

# 距平與類型在天氣預報上的應用

林得恩 戴志輝 鳳錦暉

空軍氣象聯隊氣象中心

## 摘要

類型和距平類型過去一直是氣象中心應用在長期天氣預報的方法，但往之在判圖過程中，參雜了許多人為主觀判斷在其中；本篇主要是引進 Taylor (2001) 的統計技術，將判圖過程以客觀的方法行之，可使應用類型和距平類型能更有效率。結果顯示，利用此一方法，可以將大量的比對資料交由電腦處理，的確節省非常多的時間，並且比對的結果也有相當的可適用性。

## 一、前言

1944年，美國氣象學家米謝爾氏 (Mitchells) 開創七日天氣預報，並提出溫帶西風帶內的天氣變化具有六日的週期性。在數值天氣預報還沒出現以前，為了滿足使用者的特殊需求，長時間的氣象預報是必須的，甚至是一個月或是一季以上的氣象預報，藉以來研擬較長時間尺度內的天氣演變發展，所以長期預報的工作便在這樣的情況下因應而生。隨著時代的演進，人們對於長期天氣預報的需求，逐漸進入日常生活當中。重視休閒生活的現代人們，會開始想要瞭解未來幾天的天氣如何，以利安排戶外活動的安排，甚至產業的長期規劃，甚至於軍事活動的規劃安排，都有深遠的影響。

近來因為時代進步，電腦數值計算能力大幅提昇，從動力氣象觀點為出發的數值模式預報已大幅被應用。這種給予合理的假定，利用嚴密的數學方程和物理定義來達成天氣預報的方式，已經漸漸地取代過去經驗法則的預報方法，網格天氣分析資料也因應而生。如果可以將長期氣候預報的概念，應用於大量數值資料的比對，則我們可以客觀而快速的得到未來天氣的變化趨勢。

## 二、研究目的

類型-距平的應用不僅僅只有在氣象方面，許多領域裏也有相類似的技巧去探究許多事物變化的經驗。過去的天氣沒有太多觀測設備與觀測點，又因為影響大氣的物理因子非常多且息息相關，諸如：太陽的黑子變

化、地面土壤的含水量、甚至是亞瑪遜森林的面積大小都足以影響整體大氣環流的變化；利用類型-距平便成為相當重要的預報工具。過去在氣象中心的七日預報作業流程中，透過距平找尋歷史資料中相近類型的方法，在長期預報課是十分重要的預報參考，成效亦十分顯著。然其主要的缺點，在於每一張距平圖的產生，是利用圖加、圖減的方式製作而成，在複製的過程中難免因人工繪圖過程的主觀偏差，而產生因人而異的結果，且在類似的多個案（即多張相似的歷史圖）中，所謂“最相近”的類型（即最像的）難免受個人主觀選擇的干擾而會有不同的結果，因此如何將人為的差異干擾降至最低，化主觀為客觀、化定性為定量，是現今提升作業化品質、加速作業流程要求下的重要課題。如今因網際網路的便利，我們十分輕易取得過去數十年的逐日資料，包括各層的高度場、溫度場、風場等之美國國家環境預報中心 (National Center of Environmental Prediction, NCEP) / 重分析 (reanalysis) 及中央氣象局 (Central Weather Bureau; CWB) 的全球模式分析場；附帶一提的是，過去我們的歷史距平僅針對 500hPa 的重力為高度來做，但是現在透過重分析資料的便利，我們幾乎可以針對所有氣象參數在任何高度上作分析，如果能找到一個有意義的統計方法，基本上所有的選取過程，都交給電腦去計算，預報員可以在極短的時間內，就“閱讀”（比對）完大量的歷史天氣圖，剩下的功夫，只需要將統計量逐日留存下來，日積

月累之後，將可以成為可觀的資料庫，當然為了能夠有夠多的樣本，回溯製作過去幾十年的逐日統計量，是首要必須完成的工作。

然而什麼是「有意義的統計方法」呢？想必方法應該是非常多，當中 Taylor (2001) 是其中之一，這個方法原本設計來校驗並量化觀測與模式模擬結果之間的「相似性」，既然是討論「相似性」，就十分適合套用於距平一類型法。所以本研究嘗試運用此法，將類型與距平類型的方法加以量化，並比較其結果，以作為日後參考之用。

