

系集機率擬合定量降水預報產品之特性分析

蘇奕叡，李志昕，洪景山

中央氣象局氣象資訊中心

摘要

中央氣象作業之系集預報系統，主要是建立在WRF區域模式的基礎，透過初始隨機擾動、邊界擾動和物理參數法擾動等，產生20組系集預報成員，期望能涵蓋最大之預報不確定性。系集預報的發展是為了彌補單一模式預報的不足，將不確定性量化，以提供有效的機率預報；然而，如何從龐大的系集預報資料中取出有用的訊息，產製有用的決定性預報產品，仍是重要的課題。

Probability-Matched Mean (PM) 定量降水預報技術的發展，即是為了能改善系集平均的缺點，重新分配所有系集降水頻率分布，期望能掌握到預報極值。本研究針對系集定量降水預報產品進行校驗分析，以瞭解系集定量降水預報的統計特性，隨後再針對PM降水進行校驗分析，以診斷PM降水的預報能力。

一、前言

定量降水預報 (Quantitative Precipitation Forecast, QPF) 是數值天氣預報最大的挑戰之一，大氣中水氣相位變化的過程及其與大氣熱力、動力過程的交互作用，無論是在觀測，或是模式解析度的限制以及物理參數法的不確定性等，都使得數值模式的定量降水預報充滿不確定性。也因此，為了彌補觀測和模式技術的限制，系集預報系統的發展以及系集定量降水預報產品的研發成為近年來最重要的研究課題之一。

中央氣象局亦致力於區域系集預報之發展，李和洪（2011, 2014）針對系集成員產生方式進行一系列的評估，並據以建立了一套以WRF區域模式為基礎之系集預報系統 (WRF Ensemble Prediction System, WEPS)，期望能涵蓋可能之預報不確定性，並嘗試從大量系集預報資料中發展出有用的預報指引。

然而，在定量降水預報上，雖然系集平均能有不錯的降雨分布，但卻常有極值低估的問題。Ebert(2001)利用系集定量降水預報資料，發展出機率擬合平均 (Probability-Matched Mean, PM) 降水產品，在系集平均的基礎上，藉由重新分配系集降水頻率分布，而能維持PM降水的極值。Fang and Kuo (2013)微調PM降水的產製方法，進一步結合高解析度和低解析度的系集定量降水預報，並引進偏差修正方案，其結果可大幅改善地形上的定量降水預報

能力。葉等 (2014) 也發展新的PM方法，藉由調整系集降水頻率分布的方法，可有效降低PM降水過度預報的現象。

本研究主要是參考Ebert (2001) 方法，使用中央氣象局系集定量降水預報資料發展PM降水產品，並評估其預報效能。第二節簡要介紹中央氣象局區域系集預報系統和PM降水，第三節說明校驗的方法，第四節為結果分析，最後則是結論。

二、系統與方法介紹

(一) 系集預報系統介紹

中央氣象局區域系集預報系統 (WRF Ensemble Prediction System, WEPS) 中，模式的網格設定和中央氣象局決定性預報 (WRF_D) 一致，皆建立於區域預報模式WRF的架構，包含三層巢狀網格，模式水平解析度為45/15/5 km，垂直解析度45層，模式頂層為30 hPa。WEPS由20組系集成員組成，使用了初始擾動、邊界擾動和模式擾動。

初始擾動是來自WRF_D所提供之六小時預報場，再透過WRF三維變分法加入隨機亂數，產生20組擾動初始場；邊界擾動則是由NCEP 全球系集預報系統 (NCEP GEFS) 提供解析度為0.5度之擾動邊界條件；而模式擾動是由不同之模式物理參數法之設定產生，主要針對微物理參數法、邊界層參數法和積雲參數法進行不同參數法之組合，經過相關系集敏

