

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

陳冠杰 黃婉如*

國立臺灣師範大學地球科學系

(中華民國一〇五年九月三十日收稿；中華民國一〇五年十一月二十二日定稿)

摘 要

梅雨季(5~6月)的降雨往往對臺灣民生經濟與安全上造成重大的影響，因此評析中央氣象局(Central Weather Bureau；簡稱CWB)對東亞(含臺灣)地區5~6月降雨的預報能力更顯重要。從2016年4月開始，新一代的CWB全球預報模式(Global Forecast System；簡稱CWB/GFS)其解析度由原來的T319L40(水平解析度約40公里，垂直40層)提升至T511L60(水平解析度約25公里，垂直60層)。為了瞭解新一代的CWB/GFS對於2016年東亞地區5~6月降雨的預報能力，本研究利用多種統計分析方法，將CWB/GFS與美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction；簡稱NCEP)之全球預報模式(簡稱NCEP/GFS)資料進行比對。研究著重在評估CWB/GFS與NCEP/GFS在預報前置時間(lead time)第1~10天(往後以LT1-10表示)，對東亞地區降雨的預報能力差異。研究結果發現，CWB/GFS的預報具有與NCEP/GFS的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，LT1-5皆較LT6-10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。而比對兩模式在LT6-10對5月和6月的降雨預報差異，發現兩模式皆呈現6月的預報結果較5月的預報結果佳，特別是對2016年6月9~14日影響臺灣的大尺度降雨系統，兩模式在LT10(前置時間第10天)的預報結果中已能清楚呈現。此外，透過個案分析2016年6月9~14日期間的降雨場、環流場、水氣傳輸場，本研究更發現NCEP/GFS與CWB/GFS的預報降雨差異，與兩模式對環流場、水氣傳輸場的預報差異有關。這些研究結果將有助於CWB/GFS的未來改善參考。

關鍵字：全球預報系統、中央氣象局、梅雨季降雨

*通訊作者：黃婉如，116臺北市文山區汀州路四段88號，Email: wrhuang@ntnu.edu.tw，TEL: 02-77346413

一、前言

5~6月的梅雨季是臺灣主要的降雨期之一，其中的強降雨常常嚴重影響人民的安全與經濟。在今年(2016)6月2日上午北部地區受到鋒面的影響，大雷雨使得桃園蘆竹雨量站的時雨量高達85mm，短時間內的強降雨造成桃園機場淹水(聯合新聞網6月3日)，影響許多班機與旅客。因此，為了使一般民眾以及水利、農業、防災單位能夠提早因應和提供決策的參考，有必要詳加了

解氣象預報模式對於臺灣梅雨季期間的降雨預報表現。新一代中央氣象局(Central Weather Bureau)的全球預報模式(Global Forecast System)(簡稱CWB/GFS)在2016年4月正式上線作業，此新版模式的水平與垂直解析度皆較舊版模式為高，在物理參數化過程中也陸續採用美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction)的全球預報模式(簡稱NCEP/GFS)模組，例如現有的雲物理參數化設定，即是參考NCEP/GFS(表1)。為了瞭解現行的氣象局全球

表1 新舊版CWB/GFS以及NCEP/GFS之比較。

模式 變數	CWB/GFS 舊版 (T319L40)	CWB/GFS 新版 (T511L60)	NCEP/GFS (T574L64)
資料同化	Hybrid GSI	Hybrid GSI	Hybrid GSI
水平解析度	40 公里	25 公里	23 公里
垂直解析度	sigma 座標 40 層	S-P hybrid 座標 60 層	S-P hybrid 座標 64 層
模式頂層	1mb	0.1mb	0.27mb
網格尺度降雨	Zhao and Carr (1997)	Zhao and Carr (1997)	Zhao and Carr (1997)
積雲對流	Han and Pan (2011) : NSAS	Han and Pan (2011) : NSAS	Han and Pan (2011) : NSAS
淺對流	Li (1994)	Han and Pan (2011)	Han and Pan (2011)
垂直擾動	Mahrt and Pan (1984)	Han and Pan (2011)	Hong and Pan (1996)
土壤模式	Noah Land Surface model	Noah Land Surface model	Noah Land Surface model
輻射	Fu et al. (1997) 、 Fu an Liou (1992 ; 1993)	Fu et al. (1997) 、 Fu an Liou (1992 ; 1993)	Fu (1996) 、 Mlawer et al. (1997) 、 Iacono et al. (2000) 、 Clough et al. (2005) 、 Hu and Stammes(1993)
地形重力波 拖曳	Palmer et al. (1986)	Palmer et al. (1986)	Alpert et al. (1988) 、 Kim and Arakawa (1995)

預報模式對臺灣與東亞地區降雨的可預報度，因此有必要針對 CWB/GFS 的降雨預報產品進行校驗與評析。

過去許多研究曾針對不同的全球預報模式產品深入探討其對區域降雨的可預報度 (Kumar et al. 2011; 江等 2012; Li and Robertson 2015; Tippet et al. 2015; 林等 2015; 黃等 2015)。一般而言，大部份的全球預報模式對七天以內的降雨事件較具有可預報度，相較之下，對展期 (6~10 天)、次月 (10~30 天) 到季內 (30~60 天) 時間尺度內的降雨事件之可預報度則較低 (Wang et al. 2014; Hirons et al. 2013; Vitart 2014)。近來不少研究指出透過提高預報模式的解析度以及改善預報模式的物理參數化過程，可提高全球預報產品對七天以上降雨預報的可預報度。舉例來說，Wang et al. (2014) 使用 NCEP 所產製的氣候預報系統第二版資料對 30-60 天季內震盪 (Madden-Julian Oscillation; 簡稱 MJO) 的預報能力進行分析，結果發現模式可提前 20 天預報 MJO 現象。此結果較第一版氣候預報系統資料 (可提前 15 天預報 MJO 現象)，有明顯的改進。除 NCEP 之外，歐洲中期天氣預報中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 亦透過不斷地修正其模式內部的物理過程及提高模式水平與垂直解析度，成功地改善了模式對 MJO 現象的預報能力 (Hirons et al. 2013; Vitart 2014)。若從這些前人研究做推論，可以合理預期新版的 CWB/GFS 在提高解析度及修正物理參數化過程後的預報產品，其對七天以上區域降雨之可預報度能有所提升，然而此推論尚待進一步證明。

近來多個先進國家已開始聯合進行多國預報資料比對的聯合計畫 (Swinbank et al. 2015; Robertson et al. 2015)，其主要目的是希望能透過

各國資料的整合，進行不同預報中心之間的模式預報資料比對，進而瞭解並改善氣象模式的預報能力。而為了瞭解 CWB/GFS 與其他國家的預報資料差異，Liou et al. (1997) 比較舊版 CWB/GFS 和美國 NCEP/GFS 的預報結果，發現舊版 CWB/GFS 的預報降雨能力較 NCEP/GFS 差。不同於 Liou et al. (1997)，本研究將使用新版 CWB/GFS 的預報結果與美國 NCEP/GFS 的預報結果進行相互比較分析，期望能夠客觀地深入了解新版 CWB/GFS 的整體預報能力。本研究將著重在 2016 年 5~6 月 (梅雨季) 期間的降雨資料分析。研究中所採用的資料來源與校驗方法將詳列於第二章節。降雨的校驗結果分析與討論將列於第三章節。並於第四章節總結本研究成果。

二、研究方法

(一) 資料來源

本研究中所指的東亞地區，其範圍定義為 80°E~140°E, 0~45°N。在觀測資料方面，對於東亞地區的降雨，本研究採用美國國家航空暨太空總署所提供的 TRMM 3B42RT 即時的衛星觀測降雨資料 (Huffman et al. 2007; Liu et al. 2012)，此資料的時間解析度為每 3 小時一筆，空間解析度為 0.25°×0.25°。TRMM 降雨資料在過去已被證實對於東亞地區降雨的時、空特性有良好的掌握 (Huang and Chan 2012; Huang and Wang 2014)。而在個案分析方面，針對模式在臺灣地區降雨的技術得分，其所比對的觀測降雨資料，則採用中央氣象局提供的降雨網格化資料，此資料的時間解析度為每小時一筆，空間解析度為 0.01°×0.01°。

在模式資料方面，本研究使用新版的 CWB/GFS 與 NCEP/GFS 所提供的預報資料進行相互比

較分析，以期能夠客觀地瞭解 CWB/GFS 的預報能力與其他先進的數值天氣預報模式之預報能力差異。新版的 CWB/GFS，其模式解析度從過去的 T319L40 提升為 T511L60，即水平解析度從大約 40 公里(~0.375°)上升至 25 公里(~0.234°)左右，垂直解析度從 40 層提升至 60 層，模式的頂層也從 1mb 提高至 0.1mb。而 NCEP/GFS 則為現今全球線上作業中最先進的數值天氣預報模式之一，其模式解析度為 T574L64(即水平空間解析度~23 公里，垂直解析度為 64 層)，模式的頂層約在 0.27mb。除了解析度的差異之外，其它有關 NCEP/GFS 與新舊版 CWB/GFS 模式的動力和物理參數比較，詳見表一。

(二) 校驗方法

本研究將著重在比對新版 CWB/GFS 與 NCEP/GFS 所產製之 240 小時(第 1~10 天)預報降雨資料。研究中有關 5、6 月東亞地區所採用的比對方法包括：平均值、空間相關係數(spatial correlation coefficient；簡稱 Scorr)、均方根誤差(root-mean-square error；簡稱 RMSE)。有關

Scorr、RMSE 的計算方法，詳見 Storch and Zwiers (2002)。另外，針對個案所採用的事後預報技術得分校驗，其比對方法包括：預兆得分(threat score；簡稱 TS)、偏倚得分(bias score；簡稱 BS)。有關 TS、BS，其計算方法如下：

$$TS = \frac{H}{F+O-H} \quad (1)$$

$$BS = \frac{F}{O} \quad (2)$$

其中，F 為模式預報中有偵測到降雨值≥門檻值的網格數、O 為觀測資料中有偵測到降雨值≥門檻值的網格數、H 為 F 和 O 的交集，即預報命中降雨值≥門檻值的網格數(表 2)。一般而言，TS 的範圍值介於 0~1，越接近 1 表示預報結果越好(Wang 2014)，BS 的值為 0~∞，最佳值為 1，可以表示預報結果為過度預報或不足預報(Wilks 1995)。上述多種統計校驗方法在過去已被廣泛的應用在各國全球模式的校驗(Schaefer 1990；Ebert et al. 2003；Li et al. 2008；Wang 2014；Wang et al. 2014)，故應可以合理地評析 CWB/GFS 和 NCEP/GFS 的降雨預報能力。

