

2004 年中央氣象局系集預報結果分析

張庭槐

曾建翰

中央氣象局資訊中心

中央氣象局科技中心

摘 要

中央氣象局現行的系集預報系統 (CWB EPS) 包含兩個部份，其一是預報七天內的短期超系集預報系統，綜合國內、外多個模式的預報結果，先以多模式回歸的方法求得各預報樣本的權重，再進行每天的系集預報，輸出至第七天；其二是預報七天以後的展期預報系統，採用本局全球環流預報模式的預報，以延遲平均的方法集合多組預報輸出，由歷史預報資料統計結果決定的權重進行七天以後的預報；未來將再納入氣象觀測站上每小時預報輸出的極短期預報。

本報告主要分成兩個部份，首先分析 2004 年 CWB EPS 的預報結果，其次是檢視新系統的測試結果，包含將超系集預報的方法運用到測站上，進行每小時輸出至 48 小時的預報和展期系統採用即時系統預報偏差修正的結果。

關鍵字：系集預報、超系集預報、延遲平均

一、前言

在數值天氣預報進行的過程中，由於初始場的不完美及模式的不完備性，使非線性大氣運動的預報充滿著不確定的變因，單一初始場進行的預報始終隱含著預報不準的危機，利用統計上中央值極限定理的概念，針對預報時間，迅速融合多個預報結果的系集預報系統 (Ensemble Prediction System)，不僅可以提高預測的準確度，更可由預報的分歧圖，提醒預報員天氣變化的可能性。

中央氣象局的系集預報系統，在系統建立之初 (1999年12月)，限於預報資源及人力，預報因子僅包含500hPa高度場，2001年將預報變數擴增至海平面氣壓場及850 hPa溫度場，預報每天天氣的短期系統也由5天的預報延長至6天 (張等人，2001)，而後引進多模式回歸的計算方法，經過長期的發展及測試 (張2001、2002)，於2003年1月開始正式上線作業，並將預報變數擴增至10個，預報輸出延長至7天。展期預報的部份則仍以延遲平均 (lagged average) 的方法預報至30天。

本文針對2004年，系集預報所提供之結果進行分析，以期能對系集預報的預報特徵有更深入的了解，並提供為往後系集預報改進的參考。

二、現行作業系統簡介

現行氣象局上線作業的系集預報系統，每日在世界標準時 12 時執行預報作業，依預報的時間包含了兩個部份，第一部份是七天內每隔 24 小時輸出的短期預報系統，第二部份是預報七天後的展期預報系統。

第一部份是利用本局所接收的世界各地作業中心之即時預報結果，包含歐洲中期天氣預報中心 (European Center for Medium-Range Weather Forecast, 簡稱為 ECMWF)、美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction, USA)、日本氣象廳 (Japan Meteorology Agency)、英國 (United Kingdom) 的預報資料，每天利用各個模式的歷史預報結果 (在目前的系統是取預報初始時間開始往前 28 天的預報資料)，在每個預報的網格點上，先利用多模式回歸的方法計算，得出各預報模式結果在系集預報系統中的權重 (如此由得的權重不僅和預報樣本有關，亦隨預報時間及空間而變)，進而求得系集預報的預報結果，此法即是 Krishnamurti 等人 (2000) 所提的超系集預報法 (super ensemble forecast)，預報變數包含海平面氣壓場、850 h Pa 風場、溫度場及相對溼度場、700 h Pa 高度場及相對溼度場、500 h Pa 高度場和 200 h Pa 風場。

第二部份的展期預報系統，著重在預報時間較長

後一段時間內平均的預報而非每天的預報，現有的預報輸出包含初始時間後第 6-10、11-20、21-30、1-30 天平均，為符合使用者的需求，往後將更改預報時間平均為週平均輸出，即初始時間後第 7-14、15-21、22-28、1-28 天平均的預報，預報變數有海平面氣壓場、850 hPa 溫度場及 500 hPa 高度場。預報樣本採用的資料來源是本局較低解析度 (T79) 的全球環流預報模式預報結果，取連續 5 天的預報，以延遲平均的方法針對特定的預報時間進行系集平均，而不同初始時間預報樣本的權重，是由模式歷史預報的診斷結果所決定，其僅是預報時間的函數。

