

應用中央氣象局新一代海氣耦合模式監測預報 夏季季內震盪

李思瑩¹、李清騰¹、林昀靜¹、張庭槐¹、陳建河²

中央氣象局科技中心¹、中央氣象局資訊中心²

摘要

中央氣象局於 2015 年、2018 年分別以全球數值天氣預報系統產出的展期預報產品-全球預報系統 (Global Forecast System ; GFS)、全球模式系集預報系統 (Global Ensemble Prediction System ; GEPS) 來建置北半球夏季季內震盪 (Boreal Summer Intra-seasonal Oscillation ; BSISO) 預報監測系統，並加入由亞太經濟合作會議氣候中心 (APEC Climate Center ; APCC) 所主導的北半球夏季季內震盪預報計畫 (BSISO Forecast Project)。本文以 2020 年發展完成並已作業化的新一代海氣耦合模式 (TCWB1T1.1 ; R60) 預報資料建置北半球夏季季內震盪監測預報系統，並針對 TCWB1T1.1 的 30 年模式事後預報資料進行夏季季內尺度變化的預報能力評估。結果顯示，TCWB1T1.1 對於夏季季內震盪的可預報度約在 7-10 天之間。

一、前言

美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration ; NOAA) 下國家氣象局 (National Weather Service) 所屬的環境預測中心 (National Centers for Environmental Prediction ; NCEP) 於 2005 年提出無縫隙預報框架，此框架將氣象預報依空間與時間尺度來劃分，預報的時間尺度由數分鐘到世紀，其中 1 週內為天氣預報範疇、2 週至數十年為氣候範疇，數十年以上是氣候變遷的領域，預報的誤差隨著預報時間的增長而加大，XY 軸說明不同時間尺度的預報產品對應著各種不同的應用範圍。隨著預報技術的精進，社會對氣象預報的需求逐漸增加，除了與生活息息相關的天氣預報之外，各領域 (農、林、漁、牧) 以及社會經濟活動對氣候預報的需求也大幅提高。

氣象預報發展至今，天氣預報的技術已臻成熟，7 天內的逐日預報有相當的精確度，而氣候預報的月尺度至季節預報也有一定的參考價值，為符合 NCEP 所提出的無縫隙預報服務，季內至季節預報 (Subseasonal to Seasonal Prediction, 簡稱 S2S Prediction) 是目前預報技術發展非常重要的項目，

但季內至季節預報卻是一個相當困難的領域，在包含可預報度來源之短期天氣預報到長期季節預報的預報技術定性估計圖中指出 S2S 的預報幾乎是沒有預報技巧，但是氣象預報服務對象 (使用者) 卻對 S2S 的預報有著極大的需求。

熱帶季內震盪 (Intraseasonal oscillation ; ISO) 現象的了解與掌握是提升 S2S 預報技術的關鍵。許多研究 (Madden1986, Wang and Rui1990; Salby and Hendon1994; Zhang and Dong2004; CLIVAR Madden-Julian Oscillation (MJO) working group2009; Kikuchi et al.2012) 指出熱帶季內震盪有顯著的季節變化，也就是在不同的季節有不同的特性，Wang and Rui (1990) 從 1975-1985 年間 (沒有 1978 年) 10 年 5 天平均的長波外逸輻射資料 (OLR) 中判定出 122 個季內震盪事件，並將其分類為 3 種類型：向東傳 (77 個事件)、獨立北傳 (27 個事件)、向西傳 (18 個事件)，其中東傳的季內震盪在北半球冬季較夏季為活躍，獨立北傳的季內震盪則主要發生在北半球，時間為 5-10 月期間。

