

雨量頻率配對校正技術實作與案例應用分析

劉承昕¹ 馮智勇¹ 黃椿喜² 沈里音³
多采科技有限公司¹ 中央氣象局氣象預報中心² 中央氣象局科技中心³

摘要

雨量頻率配對校正法(Frequency Matching Method, FMM)是藉由降雨強度頻率的累積機率分布曲線(cumulative distribution function, CDF), 透過配對預報與真實代表值的強度頻率, 將預報的降雨強度調整至與真實代表值相近而校正降雨量強度分布的方法, 本研究以雷達外延與數值模式定量降水預報資料為例進行實作, 探討此方法的校正效益及對資料的反應表現。

針對(1) 2014 年雷達外延一小時 QPF 預報以及(2) 2015 年 EENC 的小時降雨預報資料, 本研究分別採用測站降雨觀測網格化資料與雷達觀測降雨資料為分析場, 進行 FMM 校正並以公正預兆得分(Equitable Threat Score, ETS)為評估依據。結果顯示對於兩組預報資料而言, ETS 都可因校正而獲得改善, 並且應採用較高的衰退權重以得到較佳的結果。此外, 亦發現原始預報需要有基本的預報技術, 才能透過 FMM 校正進行改善。

關鍵字：定量降水預報 QPF、預報校正、衰退平均法、頻率配對法

一、前言

美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)所屬環境模擬中心(Environmental Modeling Center)為此發展採用簡化形式卡門濾波(Kalman Filter)為基礎的雨量頻率擬合校正方式(FMM), 先後實作於 NCEP GFS/ GEFS 模式 2.5 經緯度解析度的累積 24 小時雨量校正(Zhu and Toth, 2004)及 1.0 經緯度解析度的累積 6 小時雨量校正(Zhu and Luo, 2014)作業流程, 可有效改善雨量強度估計誤差。

頻率配對校正方法, 以下簡稱「FMM 法」, 其概念為利用校正降雨強度在機率上的分布比例, 來校正空間各網格點的降雨量, 以期能夠將預報結果的降雨強度分布, 調整至與分析場相近。雨量的空間強度, 係指各網格點降雨強度的振幅, 而雨量的空間分布則指降雨強度的空間變化, 例如一個範圍中, 所有網格降雨都是 0.0mm 的情形和所有網格降雨都是 3.0mm 的情形, 擁有的空間分布相同, 但空間強度不同, FMM 法校正降雨的空間強度, 但不影響其空間分布。

此處所稱降雨強度頻率, 係指不同強度降雨的累積機率函數 CDF, 示意如圖 1-1, 橫軸為降雨強度門檻值, 縱軸為累積分布機率, 紅線為預報(FCST)降雨量、藍線為真實代表降雨量(GT)強度分布曲線, FMM 方法即將圖中紅線上各強度的雨量, 修正為藍線在縱軸等高(相同發生頻率)的強度, 做為預報校正值。

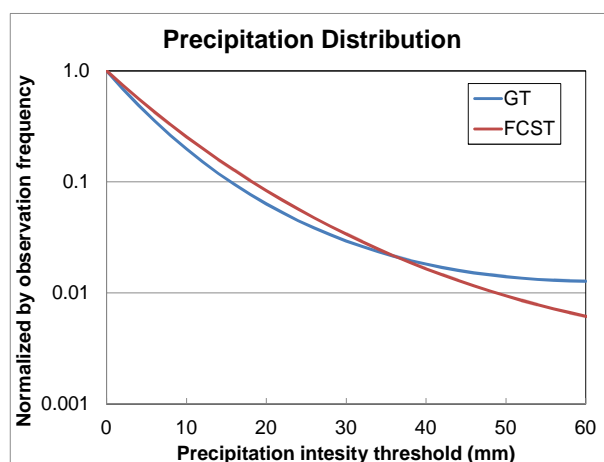


圖1-1 降雨強度之累積機率曲線示意圖

過去的測試案例發現 FMM 校正時受 CDF 和空間分布符合程度影響很大, 若作為校正目標的觀測值

CDF 與待校正的預報 CDF 差異很大，則校正的效果將變得較差，因此如何選擇空間分布相近的真實代表值，並調整時間權重讓 CDF 能合理反映該時期的降雨行為，乃是有效應用 FMM 方法之前提。為探討 FMM 方法應用於臺灣地區降雨預報的效果特性，本研究透過實作方法，並以雷達以及模式預報之雨量作為案例探討之。

