

2003年梅雨季MM5系集降水預報

簡芳菁¹ 柳懿秦¹ 周仲島² 林沛練³ 洪景山⁴ 蕭玲鳳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中央氣象局

⁵中央研究院地球科學所

(中華民國九十四年三月二十一日收稿；中華民國九十四年九月二十一日定稿)

摘 要

本文討論 2003 年梅雨季中尺度模式 MM5(Pennsylvania State University-National Center for Atmospheric Research Mesoscale Model, version 5)系集降水預報的成效，此系集系統包括有十七個 MM5 系集成員，由變動不同初始場、積雲參數法、微物理過程而組成。所有成員之系集平均降水預報在 10mm 以下降雨門檻的公正預兆得分 (ETS) 高於所有個別成員，顯示系集平均可以提升小雨降雨預報的技術，對於中、大雨則約位於中上的成績。

綜合平均的結果進一步發現，利用中央氣象局全球模式(GFS)為初始場相較於其他初始場可在中、大雨(降雨門檻 10mm 以上)獲得較佳的預報；在不同積雲參數法上，則以使用 Grell 積雲參數法者其降水預報為最佳；在微物理過程方面，小於 10mm 降雨門檻以使用 Goddard 方法者預測能力最佳，大於 10mm 門檻值以上則以使用 Mixed-phase 方法者為最佳。可見台灣地區梅雨季之數值模擬比較適合使用來自 GFS 之初始場，搭配 Grell 積雲參數法與 Mixed-phase 或 Goddard 微物理方法之組合。

系集平均之降水預報，不論成員多寡，相對於單一模式成員皆有絕對之優勢；在初始場、積雲參數法、微物理過程三個變因之中，考慮所有變因所得之系集預報可以得到最佳的系集降水預報，考慮其中 2 個變因者次之，而僅考慮 1 個變因所得之系集預報則為最差；此三個變因中又以變動初始場最有利於系集降水預報，變動積雲參數法次之，變動微物理過程最差。

關鍵字：中尺度模式 MM5、系集預報、降水校驗

一、前言

台灣四面環海、位置處於副熱帶太平洋地區，地理環境特殊。每年夏季的颱風以及 5~6 月期間的梅雨，雖可以為台灣地區帶來豐沛的雨量，但其伴隨的豪大雨也經常釀成災害，造成都市淹水、交通癱瘓、農作物損毀、山崩及土石流等，對國計民生產生嚴重衝擊。因此如何將氣象理論應用於氣象預報技術的改善，確實達到防災與減災的最終目標，實為氣象界無可旁貸的責任。因此，在國科會的支持下，國內各主要氣象學術與作業單位，共同合作進行「台灣地區災變天氣研究計畫」(Taiwan Weather Research Program, TWRP)，以增進我國定量降雨預報技術、發展洋面大氣觀測資料應用之技術、與改善我國現有颱風路徑與強度之預報等為具體之執行目標。

與上述第一目標有關的研究工作始於西元 2000 年，當時國內各氣象學術機構及作業單位，針對梅雨季期間的降水預報，利用 MM5 模式 (Pennsylvania State University-National Center for Atmospheric Research Mesoscale Model, version 5) 進行數值模擬，以產生系集降水預報。此預報工作連續執行 3 年，也獲得初步的成效 (Chien et al. 2002; Chien and Jou 2004; 簡等, 2003)。不過當時受限於計算資源，僅以變動物理過程之方式產生六個系集成員，未能涵蓋所有可能之組合，以進行系統性的比較。因此在西元 2003 年梅雨季，我們決定根據過去經驗，在物理方法設定上做些調整，同時加入不同初始資料的設定，共組合形成十七組系集成員。本文即針對此系集預報系統於西元 2003 年 5 月 10 日到 6 月 20 日期間的降水預報，利用全台 343 個自動雨量站之降水觀測資料進行校驗，以進一步研究

系集降水預報的成效，探討個別物理方法之模擬差異，並試著找出最適合台灣地區的系集降水預報組合方式，以提升台灣地區降水預報的能力，期達到氣象防災減災的目標。

二、資料與校驗方法

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，測站位置及校驗模式降水之方法等請參見簡等 (2003)。圖 1 為 2003 年所有自動雨量站平均之 12 小時累積雨量，可見 2003 年梅雨季降水主要發生在 5 月 15 日至 5 月 19 日的一波小降水及 6 月 6 日至 21 日間的一波長時間的大降水，其中尤以 6 月 7 日一天內的降雨最大。

我們使用 MM5 中尺度數值模式進行數值模擬，包含兩個巢狀網格，外層的粗網格解析度為 45 公里，細網格的解析度為 15 公里，垂直方向有 23 層，本文即針對細網格的降水預報進行校驗。所有系集成員皆一致採用 MRF 邊界層參數法 (Medium-Range Forecast model PBL parameterization scheme) 與雲輻射法 (Cloud radiation scheme)，但在雲微物理過程及積雲參數法上有所變動。根據簡等 (2003) 之結論，我們僅選擇 Kain-Fritsch 和 Grell 兩表現相對較好的積雲參數法，搭配四種微物理過程 Mixed-phase、Goddard、ReisnerII、Schultz，共形成八組模擬。有關上述物理方法請參考 Grell et al. (1994)。另外，我們又以此八種物理組合搭配使用三組不同的初始資料場，包括有 GFS、NFS、及 Little-R；惟因電腦資源仍有限，僅前兩組初始資料各有執行所有的八組模擬，而最後一組初始資料僅執行一組 Grell 與 Mixed-phase 組成之模擬 (故在比較不同初始場的效應時，可利用以此一物理組合模擬之三組成員)。如此共形成十七組成

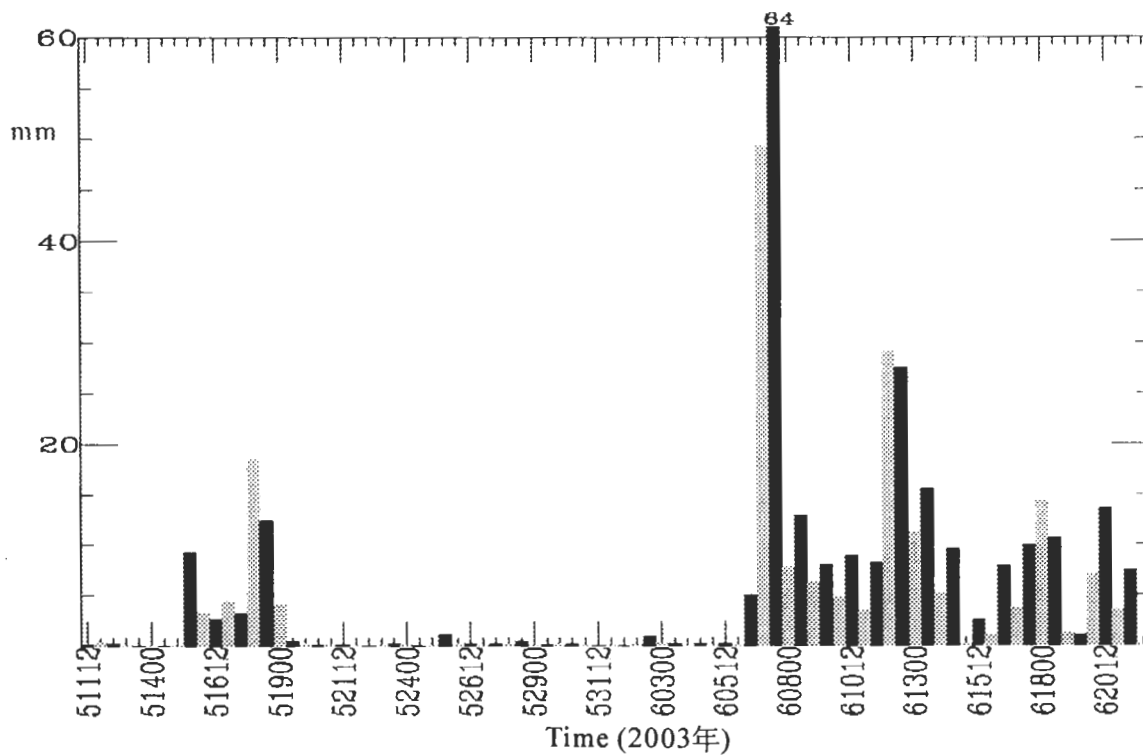


圖 1 西元 2003 年 5 月 10 日到 6 月 20 日 12 小時累積雨量 (公厘)。此為全台自動雨量站平均之結果，黑色及灰色長條分別代表日間 (0000UTC - 1200UTC) 及夜間 (1200UTC - 0000UTC) 之 12 小時累積降水。

表一 各系集成員之組合方式與實驗名稱，第一個字母代表使用之初始場代號，第二個字母代表使用之積雲參數化法，第三個字母代表使用之微物理過程。

		Mixed-phase	Goddard	ReisnerII	Schultz
GFS 初始場	Grell	GGM	GGG	GGR	GGS
	Kain-Fritsch	GKM	GKG	GKR	GKS
NFS 初始場	Grell	NGM	NGG	NGR	NGS
	Kain-Fritsch	NKM	NKG	NKR	NKS
Little R 初始場	Grell	RGM			

員的系集預報系統，詳見表一。各成員之命名方式以第一個字母代表使用之初始場代號（包括 G、N、R），第二個字母代表使用之積雲參數法（包括 G、K），第三個字母代表使用之微物理過程（包括 M、G、R、S）。

上述三組初始場之不同在於：GFS 為中央氣象局全球模式的分析與預報場，使用三維變分法（3D VAR）進行資料分析，觀測資料來自 NCEP(National Centers for Environmental Prediction)，主要特色是使用大量的輻射率 (radiance)，資料解析度為一度。NFS 為中央氣象局區域模式的分析與預報場，其初始猜測場來自 GFS 的分析場，使用最佳內插法 (Optimum interpolation) 進行客觀分析，主要使用來自 GTS(Global Telecommunication System)的各式觀測資料，但沒有直接使用輻射率，解析度是 45 公里。Little-R 初始猜測場來自 GFS 的分析場，使

