

氣象局第2與3、4週動力統計預報作業之發展

羅存文 陳重功 王志嘉
中央氣象局氣象科技研究中心

摘 要

全球各個先進預報作業單位，立基於時勢的階段與服務的需求；均進入探究如何進行“無接縫”預報作業之發展。主要目標在於處理第2週至3、4週預報服務的落實，然而現實的必要趨勢，首重於提升動力數值模式的預報能力，方能進而處理第2至4週的預報技術。

本局於P6項下，為配合全球數值模式與全球系集數值模式的開發，併行對於2至4週的模式統計後置處理進行作業性發展，以期同時達到預報作業服務的即時效益。由於本局全球系集數值模式尚處於45天預報發展階段；擬並行應用美國氣象局的NCEP GFS與GEFS模式產品，進行統計後置處理方法與程序的技術研發。

本文中除提出整體的後置處理功能與運作架構外，亦提出發展的策略性模式技術的開發演化程序。同時於現階段引用NCEP GFS與GEFS產品，進行後統計處理的開發情形，達到監測本局全球數值模式與系集模式的發展狀態，作為相對開發比對的參考。併行帶動推廣全球系集預報模式的預報不確定性的機率預報應用。

關鍵字：統計後置處理作業、全球系集值預報、預報不確定性、機率預報應用

一、前言

第2週預報的預報能力發展，已漸漸由氣候預報轉向天氣預報推進，同時數值模式概念亦由決定性(Deterministic)預報，轉型成系集(Ensemble)預報形式，強調由啟始狀態的不確定性(Uncertainty)透過模式物理過程所呈現的可能的模擬大氣產生之不同情境。歐洲的ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)與美國氣象局的NCEP(National Center of Environmental Prediction)之全球預報模式預報能力，均已達到有10天的天氣預報合格的參考評比。而第3、4週的預報服務的需求趨勢，已朝向由全球數值模式的約15天的預報作業，邁向30天以上的預報能力發展。其間有相當艱難的歷程需全球氣象相關研發人員，共同集智勳力提升預報的潛力。

中央氣象局氣象科技中心統計預報研發組，長期間以來與美國氣象局的NCEP及STI(office of Science and Technology Integration)的

MDL(Meteorological Development Laboratory)2個單位在預報技術上多所切磋。就現行預報作業之後處理方式，主要由NCEP屬下的EMC(Environmental Modeling Center)之Ensemble Team開發，基本上統計後置程序(Statistical Post-Processing)設計為，先進行系集模式預報產品場量的預報偏差調整(BC/Bias Correction)程序，然後透過內插至網格化觀測點上，進行區域格點降尺度調整(DS/Down Scaling)程序，再進行各別需求氣象標的之機率化(Probabilistic)的非確定性預報指引產製。EMC系集模式預報統計後處理，無論在預報偏差與降尺度調整，均採用DAV(Decaying Average)方法進行預報誤差修正(Cui et al. 2012)。每次預報作業時均需重新估算建立DAV模式，引用最貼近的前90組已預報產生的產品資訊，此類模式運作程序視為DYN(Dynamic)作業程序，當處理較短的季節預報時，如春、秋季會於造成修正過度的狀態。

因此，EMC於DAV方法中加入以Re-Forecast(DAVRF)所建立的氣候因子偏差修正

項，得到最佳的預報評比，其中尤以春、秋季的預報改進最為明確(Guan 2015)

MDL則採取以過去少2年的各次預報的系集平均值，用以建立傳統的MOS(Model Output Statistics)複迴歸統計模式(Glahn and Lowry 1972)，預報作業時，將各個系集成員預報代入產生各別測站(或網格點)的預報指引。同時進行 Ensemble Kernel Density(EKD)分析，調整系集預報的機率分配，此種作法稱為EKDMOS(Glahn et al. 2009; Wanger and Glahn 2010)。然而事實上卻很難查驗系集預報指引的分布是否適切或是正確，對此議題MDL內部亦有所研討，並提出改進的調整方法，使新的EKDMOS預報指引提升可信度，也改進了逐日的分布變化度(Veenhuis 2013)。

由於美國氣象局屬下NCEP的EMC及STI的MDL皆應用不同的方法與過程，進行預報偏差修正與降尺度的應用。因此MDL採用加入EMC的Decaying Average方法於MOS技術中進行測試，發現有應用Decaying Factor的預報指引評比，KDEMOS的結果較優些，也提升了預報的準確度(Glahn 2014)。

