

# 東亞地區冬季短期氣候系集預報之策略

戴世忠 朱昌敏

國防大學中正理工學院應用物理系

## 摘要

用美國國家環境預報中心發展全球波譜模式(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(該年十二月至翌年二月份)之短期氣候的系集預報策略進行研究。研究結果顯示,31種系集預報組合裏,採用29個系集成員即可產生最佳的預報結果。另模式對於500hPa重力位高度場與850hPa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5、7、10、15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。

## 1. 前言

在傳統憑藉一次預報過程決定結果的數值預報中,最主要的誤差來自於四方面:(1)模式的控制方程式並非全然掌握大氣中的所有過程,(2)模式無法解析尺度小於網格解析度的系統變化,此種誤差會隨著時間累積並迅速增長,最後將轉變為模式輸出的主要信號,(3)即使整合各類型的觀測資料,仍無法獲得足夠密集的資料以供模式使用,預報過程中將存在模式無法解析的現象,(4)以現今的觀測技術而言,模式所使用的觀測資料無法達到無限精準的程度,亦即大氣的“真正”狀態是無從得知的。由於上述四項理由,模式的預報結果必然有誤差的存在。

影響系集預報的因素除初始擾動產生方式外,系集成員個數亦為探討主題之一。Brankovic和Palmer(1997)運用ECMWF模式進行五年(1986-90)長度積分,並利用其結果探討季節可預報度,同時估計最少所需之系集預報成員數。根據溫度及降水的分析得知,非熱帶地區約需要20個系集預報成員方有較佳結果。Buizza與Palmer(1998)分別以2、4、8、16、32系集預報成員數進行評估,證實隨系集預報成員增加的確改善ECMWF系集預報系統(Ensemble Prediction System, EPS)的預報表現。Kumar等(2001)指出:由於

大氣內在變異性,季節可預報度受到限制,而對預報能力極限探索,可透過有限系集預報成員來達成。就信號雜訊比(Signal-to-Noise Ratio)趨近0.5情況,目前季預報具代表性系集成員數(10-20成員)已足達要求。Mullen及Buizza(2002)針對降雨機率預報表明:低解析度、較大量系集預報成員在預報罕見降雨事件能力上勝過高解析度、較少量系集預報成員所形成預報。在季節可預報度,鐘(2000)針對歐洲中長期預報中心季節系集模擬中所呈現的季風可預報度研究中指出:東亞季風區(70-140°E, 15-60°N)內各氣象參數(降水場、海平面氣壓場、850及200hPa緯向風場、500hPa重力位高度場)的季節潛在可預報度以秋季較小、冬季較大。

本研究期能於冬季(十二月至翌年二月)來臨的一個月或是更早之前,針對我空軍演訓區域或戰區提供具參考價值之短期氣候預報,使戰演訓預劃及戰略運用得以遂行。在目前我空軍氣象單位作業特性及資源的通盤考量下,選用美國國家環境預報中心(NCEP)所發展全球波譜模式(GSM)為預報作業平台,在延遲平均預報基礎上,探討NCEP GSM系集預報掌握東亞冬季短期氣候之能力。

## 2. 模式、資料與實驗設計

NCEP GSM採三維空間結構，水平解析度為T62(spectral triangular 62)。垂直方向共28層σ面。非線性平流項主要時間積分方案為跳蛙式(leapfrog)，重力波及渦度、濕變數緯向平流則為半隱式(semi-implicit)，執行運算後經特殊調整以使半隱式積分法能夠結合物理上趨勢。物理過程方面，垂直擴散採用隱式積分法。模式使用時間濾波器(time filter)抑制計算模(computational modes)的振幅成長。長、短波輻射每3小時計算1次，短波通量和地面向上長波通量日變化校正、動力及物理過程則每時間步(time step)執行1次。

長波輻射依照簡化交換法(the simplified exchange)，分別在二氧化碳、水汽及臭氧的頻帶上進行計算。雲發射率透過NCAR CCM的方法所得的預報雲凝結求得。短波輻射架構使用多頻帶技術(multi-band techniques)，其中包含7紫外線頻道、1可見光頻道及1紅外線頻道。對流參數化採簡化Arakawa-Shubert方案(SAS)。雲模式包含下衝流機制及降水蒸發，次雲層上衝流逸入及下衝流逸出作用亦納入，動量交換是透過類似處理熱量及溼度方法的質量通量公式來計算。為將作用於動量氣壓梯度效應納入，雲內部上衝流動量包含一使用逸入簡單參數化過程。

本研究以NCEP-DOE分析資料(National Centers for Environmental Prediction-Department of Energy Reanalysis 2 Data)各月平均全球海溫為個案選取主依據。每日有00、06、12、18UTC四筆。中長期觀測包含1979至2003年NCEP-DOE各月平均定壓面及月氣候場，水平解析2.5°x2.5°，垂直方向17層。氣候場採用美國國家環境預報中心參與大氣模式比對計畫(AMIP)之模式輸出，採1979-2002年進行冬季平均得一模式氣候場。另採Hoffman及Kalnay(1983)建構延遲平均預報法(LAF)為系集預報主體(圖2.2)，優點在使用日常作業例行模式預報產品即可，易產生大量系集成員(ensemble member)。LAF擾動即為一群預報場與分析場間誤差的組合。雖然此方式有早期預報誤差量較大的缺點，但在作業上具經濟效益，且有不錯的準確率，故受全球氣象作業單位青睞，廣泛應用於中長期預報。研究設計如下：

- (1)目標年：1999年及2002年，共計四年。
- (2)目標季節：冬季，本研究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NCEP重分析目標年10月1日至31日00Z資料為初始場，產生31系集預報。
- (4)積分時間：初始場至翌年二月各系集預報分別進行120~150天模式積分(圖2.1)。
- (5)系集預報成員數(ensemble size)：共分為1~31系集預報成員，針對每目標年冬季產生31種系集預報組合產品。
- (6)模式邊界驅動：自初始起每12時輸入一筆地表NCEP重分析資料。
- (7)模式氣候場：使用1978-2002年NCEP AMIP T62 28層GSM 24年積分輸出進行平均，所得產品定義為模式氣候值。
- (8)模式輸出：模式每12小時輸出一筆結果，水平解析2.0°x2.0°，垂直共20層等壓面。

