

中央氣象局降水機率統計預報模式預報校驗之比較分析：

89年5月1日至6月30日期間

王惠民 陳重功 羅存文

賀介圭

中央氣象局科技研究中心

中央氣象局長期預報課

摘要

根據我們一年對本局三種統計指引預報 (Statistical Guidance Forecasts) 模式觀察與校驗比較分析發現, LAFS (Limited Areal Forecast System; 簡稱 LAFS) 模式之較高解析度不但沒有如我們預期提供更好的預報訊息, 使我們改善 ECMWF (European Center Median-range Weather Forecast; 以下簡稱 EC) 之完全預報 (Perfect Prog; 以下簡稱 PP) 的降水機率 (Probability of Precipitation; 以下簡稱 PoP) 預報結果, 反而較其為差。從比較三種統計指引預報模式對 PoP 預報之技術得分 (Skill Score) 及白氏得分 (Brier Score) 結果發現, 由於數值天氣預報 (Numerical Weather Prediction; 以下簡稱 NWP) 模式預報產品之誤差造成統計指引預報模式作 PoP 預報時所產生之誤差的成長速率在 EC PP 是最小且穩定的。對同樣是 PP 之 LAFS PP 而言, 其 PoP 之預報誤差明顯且成長之速率較 EC PP 快。雖然, 發展 LAFS MOS (Model Output Statistics; 以下簡稱 MOS) 將原先 LAFS 模式預報產品之系統性誤差 (Systematic error) 所造成統計指引預報模式作 PoP 預報時之誤差的部份改善。但是, 由於 LAFS 模式預報場資料品質在台灣島上之網格點資料較原先 EC PP 線性複迴歸方程所用之台灣島四周海上四點的網格點資料為差, 導致 LAFS MOS 對於 EC PP 之 PoP 預報結果並無改善。因此, 我們未來將採用與 EC PP 所用相同之網格點資料作為預報因子基本資料, 重新發展 LAFS PP 及 LAFS MOS 線性複迴歸方程並與現有之方程作預報測試之比較, 視其預報結果是否較原先進步。

一、前言

用 EC 模式之客觀分析 (Objective Analysis; 以下簡稱 OBJ) 場資料所發展的降水機率統計預報之 EC PP 自 1998 年四月在本局 WINS (Weather Integration and Nowcast System; 以下簡稱 WINS) 系統線上作業一年後, 經校驗結果分析發現, 本局 LAFS 模式預報產品雖然存在著預報產生之系統性誤差而造成統計指引預報模式作 PoP 預報時產生誤差, 但這種誤差是可以利用發展 MOS 加以改善。同時藉著 LAFS 模式較 EC 模式高解析度的優

點, 使所求得的統計線性複迴歸方程對降水機率預報能有更佳之表現。基於此點, 我們就接著發展以 LAFS 模式之 OBJ 場為預報因子基本資料的 LAFS PP 及其預報場資料為預報因子基本資料的 LAFS MOS, 同時我們也預期其 PoP 預報的結果將優於 EC PP, 進而取代之。

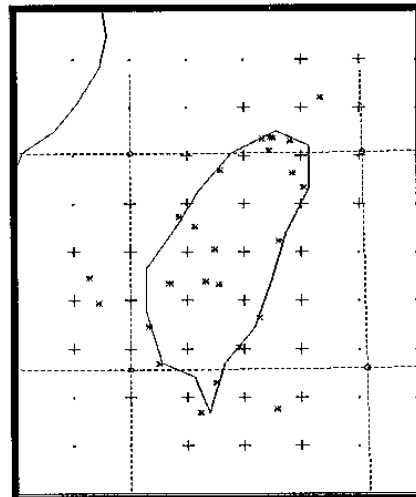
統計線性迴歸應用在客觀天氣預報方面常用者有兩種方法, 一種稱為完全預報另一種稱為模式輸出統計。兩者主要差異在 PP 是用 NWP 模式之 OBJ 場作為預報因子基本資料求統計線性迴歸方程, 而 MOS 則是用 NWP 模式之預報場作為預報因子基本資料求統計線性

