

區域系集預報系統之模式擾動強化研究： SKEB擾動振幅參數調教

李志昕、蘇奕勳、洪景山、張保亮

中央氣象局氣象資訊中心

摘要

中央氣象局自2011建置一套以WRF區域模式為基礎之系集預報系統（WRF Ensemble Prediction System, WEPS），隨後並持續進行預報系統的強化研究與更新。為進一步改善模式離散度的表現，本研究透過調整隨機動能後向散射法（Stochastic-Kinetic Energy Backscatter, SKEB）之擾動振幅參數，期增加模式離散度，能掌握模式預報不確定性，以獲得更佳之機率預報表現。

本研究進行3組SKEB擾動振幅調教實驗，針對流函數振幅參數調整至原本2倍，並針對溫度振幅參數調整至原本之2倍和4倍之測試。結果顯示，提高SKEB擾動振幅參數能有效提高預報離散度，但不影響系集平均之預報準確度表現。離散度二維分布的結果顯示，調整SKEB擾動振幅參數，有助於在誤差較大的位置（如颱風），改善原本不足的離散度，顯示離散度增加在合理的位置。四組實驗結果顯示，增加SKEB之流函數擾動振幅參數為2倍，溫度振幅參數調整至4倍，能有效提升預報離散度，獲得最佳之預報離散度表現。此項調整已納入今（109）年度WEPS系統的更新項目，並於6月4日正式上線作業。

關鍵字：SKEB

一、前言

數值天氣預報模式中存在着許多不確定性，包含觀測資料的誤差，或是模式參數法的假設。這些微小的差異，皆會因為模式的非線性過程而造成預報結果的差異，因此，透過單一模式預報，無法掌握模式預報的不確定性。系集預報的發展，即是透過多個不同的系集成員的預報，期望能有效涵蓋模式的預報不確定性，並將不確定性量化，提供各種預報可能性和預報機率。

中央氣象局建置一套以WRF區域模式為基礎之系集預報系統（WRF Ensemble Prediction System, WEPS）。產生系集預報成員的方法有很多，包含初始場擾動、模式擾動等，如何產生合適之系集預報成員為發展系集預報系統之重要議題。李等人（2014）研究指出，欲產製好的系集預報系統，需同時使用模式擾動和初始場擾動，能更有效的涵蓋模式預報不確定性。因此WEPS使用初始

場擾動、模式擾動，並增加使用側邊界條件擾動，產生20組系集預報成員。

此系統之擾動初始場是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（Li, 2019）。

根據Li et al.（2020）研究結果指出，採用多種模式擾動方法能產生最佳之模式預報離散度，因此WEPS作業之模式擾動採用3種擾動方法，包含多模式物理參數法（物理參數法設定，詳見Li et al, 2020），並搭配隨機動能後向散射法（Stochastic-Kinetic Energy Backscatter, SKEB; Shutts 2005, Berner et al. 2011）和隨機擾動物理參數趨勢（Stochastically Perturbed of

Physics-Tendency, SPPT; Buizza et al. 1999, Palmer et al. 2009); 並使用NCEP全球系集預報系統之預報場產生擾動邊界條件, 期望能涵蓋最大之預報不確定性。

然而, WEPS系統之離散度仍不足, 因此本研究欲透過調整SKEB之擾動振幅參數, 期望能改善離散度表現。第二章將會介紹詳細之模式設定和實驗設計, 第三章則會介紹實驗結果。

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WRF3.8.1版本。

在WRF預報模式中, SKEB模組能針對流函數和溫度場加入隨機擾動, 並能透過擾動振幅參數調整隨機擾動值之大小。本次實驗即欲透過調整擾動振幅參數, 期望能透過調整隨機擾動大小, 已獲得合適之預報離散度, 因此, 針對流函數之擾動振幅參數調整至原本之2倍, 並針對溫度振幅參數調整至原本之2倍和4倍之測試, 共進行3組實驗, 實驗設計如表二所示。預報時間為2018年8月25日00 UTC至8月29日12 UTC, 每天00Z和12Z作72小時的預報, 共10個個案。此外, 為了進行上線作業, 需了解系統在不同季節之預報表現, 並進行更多的個案測試, 因此針對最佳的參數選項進行冬季和夏季之預報實驗, 分別為2020年寒流個案(1月22日至1月31日)和2019年之夏季個案(9月22日至10月2日), 共42個個案。

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。校驗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。

