

系集方法在東亞地區冬季短期氣候預報能量之研究

戴世忠¹ 朱昌敏²

空軍氣象中心¹

國防大學中正理工學院應用物理系²

摘要

利用美國國家環境預報中心所發展之全球波譜模式(Global Spectral Model, GSM)，以延遲平均預報法針對 1999 年至 2002 年東亞地區冬季期間之短期氣候的系集預報策略進行研究。模式預報使用觀測海溫作為下邊界驅力，並以目標年十月份每日的 00Z 分析場為初始值，持續積分至翌年二月底止，藉此得到三十一個系集預報成員。預報評量透過布萊爾得分(Brier score)及其代數分解下的可靠度、解析度和不確定性評分，以及相對作業特徵(relative operating characteristics, ROC)等方法及相關技術評分，針對 850 hPa 溫度場、500 hPa 重力位高度場、850 hPa 及 300 hPa 的經向與緯向風場距平進行評估。結果顯示，三十一種系集預報組合裏，採用二十九個系集成員可產生最佳的預報結果。另模式對於 500 hPa 重力位高度場與 850 hPa 溫度距平的掌握能力優於其餘量場。在延長預報前置量的探討中，本文針對五、七、十、十五個預報成員數分別進行測試，發現於十月上旬以七個系集成員便可對前述二量場提出優於氣候值預測的預報產品，且採用十月上半月的成員群組已足夠達到最佳預報組合成效的 70%。此外，可靠度曲線圖的分析表明，系集成員對特定狀況的預報或然率超過 0.4 時，相對於實際發生頻率屬於高估，反之則為低估，此結論對於預報值的調校具有參考價值。

一、前言

由於近年來資訊科技迅速發展，大氣數值模式已取代過去主觀經驗預報法，而成為氣象預報的主流方式之一，預報準確率也因此大幅提升。然數值模式受到初始誤差在預報過程中迅速成長的影響，其雜訊將很快地超過有意義的氣象信號，使得預報能力在數週內降為零，基於此項理由，便引發一連串針對該項主題的研究。Lorenz (1963)指出：在大氣的某一已知時間引入一個極微小的擾動，將使得大氣狀態產生隨著時間增加的巨大改變，其結果與未受擾動的原始大氣發展將會大相逕庭。由於大氣及其數值模式均具有此種“渾沌”的特性，同時大氣狀態的量測仍包含誤差的成分，故數值模式在經過一段時間之後，勢必失去其預報能力。既然無法避免誤差的存在，那麼透過機率的概念估計實際狀態所在的範圍，並掌握其最可能之落點，便成為目前解決問題的主要方案，而系集預報的概念亦因此逐步建立。Leith (1974)證實系集預報之所以能夠改善預報結果，其原因在於它提供了一種理想的過濾特性，在更具可預報度的大尺度運動中，抑制了不正確的小尺度結構。

影響系集預報結果的因素除了初始擾動產生的方式之外，系集成員的個數亦為探討的主題之一。Brankovic 和 Palmer (1997)運用 ECMWF 模式進行五年(1986-90)長度之積分，並利用其結果探討季節可預報度。根據溫度及降水的分析得知，非熱帶地區約需要二十個系集預報成員方有較佳之結果。Buizza 與 Palmer (1998)證實隨著系集預報成員數的增加，的確改善了系集預報的表現。Kumar 等(2001)指出：由於大氣內在的變異性，季節的可預報度天生就受到限制，而對於預報能力極限的探索，是可以透過有限的系集預報成員來達成的，而目前季節預報上具代表性的系集成員數(10-20 個成員)足夠達到我們的要求。在前人的研究基礎上，本文期以不同的模式、系集預報方法、預報時程等研擬出適用於東亞地區冬季的系集預報架構。

二、模式、資料與實驗設計

本研究選用美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)所發展之全球波譜模式(Global Spectral Model, GSM)為預報作業平台。NCEP GSM採三維空間結構，水平解析度為 T62 (spectral triangular 62)。垂直方向共劃分為 28 層 σ

面。除了長、短波輻射每三小時計算一次外，短波過程則是每個時間步(time step)執行一次。對流參數化採簡化 Arakawa-Shubert 方案 (Simplified Arakawa-Shubert scheme, SAS)。

