

二步法動力氣候預報系統 103 年預報回顧與校驗

鄭凱傑 胡志文 施宇晴 黃文豪

中央氣象局 科技中心

摘要

中央氣象局為執行「氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展」計畫，建立「二步法動力統計氣候預報系統」。此系統選用中央氣象局全球模式(Global Forecast System, GFS) (胡等, 2002)以及由德國 Max Planck Institute for Meteorology 所發展的 ECHAM(Roeckner 等, 2003)等兩組全球模式為系集預報成員，並使用中央氣象局所發展之最佳化海溫預報(CWB/OPGSST)及美國 NCEP/CFS_v2(Climat Forecast System version 2)系統所預報的海表面溫度等兩組海溫組成多模式系集預報系統進行短期氣候之預報。

本文回顧民國 103 年氣候預報系統預報結果，利用觀測資料對太平洋暨亞洲地區兩米溫度以及降水預報進行校驗；在兩米溫度的距平空間相關係數(ACC)分析中發現東亞西北太平洋地區(EA_WNP)模式在四個季節(MAM、JJA、SON、DJF)中都呈現負相關，而降水的 ACC 分析在東亞西北太平洋地區春夏秋三個季節為正相關，冬季則轉為負相關，由上述結果得知在春夏秋三個季節中模式的降水明顯優於兩米溫度的預報。比較本系統與本局其他長期預報工具的預報技術，以整年度的表現來看，無論溫度或降水的預報結果都是官方預報和統計降尺度預報優於動力降尺度的結果；另外利用 RPSS(Ranked Probability Skill Score)分析 2010 至 2014 年系集預報直接內插到台灣九站的預報技術能力表現，平均來說在 2 米溫度和降水場皆是正得分的結果，和統計及動力降尺度的結果有明顯的差異。最後期望藉由年度預報結果的回顧與分析進一步了解本系統之預報能力。

一、前言

中央氣象局自民國 91 年起進行為期 8 年的「氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展」計畫，發展先用統計或動力模式預報海表面溫度的變化，再使用大氣環流模式將所預報的海表面溫度做為下邊界條件進行大氣狀態預報的「二步法動力統計氣候預報系統」。「二步法動力氣候預報系統」規劃建立每月 2 次的系集預報系統，選定中央氣象局全球模式(Global Forecast System, GFS) (胡等, 2002)及由德國 Max Planck Institute for Meteorology 所發展的 ECHAM(Roeckner 等, 2003)全球模式為系集預報成員，模式的水平解析度為 T42 (128X64 水平網格)，垂直方向 GFS 為 18 層，ECHAM 則為 19 層；動力模式之海溫邊界條件則選定中央氣象局所發展之最佳化全球海溫預報(CWB/OPGSST)所預報的海表面溫度及美國 NCEP/CFS(Climat Forecast System)系統，每次預報大氣模式與海溫預報可組成 4 個預報模組，分別是 GFS/OPGSST、GFS/CFS、ECHAM5/OPGSST、ECHAM5/CFS，每個模組有 10 組預報，每組預報時間長度為 7 個月，每次預報由 40 個系集預報成員組成系集預報。

為瞭解 4 種大氣/海表面溫度組合於季節預報之特性及預報成效，工作小組設計類似 SMIP/HPF (the Seasonal prediction Model Inter-comparison Project/Historical Forecast Project) 的事後預報實驗，比照「二步法動力氣候預報系統」氣候預報作業的規劃，以不同的初始時間，逐年系集模擬 1981-2005 年各月，每

月上旬及下旬 2 次、每次 4 組大氣/海表面溫度組合的系集預報，建立事後預報資料庫，其結果為動力氣候預報作業之平均氣候場。

本文以 103 年 2、5、8 及 11 月各月下旬 40 個預報成員的系集預報針對春夏秋冬四季區分熱帶 (TP:20°S-20°N, 0°-360°E)、南半球 (SH:90°S-20°S, 0°-360°E)、北半球 (NH:20°N-90°N, 0°-360°E)、太平洋暨亞洲 (ASIA: 20°S-60°N, 40°E-120°W) 及東亞西北太平洋區 (EA_WNP:5°N-45°N, 100°E-140°E) 等 5 個區域 (如圖 1) 依據世界氣象組織 (World Meteorological Organization) 所建議長期預報的標準化校驗系統 (Standardised Verification System for Long-Range Forecasting, SVS for LRF) 距平空間相關係數 (Anomaly pattern correlation coefficients) 與 RPSS (Ranked Probability Skill Score) 等方式，針對 2 米溫度和降水進行診斷分析，期能瞭解「二步法動力氣候預報系統」於民國 102 年不同季節及區域的預報能力，提供未來氣候預報作業參考。