用 MM5 之 Cressman-type 客觀分析法進行客觀分析，只使用探空資料和綜觀地面觀測之資料。

所有系集成員每一組皆執行為期四十二天的模擬（每天二次，每次預報 36 小時），日期從西元 2003 年 5 月 10 日到 6 月 20 日。本文除了校驗此期間各成員及系集平均之表現以外，也產生各種組合的降水預報，以比較其異同，各組之名稱及其成員詳如表二。其中各種系集平均之組合，以類似表一之方式命名，若任一英文字母欄位以 A 取代則代表該欄位的所有可能組合的系集成員皆被納入平均，最後之數字則代表該平均之系集成員數目，例如：AAA17 代表所有十七組成員之系集平均 (ensemble mean)，GAA8 代表八組使用 GFS 初始場之系集平均，AKA8 為八組使用 Kain-Fritsch 積雲參數法之系集平均，AAR4 代表四組使用 Reisner II 微物理過程之系集平均等，餘以此類推。以上

表二 各種系集平均降水之組合，參見表一之命名方式，若任一英文字母欄位以 A 取代則代表該欄位的所有(ALL)系集成員皆被納入平均，最後之數字代表該平均之系集成員數目。

AAA17	所有十七組成員之系集平均 (ensemble mean)。
GAA8	八組使用 GFS 初始場之系集平均。
NAA8	八組使用 NFS 初始場之系集平均。
AGA8	八組使用 Grell 積雲參數法之系集平均，不包括 RGM。
AKA8	八組使用 Kain-Fritsch 積雲參數法之系集平均。
AAM4	四組使用 Mixed-phase 微物理過程之系集平均，不包括 RGM。
AAG4	四組使用 Goddard 微物理過程之系集平均。
AAR4	四組使用 ReisnerII 微物理過程之系集平均。
AAS4	四組使用 Schultz 微物理過程之系集平均。

系集平均係利用簡單數值平均方式獲得雨量預報。

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，分別稱為 A 時段、B 時段和 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。校驗指標以公正預兆得分(ETS)與偏離係數(BIAS)為主，詳細計算方式參見簡等（2003）。ETS 愈高表示降水預報愈準確，BIAS 等於 1 表示預報降水次數與觀測相當，高/低於 1 表示預報高/低估降水次數。

三、降水預報校驗

以下我們針對西元 2003 年 5 月 10 日到 6 月 20 日 B 時段（12~24 小時）及 C 時段（24~36 小時）之模擬降水討論各系集成員及多種系集平均組合的預報結果，最後並以一豪雨個案之預報結果舉例說明。

（一）各系集成員及 AAA17 之表現

圖 2a 為使用 GFS 為初始場之八組成員與 AAA17（系集平均）在 B、C 時段之 ETS 得分及 BIAS 值，在 B 時段我們發現使用 Grell 積雲參數法之四組（編號 1-4）得分較高，而使用 Kain-Fritsch 積雲參數法的四組（編號 5-8），其 ETS 得分皆偏低。其中，GGM（編號 1）在 10mm 門檻值以下 ETS 排名為中上，在 2~3 名之間，在 10mm 以上中、大雨排名躍升為第一名，ETS 得分皆大於 0.15，且其 BIAS 值的表現也不錯，可見 GGM 對中、大雨的預測表現相對而言不錯。GGG（編號 2）在 10mm 以下，ETS 值排名大致為第二名，10mm 以上則排名急速下降，落

到第四名以後，顯示 GGG 對小雨的預報能力比較好，中、大雨預報能力則不足。而 AAA17（編號 9）在 10mm 門檻以下 ETS 得分最高，10mm 以上中、大雨門檻得分降低，排名大約 3~4 名，其 BIAS 值之表現在 2.5mm~10mm 為最好，但在 2.5mm 以上與所有個別成員類似有低估的情形。我們發現 AAA17 在 ETS 和 BIAS 值的表現變化曲度都非常大，對小雨的預報較好，隨降雨門檻增加表現越差。

在 C 時段 GGM 之 ETS 得分在 10mm 以下排名約為第二名，降雨門檻 10mm 以上則排名為第一，對中、大雨的預報表現較佳。而 AAA17 在降雨門檻 10mm 以下的得分類似 B 時段仍保持最高 ETS 得分的優勢，雖然得分平均沒有 B 時段的高，但是在降雨門檻 10mm~35mm 的預測得分下降趨勢卻沒有如 B 時段 ETS 得分下降之多，其 ETS 得分仍保持第二名，不過在降雨門檻 35mm 以上的大雨門檻得分則急速掉落。在 BIAS 值表現上，AAA17 在降雨門檻 2.5mm 以下有高估的情形，在 2.5mm 以上則有顯著的低估，在 2.5mm~10mm 表現最接近 1。綜合比較，我們發現在降雨門檻 10mm 以下以 AAA17 表現最好，在降雨門檻 10mm 以上之中、大雨門檻則以 GGM 最佳。

圖 2b 為使用 NFS 為初始場之八組（編號 1-8）與 RGM（編號 9）之結果，在 B 時段 10mm 以下的門檻，NFS 之八個系集成員幾乎重合在一起，很難分辨出誰比較好，顯示 NFS 初始場主宰了小雨預報的發展變化，微物理過程和積雲參數法組合之影響比較不顯著。不過仔細觀察這九組系集成員之表現，仍約略可見以 NFS 為初始場的 NGM、NGG（編號 1、2）以及使用 Little-R 為初始場的 RGM（編號 9）表現比較好一些。其中，在 B 時段 NGM 在降雨門檻 15mm

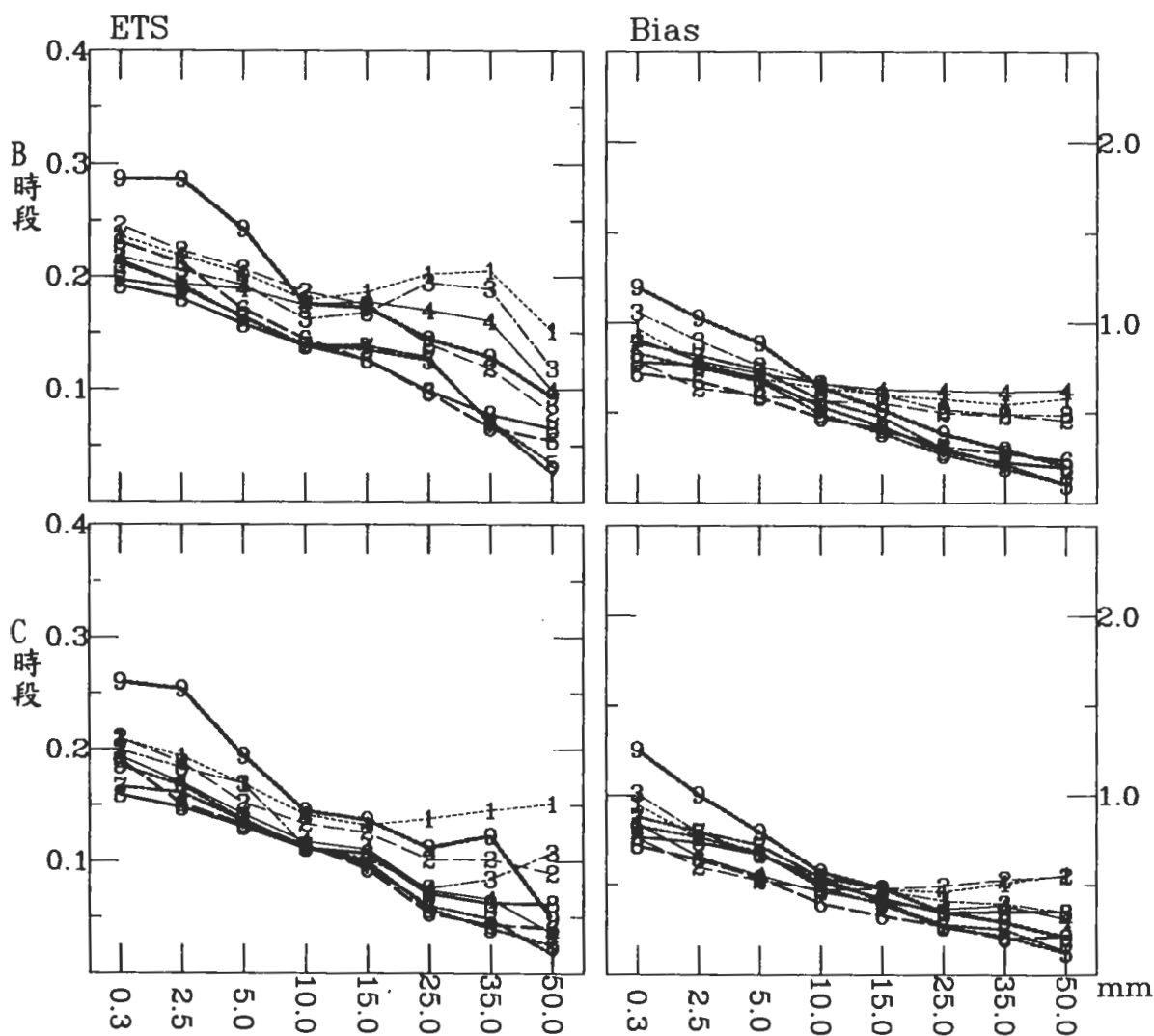


圖 2a 上列為 2003 年 B 時段各系集成員與系集平均根據不同降雨門檻值(mm)所求得的 ETS 值及 BIAS 值折線圖，下列則為 C 時段的 ETS 值及 BIAS 值折線圖，橫軸代表不同降雨門檻值。各系集成員與系集平均的折線分別以數字編號之，1：GGM；2：GGG；3：GGR；4：GGS；5：GKM；6：GKG；7：GKR；8：GKS；9：AAA17（參見表一、二）。

~50mm 表現較好，NGG 在降雨門檻 10mm~35mm 的 ETS 得分為第二名，降雨門檻 2.5mm 以下則表現最好，不過和 NGM、RGM 的差別並不大。至於 RGM，在 2.5mm~15mm 降水門檻 ETS 得分最高，15mm 以上降水門檻則排名快速掉下，不過，其在 BIAS 值之表現，則一直為最好。