以下第二章說明 FMM 方法之實作流程，第三章說明案例資料，第四章說明案例測試結果，並於第五章說明案例分析之結論。

二、方法

FMM 法根據真實代表值與預報值所產生的 CDF 作為校正的依據，以預報降雨的強度 CDF 分布應該接近與真實代表值的 CDF 相近的原則校正雨量，主要的校正流程如下：

1. 計算真實代表值與預報值的 CDF
 2. 利用前一時間的 CDF 以 DCA 法更新 CDF
 3. 計算預報降雨頻率對應的觀測雨量之關係
 4. 依照預報－觀測對應關係，校正預報雨量
- 以下說明各步驟的實作流程。

(一)計算CDF

透過設定一系列雨量門檻值 k ，可計算雨量大於某一雨量門檻的累積機率，故零雨量 CDF 值為 1.0，歷史極值以上 CDF 值為 0.0。對單一時間之降雨場，CDF 以降雨量超過 k 的網格所佔之比例計算之。

(二)DCA修正CDF

此處的 CDF 透過去年局內所引進的簡化形式卡門濾波-誤差衰退平均法(Decaying Average, DCA)，對雨量頻率 CDF 進行逐時的更新，動態去除觀測降雨及預報 CDF 之間的系統性誤差。

DCA 原本是用於校正系統性誤差的數學方法(Cui et al, 2012)，其利用簡單的權重關係，以很少的資訊量即可將時間序列的更新訊息與歷史保留資訊融合，達到動態更新系統性誤差的效果。DCA 法的計算公式如下：

$$D_k^{t+\Delta t} = (1-w)D_k^t + w \cdot d_k^t \quad (1.1)$$

式中上標 t 為時間， D 為過去資訊所累積的 CDF， d 為 t 時間降雨現象的 CDF，下標 k 為雨量門檻值， w

介於 0 到 1 之間。

此處利用 DCA 方法保留歷史資訊的效果，累積過去一段時間的降雨 CDF 資訊，用意為將降雨現象視為時間上具有連續性，故降雨的 CDF 分布也會參考過去一段時間的降雨現象計算之。DCA 方法中利用時間權重係數 w 代表更新時，新資訊的影響權重，其與新舊資訊的相對可信程度有關， w 愈大表示新資訊的可信度高，降雨行為隨時間變化幅度大；愈低則表示長期累積的舊資訊可信度高，降雨行為變化小。

(三)依降雨頻率建立雨量對應關係

FMM 之核心方法為根據 CDF 校正預報雨量，CDF 代表降雨事件的發生頻率。根據定義，較小的雨量累積發生頻率必較大雨量事件為高，零雨量的 CDF 為 1.0，其包含所有的降雨事件，超過歷史最大值的降雨事件 CDF 則為 0.0，表示事件從未發生。FMM 將任一降雨強度的降雨 $R(x)$ ，對應到強度頻率 CDF 相同的觀測降雨 $R^*(x)$ 上，使式(2.1)成立

$$D^{FCST}(x) = D^{OBS}(x) \quad (2.1)$$

實作時，由於降雨強度的採樣密度有限，故利用多個雨量門檻值 $R(k)$ (降雨強度採樣點)，透過 CDF 資訊 $D^{FCST}(k)$ 和 $D^{FCST}(k+1)$ 線性內插，求得雨量校正參考值：

$$R^*(x) = [R^*(k) - R^*(k+1)] \left[\frac{D^{FCST}(x) - D^{FCST}(k+1)}{D^{FCST}(k) - D^{FCST}(k+1)} \right] + R^*(k+1) \quad (2.2)$$

