

台灣地區冬季短期氣候降水之模擬研究

蕭志惠⁺、莊漢明

⁺中央氣象局 (gfs12@rdc.cwb.gov.tw)
美國國家環境預報中心

摘要

本研究係以中央氣象局之 1998/99 年冬季全球分析場資料作為本局區域波譜模式(CWB RSM)的初始場及背景場，進行 1998 年 11 月至 1999 年 2 月為期 4 個月的東亞地區冬季短期氣候模擬實驗。首先以多重初始條件模擬的系集平均結果，針對 1998/99 年冬季的季節降水特徵與強降水事件，探討格點降水及次格點降水受預報式中雲水、雲冰等雲物理過程複雜度之影響。接下來則是針對冬季模擬降水的時間序列，探討各不同雲物理預報方程之模擬降水受初始條件不確定性的影響情形。

一、前言

配合本局委託計劃之進行，成功的在本局區域氣候預報模式中完成了預報式的雲物理過程的建置。在此以 1998/1999 年冬季本局全球天氣預報系統的每日最佳化分析結果作為 CWB RSM 的背景場，進行不同複雜程度雲物理過程之 CWB RSM 的降尺度季節降水模擬實驗。

本局所引進的雲物理預報方程組主要來自美國國家環境預報中心的區域波譜模式(NCEP RSM)。雲物理預報方程組以 Arakawa and Schubert (1974)為基礎，經 Grell (1993)簡化，再由 Hong and Pan (1998)改進深對流積雲參數化法的對流激發函數(convective trigger function)而成。雲預報方程的分類以雲微物理過程的複雜程度，也就是水汽預報變數的個數(CLDn)定義，共計有 CLD1、CLD2、CLD3 及 CLD5 四種。其中預報方程包括的預報變數只有水蒸氣混合比(water vapor mixing ratio)的為 CLD1；增加冰相物理(ice physics)的 CLD2；包括 water vapor mixing ratio, cloud water, cloud ice, rain, and snow 的 CLD5；及將 cloud water/cloud ice 合併、rain/snow 合併為一個預報方程的 CLD3。更複雜的雲物理過程如霰(*graupel*)、雹(*hail*)、及雲粒子濃度(*cloud number concentration*)等的預報則未包含在內。Hong et al. (1998)詳細分析美國德克薩斯州一個夏季滯留鋒面，比較各不同複雜程度雲微物理過程對所產生的格點降水及次格點降水在 NCEP RSM 的分布情形。模擬結果顯示，將 cloud water/cloud ice 合併、rain/snow 合併的 CLD3 實驗對該鋒面降水個案有較接近觀測的模擬結果。

詳細的雲物理預報方程組在此不再列出，請參考 Hong et al. (1998)或蕭(1995)。

二、中央氣象局區域波譜模式(CWB RSM)

CWB RSM是由中央氣象局數值天氣預報作業用全球波譜預報模式(CWB GSM)推衍而出的區域氣候模式。模式之動力結構屬於波譜模式，水平方向網格點為等距經度網格與非等距高斯分布之緯度，垂直方向為sigma (σ)坐標共有18層。基本上

CWB RSM的動力與邊界處理方法完全參照NCEP RSM，同樣使用Hong and Juang(1998)的側邊界地形處理、鬆弛法及Juang and Kanamitsu (1994)的擾動法計算。物理過程則保持與CWB GSM相同(參考Liou et al., 1997)。CWB RSM已具有MPP (massively parallel processors) 及MPI (message passing interface) 的功能，能完全符合短期區域氣候所需之高效能運算的需求。關於CWB RSM的詳細說明則請參考 Juang et al. (2003)。

CWB RSM現行的作業版本，在模式的雲物理部分water vapor mixing ratio (q_v)是唯一的預報變數，即當水汽達超飽和時(相對溼度大於98%)立即被轉換成降水而移至下面一層。隨後一層接著一層檢驗，直到最後移出模式成為地面降水。

CWB RSM作業版本的積分範圍以台灣為中心，涵蓋大部分的東亞地區(104°-136°E及8°-37°N)。基本設定的水平解析度為60公里，水平網格點數為55x54，垂直為18層，積分時間間距為300秒。每個月進行的降尺度季節預報，積分的時間長度為4個月。

在短期氣候的動力模式預報系統中，涵蓋多組初始積分時間的系集預報是消除初始不確定性的常用方法。雖然在本研究中所使用的是以分析場作為背景場，而且CWBRSM使用的是擾動量的積分，初始不確定性的問題遠小於一般的預報。在此仍準備7組不同初始條件的背景場，這7組分別為10月29日00Z、10月29日12Z、10月30日00Z、10月30日12Z、10月31日00Z、10月31日12Z及11月1日00Z，進行7組模擬的系集平均。