Kikuchi et al. (2011) 將熱帶季內震盪依季節分為兩個模態，一為冬季的 MJO (Madden-Julian

Oscillation) 模態，一為夏季的 BSISO (Boreal Summer Intra-seasonal Oscillation) 模態，指出這是兩種不同的變化。BSISO 主要活躍在夏季，特徵是在印度洋-西北太平洋區域有向北傳遞的波動並具有 10-90 天的週期變化，為東亞與西北太平洋夏季季風系統在季內尺度的熱帶對流重要變化模態，可影響臺灣的颱風、豪大雨、高溫等易致災天氣的發生時機，因此對於 BSISO 的變化需要即時監測以及預報的資訊提供參考。

世界氣象組織大氣科學委員會的世界氣候研究計畫數值實驗組 (WMO/CAS/WCRP/WGNE) 之下的 Madden-Julian Oscillation 工作小組 (MJO Task Force) 以及亞太經濟合作會議氣候中心 (APEC Climate Center, APCC) 於 2013 年共同提出北半球夏季季內震盪預報計畫 (BSISO Forecast Project)，APCC 為主要執行單位，負責收集與比較各國動力模式預報產品，製作多模式系集預報系統的 BSISO 預報結果。

中央氣象局科技中心自 2015 年 4 月開始加入 APCC BSISO 預報實驗，每 5 天提交本局所發展的全球數值天氣預報系統 (Global Forecast System; GFS) 產出的展期預報產品加入 BSISO 多組模式系集 (Multi-Model Ensemble; MME) 預報系統，2018 年 4 月改為提交發展完成的全球模式系集預報系統 (Global Ensemble Prediction System; GEPS) 模式系集平均預報資料，2020 年 4 月提供改版後的全球海氣耦合模式 (Taiwan CWB 1-tier Global Atmosphere-Ocean Coupled Forecast System; TCWB1T1.1)。同時，使用 TCWB1T1.1 模式建置 BSISO 指標即時預報系統，本文即說明 BSISO 指標建置的流程。

二、資料與方法

1、資料

計算 BSISO 的觀測資料是使用美國大氣與海洋總署 (NOAA) 逐日的外逸長波輻射 (outgoing long-wave radiation; OLR) 以及 NCEP/DOE 逐日的 850hPa 緯向風 (U850)，時間為 1981-2010 年全年，

水平解析度為 2.5 度。

模式預報資料採用 2019 年改版氣象局發展的第一代全球海氣耦合模式 (TCWB1T1.1)，解析度為 T119L40。第一代海氣耦合模式 (TCWB1T1, R54) 於 2017 年開始作業，在大氣模式方面為氣象局全球數值天氣預報模式 (T119L40 版)，海洋模式為美國 GFDL 的 MOM3 模式，模式解析度接近 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ ，每日進行一組預報，每次進行 9 個月的積分，並建立 30 年 (1982-2011) 的事後預報 (hindcast) 資料。改版之 TCWB1T1.1 修正了物理參數化、下邊界、動力部分、初始場與氣候場。物理參數化是相對溼度門檻值設定的不同，除了最大最小值的差異外，還有分布的不同以及海陸差異。下邊界則是海洋模式將海溫插回大氣模式時，兩個模式海點跟陸點差異，造成海溫的誤差，修正處理方法後能減少在海洋大陸區域的海溫誤差。動力部分在處理水平擴散時，會將預報值透過細數調整向參考值接近，若將參考值從參考大氣換成前一個預報時間，會大幅減少預報值與參考值的差異。初始場與氣候場則是針對錯誤的部分進行修正。BSISO 指標的觀測值取自 APCC 網頁 (<http://www.apcc21.org/ser/moni.do?lang=en>)。

2、BSISO 計算方法

BSISO 指標是由 Lee et al. (2013) 所定義，計算方法與 Wheeler and Hendon (2004) 發展的 RMM 指標 (Real-time Multivariate MJO Index) 方法相似。針對北半球夏季亞洲季風區季內尺度的變化特徵，使用 1981-2010 年的逐日 OLR、U850 二個變數，雖然 BSISO 的時間尺度是季節內的變化 (10-90 天)，但資料的處理不使用帶通濾波 (band-pass filter)，而是透過減去二個變量來去除低頻變化的影響。首先，各變數的各個網格點減去使用其 30 年氣候平均值所計算的前 3 個調和函數總和 (harmonics) 來濾除季節變化，接著每天減去前 120 天的平均之後標準化。最後選取亞洲夏季季風區 40° - 160° E、 10° S- 40° N 範圍的 OLR 以及 U850 進行多變數 EOF (Multivariate empirical orthogonal function; MV-

