

氣象局第二代氣候預報系統在 2012-2016 年預報能力評估

李清騰、胡志文

中央氣象局 科技中心

摘要

本文根據客觀的評量方法得到來評估氣象局第二代二步法(TCWB2T2)與第一代一步法(TCWB1T1)短期氣候預報系統之預報能力。分析方法主要是利用距平相關係數、三分類類別技術得分(GSS)的分析方法來評估模式的預報能力，分析結果中發現相關係數值有高估模式的預報技術，所以採用三分類的技術得分(GSS)來代表評估模式的預報能力。研究結果顯示氣象局兩組模式的預報技術分佈特徵均和 NMME 各氣候模式相似，都能掌握住溫度、雨量在赤道地區有高技術的分佈特徵，但若採用多模式係集平均的預報結果(NMMET=NMME 各模式+TCWB2T2+TCWB1T1)則有最高的預報技術。

一·前言

中央氣象局第二代兩步法全球氣候預報系統(TCWB2T2)從 2017 年開始已進行準作業系統之月與季預報，二步法的預報架構是先利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。此外氣象局也發展了第一代一步法全球氣候預報系統(TCWB1T1)，此一步法採用的是 MOM3 的是海氣耦合模式系統，此模式解析度與預報流程均和 TCWB2T2 相同(吳等 2015; 林等 2015)。

本文分析了 2012 年至 2016 年中央氣象局二步法與一步法短期氣候預報之預報能力之外，同時也加入了北美多模式系集成員(North American Multi-Model Ensemble; NMME, Kirtman et al., 2014)來一併分析，藉此了解氣象局模式的預報能力以及誤差範圍。

二·觀測資料與模式資料

大尺度環流場所使用的觀測資料為 ERA interim reanalysis (Berrisford, 2011)資料，資料格點數為 480x241，空間解析度為 0.75 度，資料格點數為 360x180，空間解析度為 1 度。全球雨量觀測場資料則是使用 Global Precipitation Climatology Project (GPCP, Adler et al., 2003)，資料格點數都為 144x72 格點數，空間解析度為 2.5 度。

TCWB2T2 預報系統是採用中央氣象局(CWB)全球氣候模式與 ECHAM5 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，全部共 120 個系集成員。模式輸出產品中將全部預報產品組合成平均值，又稱多模式系集平均(MME)，是最基本的評量產品。此外，TCWB1T1 預報系統則是採用 TCWB2T2 的相同大氣模式，採用 MOM3 的架構來與大氣模式做海氣耦合，系集成員有 30 個。另外，NMME 的氣候模式總共有六種，包括 CMC1-CanCM3、CMC2-CanCM4、COLA-RSMAS-CCSM4、GFDL-CM2p1-aer04、

GFDL-CM2p5-FLORB01、NCEP-CFSv2，每個氣候模式中有各自的系集成員數目，所以在進行多模式平均(Multi-Model Ensemble)之前，先將各個氣候模式做系集成員平均，而後再進行多模式平均(MME)，並且將TCWB2T2、TCWB1T1 模式也一併加入計算，簡稱NMMET。由於各個觀測場資料、各模式預報資料解析度都不相同，所以此研究將全部資料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。

三．全球溫度與雨量預報技術

圖1顯示TCWB2T2、TCWB1T1、NMME、NMMET在2012年1月至2016年12月預報第一個月(lead0)的溫度與觀測場(ERA-interim)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，L代表陸地上網格點數通過統計檢定的百分比數，O代表海洋網格點數通過統計檢定的百分比數。在溫度表現方面，明顯四組模式都呈現出高相關區域集中在中太平洋、北太平洋、南大西洋、澳洲陸地、與美國東岸，表現較差則是在西太平洋與印度洋。從全球的相關係數達顯示性的百分比數來看，TCWB2T2、TCWB1T1、NMME、NMMET的百分比分別為24.1%、23.3%、24.98%、25.2%，四組模式比數差異不大，不過以NMMET有較高的預報技術。

