



香港天文台

HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 948

應用「模式輸出統計」校正數碼氣溫預報

林日榮、李月嬋、陳世倜 & 葉曉峰*

第二十五屆粵港澳氣象科技研討會

香港，2011 年 1 月 26-28 日

*香港科技大學

應用「模式輸出統計」校正數碼氣溫預報

林日榮⁽¹⁾ 李月嬋⁽¹⁾ 陳世倜⁽¹⁾ 葉曉峰⁽²⁾

⁽¹⁾香港天文台

⁽²⁾香港科技大學

摘要

香港天文台於2010年初推出「數碼天氣預報」網頁，以高分辨率電腦模式的直接模式輸出為基礎，提供香港及鄰近珠三角地區約每十公里網格點的逐小時天氣預測。

數值模式一般存有系統誤差，而「模式輸出統計」技術可幫助減低此誤差。天文台已有多年經驗應用有關技術修正數值模式於自動氣象站點上的天氣預測。本文探討如何利用香港天文台及廣東省氣象局的自動氣象站數據建立分析場，及延伸「模式輸出統計」技術至網格點上。通過比較幾種常用統計模型，包括多元線性回歸及卡爾曼濾波等在不同預測時間及空間上的表現，選取最有效的方法，以提升數碼氣溫預報的準確度。初步驗證結果顯示卡爾曼濾波的技巧較線性回歸的技巧優勝，而選取合適的因子及因子數目，可進一步優化統計模型，改善數碼氣溫預報。

1. 引言

香港天文台於2010年初推出「數碼天氣預報」網頁 (http://www.hko.gov.hk/dfs/main/dfs_tt_uc.html)，以高分辨率電腦模式 Meso-NHM [1]的直接模式輸出(DMO)為基礎，提供香港及鄰近珠三角地區約每十公里網格點的逐小時氣溫及風向風速預測。

本文評估數碼氣溫預報的表現，探討如何利用香港天文台及廣東省氣象局的自動氣象站數據建立分析場，及應用「模式輸出統計」技術至網格點上，通過比較幾種常用統計模型，包括多元線性回歸及卡爾曼濾波等在不同預測時間及空間上的表現，選取最有效的方法，以提升數碼氣溫預報的準確度。

2. 數據

2.1 預測數據

本文應用了天文台高分辨率電腦模式 Meso-NHM 在 12UTC 預報的未來72小時每3小時氣溫及其他氣象要素。我們選取了 2010年6月1日至10月31日之間的預測數據作研究。由於地面的溫度變化與大氣低層的天氣要素有關，多元統計模型的待選因子包括2米溫度、2米露點、10米緯向風、10米經向風，以及925hPa和850hPa的溫度、相對濕度、緯向風及經向風。

2.2 實況觀測數據

實況氣溫數據方面，我們選取了香港天文台及廣東省氣象局的自動氣象站在2010年6月至10月之間錄得的每小時氣溫數據。

3. 方法

3.1 建立氣溫分析場

由於自動氣象站的分佈並不規則(圖1)，而海上亦缺乏自動氣象站的觀測資料，本文應用了數據處理及繪圖軟件 NCAR Command Language NCL內提供的Cressman逐步修正法[2]，依據自動氣象站站點與 0.1×0.1 度(約十公里)網格點之間的距離及預設的權重變化，生成覆蓋香港及珠三角地區，合共240格(15×16 格)網格點的溫度場。圖2為經Cressman客觀分析法製成溫度場的例子。

另外，在建立分析場時，我們加入了溫度範圍檢測，把異常低溫及高溫的自動氣象站數據剔除，以減去因個別站點觀測誤差而引致的不正常分析場。檢測方法包括(1)把低於 -5°C 及高於 45°C 的數據移走，及(2)與Meso-NHM在同一時間的溫度預測場作比較，把超出預測值 10°C 的自動氣象站數據移走，這方法在監控電腦模式初始場的品質時亦常有使用。

3.2 「模式輸出統計」技術

本文嘗試比較含單一天氣要素(2米溫度)及多個天氣要素的線性回歸模型及卡爾曼濾波[3]，即包括一元線性回歸(SLR)、多元線性回歸(MLR)、一元卡爾曼濾波(SKF)及多元卡爾曼濾波(MKF)，在不同預測時間及空間上的表現。線性回歸是假設模式輸出與實況有一定的線性關

係。為減少季節轉變對回歸模型的影響，同時保持足夠的訓練數據，我們把訓練期定為60天，並隨時間每天更新訓練數據，以建立適性線性回歸模型。而卡爾曼濾波是以遞推方法，根據上一刻狀態的估計值和當前狀態的觀測值推出當前狀態的估計值的濾波方法，從而計算下一刻的估計值。它的優點是不受電腦數值模式升級變化的影響及不需保存大量的歷史數據。

我們利用統計軟件“R” (<http://www.r-project.org>) 建立適性線性回歸模型及卡爾曼濾波模型。在選取合適因子方面，我們應用了向後剔除法(backward selection)及AIC準則[4]自動選取回歸模型的最佳因子。

