

應用 decaying average 方法於修正模式系統性偏差之研究

陳怡儒 洪景山 李志昕

中央氣象局氣象資訊中心

摘要

數值天氣預報中，模式預報存在系統性誤差，而如何修正模式的系統性誤差，是數值天氣預報產品應用的重要課題之一。

Decaying average 是一個簡單的數學方法，可用來計算一個時間數列「平均」的特性。使用 decaying average 時，越靠近分析時間的資料權重越大，反之，越遠則權重越小，此一權重的分佈可輕易由一個參數調整。再者，decaying average 方法只需儲存前一個時間的平均以及當下的資料，可以有效節省資料儲存空間。本研究使用 decaying average 方法，針對中央氣象局區域模式之決定性預報與系集預報，分析模式預報的系統性偏差與偏差修正的效果，同時也探討偏差修正對系集離散度的影響。

一、前言

近年來，中央氣象局在數值天氣預報模式的發展，不論在物理參數法調整及改善資料同化策略對氣象預報都有顯著的改善，然而模式預報仍然存在系統性誤差，因此如何計算模式系統性誤差並修正，成為數值天氣預報的重要課題之一。

模式系統性誤差計算方法中，常見的為統計過去一段時間的預報誤差取平均，但此方法必須儲存長時間的誤差資料，較耗費儲存空間，在進行誤差修正時必須讀取相當大的資料量增加計算時間；因此本研究使用 decaying average 方法，針對中央氣象局區域模式之決定性預報與系集預報進行系統性偏差修正，並分析偏差修正效果，同時也探討偏差修正對系集離散度的影響。

二、研究方法及設計

(一)、Decaying average 方法介紹

Decaying average 是一個簡單的數學方法，可用來計算一段隨時間衰減數列「平均」的特性。使

用 decaying average 時，越靠近分析時間的資料權重越大，反之，越遠則權重越小，此一權重的分佈可輕易由一個參數調整。再者，decaying average 方法只需儲存前一個時間的平均以及當下的資料，可以有效節省資料儲存空間。因此本研究使用 decaying average 方法來計算模式在不同預報時間(tau)的系統性誤差，decaying average 偏差修正步驟如下：

1. 計算預報誤差 (b)：模式預報場 (f) 減去當下的分析場 (a)。公式如下：

$$b = f - a_{t_0} \quad \dots\dots\dots (1)$$

其中 b 和 f 為 i、j (格點)、tau 的函數，a 為 i、j 的函數。

2. 以 decaying average 法計算系統性偏差(B)：以權重係數控制前一個時間所算得的系統性偏差 (B_{t-1}) 和當下的預報誤差 (b) 所占的比重，公式如下：

$$B = (1-w)*B_{t-1} + w*b \quad \dots\dots\dots (2)$$

其中，w 為權重係數，B、B_{t-1} 和 b 為 i、j、tau 的函數。

3. 偏差修正：當下的模式預報場 (f) 減去 decaying average 算出的系統性偏差 (B)，得到新的預報場 (F)，公式如下：

$$F = f - B \quad \dots\dots\dots (3)$$

其中 F、f 和 B 皆為 i、j、tau 的函數。

(二)、實驗設計

本研究針對中央氣象局區域模式之決定性預報與系集預報進行偏差修正，分析模式預報的系統性偏差與偏差修正效果。在決定性預報方面：以區域模式之決定性預報為控制組 (簡稱 M00)，將 M00 進行 decaying average 偏差修正後的預報做為對照組 (簡稱 M00_COR)，真值使用 NCEP 分析場，針對 45 公里積分範圍進行誤差修正，decaying average 的訓練期為 2013 年 7 月 1 日 00 UTC 至 8 月 31 日 18 UTC，以三組權重係數 (w = 0.01、0.02 和 0.05) 進行測試，分析 2013 年 9 月 1 日 00 UTC 至 9 月 15 日 18 UTC 共 60 個個案進行偏差修正效能評估。