表 2 二分類列聯表。

觀測 預報	是 (≥門檻值)	否 (<門檻值)	總和
是 (≥門檻值)	命中 H	錯誤預報 F-H	F
否 (<門檻值)	未命中 O-H	正確預報 N-(O+F-H)	N-F
總和	O	N-O	N

附註：F 為模式預報中有偵測到降雨值≥門檻值的網格數、O 為觀測資料中有偵測到降雨值≥門檻值的網格數、H 為 F 和 O 的交集，即預報命中降雨值≥門檻值的網格數；N 表示研究範圍的總網格數。

(三) 系集平均方法

為了方便分析，本研究將前置時間(lead time) 240小時的預報降雨資料分成1~10天(簡稱LT1-10)。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LT10的降雨量為預報第216小時到第240小時內之累積雨量。而在系集平均方面，本研究採用的方法如圖1所示。以目標時間5/10~6/30為例，其LT1

的預報結果來自於5/10~6/30總共208個成員(每6小時預報一次)之LT1平均(圖1紅色方框處)，而LT2的預報結果為5/9~6/29總共208個成員之LT2平均(圖1藍色方框處)，依此類推至LT10的預報結果為5/1~6/21總共208個成員之LT10平均(圖1黑色方框處)。而為了讓LT1到LT10的系集成員數目相同，本研究將僅針對目標期間(5/10~6/30)的LT1-10進行深入分析。

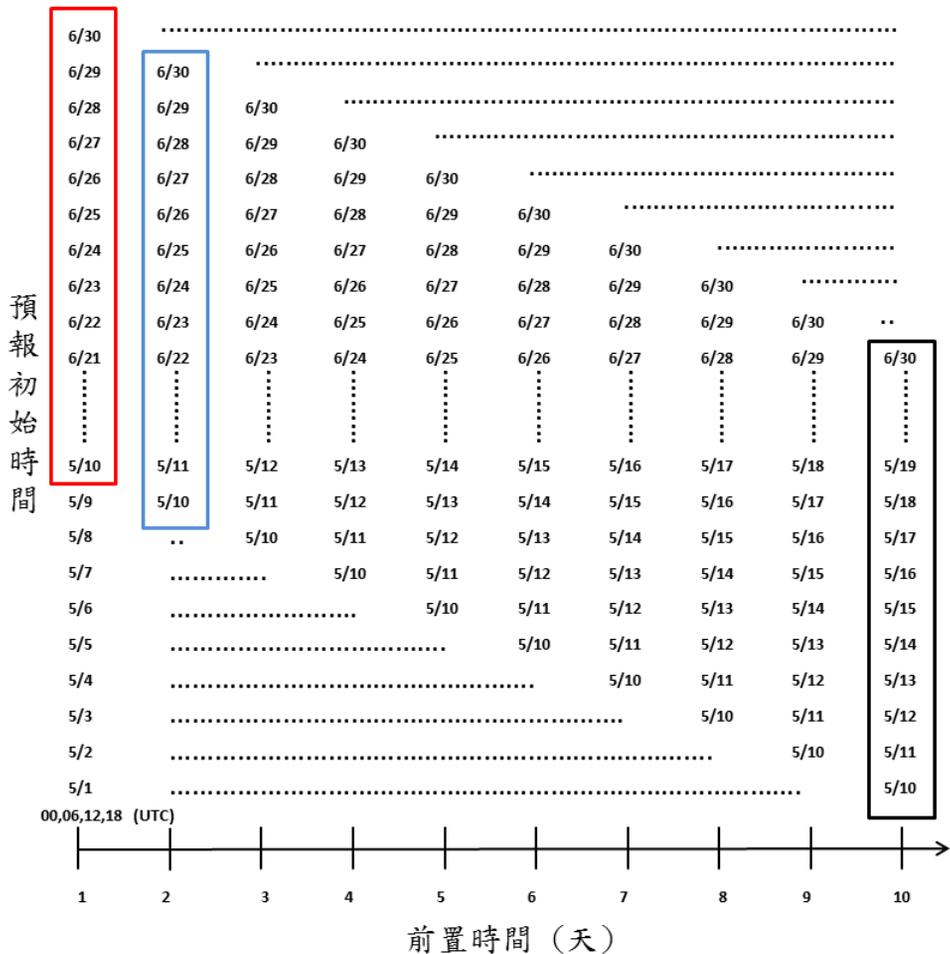


圖1 本研究所採用之系集平均方法。以目標時間(5/10~6/30)為例，其LT1的預報結果來自於5/10~6/30總共208個成員(每6小時預報一次)之LT1平均(紅色方框處)，而LT2的預報結果為5/9~6/29總共208個成員之LT2平均(藍色方框處)，依此類推至LT10的預報結果為5/1~6/21總共208個成員之LT10平均(黑色方框處)。

三、校驗結果與分析

本章節的安排如下：在第(一)小節，我們將針對 2016 年東亞地區梅雨季之平均降雨，進行觀測資料與模式預報資料之比較。在第(二)小節，我們將分別針對 5 月、6 月兩個不同月份，進行模式降雨預報能力的檢驗。在第(三)小節，我們將選取一個為臺灣帶來豪大雨的個案進行分析，藉此探

討影響此 2 個模式降雨預報能力差異之可能原因。

(一) 目標期間(5/10~6/30)之平均降雨

圖 2a 顯示目標期間(5/10~6/30)內，TRMM 所觀測到的平均降雨空間分布特徵。綜觀而言，在 5/10~6/30 期間，東亞地區受到兩個主要降雨

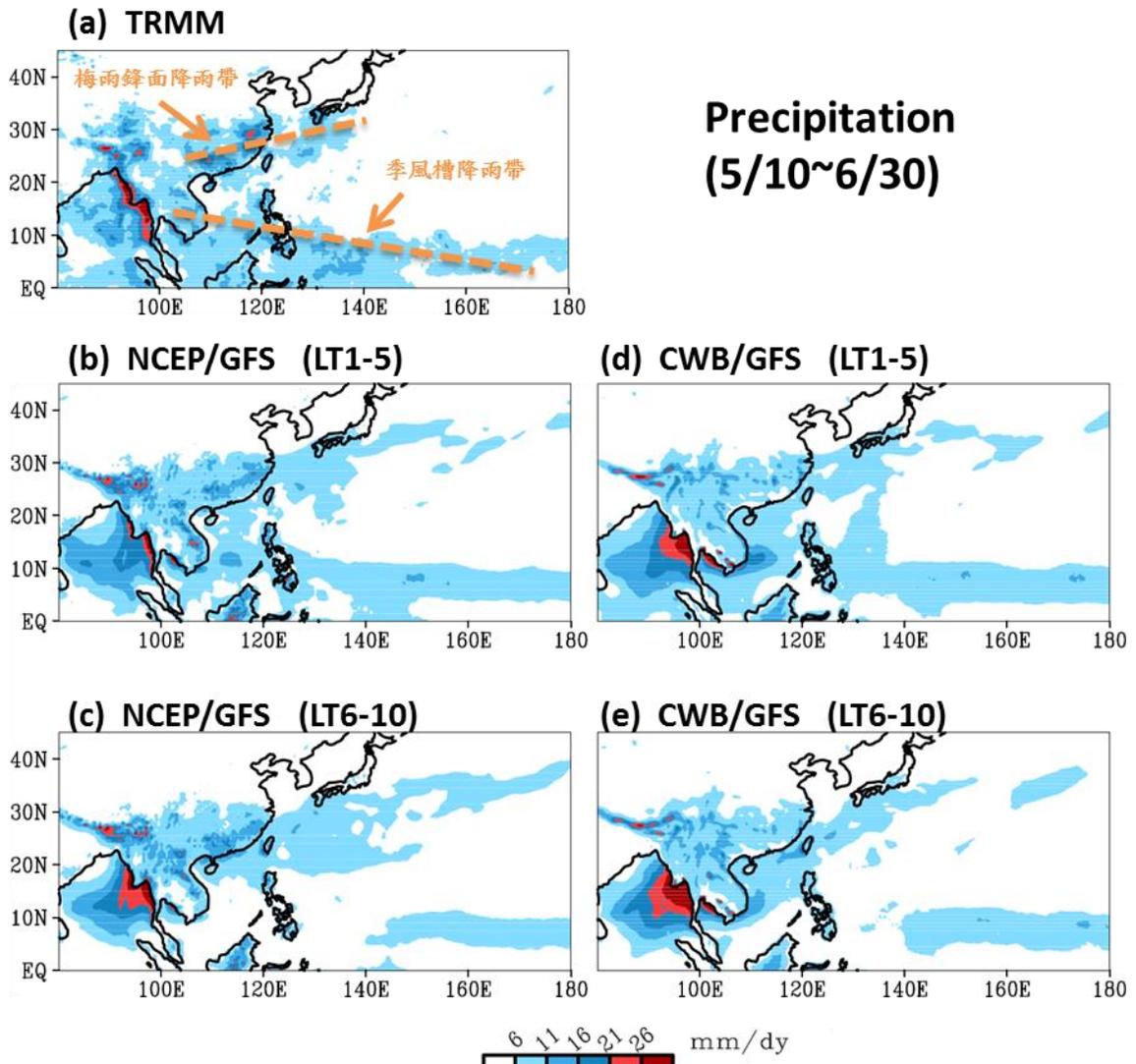


圖 2 2016 年 5/10~6/30 期間之平均日降雨量。(a)為 TRMM 觀測結果(橘色虛線標示主要降雨帶之所在位置)，(b)為 NCEP/GFS 在 LT1-5 所作的預報降雨平均結果，(c)為 NCEP/GFS 在 LT6-10 所作的預報降雨平均結果。(d)、(e)分別同(b)、(c)，但為 CWB/GFS 之結果。降雨色標位於圖下方，單位為 mm/天。

帶的影響，一個是從華南地區到日本西南方的梅雨鋒面降雨帶，另一個是熱帶地區的季風槽降雨帶。為瞭解 NCEP/GFS 及 CWB/GFS 模式是否能有效預報上述主要的降雨特徵，我們檢視模式在 LT1-10 對 5/10~6/30 所作的預報降雨資料(圖 2b~2e)。為方便討論，此處我們僅顯示 LT1 到 LT5 的平均(往後以 LT1-5 表示)和 LT6 到 LT10 的平均(往後以 LT6-10 表示)。首先，分析 NCEP/GFS 的 LT1-5 結果(圖 2b)，整體來說，其對於前述梅雨鋒面降雨帶和季風槽降雨帶的存在大致都能掌握。而比對 NCEP/GFS 在 LT6-10 的預報結果(圖 2c)，發現其雖有掌握到梅雨鋒面降雨帶的生成，但對於位在 $100^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ ， $0\sim 10^{\circ}\text{N}$ 範圍內的季風槽降雨帶之生成已無法掌握。此外從觀測資料(圖 2a)中可見，幾個主要降雨極大值的地區，分別位於長江流域下游、華南地區，以及孟加拉灣東部海域和青藏高原南邊。比對此降雨特性，則發現 NCEP/GFS 不論在 LT1-5(圖 2b)或 LT6-10(圖 2c)的預報中，皆能清楚掌握到位在孟加拉灣東部海域和青藏高原南邊的降雨極大值區，而對於在長江流域下游和華南地區之較大降雨區，則較無法清楚呈現。