本文中分析的資料皆為 40 個系集預報成員所組合成的系集預報結果，校驗所使用的觀測資料為 NOAA CAMS_OPI (Climate Anomaly Monitoring System and OLR Precipitation Index) 降水資料、NCEP Reanalysis-2 的兩米溫度月平均資料；後文中將以模式的 2 到 4 個月預報結果平均所得到的季平均 (下面將稱為第 2 季預報) 為重點。文中所提之春季為每年 3-5 月、夏季為 6-8 月、秋季為 9-11 月、冬季則為 12 月至次年 2 月。本文在第二節介紹 103 年度各月份預報

的回顧，第三節為系集預報校驗結果與實際參與長期科每月預報的成果分析，第四節為小結。

二、 103 年預報回顧

圖 1 為 2 米溫度距平場 103 年 2、5、8 及 11 月起始之第 2 季(春夏秋冬)太平洋暨亞洲地區的預報結果，綜觀四個季節的預報在北太平洋和熱帶太平洋均為大範圍的正溫度距平；而秋冬兩季則在亞洲大陸上以及西北太平洋上有明顯的負溫度距平的預報，吾人關心的台灣附近的預報則是沒有明顯的訊號。

圖 2 為降水場 103 年 2、5、8 及 11 月起始之第 2 季(春夏秋冬)太平洋暨亞洲地區的預報，在不同季節預報結果也不盡相同，在吾人最關心的台灣附近預報春季和夏季為負降水距平，秋季及冬季則沒有明顯的訊號。

三、 系集預報校驗與實際參與長期預報成果分析

本節中前半段比較預報與觀測的距平(anomaly)和距平空間相關係數(ACC)針對預報 2 米溫度以及降水的結果來分析討論；後半段討論本系統實際參與長期預報的成果分析。

圖 3 為 2014 年觀測的 2 米溫度距平場，依序由上至下為春夏秋冬四個季節的結果，春季在東太平洋、西北太平洋、印度半島和大陸西部為主要負溫度距平分布區域，其它地區則多為正溫度距平；夏季在東南太平洋、太平洋 35N 附近和大陸西北部為主要負溫度距平，其它地區則多為正溫度距平；秋季在東南、西北太平洋、海洋大陸和亞洲大陸上為主要負溫度距平，其它地區則多為正溫度距平；冬季在西北太平洋、中南半島和印度半島為負溫度距平，其它地區則多為正溫度距平。

圖 4 為 2014 年觀測的降水距平場，依序由上至下為春夏秋冬四個季節的結果，春季在熱帶太平洋、印度洋、中國東半部、俄羅斯南部以及印度為主要正降水距平區，其它地區則多為負降水距平；夏季在熱帶和西北太平洋、海洋大陸、日本、中國中南部等地為主要正降水距平區，其它地區則多為負降水距平；秋季在西太平洋、印度洋、中國東半部和亞洲大陸中部為主要正降水距平區，其它地區則多為負降水距平；冬季在西太平洋、海洋大陸、孟灣、阿拉伯海、日本和俄羅斯西部等地為主要正降水距平區，其它地區則多為負降水距平。

圖 5 為 103 年 2 米溫度距平場觀測與預報的比較，春季在北太平洋、西太平洋、海洋大陸和亞洲大陸西北部有預報到正距平，在太平洋東南和西南側以及印度半島西部有預報到負距平；夏季在北太平洋至東太平洋延伸到熱帶太平洋、海洋大陸西半部、孟灣西半部、

中國中部、阿拉伯半島等地有預報到正距平，在南太平洋、海洋大陸東半部、中南半島西南部、亞洲大陸西北部有預報到負距平；秋季在北太平洋至東太平洋延伸到熱帶太平洋和印度洋大部分的區域接有預報到正距平，在西北太平洋、海洋大陸南部和亞洲大陸上有預報到負距平；冬季在海洋上除了西北太平洋有預報到負距平，其它區域大多有預報到正距平，陸地上在俄羅斯中部和印度半島有預報到負距平。

圖 6 為 103 年降水距平場觀測與預報的比較，春季有預報到正距平的區域主要在熱帶太平洋，其它都是較零星的分布，而有預報到負距平的區域在東南太平洋、西北太平洋、中南半島和亞洲大陸西北部；夏季有預報到正距平的區域主要在熱帶太平洋和西北太平洋，其它是較零星的分布，而有預報到負距平的區域在南太平洋、東太平洋、北印度洋和亞洲大陸西部；秋季有預報到正距平的區域主要在熱帶太平洋、北印度洋、中國東部和亞洲大陸西部等，而有預報到負距平的區域在副熱帶中太平洋、東南太平洋、東南印度洋、海洋大陸南部和阿拉伯半島北部；冬季有預報到正距平的區域主要在東北太平洋、西太平洋、南印度洋和亞洲大陸中部，而有預報到負距平的區域在西北太平洋、熱帶中太平洋、東南太平洋、熱帶印度洋和亞洲大陸北部等。

圖 7 為 103 年預報 2 米溫度場春夏秋冬四個季節各分區的距平空間相關係數，春夏兩季除東亞西北太平洋區呈現負相關，其它四區皆為正相關；秋季在南半球和東亞西北太平洋區為負相關，其它三區為正相關；冬季在東亞西北太平洋預報表現最差和觀測幾乎相反，另外南半球也是負相關，其它三個區域則呈現正相關。

