

梅雨期系集降水預報之校驗

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

摘要

本文延續國內各氣象學術機構及作業單位於西元 2000 年起，針對梅雨季期間進行系集降水預報之研究，討論西元 2003 年梅雨季 MM5 系集降水預報的成效。

十七個系集成員的表現中，在 BIAS 值預測表現以 RGM 表現最好，而 ETS 得分方面，B、C 時段 10mm 以下的降雨門檻，以 AAA17 的得分最高，RGM 次之，15mm 以上中大雨門檻為 GGM 得分最高。

初始場 GFS 對中大雨降雨門檻 (10mm 以上) 有很明顯的助益，而積雲參數法則以使用 Grell 為最佳，在微物理過程方面，小於 10mm 降雨門檻以 Goddard 預測能力最佳，大雨 15mm 門檻值以上則以 mixed-phase 為最佳，可知台灣地區梅雨季之數值模擬比較適合使用初始場為 GFS、Grell 積雲參數法，搭配 Mixed-phase 與 Goddard 兩個微物理方法。

關鍵詞：MM5，系集降水預報，梅雨

一、前言

台灣四面環海、位於副熱帶太平洋地區，地理環境特殊，夏季時的颱風以及 5~6 月期間的梅雨，往往帶來豐富的雨量，有時伴隨的豪大雨也可能重創台灣，造成都市淹水、交通癱瘓、農作物損害、山崩及土石流等災害，嚴重威脅人民的生命、財產之安全，對國民生計造成嚴重衝擊。例如：1998

年 6 月恆春半島高屏地區因滯留鋒面導致的洪災，2000 年 11 月象神颱風所帶來汐止地區的豪雨，以及 2001 年 6 月娜莉颱風造成台灣北部地區嚴重淹水，不僅造成重大人員傷亡及財物損失，更造成國家基礎建設重創，經濟損失難以估計。

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，已是氣象界無可旁貸的責任。根據以往的經驗，我們對於豪 (大) 雨的預報技術明顯不足，這是因為過去天氣預報預測的基礎是利用單一的模式，而模式的模擬存在有非線性的過程，所以當初始條件有些微改變時，會使模擬結果有很大的不同。再加上系統的特性，與模式物理過程的缺陷，均會造成結果的誤差。因此，期望利用單一模式，完全掌握某一天氣系統的演變顯然有其困難度，唯有透過統計方法將多個模式整合互補，方可減小誤差，以獲得較為準確之預報。過去相關研究均指出使用系集平均 (ensemble mean) 的方式可以得到較好的預報結果，也可增進預報能力，因為系集平均降低了其中不可預報的部分，進而提供了預報整體上的改善。

國內各氣象學術機構及作業單位於西元 2000 年起，針對梅雨季期間的降水預報，以 MM5 模式進行數值模擬，以產生系集降水預報 (簡等，2003)，此一系集預報系統共包含六個系集成員，使用同一組初始資料，僅在使用的物理方法上有所不同。西元

2003 年梅雨季，我們決定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。

我們希望藉由本研究，針對上述之系集預報系統於西元 2003 年五月十日到六月二十日期間的降水預報，利用全台 343 個自動雨量站之降水觀測資料進行校驗，研究系集降水預報是否能提昇台灣地區之降水預報能力，並試著找出最適合台灣地區的系集降水預報組合方式，以提升降水預報的能力，並達到氣象防災減災的功能。

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。2003 年梅雨季降水主要發生在 5 月 15 日至 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。

本文使用的預報模式皆為 MM5 中尺度數值模式，使用的網格設定一致，皆有兩個，分別是外層的粗網格解析度為 45 公里，內層細網格的解析度為 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。各成員使用之邊界層參數法一致，皆採用 MRF PBL 的方法，但在雲微物理過程及積雲參數法則有所變動，積雲參數法以 K-F 和 Grell 為主，微物理過程則分成四組 Mixed-phase、Goddard、ReisnerII、Schultz(參見 Grell et al. 1994)，如此共形成八組模擬，另外我們以此搭配三組不同的初始資料場，包括有 GFS、NFS 及 Little-R，因為受限於電腦資源，前兩組初始資料各有所有的八組模擬，而最後一組初始資料僅有一組 Grell 與 Mixed-phase 組成之模擬，共形成十七組成員的系集預報系統，詳見表一。

三組初始場之不同在於：GFS 使用三維變數法 (3D VAR)，觀測資料來自 NCEP，其特色是使用大量的 radiance data，解析度是一度。NFS 的初始猜測場來自 GFS 的分析