感度校驗（李，2011、2013）後得到各組物理參數法組合。

（二）機率擬合平均介紹

本文參考Ebert（2001）提出機率擬和平均（Probability-Matched Mean，PM）之方法，混和不同時空特徵的資料，能讓一個空間分布較完整的資料搭配有高數值準確度的資料以產生更好的資料，藉此調整使前者能得到類似於後者準確較高的機率密度函數（PDF）。此外，於簡等人（2005）之研究顯示系集平均的雨量場有著較好的空間特徵，再加上從降雨頻率分布圖中看到系集模式的定量降雨預報則有較佳的降雨頻率分布，故選用此方法來將兩者結合產生更好的降雨預報。

為計算機率擬合預報PM，首先匯集20個系集成員在整個區域的預報降雨，來計算其降雨的PDF，依大小順序進行排序，並每20個值為一組，將不同組序中之中位數值取出。系集平均之降雨一樣計算其PDF並依大小排序，並將各個位置的值填入其組序。對於有最高系集平均降雨的格點，就填入最高的模式PDF降雨資料，以此類推。降雨區雨會超過模式中平均降雨的預報區域。

三、結果討論

在2014年梅雨季（五月及六月）之長期降雨頻率統計圖（圖一）中，即可觀察觀測降雨跟預報降雨的PDF分布，可以看到20組系集成員整體的降雨頻率（紅線）、PM之降雨頻率（綠色）和觀測降雨的降雨頻率（黑線）趨勢大致吻合，但系集平均之降雨頻率（藍線）在降雨值達15mm後之頻率開始明顯下降。表示WEPS各成員能掌握實際觀測降雨的降雨頻率，且PM亦能掌握此特性，相對於系集平均在大雨的低估有明顯改善。

比較在2014年5月20日12時的案例中，PM預報（圖二a）及系集平均（圖二b）12小時累積降雨之差異。PM的降雨預報比起系集平均更接近實際發生的量值，表示PM方法對於降雨頻率的調整能解決系集平均降雨平滑化的問題。而對於WRF_D之累積降雨（圖二c），發現PM產品對於不同預報時間的降雨分布有前後一致性，能提早掌握主要降雨特徵。長期結果比較也發現對於有效時間12小時預報的

預報之相關性（圖三），PM在各個時間皆有較決定性預報WRF_D高許多的相關性，顯示PM預報相較於WRF_D擁有的預報一致性，也更進一步表示 PM 能掌握系集模式中特定的降雨特性。

對於PM產品和系集平均之技術得分比較如圖四，比較兩者差異可以明顯看到，系集平均的BS表現有小雨高估大雨低估的現象；而PM產品在小雨部分很接近1，大雨部分則有高估的情形，相較系集平均有著比較好的表現。而ETS表現上，PM產品在小雨跟大雨的分數都較系集平均為佳，與BIAS中PM能改善大雨跟小雨部分之降雨頻率之能力相呼應，表示PM確實能對系集平均在小雨及大雨誤報的問題有些改善。

為此我們嘗試修正PM方法（MOD_PM），試圖改善PM的資料選取高值的問題，解決大雨過高的情況。於圖五之個案中比較發現，WEPS結果對於整體的雨量有較好的掌握（圖五ab），但是在中央山區有高估的現象發生（圖五c）。為此使用MOD_PM修正（圖五d），顯示在主要降雨區的修正較多。從該案例可以看到MOD_PM在極端大雨區的影響顯著，但對於中小雨區域之修正的影響較小。

探討降雨高估之來源，依照不同的降雨技術校驗門檻值產出降雨頻率圖（圖六），顯示PM之結果皆處在各系集成員之降雨頻率分布之中間，表示PM排序值在計算時能掌握WEPS在降雨預報之散佈程度。而自中雨開始各系集成員之降雨頻率開始高估，表示大部分系集成員之降雨頻率皆高於觀測，使PM結果亦因此大於觀測，顯示對於PM大雨的結果的高估，並非主因於PM方法的計算方式導致的誤差，而是源於系集系統本身對於實際大雨發生有相對高估之特性。故若要得到更良好的降雨預報，應從數值預報系統本身之預報改善。

