

NCDR 109-T01

# MPAS全球模式冬季月預報技術先期研究

A study of monthly prediction technique in winter with  
Model for Prediction Across Scales

---



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center  
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心

中華民國 110 年 01 月



NCDR 109-T01

# MPAS全球模式冬季月預報技術先期研究

A study of monthly prediction technique in winter  
with Model for Prediction Across Scales

---

徐理寰、朱容練、江宙君、黃麗蓉

陳淡容、吳佳純、于宜強



國家災害防救科技中心

中華民國 110 年 01 月



## 中文摘要

本研究利用 MPAS 全球模式建立月預報系統，進行 2011–2020 年冬季共 315 組歷史後報實驗，並利用時間延遲法組成月預報的系集。長期預報校驗的結果顯示，MPAS 能掌握東亞西風噴流及東亞主槽等冬季季風特徵，且地面溫度及降雨氣候值的相關係數可達到約 0.9 以上，平均偏差分別為  $-4.06\%$ 、 $8.96\%$ 。月平均距平預報校驗分數約與第二週的預報結果相當。利用氣候三分法分析，Gerrity Skill Score 技術得分顯示，模式的地面溫度在臺灣附近具有預報能力，而降雨在 12、1、2 月分別以臺灣西南部、全台、臺灣東南部區域較具有預報能力。Relative operating characteristic 曲線及 reliability diagram 分析系統機率預報的表現，則以溫度較具有預報技術，其中報氣候偏低及偏高的機率又較正常機率有鑑別度及可信度。

透過阻塞高壓指標及地面溫度經驗正交函數等氣候監測指標的建立來評估模式對低溫事件的預報表現，顯示 MPAS 能合理模擬出過去阻塞高壓發生位置及持續的時間。而在地面溫度前兩個特徵向量共可解釋 63.3% 的變異度，在顯著主成分事件的模擬相關係數可達到 0.8 以上。綜合上述評估結果，MPAS 月預報對於過去東亞冬季季風的氣候特徵及低溫事件模擬皆具有一定程度的準確度及可信度。

關鍵字：MPAS 全球模式、月預報、次季節時間尺度、低溫寒害。

## ABSTRACT

Model for Prediction Across Scales (MPAS) is used to conduct a time-lagged ensembles system of 45-days hindcasts for winter over 2011-2020. The MPAS simulated climatology shows the correlation coefficients can exceed 0.9 for monthly 2-m temperature and monthly rainfall over East Asian. The model has a cold bias of 4% and a positive rainfall bias of 9%. The 3-category evaluation results show that the Gerrity Skill Scores (GSS) are positive (skillful) for 2-m temperature in the vicinity of Taiwan. For rainfall forecast, the GSS are positive in south-western Taiwan, whole Taiwan area, and south-eastern Taiwan in Dec, Jan, and Feb respectively. The ROC and reliability diagram analysis also indicate that MPAS is more reliable for above normal and below normal terciles in DJF probability outlooks, especially in 2-m temperature.

The blocking index analysis also show that MPAS has ability to reproduce the occurrence of blocking-high in frequency, locations and duration time. The empirical orthogonal function analysis show that MPAS is capable to capture the two major modes of 2-m temperature, which explains 63.3% variabilities. The correlation coefficients of projected eigenvectors for 2-m temperature can exceed 0.8. In general, MPAS monthly simulations are capable to reproduce the climatically characteristics for East Asian winter monsoon and cold surge events over East Asian from 2011-2020.

**Keywords:** Model for Prediction Across Scales, monthly forecast, subseasonal to seasonal time scales, cold surge.

# 目錄

第一章 前言.....	1
第二章 模式設定與實驗設計 .....	4
2.1 模式介紹 .....	4
2.2 實驗架構流程 .....	4
2.3 模式下邊界更新方法測試 .....	5
第三章 長期預報校驗方法及結果 .....	9
3.1 資料說明 .....	9
3.2 氣候值與距平值校驗 .....	9
3.3 氣候三分法與機率預報校驗 .....	17
第四章 氣候監測指標分析及對比 .....	25
4.1 阻塞高壓指數分析 .....	25
4.2 經驗正交函數分析 .....	27
第五章 結論.....	33
參考文獻.....	35

## 圖目錄

圖 1 (a)從短期預報至長期季節預報的預報技術示意圖，並加註預報度可能來源。(b)不同時間尺度預報間關係的示意圖，並標註針對不同時間尺度預報資訊可採取之決策行動 (摘自 White et al., 2017)。.....	3
圖 2 MPAS 月預報系統實驗流程架構圖。.....	5
圖 3 隨預報時間增加，地球氣候系統可預報度來源示意圖(摘自 Mariotti et al., 2008)。.....	6
圖 4 以初始場 2019 年 12 月 29 日之 MPAS 實驗為例，(a)更新海溫法第 15 天預報海溫變化、(b)更新海溫法第 30 天預報海溫變化、(c)海洋混合層模組法第 15 天預報海溫變化，以及(d)海洋混合層模組法第 30 天預報海溫變化。.....	7
圖 5 2020 年 1 月之 MPAS 系集預報之(a)更新海溫法第 3 週預報平均日降雨、(b)更新海溫法第 4 週預報平均日降雨、(c)海洋混合層模組法第 3 週預報平均日降雨，以及(d)海洋混合層模組法第 4 週預報平均日降雨。(e)2019 年 12 月 31 日至 2020 年 2 月 8 日之觀測 MJO 指標 ( 摘 自 NOAA CPC 網 站 ， <a href="https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/mjo.shtml">https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/mjo.shtml</a> )。.....	8

圖 6 觀測(a、c、e)及 MPAS(b、d、f)模擬之 2011-2020 DJF 氣候值。 (a、b)200hPa 東西向風場、500hPa 高度場。(c、d)兩米溫度、海平面 氣壓、850hPa 風場。(e、f)平均日雨量。.....	13
圖 7 同圖 6，但為 MPAS 系集成員的年際變異度平均。.....	14
圖 8 MPAS 2011-2020 冬季系集平均的逐年平均月距平泰勒圖。(a) H500、(b) U200、(c) SLP、(d) T2M、(e) U850、(f) V850、(g) RAIN 及 (h) Tsk。.....	15
圖 9 MPAS 2011-2020 冬季系集平均之 9 年平均月、第一週、第二週、 第三週、第四週距平泰勒圖。(a) H500、(b) U200、(c) SLP、(d) T2M、 (e) U850、(f) V850、(g) RAIN 及(h) Tsk。.....	16
圖 10 2011-2020 預報之 GSS 技術得分。(a、c、e) 平均 2 米溫度 T2m 之 12、1、2 月之 GSS 得分空間分布，及(b、d、f)日降雨之 12、1、2 月之 GSS 得分空間分布。其中 $GSS > 0$ 表示具有預報技術。.....	19
圖 11 氣候三分法機率預報產品示意圖，以 2020 年 2 月東亞區域降 雨機率為例。圖中暖色系是降雨偏高的機率，冷色系是降雨偏低的機 率。.....	20
圖 12 2011-2020 預報之 ROC 曲線及 ROC 技術得分。(a、c、e)分別 為 12、1、2 月之溫度校驗結果，(b、d、f) 分別為 12、1、2 月之降 雨校驗結果。.....	23

圖 13 2011–2020 預報之 Reliability diagram。(a、c、e)分別為 12、1、2 月之溫度校驗結果，(b、d、f) 分別為 12、1、2 月之降雨校驗結果。 .....	24
圖 14 (a)觀測，及(b)MPAS 模擬之 2020 年 2 月阻塞高壓指標演變圖，橫軸為經度，縱軸為日期，圖中顏色為符合阻塞高壓條件時，各經度上 GHGS 的大小。.....	26
圖 15 (a) 2011–2020 年共 9 年冬季(12、1、2 月)的阻塞高壓指標發生頻率，紅色及藍色線分別代表 MPAS 及觀測中不同經度出現阻塞高壓的頻率，灰色陰影上下限分別為系集成員中最小及最大值。(b)太平洋區域阻塞高壓發生時，持續天數統計。.....	27
圖 16 (a、b) CFS 分析場之 EOF1 及 EOF2 投影地面溫度分布，前二組特徵向量共解釋 52.6%之變異度。(c、d) MPAS 系集平均之 EOF1 及 EOF2 投影地面溫度分布，前二組特徵向量共解釋 63.3%之變異度。 .....	29
圖 17 2011–2020 年 9 年冬季之 MPAS 系集平均(紅線)與 CFS 分析場(藍線)地面溫度主成分分析時間序列。(a)標準化後主成分 1，時序相關係數為 0.6。(b)標準化後主成分 2，時序相關係數為 0.35。.....	30
圖 18 12、1、2 月地面溫度標準化後主成分大於 1 之統計天數。(a、b) CFS 分析場主成分 1 及主成分 2、(c、d) MPAS 系集平均主成分 1 及主成分 2。.....	30

圖 19 觀測(上排)及 MPAS 系集平均(下排)之主成分 1 的顯著及不顯著事件差異合成圖。(a、d) 兩米溫度、海平面氣壓、850hPa 風場，(b、e) 200hPa 東西向風場、500hPa 高度場，及(c、f) 平均日雨量。同時也標示相關係數 R，以及標準化均方根誤差 NRMSE 校驗得分。.. 31

圖 20 同圖 19，但為主成分 2 之分析結果。..... 32



## 表目錄

表 1 利用 MPAS 模擬 2011-2020 年冬季氣候值校驗分數。H500、U200、SLP、T2M、U850、V850、RAIN、Tsk 分別代表 500hPa 高度場、200hPa 東西向風場、海平面氣壓場、地面 2 米溫度、850hPa 東西向風場、850hPa 南北向風場、平均日降雨及地表面溫度。.....	12
表 2 同表 1，但為 2011-2020 年冬季 MPAS 系集成員的年際變異度平均。.....	12
表 3 氣候三分法列聯表。.....	17



# 第一章 前言

寒害是臺灣冬季主要的災害之一，對於臺灣農漁業會造成重大經濟衝擊。過去研究指出，低溫造成的農漁業傷害，不只低溫的極值，低溫的持續時間及範圍，甚至濕冷、乾冷都會對農漁業造成不同規模的衝擊(王等，2016；陳等，2020)。交通部中央氣象局定義臺北測站當日最低溫達  $10^{\circ}\text{C}$  以下時即為寒流，臺灣寒流的發生深受東亞冬季季風的影響，東亞冬季季風主要是由冬季南北溫差，以及歐亞大陸海洋加熱的差異所造成，地面有發源於歐洲西伯利亞的冷高壓，伴隨著中高層東亞主槽及東亞西風噴流條，此斜壓波系統主要移動方向由歐亞大陸向東往太平洋移動，但當不穩定度發生時，大陸上冷高壓增強、東亞主槽加深，會強化北風帶著冷空氣南下至低緯度，此時東亞受冷平流影響而地面溫度下降(Joung & Hitchman, 1982；Ding, 1990；Chan & Li, 2004；Gong & Ho, 2004；Jhun & Lee, 2004；Takaya & Nakamura 2005a；Chang et al., 2006；Jeong et al., 2006；Wang et al., 2010；Gong et al., 2014；Song et al., 2016；Song & Wu, 2017；Wang & Lu, 2017)。

許多氣候條件會影響西伯利亞高壓強度及上述冷空氣南移的過程，過去研究發展出許多氣候指標來進行監測及分析，例如阻塞高壓(Blocking)指標(Takaya & Nakamura, 2005b, 2013；Wang et al., 2010；Liu et al., 2014)、北極振盪(Arctic oscillation, AO)指標(Wu & Wang, 2002；Jeong & Ho, 2005；Chen et al., 2005；Chen & Kang, 2006；Chen & Li, 2007；Song & Wu, 2017)、聖嬰-南方振盪(El Niño-southern Oscillation, ENSO)及季內振盪(Madden-Julian oscillation, MJO)指標(Wang et al., 2000；Wang & He, 2012；Lee et al., 2013；Jeong et al., 2005,

2008)。上述氣候系統中大氣環流的波動及振盪成為西伯利亞高壓移動過程中不同時間尺度的變異度來源，同時也伴隨著高影響天氣系統的發生，除了極短期劇烈天氣系統外，次季節-季節(Subseasonal to seasonal, S2S)時間尺度變異度的主要特徵及機制亦是目前氣候研究的重要課題，而且是東亞國家冬季災害天氣的重要成因之一。

近年來由於次季節-季節時間尺度(10 - 30 天)內高影響天氣事件對社會、經濟常造成衝擊，例如低溫及熱浪事件會對農作物及公共衛生造成嚴重經濟損失。因此 S2S 時間尺度的天氣預警資訊越來越被重視，成為防災決策的重要參考(White et al., 2017； Alvarez et al., 2020； Taguchi 2020； Xiang et al., 2020)。White et al. (2017)指出(圖 1)，天氣預報預報度來源為大氣初始條件、季節預報預報度來源來自海洋海溫變化，如 ENSO、而 S2S 時間尺度則介於天氣預報及季節預報之間，預報度同時受大氣初始條件、地面溫度、海洋海溫等影響，想要提供具有預報技術的預報產品目前科學欲克服的難題之一。近年來透過世界氣象組織(WMO)的世界氣象-氣候研究計畫(World Weather Research Programme (WWRP)-World Climate Research Programme (WCRP))推動 S2S 預報研究，集結各國作業化 S2S 預報產品，在改進 S2S 預報技術、使用 S2S 預報產品及了解 S2S 預報的預報度來源上有長足的進展(Vitart et al., 2017)。除了大氣初始條件、海溫變化外，氣候系統中大尺度環流場的波動、遙相關亦可能是增加 S2S 預報技術的來源，例如 MJO、印度洋偶極(Indian Ocean Dipole)、北大西洋震盪(North Atlantic Oscillation)等。增加對其伴隨之極端天氣事件過程之了解，可作為改善及應用 S2S 預報產品的重要方向。

本研究利用全球模式進行月預報系統建置及歷史個案模擬，針

對影響臺灣的東亞冬季季風進行分析，評估模式預報表現，並分析影響的氣候監測因子，希望未來能提供有效的月尺度氣象產品及有利於災害決策的資訊。第二章將說明模式設定與實驗架構；第三章為模式月預報的整體校驗結果；第四章為氣候監測指標的分析與對比；第五章為結論。

