

# 運用氣象局月與季氣候預報系統發展臺灣梅雨季極端降雨事件頻率預

## 報方法

卓盈旻 盧孟明

中央氣象局科技中心

## 摘 要

梅雨季極端降雨事件是臺灣的重要災害天氣，由於目前全球氣候模式仍無法合理模擬梅雨鋒面的氣候特性，因此難以直接利用模式結果探討梅雨季劇烈降雨的變異特徵。為了要克服模式對於極端降雨預報上的限制，本文提出大尺度環流指數降尺度預報法，以中央氣象局月與季短期氣候預報系統(TCWB2T2)產品應用為例，說明臺灣梅雨季極端降雨頻率二分類機率預報及準確度的評估結果。

極端降雨事件的判斷標準乃是根據臺灣西部 10 個測站的各站 50 年(1951-2000)五、六月發生最大日雨量的中位數為各站的門檻值，收集至少有一站事件發生的日期與資料研判利於極端事件發生的大尺度條件。極端事件發生的 177 天中，有 70%的個案出現正渦度距平低壓氣旋環流從華南經臺灣通過東海到日本南方洋面，並有從西南往東北方向的負渦度距平高壓反氣旋環流從南海東北部經菲律賓往西北太平洋上延伸，而在南海北部到琉球附近的正、負渦度距平之間有強勁的西南氣流等特徵，據此設計了西南氣流指數(SWFI)作為預報因子。預報對象為梅雨季 10 個測站加總的事件數，定義為梅雨季極端降雨事件發生頻率(TMERF)，TMERF 與 SWFI 的 50 年相關係數達 0.62，在 16 年驗證期(2001-2016)的相關係數有 0.75。

由於 SWFI 的預報結果可從全球數值預報系統產品計算獲得，因此能用 SWFI 預測值進一步預測 TMERF 的變化，也就是將全球模式的預報結果降尺度到臺灣應用。以氣象局 TCWB2T2 作業性預報為例，以每年四月的每日觀測分析場作為預測初始值得到 120 組 SWFI 的預測值，藉此即能預測 TMERF 的變化傾向。TMERF 在回溯預報期(1982-2011)的二分類機率預測有 56.7%命中正確類別，5 年實時預測(2012-2016)有 3 年預測正確。SWFI 降尺度方法的物理基礎在於它的變化反應出與臺灣息息相關的東亞與西北太平洋季風氣候系統和太平洋與印度洋海溫變異的關係。

## 一、前言

梅雨是臺灣在春夏季節轉換時最重要的天氣現象，平均而言，每年梅雨季約有 4-5 道鋒面影響臺灣甚至帶來劇烈降水(陳、紀，1978；陳、蔡，1980)。王等(1985)分析 1960-1984 年中央氣象局所屬 24 個測站發現，每年豪大雨發生頻率除了颱風以外主要出現在 5 月中至 6 月中之梅雨時期。局部地區的強降雨易引發暴洪、淹水、山崩、土石流等劇烈變化，帶來重大災害，對於社會經濟人民生活造成無法忽略的影響。隨著都市快速發展，強降雨對都市居民的影響也

日益加劇，發展有物理根據和經過客觀評估預測水準檢驗的極端降雨事件發生趨勢季度預報方法是相當急迫的重要研究課題。

臺灣梅雨季降雨研究在中尺度天氣與動力及預報研究二十餘年來持續蓬勃發展進展顯著(陳，2007)，但梅雨季降雨頻率和尺度環流條件的相關研究並不多見。臺灣梅雨是東亞與西北太平洋夏季季風的一部分(陳、陳等，2007；陳、嚴等，2007)，因受臺灣地形影響有明顯的區域差異(Chen et al. 1999; Yen and Chen 2000; Tao and Chen 1987)，雨量變化受到海洋提供的豐沛水氣影響更加複雜。Chen et al. (2010)發現臺灣季

