

以動力降尺度資料評估氣候變遷下 颱風降雨事件特性變異

Assessment of The Change of Typhoon Rainfall Event Characteristics Using Dynamic Downscaling Data Under a Climate Change Scenario

國家災害防救科技中心 計畫助理研究員	國家災害防救科技中心 助理研究員	國家災害防救科技中心 副研究員	日本氣像研究所 資深研究員
蘇元風*	劉俊志	鄭兆尊	鬼頭昭雄
Yuan-Fong Su	Jun-Jih Liou	Chao-Tzuen Cheng	Akio Kitoh

摘 要

颱風事件對於農田水利設施規劃設計、水稻災損評估、水資源管理及淹水演算而言影響甚鉅，評估在氣候變遷情境下颱風降雨事件特性於未來的改變是相當重要的工作。然而，過去有關氣候變遷對於降雨的研究中，受限於統計降尺度資料的時間解析度，大多以年、季節、或月降雨量為研究對象，幾乎沒有針對颱風事件特性變化的分析。國科會的「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(TCCIP)」與日本氣象廳合作取得動力降尺度資料(MRI)，並進一步以的天氣研究與預報模式系統(WRF)降為5公里解析度，其時間解析度為小時，適合用以進行颱風事件特性變化的分析，本研究亦為國內首次使用動力降尺度資料探討颱風事件特性改變之研究。颱風事件特性包含事件延時、總降雨量、間隔時距等，研究中比較觀測資料與動力降尺度資料之差異，並進行偏差校正(Bias correction)，最後比較氣候變遷情境下颱風事件特性於近未來(2015-2039)與世紀末(2075-2099)相較於基期(1979-2003)之變化情形。結果顯示，相對於基期而言，近未來與世紀末，在臺灣整體的颱風事件降雨延時減少，而總降雨量有明顯的增加趨勢，突顯出未來極端降雨的強度增加的警訊。

關鍵詞：氣候變遷，動力降尺度，颱風事件降雨特性。

ABSTRACT

Typhoon rainfall is an important issue for many agricultural and hydrological practices, such as channel design, assessment of rice losses due to flooding, water

*通訊作者，國家災害防救科技中心計畫助理研究員，231 新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓，yuanfongsu@ncdr.nat.gov.tw

resource management etc. However, the future change of typhoon rainfall patterns, in spatial and temporal, under climate change scenario is still unknown yet critical. Taiwan Climate Change Projection and Information Platform (TCCIP) project introduced a dynamic downscaling data set from Meteorological Research Institute (MRI) and further downscaled into 5 km grids by Weather Research and Forecasting modeling system (WRF). This research is the first research in Taiwan using the data set (hereafter, called WRF-MRI) with hourly rainfall for assessing the changes of typhoon rainfall event characteristics. We compared the typhoon rainfall characteristics including number of events, duration, total rainfall, and inter-event time, derived from observations and a dynamic downscaling data set. A bias correction of the dynamic downscaled data set was also conducted. After bias-corrected, the typhoon rainfall duration, in Taiwan, will generally decrease while the total rainfall amount will increase in the future under climate change scenario. This indicated the rainfall intensity will increase in the future especially in central and southern part of Taiwan and we should take this as a warning for future agricultural and hydrological practices.

Keywords: Climate Change, Dynamic Downscaling, Typhoon Rainfall Characteristics.

一、前言

全球各地極端降雨事件頻傳，這些事件與氣候變遷是否有關引起許多大氣與水文學者熱烈的討論。臺灣地處亞熱帶中，每年受颱風侵襲，其所夾帶的暴雨及淹水造成鉅額之農業經濟損失。然而在變遷的氣候中，未來颱風降雨特性是否會受到全球暖化的影響而改變，這一直是許多水文學家所關切的重要議題。過去探討氣候變遷對於降雨特性改變的相關研究中，多採用年、季節、或月降雨量尺度，幾乎沒有針對事件尺度的研究。然而，許多農田水利設施規劃設計、水庫供水調度而言，了解事件降雨特性是相當重要的工作。過去經常使用之統計降尺度大氣環流模式資料(GCM)僅能提供每月的降雨改變率等資訊，過去仍需透過天氣衍生器(weather generator)產生日尺度之降雨資料，然而天氣衍生器有其自身的問題，例如日降雨衍生時是否考慮自相關(auto-correlation)。此外，日尺度仍難以滿足許多水文應用之需求，例如洪水演算與都市淹水等研究。