### 三、距平及類型之介紹

#### 1、類型

類型預報的基本概念：大氣是由控制方程之物理過程決定其發展，若任選兩個案其大氣基本狀態相近時(初始條件接近)，此時假設大氣以外的環境場(如海洋、太陽加熱等)亦相似，經過積分後大氣的發展亦會有一樣的趨勢。但是 Lorenz (1969) 以 5 年的資料尋找的結果，結論為大氣中並無太多相似的類型，並指出天氣個案及其類型間的差異會在 2.5 天後就放大為原來的兩倍。此外，Ruosteenoja (1988) 在比較季節間尋找到相似類型機率，結果夏季約為冬季的一半。因此距平類型法的產生就是為了要能延長類型預報的時間尺度，下一小節是對距平的介紹。

#### 2、距平與距平圖

通常永年平均環流是形成平均天候及氣候的主因，故永年平均天氣圖，常稱之為標準天氣圖 (Normal chart)。觀測資料 (observational data) 減去標準值，常稱之為距平 (anomaly)，而距平值之分佈圖稱之為距平圖。距平圖為天候之中長期預報之主要工具，通常距平圖之天氣學的解釋如下：

每年大氣環流狀態有些變動，因而產生有不同的距平圖。距平圖呈現的是「平均環流與現在大氣環流之差距」，通常稱以此種環流變動為距平流 (anomalous flow)。平均環流出現時天候可以呈現標準狀態演變，相反的如果有距平流時天候將呈現與標準不同的天候。換言之，大氣環流將呈現不同基本流場 (Weather Base)，因而出現不同天候及天

氣。由高度距平圖，可以看出高度場之變化狀態，通常波脊是偏向正距平區，而正距平區很高大時可以看成波脊之異常發展及其位置。相反的波槽通常偏向負距平區，而負距平區很低時，可以看成波槽之異常發展及其位置。同時可以使用距平圖，判別下層大氣之溫度距平分佈。通常 700hPa 或 500hPa 之高度正距平區，可以看成為下層大氣之溫度正距平區，而高度之負距平區可以看成為下層大氣之溫度負距平區。此種現象可以由靜力學的方法解釋如下。由流體靜力方程可以瞭解，中層大氣標準氣壓面較高(相當於高度正距平)，是下層大氣較高溫時容易生成；相反的中層大氣標準氣壓面較低，是下層大氣較低溫時容易生成。故中層大氣正負距平區，與下層大氣溫度正負距平的相對應由此解釋容易瞭解。

#### 3、距平之起源與應用

距平的方法是由曾任職美空軍東京氣象中心長期預報組負責人馬丁少校 (Maj. Matrine) 將其介紹到我國氣象界，在曲克恭前輩的努力與該中心之協助之下，獲得 500hPa 之月平均高空圖及 1000hPa-700hPa 厚度月平均圖，此外還有 700hPa-500hPa 厚度月平均圖，開始了距平圖之研究。除利用資料不甚充足的 500hPa 高空圖從事 500hPa 高度距平及 1000hPa-700hPa 之厚度距平圖外，每日並與東京氣象中心所廣播的五日長期預報分析相互比較，在我方資料不足的情況下，能應用距平在預測分面有所幫助，從此開啟了我長期預報之大門。

因為應用高度距平圖之目的乃在強化一定時間內與平均情況不同之某些環流系統。因為平均圖是地形、地理、緯度與季節及其他各種當地氣候影響有相互的關係，如果 500hPa 圖中減去平均圖，及等於減去這些使預報人員既不勝記的統計資料，在考慮天氣預報的時候，只需單純的注意高度距平系統就可以了。而且高度距平系統具有以下的優點：1.有連續性；2.有相當的保守性；3.與地面天氣有關；4.與相對渦度有關；5.與移動的氣壓系統 (Migratory pressure Systems) 有關。

### 四、Taylor 方法的介紹

我們直接透過實際資料的計算，來舉例說明 Taylor 統計方法如何應用於比對的作業中：

定義平均場為過去 30 年的 11 月份 500hPa 高度場平均 (以下不再敘述 500hPa 高度場)，也就是指每年 11 月份 30 天，30 年中共計 900 天的平均。定義參考場 (reference field) 為 R，係指歷史上某一日 (假設為 1999 年 11 月 20 日) 觀測與平均場的距平。

定義觀測場 (observation field) 為 O，係指今日 (假設為 2004 年 11 月 30 日) 的觀測與平均場的距平。在進行「相似性」的評估之前，必須先計算出以下會用到的統計量：

$$R \text{ (相關係數)} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (O_n - \bar{O})(R_n - \bar{R})}{\sigma_o \sigma_r} \dots\dots\dots (1)$$