在 C 時段 NGM 的表現則沒有像在 B 時段那麼好，排名都不前面。NGG 在降雨門檻 25mm 以上的 ETS 值得分最高，跟 B 時段比較，雖然 NGG 在 B 時段的 ETS 得分比 NGM 差一點而已，但是以 B、C 時段整體表現而言，NGG 對大雨預報的持久度比較好，在 C 時段仍有不錯之成績。降雨門檻 10mm 以下，RGM 的 ETS 值表現

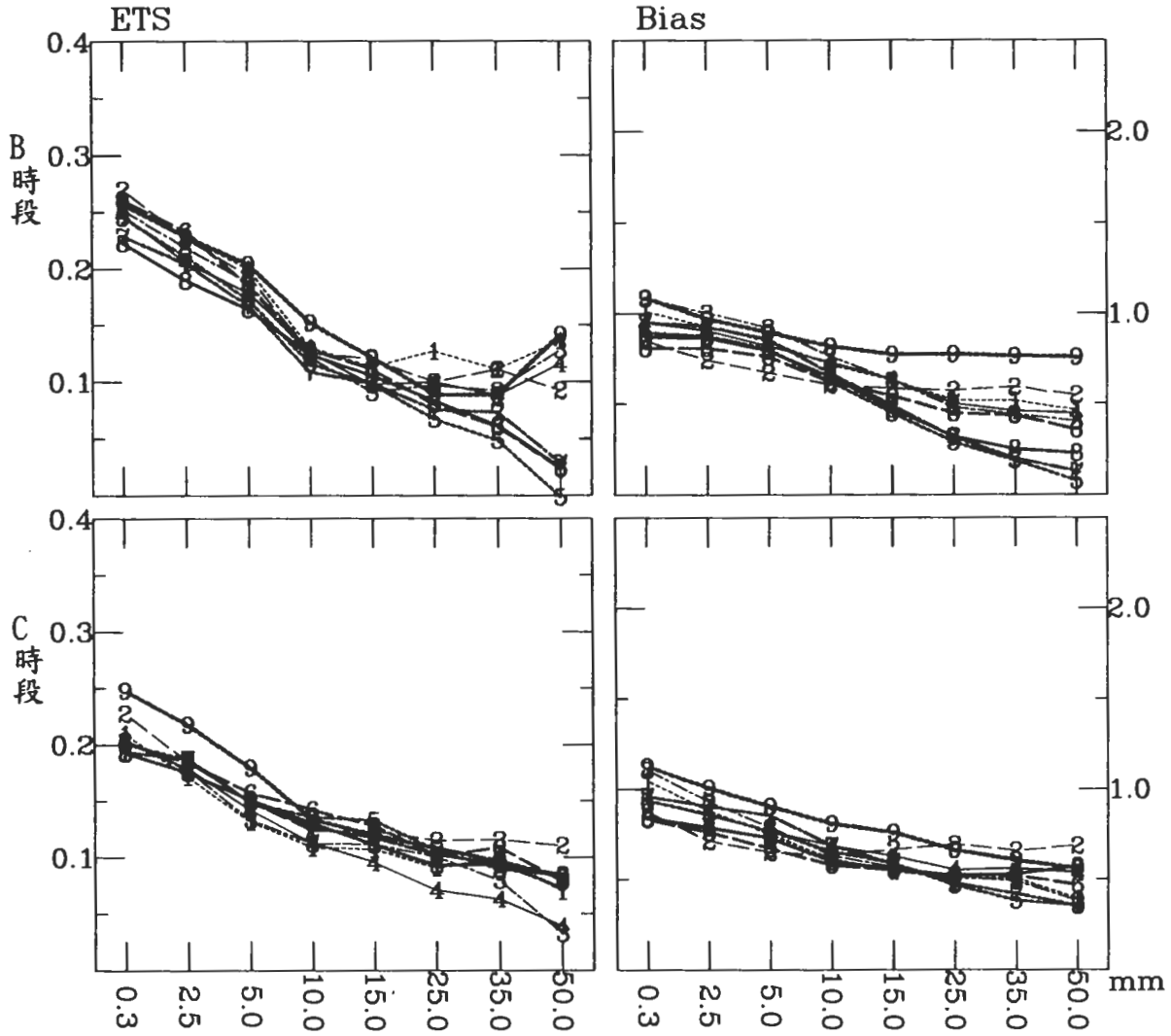


圖 2b 同圖 2a，但為另外九組系集成員的得分，分別以數字編號之，1：NGM； 2：NGG； 3：NGR； 4：NGS； 5：NKM； 6：NKG； 7：NKR； 8：NKS； 9：RGM（參見表一）。

最好，降雨門檻 10mm 以上之中、大雨門檻 ETS 得分排名則下降；在 BIAS 值方面，則一直表現最好，顯示 RGM 對小雨預報的 ETS 得分和預報能力之持久性，以及降水次數的預測上都比較好。可見，經過 MM5 客觀分析過程所得的初始場其在小雨預報結果之得分與 BIAS 值之表現上皆較好。

綜合言之，系集平均 AAA17 的 ETS 得分，在 10mm 以下的小雨門檻顯著比個別成員高，在中、大雨門檻則僅位於中上左右的成績。從 BIAS 值可見，除了極少數的例外，幾乎所有個別成員皆低估降水，且隨著門檻的增加而加劇。在 10mm 以下的門檻，因為數值平均的關係，只要有少數成員有預報稍大的降水（可能遠較

觀測強)，則 AAA17 就可能得到正確的預報，所以其 BIAS 值會較個別成員高，不再低估，導致 ETS 得分也較高；在較大的降水門檻則不易出現上述的情形，故 ETS 得分不至於高於所有個別成員，僅位於中上的名次；在最大的門檻（50mm），則可能因平均的關係呈現與小門檻相反的結果，即嚴重低估的情形，ETS 得分可能落至中下的名次。不過，雖然系集平均預報在中、大雨僅居中上的成績，但若透過權重

方式產生系集降水預報，仍可獲得較個別成員優異的成績（Chien and Jou 2004; 簡等，2003）。以 NFS 或是 GFS 為初始場的系集成員之 ETS 得分都差不多，只有大於 10mm 以上的中、大雨門檻，以 GFS 為初始場的系集成員 ETS 得分比以 NFS 為初始場的系集成員之 ETS 得分高，顯示以 GFS 為初始場的系集成員對中、大雨的預報有助益。個別成員來看，在降雨門檻小於 10mm 以下之小雨以 RGM 的得分最高，其 BIAS 值表

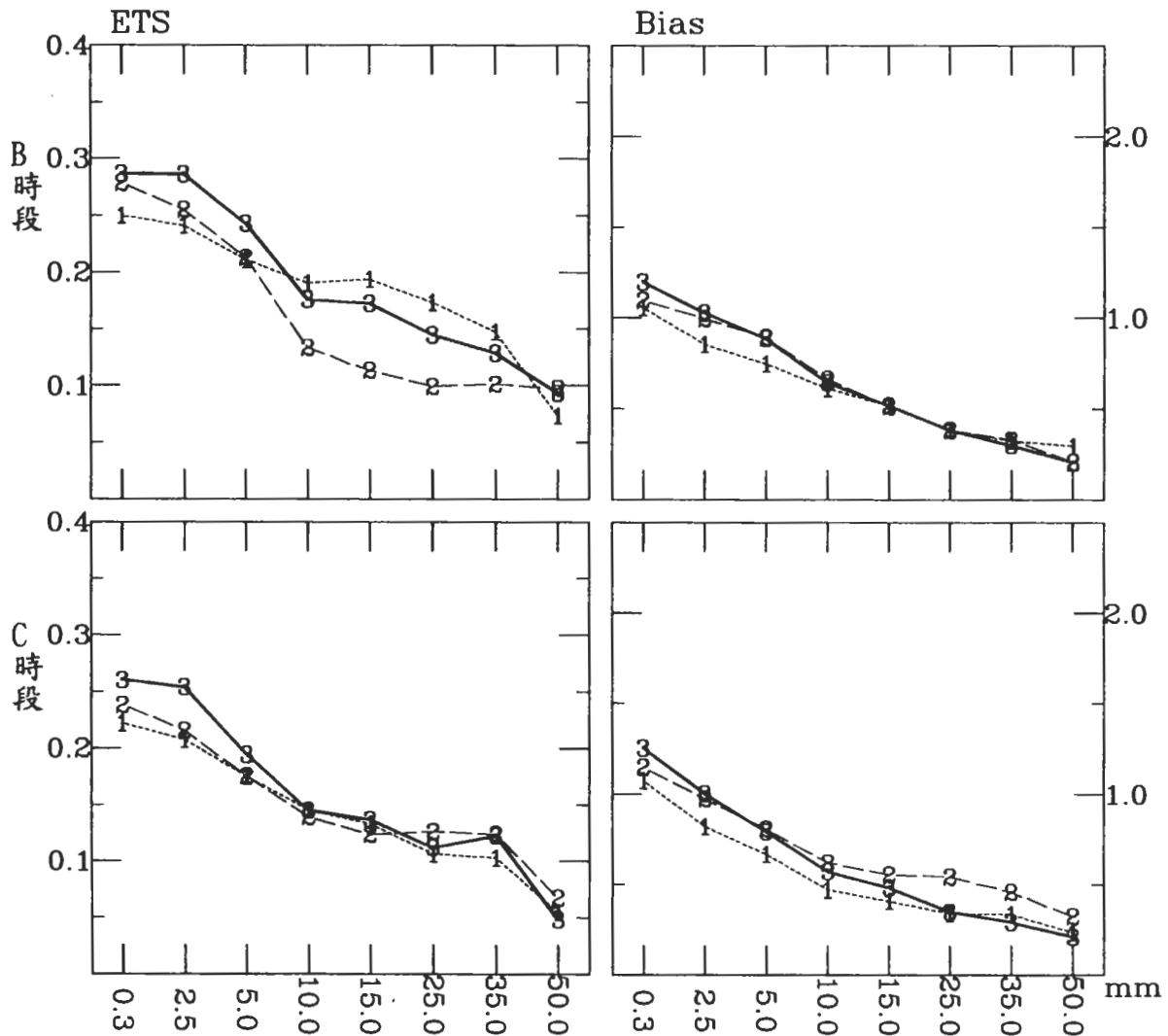


圖 3 同圖 2a，但只包含以下 3 組系集平均的得分，1：GAA8；2：NAA8；3：AAA17（參見表一、二）。

現上也都最好。10mm 以上中、大雨則以 GGM 表現最優秀。

(二) 比較不同初始資料之異同

爲了比較不同初始場資料對模擬之影響，我們對同一初始場之模擬取系集平均，GAA8 爲八組使用 GFS 初始場之系集平均，NAA8 爲八組使用 NFS 初始場之系集平均，與 AAA17 一起進行比較 (圖 3)。在 B 時段，GAA8 (編號 1) 在 5mm 降雨門檻以下，ETS 得分略遜於 NAA8