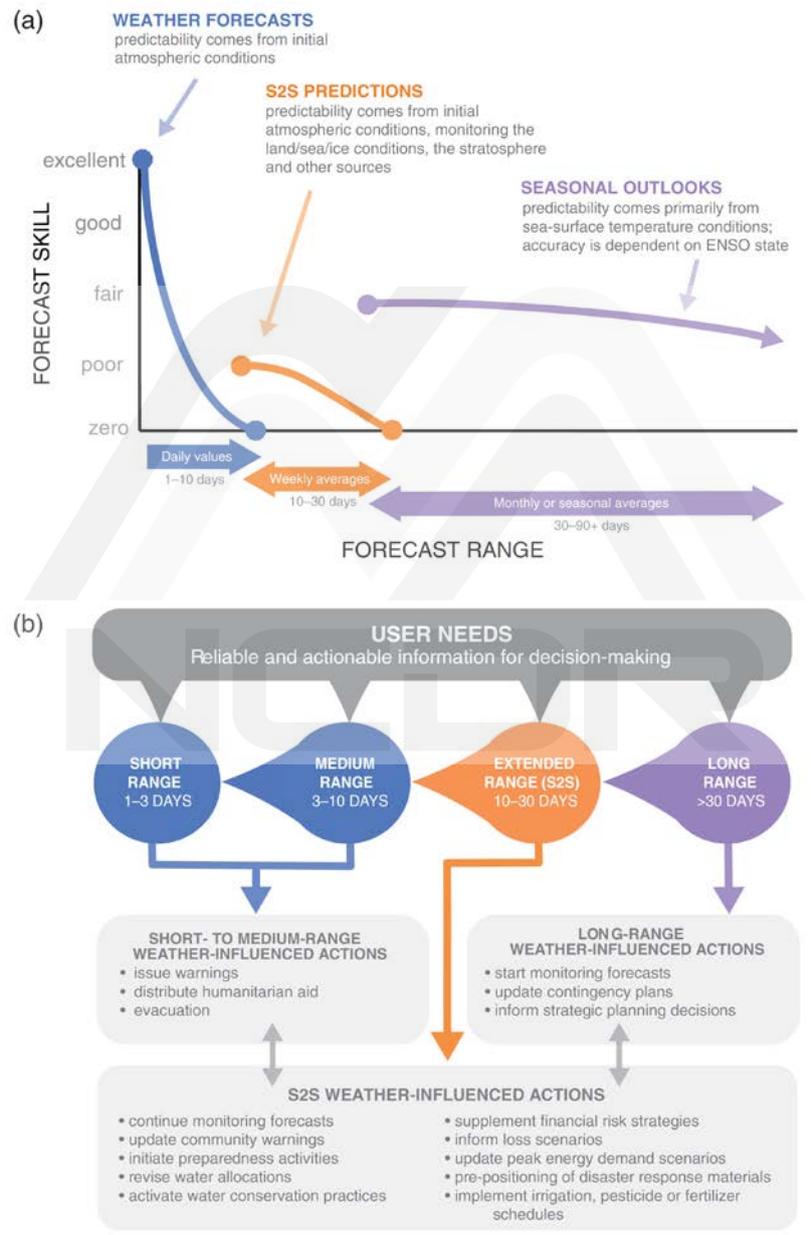


圖 1 (a)從短期預報至長期季節預報的預報技術示意圖，並加註預報度可能來源。(b)不同時間尺度預報間關係的示意圖，並標註針對不同時間尺度預報資訊可採取之決策行動 (摘自 White et al., 2017)。

## 第二章 模式設定與實驗設計

### 2.1 模式介紹

本研究使用第 7 版 MPAS 跨尺度全球模式(Model for Prediction Across Scales)，MPAS 模式是由美國大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research)發展之非靜力全球模式，以非結構性之 C 網格配置覆蓋全球範圍，C 網格將流體中速度場變數配置在網格邊緣、質量場變數位於網格質心，適合用於大氣海洋的高解析度模擬 (Skamarock et al., 2012)。本研究中模式網格水平解析度設為全球均勻 30 公里，垂直上為混合地形追隨之高度座標(Klemp, 2011)，共 55 層，大氣層頂高度設為 30 公里。使用之物理參數化模組包含 New Tiedtke 對流參數化法(Zhang et al., 2011)、WSM6 雲物理參數法(Hong & Lim, 2006)、RRTMG 長短波輻射參數法(Iacono et al., 2008)、NOAH 地表模式及 YSU 邊界層參數法(Hong et al. 2006)等。

MPAS 已被廣泛應用於不同尺度的大氣模擬研究，例如颱風 (Davis et al., 2016; Huang et al., 2017)、中緯度綜觀天氣系統(Schwartz, 2019; Judt, 2020)，以及熱帶波動(Pilon et al., 2016; Fowler et al., 2020; Hsu et al., 2020)等。本研究利用 MPAS 模式進行月預報技術的研究，完成在國家高速網路與計算中心之臺灣杉主機建構此系統，使用 600 顆計算核心可於 6.5 小時完成 45 天預報。初步研究目標選擇影響臺灣冬季天氣及氣候的東亞冬季季風系統進行模擬，並對月預報技術表現進行評估，下一節將介紹月預報實驗架構流程。

### 2.2 實驗架構流程

圖 2 為實驗架構流程圖，模式初始場使用 NCEP GFS 0.25 度之

分析場資料，且於預報時間每日 00UTC 利用 NCEP CFSv2 之預報海溫及地面溫度更新模式下邊界。實驗於 2011-2020 年每個月 20 至 30(31)日開始進行 45 天預報，利用時間延遲法(Time-lagged ensembles)可組成一包含 11(12)個不同初始時間實驗的系集系統，預報有效時間可達到一個月。時間延遲法過去已被廣泛應用在系集系統的組成上，從 1 - 3 小時極短期預報至 6 - 15 天的展期預報皆可提升系集系統的決定性預報技術，且同時也可提供機率性預報的產品(Hoffman and Kalnay, 1983; Buizza, 2008; Ushiyama et al., 2014; Jie et al., 2015; Xu et al., 2019; Khain et al., 2020; Porson et al., 2020)，其中系集平均還可以透過調整不同權重來符合不同需求(Van Den Dool & Rukhovets, 1994; Lu et al., 2007)。本研究中初步以等權重方式來產製系集平均，並分析 2011-2020 年 12、1、2 月冬季 3 個月的預報表現，共包含 315 組 45 天之後報(Hindcast)實驗。

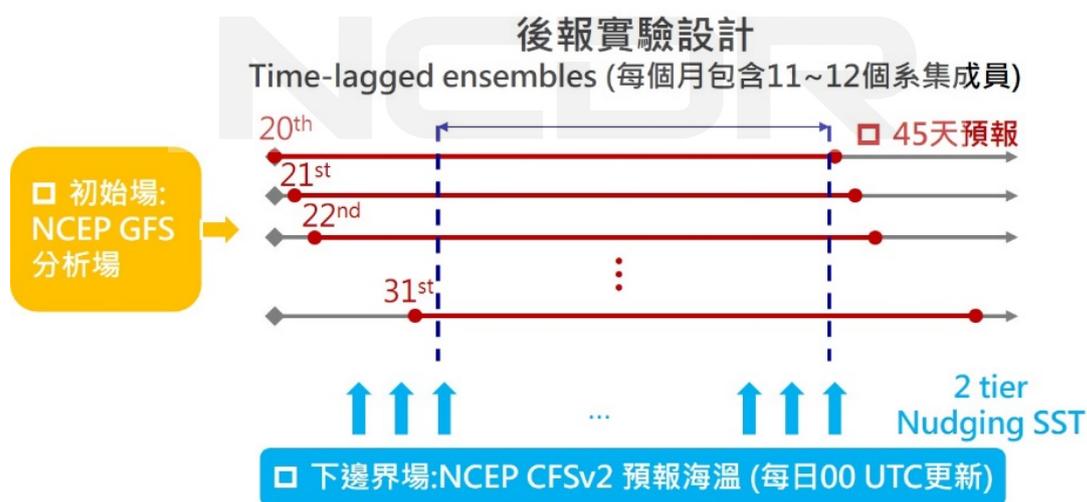


圖 2 MPAS 月預報系統實驗流程架構圖。

### 2.3 模式下邊界更新方法測試

大氣模式在長期預報中，下邊界的海溫為大氣環流之重要驅動力

的來源，Mariotti et al. (2008)指出，地球氣候系統的可預報度會隨預報時間增加而遞減(圖 3)。其中 7 天內的預報度主要來源為大氣的初始條件，7 至 30 天內的預報中，地表及海洋的變動逐漸增加其重要性，至 30 天後預報則是以海洋溫度變化為最主要來源。MPAS 中除了可透過更新海溫及地面溫度場取得更合理的下邊界驅動力變化外，也可以透過開啟模式中一維海洋混合層模組來取得下邊界海溫的變化，本節進行此兩種方法的敏感度測試。圖 4 以 2019 年 12 月 29 日初始場實驗為例，檢視兩種方法的海溫變化差異。圖 4a、b 分別為更新海溫法的預報第 15 天及第 30 天海溫與初始海溫的差異。圖 4c、d 則為利用海洋混合層法預報第 15、30 天海溫變化差異。結果顯示，海洋混合層法預測海溫變化只發生在大陸邊緣，無法顯著反映季節變化。對比更新海溫法可更合理取得高緯度海洋上的海溫變化，在北半球冬天高緯度海溫明顯降低、南半球夏天洋面海溫明顯增加。

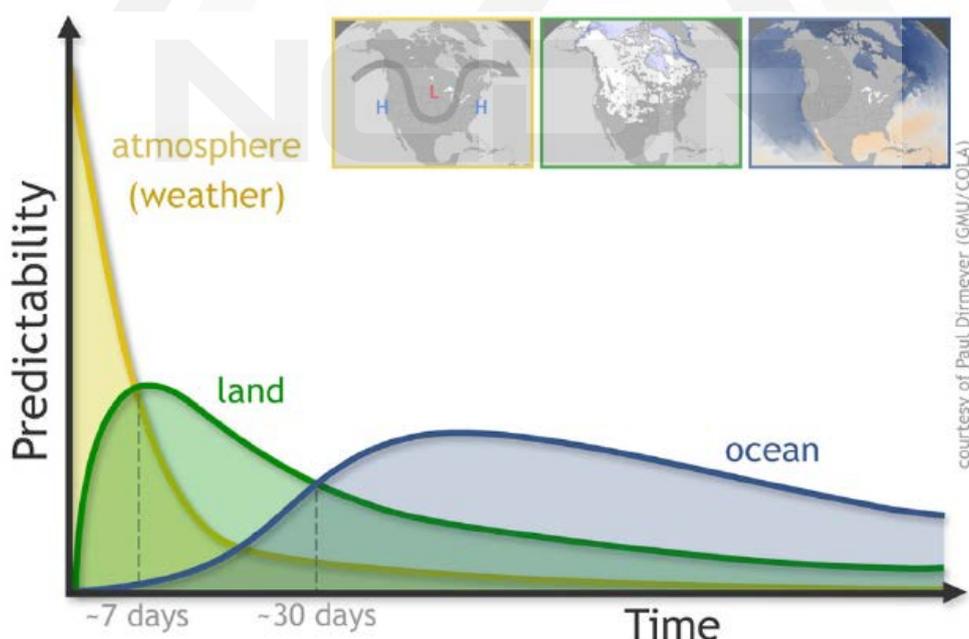


圖 3 隨預報時間增加，地球氣候系統可預報度來源示意圖(摘自 Mariotti et al., 2008)。

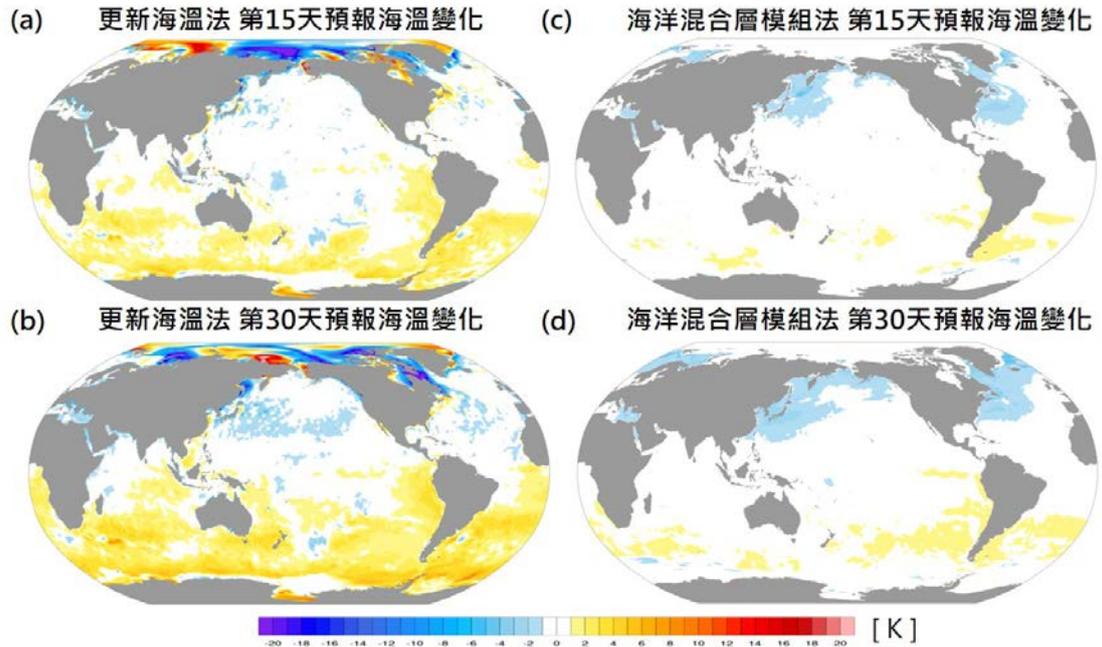


圖 4 以初始場 2019 年 12 月 29 日之 MPAS 實驗為例，(a)更新海溫法第 15 天預報海溫變化、(b)更新海溫法第 30 天預報海溫變化、(c)海洋混合層模組法第 15 天預報海溫變化，以及(d)海洋混合層模組法第 30 天預報海溫變化。

而在下邊界海溫對氣象場的反應上，以 2020 年 1 月系集預報平均週降雨為例，圖 5a、b 及圖 5c、d 分別為更新海溫法及海洋混合層模組法平均第 3 週、第 4 週降雨。對比 NOAA CPC 網站上在 2019 年 12 月 31 日至 2020 年 2 月 8 日之觀測 MJO 指標(圖 5e)，兩組實驗在第 3 週皆模擬出西太平洋上較強的 MJO 對流發生位置(圖黃色圈位置)。但在第 4 週預報結果上，更新海溫法之 MJO 對流訊號減弱，符合觀測之 MJO 指標趨勢，而利用海洋混合層模組法的預測則是增強，與觀測不符(圖紅色圈位置)。

本節測試結果顯示，MPAS 利用 CFS 預測海溫更新下邊界條件的更新法可得到較合理的長期預報海溫及氣象場的變化。其結果可能是由於 NCEP CFS 模式本身就是一個成熟的大氣海洋耦合模式，相比海洋混合層模組，有更完整的海氣交互作用及海流的影響，因此可得

到更好的海溫預報資料。然而 MPAS 中的海洋混合層模組為簡化後的理想一維模組，且沒有正確混合層深度的資料，因此模式需要足夠的起轉(spin up)時間才能得到較合理的海洋混合層深度及海表面溫度結果。綜合上述，本研究即以更新 CFS 預報海溫法作為後續後報(hindcast)實驗之模擬策略。

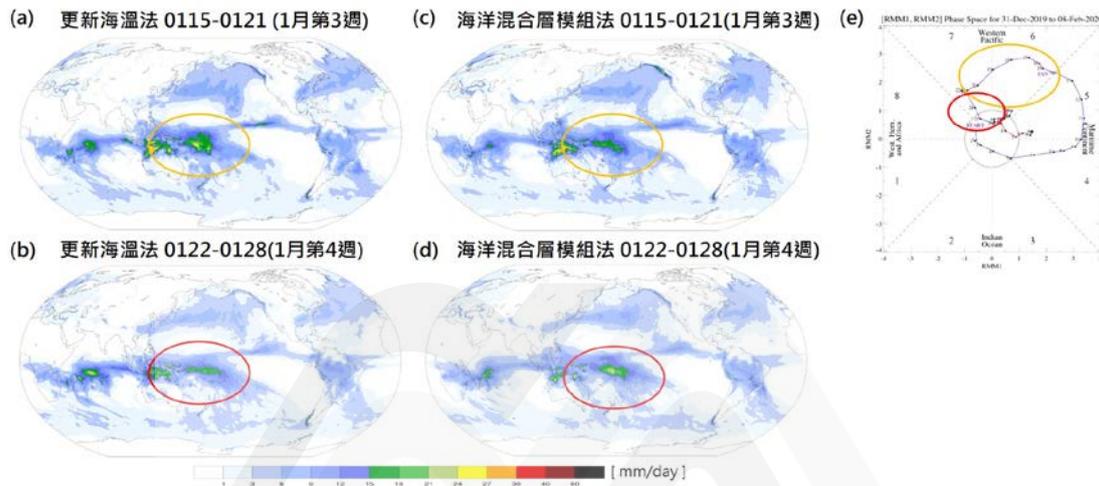


圖 5 2020 年 1 月之 MPAS 系集預報之(a)更新海溫法第 3 週預報平均日降雨、(b)更新海溫法第 4 週預報平均日降雨、(c)海洋混合層模組法第 3 週預報平均日降雨，以及(d)海洋混合層模組法第 4 週預報平均日降雨。(e)2019 年 12 月 31 日至 2020 年 2 月 8 日之觀測 MJO 指標(摘自 NOAA CPC 網站，<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/mjo.shtml>)。