風雨在北部和南部比較顯著，東部較不明顯，中南部地區梅雨最顯著，但年與年之間差異甚大。Yim et al. (2015)則發現臺灣梅雨季雨量變化主要受到印度洋與太平洋海表面溫度(Sea Surface Temperature, SST)變化及伴隨北大西洋振盪(North Atlantic Oscillation, NAO)的 SST 變化影響。

臺灣面積小地形複雜，梅雨期劇烈降雨主要發生在狹長的梅雨鋒面帶內，全球預報模式對於梅雨季極端降雨變異的模擬能力還相當有限，但是對於數百公里以上的綜觀尺度環流變化，尤其是海氣偶合變化的季度預報還能有不少的掌握。為充分使用月與季預測的全球動力模式產品，本文提出一個具有物理概念的降尺度方法，設計了與臺灣梅雨季劇烈降雨發生頻率統計關係顯著的大尺度環流指數，運用模式預報的指數推估臺灣梅雨季劇烈降雨發生頻率偏多與偏少的機率。大尺度環流指數法可應用在作業性預報，也可作為實時氣候監測分析的概念架構，期能在梅雨季開始之前就掌握梅雨季劇烈降雨發生頻率多寡的前兆，於梅雨季結束後進行回顧分析，進而完善概念架構。

## 二、資料和方法

五、六月是台灣的梅雨季，由陳(1981)的分析可知梅雨季降水主要集中於台灣西部，因此本研究用以判斷極端降雨測站資料有台灣西部 10 個傳統氣象測站(基隆、淡水、台北、新竹、梧棲、台中、嘉義、台南、高雄、恆春)梅雨季(5~6月)的日雨量資料。大尺度環流分析場使用美國國家環境預報中心和美國國家大氣研究中心提供之日平均水平風場(U、V)重分析資料(NCEP/NCAR Reanalysis-1)，網格解析度為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 經緯網格。

在預報場方面，使用的氣候預報模式為中央氣象局第二代二步法氣候預報系統(TCWB2T2)產品，該預報系統是中央氣象局全球氣候模式(CWB AGCM)與ECHAM5 兩組大氣模式搭配 NCEP CFSv2 和氣象局第二版全球海溫最佳化預報系統產品(OPGSST2)兩組不同海溫邊界條件交錯搭配出四種組合，建立 30 年(1982-2011)的 TCWB2T2 回溯預報資料庫。TCWB2T2 產出的資料非常豐富，本研究根據臺灣梅雨季極端降

雨事件的大尺度條件特性僅僅使用了其中的 850hPa 風場。

本研究中極端降雨事件的選取是依據每個測站的雨量分布頻率定義，取 1951-2000 年每一年梅雨季(5~6月)期間日雨量的最大值，將這 50 年日雨量最大值的位數定為極端降雨事件的雨量門檻值(Rc)，當梅雨季期間的日雨量超過 Rc 就視為有一個極端降雨事件。每個測站可以得到其各自的雨量門檻值，各測站的 Rc 值如表 1 所示。此 Rc 值所選取的極端降雨事件達到雨量(日雨量 $\geq 1.0$  mm)累積機率分布的第 98 百分位以上，相當於使用極端值分析方法估計 24 小時以上累積雨量的重現期距大於 1.5 年的降雨事件。統計 1951-2000 年梅雨季期間每個測站日雨量超過 Rc 值的天數，並將颱風影響(颱風進入臺灣海域 300km 以內)的天數扣除，共有 177 天中至少有一個測站會發生極端降雨事件，將每年達到極端降雨事件的日數和測站數定為臺灣梅雨極端降雨頻率(Taiwan Mei-yu Extreme Rainfall Frequency, TMERF)。

## 三、西南氣流指標

依照有極端事件發生日期計算的 850hPa 風場與渦度總量與距平的平均場量可看出利於極端事件發生大尺度條件的端倪。圖 1 為 1951-2000 年 177 個梅雨季極端降雨事件個案大尺度環流場的距平成圖，西南氣流距平中心出現在從南海東北角往菲律賓東北角的巴士海峽，低壓環流距平中心出現在華南與台灣海峽，而高壓反氣旋距平中心出現在南海至菲律賓北部，可見西南氣流發生位置和太平洋高壓與華南低壓系統有密切的關係。