三、模擬結果與分析

(一) 冬季平均降水

圖1為GPCP之1998年11月至1999年2月季節平均後之東亞地區降水分布。由GPCP分析之降水分布看來，冬季降水主要發生在10至20°N的熱帶海洋上，其中又以南海地區的降水量最多，而東亞大陸則為降雨量相對較少的區域。圖2為CWBRSM冬季降水的模擬結果。模擬之降水在此分別以

格點降水(由含預報式雲物理方程組計算出的可解析格點降水)及次網格降水來表示,單位均為mm/day。其中ncldr=1、ncldr=2、ncldr=3、ncldr=5又分別表示係使用CLD1、CLD2、CLD3、CLD5的雲物理方程。

系集平均後的模擬次網格降水主要發生在10至20°N的熱帶海洋上,不論是降水量還是位置分布都與分析場都有相當好的一致性。顯示冬季東亞熱帶地區的降水仍以對流降水的型態為主,而CWB RSM的積雲對流參數化就己能充分掌握到此時降水的特性。

預報式的雲物理過程主要是在提高模式對可解析格點降水的模擬能力。比較圖2a至2d可發現較複雜的雲物理過程會產生較多的格點降水,而且格點降水多發生在對流不明顯的中緯度地區。受到地形的作用,海陸交界處如台灣東北部及浙江沿海格點降水都有加強的情形。

CLD2的水汽預報變數加入雲水/冰的物理,除考慮到larger-scale processes及convective processes造成的water vapor的沉降作用外,雲的蒸發作用也允許發生。地面降水(rain, snow)再由預測的雲(predicted clouds)診斷而得。與簡單的CLD1比較可發現在CLD2日本與台灣間西太平洋上的次網格降水減少了,明顯的轉換成可解析的格點降水。

在CLD3中增加了雨/雪的轉換及產生機制,則是同時增加了次網格及格點的降水。而CLD5的次網格降水則與CLD3沒有明顯的不同,僅格點降水的部分則略為增加。

(二) 冬季強降水個案

在1998年11月1日至1999年2月28日的期間台灣地區發生了幾次強降水的事件,在GPCP分析及本局測站觀測紀錄都同時呈現,其中較明顯的是11月25-28日即12月18-21日二波。在此所指的台灣地區測站觀測降水為本局全島測站觀測每日降水的平均,GPCP的分析降水則是指120°-122°E和21.5°-25.5°N範圍降水的平均。在CWB RSM模擬的部分,則是先將4種雲物理過程的積分各自求取7組初始條件的系集平均,再以120°-122°E和21.5°-25.5°N範圍的平均降水量與測站觀測或GPCP分析降水作比較。

11月25-28日的這一波降水,本局測站觀測經全島平均後的紀錄顯示最大日降水量發生在11月27日有55mm/day,GPCP分析所呈現的最大值僅有22mm/day。在CWB RSM的降水中CLD1及CLD2的降水量都偏少,但在CLD3及CLD5卻成功的掌握到這一波的降水。CLD3及CLD5的次網格及格點降水都較前二者增加許多,使得區域平均的降水在27日達到18-22mm/day的降水量,接近於GPCP的分析值(圖3a)。CLD3及CLD5主要增加的是台灣北部的格點降水以及台灣東部的次網格降水,這也與測站資料顯示的台灣北部及東部雨量較多的現象相當吻合。

12月18-21日這一波的降水在GPCP分析及本

局測站觀測都顯示降水是由18日起快速增加,20日達到降水的最高峰。GPCP的最大降水量為25mm/day,本局測站觀測的最大降水量則有37mm/day。CLD1及CLD2的模擬降水在19日達到高峰後隨即減弱,CLD3及CLD5則在19日後仍持續增加,四者在19日的模擬降水量都在40mm/day左右(圖3b)。CLD3及CLD5在20日的大量降水主要來自於格點降水的持續增加,儘管此時對降水量有過度預報的情形,但卻有助於掌握到正確的降水高峰時間。