在比較不同「模式輸出統計」技術方面，評核標準是以均方根誤差Root Mean Squared Error (RMSE) 最小為佳，這是預報業務一貫的做法。我們同時亦比較平均誤差Mean Error (ME)及最大RMSE，以衡量預報技巧。

4. 結果

4.1 「模式輸出統計」技術比較

我們分別在每個預測時間(即3小時預報至72小時預報，合共24個預測時間)及每個網格點(15×16格)建立了SLR、MLR、SKF及MKF模型，並計算它們在2010年8月至10月之間的RMSE。為了容易比較，我們再分別計算DMO及每個統計模型在所有預測時間及網格點的RMSE平均值。

表1顯示DMO在2010年8月至10月之間的平均RMSE約為1.99°C，而各模型的平均RMSE在1.51°C至1.61°C之間，有效校正DMO的程度達百分之二十左右。在8月份，SKF的表現略為優勝，而10月份則以SLR為佳，這可能與卡爾曼濾波及適性線性回歸模型對處理氣溫驟變的情況時

有不同的滯後表現有關。

另外，我們看見MLR的表現略遜一籌，其最高RMSE可達5°C以上，比DMO更差，這可能是因為多元統計模型會出現過擬合情況，引致出現一些不可靠的預測。因此，我們在建立多元模型時，也要限制因子的數目，以減少出現過擬合的機會。

4.2 選取最佳預報因子組合

表2排列出在各個預測時間及網格點上，出現次數最多的最佳因子，首三位為2米溫度、925hPa經向風及850hPa溫度。這反映了低層的溫度及風向對地面溫度有較大的影響，而露點/相對濕度的影響則較小。

我們跟著嘗試設定以首四個最佳因子組成的不同組合，找出最優化的MLR及MKF。結果顯示(表3)以2米溫度及850hPa溫度組成的MLR(下稱MLR2)，可降低DMO的平均RMSE至1.46°C。而以2米溫度、925hPa經向風及850hPa溫度組成的MKF(下稱MKF2)更可有效地減至1.43°C，其最高RMSE值亦相對較小。

4.3 不同預報時間的表現

基於以上的結果，我們再探討DMO、SLR、SKF、MLR2及MKF2在不同預報時間的表現。圖3顯示DMO的平均RMSE在9、18、33、42、57及66小時預報上出現峰值，顯示模式對預測每天的最低氣溫(即在9、33及57小時預報)及最高氣溫(即在18、42及66小時預報)的能力較為遜色，並傾向高估最低氣溫及低估最高氣溫(圖4)。而各統計模型均能有效地修正DMO的誤差，尤其對最低氣溫預測有明顯的改善，當中亦以MLR2及MKF2的表現最為明顯。若以平均ME來比較(圖4)，卡爾曼濾波(SKf/MKf2)在首24小時預報時間的平均ME非常接近零線，反映其修正能

力在短時預測上較線性回歸模型理想。另外，我們亦發現各統計模型在39至45小時預報及63至66小時預報時間出現過度修正情況，它們把原有DMO的負偏差修正為正偏差，這種情況可能與季節性的天氣變化有關。但整體而言，各統計模型的表現仍算理想。

4.4 空間上的變化

圖5-9為DMO及各統計模型的平均RMSE在空間上的分佈。不論是DMO或SLR/SKF，在廣東內陸及海面上的RMSE均較在沿岸地區的RMSE為高。內陸地區的誤差可能與氣溫的日際變化較大有關，電腦模式未能準確掌握這變化。而海面上的誤差或與海面氣溫分析場主要基於陸地自動氣象站資料經Cressman方法生成有關，因為這方法可能會得出一個日際變化較實況為大的海面氣溫分析場。因此，我們仍需探討如何建立及選用較貼近實況的分析場。從技巧上來看，各統計模型，尤其MLR2及MKF2(圖8及9)，均可有效地把DMO溫度預測與溫度分析場的差異拉近。另外，平均ME的空間分佈圖(圖10-14)亦顯示DMO一般低估陸地上的溫度預測，及高估海面上的溫度預測，這亦與前文提及的理由吻合。

5. 總結與討論

總括來說，卡爾曼濾波及適性線性回歸模型均能有效改善數碼氣溫預報的準確度。而最優化的模型是以2米溫度、925hPa經向風及850hPa溫度為因子組成的卡爾曼濾波。

由於卡爾曼濾波及適性線性回歸模型對處理驟變氣溫的能力有不同的快慢反應，我們還需要對卡爾曼濾波的參數及適性線性回歸模型的訓練期作出調校，以達致更佳的效果。

在因子選取方面，以925hPa經向風及850hPa溫度作為預報因子可能只適合應用於此研究使用到的數據(即2010年6至10月)，在其他月份可能使用其他因子組合會更為合適，需再作研究。此外，我們只應用了每個網格點在其位置的一些基本天氣要素預測值，並沒有考慮其鄰近網格點的天氣變化，若電腦模式錯誤預測雨區或其他中尺度天氣系統的位置時，以單一網格點的天氣要素預測值作預報因子或未足夠修正該網格點的天氣預測，這方面或有進一步改善的地方。

