

中央氣象局新一代全球系集預測系統

王志嘉 張庭槐
中央氣象局 氣象科技研究中心

摘 要

氣象局全球系集預測系統(CWB EPS)自2003年1月正式上線作業，提供7日內每日預報及四週內的週平均預報，隨著預報模式樣本(member)的演進，勢必調整此系統的預報策略。

更新後的預測系統，7日內的預報提高解析度至0.5度，方法上仍使用多模式迴歸方法預測；週平均的展期預測原先以時間延遲平均的方法收集足夠的預報樣本，新系統將預報樣本更換為本局全球模式系集預測系統(CWB GEPS)每天提供的20組預報，方法也由歷史預報資料提供的預測權重更改為平均系集權重進行權重計算，並依預報樣本提供系集離散度資訊。

本報告將分析新舊系統的預測結果差異，並展示展期預測於系統更新後新提供的資訊。

關鍵字：系集預測系統(ensemble prediction system)、多模式迴歸法(multi-model regression method)、時間延遲平均法(time lagged average method)

一、前言

在數值天氣預報作業過程中，由於受到觀測場分佈不一致性及觀測場的觀測頻率不一致性及觀測儀器精確度限制，再加上數值模式的不完備性，造成初始場並非為真實大氣狀態，其比較近似於模式和觀測資料本身的平衡結果，而對單一初始場和單一模式預報，會隱含著受到單一數值模式本身特性影響而導致預報會朝向模式本身特性去預報，而具有一定量上的誤差，對此則使用統計方法上中央極限定理的概念，針對單一的預報時間，迅速的融合多個模式的預報結果而產生此系集預測系統(Ensemble prediction system, EPS)，其中不止可以提高預測的準確度，更可以經由中央極限定理對各個模式本身的特型，在預測格點上調配各個模式所占有的權重分配。

二、新一代全球系集預測系統

(NEPS)簡介及比較

全球系集預測系統(Ensemble Prediction System)建立之初(1999年12月)，受限於資源及人力，預測因子僅包含500百帕高度場，2001年將預測變數擴增至海平面氣壓場和850百帕溫度場，預測天數也由5天預報延長至6天(張等人 2001)，而後引進多模式迴歸方法，經由發展及測試(張 2001、2002)，於

2003年1月開始上線作業，並增加預測變數至10種，預測輸出延長至7天，展期預測以時間延遲平均法(time lagged average method)預測，並於2005年針對本系統進行2004年整年度的結果進行分析。

而隨著預報模式樣本的演進，和超級電腦的效能的提升，數值天氣預報具有長足的進步，勢必調整本系統的預報策略。

更新後的預測系統，7日內的預報提高解析度至0.5度，方法上仍使用多模式迴歸法預測，使用本局接收世界各地作業中心之即時數值預報結果，包含歐洲中期天氣預報中心(European Center for Medium-Range Weather Forecast, ECMWF)、美國國家環境預報中心(National Weather Service's National Centers For Environmental Prediction's Environmental Modeling Center, EMC/NCEP/NWS)、日本氣象廳(Japan Meteorology Agency)、本局全球模式數值氣象預報，每天利用各個模式的歷史預報結果，依前人研究選用前28天的模式預報資料當其資料訓練基礎，針對單一個網格點上(0.5度)，使用多模式迴歸法，得到各模式於格點上的權重分配，其權重不僅和預報樣本有關，亦隨預報時間和空間的不同而有所不同權重，此方法即Krishnamuti等人(2000)，所提及的超集合預報法(super ensemble forecast)，目前預測變數包含海平面氣壓場、850百帕風場、溫度場、相對濕度場，700百帕高度場、相對濕度場、500百帕高度場、200百帕風場。

其預測模型建立採用Krishnamuti等人提出的方法，其應用在單一網格點上，模型所採用的方程式如下：

$$S_j = \bar{O}_j + \sum_{m=1}^n w_{j,m} \times (G_{j,m} - \bar{G}_{j,m})$$

S_j 為預測值， \bar{O}_j 為觀測資料的氣候平均值(本模型使用為在訓練時間上的時間平均值)， $G_{j,m}$ 為預報模式(m)在模式格點(j)上的預報值， $\bar{G}_{j,m}$ 為預報模式(m)在模式格點(j)上的氣候平均(本模型使用為在訓練期(training period)時間上模式的時間平均)， $w_{j,m}$ 為經過訓練期的資料計算所獲得的權重， n 為使用的模式數量，此方法說明了多模式迴歸法上的優點與涵義，顯示模式為站在一長期平均上(\bar{O}_j)，針對其模式對於系統性誤差的微小差異($G_{j,m} - \bar{G}_{j,m}$)進行權重調整，得到較好的差異分布。其權重求得乃使用均方根誤差極小化方法以求得最佳權重分配。