在研究資料方面，中長期觀測包含1979年至2003年NCEP-DOE分析各月份月平均定壓面資料及月氣候場。模式氣候場則採用1979-2002年美國國家環境預報中心參與大氣模式比對計畫(Atmospheric Model Intercomparison Projection, AMIP)之模式輸出進行冬季平均，以作為驗證之用。

本研究採用Hoffman及Kalnay (1983)所建構之延遲平均預報法(Lagged Average Forecasting Method, LAF)作為系集預報的主體。實驗架構如下：

- (1)目標年：1999年至2002年，共計四年。
- (2)目標季節：冬季，本研究所指目標年之冬季為該年十二月一日起至翌年二月底止。
- (3)初始場：採用目標年10月1日至31日00Z NCEP重分析資料作為模式初始場，產生三十一個系集預報成員。
- (4)積分時間：以初始場時間為始，至翌年二月底止，各系集預報成員分別進行120天、121天、...150天之模式積分(圖1)。
- (5)系集預報成員數(ensemble size)：共分為一至三十一個系集預報成員群組。
- (6)模式邊界驅動：模式自初始時間起，每十二小時輸入一筆地表之NCEP重分析資料，作為驅動模式預報之用。
- (7)模式輸出：模式每12小時輸出一筆積分結果，資料水平解析度 $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$ ，垂直共分20層等壓面。

診斷工具包含布萊爾得分、墨菲分解及相關技術得分與相對作業特徵分析。計算時段自1999至2002年12月至翌年2月每日00Z及12Z的資料，區域為 $70^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{E}$ ， $5^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$ 範圍內 51×34 個格點。本文分析之氣象參數包括300 hPa經向、緯向風場、500 hPa重力位高度場、850 hPa溫度場及850 hPa經向、緯向風場等六個變數之距平，同時根據各參數距平值，以相當數量級之變數增量分別設定七種狀況(參考表1所列)作為分析的對象。

除了最佳系集成員數的探討外，我們亦針對上述目標將三十一個系集預報成員分別以每五日(候)、每七日(週)、每十日(旬)和每十五日(半月)進行系集群組的劃分，並透過前述分析分法對各組預報結果進行檢驗。

三、結果與討論

分析結果顯示：除了500 hPa重力位高度場距平的相對極端狀況外，850 hPa溫度場、850 hPa及300 hPa的經向與緯向風場，無論評分計算閾值的設定為何，個別量場具有最佳預報成效的預報成員數均為二十九個，且佔各類組合之99.7% (圖略)。故在整體的

量 and 地面向上長波通量的日變化校正、動力及物理過考量之下，吾等以二十九個系集成員為最佳預報組合。

NCEP GSM的LAF系集預報架構在東亞地區冬季的短期氣候預報上，對於850 hPa的溫度場、500 hPa重力位高度場的各项閾值測試中，技術得分均為正值(圖2(a)、(b))，說明此二量場的預報結果均優於氣候值之預測。850 hPa的北風風場距平與300 hPa西風風場距平較另一分量之預報成效更佳(圖2(d)、(e))。推斷其原因應在於本研究置入模式的下邊界資料為每日之分析場，而上述的量場較能夠直接反應模式下邊界所提供的驅動力，故在預報上能獲致良好的結果。由此可知，在能提供模式良好下邊界條件的前提下，850 hPa溫度場、500 hPa重力位高度場、850 hPa北風及300 hPa西風距平可作為冬季短期氣候預報的指標量場。

由可靠度曲線圖的分析中可知，NCEP GSM的確能夠有效掌握實際的狀況發生頻率(圖3)。其特徵在於當系集成員組成的機率預報值大於0.4時，相對於實際發生頻率是高估的。反之，則為低估的情形。此結論可在日後短期氣候預報上評估狀況的發生機率時，作為調整預報值的參考。相對作業特徵的分析結果與布萊爾技術評分所展現的特徵一致(圖4)。即模式系集預報對500 hPa重力位高度場的預報準確率高於850 hPa溫度場，而此二量場的預報成效又優於其餘量場的表現。此外，850 hPa經向風及300 hPa緯向風距平從技術得分上亦分別較另一分量為佳。

前述的驗證結果顯示，850 hPa溫度場及500 hPa重力位高度場距平在各類狀況設定所具有的技術得分均顯示出優於氣候值預測的成效，且由技術得分的數值分析之，此二量場的預報準確率顯然要遠高於其餘動力場的機率預報產品。

