

臺灣氣候變遷推估動力降尺度結果的偏差校正

林宜穎¹ 鄭兆尊¹ 蘇元風¹ 李宗祐²

行政法人國家災害防救科技中心¹

國立臺灣師範大學地理學系²

摘要

臺灣地形崎嶇，既有的全球模式無法解析區域氣候的特徵，為此本研究使用兩組高解析度全球模式(MRI-AGCM及GFDL HiRAM)的氣候推估結果作為初始場及邊界資料，接以WRF區域模式模擬臺灣地區5公里解析度之氣候，以解決全球模式於解析區域氣候特徵上之限制。模式模擬採時間切片的方式進行，包括模擬現在時期(1979-2003年)及使用RCP8.5的暖化情境模擬世紀末時期(2075-2099年)各25年的氣候推估資料。比較觀測資料後發現，現在時期的降水空間分布及量值上仍有偏差，這結果對解析度要求極高的衝擊研究者而言在使用上較困難，為此動力降尺度資料需進一步做修正。本研究嘗試利用Gamma分布個別擬合觀測及模擬的日降雨累積機率分布，比較並計算其偏差校正係數。校正結果顯示，模擬的臺灣地區季節降雨之型態相關係數從0.20-0.83提高至0.76-0.87，梅雨季及夏季的校正效果比其他季節更顯著，大幅地改善其降雨的空間分布，而均方根誤差也從7.83降低至3.22；在極端降雨的頻率分析中亦顯示，校正後的結果明顯改善中、南部山區於梅雨季及夏季低估的情形。最後，將模式模擬日降雨的校正係數套用於二十一世紀末臺灣地區日降雨的推估，並比較是否使用偏差校正之差異。

關鍵字：動力降尺度、偏差校正、RCP8.5

一、前言

近年來，區域氣候模式的研究自1990年興起後(Giorgi and Bate, 1989; Giorgi and Mearns, 1991)，已成為執行動力降尺度的有效工具。隨著模式不斷地發展及改進，以現階段的技術而言，儘管模式的解析度有多高，與真實大氣的情況仍存在著一定的偏差。在降水的研究中，偏差通常發生在小雨的頻率過高、降雨的強度偏低、季節降雨的高估或低估等情形。為了能讓模式模擬的氣候推估與觀測資料更貼近，且能反映觀測資料的統計特性，在實際應用動力降尺度的推估資料之前，需要用一轉化方程來調整模擬與觀測之間的差異(Ines et al. 2011; Lafon et al. 2013)，即為偏差校正。在氣候變遷的研究中，常假設以現在的氣候條件所得到之校正關係依然適用於未來的氣候條件下，以對未來推估結果作修正。不過，值得注意的是，不管用什麼方法，都無法準確的校正降水的時間特徵。本研究對動力降尺度後的模擬結果進行校正，嘗試利用Gamma分布個別擬合觀測及模擬的日降雨累積機率分布，比較並計算模擬日降雨的偏差校正係數，並將此校正係數套用於二十一世紀末臺灣地區日降雨的模擬推估。

進行動力降尺度的模式設定及研究中所使用的觀測資料於第二節說明，第三節為偏差校正的方法介紹，第四章的結果討論分為兩部分，4.1節為現在時期的模擬結果，4.2節為未來氣候變遷之推估，最後第五節為結論。

二、模式設定與資料介紹

本研究的動力降尺度是針對兩組高解析度大氣全球模式(分別為MRI-AGCM及GFDL HiRAM)所做的氣候推估資料進行降尺度。MRI-AGCM為日本氣象廳氣象研究所(JMA/MRI)發展的高解析度全球大氣模式，使用的版本為3.2S版(Mizuta et al., 2012)，水平解析度約20公里，可以模擬出強的深對流以及颱風；GFDL HiRAM (High Resolution Atmospheric Model)為美國普林斯頓大學地物流力動力實驗室(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL)所發展的一個高解析度全球大氣模式，是一個可以解析雲的模式，模擬劇烈天氣系統的能力甚佳(Chen and Lin, 2013)。

動力降尺度是使用美國大氣研究中心(NCAR)發展的天氣研究與預報模式系統(Weather Research and Forecasting modeling system, WRF) 3.5.1版本之

