

快速演算法於系集雨量合成之應用

陳奕如 林欣弘 王璿璋 王潔如 林冠伶 黃麗蓉 于宜強
國家災害防救科技中心

摘要

隨著電腦運算能力的提升，數值天氣預報產品也越來愈多，讓預報大數據資料提供更多的災害情境選擇。針對不同時間空間尺度的豪雨災害需求，國家災害防救科技中心（以下簡稱本中心）開發短時預報技術、區域尺度系集預報、15與45天長期預報模式與降尺度技術等，今年度更進行系集平臺2.0系統更新。在處理龐大的訊息時，資料分析速度是為一個重要技術門檻，尤其是在網路服務過程中，快速提供使用者防災研判資訊，將可以加速防災應變的作為。配合網路資訊服務，開發提升速算速度之機率擬合雨量合成分析技術，並應用本中心應變研判作業中。

關鍵字：系集雨量、快速演算法

一、前言

在天然災害預警的資訊提供方面，數值氣象模式扮演了提前預知的重要角色。然而數值模式仍存在著不確定性與可預報度的問題。Zhu (2005) 研究中指出系集預報目的找出初始的不確定性與預報不確定性，且系集預報平均在短時預報(3-5天)比決定性預報有更好的預報結果。中央氣象局在數值天氣預報的作業化規劃上，也提供了20組系集預報資料做為災害風險分析。國家災害防救科技中心(後續簡稱NCDR)承接原颱風洪水研究中心的系集預報平台任務，維持了16組系集預報的作業，並持續對系集預報成員進行校驗(黃等，2021)。此外也嘗試以全球模式MPAS(Model for Prediction Across Scales)預報結果做為區域模式初始及邊界條件，以提供不同的系集初始條件。而基於這些系集預報資料之下，黃等(2021)也以系集統計方式以獲得最佳的雨量預報結果，包含百分位統計、系集分群與機率擬合等方法。今年度也更新系集預報平台，調整區域系集預報至19組預報成員，並嘗試延長預報時間至45天。基於大量的系集預報資料統計需求之下，需要快速的演算法以求得最佳化雨量預報結果，以提供防災研判的最快速的研判資訊。

二、方法

Ebert (2001) 提出的機率擬合法(Probability matching, PM) 方法用於系集雨量預報的合成方法，以及葉等(2016)提出的新機率擬合法((New Probability-matched ensemble Mean, NPM) 都是採用排序法將雨量資料由大至小排序，再修正系集平均雨量的網格值。上述方法的運算速度取決於選用的排序演算法，以氣泡排序法(Bubble Sort)計算時間複雜度為

$O(n^2)$ 。若採用快速排序法(Quick Sort)，其時間複雜度最佳為 $O(n \log(n))$ ，最差仍為 $O(n^2)$ 。選取排序演算法的所造成的運算效能差異可達數百倍以上。

為避免龐大網格數據的排序效率問題，本研究研發以雨量網格資料的頻率分布(Frequency Distribution)計算修正曲線方法，將系集預報雨量與系集平均雨量求得的修正曲線，將平均雨量圖進行修正。此方法概念說明如下(圖1)：

1. 將系集預報計算得的平均網格雨量進行頻率分布統計
2. 將系集預報雨量進行頻率分布統計
3. 利用上述2組頻率分布資料，計算出相對應的雨量曲線，此曲線即為雨量修正曲線

