

氣象局第二代二步法氣候預報系統預報 之檢驗流程與預報能力評估

李清騰、盧孟明、胡志文

中央氣象局 科技中心

摘要

本報告介紹藉以評估氣象局的第二代二步法短期氣候預報系統預報能力的預報技術評量方法。評量分為五大類別，（一）根據世界氣象組織(WMO)官方文件計算的預報技術得分；（二）海表面溫度(SST)預報技術得分，分析模式預報結果對太平洋和印度洋的主要氣候變異模態的掌握程度；（三）熱帶降雨和溫度，分析模式對熱帶降雨的整體預報能力，也特別評量和台灣氣候關係最密切的東亞與西北太平洋區域的降雨預報能力；（四）東亞冬季與夏季季風以及西北太平洋副熱帶高壓；（五）影響台灣溫度和雨量變化的大尺度環流指數。

結果顯示，在海溫預報方面，CFSv2-SST 與 OPGv2-SST 的主要模態都與觀測相符，預報技術也相當高。溫度和雨量都以多模式系集 (Multi-Model Ensemble, MME) 平均預報的表現最好，但預報技術隨著預報時間增長而下降。另外，預報技術也呈現區域性差異，赤道附近的中太平洋至東太平洋技術得分最高，溫度預報的得分高於降水。季風預報約有 2 個月的預報技術，超過 2 個月之後的預報準確度較差。未來將進一步評估模式對於與台灣溫度和雨量變化有關的大尺度環流指數的預報能力與誤差估算。

一・前言

中央氣象局第二代兩步法全球氣候預報系統(TCWB2T2) 準備在 2016 年進行準作業預報測試，二步法的預報架構是先用統計或動力方法預測全球海表面溫度(SST)，再將預測的 SST 作為大氣模式下墊面條件驅動全球動力氣候模式預測大氣未來狀態(胡等 2008)。短期氣候預報系統中所使用的大氣模式為中央氣象局全球數值天氣預報模式(CWB Global Atmosphere Model) 與德國馬普研究院(Max-Planck-Institute for Meteorology)的 ECHAM5 模式兩組大氣模式，解析度分別為 T119L40(水平方向約為 110 公里, 垂直方向 40 層)與 T42L19(水平方向約為 300 公里, 垂直方向 19 層)；海溫預報方面除了有氣象局全球海溫最佳化預報系統(OPGv2-SST; 童雅卿，2012)產品之外，也使用美國環境預測中心(NCEP)氣候預報系統(CFSv2)的全球海溫預測資料(CFSv2-SST; Saha et al., 2010)。兩組大氣模式與兩組海溫預測資料交錯搭配出四種組合，每一種組合每個月產出 30 組 280 天的預測結果，也就是說每月有 120 組長達 280 天的預測結果作為加工產出月與季預測產品的原料，樣本數量越多越能製作有統計意義的產品。

模式預報產品提供給使用者運用之前必須要依照世界氣象組織(WMO)公布的標準評估產品的可信程度，評估預報技術是否優於氣候平均值或隨機猜測。除此之外，也要依照使用需求評估預報系統對於相關的重要氣候特徵掌握程度。中央氣象局的第二代二步法短期氣候預報系統的預報技術評量方法與結果簡要介紹如下。

二・資料與分析方法

(一) 資料

大尺度環流場所使用的觀測資料為 1982-2011 年 NCEP Climate Forecast System Reanalysis(Saha et al., 2010; CFSR)資料，資料格點數為 360x180，空間解析度為 1 度；SST 則為 Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST-V3b, Smith et al., 2008)，資料格點數為 180x89，空間解析度為 2 度。全球雨量觀測場資料則是使用 Global Precipitation Climatology Project (GPCP, Adler et al., 2003)，資料格點數為 144x72 格點數，空間解析度為 2.5 度。

事後預報實驗資料共 30 年(1982-2011)，預報系統是由中央氣象局(CWB)的全球氣候模式與 ECHAM5 模式兩組大氣模式搭配兩組不同的海溫邊界條件

(OPGv2-SST 與 NCEP-CFSv2-SST)組成的四組預報結果(CWB_OPGsst, ECHAM5_OPGsst, CWB_CFSsst, ECHAM5_CFSsst)。由於各個觀測場資料與模式預報資料解析度不相同，所以此研究將各個觀測場資料全部內插成全球經緯向共 360x180 格點數(空間解析度為 1 度)的網格資料。

