

# 中央氣象局系集預報系統之簡介

張庭槐  
氣象資訊中心

曾建翰 張忍成  
氣象科技研究中心

## 摘 要

尋找對往後天氣變化影響最大的初始擾動場，並探究模式預報時所可能產生最大的分歧性，掌握天氣所有可能的變化，以增加對模式預報結果的信心，是發展系集預報（ensemble forecast）主要的目標之一。

以延遲平均法(lagged average method) 發展系集預報，進行展期天氣預報，為氣象局氣象業務全面電腦化第三期計畫的目標之一。本研究主要詳述模式發展的過程，內容除前言外，首先是模式的簡介、其次是模式的設計與建立，最後是模式現有的成果。

關鍵字：系集預報、延遲平均法

## 一、前言

一次數值預報，其所選定的初始場是否是真實大氣的狀況？永遠是個謎。大氣運動為非線性的系統，選擇不同的初始場，則很有可能得到不同的結果，整個過程可用以下的示意圖表示，圖 1 中的星號如果代表完美的初使場，其餘的表示另外有可能的初使場，在剛開始的時候，彼此差異不大，隨時間演化，差距愈行明顯。

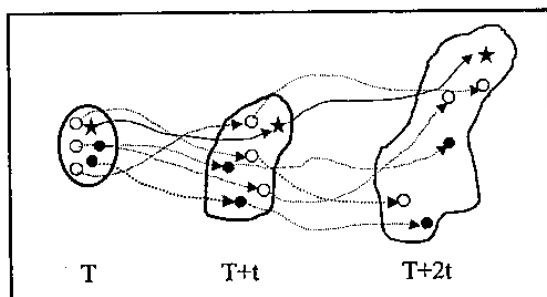


圖 1：微小的初始值差異，往往可能造成預報值不可忽略的誤差。

系集預報的精神主要在於：不改變現有模式的架構下，藉由多個彼此差異不大的初始場進行重複的積分，期望能增加對預測結果的信心度，或是，提供另外一種可能的天氣形態之預報；換言之，如果系集預報的產品有類似於圖 1 的狀況發生，則此次的數值預報可信度降低，但另外一方面，真實大氣的演化很有可能分岐的發展，預報員應特別留心是否有此發展的可能。

## 二、模式簡介

根據三期計畫書中的規劃，中央氣象局的系集預報系統是建構在延遲平均法（lagged average method）的基礎上，利用此方法產生一組初始場，重複利用本局二期計畫發展的全球模式（模式解析度為 T79L18），對同一個預報時間（target time），產生多組的預報結果（如示意圖 2），再將可能的預報結果濃縮，提供幾種較具參考價值的物理量，如 500 hPa 的 5700m、5880m 高線變化等，供預報員參考；同時，也希望引進其他模式的預報結果，基本上，並非佔用作業資源，執行非本局模式的預報，而僅是利用其結果，進行多模式的系集平均（multi-model ensemble average）分析。在此期間，也希望同時進行對本局模式的校驗，改進模式的預報能力。

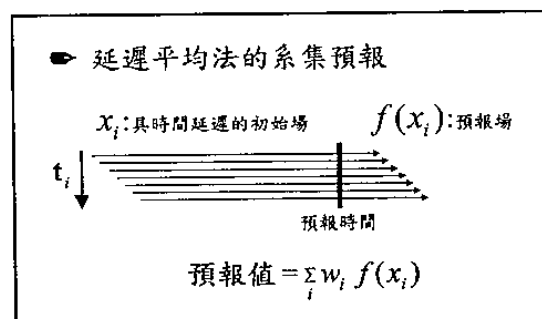


圖 2：延遲平均法的系集預報示意圖。

展期預報系統的目標放在 30 天以內的預報上，執行方式主要分成兩個部份，第一部份是前 5 天的預報，第二部份是 5 天以上至 30

天的預報。

在前 5 天的預報上，以本局 T79L18 的固定版本模式進行預報，加上自 GTS 所接收之其它預報中心(如歐洲中期預報中心 ECMWF、美國國家氣象中心 NCEP、日本氣象廳 JMA 等)的預報結果，共同組成樣本空間，對空間內之樣本以既定之權重(weighting)求取系集平均，進行每天輸出的預報。