區域模式來執行。模式的水平解析度為5公里，採單層網格，網格數為 380×400 ，垂直方向有36層，而使用的暖化情境與全球模式中所設定的相同(RCP8.5)。WRF模式的大氣環流部分在每年一開始採用冷啟動(cold start)的方式模擬，至於土壤的溫、濕度需要長時間才能達到平衡狀態，所以土壤的部分在每年一開始是採用暖啟動(warm start)的方式執行。其他模式參數化的設定詳見TCCIP 2015期末報告。因為土壤部分需要較長的時間spin-up，分析時省略掉第一年的模擬，從1980年開始及從2076年開始共24年。藉由動力降尺度，氣候推估的解析度由20公里提升到5公里。

為因應不同的分析及比對的工作所需，本研究採用數種不同的觀測資料。在降尺度後的臺灣地區季節降水之分析中，採用臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫(TCCIP)產製的月平均資料(翁與楊，2012)，水平網格解析度5公里；而在降水的頻率分析中必須使用到時間解析度較細的逐日資料，因此採用國家災害防救科技中心將氣象局雨量站資料客觀分析到0.0125度網格的時雨量網格資料(李等，2013)，時間長度為1992-2010年。由於本研究要處理的是日資料，我們再將上述觀測資料解析度處理成5公里解析的日資料。

三、偏差校正方法

針對現在時期(1980-2003年)的氣候推估結果進行觀測資料與模式資料的比對分析，臺灣地區的季節降水在乾季有高估之情形，而濕季則為低估，尤其是梅雨季的臺灣中、南部山區(圖1)。在分析動力降尺度的颱風降雨時也發現模式推估的颱風降雨與觀測有明顯的差異(陳等，2012)。為了能應用颱風降雨的推估結果，蘇等(2014)利用累積機率密度函數(Cumulative Density Function，CDF)對應法來校正動力降尺度模擬颱風事件的時雨量，僅以一個CDF對全臺所有網格點的時雨量進行修正。由於本研究是針對全年日雨量的修正，考慮到臺灣地區的降水特徵的在區域及季節上的明顯差異，故每個網格點及每個月都將以相對應的觀測網格資料所算出不同的CDF來進行偏差校正。

本研究使用Piani et al. (2010)的偏差校正方法，利用Gamma分布來擬合觀測資料與模式模擬的日降雨之累積機率分布(Probability Density Function，PDF)，以PDF計算出CDF後，再針對CDF進行修正，其目的在使模式資料與觀測資料具有相同的CDF分布。偏差校正的示意圖如圖2所示，其中實線為模式模擬單一網格點的日降雨之累積機率分布，虛線為觀測資料單一網格點的日降雨之累積機率分布，以19年的觀測資料(1992-2010年)來校

正24年(1980-2003年)的模擬推估資料。 X 為偏差校正前的降水推估值， X_c 為偏差校正後的降水推估值。由 X 及 X_c 的比值可得到一偏差校正係數($F=X_c/X$)，每一網格皆有一偏差校正係數，依序計算全臺灣所有網格點。將現在時期的降水模擬修正完後，再將此係數套用到WRF-MRI及WRF-HiRAM在二十一世紀末的降水模擬中，即可得到二十一世紀末偏差校正後的降水推估結果，修正完之後簡稱WRF-MRI(BC)及WRF-HiRAM(BC)。

四、結果討論

4.1 現在時期的模擬結果

根據現在時期(1980-2003年)的分析及比較偏差校正前後之降水年循環，以臺灣區域平均而言(圖3)，觀測資料在6月及8月有降水的極大值，而偏差校正的結果能明顯改善降尺度後的濕季高估、乾季低估之情形，且能呈現雙峰的特性。季節降水的型態相關係數能從0.20-0.83提高至0.76-0.87，梅雨季及夏季的校正效果比其他季節更顯著，大幅地改善其降雨的空間分布，而均方根誤差也從7.83降低至3.22(圖4)。在模式的季節降水與觀測降水的散佈圖中，如圖5所示(可搭配圖1來看)，散佈圖上的點越接近且形成一斜直線，代表兩參數的線性關係越密切。以WRF-MRI為例，偏差校正的結果可以將山脊上的降水高估之情形修正至與觀測資料相近的數值(圖未示)。