鳴謝

本文工作得到徐傑志先生及彭志健先生提供了寶貴的意見，筆者在此謹表衷心的感謝。筆者亦感謝梁康偉先生為分析天文台的中尺度模式Meso-NHM預報產品提供技術支援。本文所用的廣東省自動氣象站資料是由廣東省氣象局提供，特此鳴謝。

參考文獻

- [1] Wong, W. K., 2010: Development of Operational Rapid Update Non-hydrostatic NWP and Data Assimilation Systems in the Hong Kong Observatory, The 3th International Workshop on Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia, 1-4 March 2010, Beppu, Japan.
(<http://www.hko.gov.hk/publica/reprint/r882.pdf>)
- [2] Cressman, G.P., 1959: An operational objective analysis system. *Monthly Weather Review*, **87**, 367-372.
- [3] Welch, Greg and Gary Bishop, 2001: An Introduction to the Kalman Filter, *University of North Carolina at Chapel Hill*, Department of Computer Science, Chapel Hill, NC 27599-3175, 47pp.
- [4] Sakamoto, Y., Ishiguro, M., and Kitagawa G., 1986: Akaike Information Criterion Statistics. D. Reidel Publishing Company.

表 1. 各統計模型在8月至10月的平均RMSE、最高RMSE及與DMO比較之改善率*

		DMO	SLR	MLR	SKF	MKF
8 月	平均 RMSE	1.82	1.39	1.52	1.36	1.48
	最高 RMSE	3.41	3.13	4.21	3.14	3.72
	改善率		24%	16%	25%	19%
9 月	平均 RMSE	2.09	1.72	1.60	1.72	1.60
	最高 RMSE	3.76	3.67	4.22	3.76	4.06
	改善率		18%	23%	18%	23%
10 月	平均 RMSE	2.00	1.38	1.67	1.49	1.63
	最高 RMSE	4.38	2.52	5.54	2.52	3.69
	改善率		31%	17%	26%	19%
8-10 月	平均 RMSE	1.99	1.51	1.61	1.54	1.58
	最高 RMSE	3.51	2.93	3.95	2.96	3.29
	改善率		24%	19%	23%	21%

* 改善率 = (個別統計模型的平均RMSE - DMO的平均RMSE) / (DMO的平均RMSE) × 100%

表 2. 出現次數最多的最佳因子

	因子
1	2 米溫度, TT2
2	925hPa 經向風, V925
3	850hPa 溫度, TT850
4	850hPa 緯向風, U850
5	925hPa 緯向風, U925
6	10 米緯向風, U10
7	850hPa 相對濕度, RH850
8	925hPa 溫度, TT925
9	850hPa 經向風, V850
10	2 米露點, DP2

表 3. 不同因子組合的表現

最佳因子組合				平均 RMSE	最高 RMSE
MLR					
TT2	V925	-	-	1.55	2.99
TT2	-	TT850	-	1.46	2.87
TT2	-	-	U850	1.53	3.01
TT2	V925	TT850	-	1.49	2.92
TT2	-	TT850	U850	1.48	3.04
TT2	V925	-	U850	1.56	2.96
TT2	V925	TT850	U850	1.51	2.98
MKF					
TT2	V925	-	-	1.51	2.91
TT2	-	TT850	-	1.47	2.89
TT2	-	-	U850	1.55	2.99
TT2	V925	TT850	-	1.43	2.86
TT2	-	TT850	U850	1.46	2.87
TT2	V925	-	U850	1.51	2.87
TT2	V925	TT850	U850	1.44	2.84