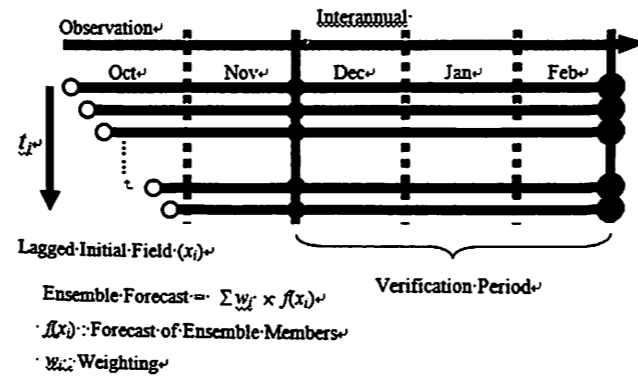


圖2.1 LAF實驗設計示意圖。

### 3. 驗證工具

#### 3.1 布萊爾得分(Brier score)

布萊爾得分是用來評估預報或然率(forecast probability)與觀測或然率(observed probability)之間差異量的方法。其定義如下：

$$b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - v_i)^2, \quad (2.3)$$

其中*i*為樣本編號，*N*為樣本總數，*p<sub>i</sub>*為樣本*i*發生事件*E*的預報或然率，*v<sub>i</sub>*為樣本*i*發生事件*E*的觀測或然率，當樣本*i*實際發生事件*E*時，*v<sub>i</sub>* = 1；反之，*v<sub>i</sub>* = 0。取樣方式可為單一格點、某區域平均值，或不同時間網格點；按此選取*N*個樣本，即可定義其中實際發生事件*E*數量佔總樣本數比率為觀測或然率*v<sub>i</sub>*，將以上量值代入(2.2)便可求得布萊爾得分值*b*；*b*值愈小，預報命中率愈高。

#### 3.2 墨菲分解(Murphy's decomposition)

布萊爾得分可以分解為具有統計涵義三部分，此種處理稱為墨菲分解，其型式如下：

$$b = b_{rel} - b_{res} + b_{unc}, \quad (2.4)$$

$$\text{其中 } b_{rel} = \sum_{j=1}^J (p_j - o_j)^2 g_j, \quad (2.5)$$

$$b_{res} = \sum_{j=1}^J (o_c - o_j)^2 g_j, \quad (2.6)$$

$$b_{unc} = o_c(1 - o_c), \quad (2.7)$$

$$\text{且 } o_j = \frac{M_j}{N_j}, \quad (2.8)$$

$$g_j = \frac{N_j}{N}, \quad (2.9)$$

$$o_c = \frac{M}{N}, \quad (2.10)$$

$$M = \sum_{j=1}^J M_j, \quad (2.11)$$

$$N = \sum_{j=1}^J N_j, \quad (2.12)$$

#### 3.3 布萊爾得分之相關技術評分

表2.1，此法將預報或然率自0至1分為*J*(=系集預報成員數+1)類，其型式為*p<sub>j</sub>* = (*j*-1)/(*J*-1)，*j*表類別編號，*N<sub>j</sub>*為預報或然率為*p<sub>j</sub>*樣本數。*N<sub>j</sub>*中實際發生事件*E*數量定義為*M<sub>j</sub>*，*N*、*M*代表全體樣本總數及其中實際發生事件*E*樣本數。*o<sub>j</sub>*表事件*E*實際發生率，*o<sub>c</sub>*為*E*氣候頻率(climatological frequency)。(2.4)式中*b<sub>rel</sub>*為可靠度(reliability)，用來評量一組或然率預報與事件*E*實際發生頻率符合程度量值。*b<sub>res</sub>*(2.5)為解析度(resolution)，其用途為評估機率預報掌握實際發生率*o<sub>j</sub>*與氣候頻率*o<sub>c</sub>*之間差異量的能力。(2.6)式中*b<sub>unc</sub>*稱為不確定度(uncertainty)，目的在量測機率預報的固有不确定性。由(2.3)式可知：當*b<sub>rel</sub>*及*b<sub>unc</sub>*之值愈小而*b<sub>res</sub>*愈大時，布萊爾得分*b*的值愈小，即或然率預報掌握實際狀況的能力愈佳。

#### 3.3 布萊爾得分之相關技術評分

表2.1 墨菲分解樣本發生狀況*E*各類情形

類別	預報或然率	樣本總數	狀況 <i>E</i> 實際發生樣本數	狀況 <i>E</i> 實際發生率 <i>o<sub>j</sub></i>
1	<i>p<sub>1</sub></i> = 0	<i>N<sub>1</sub></i>	<i>M<sub>1</sub></i>	<i>M<sub>1</sub>/N<sub>1</sub></i>
2	<i>p<sub>2</sub></i> = 1/( <i>J</i> -1)	<i>N<sub>2</sub></i>	<i>M<sub>2</sub></i>	<i>M<sub>2</sub>/N<sub>2</sub></i>
3	<i>p<sub>3</sub></i> = 2/( <i>J</i> -1)	<i>N<sub>3</sub></i>	<i>M<sub>3</sub></i>	<i>M<sub>3</sub>/N<sub>3</sub></i>
...	...	...	...	...
<i>j</i>	<i>p<sub>j</sub></i> = ( <i>j</i> -1)/( <i>J</i> -1)	<i>N<sub>j</sub></i>	<i>M<sub>j</sub></i>	<i>M<sub>j</sub>/N<sub>j</sub></i>
...	...	...	...	...
<i>J</i>	<i>p<sub>J</sub></i> = 1	<i>N<sub>J</sub></i>	<i>M<sub>J</sub></i>	<i>M<sub>J</sub>/N<sub>J</sub></i>
總計		<i>N</i>	<i>M</i>	<i>o<sub>c</sub></i> = <i>M/N</i>

