

# TCCIP動力降尺度模擬結果之降水評估

林宜穎 鄭兆尊  
國家災害防救科技中心

## 摘要

本研究使用三組高解析度全球大氣模式(MRI-AGCM、GFDL HiRAM及NCAR CAM5)當作初始場及邊界資料，執行高解析度區域模式臺灣地區動力降尺度之模擬。為了評估此降尺度的方法，本研究亦使用美國國家環境預測中心(National Centers for Environmental Prediction)全球氣候預報系統重分析資料(Climate Forecast System Reanalysis，之後簡稱NCEP-CFSR)，執行區域模式動力降尺度之模擬。NCEP-CFSR水平解析度約為0.5度，經動力降尺度後得到5公里高解析度氣候推估資料，進行現在時期(1979-2003年)共25年之模擬。除了執行25年模擬，也針對參數化的使用情形做測試，進行1999年1~12月一整年的模擬，藉以評估模式對區域氣候模擬的表現。

NCEP-CFSR模擬測試結果顯示，建議採用波譜調整的方法來減少大尺度環流的氣候偏移。東亞地區的重力位高度場及臺灣地區的降水空間分布中，使用參數化的結果與控制組差異不大，但在臺灣地區降水年平均上有些微高估之情形，因此以控制組的設定來執行三組動力降尺度之模擬。最後，在三組動力降尺度的模擬結果中，降尺度後的結果能有效地減少全球大氣模式的誤差，且突顯出受地形效應影響的降水空間分布，顯示其降尺度之重要性。

關鍵字：動力降尺度、波譜調整

## 一、前言

隨著電腦計算能力迅速發展，近年來已經有解析度高於50公里的全球氣候模式，例如Mizuta et al. (2012)，其氣候推估能模擬出如颱風、暴雨、強對流系統等中尺度劇烈天氣現象。但臺灣地區面積狹小，地勢陡峭，即使是20公里的高解析度，仍無法滿足區域氣候的需求，特別是降雨及氣溫，兩者會明顯受到地形效應的影響。為了克服此問題，以大尺度全球大氣環流及洋溫資料來驅動區域模式，產製出一高時空解析度的天氣或氣候資料仍有其重要性。

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。隨著計算的時間增加，模擬誤差也隨之增加的情形，Waldron et al. (1996)即提出波譜調整(Spectral nudging)的方法應用在區域模式中，但Von Storch et al. (2002)發現波譜調整的方法並非所有情況都適用。而Cha et al. (2006)的研究指出波譜調整的方法能有效的改善風場及降水之表現。為了解波譜調整與參數化對區域氣候模擬的影響，以及區域模式之特性，本研究在進行三組AGCM動力降尺度模擬之前，使用1999年(為一年多兩年)NCEP-CFSR資料，進行1-12月一整年的多模式模擬測試，藉以評估模式對區域氣候模擬的表現，當

作5公里動力降尺度模式設定之參考依據。本研究亦使用NCEP-CFSR資料進行25年的區域氣候模擬，以評估模式的表現。模式設定及研究中所使用的資料在第二節說明。第三節的模擬結果分成兩部分，3.1節為NCEP-CFSR模擬測試結果，3.2節為三組AGCM動力降尺度模擬結果之降水評估。最後第四節為結論。

## 二、模式設定與資料介紹

本研究執行動力降尺度所使用的區域模式為美國大氣研究中心(NCAR)發展的天氣研究與預報模式系統(Weather Research and Forecasting modeling system, WRF)，為3.5.1版本。模式的水平解析度為5公里，為單層網格，網格數為380 × 400，垂直方向有36層。物理參數設定方面(Bukovsky and Karoly, 2009)：邊界層參數化採用Yonsei University scheme、微物理參數化採用WSM 5-class scheme、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。另外，亦使用一組更貼近臺灣土地使用現況的地表資料(戴等, 2008)，採用跟隨WRF模式所提供的美國地質調查(USGS)、MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)及中鼎工程顧問公司的高解析度土地利用資料(CTCI)合成得之。

WRF模式設定在NCEP-CFSR的模擬測試中，依波譜調整與物理參數化的使用情形組成5組系集成員，分別為使用波譜調整的控制組(CTRL，其設定如上所述)、無使用波譜調整的NOFDDA、重複初始化的REINIT(cold start)、使用輻射參數RRTMG、使用Kain-Fritsch積雲參數化的CUKF。詳細的設定請參閱表1。