圖2顯示TCWB2T2、TCWB1T1、NMME、NMMET在2012年1月至2016年12月預報第一個月(lead0)的雨量與觀測場(CMAP)之距平相關係數空間分佈圖，在雨量的預報技術明顯低於溫度，四組模式只有在中太平洋、北太平洋、南大西洋具有預報能力，其它地區無預報技術。從全球的相關係數達顯示性的百分比數來看，TCWB2T2、TCWB1T1、NMME、NMMET的百分比分別為12.5%、12.1%、15.6%、16.2%，仍然是以NMMET有較高的預報技術

從距平相關係數的空間分佈特徵明顯與歷史預報(hindcast)的相關係數空間分佈圖有顯著差異(李等2017)，尤其是赤道東太平洋地區，hindcast結果中東太平洋有較高的預報技術，但此距平相關係數卻在此地區無預報能力。此外，從分析個案中發現，台灣地區雨量預報在2015年10月有較高的相關係數值(圖

略)，此時模式預報雨量為正距平，但實際觀測場卻顯示為負距平，顯示出此距平相關係數計算方法有高估模式預報能力。由於目前在月季預報的模式預報產品中，通常會以三分類的類別機率預報來呈現，所以在檢驗預報能力也應採用此三分類預報技術得分。由以上分析可以得到，為了避免過度信任距平相關係數所得到的預報技術得分之外，同時也需要計算三分類的類別命中預報技術得分(GSS; Gerrity, 1992)，然後再針對區域內有多少網格點數的GSS值大於0.1的百分比數來代表模式預報能力。

圖3顯示TCWB2T2、TCWB1T1、NMME、NMMET在2012年1月至2016年12月預報第一個月(lead0)的溫度與ERA-interim之GSS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具有預報技術得分。圖中可以明顯看到，四組模式都呈現出相似的分佈特徵，高技術得分集中在赤道中、東太平洋、南、北太平洋、南印度洋，表現較差則是在赤道西太平洋與赤道印度洋區域。從全球的GSS具有預報技術的百分比數來看，TCWB2T2、TCWB1T1、NMME、NMMET的百分比分別為73.2%、65.8%、66.3%、68.8%，四組模式百分比數差異不大，不過TCWB2T2有最高的百分比數，同時此GSS的分佈特徵也和hindcast的技術得分分佈特徵較為相同也較為合理。

圖4顯示TCWB2T2、TCWB1T1、NMME、NMMET在2012年1月至2016年12月預報第一個月(lead0)的雨量與CMAP之GSS空間分佈圖。圖中主要高技術得分集中在赤道中太平洋區域，其它區域則預報能力偏低。從全球的GSS具有預報技術的百分比數來看，TCWB2T2、TCWB1T1、NMME、NMMET的百分比分別為44.4%、41.1%、47.4%、49.1%，四組模式百分比數差異不大，以NMMET有較高的預報技術得分，而且雨量的預報能力明顯不足溫度的表現。

四．NMME 與氣象局氣候模式預報能力評估

由於NMME主要是由六個氣候模式所組成，分別為CMC1-CanCM3、CMC2-CanCM4、COLA-RSMAS-CCSM4、GFDL-CM2p1-aer04、GFDL-CM2p5-FLORB01、NCEP-CFSv2，所以將進一

步分析 TCWB2T2、TCWB1T1 與此六家氣候模式的預報能力。

圖5顯示各家氣候模式在2012年1月至2016年12月預報第一個月(lead0)的溫度與ERA-interim之GSS空間分佈圖。圖中明顯看到，各氣候模式都呈現出相似的空間分佈特徵，若以高技術得分的赤道中太平洋區域來看，以 CMC1-CanCM3、CMC2-CanCM4、GFDL-CM2p5-FLORB01和TCWB2T2表現較好，表現最差則是NCEP-CFSv2。若以全球的GSS具有預報技術的百分比數來看，則是TCWB2T2有最高的百分比數，百分比數達73.2%。

