

# 中央氣象局全球預報模式對不同 BSISO 相位下臺灣梅雨季 降雨特徵之預報能力評析：以 2016-2017 年為例

劉品誼<sup>1</sup> 黃婉如<sup>1\*</sup> 張雅惠<sup>1</sup> 黃柏翰<sup>1</sup> 陳建河<sup>2</sup>

1 國立臺灣師範大學地球科學系 2 中央氣象局氣象資訊中心

(中華民國 107 年 10 月 30 日收稿；中華民國 108 年 2 月 25 日定稿)

## 摘 要

本研究針對 2016-2017 年臺灣梅雨季(5、6 月)降雨在北半球夏季季內振盪(Boreal Summer Intraseasonal Oscillation；簡稱 BSISO)不同相位下的特徵進行討論。主要希望透過觀測資料與模式模擬結果的比對，了解中央氣象局全球預報模式(Central Weather Bureau Global Forecast System；簡稱 CWB/GFS)對於兩種不同週期之 BSISO(分別為振盪週期 30~60 天的 BSISO1，以及振盪週期 10~30 天的 BSISO2)現象下的東亞地區降雨、環流場變化以及對臺灣地區降雨特徵的掌握能力。有關模式方面，主要著重在預報領先時間(lead time)第 1~15 天(簡稱 LT1~15)的資料分析。有關觀測資料方面，主要採用測站降雨、GPM(Global Precipitation Measurement)IMERG(Integrated Multi-satellite Retrieval for GPM)衛星降雨，以及 NCEP(National Centers for Environmental Prediction)第二版再分析資料(Reanalysis 2)進行分析。

藉由觀測資料分析的研究結果顯示，2016-2017 年臺灣梅雨季降雨存在季內振盪變化週期的訊號，且降雨強度的變化特徵受到 BSISO 現象下東亞地區環流場變化的影響。其中，當 BSISO1 在相位 7~1 以及 BSISO2 在相位 4~6 時，受到大尺度低壓帶傳播至臺灣、華南及琉球一帶的影響，臺灣地區會有較強的降雨事件發生。比對 CWB/GFS 與觀測資料後發現，CWB/GFS 大多能掌握臺灣地區強降雨事件(>30mm/day)發生時間和 BSISO 相位的對應關係(即強降雨事件多發生在 BSISO1 相位 7~1 及 BSISO2 相位 4~6)。其中，就空間相關係數(spatial correlation；簡稱 Scorr)和均方根誤差(root mean square error；簡稱 RMSE)的統計分析來看，以 LT1~5 的 Scorr 為最大、RMSE 為最小(即預報表現最好)，LT11~15 的 Scorr 為最小、RMSE 為最大(即預報表現最差)，LT6~10 的預報表現則介於兩者之間。而在定量上，CWB/GFS 對臺灣地區的降雨預報結果，不論是 LT1~5、LT6~10 或 LT11~15，則大多「低估強降雨事件的降雨強度」並「高估弱降雨事件的降雨強度」。進一步探究 CWB/GFS 能掌握臺灣地區強降雨事件發生時間和 BSISO

相位對應關係的原因，我們發現主要跟 CWB/GFS 能有效掌握 BSISO 現象下，臺灣附近環流場與降雨場變化的移動特徵有關。這些研究結果有助於瞭解 CWB/GFS 在臺灣降雨預報上的應用價值。另需說明的是，本研究為使用 2016-2017 兩年預報資料進行的先期研究 (pilot study)，這些研究結果是否適用於其他年份，仍待未來有更多的 CWB/GFS 資料可提供分析時，再進行相關驗證。

**關鍵字：**梅雨季、北半球夏季季內振盪、中央氣象局全球預報模式

## 一、前言

北半球夏季季內振盪 (Boreal Summer Intraseasonal Oscillation; 簡稱 BSISO) 現象, 對於東亞季風區之暖季降雨有顯著的影響 (Annamalai and Slingo 2001; Yang et al. 2010)。Lee et al. (2013) 針對 BSISO 現象的環流、對流降雨傳播特徵, 分別提出了代表了往北、東北方向傳播的 30~60 天振盪週期 (簡稱 BSISO1), 以及代表往北、西北方向傳播的 10~30 天振盪週期 (簡稱 BSISO2) 的指數, 來監測兩種不同週期現象在不同相位的傳播訊號 (詳細的 BSISO 介紹詳見第二章)。相較於過去常用的馬登—朱利安振盪 (Madden-Julian Oscillation; 簡稱 MJO) 指數 (Madden and Julian 1971), Lee et al. (2013) 指出 BSISO 指數更能夠抓到東亞季風區內, 對流系統向北傳播的季內振盪訊號, 也因此近年來許多研究利用 BSISO 指數取代 MJO 指數, 用來監測東亞季風地區的季內振盪對於暖季天氣或氣候系統的影響 (Hsu et al. 2016; Chen and Zhai 2017; Huang and Chang 2018)。

臺灣位於東亞季風區, 天氣的變化與氣候的型態受到太平洋副熱帶高壓及大陸冷高壓的影響 (Chen and Chen 2003; Hung and Kao 2010; John Kerns et al. 2010)。就氣候平均而言, 每年的 5~6 月為臺灣的梅雨季, 此時太平洋暖氣團與大陸冷氣團勢力相當, 常在華南至臺灣、琉球一帶形成

梅雨鋒面, 為臺灣帶來豐沛雨水 (Chen and Tsay 1977; Chen et al. 2004; Sampe and Xie 2010)。根據統計, 梅雨季所帶來的豐沛降雨僅次於颱風季, 為臺灣暖季中的重要水資源來源之一 (林和洪 2014; Wang and Chen 2008)。Hung and Hsu (2008) 在分析 1958~2002 年臺灣梅雨季降雨特性時, 發現臺灣梅雨季降雨的肇始時間和季內振盪現象有關, 並建議如果能夠準確預測季內振盪現象改變, 就能掌握臺灣梅雨季降雨的肇始時間。近來, 亦有許多研究發現, 臺灣的暖季降雨變化, 會受到 BSISO 現象在不同相位時的環流變化特徵影響 (Hung et al. 2016; Huang and Chang 2018)。基於這些研究成果, 我們可以合理假設, 如果模式能夠有效預報 BSISO 現象下的東亞地區環流場變化, 或許將有助於提升模式對臺灣梅雨季降雨在預報領先時間 (lead time) 第 1~15 天 (簡稱 LT1~15) 的預報準確度。

自 2016 年 4 月起, 臺灣中央氣象局 (Central Weather Bureau) 所發展的全球預報模式 (Global Forecast System) (簡稱 CWB/GFS), 已從舊版的 T319L40 (水平解析度約 40 公里, 垂直 40 層) 解析度提升至新版的 T511L60 (水平解析度約 25 公里, 垂直 60 層) 解析度。過去研究指出, 提高解析度以及改善預報模式的物理參數化過程, 確實能有效提升 CWB/GFS 對於東亞地區梅雨季降雨的預報能力 (陳與黃

2016; 黃 2017)。舉例來說, 在陳與黃(2016)的研究中, 發現新版 CWB/GFS 的預報具有與美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction; NCEP) 全球預報模式 (簡稱 NCEP/GFS) 預報近似的參考價值; 其中針對 2016 年 5~6 月東亞地區的降雨平均場, CWB/GFS 與 NCEP/GFS 在預報降雨分布位置以及降雨量方面, LT1~LT5 皆較 LT6~LT10 有較好的預報結果, 且兩模式的預報能力 (含空間相關係數、均方根誤差校驗) 並無顯著差異。然而, 這些研究 (陳與黃 2016; 黃 2017) 多著重在短期預報 (預報領先時間 1~10 天) 的評比, 且未針對「CWB/GFS 對 BSISO 現象下東亞地區的環流場、降雨場變化的預報能力」這個議題, 進行深入評析。有鑑於此, 本研究希望透過分析新版 CWB/GFS (以下簡稱 CWB/GFS) 在預報領先時間 1~15 天之模擬結果, 了解下列議題:

- (1) CWB/GFS 是否能表現出臺灣梅雨季降雨在不同 BSISO 相位下的降雨特徵?
- (2) 隨著預報時間的提前, CWB/GFS 對於議題 (1) 的表現, 會如何變化? 該變化是否和 CWB/GFS 對於 BSISO 現象下的東亞地區環流場變化掌握能力有關?

上述這些議題的探討, 有助於深入瞭解 CWB/GFS 在臺灣降雨預報上的應用價

值。

本研究主要著重在 2016-2017 年的梅雨季 (5、6 月) 降雨預報。有關本研究所使用的資料來源、檢驗方法, 請見第二章。相關研究成果顯示於第三章。而為了客觀分析 CWB/GFS 的預報能力, 第四章中我們將增述比較 CWB/GFS 與 NCEP/GFS 對於相關議題的預報能力差異。第五章中將總結本研究的主要發現。

## 二、資料與方法

### (一) 觀測資料

對於臺灣地區的觀測降雨資料, 主要採自中央氣象局所提供的 21 個標準測站 (包含: 基隆、臺北、鞍部、竹子湖、淡水、新竹、臺中、梧棲、日月潭、嘉義、阿里山、玉山、臺南、高雄、恆春、臺東、大武、花蓮、成功、蘇澳、宜蘭)。而對於整個東亞地區的衛星觀測降雨, 本研究採用美國國家航空暨太空總署 (National Aeronautics and Space Administration) 所提供的 GPM (Global Precipitation Measurement) IMERG (Integrated Multi-satellite Retrieval for GPM) final run V05B 版本 (Huffman et al. 2017), 此資料的水平解析度為  $0.1^\circ \times 0.1$ ; 近來, 該資料已被證實能有效反映出臺灣、東亞地區的降雨特徵 (Guo et al. 2016; Tan and Duan 2017; Huang et al. 2018; Prakash et al. 2018)。

針對大氣流函數場的分析，本研究採用 NCEP 所提供的第二版再分析資料（簡稱 NCEP R2），該資料水平解析度為  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ （Kanamitsu et al. 2002）。

## (二) BSISO 指數的定義

研究中對於 BSISO 相位的定義，採用亞太經濟合作會議氣候中心（APCC）的網站中，所提供的每日觀測和預報的 BSISO 指數（<http://www.apcc21.org/ser/moni.do?lang=en>）進行分析。該指數為 Lee et al. (2013) 利用多變數經驗正交函數（Multivariate Empirical Orthogonal Function；簡稱 MV-EOF）分析 1981~2010 年北半球夏半年（5/1~10/30）亞洲夏季季風區（ $40^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{E}$ ， $10^{\circ}\text{S} \sim 40^{\circ}\text{N}$  區域）的外逸輻射長波（Outgoing Longwave Radiation；簡稱 OLR）及 850hPa 緯向風場（zonal wind），而發展出的兩個 BSISO 指數（分別為 BSISO1 及 BSISO2 指數）。其中 BSISO1 指數是由 MV-EOF 第一與第二模態主成分時間序列（Principal Component；簡稱 PC）組成（i.e.  $\text{BSISO1} = \sqrt{\text{PC1}^2 + \text{PC2}^2}$ ），代表典型的向北與向東北傳播的振盪，週期為 30~60 天。BSISO2 指數是由 MV-EOF 第三與第四模態 PC 組成（i.e.  $\text{BSISO2} = \sqrt{\text{PC3}^2 + \text{PC4}^2}$ ），代表向北與向西北傳播的振盪，週期為 10~30 天。

另一方面，本研究亦參照 Lee et al. (2013) 所設計的 BSISO 相位圖（如圖 1），

將對流發生時的相位與臺灣地區日降雨量大小進行比對，以利探討對流位置、對流隨時間的移動以及 BSISO 指數的強度之間的關係。其中，圖 1a、b 分別為 BSISO1、BSISO2 的相位圖，在各相位皆有其對應的對流訊號位置（以藍色字標示於圖中），以 BSISO1（圖 1a）來說，相位 1 為赤道印度洋，相位 2~3 為印度洋和東亞，相位 4~5 為印度及海洋大陸群島，相位 6~7 為孟加拉灣與南海，相位 8 為西北太平洋；而 BSISO2（圖 1b）相位 1~2 為印度洋和菲律賓海，相位 3 為印度及南海，相位 4~5 為孟加拉灣，相位 6 為東南亞，相位 7 為東北亞，相位 8 為西北太平洋。此外，圖中之縱軸及橫軸代表著 BSISO1（圖 1a）之 PC1 及 PC2 數值大小、BSISO2（圖 1b）之 PC3 及 PC4 數值大小，當資料分布越接近相位圖的中心點，表示該 BSISO 訊號振幅越小。

## (三) 模式資料與校驗方法

圖 1c-f 顯示的是，本研究依照 APCC 網頁公布的 BSISO 相位，把 2016 年、2017 年 5-6 月（ $61 \text{ 天} \times 2 = 122 \text{ 天}$ ）分到 BSISO1 的 8 個相位和 BSISO2 的 8 個相位，此時間相位圖，將被應用於在校驗不同相位的模式降雨預報（如圖 4、圖 7、圖 8、圖 15）。

模式資料方面，本研究主要使用新版 CWB/GFS 的預報資料與觀測資料進行比較分析。此外為了客觀分析 CWB/GFS 的預報能力，本研究亦使用 NCEP/GFS 的預

報資料進行比對，有關 CWB/GFS、NCEP/GFS 的模式設定，請參見表一。另一方面，本研究採用和陳與黃（2016）類似的系集平均方法，主要將領先時間 360 小時的預報降雨資料分成 1~15 天（簡稱 LT1~15）；其中 LT1 的降雨量為預報第 0 小時到第 24 小時內之累積雨量，LT2 的降雨量為預報第 24 小時到第 48 小時內之累積雨量，依此類推至 LT15 的降雨量為預報第 336 小時到第 360 小時內之累積雨量。以目標時間 5/1~6/30 為例，其 LT1 的預報

結果來自於 5/1~6/30 總共 244 個成員（每 6 小時預報一次）之 LT1 平均，而 LT2 的預報結果來自於 4/30~6/29 總共 244 個成員之 LT2 平均，依此類推至 LT15 的預報結果來自於 4/17~6/16 總共 244 個成員之 LT15 平均（如圖 2）。本研究中所採用的定量比對統計方法包括：平均值、均方根誤差(Root-Mean-Square Error; 簡稱 RMSE) 以及空間相關係數 (Spatial correlation coefficient; 簡稱 Scorr)。有關 Scorr 的計算方法，詳見 Storch and Zwiers (2002)。