圖 8 為 103 年預報降水場春夏秋冬四個季節各分區的距平空間相關係數，綜觀四個季節，在熱帶和太平洋暨亞洲區皆為正相關，而其它三個區域在不同季節表現正負不一。

圖 9 為本預報系統完整的流程圖，在前面章節提到的系集預報結果外，為提供台灣地區附近的相關預報，系集預報的結果經過統計降尺度的處理以及另一組動力降尺度的預報，成為長期預報工具一員，以下將利用 RPSS(圖 10 為 RPSS 公式)校驗去年參與長期預報的結果以及 2006-2014 年間較驗的結果。

圖 11 為 2014 年動力降尺度、統計降尺度和官方長期預報對台灣北中南東四分區溫度場的預報校驗，結果顯示官方預報在 2014 年無論在不同月份或不同分區都是表現最好的預報，第二是統計降尺度預報，動力降尺度較差。

圖 12 為 2014 年動力降尺度、統計降尺度和官方長期預報對台灣北中南東四分區降水場的預報校驗，結果顯示統計降尺度預報在 2014 年第一個月和第二個月的結果優於官方預報，但是第三個月的預報則是官方預報較優於統計降尺度的結果，而動力降尺度預

報能是表現較差。

圖 13 為 2010-2014 年動力降尺度、統計降尺度和官方長期預報對台灣北中南東四分區溫度場的預報校驗，結果顯示官方預報無論在不同月份或不同分區都是表現最好的預報，第二是統計降尺度預報，而動力降尺度皆是負分的結果。

圖 14 為 201-2014 年動力降尺度、統計降尺度和官方長期預報對台灣北中南東四分區降水場的預報校驗，結果顯示官方預報優於統計降尺度與動力降尺度預報。

圖 15 為 2006-2014 年模式系集預報內插到台灣九站(台北、新竹、台中、台南、高雄、恆春、台東、花蓮、宜蘭)溫度與降水場的預報校驗，溫度方面，在第一個月略優於第二和第三個月的結果；降水方面，則是第三個月的表現略優，第一和第二個月的結果次之。

四、 小結

本文以「二步法動力氣候預報系統」每月例行的 40 個系集預報成員所組合成的作業系集預報結果區分 5 區域分析 2 米溫度、降雨與海溫的技術得分，以及與觀測資料計算的校驗結果，各項結果均有建立圖庫，呈現於氣候資訊網頁中，供使用者參考預報系統的結果。

本次回顧了 103 年度的預報，且初步校驗預報的結果；以太平洋暨亞洲地區的角度來看，103 年度 2 米溫度場整體而言在四個季節的表現不差和觀測場比較都是正相關；在降水場方面，雖然四個季節和觀測場比較都是正相關，但春季相關性最好(約 0.5 左右)，其它三個季節相關性僅不到 0.1；若是比較 103 年系集預報在 2 米溫度與降水場的表现來看，春季的降水預報最佳，而 2 米溫度在夏秋冬三個季節的表現優於降水場。

在 103 年實際參與長期預報的校驗結果來看，無論在 2 米溫度還是降水的結果都是官方預報表現最佳，第二名是統計降尺度預報，而動力降尺度表現較差；若以 2010-2014 共五年間的表现來看，整體表现同樣是官方預報第一，統計降尺度預報第二，動力降尺度預報第三；另外將 2006-2014 年系集預報結果內插至台灣九站來看，在 2 米溫度和降水場均為正得分的結果，反而是優於統計降尺度和動力降尺度的預報。

最後期望藉由回顧分析檢討，對未來預報改進能夠有所幫助，另外明年開始也會有新版較高解析度(T119)的預報系統上線，屆時也希望對將來的長期預報有明顯助益。

參考文獻：

胡志文、馮欽賜、汪鳳如、陳建河、鄭明典，2002：

中央氣象局全球模式之氣候特徵：東亞夏季季風。《大氣科學》，30，99-116。

Roeckner E., G. Bäuml, L. Bonaventura, R. Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Kirchner, L. Kornbluh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schlese, U. Schulzweida, and A. Tompkins, 2003: The atmospheric general circulation model ECHAM 5. PART I: Model description. Max Planck Institute for Meteorology Rep. No. 349. 140pp.