圖6則是為各氣候模式在2012年1月至2016年12月預報第一個月(lead0)的雨量與CMAP之GSS空間分佈圖，圖中各氣候模式同樣也是呈現出相似的分佈特徵，同樣還是以CMC1-CanCM3、CMC2-CanCM4、GFDL-CM2p5-FLORB01與TCWB2T2在赤道中太平洋區域表現最好，從百分比數來看，也是以TCWB2T2有最高的百分比數值。

為了更進一步了解各氣候模式隨預報時間的增加的預報能力如何，圖7顯示GSS具有預報技術的全球百分比數與預報間(Lead Month)之分散圖，圖中明顯可以看到，預報技術得分隨著預報時間的增加而減少。無論是溫度或雨量表現方面，以NMMET與NMME表現最好，而TCWB2T2與TCWB1T1在部份領先月份仍有不錯的表現，顯示出氣象局的兩種氣候模式具有一定的預報能力。

五．全球五大區域預報能力

將全球區域分成五大區域來探討模式對於此區域的溫度、雨量預報能力，五大區域分別為非洲(AF;0-50°E, 30°S-30°N)、印度洋(IO;50°E-110°E, 30°S-30°N)、西太平洋(WP;110°E-180, 30°S-30°N)、東太平洋(EP;180-80°W, 30°S-30°N)以及大西洋(AO;80°W-0, 30°S-30°N)。

圖8顯示各氣候模式在2012年1月至2016年12月預報第一個月溫度各區域(AF、IO、WP、EP、AO)的距平形態相關係數之盒鬚圖，圖中bar的最高值與最小值代表形態相關係數之最大值與最小值。從圖可看到在五大區域內，以EP區域的表現最好，最差則是在AF與WP地區，在EP區域各氣候模式的平均相關係數值都

有0.5以上，而WP區域則是相關係數值分散程度較大，代表此區域模式預報較不穩定。

圖9顯示各氣候模式在2012年1月至2016年12月預報第一個月雨量各區域(AF、IO、WP、EP、AO)的距平形態相關係數之盒鬚圖。從圖可看到在五大區域內，仍是以EP區域的表現最好，各氣候模式表現的預報技術得分都很相似，但整體平均相關係數值沒達到0.5，顯示出雨量預報仍需加以改善。

五．結論

本研究評估氣象局第二代二步法(TCWB2T2)、第一代一步法(TCWB1T1)短期氣候與北美多模式(NMME)之2012年1月至2016年12月預報結果之預報技術得分。在分析方法中發現利用距平相關係數分析方法來評估模式的預報能力，會有過度信任預報結果的誤差，所以除了計算相關係數之外，也需要計算三分類的類別技術得分，然後再針對區域內有多少網格點數且有預報技術得分的百分比數來評估模式的預報能力。分析結果得到，溫度比雨量有較高的預報技術，主要有預報能力集中在赤道中、東太平洋區域，其中以NMMET有較高的預報能力，但TCWB2T2在溫度的百分比數明顯高於其它模式。分析GSS百分比數隨預報時間的增加會有減少的情形，仍然是以NMMET表現最好，但氣象局的兩組氣候模式表現在部份領先月份仍有不錯的預報能力，而且氣象局氣候模式的預報能力並不是最差的，這也顯示出氣象局的氣候模式具有一定的預報能力，未來將分各季節來分析模式的預報能力。

六．參考文獻

李清勝, 盧孟明, 胡志文, 2017: 氣象局第二代氣候預報系統之季節預報能力評估。天氣分析與預報研討會論文彙編, A3-2。

林欣怡、吳子榆、劉邦彥、陳建河、呂承萱、莊漢明、林沛練, 2015: TCWB 1-tier 模式之ENSO訊號結果分析。天氣分析與預報研討會論文彙編, A3-95。

吳子榆、林欣怡、劉邦彥、陳建河、呂承萱、莊漢明、林沛練, 2015: TCWB CFS 1-tier 模式之東亞夏季季風結果分析。天氣分析與預報研討會論文彙編, A3-96。

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, 賈愛攻, 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.