中央氣象局氣象科技中心的統計預報研發組，開發CWB MOS已有數10年的經驗，經歷短、中期的天氣預報指引開發與預報作業。近年亦應用NCEP GEFS的歷史(2年,9個場量變數)預報產品，使用CWB MOS進行初期台灣地區的第2週模式預報能力評估(李柏宏等 2011; 陳重功等 2011)。由於本局所儲存的NCEP GEFS歷史資料有限且變數極少(約10組變數)，嚐試使用NCEP GFS的5~7年資料，進行二週的MOS模式研發與測試，經與原先行發展之GEFS評比相當(蔡孟峰等 2014; 羅存文等 2014)。

本105年為中央氣象局4年期(105年~108年)「氣象資訊之智慧應用服務計畫(I)」的第一年，為配合本局全球系集模式(CWB GEPS/Global Ensemble Prediction System)的發展，科技中心統計預報研發組積極配合進行CWB GEPS-SPP(Statistical Post Processing)發展任務，建立起開發CWB GEPS的預報潛能，協助長期預報作業提升2~4週預報服務品質；並回饋校驗診斷的評比給CWB GEPS。

二、統計後置處理規劃

由於台灣地區在實際預報作業資源分配有限的條件下，局內的整體全球系集數值模式開發人員與經驗不充足；而電腦資源亦不足以應付預報作業與研發並行，加以台灣(中華民國)未列入聯合國氣象組織(World Meteorological Organization)內，未能得到更多的全球他國氣象資料；導致本局全球數值模式整體環境與運作策略，處於無法使數值模式處於“凍結”狀態，即適時均可能導入新改進的模式進入預報作業程序，對於現行成熟的後處理統計方法，都不太適合預報作業參考。

圖1所顯示為全球系集預報模式、統計後置處理與預報使用者(長期預報人員)的關係暨運作功能示意。若系集模式的預報能力足以滿足預報人員的需求，預報人員可尋自己的概念性方式進行參考與預報作業。但由於數值模式的數值處理方式與參數化問題，必然產生預報誤差；然而若數值式所產生的預報誤差中，系統性預報誤差(Systematic Forecast Error)的比例極高，且過於隨機誤差(Random Error)，透過統計後置處理，進行系統性預報誤差偏差修正(Bias Correction)，即可突顯出模式預報能力供預報者運用。由於預報人員有其預報標地的變數需求，不能完全由數值模式的輸出變數合宜有效的推導出來，即可透過降尺度方式推估出預報人員所需的特定預報變數。再經由預報整併分析(Forecast Consolidation)產製出合於導引預報人員進行預報參考的預報指引(Forecast Guidance)。以上所描述即為圖1的後處理作業程序。

而對於在P6計畫的發展中，圖2所陳述的是相關對於2~4週預報的後置統計處理所擬運用的統計模式程序(Scheme)與採用的方法(Method)。對於模式的程序建構開發，會先啟用建構動態架構，主要原因為配合本局的數值模式發展生態與運算資源的有限，僅需等待約60個預報作業日，即可啟動後置處理的動態(Dynamic/D)預報程序來進行BC和DS過程。若數值預報資源充足，能同時重預報去年當季的預報，或等積14個月的預報作業產品資料後；進而開發Updatable Dynamic(UD)程序，僅應用過去擬被預報季節(2個月)與擬預報月分的前一個月的約90日的數值預報作業產品，建立統計模式。

對於擬運用的模式技術方法，基於本局已有相成熟的MOS技術，MOS方會先啟始建立預報作業，而後藉由與NCEP EMC技術合作，建置DAV統計模式，更改良DAVRF模式配合於UD預報程序中。當新開發的後置統計模式平行測試結果，優於作業模式時，新模式即提升為作業用模式，而舊有模式仍維持運作，但其功能成為量測新的作業模式預報優劣的準繩(bench mark)。

並行於開發上述的預報程序與預報方法於CWB GEFS的同時，將一同應用於 NCEP GEFS系模式預報上，進行兩組系集模式的後置處理開發平行作業之評比。同時BC程序是專注於系集模式預報場量的偏差修正應用，而DS程序則專責於區域特定需求變數預報上。

