

鄉鎮尺度統計降尺度預報成效評估 – 2013~2014年冬季氣溫預報校驗

許乃寧¹ 黃嘉美¹ 陳雲蘭¹ 劉家豪²
中央氣象局氣象預報中心¹ 多采科技²

摘要

本局於民國99年至103年所執行的「發展鄉鎮逐時天氣預報」(FIFOW II)計畫中，發展鄉鎮尺度統計降尺度預報指引方法，項目包含「理想模式預報法」(PP)、「模式輸出統計法」(MOS)及「動態模式輸出統計法」(DMOS)等3種預報指引方法。此3種預報指引方法皆經由數值動力預報模式(NWP)資料建模，使用不同統計預報策略。本報告說明MOS應用於冬季(102年12月至103年2月)的溫度預報表現，並以台灣分區域、地形等不同類型探討。另外，分析討論將測站資料內插再預報以及先做測站點預報再內插2種方法之校驗結果。

關鍵字：模式輸出統計法

一、前言

天氣預報乃依賴於準確的動力數值預報模式(Numerical Weather Prediction；NWP)，而所謂統計預報模式(Statistical Forecast Model；SFM)是對於NWP的產出值以統計方法進行後處理，使其轉換至一般所被關心的地面天氣預報，例如特定地點的地表氣溫、溼度、雲量、降水等，並且經由此種後處理的調校，亦能在原本動力模式具有的預報力能上再加值，進一步提高準確度。根據取用NWP資料的方式，這種統計後處理有幾種常見做法，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(陳，2012)。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。另外，為因應NWP最新的資料表現，「動態模式輸出統計法」(Dynamic Model Output Statistic；DMOS)可以動態以最新NWP資料進行統計建模。

雖然MOS需要建置及運算的方程式較PP來得多，但隨著FIFOW II計畫的發展下，硬體設備更新、多執行序處理及GPU運算技術的應用(馮，2013)，不僅可計算數百個觀測站點，甚至能有效執行數千點的鄉鎮尺度陸地網格之統計建模工作。因此在未發展系集預報之前，MOS仍是比PP更被擁護的統計降尺度方法。通常只要有累積2年長度的NWP資料，即可被接受用來發展MOS預報(陳，2012)。

本局於民國99年至103年執行「發展鄉鎮逐時天氣預報」(FIFOW II)計畫中，前期已藉由PP策略的預報流程架構出統計預報系統的雛型，提供鄉鎮尺度格點預報初步指引的產製。同時間在累積足夠多的動力模式資料後，逐步建立MOS的測站點預報(簡稱MOS_S)流程架構。並配合鄉鎮尺度預報的目標，在民國102年間，以同為FIFOW II計畫下所發展2.5公里的高解析度網格地面分析值(鄉鎮尺度網格分析值；Ground Truth，簡稱GT)(顧，2011)，進而建立MOS的鄉鎮尺度格點預報(MOS_G)，另外也增加DMOS的測站點及鄉鎮尺度格點預報，在本研討會有另一報告給予介紹(黃，2014)。在FIFOW II計畫的設計中，希望統計降尺度後處理能反應動力模式的預測資訊，不論是PP、MOS或DMOS策略，當預報人員以主觀或藉由智慧辨識等客觀方式判定出一特定最佳參考動力模式時，即可直接由該對應的統計後處理值決定地面天氣預報。

透過 5 年的 FIFOW II 計畫，氣象局已建立多種不同的 NWP 的統計後處理方法，包含了歐洲(EC)、美國(NCEP)、日本(JMA)等國發展的全球模式及本局研發的 WRF、NFS 區域模式。在預報作業流程上，也已提供溫度類(整點溫度、日間高溫及夜間低溫)統計產品給予預報員參考使用，並為了解統計產品的預報準確度及品質，同時建立統計預報校驗資訊網頁(局內安管網路：172.16.7.33/sfm/)，希望藉此校驗資訊的整理及預報員使用經驗，能使統計預報模式有更多的改善及優化。

