

MM5系集降水預報之校驗

簡芳菁¹ 蕭育琪¹ 周仲島² 林沛練³
楊明仁³ 洪景山⁴ 鄧仁星⁴ 林慧娟⁵

¹國立台灣師範大學地球科學系

²國立台灣大學大氣科學系

³國立中央大學大氣科學系

⁴交通部中央氣象局

⁵交通部民用航空局

(中華民國九十一年八月十九日收稿；中華民國九十一年十二月三十一日定稿)

摘 要

本文針對台灣大學、中央大學、台灣師範大學、中國文化大學、中央氣象局及民用航空局在 2000 年及 2001 年梅雨季的 12-24 小時、24-36 小時 MM5 系集預報的降水產品，利用全台 343 個自動雨量站之降雨觀測資料，以 ETS 值及 BIAS 值進行校驗，藉以評估此系集降水預報系統的預報能力，並試著找出最適台灣地區的系集降水預報組合方式。

個別來看，六個系集成員中以 GR 的表現最佳，可見以 Grell 積雲參數化法與 Resiner I 微物理過程的組合在六組中最適用於台灣地區梅雨季之降水預報。整體而言，以系集平均方式產生的降水預報得分約在第二、三名之間，並非最佳之預報。

比較 2001 年各權重方式與系集平均的結果發現權重方式確實能提升降水預報能力，在 B 時段以系集 weight1 的預報成績最佳，C 時段則次於系集 weight2。系集 weight1 係利用各模式在 A 時段的預報成績以決定 B、C 時段各模式的權重，可見模式在 A 時段的表現與 B 時段的相關性較高，不過一旦模擬時間增長至 C 時段，系集 weight1 的預報能力便開始下降。系集 weight2 係利用 2000 年各模式的預報成績以決定 2001 年的權重，其結果在 B、C 時段皆有不錯的預報得分，可見依過去各物理組合表現予以權重的方式亦能提升降水預報之能力。

關鍵字：中尺度模式 MM5、系集預報、降水校驗

一、前言

每年的颱風與梅雨為台灣帶來豐沛的雨量，提供台灣地區必須的水資源。然而颱風和梅雨季期間伴隨的豪(大)雨也經常重創台灣地區，嚴重威脅居民生命及財產的安全。例如民國九十年的納莉颱風造成台灣北部地區嚴重水患，使得捷運停駛、交通癱瘓，經濟損失難以估計。因此，為了減少氣象災害的損失，對於豪(大)雨預報能力的改進是刻不容緩的。國科會於是在九十學年度防災科技研究計畫中規劃了一項重要工作——發展並建立梅雨季豪大雨 0-24 小時的預報技術，其執行方向分為三部分：(1)建立全省梅雨季降水預報能力。(2)建立中尺度預報系統。(3)在中央氣象局應用所發展的技術。而本文即是為因應此項需求，提供關於 MM5 模式系集降水預報結果的評估，期能對於中尺度預報系統的改進有所裨益。

近年來，由於電腦科技的進步，使得中尺度氣象預報模式在預報的網格解析度以及預報長度上皆有顯著的進展，MM5 模式(全名為 The fifth generation PSU/NCAR Mesoscale Model)為目前台灣地區廣為作業及研究單位使用的中尺度數值預報模式之一。從過去眾多 MM5 模式研究的成果顯示此模式的發展與應用已漸趨成熟，不但可適用於學術研究，亦可使用於每日例行的氣象預報。舉例而言，民航局與中央氣象局合作之『航空氣象現代化』計劃即已建置 MM5 模式於中央氣象局的電腦系統中，目前可以提供即時的 MM5 預報結果(Chien,1999)。

然而，就每日的降水預報來看，MM5 模式的預報結果仍然有很大的改進空間。雖然數值模

式在初始場選定之後，可透過反覆的運算，逼近大氣運動方程式的解，但由於大氣現象為非線性的系統，因此選定不同的初始場，隨著預報時間的演化，可能導致預報值不可忽略的誤差。因此為了提高數值預報的可信度，可以利用系集預報(ensemble forecast)的觀念，製造多個差異性不大的初始場以進行模式積分，再從中抽取有用的訊息，如此可以降低對任何單一初始場的依賴程度，以減小誤差(例如：Leith 1974；Du et al. 1997 等)。另外一種常被採用的系集預報方法則是變動模式的物理過程以獲得系集成員(ensemble member)之預報(例如：Stensrud et al. 1998；Hou et al. 2001 等)，因為模式的物理過程及參數化方法有其不確定性，不同的物理參數化方法會導致不同的預報結果(例如：Yang et al., 2000)，因此，若能考慮所有可用的物理方法加以組合，便能降低此一不確定性。

Krishnamurti et al. (1999)指出在數值天氣預報模式(NWP)中使用系集預報能展現長足的進步，尤其對於全球數值天氣預報模式的進步更是明顯。隨著電腦計算能力的增加，Kuo (2000)認為應該將系集預報擴大應用到中尺度天氣預報。在台灣地區，潘和盧(1998)對中央氣象局全球模式執行校驗，為台灣地區中尺度預報模式所需的初始場及邊界條件建立使用的依據及校驗的基礎。Chien et al. (2002)則針對民國八十七年台灣地區 MM5 模式的降水預報校驗研究結果指出，無論是對於 0~12 小時、12~24 小時、24~36 小時的預報長度，降雨預報對於小、中雨的預報能力均高於對大雨的預報能力，且隨著預報

時間增長，預報能力逐漸降低，以 12~24 小時期間的預報最佳。

民國 89 年及 90 年的梅雨季，國內的氣象作業及學術研究單位即利用前述變動物理過程的觀念，以 MM5 進行系集降水預報。參與的單位包括有台灣大學、中央大學、台灣師範大學、及中國文化大學四所大學，以及中央氣象局、民用航空局二個政府單位。本文的目的即是利用這兩年 MM5 系集預報的降水產品進行校驗，以評估此預報系統的預報能力，並探討合適的系集降水預報組合方式，以獲取最佳之預報。同時，期望從各物理過程的組合中，討論其應用於台灣地區梅雨季降水預報的優劣及特性。因為各系集成員的預報總時間長短不一，因此選取資料較齊全的期間，民國 89 年為 5 月 20 日至 6 月 20 日（以下簡稱為 2000 年），民國 90 年為 5 月 10 日至 6 月 20 日（以下簡稱為 2001 年），利用這二段期間之模擬資料，分析其降水預報之結果，並進行系集預報之校驗。

二、資料與校驗方法

（一）觀測降水資料

本文使用的觀測資料為中央氣象局在全台 343 個自動雨量站的時累積雨量，測站位置如圖 1。圖 2 為 2000 年及 2001 年所有自動雨量站平均之 12 小時累積雨量，從圖 2a，可見 2000 年梅雨季降水主要發生在 6 月 5 日之後，在 6 月 12-14 日之間有一波強降水。另外，較大的降水大多集中在日間，夜間除了 6 月 13 日之外，僅有零星之雨量。2001 年梅雨季降水(圖 2b)之時間分布略有不同，主要有三波較強之降水分別在 5 月 19-22 日、5 月 28-31 日、及 6 月 14 日前後。不過，本

