服務：本計畫年度期間 (至 103 年 2 月止) 共提供了 19 個單位或機構計畫產製的氣候變遷資料。(請參閱 5.1.1)
- 資料生產履歷：已經製作完成兩組示範資料的資料生產履歷，分別為觀測網格月溫度資料與統計降尺度日資料衍生時間序列。(請參閱 5.1.2)

- 會議交流：辦理 2 場資料說明會/研討會與 1 場氣候變遷推廣活動。(請參閱 5.1.1 與 5.1.2)
 - 102 年 7 月 26 日「資料應用說明會系列-縣市政府氣候變遷調適計畫」
 - 103 年 3 月 14 日「TCCIP 氣候變遷資料使用經驗分享研討會」
 - 102 年 12 月 2 日「IPCC 氣候變遷第五次評估報告（第一工作小組）導讀講座」

□ 資訊平台網資料的改版與強化線上服務

本年度完成 TCCIP 內部溝通分享平台，以協助計畫團隊人員交流計畫相關成果及會議資訊…等。另完成 TCCIP 線上資料服務系統，提升對外提供資料的效率。請參閱 5.1.2。

□ 第二版氣候變遷科學報告之撰寫

102 年 5 月開始規劃第二版臺灣氣候變遷科學報告的編撰事宜。本報告分為兩冊，分別由 TCCIP 及 TaiCCAT 計畫團隊負責氣候變遷的科學及衝擊/調適兩大層面的撰寫，並由 TCCIP 計畫團隊組成工作小組統籌協助一、二冊間編撰工作協調事項及行政庶務。目前作者群正在撰寫中，預計 103 年 5 月底完成初稿，9~10 月辦理專家審查，年底提交科技部。請參閱 5.1.3。

□ 氣候變遷知識轉譯與服務

因應 IPCC 氣候變遷第五次評估報告—第一工作小組報告的公佈，以 2 個月時間翻譯給決策者摘要中文版，迅速提供國內讀者精準與完整的決策者摘要資訊。本決策者摘要中譯本也成為 102 年 12 月 2 日導讀講座的主要教材。(請參閱 5.1.1)

□ 國際合作與學術交流

今年度之國際合作主要維持以往與日本創生計畫之合作，合作項目包含特定主題之國際研討會，雙方產製資料交換與技術交流。在學術交流方面，今年度前往澳洲數個執行國家型氣候變遷計畫之重要機構進行移地研究、於花蓮舉辦 TCCIP 2014 國際研討會，與日韓、英國、澳洲、香港等地之專家學者深入探討氣候變遷議題，另外也前往英國氣象總部短暫移地研究，為未來擴展英國方面的合作奠定基礎。(請參閱 5.2)

第二章 臺灣地區氣候變遷觀測與模式資料分析

本計畫 Team1 之主要工作，乃針對臺灣地區之氣候變遷變異與發展趨勢進行診斷分析，因此著重於臺灣地區特有之氣候系統研究以及影響臺灣氣候之大氣環境分析。

依季節區分，影響臺灣之主要氣象系統，大致可區分成春季的降雨、五、六月的梅雨鋒面、颱風季節的颱風降雨、秋季降雨以及冬季寒害等，另外如乾旱事件、極端高溫皆在在影響著臺灣氣候變遷情境之設定與調適政策的制定。過去三年的執行過程中，Team1 已針對臺灣特有氣候系統進行分析，在未來三年，本計畫將從應用端使用者的角度出發，嘗試建立臺灣地區議題式的氣候現象評估量表，將氣象上之大尺度環流特性與臺灣地區的應用端作一連結。此外，藉由評估氣候模式中大尺度環流的表現，即可建立臺灣地區議題式的模式表現評估量表，此種操作概念，已常見於國際間之眾多氣候變遷研究中。

如圖 2.1 所示，第二期計畫將強化氣候資料之重建與再分析，以及強化與使用者之關連性，配合 Team3 之規劃需求，將進行研究臺灣地區氣候與災害、農業及公衛領域之關聯性研究，建立適合臺灣可操作之氣候現象評估量表 (Phenomenon Metric) 建立，與氣候模式表現評估量表 (Performance Metric)。

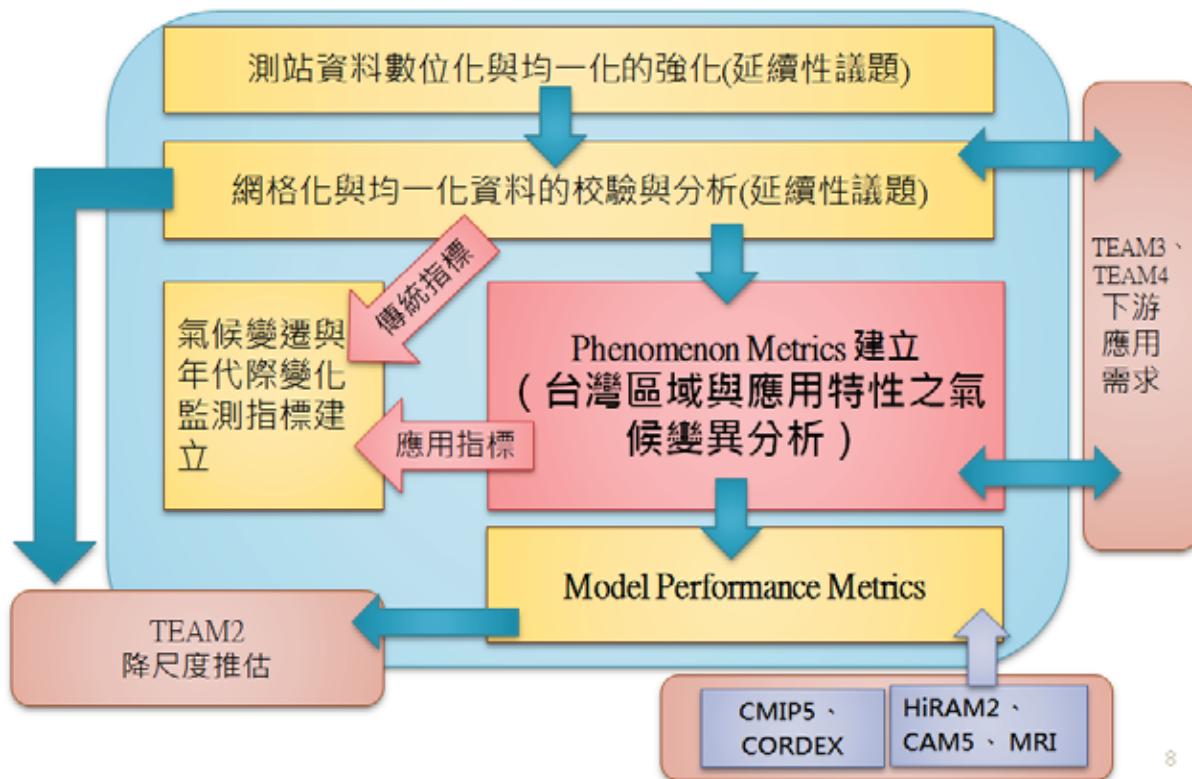


圖 2.1 Team1 工作規劃架構圖

2.1 強化臺灣地區氣候變遷資料之建置與現象再分析

2.1.1 臺灣測站資料更新與分析(詳見附錄 1.1)

TCCIP 計畫第一期 (99~101 年) 選用臺灣 6 個百年測站進行臺灣氣候變遷分析，為了更全面了解臺灣地區的氣候變遷趨勢，本期計畫中，將新增 20 個具有 60 年以上記錄的氣象測站，來分析 1951~2012 年臺灣區域氣候變遷的特徵，包括 12 個平地站 (基隆、臺北、新竹、臺中、臺南、高雄、恆春、宜蘭、花蓮、成功、臺東、大武)，5 個山地站 (鞍部、竹子湖、日月潭、阿里山、玉山)，和 3 個外島站 (彭佳嶼、澎湖、蘭嶼)。

結果顯示，臺灣年均溫變化有明顯暖化的現象 (圖 2.2)，近 60 年和 30 年都是上升的趨勢，除了東南部平地站之外，其餘平地站都有顯著增溫的現象，山地和外島站 60 年的升溫趨勢也相當顯著。20 個測站統計的結果顯示，近 60 年的增溫幅度為每 10 年上升 0.11°C ，30 年變化為每 10 年上升 0.17°C ，兩者皆通過 95% 統計檢定。在季平均溫度變化方面 (圖 2.3)，各季氣溫大多數測站都呈現上升的趨勢，但增溫程度有所不同，大多數測站冬季近 60 年和 30 年的暖化幅度是四個季節中最快的，山地和外島也呈現此現象，秋季暖化幅度略小於冬季，但多數測站變化仍相當顯著。

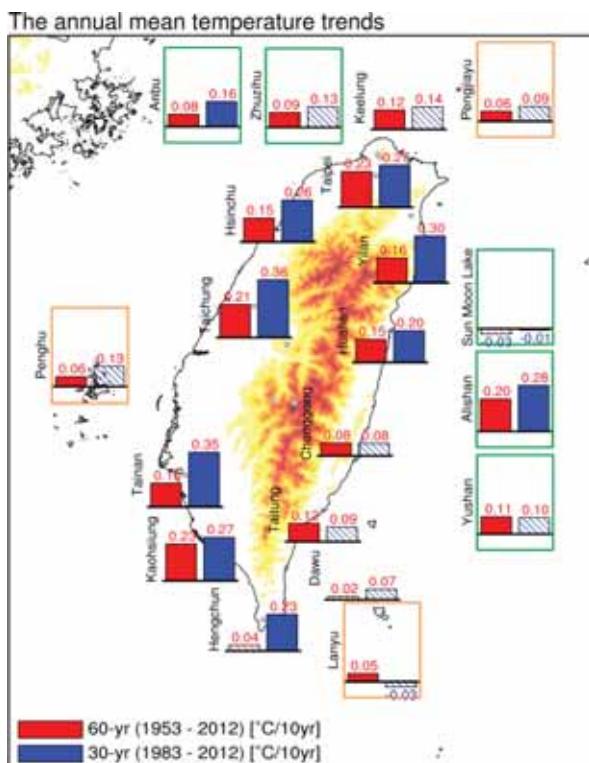


圖 2.2 1951~2010 年臺灣年平均溫度變化趨勢，長條圖從左到右是各測站的 60 年和 30 年變化幅度，實心長條圖表示線性變化趨勢通過了 95% 的信心度檢定，空心長條則表示未通過檢定。

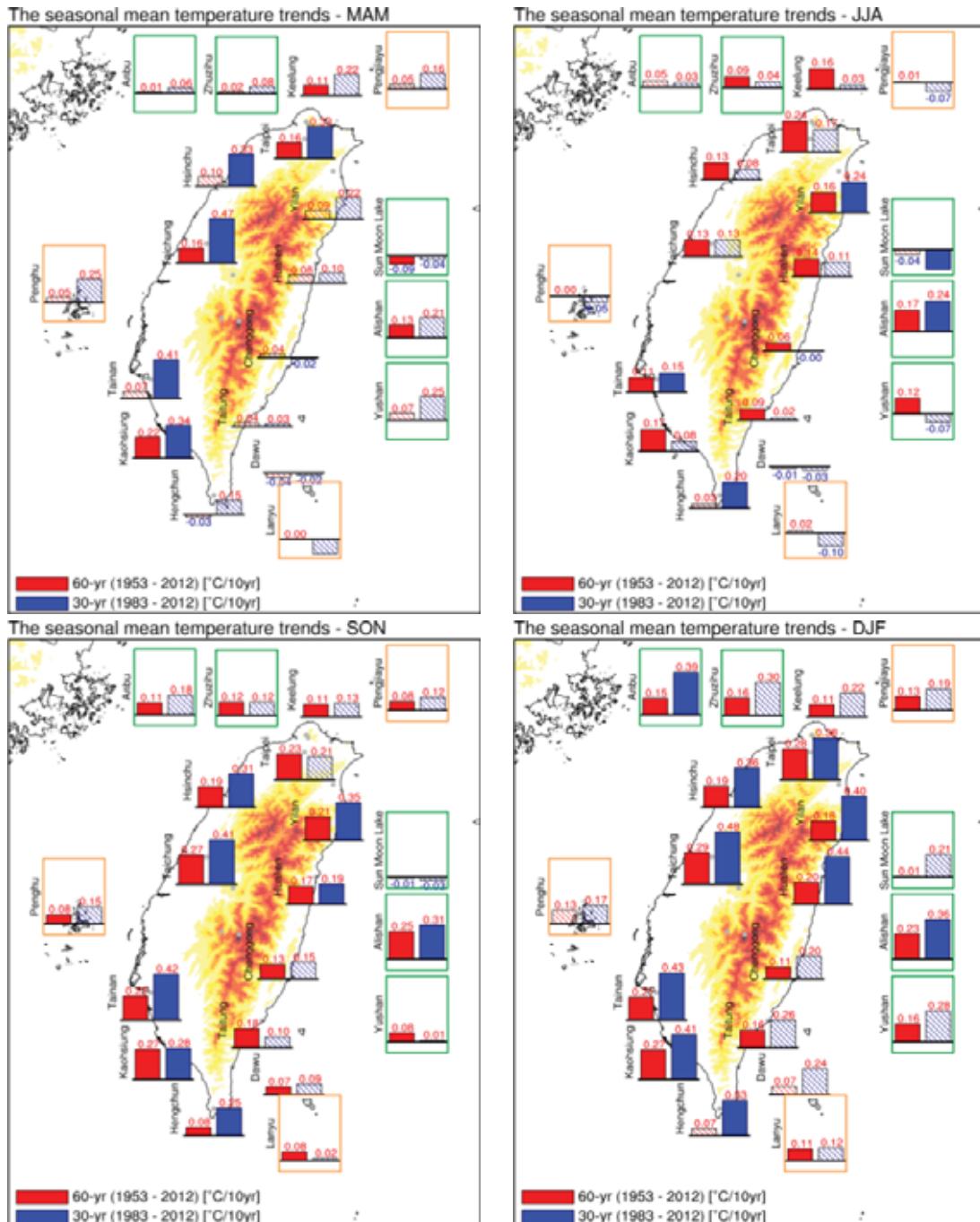


圖 2.3 同圖 2.2，但為季節平均溫度之變化趨勢，分別是春季 3~5 月 (MAM)，夏季 6~8 月 (JJA)，秋季 9~11 月 (SON)，冬季 12~2 月 (DJF)。

臺灣年總雨量 60 年和 30 年的變化趨勢都不明顯，沒有統計上的顯著長期變化趨勢。西部平地站 60 年雨量變化有增加的情形，其中臺北和高雄站增加趨勢都通過統計檢定。30 年趨勢呈現東北部測站的雨量變化有減少趨勢，而西南部增加，但變化趨勢都不明顯，僅臺中和大武站通過檢定。比較四個季節的雨量變化趨勢（圖 2.4），大多數測站近 30 年夏季雨量變化有增多的趨勢，而春季和冬季有減少的情形。中部山地站（日月潭、阿里山、玉山）近 30 年夏季雨量增加，春季減少的變化趨勢相當顯著。

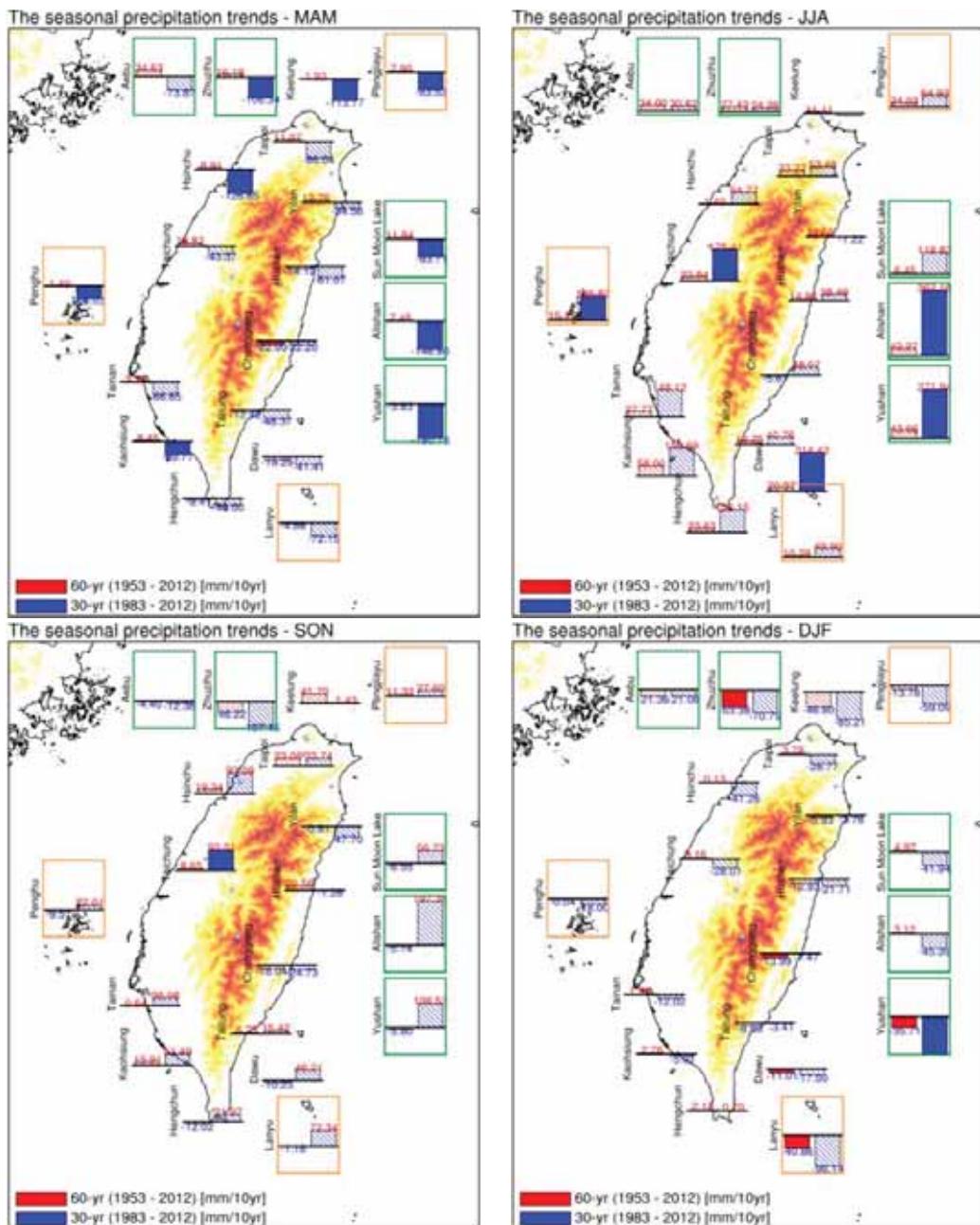


圖 2.4 同圖 2.3,但為季節雨量之變化趨勢,分別是春季3~5月(MAM),夏季6~8月(JJA),秋季9~11月(SON),冬季12~2月(DJF)。

在總降雨日數的變化方面，臺灣降雨日數普遍呈現下降的趨勢，20 個測站統計的結果顯示，近 60 年趨勢為 10 年減少 4 天，近 30 年則增至每 10 年減少 6 天。60 年趨勢變化顯示東部測站降雨日數的減少趨勢比西部地區來得明顯，另外，外島站 30 年變化也都顯示出降雨日數有明顯減少的現象（通過檢定）。四個季節的雨日普遍呈現減少的情形（圖 2.5），大多數測站在春季有顯著的變化，近 60 年東南部平地站降雨日數有明顯減少趨勢，山地和外島站在近 30 年有減少現象，8 個測站都通過了統計檢定。北部測站在夏季和秋季降雨日數有增加的情形，臺中站的增加趨勢更通過了檢定。由上述可知，臺灣春季不僅降雨日數明顯減少，雨量也出現下降的情形，此趨勢變化值得特別注意。

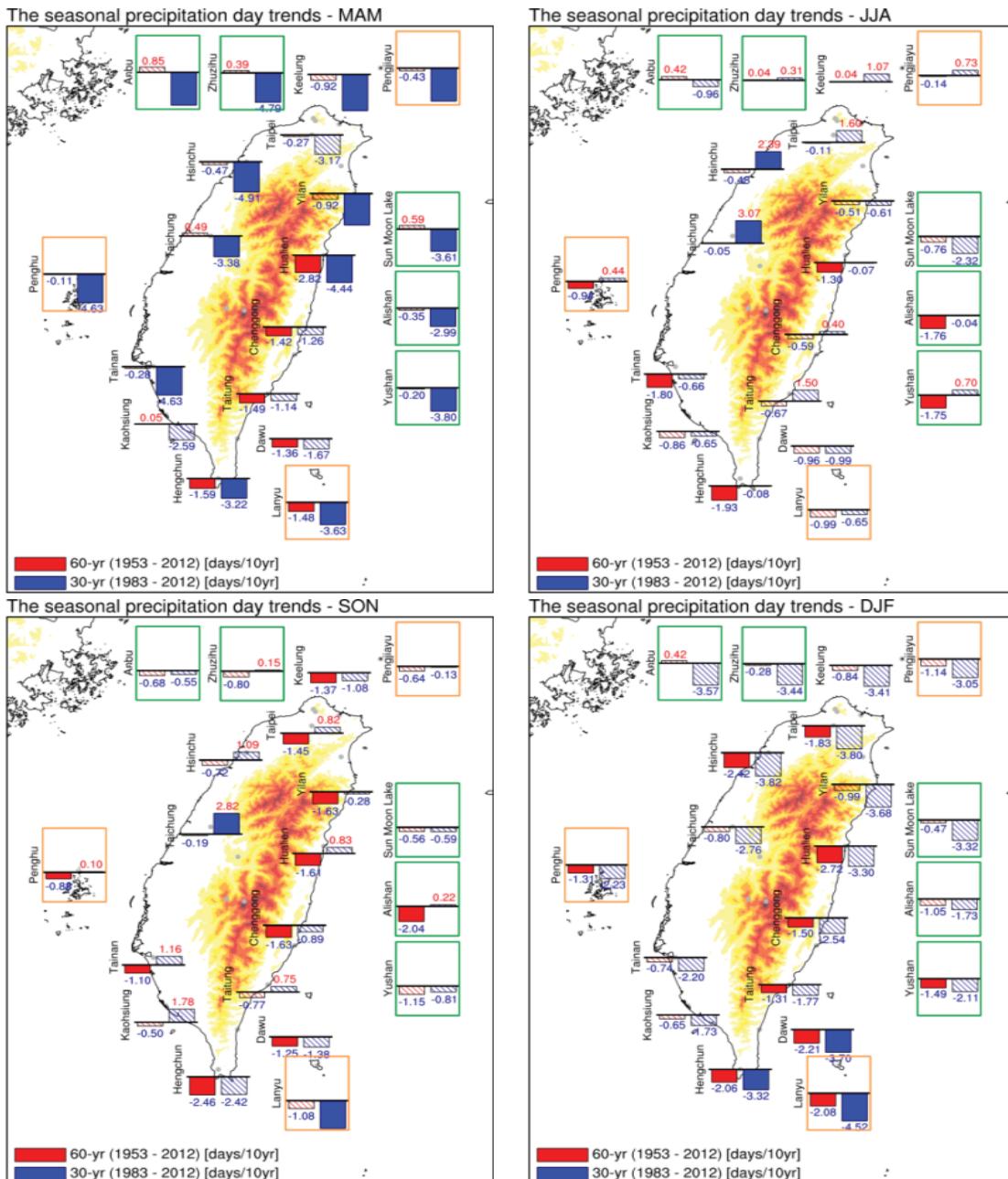


圖 2.5 同圖 2.3，但為季節降雨日數之變化趨勢，分別是春季 3~5 月 (MAM)，夏季 6~8 月 (JJA)，秋季 9~11 月 (SON)，冬季 12~2 月 (DJF)。

2.1.2 氣象資料數位化

登打臺北及臺南氣象站之逐時觀測資料，本案包含：測站氣壓、氣溫、相對濕度、平均風速、平均風向、日照時數等 6 項；由於此次數位化工作於完成臺北及臺南站之後尚有餘力，因此增列花蓮與臺東測站之部分紙本資料進行數位化。本期數位化作業已全部完成登打與檢驗工作。每日登打資料筆數以實際紀錄為準，由於部份測站早期非逐時觀測而是定時觀測，此次數位化資料總筆數約 670 萬筆（表 2.1）。

表 2.1 本年度計畫氣象局屬臺北、臺南、花蓮及臺東測站早期觀測資料數位化

| 測站 | 年數 (年份) | 完成筆數 |
|----------------|------------------------|-------------|
| 臺北 (站碼 466920) | 65 年 (1896~1960) | 3,254,380 筆 |
| 臺南 (站碼 467410) | 64 年 (1897~1960) | 1,427,064 筆 |
| 花蓮 (站碼 466990) | 51 年 (1910~1960) | 1,413,743 筆 |
| 臺東 (站碼 467660) | 19 年 (1937~1954, 1960) | 614,616 筆 |

2.1.3 臺灣降雨分區指數之建立(詳見附錄 1.2)

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

研究中使用之分區方法主要沿山脈稜線區分東西，濁水溪、雪山、南湖大山連線區分南北(如圖 2.6)。分析結果重點整理如下：

- 年循環特性：臺灣地區降雨集中在六月及八月，形成各區域的雨量峰值區（除了東北區八月沒有峰值）。秋季 (SO) 則是東北區及東南區降雨最多的時段。冬季 (NDJ) 降雨以東北區最多，春季降雨則以西北區最重要 (如圖 2.7)。
- 年代際變化 (21 年滑動平均，圖 2.8 粗線)：
- 增加趨勢者：夏季 (JA) 東北區，秋季 (SO) 各區
- 減少趨勢者：春季 (FMA) 各區，梅雨季 (MJ) 東北、東南區，
- 持平者：夏季 (JA) 西北、東南區，
- 有週期性年代際變化：春季 (FMA) 各區，夏季 (JA) 西南區，
- 其他：西北、西南區春雨、秋雨與 PDO 相關，1960-1970 東北區的秋雨明顯增加、秋雨明顯減少。
- 各區重要的季節降雨分別為：西北區—梅雨、夏季，西南區—夏季、梅雨，東北區—秋季、冬季。

分區雨量指數的年代際變化曲線顯示四區在不同季節有不一樣的關係：冬季 (NDJ) 臺灣東半邊 (NE、SE 區) 的降雨有類似的年代際變化；降雨指數大小則分為北邊與南邊兩群；臺灣梅雨季 (MJ) 時，分為西部及東部兩群；夏季 (JA) 西半部兩區年代際變化相似；秋季 (SO) 雨量變化大致可以區分為東西兩群。

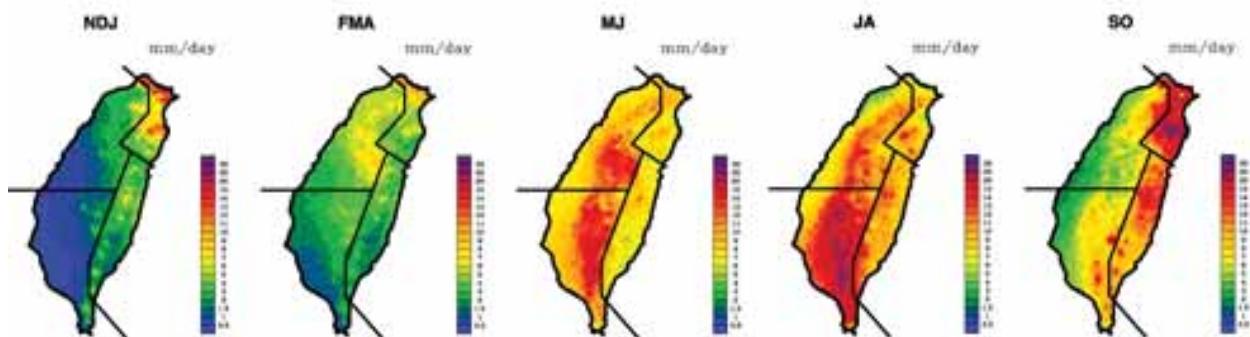


圖 2.6 臺灣地區雨量分布圖 (僅以測站雨量做簡單內差) 及分區 TRI 界線

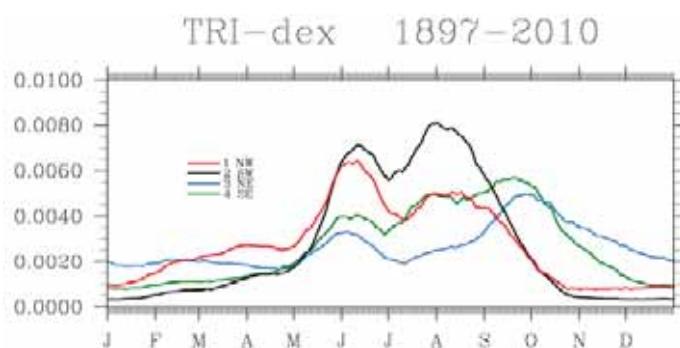


圖 2.7 分區 TRI 年循環圖

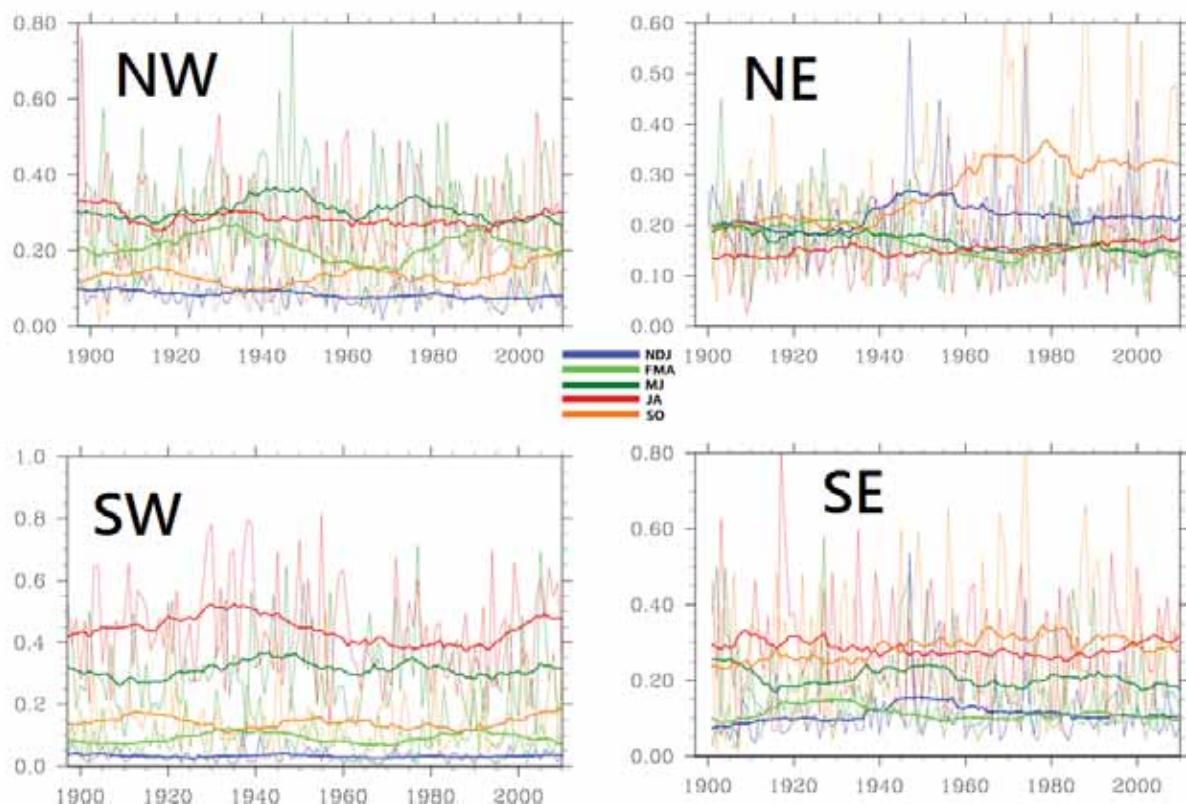


圖 2.8 各分區 TRI 年代與年代際變化

2.1.4 臺灣降雨指數更新

臺灣降雨指數 (TRI) 於 TCCIP 第一期計畫中收錄了 1885-2010 年的資料，資料品項分為日資料與月資料，第二期計畫中目前已更新至 2012 年的資料。

□ TRI 更新：

2013 年新測站資料與舊測站資料有些許更新，舊測站資料有 22 筆測站高度不同，加上已於近日獲得水利署提供 2009~2012 年所屬測站降雨資料，TRI 將進行進一步之更新。

□ 測站數目對 TRI 值影響測試：

經過比較，TRI-mex 及 TRI-m 與僅以氣象局綜觀測站所算出之指數比較，兩者十分相似。

加上 TRI 指數所使用的在 1960 年代以後，已經達到 500 站以上，測站的增減對 TRI 指數值的影響很小。

2.1.5 網格化資料不確定性分析(詳見附錄 1.3)

網格化資料乃為估計分析值，因參考測站的多寡、採用的細網格分析方法及地形高度，可能產製出不同的估計數據，也可能存在不同程度的誤差。本工作擬以客觀的校驗分析方法進行細網格資料的不確定性分析，期望所做成果能盡可能的幫助資料提供者及使用者了解資料的可參考範圍，增加對所使用資料的信心度，進而能正確的善用該資料。彙整重要結論如下：

- (1) 期中完成使用與 TCCIP-I 完全相同的測站資料及地形產製一套由克利金方法所分析出的細網格溫度資料，指出與第一版 TCCIP 網格月溫度資料在西南部有大範圍的差異，提供計劃團隊檢查修正資訊參考。其後亦發現修正後之網格月溫度資料所新增使用的環保署觀測資料的海拔高度資訊有引用錯誤情形，並協助提供修正資訊。
- (2) 於期中報告對於 TCCIP 網格化方法與克利金方法給予比較評析，克利金方法乃是先找出資料在空間中的統計結構，再透過最小估計誤差原理，決定觀測站之間的統計關係矩陣，和觀測站和估計值之間的統計關係向量，最後決定權重係數。而 TCCIP 網格化方法採用網格權重與距離成反比的內插方法，並配合權重平均法去分配不同網格的權重值，此統計方法只有觀測值和估計值之間的統計關係，欠缺觀測值之間彼此的統計關係矩陣，可能出現相依觀測資料權重配比不恰當的問題。另外，在以去一法 (take one out) 檢查網格化方法的可信度時，2 個方法皆顯示測站數較少的山區及東部地區有較大估計誤差，我們提醒使用此部份的高解析度資料進行氣候變遷分析可能需要更為謹慎。
- (3) 在比對不同方法所產製網格化資料的差異程度方面，以具 50 年以上長期資料的代表站為例，檢查上述 2 種網格化方法是否能正確估計其觀測所見趨勢 (圖 2.9)。結果顯示原計畫團隊網格化方法的估計值並未能呈現出部分測站所觀測到的長期暖化趨勢。而克利金網格化方法的估計值則相對表現較好。

- (4) 指出網格化資料在各年的估計誤差可能因鄰近測站數的多寡、關連程度等影響而存在年代差異。此種誤差的幅度甚至可能影響真實氣候變遷訊號的判斷。
- (5) 經由網格化資料近 30 年迴歸分析初步結果所表現出的臺灣山區冷化趨勢，提出一些可能需注意的問題，例如所見具冷化趨勢的網格化資料，並非產製於全部時程皆有固定觀測數量的資料序列。另外包含觀測資料品質的檢查、異源資料的統計差異特性也是進行網格化分析前應該要先行處理的問題。

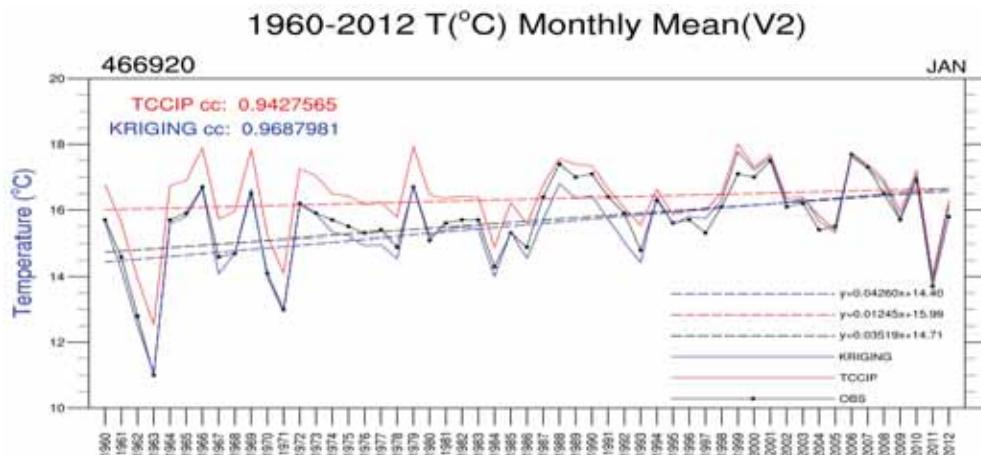


圖 2.9 1960-2012 年臺北 1 月氣溫時間序列圖。其中黑色曲線為實測值，紅色及藍色分別為 TCCIP-V2 及克利金方法在臺北鄰近點的網格估計值。

2.1.6 海平面資料均一化校正工作(詳見附錄 1.4)

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

本期選定 10 個潮位測站對其長期潮位觀測資料進行均一化作業（基隆、高雄、淡水、花蓮、澎湖、塭港、蘇澳、新竹、東石、成功等站），未均一化前的海平面，大部分皆有水準面偏移的情形，經過本研究的系統性均一化修正後，海平面資料的偏移皆已趨於合理，從均一化後的 10 個測站中，挑選缺值比例較少，且資料提供品質較穩定的 4 個潮位測站進行長期資料的分析，分別是基隆、高雄、塭港及蘇澳。四站皆已經由前述步驟進行分站合併與檢校，完成海水基準面的調整。本研究更進一步利用線性迴歸進行初步分析以瞭解四個潮位站的長時間海平面變化趨勢。圖 2.10(e) (高雄)、圖 2.10(f) (基隆)、圖 2.10(g) (塭港)、與圖 2.10(h) (蘇澳) 為各站的線性迴歸結果。從圖可知，線性迴歸分析得到高雄平均海平面上升速率為 0.37 公厘/年；

基隆平均海平面上升速率为 0.74 公厘/年；塭港平均海平面上升速率为 4.93 公厘/年；蘇澳平均海平面上升速率为 7.00 公厘/年。

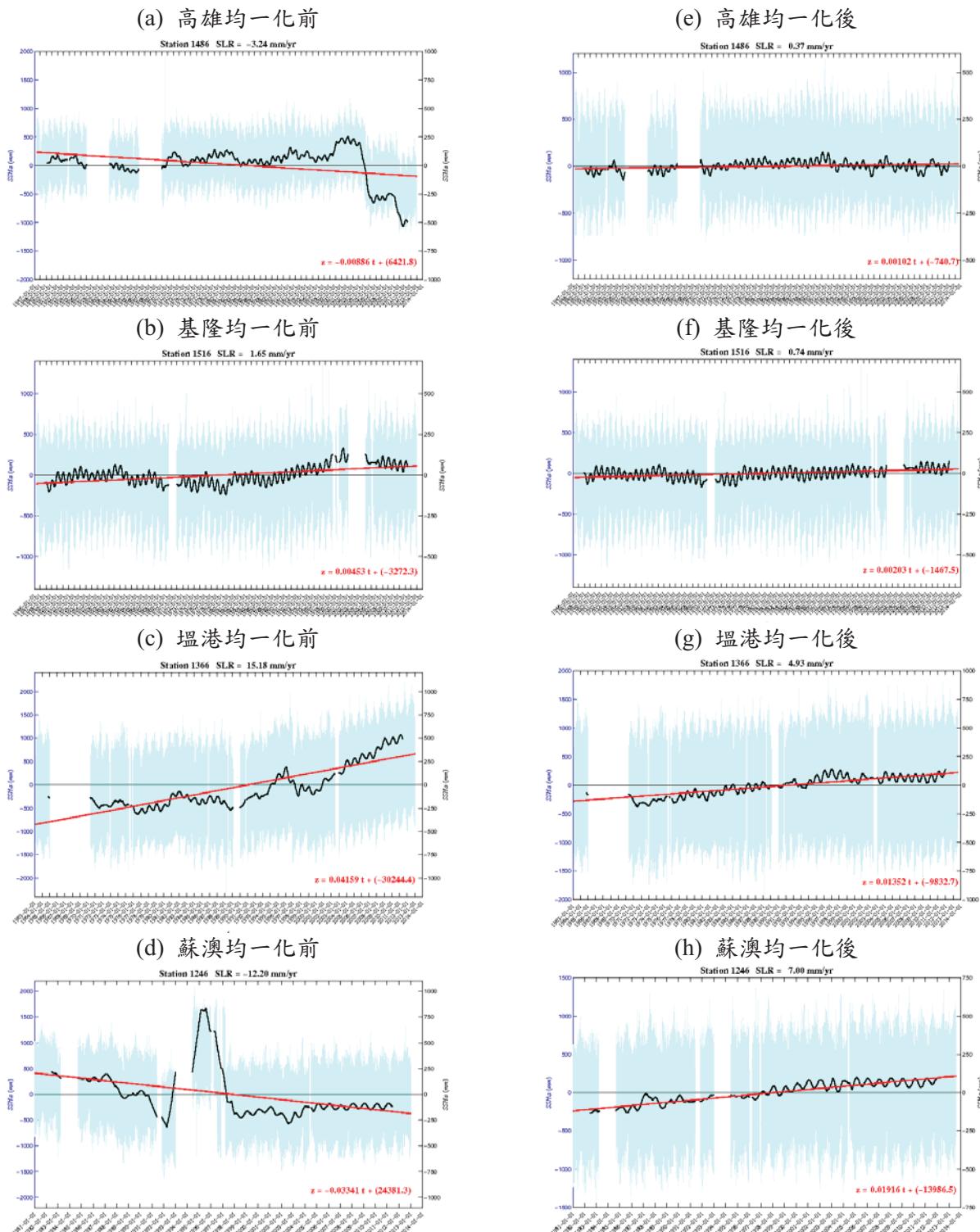


圖 2.10 (a) ~ (d) 為各測站均一化之前的潮位逐時觀測資料；(e)~(h) 為各測站均一化後的潮位逐時觀測資料

2.2 氣候現象評估量表

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

以春季不降雨日為例，每年二、三、四月，為臺灣地區春季降雨主要季節，更是臺灣西北部地區主要降雨之時期。也因臺灣西北部地區有其降雨特性，提供了臺灣中北部地區第一期農作主要水資源來源。由農委會農糧署資料顯示，臺灣中北部地區之第一期稻米產量占全台 40%。若春季時期降雨特徵有所改變，對於農業、工業、科技業甚至民生皆有影響。然而，春季不降雨日在模式中，較無法掌握與模擬，因此該天氣事件需藉由氣候變遷推估系統建立其氣候現象評估量表 (Phenomenon Metrics)。透過文獻彙整與資料分析可製成與不降雨日相關之度量因子，綜整春季不降雨日之度量因子與其空間範圍，可以表 2.2 所示。

表 2.2 春季不降雨日之氣候現象評估量表

| 月 | 自然季節 | 天候現象 | 影響 | 度量因子--> | | | | |
|---|------|------|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | | | | V925 | U200 | 輻散場200 | SLP | SST |
| 2 | | | | | | 5N~25N · 130E~150E · 輻散正相關 · | 5N~25N · 130E~150E · 輻散負相關 · | 5S~5N · 150W~90W · 輻散負相關 · |
| 3 | | | | | | 30N~40N · 170E~170W · 輻散負相關 | 30N~40N · 170E~150W · 輻散正相關 | 30N~40N · 170E~150W · 輻散正相關 |
| 4 | 春 | 不降雨日 | 農業 · 工業 · 民生用水 | 5N~25N · 110E~130E · 南風分量負相關 | 15N~35N · 110E~130E · 西風分量負相關 | | | |

當決定評估量表決定後，即可透過性能指標 (I2) (Reichler and Kim, 2008) 診斷模式之模擬能力，建立 Performance Metrics，各模式對特定物理場模擬之模擬程度，透過此檢視判斷，可為應用端挑選出，在未來情境下較能準確模擬該天氣事件的模式。

本計畫第一年則是為建立各領域之氣候現象量表進行先期研究。

2.2.1 冬半季降雨分析(詳見附錄 1.2)

□ 冬半季降水與MJO的關係

冬半季 (十一月至隔年四月，以 NDJFMA 表示) 臺灣地區降水與 MJO 關係的研究於去年開始進行，發現臺灣降水隨著 MJO 相位不同而波動，MJO 對流中心在印度洋-海洋大陸 (相位

3-4) 時臺灣地區降雨較多，MJO 對流中心在換日線附近（相位 7-8）時臺灣地區降雨較少（圖 2.11a）。圖 2.11b 則是統計 1974-2009 年，各 MJO 相位時鋒面在臺灣附近 ($118\text{-}124^\circ\text{E}$, $20\text{-}28^\circ\text{N}$) 的範圍內，但排除中國大陸陸地) 的天數，結果顯示相位 3 及 4 在臺灣附近有鋒面的天數最多，鋒面系統雖然不是氣候尺度的議題，但是鋒面通過的頻率受到氣候尺度的影響，顯然大尺度環境場中有什麼作用力正在影響著。經過大尺度環流場分析（使用 OLR 衛星資料、ERA-40 及 ERA-Interim 重分析資料，各層的重力位高度、風場、比濕等資料），提出以下兩種主要可能機制分別或共同影響而增加臺灣地區冬季降雨：

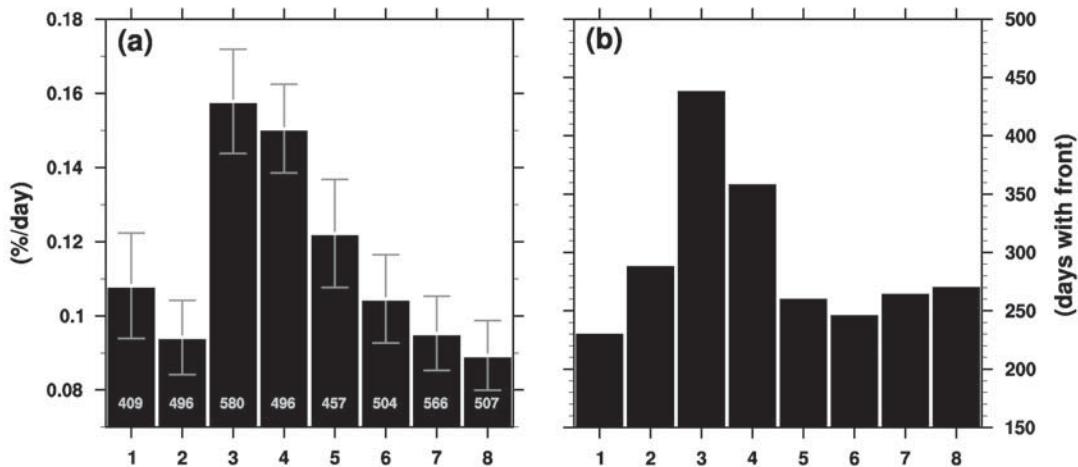


圖 2.11 (a) 1974-2009 年 MJO 相位 1-8 的 TRI 指數平均值，長條圖下方的數字代表該相位的個案數目。(b) 1974-2009 各個 MJO 相位臺灣附近 ($118\text{-}124^\circ\text{E}$, $20\text{-}28^\circ\text{N}$) 有鋒面之天數。

□ 热帶熱源形成波列後傳遞至中緯度的影響

MJO 對流中心從非洲東岸移到印度洋時（相位 2），底層的熱源產生 Matsuno-Gill type pattern (Matsuno 1966, Gill 1980) 的特徵，此時 MJO 對流中心大約在東經 $60\text{-}90$ 度（圖 2.12b）。熱帶大氣對 MJO 非絕熱項加熱的反應，是在加熱區的西側出現兩個對稱於赤道的反氣旋距平 (the Rossby wave response；Hsu 1996)。MJO 相位 2 時，北側的反氣旋距平在阿拉伯海處，這個反氣旋距平激發了一連串向東北傳遞的波列（如圖 2.13a），包括華中的氣旋式距平及日本中部的反氣旋距平。位於中國大陸上的這個氣旋式距平會加強中國大陸地區的對流，且增加華南地區的降雨（圖 2.13d），然而臺灣地區還未受這個氣旋式距平的影響，以至於相位 2 時臺灣地區降雨偏少，要等到相位 3 時（圖 2.13b），整個波列向東平移，850hPa 氣旋式環流出現在中國大陸沿海地區，加強了對流（圖 2.13e），而增加臺灣的降雨。

□ 南方水汽供應的增加

MJO 相位 3 時臺灣雨量較多，除了大尺度環境場的波列加強了對流之外，另一個扮演重要角色的是「南方水汽供應的增加」。當 MJO 對流中心來到蘇門達臘及爪哇群島時，前方的下沉區分岔為二（圖 2.12c），北邊這個下沉氣流分支（大約東經 120 度，南海到菲律賓海這一帶）

引發向北的 local Hadley circulation，使得上升氣流區出現在臺灣北部（圖 2.14b），並將水汽由南海向北傳送到華南及臺灣地區（圖 2.14e）。這樣的結果，使臺灣地區在 MJO 相位 3+4 的時候有好的條件下更多的雨。

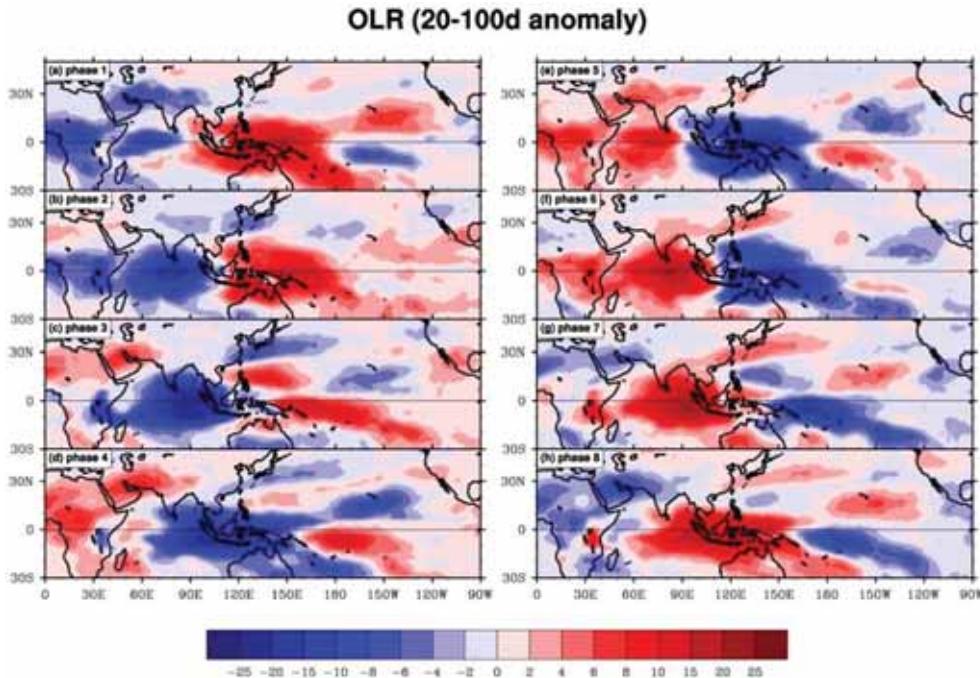


圖 2.12 經過 20-100 天濾波處理的 OLR 距平圖，a 至 h 分別為 MJO 相位 1-8。

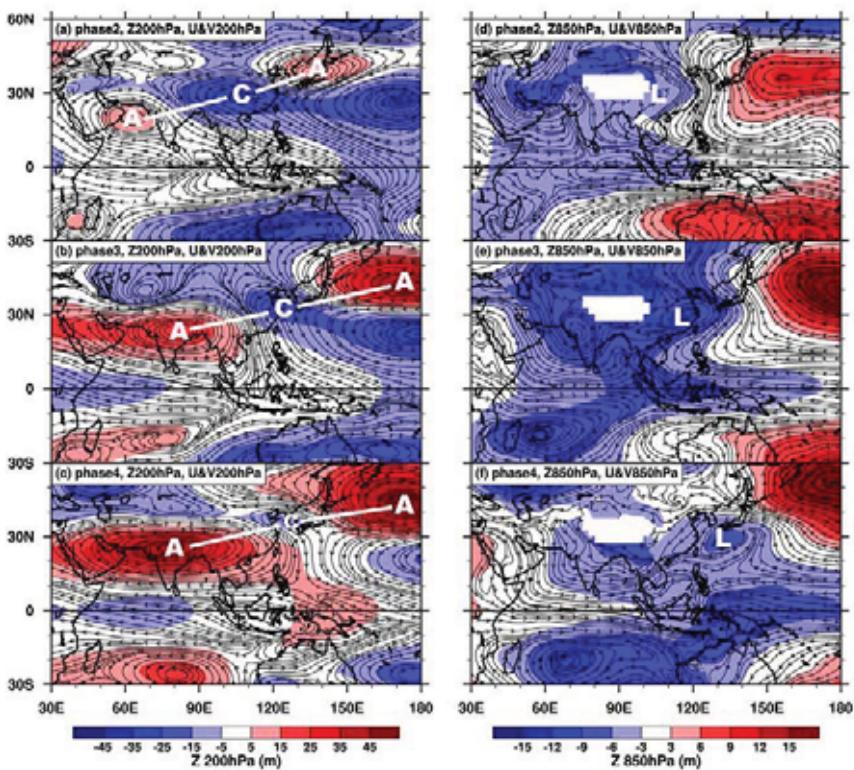


圖 2.13 (a) MJO phase 2 合成圖 (20-100 天濾波) 距平場，200hPa 重力位高度 (紅藍色塊，單位:m) 及 200hPa 氣流線，圖中“A”與“C”分別代表反氣旋及氣旋，白色直線連結的為同一個波列。(b)、(c)與(a)相似，但分別為 MJO 相位 3 及 4。(d)、(e)及(f)相似於 (a)、(b) 及(c)，但為 850hPa。圖中的“L”代表低壓，(d)、(e) 及(f)因為高度的關係，用白色色塊遮蓋住青藏高原的位置。

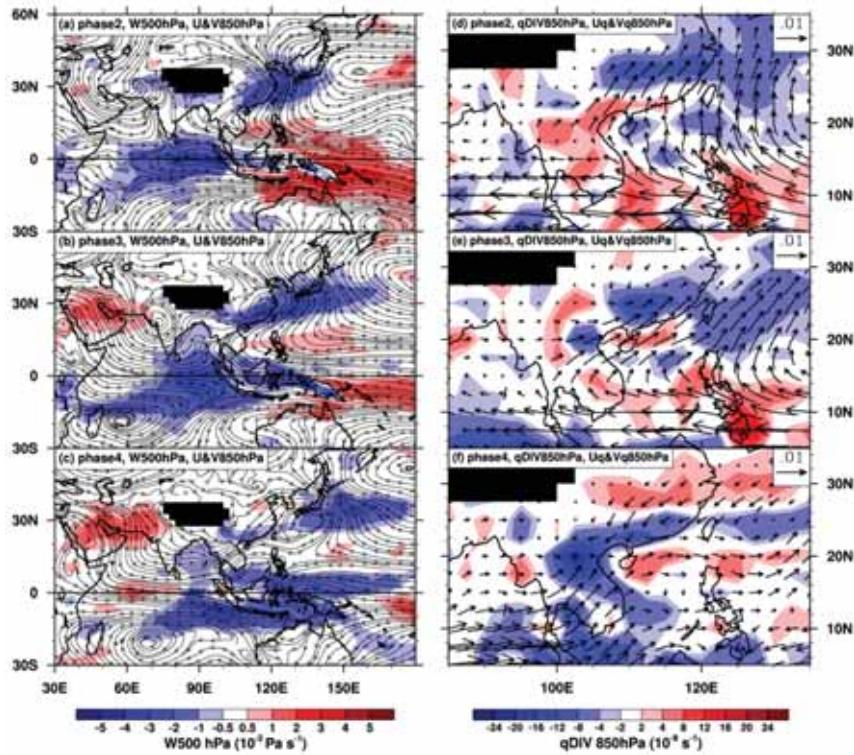


圖 2.14 (a) MJO phase 2 合成圖 (20-100 天濾波) 距平場, 500hPa 垂直速度 (紅藍色塊, 單位: Pa s^{-1}) 及 850hPa 流線場。(b)、(c) 與 (a) 相似, 但為相位 3 及 4。(d)、(e) 及 (f) 分別與 (a)、(b) 及 (c) 相似, 但是 850hPa 的水氣傳送場 u_{qi} 及 v_{qj} (q 是比溼), 及水氣幅散場 (紅藍色塊, 單位: 10^{-8}s^{-1})。因為高度的關係, 清藏高原的位置以黑色色塊遮住。

TCCIP 計畫為推估未來氣候變遷下的大氣環境使用全球模式為主要工具, 但大多推估模式為月資料 (本研究使用日資料分析), 且氣象模式目前無法模擬 MJO, 但本研究提出的兩種 MJO 影響臺灣降雨機制 (圖 2.15), 研究者在評估臺灣地區冬半季降水的多寡時, 也能利用這兩種機制出現的狀況與否來推估降水的多寡。也就是說, 如果遇到:(1) 热帶地區有一個加熱源存在印度洋, 它將透過 Rossby wave train 影響中緯度華北槽線的加深, 進而加強地面對流的強度, 影響臺灣地區降雨。(2) 南海向北的水汽供應增加, 將使臺灣地區降雨增加。

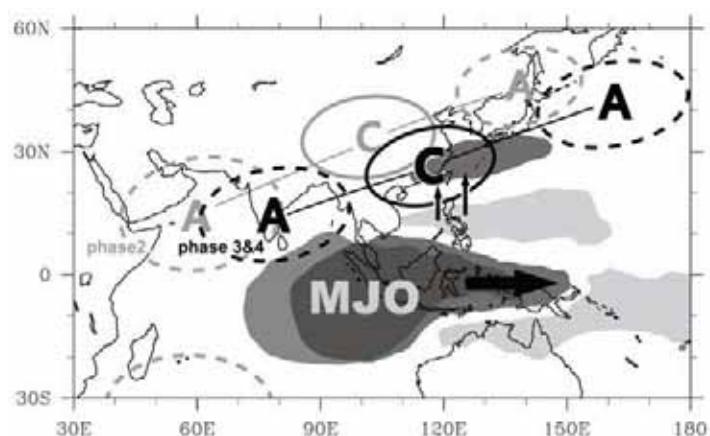


圖 2.15 MJO 影響臺灣冬半季降雨的兩種機制概念圖。深灰色跟淺灰色分別代表上升及下沉區, “A”跟“C”分別代表反氣旋及氣旋, “MJO”表示 MJO 對流中心。大箭頭表示 MJO 的移動方向, 小箭頭表示往臺灣附近的南來水汽供應, 相位 2 及相位 3 & 4 波列的位置分別用灰色及黑色表示。

2.2.2 春季乾旱(詳見附錄 1.5)

本計畫年度春季乾旱議題研究工作進行石門水庫和曾文水庫集水區春季乾旱現象分析及網格化乾旱指數資料庫建立；並由 Team2 協助完成臺灣春雨之現象分析工作。

□ 石門水庫和曾文水庫集水區春季乾旱現象分析

建立標準化降雨蒸發散指數 (SPEI) 之標準建立流程，並針對石門與曾文水庫集水區之 SPEI 進行 EEOF 分析，以了解乾濕情形隨時間之變化情形，結果顯示，石門水庫集水區的春季乾旱類型，可分為四類。EEOF1 為 9 月~隔年 5 月是偏乾的類型，且有約 3 年的周期存在（圖 2.16）；EEOF2 是在 2~5 月偏乾的情況發生；EEOF3 則是分別在 8 月、10 月~1 月、4~5 月有偏乾的情形，尤其是 10 月的時候，且有約 7 年的周期性（圖 2.16）；EEOF4 則呈現乾濕不斷交替的震盪情況，直到 3 月以後轉為偏濕，有約 3 年的周期（圖 2.16）。

曾文水庫集水區的春季乾旱類型，主要可分為三類。分析發現（圖未示），EEOF1 的春季乾旱型態為 6 月和 9~10 月偏濕，7 月偏乾，而 11 月~1 月乾、濕變化不明顯，到了春季呈現偏乾的型態，並且有約 4 年的周期；EEOF2 呈現 6~11 月主要是偏濕的狀態，到了 12 月以後，直到隔年春季皆呈現長期偏乾的情況。EEOF3，則在 6~9 月為偏濕的情況，而 10 月又偏乾，到了 2、3 月又偏濕，但 4 月到 5 月中又為偏乾的情形，5 月中之後才乾濕翻轉，並有個約 10 年的周期性。

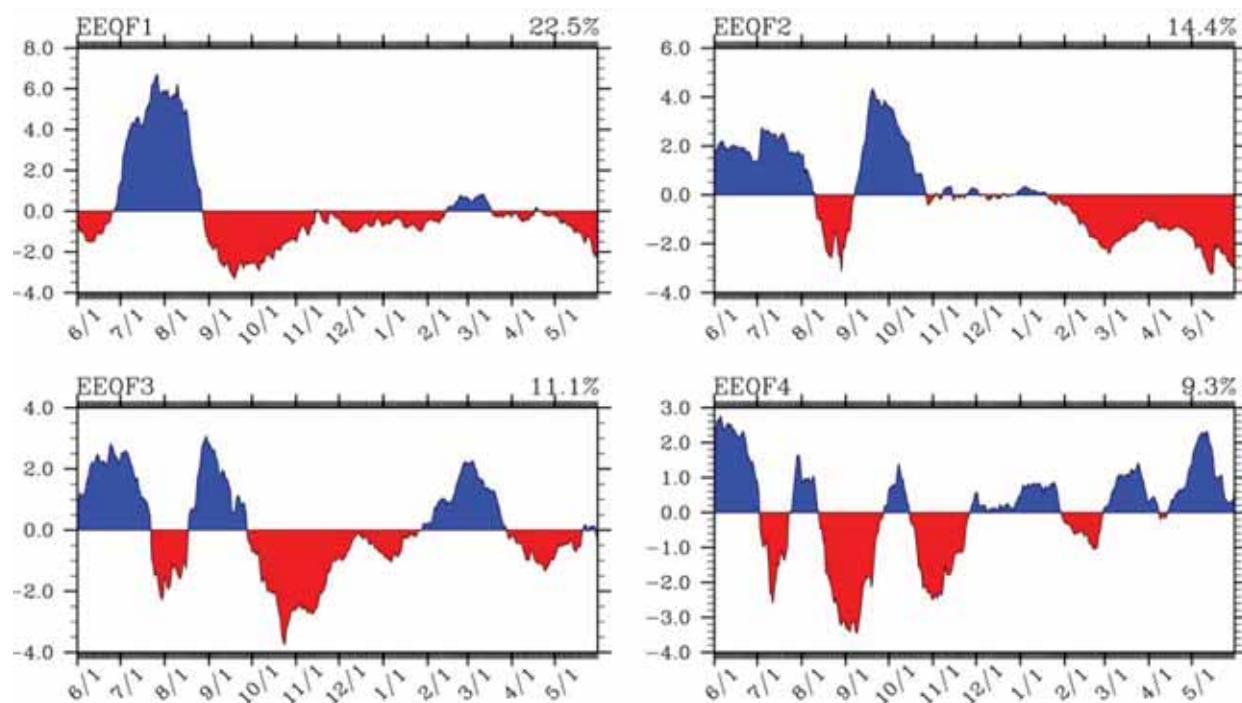


圖 2.16 石門水庫集水區的乾旱指數 (SPEI) 距平值，經過 EEOF 分析後，四個模組的特徵向量在 6/1 日~隔年 5/31 日的變化，每張圖右上角的數字代表各個模組在 EEOF 分析中的比重。

□ 網格化乾旱指數資料庫之建立

臺灣因季風環流和特殊地形的因素，使得水資源收支存利用有很大的不確定性。本研究使用臺灣地區的測站降雨、溫度資料以及本計畫產出之高解析度 ($1\text{km} \times 1\text{km}$) 日均溫和月均溫網格資料，計算出測站的剩水量和累積降雨量，為了使測站 SPEI 資料，能夠更接近常態分佈，吾人計算不同測站的剩水量資料，在九種不同統計分佈下的統計特性(峰度、偏度)，並選擇適合的統計分佈去對剩水量做標準化，得到標準化降雨蒸發散指數 (SPEI)，這代表在不同的時間尺度下，不同的測站，所使用的統計分佈會依情況而有所不同。同樣的，計算標準化降雨指數 (SPI) 時，則是沿用相對應時間尺度之測站計算 SPEI 所使用的統計分佈，對累積降雨量做標準化，求得 SPI。

此外，在測站 SPEI 和 SPI 資料計算出來之後，對於觀測資料缺失的時間點，本研究則使用資料補遺技術，去補足測站缺失的 SPEI 和 SPI 資料，並得到不同時間尺度下，完整時間序列的測站 SPEI 和 SPI 資料。再利用 EOF 分析的數學方法，保留 95% 的變異量，對特徵向量做網格化之後，乘上對應之主分量 (PC) 模組的數值做累加，得到不同時間尺度的 1 公里解析度之 SPEI 和 SPI 網格化資料庫。本研究將建立臺灣地區 6 個不同時間尺度下 (10 天、20 天、1 個月、3 個月、6 個月、12 個月)，3 種不同解析度的乾旱地圖資料庫 (1km 、 5km 、 25km)。

在資料不確定的分析中，從測站剩水量和累積雨量的資料分析裡，發現測站的統計特性(峰度、偏度)，會隨著時間尺度的增加，逐漸趨向於常態分佈。研究中也發現無論是哪種時間尺度，沒有一種統計分配能完全掌握所有測站的統計特性。因此本研究採用讓測站資料自身的統計分佈特性決定要使用九種統計分配中的哪種統計分配，對測站的剩水量做標準化 (累積降雨量則沿用相同的統計分配)。

此外，也從測站 SPEI 和 SPI 的資料，分析測站整體資料統計特性 (峰度、偏度) (圖 2.17、圖 2.18)。結果發現，月時間尺度以上的測站資料統計特性之散點圖分佈，相當趨近於常態分佈，而 10 天和 20 天時間尺度之 SPEI 和 SPI 資料分佈則呈現往常態分佈收斂較差的結果，尤其是 SPI 的部分，初步認為這可能和 10 天、20 天的累積降雨量有許多的連續不降雨日，使累積降雨量值為零，對累積雨量在做標準化時產生影響，進而影響到統計特性，導致測站 SPI 資料在 10、20 天的時間尺度不確定性較大，故在產生 SPI 網格化資料庫時，只會產出月時間尺度以上的網格化資料庫。

另外，也對測站 SPEI 和 SPI 整體資料的平均值與標準差數值做資料的不確定性。在常態分佈的理想狀態下，平均值應為 0，標準差為 1，如果測站的 SPEI 或 SPI 資料計算出來的平均值和標準差，偏離 0 和 1 越多，代表此測站的資料不確定性越大。從物理意義上來說，當平均值大(小)於零時，代表誤差偏濕(乾)，若 SPEI 或 SPI 為正值時，代表 SPEI 或 SPI 實被高(低)估。另外，標準差若離 1 越遠，代表誤差越大，如大(小)於 1，代表變異偏大(小)，可能會高(低)估分析結果。從圖 2.19、圖 2.20 的分析結果可知，平均值大都介於 ± 0.1 之間，標準差介於 0.7~1.3 之間，相當趨近於常態分佈，但是在測站 SPI 資料，在 10、20 天的時間尺度下，有較大範圍的誤差發生。

本研究還對測站所選用之統計分配方法上的誤差分析，結果發現測站 SPEI 資料在降雨較多的月份誤差較大（如颱風季）。此外，較特別的是在 12 個月的時間尺度下，因剛好是一個年循環，所以在剩水量的誤差上，從 1~12 月的誤差量都差不多，且沒有誤差特別大的情況發生。至於 SPI 的部分也得到和 SPEI 相似的分析結果。

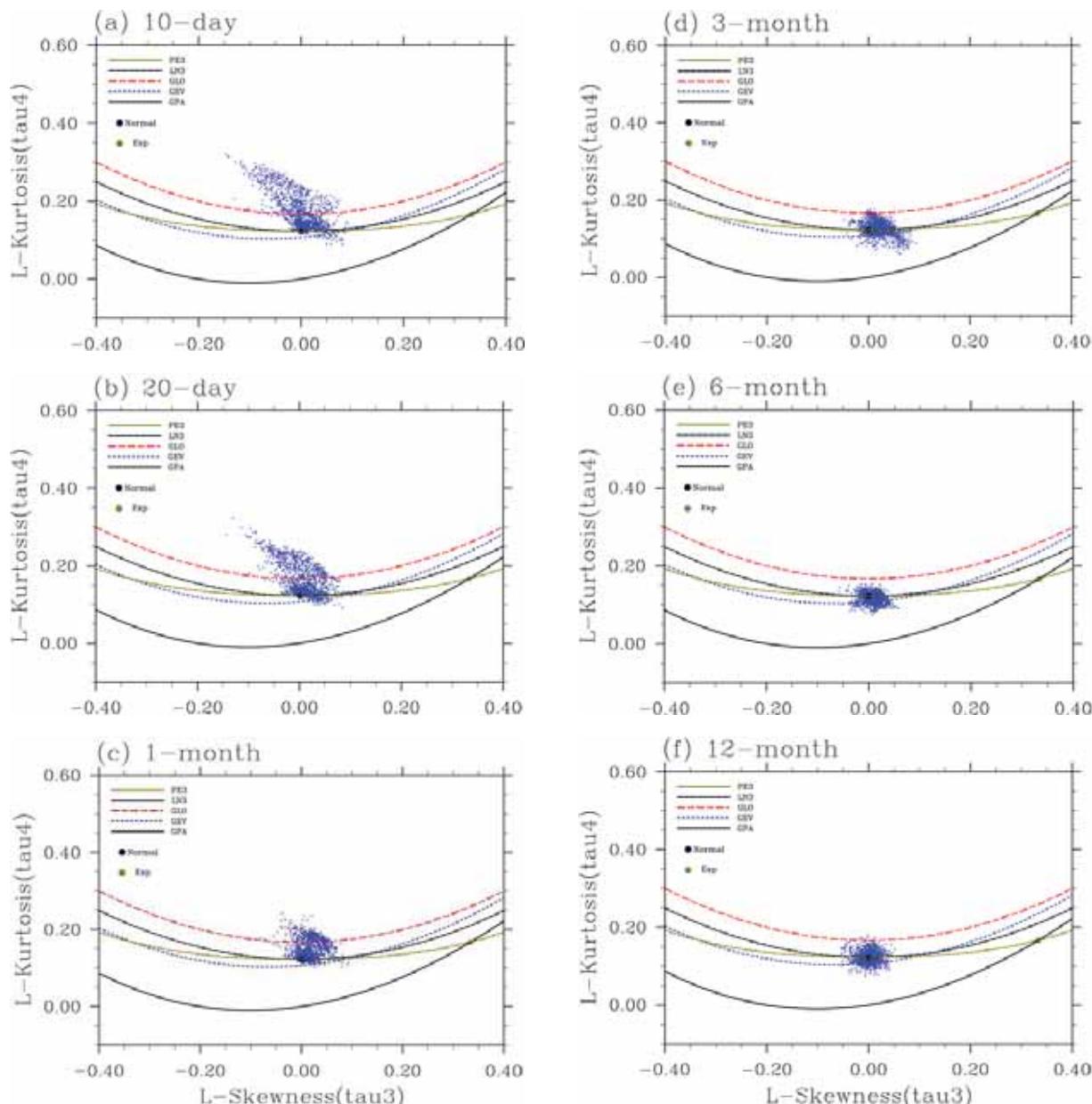


圖 2.17 經過資料補遺後，測站的 SPEI 資料，計算剩水量（累積降雨-潛在蒸發散量）峰度 (Kurtosis, τ_4) 和偏度 (Skewness, τ_3) 分佈結果。不同顏色線條為不同統計分配的理論值(PE3: Pearson-type 3 distribution , LN3: Long-normal distribution , GLO: Generalized logistic distribution , GEV: Generalized extreme value distribution , GPA: Generalized Pareto distribution) ，黑色和金色點代表常態分佈(Normal distribution) 和指數分佈(Exponential distribution) 的理論值。