至於降水的預報較為特殊，歸因於不容易取得國外各地作業中心的即時預報資料，所以預報樣本侷限在本局低解析度全球模式的預報，預報的方法如同展期預報系統，但是預報的輸出包含了短期和展期的輸出時間，即包括了七天內的每天預報及初始時間後第 6-10、11-20、21-30、1-30 天平均的預報。

三、結果分析

(一) 短期預報

若以 ECMWF 的氣候資料為基準，分析 2004 年預報場北半球 ($0^{\circ} \sim 80^{\circ}N$) 異常相關係數 (ACC; anomaly correlation coefficient) 的平均值發現，500hPa 高度場的預報得分在前 4 天略低於 ECMWF，但是差距不大，第 6、7 天的預報即優於 ECMWF (圖 1)，在以 ECMWF 的分析場為基準下推算而得的均方根誤差 (RMSE; root mean square error) (圖 2) 和上述的結果相似，而月平均的 ACC 值分布此現象更明顯 (圖 3)。除了 850hPa 溫度場外，其它預報變數均有此特性，CWB EPS 的 850hPa 溫度場預報得分在第 6、7 天的卻略低於 ECMWF，之前一直和 ECMWF 的得分相近。

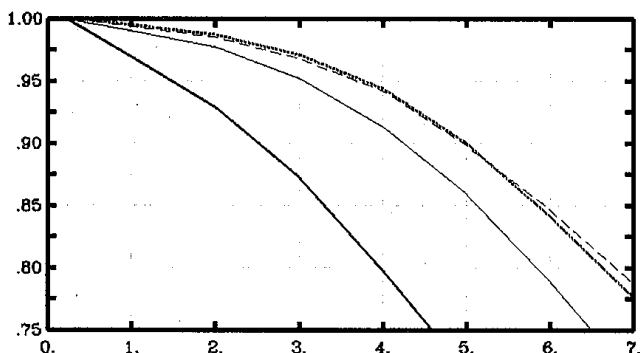


圖 1：2004 年北半球 ($0^{\circ} \sim 80^{\circ}N$)，以歐洲中期預報中心氣候資料為基準，推算而得的 500hPa 高度場預報 1~7 天，年平均異常相關係數分布曲線，橫座標為預報天數，縱座標為異常相關係數，虛線為 CWB EPS 的值，點線為 ECMWF 的值，細實線為 JMA 的值，粗實線為 CWB GFS T79 的值。

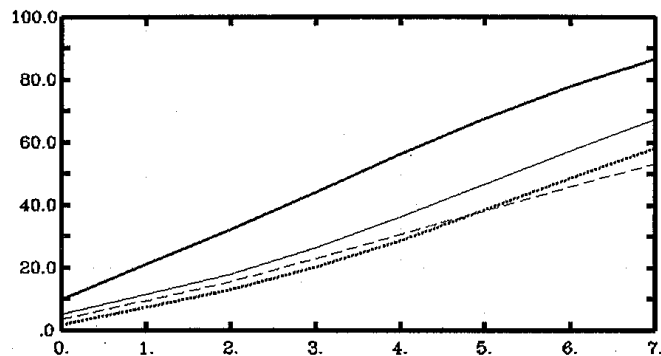


圖 2：同圖 1，但為年平均均方根誤差值分布曲線，縱座標為均方根誤差值，單位為公尺。

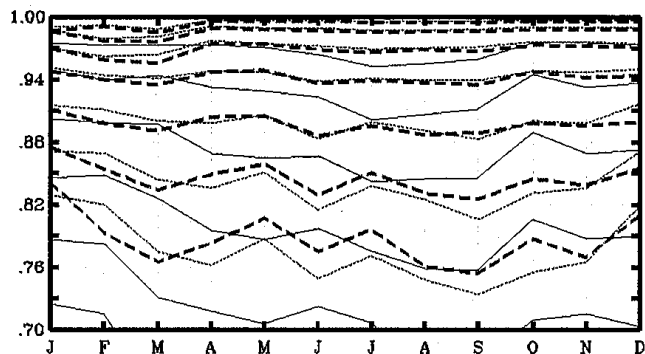


圖 3：2004 年 1~12 月北半球 ($0^{\circ} \sim 80^{\circ}N$)，以歐洲中期預報中心氣候資料為基準，推算而得的 500hPa 高度場預報 1~7 天，月平均異常相關係數分布曲線，值隨預報時間增長而遞減，橫座標為月份，虛線為 CWB EPS 的值，點線為 ECMWF 的值，實線為 CWB GFS T79 的值。

