

DMOS應用於臺灣地區之溫度預報表現與分析

黃嘉美¹ 許乃寧¹ 陳雲蘭¹ 彭眾恩² 簡菴蓉²

中央氣象局預報中心¹
資拓科技²

摘要

本研究分析 DMOS (Dynamic MOS) 應用於臺灣地區的發展現況及近期溫度預報表現，並透過與氣象局統計預報產品 MOS/PP 的比較，以期了解 DMOS 之應用特性及其優缺點。分析的項目以測站點預報產品為主，經面化之高解析網格產品為輔。比較的基準面，在測站預報上以測站實際觀測為參考，而面化後之網格預報則以 GT 值 (Ground Truth) 為參考。首先透過 2013 年至 2014 年的冬季的溫度預報表現，展示 DMOS 在季節上的預報能力及其應用上的限制；接著在臺灣地形特性上，則分為冬季之迎風面與背風面，揭示東半部與西半部的 DMOS 預報特性。此外，臺灣地區四季分明在季節方面，則略加探討不同季節的應用成果，以初步展示實際作業的適用性與應用價值。

一、前言

近年來數值天氣預報 (Numerical Weather Prediction; NWP) 拜電腦科技快速發展之賜，使得解析度與準確度明顯提升，直接影響的是，依賴數值天氣預報的天氣預報亦有長足的改善與進步 (陳，2000)。然而，面對外界極需的鄉鎮尺度天氣預報實仍待發展出解晰至更小時空尺度的預報方法，本局於民國 99 年至 102 年所執行的「發展鄉鎮逐時天氣預報」(FIFOW) 計畫中，所建置的統計預報模式 (Statistic forecast model; SFM) 即是取用動力數值天氣預報模式的產出值經統計方法進行後處理，將其轉換至大眾所關心的地面天氣預報，例如特定地點的地表溫度或濕度等，進行所謂的「統計降尺度預報」，經由這樣的後處理調校，可進一步改善原本動力模式的預報能力以提升準確度。過去幾年於 FIFOW 計畫中 SFM 已發展數種統計後處理方式，第一種稱為「理想模式預測法」(Perfect-Prog; PP)，乃以實測資料或動力模式分析場建立大氣與地面天氣關係，再將動力模式所預測的大氣狀況套入該關係式，求得未來幾天的地面天氣預報值，也就是完全相信動力模式的預測，不考慮其可能誤差。另一種是「模式輸出統計法」(Model Output Statistic; MOS)，其詮釋過程參照了模式預報能力的特性，被認為可改進 PP 的缺點，做法是分別就動力模式每個預報時距(τ)的產出和所對應的地面天氣建立統計關係，如此將能處理動力模式在各預報時距的系統性誤差 (陳等，2012)。

由於使用 MOS 須建置的方程式較多而增加維運資源與繁複度，甚且，要發揮 MOS 的統計設計長處，必須要有特性穩定的動力模式以及該模式已累積足夠長時間的資料，然而，隨著動力模式的快速更新而使模式的特性改變，此時要以新資料重建

MOS 統計方程時於實務應用上便會受限於資料長度而窒礙難行。相較於 MOS，動態模式輸出統計法 (Dynamic Model Output Statistics; DMOS) 採用近數月份的動力模式資料進行迴歸分析，可減少受動力模式日新月異的更新影響，同時也大幅減少統計迴歸時的資料處理量，雖然取用較短的統計樣本長度可能影響預報成效，使得對於缺失值數量的敏感度較高，且對於極端值的預報能力可能較低，但實有機會得到較符合目前氣候狀態的統計迴歸關係式，而提升實務上的預報度與適用性。

本局於 FIFOW 計畫中，自民國 101 年隨即開始嘗試發展 DMOS 之動態統計預報方法，期使透過 DMOS 建置一套耗費資源較少且準確度提高的統計預報雛型，以提供預報員較能反映近期氣候的統計預報指引，進而輔助執行鄉鎮天氣預報的工作。本研究的重點即是將 DMOS 此統計方法應用於臺灣地區的溫度預報，考慮使用近期 90 天的統計迴歸關係式，校驗過去一個冬天的溫度預報表現，以進行 DMOS 預報能力的初步分析與探討。

