

從定量降水預報、定量降水機率預報到機率定量降水預報

黃椿喜¹ 洪景山² 呂國臣¹ 葉世瑄¹

¹中央氣象局氣象預報中心

²中央氣象局氣象資訊中心

摘要

氣象局在精緻化的鄉鎮天氣預報與台灣地區區域數值系集預報系統發展的架構下，積極開發短期定量降水預報(Quantitative Precipitation Forecast, QPF)技術，目前官方的 QPF 作業可針對不同全球預報系統、區域預報模式與區域系集預報系統，進行主觀的簡單多模式系集、系集預報系統預報或進階的混合系集預報，且依不同統計方法產生各種決定性預報產品，如系集平均、標準差、中位數、百分比平均或進階的機率擬合平均等方法，預報員依據各種 QPF 指引產品進行系統性校驗，並依據其結果與經驗，製作基於客觀的系集方法的主觀 QPF 預報。另一方面，由於地球大氣系統的混沌本質，完整的天氣預報除了決定性預報以外，必須額外描述不確定的程度，因此衍生出更多的機率行預報產品。在系集預報的架構下，依據給定的定量降水門檻，即可產生相關的定量降水機率預報(Probability of QPF exceeding x mm, PQPF x)產品，近年來氣象局亦已針對可能致災的降水門檻，進行災害性天氣警報或特報之評估。

PQPF x 雖然逐漸受到重視，但機率型的預報產品在災害性降水事件，進一步可能導致的災害評估與應用卻不易使用，主要因為防災或水文相關領域最關心的重要氣象參數通常是 QPF 而非其衍生的機率產品。基於這樣的需求，本研究提出經由機率轉換的 QPF 產品，依據不同 PQPF x 產品，再給定機率門檻製作機率定量降水預報(QPF exceeding y % probability, QPFP y)產品。一般而言，最小的機率門檻的 QPFP0 代表的為系集的極大值，最大機率門檻(100%)之 QPFP100 則為極小值，而系集平均通常落在 QPFP30 至 QPFP50 間。

關鍵字：定量降水預報、定量降水機率預報、機率定量降水預報

一、前言

氣象局自 1993 年起發布降雨機率預報 (Probability of Precipitation, 簡稱 POP)。每日發布 2 次台灣地區 16 個預報區域未來 36 小時、每 12 小時、3 個時段降雨機率預報值，每個預報區域至少包含 1 至 2 個平地氣象觀測站。降雨預報機率範圍由 0 至 100%，以每 10% 區分不同等級，圖 1 顯示氣象局每年的降雨機率預報的白氏計分(Brier Score)，相對於氣候統計值評估之降雨預報技術，1993 至 2014 年(2014 年計算至 4 月)之機率預報技術逐年提高。1990 年代技術常低於 20，2000 年至 2010 年間逐步由 20 提升至 25 左右，而近 3 年精緻化之鄉鎮天氣預報上線以

來，本局之降雨機率預報技術更提升至 28 左右，且預報技術仍有持續增加之趨勢。

而對於防災上定量降水預報之需求，氣象局則是自 2005 年 12 月 31 日正式發布 24 小時定量降水預報，截至目前為止，每日於清晨 05:30 及下午 17:30 各發布一次未來兩個時段(12 小時一段)的定量降水預報量，自 103 年開始，在颱風及劇烈天氣期間，亦開始發布 6 小時之 QPF。

近年來台灣地區區域數值系集預報系統發展的架構下，積極開發短期定量降水預報(Quantitative Precipitation Forecast, QPF)技術，目前官方的 QPF 作業可針對不同全球預報系統、區域預報模式與區域系集預報系統，進行主觀的簡單多模式系集、系集預報系統預報或進階的混合系集預報，且依不同統計方法

產生各種決定性預報產品，如系集平均、標準差、中位數、百分比平均或進階的機率擬合平均等方法，預報員依據各種 QPF 指引產品進行系統性校驗，並依據其結果與經驗，製作基於客觀的系集方法的主觀 QPF 預報。另一方面，由於地球大氣系統的混沌本質，完整的天氣預報除了決定性預報以外，必須額外描述不確定的程度，因此衍生出更多的機率行預報產品。在系集預報的架構下，依據給定的定量降水門檻，即可產生相關的定量降水機率預報(Probability of QPF exceeding x mm, PQPF $_x$)產品，近年來氣象局亦已針對可能致災的降水門檻，進行災害性天氣警報或特報之評估。