然而定量降雨預報產品的產製上，因應不同氣象資料使用者的需求，需選擇使用特定的時間間隔來累積雨量這種不同時間累積的降雨資料我們稱其為不同累積區間的PM產品。但礙於作業用計算資源的不足，在產品產製時只能選擇特定累積區間，對於需要較長之累積降雨資料的使用者，給予由較細累積區間的之PM產品累積而成的資料。故本章重點將放在累積區間之選擇差異來做討論。

統計2014年梅雨季之12小時PM結果如圖七（a）。比較不同累積區間之PM產品與12小時累積區間的差異（圖七b至d），其中和12小時累積區間差異最大者為一小時累積區間之PM產品，差異為正值（黃色及紅色區域）處皆為於12小時降雨中雨量高於15mm之中雨位置，而在各區高值旁邊的降雨則多出現負值（灰色及藍色區域），這顯示在一小時累積區間PM中，降雨的高值會朝高值區集中並使附近之降雨減少。

比較PM降雨累積區間之粗細對於在不同降雨門檻值降雨頻率之影響（圖八）。一小時累積區間的PM降雨在小雨跟大雨的降雨頻率會提高，而會減少中雨的降雨區域，此結果和圖六的趨勢符合。此外，也可以看到降雨頻率的變化確實會隨著累積區間的粗細而有不同的變化，顯示對於不同的降雨案例，累積區間的選擇會影響PM的產生結果。若在大雨個案中選擇較為細的累積區間PM，所產出的降雨比起較粗累積區間的降雨會有比較多的大雨降雨頻率。

四、結論

本研究利用CWB WEPS系統進行實驗，利用PM方法來當作系集預報系統的定量降水預報輸出，得到更好的系集降雨預報結果。

首先透過系集平均產品跟PM產品之間的比較，顯示PM能提供更正確的降雨值預報，在BIAS跟ETS得分的表現上皆有較系集平均降雨更好的結果，且相對於決定性預報WRF_D能提供更早的降雨區域掌握。但在降雨高值存在高估的情形，主要問題則是出在系集預報本身在特定區間中的降雨頻率就有些高估的情況，故若要得到更良好的降雨預報，應從數值預報系統本身之預報改善。

為提供作業化產品產製過程做參考，在累積區間的實驗中，累積區間較細者會加劇大雨高估情況，並減少小雨之分布範圍，其原因为強降雨會因為PM計算方法集中於系集高值區域，當累積區間越細時，高值區域上的累積會

越明顯，產生數值上的計算差異。故使用者在資源有限的情形下，PM計算上需注意累積區間的問題。

從本研究中已看到PM表現出的降雨特徵，未來研究若可針對PM的統計特性進行分析，改善PM對於降雨過於高估的問題，以及累積區間中高值降雨高估的問題，將能提供更好的系集降雨預報產品來供預報及作業單位使用。

五、參考資料

李志昕、洪景山，2011：“區域系集預報系統研究：物理參數化擾動”。大氣科學，39，95 - 116。

李志昕、洪景山，2013：“區域系集預報系統研究：系集成員產生方式之評估”。大氣科學，42，153 - 179。

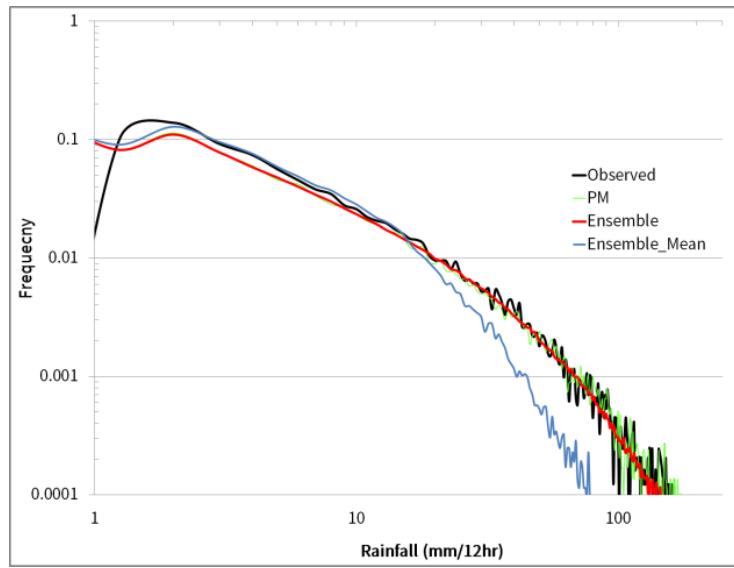
簡芳菁、柳懿秦、周仲島、林沛練、洪景山和蕭玲鳳，2005：“2003 年梅雨季 MM5 系集降水預報”。大氣科學，33，255 - 275。