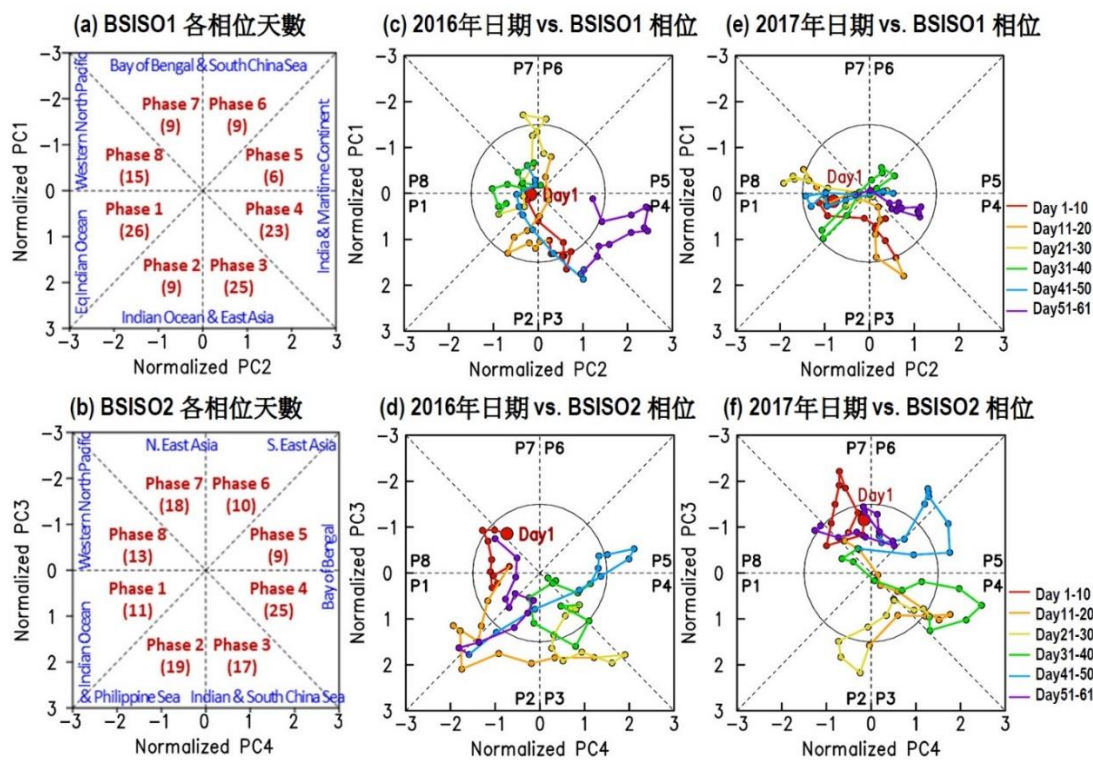


圖 1 BSISO1 和 BSISO2 的相位圖，參考自 Lee et al. (2013)。(a)為 BSISO1 相位圖，括弧中的數字代表 2016 年及 2017 年 5/1~6/30 期間，BSISO1 每個相位的總天數。(b) 同(a)，但為 BSISO2 相位圖結果。(c)-(d)為 2016 年 5 月 1 日(Day1，紅色實心圓點)到 6 月 30 日(Day61)期間，每天所對應到的 (c) BSISO1、(d) BSISO2 相位圖，各色標所代表的涵義，標示於(e)、(f)右下角。(c)-(d)中，BSISO1、BSISO2 振幅為 1.5 處，以黑色空心大圓標示，用以幫助文中討論。(e)-(f)與(c)-(d)類似，但為 2017 年(e) BSISO1、(f) BSISO2 的結果。BSISO 指數來自 APCC(APEC Climate Center)網站(<https://www.apcc21.org/ser/moni.do?lang=en>)。



表一、本研究中所採用之 CWB/GFS 以及 NCEP/GFS 模式之基本設定。

變數 \ 模式	CWB/GFS (T511L60)	NCEP/GFS (T1534L64) for LT1-10* (T574L64) for LT11-15*
資料同化	Hybrid GSI	Hybrid GSI
水平解析度	25 公里	13 公里 for LT1-10 23 公里 for LT11-15
垂直解析度	S-P hybrid 座標 60 層	S-P hybrid 座標 64 層
模式頂層	0.1mb	0.27mb
垂直擾動	Hong and Pan (1996) Han and Pan (2011)	Hong and Pan (1996) Han and Pan (2011)
積雲對流	Han and Pan (2011)	Han and Pan (2011)
淺對流	Han and Pan (2011)	Han and Pan (2011)
網格尺度 降雨	Zhao and Carr (1997)	Zhao and Carr (1997)

\*資料來源: <https://www.emc.ncep.noaa.gov/GFS/doc.php>

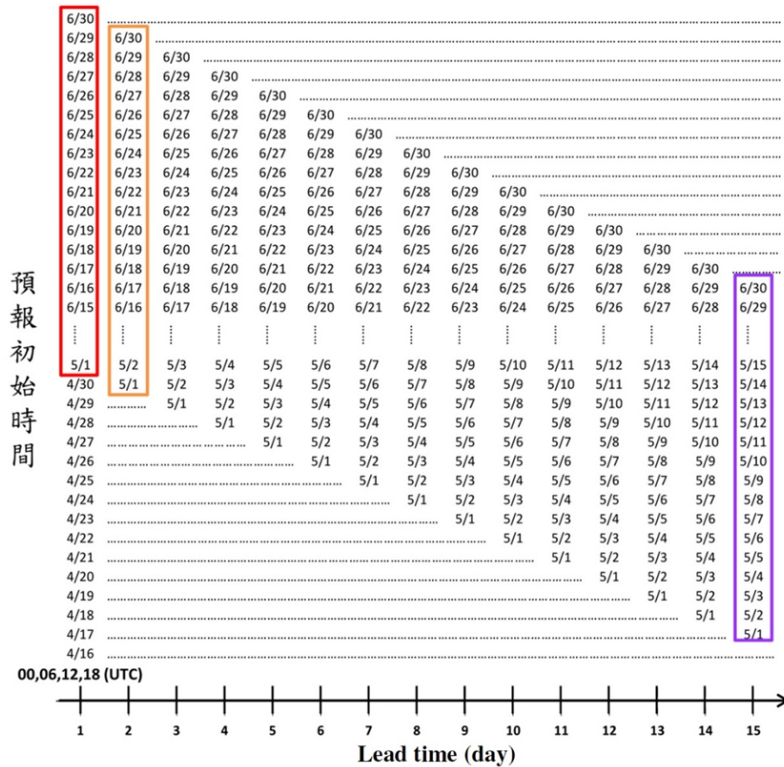


圖 2：本研究採用之系集平均方法。以目標時間（5/1~6/30）為例，其 LT1 的預報結果來自於 5/1~6/30 總共 244 個成員（每 6 小時預報一次）之 LT1 平均（紅色方框處），而 LT2 的預報結果為 4/30~6/29 總共 244 個成員之 LT2 平均（橘色方框處），依此類推至 LT15 的預報結果為 4/17~6/16 總共 244 個成員之 LT15 平均（紫色方框處）。

### 三、結果分析

本章節的安排如下。在第(一)節中我們利用觀測資料，檢視 2016-2017 年臺灣梅雨季(5~6 月)降雨的季內振盪特性。接著於第(二)節中，我們利用 CWB/GFS 預報資料與觀測資料的比對，檢視 CWB/GFS 對於 BSISO 現象下臺灣梅雨季的降雨預報表現，並探究該預報表現是否和 CWB/GFS 對於大尺度環流場及降雨場的傳播特徵的掌握能力有關。

#### (一) 2016-2017 年臺灣梅雨季(5~6 月)降雨季內振盪特性分析

首先我們藉由分析測站降雨資料，來檢視 2016 及 2017 年臺灣梅雨季日降雨的時間變化特徵(圖 3)。由圖 3a 中可以看到，2016 年臺灣梅雨季降雨強度(即日降雨量，mm/day)以 6/11 及 6/13 之日降雨量最高，雨量約 48 mm/day，而 2017 年臺灣梅雨季降雨強度，以 6/2~6/3 之日降雨量最高，雨量約 110~130 mm/day(圖 3b)。為了解這兩年臺灣梅雨季降雨的變化週期

差異，我們將圖 3a、3b 的時間序列進行功率譜分析，結果發現 2016 年(圖 3c)梅雨季降雨強度變化主要存在 20~60 天的振盪週期，而 2017 年(圖 3d)則為 10~20 天的振盪週期。若將圖 3c、3d 的結果與 BSISO1 和 BSISO2 的週期訊號相比，似乎 2017 年受到 BSISO2 的影響較受到 BSISO1 的影響大，而 2016 年則是 BSISO1 和 BSISO2 的影響同時存在。為佐證此推測，我們亦進行了 BSISO 指數分析，如表二所示 BSISO1 振幅顯著的日期(依 Lee et al. 2013 的定義，振幅 > 1.5 為顯著)，在 2016 年梅雨季有 16 天，在 2017 年梅雨季有 6 天，兩者差異為 10 天(2016 年 > 2017 年)。BSISO2 振幅顯著的日期(表二)，在 2016 年梅雨季有 24 天，在 2017 年梅雨季有 24 天，兩者差異為 0 天。表二的結果可佐證先前的推測「2017 年受到 BSISO2 的影響較受到 BSISO1 的影響大，而 2016 年則是 BSISO1 和 BSISO2 的影響同時存在」。

表二: 2016-2017 年梅雨季期間，BSISO1/2 index 振幅顯著的日數(天)。

	BSISO1	BSISO2	總和
2016 年 BSISO 振幅 > 1.5	16	24	40
2017 年 BSISO 振幅 > 1.5	6	24	30
2016+2017 總和: BSISO 振幅 > 1.5	22	48	70



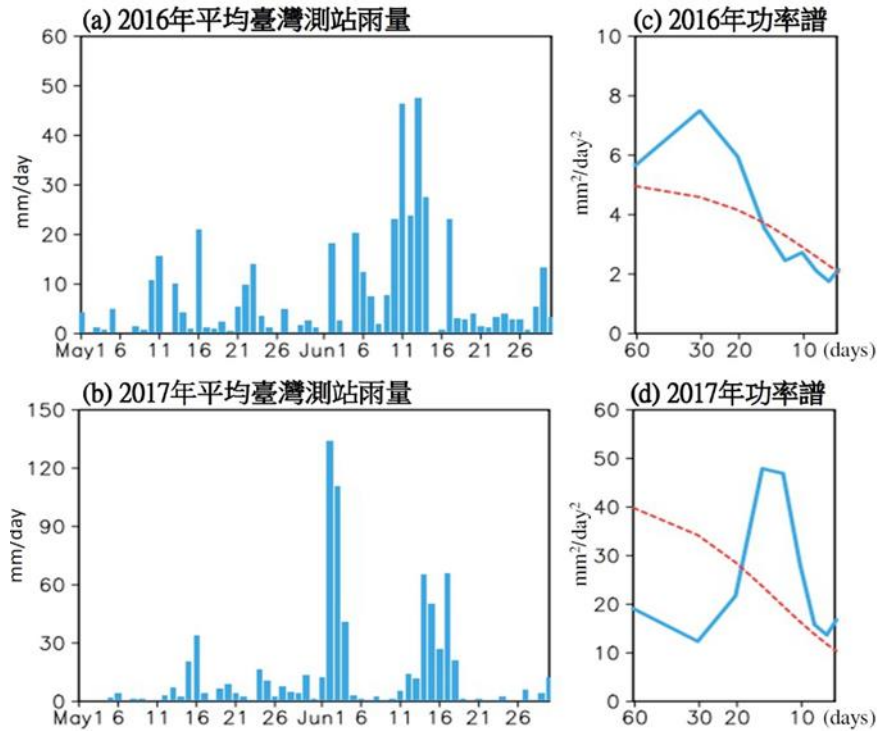


圖 3：(a) 2016 年 5/1-6/30 臺灣 21 個測站(詳列於第二章)之平均日降雨量時間序列，單位：mm/day。(b)同(a)，但時間為 2017 年 5/1-6/30。(c)和(d)分別為時間序列(a)和(b)的功率譜(power spectrum)分析結果，水平軸為周期，垂直軸為振幅平方。紅色虛線表示 95%的可信度。

而雖然 2016、2017 年臺灣梅雨季降雨之主要季內振盪週期特徵並不完全相同，但綜合功率譜分析的結果而言，我們可以確定 2016-2017 年臺灣的梅雨季降雨有受到 BSISO 現象的影響。因此為了有較多的樣本數可以被用來檢視臺灣梅雨季降雨在 BSISO 現象下的特徵變化，本研究接下來的所有分析，皆將兩年梅雨季資料合併一起做探討。至於 2016-2017 年際變化，對本研究結果的可能影響，我們將於文中相對應處，適時做討論。

圖 4 顯示的是不同 BSISO 相位下，2016-2017 年梅雨季期間臺灣的日降雨量分布。此處我們將降雨強度 (mm/day) 大

小分成 4 個不同的區間，並將其對應至 BSISO1 及 BSISO2 的相位圖中來進行討論。由圖 4a 中我們可以發現，大多數的強降雨訊號分布在靠近 BSISO1 相位圖的中心位置 (圓圈內；BSISO1 指數 =  $\sqrt{PC1^2 + PC2^2} < 1.5$ )，顯示 2016-2017 年臺灣梅雨季的強降雨多分布在 BSISO1 振幅較弱的時期。相對地，從圖 4b 中我們可以發現，強降雨訊號大多發生在 BSISO2 指數較大的區域 (圓圈外；BSISO2 指數 =  $\sqrt{PC3^2 + PC4^2} > 1.5$ )。這些結果，進一步顯示了 2016-2017 這兩年的梅雨季中，以 BSISO2 現象訊號較 BSISO1 現象訊號為明顯。而就強降雨事件的發生相位來看，

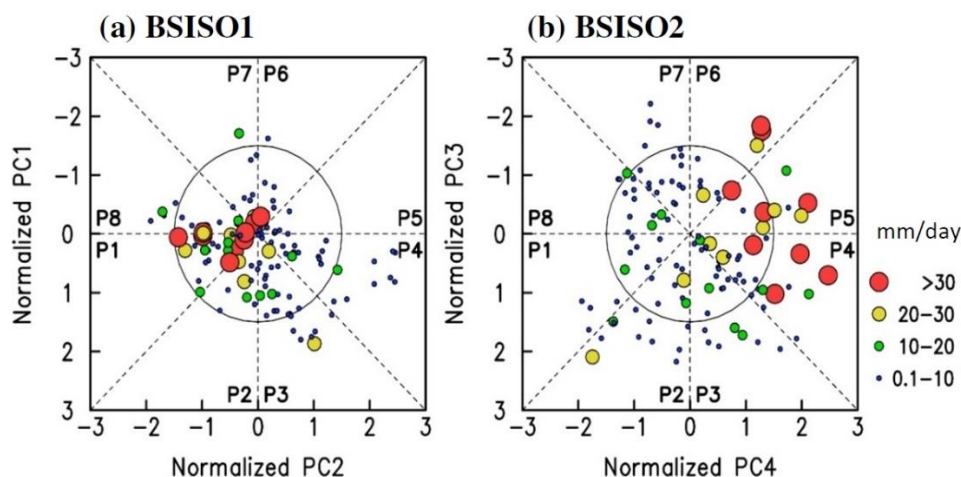


圖 4：2016-2017 年 5-6 月期間，臺灣 21 個測站平均日雨量值對應到的 BSISO 相位圖：(a) BSISO1，(b) BSISO2。圖(a)、圖(b)中 P1~P8 分別對應圖 1(a)、圖 1(b)中的第 1 到第 8 個相位。點的大小代表不同雨量區間，如圖(b)右下角所標示。

