

# 中央氣象局定量降水預報指引評估

賴曉薇 洪景山

交通部中央氣象局

(中華民國 109 年 10 月 5 日收稿；中華民國 110 年 4 月 5 日定稿)

## 摘要

受到可預報度、模式能力和電腦資源的限制，中央氣象局因應不同的預報需求研發不同的模式預報技術，並產製相應的客觀預報指引。本文從實際預報作業的應用切入評析即時可用的定量降水預報客觀指引（Guidance for Objective QPF, GOF）在高影響天氣的預報特性，以做為防災決策適用性的參考。篩選在 2017 及 2018 年臺灣地區發生顯著降雨的個案（包括梅雨、西南氣流、颱風、午後對流與鋒面系統），收集各 GOF 產品進行定量降水校驗，並依據領先時間分為三個時段（即時預報、極短期預報及日預報時段）比較其差異，最後以 2018 年 0823 豪雨事件為例說明各 GOF 的預報特性。

雷達外延預報在第 1 小時預報有最高的校驗評分及與觀測的相關性，是即時預報及防災預警的重要資訊。建立在資料探勘基礎所發展之 iTEEN（integration on Taiwan Extended Ensemble Nowcasting）產品第 1 小時預報校驗評分和相關係數僅次於前者，其 2-5 小時的即時預報皆優於前者之第 2-3 小時預報，在各降水閾值皆具有高的可偵測率，但同時也呈現過度預報的特性。快速循環更新的對流尺度資料同化系統主要同化雷達和地面觀測資料，藉由即時改善初始場得到校驗評分高和偏倚分數小的預報，與觀測的相關性亦佳，能提供 12 小時的極短期預報。區域模式因對於對流天氣的可預報度較低，其極短期預報校驗評分浮動大且多半低於前述預報指引；在 13-72 小時的日預報方面，系集預報系統經後處理的機率擬合定量降水預報（probability match mean）產品和決定性預報相比，在降雨區域和型態上與觀測的相關性較佳，有助於得到稍高的校驗評分。

關鍵詞：定量降水預報、客觀預報指引、雷達外延預報、iTEEN、對流尺度同化系統、決定性預報、系集預報

## 一、前言

大氣所具有的非線性過程限制了數值天氣預報 (Numerical weather prediction, NWP) 對天氣系統的可預報度。在幾近完美的模式系統中，初始場的些微差異就可能使模式的預報結果產生顯著差別，稱為內在可預報度 (Intrinsic predictability)。而在實務運作上，受到模式初始條件、數值方法及物理過程等諸多的不確定性的影響，更進一步侷限了 NWP 的預報能力，則為實際可預報度 (Practical predictability; Lorenz 1996; Melhauser and Zhang 2012; Zhang et al. 2019)。

受到可預報度和計算資源的限制，NWP 系統依據不同目的大抵進行以下區分。首先是「全球模式」對比於「區域模式」，前者可提供較大尺度、預報延時較長之綜觀天氣展望，後者可有較高之水平解析度，提供中尺度天氣系統之發展演變過程，一般預報長度視計算資源而定，從 12-72 小時的日預報 (或稱短期預報)，到 7 日以上的中期預報不等 (氣象預報範圍定義所包含的時間並沒有絕對限制，參考來源為 WMO: <https://www.wmo.int> 及 AMS [glossary:](https://glossary.ametsoc.org/)

<https://glossary.ametsoc.org/>)。其次，對於高度非線性天氣系統而言，因單一「決定性模式」的可預報度低，「系集預報系統」則可藉由系集成員預報來涵蓋並量化模式預報的不確定性 (Fujita et al. 2007; Zhou and Du 2010; Berner et al. 2017)。最後，針對快速變動的對流降水系統，藉由提高資料同化的更新頻率，配合可用的觀測資料 (例如衛星、雷達或局地觀測) 以改善初始條件，有助於提升極短期預報 (12 小時的預報) 的準確度，提供短延時強降雨的天氣災害預警。

天氣預報中的定量降水預報 (quantitative precipitation forecast, QPF) 產品與災害預警緊密相關，是防災整備和決策支援最重要的資訊之一。外延法 QPF 在災害預警上一直扮演著重要角色 (Shiiba et al. 1984; Dixon and Wiener 1993; Turner et al. 2004; 丘等 2007; 李等 2013; 洪等 2014; Jung and Lee 2015)，特別是即時預報 (預報長度為 2-6 小時; Browning, 1981)。外延法 QPF 是由雷達回波和雨量觀測經過風暴定位、追蹤，運用回波移速場估算及時空外延來推估的即時降雨預報 (Lakshmanan et al., 2003)；它在 0-3 小時的降雨預報具有相當高的預報能力，然

而因其無法掌握天氣系統的演變過程，預報能力隨預報長度增加而快速遞減(Lin et al. 2005；潘等 2018)。將外延法與 NWP 預報結合是一個延伸即時 QPF 預報效能的重要應用，例如，通過雷達觀測修正決定性模式降水預報的強度偏差、並進行位置校正以減少預報降水的位置誤差，將外延法與經過校正後的 NWP 預報進行統計加權平均加以融合，而獲得即時 QPF 產品 (Atencia et al. 2010；劉等 2018；劉等 2019)；或者相反的，信任外延法的風暴回波位置，以數值模式預報結果針對對流胞發展強度變化進行即時預報的修正(Lin et al. 2020)；另外，外延法預報亦可將其風暴運動場與 NWP 預報風場預報進行運動場融合，形成了一個混合系統，以改進即時預報 (Chung and Yao, 2020)。再進一步，利用相似度演算法整合雷達回波影像與系集模式預報所提供的巨量資料進行資料探勘和後處理，加值產製 4-6 小時的 QPF (陳等 2016)。而經由雷達資料同化快速循環更新來進行的 12 小時極短期預報，比前者更能掌握快速變化的對流系統結構與演變。以雷達觀測資料修正或更新模式初始場在半天以上的日預報逐漸失去優勢，QPF 主要仍受限於可預報度。如此，

相較於單一決定性預報，系集後處理產品能夠提供較準確並穩定的 QPF (Ebert et al. 2001)。

受到可預報度、模式能力和電腦資源的侷限，中央氣象局 (Central Weather Bureau, CWB) 因應不同的預報需求研發不同的預報技術，並產製相應的定量降水預報客觀指引 (Guidance for Objective QPF, 本文簡稱 GOF)。為了解這些 GOF 在高影響天氣的預報特性，本研究篩選 2017 及 2018 年在臺灣地區發生的顯著降雨個案，通過客觀校驗以評析其在臺灣地區的降雨預報效能，並從實際作業應用的角度探討其優勢或限制，研究結果可做為預報作業及防災整備時的參考和進一步整合的基礎。

## 二、GOF 說明

本研究針對 CWB 現行作業系統產製的 GOF 進行客觀校驗，包括 1) 劇烈天氣監測系統、2) 極短期定量降水預報整合系統、3) 對流尺度資料同化預報系統、4) 區域決定性預報系統，以及 5) 區域系集預報系統等。考慮模式特性、應用需求及電腦資源，各 GOF 產品具有不同的更新頻率、預報長度和實際作業到位延遲時間，

詳細說明如下（簡列於表 1）。

### 1. 劇烈天氣監測系統

CWB 的劇烈天氣監測系統 QPESUMS ( Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor ; Chang et al. 2009 ) 結合地理資訊、並整合了臺灣地區包括雷達觀測、閃電等多重觀測資料，提供即時劇烈天氣監測資訊，包括高解析度之定量降水估計 ( Quantitative Precipitation Estimation , QPE ) 及定量降水預報產品等。其中，定量降水預報產品是來自於 CWB 與美國海洋暨大氣總署所屬國家劇烈風暴實驗室合作發展的雷達外延預報技術 ( Lakshmanan et al. 2003 ) ，利用影像處理技術以階層式分群法進行多胞風暴定位、在連續影像中運用誤差最小化分析追蹤回波區段在過去一段時間的移動趨勢，並利用分析的移速場進行回波時空外延來推估未來 1-3 小時的降雨率，最後針對臺灣地形進行在地化的調校，得到 0-3 小時的逐時定量降水預報 ( 方等，2017。以下簡稱為 QPEQPF ) 。QPEQPF 每 10 分鐘更新，產品解析度為  $0.0125^\circ$  ，產品到位的延遲時間約 10 分。

### 2. 臺灣極短期定量降水預報整合系統

陳等 (2016) 針對臺灣區域發展極短期定量降水預報整合技術，參考臺灣地區即時雷達回波觀測，在不同初始時間、預報時間及系集成員所組成之系集預報大數據輸出中進行資料探勘，利用影像辨識技術量化模式和觀測回波的相似程度，找到最相似的前 10 名的預報，再將這 10 名成員的降水預報進行系集後處理以突顯強降雨分布和極值，並輸出 1-6 小時之極短期定量降水整合預報產品，命名為臺灣極短期定量降水預報整合系統 ( integration on Taiwan Extended Ensemble Nowcasting , 簡稱 iTEEN。黃等 2016。 ) 。iTEEN 產品為逐時更新，資料到位延遲約 40 分。