由這二波強降水事件的分析可以顯現出,在冬季強降水事件的降水量預報及降水高峰時間點的掌握,仍需仰賴複雜雲物理的格點降水預報。

(三) 初始條件的不確定性

為簡化初始條件不確定性的問題,在此將7組初始條件分為二個組群,一為初始積分時間為10月29日00Z、10月29日12Z、10月30日00Z、10月30日12Z、10月31日00Z、10月31日12Z積分系集平均的前模擬,另一則為以11月1日00Z為初始積分時間的及時模擬。圖4為CLD1、CLD2、CLD3、CLD5的前模擬與及時模擬之整個積分範圍平均的降水量差值時間序列圖。由時間序列圖可看出,格點降水的的不確定性基本上可發生於整個積分期間內,而次網格降水則對初始時間有較高的敏感度。前模擬的次網格降水與及時模擬的最大差異發生在積分的最初10天內,過了這段期間後差異值就明顯的僅有小幅度的變動。

圖5則以季節平均來看CLD1、CLD2、CLD3、CLD5分別在不同初始積分時間模擬降水的差值,可清楚看出複雜的雲物理預報方程模擬的格點及次網格降水都對初始條件有較高的敏感度。

四、結論

本研究係以中央氣象局全球最佳化分析的資料作為CWB RSM的初始場及背景場,所進行的1998年11月至1999年2月為期4個月的東亞地區冬季季節降水的模擬實驗。主要目的在探討不同複雜程度的預報式雲物理過程對冬季季節降水、冬季強降水個案模擬及受初始條件影響的敏感度的情形。

結果顯示,在季節降水的模擬方面簡單的診斷式降水預報(CLD1)即已足夠,因為冬季的平均降水主要發生在熱帶的海洋上,而且是以對流形態的次網格降水為主。但對於中緯度地區造成台灣地區強降水事件的模擬,則格點降水的模擬就顯得重要。如CLD3及CLD5對於不論是降水量或最大降水時間點的模擬都能有較好的掌握。

在雲物理過程與初始條件的敏感度測試方面,則顯示次網格降水對初始條件有較高的敏感度但受影響的時間也相對較短,而格點降水在不同初始條件下所產生的差異則在整個季節積分的期間都有發生。此外越是複雜的雲物理過程所模擬出的降水量及分布受初始條件的影響也越大。

參考文獻

- 蕭志惠, 1995: CWB 區域波譜模式雲預報方程之建置與測試。中央氣象局科技中心技術報告。
- Arakawa, A., and W. H. Schubert, 1974: Interaction of a cumulus cloud ensemble with the larger-scale environment. Part I. *J. Atmos. Sci.*, 31, 674-701.
- Grell, G. A., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 764-787.
- Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, 1998: Convective trigger function for a mass-flux cumulus parameterization scheme. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 2599-2620.
- Hong, S.-Y., H.-M. H. Juang, and Q. Zhao, 1998: Implementation of prognostic cloud scheme for a regional spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 2621-2639.
- Juang, H.-M. H., and M. Kanamitsu, 1994: The NMC nested regional spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 3-26.
- Juang, H.-M., C.-H. Shiao and M.-D. Cheng, 2003: The Taiwan Central Weather Bureau Regional Spectral Model for Seasonal Prediction: Multi-Parallel Implementation, and Preliminary Result. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1832-1847.