(編號 2)，在 5-35mm 左右則遠優於 NAA8，ETS 平均約爲 0.15，在 35mm 以上得分則又下滑。在 C 時段的 ETS 得分方面，三條線的趨勢大致一樣，幾乎都重合在一起，GAA8、NAA8 彼此的表現差不多。

綜合比較 B、C 時段的結果表現，大於 10mm 以上之中、大雨門檻以 GAA8 爲最優，但是隨著預報時間增長，GAA8 對大雨的預測能力滑落，而與 NAA8 的表現差不多，甚至落後。可

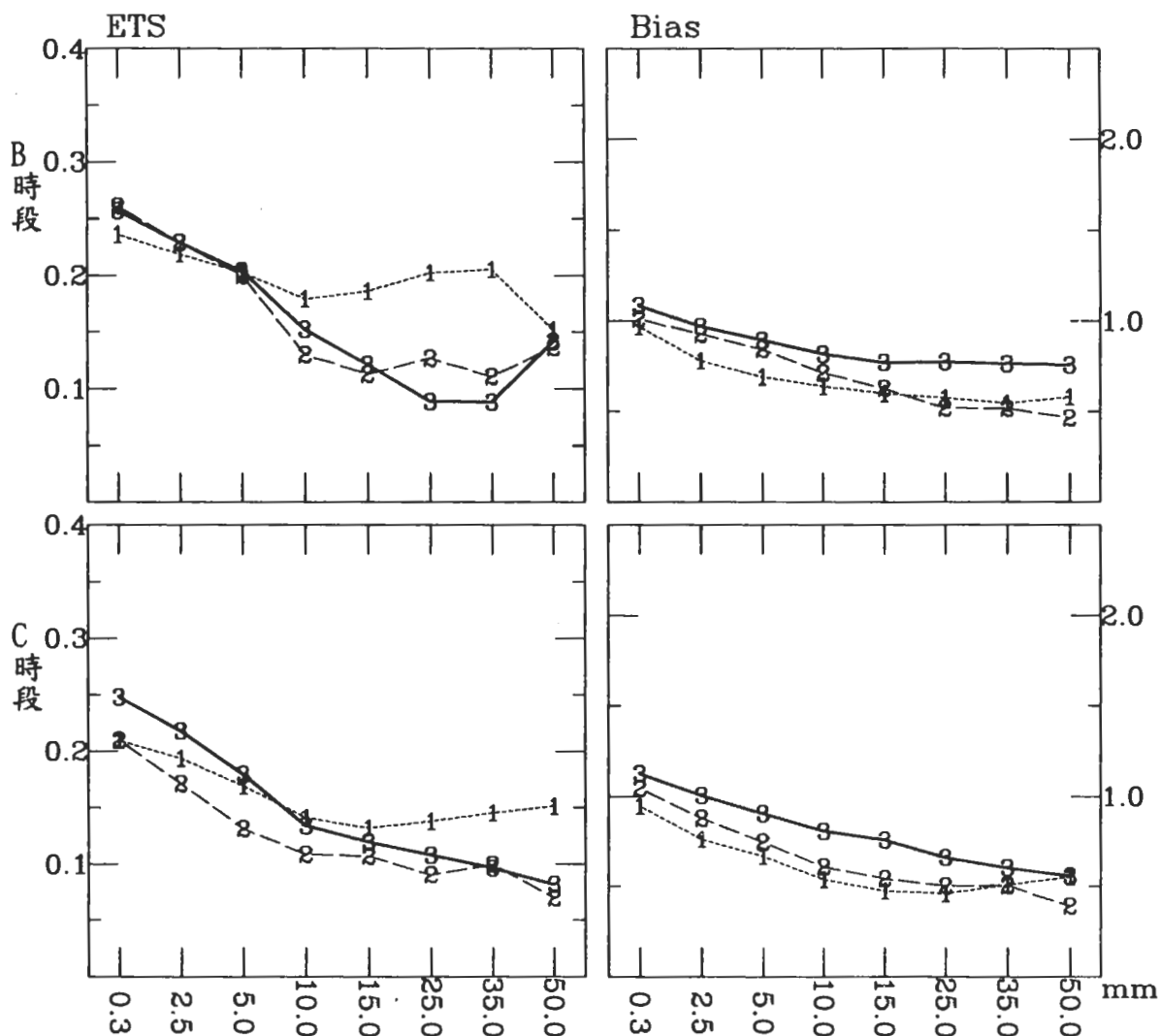


圖 4 同圖 2a，但只包含以下 3 組個別系集成員的得分，1：GGM；2：NGM；3：RGM。

能因為 GAA8 組合中以 Kain-Fritsch 為積雲參數法的四個成員隨預報時間拉長預測能力下降很快(參見前節之比較),而拉下 GAA8 的平均表現。

為了公平比較三組不同初始場模擬的差異,我們針對同樣使用 Grell 積雲參數法和 Mixed-phase 微物理組合的單一成員,但初始場不同的三組(GGM、NGM、RGM)進行比較(圖 4),在 B 時段 GGM(編號 1)在 5mm 以下 ETS 得分較 NGM、RGM(編號 2、3)低,但隨著降雨門檻的上升 GGM 躍升為第一名,得分遠高於 NGM 與 RGM。而 NGM 雖在小於 5mm 門檻之下略勝過 GGM 及 RGM,但隨門檻上升得分下降,對於大雨降雨門檻的 ETS 得分預測表現不佳。至於 RGM 在 10mm 以下介於 GGM 和 NGM 中間,10mm 以上得分就急速下降,下降比例比 NGM 還大,顯示 RGM 對大雨門檻的預測得分能力不佳,不過在 BIAS 值的表現仍然以 RGM 最好。

在 C 時段 GGM 在 10mm 降雨門檻以下 ETS 得分介於 RGM 和 NGM 之間,在 10mm 降雨門檻以上隨著降雨門檻的增加 GGM 的 ETS 得分超過 RGM 與 NGM。而 NGM 隨門檻值的增加得分下降,落後於 RGM 和 GGM。至於 RGM 在 10mm 以下的 ETS 得分則勝過 GGM 和 NGM,10mm 以上之降雨門檻則落後於 GGM。綜合比較 B、C 時段之結果發現,10mm 以下降雨門檻以 RGM 最佳,10mm 以上中、大雨則以 GGM 最佳。

綜合比較圖 3 與圖 4 可見,一般而言,以 GFS 為初始場之降水預報皆優於以 NFS 為初始場者,尤其在 10mm 以上之中、大雨降雨門檻更明顯。而經由 MM5 Little-R 客觀分析之初始

場僅有助於小雨的預測。

(三) 比較 Grell 與 Kain-Fritsch 積雲參數法之異同

為了比較不同積雲參數法對模擬之影響,我們對同一組積雲參數法之模擬取系集平均,AGA8 為八組使用 Grell 積雲參數法之系集平均(不包括 RGM),AKA8 為八組使用 Kain-Fritsch 積雲參數法之系集平均,並與 AAA17 一起進行比較。圖 5 為 AGA8、AKA8、AAA17 之 ETS 得分及 BIAS 值預報結果,不論在 B 或 C 時段,AGA8(編號 1)的 ETS 得分和 BIAS 值皆優於 AKA8(編號 2),只是在 C 時段兩者的差距變小。因此,綜合前述圖 2a、2b 大雨門檻 ETS 得分較高的成員,其積雲參數法大多是選擇 Grell 的結果可知,Grell 積雲參數法比 Kain-Fritsch 積雲參數法為適合台灣地區梅雨期的降雨預報,此結果與簡等(2003)之結果相同。

(四) 比較各微物理過程之異同

為了比較不同微物理過程對模擬之影響,我們對同一組微物理過程之模擬取系集平均,AAM4 為四組使用 Mixed-phase 微物理過程之系集平均,不包括 RGM,AAG4 為四組使用 Goddard 微物理過程之系集平均,AAR4 為四組使用 Reisner II 微物理過程之系集平均,AAS4 為四組使用 Schultz 微物理過程之系集平均。圖 6 顯示在 B 時段,AAM4(編號 1)在降雨門檻小於 10mm 的 ETS 得分在四組之中約為第二名,降雨門檻 10mm 以上則變為第一。顯見 AAM4 降水預測能力不錯,對小雨的預測能力名列前茅,對大雨的預測能力則是最佳。AAG4(編號 2)在 10mm 以下表現最好,之後隨門檻值增加,得分越來越低,在 15mm 以後則落到第四名,顯示 AAG4 僅對小雨有較好的預報能力,對中大雨的預報