第二部份的預報，本局並無法取得國外的預報中心所提供預報時間更長而且完整的預報資料，所以此部份則完全是依賴本局的全球預報模式，進行長期(35 天)的預報輸出，對具時間延遲的初使場給予相對應的權重，再利用延遲平均法計算，針對預報的時間進行每 5 天平均的預報結果輸出，主要檢視每個預報分散度(spread)及比較預報結果和氣候參考值的差異，最後也輸出 30 天平均的預報結果，提供長期預報的參考。

所以模式建立主要的部份在於權重的設計與決定，然而權重的設計與決定需先對各預報中心的預報結果進行檢測與評估，以期求得最合理的權重分配。

### 三、模式設計與建立

採用延遲平均法，主要是希望能對既有的資源及設備，進行最有效的利用，早在 Hoffman and Kalnay (1983) 的研究中即指出延遲平均預報法的預報結果優於動力預報，顯然，發展延遲平均法的系集預報是相當值得的投資。

為了達成對各中心預報結果評估的目的，首先進行資料的收集和系統之校驗評估。在資料收集的初期，因程式不盡完善加上衛星資料接收時間偶有延遲，影響了資料接收的完整性，後來在資訊中心應用軟體課(現為數值預報課)的負責成員協助下以獲得充分的解決。但是遷就當時的硬體設備，並無充分的磁碟容量來存放收集的資料，考量長期預報及大尺度環流的特徵時，500 hPa 上的資料不失其代表性，所以預報子只先選取 500 hPa 之重力位高度場進行分析。

#### (一) 資料收集與檢定

首先，就收集的資料進行完整性和一致性的檢測。發現冬季(當年 12 月到隔年 2 月，簡稱 DJF)的資料完整性最佳，故選取接收情形較穩定的冬季資料先行評估，同時，為了比

較模式在冬季和夏季的表現差異，亦選取夏季(6、7、8 月，簡稱 JJA)的資料一併探討。選取的資料時間範圍包含 1996/97 年的 DJF 和 1997 年的 JJA。

各預報中心所公佈的資料在涵蓋的範圍及解析度上均有相當大的差距，為了求資料的一致性，我們選取各預報中心的資料均能符合的條件，即在進行診斷之前，將各預報中心的資料調整至與 ECMWF 具有相同解析度(5°x5°)，同時捨棄極區附近的區域，涵蓋的範圍為北緯 20°至 80°。再者，於預報時間的選擇上以預報目標時間為選取條件，本局與 ECMWF 均以 12Z 為初始場，每隔 24 小時選取一次預報場至 120 小時，即 5 天的預報，NCEP 的主要預報是以 00Z 為初始場，所以從預報 36 小時至 132 小時，每隔 24 小時選取一次預報場，在進行評估時，亦將其視為第 1 天至第 5 天的預報。如此，雖然三組不同模式有兩組不同的預報初始時間，但是對預報的目標時間至相同的。至於 JMA 的資料在此時尚未有完整的衛星接收資料，所以在評估時尚未納入。

#### (二) 資料評估

大氣為非線性的運動系統，若以差分方程取代大氣之運動方程，並利用數值模式進行天氣預報，其誤差之存在是必然的，而此誤差之大小與性質常隨預報時間之長短及模式本身的特性而有差異。為了有效運用各中心模式的預報資料，事前對其資料的校驗與評估更有其重要性。

對於數值天氣預報之校驗方法，方與陳(1989)及陳等人(1989)均有詳盡的介紹與評估，Simmons(1995)曾採用均方根誤差及異常相關係數的方法針對 ECMWF 1994/95 DJF 的預報資料進行評估。在此，僅就本文所採用的校驗方法概略介紹。

##### 1. 平均誤差 (mean error: ME)

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N M_i (F_i - A_i)}{\sum_{i=1}^N M_i}$$

式中  $F_i$  及  $A_i$  分別是校驗點上之預報值及分析值(或觀測值)， $M_i$  為校驗點的權重，基本上其隨校驗點所在緯度之增加而減少。

##### 2. 均方根誤差 (root mean square error: RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N M_i (F_i - A_i)^2}{\sum_{i=1}^N M_i}}$$

