

東亞夏季降水統計預報模式之建立

李思瑩 盧孟明

中央氣象局氣象科技研究中心

摘要

東亞夏季 (May-Aug) 季風降水變化在 MJ 以及 JA 有明顯的差異，本研究針對 JA 期間東亞 (EA; 110°E-150°E、15°N-40°N) 地區的降水進行分析以及統計預報模式的建立。首先，使用 GPCP 全球網格降水資料計算 EA 區域 1979-2008 年 JA 時期降水的經驗正交函數 (EOF) 分析，第一個模態的主要變化是以 30°N 為界，以北的日本與以南的臺灣為降水中心，且兩者呈現反相位。以第一模態對應的 PC 為預報對象 (predictand)，計算 PC 與大尺度環流變數的相關係數來找出此模態與大尺度環流的關係，以此來挑選預報因子，並使用逐步迴歸以及多變數迴歸方法來建立預報模式，進行降水預報以及預報技術評估。

一、前言

過去的研究中，夏季降水季節預報或季節分析都是以 6 月至 8 月 (JJA) 平均為主，但東亞地區與臺灣的夏季降水年變化在初夏 (MJ) 以及盛夏 (JA) 期間展現了顯著的差異，圖 1 為 30 年氣候平均的初夏與盛夏期間降水、低層風場以及 500hPa 高度場，兩段時期的降水最大值出現在不同的位置，初夏的降水以梅雨鋒雨帶為主，太平洋副高 (WPSH) 平均脊線在 20°N，盛夏時期降水最大值在季風槽的範圍，副高脊線移動到 26°N-27°N，西太平洋 (20°N-30°N 附近) 的降水向東延伸到近換日線，而臺灣的測站降水也分別在兩個時期出現高值。

以 JJA 為夏季平均所進行的季節預報，因著初夏與盛夏的氣候平均值有這樣的差異，東亞地區的夏季降水預報一直是很大的挑戰 (Wang et al.2009)，Wang et al.(2008a)提到 14 個動力模式的多模式系集預報結果在東亞地區的 24 年 (1981-2004) 夏季降水事前預報 (hindcast) 與觀測值的相關係數在 0.1~0.25 之間，Wang et al.(2009a)、Qin et al.(2013)都指出東亞夏季季風區 5 月與 6 月的降水型態相似，7 月與 8 月的降水型態相似，如果將初夏與盛夏的降水分開進行預

報，應有利於夏季降水的預報結果。但即使將初夏與盛夏分開進行降水預報，使用動力模式預報東亞夏季季風區盛夏期間降水仍然是很大的挑戰 (Wang et al.2005；Wu and Li 2008)。Xing et al.(2016)就提到 4 個耦合模式的多模式系集預報結果顯示東亞夏季季風區 32 年盛夏時期降水預報結果與觀測結果的時間相關係數皆低於 0.2。中央氣象局所發展的第二代二步法氣候模式對東亞地區盛夏期間的平均降水預報結果也是類似的結果。

因此，本研究以發展有物理概念的預報模式為方向，也就是依據大氣下墊面變化和主要的大尺度氣候模態是長期預報的可預報度根源兩個原則挑選預報因子，建立有物理概念的統計預報模式 (physics-based empirical model；P-E model，簡稱 PEM)。過去幾年，氣象局已陸續完成預報颱風季 (6-9 月) 臺灣附近的颱風累積動能 (Accumulated Cyclone Energy, ACE) (Lu et al. 2013) 和臺灣梅雨季 (5-6 月) 降雨變化趨勢 (Yim et al. 2014) 的預報模式。因此，本研究以東亞地區以及臺灣盛夏時期的降水為預報對象，期能建立有預報技術的 PEM。