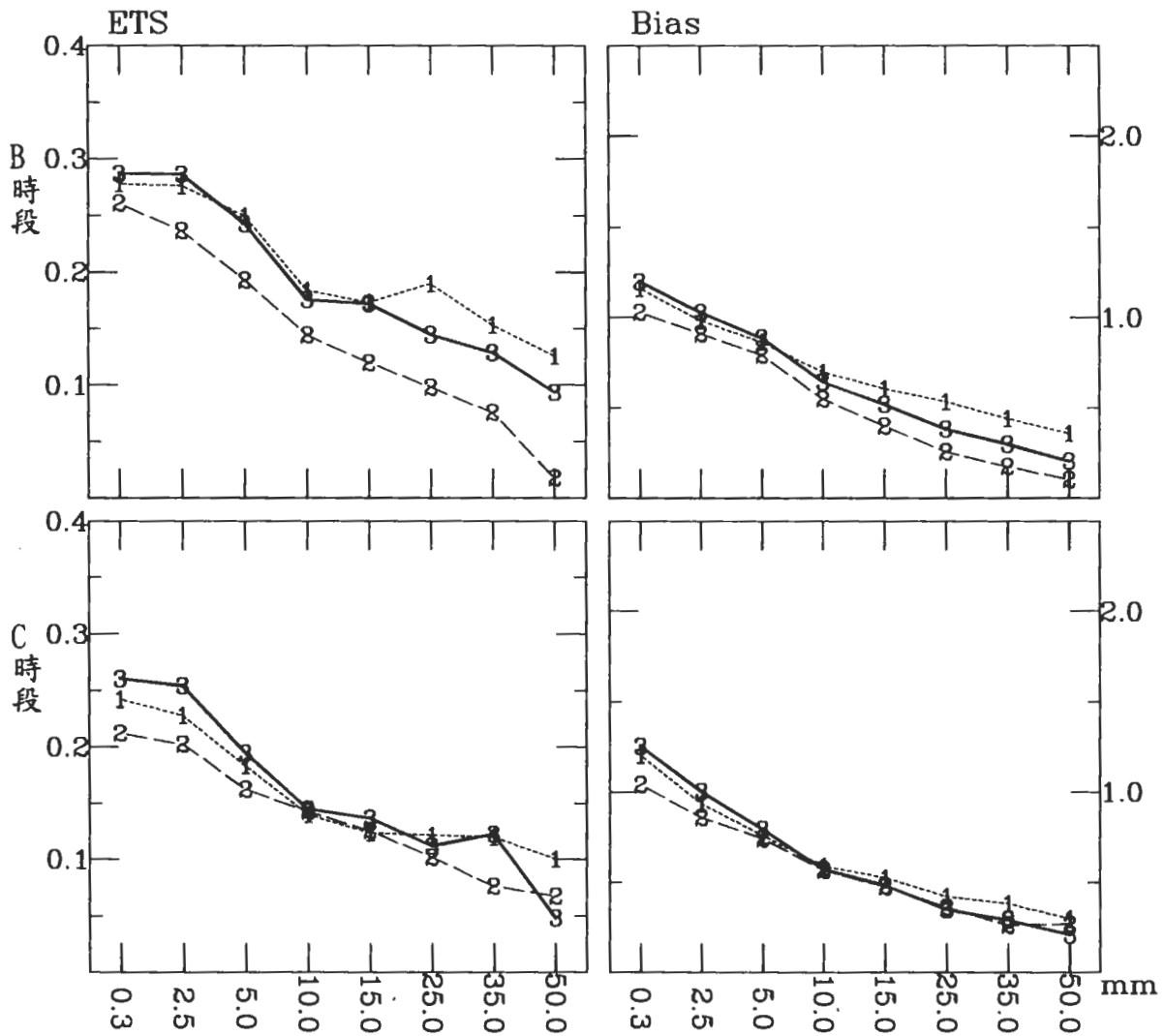


圖 5 同圖 2a，但只包含以下 3 組系集平均的得分，1：AGA8； 2：AKA8； 3：AAA17。

能力不佳。AAR4、AAS4（編號 3、4）的表現則是大致落在三、四名，顯示 AAR4、AAS4 的預報能力最差。

在 C 時段，AAG4 在小於 15mm 小雨階段表現最佳，在 15mm 以後則落為第二。AAM4 在大於 15mm 降雨門檻的表現僅次於 AAG4，在中雨 15~35mm 以後則優於 AAG4 成為第一名，之後 35mm 以上大雨門檻又落後於 AAG4，不

過，兩者的表現在伯仲之間；在 BIAS 值表現方面則彼此差異不大，大致為低估的情形。綜合比較 B、C 時段可見，AAM4、AAG4 的表現都還不錯，小於 10mm 降雨門檻以 AAG4 預測能力最佳，大雨 15mm 門檻值以上則以 AAM4 為最佳，可知台灣地區梅雨季之數值模擬比較適合使用 Mixed-phase 或 Goddard 兩個微物理方法。

簡等（2003）指出台灣地區梅雨季之 MM5

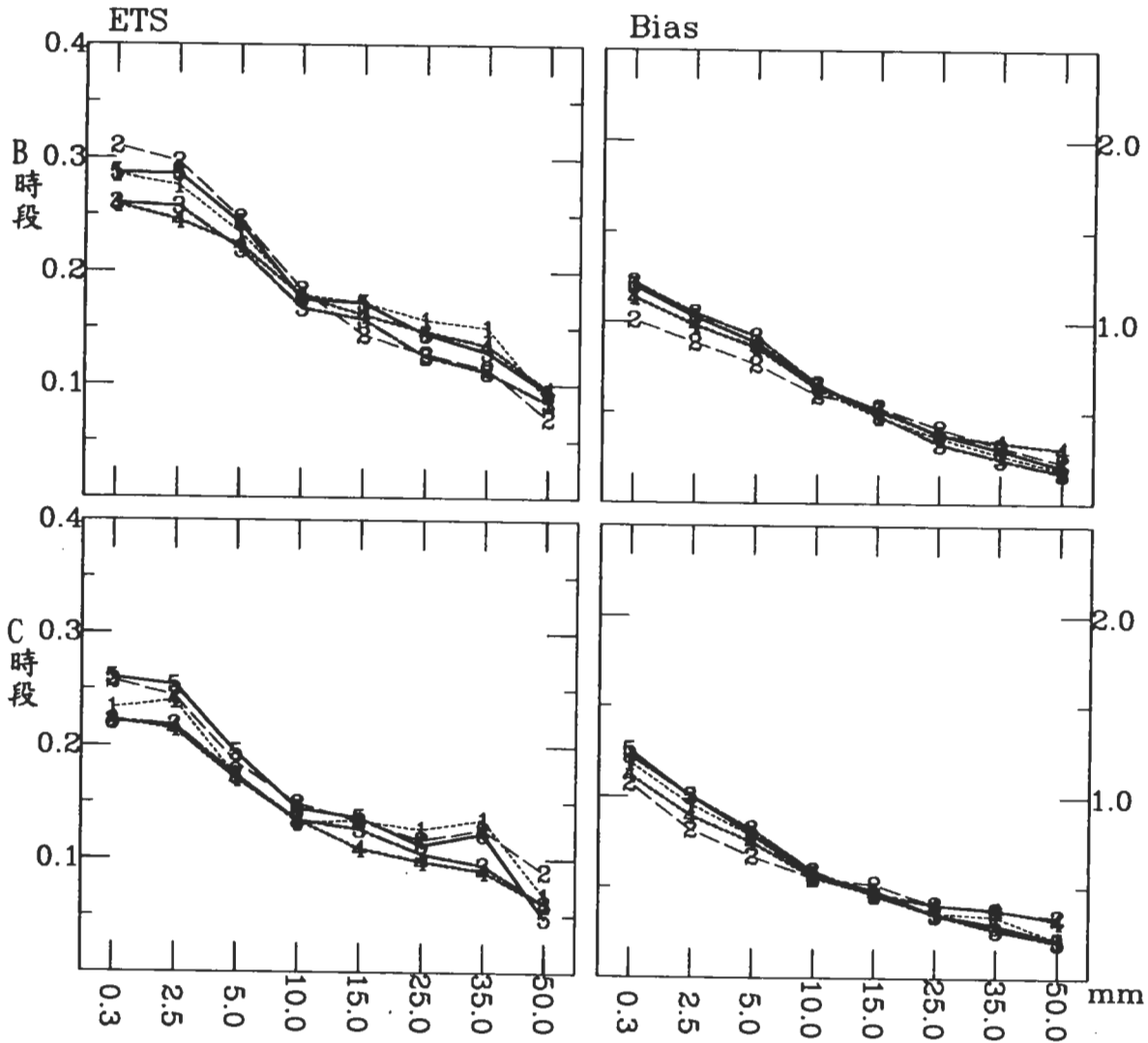


圖 6 同圖 2a, 但只包含以下 5 組系集平均的得分, 1: AAM4; 2: AAG4; 3: AAR4; 4: AAS4; 5: AAA17。

降水模擬以 GR 的表現最好, GR 的組合是 Grell 和 Resiner I, 其中, Resiner I 跟本研究的 Mixed-phase 是同一微物理過程, 而 Mixed-phase 在本文的分析中表現也不錯, 尤其在中、大雨的部分更為出色, 顯示出我們的研究與過去一致, 即 Mixed-phase 在四個微物理過程中最適合台灣地區梅雨季之中、大雨降水預報。

(五) 個案討論

從圖 1 可見 2003 年 6 月 7 日 0000-1200UTC 在台灣陸地有很大的降雨, 為整個梅雨季期間最大之降雨事件; 因此, 我們選取此一個案為例進一步探討個別成員與系集預報在台灣地區之表現。6 月 7 日 0623UTC 的紅外線雲圖可見梅雨鋒面伴隨之雲帶從日本南方海面向西南延伸、通過台灣南部及南方海面、達海南島東部 (圖 7a), 鋒面上的對流雨帶導致台灣南部在 12 小時內(0000-1200UTC)降雨超過 100mm, 在中