$$G = \sum_{t=1}^{t=train} (S_t - O_t)^2$$

原週平均的展期預測使用本局較低解析度(T79L48)的全球環流預報模式結果，取連續五天的預報，而使用延遲平均方法進行系集加權平均，其權重由模式歷史預報診斷結果決定，權重僅是預報時間函數。新系統將預報樣本更換為本局全球模式系集預測系統(CWB GEPS)每天提供的20組預報，方法也由歷史預報資料提供的預測權重更改為平均系集權重進行計算，並依預報樣本提供系集離散度資訊。

原展期預測時間為1-8天平均預測(W108)、9-15天平均預測(W115)、16-29天平均預測(W229)、1-29天平均預測(W429)，期望符合國際上季內至季節預報計畫(Sub-seasonal to Seasonal, S2S)預報指引，所以採用週平均資料進行預測，期間為第1週到第6週預測。

三、結果分析

(一)短期預測

以本局分析場資料為基準，進行北半球(20N-80N)500百帕高度場得分校驗，校驗時間為3月到5月，從其三個月時序圖120小時預測(圖1)以及三個月平均圖(圖2)顯示，新一代全球系集預測系統(NEPS)其能力對於預測開始時，其預測能力可以和歐洲中期天氣預報中心模式(ECMWF)相當，當隨著模式預測時間增加，其預測能力還是可以匹敵ECMWF，甚至有部分預測時間上還比ECMWF較優。而在權重分布上查看，以單一預測時間來看，起初短期時間(24 hr)，ECMWF占有大部分權重，其次為NCEP、JMA，CWB占最小權重；隨著預測時增長，ECMWF模式所占權重百分比減低，各模式占權重百分比比例增加，而在台灣地區，本局模式增加權重最大(圖3)。

(一)展期預測

展期預測方面，為符合季節至季內預報計畫(Seasonal to sub seasonal, S2S)預報指引，參考國際上預測產品，優先產製週預測產品，產品為週平均預測，內容包含500百帕高度場、850百帕溫度場、海平面氣壓場、降水場，其變數包含：週平均場(Weekly mean)、週平均離散度(Weekly mean of spread)。

以500百帕高度場進行校驗，對其週平均場的均方根誤差(RMSE)和週平均場的離散度(SPRD)進行比較，期待兩者得分接進為較好的系集預測產品。可以看得出來500百帕高度場在第一週預測時，離散度不足，但隨著展期預測的時間增加，離散度和均方根誤差有增加後趨近於平穩數值，其第三週後離散度較可代表其天氣狀態的不確定性(圖4)。

進而比較原先作業模式週預測，其乃取用較低解析度之氣象局全球模式(T79L48)進行45天預報後，取用近五天的預報產品進行時間延遲平均法取得平均數值，且經由過去預測時之預測資料進行偏差修正後獲得修正後的預測資料。

將此兩種預測資料和新一代系集預測系統所產製週平均預測產品降解析度後，進行得分校驗分析，結果得到，新一代系集預測系統得分還是比原有系集預測系統具有更好的預測效果(圖5)。

四、結語

隨著數值天氣預報模式複雜度增加和解析度的提升，模式的可預報度提升，但受限於觀測資料的不均性和大氣物理方程的不完備性，使得模式在進行預報時還是具有模式本身的系統性誤差。而不同的模式具有不同的系統性誤差和其特性，假如經由簡單且快速的統計方法進行資料融合後，模式可以增加其預測能力。

另外一部分是，經由模式的系集預測產品來提供大氣的不確定性，給予預報員可以提供更加方便的可靠度分析，提供給預報員更加強大的工具。

五、未來發展

隨著模式的提升，模式的預報能力可以延長到240小時的預報，未來會在多模式迴歸法上，將預測時間延長到240小時，且參考本局系集模式，使用其預報資料進行多模式迴歸法上的探究。

展期預測方面，會再提供更多的系集預測產品，如加入降水的機率預報產品，提供在定值以上的降水機率(PQPF)以及提供定值以上的風速機率產品。

另外也會進行模式上的偏差修正方法上的研究，期待引入美國EMC/NCEP/NOAA 所使用的 Decaying average 偏差修正方法，提升預測產品的準確性。

六、參考文獻

方力脩、陳慧貞, 1999 : ”數值天氣預報之校驗方法綜評”, 氣象學報, 35, 48-63.

