

中央氣象局 LAFS MOS 2000~2003 年 冬季最高/低溫度之預報回顧與評比

陳重功 羅存文
中央氣象局氣象科技研究中心

摘 要

本文主要在於分析 CWB LAFS(Limited Area Forecast System) MOS(Model Output Statistic)與 PP(Perfect Prog.)統計模式(以下簡稱模式)，自 2000 年至 2003 年間冬季最高與最低溫度(以下簡稱 Tmax 與 Tmin)預報之逐年評比與趨勢變化。經由各項校驗結果顯示，LAFS MOS 模式的各類預報指引之預報準確度均較 LAFS PP 模式的為優；僅於 Tmin 之案例，兩組模式的平均預報精確度較相近。在季平均預報偏差(bias)上，MOS 模式預報的偏差偏暖，PP 模式則偏冷。經由逐年預報趨勢的分析表現，MOS 模式的預報值與觀測值是十分接近的。

然而當深入審視 LAFS MOS 模式在各區域的預報準確度的變化時，中央山脈的地形影響依然是支配著地域性預報能力的重要因素。由分布情形顯示，無論 Tmax 及 Tmin 均以中央山脈為預報誤差分布之分水嶺，形成東、西兩側走向的分布形勢。而 LAFS PP 模式大致具備同樣整體分布形式，但較嚴重的預報誤差顯著於各個地區，相形之下較突顯出區域性的預報困難度，此情況尤以 Tmin 的案例為甚。

文中同時分析各測站逐年冬季期間的逐日平均預報誤差的分布情形。LAFS MOS 模式預報的誤差分布之散落形勢亦較 LAFS PP 的更為集中，且平均狀況更接近誤差“0”值線；僅少數測站，如花蓮站的 Tmin 分布，反顯出 PP 比 MOS 略優越些。然而多數的情形均顯示，在較高溫度的實際觀測發生區段，Tmax 及 Tmin 均顯示出 MOS 模式的預報準確度凌駕於 PP 模式之上；對於相對較低溫度發生區段，MOS Tmin 的預報準確度變為整體預報範圍內最差的一段，此可能歸因於數值模式無法確切地模擬出夜間晴空輻射的效應，導致統計模式亦未能有效的預報出較正確的最低溫度預報指引。

綜合而論，LAFS MOS 模式的預報表現優於 LAFS PP 模式；然若當整體預報分析結果呈現出反其向而行的時候，極可能意味著 MOS 模式需要進行更新維護作業。

關鍵詞：統計預報、LAFS、MOS、PP

一、前言

中央氣象局統計預報作業的發展，迄今歷經了 14 年的研究開發與實際預報作業之應用。統計預報開發之主要任務為建立本局之統計預報技術，並開發本局動力數值模式預報的預報潛在效益；及提升與兼顧在實際預報作業面上，提供預報員區域性地面氣象要素的預報作業參考。預報技術主要承襲隸屬美國氣象局的氣象研發實驗室（以下簡稱 MDL/Meteorological Development Laboratory）將近 40 年的發展與預報經驗。

中央氣象局統計預報的發展，啓始自 1995 年採用 PP scheme，藉助於歐洲 ECMWF 的客觀分析場量，建構出所需之統計預報方程；再經由 CWB-LAFS 數值模式的即時預報作業產品，提供統計預報產生未來 1~2 日的地方測站預報指引（以下簡稱 PP(EC)）。此一初期模式的建立與測試，均描述於陳重功、羅存文與呂國臣 (1998) 的研討會論文。

由 1995 年至 1999 年間，運用此一 EC-LAFS PP 統計預報模式，陸續對隸屬中央氣象局所屬二、三、四級氣象站（本研究中，共計採用 25 站）開發出逐日及半日（日/夜）最高（Tmax；Maximum Temperature）與最低溫度（Tmin；Minimum Temperature）、降水機率（PoP；Probability of Precipitation）與白日總雲量（CLA；Total Cloud Amount）等各測站的預報指引；並配合 LAFS 數值模式預報作業，進行每日 00Z 及 12Z 的各項預報指引運算輸出，提供預報員預報作業參考。

PP 統計預報模式的特徵，基於模式理論的特質，在於忠實地反應出所代表之動力數值模式的各個預報時段的完整對應預報誤差；因此，PP 模式所被賦予的主要預報任務，僅止於提供適時的天氣發展趨勢的參考而已。關於 EC-LAFS PP 模式的各季預報表現，記述於羅存文與陳重功 (2001) 的論文中。

及至 2000 年，由於 CWB LAFS 動力數值模式的預報輸出，已累積近 6 年的完整資料量；雖然其間 LAFS 仍處於模式之初始資料的

調整與維護狀態，對於所儲存的歷史資料內容形成相當程度上的性質不連續的影響；尚不致於造成嚴格的資料性質差異。然而對於統計預報模式在技術開發上，持續的提供了穩定的線上作業資料，始得以跨越至新的統計模式領域 – MOS scheme 技術開發；此一新的統計預報模式乃藉由調降動力數值模式各別預報時段的線性系統性預報誤差，來達到提升預報的準確度。由於建構在逐個預報時段上，因此針對不同預報時段，需由獨立對應的單站預報方程來負責，而相較於 PP 模式，則顯得預報方程的數量倍增許多。

由 2001 年起至 2003 年間，CWB-LAFS MOS 預報模式全面取代 EC-LAFS PP 模式的預報作業任務，進行每日 2 次預報作業參考所需之各氣象站氣象要素之預報指引提供。對於 2001 年之 CWB-LAFS MOS 的預報特徵分析，詳細記述於羅存文與陳重功 (2003) 的預報分析論文中。

在基礎的統計模式技術由 PP 提升至 MOS 後，同一期間亦著手提升其他相關預報指引技術的研究，並開發出分類 (Category) 預報指引：雲量 (Cloud Amount/CLA) 與定量降水 (Quantitative Precipitation Forecast/QPF) 2 組預報項目，並進行實際的平行作業測試。由於測試結果未達到足以提供支援預報作業的條件，因此未納入目前日常統計預報作業供給之範疇。至於預報效果不佳的原因，就統計預報部分的檢討，表面上導因於機率預報決策值 (Threshold Value) 的選取不夠適切，然主要的癥結仍舊是對於不連續變數 (Discrete Variable) 的迴歸方程中的所選取的預報因子的分布，未及於與該不連續變數的分布有足夠突顯的契合關係；然這兩方面的技術關鍵性問題，均有待深入研究。

基於數值模式有可能存在預報天氣系統較實際觀測的情形移動為快或較慢的預報現象。統計預報模式進行了相位調整的模式設計與實驗；經由理論與測試結果分析，均顯示此一調整的統計模式 MMS (Multiple taus MOS) 展現出明確的預報相位與強度的預報準度提升的效果

(詳見陳等, 2005)。因此, 自 2003 年起所有支援預報作業的統計預報指引, 均逐步由 MOS 模式替換成 MMS 模式。

CWB LAFS 數值預報模式是中央氣象局第一代的區域動力數值預報模式, 基礎上是一組 Hydrostatic 綜觀尺度模式, 預報表現並不理想。然而 CWB LAFS 數值模式與 LAFS MOS/PP 統計預報模式, 均已於 2005 年年底預報作業下線; 續之而起的是 CWB NFS (Non-hydrostatic Forecast System) meso-scale 動力數值預報模式與 NFS MMS/PP 統計預報模式。

由於 CWB LAFS 數值模式業已開發完整, 模式運作達到近乎凍結模式的狀態, 提供充足的統計模式建立資料, 且上線支援預報作業達 4 年(2000~2003)。因為 CWB LAFS 動力數值模式提供了統計預報技術的研發, 所需的完整歷史資料及線上作業實際預報經驗; 特以本文記載及紀念此一數值模式(CWB LAFS), 對於中央氣象局統計預報發展的歷程與實質之貢獻。文中亦藉此探討 LAES MOS/PP 統計模式的逐年預報變化特徵進行分析比較。