三、 校驗分析與討論

(一) 擾動振幅參數調校結果分析

圖2(A)至(C)分別為3組實驗之高度場、溫度場和緯向風場之72小時離散度分析

結果。比較CTRL和T6V3實驗指出, 增加SKEB參數設定, 能確實增加預報離散度值, 此外, 兩個實驗之RMSE幾乎一致, 顯示SKEB對預報準確度之影響較小。而風場之校驗結果指出, CTRL實驗在低層的預報離散度表現已經不錯, 而增加擾動後, 低層之SPRD和RMSE已經非常接近; 但高度場和溫度場之SPRD仍小於RMSE, 顯示離散度仍不足。

因此, 欲針對溫度場和高度場再進行調整, 針對溫度之擾動振幅參數再調整至CTRL之4倍, 為T12V3實驗。而結果指出, 此一擾動振幅之設定, 能有效增加高度場和溫度場之SPRD, 在低層之SPRD和RMSE皆已經很接近, 顯示擾動已經足夠。此外, 更進一步比較T6V3和T12V3結果, 溫度場和高度場之離散度變化較大, 風場則較小, 由於僅調整溫度場之擾動, 對於風場的影響較小。

3組實驗顯示T12V3實驗之設定, 能獲得最佳之預報表現。

(二) 夏冬季結果分析

圖3之分析結果指出, T12V3實驗確實能獲得更佳之預報離散度表現, 預報結果同上述分析, 顯示增加擾動振幅參數, 不僅能在夏季個案獲得較好的表現, 在冬季也有好的表現。此外, 透過更多個案之測試結果, 能避免少數個案影響分析結果, 提高預報結果之顯著性。進一步分析夏冬兩季之預報表現, 顯示T12V3夏季個案之RMSE和SPRD幾乎一致, 但在冬季個案中, 雖然離散度有改善, 但離散度仍不足, 而冬季之離散度值明顯較夏季為小。

為了瞭解冬季個案離散度較小的原因, 並且欲了解SKEB之擾動是否增加在合適的位置, 因此進行RMSE和SPRD二維分布之分析。圖4和圖5之(B)、(D)指出, 冬季之離散度值明顯較夏季小, 而夏季離散度分布圖中, 離散度大值位置和颱風位置一致, 顯示由於颱風預報不確定性較大, 因此造成夏季的離散度大於冬季。此外, 無論是夏季或是冬季, 兩組實驗之離散度分布和RMSE分布一致, 顯示離散度分布合理。此外, 比較CTRL和T12V3實驗之離散度的分布, 也指出離散度增加位置和誤差較大的位置一致, 顯示SKEB所增加之離散度之位置合理, 有助於涵蓋不確定較高之區域。

四、 總結

本研究採用WRF模式進行實驗, 評估調整

SKEB 模組中之擾動振幅參數對模式預報結果之影響，針對流函數之振幅參數調整至原本 2 倍，並針對溫度之振幅參數調整至原本之 2 倍和 4 倍之測試，期望能找出最合適之擾動振幅參數。

分析結果指出，增加擾動振幅參數能有效增加預報離散度，能改善原本不足之離散度表現，其中又以 T12V3 實驗之預報表現最佳。而離散度和誤差二維分佈指出，兩者分佈一致，顯示離散度表現合理，且離散度增加的位置，也為誤差較大的位置，因此擾動增加位置合理。

結果指出 T12V3 實驗表現最佳，因此此實驗之擾動振幅參數設定納入 WEPS 2020 年作業更新項目之一，並於 2020 年 6 月 4 日正式上線作業。

五、 參考文獻

- 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**，153-179。
- 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.
- 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
- Toth, Z., O. Talagrand, G. Candille and Y. Zhu, 2003: Chapter 7: Probability and ensemble forecast, *Environmental Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*, Edited by I. T. Jolliffe and D. B. Stephenson, John Willey & Sons.

表 1、實驗設計

實驗名稱	流函數擾動振幅參數 tot_backscat_psi	溫度擾動振幅參數 tot_backscat_T
CTRL	0.15e-5	0.3e-6
T6V3	0.3e-5	0.6e-6
T12V3	0.3e-5	1.2e-6