迴歸方程。MOS 由於是用 NWP 預報產品作為預報因子基本資料,所以其所隱藏預報之系統性誤差也包含其中。因此,發展 MOS 時在求線性迴歸方程的過程中亦將此誤差之訊息計算在內,故當其作 PoP 預報時其結果已不包含此誤差所導致之統計預報模式預報誤差,而 PP 則是仍包含著這方面的誤差。對於一個模式預報產品之系統性誤差不顯著的 NWP 模式而言,MOS 的預報結果將優於 PP,因其已將 NWP 預報產品之系統性誤差所導致統計預報模式預報誤差的部份剔除。但是,發展 MOS 有一點必須注意的是需儲存一定時間之 NWP 預報產品而且在這段時間內 NWP 模式之物理特性必須相同,否則 NWP 預報產品之系統性誤差將隨著其模式物理性質之改變而改變。如此,發展 MOS 時將無法有效地將 NWP 預報產品之系統性誤差所造成統計指引預報模式預報誤差的部份剔除,MOS 的預報表現也將大打折扣,這一點倒是發展 PP 所不用顧慮的。本局發展統計指引預報模式之初也因受 LAFS 模式產品儲存時間不夠長的限制,先利用 EC 模式 1985-1995 年之 OBJ 資料發展 PP,一方面建立發展統計指引預報之技術,另一方面也以 EC PP 作為往後發展以 LAFS 模式資料為基礎之統計指引預報模式之比較基準。

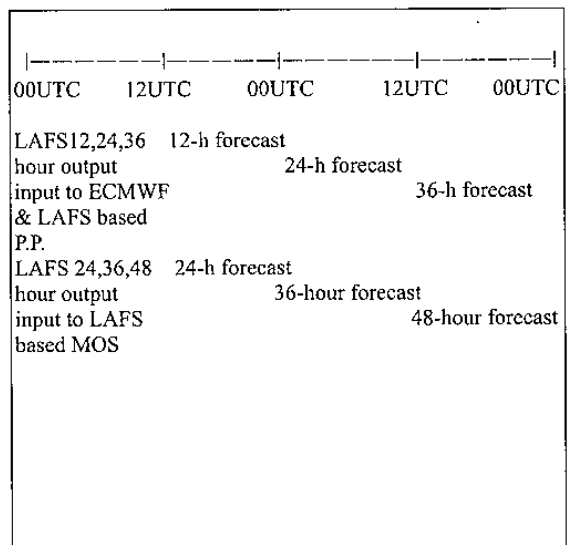
二、統計預報指引模式簡介

本局現有三種統計指引預報模式,一種是以 EC 模式之 OBJ 資料所發展之 PP(以下簡稱 EC PP),另一種是以 LAFS 模式之 OBJ 資料所發展之 PP(以下簡稱 LAFS PP),第三種是以 LAFS 模式預報產品所發展之 MOS(以下簡稱 LAFS MOS)。由於 EC 模式與 LAFS 模式之解析度不同,所以發展及作 PoP 預報時所使的網格點不同;前者所用之預報因子基本資料網格點在台灣島四周海上四點網格點(如圖一之圓圈部份),後者所使用之預報因子基本資料網格點大都在有地形的本島上(如圖一之十

字部份)。EC PP 所使用之資料從 1985 - 1995 年,LAFS PP 所使用之資料從 1994 - 1999 年。LAFS MOS 發展所使用之資料與 LAFS PP 不同;前者為 LAFS 模式的預報產品,後者為 LAFS 模式的 OBJ。三者發展所使用之預報因子基本資料除了 LAFS MOS 多了 LAFS 模式預報之 12 小時累積降水外,其它場量全部相同。



