

# 東亞與台灣區域氣候之降尺度模擬

## Dynamical Downscaling of Regional Climate over Eastern Asia and Taiwan with Regional Spectral Model

李清騰\*、吳明進\*、陳世欽#

\*台大大氣科學系, #USDA Forest Service, Riverside, CA, U.S.A.

### 摘要

本文使用 NCEP/RSM 執行 NCEP 再分析資料之兩種解析度動力降尺度模擬東亞及台灣區域氣候，另外也使用新的 Diffusion scheme 來進行相同的模擬實驗。研究結果顯示出 RSM 大致可掌握降水變化趨勢，但五至八月間東亞區域之太平洋副熱帶高壓模擬偏強，造成大陸及台灣地區受到較強的南風情形。而新的 Diffusion scheme 則可改善因地形所造成的過大降水模擬，但海洋上降水模擬則更加偏少。另外夏季期間 RSM 此靜力模式無法正確模擬出颱風所造成的強烈低壓伴隨著反氣旋環流特徵以及大降水現象，使得夏季結果有明顯差異存在。由台灣地區模擬結果中，新的 Diffusion scheme 模擬結果明顯改善過大降水模擬，且降水量更符合實際觀測值，其年際變化之相關係數也相對提高，但夏季降水量的模擬反而呈現出更加偏少的情況，然而 RSM 對於夏季颱風在台灣地區所造成較大降水特徵無法有效的掌握。另外使用台灣地區單層巢狀之降尺度模擬，結果顯示出單層巢狀模擬的降水量明顯比兩層巢狀較少，且冬季期間明顯呈現出更好的降水分佈，但其它季節反而是有更大的差異，然而單層巢狀之降水隨時間變化趨勢則比兩層巢狀結果更接近實際觀測值之變化特性。

(關鍵詞: 台灣氣候模擬、區域氣候、區域波譜模式)

### 一、前言

影響區域氣候的環流系統尺度小至微米尺度大至涵蓋全球，因此如要進行區域氣候的模擬預報，須使用全球模式作高解析度長時間的積分，由於電腦計算資源的限制，涵蓋全球高解析度和長時間積分這三項要求通常無法同時達到。區域氣候的模擬預報一般解決的方法為使用全球區域網巢模式。以全球模式進行低解析度之計算，然後截取有限區域全球模式的輸出作為邊界條件輸入區域模式進行高解析度的模擬計算，此即為區域氣候的動力降尺度模擬預報 (Dickinson et al., 1989; Giorgi, 1990; Giorgi et al., 1993; Liu et al., 1994; Hong and Leetmaa, 1999; Lee and Suh, 2000)。

台大大氣系區域/水文預報實驗室自 1992 年開始和美國 UCSD/SIO 密切合作進行區域氣候可預報度之研究，並引進 NCEP/RSM 區域氣候模式 (Juang and Kanamitsu, 1994; Juang et al., 1997) 做區域氣候之模擬和預報實驗。並從 1997 年 10 月開始應用快捷的通訊網路，收取 SIO-Climate Division ECPC 以 NCEP 所提供的海面溫度預報資料和全球初始場資料使用 NCEP/GSM 之全球預報資料，利用 NCEP/RSM 執行台灣地區區域氣候的預報。此短期預報實驗為每週執行一次，每次作 1 至 12 週的預報。

由於區域波譜模式的不確定性，此區域氣候預報的產品，並不能直接應用。因此建立一套完整的區域氣候的特徵則是必要之科學性評估。本文即採用 NCEP/RSM 進行 NCEP 再分析資料，且利用兩種不同 Diffusion scheme 進行模擬實驗，來

