

# 東亞與台灣區域氣候模擬研究

On Eastern Asia and Taiwan Regional Climate Simulation

吳明進、李清騰

台大大氣科學系

## 摘要

本文分析使用 NCEP/RSM97V 作 NCEP Reanalysis 資料的動力降尺度模擬，探討使用區域氣候模式進行東亞及台灣區域氣候預報的可行性。(1)進行 RSM1(50km 解析度)東亞地區 1998 年 5 月降水的敏感度實驗。由(a)更新地表參數的實驗結果得知海洋表面參數的更新對模式預報的降水有較顯著的影響。(b)不同大小的模式範圍模擬實驗結果指出模式範圍越大所模擬的 5 月太平洋副熱帶高壓越強，南海的南風也越強。(c)不同版本的積雲參數化模擬實驗結果指出 97V 在台灣及大陸沿岸模擬較強南風，因此造成華南沿岸有較大降水。(2)進行 RSM2(15km 解析度)台灣地區 1996 年 12 月降水的敏感度實驗。由(a)不同網巢程度實驗結果指出二重網巢可以改進冬季區域降水模擬。(b)包含不同的雲微物理過程模擬實驗指出模式包含雲冰的微物理過程可能不是台灣地區冬季降水的主要機制。(c)以真實地形取代模式內建之台灣地形的模擬實驗指出真實地形只是改變降水分佈區域。(3)進行使用不同的 diffusion scheme 作 1996 年 12 月及 1998 年 5 月東亞及台灣區域氣候模擬。由 RSM1 和 RSM2 模擬實驗結果指出 RSM 模擬的降水分佈特徵趨近於 NCEP Reanalysis 資料，但較能顯示小尺度結構，而且新的 diffusion scheme 有助於改進降水預報過多的問題。

## 一、前言

區域氣候的模擬預報一般處理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; Hong and Leetmaa, 1999)。

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 Initial data 使用 NCEP/GSM 所做的全球預報資料，利用 NCEP/RSM 做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。

由於模式的不確定性，此區域氣候預報的產品，並不能直接應用。區域氣候的可預報度即是關鍵問題，必須先進行科學性評估。

本文即採用 NCEP/RSM97V 進行 NCEP Reanalysis 資料之兩種不同解析度之模擬實驗探討東亞及台灣地區氣候的特性和模式可預報度。

## 二、模式及資料

本文使用 NCEP/RSM97V 區域波譜模式 (Juang and Kanamitsu, 1994; Juang et al., 1997) 進行 NCEP Reanalysis 資料 (Kalnay et al. 1996) 之兩種解析度 (50 km and 15 km) 動力降尺度模擬實驗。NCEP/RSM 基本上包括兩部份，即高解析的區域波譜模式 (RSM)，巢狀於低解析的全球波譜模式 (GSM, NCEP Reanalysis)。RSM 和 GSM 使用相同的模式結構，模式動

力，與模式物理。NCEP/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。RSM 和 GSM 主要的不同在於水平展開的基本方程。GSM 以球面諧和函數表示其解，而區域模式是以 double-sine-cosine series 表示其解。Hong and Leetmaa (1999) 以 NCEP/RSM 降尺度作美國地區 50km 解析度的區域氣候模擬，結果指出 NCEP/RSM 可以當作區域氣候研究之有用工具之一。本研究使用 NCEP/RSM97V，作東亞地區 ( 101.3°E-141.2°E, 10.8°N-36.2°N ) 50km 解析度模擬和台灣地區 ( 117.7°E-25.16°E, 18.9°N-27.0°N ) 15km 解析度的模擬實驗。大尺度環境場使用 NCEP Reanalysis 資料 (Kalnay et al. 1996) 1998 年 5 月和 1996 年 12 月。區域降水模擬結果和 Global Precipitation climatology project (GPCP, Huffman et al. 1997) 全球降水資料以及台灣地區測站及自動雨量站觀測之降水資料比較。

### 三、敏感度實驗

#### 3.A 東亞區域氣候模擬

為了解 RSM 對東亞初夏氣候模擬能力，本文首先進行 RSM1 (50KM 解析度) (a) 更新地表參數 (b) 改變模擬範圍大小 (c) 使用不同積雲參數化方案的敏感度實驗，測試時間為 1998 年 5 月。由更新地表參數之敏感度實驗結果顯示如改變海洋上的粗糙度及行星阻抗則會使得降水帶往北偏。即改變海洋上的邊界條件，會導致降水帶移動。如其他參數不變，只更新陸地表面溫度對降水無顯著影響。由此可見模式降水受地表感熱通量影響較小，受海洋表面熱力和動力狀況的影響較大。