在提前預報的探討中，預報的技術得分有隨著成員數的增加而逐漸升高的趨勢，且無論提前時間的長短均表現出相同的特性。當系集成員數增為七個時，500 hPa重力位高度場距平及850 hPa溫度場距平的預報成效已經超過氣候值所作的預測，即使以十月第一週的初始場所作的預報亦然(圖5)。顯示在實際作業上，吾等至少可在十月上旬以七個系集預報成員完成當年冬季500 hPa重力位高度場及850 hPa溫度場的預報，且其產品優於氣候值的預測。

由十五個系集成員所組成之預報產品以十月下半月初始場的結果較佳。然而，在500 hPa重力位高度場及850 hPa溫度場距平的預報上，相較於二十九個系集成員的產品，十月前半月的成員群組已經足夠達到最佳預報組合成效的70% (圖略)。

四、結語

經由機率預報診斷工具的評估可知，透過本文的系集預報架構，在十月前期即可對於能夠反映出該年冬季地面氣溫與降水的850 hPa溫度及500 hPa重力位

場有不錯的掌握，且在冬季來臨前一個月可獲得優於氣候值預測的運動場預報訊息。未來更大量的系集預報成員數將作為研究的目標之一，其餘三個季節短期氣候預報的診斷與分析亦將會是極具有價值的研究題目。此外，不同的系集預報初始擾動產生的方式以及系集平均的方法均會使預報產生不同的結果，此範疇亦會是未來努力的方向。

五、參考文獻

Dalcher, A., Kalnay, E., and Hoffman, R. N., "Medium Range Lagged Average Forecasts," *Monthly Weather Review*, Vol. 116, No. 2, pp.402-416, 1988.

Brankovic, C. and Palmer, T. N., "Atmospheric Seasonal Predictability and Estimates of Ensemble Size," *Monthly Weather Review*, Vol. 125, No. 5,

pp.859-874, 1997.

Buizza, R. and Palmer, T. N., "Impact of Ensemble Size on Ensemble Prediction," *Monthly Weather Review*, Vol. 126, No. 9, pp.2503-2518, 1998.

Hoffmann, R. N., and Kalnay, E., "Lagged Average Forecasting, an Alternative to Monte Carlo Forecasting," *Tellus*, 35A, pp.100-118, 1983.

Kumar, A., "Seasonal Predictions, Probabilistic Verifications, and Ensemble Size," *Journal of Climate*, Vol. 14, No. 7, pp.1671-1676, 2001.

Lorenz, E. N., "Deterministic Non-periodic Flow," *Journal of Atmosphere Science*, Vol. 20, No. 2, pp.130-141, 1963.

Leith, C. E., "Theoretical Skill of Monte Carlo forecasts," *Monthly Weather Review*, Vol. 102, No. 2, pp.409-4168, 1974.

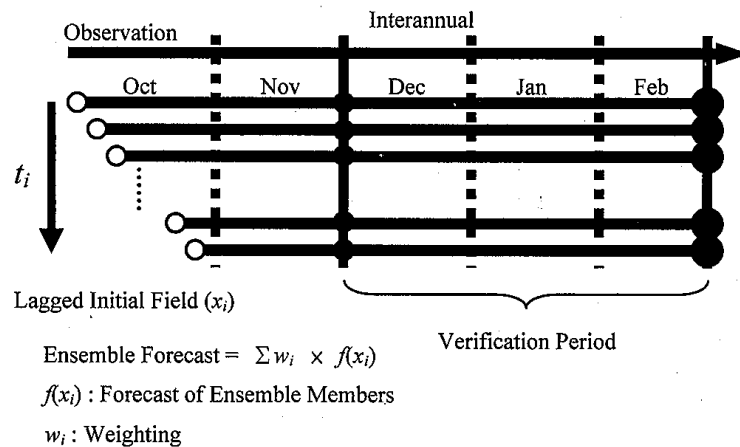


圖1 LAF實驗設計示意圖。

表1 各氣象參數之狀況分類。

	300U距平	300V距平	500H距平	850T距平	850U距平	850V距平
	(m/s)	(m/s)	(m)	(K)	(m/s)	(m/s)
狀況1	>3.0	>3.0	>90	>1.5	>1.5	>1.5
狀況2	>2.0	>2.0	>60	>1.0	>1.0	>1.0
狀況3	>1.0	>1.0	>30	>0.5	>0.5	>0.5
狀況4	>0	>0	>0	>0	>0	>0
狀況5	<-1.0	<-1.0	<-30	<-0.5	<-0.5	<-0.5
狀況6	<-2.0	<-2.0	<-60	<-1.0	<-1.0	<-1.0
狀況7	<-3.0	<-3.0	<-90	<-1.5	<-1.5	<-1.5