### 3. 對流尺度資料同化預報系統

CWB 的對流尺度同化預報系統同化了包括雷達資料 ( 回波及徑向風 ) 和地面觀測的資料，並介接水平解析度為 2 km 的 WRF 模式 ( Weather Research and Forecast ) 。依同化方式分為二個子系統，第一是以三維變分為主 ( 3DVAR ; Barker et al., 2004 , 蔡等 2019 ) 的同化系統，以下簡稱 RWRF，第二是建立在 32 組局地系集轉置卡爾曼濾波同化 ( Local Ensemble Transform Kalman Filter ; Hunt et al. 2007 ;

Yang et al. 2009 ; Tsai et al. 2014) 系統上，以系集平均進行模式預報，以下簡稱 LETKF。預報作業為逐時更新，現行預報長度為 13 小時，預報資料到位延遲時間為 1 小時。

#### 4. 決定性區域模式預報系統

CWB 的決定性區域模式預報系統主要是使用 WRF 模式。一般而言，全球模式預報採用全循環更新以充分發揮資料同化的效益，CWB 區域模式海上同化的觀測資料有限，且受邊界條件影響，為避免全循環更新累積預報誤差，因此採用部分循環更新策略，也就是在預報起始時間前 12 小時冷啟動，配合混合式系集－三維變分資料同化更新方法（江和洪，2018）進行 2 次循環資料同化，並引入混合方案（Blending scheme。Hsiao et al. 2015）以結合全球模式預報的大尺度環流特徵，建構為區域數值天氣預報作業系統（戴等 2017），以下簡稱 WRFD（取其 Deterministic WRF 之意）。而 Typhoon WRF（簡稱 TWRF）則是在 WRFD 的研發基礎上，針對颱風路徑預報進一步調校及並研發新的預報策略；現行 TWRF 於前述混合方案使用了不同的空間尺度配置，更

多保留全球模式預報的大尺度環流，其颱風路徑誤差表現與歐洲中長期預報相當，並逐年減小（Hsiao et al. 2020）。WRFD 和 TWRF 均為二層巢狀網格，解析度為 15/3 km，預報作業為一天更新 4 次，預報長度為 120 小時。預報資料到位延遲時間約為 6-7 小時左右。

#### 5. 區域系集模式預報系統

CWB 在改善定量降水預報方面，除了強化單一模式預報準確度，為涵蓋並量化模式預報的不確定性，建立以 WRF 模式為基礎的系集預報系統（WRF based ensemble prediction system，WEPS），並提供這些資訊進行機率預報（李與洪 2011；Li et al. 2019；張等 2018；章等 2018 和陳等 2018）。現行 WEPS 模式有 20 組系集成員，模式解析度為 15/3 km 二層巢狀網格，每日更新 4 次，預報長度為 108 小時。

一般而言，系集平均相對於決定性預報有更高的預報準確度（Du et al. 1997; Buizza and Palmer 1998），然而對於降雨預報而言，系集平均卻會因過度平滑而造成極端值預報不足（Ebert et al. 2001; Fang and Kuo 2013；蘇等 2016）。本研究使用機率擬合平均（Probability-Matched Mean；

葉等 2016；蘇等 2016) 方法，在系集平均的基礎上，藉由重新分配系集降水頻率分布，來擬合系集平均和系集成員的預報以

產製單一 QPF 產品 (WEPS- Probability-Matched Mean, 以下簡稱 WPM)。受限於計算資源，WPM 延遲約 10-12 小時。

表 1 CWB 現行主要之定量降水預報客觀指引 (Guidance for Objective QPF, GOF) 簡要說明

GOF	內容	水平解析度	更新頻率	預報長度	到位延遲時間
QPEQPF	雷達外延預報	0.0125 度	每 10 分	3 小時	8-10 分
iTEEN	以即時雷達回波觀測做為參考，對系集預報大數據輸出中進行資料探勘及後處理的極短期降雨預報產品	2 公里	每小時	6 小時	32-40 分
RWRF	使用三維變分法同化雷達資料 (回波及徑向風) 和地面觀測，快速循環更新初始值，以 WRF 模式進行極短期預報	2 公里	每小時	13 小時	1 小時
LETKF	利用 32 組成員的局地系集轉置卡爾曼濾波系統來同化雷達及地面觀測，以系集平均做為初始值，使用 WRF 模式進行極短期預報	2 公里	每小時	13 小時	1 小時
WRFD	使用 WRF 模式建構為區域數值天氣預報作業系統；初始值採部分循環更新策略進行混合式系集—三維變分資料同化，並引入混合方案以結合全球模式預報的大尺度環流特徵	15/3 公里	一天 4 次	120 小時	6-7 小時
TWRF	在 WRFD 的基礎上依據不同的空間尺度進行混合方案的調校，而最適化對颱風路徑的預報能力	15/3 公里	一天 4 次	120 小時	6-7 小時
WPM	以系集系統的 20 組成員預報進行機率擬合平均的降雨預報產品	15/3 公里	一天 4 次	108 小時	10-11 小時

### 三、個案選取與校驗方法

氣象局的 QPESUMS 系統整合臺灣地區雷達觀測，利用雷達觀測進行定量降水估計，並經過地面雨量站的修正 (以下簡稱 QPE；丘等 2007，Zhang et al. 2008，唐等 2016)，QPE 產品每 10 分鐘更新，解析度為 0.0125°。本研究以 QPE 進行個案選取，並以此為隨後校驗使用之觀測真值。將各 GOF 的雨量預報內插到 QPESUMS

的格點上，就臺灣陸地的降水預報進行定量校驗。

本研究主要是針對強降水個案進行各 GOF 的預報能力評析，以單一小時雨量進行個案樣本的篩選，標準包括 1) 廣泛的降雨範圍 (時雨量大於 1 mm 的降雨面積達全島之 40%)、2) 大的降雨強度 (時雨量大於 40 mm 之降雨面積達 1%) 以及 3) 足夠長的降雨延時 (符合前 2 條件並持續發

生至少 2 小時)。依上述條件選取 2017 年及 2018 年的顯著降雨個案樣本時數共 463 小時，考慮預報可能提前或延後，亦選取符合上述條件之前後 3 小時的模式預報，總校驗時數為 585 小時。個案樣本時間即為本研究所校驗的有效時間 (valid time,

VT)。所選定的顯著降雨個案樣本時間分布如圖 1，包含不同時空尺度，其中主要為梅雨 (40%) 和西南氣流豪雨 (23%)、部分為颱風 (17%)、午後對流 (15%) 與鋒面 (5%) 系統。

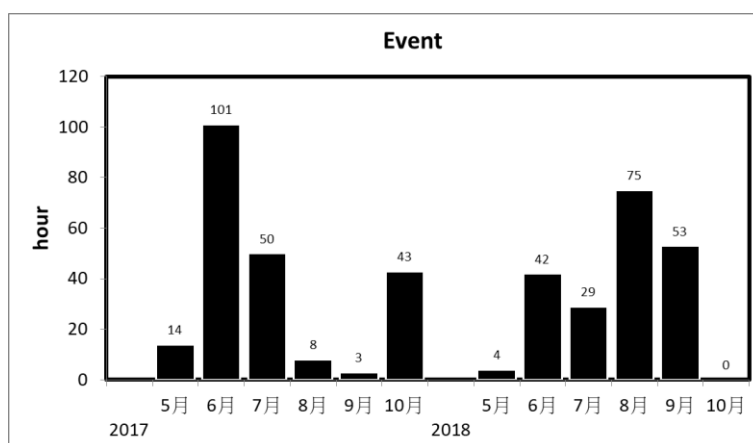


圖 1：本研究收集 2017 年及 2018 年 5-10 月之顯著降雨個案時數。

本研究著重在評估實際作業時可參考使用之 GOF 的預報能力。參考圖 2，在實際作業時 (operation time, 以下簡稱 OPT; 例如 2018 年 8 月 23 日 00 UTC) 要對未來進行預報 (作業的預報時間, operational forecast time, 以下簡稱 OFT。參圖 2 紅色數字部分)，若是欲參考使用的產品是可以即時到位 GOF，則其產品的預報時間 (forecast time, 以下簡稱 FT。對照圖 2 之黑色數字部分) 即等同 OFT，例如

QPEQPF；若產品到位的時間延遲 (delay time) 為 1 小時，諸如 iTEEN、RWRP 或 LETKF，其預報初始時間為前 1 小時 (2018 年 8 月 22 日 23 UTC)，那麼其第 1 小時預報的產品 (FT=1) 在 OPT 已無法使用，而針對某一有效時間 (例如 VT 為 2018 年 8 月 23 日 03 UTC) 為作業預報時間第 3 小時 (OFT=3)，則需參考該 GOF 的第 4 小時預報產品 (FT=4)。由於到位延遲前的預報產品在實際作業上不會使用到 (對