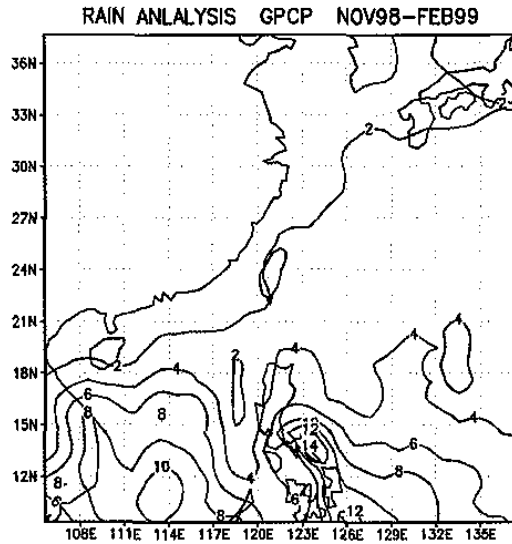


圖 1：GPCP 之 1998 年 11 月至 1999 年 2 月之平均東亞地區降水(mm/day)。

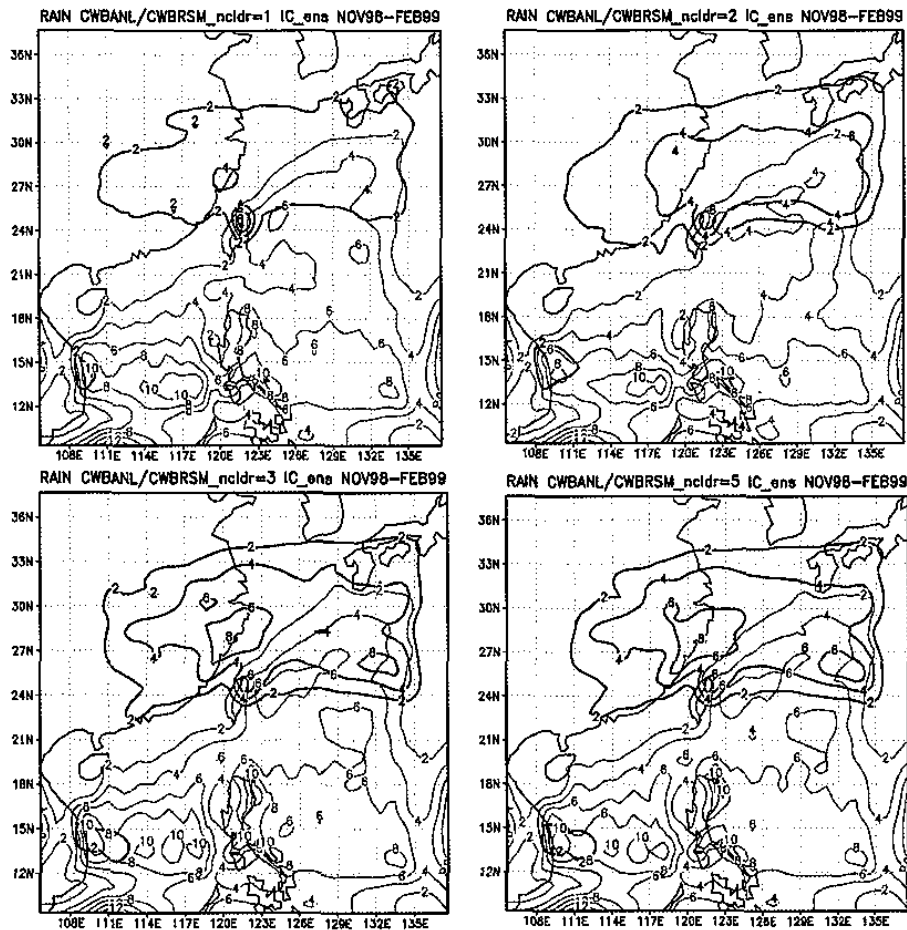


圖 2：CWB RSM 之 1998 年 11 月至 1999 年 2 月平均冬季降水的模擬結果。其中格點降水以黑色實線表示，次網格參數化降水以灰色實線表示，單位為 mm/day。ncldr=1、ncldr=2、ncldr=3、ncldr=5 則分別表示使用 CLD1、CLD2、CLD3、CLD5 的雲物理方程。

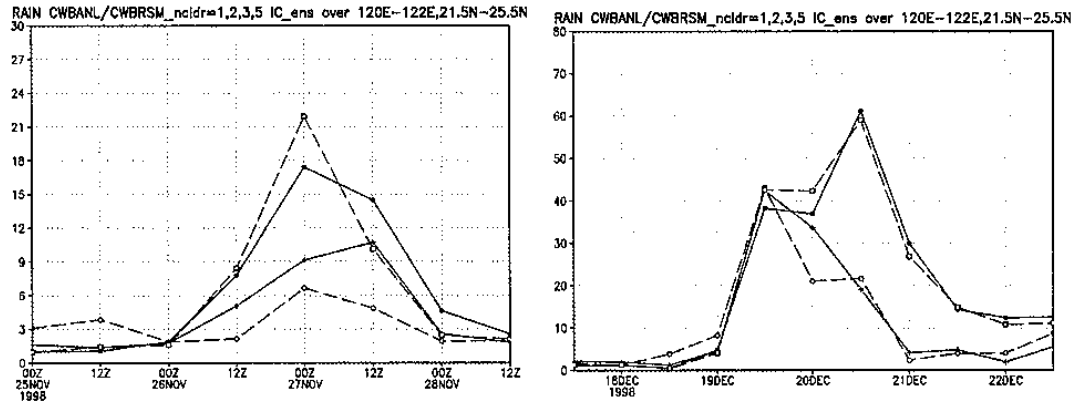


圖 3： CWB RSM 的季節積分中(a)11月 25-28 日及(b)12月 18-21 日二波強降水事件的區域平均降水量，單位為 mm/day。其中×、○、●及□分別表示 CLD1、CLD2、CLD3 及 CLD5 的積分。

