

二步法動力氣候預報系統之事後預報技術得分分析

任俊儒¹ 鄭凱傑¹ 施宇晴¹ 胡志文¹ 賈愛玫²

1. 中央氣象局 科技中心
2. 中央氣象局 蘇澳氣象站

摘要

中央氣象局執行「氣候變異與劇烈天氣監測預報系統發展」計畫，將建立二步法動力統計氣候預報系統，已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，動力模式之邊界條件則選定中央氣象局所發展之最佳化海溫預報(CWB/OPGSST)及美國 NCEP/CFS(Climat Forecast System)系統及所預報的海表面溫度。二步法動力統計氣候預報系統於 2007 年起進行作業化測試，預計於 2009 年正式開始作業。

為瞭解二步法動力統計氣候預報系統各組大氣模式/海表面溫度組合於不同季節、區域之表現及可預報度，工作小組設計 SMIP/HPF 實驗，自 1981 至 2005 年逐月進行事後預報，建立各組大氣模式/海表面溫度組合及包含 40 組成員的多模式系集預報之氣候場，形成完整之事後預報資料庫，並依據世界氣象組織 (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)，區分 5 種不同區域 (熱帶、南半球、北半球、亞洲及東亞-西北太平洋區)、建立 Mean Square Skill Score(MSSS)、Gerrity Skill Score、ROC Score(Relative Operating Characteristics Score)、Reliability Diagram 及網格點上 ROC Score 等數種技術得分 (Skill Score) 的計算方法，針對降雨及 2 米溫度兩項變數進行分析校驗，期能瞭解不同大氣/海表面溫度組合的多模式系集預報結果的預報能力。

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」。「二步法動力統計氣候預報系統」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 個系集預報成員組合

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「二步法動力統計氣候預報系統」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，其結果將作為未來動力氣候預報作業之平均氣候場，而藉由與過往觀測資料的比對，可得知不同大氣/海表面溫度組合於各季節之預報能力，亦將作為未來動力氣候預報作業之重要參考。

本文以 1981-2005 年各月每月下旬 40 個預報成員的系集預報資料區分熱帶 (20°S-20°N, 0°-360°E)、南半球 (90°S-20°S, 0°-360°E)、北半球 (20°N-90°N, 0°-360°E)、亞洲 (0°-50°N, 40°E-160°E) 及東亞-西北太平洋區 (5°N-45°N, 100°E-140°E) 等 5 個區域 (如圖 1) 分析時間上的相關係數 (Temporal

Correlation) 及空間上的距平相關係數 (Anomaly Correlation coefficient), 並依據世界氣象組織 (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) 計算 Mean Square Skill Score (MSSS)、Gerrity Skill Score、ROC Score (Relative Operating Characteristics Score)、Reliability Diagram 及網格點上 ROC Score 等數種技術得分 (Skill Score), 針對降雨及 2 米溫度兩項變數進行分析校驗, 期能瞭解「二步法動力統計氣候預報系統」於不同季節及區域的預報能力, 結果將建立技術得分圖庫, 未來將與「二步法動力統計氣候預報系統」每月預報資料共同呈現於網頁中, 供使用者參考預報系統的預報能力即可預報度, 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的事後系集預報結果, 校驗所使用的觀測資料為插分至 T42 水平解析度的 NCEP Reanalysis version 2 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。本文在第二節為時間上的相關係數及空間上的距平相關係數的結果, 第三節為各項技術得分, 第四節為小結。

二、時間與空間相關係數

圖 2 為 2 米溫度每月第 2 季預報與觀測場在時間上 (1981-2005) 相關係數的各區域平均值, 其中以熱帶地區的相關係數明顯高於其他區域且各月份間的變化幅度較小, 東亞及西北太平洋區各月份間有較大的差異 (0.35—0.6), 所有區域的相關係數在冬季較高, 4 到 6 月較低。圖 3 為降雨每月第 2 季預報與觀測場在時間上 (1981-2005) 相關係數的各區域平均值, 整體而言相關係數較 2 米溫度為低, 但仍有夏季較差、冬季較佳的態勢, 熱帶地區的較高相關係數不若 2 米溫度明顯, 1、2 月東亞及西北太平洋區的相關係數甚至高於熱帶地區, 各月份間的變化幅度仍以東亞及西北太平洋區為最大。檢視 2 米溫度與降雨各月份時間上相關係數, 明顯發現海面上的相關係數明顯高於陸地, 尤其降雨在亞洲大陸的相關係數相當低, 顯示模式在海面上的表現高於陸地。