顯示 CWB EPS 的短期預報和 ECMWF (T511) 單一高解析度模式的預報成績相近，甚至在預報時間較長時超越 ECMWF 的預報。

(二) 展期預報

就季節的平均而言，分析 CWB EPS 預報 30 天的平均場和 ECMWF 的分析場的差異顯示，500hPa 高度場、海平面氣壓場、850 hPa 溫度場數預報偏差 (bias) 的形態差異相當大，但是每個變數的偏差在不同季節間都有相當的持續性。

500hPa 高度場 (圖 4) 的偏差，在大洋上約以 $45^{\circ}N$ 為界，呈現北負南正的偶極形式，在陸地區域幾乎都是正偏差，雖然偏差值的大小在不同的季節並不相近，但是上述的形態分布卻是始終存在，偏差值在 SON 達到最大。海平面氣壓場預報偏差 (圖 5) 的分布除了格陵蘭以外，約是以 $45^{\circ}N$ 為界，呈現北負南正的分布，相對而言，DJF 的偏差值比其他季節小，青康藏高原則有明顯的季節變化，前半年為正偏差 (DJF、MAM)、後半年為負偏差 (JJA、SON)。就全球平均而言，850 hPa 溫度場的預報顯然偏暖，負偏差的分布區域僅由非洲東伸至青康藏高原、北美洲西