Berrisford, P., Dee, D., Poli, P., Brugge, R., Fielding, K., Fuentes, M., Kållberg, P., Kobayashi, S., Uppala, S., Simmons, A., Oct. 2011. The ERA-Interim archive Version 2.0. ERA Report Series 1, ECMWF, Shinfield Park, Reading.

Gerrity, J.P., 1992, A Note on Gandin and Murphy's

Equitable Skill Score., *Monthly Weather Review*, 120, 2709-2712.

Kirtman, B. P., Min, D., Infanti, J. M., Kinter, J. L., Paolino, D. A., Zhang, Q., ... Wood, E. F. (2014). The North American multimodel ensemble: Phase-1 seasonal-to-interannual prediction; phase-2 toward developing intraseasonal prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(4), 585-601. DOI: 10.1175/BAMS-D-12-00050.1

Saha, Suranjana, and Coauthors, 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1015-1057. doi: 10.1175/2010BAMS3001.1

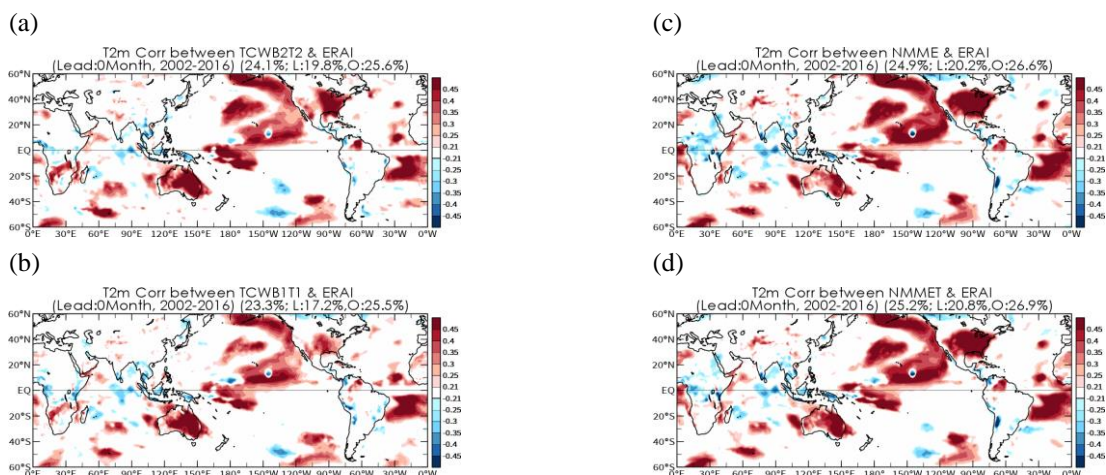


圖1. TCWB2T2(a)、TCWB1T1(b)、NMME(c)與NMMET(d)在2012年1月至2016年12月間預報第一個月(lead0)的溫度與觀測場之距平相關係數空間分佈圖, 圖中百分比數字代表在全球範圍內有多少百分比的網格點數有通過95%的統計檢定, L代表陸地上網格點數的百分比, O代表海洋網格點數的百分比數, 圖中X軸代表經度, Y軸代表緯度, 圖中只顯示相關係數值有達95%的統計檢定。