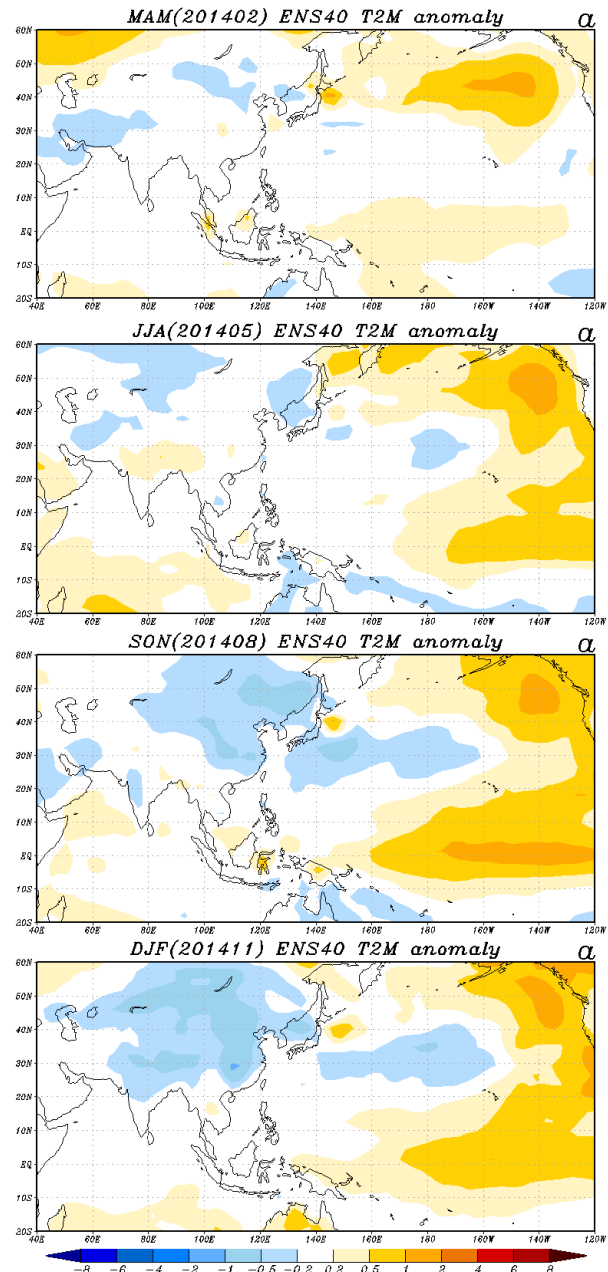


圖 1、103 年 2 米溫度距平場 2、5、8 及 11 月起始之第 2 季(依序為春夏秋冬)太平洋暨亞洲地區的預報。

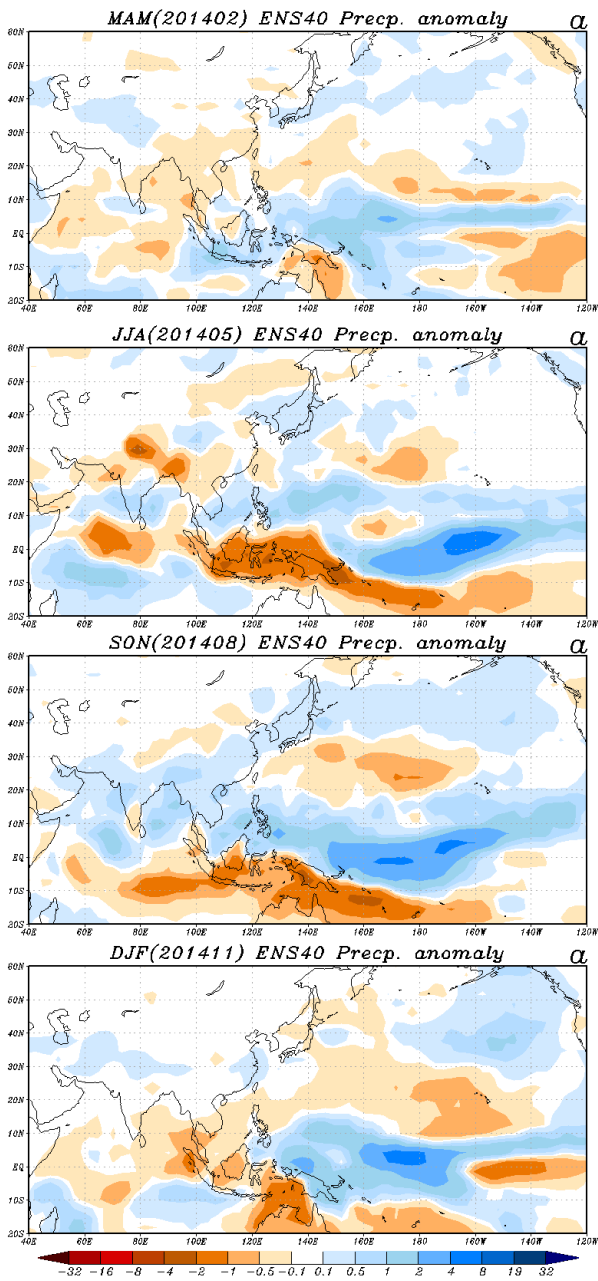


