

# 機率擬合之系集定量降水預報後處理方法

葉世瑄<sup>1</sup> 林沛練<sup>1</sup> 洪景山<sup>2</sup> 黃椿喜<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立中央大學大氣物理研究所

<sup>2</sup>中央氣象局

## 摘 要

分析系集預報系統產出的大量預報資訊，預報單位常使用系集平均，系集中位數等作為其決定性預報的基準。但對於定量降水預報(Quantitative Precipitation Forecast, QPF)的問題，因雨量分布在時間、空間及系集空間上並非連續的變數，因此簡單的系集平均經常會將各成員預報的極值平滑而導致雨量低估。Ebert(2001)首先針對澳大利亞地區的 QPF 提出機率擬合平均(Probability-matched ensemble Mean, PM)的概念，這個方法的 QPF 取用簡單的系集平均空間分布，但降雨頻率分布則取自所有系集成員之總降雨頻率，可有效改善澳大利亞地區系集預報系統強降雨的預報能力。但應用於氣象局發展的區域高解析系集預報系統(WEPS)，常導致過度預報，主要是因為較低解析度的系集預報系統之 QPF 降雨頻率通常偏低，因此 PM 通常可改善其極端雨量的預估。但一設計良好的區域系集預報系統，理論上亦應將降雨極值涵蓋在系集成員的 QPF 極值中，取 PM 方法產製 QPF 時，其極端雨量則相當接近系集成員之最大值，若某成員之 QPF 預報過度則易造成高估。因此本研究基於 PM 方法，提出新修正的 NPM 方法 (New Probability-matched ensemble Mean, NPM)，此方法參考 PM 使用系集平均之空間分布，但降雨頻率則修正為各成員降雨頻率之系集平均，NPM 可修正 PM 高估 QPF 的缺點。

本研究針對 2013 蘇力颱風個案與 2012 年 6 月進行系集平均、PM 與 NPM 系統性統計分析，結果發現 PM 與 NPM 對大雨的預報技術皆優於系集平均，此外，PM 雖然對大雨有較佳的技術得分，但其偏差(BS)也同樣較大，故 PM 雖然可以預報到比較極端的降水極值，但降水誤報的情形也更加顯著。相較於 PM，NPM 除了可保留系集成員預報極值的能力，其過度預報亦有明顯改善。

關鍵字：定量降水預報，系集預報，機率擬合平均

## 一、前言

中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)自 2012 年起發展的基於 5 公里高解析區域 WRF 模式(Weather Research Forecasting Model)的區域系集預報系統(WRF Ensemble Prediction System, WEPS)，每 6 小時更新產生 20 組的系集預報，已廣泛應用在 2012 年上線的鄉鎮尺度天氣預報之中(黃等，2012)。

目前世界各主要的氣象機構在系集定量降水上的應用，如歐洲作業中心(European Centre for

Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)、美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)、日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)、德國、澳大利亞等五種的全球波譜模式及澳大利亞的區域模式和英國氣象局的全球模式結果來作 24 至 48 小時的 QPF (Quantitative Precipitation Forecast, QPF)，皆顯示對於 24 小時降水機率預報在降水率大於 50 毫米，多家模式系集預報 (Poor Man's Ensemble)比 ECMWF 的單一系集預報結果有更好的表現(Ebert, 2001)。簡

等(2005)針對台灣地區 2003 年梅雨季進行系集降水預報實驗，亦顯示系集平均相對於單一決定性預報都有較佳的技术得分。

氣象變數中，雨量分布並不連續，加上對流尺度的降雨特性，導致降雨極值經常發生在空間上的不同位置或格點，因此一般只考慮系集空間的統計，不論是平均或中位數均會導致平滑而低估 QPF，無法取得系集系統預測之降雨極值。進階的統計方法不僅考慮系集空間的平均，同時考慮系集的降雨頻率分布，產生機率擬和平均(Probability-Matched Mean, PM)的 QPF；曹等人(2011)則發展更為先進的系集模式颱風 QPF 方法(Ensemble Typhoon Quantitative Precipitation Forecast, ETQPF)，以最佳的颱風預報路徑，依據 72 小時內、每 3 小時的預測位置，於不同延時初始時間、預報時間的大量系集空間中，篩選最佳颱風預測位置附近(如 50 公里半徑之範圍內)的多個成員，計算逐 3 小時的系集定量降雨強度，最後合成產生不同時間長度的 QPF。