Ebert, Elizabeth E., 2001: “Ability of a Poor Man’s Ensemble to Predict the Probability and Distribution of Precipitation”. Mon. Wea. Rev., 129, 2461-2480

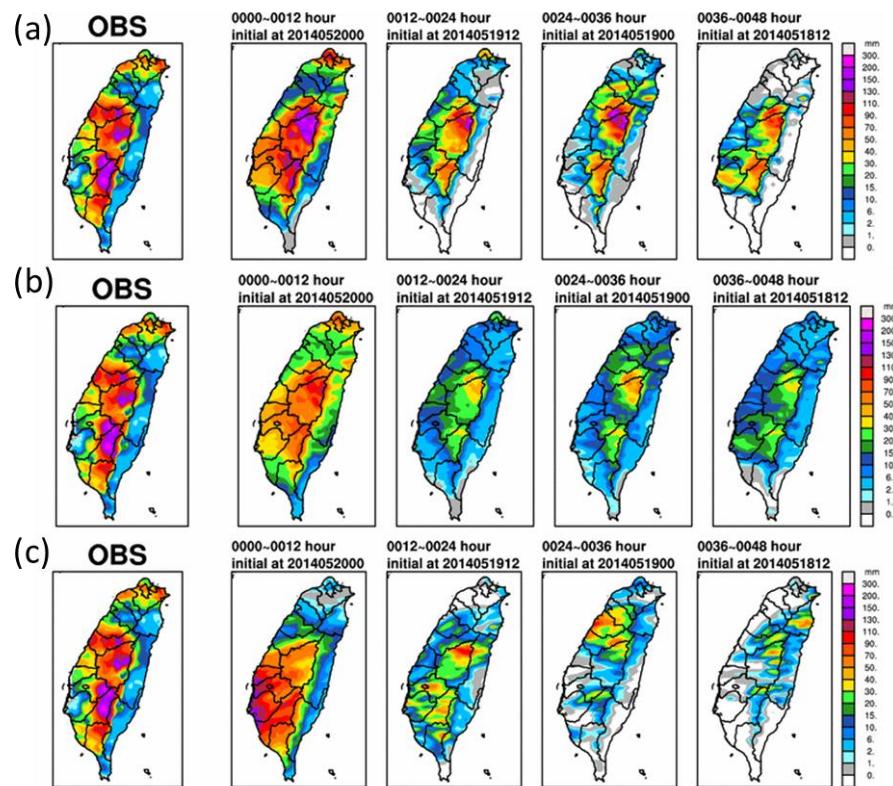
Molteni, F., R. Buizza, T. N. Palmer, and T. Petroliagis, 1996: “The ECMWF Ensemble Prediction System: Methodology and validation”. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 122, 73–119.

NMOC operations Bulletin No. 81,
Operational Description of the Daily PME System.