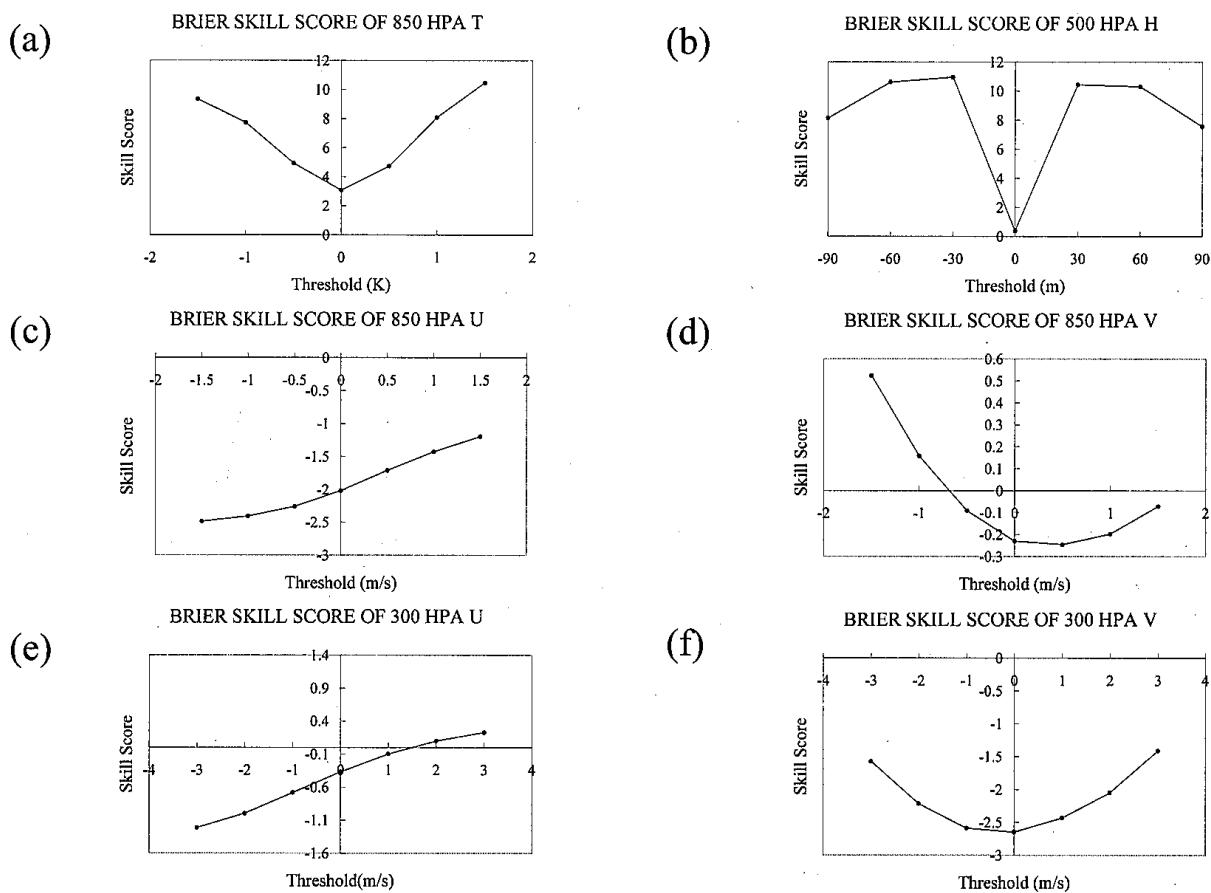


圖2 在不同閾值設定下，最佳系集成員數之各量場距平預報產品的布萊爾技術得分曲線圖。(a)850 hPa溫度場，(b)500 hPa重力位高度場，(c)850 hPa緯向風場，(d) 850 hPa經向風場，(e)300 hPa緯向風場，(f) 300 hPa經向風場。