本研究重點擺在預報雨量方面，如何從系集成員各自的 QPF，產製有用的降水預報指引。鑒於 CWB 有自行發展的系集預報系統 WEPS，本研究將針對三種預報降水產品：系集平均，PM 與系集頻率平均(New PM, NPM)，選取 2013 蘇力颱風個案檢測 PM 與 NPM 的敏感度，再進一步選取 2012 年 6 月進行系統性的統計分析。第二部份說明觀測資料來源、WEPS 模式簡介與研究方法。第三部份為主要的校驗結果，而相關討論與結論則在最後說明。

## 二、資料收集與分析方法

### (一) 資料來源與模式簡介

本研究使用 CWB 局屬測站與自動雨量站之降雨觀測資料，CWB 蘇力颱風的最佳路徑與 CWB WEPS 的預報資料。CWB WEPS 的預報資料，本研究只選取第三層網格點的資料來做分析，解析度為 5km。

CWB 的系集模式預報系統：WEPS，主要是由 WRF 3DVAR 和 WRF 模式所建構之系集預報系統。WEPS 為三層巢狀網格結構，解析度依序為 45/15/5 公里，預報作業每日執行 4 次，分別為每日的 0000

UTC、0600UTC、1200UTC、1800UTC，每次皆產生 20 個系集預報成員之預報結果。總預報時間為 72 小時，模式輸出頻率為 3 小時一筆。更詳細的模式設定請參考(李等, 2011)。

### (二) 研究方法

#### 1. PM(Probability-matched mean)

Ebert(2001)提出 PM 統計方法，經其分析澳洲地區雨量觀測與預報之頻率發現，系集平均對於雨量之空間分布掌握度高，因此對中小雨(小於 50 毫米)之預報得分較高，但對於大雨(大於 50 毫米)之預測則顯著低估，主要是因為極端降雨之區域較小，經系集平均後會導致極值平滑。因此他們提出 PM 的概念，PM 採用系集平均 QPF 之空間分佈，但其降雨頻率則取自整體系集成員之 QPF 降雨頻率，因此得到比系集平均更好的降水強度。

#### 2. NPM(New PM)

由於 PM 之降雨頻率取自整體系集成員之頻率，若有任一成員之 QPF 明顯高估，容易導致極端雨量之過度預報，因此本研究設計修正的 NPM 方法。NPM 與 PM 相似，皆取系集平均 QPF 之空間分布，但其降雨頻率為各成員降雨頻率之平均。

### (三) 校驗方法

本研究校驗格點上之系集 QPF 預報與觀測降水，並使用預兆得分 (Threat Score, TS)，公正預兆得分 (Equitable threat score, ETS) 與偏離指數 (Bias Score, BS) 進行定量分析。TS 與 ETS 為了解模式預報超過門檻值時，正確預報降雨面積占預報與觀測降雨面積總和的比值；BS 則為模式預測降水次數與觀測降水次數之比值。三者定義如下：

$$TS = \frac{a}{a+b+c}$$
$$ETS = \frac{a-a_c}{a+b+c-a_c}, \quad a_c = \frac{(a+b)(a+c)}{n}$$
$$BS = \frac{a+c}{a+b}$$

其中 a 為 hits，b 為 False alarms，c 為 misses，d 為 correct rejection。TS 與 ETS 值越接近 1，表示模式正確預報降雨面積的預報能力越高；BS 數值小於 1 代表預報低估，大於 1 代表預報高估。