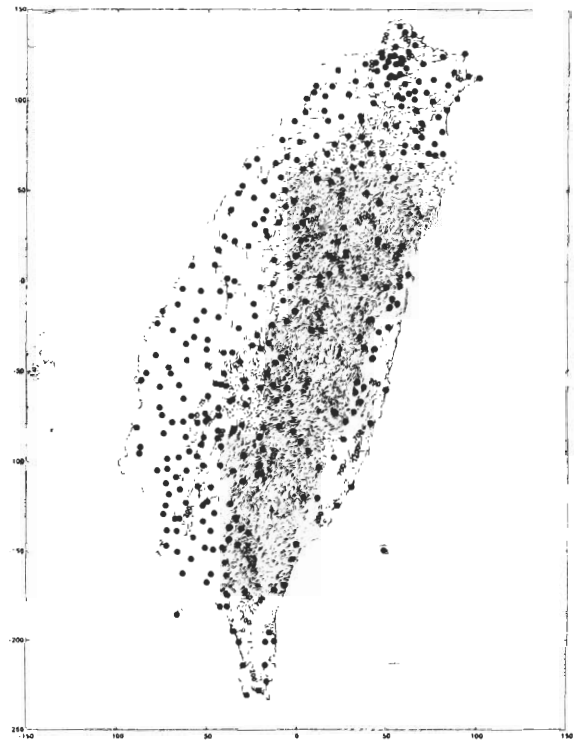


圖 1 中央氣象局全台 343 個自動雨量站的測站位置，地形高度等值線亦標示在圖中。

年之降水也類似 2000 年，有集中在日間的趨勢，只有在伴隨梅雨鋒面之強降水系統時，日夜降水量才較為相當。

我們將每日 0000UTC 及 1200UTC 前 12 小時的時雨量加總形成 12 小時累積雨量，不過當觀測記錄不足 10 次時，即捨棄此段時間的觀測資料，當作缺資料處理，以避免資料不完整所造成的誤差。觀測降水進一步以 MM5 模式的網格點為中心，將周圍 15km 見方所有測站的資料取算數平均，所得的值代表該網格點的觀測降水。同時，若 15km 見方內的測站資料少於兩筆時，則捨棄此網格點資料，以避免測站過少時，因觀測錯誤而造成的誤差。這裡我們採用算數平均而非客觀分析的方式以獲得網格降水主要因為：(1)、

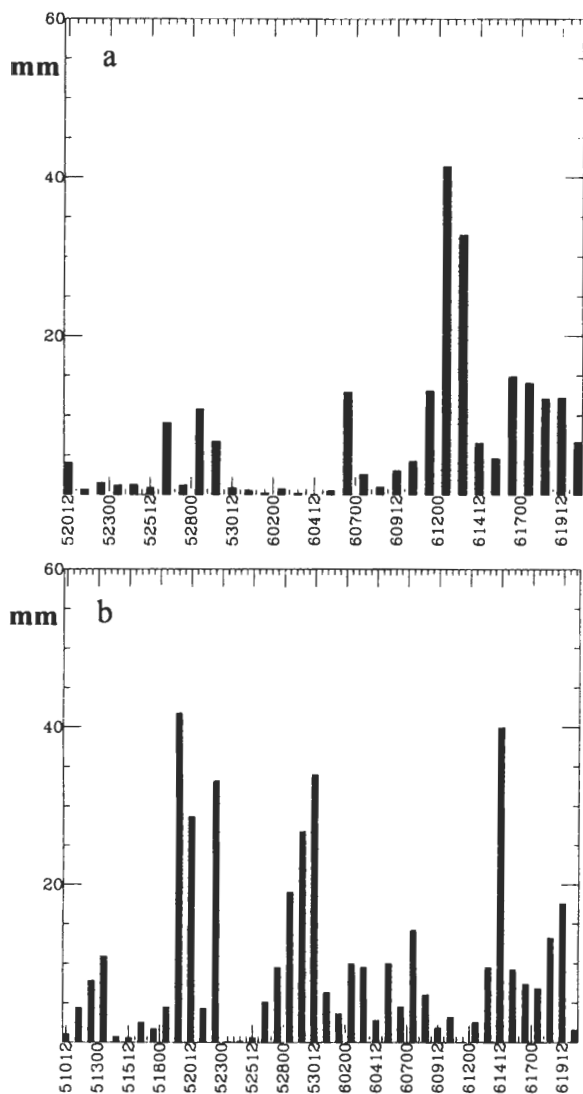


圖 2 (a)2000年(5月20日 1200UTC至6月20日 1200UTC)及(b)2001年(5月10日 1200UTC至6月20日 1200UTC)12小時累積雨量(公厘)。此為全台自動雨量站平均之結果，黑色及灰色長條分別代表日間(0000UTC-1200UTC)及夜間(1200UTC-0000UTC)之累積降水。

作者在過去的研究中曾嘗試分別利用這兩種方式去計算模式降水預報的 ETS 及 BIAS，發現兩者雖有不同，但差異相當小。(2)、我們處理的是梅

雨季之降水，較少有小區域之對流降水(例如：夏季之午後對流等)。(3)、15 公里模式網格點上的預報降水代表的應是該點周圍 15 公里內的區域降水 (areal precipitation)，故以區域平均 (areal average) 獲得之觀測降水應較適合與模式進行比較。

(二) 系集預報

六個參與單位使用的預報模式皆為 MM5 中尺度數值模式，且網格的設定一致，皆有二個，分別是外層的粗網格解析度為 45km，內層細網格的解析度為 15km (模式的網格設定如圖 3)，垂直方向有 23 層，本文即針對內層網格 (15km)

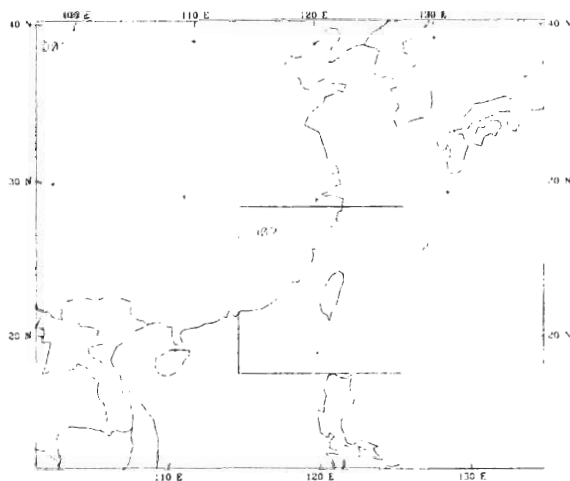


圖 3 MM5數值預報模式的網格設定，外層粗網格解析度為45km，網格點數為81x71；內層細網格的解析度為15km，網格點數為79x79。

的降水預報進行校驗。邊界層參數法也一致，皆採用 MRF PBL 的方法。六個系集成員之間主要的不同在於積雲參數化法及微物理過程上採用不同的物理設定，整理如表一所示，有關各個物理方法的特性請參閱 Grell et al. (1994)。為了便於比較，我們在第 1-3 組選擇同一積雲參數化法(Kain-

表一 各系集成員MM5的物理設定表。

編號	成員簡稱	積雲參數法 (Cumulus)	微物理過程 (Microphysics)
1	KS	Kain-Fritsch	Simple Ice
2	KG	Kain-Fritsch	Goddard
3	KR	Kain-Fritsch	Resiner I
4	GR	Grell	Resiner I
5	BR	Betts-Miller	Resiner I
6	AR	Anthes-Kuo	Resiner I

Fritsch), 但變動微物理過程, 以比較不同微物理過程的效應, 第 3-6 組選擇同一微物理過程(Resiner I), 但變動積雲參數化法, 以比較不同積雲參數化法的效應, 其中第 3 組則為兩者之交集。過去在有關台灣地區的 MM5 模擬, 最常被使用的組合為第 1 組(KS), 主要原因是 Kain-Fritsch 積雲參數化法使用較細膩的雲混合法來考慮逸入/逸出的問題, 且可預報上衝與下衝流, 可以說是較完整的方法, 同時, 簡單雲冰法(Simple ice)也是在節省電腦資源下一個既簡單又已包含了冰相的微物理過程。不過, 其餘 5 種也是相對比較常被使用於台灣地區的組合。我們除了藉此獲得系集降水預報之外, 也期望能透過個別系集成員之間的比較找出其中最好的物理組合方式。

模式的初始場是取自中央氣象局全球模式的分析場作為猜測場 (first-guess field), 而為了改進初始場, 我們另外執行一個客觀分析的步驟, 把地面及高空觀測資料納入其中。預報啓始時間一天兩次, 分別為 0000UTC 及 12000UTC, 每一預報長度為 36 小時。

(三) 校驗方法

我們比較網格點上的模式降水及觀測降水, 並使用列聯表(Contingency Table, 如表二)來評估

表二 校驗預報降水得分所使用的列聯表 (Contingency Table)。X代表預報有降雨且觀測也有降雨的發生次數, Y代表預報沒有降雨而觀測卻有降雨的發生次數, Z代表預報有降雨而觀測卻沒有降雨的發生次數, W代表預報沒有降雨且觀測也沒有降雨的發生次數。延伸指標TS為預兆得分, BIAS值為偏離係數, C為隨機可正確預測之次數, ETS為公正預兆得分。