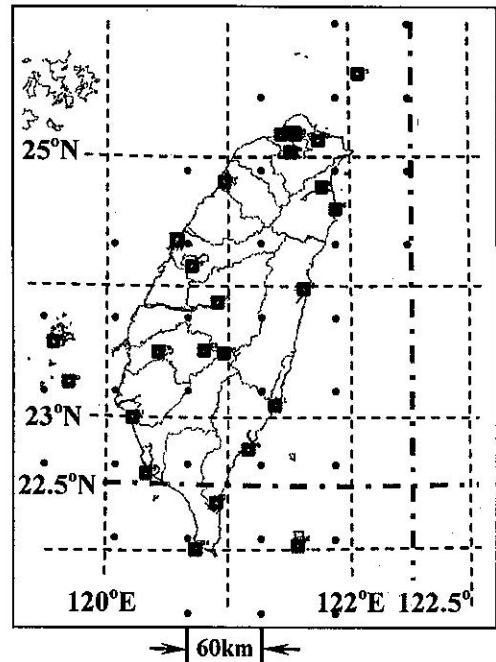
二、資料、模式與分析方法

本文中所討論的逐年冬季最高/低溫度的統計預報指引, 係經由本局所支援預報作業的 LAFS MOS 與 LAFS PP 二種統計預報模式所產生。

(一)模式架構與資料

LAFS MOS 及 LAFS PP 統計預報模式的各個測站之預報方程中的預報因子, 係建構於 LAFS 數值模式的粗網格點(60 公里*60 公里)上。臺灣地區共計取用了 25 組中央氣象局觀測站, 以每個測站均為鄰近的 4 個 LAFS 數值模式網格點所包括, 因此總共截取了 36 個 CWB LAFS 模式的網格點(見圖 1)。建立各個測站的模式預報方程所需的預報因子, 均由測站鄰近 4 個 LAFS 網格點之 500 百帕以下的各層數值模式預報之大氣環流變數資料所產生, 作為提供該測站迴歸方程發展使用; 此與 MDL 的 MOS 預報因子中尚含括測站的氣候值與測站地理資料等的應用是迥然不同的。此歸因於本局統計

預報發展主要目標之一, 為間接評比所應用的數值模式對特定區域的預報潛力評估。對於模式中預報因子所採取的空間變化, 有測站鄰近 4 個單一網格點(SGP/Single Grid Point)及 4 點內插至測站位置(STA/STation point)兩種類型(陳等, 2000)。



- 中央氣象局測站
- LAFS 數值預報模式 60 公里網格

圖 1. 統計預報模式所使用的 LAFS 網格與中央氣象局測站的分布。

Fig. 1. Distribution of 25 CWB surface weather stations and NWP grids, which employed in PP(EC), PP, and MOS model.

在此研究中預報元(被預報變數)部分, 為本局的 25 個氣象觀測站的冬季逐日最高/低溫度。模式建立資料期限(regression training period)起自 1994 年 12 月 1 日至 1999 年 2 月 28 日(共 5 年); 而模式平行測試校驗資料期間, 起自 1999 年 12 月 1 日至 2000 年 2 月 28 日(僅 1 季)。實際上線支援預報作業的期限, 則由 2000 年 12 月 1 日至 2003 年 2 月 28 日, 共為期達 3 年的預報作業服務。然而相較模式建立期間與上線

預報期間，LAFS 數值模式始終是處於“模式非凍結”狀態，雖無詳細記載，但確悉於此期間模式改版與分析部分的改進，或全球數值模式的改進均對 LAFS 數值模式預報形成預報屬性的改變；然而由實際預報作業結果顯示，這些改進雖不致於造成統計預報的嚴重預報缺失，卻亦導致預報誤差之根源無從釐清。此外，本研究中台灣地區的冬季劃分，以前一年 12 月 1 日至隔年 2 月 28 日定義為本年的冬季。

在模式結構上，針對不同統計模式所必需預報時段而言，PP 統計模式係架構在 LAFS 數值模式 00Z(08LST)的客觀分析場上，建立一組預報迴歸方程；在預報作業應用時，則分別代入 00Z 初始化的 24、48 小時的預報場產品，及 12Z 初始化的 12、36 小時的預報場產品，對各個測站進行不同超前時段的最高/低溫度統計預報指引之運算。詳細的預報時段及所含括之作業預報時效，請參考圖 2 中的 PP 部分。

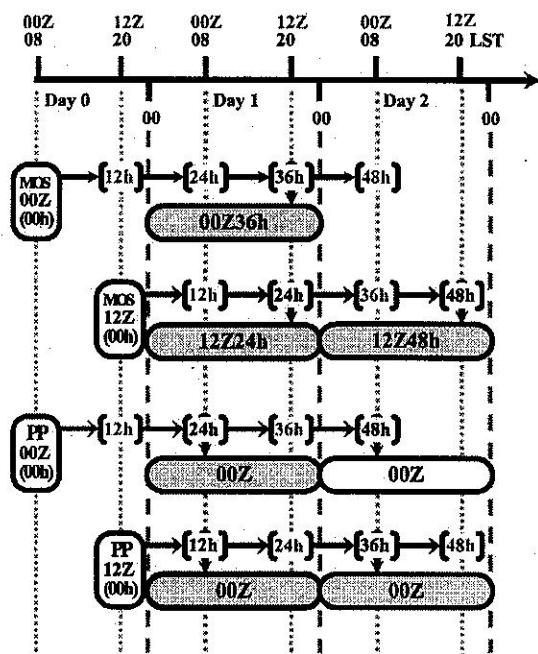


圖 2. PP 和 MOS 模式在 00、12Z 超前預報時段 (灰色區為兩組模式相對應的預報時段)。

Fig. 2. 00Z and 12Z Forecast schemes of PP and MOS model.

MOS 統計預報方程的建立，則以 00Z 初始化的 36 小時預報場產品，及 12Z 初始化的 24 及 48 小時預報場產品，分別建立起此 3 組不同時段的預報方程(見圖 2)；於預報作業應用時，則僅以各個相對應於模式建立的特定初始化之預報時段，提供所需的預報因子代入，進行超前時段的預報作業。各個模式中所有使用的預報因子代碼，均詳細記述於陳等(2000)的統計預報系統發展一文中。

(二)預報方程與分析方法

模式中最重要預報迴歸方程的建立，是採用 Forward 選取相關迴歸因子方式(Neter et al. 1983)。LAFS PP 及 MOS 模式所取用的預報因子析取過程，僅包含測站點(STA)及鄰近單一網格(SGP)預報因子型式。LAFS MOS 與 PP 各預報時段的全省 25 個測站預報迴歸方程之平均 R2 詳列於表 1。其中顯示 PP 模式(00Zobj.)的平均 R2 較 MOS 各個時段的平均 R2 略優；在 MOS 部分顯現隨著預報時段的增長，呈現下降的趨勢；同時此一趨勢在 Tmax 案例的下滑比率較 Tmin 的比率為大。

表 1、CWB-LAFS PP 與 MOS 的最高/低溫度平均預報方程 R2 分布。

Table 1. PP and MOS Averaged R2 Listing of Tmax and Tmin.

R ²	PP	MOS		
	00Zobj.	12Z24h	00Z36h	12Z48h
Tmax	0.79	0.75	0.71	0.68
Tmin	0.77	0.77	0.76	0.74

對於最高/低溫度的統計預報結果，本文中採用的分析計算方式計有：各季的平均絕對誤差(Mean Absolute Error; MAE)、偏差(Bias)、相對標準差比值(relative standard deviation; r_std)與相關程度(Correlation; Corr)運算。平均絕對誤差與偏差的運算公式，於羅與陳(2001)的報告中均有清晰的描述。

此外本文中並計算了 LAFS MOS 模式對某特定期間的預報誤差相較於 LAFS PP 模式於期間相對應的預報誤差之改進比率(Improvement

Rate/*I.R.*); 運算公式表示於下:

$$I.R. = \left[\frac{(MAE_{PP} - MAE_{MOS})}{MAE_{PP}} \right] * 100\% \quad (1)$$

公式(1)中的 MAE_{PP} , 代表某季的 PP 模式預報平均絕對誤差值, 而 MAE_{MOS} 則代表相對應 MOS 模式的平均絕對預報誤差; 此改進比率主要設計之目的在於, 進一步瞭解數值預報中的系統性預報誤差部分, 透過不同的統計預報模式處理, 所表達出能修正部分佔全部的預報誤差的比重程度, 並且反應出數值模式預報相對應於各個區域的潛在預報能力。

由圖 2 中顯見, PP 模式與 MOS 模式中所代入之數值模式產品的預報時段點是有所不同的, 在本研究中兩組模式於同一個數值模式初始條件下, 以預報同一被預報時間之預報元為校驗對比基準, 例如 MAE_{PP} 取用 00Z 的 24 小時預報和 12Z 的 12 及 36 小時預報的誤差值平均而成, 而 MAE_{MOS} 則用 00Z 的 36 小時預報與 12Z 的 24、48 小時預報誤差平均求得。而 IR 比值係建立在 PP 和 MOS 模式所相互對應的被預報時段上(對照圖 2 的灰色區域)。

三、模式預報逐年校驗評比

本節主要內容在於比較 LAFS PP 及 MOS 兩組統計預報模式冬季最高/低溫度的平均預報精確度、預報平均狀態、預報趨勢變化度與相對應於觀測變異值的預報振盪度之逐年預報變化情形。

圖 3(a)及(b)表示冬季最高與低溫度之全部測站平均值的逐年分布情形。圖中粗線代表實際測站觀測平均值, 圓圈代表 MOS 預報平均值, 菱形則代表 PP 模式預報的平均值; 而“*”代表 PP 模式在 00Zobj 時對全省測站平均的客觀分析詮釋。1995 年至 1999 年為統計模式建立期間的逐年觀測平均變化; 而 2000 年至 2003 年, 為上線預報作業期間獨立測試的逐年平均分布狀況。本圖之用意在於展現統計預報模式建立與預報的適度性情形。