為了瞭解有利於臺灣極端降雨發生的環流位置，統計每一個網格點上正、負渦度的極端降雨事件出現頻率，顯示極端降雨事件發生時，臺灣與華南附近區域存在低壓氣旋環流，如圖 2 中的紅點區，南海和菲律賓海附近有高壓反氣旋區(藍點區)，從南海北部到琉球附近低層有西南氣流，表示當臺灣西北和東南部分別存在低壓和高壓環流場時，由南海北部來的西南氣流就容易造成臺灣地區出現災害性降雨的發生。

經由 NCEP 重分析日資料的分析可知，當臺灣西

北和東南部分別存在低壓和高壓環流場時，臺灣極端降雨事件並不一定會發生，可見除了渦度場條件之外，還有其他的環流條件使極端降雨發生，因此西南氣流的強度是另一個重要的因素。為了瞭解西南氣流強度是否會影響極端事件發生機率，以 SWU 代表在符合渦度條件之下，西南氣流區域（圖 2 的綠點區）的平均距平緯向風速。

圖 3 為使用 NCEP 重分析日資料計算 1951-2000 年梅雨季期間（5~6 月）的 SWU 風速分布頻率，灰色長條為符合渦度條件下的風速強度頻率，顯示 SWU 風速強度發生頻率近似於常態（Normal）分布。藍色長條為 177 天極端降雨事件的風速分布，可以發現大部分事件的風速值都比較偏強，顯示當臺灣發生極端降雨事件時西南氣流的風速值都比較強，因此定義在符合渦度條件之下，SWU 風速分布的第 50 百分位（中位數）的風速值作為極端降雨發生的風速門檻值（SWUc），風速閾值為 3.9 m/s。

由上述分析結果可知，臺灣極端降雨發生時有兩個大尺度環流條件，即（I）渦度條件：臺灣西北和東南部分別存在正、負渦度場，（II）西南氣流風速（SWU）要大於 SWUc。因此，定義西南氣流指數（Southwest Flow Index，SWFI）為每年梅雨季大尺度環流條件符合的天數，來代表臺灣極端降雨發生的頻率。即梅雨季（5~6 月）期間滿足低層渦度條件下，西南氣流風速值（SWU）大於風速閾值（Uc）的日數。

## 四、分析結果

為評估以 SWFI 作為 TMERF 預報因子的可行性，首先進行二者的相關性分析。SWFI 是根據 NCEP R1 分析場資料計算獲得，SWFI 和 TMERF 在 1951-2016 年的時間序列顯示在圖 4，在 1951-2000 年預報發展期二者相關係數為 0.62，而在 2001-2016 年預報實驗期二者相關係數為 0.75，均達 99% 信心度統計顯著水準。由於計算 SWFI 時用以判斷渦度符號的格點和 SWUc 門檻設定僅使用了 1951-2000 年的資料，沒有用到 2001-2016 年的資料，因此前段時期稱為預報方法發展期或訓練期，後段時期稱為預報驗證期。

圖 5 顯示 SWFI 與 TMERF 的散佈圖，看到 TMERF 偏少年份 SWFI 也是偏小，而 TMERF 偏大年份 SWFI 分佈的範圍較廣，但 TMERF 數值越大 SWFI 的數值也越大。圖 5 上方標示出 TMERF 二分類（偏高、偏低）預報結果列聯表，顯示正確預報的命中率在 1951-2000 年有 70%，2001-2016 年有 68.8%，以 Hanssen and Kuipers Score 評估的真實預報技術統計得分（True Statistic Skill, TSS）則分別為 0.38 和 0.30。TSS 是命中率和誤報率差值，TSS>0 表示預報技術高於隨機預報，可見以 SWFI 作為 TMERF 二分類預報的預報因子確實可產出有價值的結果，命中率達到接近上限值的 70%。