圖 4 為 1981-2005 年第 2 季預報各區域 2 米溫度於各季節的距平相關係數 (Anomaly Correlation coefficient, ACC), 各季節中除熱帶地區整體維持正的相關係數, 其餘區域皆有負的相關係數出現, 顯

示除熱帶地區外模式對於 2 米溫度空間變化的掌握並不十分理想。圖 5 為 1981-2005 年第 2 季預報各區域降雨於各季節的距平相關係數, 與 2 米溫度不同的是熱帶地區的相關係數與其他區域的差距並不明顯, 各區域的表現較為接近, 而夏季降雨的相關係數較其他季節差, 值得注意的是除了少數年份外, 東亞及西北太平洋區冬季降雨的相關係數較其他地區為佳, 甚至大都超越熱帶地區的相關係數。

三、事後預報技術得分

世界氣象組織所建議長期預報的標準化校驗系統包含機率性預報的 Gerrity Skill Score、ROC Score、Reliability Diagram 與網格點上 ROC Score 以及決定性預報的 Mean Square Skill Score 數種技術得分, 本文僅就 Gerrity Skill Score、ROC Score、網格點上 ROC Score 以及 Mean Square Skill Score 進行分析。

GSS (Gerrity Skill Score) 為依據 3 分法針對每網格點計算命中率, 並透過得分矩陣對於命中或未命中的情況, 依據模式預報與實際結果誤差給予加分或減分, 例如實際情況是偏低, 對於正確的預測偏低當然給予較大的獎勵, 但對於預測偏高則給予減分, 而對於預測正常則給予較小的減分, 最完美的預報得分 GSS=1, 即完全命中, 而 GSS=0 則表示無預報技術, GSS 值若小於 0, 則表示其預報技術低於隨機預報。本文中所採用 3 分法偏高、正常及偏低所佔的比例分別為 30%、40% 及 30%。圖 6 為 2 米溫度場亞洲區域夏冬兩季的 GSS, 冬季的表現優於夏季, 不論冬季或夏季正得分的區域大都出現在海面上, 陸地上則得分偏低, 顯示模式對海洋區域的掌握較陸地為佳。圖 7 為亞洲區域夏冬兩季降雨的 GSS, 兩季的得分皆較 2 米溫度差, 尤其夏季不論洋面或陸地皆呈現得分偏低的狀況, 冬季低緯度洋面上則略有得分。圖 8 與圖 9 為 2 米溫度與降雨每月第 2 季預報的各區域平均 GSS, 在計算區域平均時已捨去小於 0 的值, 由兩圖中可發現不論 2 米溫度或降雨的區域平均, 熱帶地區的得分高於其他各區域, 而東亞及西北太平洋區的變化幅度較大, 冬季降雨的得分較佳, 甚至超越熱帶地區。

ROC 是利用「命中預報」與「錯誤預報」比較所得的技術得分, 針對三分類分別計算「命中預報率 HRn」(Y 軸) 與「錯誤預報率 FARn」(X 軸), 即可繪出 ROC curve, 其得分大小即為 ROC curve 的面積, 完美的技術得分為 1, 技術得分大於 0.5 即表示模式具有預報能力; ROC 被用來表現「命中預報」與「錯誤預報」的差距, 而非判別與預報誤差之數據大小;