### 三、個案分析與結果討論

#### (一) PM 與 NPM 之敏感度測試

為了檢測 PM 與 NPM 的雨量預報特性，在此選取一實際個案，2013 蘇力颱風(SOULIK)進行兩種方法的敏感度測試。先簡單介紹蘇力颱風的生命週期：蘇力於 7 月 8 日在關島北方海面生成，9 日增強為中度颱風並穩定地往西北西移動，10 日 8 時增強為強烈颱風後仍持續往西北西前進，11 日 20 時強度減弱為中度颱風，12 日 8 時移動方向轉為略向西北進行並朝臺灣東北部海面接近，13 日 3 時於新北市及宜蘭縣交界處登陸並持續往西北移動，8 時於新竹附近出海後 16 時進入大陸，17 時減弱為輕度颱風。蘇力的主要降雨時間集中在 2013 年 7 月 12 日 12UTC 至 2013 年 7 月 13 日 12UTC 這 24 小時內，故 QPF 分析將針對此時段分成前 12 小時與後 12 小時的累積雨量來討論。

#### 1. 系集 QPF 之定性校驗

蘇力颱風系集路徑預報隨時間推移有往南修正的趨勢(無放圖)，越趨接近官方最佳路徑。從圖 1 可明顯看出，平均路徑隨預報時間越近誤差逐漸縮小。在此個案系集成員彼此的路徑預報差異程度很小，預報方向很一致。

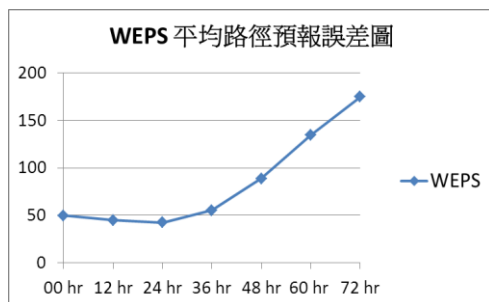


圖 1、蘇力颱風系集平均預報誤差曲線圖，橫軸為預報時間(單位為小時)，縱軸為系集平均路徑與最佳路徑的距離誤差(單位為公里)。

在此選擇 24 小時前 QPF 情形來探討系集平均、PM 與 NPM 的表現。蘇力颱風顯著影響的前 12 小時，其系集平均降水空間分布(圖 2B)非常類似實際降水分布(圖 2A)，且從圖 6A，實際的降水頻率(黑色虛線)分布落在 20 個系集成員(黃色實線)之

內，故可利用 PM 的優勢，使 PM(圖 2C) 的極值與實際極值(圖 4A)差距不到 38 毫米(極值從 367 毫米上升至 627.3 毫米)。從圖 4A，系集平均(紅色虛線)與 PM(紫色虛線)的降水頻率分布可更顯著看出 PM 將降水頻率分布右端拉長，更接近實際的降水頻率分布(黑色虛線)。

但蘇力顯著影響的後 12 小時預報結果普遍不好，因系集平均降水空間分布(圖 3B)不同於實際降水空間分布(圖 3A)，且從圖 4B 顯示系集成員(黃色實線)有三分之二落在實際降水頻率分布(黑色虛線)的右側，PM 的作法會因系集成員普遍高估將增加誤差的大小，同研究方法中指出的問題，而導致過度預報的情形(圖 3C)。從圖 4B，系集平均(紅色虛線)也已大部分位於實際降水頻率(黑色虛線)右側，而 PM(紫色虛線)的特性會更拉大與實際降水頻率右側的差距，使預報結果變得更差，尤其是大雨部分。

PM 的過度預報問題，此實際個案證實 NPM 可部分改善。NPM 的 QPF 結果為圖 2D 與圖 3D，在圖 3D 顯示極值已下修至 452 毫米，NPM 降雨頻率分布(圖 4 之藍色虛線)在 100 毫米以下非常類似 PM，但 200 毫米以上(圖 4 之小圖)的頻率則低於 PM，顯示 NPM 可成功降低系集成員降水高估的影響程度，儘管因大部分的系集成員有預報高估的情形，使 NPM 降雨極值依舊高於觀測，但預報結果仍舊優於 PM。至於系集成員預報結果為何有如此誤差，則是另外研究的議題，並不在本研究討論範圍內。

