

氣象局第二代二步法氣候預報系統預報能力評估初步結果

李清勝、盧孟明

中央氣象局 科技中心

摘要

中央氣象局第二代二步法短期氣候預報系統(TCWB2T-2)擬在 2016 年取代第一代系統進行作業性運轉。第二代系統架構與第一代類似，但全球預報海溫與氣象局全球大氣模式均優於第一代。預報系統由兩個大氣模式與兩組全球預報海溫組成，在大氣模式方面分別是氣象局全球預報模式(CWB Global Atmosphere Model)，其水平解析度為三角截取 119 波網格(T119, 約為 110 公里)，垂直方向有 40 層(L40)，簡稱 CWB-GAM-T119L40，另一全球大氣模式為來自德國的 ECHAM5 模式，簡稱 ECHAM5-GAM-T42L19，水平方向約為 300 公里，垂直方向 19 層。兩組全球預報海溫分別為美國國家環境預測中心(NCEP)公布的 NCEP-CFSv2-SST 與中央氣象局產品 OPG SST-v2。目前中央氣象局已完成 TCWB2T-2 1982-2011 年(30 年)事後預報資料庫，本研究將根據本資料庫的預報結果分析 TCWB2T-2 對大氣大尺度環流氣候平均場、季節變化與年際變化的預報能力。

結果顯示在氣候平均場方面，多模式系集平均(Multi Model Ensemble, MME)表現最好。比較 CWB-GAM-T119L40 與 ECHAM5-GAM-T42L19 的表現則發現兩個模式在溫度預報方面技術相當，但雨量方面則是 ECHAM5-GAM-T42L19 優於 CWB-GAM-T119L40。在預報技術的區域性差異方面，赤道附近中太平洋至東太平洋有最高的技術得分。整體而言，溫度的預報技術得分比降水高，冬季則是比夏季高。從季風指標來看模式大致可在 1-2 個月以前預報出季風指標的變化趨勢，但超過 2 個月後則無明顯預報技術。目前正在進行亞洲區域季節變化與 TCWB2T-2 的預報能力及誤差範圍評估之分析。

一．前言

中央氣象局正逐步建立第二代二步法短期氣候預報系統(TCWB2T-2)，此二步法架構就是先用統計與數值動力方法計算全球海表面溫度預測值，將此海溫預測值作為大氣模式的下邊界條件，再利用全球數值動力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，其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(OPGSST-v2; 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(NCEP-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，此多樣本數的預報產品數目具有統計意義的變異幅度。

氣象局預計在 2016 年以 TCWB2T-2 取代第一代系統進行作業性月與季預報，正式作業之前需要依照世界氣象組織(WMO)公布的標準評估作業系統的預報技術。此外，為了解預報模式的基本氣候模擬能力，需分析模式在日夜變化(diurnal cycle)、季節變化(season cycle)以及年際變化(annual cycle)(Wang et al., 2009)等方面的表現。分析方法主要是計算模式的預報技術得分以及計算其全球及各季風區域內的相關係數與均差根誤差，藉此來了解模式的預報程度。

二．使用資料與分析方法

(一) 使用資料

大尺度環流場的觀測資料為 1979-2013 年 NCEP Climate Forecast System Reanalysis(Saha et al., 2010; CFSR)資料，資料解析度為 360x180。海平面溫度資料則為 Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST-V3b, Smith et al.,2008)，時間長度為 1949-2013 年，解析度為 180x89。全球雨量觀測場資料則是使用 Global Precipitation Climatology Project (GPCP, Adler et al., 2003)，年份為 1979-2013 年，解析度為 144x72。

本文主要分析中央氣象局(CWB)的全球氣候模式與 ECHAM5 模式所執行的事後預報實驗資料，事後預報資料年份為 1982-2011 年，共 30 年，本文章挑選初始值為 5 月及 12 月的模式預報結果，每個月共執行 31 組(天) 280 天的預報場。另外再搭配兩組不同的海溫邊界條件(OPGSST-v2 與 NCEP-CFSv2-SST)，所以共有四組不同的事後預報結果 (CWB_OPGsst, ECHAM5_OPGsst, CWB_CFSsst, ECHAM5_CFSsst)。