圖 4a 顯示降雨強度較強 ( $> 30$  mm/day，紅色點) 的事件，主要集中在 BSISO1 相位 7~1 之間；圖 4b 則顯示當 BSISO2 位於相位 4~6 時，臺灣有較多強的降雨發生 ( $> 30$  mm/day，紅色點)。為釐清圖 4 的結果是否受到年際變化的影響，我們亦分別針對 2016 年及 2017 年梅雨季資料，進行與圖 4 類似的測試 (圖未示)，結果發現，不論是哪一年，當 BSISO1 (BSISO2) 位於相位 7~1 之間 (相位 4~6) 時，臺灣可見較多強的降雨發生 ( $> 30$  mm/day)。相關的強降雨發生時間與 BSISO 相位的對應關係，亦可從表三中得知。

過去研究指出，臺灣降雨強度的變化，會受到 BSISO 現象下大尺度環流變化 (如：低壓系統的移動、水氣的傳輸...等等) 所影響 (Chou et al. 2011；Hung et al. 2016；Huang and Chang 2018)。因此為了進一步瞭解 BSISO 現象下之環流場變化，對於 2016-2017 年期間臺灣梅雨季降雨強度變化之影響，我們將 2016-2017 年期間的 850hPa 流函數場變化搭配降雨強度變化，對應到 BSISO1、BSISO2 各相位下做合成分析 (圖 5)。須說明的是，為更清楚呈現不同相位間的差異，圖 5 之結果採用距平值呈現 (即減去 2016-2017 年 5-6 月的平

表三：日期、雨量等級（同圖 4）、BSISO 相位和振幅是否明顯

日期	2016			2017			備註
	降雨等級	BSISO1 相位	BSISO2 相位	降雨等級	BSISO1 相位	BSISO2 相位	
5月01日	1	1	7	0	1	7	依照圖 4，本表中降雨等級分為 0 到 4 級  降雨等級 0，表示 0.0 (mm) < 日降雨 ≤ 0.1 (mm)  降雨等級 1，表示 0.1 (mm) < 日降雨 ≤ 10 (mm)  降雨等級 2，表示 10 (mm) < 日降雨 ≤ 20 (mm)  降雨等級 3，表示 20 (mm) < 日降雨 ≤ 30 (mm)  降雨等級 4，表示 30 (mm) < 日降雨
5月02日	1	1	8	1	1	7	
5月03日	1	2	8*	1	1	8	
5月04日	1	3	8	1	1	7	
5月05日	1	3	8	1	2	7*	
5月06日	0	3	8	1	3	7*	
5月07日	1	3*	1	1	3	7*	
5月08日	1	3	1	1	3	7*	
5月09日	1	3	1	1	3	7	
5月10日	2	3	8	0	3*	7	
5月11日	2	3	1	1	3*	7	
5月12日	1	2	1*	1	3	7	
5月13日	2	2	2*	1	3	4	
5月14日	1	2	1*	1	3	3	
5月15日	1	2	1*	3	3	4	
5月16日	3	2	2*	4	1	4*	
5月17日	1	3	2*	1	1	4*	
5月18日	1	4	2*	1	1	4*	
5月19日	1	6	3*	1	8	3	
5月20日	1	6	3*	1	8*	2*	
5月21日	1	6	4*	1	8	2*	
5月22日	1	7	3*	1	8*	2*	
5月23日	2	7*	3*	1	8*	2*	
5月24日	1	6*	3*	2	8*	2	
5月25日	1	7	3*	2	8	3	
5月26日	1	7	3	1	4	3	
5月27日	1	8	3	1	5	3	
5月28日	1	1	4	1	5	4	
5月29日	1	1	3	1	4	4	
5月30日	1	1	4	2	1	4*	
5月31日	1	1	3	1	1	4*	
6月01日	0	1	4*	2	1	4*	
6月02日	2	8	3*	4	1	4*	
6月03日	1	8	2	4	8	4*	
6月04日	1	8	2	4	6	4	
6月05日	3	6	4	1	6	4	
6月06日	2	8	4	1	6	3	
6月07日	1	7	4	1	5	8	
6月08日	1	7	4	1	5	8	
6月09日	1	7	4	1	3	7	
6月10日	3	7	5	1	5	5	
6月11日	4	7	5	1	5	5*	
6月12日	3	1	5*	2	1	5*	
6月13日	4	1	5*	2	1	6*	
6月14日	3	2	5*	4	1	6*	
6月15日	1	2	4	4	8	6*	
6月16日	1	3	4	3	1	6*	
6月17日	3	3*	2	4	1	5	
6月18日	1	3*	2*	3	8	6	
6月19日	1	3*	2*	1	1	6	
6月20日	1	3*	1*	1	6	6	
6月21日	1	4*	2*	1	4	7	
6月22日	1	4*	2	0	4	7	
6月23日	1	4*	2	1	4	6	
6月24日	1	4*	2	1	4	6	
6月25日	1	4*	1	1	4	6	
6月26日	1	4*	2	1	4	7	
6月27日	1	4*	1	1	4	7	
6月28日	1	4*	1	1	4	7	
6月29日	2	4*	8	1	4	8*	
6月30日	1	4	8	2	4	8*	

\*表示該 BSISO 相位所對應的振幅 >1.5，為強 BSISO 事件



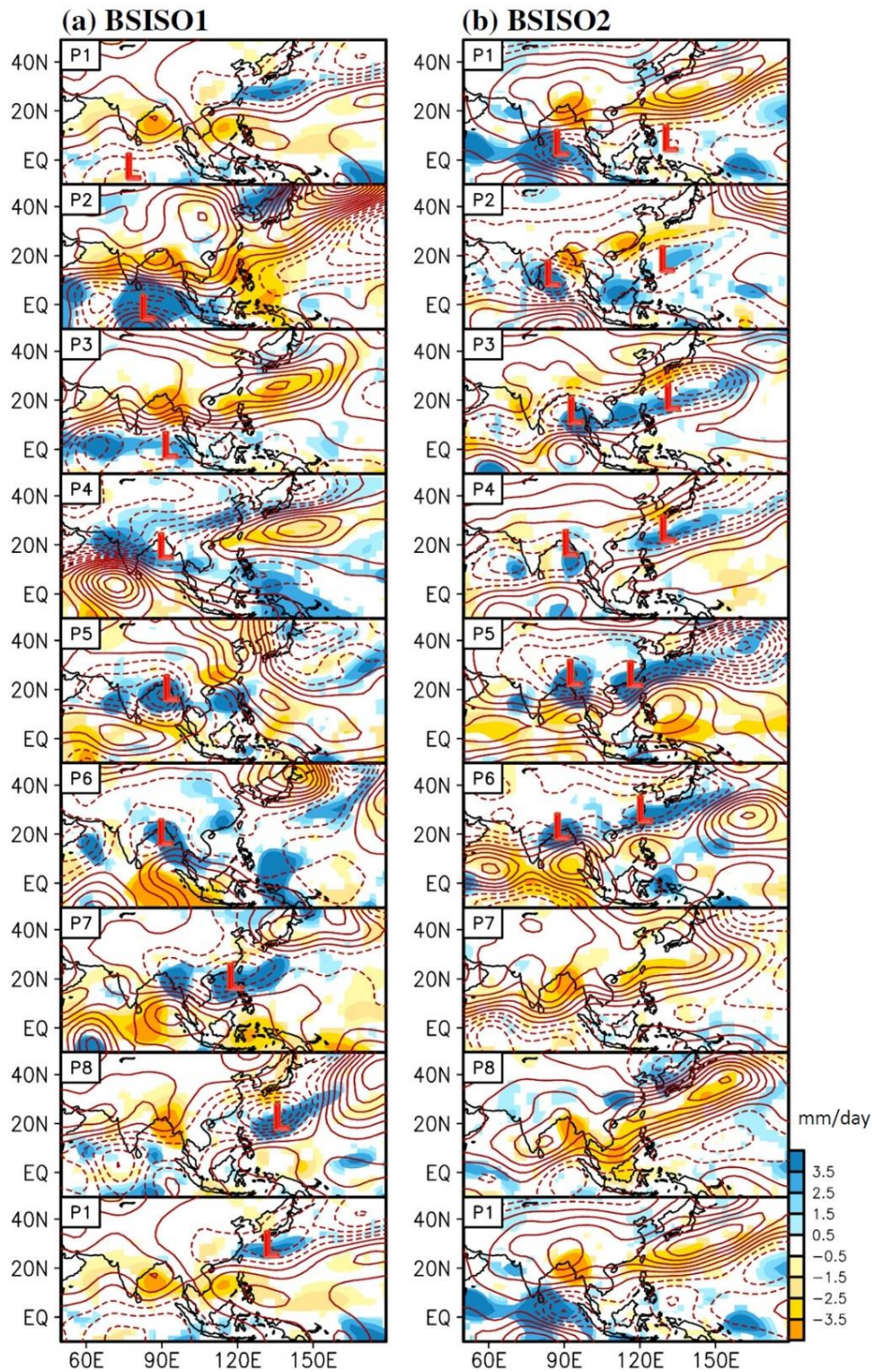


圖 5： 2016-2017 年 5-6 月期間，觀測資料(GPM IMERG)在不同 BSISO 相位下的降雨距平值（著色區，單位：mm/day，僅顯示通過 90%可信度統計檢定的數值）和 850 hPa 流函數(等值線，單位： $6 \times 10^5 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )距平值合成圖：(a) BSISO1，(b) BSISO2。此處距平值指的是減去 2016-2017 年 5-6 月的平均值。L 標示文中所提及的低壓處。

均值)。從圖 5a 中可以看到當 BSISO1 位於相位 1，有一明顯低壓系統（即流函數距平 $< 0$ ）自赤道印度洋一帶生成。此低壓系統由相位 1 傳播至相位 2、3 時，會由赤道印度洋往北印度洋及赤道西太平洋（往東）的方向移動；隨後在相位 4、5 時傳播至印度及孟加拉灣一帶；到了相位 6、7，該訊號移動至孟加拉灣北部至南海地區；接著在相位 8 時持續往西北太平洋移動，直到相位 1 時逐漸消散，再由赤道印度洋產生新的低壓系統。由於對流系統較易在低壓帶中發展，因此受到圖 5a 環流場變化的影響，降雨變化也可以看到相似的移動特徵，雨帶在 BSISO1 相位 1 時自赤道印度洋發展，隨後往北或往東北方向移動，直到相位 7~1 時，移至西北太平洋、臺灣附近。

不同於 BSISO1，BSISO2（圖 5b）的低壓系統在相位 1、2 時自印度洋及菲律賓海一帶發展；接著在相位 3~相位 6 時先往孟加拉灣、臺灣東海面方向移動，隨後逐漸往孟加拉灣北方、華南一帶傳播。另外，從圖 5b 的降雨分布中可以看到，在相位 4~6 期間，隨著低壓系統移動到臺灣附近，在臺灣附近有明顯的雨帶。以上這些針對圖 5 的環流場變化特徵的分析結果，除了與 Lee et al. (2013) 分析暖季 BSISO 影響下環流場變化特徵之結果相似，更與圖 4 的結果相互呼應，顯示當 BSISO1 在相位 7~1 以及 BSISO2 在相位 4~6 時，大尺度

低壓系統由低緯度地區北移至臺灣附近，使得臺灣較容易有強降雨事件發生。

為更清楚表現 BSISO 影響下，臺灣附近的環流場與降雨場的移動特性，我們進一步將圖 5 的合成圖作成「相位隨經度變化圖（往後簡稱 x-t 圖）」及「相位隨緯度變化圖（往後簡稱 y-t 圖）」以利分析。圖 6a 顯示的是與 BSISO1 指數有關，在臺灣附近的 850 hPa 流函數距平（等值線）及降雨距平（著色區）所組成的 x-t 圖，其緯向平均區域範圍為 22°N~25.25°N。就圖 6a 來看，在 BSISO1 的影響下，環流場與相對應的降雨場，在臺灣附近並沒有隨時間相位改變而有明顯的東、西方向移動。對應圖 5a 之結果，亦可以發現 BSISO1 的低壓系統及對流的東移特徵主要發生在赤道地區，就臺灣附近而言此特徵並不明顯。相比之下，圖 6b 顯示，在 BSISO2 的影響下，在臺灣附近的環流場與降雨場，有明顯隨時間相位改變而向西傳的特徵；其中降雨正距平訊號自相位 2 由 150°E 往西傳播，而在相位 4 至相位 6 時，臺灣附近有明顯的降雨正距平。另外就 y-t 分布圖（經向平均區域範圍為 120°E~122°E）來看，可以發現不論是圖 6c 或是圖 6d 皆表現出環流系統與相對應的降雨訊號，有自低緯度地區隨時間往北移動的特徵，且在 BSISO1（BSISO2）影響下，臺灣之降雨正距平在相位 7~1（相位 4~6）時最為明顯。以上這些結果顯示，臺灣附近的降雨



事件的發生，和 BSISO 影響下大尺度環流系統的移動特性息息相關。

## (二) CWB/GFS 預報臺灣梅雨季 BSISO 降雨特徵評析

總結上一小節之分析我們可以看到，臺灣 2016-2017 年梅雨季降雨強度變化，確實受到 BSISO 現象的影響。當 BSISO1 在相位 7~1 以及 BSISO2 在相位 4~6 時，

受到大尺度低壓系統（流函數距平 $<0$ ）傳播至華南、臺灣及琉球一帶的影響，臺灣附近環境不穩定、易有綜觀天氣系統發生，進而使得在這些相位中有較大降雨產生。而為了瞭解 CWB/GFS 對於 2016-2017 年臺灣梅雨季降雨在不同 BSISO 相位下的預報表現，首先我們仿照圖 4，將 CWB/GFS 對臺灣日降雨量之預報結果對應至 BSISO1、BSISO2 的相位圖中(圖 7)，

