

評估美國第二代氣候預報系統(CFSv2) 在東亞地區夏半年的可預報度

劉人鳳¹

Wanqiu Wang²

中央氣象局預報中心¹
CPC/NCEP/NWS/NOAA²

摘要

美國第二代氣候預報系統(CFSv2)是目前中央氣象局預報中心長期預報課在月及季預報作業上的重要參考模式之一，本研究分析從西元1999年至2012年CFSv2的夏半年(5月至9月)預報資料、氣候預報系統之再分析資料(CFSR)及氣候預測中心之全球綜合降水資料(CMORPH)，具體量化CFSv2模式在東亞地區夏半年的系統性偏差及預報能力，並進一步了解CFSv2模式在東亞地區夏半年的預報能力表現與季內震盪相關性，透過此研究將有助於了解CFSv2的預報能力及誤差，使預報員在長期預報作業時，能更清楚模式特性及可參考度，提升長期預報課在月及季的預報能力。

關鍵字：美國第二代氣候預報系統(CFSv2)、季內震盪

一、前言

中央氣象局長期預報課的月及季預報作業，主要參考依據是動力模式及統計模式，而美國第二代氣候預報系統(Climate Forecast System Version 2, CFSv2)是目前課內重要參考的動力模式之一。但目前局內氣候預報員對於CFSv2的預報能力及誤差特性並無深入了解，藉由季風訓練課程期間，與美國氣候預報中心資深氣候研究員Dr. Wanqiu Wang合作，分析CFSv2在東亞地區夏半年的預報表現能力。

東亞地區氣候深受季內震盪影響，冬半年 Madden-Julian Oscillation (MJO)主導全球熱帶地區的季內震盪變化 (CLIVAR Madden-Julian Oscillation Working Group 2009)，從 Outgoing Longwave Radiation (OLR)或降水場可觀測到MJO訊號，MJO訊號從印度洋發展並隨時間向東傳遞，繞行周期約在30-60天(Wheeler and Hendon 2004)；而夏半年 Boreal Summer Intraseasonal Oscillation (BSISO)則主導北半球季內震盪向北傳(Suhas et al. 2013; Lee et al. 2013)，季內震盪變化對於東亞地區的降雨有相當顯著影響(Mao and Chan, 2005)。

近年來，許多研究分析及探討全球氣候模式對季內震盪變化的預報表現，了解模式對於季內尺度預報能力，期望能改善模式，並增加預報準確度(Lin et al. 2008, Rashid et al. 2010, Vitart et al. 2007)。其中CFSv2是海洋、大氣及陸地耦合的氣候預報模式(Suhas et al. 2013)，研究顯示CFSv2對於MJO預報能力約20天左右，在冬季預報MJO的發展及向東傳遞

能力較夏季表現佳，但模式系統性誤差仍是存在，例如：模式在預報MJO振幅遞減過快，比實際觀測的振幅偏弱；另外，模式在預報MJO傳遞速度較實際觀測慢(Wang et al. 2013)。本研究特別針對CFSv2在東亞地區夏半年的預報表現能力，並進一步分析預報能力與季內震盪相關性。將有助於中央氣象局的氣候預報員在參考美國氣候模式時，更了解模式在夏季的預報能力及預報參考性，進而有效提升長期預報課對於月及季的氣候監測及預報能力。

二、資料來源及研究方法

1. 資料來源：

為了解CFSv2在東亞地區夏半年的預報表現，在預報資料方面，使用CFSv2之45天hindcast資料，時間解析度為每6個小時1筆，空間解析度為2.5度x2.5度(Saha et al. 2014)，分析資料的長度為西元1999年至西元2012年共14年，每年的5月至9月。在觀測資料方面，使用全球格點降水數據資料(CMORPH)分析實際降水情形，850百帕緯向風場及500百帕高度場的資料來自於氣候預報再分析資料(Climate Forecast System Reanalysis, CFSR, Saha et al. 2010)。