由於各個觀測場資料與模式資料解析度不相同，所以此研究將各個觀測場資料全部內插成模式 360x180 的網格點數(解析度為 1 度)。

(二) 分析方法

本文章主要分析模式是否可以正確模擬出環流場與降水場氣候場分佈特徵、年際變化以及季風指標特性。使用統計方法有距平相關係數(Anomaly correlation coefficient)、標準化之均方根誤差(Normalized of Root Mean Square Error)以及型態相關係數(Pattern correlation coefficient)。

(三) 系集平均

第一種為一般常用之多模式系集平均(MME)，是將所有各種組合的預報結果平均而得到。此外為了解兩組大氣模式的差異以及兩組不同海溫的模式結果差異，所以將相同的大氣模式加上兩組不同海溫作系集平均而得到兩組系集平均結果(簡稱CWBE及ECHAM5E)，另外相同的海溫資料加上不同的大氣模式作系集平均，同樣也得到兩組系集平均結果(簡稱 MME_OPGsst 與 MME_CFSsst)。由於篇幅有限，本報告內容以呈現 MME 的效果為主。

三．氣候平均場

圖 1 顯示 5 月為預報初始值之第一個月預報的 T2m 觀測對照氣候平均場以及模式預報與觀測差異分佈圖。圖中觀測場(6月)顯示從非洲經印度洋到西太平洋有顯著高溫情形，東太平洋以及西大西洋也是有類似情形。在模式與觀測差異圖中來看，MME 結果呈現主要差異發生在陸地上，尤其是中國大陸，美國西岸以及南美洲東岸等地形複雜地區。CWBE 與 ECHAM5E 系集結果是呈現出不同的差異分佈情形，CWBE 模式在中國大陸及非洲陸地有負偏差，但 ECHAM5 卻是正偏差。另外 MME_OPGsst 與 MME_CFSsst 的系集結果都與 MME 相似，故省略此部份的氣候場分析結果。以 12 月為預報初始值的 T2m 之預報與觀測的差異(圖略)和以 5 月為初始值的預報結果類似，顯示模式的近地表溫度預報偏差與季節關聯不大。

圖 2 顯示 5 月為初始值之第一個月預報的 SLP 觀測對照氣候平均場以及模式預報與觀測差異分佈圖。觀測場(6月)顯示北太平洋、北大西洋有副熱帶高壓環流，中國大陸為熱低壓環流。從 MME 差異圖中發現，北太平洋與北大西洋的副熱帶高壓與中國大陸熱低壓都有模擬過強現象，但在南半球地區的 SLP 模擬則和觀測非常相近。CWBE 與 ECHAM5E 系集結果也都呈現太平洋副熱帶高壓以及中國大陸熱低壓模擬偏強，但 ECHAM5E 模擬副熱帶高壓強度明顯比 CWBE 偏強。不同於 T2m，SLP 的冬季預報和觀測的差異特徵與夏季有明顯差別。圖 3 顯示以 12 月為預報初始值的第一個月 SLP 觀測氣候平均場以及模式預報與觀測差異分佈圖，MME 顯示北太平洋(約 60°N 附近)的阿留申低壓模擬稍偏弱，中國大陸冷高壓則略偏強。兩個系集平均結果對於氣壓場的誤差分佈是呈現不同的分佈情形，CWBE 模擬中國大陸高壓偏強，阿留申低壓偏強且中心稍為南移，ECHAM5E 則是模擬阿留申低壓與大陸高壓明顯偏弱。由於 CWBE 與 ECHAM5E 的 SLP 誤差是呈現相反分佈現象，所以經過 MME 步驟後，反而使得誤差減至最小。

圖 4 顯示以 5 月為初始值之雨量的第一個月預測和觀測的差異。GPCP 觀測場顯示海面上的主要降

水區在ITCZ，阿拉伯海、孟加拉灣以及日本南邊海面，陸地上則在孟加拉，中國南部及南美洲北部。從MME與觀測差異圖中可看到海面上降水明顯偏多，陸地上降水除了孟加拉外則是明顯偏少。兩個系集結果也都是海洋降水偏多，陸地降水偏少的誤差。另外，以12月為初始值的雨量預測與觀測差異(圖略)和以5月為初始值的結果類似，顯示模式熱帶區域雨量預報偏差與季節關聯不大。