圖 2、103 年降水距平場 2、5、8 及 11 月起始之第 2 季(依序為春夏秋冬) 太平洋暨亞洲地區的預報。

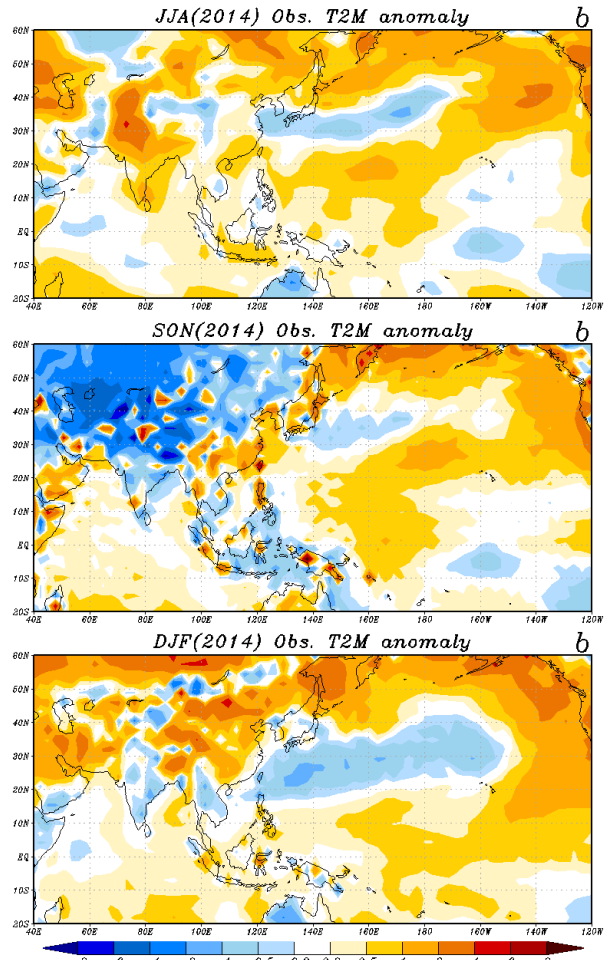
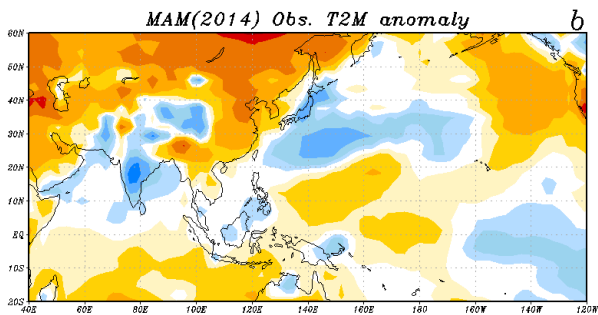
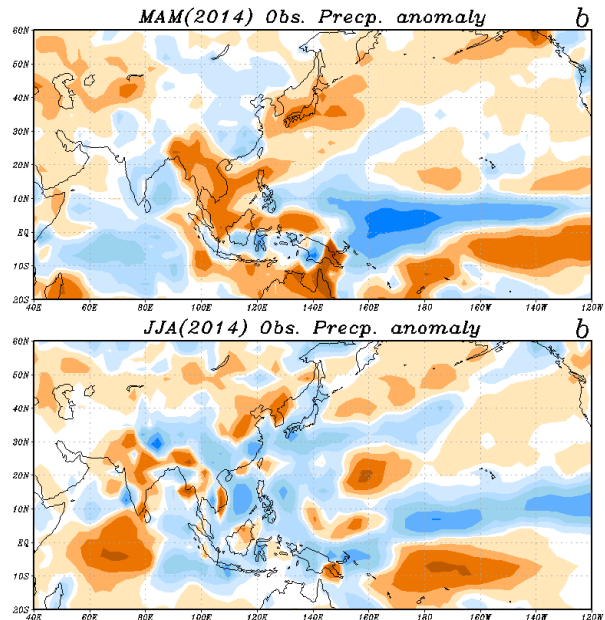