圖一 ECMWF PP 與 LAFS PP 及 LAFS MOS 基本資料網格點示意圖



圖二 ECMWF PP、LAFS PP 及 LAFS MOS 作 PoP 預報之時間示意圖

圖二是三個模式作 PoP 預報之示意圖。EC PP 及 LAFS PP 都用 LAFS 模式 00 UTC 及 12 UTC 之 12, 24, 36 小時預報產品作預報因子基本資料代入線性迴歸方程對其預報之有效時間(Valid Time)之未來 12 小時作 PoP 預報,間隔 12 小時。MOS 則是用 LAFS 模式 00 UTC

及 12 UTC 之 24, 36, 48 小時預報產品作預報因子基本資料代入線性迴歸方程對其預報之有效時間內作 PoP 預報, 間隔 12 小時。

發展統計線性迴歸方程有一重要的多元判定係數 (Reduction of variance) R^2 其定義如下:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

其中 \hat{Y}_i 代表迴歸方程所預報之預報元

(Predictand), Y_i 代表實際觀測之預報元, \bar{Y} 代表實際觀測之預報元之平均, 當 R^2 愈高表示所得到之統計線性迴歸方程對 PoP 預報之解釋度 (Explained) 愈高。

三、資料及校驗方法

本文所使用之資料為 2000 年五至六月份本局局屬 25 個測站逐時雨量資料及同時間本局 LAFS 模式 OBJ 場。校驗指標用技術得分及白氏得分其定義如下:

$$\overline{BS} \text{ (Brier Score)} = \overline{(P - E)^2}$$

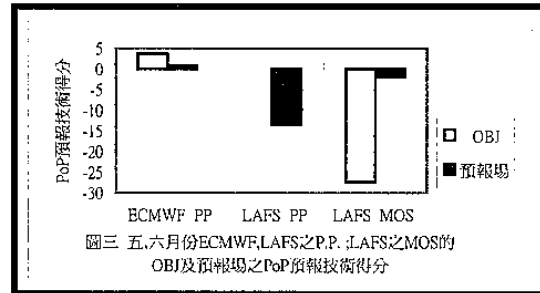
P: 降水機率預測值 E: 實際觀測值

$$\text{Skill Score} = \frac{100(\overline{BS}_c - \overline{BS}_f)}{\overline{BS}_c}$$

Brier Score 愈低表示預報之結果愈好, 而 Skill Score 則是愈高表示預報之結果愈好。(詳細方法請參考氣象局編印之八十二年度氣象預報業務輔導教材)。本文利用這兩種校驗指標來比較用預報場與 OBJ 場分別代入統計線性迴歸方程對 PoP 所作的預報結果之間的優劣, 進而探究其原因, 找出改進之方法, 以提高統計預報之準確度。

四、結果及討論

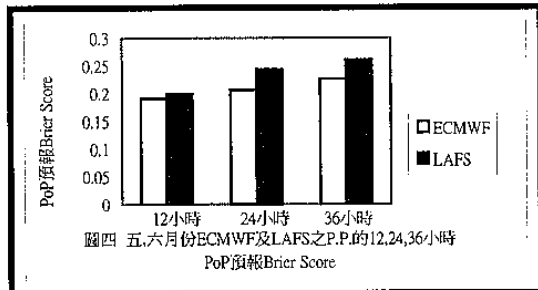
圖三是將五、六月 00 UTC 及 12UTC LAFS 模式之 OBJ 及預報場代入 EC PP、LAFS PP 及 MOS 之統計線性迴歸方程作 PoP 預報所得之 Skill Score。