二、資料與方法

本文所使用的資料，臺灣降水指數是使用中央氣象局 24 個局屬測站(分別為淡水、台北、基隆、花蓮、宜蘭、嘉義、台南、高雄、梧棲、台中、大武、新竹、恆春、成功、台東、鞍部、竹子湖、日月潭、阿里山、玉山、東吉島、彭佳嶼、澎湖、蘭嶼)之逐月降水。預報因子以及預報模式建立所使用的有 NASA GPCP (Global Precipitation Climatology Project) 逐月降水資料，NCEP/NCAR 重分析之逐月資料，變數為海平面氣壓 (mean sea level pressure; MSLP)、2 米溫度 (2 meter air temperature; T2M)、500hPa 高度場 (geopotential height; H500)、200hPa 與 850hPa 風場 (zonal and meridional wind; UV200、UV850)，以及 NOAA 海表面溫度 (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature; SST)。重分析資料的變數空間解析度分別是 144x73 (2.5 度)、192x94 (經度為 1.875、緯度為高斯分布)，降水資料的解析度為 144x72 (2.5 度)，海溫的空間解析度為 180*89 (2 度)。使用的資料時間為 1979 年至 2016 年。

建立預報模式過程所使用的方法分別為，降水資料分析使用經驗正交函數分析方法 (Empirical Orthogonal Function; EOF)，挑選預報因子時使用相關係數分析 (correlation coefficient analysis) 以及逐步迴歸 (stepwise regression analysis)，最後使用多變數迴歸 (multiple regression analysis) 方法建立預報迴歸方程。

三、夏季降水預報模式建立

1. 東亞以及臺灣夏季降水的空間特性

將 1979-2008 年 7、8 月平均東亞地區 (110°E-150°E、15°N-40°N) 的 GPCP 全球網格降水資料進行經驗正交函數分析 (EOF)，第一個模態解釋的方差為 23.38% (圖 2)，降水分布以 30°N 左右為界，以南為正、以北為負，正負值中心分別在臺灣以及日本，顯示兩地在盛夏期間降水為反相位的關係。臺灣方面，以 24 個測站平均的 1979-2008 年 7、8 月夏季平均降水 (SR) 表示臺灣測站觀測的夏季降水，而考量未來會動力預報模式產品結合，因此計算 SR 與 GPCP 的時間相關係數，找出兩者相關係數最高的範圍 (119°-

123°E、21°N-26°N)，以此範圍的區域降水平均來代表臺灣全島夏季降雨 (SRTW) (圖 3)。

臺灣與東亞地區盛夏期間降水的關係則以計算 SRTW 與大尺度環流變數的同時相關來看，圖 4 可見伴隨 SRTW 變化的降水型態分布與東亞地區 1979-2008 年盛夏期間降水的 EOF 第一個模態相似 (圖 2)，而 SRTW 與對應 EOF1 的 PC1 (文中以 EASR 代表) 相關係數將近 0.7，因此本研究夏季降水預報模式的建立是以東亞地區降水的第一模態時間變化為預報對象。

2. EASR 與大尺度環流的關係

為了預報 EASR，首先要了解 EASR 與全球大尺度環流的相關特徵，EASR 與大尺環流變數的同時相關結果指出，降水特徵與第一模態相同，由北而南從鄂霍次克海、日本到臺灣與西太平洋呈現正-負-正的分佈，海平面氣壓則對應降水型態呈現低壓-高壓-低壓的分佈，海溫在阿拉伯海、孟加拉灣向東到菲律賓、西太平洋以及南半球熱帶東太平洋有顯著負相關，在日本、朝鮮半島到黃海有顯著正相關，北太平洋上也有顯著正相關訊號。

接著檢示冬季至初夏期間 (1 月至 6 月) 伴隨 EASR 變化的大尺度環流變化來挑選預報因子，EASR 與各變數在不同月份的相關係數分析結果顯示 EASR 與熱帶東太平洋的海溫有顯著的負相關，與西太平洋海溫有顯著的正相關，這些相關的特徵從冬季開始持續到夏季，將此正負海溫差 (簡稱為 Pdip) 與 1 月至 6 月雙月平均海溫的進行相關係數分析，海溫的分布型態呈現 ENSO 的特徵，表示 Pdip 的可預報度來源為 ENSO，前人研究結果亦說明 ENSO 是東亞夏季季風主要影響因子之一 (Lau and Nath 2000; Wang et al.2008b 等等)，因此以 4-5 月平均的 Pdip 做為第一個預報因子。