ME 代表模式預報的偏差傾向，但並不代表模式預報誤差的大小，RMSE 則代表模式預報誤差的大小。因為模式預報的好壞還得看預報場的分佈型態，而 RMSE 只是模式誤差大小的指標，為模式的一種統計特性，所以無法直接代表預報的好壞，此為 RMSE 的缺點。

### 3. 異常相關係數 (anomaly correlation coefficient: ACC)

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^N M_i (F_i - C_i)(A_i - C_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N M_i (F_i - C_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N M_i (A_i - C_i)^2}}$$

式中  $C_i$  代表氣候值，若不減去氣候值，此指數代表預報場與分析場（觀測場）的相關程度，若預報完全正確，則相關係數為 1。此指數不僅可用於預報場與觀測場，也可用於預報值變化的相關，即將預報值和觀測值減去氣候場再求相關，即如上式。此指數同樣的也是對整個預報區域求平均，對於判別天氣系統之預報是否準確有其限制。

ME 的大小可探究模式預報的系統性誤差，RMSE 表示預報誤差的大小，ACC 為預報值和分析值相位的相似程度，均深具評估的代表意義。底下的展示圖即是對所收集資料的評估結果，圖中實線為本局、點線為 NCEP、虛線為 ECMWF 的結果。計算時以本局的初始資料分析場，選用的氣候場有二，一是本局所儲存的氣候資料，一是 ECMWF 1985/86~92/93 DJF 及 1986~93 JJA 的平均場。

圖 3 為 1996/97 年經時間平均後冬季預報的平均誤差，CWB 和 ECMWF 的預報都有負的偏差 (bias)，NCEP 則有正的偏差。偏差值均隨預報時間的增長而加大，預報至第 5 天時，ECMWF 預報的偏差值在 2m，NCEP 介於 6~7m 之間，CWB 約為 10m。圖 4 的均方根值代表誤差的真正大小，各中心的值及預報差異均隨預報時間的增長而加大，預報至第 5 天時，ECMWF 預報的均方根值約在 68m，NCEP 為 77m，CWB 則約為 97m，審視各中心誤差值的成長趨勢，

均約略隨預報時間呈線性增加。

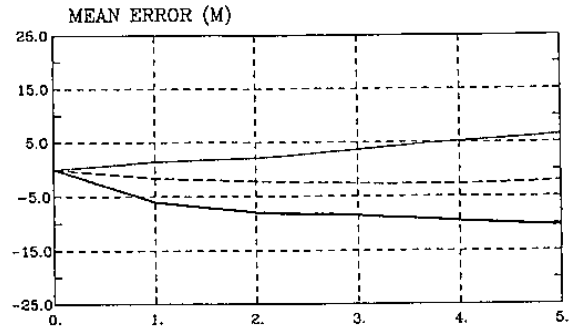


圖 3：1996/97 冬季以中央氣象局全球初始資料為分析場，各預報中心的預報平均誤差隨預報時間的演化圖，橫座標為預報天數，縱座標為平均誤差，單位為 M，圖中實線表 CWB，點線為 NCEP，虛線表 ECMWF。