場，使用最佳內插法 (OI) 進行客觀分析，主要使用來自 GTS 的各式觀測資料，但沒有直接使用 radiance data，解析度是 45 公里。Little-R 是 MM5 使用之 Cressman-type 客觀分析法，只使用探空資料 (RAOB) 和綜觀觀測 (SYNOP) 之資料。

本文除了校驗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 (All) 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 K-F 積雲參數化之系集平均，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。

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 (簡等，2003)。

計算西元 2003 年五月十日到六月二十日的系集預報時，我們採用系集平均的方式，利用不同的初始場、積雲參數法和微物理過程來搭配組合變化，去檢驗何種初始場、積雲參數法和微物理過程最適合在台灣梅雨期間使用，以提昇降水預報的能力。

三、降水預報校驗

以下我們討論 B 時段 (12~24 小時累積降水) 及 C 時段 (24~36 小時累積降水) 各系集成員及多種系集平均組合的降水預報結果。

a. 各系集成員及系集平均之表現

在十七個系集成員的表現中，絕大部分的系集成員之 ETS 得分均隨著門檻的增加而得分減少（圖略），和往年的分析類似，不論何種物理方式的組合，對大雨的預測能力都會減弱。B 時段的 10mm 以下的降雨門檻，除了 AAA17 的得分顯著比個別成員高外，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 NFS 為初始場的系集成員 ETS 得分比以 GFS 為初始場的系集成員之 ETS 得分低很多，顯示以 NFS 為初始場的系集成員對大雨 ETS 的預測能力較低；而在 C 時段，15mm 以上中大雨階段除了 GGM 得分最高，遠大於其他十六組系集成員以外，以 GFS 為初始場的系集成員其隨降雨門檻的不同得分差異很大，以 NFS 為初始場的系集成員其隨降雨門檻的不同得分則差異較小。在降雨門檻小於 10mm 以下之小雨階段以 AAA17 的得分依然最高，RGM 次之，此兩組得分皆遠高於其他系集成員。在 BIAS 值預測表現上則都以 RGM 表現最好。綜合以上，在小於 10mm 以下之小雨降雨門檻以 AAA17 表現最好，RGM 次之，在大於 10mm 以上之中大雨降雨門檻則以 GGM 表現最優秀。

同時，我們也發現以 NFS 為初始場時，系集成員隨降雨門檻的不同 ETS 得分與 BIAS 值的表現差異較小，對於任一的積雲參數法和微物理過程之組合搭配沒有絕對的優勢，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化的搭配差異皆不大，而以 GFS 為初始場時，各系集成員隨降雨門檻的不同 ETS 得分與 BIAS 值表現則差異較大，這可能是因 GFS 的解析度較粗，造成中尺度模式在選取不同物理過程時會有較大之變化。

b. 比較不同初始資料之異同

為了比較不同初始場資料對模擬之影響，我們對同一組初始場之模擬取系集平均，GAA8 為八組使用 GFS 初始場之系集平均，NAA8 為八組使用 NFS 初始場之系集平

均，並且與 RGM 及 AAA17 一起進行比較（圖 1）。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 5mm 到 35mm 左右則又優於 NAA8，ETS 平均約為 0.15，在 35mm 以上得分則又下滑。而 NAA8 之 ETS 除了 5mm 以下之降雨門檻高於 GAA8 以外，在其餘之門檻皆表現不佳。至於 RGM（編號 3）的 ETS 得分則介於 GAA8 和 NAA8 中間或落後兩者，大體上表現不好，不過在 BIAS 值預測方面則顯著優於 GAA8 和 NAA8。在 C 時段的 ETS 得分方面，四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，較明顯是在 15mm 以上之中、大雨降雨門檻 NAA8 略優於 GAA8，在 BIAS 值預測方面則仍然以 RGM 的表現最好，且 NAA8 略優於 GAA8。

綜合比較 B、C 時段的結果發現，大於 10mm 以上之中、大雨門檻預測以 GAA8 為最優，但是隨著預報時間增長，GAA8 對大雨的預測能力滑落，而與 NAA8 和 RGM 的表現差不多，甚至落後。可能因為 GAA8 組合中以 K-F 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，而拉下 GAA8 的平均表現。在 BIAS 值方面則仍以 RGM 偏差最小，再次顯現 RGM 在 BIAS 值預報的突出表現，但是在小雨門檻的 ETS 得分並不好。

c. 比較 Grell 與 K-F 積雲參數法之異同

為了比較不同積雲參數化法對模擬之影響，我們對同一組積雲參數化法之模擬取系集平均，AGA8 為八組使用 Grell 積雲參數化之系集平均，不包括 RGM，AKA8 為八組使用 K-F 積雲參數化之系集平均，並與 AAA17 一起進行比較（圖 2）。圖中可見在 B、C 時段的 ETS 得分和 BIAS 值預測 AGA8（編號 1）皆高於 AKA8（編號 2）。