2. 研究方法：

(1) 網格資料一致性：為使預報資料及觀測資料一致性，首先須將全球格點降水數據資料重新格點化，將原先空間解析度為0.25度x0.25度的網格資料，計

算平均後得到2.5度x2.5度的網格資料；另外因本研究主要是分析東亞地區，因此本研究主要針對東亞地區(60°E-150°E, 10°S-30°N)的網格資料作分析。

(2) 氣候值：日平均觀測氣候值，是平均西元1999年至西元2012年共14年的日平均觀測值(Oc(d, l))；日平均預報氣候值計算方式與日平均觀測氣候值類似，是平均西元1999年至西元2012年共14年的日平均預報值(Fc(d, l))。

(3) 距平值：

A. 日平均的全部距平值(Total daily anomalies)：將日平均預報值減去日平均預報氣候值，得到日平均預報的全部距平值(F_{TOT}(yr, d, l))。

B. 日平均的年際及季內尺度距平值(Interannual and intraseasonal daily anomalies)：在週與月尺度的預報，通常利用距平值的高低來呈現預報結果；由於全部距平值包含年際及季內尺度的距平，為了解年際或季內變異性的貢獻，本研究將預報目標日期前後45天滑動平均的全部距平值定義為年際尺度的距平值(F_{IA}(yr, d, l))，而全部距平值減去年際尺度的距平值則為季內尺度的距平值(F_{IS}(yr, d, l))。

C. 週平均距平值(Weekly anomalies)：預報當日天為模式預報的初始日期，週平均預報值計算方式，平均預報第2天到第8天的日平均距平值，視為第1週平均預報值，平均預報第9天到第15天的日平均距平值為第2週平均預報值，依此類推至第6週的平均預報值為平均預報第37天到第43天的日平均距平值(圖1)。

(4)評估CFSv2模式預報表現：

本研究使用距平相關係數(anomaly correlation coefficient, ACC)及空間相關係數(spatial pattern correlation, SPC)來評估評估CFSv2模式預報表現。

三、研究結果

1. 分析美國第二代氣候預報系統(CFSv2)在東亞地區夏半年的預報偏差(Bias)

圖2顯示氣候上觀測場(圖2a)及5、12、19、26天後CFSv2預報場(圖2b~e)在在東亞地區夏半年(5月至9月)的雨量分布差異性，而圖2f~i則代表5、12、19、26天後預報的偏差(氣候值減去觀測值)。CFSv2能掌握到赤道西太平洋、赤道以南的印度洋、南海、孟加拉灣、緬甸海及東阿拉伯海較明顯的雨量訊號。模式在熱帶印度洋中部的北方(70°E~ 90°E)、東阿

拉伯海、印度西部、緬甸海、緬甸西部有預報過濕的特性，而西孟加拉灣及南海附近則有預報過乾的情形。隨著預報前置時間(Lead Time)增加，預報場第1週的雨量偏差空間分布情形與其他3週(第2週、第3週及第4週)差異並不大，因此週與週之間偏差的空間分布並沒有顯著變化(圖2f~i)，850百帕風場及500百帕高度場偏差的空間分布亦有類似情形(圖略)。

因此進一步計算雨量、850百帕風場及500百帕高度場第1週到第4週在東亞地區夏半年的偏差空間分布情形(圖3a~c)，可以對CFSv2整體性偏差有初步了解；圖3a顯示雨量偏差的空間分布情形與個別單週類似(圖3f-i)；850百帕緯向風場方面(圖3b)，東風偏差從東阿拉伯海向西南延伸到海洋大陸西側，並覆蓋南印度及南孟加拉灣，西風偏差位於東風偏差的西側，而東西風偏差交接處即為輻合處，與雨量有過濕訊號的地區有一致性，例如：東阿拉伯海的濕偏差與此處預報過強的東西風偏差導致輻合產生有其密切相關性。500百帕高度場方面(圖3c)，模式在大部分的東亞地區有明顯負偏差，顯示大氣有預報過冷訊號。