進行臺灣地區5公里動力降尺度之模擬時，使用三組高解析度全球大氣模式當作初始場及邊界資料，每6小時提供一筆三度空間資料，包括風場、溫度場、濕度場及重力位場等，其模擬時間為1979-2003年。三組高解析度全球大氣模式分別為MRI-AGCM、GFDL HiRAM及NCAR CAM5，第一個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(MRI-AGCM)，使用的版本為3.2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。第二個全球大氣模式為GFDL HiRAM (High Resolution Atmospheric Model)，其為美國普林斯頓大學地物流動力實驗室(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 2011)，本研究使用的版本為水平解析度約23公里(C384)之非靜力全球模式，垂直方向有32層(模式最高為1 hPa)。第三個全球大氣模式為NCAR CAM5，該模式由美國國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)發展的第一版第五代社群大氣模式(Community Atmosphere Model)，其水平解析度為25公里。

因應不同的分析、比對的工作所需，本研究採用數種不同的觀測資料。在分析臺灣地區的季節降水時，採用臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫(TCCIP)產製的月平均資料，水平網格解析度5公里，時間長度為1979-2003年；而在1999年WRF-CFSR模擬測試實驗中，臺灣地區降水pentad時序圖須使用逐日資料，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至氣象局劇烈天氣系統(QPESUMS)一樣的網格點，水平解析度為0.0125度。至於大氣環流場，則是以NCEP-CFSR資料當作觀測值。由於GFDL HiRAM 1979年的輸出資料當作spin-up，故三組AGCM的分析及觀測的月平均降水資料從1980年開始至2003年，共24年。

### 三、結果

#### 3.1 NCEP-CFSR模擬測試

針對1999年1-12月東亞地區等壓面上重力位高度場的區域平均，以5日平均(pentad)的時序變化圖來檢視WRF模式5組系集成員與降尺度前(CFSR)之差異，區域平均的範圍為北緯16.5-30.5度，東經114.5-128.5度。分析850 hPa等壓面上的重力位高度場之時序變化可知(圖1)，所有模擬結果與CFSR皆相當一致，顯示模式對於季節的重力位高度變化掌握得相當不錯，只有在第30至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2)即可看到NOFDDA及REINIT的誤差最顯著，皆為無使用波譜調整的系集成員，其中以第38個pentad處(7月初)的誤差最大。而全年的誤差平均以CTRL、RRTMG及CUKF呈現一致的情形，分別為低估1.34、低估1.34及低估1.33，而NOFDDA及REINIT低估約2.83及低估2.81。進一步發現造成此較大誤差的原因，可能是NOFDDA及REINIT兩組系集成員少了全球模式對區域模式的大氣環流之影響，在適當的環境中允許了中、小尺度的擾動，而導致較易有氣旋的生成及發展，故與CFSR的差異最明顯(圖未示)。

另外，在重力位高度場的平均誤差(ME)、RMSE及Pattern Correlation的垂直剖面上(圖3)，亦可發現無使用波譜調整的模擬結果最差(尤其是暖月)，而有使用波譜調整及使用其他物理參數化的結果則差異不大。而在臺灣地區區域平均的降水情形中仍然可以看到無使用波譜調整的結果與觀測值的差異最大(圖4)，NOFDDA及REINIT的全年平均約為9.6及8.7，比觀測值的5.9mm/day多了約3.7及2.8 mm/day，控制組及使用輻射及積雲參數化的結果均有些微高估之情形，分別0.56、1.04及0.75mm/day，而控制組的結果最接近觀測值。搭配臺灣地區降水空間分布(圖5)，以誤差最大的七月來看，兩組無使用波譜調整的模擬在南部地區高估許多，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。

綜合以上所述，避免降尺度後導致太大的氣候偏移，而無法重現與全球模式相同的大尺度環流特徵，在此建議採用波譜調整的方法，以減少大尺度環流的氣候偏移(Kida et al., 1991)。另外，針對物理參數化的使用情形，從高度場的垂直分布及臺灣區域氣候的降水分析顯示，使用參數化的結果與控制組的差異不大，區域平均降水皆有些微高估之現象，而控制組的結果最接近觀測值。因此，三組高解析全球大氣模式之動力降尺度模擬以控制組的設定來執行之。

