

WRF 模式預報之系統性誤差與修正特性

陳昭銘¹ 黃明哲² 毛正氣² 黃文龍³

1.國立高雄海洋科技大學 2.海軍軍官學校 3.國立臺灣海洋大學

摘要

本研究以WRF(V2.2.1) 雙層巢狀預報模式，執行10年(1997-2006)每月10天個案之96小時預報實驗，檢驗WRF之預報特性與系統性誤差，並藉由誤差修正，提升WRF預報準確度。分析重點為台灣鄰近區域(104E-155E、2.5N-42.5N)之環流場與地面風場。就預報特性而言，WRF對冬季與夏季環流與風速場均具有相當程度之預報能力，海平面氣壓之空間型態相關係數長期平均值，冬季約為0.95，夏季約為0.92；10-m 風速之空間型態相關係數在冬季約為0.60，夏季約為0.46。一般而言，預報能力隨預報時間增加而遞減，冬季之預報能力高於夏季，環流場之預報能力高於風場。相對於NCEP重分析資料所代表之觀測場，WRF預報存有系統性誤差。冬季風場誤差主要為蒙古高壓偏強，東北季風隨之偏強，偏強程度隨預報時間增加而增大，風速誤差以南海地區最強。夏季風場誤差為亞洲低壓與太平洋副高均偏強，亞洲低壓過強並延伸到台灣、菲律賓海區域，導引副高南側之東風帶過強，使南海與台灣地區之西南氣流偏弱。WRF全年之預報能力，以冬季到春季最佳(12-3月)，夏季到秋季(7-11月)其次，梅雨季(4-6月)前後最低。運用SVD映射方法之統計誤差修正系統，可有效提升風場與環流場之預報準確率。將WRF預報與對應時間之NCEP觀測資料，共同輸入SVD分析中執行誤差修正，再分別比較誤差修正前後，WRF預報結果與觀測資料之誤差值強度(RMSE)、空間型態相關係數、時間型態相關係數，各預報場之整年平均誤差修正績效如下：1.誤差值強度：環流場(SLP)降低9-24%，風場降低20-24%。2.空間型態：環流場準確度僅提高0-5%，風場卻提高14-28%，V比U場效果更佳，對越長預報時程亦有更好效果。3.時間型態：環流場準確度僅提高2-7%，風場卻提高11-26%，U比V場效果更佳，對越長預報時程亦有更好效果。4.環流場之預報準確度比風場為佳，故其誤差修正效果不如風場；冬記預報比夏季為準，故誤差修正效果以夏季為高。

一、前言

數值天氣預報已是當今國內外所有天氣預測單位的主要作業方法，藉由超級電腦之高速運算能力及大量運算容量，天氣預報作業能在極短時間內獲得大量預報資訊。然而決定這些資訊之準確性與數值天氣預報作業效率的主要關鍵，還是繫於所使用大氣預報模式之預報能力。

修正數值模式預報誤差的方案有二，一為改進數值模式之數值方法與物理參數，二為診斷模式之系統性誤差與預報特性，再運用統計方法之經驗法則加以修正。第一方案的難度甚高，不單需要精通模式之數

值方法與運算程序，且要不斷進行實驗再加以校驗修正，不僅費時，且成效通常亦不明顯，故較少被採用。相對而言，第二方案則接受作業模式之預報特性，再以外加的統計方法予以修正，不僅難度低，且易於短期內見到立即改進效果，因此普遍被採用，並有相當多的成功案例，包括國內的中央氣象局。中央氣象局針對其系集數值預報所開發的誤差修正統計系統，能將夏季與冬季台灣與東亞地區環流場之誤差強度減少1/2到2/3之多。

作業單位之預報模式均有其獨特之誤差特性，唯有確認此特性，再加以修正，方能有效提高預報能力。本文主要目的即以天氣預報作業單位所使用的

WRF 預報模式為分析對象，執行數值預報實驗，研究其預報長期平均之系統性誤差，並比較誤差修正前後之預報能力。此研究結果當有助於了解 WRF 模式之預報特性與能力，藉由修正減少誤差，期以提高天氣預報之準確率。