偏差比較大的預報也有可能因為有較高的命中預報率而有較好的 ROC。ROC 技術得分除可運用於選定區域外，亦適用於模式的每 1 網格點，針對模式網格點計算單點的 ROC 技術得分可瞭解區域性的 ROC 分布。圖 10 為亞洲區域夏冬兩季 2 米溫度的 ROC curve，3 條曲線分別代表溫度偏高 (upper)、溫度正常 (middle) 及溫度偏低 (lower) 3 分類的 ROC curve，曲線下方的面積即為該分類的 ROC 技術得分，可看出冬夏兩季皆以溫度正常的分類表現較差，技術得分僅略大於 0.5，表示在此分類下模式預報能力較差，得分最佳為冬季溫度偏高的分類，技術得分達 0.626。表 1 及表 2 整理 2 米溫度與降雨在不同區域於各季節 3 分類的 ROC 技術得分，兩種變數於正常分類的技術得分皆明顯低於偏高及偏低分類，顯示模式預報正常分類的的能力較差；各區域中仍然以熱帶地區表現較佳，就東亞-西北太平洋區而言，春季溫度偏低得分達 0.681，春季降雨偏少得分達 0.615 為表現較佳的分類，且不論降雨或 2 米溫度春季的 3 種分類技術得分皆較其他季節高分。

圖 11 及圖 12 為 2 米溫度與降雨每月第 2 季預報針對各單 1 網格點計算 ROC 技術得分後各區域的得分平均值，圖中包含 Above Normal 與 Below Normal 兩種分類。2 米溫度各區域中仍以熱帶地區表現較佳，兩種分類中皆明顯高於其他區域，東亞-西北太平洋區得分變化幅度大，春季表現較其他區域為佳，夏季則較差。降雨方面除熱帶地區變化幅度較小外，其他各區域皆為冬季得分佳、夏季較差的態勢不論降雨偏多或偏少，東亞-西北太平洋區的得分變化幅度仍大，在春冬 2 季得分超越熱帶地區，但在夏季則呈現無預報能力的情況 (得分小於 0.5)。

表 1、2 米溫度在不同區域於各季節 3 分類的 ROC 技術得分。各區域為：北半球(NH, 20°N-90°N, 0°-360°E)，南半球(SH, 90°S-20°S, 0°-360°E)，熱帶(TP, 20°S-20°N, 0°-360°E)，亞洲(ASIA, 0°-50°N, 40°E-160°E)，東亞-西北太平洋(E-W, 5°N-45°N, 100°E-140°E)；3 分類為：A 代表溫度偏高 (Above Normal)、N 代表溫度正常 (Normal)、B 代表溫度偏低 (Below Normal)。

| | | TP | NH | SH | ASIA | E-W |
|--------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Spring | A | 0.728 | 0.609 | 0.611 | 0.652 | 0.678 |
| | N | 0.603 | 0.525 | 0.522 | 0.553 | 0.589 |
| | B | 0.747 | 0.609 | 0.618 | 0.659 | 0.681 |
| Summer | A | 0.695 | 0.582 | 0.612 | 0.604 | 0.568 |
| | N | 0.557 | 0.506 | 0.519 | 0.512 | 0.497 |
| | B | 0.695 | 0.586 | 0.605 | 0.586 | 0.556 |
| Fall | A | 0.718 | 0.607 | 0.621 | 0.664 | 0.670 |
| | N | 0.576 | 0.514 | 0.519 | 0.515 | 0.506 |
| | B | 0.716 | 0.601 | 0.620 | 0.638 | 0.631 |
| Winter | A | 0.751 | 0.610 | 0.605 | 0.626 | 0.631 |
| | N | 0.592 | 0.513 | 0.520 | 0.523 | 0.536 |
| | B | 0.715 | 0.606 | 0.612 | 0.615 | 0.594 |

表 2、降雨在不同區域於各季節 3 分類的 ROC 技術得分

| | | TP | NH | SH | ASIA | E-W |
|--------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Spring | A | 0.596 | 0.529 | 0.529 | 0.581 | 0.613 |
| | N | 0.526 | 0.502 | 0.504 | 0.518 | 0.532 |
| | B | 0.599 | 0.529 | 0.526 | 0.594 | 0.615 |
| Summer | A | 0.583 | 0.518 | 0.535 | 0.518 | 0.504 |
| | N | 0.525 | 0.504 | 0.499 | 0.503 | 0.503 |
| | B | 0.591 | 0.520 | 0.533 | 0.521 | 0.501 |
| Fall | A | 0.591 | 0.525 | 0.550 | 0.517 | 0.513 |
| | N | 0.528 | 0.510 | 0.510 | 0.513 | 0.516 |
| | B | 0.590 | 0.522 | 0.543 | 0.520 | 0.520 |
| Winter | A | 0.622 | 0.574 | 0.523 | 0.584 | 0.607 |
| | N | 0.542 | 0.514 | 0.501 | 0.520 | 0.519 |
| | B | 0.620 | 0.560 | 0.527 | 0.579 | 0.605 |