## 第三章 長期預報校驗方法及結果

### 3.1 資料說明

根據世界氣象組織 WMO 建議之長期預報評估方法，本年度共完成建置泰勒圖(Taylor diagram)、Gerrity skill score (GSS)、Relative operating characteristic (ROC) curve、以及 Reliability diagram 等長期預報校驗的方法。在層場校驗方面，校驗選取比對觀測資料為 NCEP CFSv2 之分析場資料(Saha et al., 2014)，校驗雨量比對資料使用 Global Precipitation Measurement (GPM)衛星反演日降雨資料(Huffman et al., 2017)。

MPAS 預報及 CFSv2 分析的各層場資料，為每日四筆(00、06、12、18 UTC)，校驗時首先將資料製作成每日平均的層場資料。而在雨量資料處理上，同樣將 MPAS 及 GPM (Global Precipitation Measurement)處理為日雨量資料。將校驗時間的預報層場及雨量資料進行月平均或週平均的計算，並將 MPAS 及 GPM 內插至 CFSv2 0.5 度網格解析度進行比對。由於本研究之時間延遲系集是由不同初始時間的實驗所組成，預報有效時間(valid time)對應的預報時間(forecast time)在每個實驗皆不同。因此後續研究中以月平均及週平均進行預報校驗，校驗當月及該月內的第一週至第四週的預報結果。本研究校驗目標為 2011-2020 年冬季(12、1、2 月，之後簡稱為 DJF)，分析範圍選取為東亞區域( $5^{\circ}\text{S}$ - $55^{\circ}\text{N}$ ， $60^{\circ}\text{E}$ - $180^{\circ}$ )。

### 3.2 氣候值與距平值校驗

東亞冬季季風氣候值主要特徵包含大氣高層 200hPa 的西風噴流

及中層 500hPa 的東亞主槽(圖 6a)。低層則為西伯利亞冷高壓及阿留申群島的暖低壓(圖 6c)，而降雨分布主要在熱帶(-5°S-5°N)南海及西太平洋處(圖 6e)。本研究選取 500hPa 高度場、200hPa 東西向風場、海平面氣壓場、地面 2 米溫度、850hPa 東西向風場、850hPa 南北向風場、平均日降雨及地表面溫度(H500、U200、SLP、T2m、U850、V850、RAIN、Tsk)進行分析。校驗結果顯示 MPAS 可模擬出相似的氣候特徵(圖 6b、d、f)，大部分變數相關係數皆達到 0.95 以上，標準化均方根誤差(Lee & Wang, 2014，以觀測標準差進行標準化)在 0.5 以下。而 850hPa 南北風場及降雨也分別可達到 0.871 及 0.898，標準化均方根誤差約 0.5(表 1)。表 1 同時列出模式在東亞區域的平均偏差分析結果，例如兩米溫度場及降雨氣候偏差值分別為 -0.58 °C 及 0.32 mm/day，約佔觀測的 -4.06% 及 8.96%。校驗結果顯示 MPAS 在東亞冬季模擬略為偏冷，而降雨則是以小雨部分預報較大(圖 6f)。圖 7 則為 MPAS 系集成員的層場年際變異度平均，整體來說 MPAS 可模擬出 2011-2020 年的 9 年之間，DJF 年際變異發生的位置及量值，相關係數皆在 0.8 以上，標準化均方根誤差約為 0.5(表 2)。圖 7 也指出主要年際變異度發生來源是中高層的東亞噴流條及東亞主槽(圖 7a、b)，在低層則是西伯利亞高壓位置(圖 7c、d)，而降雨變異度則是集中在熱帶為主(圖 7e、f)。

圖 8 為 MPAS 2011-2020 冬季系集平均之逐年平均月距平泰勒圖，泰勒圖由相關係數(角度)、標準化後之標準差(半徑)、及標準化後之均方根誤差(綠色弧線)組成。圖 8 中顏色為模式東亞區域的平均偏差(bias)。泰勒圖主要分析模式之準確度，比較不同變數的預報技術。圖 8 顯示不同年份之平均月距平相關係數大致上來說在 0.5-0.6 之間，

標準差約在 0.5 以上，其中又以 U200、T2m 可達到約 0.75，而標準化之均方根誤差約為 0.75。圖 9 則為 9 年平均之月(實心圓)、第一週(叉)、第二週(十字)、第三週(米字)、第四週(方框)距平之校驗結果。模式相關係數整體趨勢雖在第二週後顯著減少；均方根誤差增加，但模式第三週及第四週平均無顯著差距。且整月平均的校驗分數大致上約與第二週結果相當，表示系統在長期變化趨勢上依然有一定程度的掌握度。其中又以 U200、H500、T2m 的相關係數約為 0.5-0.6，預報表現較好。而在日雨量距平的校驗上表現較差，相關係數約為 0.4，標準差則約為 0.5-0.6。圖 8 及圖 9 以格點對格點進行泰勒圖分析，結果如預期符合數值天氣預報中 7 天以上的預報度降低的特徵。在下一節，本研究將進一步利用氣候三分法及機率預報校驗來評估模式的長期預報能力。

表 1 利用 MPAS 模擬 2011–2020 年冬季氣候值校驗分數。H500、U200、SLP、T2M、U850、V850、RAIN、Tsk 分別代表 500hPa 高度場、200hPa 東西向風場、海平面氣壓場、地面 2 米溫度、850hPa 東西向風場、850hPa 南北向風場、平均日降雨及地表面溫度。

變數	相關係數 (R)	標準化均方根誤差 (NRMSE)	平均偏差
H500	0.998	0.07	-6.43 [m]
U200	0.998	0.07	0.04 [ms <sup>-1</sup> ]
SLP	0.962	0.32	-0.94 [hPa]
T2m	0.995	0.11	-0.58 [°C]
U850	0.970	0.29	-0.83 [ms <sup>-1</sup> ]
V850	0.871	0.56	-0.31 [ms <sup>-1</sup> ]
RAIN	0.898	0.48	0.32 [mm day <sup>-1</sup> ]
Tsk	0.993	0.14	-0.84 [°C]

表 2 同表 1，但為 2011–2020 年冬季 MPAS 系集成員的年際變異度平均。

變數	相關係數 (R)	標準化均方根誤差 (NRMSE)	平均偏差
H500	0.936	0.49	192.78 [m <sup>2</sup> ]
U200	0.843	0.66	6.00 [m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> ]
SLP	0.920	0.51	172.61 [hPa <sup>2</sup> ]
T2m	0.915	0.71	0.87 [°C <sup>2</sup> ]
U850	0.910	0.42	0.25 [m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> ]
V850	0.875	0.60	0.43 [m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> ]
RAIN	0.801	0.63	-2.39 [mm <sup>2</sup> day <sup>-2</sup> ]
Tsk	0.928	0.39	-0.24 [°C <sup>2</sup> ]

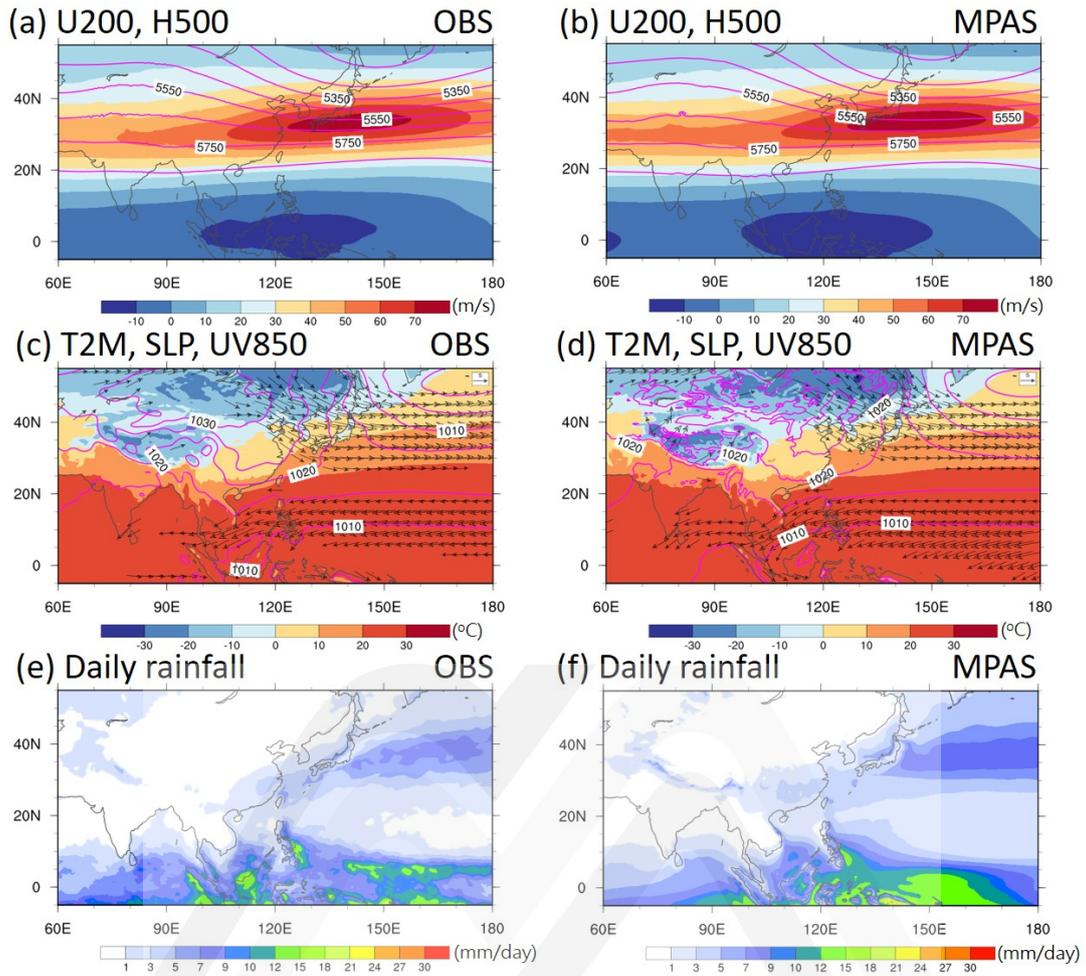


圖 6 觀測(a、c、e)及 MPAS(b、d、f)模擬之 2011–2020 DJF 氣候值。(a、b)200hPa 東西向風場、500hPa 高度場。(c、d)兩米溫度、海平面氣壓、850hPa 風場。(e、f)平均日雨量。