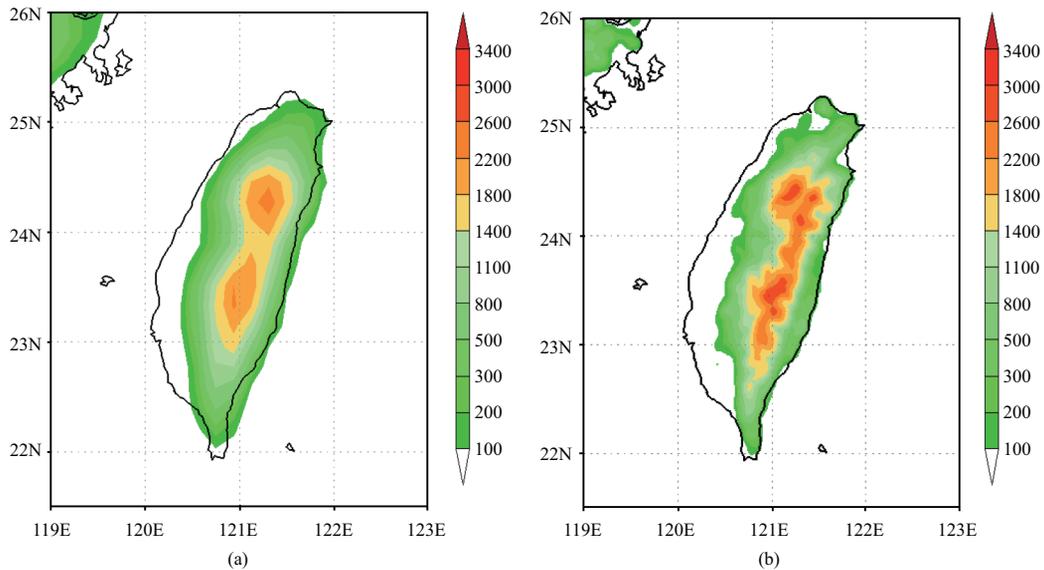
動力降尺度資料則提供前述問題的一個解

決方案。動力降尺度使用數學模式描述大氣流動之物理特性，使用高速電腦進行運算，可提供高時空間解析度之氣候資料。國科會的氣候變遷主軸計畫：「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(此後簡稱 TCCIP)」與日本氣象廳的氣候研究中心(MRI)合作取得一組動力降尺度資料(MRI-AGCM3.2S)，其空間解析度為 20 公里。為了適合臺灣地區使用，TCCIP 計畫以 MRI-AGCM3.2S 資料為邊界條件，再次進行動力降尺度，將空間解析度更細緻至 5 公里，時間解析度則為 1 小時，以使其適用於颱風事件特性在氣候變遷情境下未來之變化分析。

本研究將比較觀測資料與動力降尺度資料在基期(1979-2003)時，事件降雨特性之差異，並進行偏差校正(bias correction)，最後探討氣候變遷情境下所得之颱風事件降雨特性於近未來(2015-2039)與世紀末(2075-2099)相較於基期之變化情形。

二、資料說明

在氣候變遷情境下，本研究所使用的未來降雨推估資料來自日本氣象廳(Japan Meteorological



資料來源：摘自臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(1/3)年度成果報告書

圖 1 動力降尺度模式中使用之地形資料(a)MRI 模式(20 公里)；(b)WRF 模式(5 公里)

Agency, JMA)氣象研究所(Meteorological Research Institute, MRI)發展的高解析度大氣環流模式(Atmospheric General Circulation Model, 之後簡稱為 MRI-AGCM3.2S)模擬出來的氣候推估。MRI-AGCM3.2S 係根據日本氣象廳原有用在天氣預報作業的數值模式所發展而成，水平解析度約 20 公里左右，為一非常高解析度的全球模式(Oouchi *et al.* 2006; Mizuta *et al.* 2006; Kitoh *et al.* 2008; Mizuta *et al.*, 2012)，MRI-AGCM3.2S 採分段模擬(又稱為時間切片；time slice)，模擬時期分為基期(1979-2003)，近未來(2015-2039)以及世紀末(2075-2099)等，所使用之氣候變遷排放情境為 A1B 情境。

然而 20 公里解析度對於仍不足以呈現臺灣集水區尺度之降雨事件分析空間特性，故 TCCIP 計畫以美國大氣研究中心(NCAR)所主導發展的天氣研究與預報模式系統(Weather Research and Forecasting modeling system, 之後簡稱為 WRF 模式)再進一步之執行動力降尺度，其降尺度過程採用 MRI-AGCM3.2S 之模擬結果當作初始場及邊界條件，產製出水平空間解析度為 5 公里，時間解析度為 1 小時之氣象資料(該資料後續簡稱為

WRF-MRI)。WRF 模式所使用的物理模組包括：邊界層參數化採用 Yonsei University scheme、微物理參數化採用 WSM 6-class graupel scheme、積雲參數化則不予考慮、近地表面過程的計算採用 Noah land surface module、表面層的計算則用 Monin-Obukhov surface layer scheme、輻射的計算則採用 RRTM 長波輻射及 Dudhia 的短波輻射參數法。WRF 模式中使用之臺灣地形資料(5 公里)相較於 MRI 模式中之地形資料(20 公里)則更為細緻，較可真實地呈現臺灣附近低層的大氣環流狀況以及因為臺灣崎嶇的地形所導致的降水分布(請見圖 1)。更多詳細之動力降尺度資料產製過程與內容請見「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(1/3)年度成果報告書」(國科會，2010)。

由水文應用之觀點，為比較 WRF-MRI 與實際觀測資料所計算之降雨特性統計參數差異，本研究收集全臺灣約 84 個雨量測站的時雨量資料(來源包含水利署與氣象局)，資料年限則與基期相同為 1979-2003 年，其空間分布如下圖 2 所示。

三、研究方法

研究流程如圖 3 所示，其中事件降雨特性與

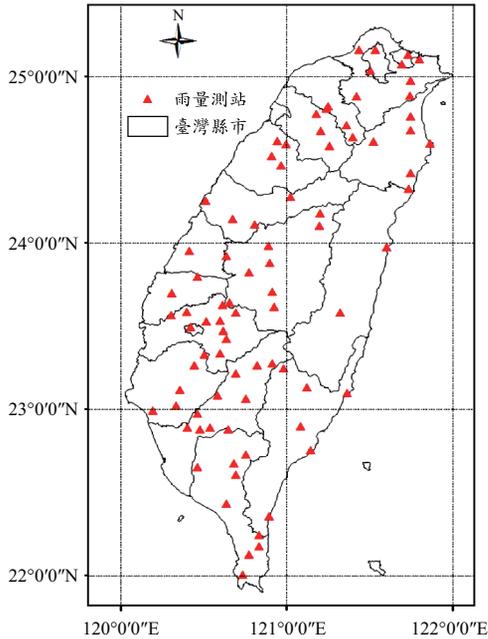


圖 2 雨量測站空間分布

降雨門檻值、偏差校正方法、事件降雨特性參數改變率分別說明如下。

3.1 事件降雨特性與降雨門檻值

降雨事件定義為探討事件降雨特性之首要工作，在水文上經常使用降雨門檻值的方式決定降雨事件，或使用氣象局發布颱風警報的時間作為颱風降雨事件的延時，本研究為了探討颱風事件特性(請見圖 4 與後續說明)，採用前者以降雨門檻值的方式挑選出颱風事件進行颱風降雨事件特性的分析，此降雨門檻值分為兩個部份，一為時雨量的門檻、另一為降雨延時的門檻(如圖 4)。由於颱風事件多發生於每年之 7-10 月，故本研究針對每年 7-10 月之降雨觀測序列，使用降雨門檻值挑出降雨事件，其門檻值定義為降雨延時大於 8 個小時，旨在避免挑選到低於 8 小時延時的降雨事件，且每小時降雨量均需大於 2.5 mm/hr，此降雨量之門檻值是參考世界氣象組織(WMO)觀測手冊規定中對於小雨的定義，以移除過小的降雨。此外，為決定出獨立降雨事件，必須決定相鄰降雨事件間最小連續不降雨時間，