EOF) 計算，定義 MV-EOF 第一、二模態所對應的 PC1、PC2 為 BSISO1，第三、四模態所對應的 PC3、PC4 為 BSISO2。

在 APCC BSISO 預報計畫中，國際各氣象單位所提供的模式資料會依循相同的處理步驟進行資料處理 (圖 1)，亦即所有模式預報資料在扣除季節變化的步驟皆減去由觀測值所計算的前 3 個調和函數 (harmonic) 總和。考慮模式有模式本身的系統性誤差，本文針對 1982-2011 年期間，以 30 年的觀測場以及事後預報資料 (hindcast) 作為氣候值來計算調和函數，用以減去季節的變化，再計算 30 年的 BSISO 指數進行校驗，來看模式對 BSISO 預報能力的表現。比較觀測場以及以模式事後預報資料作為氣候值所得之 30 年 BSISO 校驗結果顯示，TCWB1T1.1 對於夏季季內震盪的可預報度約在 7-10 天之間，但預報資料扣除使用模式事後預報資料所計算之調和函數所得之 BSISO 預報技巧優於使用觀測場計算之結果。因此，本文計算 TCWB1T1.1 之預報 BSISO 指標時，在扣除季節變化的步驟，是扣除模式事後預報資料所計算之調和函數。

TCWB1T1.1 模式預報的 BSISO 指標計算方法與觀測相似，圖 2 為計算模式預報 BSISO 指標的流程。在扣除季節變化的步驟中，減去前 3 個調和函數的步驟部分是使用 TCWB1T1.1 的 30 年事後預報資料分 45 個不同領先時間 (leadtime=1~leadtime=45) 來計算模式氣候平均值以及調和函數，分析場與預報場都直接減去模式事後預報所計算的前 3 個調和函數，其中，預報場是依照不同領先時間扣除前 3 個調和函數總數，接著，預報場減去以分析場加上預報場計算的前 120 天平均後標準化，最後將處理後的模式預報變數投影到觀測場的 MV-EOF 模態得到 BSISO1 以及 BSISO2 指標。

三、BSISO 監測預報

為增加更多的預報資訊提供參考，在計算 BSISO 指標時以不同初始時間預報結果作為系集 (member)，也就是當日產生 BSISO 預報相位圖

時，以最接近當日的 3 個不同初始時間的預報結果作為系集預報以供參考，例：當 7/1 產生 BSISO 預報相位圖時，圖上的 3 個系集分別是初始時間為 2020/6/27、6/28、6/29 預報 7/2-8/10 的結果。

在 BSISO 監測與預報方面，過去已經建立的監測項目 (圖略) 包含 1) 觀測值所計算之 BSISO1、BSISO2 指標相位圖 (phase diagram)、2) 過去 20 天的觀測 OLR 距平、3) 觀測值計算的 BSISO 指標重建模態 (reconstructed mode)，其中，指標相位圖是由 APCC 網站 BSISO Forecast 項目中的 Monitoring 下載 BSISO 指標觀測值後繪製，OLR 距平為 OLR 觀測值減去 30 年氣候平均值計算的前 3 個調和函數後的距平值，代表除去大於 100 天的低頻變化，BSISO 指標重建模態則是將分別代表 BSISO1、BSISO2 的 4 個 PC (BSISO1 為 PC1、PC2，BSISO2 為 PC3、PC4) 分別乘上對應的空間模態重組出 BSISO1 以及 BSISO2 所貢獻的空間變化。