為了解相對於氣候頻率*o<sub>c</sub>*可準確預測情況下，預報所具改善率，Wilks (1995)與Palmer等(2000)提出布萊爾得分的技術評分法(Brier Skill Score, BSS)。其定義如下：

$$BSS = \frac{b_{cli} - b}{b_{cli} - b_{prf}}, \quad (2.13)$$

在完美預報(*b*=*b<sub>prf</sub>*=0)的情況下，預報或然率之值應符合實際發生率，即*p<sub>j</sub>*=*o<sub>j</sub>*，且由(2.5)式可知：*b<sub>rel</sub>*=*b*=0，故*b<sub>res</sub>*=*b<sub>unc</sub>*；此外，當*p<sub>j</sub>*=*o<sub>j</sub>*=*o<sub>c</sub>*時，透過(2.4)至(2.6)式，定義氣候預報(climatological forecast)之布萊爾得分*b<sub>cli</sub>*=*b<sub>unc</sub>*。故由此可得到布萊爾技術評分的另一種型式：

$$BSS = 1 - \frac{b}{b_{unc}}, \quad (2.14)$$

當*BSS*=1時，代表完美預報；其值為負時，意味預報結果並未較氣候預報值為佳。同理，吾等可以定義可靠度技術評分*B<sub>rel</sub>*及解析度技術評分*B<sub>res</sub>*：

$$B_{rel} = 1 - \frac{b_{rel}}{b_{unc}}, \quad (2.15)$$

$$B_{res} = \frac{b_{res}}{b_{unc}}, \quad (2.16)$$

結合三技術評分型式與(2.3)式之關係可得：

$$BSS = B_{rel} + B_{res} - 1, \quad (2.17)$$

由上述關係式，當*B<sub>rel</sub>*與*B<sub>res</sub>*愈大，所得*BSS*值愈大，即相對於氣候預報的改善率愈大。

#### 3.4 相對作業特徵(Relative Operating Characteristics, ROC)

相對作業特徵(ROC)是用來估測對於某一特定事件的機率預報超過設定預報或然率閾值 $p_i$ 能力的工具。當預報或然率 $p$ 大於 $p_i$ 時,便稱該事件將會發生。反之,當預報或然率 $p$ 小於 $p_i$ 時,便稱該事件將不會發生。由上述的描述可定義出命中率 $h_i$  (hit rate)及誤報率 $f_i$ (false alarm rate):

$$h_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^J M_j, \quad (2.18)$$

$$f_i = \frac{1}{N-M} \sum_{j=1}^J (N_j - M_j), \quad (2.19)$$

對照表2.1,其中 $t$ 為預報或然率閾值 $p_i$ 的類別編號。根據(2.18)及(2.19)的定義,以誤報率 $f_i$ 為橫軸,命中率 $h_i$ 為縱軸,我們可以繪製出描述兩者關係之ROC曲線圖,其曲線下所包含之面積表示系集預報系統整體表現的技術得分。當在完美預報的情形下, $h_i=1$ 、 $f_i=0$ ,曲線將靠向圖區左上角,其所包含面積即為1。當預報結果為 $h_i=f_i$ 時,表無預報能力,曲線將與圖中對角線重合,技術得分值(曲線包含面積)為0.5。

#### 4. 最佳系集成員數評估

各項診斷工具的計算時段包含1999至2002年冬季12月至翌年2月每日00Z及12Z的資料,區域包含 $70^{\circ}\text{E}$ 、 $5^{\circ}\text{N}$ 範圍內 $51 \times 34$ 個格點。在使用布萊爾得分、墨菲分解及相關技術得分評估2.4節所規劃31種系集成員數產生預報前,首先針對探討的狀況進行定義。本文分析之氣象參數包含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。以300 hPa緯向風場為例,共分為緯向風速:(1)正距平大於3 m/s,(2)正距平大於2 m/s,(3)正距平大於1 m/s,(4)正距平大於0 m/s,(5)負距平小於-1 m/s,(6)負距平小於-2 m/s,(7)負距平小於-3 m/s等狀況,距平絕對值愈大者,代表愈極端之情形。其餘氣象量場之分類請參考表3.1所列。

表3.1 各氣象參數之狀況分類

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

上述各類狀況定義下,透過(2.3)~(2.17)式進行計算,並分別比較31種系集預報成員數在布萊爾得分、墨菲分解及相關技術得分之表現,可挑選出各氣象參數於不同閾值設定中,獲得最佳評分之系集成員數。表3.2列出上述評估結果,顯示除500 hPa的狀況一、狀況二、狀況六及狀況七之最佳系集成員數為31個以外,其餘變數在各類閾值設定下的最佳系集預報成員數均為29個。

表3.2各參數不同狀況下最佳系集預報成員數

	300U	300V	500H	850T	850U	850V
狀況1	29	29	31	29	29	29
狀況2	29	29	31	29	29	29
狀況3	29	29	29	29	29	29
狀況4	29	29	29	29	29	29
狀況5	29	29	29	29	29	29
狀況6	29	29	31	29	29	29
狀況7	29	29	31	29	29	29

圖3.1(a)~(f)所示為各氣象參數在不同閾值設定下,最佳系集成員數預報產品之布萊爾技術得分曲線圖。由圖3.1(a)、(b)及(f)中可發現以下特徵:850 hPa溫度場、500 hPa重力位高度場及300 hPa經向風場之距平技術得分大致上是以閾值0單位為基準,呈現對稱分佈。其中850 hPa溫度場及500 hPa重力位高度場之預報技術得分均為正值,說明850 hPa溫度場及500 hPa重力位高度場的機率預報結果分別優於兩者的“氣候值預測”(預報或然率 $p_j$ 等於氣候頻率 $o_c$ 的情形)。另一方面,當閾值趨於極端(絕對值相對較大)狀況時,850hPa溫度場、850hPa及300hPa經向風場預報技術得分有較好結果(圖3.1(a)、(d)、(f))。由此可推斷850hPa溫度氣候場、850hPa及300 hPa經向風氣候場等相對較異常狀況言,模式的系集預報有較佳的掌握能力。值得注意的是,圖3.1(d)顯示850 hPa經向風場距平預報隨著負閾值的遞減,其布萊爾技術得分呈快速增長,在狀況一及狀況二時轉為正值。因此在低層風場上,模式系集預報對異常北風(負