圖3則提供了對於P6-I(2016~2019)期間，對於BC與DS作業程序的模式技術發展和引用為模式評比的基準平行預報模式。其中DMOS(Dynamic MOS)會被用來作為BC的預報評比基準；而DS部分，仍將採用傳統的MDL MOS(即直接由模式預報場量導至區域被預報變數指引)。圖中亦述及系集模式預報指引應用的發展，朝向機率化形式運用、及地域分布化的呈現。

三、系集預報指引的應用

本局全球系集數值模式的後處理產品，首要的使用對象為局內的預報中心長期預報課，對台灣地區第2週的溫度與降水進行預報作業參考支援。

現行嘗試以NCEP GFS 00Z、12Z過去5年預報產品資料，針對台灣地區各測站建立15~16日之日均溫度與日降水機率MOS預報模式；而預報時則將NCEP GEFS系集成員預報產品代入，以產生系集MOS預報指引。用以供予長期預報作業人員預報作業參考。

而所提供之系集預報指引，再整合為定量預報與定性預報2種形式的指引。定量預報部分見圖4a及b，其中圖4a為NCEP GFS MOS與GEFS Ensemble MOS的Ensemble Mean所產製的第1及2週週平均溫度全台灣地區分布狀態。而圖4b則為各個縣之主要沿岸、平地與山區的代表測站，未來15~16日逐日的

日均溫度預報，GEFS部分呈現各個系集成員的逐日預報分布。

同時圖5a及b則代表第2週3分類(below、normal及above)溫度預報指引，圖5a代表全台灣地區的above、normal、above與綜合的機率預報分布情形；圖5b則是針對主要25個本局測站第2週的3分類的各個機率，陳列出其各分類之機率值。

同時上述預報品亦進行2015年12月至2016年2月(3個月)的逐日2週週預報指引校驗。圖6a及b各別為台北測站第1及2週之週平均溫度(黑色)、NCEP GEFS MOS系集平均(紅色)、GFS MOS(藍色)與MDO T2m(Model Direct Output 2 meter temperature)。圖6a為時間序列分布；圖6b則是對應的觀測與預報分布。由圖中皆明顯地顯出第1週有極優異的預報成果，而第2週MOS部分僅呈現預報趨勢的可用性，而無法顯出極值預報的示警。但無論第1及2週均突顯出透過MOS偏差修正的結果，均較MDO更具預報考用價值。

圖7a及b分別代表，第2週週平均溫度3分類預報指引的RPSS(Ranked Probability Skill Score)；圖7a為全台區域的RPSS分布評比，紅色系列為正分(預報較優)，而藍色部分為負分(預報技術需改進)。而圖7b為25個主要本局人工測站的逐日第2週週平均溫度3分類預報成績分布。由圖7a及b中均明顯的出，透過系集預報過程的分類機率預報指引技術，多呈現出是有預報技術的評比，足以供給預報人員預報作業參考，以提升現行的第2週預報服務能力。

四、結語

對於第2週預報的預報能力發展，已漸漸由氣候預報轉向天氣預報需求推進，第2週全球系集預報作業的後置作業發展，確定走向以預報場量的預報偏差修正，及降尺度區域預報指引2步驟的預報作業程序發展。而場量偏差最終以改進Decaying Average方法進行，而降尺度則為應用可更替式動態MOS方法(UDMOS)。

而第3、4週的後置統計預報作業發展，則有待系集數值模式先展示其預報能力，存在足夠客觀的系統性預報誤差特性，方足以納入開發應用；而於

此同時，亦需取代以傳統MOS預報因子處理方式的型式，需引用teleconnection概念尋找區域性的預報因子為走向，進行研發。目前全球先進預報作業單位，尚均處於對第3及4週，進行數值模式預報能力的探查。

五、參考文獻

Cui B., Z. Toth, Y. Zhu, and D. Hou, 2012: Bias Correction for Global Ensemble Forecast, *Wea. Forecasting*, **27**, 396-410.

Glahn, H.R., 2014: Determining an Optimal Decay Factor for Bias-Correcting MOS Temperature and Dewpoint Forecasts, *Wea. And Forecasting*, **29**, 1076-1090

Glahn, H.R., and D.A. Lowry, 1972: The Use of Model Output Statistics (MOS) in Objective Weather Forecasting. *J. Appl. Meteor.*, **11**, 1203-1211.