二、資料及方法

本文所研究的 DMOS 統計法，乃建基於 MOS 預報模型的統計迴歸原理而發展，Dynamic 是指採用頻繁建模的方式以建模前 90 天的數值模式資料，針對氣溫、露點溫度、最高溫及最低溫 (即 T、Td、Tx 與 Tn) 之溫度類變數，每日動態並持續地更新 MOS 預報模型，故名稱之。本文建模使用的大氣變數層場包含 925 百帕、850 百帕、700 百帕、500 百帕、200 百帕的高度、溫度、風場及溼度 (H、T、U、V、Q) 等共 25 種。

目前有套用於 DMOS 統計法的上線預報作業模式包含歐洲高解析 (ECA1) 模式及本局 NFS 及 WRF

區域模式共 3 種。其中歐洲高解析模式的空間解析度約為 12.5 公里，NFS 及 WRF 使用的是 15 公里版本。本文進行迴歸分析時採用的預報因子選取方法為 Forward(陳等, 2009)，迴歸方法有多元線性迴歸與單元線性迴歸方式。建模時取用數值模式資料與地面實際觀測資料配對時的做法有 2 種，以數值模式資料直接內插至測站鄰近一點，以及取用鄰近測站四點的平均值的方式。在建模預報頻率部分，歐洲高解析度模式每日 2 次(定時於數值模式初始時間為 00Z 與 12Z)執行建模產製每 3 小時的預報結果至 84 小時，預報時距於 90 小時至 192 小時則產製每 6 小時預報值。本局 NFS 與 WRF 區域模式因資料長度僅至 84 小時，亦為每日 2 次產製每 6 小時的預報值。

與 MOS 預報模型的降尺度預報做法相仿，目前 DMOS 所發展的統計降尺度預報產品有兩種，測站點預報(即 DMOS_s)以及測站預報再內插至格點的面化產品(即 DMOS_s2g)，DMOS_s 會針對各測站點進行動態建模而取得該站之迴歸關係式，民國 101 年上線作業的預報產品包含測站點有 147 站，102 年擴增山區景點 78 站後合計 225 站，顯然面化產品較會受到測站數目而影響預報表現，本文初期要探討動態統計法的校驗結果暫以測站點預報為主，而測站點預報內插至格點的預報成效為輔。

文中在評估氣溫這種連續型變數的預報成效時，使用 3 種校驗指標做為代表(陳等, 2012)，(1) 相關係數(標記為 COR)：表示預報值對實際變化趨勢的掌握度。(2) 平均偏誤(標記為 Mean Bias)：表示預報值相對於實測值的誤差平均值。(3)均方根誤差(RMSE)與預報對象的氣候標準變異量(YSD)的比值，標記為 RMSE/YSD。由於在此取用與各預報對象的變異度來做對照，因此採用此比值相當於對預報誤差給予標準化，與直接使用 RMSE 相比，好處是可了解預報誤差值是否過大，幫助對於不同氣候特性預報點的比較(陳等, 2009)。RMSE/YSD 比值愈小表示預報愈好，當比值越接近 1 表示預報誤差已大到等同於以氣候法進行預報，本文認為比值在 0.5 以下已可算是不錯的預報，0.8 以上則不理想。

近年來本局作業單位較常參採的歐洲高解析模式的預報穩定性較佳，應用於實際作業上會將該模式地面 2 公尺(T2M)的溫度資料內插至鄉鎮預報所需的細網格點上(2.5 公里)，並經地形高度修正後的資料稱之為 Smart Init。因此，後續章節中，本研究在進行與數值模式資料比對校驗成效時，常選用 Init 資料與 DMOS 統計法套入原始模式資料來進行分析與討論。

三、動態統計預報法的預報表現與檢討

本系統現行預報的地面天氣參數包含氣溫、日間高溫、夜間低溫等，概略地從近期的天氣預報產品來看臺灣地區北中南東四大測站的溫度預測(圖 1)，自 8 月 9 日起臺灣受西南氣流影響，於南部地區有豪雨等級以上的降雨，直至 8 月 14 日晚起天氣才轉為穩定，相對其他地區，圖中高雄於降雨期間的 DMOS 溫度預報於高溫均有較低，其後 15 日高溫有呈現明顯回溫的情況，可見降尺度的結果大致上能反映出天氣變化趨勢，但實際天氣個案的誤差在不同測站、不同模式、不同季節的定量上則各有不同表現。以下將藉由 DMOS 應用於臺灣地區近期溫度預報的校驗結果，初步介紹 DMOS 的預報特性與預報能力。