做完偏差校正後，針對降雨日及豪雨的發生次數進行降水的頻率做檢視及分析，如圖6、7所示，降雨日及豪雨是根據目前中央氣象局的雨量等級定義出來，降雨天數為日雨量 $\geq 1\text{mm}$ ，豪雨為日雨量 $\geq 130\text{mm}$ 。降雨日部分，偏差校正的結果能將春季、秋季及冬季臺灣東半部地區頻率高估之情形，以及梅雨季、夏季臺灣中、南部山區頻率低估之情形加以修正。而極端降雨部分，兩組降尺度後的結果(WRF-MRI、WRF-HiRAM)，在梅雨季及夏季的中、南部山區明顯低估，尤其是WRF-MRI，經過偏差校正，雖然仍有低估的情形，但是已經能夠突顯山區較常發生極端降雨之特性。最後，在日降雨量大於 130mm/day 的平均日降雨強度中(圖8)，WRF-MRI部分，偏差校正的結果修正梅雨季及夏季南部山區低估之情形，以及秋季東半部高估之情形；WRF-HiRAM部分，偏差校正的結果修正梅雨季與夏季的中部山區，及秋季的東半部地區高估之情形。綜合以上所述，偏差校正的氣候推估結果在臺灣地區的年循環、降雨日、極端降雨的發生頻率，以及降雨強度等，比校正前的結果更接近觀測資料。

4.2 未來氣候變遷之推估

經由偏差校正可以讓動力降尺度結果更接近觀測值，有利於資料進一步的使用，但是對氣候變遷推估的影響有待進一步分析。在此我們比較分析偏差校正前後的季節降水及極端降雨頻率變遷的推估。二十一世紀末臺灣地區降水變化推估顯示(圖9)，WRF-MRI與WRF-HiRAM在年平均的變化上相當一致(圖未示)，西半部地區的降水呈現增加的趨勢，尤其是沿海地區，變化的範圍介於+10%至+40%之間，東半部地區則呈現減少的趨勢，變化的範圍介於-10%至-30%之間。而各季節的降雨變遷趨勢，兩組資料各自在偏差校正前後之差異並不大，但兩組資料之間有蠻大的差異性。例如WRF-MRI與WRF-HiRAM梅雨季臺灣中南部山區、夏季的南部地區與秋季的西半部地區的變化趨勢不一致，這與模式間大尺度的大氣環流變遷之差異有關係，此差異可能來自於全球模式推估的不同。

二十一世紀末臺灣地區降雨日的頻率推估部份(圖10)，兩組資料在偏差校正前後之差異也是不大，未來臺灣地區的降雨日數呈現明顯減少的趨勢，平均一個月約減少2至4天，春季、夏季及秋季有很好的一致性。而極端降雨的頻率推估部分(圖11)，計算日雨量 $\geq 130\text{mm}$ 的發生頻率，結果顯示兩組資料在偏差校正前後的差異一樣不明顯，但兩組資料的變化卻相當一致，未來梅雨季及夏季臺灣中、南部山區的強降雨發生頻率有增加的趨勢(世紀末時期平均一個月增加約6-15天左右)，秋季臺灣東半部地區則為明顯減少的趨勢。

五、結論

本研究以MRI-AGCM及GFDL HiRAM兩組高解析度全球大氣模式當作初始場及邊界資料，進行臺灣地區解析度5公里區域模式之動力降尺度模擬。比較觀測資料後發現，現在時期的降水空間分布及量值上仍有偏差，因此本研究嘗試利用Gamma分布個別擬合觀測及模擬的日降雨累積機率分布來進行偏差校正。

現在時期的偏差校正結果顯示，臺灣地區的季節降雨之型態相關係數從0.20-0.83提高至0.76-0.87，梅雨季及夏季的校正效果比其他季節更顯著，而均方根誤差也從7.83降低至3.22。極端降雨的頻率及降水強度的分析中亦顯示(日雨量 $\geq 130\text{mm}$)，兩組偏差校正後的結果明顯改善梅雨季及夏季臺灣中南部山區低估之情形。

世紀末的推估部分，WRF-MRI及WRF-HiRAM的季節降水變化，其校正前後的差異不明顯，但兩組資料卻有蠻大的差異性。由於兩組資料在各季節

的降雨變遷趨勢並不完全一致，可能大部分是來自全球模式對大氣環流推估的差異性。最後，在降雨頻率的推估分析中顯示，兩組資料在校正前後有蠻高的一致性，未來臺灣地區的降雨日數皆呈現減少的趨勢，平均一個月約減少2至4天，而強降雨發生頻率在梅雨季及夏季為增加的趨勢，尤其是臺灣中、南部山區(世紀末時期平均一個月增加約6-15天左右)，秋季的東半部地區則為減少的趨勢。以目前兩個全球模式動力降尺度資料而言，尚不足以評估推估結果的不確定性。