綜合比較 B、C 時段 AGA8、AKA8 的表現，以及之前述大雨門檻 ETS 得分較高的個別成員其積雲參數法大多是選擇 Grell 的結果可知，Grell 積雲參數化法比 K-F 積雲參數化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。

進一步探討以 Grell 為積雲參數化法的八個系集成員，發現以 GFS 為初始場的四組系集成員表現最好，可以充分表現出以 GFS 為初始場在大雨預測的優點，而 Grell 和 NFS 初始場搭配後則沒有突出的表現，只有在小於 2.5mm 之小雨門檻有較好的表現，由此顯示 Grell 積雲參數法和 GFS 初始場的搭配較適合台灣梅雨季降雨預測。

d. 比較各微物理過程之異同

為了比較不同微物理過程資料對模擬之影響，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 ReisnerII 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 3 顯示在 B 時段，AAM4（編號 1）在降雨門檻小於 10mm 的 ETS 得分在四組之中皆為第二名，降雨門檻 10mm 以上則變為第一，顯示 AAM4 對大雨的預測能力最佳，對小雨的預測能力也是名列前茅。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 對小雨的預報比較精準，但對中大雨的預報能力不佳。AAR4、AAS4（編號 3、4）的表現則是落在三、四名，顯示 AAR4、AAS4 的預報能力較差，雖然 AAR4 在 2.5~10mm 的中大雨門檻，BIAS 值最接近一，但是相較其他系集成果預報能力仍待加強。

在 C 時段，AAG4 在小於 15mm 小雨門檻表現最佳，在 15mm 以後則落為第二，在 BIAS 值方面 AAG4 在 10mm 以上中大雨門檻，排名則在第一名。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，在 BIAS 值預測表現方面則無顯著突出的表現。

綜合比較 B、C 階段，AAM4、AAG4 的表

現都還不錯，小於 10mm 降雨門檻以 AAG4 預測能力最佳，大於 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）的研究中以 GR 的表現較好，GR 的組合是 Grell 和 ResnerI，ResnerI 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，尤其在豪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。

四、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 K-F 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，並比較「不同初始資料場之異同」、「Grell 與 K-F 積雲參數法之異同」、「各微物理過程之異同」，也產生各種組合的平均，增加比較分析的客觀性。

十七個系集成員的表現中，在 BIAS 值預測表現以 RGM 表現最好，而 ETS 得分方面，絕大部分的系集成員之 ETS 得分均隨著門檻的增加而得分減少，B、C 時段 10mm 以下的降雨門檻，以 AAA17 的得分最高，RGM 次之，15mm 以上中、大雨降雨門檻則以 GGM 得分最高。

在不同初始場之比較可見，以 NFS 為初始場的系集成員對大雨的預測能力一般均

較以 GFS 為初始場者為低，顯見雖然 NFS 的網格解析較細，但其使用之最佳內插法(OI)並沒有 GFS 使用之三維變分法好，同時它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。但是當預測時間拉長，GFS 為初始場的系集成員其隨降雨門檻的不同，得分差異顯著大於 NFS，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，所以隨著門檻值不同會有顯著的變化。而以 NFS 為初始場時，系集成員隨降雨門檻的不同 ETS 得分與 BIAS 值表現差異不大，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化的搭配預報結果皆無顯著的差異，不過仍可歸納出初始場 NFS 搭配 K-F 積雲參數化法表現較好，GFS 初始場搭配 Grell 比較適合。

在不同積雲參數化法之比較亦可見，Grell 優於 K-F 積雲參數化法，顯示 Grell 積雲參數化法比 K-F 積雲參數化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，剛好介於本研究所取的網格大小(粗網格 45 公里，細網格 15 公里)，而 K-F 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的平流時間週期內，網格點上垂直方向所有對流可用位能，所以表現反而比較簡單的 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 AAG4 預測能力最佳，大於 15mm 門檻值以上則以 AAM4 為最佳，Schultz 微物理方法雖然過程考慮最完善(包含冰晶和軟雹過程)的物理過程，但是在中、大雨降雨之預報並不好，反而以最簡單的 Mixed-phase 表現最突出，因此雖然 Schultz 包含冰晶和軟雹(冰雹)等複雜過程，但越複雜的參數方程式可能使用更多的

假設和忽略更多的計算過程，使計算結果誤差更大，更不符合實際大氣環境；而 Mixed-phase 加入過冷水的機制在雲頂部分，允許雪緩慢溶化的過程，雖然沒有軟雹和結凇過程，但足以反應大氣的真實環境。而 Goddard 包括有預報軟雹過程的方程式於其中，且適合解析小尺度的雲物理過程，所以在小雨門檻表現最好。簡等(2003)論文中以 GR 的表現較好，GR 的組合是 Grell 和 Resiner I，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、大雨門檻的部分更為出色，顯示出過去研究的一致性。

綜而言之，MM5 降雨預測中三組控制變因：初始場、積雲參數化法與微物理過程，我們發現初始場 GFS 對降雨預報影響很大，尤其 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，大雨 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。

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。
- Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1994: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5), NCAR/TN-398+STR.