二、資料及方法

為了解數值動力模式經 MOS 統計降尺度法的後處理加值成效，本文共分兩部分加以進行討論。先以氣象局觀測站點資料作為校驗點，並選擇多種數值動力模式(NWP)、多個預報時距(τ)及不同的地區特性分析討論。接著藉由克利金客觀分析法的內插，分析 2 種不同面化流程的統計降尺度法，並與鄉鎮尺度網格分析值(GT)的差異比較。

本文所選用的校驗時間區段為天氣系統較為穩定的冬季(2013 年 12 月至 2014 年 2 月)，MOS 所帶入使用的動力模式資料皆為初始時間 12Z，並針對第 1 至 8 天的 00Z 時間做預報($\tau=12、36、60...180$)。

首先在氣象局觀測站的點校驗上，NWP 資料選擇使用 EC、NCEP、JMA 等 3 種全球模式，以及氣象局局難發展的 WRF、NFS 區域模式，比較分析 MOS 對不同特性的 NWP 影響。而校驗點共選用了 141 個觀測站站點，平均分布在台灣本島各地及離島。但因測站點座標並未正好在 NWP 網格點上，所以與 NWP 資料比較時，選擇使用經地形高度內插校正至鄉鎮網格上的 Smart Init 資料(簡稱 Init)之測站鄰近點與 MOS_S 預報統計預報作為比較。在預報時距(τ)分析上，選擇預報員較常使用的 EC 模式，分別比較不同 τ 在預報上的表現效果。

為配合 FIFOW II 計畫下的鄉鎮尺度預報作業，MOS 亦發展了兩種不同鄉鎮尺度降尺度方法，第一種是使用鄉鎮尺度網格分析值(GT)在台灣本島陸地上的 6616 格點進行 MOS 建模及預報(簡稱為 MOS_G)，另一種則是先將 141 個測站點建立 MOS_S 預報後，

再經克利金法內插至鄉鎮尺度網格上(簡稱為 MOS_S2G)。

對於評估氣溫這種連續型變數的預報成效，本文使用 3 種校驗指標做為代表，(1) 相關係數，本文記為 CORR：用以觀察預報值對實際變化趨勢的掌握度。(2) 平均誤差，本文記為 ME：乃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，本文記為 RMSE/YSD。與直接使用 RMSE 相比，改用此比值的好處是可以利用各預報目標的變異度來對照，了解預報誤差值是否過大，是納入一個標準化的概念，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，當比值為 1 是指預報誤差已大到與氣候標準變異量相當，本文認為比值在 0.6 以下已可算是不錯的預報，0.8 以上則不理想，應列為日後優先調校目標。

三、MOS 測站點預報表現與檢討

如前所述，目前已提供給預報作業使用的統計指引變數包含了整點溫度、日間高溫及夜間低溫，但由於日間高溫及夜間低溫的產出受較多變數影響，以下主要先探討等點溫度預報狀況，並與 init 測站鄰近點及 DMOS 測站點預報比較。

3.1 EC 模式 MOS 法在各時距校驗表現

先以台北站為例，(圖 1a)可看出 MOS_S 的 RMSE/YSD 值在 $\tau=84$ 小時內，皆有 0.5 以下的表現，並且比 Init 表現好，即使在 $\tau=180$ 時，依然有 0.8 以下，另外由台北 1 月份的 00Z； $\tau=12$ 時序圖(圖 2a)看出，MOS_S 有能力掌握天系統的變化能力， $ME=-0.52$ ，表現上比 Init 的-1.41 較佳(Init 有明顯偏冷現象)。而在南部的高雄站也有類似相同的表現(圖 1b)，冬季的 RMSE/YSD 值在 $\tau=108$ 小時內，皆在 0.5 以內，1 月份 00Z； $\tau=12$ 時序圖(圖 2b)也具有掌握天氣系統的能力，並且 CORR 值達 0.96。另外在高山地區部分，可由玉山站看出(圖 1c)，Init 預報整期的 RMSE/YSD 值落在 1.1~1.3 間，是因高山地區地形高度變化快速，init 資料在選取測站鄰近點時與測站