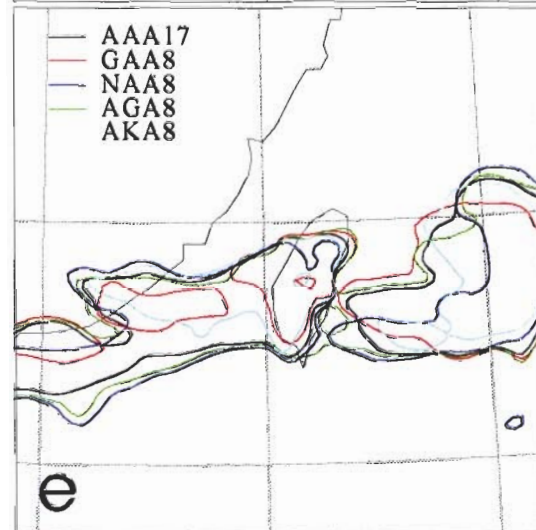
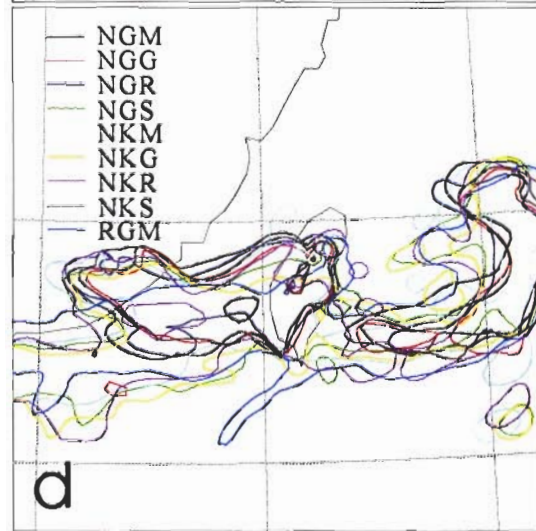
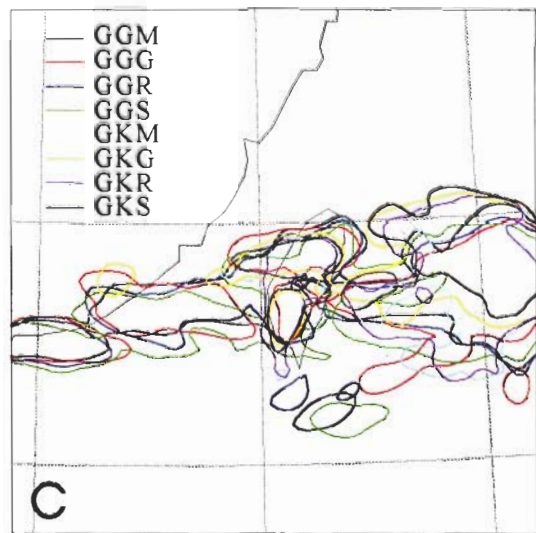
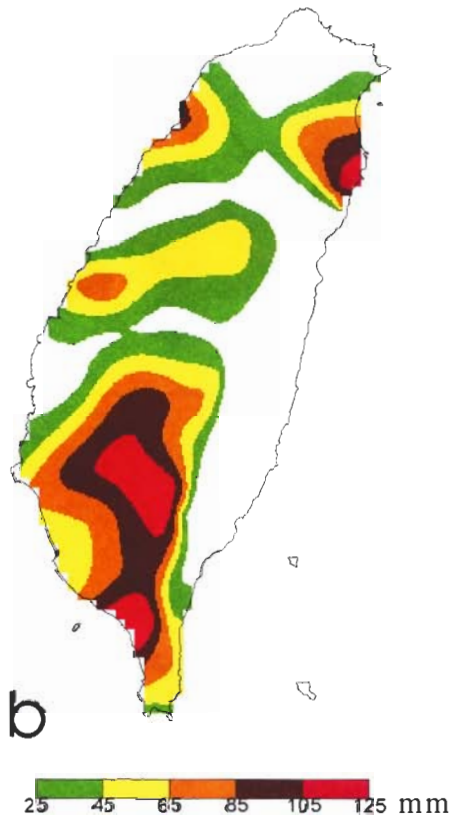
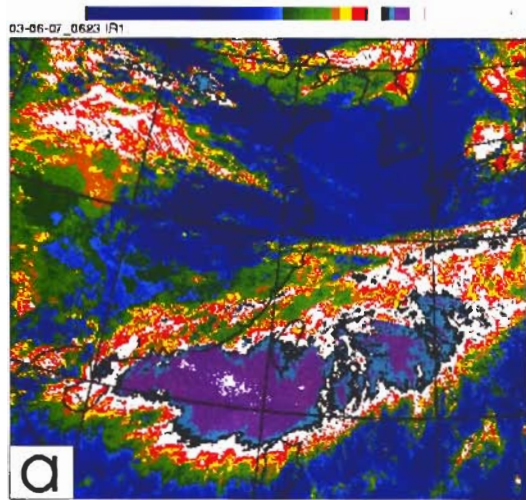


圖 7 2003 年 6 月 7 日豪雨個案。(a)0623UTC 紅外線衛星雲圖，(b)自動雨量站 12 小時 (0000-1200UTC) 累積雨量 (mm)，(c)6 月 6 日 1200UTC 初始之 MM5 模擬積分 12h 至 24h (B 時段) 之累積雨量，僅畫 25mm 的等值線，不同顏色代表 8 個使用 GFS 初始場之成員，(d)同(c)，但為 8 個使用 NFS 初始場之成員及 RGM，(e)同(c)，但為系集平均 AAA17，GAA8，NAA8，AGA8，AKA8 (參見表一、二)。

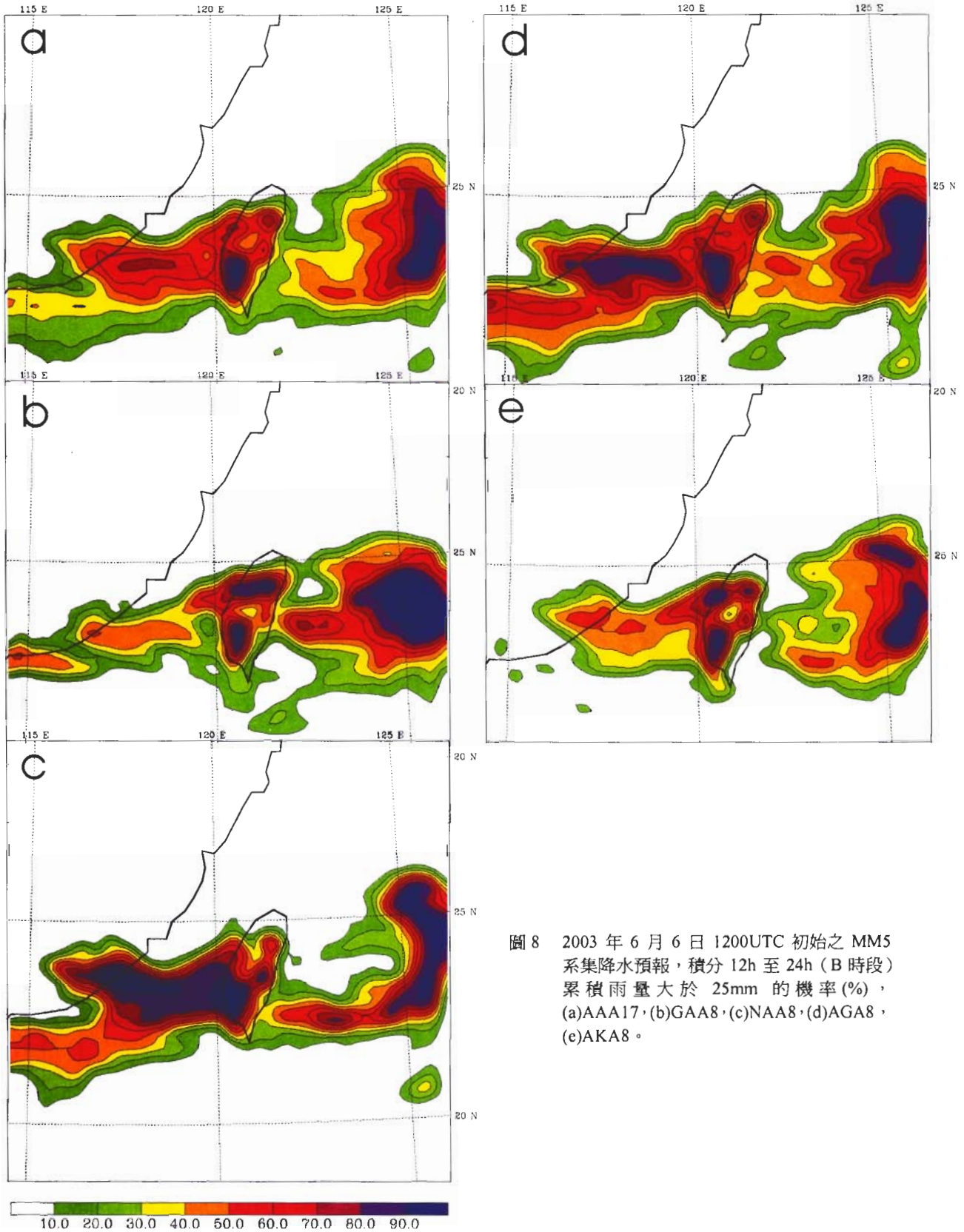


圖 8 2003 年 6 月 6 日 1200UTC 初始之 MM5 系集降水預報，積分 12h 至 24h (B 時段) 累積雨量大於 25mm 的機率(%)，(a)AAA17，(b)GAA8，(c)NAA8，(d)AGA8，(e)AKA8。

部、花蓮北部、與新竹附近也有超過 25mm 的雨量(圖 7b)。因此我們以 25mm 為門檻,探討以 2003 年 6 月 6 日 1200UTC 初始時間之各模式成員與系集預報在 12 至 24 小時(B 時段)的降水預報表現。

圖 7c 為 8 個使用 GFS 初始場之成員、圖 7d 為 8 個使用 NFS 初始場之成員及 RGM,其 B 時段累積降水 25mm 的等值線分布。雖然各成員間降水分布略有差異,但定性與雲圖相較約略可見各模式成員降水預報之位置較觀測偏北,南海地區之對流也應有低估的情形。不過,大致上所有成員對梅雨鋒面雨帶的預報是不錯的,尤其台灣陸地上的預報降水與自動雨量站的觀測頗為相符。雖然成員間之差異不易由此種複雜的線(俗稱 spaghetti)看出,但由圖 7c 與 7d 之比較卻可輕易發現,使用 NFS 為初始場之 8 組成員其模擬降水分布較 GFS 之 8 組偏南,且在台灣海峽南部 NFS 之 8 組成員有較大範圍之降水。