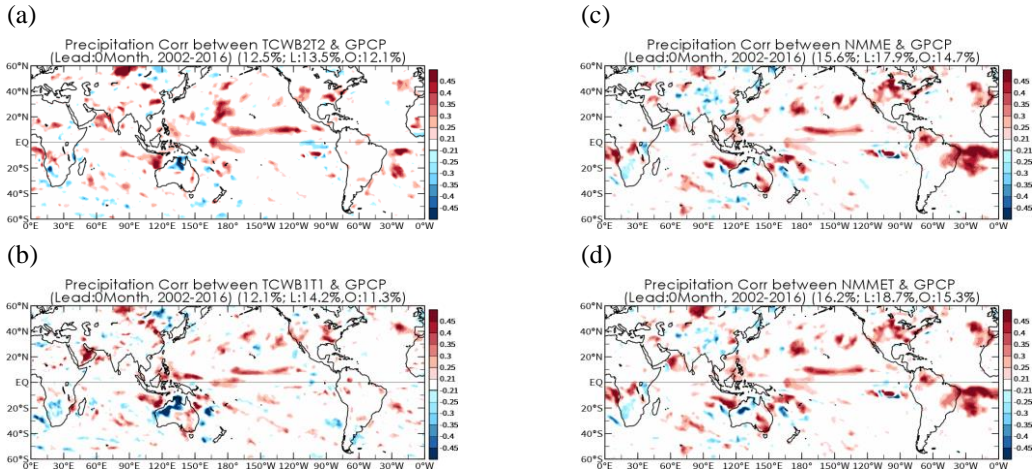


圖2. 同圖1，但為TCWB2T2(a)、TCWB1T1(b)、NMME(c)與NMMET(d)預報第一個月(lead0)的雨量與觀測場之距平相關係數空間分佈圖。

