

2010年CWB NFS MOS預報指引之預報評比

羅存文

陳重功

中央氣象局 科技中心

摘 要

NFS(Non-hydrostatic Forecast System)區域動力數值模式是一個發展成熟的預報作業模式，動力統計預報作業亦借重該模式開發出支援預報作業用的測站預報要素預報指引產品。由於運用有限的資源，預報指引陸續開發出來，而 MOS(Model Output Statistic)與 PP(Perfect-Prog.)模式均同時建立在同一個預報指引上，以為作業時評斷數值模式的優劣及透過預報技術得分，作為 MOS 模式更新的必要決策機制。而 PoP(Probability of Precipitation)、TMN(Minimum Temperature)及 TMX(Maximum Temperature)正是用以達成上述目標的指標性預報指引。

本文中即針對此三項指引於 2010 年的表現進行了預報準確度的探討，相較於模式開發時的建模特性，以確定各個項目預報的預報穩定性。當然，由於此三個預報指引項目已運作有 5 年，且由預報誤差程度倍增及技術得分轉為負值或預報優勢趨弱，判定 NFS MOS PoP、TMN 及 TMX 等期間的模式，必須進行 MOS 模式更新的動作。而 NFS MOS WDS(Wind Speed)的預報，由於建置在 3 小時間隔之正點預報形式，MOS 模式開發時未同時建立 PP 模式進行較為客觀的預報對比，但其預報的準確度隨預報時段的增長，呈現穩定的狀態且預報偏差亦幾乎接近於 un-bias 狀態。當然，主要原因亦是建模資料止於 2007 年，且用了 3 年的資料量處理。

透過本文的評比探究，決定了 MOS 模式已到達更新作業的狀況，同時亦導入風速預報指引的評論結果，做為日後風速預報指引的優劣基礎參考界定。

關鍵詞：MOS、PP、PoP、TMN、TMX、WDS。

一、前言

為配合動力數值預報的應用與預報作業的現代化，動力統計預報模式的開發及預報作業系統的建置與運作，已經歷兩次氣象服務預報現代化的經建計劃。對於中央氣象局的區域動力數值模式之統計預報運用，啟始於 LAFS(Limited Areal Forecast System)模式透過 ECMWF 的客觀分析場資料，建立 PP(Perfect-Prog.)統計預報模式，預報作業時則採以 LAFS 的預報產品代入。續之建立起 LAFS MOS(Model Output Statistic)模式，功能上藉由調降數值模式的線性系統性預報報誤差，而提升了預報的準確度(Dallavalle，

1988)。LAFS 模式為一靜力模式，繼之而起的 NFS(Non-hydrostatic Forecast System)模式則是以非靜力平衡為基礎的動力數值區域預報模式；模式本身的預報能力已有大幅度的提升，加以 NFS MOS 的應用，更加增強了預報的準確性。當然隨著統計模式技術的提升，在預報指引及提供預報作業的測站數量，均已大幅度增加以符合預報作業參考的需求。

鑑於 MOS 模式預報無法更有效的調整天氣系統移動速度及強度的現象，技術上亦增加了 MMS(Multi-tau MoS)模式架構，達到相對調整 MOS 模式的問題；同時相較於 MOS 模式，MMS 模式亦易於建立起較高的變異解釋度(R^2)的預報控制方程。而主要的預報支援指引項目計有日、夜間最高、低溫度(TM_X、TM_N)

及降水機率(PoP)，以及每 3 小時的正點風速(WDS)、風向(WDD)等。以下就目前線上預報作業的 NFS MOS TMX、TMN、PoP 及 WDS 於 2010 年間的預報進行校驗評比分析。

二、模式結構與資料

(一)、模式架構

本文中分析所採用預報指引資料，係主要為 NFS MOS(即 MMS)的預報產品(方法見於陳等，2005)，同時亦參考 PP 模式的相對預報以作為評定 MOS 的優劣狀態。NFS 模式的預報資料採用 5 公里 x5 公里的預報格式產品，再行內插至被預報測站位置上。主要的預報變數產品，取自 500 毫巴以下作為預報因子的選取範圍。整體的預報系統架構在陳重功等(2000)文件中有詳細記載。各預報模式採逐月建立方式，但資料截取範圍起自前個月的 16 日，至後一個月的 15 日，當年該月共取約 60 筆資料樣品；目的在於穩定當月可能因季節性天氣系統變化，所形成的預報不穩定。