2. 分析美國第二代氣候預報系統(CFSv2)在東亞地區夏半年的預報能力

為了診斷模式的預報技術特性，分別計算CFSv2的3個氣象變數(雨量、850百帕緯向風場及500百帕高度場)在東南亞地區第1-6週全部及季內的距平相關係數(圖4)。預報的前兩週，全部與季內距平相關係數差異小，顯示季內預報技術對於全部模式預報技術貢獻顯著；但在第3週以後的預報，季內預報技術明顯下降，特別是在雨量場方面，第3週後距平相關係數已降至0.1以下，顯示第3週後雨量的預報技術偏低。在預報的六週內，500百帕高度場的全部距平相關係數皆高於850百帕緯向風場及雨量場；但也可以發現500百帕高度場的全部距平與季內距平的預報技術差異最大，顯示大氣熱力作用的年際變異貢獻顯著。對於3個氣象變數(雨量、850百帕緯向風場及500百帕高度場)的全部與季內距平的差異皆有隨預報時間增長而變大，顯示隨預報時間增長，預報年際距平變異漸成為預報技術的主要來源。

3. 分析美國第二代氣候預報系統(CFSv2)在東亞地區夏半年的預報能力與季內尺度震盪相關性

近年來許多研究顯示，季內尺度震盪與東亞地區的天氣有密切關聯，因此使用國際上常用的兩種季內震盪指標(Madden-Julian Oscillation (MJO)及 Boreal Summer Intraseasonal Oscillation (BSISO)) (Wheeler and Hendon 2004; Lee et al. 2013)，分析 CFSv2 在東亞地區夏半年對於季內尺度震盪的預報能力。

將預報和觀測對季內尺度的雨量距平空間分布的相關性與 MJO 振幅距平，利用散佈圖顯示兩者之間的關係(圖5)，雨量距平相關性與 MJO 振幅有微弱正相關性，相關係數約為 0.19(圖5a)；850 百帕緯向風場與 MJO 振幅距平的相關係數為 0.23(圖5b)。而圖 6a 及 b 則分別呈現雨量及 850 百帕緯向風場的空間分布距平相關與 BSISO 振幅距平的相關性，與 MJO 相較下，預報技術與 BSISO 有較高相關性；對於雨量場及 850 百帕緯向風場的相關係數分別為 0.36 及 0.41。因此當 BSISO 指標的振幅較大(小)時，雨量及 850 百帕緯向風場的空間分布相關係數較高(低)。

四、結論與建議

由此研究顯示，CFSv2 在 500 百帕高度場有明顯的負偏差，顯示模式預報大氣有過冷訊號，尤其是在熱帶地區，因此預報員在參考 CFSv2 時，需考慮此模式在熱帶大氣有預報偏冷的情形。目前 CFSv2 可以預報到 45 天，但在未來第 3 週到第 6 週預報，預報場與觀測場的相關係數偏低，因此未來第 1 週至第 2 週的模式預報資訊較有參考價值。在夏季 BSISO 指標振幅與預報技術相關係數成正比，因此當夏季 BSISO 指標振幅較明顯時，模式參考性較大，但當 BSISO 指標振幅較弱時，模式參考性降低。未來將針對 CFSv2 對於 BSISO 的預報能力做更進一步探討，例如：BSISO 在不同 Phase 發展時，預報之空間相關係數的變化如何；模式對於 BSISO 預報可參考天數；模式在預報 BSISO 時，是否亦有系統誤差存在。分析 CFSv2 在東亞地區夏半年的預報能力與季內尺度震盪(ISO)相關性，將有助於預報員根據模式預報技術及相關性的高低，判斷模式的參考性程度，並提升月及季的預報能力。