圖 14 與圖 15 為夏冬兩季 2 米溫度與降雨的 MSSS。在 2 米溫度方面不論冬季或夏季得分僅出現在熱帶洋面上，而夏季在中緯度太平洋部份區域亦有正分出現；降雨方面夏季幾乎無得分，冬季的得分與 2 米溫度相同，集中在熱帶洋面上。MSSS 的結果顯示就決定性預報而言，模式僅在熱帶洋面有較佳的表現，而就夏季降雨而言，模式預報能力較差。

四、小結

本文以「二步法動力統計氣候預報系統」事後預報資料庫 40 個系集預報成員所組合成的事後系集預報結果區分 5 區域分析預報系統 2 米溫度及降雨與觀測資料於時間及空間上的相關係數，並計算各種技術得分，各項結果將建立技術得分圖庫，未來將與「二步法動力統計氣候預報系統」每月預報資料共同呈現於網頁中，供使用者參考預報系統的預報能力即可預報度。

分析 1981-2005 年系集事後預報的結果，預報系統 2 米溫度及降雨於陸地上的表現不佳，但在海洋上有較佳的表現；以季節而言模式預報結果在夏季表現不佳，冬季及春季部份區域相對較佳；以區域而言模式在熱帶區域表現明顯高於其他各分區，東亞-西北太平洋區在春季不論 2 米溫度或降雨皆有較好的表現，但在夏季則近乎無預報能力；以 3 分類法而言，模式在正常分類的掌握能力較差。

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. Kornbluch, 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.

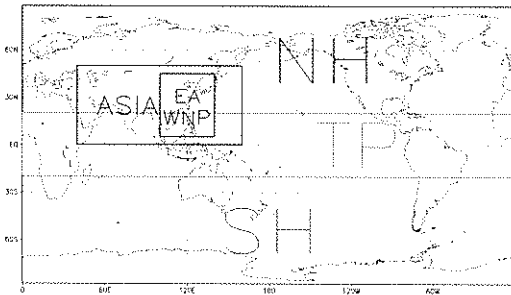


圖 1、「二步法動力統計氣候預報系統」所分析的區域，分別為：北半球(NH, 20°N-90°N, 0°-360°E)，南半球(SH, 90°S-20°S, 0°-360°E)，熱帶(TP, 20°S-20°N, 0°-360°E)，亞洲(ASIA, 40°E-160°E)，東亞-西北太平洋(EA-WNP, 5°N-45°N, 100°E-140°E)。