由改變不同模擬範圍大小的模擬實驗結果指出，選取的範圍愈大，所

模擬的太平洋副熱帶高壓愈強，而低壓也愈強，因而使氣壓梯度變強，造成系統有增強的趨勢。有此可見區域氣候的模擬結果和選擇的模擬範圍有關。

使用不同版本之積雲參數化模擬結果顯示，SAS96 降水較集中在沿岸，而 SAS97 則是在內陸。二者的差異都是以源自對流性的降水為主，而模擬的風場，SAS97 在台灣地區及大陸沿岸比 SAS96 強，使得輻合區有往北偏，因而使降水帶集中在內陸。由此可見不同的積雲參數化方案顯著影響降水區分佈。

#### 3.B 台灣區域氣候模擬

為了解 RSM 對台灣區域氣候模擬預報能力，本文進行 RSM2 (15km) 1996 年 12 月模擬的敏感度實驗。首先進行兩種不同降尺度的程序模擬實驗，來探討逐次降尺度的影響，第一種是從全球模式資料直接降尺度到 15km 解析度(G2R)。第二種則是將全球模式資料降尺度到 50km 解析度，再從 50km 解析度的結果降尺度到 15km 解析度(C2R)的二層巢結。結果指出兩層的巢結比 1 層的巢結更能掌握住局部地區的降水特徵及降水量。

其次進行雲微物理過程對降水特性的影響，進行 3 種不同的雲微物理過程模擬實驗。從 1996 年 12 月降水模擬結果(圖 1)，可見較完整的雲微物理過程(包括雲水，冰晶等)，會稍為使得降水量變少，但降水帶擴展。推測對於台灣地區冬季而言，雲冰的雲微物理過程可能不是主要降水機制。

另外探討在台灣地區模式地形高度之影響。將台灣的真實地形取代模式所使用的 5 分之地形。結果顯示，以真實地形取代模式內定地形後所模擬的降水帶會明顯較靠近海岸，但降水量偏多。此由於真實地形較模式內

建地形更高，而地形高度的增加則會造成降水量增多。

#### 四、模式之 Diffusion scheme

區域氣候模式方程式的擴散項代表的是氣象場源或匯。原本在 NCEP-RSM97V (Juang et al 1997) 中使用的是在等 Sigma 面上計算(sDIFF)，由模擬實驗結果指出等 Sigma 面上的擴散計算方案會導致一虛假的源或匯。因而有改進方案的提出 (Juang et al 2004)，此方案是將原本在等 Sigma 上作計算改為等 Pressure(pDIFF)上來做計算。模式使用不同擴散計算方案對亞洲及台灣地區區域氣候不同解析度的影響為何值得進一步探討。

圖 2 顯示不同擴散項計算方案應用於 1996 年 12 月 RSM1 模擬的差異。由圖可見 NCEP Reanalysis 和 GPCP 的降水分佈特徵相似，但 NCEP Reanalysis 在東亞熱帶地區，及台灣至日本地區有較多的降水。sDIFF RSM1 模擬的降水整體而言趨近 NCEP Reanalysis，但較能顯示出小尺度之特徵。而由於受季風的影響，導致過量的降水集中在陸地的東北邊。pDIFF RSM1 的模擬有相當程度改善台灣及華南地區降水過大的現象。

圖 3 顯示不同擴散項計算方案應用於 1996 年 12 月 RSM2 模擬結果。由圖可見 sDIFF RSM2 的模擬顯示台灣地區 12 月降水集中在東北部的特徵，但降水量過多。pDIFF RSM2 的模擬更接近觀測，而且降水量的極大值也相較於 sDIFF 的模擬減少很多。

圖 4 顯示不同擴散項計算方案應用於 1998 年 5 月 RSM1 模擬結果的差異，由圖可見 NCEP Reanalysis 和 sDIFF RSM1 的模擬和 GPCP 降水分佈特徵有相當的差異。在 RSM1 和 GPCP 圖上顯示從台灣東北部延伸至日本南方的梅雨系統。在 NCEP