(二) 分析方法

本文章所使用的預報技術分析模組中，主要參考來源 有 WMO 標 準 檢 驗 流 程 (<http://www.bom.gov.au/wmo/lrvfs/users.shtml>) 以 及 WMO 計 算 各 種 skill Score 的 方 法 (<http://www.cawcr.gov.au/projects/verification/>)，分別為氣候平均值、平均變異量、平均偏差、空間形態相關係數、距平相關係數、均方根誤差、Heidke skill score (HSS)、Gerrity skill score(GSS)、Ranked probability skill score(RPSS) 以 及 Relative/Receiver Operating Characteristic score(ROC) (如表 1 所示)，詳細計算式不在此贅述。

(三) 系集平均

全部預報產品組合的平均值，又稱多模式系集 (MME)平均，是最基本的評量產品。為了解不同預報組合的差異和技術水準，也分別評量相同大氣模式搭配不同SST預測值的系集平均(簡稱CWBE及EC5E)，以及相同的SST預測值搭配不同大氣模式的系集平均(簡稱OPGE與CFSE)。由於篇幅有限，本報告以呈現MME的評量結果為主。

三・海平面溫度預報分析

SST的預報分析包括主要氣候模態、ENSO以及印度洋與南海區域海溫的年際變化等項(如表2所示)，主要氣候模態由經驗正交函數(EOF)分析決定。圖1顯示12月觀測場與CFSv2-SST、OPGv2-SST模式預報領先1個月(初始場為11月)的第一個EOF，圖中觀測場可以看到在中、東太平洋海溫有正距平，而在西太平洋南北兩側為負距平，此模態解釋變異量為32.6%，PC時間序列則顯示1983、1997有最高值。CFSv2-SST 與 OPGv2-SST兩個模式的EOF海溫分佈圖都顯示和觀測值相同的分佈特徵，解釋變異量分別為36.8與53.1，模式和觀測值的PC時間序列相關係數高達0.9以上，第2-4個EOF的預報與觀測特徵也都相似(圖略)，PC時間

序列相關係數都高於0.8，由此可知兩組預報SST都能正確掌握SST的主要氣候模態。

圖 2 顯示 CFSv2-SST 和 OPGv2-SST 以 11 月為初始值之預報領先時間一個月的預報和觀測場相關係數空間分佈圖，圖中百分比數字代表在全球範圍內有多少百分比的網格點數有通過 95% 的統計檢定。CFSv2-SST 結果顯示，最高的相關係數值都集中在赤道中太平洋至東太平區域，北太平洋與大西洋也有較高相關係數值，全球有 85% 區域的相關係數值是有通過統計檢定。OPGv2-SST 的表現和 CFSv2-SST 相似，不過在赤道東太平的相關係數值略高些，但其它區域表現則不如 CFSv2-SST，全球有 83.6% 區域通過統計檢定。

圖3顯示Nino3.4與印度洋(50°E-110°E; 10°S-10°N)海溫指數的預報與觀測相關係數隨預報領先時間長度的變化，看到相關係數值隨預報時間增長略為減小，預報領先5月個月的相關係數值仍維持在0.7的水準，在Nino3.4區域的預報OPGv2-SST優於CFSv2-SST，但在印度洋區域則是CFSv2-SST較佳。整體而言，CFSv2-SST與OPGv2-SST的預報結果無論是氣候模態特徵或是距平相關係數，評量結果均顯示有相當高的預報技術。

四・溫度與雨量預報分析

溫度與雨量主要針對全球地區、熱帶地區以及東亞季風區分析預報技術(如表3所示)。本文章只針對以5月為初始場的預報結果來探討夏季環流場的預報能力與誤差範圍。

在氣候平均場方面，分析結果顯示模式預報溫度在陸地上的誤差較大，雨量偏多(圖略)。圖4為雨量場的空間形態相關係數隨預報領先時間的變化，看到MME在前四個月的相關係數值均高，四個不同組合的系集預報以CWBE表現最差。值得注意的是，雖然在相關係數值方面EC5E優於CWBE，但經過MME步驟後得到的相關係數值最高。