第二個預報因子為高緯度地區鄂霍次克附近的 T2M (簡稱 OH)，此處的 T2M 與春季積雪覆蓋 (snow cover) 相關，而歐亞大陸的春季積雪覆蓋是影響東亞夏季季風的因素之一 (Wang et al.2000,2008a; Liu and Yanai 2002; Zhang et al. 2004; He et al. 2007; Wu et al. 2009; Yim et al.2010)，相關係數分析結果指出鄂霍次克附近的 T2M 顯著正相關從 2-3 月開始出現，4-5 月

出現最大值，到了初夏已沒有正相關的範圍，所以，以 4-5 月平均的 OH 為第二個預報因子。

3. 建立預報模式

考慮預報的時效性以及取得資料的時間，挑選的預報因子是以 5 月以前的資料為主，上述的分析挑選了 2 個預報因子（圖 5），分別為 4-5 月平均高緯度地區鄂霍次克附近的 T2M(OH) 以及 4-5 月平均的熱帶太平洋東西向海溫差異 (Pdip)，以此 2 個預報因子建立多變數迴歸模式並進行交叉驗證 (cross validation)，2 個預報因子在建立迴歸方程之前，先進行逐步迴歸的計算與檢驗，2 個預報因子都通過顯著性檢驗。交叉驗證法則是使用 1979-2008 年期間移除 3 年後利用其餘年份對該 3 年進行預報，亦即使用 1982-2008 年 27 年資料建立迴歸模式，對 1979-1981 年 3 年進行預報，以此類推，分別對 10 個 3 年進行預報。

圖 6 為 1979-2008 年交叉驗證的預報結果(虛線) 以及 EASR (實線) 時間序列，2009 年以後的年份則為使用 1979-2008 年所建立的多變數迴歸模式之預報值。交叉驗證的預報結果與 EASR 的相關係數為 0.64，表示此模式有一定的預報程度。

四、未來工作

本研究以 4-5 月平均高緯度地區鄂霍次克附近的 T2M(OH) 以及 4-5 月平均的熱帶太平洋東西向海溫差異 (Pdip) 2 個預報因子來建立統計預報模式，OH 代表春季積雪覆蓋對東亞夏季季風的影響，Pdip 則是 ENSO 對東亞夏季季風的影響，用這些預報因子經過交叉驗證所得之東亞盛夏降水預報結果與實際結果的相關係數為 0.64，但使用 1979-2008 年所建立的多變數迴歸模式去預報 2009-2016 年，卻與實際結果呈現負相關。目前是因為考慮預報的時效性以及取得資料的時間，所以只使用 5 月以前的 NCEP/NCAR 重分析資料建立預報模式，未來會加入 6 月的資料重新建立，希望可以改善預報結果，也會使用 EC 的重分析資料來建立統計預報模式，比較兩組資料的結果。