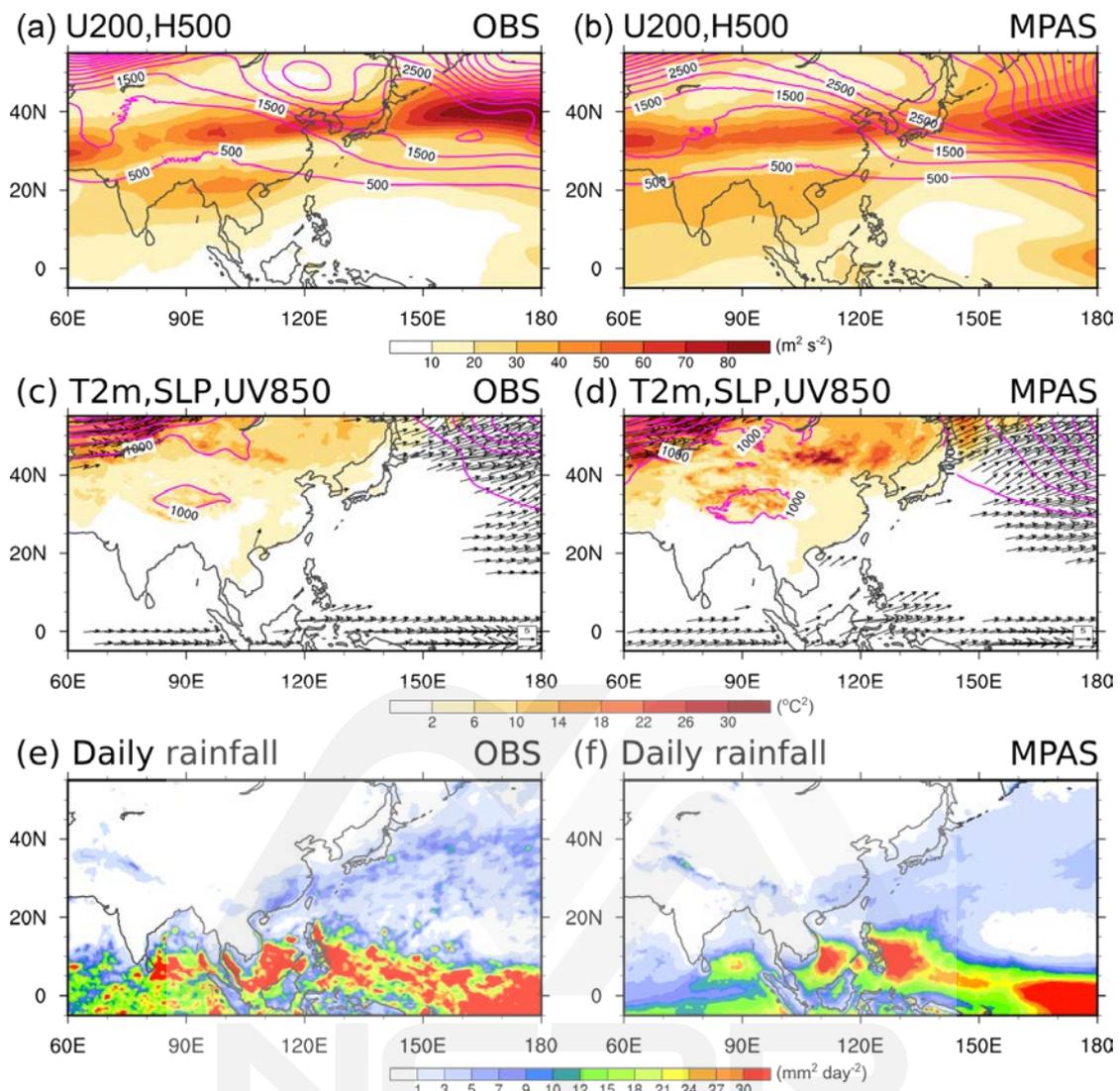


圖 7 同圖 6，但為 MPAS 系集成員的年際變異度平均。

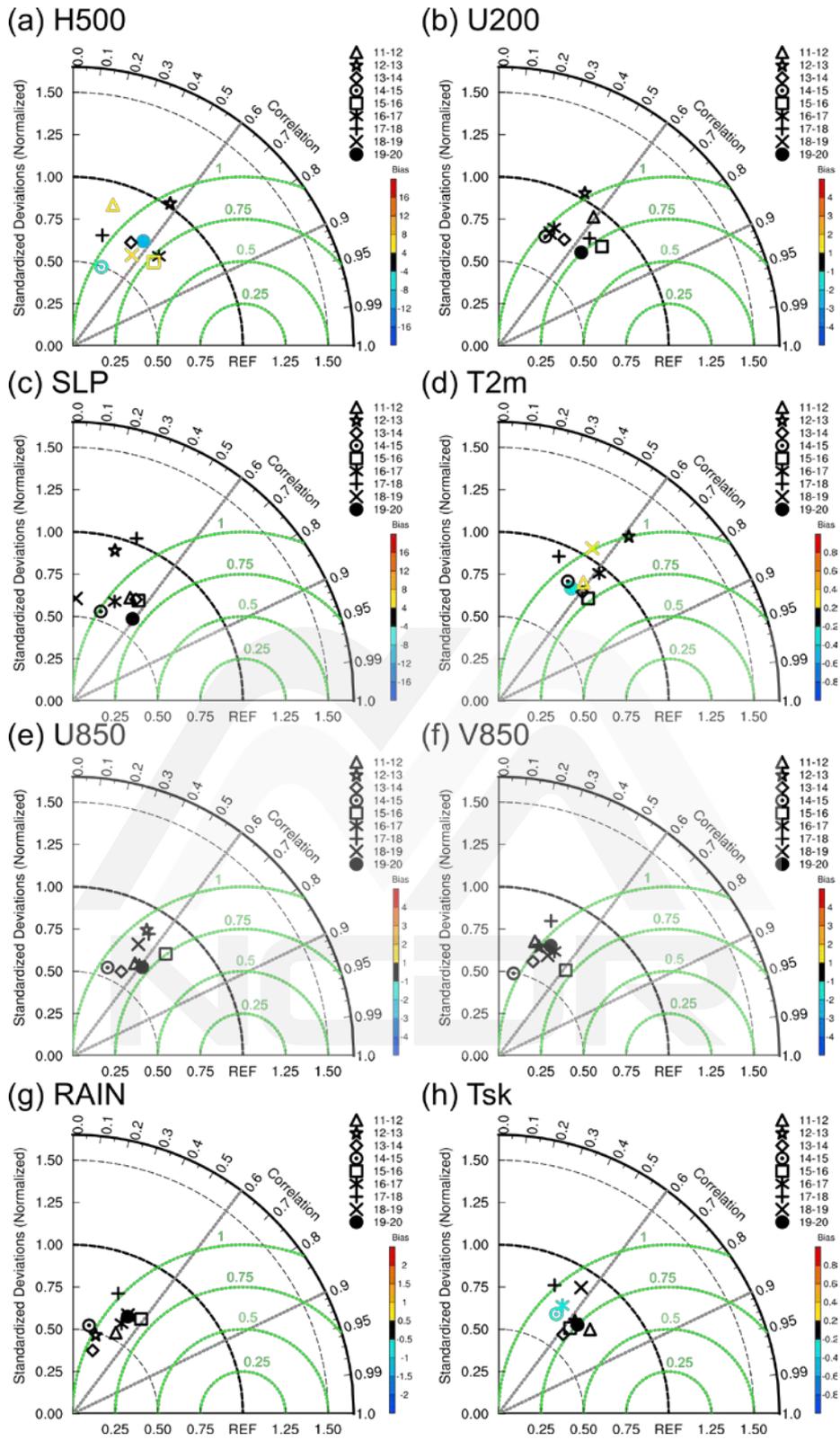


圖 8 MPAS 2011–2020 冬季系集平均的逐年平均月距平泰勒圖。(a) H500、(b) U200、(c) SLP、(d) T2M、(e) U850、(f) V850、(g) RAIN 及(h) Tsk。

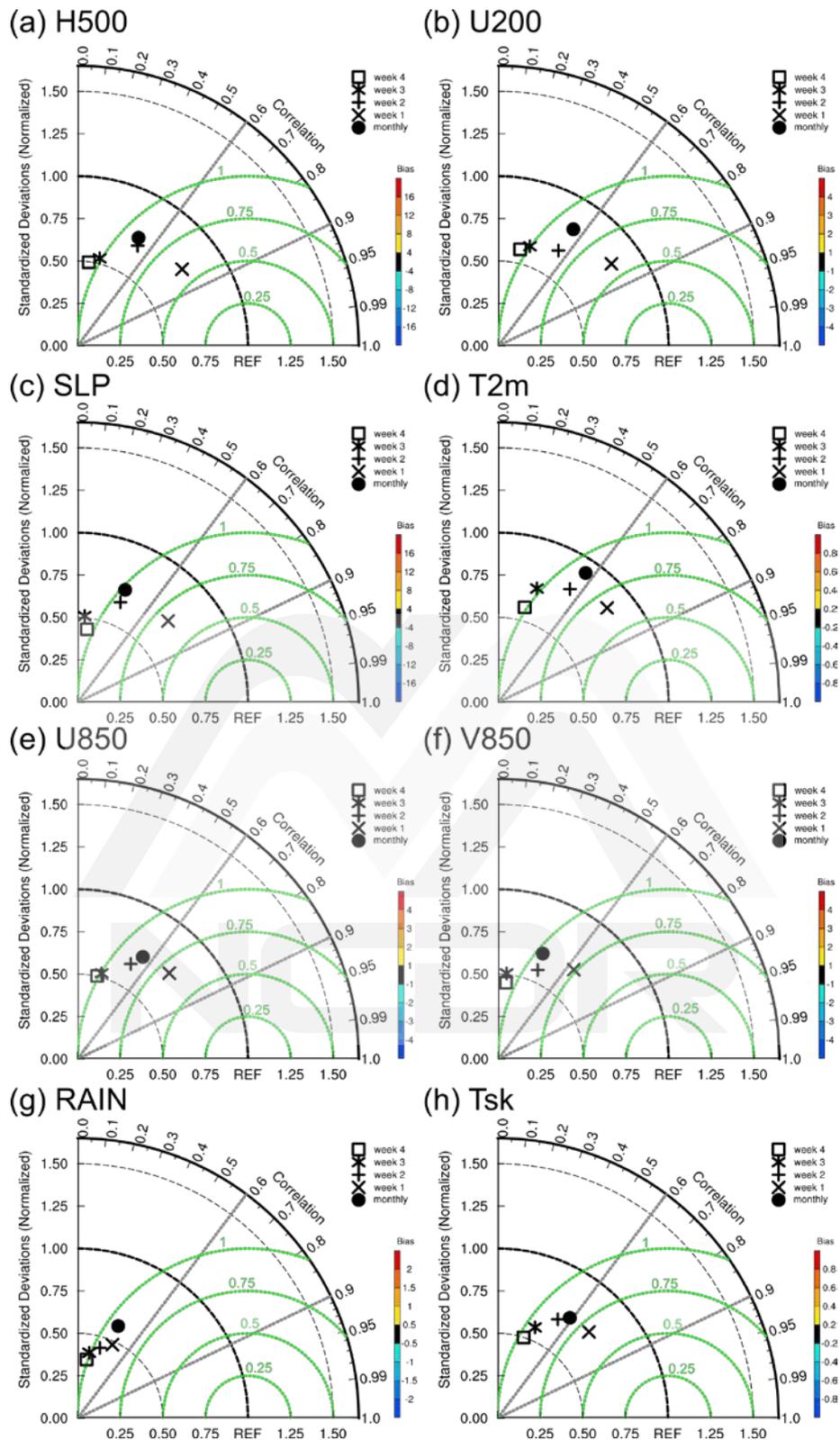


圖 9 MPAS 2011–2020 冬季系集平均之 9 年平均月、第一週、第二週、第三週、第四週距平泰勒圖。(a) H500、(b) U200、(c) SLP、(d) T2M、(e) U850、(f) V850、(g) RAIN 及(h) Tsk。

### 3.3 氣候三分法與機率預報校驗

依照世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO)建議之長期氣候預報校驗法，本研究使用氣候三分法來評估模式長期預報之結果，將預報結果偏低、正常及偏高三類。氣候三分法概念上依照過去長時間樣本的機率分布，將前、中、後三分之一發生機率的樣本定義為偏低、正常及偏高之子樣本，本研究依此概念，首先將空間中每一網格每年的預報值及觀測值分別排序，選取樣本中排位 33% 及 66% 作為分類門檻值，設定低於 33% 門檻值為偏低、高於 66% 為偏高，之間為正常，接著在每一網格點上每年可將預報三分類之發生頻率與觀測之發生頻率製成列聯表進行校驗，如表 3。

表 3 氣候三分法列聯表。

氣候三分法列聯表		觀測		
		偏低	正常	偏高
預報	偏低	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$
	正常	$P_{21}$	$P_{22}$	$P_{23}$
	偏高	$P_{31}$	$P_{32}$	$P_{33}$

其中

$$P_{ij} = n_{ij}/N \quad (1)$$

為預報及觀測分類樣本的機率， $n_{ij}$  為各分類之事件數， $N$  為總樣本數， $P_{11}$ 、 $P_{22}$ 、 $P_{33}$  即為預報命中的機率，表示當格點上預報為偏低分類時，觀測也屬於偏低的分類，依此類推。Gerrity skill score (GSS, Gerrity 1992) 檢驗氣候三分法的準確度及預報能力，可寫為式(2)、(3)

$$GSS = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 P_{ij} S_{ij} \quad (2)$$

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} 1.25 & -0.25 & -1 \\ -0.25 & 0.5 & -0.25 \\ -1 & -0.25 & 1.25 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$S_{ij}$  為得分矩陣。GSS 技術得分(2)中乘上得分矩陣(3)的意義在於對分類命中予以獎勵權重，對於分類未命中情形予以懲罰權重。技術得分  $GSS=1$  時為完美預報， $GSS>0$  時為有預報技術、 $GSS=0$  時為無預報技術、 $GSS<0$  時表示預報技術低於隨機預報。

2011–2020 年 12、1、2 月溫度及降雨的 GSS 技術得分空間分布如圖 10。在地面溫度方面(圖 10a、c、e)，東亞區域及臺灣附近 GSS 校驗結果大致上都大於 0，表示模式在地面溫度上皆具有預報技術。而在日雨量校驗方面(圖 10b、d、f)，GSS 得分在空間分布上有明顯差異，具有預報能力的區域包含中緯度  $30^{\circ}\text{N}$  及南海、菲律賓等熱帶區域。冬季此兩區域一為東亞主槽及其伴隨鋒面移動的範圍，另一區為 MJO 活躍的範圍，分別是中緯度及熱帶兩主要冬季降雨來源(圖 6)，GSS 得分結果說明 MPAS 大致上除了能掌握冬季鋒面系統的演變外，對於熱帶區域的對流降雨也有一定程度的準確度。而在臺灣附近冬季降雨技術得分有較大的時間變異度，其中以 1 月時較具有預報能力，而在 12 月時以臺灣西南部有較高得技術得分，在 2 月時則以臺灣東南部較具有預報能力。

氣候三分法可進一步產製長期的機率預報，計算當次系集預報中在每個網格點上預報在系集成員中偏低、正常、偏高的發生機率，可繪製成機率預報圖(如圖 11)。圖 11 以 2020 年 2 月的預報降雨為例，利用暖色系及冷色系表示偏低及偏高降雨較高機率發生的區域。本節

將接著對 MPAS 模擬 2011-2020 年 12、1、2 月的溫度、降雨機率進行校驗，評估本系統機率預報的表現。

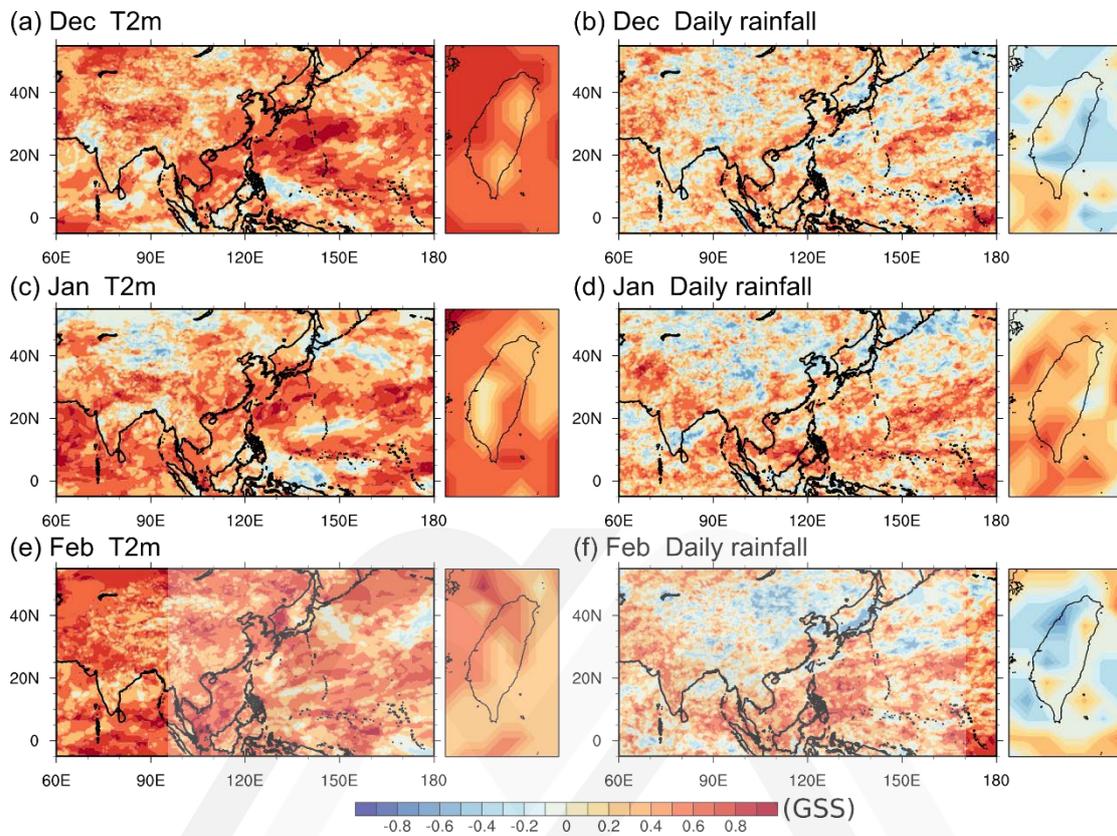


圖 10 2011-2020 預報之 GSS 技術得分。(a、c、e) 平均 2 米溫度 T2m 之 12、1、2 月之 GSS 得分空間分布，及(b、d、f)日降雨之 12、1、2 月之 GSS 得分空間分布。其中 GSS>0 表示具有預報技術。