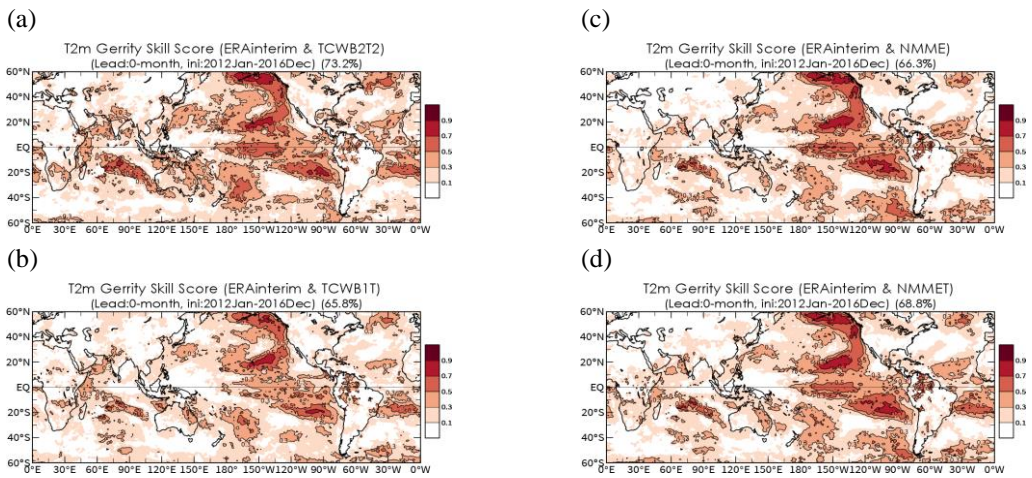


圖3. 同圖1，但為TCWB2T2(a)、TCWB1T1(b)、NMME(c)與NMMET(d)預報第一個月(lead0)的溫度與觀測場之GSS空間分佈圖。

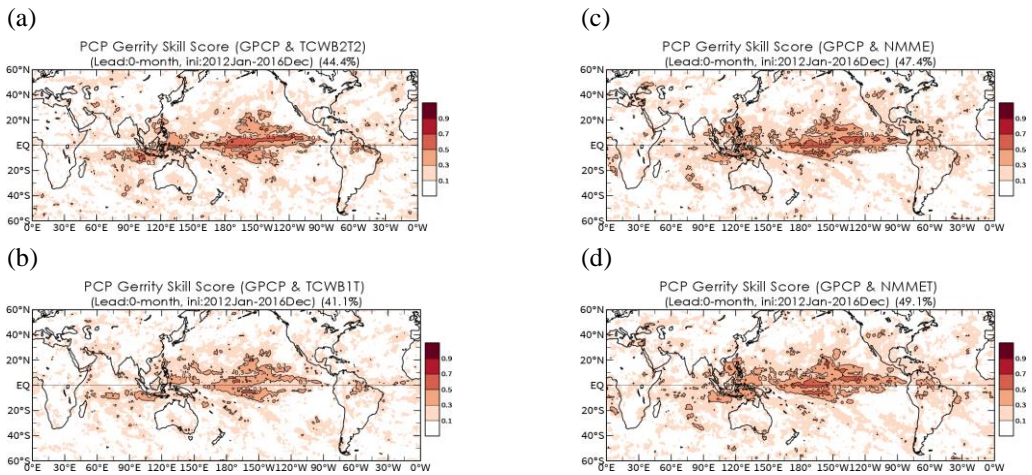


圖4. 同圖3，但為TCWB2T2(a)、TCWB1T1(b)、NMME(c)與NMMET(d)預報第一個月(lead0)的雨量與觀測場之GSS空間分佈圖。

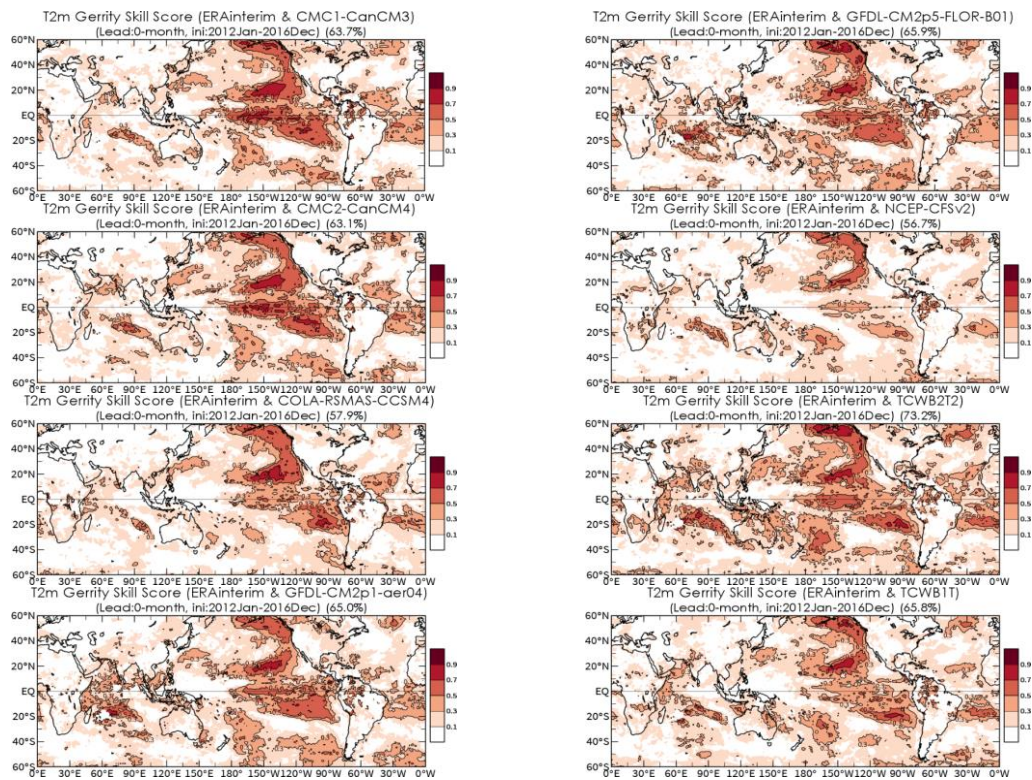


圖 5. CMC1-CanCM3、CMC2-CanCM4、COLA-RSMAS-CCSM4、GFDL-CM2p1-aer04、GFDL-CM2p5-FLORB01、NCEP-CFSv2、TCWB2T2、TCWB1T1(由上至下、由左至右)在 2012 年 1 月至 2016 年 12 月間預報第一個月(lead0)的溫度與觀測場之 GSS 空間分佈圖，圖中百分比數代表全球 GSS 值具有預報技術的網格點數百分比。