觀測降水 \ 預報降水	有	無
	有	X
無	Z	W

$$T = X + Y + Z + W$$

$$TS = X / (X + Y + Z)$$

$$BIAS = (X + Z) / (X + Y)$$

$$C = (X + Z) / (X + Y + Z) / T$$

$$ETS = (X - C) / (X - C + Y + Z)$$

模式預報降水的的能力。首先選定降水校驗之門檻值 (threshold), 當預報或觀測降水超過門檻值時, 定義為有降水, 反之, 當低於門檻值時, 則定義為無降水。表二中, X 代表預報有降雨且觀測也有降雨的發生次數, Y 代表預報沒有降雨而觀測卻有降雨的發生次數, Z 代表預報有降雨而觀測卻沒有降雨的發生次數, W 代表預報沒有降雨且觀測也沒有降雨的發生次數。

根據列聯表, 我們使用兩個延伸指標來校驗降水預報, 一為 ETS 值, 一為 BIAS 值。ETS (Equitable Threat Score, Black, 1994) 為公正預兆得分, 其定義是沿用 Schaefer (1990) 所提出 Gilbert Skill Score 的方法, 其計算公式為 $(X - C) / (X - C + Y + Z)$, 其中 C 為隨機可正確預測之次數, 代表的意義也就是在預測 (X+Z) 次的降水中, 隨機猜對的機率是 $(X + Y) / T$, 兩者相乘後即為預測降水中隨機預測到的次數。所以 ETS 即

是在計算除了模式與觀測皆無降水 (W) 且不是隨機猜中的情況下, 模式正確預測降水之機率。因此 ETS 可以避免當 X 與 Y 遠大於 Z 時, 所造成的得分偏高情況, 這種校驗指標比起預兆得分 (TS, Threat Score) 來的公正, 近年來廣為各作業及研究單位在討論降水預報校驗上所採用。另一為 BIAS 值, 也稱為偏離係數, 為模式預測降水的次數與觀測降水次數之比, 即 $(X+Z)/(X+Y)$ 。當 BIAS 值高於 1 代表預報降水高估; 反之, 低於 1 代表預報降水低估。

為了校驗不同降雨強度的預報準確度, 我們使用八個降水門檻值分別為 0.3、2.5、5.0、10.0、15.0、25.0、35.0、50.0mm, 根據各個門檻值判斷是否有降雨, 以檢驗模式對該門檻值降水強度之預報能力。舉例來說, 若某網格點上的觀測降水為 30.0mm, 而模式預報降水為 16.0mm, 則對於 0.3mm~15.0mm 的門檻值而言, 此網格點的預報結果登記於 X, 對於 25.0mm 的門檻則登記於 Y, 對於 35.0mm 及 50.00mm 的門檻值則登記於 W。如此, 根據門檻值及觀測與預報降水值決定每一網格點屬於 X、Y、Z 或 W, 統計全台網格點的結果, 再綜合所有校驗期間之預報, 加總後得出 X、Y、Z 及 W 之值, 最後計算可得 ETS 值及 BIAS 值。

我們校驗的對象是 12 小時累積降水, 因此將預報的長度分為 0~12 小時、12~24 小時、24~36 小時三個時段, 分別稱之為 A 時段、B 時段、C 時段。由於模式在預報開始之後的 6~12 小時內為 spin-up 的階段, 其降水預報一般較不可靠, 因此, 本文不分析 0~12 小時(A 時段)的預報降水。

計算 2000 年 (2000 年 5 月 20 日至 6 月 20

日) 的系集降水預報時, 我們僅採取系集平均 (系集 mean) 的方式, 而為了進一步瞭解系集預報的成效, 在 2001 年 (2001 年 5 月 10 日至 6 月 20 日) 的系集降水預報中, 則除了採用系集平均的方式之外, 我們也針對各模式取不同的權重方式以產生系集預報之降水, 檢驗是否可提升降水預報之能力。

其中, 我們選取了 2 種權重方式, 分別為系集 weight1、系集 weight2。系集 weight1 的權重方式是利用各模式在 A 時段的預報降水與觀測降水進行比較, 在全台每個網格點求取均方根誤差 (root mean square error, RMSE), 再根據 RMSE 值的高低予以排名次, 第一名(最低的 RMSE)的權重為第二名之兩倍, 以此類推至最後一名的權重為 2^0 倍, 再除以權重的總和 ($2^0 + 2^1 + 2^2 + 2^3 + 2^4 + 2^5$), 即可得到各系集成員的權重值, 最後以此權重計算 B、C 時段之系集降水。

系集 weight2 則是根據 2000 年各模式 B 時段、C 時段的平均 ETS 值的排名以決定 2001 年各系集成員的權重, 排序決定後, 權重大小則同系集 weight1。也就是我們假設在 2000 年的降水預報中表現較佳者, 在 2001 年應該也有較佳的預報準確度, 因此利用各系集成員在 2000 年的表現, 決定 2001 年的權重。雖然 2000 年及 2001 年降水事件的分布略有不同(圖 2), 但是在使用同樣的模式物理條件下, 其在兩年的降水預報能力之間應有一定程度的相關性。

三、降水預報校驗

以下我們分別討論 2000 年、2001 年 B 時段及 C 時段各系集成員及系集平均的降水預報結果, 再深入討論 2001 年各系集權重的表現。

(一) 2000年各系集成員及系集平均之結果

1、B時段

圖 4a 為 2000 年 B 時段(12~24h 累積降水)根據不同降雨門檻值所求得的 ETS 值，比較各系

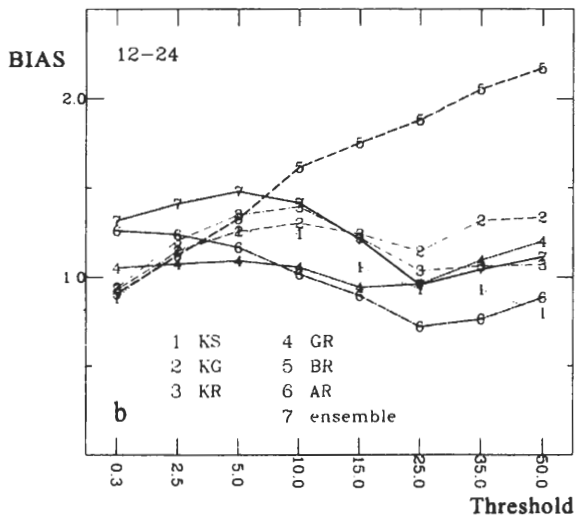
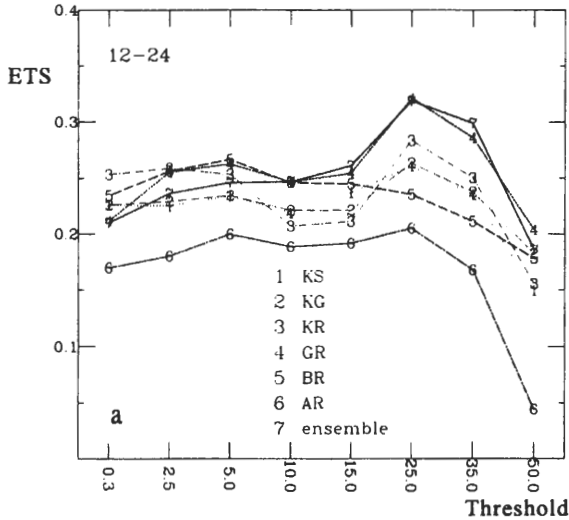


圖 4 2000年B時段各系集成員及系集平均(mean)根據不同降雨門檻值(mm)所求得的(a)ETS值及(b)BIAS值折線圖，橫軸為不同降水門檻值。各系集成員以數字編號之，1為KS、2為KG、3為KR、4為GR、5為BR、6為AR、7為系集平均預報。