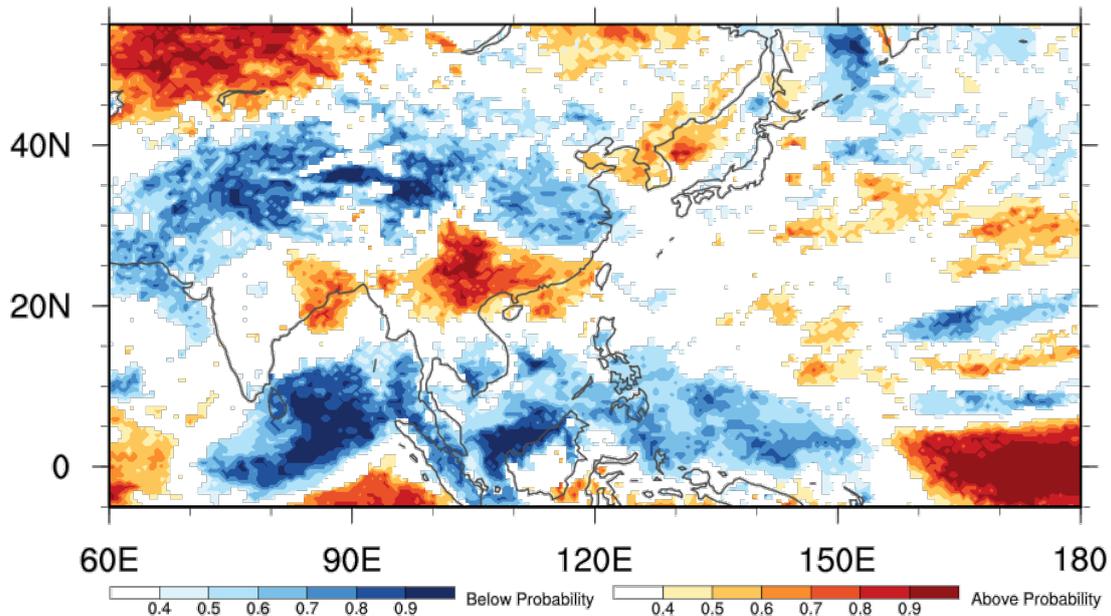


圖 11 氣候三分法機率預報產品示意圖，以 2020 年 2 月東亞區域降雨機率為例。圖中暖色系是降雨偏高的機率，冷色系是降雨偏低的機率。

機率預報常利用 Relative operating characteristic (ROC) 曲線 (Mason 1982; Harvey et al., 1992; Mason & Graham, 1999; Wilks 2006) 以及 Reliability diagram (Hsu & Murphy, 1986; Hamill 1997; Wilks 2006) 來對機率預報表現進行評估。本研究整體評估 2011-2020 年冬季東亞區域每一格點上預報偏低、正常、偏高機率的準確度及可信度，樣本數共有 262449。三分類中設定機率的截斷門檻值(cut-off threshold)從 0.1-0.9，計算各分類中在各門檻值下之命中率(Hit rate，命中數/(命中+漏報))及誤報率(False Alarm Rate，誤報/(誤報+正確拒絕))，以命中率为縱軸、誤報率为橫軸可繪製成 ROC 曲線。圖 12a、c、e 及圖 12b、d、f 即分別為 MPAS 模擬 12、1、2 月之溫度及降雨在三分類下的 ROC 曲線。ROC 曲線鑑別系統中事件發生有無(超過門檻值)的預報能力，當曲線在左上區域時，表示系統在各門檻值中命中率皆比誤報率大，具有預報技術；對角線則表示命中率及誤報率各佔一半，若曲

線落在右下區域時，則表示誤報率比命中率高。因此當曲線落在對角線及右下區域時皆表示系統無預報技術。ROC 技術得分為曲線下之面積，可量化 ROC 曲線的結果，比較不同分類的預報能力，完美技術得分值為 1，ROC 技術得分小於 0.5 表示無預報技術。圖 12 結果顯示，MPAS 在 12、1、2 月的溫度及降雨 ROC 技術得分皆大於 0.5，顯示機率預報具有預報技術，其中以溫度的鑑別能力普遍較降雨預報高(ROC 技術得分較高)。而圖 12 也指出，MPAS 系集系統中又以偏高及偏低機率的預報事件較有鑑別能力，正常分類事件的預報機率 ROC 技術得分較差，其中降雨正常分類的 ROC 曲線接近對角線，表示命中率及誤報率接近各佔一半。

接著利用 Reliability diagram (圖 13)校驗系統中預報溫度及降雨機率的可信度，將系統預報機率從 0 至 1 分成 10 個區間，畫為橫軸，縱軸為觀測事件發生的頻率。計算在 10 個預報機率區間內樣本對應的觀測事件發生的頻率可連為一曲線，圖中對角線為完美預報，曲線越靠近對角線，表示預報機率越接近觀測發生頻率，在對角線左上區域時表示系統預報機率低估，而在對角線右下區域，表示系統預報機率高估。圖中虛線為觀測發生頻率之氣候值，本研究中三分類皆為 0.33，預報機率區間內觀測事件發生的頻率與氣候值的差異，稱為解析度(resolution)。因此預報若以氣候值為參考基準時，當系統預報機率與觀測發生頻率間的差距小於解析度，表示此預報結果優於直接以氣候值預測的結果，定義為具有預報技術，即圖中灰色陰影區域。圖 13 分析結果顯示，整體來說系統中三分類的可信度曲線斜率皆小於完美預報，表示系統在預報較高機率時傾向高估，而預報較低機率時傾向低估。而比較三分類的預報能力，其中預報偏高及偏低分類的可

信度曲線較正常分類的曲線更具有可信度，且具有預報技術。比較溫度及雨量兩變數結果則顯示，普遍來說以溫度較具有預報技術，可信度曲線斜率較接近完美預報，而在預報為高機率時，雨量比溫度更容易發生過度預報，在預報為低機率時，雨量則是比溫度更容易發生不足預報，12、1、2月的校驗結果皆呈現一致的特性。



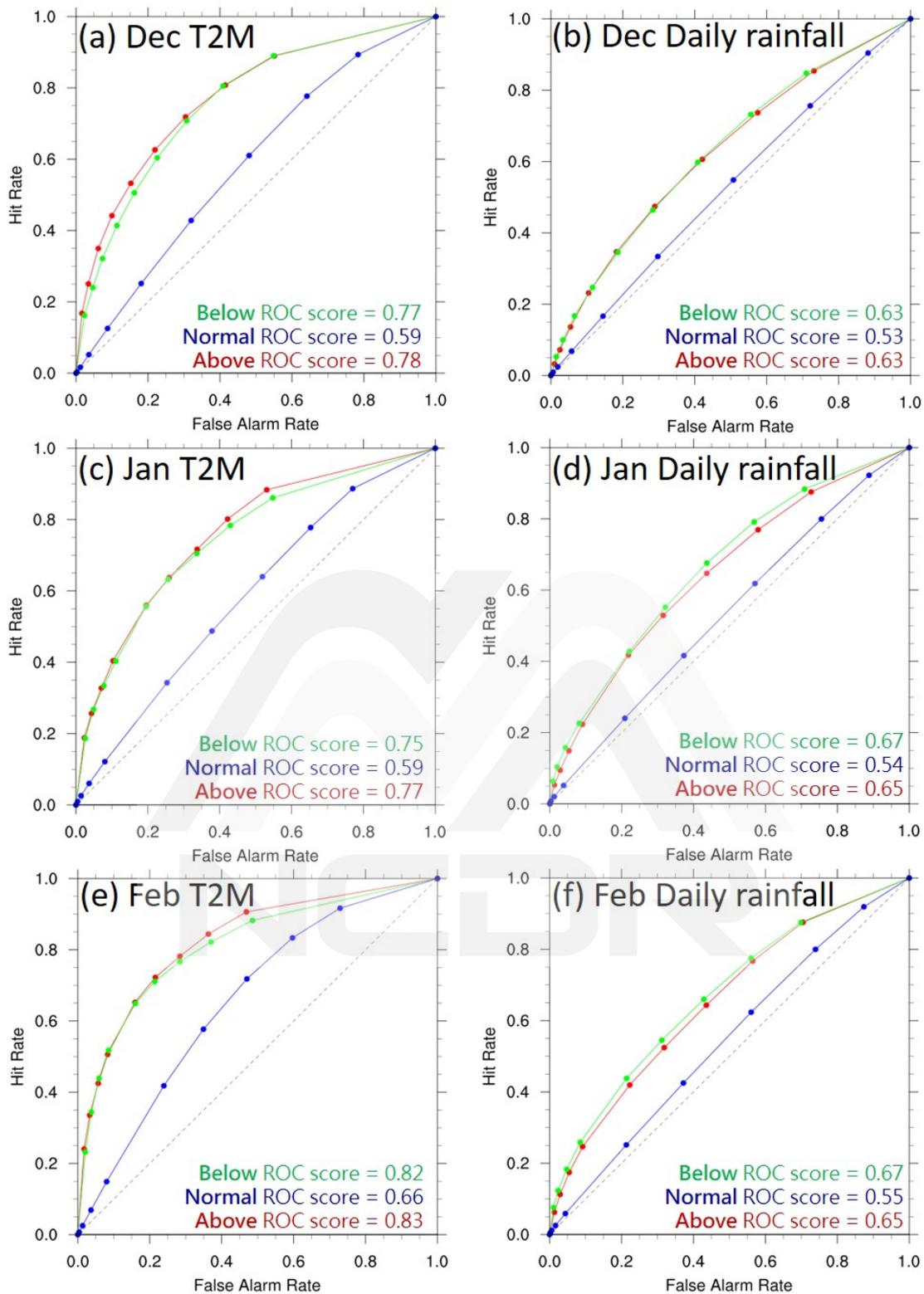


圖 12 2011 - 2020 預報之 ROC 曲線及 ROC 技術得分。(a、c、e)分別為 12、1、2 月之溫度校驗結果，(b、d、f) 分別為 12、1、2 月之降雨校驗結果。

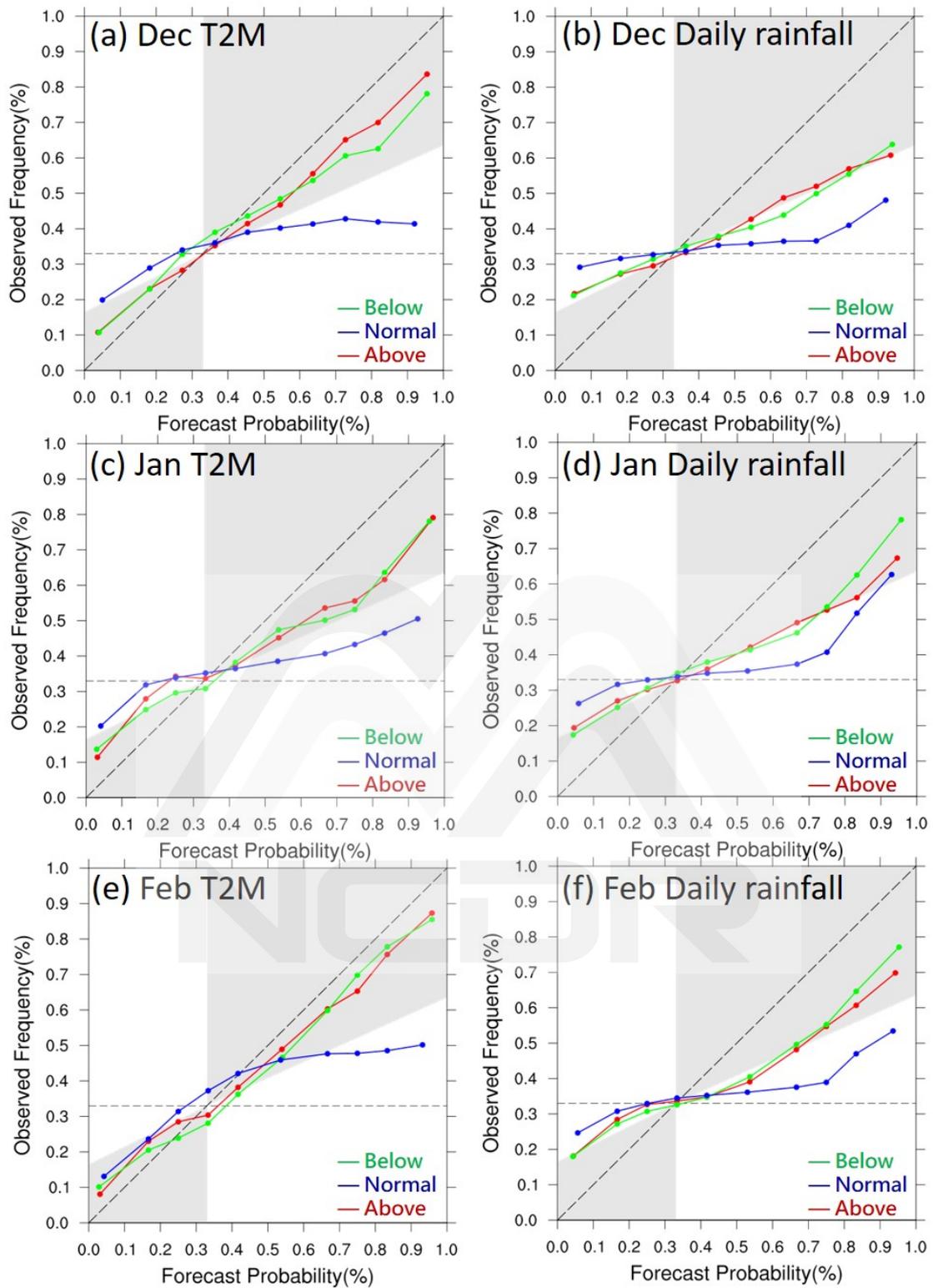


圖 13 2011 - 2020 預報之 Reliability diagram。(a、c、e)分別為 12、1、2 月之溫度校驗結果，(b、d、f) 分別為 12、1、2 月之降雨校驗結果。

## 第四章 氣候監測指標分析及對比

### 4.1 阻塞高壓指數分析

本研究利用常見的氣候指標評估 MPAS 月預報對過去歷史事件的表現，了解 MPAS 對氣候事件的預報特性。以冬季為例，阻塞高壓是影響西伯利亞冷空氣移動的重要因子，阻塞高壓發生時，其上、下游常會有劇烈天氣系統發生，在東亞的影響還包含伴隨西伯利亞高壓南下，東亞主槽加深等天氣特徵，為東亞各國及臺灣寒潮災害事件的原因之一(Joung & Hitchman, 1982; Takaya & Nakamura, 2005a, b; Gong et al., 2014)。北半球阻塞高壓特徵可在 500hPa 高度場 60°N 左右產生一封閉高壓，南邊為正的重力位高度南北向梯度區，北邊則強化負的重力位高度南北向梯度。根據 Lejenäs & Økland (1983)及 Tibaldi & Molteni (1990)的研究，診斷北半球阻塞高壓的指標可由以下方程式：

$$GHGS = \frac{Z_{500}(\varphi_o) - Z_{500}(\varphi_s)}{\varphi_o - \varphi_s}, \quad GHGN = \frac{Z_{500}(\varphi_n) - Z_{500}(\varphi_o)}{\varphi_n - \varphi_o}, \quad (4)$$

$$\varphi_n = 80^\circ N + \Delta,$$

$$\varphi_o = 60^\circ N + \Delta,$$

$$\varphi_s = 40^\circ N + \Delta,$$

$$\Delta = -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ \quad (5)$$

$$GHGS > 0, \quad GHGN < -10 \quad (6)$$

阻塞高壓指標計算北緯 40、60、80°N 500hPa 高度場的緯向梯度，每 5 度計算一次，*GHGS* 及 *GHGN* 分別代表各經度上 60°N 以南及以北的重力位高度南北向梯度，當南邊梯度 > 0 且北邊梯度 < -10 m°N<sup>-1</sup> 時定義為發生阻塞。圖 14 為 2020 年 2 月之阻塞高壓指標示意圖，圖上顏色表示符合阻塞高壓條件(式 6)時，*GHGS* 的值。