預報方程的建立，依循 Forward 選取相關迴歸因子的應用方式(Neter *et al.* 1983);並在預報方程中加入限制預報因子間共線性關係的調降管理，本技術研究中訂定因子間相互相關係數值不得超過 0.4。

(二)、研究資料

本研究總計使用 25 個中央氣象局的人工氣象觀測站資料。資料取用範圍，其中日、夜間的最高、低溫度與降水機率的模式建立之資料期間，起自 2003 年 11 月 16 日至 2005 年 3 月 15 日；而每 3 小時的正點風速的模式建立資料範圍，則取自 2004 年 1 月 16 日至 2007 年 3 月 15 日。日間的預報時段為 12Z24h、00Z36h、12Z48h、00Z60h 及 12Z72h，而夜間則為 00Z24h、12Z36h、00Z48h、12Z60h 及 00Z72h，共 5 個半日超前預報。風速部份，00Z 及 12Z 均起自 12h 預報時段，3 小時增加一個時段至 72h 預報時段，各初始點均預報了 21 組預報值。

本文校驗的預報指引資料，取自 2009 年 12 月 1 日至 2011 年 2 月 28 日。分析過程中共分為冬、春、梅雨、夏與秋等 5 季，各季包含月份為 2009 年 12 月、2010 年 1、2 月為冬季(2009 冬季)，2010 年 3、4 月為春季(2010 春季)，2010 年 5、6 月為梅雨季(2010 梅雨季)，2010 年 7、8、9 月為秋季(2010 秋季)，本研究再加入 2010 年 12 月、2011 年 1、2 月為冬季(2010 冬季)，共用了 6 個接續的季節進行預報結果分析。以下茲就各個預報指引進行評比探討。

三、模式特徵分析

MOS 模式預報能力的優劣，在於建立預報方程之 R^2 值的高低，當採用 MMS 時相較於 MOS 會產生更高的 R^2 值，對被預報元有更好的變異解釋能力。

NFS MMS PoP、TMX 及 TMN 的所有預報模式均建立於 2004 年至 2005 年，2 年間。由於採用 MMS 方式，對 PoP 而言 25 個測站平均之日/夜模式 R^2 值的差異甚微，TMX 與 TMN 的情形亦相似。PoP 冬季約為 0.5，春季至夏季約處於 0.55，秋季最佳約為 0.65；各預報時段在 48h 前約均在 0.6，至 60h 時為 0.55，72h 約為 0.45。TMX/TMN 的情形是冬、春及秋季的平均 R^2 值在 0.8 上下，梅雨季及夏季各別約為 0.7 與 0.65；各預報時段則為 48h 前約為 0.8 上下，60h 時的 0.77/TMN 至 0.7/TMX 及 72h 時的 0.72/TMN 至 0.67/TMX。

風速的 R^2 值之分布，00Z 平均在各季及各預報時段均較 12Z 高約 0.05 以上。以 00Z 而言，冬季約為 0.38，春季為 0.34，梅雨季約處於 0.3，而夏、秋季最佳均為 0.42 上下。各預報時段分布上，48h 前約處於 0.4 上下，而 51h 至 72h 較快速下降，由 0.38 至 0.3。就變化的趨勢上，無論是季或預報時段的分配，各被預報變數均反應一致，出於 NFS 動力數值的實際預報應變能力。

四、各預報指引的預報評比分析

本節茲就 2010 年，NFS MOS 日/夜間的降水機率

/PoP、最高/低溫度(TM_X/TM_N)，及 3 小時正點風速/WDS 等預報指引的預報結果進行校驗。

(一)、PoP

本段主要以 Brier Score 來評比 PoP 的預報準確度。圖 1a 呈現各季全台灣 25 個測站的各個預報時段之季平均分布，其中日間部份以格子柱代表、夜間為空白柱，實黑線為日間建模時的狀態，虛黑線為夜間建模時的狀態。由圖中可見模式自建模後，上線至今已 5 年的時間，Brier Score 值已由建模時的 0.05 增加到 0.2，預報誤差提升了 4 倍。其中 2010 梅雨季的值最高(0.23)，而 2010 冬季節(0.16)最低。圖 1b 則為日/夜 25 個測站平均的各個時段(24h、36h、48h、60h 與 72h)的 Brier Score 變化。實黑線代表日間分數，虛黑線為夜間，而灰線則是代表建模時的變化，由圖中顯示出隨著預報時段的增長，預報能力均處於相同的預報準確度狀態。某種程度其實亦間接反應出對於 PoP 的預報，NFS 數值模式的預報趨勢掌握很穩定。