#### 3.2 三組AGCM動力降尺度模擬結果

為了解高解析度全球大氣模式針對大尺度氣候模擬之能力，以東亞地區850hPa環流場的比對來看

(圖6)，冬季有來自西伯利亞的大陸冷高壓，以東北季風為主；夏季則有來自太平洋的海洋性高壓，以西南季風為主。模擬結果顯示三組AGCM皆能掌握大尺度環流場的季節變化之特徵，但夏季及秋季結果有明顯的差異，尤其是CAM5，其夏季太平洋副熱帶高壓的影響範圍太大，且高壓脊的位置明顯偏南，無法正確地模擬出夏季季風槽的位置，與其他兩組AGCM的結果差異頗大。搭配東亞地區季節降水空間分布圖來看(圖7)，夏、秋兩季CAM5在南海及菲律賓東方外海處皆有明顯低估的情形，應與太平洋高壓脊的位置偏移抑制了熱帶系統之發展有很大的關係。整體而言，降尺度前AGCM的模擬結果對於東亞地區大尺度環流場的季節變化及降水空間分布特性皆有不錯的掌握。儘管如此，若將分析範圍縮小至臺灣地區，三組高解析度全球大氣模式因受限於20-30公里的尺度而無法解析出臺灣陡峭地形的地理特性，對於季節降水之特徵存在著明顯的誤差。而經過降尺度之後能有效地減少全球大氣模式的誤差，且突顯出受地形效應影響的降水空間分布(如圖8、圖9所示)，顯示其降尺度之重要性。

分析及比較降尺度前後之氣候年循環(annual cycle)，以臺灣地區的區域平均來看(圖10)，CFSR的結果與觀測值一致，呈現6月及8月有降水極大值的雙峰特徵，但其降尺度前後差異不大，全年皆為明顯高估之現象，尤其是梅雨季及夏季；HiRAM的結果在夏、秋兩季明顯高估，但降尺度後仍為高估；MRI在降尺度前最接近觀測值，降尺度後乾季高估的情形明顯改善，但梅雨季低估、夏季高估；而CAM5在降尺度前6-8月低估最為嚴重，主要是受到大尺度環流模擬的誤差所致，降尺度後則減少了暖季低估之情形。整體來看，臺灣地區的區域平均而言，降尺度後的模擬結果(除了CFSR之外)都較接近觀測值。

## 四、結論

本研究使用MRI-AGCM、GFDL HiRAM及NCAR CAM5三組高解析度全球大氣模式當作初始場及邊界資料，執行高解析度區域模式臺灣地區動力降尺度之模擬。為了評估此降尺度的方法，本研究亦使用NCEP-CFSR執行區域模式動力降尺度之模擬。除了執行25年模擬，也針對波譜調整及參數化的使用情形做測試，進行1999年1~12月一整年的模擬，藉以評估模式對區域氣候模擬之表現。

NCEP-CFSR模擬測試結果顯示，無使用波譜調整的NOFDDA及重複初始化的REINIT之結果最差，主要是少了全球模式對區域模式的影響，較易有氣旋的生成及發展，因此與CFSR的差異最明顯，

故建議採用波譜調整的方法來減少大尺度環流的氣候偏移。而在使用物理參數化的結果中，東亞地區重力位高度場及降水空間分布與控制組的差異不大，但在臺灣地區區域平均的降水時序圖中，控制組、使用輻射及積雲參數化的結果均有些微高估之情形，分別0.56、1.04及0.75mm/day，以控制組的結果最接近觀測值，因此以控制組的設定來執行三組動力降尺度之模擬。

在三組動力降尺度的模擬結果中，先分析AGCM對於大尺度環流的季節變化及降水的空間分布之特徵，除了CAM5在夏、秋兩季有明顯差異之外，其他季節均掌握得相當不錯。儘管如此，若將分析範圍縮小至臺灣地區，因受限於20-30公里的尺度，無法解析出臺灣陡峭的地形，對於季節降水之特徵存在著明顯的誤差。經過降尺度之後能有效地減少全球大氣模式的誤差，且突顯出受地形效應影響的降水空間分布，顯示其降尺度之重要性。