綜合以上所述，此校正方法乃用Gamma分布來擬合觀測資料及模式資料的PDF，但是難免會發生所擬合的Gamma分布與資料的PDF相差太大，導致其校正結果與觀測資料有較明顯的誤差。也就是說，在某些時候Gamma分布並不太適合拿來做為擬合的函數。但與校正前相比對，校正後的結果是比較適合提供給後續的衝擊分析研究使用。而在世紀末的推估部分，大部分模式推估的偏差在計算兩個時期差異時，就將主要的偏差給扣除掉了，所以校正前後的結果有蠻高的一致性。但是還是有些例外的狀況，如WRF-MRI的梅雨季豪雨日數在偏差校正後有明顯的增加，其中的原因需要進一步探討。

參考文獻

- 李宗融、林又青、龔楚嬪、王俞婷、張志新、于宜強、林欣弘、林李耀，2013：降雨規模指標(RSI)及其在坡地災害預警之應用，
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*，**40(4)**，349-370。
陳淡容、鄭兆尊、Masato Sugi，2012：以MRI-AGCM的氣候模擬結果推估未來臺灣地區颱風降雨的變遷，*101年天氣分析與預報研討會*。
蘇元風、劉俊志、鄭兆尊、鬼頭昭雄，2014：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，*農業工程學報*，**60(4)**，48-60。
Giorgi, F. and G. T. Bates, 1989: The climatological skill of a regional model over complex terrain. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 2325-2347.
Giorgi, F. and L.O. Mearns, 1991: Approaches to the simulation of regional climate change: a review. *III-85 Reviews of Geophysics*, **29**, 191-216.
Ines, A. V. M., J. W. Hansen, A. W. Robertson, 2011: Enhancing the utility of daily GCM rainfall for crop yield prediction. *Int. J. Climatol.*, **31(14)**, 2168-2182. doi:10.1002/joc.2223
Lafon, T., S. Dadson, G. Buys, C. Prudhomme, 2013: Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: a comparison of methods. *Int. J. Climatol.* **33(6)**, 1367-1381. doi:10.1002/joc.3518

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.

Piani, C., Haerter, J. O., Coppola, E., 2010: Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theor. Appl. Climatol.* **99**, 187-192.