以下各個校驗對象(TM_N、TM_X、WDS)的圖 a 及圖 b 的各個代表標示均與圖 1 的一致，所以不再重複提示。

(二)、TM_N

圖 2a 呈現的是 TM_N 各季的預報偏差(Bias)情形，其中以 2010 春季的表現最差，約為 1.1°C 之暖偏差(warm bias)；夏季最佳近乎 0(un-bias)。2 個冬季均呈現 0.5°C 的微弱暖偏差。圖 2b 則為 5 個超前預報時段的日/夜間偏差分布，均顯出暖偏差的預報表現。日間偏差值由 0.75°C 逐漸降至 0.5°C，而夜間的表現較一致，並未反應出隨著預報時間增長有所改變，均呈現在 0.5°C 的弱暖偏差上。基本上日間的預報偏差較夜間高出 0.25°C 上下。

圖 3 主要討論預報準確度(MAE/Mean Absolute Error)的表現，圖 3a 為各季的預報誤差，其中和 Bias 的反應一致，春季最高約為 1.7°C，而夏季最佳約在 1°C 左右。日/夜間的差異表現以春季、梅雨季及夏季較為明顯，約達 0.2°C。與建模的基本模式建立誤差

相比，各季均約增加了 0.4°C(冬、夏季夜間)至 0.8°C(春季日間)。圖 3b 各個預報時段的平均表現，日/夜間及 2010 年的預報與建模時的差異，均與圖 3a 的一致。而整體的變化，隨著預報時間的加長，預報的平均絕對誤差約由 1.4°C/1.15°C(日/夜)至 1.5°C/1.45°C。

(三)、TM_X

圖 4a 呈現的是 TM_X 各季的預報偏差(Bias)分布，其中以 2010 春季的表現最差，約為 1.5°C/1°C(日/夜)的暖偏差(warm bias)；夏季最佳近乎 0(un-bias)。2 個冬季及秋季均呈現 1°C/0.5°C(日/夜)的微弱暖偏差；梅雨季的預報偏差表現，介於冬、春季之間。圖 4b 則為 5 個超前預報時段的日/夜間偏差分布，同樣地均顯示出暖偏差的預報表現。日間偏差值由 1.2°C 逐漸降至 0.7°C，而夜間的表現較一致，均呈現在 0.6°C 的弱暖偏差上。基本上日間的預報偏差較夜間高，由 0.6°C 漸降至 0.1°C。

圖 5a 為各季的預報誤差(MAE)，其中和 Bias 的反應一致，春季最高約為 2.35°C/1.6°C(日/夜)，而夏季最佳約在 1.45°C/1°C(日/夜)。日/夜間的差異表現十分明顯，其中以春季的差異最大，約達 0.7°C。與建模的基本模式建立誤差相比，各季均約增加了 0.2°C(夏季夜間)至 0.9°C(春季日間)。圖 5b 各個預報時段的平均表現，日/夜間及 2010 年的預報與建模時的差異，均與圖 4a 的一致。而整體的變化，隨著預報時間的加長，預報的平均絕對誤差約由 2.3°C/1.2°C(日/夜)至 2.4°C/1.45°C。

(四)、WDS

NFS MOS WDS 為每 3 小時間隔的正點預報指引，圖 6a 為各季 00Z 與 12Z 的 21 個預報時段的 25 個測站的預報指引的 Bias 平均的分布。其中格子柱/空白柱分別代表 00Z/12Z。由圖中顯見 2010 冬季預報呈現約-0.5m/s 的負偏差，相較於各季是較為嚴重的情形。而夏半年 3 個季(梅雨、夏、秋)及 2009 春季均約呈現出 un-bias 的情境，春季呈現微弱的負偏差(-0.2m/s(00Z)/-0.1m/s(12Z))。圖 6b 所表達的是各個 3

小時預報時段的所有測站，在各個季節的 averages 的偏差分布情形。其中實黑線代表 00Z 的變化，虛黑線則代表 12Z。偏差值約由 -0.2m/s(12h) 至 0m/s(72h)，其間存在著明顯的日、夜變化的影響，似乎 12Z 的變化趨勢應延後 12 小時，日、變化會更清晰的呈現。

