

系集定量降雨於極端事件之應用與分析

王潔如 黃麗蓉 林冠伶 江宙君 陳御群 朱容練 于宜強

國家災害防救科技中心

摘要

本研究利用國家災害防救科技中心系集預報系統進行極端降雨事件之分析與評估。此預報系統目前有16組系集成員，以美國國家環境預測中心所產製之全球預測系統模式資料為初始場，進行每日4次的模擬，其中GFS的動力核心為美國地球流體動力實驗室所研發的立方球體有限體積法。NCDR系集預報系統於寒害及颱風應變期間，提供指揮官災害預警資訊，作為災害管理時之操作參考。

另一方面，從2019年的模式分析結果顯示，雖然系集成員於梅雨、颱風等極端天氣的模擬上，有一定程度的掌握能力，但是整體而言，系集定量降雨的離散度有偏小的趨勢。為此，本系統新增以跨尺度預測模式資料為初始場的系集成員進行測試。結果顯示新增以不同模式初始場所模擬的系集成員，有助於提高系集預報系統的離散度，同時，積雲參數化法使用Tiedtke scheme設定的成員，在2019年極端降雨事件中表現最好，相關校驗評估結果，將可作為未來調整系集預報成員組合的參考依據。

關鍵詞：系集預報、定量降雨

一、前言

氣候變遷與都市化高速發展的情形下，產生與以往不同的災害類型及災害強度的增加，除了過去對台灣會造成重大災害的颱風、豪雨與地震外，寒害、乾旱、熱浪等致災的頻率與衝擊似乎也有提高的趨勢，所以需要強化極端氣候情境下的預報能力，以因應未來防災研判的預報資訊提供。

然而大氣運動具有隨機的特性，使得數值天氣預報存在不確定性，若只參考單一模式預報，將無法提供未來預報風險分析。為此產官學界積極發展系集預報技術。所謂系集預報是透過多個不同模式或參數化法產出的預報，來選取模式最佳組合。亦即分別考慮不同模式、不同物理參數化及不同資料同化方法的組合進行預估，以求涵蓋所有可能之狀況，降低天氣預報之不確定性。

國家災害防救科技中心（National Science and Technology Center for Disaster Reduction，

簡稱NCDR）藉由過去研發能量，搭配颱風洪水研究中心「台灣定量降水系集實驗」（Taiwan Cooperative Precipitation Ensemble Forecast Experiment, TAPEX）（Hsiao et al., 2013）累積之經驗，針對防災預警的需求調整與精進過去TAPEX之成員組成，重新設計建置系集預報系統，因應未來災害應變情資預警之需求。

本研究將介紹NCDR系集預報系統應用在極端氣候防災預警之產品，並針對去年極端降雨事件進行系統性的校驗評估，以瞭解目前系統在極端降雨事件的能力，提供使用者有所依據。

二、研究方法

（一）系集預報系統介紹

NCDR設計以WRF(The Weather Research and Forecasting Model) 3.8 版區域模式為基礎的系集預報系統。模式採三層巢狀網格設計，水平解析度分別為 45、15、5 公里，模擬範圍如圖 1 所示，垂直使用的 eta 座標，自近地面

至 30hPa，共有 45 層。系統除了使用初始場分析方法擾動與資料同化策略不同外，另考慮不同之物理參數化擾動設定（表 1），產生 16 組系集成員。

模式初始場及邊界條件使用美國國家環境預測中心(National Centers for Environmental Prediction，簡稱 NCEP)所產製之全球預測系統模式資料(Global Forecast System，簡稱 GFS) 0.25 及 0.5 度資料，其中 GFS 的動力核心為美國地球流體動力實驗室(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory，簡稱 GFDL)所研發的立方球體有限體積法(Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamic Core，簡稱 FV3)。此外，亦加入傳統觀測資料與福爾摩沙衛星掩星觀測資料進行資料同化。NCDR 系集預報系統於寒害及颱洪應變期間，提供指揮官災害預警資訊，作為災害管理時之操作參考。