氣象局短期氣候預報系統 TCWB2T2 是由多模式多組預測組成的系集預測系統，系集成員差異僅在使用了不同日期的分析資料場作為預報初始值，月與季機率預報是根據 30 個初始日期 4 個預報模組集成 120 個預報成員，統計兩個類別的各類發生機率，預報初始值為 4 月 1 至 30 日，各個預報成員根據 1982-2011 年回溯預報資料分別定出各預報成員的 SWUc 以及每年 SWFI 預報值。圖 6 以不同預報組合求取的 SWFI 預報值和依觀測分析場（NCEP R1）計算的 SWFI 相關係數箱形圖，從相關係數的中位數來看，以氣象局全球預報模式（CWB AGCM）和 NCEP CFSv2 預報海溫的組合（CWB\_CFS）預報計算的 SWFI 和觀測值相關係數最高，但不如多模式多組預報的系集平均（Multi-Model Ensemble mean, MME），相關係數中位數最低的是 ECHAM5.2 和最佳化全球預報海溫的組合（EC5\_OPG）預報計算的 SWFI 和觀測值相關係數最低。整體表現仍以 MME 與觀測分析場的相關係數最高。特別要注意的是 30 年的相關係數 95% 信心度統計檢定門檻值是 0.35，可見 CWB AGCM 與 OPGSST2 和 ECHAM5.2 與 OPGSST2 兩種組合的大多數成員無法合理預報 SWFI 的年際變化，用 NCEP CFSv2 預報海溫作為邊界條件的預報組合相關係數表現優於用 CWB 的 OPGSST2 預報海溫。

## 五、討論

本研究提出了運用月與季動力預報系統產品預測臺灣梅雨季極端降雨頻率的大尺度環流指數法，以中

央氣象局月與季短期氣候預報系統(TCWB2T2)產品應用為例，說明臺灣梅雨季極端降雨頻率二分類機率預報及準確度評估結果。依據極端事件發生的大尺度環流特徵設計了西南氣流指數(SWFI)作為預報因子，預報對象為梅雨季 10 個測站加總的事件數，定義為梅雨季極端降雨事件發生頻率(TMERF)，TMERF 與 SWFI 的 50 年相關係數達 0.62，在 16 年驗證期(2001-2016)的相關係數有 0.75。以氣象局 TCWB2T2 作業性預報為例，以每年四月的每日觀測分析場作為預測初始值得到 120 組 SWFI 的預測值，藉此即能預測 TMERF 的變化傾向。TMERF 在回溯預報期(1982-2011)的二分類機率預測有 56.7%命中正確類別，5 年實時預測(2012-2016)有 3 年預測正確。

大尺度環流指數法具有簡單易懂且容易操作的優點，預報因子 SWFI 之所以適用的主要原因在於該指標的年際變化反應出東亞與西北太平洋季風氣候系統和太平洋與印度洋海溫變異的關係，也就是當南海與菲律賓海反氣旋與印度洋與太平洋海溫變異有正反饋加強作用時，臺灣梅雨鋒面發生極端降雨事件的機率隨之升高。

## 參考文獻

Chen, G. T.-J., Z. Jiang, and M.-C. Wu, 2003: Spring heavy rain events in Taiwan during warm episodes and the associated large-scale conditions. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1173-1188.

王時鼎、鄭俠、徐晉淮、邱台光，1985：五、六月間臺灣地區暴雨之環境條件。天氣分析與預報研討會論文集編，中央氣象局，55-72。

陳正改，蔡清彥，1980：影響臺灣北部地區之梅雨系統。大氣科學，7，49-58。

陳泰然，2007：最近之梅雨研究回顧。大氣科學，35:4，261-286。

陳泰然，紀水上，1978：臺灣梅雨鋒面之中幅度結構。大氣科學，5，35-47。

陳景森、陳宇能、林秉承、林沛練、劉哲伶、蘇炯瑞、彭文君，2007：梅雨季臺灣西南部豪雨之探討。

大氣科學，35:4，287-304。

陳慶昌、嚴明鈺、王世宇，2007：臺灣與東亞之夏季季風降雨變化。大氣科學，35:4，305-352。

Chen, T. C., M. C. Yen, and J. C. Hsieh, R. W. Arritt, 1999: Diurnal and seasonal variations of the rainfall measured by the automatic rainfall and meteorological telemetry system in Taiwan. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 2299-2312.