觀測與預報結果的相關係數是量化預報品質的慣用方法。圖 5 顯示以 5 月為初始值之 T2m 第一季(JJA)的觀測值與預報值之距平相關係數空間分佈圖，圖中百分比數字代表在全球範圍內有多少百分比的網格點數有通過 95% 的統計檢定。從 MME 與各系集平均結

果顯示，最高的相關係數值都集中在赤道中太平洋至東太平區域。其它系集結果表現以 OPGE 最差，CFSE 最好。

以 5 月為初始值的雨量第一季(JJA)預報與觀測距平相關係數的空間分佈圖(如圖 6)顯示結果與與 T2m 相似，MME 高相關區域只集中在赤道中、東太平洋地區，其它區域的相關係數值明顯偏低，空間上只有 19% 的網格點數有達到統計檢定，預報技術明顯低於 T2m。其它四個系集結果也和 MME 有相同的分佈特徵，但可以看到無論是相關係數值大小或是空間達統計檢定的百分比數都為 MME 最高。

圖 7 顯示以 5 月為初始值之第一季(JJA)預報的觀測與預報 SLP 距平相關係數的空間分佈圖，看到 MME 與觀測的高相關區域都在太平洋，但在高緯度與印度洋區域的相關係數明顯偏低，此外西太平洋季風槽區域的相關係數值也明顯偏低。其它四個系集結果和 MME 有類似的特徵，以 OPGE 的表現最差。

為了進一步了解溫度、雨量的預報技術得分與誤差範圍，本文章也計算了 MSSS、GSS 以及 RPSS 的技術得分指標，MSSS 代表預報誤差值、GSS 代表三分類的預報技術得分，RPSS 則是代表三分類的機率預報技術得分。圖 8 顯示 MME 的 MSSS、GSS、RPSS 的溫度、雨量技術得分分佈圖，圖中明顯看到，無論是 MSS、GSS 或是 RPSS 的主要高的預報技術集中在中、東太平洋赤道地區，其它地區的得分明顯偏低，另外雨量的預報技術明顯偏低，特徵與圖 5、6 類似。

由以上分析，可以得到溫度比雨量有較高的技術得分，此外 MME 有最高的預報技術，顯示不能只單靠一組的海溫預報資料來做預報，透過 MME 可以得到最佳的預報結果。另外，模式對夏季西北太平洋季風槽的環流系統與降水特徵表現不理想。

五・季風指數

季風指數的分析包括冬季季風指數、夏季季風指數以及西北太平洋副熱帶高壓指數(表 4)。由於本報告的分析以 5 月開始預報的例子為主，因此僅討論夏季季風指數和夏季西北太平洋副熱帶高壓指數(Wang et al. 2001, Wang et al. 2013)。

圖 9 顯示 WNPM 與 WPSH 指數的各系集結果與觀測場的相關係數隨預報時間增長的變化。WNPM 的

MME 預報結果在第 1-2 個月都有 0.5 以上的高相關係數，相關係數 0.3 以上即通過 95% 信心度檢定，但隨著領先預報月份增加相關係數值則明顯減小，到第三個月則無預報技術，其它系集結果的變化均和 MME 相似。另外在 WPSH 的變化也和 WNPM 相似，有預報技術的結果主要集中在領先時間不超過前 2 個月的預報。

為了更進一步了解模式對於夏季預報結果的掌握程度，所以根據 Wang and LinHo(2002)所定義的三個亞洲季風區，分別為印度夏季季風區(ISM; 65°E-105°E, 5°N-27.5°N)、東亞夏季季風區(EASM; 105°E-140°E, 22.5°N-45°N)以及西北太平洋夏季季風區(WNPSM; 105°E-150°E, 5°N-22.5°N)。圖 10 顯示三個季風區域內，初始值 5 月的各系集降水結果分別與觀測值的相關係數隨領先預報月份之時間序列圖，圖中明顯在 WNPSM 與 EASM 在第一個月預報都有 0.4 的相關係數，但到了第二個月後的相關係數明顯偏低，而且各個系集的預報結果差異較大，另外 ISM 區域的結果呈現出相關係數一直維持在 0.2-0.4 左右，而且可以看到其中以 OPG 的系集平均結果和其它的系集差異大，由於 OPG 的海溫預報結果對此區域預報結果不理想，導致大氣模式也呈現出較差的預報技術。