式中 k 表降雨門檻值， x 表任意強度，下同。求得參考值後，再計算校正係數：

$$\lambda(k) = R^*(k) / R(k) \quad (2.3)$$

再內插求任意位置的校正係數：

$$\lambda(x) = [\lambda(k) - \lambda(k+1)] \left[\frac{D^{FCST}(x) - D^{FCST}(k+1)}{D^{FCST}(k) - D^{FCST}(k+1)} \right] + \lambda(k+1) \quad (2.4)$$

(四)預報雨量校正

由以上公式計算得到預報雨量的校正係數後，降雨量的校正值即為原預報值乘以校正係數：

$$R'(x) = \lambda(x)R(x) \quad (2.5)$$

FMM 校正時僅依據原始預報的強度校正，與降

雨發生的位置以及空間分布型態無關。

三、案例設計

本研究採用臺灣地區雷達 QPE 降雨分析場校正 2014 年 QPF 預報場，並參考李孟軒等人(2015)，取極短期定量降水預報整合系統(Extended Ensemble NowCasting system, EENC)2015 年梅雨季中的一段降雨時期，確認方法特性與實作的效果。兩案例之實驗設計與參數依案例說明如表 3.1。

實驗之結果以公正預兆得分(Equitable Threat Score, ETS)分析校正方法的改善效益，ETS 計算時統計屬於全臺灣本島及周圍主要島嶼陸地的網格，時間上不計入最早的時間，該段時間內 CDF 仍在透過 DCA 更新，CDF 初始猜值之影響低於 1%後，始計算 ETS 直到結束。

表3.1 2014年校正案例實驗設計與參數表

設定參數	2014	2015梅雨
預報來源	雷達QPF	EENC預報
真實代表值	測站分析場	雷達QPE
起始時間	2014/01/01 00:00	2015/05/19 00:00
結束時間	2014/12/31 23:00	2015/05/25 23:00
時間解析度*	60min	60min
預報延時	60min	60min
空間左下點	21.8N 120.0E	21.8N 120.0E
空間右上點	25.4N 122.0E	25.4N 122.0E
空間解析度	0.0125°	0.02°
DCA權重係數	0.30	0.35
CDF訓練期	44	13
ETS計算範圍	臺灣陸地網格	臺灣陸地網格

註*：此處時間解析度係指計算時所採用之時間步長，非為該預報來源的最大解析度。

四、案例實作

(一)2014年雷達QPF預報案例

本案例選用 2014 年 1 月 1 日 00 時至 12 月 31 日 23 時(UTC)共 8760 小時，原始預報選用定量降水預報 QPF 延時 60 分鐘之預報進行校正。校正之參考值選用克利金法內插測站(共 318 站)降水觀測值分析場。計算 ETS 得分時，前 44 小時視為訓練期忽略之。

以 2014 年全年統計的預報與校正後的 ETS 得分繪如圖 4-1，圖中實線為 ETS 得分，淺色線表原始預報，深色線表校正預報，左(主)縱軸高度為 ETS 得分，愈高者預報技術愈佳，1.0 為完美預報，0.0 則技術等同隨機預報；橫軸為降雨門檻值，愈右側降雨強度愈大、發生機率亦愈低，橫軸降雨大於 50mm/hr 者從略，因為此時發生次數樣本已過低，計算出之 ETS 得分可信度不足；另外黃虛線為 ETS 得分改善比例，即 $(ETS_{FMM}-ETS)/ETS$ ，對應右(次)縱軸高度。

由圖可見 FMM 能顯著改進原本的 QPF 1 小時預報，在 50mm/hr 以下可改進 ETS 超過 0.035，在中小雨量(5-27.5mm/hr)時可改進高達 0.05。由 ETS 的改進百分比來看則改進效益隨雨量門檻穩定增加，5mm/hr 時達 20%，25mm/hr 以上則可達 100%。