集成員 ETS 值隨著門檻值的變化情形，首先觀察到 6 個系集成員的預報結果大致的趨勢相似，然而對於不同的門檻值各系集成員的 ETS 值高低排名各有不同，顯示各模式對於不同門檻值的預報能力會有變動，因此僅選取任一模式來預報降水似乎都不是最好的。不過在所有系集成員中，GR 表現似乎最為穩定，得分在許多門檻皆為最高。另外，每一個模式也都呈現對中、大雨(25.0mm 及 35.0mm) 有比小雨較好的預報成績。系集 mean (編號 7 之折線) 的 ETS 值在 10.0mm 的門檻值以下，排名為第 4 或 5 名，平均約為 0.24；在 10.0mm 的門檻值以上除了 50.0mm 的門檻值之外，ETS 值排名躍升至第 1 名，平均約為 0.29。顯示在較大的降雨時，以系集平均方式所得之降水預報可以略優於個別模式之預報。

從 2000 年 B 時段之 BIAS 值 (圖 4b) 可以發現 BR 的折線在門檻值 15.0mm 以上與其他系集成員有較大的差異，BIAS 值隨著門檻值增大而快速增加至 2.0 以上，其餘各系集成員的 BIAS 值則分佈在 0.5~1.5 之內。另外，系集 mean 對於門檻值較小的降水預報高估，平均值約為 1.3，較大門檻值的 BIAS 值則接近 1，換句話說，系集預報過度預報小雨的降水次數，對於中、大雨的降水次數預報則較接近觀測次數。至於前述各模式對中、大雨預報能力高於小雨的情形(圖 4a)似乎與過去的經驗不同(參考 Chien et al., 2002)，此結果可能與 2000 年中、大雨發生次數偏少有關係(參考圖 2a)。雖然 ETS 值較不受樣本多寡及分佈的影響，不過從 BIAS 的分佈(圖 4b)來看，中、大雨門檻值接近 1，這與一般皆小於 1(低估)的情況不同，故推測 2000 年中、大雨發生次數偏少，導致模式低估的情況不再，因此 ETS 值提昇。

要判斷降雨預報是否準確，需綜合兩個部分

討論，一為降水得分(ETS)，另一為偏離係數(BIAS)。因此，根據圖 4b 我們得知，系集預報對於中、大雨的降水次數預報不錯(即 BIAS 約為 1)，再配合圖 4a，在 15.0~35.0mm 的 ETS 值皆大於 0.25，可見系集預報與個別系集成員類似，對於 2000 年 B 時段的中、大雨預報結果有相當不錯的成績。

2、C時段

2000 年 C 時段(24~36h 累積降水)的 ETS 值(圖 5a)顯示，ETS 從小雨的 0.25 左右一路下滑至大雨的 0.05 附近，其中又以 GR 及 BR 的預報表現最好。系集 mean 的表現排名則為第 2 或 3 名，顯見各系集成員所預報的降雨量不同，取算數平均之後所得的系集預報，其 ETS 值排名居中的可能性較大。

從 2000 年 C 時段的 BIAS 值(圖 5b)可見 BR 的折線在大雨的 BIAS 值仍和 B 時段一樣明顯高估，平均皆高於 1.5，其餘各系集成員的 BIAS 值則分佈在 0.5~1.5 之內，較 2000 年 B 時段 BIAS 值低，顯示模式之降水較為低估。而系集 mean 的結果顯示對於門檻值較小的降水預報高估，平均值約為 1.4，隨著門檻值的增加而逐漸下降至 0.6，而最佳表現的門檻值為 25.0mm。

系集平均的 BIAS 值通常在小雨高於 1，在大雨則低於 1，因為對小雨門檻而言，只要任一系集成員出現錯誤的預報(預報過多的降水)，即使其餘成員皆預報正確，平均之後也容易出現高估降水的情況。對於大雨的門檻也是類似，只是倒過來變成低估。

(二) 2001年各系集成員及系集平均之結果

1、B時段

圖 6a 為 2001 年 B 時段各系集成員及系集平均的 ETS 值，圖中各系集成員的折線趨勢一致，是 2000 年、2001 年內的所有時段 ETS 值折線分布最規則的，僅只在數值上有些許的差異。其中 GR 的表現又優於其他各系集成員。整體的趨勢除了 0.3mm 的門檻值之外，ETS 值隨著門檻值的

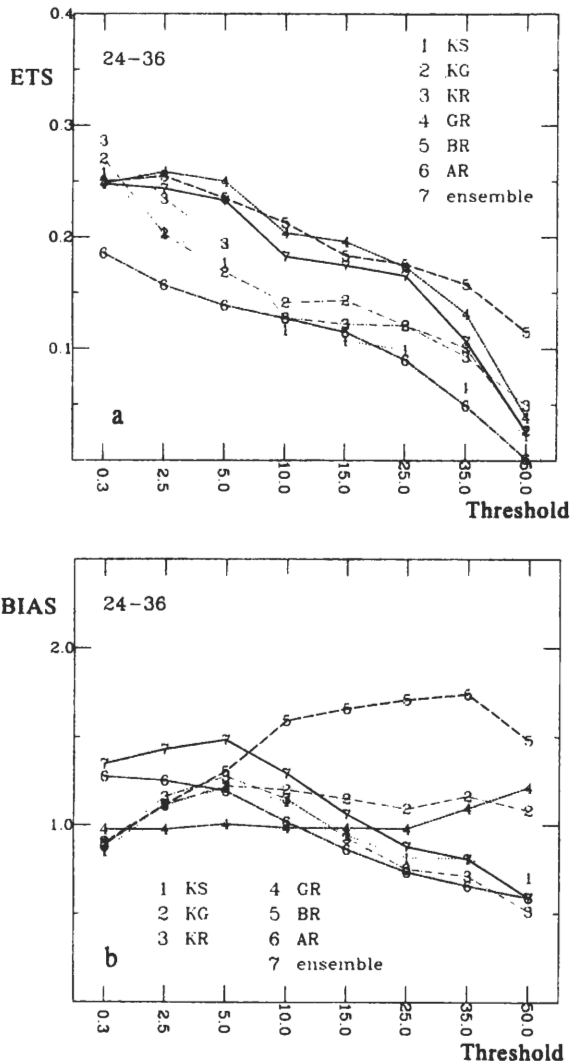


圖 5 同圖4，但為2000年C時段各系集成員及系集平均的折線圖。

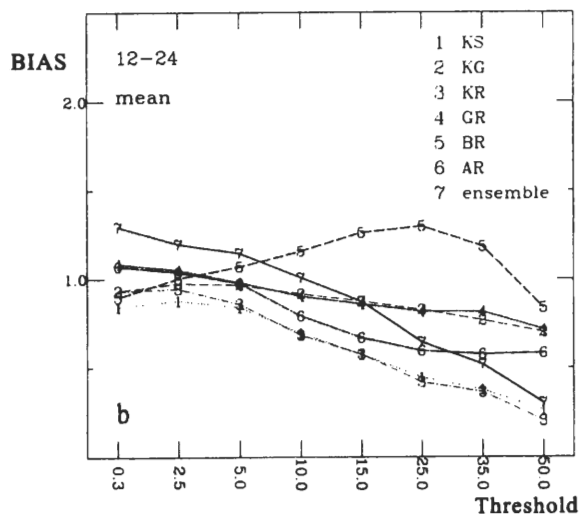
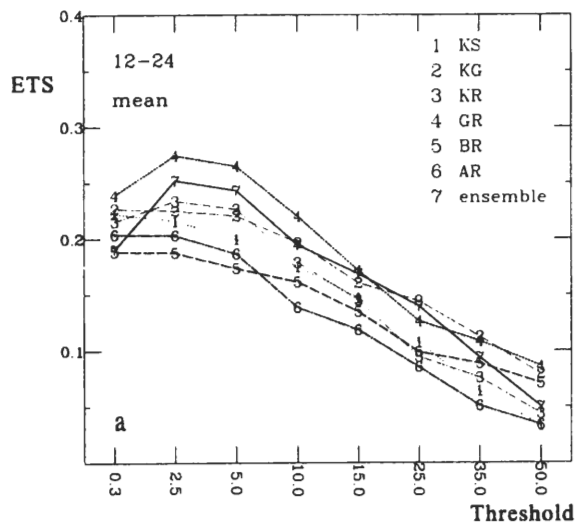