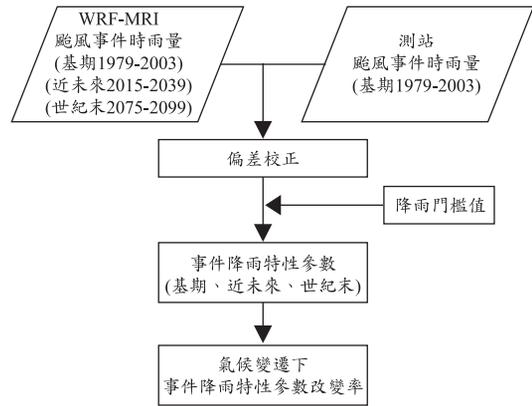


圖 3 研究流程

亦即若降雨停止超過 n 個小時，後續所發生的降雨事件將視為另一場獨立降雨事件。過去已有文獻探討此 n 值之決定(張守陽, 1995; 許恩菁, 1999)，許恩菁(1999)分析不同間隔距分別為 3 小時、4 小時、5 小時及 6 小時進行降雨事件之分割，其結果顯示 3 小時有明顯低估降雨延時的問題，6 小時則會使許多連續 5 小時不降雨的資料被納入，造成降雨延時過長，4 小時與 5 小時結果相近，故本研究採用 4 小時作為事件的分割時距，即 n 為 4 小時。

事件降雨特性主要可由三個參數來做描述(圖 4)，首先是降雨發生的延時(duration)，即降雨發生所歷經的時間；其次為在此降雨延時內降雨的累積量，即總降雨量(total depth)；最後是降雨事件結束到下一次降雨事件發生之間的時間距(inter-event time)，本研究將針對此三個事件降雨特性探討其在未來的變化情形。

3.2 偏差校正方法

WRF-MRI 動力降尺度所模擬之降雨資料，無法模擬歷史颱風發生之時間點，而是嘗試重現歷史颱風之特性，例如路徑、總降雨量、氣壓等，然而動力降尺度所依賴之數理模式並無法百分之百的描述大氣變化特性，存在所謂的模式不確定性(model uncertainty)，為確保動力降尺度資料應用於事件降雨特性分析時，能反映觀測資料之統計特性，本研究利用觀測資料對動力降尺度

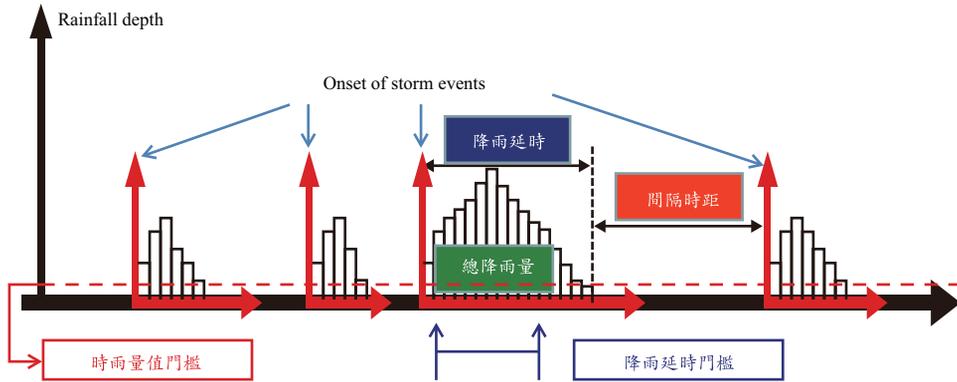


圖 4 事件降雨特性與門檻值示意圖

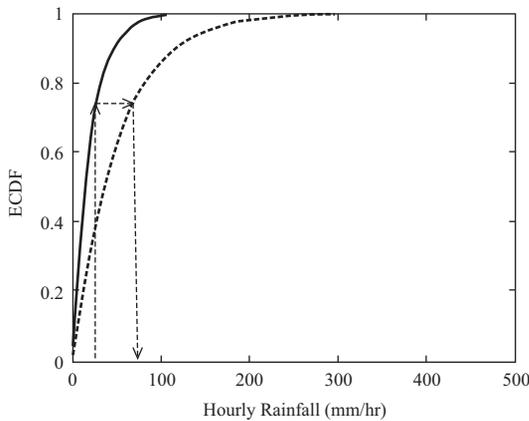


圖 5 偏差校正示意圖

資料進行偏差校正。校正方法採用累積機率密度函數(Cumulative Density Function, CDF)對應法 (Piani *et al.* 2010a; Piani *et al.* 2010b; Haerter *et al.*, 2011; Teutschbein and Seibert, 2012)，其用意是在使 WRF-MRI 模式推估資料與觀測資料具有相同之 CDF，故模式推估資料將與觀測資料具有相同之平均值、標準偏差等所有之統計特性。校正過程示意如圖 5 所示，其中 X 為校正前之 WRF-MRI 推估降雨， X_c 為校正後之降雨，由兩者的比值可得一校正因子(F)：

$$F = \frac{X_c}{X} \dots\dots\dots(1)$$

將此校正因子乘上基期、近未來與世紀末之 WRF-MRI 降雨後，即可得到不同時期校正後之

WRF-MRI 降雨。由於本研究從統計的觀點來進行偏差校正，其假設造成 WRF-MRI 降雨的發生機制(統計上的母體)與歷史觀測到的降雨發生機制相同，故將 84 個測站的降雨資料串在一起與 WRF-MRI 降雨資料串在一起，進行 ECDF 對應法，使兩者具有相同之母體分布。在此假設下，選擇對全台網格都採用相同之校正因子，換言之，WRF-MRI 的降雨數值經過校正後，不會因為該強度的降雨發生在南部或北部而有所不同，例如：若 WRF-MRI 降雨為 50mm，該降雨量不管降在何地，校正後在都會是相同的數值(例如：80 mm)。