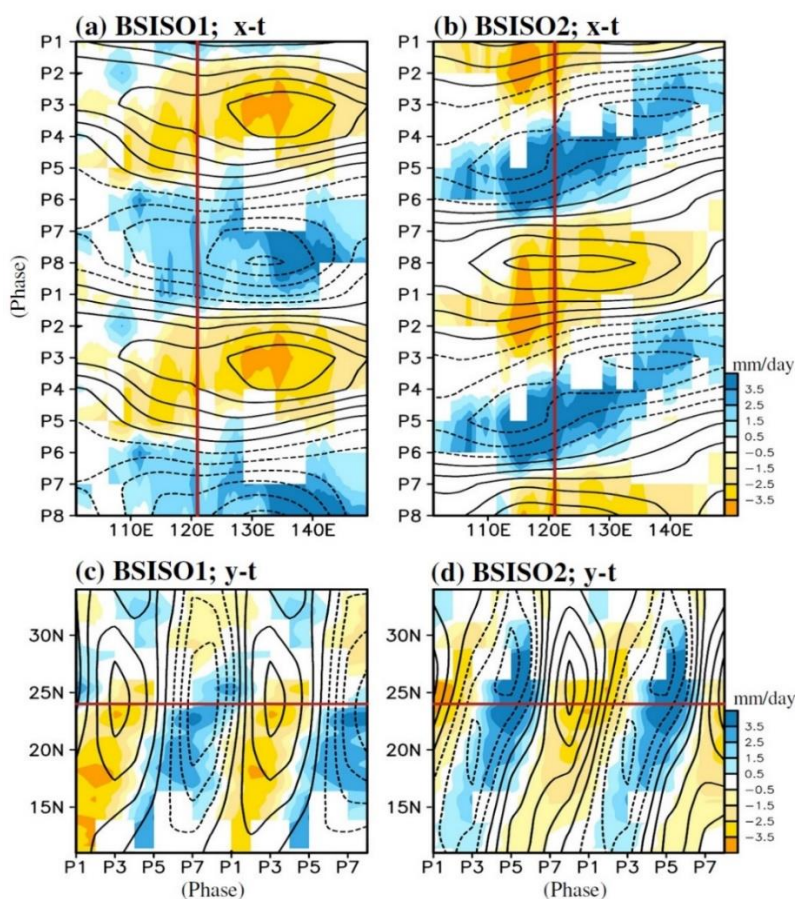


圖 6：(a) BSISO1 相位 1 至相位 8 的降雨距平值（著色區，單位：mm/day，僅顯示通過 90% 可信度統計檢定的數值）和相對應的 850hPa 流函數距平值（等值線，單位： $6 \times 10^5 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ）在臺灣附近的經度（平均區域範圍為  $22^\circ\text{N} \sim 25.25^\circ\text{N}$ ）隨相位(x-t)變化合成圖。此處距平值指的是減去 2016-2017 年 5-6 月的平均值。紅色直線標記處為臺灣所在經度( $121^\circ\text{E}$ )。(b)類似(a)，但為 BSISO2 的 x-t 圖結果。(c)類似(a)，但為 BSISO1 的緯度（平均區域範圍為  $120^\circ\text{E} \sim 122^\circ\text{E}$ ）隨相位(y-t)變化合成圖，紅色直線標記處為臺灣所在緯度( $24^\circ\text{N}$ )。(d)類似(c)，但為 BSISO2 的 y-t 圖結果。

藉此來看不同領先時間下，CWB/GFS 的預報能力表現。其中，CWB/GFS 對臺灣地區的降雨量估計，為  $120^{\circ}\text{E}\sim 122^{\circ}\text{E}$ ， $22^{\circ}\text{N}\sim 25.25^{\circ}\text{N}$  的區域平均值。而為方便討論，此處我們把 LT1~15 分成三個時段平均，分別為 LT1~LT5 平均（之後以 LT1~5 表示）、LT6~LT10 平均（之後以 LT6~10 表示）、LT11~LT15 平均（之後以 LT11~15 表示）。

由圖 7 中可以發現，CWB/GFS 在 LT1~5、LT6~10、LT11~15 的預報中，皆顯示臺灣地區的降雨強度都低於  $30\text{ mm/day}$ ，且多數降雨強度介於  $10\sim 20\text{ mm/day}$ （綠色點）。若將圖 7 與測站資料分析結果（圖 4）相比，CWB/GFS 對於 2016-2017 年臺灣梅雨季期間的強降雨事件，明顯有降雨量預報不足的問題存在，反之，對於較弱的降雨事件，則有降雨量過度預報的情形。此處拿模式預報資料（圖 7）與觀測資料（圖 4）直接相比的方法，是參照陳與黃（2016），類似的比對方法也曾被應用於其他研究（Higgins et al. 2008；Wolff et al. 2014；Stern and Davidson 2015；Scaife et al. 2018）。而除了臺灣地區之外，我們亦針對華南地區（ $110^{\circ}\text{E}\sim 118^{\circ}\text{E}$ ， $21^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$ ；依照 Huang and Chan 2012 定義）的降雨進行類似測試（圖未示），結果亦顯示 CWB/GFS 對於 2016-2017 年華南地區的降雨事件，亦有「高估弱降雨、低估強降雨」的情況，而隨著領先時間增長，

此情況益發明顯。這些結果顯示，CWB/GFS 在降雨的「定量」預報上，仍有相當大的進步空間。然而從強降雨事件發生時間和 BSISO 相位對應關係來看，我們仍然可以從中發現圖 7 有與圖 4 類似的分布特徵。舉例來說，在 CWB/GFS 對於 BSISO1 的降雨預報結果中，LT1~5（圖 7a）和 LT6~10（圖 7b）的預報結果皆顯示出較強降雨（ $> 20\text{ mm/day}$ ，黃色點）多發生在相位 8~1。對於 BSISO2 的模擬結果，則顯示 LT1~5（圖 7d）預報的強降雨（ $> 20\text{ mm/day}$ ，黃色點）多集中在相位 4 和相位 6，LT6~10（圖 7e）和 LT11~15（圖 7f）預報的強降雨（ $> 20\text{ mm/day}$ ，黃色點）則多集中於相位 6。

為了更清楚地顯示 CWB/GFS 對於臺灣梅雨季期間強降雨事件發生時間和 BSISO 相位對應關係的掌握能力，我們將圖 7 之分布結果，分別除以各領先時間中預報之最大降雨量值，進行標準化分析（圖 8）。從圖 8a-c 來看，LT1~5、LT6~10、LT11~15 的預報顯示降雨的標準化值大於 0.8 以上的點（紅色點），幾乎都發生在 BSISO1 相位 8~1。另外，就 BSISO2 對應到的結果來看，大於 0.8 以上的點（紅色點）在 LT1~5（圖 8d）都位於相位 4 和相位 6；在 LT6~10（圖 8e）、LT11~15（圖 8f）則多分布於相位 6。若比對圖 7、圖 8 與圖 4 的結果，則可發現 CWB/GFS 雖然對於「定量」預報臺灣梅雨季降雨的能力



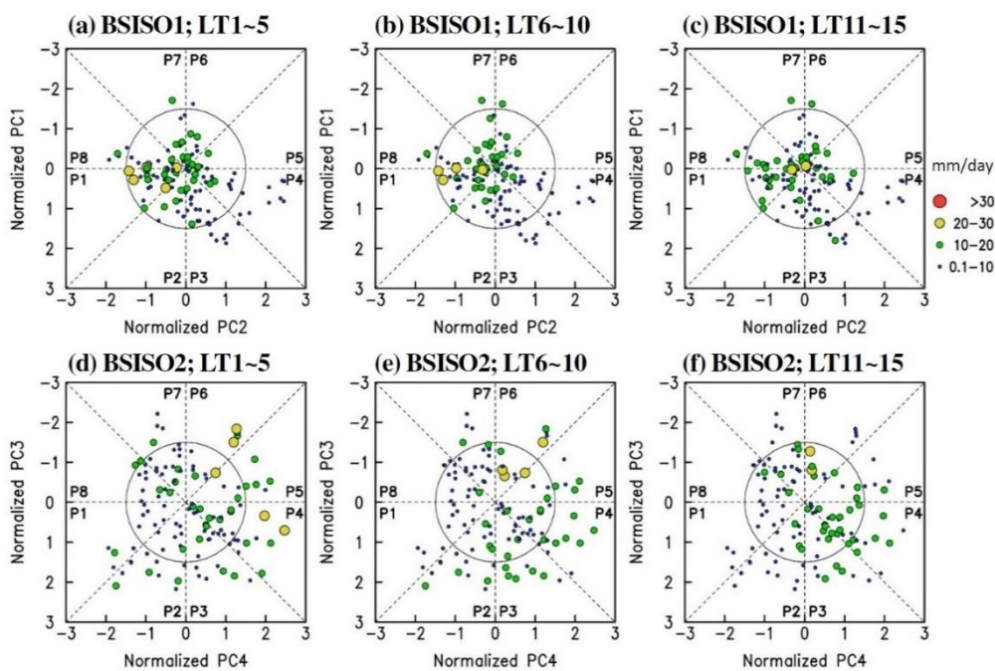


圖 7：類似圖 4，但為 CWB/GFS 在不同領先時間預報 2016-2017 年 5-6 月期間的臺灣平均日降雨量結果。(a)-(b)-(c)分別為 LT1~5 平均，LT6~10 平均，和 LT11~15 平均下的 BSISO1 降雨相位圖。(d)-(e)-(f)分別為 LT1~5 平均，LT6~10 平均，和 LT11~15 平均下 BSISO2 降雨相位圖。點的大小代表不同雨量區間，如圖(c)右下角所標示。

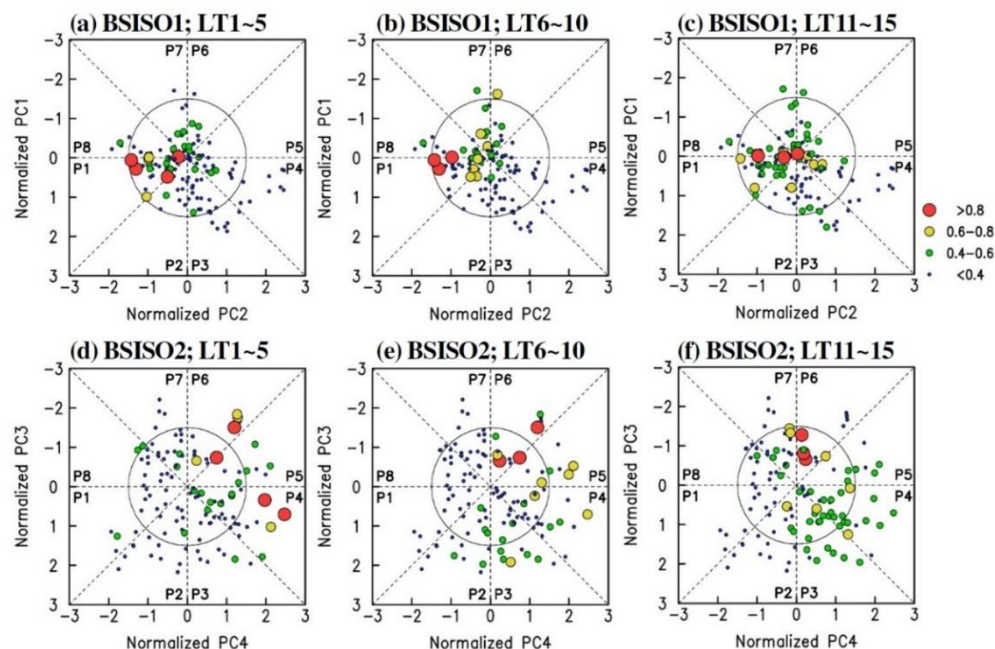


圖 8：類似圖 7，但為標準化後之雨量值的相位圖。此處 LT1~5、LT6~10、LT11~15 的標準化量值，是以各自預報到的「臺灣日降雨量」除以各自在「2016-2017 年 5-6 月期間所預報到的最大臺灣日降雨量」求得。

尚有進步空間，但大致能表現出 BSISO 現象下，臺灣梅雨季降雨強度在各相位分布的差異特徵。

又從上一節中觀測資料的分析結果得知，大尺度的環流場變化會影響強降雨事件的發生，因此我們亦想了解 CWB/GFS 對於「不同 BSISO 相位下，臺灣降雨強度的預報能力」，是否與其對於「不同 BSISO 相位下，東亞地區環流場變化的掌握能力」有關。針對此議題，我們以與圖 5 相同的分析方法，呈現 CWB/GFS 預報環流場及降雨場之結果（如圖 9、10），藉此來看模式對於 BSISO 現象下東亞地區環流場及相對應的降雨場之模擬表現能力。須說明的是，圖 9、10 是先針對不同領先時間進行平均之後（得到 LT1~5、LT6~10、LT11~15），再計算不同 BSISO 相位的距平值（即減去 2016-2017 年 5-6 月的平均值）。從 CWB/GFS 預報 BSISO1 現象下的環流場變化合成圖（圖 9），可以看到在所有檢視的領先時間中，CWB/GFS 都能掌握到相位 1~4 之間有一低壓系統（流函數距平  $<0$ ）自赤道印度洋一帶生成，並隨時間往東北方向傳播至印度及孟加拉灣。隨著相位 5 推進至相位 8~1 時，圖 9 大致都能掌握到低壓訊號從孟加拉灣往東及東北移動至華南及臺灣附近。整體而言，CWB/GFS 在 LT1~15 皆有掌握到主要影響臺灣降雨的低壓系統，在 BSISO1 相位 7~相位 1 期間北移至臺灣附近一帶。上述結

果顯示 CWB/GFS 對於 BSISO1 現象下東亞地區環流場及相對應的降雨場之變化有不錯的預報表現。

接著從 CWB/GFS 預報 BSISO2 現象下的環流場及相對應的降雨場之結果（圖 10）來看，可以發現 CWB/GFS 在所有檢視的領先時間裡，皆有模擬出 BSISO2 相位 1 中印度洋的低壓訊號，而在相位 2 至相位 3 時，CWB/GFS 在 LT1~15 都能掌握到該低壓訊號接著往東北移動至孟加拉灣，隨著相位 3 推進到相位 6，除了原本位於孟加拉灣的低壓訊號外，CWB/GFS 的 LT1~15 開始有低壓訊號生成於臺灣東方海面，隨後此位於臺灣東方海面之低壓訊號往北、西北方向傳播至臺灣及華南一帶。若仔細觀察圖 10 中主要影響臺灣降雨的 BSISO2 相位 4 到相位 6 可以發現，CWB/GFS 在 LT1~15 都有顯示出臺灣位於東北-西南走向的低壓帶中，此時降雨亦呈現較明顯的正距平特徵。總的來說，圖 9-10 顯示的環流場的變化特徵，在 LT1~15 的預報結果皆大多與觀測結果（圖 5）相似。而伴隨著低壓系統的移動，圖 9（圖 10）中臺灣地區的降雨最大值發生在相位 7~1（相位 4~6），此與觀測資料（圖 5）相似。以上這些結果意味著 CWB/GFS 對於 BSISO 現象下環流場的預報有良好的表現，可能是造成其能有效掌握臺灣強降雨事件發生時間和 BSISO 相位對應關係的原因之一。



