

氣象局月與季氣候預報系統統計降尺度預報技術評估

林昀靜、盧孟明

中央氣象局科技中心

在氣象局的第二代月與季氣候預報系統中，採用 nSVD 與直接內插降尺度方法應用於第二代第二步法氣候預報模式(TCWB2T2)中的 4 組模式預報輸出資料。本報告介紹以全年 1-12 月份為初始月份的 30 年事後預報資料，分析評比 nSVD 與直接內插降尺度到台灣 16 個測站的月與季降尺度預報效果。並嘗試採用 NMME 的模式預報產品，採用直接內插降尺度方法對測站進行降尺度預報，以改善預報能力。

1. 前言

根據林(2015)利用氣象局第二代第二步法氣候預報模式(TCWB2T2)的其中 2 組模式預報產品(ec5-cfs、ec5-opg)，以 1-12 月為初始月份 16 個測站的降尺度預報結果來評比 nSVD 與直接內插兩種降尺度方法的預報技術，結果顯示直接內插降尺度法的預報技術得分比 nSVD 法的結果稍好。因此本報告評估了 4 組模式使用兩種降尺度方法於台灣地區 16 個測站的月與季降尺度預報技術。除了評估 4 組模式(MME)的表現外，也分別評估同組大氣不同海溫的組合(MME-CWB、MME-EC5)、同組海溫不同大氣組合(MME-CFS、MME-OPG)的 4 種降尺度預報技術。

另外，在本報告中也加入了 NMME 的模式預報產品，採用直接內插降尺度方法對 16 個測站進行降尺度預報，並計算事後預報的技術得分，結果顯示，加入了 NMME 的模式資料後可以改善我們的降尺度預報能力。

2. 資料

2.1 模式資料

在本報告中採用氣象局第二代第二步法氣候預報系統(TCWB2T2)中的 4 組模式(包含兩組海溫模式 CFSv2 及 OPG2.0 加上兩組大氣模式 CWB-GAMT119L40 及 ECHAM5-GAMT42L19)的 30 年事

後預報資料，降尺度到台灣地區 16 個測站的溫度與雨量預報。

在接下來的文章及圖說中將使用下述簡寫來代表上述 4 組不同的預報模式

- (1) cfsr-cfs：CWB-GAMT119L40 的大氣模式加上 CFSv2 的海溫模式
- (2) cfsr-opg：CWB-GAMT119L40 的大氣模式加上 OPG2.0 的海溫模式
- (3) ec5-cfs：ECHAM5-GAMT42L19 的大氣模式加上 CFSv2 的海溫模式
- (4) ec5-opg：ECHAM5-GAMT42L19 的大氣模式加上 OPG2.0 的海溫模式

除了使用上述 4 組模式來評估降尺度預報技術外，本研究也將使用同組海溫及同組大氣的組合進行降尺度預報技術的評估，下面介紹預報模式組合的簡寫

- (1) MME：2 組海溫模式加上 2 組大氣模式，共 4 組模式的組合
- (2) MME-CWB：使用大氣模式為 CWB-GAMT119L40 的兩組模式(cfsr-cfs、cfsr-opg)
- (3) MME-EC5：使用大氣模式為 ECHAM5-GAMT42L19 的兩組模式(ec5-cfs、ec5-opg)
- (4) MME-CFS：使用海溫模式為 CFSv2 的兩組模式(cfsr-cfs、ec5-cfs)

(5) MME-OPG：使用海溫模式為 OPG2.0 的兩組模式 (cfsr-opg、ec5-opg)