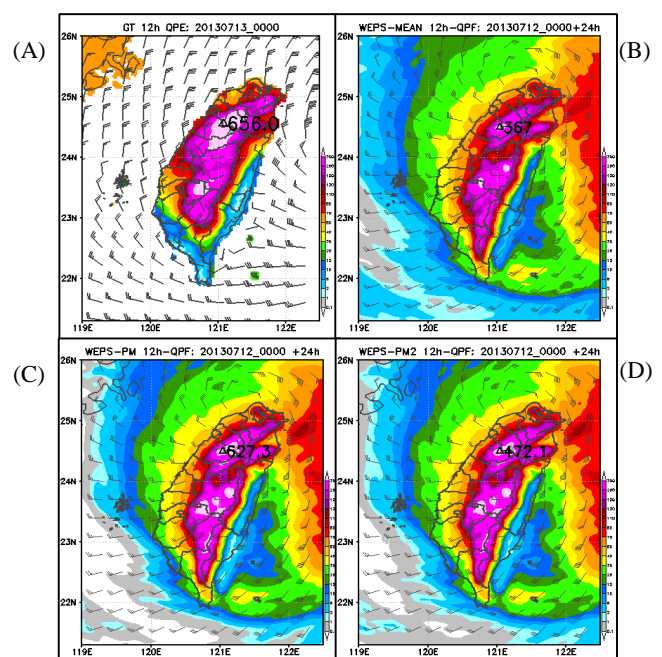


圖 2、2013 年 7 月 12 日 1200~2400UTC 之 12 小時累積雨量空間分布圖，三張圖分別代表(A)真值(GT)(B)24 小時前預報的系集平均(MEAN)(C)24 小時前預報的 PM(D)24 小時前預報的 NPM。