從圖三可發現在 OBJ 場 Skill Score 方面 EC PP 的表現優於 LAFS PP 及 MOS。由於 PP 是用 OBJ 場發展的, 所以將 OBJ 場代入統計指引預報模式之線性迴歸方程作 PoP 預報, 所得之 Skill Score 就代表統計線性迴歸方程所能表現的最好情況, 這也反映了 LAFS 模式在台灣島四周海上四點網格點資料的品質可能優於在有地形的本島上, 因為兩者在發展統計線性迴歸方程時除了基本資料年限時間不同外, 另一個就是網格點不同。但本文認為資料年限相差五年其影響應不明顯 (本文作者 1995 曾在美國 NWS 之 TDL 作過增長三年資料以改善預報表現的測試, 結果改善在 0.5% 以下; 詳見王, 1995)。LAFS MOS OBJ 場 PoP 預報的 Skill Score 表現最差的原因是 LAFS MOS 在發展時是用 LAFS 模式預報產品作為預報因子之基本資料, 所求得之統計線性迴歸方程已將 LAFS 模式預報產品之系統性誤差所導致統計指引預報模式預報時誤差的部份剔除 (此點由 LAFS MOS 預報場對 PoP 預報的 Skill Score 明顯優於 LAFS PP 預報場對 PoP 預報的 Skill Score 可得到印證), 當用沒有模式預報所產生之系統性誤的 LAFS OBJ 場代入 LAFS MOS 之統計線性迴歸方程作 PoP 預報, 等於是把 LAFS 模式預報產品之系統性誤差所導致統計指引預報模式預報誤差的部份再還原, 其結果當然不好。

從圖三中, 比較預報場代入 EC PP、LAFS

PP 及 MOS 之統計線性迴歸方程作 PoP 預報所得之 Skill Score 可發現, EC PP 表現最好而 LAFS PP 表現最差。這是因為 LAFS PP 所使用預報產品誤差成長的速度較 EC PP 為快, 這一點我們從圖四中兩個統計模式之 Brier Score 之比較可得到證明。



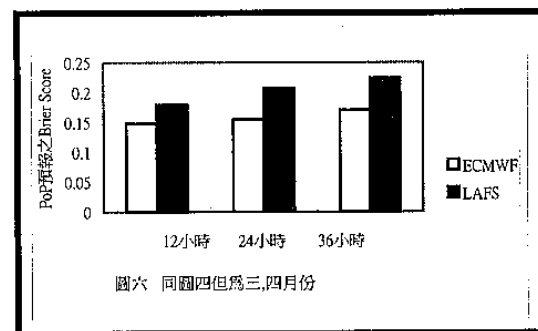
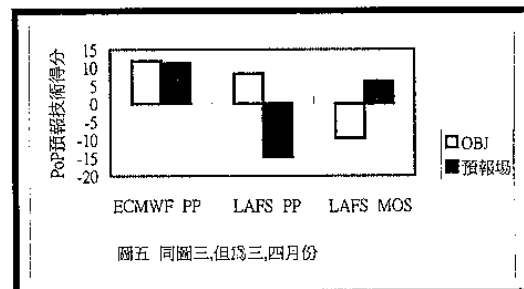
從圖四中 EC PP 及 LAFS PP 所使用 LAFS 模式之 12 及 24 小時預報產品作 PoP 預報可看出, LAFS PP 之 Brier Score 其增加的速度明顯大於 EC PP 而 Brier Score 愈低表示預報之結果愈好, 反之愈差。LAFS MOS 之 Skill Score 沒有如預期優於 EC PP 之主要原因, 可能就是前段所述網格點資料品質的問題。

從圖三中, 比較 LAFS MOS 及 LAFS PP 預報場之 Skill Score, 我們發現 LAFS 模式預報產品之系統性誤差所造成統計指引預報模式對 PoP 預報時所產生之誤差的部份已被明顯改善(Skill Score 由 LAFS PP 之-13 修正至 LAFS MOS 之-1.8)。如果發展 MOS 所需模式預報產品品質能被有效提昇, 則其 PoP 預報結果之改善將是不言而喻。

由 EC PP 之 OBJ 與預報場預報 PoP 之 Skill Score 比較發現, 前者 Skill Score 約為 3.7 而後者約 0.8 左右。這表示預報產生之誤差相對於氣候持續法(Climatology persistence)增加不到 3%, 這些誤差包含模式預報產品誤差所造成 EC PP 預報時之誤差及其迴歸方程本身所產生之誤差(Unexplained)。由此推測 LAFS MOS 若使用與 EC PP 相同網格點資料, 重新發展其改善的最大空間相對於氣候持續法應在 3% 左右, 由此可見 LAFS 模式預報產品之系