其中 N 為所選取範圍內的網個點數，而  $\bar{O}$  及  $\bar{R}$  為觀測與參考場在所選取範圍內所有 N 個網格點的平均值； $(O_n - \bar{O})$  是將範圍內各網格點的觀測值減去  $\bar{O}$ ， $(R_n - \bar{R})$  是將範圍內的各網格點的參考值減去  $\bar{R}$ ；

$$\sigma_o \text{ 為觀測場的標準差: } \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (O_n - \bar{O})^2}{N}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma_r \text{ 為參考場的標準差: } \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (R_n - \bar{R})^2}{N}} \dots\dots\dots (3)$$

計算均方根差 E (root mean square difference)

$$E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (O_n - R_n)^2}$$

$O_n - R_n$  係指每個網格點上的觀測值減去參考值。

為了要能獨立出在觀測場與參考場的平均之間的差異，E 可以被拆為兩個部分，也就是全部的誤差：

$$\bar{E} = \bar{R} - \bar{O} \dots\dots\dots (4)$$

和  $E'$  (centered pattern RMS difference)

$$E' = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [(R_n - \bar{R}) - (O_n - \bar{O})]^2 \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

(4) 式和 (5) 式的平方相加就衍生出完全的平均平方差

$$E^2 = \bar{E}^2 + E'^2 \dots\dots\dots (6)$$

在統計學上有一關係式是成立的，即

$$E'^2 = \sigma_o^2 + \sigma_r^2 - 2\sigma_o \sigma_r R \dots\dots\dots (7)$$

此外，在三角函數的關係式上，也有一個關係式成立的，即

$$C^2 = A^2 + B^2 - 2 \cdot AB \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (8)$$

其中 A、B 及 C 是三角形的三個邊， $\phi$  是 A、B 兩相鄰的夾角。若將  $\sigma_o$  當作是 A， $\sigma_r$  當作是 B， $E'$  當作是 C，而  $\cos \phi$  當作是 R (即  $\phi = \cos^{-1} R$ )，就可將  $E'$ 、 $\sigma_o$ 、 $\sigma_r$  及 R 的關係，透過三角形表現出來 (如圖 1)。換言之，也就是將實際的類型 (或是距平類型)，與歷史上的某一天的相似程度，在極座標表上達出來 (如圖 2)。理論上，所謂「完全相同」，是指  $\sigma_o = \sigma_r$ ，以及  $E' = 0$  的情況，而我們所謂「最像」的對象，是指  $\sigma_r$  越接近  $\sigma_o$  越好，同時  $E'$  也必須越小越好。