就 CWB/GFS 的預報結果(圖 2d、2e)，我們發現 CWB/GFS 對於梅雨鋒面降雨帶和季風槽降雨帶的掌握，與 NCEP/GFS 的預報結果近似。在 LT1-5 的時候(圖 2d)，CWB/GFS 大致可以預報到梅雨鋒面降雨帶和季風槽降雨帶的主要分布位置。但到了 LT6-10(圖 2e)，CWB/GFS 雖對於梅雨鋒面降雨帶還能有所預報，但對於位在 $100^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ ， $0\sim 10^{\circ}\text{N}$ 的季風槽降雨帶則已無法明顯掌握。此外，不論是 LT1-5 或 LT6-10 的 CWB/GFS 預報結果(圖 2d、2e)，皆可大致看出孟加拉灣東部海域和青藏高原南邊的降雨極值，但針對長江

流域下游和華南地區的降雨極值則無法清楚呈現，此結果亦與 NCEP/GFS 相近似。

為了可以更明顯表現模式與觀測的差異，我們將圖 2 中 NCEP/GFS 及 CWB/GFS 之預報結果減去觀測值，所得到的差異如圖 3。針對 NCEP/GFS 的 LT1-5 預報(圖 3a)，我們發現主要降雨高估的地區分別有婆羅洲北部、南中國海、雲南地區以及孟加拉灣，降雨低估的地區分別在緬甸西部沿岸、長江流域下游以及菲律賓海以南 $130^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 左右的位置。到了 LT6-10(圖 3b)，NCEP/GFS 的預報誤差有較 LT1-5 增加的現象，其中除了對 $80^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ ， $0\sim 10^{\circ}\text{N}$ 海域的降雨低估變得更加明顯之外，對於臺灣鄰近海域的降雨預報誤差也有所增加。另一方面，CWB/GFS 不論是 LT1-5 還是 LT6-10 的預報誤差正負值之空間分布情形(圖 3c、3d)，則大致與相對應的 NCEP/GFS 預報誤差(圖 3a、3b)結果相似。反之，CWB/GFS 與 NCEP/GFS 主要明顯的不同之處，在於 CWB/GFS 對華南地區的降雨預報低估程度，以及對南中國海北邊、孟加拉灣的降雨預報高估程度，均較 NCEP/GFS 來得大。另外，對於臺灣東邊的菲律賓海以及 $100^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ ， $0\sim 10^{\circ}\text{N}$ 的季風槽降雨帶，CWB/GFS 之 LT6-10 的預報誤差則較 NCEP/GFS 之 LT6-10 的預報誤差小。

除了上述討論，我們進一步利用空間相關(Scorr)以及均方根誤差(RMSE)兩種統計方法，針對 LT1 到 LT10 的模式預報結果與觀測資料進行比對，以利定量分析兩個模式在不同前置時間的降雨預報差異。圖 4a 呈現的是觀測與模式對研究範圍 $80^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$ ， $0\sim 45^{\circ}\text{N}$ 的 Scorr。大致來說，不論是 NCEP/GFS 或是 CWB/GFS，其與觀測降雨的 Scorr 均隨著預報前置時間的增加而減少。反之，不論是 NCEP/GFS 或是 CWB/GFS，其與

Difference between Predicted and Observed Precipitation (5/10~6/30)

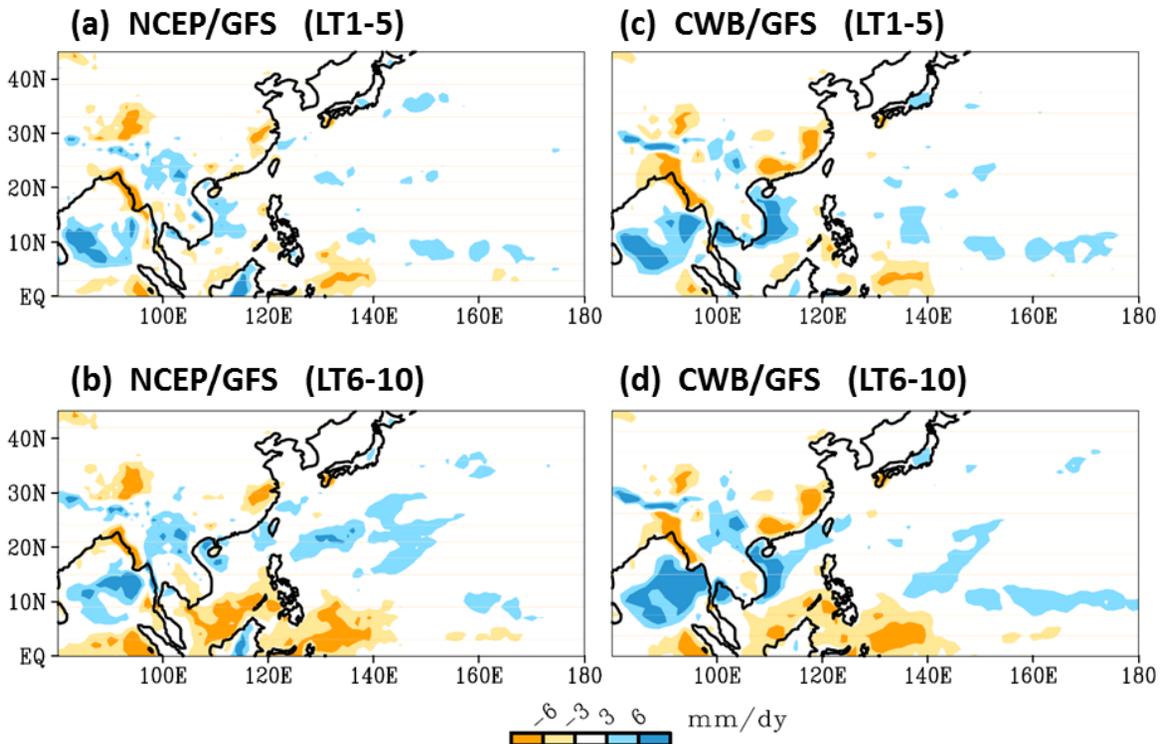


圖3 模式預報與觀測降雨量在5/10~6/30期間之平均差異值。(a)為圖2b減去圖2a，(b)為圖2c減去圖2a，(c)為圖2d減去圖2a，(d)為圖2e減去圖2a。色標在圖之下方，單位為mm/天。

觀測降雨的RMSE均隨著預報前置時間的增加而增加(圖4b)。值得注意的是，圖4a-b中顯現CWB/GFS所對應之Scorr、RMSE數值皆與NCEP/GFS相近似，此顯示CWB/GFS對東亞地區的梅雨季降雨預報之參考價值已上升到與NCEP/GFS之參考價值相近似。更甚者，對於擴展至全球範圍的計算也有類似的結果(圖4c、4d)。此結果與過去Liou et al. (1997)比對舊版CWB/GFS與NCEP/GFS的降雨預報能力，發現舊版CWB/GFS的整體表現較NCEP/GFS差，有很大的不同。過去許多研究指出，水平空間解析度的提高、物理參數化的改善，有助於降雨模擬結果的改進(Dirmeyer et al. 2011; Bacmeister et al.

2013; Yuan et al. 2013; Li et al. 2015)。由此推測，新版CWB/GFS較舊版CWB/GFS能力的提升，可能與新版CWB/GFS的水平空間解析度提升及物理參數化的改善有關。有關新、舊版CWB/GFS的模式設定，請參見表一。

(二) 五月和六月之預報差異

為了瞭解模式是否能有效預報影響臺灣地區的降雨天氣系統，我們將臺灣地區附近的觀測降雨隨緯度-時間(latitude-time)變化圖(圖5a)分別與NCEP/GFS及CWB/GFS之LT1的預報降雨結果(圖5b、5c)進行比對。從圖5a的觀測資料中可以發現，主要影響全臺地區的大尺度降雨系統

Comparison between Predicted and Observed Precipitation (5/10~6/30)