圖 3、2014 年觀測之兩米溫度距平場，依序為春夏秋冬四個季的結果。



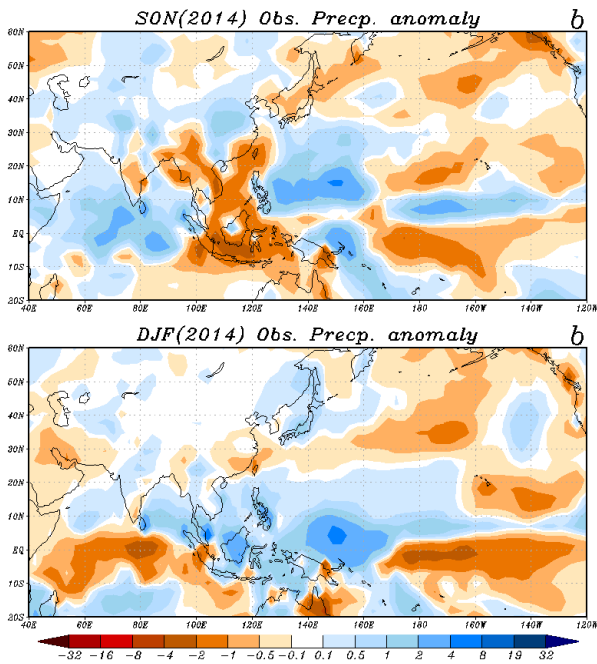


圖 4、2014 年觀測之降水距平場，依序為春夏秋冬四個季的結果。

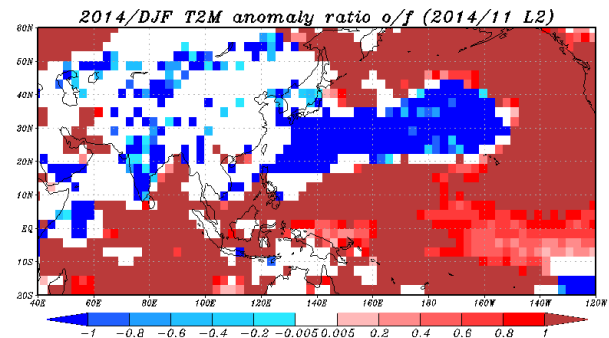
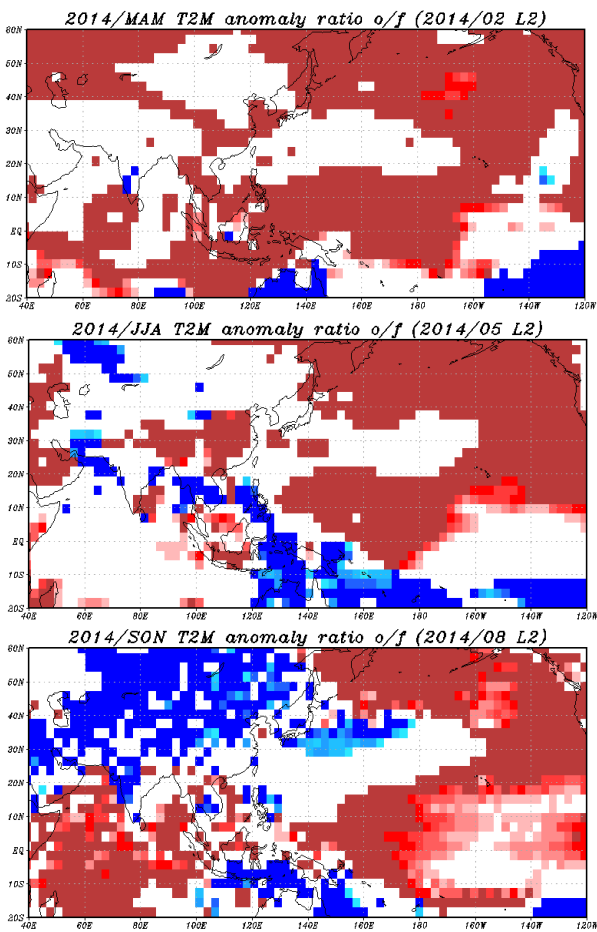