照圖 2 之灰色數字部分)，本研究中將不進行校驗。

本文所討論的預報時間皆指 OFT，並將 OFT 區分為三個時段進行討論：第 I 時段為即時預報（本文定義為 OFT=1-5 小時）、第 II 時段為極短期預報（本文定義為 OFT=6-12 小時）、以及第 III 時段為超過 12 小時的日預報（本文定義為 OFT=13-72 小時）。校驗時，是針對選取個案的 VT，對照該時刻 GOF 產品所具有之不同的 OFT（例如 VT 為 2018 年 8 月 23 日 03 UTC，iTEEN 同時具有 OFT=1 或 OFT=5 小時針對該時預報的產品）；因此研究校驗結果雖以 OFT 為討論的時間軸，其概念與過去研究在 FT 的連續時間軸並不同，目的是為要了解不同領先時間（lead time）的預報能力。

定量降水預報校驗使用列聯表（contingency table；Wilks，2006）計算不同降雨閾值的預報評分，包括可偵測率（Probability of Detection，POD）、誤報率（False Alarm Rate，FAR；或以 1-FAR 表示，即成功預報率 success ratio，SR）、漏報率（Missed Rate）、偏倚得分（Bias Score，BS），預兆得分（Threat Score，TS）以及公正預兆得分（Equitable Threat Score，

ETS）等。另本文亦使用鄰域空間檢驗方法（Fraction Skill Score，FSS；Roberts and Lean，2008），以減少點對點校驗中因小的位移誤差而導致的懲罰效果；FSS 是在特定時空窗區內若超過某閾值的預報降水發生機率與觀測降水相同，則具有完美的預報技術得分 1；分數為 0 表示沒有預報技能。FSS 為指定半徑的函數，指定半徑愈大則 FSS 的值愈大，FSS 最小有效半徑為網格長度的 2.5 倍，WRF 區域模式解析度為 3km，最小有效半徑為 7.5km，本研究取其稍大的整數，校驗空間窗區設定為半徑 8 km。

相對於以降水閾值做為分群的定量降水預報校驗分數，本研究也以 2018 年長時間持續降雨的 0823 豪雨事件為例，以整體降雨量的比較具體呈現各 GOF 的預報特性。2018 年 8 月 23-30 日臺灣地區受到熱帶低壓伴隨西南氣流影響，長時間持續的降雨使得中部與南部縣市發生嚴重淹水事件，造成 7 人死亡、2 人失蹤，農業損失高達 7.6 億元以上（王等，2018 年）。在 0823 豪雨事件中達到本研究顯著降兩個案的選取標準共 75 小時，包含了 2 個連續時間超過 30 小時的時段，分別在 8 月 23-24 日和 27-29 日。利用統計上常用以





圖 2：實際作業時（星號，例如 2018 年 8 月 23 日 00Z）進行對未來 72 小時進行預報（OFT，紅字）區分為三個預報時段，對應下列各 GOF 的預報時間（FT，斜體數字），其中到位延遲時間之前的預報在作業時無法使用，以灰色斜體數字表示（例如 iTEEN 到位延遲時間為 1 小時），作業時可使用的預報時間以黑灰斜體數字表示（例如 iTEEN 可使用的預報為 FT=2-6 小時，對應 OFT=1-5 小時），詳細說明請見內文。

分析兩者變數相關的相關係數來檢示 GOF 與 QPE 的相關性，包括皮爾森相關係數和斯皮爾曼相關係數。皮爾森相關係數應用至平面空間，是在網格點上進行點對點的計算，相關係數值愈接近 1 表示兩者空間分布的相關性愈高、降雨覆蓋位置的重疊區域愈多。斯皮爾曼相關係數被定義是等級變量之間的皮爾森相關係數，它是以變數的排序值（rank）來計算相關係數。一般而言，皮爾森相關常用在呈現連續型變數之間的關聯性，尤其在變數符合常態分布和線性關係的假設下，皮爾森相關最為精確；然而降雨並不符合常態分布，且可能具有離群值，觀測和預報間不必然存在線性關係，以斯皮爾曼相關來呈現可

以更清楚的反映出兩者在降雨型態上的相關性。另外，利用區域加總雨量（區域平均雨量亦同）來討論各 GOF 相比於 QPE 的整體偏差特性。將各 GOF 和 QPE 在陸地格點的雨量分別加總後相比；比值接近 1 表示該 GOF 區域總雨量與 QPE 相仿，比值大於 1 表示該 GOF 區域總雨量多於 QPE，有過度預報偏差，比值小於 1 表示有預報不足的偏差。

#### 四、分析結果與討論

##### 1. 定量降水預報校驗

以下主要針對較大的降雨閾值 20 mm/hr 進行定量降水預報校驗討論。圖 3-5 分別為各 GOF 在三個預報時段的綜合校

驗統計結果，圖 6 則列出為各 GOF 校驗分數在不同 OFT 的表現。綜合校驗統計結果以效能圖(Performance diagram, Roebber 2009)來呈現：效能圖的縱軸為 POD，橫軸為 SR (1-FAR)，POD 越高代表預報能掌握住大部分觀測有發生的事件，而較高的 SR 代表預報的假警報較少；斜線為 BS，若預報校驗結果落在斜線上方區域 ( $BS > 1$ )，代表雖然能掌握住多數觀測有發生的事件，但也有過多的假警報，為過度預報，斜線下方區域 ( $BS < 1$ ) 則為預報不足。整體而言，當預報結果越靠近效能圖右上角 (TS 較高、預報無偏倚)，代表預報能力較佳，靠近左下角 (TS 低、POD 低或 FAR 高)，代表預報能力較差。

第 I 時段大雨預報的準確度對於短時強降雨的即時預警相當重要，亦檢視各 GOF 在大雨閾值 40 mm/hr 的綜合預報能力 (圖 3)。第 1 小時預報 (OFT=1)，QPEQPF 展現最佳的預報評分 (TS 在閾值 20 和 40 mm/hr 分別為 0.25/0.16)，遠超越其它的 GOF，但它在效能圖的位置偏左上，表示雖能掌握到觀測有發生的事件 (高的 POD，分別為 0.56/0.47)，然而也同時具有過多的假警報，是為過度預報 (BS 分

別為 1.8/2.5)。隨後 2 小時，QPEQPF 掌握觀測事件的預報能力降低，POD 顯著減低，TS 大幅度減小，BS 顯示隨預報時間增加，在大雨閾值由顯著過度預報轉為稍微預報不足。iTEEN 在第 1 小時的預報得到次高的 POD 和 TS；iTEEN 亦大致呈現評分隨預報時間增加而下降，但降幅小於 QPEQPF，且第 2 小時之後的 TS 皆優於 QPEQPF 第 2 小時 (OFT=2-5 小時降水閾值為 20mm/hr 的 TS 介於 0.13-0.16)；iTEEN 在整個第 I 時段則一直維持顯著的過度預報，在大雨閾值 BS 達到 2-4 之間。相比於 iTEEN，RWRF 和 LETKF 的 POD 和 TS 稍低，預報偏倚較小 (在降水閾值為 20mm/hr 的 TS 大致介於 0.11-0.14 間，BS 大致介於 0.8-1.3 間)。區域模式預報的 WRFD、TWRF 和 WPM 的預報評分跳動較大，TWRF 在 OFT=4-5 小時的大雨閾值的評分甚至是最高的 (TS~0.1)，WRFD 也有不錯的表現；TWRF 和 WPM 沒有明顯的偏倚趨勢，WRFD 稍偏預報不足。

隨預報時間增加，預報不確定性亦增加，在第 II 及第 III 時段大雨閾值 (40 mm/hr) 的評分過低，難以區分 GOF 的預報差異，以降雨閾值 10 mm/hr 和 20 mm/hr

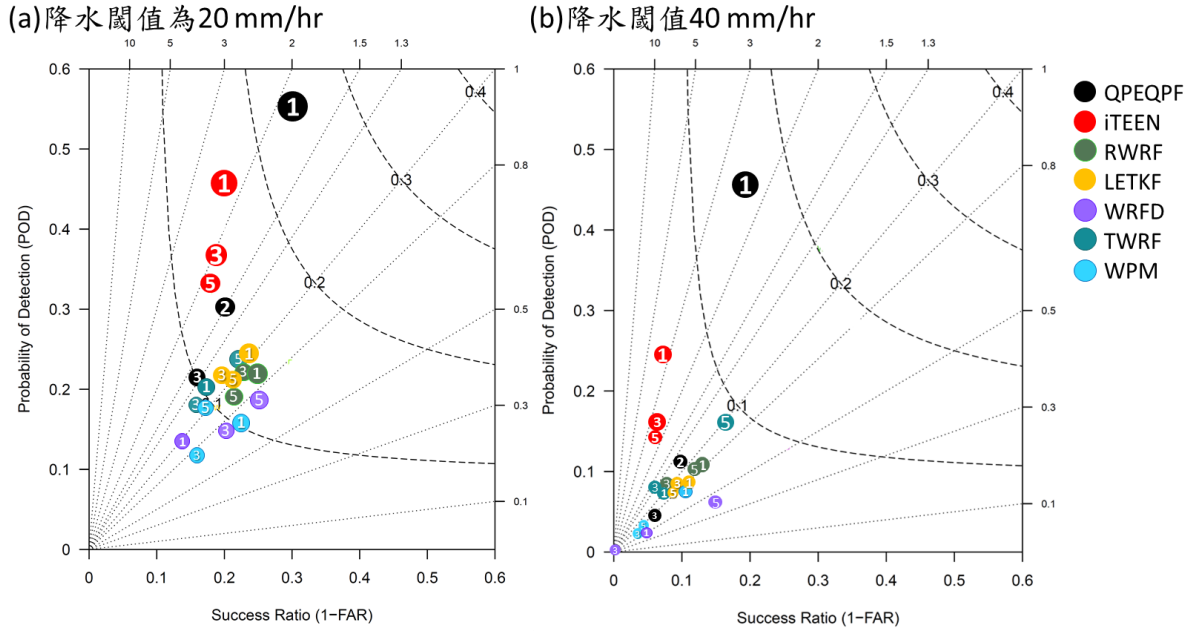


圖 3：第 I 時段各 GOF 之 QPF 校驗效能圖。縱軸為 POD，橫軸為 SR，斜線為 BS 和曲線為 TS，詳細說明請見內文。不同的顏色代表不同的 GOF（如右側色標所示），圓內數字表示 OFT（除了 QPEQPF 顯示 OFT=1-3 小時之外，其它 GOF 僅顯示 OFT=1、3、5 小時）。降水閾值(a)為 20 mm/hr，(b)為 40 mm/hr。