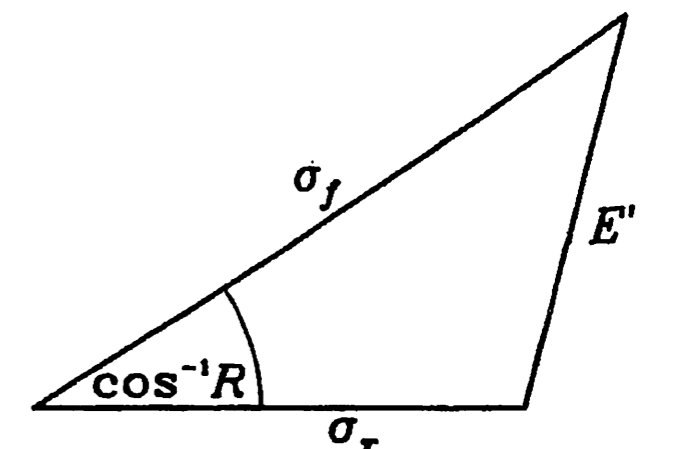


圖 1 參考場與觀測場所行程之三角形。

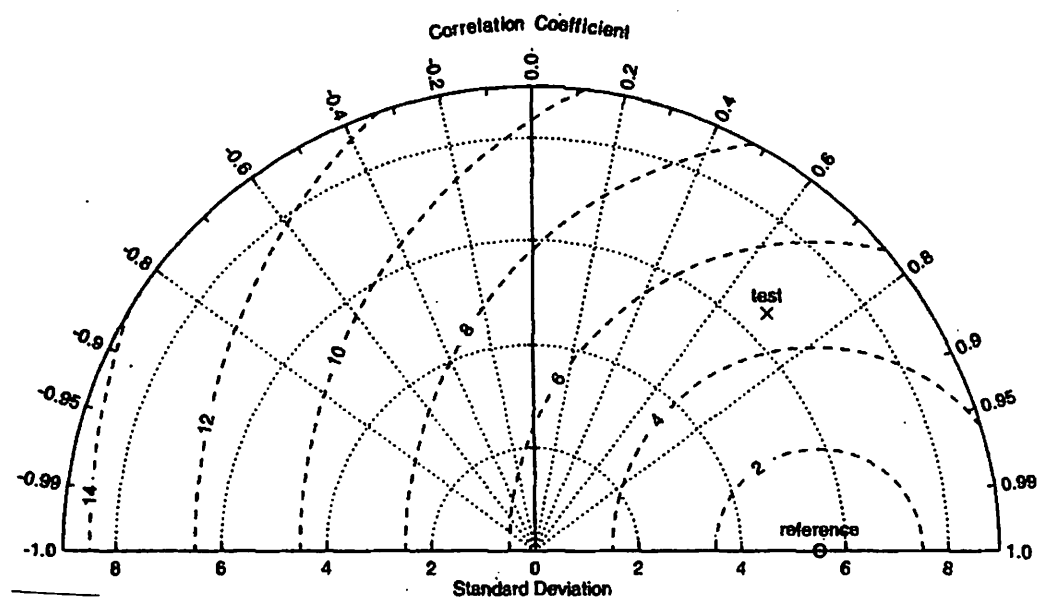


圖 2 觀測場與參考場之間的比對。摘錄於 Taylor (2001) 圖 2。

### 五、資料處理

本研究利用 NCEP 重分析的網格點資料 (Kalnay et. al. 1996)，該資料的時間為每 6 小時一筆、每天 4 筆，其解析度為  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  的全球網格資料。本研究所採用的方法已在第三節中介紹過，而所使用的變數參考為 500hPa 之高度場，選取的範圍為整個北半球從  $0^{\circ}N \sim 90^{\circ}N$ ， $0^{\circ}E \sim 180^{\circ}E$  共 5328 點。利用 1993 至 2002 年這十年的資料，處理為十年每個月的平均圖 (如圖 3)，也就是第三節所提到的標準圖。因為類型的比對，只需利用現有的網格點資料加以相互比對，但是在做距平類型時，就必須先製作出標準圖。有了這些標準圖，就可以製作這十年每月每天的距平圖，這樣我們就有了距平圖的網格點資料。並利用中央氣象局 (CWB) 客觀分析場網格資料當作是觀測場，減去標準圖之後，即得到觀測場之距平圖，這樣就可以做距平類型的比對了。

### 六、個案探討

2004 年 12 月 28 日鋒面通過台灣之後，強烈東北季風來襲 (如圖 4)，隨後大陸冷高壓南下，溫度持續下降，至 1 月 1 日清晨各地均達最低溫，其中平地極端低溫為淡水的

4.9°C、嘉義為 5.1°C，是入冬之後影響台灣地區最強的冷氣團。從綜觀天氣圖中，利用外延法的方式可以預報 24~48 小時的天氣變化，台灣地區持續受東北季風的影響；我們應用前述所介紹的方法在類型與距平類型之比對。

以 12 月 28 日 1200 UTC 的網格點天氣資料當作是觀測場，與 2002 年 12 月每天 1200 UTC 的網格點資料當作是參考場，作出相關係數 (圖 5) 和 CRMSD (centered pattern root mean square difference) (圖 6)。在相關係數方面，類型和距平類型有相似的趨勢，類型的相關係數趨勢轉高 (低)，距平類型的趨勢也變高 (低)；此外，類型的相關係數多在 0.9 至 0.8 之間，但是距平類型的相關係數則有正負之區別，且絕對數值大部分都在 0.2 至 0.3 之間；在 CRMSD 的表現上，兩者的變化趨勢更是一致。

類型的相關係數前三高為 0.908、0.906 和 0.91，分別代表 2002 年 12 月的 4、27 和 28 等三日，而類型距平的相關係數前三高為 0.223、0.187 和 0.137，分別是 4、6 和 27 日這三天，CRMSD 最低的三個值，類型為 116.92、124.09 和 121.97；距平類型為 119.26、126.64 和 124.47，均指出 4、27 和 28 日等三天。