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
	K-F	GKM	GKG	GKR	GKS
NFS 初始場	Grell	NGM	NGG	NGR	NGS
	K-F	NKM	NKG	NKR	NKS
Little R 初始場	Grell	RGM			

表二：各種系集平均之組合，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 積雲參數化之系集平均，不包括 RGM。
AKA8	八組使用 K-F 積雲參數化之系集平均。
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。

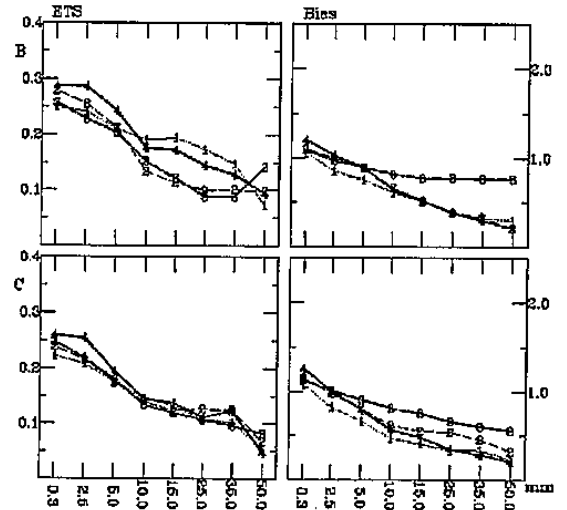


圖 1：上面兩圖為 2003 年 B 時段各系集平均根據不同降雨門檻值(mm)所求得的 ETS 值及 BIAS 值折線圖，下面兩圖則為 C 時段的 ETS 值及 BIAS 值折線圖，橫軸為不同降雨門檻值。各系集平均的結果分別以數字編號之：1：GAA8；2：NAA8；3：RGM；4：AAA17。

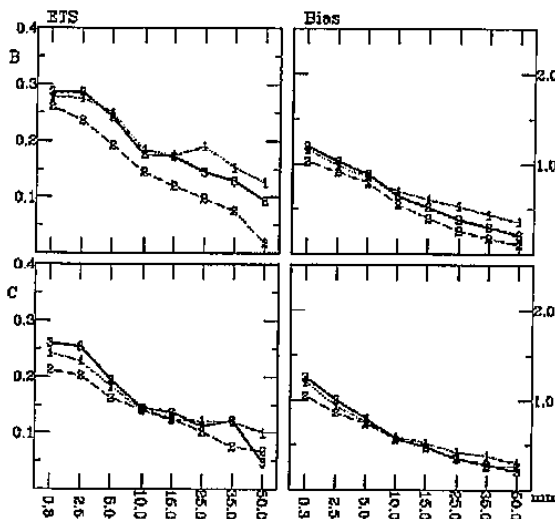


圖 2：同圖 1，但只包含以下 3 組系集平均，1：AGA8；2：AKA8；3：AAA17。

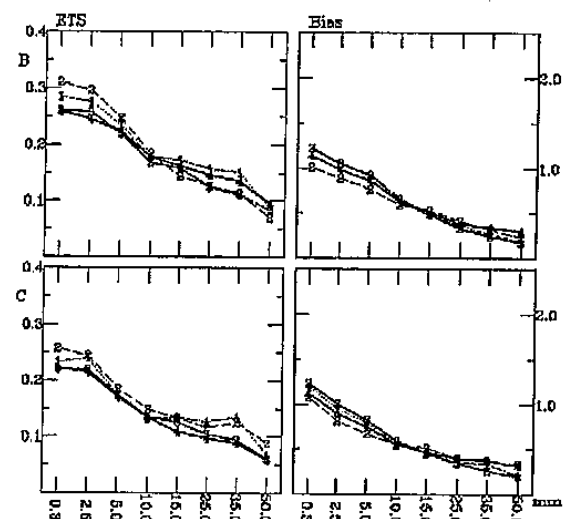


圖 3：同圖 1，但僅包含以下 4 個系集平均，1：AAM4；2：AAG4；3：AAR4；4：AAS4。