Glahn, H.R., M. Peroutka, J. Wiedenfeld, J. Wanger, G. Zylstra, B. Schuknecht, and B. Jackson, 2009: MOS Uncertainty Estimates in an Ensemble Framework. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 246-268.

Guan H., B. Cui, and Y. Zhu, 2015: Improvement of Statistical Post-processing Using GEFS Reforecast Information. *Wea. Forecasting*, **30**, 841-854.

Veenhuis B.A., 2013: Spread Calibration of Ensemble MOS Forecasts, *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 2467-2482.

Wanger J., and H.R. Glahn, 2010: Ensemble MOS Forecasts from Multiple Models. *20th Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences*, Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., **S7.5**, 9pp.

李柏宏、買新興、陳孟詩、王嫵蘭、陳重功與羅存文，2011: CWB 2nd Week日均溫MOS系集預報模式開發之技術探討(I)，天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，臺灣，臺北，364-369。

陳重功、羅存文、李柏宏、買新興、陳孟詩與王嫵蘭，2011: CWB 2nd Week日均溫MOS系集預報模式開發-(II)測試評比，天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，臺灣，臺北，364-369。

蔡孟峰、陳孟詩、陳重功與羅存文，2013: 中央氣象局第二週NCEP GFS MOS日均溫度預報模式開發探討，天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，臺灣，臺北，A2-42。

羅存文、陳重功、蔡孟峰與陳孟詩，2013: NCEP GFS與GEFS MOS第1和2週平均溫度預報評比分析，天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，臺灣，臺北，A2-51。