地形高度有較大的落差，使得溫度預報偏高許多(圖 2c) (1 月； $\tau=12$ ：ME=8.59；CORR=0.63)，反觀 MOS_S 在取用相同 EC 資料時，可與觀測站觀測值直接進行資料訓練建模，冬季整期的 RMSE/YSD 值為 0.5~0.8 間(1 月、 $\tau=12$ ：ME=-1.63；CORR=0.94)，更能表現出統計後處理的成效。也因單站 MOS_S 特性會因地形或區域不同而有局部差異(圖 3)，所以將所預報的 141 站點平均，可看到 $\tau=108$ 小時內，平均 RMSE/YSD 皆在 0.6 以下(圖 4)，算是具有相當價值的預報指引，並整期表現皆比 init 來得好。

另外可留意於 DMOS_S 與 MOS_S 的表現差異，在 141 站點的平均表現在上(圖 4)，兩者間的預報能力相近，不同之處在於 DMOS 於 $\tau=12$ 及 36 小時，RMSE/YSD 值表現比 MOS_S 來得好，但隨 τ 時間的增加，DMOS_S 遞增較快，相對 MOS_S 的增加是較為穩定平緩，兩種統計方法有不同特性區別。

3.2 MOS 法在不同動力模式的表現狀況

將 MOS 應用在局內常使用的幾種動力模式上，整體而言皆有為動力模式加值的作用，但也因動力模式本身預報特性及穩定度關係，MOS 所能表現的狀況亦有不同。以台北站為例(表 1)，在 1 月份； $\tau=12$ 小時的表現上，MOS 加值表現最好的分別是 NCEP 及 EC 模式，RMSE/YSD 分別比 init 少了 0.29 及 0.38，而加值幅度最小的則是 NFS 模式，RMSE/YSD 僅少 0.04。在高雄站相同時間及 τ 的部分，表現特性則大有所異，除了 NFS 的 RMSE/YSD 值 MOS 比 init 少了 0.38 外，EC、NCEP、JMA 及 WRF 因 init 皆有不錯的預報表現(RMSE/YSD 在 0.42~0.59)，MOS 僅有些微的改善(RMSE/YSD 在 0.38~0.57)。玉山站部分則因地形高度問題，各模式的 init 表現皆不理想(RMSE/YSD 在 1.23~1.87)，而透過 MOS 統計後處理後皆能有不錯穩定的預報表現(RMSE/YSD 在 0.56~0.77)，這也再次突顯 MOS 預報的價值。

MOS_S 在預報表現上總體而言表現是比 init 來得好很多，但不同區域特性的差異性是許多因素所共同影響的，未來可藉由更多類型的參數了解及設定來使測站點預報能力提升。而在了解測站點有相當預報能力後，接著在下一章節，更重要是以此為基礎，推展

面化到鄉鎮尺度網格點預報使用。

四、MOS 格點預報方法結果比較

在 FIFOW II 計畫中，鄉鎮尺度網格分析值(GT)是透過克利金法面化，將 3 百多個觀測站點資料內差至 67600 個網格點上，包含了陸地及海洋格點，本島陸地則約有 6000 多點，所以 MOS_G 在建置統計預報模型時，共選用陸地上 6166 個格點，含蓋了整個本島部分(海岸線因潮汐而有變動)。而 MOS_S2G 則是運用 141 站點的 MOS_S 做克利金法面化至 67600 網格點上，故海面上內插值並無太大參考性。

由 MOS_G 及 MOS_S2G 的二維空間表現來看，在 1 月 15 日 12Z 預報 12 小時(圖 5a & 5b)，兩者皆為相似，並且與 1 月 16 日 00Z 的 GT 分析場相近(圖 5c)，表示無論先面化再預報(MOS_G)或是先預報再面化(MOS_S2G)的方式，皆可掌握到本島因地形、區域的空間分布型態。進一步分析比較兩者在 $\tau=12$ 的 RMSE/YSD 空間分布值(圖 6a & 6b)，大部分選取的格點皆有在 0.6 以下，並在西南部地區有 0.4 以下的穩定預報表現，兩種面化流程的差值在 $\tau=84$ 小時內皆有穩定相似的狀況(介於正負 0.1 之間)(圖 6c)，但在 108 小時之後，MOS_G 的表現則較優於 MOS_S2G。(未附圖)