側及其外海的帶狀區域（圖 6），北大西洋上季節變化明顯，由 DJF 的負偏差慢慢轉至正偏差。

和 GPCP（Global Precipitation Climatology

Project）提供的月平均觀測降水比較顯示，降水預報偏差值較大的區域均分布在低緯度地區，而僅有在低緯度地區的太平洋及大西洋上出現比較明顯的負偏差，

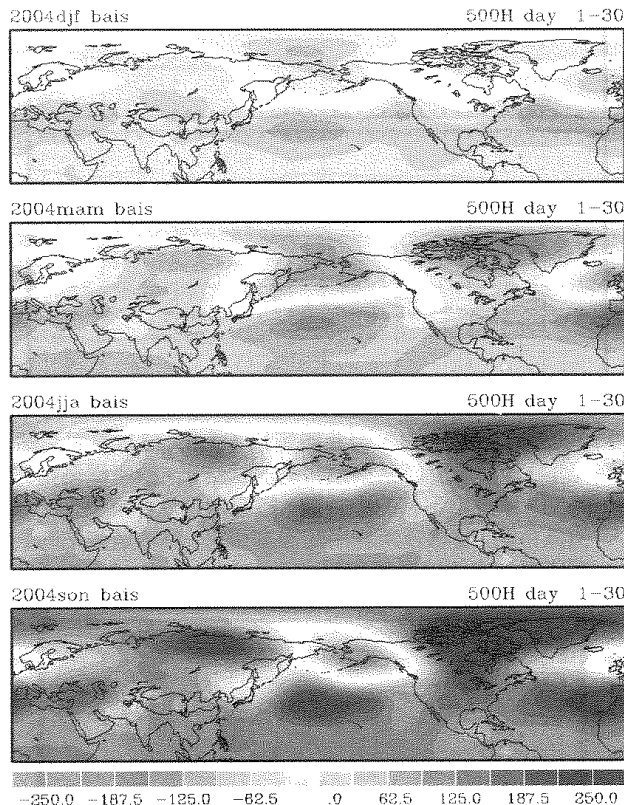


圖 4：500hPa 高度場，2004 年各季節 30 天平均展期預報和 ECMWF 分析場的差異，由上自下依序為 DJF、MAM、JJA、SON，單位為公尺。

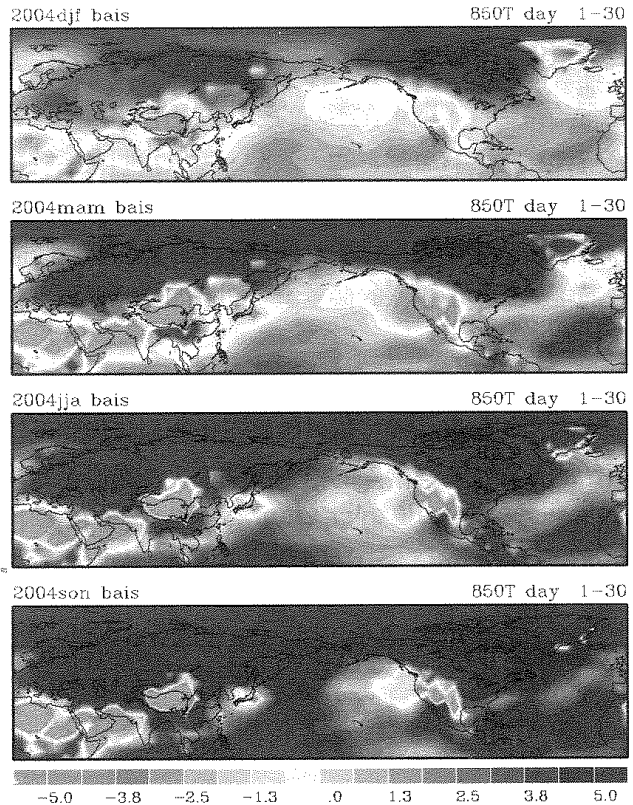


圖 6：同圖 4，但為 850hPa 氣溫場，單位為度。

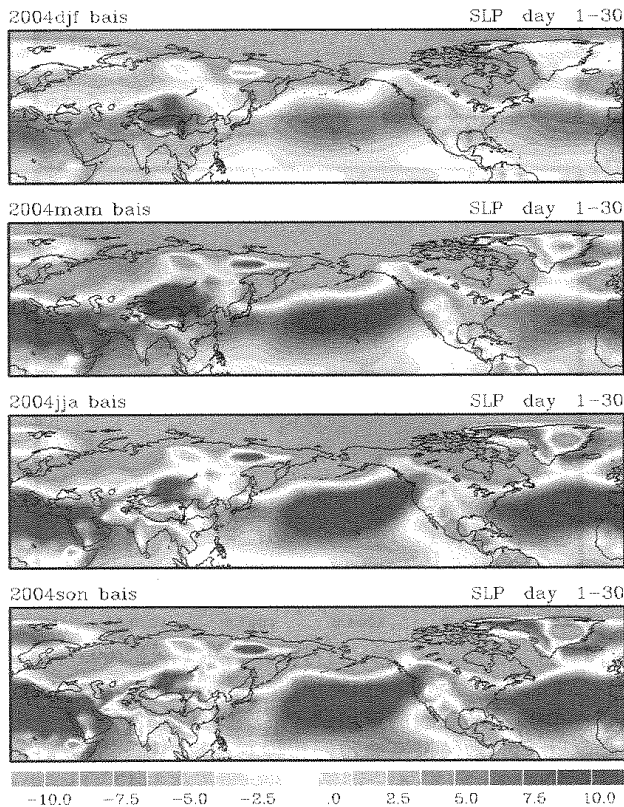


圖 5：同圖 4，但為海平面氣壓場，單位為百帕。

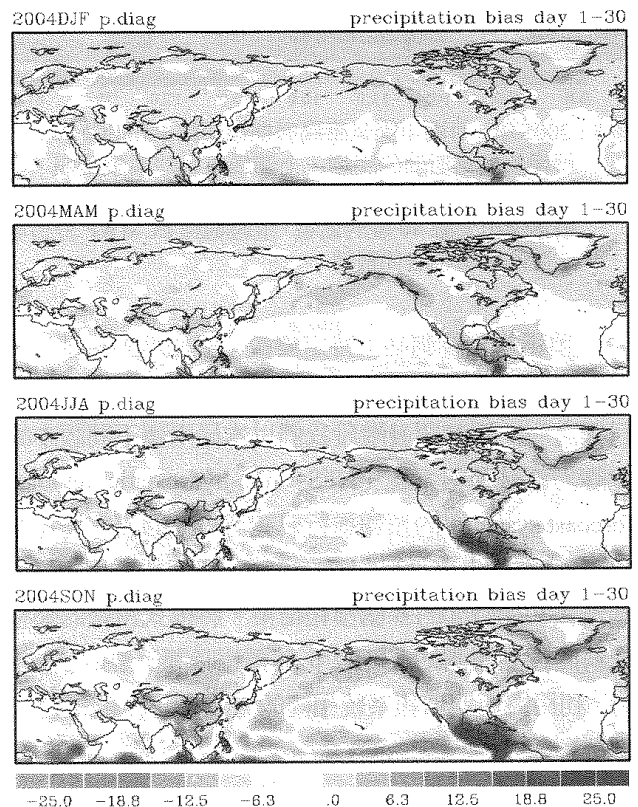


圖 7：同圖 4，但為降水分布，單位毫米/天。

而且分布相當集中、後半年比前半年明顯（圖 7）。

四、系統新發展

依據校驗2004年的預報結果發現，展期預報系統的部份，所有變數預報場的預報偏差在各個季節均有相當的持續性，顯示在不同的預報初始時間，預報的系統性誤差仍有著相當的一致性，所以我們在系統預報後引入即時的系統預報偏差修正，方法是在系集預報後，將預報結果扣除前一段時間（自預報初始時間往前推一個月）預報的偏差值，期待如此能得到更精確的預報結果。