圖 3 為 TCWB1T1.1 預報 40 天的 BSISO1、BSISO2 指標相位圖，圖 3a 為 BSISO1、圖 3b 為 BSISO2，3 個系集的 BSISO 預報值以細實線表示。圖 4 為 2020/8/23 未來 20 天的預報 OLR 距平 (顏色) 以及預報資料計算的 BSISO 指標重建模態 (reconstructed mode；線條)。圖中的顏色為 TCWB1T1.1 預報 20 天的 OLR 距平，是用預報場結果減去模式事後預報計算的前 3 個調和函數而得，線條為預報值所計算的 BSISO 指標重建模態，即為用預報 BSISO 指標乘上觀測場的空間模態重組而成。

BSISO 相位圖是將空間的變化量化成相位的表示方式，觀測值相位圖是代表過去的 BSISO1、BSISO2 的變化以及強度，可從圖中明白 BSISO1、BSISO2 在這段時間是否活躍，根據指標所計算的 BSISO 指標重建模態則顯示空間上對流的變化，可以知道 BSISO1、BSISO2 變量的貢獻為何。圖 3 的 BSISO 預報相位圖指出未來的 20 天季內尺度變量的變化趨勢，圖 4 顯示出其空間型態，BSISO1、BSISO2 相位變化的趨勢、強弱以及空間上對流的變化都可以為未來預報提供參考的資訊。

四、未來工作

目前此監測預報項目在每年夏季期間（5-10 月）逐日會產出 TCWB1T1.1 的 BSISO 預報結果，未來會持續增加 BSISO 相關監測預報項目。

五、參考文獻

Madden RA ,1986 : Seasonal-variations of the 40–50 day oscillation in the tropics. *J Atmos Sci* **43**:3138–3158.

Wang B, Rui H ,1990 : Synoptic climatology of transient tropical intraseasonal convection anomalies: 1975–1985. *Meteorol Atmos Phys* **44**:43–61.

Salby ML, Hendon HH (1994) Intraseasonal behavior

of clouds, temperature, and motion in the tropics. *J Atmos Sci* **51**:2207–2224.

Zhang CD, Dong M ,2004 : Seasonality in the Madden-Julian oscillation. *J Clim* **17**:3169–3180.

CLIVAR Madden-Julian Oscillation Working Group ,2009 : MJO simulation diagnostics. *J Clim* **22**:3006–3030.

Kikuchi K, Wang B, Kajikawa Y ,2012 : Bimodal representation of the tropical intraseasonal oscillation. *Clim Dyn* **38**:1989–2000.

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.