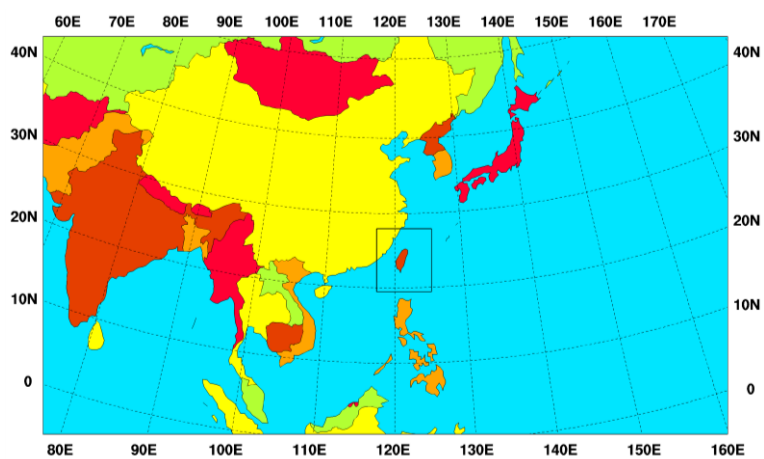


圖 1、模式的預報範圍

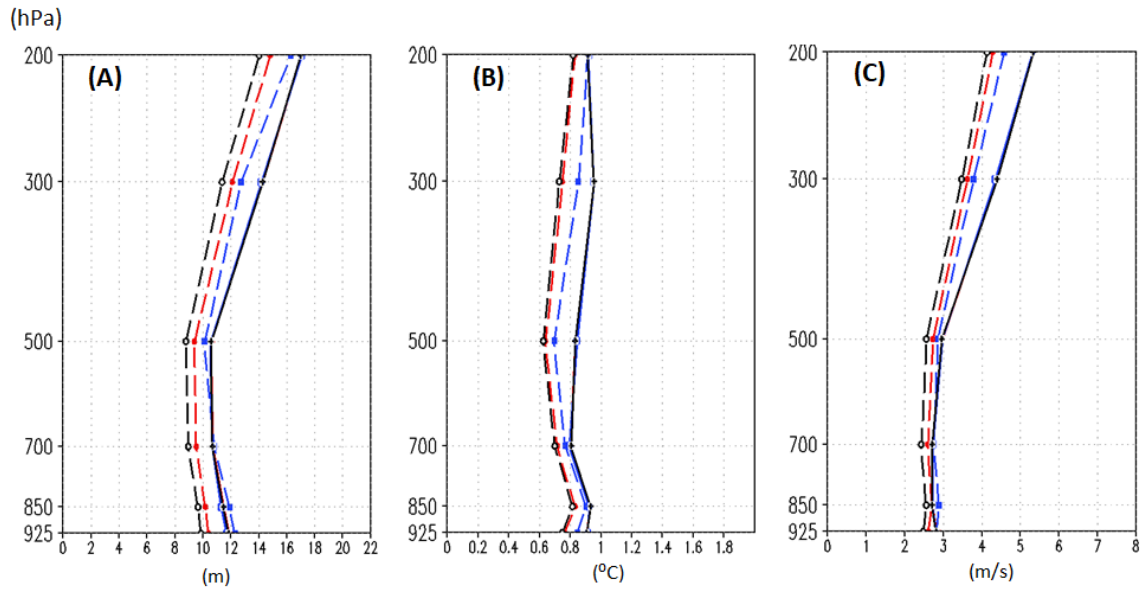


圖 2、垂直各層之 72 小時離散度分析結果，(A)至(C)分別為高度場、溫度場和緯向風場之預報結果。圖中實線為系集平均之均方根誤差，虛線為離散度值；黑線為 CTRL，紅線為 T6V3 實驗，藍線為 T12V3 實驗結果。

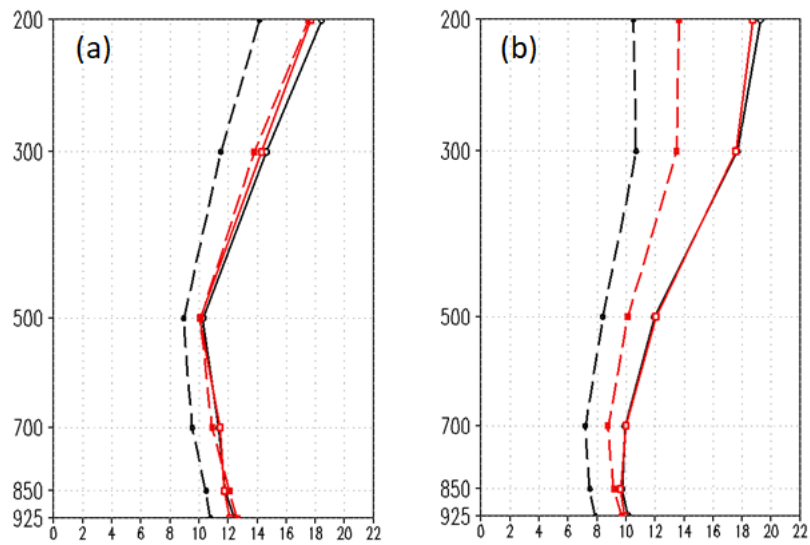


圖 3、垂直各層之高度場 72 小時離散度分析結果，(A)至(B)分別為夏季和冬季之預報結果。圖中實線為系集平均之均方根誤差，虛線為離散度值；黑線為 CTRL，紅線為 T12V3 實驗結果。