參考文獻

- CLIVAR Madden-Julian Oscillation Working Group (2009) MJO simulation diagnostics. *J Clim* 22:3006–3030
- Lee, J.-Y., B. Wang, M.C. Wheeler, X. Fu, D.E. Waliser, and I.-S. Kang (2013) Real-time multivariate indices for the boreal summer intraseasonal oscillation over the Asian summer monsoon region. *Clim Dyn* 40: 493-509
- Lin, H., G. Brunet, and J. Derome (2008) Forecast skill of the Madden-Julian oscillation in two Canadian atmospheric models. *Mon Weather Rev* 136: 4130–4149
- Mao, J. and J. C. L. Chan (2005) Intraseasonal variability of the South China Sea summer monsoon. *J. Climate* 18: 2388-2402.
- Rashid, H.A., H.H. Hendon, M.C. Wheeler, and O. Alves (2011) Prediction of the Madden-Julian oscillation with the POAMA dynamical prediction system. *Clim Dyn* 36: 649-661. doi:10.1007/s00382-010-0754-x
- Saha, S., and Coauthors (2010) The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull Am Meteorol Soc* 91: 1015-1057. doi:10.1175/2010BAMS3001.1
- Saha, S, and Coauthors (2014) The NCEP Climate Forecast System Version 2. *J Clim* 27: 2185–2208
- Suhas E., Neena J.M., Goswami B.N. (2013) An Indian monsoon intraseasonal oscillations (MISO) index for real time monitoring and forecast verification. *Clim Dyn* 40:2605-2616 doi:10.1007/s00382-012-1462-5
- Vitart F, Woolnough S, Balmaseda MA, Tompkins AM (2007) Monthly forecast of the Madden-Julian oscillation using a coupled GCM. *Mon Weather Rev* 135:2700–2715
- Wheeler, M.C., and H.H. Hendon (2004) An all-season real-time multivariate MJO Index: Development of an index for monitoring and prediction. *Mon Weather Rev* 132: 1917-1932
- Wang, W., M.-P. Hung, S. J. Weaver, A. Kumar, and X. Fu (2013) MJO prediction in the NCEP Climate Forecast System version 2. *Clim Dyn* 42:2509-2520. doi:10.1007/s00382-013-1806-9