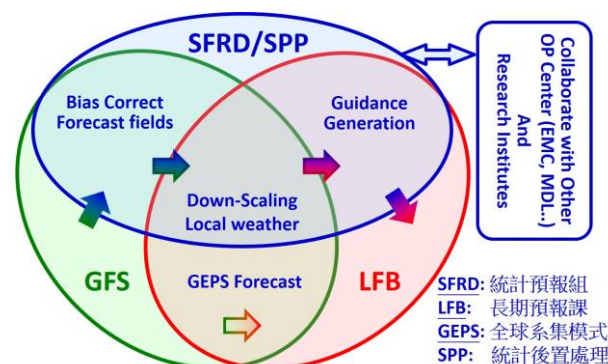


圖1. 統計後置處理架構與功能示意。

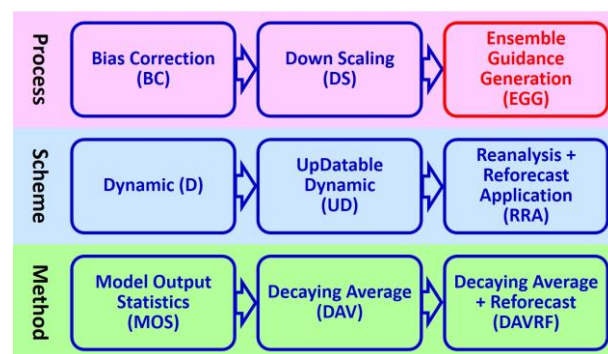


圖2. 統計後置處理的程序、模組與方法。

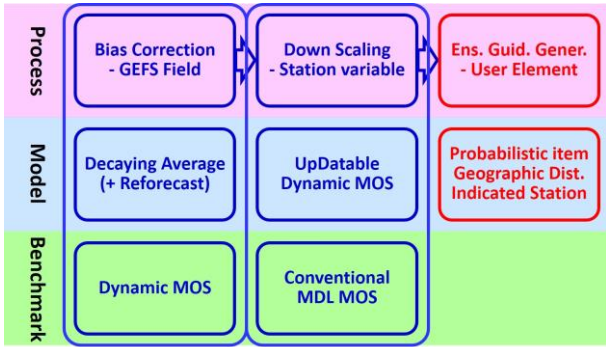


圖3. P6-I的給信後置處理各程序之建置模組與對比模組。

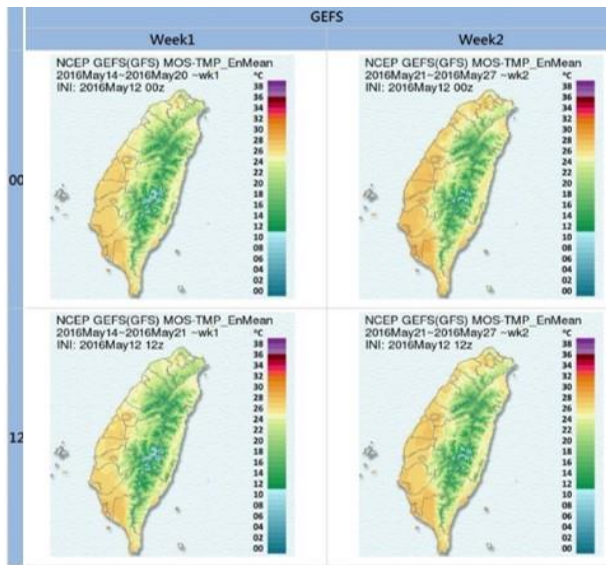


圖4a. NCEP GEFS MOS第1及2週週平均溫度全臺灣地區預報分布圖。



圖4b. 各縣的沿岸、平地與山區主要測站的NCEP GEFS MOS 2週的逐日溫度預報分布。

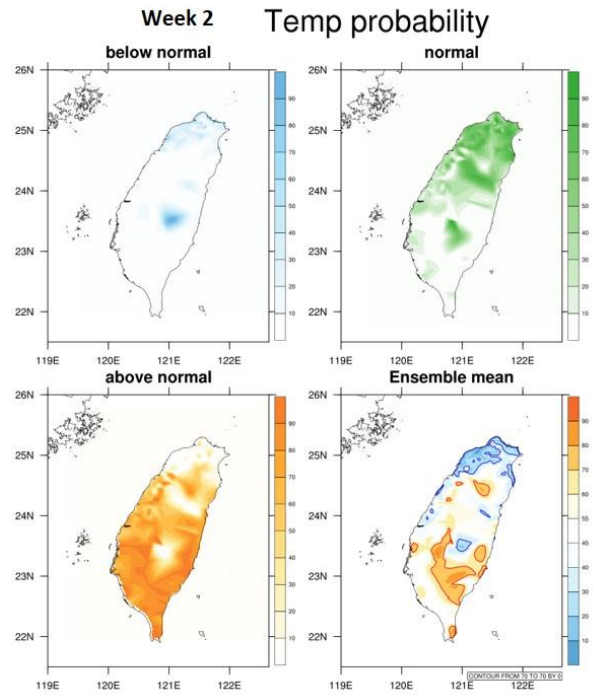


圖5a. NCEP GEFS MOS第2週溫度3分類(below-normal和above)與綜合全臺灣地區機率分布。

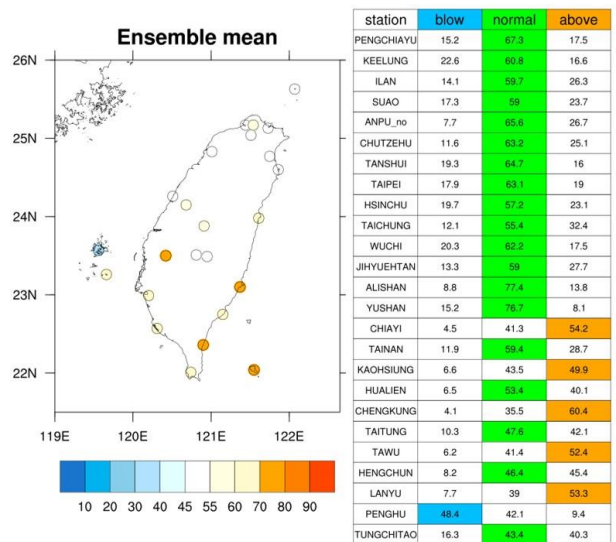