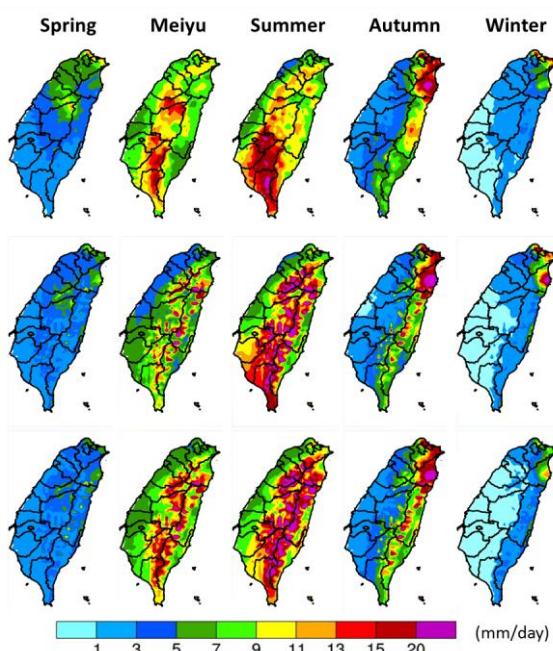


圖1. 現在時期(1980-2003年)季節降水之空間分布圖，上排為觀測資料，中排為WRF-MRI，下排為WRF-HiRAM。單位：mm/day

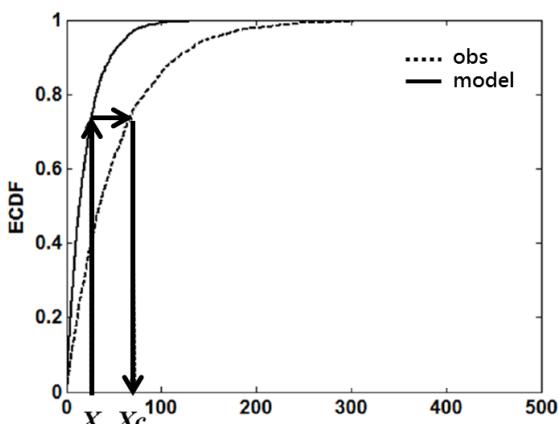


圖2. 偏差校正示意圖。實線為觀測資料的日降雨量之ECDF分布，虛線為模式模擬日降雨量之ECDF分布。

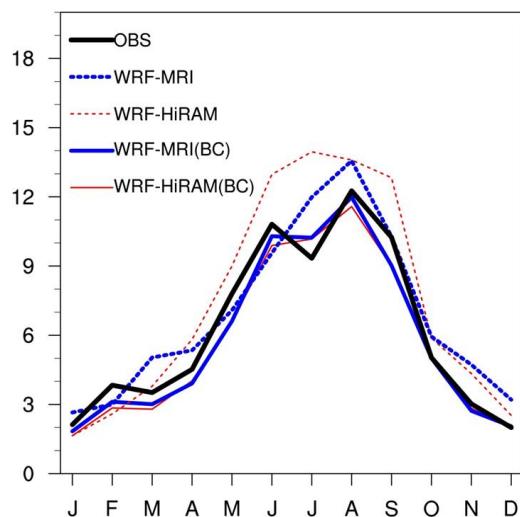


圖3. 現在時期(1980-2003年)臺灣地區降水年循環圖，黑色線段為觀測資料，虛線為降尺度後結果，實線為偏差校正結果，藍色線段為WRF-MRI，紅色線段為WRF-HiRAM。單位：mm/day

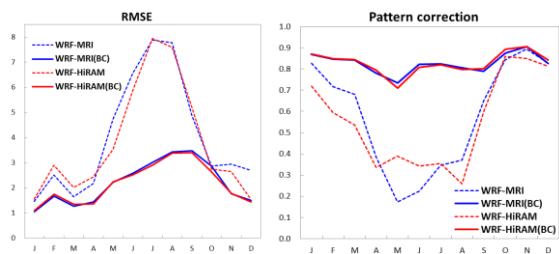


圖4. 模式模擬現在時期(1980-2003年)臺灣地區各月份降水與觀測降水之均方根誤差(RMSE)及型態相關係數(pattern correction)。藍色線段為WRF-MRI，紅色線段為WRF-HiRAM，實線為偏差校正的結果，虛線為降尺度的結果。

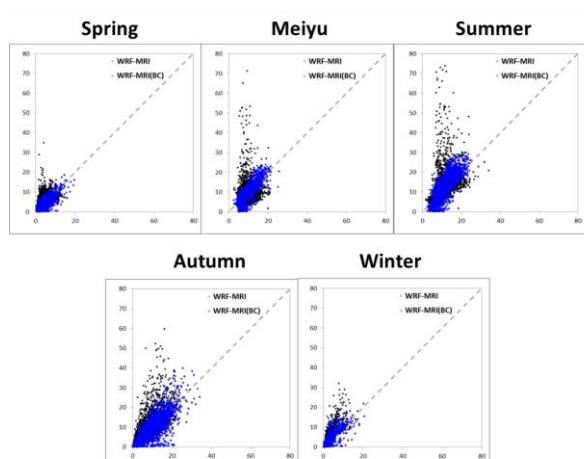


圖5. 模式模擬現在時期(1980-2003年)全臺灣地區各季節降水與觀測降水之散佈圖，以WRF-MRI為例。黑點為降尺度結果，藍點為偏差校正結果。橫軸為觀測資料，縱軸為模式資料。單位：mm/day

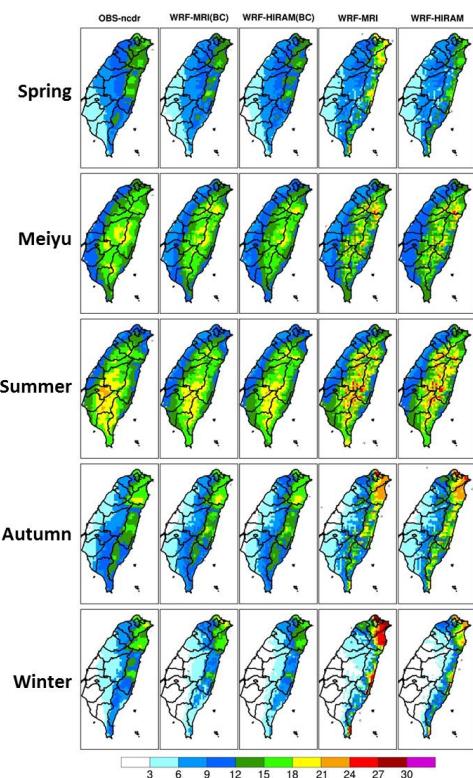


圖6. 現在時期(1980-2003年)日雨量 $\geq 1\text{mm}$ 之發生頻率，由左至右分別為觀測資料、WRF-MRI(BC)、WRF-HIRAM(BC)、WRF-MRI及WRF-HIRAM。單位：次/月