CDF 對應法其假設兩組資料產生的機制相同，即具有相同母體。由於本研究針對颱風季節之降雨事件進行評估，而期間主要較長延時的降雨皆發生自颱風事件，故偏差校正使用的資料僅針對颱風事件發生時的降雨資料進行校正。進行偏差校正時，颱風事件的定義採用大氣領域之定義：颱風中心距離落在臺灣沿岸 300 公里距離內之時間。由於 WRF-MRI 動力降尺度可模擬颱風路徑、氣壓等資訊，故可推估颱風中心位置，並由大氣領域之定義決定颱風事件，其在基期所挑出之颱風事件數為 88 場颱風。觀測資料依據相同定義所挑出的颱風事件則為 121 場，但扣除颱風事件時間低於 8 小時的事件(參考前述事件降雨特性之降雨延時門檻值)，共有 109 場颱風事件。

偏差校正時採用大氣領域對於颱風事件之定義，旨在使 WRF-MRI 推估資料與觀測資料是基於相同的定義下進行偏差校正，以符合 CDF 對應法對於母體相同之假設。經過偏差校正後，該降雨資料在後續探討事件降雨特性時，僅由水文的角度，就降雨資料本身透過降雨門檻值挑出降雨事件，並分析其降雨延時、總降雨量、事件間隔時距等參數在時間(基期、近未來與世紀末)與空間上之改變特徵。值得一提的是，若採用前述大氣領域對於颱風侵台時間之定義，降雨延時參數在空間上對於全台而言都是相同的，而無法針對此參數在空間上之變化進行討論。

3.3 事件降雨特性變化分析

經偏差校正後的 WRF-MRI 推估降雨資料，以前述之降雨門檻值挑出颱風事件後，計算所有事件之平均降雨延時、平均總降雨量與平均事件間隔時距等，最後以基期為準，以下式計算近未來與世紀末各參數之改變率。

$$\text{改變率(\%)} = \frac{\text{未來} - \text{基期}}{\text{基期}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

四、結果討論

4.1 偏差校正

為了解動力降尺度資料應用於事件降雨特性分析時，是否能反映觀測資料之統計特性，本研究先以基期之觀測資料與偏差校正前之動力降尺度資料，探討其事件降雨特性參數之差異，並評估經過偏差校正後是否能改善此差異。

觀測資料來自於 84 個測站(包含山區與平地)，為使事件降雨特性之比較立於相同之基準上，動力降尺度資料亦選擇鄰近測站之 84 個 WRF-MRI 網格進行比較。各測站或網格降雨資料經颱風事件之降雨門檻值(詳見 3.1 節)找出降雨事件，分別計算事件之降雨特性，包含事件數、降雨延時、總降雨量與事件間隔時距(如圖 6 所示)。由圖 6a 可發現東北角與臺灣南端有較多的長延時降雨事件，在山區則是反映出降雨延時較長、總降雨量較大。若與圖 6b 比較可發現，

WRF-MRI 資料於颱風事件數的模擬大致與觀測資料接近，能掌握到東北角與臺灣南端較多事件的特性，雖然東北角的熱點(Hot spot)由陽明山偏到宜蘭蘇澳一帶，但大致上能掌握空間分布特性。空間分布的特徵在其他三個參數上也能夠大致呈現出觀測資料的空間分布特性。然而，降雨延時與總降雨量這兩個參數，WRF-MRI 則明顯地低估，低估的原因來自於由日本取得之 MRI 模式，其第二路徑(颱風路徑依氣象局定義)颱風位置稍微偏北，第三路徑颱風發生機率明顯偏低(圖 7 與表 1)，故導致過去觀測經驗中，蘭陽溪上游與高屏溪上游兩個強降雨中心的降雨偏少；此外，MRI 模式中颱風侵台時的速度也較快，降雨累積時間較短(表 1)。由此也顯示出 WRF-MRI 資料於實際應用於水文領域前進行偏差校正的必要性。

採用 3.2 節所述之偏差校正方法，透過 ECDF 的對應，得到 WRF-MRI 之校正因子，如圖 8 所示。將此校正因子乘上全台動力降尺度網格之降雨後，即可得到經偏差校正後之 WRF-MRI 降雨(簡稱為 WRF-MRI-BC)。經過偏差校正後之動力降尺度降雨資料(WRF-MRI-BC)，重新套用降雨門檻值挑出降雨事件，並計算前述各降雨參數，其結果如圖 6c 所示。結果顯示，偏差校正後的 WRF-MRI 降雨資料明顯改善了降雨延時與總降雨量低估的問題，而在事件數與事件間隔時距僅有些微的改變。為提供較明確的量化數值評估 WRF-MRI 與測站之事件降雨參數差異，計算校正前後降雨事件參數比較(圖 9)，可發現在校正後整體資料散佈都校正回到 1:1 線的附近，可看出總降雨量與降雨延時低估問題的改善程度。

4.2 WRF-MRI-BC 於全台颱風降雨特性的變化

前一小節的分析僅針對 84 個測站與其對應之 84 個網格點資料進行分析。接下來將針對全台網格進行分析，探討颱風降雨性之改變。將校正因子乘上 WRF-MRI 的全台所有網格以及不同時期(基期、近未來與世紀末)後，可得到校正後之降雨資料，當應用 3.1 節所述之降雨門檻值後，計算全台網格的颱風降雨參數(圖 10)，並比