FMM 法校正前後的降雨分布變化，即是來自降雨強度 CDF 的差異，此現象可由降雨分布與 CDF 曲線明顯看出，以下即以 2014 年 5 月 19 日 05:00Z 時間之預報降雨，示範 FMM 法校正之效果，圖 4-2(a)為該時間之降雨強度頻率 CDF，橫軸為降雨強度，縱軸為累積發生頻率，同圖(b)及(c)分別為預報降雨校正前後之降雨分布，圖(d)為同一時刻的分析場。

如圖可見 QPF 的降雨 CDF(藍線)較分析場(褐線)偏左下，表示其整體降雨強度比分析場來得低，因此，FMM 校正時，應會將 QPF 的降雨強度提升，以符合分析場的降雨強度，如圖(b)及(c)所展示。由比較圖(b)、(c)和(d)，可說明 FMM 法僅會調整降雨的強度，故雖然(c)的強度增加而使得校正預報更接近(d)，但(b)和(c)在空間上的降雨分布情況是相同的，而僅有強度受到調整。

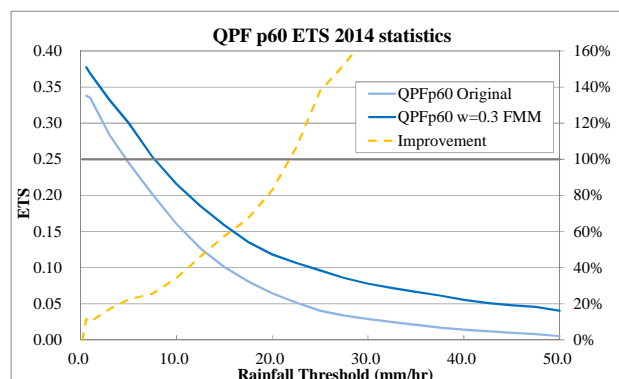


圖4-1 2014全年降雨預報校正前後ETS得分圖

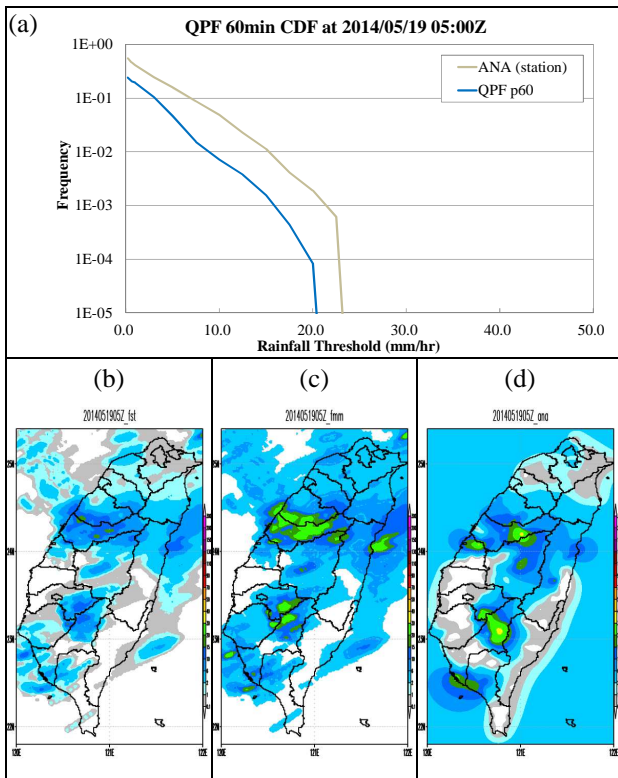


圖4-2 2014年QPF預報降雨校正前後ETS得分圖 (2014/05/19 05:00Z)

(二)2015年梅雨EENC模式案例

本節所選取的 2015 年 5 月 19 至 25 日，共 168 小時長度的時段，以 EENC 系集整合預報之產品做為預報來源，包含(1)優選平均 EM、(2)NewPM 平均與(3)超越機率 20%降雨平均 QPFp20 等三種整合資訊，共 6 種預報產品，以權重 $w=0.35$ 的 DCA 統計 CDF，FMM 以 QPESUMS 作為參考進行校正。

