

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初步結果

林昀靜、盧孟明

中央氣象局科技中心

摘要

根據以 SVD 為架構的統計降尺度方法與 Hsu et al. (2012)發展的 STPM 統計降尺度法，延伸出將預報因子隨時間演變的概念加入 SVD 模式中的 nSVD 統計降尺度法，應用於氣象局第二代二步法氣候預報模式 (CWB 2-tier CFSv2) 中的 CWB-GAMT119L40_CFSv2SST 此組模式，以冬季月份 (DJF) 為初始場的 30 年事後預報結果建立校驗系統，並對台灣地區的 16 個測站做降尺度預報能力評估。整體而言，溫度的降尺度結果比雨量好，而季節的降尺度結果又比單月降尺度結果稍好，在三分類的表現中以偏低及偏高類別表現較佳。

一、前言

氣象局「災害性天氣監測與預報作業建置計畫」，又稱五期計畫，在 2012 年發展了 STPM (Spatial-Temporal Projection Method) 統計降尺度法，將其應用於作業版的全球月與季預報模式(GFS-CFS 和 GFS-OPG T42)1981-2007 年的 20 個模式輸出，並與目前作業版統計降尺度(SVD)進行台北、台南、花蓮測站 5-9 月 (初始場為 4 月) 的降水與氣溫的降尺度預報評估比較(MASL, 2012)。

在 2013 年也另外根據作業化的 SVD 統計降尺度法與 2012 年發展的 STPM 統計降尺度法，延伸出一套整合了 STPM 中將預報因子隨時間演變的概念加入 SVD 模式中，以下簡稱為 nSVD，同時也比較了作業版 SVD 與 nSVD 這兩種降尺度方法，在 GFS-CFS 和 GFS-OPG T42 模式在夏秋季 (5-9 月) 和 T119 模式在冬春兩季的降尺度預報技術 (初始場為 12 月)。根據去年的研究結果，以 CWB 新版 T119 模式 31 個模式成員 (以 12 月 1-31 日為初始條件)，1983-2012 年之大尺度環流場模式輸出資料，評比 nSVD 與作業版 SVD 降尺度法，對台北、台南和花蓮測站冬春兩季 (JFM、FMA、MAM) 降雨和氣溫的事後預報和預報能力。並與 T42 模式 (GFS-CFS 及 GFS-OPG 共 20 個模式成員) 之降尺度結果進行比較，結果顯示在不同季節降水和溫度預報各有其最佳降尺度方案(MASL, 2013)。

今年我們將降尺度目標測站數由 3 個 (台北、台南、花蓮) 增加為 16 個 (不包含山區及外島測站)，並設計了一套校驗流程，利用事後預報 30 年分成 3 個 10 年建立校驗系統，例如要進行 1982-1991 年 10 年的預報校驗，就利用其餘 20 年 (1992-2011 年) 當作訓練期，利用此訓練期建立多組系集預報結果，利用這些系集預報結果建立氣候值分布，再將預報期的降尺度預報分布與氣候值分布比較，最終可得預報屬於偏多、正常或偏少的傾向，也可根據事後預報 30 年的校驗結果，提供未來每個月降尺度預報的可參考性程

度。

二、資料

2.1 模式資料

模式資料採用氣象局最新的 T119 模式產品，本研究中僅採用 CWB-GAMT119L40_CFSv2SST 此組模式 (即 CFSv2 的海溫加上 CWB-GAMT119L40 的大氣模式)，以冬季月份 (DJF) 為初始場，模式將每天的輸出場當作不同的系集個數 (members)，因此本研究所採用的冬季月份 (DJF) 在 12 月就有 12/1-31 的輸出場，共有 31 個系集個數，相同的在 1 月有 1/1-31 也有 31 個 members，2 月就有 2/1-28 共 28 個 members 之模擬結果，對 1982-2011 年共 30 年分別進行 9 個月的預報 (lead 1-9)，為評估季節預報能力，將大尺度的月平均資料進行三個月的季節平均。

統計降尺度輸入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 米溫度場 (TMP2m)、地表溫度 (TMPsfc)。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、TMP2m、TMPsfc。

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) 之月平均雨量和溫度，時間長度為 1982-2012 年，為了對模式降尺度季節預報結果進行校驗，將月平均測站資料也進行計算三個月的季節平均。