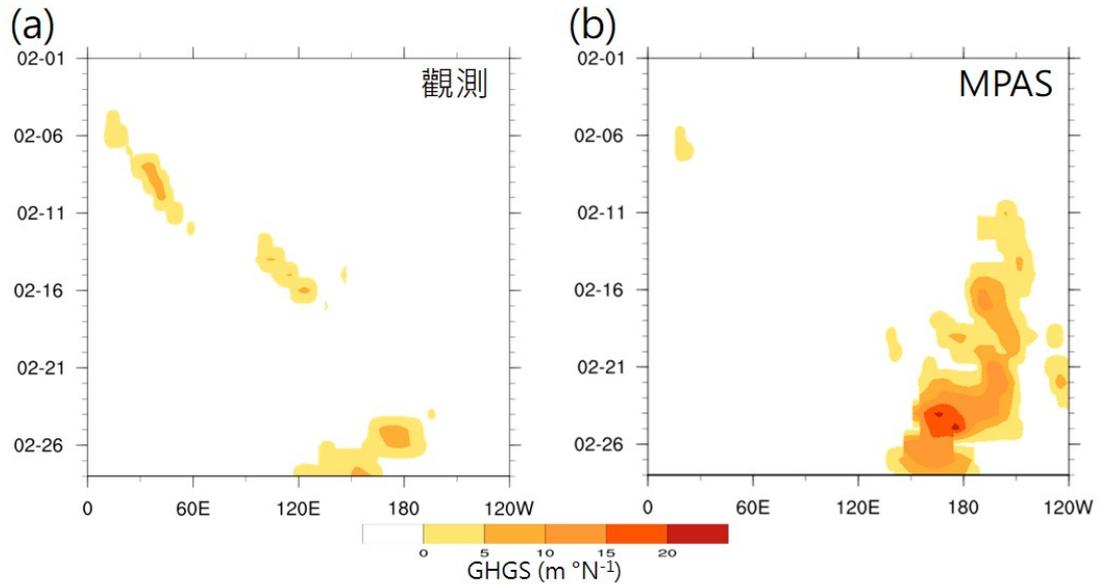


圖 14 (a)觀測，及(b)MPAS 模擬之 2020 年 2 月阻塞高壓指標演變圖，橫軸為經度，縱軸為日期，圖中顏色為符合阻塞高壓條件時，各經度上  $GHGS$  的大小。

圖 15a 統計 2011-2020 年冬季阻塞高壓在經度上發生的頻率，MPAS 月預報(紅色)模擬與 CFS 分析場(藍色)結果一致，最大發生頻率分別位於歐洲大西洋( $30^{\circ}W-30^{\circ}E$ )及太平洋( $150^{\circ}E-150^{\circ}W$ )兩區，與過去研究之氣候特徵(Lejenäs & Økland, 1983; Tibaldi & Molteni, 1990; Barriopedro et al., 2006)相符。此兩區月平均發生頻率約為 15%–20%，其中太平洋區域系集成員最小至最大值(灰色陰影區)範圍從 15%–40%，大西洋區域系集成員範圍從 10%–25%。進一步分析太平洋區域發生阻塞的持續天數(圖 15b)，定義該日  $150^{\circ}E-150^{\circ}W$  區間中，阻塞格點水平範圍至少延伸 10 度為阻塞事件，統計月平均發生持續天數。MPAS 大致上可合理模擬出太平洋發生阻塞的持續天數分布，但在小於 1–2 天持續天數發生的次數略為低估，5 天以上持續天數的發生次數略為高估。

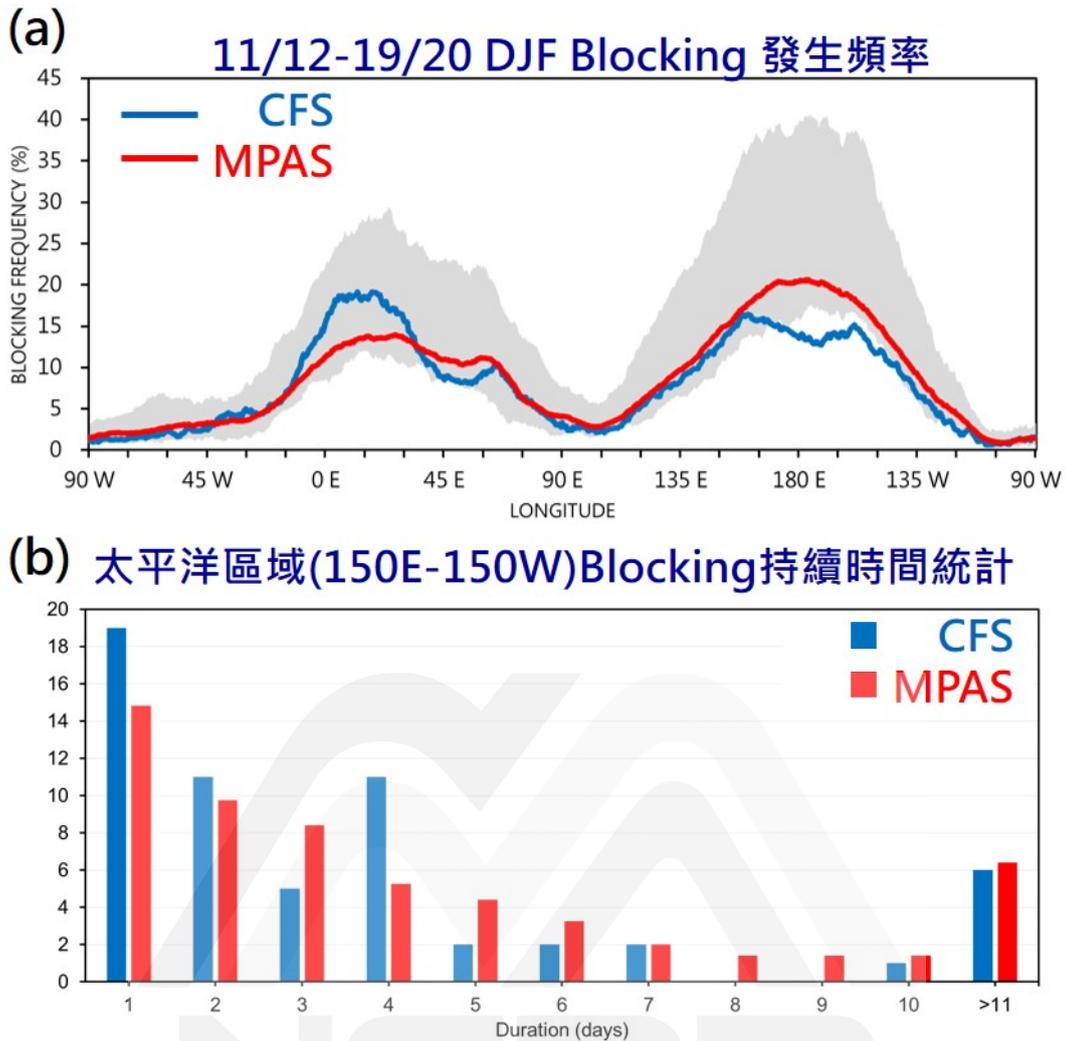


圖 15 (a) 2011 - 2020 年共 9 年冬季(12、1、2 月)的阻塞高壓指標發生頻率，紅色及藍色線分別代表 MPAS 及觀測中不同經度出現阻塞高壓的頻率，灰色陰影上下限分別為系集成員中最小及最大值。(b)太平洋區域阻塞高壓發生時，持續天數統計。

## 4.2 經驗正交函數分析

東亞冬季地面溫度可透過經驗正交函數(Emperical Othogonal Function)分析得到兩種主要特徵(Wang et al., 2010; Wu et al., 2011; Li et al., 2020)，第一特徵(EOF1)為西伯利亞高壓及冷空氣在  $40^{\circ}\text{N}$  以北，第二特徵(EOF2)為北方冷空氣可南下達到  $40^{\circ}\text{N}$  以南，CFS 分析場(圖 16a、b)及 MPAS 系集平均(圖 16c、d)地面溫度前兩個特徵向量投影

分別解釋了各自地面溫度 52.6% 及 63.3% 的變異度，MPAS 系集平均地面溫度掌握了 EOF1、EOF2 特徵向量投影在空間上的相位分布。圖 17 為前兩個特徵值(即主成分 1 及主成分 2)以觀測標準差進行標準化後的時間序列，主成分 1 跟觀測時序上的相關係數達到 0.60，主成分 2 則達到 0.35。若挑選  $>1$ 、 $<-1$  標準差發生的事件，定義顯著、不顯著的主成分 1 及主成分 2 事件發生之天數，統計顯著主成分 1、主成分 2 事件在 12、1、2 月發生天數結果如圖 18。觀測結果(圖 18a)顯示顯著主成分 1 事件在 1 月發生最多，12、1、2 月發生比例約分別佔 19%、58%、23%，而 MPAS 之顯著主成分 1 事件則是在 1 月低估、2 月高估，12、1、2 月發生比例約分別佔 12%、45%、43%(圖 18c)。顯著主成分 2 事件的分析結果顯示，觀測在 12、1、2 月發生比例約佔 26%、37%、37%，而 MPAS 系集平均顯著主成分 2 事件則是佔 32%、36%、32%，但從發生次數來看，MPAS 的顯著主成分 2 事件在 1、2 月發生次數皆低估。

圖 19 為主成分 1 的顯著及不顯著事件差異的合成圖。MPAS 系集平均(圖 19d)之地面特徵與觀測分析(圖 19a)結果一致，主要冷空氣在  $40^{\circ}\text{N}$  以北，T2m 及 SLP 的相關係數分別可達到 0.93 及 0.89，標準化均方根誤差分別為 0.44 及 0.77。MPAS 系集平均也模擬出類似的中高層特徵(圖 19b、e)，包含東亞西風噴流及東亞主槽的位置，但強度上略弱，U200 及 H500 的相關係數分別為 0.91 及 0.97，標準化均方根誤差分別為 0.46 及 0.38，顯示 MPAS 系集平均對於主成分 1 事件的中高層特徵具有不錯的掌握。但在雨量方面(圖 19c、f)，MPAS 系集平均沒有模擬出主成分 1 事件的平均日雨量距平特徵。

圖 20 則為主成分 2 的顯著及不顯著事件差異的合成圖。MPAS

系集平均同樣模擬出地面特徵，地面冷空氣移至  $40^{\circ}\text{N}$  以南，可延伸至臺灣一帶約  $20^{\circ}\text{N}$ (圖 20a、d)，T2m 及 SLP 的相關係數雖然不及主成分 1 事件，但仍可達到 0.83 及 0.85，標準化均方根誤差分別為 0.62 及 0.64。MPAS 系集平均同樣也掌握中高層系統特徵(圖 20b、e)，模擬之 U200 及 H500 的相關係數為 0.93 及 0.85，標準化均方根誤差為 0.49 及 0.61。而在平均日雨量距平方面(圖 20c、f)，主成分 2 事件模擬表現較主成分 1 事件好，在降雨距平的相位分布上可模擬出臺灣以北較乾、南海及菲律賓一帶較濕的特徵，平均日降雨相關係數為 0.31。

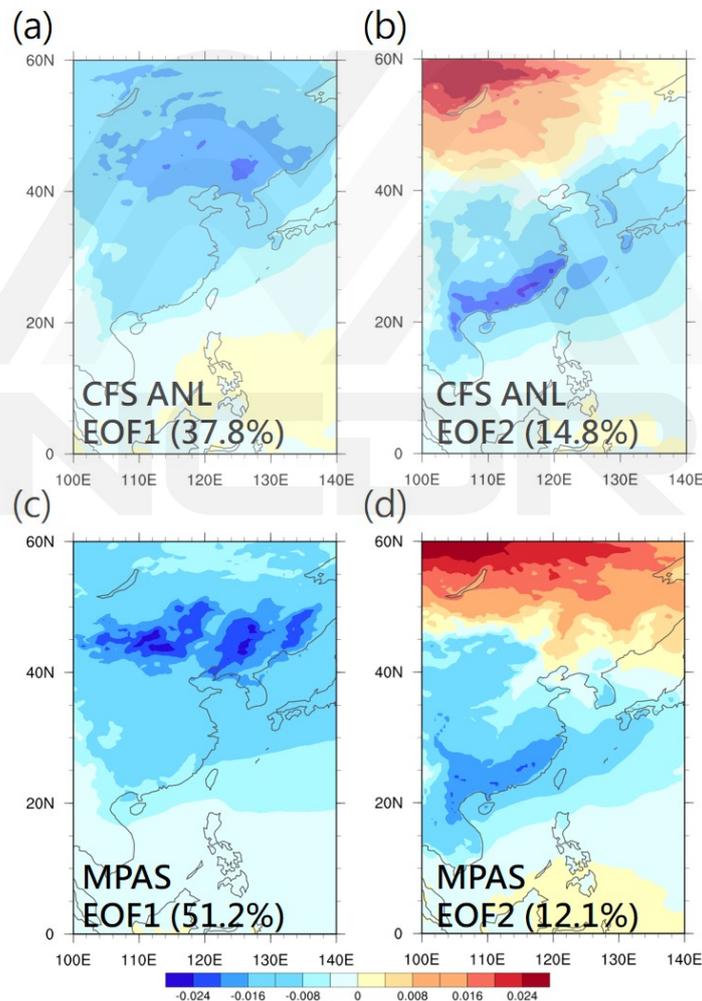


圖 16 (a、b) CFS 分析場之 EOF1 及 EOF2 投影地面溫度分布，前二組特徵向量共解釋 52.6%之變異度。(c、d) MPAS 系集平均之 EOF1 及 EOF2 投影地面溫度分布，前二組特徵向量共解釋 63.3%之變異度。

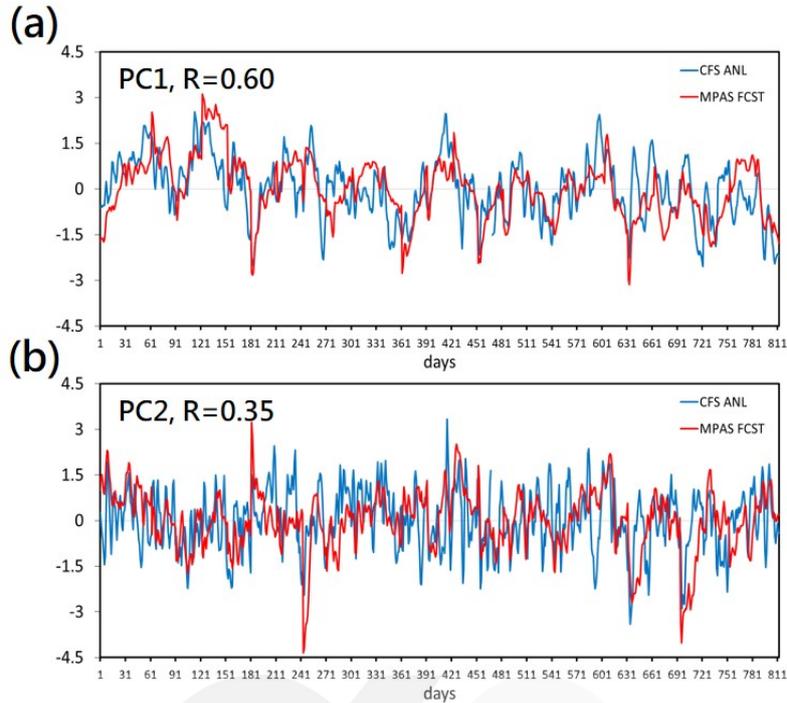


圖 17 2011 - 2020 年 9 年冬季之 MPAS 系集平均(紅線)與 CFS 分析場(藍線)地面溫度主成分分析時間序列。(a)標準化後主成分 1，時序相關係數為 0.6。(b)標準化後主成分 2，時序相關係數為 0.35。