校正結果與原始預報之 ETS 得分，依優選平均、NewPM 與 QPFp20 分別為比較如圖 4-3 至圖 4-5。由圖可見 FMM 校正後，對 EM 和 NewPM 技術有所改善，QPFp20 則低於原始預報，其中 EM 改善最佳，經校正的技術得分在 30mm/hr 以下皆能較原始預報高出約 0.1 左右，ETS 隨降雨強度減少之趨勢亦較緩和，以改善比例來看在 15mm/hr 以下大致有 30~40% 左右，到 20 mm/hr 以上則改善幅度皆超過 100%。在 NewPM 的部分，校正預報的整體表現仍明顯優於原始預報，在低雨量(25mm/hr 以下)時可保持約 0.05 的 ETS 領先，整體的改善百分比皆維持在 30~40% 左右。最後 QPF p20 校正後的表現則與原始預報相仿，校正沒有顯著的改進效果。

整體而言 FMM 法對 EM 及 NewPM 有全面性的改善，這可能是因為 EM 透過辨識而能夠掌握觀測的降雨空間分布特徵。相反地對 QPFp20 來說則未能改

善，可能是因為利用超越機率 20%的較大雨量合成的降雨分布形態上，雨峰位置與雷達的單一時間觀測相似度較低，FMM 校正後反而誤判降雨分布型態所致。

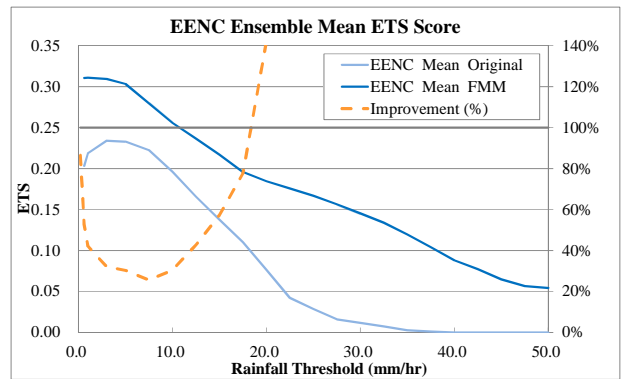


圖4-3 2015梅雨EM預報降雨校正前後ETS得分圖

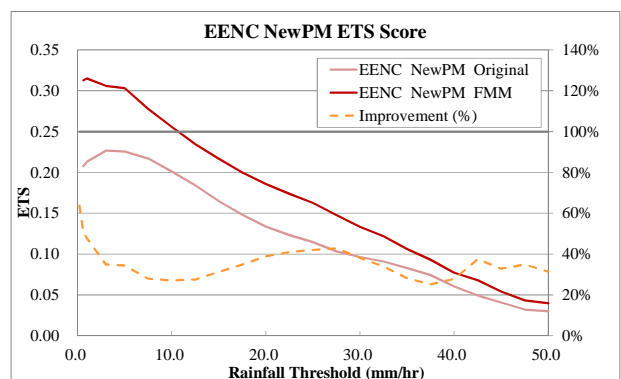


圖4-4 2015梅雨NewPM預報降雨校正前後ETS得分圖

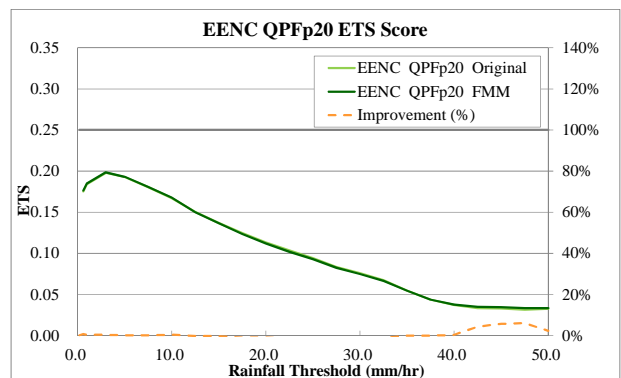


圖4-5 2015梅雨QPFp20預報降雨校正前後ETS得分圖

2015 年 5 月 23 日 12:00Z 時間，降雨分布受校正的變化與當日降雨強度 CDF 之關係，依 EM、NewPM 及 QPFp20 三種產品分別繪如圖 4-6 至圖 4-8。