Reanalysis 並不顯著。特別是 sDIFF RSM1 模擬台灣及華南地區呈現過度的降水。pDIFF RSM1 的模擬則相當程度減少上述地區過大降水模擬。

圖 5 顯示不同擴散項計算方案應用於 1998 年 5 月 RSM2 模擬結果。由圖可見 RSM2 無法有效模擬該月台灣地區的降水，而傾向於過度預報，sDIFF RSM2 的情形更加嚴重。圖 6 顯示二種不同的 diffusion scheme 於 RSM1 和 RSM2 模擬 1996 年 12 月和 1998 年 5 月台灣地區的日降水量累積相對頻率統計。由圖可見 NCEP Reanalysis 傾向於在冬季預測過多的小雨日，pDIFF 相較於 sDIFF 於 RSM1 和 RSM2 皆傾向於模擬較少的降水和較多的無雨日。NCEP Reanalysis 在 5 月則傾向於較少的無雨日，但較多的小雨日。同樣 pDIFF 相較於 sDIFF 於 RSM1 和 RSM2 皆傾向於較少的降水和較多的無雨日。

#### 五、總結與討論

本文從全球氣候模式動力降尺度(區域氣候模式)和統計降尺度觀點探討台灣區域氣候可預報度的評估。

動力降尺度方面，使用大尺度 NCEP Reanalysis 資料作為初始場和邊界條件。區域模式則選用 NCEP/RSM97-v，分別作兩種解析度 RSM1(50km)和 RSM2(15km)之模擬。首先進行 RSM1 之敏感度實驗，由更新地表參數之模擬 1998 年 5 月實驗結果指出，海洋表面參數的更新對模式預報的降水有較顯著的影響。由此推測大氣模式加 slab 海洋模式的模擬會和海氣耦合完整的氣候模式之模擬預報會有顯著的差異。由不同模式範圍的模擬實驗結果指出，區域模式模擬會加強東亞梅雨季系統的強度，因而增加大陸東南地區之降水，由於區域模式對模擬區域範圍大小敏感，在實際應用時區域範圍的大小選擇必須一起考慮。由不同積雲參數化之實驗指

出 RSM96v 和 RSM97v 內定的積雲參數化模擬結果有明顯差異，RSM97v 使得 1998 年 5 月模擬的降水更集中到大陸東南內陸。由 Juang et al.,(1997) 指出 RSM97v 較前幾版的 RSM 對美國大陸西岸的降水模擬有不錯的結果，顯然這個結論和對東亞 5 月的模擬並不一致。

其次是進行 RSM2 (15km) 之敏感度實驗。由一層巢結和二層巢結的模擬 1996 年 12 月台灣區域降水實驗結果指出二層的巢結較能掌握區域降水特徵。由三種不同雲微物理過程之模擬實驗結果指出雲冰的微物理過程在冬季可能不是降水主要的機制。夏季猜測應該不是如此，實際情況有待進一步研究。以真實地形取代模式內建之台灣地形顯示出較高且東偏的地形會造成降水區較偏東，且降水量增加。實際應用時應考慮地形影響所造成的地區尺度變化。使用 Juang et al.,(2004) 所發展之新的 diffusion scheme (pDIFF) 來進行 1996 年 12 月之模擬。RSM1 和 RSM2 結果顯示新的 diffusion scheme 有效改進冬季降水之模擬。使用新的 diffusion scheme 於 RSM2 之模擬也許可以改進台灣地區夏季降水之模擬。這個新的 diffusion scheme 有待進一步研究後，應用於未來之氣候短期預報。

## 六、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.
- 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. A. Arkin, A. Chang, R. Ferraro, A. Gruber, J. Janowiak, R.J. Joyce, A. McNab, B. Rudolf, U. Schneider, and P. Xie, 1997: The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Data Set. *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.
- Juang, H.-M.H., S. Hong, and M. Kanamitsu, 1997: The NMC nested regional spectral model. An update. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2125-2143.
- Juang, H.-M.H., C.-T. Lee, F. Zhang, Y. Song, M.-C. Wu., Y.-C. Chen and S.-C. Chen, 2004: Applying Horizontal Diffusion on Pressure Surface to Mesoscale Models on Terrain-Follow Coordinates. (Submit to *Mon. Wea. Rev.*)
- Kalnay, E., M. and colleagues, 1996: The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

## 七、誌謝

本研究在國科會專題研究計劃 NSC-91-2111-M-002-007 和 NSC-92-2111-M-002-009 支持下完成，作者感謝台大李國豐(東庭)先生在打字排版上的協助。