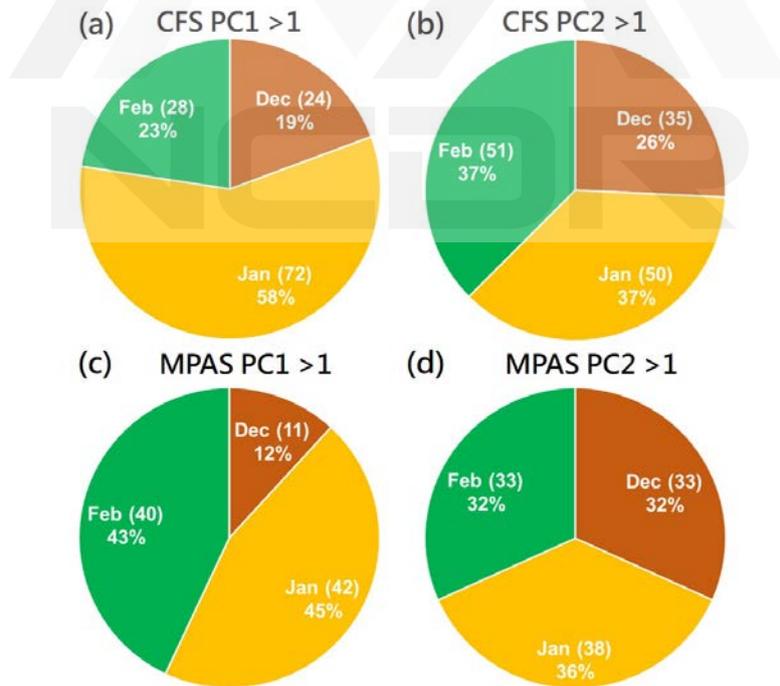


圖 18 12、1、2 月地面溫度標準化後主成分大於 1 之統計天數。(a、b) CFS 分析場主成分 1 及主成分 2、(c、d) MPAS 系集平均主成分 1 及主成分 2。

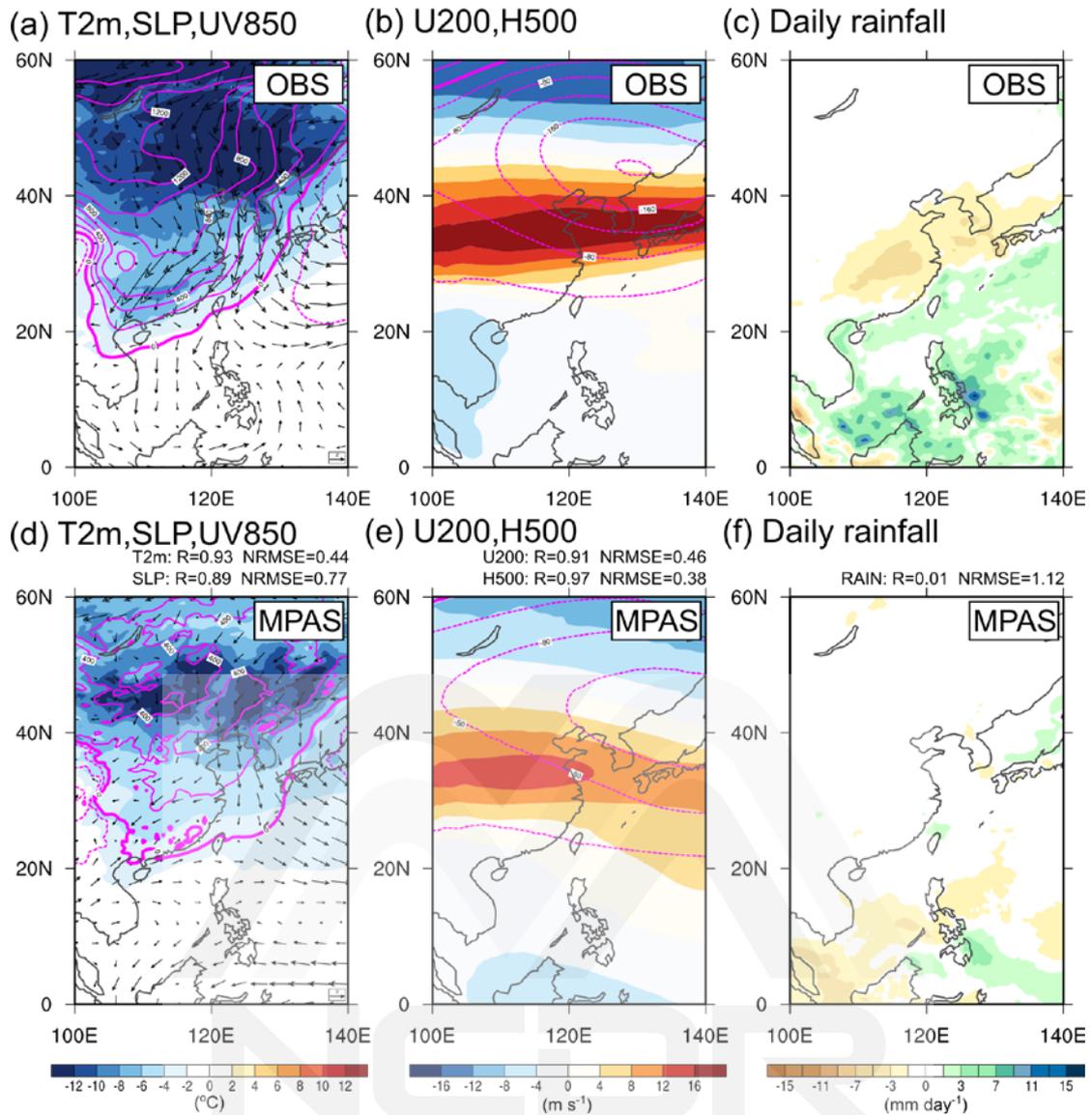


圖 19 觀測(上排)及 MPAS 系集平均(下排)之主成分 1 的顯著及不顯著事件差異合成圖。(a、d) 兩米溫度、海平面氣壓、850hPa 風場，(b、e) 200hPa 東西向風場、500hPa 高度場，及(c、f) 平均日雨量。同時也標示相關係數 R，以及標準化均方根誤差 NRMSE 校驗得分。

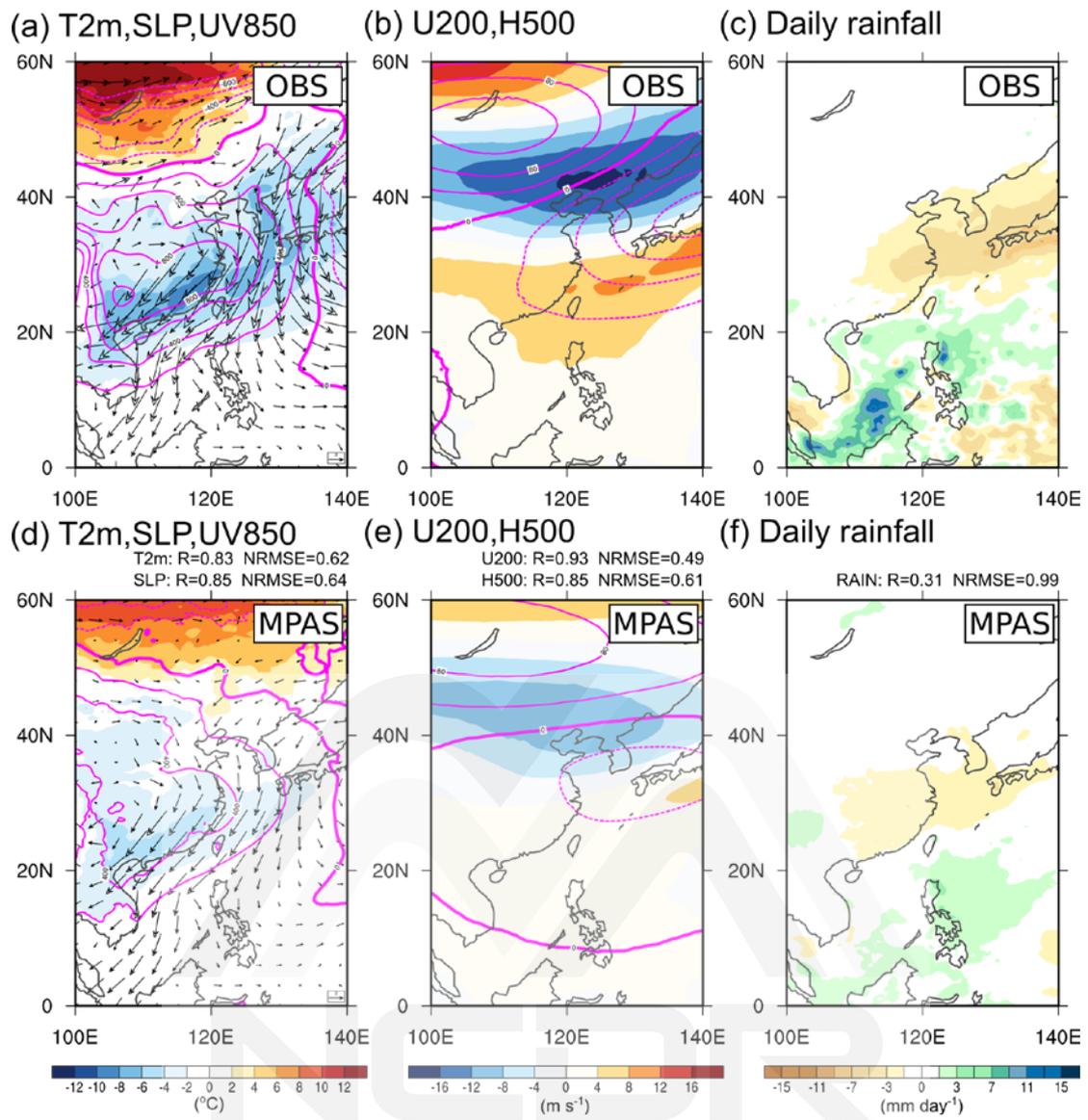


圖 20 同圖 19，但為主成分 2 之分析結果。

## 第五章 結論

本研究利用 MPAS 全球模式建立月預報實驗流程，實驗使用 NCEP GFS 模式分析場做為初始場、NCEP CFSv2 模式預報海溫做為下邊界條件，進行 45 天之模擬，共完成了 2011–2020 年冬季(DJF)的 315 組歷史後報實驗(hindcast)。並利用時間延遲法(Time-lagged ensembles)將 DJF 後報實驗組成包含 11(12)個不同初始時間實驗的系集系統，進行月預報的分析與校驗，除了模式氣候值及距平值的長期預報表現及模式特性外，也利用氣候三分法進行模式長期預報的評估及機率預報校驗。除此以外，本年度也檢驗模式中阻塞高壓指標及地面溫度經驗正交函數的分析，評估模式對低溫事件的預報能力。

在氣候值及距平的校驗上，在 MPAS 的模擬中可掌握 2011–2020 年 DJF 的氣候值特徵，地面溫度及降雨氣候值的相關係數分別達到 0.995、0.898，月均溫、降雨氣候值上的偏差分別為 -4.06% 及 8.96%。顯示 MPAS 在東亞冬季存在地面溫度略偏冷，降雨略偏大的系統性偏差。MPAS 也合理模擬出東亞冬季主要年際變異度發生來源是中高層的東亞噴流條及東亞主槽，低層的西伯利亞高壓位置，以及熱帶至副熱帶區的降雨。從泰勒圖的結果來看，模式整月平均預報校驗分數約與第二週預報結果相當，而第二週後相關係數顯著減少，均方根誤差增加，但第三、四週平均預報技術相當，其中中高層變數月平均的氣候特徵，如 U200、H500，以及低層 T2m 均有不錯的表現，相關係數達到 0.5–0.6，顯示 MPAS 具有掌握長期變化趨勢的能力。

以氣候三分法評估系集系統中地面溫度及降雨發生偏低、正常、偏高的機率。GSS 技術得分顯示模式在台灣附近地面溫度具有預報能

力，在降雨預報上，以 1 月最好，在台灣附近皆具有預報能力，而 12 月則是以台灣西南部、2 月以台灣東南部較具有預報能力。ROC 及 reliability diagram 分析系統中機率預報的結果則顯示，MPAS 系集中月降雨及溫度預報以偏低、偏高機率較正常機率預報有鑑別度及可信度。從溫度及雨量兩變數來說，普遍以溫度較具有預報技術，可信度曲線斜率較接近完美預報，系統在預報高機率時，雨量比溫度更容易發生過度預報，在預報為低機率時，雨量則是比溫度更容易發生不足預報。

利用阻塞高壓指標及地面溫度經驗正交函數來評估 MPAS 月預報系統對東亞冬季低溫事件的氣候特性掌握度。MPAS 可合理模擬出阻塞高壓發生頻率、發生位置，以及太平洋區域阻塞高壓發生時的持續時間。而在地面溫度經驗正交函數的特徵模擬上，MPAS 模擬之地面溫度前兩個特徵向量投影共解釋了地面溫度 63.3% 的變異度。進一步挑選主成分顯著事件進行層場合成分分析，主成分 1、2 地面溫度相關係數達到 0.93 及 0.83。整體上兩主成分事件的東亞西風噴流及東亞主槽的位置等中高層特徵也皆可合理掌握。在主成分的時序變化上，地面溫度主成分 1、2 相關係數分別為 0.60、0.35，而在事件發生頻率上，MPAS 大致上在 2 月傾向過度預報主成分 1 事件、但不足預報主成分 2 事件。

本研究初步評估東亞冬季 MPAS 月預報技術的能力，除了整體模式表現的校驗外，也利用影響低溫事件的氣候因子建立 MPAS 氣候監測指標。分析結果顯示 MPAS 月預報在溫度模擬上有不錯的表現，但降雨預報表現較差。未來預計持續以影響臺灣降雨的氣候因子，如 MJO 指標等，研發建立模式中有效的冬、春季降雨的預報指引。

## 參考文獻

- 王安翔、龔楚英、吳宜昭、于宜強 (2016)，2016年1月臺灣地區寒害事件彙整與分析。國家災害防救科技中心災害防救電子報，第128期，1–15頁。
- 陳淡容、于宜強、朱容練 (2020)，臺灣寒流的農漁業衝擊與低溫預警技術研究。災害防救科技與管理學刊，第9卷第1期，13–24頁。doi: 10.6149/JDM.202003\_9(1).0002
- Alvarez, M. S., Coelho, C. A. S., Osman, M., Firpo, M. Â. F., & Vera, C. S. (2020), Assessment of ECMWF subseasonal temperature predictions for an anomalously cold week followed by an anomalously warm week in central and southeastern South America during July 2017. *Weather and Forecasting*, 35(5), 1871–1889. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0200.1>.
- Barriopedro, D. García-Herrera, R., Lupo, A. R., & Hernández, E. (2006), A Climatology of Northern Hemisphere blocking. *J. Climate*, 19, 1042–1063. <https://doi.org/10.1175/JCLI3678.1>
- Buizza, R. (2008), Comparison of a 51-member low-resolution (TL399L62) ensemble with a 6-member high-resolution (TL799L91) lagged-forecast ensemble. *Mon. Wea. Rev.*, 136, 3343–3362. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2430.1>
- Chan, J. C. L. & Li, C. (2004), The east Asian winter monsoon. In: Chang, C. P. (Ed.) East Asian Monsoon. Singapore: World Scientific Publishing Company Incorporated, pp. 54– 106.
- Chang, C.-P., Wang, Z., & Hendon, H. (2006), The Asian winter monsoon. In: Wang, B. (Ed.) The Asian Monsoon, Springer, Berlin, Heidelberg: Springer Praxis Books, pp. 89–127. [https://doi.org/10.1007/3-540-37722-0\\_3](https://doi.org/10.1007/3-540-37722-0_3)