由圖 3(a)與(b)均顯示出, 模式建立與上線預報的平均氣候變化背景是一致的。並且透過

MOS 及 PP 的逐年預報平均變化分布, 與實際發生的觀測演進呈現一致的變化趨勢。對於 Tmax 與 Tmin 的預報結果顯示, MOS 模式的預報平均值和實測平均值十分近似, 唯數值略微高些; 而 PP 模式的 Tmax 預報平均值則和實測平均值差異甚鉅; 相反的 Tmin 的情形, PP 模式卻較 MOS 模式存在更精確的預報狀態。基本上, MOS 的預報平均存在著暖偏差; PP 模式的預報平均則存在著冷偏差狀態, 其中以 Tmax 的冷偏差情形最為嚴重。由 PP 模式的 00Z obj. 代入值的分布情形, 顯示出 PP 模式預報指引方程在此 4 年預報期間, 仍處於合理的適用狀況。

以下茲就最高及最低溫度的預報平均絕對誤差、偏差、相關程度與相對標準差各個部分, 進行 LAFS MOS 及 PP 兩組統計模式的逐年預報表現評比。

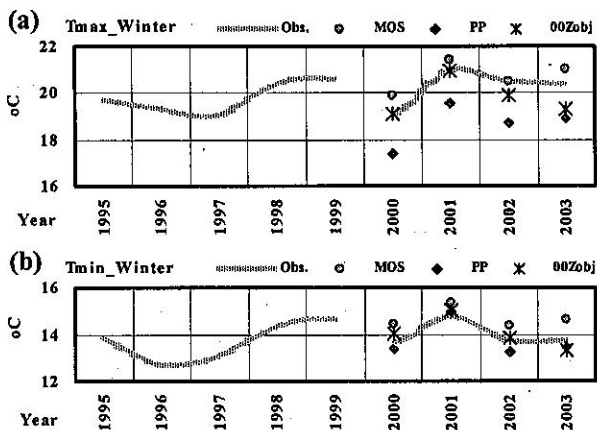


圖 3. 冬季(12~2 月)(a)最高溫度與(b)最低溫度 25 個站的平均值, 灰實線代表觀測值、圓型為 MOS 預報、菱形為 PP 預報及“*”為 00Z 客觀分析迴歸值。

Fig. 3. (a)Tmax and (b)Tmin 25 stations monthly average, as gray solid line represents observation, circle for MOS, diamond for PP and “*”for PP regressed value by 00Z obj.

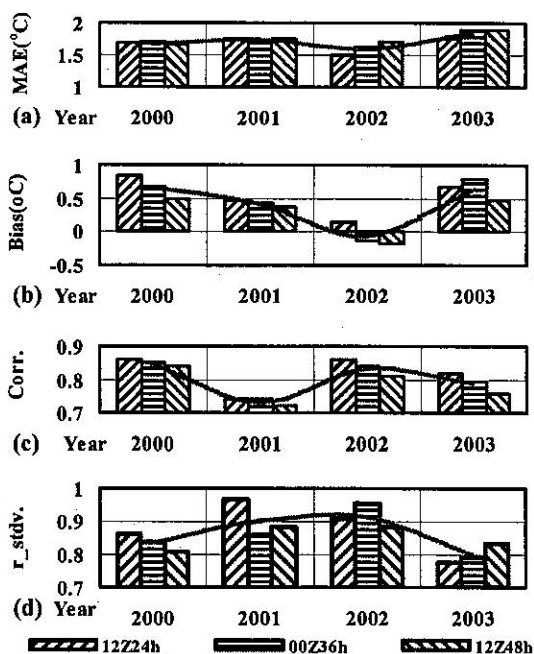


圖 4. 逐年(2000~2003)冬季最高溫度 MOS 3 組預報時段(12Z24h/右斜線區、00Z36h/橫線區與 12Z48h/左斜線區;預報平均/實線)的 (a)MAE、(b)bias、(c)Corr. 與 (d)r_stdv。

Fig. 4. Winter (2000~2003) seasonal Tmax MOS forecast guidance (12Z48h/right-strick, 00Z36h/straight line, 12Z48h/left-strick; average/solid line), (a)MAE, (b)bias, (c)Corr. and (d)r_stdv.

(一)最高溫度

圖 4 與 5 的(a)、(b)、(c)及(d)所示,分別為 LAFS MOS 及 PP 模式的冬季最高溫度預報評比,自 2000 至 2003 年各別於不同預報時段的冬季季平均預報的絕對誤差、季預報誤差狀態(偏差)、預報相關程度與相對於當季所觀測之標準變異度的相對應預報振盪比值分布情形。在 MOS 模式評比的各個圖中(圖 4)紋路向左傾斜走向的長條區域代表 12Z24h 的預報分析,而橫紋及向右斜的長條區域則各別代表 00Z36h 及 12Z48h 的預報分析,灰粗實線表示該年冬季 3 組預報時段的整合預報平均值。PP 模式(圖 5)的各個圖示所代表意義為,向左斜、橫紋及向右斜的長條區域,分別表示 12Z12h、00Z24h 及 12Z36h 的預報分析,灰粗實線則代表此 3

組預報時段的預報平均值;其中淺灰色階長條區塊,表達 00Zobj 原始預報方程的真實對應值之評比,以此作為統計預報模式對該氣象要素的基礎詮釋誤差度。

預報準確度的評比部分,由圖 4(a)及 5(a)的相較中明顯的呈現出 MOS 模式的 MAE 值約處於 1.5~1.9°C 的變化區間,其中以 2002 年預報的 MAE 值最低(預報較準確),2003 年的 MAE 值最大(預報準確度較差)。參考圖 3(a)在預報期間的季平均觀測值,實際上 2003 年的觀測值和 2002 年的值是相當的,然而 2003 年 MOS 模式預報的主要誤差度應該是源自於統計模式建構時的預報本質特徵所形成之振盪現象。相對應的 PP 模式之平均預報 MAE 分布,在 2.0~3.0°C 的變化範圍,主要呈現隨著預報時段的增加預報誤差程度亦加大。圖 5(a)中 00Zobj.的逐年季平均值的變化範圍在 1.34~1.77°C 之間,此與對應之 MOS 模式的預報誤差值十分接近;而圖 3(a)中的 00Zobj.平均模擬值之分布,反應出 2003 年的結果和 MOS 預報的結果是呈相反趨勢走向。顯然 2003 年的客觀分析和數值模式預報部分可能存在著相當程度的不一致性。

圖 4(b)及 5(b)中粗灰線代表預報偏差,其間的分布情境,用以各別詮釋圖 3(a)中預報期間, MOS 和 PP 預報和觀測值之間的差異。MOS 預報表現出正(暖)偏差,00Zobj.及 PP 則呈現負(冷)偏差狀態。MOS 和 00Zobj.的偏差值都很小,較接近無偏差狀況;PP 的偏差值約達到 -2.0°C。其間 MOS 模式的偏差程度,隨預報時段增長反而降低;但 PP 模式則隨預報時段的增長,預報偏差的程度加大。

圖 4(c)及 5(c)所顯示的是兩組模式的各別預報趨勢的相關程度,兩組模式的相關程度的逐年分布十分相似。平均季的相關係數數值亦均低於 0.9,且隨著預報時段的增長,相關趨勢呈現緩降。圖 4(d)及 5(d)表達的是相對應於實際觀測標準變異數值的各個預報的標準變異數值的比率。各模式在隨著預報時段增長,與逐年的分布表現上並不存在著共同的一致性。PP 模式的預報結果呈現出相對比值均大於實際的觀測標準值,約為其 1.2~1.3 倍;MOS 的結果

則顯示均較實際觀測值為低，比值約處於 0.8~0.95 倍之間。而實際觀測的標準差值落在 3.0~3.7°C 的變化範圍。其中 00Zobj. 的表現較接近實際觀測值，但 2003 年的表現卻最為偏離，僅達到 0.85 倍於觀測的標準差值。

