

模式輸出統計法之簡介

與其在航空氣象要素預報上之應用

魏志憲

空軍氣象中心

摘要

模式輸出統計法 (model output statistics; MOS) 乃是利用相對較短時段的模式輸出代替較長時段的觀測資料, 將局地天氣觀測和預報值之間以線性回歸法建立之統計關係式, 在區域性的預報值上具有不錯的預報能力, 尤其是能見度與雲幕。而為改進傳統線性回歸法的缺點, 歸納累進模式之統計技術在針對雲幕與能見度進行不同門檻等級的機率預報能力測試, 其結果顯示無論是在變數、不同的引導時間與季節等, GAM 技術均要較線性回歸法來的優越, 其中均方差減少了3至4個百分點, 而引導時間則減少了2至9個小時。關鍵詞: 能見度、雲幕、模式輸出統計法

一、前言

在今日數值模式廣泛運用在氣象預報的時代, 仍有許多氣象要素是數值預報未能全面解決的, 因此, 如何利用數值預報所掌握到的天氣形勢, 做出更加準確的天氣現象與要素的預報, 是一個很現實的問題。許多研究嘗試運用較先進的統計方法配合模式預報結果來作改進, Klein等(1959)根據實測的預報因子與同一時間的預報值(氣象要素), 建立起統計關係式, 利用數值預報的輸出結果來代替實測的預報因子, 輸入統計關係式就可得所要預報之氣象預報, 此稱之為完全預告法(perfect prog method; PP)。另一種方法則是模式輸出統計法(model output statistics; MOS), Glahn與Lowry(1972)利用相對較短時段的模式輸出代替較長時段的觀測資料, 將局地天氣觀測和預報值之間建立統計關係式, 使用時將數值預報的輸出結果及局地天氣觀測資料代入方程

式, 即可求得預報值。此一方法的優點是自動消除數值模式預報所造成的偏差與誤差度, 並在統計預報關係式中包含了地方性氣候的特殊性。而後者要比前者預報有較高的精確度, 也為目前常用的方法。此外MOS方法還具有另一特性, 就是可引進PP法未包含的預報因子, 如垂直速度、邊界層的位溫、以及三維空氣軌跡等(Klein and Glahn, 1974), 如此可就一些非線性項較多的預報值進行預報。本文的目的, 乃針對航空氣象上常用的能見度、雲量與雲幕等一般數值模式不易預報之氣象要素, 說明MOS方法在其預報上之應用。

二、MOS方法及其系統

MOS方法中最常用的統計方法為多重線性回歸, 其將所欲求得之預報值 Y (如觀測之溫度、風速、雲量等等), 視為預報因子 X_i 累進組合的模組。在MOS的運作中, 預報因子 X_i 通常包含了數值模式預報、最近的觀測、

氣候值等與預報值相關之因素，因此 Y 與 X_i 的線性回歸式可表示如下：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_p X_p$$

此處係數 β_i 是以 Y 的預報與觀測值，在最小平方差的型態下所計算出來的。

多重線性回歸的精確度有其限制，換句話說，個別預報因子項與預報值的函數關係必須由發展者決定一個優先順序，使得和直線的偏差在合理的範圍，常用的做法就是將預報因子轉換成參數式函數，如對數函數或是多項式，或是將預報因子化成數列。轉換後組成的預報因子在一線性回歸模式中是當好用的，特別適用在個別預報因子與預報值之間具有高度非線性關係時一如雲幕與能見度等變數。

由線性回歸所組成的方程式即 MOS 的基本架構，再搭配數值預報模式的輸出量，即成一 MOS 系統。早期輸出模式是採用綜觀平流模式 (synoptic advection model; SAM)，而後加入原始方程組 (PE)，組合稱為 SAPEMOS (SAM&PE MOS)。該組合的預報值包括地面風、溫度、雲幕與能見度，可謂完整，然僅限於 24 小時的預測。為改進 SAPEMOS 預報的限制，搭配原始方程組與三維軌跡模式的 MOS 組合於是乎出現，即所謂的 PEATMOS (PE And Trajectory MOS) 組合，其預報時間可延長至 60 小時。此 MOS 系統目前已在美國國家天氣中心 (NWS) 的例行作業當中。