三、方法

接下來簡介目前應用於 T119 模式 (CWB 2-tier CFSv2) 的新版 nSVD 統計降尺度法。

3.1 nSVD 統計降尺度模式

nSVD 模式與現行作業版 SVD 模式相似，但是考慮了預報因子隨時間的演變過程 (即除了空間資訊 $i*j$ 外，加上了前期資訊 n)，流程如圖 1 所示。例如：FMA 降尺度預報時，採用了 FMA 當季加上前一季 JFM 的資料進行 SVD 分析；MJJ 預報時，採用 JFM、FMA、MAM、AMJ 及 MJJ 之數據進行降尺度預報。

在預報因子的選取方面是根據先前的研究結果，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、TMP2m、TMPsfc 和 h500。預報因子空間範圍擴大為：60°E-120°W，0°-50°N。

nSVD 降尺度流程與 SVD 流程類似，先將標準化的預報量 (predictand：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。通常第一模態的解釋方差會超過 60-70%。為確保至少有一模態可用於降尺度預報，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 預報技術得分

3.2.1 Relative Operating Characteristics curve and score, ROC

ROC 是一個利用命中預報與錯誤預報比較下所得的技術得分，其中命中預報 HR_n 與錯誤預報 FAR_n 的計算分別為：

$$HR_n = \frac{\sum_{i=1}^N O_i}{\sum_{i=1}^N O_i}$$

$$FAR_n = \frac{\sum_{i=1}^N NO_i}{\sum_{i=1}^N NO_i}$$

ROC 曲線的定義是將命中預報置於 Y 軸，錯誤預報置於 X 軸，一定要從座標 (0,0) 到 (1,1)，其得分大小即為 ROC 的面積，值的範圍從 0 至 1，最完美的技術得分為 1。

當曲線向對角線左側彎曲時，表示命中預報大於錯誤預報，ROC 得分 (面積) 大於 0.5；當 ROC 曲線正好在對角線上時，即 ROC 得分為 0.5，此時為無預

報技術；而當曲線在對角線之下時，亦即命中預報小於錯誤預報，ROC 得分小於 0.5，則此預報技術低於隨機預報。不同於多數預報技術得分只能運用在決定性預報上，ROC 則同時適用於決定性預報與機率預報。通常將資料以三分法區分 (偏多、正常、偏少)，並以此分類畫出三條 ROC 曲線，藉此提供模式預報結果之可信度參考。

3.2.2 Reliability Diagram and Brier Skill Score (BSS)

除了 ROC 預報技術得分外，我們也運用 Reliability Diagram 與相伴的預報機率的直方圖計算其 Brier 技術得分 (BSS)。ROC 技術得分所用的是基於觀測資料的條件機率，而 Reliability Diagram 則是以預報機率為基準的條件機率畫成。Reliability Diagram 與 ROC 繪製原理相似，不過在 X 與 Y 軸所代表的，則是以預報機率範圍為條件下的觀測事件發生頻率；曲線可表示預報偏差，也可以更有效地判斷預報系統的特性。

此外，Brier 技術得分 (Brier score skill, BSS) 的值協助 Reliability Diagram 的判讀，並將結果與 ROC 得分互相搭配，可作為提供預報是否接近真實的一個參考訊息。BSS 最佳得分為 1；若 BSS 的值為 0 時，表示相對於參考預報是無預報技術的。其中 BS 和 BSS 的計算如下：

$$BS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2$$

$$BSS = \frac{BS - BS_{reference}}{0 - BS_{reference}} = 1 - \frac{BS}{BS_{reference}}$$

其中 N 為預報的總數，P_i 為趨勢預報結果，O_i 為實際觀測 (計算過程中當事件發生時定義得分為 1，事件未發生則得分為 0)。

四、統計降尺度模式預報能力評估

在評估 CWB 2-tier CFSv2 也就是 T119 模式降尺度的部分，本研究設計了一套校驗流程，利用事後預報 30 年分成 3 個 10 年建立校驗系統，例如要進行 1982-1991 年 10 年的預報校驗，就利用其餘 20 年 (1992-2011 年) 當作訓練期，利用此訓練期建立多組系集預報結果，再利用這些系集預報結果建立氣候值分布，將預報期的降尺度預報分布與氣候值分布比較，最終可得預報屬於偏多、正常或偏少三分類的傾向。