距平)掌握要優於南風異常(正距平)預報。

500hPa重力位(圖3.1(b))系集預報在負距平小於-30重力位公尺上有最高得分,閾值降低時得分隨之減小,尤以-60至-90重力位公尺遞減率更顯著。反之閾值高於30重力位公尺時,預報技術得分亦有相對變化。可知在前述閾值定義下,預報在500 hPa重力位高度場距平大於30重力位公尺與小於-30重力位公尺狀況具較佳預報能力。圖3.1(c)、(e)顯示緯向風場距平預報技術得分隨閾值增加所產生改變,在高層(300 hPa)與低層(850 hPa)有類似表現,西風距平(正距平)預報技術得分隨著閾值增加而升高,東風距平(負距平)預報技術得分則隨閾值減小而逐漸降低。

圖3.2說明500 hPa重力位高度場距平預報之布萊爾技術得分,在不同閾值設定下隨系集成員數的增加所呈現的變化。圖中顯示各類閾值隨系集成員數的改變率配置相當接近,在成員數到達12個之後,技術得分提升的程度已然有限。估計當系集成員數自29增加至31時,500 hPa重力位高度場閾值為-90、-60、60、90重力位公尺之布萊爾技術得分改善率,所得結果分別為0.2%、0.5%、0.3%及0.07%,可見其影響實屬微量。同時,考量其他變數的最佳預報結果均以29系集成員數的產品成效最好,故後續之分析將以29系集預報成員作為本文最佳系集預報之組合。

綜合以上NCEP GSM的LAF系集預報架構針對1999年至2002年冬季各量場預報中,850 hPa溫度場及500 hPa重力位高度場相對於氣候值預測值而言在各狀況定義下均展現顯著改善率,且由其布萊爾技術得分值可知,此二量場在預報準確率上有較其他量場更為良好之表現。850 hPa緯向風場及300 hPa經向風場之預報技術得分值在探討的閾值範圍內均為負值,說明上述二量場的預報成效尚未到達氣候值預測的準確率。850 hPa經向風場的負距平以及300 hPa緯向風場之正距平隨著閾值絕對值的增加,其技術得分呈現顯著成長,亦即在季節時間尺度下,低層的北向風系距平和高層西風風場距平相較於低層南風及高層東風的距平而言,模式系集預報對於前二者有較好的掌握能力。

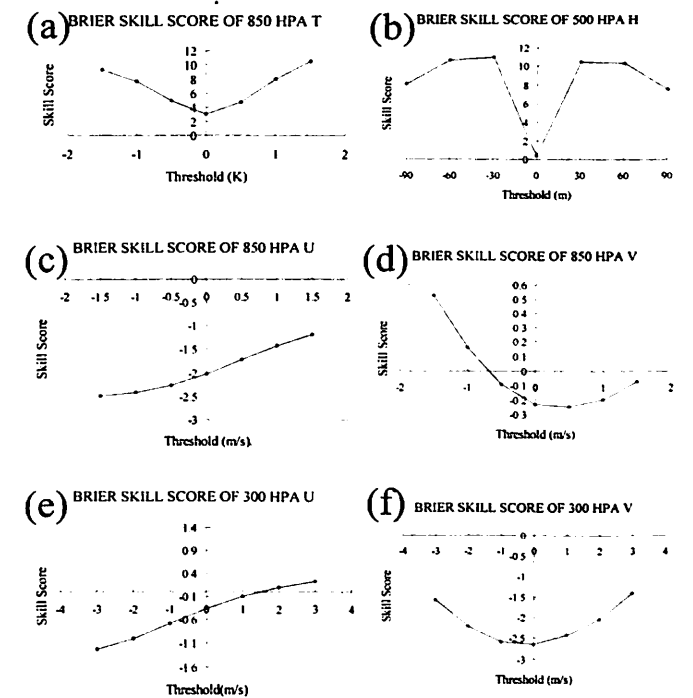


圖3.1 不同閾值下最佳系集成員數各量場距平預報產品布萊爾得分曲線圖(a)850hPa溫度,(b)500hPa重力位高度,(c)850hPa緯向風場,(d)850hPa經向風場,(e)300hPa緯向風場,(f)300hPa經向風場。

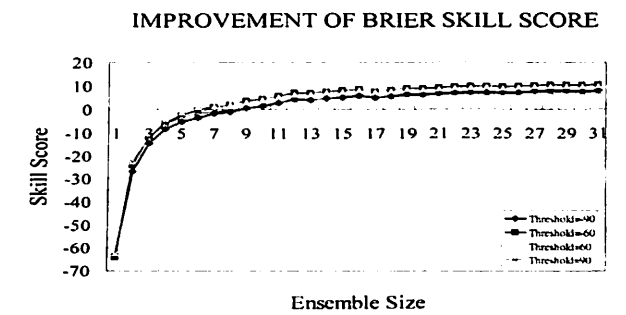


圖3.2 500 hPa重力位高度距平預報布萊爾技術得分,不同閾值下隨成員數變化曲線圖。

#### 5. 可靠度曲線圖(reliability diagram)

圖3(a)~(f)為NCEP GSM系集預報針對1999至2002年冬季東亞( $70^{\circ}\text{E}$ 、 $5^{\circ}\text{N}$ )各氣象量場預報得分最高狀況所分析可靠度曲線圖,成員數採前節結果之最佳29個。圖中圓點實線為實際發生頻率 $o_j$ 與預報或然率 $p_j$ 關係曲線;方格虛線為相對發生頻率 $g_j$ ,水平實線為發生氣候頻率, $o_j$ 與 $p_j$ 完全符合。

在850 hPa溫度場距平系集預報分析中(圖3.7(a))， $p_j$ 約在0.4以下時其數值與事件實際發生頻率相近，預報或然率則略低估。當 $p_j$ 大於0.4時，預報或然率相對於實際發生頻率則明顯高估。配合方格虛線所表相對發生頻率 $g_j$ 解讀，其曲線成雙峰配置，峰值之一位於預報或然率0.3，另一峰值分佈在近 $p_j=0$ 。氣候發生頻率(climatological frequency) $o_c$ 為0.3，透過(2.7)式可得預報針對的狀況本身所具有之不確定性約為0.21。