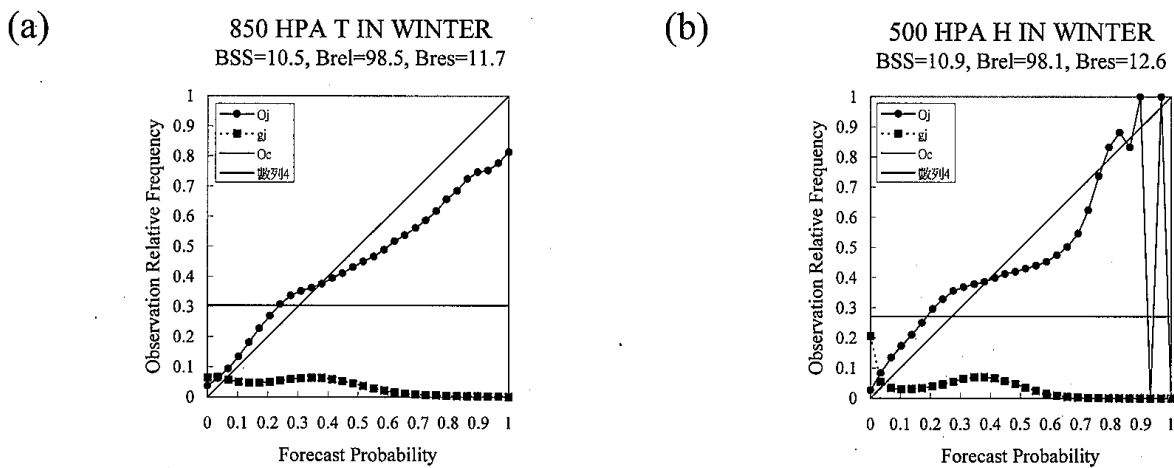


圖3 各量場具最佳技術得分之可靠度曲線圖，(a)850 hPa溫度場距平大於1.5K，(b)500 hPa重力位高度場距平小於-30m。圖中圓點實線為實際發生頻率與預報或然率之關係曲線，方格虛線為相對發生頻率 g_i ，水平實線為發生之氣候頻率，對角線代表完美預報。

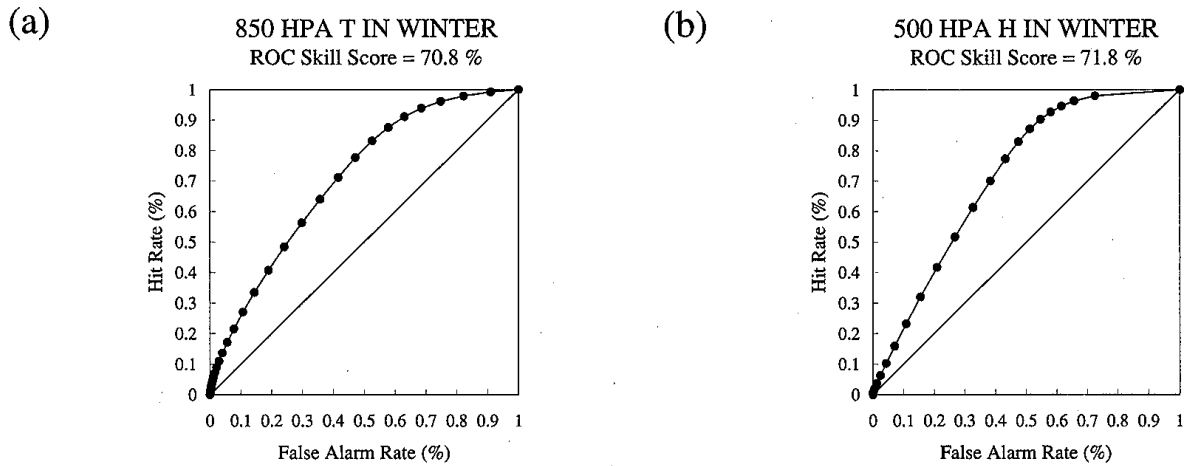


圖4 為針對各量場具最佳技術得分之狀況所分析的相對作業特徵(ROC)曲線圖，(a)850 hPa溫度場距平大於1.5K，(b)500 hPa重力位高度場距平小於-30m。計算時段及範圍包含1999至2002年冬季（12月至2月）東亞地區(70~170°E, 5~70°N)內所有格點，曲線圖上方亦標示出各量場的ROC技術得分(%)。