在系集預報方面：以區域系集預報系統之 20 組系集成員為控制組 (簡稱 WEPS)，真值使用 NCEP 分析場，針對 45 公里積分範圍進行誤差修正，decaying average 的訓練期為 2013 年 7 月 1 日 00 UTC 至 8 月 31 日 12 UTC，以權重係數 w = 0.02 進行兩種偏差修正方案：1. 系集成員的預報場減去自己的系統性誤差 (簡稱 WEPS_COR_Bi)，2. 系集成員的預報場減去系集平均的系統性誤差 (簡稱 WEPS_COR_Bm)，分析 2013 年 9 月 1 日 00 UTC 至 9 月 15 日 12 UTC 共 30 個個案之偏差修正效能。

三、校驗分析

(一)、決定性預報

M00 使用 decaying average 方法分別以三組權重係數 (w=0.01、0.02、0.05)，進行系統性偏差修正，針對 60 個個案平均做校驗，結果顯示：使用 decaying average 偏差修正對高度場在不同垂直分層的 mean error 及 RMSE 皆有改善，尤其在對流層外，隨著權重的增大，系統性偏差修正的效果更

為顯著，模式預報物差隨時間增加，但偏差修正效果與預報時間無直接相關 (圖 1)。對溫度場而言，在不同垂直分層的 mean error 及 RMSE 也都有改善，偏差修正效果也不隨預報時間而改變，但隨著權重增加，在 700 hPa、100 hPa 溫度場的暖偏差及 200 至 300 hPa 的冷偏差，出現過度修正的情形 (圖 2)。

將與 NCEP 分析場差異明顯的 500 hPa 高度場及 700 hPa 溫度場之第 72 小時預報進行二維診斷分析，M00 在 500 hPa 高度場預報過高的情形在不同權重係數下都有明顯的修正，在 700 hPa 溫度場的暖偏差也有顯著的改善，但不論 500 hPa 高度場及 700 hPa 溫度場，隨著權重係數的增大 (w = 0.01)，會產生過度修正的情形。

(二)、系集預報

進行系集預報系統校驗時，分兩個層面評估：第一部分是評估系集預報離散是否足夠，據以涵蓋所有可能發生的機率 (Rank Histogram 和 ensemble spread)，第二部分是評估系集預報系統的可信度 (Reliability diagram)。

WEPS 使用 decaying average 方法，經 M00 測試結果取權重係數 w = 0.02，進行系統性偏差修正，針對 30 個個案平均做校驗分析。為了定量評估系集成員的離散度，因此計算各預報時間的 RMSE 和 ensemble spread (SPRD)，並於同一張圖上呈現，若 RMSE 和 SPRD 相等，表示系集離散程度合理。在圖 4 中，500 hPa 高度場及 850 hPa 溫度場之 RMSE 與 SPRD 比較圖中顯示：WEPS 不論減去各成員自己的系統性誤差 (WEPS_COR_Bi) 或減去系集平均的系統性誤差 (WEPS_COR_Bm)，皆可降低 RMSE，但 WEPS_COR_Bi 的 SPRD 值也下降，而 WEPS_COR_Bm 因減去的為系集平均系統性誤差，此方法為將系集成員「平移」的概念，因此 SPRD 不會降低。

圖 5 為 Rank Histogram 分析圖，Rank Histogram 能評估系集預報系統相對於真值之離散程度，並了解其偏差情形；此圖形若為平坦，表示離散程度合理，若圖形左側較高，表示預報偏大，若右側較高，則表示預報偏小。校驗結果顯示，WEPS

在 500 hPa 高度場有預報偏高的情形，WEPS_COR_Bm 是將所有成員「平移」更靠近真值，因此預報偏高的情形有明顯改善；而在 850 hPa 溫度場圖形略為呈現 U 型分布，表示 WEPS 系統離散程度不足，WEPS_COR_Bi 因減去的為各成員自己的系統性誤差，此方法為將系集成員「縮小」的概念，導致 SPRD 值更低，因此 U 型分布更為明顯。