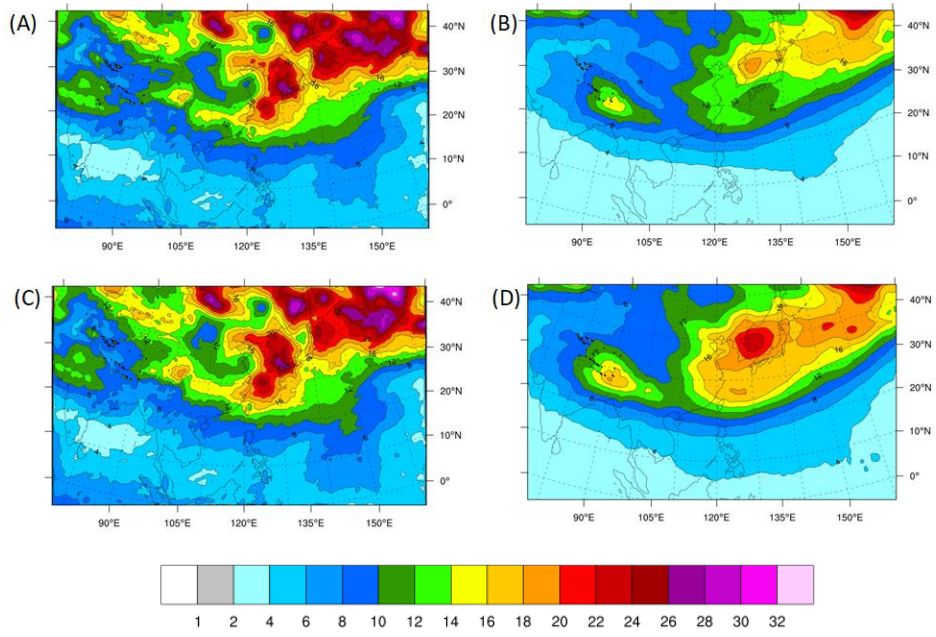


圖 4、冬季個案之 RMSE 和 SPRD 分布圖。(A)、(B)分別為 CTRL 實驗之 RNSE 和 SPRD 分布圖；(C)、(D)分別為 T12V3 實驗之 RNSE 和 SPRD 分布圖。

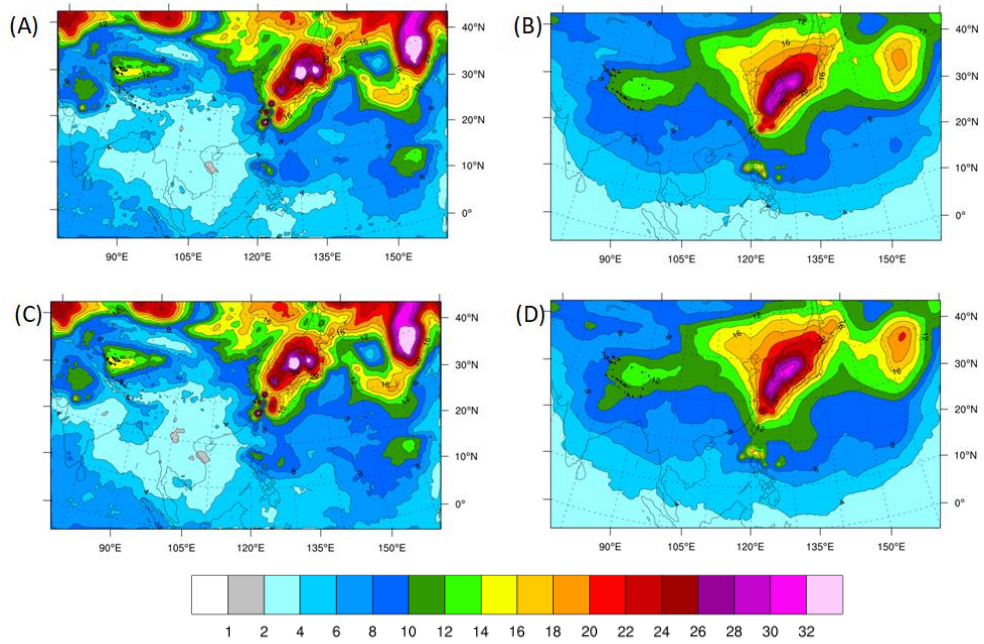


圖 5、同圖 4，為夏季個案。