觀測氣候場與模式氣候場做形態相關係數是量化模式是否能夠正確掌握氣候場特徵的慣用方法。圖5為形態相關係數隨預報月份之時間序列圖，圖中明顯看到MME在5月或12月的模擬結果中都有最高相關係數值，而5月結果中相關係數值隨預報月份增加仍維持0.8左右，而12月則是略為下降，此外四個系集結果中，以CWBE的表現最差。值得注意的是ECHAM5雖然比CWB有較好相關係數值，但透過MME步驟後可得到最高相關係數值。

四．溫度與雨量年際變化

計算預報值與觀測值的時間相關係數則是量化模式掌握氣候變量之年際變化的慣用方法。圖6顯示以5月為初始值之T2m第一個月預報的觀測值與預報值之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洋區域，此外赤道印度洋與大西洋也有較高相關係數值。各系集結果中以MME_OPGsst的表現最差。圖7是以12月為預報初始值的T2m距平相關係數空間分佈圖，MME的結果和以5月為初始值的特徵相似，也是在赤道中、東太平洋的高相關區域，但此時有88.5%網格點數有達統計檢定，顯然比5月的79.5%有更佳的模擬結果，代表冬季的溫度預報比夏季有更高的技術得分，其它四個系集結果也都和MME有類似結果。

圖8顯示以5月為初始值之雨量第一個月預報的觀測與預報距平相關係數之空間分佈圖，MME結果顯示高相關區域只集中在赤道中、東太平洋，大西洋上也有高相關值，但其它區域的相關性則不顯著，空間上只有25.5%的網格點數有達到95%的統

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，但無論相關係數值或是空間達統計檢定的百分比都比MME較小。以12月為預報初始值的結果(圖略)和5月相似，但12月的相關係數平均數值略高。

圖9顯示分別以5月及12月為預報初始值的各系集預報的時間相關係數之空間分佈，取經向平均值後的東西向剖面分佈圖，圖中看到以5月為預報初始值的T2m預測結果以MME的平均相關係數最高，MME_OPGsst則在中太平洋區域表現最差。但以12月為預報初始值的結果顯示MME_OPGsst比MME_CFSsst有較高的相關係數值，表示OPGSSTv-2在赤道中、東太平洋地區的冬季預報結果有較高的預報技術得分。在雨量相關係數分佈的經向平均之東西剖面圖顯示，以5月為預報初始值的預報結果在中、東太平洋區域相關係數最高，而120°E以西各系集結果較為分散。以12月為初始值的結果和5月類似，但相關係數值明顯高於5月。

以上分析，可以得到溫度比雨量有較高的技術得分，而冬季(12月開始預報)比夏季(5月開始預報)有更好的預報技術。另外NCEP-CFSv2-SST比OPGv2-SST有較高的預報技術得分，但OPGv2-SST則在冬季赤道中、東太平洋地區表現較好，顯示出氣候模式模擬不能只單靠一組的海溫預報資料來做預報。

五．季風指標

本文採用夏季季風指標為西北太平洋夏季季風指標(WNPM; Wang et al. 2001)以及西北太平洋副熱帶高壓指數(WPSH; Wang et al. 2013)，冬季季風指標則是Jhun and Lee(2004)和Li and Yang(2010)的亞洲冬季季風指標(EAWM-JL & EAWM-LY)來分析氣候模式是否能夠正確掌握季風區域內環流場的年循環變化特性。

圖10顯示夏季、冬季季風指標的各系集結果與觀測場之相關係數隨預報月份的時間序列圖，圖中在夏季的兩個指標中(WPSH, WNPM)，MME在第一個月預報都有0.6及0.55的高相關係數，但隨著預報月份增加而相關係數值明顯減小，到了第三個

月則無預報技術，其它系集結果均和 MME 相似，並且到了第三個月模式分散度偏大。冬季兩個季風指標呈現出有 1-2 個月的預報技術，而 MME 與 CWBE 都有較高相關係數值，此冬季季風指標是根據高層風場計算得到，顯示出 CWBE 對於高層風場模擬有較好的掌握程度。