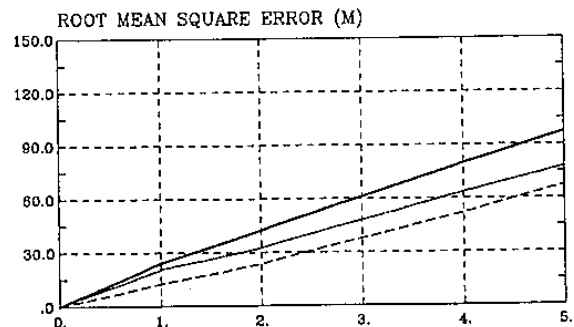


圖 4：同圖 3，但為均方根誤差。

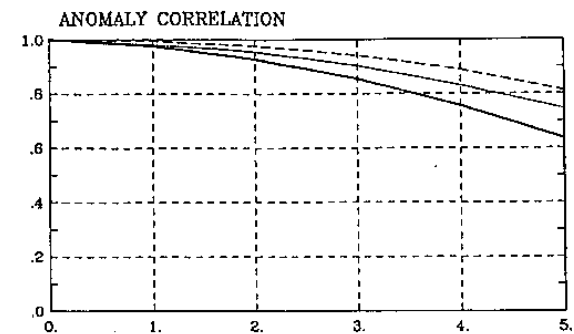


圖 5：同圖 3，但為以本局儲存之氣候資料推算而得的異常相關係數。

就異常相關係數而言，Miyakoda 等人 (1972) 和 Rauno (1983) 均指出，此相關係數的值必須在 0.6 以上，模式的預報才具參考價值。圖 5 為以本局儲存之氣候資料推算而得的異常相關係數，預報至第 5 天時，CWB 的預報係數仍達 0.65，顯然本局的全球預報模式對北半球緯度 20° 以北，500hPa 重力為高度場的預報在 5 天內均值得信賴，但和 ECMWF 的 0.8 及 NCEP 的 0.75 相較，仍有改進的空

間。如果將平均場置換為 ECMWF 1985/86~92/93 DJF 的平均場時，其數值和隨時間的演化和圖 5 相近（圖略）。

由夏季資料的評估顯示，平均誤差（圖 6）和冬季相較，除了 ECMWF 仍維持負的偏差值外，CWB 和 NCEP 的偏差符號均和冬季相反，CWB 由負轉正，NCEP 則由正轉負。雖然預報至第 5 天時，CWB 的偏差絕對值比 ECMWF 及 NCEP 大，但在前三天，CWB 的預報準確性並不輸前兩者。均方根誤差（圖 7）的表現，各預報中心的值均比冬季小，預報至第 5 天時，三者都介於 45m~60m 之間。圖 8 的異常相關係數圖顯示，至第 5 天時的相關係數值均較冬季小，ECMWF 跌至 0.8 以下，只達 0.78，NCEP 為 0.72，CWB 為 0.64，但是仍具參考價值，若將平均場置換為 ECMWF 的平均場時，結果和圖 8 相近（圖略）。

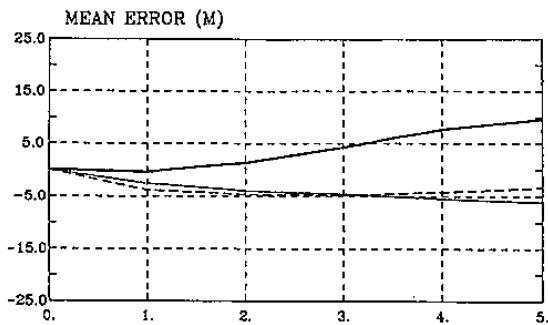


圖 6：同圖 3，但為 1997 JJA 的結果。

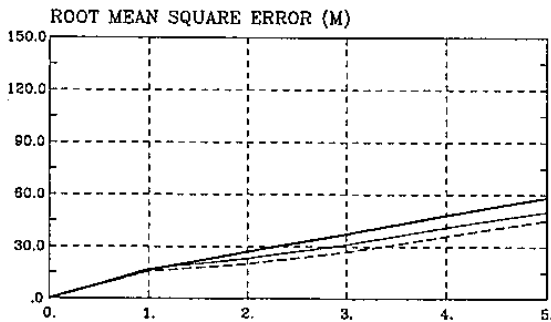


圖 7：同圖 4，但為 1997 JJA 的結果。

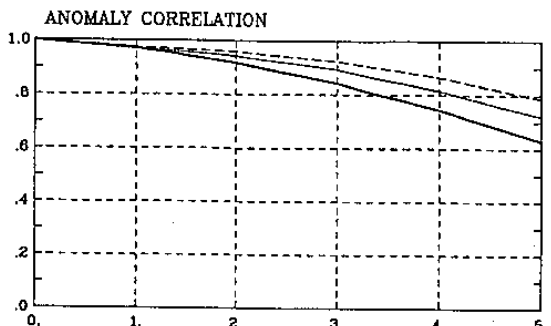


圖 8：同圖 5，但為 1997 JJA 的結果。

在評估期間，曾將 CWB 的結果和電腦化第三期計畫之診斷小組所提供的全球預報模式之北半球（北緯 20° 至 80°）的平均預報誤差圖進行比對，其結果具有一致性，間接證明本評估有相當的可信賴度。