探討東亞及台灣地區氣候的特徵以及區域波譜模式的預報度。

### 二、模式介紹及觀測資料

本文使用 NCEP/RSM97V 區域波譜模式 (Juang and Kanamitsu, 1994; Juang et al., 1997) 進行 1990 年至 2000 年 NCEP 再分析資料 (Kalnay et al. 1996) 之動力降尺度模擬實驗 (RSMs)，另外也利用 Juang et al. 在 2005 年所發展新的 Diffusion scheme (RSMp) 來執行相同的實驗。RSM 基本上包括兩部份，即高解析的區域波譜模式，巢狀於低解析的全球波譜模式 (GSM)，且 RSM 和 GSM 使用相同的模式結構、動力以及物理過程。RSM 和一般傳統的有限差分模式，不同在於 RSM 是讓全球模式所獲得的資訊，涵蓋整個區域模式範圍，而傳統的方法，只將全球模式資訊使用在近側邊界處。Hong and Leetmaa (1999) 以 RSM 降尺度模擬美國地區 50km 解析度的區域氣候特徵，研究結果指出 RSM 可以當作區域氣候研究之有用工具之一。本研究範圍分為東亞地區 (101.3°E-141.2°E, 10.8°N-36.2°N) 50km 解析度 (RSM1) 和台灣地區 (117.7°E-25.16°E, 18.9°N-27.0°N) 15km 解析度 (RSM2) 的模擬實驗 (如圖 1 所示)。另外東亞地區觀測降水資料使用 Global Precipitation Climatology Project (GPCP; Huffman et al., 1997) 全球月平均降水資料以及 University of East Anglia's Climatic Research Unit (CRU TS2.0; Mitchell et al., 2004) 全球月平均陸地降水資料，而在台灣地區則使用測站及自動雨量站之實際觀測降水資料。

### 三、東亞區域氣候之降尺度模擬

由表 1 顯示出各月之 NCEP 資料和 50km 解析度之 RSM(RSM1s)模擬結果的空間相關係數值，而新的 Diffusion scheme(RSM1p, 表略)也是呈現出相同的特性。由表中明顯看到一月(表 1A.)的相關係數值可達 0.9 以上，而二至四月(表略)則和一月的結果相同，到了五月(表 1B.)、六月(表略)時，其低層風場及海平面氣壓場相關係數值明顯降至 0.45 及 0.75，代表此時太平洋副熱帶高壓模擬偏強，使得大陸至台灣地區受到較強的南風情形。而在六(表略)、七(表略)、八月(表 1C.)海平面氣壓場及低層風場的相關係數更低，這也代表了此時 RSM 模擬此月份颱風所造成的強烈低壓特性及反氣旋環流有明顯差異存在。另外在九至十二月(表略)，則和一月的結果相同。由圖 2 顯示大陸地區及海洋地區的降水季節變化，GPCP 和 CRU 呈現出相同的變化趨勢，且六月有最大降雨量，但 NCEP 資料卻在七月，可是 RSM1s 及 RSM1p 大致可掌握降水隨季節變化，且六月也有最大降水，但降水量則明顯偏多，而海洋上降水則偏少。圖 3 顯示出颱風日及非颱風日之海平面氣壓及 850 hPa 風場合成圖，在颱風日台灣地區附近有明顯強烈低壓存在且伴隨反氣旋環流特徵，但 RSM1s 及 RSM1p 模擬此低壓強度較弱，且反氣旋環流較不明顯，而在非颱風日 RSM1s 及 RSM1p 呈現出和 NCEP 相同的環流特徵，但太平洋副熱帶高壓模擬偏強。由颱風日及非颱風日之降水合成圖(圖 4.)顯示 RSM1s 模擬颱風造成的降水量在海洋上明顯偏少，而在台灣地區上的降水則較集中南部地區，但降水並非涵蓋全島地區。而 RSM1p 降水則更加偏少。但在非颱風日的 RSM1s 及 RSM1p 降水分佈和 NCEP 資料相似，且 RSM1p 比 RSM1s 更接近 NCEP 資料。由此可以得到 RSM 此靜力模式無法有效模擬出颱風之強烈低壓環流特性以及較大降水情形，但對於非颱風所造成的氣候特性則有相當程度的掌握。

### 四、台灣區域氣候之降尺度模擬

由一月之台灣區域月平均降水分佈圖(圖 5a.)及日降水時間序列相關係數之空間分佈圖(圖 5b.)，顯示觀測降水分佈只侷限在東北部沿岸，RSM1s 則在花蓮有較大降水發生，但 RSM1p 改善此過大降水模擬，且降水侷限在東北部地區。而兩者相關係數分佈都在西部有最大值，但東北部地區則偏低。另外 RSM2s 降水分佈明顯比 RSM1s 更接近觀測值，且相關係數也較高，但東北部降水量明顯偏多，且最大降水中心較靠近內陸。然而 RSM2p 降水分佈則更符合觀測值，且最大降水量明顯減少，而相關係數也有提高。二至四月也是呈現出相同的特徵(圖略)。五月的降水及相關係數分佈圖中(圖 6.)，此時觀測降水集中在中部山區，而 RSM1s 也在山區有最大降水發生，且呈現東北-西南走向，但相關係數較高值則出現在台灣