Wang and LinHo(2002)根據雨量變化的特性來定義亞洲季風區，區分出印度夏季季風區(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)，另外卓與盧(2009)除了分析北半球的三個季風區之外，也定義了澳洲季風區(AUSM; 110°E-155°E, 5°S-25°S)。

圖 11 顯示四個季風區域內，初始值 5 月的各系集降水結果分別與觀測值隨預報月份之時間序列圖，圖中明顯看到第一個月預報都有 0.4-0.6 的高相關，其中以 MME 為最高，但到了第二個月後，WNPSM 與 EASM 季風區域的相關係數明顯偏低，而 ISM 則是在第三個月出現偏低情形，另外 AUSM 區域的結果呈現出相關係數一直維持在 0.6 左右，推測此高相關係數，有可能是因為此時降水變化主要集中在北半球，而 AUSM 區域降水並無明顯年際變化，所以相關係數才偏高。另外在初始值 12 月結果中(圖略)，同樣也呈現出在降水變化較大區域(AUSM)的第二個月預報後，各系集結果的相關係數值分散度偏大。由此可以知道模式在降水年際變化大的區域，大約只有 1-2 個的預報技術，而超過 2 個月後，預報技術明顯偏低。

六． 結論與討論

本研究針對了氣候平均場，年際變化、季風指標來評估此氣象局新一代高解析之氣候預報能力，氣候平均場分析結果中，得到多模式系集平均(MME)比其它的系集平均更接近於觀測值，但模式有海洋降水偏多，陸地降水偏少的誤差。從溫度、雨量的距平相關分析結果中，溫度比雨量，冬季(12月)比夏季(5月)有更高預報技術，並且高的預報技術得分集中於赤道中、東太平洋地區。另外從季風指標分析中知道，模式只有 1-2 個的預報技術，超

過 2 個月後，預報技術得分明顯偏低。

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，莊穎歡，賈愛玫，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集，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集，A3,76-81。
- 卓盈旻、盧孟明，2009:IPCC 第四期評估報告氣候模式對亞洲夏季季風模擬之分析。大氣科學，第 37 期第 2 號，13-34。
- Adler, R. F., and Coauthors, 2003: The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). *J. Hydrometeor.*, **4**, 1147–1167.
- Jhun, J.G. and E. J Lee. 2004: A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon. *J. Climate.*, **17**, 711-726.
- Li Y., and S. Yang : A dynamical index for the East Asian winter monsoon. *J. Climate*, **23**, 4255-4262, 2010.
- Saha, Suranjana, 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 historicalmerged 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., J.-Y. Lee, et al., 2009: Advance and prospectus of seasonal prediction: assessment of the APCC/CliPAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980–2004). *Climate Dynamics* 33:1, 93-117

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.

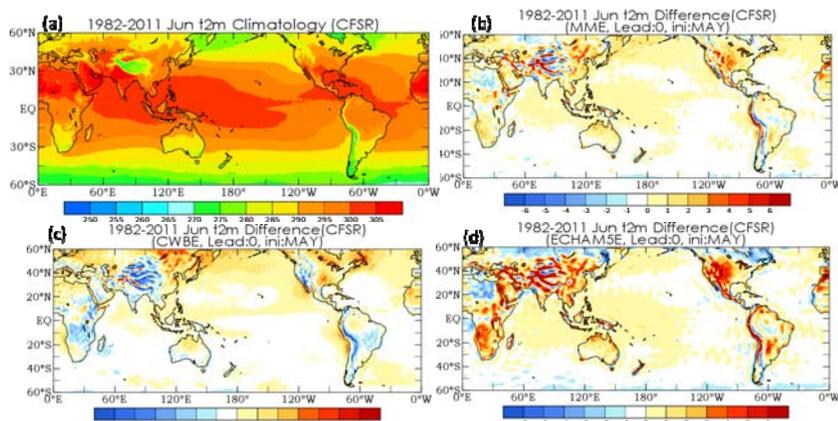


圖 1. 模式初始值 5 月之 T2m 第一個月預報的觀測對照氣候平均場以及模式預報與觀測差異分佈圖，圖中(a)為 CFSR 觀測場分佈圖，(b)為 MME 與觀測場差異圖，(c)為 CWBE 與觀測場差異圖，(d)為 ECHAM5E 與觀測場差異圖。