三、能見度與雲幕高的預報

此處以 PEATMOS 為例，說明能見度與雲幕高的預報方式。首先在雲量的預報方面，PEATMOS 組合採用 PE 與軌跡模式的預報因子，不包括地面觀測資料，所發展的預報方程僅對雲量的稀、疏、裂與密等四種分量的發生機率做預報，所製成的產品可參考圖 1。而雲幕與能見度則視為同類的預報值，其預報因子包括地面觀測、PE 與軌跡模式的輸出。必須注意的是 24 小時的雲幕預報需考慮到一些具

物理意義的變數，如平均相對濕度 (1000-400 hPa)、觀測的雲幕高、地面相對濕度、邊界層輻散與渦度、可降水量、以及 850 hPa 的相對濕度等。

而在能見度與雲幕高的預報因子中，非線性項佔大多數，因此要去定義預報因子一恰當的轉換方式，方程式發展者須審查部分的殘餘回歸圖點，將焦點集中在用最好的方法去轉換每一個預報因子。這對某些預報因子數目較少的小型模式而言，可能是簡單的工作，然而對於一些 MOS 系統 (如美國的 MOS 系統)，其每一個方程式均存在一大堆潛在的預報因子必須去考慮，且有著成千上萬個方程式要去發展而言，這樣的手動過程是非常繁雜的；若再將預報因子與預報值之間因為至或時間等變數所造成變動的非線性關係也考慮進去的話，如此的繁複程度會更加劇烈。為解決這樣的問題，在轉換方式上出現了一些因應策略，然而這些因應策略預報上存在著不確定性，且不易獲得較高的精確度，因此非參數式的統計方法成為解決此種問題的新出路，其中之一稱為歸納累進模式 (generalized additive model; GAM)，其運用一累進的模式，估算每一預報因子項合適的函數型式，使得機率預報的能力可以超過傳統的線性回歸法，其式子表示如下：

$$Y = F_1(X_1) + F_2(X_2) + F_3(X_3) + \dots + F_p(X_p)$$

函數 F_i 是以通用資料平滑法去推導出其式子來的。

利用 GAM 的統計技術，Vislosky 與 Fritsch (1995) 以美國東北部區域九十個測站三年 (1990 至 1992) 的資料 (圖 2)，配合三次仿樣函數之平滑法，針對雲幕與能見度進行不同門檻等級的機率預報能力測試，其結果顯示無論是在變數、不同的引導時間與季節等，GAM 技術均要較線性回歸法來的優越 (圖 3)，其中均方差減少了 3 至 4 個百分點，而引導時間則減少了 2 至 9 個小時。

四、結論與展望

本文就模式輸出統計法 (MOS) 之觀念與其方法作一簡單說明，可發現在一個 MOS 系統中包含了數值預報輸出值與多重線性回歸之統計方法，其最於地域性與非線性項較多的預報值具有相當周全的機率預報能力，適用在航空氣象中能見度與雲幕等預報值之預報，可彌補目前數值模式中對該兩項預報值缺乏的弱點。然而就 MOS 目前廣泛採用之線性回歸統計法而言，若方程式中存在為數眾多的非線性項預報因子，其參數式函數的轉換方式就顯得相當繁複，增加手動過程的困難度，因此一新的統計技術用來改善此種困境，包括運用非參數式函數，而歸納累進模式 (GAM) 就是其中之一。針對美國東北部地區三年的資料，測試其在能見度與雲幕之機率預報的能力，明顯可見其能力要優於傳統之線性回歸方法。更重要的是，GAM 技術可從資料中，運用累進模式，將每一預報因子項合適的函數關係自動計算出來，如此可使方程式發展者不必煞費周章於函數的線性化假設。當然，GAM 技術並非全然無問題的，其仍無法自動去偵測出所有非線性的形式，並且這樣技術所產生的係數資料，對於計算機存取容量與速度是一項大挑戰，然而就目前科技的遠景而言，此一問題可望獲得改善。

由於機場氣象要素的特性存在著區域性與氣候特徵，因此數值模式預報的能力尚力有未逮，而在目前小尺度模式尚未發展健全之階段，搭配模式輸出值與先進統計技術之 MOS 系統提供了一套不錯的解決方法，未來可再引進大氣擴散模式之輸出值，必能增進機場的能見度與雲幕等要素之客觀預報能力，進而強化氣象專業的科學性。