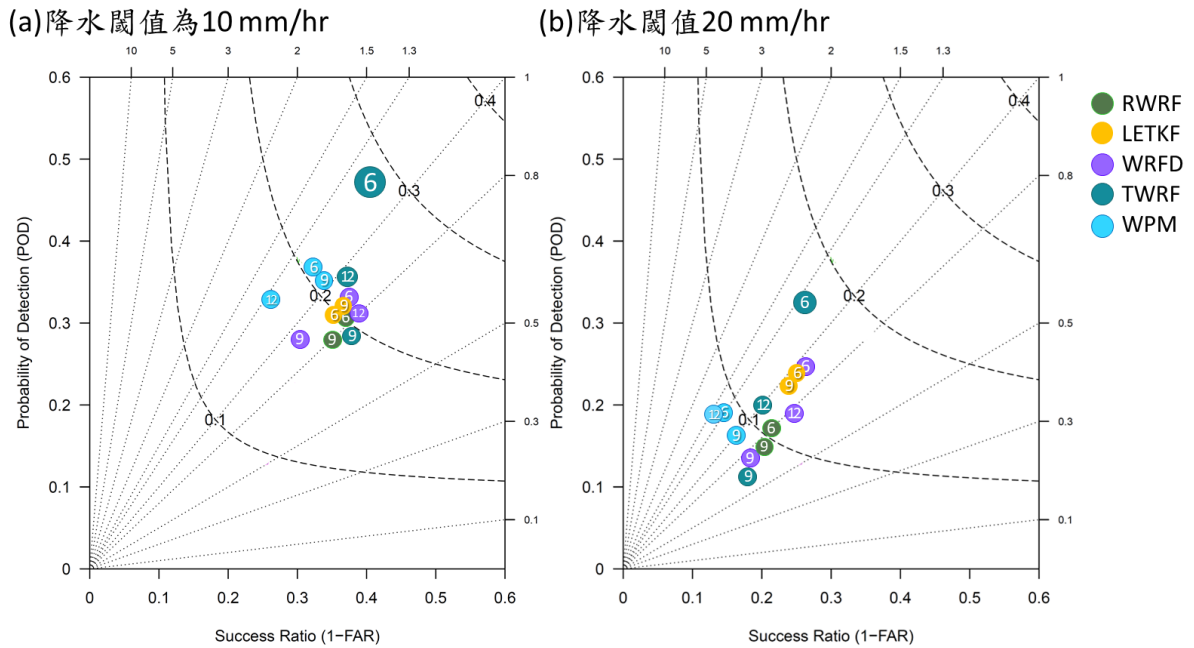


圖 4：同圖 3，第 II 時段各 GOF 之 QPF 校驗效能圖（僅展示 OFT=6、9、12 小時）。降水閾值 (a)為 10 mm/hr，(b)為 20 mm/hr。

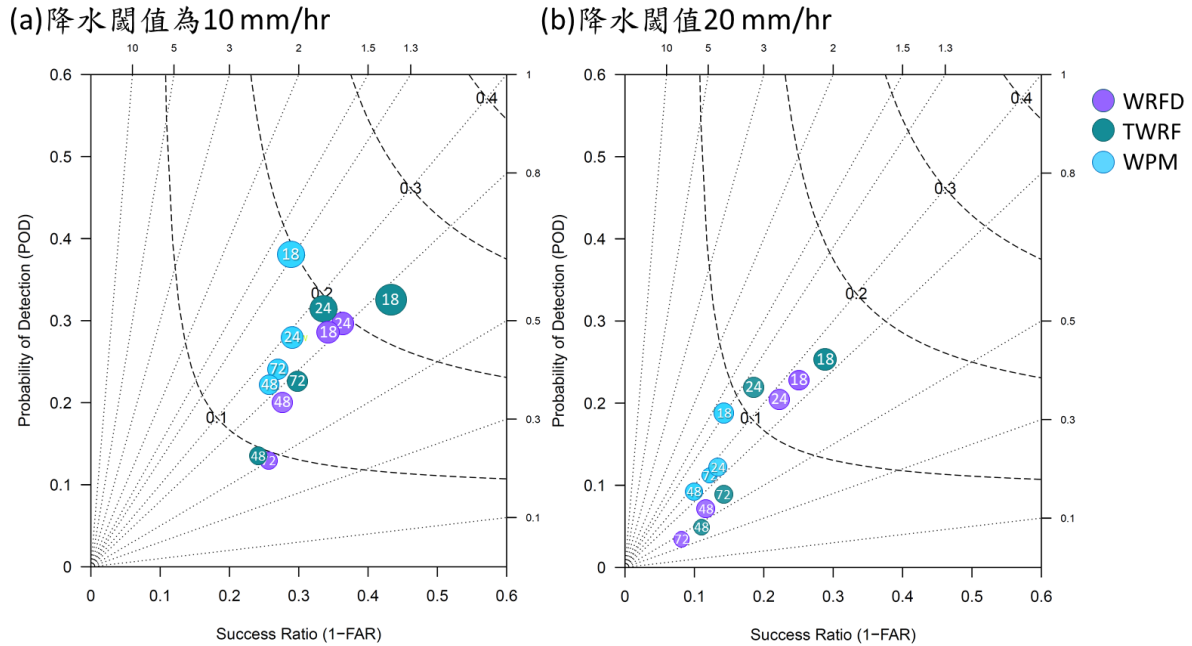


圖 5：同圖 3，為第 III 時段各 GOF 之 QPF 校驗效能圖（僅展示 OFT=18、24、48、72 小時）。降水閾值(a)為 10 mm/hr，(b)為 20 mm/hr。

來顯示 GOF 的預報掌握程度。在第 II 時段 RWRP 和 LETKF 的評分仍分布得較為集中（圖 4），大致而言，LETKF 在不同的降水閾值 TS 普遍高於 RWRP，且具有較小的偏倚，RWRP 則稍偏預報不足。區域模式預報的 TWRF 在 OFT=6 小時有最高的 POD 和 TS；WRFD、TWRF 和 WPM 在較小的降雨閾值（10 mm/hr）大多可得到與 RWRP 和 LETKF 相當/甚至略高的預報評分，在降雨閾值 20 mm/hr 分數僅稍低於 LETKF，然而區域模式預報的 GOF 預報評分仍呈現較大的浮動。第 III 時段的 GOF 包含 WRFD、TWRF 和 WPM（圖 5）。

三組 GOF 的預報評分仍呈現浮動：OFT ≤ 24 小時，TWRF 的 TS 分數大致優於 WRFD，2 者再優於 WPM，但當 OFT 為第 2 日或第 3 日時，WPM 則優於前 2 者。大致而言，隨時 OFT 時間增加，TS 有降低的趨勢，BS 則趨向預報不足。

圖 6 顯示每個 GOF 的 TS 及 FSS 檢驗在不同 OFT 的表現，除了分數差異外，大致呈現一致的型態。QPEQPF 的分數在 OFT=1 小時顯著優於其它 GOF，隨 OFT 增加而急劇下降。點對點校驗之 TS，iTEEN 在 OFT=1 小時有次高的分數，在 OFT=2-4 小時更優於其它 GOF，與圖 3 結

果一致；然而在考慮鄰域空間的 FSS 檢驗，LETKF 則略勝 iTEEN 一籌（差異小於 0.01），2 者的 FSS 皆高於 0.3；另外值得注意的是，LETKF 在 OFT=7-11 小時的 TS 及 FSS 不但優於其它的 GOF，也高於本組 OFT=4-6 小時的結果。RWRP 的校驗分數稍低於 iTEEN 和 LETKF，浮動較前者小，隨著 OFT 增加持續穩定下降。區域決定性預報的 WRFD、TWRF 和 WPM 評分因為浮動較大而互有消長，大致趨勢仍呈現隨著 OFT 增加而下降。WRFD 和 TWRF 在 OFT=4-6 小時一度可以優於極短期預報，得到最高的評分；WPM 於 OFT $\geq$ 36 小時的 FSS 皆高於其它 2 組決定性預報。