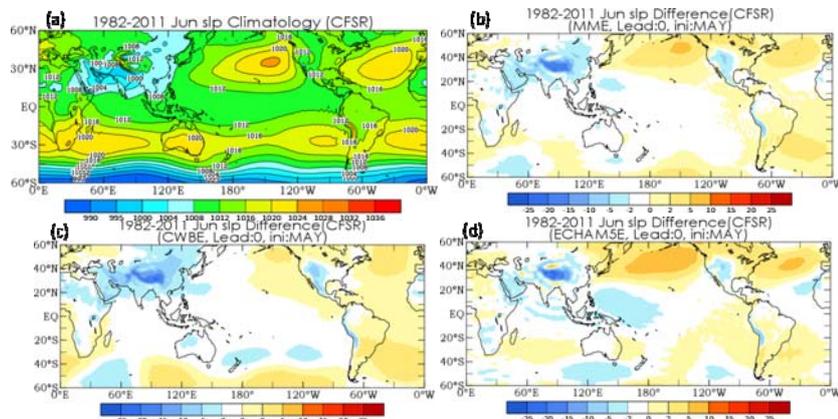


圖 2. 同圖 1，但為模式初始值 5 月之 SLP 第一個月預報的觀測氣候平均場以及模式與觀測差異分佈圖。

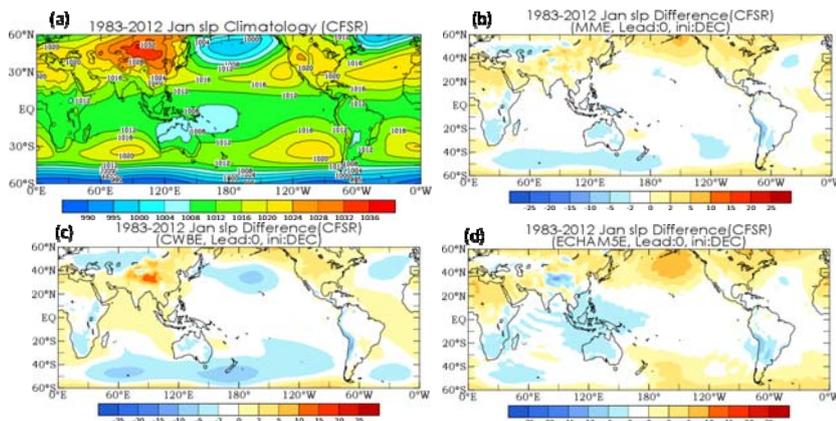


圖 3. 同圖 1，但為模式初始值 12 月之 SLP 第一個月預報的觀測氣候平均場以及模式與觀測差異分佈圖。

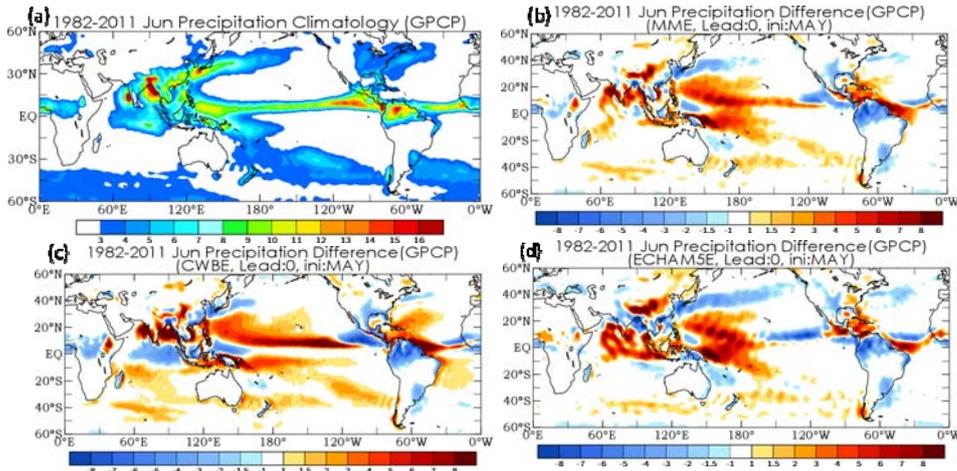


圖 4. 同圖 1，但為模式初始值 5 月之雨量第一個月預報的觀測氣候平均場以及模式與觀測差異分佈圖。