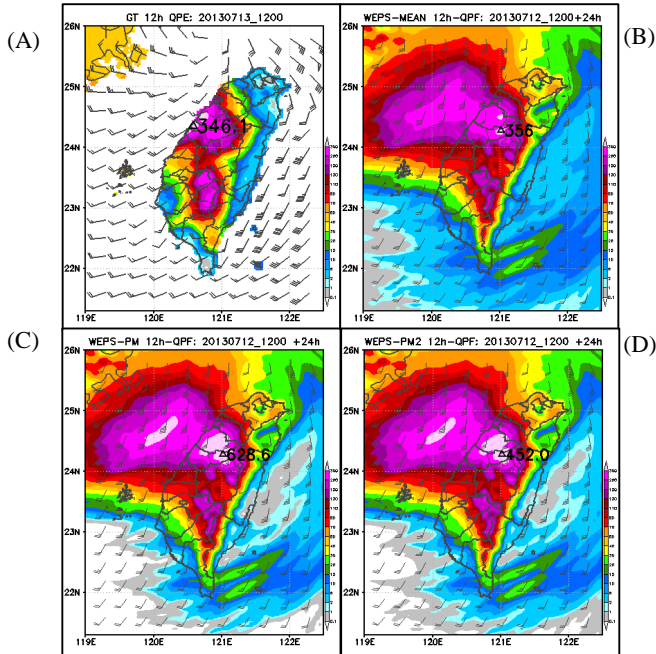


圖 3、校驗時間為 2013 年 7 月 13 日 0000~1200UTC，說明同圖 2。

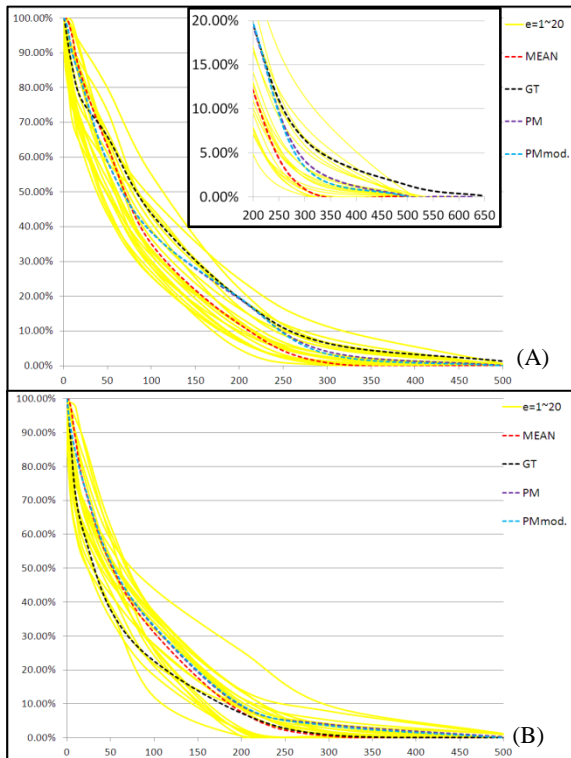


圖 4、(A)校驗時間為 2013 年 7 月 12 日 1200~2400UTC 的 12 小時累積雨量之累積發生頻率分布圖，黃色實線代表 20 個系集成員各自的分布( $e=1\sim 20$ )，黑色虛線代表實際雨量(GT)，紅色曲線代表系集平均(MEAN)，紫色虛線為 PM，藍色虛線為 NPM。(B)同(A)，校驗時間為 2013 年 7 月 13 日 0000~1200UTC。小圖為 12 小時累積雨量 200 毫米以上的累積發生頻放大圖。

## 2. 系集 QPF 之定量校驗

蘇力颱風顯著影響的前 12 小時預報技術(圖 5)顯示預報時間同為 24 小時前的系集平均(黃色直條)、PM(虛線直條)與 NPM(黑色圓點直條)的 QPF 表現，整體而言表現優劣 PM 最好，接著為 NPM，最後是系集平均；從 7A 顯示小於 25 毫米以下系集平均、PM 與 NPM 皆有高估的情形，尤以系集平均最明顯；大於 25 毫米以上除了 NPM 在 200 毫米有些許高估以外，其他門檻值三種統計方法都為低估，不過 PM 的表現是三種統計方法裡面最好的。蘇力顯著影響的後 12 小時預報結果(圖 6)則顯示整體最好的為系集平均，NPM 和 PM 則幾乎相同；50 毫米以下與 100 毫米以上則是 PM 與 NPM 稍贏系集平均，PM 與 NPM 的預報表現不分軒輊。圖 7B 顯示三種統計方法在所有門檻值都有高估的情形，尤其 300 毫米時 PM 與 NPM 高估非常多(BS 皆達 4.0 以上，尤其 PM)，代表預報過量十分嚴重，與前面的定性分析結果相同。

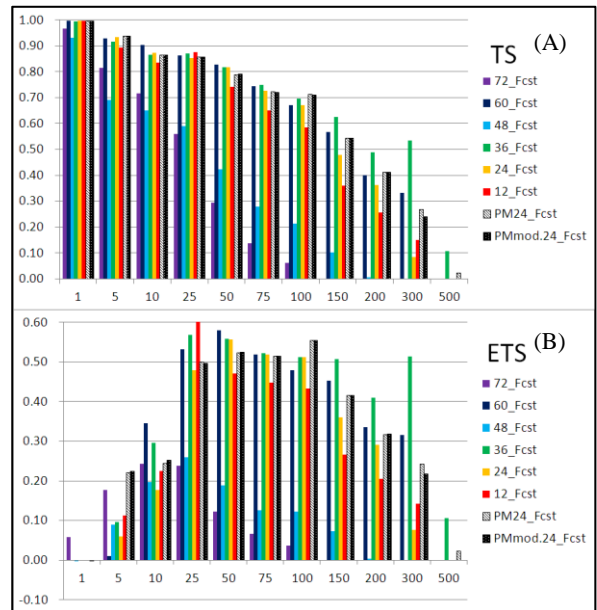


圖 5、校驗時間為 2013 年 7 月 12 日 1200~2400UTC 的 TS(A)得分與 ETS(B)得分，彩色長條分別為 12 小時前，24 小時前...至 72 小時前系集平均對該天的預報 TS(ETS)得分，虛線長條為 24 小時前的 PM 對該天的預報 TS(ETS)得分，黑色長條為 24 小時前的 NPM 對該天的預報 TS(ETS)得分。