圖5b. 25個中央氣局主要測站的NCEP GEFS MOS第2週各個3分類預報機率值。

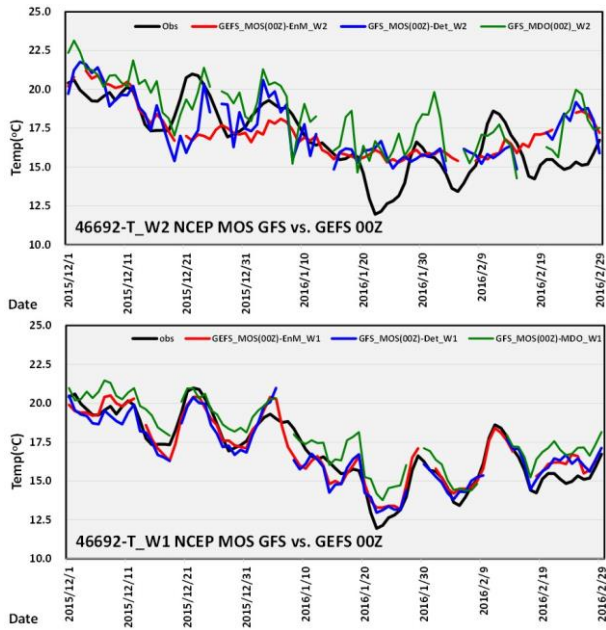


圖 6a. 台北市 2015 年 12 月至 2016 年 2 月之 00Z NCEP GEFS MOS 第 1、2 週逐日週平均溫度分布。(黑色: 觀測值、紅色: 系集平均、藍色: NCEP GFS MOS 預報)

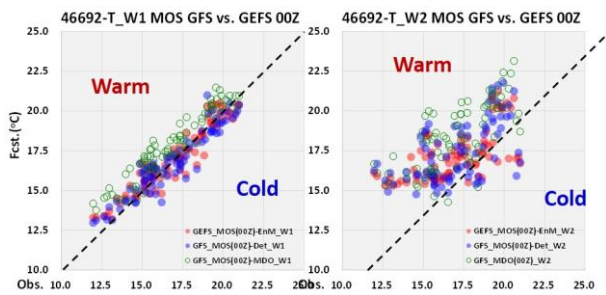


圖 6b. 同 5a 但為預報對應觀測的散布情形。

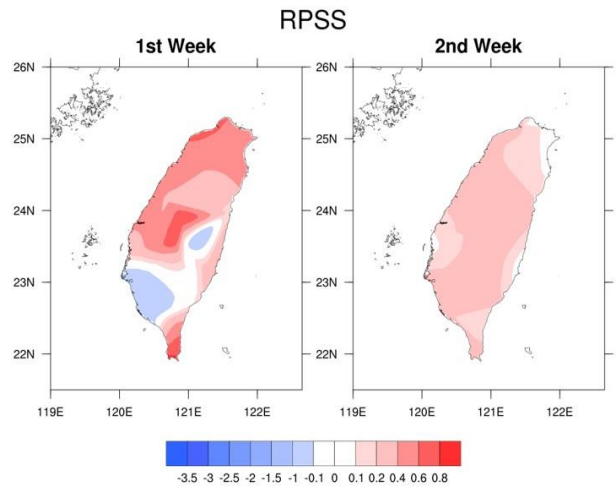


圖 7a. 2015 年 12 月至 2016 年 2 月，NCEP GEFS MOS 第 2 週週平均溫度 3 分類機率預報之全臺地區 RPSS 技術評比。

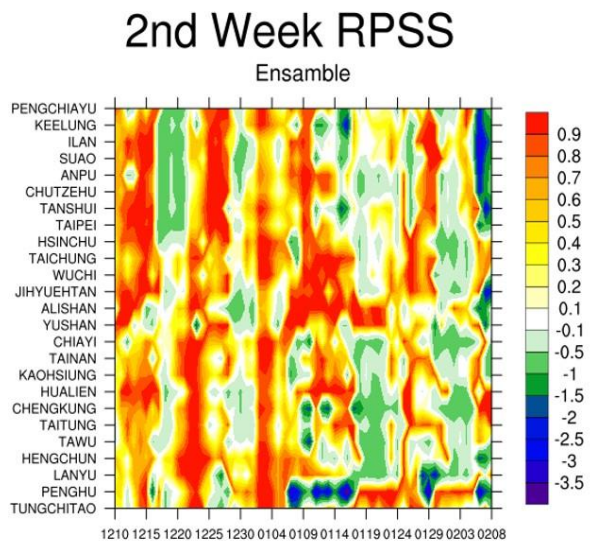


圖 7b. 中央氣象局的 25 個主要測站於 2015 年 12 月至 2016 年 2 月，NCEP GEFS MOS 第 2 週週平均溫度 3 分類機率預報之 RPSS 技術評比分布。