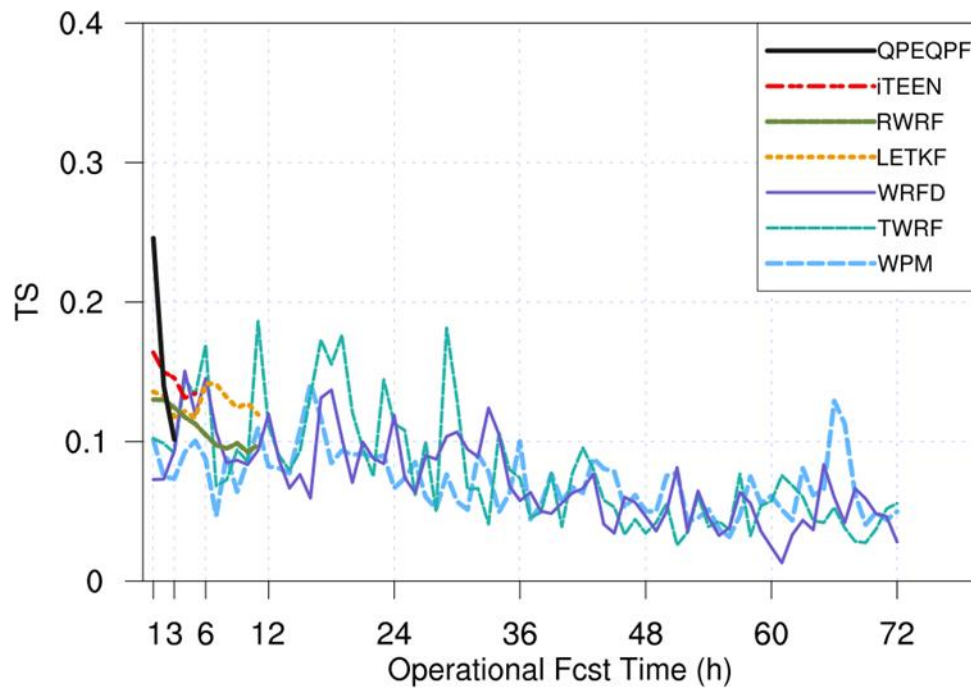
## 2. 0823 豪雨事件校驗與分析

本節以長時間大範圍降雨的 0823 事件為例，利用預報和觀測的相關係數分析，以及兩者區域總雨量比值來具體呈現各 GOF 在長時間持續降雨預報的特性，並討論可能的原因。在各 GOF 與 QPE 的相關性比較中（圖 7），皮爾森相關係數和斯皮爾曼等級相關係數皆顯示 QPE 與 QPEQP 在 OFT 於第 1 小時的相關性最高，相關係數接近 0.7，代表預報與 QPE 的降雨分布重疊的區域較多，降雨型態也較為接近；

於 OFT=2-3 小時的相關係數則急劇下降，表示降雨分布與型態的差異變大。iTEEN 在 OFT 於最初 1 小時有次高的相關係數，但隨著 OFT 增加而減小，斯皮爾曼等級相關係數由第 1 小時 0.59 掉到第 5 小時 0.55，皮爾森相關係數也相仿。在大多的 OFT，RWRP 與 QPE 的相關性皆高於 LETKF，在第 4-5 小時也高於 iTEEN；RWRP 和 LETKF 的相關係數亦大致隨著 OFT 增加而緩慢減小，其中斯皮爾曼等級相關係數大約皆介於 0.5-0.55 之間，表示與觀測的降雨型態有中等的相關性。WRFD 和 TWRF 的相關係數較低，WRFD 稍高於 TWRF，OFT 於前 12 小時的皮爾森相關係數 $\geq$ 0.3，斯皮爾曼等級相關係數 $\geq$ 0.4，表示雖與觀測降雨空間分布相關較少，但在降雨型態上仍具有參考性；此 2 組 GOF 的相關係數大約於 OFT > 24 小時後明顯降低。WPM 的相關係數大致比 WRFD 和 TWRF 高，其斯皮爾曼等級相關係數在前 24 小時約介於 0.4-0.55 之間，皮爾森相關係數也在 0.4 以上，有時甚至高於 RWRP 和 LETKF，其 2 種相關係數也是隨著 OFT 時間增加而呈現降低的趨勢。

圖 8 為 0823 豪雨事件 GOF 區域總雨量預報與 QPE 的比值隨 OFT 的變化。大

(a)TS



(b)FSS

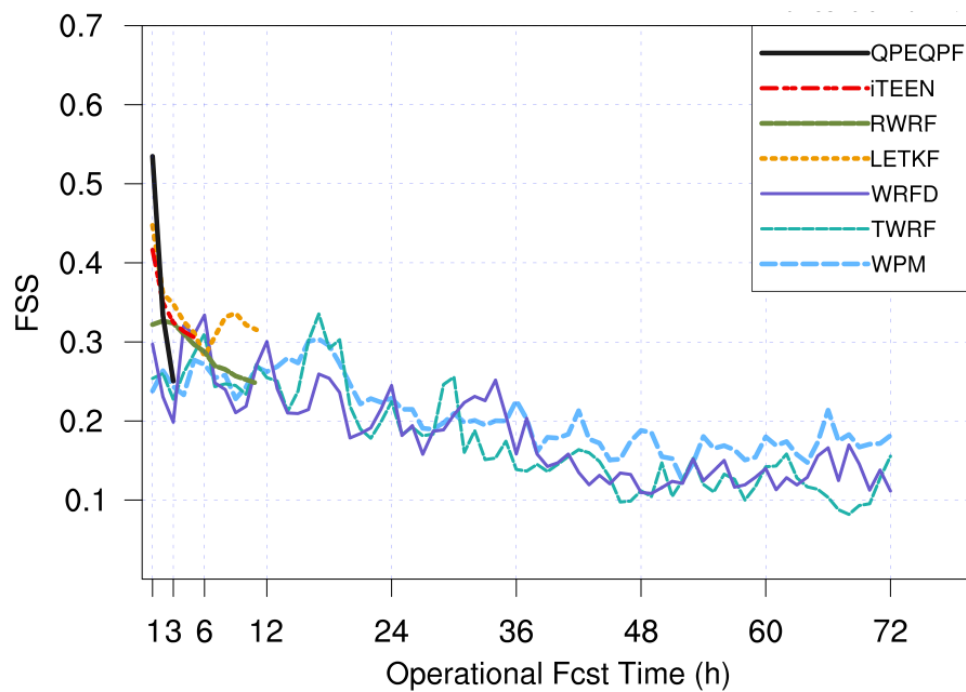
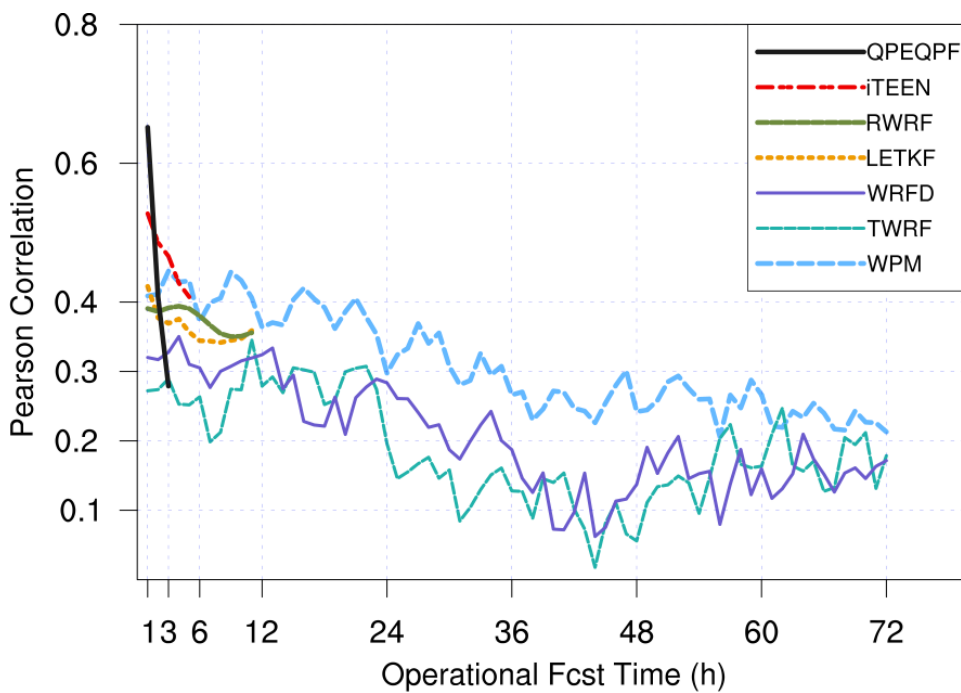