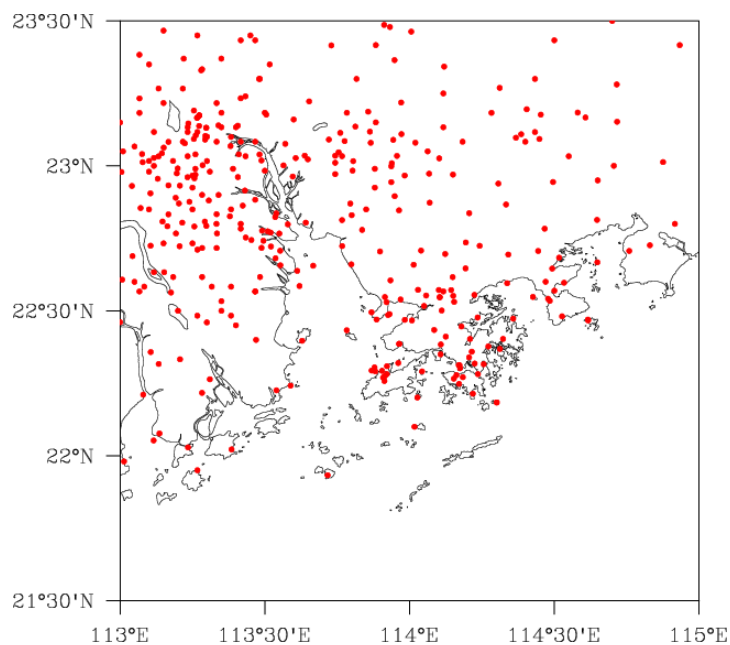


圖 1. 香港天文台及廣東省氣象局自動氣象站的分佈

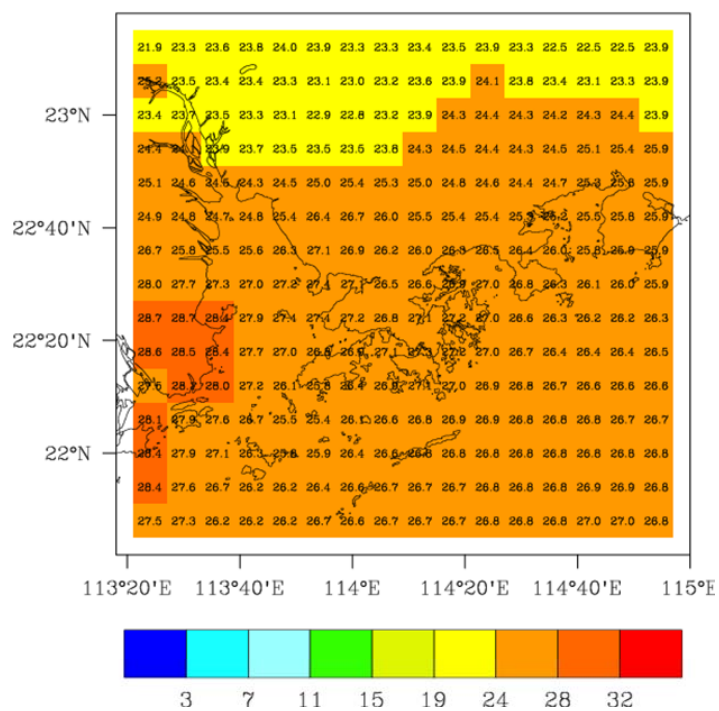


圖 2. 利用Cressman方法建立的溫度分析場例子

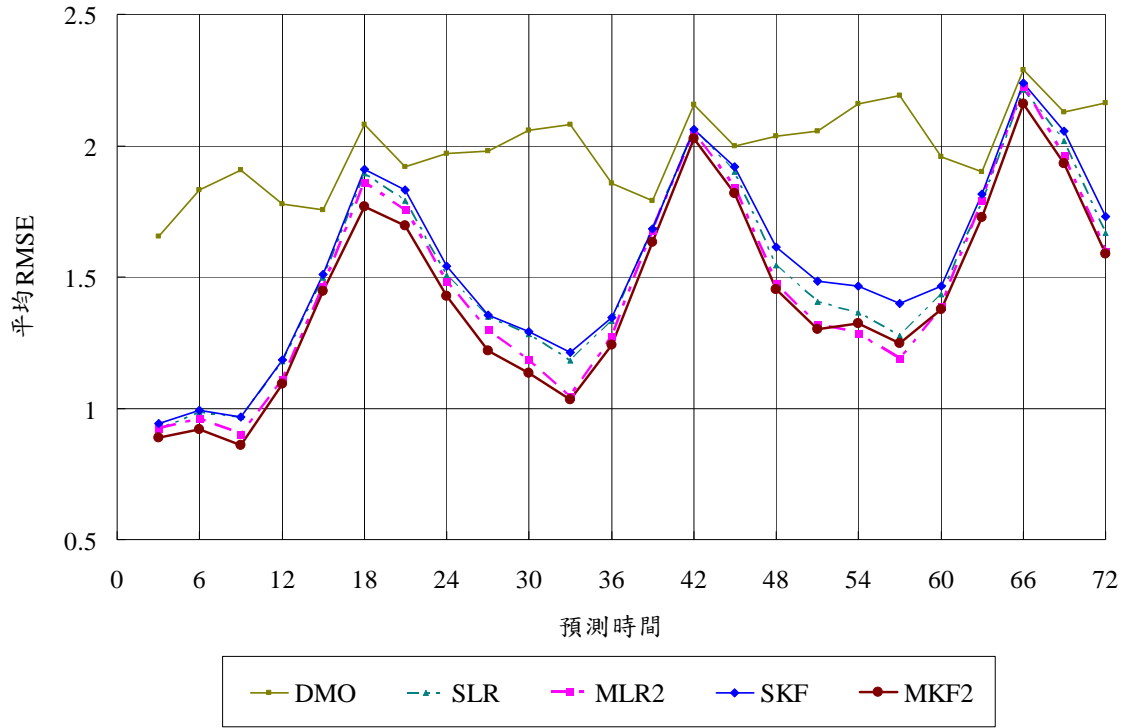


圖 3. DMO、SLR、SKF、MLR2及MKF2在不同預報時間的平均RMSE