沿岸地區，而山區相關係數較小。RSM1p 則在南部地區有最大降水發生，但山區降水不顯著，且相關係數較低。RSM2s 顯示全島降水量明顯偏多，且相關係數也偏低，代表 RSM2s 模擬此時降水分佈有明顯誤差存在。而 RSM2p 則改進 RSM2s 過大降水模擬，且相關係數明顯提高，但山區的最大降水中心不明顯。另外六至八月(圖略)也是和五月的結果相似。九月(圖略)、十月(圖 7.)之降水及相關係數分佈圖中，此時觀測降水主要發生在東半部地區，而 RSM1s 在宜蘭至花蓮一帶有明顯降水發生，但此區域相關係數偏低，而 RSM1p 有改善 RSM1s 的過大降水模擬，主要降水分佈也在東半部，但相關係數仍偏低，而西南部地區較小的降水量變化則有較高的相關係數。RSM2s 在山區有出現兩個最大降水中心，但最大降水位置較偏內陸地區，且降水量偏多，相關係數偏低。另外 RSM2p 的降水分佈明顯和觀測值相同，主要降水分佈也出現在東半部地區，且也有兩個最大降水中心，而相關係數也在東半部有最大相關係數值，代表 RSM2p 模擬此時東半部的降水分佈及降水隨時間變化都有相當程度的掌握。另外十一月及十二月(圖略)也是呈現出和一月相同的結果。

由於夏季間的較大降水現象主要是來自颱風所造成的，所以在此也分析台灣地區颱風日及非颱風日之降水分佈特徵。由圖 8 顯示八月颱風日及非颱風日之台灣地區降水分佈，顯示出颱風日主要降水分佈集中在東半部及北部地區，且最大降水中心發生在山區。而 RSM2s 在山區有最大降水發生，但平地及海面上則明顯偏少。另外 RSM2p 最大降水發生在南部及北部地區，而降水量明顯偏少，這也代表了 RSM 模擬颱風所帶來的較大降水量及降水分佈有明顯差異存在。在非颱風日的主要降水分佈發生在南部地區，RSM2s 則在山區有最大降水，但 RSM2p 降水分佈和觀測值相似，最大降水也發生在南部地區，但降水量較少。由圖 9 顯示八月 1990 年至 2000 年全島平均之日降水累加頻率圖，顯示觀測中無雨日次數(降水量小於 1mm 以下)佔 49%，而 1-10mm 間的降水量有 25%次數，大於 10mm 以上有 26%次數，然而大於 100mm 有 4%的次數，代表此時有發生降水次數佔全部次數的一半以上，而當中有超過一半以上的次數是發生較大降水情形。RSM1s 的降水次數變化曲線較劇烈，大約在 20mm 的降水量和觀測值相同次數，顯示出此時 RSM1s 模擬降水量介於 1-20mm 間的次數偏多，而大於 20mm 以上的次數則偏少。在 RSM2s 的降水次數變化曲線明顯和觀測值相似，但降水量大於 90mm 以上的次數也是有偏少的情形。另外在 RSM1p 及 RSM2p 也呈現出和觀測值相同的降水次數曲線之變化趨勢，但無雨日模擬偏多，較大降水次數偏少。由此更加顯示出 RSM 無法有效的掌握住颱風所帶來的較大降水情形。

## 五、台灣地區之單層巢狀降尺度模擬

RSM2 的模擬結果是利用 RSM1 來當作初始場，但由於 RSM1 在夏季結果中有明顯差異存在，然而使用此模擬結果進行降尺度模擬則會造成更大的差異，若模式只使用單層巢狀(G2R)之降尺度模擬則是否會改進台灣地區模擬結果。由圖 10a 顯示出一月之月平均降水分佈，G2Rs 明顯比 RSM2s(圖 5a4.)降水明顯偏少，但較大降水仍靠近內陸地區。而 G2Rp 的降水量模擬則比 RSM2p(圖 5a5.)更接近觀測值。從相關係數圖(圖 10b.)更可得此時相關係數明顯提高，代表此時降水隨時間變化有相當程度的掌握。然而在十月之月平均降水圖中(圖 11a.)，G2Rs 降水分佈仍只出現在山區，但降水量比 RSM2s 較少，G2Rp 也是降水量模擬比 RSM2p 較少，但和觀測值的降水分佈相比則是比 RSM2p 有較大差異存在。由相關係數圖中(圖 11b.)此時 G2Rp 比 RSM2p 有較高的相關係數值，且東半部地區有高達 0.6 以上。顯示出單層巢狀模擬降水分佈結果只在冬季有較符合實際觀測降水分佈及降水量模擬，但在其它季節則有更大差異存在，且降水量更加偏少。然而日降水隨時間變化趨勢則比兩層巢狀更接近實際觀測之降水變化特性。