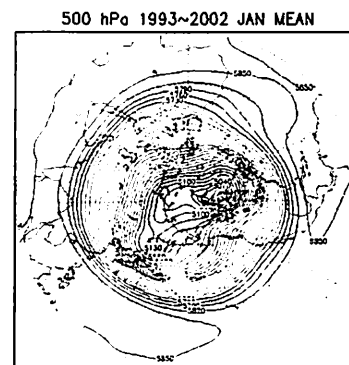


圖 3-1 一月份十年平均圖

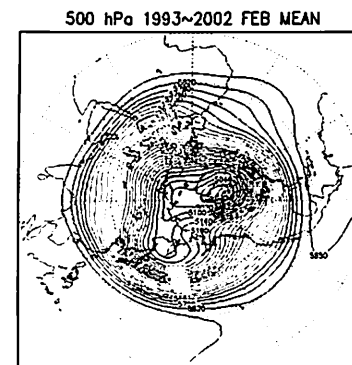


圖 3-2 二月份十年平均圖

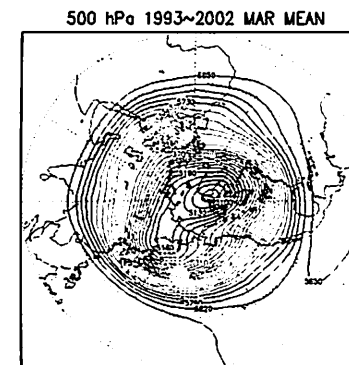


圖 3-3 三月份十年平均圖

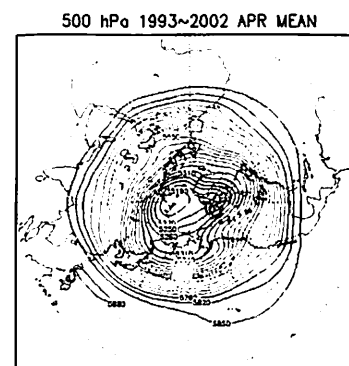


圖 3-4 四月份十年平均圖

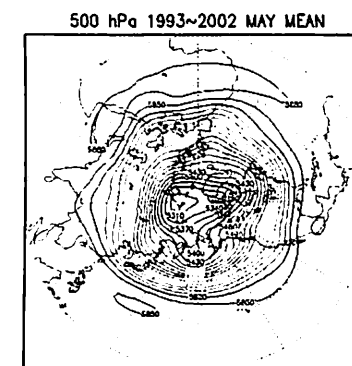


圖 3-5 五月份十年平均圖

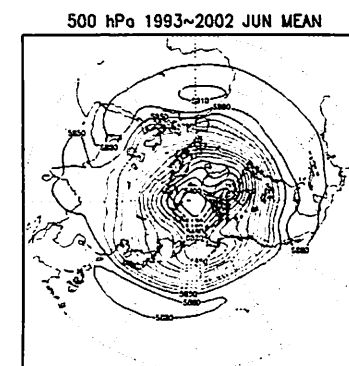


圖 3-6 六月份十年平均圖

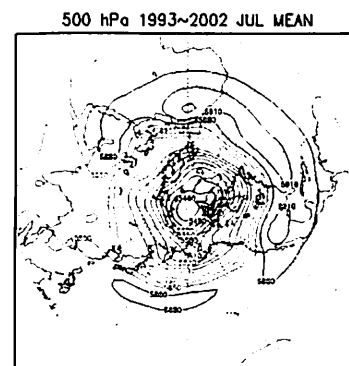


圖 3-7 七月份十年平均圖