二、使用資料

本研究使用格點雨量資料為中央氣象局自 2002 年起整合多重觀測資料並結合地理資訊發展劇烈天氣監測系統 QPESUMS (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor)之定量降水估計產品。

系集模式則為氣象局作業使用之系集模式預報系統，這個系統是基於本局決定性 WRF 模式(Weather Research and Forecasting Model)所做的預報(WRFD)，使用 WRF 三維變分同化系統(WRD three-dimensional data assimilation system, 3D-VAR)建構的系集預報系統，為三層巢狀網格結構，解析度分別是 45/15/5 公里，現行預報作業每日更新 4 次，分別為每日的 0000 UTC、0600UTC、1200UTC、1800UTC，每次產生 20 個系集成員之預報結果。總預報時間長度為 72 小時，模式輸出頻率為 3 小時一筆(李等，2011)。

三、使用方法及討論

系集預報系統產生的產品大致可分為 3 種形式，分別是最有可能的答案，不確定程度以及機率。處理這些系集產品常使用系集平均作為最可能的答案之決定性預報，而標準差或變異數代表不確定程度，另外亦常以 QPF 之最大或最小值決定不確定性範圍(圖 2)，而基於天氣預報本質上具有的不確定特徵，系集

預報的第 3 種常見形式即是機率型的產品。

(一) 定量降水預報(QPF)產品：

利用簡單的統計方法可以產生多種決定性定量降水預報產品，例如系集平均、中位數、眾數等。亦可計算系集空間上之標準差或變異數等，預報員使用定量降水預報之評估時，可依系集平均加/減標準差的權重，產生定量降水預報產品。另外進階的定量降水預報產品還有整合系集平均之空間分布與系集預報系統整體之降雨頻率產生的機率擬合平均(Probability Matched Mean, PM)，以及考慮系集平均之空間分布與系集成員降雨頻率之平均的 NPM 方法 (new PM, 葉等 2014)。

一般而言，系集平均對於連續性的變數具有較佳的代表性，但 QPF 並非連續的變數，因此系集平均 QPF 易造成機端降水事件之低估。另一方面，降雨事件通常與數公里至數十公里的中尺度之對流風暴系統有關，這些對流系統生命尺度亦僅有數十分鐘至數小時，因此對於數日內的 QPF，這些系統在空間上分布的不確定亦高。因此，雖然單一系集之降雨頻率可能與實際降雨類似，但對流尺度降雨過程在空間上的差異常造成系集平均的過度平滑效應，一般而言，系集平均可得到 QPF 較佳的空間分布，但其降雨頻率卻易造成極端雨量之低估。

圖 2 為 2013 年 8 月 28 日 0000 UTC 預報 12-24 小時 QPF 之基本系集產品，系集平均 QPF 之最大值僅 146 毫米，極大值卻超過 800 毫米，檢視每 20 成員之極大值預測，範圍約在 50 毫米至 850 毫米間，且其中有 18 個成員 QPF 極大值超過 300 毫米(圖未示)。由雷達與地面雨量站估計之 QPESUMS 分析雨量(圖 3)極大值可達 442 毫米，因此在本個案中之系集平均明顯低估實際降雨之極大值。

由於系集平均易造成 QPF 極端降雨之低估，因此 Ebert (2001)提出進階的機率擬合平均的 PM 的概念，PM 方法採用“系集平均 QPF 之空間分佈”，但其降雨頻率則取自“整體系集之降雨頻率分布”，修正降雨頻率分布之 PM 估計 QPF 可得到比系集平均更佳的降水強度預報(曹等，2011)。

PM 方法應用於澳洲地區得到良好的成效，但用於台灣地區的 QPF 常導致過度預報。主要是因為系集

預報系統之設計理念，理想上會將真實值包含在所有成員之預報變異之中，而針對於任一變數而言，其真實之極端值亦將被包含在所有系集成員之極端預報之中。全球系集預報系統或較低解析系集預報系統之 QPF，本就有低估極端降水之傾向，因此使用“整體系集之降雨頻率”之 PM 方法有助於提升 QPF 極端降水估計之技術。但對台灣地區的高解析系集預報系統之極端降雨事件，真實之極端值分布，除考慮其在系集空間的差異，亦應考慮地理空間分布之差異。PM 採取整體系集降雨頻率之原理，QPF 估計之最大值會趨近於“整體系集降雨頻率”之最大值，而當任一成員有較大的偏差時，易導致過度預報。因此，葉等(2014)提出新修正的 PM 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，但降雨頻率則改採“成員降雨頻率之系集平均”，對於 NPM 而言，其極端降雨即是所有成員極端降雨之平均。NPM 產生的 QPF 極值介於系集平均及 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(葉等，2014)。