## 參考文獻

- 戴俐卉、洪景山、莊秉潔、蔡徵霖與倪佩貞，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》，**36**，43-62。
- Bukovsky, M. S., and D. J. Karoly, 2009: Precipitation Simulations Using WRF as a Nested Regional Climate Model. *J. Appl. Meteor. Clim.*, **48**, 2152–2159.
- Cha, D.-H., D.-K. Lee, and Y.H. Kuo, 2006: An implementation of spectral nudging technique to the WRF model. *7<sup>th</sup> WRF Users' Workshop*, Boulder, CO, University Corporation for Atmospheric Research 4pp.
- 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.
- 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. Meams, 1991: Approaches to the simulation of regional climate change: a review. III-85 *Reviews of Geophysics*, **29**, 191–216.
- Kida, H., T. Koide, H. Sasaki, and M. Chiba, 1991: A new approach for coupling a limited area model to a GCM for regional climate simulations. *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 723–728.
- 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
- Von Storch, H., H. Langenberg, and F. Feser, 2000: A spectral nudging technique for dynamical downscaling purposes. *Mon. Weather Rev.*, **128**, 3664-3673.
- Waldron, K. M., Paegle, J., and Horel, J. D., 1996: Sensitivity of a spectrally filtered and nudged limited-area model to outer model options. *Mon. Weather Rev.*, **124**, 529-547.

表1. WRF-CFSR模擬測試之模式設定

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	No nudging is applied.
REINIT	all the time	No nudging, reinitialize (cold start) at beginning of every month.
RRTMG	Other	Use RRTMG radiation scheme.
CUKF	Physics	Use KF cumulus scheme.