統性誤差造成 EC PP 作 PoP 預報時之誤差應不嚴重。反觀 LAFS PP 之 OBJ 與預報場預報 PoP 之 Skill Score, 分別約為 0 與 -13 左右, 其誤差約為 EC PP 之 4 倍左右, 相當明顯。所以, 發展統計預報所用數值天氣預報產品品質之重要性, 由此可見一斑。

為了瞭解以上誤差所產生之情形在另一季(本文將三、四月份歸為春季)是否相同, 本文對三個統計預報指引模式在三、四月份之 PoP 預報結果亦作相同之校驗。

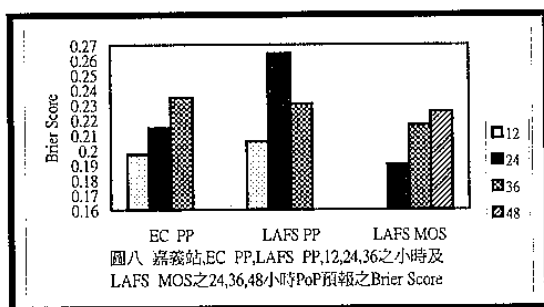
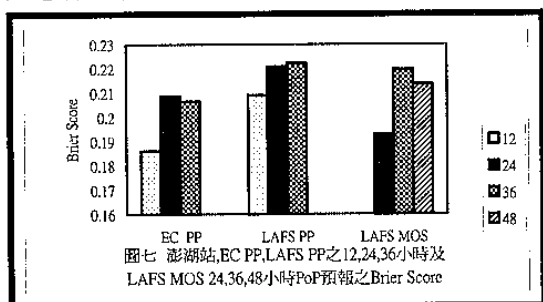


圖五及圖六分別是三、四月份三個統計模式 PoP 預報結果之 Skill Score 及 Brier Score。從圖五中可發現同樣地 EC PP 不管是 OBJ 或是預報場代入 EC PP 之迴歸方程所得到 PoP 預報之 Skill Score 都是最高的, 也就是說由於 LAFS 模式預報產品之誤差所導致統計指引預報模式作 PoP 預報時之誤差對 EC PP 而言是最小, 而此部份的誤差亦在 LAFS MOS 中獲得明顯改善。從圖六中亦可發現 LAFS PP 之 Brier Score 相對於 EC PP 大, 且在 12 至 24 小時的 LAFS 模式預報產品中其成長速率最大。

由三至六月三個統計模式對 PoP 預報結果之 Skill Score 及 Brier Score 之比較分析可知其誤差之型態與分佈是相同的, 這也顯示了三

個統計模式之 PoP 預報誤差是一致的,並不隨著季節作改變。

如果 LAFS 模式預報產品的資料品質如本文所討論的在海上網格點資料優於台灣島上,則 EC PP 與 LAFS PP 在海上測站 PoP 預報的 Brier Score 隨時間增加的速率應是較小而穩定的;而在台灣島上的測站 LAFS PP 之 Brier Score 隨時間增加的速率應是較大且不穩定的(因 LAFS PP 受 LAFS 模式預報產品之系統性誤差的影響島上應會大於海上)。對於 LAFS MOS 而言,在海上的測站與島上測站 PoP 預報的 Brier Score 隨時間增加的速率應是差異不明顯的(因 LAFS MOS 已把 LAFS 模式預報產品之系統性誤差所造成 PoP 預報時之誤差的部份剔除)。本文為了確定此觀點之正確性,選了緯度相近的兩個測站(一在海上的澎湖站,一在島上之嘉義站),針五、六月份期間對三個統計模式在其 36 小時內對 PoP 預報之 Brier Score 隨預報時間變化之分佈與型態作分析。



圖七與圖八分別是測站位置在海上的澎湖測站及測站位置在台灣島上的嘉義測站,三個統計模式在五、六月份對 36 小時內 PoP 預報之 Brier Score 隨預報時間之分佈圖。從圖