研究結果

CFSv2 Forecast data

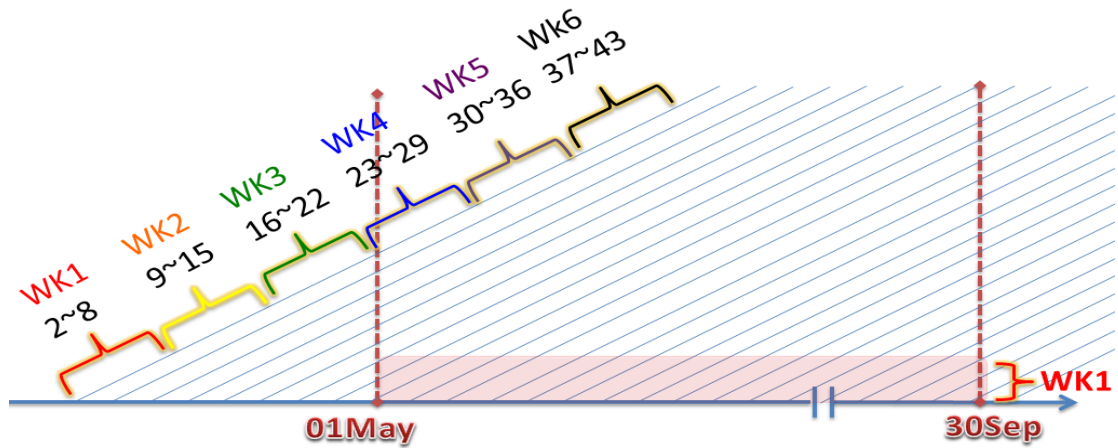


圖1：美國第二代氣候預報系統(CFSv2)之預報資料處理示意圖。

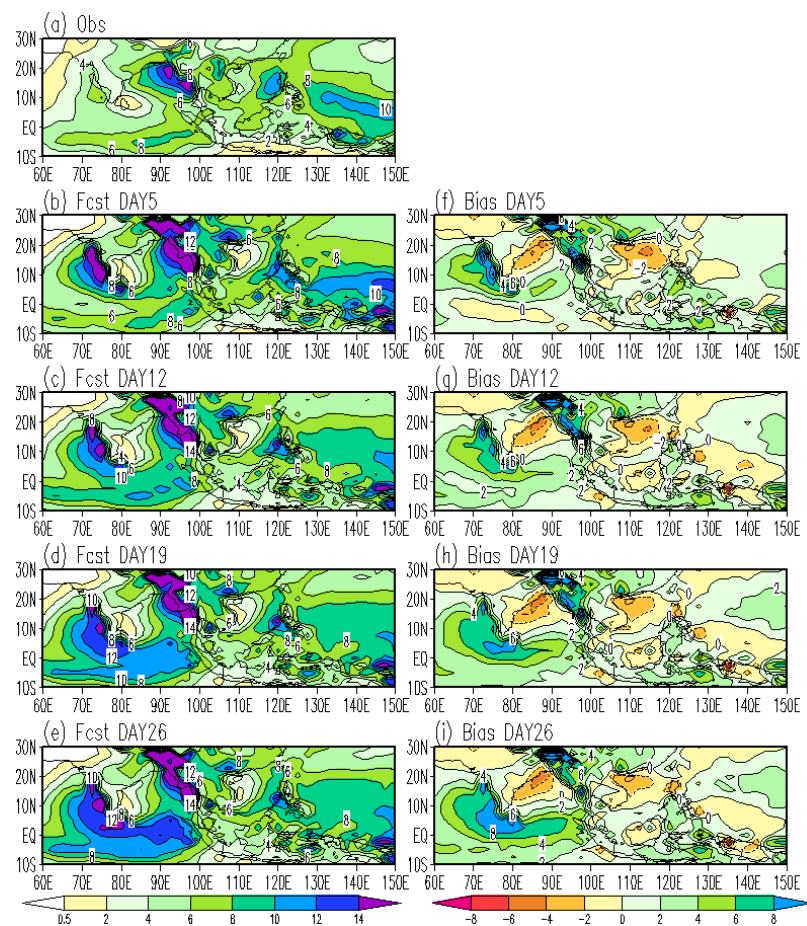


圖 2 東亞地區夏半年(5 月至 9 月)的氣候平均雨量分布圖，(a)觀測場(mm/day)、(b)~(e)分別代表 5、12、19、26 天後 CFSv2 預報場、(f)~(i)分別代表 5、12、19、26 天後預報偏差。