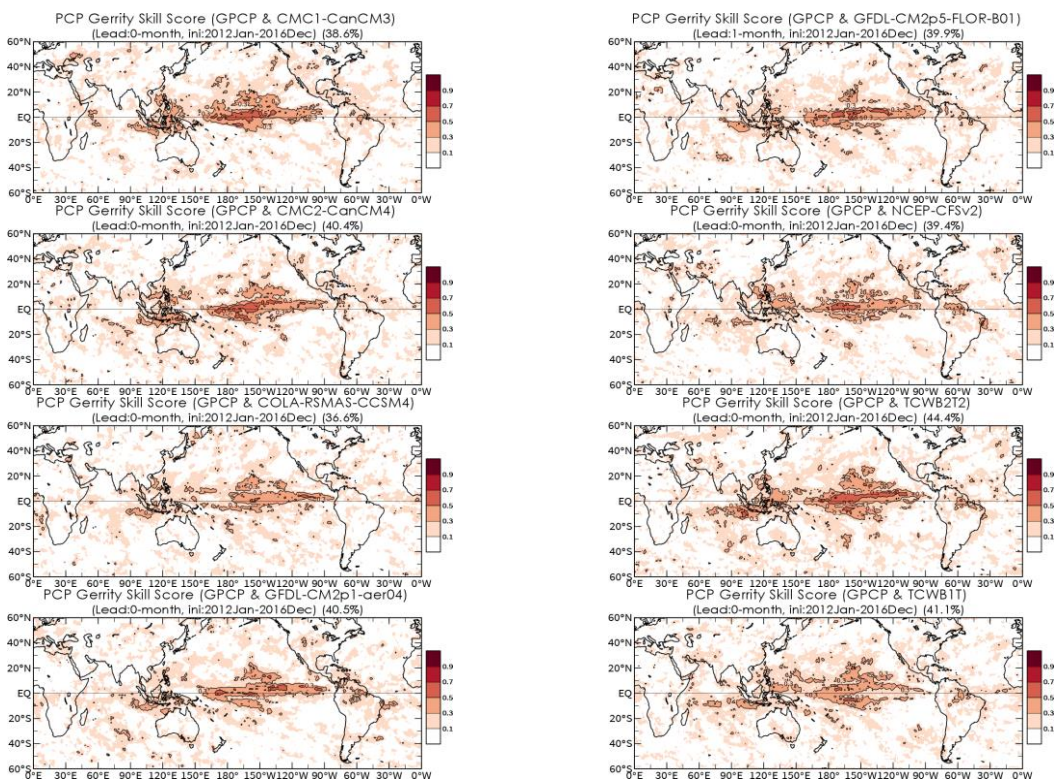


圖 6. 同圖 5，但為預報第一個月(lead0)的雨量與觀測場之 GSS 空間分佈圖。

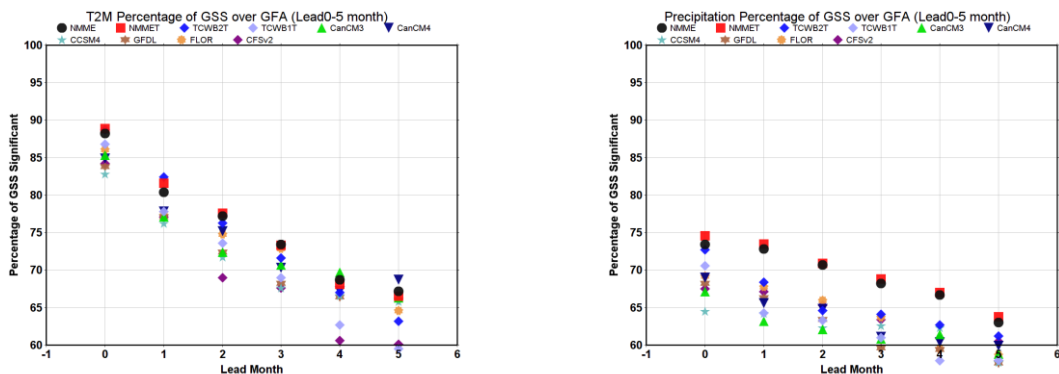


圖 7. 各氣候模式在全球區域 GSS 具有預報技術的百分比數與預報時間(Lead Month)之溫度(左圖)、雨量(右圖)分散圖。圖中 X 軸代表領先月份, Y 軸代表百分比數值。