由圖 4-6(a)可見，EM 的降雨 CDF(藍線)和 QPE(褐線)交叉於降雨量 1mm/hr 處，1mm/hr 以上 EM 較偏左下，表示其降雨強度分布較觀測偏低。其最低頻率的降雨約落在 20mm/hr 左右，以上的降雨頻率已

低於顯著(即頻率低於空間網格數倒數)，而觀測降雨則到 50mm/hr 仍顯著，因此，FMM 校正時會將預報降雨朝觀測的頻率校正，結果會使得較低的預報降雨全數上修。頻率上修的概念亦可想像為「將空間上發生一定程度以上降雨的網格數增加」，故整體降雨量提升。由空間分布圖(b)和(c)亦可看到校正後，台灣西南海域的主要雨帶整體降雨量被 FMM 提高，包含雨峰由 20mm/hr(淺綠)提升至 70mm/hr(紅色)，各地降雨分布由 1~5 mm/hr(青藍)提升至 5~15 mm/hr(深藍)等。此外淺青色與灰色區域則減少，對應到降雨量 1mm/hr 以下是 EM 雨量高於 QPE 之情形。

圖 4-7 為 NewPM 的 CDF 及 FMM 校正前後降雨分布圖，由圖(b)和(c)可見較大的降雨(綠至紅色，15~90mm/hr)面積縮小，而灰與藍色的雨帶面積則增加，與(a)之 CDF 曲線交叉於 15mm/hr 相對應。

圖 4-8 為 QPFp20 之 CDF 及降雨分布圖，由 CDF 曲線可見，主要在 20mm/hr 以下及 35mm/hr 以上為 QPFp20 高於 QPE，20~35mm/hr 之間則為 QPE 較高，但十分相近，由於 CDF 相近，修正後降雨的強度並沒有明顯的變化，見圖(b)和(c)。

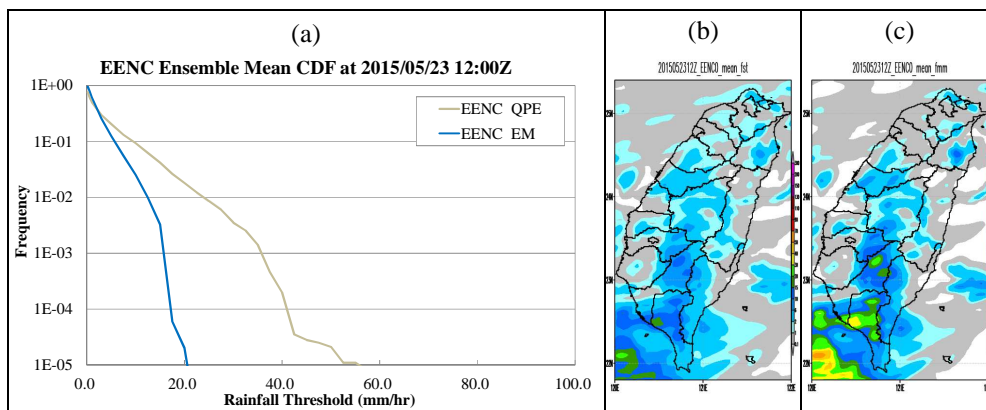


圖4-6 梅雨EM預報降雨校正前後降雨空間分布圖(2015/05/23 12:00Z)