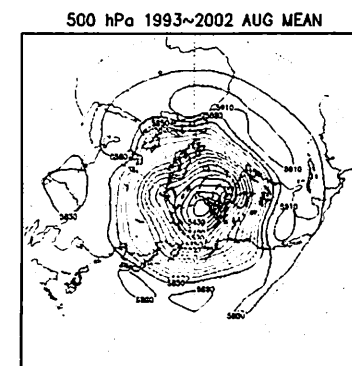


圖 3-8 八月份十年平均圖

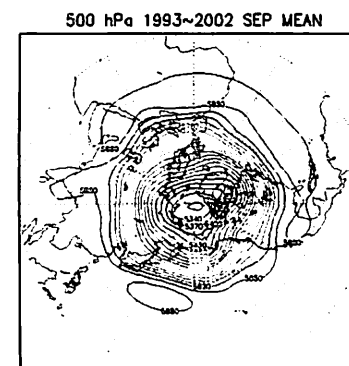


圖 3-9 九月份十年平均圖

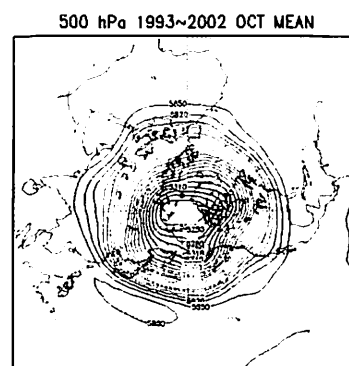


圖 3-10 十月份十年平均圖

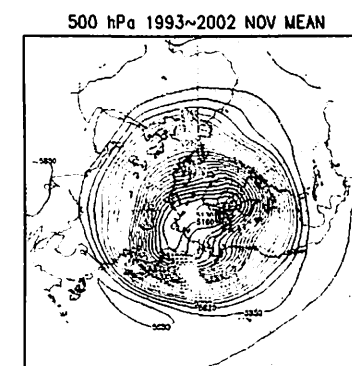


圖 3-11 十一月份十年平均圖

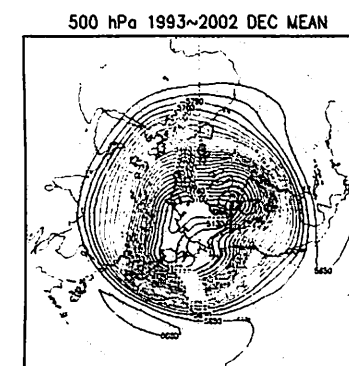


圖 3-12 十二月份十年平均圖

圖 3 1993 至 2002 年各月份 500hPa 平均圖。

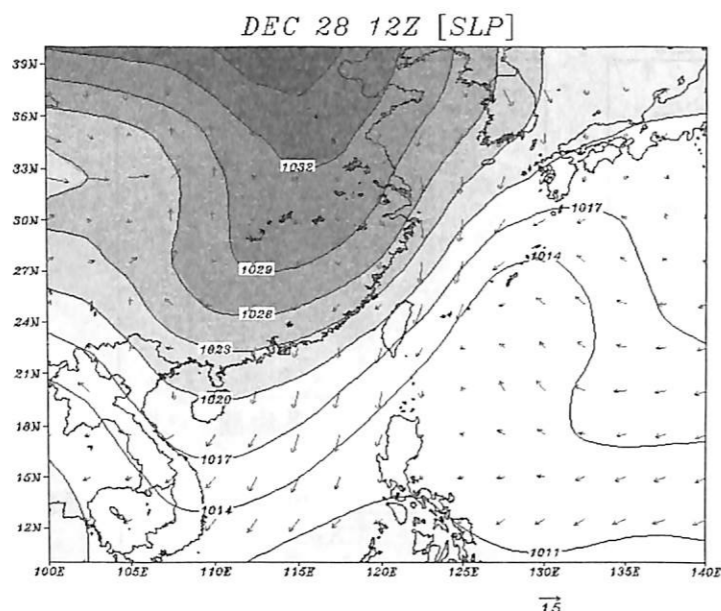


圖 4 2004年12月28日12Z地面天氣圖

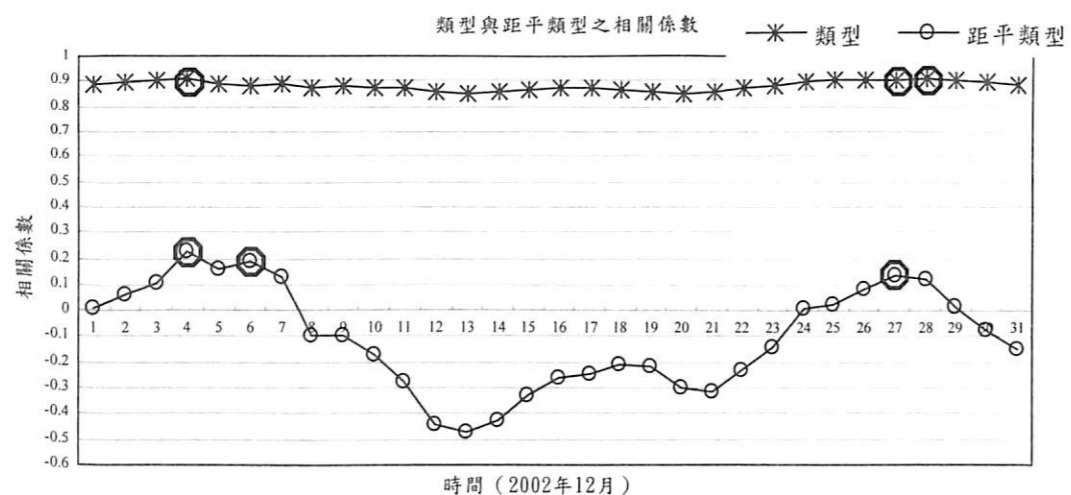


圖 5 類型與距平類型之相關係數