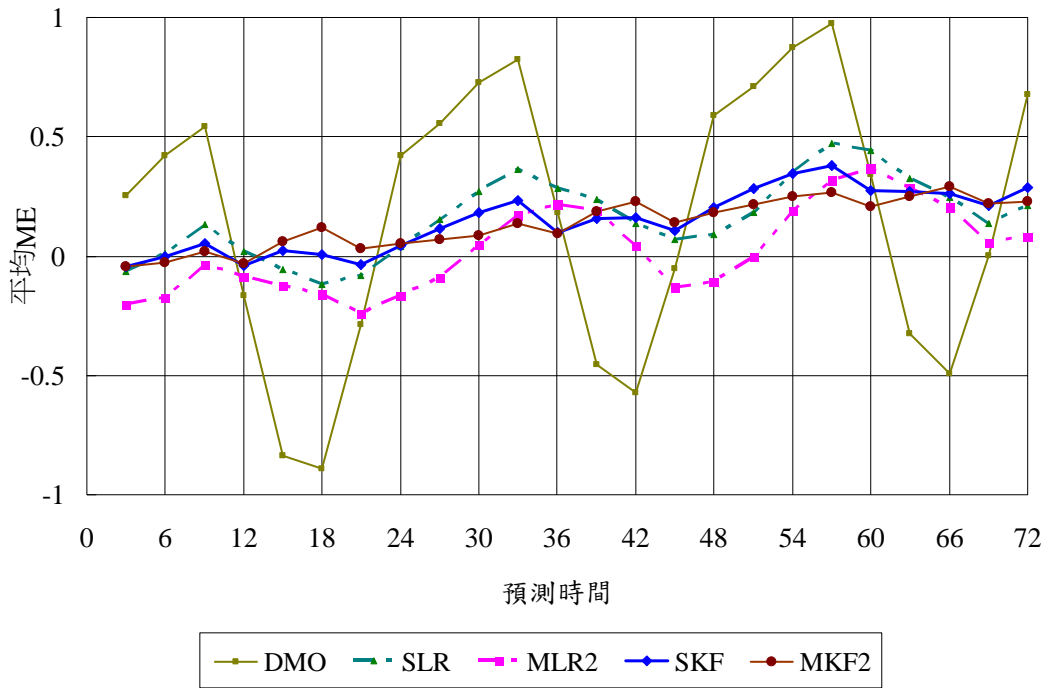


圖 4. DMO、SLR、SKF、MLR2及MKF2在不同預報時間的平均ME

DMO - RMSE

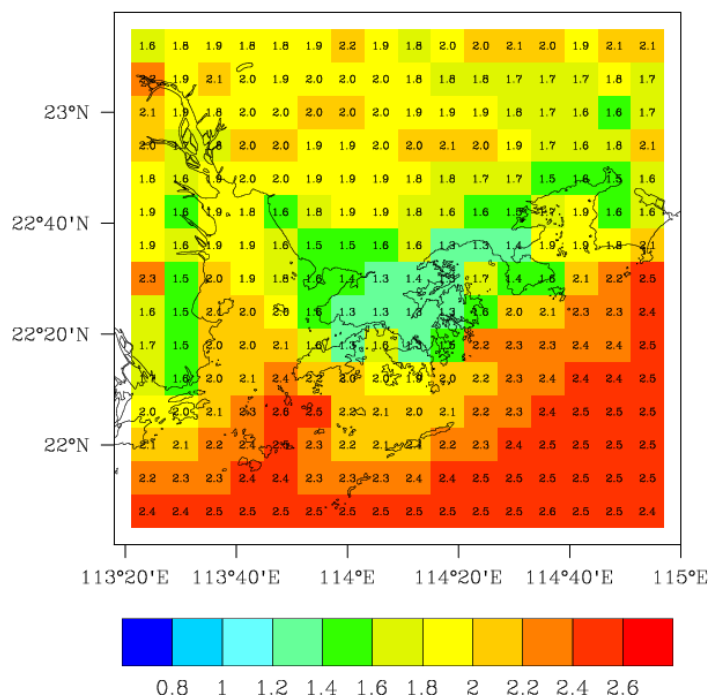


圖 5. DMO的平均RMSE分佈圖

SLR - RMSE

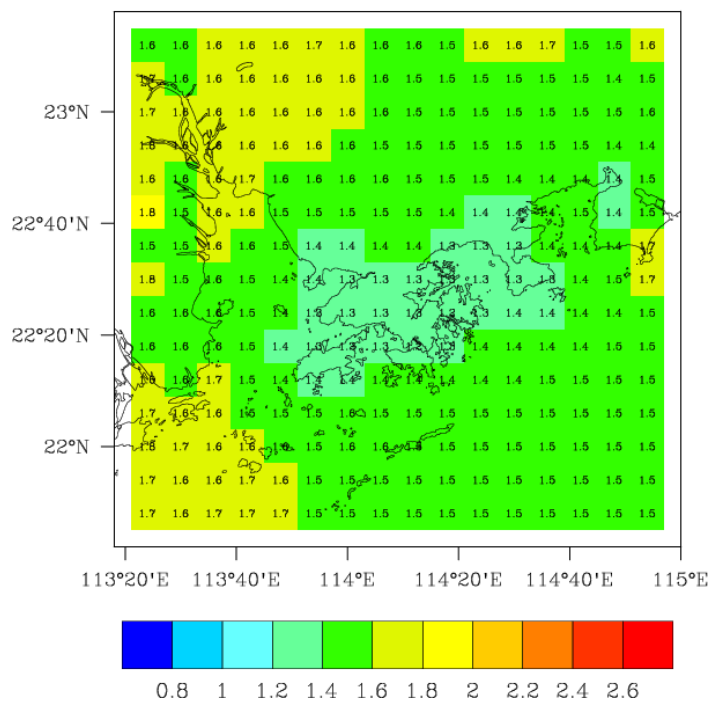