### （三）權重制定

由評估的結果發現，CWB 的表現雖然不如 ECMWF、NCEP，但是對北半球緯度 20° 以北，500hPa 重力為高度場的預報在 5 天內均值得信賴。形成如此結果的原因相當多，例如預報模式的解析度不同（ECMWF 為 T213、NCEP 為 T159，CWB 僅為 T79）、觀測資料不夠完整等，在尋求模式預報結果的改進上均已將這些工作列為重點。Baumhelfner (1996) 的研究指出，低解析度模式預報的系集平均，其精確度不輸高解析度的單一預報。其實，這正是發展系集預報相當值得的主要原因之一。

透過對預報資料評估所得的資料，我們選取 RMSE 及 ACC 的結果，以下列的方法制定權重，ME 的結果顯示模式預報的偏差，提供我們在使用模式的資料時所應注意、修正的參考。

權重的第一種形式：

$$W_i = \text{IRMSE}_i / \sum \text{IRMSE}_i$$

$$\text{IRMSE} = 1 / \text{RMSE}$$

權重第二種形式：

$$W_i = \text{ACC}_i / \sum \text{ACC}_i$$

第二種形式彼此間的差異並不如第一種形式明顯，為了凸顯初始資料延遲造成的效果差異，使不同初始場的影響能有較清楚的鑑別，在較長期的預報結果和氣候參考值差異的輸出中，僅選取第一種形式的權重。

## 四、模式成果

本預報系統最初的產品僅針對 500hPa 繪出 5700m、5880m 的高值線變化，以 2000050512Z 為初始場進行的預報為例，輸出有當天的分析場（包含 ECMWF、NCEP、JMA、CWB）、各中心前 5 天每天的預報場及多模式的系集平均（圖中的深藍色線）（圖 9）；第 6-10 天、第 11-15 天及 30 天的預報平均，此部份尚包含預報結果和氣候參考值的差異分布圖（圖 10）。