綜觀上述分析，除了 MAE 及相關分析的部分明顯的呈現出隨著預報時段增長，預報誤差加大與預報相關趨勢降低；在 bias 及對應預

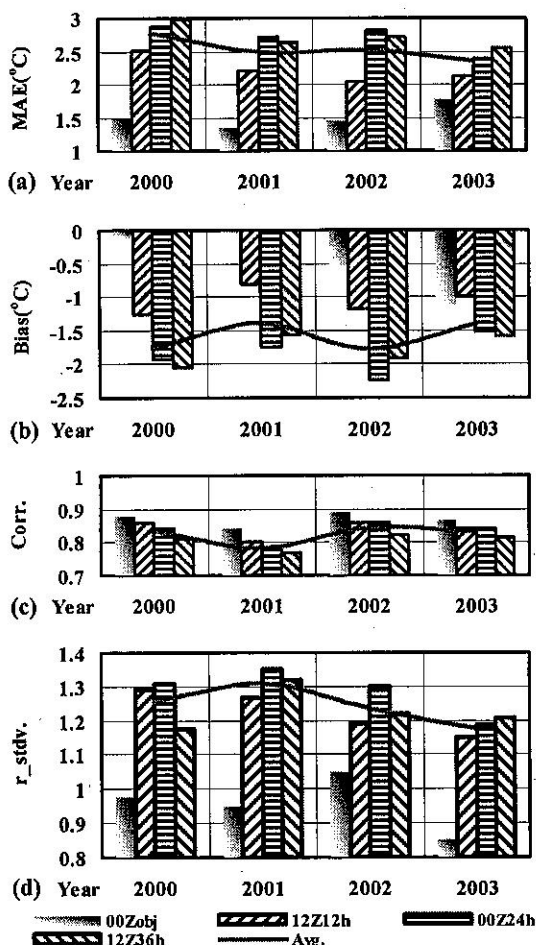


圖 5. 逐年(2000~2003)冬季最高溫度 PP 3 組預報時段(12Z12h/右斜線區、00Z24h/橫線區與 12Z36h/左斜線區、00Zobj./灰區；預報平均/實線)的(a)MAE、(b)bias、(c)Corr.與(d)r_stdv.。

Fig. 5. Winter (2000~2003) seasonal Tmax PP forecast guidance (12Z12h/right-strick, 00Z24h/straight line, 12Z36h/left-strick, 00Zobj./shaded area; average/solid line), (a)MAE, (b)bias, (c)Corr. and (d)r_stdv.

報標準變異數比值分布上，並不一定逐年均遵循隨預報時段增長，而產生漸增或緩降的一致性的變化原則。此由於源自於不同的數值模式起始點(00Z 或 12Z initial)，透過 LAFS 數值模式的調整(spin-up)需要之時間長短不一而反應出數值模式的特性，同時反應在預報誤差成長的特徵上。

(二)最低溫度

圖 6 與 7 的(a)、(b)、(c)及(d)所示，分別為 LAFS MOS 及 PP 模式的冬季(2000~2003 年)最低溫度的季平均預報預誤差、偏差、趨勢相關程度與相對應標準變異差比值之分布。圖中所使用的圖示及記號與圖 4 與圖 5 所採用的均具有相同的定義。

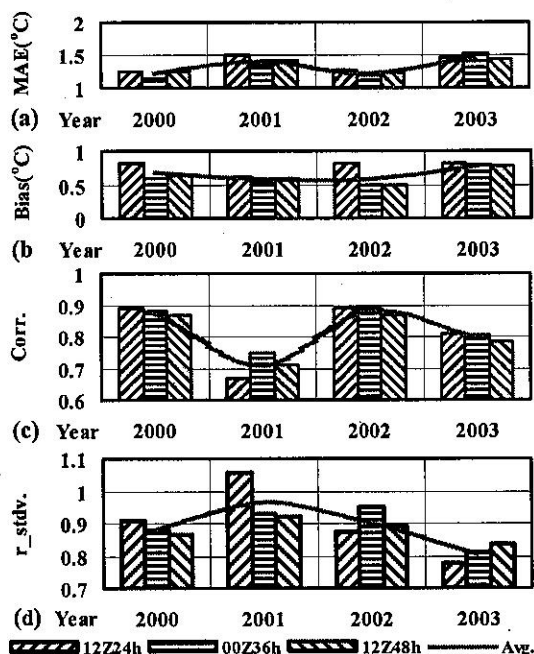


圖 6. 逐年(2000~2003)冬季最低溫度 MOS 3 組預報時段(12Z24h/右斜線區、00Z36h/橫線區與 12Z48h/左斜線區；預報平均/實線)的(a)MAE、(b)bias、(c)Corr. 與(d)r_stdv.。

Fig. 6. Winter (2000~2003) seasonal Tmin MOS forecast guidance (12Z24h/right-strick, 00Z36h/straight line, 12Z48h/left-strick; average/solid line), (a)MAE, (b)bias, (c)Corr. and (d)r_stdv.

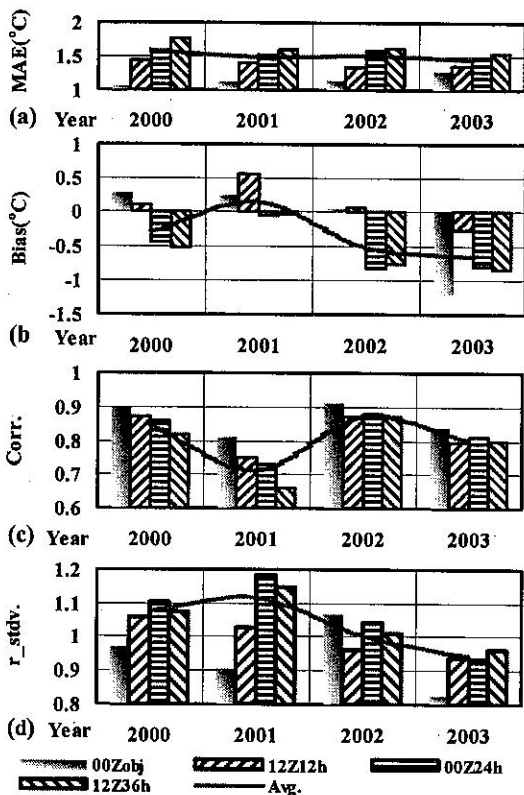


圖 7. 逐年(2000~2003)冬季最低溫度 PP 3 組預報時段(12Z12h/右斜線區、00Z24h/橫線區與 12Z36h/左斜線區, 00Zobj./灰區; 預報平均/實線)的(a)MAE、(b)bias、(c)Corr.與(d)r_stdv.。

Fig. 7. Winter (2000~2003) seasonal Tmin PP forecast guidance (12Z12h/right-strick, 00Z24h/straight line, 12Z36h/left-strick, 00Zobj./shaded area; average/solid line), (a)MAE, (b)bias, (c)Corr. and (d)r_stdv.

LAFS MOS 與 PP 預報的最低溫度之 MAE 分布, 見於圖 6(a)及 7(a)。分布形勢與最高溫度呈現一致的表現, MOS 最低溫度之 MAE 散落在 1.2~1.5°C 間, 而 PP 則呈現略高些, 約處於 1.5°C 上下。由圖 6(b)與 7(b)所呈現的 bias 分布情形, MOS 模式的表現大致和最高溫度的狀況近似, 均為弱暖偏差, 值約落於 0.5°C 附近。PP 模式的表現, 則和最高溫度的情形差異很大, 除 2001 年為暖偏差(值約 0.2°C)外, 其餘各年均為冷偏差, 然偏差程度較最高溫度的偏差情形緩和許多, 約落在 -0.5°C 附近。PP 和

MOS 模式間的逐年平均預報偏差狀況, 著實和圖 3(b)的背景描述現象一致, 即 PP 較 MOS 的偏差程度, 均略微少些。

至於預報趨勢相關程度變化與相對應觀測的預報標準變異數比值, 由圖 6(c)與 7(c)及 6(d)與 7(d)中, 均顯示出和最高溫度的相對應變化分布情勢是一致的。而最低溫度的觀測標準變異值各年冬季的變化由 2000 年至 2003 年, 分別為 2.87、2.31、2.99 及 2.80°C, 平均較最高溫度約少了 0.5°C。

綜合最高與最低溫度的各項預報情形, 由於 MOS 模式主要的理念在於消弱數值模式預報所產生的線性系統性誤差的影響程度, 因此理論上 MOS 的預報誤差應該較 PP 模式的好才是; 而 2003 年的最低溫度預報狀況, 顯示出 PP 模式的預報誤差反而比 MOS 的好些。此可能意味著 MOS 模式的預報方程中的各個預報係數, 已漸漸呈現對現狀無法反應出正確的權重分布; 因此, 反而加大了原有的數值模式預報誤差結果。此一現象在最高溫度部分雖然並未顯示出來。但在此處, 有可能表徵著所處的預報階段的天氣已經和模式建立時期是不同的氣候環境。為應變此種必然的模式特質, 於是衍生出對於統計預報模式何時或何種狀況下, 應該進行統計模式預報方程維護作業之決策機制與設計等基礎性的問題, 需有一套標準的監測與判別的規範, 成為預報維護作業的準則。

四、區域預報誤差的分布特徵

接續上一節所討論之逐年全台灣地區預報平均的各項評比後, 本節主要針對 MOS 和 PP 模式之最高/低溫度逐年冬季預報季平均誤差與偏差的區域分布特徵進行比較。以下分析過程中, MOS 與 PP 模式在各年的冬季誤差和偏差值, 均取自相對應的超前 3 個時段預報值的平均值計算得之。