圖 6. SLR的平均RMSE分佈圖

SKF - RMSE

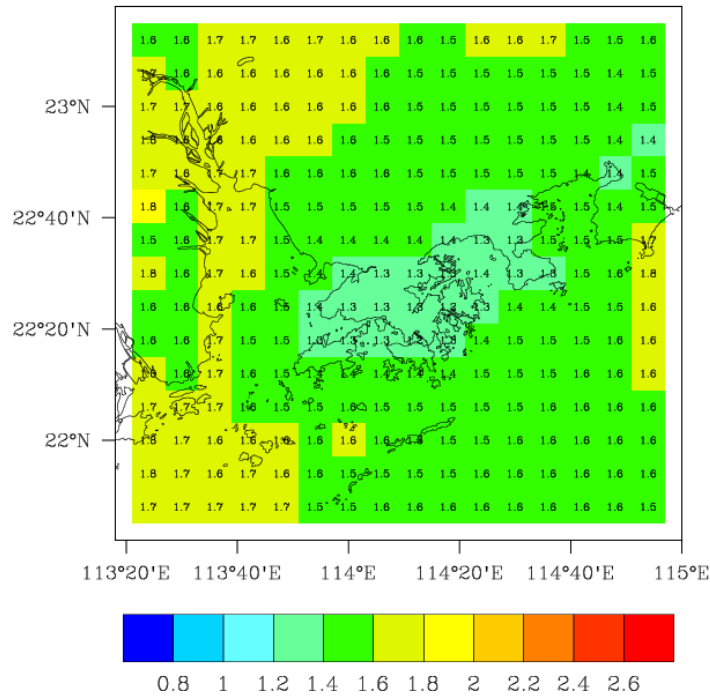


圖 7. SKF的平均RMSE分佈圖

MLR2 - RMSE

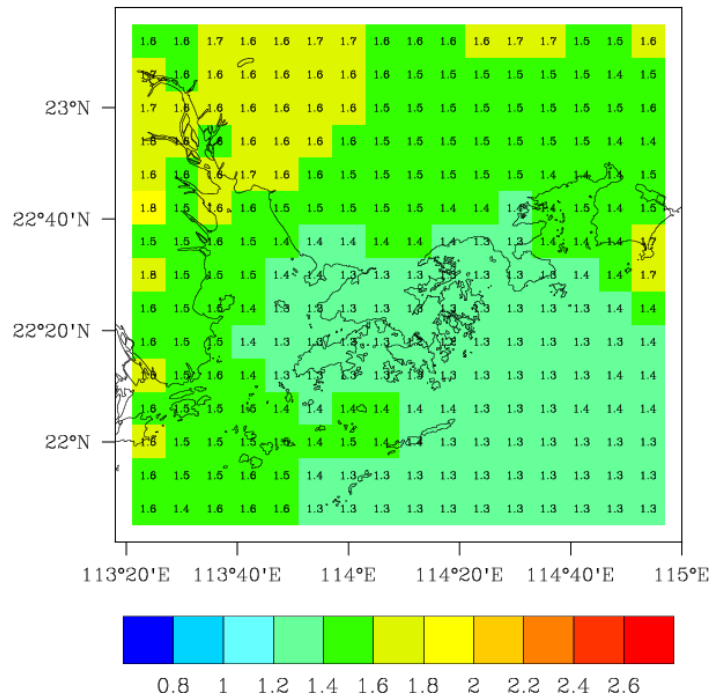


圖 8. MLR2的平均RMSE分佈圖

MKF2 - RMSE

