

台灣極端高溫的次季節與年際變異

吳宜昭、朱容練、于宜強
國家災害防救科技中心

摘要

本研究分析1982-2016年全台尺度歷史極端高溫事件的時／空間氣候特性，35年間共可定義出315個極端高溫日。經由群聚分析辨識出三大類有利極端高溫發生的天氣類型，包括南風／西南風（47.6%）、西太平洋副熱帶高壓（35.9%）（後簡稱副高）與熱帶氣旋或其他（16.5%）（後簡稱熱帶氣旋）。6月份最常出現的是南風／西南風類型，7月份南風／西南風類型和副高類型佔大宗，8月份則以熱帶氣旋類型與副高類型為主。本研究進一步探討了這三種天氣類型引發高溫的機制。南風／西南風類型透過低層大氣的暖平流距平和整層大氣的沉降距平來加熱近地表。副高類型主要透過沉降絕熱增溫、減少雲量並增加太陽短波輻射來加熱地表。台灣夏季的高溫日數以及全年高溫規模和前一年冬季聖嬰的相位與強度有密切關係，即聖嬰（反聖嬰）消散年的夏季台灣高溫日數偏多（少），這是因聖嬰（反聖嬰）消散年夏季菲律賓海低層大氣出現的偏乾、偏暖的反氣旋距平，加強了副高並增強了有利台灣極端高溫出現的條件。

關鍵字：極端高溫日、南風／西南風、西太平洋副熱帶高壓、熱帶氣旋、高溫規模

一、前言

極端高溫的發生對一個社會的公共衛生、能源、水資源、農業與生態…等面相帶來極大衝擊。研究已顯示歐美等地發生大規模熱浪時，死亡率便明顯攀升(e.g., *Bustizza et al.*, 2013; *Elliot et al.*, 2014; *Schaffer et al.*, 2012; *Semenza et al.*, 1999; *Shaposhnikov et al.*, 2014; *Zhang et al.*, 2015)。在亞洲，針對印度、中國和台灣的研究也證實了熱浪與死亡率增加的密切關係(*Gao et al.*, 2015; *Kakkad et al.*, 2014; *Lin et al.*, 2011)。黃等（2019）分析2018年初夏的極端高溫事件，指出當年5至7月間全台高溫規模（高溫站數）和那段期間因為熱傷害就診人數的變化，相當一致。

隨著全球暖化，極端高溫的威脅日益逼近(*IPCC*, 2013)，因此氣候變遷相關研究已經廣泛討論了極端高溫的變化。過去幾十年來，台灣的高溫日數顯著增加(*Li*, 2018; *Lin et al.*, 2017)。了解容易引發極端高溫的多重尺度變異，以方便辨識可用於高溫預測和預警的氣候因子甚至前兆，實在刻不容緩。

在眾多與氣候變遷有關的研究中，和極端高溫發生有關的天氣尺度相關研究並不多。過去已有研究指出增強的西北太平洋副熱帶高壓（後簡稱副高）是中國南部／東南部(*Hu et al.*, 2011; *Hu et al.*, 2013; *Wang et al.*, 2014; *Wang et al.*, 2016)或台灣

(*Kueh et al.*, 2017)發生極端高溫時，常見的天氣類型。但是否還有其他天氣類型有利極端高溫發生，並無系統性的研究。

在年際尺度上，聖嬰在調節東亞-西北太平洋季風的變化中起扮演重要角色。中國夏季極端高溫的年際變化歸因於副高的變化，而這又歸因於聖嬰的延遲效應以及印度洋海溫增暖的影響(*Hu et al.*, 2011; *Hu et al.*, 2013; *Wang et al.*, 2014)。關於台灣極端高溫的年際變化，許多研究已經探討並解釋高溫的趨勢(*Hsu et al.*, 2011; *Lu et al.*, 2017; *Lai & Cheng*, 2010)和年代際變化(*Lin et al.*, 2017)，但很少有研究探討聖嬰的影響。

過去35年來針對全台尺度極端高溫事件的時／空間氣候特性分析，已發表於*Wu et al.* (2020)。鑒於極端高溫發生時，高溫規模和熱傷害的關係密切，本文除摘錄部分*Wu et al.* (2020)成果，並延伸該研究，針對高溫規模做更深入的探討。

二、資料與方法

本研究選擇中央氣象局18個有長期觀測的局屬平地測站，利用過去36年間（1982年至2016年）的日最高溫來篩選各站的極端高溫事件。分析台灣附近環流特性時，大氣環流的分析選用CFSR (*Saha et al.*, 2010)網格資料與向外長波輻射（Outgoing Longwave Radiation）(*Liebmann & Smith*, 1996)，海溫選用HadISST (*Rayner et al.*, 2003)。在分析高溫的