(二) 資料來源與校驗方法

在雨量校驗方面利用列聯表來評估系集預報系統的預報能力，分別計算預兆得分(Threat Score, TS)，偏倚得分(Bias Score, BS)，偵測率(Probability of Detection, POD)和成功率(Success Ratio)四種技術指標(Jolliffe and Stephenson, 2012)。當中的成功率為 1 減誤報率(False Alarm Ratio)。對比觀測值使用中央氣象局雷達估計降雨經雨量站校正之時雨量資料，解析度為 0.0125°*0.0125°。

另外系集系統離散程度的評估使用系集離散度(SPREAD)與系集平均之均方根誤差相關性分析，系集離散度為各個成員預報值和預報平均值的差異進行平均計算，可算出系集成員的分佈程度，公式如下：

$$SPREAD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (\bar{f} - f(n))^2}$$

其中 $f(n)$ 為各成員預報值

當系集離散度等於系集平均之均方根誤差時表示系集預報系統離散程度是合理的，但

是均方根誤差當大於系集離散度時，表示系統的離散不足，反之當均方根誤差小於系集離散度時，表示系統過度離散。

三、極端氣候防災預警之應用

為因應極端氣候防災支援應變情資預警之需求，NCDR 研發跨時-空尺度的多元情資整合，製作未來 3 日、15 日、30 日以及一季之水情資訊，發展極端氣候下旱災、寒害事件應變需求之預警產品，提供防災人員及應變決策人員所需的情資。

在寒害預警部分，利用過去對寒害事件的收集分析與研究，開發 57 個農業專區未來降雨預報與溫度預警產品(圖 2)，利用系集預報系統提供農漁業未來 3 天預報資訊，有助於提前部署。另針對水庫枯旱應變與水單位需求水情研判需求，發展小範圍、高精度之水庫集水區系集統計預報技術(圖 3)，希望能於洪旱時期提供台灣地區水庫管理單位有效資訊，有助水資源管理之效率。

四、2019 極端降雨事件分析

圖 4 為 2019 極端降雨事件在 80 毫米降雨門檻值校驗結果，若成員落在右上角區塊表示預報能力最佳。結果顯示第一天大部分成員 TS 分數介於 0.25~0.3 之間(圖 4a)，表現較好的成員為 N09, N10 及 N15。第二天 TS 值介於 0.15~0.25 之間(圖 4b)，而到了第三天只有 N05 超過 0.15(圖 4c)，其他成員介於 0.05~0.15 之間，但整體來說，系集成員在各延時預報降雨呈現稍微不足預報的趨勢。就個別成員表現來說 N05, N09 及 N15 表現較好，另外 N09 及 N15 為相同的物理參數化法設定，資料同化策略不同。

若就不同的天氣形態(圖略)，相較於梅雨事件，系集預報系統在颱風期間有較好的預報表現，二者比較結果有二：(1)颱風個案之預報降雨在 200 毫米降雨門檻值預兆得分可達

到 0.2~0.4，第二天落在 0.2~0.3 之間，但第三天的預報降雨預兆得分下降至 0.1 以下。而梅雨事件 80 毫米降雨門檻值預兆得分第一天大多在 0.1~0.2 之間；(2) 颱風個案之三天 TS 多在 0.1 以下，偵測率小於 0.2 以下。在偏倚得分的分析上，梅雨事件在不同延時降雨預報表現則是有低估的情形。此結果顯示，與颱風相比，系集預報系統在 2019 年梅雨事件的掌握上仍有改善的空間。

進一步對 2019 極端降雨事件進行離散度相關性分析，若分布越接近於對角線表示系集離散度與均方根誤差相等，則系集的離散程度是合理的。然而結果顯示大部分的數值分布在對角線下方，表示 NCDR 系集預報系統設計在定量降雨預報上離散度相對偏小。