由於 ECHAM5 的兩組模式輸出解析度較粗，因此在降尺度之前，先將此組模式內插到 T119 的解析度，與 CWB 的兩組模式相同，以方便後續的降尺度分析。

TCWB2T2 的模式是每天執行月與季預報輸出，為了配合作業化的預報時程，因此用來做降尺度的預報輸出場為當月 15 號以前的 30 天，例如：採用 5 月份為初始月份的模式輸出資料，所選用的模式輸出場就是 4/16-5/15 這 30 天的模式預報結果，將這 30 天的結果當作不同的系集個數(members)。每個系集個數都對事後預報的 30 年分別進行 6 個月的降尺度預報；另外，為評估季節的降尺度預報能力，將大尺度的月平均資料進行三個月的季節平均，因此在季節的部份會有未來 4 個季的降尺度預報。

nSVD 降尺度方法所採用的大尺度預報因子包括：850-hPa 緯向風場(U850)、經向風場(V850)、垂直積分緯向水汽通量(UQ)、經向水汽通量(VQ)、海表面氣壓(SLP)、500-hPa 高度場(H500)、2 米氣溫(T2M)、地表氣溫(TG)。其中，雨量使用的預報因子為：U850、V850、H500、SLP、UQ、VQ，而溫度所使用的預報因子為：U850、V850、H500、T2M、TG。

因為採用的降尺度方法為直接內插法，因此所選用的大尺度預報場：在溫度為 2 米氣溫(T2M)，雨量為降雨量(PCP)。

2.2 測站資料

測站資料使用氣象局 16 個局屬測站(不包含山區及外島測站，有淡水、台北、基隆、花蓮、蘇澳、宜蘭、台南、高雄、嘉義、台中、大武、新竹、恆春、成功、台東、梧棲)之月平均降水和溫度數據，時間長度為 1982-2011 年。為了建立降尺度季節預報，因此將測站資料也進行計算三個月的季節平均。

3. 統計降尺度方法介紹

降尺度方法為 nSVD 及直接內插降尺度方法 2 種，其中 nSVD 是將預報因子隨時間演變的概念加入氣象局第一代二步法氣候預報模式(TCWB2T1)中的 SVD 降尺度法。另外也運用直接內插方法對測站進行降尺度預報，也就是將模式的格點預報資料內插到 16 個測站。詳細降尺度方法說明如下。

3.1 nSVD 統計降尺度法

nSVD 與現行作業系統氣象局第一代月與季預報系統(TCWB2T1)的統計降尺度方法(SVD)相似，但是考慮了預報因子隨時間的演變過程(即除了空間資訊外，加上了預報因子的前期資訊)。例如：以 5 月為初始月份的降尺度預報，在做 7 月的降尺度預報時，採用了 6 月加上 7 月的資料進行 SVD 分析；若是季節預報，例如 SON 預報時，採用 JJA、JAS、ASO 及 SON 之數據進行降尺度預報。

在預報因子的選取方面是根據過去的研究結果，降水降尺度預報因子為：U850、V850、UQ、VQ、SLP 和 H500，氣溫降尺度預報因子為：U850、V850、T2M、TG 和 H500。預報因子空間範圍為：60°E-120°W，0°-50°N。

nSVD 降尺度流程是先將標準化的預報量(predictand，即台灣測站降水與氣溫)與各大尺度預報因子(predictor)於訓練時期進行 leave-one-out 的 SVD 分析，再選取顯著相關之模態作為預報階段將採用之模態。為確保至少有一模態可用於降尺度預報，因此第一模態不管有沒有通過條件檢驗，均採用作為預報模態，其餘模態再根據上述顯著相關的條件進行挑選。最後加入預報期資料，根據訓練期的 SVD 結果與有意義的模態，重組後依比率調整到 SVD 分析前之強度水準，即可得到該預報因子之預報結果。

3.2 直接內插降尺度法

直接內插降尺度法就是用每個測站臨近的四個網格點資料內插到所要推估的目標測站，根據每個網格點與目標測站間的距離，以距離平方反比法計算各網格點所對應的權重，當距離越近其權重就越大。

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^k Z_i \frac{1}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{d_i^2}}$$

其中， Z_0 是要內插的目標測站點， Z_i 是臨近的網格點資料， d_i 是目標測站點 Z_0 與網格點 Z_i 間的距離，因為本研究採用的是臨近的4個網格點，因此 $k=4$ 。

4. 降尺度預報技術評估

接下來以 TCWB2T2 4 組模式的 5 種組合(MME、MME-CWB、MME-EC5、MME-CFS、MME-OPG)，以 1-12 月為初始月份的事後降尺度預報結果，計算在事後預報期間三分類的預報技術得分，以評比 nSVD 與直接內插降尺度此兩種方法的預報技術。