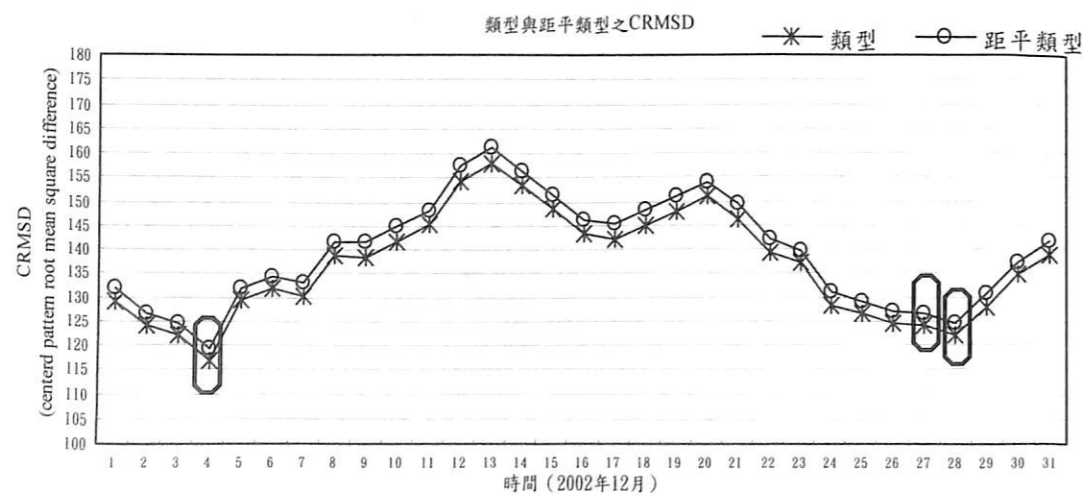


圖 6 類型與距平類型之 CRMSD

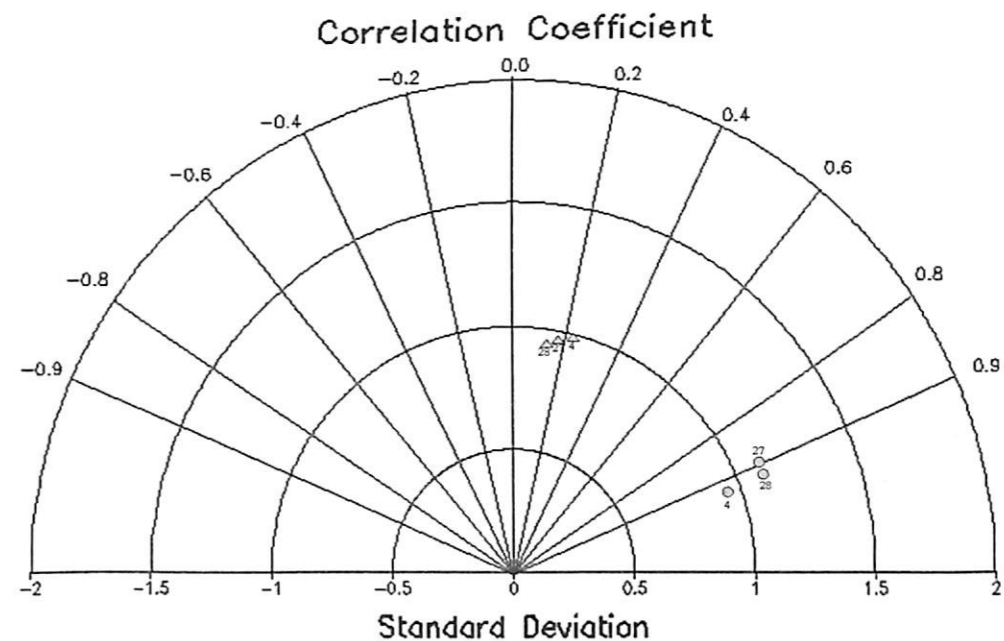


圖 7 相關係數與標準差的分布圖，圓形代表類型的結果，三角形代表距平類型的結果。

表一 參考預報與實際預報之列表

參考日期 (2002)	12/04	12/05	12/06	12/07	12/08	12/09	12/10
天氣敘述	東北季風	高壓迴流	鋒前暖區及鋒面接近	鋒面接近及鋒面通過	東北季風增強	冷氣團南下及東北季風	東北季風南下
實際日期 (2004)	12/28	12/29	12/30	12/31	01/01	01/02	01/03
天氣敘述	東北季風	東北季風	鋒面通過及強烈東北季風	強烈東北季風及寒流南下	大陸冷高壓	分裂高壓出海	高壓迴流及鋒面晚間通過
備考		第一天	第二天	第三天	第四天	第五天	第六天