圖 6：各組 GOF 的不同校驗分數（縱軸），降水閾值為 20 mm/hr，橫軸預報時間為 OFT。(a)為 TS，(c)為 FSS。

(a) 皮爾森相關係數



(b) 斯皮爾曼等級相關係數

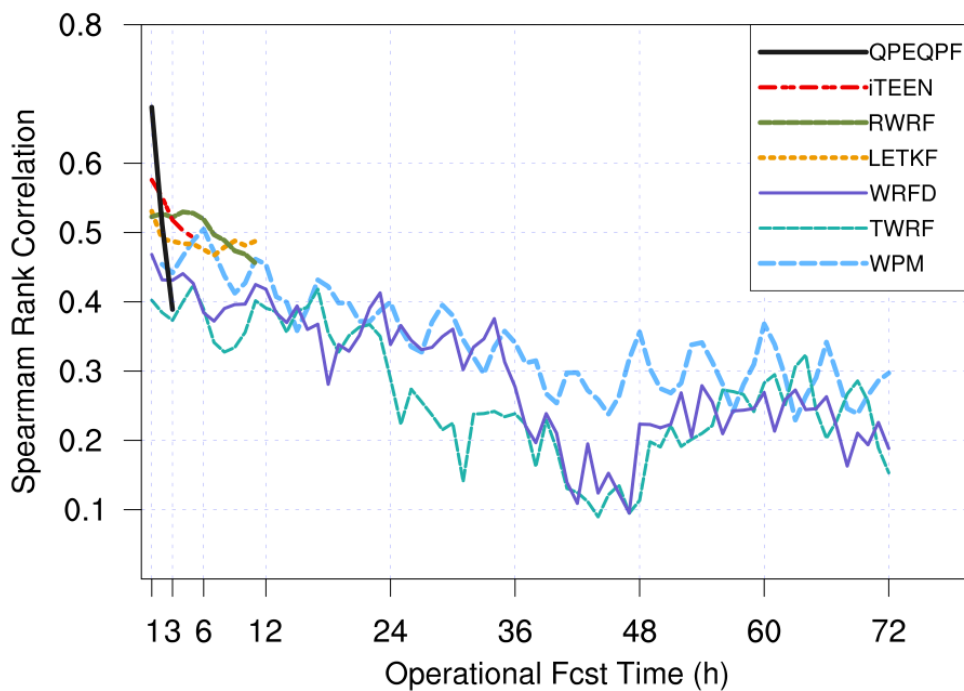


圖 7：0823 豪雨事件各 GOF 與觀測雨量之相關係數（縱軸），橫軸預報時間為 OFT。(a)為皮爾森相關係數，(b)為斯皮爾曼等級相關係數。

致而言，所有的 GOF 在 OFT 前 12 小時比值皆大於 1，表示區域總雨量的預報多於觀測值。QPEQPF 的格點總雨量大約是 QPE 的 1.8-2.2 倍，主要原因是由於氣象局使用估計降雨率強度原具有偏高的傾向，且以回波移速場估計進行外延時，為減少雜訊而對回波進行平滑，使得局部極值有擴散趨勢，進一步擴大降雨率的高偏。而 iTEEN 區域總雨量預報大約為 QPE 的 2.5-2.9 倍，亦為明顯的過度預報，則與其後處理方法取用最大降雨率有關。RWRP 和 LETKF 格點總雨量整體偏差較小，與 QPE 的比值在第 I 時段分別介於 1.3-1.4 和 1.1-1.3 之間，在第 II 時段的比值接近於 1，預報總雨量與觀測接近，顯示對流尺度同化預報系統由於同化雷達資料可有效的減少降雨預報偏差。WRFD 和 TWRF 格點雨量總值的比值 OFT 於前 12 小時大約介於 1.6-1.9 倍之間，而隨時 OFT 增加，預報降雨偏差逐漸減小，大約在 36 小時後轉為偏弱。WPM 在 OFT 於第 1 天的格點總雨量與 QPE 相近，偏差較小，介於 1.1-1.3 之間，在 27 小時後則轉為預報不足。

從在 0823 豪雨事件分析顯示 QPEQPF 第 1 小時預報有最高的相關係數，區域總雨量比值明顯偏高，與前述高

的校驗評分及偏高誤報率結果一致；第 2-3 小時預報因外延法的侷限，與觀測的相關性顯著降低，也與校驗評分降低趨勢一致，由個案分析區域總雨量比值隨 OFT 增加，亦可大致指出統計校驗之誤報率仍高於漏報率的來源。iTEEN 產品於 OFT 第 1 小時的校驗評分僅次於雷達外延預報，其 1-3 小時預報在各降水閾值皆具有高的可偵測率，由 0823 豪雨事件的相關性分析指出 iTEEN 相關係數為高，有助於提升校驗分數，而 iTEEN 在整個預報期間區域總雨量比值為嚴重偏高，應為導致偏倚得分較高的主要因素，呈現在不同降水閾值的定量降水預報校驗分數上皆為明顯過度預報偏差。RWRP 和 LETKF 在 0823 豪雨事件的相關性分析稍低於前 2 者，在降雨型態的相關上與 iTEEN 相仿，區域總雨量與 QPE 相近，與定量降水校驗結果一致，呈現評分亦高而偏倚較小的分數。區域模式之 WRFD 和 TWRF 在 0823 豪雨事件的相關係數是最低的，而區域總雨量比值由顯著偏高逐漸轉為稍偏低，這樣的特徵表示決定性區域預報有能力預報豪雨的發生，但在預報降雨位置有偏移或型態上有偏差。WPM 於 OFT=12 小時內的皮爾森相關係數較決定性區域預報高，甚至與



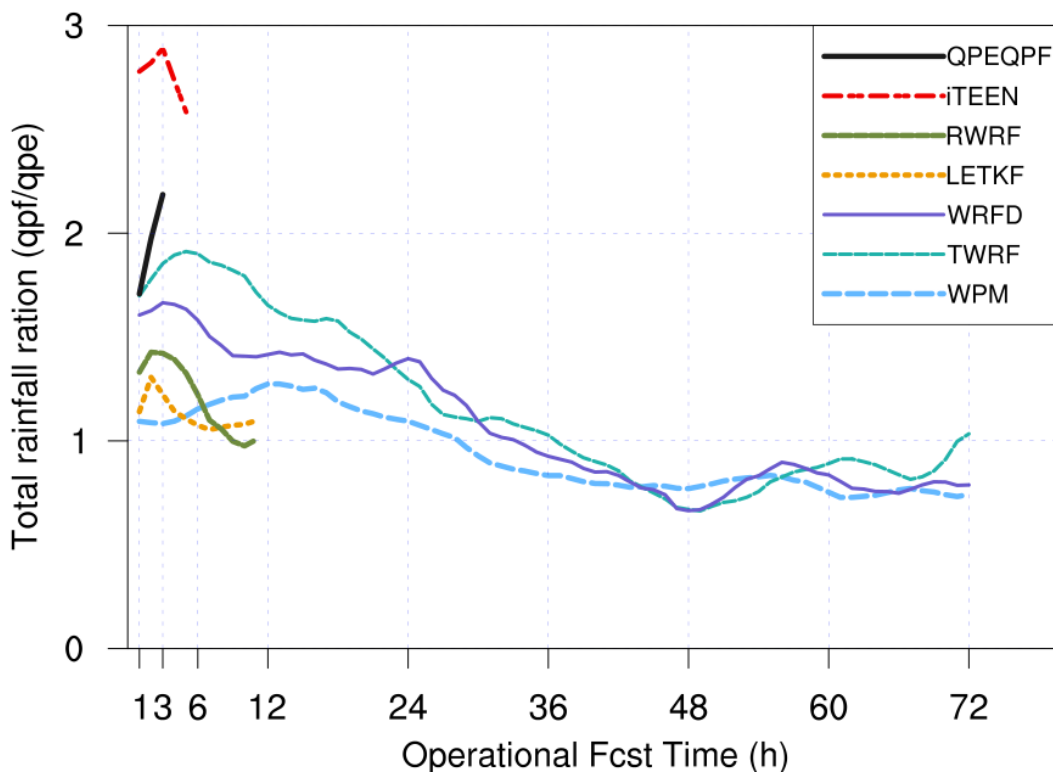


圖 8：0823 豪雨事件各 GOF 和 QPE 在陸地格點加總之雨量的比值隨預報時間的變化，橫軸預報時間為 OFT。

RWRP 和 LETKF 相當，表示其預報降水分布和觀測重疊的區域多，但 WRFD 和 TWRF 的斯皮爾曼等級相關係數僅稍低於 WPM，表示降雨型態的掌握程度相仿，校驗分數有時可高於 WPM。在第 2 天之後的日預報，WPM 區域總雨量隨 OFT 的增加而逐漸偏少的趨勢則亦與決定性區域預報相仿，但因著較高的相關性，校驗分數略高於 WRFD 和 TWRF。

### 五、結論

受到可預報度、模式能力和電腦資源的限制，CWB 因應不同的預報需求研發不同的預報技術，並產製相應的客觀預報指引。本研究針對 CWB 的 7 種預報系統在高影響天氣的定量降水預報，從實際作業應用的角度切入，評析即時預報作業時各 GOF 的預報特性，目的是為了解 GOF 在不同領先時間的預報能力。選定在 2017 及 2018 年臺灣地區發生顯著降雨的個案，收集各 GOF 產品進行定量降水校驗，同時以 0823 豪雨事件為例具體驗證校驗結果並