年際變化時，根據CPC的Oceanic Nino Index (ONI) 定義分析期間的聖嬰／反聖嬰事件。

在定義極端高溫事件時，根據Wu et al. (2020)，台18個測站只要有任一站的日最高溫超過門檻值，就定義當天為極端高溫日。另外，同一日中日最高溫達門檻的測站數，可量度高溫影響範圍。若將全年高溫站數加總，此變數同時反應了高溫影響的歷程和範圍，可用來量度高溫事件的規模。

在分類極端高溫天氣型態時，針對每一個極端高溫日，利用當日低層大氣（850hPa）的重力位高度，以群聚分析將台灣鄰近區域的環流場來分類。

三、高溫的天氣型態與季節變異

根據前述定義，1982年至2016年間共可定義出315個極端高溫日。台灣北部和台灣東南部為兩大極端高溫的熱區，尤以台北和大武兩測站發生高溫最頻繁。

Kueh et al.(2017)指出副高增強是出有利台灣極端高溫發生的一種天氣類型。本研究利用群聚分析，將這些高溫日的天氣型態分成三大類型。佔最大宗者為南風／西南風（47.6%），其次為西太平洋副熱帶高壓（35.9%）（後簡稱副高），第三類為熱帶氣旋或其他（16.5%）（後簡稱熱帶氣旋）。這些高溫日主要分佈於夏季的6至8月，7月最多，8月與6月分佔第2、3高比例。6月份最常出現的是為南風／西南風類型，7月份南風／西南風類型和副高類型都為主要類型，8月份則以熱帶氣旋類型與副高類型為主。這三種類型出現的頻率隨夏季月份的不同而有差異，這和東亞—西北太平洋季風區的季節演變密切相關。6月台灣盛行西南風，容易發生南風／西南風的天氣類型。7月至8月，西南風減弱，台灣附近天氣主要受副高或熱帶氣旋影響，這兩類型的高溫事件也增多。

本研究進一步探討了這三種天氣類型引發高溫的機制。南風／西南風類型在整層大氣均有明顯沉降，沉降造成局地大氣偏乾，並在近地層形成強逆溫層。副高類型的大氣垂直分布也有類似特徵，只是程度較弱。這兩類型最大的差異在於低層大氣的水平溫度平流。南風／西南風類型出現時伴隨的是強西南風距平和暖平流距平，而副高類型則伴隨著弱風距平和冷平流距平。副高增強時會增強台灣附近的沉降，並因沉降的絕熱增溫造成雲量偏少，使更多的太陽短波輻射抵達地表。所以偏高的短波輻射可能是副高類型加熱近地層、引發高溫的主要機制。和前兩大類型相比，熱帶氣旋類型對地表的

加熱較為局地，其加熱機制也以沉降絕熱增溫、增強短波輻射為主。

四、高溫規模的年際變異

Wu et al. (2020)指出過去35年來的全台夏季高溫日數呈現明顯的年際變化，且其變化和前一年冬季聖嬰的相位與強度有密切關係。本研究檢視高溫規模的年際變異，發現以不同門檻值（35/36/37度）定義的高溫規模，其年際變化相當一致（圖1），而且同樣和前一個冬季（12月／1月）聖嬰有不錯的相關性，其相關係數分別為0.61/0.53/0.61。取歷年來高溫規模偏大和偏小（高於或低於0.75個標準差）的年份，合成之後，比較兩組環流的差異。綜合而言，高溫規模大的年，西太平洋副熱帶高壓偏強、季風槽偏弱，西北太平洋海域偏乾，和Wu et al. (2020)中所發現的夏季高溫日數多年份的環流特徵一致。但若進一步分成初夏（五／六）和盛夏（七／八），可看出更細緻的變化（圖2），亦即兩組年份在初夏的差異，比較接近前述三種高溫天氣類型中的南風／西南風類型的距平特性；而兩組年份在盛夏的差異，則比較接近副高類型的距平特性。這反應了季風環流隨季節的變化的特性。