## 八、圖表

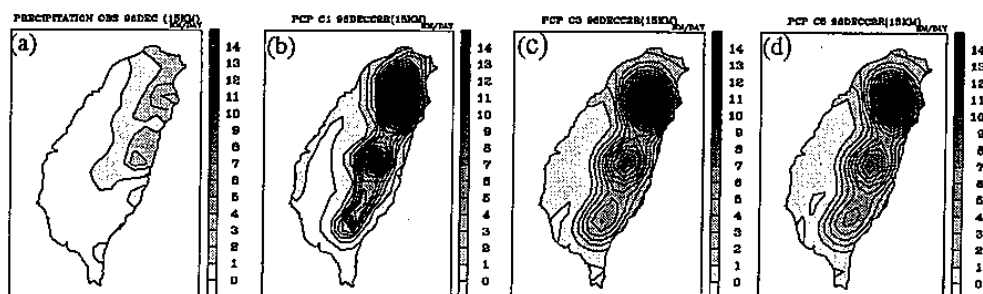


圖1 1996年12月之台灣地區月平均降水分佈圖，其中(a)觀測值；(b)設定cloud 1之模擬結果；(c)設定cloud 3之模擬結果；(d)設定cloud 5之模擬結果；

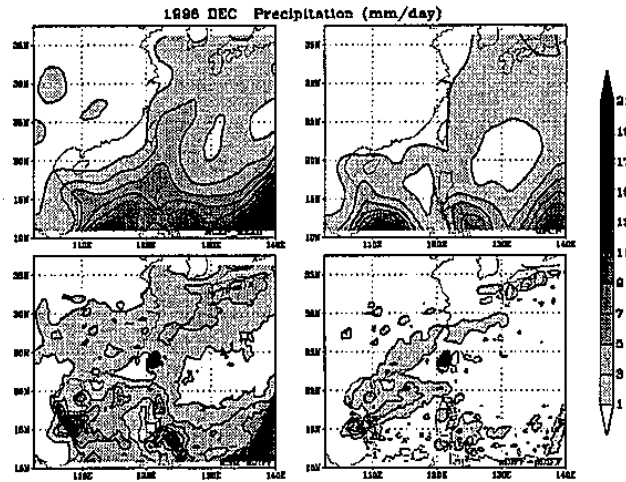


圖2 1996年12月之月平均降水分佈圖，其中(a) NCEP Reanalysis; (b) GPCP; (c) sDIFF(舊的diffusion scheme的模擬結果);(d) sDIFF- pDIFF之降水差異圖。

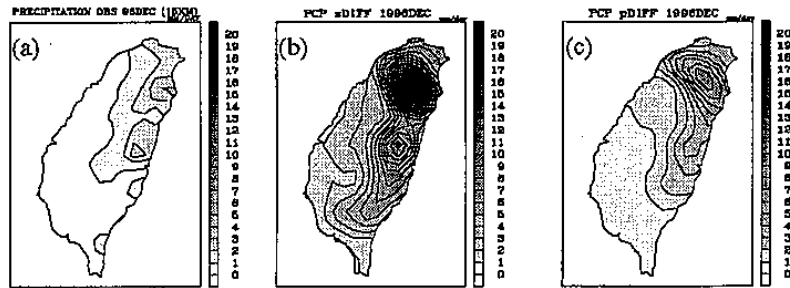


圖3 1996年12月之台灣地區月平均降水分佈圖，其中 (a) 觀測值; (b) 利用sDIFF之模擬結果; (c) 利用pDIFF之模擬結果。

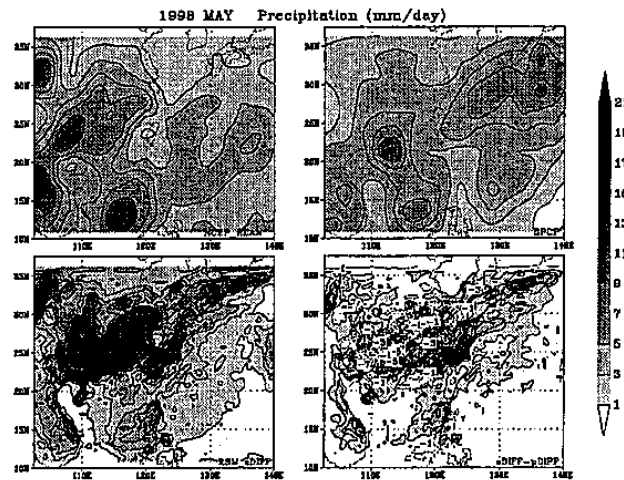


圖4 1998年5月之月平均降水分佈圖，其中(a) NCEP Reanalysis; (b) GPCP; (c) sDIFF(舊的diffusion scheme的模擬結果);(d) sDIFF- pDIFF之降水差異圖。