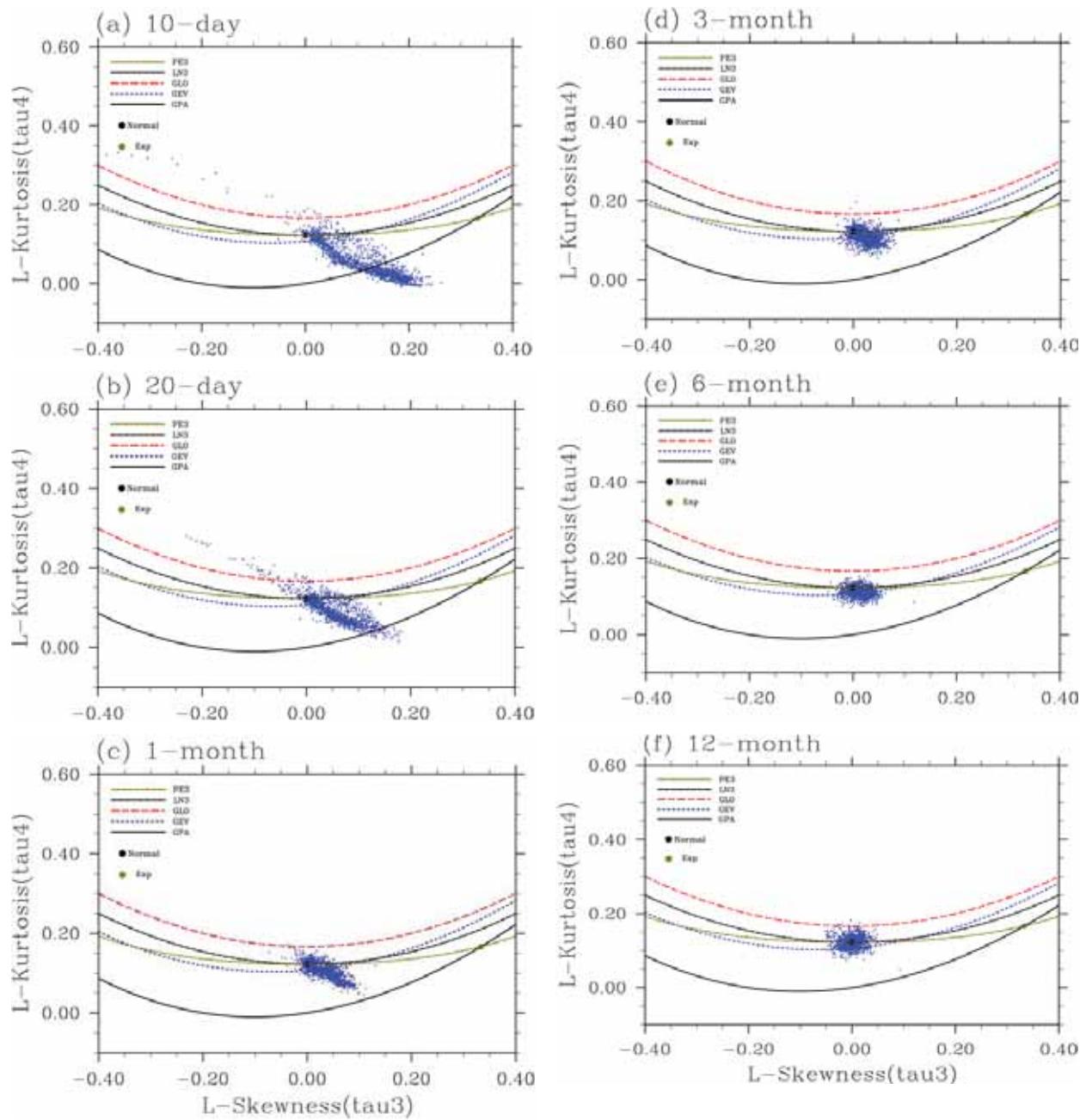


圖 2.18 同圖 2.17 但為經過資料補遺後，測站的 SPI 資料，計算峰度和偏度後的分佈。

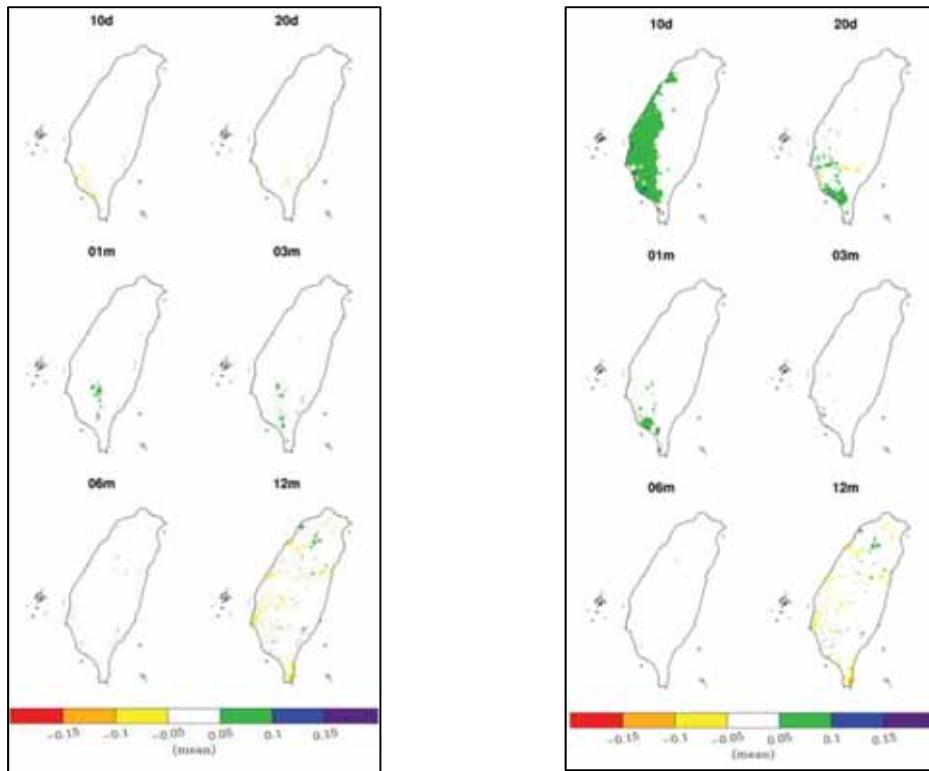


圖 2.19 同時間尺度下，測站 SPEI 資料（左邊 6 張圖）和 SPI 資料（右邊 6 張圖），計算平均值後，內插到 1km 解析度網格的空間分佈。左邊 6 張圖的上面 2 張分別是 10 天（左）、20 天（右）的圖；中間 2 張分別是 1 個月（左）、3 個月（右）的圖；下面 2 張分別是 6 個月（左）、12 個月（右）的圖。右邊 6 張圖的配置同左邊 6 張圖。

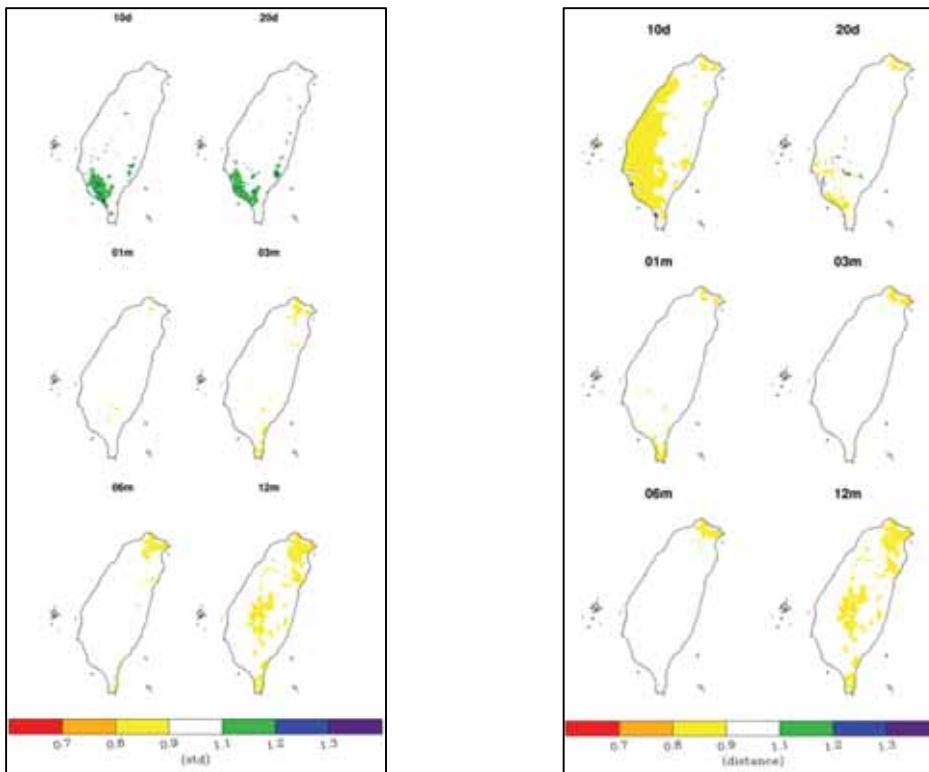


圖 2.20 同圖 2.19，但為測站 SPEI 和 SPI 資料計算標準差後內插的結果。

除此之外，吾人也針對 SPEI 和 SPI 網格化資料庫，分析不同時間尺度下，氣候場的差異。結果發現月時間尺度以下的時間尺度（10 天、20 天、1 個月），逐月的氣候場空間分佈之變化，大致上受到臺灣冬季降雨、春雨、梅雨、颱風雨的影響與調節，隨著不同雨季有乾、濕上的變化。如果比較 SPEI 和 SPI 之間的差異，以 1 個月的時間尺度為例（圖 2.21），可發現只考慮累積降雨量的 SPI 資料與有加入溫度因子的 SPEI 資料主要差異，在冬季時，因降雨較少，所以 SPI 呈現偏乾的情況。但如果考慮溫度因素，因溫度低，蒸發量少，使剩水量為正值，SPEI 資料就會在部分區域呈現偏濕的分佈。反之，夏季時，颱風降雨量大，所以 SPI 呈現很濕的情況。但如果考慮溫度因素，夏季溫度較高，蒸發量大，可能使得剩水量為負值，SPEI 資料就會在部分區域呈現偏乾的分佈。分析過程中也發現，在 12 個月的時間尺度下，SPEI 和 SPI 網格資料的氣候場，因為 12 個月的時間尺度剛好是一個完整年循環的過程，所以各月份的氣候值呈現很相近，且乾、濕特徵不明顯的情況。

最後，列舉兩個乾旱個案當範例，在 1 個月的時間尺度下，從 1963 年和 2002 年逐月的 SPEI 和 SPI 空間分佈，可知在一整年中，有將近 5~7 個月呈現臺灣全島偏乾的情形，進而造成全台大乾旱的發生。如果比較 SPEI 和 SPI 資料間的差異，可以發現加入溫度因子的 SPEI，因溫度較高的原因，蒸發散量較大，造成乾旱的程度往往比 SPI 嚴重許多（如圖 2.22），意味著 SPEI 資料或許更能夠凸顯出氣象乾旱事件的真實面貌。

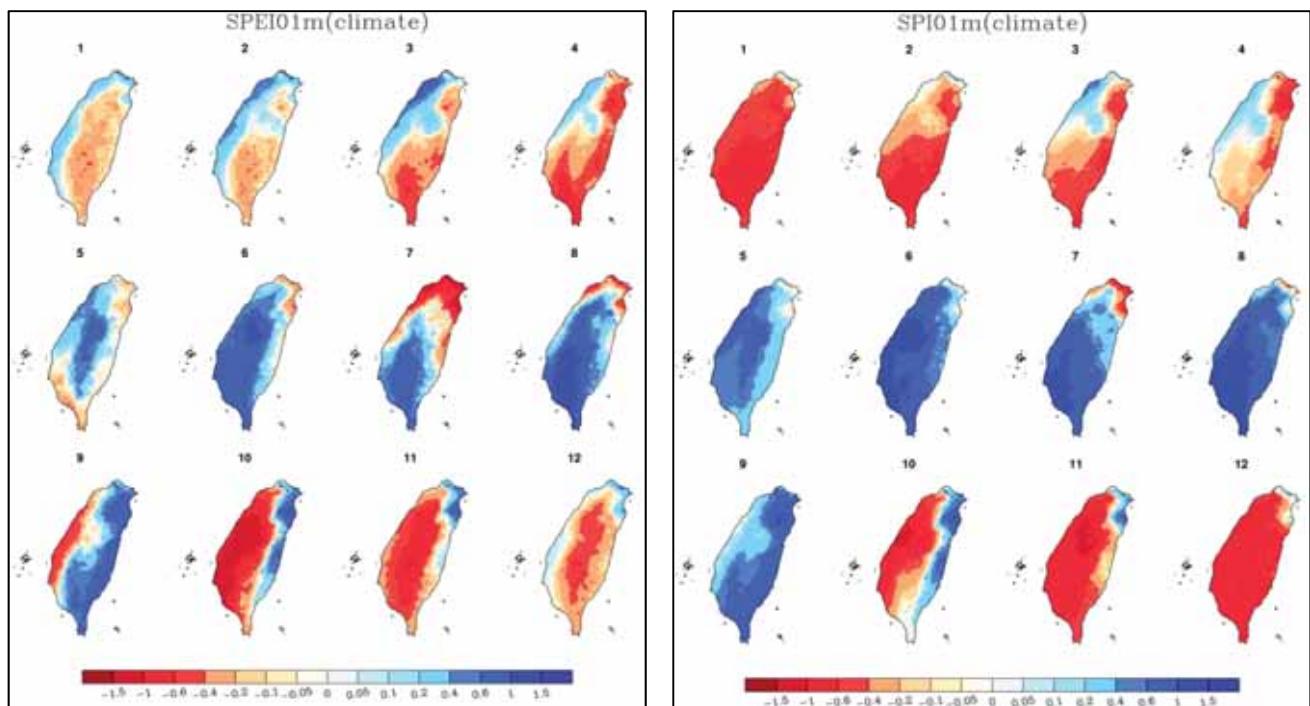


圖 2.21 (a) 在 1 個月的時間尺度下，1 公里解析度的 SPEI 網格資料，在每個月的氣候場分佈。（上面 4 張圖由左至右分別是 1~4 月；中間 4 張圖由左至右分別是 5~8 月；下面 4 張圖由左至右分別是 9~12 月）；(b) 同圖(a)，但為 1 個月的時間尺度下，1 公里解析度的 SPI 網格資料。

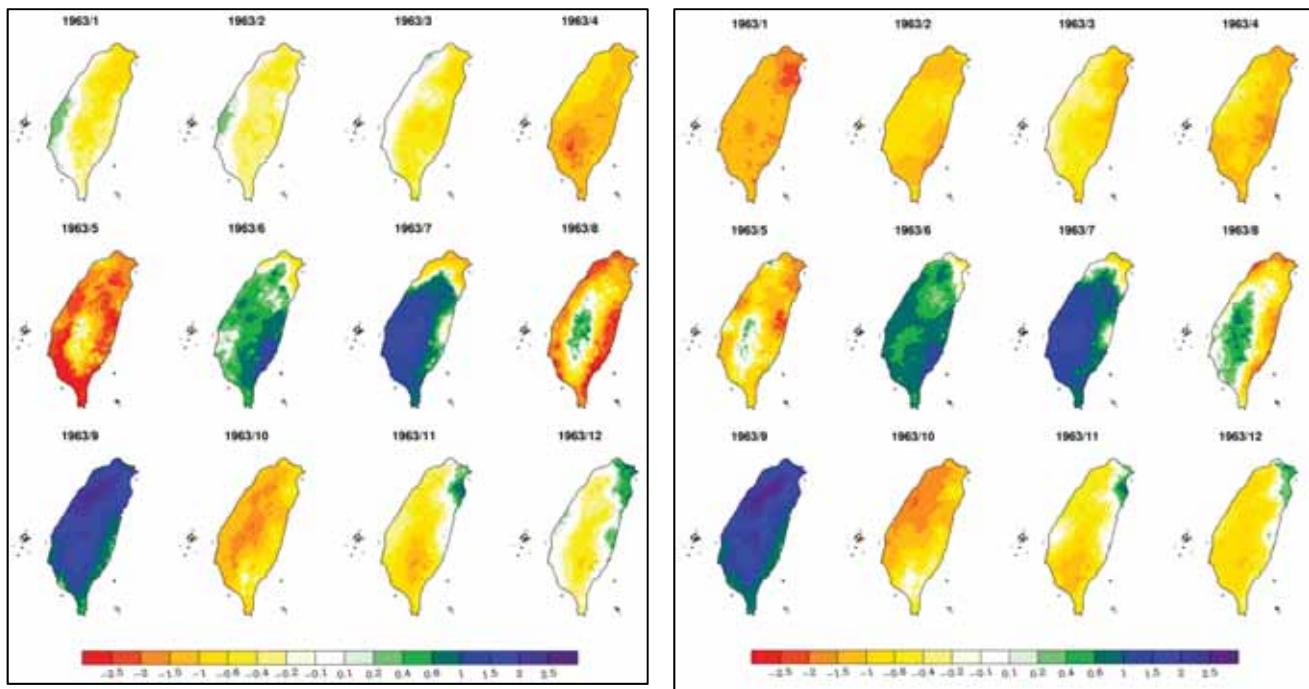


圖 2.22 (a)在 1 個月的時間尺度下，1963 年 1~12 月的 SPEI 空間分佈。(上面 4 張圖由左至右分別是 1~4 月；中間 4 張圖由左至右分別是 5~8 月；下面 4 張圖由左至右分別是 9~12 月)；(b) 圖(a)，但為 SPI 的空間分佈。

2.2.3 梅雨季之氣候現象分析

□ 臺灣梅雨季極端降雨之大尺度環流指數研究(詳見附錄1.6)

根據五、六月極端天氣事件分析其伴隨的大尺度環流的共同特徵，建立了梅雨季西南氣流指數作為臺灣極端降雨事件發生率的氣候條件。

將 1961~2000 年 30 個梅雨季極端降雨事件個案作合成分析後，發現當極端降雨事件發生時，從華南經東海到日本南方的洋面上存在低壓氣旋環流（正渦度區），菲律賓往西北太平洋延伸出高壓反氣旋區（負渦度區），從南海北部到琉球附近有明顯的西南強氣流位於正、負渦度距平之間，表示極端降雨事件與中南半島延伸到琉球群島的西南氣流有相當密切的關係（如圖 2.23）。根據梅雨季極端事件伴隨的大尺度環流的共同特徵，設計了西南氣流指數（SouthWest Flow Index, SWFI）來代表臺灣梅雨季極端降雨發生時的大尺度環流條件，並建立當極端 SWFI 年發生日數偏多（少），測站極端降雨的年發生日數亦偏多（少）的對照關係（如圖 2.24）。

將上述關係式應用在 2001~2012 年的結果，顯示未來進一步應用此 SWFI 於預報臺灣梅雨季極端降雨的年發生頻率的可行性甚高。運用 SWFI 推估極端降雨發生頻率在南部的效果優於北部。另外，研究發現 SWFI 與極端降雨的關係在 1965-1976 年這段期間較差，北部尤其明顯。

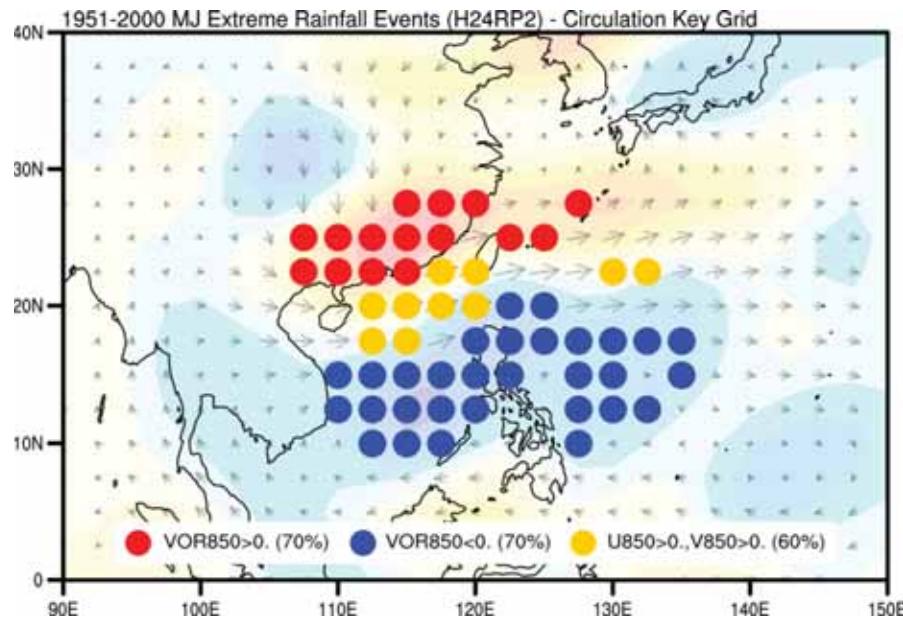


圖 2.23 臺灣梅雨季極端降雨關鍵區域，紅點和藍點分別代表正渦度和負渦度，黃點代表西南氣流。

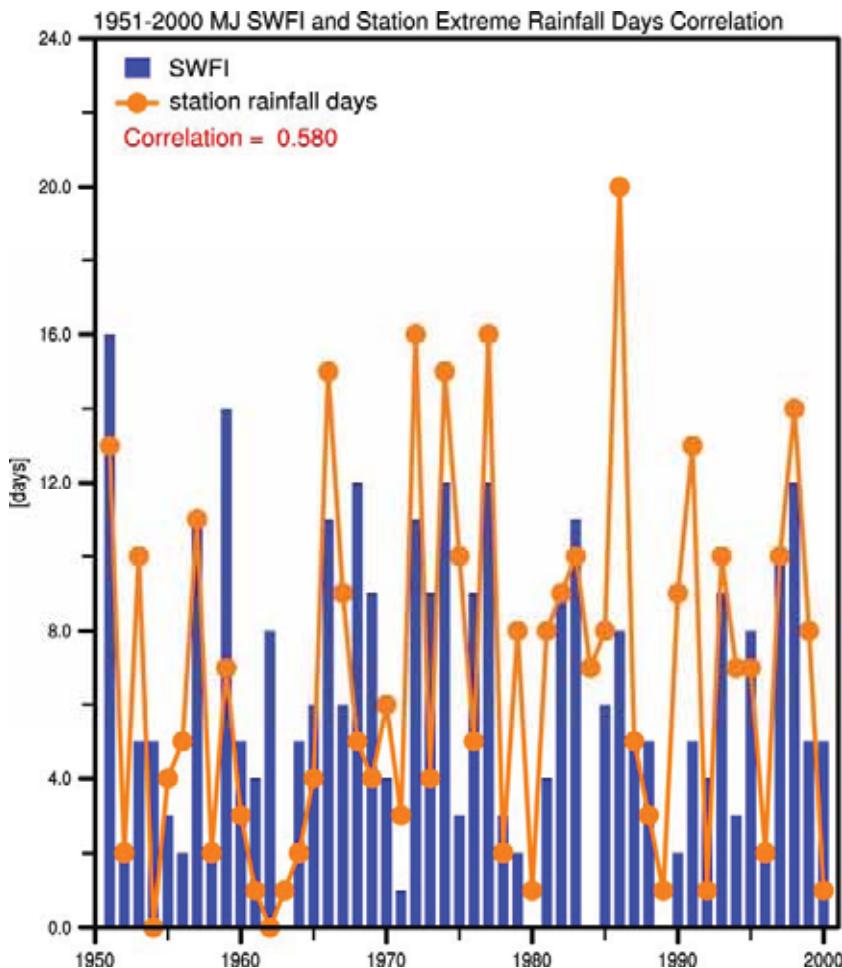


圖 2.24 1951~2010 年滿足渦度條件下西南氣流區距平風速超過 4.0 m/s 的年發生日數（藍色長條），與每年 10 個測站超過 50 年最大降雨量中位數的極端性降雨日數（橘線）。

□ 華南地區梅雨季氣候分析(詳見附錄1.7)

參照 Lei et al. (2011) 所定義之華南地區(105°E - 122°E , 20°N - 27.5°N)，利用 GPCP 降水資料選取 1979 年-2013 年期間華南地區降水量大於 1 個標準差之年份定義為多雨年，降雨量小於 1 個標準差者為少雨年，個別挑選 5、6 月之多雨/少雨之年份。由此標準可得到 5 月份多雨年為 1984 年、1989 年、2005 年、2006 年、2013 年共有 5 年。6 月份多雨年為 1993 年、1998 年、2001 年、2005 年、2008 年及 2010 年共有 6 年。

由多雨年距平之合成 (圖 2.25、圖 2.26) 可以得知，影響華南地區梅雨季降水主要有：1. 華南沿岸的低層西南氣流；2. 副熱帶高壓西伸所導致的西北太平洋環流改變；3. 南中國海上的海水表面溫度，其中低層風場對於降水的改變在 5、6 月均有顯著的影響，海溫與副熱帶高壓對於 6 月份的降水影響較顯著，於 5 月份則較不明顯。

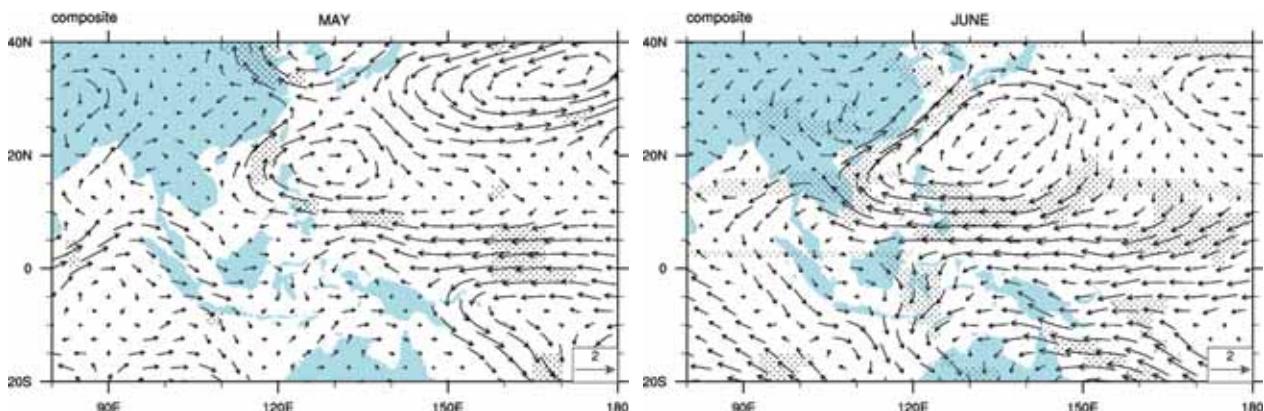


圖 2.25 (a)5 月份、(b)6 月份多雨年 850hPa 環流場距平合成圖，打點部分表示通過 90%以上統計檢定之區域。

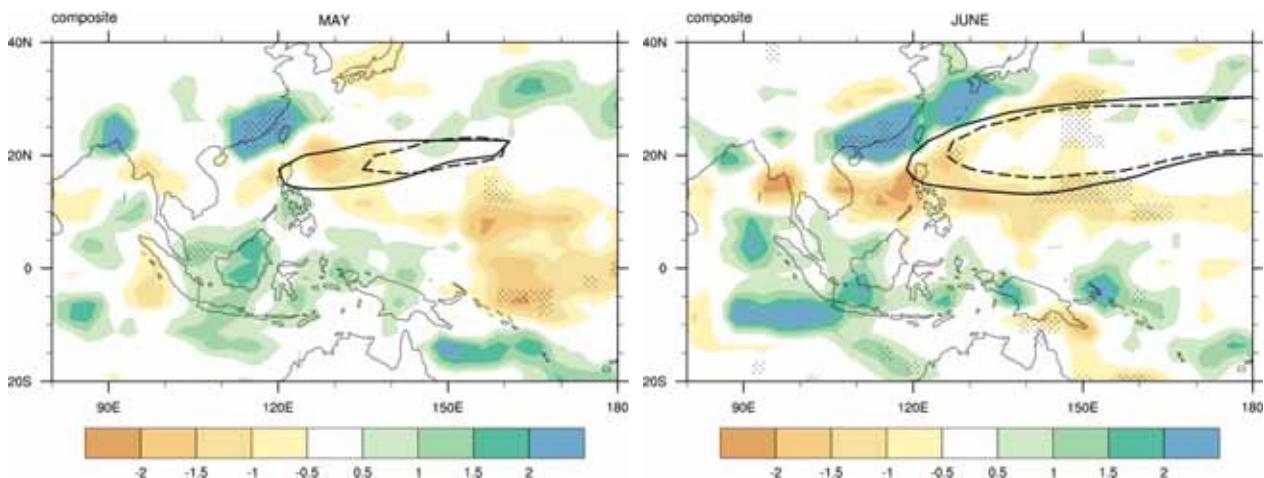


圖 2.26 (a)5 月份、(b)6 月份多雨年降水量距平合成圖，打點部分表示通過 90%以上統計檢定之區域，黑色實線代表多雨年平均之 5880 等高度線，虛線代表 1979-2013 年平均之 5880 等高度線。

分析華南降水與 850hPa u,v 風場、流函數、500hPa 重力位高度及海表面溫度之相關係數，找出各個因子與華南降水具有高相關係數之區域（圖 2.27、表 2.3），同時比對多雨年合成之環流配置，定出 5 個代表華南地區降水變化的環流指數，分別為：U850 (110°E-125°E, 17.5°N-22.5°N)、V850 (112.5°E-120°E, 15°N-22.5°N)、H500 (130°E-150°E, 10°N-20°N)、SF850 (120°E -137.5°E, 7.5°N-15°N) 與 SST (110°E-118°E, 6°N-14°N)。

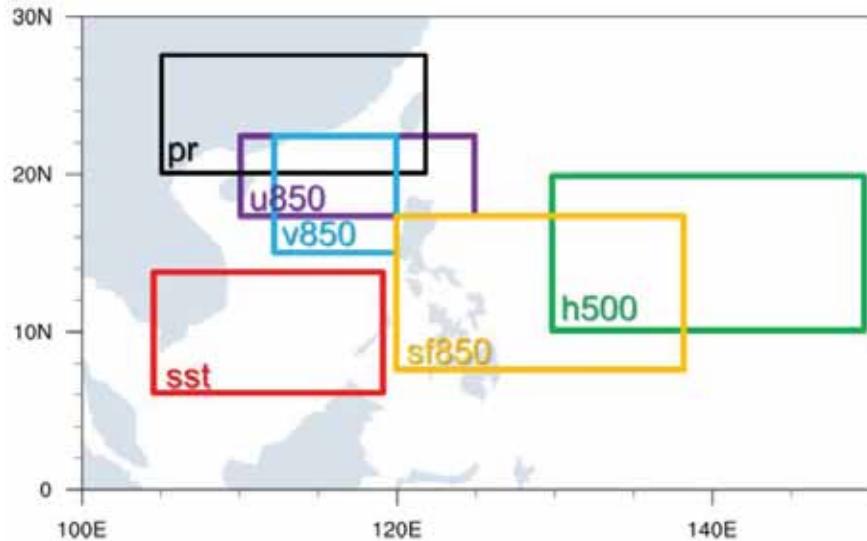


圖 2.27 850hPa u,v 風場、流函數、500hPa 重力位高度及海平面溫度與梅雨季降水高相關性之區域標示。

表 2.3 華南地區降水量(PR)與圖 3.11a 各區間之交叉相關係數表，括號外代表 5 月份、括號內為 6 月份之結果。

| Correlation coefficient | PR | U850 | V850 | SST | H500 | SF850 |
|-------------------------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| PR | | | | | | |
| U850 | | 0.51 (0.57) | | | | |
| V850 | | 0.69 (0.57) | 0.51 (0.57) | | | |
| SST | | 0.24 (0.37) | 0.47 (0.27) | 0.20 (0.31) | | |
| H500 | | 0.10 (0.40) | 0.34 (0.16) | 0.19 (0.42) | 0.51 (0.65) | |
| SF850 | | 0.27 (0.57) | 0.40 (0.34) | 0.46 (0.65) | 0.46 (0.43) | 0.36 (0.53) |

2.2.4 鋒面定位技術之建立(詳見附錄 1.8)

以往劃定鋒面，雖以客觀環流場分析為主，但最終仍以人為主觀判斷確認鋒面最後的位置，每人在主觀認定上的差異，使鋒面的定位不完全客觀。在長期氣候分析與統計上，也需翻閱天氣圖，在界定的範圍中天尋找有無鋒面，才能再進行統計分析，在資料的使用上相當不便。現

今，氣候模式應用的相當廣泛，但模式的推估輸出亦未包含鋒面位置資訊，因此難以對模式進行鋒面的分析與研究。

Hewson (1998) 提出了客觀鋒面的分析定位方法，以[M1]、[M2]、[L]三個參數定義鋒面的位置。[M1]為量度跨越鋒面溫度梯度變化之參數（指向冷空氣），稱作熱力鋒面參數（Thermal front parameter，TFP）、[M2]為量度鄰近斜壓區溫度梯度之參數、[L]為鋒面所在處，是溫度梯度變化變化最為劇烈的位置。該定位方法可用在觀測或模式資料以及任一氣壓層。

以 ERA-Interim 2001 年 1 月 28 日 00UTC 資料為例，使用上述面定位的方法進行測試，如圖 2.28。黑點即為鋒面所在位置，色階為該日降水 (mm/day)。北美洲東西側分別有一連續明顯的鋒面帶，且均伴隨降水。

□ 全年氣候平均值

計算 1997 至 2012 年全年平均降水鋒面頻率，如圖 2.29，單位為 days/year，灰色色階為海拔超過 1.5km 地形。鋒面帶主要在北緯 20 度以北的亞洲與北美東側向東北東延伸。鋒面頻率的極值是每年約有 60 天有鋒面存在。另一有鋒面帶狀訊號的地方是 South Pacific convergence zone (SPCZ)。30S，130W 處為極值，每年有鋒面的天數約 40 天。

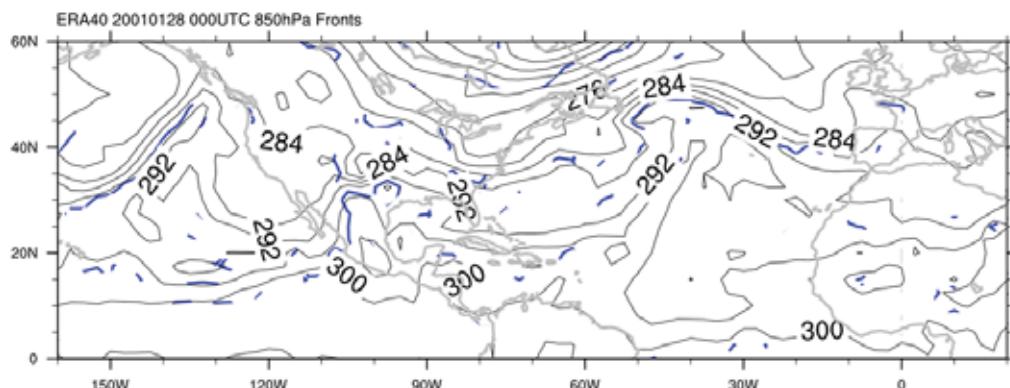


圖 2.28 鋒面位置圖，藍線為鋒面所在位置，黑線為等濕球位溫線。

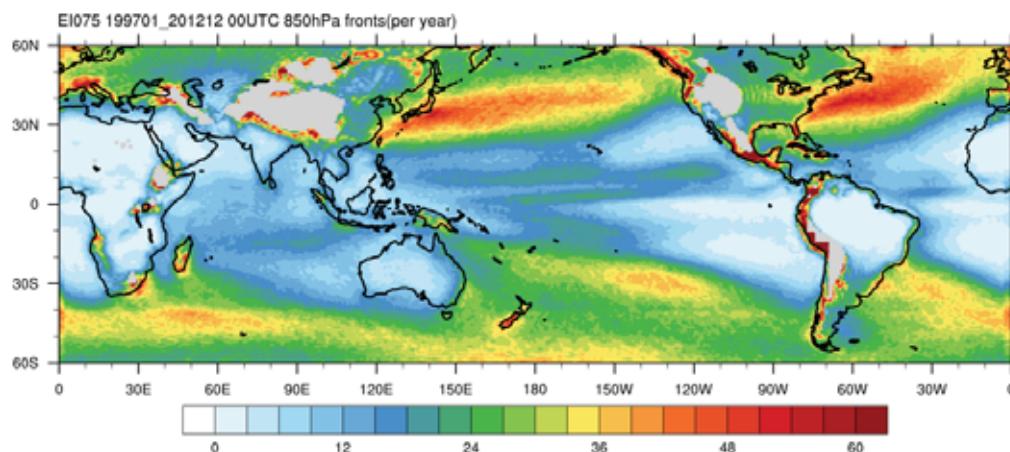


圖 2.29 1997-2012 年全年平均鋒面頻率分布 (days/year)，灰色色階為海拔超過 1.5km 地形。

□ 逐月氣候平均值

計算 1997 至 2012 年逐月平均降水鋒面頻率，如圖 2.30 與圖 2.31，單位為 days/month，灰色色階為海拔超過 1.5km 地形。一至二月，鋒面集中在臺灣至日本南部，臺灣每月約 7 天有鋒面。三至四月，鋒面帶逐漸向南擴展，每月約 4-5 天有鋒面。五月梅雨鋒面帶分布範圍最廣。六月鋒面帶較為集中，臺灣與日本之間約有 6 天有鋒面。日本六月為梅雨季，約有 7 天有鋒面。七至八月臺灣進入夏天，鋒面北退、數量大為減少。秋至冬季，冬季鋒面帶逐漸往南移動，十一至十二月，臺灣每月約 7 天有鋒面存在。

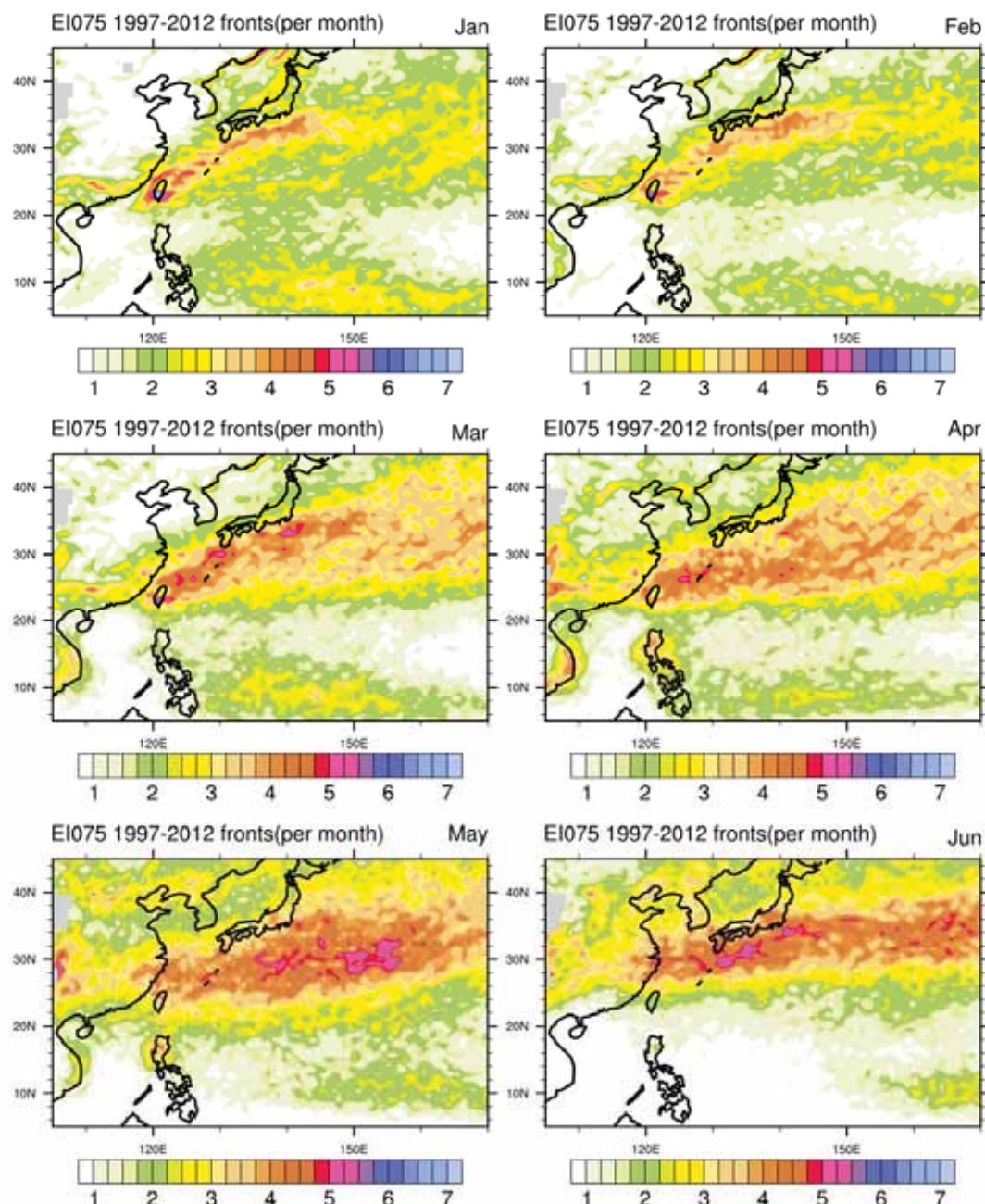


圖 2.30 1997-2012 年 1 至 6 月逐月平均鋒面頻率分布 (days/month)，灰色色階為海拔超過 1.5km 地形。

鋒面定位方法能有效定位出鋒面所在位置，但因對地形、溫度與濕度梯度敏感，使用 H98 的步驟產生之結果有雜訊過多的情形。雖對單一時間分析影響不大，但在長期氣候平均上，雜訊的累積造成極值位置較為偏南（圖未顯示），因此後續主要工作是針對去除雜訊的部分。透過修正門檻值以及對空間雜訊、地形、降水的篩選，能有效去除雜訊，留下影響降水較大之降水鋒面訊號。由於是計算降水鋒面，並不包含未造成降水之鋒面，故定位出之鋒面數量較少。未來將比對中央氣象局與日本氣象廳地面天氣圖之臺灣鋒面個數，以了解鋒面定位方法與官方天氣圖定義出之鋒面的差異性。

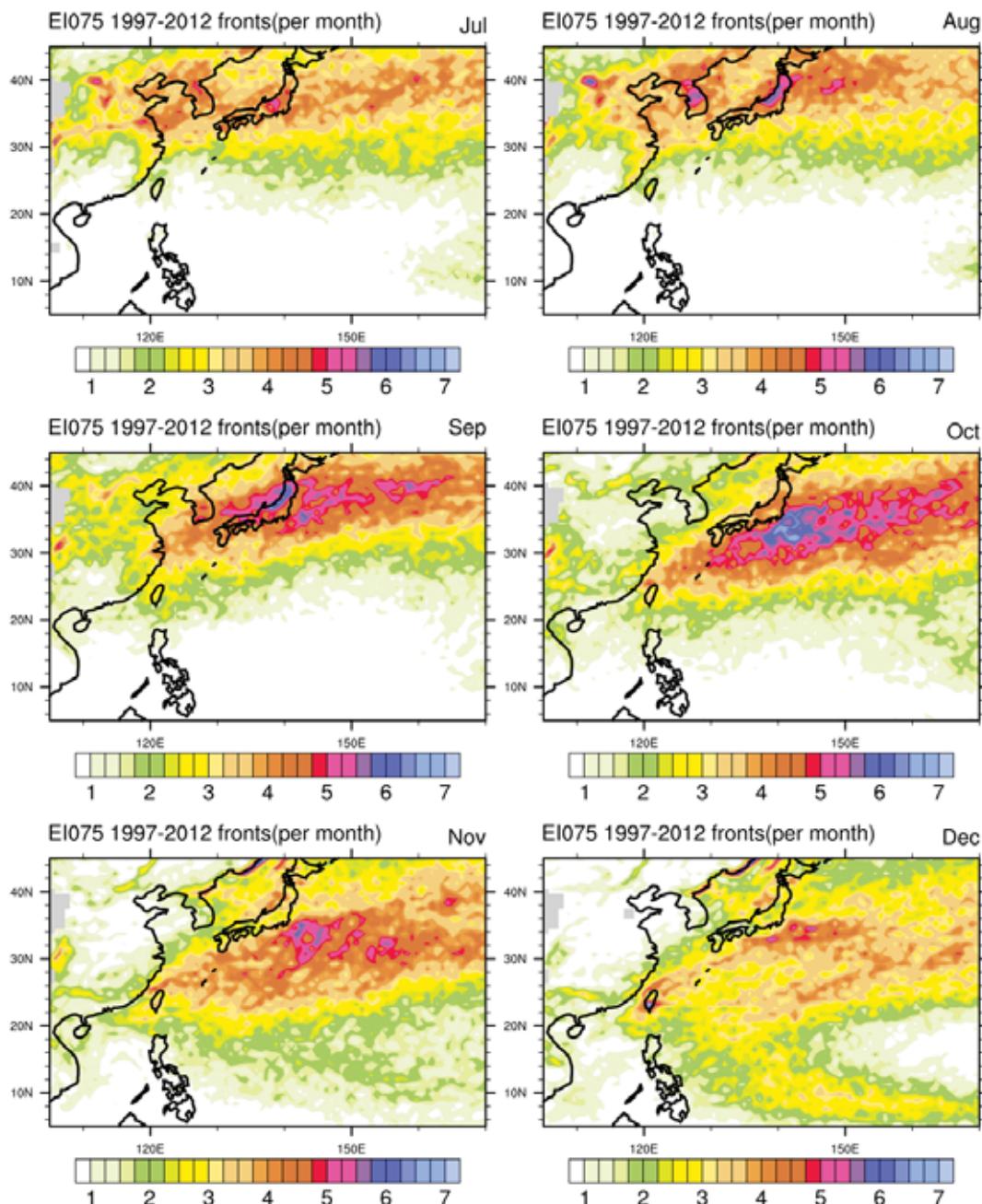


圖 2.31 1997-2012 年 7 至 12 月逐月平均鋒面頻率分布 (days/month)，灰色色階為海拔超過 1.5km 地形。

2.2.5 热浪分析(詳見附錄 1.9)

本研究使用 TCCIP 所產製之臺灣測站網格化資料以及 CMIP5 中 12 個模式的日最高溫資料，分析時間為 1960 至 2005 年間的 5 至 10 月份。採用不同的熱浪定義，分別為 CTX90pct (Perkins and Alexander, 2013)、EHF 等兩種方法，分別探討各方法的熱浪發生頻率以及持續天數。CTX90pct 與 EHF (Neirn et al., 2009) 方法所得到的熱浪發生頻率分別為 2.35、1.93 次/年。兩種方法下，模式所掌握到的熱浪發生頻率與觀測相近。在熱浪的持續天數方面，觀測顯示 CTX90pct、EHF 方法分別得到的平均持續天數結果為 3.84、6.15 天/年。模式結果顯示大部分的結果皆與觀測類似。最後在熱浪的強度部分，EHF 方法 (29.85°C) 的熱浪強度最強、CTX90pct 為 29.14°C 。模式對於熱浪強度的模擬掌握的還算不錯，各方法的分析結果皆與觀測相近。但是在趨勢上，CTX90pct 方法下多數模式顯示 20 世紀末、21 世紀初的熱浪強度變化趨勢與觀測相反，EHF 的結果則與觀測一致。

研究結果顯示模式對於熱浪的模擬相當不錯，但對於造成熱浪的機制，模式的反應不太一致。12 個 CMIP5 模式中約有 50% 的模式顯示與觀測一致的結果，當熱浪發生時，西北太平洋的副高會向西延伸且增強，造成臺灣地區有反氣旋式環流距平壘罩，並伴隨有下沉氣流，加強下沉增溫的效應，另外從風場上來看，夏季的西南氣流同時亦增強，將更多南方的暖空氣帶往臺灣地區，增加並持續高溫發生的機會。但另外有一半的模式有與觀測不一樣的機制，其中有兩個模式顯示雖然在 500、850 百帕的副高與觀測一樣有增強且西伸，也有下沉氣流的伴隨，但是水平風場顯示西南氣流減弱，僅微弱的暖平流注入臺灣地區。最後 5 個模式則顯示僅 500 百帕高度場有增強且西伸，850 百帕的高度場與流函數場都可看到臺灣附近有一氣旋式環流距平壘罩，因此原本的上升氣流反而被增強，但是也同時增強了西南氣流，使得主要的增溫貢獻來自於南方來的暖空氣而非沉降作用。

而在未來變遷方面，以 RCP85 情境而言 (圖 2.32、圖 2.33)，未來各模式顯示在世紀中期，熱浪發生的頻率跟持續時間以及強度都有明顯增加，平均每年熱浪會發生 2-10 次，且熱浪平均持續的時間至少約半個月左右，強度方面平均每場熱浪的溫度也增加了 $1\text{-}2^{\circ}\text{C}$ 。而到了世紀末時，雖然熱浪發生的頻率減少了，但是持續時間跟強度都增強了，同時顯示未來臺灣在 RCP85 情境下，很可能整個 5-10 月份間，每天都是熱浪。

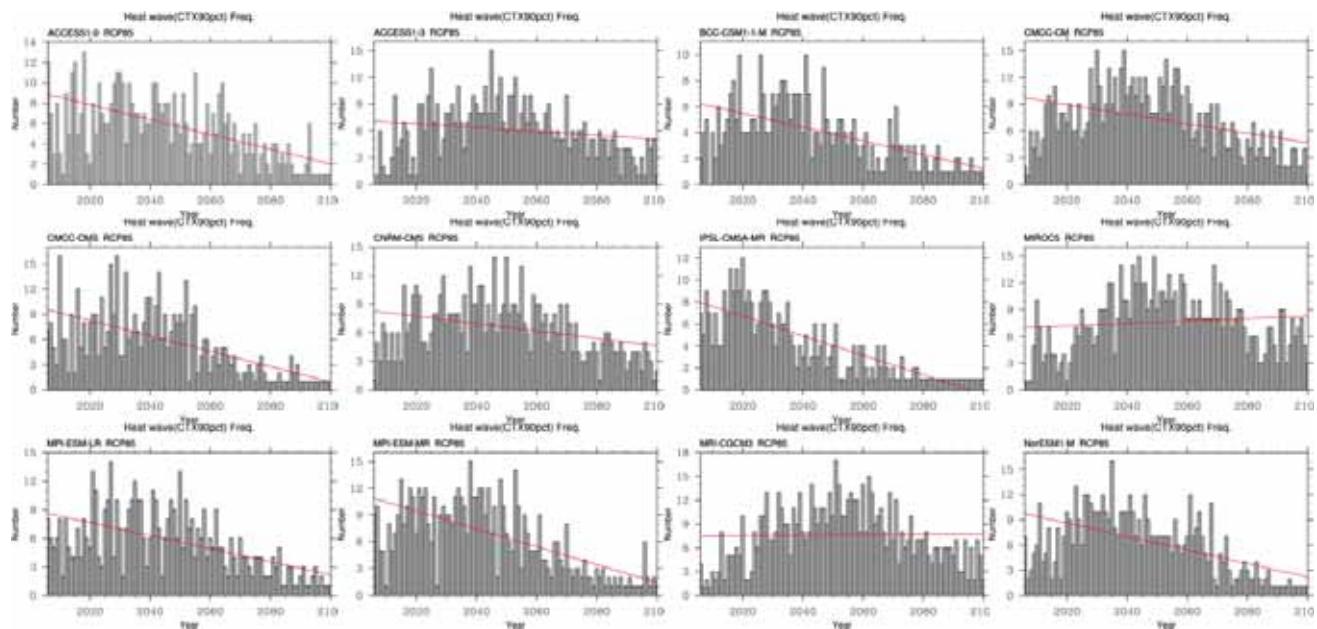


圖 2.32 CTX90pct 方法所得到的模式資料在 RCP85 情境下的熱浪發生頻率。時間為 2006-2100 年間 5-10 月份。灰色柱表示該年熱浪的發生次數。紅色線為趨勢線。

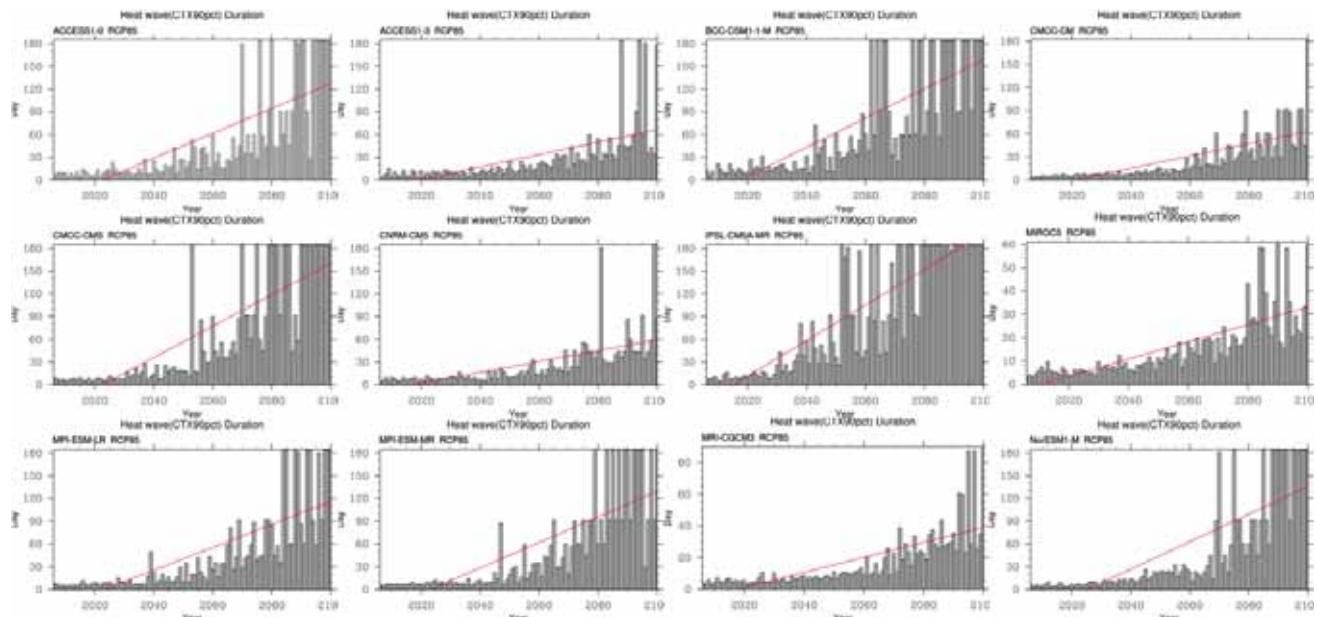


圖 2.33 同圖 2.30，但為熱浪持續天數。

2.3 氣候模式表現評估量表

2.3.1 華南梅雨的變遷：CMIP5 模擬分析(詳見附錄 1.7)

□ 模式檢驗

CMAP 降水資料顯示，5 月份降水較大區域呈東北-西南向的帶狀分布，6 個模式的氣候平均結果均能看出此分布（圖 2.34），僅在降水量上各模式有些許的差異性，HadGEM2 模式在華南地區的降水量有較明顯的高估。6 月整體平均降水量大於 5 月份，且降水較大的地區沿著副熱帶高壓的外緣分布，降水最大值在南中國海上。HadGEM2 模式華南地區的陸地降水與觀測資料相比有高估的現象。各個模式之間的差異較大，但大致上可以掌握 6 月份的降水特徵。

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

檢驗 U850、V850 及 H500 在 32 個 CMIP5 模式中之表現，結果顯示（圖 2.35），32 個模式所得到的結果具有很大的差異性，大部分的模式之 U850、V850 與模式中的華南地區降水仍然有不錯的相關性，但 U850 與 V850 並不一定同時與降水具有高相關性。

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

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

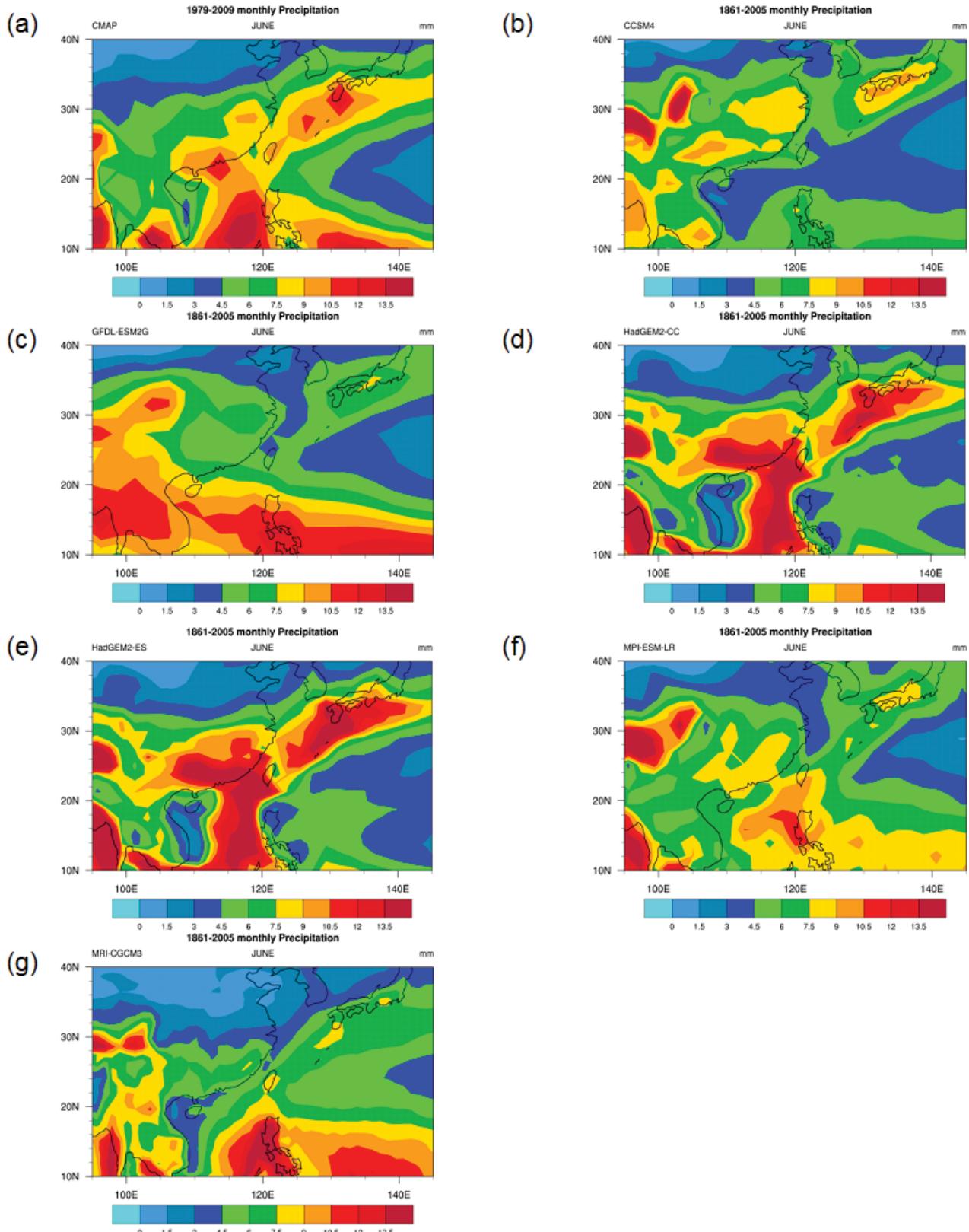


圖 2.34 東亞地區 6 月份降水空間分布圖。(a) 至 (g) 分別為 CMAP、CCSM4、GFDL-ESM2G、HadGEN2-CC、HadGEN2-ES、MPI-ESM-LR、MRI-CGCM3 之結果。

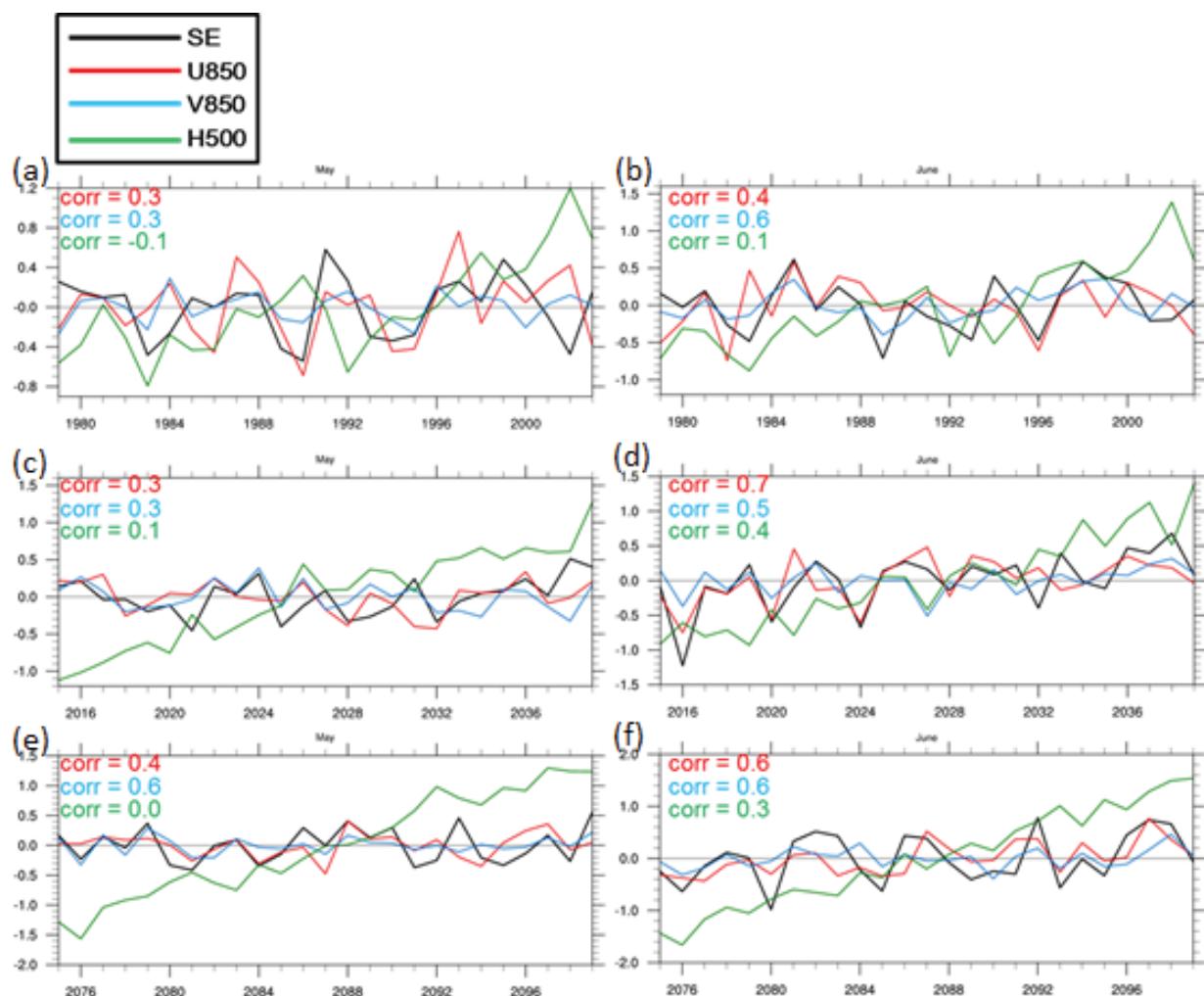


圖 2.35 CMIP5 模式系集平均後各時期華南地區降水與 U850、V850、H500 距平值之時間序列與相關係數，(a)、(b) 為現在時期，(c)、(d) 為近未來時期，(e)、(f) 為世紀末時期之結果。

第三章 氣候變遷降尺度推估技術發展與資料產製

絕大多數用來推估未來氣候情境的全球氣候模式的空間解析度多在一百公里以上，臺灣在這種典型氣候模式的解析度下僅是數個網格點，無法進一步區分更細部的氣候資訊，而且往往在這些氣候模式中，臺灣地區被定義為海洋的網格點，並不是陸地，同時在低解析度下的臺灣地形也比實際高度要低得多。這些限制都可能造成氣候模式的直接模擬結果與臺灣區域細部觀測資料的差距，特別是地形對氣溫與降雨都有明顯的作用。臺灣對於未來可能面對的氣候變遷狀況推估，必須有系統地建立客觀方法，以觀測資料為基準，將全球氣候模式推估資料區域化與修正誤差、提高解析度，完整呈現臺灣細部各區域變化以及相關的不確定性。為了達到上述目的，本計畫分別採用統計計算方法（統計降尺度）以及使用物理模式模擬（動力降尺度）來進行臺灣地區 5 公里高解析度資料的產製。

除了純粹的高解析度資料的產製與提供之外，本計畫亦將對使用的模式資料做進一步探討，以期在提供資料之餘，也能提供部分資料特徵背後物理的依據。本部分工作從現象分析到動力降尺度模擬、評估以及後續物理機制分析探討進行完整性論述之研究。目前規劃的探討主題是依據臺灣天氣與氣候特性，進行季節降雨與極端降雨（颱風、梅雨、春雨、秋雨、夏季降雨）以及極端溫度特徵與變遷之探討。

3.1 統計降尺度資料產製與技術研發(詳見附錄 2.1)

統計降尺度 (Wilby et al., 2004)，所使用的原理是以統計方法分析高解析度觀測資料與全球氣候模式低解析網格模擬資料結果間的關係，修正模式模擬推估的誤差並提高資料的解析度，可以涵蓋資料庫中所有不同全球氣候模式的推估結果，有效保留原有推估的可能性機率分布範圍。但缺點是不見得所有的氣候變數都有長期的高解析度觀測資料可以進行上述的分析。在全球耦合氣候模式數值實驗計畫 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) 中有數個氣候模式進行了系集模擬，提供一組以上的氣候推估結果。本研究中對每個模式都只取一組系集成員的推估結果，亦即機會一致地 (Allen and Stainforth, 2002) 包含不同模式結構與其氣候敏感度的對可能性機率分布的影響。

本計畫統計降尺度所採用的方法是 Wood et al., (2002, 2004) 與 Maurer (2007) 所發展的誤差校正空間分解法 BCSD (Bias correction and spatial disaggregation)，依據高解析度的觀測資料來源進行統計降尺度分析，以獲得東亞和臺灣地區詳細的未來推估氣候變化情形。這個統計降尺度方法的設計幾乎保證不會產生系統性誤差，即使已用交互驗證的方式估算。所使用的觀測資料是本計畫產出的 5 公里解析度的網格觀測資料以及日本最新的 APHRODITE (Asia Precipitation Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources) 計畫所分析 25 公里解析度的日平均降雨 (Yatagai et al., 2012) 與溫度資料 (Yasutomi et al., 2011)。由於 APHRODITE 未提供最高溫與最低溫的觀測資料，在此還選用英

國 Climate Research Unit (CRU) 的 CRU TS3.21 版資料 (Mitchell and Jones, 2005)，但是其空間解析度只有 0.5° 。由於全球氣候模式的解析度 (近 300 公里網格) 與最新的臺灣區域長期氣候網格資料解析度 (5 公里) 差異較大，計劃將以兩階段的方式逐步進行降尺度，先區域化至 25 公里，再降尺度到 5 公里，以避免誤差修正時的過度平滑效應。除了對 IPCC 第四評估報告 (Fourth Assessment Report, AR4) 中全球氣候模式氣候推估資料進行最高溫及最低溫的降尺度之外，本年度的工作還包括對即將出版的 IPCC 第五評估報告 (Fifth Assessment Report, AR5) 中所採用的全球模式的氣候推估結果進行降尺度。

3.1.1 月均溫及月降雨

(1) CMIP3月平均最高溫與最低溫50公里與5公里降尺度：

考慮到本期計畫新加入氣候變遷對農糧與公衛的衝擊研究，本期計畫新增日最高溫及日最低溫二變數的降尺度資料產製。今年先完成 A1B、A2、B1 三情境月平均日最高溫 (tasmax) 與月平均日最低溫 (tasmin) 兩變數的降尺度分析，又依據臺灣地區高解析度觀測分析網格氣候資料 (翁與楊, 2012)，更進一步將 50 公里解析度降尺度至 5 公里。由於 CMIP3 實驗中僅有少數模式有提供月平均最高溫與月平均最低溫，本研究進行降尺度的模式包括：A1B 情境的 8 個模式；A2 情境的 6 個模式；B1 情境的 8 個模式。表 3.1 為 A1B 情境下世紀末臺灣地區區域平均溫度變化量之各模式百分位比較表，其中 tasmax 與 tasmin 為 8 模式支系集平均，tas 為 24 模式之系集平均。tas 有 24 模式其在中位數與系集平均值較為接近，tasmax 與 tasmin 由於模式數量較少，分布較為分散。CMIP3 中提供月平均最高溫與月平均最低溫之模式數量偏少，這部份的研究僅能當作方法建立，未來應用到 CMIP5 上模式數量較多，其結果之可信度也較高。

表 3.1 全臺四季與年平均在 a1b 情境下各百分位世紀末溫度變化量

| | | minimum | 25 th percentile | media | ensemble mean | 75 th percentile | maximum |
|-----|--------|---------|--------------------------------|-------|------------------|--------------------------------|---------|
| MAM | tasmax | 1.42 | 1.70 | 1.94 | 2.17 | 2.12 | 3.38 |
| | tas | 1.55 | 2.00 | 2.26 | 2.30 | 2.55 | 3.44 |
| | tasmin | 1.60 | 1.68 | 2.08 | 2.26 | 2.41 | 3.41 |
| JJA | tasmax | 1.03 | 1.65 | 1.95 | 2.25 | 2.39 | 3.84 |
| | tas | 1.21 | 1.89 | 2.24 | 2.32 | 2.65 | 3.75 |
| | tasmin | 1.27 | 1.63 | 2.13 | 2.27 | 2.49 | 3.59 |
| SON | tasmax | 1.19 | 1.45 | 2.04 | 2.22 | 2.27 | 3.67 |
| | tas | 1.24 | 1.94 | 2.27 | 2.31 | 2.71 | 3.56 |
| | tasmin | 1.18 | 1.55 | 2.19 | 2.22 | 2.34 | 3.39 |
| DJF | tasmax | 0.99 | 1.81 | 2.16 | 2.21 | 2.40 | 3.16 |
| | tas | 1.17 | 1.84 | 2.34 | 2.37 | 2.77 | 3.52 |
| | tasmin | 1.07 | 1.82 | 2.17 | 2.29 | 2.73 | 3.27 |
| Ann | tasmax | 1.49 | 1.68 | 2.19 | 2.35 | 2.31 | 3.73 |
| | tas | 1.51 | 2.00 | 2.30 | 2.37 | 2.63 | 3.68 |
| | tasmin | 1.43 | 1.63 | 2.17 | 2.29 | 2.37 | 3.56 |

(2) CMIP3月平均溫度25公里與50公里降尺度之比較：

今年度本研究使用日本的 APHRODITE 的東亞地區 25 公里解析度之月均溫 (tas) 觀測資料，進行東亞地區 25 公里解析度降尺度分析，再二階段降尺度至 5 公里解析度。並與直接一次降尺度至 5 公里和前一期計畫所完成的 CRU 50 公里解析度降尺度和 5 公里降尺度結果進行比較。以日本模式 mri_cgcm2_3_2a 為例，在 20c3m 1980~1999 年 20 年平均之氣候值來說，經 APHRODITE 降尺度之 25 公里解析度在臺灣山區有較良好之模擬，但降至五公里後三者結果皆非常相近。在 2080~2099 年 20 年平均減去 1980~1999 年 20 年平均之世紀末平均溫度改變量圖而言（圖 3.1），在 50 公里與 25 公里解析度之分布狀況一致，但在經 25 公里降尺度至 5 公里之細部分布更為突顯。

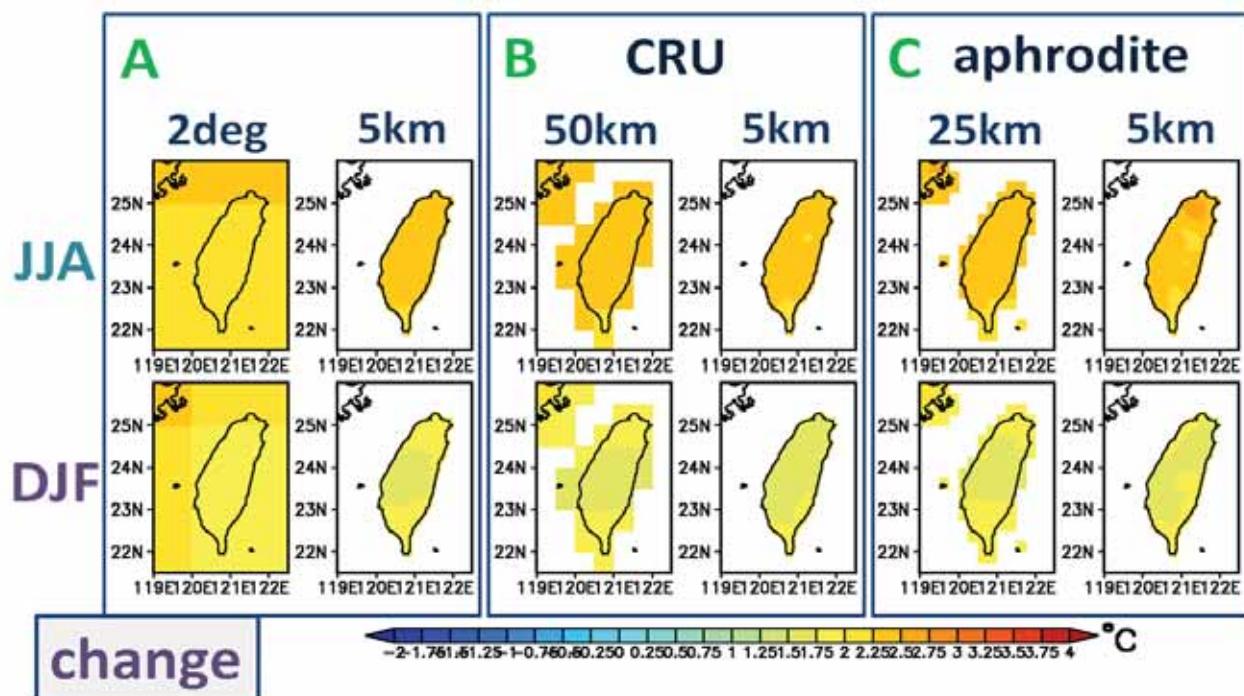


圖 3.1 mri_cgcm2_3_2a 模式夏冬兩季世紀末溫度變化量之三種降尺度方式比較圖，A 為兩度直接降尺度至 5 公里；B 為兩階段降尺度，先降到 50 公里後再降至 5 公里；C 亦為兩階段降尺度，先降到 25 公里後再降至 5 公里。

(3) CMIP5模式降尺度

本研究使用 IPCC AR5 中四情境之各氣候模式，分別針對降雨 (pr) 與月均溫 (tas) 進行統計降尺度分析。AR5 中四情境為 CMIP5 實驗中所設計的四種情境 (Meinshausen et al., 2011)，情境設定為世紀末溫室氣體之不同長波輻射量，單位為 W/m²。舉例來說：RCP8.5 為模式在世紀末溫室氣體長波輻射達到 8.5W/m² 的暖化情境。本計畫選取源自 22 個研究中心，共 40 多組完整的模式結果，進行本計畫之研究使用所選用的模式，主要考慮以下三點：1. 同時有模擬 historical 與未來情境之模式；2. 模擬 1961-1999 年和 2006-2099 年時段之模式；3. 同時有月平