(一)最高溫度

圖 8(a)至(d)為 MOS 模式 2000 年至 2003 年冬季的最高溫度的預報平均絕對誤差(黑色實線)與偏差(灰色虛線與正/負號)的區域性分布變化。而圖 9(a)至 9(d)則為 PP 模式相對應於

MOS 模式的逐年之冬季平均預報誤差與偏差之區域分布情形。

就 MOS 的 MAE 及 bias 全台灣分布形勢而論，圖 8(a)至(d)一致的突顯出，台灣地形的分布主導 MOS 預報誤差的整體分配。主要誤差分配的趨勢走向，由北部之桃、竹、苗地區為冬季 MOS 預報最高溫度的天氣系統預報誤差引入為啓始，順延中央山脈西側山麓走向，延伸至中央山脈的最高地勢之山區(阿里山、玉山)形成最大預報誤差區。延著這條誤差主軸通道，分別向全台灣其餘地區各方向形成預報誤差遞減的分布；其中以向南的遞減趨勢梯度較平緩，而向東部的中央山脈右側狹窄山麓區域，則呈現急遽滑落的分配。

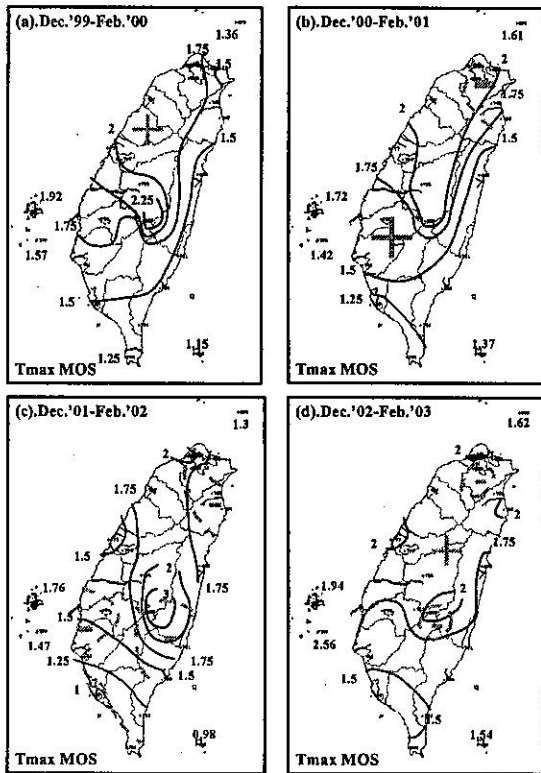


圖 8. 冬季最高溫度 MOS 預報之(a)2000、(b)2001、(c)2002 與(d)2003 年的 MAE(實線)及 bias(虛線)季平均全省分布。

Fig. 8. Geographical distribution for Winter seasonal Tmax MOS MAE(solid line) and bias(broken line), during (a)2000, (b)2001, (c)2002 and (d)2003 in Taiwan area.

PP 模式預報誤差的區域分布形勢，則較 MOS 所顯現的系統性分布模糊許多。然而本質上仍明顯的表現出以中央山脈為預報誤差的天然支配分布之地界。就整體上區隔成東、西兩側的態勢，且形成各別的區域分配特徵。隨著每一年的變化，恆春、花東、北部陽明山區，大致上均為各個區域出現極值的代表地區，然而中央山脈最高地勢區域(阿里山、玉山一帶)的預報誤差相較於 MOS 的極值區域，反而顯得緩和得多。相形對應之下，北部山區、花東及恆春等區域，為 MOS 較 PP 模式預報改進最大的區域。

預報偏差的區域性分析方面，MOS 模式的結果呈現大部分台灣地區的逐年分布均為正的

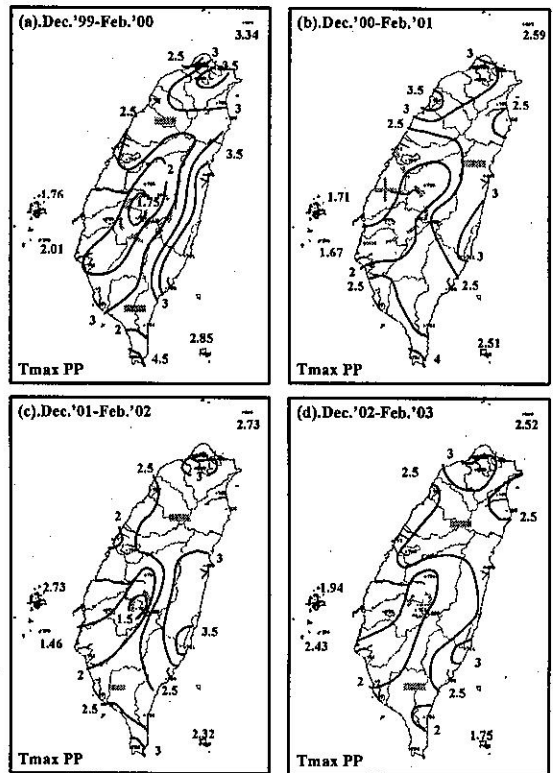


圖 9. 冬季最高溫度 PP 預報之(a)2000、(b)2001、(c)2002 與(d)2003 年的 MAE(實線)及 bias(虛線)季平均全省分布。

Fig. 9. Geographical distribution for Winter seasonal Tmax PP MAE(solid line) and bias(broken line), during (a)2000, (b)2001, (c)2002 and (d)2003 in Taiwan area.

呈負值區；而 PP 模式的結果顯示，逐年大部分預報偏差狀態，僅極少部分區域(北部山區)略區域為負值區間，而正值區域，僅不規則的出現於 2000 年與 2001 年期間，於在東吉島、阿里山或西部嘉義一帶。

(二)最低溫度

圖 10(a)至(d)及圖 11(a)至(d)各別為最低溫度的 MOS 模式與 PP 模式自 2000 年至 2003 年的區域季平預報誤差與偏差之全台分布形勢。圖中所採用之圖示與標誌，皆與上節最高溫度的圖 8 及圖 9 所使用的一致。

圖 10(a)至(d)所展現為 MOS 之平均 MAE 及 bias 逐年區域分布，中央山脈的地形效應顯現在每個案例上；2000 年至 2002 年 MAE 的分

布，以中央山脈為分布的地界，延伸為南、北走向貫穿之形勢，形成東、西側的分布。主要誤差落在西側山麓，多以嘉南一帶或延伸至中央山脈最高地勢區域。而最嚴重的誤差程度約達到 1.5°C 附近。嘉南地區列於重要預報誤差區域，起因於該區域冬季易於形成嚴重的夜間晴空輻射效應，導致區域性的溫度劇降；以目前數值模式的技術而言，尚無法有效的模擬此一效應所導致嚴重降溫的現象。而對於中央山脈較高地勢處的預報誤差，其主要成因應該是預報方程描述的解釋程度較差所造成。圖 10(d)為 2003 年的案例，顯現出和前 3 年的分布形式，有很大的差異；主要誤差區域座落於東北部至西南區域走向，所涵蓋大於 1.5°C 誤差區

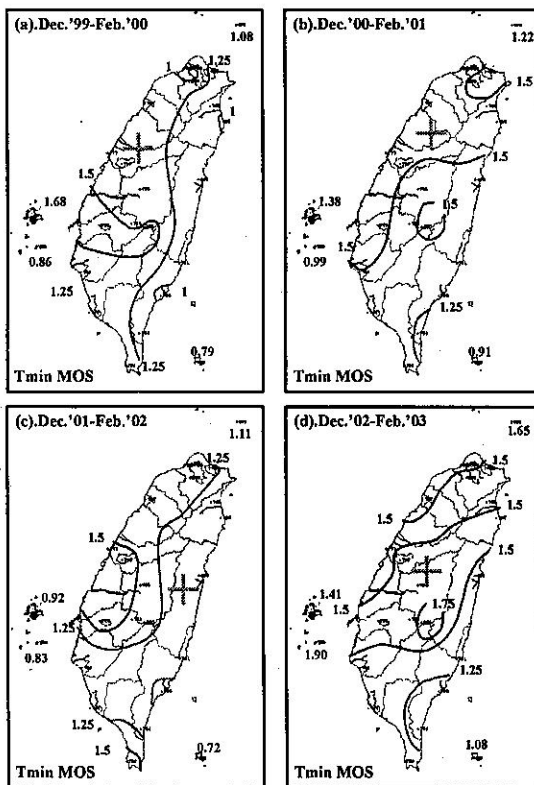


圖 10. 冬季最低溫度 MOS 預報之(a)2000、(b)2001、(c)2002 與(d)2003 年的 MAE(實線)及 bias(虛線)季平均全省分布。

Fig. 10. Geographical distribution for Winter seasonal T_{min} MOS MAE(solid line) and bias(broken line), during (a)2000, (b)2001, (c)2002 and (d)2003 in Taiwan area.