圖 3 為 2013 年 8 月 28 日 0000 UTC 預報 12-24 小時 QPF 之進階系集產品，其中使用 PM 方法估計之雨量高達 820 毫米，而 NPM 則為 459 毫米，與 QPFSUMS 估計 442 毫米之雨量相比，PM 明顯高估達將近 1 倍，而 NPM 則僅有 17 毫米左右的誤差。

(二) 超過 x 毫米之定量降水機率預報(QPFF $_x$ ， x 為任一固定降水門檻)

針對任一成員，給定 QPF 之門檻 x ，將 x 以上的雨量設為 1，其餘設為 0，執行系集之平均後可產生“超過某固定門檻 x 毫米之定量降水機率”預報產品(QPFF $_x$ ，圖 4)，當降雨門檻為 0.1 毫米時，則是所謂的降雨機率(Probability of precipitation, POP)。氣象局最早提供的機率型之預報即是降雨機率預報，因為 0.1 毫米的雨量是目前人工氣象站所能量測到的最小單位。

QPFF $_x$ 可用來評估某一段時間內降雨量超過多少毫米的機率，例如 QPFF50 表示降雨超過 50 毫米之機率。氣象局定義的大雨、豪雨、大豪雨及超大豪雨分別為 50、130、200 及 350 毫米，因此而 24 小時之 QPFF50、QPFF130、QPFF200 及 QPFF350 分別為氣

象局定義的大雨機率、豪雨機率、大豪雨機率及超大豪雨機率。因此 QPFF 在預報作業上可作為達到豪(大)雨特報標準與發布之機率評估。亦可提供防災單位或一般民眾作為災損之期望值估計等。

圖 4 為 2013 年 8 月 28 日 0000 UTC 預報 12-24 小時 QPF 之產生 QPFF $_x$ 產品，其中 x 為 0.1, 10, 25, 50, 100, 130, 200, 350, 500 毫米之降水門檻，圖 4 顯示，台南及高雄地區在此預報時間內預測之最大雨量超過大雨(50 毫米)、豪雨(130 毫米)、大豪雨(200 毫米)及超大豪雨(350 毫米)之定量降水機率分別約為 80、60、30 及 10%。

(三) 超過 y % 之機率定量降水預報(QPFF $_y$ ， y 為任一機率門檻)

QPFF $_y$ 的產品為機率之形式，因此在下流的應用勢必有所侷限，尤其是對於水利或水文等防災相關模式，機率形式的預報產品易作為其模式的輸入參數，也造成 QPFF $_y$ 推廣上的困難，上述這些模式需要的輸入氣象參數通常以決定性的 QPF 居多。因此本研究提出另一個重要的概念，給定特定 y % 的機率門檻下，產生超過 y % 門檻的機率定量降水預報產品，以定量降水的形式表示，但隱含機率之本質，可提供防災單位使用上更多的彈性。

針對系集成員之 QPF，給定 x 毫米之降水門檻可產生超過 x 毫米雨量之定量降水機率 QPFF $_x$ 。相同原理，在 QPFF $_x$ 產生的多個降水門檻之機率空間中，依據不同降水門檻 x ，給定機率門檻 y %，由小至大將大將機率門檻 y % 之 QPF 設為 x ，可產生超過 y % 門檻之機率定量降水預報 QPFF $_y$ 。

本研究使用 20 個之成員系集預報系統，對於 10% 之 QPFF10 而言，代表 $10\% \times 20 = 1$ ，因此 QPFF10 代表有 2 個成員之 QPF 大於 QPFF5；若是機率門檻為 30% 時，則為 6 個成員之 QPF 大於 QPFF30。因此，最小的機率門檻的 QPFF0 表示其值大於所有系集的 20 個成員之 QPF，因此是系集的極大值；最大機率門檻(100%) 之 QPFF100，則為極小值；而一般而言，系集平均通常落在 QPFF30 至 QPFF50 間。

圖 4 為 2013 年 8 月 28 日 0000 UTC 預報 12-24 小時 QPF 之產生 QPFF $_y$ 產品，其中 y 為 5、10、20、30、40、50、60、70、90 及 100% 之機率門檻。圖顯