參考文獻

- 黃紹欽、朱容練、陳淡容、于宜強、吳宜昭、吳佳純 (2019)。臺灣極端天氣事件回顧與分析2018，國家災害防救科技中心。
- Bustinza, R., Lebel, G., Gosselin, P., Belanger, D., & Chebana, F. (2013). Health impacts of the July 2010 heat wave in Québec, Canada. *BMC Public Health*, 13:56. <http://www.biomedcentral.com/1471-2458/13/56>.
- Elliot, A. J., Bone, A., Morbey, R., Hughes, H. E., Harcourt, S., Smith, S., et al. (2014). Using real-time syndromic surveillance to assess the health impact of the 2013 heatwave in England. *Environ. Res.*, 135, 31–36.
- Gao, J., Sun, Y., Liu, Q., Zhou, M., Lu, Y., & Li, L. (2015). Impact of extreme high temperature on mortality and regional level definition of heat wave: A multi-city study in China. *Science of the Total Environment*, 505, 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.028>
- Hsu, H.-H., Chou, C., Wu, Y.-C., Lu, M.-M., Chen, C.-T., Chen, Y.-M. (2011). *Climate Change in*

- Taiwan: *Scientific Report 2011 (Summary)*. National Science Council, Taipei, Taiwan, ROC. Retrieved from <https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/upload/book/20150410100030.pdf>
- Hu, K., Huang, G., & Huang, R. (2011). The impact of tropical Indian Ocean variability on summer surface air temperature in China. *J. Clim.*, 24, 5365–5377. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4152.1>
- Hu, K., Huang, G., & Wu, R. (2013). A strengthened influence of ENSO on August high temperature extremes over the Southern Yangtze River Valley since the late 1980s. *J. Clim.*, 26, 2205–2221. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00277.1>
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P.M. Midgley (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Kakkad, K., Barzaga, M. L., Wallenstein, S., Azhar, G. S., & Sheffield, P. E. (2014). Neonates in Ahmedabad, India, during the 2010 Heat Wave: A Climate Change Adaptation Study. *J. Environ. Public Health*. Article ID 946875, 8 pp. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/946875>.
- Kueh, M.-T., Lin C.-Y., Chuang, Y.-J., Sheng Y.-F., & Chien, Y.-Y. (2017). Climate variability of heat waves and their associated diurnal temperature range variations in Taiwan. *Environ. Res. Lett.*, 12, 074017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa70d9>
- Lai, L.-W., & Cheng, W.-L. (2010). Air temperature change due to human activities in Taiwan for the past century. *Int. J. Climatol.*, 30, 432–444. <https://doi.org/10.1002/joc.1898>
- Li, M.-H. (2018). Trends and Seasonal Variations of Climate, Air Quality, and Mortality in Three Major Cities in Taiwan. In R. Akhtar & C. Palagiano (Eds.), *Climate Change and Air Pollution: the impact on human health in developed and developing countries*, (pp.199–213). Switzerland, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61346-8_13
- Liebmann, B., Smith, C.A. (1996). Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 77, 1275–1277. <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/OLRinterpolated.pdf>
- Lin, C.-Y., Chien, Y.-Y., Su, C.-J., Kueh, M.-T., & Lung, S.-C. (2017). Climate variability of heat wave and projection of warming scenario in Taiwan. *Climatic Change*, 145, 305–320. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2091-0>
- Lin, Y.-K., Ho, T.-J., & Wang, Y.-C. (2011). Mortality risk associated with temperature and prolonged temperature extremes in elderly populations in Taiwan. *Environmental Research*, 111, 1156–1163. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.06.008>
- Lu, M.-M., Hung, C.-w., Tu, J.-Y., Huang, W.-K., Chou, C. C.-K., Cho, Y.-M., et al. (2017). Observation and Analysis of Taiwan’s Climate (in Chinese). In *Climate Change in Taiwan: Scientific Report 2017*. Ministry of Science and Technology, Taipei, Taiwan, ROC. Retrieved from <https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/upload/book/20171220135820.pdf>
- Rayner, N. A., Parker, D. E., Horton, E. B., Folland, C. K., Alexander, L. V., Rowell, E. P., et al. (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*, 108, D14, 4407, <https://doi.org/10.1029/2002JD002670>.
- Saha, S., Moorthi, S., Pan, H., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., et al. (2010). The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1015–1057.
- Schaffer, A., Muscatello, D., Broome, R., Corbett, S., & Smith, W. (2012). Emergency department visits, ambulance calls, and mortality associated with an exceptional heat wave in Sydney, Australia, 2011: a time-series analysis. *Environ. Health*, 24;11(1):3. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-3>
- Semenza, J. C., McCullough, J. E., Flanders, W. D., McGeehin, M. A., Lumpkin, J. R. (1999). Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. *Amer. J. Prev. Med.*, 16, 269–277.
- Shaposhnikov, D., Revich, B., Bellander, T., Bedada, G. B., Bottai, M., Kharkova, T., et al. (2014). Mortality related to air pollution with the moscow heat wave and wildfire of 2010. *Epidemiology*, 25, 359–364.