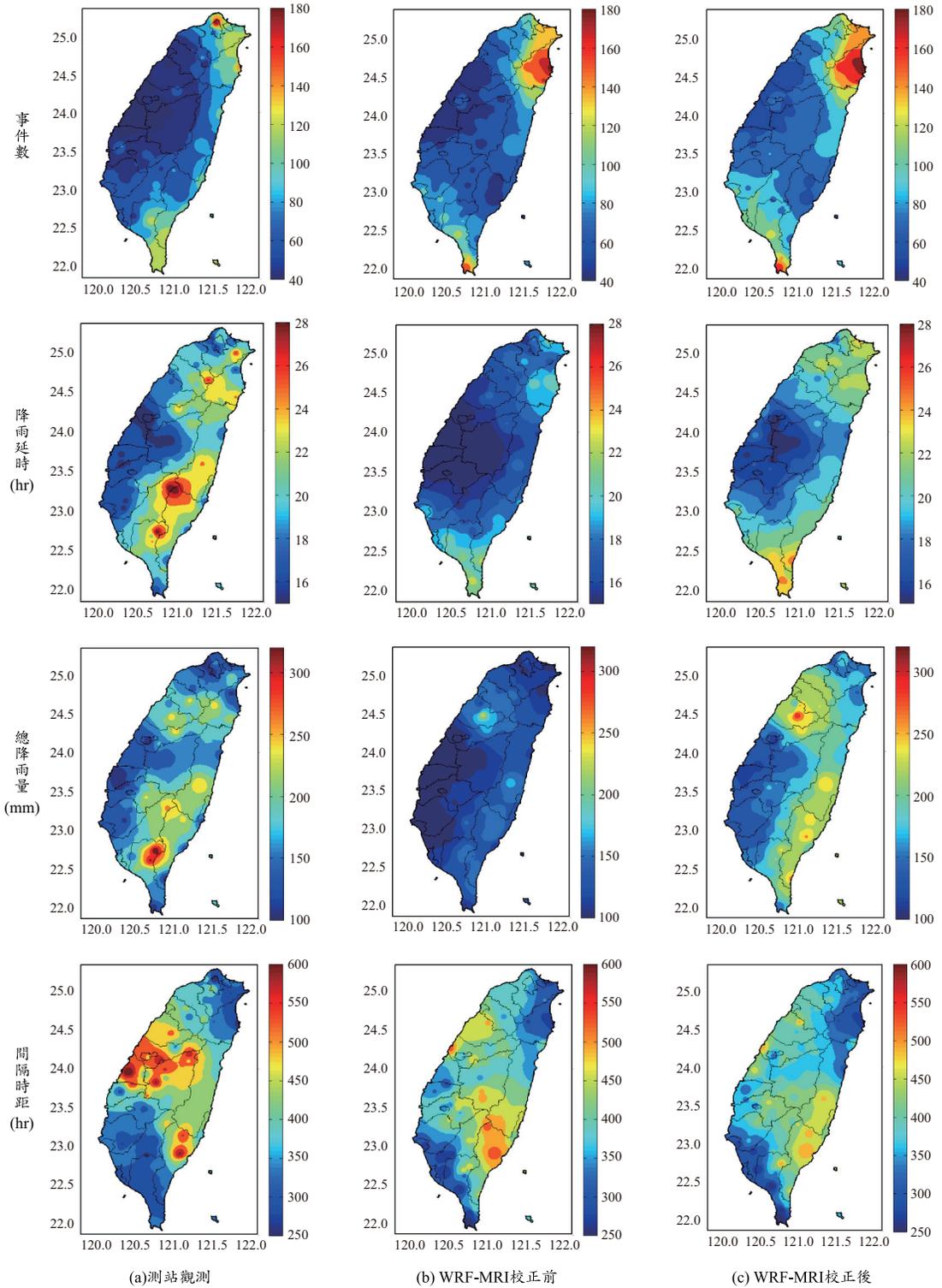


圖 6 颱風降雨事件統計參數於基期之比較(a)觀測資料；(b) WRF-MRI 校正前；(c) WRF-MRI 偏差校正後

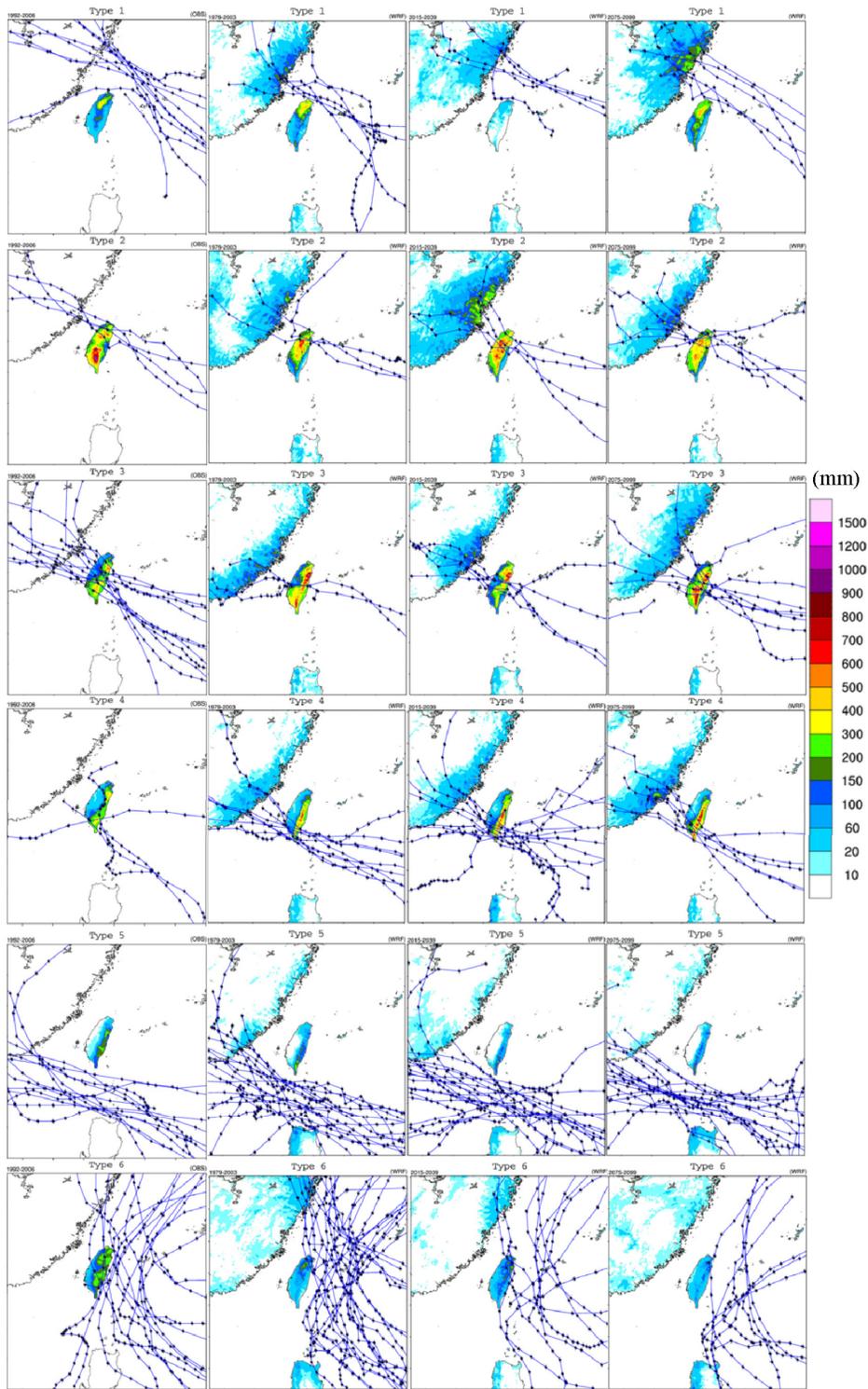
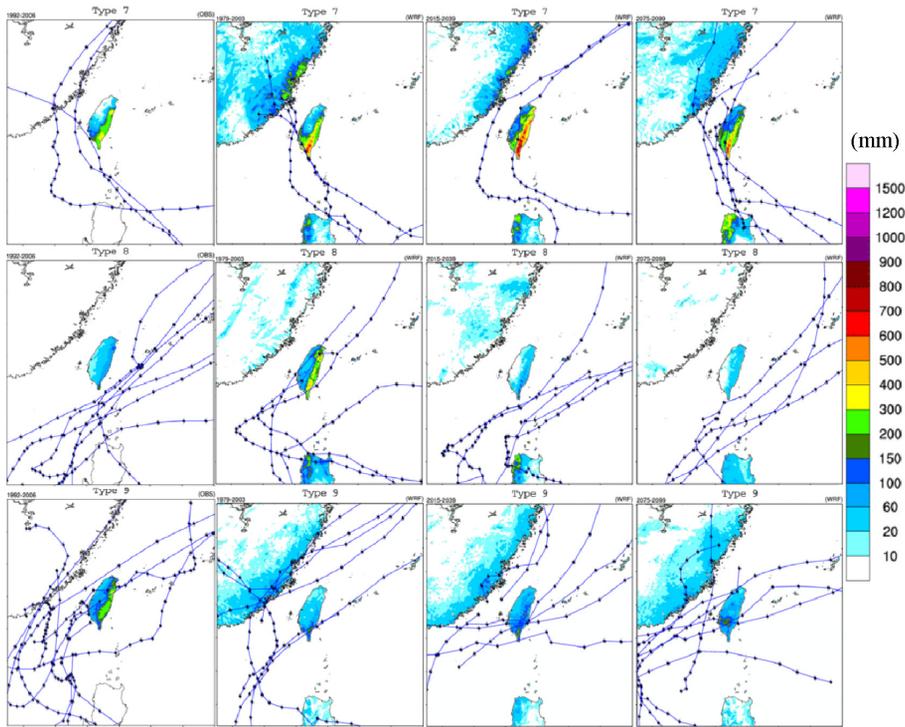