六・結論與討論

本研究設計一套預報技術評量方法來評估氣象局的第二代二步法短期氣候預報系統之事後預報實驗結果之預報能力。預報技術評量分為(一)根據世界氣象組織(WMO)官方文件計算預報技術得分，(二)針對海表面溫度(SST)計算的預報技術得分，(三)針對全球熱帶降雨和溫度以及東亞與西北太平洋區域評量模式預報能力，(四)評估對於東亞冬季與夏季季風以及西北太平洋副熱帶高壓的預報能力，(五)評估與台灣溫度和雨量變化關係密切的大尺度環流指數的預報能力。

SST 預報結果顯示兩種預報海溫的主要變化模態與觀測到的 SST 主要氣候模態一致，距平相關係數顯示預報有相當高的技術。全球溫度和雨量預報則表現赤道附近中太平洋至東太平洋得分最高，溫度的技術得分比降水高，MME 平均預報表現最好。未來將接續完成各個季節預報結果的分析並製作預報指引。

七・參考文獻

- 胡志文, 蕭志惠, 童雅卿, 任俊儒, 鄭凱傑, 黃文豪, 施宇晴, 施景峰, 莊穎叡, 賈愛玖, 2008: 中央氣象局動力統計氣候預報系統簡介。天氣分析與預報研討會論文彙編, 253-258。
- 童雅卿, 2012: 第二代全球海溫預報系統之發展與測試, 天氣分析與預報研討會論文彙編, A3,76-81。
- Adler, R. F., and Coauthors, 2003: The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). *J. Hydrometeor.*, 4, 1147–1167.
- Saha, Suranjan, and Coauthors, 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1015.1057. doi: 10.1175/2010BAMS3001.1
- Smith, T. M., R. W. Reynolds, T. C. Peterson, and J.

Lawrimore, 2008: Improvements to NOAA's historical merged land–ocean surface temperature analysis (1880–2006). *J. Climate*, 21, 2283–2296.

Wang, B., W. Renguang, and K.-M. Lau, 2001: Interannual variability of the Asian summer monsoon: contrasts between the Indian and the Western North Pacific-East Asian Monsoons. *J. Climate*, 14, 4073–4090.

Wang, B., and LinHo, 2002: Rainy Season of the Asian-Pacific Summer Monsoon. *J. Climate*, 15, 386–398.

Wang, B., Xiang, B., and Lee, J. Y., 2013: Subtropical High predictability establishes a promising way for monsoon and tropical storm predictions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110.8, 2718–2722.

表1. 長期預報標準檢驗系統。

Standardized Verification System (SVS) for Long-Range Forecasts (LRF) 長期預報標準校驗系統		
Mean climatology 平均氣候場	Rain, Temperature 雨量、溫度	Mean 平均值
Mean variance 平均變異量	Rain, Temperature 雨量、溫度	Mean, Variance 平均值、變異度
Mean bias 平均偏差	Rain, Temperature 雨量、溫度	Mean, Difference 平均值、差異量
Pattern correlation coefficient (PCC) 空間形態相關係數	Rain, Temperature 雨量、溫度	PCC of Mean climatology 平均氣候場空間形態相關係數
Anomaly correlation coefficient (ACC) 距平相關係數圖	Rain, Temperature 雨量、溫度	Temporal correlation of anomaly maps 距平的時間相關係數圖
Root mean square errors (RMSE) 均方根誤差	Rain, Temperature 雨量、溫度	RMSE of Mean bias 平均偏差值的均方根誤差
Heidke skill score (HSS) HSS技術得分	Rain, Temperature 雨量、溫度	HSS (Tercile categories) 評量三分類機率預報技術HSS得分
Gerrity skill score (GSS) GSS技術得分	Rain, Temperature 雨量、溫度	GSS (Tercile categories) 評量三分類機率預報技術GSS得分
Ranked probability skill score (RPSS) RPSS技術得分	Rain, Temperature 雨量、溫度	RPSS (Full probability, PDF) 評量機率預報技術RPSS得分
Relative/Receiver Operating Characteristic score (ROC Score) ROC技術得分	Rain, Temperature 雨量、溫度	ROC Score (Full probability / 10 Bins) 評量機率預報技術ROC得分