圖3.7(b)500hPa重力位高度距平預報特性，其可靠度曲線雖較850 hPa溫度場距平配置更偏離代表對角線，但由 $g_j$ 曲線分佈可知樣本預報或然率更集中於 $p_j=0$ 及 $p_j=0.4$ 附近，此二部分為 $p_j$ 與 $o_j$ 值最接近區段，對於預報成效上貢獻較大。再者氣候發生頻率約為0.27，不確定性為0.20，低於850 hPa溫度場距平。

圖3.7(c)、(d)顯示850hPa緯向及經向風場距平預報可靠度。850hPa緯向風場距平可靠度曲線相較於500hPa重力位高度場及850hPa溫度場距平，更遠離對角線，尤其 $p_j=0.1\sim 0.6$ 範圍內曲線顯著偏向水平線 $o_c$ ，加上相對發生頻率( $g_j$ )曲線表明樣本預報或然率多數集中上述範圍，由(2.6)式可知此時預報解析度 $b_{res}(=0.004)$ 較低，即模式系集預報自狀況發生氣候頻率 $o_c$ 中解析出實際發生頻率 $o_j$ 能力較差。從各項技術得分評估預報相對於氣候值預測改善率可發現解析度( $B_{res}$ )、可靠度( $B_{rel}$ )及布萊爾得分( $BSS$ )數值均低於850hPa溫度場及500hPa重力位高度場距平表現，其中 $BSS$ 更出現負值，說明850 hPa緯向風場距平預報成效較其氣候值預測的結果差。

850hPa經向風場距平可靠度曲線圖(圖3.7(d))與850 hPa緯向風場距平分析結果具類似特徵，但其技術得分評估均高過緯向風場距平結果。原因在兩者主要差異(1)緯向風場距平 $p_j$ 趨近於1及0時可靠度曲線略偏向對角線，預報或然率高、低估程度較小，(2)經向風場距平在預報上解析度約為0.007，大於緯向風場距平0.004，(3)850hPa經向風場距平樣本預報或然率更集中於曲線與對角線焦點處。可知模式系集預報對於850 hPa經向風場距平較緯向風場距平有更佳的表現。

圖3.7(e)中，300 hPa緯向風場距平可靠度曲線在 $p_j$ 接近1及0是偏離對角線分佈，然而預報或然率偏大和偏小的情形所包含的樣本數稀少，此二區段對於整體預報貢獻較小。另上述範圍以外可靠度曲線則屬趨向對角線配置。由於曲線兩端靠近 $o_c$ ，300 hPa緯向風場距平的預報解析度抑制了布萊爾技術得分的數值，但對於氣候值預測仍具有改善的效能(布萊爾技術得分為正)。

300 hPa經向風場距平預報在 $p_j$ 大於0.4的部分顯示預報或然率高估的情況更為顯著(圖3.7(f))， $p_j$ 小於0.4的範圍相較於300 hPa緯向風場距平之預報亦有略為低估的情形，因此可靠度曲線呈現出趨於水平的狀態。由(2.5)及(2.6)式可知，此種配置勢必造成預報解析度偏低與可靠度的偏高數值。比較各項技術得分數值，其布萊爾技術得分、可靠度及解析度技術得分的表現的確不如其他五個氣象量場來得好。

整體言藉機率預報觀點分析NCEP GSM針對圖3.7所示各氣象量場系集預報結果，當預報或然率 $p_j$ 大於0.4時，可靠度曲線均位於對角線以下區域， $p_j=0.4\sim 1.0$ 範圍內模式預報相對於實際發生頻率 $o_j$ 而言屬於高估。反之 $p_j$ 小於0.4時，各量場預報或然率呈現低估。另從相對發生頻率 $g_j$ 角度探討，有相當大比例預報或然率落點，分佈於可靠度曲線與對角線交點所在之 $p_j$ 附近，其中850 hPa溫度場、500 hPa重力位高度場、850 hPa緯向及經向風場距平等 $g_j$ 曲線的峰值，更位於可靠度曲線與對角線的交點所在之 $p_j$ 上(圖3.7(a)至(d))，顯見模式系集預報結果集中於預報或然率 $p_j$ 與實際發生頻率 $o_j$ 相等或相近的狀況。類似的配置在圖3.7(a)及圖3.7(b)中預報或然率趨近於0時亦可見到，此時850 hPa溫度距平與500 hPa重力位高度場距平的相對發生頻率( $g_j$ )曲線出現另一峰值，且其可靠度曲線接近代表完美預報的對角線。850hPa溫度距平與500hPa重力位高度距平在布萊爾得分、可靠度或解析度得分均顯著優於其餘氣象場，顯示此兩者在短期氣候可預報度相對較大。850hPa溫度距平與500hPa重力位高度距平預報，雖從得分數值前者預報可靠度在氣候值