二、數值預報實驗

本文使用 WRF 模式 2.2.1 版，垂直方向解析度為 31 層，水平解析度為雙層巢狀網格設定，外層粗網格點數為 79 x 63，範圍為 68E-177E、12S-60N，水平解析度約 135 公里，內層細網格點數為 111 x 96，範圍為 104E-155E、2.5N-42.5N，水平解析度約 45 公里，涵蓋台灣鄰近之東亞、南中國海、西北太平洋等地區。主要物理參數法包括 Yonsei University 邊界層參數法、WRF Single-Moment 5-class 微物理參數法、Kain-Fritsch 積雲參數法，陳與簡（2008）指出此參數組合能呈現 WRF 之最佳預報效能。

預報實驗以 National Centers for Environmental Prediction and National Center for Atmospheric Research (NCEP-NCAR) 6-hr 重分析資料(Kalnay et al. 1996)為大尺度邊界場，於 1997-2006 之 10 年期間，每年 12 個月，每月均執行 10 個預報個案，以每月 1、4、7、10、13、16、19、22、25、28 日 00Z 為初始場，預報 96 小時，再取每月或每季於不同預報時間（0hr、24hr、48hr、72hr、96hr）之 10 年平均值做為 WRF 預報之氣候場，將其與對應時間之重分析資料氣候場比較，此處以重分析資料代表觀測場，WRF 預報場與對應重分析資料之差異即是 WRF 之系統性預報誤差。本文將對東北季風盛行之冬季（12-2 月）與颱風活躍之夏季（6-8 月）風場，檢驗 WRF 之相關系統性誤差與預報能力。

三、系統性誤差

風場預報包括風向與風速，地面風場特性取決於地面環流場或氣壓場之預報，本文因此著重於檢驗海平面氣壓（SLP）與 10-m 風場分佈與風速大小 $[(U^2 + V^2)^{1/2}]$ 之誤差特性。

WRF 預報冬季氣壓場於台灣鄰近之華中、華南、南海地區，主要系統性誤差為高壓系統強度偏強，且隨預報時間增加而有更多偏強誤差。10-m 風場之系統性誤差，台灣北側東海地區之風場，基本上為自北向南之偏強風場誤差，與蒙古高壓之偏強誤差相符合。10-m 風速場預報系統性誤差，WRF 對東北季風風速預測過強，呈現正風速距平，主要正距平區包括日本、華中、華南、南海、菲律賓海。台灣鄰近海域在不同預報時間均位於正距平區，誤差最大之正距平區以南海為中心。

夏季 SLP 場之系統性誤差，WRF 所預報之亞洲低壓較觀測氣壓為低，太平洋副高則比觀測壓力強，反應 WRF 夏季環流系統較觀測場為強之系統性誤差，呈現西負東正之距平分佈特性，隨著預報時間增加，太平洋副高之偏強誤差減弱，但亞洲低壓之偏強誤差卻增強，並於台灣南側形成一個東西方向延伸的低壓誤差。夏季風場之系統性誤差為西南氣流分佈的南海中，自初始場(00hr)的東風誤差，轉為 24hr 與 48hr 的偏北風誤差，再轉為 72hr 與 96hr 之偏西風誤差，此風場偏差係伴隨著亞洲低壓誤差隨預報時間增加而偏強所致，預報過強之亞洲低壓其負 SLP 距平自華南向台灣延伸，形成東西方向延伸之負距平區，此誤差導引南海西南氣流偏向轉往菲律賓，並導引偏強東風與北風距平自北側進入台灣，使台灣地區之西南氣流強度減弱。10-m 風速場系統性誤差，於初始場呈現太平洋東風帶過強，但南海西南氣流過弱之主要特徵，而在亞洲大陸之風場亦明顯過強。上述三主要風速場誤差隨著預報時間增加而漸次增大，此結果亦反應風速場之預報有其相當難度。

四、系統性誤差與預報能力

確定系統性誤差之主要目的，係將其濾除來提升預報準確度。表一比較 WRF 預報場於系統性誤差濾除前後，對預報準確度之影響。冬季 SLP 與 10-m 風速場於系統性誤差濾除前後之空間型態相關係數 (anomaly pattern correlation, APC) 於 00-96hr 約在 0.91-0.98 之間，但隨預報時間增加而降低 APC 值，平均值 0.95。經系統性誤差濾除後之誤差修正後預報，