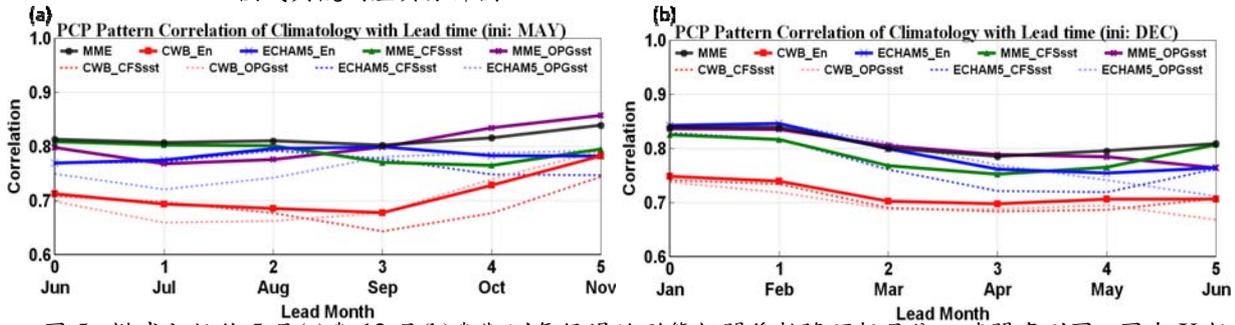


圖 5. 模式初始值 5 月(a)與 12 月(b)與觀測氣候場的形態相關係數隨預報月份之時間序列圖。圖中 X 軸為預報月份，Y 軸為相關係數圖，黑色線為 MME，紅色線為 CWBE，藍色線為 ECHAM5E，綠色線為 MME_CFSsst，紫色線為 MME_OPGsst。

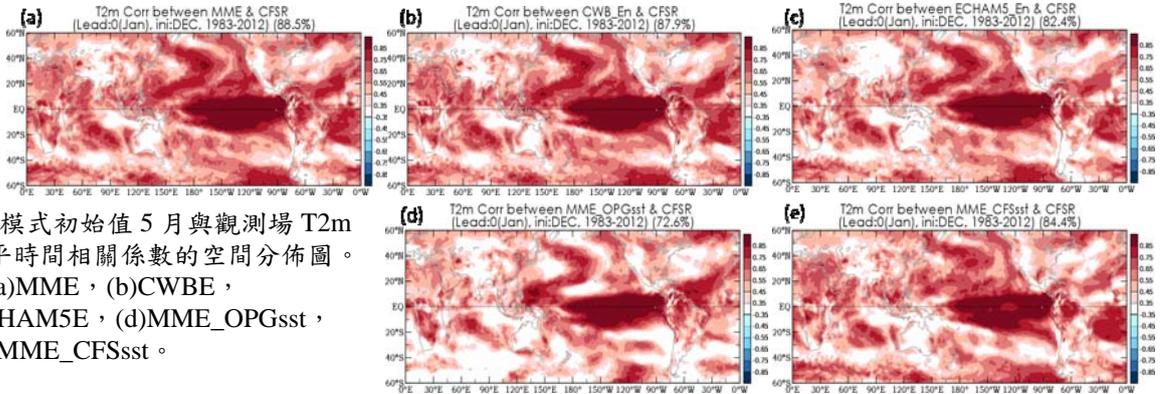


圖 6. 模式初始值 5 月與觀測場 T2m 之距平時間相關係數的空間分佈圖。圖中(a)MME，(b)CWBE，(c)ECHAM5E，(d)MME_OPGsst，(e)為 MME_CFSsst。