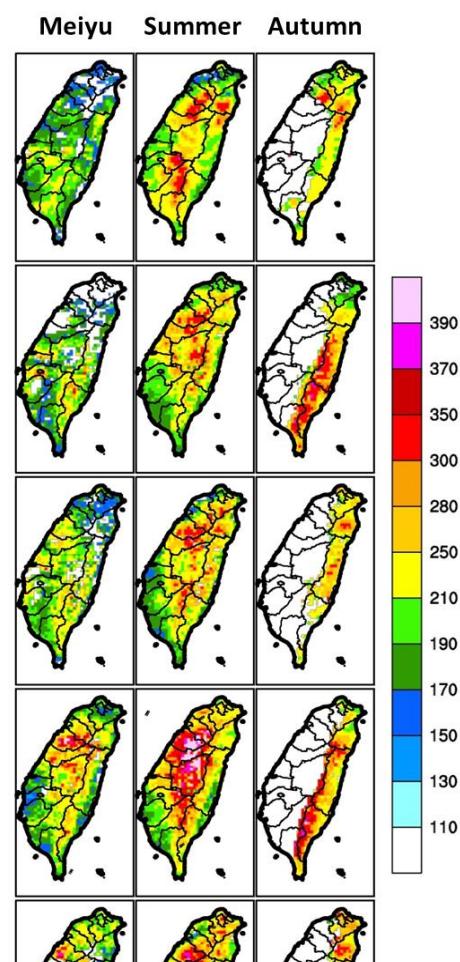


圖8. 現在時期(1980-2003年)梅雨季、夏季及秋季的日雨量 $\geq 130\text{mm}$ 之降水強度空間分布，由上至下依序為觀測資料、WRF-MRI、WRF-MRI(BC)、WRF-HIRAM，以及WRF-HIRAM(BC)。單位：mm/day

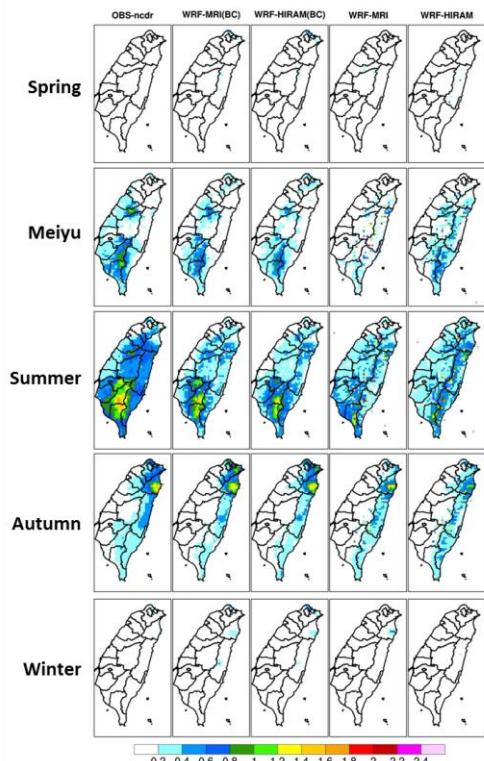


圖7. 現在時期(1980-2003年)日雨量 $\geq 130\text{mm}$ 之發生頻率，由左至右分別為觀測資料、WRF-MRI(BC)、WRF-HIRAM(BC)、WRF-MRI及WRF-HIRAM。單位：次/月