張庭槐、曾建翰、張忍成, 2000 : ”中央氣象局系集預報系統之簡介”, 天氣分析研討會, 528-533.

張庭槐, 2001 : ”2000/01年冬季寒潮個案模擬: 多模式系集預報與高解析度模式預報之比較。”, 交通部中央氣象局專題研究報告第CW 90-1A-12號, 36p.

張庭槐, 2002 : ”多模式迴歸系集預報系統之建立。”, 交通部中央氣象局專題研究報告第CW 91-1A-10號, 22p.

張庭槐、曾建翰, 2005 : ”2004年中央氣象局系集預報結果分析”, 天氣分析研討會, 147-151.

張庭槐、莊志銘, 2006 : ”模式格點資料內插方法之改進”, 天氣分析研討會, 2-73~2-77.

Buizza R., P. L. Houtekamer, Z. Toth, G. Pellerin, .Wei, and Y. Zhu, 2005 : ”A Comparison of the ECMWF, MSC, and NCEP Global Ensemble Prediction Systems.” Mon. Wea. Rev., 133, 1076-1097.

Krishnamurti T. N., C. M. Kishtawal, Z. Zhang, T. LaRow, D. Bachiochi, and E. Williford, 2000 : ”Multimodel Ensemble Forecasts for Weather and Seasonal Climate.”, J. Climate, 123, 4196-4216.

Krishnamurti T. N., A.D. Sagadevan, A. K. Mishra, and A. Simon, 2009 : ”Improving Multimodel Weather Forecast of Monsoon Rain Over China Using FSU Superensemble.”, Advances in Atmospheric Sciences, Vol.26, NO.5, 813-839.

WMO, WWRP/WCRP Sub-seasonal to Seasonal Prediction Project (S2S) Phase II Proposal (November 2018-December 2023), WWRP 2018-4, WCRP Report No. 11/2018.

Ian T. Jolliffe, D. B. Stephenson, 2012 : Forecast Verification – A Practitioner’s Guide in Atmospheric Science, Wiley-Blackwell.

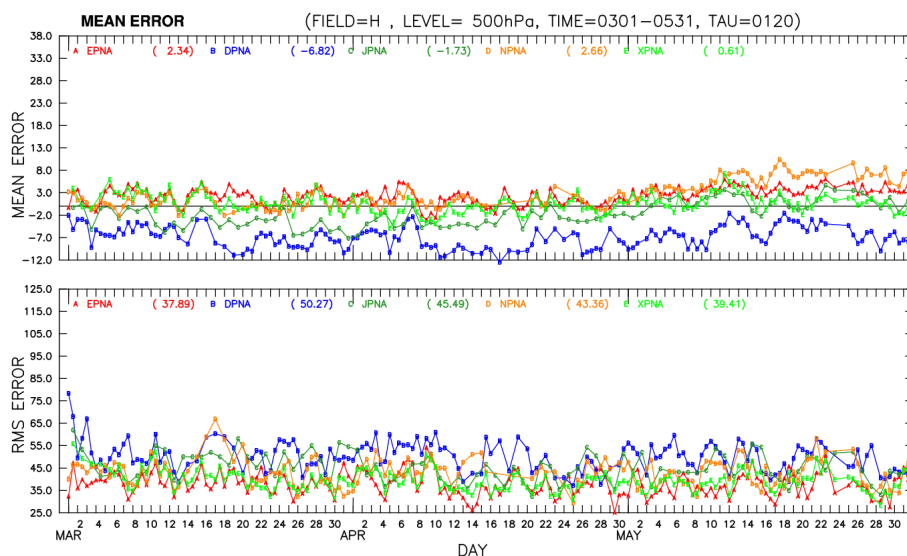


圖 1 各家數值模式 3 到 5 月北半球 500 百帕高度場預測 120 小時預測校驗得分時序圖，橫軸為模式預報時間 (valid time)，縱軸為得分。模式說明: ECMWF(EPNA)、CWB GFS(DPNA)、JMA(JPNA)、NCEP(NPNA)、NEPS(XPNA)