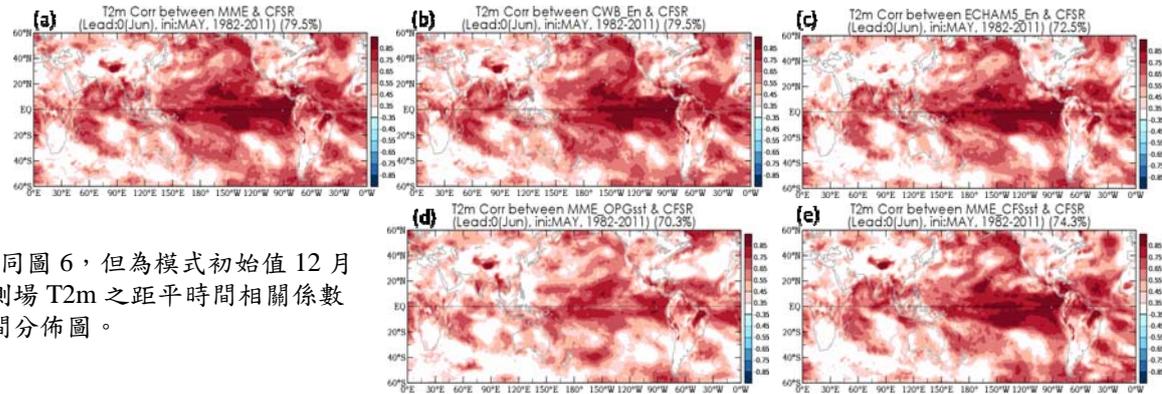


圖 7. 同圖 6，但為模式初始值 12 月與觀測場 T2m 之距平時間相關係數的空間分佈圖。

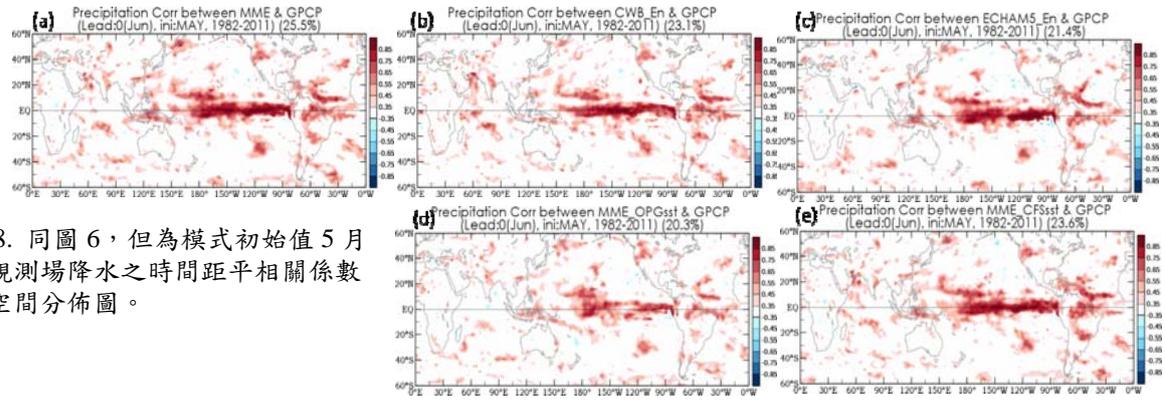


圖 8. 同圖 6，但為模式初始值 5 月與觀測場降水之時間距平相關係數之空間分佈圖。

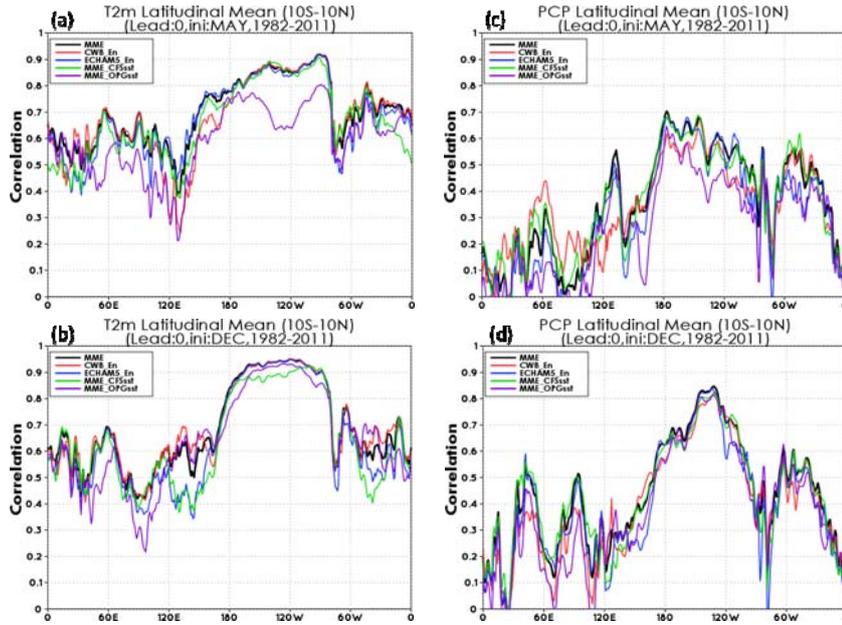


圖 9. 初始值 5 月(上)及 12 月(下)各系集結果 T2m(a,b)與雨量場(c,d)的距平相關係數空間分佈，取經向平均後之東西向剖面分佈圖。圖中 X 軸為經度，Y 軸為相關係數值，黑色線為 MME，紅色線為 CWBE，藍色線為 ECHAM5E，綠色線為 MME_CFSsst，紫色線為 MME_OPGsst。