表3. 热帶地區溫度、雨量檢驗方法。

Tropics 热帶		
Global 全球預報	Rain, Temperature 雨量、溫度	Seasonal contrast (30S-30N) 季節對比
Tropical Belt (30S-30N): AF(0-50E), IO(50E-110E), WP(110E-180E), EP(180W-80W), AO(80W-0) 熱帶及分區預報	Rain, Temperature 雨量、溫度	RMSE, ACC 均方根誤差, 距平相關係數圖
Taiwan and the surrounding monsoon region (TAIWAN) (0-40N, 100E-150E) 台灣附近季風區預報	Rain, Temperature 雨量、溫度	RMSE, ACC 均方根誤差, 距平相關係數圖 (台灣附近5個區域)

表2. 海表面溫度檢驗方法。

Sea Surface Temperature (SST) Evaluation 海表面溫度		
Major climate modes 主要氣候模態	SST 海表面溫度	EOF 經驗正交函數分析法
ENSO spatial and temporal characteristics 型變現象時空變化特徵	SST 海表面溫度	Mean bias, Correlation, RMSE (of Nino indexes) 以Nino指標為對象計算平均偏差、相關係數、均方根誤差
Indian Ocean SST spatial and temporal characteristics 印度洋海表面溫度時空變化特徵	SST 海表面溫度	Mean bias, Correlation, RMSE (of IOD indexes) 以印度洋海溫偶極(Indian Ocean Dipole)指標為對象計算平均偏差、相關係數、均方根誤差
South China Sea SST spatial and temporal characteristics 南海海表面溫度時空變化特徵	SST 海表面溫度	Mean bias, Correlation, RMSE (of SCS, N-SCS, E-SCS, S-SCS) 南海整體與北、中、南部

表4. 東亞及西北太平洋季風指數檢驗方法。

East Asia and western North Pacific Monsoons 東亞與西北太平洋		
Winter Monsoon 冬季季風	Sea Level Pressure (SLP), U-300hPa, U-200hPa 海平面氣壓：300hPa 褶向風、200hPa 褶向風	Bias, RMSE, Correlation (Indexes: SMH, EWV, EJL, ELY) 偏差、均方根誤差、距平相關係數圖 (季風指數)
Summer Monsoon 夏季季風	(U,V) at 850hPa and 200hPa 850hPa風場、200hPa風場	Bias, RMSE, Correlation (Indexes: WNPMI, WYI, ASMI, SAMI, DU2) 偏差、均方根誤差、距平相關係數圖 (季風指數)
West Pacific Subtropical High (WPSH) 西北太平洋副熱帶高壓	GPH at 850hPa 850hPa重力位高度	RMSE, Correlation 均方根誤差、距平相關係數圖

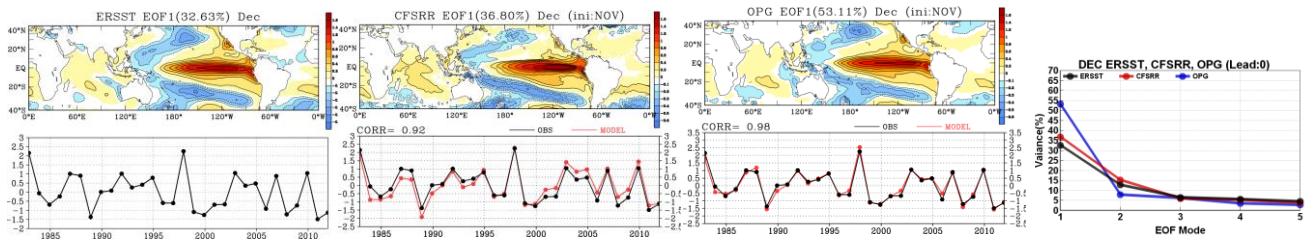


圖 1. 1982-2011 年 12 月的第一個主模態特徵(上圖)與時間序列圖(下圖),圖中左至右分別為觀測場、CFSv2-SST、OPGv2-SST 模式領先 1 個月預報結果,最右圖為第 1-5 模態之解釋變異量。

