

區域系集預報系統之模式擾動強化研究： SPP擾動法之評估

李志昕¹ 張保亮¹ 洪景山²
氣象資訊中心¹ 氣象科技研究中心²
中央氣象局

摘要

中央氣象局透過多模式物理參數法、擾動初始場及邊界條件，建立WRF區域模式為基礎之系集預報系統（WRF Ensemble Prediction System, WEPS），於2011年正式作業，並持續進行更新。然而，作業預報結果發現，WEPS於臺灣陸地之10米風速較區域決定性預報模式之10米風速預報誤差大。進一步研究指出，主要導因於WEPS使用MYJ邊界層參數法之系集成員10米風速預報誤差偏大，致造成系集平均之風速預報準確度受到影響。

Jankov 等人(2019) 研究指出，使用隨機參數擾動法（stochastic parameter perturbations, SPP）較多模式物理參數法之10米風速預報誤差表現為佳，同時能維持良好的離散關係。為了改善WEPS 10米風速之預報表現，本研究欲使用應用於MYNN 邊界層參數法之SPP擾動法（SPP_PBL），並取代原本之多模式邊界層參數法進行實驗，並評估其預報表現。

實驗期間為2020年8月1日至8月5日，每日之00 UTC和12 UTC，共10個個案之實驗。預報結果指出，相較於現行作業版本，使用SPP_PBL法能顯著地改善臺灣地區之10米風速預報誤差，雖然離散度亦有減少，但因誤差改善較顯著，因此離散關係亦獲得改善，結果與Jankov等人之研究成果一致。此外，綜觀尺度天氣場校驗結果顯示，SPP_PBL對於中下層大氣場，不僅不使離散度減少，並能稍微改善預報誤差，離散關係結果更佳。整體而言，使用SPP_PBL能有效改善多模式邊界層參數法之預報表現，未來將持續進行。

關鍵字：SPP

一、前言

中央氣象局使用美國國家大氣研究中心（NCAR, National Center for Atmospheric Research）所發展之新一代中尺度數值天氣預報模式，名為WRF（Weather Research and Forecasting model）模式，發展區域系集預報系統，稱為WEPS（WRF-based Ensemble Prediction System），並於2011年起正式作業，提供每日4次，每次產製20個系集成員之預報，亦利用系集成員預報資料產製系集預報產品，提供預報員及相關防災單位進行防災決策使用。

如何產製合適的系集預報成員，為建立系集預報系統之重要課題。李等人（2011、2014）針對區域系集預報系統之系集成員產製方式進行研究，評估使用多模式物理參數法產製模式擾動，及使用不同初始場來源產製初始場擾動，結果指出使用單一擾動無法產生合適的離散度。因此，WEPS使用多

模式物理參數法，及初始場擾動與側邊界條件擾動，產製20組系集預報成員。

爾後，並持續進行WEPS之擾動強化研究，李等人（2013）因應模式物理參數法之更新，重新評估WEPS之多模式物理參數法組合，決定更合適之參數法設定。除了針對模式擾動進行強化，亦進行初始場擾動強化，原始用隨機擾動產製擾動初始場，李等人（2015、2018）使用中央氣象局之系集卡爾曼濾波資料同化系統之6小時預報場，並結合中央氣象局區域決定性預報系統之分析場，產製系集預報擾動初始場，能在保持系集平均之預報準確度，同時提升預報離散度，使離散關係更為改善。

WEPS並於2017年提升解析度，由原本之45/15/5公里，提升至15/3公里，亦因應提高解析度進行擾動產製評估（Li et al., 2020），於高解度之WEPS中加入使用隨機動能後向散射法（Stochastic-Kinetic Energy Backscatter, SKEB；Shutts 2005）及隨機物理趨勢擾動法（Stochastically Perturbed of Physics-Tendency, SPPT；Buizza et al. 1999, Palmer et al. 2009），能有效增加模式預報離散度。此外，並持續進行初始場擾