3.1.DMOS應用於溫度預報的成效分析

要一窺 DMOS 應用於臺灣地區溫度預報的成效，我們將從冬季大致上的溫度校驗成果來看。首先以台北站 2014 年 1 月份 12Z 氣溫的預報為例，取預報時距為三天($\tau=72$)的預報結果來觀察(圖 2)，從時間序列圖可見，無論與 Init 或與常用的統計後處理方法所得預報值(PP 或 MOS)相比，DMOS 統計法的偏誤值均較小，左方的散布圖顯示直接使用動力模式輸出的預報值偏冷，而 DMOS 的預報值相對均在虛線附近，顯示與實測值的相關較高，且 RMSE/YSD 表現在 0.5 以下，均較其他方法為佳，顯示 DMOS 統計法的確可靠度還不錯，另外仔細檢視後可見，整月份有數波的溫度轉折(例 7 日、11 日、19 日及 21 日)也如我們預期地更能反映近期的天氣變化趨勢。

接著選用 2013 年 12 月至 2014 年 2 月整個冬季的溫度預報來進行校驗(仍以台北站為例)，同時列出預報時距於第 1 天至第 8 天的各模式誤差分布(圖 3)，與一般所了解的天氣預報誤差隨預報時距拉長而加大的概念相符，從不含 NWP 預報誤差的 $\tau=0$ 模式輸出來看，DMOS 預報值與實測值的相關性高達 0.98，RMSE/YSD 的比值只有 0.19； $\tau=72$ 時的相關性也有 0.90。從不同方法的 RMSE/YSD 來看，DMOS 表現均較其他方法為佳，尤其明顯優於 Init 的預報結果，提前 1 至 4 天的預報誤差均在 0.5 以下，使用 Init 的比值幾乎都介於 0.8~0.9 間，顯示 DMOS 統計法的確相較於原始動力模式的預報輸出有大幅的改善；另 2 個統計後處理方法(PP 及 MOS)於提前 4 天的預報誤差也只有 0.5 左右，與 DMOS 預報表現相當。

以上探討 DMOS 於冬季溫度預報的表現時均以台北站為例，乃因初步分析校驗成果先採用具高預報度的代表站來說明，較能過濾許多預報技術之外的潛在問題。但是 DMOS 的表現並非在每個站點的預報均有如此不錯的掌握度，實因 DMOS 統計法乃針對各站點過去 90 天資料分別建模取得各自的統計

關係後再進行對未來的預報，因此，各站點統計關係的可靠度均不相同；再者，迴歸所選取的預報因子目前僅能從動力模式的產品中尋找，但決定局地天氣或特殊天氣個案的主要預報因子是否存在動力模式產品中，皆會影響各站點的統計預報關係而左右 DMOS 的預報度。

以下我們將進行不同區域的 DMOS 表現分析，分析過程皆以 RMSE/YSD 比值為主，倘若以冬季迎風面的東半部(例基隆站與花蓮站)與背風面的西半部(舉例臺北站、台中站、嘉義站及高雄站)來分別檢視 DMOS 預報特性，圖 4 可見整體而言，各站經 DMOS 統計法後於預報時距 1 至 5 天的校驗結果都相當不錯，RMSE/YSD 均在 0.6 以下，迎風面的基隆與花蓮於前 2 天至前 6 天的預報誤差相比之下均略大，背風面的南部測站(嘉義站與高雄站)一般而言誤差均較小，顯示 DMOS 統計法於南部地區的表現亦不錯；而臺中站的校驗結果顯然與迎風面的表現較為接近，臺北站除提前 3 天內誤差之外，其預報時距於前 5 天至前 8 天的表現幾乎與臺中站一致，顯示臺北與臺中的預報特性與較易受冬季天氣系統(例如鋒面)影響的迎風面測站表現相似，可能與過去一個冬季的鋒面系統南下程度大都有波及臺中地區有關。觀察了平地站的情況後，我們也好奇 DMOS 在高山站點的表現如何？進一步檢視高山測站的結果，可見提前 4 天的表現也可圈可點，誤差仍在 0.6 以下，另外有趣的是，竹子湖測站的預報特性與臺北站幾乎一致，而玉山站則與臺中站相似，顯見高山測站所處的南北位置對 DMOS 的表現特性影響頗大。