均的日均溫、降雨。所選用各情境的模式個數 RCP2.6 有 26 個、RCP4.5 有 38 個、RCP6.0 有 21 個、RCP8.5 有 41 個。其中 RCP4.5 為未來較可能之模擬與 RCP8.5 外來較極端之模擬此兩者模式數量較多。研究中使用未來推估部分為 2006~2100 共 95 年。下述探討世紀末之溫度改變量與降雨變化率之基期為 1986~2005 共 20 年，世紀末時段為 1981~2100 共 20 年。

臺灣地區 5 公里降尺度後結果而言，世紀末之降雨變化率在四情境間之差異不大，但在夏秋兩季增加、春冬兩季減少，與 CMIP3 之乾季降雨變少、濕季降雨變多的結果一致（如圖 3.2）。RCP8.5 情境的推估結果中，顯示春、夏與冬三季的全臺分布狀況差異不大，僅有秋季的空間分布上差異較為明顯，呈現臺灣西部與南部降雨變化率最多（變化率在 5~10%），其次是中部與北部（變化率為 0~5%），最少的是東北部地區（0~5%左右）。

在溫度方面，臺灣地區世紀末升溫情形四季均相似，各情境升溫之差異與情境設定相同（如圖 3.3）。RPC8.5 模式推估的變化量大於其他三模式，主要是介於 2.75°C ~ 3.75°C 之間，臺灣西北部的變化比東南部推估的範圍更大。而 RCP2.6 模式推估的變化範圍最小，變化範圍在 0.25~1.25 之間，北部及西部變化量大於中部及東部，其中冬季變化在全臺大多數地區都較為一致。在 RCP4.5 與 RCP8.5 兩情境在全臺平均之分布較 RCP2.6 與 RCP6.0 更為分散，由於 RCP4.5 與 RCP8.5 模式數量較多所致（如圖 3.4、圖 3.5），各百分位變化量參照表 3.2。

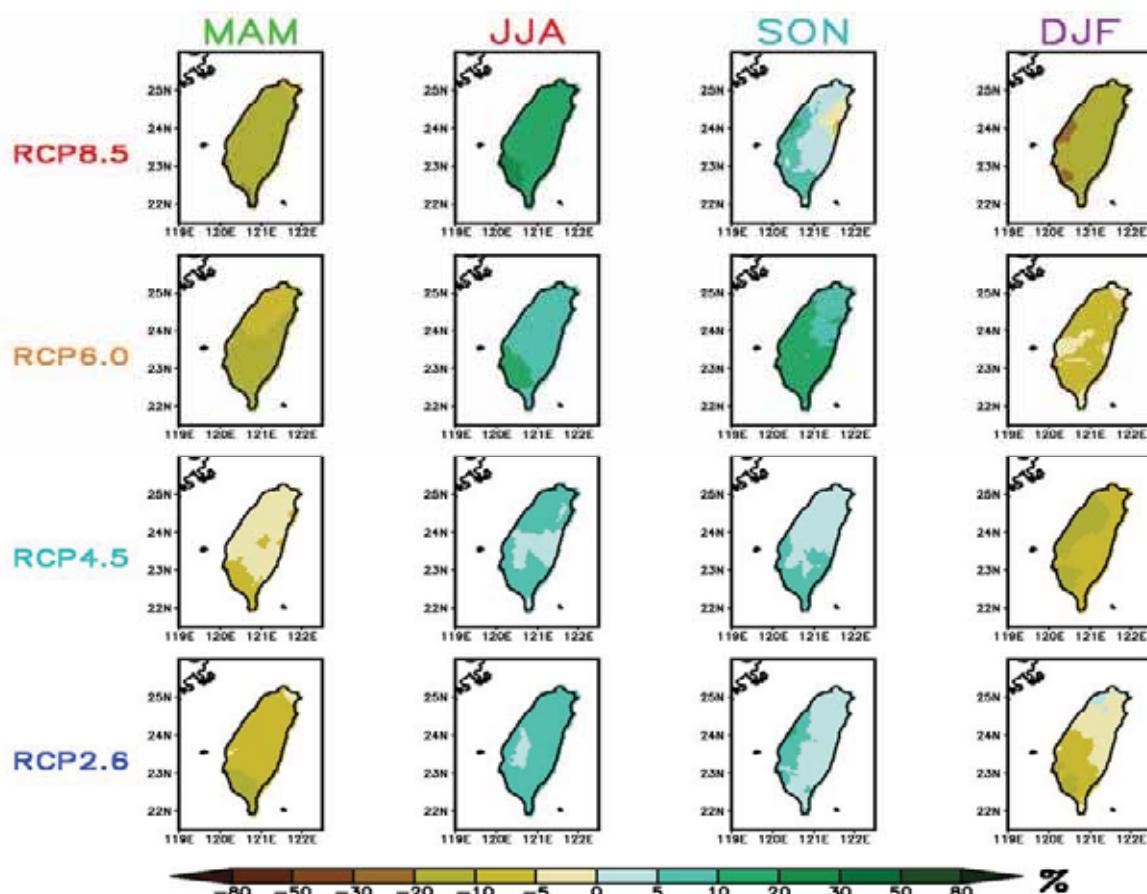


圖 3.2 臺灣地區 5 公里降尺度之世紀末降雨變化率（2080~2099 年減去 1980~1999 年平均變化）中位數空間分布圖。

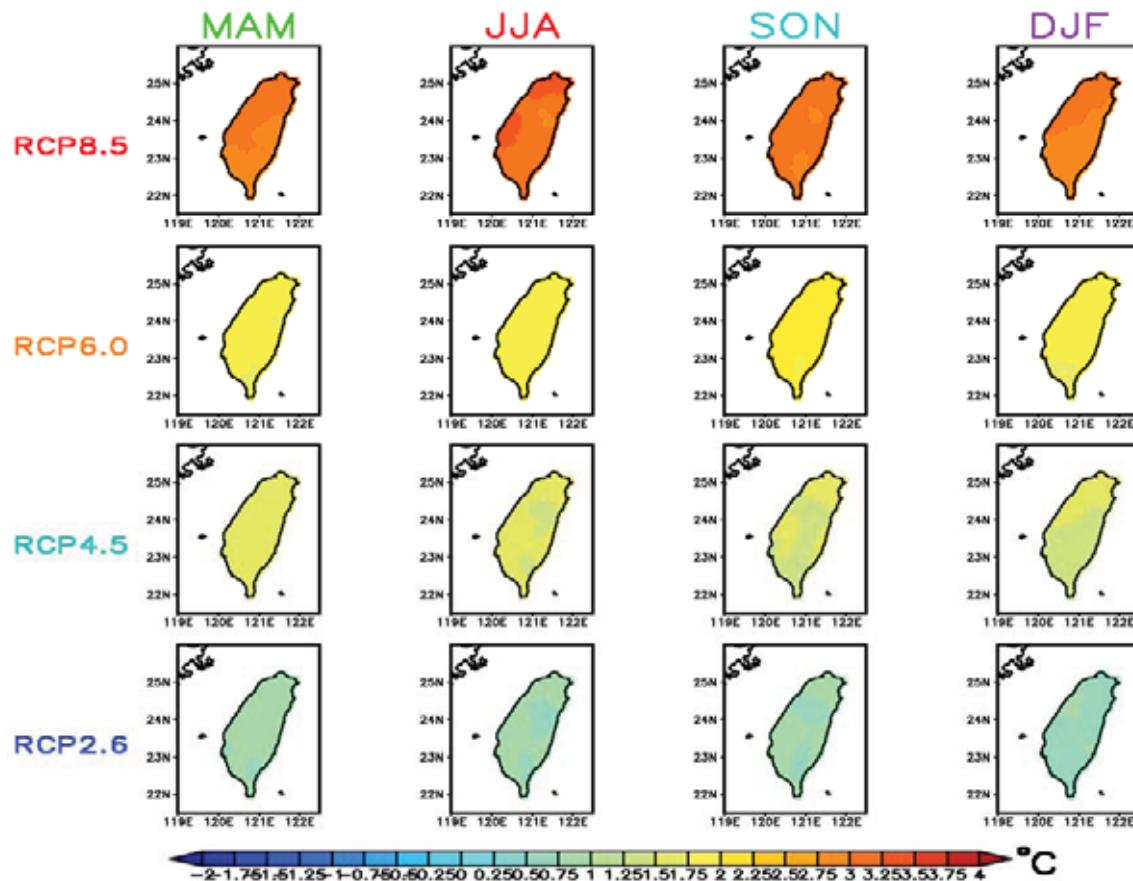


圖 3.3 臺灣地區 5 公里降尺度之世紀末溫度變化量中位數空間分布圖。

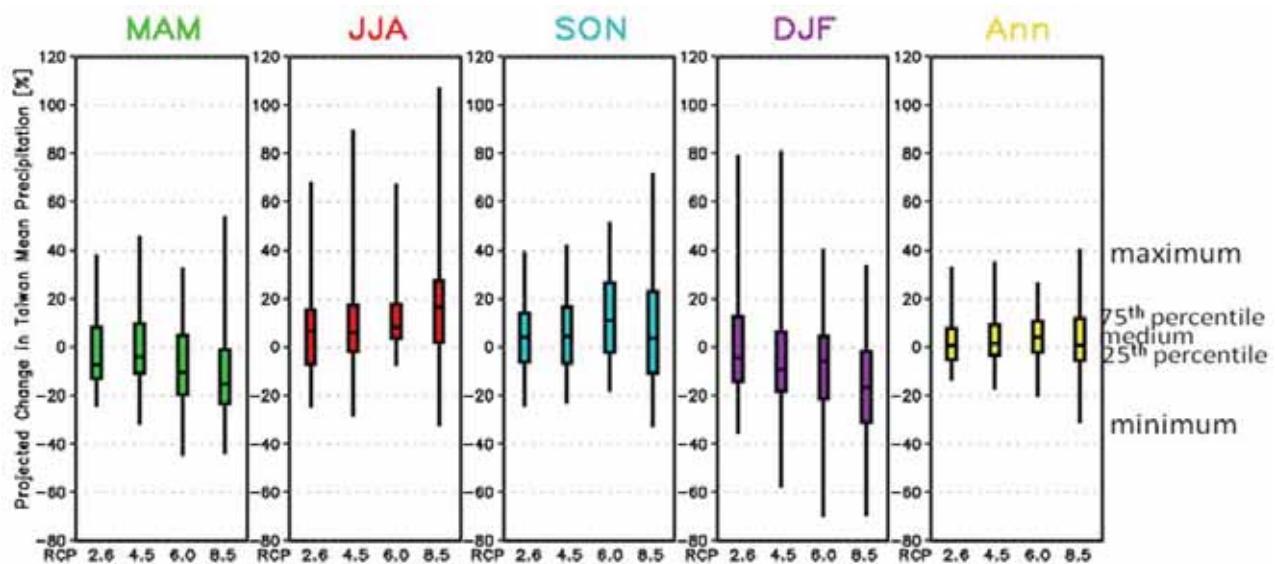


圖 3.4 五公里降尺度後全臺平均之 21 世紀末降雨改變率所有模式各百分位分布圖，橫坐標依序為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 四情境。左到右分別是春、夏、秋、冬與年平均。

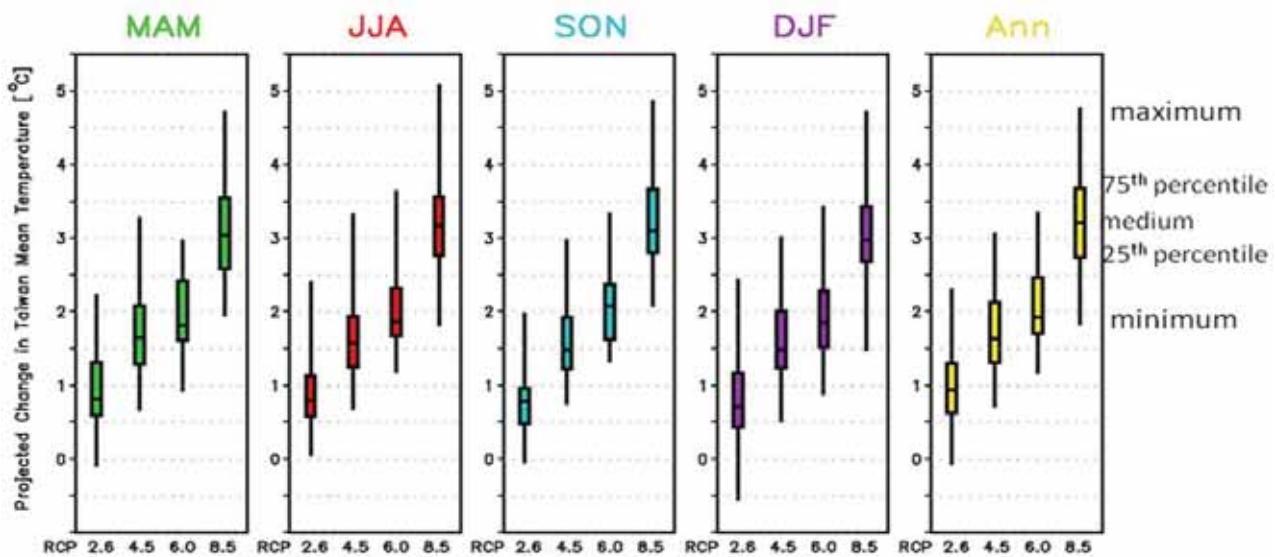


圖 3.5 五公里降尺度後全臺平均之 21 世紀末溫度改變量所有模式各百分位分布圖，橫坐標依序為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 四情境。左到右分別是春、夏、秋、冬與年平均。

表 3.2 21 世紀末臺灣地區的季節氣候平均變化，表中標題列中的 10、25、50、75、90 分別代表該區該季節平均值統計機率密度分布的百分位值。降水量變化部分有標記顏色的表示其將近有 3/4 以上的模式都有相同的符號，藍色為降水量增加，橘色為減少。

| 情境 | 季節 | 近地表氣溫平均變化 (°C) | | | | | | | 降水量平均百分比變化 (%) | | | | | | |
|-----|--------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| | | 最小 | 10 | 25 | 50 | 75 | 90 | 最大 | 最小 | 10 | 25 | 50 | 75 | 90 | 最大 |
| RPC | 春(MAM) | -0.1 | 0.3 | 0.6 | 0.8 | 1.3 | 1.7 | 2.2 | -24.2 | -16.4 | -13.2 | -7.6 | 7.9 | 17.6 | 37.5 |
| | 夏(JJA) | 0.1 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.1 | 1.6 | 2.4 | -24.6 | -16.0 | -7.0 | 6.7 | 15.6 | 29.9 | 67.7 |
| | 秋(SON) | 0.0 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 1.0 | 1.3 | 2.0 | -24.0 | -17.3 | -6.4 | 4.0 | 13.8 | 29.6 | 38.6 |
| | 冬(DJF) | -0.5 | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 1.2 | 1.8 | 2.4 | -35.3 | -25.5 | -14.2 | -4.6 | 12.4 | 37.2 | 78.8 |
| 4.5 | 春(MAM) | 0.7 | 0.9 | 1.3 | 1.6 | 2.1 | 2.5 | 3.3 | -31.6 | -17.8 | -10.7 | -4.3 | 9.5 | 22.8 | 45.3 |
| | 夏(JJA) | 0.7 | 1.0 | 1.2 | 1.6 | 1.9 | 2.1 | 3.3 | -28.0 | -11.4 | -1.9 | 5.9 | 17.3 | 25.3 | 89.0 |
| | 秋(SON) | 0.8 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.9 | 2.2 | 3.0 | -22.7 | -16.0 | -6.5 | 4.3 | 16.5 | 30.8 | 41.5 |
| | 冬(DJF) | 0.5 | 1.0 | 1.2 | 1.5 | 2.0 | 2.3 | 3.0 | -57.4 | -31.9 | -18.1 | -9.4 | 6.2 | 20.4 | 80.4 |
| 6 | 春(MAM) | 0.9 | 1.5 | 1.6 | 1.8 | 2.4 | 2.8 | 3.0 | -44.5 | -30.6 | -19.8 | -10.6 | 4.7 | 14.2 | 32.1 |
| | 夏(JJA) | 1.2 | 1.5 | 1.7 | 1.9 | 2.3 | 2.5 | 3.6 | -7.1 | -1.1 | 3.8 | 8.2 | 17.7 | 26.9 | 66.8 |
| | 秋(SON) | 1.3 | 1.5 | 1.6 | 2.1 | 2.4 | 2.6 | 3.3 | -17.7 | -14.2 | -2.3 | 11.1 | 26.3 | 38.6 | 51.1 |
| | 冬(DJF) | 0.9 | 1.4 | 1.5 | 1.8 | 2.3 | 2.7 | 3.4 | -69.5 | -39.9 | -21.4 | -6.0 | 4.4 | 13.3 | 39.7 |
| 8.5 | 春(MAM) | 2.0 | 2.2 | 2.6 | 3.0 | 3.5 | 4.1 | 4.7 | -43.7 | -28.5 | -23.2 | -15.2 | -1.4 | 13.9 | 53.6 |
| | 夏(JJA) | 1.8 | 2.3 | 2.8 | 3.2 | 3.6 | 4.0 | 5.1 | -32.3 | -8.8 | 1.8 | 16.4 | 27.3 | 42.1 | 106.6 |
| | 秋(SON) | 2.1 | 2.3 | 2.8 | 3.1 | 3.7 | 4.1 | 4.9 | -32.7 | -23.9 | -10.7 | 3.8 | 22.8 | 44.2 | 71.4 |
| | 冬(DJF) | 1.5 | 2.2 | 2.7 | 3.0 | 3.4 | 4.1 | 4.7 | -69.3 | -47.3 | -31.3 | -16.8 | -2.0 | 16.7 | 33.3 |

除了由各百分位值探討其分部外，也由機率的角度，觀察多模式表現是否一致。以各季節平均降雨的改變率為例，各地區在 21 世紀末降雨改變率大於或小於某降雨改變率標準的模式佔全體模式之百分比，以此百分比來表示此設定發生的機率。如圖 3.6 RCP8.5 情境下，21 世紀末各季節降雨改變率大於 30%、15%、0% 以及小於 0%、-15%、-30% 之機率分布圖所示，紅色表示機率達 100%，深藍色表示機率 0%，可看到夏秋兩季降雨訊號為正（改變率大於 0）的發生機率超過 50%，反之春冬兩季降雨減少的機率也超過 50%；夏季降雨增加及冬季降

水減少幅度超過 15%的發生機率在大部分地方也都超過 50%。圖 3.7 則表示，21 世紀末各地方增溫超過 1°C 、 2°C 、 3°C 與 4°C 之發生機率。

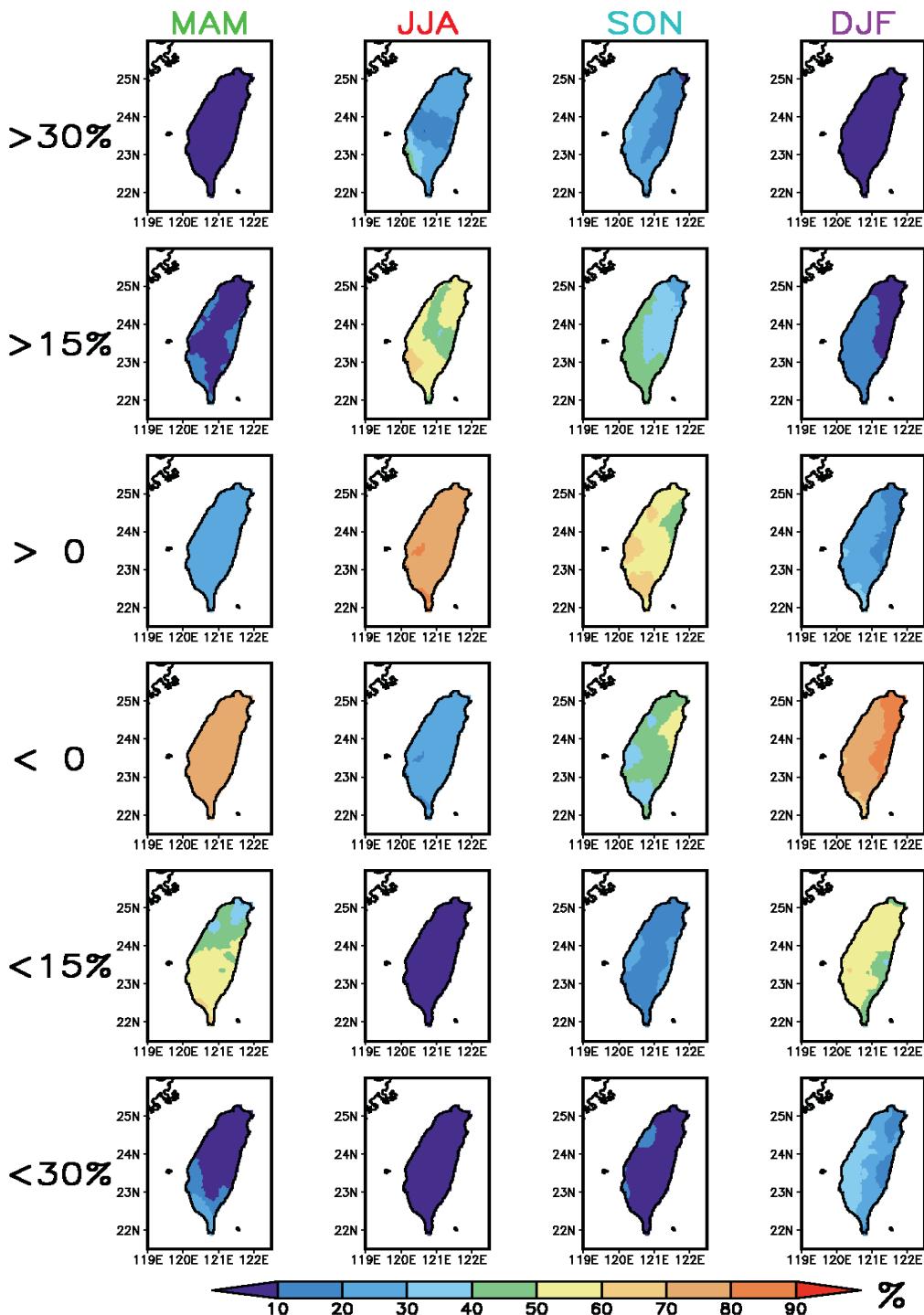


圖 3.6 臺灣地區在 RCP8.5 情境下，21 世紀末的季節降雨改變率大於 30%、15%、0% 以及小於 0%、-15%、-30% 之機率分布圖。

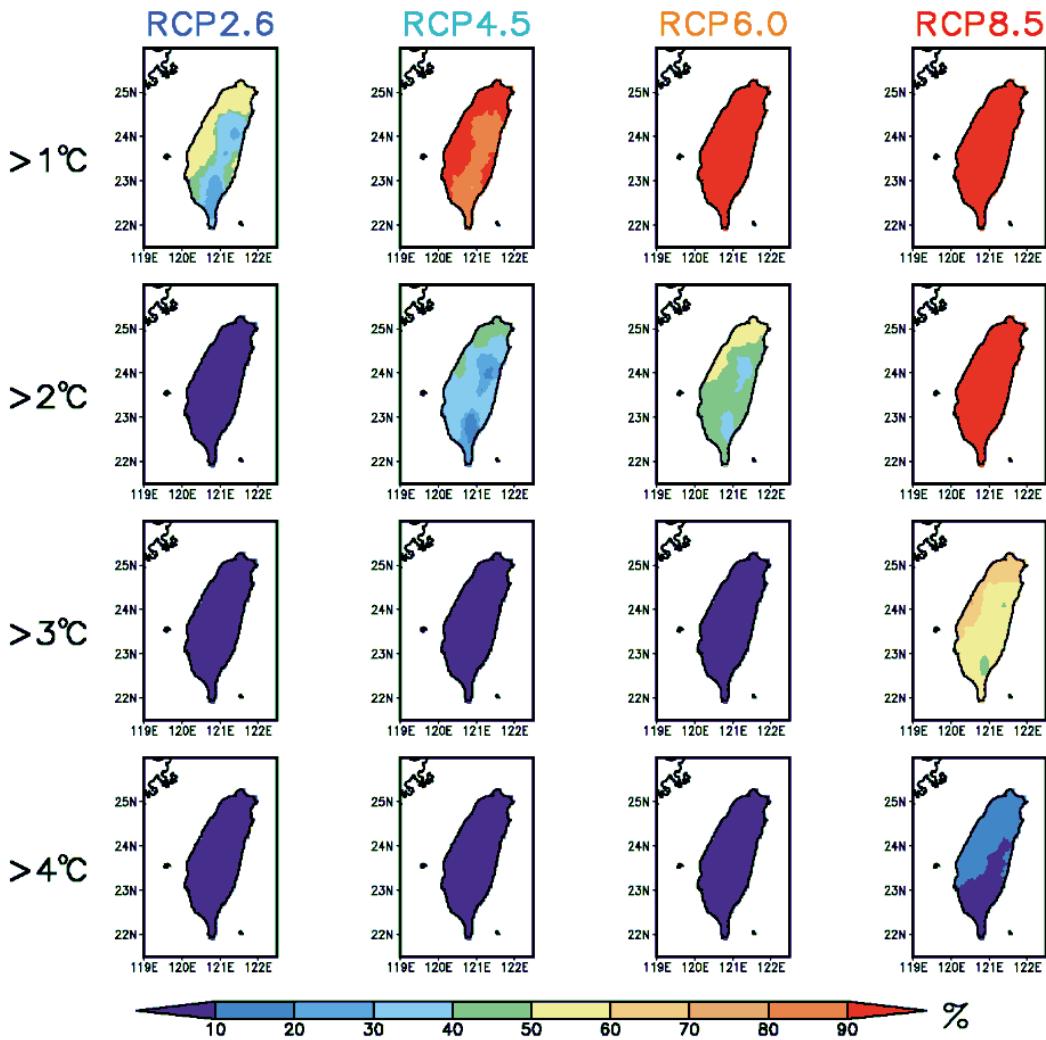


圖 3.7 臺灣地區在四種情境下，21 世紀末各地方年均溫增加超過 1°C 、 2°C 、 3°C 與 4°C 之機率分布圖。

3.1.2 不確定性分析

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

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

全年平均之模式間的不確定性佔 1/3，情境間的不確定性佔 2/3。在冬季則是模式間的不確定性佔 4 成情境間的不確定性約佔 6 成，詳細比例請參照圖 3.8。在 21 世紀末時期臺灣之降雨方面，由於小區域降雨的變化十分劇烈就算有做 20 年的滑動平均，模式與模式間的差異還是非常之大，造成模式間的不確定性變異數佔 8~9 成；情境間的不確定性反而在 5%左右，模式內的變異量也在 10%內，詳細比例請參照圖 3.9。

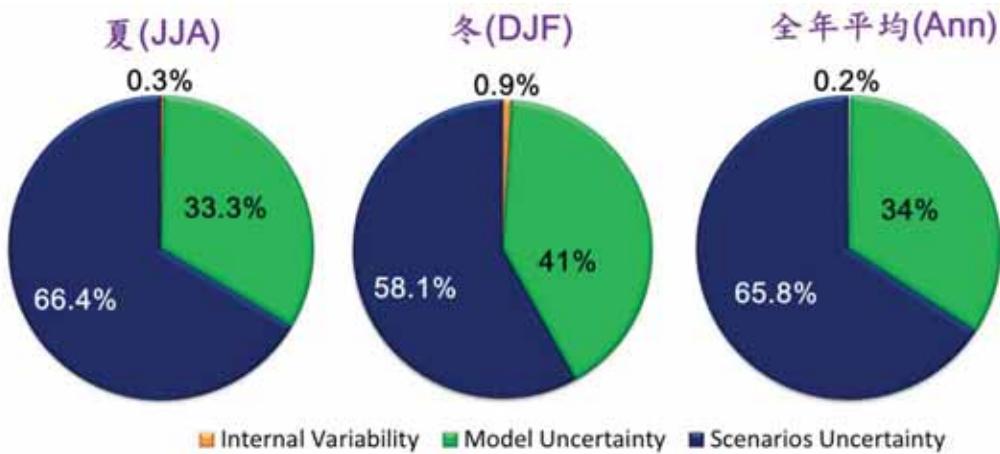


圖 3.8 臺灣地區夏季、冬季和全年平均溫度在世紀末 (2081~2100) 時段三種不確定性之變異量所佔的百分比。

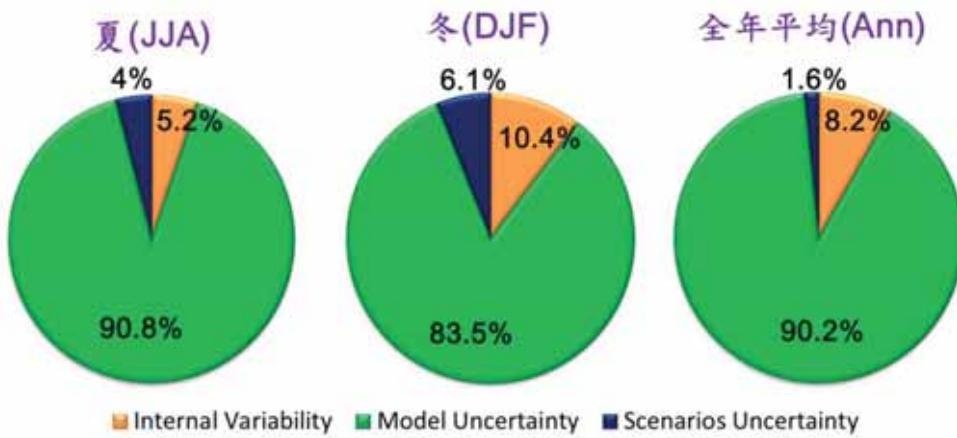


圖 3.9 臺灣地區夏季、冬季和全年平均降雨在世紀末 (2081~2100) 時段三種不確定性之變異量所佔的百分比。

在時間序列的呈現方面，採用 90%的信賴區間計算方式，將三種不確定性之變異數開根號為三種不確定性之標準差，正負 1.65 倍標準差即為 90%之信賴區間範圍。圖 3.10 為臺灣地區全年平均溫度之 90%信賴區間時間序列圖，模式內部的變異量（橘色）從頭到尾是相同；模式間的不確定性（藍色）以非常緩慢的速率增加；情境間的不確定性（綠色）在 21 世紀初非常小，在 21 世紀末呈現最大。圖 3.11 左圖為臺灣地區夏季降雨之 90%信賴區間時間序列圖，模式間

的不確定性（綠色）為最大，情境間的不確定性（藍色）與模式內部變異量（橘色）較小，其降雨改變率範圍為減少 20%至增加 50%。圖 3.11 右圖為臺灣地區冬季降雨之 90%信賴區間時間序列圖，結果與夏季相似，只是其降雨改變率範圍為減少 45%至增加 30%。

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

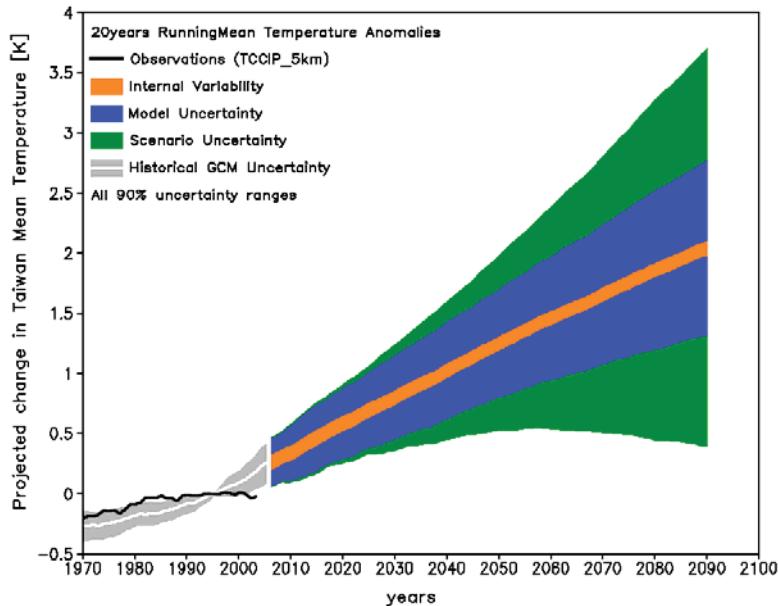


圖 3.10 臺灣地區全年平均在 90% 信賴區間下，20 年滑動平均之 21 世紀末增溫圖（三種顏色各表示不確定性所佔的比重，橘色為模式內部的變異量、綠色為模式間的不確定性、藍色為情境間的不確定性）

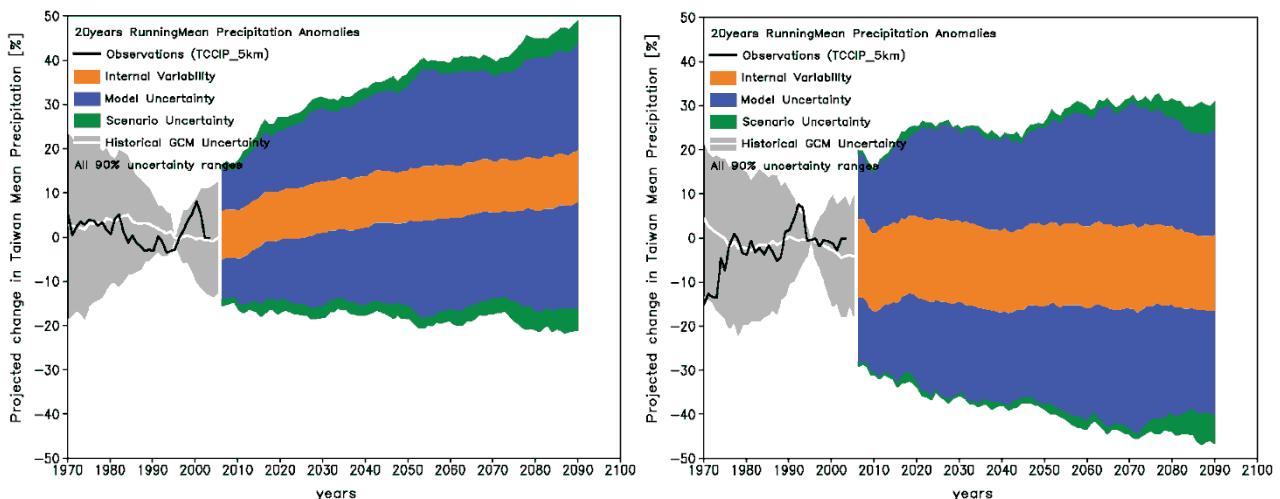


圖 3.11 同圖 3.10，只是代表的是夏季（左圖）與冬季（右圖）雨量變化率圖。

3.2 動力降尺度資料產製與技術研發

常見的動力降尺度方法是使用全球模式氣候推估資料來驅動區域模式進行物理模式的模擬，本期計畫擬採 HiRAM、MRI 以及 CAM5 三個不同的高解析度大氣環流模式 (Atmospheric General Circulation Mode, AGCM) 的氣候推估資料進行動力降尺度。本期計畫使用的 MRI AGCM3.2S (Mizuta et al., 2012) 與前一期使用的相同，是日本氣象研究所 (Meteorological Research Institute, MRI) 發展的高解析度大氣環流模式，水平解析度約 20 公里，可以模擬出強的深對流以及颱風。由於對現在時期大氣環流的模擬掌握得相當不錯，未來暖化的情境採用的是 CMIP5 的洋溫暖化趨勢來設定未來海溫情境以驅動模式。其他兩組 AGCM (HiRAM 及 CAM5) 亦將採類似的方法來處理未來的洋溫。這裡的 HiRAM 指的是美國普林斯頓大學地物流力動力實驗室 (GFDL) 所發展的 HiRAM2 (High-Resolution Atmospheric Model, version 2)，模擬劇烈天氣系統的能力甚佳 (Chen and Lin 2011)，網格架構為一有限體積的立方球體網格，而本研究使用的 C384 版本在臺灣附近的網格水平解析度約 23 公里。CAM5 則是一個由美國國家大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research, NCAR) 所發展出來的第一版第五代的社群大氣模式 (Community Atmosphere Model)。Lawrence Berkeley National Laboratory 使用 25 公里水平解析度的 CAM5.1 來進行氣候模擬，現已完成 1979-2005 年間的模擬，對未來氣候的推估則還在進行當中。

考慮到與本計畫將使用的氣象局新一代超級電腦的相容性，本期計畫仍是採用 NCAR 所發展的天氣研究與預報模式系統 (Weather Research and Forecasting modeling system，之後簡稱 WRF 模式) 來進行動力降尺度的工作，只是模式版本進階到 3.5.1 版，現代時期 25 年動力降尺度計算作業在今年十月完成磁碟陣列系統的建構 (見 3.2.1 節) 之後正式啟動。在這之前的工作重點為分析前期 WRF 模式重新模擬之結果，檢視不同模式設定下降尺度前、後降水及環流場之差異。3.2.2 節將說明模式的設定、梅雨季降雨分析、不同模式設定的實驗測試，分析的重點在於檢視差異是否隨模擬時間的增加而隨之增加、或是呈現穩定狀態。藉由比對結果了解模式模擬的特性，當作本期計畫動力降尺度模式物理及模擬策略設定的參考。3.2.3 節呈現的則是三組 AGCM 現代時期降尺度的初步結果。

3.2.1 區域模式建置與作業環境測試(詳見附錄 2.2)

TCCIP 第一期計畫中是使用 WRF3.1.1 來執行動力降尺度，在第二期的計畫書中的規劃是在氣象局的高效能電腦 (High Performance Computer，之後以 CWB-HPC 稱之) 上執行 CWRF 模式來進行動力降尺度。CWRF 是美國馬里蘭大學將 WRF 模式修改而成，模式可以考慮複雜的物理過程之間的交互關係，例如雲-氣溶膠-輻射之間的交互作用。為了對水文也有較佳的模擬，CWRF 模式需要建構詳細的地文資料搭配才能執行。由於整個 CWRF 模式結構較為複雜，也需要再進一步修改程式才能建置在 CWB-HPC 上，若要在 CWB-HPC 上使用 CWRF 來執行動力降尺度，勢必耗費相當多的時間及人力來逕行模式的建置。考慮到本計畫所投入執行此工作項目的人力以及資料產出的時程，本計畫最後決定改採用最新版的 WRF3.5.1。由於 WRF

模式在 3.5 版以上已經具有不少新功能可滿足計畫所需，本計畫便決定使用 WRF3.5.1 來執行動力降尺度。關於 WRF3.5.1 的一些新特徵簡述如下，其中第 4-6 項是氣象局過去幾年的工作成果所回饋到 WRF 模式：

1. 可選用溫室氣體變遷情境 (A1b、A2、RCP4.5、RCP6.0 與 RCP8.5) 與長波輻射的計算耦合，有利於氣候變遷情境的設定。
2. 可計算氣候變數 (日均溫、日最高溫、日最低溫、日照長度、陣風等) 的診斷與輸出。
3. 有無閏年的選項供 CAM5 的降尺度使用。
4. 可選用較正確的植被覆蓋。
5. 可選用地形的次網格變異來修正地面風，可以減少地面風高估的情形。
6. 可直接在 CWB-HPC 使用 FX10 的選項編譯，無須進一步修改程式碼。

本計畫動力降尺度所直接產製出的檔案種類為逐時資料、日資料、以及每 3 小時資料，產出的資料量龐大，所以需要有相當的硬碟空間及磁帶來存取。氣象局除了提供 CWB-HPC 來執行動力降尺度之外，亦提供磁帶館供資料存檔以及機櫃空間供本計畫建置一套資料儲存系統。本計畫分兩期所建置的系統與氣象局既有的機器之間的關聯性如圖 3.12 所示。前段建置於 2013 年 10 月完成，所建置之 NCDR1 主機主要用來管理磁碟陣列、並進行降尺度的前置及後置處理。後段建置將於 2014 四月完成，所建置之 NCDR2 主機，將會有一專線連結至位於中研院的 NCDR@RCEC 主機，用途為提供參與本計畫研究人員進行資料分析之用。動力降尺度產製之資料將透過 24TB 的快取硬碟備份至氣象局的 MSS 磁帶館。

在使用 CWB-HPC 來進行長時期模擬之前，需要對其模擬結果做一些初步評估，所以在 CWB-HPC 以及位於中研院的 TCCIP-HPC 上使用不同版本的 WRF (WRF3.3.1、CLWRF3.3.1、WRF3.4.1、CLWRF3.4.1、WRF3.5、WRF3.5.1) 來測試機器的運算效能以及評估模擬結果。其中 CLWRF 是前一期計畫中修改成氣候版的 WRF 模式。在僅選用 MRI 資料、使用相同 192 個計算核心進行測試的情況下，測試結果顯示，不同版本的 WRF 模式在不同機器上的模擬結果相互之間的歧異度不大，不過模式運算的效能有顯著的不同。

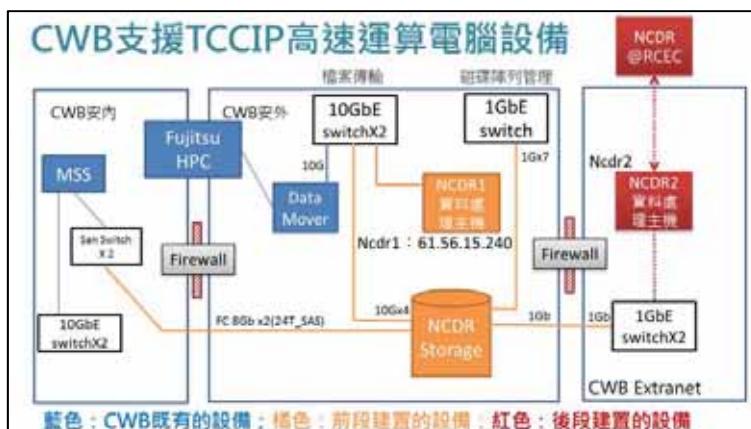


圖 3.12 本計畫建置於氣象局的儲存系統與氣象局既有的機器之間的關聯性。

3.2.2 區域模式設定測試

因應不同的分析、比對的工作所需，本計畫採用數種不同的觀測資料。在分析臺灣地區的季節降水時，採用本計畫產製的月平均資料 (TCCIP)，水平網格解析度 5 公里，時間長度為 1979-2003 年；在分析海上降雨的分布情形時，使用了 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 3B43V6 衛星降雨估計資料，空間解析度 0.25 度，時間長度為 1998-2010 年；而當需要分析時雨量或日雨量的降水特徵時需使用逐時資料，因此採用國家災害防救科技中心 (NCDR) 產製的網格資料，其為將中央氣象局自動雨量站的逐時資料經客觀分析內插解析度為 0.0125 度的網格點，時間長度為 1992-2010 年。至於大氣環流場，則是以美國國家環境預測中心 (National Centers for Environmental Prediction) 產製的全球氣候預報系統重分析 (Climate Forecast System Reanalysis，之後簡稱 CFSR) 的資料當作觀測值。

本計畫使用 WRF3.5.1 所預設使用的物理模組以及使用臺灣土地使用現況地表資料 (戴等，2008)，都延續上期計畫，模擬區域如圖 3.13 所示。其他詳細設定請見附錄或是「臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫 (2/3) 及 (1/3)」期末報告書。本計畫區域模式選項與上一期計畫所使用的設定最大的不同是不使用積雲參數化，降水完全是經由雲微物理過程來產生。如此設計的原由來自於上一期的研究成果顯示，在梅雨季模擬的測試實驗中不使用積雲參數化不僅能改善降雨的強度，也能讓降雨的重點位置移到正確的地方 (詳見「臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫 (3/3)」期末報告書)，使用積雲參數化也會讓熱帶氣旋的形成及發展過於活躍。

在前期計畫梅雨季重新模擬實驗中，rerun1 的設定為掉波譜修正且保留積雲參數化，rerun2 的設定則為掉波譜修正但不使用積雲參數化。無論是在臺灣地區或是東亞地區的降水空間分布、臺灣地區強降雨頻率的空間分布、或是臺灣地區降水強度的機率密度函數，rerun2 的結果都是最接近觀測值，然而對於 200 mm 以上的強降雨模擬仍有改善的空間。本期計畫完成無波譜調整及積雲參數化在 21 世紀末梅雨季推估的動力降尺度，並分析其降雨變遷的特性，主要分析標的為 rerun2 中降水特性及極端降雨事件之合成。



圖 3.13 粗線條黃色方框為臺灣地區 5 公里解析度的動力降尺度所模擬的範圍，共計有 380 × 400 個網格點，涵蓋範圍約 $20^\circ \times 20^\circ$ 。

除了對梅雨降水有顯著的影響，使用積雲參數化與否對熱帶氣旋的生成也有顯著的變化。rerun1 中有使用積雲參數化較容易有中小尺度渦漩產生，因此造成侵臺颱風個數顯著增加，而在 rerun2 中關掉積雲參數化後的結果與降尺度前的颱風統計結果較接近。另外 MRI-AGCM 中顯示侵臺颱風個數於世紀末有減少的趨勢，但 rerun1 結果卻顯示世紀末侵臺颱風個數增加，此一變化趨勢與原 AGCM 相反。由於 rerun2 並未進行 21 世紀末 7-8 月的模擬，在此無法判斷其颱風數目變化趨勢為何。

圖 3.14 為不考慮颱風降雨的條件下，由臺灣地區每個網格點的日降雨量計算各區間的降雨占總降雨量的百分比分布。其降雨區間在對數座標中是等間距的（見圖中附表）。比對觀測及 rerun2 資料的降雨百分比分布曲線，rerun2 現在時期的曲線與觀測值大致相當穩合。在 21 世紀末的推估中可以看到分布曲線明顯向右平移，比例占最高的降雨區間移動至 53.2~90.3 mm (10.3 %)，小於 53.2 mm 的降雨為減少的趨勢，大於 53.2 mm 的降雨皆為增加的趨勢，增加最高的為 117.7~153.5 mm 區間的降雨 (26.6 %)，而大於 200 mm 的極端降雨也增加了 15.4%。整體而言，世紀末的降雨推估小雨有減少的趨勢，而大雨有增加的趨勢。

表 3.3 動降尺度前、後的現在時期及 21 世紀末時期 5-8 月的侵臺颱風個數和時數

| | 現在時期 | | 21 世紀末 | |
|------------|------|------|--------|------|
| | 侵臺個數 | 侵臺時數 | 侵臺個數 | 侵臺時數 |
| MRI-AGCM | 58 | 2166 | 55 | 1854 |
| WRF rerun1 | 85 | 3648 | 90 | 3888 |
| WRF rerun2 | 56 | 2160 | --- | --- |

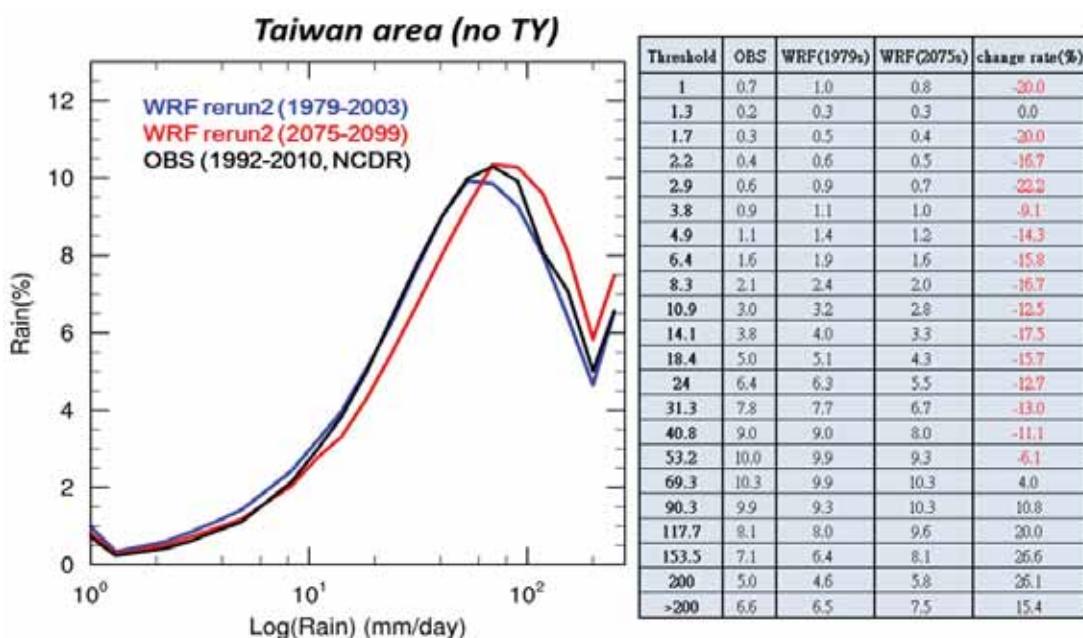


圖 3.14 以臺灣地區每個網格點的日降雨量計算 rerun2 各區間降雨量占總降雨量之百分比分布。黑色為觀測值、藍色為 rerun2 的現在時期，紅色為 rerun2 的 21 世紀末時期。

針對極端降雨事件之環流場與降水合成之分析，大部分梅雨季降雨發生時其環流場配置為北方有明顯的東北風，南方則有較強的西南風，兩股氣流於臺灣附近輻合，使得臺灣位於低壓槽風切帶內；臺灣南部海面 10 m 及 850 hPa 的風速偏強且水氣通量偏高，而在越極端的降雨事件中，臺灣西南風的風速則越大。張等 (2008) 及王等 (2012) 皆提出梅雨季臺灣地區的劇烈降雨事件與水氣通量有相當大的關連性。陳等 (2007) 分析 1997-2006 年梅雨季臺灣西南部地區降雨，指出當臺灣西南方外海低層水氣通量較大時，出現超大豪雨的機會較多。

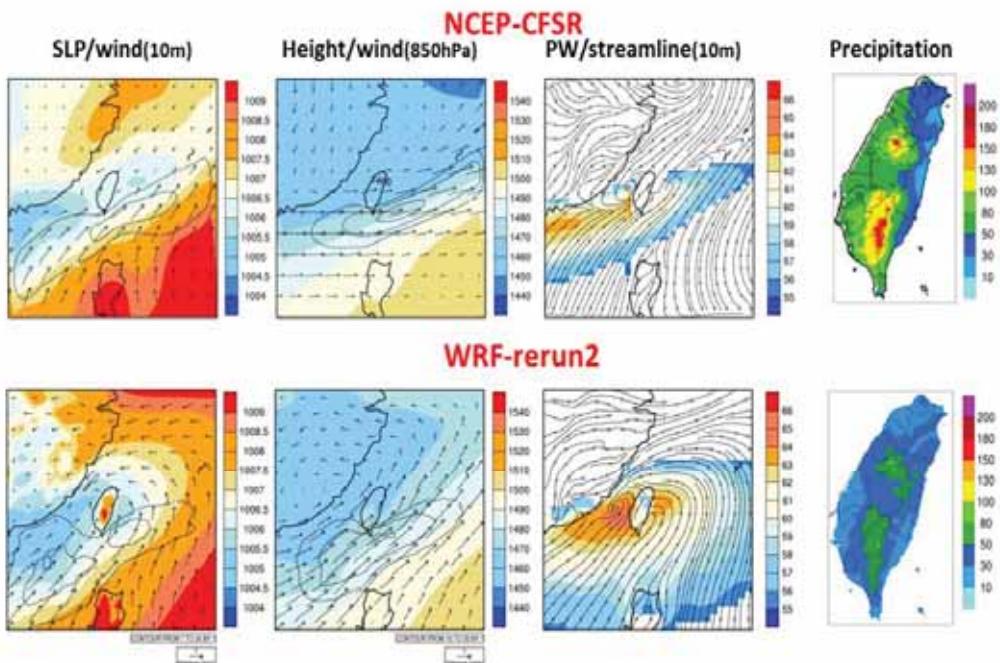
本研究以非颱風事件的臺灣地區區域平均的日降雨量來定義降雨事件，從其中挑出 Top 5 % 降雨事件的環流場及降雨合成圖來探討極端降雨。圖 3.15 為極端降雨事件的環流場及臺灣降雨合成，上排為觀測資料、中排為 rerun2 極端事件的合成。圖中明顯發現，rerun2 的環流場結構與觀測值大致相似，除了降雨的量值有低估之外，降雨空間分布情形與觀測資料相近，集中在臺灣中、南部山區。在 21 世紀末梅雨季推估中 (圖下排) Top5% 極端降雨事件的改變量顯示，受到暖化效應的影響，整個東亞地區 850hPa 高度場皆為增加的趨勢，尤其是南海地區，海平面氣壓場的變化圖中可發現，臺灣以北為減少、以南為增加，顯示南方的高壓及北方的槽線系統皆有增強的趨勢。另外可看到，南海地區的西南風互有增減無顯著且一致的變化趨勢、臺灣海峽及臺灣南部海域的可降水量及水氣通量則是明顯增加，可降水量增加約 $14\text{-}15 \text{ kg/m}^2$ (約 25%)，而水氣通量增加約 $30\text{-}40 \text{ gkg}^{-1} \cdot \text{ms}^{-1}$ (約 20%)。最後，在臺灣地區降水的變化量可以看到，臺灣地區中南部山區及西南部地區有明顯的增加，中南部山區增加約 20-40%，西南部沿海地區增加可達 60%，。大致而言，21 世紀末的環流場配置沒有太大的改變，臺灣位於低壓槽風切帶，且有增強的趨勢，而臺灣中南部山區及西南部沿海地區的降雨增加，可能是受到環境場的可降水量及水氣通量的增加有很大的關係。

為了解區域模式的特性，在開始執行長期的動力降尺度工作之前，以 CFSR 1999 年 (為一年多雨年) 的資料做測試，依波譜調整及物理參數化的使用情形做測試，測試結果可當作本期動力降尺度模式設定的參考依據。模式的設定如表 3.4 所示，依照波譜調整的使用程度及物理參數化的使用情形組成 8 組多模式成員，可分成控制組 (CTRL)、無使用波譜調整的 NOFDDA 與 REINIT、使用波譜調整程度較弱的 FDDA01 與 FDDA02 及使用其他物理參數化的 RAD_RRTMG、PBL_ACM2 與 CU_KF，之。模擬時間為 1999 年 1-12 月。

表 3.4 WRF 模式設定測試實驗中的 8 組模式設定。

| Exp. ID | Test type | Model Setting |
|-----------|-------------------------|---|
| CTRL | | Control run, warm start + wave #4 spectral nudging + CAM3 radiation + YSU PBL + no cumulus + WSM5 microphysics. |
| NOFDDA | No Nudging all the time | No nudging is applied. |
| REINIT | | No nudging, reinitialize (cold start) at beginning of every month. |
| FDDA01 | Less Nudging | Apply wave # 2 spectral nudging. |
| FDDA02 | | Apply smaller nudging coefficient ($\times 0.1$). |
| RAD_RRTMG | | Use RRTMG radiation scheme. |
| PBL_ACM2 | Other Physics | Use ACM2 PBL scheme. |
| CU_KF | | Use KF cumulus scheme. |

1979-2003 梅雨季Top5%之環流場合成 (noTY)



世紀末梅雨季Top5%之環流場改變

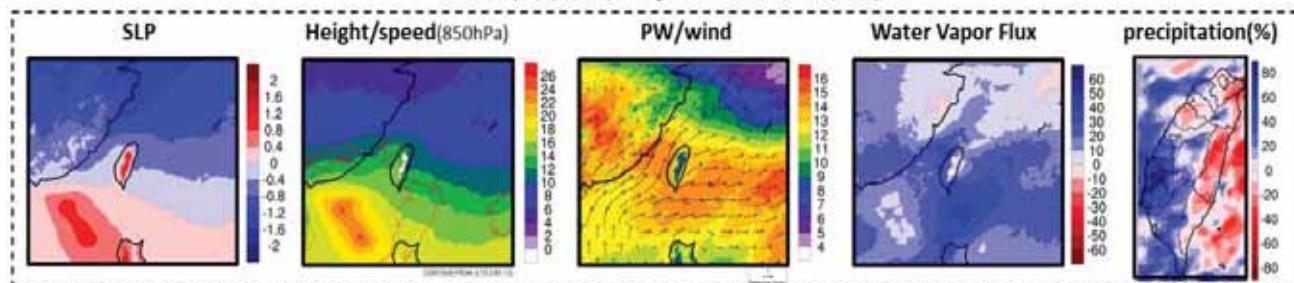


圖 3.15 現在時期 CFSR (上排) 與 rerun2 (中排) 的梅雨季 Top 5 %降雨事件的環流場與降雨合成圖。左至右為海平面氣壓場 (hPa) 與 10m 風場 (m/s) 、850 hPa 高度場 (hPa) 與風場 (m/s) 、可降水量 (kg/m^2) 與 10m 氣流場 (m/s) 以及臺灣地區降雨分布 (mm)。下排為 WRF (rerun²) 推估世紀末 (2075-2099 年) 梅雨季環流場的改變量，圖左至右為海平面氣壓場 (hPa) 、850 hPa 高度場 (hPa) 、可降水量 (kg/m^2) 與 10 風場 (m/s) 、水氣通量場 ($\text{g kg}^{-1} \cdot \text{ms}^{-1}$) 以及降雨改變率 (%)。

針對東亞地區的區域平均，繪製 1999 年 1-12 月海平面氣壓場、850 hPa、500 hPa 及 200 hPa 重力為高度場的 pentad 時序圖來檢視 8 組系集成員與降尺度前 (CFSR) 之差異，區域平均的範圍為北緯 15-32 度，東經 113-130 度。分析海平面氣壓 (SLP)、850 hPa、500 hPa 及 200 hPa 等壓面上的重力位高度場的時序變化可知，所有模擬結果在 200 hPa 皆有高估的情形，500 hPa、850 hPa 及 SLP 的變化與 CFSR 皆相當一致，顯示模式對於季節的變化掌握得相當不錯，僅於第 30-40 個 pentad 處 (6、7 月) 有較明顯的差異。從誤差的時序變化圖中 (圖 3.16) 即可看到明顯的差異，200 hPa 的所有系集成員皆為高估，其中有 3 組系集成員的誤差最顯著，分別為

NOFDDA 及 REINIT，皆為無使用波譜調整的系集，另外在其他高度層亦可看到，無使用波譜調整在 30-40 個 pentad 的誤差最大，其中第 38 個 pentad 處（7 月初）的誤差為最。進一步分析造成此較大誤差的原因，可以發現 NOFDDA 及 REINIT 兩組系集成員因無使用波譜調整，少了全球模式的大氣環流對區域模式之影響，允許中、小尺度的擾動在適當的環境中發展，而導致較易有氣旋的生成及並發展，故與 CFSR 的差異最明顯。

在此亦以臺灣地區區域平均的降水時序變化及空間分布來檢視模式 8 組模擬結果與觀測值之差異（圖 3.17）。在時序的比對中，大多數的測試模擬都能呈現出降水的變化趨勢，冬半年的降水明顯少於夏半年。從降水誤差圖中可以看到，冬半年皆有些為高估的現象，高估約 4 mm/day 左右；與前述環流場誤差相同，第 38 個 pentad 處同樣可以看到無使用波譜調整的誤差最大（約 30 mm/day），應該是受熱帶氣旋發展的影響所致。另外，8 組測試模擬的全年平均值皆高於觀測值，控制組及 PBL_ACM2 的結果最接近觀測值，年平均值比觀測值得 6.6 mm/day 多了約 1.35 mm/day，而無使用波譜調整的兩組測試模擬比觀測值多了約 3.14 及 3.56 mm/day。以降水的空間分布情形來看（圖略），8 組測試模擬大致能掌握每個月的降水空間分布特性，但可以明顯看到，5、6 月及 7 月的誤差最顯著，其中 7 月的誤差最大，兩組無使用波譜調整的模擬在南部地區高估了約 36 mm/day，而控制組及使用物理參數化的三組模擬結果之誤差值最小，其降水空間配置與觀測值呈現一致性。

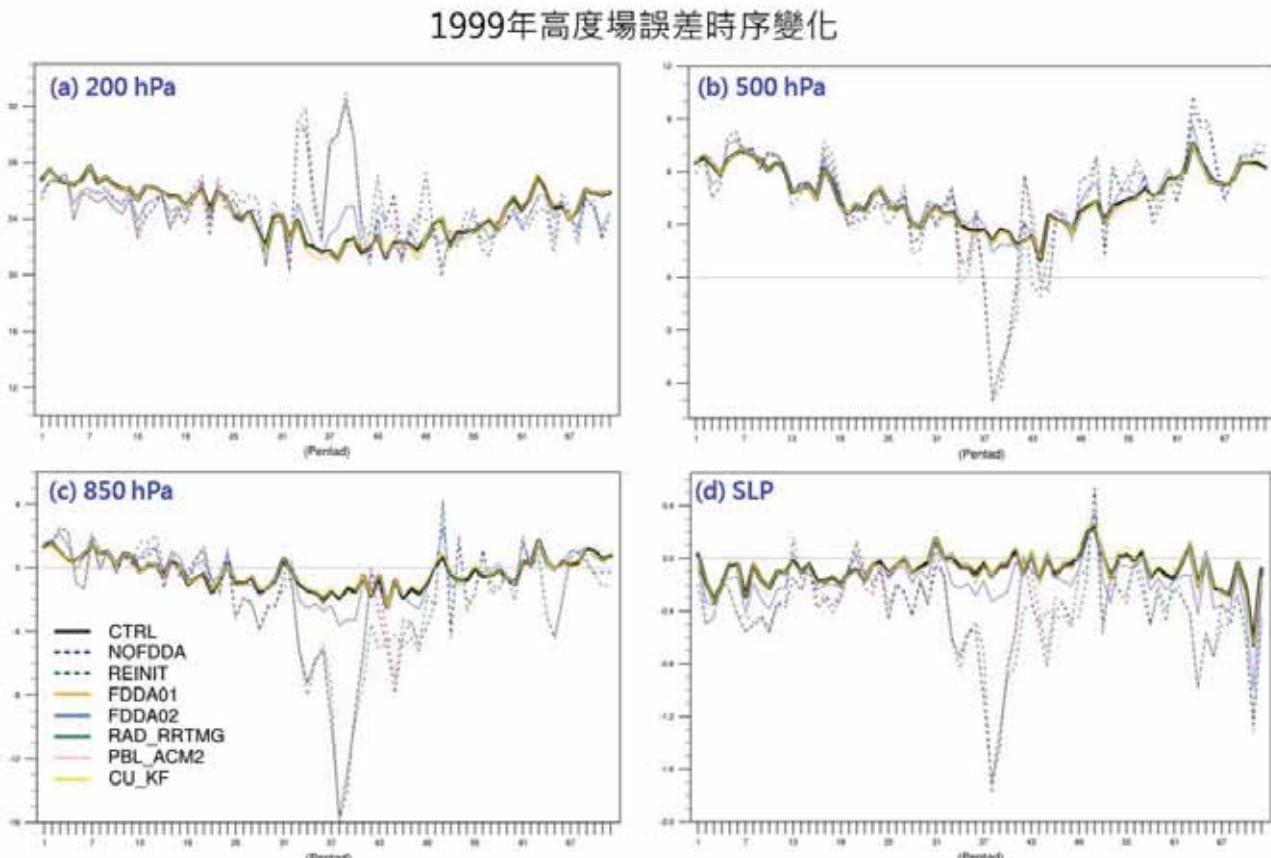


圖 3.16 8 組測試模擬在 200 hPa、500 hPa、850 hPa 及 SLP 重力為高度場的誤差之時序變化。

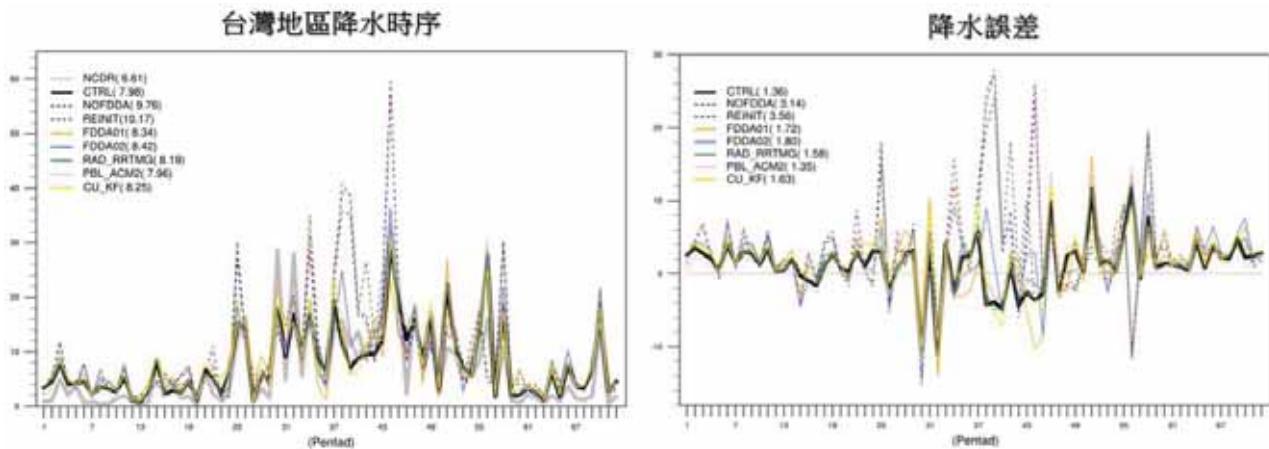


圖 3.17 8 組測試模擬與觀測值 (NCDR) 的臺灣地區降水 (左圖) 及其誤差 (右圖) 之時序變化。單位: mm/day，圖中括號內的數值表示全年的平均值。

之前提到不使用波譜調節時，中小尺度渦旋能夠生成及自由發展，本研究亦在此檢視各測試模擬對熱帶氣旋的模擬結果。在 1999 年共有 3 颱風靠近臺灣，但並無登陸。為了瞭解模式的設定對颱風強度發展的影響，本研究取距颱風中心（在此使用日本氣象廳定位的颱風中心）上下左右各 30 個網格點（約 150 公里）之範圍，分析其降雨、氣壓和風場之變化。控制組模擬出來的颱風路徑與觀測相當接近。圖 3.18 為瑪姬、山姆和丹恩颱風之近中心颱風降雨機率密度函數分布圖，與控制組相比，未使用波譜修正模擬之強度有明顯偏強。近一步分析各模式設定之海平面氣壓（圖 3.19 上）和降雨隨時間的變化（圖 3.19 下），顯示有使用波譜修正（FDDA01、FDDA02）的模擬結果與控制組較為接近，其中未使用波譜修正的降雨模擬有偏強的現象。由海平面氣壓時序圖發現丹恩颱風之未使用波譜修正的模擬結果在侵臺後段期間與控制組的差異較為顯著，造成原因應為在未使用波譜修正的情況下，該兩場颱風位置與觀測的颱風位置產生明顯的誤差。

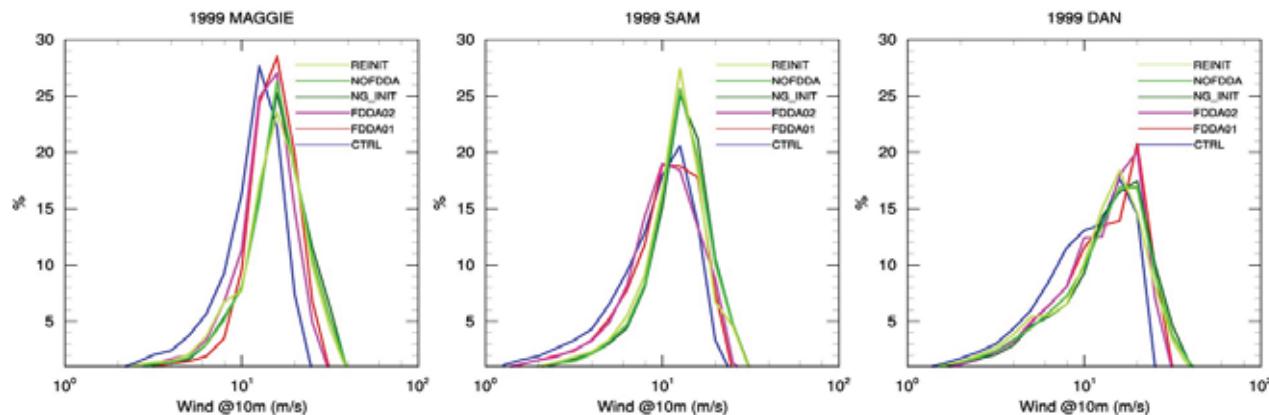


圖 3.18 1999 年侵臺颱風之近中心颱風降雨機率密度函數分布圖，由左至右分別為瑪姬、山姆和丹恩颱風。藍線為 CTRL、紅色系的線為使用較弱的波譜修正、綠色系為未使用波譜修正的模擬結果。

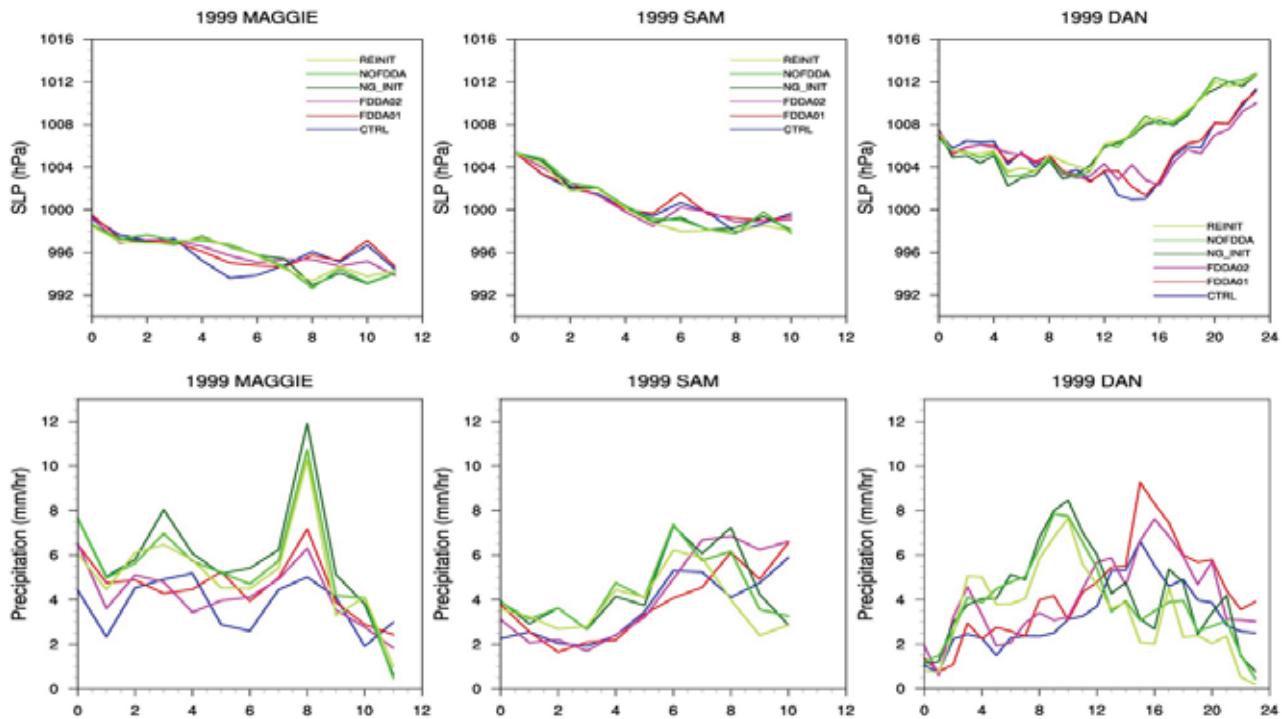


圖 3.19 1999 年侵臺颱風之最低海平面氣壓（上）和近中心颱風降雨（下）時間序列圖，由左至右分別為瑪姬、山姆和丹恩颱風。

8 組測試模擬的結果大致可分為三個群組：第一組為無使用波譜調整的成員，第二組為使用波譜調整程度較弱的成員，第三組為控制組及使用其他物理參數的成員。以無使用波譜調整的結果誤差最大，與降尺度前的差異最明顯；使用調整程度較弱的第二組結果次之；而誤差最小的是控制組及使用其他物理參數的結果。

3.2.3 動力降尺度_現在 (present)

三組高解析度全球大氣模式 (MRI-AGCM、GFDL HiRAM 及 NCAR CAM5) 之動力降尺度模擬為本計畫的執行重點之一，但因為 NCAR CAM5 模式對世紀末時期的模擬策略及期程尚不明確，今年的暫緩對其現在時期的結果進行動力降尺度，所預留的計算資源將對水平解析度為 0.5 度、1979-2003 年間的 CFSR 觀測資料進行動力降尺度，以做為比對之用。由於現在時期 (1979-2003 年) 的模擬工作尚未完成，故以 1980-1994 年共 15 年的平均來評估三組 AGCM 的初步結果。

降尺度前東亞地區的降水模擬結果如圖 3.20 所示，比對的觀測值為 TRMM 3B43V6，1998-2007 年共 10 年的季節平均。臺灣的季節降雨依氣候特徵來劃分，春季為 2 月至 4 月，梅雨季為 5、6 月，夏季為 7、8 月，秋季為 9 月至 11 月，冬季為 12、1 月。由季節降水的空間分布可知，三組 AGCM 的結果大致能掌握其降水的配置，HiRAM 除了夏季有高估之外，其他季節皆為低估；而 MRI 在梅雨季有些微的低估之外，其他季節與觀測值相近；比較意外的是