圖 7 九大侵臺颱風路徑與其對應之降雨分布，由左至右分別為觀測、MRI 現在、近未來及世紀末，由上至下分別為第一至第九路徑



資料來源：摘自臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(3/3)年度成果報告書

圖 7 (續)

表 1 觀測、MRI 基期九大路徑於各分區之平均降雨、颱風侵臺個數及侵臺時數

		(mm)						
時期	類型	北	中	南	東	全臺	侵臺個數	侵臺時數
1992-2006 (觀測)	1	198.74	97.19	51.27	65.98	96.54	10	720
	2	286.15	348.37	472.16	277.64	341.07	4	360
	3	123.12	165.22	269.05	290.42	215.83	11	960
	4	84.8	56.96	196.48	249.52	149.55	4	384
	5	23.55	24.08	56.86	150.76	67.96	13	744
	6	174.24	120.39	126.78	189.35	151.58	16	1,200
	7	14.4	40.55	157.8	221.54	114.6	3	240
	8	37.47	26.47	40.72	78.38	46.88	7	528
	9	88.25	90.11	121.61	204.32	129.87	11	768
1979-2003	1	299.88	103.74	72.34	97.19	129.53	6	312
	2	317.1	346.41	130.31	162.55	229.06	3	150
	3	227.28	236.53	368.48	424.67	310.05	4	306
	4	68.13	96.52	152.76	301.21	158.1	9	486
	5	36.5	16.64	51.03	113.73	55.72	19	876
	6	117.92	73.38	50.22	53.73	69.48	24	1,134
	7	46.63	115.44	334.01	296.99	199.13	3	234
	8	124.97	79.46	130.97	261.21	150.5	4	228
	9	22.8	34.02	72.92	66.67	49.87	7	300

資料來源：摘自臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(3/3)年度成果報告書。

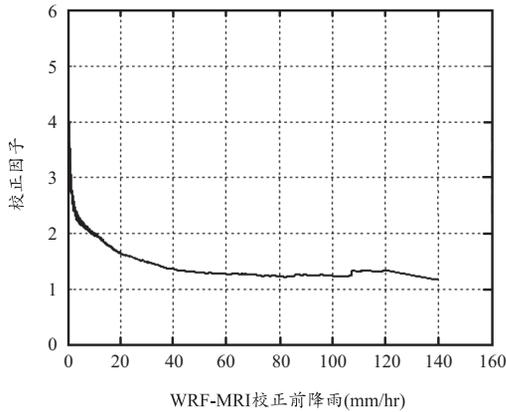
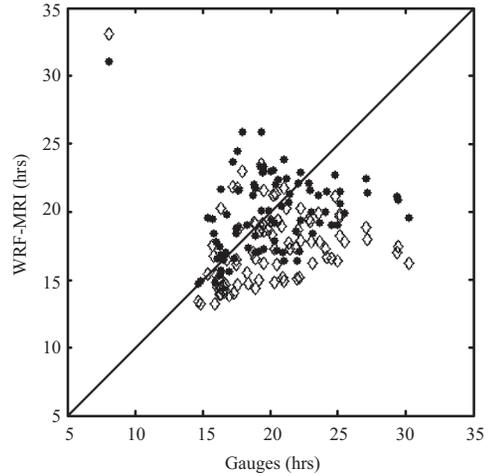