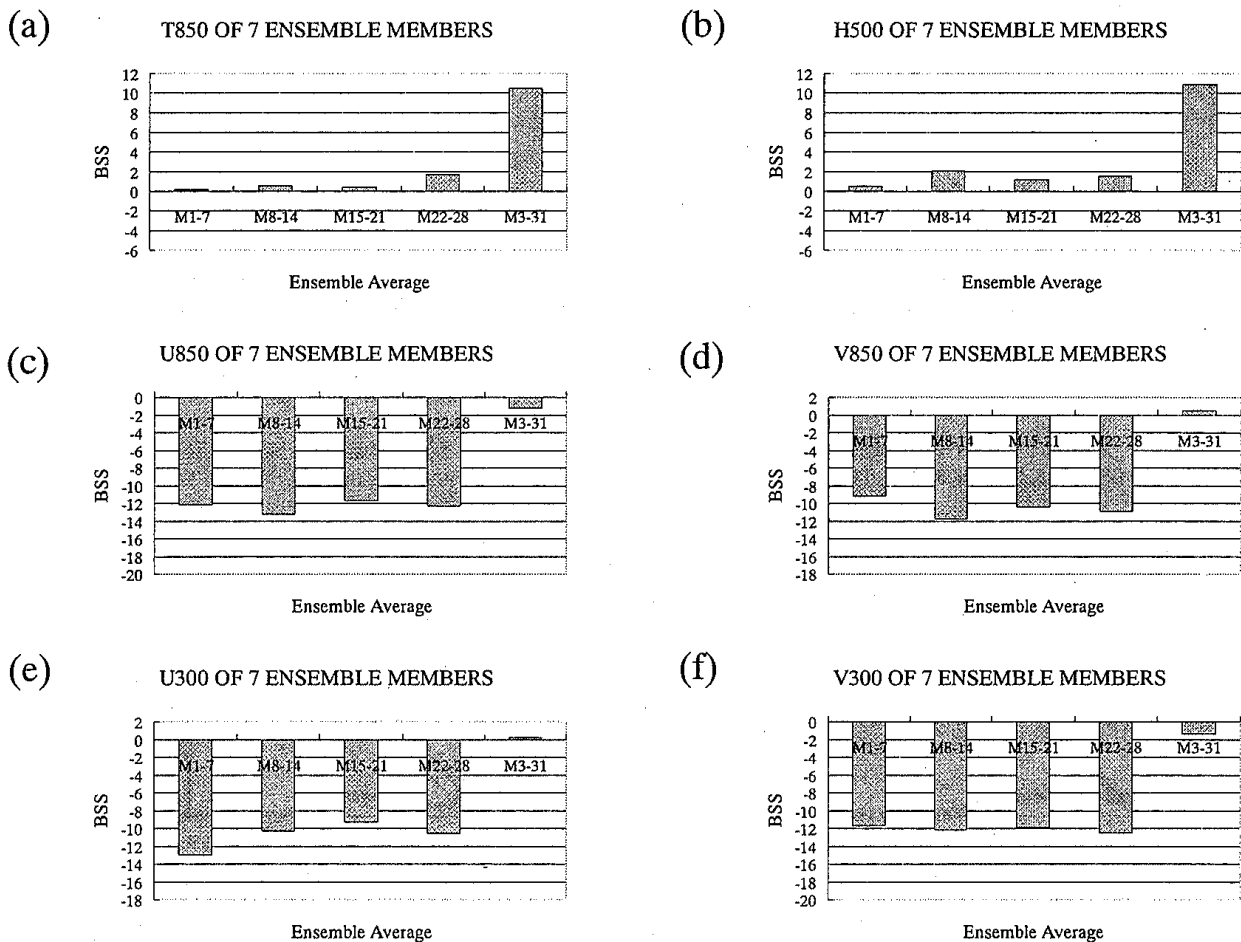


圖5 顯示M1-7（系集成員一至七）、M8-14、M15-21、M22-28之系集預報分別在(a)850 hPa溫度場距平大於1.5K，(b)500 hPa重力位高度場距平小於-30m，(c) 850 hPa緯向風場距平大於1.5m/s，(d) 850 hPa經向風場距平小於-1.5m/s，(e) 300 hPa緯向風場距平大於3.0m/s，(f) 300 hPa經向風場距平大於3.0m/s等狀況所呈現之布萊爾技術得分。