## 六、結論

本文使用大尺度 NCEP 1990 年 2000 年再分析資料作為初始場和邊界條件。區域模式則選用區域波譜模式(RSM)，分別執行兩種解析度 RSM1(50km)和 RSM2(15km)以及兩種不同之 Diffusion scheme (RSMs、RSMp)之模擬實驗。研究結果顯示出 RSM1 模擬大陸地區及海洋上降水變化趨勢和 GPCP 相似，但大陸地區降水量偏多，而海洋上則降水偏少。另外五至八月間模擬氣候場有較大差異存在，主要是 RSM 模擬太平洋副熱帶高壓偏強，造成大陸及台灣地區受到較強南風情形。而 RSM1p 則比 RSM1s 更能改進因地形作用所造成的過大降水模擬，但夏季的降水量模擬反而有更加偏少的傾向。由於夏季颱風是造成較大降水的主要原因，但 RSM 此靜力模式無法有效的模擬出颱風所伴隨著強烈低壓環流特徵及大降水情形。然而在非颱風所造成的氣候環流特性及降水分佈則有相當程度的掌握。

在台灣地區模擬降水分佈結果中，RSM2p 明顯比 RSM2s 更符合實際觀測，但夏季間降水量明顯偏少，且最大降水位置並不出現在山區。另外利用單層巢狀之模擬結果在冬季明顯比兩層巢狀更接近觀測降水分佈，但在其它季節則反而有較大差異存在，且降水量更加偏少。然而在降水隨

時間變化趨勢中則比兩層巢狀結果更有相當程度的掌握。

## 七、參考文獻

- Dickinson, R.E., Errico, F., Giorgi and G. T. Bates; 1989: Regional climate model for the western United States, *Climate Change*, **15**, 384-422.
- Giorgi, F., 1990: Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *J. Climate*, **3**, 941-963.
- \_\_\_\_\_, G. T. Bates, and S.J. Nieman, 1993: The multiyear surface climatology of a regional atmospheric model over the western United States. *J. Climate*, **6**, 75-95
- Hong, S. Y. and A. Leetmaa, 1999: An evaluation of NCEP RSM for regional climate modeling. *J. Climate*, **12**, 592-609.
- Huffman, G.J., R. F. Adler, P. Arkin, A. Chang, R. Ferraro, A. Gruber, J. Janowiak, A. McNab, B. Rudolf, and U. Schneider, 1997: The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Datasets. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 5-20.
- Juang, H.-M.H., and M. Kanamitsu, 1994: The NMC nested regional spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 3-26.
- \_\_\_\_\_, S. Hong, and M. Kanamitsu, 1997: The NMC nested regional spectral model. An update. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2125-2143.
- \_\_\_\_\_, C.-T. Lee, F. Zhang, Y. Song, M.-C. Wu., Y.-C. Chen and S.-C. Chen, 2005: Applying Horizontal Diffusion on Pressure Surface to Mesoscale Models on Terrain-Follow Coordinates. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 1384-1402.
- Kalnay, E., M. and colleagues, 1996: The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- Lee, D.-K. and M.-S. Suh, 2000: Ten-year east Asian summer monsoon simulation using a regional climate model(RegCM2). *J. Geophys. Res.*, **105**, 29565-29577.
- Liu, Y., F. Giorgi, and W. M. Washington, 1994: Simulation of Summer Monsoon Climate over East Asia with an NCAR Regional climate model. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 2331-2348.
- Mitchell, T. D., T. R. Carter, P. D. Jones, M. Hulme, and M. New, 2004: A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record(1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). *J. Climate*. (Submitted)

(A) January RSM1s

P.C.	Q2m	T2m	u10	v10	SLP	HGT	U	V
SFC	0.99	0.99	0.97	0.91	0.99			
1000 hPa						0.99	0.98	0.97
850 hPa						0.95	0.96	0.93
700 hPa						0.99	0.99	0.97
500 hPa						0.99	0.99	0.97
300 hPa						0.99	0.99	0.99