CFSR 在全年皆為高估許多。整體來說，降尺度前 AGCM 的模擬結果對於東亞地區的季節降水分布特性皆有不錯的掌握。

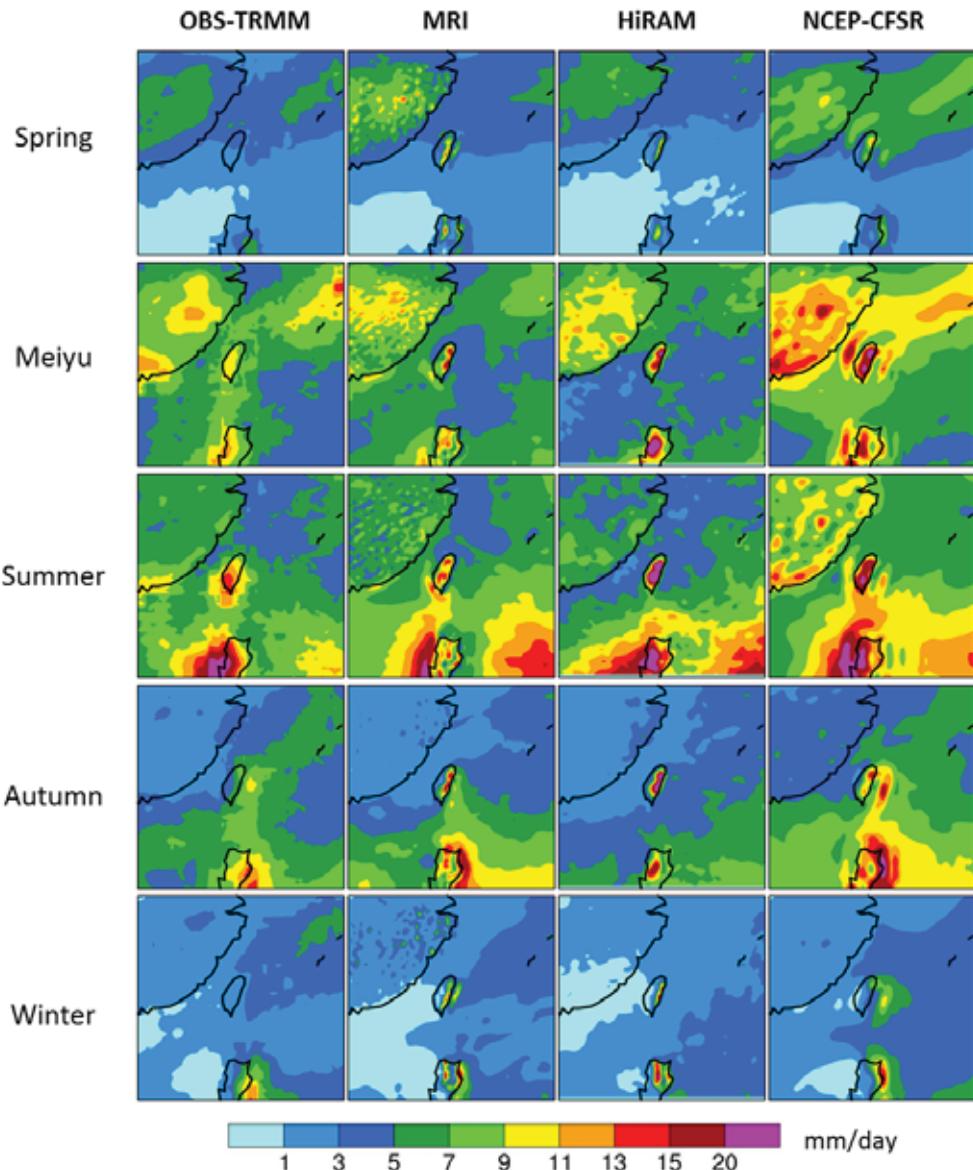


圖 3.20 觀測、MRI、HiRAM 及 CFSR 之東亞地區降雨空間分布圖。單位: mm/day。

臺灣地區的降雨方面，比對的觀測值為 1979-2003 年共 25 年的平均值。圖 3.21 為臺灣地區春季、夏季、秋季及冬季平均降水之空間分布圖，由左至右分別為觀測值、MRI、HiRAM 及 CFSR。春季時觀測值的主要降水地區集中在西北部地區、東北部沿岸及中部山區，而三組 AGCM 的降水配置非常相似，在臺灣東半部地區皆有高估之現象，降尺度後的模擬結果明顯改善，其中以 WRF-MRI 的結果最接近觀測值。夏季降水以中、南部山區為主，而降尺度前後的模擬結果皆顯示雪山山脈及中央山脈的山頂處有明顯高估，降尺度後的結果以 WRF-MRI 最接近觀測值。秋季降水以東半部為主，降尺度前後的模擬結果與觀測值呈現一致的情況，以 WRF-MRI 的結果最佳。冬季主要降雨地區為北部及東北部地區，而降尺度前後的結果，除了

WRF-MRI 及 WRF-HiRAM 在臺灣東半部地區有高估之外，其他的降水配置與觀測值一致。初步結果顯示，動力降尺度後能模擬出季節降雨的特性及地形效應的特徵，將降尺度前的誤差修正至較合理的結果。整體而言，WRF-CFSR 在全年的表現上皆為高估，WRF-MRI 最接近觀測值。

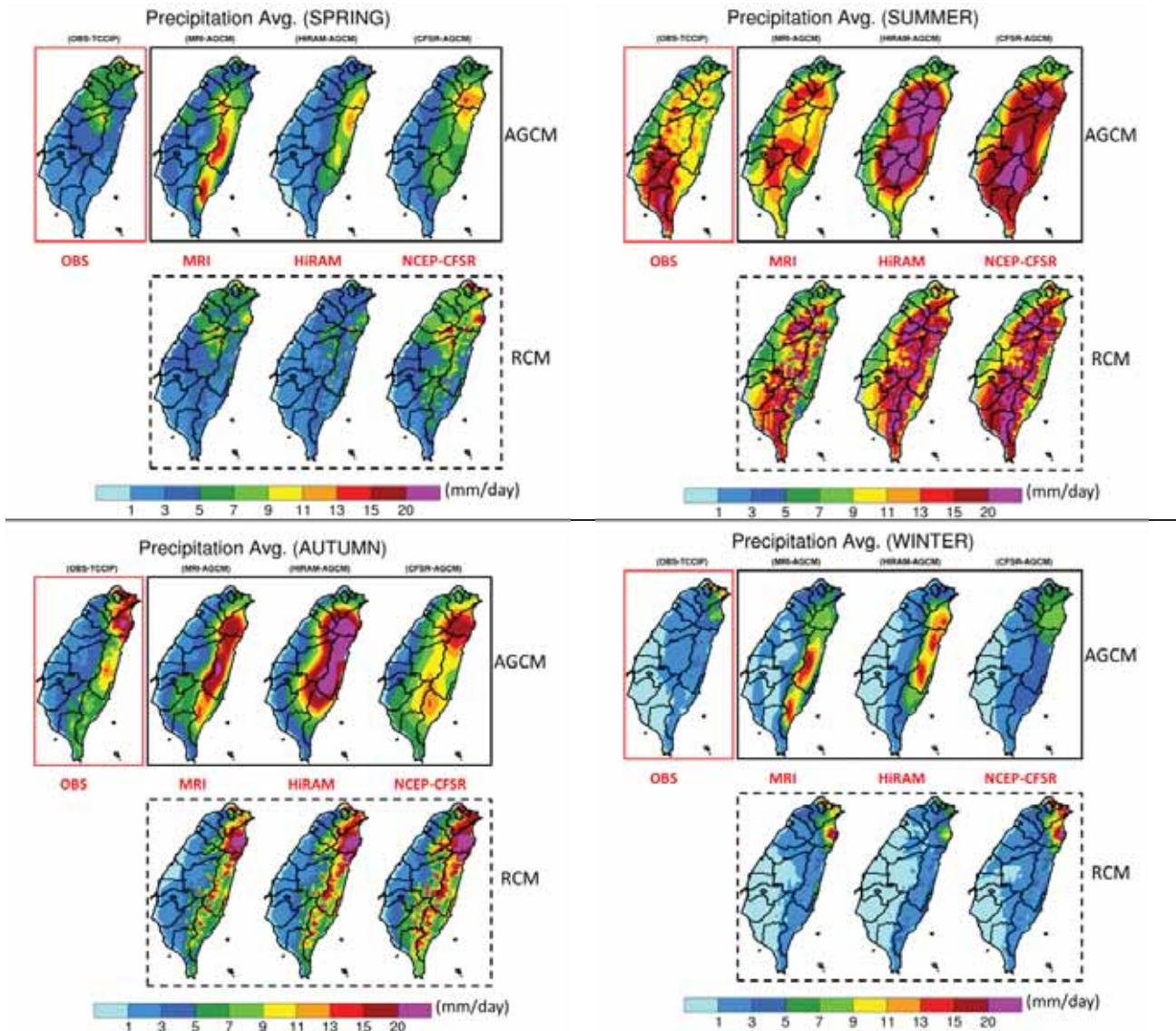


圖 3.21 觀測值 (OBS)、MRI、HiRAM 及 CFSR 之春、夏、秋、冬季降雨空間分布圖，上排 AGCM 為降尺度前的結果，下排 RCM 為降尺度後的結果。單位: mm/day。

圖 3.22 為觀測值及三組 AGCM 降尺度前、後全臺灣平均之逐月雨量圖。由圖中可以看到，僅有 CFSR 呈現正確的雙峰的結構，降水高峰值出現在 6 月及 8 月。在降尺度前後的比對分析中，CFSR 的差異不大，降尺度前後皆為全年高估的情形，尤其是 5 月到 9 月；HiRAM 在 7 月至 12 月為明顯高估之現象，降尺度後雖然有修正了一些，但仍高估許多，其他月份與觀測值一致；MRI 的降尺度結果明顯改善了降尺度前 1 月至 5 月及 10 月至 12 月的高估情形，而梅雨季仍有些為低估之現象。

由於 CFSR 的屬性是觀測資料，在此可以其降尺度後的資料 (WRF-CFSR) 檢驗模式對歷史颱風降雨的模擬結果。對颱風降雨而言，因為可用以比對降雨之觀測資料為逐時網格資料，因該組觀測資料始於 1992 年，在此僅先進行 1992 至 1997 年之颱風降雨比較。1992 至 1997 年共有 28 場侵颱颱風，圖 3.23 所示為 1992 至 1997 年侵颱颱風年總降雨量分布，顯示除了 1997 年總颱風降雨量分布與觀測存在較大差異外，其餘 1992 至 1996 年之降雨分布與觀測結果相似。量值部分，普遍而言 WRF-CFSR 有些微高估的情形，但有部分年份 (1994、1996 及 1997 年) 於雪山山脈有低估的現象。

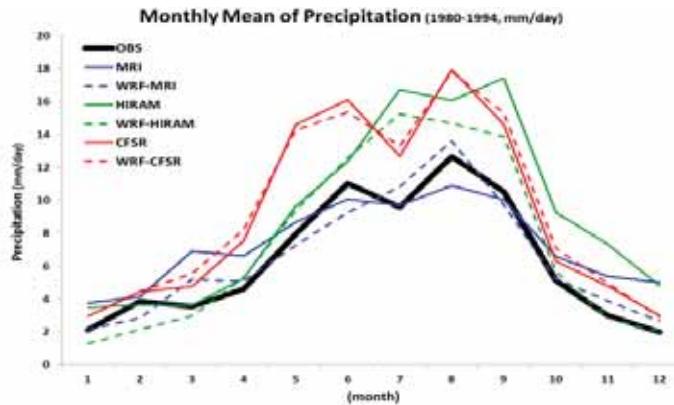


圖 3.22 觀測值及三組 AGCM 降尺度前後全臺灣平均之逐月雨量變化圖。

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

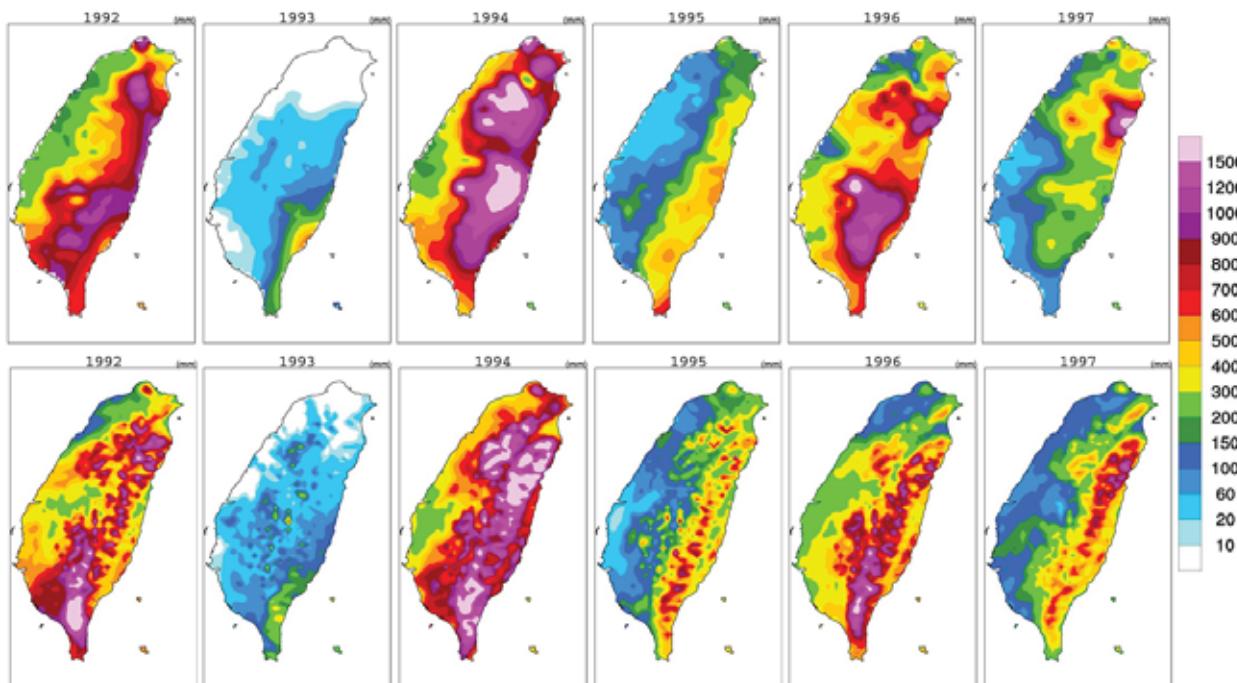


圖 3.23 1992~1997 年之每年颱風總降雨量分布圖，上排為觀測、下排為 WRF-CFSR。

3.3 以動力降尺度資料探討臺灣地區季節降雨及極端事件的變遷

本期計畫的另一個重點是分析降尺度前後臺灣地區特定現象的變遷原因，目前所考慮的現象包括春季降雨雨乾旱、夏季午後雷陣雨、夏季颱風、秋颱與降雨、以及夏冬兩季的極端氣溫，依序為以下各章節的主題。目的在於藉由深入分析模式的模擬結果，對模式所推估的變遷結果能做出具物理意義的解釋，也能幫助資料使用者去評估這三個 AGCM 動力降尺度結果的參考價值。本年度執行的進度主要偏重在對觀測資料的分析。

3.3.1 春季降雨變遷原因探討(詳見附錄 2.4)

春季對農業而言一直是很重要的耕種時節，相對於使用量較固定的工業及民生用水，需要更為充足的水源供應在農作灌溉階段。若能充分了解臺灣春季降雨的機制，相信能對氣候變遷下的水資源管理做更為有效的運用。從過去的研究指出臺灣春雨的變化與長時間尺度的太平洋十年震盪 (Pacific Decadal Oscillation，簡稱 PDO) (Ho et al., 2004)，以及較短期的聖嬰現象 (El Nino and Southern Oscillation，簡稱 ENSO) (Chen et al., 2003, Jiang et al., 2003) 有著明顯的關聯性，另外從吳等的研究指出，背景大氣環流的水氣來源多寡和是否有鋒面通過以提供有效舉升機制，可能都是影響春雨多寡的重要因素，因此本研究嘗試以統計方式從鋒面的角度切入，探討鋒面對於春雨的貢獻程度，並從中探索其多雨少雨背後的環境場配置，試圖找出可能與春雨相關的大氣環流因子。

於分析觀測之大尺度環流特性時，使用空間解析度 2.5° 的 NCEP 的重分析資料 (Kalnay et al., 1996) (簡稱 NCEP Reanalysis 資料) 時間長度為 1979 年-2009 年，以及前一期計畫的 MRI AGCM 動力降尺度前、後的資料，時間長度為 1979 年-2003 年，未來推估為 2015 年-2039 年以及 21 世紀末 2075 年-2099 年等。因春雨主要降雨區域為臺灣北部含山區以及東北部地區，本研究使用水利署水庫集水區石門測站資料與氣象局臺北測站資料，針對東亞冬春季鋒面活動與兩個測站降雨量之關聯性進行分析，時間長度取 1979 至 2009 年之間冬春季 (十二月至四月) 的逐日變化情形，統計臺灣地區受鋒面所影響的日數。

從鋒面活動變化的角度來分析，每年春季鋒面平均影響日數約 42 天 (約占總日數的 47%)；冬季約 28 天 (約占總日數的 31%)，而依月份逐時來看，三月及四月平均受鋒面影響日數約佔全月一半的日數，二月則較少；冬季則以二月所佔比例最多，一月其次，十二月最少。每年受鋒面影響所造成的降雨在春季約佔總降雨量的 74.7%，在冬季約佔 60.4%，由此可知鋒面的影響與否對於冬春季降雨量的多寡舉足輕重。從圖 3.24 所示，在過去 31 年間的總雨量及鋒面影響日數變化顯示，春季降雨量存在有一逐年減少的趨勢，而鋒面影響日數也同樣有減少的趨勢，此現象同樣顯示在鋒面所造成的降雨量變化上。

在過去 31 年 (1979 年-2009 年) 裡，臺北測站春季發生大雨事件 (根據中央氣象局的定義，設定大雨的標準為 50mm/day) 的天數有 44 天，而石門測站則是有 61 天，佔春季總日數的 1.6% 和 2.2%，其中由鋒面所造成的各佔 38 天及 50 天 (約佔全部大雨天數的 86% 及 82%)。由此可

知春雨發生大雨的主要因素是受鋒面影響所造成且發生的頻率不高，而在水庫集水區易受地形因素影響，出現大雨的機率較平地為高，其它時間的降雨基本上都是以小雨的型態為主。

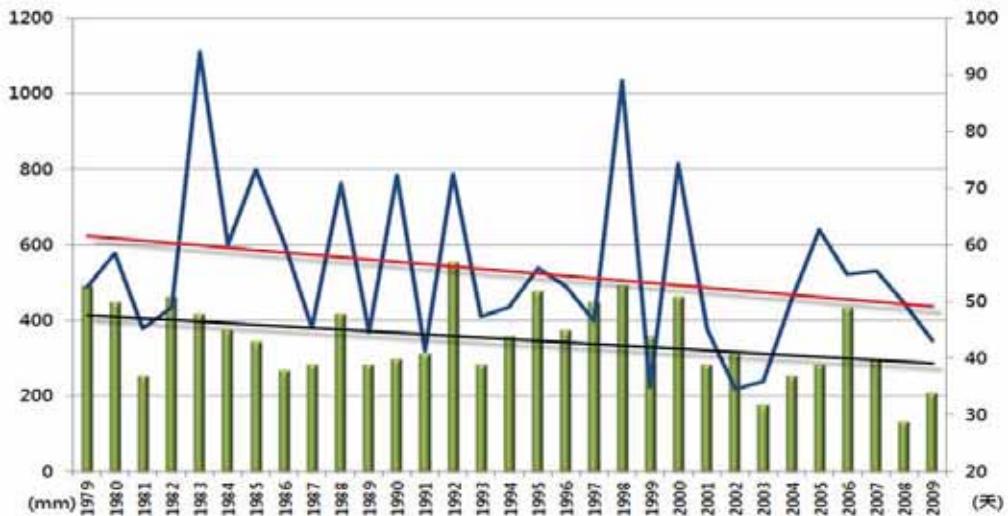


圖 3.24 臺北測站 1979 年-2009 年春季降雨總雨量及鋒面影響日數歷線圖。（藍色折線為逐年降雨量，紅色線為降雨趨勢線，單位是 mm，綠色區塊為影響日數，黑色線為日數趨勢線，單位為天。）

為區分出春季乾年與濕年在大環境場的特性差異，對春季鋒面影響日數以及臺北測站逐年春季總降雨量進行標準化分析，以標準差大於正負 1.0 作為篩選標準，找出代表濕年的 6 個樣本年份，分別為 1983 年、1988 年、1992 年、1995 年、1998 年及 2000 年等，以及代表乾年的 7 個樣本年份，分別為 1981 年、1991 年、2002 年、2003 年、2004 年、2008 年及 2009 年等。分別從降雨量、鋒面影響日數等將乾濕年做個比較，如表 3.5 所示，在平均總雨量上，濕年為氣候值的 1.58 倍，乾年則是 0.64 倍；平均鋒面影響日數濕年為氣候值的 1.6 倍，乾年則是 0.83 倍（約佔總日數的 57.87% 和 40.29%）；平均鋒面降雨濕年及乾年分別為氣候值的 1.64 倍和 0.65 倍；平均發生大雨的日數在濕年和乾年分別為氣候值的 2.58 倍及 0.2 倍；而大雨降雨量濕年為氣候值的 1.92 倍，乾年則是只有氣候值的 0.41 倍。其中值得注意的是濕年鋒面影響所造成的降雨量佔濕年平均總雨量的 79.52%，乾年則是佔乾年平均總雨量的 77.59%，兩者皆大於氣候平均值的 74.7%，顯示在濕年及乾年鋒面影響的重要性皆更甚於正常年。

表 3.5 臺北測站乾濕年降雨量及鋒面影響日數之比較。

| | 平均總雨量 (mm) | 平均鋒面影 響日數(天) | 平均鋒面降 雨量(mm) | 平均大雨 日數(天) | 平均大雨 量(mm) |
|--------|---------------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------|
| 濕年(6年) | 840.58 | 51.50 _(57.87%) | 668.40 _(79.52%) | 3.67 | 428.48 |
| 乾年(7年) | 342.60 | 35.86 _(40.29%) | 265.81 _(77.59%) | 0.29 | 90.8 |

為了解臺灣地區受春雨影響範圍及與鋒面相關性，圖 3.25 為臺灣地區的春季平均總雨量、大於等於年總雨量 20% 及 25% 以上的春季降雨區域範圍。由圖中可知年總雨量最多的地方位於臺灣的北海岸及東北角，春季降雨則是由北往南，由山區往平地遞減，而春雨的主要影響範圍（20% 以上）為臺灣西北部、北海岸、及北部山區等，若取 25% 以上的降雨區域，就僅剩臺灣西北部沿海及一小部分北部山區。模式在春季降雨的部分在南部以及全臺灣山區都有低估的情況；在主要降雨區域的部分（20% 以上）和觀測相比，分布區域大致相近，但面積較大且向南延伸，在南部山區也多了一小塊區域；25% 以上的區域同樣分布在西北沿海及山區，但位置都略向南偏。

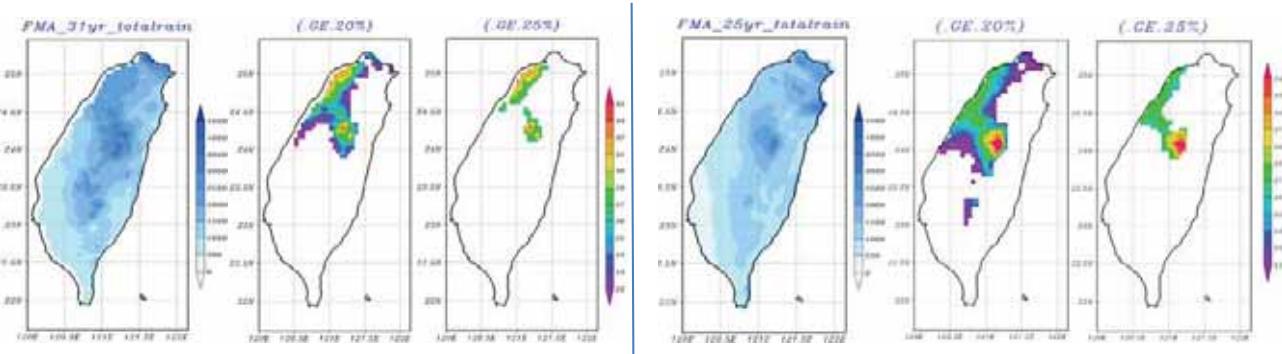


圖 3.25 臺灣地區平均年總雨量、春季平均總雨量及春季降雨主要影響區域。從左到右分別為觀測平均春季年總雨量、觀測平均春季總雨量佔平均年總雨量 20%、25% 以上之區域、模式模擬平均春季年總雨量、模擬平均春季總雨量佔平均年總雨量 20%、25% 以上之區域。

接著利用測站資料所挑選出的乾濕樣本年，繪製不同物理量資料的大尺度環流系統，藉以比較乾濕年的差異。圖 3.26 為 NCEP Reanalysis 東亞地區 31 年（1979 年-2009 年）春季物理量的乾濕年距平值合成圖，圖 3.26.a 的物理量為海平面氣壓場距平，由圖中可以清楚地看到在臺灣東南方的西太平洋是呈現相反相位，即濕年的大西洋副高是呈現高於氣候值的狀況，反之在乾年則偏低；圖 3.26.b 的物理量為 850 百帕的相對濕度場距平，濕年可看到一條水氣帶自華南地區向東北延伸經過臺灣到高緯日本韓國一帶，在乾年則相反式偏乾的負距平；圖 3.26.c 的物理量為 850 百帕的東西向風場距平，圖中顯示臺灣地區濕年為西風距平所籠罩，即表示當西風分量較強或東風分量較弱時，春雨較多的機率就相對較高，反之乾年臺灣地區是東風分量較強或西風分量偏弱；圖 3.26.d 的物理量為 850 百帕的南北向風場距平，圖中顯示濕年的南風分量較氣候值偏強或是北風分量偏弱，乾年則是以北風分量較強或南風分量偏弱的情形；圖 3.26.e 的物理量為地表長波輻射，在濕年時臺灣地區為正相位，即濕年對流旺盛所以雲量較多，乾年則反之；圖 3.26.f 的物理量為 850 百帕的渦度場，濕年在臺灣附近為正渦度距平，乾年則為負渦度距平。待本計畫 Team1 發展的鋒面偵測技術完成之後，本研究將以同樣的方法尋找動力降尺度資料中的乾濕樣本年藉以比較氣候推估中大尺度環流場的差異，以探討導致未來春雨變化趨勢的原因。

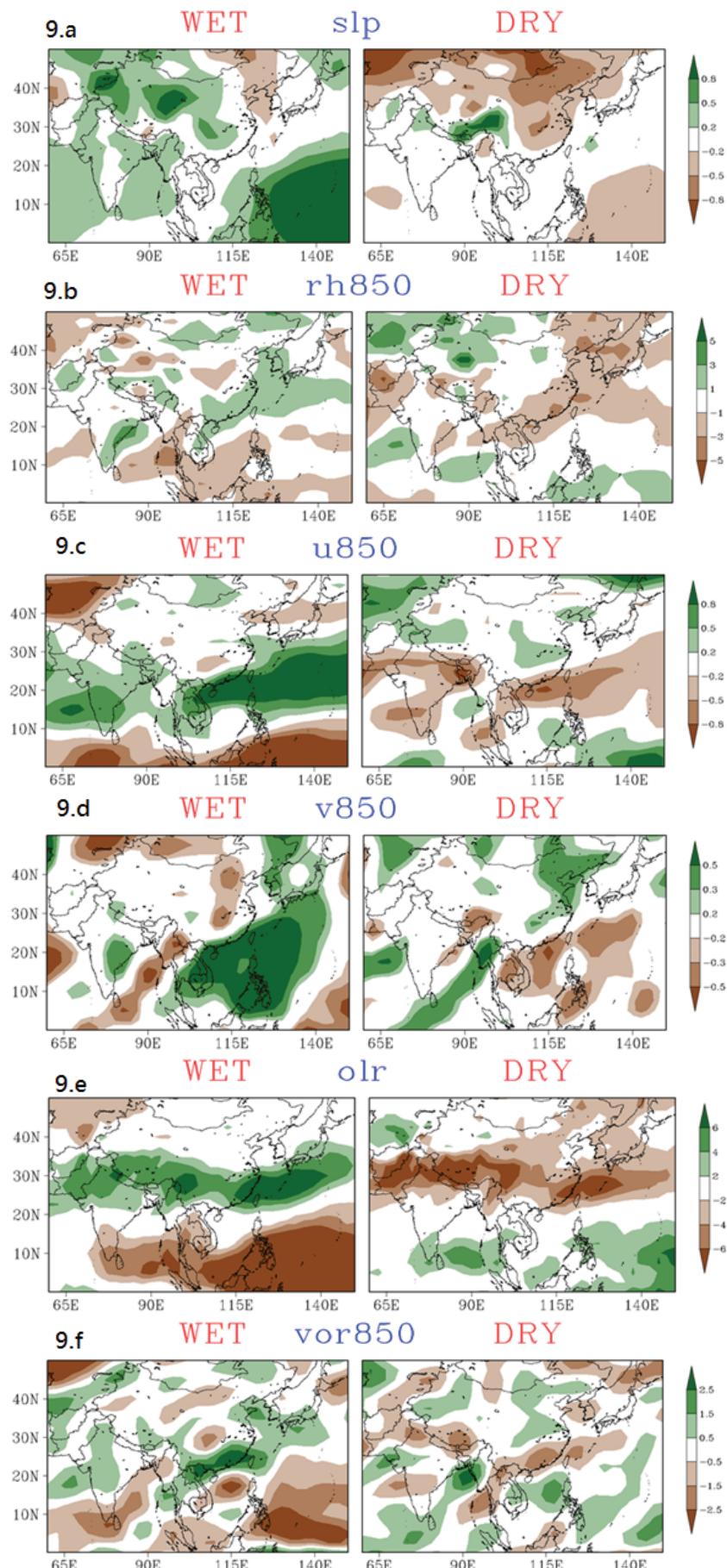


圖 3.26 NCEP 春季乾濕樣本年物理量距平合成分佈圖。

(左圖為濕年，右圖為乾年，
a 為海平面氣壓，
b 為 850hpa 相對濕度，
c 為 850hpa 東西向風場，
d 為 850hpa 南北向風場，
e 為地表長波輻射量，
f 為 850hpa 渦度場。)

3.3.2 夏季午後降雨變遷原因探討(詳見附錄 2.5)

過去研究臺灣地區之各季節降水氣候值分布結果發現，顯著降水主要發生在暖季(5~9月)(Chen and Chen 2003; Chen et al., 2007; Kerns et al., 2010)，除了梅雨鋒面和颱風所帶來的豐沛雨量之外，午後對流降雨的貢獻亦相當顯著(陳等, 2007; Wang and Chen, 2008)。本計畫希望利用觀測及模式模擬資料了解大氣環流變化對臺灣夏季午後雷陣雨的降雨機制與長期變化趨勢所造成的影響，進一步做深入的研究探討。

一般而言，臺灣暖季在弱綜觀環境下，午後對流發生地點主要分布在臺北盆地南方與雪山山脈及中央山脈西側斜坡帶，隨後對流加強並逐漸擴大往地形較低地區移動發展(陳等, 2009; 陳等, 2009; 陳等, 2010; 林等, 2012)。此降雨時空分布特徵與局部環流和地形效應息息相關—白天太陽輻射加熱使大氣不穩定度增加，山脈地形配合海陸風與上坡風，使局部地區產生氣旋式環流和中尺度渦旋，提供有利降水的強迫機制(Chen et al., 1999; 陳等, 2000; Kerns et al., 2010)，而對流降雨所導致的外流與上坡風產生輻合作用，使對流往地形較低之處傳播發展(Jou, 1994; 陳等, 2000)。

本研究利用中央氣象局所屬 21 個臺灣本島傳統測站資料，對 1979~2012 年夏季 6~8 月午後對流降雨特性之變遷進行分析。午後對流(TSA)以當日降雨的比例來定義，即午前 1~11 時的降雨小於等於整日降雨的 10%，且午後 12~22 時的降雨大於等於整日降雨的 80%，該站達到此條件則記錄為一午後對流降雨日，此定義亦可以去除颱風和鋒面系統的影響。使用上述新的定義得出 TSA 全臺年平均雨量和天數，以及佔總降雨量和總降雨天數的比例。結果顯示，調整後的 TSA 雨量佔總降雨量的比例約 29%，和 Wang and Chen (2008) 的 31%較接近，調整後的 TSA 天數佔總降雨天數的比例也較接近 Wang and Chen (2008) 的結果。

為了瞭解各測站的降雨情形，本研究分析 1960~2012 年全臺 18 個測站的降雨特性變化，對夏季 6~8 月每日分類並分析總降雨(圖 3.27)、午後對流降雨(圖 3.28)之降雨量、降雨發生頻率、降雨強度的長期變化趨勢，測站顏色為紅色表示有上升的現象，藍色表示有下降的現象，圓圈代表該測站通過 60%~95% 的顯著性檢定。在總雨量方面(圖 3.27a)，大部分的測站都有增加的現象，減少的有新竹、日月潭和成功，但較不顯著。南臺灣大部分都通過 60% 的顯著性檢定，其中超過一半大於 80% 的檢定，顯示臺灣中部以南總降雨量增加的趨勢較明確。大部分測站的總降雨發生頻率(圖 3.27b)呈現減少的現象，頻率增加的有臺北、鞍部、淡水、竹子湖和臺中，但顯著性較低。臺中以南的測站皆呈現減少之趨勢，尤以中部山區的阿里山和玉山和南部的臺南、恆春和大武，有通過 95% 顯著性的檢定，顯示臺灣中部以南總降雨發生頻率減少的趨勢較明確。比較總雨量和總降雨發生頻率發現，總降雨強度(圖 3.27c)顯示大部分為增加的趨勢，且通過 95% 顯著性檢定的有臺北、玉山、臺南、高雄、恆春和大武，其中可以發現臺灣南部的降雨天數減少的趨勢較為顯著，故降雨強度增加的趨勢也較明確。

午後對流雨量方面(圖 3.28a)，僅日月潭、阿里山、玉山、花蓮、和成功五站減少，其中阿里山和玉山減少的幅度較為顯著。北部地區的午後對流雨量整體都上升，通過 80% 檢定的測站有淡水、鞍部和臺北測站，其中臺北測站的結果和 Chen et al., (2007) 相符。TSA 發生頻率

的部分（圖 3.28b），北部地區大部分呈現上升的現象，其中臺北盆地區域的結果與 Chen et al. (2007) 的研究結果相似。而臺中以南的區域均為 TSA 發生頻率下降的趨勢，顯示臺中以南 TSA 發生頻率減少的趨勢較為明顯。在 TSA 降雨強度（圖 3.28c）中，大部分測站為上升的趨勢，而通過 95% 檢定的測站有臺北、臺南、高雄和大武，僅基隆、花蓮、成功、日月潭、玉山和阿里山六站呈現下降，通過 80% 檢定有阿里山和玉山站，其他測站則較不顯著。

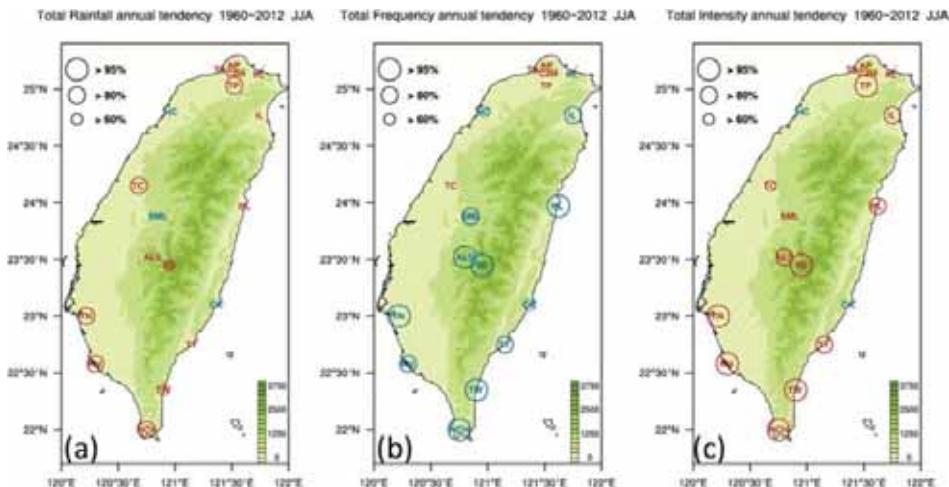


圖 3.27 1960~2012 年 6~8 月臺灣本島總降雨 (a) 降雨量 (b) 降雨發生頻率 (c) 降雨強度。測站為黑色表示有上升的趨勢，紅色代表減少的趨勢。圓圈為通過 60%~95% 顯著性檢定。

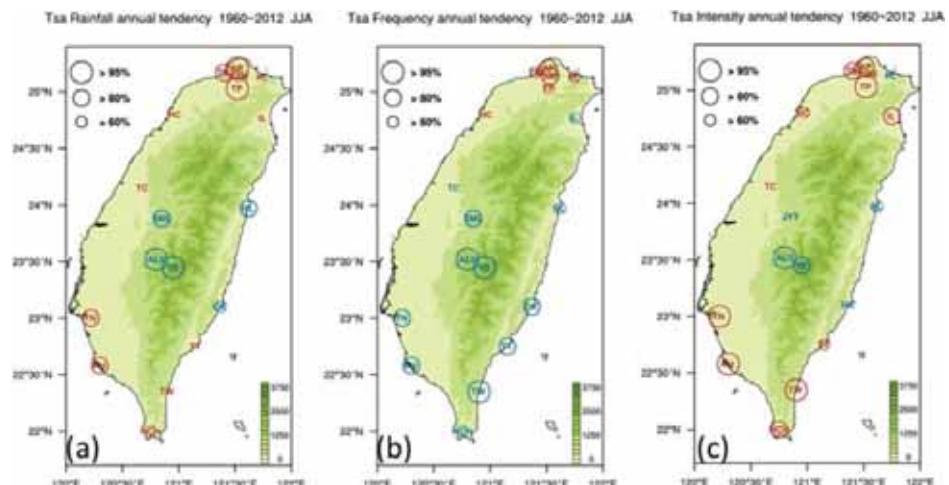


圖 3.28 1960~2012 年 6~8 月臺灣本島 TSA (a) 降雨量 (b) 降雨發生頻率 (c) 降雨強度。測站為黑色表示有上升的趨勢，紅色代表減少的趨勢。圓圈為通過 60%~95% 顯著性檢定。

藉由分析各測站地降雨顯示臺灣不同地區有不同的降雨趨勢變化，中部山區與其他平地測站間的差異。因此，本研究將臺灣測站細分為北（淡水、鞍部、竹子湖、臺北、基隆、新竹）、中（梧棲、臺中、嘉義）、南（臺南、高雄、恆春）、東（宜蘭、蘇澳、花蓮、成功、臺東、大武）和山區（日月潭、阿里山、玉山），藉此了解臺灣各區域的午後對流降雨之差異。在 TSA

雨量方面，臺灣西半部的北區、中區和南區呈現上升的趨勢，減少的區域則為中部山區和東區。在 TSA 發生頻率的部份，除了北區增加，其他區域都為減少，尤以中部山區、東區和南區有通過 95% 的檢定。TSA 降雨強度（圖 3.29）在各區域的趨勢變化與雨量和發生頻率皆不相同，唯有中部山區降雨強度減少，其他平地區域皆是增加，通過 95% 檢定的區域為南區和山區，其中北區通過 90% 檢定，有相當顯著變化。整體而言，TSA 在臺灣各區域的變化特性皆不相同，但中部山區不論在雨量、發生頻率和降雨強度方面皆有顯著減少的變化。

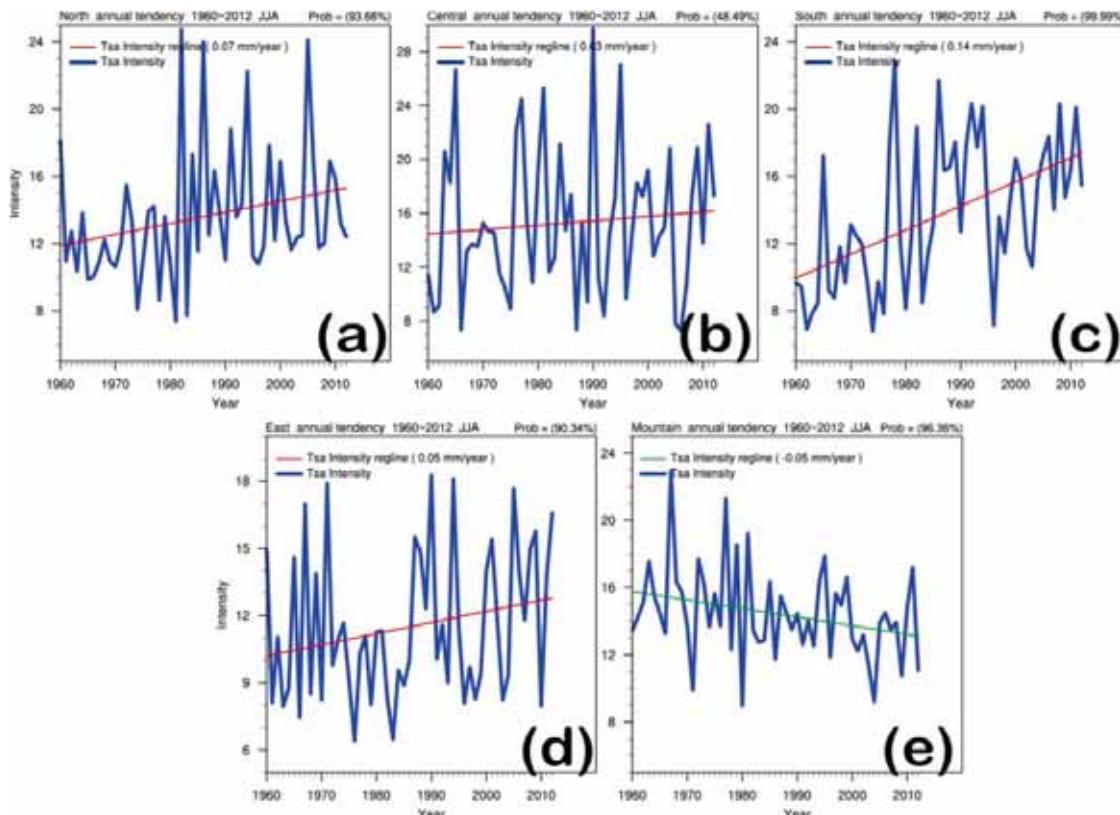


圖 3.29 1960~2012 年 6~8 月在臺灣 (a) 北區、(b) 中區、(c) 南區、(d) 東區和 (e) 中部山區之 TSA 區域平均降雨強度。為綠色實線表示有減少的趨勢，紅色實線代表上升的趨勢。右上方括弧內為線性統計顯著性檢定值。

進一步分析臺灣區域垂直不穩定度的趨勢（圖 3.30b）發現中部區域的不穩定度呈現下降，此夏季平均現象與 TSA 降雨強度趨勢變化相似，並將 TSA 個案合成（圖 3.30c），可以發現中部山區的趨勢變化更加明顯。在垂直不穩定度中可區分為熱力不穩定度 ($\partial T / \partial P$) 和濕度 (q) 的影響，本研究中發現臺灣區域的熱力不穩定度，不論在夏季平均狀態或是 TSA 個案合成，皆與垂直不穩定度趨勢變化相似，而在濕度的趨勢可以發現臺灣區域的濕度大部分皆為上升現象並且與臺灣降雨量的南、北變化有相似的現象。整體而言，臺灣區域的濕度趨勢大部分為上升現象，但唯有中部山區的熱力不穩定度的趨勢變化為下降現象，與先前區域分析中提到的 TSA 降雨強度趨勢變化相似。然而，針對這些從 ERA-interim 再分析資料所得到的發現，其可信度有必要再進一步的與利用測站觀測資料所得到的發現進行相驗證。

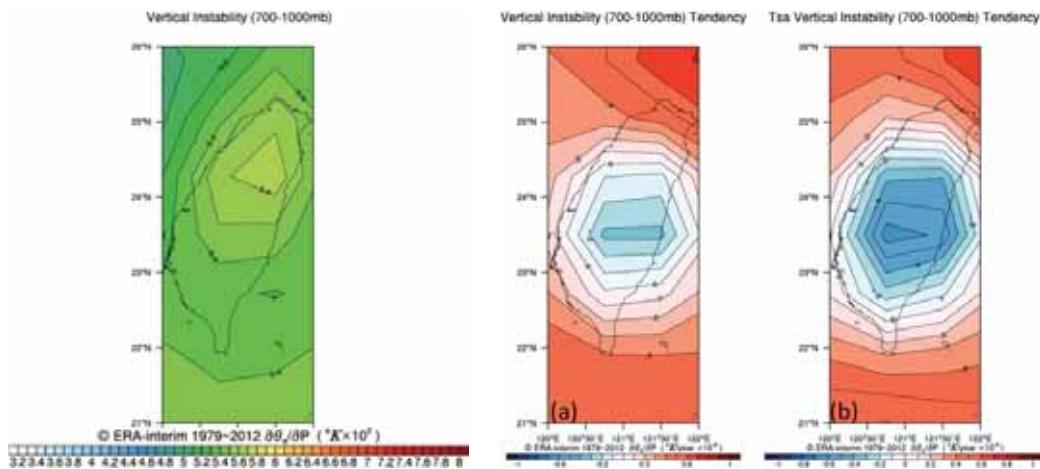


圖 3.30 1979~2012 年 1000mb ~ 700mb 間平均垂直不穩定度在 (a) 6~8 月分布圖；1000mb ~ 700mb 平均垂直不穩定度趨勢在 (b) 6~8 月以及 (c) TSA 個案合成之分布圖。

藉由夏季平均場環流場與臺灣各區域之 TSA 個案合成環流場（圖 3.31a-e）的比較，顯示出夏季臺灣附近環流場盛行西南風。再利用臺灣各區域 TSA 降雨強度以正負一個標準差定義出 TSA 活躍年與不活躍年作環流場合分析，並以活躍年減去不活躍來分析影響 TSA 降雨強度之環流場變化（圖 3.31f-j）。結果顯示 TSA 活躍時臺灣附近環流場大部分吹較強的西南風，且流函數在臺灣附近皆為負值。但唯有南區的環流場與其他區域不相同，臺灣附近環流場吹西北風，此現象是否為在選取個案時環境場中有颱風在臺灣附近而導致影響環流場的合成分析，還有待進一步去作個案的篩選。

3.3.3 颱風變遷原因探討（詳見附錄 2.6）

臺灣位於全球颱風發生頻率最高的西北太平洋海域，每年都會受到颱風夾帶的狂風和豪雨影響，產生災害損失，然而颱風也是提供臺灣水資源最重要的天氣系統，重要性不可言喻。因此本計畫將研究侵襲臺灣的颱風特性以及與大尺度環境場的關係進行初步診斷分析，並分析其變遷的趨勢。在此，影響臺灣的颱風定義與前一期計畫所使用的定義相同，是以颱風中心進入離臺灣海岸 300 公里內的範圍，至少停留 12 小時，且近中心平均最大風速達到每小時 34 海浬（含）以上。颱風的資訊則取自美國聯合颱風警報中心（Joint Typhoon Warning Center，JTWC）所提供之六小時最佳路徑資料，年份則自 1965 至 2012 年，共計 48 年。從整個西北太平洋的颱風頻率季節變化（圖 3.32 左上），可以看到大約從六月中旬開始，進入颱風活躍期，八月底九月初到達一高峰，並於九月中旬開始逐漸下降，十月中旬後，下降幅度更加明顯，直至年底為止；從能量分析來看（ACE、PDI，圖 3.32 左中、下），季節變化特性與頻率變化相當一致，侵臺颱風頻率的變化（圖 3.32 右上），在六月中旬的增加趨勢比整個西北太平洋來的更為明顯，且在八月底九月初過後，趨勢一路下滑至十月中旬以後，能量（ACE、PDI，圖 3.32 右中、下）分布趨勢也呈現相同的結果。另外，九月份的颱風強度，明顯偏強，累積動能與強度指標均是九月達到最高值。

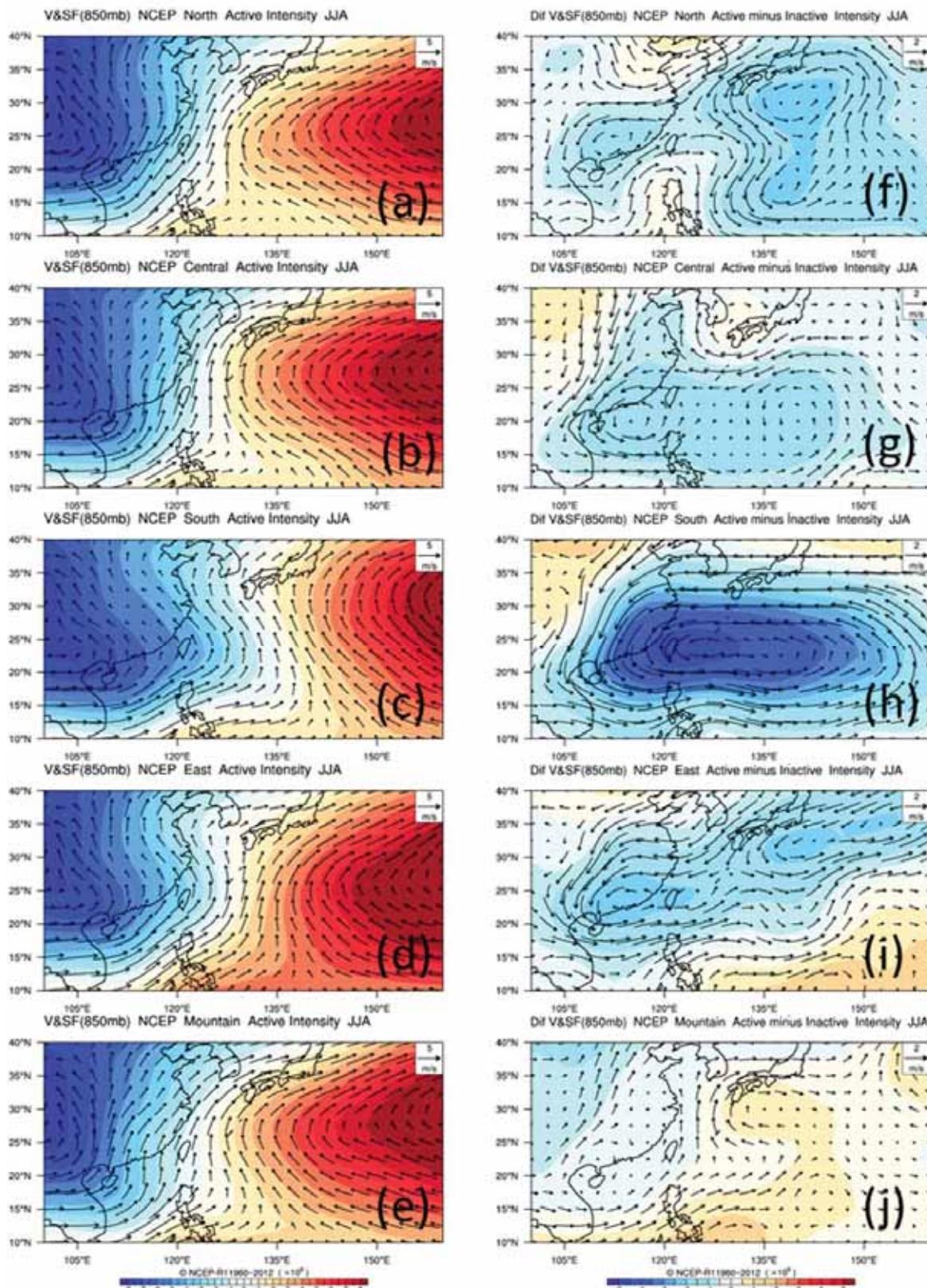


圖 3.31 左方為 1960~2012 年臺灣臺灣 (a)北區、(b)中區、(c)南區、(d)東區和(e)山區 TSA 降雨強度活躍年合成 850mb 環流場；右方為 1960~2012 年 (a)北區、(b)中區、(c)南區、(d)東區和 (e)山區 TSA 降雨強度活躍年減不活躍年合成 850mb 環流場。填色部份為流函數。

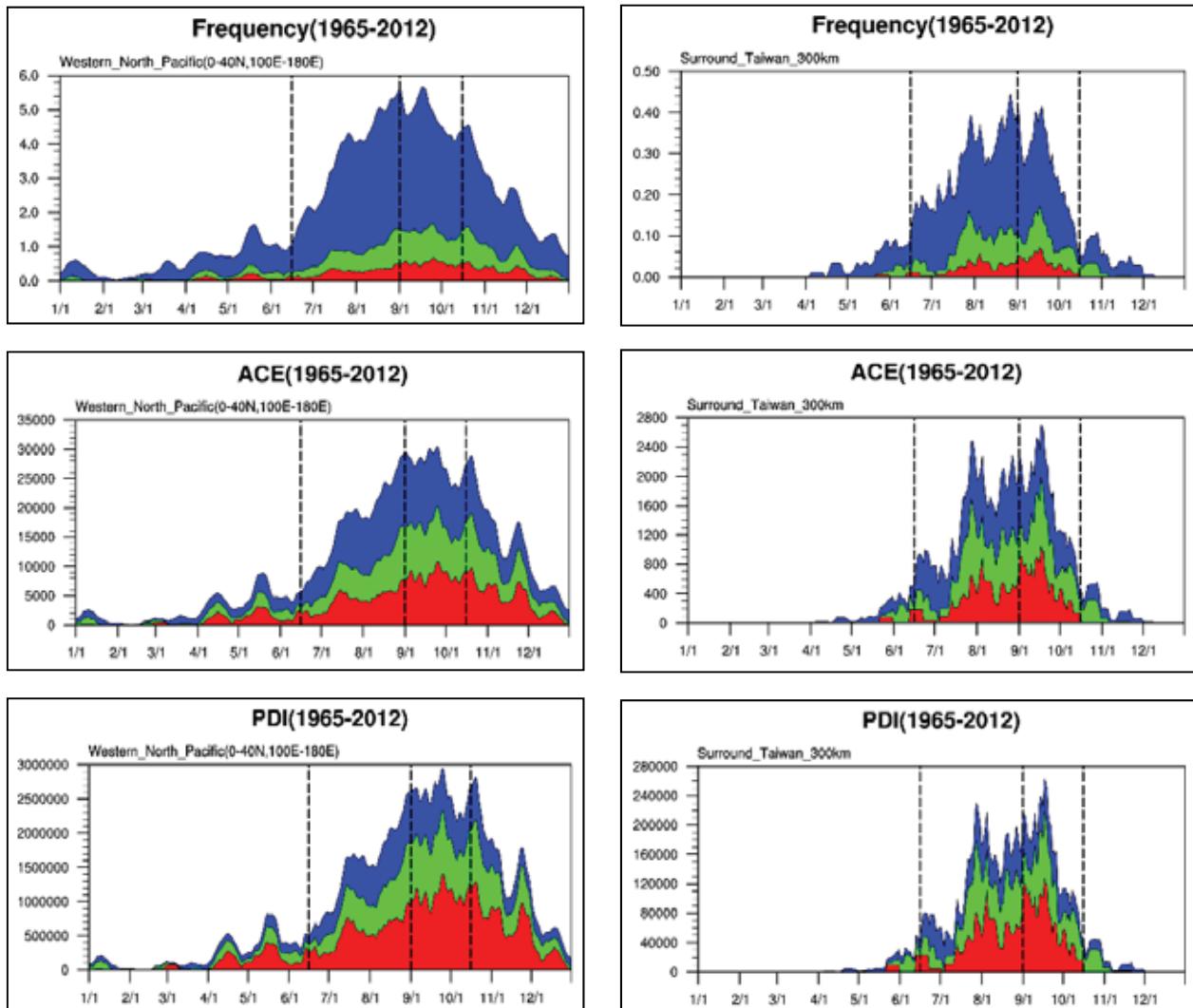


圖 3.32 1965 至 2012 年西北太平洋颱風（左側）與侵臺颱風（右側）特性的日變化。由上至下依序為颱風頻率、累積氣旋能量（Accumulated Cyclone Energy，ACE）與颶風威力消耗指數（Power Dissipation Index，PDI）。藍色代表風速>34knots、綠色代表風速>83knots、紅色代表風速超過 114knots 的颱風特性。

西北太平洋與南海海域每年生成的颱風個數，平均約有 26 個，除了有年際變化訊號外，也有明顯的年代際振盪（Yumoto and Matsuura 2001），而影響臺灣的颱風個數也是如此（Hung 2013）。近年來，西北太平洋海域生成的颱風個數有減少的趨勢，不過影響臺灣的颱風個數卻增加了，Tu 等（2009）分析發現，可能與西北太平洋颱風移動路徑往北偏移增加，造成侵臺颱風個數增加有關。由於颱風移動路徑與太平洋副熱帶高壓的變動有密切的關聯性，本研究目前分析重點放在 500 百帕重力位高度的季節變化上。由 5870 和 5875 公尺等高線自五到十一月的變化（圖 3.33）可以明顯的看到太平洋副高脊的位置隨季節演變逐漸往北偏移，此時的西北太平洋颱風活動頻率與侵臺颱風頻率均同時逐漸增加。從五月開始，太平洋副高一路往北移動，至八月時緯度達到最高，並於九月份開始，逐漸往南移動。

為了瞭解侵臺颱風頻率與大尺度環境場之間的關聯性，初步選取了多颱風侵襲的 1990、2001、2004 等三年，以及少颱風侵襲的 1983、1988、1993、2002 等四年，並分析六到十月份重力位高度場與颱風路徑的關係圖（圖 3.34）。由圖中可以發現，多颱風年，太平洋副高偏弱，副高脊也較為偏北，颱風往臺灣的機率相對較高，少颱風年則太平洋副高明顯往西延伸，且副高脊較為偏南，也因此往西移動的颱風偏多，侵臺機率相對較少。由分析結果來看，副高的強弱與副高脊位置，確實影響了颱風移動路徑，同時也可能影響侵臺颱風的頻率。

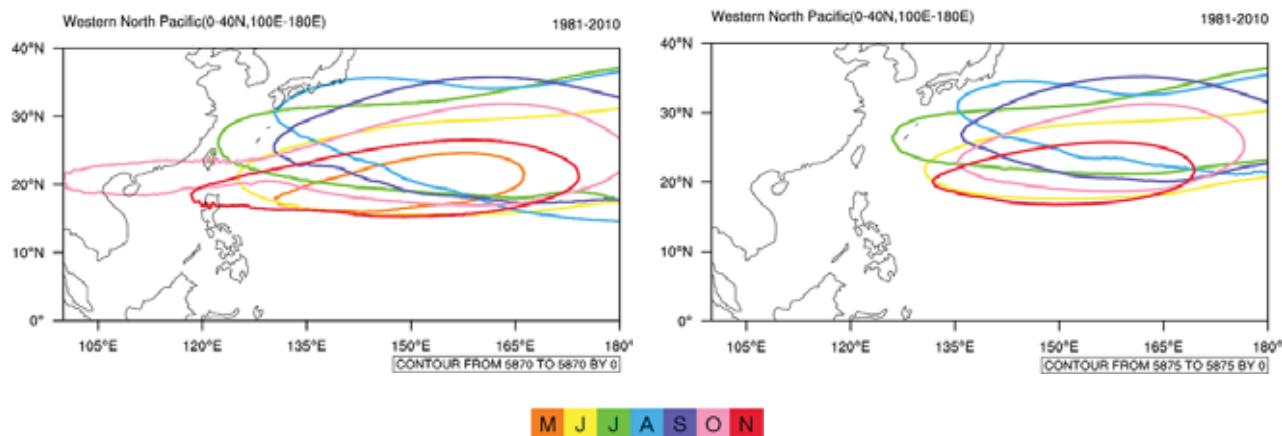


圖 3.33 1981 至 2010 年西北太平洋五月到十一月等高度線月變化。左圖為 5870 公尺、右圖為 5875 公尺。

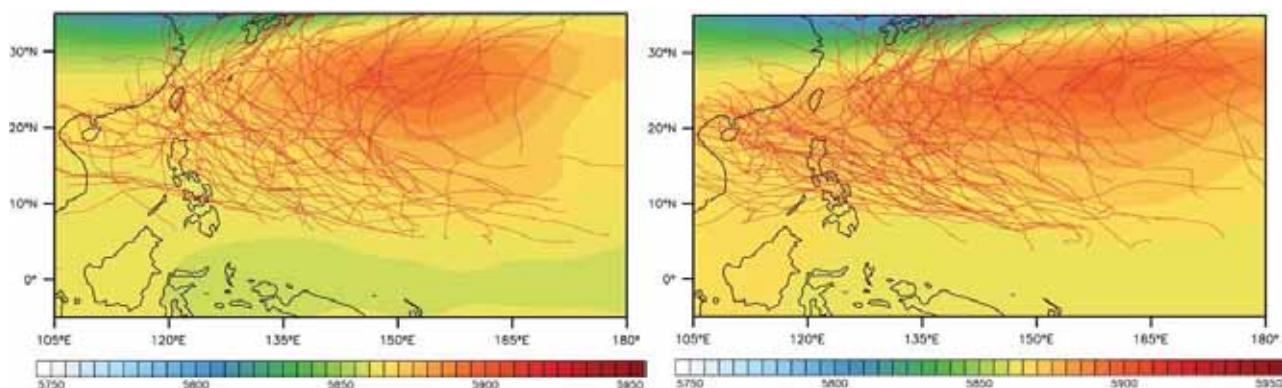


圖 3.34 六到十月 500 百帕重力位高度場與颱風路徑合成圖，左圖為多颱風年（1990、2001、2004）、右圖為少颱風年（1983、1988、1993、2002）。

為了瞭解太平洋副高位置與侵臺颱風頻率之間的關係，本研究以北緯 26 度作為劃分依據，選取兩個區塊（北緯 21 至 26 度、東經 120 至 130 度；北緯 26 至 31 度、東經 120 至 130 度），將兩區塊內的重力位高度值平均後相減，若該指數為正，則代表副高脊偏北，若指數為負，則代表副高脊偏南。可以發現，此指數與侵臺颱風頻率的日變化的變動趨勢十分一致。這也顯示出，從季節的變動結果來看，當副高脊較為偏北時，侵臺颱風發生機率也相對偏高，當副高脊較為偏南時，則侵臺颱風發生機率也相對偏低（圖 3.35）。

再來以 500 百帕重力位高度在東經 120 到 130 度間、北緯 0 到 40 度的緯向梯度由正轉負處的緯度定義為副高脊的位置，如圖 3.36 所示，副高脊在緯度上變化的時間劃分，可以對應到先前所假設的侵臺颱風季節的分析：夏季時向北移至北臺灣附近，秋季時則是向南移動至南臺灣附近；再將 1979 至 2009 每年夏季的副高脊位置與侵臺颱風個數、頻率做相關，與個數的相關係數大約 0.7，與頻率的相關係數大約 0.58。

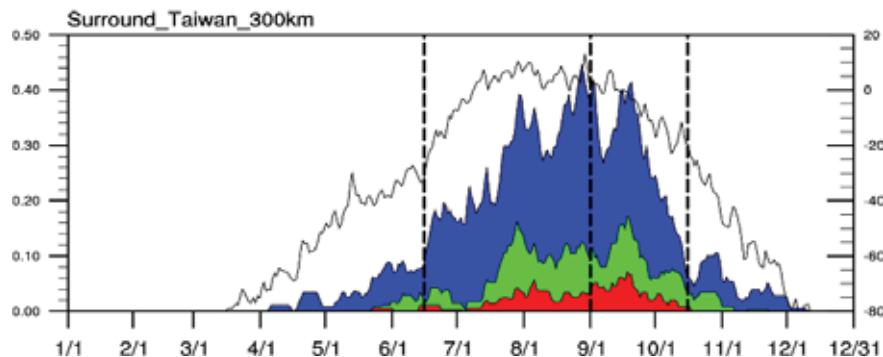


圖 3.35 1965 至 2012 年侵臺颱風頻率的日變化與定義太平洋副熱帶高壓位置指數日變化。

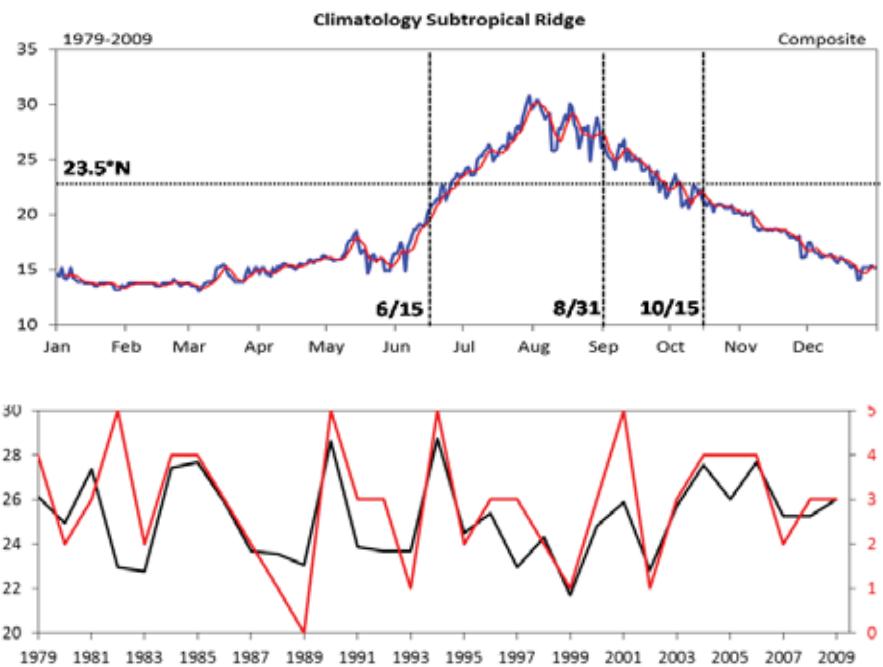


圖 3.36 上圖為 1979 至 2009 年間副高脊年循環季節變化。圖中藍線為日平均值、紅線為每五天的滑動平均值；下圖為副高脊平均位置與侵臺颱風個數關係。黑線為副高脊緯度、紅線為侵臺颱風個數。

再來以副高脊緯度平均值正負 0.8 個標準差來挑選要分析的年份，副高脊緯度位置較平均值偏北的年份其夏季侵臺颱風個數大約平均 4 到 5 個，而副高脊緯度位置較平均值偏南的年份約 1 到 2 個，從這些年份的副高脊緯度位置和颱風路徑合成圖可以明顯的看到副高脊緯度的變化和侵臺颱風個數呈現的關係：西北太平洋副熱帶高壓脊北移至約北緯 28 度時，侵襲臺灣的

颱風個數增加，而西北太平洋副熱帶高壓脊在南下至約北緯 23 度時，侵臺颱風路徑偏南、個數偏低（圖 3.37）。

接下來本研究將以 MRI-AGCM 對的推估資料來研究未來颱風與大尺度環流關係。由現代及 21 世紀末兩個時期的 500 百帕重力位高度場的分析可看到，模式中的副高脊也會隨季節的南北變化，在未來時期雖然另位高度值增加，但是副高脊位置季節的變化依舊存在，且與現在差異不大（圖 3.38）。

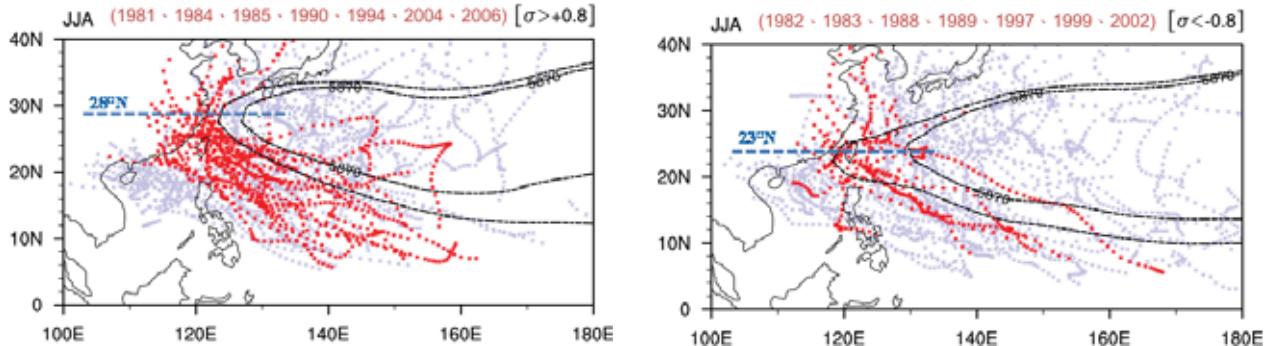


圖 3.37 500 百帕重力位高度與颱風路徑合成圖。左圖為副高脊偏北的年份和成、右圖為偏南的年分合成。黑色虛線為 500 百帕重力位高度線、紅點為侵臺颱風路徑、灰點為未侵臺颱風路徑。

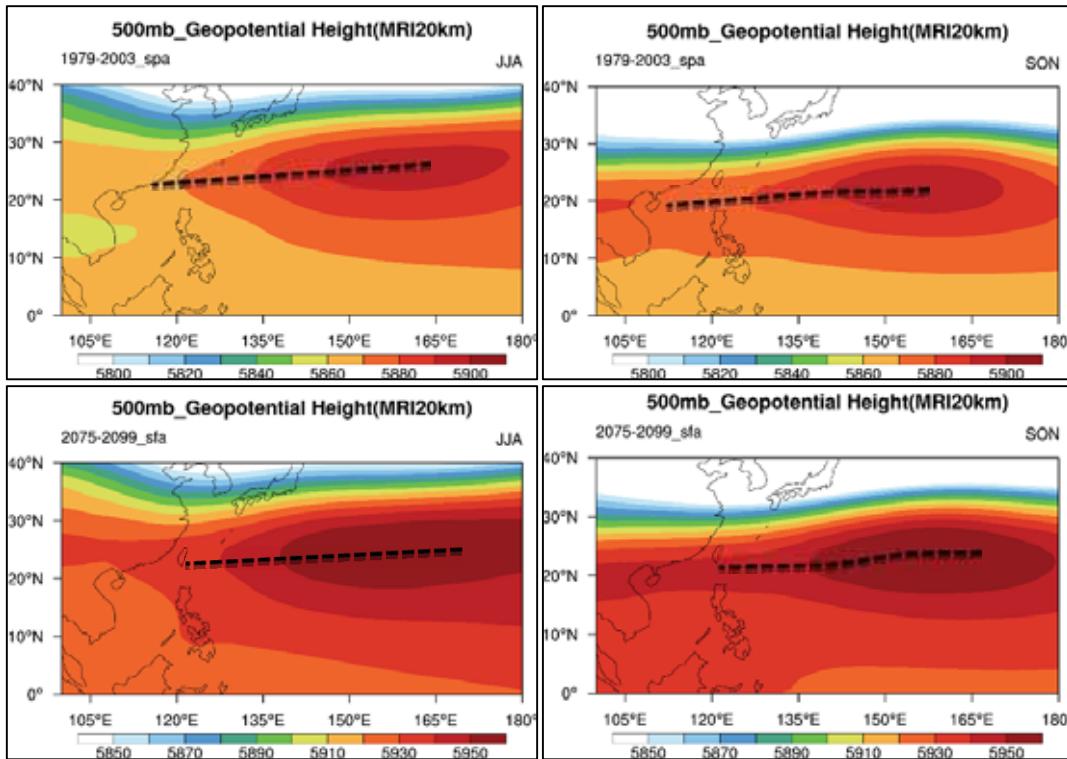


圖 3.38 MRI-AGCM 推估夏（左側）、秋（右側）兩季 500 百帕重力位高度與副高脊位置。由上至下依序為現在、21 世紀末（21 世紀末副高強度增加，因此所用的色階與現在時期不同）。

3.3.4 秋季颱風變遷原因探討(詳見附錄 2.7)

西北太平洋強颱最常發生於秋季，尤其是十月，秋強颱次數占全年 50.5 %左右，臺灣位於西北太平洋颱風的主要路徑上，伴隨颱風而來的強烈豪雨，是造成臺灣地區秋季豪雨的主要因素。為了評估全球氣候模式對秋季颱風及降水模擬的表現，本研究第一年研究重點為分析侵臺颱風總數目與侵臺颱風的豪雨量，用來分析大尺度環境場及颱風風場結構的資料為解析度 2.5 度的 NCEP 重新分析 II (NCEP-DOE, Kanamitsu et al., 2002) 以及解析度 0.5 度的 NCEP-CFSR 重分析資料，颱風資料則為 JTWC (Joint Typhoon Warning Center) 的最佳路徑資料。侵臺颱風的定義則依據中央氣象局發布颱風警報之颱風。

西北太平洋地區颱風生成個數、軌跡及發展強度，是影響侵臺颱風次數及雨量的重要因素。但西北太平洋地區颱風活動具有顯著年代際變化 (Chen et al., 1998; Yumoto and Matsuura 2001; Matsuura et al., 2003; Chan and Liu 2004; Ho et al., 2004; Chan 2005; Li and Zhou 2012; Liu and Chan 2013)，亦會受到季內震盪及 MJO (Madden and Julian Oscillation) 的影響 (Maloney and Hartmann 2001; 徐等 2005; Camargo et al., 2007; Kim et al., 2008; Ko and Hsu 2009; Li and Zhou 2013)，而 10-20 天的準雙週震盪顯著影響菲律賓與日本的氣旋登陸。由資料中擷取季內震盪的訊號是本研究的重要工作之一，目前有許多濾波方法可以用來分析季內振盪特性，若要同時兼顧頻率及時間域中皆有良好的區域性，可使用小波轉換 (Wavelet Transform) 及黃鍔-希爾伯特法 (Huang-Hilbert transform，又稱為 empirical normal mode decomposition，EMD, Huang and Coauthors 1998)。本研究使用綜合 Morlet wavelet 及黃鍔-希爾伯特法優點的濾波方法。先利用 Morlet wavelet 對原始資料作預處理，再用 EMD 方法，進行較無邊際污染的濾波，有效率地從即時季節預報資料中擷取 10-90 天的季內震盪頻段訊號。