每一個預報時程之 APC 均增加，平均值增為 0.98，顯現系統性誤差之濾除，可立即並有效增加 WRF 預報能力。10-m 風場速度於系統性誤差濾除前之 APC 約為 0.54-0.67，濾除後則增為 0.72-0.81，平均值則從 0.60 升為 0.76，反應預報能力較弱之氣象場，更需要濾除系統性誤差來大幅提昇預報能力。

WRF 夏季預報場之特性與冬季相似，其 APC 顯示，預報能力隨預報時程增加遞減，SLP 場之 APC 值約在 0.86-0.98 之間，經誤差修正後，APC 亦在 0.86-0.98 之間，但平均值從修正前之 0.92 升為修正後之 0.93，仍能提升預報能力。10-m 風速場修正前之 APC 約在 0.37-0.63 之間，修正後變為 0.50-0.71 之間，平均值自 0.46 增為 0.59，顯示系統性誤差之移除可顯著提升夏季地面風速場預報之空間準確度。表一結果亦顯示，WRF 對 SLP 與 10-m 風速場之預報能力於冬季優於夏季，而系統性誤差移除對預報準確率之提升，也是冬季幅度高於夏季。

五、統計誤差修正與預報能力

運用奇異值解析法(singular value decomposition, SVD; Bretherton et al. 1992)為基礎，建置修正預報誤差之映射模式，執行 WRF 預報之修正，精進預報效能。修正能力。表二以 WRF10 年後預報實驗中，SLP、U10、V10 等場之 24-96 小時預報之全年平均值(共計 10 年，每年取 12 月，每月取五週預報結果之總平均值表示)，來呈現此檢驗系統之運作方式。就此三校能場而言，於所有預報時間中，TC(時間相關係數)與 SC(空間相關係數)於誤差修正後之值均比修正前提高(以黃色陰影區顯示)，RMSE 值則為減少(以橙色陰影區顯示)，清楚顯示誤差修正系統具有濾除誤差，提高預報準確性之功能。而修正能力(即 TC 與 SC 於誤差修正前後之增加值，RMSE 之減少值)，大致隨預報時間增加而具有較大變化量，反應此系統對較低準確性之長時程預報具有較顯著修正效果。對不同預報時間(24h-96h)之 SLP、U10、V10 場，於誤差修正前後之 RMSE、SC、TC 值，其整體誤差修正績效概述如下：

- 誤差值強度(RMSE)：SLP 約降低 9-24%，風場

約降低 20-24%，反應預報準確較低之場(風場)，更需要誤差修正系統來有效提升其預報準確率。

- 空間型態相關係數(SC)：SLP 準確度僅提高 0-5%，風場卻提高 14-28%，V 比 U 場效果更佳，對越長預報時程亦有更好效果。
- 時間型態相關係數(TC)：SLP 準確度僅提高 2-7%，風場卻提高 11-26%，U 比 V 場效果更佳，對越長預報時程亦有更好效果。

六、結語

本研究以 WRF 預報作業模式為分析對象，執行 10 年 96 小時預報實驗組，以大量預報實驗結果檢驗 WRF 預報之預報特性與系統性誤差，並藉由誤差修正，提升 WRF 預報準確度。診斷重點為亞洲、南海、西北太平洋等台灣鄰近區域(104E-155E、2.5N-42.5N)之環流場與風場，季節則為東北季風盛行之冬季(12-2 月)與颱風盛行之夏季(6-8 月)。

就預報特性而言，WRF 對冬季與夏季環流與風速場均具有相當程度之預報能力，海平面氣壓之空間型態相關係數長期平均值，冬季約為 0.95，夏季約為 0.92；10-m 風速之空間型態相關係數在冬季約為 0.60，夏季約為 0.46。一般而言，預報能力隨預報時間增加而遞減，冬季之預報能力高於夏季，環流場之預報能力高於風場。