4.1 預報技術得分 Gerrity Skill Score

對於預報結果的校驗，常用的決定性預報校驗方法為 Gerrity Skill Score (GSS)。其計算公式如下：

$$GSS = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k P_{ij} S_{ij}$$

其中， i 為觀測分類的組數，(如將資料做三分類，偏高、正常與偏少，則 $i=3$)， j 為預報分類的組數，通常 i 與 j 會相等， P_{ij} 為各分類的命中機率， S_{ij} 為得分矩陣。得分矩陣 S_{ij} 的計算如下：

$$S_{ii} = \frac{1}{2} \left(\sum_{r=1}^{i-1} a_r^{-1} + \sum_{r=i}^2 a_r \right)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\sum_{r=1}^{i-1} a_r^{-1} - (j-i) + \sum_{r=j}^2 a_r \right); 1 \leq i < 3, i < j \leq 3$$

$$\text{其中， } a_i = \frac{1 - \sum_{r=1}^i P_r}{\sum_{r=1}^i P_r}$$

乘上此得分矩陣 S_{ij} 的意義是透過得分矩陣對於命中或未命中的情況，依據模式預報結果與實際觀測結果給予加分或減分，例如實際觀測的類別是屬於偏

少，若預報也為偏少類別，則給予較大的加分，但預報若屬正常或偏高類別則給予減分，又由於偏高是屬於完全相反的預報類別，因此給予較大的減分，而對於正常類別則是給予較小加減分。

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。

4.2 預報技術評比

首先，先以 4 組模式的 MME 為例，如圖 1 至圖 4 所示，圖 1 為 16 個測站的溫度月降尺度預報的預報技術(根據 16 個測站的平均 GSS 所計算)，不同顏色代表不同的初始月份在不同領先月份的預報技術得分，圖(a)為 nSVD 降尺度的預報技術，圖(b)為直接內插降尺度法的結果。圖 2 與圖 1 同，只是是雨量月降尺度的預報技術在不同月份的分布情形。從這 12 個初始月份的月降尺度測站平均的預報技術得分來看，無論是用哪一種降尺度方法，溫度的月降尺度預報在 5、7、12 月的預報技術都不錯，雨量則是在 3 月及 10 月的預報技術較其它月份高。因此得知在某些特定月份的預報技術類似，顯示出本研究的降尺度預報技術得分與降尺度的目標月份間的關係不錯。

圖 3、圖 4 是溫度、雨量季降尺度預報 16 個測站的平均預報技術得分，說明與圖 1、圖 2 同。從圖中可看出兩種降尺度法在秋季(SON、OND)溫度的預報技術都偏低，而直接內插降尺度法對於溫度的預報在春夏季以及冬季都表現不錯；雨量則是在 8-10 月以及 1-3 月這兩個季有不錯的預報技術。

接下來比較 5 種模式組合的預報技術，如圖 5 至圖 8 所示。以圖 5 為例，圖為 5 種模式組合(從左到右為 MME、MME-CWB、MME-EC5、MME-CFS、MME-OPG)在 nSVD 與直接內插的溫度月降尺度預報技術的 boxplot，boxplot 就是根據圖 1 中的 12 個初始月份以及其 6 個領先月份的預報技術所繪製而成，其中藍色為 nSVD、紅色為直接內插的預報技術。圖 6 為雨量月降尺度預報技術的 boxplot、圖 7 及圖 8 分別為溫度、雨量季節降尺度預報技術的 boxplot。

從圖 5 至圖 8 中可以很明顯的看出，幾乎所有的模式組合都顯示出直接內插的降尺度預報技術優於 nSVD，尤其是以溫度的表現更為明顯。唯一有一個例外是 MME-OPG 這組模式在雨量的降尺度預報結果是以 nSVD 較好，特別是在季節預報的部分。

整體而言，溫度、雨量在不論何種模式的組合下，幾乎所有直接內插降尺度法的預報技術得分都比 nSVD 法的結果好，再加上直接內插法的運算速度快、所需用的運算資源小，因此接下來將以直接內插降尺度法應用於 NMME 的模式預報產品，對台灣地區的測站做降尺度預報。