圖 3.39 顯示秋季颱風的氣候軌跡圖可知，西北太平洋地區颱風軌跡主要可分為向西北、向西與向北轉向三種路徑。向西北移行的路徑主要影響臺灣與中國東部沿海，西行影響中國東南沿海與菲律賓，而向北轉向的颱風則影響日本與韓國 (e.g. Wu and Wang 2004; Ho et al., 2004; Camargo et al., 2007; Xie and Yan 2007; Liu and Chan 2008; Choi and Byun 2010)。本研究參考颱風軌跡的氣候特徵，以及 Wu and Wang (2004) 的研究，將西北太平洋的沿海地區劃分為三大區域，探討颱風路徑對三大區域的影響。影響區域如圖 3.39 所示，A 區為臺灣與中國東部沿海；B 區為菲律賓與南中國海；C 區是日本地區。颱風軌跡計算方式與 Wu and Wang (2004) 相同，同一颱風對於不同影響區域的次數可以被重複計算。

秋季颱風受到低層大尺度季節風場的影響 (以低緯度東風與副高駛流為主，如圖 3.40a 所示)，颱風主要軌跡為向西影響菲律賓 (39.1%)，與向北轉向影響日本 (38.6%) 兩種軌跡為主。向西北移行影響臺灣與中國東部沿海的颱風軌跡較少，只占 22.3%。因為當臺北有豪雨發生時，颱風侵襲 A 區軌跡增加，本研究以臺北測站為例，進一步分析造成秋季臺灣豪雨的侵臺颱風路徑，可看出造成臺北發生豪雨的侵臺颱風，90%為向西北移行而侵襲 A 區的颱風路徑。

圖 3.40 是造成臺北豪雨的侵臺颱風合成風場，由圖 3.40b 的 10-90 天季內震盪風場，顯示當臺北有豪雨發生時，在臺灣北部有明顯的 10-90 天季內震盪低壓。因此，受季內震盪的氣旋

式環流影響，十天以上大尺度風場（含季節平均與 10-90 天季內震盪，圖 3.40c）在東經 130 °E 處有東南風，可引導颱風向西北移行，侵襲 A 區軌跡增加，進而影響臺灣地區。此外，10 天以上大尺度風場（圖 3.40c）受到 10-90 天季內震盪低壓東南部的西南風（圖 3.40b）影響，使得在臺灣南部至菲律賓有明顯的西南風，可向北傳遞水氣，提供颱風有利的降水條件。並且由於臺灣北部位於 10 天以上大尺度環流與東北季風的合流處，使臺灣北部產生豪雨。

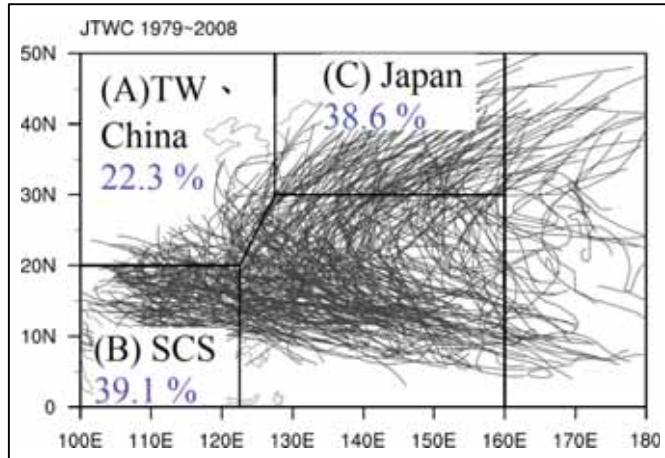


圖 3.39 1979-2008 年秋季颱風軌跡與影響區域劃分圖。圖上數字為氣候上通過區域比例。

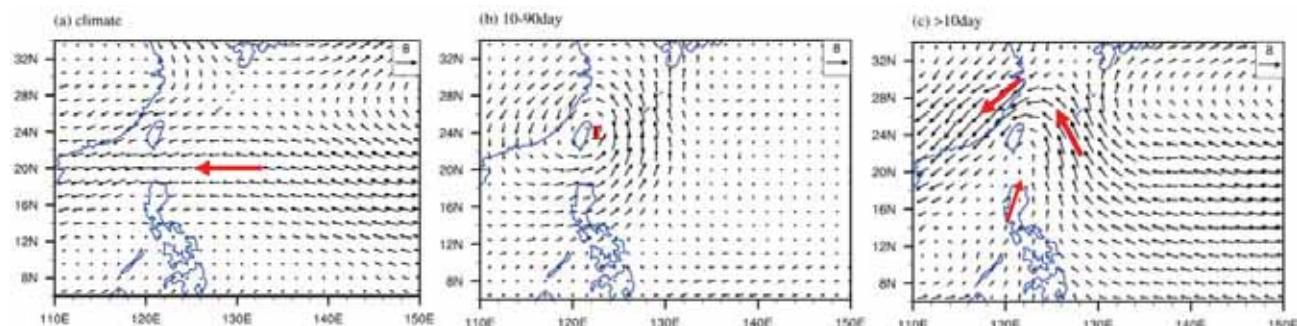


圖 3.40 1979-2010 年秋季臺北測站發生豪雨之侵臺颱風 850 hPa 合成風場。(a) 季節平均風場。
(b) 10-90 天季內震盪風場。(c) 10 天以上風場（含季節平均與 10-90 天季內震盪）。

分析 1960–2010 年西北太平洋颱風分區生成頻率隨時間變化（圖 3.41）可看到，夏季侵襲三區的頻率與生成頻率具明顯且有著相同相位的年代際變化；秋季侵襲 A 區的頻率自 1984 至 2010 年有明顯上升趨勢，從 80 年代開始，臺灣與中國東部沿海地區在秋季受到颱風的侵襲次數變多。影響 B 區與 C 區的頻率亦具有明顯的年代際變化，且與秋季生成頻率為相同相位。Liu and Chan (2008) 指出影響向北轉向日本的軌跡的年代際變異是受到 PDO 影響太平洋副高的關係。由 Morlet wavelet 分析可看到夏秋兩季侵襲三區的頻率均有明顯 2-4 年短週期年際震盪訊號。夏季 B 區和 C 區也有 20-30 年週期的訊號，但未通過顯著檢定。秋季，B 和 C 區亦有顯著 20-30 年週期的年代際震盪。A 區此週期訊號微弱，可能存在更長週期的訊號。

分析圖 3.41 中 1979-2008 年颱風生成與侵襲區域頻率的相關係數可知，夏季影響三區的頻率（相關係數為 A 區 0.8、B 區 0.87、C 區是 0.9），以及秋季影響 B、C 兩區的頻率（B 區 0.95，C 區是 0.81），皆與兩季的生成頻率有著高度的正相關。顯示當西北太平洋颱風生成頻率增加時，則夏季與秋季侵襲區域颱風頻率亦隨之增加，唯有秋季 A 區例外，呈現負相關（相關係數為 -0.41），顯示在西北太平洋颱風生成頻率年代際變化減少的情況下，影響臺灣與中國東部沿岸的 A 區頻率卻有增加趨勢。

由於影響臺北發生豪雨的侵臺颱風，主要受到向西北移行侵襲 A 區的軌跡影響為主。因此自 1980 年起，臺北的豪雨事件和豪雨總雨量隨時間有增加趨勢，並使得臺北測站的秋季總雨量也隨時間增加。臺北的豪雨事件與豪雨總雨量同樣也顯示有著約 30 年週期的年代際震盪訊號，1975-1992 年為低谷，1993-2010 年為高峰。由於臺北測站具有可信賴的長期觀測資料，因此我們將豪雨事件的分析時間延伸為 1901 至 2010 年。圖 3.42 為臺北測站百年豪雨事件的小波分析。分析結果顯示臺北豪雨事件年際震盪訊號明顯，年際震盪週期約為 2-4 年。臺北豪雨事件在 1960 至 2010 年，有明顯的 10 年週期震盪訊號。臺北豪雨並具有 30 年的長週期震盪反應。

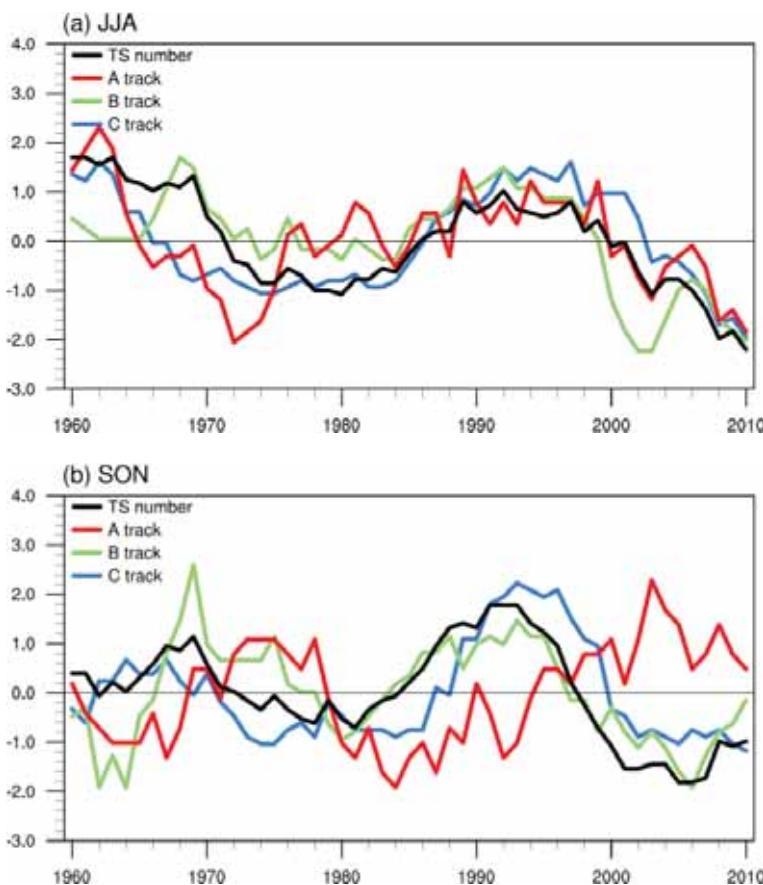


圖 3.41 1960-2010 年熱帶氣旋生成個數與影響三區氣旋個數圖。(a) 為夏季，(b) 秋季。線條為 11 年滑動平均之標準化。黑色為氣旋個數，紅色為通過 A 區個數，綠色為 B 區，藍色為 C 區。

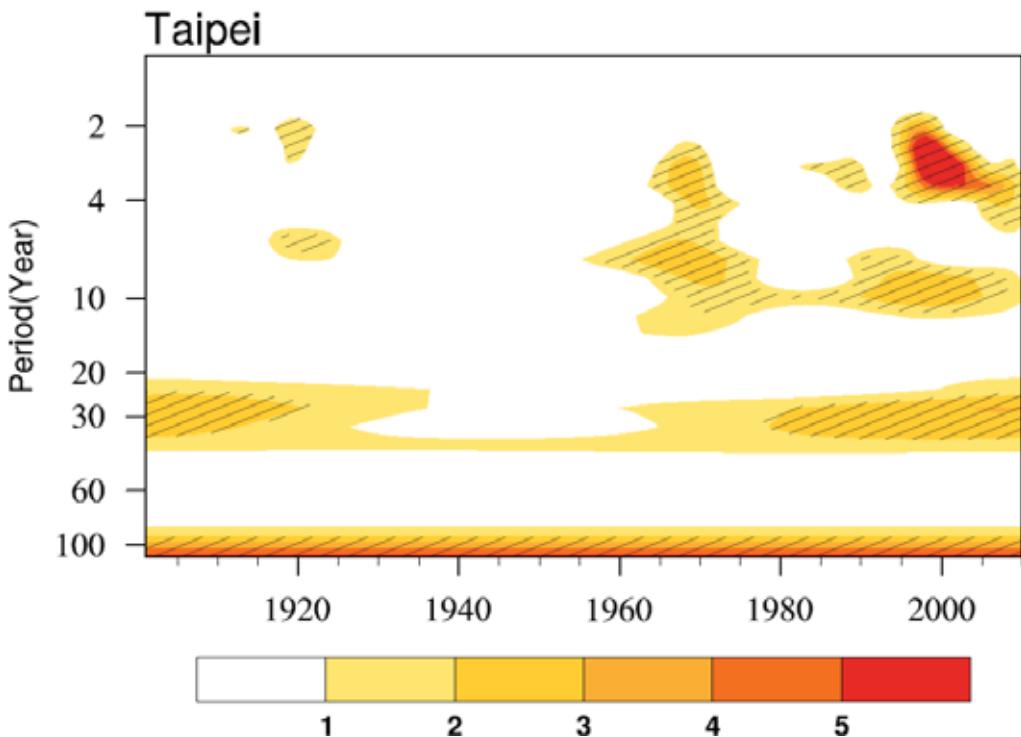


圖 3.42 1901-2010 年秋季臺北測站豪雨事件之 Morlet wavelet 時-頻-能量譜。(單位： $\text{numbers}^2/\text{year}^2$)，斜線區域為超過 95% 顯著信賴區間。

因為秋季侵襲 A 區颱風頻率自 1980 年起有增加趨勢，本研究根據秋季侵襲 A 區的頻率，將 1979-1993 年定為 A 區侵襲不活躍時期，1994-2008 年為 A 區侵襲活躍期。圖 3.43a 與圖 3.43d 的颱風軌跡清楚顯示，A 區侵襲活躍期通過 A 區的颱風較 A 區侵襲不活躍期多。由圖 3.43b 與圖 3.43e 的颱風生成頻率圖可知，A 區侵襲活躍期的生成位置明顯偏西。若以東經 140°E 為分界，西北太平洋颱風生成於 140°E 以西的生成個數，A 區侵襲活躍期 (87 個) 多於不活躍期 (72 個)。由於 A 區侵襲活躍期之颱風生成位置偏西，較有機會向西北移行而影響臺灣。秋季颱風生成區主要在氣旋式環流與副高的合流區，因此颱風生成位置於 A 區侵襲活躍期偏西，可能與氣旋式環流減弱而使合流區向西偏移有關 (圖 3.43b 和圖 3.43e)。

由於季內震盪會影響西北太平洋區颱風生成，因此大尺度環流場的氣候變遷可能受到季節風場變遷與季內震盪變遷的影響。由圖 3.43c 與 10f 的季內震盪變異數圖，顯示 10-90 天季內震盪變異數在 A 區侵襲活躍期，比 A 區侵襲不活躍期較強且位置偏西。因此 10 天以上大尺度環流，可能影響較多颱風生成位置偏西。西北太平洋季節風場與季內震盪的變遷差異，皆可能影響秋颱生成位置，進而影響路徑變遷的影響機制。

3.3.5 臺灣地區極端溫度分析(詳見附錄 2.8)

近年來全球各地發生自然災害天氣與氣候異常的事件頻傳，顯示全球氣候正在改變中。平均氣溫及海溫顯著上升，旱災、豪雨、熱浪與龍捲風等劇烈天氣系統的頻繁發生，對於人類生

活與自然環境帶來嚴重的影響。本研究分析的方式參考澳大利亞地質調查機構在 Natural hazards and the risks they pose to South-East Queensland 第 10 章中對極端高溫的定義，以 1979~2003 為基準期，在此基準期中的日最高溫排序百分位數 (percentile) 95 的溫度做為極端高溫的溫度閥值，而日最高溫大於這個溫度閥值即為高溫日；若高溫日持續三天以上稱為熱浪事件，而熱浪事件中高溫日持續的天數即為熱浪持續天數。

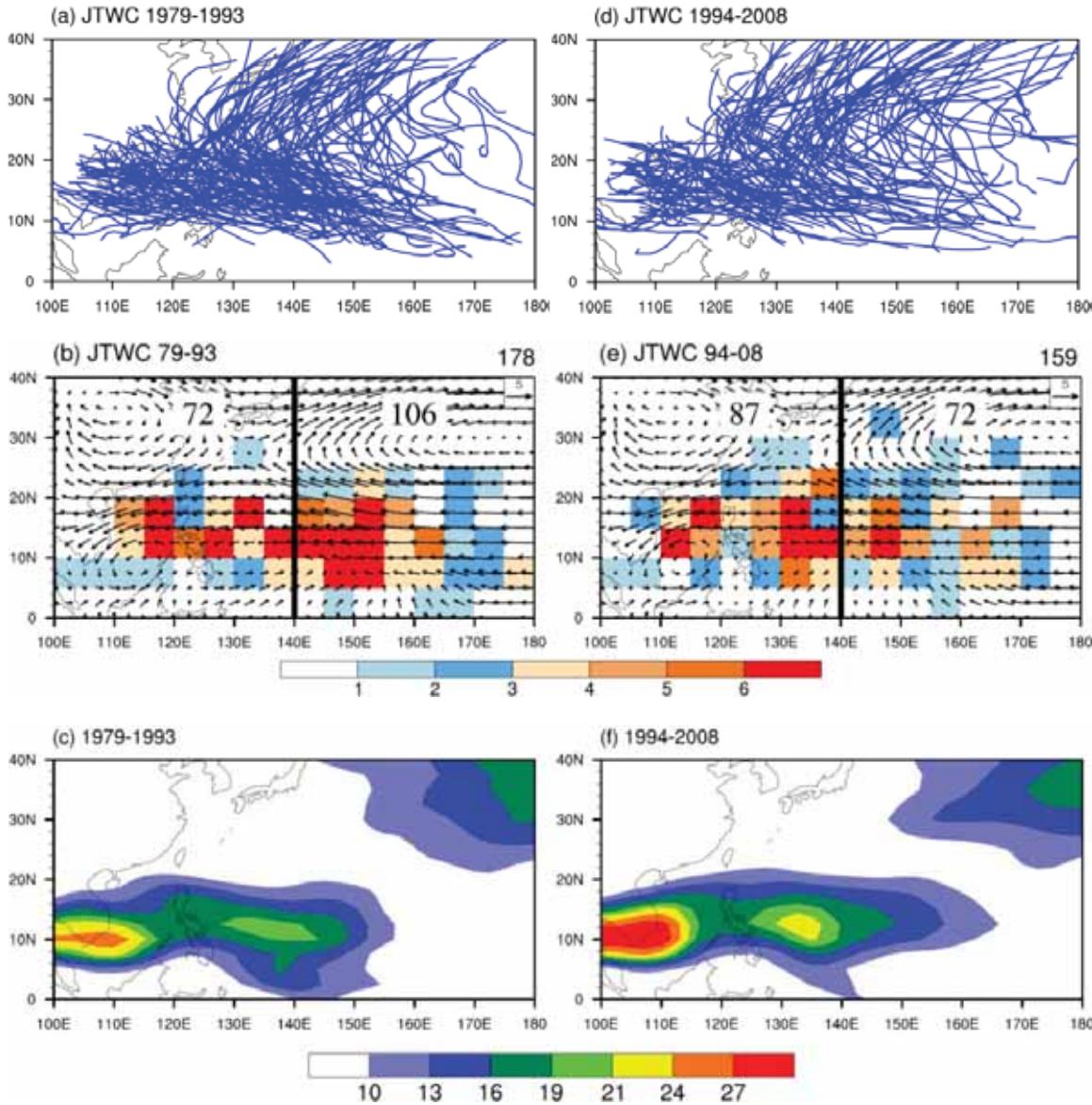


圖 3.43 1979-1993 年秋季 (a) 颱風軌跡圖。(b) 850 hPa 季節平均風場與颱風生成頻率 (單位：個數/15 年，網格點為 $5^\circ \times 5^\circ$)。(c) 850 hPa 東西向風場的 10-90 天季內震盪變異量。(d)~(f) 同 (a)~(c)，但為 1994-2008 年。

目前是以前一期計畫產出的兩組動力降尺度產品 WRF-MRI 及 WRF-ECHAM5 作為分析的依據。ECHAM5 是德國 Max Planck Institute 發展的 ECHAM5/MPI-OM 氣候模式，推估未來在 A1B 的情境下。另外也使用 NCEP-CFSR 資料及其動力降尺度的結果 (WRF-CFSR) 做為

1979~2003 時期比較的參考資料。在本研究中，使用這三組 5 公里解析度的動力降尺度結果，計算臺灣地區每一個網格點上或是整個區域平均的極端高溫溫度閥值，用以了解臺灣發生極端高溫時溫度分布。

圖 3.44 為現在時期 (1979~2003 年) 每個網格點上極端高溫溫度閥值分布的狀況，圖中 WRF-ECHAM5 溫度閥值相較於 WRF-CFSR 有高估的情況，WRF-MRI 溫度閥值則呈低估，三種降尺度推估顯示極端高溫空間分布的型態都很相近，呈現臺灣西半部較東半部有較高的溫度閥值，顯示西部的極端高溫較高，而西半部中又以中南部較北部為高。

到了 21 世紀末時期 (2075~2099 年)，推估結果的高溫閥值顯示一致的增溫趨勢，增溫比較明顯的地區在北部、東部及山區 (圖 3.45a、圖 3.45d)，但 WRF-ECHAM5 增溫的幅度明顯高於 WRF-MRI。隨著全球暖化，未來能超過現在時期高溫閥值的高溫日數也增加。在 21 世紀末時期，以現在時期高溫閥值所定義出來的高溫日數及熱浪而言，高溫日數在 WRF-ECHAM5 與 WRF-MRI 中的空間分布相當類似 (圖 3.45b、圖 3.45e)，都是南部與山區高溫日數較多，而北部的高溫日數則是都有比其他區域為少的現象，而熱浪事件分布型態亦相當接近 (圖 3.45c、f)，次數較多的區域都是在中部與南部，發生的次數則是 WRF-ECHAM5 大於 WRF-MRI。

為了探討臺灣地區發生高溫或熱浪時所處的大尺度環流特徵，以下拿臺灣地區日最高溫度之區域平均作為計量的標準，定義高溫日的閥值為現在時期的臺灣地區日最高溫區域平均排序的 95 百分位，若高溫日持續三天以上稱為熱浪事件，而熱浪事件中高溫日持續的天數即為熱浪持續天數。比較兩模式推估的臺灣地區日最高溫度區域平均的頻率分布狀況 (圖 3.46)，眾數的溫度在 WRF-ECHAM5 分別為現在時期的 28°C 、21 世紀末時期的 31°C ，在 WRF-MRI 則為現在時期的 27°C 、21 世紀末時期的 30°C 。兩推估在 21 世紀末都增加了攝氏 3 度。在分布型態上，WRF-ECHAM5 高溫端 $29\sim32^{\circ}\text{C}$ 區域平均的頻率分布都超過 800 天，WRF-MRI 則區域平均的頻率分布超過 800 天則為 $28\sim30^{\circ}\text{C}$ 。

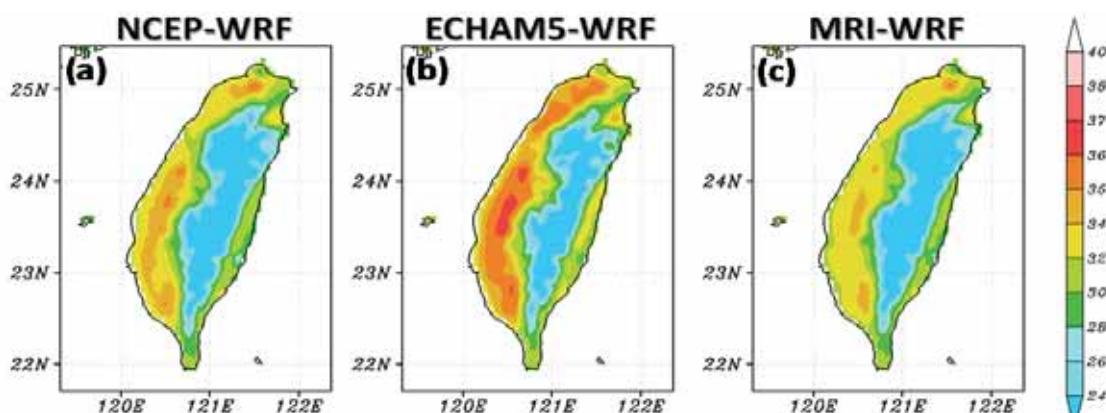


圖 3.44 三組降尺度結果在 1979~2003 時期所推估極端高溫溫度閥值的分布，分別為 (a) WRF-CFSR、(b) WRF-ECHAM5 及 (c) WRF-MRI 的推估結果。

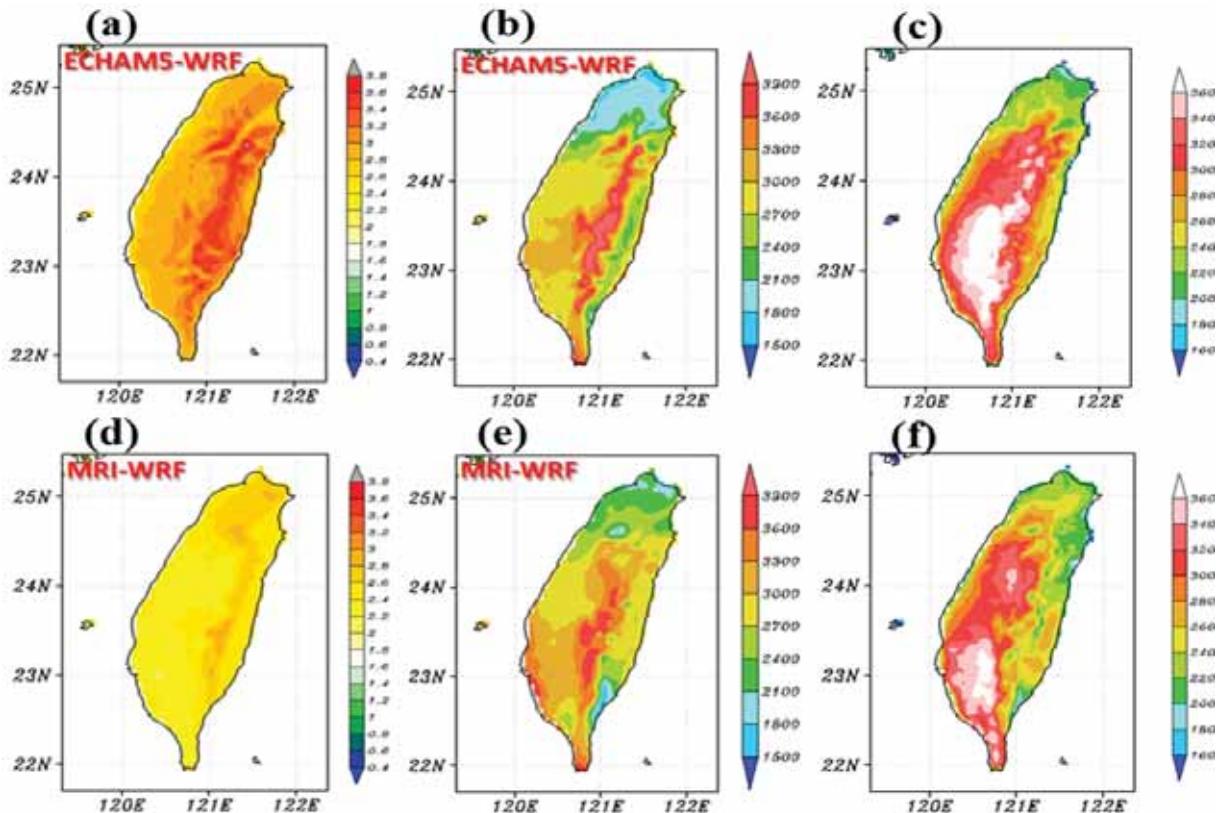


圖 3.45 從左到右分別是 21 世紀末極端高溫閥值的改變量，單位： $^{\circ}\text{C}$ 、21 世紀末高溫日數，單位：日、21 世紀末熱浪發生事件數，單位：次數。上列為 WRF-ECHAM5、下列為 WRF-MRI 資料。

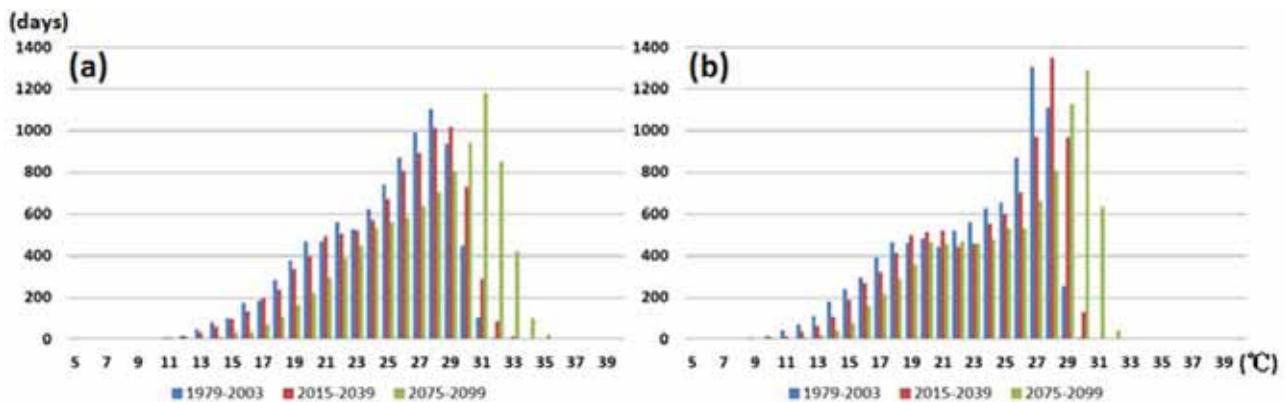


圖 3.46 (a) WRF-ECHAM5 與 (b) WRF-MRI 臺灣地區日最高溫度區域平均的頻率分布，藍線為現在時期，紅線為近未來時期，綠色線為 21 世紀末時期時期。

在 21 世紀末時期推估結果中，發生熱浪時大尺度環流的分布型態（圖 3.48）與圖 3.47 中現在時期環流差異不大，比較明顯的差異是太平洋高壓的強度增強且向西延伸，ECHAM5 太平洋高壓位置依然偏北，東風分量明顯增強，風場由現在時期的東南風轉變為東風，MRI 的風場則都為南風。

表 3.6 為各模式在臺灣地區高溫日的平均溫度、平均標準差、25 年的熱浪事件數以及每個事件數持續的時間。在高溫日平均最高溫度方面，現在時期 WRF-ECHAM5 與 WRF-CFSR 相比有明顯高估的情況，WRF-MRI 則與 WRF-CFSR 較相近，21 世紀末時期 WRF-ECHAM5 的平均溫度也都比 WRF-MRI 高；高溫日平均日最高溫標準差方面，WRF-MRI 與 WRF-CFSR 是一致的，而 WRF-ECHAM5 同樣有偏高的情況，21 世紀末時期 WRF-MRI 的標準差雖然持續擴大，但都比 WRF-ECHAM5 小；在熱浪事件數方面，現在時 WRF-ECHAM5 與 WRF-MRI 都有高估的情況，21 世紀末時期 WRF-ECHAM5 發生的次數多；以熱浪天數除以熱浪事件數，得到平均每個熱浪事件所持續的時間可知，WRF-ECHAM5 與 WRF-MRI 在現在時期的熱浪持續天數都有低估的情況，在 21 世紀末時期 WRF-MRI 的熱浪持續的時間都比 WRF-ECHAM5 為長。

在分析高溫事件發生時的大氣環流特徵，發現高溫日平均大尺度環流特徵與熱浪發生時平均大尺度環流的特徵是極類似的，在此僅呈現熱浪發生時的環流特徵。現在時期熱浪發生時，三組背景場大尺度環流分布的狀況如圖 3.47 所示，NCEP-CFSR 分析場資料顯示太平洋高壓脊線約在臺灣南方，且高壓影響的範圍向西延伸到臺灣東方，影響臺灣的風呈南風。MRI 推估結果中太平洋高壓分布的位置與 NCEP-CFSR 相近，但強度低估，且高壓脊的位置略為偏北，風場則都是為南風。ECHAM5 推估資料與 NCEP-CFSR 資料有較大的差異，太平洋高壓的位置太過北偏，影響臺灣的風呈東南風。而 NCEP-CFSR 分析場與 ECHAM5 及 MRI 推估結果在臺灣發生熱浪時，臺灣都在氣壓相對較低的範圍中。

在 21 世紀末時期推估結果中，發生熱浪時大尺度環流的分布型態（圖 3.48）與圖 3.47 中現在時期環流差異不大，比較明顯的差異是太平洋高壓的強度增強且向西延伸，ECHAM5 太平洋高壓位置依然偏北，東風分量明顯增強，風場由現在時期的東南風轉變為東風，MRI 的風場則都為南風。

表 3.6 WRF-CFSR 分析場與 WRF-ECHAM5 及 WRF-MRI 推估結果在高溫日的平均溫度、平均標準差、25 年的熱浪事件數以及每個事件數持續的時間。

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

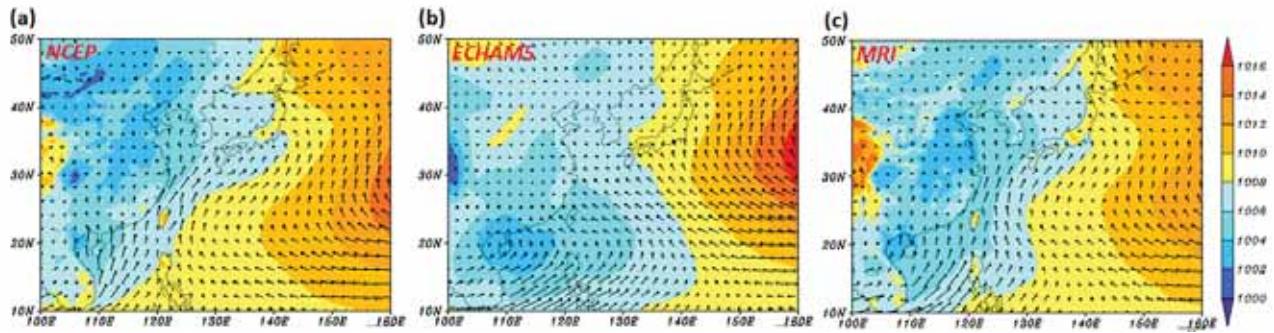


圖 3.47 現在時期臺灣地區發生熱浪時平均環流分布，分別為 (a) NCEP-CFSRP 分析場、(b) ECHAM5 與 (c) MRI 推估結果。其中色階為海平面氣壓場，風為離地 10 米風。

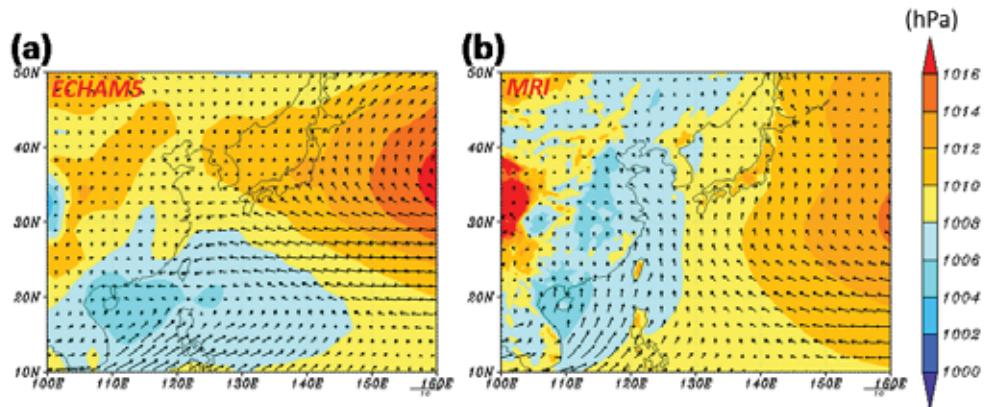


圖 3.48 21世紀末時期臺灣發生熱浪時平均大尺度環流分布，分別為 (b) ECHAM5 與 (d) MRI 推估的結果。其中色階為海平面氣壓場，風為離地 10 米風。

第四章 氣候變遷資料應用技術發展與研究

Team3 在 TCCIP 計畫的定位，主要是 Team1 與 Team2 產製(資料產製者)之氣候資料的應用技術研發與溝通互動，以落實從使用者需求強化氣候變遷研究之核心精神(Bottom-Up)，滿足各領域(資料使用者)對氣候變遷資料應用之需求，Team3 關鍵核心價值在於氣候變遷上下游資料推廣關鍵技術研發，注重氣候變遷資料銜接與應用推廣。圖 4.1 說明 Team3 與 Team1 及 Team2 的關係為資料需求者與資料提供者，同時 Team3 也肩負著因應使用者之額外需求具備其他應用技術研發之使命。

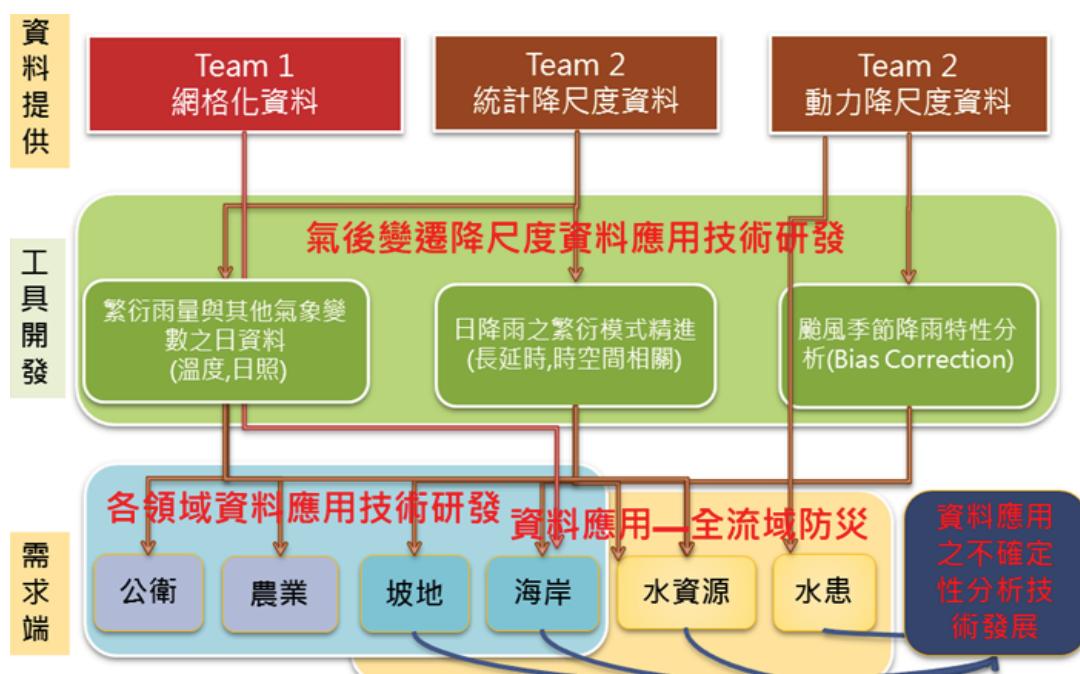


圖 4.1 Team3 與其他工作小組之關聯

第一期計畫之 Team3 的工作以水部門之災害應用為主，相關研究成果提供水利署及 NCDR 相關之災害衝擊及水資源衝擊評估應用為主，過程中累積相當豐富之經驗與成果。第二期計畫中，Team3 除了強化防災領域的整合應用之外，加入了農業以及公衛領域，目標在於以氣候變遷資料應用技術與研究，協助並滿足各領域氣候變遷資料使用者之需求。

如圖 4.1 所示，Team3 本身即是 Team1 及 Team2 產製資料之使用者，為滿足各領域使用者初步應用氣候變遷資料的需求，Team3 工作項目分為：(1) 農業、公衛相關領域應用技術研發；(2) 極端颱風豪雨事件之全流域防災衝擊評估整合方法建立；(3) 氣候變遷降尺度資料應用技術研發。

4.1 農業、公衛相關領域應用技術研發

本工作主要可概分為農業與公衛領域應用二主體：

4.1.1 農業領域—氣候變遷下臺灣地區未來水稻產量生產潛勢（詳見附錄 3.1 與 3.2）

本期 TCCIP 計畫 Team3 新增了農業領域的研究，並與行政院農業委員會農業試驗所合作，在氣候變遷降尺度資料產製端與使用端之上下游進行雙向溝通與對話，確認未來作物生長關鍵之氣象參數需求（空間與時間降尺度需求）與資料應用研發的期程及可能性，今年成果報告將使用本計畫所產製之氣候變遷動力降尺度資料為基礎，結合農業試驗所農業氣象研究室所開發之「不同氣候情境糧食生產評估系統」，以臺灣糧食作物水稻為例，探討在未來氣候變遷影響下糧食生產可能面臨之問題。

(1) 農業領域分析方法

1. 以動力降尺度資料匯入「不同氣候情境糧食生產評估系統」模擬未來第一期作水稻產量

本年度使用 TCCIP 提供之動力降尺度資料（簡稱為 MRI-WRF-5km）進行研究。MRI-WRF-5km 資料可分為基期（1979-2003 年）、近未來（2015-2039 年）與 21 世紀末（2075-2099 年）等三個期程，將氣象資料（日最低溫、日最高溫、日降雨量及日射量）轉成氣象檔格式 (.whd) 後，匯入「不同氣候情境糧食生產評估系統」進行未來水稻產量之模擬。

利用「不同氣候情境糧食生產評估系統」評估臺灣地區糧食作物，選以臺灣地區種植面積最多之糧食作物水稻為指標，所使用的遺傳參數設定，由 Yao et al. (2000) 以 DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) 3.0 版所建立台農 67 號水稻品種之遺傳參數設定，模擬參數設定為不考慮肥料、水分逆境、病蟲害以及前期作的影響，行株距 15 cm × 30 cm，種植密度為 22 株/平方公尺，土壤特性是依據農業試驗所農場之土壤調查資料，選取粉質黏土為水稻田土壤質地，利用「不同氣候情境糧食生產評估系統」模擬推估臺灣地區水稻第一期作產量。

以動力降尺度 MRI-WRF-5km 資料，利用「不同氣候情境糧食生產評估系統」模擬推估臺灣地區水稻第一期作產量，分別將三個期程的產量平均（25 年平均）利用地理資訊系統（GIS）面化評估結果，以了解臺灣各地區面臨氣候變遷下每階段產量平均趨勢，並計算基期至未來的改變率，從中得知未來臺灣地區第一期作水稻產量的改變率，其計算式如下：

$$\text{改變率} (\%) = \frac{\text{未來水稻產量} - \text{基期水稻產量}}{\text{基期水稻產量}}$$

2. 以統計降尺度資料探討氣候變數與稻米產出之關係—使用統計迴歸模型

除前述以作物生長模式評估氣候變遷對於水稻產量的影響與衝擊之外，亦嘗試單純由統計的觀點探討氣候資料對稻作產量之關聯性。因此，本研究利用迴歸方程式與拔靴法，估計氣候資料與稻米產出的統計作物模式，再以 TCCIP 所衍生之統計降尺度 (AR4 之 24 GCM 模式排放情境) 資料來推估未來稻米產量的變化。

研究中以臺南、高雄二個地區 1980-1999 年一期作稻米的單位面積產量作為被解釋變數 (dependent variable)，並將稻作生長的季節按照節氣分為五個生長階段，立春至穀雨、穀雨至立夏、立夏至小滿、小滿至夏至。為了避免不同田間管理方式以及栽種技術的進步影響稻米的產量，在建立統計模式之前，先分析稻米產量的趨勢，並進一步利用去除趨勢後的稻米產量來推估 1980-1999 年間影響臺南、高雄地區之稻作產量最顯著的氣候變數。臺南、高雄地區的氣候歷史資料來自於中央氣象局所提供的日最大溫度、日最低溫度 (有助於判定日溫與夜溫對稻米單位面積產量的影響)。本研究分別計算出 (一期稻作) 五個生長階段之平均日最高溫度、日最低溫度。變數的挑選是採用逐步迴歸的方式。由於田間樣本取得不易，為了避免模型內解釋變數過多造成自由度不足，本研究僅選擇兩個最顯著變數 (日最高溫與日最低溫) 作為統計作物模型內的主要變數。

本研究利用前述所建構的統計作物模型來推估未來氣候情境下之稻米的產出。由於樣本期間僅有 20 年，在統計上屬於小樣本，為了避免樣本數太小所造成的偏誤推估，我們利用拔靴法 (bootstrap method) 探討樣本數不足對推估造成的不確定性。首先，我們根據歷史重複抽樣得出 100 組拔靴樣本，樣本長度為 20 筆 (每年一筆)，並利用此樣本推估新的統計作物模型的係數 (Efron and Gong, 1983)。最後，將此 100 組拔靴樣本所推估出來的平均單位面積產量平均值評估未來氣候變遷下稻米之產量。

(2) 以「不同氣候情境糧食生產評估系統」比較臺灣地區基期與未來的水稻第一期作產量變化

分析三個不同期程水稻第一期作產量平均，動力降尺度基期 (1979 - 2003 年) 臺灣地區水稻第一期作單位面積產量平均 9066 kg ha^{-1} (25 年平均)，以臺北市、新北市及基隆市的某些鄉鎮產量為最少 (7341 kg ha^{-1} 以下)，其次臺北市、新北市、基隆市、宜蘭縣、嘉義縣、屏東北部及零星幾個小地區產量較少 ($7341 - 8510 \text{ kg ha}^{-1}$)，高產地區落於東部，中南部地區產量趨於平均值 (圖 4.2a)。近未來 (2015 – 2039 年) 臺灣地區水稻第一期作單位面積產量平均 8739 kg ha^{-1} (25 年平均)，臺北市、新北市與基隆市與其他零星幾個沿海小地方的某些鄉鎮鄉鎮產量為最少 ($6171 \sim 7340 \text{ kg ha}^{-1}$ 以下)，其次臺北市、新北市、基隆市、臺中市、嘉義縣及高屏地區與零星幾個小地區產量較少 ($7341 \sim 8510 \text{ kg ha}^{-1}$)，高產地區落於東部地區及嘉義市大埔鄉地區，中部地區與東部地區產量趨於平均值 (圖 4.2b)。21 世紀末 (2079 - 2099 年) 單位面積產量平均 7713 kg ha^{-1} (25 年平均)，以北部地區、宜蘭縣的某些鄉鎮產量為最少 (6170 kg ha^{-1} 以下)，其次以臺北市、新北市、基隆市、宜蘭縣、嘉義縣、高雄南邊與屏東北部及幾個零星的地區產量較少 ($6171 - 7340 \text{ kg ha}^{-1}$)，高產區大多落於東部地區，其它地區有幾個零星分布的小區塊也為高產地區 (圖 4.2c)。

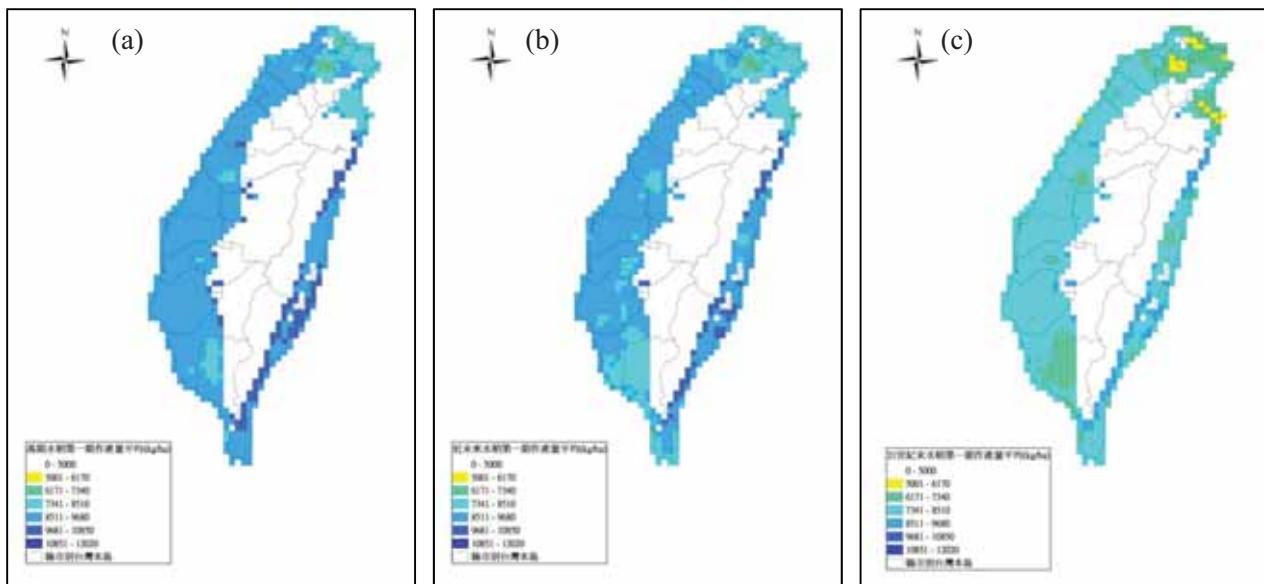


圖 4.2 水稻第一期作產量平均變化趨勢。(a) 基期 1979 – 2003 產量平均；(b) 近未來 2015 –2039 產量平均；(c) 21 世紀末 2079 – 2099 產量平均

比較近未來與基期兩時期水稻產量的改變(圖 4.3a)，平均改變率約-3.6%，平均產量減產 328 kg ha⁻¹，近未來臺灣大部分地區均呈現減產，其中以南部地區的變化較大(約-7.8~6.7%)，只有少數幾個區域呈現增產(北部的少部分地區與宜蘭地區)。比較 21 世紀末與基期水稻第一期作平均單位面積產量(圖 4.3b)，平均改變率約-15.0%，產量差異為減產 1353 kg ha⁻¹，至 21 世紀末臺灣地區水稻第一期作產量均呈現減產，並以宜蘭縣地區的變化最多(約-22.9~19.8%)，其次以基隆市、新北市、臺北市、桃園縣、花蓮縣、臺東縣、苗栗縣、臺中市、高雄市、屏東縣改變率較多(約-19.7~16.7%)，改變率最少的地方在東部(-7~3.9%)；21 世紀末較近未來改變來的大，改變率越大代表此地區未來在氣候變遷幅度較大，發生氣象災害機率也越大，水稻生產過程也較受影響。

(3) 以統計降尺度資料探討氣候變數與稻米產出之關係—使用統計迴歸模型

圖 4.4 為 1980-1999 年臺南、高雄之單位面積產量的趨勢。由圖中可發現，臺南地區的單位面積產量從 1980 年以來皆比高雄地區的單位面積產量為高。表 4.1 為臺南、高雄地區之趨勢分析的結果，其中表 4.1 的“時間”變數即表示一固定的時間趨勢，“時間²”變數即表示二次式時間趨勢。推估的結果顯示：臺南高雄地區之固定時間趨勢皆較二次式時間趨勢顯著，故針對臺南、高雄地區單位面積產量作趨勢分析時即以固定線性趨勢為之。

表 4.2 為臺南、高雄地區一期稻作生長期間之近未來、世紀末之氣候情境。根據 LARS-WG 天氣衍生器所衍生臺南、高雄地區之近、世紀末之平均日低溫皆有升高的趨勢。就近未來、世紀末之平均日低溫看來，臺南地區升高幅度約介於 1.34 度至 1.46 度間；高雄地區升高幅度約介於 1.38 度至 1.46 度間，臺南地區的升高幅度較高雄地區為高。就世紀末看來，不論是臺南、高雄地區皆是屬於增加的情況。

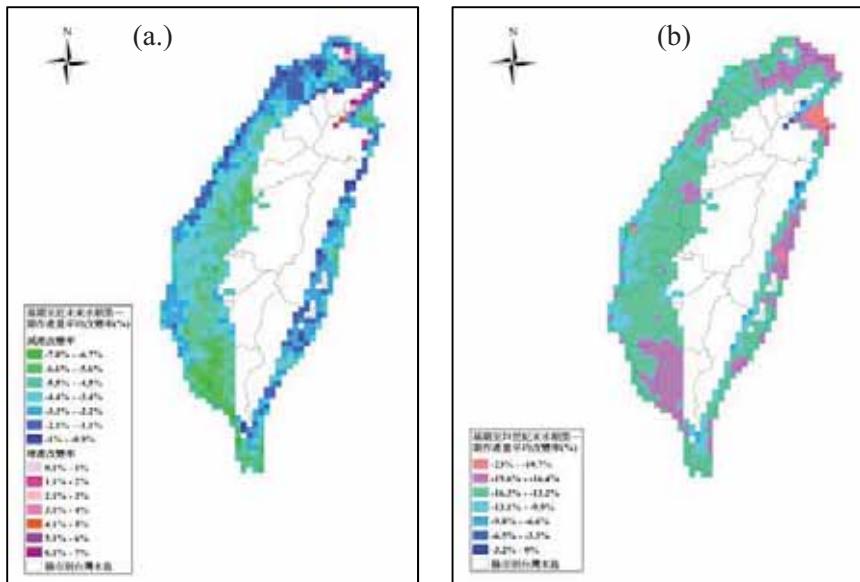


圖 4.3 基期至未來水稻第一期作產量平均改變率。(a) 基期至近未來水稻第一期作產量改變率；(b) 基期至 21 世紀末水稻第一期作產量改變率

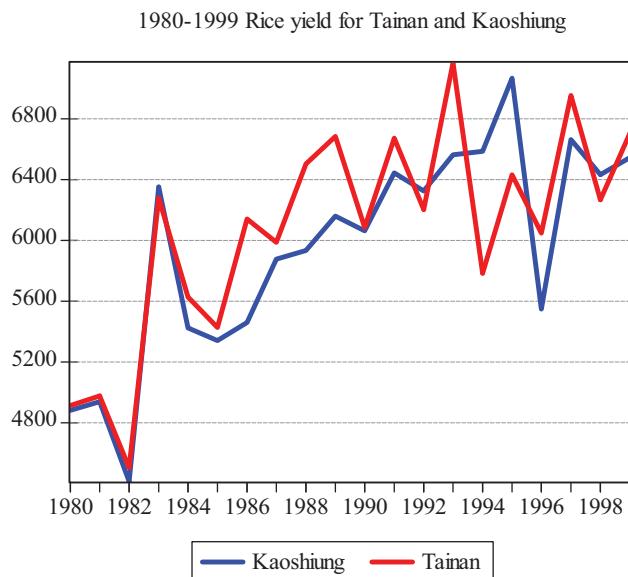


圖 4.4 1980-1999 年臺南、高雄之單位面積產量趨勢圖

表 4.1 1980-1999 年臺南、高雄地區之趨勢分析

| 變數 地區 | 臺南 | | 高雄 | |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | 線性 | 非線性二次式 | 線性 | 非線性二次式 |
| 截距項 | -19.94 ^{**} (-2.93) | -5950 [*] (2.67) | -22.98 ^{**} (-3.65) | -4590 [*] (2.04) |
| 時間 | 0.016 ^{***} (4.20) | 6.02 [*] (2.61) | 0.014 ^{***} (5.03) | 4.60 [*] (2.04) |
| 時間 ² | - | -0.00 [*] (-2.59) | - | -0.00 [*] (-2.03) |

註：被解釋變數為稻米的單位面積產量(取對數後)的值；
 “.”表顯著水準為 10%；
 “**”表顯著水準為 5%；
 “***”表顯著水準為 1%；
 “****”表顯著水準為 0.1%。

表 4.2 臺南、高雄地區一期稻作生長期間近未來 (2020-2039)、世紀末 (2080-2099) 之統計降尺度氣候情境資料

| 臺南地區 | 立春以前 | 立春-穀雨 | 穀雨-立夏 | 立夏-小滿 | 小滿-夏至 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 近未來平均低溫 (°C) | 15.26 | 19.05 | 21.45 | 22.78 | 24.58 |
| 世紀末平均低溫 (°C) | 16.60 | 20.40 | 22.87 | 24.24 | 26.02 |
| 近未來平均高溫 (°C) | 24.25 | 28.09 | 30.31 | 31.22 | 32.67 |
| 世紀末平均高溫 (°C) | 25.59 | 29.45 | 31.72 | 32.67 | 34.11 |
| 近未來日均降雨 (mm) | 1.10 | 0.82 | 1.38 | 3.05 | 6.69 |
| 世紀末日均降雨 (mm) | 0.95 | 0.77 | 1.39 | 3.12 | 7.19 |
| 高雄地區 | 立春以前 | 立春-穀雨 | 穀雨-立夏 | 立夏-小滿 | 小滿-夏至 |
| 近未來平均低溫 (°C) | 13.21 | 16.03 | 17.65 | 18.86 | 20.20 |
| 世紀末平均低溫 (°C) | 14.59 | 17.38 | 19.06 | 20.32 | 21.64 |
| 近未來平均高溫 (°C) | 22.41 | 24.91 | 26.40 | 27.02 | 28.33 |
| 世紀末平均高溫 (°C) | 23.79 | 26.26 | 27.81 | 28.48 | 29.77 |
| 近未來日均降雨 (mm) | 1.33 | 1.53 | 2.59 | 6.65 | 12.56 |
| 世紀末日均降雨 (mm) | 1.17 | 1.44 | 2.58 | 6.77 | 13.41 |

表 4.3 為氣候因子對臺南、高雄地區稻米產量之逐步迴歸分析的推估結果。推估的結果顯示影響臺南、高雄地區最主要的變數為插秧後的日最高溫以及播種時的最低溫度。由於一期作的五個栽種階段其溫度的變化是由低至高溫發展，故插秧後的日最高溫上升(第二階段-穀雨至立夏)有助於稻作生理的代謝；另外，由於一期作在(第一階段-立春以前至立春)開始播種，此時的日低溫對於臺南、高雄地區的稻作會有負面的影響。

表 4.4、表 4.5 分別為臺南、高雄地區 100 組拔靴樣本(以前 15 組樣本為例)之估計結果。由此 100 組拔靴樣本的估計結果顯示，一期作第二階段-穀雨至立夏的日最高溫對於稻米的單位產出有大部分是負面的影響，但第一階段-立春以前至立春的日最低的溫度對單位面積產量

的影響就有正、有負。由表 4.4 的估計結果顯示，臺南地區在 A1B 情境下 24 個氣候模式之日最高、最低溫之平均值，對臺南地區近未來的稻米單位面積產量將造成 12,538 公斤的減產數量；世紀末則會造成 14,184 公斤的減產數量。由表 4.5 的估計結果顯示，高雄地區在 A1B 情境下 24 個氣候模式之日最高、最低溫之平均值，對高雄地區近未來的稻米單位面積產量將造成 6,874 公斤的減產數量；世紀末則會造成 18,774 公斤的減產數量；以近未來而言，臺南減少的稻米產量要多於高雄的減產數量，此顯示在近未來因應氣候變遷的影響時，相較於高雄地區，應當以臺南地區為首要考量區域。

表 4.3 統計作物模型之迴歸分析最適結果

| | 截距 | 時間趨勢 | Maxt2* | Maxt2 ² | Mint1 | Mint1 ² | R-squ. | Adj. R-squ. |
|----|------|-------|--------|--------------------|-------|--------------------|--------|-------------|
| 高雄 | -392 | 0.014 | 218.61 | -32.71 | -4.20 | 0.76 | 0.69 | 0.59 |
| 臺南 | -318 | 0.016 | 182.40 | -27.31 | -6.51 | 1.12 | 0.66 | 0.54 |

註*：Maxt2 為第二生長期間（立春-穀雨）的日最高溫；
Mint1 為第一生長期間（立春以前）的日最低溫；
“²”表示日最高溫、日最低溫之二次式

表 4.4 臺南地區 100 組拔靴樣本（取前 15 組樣本為例）之估計結果

| 截距 | 時間趨勢 | Maxt2 | Maxt2 ² | Mint1 | Mint1 ² | 近未來產量預測值 | 世紀末產量預測值 |
|---------|------|---------|--------------------|---------|--------------------|----------|----------|
| -318.42 | 0.02 | 5.63 | -0.92 | 3.36 | -0.77 | -810 | -891 |
| -318.42 | 0.02 | 119.2 | -17.88 | 8.46 | -1.64 | -8,155 | -9,246 |
| -318.42 | 0.02 | 150.53 | -22.52 | 0.97 | -0.24 | -9,912 | -11,222 |
| -318.42 | 0.02 | 310.27 | -46.39 | 2.97 | -0.65 | -20,140 | -22,845 |
| -318.42 | 0.02 | 165.36 | -24.76 | -5.55 | 0.94 | -10,694 | -12,092 |
| -318.42 | 0.02 | -104.54 | 15.67 | -174.21 | 31.43 | 11,063 | 13,079 |
| -318.42 | 0.02 | 281.33 | -41.96 | 21.64 | -4.13 | -18,762 | -21,334 |
| -318.42 | 0.02 | 150.7 | -22.67 | -13.29 | 2.44 | -9,589 | -10,814 |
| -318.42 | 0.02 | -100.49 | 15.08 | 226.15 | -41.86 | -144 | -754 |
| -318.42 | 0.02 | 399.04 | -59.51 | 43.73 | -8.21 | -26,841 | -30,572 |
| -318.42 | 0.02 | 194.48 | -29.14 | 18.39 | -3.46 | -13,223 | -15,030 |
| -318.42 | 0.02 | 341.27 | -50.94 | 45.27 | -8.19 | -23,174 | -26,407 |
| -318.42 | 0.02 | 87.04 | -13.16 | -38.45 | 7.06 | -4,849 | -5,360 |
| -318.42 | 0.02 | 352.37 | -52.82 | -47.66 | 8.66 | -21,505 | -24,253 |
| -318.42 | 0.02 | 136.97 | -20.47 | -48.8 | 8.8 | -7,689 | -8,561 |
| 總平均* | | | | | | -12,538 | -14,184 |

註*：總平均值為 100 組拔靴樣本所預測之單位面積產量之平均值
“²”表示最高溫、最低溫之二次式

表 4.5 高雄地區 100 組拔靴樣本 (取前 15 組樣本為例) 之估計結果

| 截距 | 時間趨勢 | Maxt2 | Maxt2 ² | Mint1 | Mint1 ² | 近未來產量預測值 | 世紀末產量預測值 |
|---------|------|---------|--------------------|---------|--------------------|----------|----------|
| -392.55 | 0.02 | -119.81 | 18.07 | 62.28 | -11.22 | 1,878 | 7,484 |
| -392.55 | 0.02 | 395.16 | -59.18 | -41.70 | 7.22 | -10,662 | -29,855 |
| -392.55 | 0.02 | 152.83 | -22.63 | 76.95 | -13.53 | -5,886 | -13,700 |
| -392.55 | 0.02 | 224.64 | -33.55 | 49.62 | -8.92 | -7,491 | -18,762 |
| -392.55 | 0.02 | 269.28 | -40.34 | -20.33 | 3.61 | -7,505 | -20,626 |
| -392.55 | 0.02 | 100.85 | -15.06 | -229.12 | 39.92 | 782 | -2,933 |
| -392.55 | 0.02 | 210.25 | -31.37 | -9.60 | 1.64 | -6,024 | -16,253 |
| -392.55 | 0.02 | 170.43 | -25.46 | 81.25 | -14.36 | -6,524 | -15,304 |
| -392.55 | 0.02 | 843.09 | -126.41 | 543.69 | -96.26 | -33,509 | -77,940 |
| -392.55 | 0.02 | 285.49 | -42.79 | 2.01 | -0.34 | -8,359 | -22,404 |
| -392.55 | 0.02 | 96.96 | -14.43 | 60.68 | -10.80 | -4,120 | -9,169 |
| -392.55 | 0.02 | 453.35 | -68.06 | -151.82 | 26.50 | -10,422 | -31,953 |
| -392.55 | 0.02 | 220.81 | -33.05 | 25.73 | -4.53 | -6,958 | -17,932 |
| -392.55 | 0.02 | 298.57 | -44.60 | 70.61 | -12.40 | -9,876 | -24,875 |
| -392.55 | 0.02 | 308.74 | -46.10 | -86.24 | 14.98 | -7,447 | -22,103 |
| 總平均* | | | | | | -6,874 | -18,774 |

註*：總平均值為 100 組拔靴樣本所預測之單位面積產量之平均值
“²”表示最高溫、最低溫之二次式

(4) 農試所農業領域重要結論

過去三十年氣候一直持續發生大幅變化，未來無論是何種策略都將無法抵擋氣候變遷所帶來的衝擊 (IPCC, 2001, 2007)，同時 CO₂ 濃度將持續增加，極端氣候發生頻率與強度也將加劇，對此變化我們只能提出因應對策；農業為氣候變遷下最為脆弱的部份，但糧食是維持人民生計的基礎，基於其安全性，農地的利用與發展勢必要有新的規劃與調整，而我國過去對於農業作物生產的評估及預測研究相當有限，且多僅限於資料調查及個案性推估研究，缺乏整體性研究，不利於擬訂整體農業政策評估及氣候變遷因應策略之科學基礎。利用「不同氣候情境糧食生產評估系統」分析整體糧食生產情況，以了解在氣候變遷下未來臺灣水稻種植地區之脆弱地區，作為各項農地政策調整及因應策略之基礎。影響水稻產量還是以氣象的因子影響最大，所以未來氣候不管如何變化，種植作物除了基本的栽培管理技術與經驗外，觀察環境的改變，利用長程短程的氣象資料將成為一項重要的輔助工具，可做為預防天然災害的參考依據。目前農業領域利用未來氣候推估資料作為各項因應調適研究的案例不多，未來計畫執行將持續產製統計降尺度資料，因有多情境多模式，更能從多方角度去分析未來糧食生產及糧食安全等議題，提供農政單位在長期糧食政策及氣候變遷調適研擬之依據基礎。

4.1.2 公衛領域—氣候變遷對民眾健康影響 (詳見附錄 3.3)

本研究今年成果主要以臺灣地區登革熱流行及風險部分為主，利用地理資訊系統分別依照時序上之疾病空間變化，進行各鄉鎮疾病通報人次及罹患率之繪圖與空間分析，找出各類疾病流行地區。本年度進一步推估於未來氣候變遷情境下，對於臺灣地區民眾登革熱流行風險之影響，研究納入以 IPCC AR4 為基礎推估之近未來臺灣各區域溫度數據，將未來溫度的變異以及各區增溫幅度的差異都整合評估進登革熱風險地圖中。初步評估結果 IPCC AR4 在 A1B 情境下 24 個模式間推估的登革熱風險數據大部分沒有很大的差異，近未來可能演變為高風險區域的鄉鎮數平均為 168 個，而居處於高傳染風險的人數則約有 1 千七百萬人，由此可見登革熱傳播的問題實在不容小覷。整體而言，登革熱流行風險區除了原本的南部及北部地區外，未來中部及東部區域流行風險也可能會提高，依據模式高風險鄉鎮未來主要集中於中北部以及北部地區，而東部主要縣市的風險也會提升。顯示，各級衛生及環境單位應盡快對於未來面臨的暖化天氣即早提出整合之方案。

今年本計畫優先應用 AR4 氣候情境資料於探討環境、社會人口指標及氣象因子對臺灣地區重要傳染性疾病流行分布相關性，本期計畫以評估氣候變遷對臺灣登革熱流行風險之空間分布影響為例，主要目的包含：1、評估氣象因子變化對於登革熱疫情發生空間分布之影響，2、依據環境與疾病流行分布之空間相關分析結果，本期計畫配合 TCCIP 計畫氣候變遷模式（統計降尺度模式）對於未來氣候情境之模擬結果，推估未來在不同氣候變遷情境中登革熱流行風險地圖之情境模擬，以提供未來整合氣象變異之疾病預警系統架構及應變措施之依據。

(1) 公衛領域分析方法

空間分析方面，本研究將疾病通報資料匯入 GIS 軟體，使屬性能與圖形結合以利進行後續的空間統計與空間分析。使用軟體包括 ArcGIS Spatial Analyst、GeoStatistical Analyst 及 GeoDa 等。其資料將透過 GIS 整合相關的自然、人口、社會經濟、疾病通報資料，以期能檢驗不同因子之間的相關性。針對病例的分布形態 (spatial pattern)，將進行下列的分析與統計：

1. 環境及氣象因子與臺灣地區傳染性疾病流行分布相關性探討：整合各類環境危險因子及氣象因子之空間分布資料及疾病發生率或案例數分布資料，利用邏輯式迴歸模式 (Logistic regression)，分別分析各環境因子與潛在影響氣象因子與各區域疾病流行與否之相關性。並依其分析結果考慮各危險因子之分布，繪製各疾病潛在流行危險地區。
2. 利用時序性分析建立特定流行地區疾病流行規模大小與氣象因子或異常天候事件之相關性：在傳染性疾病預警系統中，最重要的便是能夠分析特定危險因子對於疾病流行規模大小之相關性，利用時間序列分析如 Auto-regressive integrated moving average (ARIMA) 模式等分析長時間資料在整個序列中之變化，並可利用各類時間序列參數如氣溫、雨量、病媒指數等來配適模式並預估未來流行之趨勢。本研究之重點工作，在於找出流行地區後針對各類疾病分別嘗試建構時序性分析模式，並期望能透過包含氣象因子之各類時序性因子之整合，預測未來疾病流行之趨勢。

區域間天氣因子及環境因子的分布將會進一步影響到各地區疾病流行之風險，因此本研究在空間相關性上之探討將進一步使用 GeoDa 中傳統迴歸分析模式 (Ordinary Linear Square)、空間落遲迴歸模型 (spatial lag model) 及空間誤差迴歸模型 (spatial error model) (Anselin, 1992; Anselin, 2005)，用以探討相關氣象因子及環境因子分布對於疾病發生率或死亡發生率之相關性，並量化各因子對於疾病發生率之影響程度。其中，傳統迴歸分析模式 (Ordinary Linear Square) 是假設依變數與自變數皆為獨立事件，而空間落遲迴歸模型及空間誤差迴歸模型則是考量到依變數之空間相依性所建構之模型。在配適最佳迴歸模型時，需同時搭配空間自相關檢定、空間異質性檢定、殘差項空間相依性檢定及空間相依性檢定，以選擇最適合該空間分布資料之模型。

(2) 氣候變遷下臺灣地區登革熱流行及風險評估

整合全台各鄉鎮平均氣象條件、登革熱累積發生率、人口密度等環境資料，利用空間分析發現人口密度與平均溫度是影響登革熱流行區域重要之影響因子，研究發現隨著人口密度增長及全島溫度暖化，登革熱流行區域預期會有擴大北移之趨勢（圖 4.5）。為了進一步推估未來氣候變遷情境對於臺灣地區登革熱流行風險分布之影響，相關研究納入以 IPCC AR4 為基礎推估之近未來（2020~2039 年）臺灣各區域溫度數據，此方式能更深入的將各區增溫幅度差異也評估進去。本研究目前呈現之登革熱風險地圖為利用 IPCC AR4 為基礎推估之近未來臺灣各區域溫度數據，並整合 NCDR 依據臺灣未來人口成長分布分析而推估之 2020 年人口數據（李等，2011），並使用吳等人 2009 年前期研究所使用的 1998-2002 年之登革熱相關資料及相關性模式進行推估。登革熱流行風險地圖的推估結果，在 24 個模式中，除了模式 giss_aom、iap_fgoals1_0_g 以及 ukmo_hadcm3 之結果不同以外，其餘模式風險值推估結果皆相同，因此將 24 個推估模式之平均數據、giss_aom 模式、iap_fgoals1_0_g 模式以及 ukmo_hadcm3 模式獨立出來比較（圖 4.6），整體之模式與其推估之登革熱風險圖則詳列於附錄。而各模式推估之各鄉鎮登革熱風險人口之變化則整理於表 4.6，本研究將登革熱流行將風險等級分為低、中、高三級，推估出屬於各等級的鄉鎮數即會受到影響的人口數，同時也將前期研究的結果（Wu et al., 2009）列在同一表格中以比較未來在不同氣候變遷情境下臺灣登革熱流行風險分布可能的變化趨勢。

IPCC AR4 在 A1B 情境下 24 個模式間推估的登革熱風險數據大部分沒有很大的差異，平均低風險鄉鎮數為 14 個（最少 9 個，最多 15 個），中等風險鄉鎮數平均為 176 個（最少 175 個，最多 177 個），有可能演變為高風險區域的鄉鎮數平均則為 168 個（最少 166 個，最多 174 個）。而可能受影響的人口數在高風險部份平均約為 17,807,044 人，可能影響範圍約為 17,778,503 人至 17,856,751 之間。（表 4.6）研究也發現，近未來高風險鄉鎮數比起過去增加了 3.5 倍（由 48 個鄉鎮增加為 168 個），處於傳染高風險下的人口數更是增加了將近 5 倍（由 3,966,173 人增加至 17,807,044 人），由此可見未來氣候變遷對臺灣登革熱流行傳播的問題不容小覷。

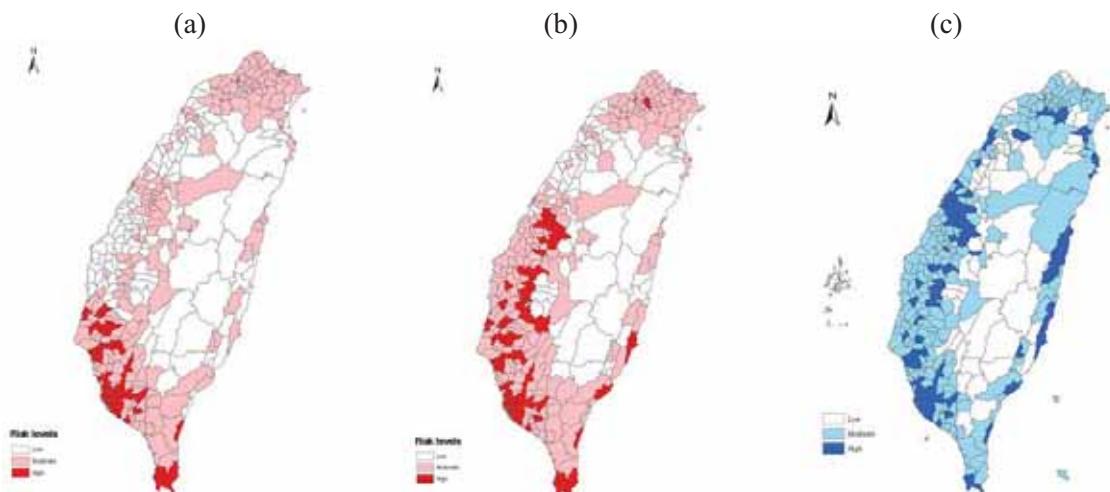


圖 4.5 溫度變化與登革熱潛在流行危險地區關係示意圖。(a) 使用 1998 至 2002 人口密度及溫度資料。(b) 全年每月平均溫度增加 1°C (c) IPCC A2 情景下，每月平均溫度增加約 2°C (Wu et al., 2009)