預測上改善率較大，但後者技術得分較佳。與Kusunoki和Kobayashi(2003)分析一致。

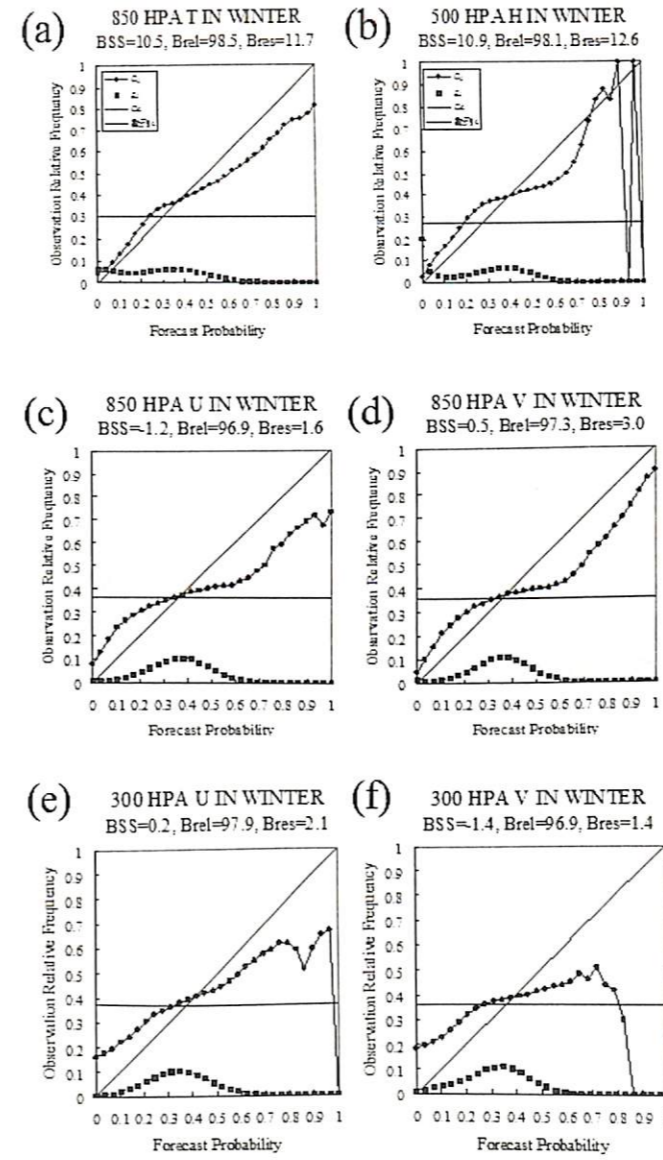


圖3.7 為針對各量場具最佳技術得分之狀況所分析的可靠度曲線圖，(a)850 hPa溫度場距平大於1.5K，(b)500 hPa重力位高度場距平小於-30m，(c) 850 hPa緯向風場距平大於1.5m/s，(d) 850 hPa經向風場距平小於-1.5m/s，(e) 300 hPa緯向風場距平大於3.0m/s，(f) 300 hPa經向風場距平大於3.0m/s。圖中圓點實線為實際發生頻率與預報或然率之關係曲線，方格虛線為相對發生頻率 $g_j$ ，水平實線為發生之氣候頻率，對角線代表完美預報。

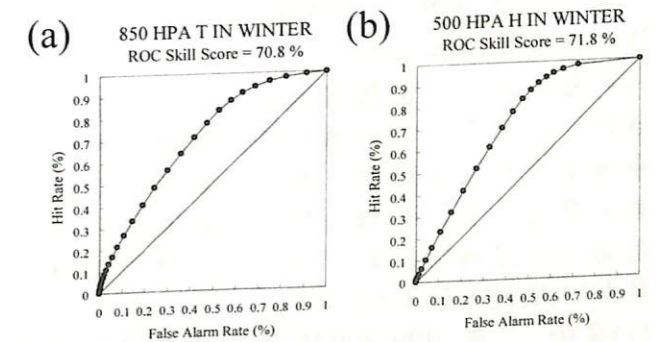
### 6. 相對作業特徵(Relative Operating Characteristics)

圖3.8為NCEP GSM系集預報針對1999至2002年冬季東亞地區(a)850hPa溫度距平，(b)500hPa重力位高度距平，(c)850hPa緯向風場距平，(d)850hPa經向風場距平，(e)300hPa緯向風場距平，(f)300hPa經向風場距平等預報得分最高狀況所分析相對作業特徵曲線，系集預報成員數為29。各點分表100.0%、96.6%(=28/29 × 100%)、...、6.9%(=2/29 × 100%)、3.4%(=1/29 × 100%)、0.0%等預報或然率閾值 $p_t$ (定義參閱表2.1)。

### 3.3 布萊爾得分之相關技術評分

表2.1當預報或然率 $p$ 大於 $p_t$ 時，便稱所定義狀況會發生；反之稱該狀況不會發生。在上述假設下，透過可靠度曲線可了解不同閾值設定呈現命中率((2.18)式)和誤報率(參照(2.19)式)兩者間關係。

圖中顯示各氣象量場ROC曲線均位於對角線左上方，故技術得分數值(曲線涵蓋面積)都大於50%。其中850hPa溫度及500hPa重力位高度距平曲線向左上角彎曲程度遠大於其餘變量，可見上述二量場預報命中率均顯著大於誤報率。850hPa緯向、經向風距平及300hPa緯向、經向風距平的預報ROC曲線則較偏向對角線，表雖各閾值條件預報命中率仍大於誤報率，但命中率優勢不如850 hPa溫度場及500 hPa重力位高度場距平的預報結果。比較各量場ROC得分由優至劣依序為：500hPa重力位高度距平、850hPa溫度距平、300hPa緯向風距平、850hPa經向風距平、300hPa經向風距平及850 hPa緯向風距平。



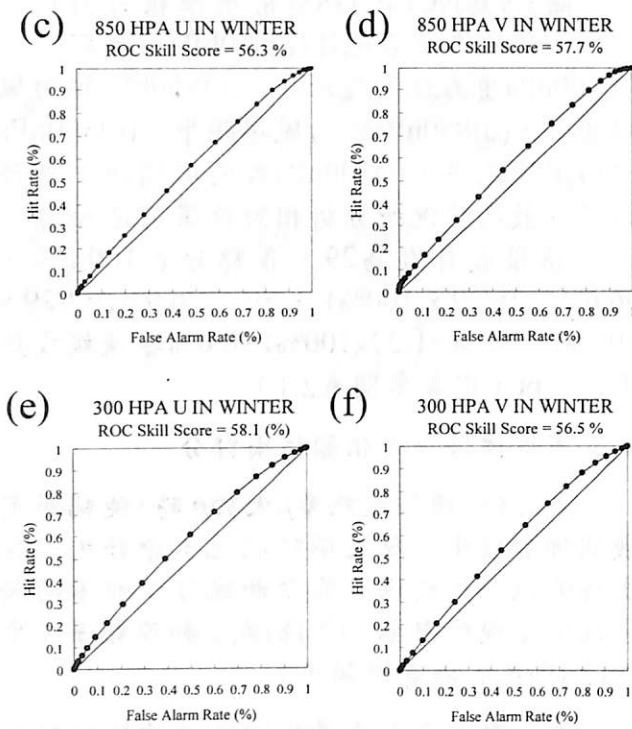


圖3.8 為針對各量場具最佳技術得分之狀況所分析的相對作業特徵(ROC)曲線圖，(a)850 hPa溫度場距平大於1.5K，(b)500 hPa重力位高度場距平小於-30m，(c) 850 hPa緯向風場距平大於1.5m/s，(d) 850 hPa經向風場距平小於-1.5m/s，(e) 300 hPa緯向風場距平大於3.0m/s，(f) 300 hPa經向風場距平大於3.0m/s。計算時段及範圍包含1999至2002年冬季(12月至2月)東亞地區(70~170°E, 5~70°N)內所有格點，曲線圖上方亦標示出各量場的ROC技術得分(%)。