4.3 NMME 降尺度預報技術

NMME (The North American Multi-Model Ensemble)是結合北美各研究中心多模式的季節預報系統，包含 NOAA/NCEP, NOAA/GFDL, IRI, NCAR, NASA, and Canada's CMC。

本研究使用了 NMME 模式的事後預報資料針對台灣地區 16 個測站進行內插降尺度預報並評估其預報技術。若要將 NMME 的模式資料實際應用於未來的預報作業，其中有 7 個模式有持續更新預報（包含 CMC1-CanCM3、CMC2-CanCM4、COLA-RSMAS-CCSM4、GFDL-CM2p1-aer04、GFDL-CM2p5-FLOR、NASA-GMAO-062012、NCEP-CFSv2），因此也針對有持續在更新預報的這 7 個模式及氣象局的 TCWB2T2，計算這 8 個模式的權重平均做為最終的預報結果，並計算權重平均後的降尺度預報技術。

權重的計算方法是根據個別模式在事後預報期間的預報技術而定，選擇使用有預報技術的模式（即 GSS>0），而各模式是等權重，例如：8 個模式中只有 5 個模式有預報技術，則此 5 個模式的權重就是 0.2，沒有預報技術的 3 個模式權重就是 0。

權重平均後的降尺度預報技術如圖 9 及圖 10 所示，其中，圖 9 為月降尺度的預報結果、圖 10 為季降尺度的預報結果，(a)為溫度、(b)為雨量。結果顯示，在事後預報期間權重平均後的預報技術除了比 7 個個別模式的預報技術高之外，也明顯比 TCWB2T2 的預

報技術高，也就表示加入 NMME 的模式預報資料可以提高降尺度的預報能力。

5. 結論

本報告採用 TCWB2T2 中的 4 組模式預報產品以不同的模式組合以 1-12 月為初始月份在事後預報的 30 年，用 nSVD 與直接內插兩種降尺度方法分析評估 16 個測站的月與季降尺度預報效果，根據評估結果顯示溫度、雨量在不論何種模式的組合下，幾乎所有直接內插的降尺度預報技術得分都比 nSVD 法的得分高。

另外，本研究加入 NMME 的模式預報產品，採用相同的直接內插降尺度方法對台灣地區的 16 個測站進行降尺度預報，結果顯示，在事後預報期間權重平均後的預報技術明顯比單模式高，也就表示加入 NMME 的模式預報資料可以提高降尺度的預報能力。