致謝

感謝氣象中心長期課課長與諸位學長的辛勞，與顏自雄學長的鼓勵下，使本文得以付梓，在此至上謝意。

參考文獻

- Klein, W. H., B. M. Lewis, and I. Enger, 1959: Objective prediction of five-day mean temperature during winter. *J. Meteor.*, 16, 672-682.
- Glahn, H. R., 1972: The use of model output statistics (MOS) in objective weather forecasting. *J. Appl. Meteor.*, 11, 1203-1211.
- Klein, W. H., H. R. Glahn, 1974: Forecasting local weather by means of model output statistics. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 55, 1217-1227.
- Vislosky, R. L., and J. M. Fritsch, 1995: Generalized additive models versus linear regressive I generating probabilistic MOS forecasting of aviation weather parameter. *Wea. Fore.*, 10, 669-680.
- An Introduction to Model Output Statistics (MOS) and Its application of Aviation Weather Factor Forecasting
Chih Hsien Wei
Air Force Weather Center

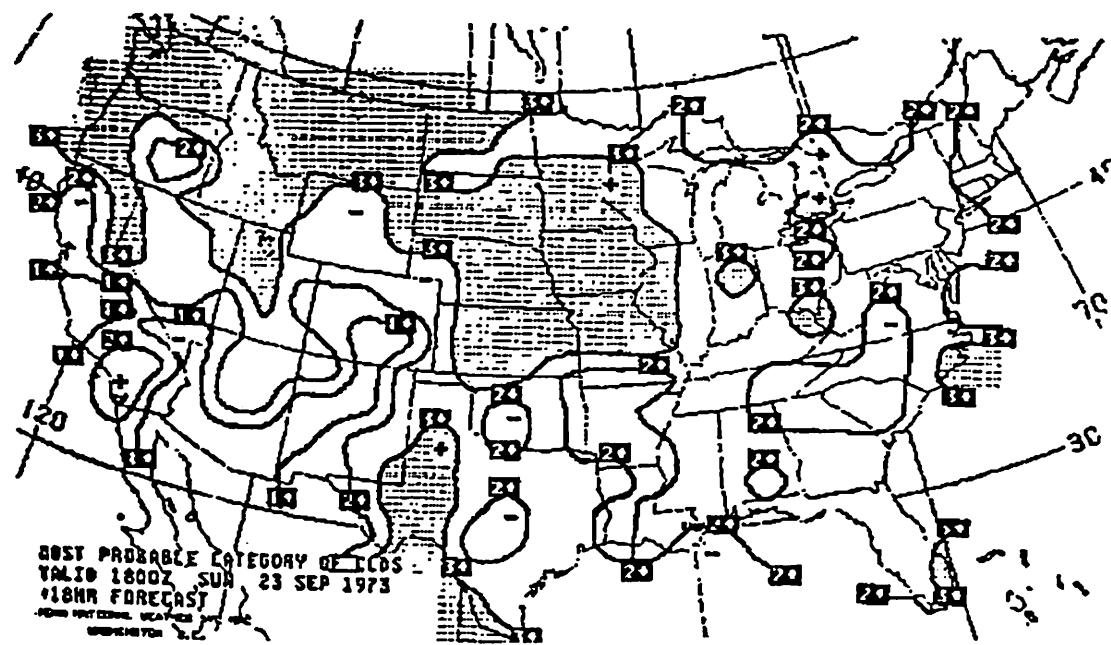


圖1 1973年9月23日預報18小時後雲量多寡之自動預報產品，等值線標1.代表晴空到疏雲的區域，2.代表疏到裂雲的區域，3.代表裂到密雲的區域。

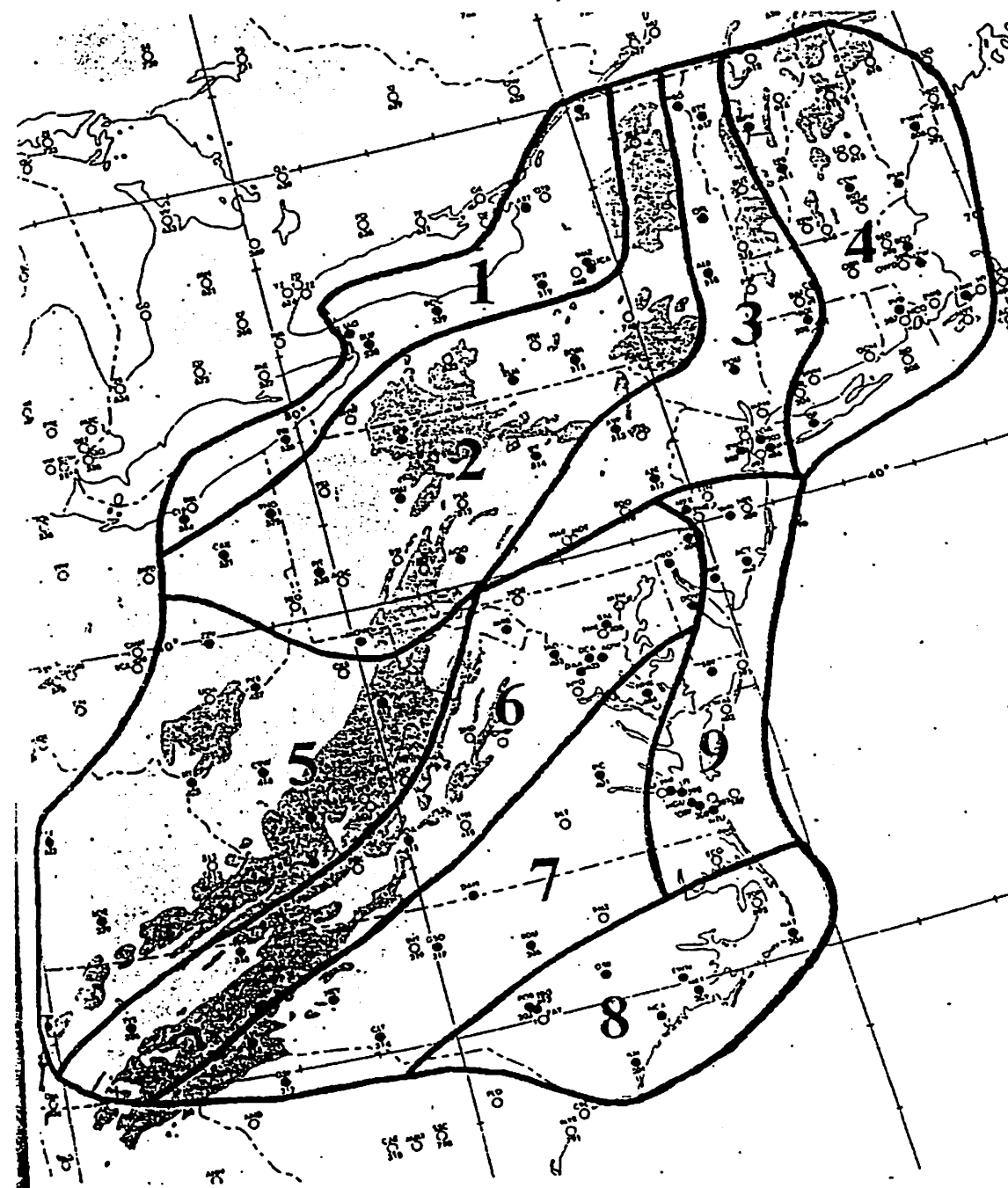


圖2 用以發展MOS預報雲幕與能見度方程的美國東北部區域，實心圓圈代表測站，預報區以實線畫分（摘錄自 Vislocky and Fritsch, 1995）。

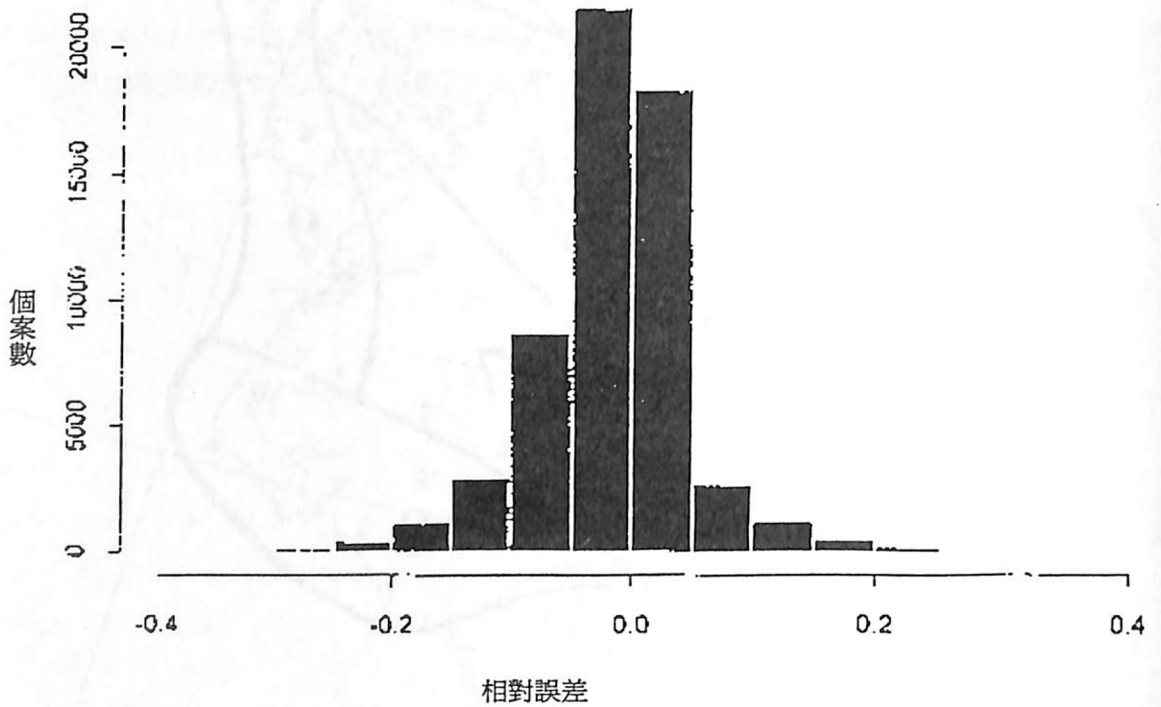
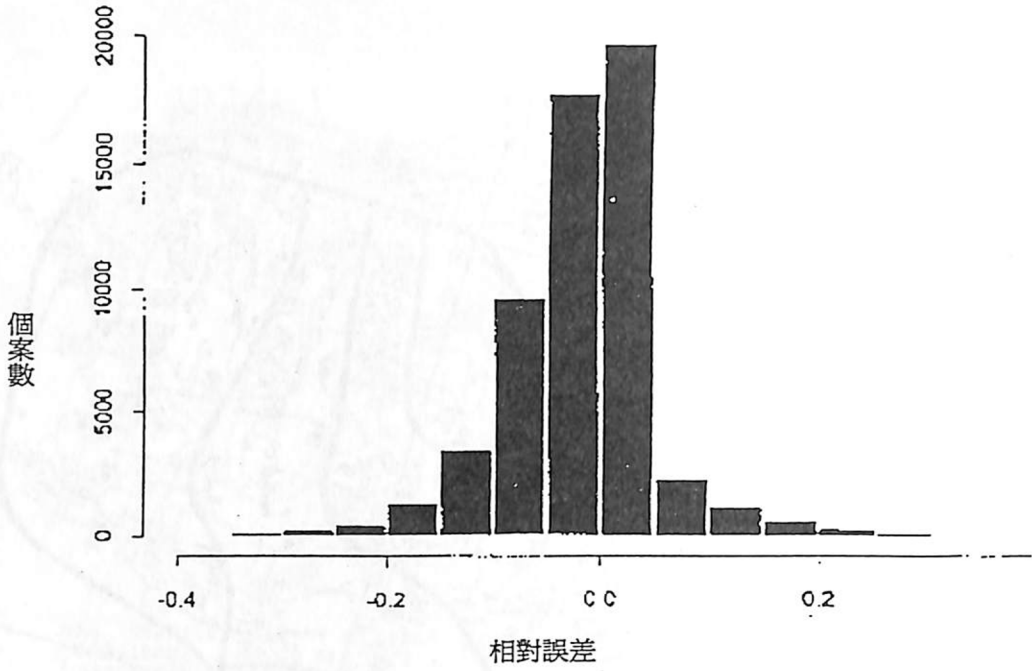


圖3 GAM技術與線性迴歸兩者預報結果誤差之頻率直方圖，負值代表GAM有較小的誤差，正值代表線性迴歸有較小的誤差。上圖為雲幕高，下圖為能見度（摘錄自Vislocky and Fritsch, 1995）