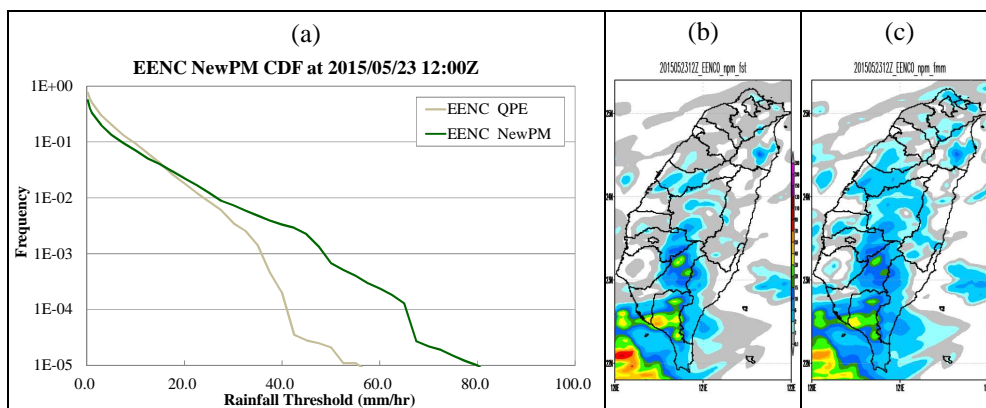


圖4-7 梅雨NewPM預報降雨校正前後降雨空間分布圖(2015/05/23 12:00Z)

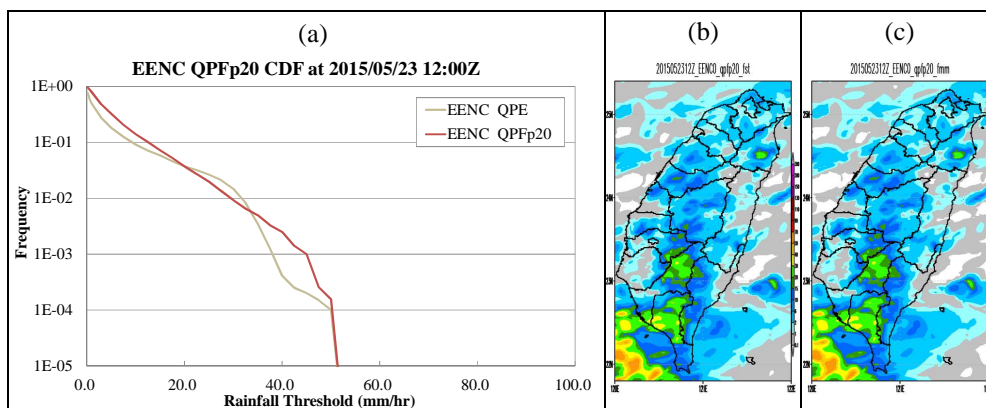


圖4-8 梅雨QPFp20預報降雨校正前後降雨空間分布圖(2015/05/23 12:00Z)

五、結論

本研究透過兩個案例，進行 FMM 實作之實驗，探討 FMM 校正法的效益與實作上的問題，以案例結論來說，2014 年參考測站分析場校正雷達 1 小時 QPF 預報，效果十分良好，校正後預報改善百分比可達 20~100% 以上；2015 年梅雨期間，以 QPE 降雨校正 EENC 整合預報產品的結果，則在系集優選平均 EM 上有良好的校正效果，NewPM 在低雨量時有正面的校正效果，超越機率 20% 降雨 QPFp20 則較校正前未能改進。

參考文獻

- [1] Cui, B., Z. Toth, Y. Zhu, and D. Hou, 2012: Bias correction for global ensemble forecast. *Wea. Forecasting*, 27, 396-410.
- [2] Zhu, Y., and Z. Toth, 2004: May 2004 implementation of bias-corrected QPF and PQPF forecasts. NOAA/NWS/Environmental Modeling Center.
- [3] Zhu Y. J. and Luo Y., 2015: Precipitation Calibration Based on the Frequency-Matching Method. *Wea. Forecasting*, 30, 1109–1124.
- [4] 交通部中央氣象局，2015：「104 年度地面氣象觀測資料網格化實作計畫」。
- [5] 交通部中央氣象局，2015：「小區域暨災害性天氣資料分析與應用建置案——極短時強對流預報監測及預報整合系統」。
- [6] 李孟軒、葉世瑄、陳建安、朱美霖、黃椿喜，2015：「梅雨豪大雨個案之定量降水預報校驗」，104 年天氣分析與預報研討會論文全文彙編，A7-160。