圖 7a 為 00Z 與 12Z 在各季的全台灣測站的 MAE 分布，圖中的圖示格子柱代表 2010 年 00Z 的狀況，空白柱為 12Z，實黑線代表建模時的 00Z 分布狀態，虛黑線則為 12Z 的情境。由圖中可見 2010 冬季預報誤差最大，約達到 1.48m/s，而與建模期間的原來值差距也是各季中最大的，約各自達到 0.4m/s(00Z) 與 0.35m/s(12Z)。秋季的預報誤差程度僅較冬季好些，約略降低了 0.05m/s。而 2010 梅雨季的預報誤差是各季中最小的，約在 1.1m/s(00Z) 及 1.13m/s(12Z)，同時與建模時的 MAE 值幾乎一樣，其差異約僅有 0.02m/s(00Z) 及 0.01m/s(12Z)；至於 2009 冬季、2010 春及夏季的表現大致相近，約在 1.32m/s 上下，但與建模時的誤差相比，夏季就比其他 2 個季節差異少很多。圖 7b 顯示各別 00Z 與 12Z 的 3 小時預報誤差的變化情形。其中 2010 年的 00Z 以黑實線表示，12Z 則是以黑虛線呈現，灰實、虛線分別代表建模時的誤差情境。由圖中仍然明顯的呈現出每隔 24 小時的日變化情境存在，基本上 2010 年的變化約由 1.27m/s(12h) 延伸至 1.39m/s(72h)；相較於建模時的分布，預報誤差均約略增加了 0.15m/s 至 0.2m/s 上下。

五、結論

前一章節已針對各個 NFS MOS PoP、TMN、TMX 及 WDS 進行季與預報時段的 2010 年預報狀態及預報準確度的詳細評比分析。其中 PoP、TMN 及 TMX 等 3 個預報指引的統計預報模式，建立於 2004 至 2005 年間，由於 NFS 改版後僅 2 年而已，限於作業支援需求完成建模，並上線作業。與此同時亦建立 PP 模式，並一同進行逐日的預報作業，目的在於當作 MOS 預報的基準(benchmark)，透過預報技術得分 (SS/Skill Score = (MAE_{pp} - MAE_{mos}) / MAE_{pp}) 評鑑 MOS 模式的預

報現況。由表一及表二中顯示，PoP 的日間各季及各時段的技術得分幾乎均為負，即 PP 模式的預報比 MOS 的預報好；其餘在 TMN 與 TMX 日間的秋季及其 24h 預報上，亦是負的得分。大致上除了 TMX 夜間冬、春季及其各預報時段的技術得分有到達約 30%。其餘皆過小或未十分顯著。於此亦是意味著需調整或重建 MOS 模式。

表一、各變數之各季相對預報術得分(%)

時間	Day Time			Night Time		
	PoP	TMN	TMX	PoP	TMN	TMX
2009Winter	-5	16	8	0	8	28
2010Spring	-8	6	14	8	14	35
2010Mei-Yu	6	1	0	8	5	1
2010Summer	-5	11	7	-5	16	18
2010Autumn	-10	-4	-16	6	-1	1
2010Winter	-3	5	0	6	12	30

表二、各變數之各預報時段相對預報術得分(%)

時間	Day Time			Night Time		
	PoP	TMN	TMX	PoP	TMN	TMX
時段\變數						
24h	-4	-2	-7	8	11	19
36h	-3	6	2	4	12	27
48h	-6	10	6	2	8	22
60h	-2	7	5	0	8	22
72h	-4	9	10	7	7	19

NFS MOS WDS 預報結果部份，由於模式建立於 2005 年至 2007 年。相較於 PoP 等的建模期間，較近於預報校驗年(2010 年)，且建模資料亦較長，似乎模式預報的可信度亦更有信心些。其預報偏差 (圖 6a 及 b) 相比於預報誤差的比值亦小很多，應屬預報狀態穩定。

基本上，由上述各個預報指引的預報結果反應出，NFS 模式在 48h 預報以內是穩定的，超過 48h 至 72h 的預報誤差成長趨快。而對於白天與夜間的預報，或是 00Z 與 12Z 的預報上是有日變化差異的現象存在的。然而對於風向的預報部份，預報誤差多處於

70°至將近 90°，即預報的情形差了快一個象限。可能出至於台灣地形的複雜，模式模擬不足，以至於反應出風向不夠精確。突顯出此一技術尚未臻於成熟，因此預報結果未及於在此陳列。地形的影響形成台灣地區，預報模擬的最主要的困擾，而又不易去克服，當然亦為此留下可伸展的改進空間。