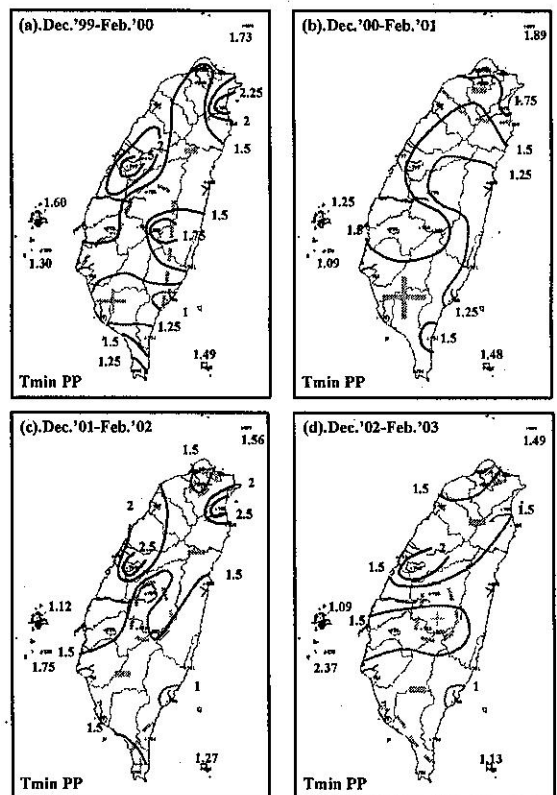


圖 11. 冬季最低溫度 PP 預報之(a)2000、(b)2001、(c)2002 與(d)2003 年的 MAE(實線)及 bias(虛線)季平均全省分布。

Fig. 11. Geographical distribution for Winter seasonal T_{min} PP MAE(solid line) and bias(broken line), during (a)2000, (b)2001, (c)2002 and (d)2003 in Taiwan area.

域亦較 2000 年至 2002 年的各個案例所涵蓋的區域遼闊許多；且最大誤差值約達到 1.75°C ，座落於阿里山區及東吉島兩處。整體而論，2003 年的預報誤差程度，是此 4 年中預報誤差最嚴重的個案，且分布亦不同於前 3 年。

PP 模式的逐年區域預報誤差分布狀態，詳見於圖 11(a)至(d)。每年都有各自的分布形勢特徵，但就整體結構的共通性而論，仍是以中央山脈為其重要之天然分界主軸。同時圖中亦突顯出零散的局部區域性分布，其中尤以 2000 年的案例最為突顯。逐年各個零散的區域重心大致有台中、宜蘭與中央山脈最高地勢區域(玉山、阿里山)等。2000 年及 2002 年的個案中各個局地的平均預報誤差程度都很大，約在 $2.25\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 的範圍。而 2001 及 2003 年的各個局地最大預報誤差程度，則相較於 2000 年及 2002 年的情形為輕；然而由圖 6(a)及圖 7(a)中顯示出，此 2 年的 PP 預報誤差程度和 MOS 案例的誤差程度相當，其中突顯出在東部地區及部分的中、西部地區，顯得 PP 模式的預報比 MOS 的更精準些。綜觀而論，最低溫度的案例與最高溫度的情形截然不同，此處 MOS 於某些年份的預報準確性並不見得如理論上，較 PP 模式的預報如預期中的優越，不同區域甚或顯得預報成效迥異。當然，此亦可能與所建立之預報方程中的主要預報因子的穩定程度有極重要的相關。

就最低溫度的 bias 的整體區域分布情形而論，MOS 模式 4 年逐個冬季的平均案例，均顯出正偏差(預報為暖偏差)的效應；PP 模式部分，除 2001 年僅北部地區為負偏差，大部分地區都是正偏差，而其餘各年份大部分區域均呈現負偏差，僅極小的局地區域略有正偏差的出現。

五、測站逐年預報誤差評比

本節針對特定測站進行最高/低溫度的 MOS 和 PP 模式逐日各段預報平均的預報誤差進行分析比較。以下茲就最高/低溫度案例各選取 2 組最具代表性的測站，進行逐日平均預報誤差分布探討。

(一)最高溫度

由圖 8(a)至 8(d)及 9(a)至 9(d)中，均顯示出台灣北部及南部的 MOS 平均預報準確度相較於 PP 模式的預報準確度比率，較其他區域的改進率高出許多。因此，最高溫度部分選取台北與恆春(測站編號 46692 與 46759)兩所觀測站，各別為南、北地區之代表，進行各年逐日預報

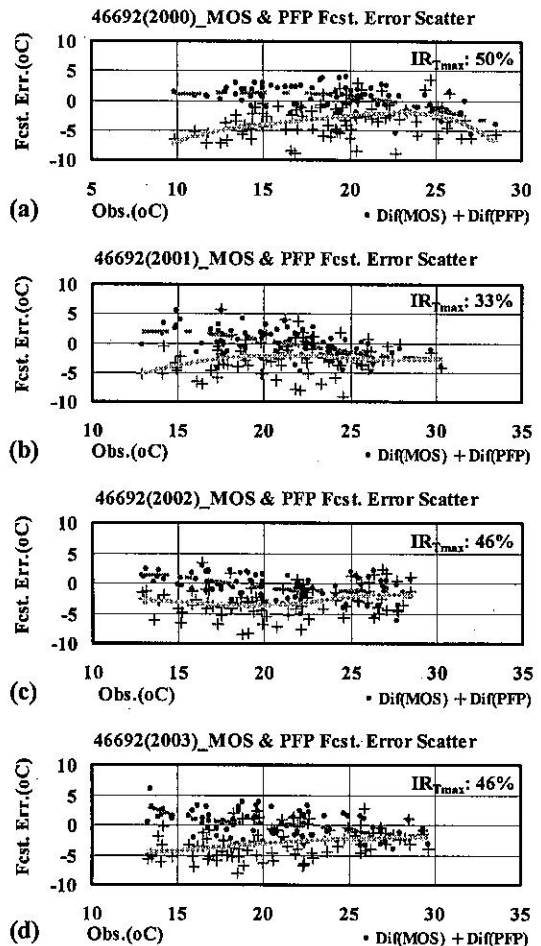


圖 12. 台北測站(46692)(a)2000、(b)2001、(c)2002 及(d)2003 年冬季最高溫度逐日 MOS(圓點)與 PP(十字)模式預報誤差對應觀測值的散布情形；圖中灰斷線與灰實線各別代表 MOS 及 PP 預報差趨勢線。

Fig. 12. Scatter distribution for Winter MOS (solid circle) and PP (cross) daily Tmax forecast errors of station 46692, during (a)2000, (b)2001, (c)2002 and (d)2003. Broken gray line and solid gray line are represented the distributed tendency of MOS and PP forecast error, respectively.

平均的誤差分布進行分析。

圖 12(a)至(d)與圖 13(a)至(d)，分別代表了台北、恆春測站由 2000 年至 2003 年的冬季逐日的平均預報(即三段預報的平均)誤差值，對應於實際對應的測站觀測值的散布狀況。茲先就台北測站的分布探究，由圖 12 的各個逐年分布圖上的 IR 值顯示，台北測站 MOS 模式預報的

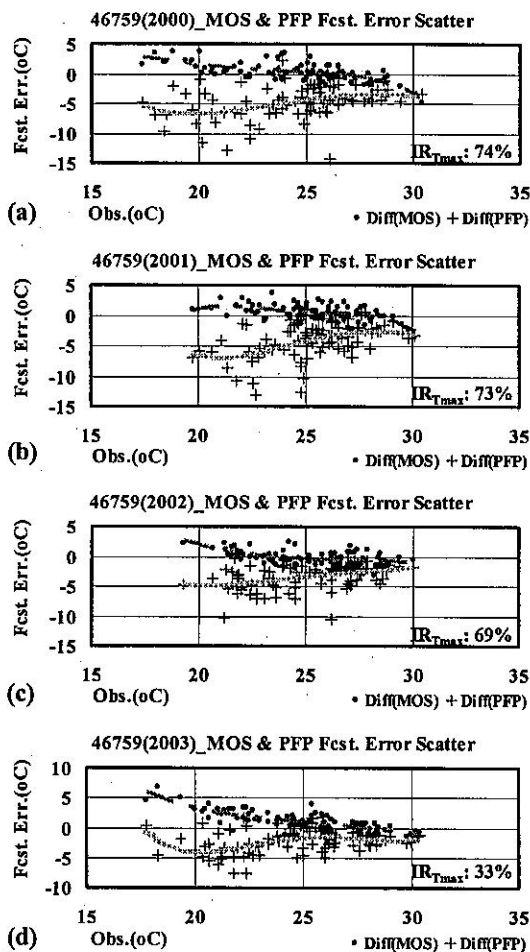


圖 13. 恆春測站(46759)(a)2000、(b)2001、(c)2002 及(d)2003 年冬季最高溫度逐日 MOS(圓點)與 PP(十字)模式預報誤差對應觀測值的散布情形；圖中灰斷線與灰實線各別代表 MOS 及 PP 預報差趨勢線。

Fig. 13. Scatter distribution for Winter MOS (solid circle) and PP (cross) daily Tmax forecast errors of station 46759, during (a)2000, (b)2001, (c)2002 and (d)2003. Broken gray line and solid gray line are represented the distributed tendency of MOS and PP forecast error, respectively.