由於各月份事後預報年份為 1982-2011 年 (共 30 年)，並且 T119 模式是每天執行月與季預報結果，將每天的輸出場當作不同的系集個數，因此本研究採用的冬季月份 (DJF) 在 12 月就有 31 個系集個數 (12/1-31 的輸出場)、1 月有 31 個 members (1/1-31)、2 月有 28 個 members (2/1-28) 的模擬結果，並分別對事後預報的 30 年進行 9 個月的預報 (lead 1-9)。

採用上述的校驗系統，分別對 12、1、2 月的月與季事後預報降尺度結果作評估，並計算前述的 ROC 及 BSS 預報技術得分。接下來以 12 月為初始場的降尺度預報結果為例做說明。

由於事後預報年份為 1982-2011 年，因此以 12 月為初始場的 9 個月預報 (lead 1-9)，即為 1983-2012 年的 1-9 月。

圖 2 僅以台北測站 1983-2012 年 1 月 (即以 12 月為初始場的 lead 1 事後預報) 每年的溫度降尺度預報分布為例，圖中前景白色的柱狀圖為每年 31 個 members*5 個大尺度變數 (u850、v850、h500、TMPsfc、TMP2m) 共 155 個個別降尺度結果的分布，背景灰色柱狀圖為訓練期 20 年*31 個 members*5 個大尺度變數共 3100 個 hindcast 結果的分布。從此圖中可以看出每年的預報與訓練期的氣候值分布比較，因此可知每年的預報是屬於偏多、正常或偏少哪一分類的傾向。

圖 3 為溫度及雨量的月事後降尺度預報的 ROC 結果，從上到下三張圖分別是偏少、正常、偏多三個類別的結果，其中，x 軸為領先的月份，y 軸為 ROC area 的值，圖上的點是表示在不同的領先月份 16 個測站的 ROC area 值分布情形，實線的部分為 16 個測站的平均 ROC area 值。從圖 3a 中看出，溫度偏少類別在 lead5-8 的表現較好，也就是 5-8 月的預報；在正常類別的 lead1-5 ROC area 值有上升的情形，但到後面的月份就開始往下掉；而在偏多類別則是從 lead1 的表現還不錯，但到 lead2-4 就往下掉，但之後有些微幅度的上升。在雨量的 ROC area 變化 (如圖 3b) 則是隨著領先月份的改變沒有大的趨勢變化。

圖 4 為溫度及雨量的季事後降尺度預報的 ROC 結果，x 軸為領先的季節 (lead 1 為 JFM、lead 2 為 FMA、lead 3 為 MAM...到 lead 7 為 JAS)，y 軸為 ROC area 的值。從圖 4a 中看出，溫度在偏少類別的 lead1-3 ROC area 值有明顯的上升，但從 lead5 開始下降；在正常類別的 lead1-4 則是隨著 lead 增加，ROC area 值就減小；在偏多類別則是 lead5 有最好的表現，即季節 MJJ 的預報。在雨量部分 (如圖 4b 所示) 也是與溫度相同隨著領先月份的改變沒有大的趨勢變化。

若是比較月與季降尺度的 ROC 結果，則可以發現在溫度部分，季節降尺度的結果明顯比月的結果好，尤其是在偏多及偏少類別，大部分測站的 ROC area 都大於 0.5，顯示為有預報技術，但在雨量則是差異性不大。

圖 5 與圖 3 同，只是為溫度及雨量的月事後降尺度預報的 BSS 預報技術得分，相同地 x 軸為領先的月份，而 y 軸則為 BSS 技術得分的值，圖上的點也是表示 16 個測站的 BSS 技術得分分布情形，實線的部分為 16 個測站的平均 BSS 值。從圖 5 中看出，無論是在溫度 (圖 5a) 或雨量 (圖 5b) 在各類別的前幾個 lead 均有隨著 lead 增加而 BSS 得分減少的傾向，僅有在溫度偏少類別的 lead 5 有明顯跳起來 BSS 大於 0 的值，以及在偏多類別的 lead1 及 7，顯示大多數測站在此月