綜上區域分析所述，我們可整體性地從全臺的平面誤差分布圖來觀察 DMOS 於 30 個局屬氣象站與全臺 147 個測站點的預報能力，檢視過程中會輔以使用原始動力模式的產出值來做比較，以期清楚顯示 DMOS 對溫度預報的掌握度。如圖所示，先從 30 站的誤差分布來看(圖 5)，大多數站點的 RMSE/YSD 值於冬季各月份均在 0.3 至 0.65 之間，僅山區站點與外島測站的誤差值較大些，以及東南部的大武站 1 月的誤差有 0.7，但也都在 0.8 以下，顯示 DMOS 應於各局屬站點的冬季溫度預報能力已經有很不錯的成績。而 Init 產出的預報誤差顯然大了很多，於 1 月份多數測站的 RMSE/YSD 值在 0.8 以上，甚至有許多大於 1.0，在 2 月份的表現較佳，僅山區與東南部的幾個測站誤差較大。進一步從全臺 147 個站點的誤差分布來看(圖 6)，對 2014 年 2 月份的溫度掌握也是最佳的，幾乎都在 0.7 以下，僅少數幾個站點的表現較差(5 站，比率佔 3%)，其他兩個月份的誤差則有較大些，大於 0.7 的站數有 26 站(18%)及 33 站(23%)；輔與 Init 相比，Init 於表現較好的 2 月份，誤差大於 0.7 的比率有 31%，其餘兩個月份表現較差的測站比率更高達 51% 及 72%。

從以上整體誤差的修正與調整幅度來說，DMOS 統計法對原始動力模式的改善能力的確值得投以關注並持續加值發展。

3.2. DMOS 應用於不同季節的溫度表現

除了冬季的溫度應用之外，在測站點預報的作法方面，本節將對 DMOS 於不同季節的表現略做探討，分析上繼續以 DMOS 統計法套入 ECA1 模式在臺北站前 3 天的預報實例來觀察。圖 7 中呈現了 2013 年 12 月至 2014 年 7 月統計後處理方法與原始動力模式的校驗成果。各方法於冬季、春季(3 月及 4 月)的預報產出值與實測值的相關性頗高，相關係數均有 0.8 以上，其中 2014 年 2 月及 3 月的表現最為理想，即使 Init 的相關也高達近 0.89，預報誤差(RMSE/YSD)也只略大於 0.5；此外的各月份，各統計法(PP/MOS/DMOS)對於 Init 的誤差改善幅度均有不錯的應用成效，於 2013 年 12 月至 2014 年 6 月(即冬季、梅雨季、以及兩季節間的春雨綿綿季節)，統計法均發揮了十足的預報能力；其中，DMOS 的表現更為突出，幾乎於各月份都有最優的成績。值得注意的是雖然統計法於夏季 7 月的預報度明顯下降，誤差大於 0.8，但是對於 Init 的修正改善能力仍值得參考。

3.3. DMOS 於多變數與單變數迴歸的分析

以上各節在述及 DMOS 應用於各站、各月份的分析比較時，預報模型所採用的迴歸關係式均是採用多變數迴歸分析法所得，即所謂的 Multiple regression，實際上，FIFOW 計畫中於民國 101 年開始啟動 DMOS 預報雛型的設計初期，對於預報模型採用的迴歸分析法有稍加研究，以比對單變數與多變數迴歸方法的基本差異。另外，由於 DMOS 統計法在建模時以模式資料與實測值配對以尋找最佳迴歸關係式時有 2 種做法，一為以模式資料直接內插至測站鄰近點，另一為以鄰近測站四點的平均值做代表。因此考慮迴歸方法以及實測與模式配對的組合後，DMOS 統計法有 4 種，多變數且內插點、多變數且四點平均、單變數且內插點、以及單變數且四點平均，將分別以 M&I、M&F、S&I、以及 S&F 來表示，以下將仍以 DMOS 統計法套入 ECA1 資料於臺北站的冬季表現為例。

如圖 8 所示，從預報時距提前 1 天至 8 天的校驗結果來看，四種組合的 DMOS 統計法之 RMSE/YSD 值均在 0.8 以下，並且 DMOS_M&I 及 DMOS_M&F 的誤差均小於 DMOS_S&I 及 DMOS_S&F，可見使用多變數迴歸方法的表現均優於單變數迴歸方法，兩者的差異在預報時距 1 天至 4 天的情況特別顯著，亦證實 DMOS 統計法在尋找統計關係時時採用多元線性迴歸方法的重要性。