離散度大的系統，較有機會涵蓋所有的降雨可能，有助於預報技術的提升。提高系統離散度的方法有許多種，包含模式物理參數法擾動，初始條件擾動與邊界條件的擾動(李等人，2014)。現行系集預報系統皆採用 GFS 模式輸出為初始場進行降雨預報，若能增加一組不同模式的輸出作為初始場，將有助於系集預報技術的提升。NCDR 於去年引進 Model for Prediction Across Scales (MPAS) 全球模式，目前已完成大尺度的預報能量建構，希望能藉由新增此組模式輸出為初始場來增加模式的離散度。本研究使用 MPAS 作為模式初始場，並維持相同成員設計，進行 2019 極端降雨事件的模擬，發現使用 GFS+MPAS 作為初始場的離散度明顯增加(圖 5b)，表示加入使用 MPAS 成員確實有助於離散度的增加。而且同樣在大雨門檻值使用 MPAS 作為模式初始場的技术得分表現較好(圖 6)，積雲參數化法使用 Tiedtke scheme 設定的成員同樣表現較佳。

五、結論

在防災預警地落實應用上，NCDR 利用系集預報系統開發 57 個農業專區未來降雨預報與溫度預警產品，以及發展小範圍、高精度之水庫集水區系集統計預報技術，因應極端氣候下與以往不同的災害類型。

從 2019 極端降雨事件的分析結果顯示，雖然系集成員於梅雨、颱風等極端天氣的模擬上，有一定程度的預報能力，但是校驗結果顯示系統的離散度不足，可能無法提供精準的預警資訊。因此，本研究以 MPAS 全球模式資料為初始場的系集成員進行測試。結果顯示新增不同初始場成員，有助於提高系集預報系統的離散度，同時各成員在降雨預報技術得分表現一致，積雲參數化法使用 Tiedtke scheme 表現最好。上述結果將可作為未來調整系集預報成員組合的參考依據。

六、參考文獻

Hsiao, L.F., Yang, M.J., Lee, C.S., Kuo, H.C., Shih, D.S., Tsai, C.C., Wang, C.J., Chang, L.Y., Chen, D.Y.C., Feng, L., Hong, J.S., Fong, C.T., Chen, D.S., Yeh, T.C., Huang, C.Y., Guo, W.D., Lin, G.F., 2013: "Ensemble forecasting of typhoon rainfall and floods over a mountainous watershed in Taiwan", *Journal of Hydrology*, 506, 55-68.

Jolliffe, I.T. and Stephenson, D.B., 2012: "Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science", 2nd edition. Oxford: Wiley.

李志昕, 洪景山, 2014: "區域系集預報系統研究: 系集成員產生方式之評估", *大氣科學*, 42 卷, 2 期, 153-179.

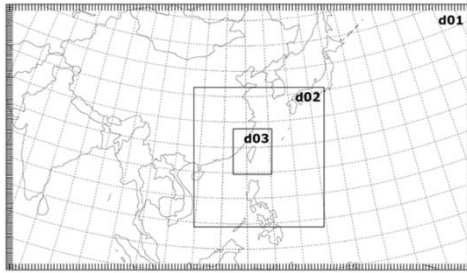


圖 1 數值天氣預報進行之運算範圍示意圖。圖中 d01、d02、d03（涵蓋台灣本島及離島）之水平解析度分別為 45 公里、15 公里、5 公里。

編號	ICs	Cumulus scheme	Microphysics scheme	Boundary Layer	版本	Note
N01	NODA		KF WSM5	YSU	V3.8.1	e_vert=35,two way,d03cu,縮小析度 地形
N02	cold start	3DVAR (CV5+OL)	KF	Goddard	YSU	V3.8.1
N03	cold start	3DVAR (CV5+OL)	GF	Goddard	YSU	V3.8.1
N04	cold start	3DVAR (CV5+OL)	G3	Goddard	YSU	V3.8.1
N05	cold start	3DVAR (CV5+OL)	BMJ	Goddard	YSU	V3.8.1
N06	cold start	3DVAR (CV5)	KF	Goddard	YSU	V3.8.1
N07	cold start	3DVAR (CV5)	KF	Goddard	YSU	V3.8.1
N08	cold start	3DVAR (CV5+OL)	KF	Goddard	YSU	V3.8.1
N09	cold start	3DVAR (CV5+OL)	Tiedtke	Goddard	YSU	V3.8.1
N10	NODA		KF	Goddard	YSU	V3.8.1
N11	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)	KF	Goddard	YSU	V3.8.1
N12	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)	GF	Goddard	YSU	V3.8.1
N13	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)	G3	Goddard	YSU	V3.8.1
N14	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)	BMJ	Goddard	YSU	V3.8.1
N15	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)	Tiedtke	Goddard	YSU	V3.8.1
N16	partial cycle	3DVAR (CV5+OL)	KF	Goddard	YSU	V3.8.1