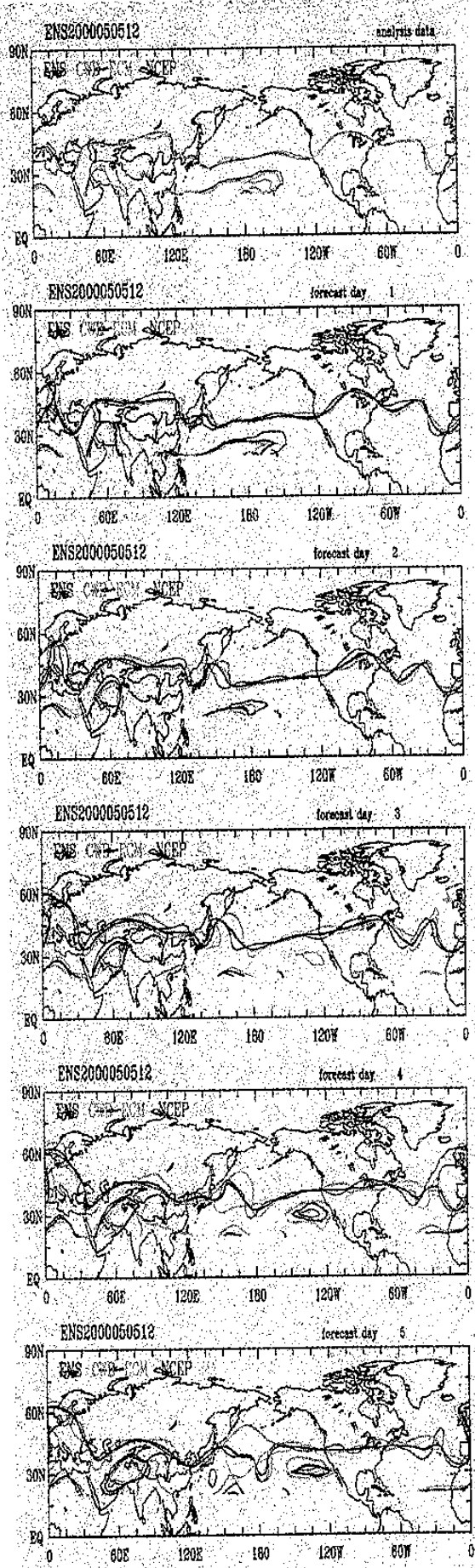


圖 9；系集預報系統，前 5 天預報的產品。

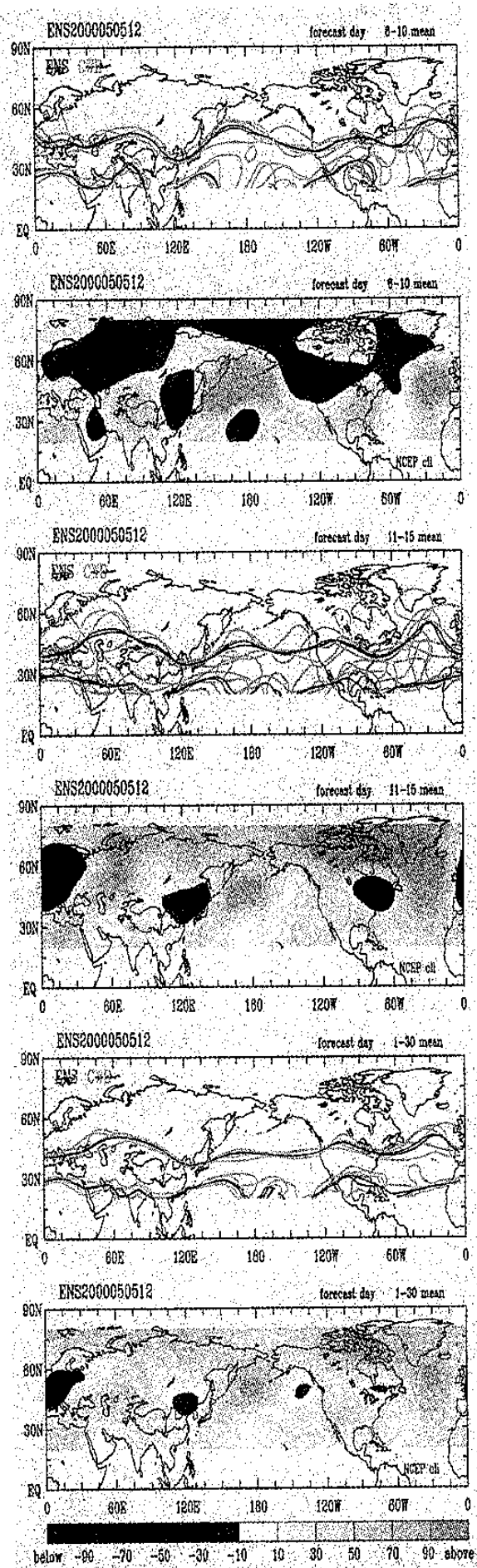


圖 10；系集預報系統，預報 5 天以上的產品。

## 五、總結

中央氣象局系集預報系統雖已初步建置完成，初期限於電腦資源及人力的缺乏，建立的系統在許多方面仍待改進。首先是權重的建立方面，既然權重的決定取決於過去歷史資料的統計結果，收集更長時間、更完整的資料進行評估是必然要改進的方向。系集預報系統即將上線運作，而加入更多的預報因子，如850hPa的溫度場、海平面氣壓場是努力的方向，而對預報結果的評估，更是系集預報工作小組成員下一個階段的重要目標。

## 參考文獻

- 方力脩與陳慧貞，1999：數值天氣預報之校驗方法綜評。《氣象學報》，**35**，48～63。
- 陳雯美、林松錦與蔡清彥，1989：中央氣象局全球數值天氣預報系統1988～1989預報校驗評估。《氣象學報》，**35**，263～280。
- Baumhefner, D. P., 1996 : Numerical Extended-Range Prediction : Forecast Skill Using a Low-Resolution Climate Model. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 1965-1980.
- Hoffman, R., and E. Kalnay, 1983 : Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. *Tellus*, **35A**, 100～108。
- Miyakoda, K., G. D. Hembree, R. F. Strickler, and I. Shulman, 1972 : Cumulative results of extended forecast experiments, I : Mode; performance for winter cases. *Mon. Wea. Rev.*, **100**, 836～855。
- Rauno, N., 1983 : Operational verification of ECMWF forecast fields and results for 1980-1981. *ECMWF Technical Report NO. 6*。
- Simmons, A. J., 1995 : The skill of 500hPa height forecasts. *Proceedings of a seminar held at ECMWF*, 19～68。