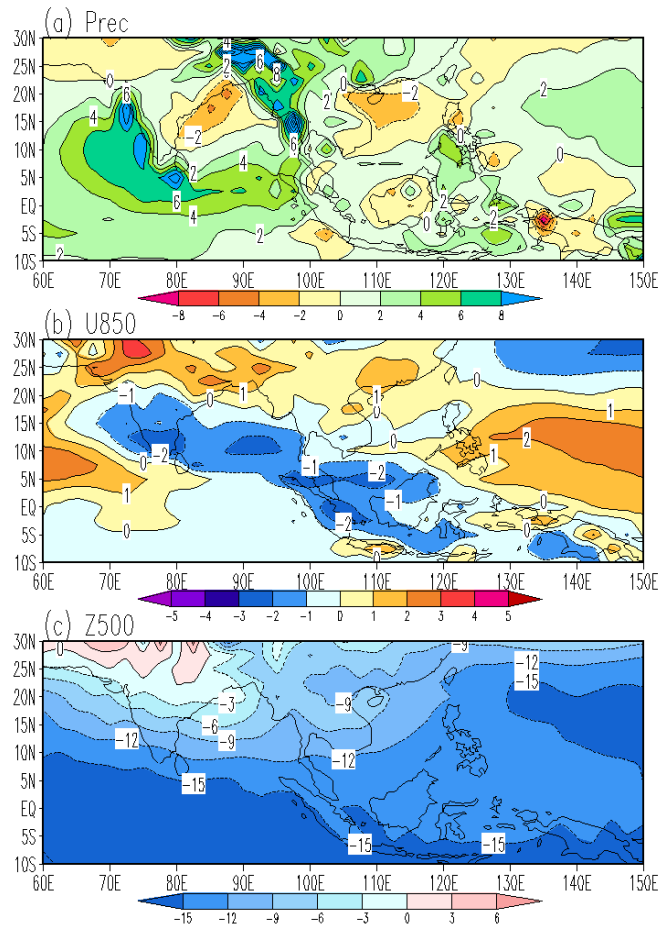


圖 3 東亞地區夏半年(5 月至 9 月)的第 1~4 週預報平均偏差分布圖，(a)雨量場 (mm/day)、(b)850 百帕緯向風場(m/s)、(c)500 百帕高度場(m)。

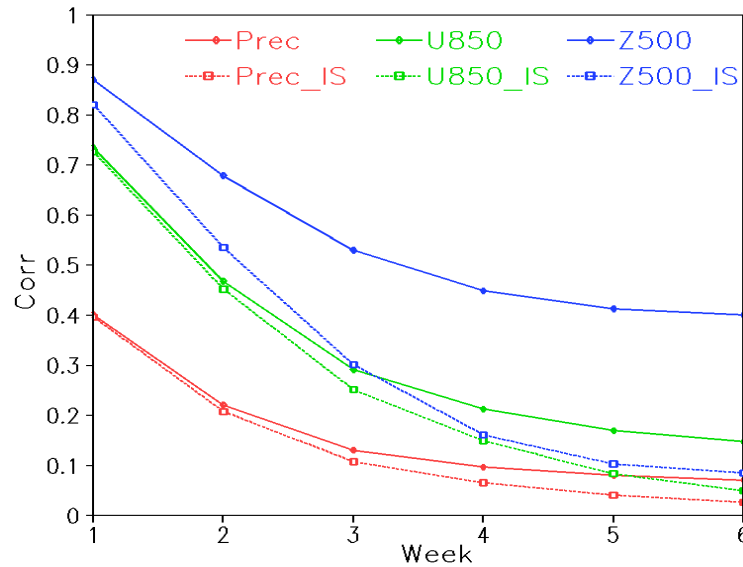


圖 4 東亞地區夏半年(5 月至 9 月)第 1~6 週預報空間平均之全部及季內距平相關係數 (anomaly correlation coefficient, ACC)。實線為全部距平、虛線為季內距平，紅、綠及藍線分別代表雨量場、850 百帕緯向風場及 500 百帕高度場，Y 軸為相關係數，X 軸為預報週數。