Derive BSISO Index using forecast data

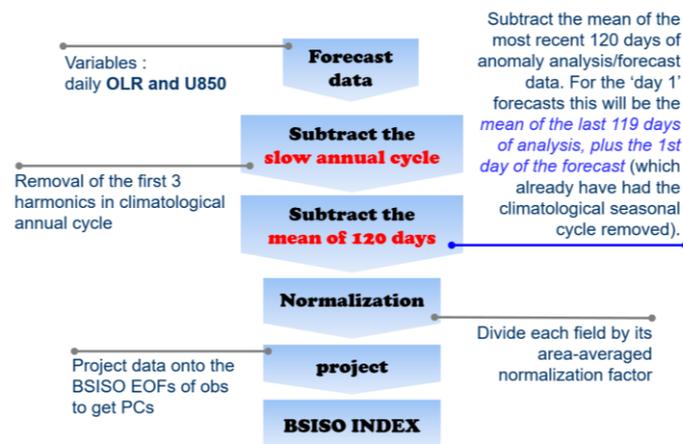


圖 1 APCC BSISO 預報計畫之模式預報資料 BSISO 計算流程。

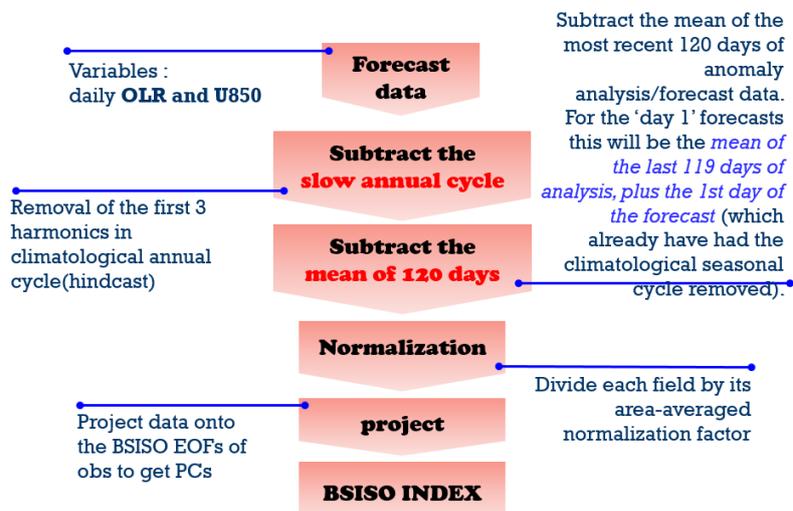


圖 2 使用中央氣象局 TCWB1T1.1 預報資料建置 BSISO 指標計算流程。

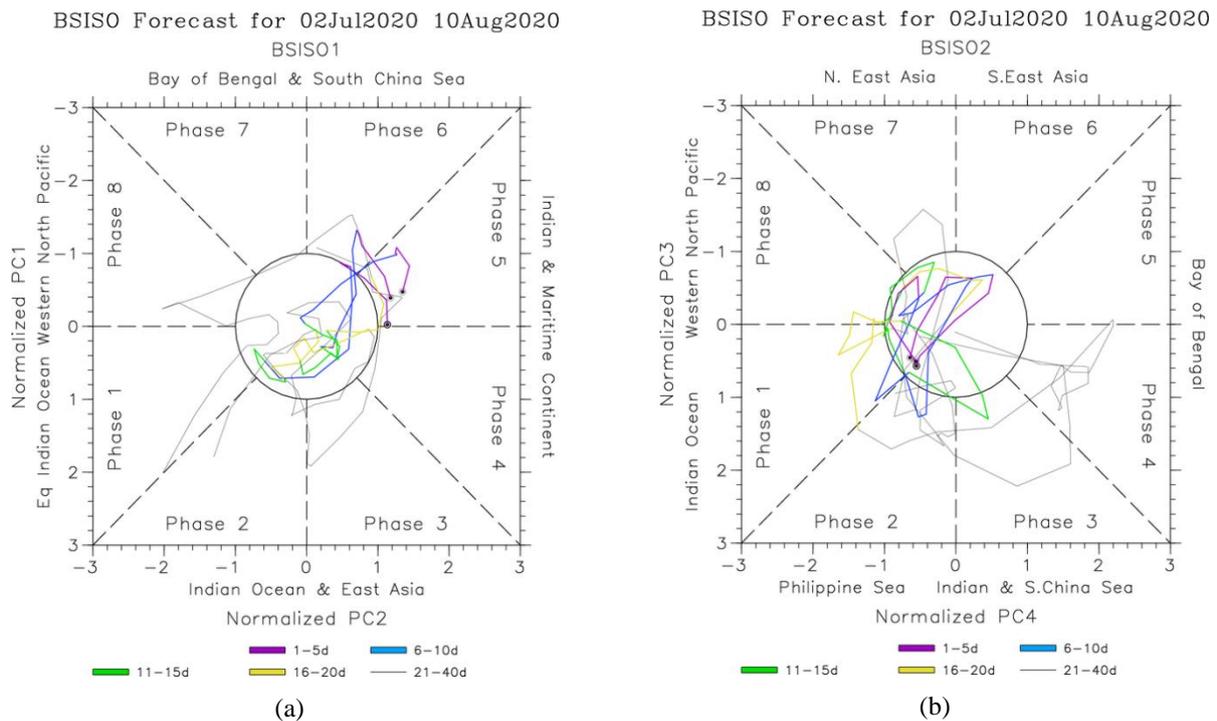


圖3 TCWB1T1.1 預報資料之 BSISO 指標相位圖，(a)BSISO1、(b)BSISO2，圖中為 3 個不同初始時間 2020/6/27、6/28、6/29 的 40 天預報結果，預報時間為 7/2-8/10，預報前 20 天內每 5 天用不同顏色表示，從第 1 個 5 天至第 4 個 5 天顏色分別為紫、藍、綠、黃，20 天之後用灰線表示。