誤差(MAE)相較於 PP 模式的改進比率，大約接近 50%，其中僅以 2001 年比值為最低，僅達到 33%。

由各個預報誤差散布狀況與各別趨勢線的走向，顯示 PP 模式預報誤差值多為負值，且誤差值分布的範圍較寬；而 MOS 的預報誤差分布，則較集中且落於零誤差值附近。MOS 模式對於在極端觀測值發生區間的預報表現，都比相對應的 PP 模式為準確。即若處在一般的正常觀測區間，MOS 模式的預報誤差分散範圍亦較 PP 模式的為窄。基本上，PP 模式的誤差主要源於嚴重的數值模式冷偏差基礎(cold bias)上，加上強烈的模式預報振盪，遠超過測站觀測隨時間變化之振盪程度，造成 PP 模式的嚴重預報誤差。而 MOS 的情形則截然相反，存在著極輕微的暖偏差與約 0.9 倍的相對觀測的預報振盪變化度。大致上誤差源於 MOS 模式預報的振盪變化度不足，也反應出模式建立時之解釋度(R²)不足所表現的結果。

圖 13(a)~(d)為恆春測站(46759)的最高溫度逐年冬季預報平均誤差散布情形。由圖中的 IR 改進比率顯示，逐年為 74%、73%、69%及 33%。而由圖 8 及圖 9 觀察 MAE 值的分配顯見，MOS 有逐年增加的趨勢，然 PP 則顯出逐年下降的變遷；因此反應出 IR 值降低的現象。至於相對應於觀測標準偏差的預報振盪度比率，MOS 的平均約為 0.82 倍，而 PP 的相對比率高達 1.7 倍；在預報偏差部分，MOS 和 PP 各別平均為 0.33°C 與 -3.53°C。明顯地 PP 模式基於嚴重的偏差狀態及極度不穩定的振盪分布，而導致 MAE 值相對於 MOS 的值，高出約達到 3 倍多。當然 2003 年的差異狀況調近了許多，致使改進率調降幅度變大。上述的各式數據實際的分布情形，皆反應在圖 13 的各個逐年相對應於觀測軸的預報誤差散落分布上。圖中更詳細的呈現出，在溫度較高的觀測值範圍區間部分，兩組模式的預報誤差較為相近，且誤差範圍都較小，略偏負值；而在觀測值於溫度較低的範圍區域時，兩組模式的預報誤差值均變大，MOS 模式越加偏向正誤差(即預報過暖)，反之 PP 模式的值卻更加的負(即預報嚴重的過冷)。同時由散布圖中

顯示出，相對應於 MOS 模式，PP 模式的誤差分布範圍是較為分散的。

(二)最低溫度

相同地，在最低溫度的案例中，經由圖 10(a)至 10(d)及 11(a)至 11(d)中 MAE 的分布對比，顯示在逐年的變化當中，花東地區很穩定的顯

示出 PP 模式預報準確度較 MOS 模式為佳；相對於鄰近之宜蘭地區，卻是穩定的呈現 MOS 的預報準確度較 PP 模式的為高。因此，在最低溫度的案例，分別選取宜蘭(46708)測站與花蓮(46699)測站進行預報誤差散布分析，來探勘 MOS 及 PP 兩組模式在此二區域所展現之各別特性。

圖 14(a)至(d)與 15(a)至(d)，分別代表宜蘭及花蓮測站逐年冬季 MOS 模式及 PP 模式逐日預報平均誤差的分布情形。所使用的圖示與符號與上一節最高溫度案例是一致的。圖 14 代表宜蘭觀測站各年案例的 IR 值各別為 57%、16%、57%及 29%，而 MOS 模式與 PP 模式的平均 MAE 值，各別約略為 1.27°C 與 2.20°C，差了將近 2 倍；在 bias 部分則各自為 0.61°C 及 -2.05°C，相對應的落差就到達 3 倍多。至於相對應於觀測的預報標準變異數比值，MOS 模式的總平均值為 0.98，PP 模式為 1.10，兩組的比值十分相近，雖 PP 模式的振盪程度比觀測值大了 10%。基本上 MOS 和 PP 模式的預報誤差的差異來源，主要是由於 bias 的落差所產生，造成 IR 值的大幅度的改進。圖 14 中即顯出此二組的逐年趨勢線走向，近乎彼此平行；而各模式預報誤差散布程度，亦十分相近。整體的分配，大致以 15°C 為界線，高於此點的分布顯示，MOS 模式預報較 PP 模式預報準確；在小於 15°C 至 10°C 之間的狀況下，MOS 和 PP 模式預報誤差的程度較相近，但 MOS 部分呈現正的誤差值，而 PP 模式則為負值，反應出暖/冷偏差的實際分散表現。當小於 10°C 或在其附近時，則顯示出 PP 模式的預報較 MOS 模式的預報準確些。然而在此 4 年的案例中，小於 10°C 的個案佔的比率是相當少的。

圖 15 所代表的是花蓮測站的案例，圖中的逐年 IR 比值為 -15%、-14%、-4%及 -23%，顯見該測站 PP 模式的預報準確度比 MOS 的優越。參考 MOS 和 PP 模式的平均 MAE 值，約各別為 1.25°C 及 1.10°C；雖然誤差值的量很接近，但 PP 模式的預報確實比 MOS 模式的更精準些。對於 bias 的分析，MOS 模式為正偏差，達到 0.80°C，而 PP 模式則為負偏差，數值為

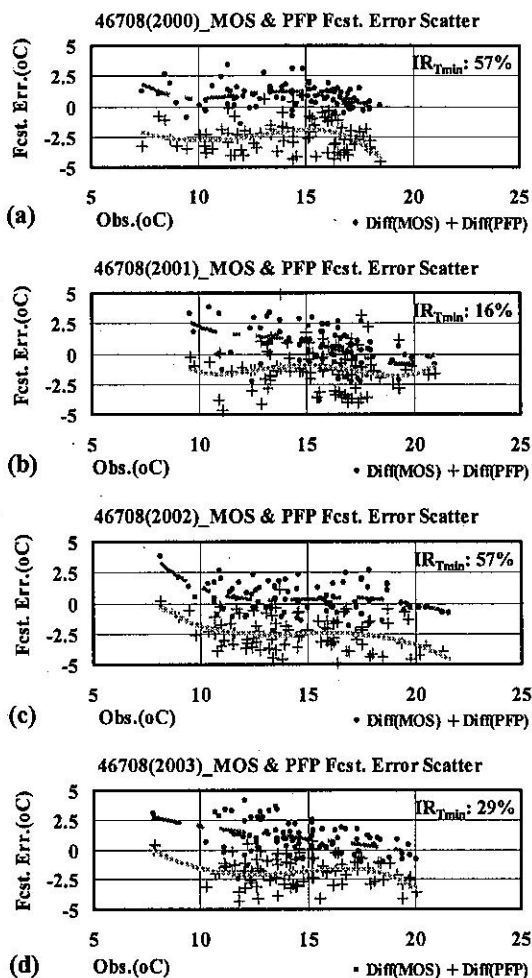


圖 14. 宜蘭測站(46708)(a)2000、(b)2001、(c)2002 及(d)2003 年冬季最高溫度逐日 MOS(圓點)與 PP(十字)模式預報誤差對應觀測值的散布情形；圖中灰斷線與灰實線各別代表 MOS 及 PP 預報差趨勢線。

Fig. 14. Scatter distribution for Winter MOS (solid circle) and PP (cross) daily Tmax forecast errors of station 46708, during (a)2000, (b)2001, (c)2002 and (d)2003. Broken gray line and solid gray line are represented the distributed tendency of MOS and PP forecast error, respectively.