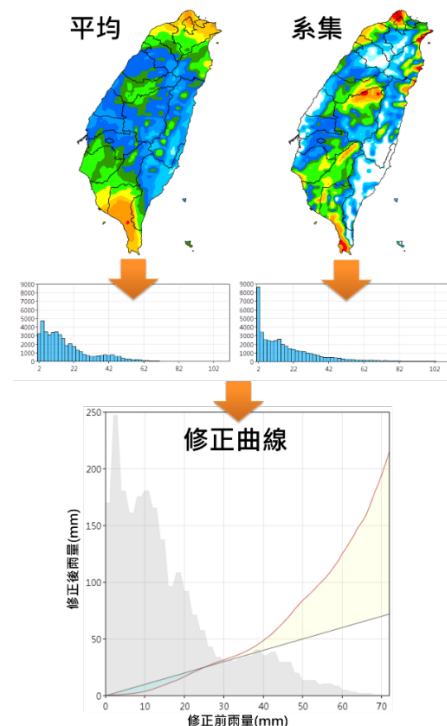


圖 1、雨量分布曲線修正方法概念圖

過去研究所提出的機率擬合法(PM)與新機率擬合法(NPN)排序統計的方式不同，相對應使用曲線修正法的統計方式也不同。對應機率擬合法所研發的曲線修正法稱做「單曲線修正法」(Frequency Distribution of Total Amount, FDTA)，實際的處理流程如圖2所示。此方法在系集雨量頻率分布統計階段，將所有的系集成員的資料進行統計，做出一組頻率分布資料，後續再與系集平均的頻率分布計算出修正曲線。之後將系集平均雨量上的每一個網格的雨量圖，對照修正曲線進行雨量修正。

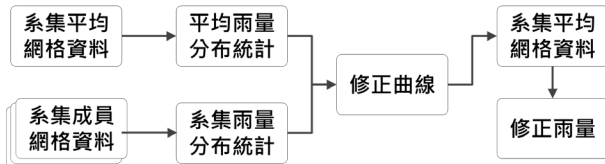


圖 2、單曲線修正法(FDFA)流程圖

對應新系集擬合法(NPN)的曲線修正法稱為「系集曲線修正法」(Frequency Distribution of Ensemble Average, FDEA)，實際的處理流程(圖3)與單曲線修正法的差異在系集雨量頻率分布統計針對每一個系集成員統計各自頻率分布，並各自計算每個成員的修正曲線。之後將所有成員的修正曲線進行系集平均計算以獲得系集修正曲線。

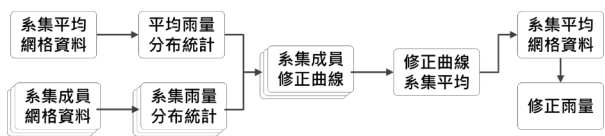


圖 3、系集曲線修正法(FDEA)流程圖

三、結果比較

1. 曲線修正法與排序法合成雨圖比較

為比較曲線修正法與排序法計算的機率擬合雨量分布差異，以個案方式進行比較。個案時間選取2020/05/22 08:00的12小時累積雨量進行比對，模式預報使用初始時間2020/05/19 12UTC的預報49-60小時雨量進行系集機率擬合計算。預報成員採用NCDR 16組系集預報，以及氣象局2組決定性預報及20組系集預報資料，並皆內插至QPESUMS 0.0125度解析度的網格上。並以台灣本島範圍162x275網格範圍資料進行統計計算。此個案的12小時累積雨量圖與38組系集平均與圖如圖4所示，主要降雨位在中部與南部山區，而系集平均對東北角的降雨預報結果較差。

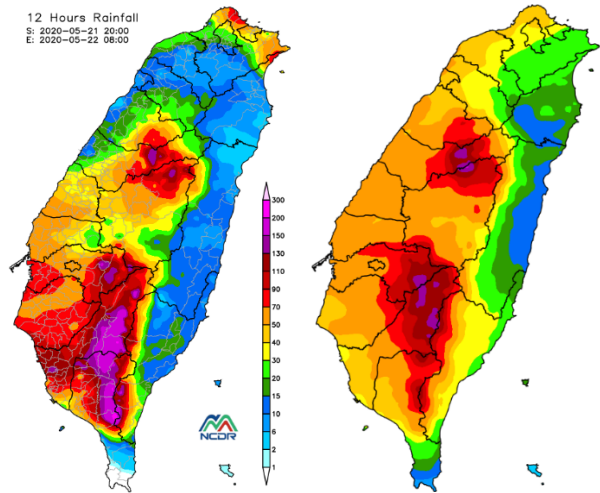


圖 4、2020/05/22 08:00 12小時觀測累積雨量圖(右)與38系集成員平均雨量圖(左)