Chen, J. M., T. Li, and C. F. Shih, 2010: Tropical cyclone-and monsoon induced rainfall variability in Taiwan. *J. Climate*, **23**, 4107-4120.

Tao, S. Y. and L. X. Chen, 1987: A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. *Monsoon meteorology*, Chang, C.-P., and Krishnamurti, T. N. (Eds.), Oxford University Press, pp 60-92.

Yen, M. C., and T. C. Chen, 2000: Seasonal variation of the rainfall over Taiwan. *Int. J. Climatol.*, **20**, 803-809.

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

表 1：臺灣西部 10 個測站梅雨季極端降雨事件門檻值。

測站	站碼	Rc (mm/day)
淡水	46690	88.6
基隆	46694	99.1
台北	46692	89.6
新竹	46757	118.2
梧棲	46777	112.5
台中	46749	102.3
嘉義	46748	105.7
台南	46741	114.1
高雄	46744	105.8
恆春	46759	111.8

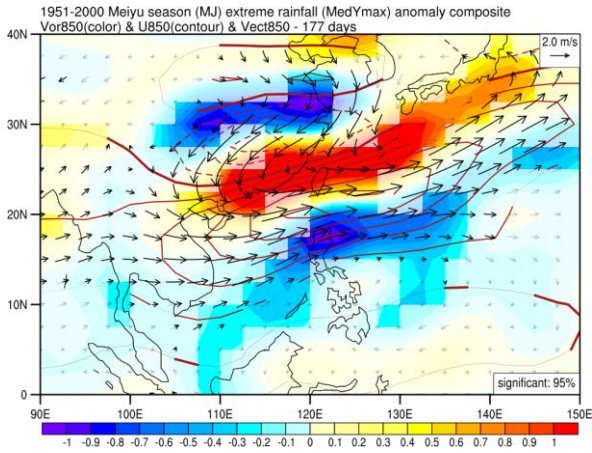


圖 1：1951-2000 年臺灣梅雨季極端降雨事件的環流場距平合成圖(通過 95%顯著性檢定)，(a)色階為 850hPa 渦度場，等值線為東西向風場，流線為 850hPa 水平風場。