七中可發現,對澎湖測站而言 LAFS PP 之 Brier Score 從 12 到 24 小時隨預報時間的增加速度並無如前面所提明顯大於 EC PP 之情形,而澎湖測站在發展 LAFS PP 時其線性迴歸方程所用之參考點正是最接近澎湖測站的海上四個網格點資料(請參考圖一)。再從圖八中對照 LAFS PP 在嘉義測站之 Brier Score 從 12 到 24 小時隨預報時間的增加速度可發現明顯而快速增加,而嘉義測站在發展 LAFS PP 時其線性迴歸方程所用之參考點正是澎湖測站右邊最靠近嘉義測站的周圍四點(其中右邊兩點在台灣島上,左邊兩點與澎湖測站右邊兩點相同)。另外,從圖七與圖八中比較 LAFS MOS 在澎湖測站與嘉義測站 Brier Score 從 24 到 48 小時隨預報時間的增加速度並無如 LAFS PP 明顯而快速的情形發生,甚至從 24 到 36 小時 Brier Score 變化的情形幾乎是一樣的(從 0.19 至 0.22),儘管 LAFS MOS 發展時澎湖測站與嘉義測站所用之其線性迴歸方程所用之參考點有海上與島上之差別,但在作 PoP 預報時 LAFS 模式預報產品之系統性誤差所造成 PoP 預報時之誤差已不會因參考之網格點有海上與島上之差別而有明顯差異,這點更可證明 PoP 預報誤差之主要來源可能是 LAFS 模式預報產品之系統性誤差所造成,而系統性誤差的原因很有可能是由地形所引起的。

從圖七與圖八中 EC PP 在澎湖測站與嘉義測站隨預報時間的增加其 PoP 預報之 Brier Score 的分佈我們可發現,從 12 到 24 小時預報其 Brier Score 在嘉義測站並無如 LAFS PP 明顯而快速增加的情形,甚至 Brier Score 增加情形是幾乎一樣的,而 EC PP 在發展時其線性迴歸方程所用之參考點都在海上,雖然在嘉義測站 EC PP 在 24 到 36 小時的 Brier Score 沒有如澎湖測站一樣的略為降低,但仍保持穩定,而且在嘉義測站 EC PP 12 到 36 小時的 Brier Score 總平均而言都比 LAFS PP 低,亦

即其 PoP 預報表現優於 LAFS PP。

五、結論

從以上三個統計指引預報模式之 Skill Score 及 Brier Score 之比較分析,我們可以得到以下結論:

- 1、三個模式不論是以 OBJ 場或是預報場代入迴歸方程對 PoP 作預報,其 Skill Score 以 EC PP 表現較佳。這很可是因為所使用 LAFS 模式預報產品網格點資料品質,EC PP 優於 LAFS PP 所致。
- 2、LAFS PP 對 PoP 作預報時由於 LAFS 模式預報產品之系統性誤差所導致 PoP 預報時之誤差的部份已在 LAFS MOS 中明顯改善。
- 3、若要改善 LAFS MOS 目前 PoP 預報之表現,除了有更優於 LAFS 模式的預報產品外,以 EC PP 目前所使用的網格點取代目前 LAFS MOS 所用的網格點資料,重新發展 LAFS MOS 統計線性複迴歸方程,應是較可行的

方法。

六、致 謝

感謝陳重功博士所提供之寶貴意見,賀介圭及羅存文小姐所提供之資料和協助使本文能順利完成。

七、參考文獻

- 王惠民,陳重功,蘇長春,2000 :氣象學報第四十三卷第三期。
- 王惠民,1995 :赴美接受模式統計預報訓練報告書。
- 中央氣象局,1993 :八十二年度氣象預報業務輔導教材。
- Glanh,H,R., 1991 : The evolution and use of statistical guidance forecasts in the united states. WMO training workshop on the interpretation of NWP products in terms of local phenomena and their varification.