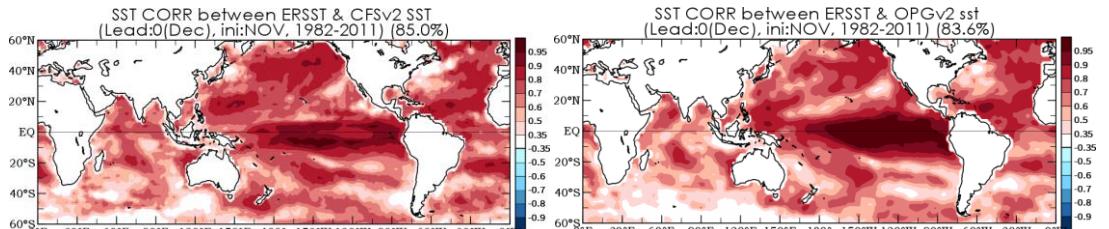


圖 2. CFSv2-SST(左)、OPGv2-SST(右)之領先 1 個月預報結果與觀測場之距平時間相關係數的空間分佈圖。圖中右上角數字代表全比網格點數中有多少百分比網格點通過 95% 的統計檢定。

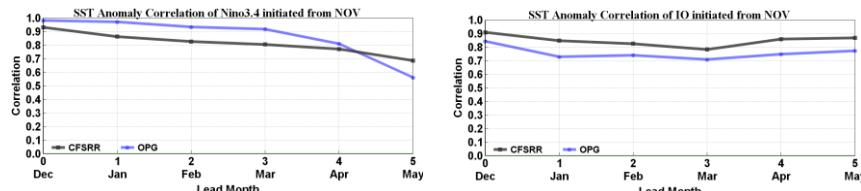


圖 3. Nino3.4 區域(左)、印度洋區域(右)之領先 1 個月預報結果與觀測場之距平相關係數之時間序列圖。圖中 X 軸代表預報月份(12 月至 5 月), Y 軸代表相關係數值。

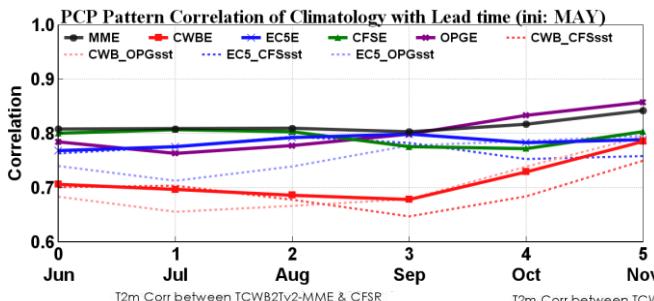


圖 4. 初始場 5 月模式預報結果與觀測氣候場之形態相關係數隨領先月份之時間序列圖。圖中 X 軸為預報月份, Y 軸為相關係數圖, 黑色線為 MME, 紅色線為 CWBE, 藍色線為 EC5E, 綠色線為 CFSE, 紫色線為 OPGE。

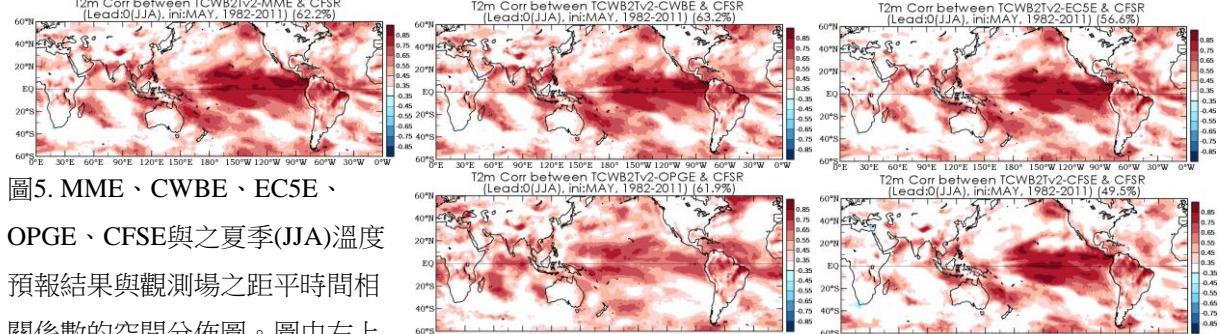


圖 5. MME、CWBE、EC5E、OPGE、CFSE與之夏季(JJA)溫度預報結果與觀測場之距平時間相關係數的空間分佈圖。圖中右上角數字代表全比網格點數中有多少百分比網格點通過95%的統計檢定。