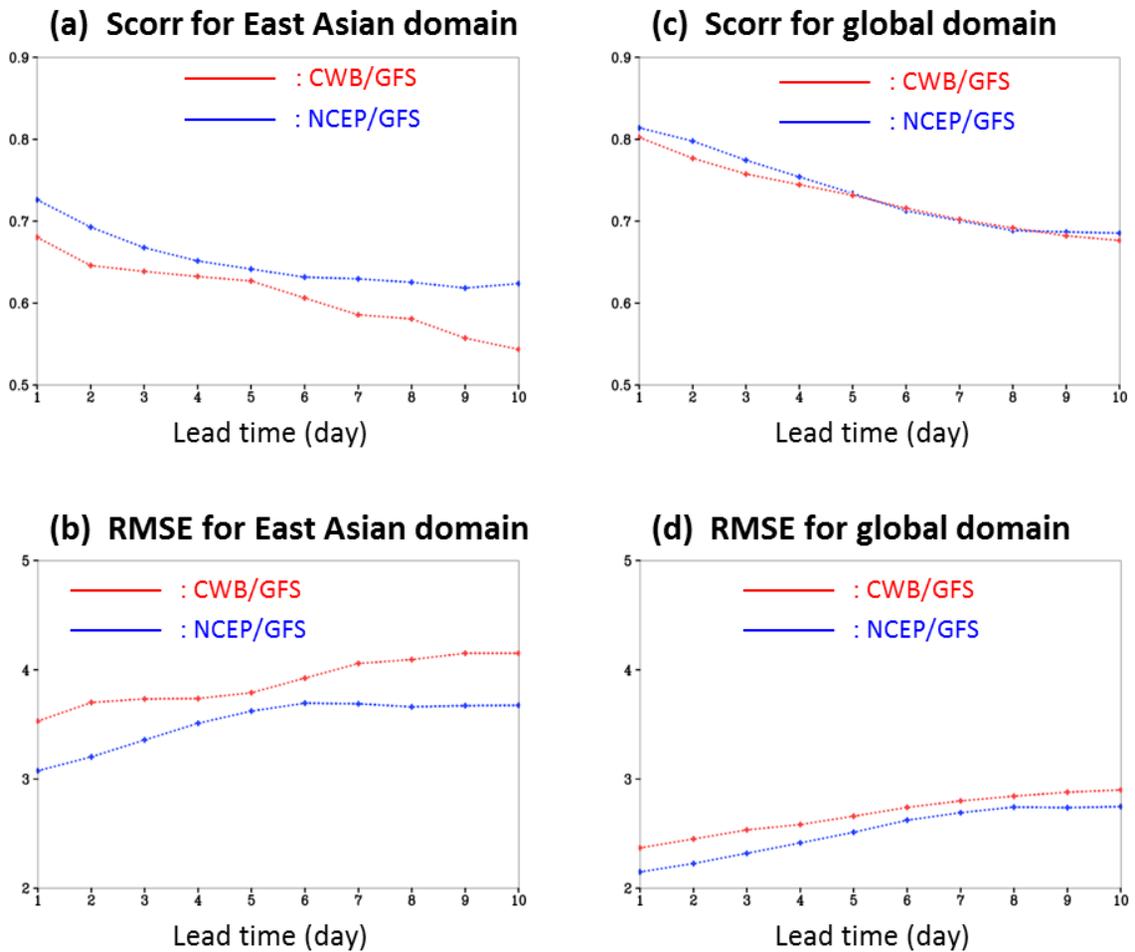


圖 4 (a)為針對 5/10~6/30 期間，東亞地區 (80°E~180°E, 0~45°N) 的降雨平均值 (如圖 2)，所作的模式預報資料 (如圖 2b) 與觀測資料 (如圖 2a) 之空間相關係數(Scorr)比對。此處紅色與藍色點線，分別為對應到 CWB/GFS 與 NCEP/GFS 之統計結果。(b)與(a)相似，但為模式針對不同前置時間所得之預報資料與觀測資料之均方根誤差(RMSE)比對。(c)、(d)分別與(a)、(b)相似，但為針對全球範圍 (0°~360°E, 90°S~90°N) 降雨，所作之預報資料與觀測資料比對。

有：(1) 5 月 20 日左右的鋒面系統以及(2) 6 月 9 ~14 日的西南氣流系統。比對圖 5a 與圖 5b，可以發現 NCEP/GFS 在 LT1 的預報結果中，能夠清楚呈現 6 月 9~14 日的降雨系統，但對於 5 月 20 日的鋒面系統則明顯低估其降雨量。而就圖 5c 與圖 5b 相比，同樣發現 CWB/GFS 較能掌握 6 月 9

~14 日的降雨系統，但對 5 月 20 日的系統其降雨量的預報能力較差。這些結果意味著不論是 NCEP/GFS 或是 CWB/GFS，其對 5 月降雨的整體預報能力可能較對 6 月降雨的預報能力差。為了佐證此猜測，我們進而於圖 6 中分別針對 5 月及 6 月預報降雨結果進行統計分析。

Comparison between Predicted and Observed Precipitation (5/10~6/30)

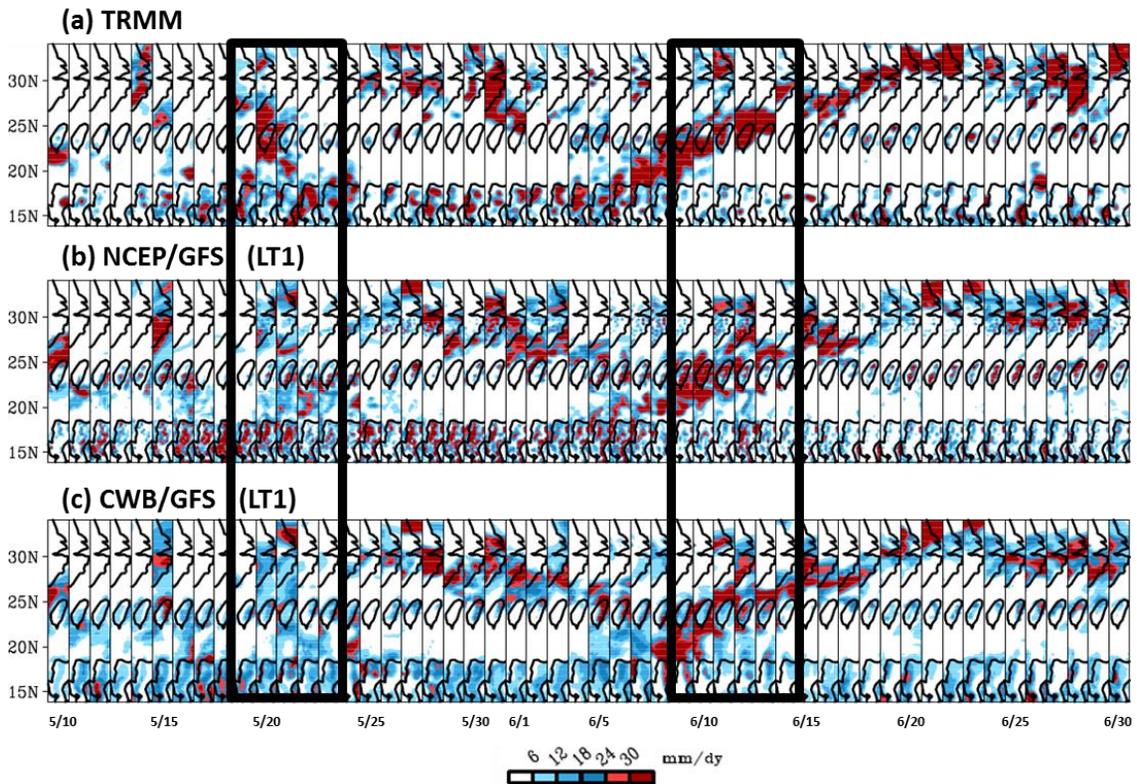


圖 5 2016 年 5/10~6/30 臺灣地區附近之日累積降雨隨緯度-時間分布圖。(a)為 TRMM 觀測結果，(b)為 NCEP/GFS 之 LT1 預報結果，(c)為 CWB/GFS 之 LT1 預報結果。黑色方框為文中所提之比對降雨系統。降雨色標在圖之下方，單位為 mm/天。

圖 6 為針對圖 5 中所示之觀測與模式的緯度-時間分布圖，所進行之 Scorr 以及 RMSE 比對。此處我們分別針對 5 月(圖 6a-b)和 6 月(圖 6c-d)，LT1-10 的預報校驗結果進行比對。首先，在 5 月的預報方面，兩模式所對應的 Scorr 隨著前置時間增加，其數值皆呈現下降的結果(圖 6a)，顯示隨著前置時間愈久，兩模式預報降雨的能力愈差。值得一提的是，圖 6a 中 CWB/GFS 所對應之 Scorr 除了在 LT2~LT4 與 NCEP/GFS 相比明顯較低之外(相差大於 0.1)，其他前置時間的 Scorr 則差異不大，甚至在 LT7~LT10 的結果略優於 NCEP/GFS。而兩模式在 5 月降雨預報所對應的

RMSE(圖 6b)，其數值均隨著預報前置時間增加而增加，其中 CWB/GFS 的 RMSE 在各個前置時間都比 NCEP/GFS 的 RMSE 略低。

若就兩模式在 6 月降雨預報所對應的 Scorr(圖 6c)結果分析，則可發現兩個模式在 LT1~LT5 的 Scorr 具有明顯下降的情形，但到了 LT6 之後，兩模式的 Scorr 已無明顯下降，甚至在 LT6~LT10 其 Scorr 數值都還可以維持在 0.4 左右。而在 6 月降雨預報所對應的 RMSE 方面(圖 6d)，雖然兩模式的 RMSE 皆隨著前置時間增加，但在 LT6~LT10 的增加幅度顯然較 LT1~LT5 的小。

Comparison between Predicted and Observed Precip. at Different Month

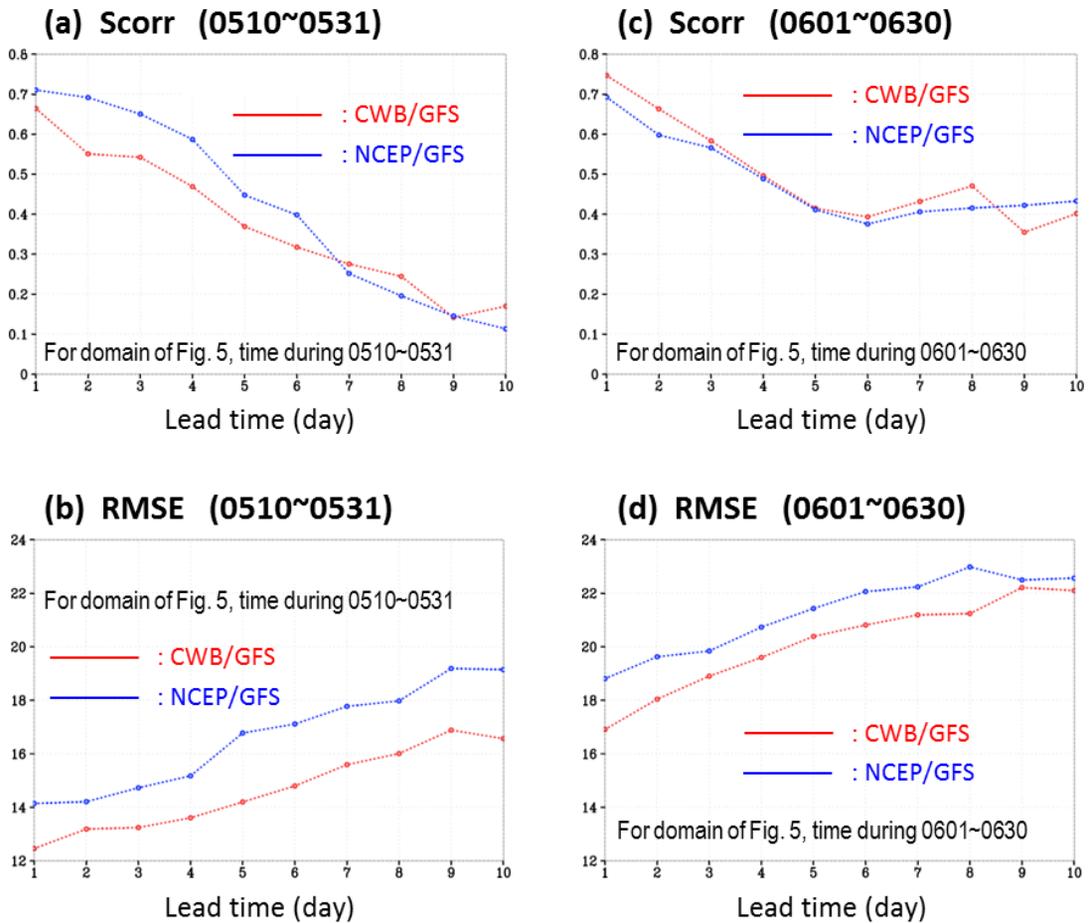


圖 6 利用圖 5 的緯度-時間分布圖，計算觀測與 CWB/GFS（紅色點線）、NCEP/GFS（藍色點線）對 5 月(5/10 ~5/31)降雨之(a)空間相關係數(Scorr)，(b)均方根誤差(RMSE)。 (c)、(d)分別同(a)、(b)，但為 6 月(6/1~6/30)的結果。