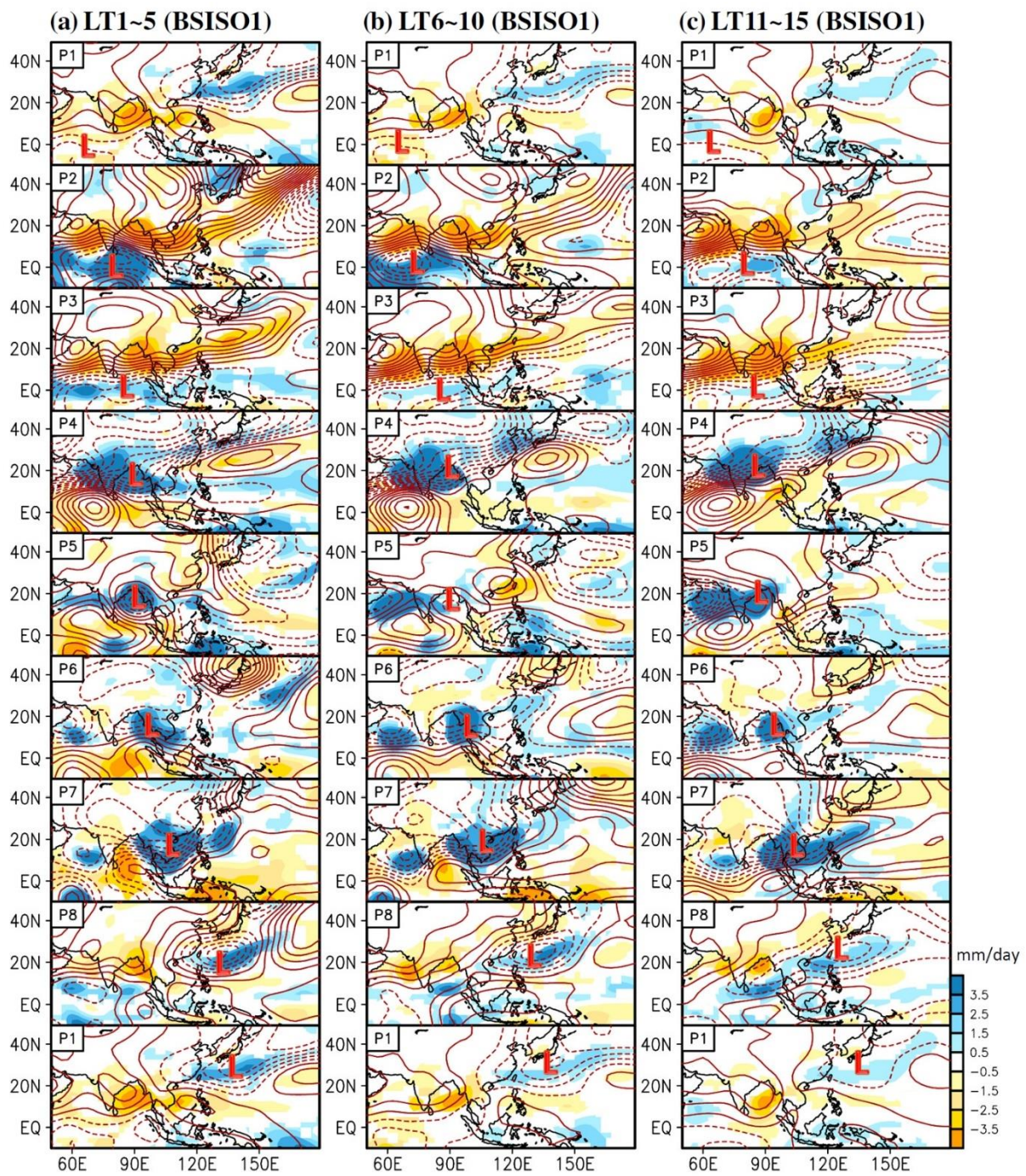


圖 9：類似圖 5a，但為 CWB/GFS 在不同領先時間下所預報的 BSISO1 各相位的降雨距平值（著色區，單位：mm/day，僅顯示通過 90%可信度統計檢定的數值）和 850hpa 流函數距平值（等值線，單位： $6 \times 10^5 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ）合成圖：(a) 預報領先時間 LT1~5 的平均結果，(b) 預報領先時間 LT6~10 的平均結果，(c) 預報領先時間 LT11~15 的平均結果。L 標示文中所提及的低壓處。此處距平值指的是減去 2016-2017 年 5-6 月的平均值。



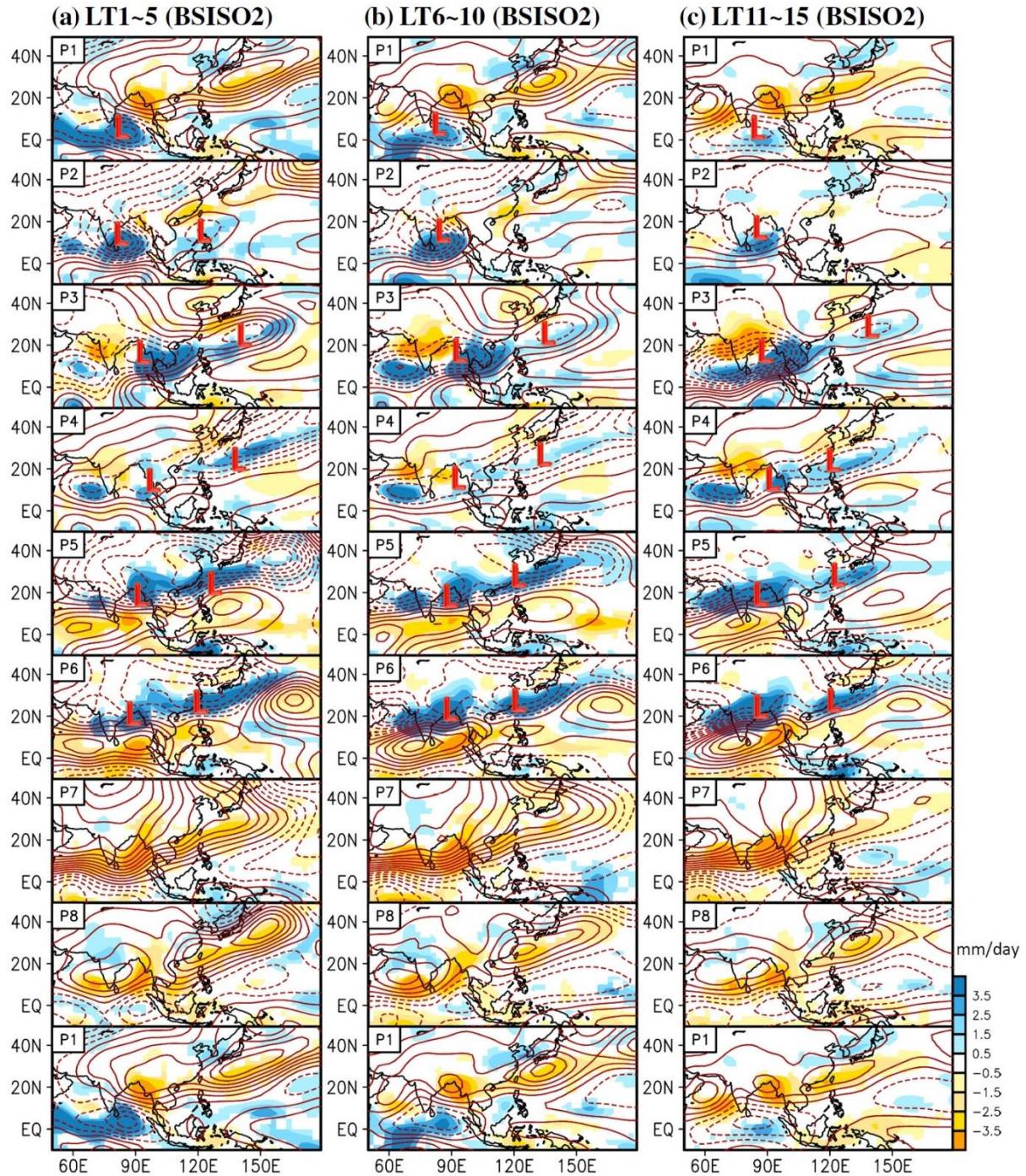


圖 10：類似圖 9，但為 CWB/GFS 在不同領先時間下所預報的 BSISO2 各相位的降雨距平值（著色區，單位： $\text{mm/day}$ ，僅顯示通過 90% 可信度統計檢定的數值）和 850hpa 流函數距平值（等值線，單位： $6 \times 10^5 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ）合成圖。L 標示文中所提及的低壓處。此處距平值指的是減去 2016-2017 年 5-6 月的平均值。



而為了佐證上述推測，接下來我們使用空間相關係數 (Scorr) 做分析，藉此進一步透過量化數值，了解 CWB/GFS 在模擬東亞地區環流場、降雨場的特徵能力，兩者之間的關係。圖 11 顯示的是我們分別針對 CWB/GFS 在各領先時間 (LT1~15) 下，仿照圖 9-10 進行環流場、降雨場進行各相位合成圖後，將 CWB/GFS 的預報結果與觀測資料的結果 (圖 5) 進行 Scorr 計算，Scorr 選取計算的範圍是如圖 10 所顯示的範圍大小。在此針對 Scorr 的討論，

我們主要參考 Lee et al. (2017) 之分析方法，以 0.5 作為比較標準，當  $\text{Scorr} > 0.5$  時，表示 CWB/GFS 能有效掌握與觀測資料類似的空間分布特性 (亦即表示 CWB/GFS 能描繪環流或降雨在 BSISO 現象下的傳播特性)。

首先就相位 1~相位 8 的平均預報能力而言 (圖 11a-b 粗黑線)，我們可以發現不論是對 BSISO1 或 BSISO2 現象下環流場的模擬結果，Scorr 的數值大小都有隨著預報時間提前而隨之遞減的特徵；其中值得

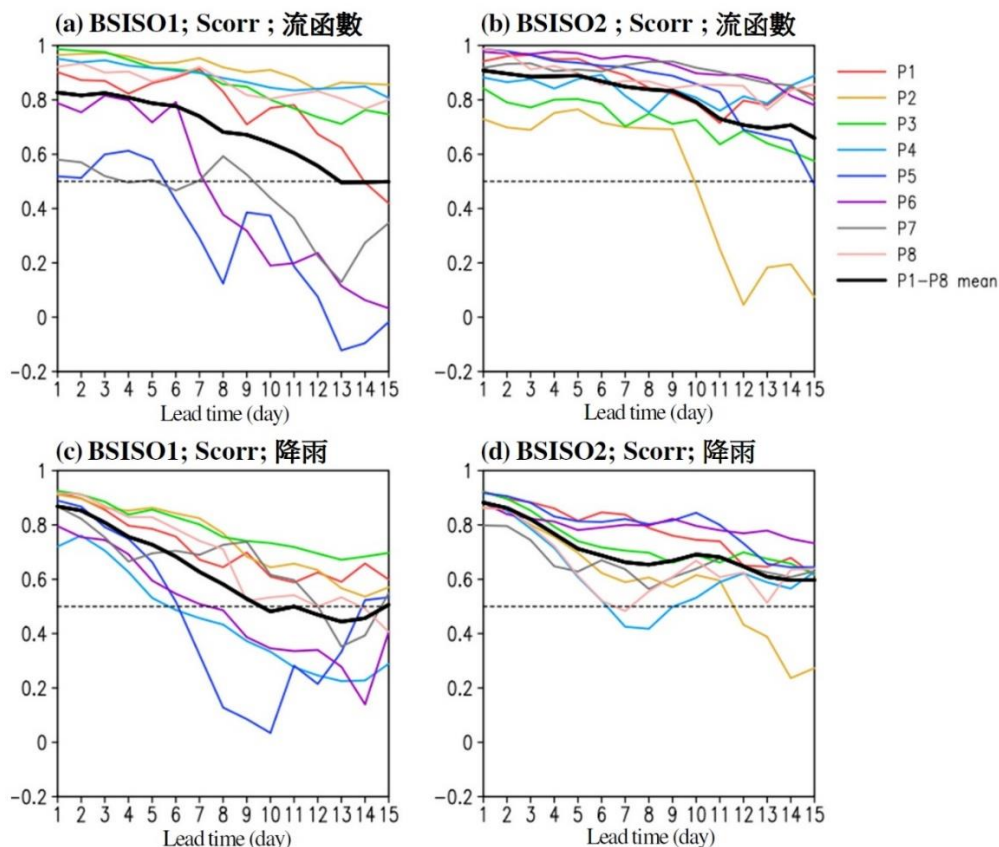


圖 11：針對不同 BSISO 相位下，觀測到的 850hPa 流函數距平值合成圖(如圖 5)與相對應的 CWB/GFS 預報資料(如圖 9、圖 10)，所做的分析：(a) BSISO1 相位下的空間相關係數(Scorr)分析，(b) BSISO2 相位下的空間相關係數分析。(c)-(d)分別對應(a)-(b)，為相關的降雨距平值合成圖之空間相關係數分析。水平軸代表的是預報領先時間。各線條顏色所代表的不同相位標示於圖(b)右方。

一提的是，BSISO2 對應到的 Scorr 在 LT1~15 都略高於 BSISO1，代表 CWB/GFS 對 BSISO2 的環流場模擬能力較對 BSISO1 的環流場模擬能力佳。而比對圖 11c-d 與圖 11a-b，則可以發現 CWB/GFS 對 BSISO 現象下東亞地區的降雨空間分布之預報能力（圖 11c-d），存在與其對環流場的空間分布預報能力（圖 11a-b）相類似的特徵；除了 Scorr 的數值大小都有隨著預報時間提前而隨之遞減的特徵之外，BSISO2 對應到的 Scorr 值也都比 BSISO1 對應到的 Scorr 值大；另外，CWB/GFS 對 BSISO2 的降雨場之空間分布描繪能力亦較對 BSISO1 的降雨場之空間分布描繪能力佳。而若就各相位的預報差異而言，由圖 11a、11c 中可見，CWB/GFS 對於 BSISO1 在相位 5~7（相位 4~6）時的東亞地區環流場（降雨場）之空間分布預報能力，在 LT6 以後較其他相位差。相對於 BSISO1，CWB/GFS 對於 BSISO2 在相位 2 時的東亞地區環流場（圖 11b）、降雨場（圖 11c）之空間分布預報能力，在 LT10 以後較其他相位差。以上結果可佐證我們先前的推測，CWB/GFS 之所以能夠掌握臺灣強降雨事件發生時間和 BSISO 相位的對應關係，與其在對於東亞地區環流場的預報能力有一定的關連性。