四、動態統計預報法於高解析度格點的初步開發與應用

如資料與方法所述，目前 DMOS 統計法於高解析格點降尺度預報的做法部份，暫行以先預報測站點再內插至格點的做法，我們稱之為 DMOS_s 經面化的預報產品，即 DMOS_s2g。內插時採用的工具同於 FIFOW 計畫中發展的另外 2 個統計法(PP 與 MOS)，皆使用相同的克利金方法(李，2009)，在假設不考慮內插數值處理所致的誤差前提之下，此暫行做法可大量減少資料處理量，與 DMOS 採用近期 90 天動態取得統計迴歸關係式，以減輕整體預報模型所耗資源的精神相符。

因此，在介紹 DMOS_s 於各測站點的預報表現之後，建基在整體 DMOS_s 校驗相關還算不錯的成果之上，我們也可進一步看看 DMOS_s2g 的表現如何？另外，由於 FIFOW 計畫中 MOS 統計法已建置完成的高解析網格點預報(MOS_g)，即是先利用高解析格點分析技術取得地面網格分析值(GT)，在使用此資料與動力模式建立統計後處理關係式，然後依各格點的預報方程逐一計算預報值，因此，在討論過程中可輔以 MOS_g 產品與 DMOS_s2g 進行比較，同樣皆套用歐洲高解析模式資料(ECA1)來觀察，校驗時的對照基準均為相比於 GT 值的誤差。

回顧前述 DMOS 於不同月份的溫度預報表現，於夏季 7 月的相關性略有降低，但對於動力模式預報誤差的改善仍屬顯著，因此在比較 DMOS 於面化後的高解析度格點預報成效時，採用預報度較低的 6 至 7 月資料來觀察則更有說服力。分析時取用 6 月 24 日至 7 月 23 日一個月的資料，並選取全臺於鄉鎮預報解析度 2.5 公里的網格資料進行比較，結果(圖略)可見兩個統計法於預報時距 1 天、3 天、5 天及 7 天的 RMSE 誤差均小於原始動力模式，值得一提的是，不僅僅對於動力模式的預報誤差改善幅度很大，頗具預報價值，甚至與耗費資源相較更多的 MOS_g 相比，於 30 天裡的預報誤差可不相上下，更突顯出 DMOS 面化產品於高解析格點預報的可用度與參考度，初步說明了 DMOS 統計法乃未來值得開發研究的工具。

五、未來方向

如前所述，動態統計預報法在氣溫方面的整體預報表現頗具參考價值，然而過去民國 101 年至今，動態統計建模雛型主要著重在測站點預報，且發展初期所應用的多屬氣溫類的氣象參數，102 年起為了更加貼近鄉鎮預報與育樂景點的預報指引需求，在測站點數目方面已擴增山區景點 78 站，同時也發展 DMOS 以測站點預報再經內插面化得出高解析格點預報的應用(即 DMOS_s2g)，目前上線作業版本乃根據 225 個站點預報再面化的結果。103 年起為提升

DMOS 應用於高解析格點預報的可用性，持續擴增 100 站，合計提供 325 個測站點的 DMOS 測站預報，希望透過全臺測站點的增加，得以使面化產品更全面地提升預報度與適用性。

未來 DMOS 除了考量建置更多像雲量或降雨等其他參數的預報應用之外，由於目前 DMOS 統計法僅套用於 ECA1、WRF 及 NFS 3 種動力模式，未來規劃使用 DMOS 來建置各模式(例 NCEP 及 JMA)統計預報模型，並累積 DMOS 在模式與參數間的預報特性的了解，期待對不同模式進行系統性誤差的調校工作，可提高 DMOS 模型的穩定性。

在網格預報的應用方面，考慮透過 FIFOW 計畫所發展建置的 MOS 格點預報作業環境，亦可建立 DMOS 格點預報模型，倘若其預報度有機會與 MOS 格點預報並駕齊驅，則可資源有限的情況下更有效率地發展統計方法，俾使統計預報於高解析網格預報更臻輕盈與實用。

五、參考文獻

- 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。
- 李天浩，2009：應用克利金法建立高解析度網格點氣象數據之研究。交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告。
- 陳雲蘭、王政忠與張琬玉，2009：統計迴歸模式季內時間取樣差異測試。中央氣象局自行研發計畫成果報告第 CWB98-1A-03 號，16 頁。
- 陳雲蘭、劉欣怡、馮智勇、薛宏宇、劉家豪，2012：高解析度統計降尺度預報方法研究。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局。
- 馮智勇、劉家豪、陳雲蘭，2012：客觀分析法地面溫度案例分析。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局。