圖 6 中所呈現的結果，意味著 CWB/GFS 和 NCEP/GFS 在 LT6~LT10 的預報中，其對 2016 年 6 月份降雨的預報能力較對 2016 年 5 月份降雨的預報能力佳。為了確認此發現，我們將臺灣地區附近的觀測降雨隨緯度-時間變化圖（圖 7a）與 NCEP/GFS 及 CWB/GFS 在 LT10 所呈現的降雨預報（圖 7b-c）進行比對。其中以 2016 年 6 月 9~14 日的西南氣流為例，CWB/GFS 和 NCEP/GFS 的預報結果到了 LT10 都還可以約略掌握到

該降雨系統的分布位置。此結果顯示，不論是 NCEP/GFS 或是新版 CWB/GFS 對某些東亞地區大尺度降雨系統之發生，具有提前 10 天預報的能力。

(三) 豪大雨個案預報能力：2016 年 6 月 9~14 日西南氣流帶來降雨為例

以下我們就 6 月 9~14 日之個案進行相關環流系統分析，以期能初步了解大氣的動力機制如

Predicted Precipitation (5/10~6/30) at LT10

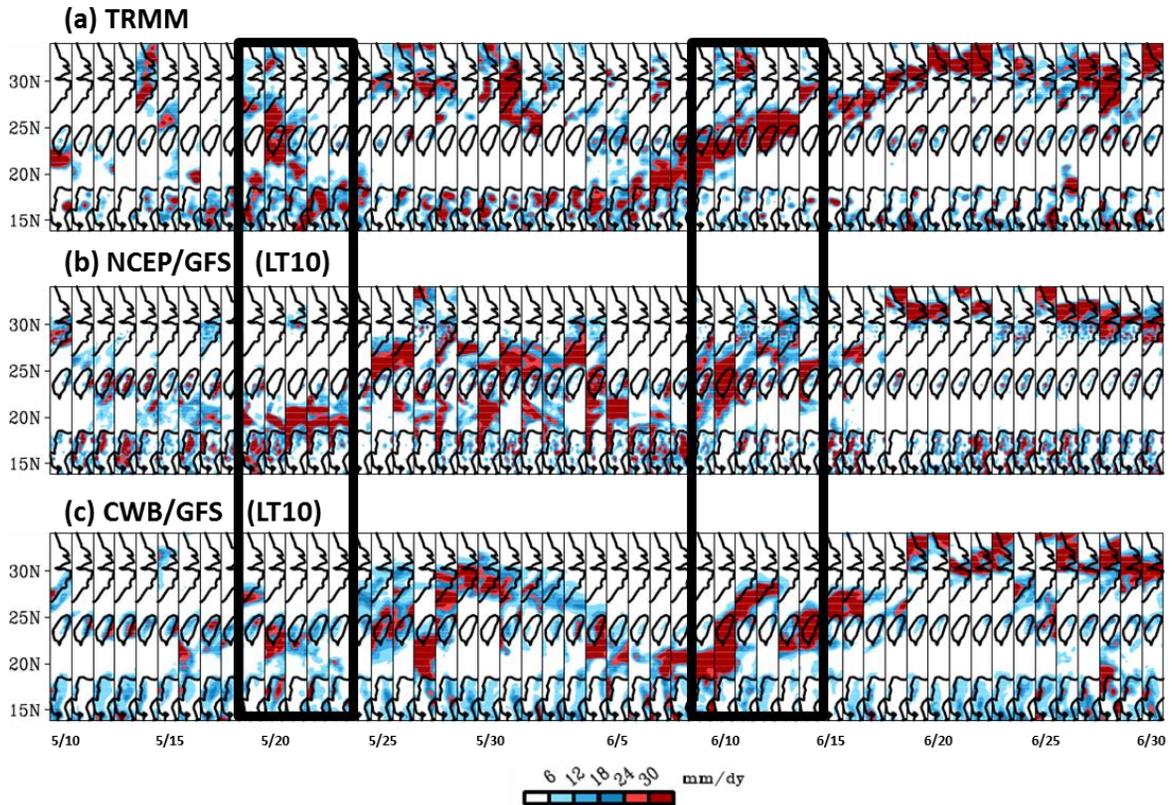


圖 7 類似圖 5，但為觀測資料與模式預報 LT10 的結果比對。(a)為 TRMM 觀測結果，(b)為 NCEP/GFS 之 LT10 的預報，(c)為 CWB/GFS 之 LT10 的預報。降雨色標在圖之下方，單位為 mm/天。

何影響降雨的分布，進而了解預報降雨差異的可能原因。從觀測降雨（圖 8a 中的著色區）及 850 hPa 流函數場（圖 8a 中的等值線區）的空間分布，可發現 2016 年 6 月 9~14 日影響臺灣地區的降雨，主要來自於西南氣流加上鋒面系統，其中較大降雨（孟加拉灣東部海域、華南地區）主要集中在季風槽前的位置，且影響臺灣的鋒面降雨系統具有沿著太平洋副高邊緣往東北延伸的特性。而比對 CWB/GFS 所預報的降雨變化與相對應的 850hPa 流函數場變化（圖 8b-k），同樣可發現模式預報鋒面系統的位置明顯受到其所預報之太平洋高壓的影響。整體而言，CWB/GFS 在 LT1~10

的預報中皆有掌握到孟加拉灣東部海域的較大降雨區和鋒面降雨帶的分布位置，但對華南地區的降雨則有明顯低估的情形。比較 CWB/GFS（圖 8b-k）與 NCEP/GFS（圖 9）的降雨預報結果，發現 NCEP/GFS 在 LT1-10 的預報中，對於華南地區的降雨量預報明顯較 CWB/GFS 佳，但對位於臺灣東方的鋒面帶，CWB/GFS 整體的降雨預報似乎較 NCEP/GFS 的結果更接近觀測值。

過去文獻指出東亞地區的降雨分布主要受到水氣輻合、輻散場的影響(Chen 2005；Huang et al. 2010；Huang et al. 2013)。對此，我們進一步分析

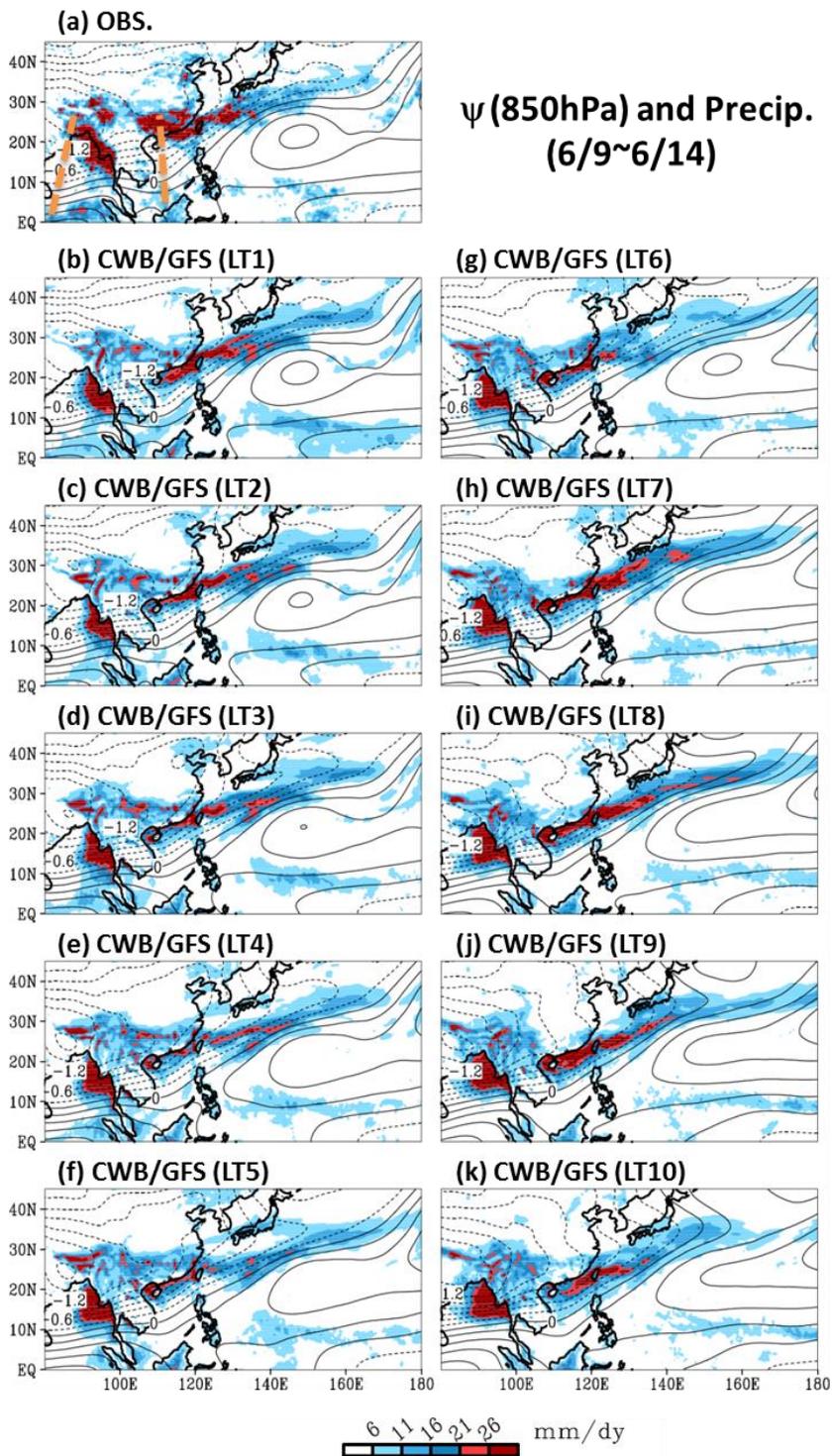


圖 8 降雨 (著色區) 與 850hPa 流函數場 (ψ ; 等值線) 在 6/9~6/14 期間的平均。(a)為觀測結果, 橘色虛線為文中所提季風槽位置, (b)~(k)分別為 CWB/GFS 之 LT1~10 預報結果。降雨色標在圖之下方, 單位為 mm/天, 等值線單位為 $1 \times 10^7 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ 。