圖 6 同圖4，但為2001年B時段各系集成員及系集平均的折線圖。

增加而下降，這樣的分布表現出模式對於大雨預報能力不足的現象，在 2.5~10.0mm 的門檻值之內的 ETS 值平均超過 0.2。而系集 mean 的折線顯示 ETS 值有中上的預報成績，對於 2.5~25.0mm 的門檻值而言，排名第二。

圖 6b 為 2001 年 B 時段的 BIAS 值，首先發現 BR 的 BIAS 值趨勢仍然不同於其他系集成員，

對中、大雨普遍高估，BIAS 值平均約為 1.3，GR 的 BIAS 值則皆維持在 1 附近，配合其 ETS 之得分，顯見 GR 在 2001 年 B 時段之表現相當不錯。可見 Grell 積雲參數法及 Resiner I 的微物理過程應頗適合於台灣地區梅雨季的降水預報。而其他系集成員的 BIAS 值分布則較為零散，尤其在大雨門檻皆有明顯低估的現象。而系集 mean 的 BIAS 值在門檻值 5.0mm 之下及 25.0mm 以上皆有明顯的偏差，對於小雨的部分，BIAS 值約為 1.3，模式預報高估降雨發生的次數，而在大雨的部分，預報的降雨次數平均為觀測降雨次數的一半，為明顯的低估。

2、C 時段

圖 7a 為 2001 年 C 時段各系集成員及系集平均的 ETS 值，與圖 6a 比較，我們發現各系集成員在 10.0mm 以下門檻值的預報能力在 C 時段明顯低於 B 時段，與 Chien et al.(2002)的結論相同，這是因為隨著預報時間的增加，MM5 模式預報能力下降所致。除了 BR 的 ETS 值在中、大雨門檻有較高得分之外，其他各系集成員的 ETS 值隨著門檻值的增加逐漸降低，顯示大部分模式對於大雨的預報能力不足。系集 mean 在門檻值 10.0mm 以下的表現最佳，10.0mm 以上則除了 50.0mm 的門檻值之外，表現僅次於 BR。

而圖 7b 為 2001 年 C 時段的 BIAS 值，圖中各系集成員的折線趨勢，除了 KG 隨著門檻值增加而向上增加之外，其他系集成員與圖 6b 相較，差別僅只是排名的小變動而已，而 BR 依然在預報大雨次數時明顯高估。系集 mean 的趨勢亦與 B 時段的系集 mean 相去不遠，不過在大雨及小雨預報的偏差皆較 B 時段為小，最佳預報門檻值為 10.0mm。再比較圖 7a 與圖 7b，BR 雖然在圖 7a 中的表現最佳，然而在圖 7b 中卻發現有明顯高估

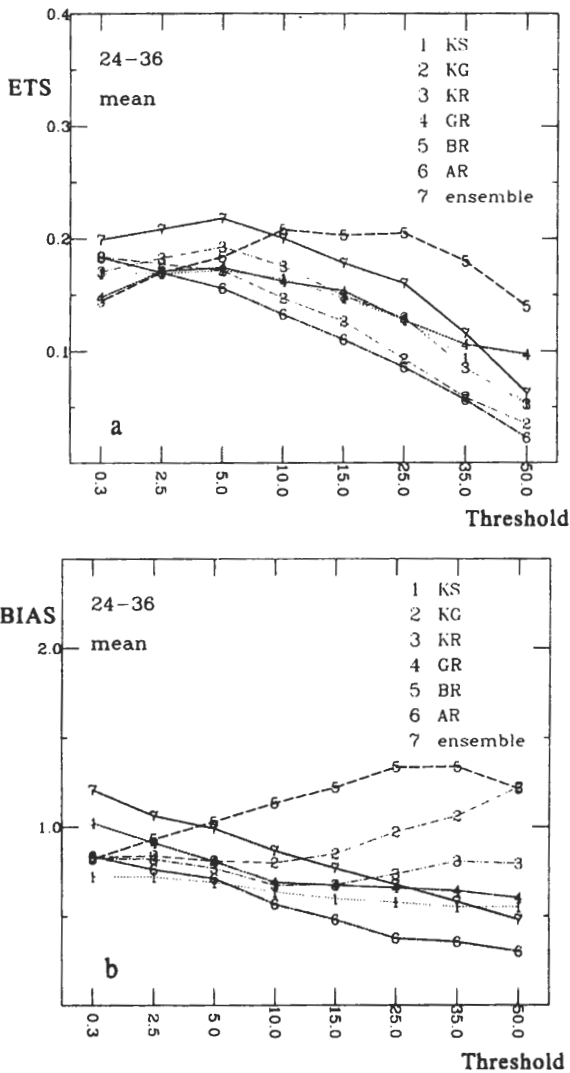


圖 7 同圖4，但為2001年C時段各系集成員及系集平均的折線圖。

大雨次數的趨勢，可見，BR 對於 C 時段中、大雨的預報 ETS 得分較高，應與過度預報降水發生次數有關。

(三) 2001年系集權重之結果

從以上 2000 年及 2001 年 B 時段、C 時段的結果可見系集平均的 ETS 值表現多為中上，並非最佳預報。因此，為了從現有系集成員的降水

預報中提升預報能力，我們在 2001 年嘗試使用系集 weight1、系集 weight2 二種權重方式，期找出最佳的預報組合，以提升系集預報之技術。

1、B 時段

我們首先探討 2001 年 B 時段系集 weight1 與各系集成員的 ETS 值分布 (圖 8a)，與圖 6a 相較，可以發現系集 weight1 的成績不僅在排名

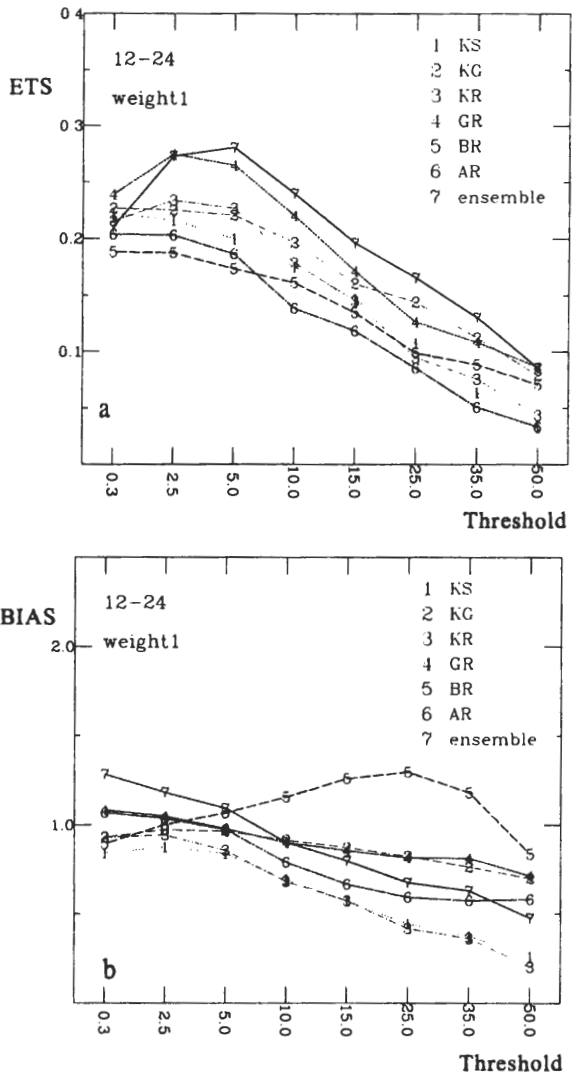


圖 8 同圖4，但為2001年B時段各系集成員及系集weight1(#7)的折線圖。

上明顯優於系集平均及個別系集成員，其 ETS 在 2.5~15.0mm 門檻值間皆遠高於 0.2，這樣的結果頗符合我們的假設，即針對各系集成員在 A 時段全台 141 個網格點上的 RMSE 值排名再賦予 B、C 時段的權重，可得到準確度較佳的系集降水預報。