動優化, Li et. al (2019) 使用大氣環境之分析擬合技術 (blending method, Hsiao et al. 2015), 此法透過空間濾波方式, 針對特定之截斷長度 (cut-off length) 擷取CWB WRF資料同化系統之分析場大尺度環境場, 疊加「系集調整卡爾曼濾波 (Ensemble Adjustment Kalman Filter, EAKF; Anderson 2001)」資料同化系統20組成員六小時預報場之小尺度環境場, 產生擾動初始場, 此法能改善原本初始場不穩定的現象, 獲得較佳的模式擾動初始場。

然而, 作業預報結果發現, WEPS於臺灣陸地之10米風速預報表現較區域決定預報模式之預報誤差大, 進一步研究指出, 主要是由於WEPS系統中使用MYJ邊界層參數法之成員, 在臺灣陸地上之預報風速誤差較大, 進而影響系集平均之十米風速準確度之預報表現。但是移除使用MYJ邊界層參數法雖能降低誤差表現, 但可能會造成離散關係下降的情形, 為了解決此問題, 參考Jankov 等人(2019)研究指出, 使用隨機參數擾動法 (stochastic parameter perturbations, SPP) 應用於MYNN邊界層參數法之SPP擾動法 (SPP_PBL), 相較於多模式物理參數法之10米風速預報誤差表現為佳, 同時能維持良好的離散關係, 因此為了能降低十米風速的預報誤差, 同時又能維持離散關係表現, 本研究欲評估使用隨機參數擾動法。

二、 研究方法

本研究使用WRF模式進行實驗, 使用兩層槽狀網格, 第一層網格之水平解析度為15公里, 第二層為3公里, 模式範圍如圖1所示, 垂直解析度設定為52層, 模式頂層為20 hPa, 使用之模式版本為WRF3.9.1.1版本。

在WRF區域模式中, SPP_PBL模組應用於MYNN邊界層參數法及搭配之MYNN地表層參數法 (surface layer scheme), 於混合長度 (turbulence mixing length)、次網格雲量 (subgrib mixing length)、普朗特之極限值、及Czil參數中加入隨機擾動, 以增加邊界層之擾動, 詳細介紹參考Jankov 等人(2019)研究。為了解SPP_PBL之影響, 本研究將進行2組預報實驗, 第1組實驗為現行作業之設計, 使用多邊界層參數法, 包含使用YSU邊界層參數法、MYJ邊界層參數法、MYNN邊界層參數法, 稱之為Ctrl實驗; 第2組使用SPP_PBL模組, 並搭配使用MYNN邊界層參數法, 稱為SPP實驗。2組實驗皆有使用SKEB、SPPT、多積雲參數法、及多微物理參數法, 但不使用初始場擾動和邊界條件擾動。預報時間為2020年8月1日至8月5日, 每天00 UTC

和 12 UTC, 共10組個案之預報實驗, 並進行72小時的預報。

本研究針對3組實驗透過比較系集離散度 (SPRD) 和系集平均之均方根誤差 (RMSE), 評估系集離散度之表現 (Toth et al., 2003)。當SPRD和RMSE相等時, 表示離散度表現最佳; 當SPRD小於RMSE表示離散度不足, 反之, 則為離散度過大。綜觀尺度天氣校驗之真值採用美國國家大氣環境中心 (NCEP) 之全球模式分析場資料, 解析度為0.25度, 臺灣陸地之校驗真值為測站觀測資料。

三、 校驗分析與討論

為了解3組實驗整體預報表現, 針對第一層網格之預報結果進行校驗。圖2 (A) 至 (C) 分別為3組實驗夏季個案之高度場、溫度場和緯向風場之72小時離散度分析。圖中指出, 整體而言, 系集平均誤差和離散度之表現, 2組實驗皆相似, 顯示邊界層參數法擾動對綜觀尺度天氣預報的影響較小。