根據 Taylor 所述，要判別參考場與觀測場之間的相似性，主要的還是取決於相關係數、標準差和 CRMSD 這三者。分別將上述的最好的三天資料並將其歸一化 (normalized) 之後，所呈現的就如圖 7。經過歸一化之後的  $\sigma_r$ ，因為觀測場都是固定，所以值不變等於 1；而  $\sigma_r$  參考場是 2002 年

12月整個月每天 12Z 的資料，會有變動，以 4、27 和 28 日來看，類型的值分別為 0.93、1.05 和 1.06，類型距平的值分別為 0.9、0.92 和 0.87；而相對應的  $\phi$  角分別為類型：24.8°、25.1° 和 24.5°，以及類型距平：77.1°、82.2° 和 83.2°。對應到三角形的兩邊夾一角，因此第三邊的 E 也就確定了。所以當  $\phi$  角越小、 $\sigma_r$

與 $\sigma$ 越接近，就越是我們想要的參考資料。從圖中可以發現 2002 年 12 月 4 日 12Z 的資料，不管是類型或是距平類型，在相關係數和 CRMSD 表現上都是最好的。於是利用一覽圖表的資料，將該天和之後的六天天氣變化主述，寫於表一。比較兩著影響台灣地區天氣系統，會發現所受的系統會有一定程度的相似，主要的原因有可能是冬季影響台灣地區的系統以東北季風為主，但由於類型和距平類型是利用 500hPa 的高度場作為比對場，可能是地面或低層會成為大氣發展過程的差異來源。雖然從 500hPa 的環流場可以比對出相似的環境場，但是要藉此去判定地面天氣的變化，還是比較困難，所以與實際地面天氣的變化還是有些差異。不過在參考日期第 1~4 天，與實際過程有相似的天氣結果，似乎隱含這種方法所評估的結果仍有一定的參考價值。而且在本研究中只利用了 2002 年 12 月共計 31 日資料來作比對，在最相似上，未必是最好的結果，所以實際應用時，要去比較數十年資料。而且距平具有慮波的作用，在最相似的找尋上會要比直接類型的比對要難上許多，一旦能找到相似的天氣系統，掌握應該會比類型好，至於好到哪種程度？勢必還要後續的評估。

## 七、未來展望

利用 500hPa 高度場做為本篇的研究主軸，主要的原因是因為槽脊線的發展與地面天氣系統的變化有關，然而高度距平圖只能導引地面廣大的系統，此即期被應用於長期預報之一項理由，其特殊用途是在阻塞 (blocking) 情況之下，或者是相當少數大範圍系統的顯示控制大氣環流的時候。

類型-距平的應用在過去一直是長期天氣預報的主軸，雖然數值模式的出現改變了以往展期預報方式，但是兩者之間的相互結合，使得這樣的方法可以加以延伸。在此提出 Taylor 方法，只是一個開端，後續還有許多工作要做。就類型-距平這樣的一個概念，現今還是被用在旬預報、月預報及季預報等，藉由 Taylor 所提供之方法，我們能將過去參雜人為主觀因素的判斷去除，單純的由客觀角度去做長期天氣預報，這也氣象中

心一直追求的目標。數值的網格點資料加上統計方法，利於後續對於不同季節作測試，以瞭解這樣的方法的實用性。另外，對於不同層的整合，加上權重函數的應用，也是未來要努力的方向。

## 參考文獻

- Kalnay, E., and coauthors 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- Lorenz, E. N., 1969: Atmospheric predictability as revealed by naturally occurring analogues. *J. Atmos. Sci.*, **26**, 636-646.
- Ruostenoja, K., 1988: Factors affecting the occurrence and lifetime of 500-mb height analogs: A study based on a large amount of data. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 368-376.
- Taylor, K. E., 2001: Sumarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geo. Res.*, **106**, 7183-7192.
- 吳明進，1991：英國氣象局長期預報技術之引進。長期天氣預報技術研討會，9-21。
- 徐辛欽、林燕璋、張茂青及羅存文，1991：現行長期預報作業方法及其較驗，79-102。