圖 8b 為 2001 年 B 時段系集 weight1 與各系集成員的 BIAS 值分布。系集 weight1 降水的 BIAS 值隨著門檻值的增加而逐漸下降，此結果依然表現出模式對小雨預報高估、大雨低估的情況。不過與圖 6b 比較，系集 weight1 對大雨門檻值的偏差明顯小於系集平均的結果，同時根據圖 8a，我們也得到系集 weight1 的 ETS 值高於系集 mean 的結果，因此，整體而言，系集 weight1 的結果優於系集平均。

圖 9a 為 2001 年 B 時段系集 weight2 與各系集成員的 ETS 值，與圖 8a 比較可見系集 weight2 的預報能力不如系集 weight1，不過，與圖 6a 相較，其得分仍然高於系集 mean 的結果。同時在 10.0mm 門檻以上，系集 weight2 的 ETS 亦是高於個別系集成員的表現，在 10.0mm 以下，則僅次於 GR，位居第二名。系集 weight2 的預報能力較 weight1 差的原因可能是由於 2001 年各模式 B 時段的預報能力與 2000 年的相關並不如與同一模擬 A 時段預報能力之相關明顯。不過，若與系集平均的結果相較，系集 weight2 的結果還是比較好的，可見採用系集 weight2 的方式仍然是一可行之方向。

圖 9b 為 2001 年 B 時段系集 weight2 與各系集成員的 BIAS 值。與系集 weight1 相較(圖 8b)，系集 weight2 的 BIAS 在中間門檻偏離 1 較遠。配合 ETS 的結果，我們可知系集 weight1 的表現應是優於系集 weight2 的。

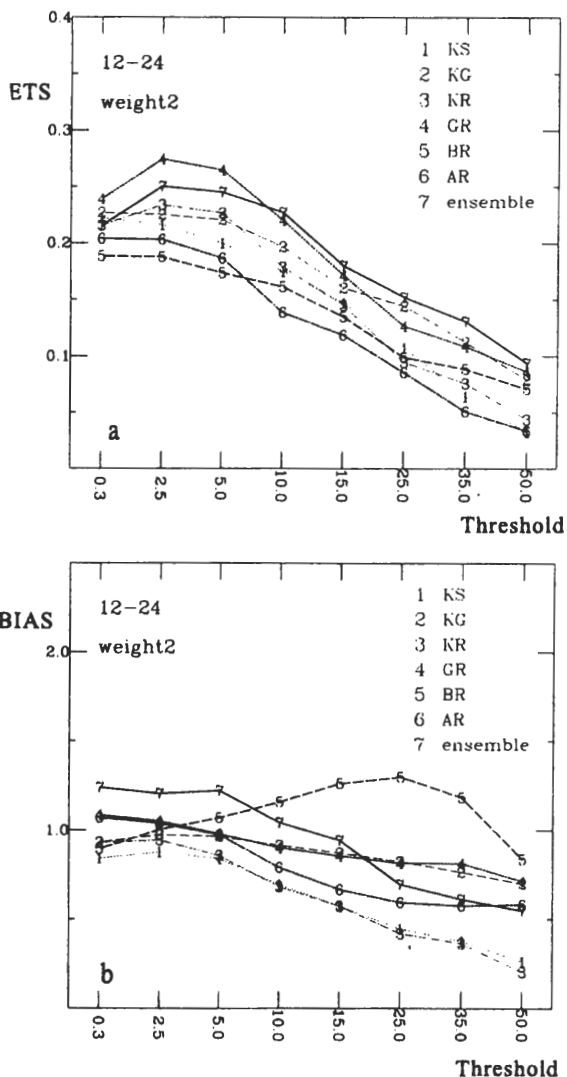


圖 9 同圖 4，但為 2001 年 B 時段各系集成員及系集 weight2 (#7) 的折線圖。

2、C 時段

從 2001 年 C 時段系集 weight1 與各系集成員的 ETS 值(圖 10a)，可見系集 weight1 對於 0.3mm ~ 25.0mm 的門檻值有不錯的預報能力，其 ETS 值皆接近 0.2，對於 25.0mm 以上的門檻值，預報能力急速下降至 0.07 左右。系集 weight1 的表現除了在小雨門檻略遜於系集平均(圖 7a)的結果之外，在門檻值 15.0mm~35.0mm 則可明顯提升

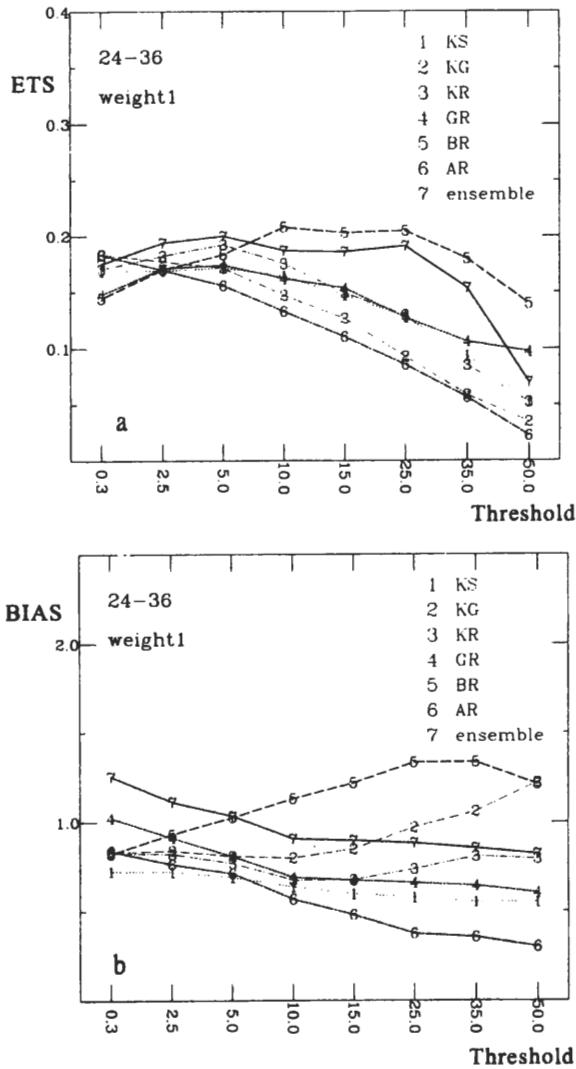


圖10 同圖4，但為2001年C時段各系集成員及系集weight1(#7)的折線圖。

預報之得分。

2001年C時段系集 weight1 與各系集成員的 BIAS 值(圖 10b)顯示，系集 weight1 除了對 10.0mm 以下的門檻為高估之外，對 10.0mm 以上的門檻則預報降水次數非常接近觀測值，配合圖 10a，我們發現系集 weight1 的降雨預報在 15.0mm~35.0mm 門檻之間有相當不錯的结果。

圖 11a 為 2001 年 C 時段系集 weight2 與各系集成員的 ETS 值，從系集 weight2 的折線可見其 ETS 值除了 50.0mm 門檻值之外皆略小於 0.2，50.0mm 門檻值的 ETS 值下降至 0.1 左右，與系集 weight1 (圖 10a) 頗為相似；然而系集 weight2 在門檻值 35.0mm 以上的 ETS 值得分高於系集 weight1。因此，對 2001 年 C 時段而言，在中、大雨的門檻值系集 weight2 的預報能力較系集 weight1 佳。