圖 8 是系統修正前後針對 2005 年 5 月海平面氣壓場的預報結果，進行偏差值修正後的預報顯然優於原始的預報，不僅偏差的絕對值減小，在赤道至北緯 40 度的區域，預報場和 ECMWF 分析場之間的異常相關係數值也由 0.62 增加至 0.79。

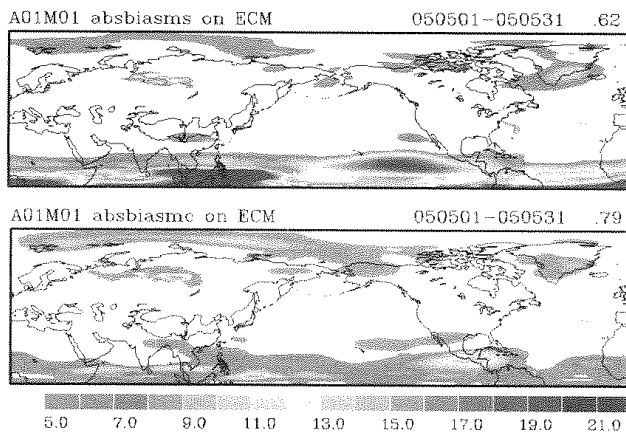


圖 8：2005 年 5 月海平面氣壓場展期預報結果和 ECMWF 分析場差異絕對值的平均，上圖為原始的系集預報，下圖為減去偏差後的結果，單位為百帕，右上角的數值是赤道至北緯 40 度的區域，預報場和 ECMWF 分析場之間的異常相關係數值。

預報氣象觀測站上特定變數（例如地面氣壓、氣溫等）每小時變化的時間序列是系集預報小組未來的目標之一，目前開發階段我們以本局兩個不同版本的非靜力區域預報系統（NFS, non-hydrostatic regional forecast system）的預報進行研究，NFS 的運作是每隔 12 小時進行未來 72 小時的預報，研究是採用連續 3 個預報初始時間的 6 個預報結果，將模式預報的網格資料內插到觀測站上，取 6 個預報時間重疊的 48 小時，利用與短期預報系統相同的方法（超系集預報法）進行預報。

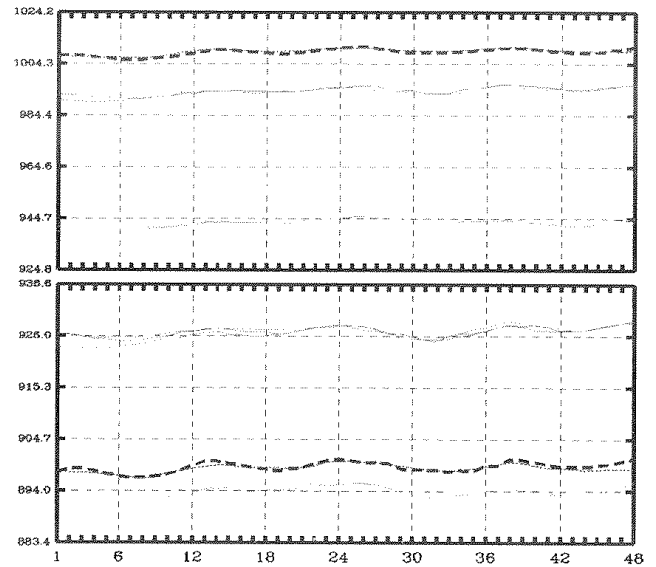


圖 9：2005 年 5 月 28 日，台北觀測站（上）、日月潭觀測站（下）地面氣壓超系集預報的測試結果，橫座標為預報時間，單位為預報的小時數，縱座標是地面氣壓值，單位為百帕，實線為所採用的樣本預報，點線是測站的觀測資料，虛線是系集預報。