另一方面，為了檢視 CWB/GFS 是否能有效預報 BSISO 現象下對流北傳特性，我們亦仿效圖 6 製作 CWB/GFS 預報臺灣

鄰近區域的降雨變化 y-t 圖（圖 12，等值線），並將其與觀測資料（圖 12，著色區）相比。此外我們也計算圖 12 中觀測資料與 CWB/GFS 預報資料的 Scorr，藉此校驗兩者的相似度（Scorr 標示於圖 12a~f 的右下角）。在 BSISO1 的結果中（圖 12a~12c），可以發現 CWB/GFS 以 LT1~5 的降雨北傳特徵與觀測資料最相似，兩者的 Scorr 為 0.8，而 LT6~10 與 LT11~15 和觀測之間的差異較大，Scorr 分別為 0.67、0.62。相較於 BSISO1，CWB/GFS 在 BSISO2 的結果中（圖 12d~12f），LT1~5、LT6~10 和 LT11~15 的降雨預報的北傳特性都與觀測較為相似，Scorr 分別為 0.81、0.74、0.72。從這裡的分析我們可以再次證明，CWB/GFS 對於 BSISO2 現象下臺灣附近降雨移動特徵的預報能力較 BSISO1 好，此與圖 11 的結果相互呼應。然需說明的是，這個發現（即 CWB/GFS 對於 BSISO2 現象下臺灣附近降雨移動特徵的預報能力較 BSISO1 好）僅是針對 2016-2017 年的降雨預報而言，是否能適用於其他年份，仍尚待更多年的資料分析。

總的來說，透過觀測資料（圖 5-6）與 CWB/GFS 資料（圖 9-12）相比對，可以知道，CWB/GFS 掌握了 BSISO 現象下水氣的東-西向移動及往北移動特性，並清楚地描繪出在 BSISO2（BSISO1）相位 4 到 6（相位 8 到 1）時，低壓帶移動到臺灣附近，這些掌握對於強降雨事件發生的

時間（日期）預報有所幫助。另一方面，值得注意的是，從圖 12 可以發現 CWB/GFS 降雨距平的量值大小與觀測資料（IMERG）的距平量值在臺灣附近（紅線）明顯有差異，CWB/GFS 在臺灣附近

的降雨振幅（等值線）小於觀測降雨的振幅（著色區）。這反應出模式低估了臺灣附近季內震盪降雨的振幅，此結果與前述 CWB/GFS 對臺灣地區有「高估弱降雨、低估強降雨」的情況（圖 7）相呼應。

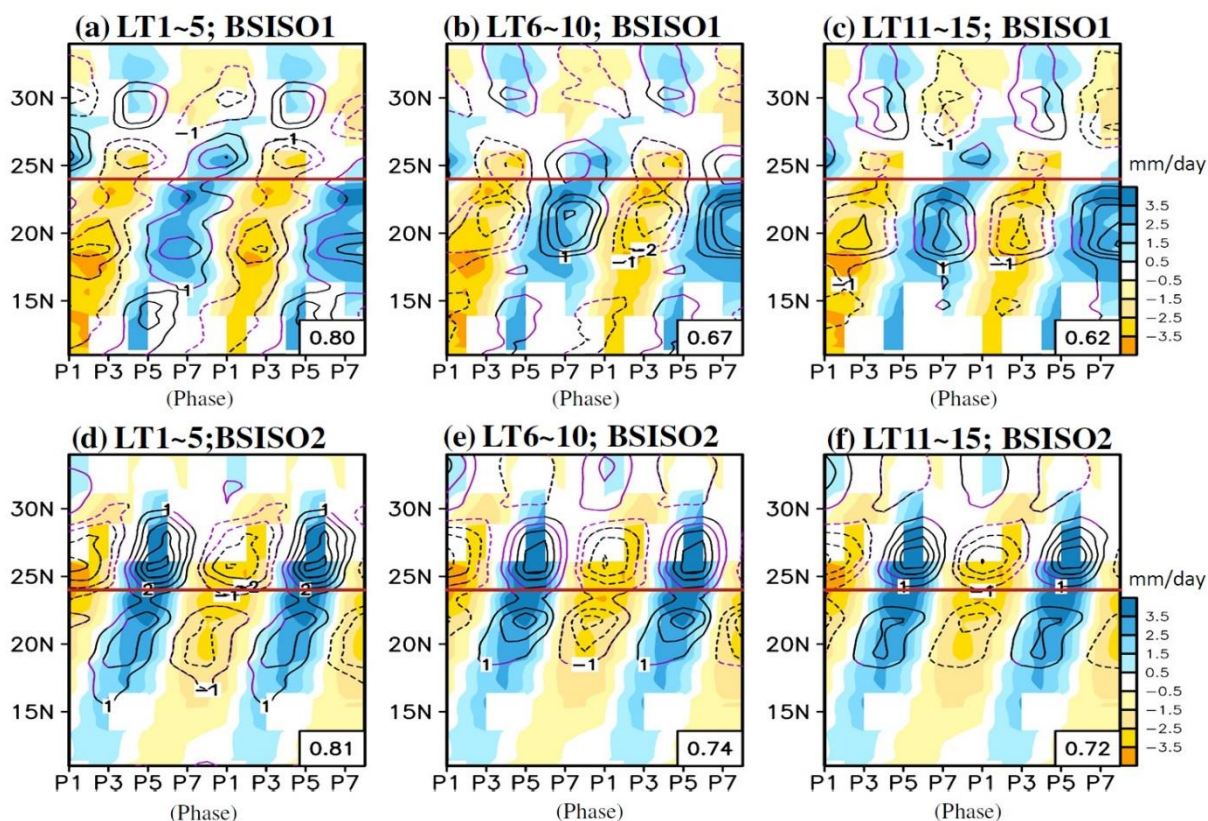


圖 12：類似圖 6，但為 CWB/GFS 在不同領先時間下，預報到的 BSISO1、BSISO2 各相位降雨距平值合成 y-t 圖（等值線，單位：mm/day，黑色線表示通過 90%可信度統計檢定的數值，紫色線表示沒有通過統計檢定）。圖中著色區，代表相對應到的觀測降雨距平值合成圖（僅顯示通過 90%可信度統計檢定的數值）。(a)、(b)、(c)為 BSISO1 之結果，(d)、(e)、(f)為 BSISO2 之結果。(a)、(d)為 LT1~5，(b)、(e)為 LT6~10，(c)、(f)為 LT11~15。此處距平值指的是減去 2016-2017 年 5-6 月的平均值。紅色直線標記處為臺灣所在緯度(24°N)。圖中右下角數字代表 CWB/GFS 與觀測的空間相關係數(Scorr)。



## 四、討論

### (一) 模式模擬的年際差異

從圖 3 可知，2016、2017 這兩年梅雨季降雨變異度差異甚大，因此或許有讀者會提問：「模式對於梅雨季降雨掌握是否存在有年際差異？」。為了釐清此議題，我們進行以下測試。首先，就空間上來看，對 2016、2017 年東亞地區的梅雨季降雨平均分布(如圖 13a)而言，CWB/GFS 在 LT1~5 期間(如圖 13b)皆能掌握到與觀測資料近似的鋒面帶降雨以及季風槽降雨分布。

若將不同領先時間的 CWB/GFS 預報資料進行與圖 13b 類似的分析，並將其與相對應的觀測資料(如圖 13a)，進行空間相關係數 (Scorr) 及均方根誤差 (RMSE) 比對(如圖 13c)，則可見不論是 2016 年或是 2017 年，CWB/GFS 的預報能力都有隨著領先時間提前，而預報能力減弱的情況。此處所謂的預報能力減弱，是指 Scorr 變小且 RMSE 變大。而圖 13c 中，2016、2017 年之間的主要差異為，2016 年的 Scorr (RMSE) 大部分較 2017 年為小(大)。

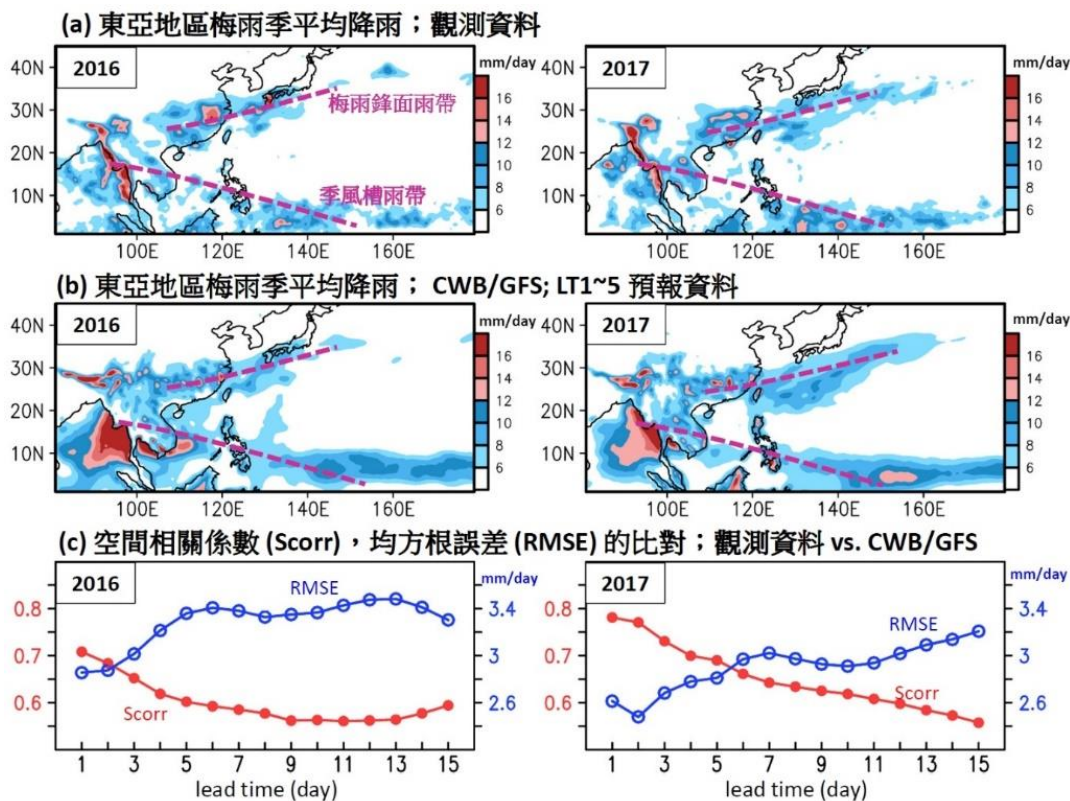


圖 13: (a) 2016 年(左)、2017 年(右)，東亞地區梅雨季觀測 (GPM IMERG) 降雨平均。(b)類似(a)，但為 CWB/GFS 模式在領先時間 LT1~5 的預報降雨平均。(c)為觀測資料與 CWB/GFS 預報資料的比對，此處空間相關係數(Scorr)及均方根誤差(RMSE)的數值大小，是以圖(a)-(b)空間範圍內的資料進行計算。

舉例來說：若  $Scorr$  以大於 0.6 作為預報能力較佳的客觀基準，我們可以發現模式在領先時間 12 天以前(LT1~LT12)的預報，皆有掌握到 2017 年東亞地區梅雨季平均降雨的分布特徵（即  $Scorr > 0.6$ ），而對於 2016 年東亞地區梅雨季平均降雨的分布特徵，則僅在領先時間 5 天以前(LT1~LT5)有較好的預報結果（即  $Scorr > 0.6$ ）。此外，從 RMSE 的結果來看，若 RMSE 以小於

3.2 mm/day 當作預報能力較佳的客觀基準，我們可以看到模式對於 2017 年東亞地區梅雨季平均降雨量，在領先時間 14 天以前（LT1~LT14）有較好的掌握能力，而對於 2016 年則在領先時間 3 天以前(LT1~LT3)有較好的模擬結果。以上敘述都顯示，CWB/GFS 對 2017 年東亞地區的梅雨季降雨平均空間分布的掌握較 2016 年更佳。

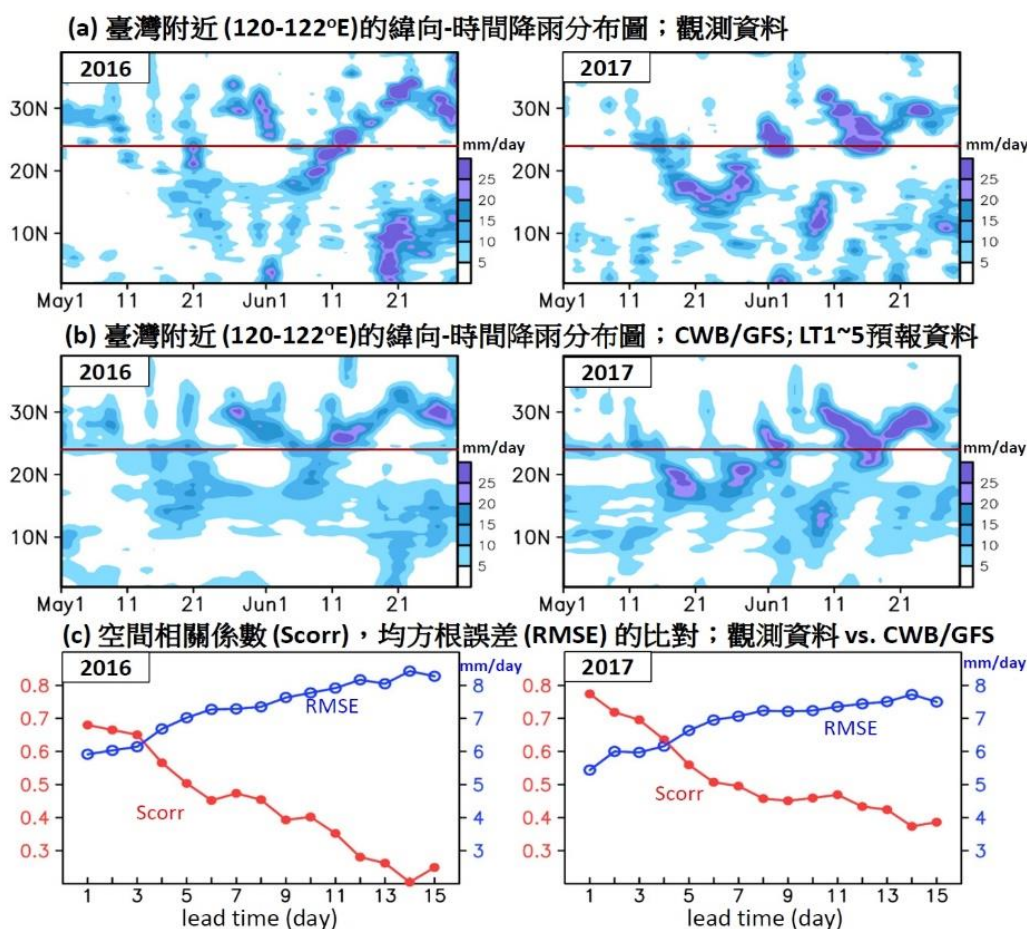


圖 14: (a) 2016 年(左)、2017 年(右)，臺灣附近(120°E~122°E)的緯向-時間觀測 (GPM IMERG) 降雨分布圖。(b)類似(a)，但為 CWB/GFS 模式在領先時間 LT1~5 的預報降雨平均。(c)為觀測資料與 CWB/GFS 預報資料的比對，此處空間相關係數 (Scorr)及均方根誤差(RMSE)的數值大小，是以圖(a)-(b)空間範圍內的資料進行計算。