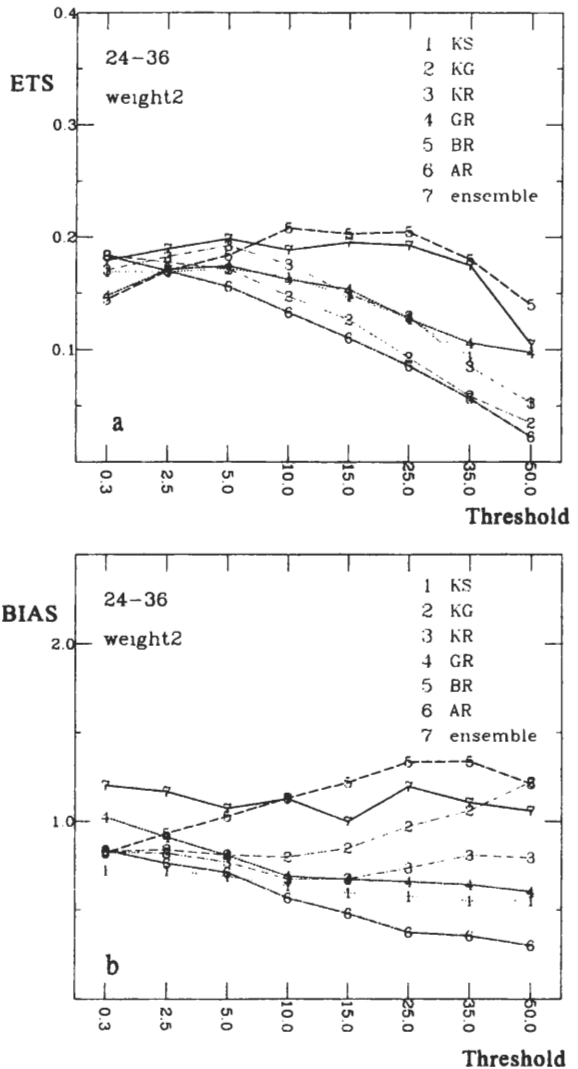


圖11 同圖4，但為2001年C時段各系集成員及系集weight2(#7)的折線圖。

2001 年 C 時段系集 weight2 與各系集成員的 BIAS 值(圖 11b)顯示,在所有門檻值當中,5.0mm 及 15.0mm 的 BIAS 值最接近 1,而其餘門檻值的 BIAS 值皆高於 1,可見 2001 年 C 時段系集 weight2 預報對於降雨次數普遍高估,平均 BIAS 值約為 1.2。

3、系集平均、系集 weight1、系集 weight2 綜合比較

綜合比較 2001 年 B 時段系集平均、系集 weight1、系集 weight2 的 ETS 值,可以發現對於 2001 年 B 時段,系集 weight1 為最佳的預報方式,系集 weight2 次之,而系集平均所得到的 ETS 值最低,顯示利用 A 時段在各網格點的預報能力取權重之方式能大幅提高預報能力;同時,系集 weight2 也較系集 mean 好,可見根據過去各系集成員之降水預報表現而調整各系集成員的權重,以得到系集降水預報的想法是可行的。

對於 2001 年 C 時段而言,在 10.0mm 以下的門檻值系集 weight1 與系集 weight2 的 ETS 值相似,其預報能力皆不如系集 mean 的結果;在 15.0mm 以上的門檻值,預報能力則以系集 weight2 表現最好,系集 weight1 次之,系集平均表現最差。因此,整體而言,2001 年 C 時段應以系集 weight2 的預報能力最佳。

從以上的討論,我們可得到以下三點結論,一、雖然系集 mean 對於 2001 年 C 時段的小雨有較佳的預報能力,然而,配合 2001 年 B 時段的結果以及吾人比較重視中、大雨預報的事實,我們認為以權重方式所得到的預報能力依然優於系集平均的結果;二、系集 weight1 對於 2001 年 B 時段的預報能力最高,不過對於 C 時段的預報能力則略遜於系集 weight2。顯見利用 A 時段的預報能力來決定系集權重是一個不錯的方法,不過

當預報時間增長至 C 時段時,此種方法的預報能力即逐漸下降。換句話說,在 A 時段預報較好的模式我們可預測它在 B 時段亦會有不錯之成績,但對更長的模擬(C 時段)則並不能保證仍能持續有好的表現;三、系集 weight2 在 2001 年 C 時段的預報能力最高,且在 B 時段亦有不錯的成績,顯示在 2000 年預報較佳的系集成員在 2001 年的預報能力亦優,可見我們可以參考過去各物理組合的表現,再賦予權重以產生系集降水預報,如此可提升降水之預報能力。而在 B 時段則因為與 A 時段較為靠近,模式表現好壞相關性較高,因此系集 weight2 的表現並不如系集 weight1。

四、討論與總結

本文針對民國 89 年(2000 年)及 90 年(2001 年)梅雨季期間,台灣大學、中央大學、台灣師範大學、中國文化大學、中央氣象局及民用航空局共六個單位,使用 MM5 模式獲得的系集預報降水產品進行校驗,以評估此預報系統的預報能力,並找出最適合台灣地區的系集降水預報組合方式,期能提升未來中尺度的降水預報能力。我們利用 2000 年 5 月 20 日至 6 月 20 日及 2001 年 5 月 10 日至 6 月 20 日的 0-12 小時、12-24 小時、24-36 小時的模式預報降水資料,配合中央氣象局全台 343 個自動雨量站每日 12 小時累積雨量資料,以列聯表計算降水預報的 ETS 及 BIAS,分析檢驗系集降水預報的準確度。

綜合 2000 年及 2001 年系集 mean 的 ETS 值分析結果可見,系集預報對於 0.3mm 門檻的 ETS 值接近 0.2,在門檻值 2.5mm~10.0mm 的預報能力最高,ETS 值可達 0.2 以上,至於中、大雨的預報能力則兩年之間有較大的差異,2000 年對於

中、大雨的預報能力不錯，因此 2000 年平均的 ETS 值高達 0.29，而 2001 年的預報能力則隨著門檻值的增加而逐漸下降至 0.05。因此，整體看來，2000 年的模式預報能力應優於 2001 年，兩年之間降水的時空分佈不同，可能是導致以上預報能力不同之主要原因。另外，比較 B 時段與 C 時段的結果，發現 B 時段的 ETS 值高於 C 時段，這是因為隨著預報時間的增加，MM5 模式預報能力下降所致，這與 Chien et al.(2002)的結果相似。一般而言，系集平均的結果在所有模式中排名約為第二、三名，並非最好的。

再配合 2000 年及 2001 年系集 mean 的 BIAS 值，我們發現，整體而言模式過度預報小雨的降水次數，BIAS 平均值約為 1.2，而低估大雨的降水次數。BIAS 值隨著門檻值的增加漸小於 1，在 10.0mm 門檻值的 BIAS 值接近於 1。綜合 ETS 及 BIAS 的結果，可見系集平均對於小雨及大雨門檻值預報能力較低，因為當任一系集成員在小雨（大雨）門檻值的預報值有明顯錯誤而遠大（小）於其他系集成員時，經過平均之後的系集預報結果很容易產生較大的偏差，因此導致系集 mean 的 ETS 值下降。BIAS 值隨著門檻值的增加而逐漸下降的原因與上述原因相似。

若以個別系集成員來看，我們發現，整體而言以 GR 的表現最為一致，在許多門檻得分皆為最高，其原因可能與 Grell 積雲參數化法較適合於 10-30 公里的水平解析度有關，同時 Resiner I 微物理過程因為有考慮雲冰與雪的變數，故可允許過冷水的存在且雪可以慢慢溶化，應較接近實際大氣的狀況。而同樣使用 Kain-Fritsch 積雲參數化法的 KS、KG、及 KR 表現則差異不大，在所有時段及門檻僅有些微的變化，顯見這三組物理組

合的模擬其降水主要受積雲參數化法之主宰，微物理過程的貢獻極為有限。故在搭配 Kain-Fritsch 積雲參數化法的情況下，即使使用較完整、含有軟雹(graupel)的 Goddard 微物理過程，表現也無法超越較簡單的 Resiner I 或 Simple ice 微物理過程。三者之中的 KR 因與 GR 使用同一微物理過程，比較兩者可以瞭解 Kain-Fritsch 與 Grell 積雲參數化法之異同。對於較少雨的 2000 年，Kain-Fritsch 積雲參數化法會導致模式在小雨門檻有高估、在大雨有低估的趨勢，而在較多雨的 2001 年則大都為低估降水的趨勢，顯見此參數化法對於台灣地區梅雨季豪、大雨的預報能力不足，會有低報的趨勢；而 Grell 積雲參數化法則較沒有這種偏頗的現象。另外，BR 也有不錯的成績，不過，由於其明顯高估降水的特性，我們認為此一組合並不合適台灣地區梅雨季之模擬，若與 GR 相較，可以推測此預報過強的降水主要導因於 Betts-Miller 積雲參數化法的不當模擬，15 公里的水平解析度對 Betts-Miller 積雲參數化法顯然太細，導致模式預報過多之降水。至於 AR，則幾乎為墊底的結果，與 GR 相較，可知 Anthes-Kuo 積雲參數化法亦不適用於台灣地區梅雨季之降水預報。綜合以上，我們建議未來有關台灣地區梅雨季之 MM5 降水模擬在降水過程上應儘量採用 Grell 積雲參數化法與 Resiner I 微物理過程的物理組合方式。