探討可能的影響因素，以做為防災決策適用性的參考。

以下分別就各類 GOF 的預報特性進行總結：

- 1) QPEQPF : CWB 以即時雷達回波觀測做為預報外延基礎的 QPEQPF，可即時提供 1-3 小時預報。其中在 OFT 第 1 小時預報有最高的校驗評分和較高的可偵測率，豪雨事件的分析中亦可見其與觀測有最高的相關性；在 OFT 第 2 小時預報表現亦優於所有 NWP 的預報結果，除了 iTEEN。相對的，QPEQPF 顯出偏高的誤報率，並呈現過度預報特性。
- 2) iTEEN：以雷達回波影像辨識技術對系集模式預報進行資料探勘和後處理的 iTEEN 可在 OPT 時提供 1-5 小時預報。第 1 小時預報校驗評分和相關係數僅次於雷達外延預報，隨後的預報在各降水閾值顯示具有高的可偵測率，甚至皆優於 QPEQPF 之第 2-3 小時預報，可有效的提升即時預報的領先時間；然而它也同時伴隨高的誤報率，從定量校驗和豪雨事件分析都呈現明顯的過度預報。
- 3) RWRP 及 LETKF: 快速循環更新同化

雷達資料和地面觀測的 RWRP 及 LETKF 皆提供 12 小時極短期預報。在定量降水預報校驗表現上顯示第 1-5 小時即時預報的效能評分僅稍低於 iTEEN，且具有較小的偏倚趨勢，在即時預報方面仍有改善空間。到了第 6-12 小時的極短期預報仍維持不錯的分數。豪雨事件分析中呈現與觀測有中等的相關性，表示在預報降雨區域與型態有不錯的掌握。LETKF 的校驗評分稍高於 RWRP，但相關性方面則為 RWRP 較優。RWRP 和 LETKF 能掌握快速變動的對流系統的結構及演變，在極短期預報的校驗分數呈現與即時預報時相當的預報能力，有助於更進一步增長防災整備的領先時間。

- 4) WRFD 及 TWRF : CWB 的決定性區域模式預報以混合式系集—三維變分資料同化更新方法進行 2 次循環資料同化，並使用混合方案結合全球模式預報的大尺度環流特徵，提供 3-5 天的東亞區域天氣預報。與前述 GOF 相較，校驗評分的浮動較大，其即時預報校驗評分大致較低，但有時也有優於 RWRP 或 LETKF 的機會，而整體預報能力亦呈現隨著預報時間增加而

下降的趨勢。由 0823 豪雨事件總降雨量的比較中指出決定性區域預報有能力預報豪雨的發生，但因其可預報度低，由相關性分析的結果可推論在預報降雨位置有偏移或型態上的偏差，是導致在第 2 天之後的預報定量校驗分數偏低的主要原因；然而 WRFD 及 TWRP 在預報降雨量方面仍具參考價值。

- 5) WPM: 系集預報系統經後處理的機率擬合定量降水預報產品 WPM 在 0823 豪雨事件的相關性分析中，其相關係數高於決定性區域預報，甚至與 RWRF 和 LETKF 相當。特別是在 24 小時後的日預報，雖然 WPM 區域總雨量隨 OFT 的增加而逐漸偏少的趨勢則與決定性區域預報相仿，但因其較高的相關性，表示 WPM 能改善區域模式預報降雨分布區域和型態，而有助於得到稍高的校驗評分。

本研究針對中央氣象局所發展之多元客觀定量降水預報指引，使用定量的校驗評分和分析，從實際作業層面上（OFT）討論了各 GOF 的預報特性和領先時間，以供使用者了解各 GOF 的應用範圍及其限制。在高影響天氣發生時，使用者根據需

求參考即時到位的不同 GOF，並考量其預報特性、可預報度及預報長度的限制為災害天氣提供情資研判的資訊；傳統上，經由熟練的預報員綜合所有的 GOF 資訊、根據其經驗進行編修，進而提供單一定量降水預報產品。自動化產品的開發將有助於提升預報員即時作業的效率，並進一步降低決策複雜度、協助防災整備工作。我們將藉由本研究的校驗結果為基礎，進一步發展降水無縫預報，建立自動化流程即時收集並整合可用的 GOF 資訊，逐時提供 72 小時單一客觀定量降水預報產品。

## 致謝

本研究在中央氣象局計算資源以及科技部研究計畫 MOST 109-2625-M-052-003 支援下完成。

## 參考文獻

- 方偉庭、王忠斌和張保亮，2017：雷達定量降水預報外延技術之評估與改進。106 年天氣分析與預報研討會，A1-27。
- 王安翔、于宜強和李宗融，2018：2018 年 0823 熱帶性低氣壓水災事件分析。

- 國家災害防救科技中心災害防救電子報，158 期。
- 丘台光、陳嘉榮、張保亮、林品芳，2007：劇烈天氣監測系統 QPESUMS 之服務與應用。國土資訊系統通訊，61 卷，15-26。
- 江琇瑛，洪景山，2018：混合式系集—三維變分資料同化系統之研究：單觀測點測試。氣象學報，54，21-25。
- 李天浩、張鳳吟、丘君翹、蔡雅婷、黃椿喜、劉承昕、薛宏宇，2013：應用 QPESUMS 資料迴歸估計台灣地區降水系統移速場。102 年天氣分析與預報研討會論文彙編，A2-147。
- 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。
- 洪國展、李天浩、馮智勇、黃椿喜、丘君翹、林彥廷，2014：以改良式 ABLER 法應用於台灣地區降雨系統移速場外延估計。103 年天氣分析與預報研討會論文彙編，A2-30。
- 唐玉霜、黃葳芃、張保亮和陳嘉榮：2016：劇烈天氣監測系統(QPESUMS)之防災應用。天氣分析與預報研討會，中央氣象局。
- 章鶴群、陳冠儒、劉豫臻、張惠玲、洪景山、楊舒芝，2018：臺灣地區 WRF 颱風系集降雨 機率預報之評估、校正與經濟價值分析-第二部分：校正。大氣科學，46，107-127。
- 張惠玲、陳冠儒、吳佳蓉、汪琮、洪景山、楊舒芝，2018：臺灣地區 WRF 颱風系集降雨機率預報之評估、校正與經濟價值分析-第一部分：預報評估。大氣科學，46，71-106。
- 陳冠儒、張惠玲、楊舒芝、洪景山、吳佳蓉、汪琮，2018：臺灣地區 WRF 颱風系集降雨機率 預報之評估、校正與經濟價值分析-第三部分：經濟價值分析。大氣科學，46，198-221。
- 陳新淦、黃椿喜、呂國臣、洪景山和張博雄，2016。利用雷達回波影像辨識及篩選技術發展極短期系集定量降水預報。大氣科學，44，1-32。
- 黃椿喜、葉世瑄、陳新淦、楊攸祁、呂國臣和洪景山，2016：系集定量降水預報方法之探討與分析—系集平均、機率擬合平均與超越機率之定量降水預報。大氣科學，44，173-196。

- 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 - 111。
- 蔡雅婷、洪景山、陳依涵、方偉庭、邵彥銘、江琇瑛和馮欽賜，2019。WRF 三維變分雷達資料同化個案研究。《大氣科學》，**47**，94-118。
- 潘俊璋、鍾高陞、林欣弘、陳台琦和姚奕安，2018。雷達回波變分追蹤法應用於臺灣複雜地形環境下之可行性評估。《大氣科學》，**46**，1-33。
- 戴俐卉、陳依涵、賴曉薇、陳怡儒、江晉孝、林柏勳、王薇、黃小玲、陳白榆、江琇瑛、洪景山、陳得松、馮欽賜，2017：運用社群模式做為作業模式之經驗歷程：氣象局區域預報模式（CWBWRF）從 OP40 到 OP41 之介紹。106 年天氣分析與預報研討會，A2-25。
- 蘇奕叡、洪景山、李志昕，2016。系集機率擬合平均定量降水預報產品之分析：以 2014 年梅雨季為例。《大氣科學》，**44**，113 - 134。
- 劉承昕、洪國展、馮智勇、黃椿喜，2018：雷達觀測外延與數值動力模式客觀融合預報實作評估，107 年天氣分析與預報研討會，A3-22。
- 劉承昕、洪國展、馮智勇、黃椿喜，2019：雷達觀測外延與數值動力模式客觀融合技術異質預報能力評估與權重方案分析，108 年天氣分析與預報研討會，A4-22。
- Atencia, A., T. Rigo, A. Sairouni, J. Moré, J. Bech, E. Vilaclara, J. Cunillera, M.C. Llasat and L. Garrote, 2010: Improving QPF by blending techniques at the Meteorological Service of Catalonia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **10**, 1443–1455.
- Barker, D. M., W. Huang, Y. R. Guo, and Q. N. Xiao, 2004: A three-dimensional (3DVAR) data assimilation system for use with MM5: Implementation and initial results. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 897-914.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2004\)132<0897:ATVDAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2004)132<0897:ATVDAS>2.0.CO;2)
- Berner, J., and Coauthors, 2017: Stochastic parameterization: Toward a new view