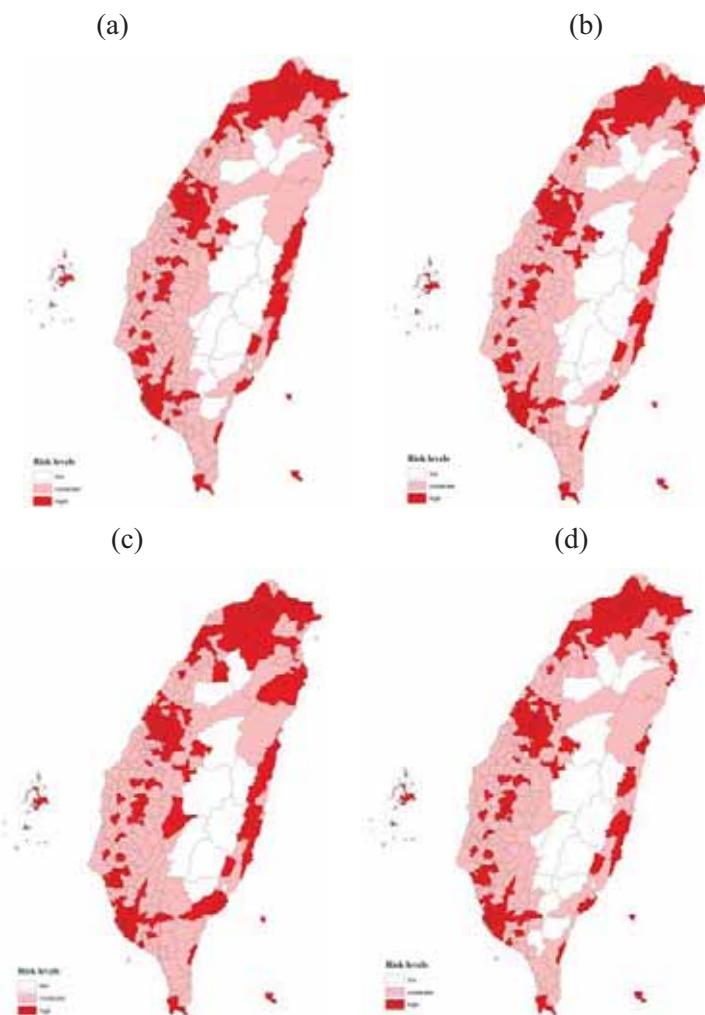


圖 4.6 IPCC AR4 在 A1B 情境下全台登革熱危險區域分布。(a) 24 個推估模式之平均數據；(b) giss_aom 模式；(c) iap_fgoals1_0_g 模式；(d) ukmo_hadcm3 模式。

表 4.6 不同 IPCC AR4，A1B 情境下各鄉鎮登革熱風險人口之變化

| 情境 | 風險等級 | | | |
|---|------|-----------|------------|------------|
| | 低 | 中 | 高 | |
| 1998 至 2002 人口密度及溫度資料 ^a | 鄉鎮數 | 120 | 190 | 48 |
| | 人口數 | 3,356,593 | 14,877,924 | 3,966,173 |
| 全台各區域每月平均氣溫上升 1 °C ^a | 鄉鎮數 | 69 | 203 | 86 |
| | 人口數 | 1,662,066 | 12,790,356 | 7,748,267 |
| IPCC AR4，A1B 情境下近未來 (2020-2039 年)^{bc} | | | | |
| 24 個推估模式之平均 | 鄉鎮數 | 14 | 176 | 168 |
| | 人口數 | 189,004 | 4,760,654 | 17,807,044 |
| k01、k02、k03、k04、k05、k06、k07、k08、k10、k11、k13、k14、k15、k16、k17、k18、k20、k21、k22、k23、k24 | 鄉鎮數 | 14 | 176 | 168 |
| | 人口數 | 189,004 | 4,760,654 | 17,807,044 |
| k09 | 鄉鎮數 | 14 | 177 | 167 |
| | 人口數 | 189,004 | 4,772,267 | 17,795,431 |
| K12 | 鄉鎮數 | 9 | 175 | 174 |
| | 人口數 | 84,958 | 4,814,993 | 17,856,751 |
| K19 | 鄉鎮數 | 15 | 177 | 166 |
| | 人口數 | 196,040 | 4,782,159 | 17,778,503 |

(註)

- a. (Wu et al., 2009)
- b. k01=bccr_bcm2_0、k02=cccma_cgcm3_1、k03=cccma_cgcm3_1_t63、k04=cnrm_cm3、k05= siro_mk3_0、k06=csiro_mk3_5、k07=gfdl_cm2_0、k08=gfdl_cm2_1、k09=giss_aom、k10=giss_model_e_h、k11=giss_model_e_r、k12= iap_fgoals1_0_g、k13= ingv_echam4、k14= miroc3_2_hires、k15= miroc3_2_medres、k16= miub_echo_g、k17= mpi_echam5、k18= mri_cgcm2_3_2a、k19= ukmo_hadcm3、k20= ukmo_hadgem1、k21= ipsl_cm4、k22= inmcm3_0、k23= ncar_ccsm3_0、k24= ncar_pcm1。
- c. 2020 年人口推估數據 (NCDR 提供)

整體而言，將圖 4.6 臺灣各區域推估溫度數據之結果與前期假設全台各區域每月平均氣溫皆上升 1 °C 的結果 (圖 4.5b) 比較可以發現，登革熱流行區域皆會有擴大且北移的趨勢，但以 AR4 為基礎推估之結果 (圖 4.6a) 其近未來的登革熱高風險區域將會比各區域每月均溫皆上升 1 °C 的結果增加約 2 倍 (由 86 個鄉鎮增加為 168 個) (表 4.6)。從鄉鎮區來看，登革熱流行風險區除了原本的南部及北部地區外，中部及東部區域風險也會提高，而未來可能增加的高風險鄉鎮則主要集中於中北部以及北部地區，而東部主要縣市的風險也會提升。

(3) 公衛領域重要結論

動物性傳染病的傳染周期自然存在於動物族群中，當人類侵犯到這個生態圈或環境遭逢破

壞與瓦解時，疾病則會伺機傳播到人類身上。在一些海島國家，隨著氣溫及雨量的改變，一些病媒會擴展牠們的生活區域而擴大某些疾病的傳播範圍。舉例來說，瘧疾以前大致局限在西、中太平洋地區，目前則已向東擴展，甚至遠至斐濟都可發現其蹤跡。值得注意的是，許多海島的高地目前幾乎尚未有足以傳播瘧疾、登革熱及其他熱帶疾病的病媒（如埃及斑蚊）存在，但如果全球氣候持續暖化，則極可能會變成適合病媒繁殖的場所。

臺灣地理位置橫跨亞熱帶和熱帶兩個地區，因此溫度和濕度常年較高，原本就相對適合蚊蟲病媒及病毒的增生。周等人發現臺灣全島氣溫上升幅度超過過去 100 年且與全球變暖的現象是一致的，而且夏季增溫的速度較冬季快，在城市、山區及農村地區也都有觀察到相同的趨勢。我們的研究證實，溫度變化是決定臺灣登革熱傳染的重要因子，若鄉鎮每年之中有 11 個月以上月均溫 $\geq 18^{\circ}\text{C}$ 即擁有維持登革熱傳染途徑的潛力，研究中使用的登革熱感染風險評估模式在登革熱疫區確實也表現出較大的風險值，表示此模式能夠作為登革熱感染風險推估上的參考。假定全區域年平均溫度上升 1°C 的情況下，臺灣登革熱傳染疫區很可能由 55 個鄉鎮擴張至 103 個鄉鎮，處於感染風險下的人口也會 1.96 倍。若在 IPCC AR4 的 A1B 情境下，處於傳染高風險下的人口數更可能比現況增加將近 5 倍。由研究所推估出的登革熱風險地圖可以發現，未來無論是具有傳染風險的區域或是可能受影響的民眾數，都呈現大幅增加的趨勢，由此顯示，各級衛生及環境單位應盡快對於未來面臨的暖化天氣即早提出整合之方案。

各國對於登革熱流行之衝擊也提出了相關的因應措施，不丹及加拿大透過定期的病媒控制計畫和建立緊急醫療服務系統來加強防治 (National Environment Comission et al., 2006 ; Riedel, 2004)。印度、葡萄牙及西班牙皆由疾病監視系統、病媒控制措施以及公眾教育著手 (Casimiro and Calheiros, 2002 ; Ministry of Environment and Forest and Government of India, 2004 ; Moreno, 2005 ; Casimiro et al., 2006)，而這些調適策略的擬定都需要詳盡的評估以及研究做為基礎。在臺灣地區相關的資訊與其他面向的健康衝擊研究仍持續投入探討中，未來配合區域性氣候模式推估及衝擊情境預測，進一步能提供臺灣地區健康調適策略更好的參考依據。

4.2 極端颱風豪雨事件之全流域防災衝擊評估整合方法建立

全流域防災模擬分由坡地、海岸以及河道三部分模式模擬組成，分述如後，並以曾文溪流域為年度示範區。由於河道與都會區二維淹水模擬係承接坡地災害對水庫淤積之影響，並以海岸暴潮河口水位歷線為下游模擬邊界，為全流域防災模擬之整合，因而最後陳述。

4.2.1 上游土砂災害之土砂量推估及模式資料串接（詳見附錄 3.4）

本研究考量了崩塌以及土石流兩種災害類別。情境設定在極端降雨事件下，集水區上游發生崩塌，部分崩塌引致土石流發生，其餘部分崩塌土砂留滯於坡面上及進入主河道。透過不同數值模擬分別模擬崩塌以及土石流災害，除了評估土石流影響範圍之外，推估進入主河道及流至下游之土砂量。前者境況模擬可了解在未來極端氣候條件下，土石流發生時可能造成的影響

範圍，因此依據土砂災害發生時，在坡地之堆積狀況有不同的調適策略；後者則推估在坡地災害發生之後，進入主河道的土砂量，以了解土砂在經過運移之後，對於下游區域和水庫之影響程度。

坡地災害研究範圍主要是曾文溪上游集水區，曾文溪主流發源於嘉義縣阿里山鄉的東水山，主要河川長度約為 56.2 公里，流經嘉義縣與臺南縣交界間後進入曾文水庫，主支流總長度約 213 公里。其上游集水區是為曾文水庫集水區，上游重要支流約有 31 條，其中水土保持局在該區域共劃定 17 條土石流潛勢溪流（如圖 4.7）。

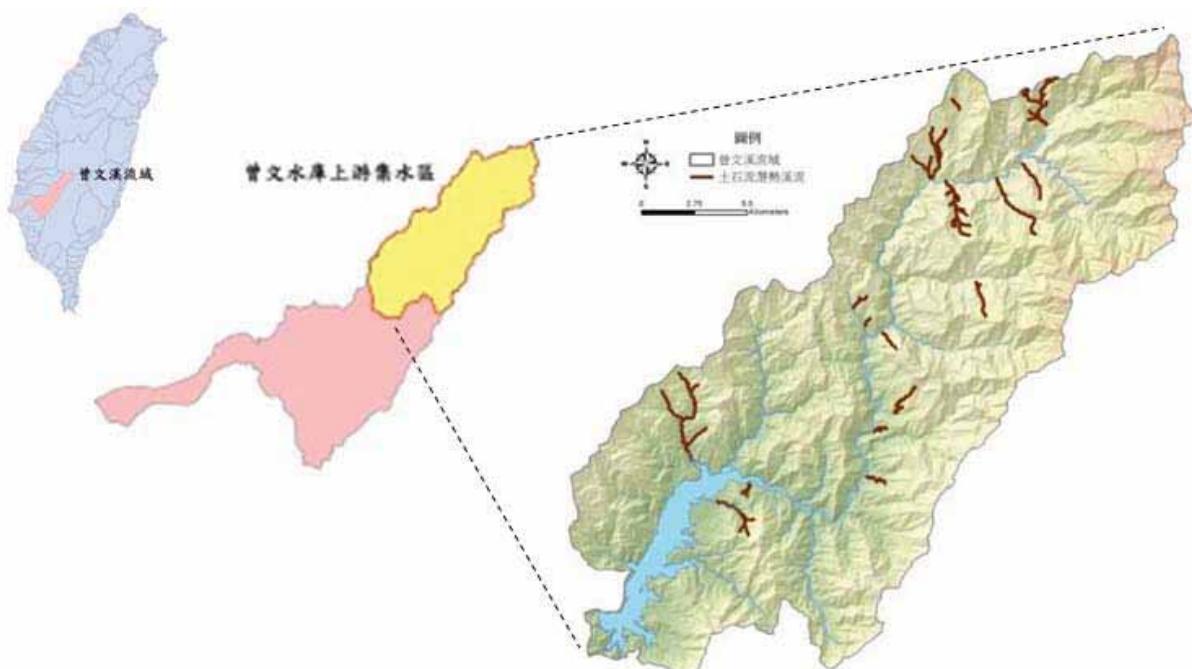


圖 4.7 進行境況模擬之曾文溪上游區域及 17 條土石流潛勢溪流

(1) 坡地領域研究方法

研究方法如圖 4.8 所示，首先是崩塌的數值模擬來判斷崩塌發生的地區以及推估崩塌量，由 TRIGRS 模式進行。透過 TRIGRS 模擬降雨前後，研究地區坡面的安全係數變化情況。一般而言，坡面上土砂發生崩塌之後，將有數種形式移動，在此研究中設定移動形式包括土石流、運移至主河道、以及滯留於坡面等。在土砂運移至主河道部分，經由安全係數設定數值以估算崩塌發生區域及崩塌量。由於崩塌土砂從坡面上並非全數運移至主河道內，為簡化計算過程，因此透過文獻了解各流域的泥沙遞移率，以進一步推估進入主河道的崩塌量。土石流模擬部分，為了解引發土石流發生範圍，透過不同時期航照圖，經由圖面上地表特徵進行判釋區域劃分，判釋區域內崩塌量則將全數轉為計算土石流流量。土石流模擬由 Flo-2D 數值程式進行，針對上游 17 條潛勢溪流，模擬其淹沒範圍、深度、以及速度。土石流淹沒範圍部分土砂將流入主河道經由輸砂最後進入水庫。因此透過河川輸砂之計算，推估進入主河道以及進入水庫土方量。



圖 4.8 土砂災害資料串接研究流程圖

(2) TRIGRS邊坡崩坍潛勢之數值模擬

本研究參考中央地質調查所的易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置計畫中的資料，進行參數校驗與建立。參數建立主要包括凝聚力、內摩擦角、土壤單位重、水力傳導係數、水力擴散係數等，並且建立坡度、土地利用、土壤深度、降雨分布圖等資料。首先，本研究在進行特定降雨事件模擬前，須先對數值高程模型 (40m)、地質水文參數進行第一步校正，以確保模式能正確反應出在無降雨情況及超大豪雨情況下的安全係數變化。另外，土壤深度部分，乃參考國家災害防救科技中心 (2012) 由坡度換算覆土厚度而得；地下水位深度乃假設初始深度與土壤深度相同 (吳佳郡，2006、陳則佑，2011、國家災害防救科技中心，2012)。

在降雨資料部分，本研究採用臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫 (TCCIP) 所產製之動力降尺度資料推估世紀末 Top1 降雨事件再經過偏差校正後之降雨資料。在資料處理上，選用該資料產製研究試區鄰近的 81 個點位，將該場降雨事件期間之時雨量資料進行克利金法 (Kriging) 內插後，利用地理資訊系統 ArcGIS9.3 軟體進行切割出降雨強度分布，再轉換成 ASCII 檔，即可得到本研究所需的雨量參數，以匯入模式進行運算。圖 4.9 為該場降雨事件累積降雨分布圖。模式可輸入逐時降雨量，以了解安全係數於各小時降雨後下降的情形。

由於曾文水庫上游的流域地質分布狀況複雜，想要更為周全地考慮到全區域的地質水文參數分布，依整體流域地質分布可區分為 12 類。參考中央地質調查所的易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置計畫中所提供之資料，曾文溪流域各地質所對應的地質水文參數值再進行參數

校驗。圖 4.10 模擬結果顯示，小於初始最小安全係數值的紅色區域數量，直至模擬時間第 18 小時之後才開始有明顯增加，第 36 小時之後開始有減緩之趨勢，此現象也反應出降雨強度的減緩，也會影響最小安全係數值變化。

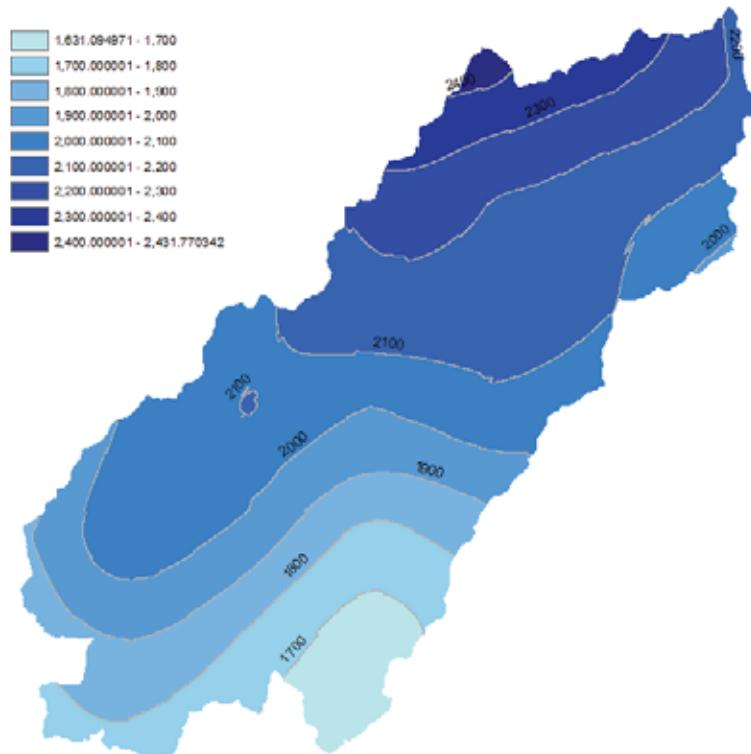


圖 4.9 降雨 48 小時累積雨量分布圖

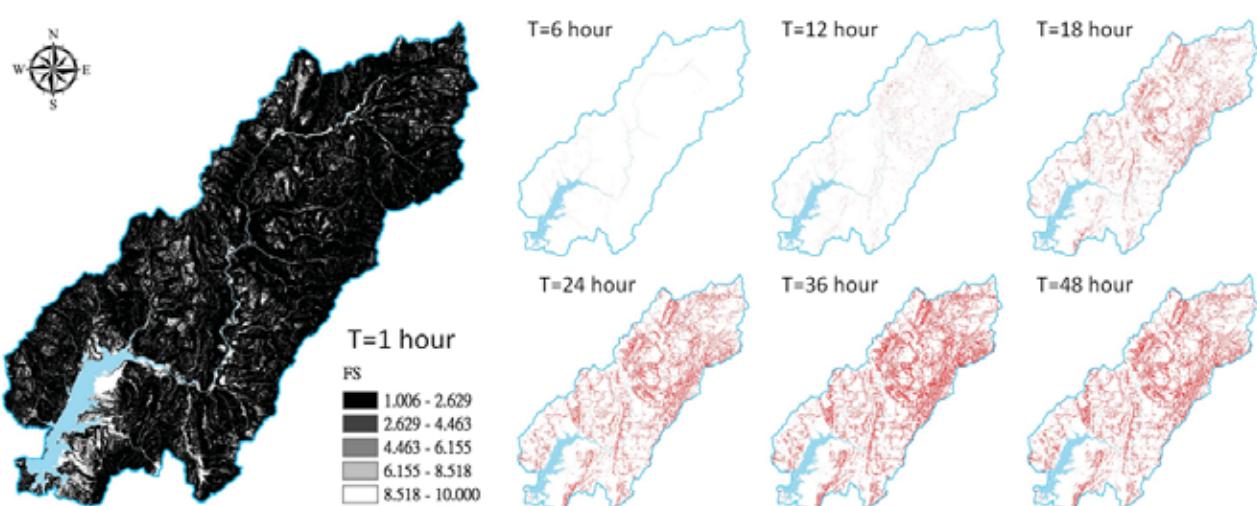


圖 4.10 初始模擬結果與各小時最小安全係數變化情形 (多地質分區)

與莫拉克颱風後崩塌地圖層（圖 4.11）進行套疊後，目前初步模擬的結果顯示，曾文水庫上游集水區的不穩定邊坡皆好發於坡度 30 度到 50 度之間，並且表層覆土較厚的邊坡處，認為此現象乃由於坡度過緩的邊坡，造成促動崩塌的驅動力較弱；而坡度過陡的邊坡，不穩定的土壤早已崩落，缺乏崩塌材料，因此，模擬結果對於坡度較極端地方顯示為穩定邊坡。下一階段將持續嘗試模擬多種地質分區，以期找到該試區所對應最合適的參數分區類型及參數組合，並以崩塌土砂量區分為滯留於坡面，以及進入主河道來考量土砂運移狀況作進一步分析。



圖 4.11 莫拉克於曾文水庫上游崩塌圖層

(3) FLO-2D 土石流之數值模擬

Flo-2D 是由 O'Brien 和 Julian 所發表之二維洪水災害模擬程式，主要用於模擬都市淹水、洪泛地淹沒狀況等情境模擬。由於該模式加入了流變方程式，可探討高含沙水流、土石流等淹沒堆積狀況，因此也可用於模擬土石流的堆積情形。在進行土石流的模擬時，同樣是以雨量為土石流災害的觸發因子。透過各潛勢溪流所在地之子集水區地文資料，蒐集和決定輸入參數值、以及建立地文資料。土石流模擬的參數設定包括土石流體積濃度、土石顆粒比重、層流阻滯係數、賓漢降伏應力和賓漢黏滯係數等。本區域的參數設定是參照相關土石流模擬及曾文溪上游之實驗結果，以水土保持局所劃分的子集水區為單位進行設定（表 4.7）。

另外，雨量的輸入資料是經由重現期換算後輸入，由於境況模擬條件假設土石流發生一小時下之淹沒狀況，因此考量 72 小時極端事件的累積降雨量後，配合各潛勢溪流的子集水區地文資料，換算出極端事件的重現期、清水流以及土石流流量等。由於每個潛勢溪流所接近的雨量站不同，因此雖然是同一個事件，但其重現期不同其分析之流量差異也非常的大（表 4.8）。

表 4.7 潛勢溪流設定參數表

| 土石流體積濃度 | 土石顆粒比重 | 層流阻滯係數 | 賓漢降伏應力 | | 賓漢黏滯係數 | |
|---------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| | | | 常數 | 次方 | 常數 | 次方 |
| 0.5 | 2.65 | 1000 | 8.123 | 0.868 | 1.303 | 0.048 |

表 4.8 17 條潛勢溪流土石流模擬情境資料設定

| 潛勢溪流編號 | 事件重現期 (年) | 集流時間 (hr) | 土石流流量 (cms) |
|----------|-----------|-----------|-------------|
| 嘉義 DF038 | 84.746 | 1.129 | 4188.577 |
| 嘉義 DF044 | 63.291 | 1.008 | 1239.553 |
| 嘉義 DF045 | 45.662 | 0.564 | 715.713 |
| 嘉義 DF046 | 65.789 | 0.846 | 648.806 |
| 嘉義 DF054 | 84.746 | 0.644 | 1051.955 |
| 嘉義 DF056 | 63.291 | 0.842 | 646.844 |
| 嘉義 DF057 | 129.87 | 0.503 | 208.56 |
| 嘉義 DF058 | 45.662 | 0.768 | 3704.293 |
| 嘉義 DF062 | 93.458 | 1.414 | 503.897 |
| 嘉義 DF071 | 120.482 | 0.362 | 226.638 |
| 嘉義 DF074 | 83.33 | 0.511 | 164.639 |
| 嘉義 DF075 | 63.291 | 0.645 | 1323.16 |
| 嘉義 DF076 | 169.492 | 0.516 | 361.886 |
| 嘉義 DF077 | 129.87 | 0.375 | 208.521 |
| 嘉義 DF078 | 129.87 | 0.61 | 600.925 |
| 嘉義 DF079 | 93.458 | 0.531 | 262.983 |
| 嘉義 DF080 | 66.225 | 0.445 | 1249.222 |

圖 4.13 進行模擬的 17 條潛勢溪流，均位於曾文水庫上游區域，其分布位置僅有兩條直接匯入曾文水庫、另有一條不與主河道交匯（嘉義 DF074），其餘的 14 條則皆位於主河道旁，因此推估當發生土石流時，土砂會直接進入主河道中發生運移，由於該河川直接匯入至曾文水庫，可依此判斷土砂量達一定程度時，會對曾文水庫造成影響。在本部分當中，除了辨別土石流發生後影響範圍之外，土砂量的推估也是另一項重要的工作。從圖 4.13 可見潛勢溪流的堆積狀況，其中大部分潛勢溪流較不易在下游形成堆積扇，土砂從上游流下後，幾乎直接進入河道形成堆積或繼續往下游移動；部分靠近曾文水庫的潛勢溪流則在聚落聚集之處形成堆積扇，則初判會對聚落造成影響。另依據堆積不同深度劃分四級進行區分，紅色為堆積最深區域，堆積深度超過 3 公尺、橙色為 1.5-3 公尺、黃色為 0.5-1.5 公尺，而綠色為小於 0.5 公尺，是為堆積最不嚴重區域。

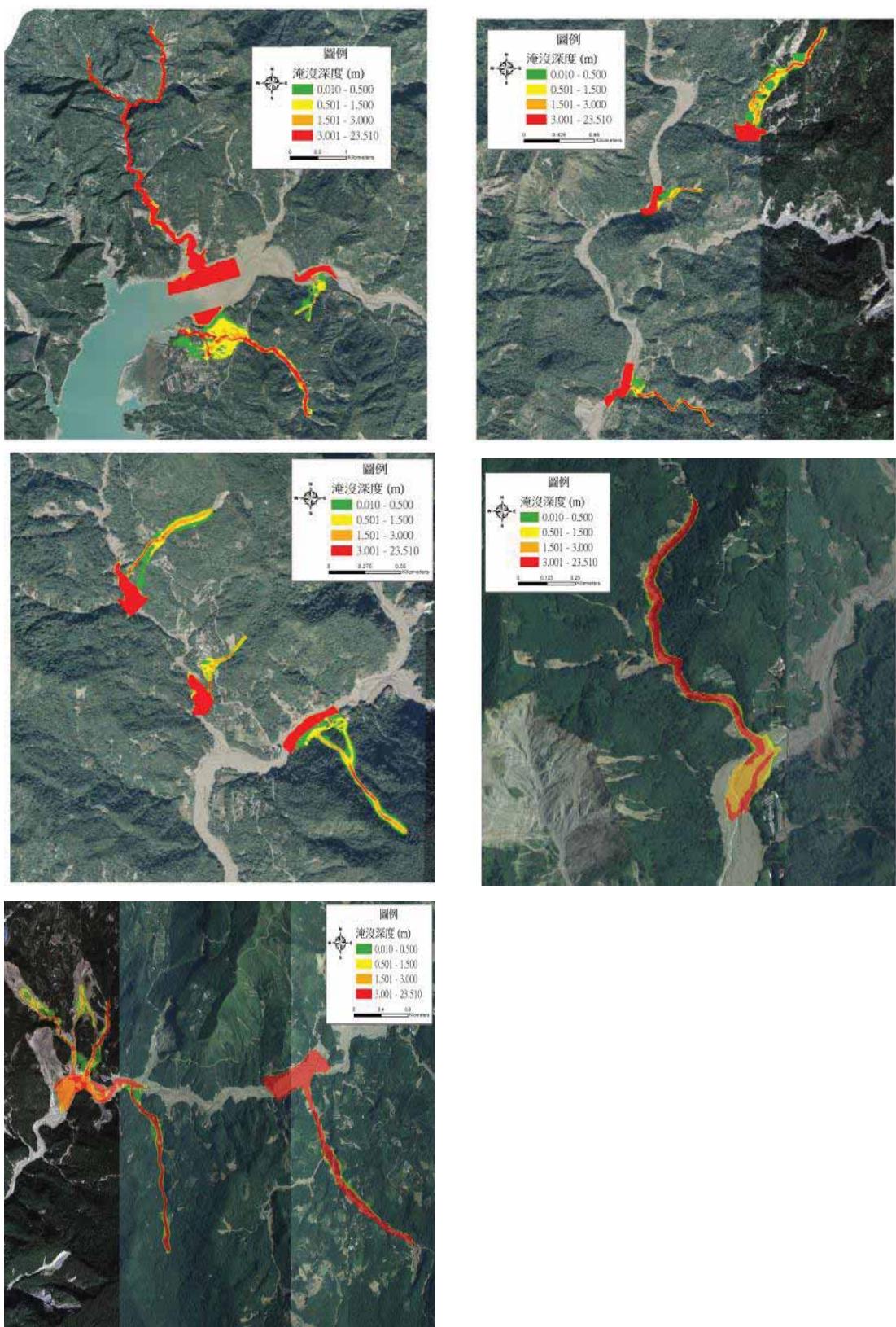


圖 4.13 土石流潛勢溪流境況模擬結果

(4) 入庫土砂量之推估

針對土石流進入河道之土砂量，以主河道向外延展 5 公尺的範圍作為判別土石流產製土砂是否進入主河道之標準，其中嘉縣 DF074 以及嘉縣 DF078 因未直接與主河道交匯，因此此兩條潛勢溪流產製土砂量納入崩塌部分計算，其他進入主河道土砂量如表 4.9 所示。在進行潛勢溪流進入主河道後，泥沙運移之計算，參考中央地質調查所針對曾文溪上游所作之土砂堆積搬運潛勢，以判斷每一個子集水區對於土砂生產是侵蝕或堆積的傾向，並且假設該土砂在進行運移時會造成侵蝕或堆積。在侵蝕的條件下，土砂經運移後量體將會增加；在堆積的條件下，土砂運移後量體會減少。每個子集水區之流入和流出口則統一計算一土砂進入和流出值。

另外，對於坡面因土壤沖蝕所造成的產砂量，則參考 2011 年豪雨事件之單位坡面的產砂量結果，並分段計算每個子集水區出口的土砂量。計算結果顯示，土石流所產生之土砂入庫量約為 14,037,000m³。

表 4.9 土石流模擬結果

| 潛勢溪流編號 | 土砂堆積量 (m ³) | 進入河道土砂量 (m ³) | 土砂進入主河道比 |
|--------|-------------------------|---------------------------|----------|
| DF038 | 8,372,377 | 5,928,106 | 0.708 |
| DF044 | 560,781 | 254,716 | 0.454 |
| DF045 | 2,844,760 | 843,599 | 0.297 |
| DF046 | 1,860,479 | 1,342,198 | 0.721 |
| DF054 | 422,420 | 190,753 | 0.452 |
| DF056 | 2,395,043 | 1,942,093 | 0.811 |
| DF057 | 642,860 | 257,782 | 0.401 |
| DF058 | 7,197,462 | 821,853 | 0.114 |
| DF062 | 754,674 | 411,048 | 0.545 |
| DF071 | 751,413 | 675,402 | 0.899 |
| DF074 | 581,278 | 0 | 0.000 |
| DF075 | 855,437 | 286,169 | 0.335 |
| DF076 | 1,037,969 | 331,689 | 0.320 |
| DF077 | 576,935 | 311,349 | 0.540 |
| DF078 | 1,736,240 | 0 | 0.000 |
| DF079 | 508,815 | 336,188 | 0.661 |
| DF080 | 444,600 | 104,471 | 0.235 |
| 總計 | 31,543,543 | 14,037,416 | 0.441 |

4.2.2 海岸暴潮與溢淹模擬 (詳見附錄 3.5)

海岸水理模擬使用三維不規則網格模式FVCOM (Finite Volume Coastal Ocean Model, Chen et al., 2004, 2006) 計算天文潮以及由颱風低氣壓與強風所引起之暴潮與暴潮造成的海岸溢淹。模式使用不規則網格在水平方向離散，不規則網格可以擬合複雜的海岸線邊界，並且可以在物理變動量大的區域細化網格，提高空間解析度。此外，模式使用修改後之Mellor and Yamada (1982) level 2.5以及Smagorinsky (1963) 紊流閉合方法處理垂直與水平方向的混合問題。而乾、溼網格的處理能力，更使得模式可模擬海岸暴潮淹水問題。模式已被廣泛海岸暴潮及海岸淹水模擬 (Weisberg and Zheng, 2006a, 2006b, 2008; Aoki and Isobe, 2007; Rego and Li, 2009a, 2009b)。

本研究所產製之未來暴潮位資料，將提供後述之河道水位演算與都市淹水模擬作為下游邊界條件。

(1) 模式校驗與模擬氣候變遷對海岸暴潮溢淹之影響

本研究以涵蓋全台海域之大範圍模式計算颱風引起之暴潮位，再將模擬之潮位做為小範圍(曾文溪外海)模式之外海邊界水位。由於模擬區域(曾文溪流域)位於臺灣西南海岸，因此，對於暴潮模擬而言7號路徑之颱風應可產生較高之暴潮偏差量與海岸淹水範圍。模式以將軍潮位站時測水位為校驗依據，校驗結果如圖4.10所示，模擬與觀測水位甚為吻合，絕對平均誤差(AME)為0.12公尺，均方根誤差為0.14公尺。本研究所使用之模式經過校驗後，應用動力降尺度颱風事件進行海岸暴潮溢淹模擬，於基期(1979-2003)、近未來(2015-2039)以及世紀末(2075-2099)各挑選一場7號之颱風事件進行模擬，三場颱風事件路徑及海岸溢淹分布如圖4.11所示，模擬結果顯示世紀末颱風事件有最大溢淹面積，基期颱風事件次之，近未來颱風事件溢淹面積最小。氣候變遷下之海岸溢淹模擬結果取決於颱風路徑與強度，這與動力降尺度所模擬之颱風事件特性有關，因此，本研究結果無法代表近未來之溢淹情況會較基期輕微。

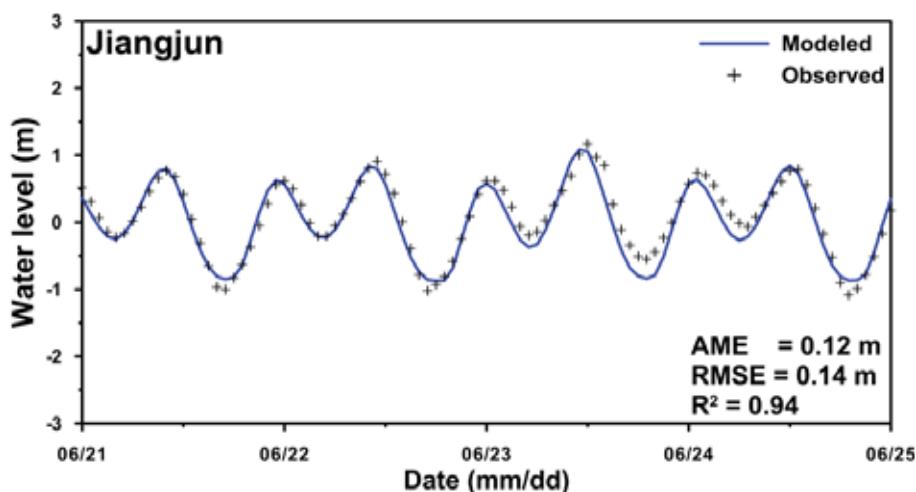
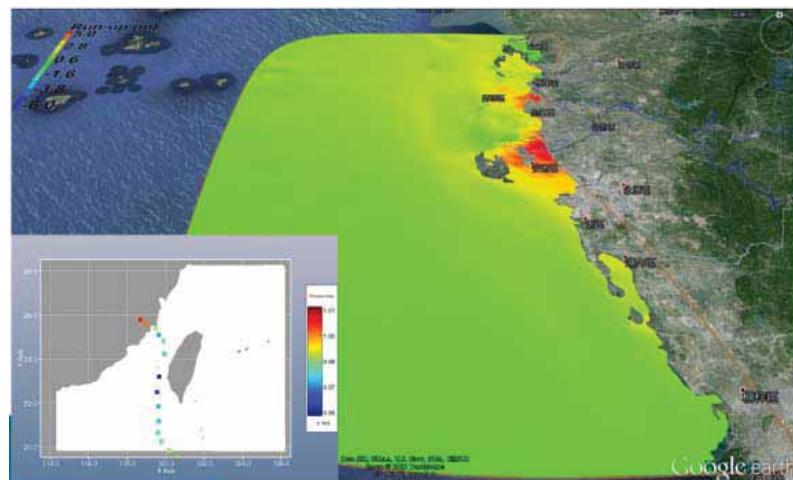
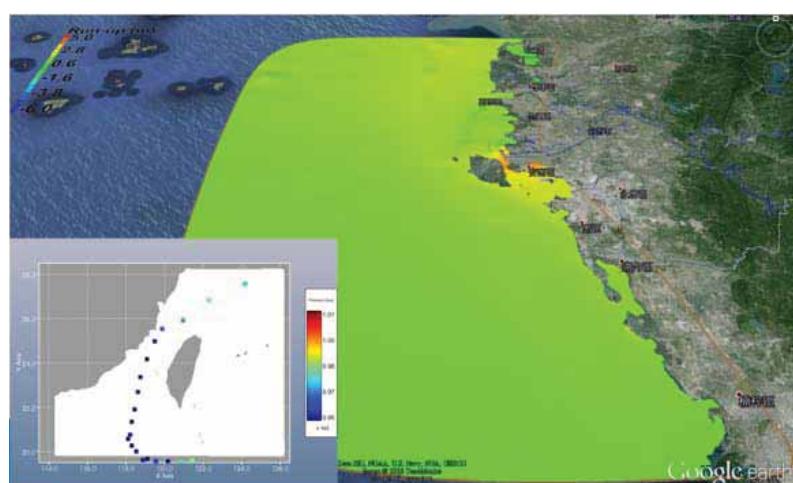


圖 4.10 模擬與觀測之將軍站時序潮位圖

基期



近未來



世紀末

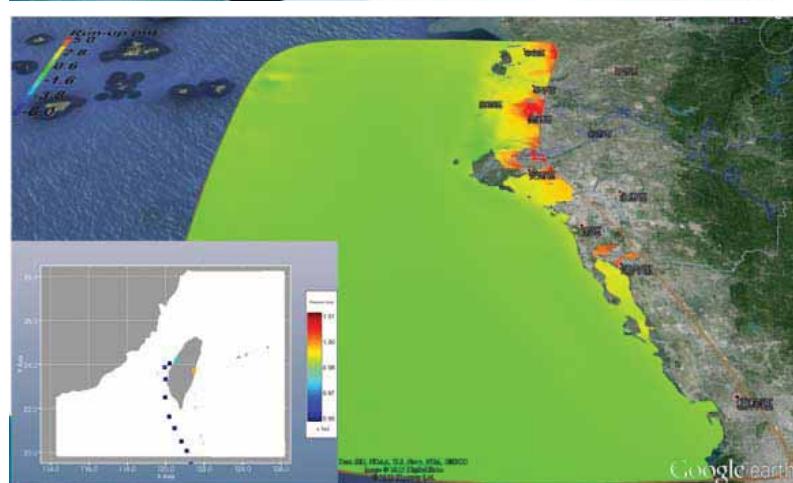


圖 4.11 動力降尺度颱風事件海岸暴潮溢淹模擬

(2) 海堤與颱風路徑偏移對海岸暴潮溢淹之影響

本研究為探討西南海堤對海岸暴潮溢淹之影響，因此，本研究以曾文溪南岸青草崙海堤最低高度 4.54 公尺為曾文溪流域海堤高度（因目前無法取得全國海堤高度資料），進行暴潮溢淹模擬，模擬結果顯示，上述三場颱風均無海水越堤狀況發生。本研究以模型颱風針對世紀末 7

號路徑颱風（圖 4.11 左圖）進行颱風中心路徑往西偏移 0.12 度（約 12 公里）模擬，圖 4.12 為模型颱風之風場與氣壓場分布。此目的在將颱風最大風速由陸地偏移到海上，強烈的風可使海水溯升越堤。圖 4.13 則為模擬之溢淹分布，結果顯示，同樣的颱風強度，可能因為路徑不同，使原來不會發生海水溢淹之颱風造成海岸溢淹，換言之，除颱風強度外，颱風路徑亦是造成海岸溢淹的重要因素。

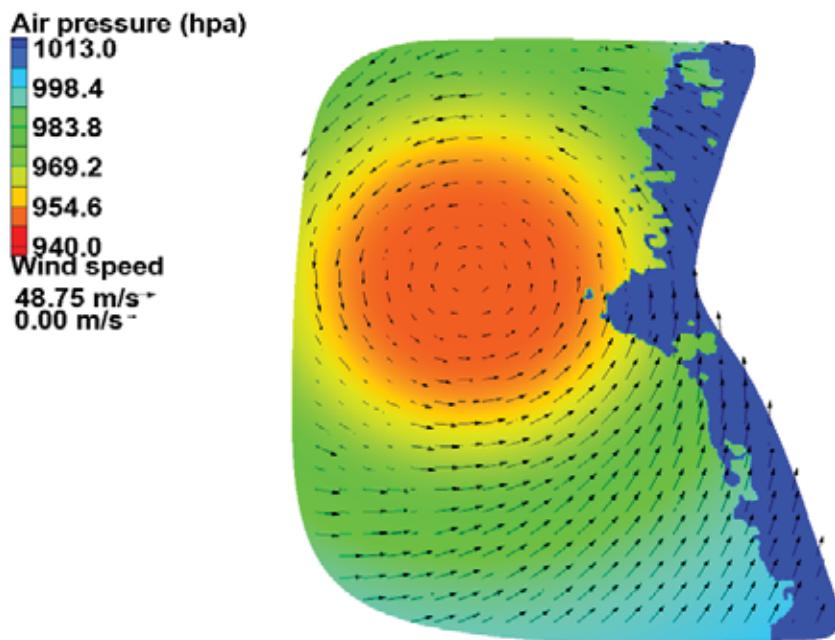


圖 4.12 以世紀末 7 號路徑颱風所模擬之模型颱風風場與氣壓場分布

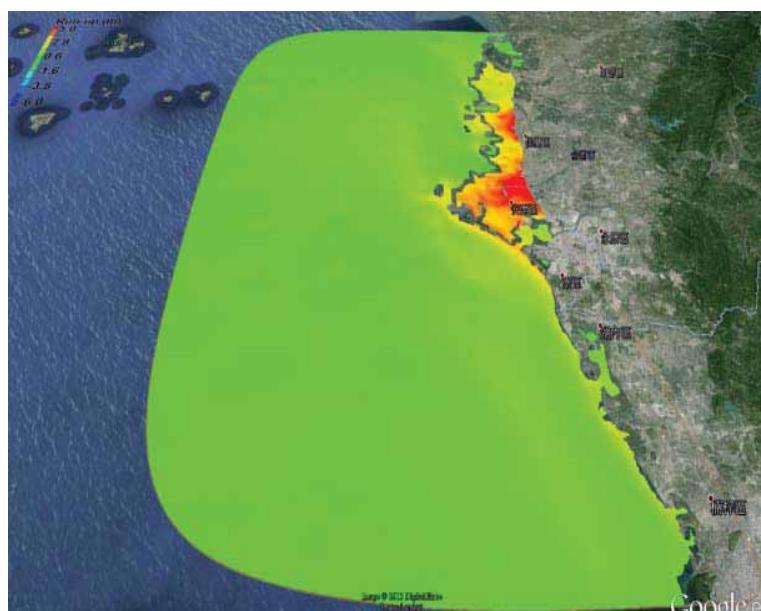


圖 4.13 有海堤以及颱風偏移情境下之暴潮溢淹分布

4.2.3 河道水位演算與都市淹水模擬(詳見附錄 3.6)

為了瞭解未來氣候情境所繁衍的資料應用於臺灣地區時可能造成的變化，首先收集曾文溪流域下游之研究區域地文、水文資料，建置完成 SOBEK 推估河道流量與都會低窪地區淹水模式。研究中使用的地文與水文資料包括河道斷面、水工建造物、未來氣候極端颱風雨量、土地利用及水位等資料建構降雨逕流、一維河道水理演算與二維漫地流淹水模式模擬。

河道斷面資料為來自水利署第六河川局與水利規劃試驗所相關計畫之民國 99 年大斷面測量資料，包含曾文溪主流、後堀溪、菜寮溪與官田溪等。目前進行未來氣候變遷下流量之模擬，河道斷面假設與目前條件相同。

研究區域中的水庫包含曾文水庫、南化水庫與烏山頭水庫等三座水庫，模式建置時係根據水庫相關運作進行設定，其中，於水庫部分包含蓄水面積、體積、集流面積，壩體部分包含溢洪道、閘門、電廠排放與緊急放流道等基本資料設定，並根據水庫操作規則進行相關排放功能設定。

為探討動力降尺度原始資料與偏差校正 (Bias Correction, BC) 後之動力降尺度雨量資料間差異。研究中分別挑選基期、近未來與世紀末三個時期前三場 (Top1-Top3) 極端颱風降雨事件進行模擬 (颱風事件挑選方法詳細介紹請參考「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫 (2/3)」報告書)，前 3 大極端颱風降雨事件 (Top1-Top3) 以曾文溪流域總雨量為挑選原則，其挑選案例如表 4.10 所示。由表 4.10 可得知，修正後世紀末 Top1 極端事件雨量與基期 Top1 雨量相近。

表 4.10 挑選世紀末前十大颱風降雨事件進行偏差修正

| 颱風事件 | 時間 | 修正前總降雨量 (mm) | 修正後總降雨量 (mm) | 總延時 (hr) | 時期 |
|-------|-----------------------------|--------------|--------------|----------|-----|
| Top1 | 1997/08/22/12~1997/08/27/12 | 870.13 | 1502.51 | 121 | 基期 |
| Top 2 | 1981/08/03/18~1981/08/07/12 | 477.87 | 948.84 | 91 | |
| Top 3 | 1992/08/30/00~1992/09/02/18 | 315.07 | 628.05 | 91 | |
| Top 1 | 2017/07/08/00~2017/07/11/18 | 502.63 | 892.98 | 91 | 近未來 |
| Top 2 | 2030/08/07/18~2030/08/10/06 | 430.27 | 713.2 | 60 | |
| Top 3 | 2037/07/25/06~2037/07/27/06 | 376.3 | 587.23 | 49 | |
| Top 1 | 2078/07/21/12~2078/07/23/12 | 846.06 | 1295.35 | 49 | 世紀末 |
| Top 2 | 2090/07/14/18~2090/07/17/12 | 738.24 | 1204.20 | 67 | |
| Top 3 | 2085/05/25/12~2085/05/27/06 | 551.08 | 792.6 | 43 | |

(1) 不同氣候資料流量之評估

為了探討動力降尺度原始資料與 BC 後之動力降尺度雨量資料所導致模擬流量間差異，本研究曾文溪流域之新中水位站為例，計算其基期、近未來與世紀末 Top1 分別修正前與修正後之新中水位站 (1) 模擬流量 (如圖 4.14)。由於修正前與修正後的雨型相同，因此流量變化也大致相同，只在流量值有改變。圖 4.15 為基期、近未來與遠未來 Top1 極端事件總流量 (144hr)。由圖 4.15 可得知，世紀末修正後的 Top1 (20751BCTop1) 與基期修正後的 Top1 (1979BCTop1) 總流量接近，世紀末修正後的 Top1 (20751BCTop1) 與近未來修正後的 Top1 (2015BCTop1) 總流量接近。由此可得知世紀末 Top1 極端事件流量與基期相近。

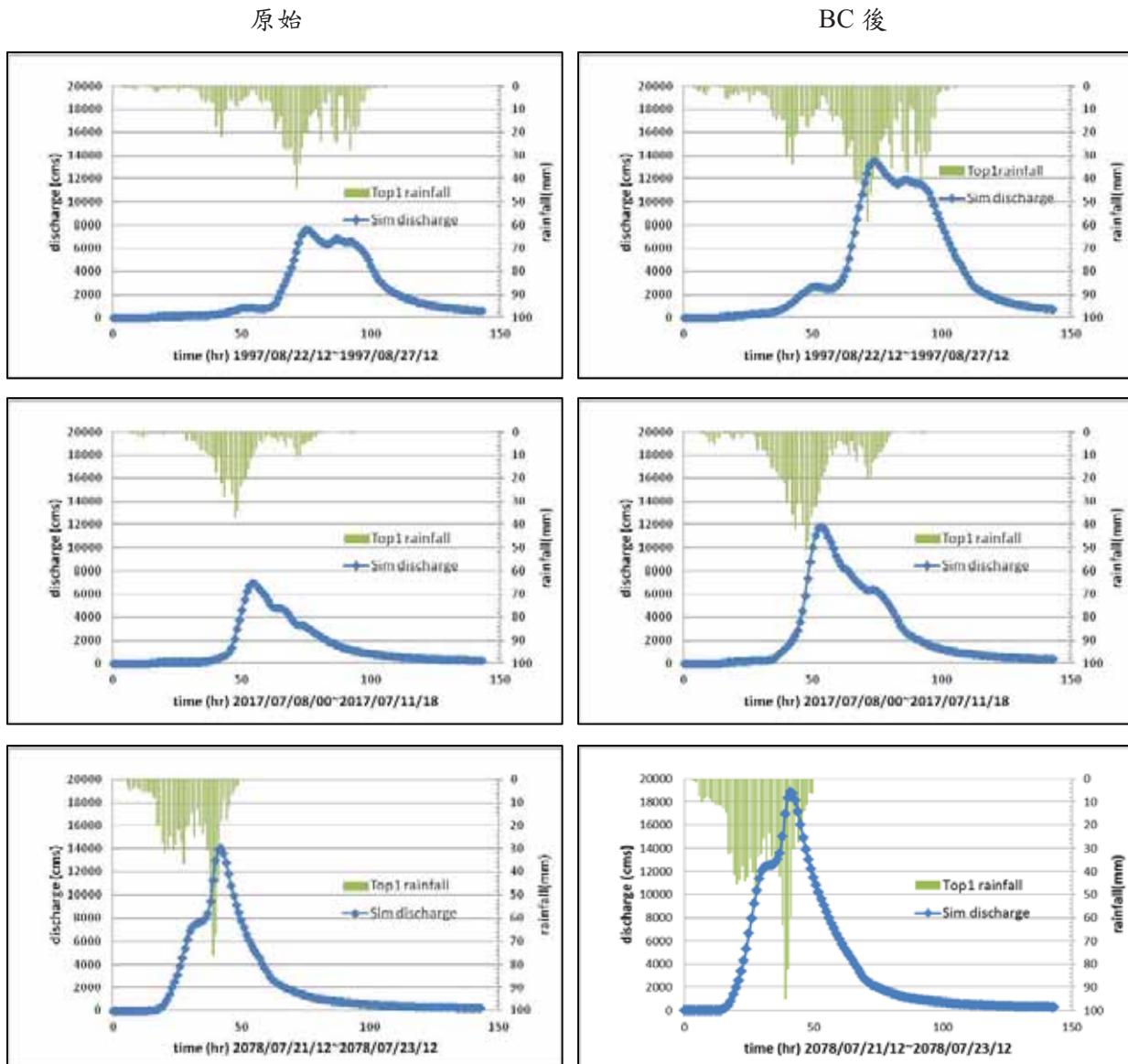


圖 4.14 基期、近未來與遠未來 Top1 極端事件流量模擬

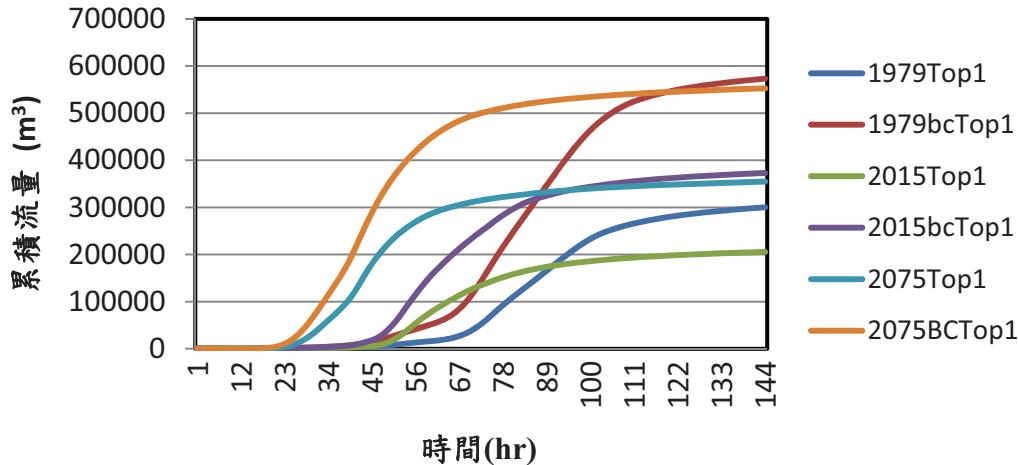


圖 4.15 基期、近未來與遠未來 Top1 極端事件總流量 (144hr)

表 4.11 為動力降尺度與修正後之動力降尺度資料 QP 之比較，表 4.12 為動力降尺度與 BC 後之動力降尺度資料總流量之比較。由表 2.3.2-5 與表 2.3.2-6 可觀察出修正前與修正後 QP 約 1.34 至 1.78 倍，總流量約 1.56 至 1.91 倍。世紀末修正前後的 QP 與總流量比值最低。

進一步與目前水利主管機關所公告之河川設計流量及現有堤防防洪能力進行比較，於新中(1)水位站 100 年計畫流量為 9,890cms。由表 4.12 可得知，修正後之動力降尺度雨量所模擬出來的尖峰流量不同時期的 1.2 至 1.9 之間。莫拉克颱風於新中(1)水位站歷史觀測尖峰流量則為 12,049cms，修正後近未來與世紀末 Top1 尖峰流量為 1.6 倍。

表 4.11 動力降尺度與修正後之動力降尺度資料 QP 之比較

| 時期 | 動力降尺度 | 修正後之動力降尺度 | 修正後之動力降尺度/動力降尺度 |
|------------------|----------|-----------|-----------------|
| 1979-2003 (Top1) | 7592.792 | 13531.38 | 1.78 |
| 2015-2039 (Top1) | 6916.617 | 11782.82 | 1.70 |
| 2075-2099 (Top1) | 14049.32 | 18891.62 | 1.34 |

表 4.12 動力降尺度與修正後之動力降尺度資料總流量之比較

| 時期 | 動力降尺度 | 修正後之動力降尺度 | 修正後之動力降尺度/動力降尺度 |
|------------------|----------|-----------|-----------------|
| 1979-2003 (Top1) | 300160.5 | 573236.0 | 1.91 |
| 2015-2039 (Top1) | 205398.3 | 373033.5 | 1.82 |
| 2075-2099 (Top1) | 354752.3 | 552700.7 | 1.56 |

(2) 未來最烈情境全流域災害模擬

為了瞭解未來氣候下單一最烈情境事件影響下，全流域可能面臨的最烈災害情境，本研究結合上游坡地災害之水庫入砂量與 FVCOM 模式所推估出的下游邊界最高潮位資料，進行 SOBEK 淹水模式演算。

進行 SOBEK 淹水模式演算時，由於上游山區因地勢高坡度陡，降雨產生之逕流量會快速流入中、下游平原地區，故使用降雨逕流模式計算上游山區逕流量。中、下游平原地區因地勢平坦，使用二維漫地流淹水模式模擬漫地流於地表流動所導致之淹水情形，架構如圖 4.16 所示。

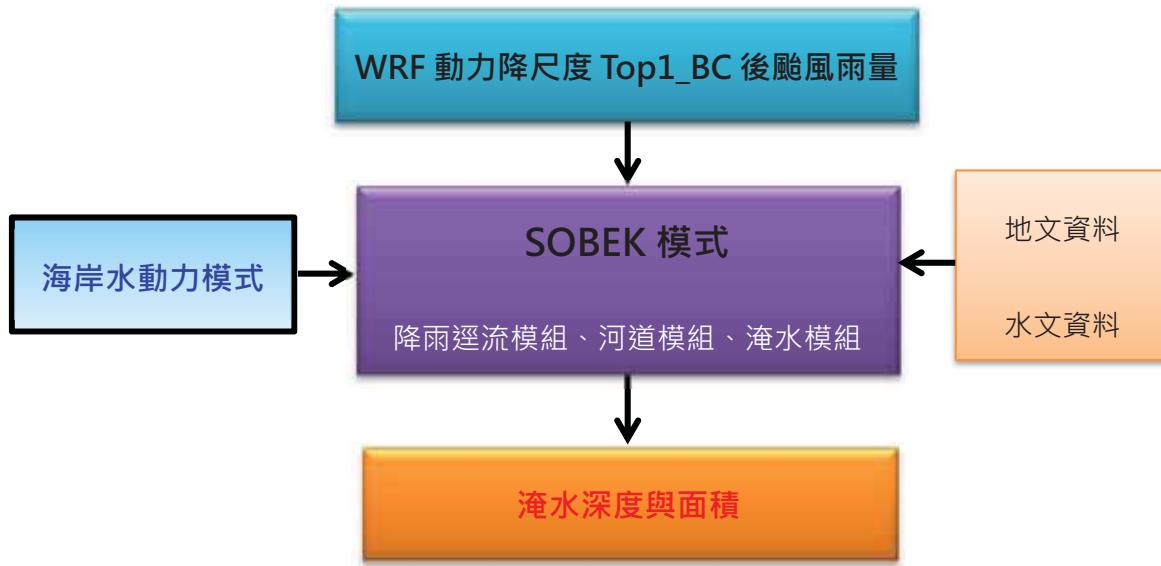


圖 4.16 模擬流程圖

為了探討單一最烈情境事件，因此由基期、近未來與世紀末颱風事件中，挑選曾文集水區總雨量最高的颱風事件，在這三時期中以世紀末期間 Top1 事件總雨量為最高，但由於「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫 (2/3)」報告書)，提出需進行修正，因此挑選出 Top1 事件雨量資料先進行修正。修正後 (Top1_BC) 之時雨量利用徐昇式所推求出平均降雨量，當 SOBEK 模式的輸入資料，如圖 4.17 所示。

下游邊界最高潮位資料為使用海岸水動力模式所推求出潮位資料且假設海平面上升為 140 公分，如圖 4.18 所示。

經由上述資料進行世紀末最烈情境下的颱風事件的淹水模擬，使用 SOBEK 模式模擬時受限於資料的取得在曾文溪流域中進行 1D 河道與 2D 淹水模擬，由於鹽水溪流域無河道斷面資料僅進行 2D 淹水模擬，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。

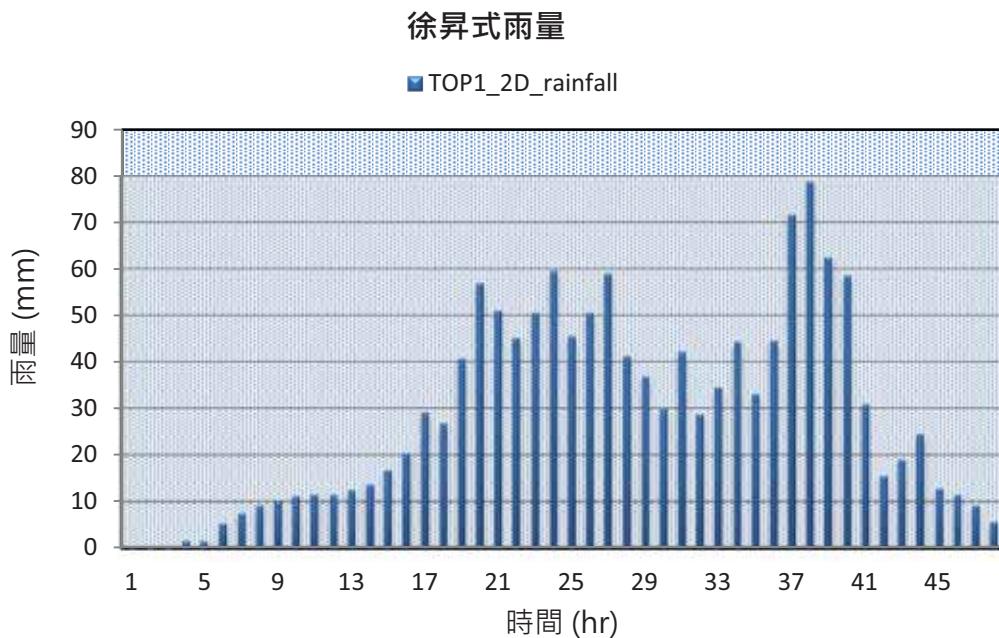


圖 4.17 世紀末最烈情境下颱風 (Top1_BC) 之平均降雨量

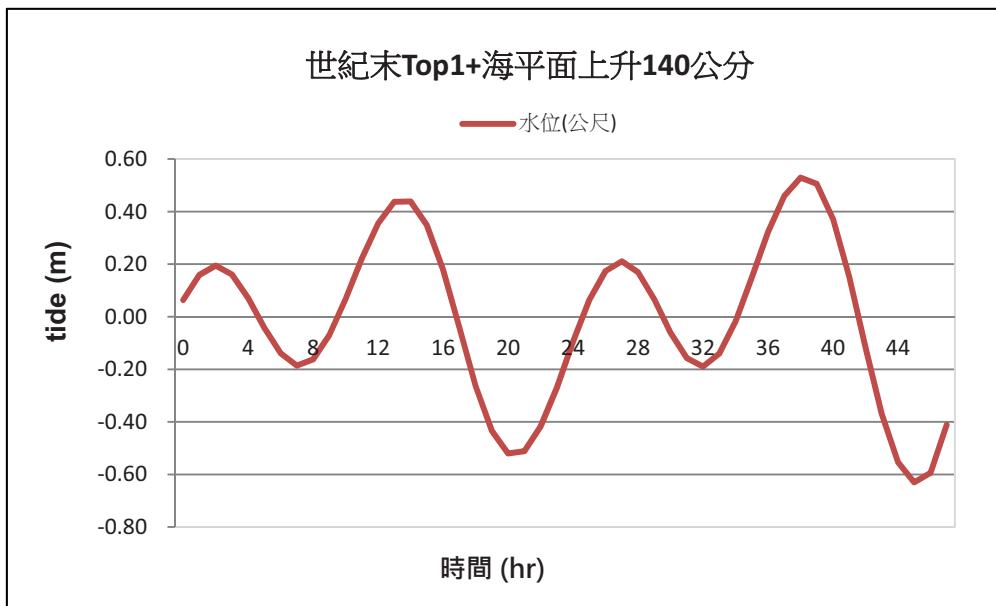


圖 4.18 最烈情境下潮位資料

經由世紀末 (2079 ~ 2099 年) 最烈情境下的颱風事件 (Top1_BC) 的淹水模擬結果 (圖 4.19)，可以觀察出曾文溪河道中遊河段有多處有溢堤風險如圖 4.19 標示紅色線段處所示。Top1_BC 事件模擬結果與莫拉克事件相近，淹水主因為溢堤與內水漫地流 (超過內水設計與承載標準)，受衝擊區域是包括中下游人口集中處。但該模擬結果並未加入區域排水與下水道設施，未來若有資料建議加入模式中，可使模擬結果更趨近真實。

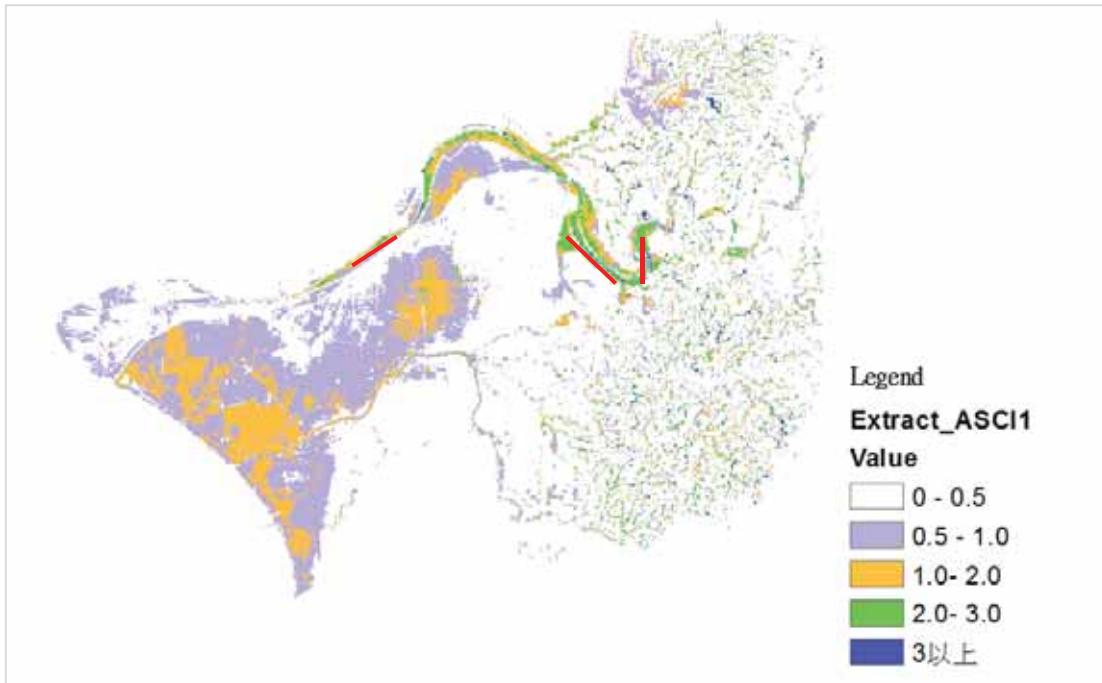


圖 4.19 淹水深度 (m) 模擬結果

4.3 氣候變遷降尺度資料應用技術研發

本工作為支援團隊內部以及外部使用者對降尺度資料需求之技術研發，整理內、外部使用者共同最主要需求包含兩類，(1) 未來氣候之時與日氣象資料，以及 (2) AGCM 動力降尺度資料之偏差問題，針對以上需求之解決，Team3 設定本研發工作包括 (1) 動力降尺度模式資料偏差修正、(2) 日氣象資料衍生，以及 (3) 序率暴雨模擬之模組化，細項工作成果分述如下：

4.3.1 模式資料偏差修正（詳見附錄 3.7）

透過與日本革新計劃 (2007-2011) 的合作，TCCIP 計畫於 2012 年承接 MRI 動力降尺度結果，進一步使用 WRF 模式產製臺灣區域動力降尺度資料，該資料具有空間解析度 5 公里以及時間解析度 1 小時(MRI-WRF-5km)。此資料之時空間尺度適合用於臺灣集水區範圍之研究，然而過去的分析顯示在颱風時期之降雨有低估的情形（詳見 102 年度「臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫 (3/3)」期末報告）。

另一方面，今年度 Team3 的工作項目中，新增了農業領域的合作，在合作過程中了解到輻射量為農業領域重要的變量之一，然而動力降尺度資料所產製之日輻射量資料，過去並沒有被使用過，今年度由農試所姚博士第一次使用，經農試所使用後發現日輻射量資料的觀測資料檢核以及模式輸出與觀測之比較等分析，在過去並沒有充分的進行，為滿足農業領域之需求，今年度亦新增動力降尺度日輻射量資料的分析。

此外，由於目前動力降尺度資料僅有一個情境(A1B)一個模式(MRI)，故今年度亦嘗試提供多模式之統計降尺度日輻射量資料，然而 IPCC 提供之統計降尺度僅有月尺度之溫度資料，TCCIP 計畫以 LARS 天氣衍生器產製日尺度之日最高溫與日最低溫資料，並透過建立日最高溫與最低溫差值及其與日輻射量之關係，推估各統計降尺度模式之日輻射量資料。今年度與農試所之合作，針對日輻射量資料的產製與提供過程，整理如圖 4.20 所示。

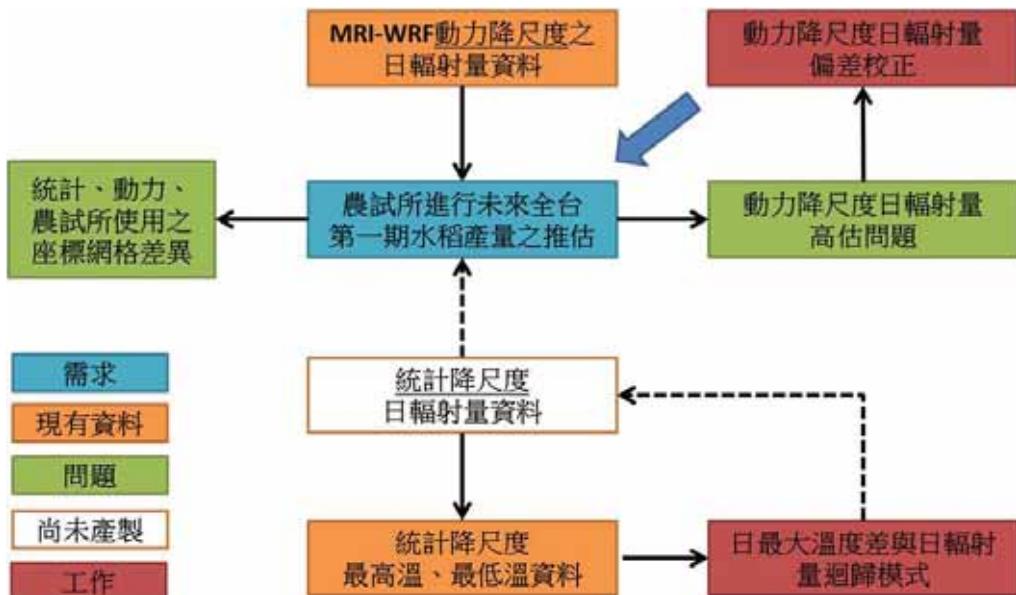


圖 4.20 農試所合作中日輻射量資料產製與提供示意圖。藍色為需求、橘色填滿方框為現有資料，橘色空心方框為尚未產製的資料、紅色方框為今年度新增之工作項目、綠色方框為合作過程中發現之問題。

(1) 動力降尺度颱風事件降雨之偏差校正

為解決動力降尺度降雨低估的問題，本研究以氣象上之颱風定義：「颱風中心距離落在臺灣沿岸 300 公里距離內之時間」取出颱風事件進行偏差校正。經偏差校正後，理論上在測站位置點的網格，其觀測資料與動力降尺度資料的颱風總降雨量平均值應該具有相同之統計特性，例如平均值。由圖 4.21 的颱風事件之總降雨量參數來看，MRI-WRF 動力降尺度資料在校正前，有明顯低估的情形（圖 4.21b），而經過 ECDF 對應的校正後，其總降雨量參數則整體提升至與觀測資料相同的水準，整體上解決總降雨量低估的問題。

(2) 動力降尺度日輻射量之偏差校正

日輻射量的校正以觀測站之觀測資料與鄰近網格之動力降尺度資料進行 ECDF 的對應，使兩者具有相同之統計特性。圖 4.22 為動力降尺度日輻射量值之校正因子，可發現其校正為非線性，且均小於 1，因此校正後之日輻射量可解決了原本日輻射量高估的問題。由圖 4.23 可發現淡水站與桃園農改場所對應之動力降尺度網格，其日輻射量以校正至與觀測資料具有相近的月平均日輻射量，已有大幅改善高估的問題。

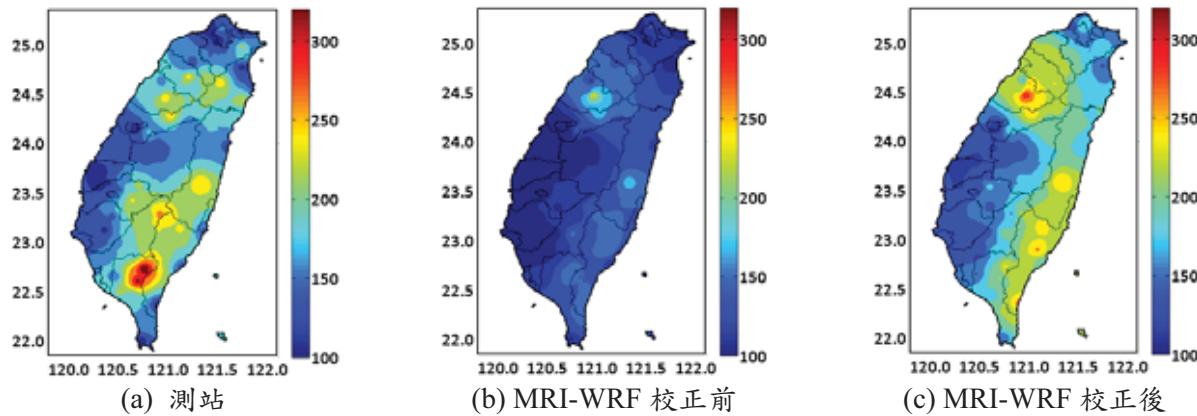


圖 4.21 颱風降雨事件之總降雨量 (a) 測站資料；(b) MRI-WRF 校正前；(c) MRI-WRF 校正後。

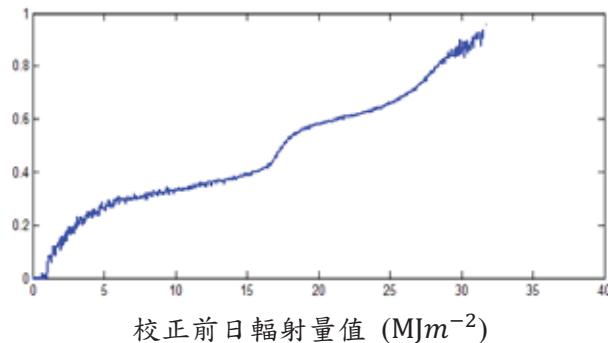


圖 4.22 動力降尺度日輻射量偏差校正之校正因子 (校正後與校正前輻射量比值)