ψ (850hPa) and Precip. (6/9~6/14)

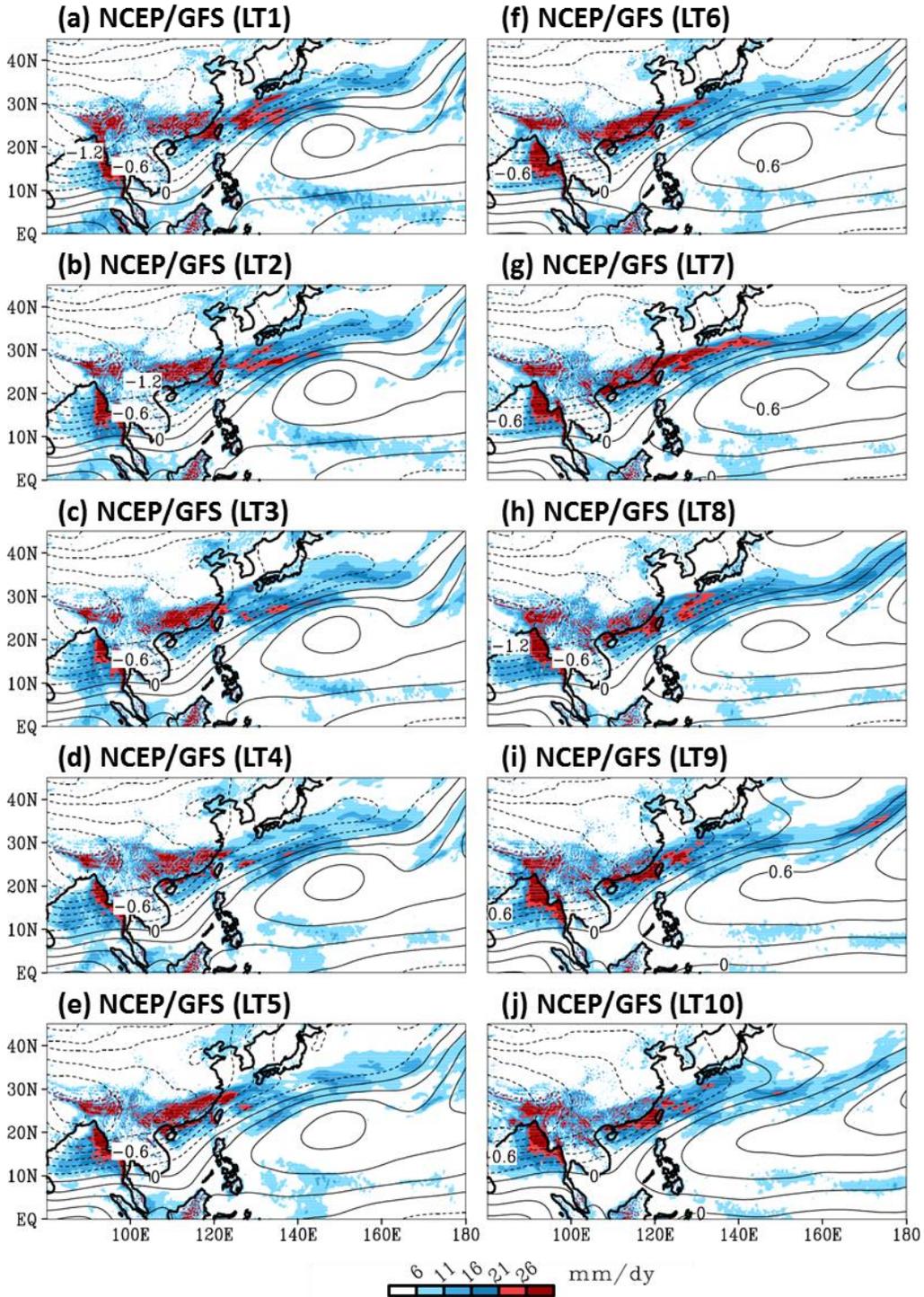


圖9 類似圖 8b~k，但為 NCEP/GFS 的結果。降雨色標在圖之下方，單位為 mm/天，等值線單位為 $1 \times 10^7 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ 。

6月9~14日期間之水氣輻合、輻散場的變化(圖10),在此同圖2,我們將預報分為LT1-5和LT6-10兩部份作探討。分析觀測場的結果發現(圖10a),主要降雨的區域明顯分布在強烈水氣輻合的位置上。就NCEP/GFS在LT1-5的平均預報結果顯示(圖10b),強烈水氣輻合的位置大致與觀

測結果相近,使得預報孟加拉灣東部的降雨極值,以及鋒面降雨帶的位置亦大致可以掌握。到了LT6-10(圖10c),整體的強烈水氣輻合處與LT1-5相似,但對於預報華南地區的水氣輻合程度有稍微減弱的現象,此結果與圖9中顯示NCEP/GFS在華南地區的降雨預報,LT7~LT10有較LT1~

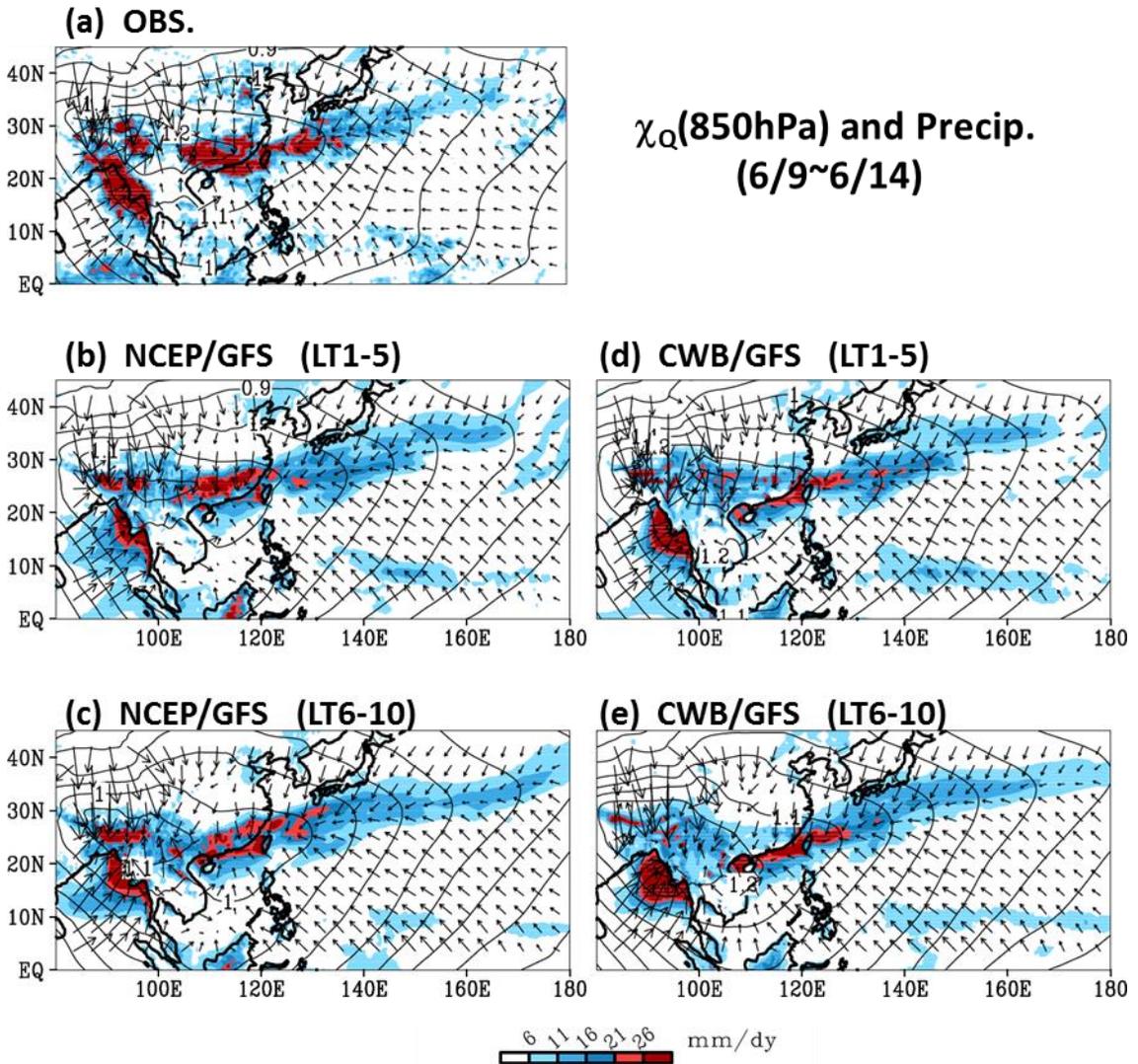


圖 10 降雨(著色區)與850hPa水氣輻合、輻散場(χ_Q ;等值線)在6/9~6/14期間的平均。(a)為觀測結果,(b)為NCEP/GFS在LT1-5所作的預報平均結果,(c)為NCEP/GFS在LT6-10所作的預報平均結果。(d)、(e)分別同(b)、(c),但為CWB/GFS之結果。圖中箭頭部分為水氣通量的向量,降雨色標在圖之下方,單位為mm/天,等值線單位為 10^7 kg s^{-1} 。

LT6 降雨預報不足的情況相呼應。

若就 CWB/GFS 的預報結果與觀測相比，不論在 LT1-5 (圖 10d) 還是 LT6-10 (圖 10e)，強烈水氣輻合的位置大致可以呈現，但在華南地區的輻合場則都有預報較弱的情況，使得該地區的降雨預報結果明顯低估。進一步將模式的結果減去觀測可以發現(圖 11)，兩模式無論在 LT1-5 還是 LT6-10，對於 850hPa 水氣輻合的高估(低估)區域與對於降雨的高估(低估)區域，大致符合。舉例來說，CWB/GFS 在 LT1-5 的時候(圖 11c)，

對華南地區(海南島周圍海域)有低估(高估)水氣輻合的情形，此造成 CWB/GFS 低估(高估)華南地區(海南島周圍海域)的降雨。而從圖 8~11 的討論可發現，不論是 NCEP/GFS 或是 CWB/GFS，其水氣輻合、輻散場預報能力的好壞，影響著其對東亞地區降雨預報能力的好壞。