圖 5、103 年 2 米溫度距平場觀測與預報的比較，依序為春夏秋冬四個季的結果。

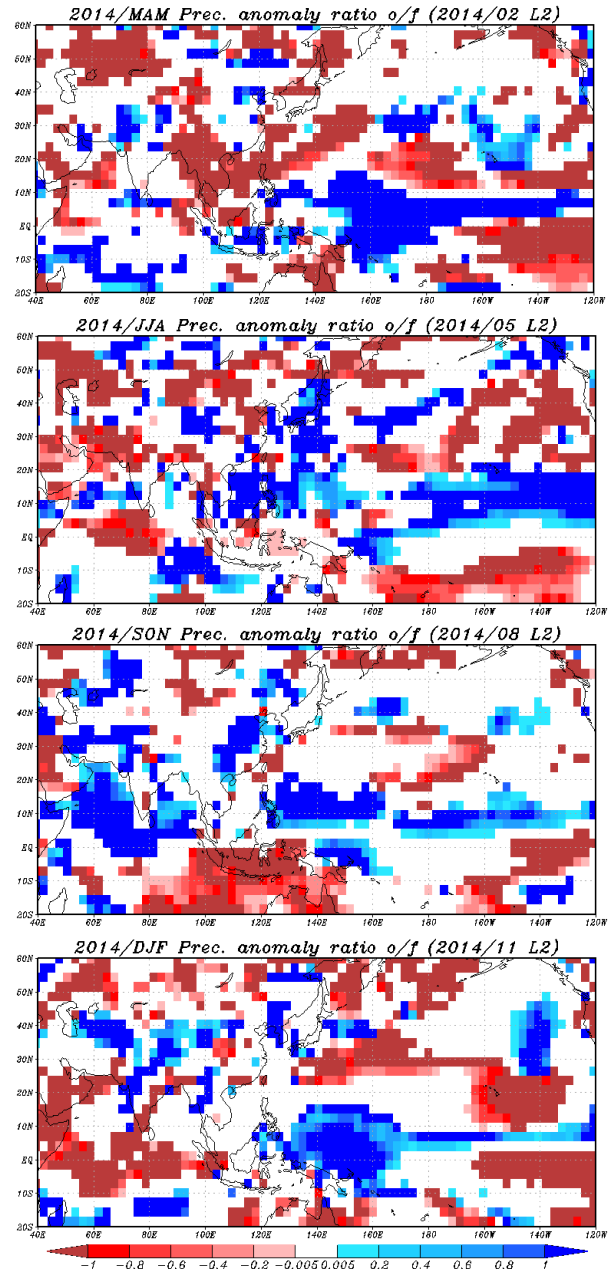


圖 6、103 年降水距平場觀測與預報的比較，依序為春夏秋冬四個季的結果。

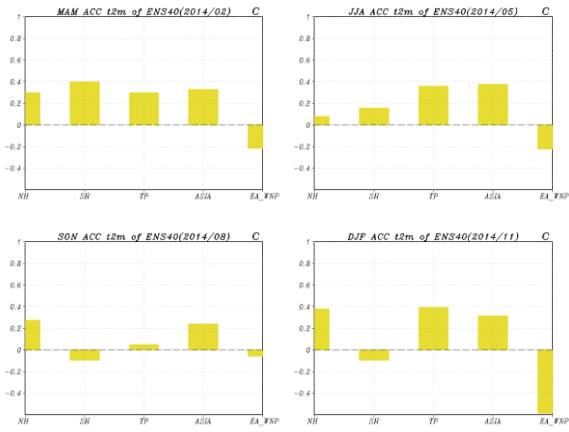


圖 7、103 年 2 米溫度場 2、5、8 及 11 月起始之第 2 季(由左至右依序為春夏秋冬)預報各區域平均的 ACC 圖。

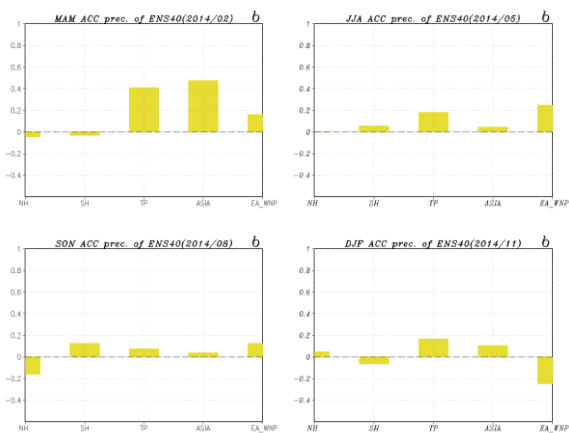


圖 8、降水場 103 年 2、5、8 及 11 月起始之第 2 季(由左至右依序為春夏秋冬)預報各區域平均的 ACC 圖。

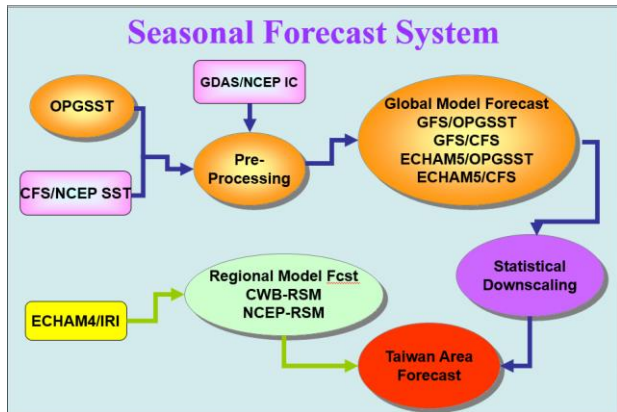


圖 9、二步法動力氣候預報系統完整流程圖。

Ranked Probability Skill Score

分類: 30-40-30

$$RPSS = 1 - \frac{(RPS)}{(RPS_{cl})}$$

$RPS = \frac{1}{M-1} \sum_{m=1}^M \left[\left(\sum_{k=1}^m \beta_k \right) - \left(\sum_{k=1}^m O_k \right) \right]^2$

Deviation of ensemble forecasts from observation (points to RPS)
 Deviation of climatologic forecasts from observation (points to RPS_{cl})

圖 10、PRSS 方法。

| 溫 度 | 一 個 月 | | | | | 二 個 月 | | | | | 三 個 月 | | | | | 總 分 |
|------------|-------|------|-------|------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|-------|--------|-------|
| | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN1-小計 | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN2-小計 | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN3-小計 | |
| 2014 動力降尺度 | -0.18 | 0.03 | -0.43 | 0.14 | -0.11 | -0.45 | -0.27 | -0.53 | -0.35 | -0.39 | -0.59 | -0.1 | -0.37 | -0.27 | -0.32 | -0.28 |
| 2014 統計降尺度 | 0.12 | 0 | 0 | 0.19 | 0.07 | 0.02 | -0.02 | 0.06 | 0.09 | 0.09 | 0.17 | 0.06 | 0.1 | 0.18 | 0.12 | 0.08 |
| 2014 官方 | 0.17 | 0.1 | 0.07 | 0.06 | 0.1 | 0.09 | 0.01 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.1 | 0.05 | 0.13 | 0.11 | 0.09 | 0.08 |