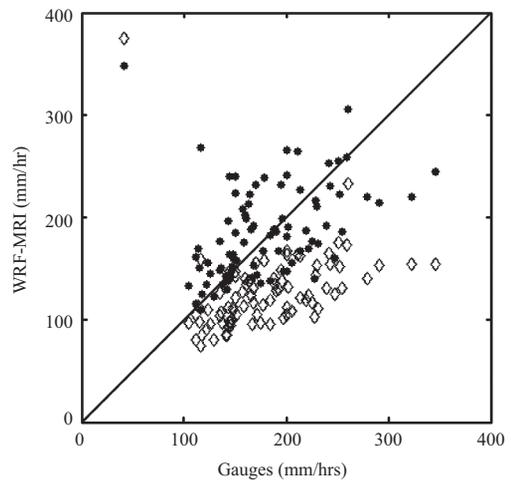
圖 8 WRF-MRI 校正因子

較基期、近未來與世紀末之差異。由圖 10 可看出，未來的颱風事件數整體而言並沒有明顯的改變，僅些微增加；降雨延時整體則是逐漸減少的趨勢；然而，總降雨量整體而言則是增加的趨勢，特別是臺灣中部、東部與南部山區等；事件間隔時距也是呈現增加的趨勢。

為了更清楚呈現未來相對於基期的改變程度與熱點區位，以 3.3 節所述之方式計算各事件降雨參數的改變率，結果如圖 11 所示。由圖 11 可發現，颱風事件數在臺灣中部山區與東部地區有些微增加約 10%，而中西部(近未來)與西南部(世紀末)則有些微減少約 10%；而事件間隔時距則呈現與事件數相反的趨勢，因為固定期間內的事件數變少表示間隔時距增加。就降雨延時而言，整體而言為降低的趨勢，其中北部與東部地區分別降低約 10%與 15%，但臺灣中西部地區則為約增加 5-10%。在總降雨量方面，臺灣中西部與南部山區有非常明顯的增加，近未來增加幅度約為 10-20%，世紀末則大幅增加約 40-50%。總結來說，基於 WRF-MRI 動力降尺度的結果，臺灣中西部與南部山區未來的颱風事件特性為事件數減少、降雨延時些微增加、總降雨量則明顯增加，然而這樣的推論受限於 MRI-AGCM 對於颱風的模擬能力與結果，使用不同 AGCM 模式或不同排放情境下，颱風路徑與強度將有所不同，降雨特性也會有不一樣，若未來有更多動力降尺度資料產出，應分析更多模式，以了解分析