MOS_G 及 MOS_S2G 兩種面化流程皆有二次估計的問題，但使用效能上，MOS_S2G 使用的建模時間遠小於 MOS_G(因克利金法面化所需的時間遠小於 MOS_G 大量格點建模時間)。另外因 GT 分析技術也同時在發展中，GT 分析資料會因時間發展，加入更多的觀測站資料或是修改內插方式，使得長時間累積的 GT 資料前後品質不同，這樣不一致的資料使用在統計建模上也會有問題產生。而 MOS_S2G 則因建置在實際有觀測點的 MOS_S 預報上，只需使用目前採用的克利金法面化參數，則能與現行的 GT 資料做比對。所以就本文中所看到 MOS_S2G 與 MOS_G 預報表象相當的情況下，MOS_S2G 的維護成本及效益是較佳的，但也仍有許多改善進步的空間。

五、未來方向

經過 FIFOW II 計畫的發展下，本局統計預報模式已擁有穩定校驗並拓展便利的作業環境，在此之下，更易於持續分析不同的統計預報產品表現，了解各統計預報指引的特性，進而優化統計預報能力並增進效能。在未來發展中，資料處理方面可增修 MOS_S 的預報站點，使原本測站點密度較低的區域新增站點，並移除已經停用或搬遷的測站；在溫度類的模型建置時，可使用考量濕度與氣溫的複回歸方程式，使得溫度類與濕度的表現有更一致的物理特性。在擁有多種 NWP 所建置的統計預報模型下，局內也正發展利用貝氏回歸法(BMA)(馮，2014)，整合各個模式的預報表現，並給予較為客觀的預報指引。另外在本文所校驗溫度預報外，目前所發展的統計預報指引還包含 UV 風場、相對溼度、雲量、降雨機率及紫外線等，同時也運用全球模式的 NWP 資料，正發展國際都市的高低溫預報，故在未來還有許多值得分析討論的部分。最後特別致謝預報中心張育璋研究助理及資拓宏宇公司資料整理及繪圖協助。

六、參考文獻

- 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。
- 顧欣怡、王信凱、鄭安孺、高慧萱、陳怡彤、呂國臣，2011：高解析度網格點氣象分析系統。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，259-236。
- 陳雲蘭、劉欣怡、馮智勇、薛宏宇、劉家豪，2012：高解析度統計降使度預報方法研究。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，119-124。
- 馮智勇、劉家豪、林佑蓉、蔡雅婷、陳雲蘭，2013：客觀分析法地面溫度案例分析與 CUDA 技術應用。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，A2-26。
- 黃嘉美、許乃寧、陳雲蘭、彭眾恩、簡菀蓉，2014：DMOS 應用於臺灣地區之溫度預報表現與分析。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、林佑蓉、蔡雅婷、陳雲蘭，2014：應用 BMA 發展多模式 MOS 策略溫度機率預報。天氣分析與預報研討會論文彙編，中