參考文獻

Dallavalle, J. Paul, 1988 : An evaluation of techniques used at the National Weather Service to produce

forecasts · *The 8th conference on NWP*, Baltimore. Amer. Meteor. Soc., 572-579。

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、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集編》，中央氣象局，台灣，台北，157-162 ·

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。

圖 1a. 各季 PoP 預報平均之 Brier Score 分布

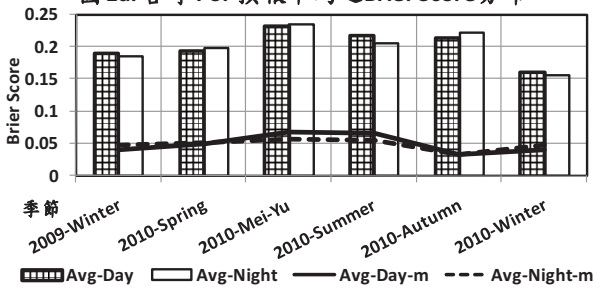


圖 2b. Tmin 各預報時段全年平均 Bias 分布

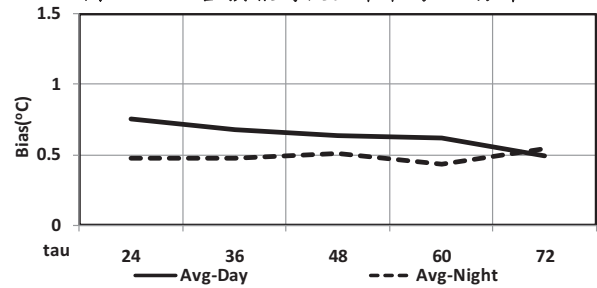


圖 1b. PoP 各預報時段全年平均 BrierS 分布

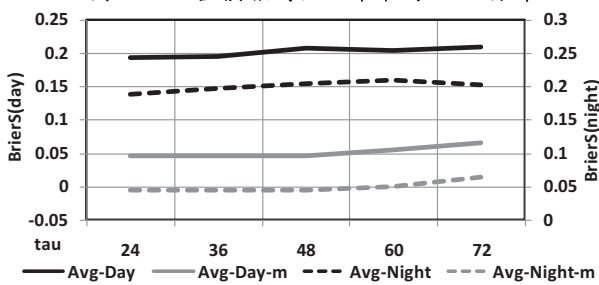


圖 3a. 各季 Tmin 預報平均之 MAE 分布

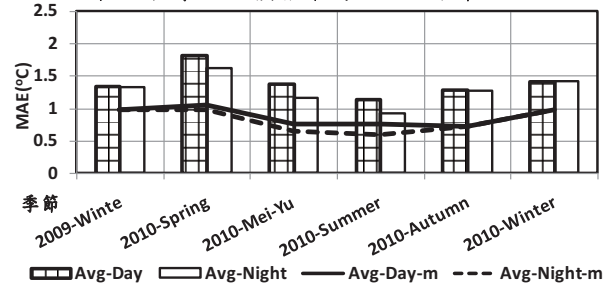


圖 2a. 各季 Tmin 預報平均之 Bias 分布

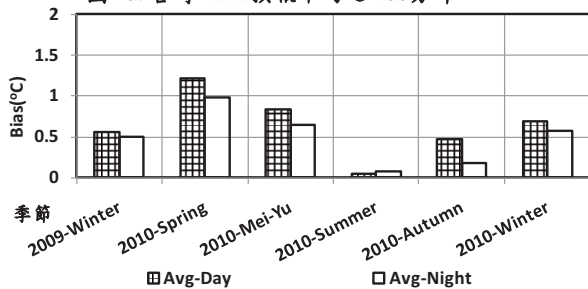
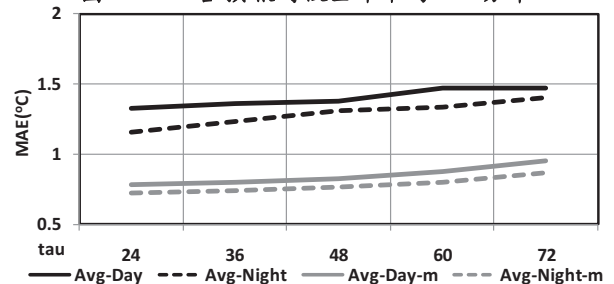


圖 3b. Tmin 各預報時段全年平均 MAE 分布



objective Maximum/Minimum temperature