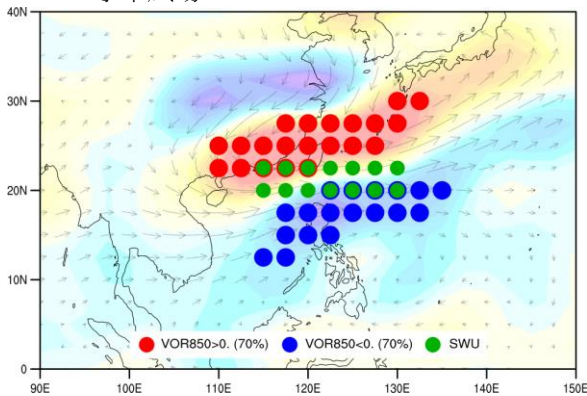


圖 2：有利於臺灣梅雨季極端降雨發生的環流條件區域，紅點和藍點分別代表正渦度和負渦度，綠點代表西南氣流區(SWU)。

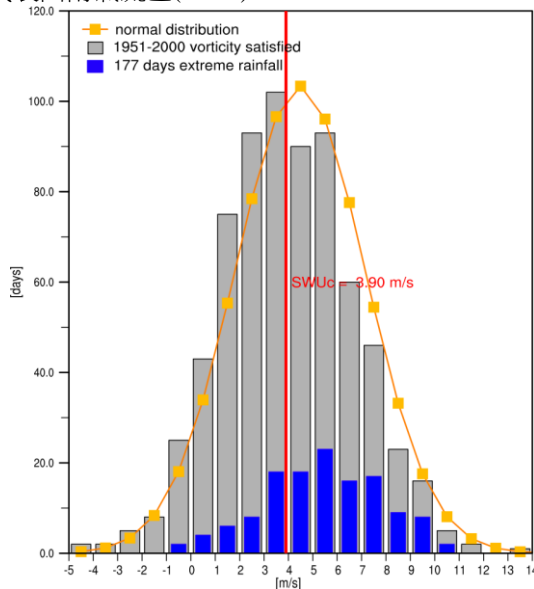


圖 3：1951-2000 年梅雨季期間的 SWU 風速分布頻率，灰色長條為符合渦度條件下的風速強度頻率，藍色長條為臺灣梅雨季極端降雨事件的風速分布，黃線為理論常態分布。

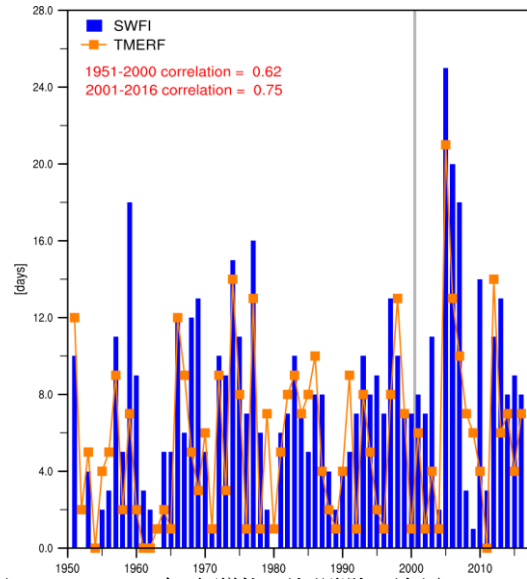


圖 4：1951-2016 年臺灣梅雨極端降雨頻率(TMERF)和西南氣流指數(SWFI)，橘線為 TMERF，藍色長條為 SWFI。

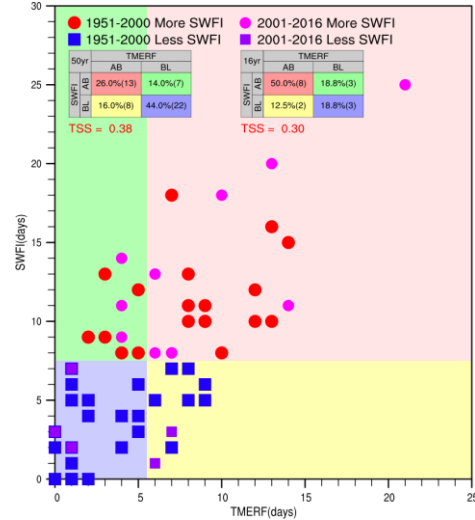


圖 5：1951-2016 年臺灣梅雨極端降雨頻率(TMERF)和西南氣流指數(SWFI)分為偏多和偏少兩類的類別對照關係圖，TMERF 和 SWFI 的單位為天數。

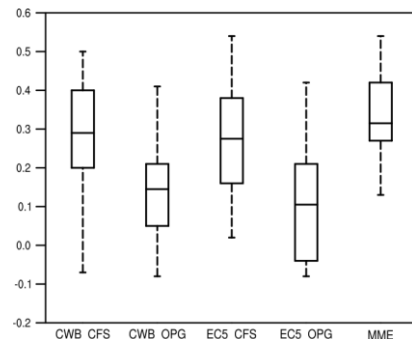


圖 6：根據 TCWB2T2 預報系統在 1982-2011 年回溯預報資料分為五種模式組合，按各組 30 個系集成員計算的 SWFI 和 NCEP R1 計算的 SWFI 相關係數繪製的箱形圖，每個箱形由下而上代表每組模式 30 個系集成員的最小值、下四分位數、中位數、上四分位數和最大值。