最後，針對此降個案對臺灣地區所造成的降雨，我們就兩模式在 LT1-5 和 LT6-10 所得到的 TS (圖 12a)、BS (圖 12b) 兩種預報技術得分進行比對。在 TS 得分方面，圖 12a 顯示兩模式之

Difference between Predicted and Observed [$\chi_Q(850\text{hPa}), \text{Precip.}$] (6/9~6/14)

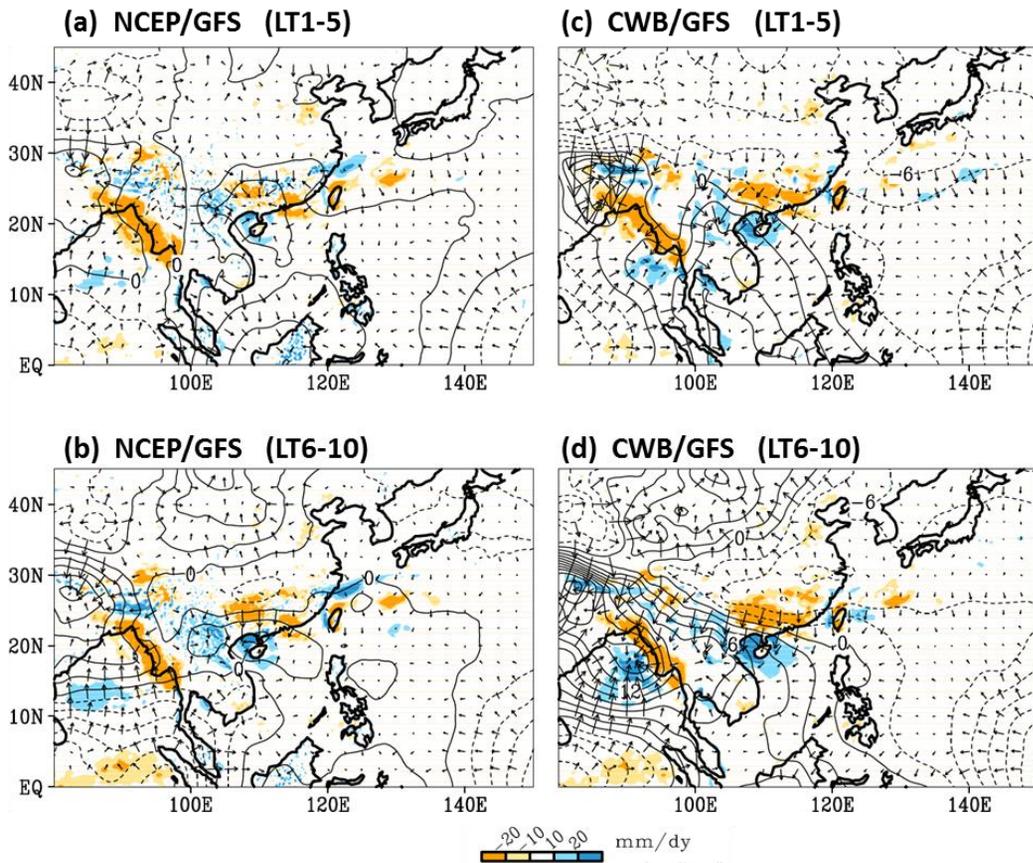
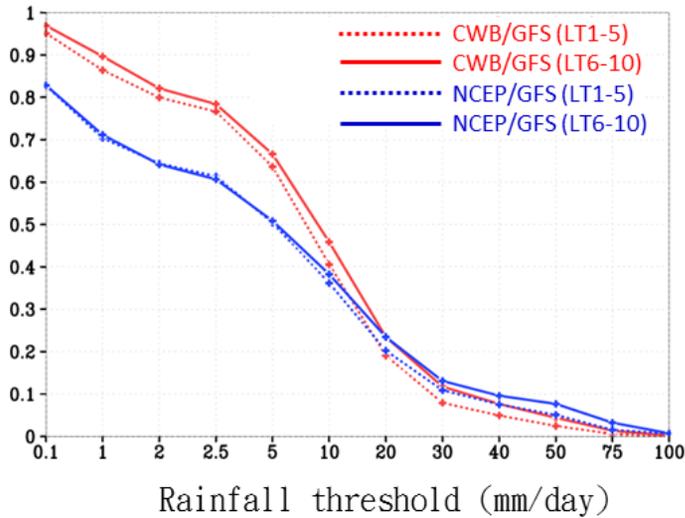


圖 11 模式預報與觀測在 6/9~6/14 期間之平均差異值。(a)為圖 10b 減去圖 10a，(b)為圖 10c 減去圖 10a，(c)為圖 10d 減去圖 10a，(d)為圖 10e 減去圖 10a。圖中箭頭部分為水氣通量的向量，色標在圖之下方，單位為 mm/天，等值線單位為 10^7 kg s^{-1} 。

Skill score for model precipitation forecast verification in Taiwan area (6/9~6/14)

(a) Threat score (TS)



(b) Bias score (BS)

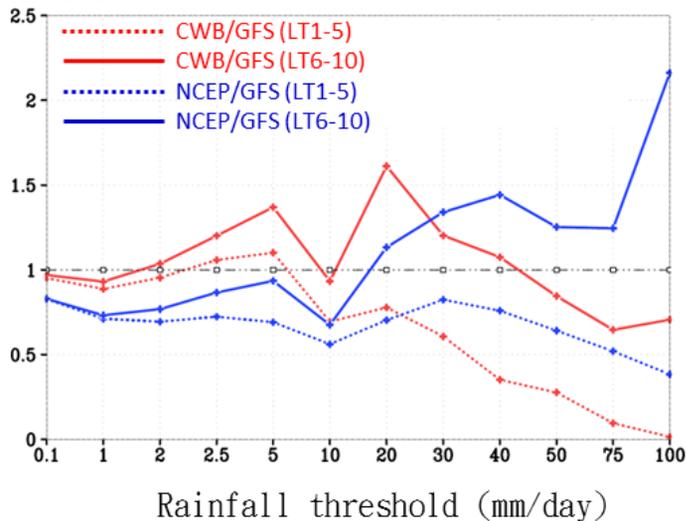


圖 12 CWB/GFS (紅線) 與 NCEP/GFS (藍線) 針對臺灣地區在 6 月 9~14 日的 LT1-5 預報得分平均值 (點線) 與 LT6-10 預報得分平均值 (實線)。(a)為 TS 得分，(b)為 BS 得分。

特性差異不大，不論是 LT1-5 或是 LT6-10 的預報結果，NCEP/GFS 及 CWB/GFS 均呈現 TS 得分隨著降雨門檻值的增加而遞減的趨勢。此外，在門檻值 $\geq 0.1\text{mm}/\text{天}$ 的 TS 得分，兩個模式的得分都大於 0.8，但對於較強降雨的預報表現，兩個模式的得分值都有偏低的情況。平均而言，在門檻值 $\leq 10\text{mm}/\text{天}$ ($\geq 20\text{mm}/\text{天}$) 的 TS 得分，CWB/GFS 的預報表現較 NCEP/GFS 略好（差）。另外，在 BS 的得分方面（圖 12b），首先針對 LT1-5 的結果，NCEP/GFS 在各門檻值的降雨都有不足預報的現象，隨著門檻值越高，不足預報越明顯。與 NCEP/GFS 相比，CWB/GFS 整體在 LT1-5 的降雨預報，其對於門檻值 $\leq 20\text{mm}/\text{天}$ ($\geq 30\text{mm}/\text{天}$) 的 BS 得分表現較 NCEP/GFS 好（差），此結果與 TS 的得分相呼應。到了 LT6-10，兩模式的 BS 得分同樣有隨著門檻值越高，預報的誤差愈大的現象（圖 12b）。綜合上述 TS、BS 得分的結果，發現兩模式對於較低門檻值的降雨預報皆比較高門檻值的降雨預報結果來得好，顯示兩模式在極端降雨的可預報度上仍有相當大的進步空間。

四、總結

從 2016 年 4 月開始，新一代的 CWB/GFS 開始正式上線作業。為了瞭解新版的 CWB/GFS 對於 2016 年東亞地區 5~6 月降雨的預報能力，本研究利用多種統計分析方法，將 CWB/GFS 與 NCEP/GFS 所提供之預報資料進行比對，研究著重在評估 CWB/GFS 與 NCEP/GFS 對東亞地區降雨的預報能力差異。本研究的主要發現歸納如下：(1)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。(2) CWB/GFS 與 NCEP/GFS 兩模式在 LT6~LT10 的預報中皆呈現 6 月的降雨預報能力較 5 月的降雨預報能力佳，特別是對 2016 年 6 月 9~14 日影響臺灣的大尺度降雨系統，兩模式在 LT10 的預報結果中已能清楚呈現。(3)針對 2016 年 6 月 9~14 日期間影響臺灣降雨的系統，CWB/GFS 與 NCEP/GFS 的預報降雨能力差異，主要與兩模式對環流場、水氣傳輸場的預報差異有關。而從兩模式之 TS、BS 預報降雨技術得分比對，發現兩模式對於較高門檻值的降雨預報得分值都偏低，顯示兩模式在預報較強降雨的能力都不好。這些研究結果將有助於 CWB/GFS 的未來改善參考。

過去 Liou et al. (1997) 比對舊版的 CWB/GFS 與 NCEP/GFS 的降雨預報能力，發現舊版的 CWB/GFS 其整體表現較 NCEP/GFS 差。而本研究顯示，透過水平空間解析度的提高、物理參數化的改善，新版的 CWB/GFS 其預報 2016 年 5~6 月東亞地區降雨的能力，已不亞於 NCEP/GFS。由於國外的預報資料（如 NCEP/GFS），其獲取需耗時、耗力，當沒有國外資料可供參考時，本研究的結果顯示新版的 CWB/GFS 亦有相當的參考價值。然而值得注意的是梅雨季的降雨特性具有明顯的年際變化（陳與周 1989），因此本研究的結果（如：模式對梅雨系統與西南氣流系統的預報能力不同；見圖 5 及圖 7），或許不適用在所有年份，未來若有更多年的資料可供使用，我們將針對此議題做深入分析。另外，對於更長前置時間（如 L12-24）之模式預報能力評析，我們亦規劃於後續工作進行探討。

致謝

感謝兩位匿名審查者的建言，讓本研究的論

述得以更加完整。同時感謝中央氣象局協助提供 CWB/GFS 資料，讓本論文得以順利完成。本研究在氣象局計畫(MOTC CWB-105-M-09)及科技部計畫(MOST 105-2625-M-003-002; MOST 105-2119-M-003-002)的資助下完成，特此致謝。