6. 參考文獻

林昀靜，李清騰，盧孟明，2015：氣象局第二代二步法氣候預報系統統計降尺度預報技術評估，天氣分析與預報研討會論文彙編，3-19-L。

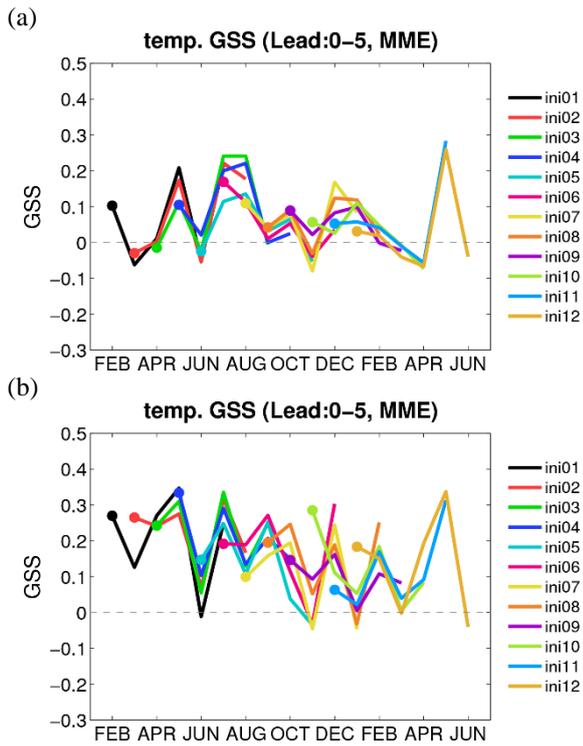


圖 1 以 1-12 月為初始月份測站溫度的月降尺度平均預報技術得分 GSS。(a)為 nSVD 統計降尺度法，(b)為直接內插降尺度方法。

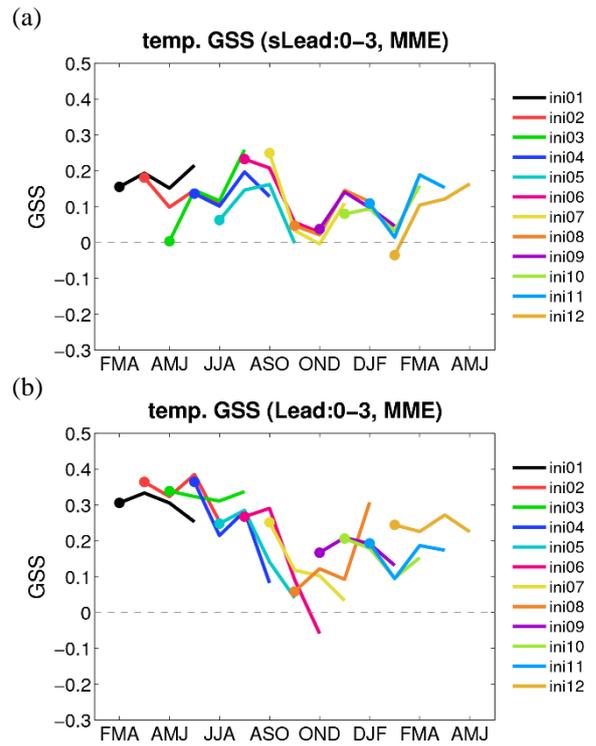


圖 3 以 1-12 月為初始月份測站溫度的季降尺度平均預報技術得分 GSS。(a)為 nSVD 統計降尺度法，(b)為直接內插降尺度方法。

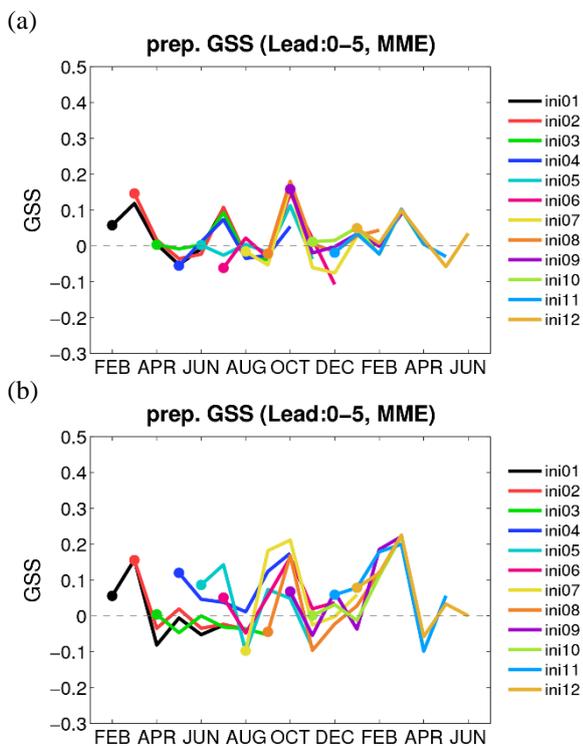


圖 2 以 1-12 月為初始月份測站雨量的月降尺度平均預報技術得分 GSS。(a)為 nSVD 統計降尺度法，(b)為直接內插降尺度方法。