在評估系集預報系統的可信度方面採用 Reliability diagram，Reliability diagram 為某門檻下，預報機率與觀測機率同時繪於圖上，若觀測機率等於預報機率，表示此一系統具相當的可信度，所繪出圖形為對角線。圖 6 (A) 至 (C) 為 500 hPa 高度場之校驗結果，圖中顯示，WEPS 的觀測機率普遍小於預報機率，表示 500 hPa 高度場預報值過大，和 Rank Histogram 分析結果相同，但在兩組修正實驗在門檻值為 5820 m 情況下，對可信度沒有明顯的提升。圖 6 (D) 至 (F) 為 850 hPa 溫度場門檻值為 288 K、293 K 之校驗結果，在預報機率較低時，預報較低溫者有冷偏差的情形，預報較高溫者有暖偏差的情形，暖偏差情況在 WEPS_COR_Bi 有所改善，然而 WEPS_COR_Bm 沒有顯著的修正。

四、結論

本研究以 decaying average 方法，針對中央氣象局區域模式之決定性預報與系集預報進行偏差修正，分析結果顯示，溫度場及高度場在不同垂直分層下，RMSE 及 mean error 皆有改善，對 500 hPa 高度場預報過高及 700 hPa 溫度場暖偏差的情形皆有顯著的修正效果。

系集預報的校驗結果顯示，進行系統性偏差修正後皆可降低 500 hPa 高度場及 850 hPa 溫度場的 RMSE，但兩組實驗在 Rank Histogram 及 Reliability diagram 校驗結果差異不大，若以不影響離散度的情況下，修正系集平均的系統性誤差方法較為理想。

Decaying average 為一個簡單且快速的數學方法，未來能應用在台灣地區地面高、低溫預報的偏差修正及定量降水預報偏差修正上，期望能強化

模式對台灣地區地面預報的能力。

五、參考文獻

- Cui, Bo, Zoltan Toth, Yuejian Zhu, Dingchen Hou, 2012: Bias Correction for Global Ensemble Forecast. *Wea. Forecasting*, **27**, 396 - 410.
- 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。

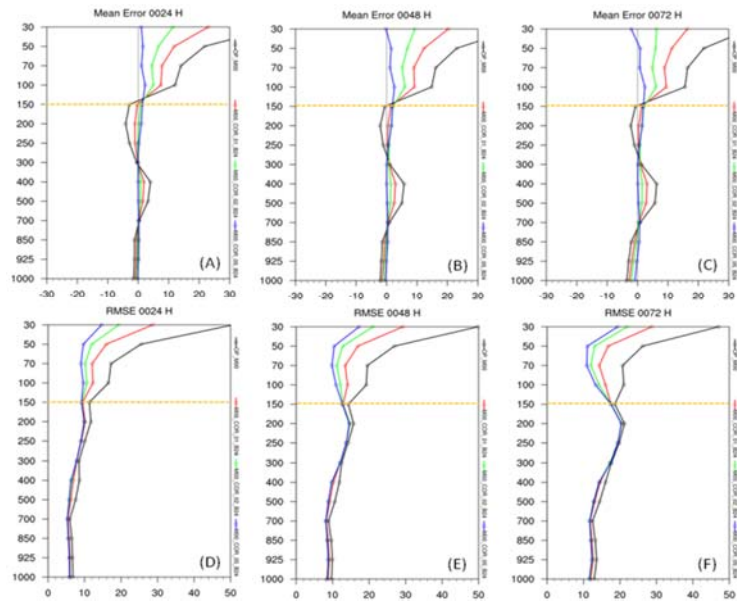


圖 1、高度場之垂直分層校驗圖。(A)至(C)分別為第 24、48、72 小時預之 RMSE，(D)至(F)分別為第 24、48、72 小時預報之 Mean Error；圖中黑線為 M00，色線為 M00_COR 以不同權重之測試：紅線為 $w=0.01$ ，綠線為 $w=0.02$ ，藍線為 $w=0.05$ 。