示超過 QPFP5 與圖 2 之系集最大值圖形幾乎一至，而 QPFP100 與系集最小值亦相似。

四、結論

氣象局在精緻化的鄉鎮天氣預報與台灣地區區域數值系集預報系統發展的架構下，積極開發短期定量降水預報技術，目前官方的 QPF 作業可針對不同全球預報系統、區域預報模式與區域系集預報系統，進行主觀的簡單多模式系集、系集預報系統預報或進階的混合系集預報，且依不同統計方法產生各種決定性預報產品，如系集平均、標準差、中位數、百分比平均或進階的機率擬合平均等方法，預報員依據各種 QPF 指引產品進行系統性校驗，並依據其結果與經驗，製作基於客觀的系集方法的主觀 QPF 預報。另一方面，由於地球大氣系統的混沌本質，完整的天氣預報除了決定性預報以外，必須額外描述不確定的程度，因此衍生出更多的機率行預報產品。在系集預報的架構下，依據給定的定量降水門檻，即可產生相關的定量降水機率預報產品，近年來氣象局亦已針對可能致災的降水門檻，進行災害性天氣警報或特報之評估。

PQPF_x 雖然逐漸受到重視，但機率型的預報產品在災害性降水事件，進一步可能導致的災害評估與應用卻不易使用，主要因為防災或水文相關領域最關心的重要氣象參數通常是 QPF 而非其衍生的機率產品。

基於這樣的需求，本研究提出經由機率轉換的 QPF 產品，依據不同 PQPF_x 產品，再給定機率門檻 $y\%$ 製作機率定量降水預報產品。一般而言，最小的機率門檻的 QPFP0 代表的為系集的極大值，最大機率門檻 (100%) 之 QPFP100 則為極小值，而系集平均通常落在 QPFP30 至 QPFP50 間。

五、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。
- 李志昕、洪景山，2013：“區域系集預報系統強化研究—物理參數法擾動強化”，102 年天氣分析與預報研討會論文彙編，A2，37—42。
- 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彙編，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。101 年天氣分析與預報研討會，143-146。
- 葉世瑄、林沛練、洪景山、黃椿喜，2014：機率擬合之系集定量降水預報後處理方法。103 年天氣分析與預報研討會。
- 丘台光、陳嘉榮、張保亮、林品芳：劇烈天氣監測系統 QPESUMS 之服務與應用 (http://qpesums.cwb.gov.tw/taiwan.html2/qpesums_doc_chinese.pdf)
- 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.