- Wang, W., Zhou, W., & Chen, D. (2014). Summer high temperature extremes in southeast China: Bonding with the El Niño–Southern Oscillation and East Asian summer monsoon coupled system. *J. Clim.*, 27, 4122–38.
- Wang, W., Zhou, W., Li, X., Wang, X., & Wang, D. (2016). Synoptic scale characteristic and atmospheric controls of summer heat waves in China. *Clim. Dyn.*, 46, 2923–2941.
- Wu, Y.- c., Chu, J.- L., & Yu, Y.- C. (2020). Climatology and the Interannual Variability of the High- Temperature Extremes in Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125, e2019JD030992. <https://doi.org/10.1029/2019JD030992>
- Xie, S.-P., Hu, K., Hafner, J., Tokinaga, H., Du, Y., Huang, G., & Sampe, T. (2009). Indian Ocean capacitor effect on Indo–western Pacific climate during the summer following El Niño. *J. Clim.*, 22, 730–747.
- Yang, J, Liu, Q., Xie, S.-P., Liu, Z., & Wu, L. (2007). Impact of the Indian Ocean SST basin mode on the Asian summer monsoon. *Geophys. Res. Letter*, 34, L02708, <https://doi.org/10.1029/2006GL028571>, 2007
- Zhang, K., Chen, T.-H., & Begley, C. E. (2015). Impact of the 2011 heat wave on mortality and emergency department visits in Houston, Texas. *Environ. Health*, 14 (11). <https://doi.org/10.1186/1476-069X-14-11>