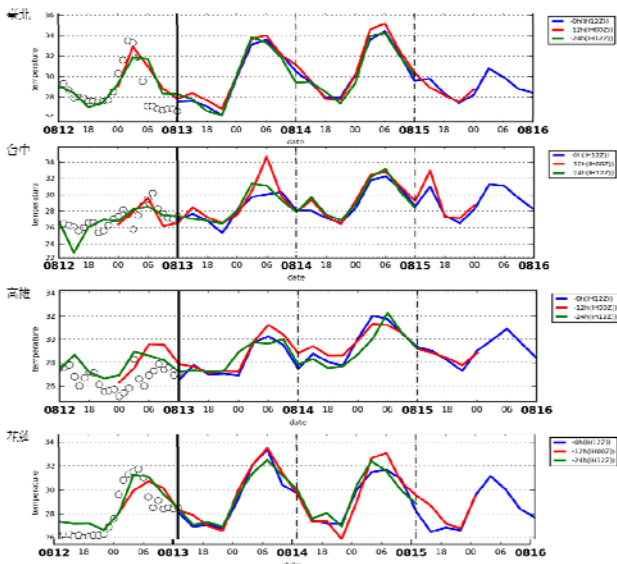


圖1：DMOS模型近期預報情形，建模初始時間為2014/8/12 12Z及8/13 00Z/12Z(綠/紅/藍)。由上至下為北中南東四個代表站，黑色圈點為實測值。

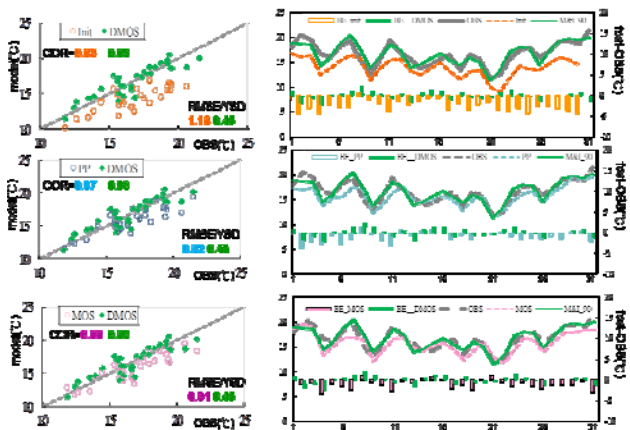


圖2：DMOS預報模型與各方法(Init/PP/MOS)比較，以台北站2014年1月份12Z氣溫的預報為例。左圖為預報值與實測值的散布圖，右圖為時間序列圖，並加入動力模式直接輸出值(上)以與統計後處理值(中下)比較。tau=72。