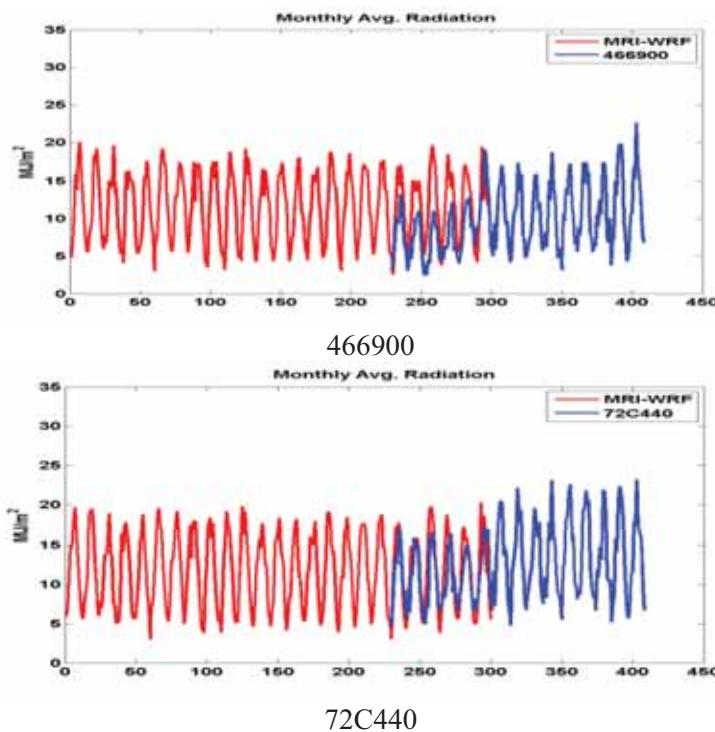


圖 4.23 淡水站 (466900) 與桃園農改場 (72C440) 之月平均日輻射量，紅色為校正後之動力降尺度，藍色為觀測。

年平均日輻射量的空間分布比較也可看出高估問題的改善，圖 4.24 為 MRI-WRF 動力降尺度日輻射量校正前後比較，由圖 4.24a 可發現整體而言，日輻射量資料的空間分布特性呈現由北往南遞增的趨勢，這樣的空間分布趨勢在 MRI-WRF 模式中也大致存在（圖 4.24b），但是可以發現整體的數值高估了許多，而高估的問題經過校正後已經大幅改善（圖 4.24c）。

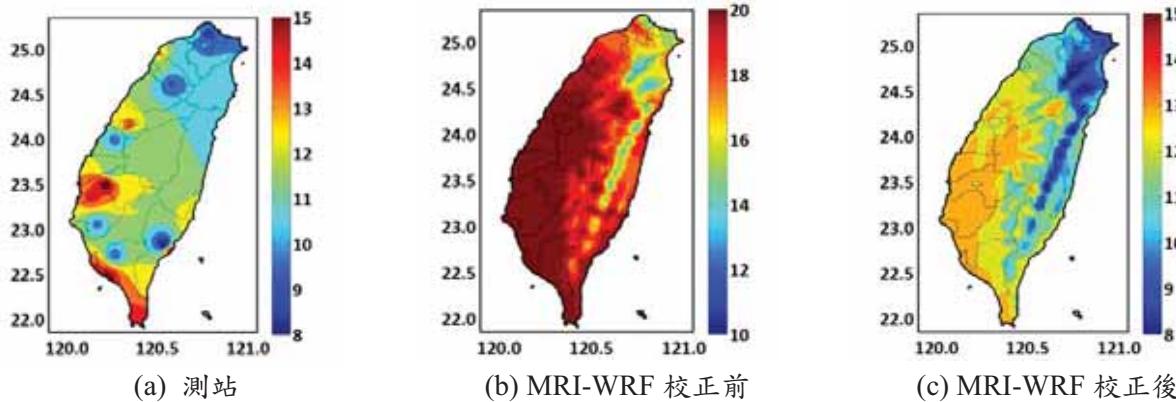


圖 4.24 動力降尺度日輻射量校正前後比較 (a) 測站資料；(b) MRI-WRF 校正前；(c) MRI-WRF 校正後。註：(b) 的 Colorbar 與另外兩者不同。

4.3.2 全台五公里解析度之日資料衍生(詳見附錄 3.8)

承接 TCCIP 第一期天氣衍生器 (Weather Generator, WG) 25 公里解析度成果，本年度既定產製全台五公里解析度之統計降尺度逐日時間序列，提供使用端逐日之高解析度天氣時間序列資料，衍生資料對於該區域、衍生之時間長度、排放情境與歷史觀測資料有具相依關係之統計性。由於 Team2 目前僅產製 GCM 統計降尺度之月溫度變化值（日均溫、日最高溫度與日最低溫度）與月雨量改變率，因此本研究利用 LARS-WG 模擬相關氣象因子，包含日最高溫度、最低溫度、降雨等，農試所所需之日輻射量因子則以日溫差經驗式推估之。

(1) LARS-WG 衍生日最高溫度、最低溫度與日降雨

本研究利用撰寫自動控制之執行程式，利用電腦自行運算且讀入檔案並衍生未來氣候變遷情境之全台日資料，避免人為操作之疏失，輸入資料包含年、月、日、高程、日溫度最大值、日溫度最小值、日降雨量，輸出之衍生資料有四：

- 基期 (1980~1999)，包含 1249 (測站) 共 1249 筆歷史基期日資料。
- A1B 情境下，包含 1249 (測站) \times 24 (GCM 模式) \times 2 (近遠未來) 共衍生 59952 筆 200 年時間序列之日資料。
- A2 情境下，包含 1249 (測站) \times 19 (GCM 模式) \times 2 (近遠未來) 共衍生 47462 筆 200 年時間序列之日資料。
- B1 情境下，包含 1249 (測站) \times 21 (GCM 模式) \times 2 (近遠未來) 共衍生 52458 筆 200 年時間序列之日資料。

日資料衍生結果校驗，如圖 4.25 所示，圖 4.25 中的上圖部份為 A1B 月尺度資料一月低溫資料，圖 4.25 中的下圖部份為 A1B 日尺度資料一月平均低溫資料（扣除基期），可以發現模式從逐月降尺度至逐日資料後，仍保有良好的統計特性，圖 4.25 中的下圖部份每個模式由於平均之後濾除高頻的偏誤資料，僅剩少數網格不連續之外，空間分布仍保留月尺度的資料特性，也給予使用端更具參酌信心。

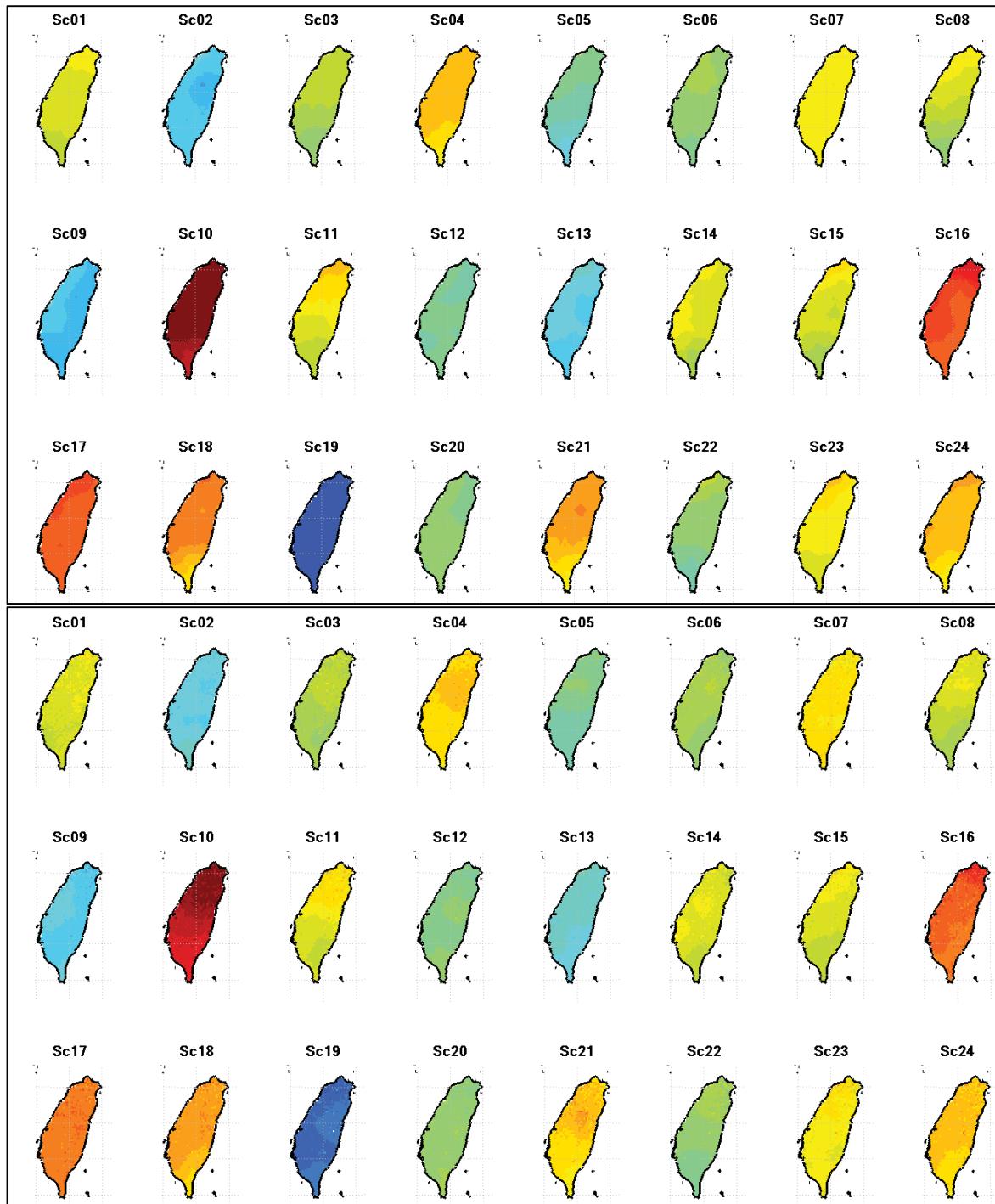


圖 4.25 上圖為 A1B 各模式一月份之月尺度低溫資料，下圖為 A1B 各模式一月份之日尺度平均低溫資料，兩者之間空間分布有極良好的相關性

日資料衍生結果校驗，如圖 4.26 所示，圖 4.26 中的上圖部份為 A1B 月尺度資料七月高溫資料，圖 4.26 中的下圖部份為 A1B 日尺度資料七月平均高溫資料（扣除基期），可以發現模式從逐月降尺度至逐日資料後，仍保有良好的統計特性，圖 4.26 中的下圖部份每個模式由於平均之後濾除高頻的偏誤資料，僅剩少數網格不連續之外，空間分布仍保留月尺度的資料特性，綜合圖 4.25 與圖 4.26，給予使用端參酌。

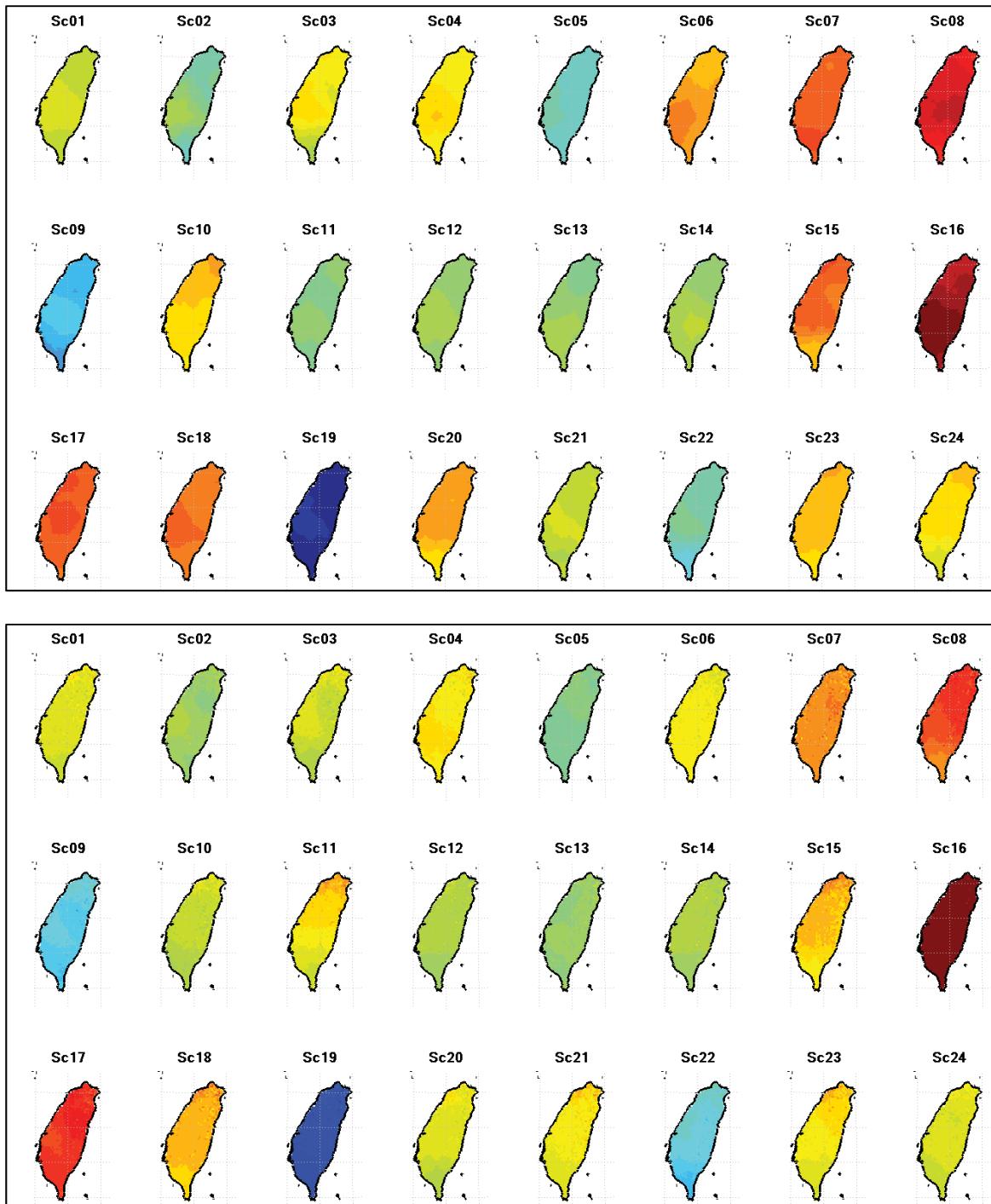


圖 4.26 上圖為 A1B 各模式七月份之月尺度高溫資料，下圖為 A1B 各模式七月份之日尺度平均高溫資料，兩者之間空間分布有極良好的相關性

圖 4.27 為 A1B 近未來 2020~2039 年情境所有模式減去基期之七月平均日降雨與之 A1B 世紀末 2080~2099 年情境所有模式減去基期之七月平均日降雨與最大日降雨，以平均日降雨而言，臺灣高雄屏東山區、宜蘭牛鬥等地都有明顯降雨增加，最大日降雨則以宜蘭地形雨與花蓮山區降雨較明顯。

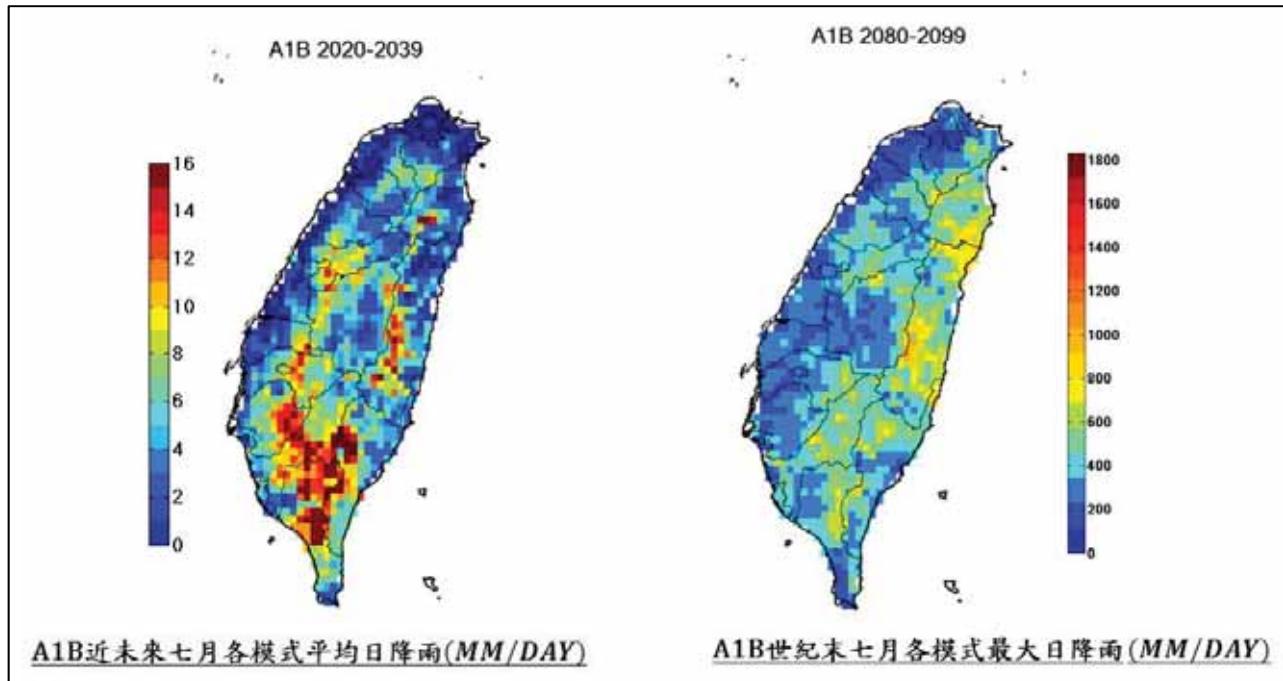


圖 4.27 左圖為 A1B 各模式近未來七月份各模式平均日降雨，右圖為 A1B 各模式七月份各模式最大日降雨

(2) 統計降尺度日輻射量推估問題探討

由日溫差與日輻射之經驗公式（姚等人，2002）分別推估 1 至 12 月的迴歸係數，結果如圖 4.28 至圖 4.30 所示。由圖 4.28 與圖 4.29 可發現迴歸係數 a 跟 b 兩者，隨著月份改變，係數在空間上的分布也會隨之改變，而且似乎有一周期性，例如圖 4.28 在 1 至 4 月時為北低南高的分布，而到了七至八月則熱點（hot spot）移到北部，到了 9 月至 12 月又逐漸出現在南部。類似的週期特性也可在圖 4.29 中發現，顯示出依每月各自建立迴歸模式的重要性，因為其迴歸係數會隨著季節而變動。而這樣的週期特性可能與太陽、地球的幾何關係與太陽地球距離，也與大氣狀況（例如雲覆率、大氣組成）有關。圖 4.30 則為迴歸模式的判定係數（R-square）分布，由圖可發現大部分的區域其 R-square 值均大於 0.3，顯示迴歸模式在大部分的區域可算是穩定的。

由迴歸係數的分布範圍（表 4.13）可發現，本研究之迴歸係數數值範圍與文獻中的數值範圍相去不遠，雖然兩者所使用的資料不盡相同，但是由係數分布範圍相近這點顯示，本研究所建立之迴歸模型應屬合理。

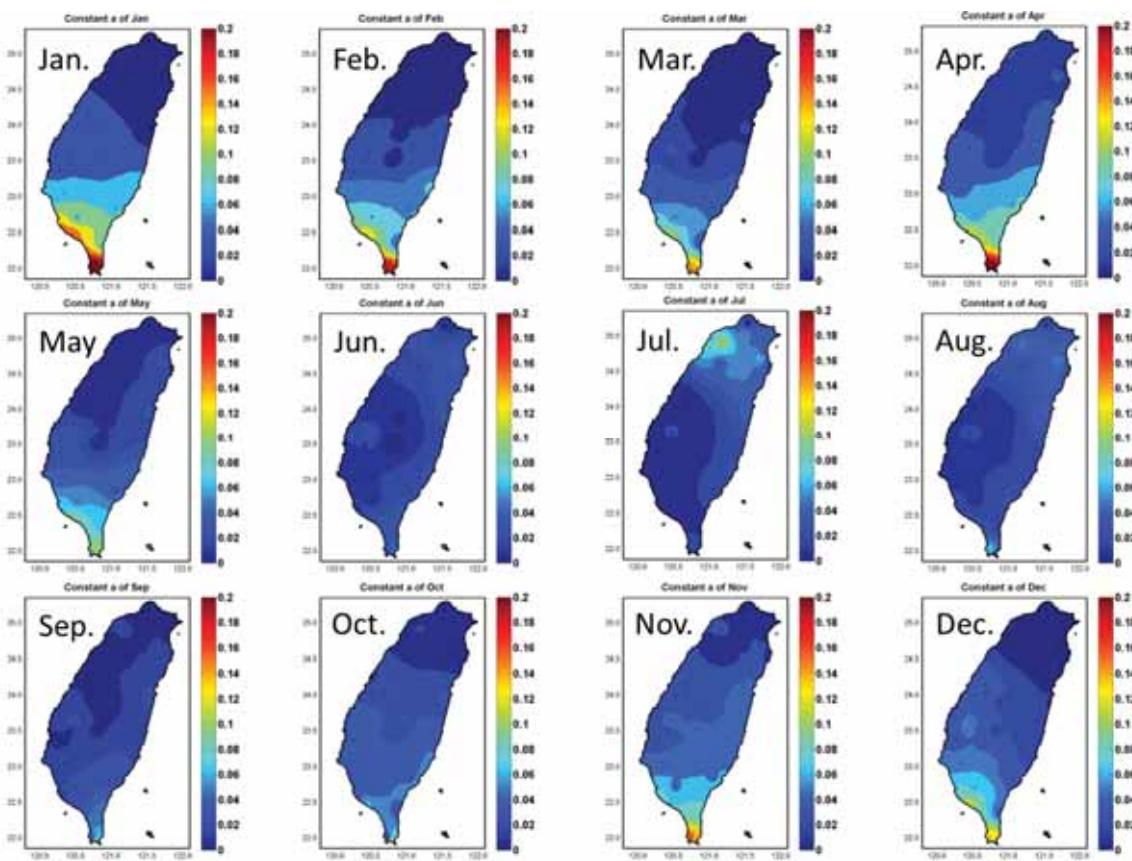


圖 4.28 1 至 12 月之迴歸係數 a 。

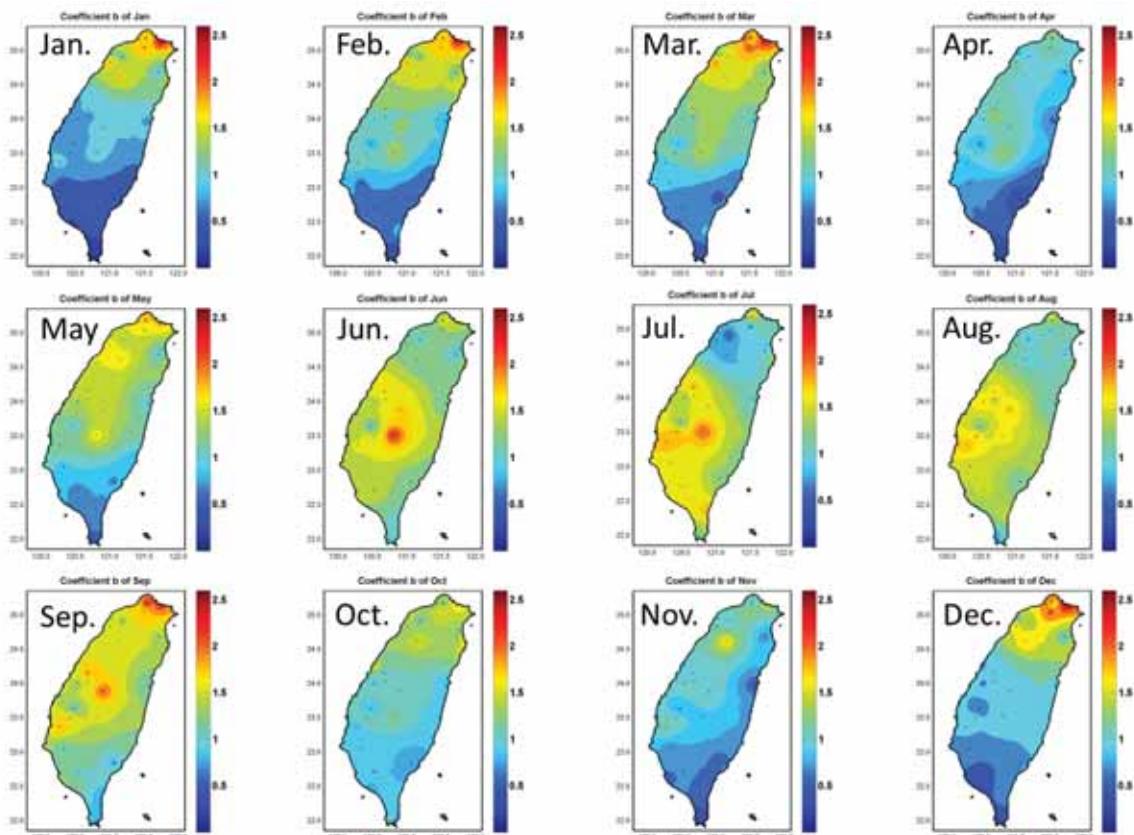


圖 4.29 1 至 12 月之迴歸係數 b 。

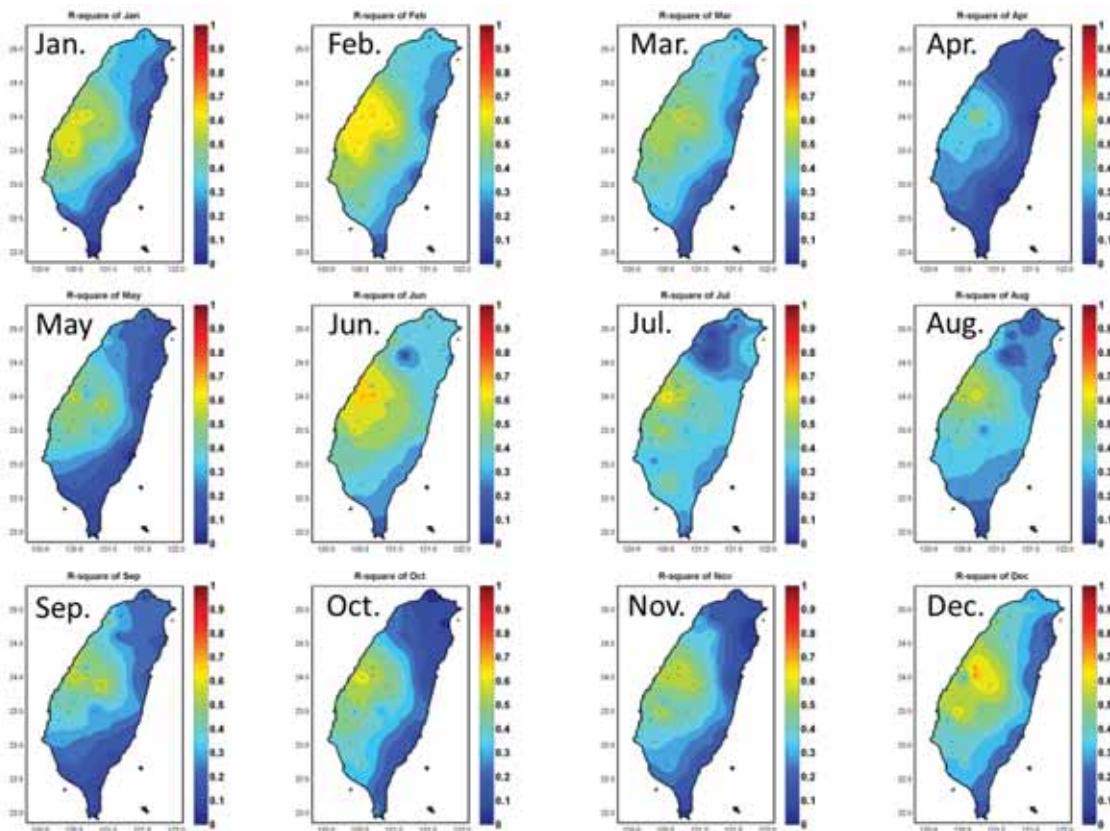


圖 4.30 1 至 12 月迴歸模式之判定係數 (R-square)

表 4.13 回歸係數數值分布範圍

| 係數 | 文獻 (姚銘輝等, 2002) | 本研究 |
|----------|-----------------|---------------|
| a | 0.003-0.13 | 0.00024-0.272 |
| b | 1.1-2.65 | 0.196-0.2584 |
| R-square | 0.364-0.83 | 0.163-0.87 |

統計降尺度日輻射量資料的產製技術已於今年度初步建立與評估，此技術未來將應用於AR4 統計降尺度的三種情境 (A1B, B1, A2) 的各個氣候模式，產製不同情境與模式下之日輻射量資料，此部分工作將配合統計降尺度日氣象變數產製的工作，其使用天氣衍生器，衍生不同情境與模式下之日最高溫與日最低溫資料，套用本研究建立之迴歸係數進行日輻射量之推估。後續的日輻射量資料產製工作擬於第二年度進行。

4.3.3 序率暴雨模擬之模組化 (詳見附錄 3.9)

近年來水文學界目前致力於發展各種不同之空間與時間降尺度技術，希望能將 GCMs 模式之輸出量，轉換空間尺度為區域或集水區及時間尺度為日或小時之水文量。因而發展了序率暴雨模擬模式，此模式即能連結氣候變遷狀況下之氣象、水文情境參數與地區性降雨特性，以

序率模擬技術，模擬時間尺度為日或小時之降雨量。目前此序率暴雨模擬模式亦已應用在水利署氣候變遷相關防洪計畫中。本研發主要工作為建立序率暴雨模擬之 Matlab 模組。

(1) 降雨事件特性分析

如何擷取出降雨的水文參數特性？首先利用歷史雨量實測資料，以月份區分降雨類型：5至6月為梅雨，7至10月為對流雨與颱風雨，其餘月份之降雨則為鋒面雨。以月份大略分類後，先由過去研究經驗所定出之切割準則，及事件間隔時間為4小時，降雨量為0.5mm以上之條件進行篩選，再依降雨延時與強度分類並切割各類型降雨事件。切割出四種降雨類型事件後，須計算得到四種降雨類型的水文參數，即事件延時、事件總降雨量與事件間隔時間，並分析各降雨類型的水文參數之平均值、標準差、偏態係數和相關係數等統計特性。一般而言，事件延時越長，事件總降雨量亦越高。故事件延時與事件總降雨量構成雙變數機率分布，而必須探討其相關係數。

□ 事件延時、事件總降雨量模擬

由於事件延時與事件總降雨量具明顯相關性，在序率暴雨模擬模式建立過程中，將該延時與事件總降雨量依不同降雨類型以雙變數聯合分布 (bivariate joint distribution) 模擬之。例如颱風事件之延時與事件總降雨量為雙變數迦瑪分布，而對流雨事件之延時與事件總降雨量為迦瑪截斷分布與對數常態分布之雙變數聯合分布。雙變數聯合分布之參數較為複雜且繁衍不易。因此，本模式在建立時提出一雙變量迦瑪分布模擬之新方法，利用水文頻率分析中的頻率因子關係式，進行雙變數迦瑪分布之繁衍。

此方法只需透過頻率因子即可進行雙變量迦瑪分布之模擬，可解決過去無法直接使用雙變量迦瑪分布之參數設定而模擬雙變量迦瑪分布之問題。研究結果亦顯示模擬產生之隨機向量不單只具有假設之單變量分布且可掌握兩變量之相關係數。而不同機率分布之雙變數聯合分布模擬（例如對流雨事件之延時與事件總降雨量為迦瑪截斷分布與對數常態分布之雙變數聯合分布），則可將兩個不同機率分布之隨機變數分別利用其頻率因子轉換為標準常態變量，並推衍不同類型分布之雙變數聯合分布相關係數與對應之雙變數標準常態分布相關係數之轉換關係，即可進行模擬。

□ 降雨百分率模擬

完成降雨延時、總降雨及降雨事件間距之模擬後，需將事件總降雨量適當地分配於事件延時之各時段。本模式參考 (Cheng et al., 2001) 所提出之無因次且具尺度不變性之雨型，於降雨歷程之隨機模擬上，將降雨延時依各暴雨類型切割成適當個數之時段，鋒面雨、對流雨切割成12個時段；梅雨、颱風切割成24個時段，並將各時段之降雨百分率（即無因次降雨量）之時間變化，利用一階迦瑪馬可夫歷程 (first order gamma Markov process) 模擬之。由於在降雨的歷程中，對於洪水規劃設計而言，最重要的為降雨的尖峰發生時間，為了能掌握此一特性，在進行一階迦瑪馬可夫歷程模擬時，先產生尖峰發生時間，在由尖峰發生的時間點，分別往前面以及後面的時段模擬降雨百分率，如圖 4.31 所示。根據觀測資料的分析結果研究中發現，每個等分的資料特性為一截斷迦瑪分布。

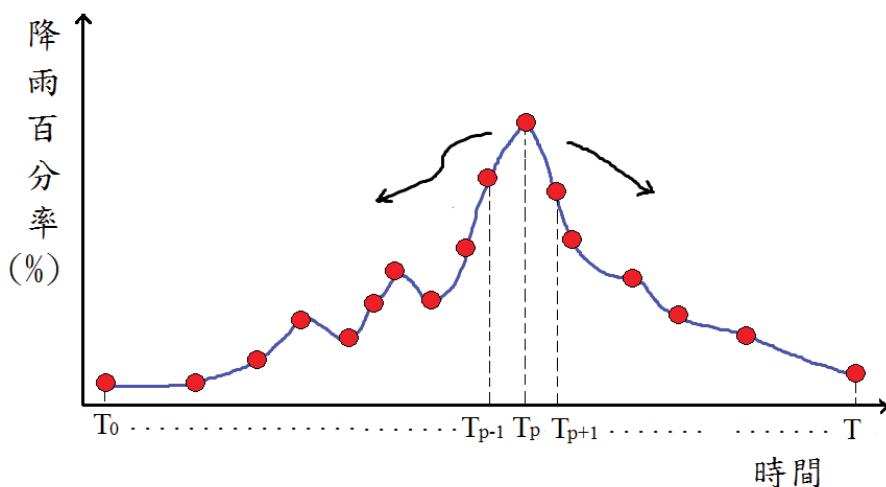


圖 4.31 降雨百分率模擬示意圖

截斷迦瑪分布的模擬需先找出其所對應非截斷迦瑪分布以及截斷值，才能進行後續的模擬。且尖鋒發生時間的尖鋒降雨百分比為此事件的最大值，因此在模擬的過程中，需加上非尖鋒時刻等分的降雨百分率不可能大於尖鋒時刻的條件，以使整個降雨百分率的模擬符合實際情況，且隨機歷程模式可描述各時段無因次降雨量之遺傳效應，並可掌握尖鋒發生時間、尖鋒降雨百分率。完成了降雨百分率的模擬，配合降雨延時、總降雨及降雨事件間距之模擬，即可模擬整個降雨隨機歷程。

(2) 序率暴雨模擬模式之步驟

- 利用歷史雨量記錄，針對不同降雨類型，分析其事件發生次數、事件總降雨量、事件延時及降雨量之時間分布等統計特性。

為掌握歷史降雨事件特性，需對雨量站之歷史實測資料進行分析。分別依鋒面雨、梅雨、颱風雨及對流雨等四種降雨類型。計算各雨量站基期時段（1980-1999）之降雨事件延時、降雨事件總降雨量及降雨事件間距之統計特性，如表 4.14 所示。

表 4.14 降雨特性參數 (高雄站【467440】)

| Storm type | 延時(小時) | | 總降雨量(mm) | | ρ |
|------------|--------|-------|----------|--------|--------|
| | Mean | Std. | Mean | Std. | |
| Typhoon | 32.87 | 16.87 | 154 | 123.88 | 0.79 |
| Mei-Yu | 9.61 | 7.5 | 48.6 | 65.91 | 0.84 |
| Convective | 6.71 | 2.48 | 43.24 | 35.29 | 0.42 |
| Frontal | 6.05 | 5.84 | 28.05 | 24.93 | 0.74 |

註：相關係數指事件延時與事件總雨量之相關係數。

- 針對不同類型暴雨事件，以序率模擬技術模擬其降雨事件之發生、事件總降雨量、事件延時及降雨量之時間分布。

暴雨事件之延時與總降雨量密切相關，構成一組雙變數機率分布，故以雙變數機率分布模擬降雨事件之延時、事件總雨量。以颱風事件為例，可以雙變數迦瑪分布描述其延時與總降雨量。如圖 4.32 所示，為以高雄站為例，將颱風歷史事件與模擬事件，其分別以累積機率曲線 (CDF) 與經驗累積機率曲線 (ECDF) 的套配圖。由圖 4.32 可知，序率暴雨連續模擬模式之模擬結果符合原始資料之分布形式。降雨事件間距，藉由 K-S 檢定觀測資料，結果發現事件間距多為迦瑪分布、對數常態分布，因此，降雨事件間距可藉由檢定通過的機率分布模擬之。

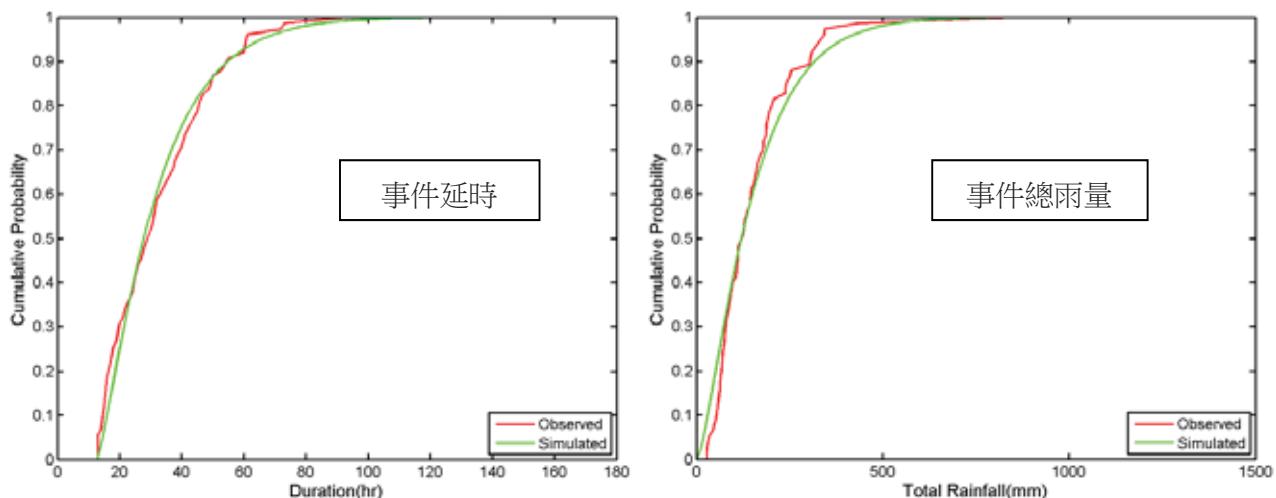


圖 4.32 歷史事件與模擬事件的 CDF 與 ECDF 的套配圖 (颱風)

在事件延時、事件總降雨及降雨事件間距之模擬後，為了將事件總降雨量合理地分配於事件延時之各時段。在降雨歷程之隨機模擬技術上，先設定將降雨延時依各暴雨類型切割成適當個數之時段，鋒面雨、對流雨切割成 12 個時段；梅雨、颱風切割成 24 個時段，並利用一階迦瑪馬可夫歷程 (first order gamma Markov process) 模擬各時段的降雨百分率 (即無因次降雨量) 之時間變化。最後需將事件總降雨量分配於事件延時之各時段，同樣地進行觀測事件與模擬事件各特性參數 (平均值、標準偏差、相關係數、偏態係數) 的比對，結果如圖 4.33 所示。由圖可知，各時段降雨百分比的平均值、標準偏差均符合觀測資料之分布形式，用一階迦瑪馬可夫歷程可模擬出觀測資料的降雨百分比特性。

(3) 繁衍大量之年序列樣本。

完成了降雨百分率的模擬，配合降雨延時、總降雨及降雨事件間距之模擬結果，即可模擬整個降雨隨機歷程。程式模擬結果之時間單位為小時，每個模擬聯程資料長度為一年 (如圖 4.34)。圖 4.34 以高雄站為例，由圖中可以看每一次的模擬聯程結果不盡相同，會隨著每一次的模擬而隨之變動。

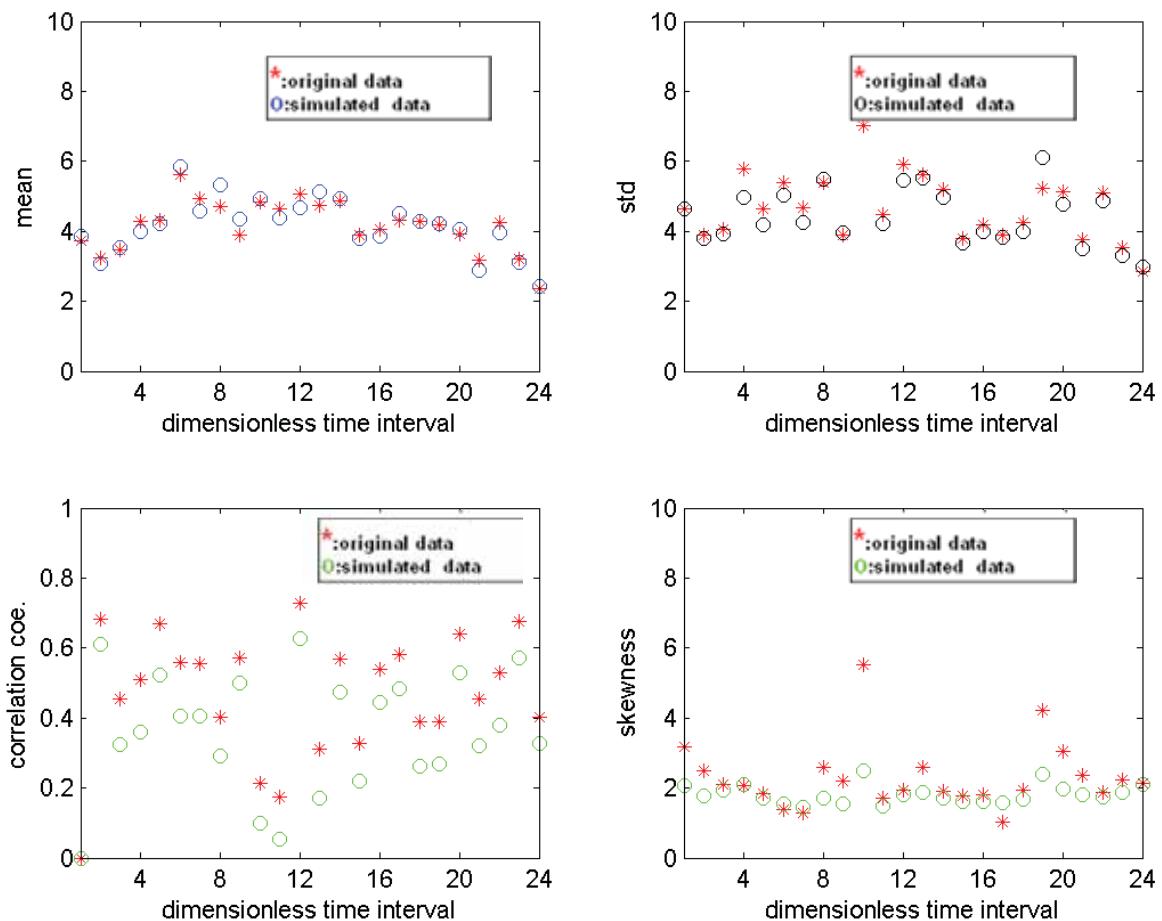


圖 4.33 颱風雨各時段降雨百分比之觀測資料與模擬資料參數比較圖

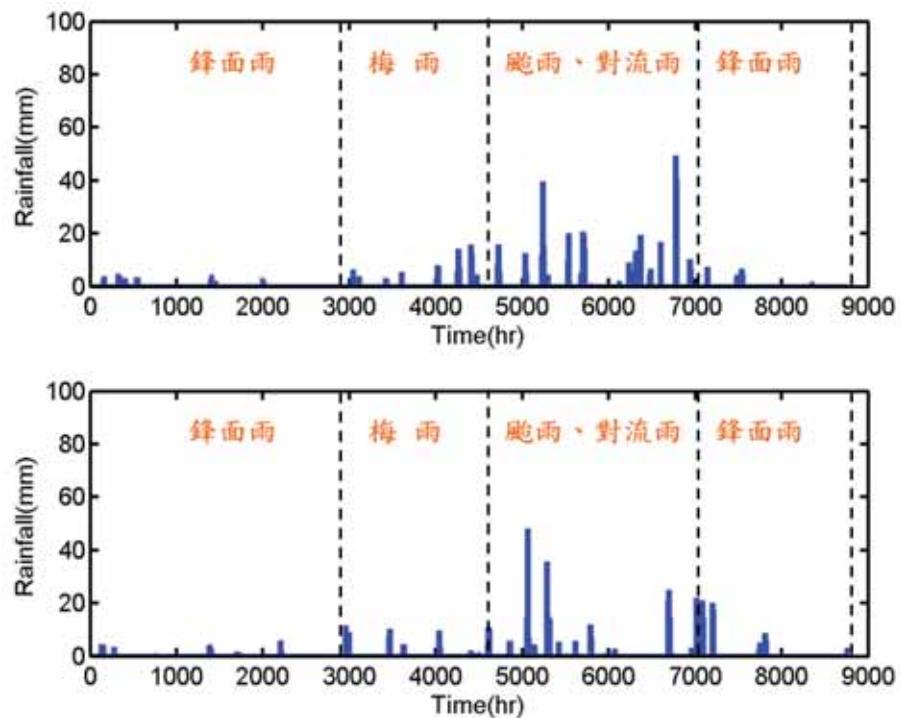


圖 4.34 高雄站之序率模擬聯程

第五章 氣候變遷資料服務與推廣應用

TCCIP 計畫推動的重點在系統性整合氣候變遷之資料、技術、知識與服務，因此在氣候變遷資料服務與推廣應用層面上的主要工作目標為建構資料服务平台，供資料產製者、應用技術開發者、資料需求者以及相關領域之衝擊評估與決策者在此平台上進行氣候變遷資料 (Data) / 資訊 (Information) / 知識 (Knowledge) 的溝通 (Communication) 與服務 (Service)。另外，TCCIP 計畫透過與外國國家級氣候變遷研究單位或大型計劃的交流，提升資料/資訊服務的品質，並提供規劃 TCCIP 計畫未來方向的參考。以下分“科學社群溝通及資料服務”與“國際合作與學術交流”兩部份說明本計畫年度工作進展及成果。

5.1 科學社群溝通及資料服務

5.1.1 氣候變遷資料與知識服務

(1) 使用者溝通及資料服務

資料服務與應用是 TCCIP 面對資料使用者之重要工作項目，針對不同應用領域與對象，TCCIP 之資料服務與技術研發分為三個層次。如圖 5.1 所示，最左一排 (紅底色) 的一般性資料服務對所有領域都適用，首先由 TEAM1~TEAM3 合作產出一般使用者需要使用到的歷史資料、推估資料、降尺度資料，再由 TEAM4 擔任窗口統一對外提供資料與相關的諮詢服務。其中，第一、二層 (圖 5.1 中藍框) 的資料進一步應用於防災領域之降尺度資料應用技術研發與新領域 (農糧、公衛等) 的應用技術發展，主要由 Team3 負責，相關工作進展請見第四章。第三層以一般性資料服務為主 (圖 5.1 中紅框)，第三層的綠底色部分、灰字部分為未來外界可能的需求，限於計畫規模與人力，暫時還未積極規劃執行。

在針對一般性資料服務與溝通方面，自 TCCIP 計畫第一年起至今，已提供近 40 所學校、單位及研究團體申請資料。過去三年中，也先後提供了水利署「氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究計畫」團隊中，約 50 個子計畫的氣候變遷資料服務。計畫第二期第一年度期間 (至 103 年 2 月止) 則共接受了 19 個資料申請案，其單位屬性與應用領域請參考圖 5.2。

(2) 資料應用說明會系列

在前期計畫期間 (101 年 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」，介紹國內氣候變遷相關的研究成果與資料申請方式；該次說明會為 TCCIP 計畫資料應用說明會系列之濫觴；期待透過為不同屬性的使用者設計不同的資料使用說明會，協助資料使用者充分了解氣候變遷觀測與推估資料的特性。



圖 5.1 TCCIP 資料應用技術研發分工架構圖

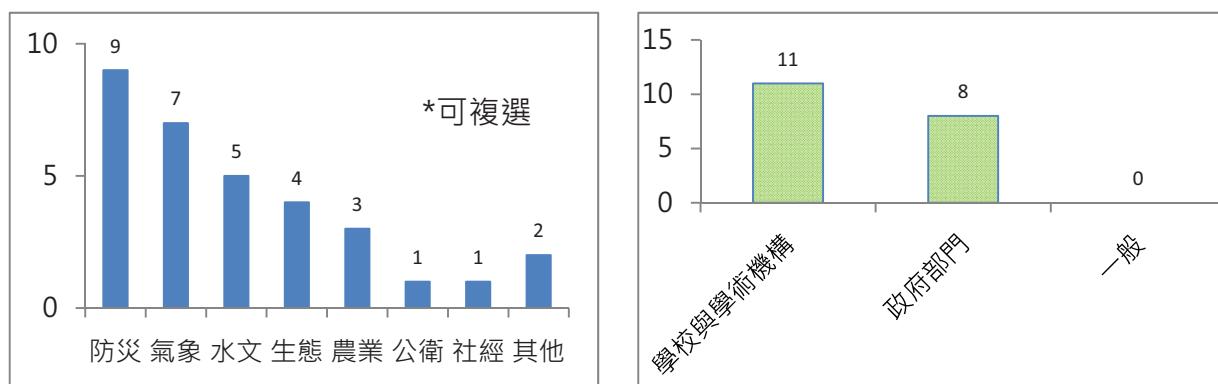


圖 5.2 本計畫年度資料提供狀況。資料申請者的單位屬性可能涵蓋數個領域，因此左圖中個數總和超過本年度資料申請者數量(19 個)。

本計畫年度因應行政院國家發展委員會氣候變遷調適政策之推動，於 102 年 7 月 26 日舉行「資料應用說明會系列-縣市政府氣候變遷調適計畫」說明會，為計畫業務承辦同仁與委託協辦機構人員解說如何有效利用 TCCIP 計畫所產製的多種氣候觀測與推估資料，以協助各縣市政府辦理地方氣候變遷調適計畫。此說明會開啟資料供需雙方的對話，期使 TCCIP 計畫研究內容與產製資料能充分應用於氣候變遷調適計畫的推動及辦理。

會中該專案管理計畫團隊成員葉佳宗助理教授彙整了縣市政府推動氣候變遷調適計畫對氣候資訊應用的需求與遭遇之三大類問題（圖 5.3），前兩類尤其和本計畫有關，將在後續相關活動及出版品中回應。在第一類氣候變遷與氣象相關觀念的部份，將持續在後續計畫出版品或活動中加強說明，以增加非氣象/氣候領域的科學研究人員、氣候變遷調適政策業務承辦人員、決策者…等對氣候變遷相關科學問題的瞭解；對第二類氣候變遷資料使用上的疑問，除了製作說明資料產製及加值流程的資料生產履歷或製作資料使用手冊…等書面說明之外，將會在後續資料說明會或專家座談等活動加強與資料使用（及潛在使用）者的溝通，使供需雙方對資料產製與應用的發展現況都有充足了解，避免資料使用者誤用資料或有錯誤的闡釋。

| 縣市政府推動氣候變遷調適計畫之需求 | |
|---|--|
| 氣候變遷、氣象相關觀念之疑問： | |
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ 如何具體說明(例如提出數據)氣候變遷現象在各地發生機率有多少？ ➤ 如何溝通、說明「氣候變遷之不確定性」？如何說服地方政府應對這些“不能確定”的預估做出反應？ ➤ 氣候變遷相關科學資訊如何轉譯為容易理解之形式但又不致失真？哪些關鍵是描述氣候變遷不可或缺之觀念？ | |
| 氣候變遷資料使用上之疑問： | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 情境設定 - 最佳目標年如何訂定？(尤以海平面上升、極端氣候最被討論) ➤ 能否統一公告北、中、南、東各區之情境設定？ ➤ 地方降尺度需求 ➤ 資料說明不足或難懂 ➤ 新資訊更新不及或矛盾 |
| 其他疑問： | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 地方政府對於減緩與調適、八大領域主軸意涵了解有限。 ➤ 其他資料蒐集困難 (地方歷史氣象資料、縣市無氣象測站狀況、資料來源、細緻度不一等狀況) ➤ 各種潛勢圖之使用問題 (例如產製過程使用、考量了什麼準則或條件因子) |

圖 5.3 縣市政府推動氣候變遷調適計畫對氣候資訊之需求

與 102 年 7 月 26 日的資料說明會目標有所不同，本計畫年度第二場的資料應用推廣活動為「TCCIP 氣候變遷資料使用經驗分享研討會」於 103 年 3 月 14 日舉辦，邀請資料使用者分享與討論氣候變遷資料應用於科學研究或者應用於協助地方政府辦理調適計畫的成果，以瞭解資料申請者在資料使用、分析上之經驗，供 TCCIP 未來改進資料提供服務的參考，並促進不同領域分享氣候變遷觀測與推估資料的使用方式及經驗。研討會當天首先由 TCCIP 計畫人員簡介 TCCIP 的資料服務概況並公開 TCCIP 線上資料服務平台；接下來的 15 場演說乃資料使用者。分別就應用 TCCIP 過去觀測或統計降尺度資料（前 11 個演講）或動力降尺度（後 4 個演講）發表研究成果（表 5.1）。當天活動人數（含報告者）共約 100 人，與會者以 TCCIP 資料使用者、氣候變遷研究人員及衝擊分析與調適分析研究者（研究人員及研究生）為主，次為中央與縣市政府調適計畫委託協辦機構人員。

表 5.1 「TCCIP 氣候變遷資料使用經驗分享研討會」議程表

| 時間 | 議程 | 講者 |
|-------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| 08:45-09:00 | 報到 | |
| 09:00-09:20 | 開幕式 | 國家災害防救科技中心 林李耀 副執行秘書 |
| | TCCIP 資料服務簡介 | TCCIP 計畫 黃柏誠 助研究員 |
| 09:20-10:20 | 氣候變遷不確定性下之水資源調適規劃機制 | 臺灣大學生物環境系統工程學系 童慶斌 教授 |
| | 極端高溫氣候對能源設施之衝擊評估 | 工研院綠能與環境研究所 徐玉杜 研究員 |
| | 不同氣候變遷情境下南臺灣登革熱時空間預測模型 | 臺灣大學生物環境系統工程學系 余化龍 副教授 (李杰翰) |
| 10:20-10:40 | 茶敘 | |
| 10:40-12:00 | 環境及氣象因子與臺灣地區傳染性疾病流行分布相關性探討-以登革熱風險地圖為例 | 長榮大學職業安全與衛生學系 吳佩芝 副教授 |
| | 臺灣高山氣候重建與生態連結 | 成功大學生命科學系 陳一菁 助理教授 |
| | 氣候變遷對臺灣生物多樣性衝擊評估 | 臺灣大學森林環境暨資源學系 邱祈榮 副教授 |
| | 比較 TCCIP 與 WorldClim 在臺灣物種分布模擬上的異同 | 臺灣師範大學生命科學系 李佩珍 助理教授 (安子傑) |
| 12:00-13:00 | 午休 | |
| 13:00-14:20 | 從使用者觀點談資料降尺度與內插技術之應用 | 臺灣大學生物環境系統工程學系 鄭克聲 教授 |
| | 氣候變遷下臺灣地區地下水資源補注之影響評估 | 臺灣大學生物環境系統工程學系 余化龍 副教授 (林遠見) |
| | 從新竹縣地方調適規劃的觀點談 TCCIP 資料之應用 | 環興科技股份有限公司 陳谷榕 組長 |
| | TCCIP 資料應用於氣候變遷下坡地災害潛勢評估 | 臺灣大學生物環境系統工程學系 范正成 教授 (郭嘉峻) |
| 14:20-14:40 | 茶敘 | |
| 14:40-16:00 | 楠梓仙溪流域土砂生產量對河道地形變動之影響 | 臺北教育大學社會與區域發展學系 蔡元芳 教授 (羅楷傑) |
| | 利用 TCCIP 產製之動力降尺度資料評估臺灣地區未來水稻生產潛勢 | 農委會農業試驗所 姚銘輝 研究員 |
| | 動力降尺度資料在海岸暴潮與溢淹模擬上之應用 | 國家災害防救科技中心 陳偉柏 博士 |
| | 氣候變遷推估資料於災害領域之應用實例 | 國家災害防救科技中心 魏曉萍 博士 |
| 16:00-16:10 | 茶敘 | |
| 16:10-16:40 | 綜合討論 | TCCIP 計畫 |

(3) WGI AR5導讀系列活動

政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 集合全球氣候變遷研究各領域專家，每隔 5 至 6 年發表一次全球氣候變遷研究的評估報告，是各國政府面對未來氣候變遷的衝擊、制定與推動溫室氣體減緩與調適政策的重要參考資訊。每一次評估報告的內容均包含三個不同工作小組彙整近期文獻的成果（氣候變遷的物理科學基礎；氣候變遷的衝擊、調適及脆弱度；以及氣候變遷的減緩）。2013 年底 IPCC 公布的氣候變遷第五次評估報告—第一工作小組報告(以下簡稱 WGI AR5) (IPCC 2013) 包含對過去氣候系統觀測結果的描述，也評估最新的近未來及遠未來的全球與區域的氣候變遷推估。報告包括內文 (14 章)、技術摘要與給決策者摘要，是由 209 位主要作者與 50 位編審委員，以及超過 600 位各領域的專家，評估大量的科學與技術資料並引用超過 9200 筆著作之後，撰寫完成的。編審過程除有全球性數百位專家針對科學評估的正確性及完整性提供專業審查意見，也邀請政府單位對本報告的平衡性給予意見。經過這些嚴謹的審查程序所完成的評估報告，是各國政府面對未來氣候變遷的衝擊、制定與推動相關政策的重要參考資訊。

因應此報告的公佈，TCCIP 計畫團隊設計一系列導讀活動（表 5.2）讓參與者正確地了解全球與區域氣候變遷最新的科學分析與評估，並透過第四次和第五次氣候變遷評估報告的差異比較，協助參與者思考與重新評估東亞及臺灣區域氣候未來可能的變化。

表 5.2 TCCIP 因應 IPCC WGI AR5 報告發布之系列活動。

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

□ AR5 網頁專區 (<http://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ar5/>)

首先，因應 WGI AR5 在 2013 年 9 月 27 日的決策者摘要的公布國際記者會，TCCIP 計畫團隊設計了網頁專區說明這份報告的相關內容。網頁首先展示計畫團隊針對此報告中給決策者摘要的重點所做的說明，接下來介紹 AR5 的相關背景、一系列報告（三個工作小組及綜合報告）預計出版時程，也提供原文報告的網頁連結；接下來展示計畫團隊針對給決策者摘要的重點摘譯與重要名詞的解釋。網頁最後提供詳細的 WGI AR5 導讀講座活動訊息給讀者參考。為方便讀者比較 AR5 和第四次評估報告 (AR4) 的異同，也提供讀者下載 AR4 的中譯本。透過簡潔的時間軸介紹 IPCC AR5 各工作小組報告的時程，同時預告 TCCIP 辦理的導讀系列活動舉辦時間。自 102 年 10 月網頁專區設置至活動結束，總累積瀏覽人數約 2500 人次。

□ WGI AR5 給決策者摘要中譯版（審定中版本）

這本「給決策者摘要」以 WGI AR5 完整版報告中各個面向的重點結論為支持架構，集結成一簡明的摘要。其中每個科學研究結論都附有來自全世界之作者群評估得的可信度及不確定性的註解，讓決策者可在最短時間內，透過本摘要取得最精要並已具專家評估意見的科學資訊以輔助決策。

TCCIP 計畫團隊以 2 個月時間翻譯完成給決策者摘要的中文版（審定中版本），迅速且忠實地將給決策者摘要資訊呈現給讀者。近期預計再透過最後一階段的校稿及內容審定，能提供更精準並完整的給決策者摘要資訊給國內讀者（圖 5.4）。本決策者摘要中譯本也成為導讀講座活動的主要教材。



圖 5.4 WGI AR5 給決策者摘要中文版封面

□ AR5 導讀活動

本系列的最後一個活動、也是最重要的傳播 WGI AR5 資訊的機會即為 102 年 12 月 2 日舉辦的「IPCC 氣候變遷第五次評估報告(第一工作小組)導讀講座」。活動由三位計畫共同主持人周佳研究員、陳正達教授及許晃雄研究員為主講，將頁數多達將近 3000 頁的 WGI AR5 完整版評估報告內容，分成三個不同主題進行導讀；三個主題包括 (1) 過去觀測、(2) 氣候模式、人為與自然變異、氣候變遷偵測歸因及 (3) 未來氣候推估（表 5.3），現場並以 TCCIP 計畫團隊翻譯的「給決策者摘要」（審定中版本）為輔助教材，提供給參加者。講座結束後，並設計了綜合討論時間，供參加者與講者進一步互動、深入討論。

參與導讀講座者約 150 人，約分為三大類：(1) 國家氣候變遷調適政策綱領及行動方案八個彙整機關為主之承辦單位與委託協辦機構人員、(2) 行政院經建會推動地方氣候變遷調適計畫之各地方政府相關業務同仁與委託協辦機構人員及 (3) 氣候變遷相關學術研究人員(圖 5.5)。

表 5.3 AR5 導讀主題及講者

| 主題 | AR5 專章 | 主講人 |
|-----------------------|--|-----|
| 過去觀測 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Observations: Atmosphere and Surface ◆ Observations: Ocean ◆ Observations: Cryosphere | 周佳 |
| 氣候模式、人為與自然變異、氣候變遷偵測歸因 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Anthropogenic and natural radiative forcing ◆ Evaluation of climate models ◆ Detection and attribution of climate change: from global to regional | 陳正達 |
| 未來氣候推估 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ Near-term climate change: projections and predictability ◆ Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility ◆ Sea level change | 許晃雄 |



圖 5.5 AR5 導讀講座(左)與會者比例；(右) 會場一隅。

本次導讀活動報名踴躍，然受限於場地空間及座位數量，必須限制人數。為使向隅者也能了解導讀內容，由計畫團隊中的國網中心人員協助現場錄影，提供即時線上同步轉播及錄影，轉播品質穩定優良。活動結束後，三個主題導讀的簡報與錄影皆已置於網站供外界持續下載與觀看。

本次導讀活動反應熱烈，大多數與會者全程參與到最後的綜合討論。然 WGI AR5 報告中的內容相當專業，即使經過氣候專家的導讀，非氣象/氣候專業的參與者仍然不易理解。如何經過適當轉譯，將專業的氣候變遷進展介紹給非氣象/氣候專業的下游應用/使用者，是計畫團隊要面對的挑戰與持續努力的目標。

5.1.2 資訊平台

承接第一期 TCCIP 資訊平台，從今年開始進行第二期 TCCIP 資訊平台的建置，第一期重點放在 TCCIP 團隊成果的展示及資料服務，其他知識的部分為輔助。第二期除了成果展示外，因應越來越多資料服務及希望能更擴大資料服務的範圍，擬建置線上資料服務系統；另外則是要推廣氣候變遷知識，加強氣候變遷知識傳播與轉譯。而因應 TCCIP 團隊散佈在各地，訊息的傳遞較為困難，也規劃建置 TCCIP 內部溝通分享平台，讓團隊的研究人員可上平台了解 TCCIP 最新的狀況。圖 5.6 為第一期資訊平台與第二期之差異比較圖。

今年度資訊平台相關建置委由國家高速網路與計算中心（國網）的團隊來執行，今年度已完成內部溝通分享平台，線上資料服務系統，第二期 TCCIP 資訊平台內容架構初擬完成。以下針對每個平台或系統做進一步說明。



圖 5.6 第一期資訊平台與第二期資訊平台差異

(1) TCCIP內部溝通平台 (TCCIP計畫橫向整合)

TCCIP 團隊匯集國內各界對氣候變遷有興趣的研究團隊，規模日益龐大，所有的研究人力，分布在各地，常有訊息無法傳遞完整的問題，且需要一個能互相交流最新氣候變遷知識的地方，因此本年度開始建置內部溝通平台，期能讓整個團隊的溝通能更加密切。

目前內部溝通平台已完成並上線 (<http://tccip.colife.org.tw>)，限團隊內部人員使用，功能有最新消息、會議記錄、討論區、行事曆、論文庫、檔案庫等功能（圖 5.7），以下概述各項功能：

- 首頁：提供最新消息及多功能行事曆，讓團隊人員可了解當月開會狀況及最新討論話題，點選會議內容則可初步了解會議地點、時間、討論項目及會議紀錄完成狀態等。
- 會議記錄：各 TEAM 設定會議管理者，可新增會議紀錄，使用者可自行於頁面上方篩選想看的會議紀錄群組，分別有 TEAM1~TEAM4、Office。點選入會議紀錄，可看到討論事項、會議結論、待議事項、列管事項及會議文件等，使用者並可針對該次會議內容進行意見回應。
- 討論區：團隊成員皆可張貼任何有興趣的話題，所有使用者也可進行回應，張貼新的話題，會出現在首頁的多功能行事曆當中，提高點閱率。
- 行事曆：會議管理者可新增會議，點選該會議後，及於頁面下方顯示會議內容。
- 論文庫：論文庫分為論文及專書與報告，蒐集氣候變遷相關的論文、專書及報告，由於內容繁多，使用熱門關鍵字的方式，讓使用者可迅速看到有相關性的文章。
- 檔案庫：蒐整 TCCIP 出版品及相關檔案等。

The screenshot displays the TCCIP Internal Communication Platform interface. On the left, there's a vertical sidebar with a logo and several menu items: 最新消息 (Latest News), 會議記錄 (Meeting Record), TCCIP計畫 (TCCIP Project), 內部溝通平臺 (Internal Communication Platform), and 更多資訊 (More Information). Below these are sections for 合作行事曆 (Collaborative Calendar) and 單一行事曆 (Single Calendar). The main content area has three tabs: 最新消息 (Latest News), 會議記錄 (Meeting Record), and 論文 (Papers). The Meeting Record tab is currently active, showing a list of meetings (Team1 201, Team2 201, Team3 201, Team4 201, Team5 201, Team6 201, Team7 201) with their details. The Papers tab shows a list of academic papers with titles, authors, and publication details. One paper is highlighted: 'Stationarity is Dead: Whither Water Management?' by P. C. D. Milt, J. L. Betancourt, M. Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier, R. J. Stadler, SCIENCE, Publish Year: 2008.