參考文獻

- 江宙君、陳熾竹、吳德榮，2012：定量降雨系集預報加值分析—以2012年6月梅雨鋒面為例。天氣分析與預報研討會論文彙編。171-175。
- 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，臺北，A3-19。
- 陳泰然與周仲島，1989：大尺度環流剖面結構之年際變化與台灣梅雨之活躍度。大氣科學，17，223-236。
- 黃椿喜、葉世瑄、呂國臣、洪景山，2015：氣象局官方與主要數值天氣預報指引之定量降水預報校驗與綜合比較。天氣分析與預報研討會，臺北，A7-11。
- 聯合新聞網(2016)：最黑暗的一天…桃機大淹水 37年來最慘。2016年6月3日，取自 <http://udn.com/news/story/9885/1737896>。
- Alpert, J.C., M. Kanamitsu, P.M. Caplan, J.G. Sela, G.H. White, and E. Kalnay, 1988: Mountain induced gravity wave drag parameterization in the NMC medium-range model. Preprints of the Eighth Conference on Numerical Weather Prediction, Baltimore, MD, American Meteorological Society, 726-733.
- Bacmeister, J. T., M. Wehner, R. B. Neale, A. Gettelman, C. Hannay, P. Lauritzen, and J. Caron, 2013: Exploratory high-resolution climate simulations using the Community Atmosphere Model (CAM). *J. Clim.*, 27:3073-3099.
- Chen, T. C., 2005: Variation of the Asian monsoon water vapor budget: interaction with the global-scale modes. In: Wang B (ed) *The Asian monsoon*. Springer, Berlin, pp 417-458.
- Clough, S.A., M.W. Shephard, E.J. Mlawer, J.S. Delamere, M.J. Iacono, K.Cady-Pereira, S. Boukabara, and P.D. Brown, 2005: Atmospheric radiative transfer modeling: A summary of the AER codes. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 91, 233-244. doi:10.1016/j.jqsrt.2004.05.058.
- Dirmeyer, P. A. and Coauthors, 2011: Simulating the diurnal cycle of rainfall in global climate models: resolution versus parameterization. *Clim. Dyn.*, 39:399-418.
- Ebert, E. E., U. Damrath, W. Wergen, and M. E. Baldwin, 2003: The WGNE assessment of short-term quantitative precipitation forecasts (QPFs) from operational numerical weather prediction models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 84, 481-492.
- Fu, Q., 1996: An accurate parameterization of the solar radiative properties of cirrus clouds for climate models. *J. Climate*, 9, 2058-2082.
- _____, and K. N. Liou, 1992: On the correlated k-distribution method for radiative transfer in

- nonhomogeneous atmospheres. *J. Atmos. Sci.*, 49, 2139-2156.
- _____, and K. N. Liou, 1993: Parameterization of the radiative properties of cirrus clouds. *J. Atmos. Sci.*, 50, 2008-2025.
- _____, K. N. Liou, M. C. Cribb, T. P. Charlock, and A. Grossman, 1997: Multiple scattering parameterization in thermal infrared radiative transfer. *J. Atmos. Sci.*, 54, 2799-2812.
- Han, J., and H.-L. Pan, 2011: Revision of Convection and Vertical Diffusion Schemes in the NCEP Global Forecast System. *Weather and Forecasting*, 26, 520-533.
- Hirons, L.C., Inness, P., Vitart, F., Bechtold, P., 2013: Understanding advances in the simulation of intraseasonal variability in the ECMWF model. Part I: the representation of the MJO. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 139, 1417-1426.
- 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.
- Hu, Y.X., and K. Stamnes, 1993: An accurate parameterization of the radiative properties of water clouds suitable for use in climate models. *J. Climate*, 6, 728-742.
- Huang, W.-R., and J. C.-L. Chan, 2012: Seasonal variation of diurnal and semidiurnal rainfall over southeast China. *Climate Dyn.*, 39, 1913-1927, doi:10.1007/s00382-011-1236-5.
- _____, J. C.-L. Chan, and A. Y. M. Au-Yeung, 2013: Regional Climate Simulations of Summer Diurnal Rainfall Variations over East Asia and Southeast China. *Clim. Dyn.*, 40: 1625-1642.
- _____, J. C.-L. Chan, and S. Y. Wang, 2010: A planetary-scale land-sea breeze circulation in East Asia and the western North Pacific. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 136:1543-1553. doi:10.1002/qj.663.
- _____, and S.-Y. Wang, 2014: Impact of Land-Sea Breezes at Different Scales on the Diurnal Rainfall in Taiwan. *Climate Dyn.*, 43, 1951-1963.
- Huffman, George J., and Coauthors, 2007: The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *J. Hydrometeorol*, 8, 38-55.
- Iacono, M. J., E. J. Mlawer, S. A. Clough, and J.-J. Morcrette, 2000: Impact of an improved longwave radiation model, RRTM, on the energy budget and thermodynamic properties of the NCAR community climate model, CCM3. *J. Geophys. Res.*, 105, 14873-14890.
- Kim, Y-J and A. Arakawa, 1995: Improvement of orographic gravity wave parameterization using a mesoscale gravity wave model. *J. Atmos. Sci.*, 52, 1875-1902.
- Kumar, A., M. Chen, and W. Wang, 2011: An analysis of prediction skill of monthly mean climate variability. *Climate Dyn.*, 37, 1119-1131.

- Li, J.-L., 1994: On shallow cumulus parameterization scheme for large-scale planetary boundary layers. Ph.D. thesis, University of Wisconsin-Madison, pp203.
- Li, J., R. Yu, W. Yuan, H. Chen, W. Sun, and Y. Zhang, 2015: Precipitation over East Asia simulated by NCAR CAM5 at different horizontal resolutions. *J. Adv. Model Earth Syst.*, 7:774-790.
- Li, S., and Andrew W. Robertson, 2015: Evaluation of Submonthly Precipitation Forecast Skill from Global Ensemble Prediction Systems. *Mon. Wea. Rev.*, 143, 2871–2889. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/MWR-D-14-00277.1>.
- _____, L. Goddard, and D. G. DeWitt, 2008: Predictive skill of AGCM seasonal climate forecasts subject to different SST prediction methodologies. *J. Climate*, 21, 2169-2186, doi: 10.1175/2007JCLI1660.1.
- Liu, Z., Ostrenga, D., Teng, W., and Kempler, S., 2012: Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) precipitation data and services for research and applications. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 1317-1325.
- Liou, C-S., and Coauthors, 1997: The second-generation Global Forecast System at the Central Weather Bureau in Taiwan. *Wea. Forecasting*, 12, 653-663.
- Mahrt, L., and H. -L. Pan, 1984: A two-layer model of soil hydrology. *Boundary Layer Meteorol.*, 29, 1-20.
- Mlawer, E.J., S.J. Taubman, P.D. Brown, M.J. Iacono, and S.A. Clough, 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, 102, 16663-16682.
- Palmer, T. N., G. Shutts, and R. Swinbank, 1986: Alleviation of a systematic westerly bias in general circulation and numerical weather prediction models through an orographic gravity wave drag parameterization. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 1001-1039.
- Robertson, A. W., A. Kumar, M. Peña, and F. Vitart, 2015: Improving and promoting subseasonal to seasonal prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, ES49-ES53, doi:10.1175/BAMS-D-14-00139.1.
- Schaefer, J. T., 1990: The critical success index as an indicator of warning skill. *Wea. Forecasting*, 5, 570-575.
- Scinocca, J. F., 2003: An Accurate Spectral Non-Orographic Gravity Wave Parameterization for General Circulation Models, *J. Atmos. Sci.*, 60, 667-682.
- Storch, H. V. and F. W. Zwiers, 2002: *Statistical analysis in climate research*, Cambridge University Press.
- Swinbank, R., and Coauthors, 2015: The THORPEX Interactive Grand Global Ensemble (TIGGE) and its achievements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, doi:10.1175/BAMS-D-13-00191.1.

- Tippett, M. K., Mansour Almazroui, and In-Sik Kang, 2015: Extended-Range Forecasts of Areal-Averaged Rainfall over Saudi Arabia. *Wea. Forecasting*, 30, 1090–1105. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/WAF-D-15-0011.1>.
- Vitart, F., 2014: Evolution of ECMWF sub-seasonal forecast skill scores. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 140, 1889–1899. doi:10.1002/qj.2256.
- Wang, C.-C., 2014: On the calculation and correction of equitable threat score for model quantitative precipitation forecasts for small verification areas: The example of Taiwan. *Wea. Forecasting*, 29, 788–798, doi:10.1175/WAF-D-13-00087.1.
- Wang, W., M.P. Hung, S. J. Weaver, A. Kumar, and X. Fu, 2014: MJO prediction in the NCEP Climate Forecast System version 2. *Clim. Dyn.*, 42, 2509–2520.
- Wilks, D. S., 1995: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction*. Academic Press, 467 pp.
- Yuan, W., R. Yu, M. Zhang, W. Lin, J. Li, and Y. Fu, 2013: Diurnal cycle of summer precipitation over subtropical East Asia in CAM5. *J. Clim.*, 26:3159–3172.
- 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 Global Forecast System in Forecasting the Precipitation over East Asia during 2016 May and June

Kuan-Chieh Chen Wan-Ru Huang*

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

(manuscript received 30 September 2016 ; in final form 22 November 2016)

ABSTRACT

This study examines the capability of the newest generation of Central Weather Bureau Global Forecast System (i.e. CWB/GFS) in forecasting the precipitation over East Asia, during the 2016 May and June. Analyses focus on the performance of predictions at lead times from day-1 to day-10. By comparing the CWB/GFS precipitation forecasts with the NCEP/GFS (National Centers for Environmental Prediction Global Forecast System) precipitation forecasts, our results showed that CWB/GFS has the forecast skill similar with NCEP/GFS in predicting the precipitation over East Asia, during the 2016 May and June. Both CWB/GFS and NCEP/GFS show that (1) the forecast skill at lead times from day-1 to day-5 is better than the forecast skill at lead times from day-6 to day-10, and (2) the forecast skill for the precipitation revealed in June 2016 is better than the forecast skill for the precipitation revealed in May 2016. Analyses also indicate that the differences between the CWB/GFS's and NCEP/GFS's forecast skill are closely related to their differences in forecasting the variation of low-level atmospheric circulation and the moisture flux convergence.

Key Words: GFS, CWB, Meiyu season rainfall, doi: 10.3966/025400022016124404002

*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