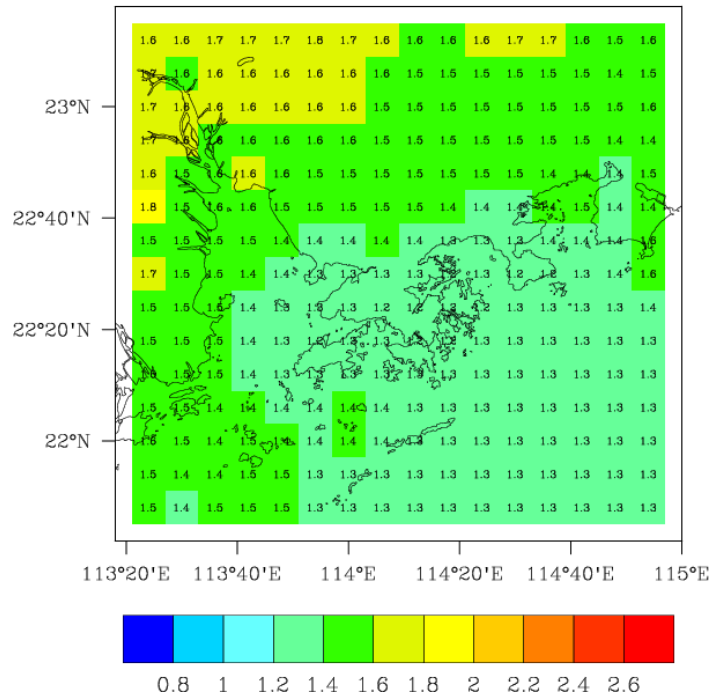


圖 9. MKF2的平均RMSE分佈圖

DMO - ME

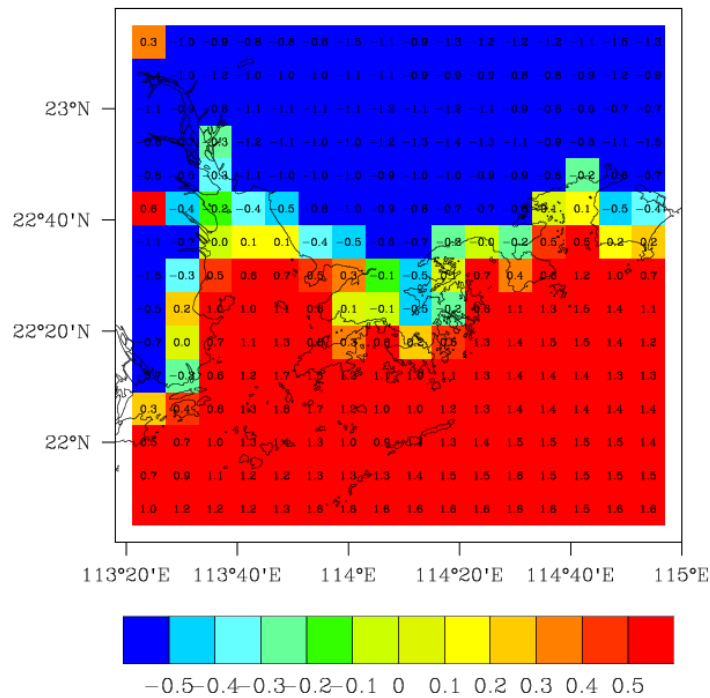


圖 10. DMO的平均ME分佈圖

SLR - ME

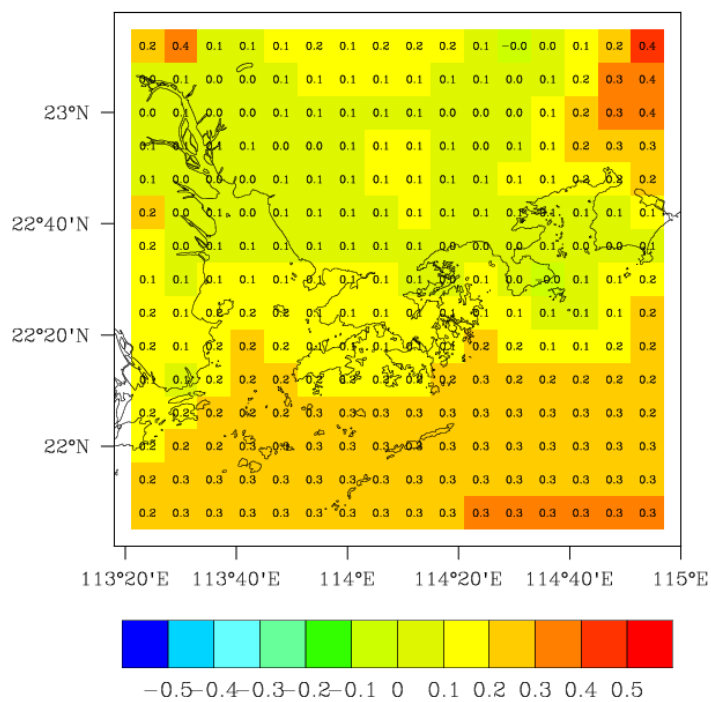


圖 11. SLR的平均ME分佈圖

SKF - ME