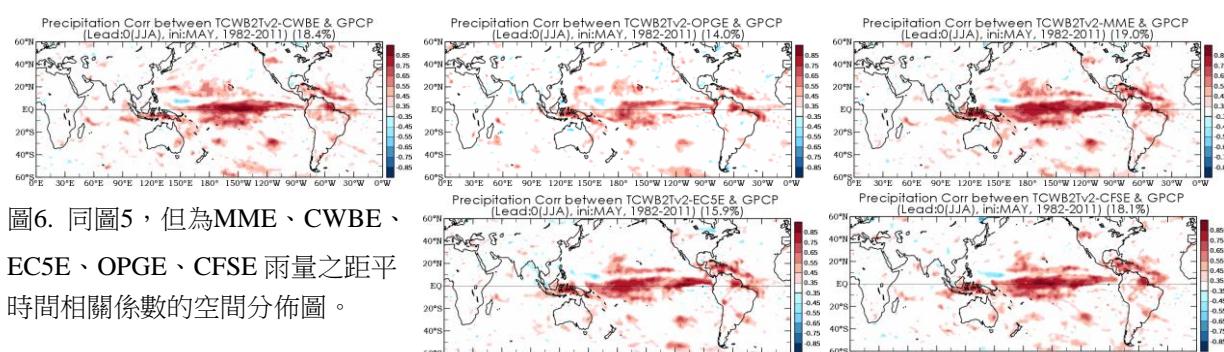


圖 6. 同圖 5, 但為 MME、CWBE、EC5E、OPGE、CFSE 雨量之距平時間相關係數的空間分佈圖。

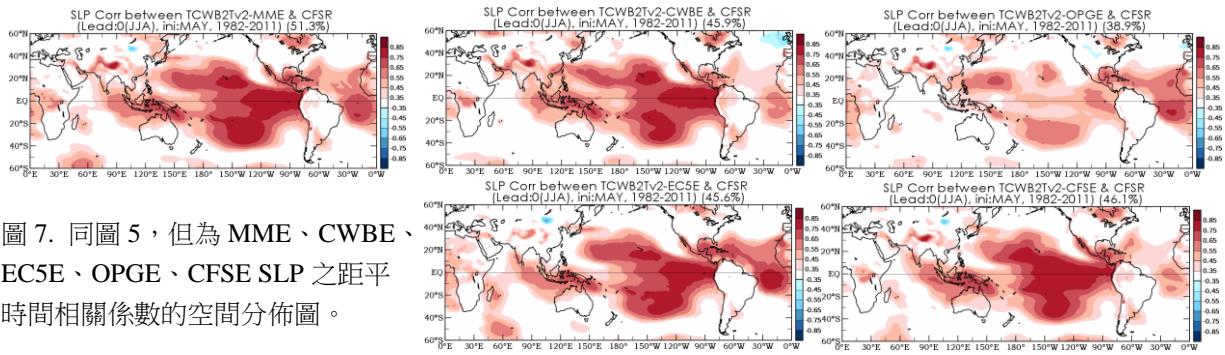


圖 7. 同圖 5，但為 MME、CWBE、EC5E、OPGE、CFSE SLP 之距平時間相關係數的空間分佈圖。

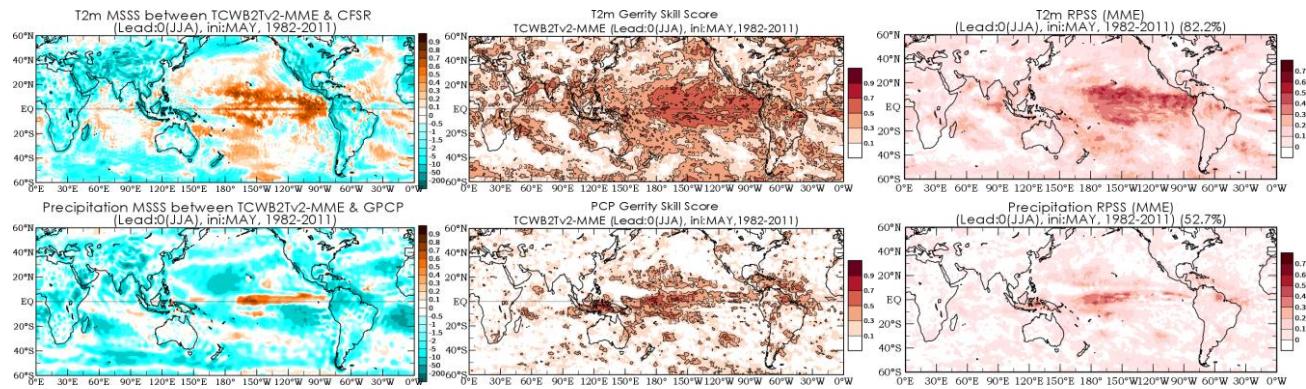


圖 8. MME 夏季(JJA)溫度(上圖)、雨量(下圖)預報結果與觀測場之 MSSS、GSS 與 RPSS 技術指標的空間分佈圖。