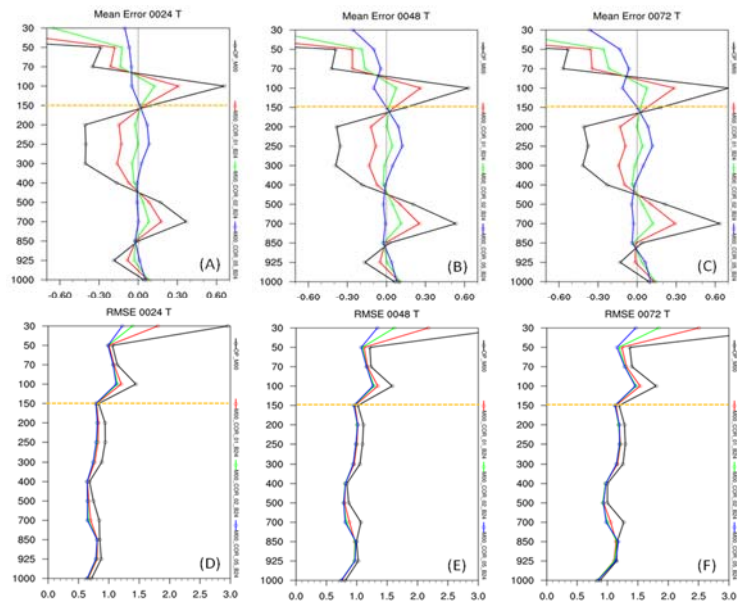


圖 2、溫度場之垂直分層校驗圖。(A)至(C)分別為第 24、48、72 小時預之 RMSE，(D)至(F)分別為第 24、48、72 小時預報之 Mean Error；圖中黑線為 M00，色線為 M00_COR 以不同權重之測試：紅線為 $w=0.01$ ，綠線為 $w=0.02$ ，藍線為 $w=0.05$ 。

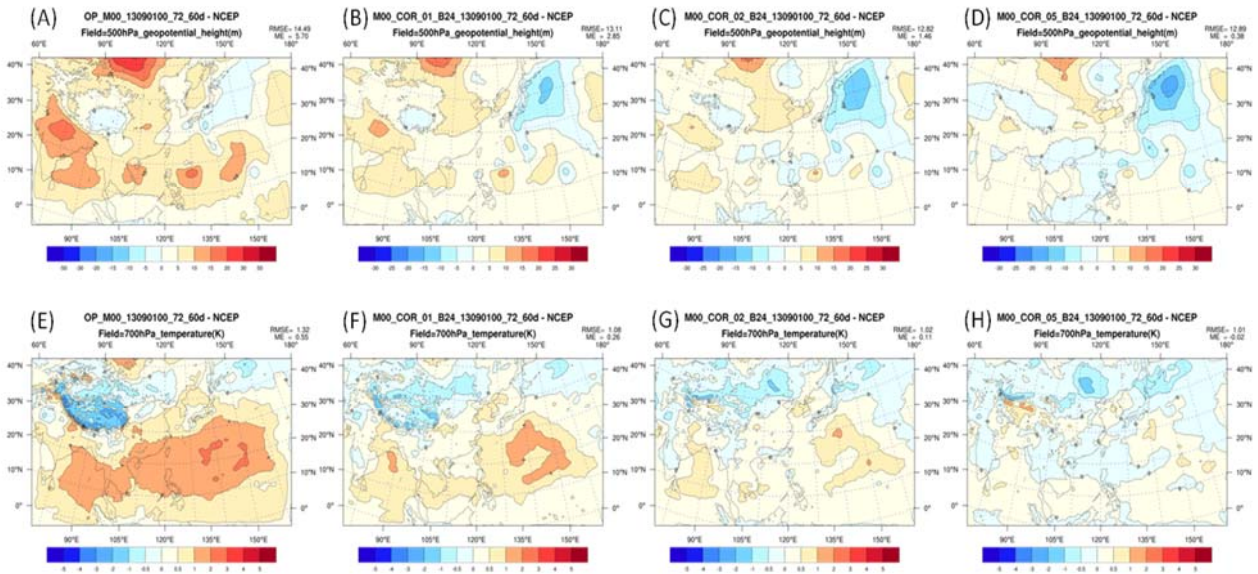


圖 3、500 hPa 高度場與 700 hPa 溫度場第 72 小時預報與 NCEP 分析場之差值。(A)為 M00 在 500 hPa 高度之差值場，(B)至(D)為 500 hPa 高度場分別以 $w=0.01$ 、 $w=0.02$ 、 $w=0.05$ 權重做偏差修正後之差值場；(E)為 M00 在 700 hPa 溫度之差值場，(F)至(H)為 700 hPa 溫度場分別以 $w=0.01$ 、 $w=0.02$ 、 $w=0.05$ 權重做偏差修正後之差值場。