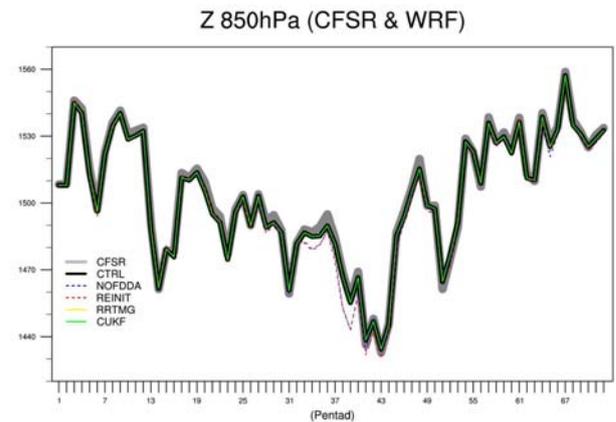


圖1. 1999年1-12月NCEP-CFSR及WRF模式5組系集成員在東亞地區850 hPa重力位高度場之pentad時序變化。單位: m

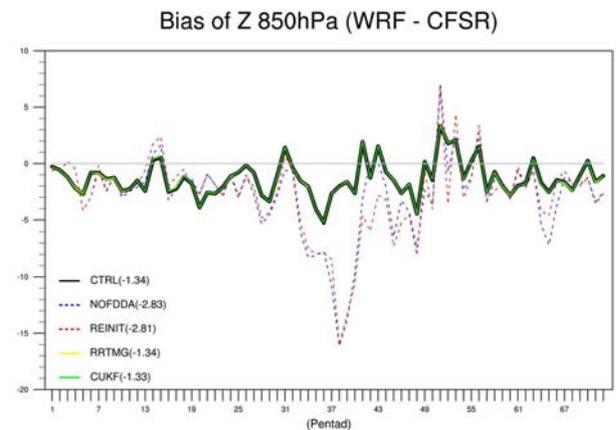


圖2. 1999年1-12月WRF模式5組系集成員在東亞地區850 hPa重力位高度場與NCEP-CFSR的誤差之pentad時序變化。單位: m

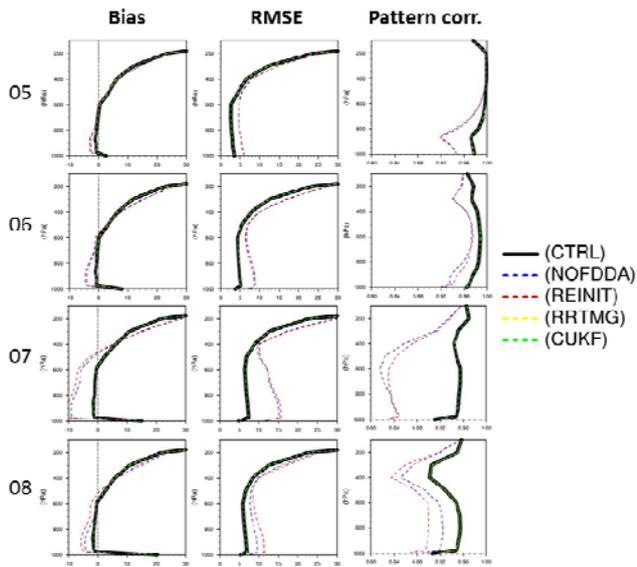


圖3. WRF模式5組系集成員與NCEP-CFSR之重力位高度場的ME(左)、RMSE(中)及Pattern correlation(右)之垂直分布(1999年5月~8月)