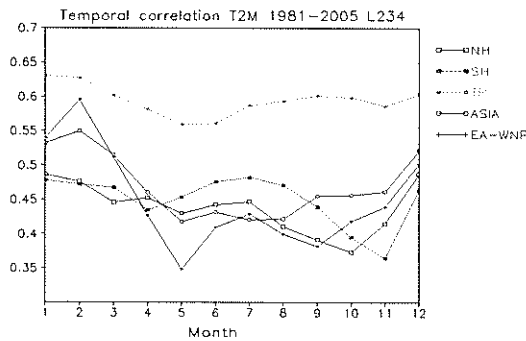


圖 2、2 米溫度場每月第 2 季預報與觀測場在時間上(1981-2005)相關係數的各區域平均值，各區域的定義如圖 1。

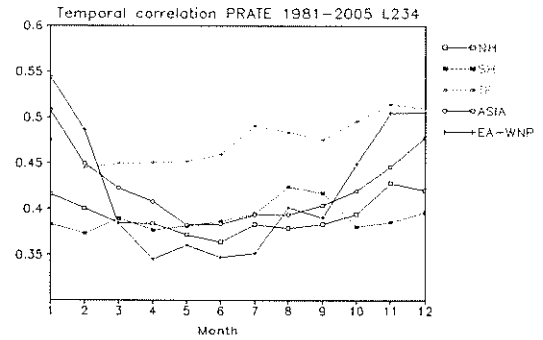


圖 3、降雨每月第 2 季預報與觀測場在時間上(1981-2005)相關係數的各區域平均值。

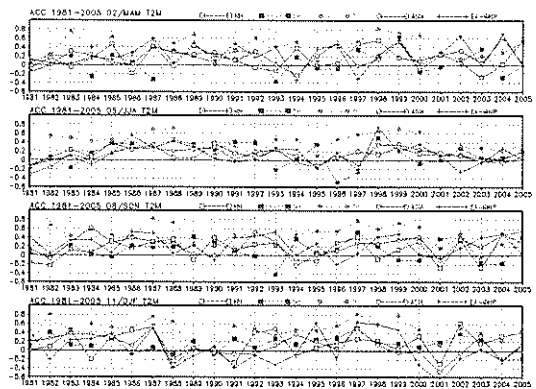


圖 4、1981-2005 年第 2 季預報各區域 2 米溫度於各季節的距平相關係數，由上而下分別為春、夏、秋、冬四季。

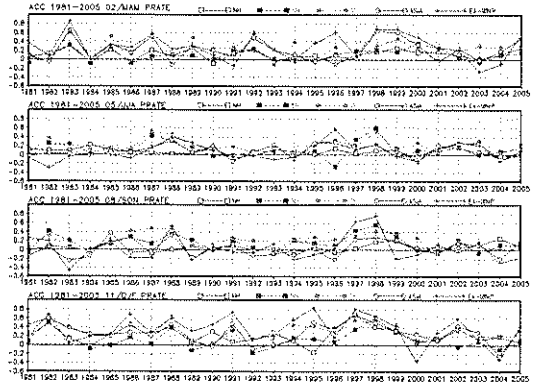


圖 5、1981-2005 年第 2 季預報各區域降雨於各季節的距平相關係數，由上而下分別為春、夏、秋、冬四季。

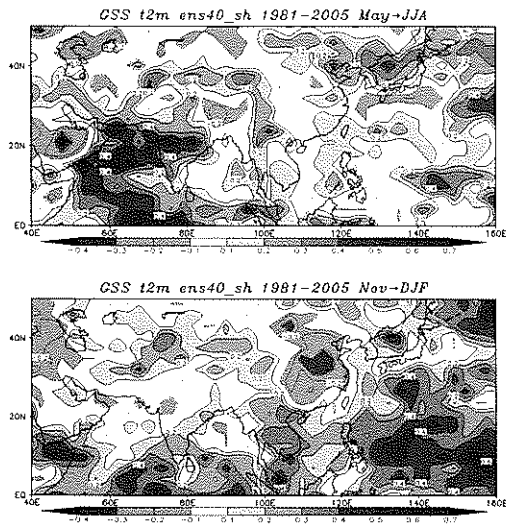


圖 6、亞洲區域夏冬兩季 2 米溫度場的 GSS，圖上為夏季、圖下為冬季。