- of weather and climate models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **98**, 565–588, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00268.1>.
- Browning, K.A., 1981: Nowcasting: Mesoscale observations and short-range prediction. Proceedings of an International Symposium, Hamburg, Germany, 25–28 August. European Space Agency SP-16.
- Buizza, R., and T. N. Palmer, 1998: Impact of ensemble size on ensemble prediction. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 2503-2518.
- Chang, P.-L., P.-F. Lin, B. J.-D. Jou, and J. Zhang, 2009: An application of reflectivity climatology in constructing radar hybrid scans over complex terrain. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **26**, 1315–1327. <https://doi.org/10.1175/2009JTECHA1162.1>
- Chung, K.-S., I.-A. Yao, 2020: Improving radar echo Lagrangian extrapolation nowcasting by blending numerical model wind information: statistical performance of 16 typhoon cases. *Mon. Wea. Rev.*, **148**, 1099-1120
- Dixon, M. and G. Wiener, 1993: TITAN: Thunderstorm identification, tracking, analysis, and nowcasting – a radar-based methodology. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, **10**, 785–797.
- Du, J., S. L. Mullen, and F. Sanders, 1997: Short range ensemble forecasting of quantitative precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 2427-2459.
- Ebert, E. E. 2001. Ability of a poor man’s ensemble to predict the probability and distribution of precipitation. *Mon. Wea. Rev.* **129**: 2461–2480. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<2461:AOAPMS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<2461:AOAPMS>2.0.CO;2)
- Fang, X., and Y.-H. Kuo, 2013: Improving ensemble based quantitative precipitation forecasts for topography-enhanced typhoon heavy rainfall over Taiwan with a modified probability matching technique. *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 3908- 3932.

- Fujita, T., D. Stenstrud, and D. C. Dowell, 2007: Surface Data Assimilation using an ensemble filter approach with initial condition and model physics uncertainties. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 1846-1868.
- Hsiao, L.-F., X.-Y. Huang, Y.-H. Kuo, D.-S. Chen, H. Wang, C.-C. Tsai, T.-C. Yeh, J.-S. Hong, C.-T. Fong, C.-S. Lee, 2015: Blending of global and regional analyses with a spatial filter: Application to typhoon prediction over the Western North Pacific Ocean. *Wea. Forecasting*, **30**, 754-770.
- Hsiao, L.-F.; D.-S. Chen, J.-S. Hong, T.-C. Yeh, and C.-T. Fong, 2020: Improvement of the Numerical Tropical Cyclone Prediction System at the Central Weather Bureau of Taiwan: TWRF (Typhoon WRF). *Atmosphere*, **11**, 657. <https://doi.org/10.3390/atmos11060657>
- Hunt, B., E. Kostelich, and I. Szunyogh, 2007: Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: a local ensemble transform kalman filter. *Physica D*, **230**, 112-126. <https://doi.org/10.1016/j.physd.2006.11.008>
- Jung, S.H. and G. Lee, 2015: Radar-based cell tracking with fuzzy logic approach. *Meteo. Appl.*, **22**, 716-730.
- Li, C.-H., J. Berner, J.-S. Hong, C.-T. Fong and Y.-H. Kuo, 2019: The Taiwan WRF ensemble prediction system: Scientific description, model-error representation and performance results. *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, <https://doi.org/10.1007/s13143-019-00127-8>
- Lakshmanan, V., R. Rabin, and V. DeBrunner, 2003: Multiscale storm identification and forecast. *Atmospheric Research*, **67**, 367-380. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(03\)00068-1](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(03)00068-1)
- Lin, C., S. Vasic, A. Kilambi, B. Turner, and I. Zawadzki, 2005: Precipitation forecast skill of numerical weather prediction models and radar

- nowcasts. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L14801.
- Lin, H.-H.; Tsai, C.-C.; Liou, J.-C.; Chen, Y.-C.; Lin, C.-Y.; Lin, L.-Y.; Chung, K.-S., 2020: Multi-Weather Evaluation of Nowcasting Methods Including a New Empirical Blending Scheme. *Atmosphere*, **11**, 1166
- Lorenz, E. N., 1996: Predictability—A problem partly solved. Proc. Seminar on Predictability, Reading, United Kingdom, ECMWF, 1–18.
- Melhauser, C., and F. Zhang, 2012: Practical and intrinsic predictability of severe and convective weather at the mesoscales. *J. Atmos. Sci.*, **69**, 3350–3371. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-11-0315.1>.
- Roberts, N., Lean H. 2008: Scale-selective verification of rainfall accumulations from high-resolution forecasts of convective events. *Mon. Weather Rev.* **136**: 78–97.
- Roebber, P.J., 2009: Visualizing multiple measures of forecast quality. *Wea. Forecasting*, **24**, 601-608.
- Shiiba, M., Takasao, T. and Nakakita, E., 1984: Investigation of short-term rainfall prediction method by a translation model, Proc. 28th Japanese Conf. on Hydraulics, JSCE, 423-428.
- Tsai, C.-C., S.-C. Yang, and Y.-C. Liou, 2014: Improving quantitative precipitation nowcasting with a local ensemble transform Kalman filter radar data assimilation system: Observing system simulation experiments. *Tellus*, **66A**, 21 804, <https://doi.org/10.3402/tellusa.v66.21804>.
- Turner, B., I. Zawadzki, and U. Germann, 2004: Predictability of precipitation from continental radar images. Part III: Operational nowcasting implementation (MAPLE). *J. Appl. Meteor.*, **43**, 231-248.
- Wilks, D., 2006: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, 2nd ed., 627 pp., Academic, Burlington, Mass.
- Yang, S., M. Corazza, A. Carrassi, E. Kalnay, and T. Miyoshi, 2009: Comparison of



- ensemble-based and variational-based data assimilation schemes in a quasi-geostrophic model. *Mov. Wea. Rev.*, **137**, 693-709.  
<https://doi.org/10.1175/2008MWR2396.1>
- Zhang, J., and Coauthors, 2008: High-resolution QPE system for Taiwan. *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic, and Hydrologic Applications*, S. K. Park and L. Xu, Eds., Springer Verlag. 147-162.
- Zhang, F., Y.Q. Sun, L. Magnusson, R. Buizza, S.-J. Lin, J.-H. Chen and K. Emanuel, 2019: What is the predictability limit of midlatitude weather? *J. Atmos. Sci.*, **76**, 1077-1091. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-18-0269.1>
- Zhou, B., and J. Du, 2010: Fog prediction from a multi-model mesoscale ensemble prediction system. *Wea. Forecasting*, **25**, 303-322.

# Evaluation of Guidance for Quantitative Precipitation

## Forecast of the Central Weather Bureau

Hsiao-Wei Lai      Jing-Shan Hong

Central Weather Bureau

(manuscript received 5 October 2020 ; in final form 5 April 2021)

### Abstract

Due to the limitation of the predictability, model capabilities, and computational resources, the Central Weather Bureau has developed different modeling frameworks to requests from difference scope of end-users, and also provided corresponding objective forecasting guidance. To enhance our understanding of the quantitative precipitation forecast (QPF) ability of real-time operational forecast guidance in high-impact weather, this article selects major rainfall cases in Taiwan in 2017 and 2018 across various spatial-temporal scales, including Meiyu, southwest flow, typhoon, afternoon thunderstorm and frontal system. We collected and verified the various guidance for the objective QPF (GOF) according to the lead time categorizing into three periods (nowcasting, very short-term forecast and daily forecast period). The results of this study can be used as a reference for the applicability of disaster prevention systems.

For the nowcasting, the GOF of radar extrapolation technique (QPEQPF) performs the best skills and high correlation to observations in the first 1 hour, which are essential information for real-time forecasting and disaster prevention and warning. The GOF of Integration on Taiwan Extended Ensemble Nowcasting (iTEEN) is based on data mining; the accuracy of its first-hour forecast is next only to the radar extrapolation forecast. The cases of 2-5 h nowcasting of iTEEN have a high probability of detection, which are better than the 2-3 h nowcasting of QPEQPF, but they also characteristics of over-prediction. The GOF of convective scale assimilation system, which assimilates radar and ground observation data with an hourly update cycle, produces 12 h forecast. The GOFs display high verification scores,

smaller bias, and moderate correlation with observations and can provide very-short-term forecasts with high accuracy. In comparison, the regional model has low predictability for convective weather, and the GOFs reveal fluctuating verification scores. In terms of forecasts of 13-72 h, compared with deterministic forecasts, the probability-match-means products of the ensemble prediction system demonstrate a higher correlation with QPE, resulting in a higher verification score.

**Keywords: quantitative precipitation forecast (QPF), guidance for objective QPF(GOF), radar extrapolation forecast, iTEEN, convective scale assimilation system, deterministic forecast, ensemble forecast. doi: 10.3966/025400022021074901003**