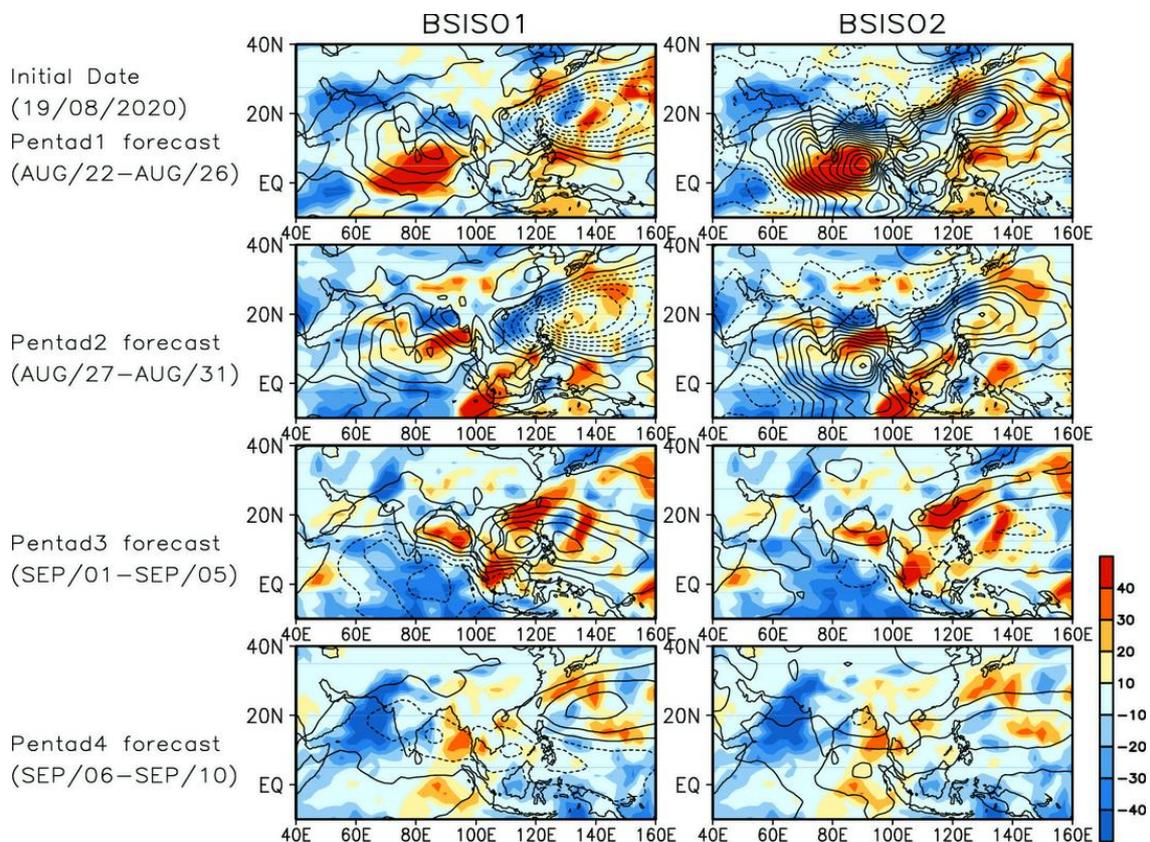


圖4 未來 20 天的預報 OLR 距平 (顏色) 以及模式預報值計算的 BSISO 指標重建模態 (reconstructed mode; 線條)。