(B) May RSM1s

P.C.	Q2m	T2m	u10	v10	SLP	HGT	U	V
SFC	0.99	0.99	0.99	0.46	0.76			
1000 hPa						0.99	0.98	0.95
850 hPa						0.99	0.94	0.77
700 hPa						0.99	0.99	0.92
500 hPa						0.99	0.99	0.98
300 hPa						0.99	0.99	0.99

(C) August RSM1s

P.C.	Q2m	T2m	u10	v10	SLP	HGT	U	V
SFC	0.95	0.97	0.99	0.59	0.57			
1000 hPa						0.74	0.70	0.45
850 hPa						0.93	0.85	0.5
700 hPa						0.97	0.95	0.77
500 hPa						0.98	0.99	0.92
300 hPa						0.97	0.99	0.97

表1. 一月(A)、五月(B)及八月(C)NCEP再分析資料和RSM1s模擬結果之空間形態相關係數表, 表中變數分別為地面2公尺濕度(Q2m)、地面2公尺溫度(T2m)、地面10公尺之東西向風場(u10)、地面10公尺之南北向風場(v10)、海平面氣壓(SLP)以及各個氣壓層之重力位高度(HGT)、東西向風場(U)及南北向風場(V), 其中各個氣壓層分別為1000 hPa、850 hPa、700 hPa、500 hPa以及300 hPa。

RSM1(50KM)/RSM2(15KM) OROGRAPHY AND GRIDS

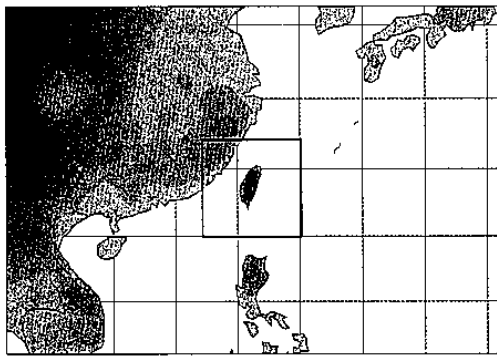


圖1. RSM模式設定之模擬範圍, 其中大範圍為RSM1(50公里)及小範圍RSM2(15公里)之模擬範圍, 兩者範圍均以台灣為中心點。圖中顏色則是代表地形高度。

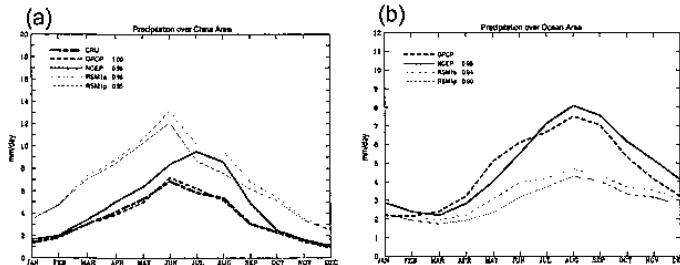


圖2. 大陸(a)及海洋(b)之區域平均降水之季節時間序列, 圖中分別為CRU資料(粗點線、黑色); GPCP資料(粗點線、紅色); NCEP(粗實線、紅色); RSM1s(細點線、綠色)及RSM1p(細實線、綠色), 圖左上方數值代表各時間序列資料和CRU的相關係數。X軸代表月份, Y軸代表降水值, 單位為mm/day。