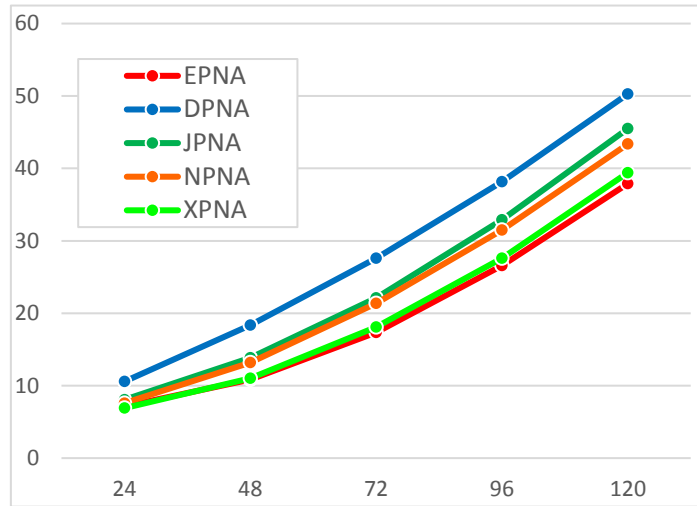


圖 2 各模式 500 百帕高度場 3 到 5 月平均得分圖(RMSE)

橫軸為預報時，縱軸為得分(RMSE)

模式說明: ECMWF(EPNA)、CWB GFS(DPNA)、JMA(JPNA)、NCEP(NPNA)、NEPS(XPNA)

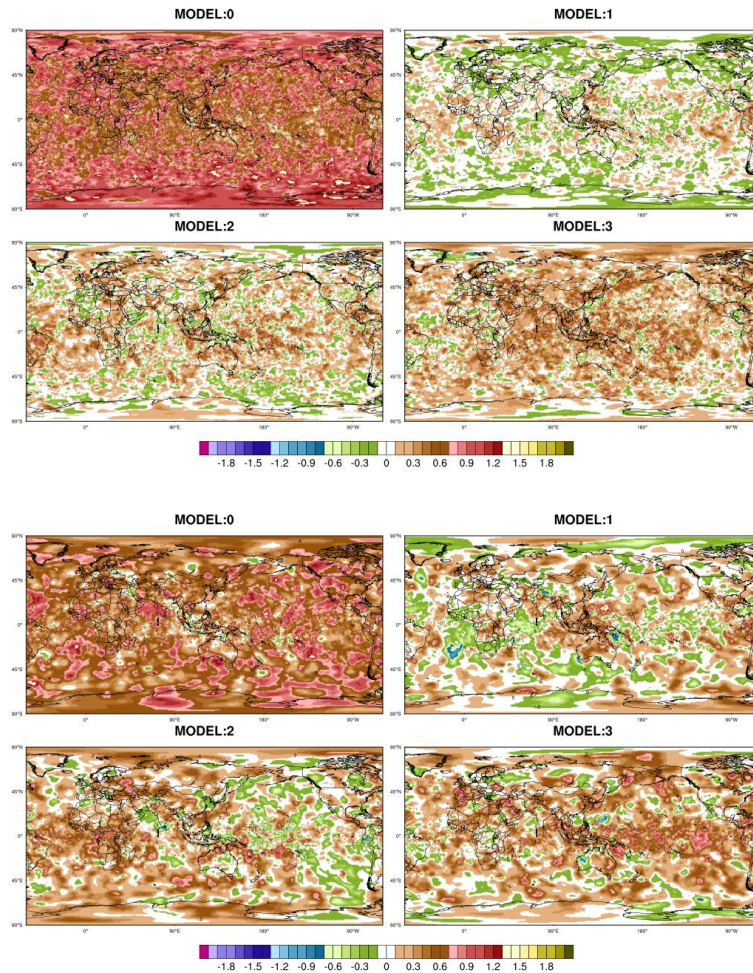


圖 3 500 百帕高度場全球權重分布圖，上圖為預測時間 24 小時，下圖為預測時間 120 小時。

模式說明:ECMWF(MODEL:0)、CWB GFS(MODEL:1)、JMA(MODEL:2)、NCEP(MODEL:3)