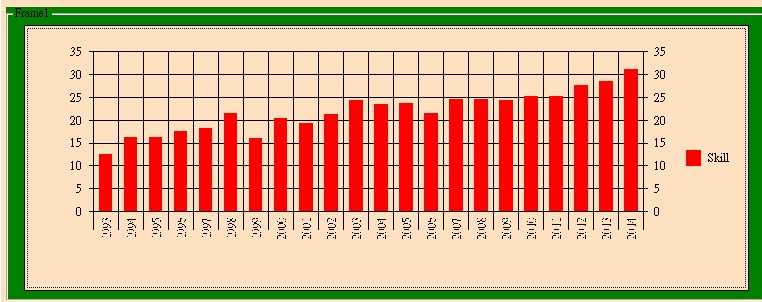


圖 1. 1993 至 2014 年台灣地區降雨機率預報技術之逐年技術得分。

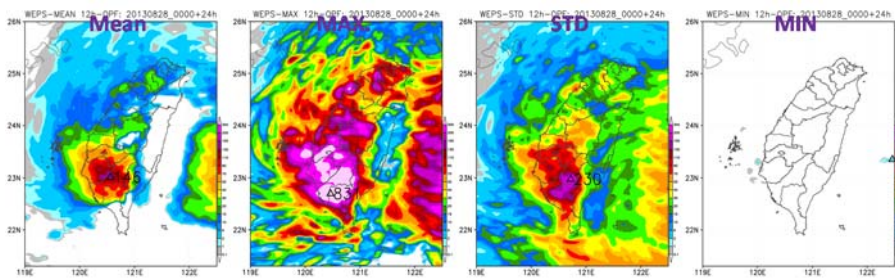


圖 2. 基本的系集定量降水預報產品，由左至右分別為系集平均、系及最大值、系集之標準差、系集最小值。

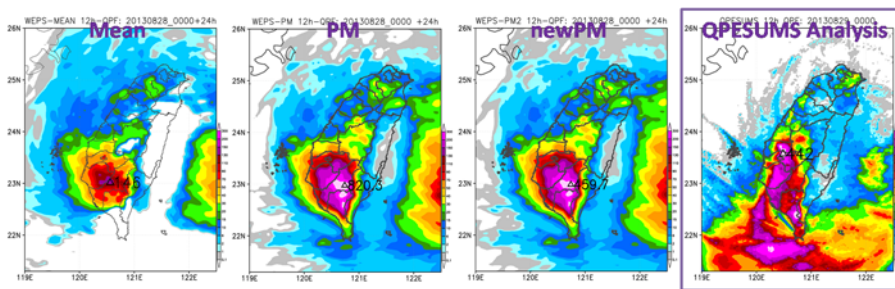


圖 2. 進階的系集定量降水預報產品，由左至右分別為系集平均、機率擬合平均(PM)、修正之機率擬合平均(NPM)及雷達降水估計產品雨量(QPESUMS)。

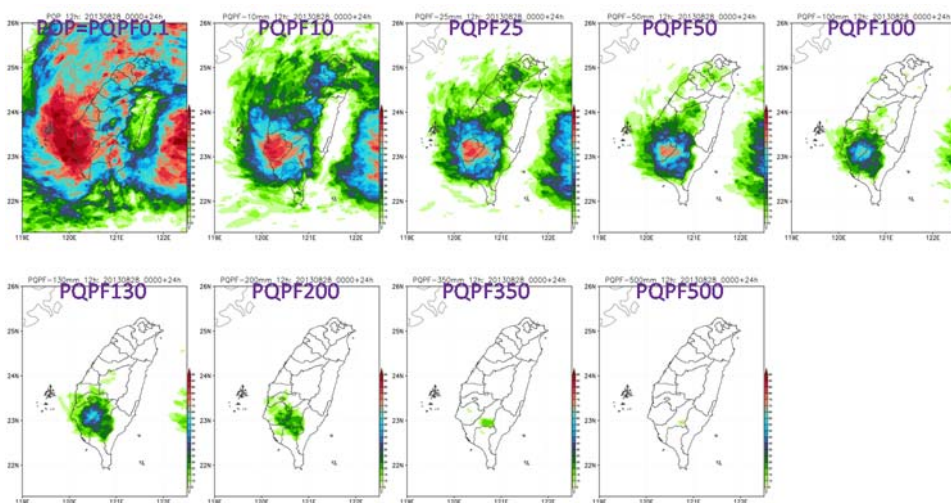


圖 4. 超過 x 毫米之定量降水機率 QPF_x ， x 為定量降水門檻，圖顯示降水門檻 x 為 0.1 至 500 毫米之 QPF_x 。

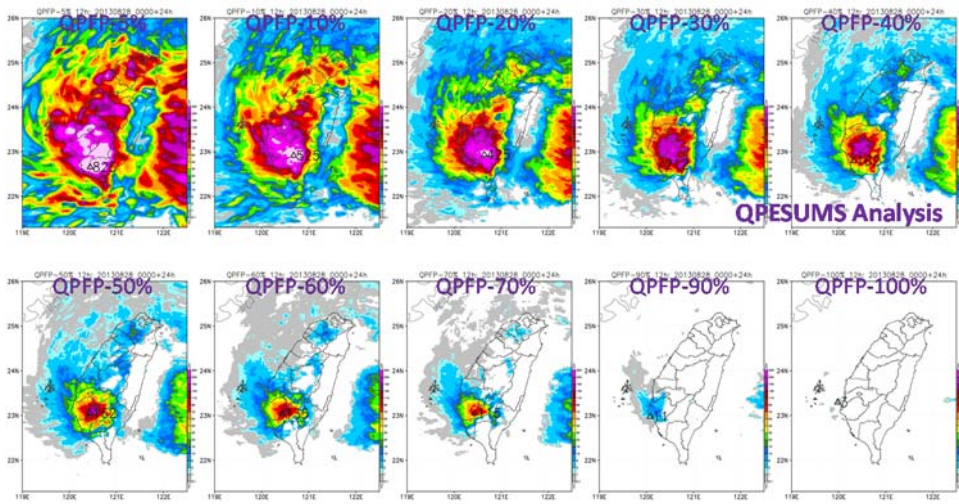


圖 5. 超過 $y\%$ 之機率定量降水預報 QFP_y ， y 為機率門檻，圖顯示機率門檻 y 為 5% 至 100% 之 QFP_y 。