由於 2000 年及 2001 年系集平均在各系集成員的排名成績僅屬中上，因此為了進一步提升系集預報的成效，我們在 2001 年的實驗中增加 2 種權重方式以產生系集降水預報。系集 weight1 係依據各模式在 A 時段降水預報的表現以決定 B、C 時段的權重，系集 weight2 則利用 2000 年各模

式在 B、C 時段降水預報的 ETS 高低以決定 2001 年 B、C 時段之權重。整體結果顯示 2001 年兩種權重方式的預報成果皆優於系集 mean 的預報結果。其中，2001 年 B 時段以系集 weight1 的預報成績最佳，而 C 時段則以系集 weight2 略優於系集 weight1。可見雖然 A 時段為模式初始階段，其降水預報與觀測相較並不好，不過，各成員在此時段 RMSE 的高低仍具指標性，可以用來推估 B 時段各成員的表現，故利用 weight1 的權重方式可以在 B 時段得到不錯的成績，不過當預報時間增長至 C 時段時，此種方法之預報能力即逐漸下降，因為 C 時段距離 A 時段較遠，其與 A 時段模式表現之相關性較 B 時段為弱，此時，以系集 weight2 的得分最高。因此若能以 A 時段模式降雨預報的表現而賦予權重，以決定系集降水，應至少能提升 B 時段系集降水的預報技術。至於系集 weight2 則不但在 C 時段表現最好，在 B 時段亦有不錯的成績，顯示依據過去各物理組合的表現而賦以權重的方式，亦能提升降水之預報能力，且預報能力較系集 weight1 持久。

綜而言之，我們建議未來 MM5 系集降水預報可採用系集 weight1 或系集 weight2 的方式，以獲得系集之降水預報，以期提升在台灣地區梅雨季的降水預報能力。若其結果能持續得到較佳的預報成績，則進一步建議中央氣象局將來可以在每日的降水預報上使用這兩種權重方式以得到每日最佳之系集降水預報。系集 weight1 的處理方式必須在各模式模擬結束之後，馬上檢驗其 A 時段降水預報的成績，以決定權重，故執行上必須掌握時效。以目前電腦的處理速度及自動雨量站觀測資料回傳之速度觀之，應至少可以在 B 時段

的第 1 小時(即模式初始時間+13h)內完成，並及時發佈 B、C 時段之系集權重降水預報。至於系集 weight2 則因參考過去同一物理模式之表現以決定權重，故執行上比較沒有時間壓力，不過必須確定每一年個別模式都使用相同之物理設定，同時，也必須注意不同季節降水特性可能不同之問題。

最後，本文僅就六個系集成員之中找出相對表現較好的物理組合，並且在它們之間求得系集之降水預報。不可否認，仍然有許多可能的組合並未被列入考慮，因此，GR 的組合只是目前的研究發現是最好的，未來的相關研究可以加入各式組合，以找出表現真正適合台灣地區之物理組合，例如，以 Grell 積雲參數化法搭配較複雜的 Goddard 微物理過程應是一個優先考慮的組合方式。同時，在系集的降水中，因為我們僅考慮二年(2000 及 2001 年)梅雨季之降水，因此不論系集平均、系集 weight1、及系集 weight2 的結果都有可能受到這兩年降水特性之主宰，其結論是否適用於其他年梅雨季之降水仍有待更多後續之研究加以驗證。另外，我們也期待未來能在系集降水預報的產生方式上找出更好的方法。

致 謝

本研究在國科會永續會研究計劃 NSC90-2625-Z-003-001 支持下完成。感謝中央氣象局以及 GIMEX 實驗團隊提供研究期間所需之資料，使得本文得以順利完成。兩位審查者細心的審查並提供了很多改進意見，大大提升了本文之學術價值，在此一併致謝。

參考文獻

- 潘琦和盧孟明，1998：氣象局全球作業模式東亞副熱帶高壓系統預報校驗。天氣分析與預報研討會 論文彙編，217-219。
- Black, T. L., 1994: The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Weather and Forecasting*, **9**, 265-278.
- Chien, F.-C., 1999: Precipitation forecast of the real-time MM5 system in the Central Weather Bureau of Taiwan. *The Ninth PSU/NCAR Mesoscale Model Users' Workshop*. MMM division, NCAR. 42-45.
- Chien, F.-C., Y.-H. Kuo, and M.-J. Yang, 2002: Precipitation forecast of the MM5 in Taiwan area during the 1998 Mei-yu season. *Weather and Forecasting*, **17**, 739-754.
- Du, J., S. L. Mullen, and F. Sanders, 1997: Short-range ensemble forecasting of quantitative precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 2427-2459.
- Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1994: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale modeling(MM5). *NCAR Tech Note*, NCAR/TN-398+STR, 138 PP.
- Hou, D., E. Kalnay, and K. K. Droegemeier, 2001: Objective verification of the SAMEX '98 ensemble forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 73-91.
- Krishnamurti, T. N., C. M. Kishtawal, T. LaRow, D. Bachiochi, Z. Zhang, C. E. Williford, S. Gadgil, and S. Surendran, 1999: Improved weather and seasonal climate forecasts from multimodel superensemble. *Science*, **285**, 1548-1550.
- Kuo, Y.-H., 2000: Mesoscale numerical weather prediction. Preprint, International Conf. on Mesoscale Convective Systems and Heavy Rain in East Asia, Seoul, Korea, 1-7.
- Leith, C. E., 1974: Theoretical skill of Monte Carlo forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 409-418.
- Schaefer, J. T., 1990: The critical success index as an indicator of warning skill. *Weather and Forecasting*, **5**, 570-575.
- Stensrud, D. J., J.-W. Bao, and T. T. Warner, 1998: Using initial condition and model physics perturbations in short-range ensembles. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2077-2107.
- Yang, M.-J., F.-C. Chien, and M.-D. Cheng, 2000: Precipitation parameterization in a simulated Mei-Yu front. *Terrestrial, Atmospheric, and Oceanic Sciences*, **11**, 393-422.

Precipitation Verification of the MM5 Ensemble Forecast

**Fang-Ching Chien¹ Yu-Chi Shao¹ Ben Jong-Dao Jou² Pay-Liam Lin³
Ming-Jen Yang³ Jing-Shan Hong⁴ Jen-Hsin Teng⁴ Hui-Chuan Lin⁵**

¹National Taiwan Normal University

²National Taiwan University

³National Central University

⁴Central Weather Bureau

⁵Civil Aeronautic Administration

(Manuscript received 19 August 2002 ; in final form 31 December 2002)

ABSTRACT

This study presents precipitation verification, in the Taiwan area, for a real-time MM5 ensemble forecast system during the 2000 and 2001 Mei-yu seasons. The forecast system consists of 6 MM5 models with different physics settings that are separately run by 4 universities (NTU, NCU, NTNU, CCU) and 2 government institutes (CWB, CAA) in Taiwan.

It is found that the GR model outperformed the other 5 members. Therefore, it is strongly recommended that MM5 simulations in the Taiwan area during Mei-yu seasons should consider using Grell cumulus scheme and Resiner I microphysics process (the GR model). Generally speaking, the score of precipitation forecast from ensemble mean is the second or the third highest within all the members.

In addition to the ensemble mean, we also use 2 weighting methods to produce ensemble precipitation forecasts. In ensemble weight1, the weighting of each ensemble member for computing ensemble rainfall at 12-24 and 24-36 hours is determined according to the performance of its 0-12 h rainfall forecast. Ensemble weight2 utilizes the ETS score of rainfall forecast of each member in 2000 to obtain its weighting for ensemble rainfall forecast in 2001. The result shows that the 2 ensemble methods help increase the accuracy of ensemble precipitation forecasts. They both in general outperformed the ensemble mean and each single member.

Key words : MM5, Ensemble forecast, Precipitation verification