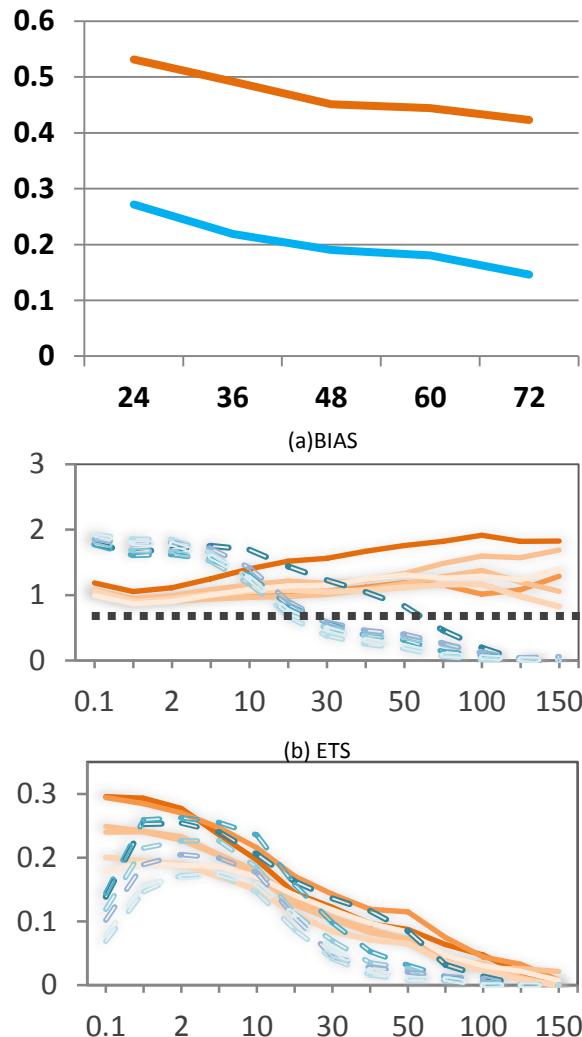
Zhu, Y. and Z. Toth, 2008: “Ensemble Based Probabilistic Forecast Verification”. 19th AMS conference on Probability and Statistics. New Orleans, LA, 20-24 Jan. 2008.



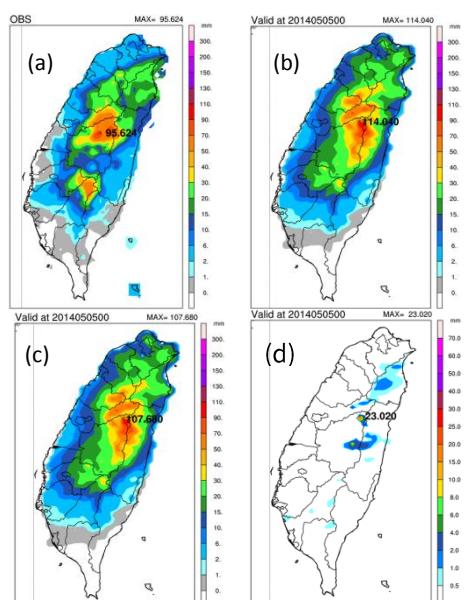
圖一、定量降水預報之累積頻率分布，為 CWB 系集預報系統於 2014 年五月和六月之 12 小時比較雨量觀測站點上之雨校驗結果。



圖二、2014 年 5 月 20 日 12UTC 之 12 小時累積降雨，其中 (a) 為 PM 預報之不同預報時間對於該有效時間的預報，由左至右分別為，觀測雨量 0-12 、 12-24 、 24-36 及 36-48 小時之預報。而 (b)(c) 和 (a) 相同，分別為 (b) 系集平均之降雨預報以及 (c) CWB 決定性預報 WRF_D 。