五、參考文獻

- He JH, Wu ZW, Jiang ZH, Miao CS, Han GR (2007) "Climate effect" of the northeast cold vortex and its influences on Meiyu. *Chin Sci Bull* **52(5)**:671-679
- Lau, N.-C., and M. J. Nath, 2000: Impact of ENSO on the variability of the Asian-Australian monsoons as simulated in GCM experiments. *J. Climate*, **13**, 4287-4309.
- Liu X, Yanai M (2002) Influence of Eurasian spring snow cover on Asian summer rainfall. *Int J Climatol* **22(9)**:1075-1089
- Lu M-M, Lee C-T and Wang B (2013) Seasonal prediction of accumulated tropical cyclone kinetic energy around Taiwan and the sources of the predictability. *Int. J. Climatol* **33**, 2846-2854.
- Qin S, Riyu L, Chaofan L (2013) Large-scale circulation anomalies associated with interannual variation in monthly rainfall over South China from May to August. *Adv Atmos Sci*. doi:10.1007/s00376-013-3051-x
- Wang, B., R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific-East Asia teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J. Climate*, **13**, 1517-1536.
- , Ding Q, Fu X, Kang IS, Jin K, Shukla J, Doblas-Reyes F (2005) Fundamental challenge in simulation and prediction of summer monsoon rainfall. *Geophys Res Lett* **32(15)**:L15711.
- , Bao Q, Hoskins B, Wu G, Liu Y (2008a) Tibetan Plateau warming and precipitation change in East Asia. *Geophys Res Lett* **35**:L14702.
- , Z. Wu, J. Li, J. Liu, C.-P. Chang, Y. Ding, and G. Wu, 2008b: How to measure the strength of the East Asian summer monsoon? *J. Climate*, **21**, 4449-4463.
- , Liu J, Yang J, Zhou T, Wu Z (2009) Distinct principal modes of early and late summer rainfall anomalies in East Asia. *J Clim* **22**:3864-3875
- Wu Z, Li J (2008) Prediction of the Asian-Australian monsoon interannual variations with the grid-point atmospheric model of IAP LASG (GAMIL). *Adv*

Wu Z, Wang B, Li J, Jin FF (2009) An empirical seasonal prediction of the east Asian summer monsoon using ENSO and NAO. *J Geophys Res* 114:D18120.

Yim SY, Wang B, Xing W, and M–M Lu, 2015: Prediction of Meiyu rainfall in Taiwan by multi-lead physical – empirical models. *Clim Dyn* 44:3033–3042.