就預報誤差而言，WRF 冬季風場誤差主要原因為對蒙古高壓預報有偏強誤差，使東北季風強度隨之偏強，偏強程度隨預報時間增加而增大，使台灣鄰近地區之風場誤差呈現北風偏強、風速過大，風速誤差以南海地區最強。WRF 夏季風場誤差主要原因為對亞洲低壓與太平洋副高預報均有偏強誤差，亞洲低壓過強且延伸到台灣、菲律賓海區域，導引副高南側之東風帶過強，但南海之西南氣流卻過弱，使台灣地區之西南氣流過弱，呈現北風與東風距平之誤差。

運用 SVD 映射方法建置修正 WRF 預報誤差之統計誤差修正系統，可有效提升風場與環流場之預報準確率。比較誤差修正前後，WRF 預報結果與觀測資料之誤差值強度(RMSE)、空間型態相關係數(SC)、時

間型態相關係數 (TC)，獲致此誤差修正系統之基本特性如下：

- 對所有預報時間 (24h、48h、72h、96h)，誤差修正系統均能有效濾除 WRF 天氣預報誤差，提升預報準確率。
- WRF 預報準確度於秋、冬季較夏季 (或颱風季) 為高；故誤差修正效果以夏季比冬季為佳。
- WRF 預報效能隨預報時間增加而降低，而誤差修正系統對較長時間之預報，有較佳之修正成果。

上述結果顯示，誤差修正系統之建置，當對預報作業之精進與預報準確度之提升，具有潛在助益，實為不可或缺之工具；而校驗系統之建置，將有助預報成效之檢驗，為作業單位日常預報作業中之得力工具，可有效並時效性地來檢視預報作業效能，且對準

確性越低之預報，愈具修正能力。

七、參考文獻

- (一) 陳昭銘、簡芳菁, 2008: 高精度大氣數值模式及校驗系統之研究。國防科技學術合作研究計畫成果發表暨研討會, 2008年11月25日, 高雄, 臺灣。
- (二) Kalnay, E., and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- (三) Bretherton, C. S., C. Smith, and J. M. Wallace, 1992: An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *J. Climate*, **5**, 541-560.

表一：WRF 不同時程（00-96hr）預報之海平面氣壓（SLP）與 10-m 風場速度（V10）之實際預報與誤差修正後結果，與對應 NCEP 觀測資料之空間型態相關係數於 10 年冬季與夏季

季節	變數	空間型態相關係數	預報時程					平均值
			00hr	24hr	48hr	72hr	96hr	
冬季	SLP	實際預報	0.98	0.96	0.95	0.93	0.91	0.95
		誤差修正後預報	0.99	0.99	0.98	0.97	0.96	0.98
	V10	實際預報	0.67	0.62	0.60	0.56	0.54	0.60
		誤差修正後預報	0.81	0.80	0.75	0.73	0.72	0.76
夏季	SLP	實際預報	0.98	0.93	0.92	0.89	0.86	0.92
		誤差修正後預報	0.98	0.96	0.94	0.90	0.86	0.93
	V10	實際預報	0.63	0.47	0.43	0.41	0.37	0.46
		誤差修正後預報	0.71	0.62	0.58	0.55	0.50	0.59

表二：WRF 之 SLP、10-m U、10-m V 場誤差修正前後之時間相關係數(TC)、空間相關係數(SC)、誤差量(RMSE)之比較，此量值為十年實驗中所有個案之平均值。

		TC		SC		RMSE	
		original	corrected	original	corrected	original	corrected
SLP	24hr	0.83	0.85	0.83	0.83	1.33	1.21
	48hr	0.78	0.81	0.74	0.75	1.94	1.58
	72hr	0.74	0.78	0.65	0.66	2.46	1.94
	96hr	0.71	0.76	0.59	0.62	2.77	2.10
U10	24hr	0.55	0.63	0.63	0.72	2.67	2.10
	48hr	0.49	0.59	0.50	0.60	3.28	2.55
	72hr	0.46	0.57	0.43	0.53	3.76	2.90
	96hr	0.43	0.54	0.37	0.47	4.03	3.06
V10	24hr	0.57	0.63	0.67	0.80	2.84	2.17
	48hr	0.55	0.63	0.55	0.69	3.47	2.75
	72hr	0.49	0.58	0.47	0.59	4.09	3.23
	96hr	0.46	0.54	0.40	0.51	4.42	3.54