7. 預報策略探討

前文探討中已透過各項驗證工具歸納出對東亞冬季呈現最佳預報表現系集預報架構。然在實際預報作業中，若能在最大時間箱制量前提下，供應有意義短期氣候值預測資訊，必可為空軍戰演訓練或實戰戰略規劃爭取更多的反應時間。為達此目的，首先須對系集成員數及預報時間長度與預報成效間關係有所了解。因此針對上述目標規劃四項實驗(設計如圖3.9)：

(1)實驗一：將1999-2002年之31系集預報成員依照成員編號：1-5(M1-5)、6-10(M6-10)、11-15(M11-15)、16-20(M16-20)、21-25(M21-25)、26-30(M26-30)分6組。實驗中各組與目標年冬季相隔時間長度分別為56

- 日、51日、46日、41日、36日及31日。
- (2)實驗二：將系集預報成員依照編號1-7(M1-7)、8-14(M8-14)、15-21(M15-21)、22-28(M22-28)分4組，各組與目標年冬季相隔時間長度為54日、47日、40日及33日。
- (3)實驗三：將按編號1-10(M1-10)、11-20(M11-20)、21-30(M21-30)分3組，各組與目標年冬季相隔時間長度為51日、41日及31日。
- (4)實驗四：將按編號1-15(M1-15)及16-30(M16-30)分2組，各組與目標年冬季相隔時間長度分別為46日及31日。

上述4種系集預報成員數組合下，透過布萊爾技術得分對不同模式積分時間長度在相同驗證時段(1999-2002年各年份十二月至翌年二月)系集預報結果進行評估，同時以29預報成員所組成最佳系集預報作為對照組，並比較上述各類系集成員組合與對照組布萊爾得分值。進一步了解何種預報組合能在更長積分時間中，對各氣象量場具掌握能力。

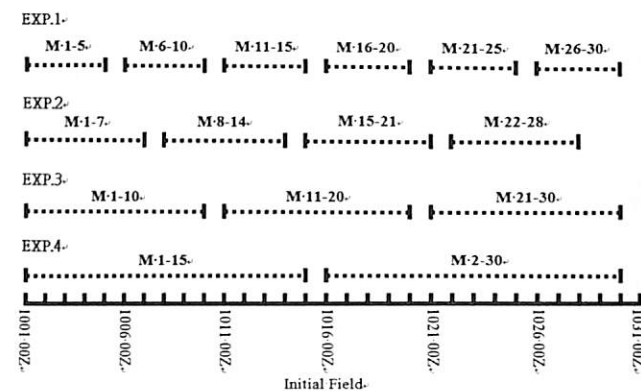


圖3.9 不同系集平均組合的實驗設計

各預報群組對850hPa溫度與500hPa重力位高度距平技術得分均出現大於0數值，顯見當系集成員數增加至7個時，此二量場預報或然率準確度已優於兩者氣候值預測。其餘量場如850hPa緯向、經向風距平及300hPa緯向、經向風距平技術得分評估雖仍為負，但相較實驗一結果，成效大幅改善。由10(d)及(f)各群組表現，M1-7預報技術得分最佳，即在以成員數7條件進行預報時，以十月一日至十月七日00Z初始場可得高、低層(300及850hPa)經向風場最佳預報結果，然其準確率仍遠不如氣候值預測。圖3.11(a)~(f)為各氣象量場在實驗四中的布萊爾技術得分。系集預報成員增加至15個時，所有量場得分均以

最接近目標年冬季系集群組表現最佳。850hPa溫度及500hPa重力位高度距平相對於以氣候值預測準確度呈現出更大提升，且二者成效已達到29系集成員最佳預報得分的75%，但其預報箱制量並未大於M3-31群組。

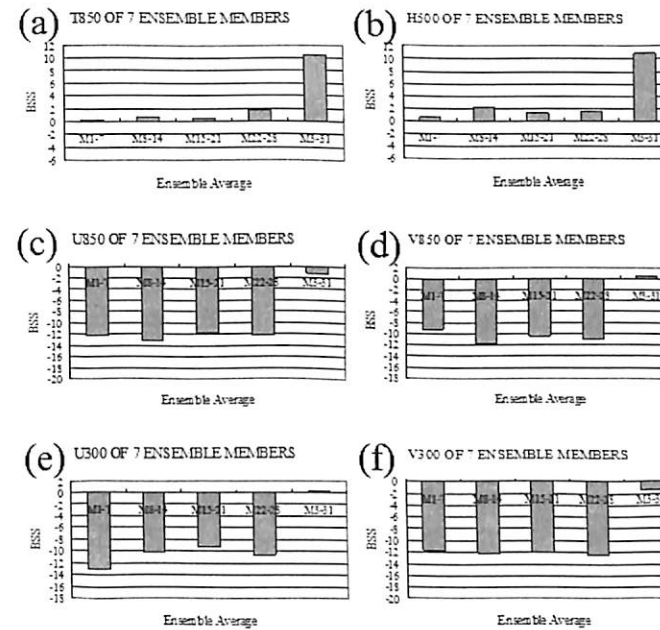


圖3.10 顯示M1-7、M8-14、M15-21、M22-28系集預報分別在(a)850hPa溫度距平大於1.5K，(b)500hPa重力位高度距平小於-30m，(c)850hPa緯向風距平大於1.5m/s，(d)850hPa經向風距平小於-1.5m/s，(e) 300hPa緯向風距平大於3.0m/s，(f)300hPa經向風距平大於3.0m/s等之布萊爾得分。