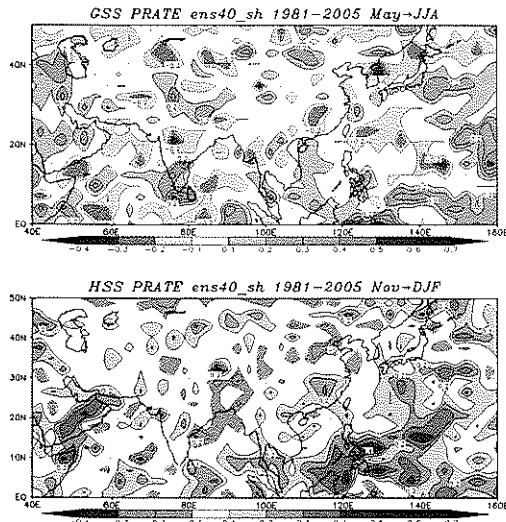


圖 7、亞洲區域夏冬兩季降雨的 GSS，圖上為夏季、圖下為冬季。

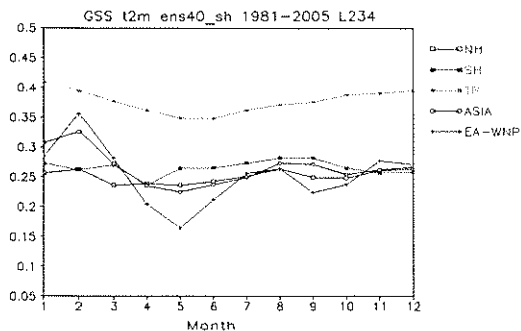


圖 8、2 米溫度場每月第 2 季預報的各區域平均 GSS(Gerrity Skill Score)，在計算區域平均時捨去小於 0 的值。

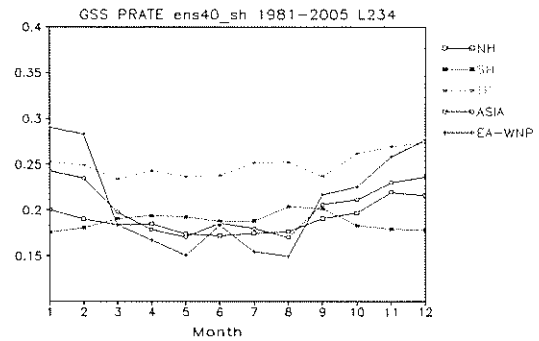


圖 9、降雨每月第 2 季預報的各區域平均 GSS(Gerrity Skill Score)，在計算區域平均時捨去小於 0 的值。

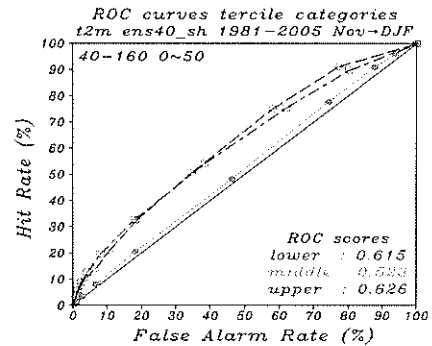
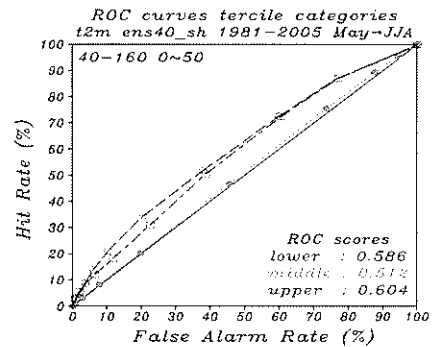


圖 10、亞洲區域夏冬兩季 2 米溫度的 ROC curve，圖上為夏季、圖下為冬季。

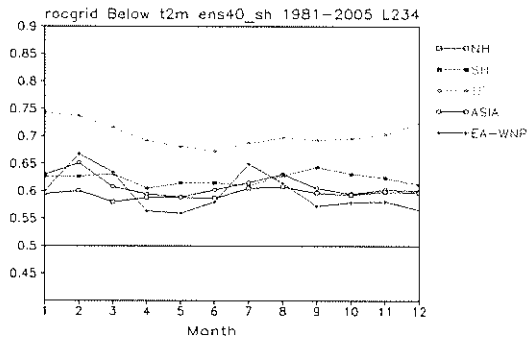
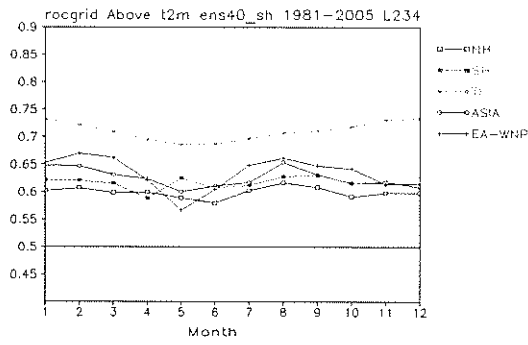