圖3為臺灣陸地近地面預報校驗結果, 相對於綜觀尺度天氣預報校驗而言, 近地面預報校驗結果差異較大, 顯示邊界層參數法對於下層陸地之預報影響較大。10米風速結果顯示, SPP實驗, 能獲得較佳之10米風速預報誤差表現, 降低使用MYJ邊界層參數法能有效改善10米風速預報誤差。而使用SPP_PBL模組, 10米風速離散度雖然也降低, 但由於誤差值下降更多, 因此離散關係改善, 此結果與Jankov等人之研究成果一致。兩米溫度和兩米水氣的表現, 能有效改善預報誤差, 也增加預報離散度, 整體離散關係表現改善。因此在夏季預報個案中, 使用SPP模組取代多模式邊界層參數法, 對於臺灣陸地之近地面預報表現維正貢獻。

降雨預報表現上, 圖4為降雨預報之Rank Histogram分析結果, 結果顯示, 兩個實驗的圖形皆為倒L型, 顯示兩組實驗皆有雨量偏小的狀況, 但SPP實驗相對於Ctrl實驗, 在最後一個區間的頻率值較小, 表示SPP實驗中, 觀測降雨大於所有成員預報表現的發生頻率較低, 顯示此法有改善降雨預報的離散表現。改善離散度表現, 表示系統能更有機會掌握降雨狀況, 因此推論能產製更好的降雨預報產品, 而WEPS最廣泛被使用的降雨預報產品為機率擬合之系集定量降水預報 (Probability Matched Mean, PMM; 黃, 2016; 葉, 2016; 蘇, 2016), 因此, 針對PMM降雨預報進行校驗。校驗結果指出 (圖5), 使用SPP實驗的降雨公正預報得分 (ETS預報得分) 高於Ctrl實驗, 顯示使用SPP模型對於降雨預報表現亦能有正向貢獻。

四、 結論

為改善區域系集預報系統之10米風速預報誤差表現，並保持好的離散關係，針對SPP模組進行評估，進行3組測試實驗。包含第1組使用多模式邊界層參數法(Ctrl實驗)，第2組使用SPP模組(SPP實驗)，並進行2020年8月之夏季個案測試。

校驗結果指出，整體而言2組實驗表現很接近，顯示邊界層參數法擾動對於整體預報表現影響較小。但根據臺灣陸地之近地面校驗指出，2組實驗就有顯著的預報差異，顯示邊界層擾動對於模式下層陸地之預報影響較大。而SPP實驗結果指出，大致上在近地面預報表現，相對於Ctrl實驗，皆能將低預報誤差，同時改善離散關係，尤其是10米風速預報誤差改善顯著。此外，使用SPP模組亦能改善定量降雨預報之離散度表現，因此有機會產生更好的定量降雨預報產品，校驗結果也指出，使用SPP模組，機率擬合定量降雨預報產品之預報得分也有改善。

本研究針對夏季個案進行研究，但寒流或是梅雨對於臺灣地區亦為高影響的天氣系統，因此未來將持續針對不同天氣系統進行研究，以更全面的了解此模組之影響。

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。
- ，2013：區域系集預報系統強化研究-物理參數化擾動強化。天氣分析與預報研討會，中央氣象局。
- ，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**，153-179。
- 、江琇瑛，2015：區域系集預報系統強化研究：介接系集調整卡爾曼濾波分析場。天氣分析與預報研討會，中央氣象局。
- 、江琇瑛，2018：區域系集預報系統強化研究：區域系集預報系統之初始場擾動強化研究。天氣分析與預報研討會，中央氣象局。
- 黃椿喜、葉世瑄、呂國臣、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。
- 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。