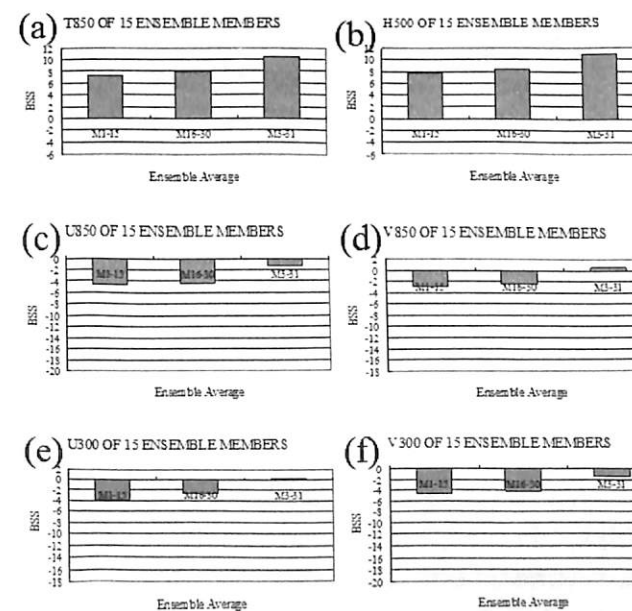


圖3.11 同圖3.10，但為M1-15、M16-30及M3-31之系集預報結果。

10. 結論與展望

個案分析結果顯示：

- (1)在整體的考量之下，吾等以29個系集成員為最佳預報組合。
- (2) NCEP GSM的LAF系集預報在東亞冬季短期氣候預報，對850hPa溫度、850hPa與300 hPa北風、南風和西風距平高程度異常狀況掌握能力較佳。500hPa重力位高度以距平值高於30重力位公尺及低於-30重力位公尺狀況得分最高。
- (3)850 hPa溫度及500 hPa重力位高度場距平在各類狀況設定所具有的技术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。
- (4)在能提供模式良好下邊界條件前提下，850 hPa溫度場、500 hPa重力位高度場、850 hPa北風及300 hPa西風距平是可作為冬季短期氣候預報的指標量場。
- (5)以5、7、10及15個系集預報成員探討針對目標冬季提前實施預報的可行性，結果指出隨著成員數的增加，預報的技術得分有逐漸升高的趨勢。無論提前時間的長短均表現出相同的特性。
- (6)當系集成員數增為7時，500hPa重力位高度距平及850hPa溫度距平預報成效已超過氣候值預測，顯示在實際作業上，至少可在十月上旬以7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。
- (7)針對5、7、10個成員數探討，個別的系集預報在850 hPa經向風場距平上能夠取得最大之預報時間提前量，亦即以十月初之系集預報群組便可獲得優於其他較短預報期的結果，唯其成效仍未優於其氣候值的預測。因此，若需於十月前期供應東亞地區冬季850 hPa經向風場的預報，則仍以氣候值的預測為較適當的選擇。
- (8)由15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%。

(9)NCEP GSM確能有效掌握實際狀況發生頻率。系集成員組成機率預報值 $>0.4$ 時，相對於實際發生頻率是高估的。反之，則為低估的情形。

(10)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。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。

經由機率預報診斷工具的評估，本文的系集預報架構在冬季季節的時間尺度預報上，確實具有一定的預報能力。未來更大量的系集預報成員數將作為研究的方向之一。此外，我們並未針對冬季以外的季節進行預報評估，其餘三個季節短期氣候預報的診斷與分析將會是極具有價值的研究題目。最後，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目標。

#### 參考文獻

- Krause, S. S., *Aircraft Safety*, McGraw-Hill, London, p.180, 2001.
- Toth, Z. and Kalnay, E., "Ensemble Forecasting at NMC: The Generation of Perturbation," *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 74, No. 12, pp.2317-2329, 1993.
- Lorenz, E. N., "Deterministic Non-periodic Flow," *Journal of Atmosphere Science*, Vol. 20, No. 2, pp.130-141, 1963.
- Lorenz, E. N., "A Study of the Predictability of A 28-variable Atmospheric Model," *Tellus*, Vol. 17, pp.321-333, 1965.
- Epstein, E. S., "Stochastic Dynamic Prediction," *Tellus*, Vol.21, No. 6, pp.739-759, 1969.
- Leith, C. E., "Theoretical Skill of Monte Carlo forecasts," *Monthly Weather Review*, Vol. 102, No. 2, pp.409-4168, 1974.
- Hoffmann, R. N., and Kalnay, E., "Lagged Average Forecasting, an Alternative to Monte Carlo Forecasting," *Tellus*, 35A, pp.100-118, 1983.
- 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.
- Kumar, A., "Seasonal Predictions, Probabilistic Verifications, and Ensemble Size," *Journal of Climate*, Vol. 14, No. 7, pp.1671-1676, 2001.
- Mullen, S. L., "The Impact of Horizontal Resolution and Ensemble Size on Probabilistic Forecast of Precipitation by the ECMWF Ensemble Prediction System," *Weather and Forecasting*, Vol. 17, No. 2, pp.173-191, 2002.
- 鐘珮瑄, "歐洲中長期預報中心季節系集模擬中所呈現的季風可預報度", 碩士論文, 國立台灣師範大學地球科學研究所, 台北, 2000。
- Gates, W. L., "AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project," *Bulletin American Meteorological Society*, Vol. 73, No. 12, pp.1962-1970, 1992.
- Dalcher, A., Kalnay, E., and Hoffman, R. N., "Medium Range Lagged Average Forecasts," *Monthly Weather Review*, Vol. 116, No. 2, pp.402-416, 1988.
- Brier, G. W., "Verification of Forecasts Expressed in Terms of Probability," *Monthly Weather Review*, Vol. 78, No. 1, pp.1-3, 1950.
- Kusunoki, S., and Kobayashi, C., "Skill Evaluation of Probabilistic Forecasts by the Atmospheric Seasonal Predictability Experiment," *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 81, No. 1, pp.85-112, 2003.
- Wilks, D. S., *Statistical Method in The Atmospheric Sciences*, Academic Press, America, pp.265-267, 1995.