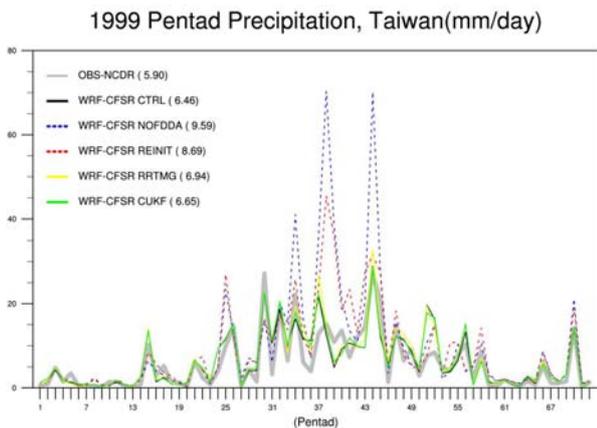


圖4. 1999年WRF模式5組系集成員與觀測值(NCDR)的臺灣地區降水之pentad時序變化。單位: mm/day, 圖中括號內的數值表示全年的平均值

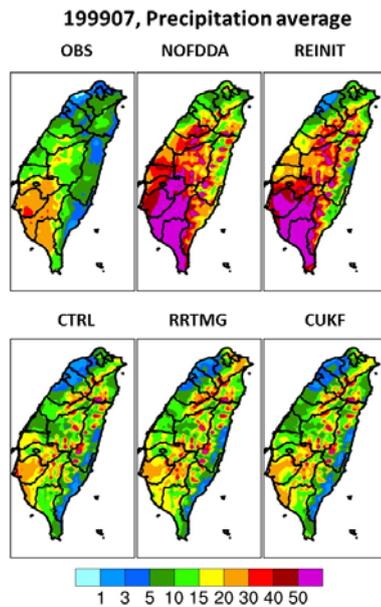


圖5. 1999年7月降水空間分布圖。單位:mm/day

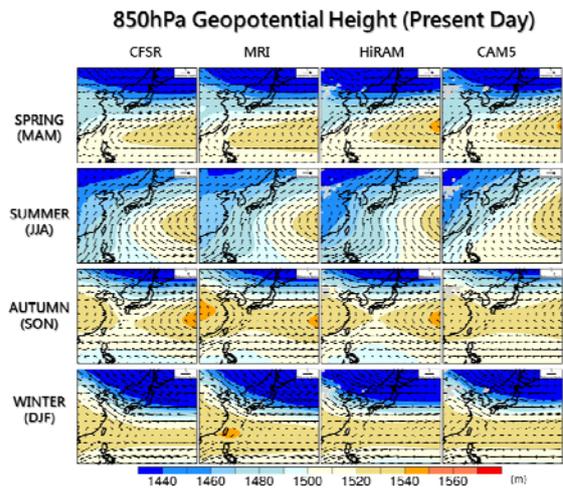


圖6. 現在時期(1980-2003年)CFSR、MRI、HiRAM及CAM5之東亞地區850hPa環流場

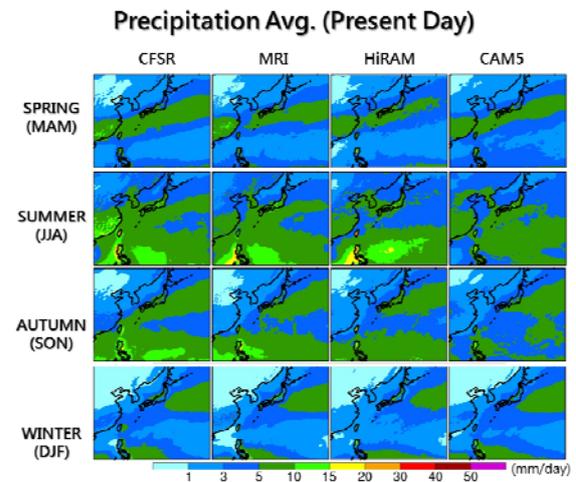


圖7. 現在時期(1980-2003年)CFSR、MRI、HiRAM及CAM5之季節降水空間分布。單位:mm/day

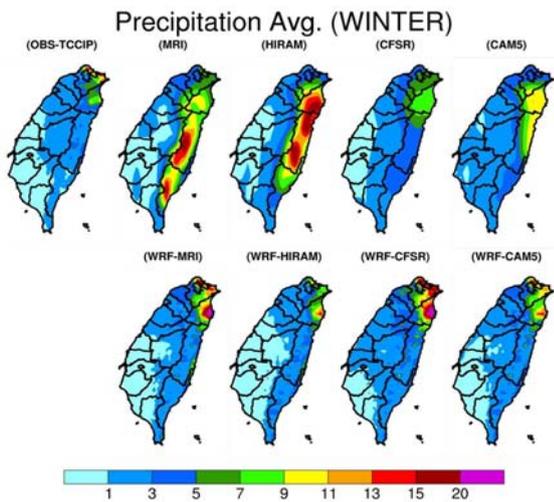


圖8. 現在時期(1980-2003年)觀測、AGCM(上排)及降尺度後(下排)之臺灣地區冬季降水分布。單位:mm/day

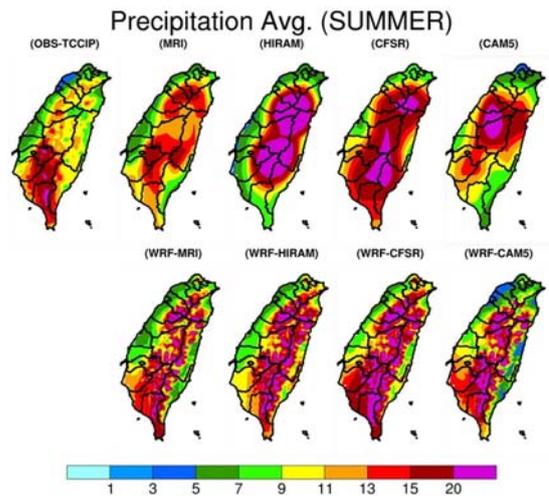


圖9. 現在時期(1980-2003年)觀測、AGCM(上排)及降尺度後(下排)之臺灣地區夏季降水分布。單位:mm/day

### 臺灣地區降水年循環

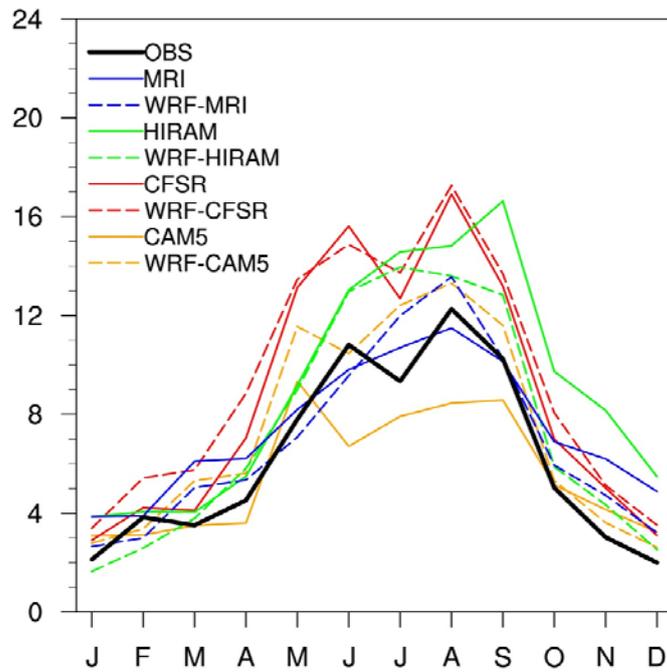


圖10. 臺灣地區降水年循環圖，黑色為觀測值，直線為AGCM，虛線為降尺度後結果，紅色線段為CFSR，綠色線段為HIRAM，藍色線段為MRI，橘色線段為CAM5。單位:mm/day