- Anderson, J. L., 2001: An ensemble adjustment Kalman filter for data assimilation. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 2884-2903.
- Berner, J., G. Shutts, M. Leutbecher, and T. Palmer, 2009: A spectral stochastic kinetic energy backscatter scheme and its impact on flow-dependent predictability in the ECMWF ensemble prediction system. *J. Atmos. Sci.*, **66**, 603-626, doi:10.1175/2008JAS2677.1
- , S. -Y. Ha, J. P. Hacker, A. Fournier, and C. M. Snyder, 2011: Model uncertainty in a mesoscale ensemble prediction system: Stochastic versus multiphysics representations. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 1972-1995.
- Buizza, R., M. Miller, and T. N. Palmer, 1999: Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF Ensemble Prediction System. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **125**, 2887-2908, doi: 10.1002/qj.49712556006.
- Hsiao, L. F., and Coauthors, 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.
- Li, C.-H., J.-S., Hong, 2019: The Improvement of Initial Condition Perturbations on Taiwan Ensemble Prediction System. 天氣分析與預報研討會，中央氣象局。
- , Berner, J., J. S. Hong, C. T. Fong, and Y. H. Kuo, 2020: The Taiwan WRF Ensemble Prediction System: Scientific Description, Model-Error Representation and Performance Results. *Asia-Pacific J Atmos Sci*, **56**, 1-15.
- Shutts, G. J., 2005: A kinetic energy backscatter algorithm for use in ensemble prediction systems. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131**, 3079-3102