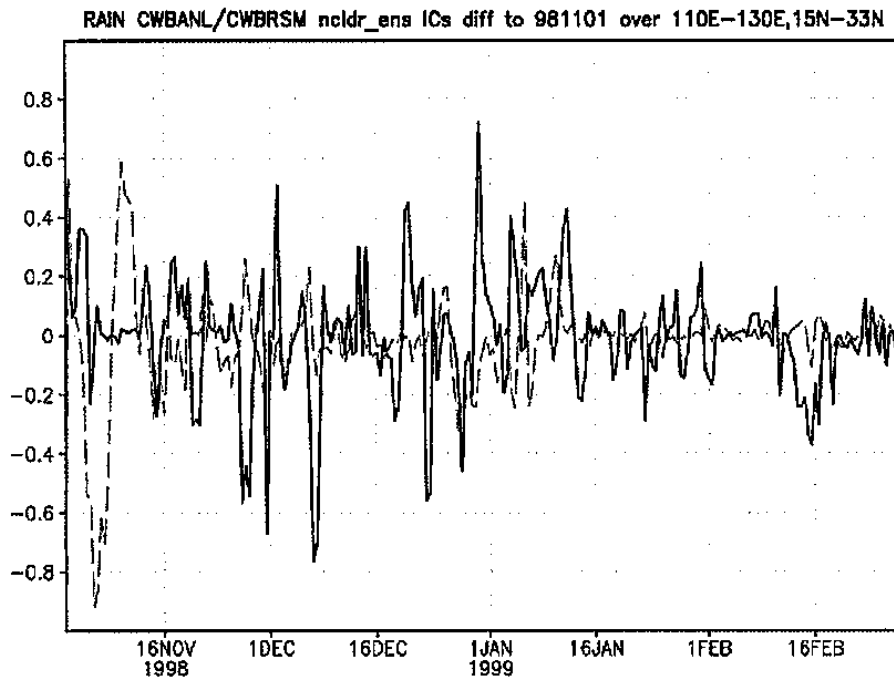


圖 4：為初始積分時間為 10 月 29 日 00Z、10 月 29 日 12Z、10 月 30 日 00Z、10 月 30 日 12Z、10 月 31 日 00Z、10 月 31 日 12Z 積分及 CLD1、CLD2、CLD3、CLD5 系集平均後與初始積分時間為 11 月 1 日 00Z 積分但 CLD1、CLD2、CLD3、CLD5 系集平均後之整個積分範圍平均的降水量差值時間序列圖。其中黑色實線為格點降水、灰色虛線為次網格降水，單位為 mm/day。

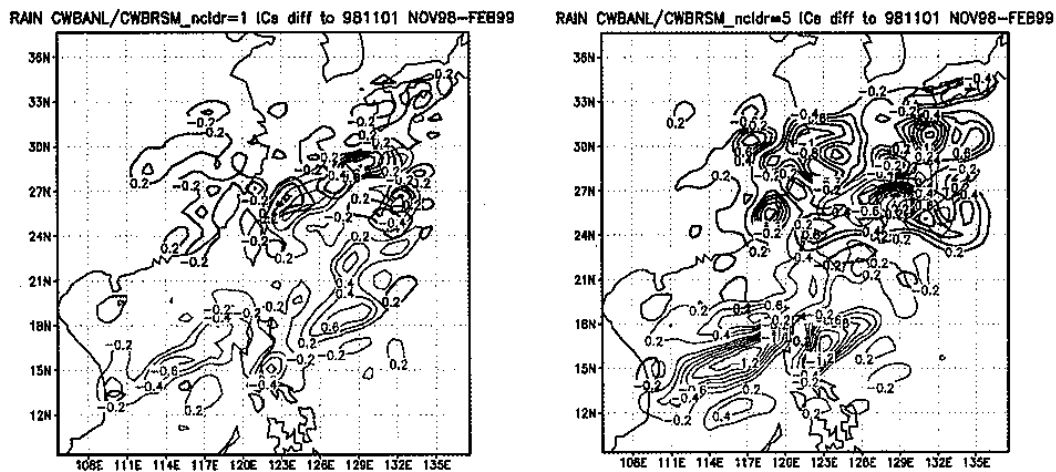


圖 5：98/99 冬季季節平均之模擬降水，CLD1 與 CLD5 在不同初始積分時間的系集平均與 11 月 1 日 00Z 積分的差值。其中黑色實線為格點降水、灰色虛線為次網格降水，單位為 mm/day。