- Chen, W., Yang, S. & Huang, R. H. (2005), Relationship between stationary planetary wave activity and the East Asian winter monsoon. *J. Geophys. Res.*, *110*. doi: 10.1029/2004JD005669
- Chen, W., & Kang, L. (2006), Linkage between the Arctic Oscillation and winter climate over East Asia on the interannual timescale: Roles of quasistationary planetary waves. *Chinese J. Atmos. Sci.*, *30*, 863–870.
- Chen, W., & Li, T. (2007), Modulation of Northern Hemisphere wintertime stationary planetary wave activity: East Asian climate relationships by the quasi-biennial oscillation. *J. Geophys. Res.*, *112*. doi: 10.1029/2007JD008611
- Davis, C. A., Ahijevych, D. A., Wang, W., & Skamarock, W. C. (2016), Evaluating medium-range tropical cyclone forecasts in uniform- and variable-resolution global models. *Mon. Wea. Rev.*, *144*, 4141–4160. doi: 10.1175/MWR-D-16-0021.1
- Ding, Y. (1990), Build-up, air mass transformation and propagation of Siberian high and its relation to cold surge in East Asia. *Meteorology and Atmospheric Physics*, *44*, 281–292. doi: 10.1007/BF01026822
- Fowler, L. D., Barth, M. C., & Alapaty, K. (2020), Impact of scale-aware deep convection on the cloud liquid and ice water paths and precipitation using the Model for Prediction Across Scales (MPAS-v5.2). *Geosci. Model Dev.*, *13*, 2851–2877. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-2851-2020>
- Gerrity, J. P. Jr. (1992), A note on Gandin and Murphy's equitable skill score. *Mon. Wea. Rev.*, *120*, 2707–2712. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1992\)120<2709:ANOGAM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1992)120<2709:ANOGAM>2.0.CO;2)
- Gong, D.-Y., & Ho, C.-H. (2004), Intra-seasonal variability of wintertime temperature

- over East Asia. *International Journal of Climatology*, 24, 131–144. doi: 10.1002/joc.1006
- Gong, Z., Feng, G., Ren, F., & Li, J. (2014), A regional extreme low temperature event and its main atmospheric contributing factors. *Theor. Appl. Climatol.*, 117, 195–206. doi: 10.1007/s00704-013-0997-7
- Hamill, T. M. (1997), Reliability diagrams for multicategory probabilistic forecasts. *Wea. Forecasting*, 12, 736–741. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1997\)012<0736:RDFMPF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1997)012<0736:RDFMPF>2.0.CO;2)
- Harvey, L. O., Hammond, K. R., Lusk, C. M., & Mross, E. F. (1992), The application of signal detection theory to weather forecasting behavior. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 863–883. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1992\)120<0863:TAOSDT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1992)120<0863:TAOSDT>2.0.CO;2)
- Hoffman, R. N., & Kalnay, E. (1983), Lagged average forecasting an alternative to Monte Carlo forecasting. *Tellus* 35A, 100–151. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.1983.tb00189.x>
- Hong, S.-Y., & Lim, J. O. J. (2006), The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *J. Korean Meteor. Soc.*, 42, 129–151.
- Hong, S.-Y., Noh, Y., & Dudhia, J. (2006), A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2318–2341. <https://doi.org/10.1175/MWR3199.1>
- Hsu, L.-H., Tseng, L.-S., Hou, S.-Y., Chen, B.-F., & Sui, C.-H. (2020), A simulation study of Kelvin waves interacting with synoptic events during December 2016 in the South China Sea and Maritime Continent. *J. Climate*, 33, 6345–6359. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0121.1>

- Hsu, W.-R., & Murphy, A. H. (1986), The attributes diagram: A geometrical framework for assessing the quality of probability forecasts. *Int. J. Forecasting*, 2, 285–293. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(86\)90048-8](https://doi.org/10.1016/0169-2070(86)90048-8)
- Huang, C.-Y., Zhang, Y., Skamarock, W. C., & Hsu, L.-H. (2017), Influences of large-scale flow variations on the track evolution of Typhoons Morakot (2009) and Megi (2010): Simulations with a global variable-resolution model. *Mon. Wea. Rev.*, 145, 1691–1716. doi: 10.1175/MWR-D-16-0363.1
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Kidd, C., Nelkin, E. J., Sorooshian, S., Tan, J., & Xie, P. (2017), NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG), Algorithm Theoretical Basis Doc., version 5.1, 34pp. [Available online at [https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document\\_files/IMERG\\_ATBD\\_V5.1.pdf](https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_ATBD_V5.1.pdf).]
- Iacono, M. J., Delamere, J. S., Mlawer, E. J., Shephard, M. W., Clough, S. A., & Collins, W. D. (2008), Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. *J. of Geophys. Res. Atmos.*, 113, D13103. doi: 10.1029/2008JD009944
- Jeong, J.-H., & Ho, C.-H. (2005), Changes in occurrence of cold surges over East Asia in associated with Arctic oscillation. *Geophysical Research Letters*, 32, L14704. doi: 10.1029/2005GL023024
- Jeong, J.-H., Ho, C.-H., Kim, B.-M. & Kwon, W.-T. (2005), Influence of the Madden-Julian Oscillation on wintertime surface air temperature and cold surges in East Asia. *J. Geophys. Res.*, 110, doi: 10.1029/2004JD005408
- Jeong, J.-H., Kim, B.-M., Ho, C.-H., Chen, D., & Lim, G.-H. (2006), Stratospheric

- origin of cold surge occurrence in East Asia. *Geophysical Research Letters*, *33*, L14704. doi: 10.1029/2006GL026607
- Jeong, J.-H., Kim, B.-M., Ho, C.-H. & Noh, Y.-H. (2008), Systematic variation in wintertime precipitation in East Asia by MJO-induced extratropical vertical motion. *J. Climate*, *21*, 788–801. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1801.1>
- Jhun, J.-G., & Lee, E.-J. (2004), A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon. *J. Climate*, *17*, 711–726. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0711:ANEAWM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0711:ANEAWM>2.0.CO;2)
- Jie, W., Wu, T., Wang, J., Li, W., & Polivka, T. (2015), Using a deterministic time-lagged ensemble forecast with a probabilistic threshold for improving 6-15 day summer precipitation prediction in China. *Atmospheric Research*, *156*, 142–159. doi: 10.1016/j.atmosres.2015.01.004
- Joung, C. H., & Hitchman, M. H. (1982), On the role of successive downstream development in East Asian polar air outbreaks. *Mon. Wea. Rev.*, *110*, 1224–1237. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1982\)110<1224:OTROSD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1982)110<1224:OTROSD>2.0.CO;2)
- Judt, F. (2020), Atmospheric Predictability of the Tropics, Middle Latitudes, and Polar Regions Explored through Global Storm-Resolving Simulations. *J. Atmos. Sci.*, *77*, 257–276. doi: 10.1175/JAS-D-19-0116.1
- Khain, P., Levi, Y., Shtivelman, A., Vadislavsky, E., Brainin, E., & Stav, N. (2020), Improving the precipitation forecast over the Eastern Mediterranean using a smoothed time-lagged ensemble. *Meteorological Applications*, *27*, e1840. <https://doi.org/10.1002/met.1840>
- Klemp, J. B. (2011), A terrain-following coordinate with smoothed coordinate surfaces. *Mon. Wea. Rev.*, *139*, 2163–2169. doi: 10.1175/MWR-D-10-05046.1

- Lee, J.-Y., & Wang, B. (2014), Future change of global monsoon in the CMIP5. *Climate Dyn.*, 42, 101–119. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0857-4>
- Lee, J.-Y., Lee, S.-S., Wang, B., Ha, K.-J., & Jhun, J.-G. (2013), Seasonal prediction and predictability of the Asian winter temperature variability. *Clim. Dyns.*, 41, 573–587. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1588-5>
- Lejenäs, H., & Økland, H. (1983), Characteristics of northern hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data. *Tellus*, 35A, 350–362. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.1983.tb00210.x>
- Li, J., Wang, B., & Yang, Y.-M. (2020), Diagnostic metrics for evaluating model simulations of the East Asian Monsoon. *J. Climate*, 33, 1777–1801. doi: 10.1175/JCLI-D-18-0808.1
- Liu, Y., Wang, L. Zhou, W. & Chen, W. (2014), Three Eurasian teleconnection patterns: Spatial structures, temporal variability, and associated winter climate anomalies. *Clim. Dyn.*, 42, 2817–2839. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2163-z>
- Lu, C., Yuan, H., Schwartz, B. E., & Benjamin, S. G. (2007), Short-Range numerical weather prediction using time-lagged ensembles. *Weather and Forecasting*, 22, 580–595. <https://doi.org/10.1175/WAF999.1>
- Mariotti, A., Ruti, P.M. & Rixen, M. (2018), Progress in subseasonal to seasonal prediction through a joint weather and climate community effort. *npj Clim Atmos Sci* 1, 4. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0014-z>
- Mason, S. J. (1982), A model for assessment of weather forecasts. *Aust. Meteor. Mag.*, 30, 291–303.
- Mason, S. J., & Graham, N. E. (1999), Conditional probabilities, relative operating characteristics, and relative operating levels. *Wea. Forecasting*, 14, 713–725.

[https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1999\)014<0713:CPROCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1999)014<0713:CPROCA>2.0.CO;2)

- Pilon, R., Zhang, C., & Dudhia, J. (2016), Roles of deep and shallow convection and microphysics in the MJO simulated by the Model for Prediction Across Scales, *J. Geophys. Res. Atmos.*, *121*, 10,575–10,600. doi:10.1002/2015JD024697
- Porson, A. N., Carr, J. M., Hagelin, S., Darvell, R., North, R., Walters, D., Mylne, K. R., Mittermaier, M. P., Willington, S., Macpherson, B. (2020), Recent upgrades to the Met Office convective-scale ensemble: An hourly time-lagged 5-day ensemble. *Q. J. R. Meteorol Soc.*, <https://doi.org/10.1002/qj.3844>
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., et al. (2014), The NCEP Climate Forecast System Version 2. *J. Climate*, *27*, 2185–2208. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>
- Schwartz, C. S. (2019), Medium-Range Convection-Allowing Ensemble Forecasts with a Variable-Resolution Global Model. *Mon. Wea. Rev.*, *147*, 2997–3023. doi:10.1175/MWR-D-18-0452.1
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Duda, M. G., Fowler, L. D., Park, S.-H., & Ringler, T. D. (2012), A multiscale nonhydrostatic atmospheric model using centroidal Voronoi tessellations and C-grid staggering. *Mon. Wea. Rev.*, *140*, 3090–3105, doi:10.1175/MWR-D-11-00215.1
- Song, L., Wang, L., Chen, W., & Zhang, Y. (2016), Intraseasonal variation of the strength of the East Asian trough and its climate impacts in boreal winter. *J. Climate*, *29*, 2557–2577. doi: 10.1175/JCLI-D-14-00834.1
- Song L., & Wu, R. (2017), Processes for occurrence of strong cold events over Eastern China. *J. Climate*, *30*, 9247–9266. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0857.1
- Taguchi, M. (2020), A study of false alarms of a major sudden stratospheric warming

- by real-time subseasonal-to-seasonal forecasts for the 2017/2018 northern winter. *Atmosphere*, 11(8), 875. <https://doi.org/10.3390/atmos11080875>
- Takaya, K., & Nakamura, H. (2005a), Mechanisms of intraseasonal amplification of the cold Siberian high. *J. Atmos. Sci.*, 62, 4423–4440. doi: 10.1175/JAS3629.1
- Takaya, K., & Nakamura, H. (2005b), Geographical dependence of upper-level blocking formation associated with intraseasonal amplification of the Siberian high. *J. Atmos. Sci.*, 62, 4441–4449. <https://doi.org/10.1175/JAS3628.1>
- Takaya, K., & Nakamura, H. (2013), Interannual variability of the East Asian winter monsoon and associated modulations of the planetary waves. *J. Climate*, 26, 9445–9461. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00842.1>
- Tibaldi, S., & Molteni, F. (1990), On the operational predictability of blocking. *Tellus*, 42A, 343–365. doi: 10.3402/tellusa.v42i3.11882
- Ushiyama, T., Sayama, T., Tatebe, Y., & Fujioka, S. (2014), Numerical simulation of 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin by using lagged ensemble rainfall forecasting. *Journal of Hydrometeorology*, 15, 193–211. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-011.1>
- Van Den Dool, H. M., & Rukhovets, L. (1994), On the weights for an ensemble-averaged 6–10-day forecast. *Weather and Forecasting*, 9, 457–465.
- Vitart, F., Ardilouze, C., Bonet, A., Brookshaw, A., Chen, M., Codorean, C., et al. (2017), The Subseasonal to Seasonal (S2S) prediction project database. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 98, 163–173. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0017.1>
- Wang, B., Wu, R. & Fu, X. (2000), Pacific–East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J. Climate*, 13, 1517–1536. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<1517:PEATHD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<1517:PEATHD>2.0.CO;2)

- Wang, B., Wu, Z., Chang, C. P., Liu, J., Li, J., & Zhou, T. (2010), Another look at interannual-to-interdecadal variations of the East Asian winter monsoon: The northern and southern temperature modes. *J. Climate*, 23, 1495–1512. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3243.1>
- Wang, H. J. & He, S. P. (2012), Weakening relationship between East Asian winter monsoon and ENSO after mid-1970s. *Chin. Sci. Bull.*, 57, 3535–3540. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5285-x>
- Wang, L., & Lu, M.-M. (2017), The East Asian winter monsoon. In: Chang, C. P., Kuo, H. C., Lau, N. C., Johnson, R. H., Wang, B., Wheeler, M. (Eds.) *The Global Monsoon System: Research and Forecast* (3rd ed). Singapore: World Scientific, pp. 51–61.
- White, C. J., Carlsen, H., Robertson, A. W., Klein, R. J. T., Lazo, J. K., Kumar, A., et al. (2017), Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions. *Meteorol. Appl.* 24, 315–325. doi: 10.1002/met.1654
- Wilks, D. S. (2006), *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2nd ed. Academic Press, 627 pp.
- Wu, B., & Wang, J. (2002), Winter Arctic oscillation, Siberian high and East Asian winter monsoon. *Geophysical Research Letters*, 29, 1897. doi: 10.1029/2002GL015373
- Wu, Z., Li, J., Jiang, Z., & He, J. H. (2011), Predictable climate dynamics of abnormal East Asian winter monsoon: Once-in-a-century snowstorms in 2007/2008 winter. *Clim. Dyns.*, 37, 1661–1669. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0938-4>
- Xiang, B., Sun, Y. Q., Chen, J. H., Johnson, N. C., & Jiang, X. (2020), Subseasonal prediction of land cold extremes in boreal wintertime. *Journal of Geophysical*

*Research: Atmospheres, 125(13), e2020JD032670.*

<https://doi.org/10.1029/2020JD032670>

Xu, M., Thompson, G., Adriaansen, D. R., & Landolt, S. D. (2019), On the value of time-lag-ensemble averaging to improve numerical model predictions of aircraft icing conditions. *Weather and Forecasting, 34, 507–519.*  
<https://doi.org/10.1175/WAF-D-18-0087.1>

Zhang, C., Wang, Y., & Hamilton, K. (2011), Improved representation of boundary layer clouds over the Southeast Pacific in ARW-WRF using a modified Tiedtke cumulus parameterization scheme, *Mon. Wea. Rev., 139(11), 3489–3513.*  
<https://doi.org/10.1175/MWR-D-10-05091.1>



## MPAS 全球模式冬季月預報技術先期研究

---

發行人：陳宏宇

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

報告完成日期：中華民國 109 年 12 月

出版年月：中華民國 110 年 01 月

版 次：第一版

非賣品

地址：23143新北市新店區北新路三段200號9樓

電話：++886-2-8195-8600

傳真：++886-2-8912-7766

網址：<http://www.ncdr.nat.gov.tw>