圖 5.7 TCCIP 內部溝通平台

(2) TCCIP線上資料服務系統

在執行第一期 TCCIP 計畫的後期，資料服務的角色越來越顯重要，TCCIP 團隊希望能將產製的氣候變遷或是推估的資料，推廣到下游研究或是政府單位；第一期因尚在推廣期間，使用資料清單及提供聯絡的方式來提供資料服務。考慮到未來資料服務的需求可能會越來越多，因此本年度開始建置線上資料服務系統，希望能加速資料的推廣。資料服務系統以推廣的精神來建置，因此不須申請帳號即可觀看資料服務清單、資料範本展示，若使用者須下載資料，為了解資料使用狀況及使用者需求，則須申請帳號並經過 TCCIP 計畫辦公室的審核後，方可下載。目前資料服務的網頁已完成並上線運作(<http://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds>) (圖 5.8)。



圖 5.8 TCCIP 資料申請平台首頁

資料服務系統首頁呈現最新消息及本站服務項目等，網站分為資料展示頁面、資料申請頁面、個人申請清單頁面、個人資料修改頁面、資料審核介面及管理介面等，另外提供使用者以情境的方式來選取資料及資料生產履歷等，以下詳細說明各項功能。

- 資料展示頁面 (圖 5.9)：資料展示頁面說明資料的種類及類型，並簡單呈現資料的面貌，例如針對觀測資料部分展示各項溫度、雨量的春夏秋冬的分布，針對統計降尺度資料部分則展示不同推估時間、不同情境下每個月的變化狀況等，使用者可於此頁面先了解資料的特性，並於各資料頁面開始進行該種資料的申請作業。
- 資料申請頁面 (圖 5.10)：使用者在未登入的狀態下可使用圖形化的方式選擇四大分區、流域、縣市，先加入各種資料申請清單後，確定要申請就須先申請會員並登入，才能統一彙整到資料暫存區。

- 我的申請清單（圖 5.11）：此區提供使用者資料申請的項目、進度等包括檢視所申請資料的項目、審核中清單、可下載清單及歷史清單等功能，於未送出審核清單可挑選或刪減此次要申請的項目，並送出申請，審核中則是提供使用者檢視尚在審核中的項目有哪些，當資料審核完畢後，使用者即可到可下載資料清單下載所申請資料，每份資料可預設可下載期限為一個月，之後即會移到歷史清單當中。
- 資料服務建議（圖 5.12）：由於氣候變遷資料特性複雜、並非很容易了解，且依據過去的經驗，大部分的申請者在不明瞭資料特性或應用範圍的情況下都選擇申請所有的資料項目，因此設計此欄位，根據可能的資料用途以情境式引導使用者，使用者可依據此指引選取適用的資料或是提出其他的需求。
- 資料生產履歷；使用者除了申請資料外，須知道資料是如何產製出來的，此頁面提供各種資料產製過程的各項說明（詳見後述「資料生產履歷」一節說明），可當作使用者進行研究的參考資料文獻。
- 資料審核介面：為了解資料使用狀況及使用者需求，仍需經過審核之後才能讓使用者下載資料，審核的流程如圖 5.13，包括一開始由 TEAM4 負責依據資料屬性分派給 TEAM1~TEAM3，TEAM1~TEAM3 與使用者溝通完畢後，並經過計畫主持人審核後，始可提供資料。
- 管理介面：管理介面提供了審核者帳號管理、申請者資料管理、申請資料進度管理等帳號及資料審核進度管理的功能，另外提供申請資料統計的功能，可快速製作資料申請情形的統計圖表。



圖 5.9 TCCIP 資料申請平台資料展示頁面



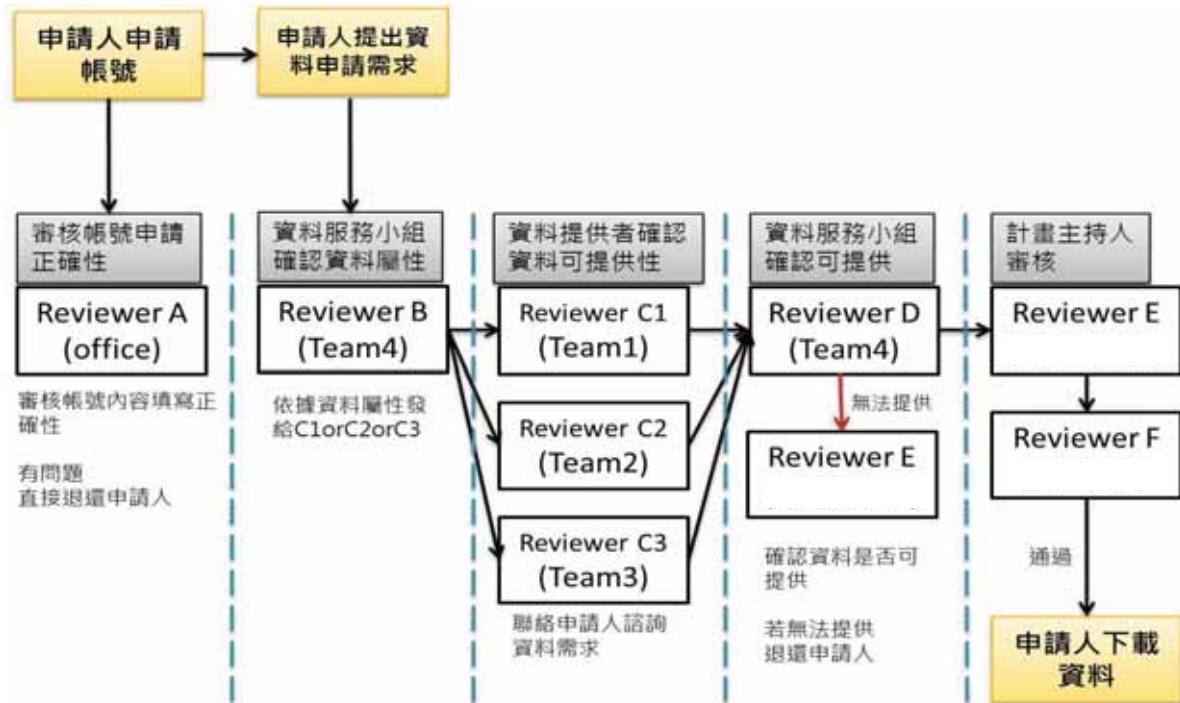
圖 5.10 TCCIP 資料申請平台資料申請頁面



圖 5.11 TCCIP 資料申請平台資料暫存區



圖 5.12 TCCIP 資料申請平台資料服務建議



(3) 第二期TCCIP資訊平台概念雛形

第一期的資訊平台已運作近三年，累積了 2 萬多万人次的瀏覽紀錄，內容最主要是以 TCCIP 團隊所產出的成果（尤其是計畫產製的氣候變遷資料）為主要展示內容，到了第二期 TCCIP 計畫，須依據過去接觸使用者的經驗及配合第二期計畫新的目標及產出，進行網站的改版。

依據過去使用者的經驗發現，TCCIP 資訊平台仍是一個以資料展示為核心的網站，TCCIP 也是目前臺灣唯一可提供過去 100 年及未來 100 年推估網格資料的計畫。另外，根據過去經驗，發現使用者會有取得更多氣候變遷知識的需求，以利他們取得資料後進行研究；而 TCCIP 在過去 3~4 年來也舉辦了相當多次的資料應用說明會或研討會等活動，但是並無統一的入口提供 TCCIP 的最新資訊。依據以上的概念，第二期資訊平台，定位需有三個主要的主題：「資料、知識、資訊」：「資料」主題希望提供互動視覺化可使用的資料，讓使用者可自行挑選想要查看區域的過去及未來變化；「知識」主題預計邀請團隊成員或是外部撰稿者撰寫正確及客觀的專家知識；「資訊」主題預計提供定期更新的資訊以增加網站的黏著度，其中後兩者是第一期網站非常缺乏或是沒有的。但是如前所述，TCCIP 計畫的核心仍是資料，藉由資料展示進而提供服務，是目前資訊平台主要提供的功能，因此在第二期資訊平台「資料」部分仍會佔最高的比例；「知識」則是第二期計畫想要積極推廣的主題，因此會佔次高的比例；礙於人力有限，蒐集與過濾有用的資訊並不容易，因此「資訊」會佔最低的比例。預期首頁的比例如圖 5.14。

由於第二期 TCCIP 預期成果仍在產製中，第一年先進行第二期資訊平台的規劃，包括設定改版後內容及預計呈現的方法，預計計畫第二年度可完成新版 TCCIP 資訊平台的測試版並上線。



圖 5.14 第二期 TCCIP 資訊平台架構示意圖

(4) 資料生產履歷

臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫 (TCCIP) 第一期計畫中，計畫三個工作小組 (Team1、Team2、Team3) 產製可觀資料量，故自第二期計畫，TCCIP 才開始推動與建立產製資料的生產履歷，其製作目的為求資料使用者對資料種類、生產之方式、流程、產製時間、使用限制等能有更多的認識，協助使用者確切且適當地應用資料。

□ 資料品管

本資料生產履歷之示範強調生產流程的評估與說明，驗證的程序包含資料生產紀錄、樣本物理分析及品質管理的文件，待稽核所查出的全部缺失均經矯正完成後，才能將資料公開。

□ 標準化

資料生產履歷標準化應用於 TCCIP 資料釋出過程中各個執行程序，標準化如：名詞術語標準化、版本標準化、氣候情境標準化、申請程序標準化、資料格式標準化等。資料生產履歷制定主要以部會與科學研究社群為使用端，包含：對外溝通、數據分析、產製過程的監控，並與國家級資料同步，釋出資料同為 csv 標準化格式。

□ 資料生產履歷製作規範

※ 示範資料 1—歷史觀測網格月溫度資料

為求資料生產履歷能滿足各種對資料認識程度不等的使用者的需求，完成的資料生產履歷分為資料簡介、附錄、進階應用分析三層次。表 5.4 為歷史觀測網格月溫度資料生產履歷，圖 5.15 則為月溫度資料與測站觀測資料誤差量進階應用分析圖。

※ 示範資料 2—統計降尺度日資料衍生時間序列

資料生產履歷內容如表 5.5，圖例表示承接空間降尺度的時間降尺度資料—統計降尺度日資料衍生時間序列，文中超連結則有相關文獻與釋義供參考，因 TCCIP 運作四年不

斷對外釋出資料，若有更新版本資料會另加注解：資料格式以資料產製者所使用之程式撰寫；另外亦提供資料產製過程之細項，包含技術手冊、期刊論文、網路超連結等供使用者參酌。圖 5.16 呈現生產資料之實際規格，以天氣衍生器日資料生產履歷而言，包含網格編號、情境編號、衍生年份、衍生天數、未來逐日高溫、未來逐日低溫、未來逐日降雨等時間序列注釋項。

資料生產履歷為使使用者能正確且時效內使用申請資料，本計畫定訂生產履歷標準化、品管、製作規範等一系列說明文件供使用者參考，為求使用者不致誤用產製資料，更為將來 OPEN DATA 做準備。

表 5.4 歷史觀測網格月溫度資料之資料生產履歷

| |
|--|
| 資料名稱：歷史觀測網格月溫度資料 |
| 資料年份：1960-2009 |
| 使用模式：歷史觀測 |
| 資料種類：逐月資料 |
| 資料範本： |
| 解析度：全臺灣五公里網格 |
| 輸出參數：月溫度 |
| 產製完成時間：2012/04 |
| 產製單位：臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫 |
| 聯絡人：黃嬿蓁小姐 (02)2730-2112 |
| 產製方法： 紙本資料數位化 將約 720 萬筆的測站紙本資料數位化，並將所有測站的日資料補齊。 資料網格化 上述 1,187 測站資料外，尚納入中央氣象局局屬站、中央氣象局自動雨量站、民用航空局測站資料進行網格化。從蒐集到的測站資料選取資料長度達兩年以上的測站。因目標年份為 1960-2009 年，篩選後 1,152 個測站若在其間資料有缺漏，就以資料補遺的方式，計算周圍測站權重將該測站資料補足（詳見附錄一）。 |
| 網格化的部分，考慮到高度變化對溫度的影響。以資料補遺的方法為基礎，將網格點資料視為缺失的資料（相當於目標測站），將資料補遺後的月溫度測站資料（相當於參考測站），補遺到網格點上（月溫度氣候值與月溫度距平值分開來做，再相加起來），最後得到一公里解析度 (1km*1km) 的網格化月溫度資料。又為配合本計畫其他研究，再整理為解析度五公里 (5km*5km) 的月雨量資料。 |
| 參考文獻： 林李耀等，2010，臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫第一年期末報告(精簡報告)。 林李耀等，2011，臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫第二年期末報告。 |
| 免責聲明： 臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫承諾力求產製資造之完整性與準確性，但冀求各資料申請人、相關單位詳查資料使用限制與資料不確定性。 |

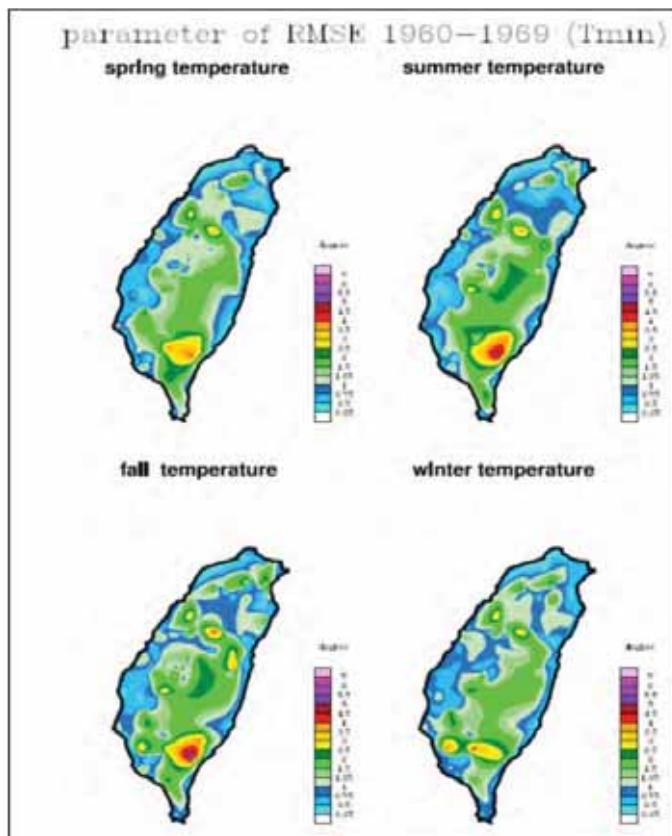


圖 5.15 歷史觀測網格月溫度資料的資料生產履歷之進階應用分析。

| 18 | 125 | 21.2 | 30.4 | 0.0 | | |
|----|-----|------|------|------|--|--|
| 18 | 126 | 23.8 | 32.3 | 0.0 | | |
| 18 | 127 | 22.9 | 32.2 | 0.0 | | |
| 18 | 128 | 22.2 | 29.1 | 68.8 | | |
| 18 | 129 | 23.1 | 28.8 | 0.8 | | |
| 18 | 130 | 24.3 | 31.9 | 0.0 | | |
| 18 | 131 | 25.3 | 31.4 | 0.0 | | |
| 18 | 132 | 24.6 | 31.6 | 32.5 | | |
| 18 | 133 | 25.5 | 30.8 | 3.6 | | |
| 18 | 134 | 22.7 | 25.5 | 0.2 | | |
| 18 | 135 | 23.6 | 28.2 | 16.9 | | |
| 18 | 136 | 25.7 | 34.2 | 0.0 | | |
| 18 | 137 | 25.2 | 34.2 | 0.0 | | |
| 18 | 138 | 24.6 | 32.5 | 0.0 | | |
| 18 | 139 | 24.3 | 30.5 | 0.0 | | |

圖 5.16 天氣衍生日資料時間序列之各項說明

表 5.5 統計降尺度日資料衍生時間序列的資料生產履歷

| |
|--|
| 資料編號：400 T3.1.1 |
| 資料名稱：統計降尺度日資料衍生時間序列 |
| 資料年份：2020 年至 2039 年。 |
| 使用模式：AR4_A1B 情境_24 種 GCM 資料。 |
| 資料種類：逐日資料。 |
| 資料範本：可參見 QR code 資料範本。 |
| 解析度：全臺灣 5 公里網格。 |
| 輸出參數：日雨量、日最高溫及日最低溫。 |
| 產製完成時間：2012/09 (統計降尺度日衍生資料版本 V2) |
| 資料格式：matlab ('%g\t%g\t%g\t%g\t%g\r\n') |
| 使用文獻：統計降尺度資料與天氣衍生器之應用 (技術手冊) |
| 產製方法： 由英國洛桑實驗室開發之 LARS-WG 是一種時間降尺度的日資料衍生模式，，產製未來每日最高溫、最低溫、降雨、幅射長時間日資料時間序列，其利用半經驗分布模型 (Semi-Empirical Distribution, SED) 模擬降雨與乾濕序列。 本資料利用提供統計降尺度衍生釋出的 A1B 全部氣候模式，輸入資料包含年、月、日、高程、日溫度最大值、日溫度最小值、日降雨量之基期資料與未來情境統計降尺度月資料衍生。 輸出之相關衍生資料有： A1B 情境下，包含 1249 (測站) × 24 (GCM 模式) × 2 (近遠未來時間序列) 共衍生 59952 筆 20 年時間序列之日資料。 A2 情境下，包含 1249 (測站) × 19 (GCM 模式) × 2 (近遠未來時間序列) 共衍生 47462 筆 20 年時間序列之日資料。 B1 情境下，包含 1249 (測站) × 21 (GCM 模式) × 2 (近遠未來時間序列) 共衍生 52458 筆 20 年時間序列之日資料。 參考文獻： Semenov M.A. & Barrow E.M. (1997): Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. Climatic Change 35, 397-414. 免責聲明： 臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫冀求使用者與資料申請人詳查使用限制與不確定評估。 |

5.1.3 科學報告第二版

102 年 3 月 26 日國科會自然處召集氣候變遷優勢領域計畫的幾位共同主持人，於國科會召開臺灣氣候變遷科學報告啟動會議，會中決定第二版的臺灣氣候變遷科學報告分兩冊撰寫，分別就氣候變遷的物理現象與機制等科學面向與氣候變遷的衝擊與調適面向進行科學性撰述；本版科學報告由許晃雄研究員擔任總召集人，統籌科學報告的編審及編輯政策等；由 TCCIP 計畫周佳研究員及 TaiCCAT 計畫童慶斌教授分別擔任第一冊及第二冊的主編，協調分冊內容編撰及審定。經過 5 月 24 日及 6 月 17 日兩次的編撰籌備會議，成立科學報告編輯委員會，並完成科學報告分冊篇章初步架構。

依啟動會議所提的送交報告時間點為 103 年年底；編撰期間除了確認兩分冊的完整架構，需釐清欲處理的科學議題及該議題跨領域間的科學問題、完成本文的草稿撰寫、跨章節及跨冊的內容整合、報告重點摘錄、關鍵議題的擬定及論述、交叉比對內容以完成報告初稿，圖文整合的一校、二校之後是一連串的專業審查、部會署協調及審稿完畢後的校修與定稿過程。

科學報告編輯委員會的組成除了編輯委員，還有工作小組協助各項工作細節及編輯委員會議交辦事項，分別由 TCCIP 計畫吳宜昭助理研究員、TaiCCAT 計畫江益璋博士（103 年 2 月江博士轉任文化大學教職，相關業務改由李家齊博士負責），以及國科會自然處（現科技部自然科學與永續研究發展司）湯宗達助理研究員帶領 TCCIP 計畫李惠玲助理與 TaiCCAT 計畫莊家閔助理處理編輯庶務；原則上，每兩個月召開一次科學報告編輯委員會議，並視實際編寫進度適時調整。兩分冊的主要作者群另外各自召開編撰工作會議，配合工作時程及編輯委員會議之決議進行相關科研議題之討論。

經過多次的編輯委員會議討論及協調，目前兩分冊皆已確定章節架構並進行本文撰寫；目前兩分冊的章節架構及主要作者請參考表 5.6。

5.2 國際合作與學術交流

今年度之國際合作主要維持以往與日本創生計畫之合作，合作項目包含特定主題之國際研討會，雙方產製資料交換與技術交流。在學術交流方面，今年度前往澳洲數個執行國家型氣候變遷計畫之重要機構進行移地研究、於花蓮舉辦 TCCIP 2014 國際研討會，與日韓、英國、澳洲、香港等地之專家學者深入探討氣候變遷議題，另外也前往英國氣象總部短暫移地研究，為未來擴展英國方面的合作奠定基礎。

5.2.1 與日本創生計畫的合作

(1) 降尺度國際研討會

2013 年 10 月 1-3 日，MRI 在日本筑波主辦了一場 International Workshop on Downscaling 2013。TCCIP 這邊派了四位同仁參加，其中 Team2 與 Team3 的 PI 陳正達教授及鄭克聲教授分別發表了 20 分鐘的研究成果報告，題目為 Simulation of the Seasonal Northwest Pacific Tropical Cyclone Activities with Regional Climate Model 以及 Blending Dynamic and Statistical Downscaling Techniques for Projections of Hydrological Extremes。SOUSEI-C 及 SOUSEI-D 的負責人 MRI 的高藪教授及 DPRI 的中北教授各提了一個議程，分別是 AS36: Issues in dynamical and empirical statistical downscaling approach around Asia-Oceania region 以及 HS16: Climate Change Impact Assessment on Water-related Disaster among Korea, Taiwan, and Japan。日方希望到時 TCCIP 這邊能夠踴躍投稿。會議最後並提到 2014 年的 AOGS 會議將在日本北海道舉行，希望台日雙方可以共同提出幾個 sessions。

表 5.6(a) 臺灣氣候變遷科學報告第二版第一冊章節架構及主筆者

| | | | |
|----------------------|------------|----------------------------|-------------------|
| 第一章 全球氣候變遷 | 主筆者 | 第二章 海洋系統與變遷 | 主筆者 |
| 1.1 前言 | 周 佳 | 2.1 前言 | 李明安 |
| 1.2 溫度 | 周 佳 | 2.2 海洋系統 | 劉康克 |
| 1.3 降雨及水循環 | 周 佳 羅敏輝 | 232 海流 | 吳朝榮 |
| 1.4 雲、氣膠與輻射 | 李威良 陳維婷 | 2.4 水溫 | 李明安 藍國瑋 郭怡君 |
| 1.5 極端天氣 | 周 佳 | 2.5 海平面 | 曾于恆 |
| 1.6 古氣候 | 李時雨 | 2.6 海水酸化 | 陳鎮東 雷汉杰 |
| 1.7 未來推估 | 周 佳 | 2.7 古海洋 | 陳明德 |
| 1.8 結語 | 周 佳 | 2.8 結語 | 李明安 |
| 第三章 氣候系統的自然變異 | 主筆者 | 第四章 東亞與西北太平洋氣候變異與變遷 | 主筆者 |
| 3.1 前言 | 許晃雄 | 4.1 前言 | 洪志誠 |
| 3.2 年代際變化 | 李明營 | 4.2 氣候特徵 | 洪志誠 |
| 3.3 氣候模態 | 羅資婷 李明營 | 4.3 古氣候 | 李時雨 |
| 3.4 氣候系統交互作用 | 許晃雄 | 4.4 季風 | 洪志誠 陳昭銘 鍾珮瑄 |
| 3.5 年代預報 | 許晃雄 | 4.5 热帶氣旋 | 鄭治華 涂建翊 |
| 3.6 自然變異與人為因素 | 許晃雄 | 4.6 未來推估 | 陳正達 鄭兆尊 |
| 3.7 結語 | 許晃雄 | 4.7 結語 | 洪志誠 |
| 第五章 臺灣氣候觀測分析 | 主筆者 | 第六章 臺灣未來氣候變遷推估 | 主筆者 |
| 5.1 前言 | 盧孟明 | 6.1 前言 | 陳正達 |
| 5.2 資料與方法 | 翁叔平 | 6.2 氣候推估資料的區域化 | 陳正達 |
| 5.3 長期變化趨勢 | 洪致文 | 6.3 臺灣未來氣溫推估 | 陳正達 |
| 5.4 極端天氣 | 盧孟明 | 6.4 臺灣未來降雨推估 | 陳正達 |
| 5.5 颱風 | 涂建翊 | 6.5 區域特定天氣與氣候現象的未來推估 | 鄭兆尊 林傳堯 |
| 5.6 大氣成分 | 周崇光 | 6.6 未來氣候推估資料使用說明指引 | 朱容練 |
| 5.7 海平面與暴潮 | 陳進益 陳偉柏 | 6.7 結語 | 陳正達 |
| 5.8 古氣候 | 李時雨 | | |
| 5.9 結語 | 盧孟明 | | |

表 5.6(b) 臺灣氣候變遷科學報告第二版第二冊章節架構及主筆者

| | | | |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------|
| 第一章 第二冊介紹 | 主筆者 | 第二章 溫室氣體，氣膠，地表變遷 | 主筆者 |
| 第二冊介紹 | 童慶斌 | 2.1 前言 | 劉振榮 |
| 第三章 環境災害 | 主筆者 | 2.2 現況與問題 | |
| 3.1 前言 | 陳亮全 | 2.3 監測資料檢視大氣環境與地表變遷問題與影響 | 王國英 林能暉 |
| 3.2 臺灣颱風與坡地災害特性介紹 | | 2.4 氣候變遷之影響 | 林唐煌 姜壽浩 |
| 3.3 臺灣颱洪與坡地災害變遷趨勢分析 | | 2.5 可能措施 | |
| 3.4 極端氣候變異對災害之衝擊影響 | | 2.6 結語 | 劉振榮 |
| 3.5 災害衝擊之關鍵因子與脆弱度分析 | | 第四章 陸域生態 | 主筆者 |
| 3.6 未來氣候變遷推估下的災害衝擊評估 | | 4.1 前言 | 李培芬 |
| 3.7 氣候變遷調適 (CCA) 與災害風險降低 (DRR) | | 4.2 現況 | |
| 3.8 結語 | 陳亮全 | 4.3 問題 | |
| 第五章 海域生態 | 主筆者 | 4.4 氣候變遷影響 | |
| 5.1 前言 | 林幸助 | 4.5 可能措施 | |
| 5.2 海洋棲地與生物多樣性現況 | 林哲宇 | 4.6 結語 | 李培芬 |
| 5.3 臺灣相關研究案例 | 陳登俞 劉倩彣 賴郁卉 | 第六章 水資源 | 主筆者 |
| 5.4 氣候變遷對海洋生態可能影響 | 林哲宇 陳登俞 劉倩彣 賴郁卉 | 6.1 前言 | 李明旭 |
| 5.5 可能措施 | 林哲宇 陳登俞 劉倩彣 賴郁卉 | 6.2 水資源現況 | 游保彬 |
| 5.6 結語 | 林幸助 | 6.3 水資源供需問題 (不同空間之關鍵議題) | 李明旭 |
| 第七章 糧食生產和糧食安全 | 主筆者 | 6.4 氣候變遷對水資源供給之影響 | 張良正 |
| 7.1 前言 | 盧虎生 | 6.5 氣候變遷對水資源需求之影響 (含關鍵因子分析) | 吳瑞賢 |
| 7.2 臺灣糧食生產現況及問題 | 姚銘輝 | 6.6 水資源調適策略 | 童慶斌 |
| 7.3 臺灣漁業生產現況及問題 | 呂學榮 | 6.7 結語 | 李明旭 |
| 7.4 臺灣畜牧生產現況及問題 | 王淑音 | 第八章 人類健康 | 主筆者 |
| 7.5 氣候變遷下臺灣作物生產之影響 | 姚銘輝 | 8.1 前言 | 蘇慧貞 |
| 7.6 氣候變遷下臺灣漁業生產之影響 | 呂學榮 | 8.2 健康決定因素：目前與未來趨勢 | 蘇慧貞 |
| 7.7 氣候變遷下臺灣畜牧生產之影響 | 王淑音 | 8.3 易感氣候變遷之健康議題 | 陳國東 王玉純 |
| 7.8 達成糧食安全之可能措施 | 姚銘輝 呂學榮 王淑音 | 8.4 水資源的可獲性、安全性與品質對健康之影響 | 王根樹 |
| 7.9 結語 | 盧虎生 | 8.5 脆弱族群、健康不平等與邊緣人口問題 | 陳美霞 |
| | | 8.6 結語 | 蘇慧貞 |

表 5.6(b) 臺灣氣候變遷科學報告第二版第二冊章節架構及主筆者 (續)

| | | | | | |
|------------------------|--|------------|--------------------------|--|-------------------|
| 第九章 經濟與社會 | | 主筆者 | 第十章 都市、鄉村與山地 | | 主筆者 |
| 9.1 前言 | | 張靜貞 | 10.1 前言 | | 詹士樑 |
| 9.2 氣候變遷對於經濟與社會的衝擊 | | | 10.2 都市空間之現況及議題 | | |
| 9.3 氣候變遷之極端事件衝擊 | | | 10.3 農村與山地空間之現況及議題 | | |
| 9.4 氣候變遷與經濟社會發展之互動關係 | | | 10.4 氣候變遷調適、空間規劃、永續發展之連結 | | 洪鴻智 葉佳宗 李俊霖 |
| 9.5 結語 | | 張靜貞 | 10.5 都市空間調適策略 | | |
| 第十一章 海岸與離島 | | 主筆者 | 10.6 農村與山地空間調適策略 | | |
| 11.1 前言 | | 許泰文 | 10.7 結語 | | 詹士樑 |
| 11.2 臺灣地區海岸空間現況 | | 林宗儀 | 第十二章 調適與治理 | | 主筆者 |
| 11.3 問題分析 | | 江文山 | 12.1 前言 | | 李河清 |
| 11.4 氣候變遷對於離島永續發展議題之影響 | | 錢 樸 | 12.2 調適需求與選項 | | 林子平 |
| 11.5 氣候變遷對海岸災害之連結 | | | 12.3 調適機制 | | 張瓊婷 劉小蘭 |
| 11.6 海岸空間調適策略與措施 | | 藍元志 | 12.4 風險治理 | | 許文科 |
| 11.7 結語 | | 許泰文 | 12.5 調適科技發展 | | 范建得 李明育 |
| | | | 12.6 調適的社會與經濟影響 | | 蕭代基 |
| | | | 12.7 結語 | | 李河清 |

(2) 資料交換

MRI 會進行一系列以 CMIP5 推估的未來海溫的多模式平均來驅動 MRI-AGCM3.2 的模擬。日方同意提供現在時期及 21 世紀末時期的 20 公里解析度氣候推估資料與 TCCIP2 作為降尺度之用。現在時期資料已於 2013 年 9 月交予 TCCIP2 進行降尺度之用，21 世紀末的資料預計可望在 2014 年 5 月釋出。

(3) 雙方討論會議

TCCIP 計畫今年 1 月在花蓮舉辦 2014 International Workshop on Climate Change，我方邀請了 7 位參與日本創生計畫的學者共襄盛舉。在會議舉行的第一天早上，台日雙方舉行了一個雙邊會議。會議由 NCDR 主任陳亮全及筑波大學的鬼頭昭雄博士主持，除了處持人外雙方各有 6~8 人參加此次會議（圖 5.17）。



Summary of the TCCIP-SOUISEI meeting, Jan. 19, 2014

1. SOUISEI-C won't conduct climate simulation for near-future (2015-2039). Simulation of climate projection of the end of 21st century will be completed in spring of 2014.
2. HiRAM simulation will follow what MRI AGCM does. There won't be near-future simulation, either. Instead, ensemble simulations with different SST for the climate projections of the end of 21st century are considered.
3. Present day climate project simulated by HiRAM is ready to be provided to SOUISEI-C.
4. SOUISEI-D provides STM TC tracks data for storm surge impact study.
5. According to data policies of SOUISEI-C and the project of MoE, SOUISEI-C can provide some 60 km AGCM (more than 20 members) ensemble data to everyone, including TCCIP project.
6. Both sides agree that sharing research experience is important and could be done through workshop (small scale, specific topics), conference, or scholar exchange.
7. To exchange and share experiences, small meetings with fewer participants may also work well. Topics of these meetings could be AGCM/RCM inter-comparison, typhoons, disasters, integrated basin modeling, economic-loss assessment, sediment transmission, landslide, and so on.
8. In SOUISEI-D, the study of integrated basin modeling is conducted by Prof. Mori and Prof. Tachigawa's group and the study of economic-loss assessment is conducted by Prof. Tatano's group. Both groups are willing to exchange and share the ideas and techniques about the modeling and impact assessment with TCCIP*.

圖 5.17 TCCIP-SOUISEI (左) 會議照片 (右) 會議重要結論。

5.2.2 澳洲移地研究

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

(1) 研修成果彙整

在 2014 年 2 月 16-22 日期間，密集地前往 8 個研究機構，TCCIP 成員共報告了 20 多場，聆聽澳洲多達 40 個以上的簡報。研究成果彙整如下：

- Australian Climate Change Science Program (ACCSP)為澳洲國家級大型研究計畫，每年有大約 4.5 億台幣的預算，從最上游的氣候變遷科推估資料產製，到國家氣候變遷領域的重要決策建議，超過 100 位科學家包含在這個計畫內，著重在大氣、氣候、溫室氣體減量、碳循環、海洋及海岸、土地利用等專業領域等最先進的研究。這項計畫實質上為澳洲整個氣候變遷研究提供重要研究能量，整合各領域的科學研究資源，其運作方式為環境部、氣象局與 CSIRO 的密切合作。對照臺灣的運作模式，科技部與環

境部有各自的研究重點與科研資源，政策目標不盡相同，氣象局豐富的長期觀測資料也許可借鏡澳洲的合作模式。

- CSIRO Aspendale 分部與新南威爾斯大學皆有豐富的研究資源與產製全球氣候推估資料的能力，國內目前的資料來源大部分來自日本，也許在未來可以考慮加入更多組氣候模式資料，增加資料正確性與可靠性。
- TCCIP 計畫第二期的重要成果即為建置一個完善的、User-friendly 的資訊平台，CSIRO 開發的這套 Future Climate Web Tool 功能相當健全，也將多組氣候模式情境資料整合進網站，並搭配使用者教育訓練的教材編輯幫助非氣候專業領域的資料使用者了解氣候科學，並有能力選擇適合自己需求的氣候情境。這樣的設計與 TCCIP 計畫的目標一致，希望能借鏡他們的經驗與邏輯，輔助 TCCIP 建置一個受大眾歡迎的氣候變遷資料平臺。

(2) 後續合作建議

- 澳洲目前對氣候變遷衝擊下的海岸風險管理議題很有興趣，特別是針對暴潮模擬及颱風路徑選擇的技術及模式，在許多討論中對 TCCIP Team3 海岸暴潮模擬技術詢問度高，建議可以這項研究技術當作 TCCIP 主要輸出，與澳洲隊此議題有興趣的研究單位做更進一步的交流與討論。
- 在氣候模式的資料使用方面，CSIRO Aspendale 與新南威爾斯大學的計畫 NARCliM 都已各自開發成熟的高解析度全球氣候模式，建議可以嘗試向對方介接模式輸出資料，增加臺灣區域推估結果的準確度，讓不同模式結果互相驗證。
- 今年度可嘗試特定議題式之小型 workshop，並與日本 MRI、美國合作，展開國際小型合作會議，針對全球模式資料的議題邀請澳洲 CSIRO Aspendale 與新南威爾斯大學的研究團隊參加，增進彼此的交流並尋求更具體的合作。
- 新南威爾斯大學的研究團隊對臺灣的極端氣候值數位化資料有興趣，未來可協助他們建置全球極端氣候的資料庫，建議可由氣象局研擬如何提供資料，以增進臺灣氣候資料在國際研究上的能見度。
- CSIRO Aspendale 的氣候資料平台設計概念清楚有邏輯，並有完整的配套教育訓練，可供 TCCIP 團隊學習。
- CSIRO Adaptation Flagship 在研究國家調適政策與氣候科學的連結上已行之有年，並開發獨到的方法論與分析方法，例如：科學政策決策模式，可供臺灣做調適政策研究人員參考。

(a) 與 CSIRO Highett 專家合影於 Ecosystem Science Center。



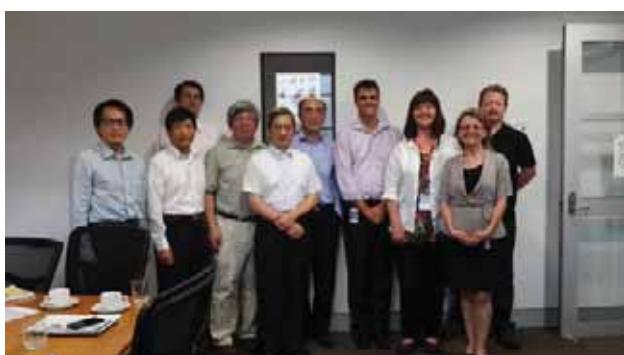
(b) 與 CSIRO Aspendale 與會人員合照

(c) 與 BOM 與會人員合照



(d) 與 CA Flagship 成員合影

(e) 與 CSIRO 以及 ANU 與會成員合影



(f) 與 Geoscience Australia 與會成員合影

(g) 與 DOE 與會成員合影

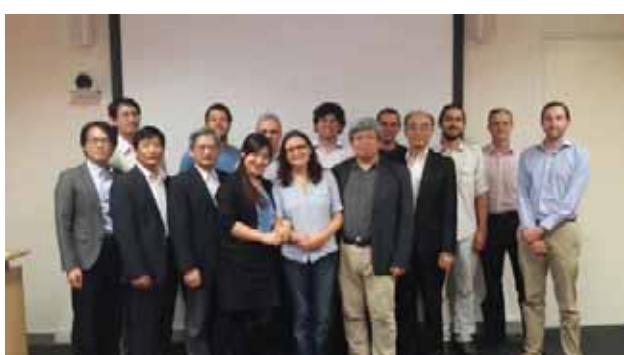


圖 5.18 澳洲研修期間與 8 個研究機構相關成員合影。

5.2.3 英國氣象總部移地研究

2013 年 9 月 3-8 日前往英國 Exeter 大學參加 International Conference on Flood Resilience Experiences in Asia and Europe 研討會，並由研討會主辦人陳宣宏博士安排於 9 月 6 日上午與計畫主持人林李耀博士一同代表 TCCIP 前往位於 EXETER 的英國氣象總部(MET Office)進行短暫之移地研究。

會議中首先由負責國際事務的主管 Phil Evans 介紹 MET Office 的組織架構與規模以及在氣象服務上之成果，其成員約有 1900 人，其中約有 500 人為研究人員，展現出的研究能量驚人，獲時代高等教育(Times High Education, THE)針對全球研究中心排名之榜首，其優異的氣象預報能力為全球數一數二，與歐盟氣象預報中心並駕齊驅，並成功轉移氣象預報模式給澳洲政府，協助澳洲政府的氣象預報能力提升至與全球其他國家相當之水準。MET Office 氣候資料服務的對象不只是各國政府，亦連結英國主要媒體 BBC 將氣候資料即時傳達給一般大眾，也協助英國國防部、油業、以及其他 stakeholders。

接著由來自 Hadley Center 的資深科學家 Dr. Dan Bernie 介紹氣候資料的產製，其中新的資料包含 HadCM3 的最新版本，其空間解析度已高達 12 公里。另外，在氣候資料服務上，由政府氣候計畫之主管 Dr. Kirstine Dale 跟我們說明 MET Office 已協助許多國家提升其氣候預報能力，也透過服務全球不同區域以及北半球與南半球之國家，改善氣候預報模式於全球預報之表現。最後由氣候資料於災害管理之主管 Pat Boyle 以及洪水預報中心(Flood Forecasting Centre, FFC)主任 Crystal Moore 分別介紹氣候預報資料於災害以及洪水預報之應用情形，也簡介英國所面臨之洪水災害情形。

會後 Phil Evans 帶領參訪團實地查看 MET Office 的操作中心(Operations Centre, OC)與 FFC，OC 由一群跨領域的科學家 24 小時輪班，每人需隨時盯著 4 至 6 台螢幕上的不同系統，了解即時的衛星、雷達、模式預報等資訊，並定時產製氣象報告給 BBC 等單位，其完善的操作介面以及資訊的整合性令人印象深刻。最後則參觀位於 OC 旁的 FFC，FFC 雖看起來規模不大，由於位於 OC 旁邊，與氣象操作中心之成員溝通無礙，可立即進行深入的討論，也顯示出英國政府對於水災的重視。經詢問 Crystal Moore 發現，在促進大氣與水文領域的專家溝通上，MET Office 每一段時間將有一個訓練期，水文專家需至大氣領域之單位訓練數個月，然後再交換，進行所謂的交換訓練(cross training)，使彼此能了解各自的專業語言，了解彼此的術語，消除大氣與水文之代溝。

移地研究結束後也積極邀請 Dr. Kirstine Dale 與 Dr. Dan Bernie 參與 TCCIP 主辦之 2014 TCCIP International Workshop on Climate Change，但很可惜地兩位博士都因時間無法配合而沒能參加，但 Dr. Kirstine 博士推薦澳洲在進行氣候變遷於農業領域的專家 Dr. Roger Stone 參與 TCCIP 國際研討會，並對研討會貢獻良多。未來仍將與英國 Met Office 保持聯繫，並規劃於明年再次正式前往英國執行氣候變遷計畫之重點機構進行移地研究。

5.2.4 2014 TCCIP International Workshop on Climate Change

本年度之 TCCIP 氣候變遷國際研討會定名為「2014 TCCIP International Workshop on Climate Change」，於 2014 年 1 月 13-16 日假國立東華大學環境學院舉行。本年度的國際研討會以國際學術交流為主要目的，特依本計畫各工作小組的科研議題設定會議主題，就各議題之研究進展與國外學者進行交流。會議主題如下：

- Climate projection and analyses
 - Global and regional climate analyses.
 - Global climate modeling
- Climate change downscaling
 - Dynamic downscaling methods and data analyses
 - Statistic downscaling methods and data analyses
- Impact assessments
 - Applications and impact assessments in hydrology, disasters, health and agriculture etc.
- Climate services
 - Experience sharing in climate information service and communication between user and data producer nationwide and worldwide.

會中邀請了國內外共 24 名講者，分享其在氣候變遷領域之研究成果，其中國內講者主要為 TCCIP 計畫之主持人群，國外講者則邀請自英國、澳洲、香港、日本與韓國等國家於氣候變遷領域之專家，國外講者名單請見表 5.7，議程如表 5.8。

會議中介紹了 TCCIP 各 Team 最新的研究進度，與國內外學者充分討論，並與國外來賓充分交流，例如日本創生計畫成員分享目前 SOUSEI-C 與 SOUSEI-D 兩團隊的最新成果，韓國則由 APCC 的學者分享 CMIP5 資料的不確定性以及其應用於農業乾旱之成果，以及 Dr. Seung-Ki Min 分享多模式極端高溫的研究成果，英國的 Dr. Steven Wade 則以英國為案例分享氣候變遷下洪水風險評估的方法。今年度另一重點為農糧與公衛領域的議題，其中澳洲的 Dr. Roger Stone 說明氣候變遷下澳洲糧食產量預測的心得，公衛方面則由吳佩芝教授分享氣候變遷下臺灣公衛領域之研究。

會議活動相關照片請見圖 5.19，更多 2014 TCCIP International Workshop on Climate Change 的內容以及簡報下載請見國際研討會之網頁：<http://tccip.ncdr.nat.gov.tw/2014iwcc>。

表 5.7 2014 TCCIP IWCC 國外講者名單

| Invited Speakers | | |
|---------------------------|---|-----------|
| Name | Institution | Country |
| Roger Stone | University of Southern Queensland | Australia |
| Ngar-Cheung, Gabriel, Lau | The Chinese University of Hong Kong | HK |
| Akio Kitoh | University of Tsukuba | Japan |
| Tetsuya Takemi | DPRI, Kyoto Univ. | Japan |
| Nobuhito Mori | DPRI, Kyoto Univ. | Japan |
| Kenichiro Kobayashi | Kobe University | Japan |
| Kazuhisa Tsuboki | Nagoya University | Japan |
| Akihiko Murata | Meteorological Research Institute | Japan |
| Ryo Mizuta | Meteorological Research Institute | Japan |
| Hyung-Jin Kim | AEPC Climate Center | Korea |
| Jae-Pil Cho | AEPC Climate Center | Korea |
| Seung-Ki Min | Pohang University of Science and Technology | Korea |
| Steven Wade | HR Wallingford | UK |

表 5.8 2014 TCCIP IWCC 議程

| 2014 TCCIP International Workshop on Climate Change | | | | | |
|---|--|---|--|--|--------------------------------|
| Time | Monday 13th January event | Time | Tuesday 14th January event | Wednesday 15th January event | Thursday 16th January event |
| Topic | | Topic | Disaster | Climate Projection and Analysis | |
| Chairman | | Chairman | Keh-Chia Yeh | Cheng-Ta Chen | |
| 0800-0830 | | 0800-0830 | | | |
| 0830-0900 | | 0830-0900 | | | Leave Hotel |
| 0900-1145 | Preparation of Workshop/ TCCIP-SOUEI Joint Meeting | 0900-0925 0925-0950 0950-1020 1020-1045 1045-1110 1110-1135 1135-1200 | Nobuhito Mori Kenichiro Kobayashi Steven Wade Tetsuya Takemi Ting-Yeh Wu | Mong-Min Lu Hyung-Jin Kim Cheng-Ta Chen Tea & Coffee/ Poster Session Chao-Tzuen Cheng Ke-Sheng Cheng | |
| 1145-1400 | Lunch | 1200-1335 | Lunch | Lunch | Trip to Taroko National Park |
| Topic | Climate Projection and Analysis | Topic | Extreme Temperature | Agriculture and Public Health | |
| Chairman | Huang-Hsiung Hsu | Chairman | Mong-Min Lu | Ke-Sheng Cheng | |
| 1400-1420 | Opening Ceremony | 1335-1400 | Ngar-Cheung Lau | Roger Stone | |
| 1420-1430 | Introduction to TCCIP-II | 1400-1425 | Seung-Ki Min | Ming-Hwi Yao | |
| 1430-1440 | Group Photo | 1425-1450 | Shu-Ping Weng/Chih-Wen Hung | Jae-Pil Cho | |
| 1440-1505 | Huang-Hsiung Hsu | 1450-1515 | Summary and Discussion | Pei-Chih Wu | Back to Hualien Station |
| 1505-1530 | Akio Kitoh | 1515-1545 | | Tea & Coffee | |
| 1530-1600 | Tea & Coffee | 1545-1610 | | Yi-Chao Wu | |
| 1600-1625 | Kazuhisa Tsuboki | 1610-1635 | Local Tour | Sumamry and Discussion | |
| 1625-1650 | Akihiko Murata | 1635-1700 | | | |
| 1650-1720 | Sumamry and Discussion | 1700-1730 | | Back to Hotel | Train to Taipei |
| 1720-2030 | Welcome Reception | 1730-1800 | Back to Hotel | | To Airport or Hotel |

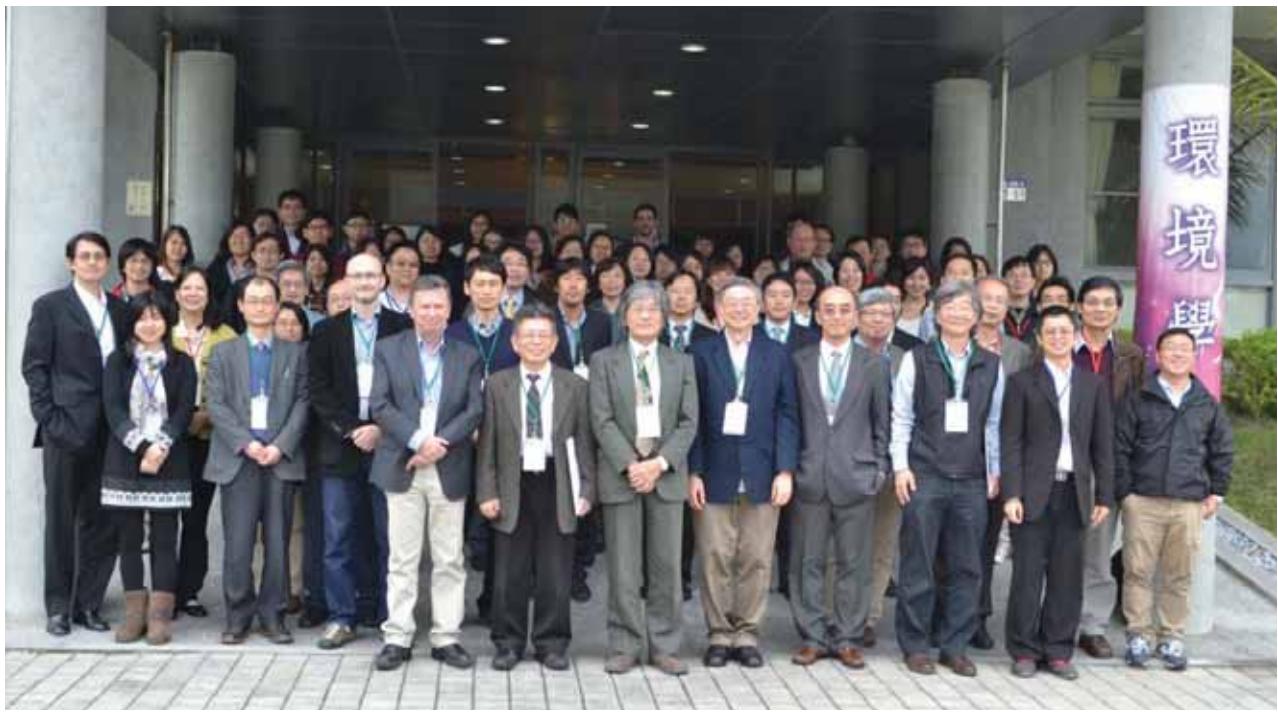


圖 5.19 國際研討會花絮

第六章 結語

TCCIP 計畫在國家氣候變遷政策下，扮演著資料產製與應用服務的重要角色，一方面建構臺灣的長期觀測資料與未來推估資料提供給使用者，另一方面建構氣候變遷資訊應用服務的能力與服務平台。TCCIP 的成果產出亦銜接科技部（原國科會）內部的研究計畫（如 CCLiCS 與 TaiCCAT 計畫）、提供研究成果與資料供相關部會（如：水利署、農委會）、政策綱領相關領域的衝擊研究與調適策略研擬等。

氣候變遷議題持續受到世界各國政府的高度矚目與關心，國際主要氣候研究中心亦相繼於 2013 與 2014 提出最新的氣候變遷資料 (CMIP5)，為強化國內氣候變遷研究並與國際趨勢接軌，TCCIP 第二期計畫(102-104 年) 將肩負其被賦予之角色，持續提供氣候變遷資料產製與服務之重責大任。TCCIP 第二期計畫加入了第四工作小組，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。在此架構下，第一年度的主要成果與第二年度之重點工作規劃分述如後。

6.1 第一年度成果總結

第一工作小組 (Team1) 今年度陸續完成臺北及臺南氣象站之逐時歷史觀測資料（包含：測站氣壓、氣溫、相對濕度、平均風速、平均風向、日照時數等 6 項）數位化工作，為往後氣候分析的資料需求做準備。此外，針對氣候變遷議題所關切的海平面資料，選定 10 個潮位測站對其長期潮位觀測資料進行均一化作業（基隆、高雄、淡水、花蓮、澎湖、塭港、蘇澳、新竹、東石、成功等站），並分析其中四個測站的長期海平面變化趨勢。在網格化資料的部分，經分析後發現第一期計畫所產製之月溫度網格化資料於高山地區有冷化現象，透過與有限測站資料之比較與修正後，預計將於今年產製第三版網格化資料。

Team 1 在第二期計畫中的一項重點工作為氣候現象評估量表 (Phenomena metrics) 與模式表現評估量表 (Performance metrics) 的建立，嘗試以 Bottom-up 的方式，針對下游端所關切之議題，找出與其相關之重要氣候現象評估指標，並透過適當之度量因子以及模式表現評估量表，評估氣候模式對該事件模擬之表現優劣程度。在第一年度中，針對各領域之氣候現象量表進行先期研究，包含：冬半季降雨分析、春季乾旱、梅雨季之氣候現象分析、鋒面定位技術之建立、熱浪分析等等。這些先期研究除了是氣候領域重要的分析工作，也提供明確範例供下游端使用者了解氣候現象評估量表之內涵，作為下游者用者提出需求之參考。今年度也以華南梅雨的變遷為例，分析 CMIP5 模式對於 U850、V850 及 H500 等三個度量因子的表現，作為氣候模式表現評估量表的範例。

第二工作小組 (Team2) 今年度持續產製最新之統計降尺度資料 (CMIP5)，並針對其結果之不確定性做量化的分析。在動力降尺度資料產製方面，完成建置 WRF3.5.1 於氣象局超級電腦上，並進行測試。另外，亦與國外資料介接，完成 MRI AGCM、HIRAM、NCEP-CFSR 三

組資料現在時期 25 年的動力降尺度。這些統計與動力降尺度資料將陸續開始提供給 Team 3 進行使用，由使用者的角度預先試用與檢驗資料。

同時，為支援 Team1 氣候現象評估量表與模式表現評估量表建立的工作，Team2 團隊針對幾個主題氣候現象變遷進行深入的分析，包含：春雨雨量與鋒面頻率分析、乾溼年環流分析、夏季降水趨勢分析、區域多/少雨年環流分析、颱風強度與個數對副高脊位置的關係、侵台颱風個數、颱風路徑 A、豪雨事件、季內震盪、小波分析（年際及年代際變化）、颱風生成位置、颱風路徑模擬以及 Top5%極端溫度空間分布與熱浪事件頻率分析等等。

第三工作小組 (Team3) 的關鍵核心價值在於氣候變遷上下游資料推廣關鍵技術研發，注重氣候變遷資料銜接與應用推廣。第一期計畫中 Team 3 在水文領域與防災領域已累積相當豐富之經驗與成果。第二期計畫中，Team3 除了強化防災領域的整合應用之外，加入了農業以及公衛領域。在深化災害領域之降尺度資料應用技術研發方面，整合災防中心的能量，以全流域防災模擬技術，整合坡地、海岸以及河道三部分之模擬，以曾文溪流域為例，模擬未來情境下之土石流、河道與都市淹水、海岸溢淹等災害。

在農業領域與農委會農業試驗所合作，利用單一模式之動力降尺度 (MRI-WRF) 分析臺灣地區未來水稻產量生產潛勢，合作過程中了解日輻射量資料的重要性，也發現動力降尺度之日輻射量資料的高估問題，並透過偏差校正解決此問題。另一方面，計畫團隊也開始嘗試產製統計降尺度之日輻射量資料，期望於第二年度計畫中提供農試所進行更多模式下的水稻產量評估。在公衛領域與長榮大學合作，以統計降尺度 24 個模式的氣溫資料，評估未來臺灣地區登革熱流行及風險的變遷趨勢。合作過程中亦了解公衛領域對於氣候資料的需求，例如：相對溼度與午後對流降雨強度等氣候資訊，也已提供需求給 Team 1 與 Team2 團隊，協助提供相關資料，以利進行第二年度之規劃工作。由使用者的角度，Team 3 近期亦提出農業領域對於水稻產量有關的關鍵評估指標給 Team1，以利建立農業領域需求的氣候現象評估量表，例如：2 月發生 10°C 以下的次數、5 月發生 35°C 以上的次數、6 月發生 130mm 以上豪雨次數等。

Team 3 於今年度亦完成三項降尺度資料應用技術研發，包含：MRI-WRF 動力降尺度資料之模式偏差校正、以 LARS-WG 模擬未來氣候情境之日最高溫度、日最低溫度與日降雨、介接台大生工系鄭克聲教授所開發之序率暴雨模擬 Matlab 模組等。

第四工作小組(Team 4)為第二期計畫中新增的小組，主要工作目標為建構資料服務平台，供資料產製者、應用技術開發者、資料需求者以及相關領域之衝擊評估與決策者在此平台上進行氣候變遷資料 (Data) / 資訊 (Information) / 知識 (Knowledge) 的溝通 (Communication) 與服務 (Service)。在強化科學社群溝通與服務方面，今年度(至 103 年 3 月止) 共提供了 19 個單位或機構計畫所需的氣候變遷資料、完成兩組示範資料的資料生產履歷、辦理 2 場資料說明會/研討會與 1 場氣候變遷推廣活動等。本年度完成 TCCIP 內部溝通分享平台以及 TCCIP 線上資料服務系統，提升對外提供資料的效率。在氣候變遷知識轉譯與服務方面，因應 IPCC 氣候變遷第五次評估報告—第一工作小組報告的公佈，以 2 個月時間翻譯給決策者摘要中文版，提供國內讀者精準與完整的決策者摘要資訊。

Team 4 一項重要的工作項目為第二版氣候變遷科學報告之撰寫，分別由 TCCIP 及 TaiCCAT 計畫團隊負責氣候變遷的科學及衝擊/調適兩大層面的撰寫，並由 TCCIP 計畫團隊組成工作小組統籌協助一、二冊間編撰工作協調事項及行政庶務。目前作者群正在撰寫中，預計 103 年 5 月底完成初稿，9~10 月辦理專家審查，年底提交科技部。

6.2 第二年度重點工作規劃

承接第一年的進度與成果，各工作小組第二年度的重點工作規劃如下：

6.2.1 第一工作小組

第二年度之工作規劃仍持續將更多的氣候變數與資料進行數位化與均一化及再分析工作，並重新檢視網格化資料之產製方法。此外，第一年度在氣候現象評估量表已建立研究能量，並經過與農業及公衛領域一年的合作，第二年度將更針對農業與公衛領域之需求，建立氣候現象評估量表。AR5 模式資料的產製與分析工作亦將陸續於第二年度完成。

□ 強化臺灣地區氣候變遷資料之建置與現象再分析

- 資料數位化
- 海平面資料數位化、均一化及再分析工作
- 測站溫度資料均一化再分析 (CWB)
- TCCIP 網格化資料 V3 版
- 氣候變遷現象歸因探討

□ 氣候現象評估量表 (Phenomenon Metric) 建立

- 災害領域特定氣象問題訪談與蒐整
- 農業領域問題訪談與蒐整
- 公衛領域問題訪談與蒐整
- Phenomenon Metric 建立

□ 氣候模式表現評估量表 (Performance Metric) 建立

- AR5 模式分析
- Performance Metric 方法確立
- Performance Metric 建立 (災害、農業、公衛)

6.2.2 第二工作小組

CMIP5 統計降尺度資料更新與不確定性分析將陸續於第二年度完成，動力降尺度方面則將陸續完成未來時期之模擬，並針對颱風進行偵測、重置實驗以及歷史颱風模擬，亦將探討降尺度資料於季節降雨與極端事件變遷，支援 Team 1 之氣候現象評估量表之工作。此外，將與 Team 1 合作撰寫科學報告之部分章節。

□ 統計降尺度資料產製及技術研發

- CMIP5 降尺度資料更新 (因應 V3 版網格資料)
- CMIP5 日最高溫、日最低溫降尺度
- 其他變數 (RH、地面風、輻射….) 測站點降尺度
- AGCM 資料降尺度 (與動力降尺度結果比對)
- 不確定性分析

□ 動力降尺度資料產製及技術研發

- 未來時期降尺度
- 颱風偵測
- 颱風重置實驗
- Pseudo Global Warming (PGW) 歷史颱風模擬

□ 動力降尺度季節降雨及極端事件變遷原因探討

- 分析 AGCM、RCM 現代時期推估資料
- 判別模式中主題及相關因子的模擬優劣
- 科學報告撰寫

6.2.3 第三工作小組

因應 Team 2 產製之 CMIP5 資料，將應用 CMIP5 資料於水資源領域之影響評估。在全流域防災模擬上，承接第一年之技術開發，第二年將以高屏溪為研究區域，並嘗試解決濁水流模擬之問題。在農業與公衛領域之合作上，除了將提供更多模式之日輻射量資料，供農業領域進行糧食生產評估外，亦將針對公衛領域上更多研究議題進行合作，例如氣候因素對死亡率之影響、淹水對傳染病風險之影響等，並積極與 Team 1 溝通氣候現象評估量表之研究需求。在降尺度應用技術開發上，亦將持續進行動力降尺度資料偏差校正之研究以及 CMIP5 統計降尺度資料衍生工作。

□ 全流域防災模擬

- 以高屏溪流域為研究區

- 應用 CMIP5 資料之水資源影響評估

□ 農業與公衛領域

- 使用統計降尺度資料進行糧食生產評估
- 動力降尺度之農業災損機率評估
- 評估未來臺灣溫度與濕度變化情境對全死亡率及心臟血管死亡率之影響
- 大量降雨、地區積水及淹水事件與相關傳染病之關係及風險

□ 降尺度應用技術研發

- 使用颱風軌道資訊之 MRI 時雨量偏差修正
- CMIP5 之日氣象資料與暴雨事件時雨量衍生

6.2.4 第四工作小組

承接第一年度之工作，將以新版之資料申請平台提供氣候變遷資料，並將第二期資訊平台上线。為讓使用者更了解資料特性，亦將產製更多資料生產履歷，並積極辦理資料說明會、國際研討會與專家座談/工作坊等，並將持續氣候變遷知識轉譯與服務等工作。第二年度重點工作之一為完成科學報告第二版初稿並提交科技部。

□ 強化科學社群溝通與服務

- 完成現有提供資料的資料生產履歷
- 持續辦理資料說明會、國際研討會、專家座談/工作坊

□ 資訊平台網資料的改版與強化線上服務

- 資料申請平台維運
- 第二期資訊平台測試版上線

□ 第二版氣候變遷科學報告之撰寫

- 完成科學報告第二版初稿並提交科技部

□ 氣候變遷知識轉譯與服務

- 知識轉譯與推廣出版品
- TCCIP 計畫介紹文宣 (手冊、摺頁…等)

參考文獻

王安翔、陳泰然、張智昇、龔楚媖，2012。臺灣梅雨季之北中南區降雨規模與水氣通量分析比較。101 年天氣分析與預報研討會論文彙集，臺北，38-43。

中央地質調查所，2012。易淹水地區上游集水區地質調查成果應用研究計畫 (2/3)。

吳佳郡，2006。「降雨誘發山崩之潛感分析初探」，國立暨南國際大學土木工程學系，碩士論文。

吳宜昭、黃柏誠、朱容練、張振瑋，2012。2011/2012 年臺灣春雨及環流特性之比較，101 年天氣分析與預報研討會，臺北，319-322。

李香潔、金 碩、陳政勳、余清祥、李欣輯、陳永明，2011。縣市層級人口結構推估方法及其在防減災上的意義，災害防救電子報，第 66 期。

林李耀等，2011。「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(2/3)」期末報告（計畫編號：NSC99-2621-M-492-001），行政院國家科學委員會。

林李耀等，2013。「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(3/3)」期末報告（計畫編號：NSC100-2621-M-492-001），行政院國家科學委員會。

林宜穎、鄭兆尊、陳淡容、陳正達、Masato Sugi，2011。以 MRI-AGCM 動力降尺度的結果推估 21 世紀末臺灣地區季節降雨的變遷。建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文彙編，445-450。

林品芳、張保亮、周仲島，2012。弱綜觀環境下臺灣午後對流特徵及其客觀預報。大氣科學，第 40 期，第 77-108 頁。

姚銘輝、陳述、漆匡時、蔡金川，2002。溫度估算日射量之可行性評估，中華農業研究，第 51 卷，第 4 期，第 73-83 頁。

徐邦琪、鄒治華、柯文雄、許晃雄，2005。西北太平洋地區颱風季季內振盪年際變化之研究。大氣科學，第 33 期，第 29-48 頁。

翁叔平、楊承道，2012。臺灣地區月降雨及溫度 1 公里網格資料庫之建立 (1960-2009) 及其在近未來 (2015-2039) 的氣候推估應用，大氣科學，第 40 期，第 349-370 頁。

國家災害防救科技中心，2012。「100 年坡地土砂災害衝擊評估」，國家災害防救科技中心技術報告。(NCDR 100-T36)。

陳則佑，2011。「應用點估法與 TRIGRS 程式分析奧萬大道路邊坡之破壞機率」，國立中興大學水土保持學系，碩士論文。

陳淡容、鄭兆尊、林宜穎、陳永明、陳正達、Masato Sugi，2011。以 MRI-AGCM 推估未來臺

參考文獻

- 灣地區颱風降雨的變遷。建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文彙編，433-438。
- 陳泰然、周鴻祺、廖珮娟、楊進賢，2009。暖季臺灣中北部午後連續對流的氣候特徵研究，大氣科學，第 37 期，第 49-86 頁。
- 陳泰然、周鴻祺、廖珮娟及楊進賢，2009。暖季弱綜觀強迫下中北臺灣午後對流的氣候特徵，大氣科學，第 37 期，第 155-194 頁。
- 陳泰然、周鴻祺、廖珮娟及楊進賢，2010。暖季臺灣中北部午後對流活躍度與發展速率探討，大氣科學，第 38 期，第 135-164 頁。
- 陳景森，陳宇能，林秉承，林沛練，劉哲伶，蘇炯瑞，彭文君，2007。梅雨季臺灣西南部豪雨之探討 (1997~2006)，大氣科學，第 35 期，第 287-304 頁。
- 陳熙揚、陳泰然、林麗芬，2000。臺灣北部地區五~七月雷遡回波特徵與局部環流探討。大氣科學，第 28 期，第 73-90 頁。
- 陳慶昌、嚴明鉅及王世宇，2007。臺灣與東亞之夏季季風降雨變化，大氣科學，第 35 期，第 305-352 頁。
- 張智昇、于宜強、陳永明、林李耀、周仲島，2008。臺灣梅雨季豪雨事件與西南氣流關係之初步研究。2008 年天氣分析與預報研討會論文彙編，臺北，191-193。
- 戴俐卉、洪景山、莊秉潔、蔡徵霖、倪佩貞，2008。WRF 模式臺灣地區土地利用類型之更新與個案研究，大氣科學，第 36 期，第 43-62 頁。
- Allen, M. R. and D. A. Stainforth, 2002. Towards Objective Probabilistic Climate Forecasting. *Nature* 419: 228. doi:10.1038/nature01092a
- Anselin, L., 1992. Spatial Data Analysis with GIS: An Introduction to Application in the Social Sciences. Santa Barbara, CA, National Center for Geographic Information and Analysis.
- Anselin, L., 2005. Exploring spatial data with GeoDa: A workbook. Urbana-Champaign, IL, Spatial Analysis Laboratory, Department of Geography, University of Illinois.
- Aoki, A., and A. Isobe, 2007. Application of finite volume coastal ocean model to hindcasting the wind-induced sea-level variation in Fukuoka Bay, *J. Oceanogr.*, 63(2), 333-339, doi:10.1007/s10872-007-0032-7.
- Camargo, S. J., A.W. Robertson, S. J. Gaffney, P. Smyth, and M. Ghil, 2007. Cluster analysis of typhoon tracks. Part II: Large-scale circulation and ENSO. *J. Climate*, 20, 3654–3676.
- Casimiro E., Calheiros J., Santos, F. D., Kovats S., 2006. National Assessment of Human Health Effects of Climate Change in Portugal: Approach and Key Findings. *Environmental health perspectives*, 114(12), 1950-1956

- Csimiro E, Calheiros JM., 2002. Human health. In: Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Project (Santos FD, Forbes K, Moita R, eds). Lisbon:Gradiva Publishers, 241–300.
- Chan, J. C. L., 2005. Interannual and interdecadal variations of tropical cyclone activity over the western North Pacific, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 89, 143–152.
- Chan, J. C. L., and K. S. Liu, 2004. Global Warming and Western North Pacific Typhoon Activity From an Observational Perspective. *J. Climate.*, 17, 4590-4602.
- Chen, C., G. Cowles, and R. C. Beardsley, 2004. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model: FVCOM user manual. Dartmouth, Massachusetts: 1st ed., Tech. Rep. 04-0601, School of Mar. Sci. and Technol., Univ. of Mass., 183p.
- Chen, C., R.C. Beardsley, and G. Cowles, 2006. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model (FVCOM) system. *Oceanography*, 19(1), 78-89.
- Chen, C.-S., and Y.-L. Chen, 2003. The rainfall characteristics of Taiwan, *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1323-1341.
- Chen, C.-S., Y.-L. Chen, C.-L. Liu, P.-L. Lin, and W.-C. Chen, 2007. Statistics of Heavy Rainfall Occurrences in Taiwan. *Weather Forecasting*. 22, 981-1002.
- Chen, G. T.-J., Z. Jiang, and M. -C. Wu, 2003. Spring heavy rain events in Taiwan during warm episodes and the associated large-scale conditions. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1173-1188.
- 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.
- Chen, T.C., S. P. Weng, N. Yamazaki, and S. Kiehne, 1998. Interannual variation in the tropical cyclone formation over the western north Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 1080–1090.
- Chen, T. C., M. C. Yen, J. C. Hsieh, and R. W. Arritt, 1999. Diurnal and seasonal variations of the rainfall measured by the automatic rainfall and meteorological telemetry system in Taiwan. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 2299-2312.
- Chen, T. C., S. Y. Wang, and M. C. Yen, 2007. Enhancement of afternoon thunderstorm activity by urbanization in a Valley: Taipei. *J. Appl. Meteor. Clim.*, 46, 1324-1340.
- Cheng, K.S., Hueter, I., Hsu, E.C., Yeh, H.C., 2001. A Scale-Invariant Gauss-Markov Model for Design Storm Hyetographs, *Journal of the American Water Resources Association*, 37(3), 723-736.
- Choi, K.-S., and H.-R. Byun, 2010. Possible relationship between western North Pacific tropical cyclone activity and Arctic Oscillation. *Theor Appl Climatol.*, 100, 261-274.

參考文獻

- Efron B. and G.Gong, 1983. “A leisurely look at the bootstrap, the jackknife, and cross-validation”, *The American Statistician*, 37(1), 36-48.
- Gill, A. E., 1980. Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 106, 447-462.
- Hawkins, E. and Sutton, R. T., 2009. The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. *Bull. Amer. Met. Soc.* 90, 1095-1107
- Hawkins, E. and Sutton, R. T., 2011. The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. *Climate Dynamics*, 37 (1-2). pp. 407-418. ISSN 1432-0894
- Hewson, T. D., 1998. Objective fronts, *Meteorol. Appl.*, 5, 37-65, doi:10.1017/S1350482798000553.
- Ho, C. H., J. J. Baik, J. H. Kim, D. Y. Gong, C. H. Sui, 2004. Interdecadal change in summertime typhoon track. *J. Climate.*, 17, 1767-1776.
- Hsu, H.-H., 1996. Global view of intraseasonal oscillation during northern winter. *J. Climate*, 9, 2386-2406.
- Huang, N. E., and Coauthors, 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. A*, 454, 903–995.
- Hung, C. W., 2013. A 300-year typhoon record in Taiwan and the relationship with solar activity. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 24, 737-743, doi: 10.3319/ TAO.2013.02.18.01 (A)
- IPCC, 2001. Climate change 2001: The science Basic. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- IPCC 2007, Climate change 2007: The science Basic. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.[Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996pp.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Jiang, Zhihong, G. T.-H. Chen, and M-C. Wu, 2003. Large-scale circulation patterns associated with heavy spring rain events over Taiwan in strong ENSO and Non-enso years. *Monthly Weather*

- Review*, 131 (2), 1769–1782.
- Jou, B. J. D., 1994. Mountain – originated mesoscale precipitation system in northern Taiwan: A case study 21 June 1991. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 5, 169—197.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, B. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, D. Joseph, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–472.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter, 2002. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1631–1643.
- Kerns, J., B. Wesley, Y.-L. Chen, and M.-Y. Chang, 2010. The Diurnal Cycle of Winds, Rain, and Clouds over Taiwan during the Mei-Yu, Summer, and Autumn Rainfall Regimes. *Mon. Wea. Rev.*, 138, 497–516.
- Kim, J.-H., C.-H. Ho, H.-S. Kim, C.-H. Sui, and S. K. Park, 2008. Systematic Variation of Summertime Tropical Cyclone Activity in the Western North Pacific in Relation to the Madden-Julian Oscillation. *J. Climate*, 21, 1171–1191.
- Ko, K.-C., and H.-H. Hsu, 2009. ISO Modulation on the Sub-monthly Wave Pattern and the Recurring Tropical Cyclones in the Tropical Western North Pacific. *J. Climate*, 22, 982–599.
- Lei, Y., B. Hoskins, and J. Slingo, 2011. Exploring the interplay between natural decadal variability and anthropogenic climate change in summer rainfall over China. Part I: Observational Evidence. *J. Climate*, 24, 4584–4599.
- Li, R., and W. Zhou, 2012. Changes in western Pacific tropical cyclones associated with the El Niño-Southern Oscillation cycle. *J. Climate*, 25, 5864–5878.
- Li, R. C. Y., and W. Zhou, 2013. Modulation of western North Pacific tropical cyclone activities by the ISO. Part II: Tracks and landfalls. *J. Climate*, 26, 2919–2930.
- Liu, K.S., and J. C. L. Chan, 2008. Interdecadal variability of western north pacific tropical cyclone tracks. *J. Climate*, 21, 4464–4476.
- Liu, K. S. and J. C. L. Chan, 2013. Inactive Period of Western North Pacific Tropical Cyclone Activity in 1998–2011. *J. Climate*, 26, 2614–2630.
- Matsuno, T., 1966. Quasi-geostrophic motions in the equatorial area. *J. Meteor. Soc. Japan*, 44, 25–43.
- Maloney, E. D., and D. L. Hartmann, 2001. The Madden Julian oscillation, barotropic dynamics, and North Pacific tropical cyclone formation. Part I: Observations. *J. Atmos. Sci.*, 58, 2845–2558.

參考文獻

- Matsuura, T., M. Yumoto, and S. Iizuka, 2003. A mechanism of interdecadal variability of tropical cyclone activity over the western North Pacific. *Climate Dyn.*, 21, 105–117.
- Maurer, E. P., 2007. Uncertainty in hydrologic impacts of climate change in the Sierra Nevada, California under two emissions scenarios, *Climatic Change*, 82, 10.1007/s10584-006-9180-9
- Mellor, G.L. and T. Yamada, 1982. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problem. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20, 851-875.
- Meinshausen, M., S. J. Smith, K. Calvin, J. S. Daniel, M. L. T. Kainuma, J-F. Lamarque, K. Matsumoto, S. A. Montzka, S. C. B. Raper, K. Riahi, A. Thomson, G. J. M. Velders , D.P. P. van Vuuren, 2011. The RCP greenhouse gas concentrationsand their extensions from 1765 to 2300, *Climatic Change*, 109, 213-241, doi 10.1007/s10584-011-0156-z.
- Ministry of Environment and Forest and Government of India, 2004. India's Initial National Communication to the United National Framework Convention on Climate Change. Government of India, New Delhi, 292 pp.
- Mitchell, T. D., and P. D. Jones, 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology* 25, 693-712 (doi:10.1002/joc.1181) .
- 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 MRI-AGCM3.2 with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 233-258.
- Moreno, G., 2005. Utilización del análisis polínico para la reconstrucción de la vegetación, clima y paleoaltitudes a lo largo del arco alpino europeo durante el Mioceno (21–8 Ma). Ph.D. thesis, Univ. Granada, 318 p.
- Murakami, H., B. Wang and A. Kitoh, 2011, Future changes in the western North Pacific typhoons: Projection with a 20-km-mesh global atmospheric model. *J. Climate*, 24, 1154-1169.
- Nairn, J., R. Fawcett, and D. Ray, 2009, Defining and predicting excessive heat events: Anational system. *CAWCRTech. Rep.* 017, 83–86.
- Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries HJM, Fenner J, Gaffin S, Gregory K, Grübler A, Jung TY, Kram T, La Rovere EL, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Riahi K, Roehrl A, Rogner HH, Sankovski A, Schlesinger ME, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z., 2000, Special report on emissions scenarios, international panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- National Environment Commission, Royal Government of Bhutan, UNDP and GEF, 2006. Bhutan National Adaptation Programme of Action. National Environment Commission Royal

- Government of Bhutan, Thimphu, 95 pp.
- O'Brien, J. S., Julien, P. Y., Fullerton, W.T., 1993. "Two-Dimensional Water Flood and Mudflow Simulation" *Journal of Hydraulic Engineering-Asce*, 119(2), 244-261.
- Perkins, S. E., and Alexander, L. V., 2013. On the Measurement of Heat Waves. *J. Climate*, 26, 4500-4517.
- Rego, J. L., and C. Li, 2009a. On the importance of the forward speed of hurricanes in storm surge forecasting: A numerical study, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L07609, doi:10.1029/2008GL036953.
- Rego, J. L., and C. Li, 2009b. On the receding of storm surge along Louisiana's low-lying coast, *J. Coastal Res.*, SI56(2), 1045–1049.
- Reichler, T., and J. Kim, 2008. How well do coupled models simulate today's climate? *BAMS*, 89(3), 303-311.
- Riedel, J. L., 2004. Interacciones entre el ganado y la vegetación de los pastos del Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara: implicaciones para la gestión de este espacio natural protegido. Thesis Master of Science CIHEAM, Zaragoza (Spain), 183 pp.
- Smagorinsky, J., 1963. General circulation experiments with the primitive equations. Part I. The basic experiment. *Monthly Weather Review*, 91, 99-164.
- Tu, Jien-Yi, Chia Chou, Pao-Shin Chu, 2009. The Abrupt Shift of Typhoon Activity in the Vicinity of Taiwan and Its Association with Western North Pacific–East Asian Climate Change. *J. Climate*, 22, 3617–3628.
- Vitart F., J. L. Anderson, and W. F. Stern, 1997. Simulation of the interannual variability of tropical storm frequency in an ensemble of GCM integrations. *J. Climate*, 10, 745-760.
- Wang, S.-Y., and T.-C. Chen, 2008. Measuring East Asian summer monsoon rainfall contributions by different weather systems over Taiwan, *J. Appl. Meteor. Clim.*, 47, 2068-2080.
- Weisberg, R. H., and L. Y. Zheng, 2006a. Hurricane storm surge simulation for Tampa Bay, Estuaries Coasts, 29(6), 899-913.
- Weisberg, R. H., and L. Zheng, 2006b. A simulation of the Hurricane Charley storm surge and its breach of North Captiva Island, *Fla. Sci.*, 69, 152-165.
- Weisberg, R. H., and L. Zheng, 2008. Hurricane storm surge simulations comparing three-dimensional with two-dimensional formulations based on an Ivan-like storm over the Tampa Bay, Florida region, *J. Geophys. Res.*, 113, C12001, doi:10.1029/2008JC005115.
- Wilby, R. L., S. P. Charles, E. Zorita, B. Timbal, P. Whetton, and L. O. Mearns, 2004. Guidelines for

參考文獻

- use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods, technical report, Data Distrib. Cent., Intergovt. Panel on Clim. Change, Norwich, U. K.
- Wood, A.W., E. P. Maurer, A. Kumar, and D. P. Lettenmaier, 2002. Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. *J. Geophysical Research-Atmospheres* 107(D20), 4429
- Wood, A.W., L.R. Leung, V. Sridhar, and D.P. Lettenmaier, 2004. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Clim. Change*, 62, 189-216.
- Wu, L., and B. Wang, 2004. Assessing impacts of global warming on tropical cyclone tracks. *J. Climate*, 17, 1686-1698.
- Wu, P. C., J. G. Lay, H. R. Guo, C. Y. Lin, S. C. Lung and H. J. Su, 2009. "Higher temperature and urbanization affect the spatial patterns of dengue fever transmission in subtropical Taiwan." *Sci. Total Environ.* 407(7), 2224-2233.
- Xie, L., and T. Yan, 2007. Western North Pacific typhoon track patterns and their potential connection to Tibetan Plateau snow cover. *Nat. Hazards*, 42, 317–333.
- Yao, M. H., H. S. Lur, C. Chu and J. C. Tsai, 2000. The applicability of DSSAT model to predict the production of rice and to evaluate the impact of climate change. (in Chinese with English abstract) *J. Taiwan Agric. Res.* 49, 16-28.
- Yasutomi, N., A. Hamada and A. Yatagai, 2011. Development of a long-term daily gridded temperature dataset and its application to rain/snow discrimination of daily precipitation. *Global Environmental Research*, V15N2, pp165-172.
- Yatagai, A., K. Kamiguchi, O. Arakawa, A. Hamada, N. Yasutomi and A. Kitoh, 2012. APHRODITE: constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges, *BAMS*, doi:10.1175/BAMS-D-11-00122.1
- Yumoto, M., and T. Matsuura, 2001. Interdecadal variability of tropical cyclone activity in the western north pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 23-35.
- Zhou, C, Shu, H., 2000. Environmental change of Taiwan and the assessment of vulnerability to the impacts of global change-climate. Taipei, National Science Council.