圖 7e 為 5 組系集平均(AAA17, GAA8, NAA8, AGA8, AKA8)降水 25mm 等值線的分布,比較 GAA8(GFS 為初始場之 8 組成員)與 NAA8(NFS 為初始場之 8 組成員)在台灣海峽南端之分布可見與前述相同之結果;同樣位置比較 AGA8 與 AKA8 之結果發現,AGA8 預報較大範圍之降水,可見此處降水預報有 GAA8 與 AKA8 相似,而 NAA8 與 AGA8 相似的趨勢。至於台灣東部海面之降水分布則以 GAA8 與 AGA8 相似,NAA8 與 AKA8 相近。由此可見,模式降水預報在各初始場或物理方法上可以產生很大的變異,以個案的方式難觀其全貌,必須以統計的方式校驗整個梅雨季之結果。至於 AAA17 的降水分布則大致介於上述 4 組系集平均之間,而台灣陸

地上的降水各系集平均的表現差異不大。

我們進一步利用上述個案的模擬結果計算系集降水機率預報,以 AAA17 為例,我們在每個網格點上找出 17 個成員中預報超過 25mm 降水的成員數量,將其除於 17 得該網格點預報降水超過 25mm 的機率。由圖 8a 可見 AAA17 預報台灣南部有大於 80%的機率 B 時段累積降水會大於 25mm,其他區域除了北部及東部少數地區外也有高於 50%的機率。比較圖 8b 與 8c 可見 GAA8 較能掌握到台灣中、北部的降水,而 AGA8(圖 8d)與 AKA8(圖 8e)在台灣陸地上的降水機率差異不大。至於台灣西南與東部海面之降水機率則呈現與前述類似之結果,即在台灣西南海面 NAA8 預報比 GAA8 較大的降水機率,在台灣東部海面 GAA8 預報比 NAA8 較大的降水機率等等。以上系集機率預報的觀念可運用於實際預報作業,一但有來自多個系集成員的預報時可以針對不同降水門檻製造類似之機率預報,藉以降低單一模式預報之不確定性。

四、系集降水預報

前節我們已就個別成員及不同的系集平均組合的降水得分比較並討論不同初始場(IC)、積雲參數法(CPS)、及微物理過程(MS)之間的優劣,同時也發現系集平均的降水預報(AAA17)一般皆較個別成員的預報表現要好,或居中上的成績;但是,透過這樣豐富的模擬資料,吾人更應進一步仔細檢視系集降水預報的效應,例如:愈多的系集成員是否愈有利於產生系集降水預報?何種系集成員的組合可以得到較佳的系集預報?

爲了公平比較，以下討論我們僅採用表一前 16 組系集成員的模擬資料，即初始場僅選取 GFS 與 NFS 兩組。就系集預報成員的數量上，我們分別檢驗從單一成員的降水預報、2 組成員的系集平均降水預報、到最多的 16 組成員的系集平均降水預報 (AAA16)。在成員的選擇上也以上述三種分類 (IC, CPS, MS) 方式歸納之，同時爲便於進行公平比較，我們採用所有 16 個成員的模擬。例如：將 16 個成員分成 2 組 8 成員的系集組合，分別計算其系集平均降水的 ETS 得分，最後再求取 2 組 ETS 得分之平均；4 成員的系集組合有 4 組 2 成員的系集組合有 8 組，均依類似方式處理。以變動 CPS 與 MS 組成的系集平均降水爲例，共有 2 組即 GAA8 與 NAA8，各爲 8 成員的系集組合，我們取兩者之 ETS 平均得 XAA8。以變動 IC 與 MS 組成的系集平均降水，也有兩組即 AGA8 與 AKA8，取兩者 ETS

之平均得 AXA8。以變動 IC 與 CPS 組成的系集平均降水，則有四組即 AAM4、AAG4、AAR4、及 AAS4，取四者 ETS 之平均得 AAX4。同理，若僅變動 IC 組成的系集平均降水則有 8 組，皆爲 2 成員之組合，取八者 ETS 之平均得 XAA2；餘此類推，僅變動 CPS 之八種組合，其平均爲 AXA2；僅變動 MS 之四者平均爲 AAX4。另外，我們再取 16 組個別成員 ETS 的平均而得 XXX1 (參見表三)。上述用於計算系集平均降水預報的成員數量與組合雖不一樣，但其 ETS 經過再平均之後，所採用的總成員變爲一致，故可以進行較爲公正之比較。從另一觀點觀之，這種做法是檢驗各種系集組合或單一成員的平均表現。

首先比較 XXX1 與 AAA16 之結果，XXX1 係把 16 個單一成員的 ETS 取平均，AAA16 係 16 個成員系集平均降水的 ETS，兩者雖使用的成

表三 各種系集平均降水 ETS 得分之再平均方式，參見表一、二之命名方式，若任一英文字母欄位以 X 取代則代表該欄位對應的所有可能系集平均降水皆被納入計算平均的 ETS，最後之數字代表該組合之系集成員數目。

編號	名稱	說明
8	AAA16	所有 16 組成員系集平均降水之 ETS，同 AAA17，但不含 RGM。
7	XAA8	GAA8 與 NAA8 的 ETS 相加，再取平均，即 $(GAA8+NAA8)/2$ 。
6	AXA8	同上，但爲 $(AGA8+AKA8)/2$ 。
5	AAX4	同上，但爲 $(AAM4+AAG4+AAR4+AAS4)/4$ 。
4	XXA4	同上，但爲 $(GGA4+NGA4+GKA4+NKA4)/4$ 。
3	XAX2	同上，但爲 $(GAM2+NAM2+GAG2+NAG2+GAR2+NAR2+GAS2+NAS2)/8$ 。
2	AXX2	同上，但爲 $(AGM2+AKM2+AGG2+AKG2+AGR2+AKR2+AGS2+AKS2)/8$ 。
1	XXX1	所有 16 組成員之 ETS 和，再取平均。

員相當但代表之意義不同，前者是單一成員之平均表現，後者是 16 成員系集平均降水之表現。從圖 9 可見，不管 B 或 C 時段，單一成員的平均表現（編號 1：XXX1）在所有門檻均敬陪末座，低於所有系集平均之結果，顯見，系集平均之降水預報，不論成員多寡，相對於單一成員皆有絕對之優勢。其次，最多系集成員的 AAA16（編號 8），其 ETS 得分幾乎在所有門檻皆為最高，可見就我們所執行的模擬而言，利用所有成員獲得的系集平均降水預報可以得到最好的預報結果。如果再將這個 AAA16 與前節的 AAA17 比較，由 AAA17 又略優於 AAA16 的結果，更可確信上述的結論。

系集平均降水預報的好壞除了跟系集成員的數量有關之外，另外還有一個重要的因素就是其成員的組成，就 B 時段而言，10mm 門檻以下，AXX2（編號 2）的 ETS 優於 XAX2（編號 3），而 XAX2 又高於 XXA4（編號 4），顯見平均而言，以變動 IC 而組成之系集降水預報比變動 CPS 者表現較好，變動 MS 而組成之系集降水預報在此三者中則為最差。這與過去研究一致（例如：Bright and Mullen 2002），即變動 IC 較變動物理過程有利於產生系集預報系統，因為其產生之離勢 (Spread) 較大。因此，雖然 XXA4 有 4 個成員較前兩者多，但其 ETS 得分為最差，顯見物理特性主宰了其表現，而非成員數量。另外，以變動 IC 與 CPS 而組成之系集降水預報（AAX4，編號 5）比變動 IC 與 MS 者（AXA8，編號 6）表現好，兩者又比變動 CPS 與 MS 者（XAA8，編號 7）好，此結果呼應前述之論點，即變動 IC 比變動 CPS，再比變動 MS 更可產生好的系集平均降水預報。例如：AAX4 與 AXA8 之差異在前者含 CPS 的變動，後者則含 MS 的

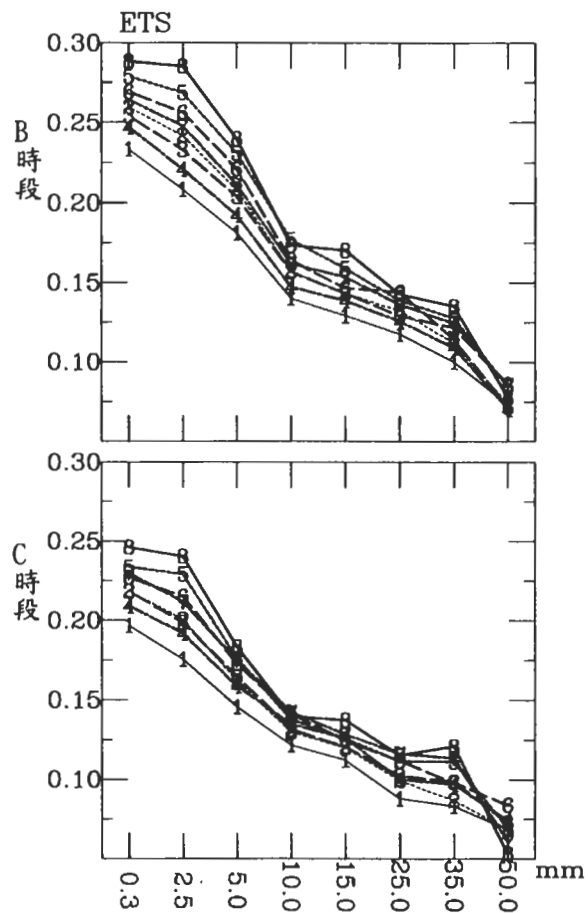


圖 9 同圖 2a，但只包含各種系集預報的平均 ETS 得分。分別為 1：XXX1； 2：AXX2； 3：XAX2； 4：XXA4； 5：AAX4； 6：AXA8； 7：XAA8； 8：AAA16（參見表三）。

變動，故 AAX4 優於 AXA8，餘此類推。10mm 門檻以上，雖各折線差異縮小，ETS 高低在不同門檻之間略有變動，但以上討論之現象大致趨勢仍存在。在 C 時段 ETS 得分降低，差異也縮小，但圖中仍可發現前述的結論大致上依然成立。