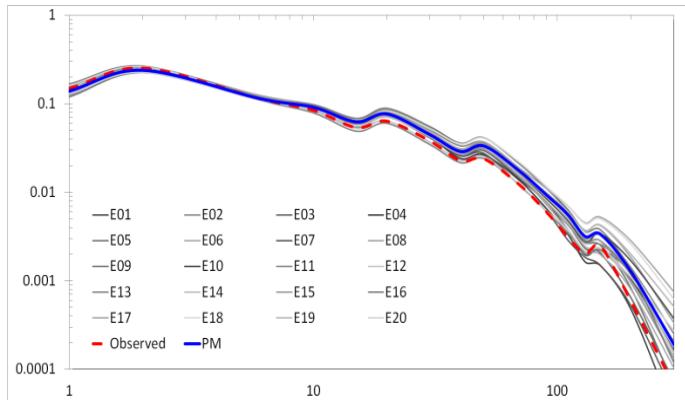


圖三、比較氣象局系集預報產品 PM 及決定性數值預報 WRF_D 對同一個有效時間之預報中，不同預報時間對 12 小時預報之相關性。統計 CWB 系集預報系統於 2014 年五月和六月之 12 小時比較雨量觀測站點上之雨校驗結果。圖中橘線表系集產品 PM 之校驗結果，藍線表 WRF_D 決定性預報之校驗結果。

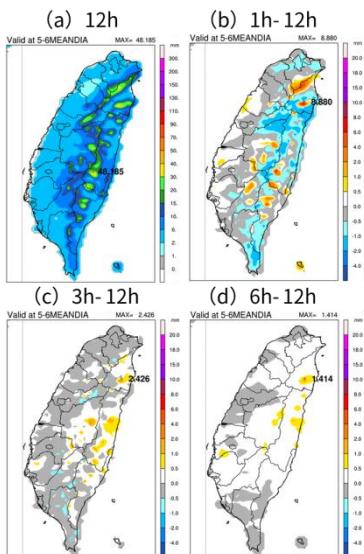


圖四、定量降水預報之 BIAS 和 ETS 校驗，為 CWB 系集預報系統於 2014 年五月和六月之 12 小時比較雨量觀測站點上之雨校驗結果。圖中橘線表系集產品 PM 之校驗結果，藍線表系集平均降雨之校驗結果，線條顏色最深者為 0-12hr 預報，越淺表示預報時間越長。

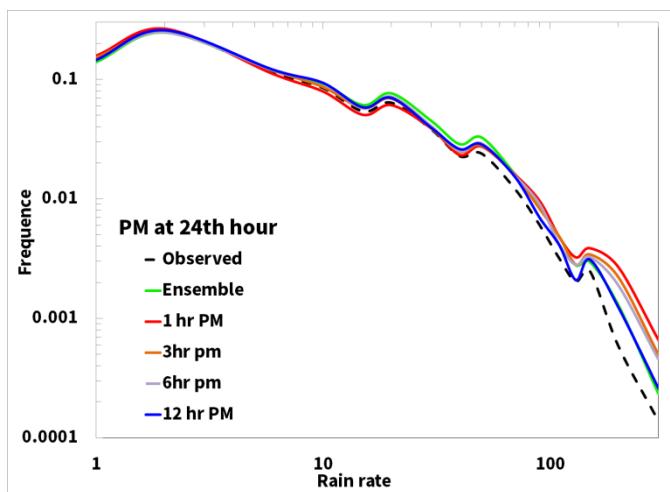
圖五、2014 年 5 月 6 日 00 時 12 小時累積降雨。其中圖 (a) 為觀測降雨，圖 (b) 為 WEPS 系集預報之 12-24 小時預報累積雨量之 12 小時 PM 產品，圖 (c) 修正過後之 12 小時之 MOD_PM 產品，圖(d)為 MOD_PM 方法對於 PM 產品之修正量。



圖六、定量降水預報於 2014 年五月和六月之 12 小時累積頻率頻率分布，灰色為 WEPS 成員中各組系集成員之累積頻率分布，藍色為系集預報之 PM 產品之累積頻率分布，紅色為觀測降雨之累積頻率分布。本圖的頻率係取用定量降水預報之校驗區間。



圖七、統計 2014 年梅雨季整月之 12-24 小時累積預報 PM 產品之平均降雨。圖(a)為 12 小時之 PM 產品，(b)~(d)分別為 1 小時、3 小時及 6 小時之各累積區間 PM 產品和 12 小時累積區間 PM 的差異。



圖八、1 小時、3 小時、6 小時及 12 累積區間之 PM 降雨之 12-24 小時預報於 2014 年梅雨季累積頻率圖。本圖的頻率係取用定量降水預報之校驗區間。