針對機率擬合法(PM)所做的單曲線修正法(FDFA)進行雨量分布比較。以單曲線修正法(FDFA)針對此個案所做出來的修正曲線如圖5所示，所做的最大修正雨量為572mm，且在超過200mm時修正增加幅度很大。比對使用排序法以及單曲線修正法做出來的雨圖(圖6)，兩者在空間分布上幾乎相同。為了解兩者的細部差異，以兩組資料相同網格差異進行不同降雨量的差異統計。圖7為兩組資料在不同雨量的差異平均統計，統計區間為1mm，並計算其差異比例。結果顯示大於200mm的絕對誤差較大，由3mm增加至25mm的差異量，但在差異比例約在1%左右。而在小於5mm的雨量其差異比例較大，尤其在小於1mm時，因為比較基準雨量很小，絕對差異平均在1mm但差異比例被放大至300%。

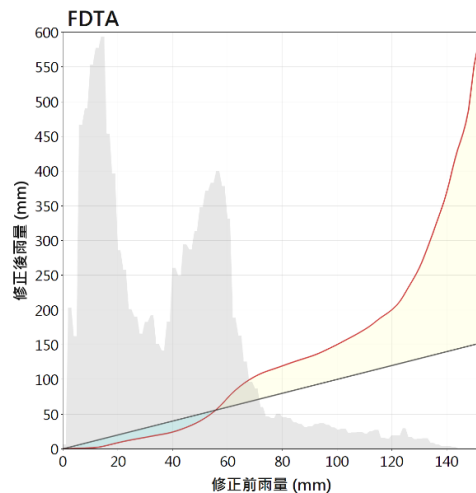


圖 5、單曲線修正法(FDFA)針對機率擬合法(PM)做出的修正曲線

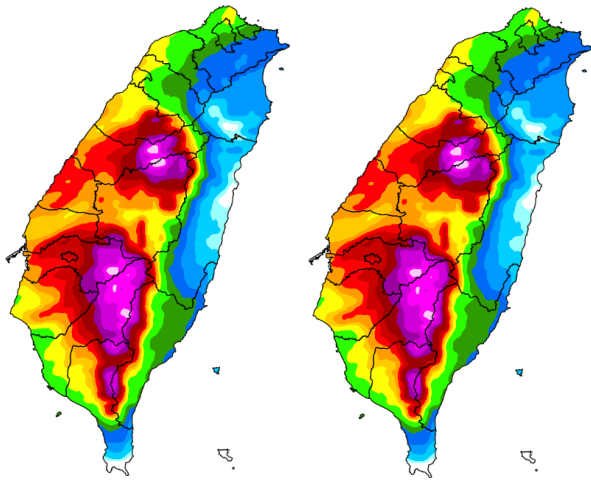


圖 6、機率擬合法(PM)採用排序法(右)與單曲線修正法(FDTA)(左)合成雨圖

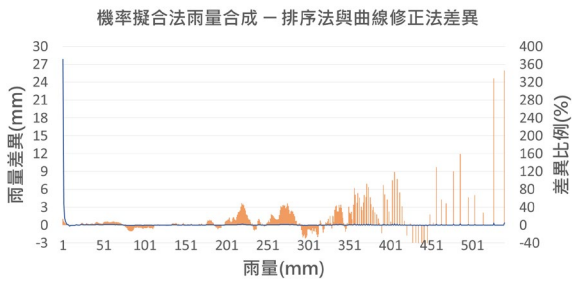


圖 7、機率擬合法(PM)採用排序法與單曲線修正法(FDTA)不同雨量的差異統計

系集曲線修正法針對新機率擬合法(NPM)所做出的修正曲線如圖8，38組系集修正曲線平均後最大修正值為272mm。在超過200mm以上的修正幅度也比單曲線修正法小。排序法與曲線修正法做出來的雨圖(圖9)也幾乎近似。同樣以兩組資料差異統計比較(圖10)，小雨的差異平均比例最高為72%，絕對差異為0.5mm左右。大雨的絕對誤差在±1.5mm之間，誤差比例也在0.5%以下。