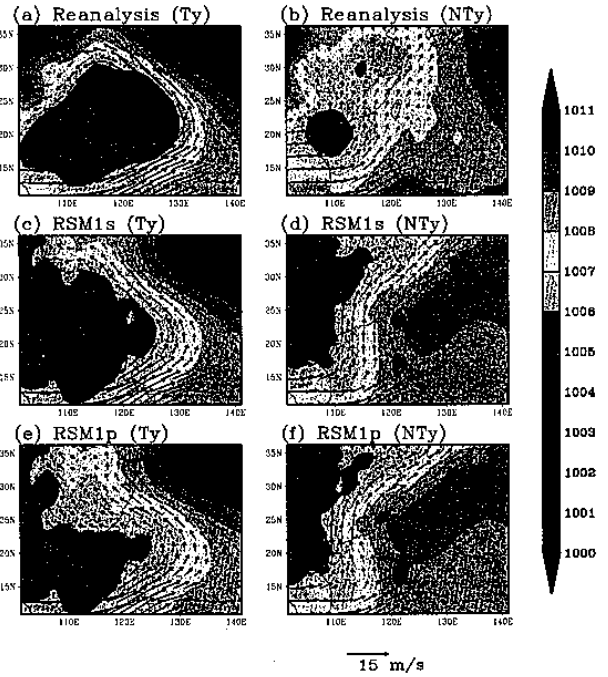


圖3. 1990年至2000年八月之颱風日(a、c、e)及非颱風日(b、d、f)之海平面氣壓及850 hPa風場分佈圖, 圖中分別為NCEP再分析資料(a、b); RSM1s的模擬結果(c、d)以及RSM1p的模擬結果(e、f), 圖中顏色代表氣壓值, 箭頭代表風向, 而氣壓值間距為1 hPa, 風場單位則為m/s。

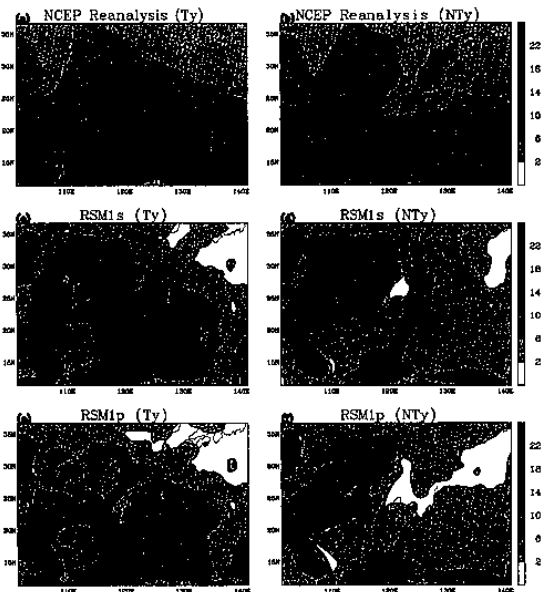


圖4. 同圖3, 但為1990年至2000年八月之降水分佈圖。圖中降水量間距為4 mm。

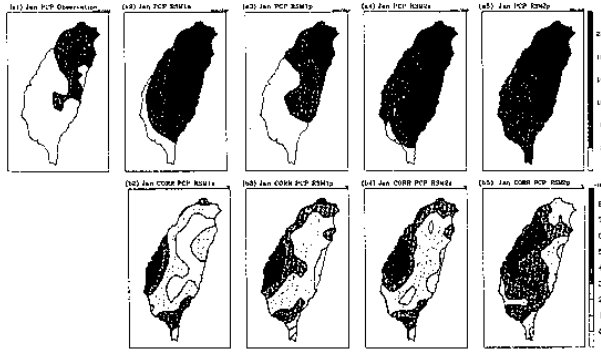


圖5. 1990至2000年一月之台灣地區月平均降水分佈圖(a)及相關係數空間分佈圖(b)，圖中(1)為觀測值；(2)為RSM1s；(3)為RSM1p；(4)為RSM2s；(5)則為RSM2p之模擬結果。圖(a)降水值間距為4 mm。(b)為相關係數值間距則為10%。