圖 11、2014 年溫度場動力降尺度、統計降尺度以及官方預報之預報校驗。

| 累積 雨量 | 一 個 月 | | | | | 二 個 月 | | | | | 三 個 月 | | | | | 總 分 |
|------------|-------|-------|------|------|--------|-------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN1-小計 | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN2-小計 | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN3-小計 | |
| 2014 動力降尺度 | -0.02 | -0.01 | -0.3 | 0.14 | -0.04 | -0.12 | -0.13 | 0.13 | 0.03 | -0.03 | -0.03 | -0.1 | -0.23 | 0.08 | -0.07 | -0.05 |
| 2014 統計降尺度 | 0.15 | -0.02 | 0.01 | 0.09 | 0.06 | 0.2 | -0.03 | -0.07 | 0.24 | 0.08 | 0.03 | -0.11 | 0.13 | -0.05 | 0 | 0.05 |
| 2014 官方 | 0.05 | 0.04 | 0 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.07 | 0 | 0.04 | 0.04 | 0.12 | 0.06 | -0.02 | 0.11 | 0.07 | 0.05 |

圖 12、2014 年降水場動力降尺度、統計降尺度以及官方預報之預報校驗。

| 溫 度 | 一 個 月 | | | | | 二 個 月 | | | | | 三 個 月 | | | | | 總 分 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN1-小計 | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN2-小計 | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN3-小計 | |
| 10-14 動力降尺度 | -0.17 | -0.07 | -0.03 | -0.12 | -0.1 | -0.19 | -0.04 | -0.03 | -0.14 | -0.1 | -0.22 | -0.06 | -0.11 | -0.02 | -0.1 | -0.1 |
| 10-14 統計降尺度 | 0 | -0.01 | -0.05 | 0.04 | -0.01 | -0.09 | -0.13 | -0.02 | 0.01 | -0.06 | -0.05 | -0.05 | 0.02 | -0.01 | -0.02 | -0.03 |
| 10-14 官方 | 0.09 | 0.13 | 0.15 | 0.07 | 0.11 | 0.01 | 0.06 | 0.13 | 0 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.09 | -0.02 | 0.04 | 0.07 |

圖 13、2010-2014 年溫度場動力降尺度、統計降尺度以及官方預報之預報校驗。

| 累積 雨量 | 一 個 月 | | | | | 二 個 月 | | | | | 三 個 月 | | | | | 總 分 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN1-小計 | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN2-小計 | 北部 | 中部 | 南部 | 東部 | MN3-小計 | |
| 10-14 動力降尺度 | -0.01 | 0.03 | -0.22 | -0.02 | -0.05 | -0.14 | -0.06 | -0.07 | -0.05 | -0.08 | -0.07 | -0.03 | -0.2 | -0.14 | -0.11 | -0.08 |
| 10-14 統計降尺度 | 0 | -0.12 | 0 | 0.1 | -0.01 | 0.02 | -0.15 | -0.07 | -0.03 | -0.06 | -0.03 | -0.12 | -0.04 | -0.06 | -0.06 | -0.04 |
| 10-14 官方 | -0.01 | 0.02 | -0.01 | -0.01 | 0 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | -0.02 | 0 | 0.03 | 0.03 | 0 | 0 | 0.02 | 0.01 |

圖 14、2010-2014 年降水場動力降尺度、統計降尺度以及官方預報之預報校驗。

| 溫 度 | 一 個 月 | 二 個 月 | 三 個 月 | 累積 雨量 | 一 個 月 | 二 個 月 | 三 個 月 |
|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 台北 | 0.206 | 0.134 | 0.132 | 台北 | 0.193 | 0.166 | 0.161 |
| 新竹 | 0.198 | 0.145 | 0.123 | 新竹 | 0.187 | 0.173 | 0.193 |
| 台中 | 0.198 | 0.145 | 0.123 | 台中 | 0.187 | 0.173 | 0.193 |
| 台南 | 0.198 | 0.145 | 0.123 | 台南 | 0.187 | 0.173 | 0.193 |
| 高雄 | 0.198 | 0.145 | 0.123 | 高雄 | 0.187 | 0.173 | 0.193 |
| 恆春 | 0.115 | 0.109 | 0.0567 | 恆春 | 0.241 | 0.249 | 0.214 |
| 台東 | 0.198 | 0.145 | 0.123 | 台東 | 0.187 | 0.173 | 0.193 |
| 花蓮 | 0.198 | 0.145 | 0.123 | 花蓮 | 0.187 | 0.173 | 0.193 |
| 宜蘭 | 0.198 | 0.145 | 0.123 | 宜蘭 | 0.187 | 0.173 | 0.193 |

圖 15、2010-2014 年 2 米溫度(左)和降水(右)場系集預報內插至台灣九站之預報校驗。