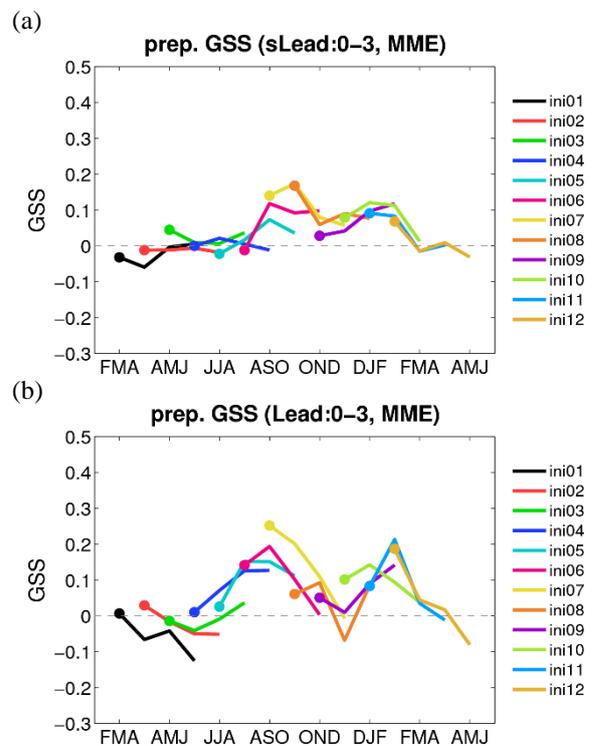


圖 4 以 1-12 月為初始月份測站雨量的季降尺度平均預報技術得分 GSS。(a)為 nSVD 統計降尺度法，(b)為直接內插降尺度方法。

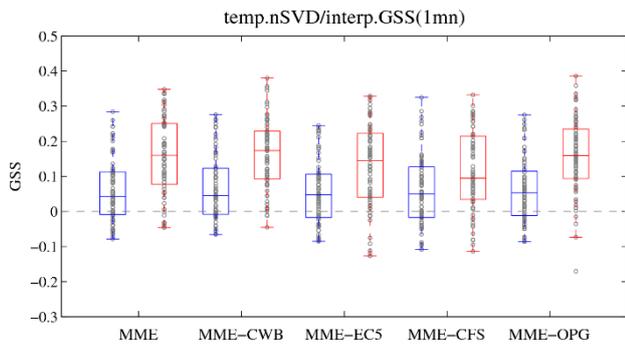


圖 5 溫度月降尺度預報技術的 boxplot，其中藍色為 nSVD、紅色為直接內插降尺度法的預報技術。

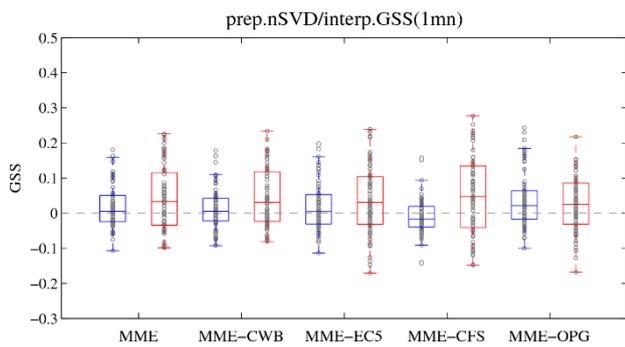


圖 6 雨量月降尺度預報技術的 boxplot，其中藍色為 nSVD、紅色為直接內插降尺度法的預報技術。

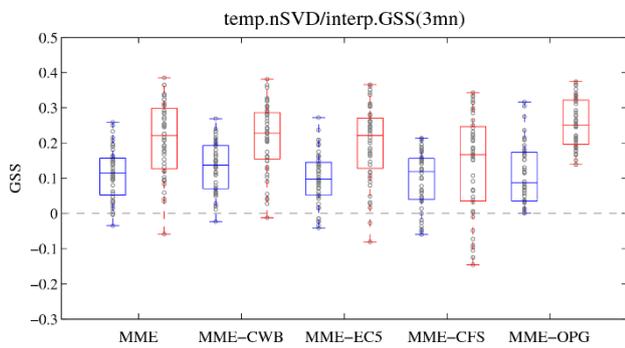