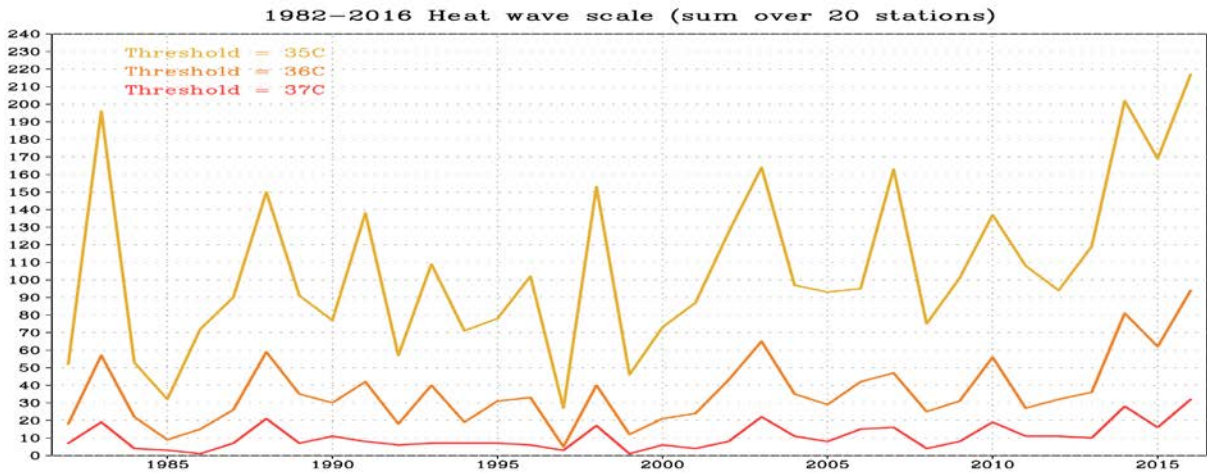


圖1 1982年至2016年高溫事件規模的逐年變化。黃、橘、紅分別為以35、36、37°C定義的高溫事件規模

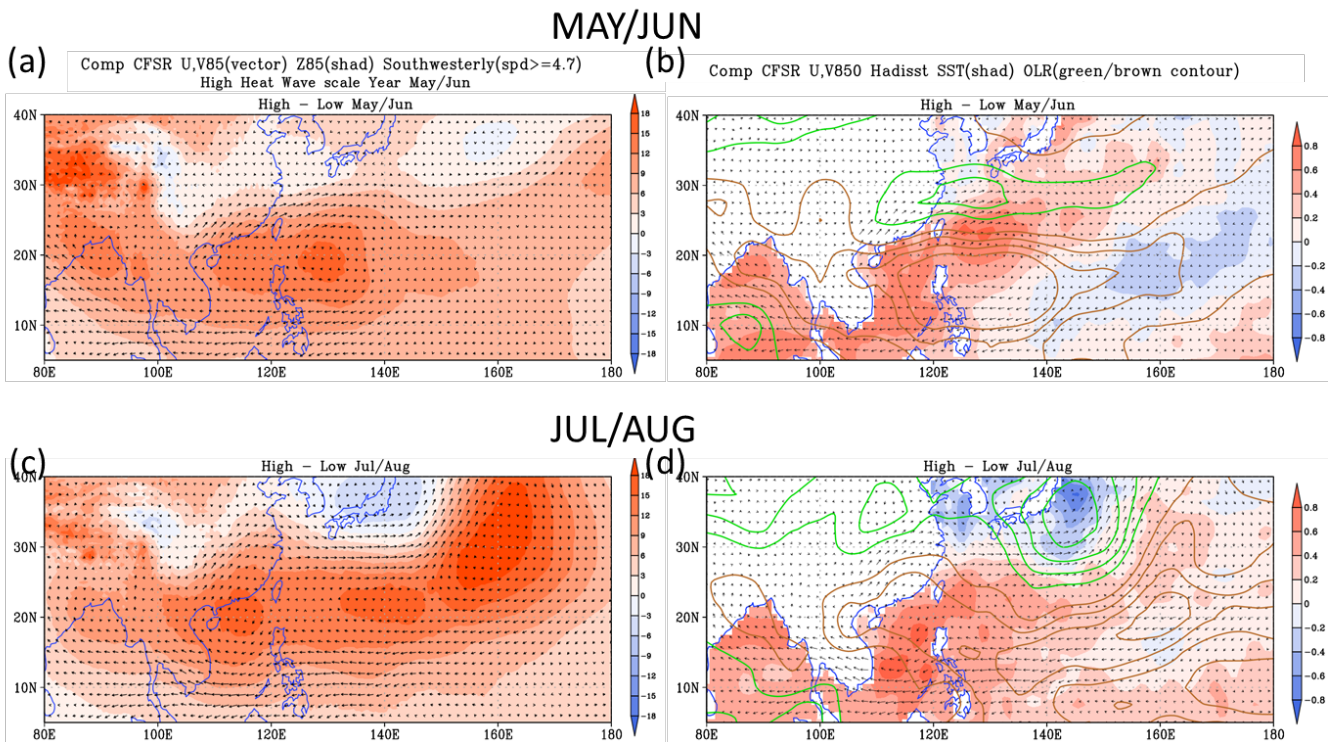


圖2 全年高溫規模大或小年份合成的差異，分成初夏（五／六月）（上）和盛夏（七／八月）（下）。左排變數包括850百帕風場（箭頭）和850百帕重力位高度（色階），右排變數包括海溫（色階）、向外長波輻射（等值線）及風場距平（箭頭）

Subseasonal and Interannual Variations of the Extreme Hot Days in Taiwan

Yi-chao Wu, Jung-Lien Chu, Yi-Chiang Yu

Meteorology Division, National Science and Technology Center for Disaster Reduction

Abstract

The temporal/spatial distribution of the extreme hot days in Taiwan over the period 1982–2016 were analyzed. In total, 315 extreme hot days (EHDs) were defined, and three major weather types associated with these EHDs were identified: the southerly/southwesterly (S/SW) (47.6%), western North Pacific (WNP) subtropical high (SH) (35.9%), and tropical cyclone (TC) (16.5%). In June, the S/SW type was the primary type. In July, both the S/SW and SH types were the major types. In August, the TC and SH types dominated. The surface heating mechanisms of these three types were compared and discussed. The S/SW type warms the surface through anomalous warm advection in lower atmosphere and anomalous subsidence in all the altitudes around Taiwan. With decreased total cloud cover, the SH type primarily warms the surface by increased downward shortwave radiation.

The interannual variations of the number of summer (JJA) EHDs in Taiwan and the scale of extreme hot events were both closely related to the phase and intensity of the El Niño–southern oscillation events. The increase (decrease) in the number of summer EHDs in El Niño (La Niña) decaying years was attributed to a dry (wet) and warm (cold) low-level anticyclonic (cyclonic) anomaly over the subtropical WNP, which intensified (weakened) the WNP SH to increase (decrease) the likelihoods of HTEs in Taiwan.

Key word: extreme hot days, southerly/southwesterly, western North Pacific subtropical high, tropical cyclone, scale of extreme hot events