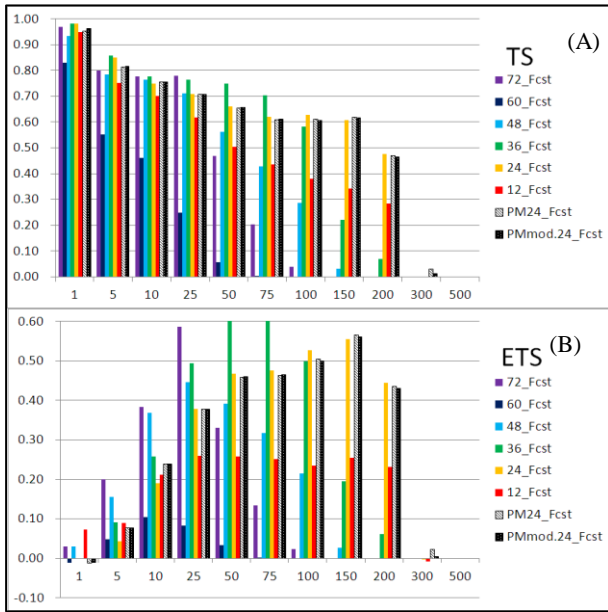


圖 6、校驗時間為 2013 年 7 月 13 日 0000~1200UTC 的 TS(A)得分與 ETS(B)得分，圖說如圖 5。

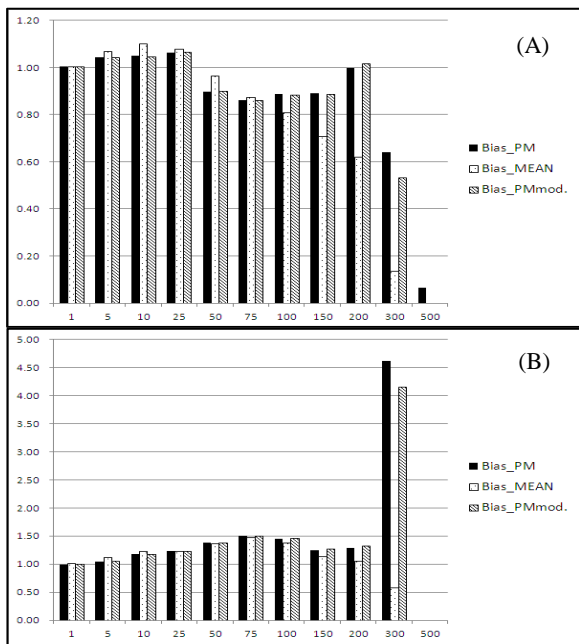
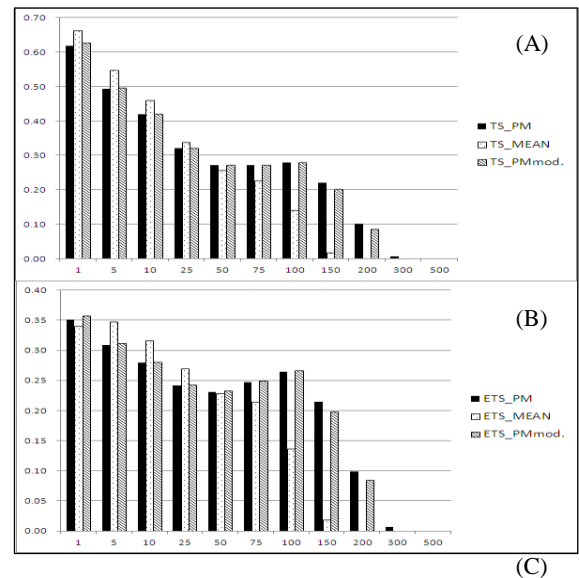