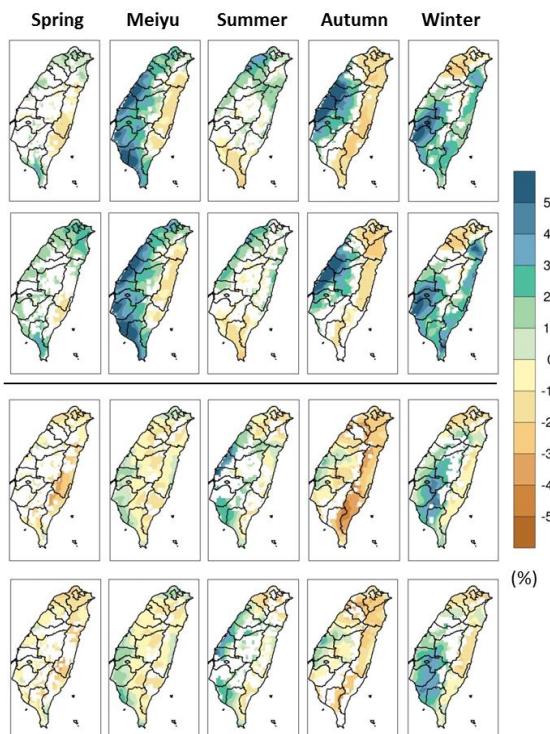


圖9. 模式推估世紀末時期(2076-2099年)之季節降水改變率(通過95%統計檢定)，由上至下依序為WRF-MRI、WRF-MRI(BC)、WRF-HiRAM，以及WRF-HiRAM(BC)，單位：%

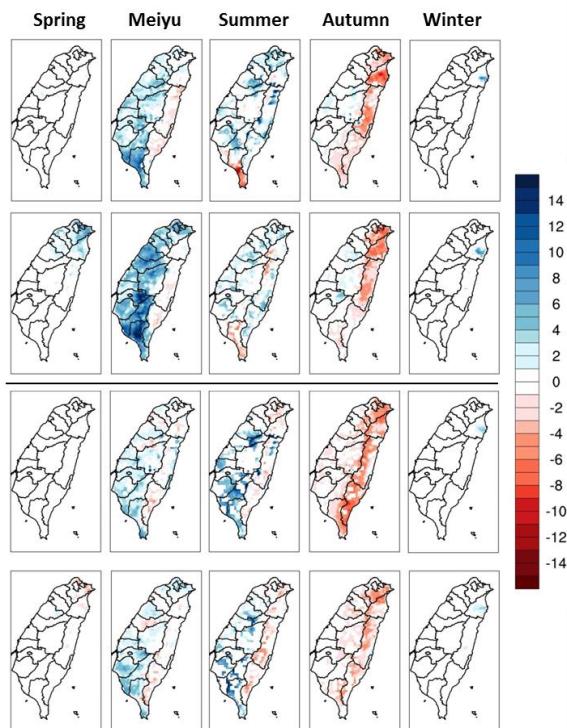


圖11. 模式推估世紀末時期(2076-2099年)日雨量 $\geq 130\text{mm}$ 之頻率改變(通過95%統計檢定)。由上至下依序為WRF-MRI、WRF-MRI(BC)、WRF-HiRAM，以及WRF-HiRAM(BC)，單位：24年累積天數/月

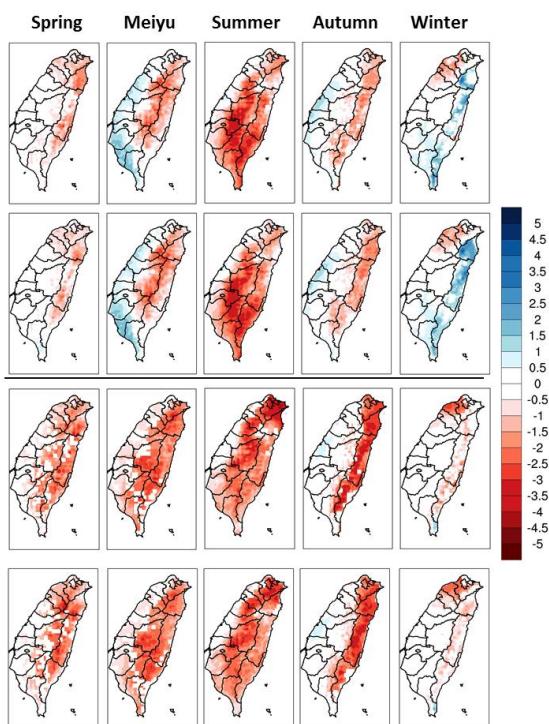


圖10. 模式推估世紀末時期(2076-2099年)降雨日(日雨量 $\geq 1\text{mm}$)之頻率改變(通過95%統計檢定)。由上至下依序為WRF-MRI、WRF-MRI(BC)、WRF-HiRAM，以及WRF-HiRAM(BC)，單位：天數/月