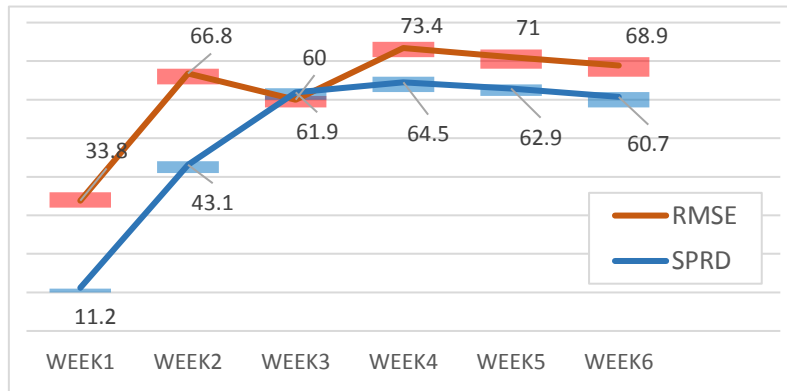


圖 4 新一代系集預測系統，3 到 5 月 500 百帕高度場展期預測校驗得分。橫軸為週平均，縱軸為得分，區塊為 95% 信賴區間。

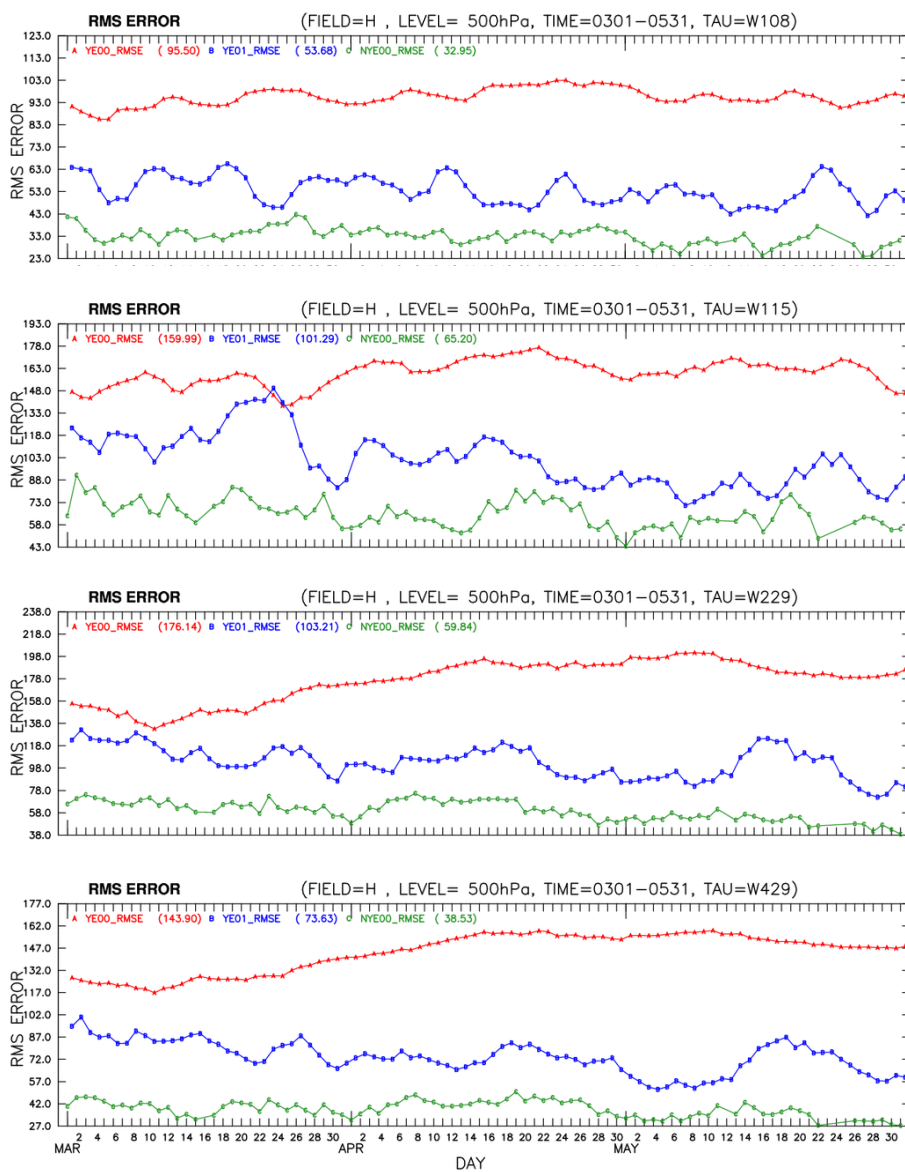


圖 5 週平均北半球 500 百帕高度場預測校驗，橫軸為預測初始時間，縱軸為較驗得分(RMSE)，紅線為目前作業週預測得分，藍線為目前作業週預測校正後得分，綠線為新一代系集預測系統週平均得分，由上而下依序預測時間為 1-8 天平均(W108)、9-15 天平均(W115)、16-29 天平均(W229)、1-29 天平均(W429)。