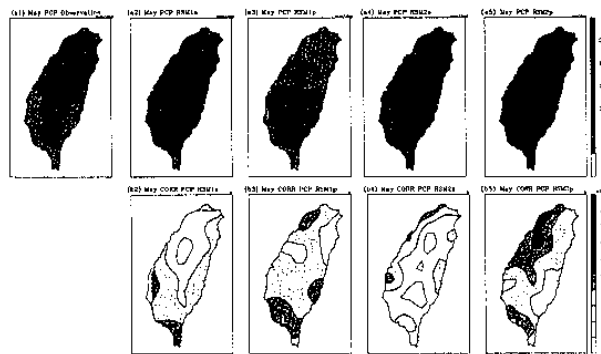


圖6. 同圖5，但為1990至2000年五月之台灣月平均降水及相關係數空間分佈圖。

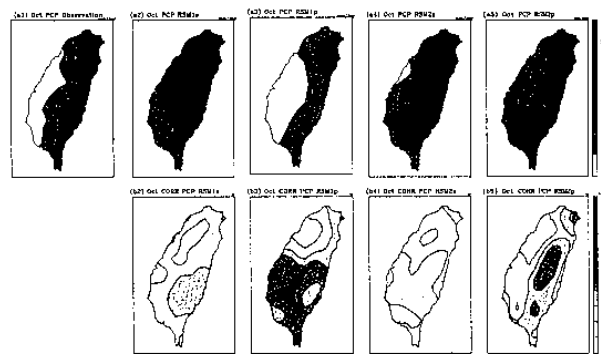


圖7. 同圖5，但為1990至2000年十月之台灣月平均降水及相關係數空間分佈圖。

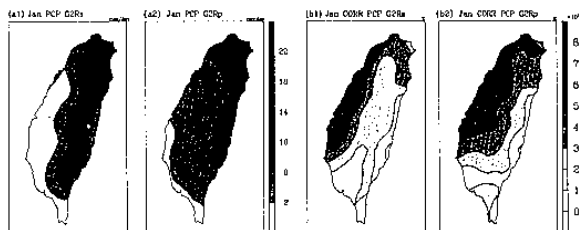


圖10. 1990至2000年一月單層輦狀之模擬降水結果分佈圖(a)及相關係數空間分佈圖(b)。圖中(1)為G2Rs；(2)為G2Rp。圖a降水值間距為4mm，圖b相關係數值間距為10%。

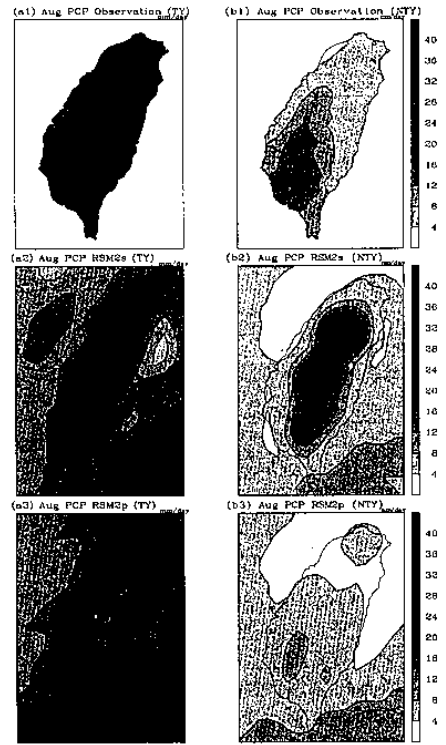


圖8. 八月之颱風日(a)及非颱風日(b)之台灣地區平均降水合成圖，圖中分別為觀測值(1)、RSM2s(2)及RSM2p(3)，而降水量的間距為4mm。

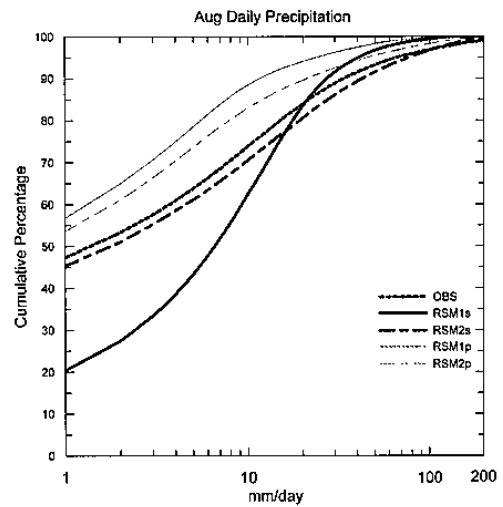


圖9. 一月台灣全島平均之日降水累加頻率圖，圖中分別為觀測值(粗點線、黑色)、RSM1s(粗實線、紅色)、RSM2s(粗點線、紅色)、RSM1p(細實線、綠色)及RSM2p(細點線、綠色)，其中X軸代表降水量，單位為mm/day，以對數座標表示，而Y軸代表降水次數之百分比(%)。

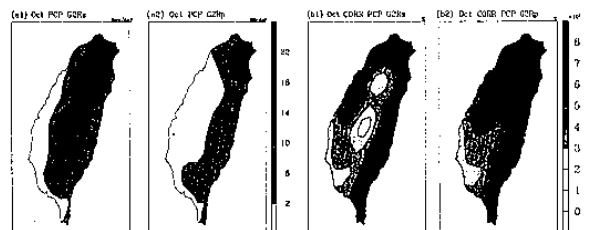


圖11. 同圖10，但為十月之台灣月平均降水及相關係數空間分佈圖。