表 1 成員設計。

極端降雨事件	模式模擬時間(UTC)
春季降雨	04/26 00Z-04/27 18Z
梅雨鋒面(+西南氣流)	05/16 00Z-05/20 18Z - 06/10 00Z-06/14 18Z
熱帶氣旋	丹娜絲颱風 07/16 00Z-07/17 18Z - 利奇馬颱風 08/07 00Z-08/10 18Z - 白鹿颱風 08/23 00Z-08/26 18Z - 米塔颱風 09/28 00Z-10/01 18Z
西南氣流	07/18 00Z-07/19 18Z - 08/10 00Z-08/17 18Z
東北季風	10/30 00Z-11/01 18Z

表 2 2019 極端降雨事件模式模擬時間。

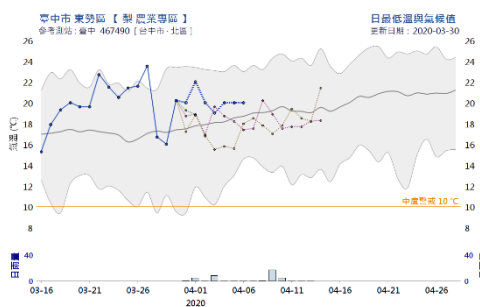


圖 2 農業專區未來降雨預報與溫度預警產品。

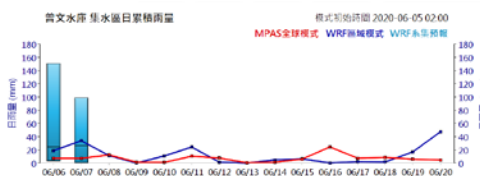


圖 3 水庫集水區未來降雨預報產品。

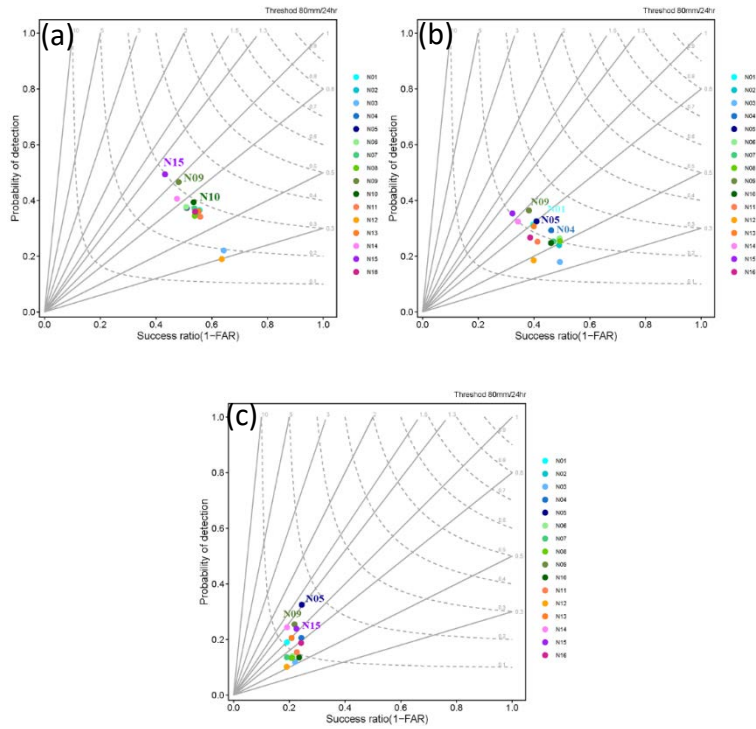


圖 4: 2019 年極端降雨事件預報(a)第一天, (b)第二天, (c)第三天雨量預報表現。其中橫軸為成功率, 縱軸為可偵測機率, 斜率為偏倚得分, 橢圓曲線為預兆得分。