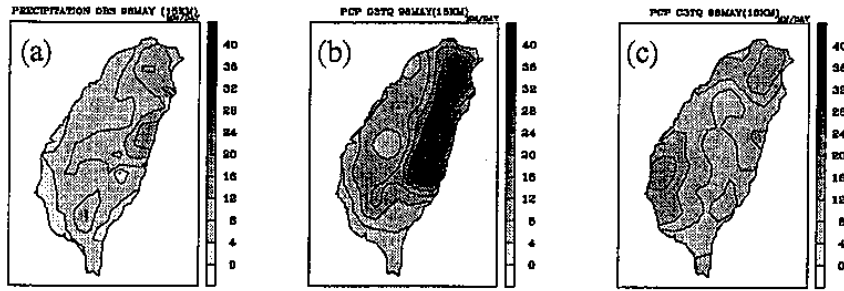


圖5 1998年5月之台灣地區月平均降水分佈圖，其中 (a) 觀測值; (b) 利用sDIFF之模擬結果; (c) 利用pDIFF之模擬結果。

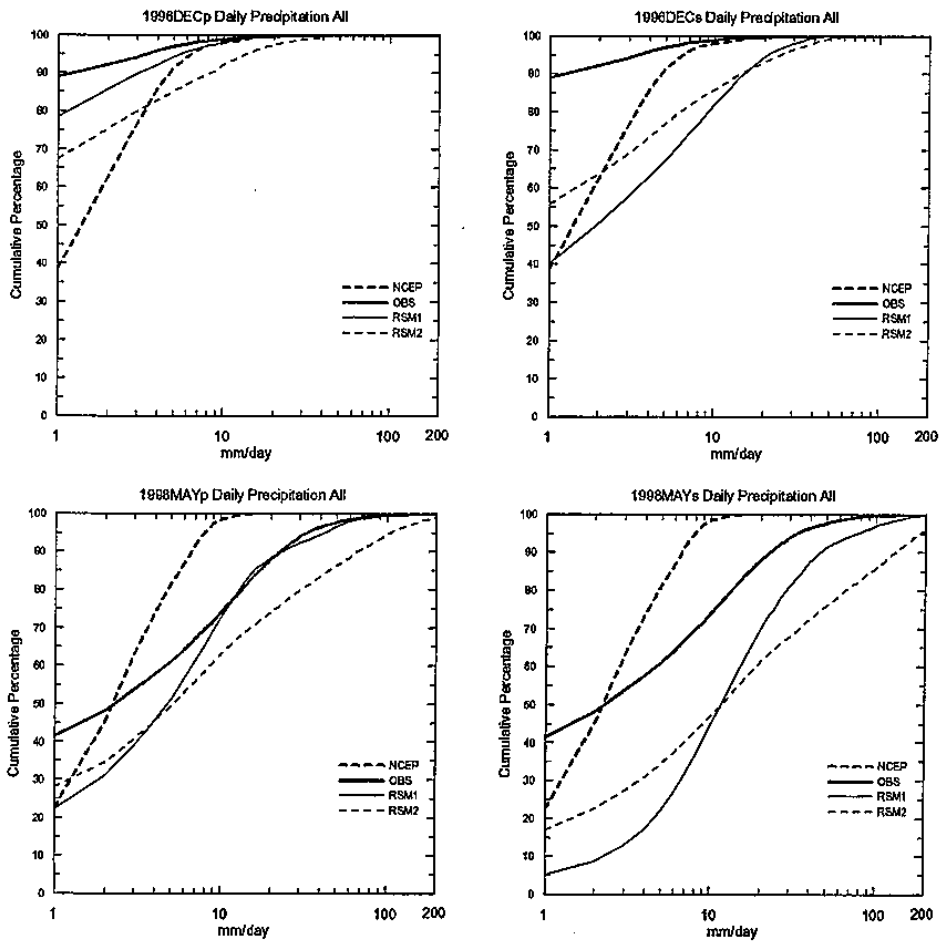


圖6. 1996年12月(a, b)和1998年5月(c, d)之台灣全島降水累加頻率圖。  
a、c圖代表pDIFF，b、d圖代表sDIFF，圖中粗點線為NCEPreanalysis資料，粗實線為觀測值，細實線為RSM1模擬結果，細點線為RSM2的模擬結果。