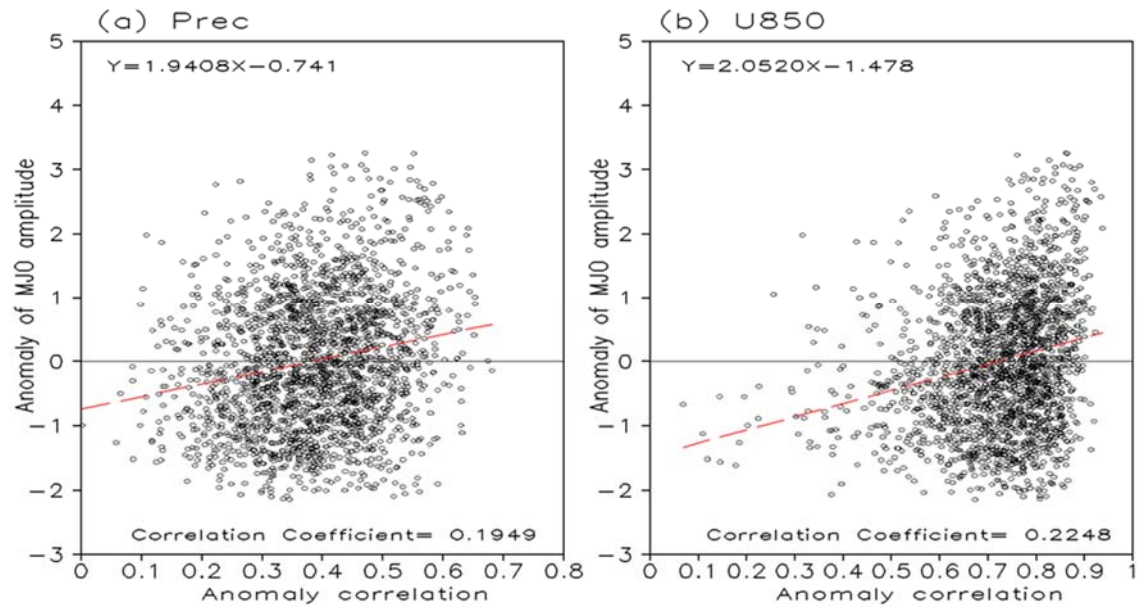


圖 5 季內尺度距平(第 1 週季內尺度預報與觀測間的差值)空間相關係數(spatial pattern correlation, SPC)與 Madden-Julian Oscillation (MJO)指標振幅的散佈圖。紅線為線性趨勢線。

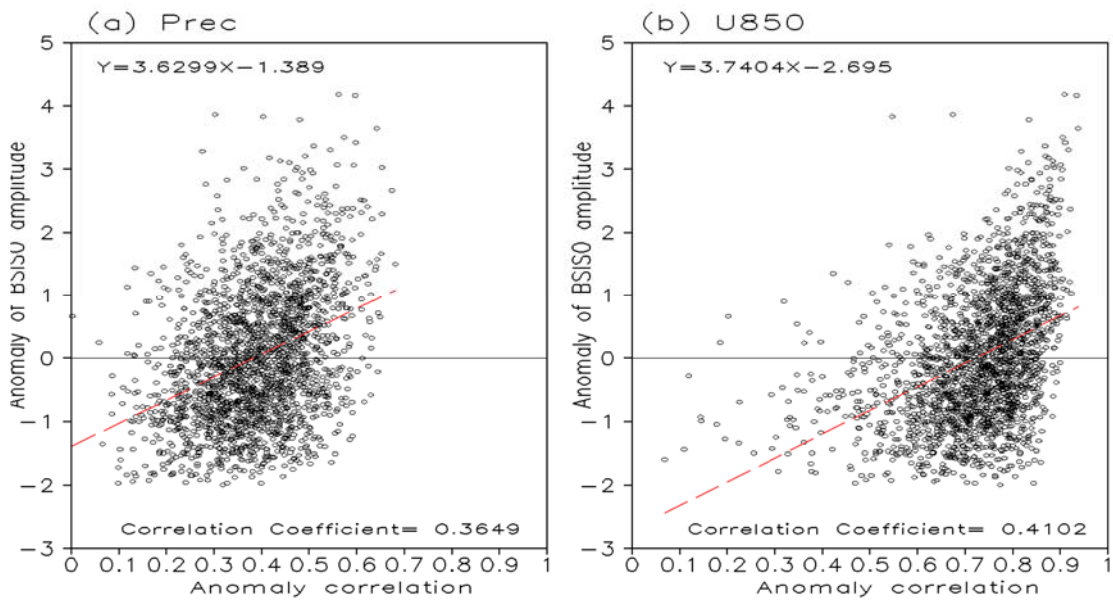


圖 6 同圖 5，唯使用 Boreal Summer Intraseasonal Oscillation (BSISO)指標振幅。