圖 7、(A)校驗時間為 2013 年 7 月 12 日 1200~2400UTC 的 BS，黑色直條為 PM，白色點狀直條為系集平均，虛線直

條為 NPM。BS=1 為圖中紅色虛線所在的位置。(B)同 (A)，校驗時間為 2013 年 7 月 13 日 0000~1200UTC。

## (二) PM 與 NPM 之系統性統計分析

為了進一步了解更多個案的統計特性，本研究使用 2012 年 6 月分析三種統計方法的 QPF 表現。從圖 8A 與圖 8B 顯示在中小雨（介在 1 毫米與 50 毫米之間）預報技術最好的為系集平均，接著是 NPM，最後是 PM；大雨（50 毫米~100 毫米）則是 NPM 最好，PM 居中，系集平均居末；100 毫米以上則是 PM 最好，接著為 NPM，最後是系集平均。從三種統計方法的 BS（圖 8C），系集平均小於 25 毫米有預報高估，緊接著明顯有預報低估的情形。PM 與 PMmod 兩者皆在小於 150 毫米處容易預報高估，且 PM 情形比 NPM 顯著；大於 150 毫米則兩種統計方法都為預報低估，但 PM 掌握得比較好。證實 PM 與 NPM 對於大雨的預報皆優於系集平均，尤其 PM 對極端降雨事件掌握度會最高；但相對的也代表若系集成員有預報高估的情形，PM 過度預報的機會也會最高。NPM 可降低系集成員過度預報的影響程度，對於一般情形的大雨預報已是良好的預報指引。



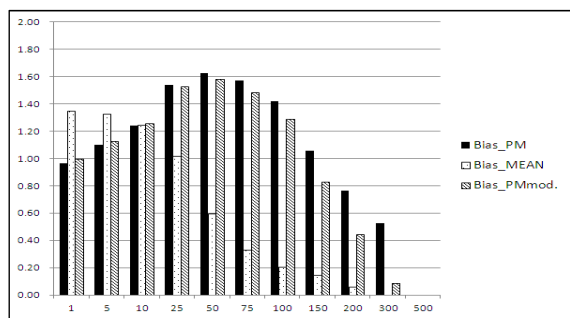


圖 8、2012 年 6 月平均之 24 小時前預報的 TS(A)得分，ETS(B)得分與 BS(C)得分，黑色直條為 PM，白色點狀直條為系集平均，虛線直條為 NPM。

## 五、結論

本研究的目的是在 CWB 之 WEPS 上發展最佳系集預報降水指引。因 PM 只考慮系集預報系統之整體降雨頻率，其預報之極端值忽略各系集成員之差異而易導致過度預報。因此本研究提出新的 NPM 系集 QPF 方法，這個方法基於 PM 的概念，同樣採用系集平均之空間分布，但降雨頻率則是各成員降雨頻率之系集平均，因此 NPM 之 QPF 極端值為各系集成員極端值之系集平均。NPM 產生的 QPF 極端值介於系集平均及 PM 之間，而小雨的降雨頻率分布特性則與 PM 相似，因此可修正 PM 之極值過度預報的缺點。

從 2012 年梅雨季 6 月之統計結果，12 小時累積雨量 25 毫米之系集平均、PM 與 NPM 之 QPF 預報技術 TS 皆可達 0.3 以上，ETS 也有 0.24，與美國國家氣象局(National Weather Service, NWS)的技術得分相當(圖 9)，而 CWB 之官方預報於 2011 年 6 月 12 小時累積雨量 20 毫米的 TS 則約為 0.28 (郭，2012)，故系集方法之 QPF 皆有助於 CWB 官方 QPF 技術的改善。從蘇力颱風個案與 2012 年梅雨季 6 月之統計結果皆顯示 NPM 或 PM 在大於 50 毫米的預報技術較系集平均佳，尤其超過 100 毫米，系集平均 QPF 已幾乎沒有預報技術(TS<0.15、ETS<0.14)，但 PM 與 NPM 的 TS 和 ETS 皆可達 0.25 以上，可知 PM 與 NPM 對於大雨的預報能力遠勝於系集平均。