央氣象局。

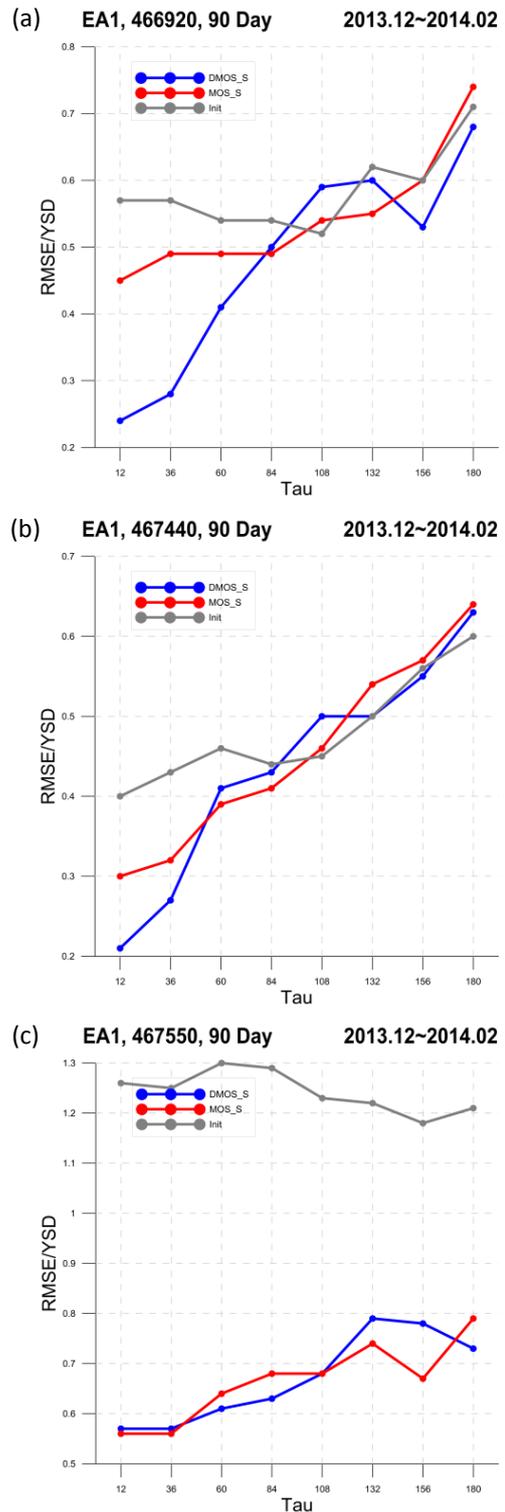
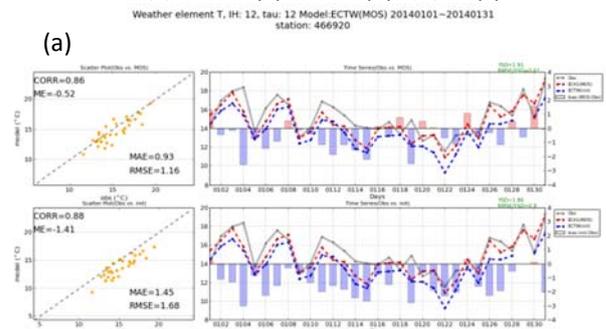


圖 1.2013.12~2014.02 期間，初始時間 12Z 之 EC 模式 Smart Init、MOS_S 及 DMOS_S 在各預報時距之 RMSE/YSD 值折線圖。(a)台北站(b)高雄站(c)玉山站。



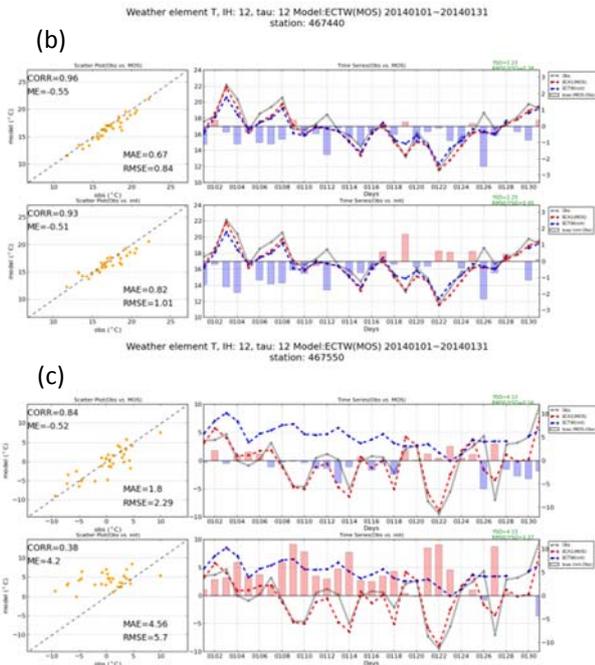


圖 2. 2014.01 月校驗圖，左上為 MOS_S 與觀測值的散佈圖，右上為觀測值(灰)、Smart init(藍)及 MOS_S(紅)之時序圖，柱狀圖為 MOS_S 誤差值；左下為 Smart Init 與觀測值的散佈圖，右下時序圖同右上，柱狀圖為 Smart Init 誤差值。(a)台北站(b)高雄站(c)玉山站。