圖 11、2 米溫度場每月第 2 季預報網格點上的 ROC 技術得分各區域平均，圖上為溫度偏高、圖下為溫度偏低。

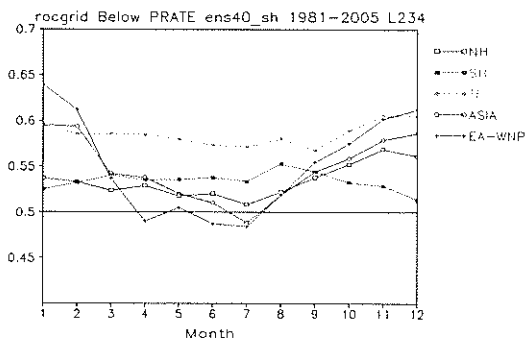
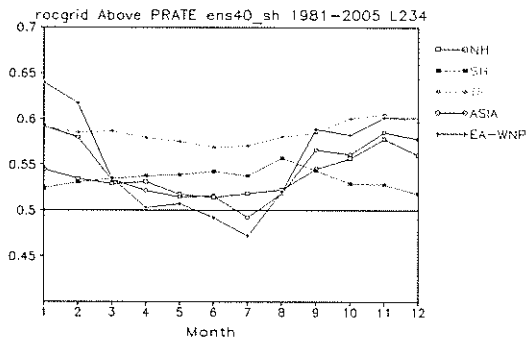


圖 12、降雨每月第 2 季預報網格點上的 ROC 技術得分各區域平均，圖上為降雨偏多、圖下為降雨偏少。

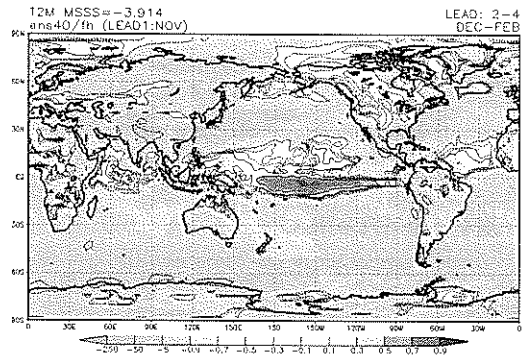
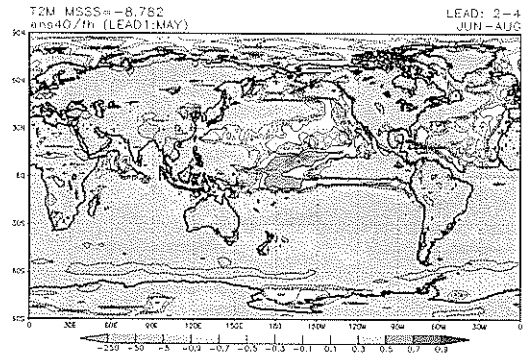


圖 14、夏冬兩季 2 米溫度的 Mean Square Skill Score，圖上為夏季、圖下為冬季。

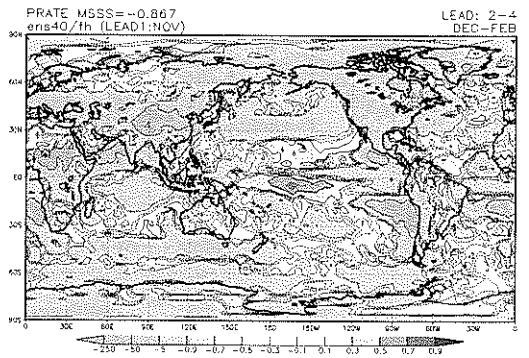
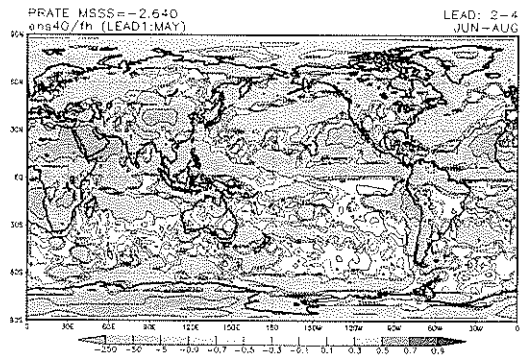


圖 15、夏冬兩季降雨的 Mean Square Skill Score，圖上為夏季、圖下為冬季。