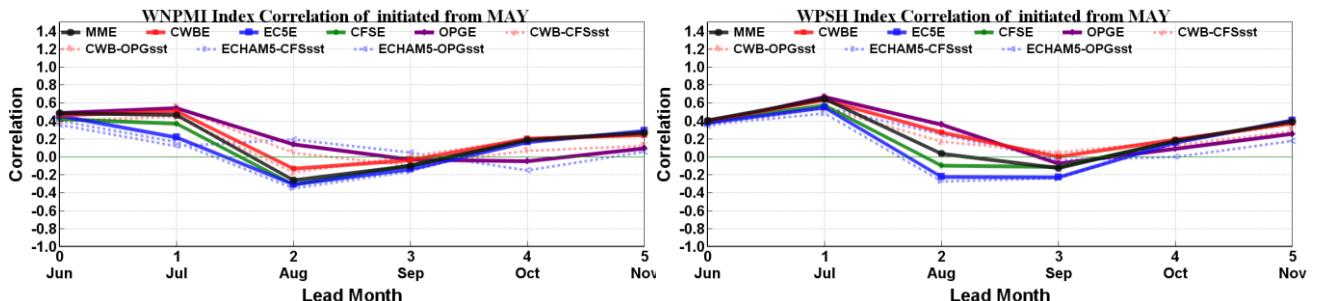


圖 9. 季風指數 WNPM(左)、WPSH(右)的各系集結果與觀測場的相關係數隨領先月份之時間序列圖。圖中 X 軸為預報月份，Y 軸為相關係數圖，黑色線為 MME，紅色線為 CWBE，藍色線為 EC5E，綠色線為 CFSE，紫色線為 OPGE。

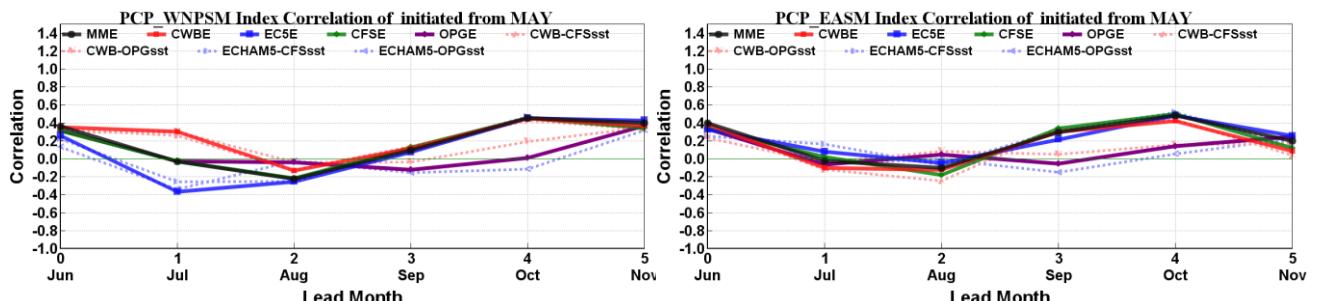


圖 10. 同圖 9，但為 WNPM 區域、EASM 區域與 ISM 區域的各系集雨量結果與觀測場的相關係數隨領先月份之時間序列圖。