份的預報技術都不錯，但以整體的 BSS 結果而言，大多數測站的 BSS 都小於 0。

圖 6 與圖 4 同，只是為溫度及雨量的季事後降尺度預報的 BSS 預報技術得分，x 軸為領先的季節 (lead 1 為 JFM、lead 2 為 FMA、lead 3 為 MAM...以此類推)，y 軸為 BSS 技術得分的值。季節的降尺度結果看起來有比月降尺度結果稍好，有較多測站是有預報技術的，尤其以溫度的偏低類別較為明顯，其前幾個 lead 的 BSS 平均值都是有大於 0。

整體來看，雖然 ROC area 的得分大多有大於 0.5 (即表示有 skill)，但從 BSS 來看，大多數的測站都小於 0 (即表示沒有 skill)，尤其是正常類別的表現最差。

五、 結論

今年在評估 CWB 2-tier CFSv2 也就是 T119 模式降尺度的部分，本研究設計了一套校驗流程，利用 CWB-GAMT119L40_CFSv2SSST 此組模式以冬季月份 (DJF) 為初始場的 30 年事後預報結果，對台灣地區的 16 個測站做降尺度預報評估。

從結果中可得知，雖然從 ROC area 的得分可看出有預報技術，但從 BSS 來看，大多數測站的預報技術得分都很低，尤其是正常類別的表現最差。整體而言，溫度的降尺度結果比雨量好，而季節的降尺度結果又比單月降尺度結果稍好，其中以偏低及偏高類別表現最佳。但因為只採用一組模式，且只有採用冬季三個月 (DJF) 初始場的降尺度預報結果來進行分析，得到的結果代表性有限，也無法說明夏季的狀況是否和冬季一樣，因此未來將採用多一點的預報產品進行降尺度分析研究，得到的結果將更具代表性。

六、 參考文獻

Hsu, P.-C., T. Li, Y.-C. Lin, M.-M. Lu, and J.-Y. Lee, 2012: A spatial-temporal projection method for seasonal prediction of spring rainfall in northern Taiwan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90, 179-190.

MASL, 2012: 101 年度「研發統計降尺度改進方案」期末報告。中央氣象局。文件編號：D111376-E1-04_CFM-MASL

MASL, 2013: 2013_CFM-MASL「改進統計降尺度並開發以測站為目標之統計動力預報方法」期末報告。中央氣象局。文件編號：D121931-E1-05_CFM-MASL