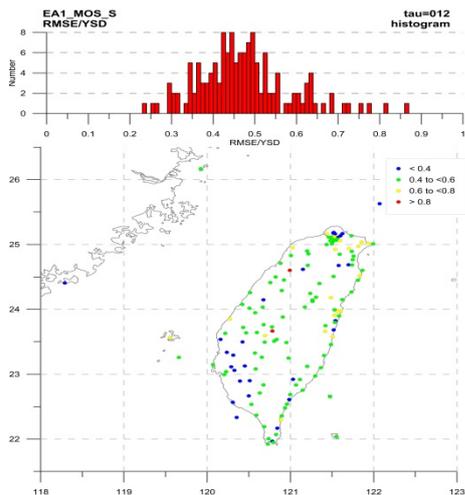


圖 3.在 2013.12~2014.02 期間之 EC 模式 MOS_S 法對每日 00Z 預報，tau=12 平均，在台灣 141 個代表站的氣溫預報 RMSE/YSD 校驗分布圖。

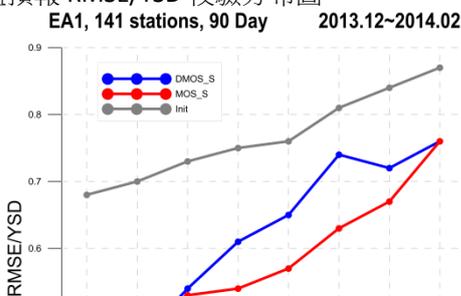


圖 4. 台灣 141 個代表站平均在 2013.12~2014.02 期間，初始時間 12Z 之 EC 模式 Smart Init、MOS_S 及 DMOS_S 在各預報時距之 RMSE/YSD 值折線圖。

		EC	JMA	NCEP	NFS	WRF
台北 站	MOS_S	0.61	0.59	0.73	0.63	0.65
	Init	0.90	0.73	1.11	0.67	0.83
	Diff	0.29	0.14	0.38	0.04	0.18
高雄 站	MOS_S	0.38	0.41	0.57	0.46	0.55
	Init	0.45	0.42	0.59	0.80	0.42
	Diff	0.07	0.01	0.02	0.34	-
玉山 站	MOS_S	0.56	0.62	0.60	0.77	0.56
	Init	1.37	1.32	1.87	1.23	1.39
	Diff	0.81	0.70	1.27	0.46	0.83