另一方面，若就觀測資料所顯示的「2016、2017年臺灣附近地區之緯向-時間分布圖」(圖 14a)，與CWB/GFS在LT1~5的預報結果相比(圖 14b)，可見模式大致能掌握到與觀測資料相似的雨帶移動特性。而從量化的統計數字上來看，圖 14c 再次顯示，不論是2016年或2017年，CWB/GFS的預報能力都有隨著領先時間提前，而預報能力減弱的情況。同時，值得注意的是圖 14c 中，顯示模式對「臺灣附近地區降雨的緯向-時間分布圖」的掌握，在2017年亦較在2016年更佳(即Scorr以2016年為小，但RMSE以2016年為大)。舉例來說，若以Scorr大於0.6作為預報能力較佳的客觀基準，我們可以看到模式對於2017年臺灣附近地區降雨的緯向-時間分布特徵，在領先時間4天以前(LT1~LT4)的預報，都有較好的掌握能力，而對於2016年僅在領先時間3天以前(LT1~LT3)有不錯的預報表現。此外，在RMSE方面，若RMSE以小於7 mm/day當作預報能力較佳的客觀基準，我們可以發現模式對於2017年臺灣附近地區降雨量的緯向-時間分布，在領先時間6天以前(LT1~LT6)的預報，皆能有較好的模擬結果，而2016年僅在領先時間4天以前(LT1~LT4)有較好的預報結果。我們認為圖 14c 中的量化比對結果與第三章節的結果相呼應，由於2017年受到BSISO2強事件影響的天數大於受到BSISO1強事件影響的天數，而

2016年受到BSISO1和BSISO2強事件影響的天數較為相近，因此在模式對BSISO2事件比對BSISO1事件有較好的模擬能力的情况下，可以預期模式對2017年臺灣降雨的掌握能力是較2016年更佳。而這也同時反映在東亞地區的降雨模擬表現上(圖 13)。

## (二) 與NCEP/GFS的比對

本研究至此，僅顯示CWB/GFS的預報分析結果與觀測資料結果的比對。為了更客觀的評估CWB/GFS的預報能力，我們亦曾採用與陳與黃(2016)類似的研究方法，將CWB/GFS與NCEP/GFS的預報結果進行分析比對，比較兩模式對於「不同BSISO相位下，2016-2017年臺灣梅雨季期間東亞地區的環流場及降雨預報能力」。部分研究成果已在黃(2018)中呈現，此處我們僅針採用與圖 7、圖 11 類似分析方法，對NCEP/GFS在LT1~15，對於臺灣地區的定量降雨掌握能力(圖 15)，以及對於東亞地區之環流場、降雨場的空間分布特徵之掌握能力(圖 16)，來進行額外討論，並將其與圖 7、圖 11 中顯示的CWB/GFS結果相比。有關CWB/GFS與NCEP/GFS模式的設定差異，請參見表一。

我們首先來看NCEP/GFS對於2016-2017年臺灣梅雨季降雨在不同BSISO相位下的預報表現。圖 15 仿照圖 7，但為NCEP/GFS對臺灣日降雨量之預報結



果對應至 BSISO1、BSISO2 的相位圖。比對觀測 (圖 4)、CWB/GFS (圖 7) 以及 NCEP/GFS (圖 15) 的結果後可以發現，不同於 CWB/GFS 對臺灣梅雨季降雨量值有明顯的誤差，NCEP/GFS 在 LT1~5、LT6~10 預報臺灣梅雨季降雨強度與觀測資料相當。而就強降雨事件(> 30 mm/day, 紅色點) 的發生相位來看，在 BSISO1 的結果中，LT1~5 (圖 15a) 的強降雨事件大多集中在相位 1，LT6~10 (圖 15b) 則集

中在相位 7~1 之間，而 LT11~15 (圖 15c) 沒有明顯集中的相位。在 BSISO2 的結果中，LT1~5 (圖 15d) 的強降雨事件大多集中在相位 4 及相位 6，LT6~10 (圖 15e) 則集中在相位 4~6，而 LT11~15 (圖 15f) 沒有明顯集中的相位。整體而言，NCEP/GFS 在 LT1~5、LT6~10 有掌握到與觀測類似的降雨強度及分布特徵，而相較之下，LT11~15 的降雨強度分布特徵與觀測的差異最大。

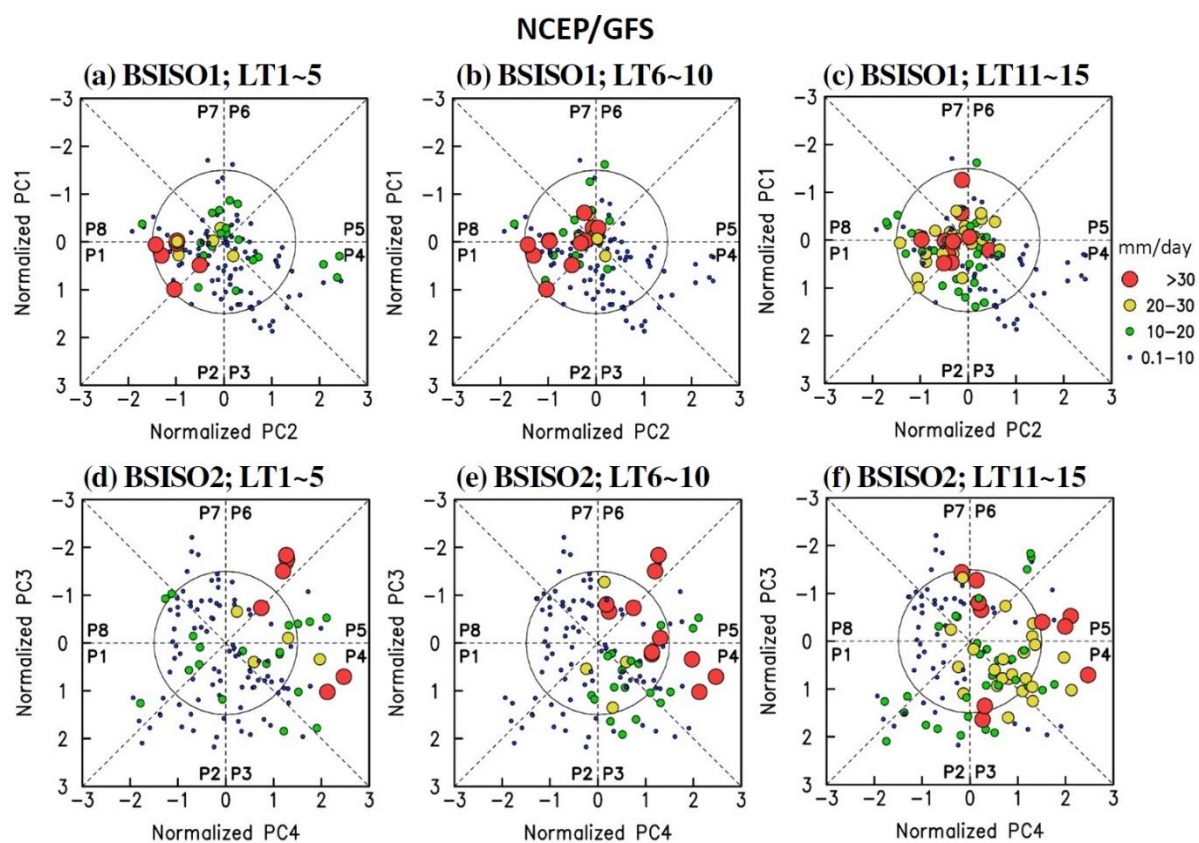
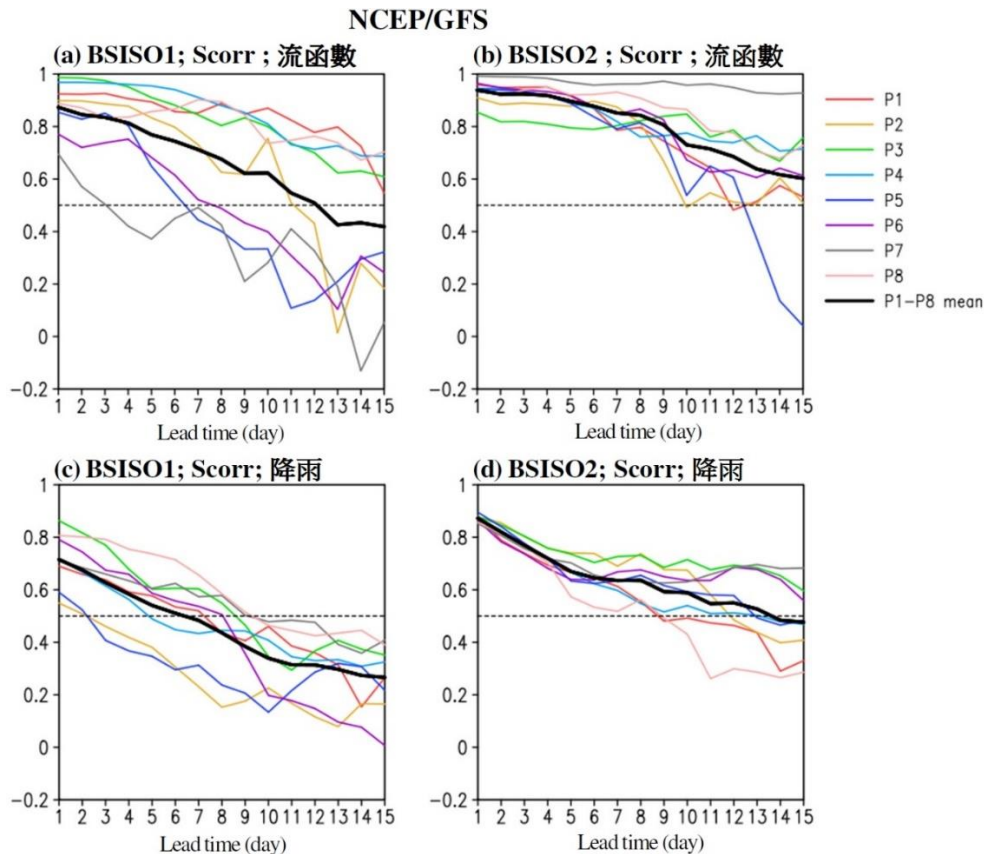


圖 15：類似圖 7，但為 NCEP/GFS 在不同領先時間預報 2016-2017 年 5-6 月期間的臺灣平均日降雨量結果。(a)、(b)、(c)分別為 LT1~5 平均，LT6~10 平均，和 LT11~15 平均下的 BSISO1 降雨相位圖。(d)、(e)、(f)分別為 LT1~5 平均，LT6~10 平均，和 LT11~15 平均下 BSISO2 降雨相位圖。點的大小代表不同雨量區間，如圖(c) 右下角所標示。

接著我們檢視 NCEP/GFS 對於不同 BSISO 相位下東亞地區環流場及降雨的預報表現，藉此了解 NCEP/GFS 對臺灣降雨強度的預報能力與東亞地區環流場變化的關係。從圖 16 中我們可以發現，就相位 1~相位 8 的平均預報能力而言（圖 16 粗黑線），不論是環流場或降雨場，NCEP/GFS 在 LT1~15 對於 BSISO2 的預報結果皆優於 BSISO1，且預報能力隨預報時間提前而遞減；這些結果與圖 11 中顯示的 CWB/GFS 預報結果相同。若進一步比

較 CWB/GFS（圖 11）與 NCEP/GFS（圖 16）的預報校驗結果，我們可以發現 CWB/GFS 對於 BSISO 現象下東亞地區環流場變化及降雨變化的預報能力並不亞於 NCEP/GFS，甚至針對較長預報領先時間（LT10~15），CWB/GFS 對東亞地區環流場或降雨場預報能力之 Scorr 的結果，皆略較 NCEP/GFS 佳。這顯示 CWB/GFS 的預報資料，在描繪東亞地區的環流場、降雨場的空間分布特徵，已具有一定的應用價值。然而，若就 CWB/GFS（圖 11）與



**圖 16：**針對不同 BSISO 相位下，觀測到的 850hPa 流函數距平值合成圖(如圖 5)與相對應的 NCEP/GFS 預報資料，所做的分析：(a) BSISO1 相位下的空間相關係數(Scorr)分析，(b) BSISO2 相位下的空間相關係數分析。(c)-(d)分別對應(a)-(b)，為相關的降雨距平值合成圖之空間相關係數分析。水平軸代表的是預報領先時間。各線條顏色所代表的不同相位標示於圖(b)右方。

NCEP/GFS (圖 16) 對各 BSISO 相位下降雨場的 Scorr 預報能力做比較, 則可發現兩者的共同特徵是, 對於 BSISO1 的相位 5~6 模擬較其他相位差, 對於 BSISO2 的相位 2 則是在 LT12 以後的模擬較其他相位差。至於其他有關 NCEP/GFS 的詳細分析, 請參見黃 (2018)。

需說明的是, 本研究僅採用兩年 (2016~2017 年) 梅雨季資料進行分析, 有關圖 11 與圖 16 呈現之「模式對 BSISO2 的模擬能力優於 BSISO1 (即 BSISO2 的 Scorr 較高)」, 這個結果是否是因為 BSISO2 的樣本數較 BSISO1 的樣本數多, 且樣本之間離散性較高, 這問題尚待有更多年的資料分析後, 才能釐清。

## 五、結論

本研究針對 2016 年及 2017 年臺灣梅雨季 (5、6 月) 期間, BSISO 現象下環流場及降雨的變化特徵進行分析討論, 主要希望藉由觀測資料與 CWB/GFS 模擬結果的比對, 了解下列議題: (1) CWB/GFS 是否能表現出臺灣梅雨季降雨在不同 BSISO 相位下的降雨特徵? (2) 隨著預報時間的提前, CWB/GFS 對於議題 (1) 的表現, 會如何變化? 該變化是否和 CWB/GFS 對於 BSISO 現象下的東亞地區環流場變化掌握能力有關?