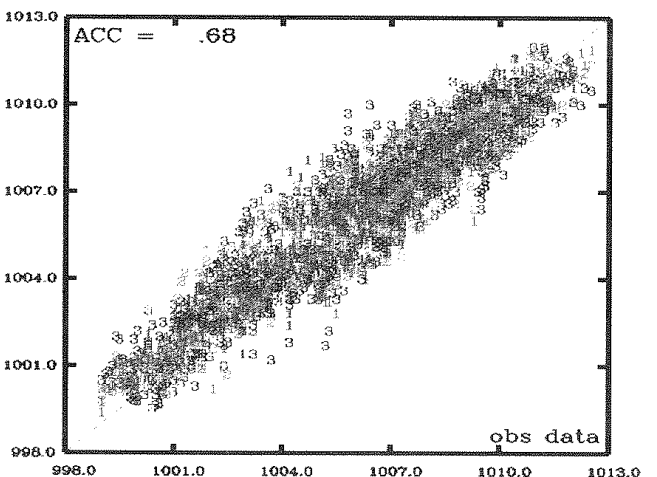
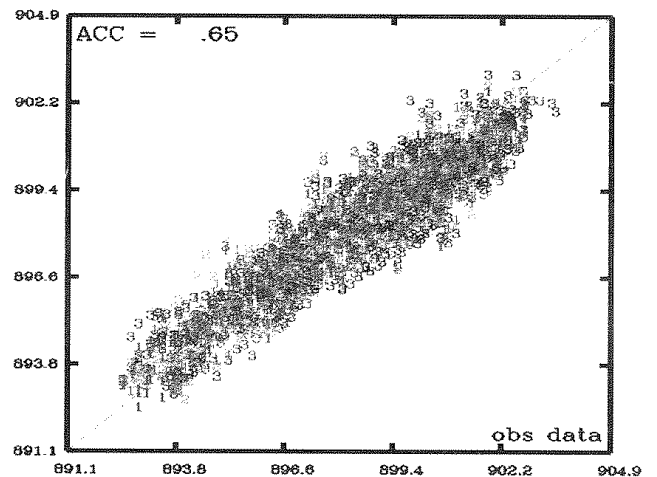


圖 10：台北觀測站（上）、日月潭觀測站（下）2005 年 5 ~ 6 月，地面氣壓超系集預報的測試結果散佈圖，橫座標為測站的觀測資料值，縱座標是系集預報值，左上角的數值是系集預報和觀測資料的相關係數值。圖中 1、2、3、4 分別是預報時間落在 1~12、13~24、25~36、37~48 小時的表示。

截至目前為止的測試，各個預報變數的結果並不一致，地面氣壓的預報是比較令人滿意的結果，不論是台北觀測站（模式地形高度分別為 150、604 公尺，實際測站高度 7 公尺）或是日月潭觀測站（模式地形高度分別為 758、1067 公尺，實際測站高度 1007 公尺），系集預報顯然修正了模式所用地形和實際地形不一致的影響（圖 9），就 2005 年 5~6 月的結果顯示，地面氣壓的預報和測站觀測值的一致性相當高（圖 10）。

五、結語

中央氣象局系集預報明顯改進了全球預報的準確性，並檢視所有預報樣本的分歧性，提供天氣系統轉變的可能性，為了尋求更精確、更符合使用者的預報，在系統的改進上，一方面透過展期預報結果的偏差分析，建立即時修正偏差的展期預報系統，一方面建立氣象觀測站上 48 小時內每小時預報輸出的極短期預報，提供預報員更具參考價值的資料。

Buizza 等人（2005）檢視 ECMWF 等預報作業中心系集預報系統的結果發現，系集預報模式的預報誤差和模式初始資料同化的系統息息相關，顯示如何求得最有效的初始擾動場，進而利用單一的模式求得最分歧的結果進行系集預報是我們未來的努力的目標。

六、參考文獻

- 張庭槐、曾建翰、張忍成，2001：中央氣象局系集預報系統。*氣象學報*，43 卷，4 期，1-11。
- 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*，36 pp。
- 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*，22 pp。
- Buizza, R., P. L. Houtekamer, Z. Toth, G. Pellerin, M. 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