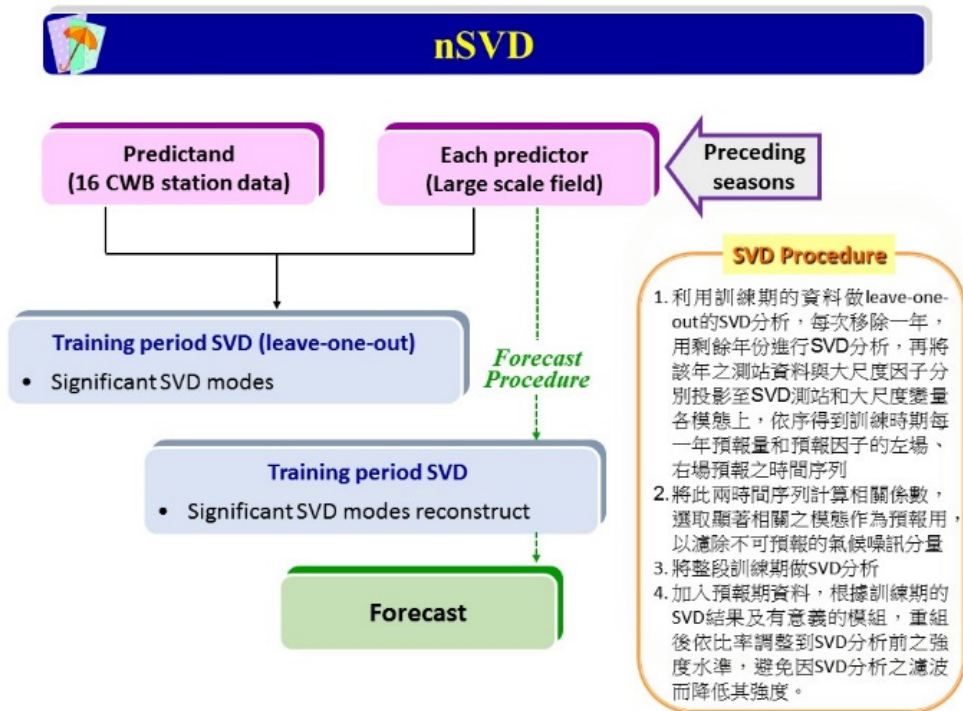


圖 1 nSVD 流程圖

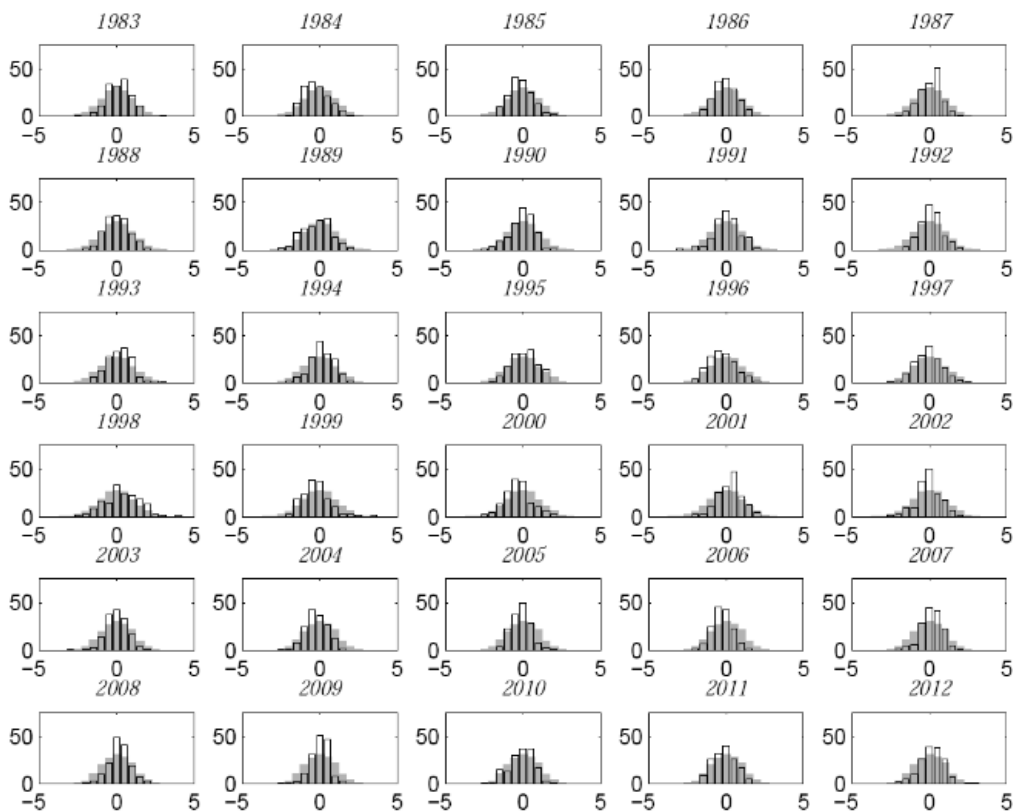


圖 2 台北測站 1983-2012 年 1 月每年的溫度降尺度預報分布情形，圖中前景白色的柱狀圖為每年降尺度結果的分布，背景灰色柱狀圖為訓練期 20 年的 hindcast 結果的分布。

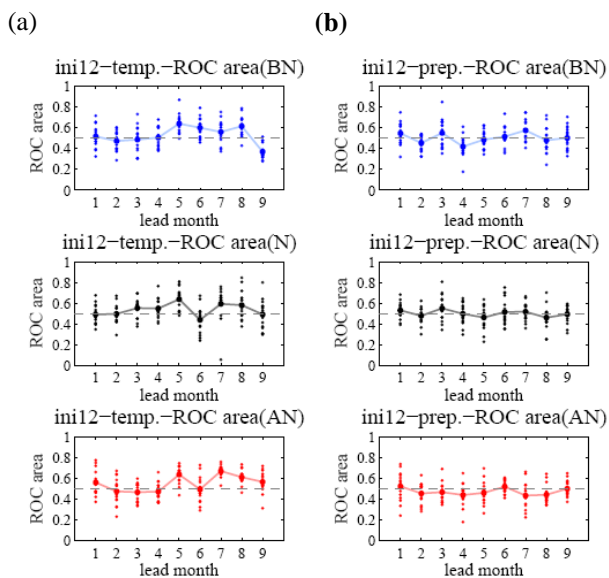


圖 3 以 12 月為初始場的月事後降尺度預報的 ROC area 結果，圖(a)為溫度、(b)為雨量，其中 x 軸為領先的月份，y 軸為 ROC area 的值。