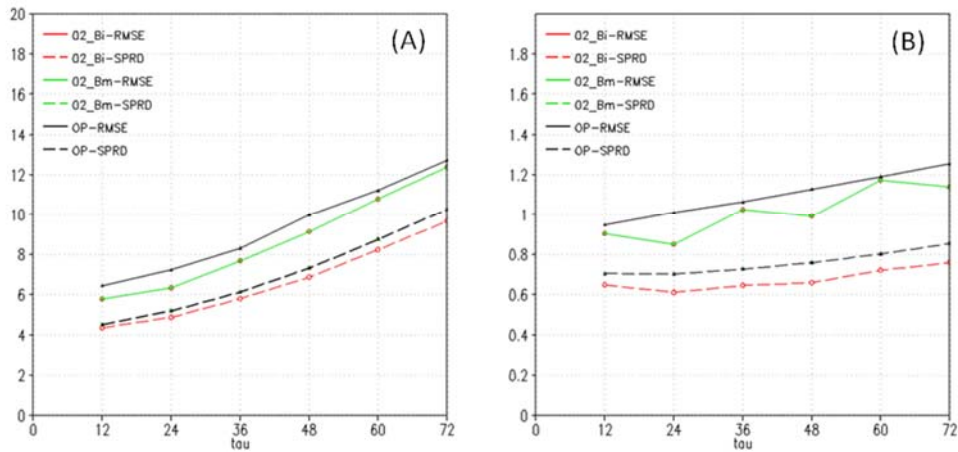


圖 4、(A)、(B)分別為 500 hPa 高度場與 700 hPa 溫度場之 RMSE 與 SPRD 比較圖，橫軸為預報時間，實線為 RMSE 值，虛線為 SPRD 值，黑色線為 WEPS，紅色線為 WEPS_COR_Bi，綠色線為 WEPS_COR_Bm。