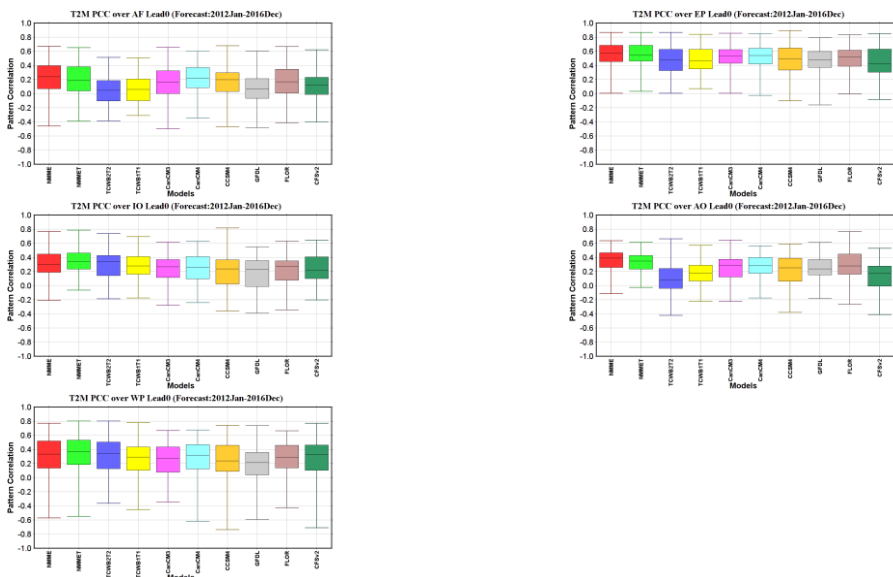


圖 8. 各氣候模式在全球五區域的溫度距平形態相關係數之盒鬚圖。圖中五分區域分別為 AP、IO、WP、EP、AO(由上至下, 由左至右), X 軸代表各氣候模式, Y 軸代表相關係數值。

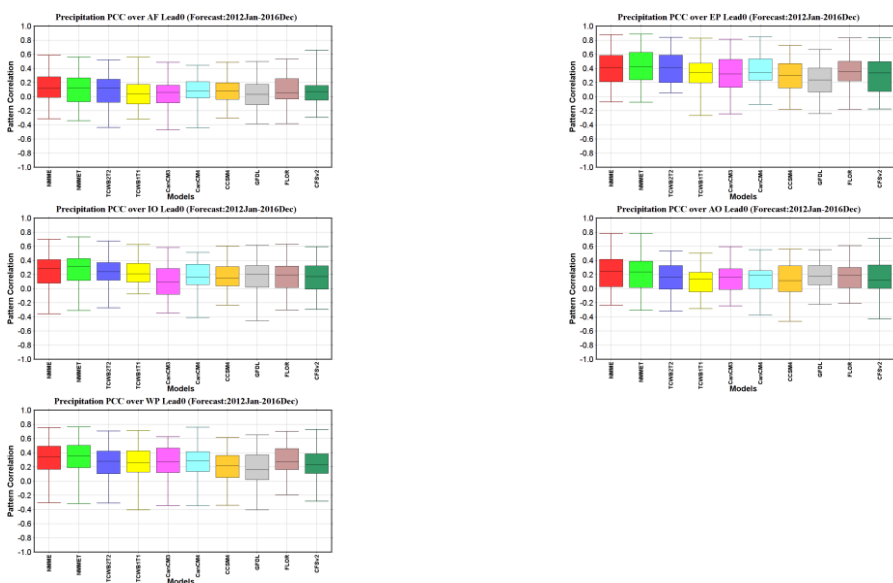


圖 9. 同圖 8, 但為各氣候模式在全球五區域的雨量距平形態相關係數之盒鬚圖。