-0.18°C，此亦較 MOS 模式平均狀態更趨近於無偏差狀態。至於相對應於觀測的模式預報變異數比值，MOS 與 PP 模式的表現分別是 0.96 與 1.01，兩者的預報振盪程度幾乎是一樣。綜觀花蓮測站的 MOS 與 PP 模式預報成果是相當的，基於 PP 模式的平均 bias 狀況比 MOS 的更

優良些，因而形成 PP 模式的預報較 MOS 模式為優，和原先模式定義的理論所期待的落差出入很大。圖中亦呈現出上述的各類現象，若以 17.5°C 為劃分區隔點，大於此一界線的分布形勢，顯出 MOS 與 PP 模式誤差落點幾乎一致，而小於此一界線的分布形勢，則約略顯出 MOS 的偏差與離散程度漸超過 PP 模式的情勢。

六、討論與展望

經由前述各章節採用各個不同的角度分析，對 CWB LAFS MOS 預報指引：逐日的 Tmax 及 Tmin 預報，進行連續 4 年的冬季預報分析與評比。證實了動力數值模式的預報產品，經由 MOS 統計預報的運作與調整後，顯著的提升了數值模式對地方天氣預報掌控的參考價值。整體而論，在 4 年冬季的預報校驗，其間 LAFS 數值模式受到其客觀分析的資料量與分析方法之改進，及全球數值模式所提供的側邊界預報資料品質改變等的影響，間接的改變了 LAFS 預報產品的一貫性質。所以經由統計預報嚴格地審視，LAFS 區域模式應該被視為“非完全凍結之動力數值模式”，因為形成統計模式建立與預報作業期間所應用的數值模式預報產品的性質是不連續的。因此，預報分析 4 年間存在的 2 年振盪現象，很難以去判斷是實際存在自然的變化現象或動力模式維護所造成的非自然性誤差分布趨勢。同樣的道理，是否因為 LAFS 預報有所改進，造成部分預報結果顯示出部分 PP 模式的預報較 MOS 模式預報準確些或預報誤差拉近等原因，尚有待進一步釐清。

此外對於像台灣地區受嚴峻山脈地形效應影響的情形，無論是動力數值模式或者以傳統各式統計模式而論，均難以擺脫這份自然地勢的桎梏。由以上分析的結果顯示，MOS 模式也僅能降低因地形所造成的預報誤差強度，而這些誤差基本上主要是承續自數值模式所產生的結果，及部分是因為統計預報之預報方程描述欠詳盡所導致。當然，最低溫度的夜間晴空輻射效應，則主要歸因於數值模式預報能力的欠缺，無法有效的模擬。

然而在面對實際預報作業時，準確的預知

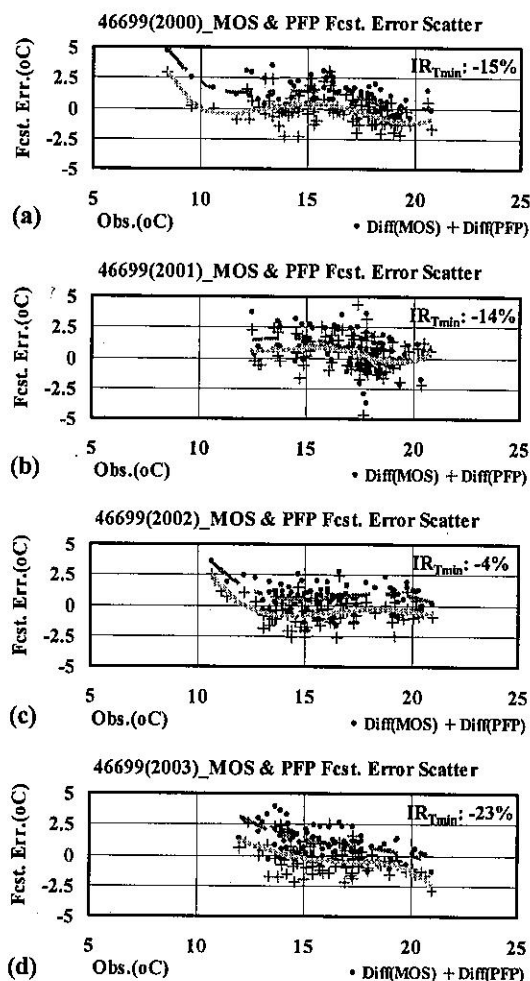


圖 15. 花蓮測站(46699)(a)2000、(b)2001、(c)2002 及(d)2003 年冬季最高溫度逐日 MOS(圓點)與 PP(十字)模式預報誤差對應觀測值的散布情形；圖中灰斷線與灰實線各別代表 MOS 及 PP 預報差趨勢線。

Fig. 15. Scatter distribution for Winter MOS (solid circle) and PP (cross) daily Tmax forecast errors of station 46699, during (a)2000, (b)2001, (c)2002 and (d)2003. Broken gray line and solid gray line are represented the distributed tendency of MOS and PP forecast error, respectively.

未來是必要的需求趨勢；尤其在面臨特殊天候預報抉擇時，如何有效的整合眾家各式模式之預報，且穩定預報之可信度與客觀性，是每一種預報模式被評價的標準。經長期觀察中央氣象局的預報人員作業的需求，其一是對於劇烈天氣系統變化的掌控，其二為滿足民眾對預報服務品質需求的提升，因而進入預報準確度極限的挑戰－尤其是定量降水部分。故此，本文中所敘及的統計預報基礎開發之技術與項目，尚不足論及真正深入舒解預報作業的壓力，需更進一步涉足於特殊天氣預報指引的探討與研發，才足以突顯出統計預報被需求的價值。

由於中央氣象局的預報作業所使用之數值動力模式自建置起，即處於不間斷地更新、改進與維護狀態；及至數值模式已臻完成或技術成熟時，遂再次引入或開發另一組新的動力數值模式，邁向另一階段動力數值模式的技術提升。本文中所應用的 CWB LAFS 數值模式，即是處於此種運作狀態。雖然 LAFS 數值模式並非理想的統計預報模式開發對象，但是對於中央氣象局統計預報作業，自由混成的 PP 模式起及至於改進 MOS 模式等技術的培植與純熟，皆基礎於 LAFS 數值模式的穩定作業支持。

因此，就嚴格定義而論，中央氣象局作業用的動力數值模式始終無法定位於“模式凍結”之狀態，此一論點和美國的統計預報作業的需求是截然不同的。基於本局數值模式所存在之作業範疇狀況，統計預報作業的技術開發，未來模式研發應朝向 United Kingdom 氣象統計預報作業的 Updatable MOS Scheme (UMOS) 系列的技術開發。此一統計模式技術無需受限制於動力數值模式必須處於“模式凍結”狀態，且在短期(1~3 個月，或 11 個月)內即可漸進式地調整統計預報方程，跨越至另一模式狀態；然而，目前此一技術的研發層面尚止於溫度變化與降水機率等基礎預報天氣因素；對於劇烈天候的預報技術，至今 UMOS(U.K.) 尚未見更進一步的模式理論的確立與研發成果發表見諸於世；但由實際運作理念上，卻是極其符合中央氣象局的作業生態環境。

七、參考文獻

- Neter, J., W. Wasserman, and M. H. Kutner, 1983: Applied linear regression models. Richard D., Irwin INC., Homewood, Illinois, 547pp.
- 陳重功、羅存文、王惠民與賀介圭，2000：中央氣象局統計預報系統的發展。氣象學報，41，p18-33。
- 陳重功、羅存文與呂國臣，1998：冬季最高/低溫度統計預報測試分析。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，台灣，台北，255-260。
- 陳重功、羅存文、施佩君與賀介圭，2005：統計預報模式相位調整預報評比。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，台灣，台北，157-162。
- 羅存文與陳重功，2001：87 年度最高/低溫度統計預報成果分析。氣象學報，43，p12-28。
- 羅存文與陳重功，2003：2001 年最高/低溫度統計預報結果分析。氣象學報，45，p33-52。

CWB LAFS MOS Forecast Assessment of Winter Maximum/Minimum Temperatures, during 2000 ~ 2003

Jonq – Gong Chern and Twen – Wen Lo
Research and Development Center
Central Weather Bureau

Abstract

The forecast performances and inter-annual forecast tendencies for both CWB LAFS (Limited Area Forecast System) MOS (Model Output Statistics) and LAFS PP (Perfect prog.) forecast guidance to winter maximum/minimum temperatures, during 2000 to 2003, are analyzed and assessed in this study. Basically, the general forecast performance of LAFS MOS is superior then that of LAFS PP. However in the case of minimum temperatures, the forecast accuracy of LAFS PP is quite competitive to the MOS forecast accuracy, although the PP forecast error is slightly larger than that of MOS. In the seasonal forecast condition, MOS forecast shows warm bias, and in contrast to MOS forecast, PP forecast shows cold bias. In general conclusion, MOS forecasts provide better forecast tendency and accuracy than PP forecast for this 4 years.

As we know that Taiwan area is geographically distributed by the steep Central Mountain Range, which shows as the dominated factor of the MOS and PP forecast error distributions. For both MOS and PP schemes, the north-south Central Mountain Range functions as the critical dividing line, and the tendency of error reduces toward eastern and western costal regions in cases of maximum and minimum temperatures. In particular for the PP minimum temperature case, local forecast error shows more intense than above described error pattern.

In this study, also the station daily forecast errors are examined with the scattering form. The MOS cases of forecast errors show more concentrated and more close to un-bias situation than the PP cases. However for the minimum temperature case of station 46699, the PP forecast shows slightly superior to the MOS forecast. In the range of higher station temperatures, MOS has better forecast accuracy than PP for both maximum and minimum temperatures. In the range of lower station temperatures for the minimum temperature, MOS shows poorer forecast accuracy than PP, which should be attributed to the limitation of NWP and statistical forecast abilities while simulating the effect of night time long range radiation cooling.

Key words: statistical forecast, MOS