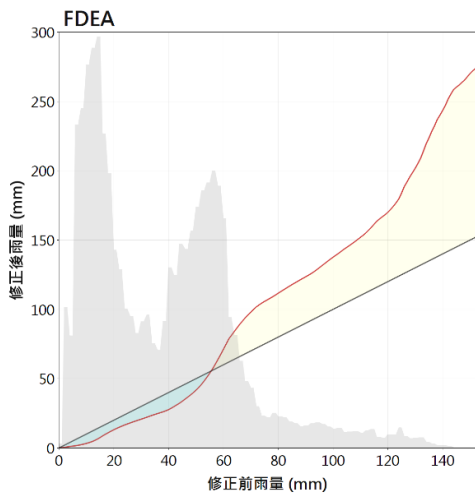


圖 8、系集曲線修正法(FDEA)針對新機率擬合法(NPM)做出的修正曲線

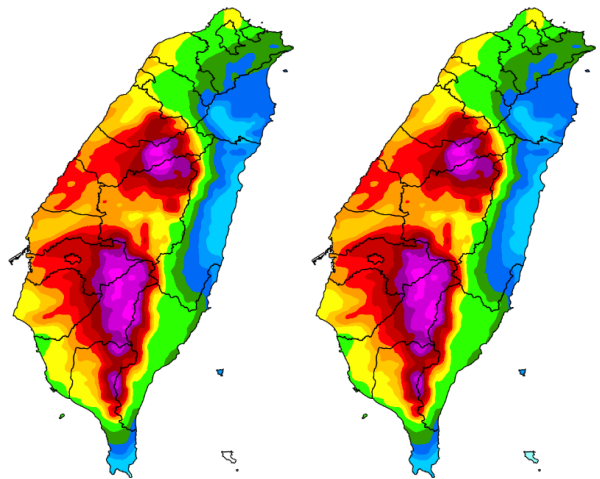


圖 9、新機率擬合法(NPM)採用排序法(右)與系集曲線修正法(FDEA)(左)合成雨圖

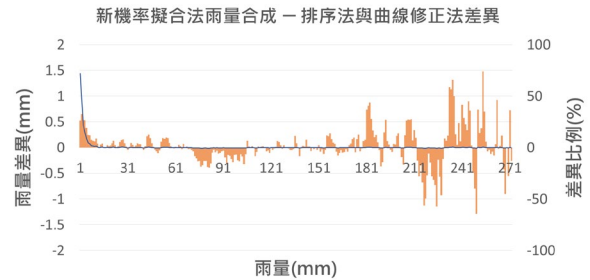


圖 10、新機率擬合法(NPM)採用排序法與系集曲線修正法(FDEA)不同雨量的差異統計

2. 演算法運算速度比較

在不同演算法的運算速度比較實驗設計，原本以排序法計算機率擬合方式，排序法不採用效率很差的氣泡排序法，以快速排序法(Quick Sort)與三分法的快速排序法(3-way Partition Quick Sort)跟曲線調整法進行運算速度比較。並分別針對機率擬合(PM)與新機率擬合(NPM)，以及16與38組系集成員的交互比對。為避免受電腦系統影響，每個所有實驗進行120次運算，取得系統運算時間後進行平均。另外，每一種演算法皆需進行資料讀取與計算系集平均，因此會扣除系集平均的運算時間後比較。

運算速度結果比較如下表1~4所示。表1與表2分別為16組系集成員計算機率擬合(PM)與新機率擬合(NPM)，以及曲線修正法(FDTA, FDEA)運算速度比較表。運算速度結果曲線修正法在機率擬合增快9倍，在新機率擬合快7倍。表3與表4分別以38組系集成員計算的運算時間。系集成員增多後，快速排序法(Quick Sort)運算效能變差，曲線修正法比快速排序法增快10至16倍。三分法的快速排序法(3-way