從以上討論我們可得下列結論：1，系集平均之降水預報，不論成員多寡，相對於單一模式預報皆有絕對之優勢；2，由 AAA16 得分最高，AAX4、AXA8、及 XAA8 三組次之，AXX2、XAX2、及 XXA4 三組再次之之結果可見，在三個變因（IC、CPS、MS）之中，考慮所有變因所得之系集預報可以得到最佳的系集降水預報，考慮其中 2 個變因者次之，而僅考慮 1 個變因所得之系集預報則為最差；3，此三個變因中以變動 IC 最利於系集降水預報，變動 CPS 次之，變動 MS 者最差。

五、討論與總結

本文延續國內各氣象學術機構及作業單位於西元 2000 年起，針對梅雨季期間所進行的系集降水預報，討論西元 2003 年梅雨季 MM5 系集降水預報的成效。在選擇系集成員時，我們根據過去三年累積的經驗，作了一些修正，使用之物理過程汰弱留強，積雲參數法以 Kain-Fritsch 和 Grell 為主，微物理過程則包括有四組 Mixed-phase、Goddard、Reisner II、Schultz，另外再加上初始資料場的變化，包括 GFS、NFS 及 Little-R 三組，如此共組合形成一個十七組系集成員的系集預報系統。我們除了探討此系集預報系統各成員及系集平均之表現以外，並以產生各種組合平均的方式以比較不同初始資料場、積雲參數法、及微物理過程所造成模擬之異同。

十七個系集成員的表現中，在 BIAS 值表現上以 RGM 最好，即其預測降水之次數與觀測最接近，其餘成員大致明顯低估降水。ETS 得分方面，絕大部分的系集成員之 ETS 均隨著門檻的增加而得分減少，小雨的預測以 RGM 最佳，10mm 以上中、大雨降雨門檻則以 GGM 得

分最高。顯示 Grell 搭配 Mixed-phase 的物理組合可以獲得最佳之降水預報，而使用經過 MM5 客觀分析的初始場對小雨降水預報能力有所幫助，但在中、大雨卻以使用 GFS 的初始場者可以得到較好的模擬。系集平均 AAA17 的得分在 10mm 以下的降雨門檻高於所有成員，顯示系集平均可以提升小雨降雨預報的準確率，對於中、大雨則約位於中上的成績。在小雨門檻，因為數值平均的關係，只要有少數成員有預報稍大的降水，則 AAA17 就可能得到正確的預報，所以其 BIAS 值會較個別成員高，不再低估，導致 ETS 得分也較高；在較大的降水門檻則不易出現上述的情形，故 ETS 得分不至於高於所有個別成員，僅位於中上的名次。雖然系集平均預報在中、大雨僅居中上的成績，但若能透過權重方式產生系集降水預報，仍可獲得較個別成員優異的成績（Chien and Jou 2004; 簡等，2003）。

在不同初始場之比較可見，以 GFS 為初始場的系集成員對大雨的預測能力一般均較以 NFS 為初始場者為高，顯見雖然 NFS 的網格解析較細，但其使用之最佳內插法（OI）所得的分析與預報場並不如 GFS 使用之三維變分法對 MM5 模擬有較大的助益；同時，因 NFS 僅使用傳統之觀測資料，缺乏海面上的觀測，對台灣四面環海的島型天氣預報而言，顯然無法提供較佳的初始場。不過，一但預測時間拉長，以 GFS 為初始場的各系集成員其得分差異顯著大於以 NFS 為初始場的各組，這可能是因 GFS 的解析度較粗，造成中尺度模式在預測時間拉長與選取不同物理過程時會有較大之變化。而以 NFS 為初始場之系集成員隨降雨門檻的不同 ETS 得分與 BIAS 值表現差異並不大，顯示初始場 NFS 的因素主宰了整體預報的結果，不管使用何種微物理過程和積雲參數法的搭配，預報結果皆

近似。

在不同積雲參數法之比較亦可見，Grell 積雲參數法優於 Kain-Fritsch 積雲參數法，顯示 Grell 積雲參數法比 Kain-Fritsch 積雲參數法為適合台灣地區梅雨期的降雨預報，此結果與簡等（2003）之結果相同。這可能是因為 Grell 通常適合使用在水平網格 10-30 公里左右的模式，與本研究所取的網格大小相近（粗網格 45 公里，細網格 15 公里），而 Kain-Fritsch 雖然利用複雜的雲混合法考慮雲的逸入與逸出的效應，但是可能忽略了對流被激發後，在平流時間週期內網格點上垂直方向所有的對流可用位能，導致表現反而比 Grell 略遜一籌。

而在比較各微物理過程之異同的結果可見，小於 10mm 降雨門檻以 Goddard 預測能力最佳，中、大雨（15mm 以上）則以 Mixed-phase 為最佳。可見 Mixed-phase 在雲頂加入過冷水的機制，允許雪緩慢溶化的過程，雖然沒有如 Goddard 的軟雹和結凇的複雜過程，但卻足以模擬梅雨季台灣地區較強對流的雲物理過程。簡等（2003）論文中以 GR 的表現較好，GR 的組合是 Grell 和 Resiner I，Resiner I 與本文的 Mixed-phase 是同一微物理過程，而 Mixed-phase 在 2003 年梅雨季的降水表現也不錯，尤其在中、大雨門檻的部分更為出色。

綜而言之，比較 MM5 降雨預測中三組控制變因：初始場、積雲參數法與微物理過程，我們發現初始場 GFS 對中、大雨降雨門檻（10mm 以上）有明顯的助益，而積雲參數法中在任何門檻以使用 Grell 為最佳，而在微物理過程這個控制變因中，小於 10mm 降雨門檻以 Goddard 預測能力最佳，大於 15mm 門檻值以上則以 Mixed-phase 為最佳，可見台灣地區梅雨季之數

值模擬比較適合使用初始場為 GFS、積雲參數法 Grell 搭配 Mixed-phase 或 Goddard 兩個微物理方法。

從系集平均之比較我們也發現，不論成員多寡，系集平均之降水預報相對於單一模式皆有絕對之優勢；在三個變因（IC、CPS、MS）之中，考慮所有變因所得之系集預報可以得到最佳的系集降水預報，考慮其中 2 個變因者次之，而僅考慮 1 個變因所得之系集預報則為最差；此三個變因中以變動 IC 最利於系集降水預報，變動 CPS 次之，變動 MS 最差。

本文僅就十七組系集成員中找出相對較好的物理組合，並且在他們之間求得系集平均之降水預報，不可否認仍然有許多可能的組合未列入考慮。文中探討的主要變因為初始場、微物理過程、和積雲參數法三者，未來可以再加入不同邊界層參數法、輻射方法等的比較與探討。同時，造成降雨預報誤差的原因很多，其它因素諸如數值方法本身的誤差、觀測資料讀取的人為或機械誤差、電腦運算上的限制等，也都有可能造成降雨預報誤差。所以中尺度降雨預報仍需要更多的相關研究來克服這些問題，可能方向包括：增加各降水物理過程參數（例如：重力位高度、相對溼度、氣壓場、溫度場等）與數值模擬模式之間交互作用的了解、增加中尺度觀測網、與提昇資料同化技術等。

致 謝

本研究在國科會永續會研究計劃 NSC92-2625-Z-003-002，大專生參與國科會專題研究計畫 NSC92-2815-C-003-042-M，與自然處研究計劃 NSC92-2111-M-003-001-AP2 支助下完成。感謝中央氣象局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

供許多寶貴的修改意見，大大提升了本文之學術價值，在此一併致謝。

參考文獻

- 簡芳菁、蕭育琪、周仲島、林沛練、楊明仁、洪景山、鄧仁星、林慧娟，2003：MM5系集降水預報之校驗。大氣科學，31，77-94。
- Bright, D. R., and S. L. Mullen, 2002: Short-range forecasts of precipitation during the southwest monsoon. *Weather and Forecasting*, 17, 1080-1100.
- Chien, F.-C., Y.-H. Kuo, and M.-J. Yang, 2002: Precipitation forecast of MM5 in Taiwan area during the 1998 Mei-yu season. *Weather and Forecasting*, 17, 739-754.
- Chien, F.-C., and B. J.-D. Jou, 2004: MM5 ensemble mean precipitation forecasts in the Taiwan area for three Mei-yu seasons. *Weather and Forecasting*, 19, 735-750.
- Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1994: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Tech. Note NCAR/TN-398+STR, 138 pp.

MM5 Ensemble Rainfall Forecasts During the 2003 Mei-yu Season

Fang-Ching Chien¹ Yi-Chin Liu¹ Ben Jong-Dao Jou²
Pay-Liam Lin³ Jing-Shan Hong⁴ Lin-Fon Hsiao⁵

¹National Taiwan Normal University

²National Taiwan University

³National Central University

⁴Central Weather Bureau

⁵Academia Sinica

(Manuscript received 21 March 2005 ; in final form 21 September 2005)

ABSTRACT

This paper presents the verification results of MM5 ensemble precipitation forecasts during the 2003 Mei-yu season. The ensemble included 17 members that varied from 3 different initial conditions (ICs), 2 cumulus parameterization schemes (CPSs), and 4 microphysics schemes (MSs). The ETS (equitable threat score) of the ensemble mean of all members were the highest at rainfall thresholds smaller than 10 mm, and above the average at larger thresholds among all members.

From the results of different ensemble means among the members, it is found that simulations using the GFS IC could obtain the best MM5 rainfall forecasts among the 3 available ICs; runs with the Grell CPS presented better ETS than the Kain-Fritsch CPS; members using mixed-phase and Goddard MS provided better rainfall forecasts than the other 2 MSs. It is therefore recommended that when running MM5 in the Taiwan area for a Mei-yu season, the best setting should include the Grell CPS and the mixed-phase or Goddard MS, and using the GFS IC as initial fields.

It is also found that the ensemble mean precipitation forecast has advantage against forecasts from a single member. The ensemble that varies from all three controls (IC, CPS, and MS) has the best rainfall forecasts, those varying from two out of the three available controls perform the second, and those varying from only one control have the lowest ETS. Among these, varying IC is the best, CPS the second, and MS the worst, in making an ensemble for producing ensemble rainfall forecasts.

Key words: MM5, Ensemble forecast, Precipitation verification