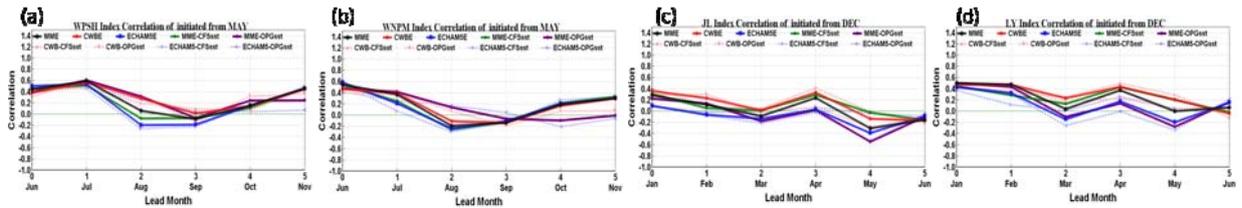


圖 10. 各個季風指標 WPSH(a), WNPM(b), EAWM-JL(c), EAWM-LY(d)的各系集結果與觀測場的相關係數隨預報月份之時間序列圖。圖中 X 軸為預報月份，Y 軸為相關係數圖，黑色線為 MME，紅色線為 CWBE，藍色線為 ECHAM5E，綠色線為 MME_CFSsst，紫色線為 MME_OPGsst。

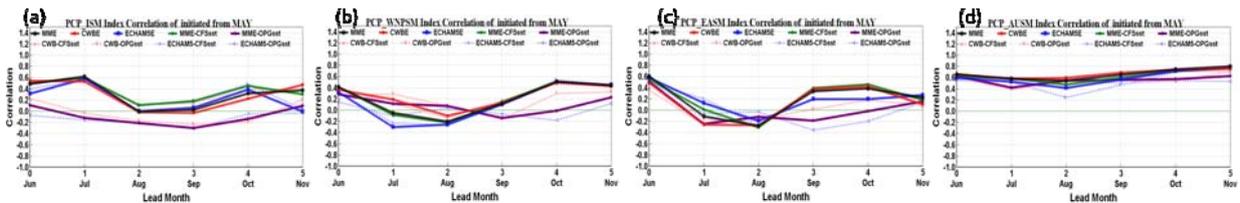


圖 11. 四個區域 ISM(a), WNPSM(b), EASM(c), AUSM(d)的各系集結果與觀測降水場的相關係數隨預報月份之時間序列圖。圖中 X 軸為預報月份，Y 軸為相關係數圖，黑色線為 MME，紅色線為 CWBE，藍色線為 ECHAM5E，綠色線為 MME_CFSsst，紫色線為 MME_OPGsst。