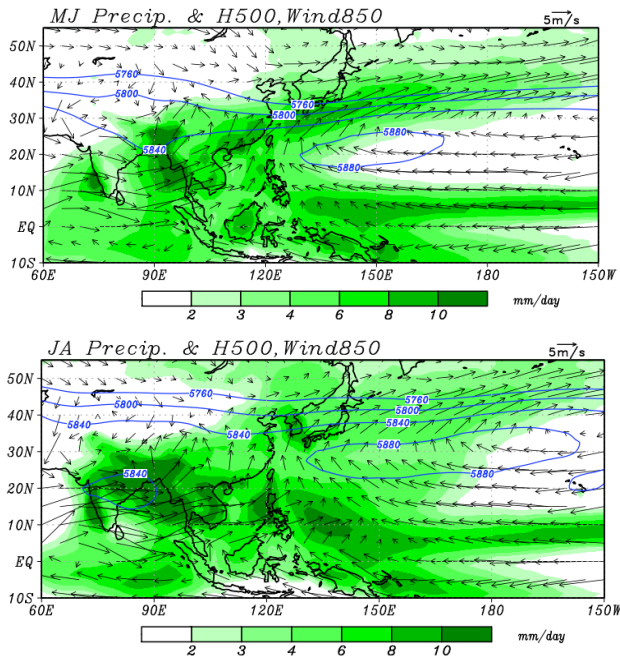


圖 1 1979-2008 年氣候平均的初夏與盛夏期間降水、低層風場以及 500hPa 高度場。

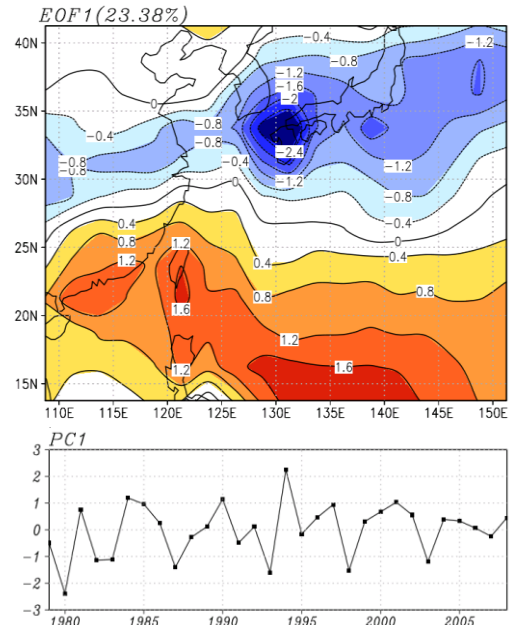


圖 2 1979-2008 年 7、8 月平均東亞地區 (110°E-150°E、15°N-40°N) 的降水 EOF1 以及 PC1。

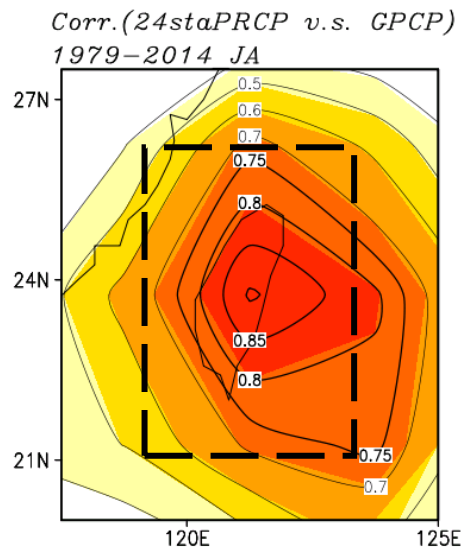


圖 3 用全球格點分析資料計算臺灣盛夏降水指數 SRTW 的區域範圍 (119°-123°E、21°N-26°N) 及區域內與臺灣測站降水指數 SR 的相關係數。

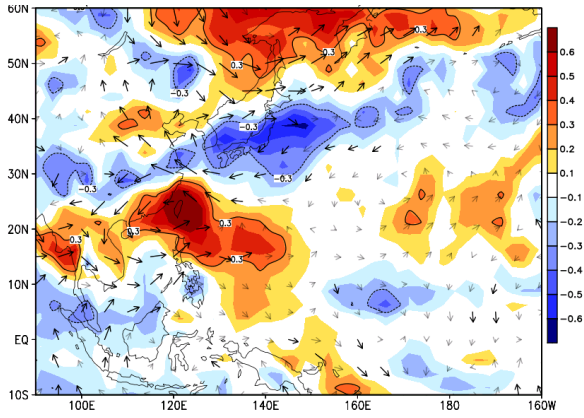


圖 4 SRTW 與大尺度環流變數的同時相關。(陰影：降水，風標：UV850)

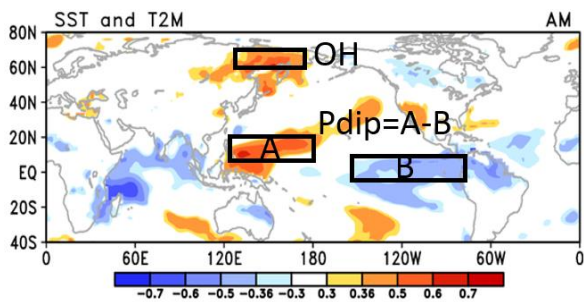


圖 5 EASR 與 4、5 月平均的 2 米空氣溫度(陸地)以及海溫(海洋)相關係數。0.3 為相關係數達 90% 顯著程度，0.36 是相關係數達 95% 顯著程度。方框為選取的預報因子。

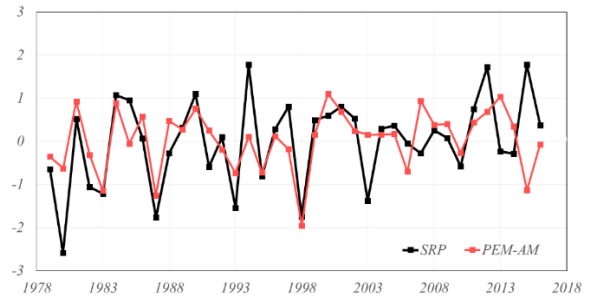


圖 6 1979-2016 年 EASR (黑線) 與預報 (紅線) 時間序列，1979-2008 年為交叉驗證的結果，2009-2016 年為 1979-2008 年所建立的多變數迴歸模式之預報值。X 軸為年份，Y 軸為溫度距平值。