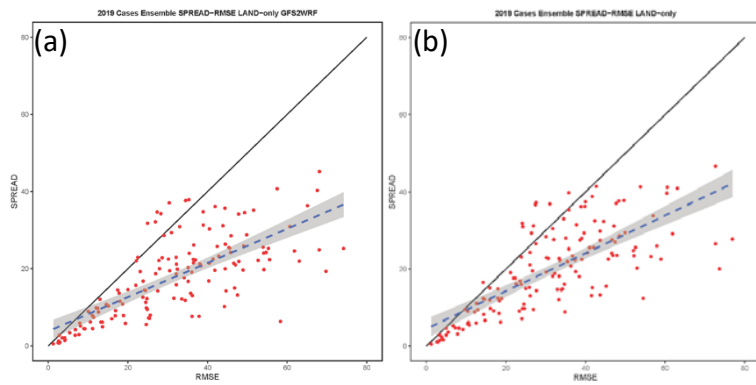
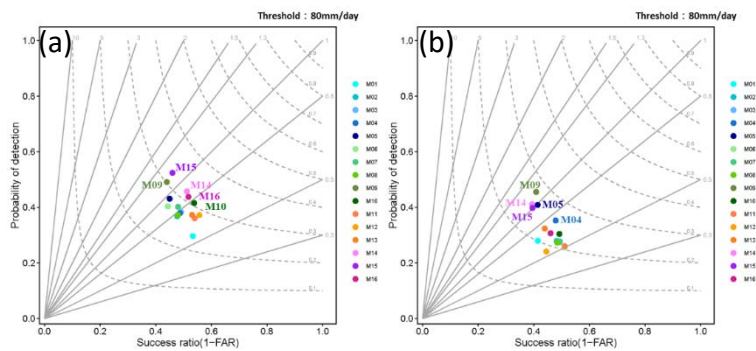


圖 5: (a)使用 GFS 作為模式初始場, (b)使用 GFS 與 MPAS 作為模式初始場預報第一天雨量系集系統離散程度評估。其中橫軸為系集平均之均方根誤差, 縱軸為系集預報系統離散度。



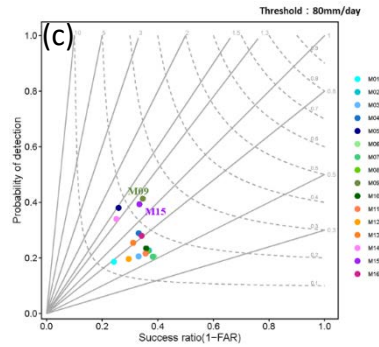


圖 6: 使用 MPAS 作為模式初始場(a)第一天，(b)第二天，(c)第三天雨量預報表現。其中橫軸為成功率，縱軸為可偵測機率，斜率為偏倚得分，橢圓曲線為預兆得分。

The application and research of ensemble quantitative precipitation forecast on 2019 extreme rainfall events

Chieh-Ju Wang, Li-Rung Hwang, Kuan-Ling Lin, Chou-Chun Chiang, Yu-Chun Chen, Jung-Lien Chu, Yi-Chiang Yu

National Science and Technology Center for Disaster Reduction

Abstract

This study evaluate the model performance and analyze the extreme rainfall events with NCDR WRF ensemble quantitative precipitation forecast system. Forecasts of 84-hours are made 4 times a day with totally 16 WRF ensemble members, which initialized with NCEP FV3GFS analysis. The typhoon and rainfall early warning information are provided to the Central Emergency Operation Center in order to support the situation assessment during the emergency operation of typhoons and floods.

The evaluation results reveal that the forecast skill of NCDR WRF is quite well during 2019 typhoons and Mei-Yu events. However, the analysis results also indicate that the ensemble spread is small. Model for Prediction Across Scales (MPAS) are used as the initial and boundary data for WRF system to generate a set of comparative experiments. Initializing NCDR WRF ensemble forecast system with different global forecast system data improves the ensemble spread of precipitation forecast significantly. In addition, the evaluation results also suggest that the ensemble members with Tiedtke cumulus scheme have better forecast performance in extreme rainfall events. The analysis results provide valuable information for further improvement of NCDR ensemble forecast system in the future.

Keyword : Ensemble forecast system, Quantitative precipitation forecast