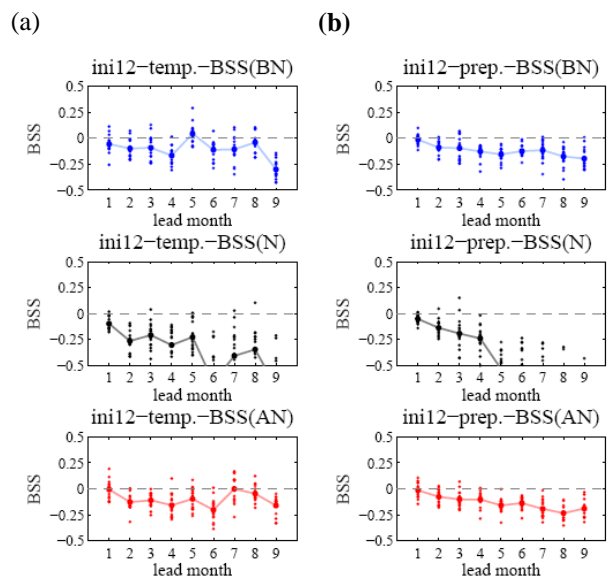


圖 5 以 12 月為初始場的月事後降尺度預報的 BSS 結果，圖(a)為溫度、(b)為雨量，其中 x 軸為領先的月份，y 軸為 BSS 的值。

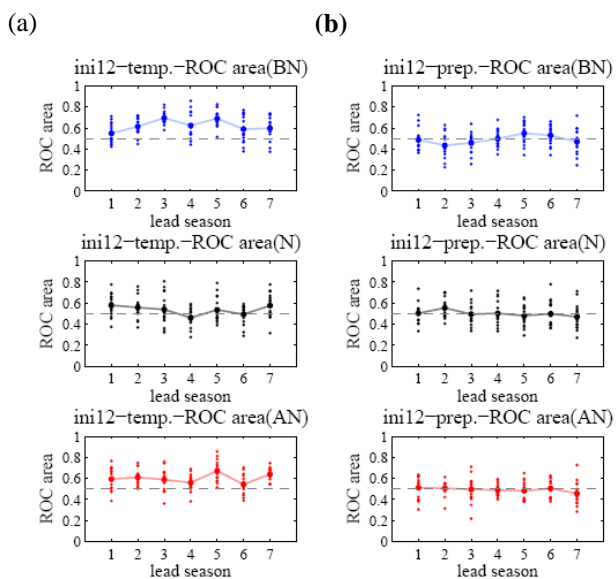


圖 4 以 12 月為初始場的季事後降尺度預報的 ROC area 結果，圖(a)為溫度、(b)為雨量，其中 x 軸為領先的季節，y 軸為 ROC area 的值。

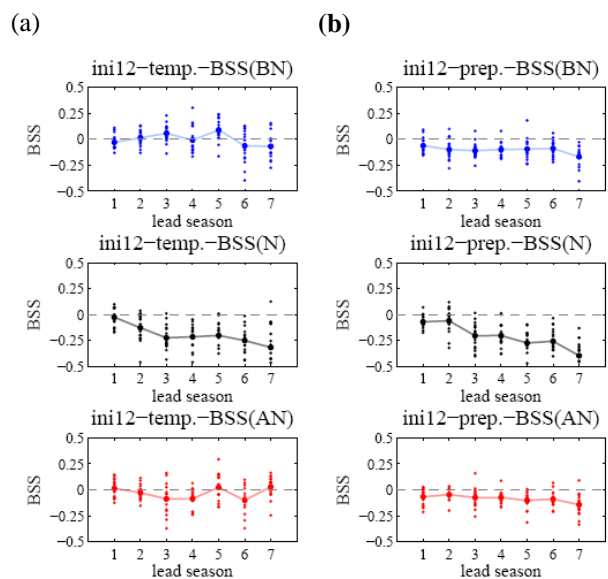


圖 6 以 12 月為初始場的季事後降尺度預報的 BSS 結果，圖(a)為溫度、(b)為雨量，其中 x 軸為領先的季節，y 軸為 BSS 的值。