Partition Quick Sort)仍維持差不多的運算效率，但仍比曲線修正法慢8倍。

表 1、機率擬合(PM)採用曲線修正法與非排序法的運算速度比較，預報資料使用 NCDR 16 組系集成員

	AVG	FDTA	PM_2Q	PM_3Q
演算法 運算秒數	0.0519	0.0626	0.1471	0.1477
扣除平均 運算秒數	0	0.0107	0.0952	0.0958
運算數 度差異倍數		1	8.93	8.99

表 2、新機率擬合(NPM)採用曲線修正法與非排序法的運算速度比較，預報資料使用 NCDR 16 組系集成員

	AVG	FDEA	NPM_2Q	NPM_3Q
演算法 運算秒數	0.0519	0.0657	0.1442	0.1511
扣除平均 運算秒數	0	0.0138	0.0923	0.0992
運算數 度差異倍數		1	6.68	7.18

表 3、機率擬合(PM)採用曲線修正法與非排序法的運算速度比較，預報資料使用 NCDR 與 CWB 38 組系集成員

	AVG	FDTA	PM_2Q	PM_3Q
演算法 運算秒數	0.1153	0.1433	0.4027	0.3451
扣除平均 運算秒數	0	0.0279	0.2873	0.2297
運算數 度差異倍數		1	10.26	8.20

表 4、新機率擬合(NPM)採用曲線修正法與非排序法的運算速度比較，預報資料使用 NCDR 與 CWB 38 組系集成員

	AVG	FDEA	NPM_2Q	NPM_3Q
演算法 運算秒數	0.1153	0.1437	0.5628	0.3400
扣除平均 運算秒數	0	0.0284	0.4475	0.225
運算數 度差異倍數		1	15.98	8.03

四、結論與展望

為了善用越來越大量的預報大數據資料，甚至做到更即時的互動網頁服務，需要更快速的演算法。針對系集預報雨量機率擬合的應用，本研究採用雨量頻率分布曲線開發曲線調整法，加速機率擬合的雨量計算。此方法相較於排序法，計算速度提升8倍以上。合成雨圖的結果在5mm以上差異僅在1%左右，而小雨差異比例較大。

此曲線修正法不僅加速運算速度，也可以進一步針對修正曲線進行優化，以獲得更好的雨量強度分布。以機率擬合(PM)在大雨有嚴重高估的情況，而新機率擬合在小雨會有高估的結果。針對此問題，我們採用曲線修正混合法，獲得更好的修正曲線與系集雨量分布。此方法目前已應用於 NCDR 6 週預報的系集應用開發，並持續評估機率擬合的效果與最佳化的改進方式。

參考文獻

- 葉世瑄、林沛練、洪景山、黃椿喜，2016：機率擬合之系集定量降水預報後處理方法。大氣科學，44，83-112。
- 黃麗蓉、王潔如、林冠伶、朱容練、江宙君、林欣弘、于宜強，2021：“多重尺度災害性天氣預警技術開發”，國家災害防救科技中心。
- 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.
- Zhu, Y., 2005: "Ensemble forecast: A new approach to uncertainty and predictability.", *Adv. Atmos. Sci.*, 22, 781–788

Quick Algorithm for the Synthesis of Ensemble rainfall forecast

**Yi-Ru Chen, Hsin-Hung Lin, Hsuan-Wei Wang, Chieh-Ju Wang, Kuan-Ling Lin,
Li-Rung Hwang, Yi-Chiang Yu**

National Science and Technology Center for Disaster Reduction

Abstract

With the raising of computing resource, there are more numerical weather forecast data to provide us multiple disaster scenarios. Due to the needs of rainfall forecast for the different scale prediction, National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) developed some kinds of forecast technologies include nowcast, regional ensemble forecast, and 2 to 6 weeks global forecast. In the network services, calculating speed is a critical issues for rapid assessment of disaster situation. Based on the application of numerous prediction data, we developed a quick algorithm to accelerate the calculating of the probability-matched method for ensemble rainfall forecast. The quick algorithm has be already used for the operational forecast in NCDR.

Keywords: Quick Algorithm, Ensemble Rainfall Forecast