表 1. 1 月台北站、高雄站及玉山站的 5 種 NWP 模式之 RMSE/YSD 值，分別為 MOS_S、Smart Init 及差值在 tau=12 時。

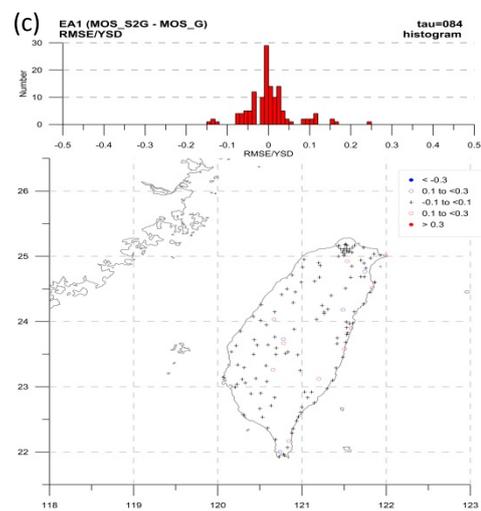
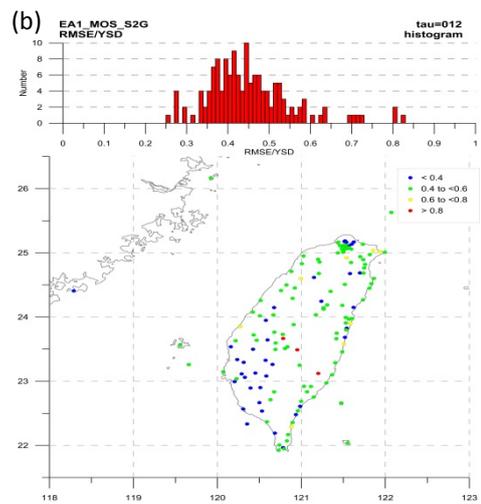
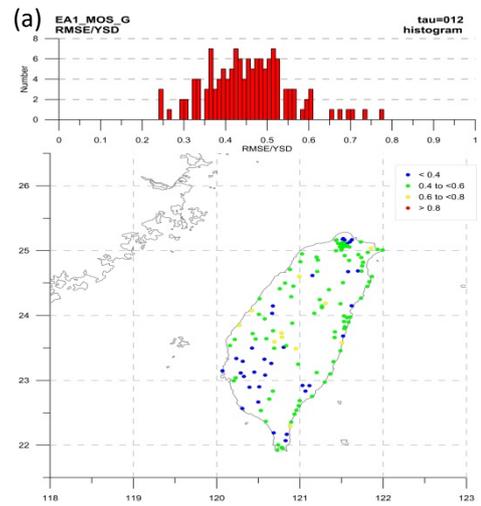
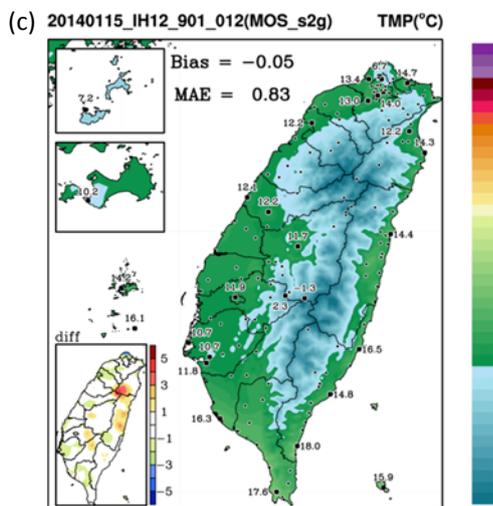
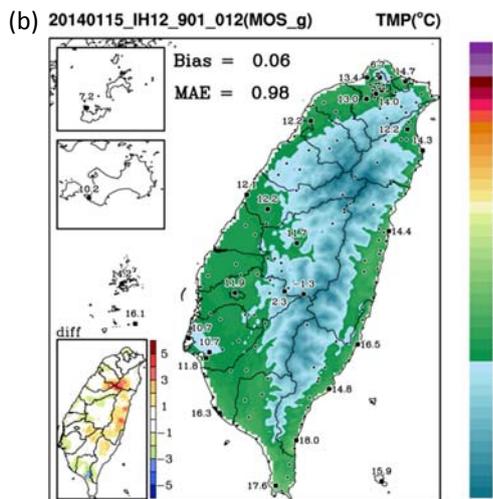
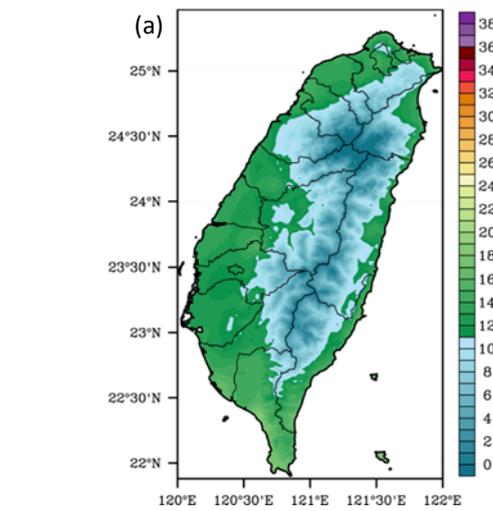


圖 5. (a)2014 年 1 月 16 日 00Z 的台灣地面氣溫 GT 分析值。(b)MOS_G 由 2014 年 1 月 15 日 12Z 預報 12 小時後地面氣溫值，左下角為與 MOS_G 減 GT 差值。(c)同(b)為 MOS_S2G 預報值，左下角為 MOS_S2G 減 GT 差值。

圖 6. 在 2013.12~2014.02 期間之 EC 模式統計法對每日 00Z 預報，tau=12 平均，在台灣 141 個代表站的氣溫預報 RMSE/YSD 校驗分布圖。(a)MOS_G (b)MOS_S2G(c) MOS_S2G 減 MOS_G 差值。