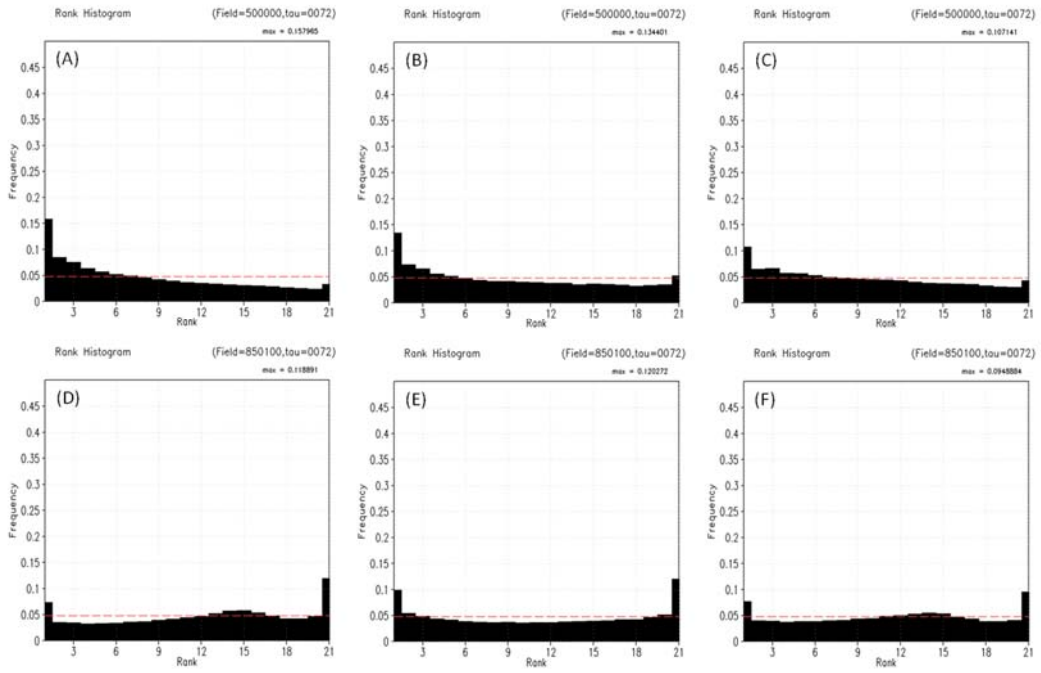


圖 5、Rank Histogram 分析圖，橫軸為區間編號，縱軸為頻率值。(A)至(C)分別為 WEPS、WEPS_COR_Bi、WEPS_COR_Bm 在 500 hPa 高度場第 72 小時預報的 Rank Histogram 分析圖；(D)至(F)分別為 WEPS、WEPS_COR_Bi、WEPS_COR_Bm 在 850 hPa 溫度場第 72 小時預報的 Rank Histogram 分析圖。

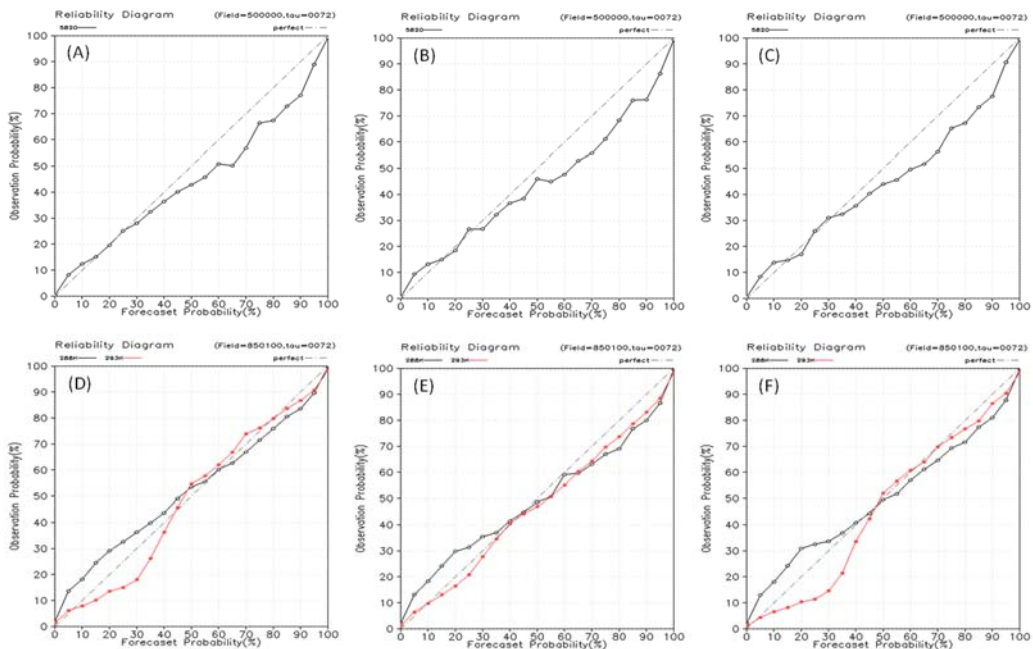


圖6、Reliability Diagram 可信度分析圖，橫軸為預報機率，縱軸為觀測機率。(A)至(C)分別為 WEPS、WEPS_COR_Bi、WEPS_COR_Bm 在 500 hPa 高度場第 72 小時預報的 Reliability diagram，門檻值為 5820 m，(D)至(F)分別為 WEPS、WEPS_COR_Bi、WEPS_COR_Bm 在 850 hPa 溫度場第 72 小時預報的

Reliability diagram, 黑線為門檻值288 K, 紅線為門檻值293 K; 兩圖中的虛線為最佳分析曲線。