(a)降雨延時



(b)總降雨量

圖 9 颱風事件降雨參數經偏差校正前後之比較
(a)降雨延時；(b)總降雨量

結果之不確定性。

五、結 論

本研究以動力降尺度資料探討氣候變遷情境下，未來颱風事件特性的改變情形。使用校正後的動力降尺度降雨資料分析後，整理下述幾點分析重點結論：

1. WRF-MRI 動力降尺度資料在偏差校正前，颱風事件之降雨延時與總降雨量有明顯低估的問題。

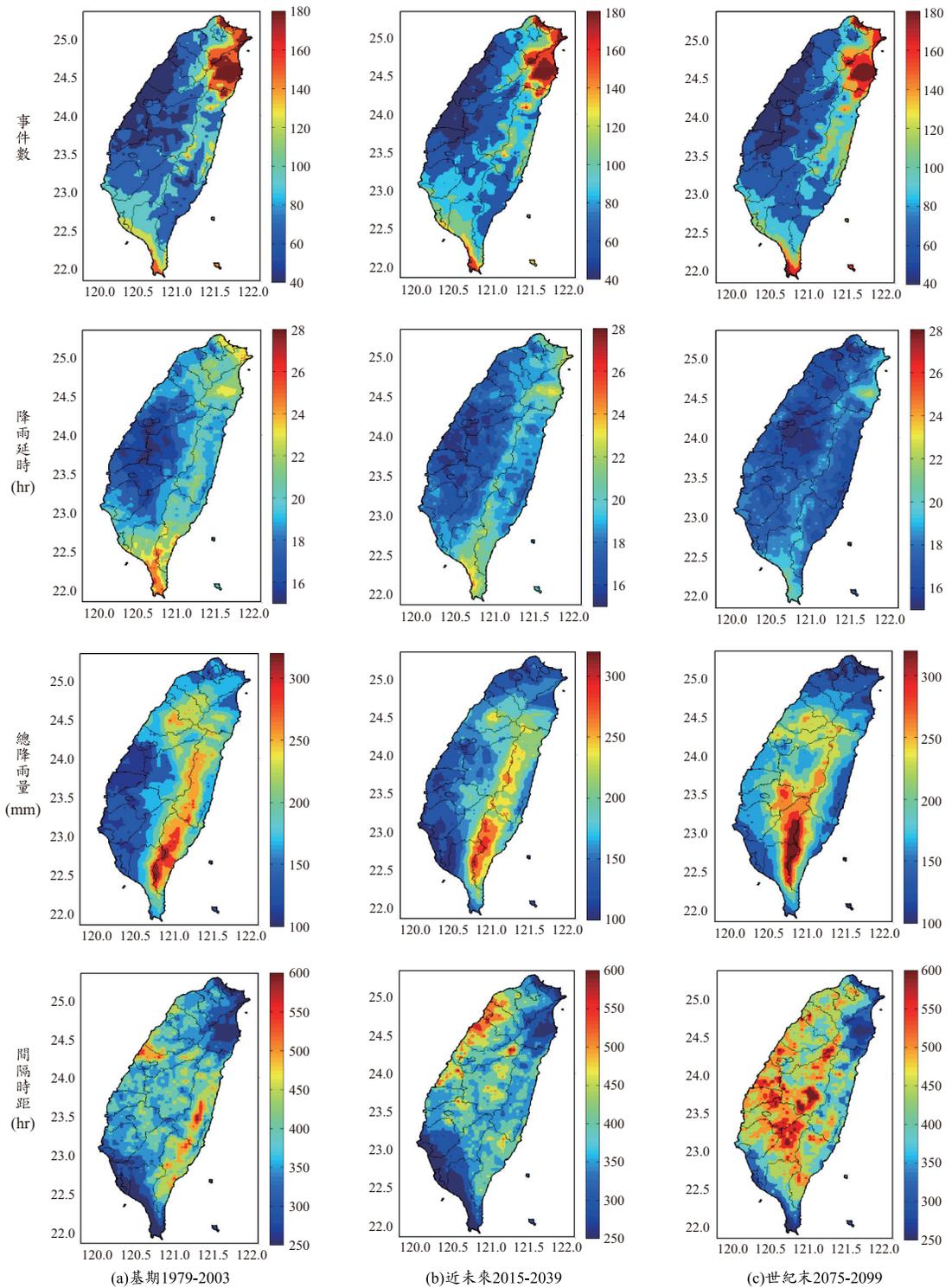


圖 10 全台網格校正後颱風降雨參數(a)基期；(b)近未來；(c)世紀末

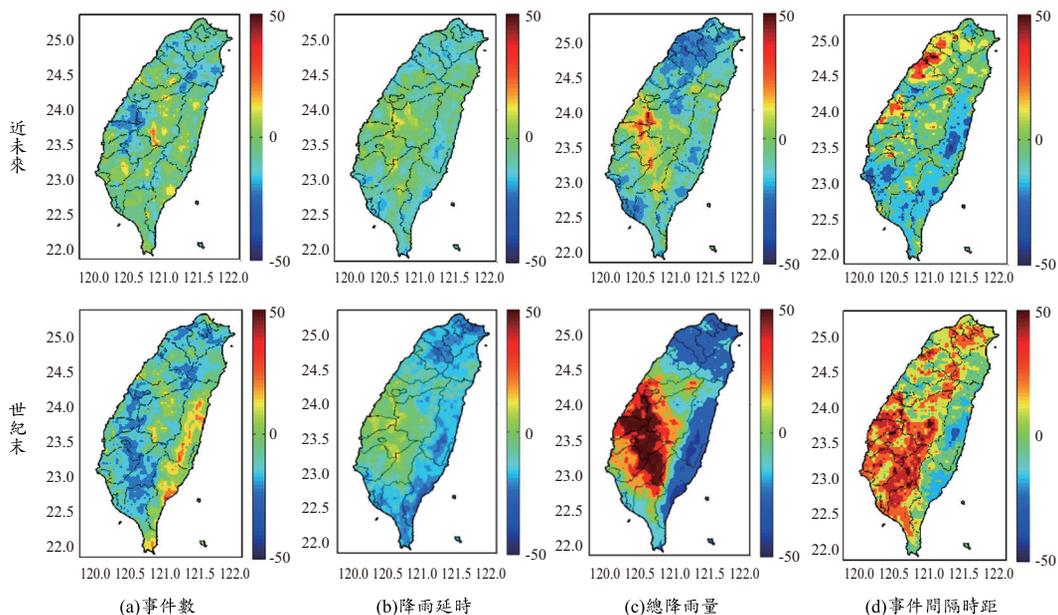


圖 11 近未來與世紀末颱風事件降雨特性之改變率(%) (a)事件數；(b)降雨延時；(c)總降雨量；(d)事件間隔時距

2. 經過偏差校正後，降雨延時與總降雨量低估的問題已獲得改善。
3. 由全台 WRF-MRI-BC 動力降尺度網格的分析顯示，相較於基期而言，臺灣整體的降雨延時略為減少，而總降雨量增加，此趨勢顯示出未來影響臺灣的颱風，降雨強度可能增加。
4. 針對局部地區而言，臺灣中西部與南部山區未來的颱風事件特性為事件數減少、降雨延時些微增加、總降雨量則明顯增加，世紀末的改變較為明顯，增加幅度可達 40-50%。
5. 本研究僅針對單一情境、單一模式之結果進行分析，若未來有更多動力降尺度資料產出，應分析更多模式，以了解分析結果之不確定性。

參考文獻

1. Haerter, J. O., Hagemann, S., Moseley, C., Piani, C., "Climate model bias correction and the role of timescales," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Vol. 15, pp. 1065-1079, 2011.
2. Kitoh, A., Yatagai, A., and Alpert, P., "First super-high-resolution model projection that the ancient "Fertile Crescent" will disappear in this century," *Hydrol. Res. Lett.*, Vol. 2, pp. 1-4, 2008.
3. Mizuta, R., K. Oouchi, H. Yoshimura, A. Noda, K. Katayama, S. Yukimoto, M. Hosaka, S. Kusunoki, H. Kawai, and M. Nakawaga, "20-km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model-mean climate states" *J. Meteorol. Soc. Japan.*, Vol. 84, pp. 165-185, 2006.
4. 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, "Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid," *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 90A, pp. 233-258. 2012
5. Oouchi, K., J. Yoshimura, H. Yoshimura, R. Mizuta, S. Kusunoki, and A. Noda, "Tropical Cyclone Climatology in a Global-Warming Climate as Simulated in a 20 km-Mesh Global Atmospheric Model: Frequency and Wind Intensity Analyses," *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, Vol.

- 84, No. 2, pp.259-276, 2006.
6. Piani, C., Haerter, J. O., Coppola, E., "Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe," *Theor. Appl. Climatol.* Vol. 99, pp. 187-192, 2010.
 7. Piani, C., Weedon, G. P., Best, M., Gomes, S.M., Viterbo, P., Hagemann, S., Haerter, J. O., "Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models," *Journal of Hydrology*, Vol. 395, pp. 199-215, 2010.
 8. Teutschbein, C., and Seibert, J., "Bias correction of region climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods," *Journal of Hydrology*, Vol. 456-457, pp. 12-29, 2012.
 9. 張守陽，「降雨事件分割之研究」，*農業工程學報*，第 41 卷，第 3 期，第 47-60 頁，1995。
 10. 許恩菁，「設計暴雨雨型序率模式之研究」，*國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文*，1999。
 11. 國科會，「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(1/3)年度成果報告書」，2010。
 12. 國科會，「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(2/3)年度成果報告書」，2011。
 13. 國科會，「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(3/3)年度成果報告書」，2012。

收稿日期：民國 103 年 3 月 13 日

修正日期：民國 103 年 6 月 11 日

接受日期：民國 103 年 6 月 17 日