儘管 PM 對極端降水事件有較佳的技術得分，但其偏差(BS)也同樣較大，故 PM 雖然可以預報到比較極端的降水極值，但降水誤報的情形也更加顯著(如蘇力颱風個案)。相較於 PM，NPM 除了可保留系集成員預報極值的能力，其過度預報亦有明顯改善。

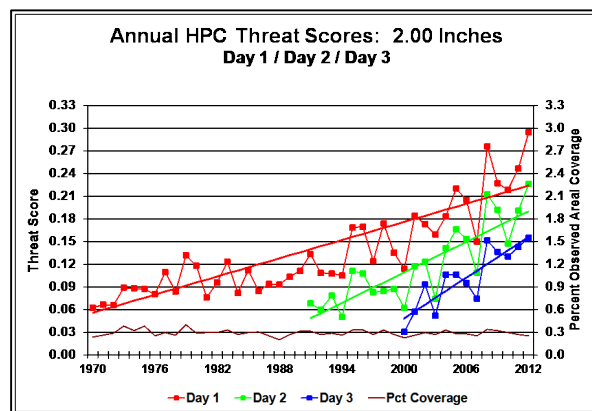


圖 9、美國國家氣象局 (NWS) 24 小時累積雨量年平均 TS。紅色折線為第一天的預報，綠色折線為第二天的預報，藍色折線為第三天的預報。摘自美國國家氣象局天氣預報中心(NWSWPC)，

<http://www.hpc.ncep.noaa.gov/html/hpcverif.shtml#6hour>

未來的工作重點一方面可使用上述的校驗結果，針對各種 QPF 指引與實際 QPE 之降雨頻率建立線性回歸方程，進而發展 QPF 的校正技術；或針對任一系集成員 QPF 之降雨頻率進行校正，最後使用本研究的統計方法產生系集之 QPF。但這類的方法仍然只能校正 QPF 之頻率分布，對於 QPF 的空間分布，則需要另外發展校正的技術。

## 參考文獻

- 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。
- 郭閔超、李孟軒、蔡甫甸，2012：中央氣象局 2013~2011 年官方降水預報之分析與探討。《天氣分析與預報研討會》，143-146。
- 曹嘉宏、洪景山，2011：系集模式颱風定量降水：個案研究。《建國百年天氣分析預報與地震測報研討會論文集編》，中央氣象局，278-282。

- 黃椿喜、呂國臣、洪景山，2012：系集預報系統在氣象局鄉鎮精緻化預報之應用。 *天氣分析與預報研討會*，143-146。
- 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。
- 美國國家氣象局天氣預報中心(NWSWPC), <http://www.hpc.ncep.noaa.gov/html/hpcverif.shtml#6hour>
- 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.
- Fang, X, and Y. Kuo, 2013: Improving ensemble-based quantitative precipitation forecast for topography-enhanced typhoon heavy rainfall over Taiwan with a modified probability-matching technique. *Mon. Wea. Rev.*  
doi:10.1175/MWR-D-13-00012.1, in press.
- Toth, O. Talagrand, G. Candille and Y. Zhu, 2003: Chapter 7: Probability and ensemble forecast, *Environmental Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*, Edited by I. T. Jolliffe and D. B. Stephenson, John Wiley & Sons.
- Yang, M.-J.; B. J.-D. Jou, S. C. Wang, J. S. Hong, P. L. Lin, J. H. Teng, H. C. Lin, Hui-Chuan, 2004: Ensemble prediction of rainfall during the 2000 - 2002 Mei-Yu seasons: Evaluation over the Taiwan area. *J. Geophys. Res.*, **109**, D18203.  
doi:10.1029/2003JD004368.