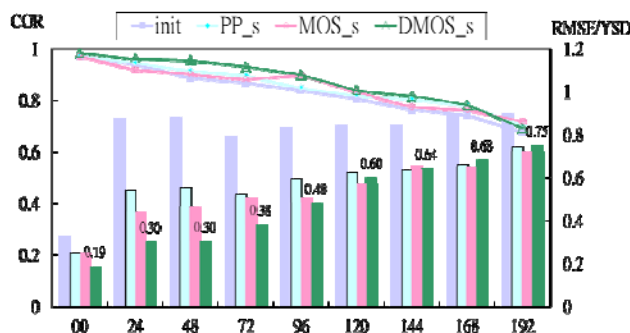


圖3：各方法於冬季(2013年12月至2014年2月)的溫度校驗結果，以台北站的相关係數及RMSE/YSD為例，橫軸為預報時距(第1天至第8天)。

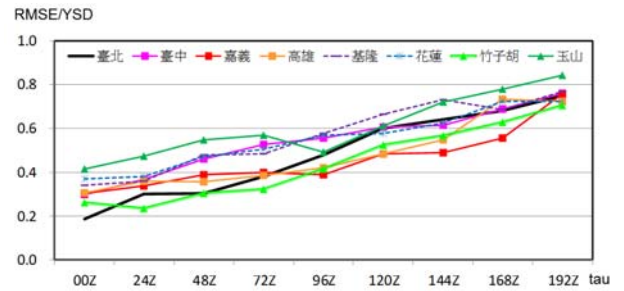


圖4：DMOS模型於各測站溫度預報的誤差分布，橫軸為預報時距(第1天至第8天)。

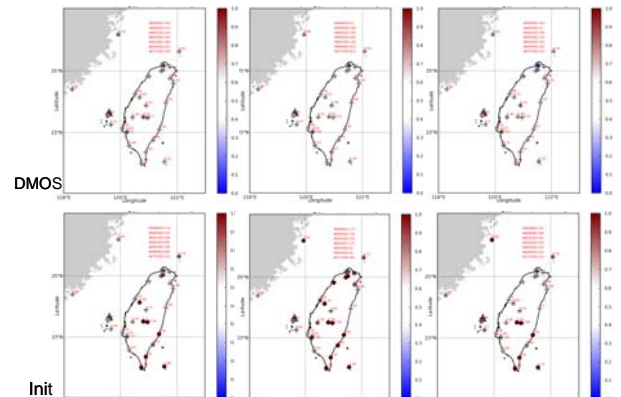


圖5：DMOS模型(上)與原始動力模式(下)於30個局屬測站的溫度預報誤差分布，以RMSE/YSD值表示，左中右分別為2013年12月、2014年1月及2月的RMSE/YSD。

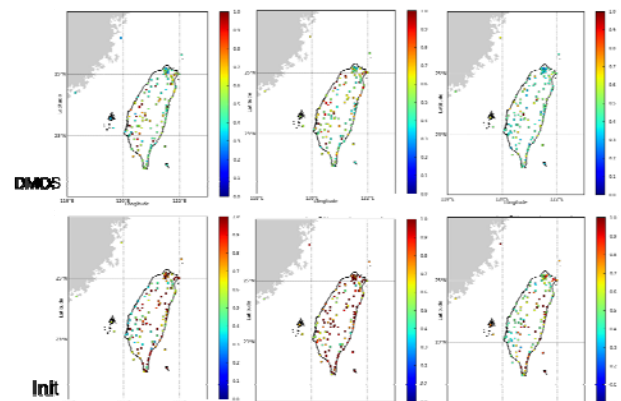


圖6：DMOS模型(上)與原始動力模式(下)於全臺147個測站的溫度預報誤差分布，以RMSE/YSD值表示，左中右分別為2013年12月、2014年1月及2月的RMSE/YSD。

表1：全臺於冬季各月份溫度校驗的平均誤差列表，最後2欄為誤差較大(RMSE/YSD大於0.7者)站數所佔比率。

月份	30站RMSE/YSD		147站RMSE/YSD		147站>0.7站數(%)	
	Init	DMOS	Init	DMOS	Init	DMOS
2013/12	0.83	0.44	0.86	0.65	51	18
2014/01	1.47	0.51	1.06	0.61	72	23
2014/02	0.76	0.43	0.7	0.46	31	3

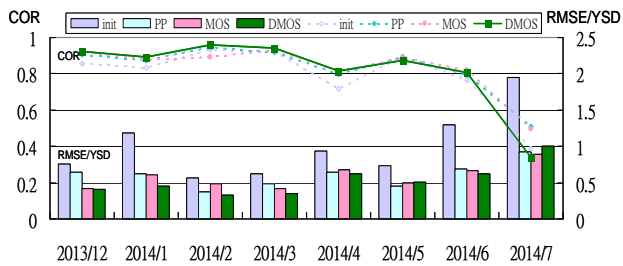


圖7：各方法於2013年12月至2014年7月的溫度校驗結果，以臺北站的相關係數及RMSE/YSD為例， $\tau=72$ 。

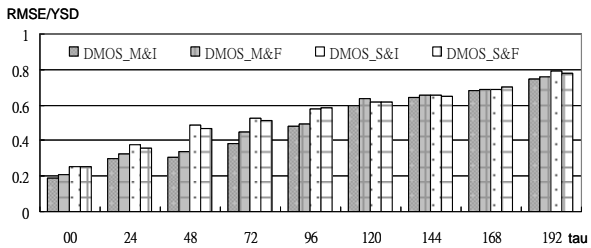


圖8：DMOS四種迴歸方法於冬季(2013年12月至2014年2月)的溫度校驗結果，以臺北站的RMSE/YSD為例，橫軸為預報時距(第1天至第8天)。