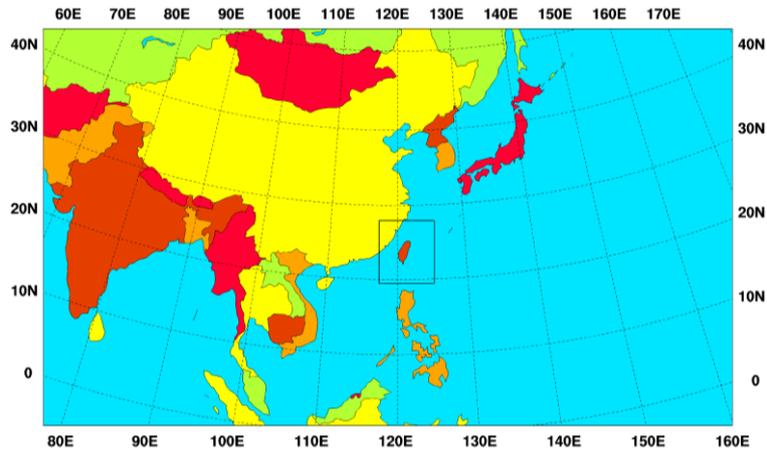


圖 1、模式的預報範圍

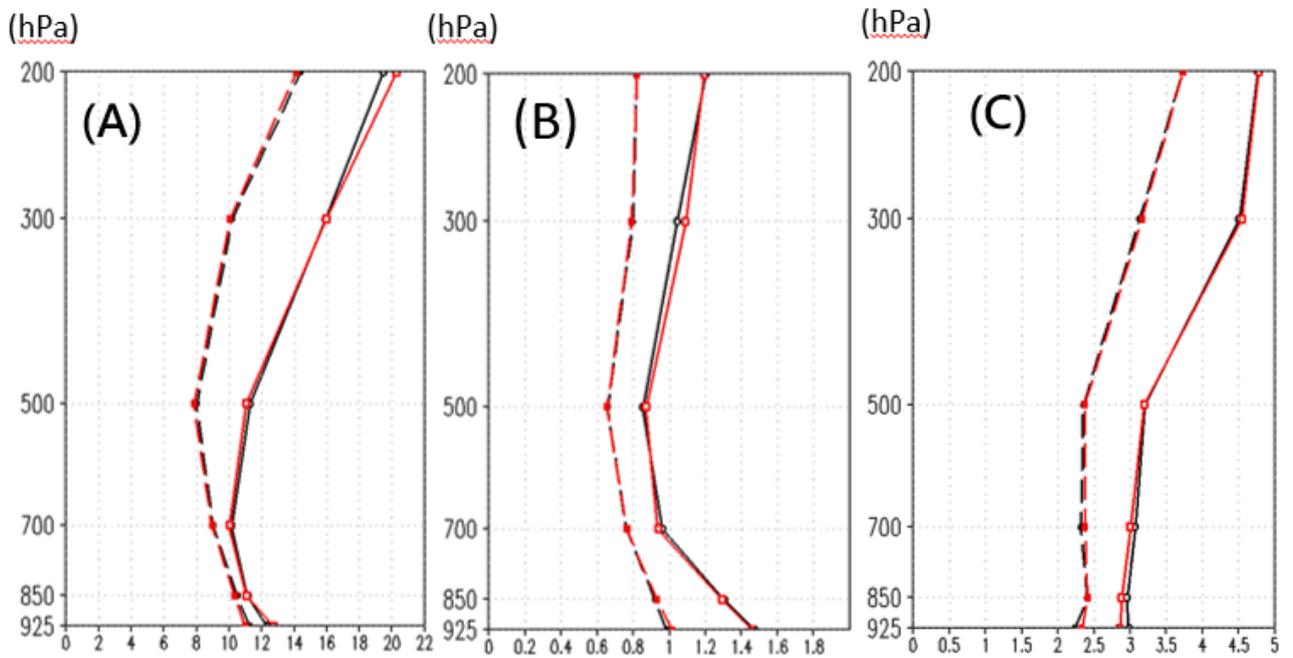


圖 2、垂直各層之 72 小時離散度分析結果，(A)至(C)分別為高度場、溫度場和緯向風場之預報結果。圖中實線為系集平均之均方根誤差，虛線為離散度值；黑線為 Ctrl 實驗，紅線為 SPP 實驗。

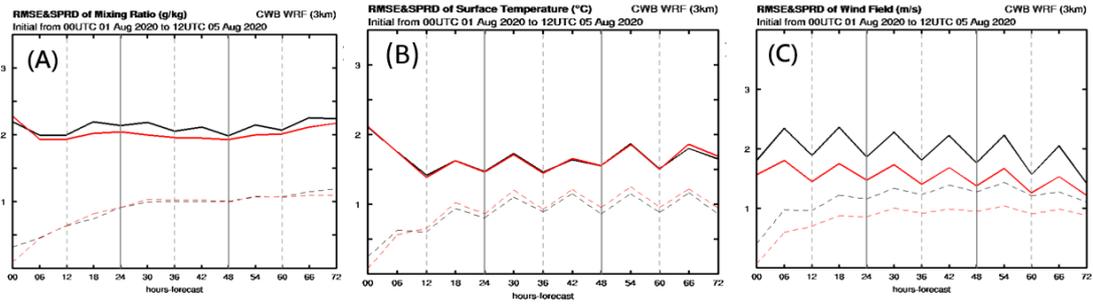


圖 3、臺灣陸地近地面預報之系集平均均方根誤差（實線）和系集離散度（虛線），黑線為 Ctrl 實驗，紅線為 SPP 實驗。(A)至(C)分別為夏季個案之兩米水氣、兩米溫度、十米風速之結果。