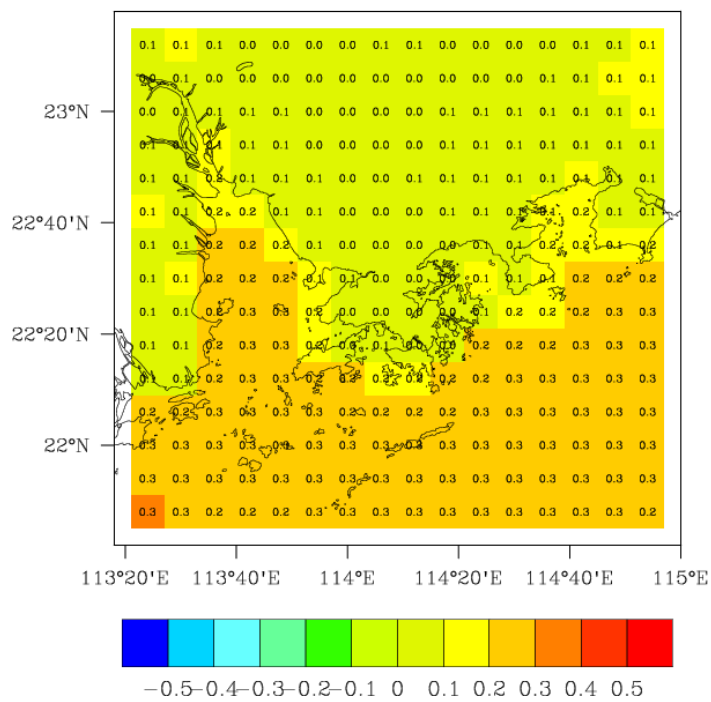


圖 12. SKF的平均ME分佈圖

MLR2 - ME

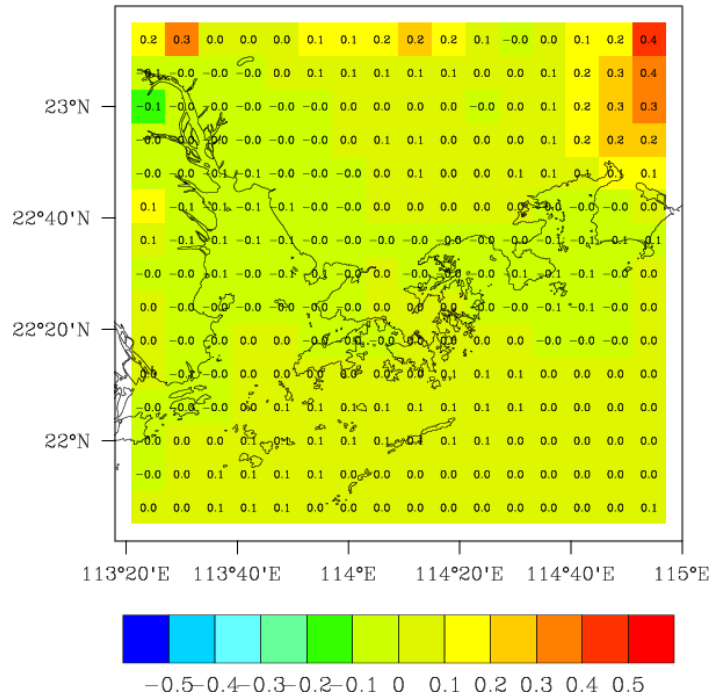


圖 13. MLR2的平均ME分佈圖

MKF2 - ME

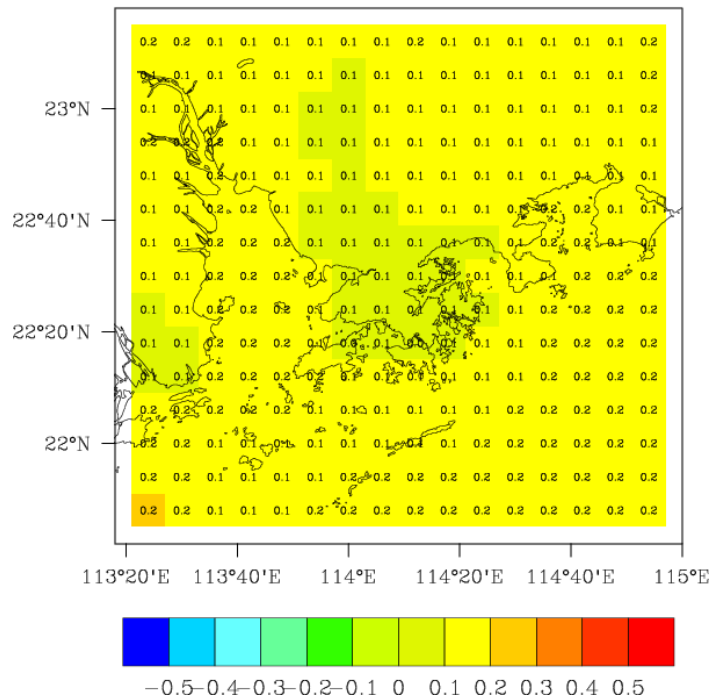


圖 14. MKF2的平均ME分佈圖