圖 7 溫度季節降尺度預報技術的 boxplot，其中藍色為 nSVD、紅色為直接內插降尺度法的預報技術。

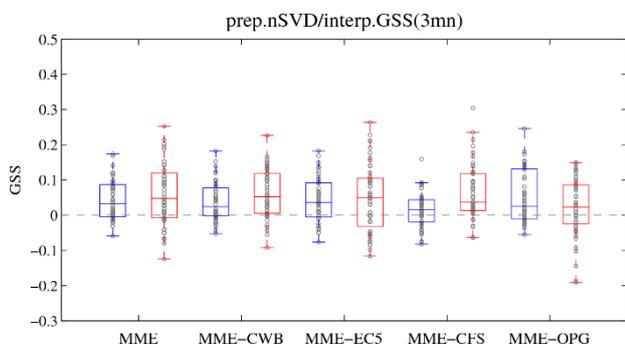


圖 8 雨量季節降尺度預報技術的 boxplot，其中藍色為 nSVD、紅色為直接內插降尺度法的預報技術。

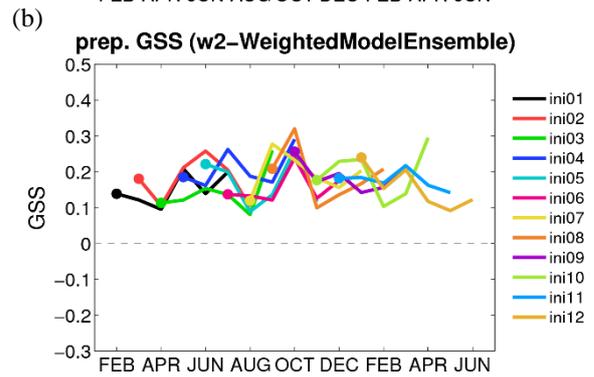
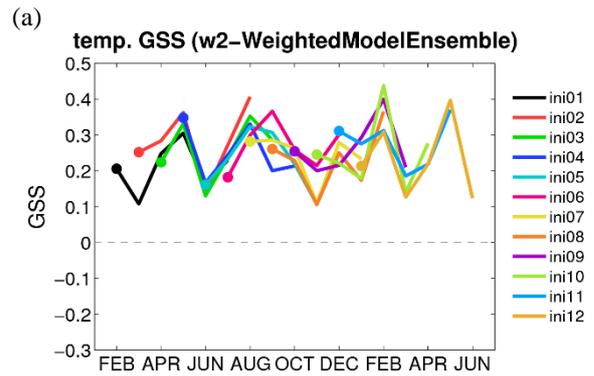


圖 9 NMME 權重平均後(a)溫度、(b)雨量的月降尺度預報技術得分 GSS。

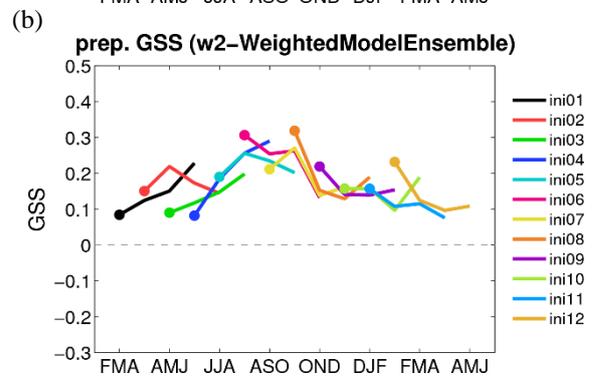
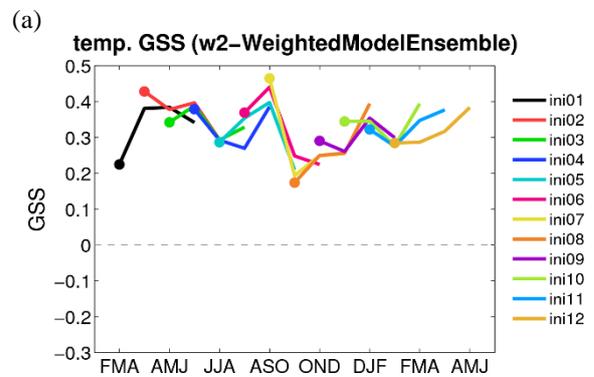


圖 10 NMME 權重平均後(a)溫度、(b)雨量的季降尺度預報技術得分 GSS。