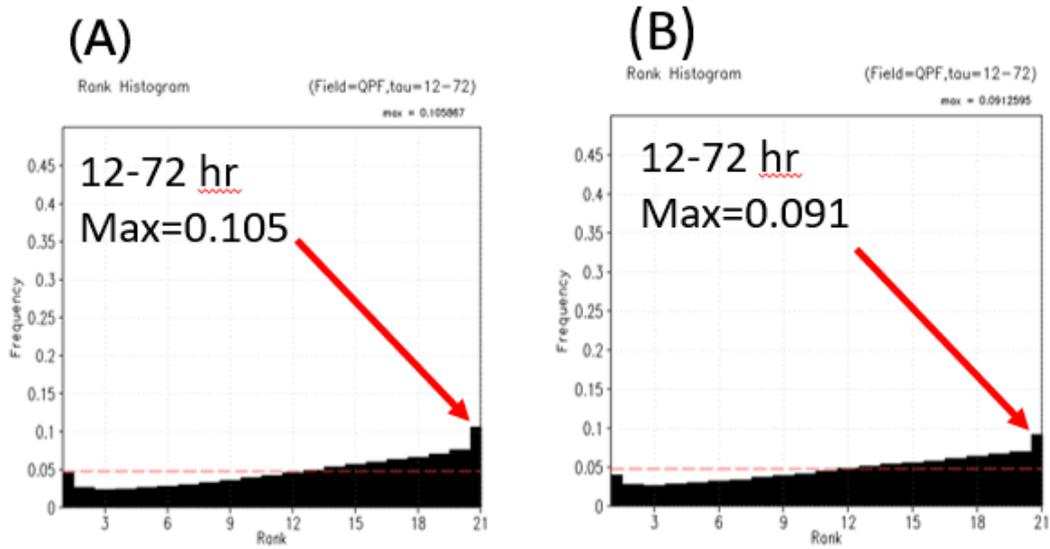


圖 4、0 至 72 小時累積降雨預報之 Rank Histogram 分析圖，橫軸為區間（Rank）編號，縱軸為頻率值。(A)和(B)分別為 Ctrl 實驗及 SPP 實驗之 Rank Histogram 分析圖。

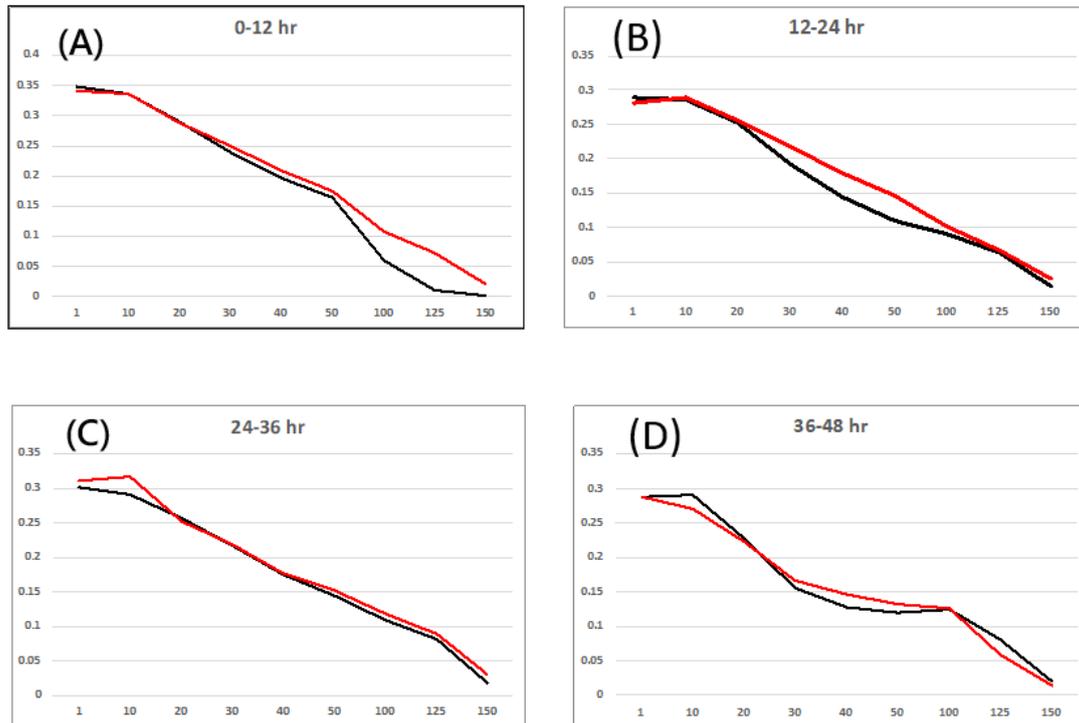


圖 5、定量降雨預報之公正預兆得分 (ETS)，(A)至(D)分別為 0 至 12 小時累積雨量、12 至 24 小時累積雨量、24 至 36 小時累積雨量、36 至 48 小時累積雨量之 ETS。圖中黑線為 Ctrl 實驗，紅線為 SPP 實驗。