針對議題 (1), 本研究發現就臺灣地區的降雨而言, 雖然 CWB/GFS 在「定量」

上, 於 LT1~15 的預報資料中, 大多「低估強降雨事件的降雨強度」並「高估弱降雨事件的降雨強度」。但針對臺灣地區降雨在不同 BSISO 相位下的強度分布, CWB/GFS 在 LT1~15 的預報資料中, 大致都能掌握到與觀測資料類似的「強降雨事件發生時間和 BSISO 相位的對應關係」; 當 BSISO1 在相位 7~1 以及 BSISO2 在相位 4~6 時, 對流訊號傳播至臺灣附近, 此時受到低壓系統的影響, 環境不穩定, 易有綜觀天氣系統發生, 進而使得臺灣在這些相位中有較大降雨產生。針對議題 (2), 我們發現 CWB/GFS 對於「BSISO 現象下, 東亞地區降雨場空間分布特性的能力」(以圖 11 中 Scorr 大小表示), 有隨著預報領先時間的增加而減低的現象, 且此結果主要與 CWB/GFS 掌握「BSISO 現象下, 東亞地區環流場變化移動特徵的能力」有關。

從以上的分析結果我們可以得知, 即便在「定量」上, CWB/GFS 對於降雨量的模擬結果仍有很大的進步空間, 但 CWB/GFS 已大致能掌握出 BSISO 現象下, 東亞地區環流場以及臺灣梅雨季降雨強度在不同 BSISO 相位下的分布差異特徵。這些研究結果, 意味著 CWB/GFS 的預報資料, 或許能被應用在著重於「分析臺灣降雨特色與東亞地區環流場關係」的相關研究上 (如 Huang and Chang 2018)。換句話說, 本研究結果有助於瞭解 CWB/GFS 在

臺灣降雨預報上的應用價值，並可供 CWB/GFS 作未來改善參考。然而，我們也必須強調，本研究的結果僅是針對 2016-2017 年的預報結果而言，上述發現（如：CWB/GFS 可有效掌握 BSISO 現象下臺灣附近環流場與降雨場變化的移動），是否能適用於其他年份，仍尚待更多年的資料分析。

總的來說，本文是從 BSISO 和梅雨季強降雨季內尺度變化關係的角度，對照分析 2016 與 2017 兩年預報表現，而非針對單一 BSISO 個案的探討。然需說明的是，本研究僅針對 5、6 月（61 天）的資料分析 BSISO 的長週期（10-60 天）變化，可能有以下問題。舉例來說，BSISO1 週期較長，61 天僅夠走完一個週期，據此估計大概一年只有一個 BSISO1 個案，而 BSISO2 週期較短，一年大概有 2 至 3 個 BSISO2 個案。因此是否會因為 BSISO2 相位合成的離散性較 BSISO1 高，導致模式對 BSISO2 的模擬結果較 BSISO1 好，這部分仍待更進一步的個案分析。相關的 BSISO 個案分析研究成果，因已規劃於未來另外進行發表，因此不在本文中多加論述。

另外需說明的是，為釐清 BSISO 個案數差異對本研究的分析結果有何影響，我們更進一步地利用觀測資料分析 1999-2017 年的個案，結果發現多年觀測資料的分析結果（圖未示）和 2016-2017

年的分析結果一致（即強降雨事件多發生於 BSISO1 第 7~1 相位，BSISO2 第 4~6 相位）。此意味著針對觀測資料的研究結果，儘管本研究的 BSISO 個案數不多，但我們對於強降雨事件發生時間和 BSISO 相位對應關係所做的結論，是與用較多 BSISO 個案類似。至於模式資料，因為受限於新一版 CWB/GFS 起始於 2016 年，所以 BSISO 個案數較少，無法做類似多年觀測資料的分析去佐證其結果，相關驗證仍待未來有更多資料進行分析。

## 致謝

本研究在中央氣象局計畫 (MOTC-CWB-107-M-09) 及科技部計畫 (MOST 106-2628-M-003-001-MY4、MOST 107-2625-M-003-002) 資助下完成，特此感謝。

## 參考資料

- 林和駿、洪致文，2014：以臺灣分區雨量指數分析百年來降雨變化。天氣分析與預報研討會，臺北，A3-12。
- 陳冠杰、黃婉如，2016：中央氣象局全球預報模式對 2016 年 5-6 月東亞區域降雨之預報能力評析。大氣科學，44，205-236。
- 黃婉如，2017：中央氣象局全球預報模式在東亞地區夏季降雨的預報能力評析研究（計畫編號：MOTC-



- CWB-106-M-10，期末報告)。
- 黃婉如，2018：中央氣象局全球預報模式對梅雨季期間 BSISO 現象的預報能力評析（計畫編號：MOTC-CWB-107-M-09，期中報告)。
- Annamalai, H., and J. M. Slingo, 2001: Active/break cycles: diagnosis of the intraseasonal variability of the Asian summer monsoon. *Clim. Dyn.*, **18**, 85-102.
- Chen, C. S., and Y. L. Chen, 2003: The Rainfall Characteristics of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1323–1341.
- Chen, G. T. J., and C. Y. Tsay, 1977: A detailed analysis of a case of Mei-Yu system in the vicinity of Taiwan, *Tech. Rep. No. Mei-Yu-001, Dept. of Atmos. Sci., Natl. Taiwan Univ.*, 249.
- Chen, T. C., S. Y. Wang, W. R. Huang, and M. C. Yen, 2004: Variation of the East Asian Summer Monsoon Rainfall. *J. Clim.*, **17**, 744–762.
- Chen, Y., and P. Zhai, 2017: Simultaneous modulations of precipitation and temperature extremes in Southern parts of China by the boreal summer intraseasonal oscillation. *Clim. Dyn.*, **49**, 3363–3381.
- Chou, M. D., C. H. Wu, and W. S. Kau, 2011: Large-Scale Control of Summer Precipitation in Taiwan. *J. Clim.*, **24**, 5081–5093.
- Guo, H., S. Chen, A. Bao, A. Behrangi, Y. Hong, F. Ndayisaba, J. Hu, and P. M. Stepanian, 2016: Early assessment of integrated multi-satellite retrievals for global precipitation measurement over China. *Atmos. Res.*, **176-177**, 121–133.
- Han, J., and H. L. Pan, 2011: Revision of Convection and Vertical Diffusion Schemes in the NCEP Global Forecast System. *Wea. Forecasting*, **26**, 520-533.
- Higgins, R.W., V.B. Silva, V.E. Kousky, and W. Shi, 2008: Comparison of Daily Precipitation Statistics for the United States in Observations and in the NCEP Climate Forecast System. *J. Climate*, **21**, 5993–6014.
- Hong, S.Y., and H. L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 2322-2339.
- Hsu P. C., J. Y. Lee, and K. J. Ha, 2016: Influence of boreal summer intraseasonal oscillation on rainfall extremes in southern China. *Int. J. Climatol.*, **36**, 1403–1412.
- Huang, W. R., and Johnny C. L. Chan, 2012: Seasonal variation of diurnal and semidiurnal variation of rainfall over Southeast China. *Clim. Dyn.*, **39**, 1913-1927.

- Huang, W. R., and Y. H. Chang, 2018: Impact of boreal summer intraseasonal oscillations on warm season diurnal convection activity in Taiwan. *Int. J. Climatol.*, **38**, 2187-2200.
- Huang, W. R., Y. H. Chang, and P. Y. Liu, 2018: Assessment of IMERG precipitation over Taiwan at multiple timescales. *Atmos. Res.*, **214**, 239-249.
- Huffman, G. J., D. T. Bolvin, D. Braithwaite, K. Hsu, R. Joyce, C. Kidd, E. J. Nelkin, S. Sorooshian, J. Tan, and P. Xie, 2017: NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-Satellite retrievals for GPM (IMERG). *Algorithm theoretical basis document (ATBD) version 5.1*.
- Hung, C. W., and H. H. Hsu, 2008: The First Transition of the Asian Summer Monsoon, Intraseasonal Oscillation, and Taiwan Mei-yu. *J. Clim.*, **21**, 1552-1568,
- Hung, C. W., and P. K. Kao, 2010: Weakening of the Winter Monsoon and Abrupt Increase of Winter Rainfalls over Northern Taiwan and Southern China in the Early 1980s. *J. Clim.*, **23**, 2357-2367.
- Hung, C. W., H. J. Lin, P. K. Kao, M. F. Shih, and W. Y. Fong, 2016: Boreal summer intraseasonal oscillation impact on western North Pacific typhoons and rainfall in Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **27**, 893-906.
- John Kerns, B. W., Y. L. Chen, and M. Y. Chang, 2010: The Diurnal Cycle of Winds, Rain, and Clouds over Taiwan during the Mei-Yu, Summer, and Autumn Rainfall Regimes. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 497-516.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S. K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter, 2002: NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631-1643.
- 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.
- Lee, S. S., J. Y. Moon, B. Wang, and H. J. Kim, 2017: Subseasonal Prediction of Extreme Precipitation over Asia: Boreal Summer Intraseasonal Oscillation Perspective. *J. Clim.*, **30**, 2849-2865.
- Madden, R. A., and P. R. Julian, 1971: Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, **28**, 702-708.
- Prakash, S., M. R. Ramesh Kumar, S. Mathew, and R. Venkatesan, 2018 : How accurate are satellite estimates of precipitation over the north Indian

- Ocean? *Theor. Appl. Climatol.*, **134**, 467-475.
- Sampe, T., and S. P. Xie, 2010: Large-Scale Dynamics of the Meiyu-Baiu Rainband: Environmental Forcing by the Westerly Jet. *J. Clim.*, **23**, 113–134.
- Scaife, A.A., L. Ferranti, O. Alves, P. Athanasiadis, J. Baehr, M. Deque, T. Dippe, N. Dunstone, D. Fereday, R.G. Gudgel, R.J. Greatbatch, L. Hermanson, Y. Imada, S. Jain, A. Kumar, C. MacLachlan, W. Merryfield, W.A. Muller, H.L. Ren, D. Smith, Y. Takaya, G. Vecchi, and X. Yang, 2018: Tropical rainfall predictions from multiple seasonal forecast systems. *Inter. J. Clim.*, **39**, 974-988.
- Stern, H. and N.E., Davidson, 2015: Trends in the skill of weather prediction atlead times of 1–14 days. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **141**, 2726–2736.
- Storch, H. V., and F. W. Zwiers, 2002: Statistical analysis in climate research, Cambridge University Press.
- Tan, M. L., and Z. Duan, 2017: Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore. *Rem. Sens.*, **9**, 720.
- Wang, S. Y., and T. C. Chen, 2008: Measuring East Asian Summer Monsoon Rainfall Contributions by Different Weather Systems over Taiwan. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **47**, 2068–2080.
- Wolff, J.K., M. Harrold, T. Fowler, J.H. Gotway, L. Nance, and B.G. Brown, 2014: Beyond the Basics: Evaluating Model-Based Precipitation Forecasts Using Traditional, Spatial, and Object-Based Methods. *Wea. Forecasting*, **29**, 1451–1472.
- Yang J., B. Wang, B. Wang, and Q. Bao, 2010: Biweekly and 21–30-day variations of the subtropical summer monsoon rainfall over the lower reach of the Yangtze River basin. *J. Clim.*, **23**, 1146–1160.
- Zhao, Q. Y., and F. H. Carr, 1997: A prognostic cloud scheme for operational NWP models. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 1931-1953.

# Evaluation of CWB/GFS in Forecasting the Characteristics of Mei-yu Season Rainfall over Taiwan at Different Phases of Boreal Summer Intraseasonal Oscillations: Using 2016-2017 as Examples

Pin-Yi Liu<sup>1</sup> Wan-Ru Huang<sup>1\*</sup> Ya-Hui Chang<sup>1</sup> Po-Han Huang<sup>1</sup>  
Jen-Her Chen<sup>2</sup>

1 Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

2 Meteorological Information Center, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

(manuscript received 30 October 2018 ; in final form 25 February 2019)

## Abstract

By comparing the rainfall and circulation forecasted by Central Weather Bureau Global Forecast System (i.e. CWB/GFS) with the observational data over East Asia, this study evaluates the capability of CWB/GFS in forecasting the impact of two different types of boreal summer intraseasonal oscillations (named as BSISO1 with a 30-to-60-day oscillation period and BSISO2 with a 10-to-30-day oscillation period) on the Mei-yu season (May and June) rainfall over Taiwan during 2016-2017. For the model forecast, we focus on the analysis of lead times from day-1 to day-15 (denoted as LT1~15). For the observational data, we use rain gauge observation, GPM (Global Precipitation Measurement) IMERG (Integrated Multi-satellite Retrieval for GPM) precipitation data, and NCEP (National Centers for Environmental Prediction) Reanalysis version 2.

Our analyses of observational data show that the characteristics of Mei-yu season rainfall in Taiwan during 2016-2017 are under the modulation of atmospheric circulation changes over East Asia related to BSISOs. In general, heavy rainfall events tend to occur over Taiwan at phase 7-1 of BSISO1 and at phase 4-6 of BSISO2, when the signal of large-scale convective zone propagates into the areas nearby Taiwan, Southeast China and Okinawa. By comparing these observational features with the features forecasted by CWB/GFS, it is noted that CWB/GFS can depict the relationship between the occurrence timing of heavy rainfall (>30mm/day) in Taiwan and the phases of BSISOs (i.e. heavy rainfall mostly occurred at phase 7-1 of BSISO1 and at phase 4-6 of BSISO2). Also, based on the analysis of spatial correlation

(Scorr) and root-mean-square-error (RMSE) between CWB/GFS and observation, we note that LT1~5 has the largest Scorr and smallest RMSE (i.e. the best forecasting performance), LT11~15 has the smallest Scorr and largest RMSE (i.e. the worst forecasting performance), whereas the forecasting performance of LT6~10 is between them. However, quantitatively, the CWB/GFS rainfall forecasts tend to “underestimate the heavy Mei-yu rainfall events” and “overestimate the weak Mei-yu rainfall events” in Taiwan; this feature is found in all of the forecast results of LT1~5, LT6~10 and LT11~15. Further examination on “Why CWB/GFS is able to capture the relationship between the occurrence timing of heavy rainfall in Taiwan and the phases of BSISOs?”, our results show that is related to the good skill of CWB/GFS in forecasting the propagating features of rainfall and circulation over the areas nearby Taiwan, under the modulation of BSISOs. These results help a better understanding of the values of applying CWB/GFS in rainfall forecast over Taiwan. Notably, this is a pilot study, which uses 2016-2017 CWB/GFS forecast data as an example, to examine the capability of CWB/GFS in forecasting the rainfall changes in Taiwan under the modulation of BSISOs. Further research work is proposed to examine whether above results are suitable for other years when more CWB/GFS forecast data are available in the future.

**Key words:** Mei-yu season, BSISO, CWB/GFS. doi: 10.3966/025400022018124604002

---

\*Corresponding author: W. R. Huang, Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, No. 88, Sec. 4, Tingchou Rd., Wenshan District, Taipei 11677, Taiwan. E-mail: [wrhuang@ntnu.edu.tw](mailto:wrhuang@ntnu.edu.tw)