

極端氣候－臺灣面臨的新挑戰

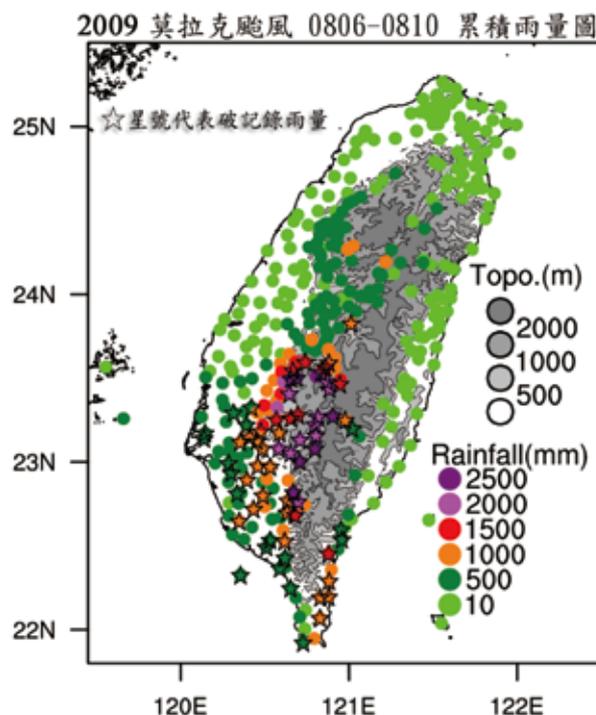
文·圖／盧孟明

白 從京都議定書在1997年12月於聯合國氣候變化綱要公約第三次締約國會議通過後，12年來有183個國家加入簽署，氣候變遷逐漸成為全球關注的焦點。2007年世界永續發展企業理事會（World Business Council for Sustainable Development）對全球200個大企業做氣候變遷影響調查，發現「極端事件的衝擊」是企業界最擔心的氣候問題，其次是因應氣候變遷管制措施產生的新風險。氣候極端事件不僅有可能造成巨大的公共建設與私人生命財產的損失，對於居住環境和生態系的安全和穩定性也構成威脅。未來極端事件發生強度、頻率、地點將隨氣候變遷如何改變？社會大眾急於想要知道答案，全球數以千計的氣候專家更是前仆後繼地努力探索，設法回答。

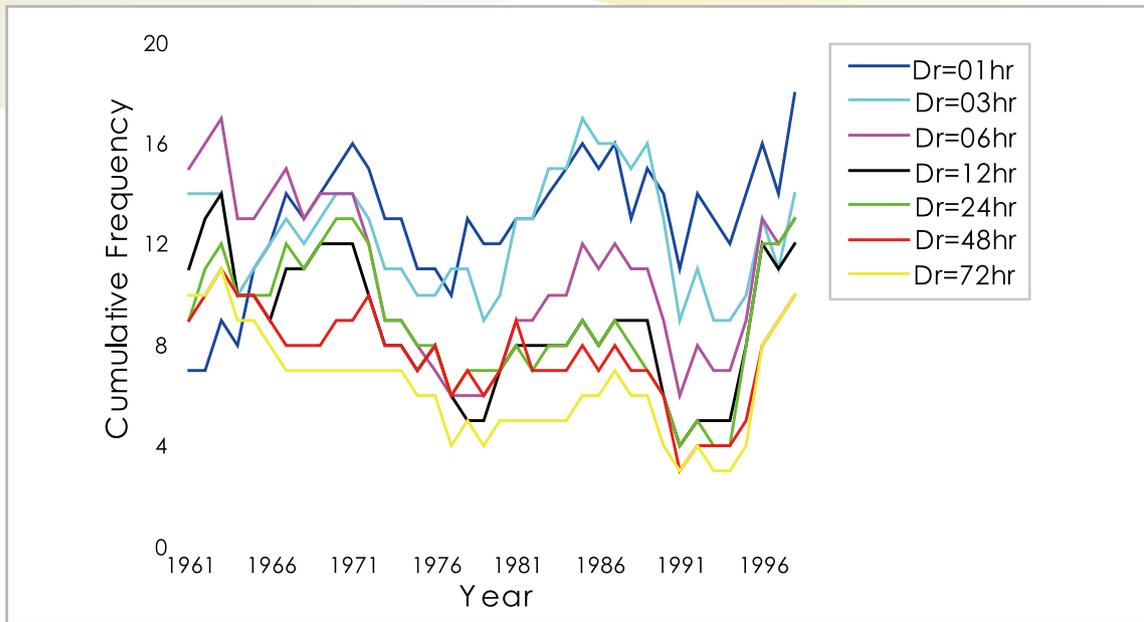
極端氣候事件的特色

「氣候」是指氣象要素或天氣現象的長期平均狀態。溫度、雨量、風向、風速、日照時數等變數都是氣象要素，鋒面、颱風、雷雨等系統則是天氣現象，而用以定義氣候的「平均狀態」除了統計上的平均值和變異度等基本量，各要素的機率分布型態和時間序列的變動特徵等都是用以描述氣候的統計量。極端氣候事件是以氣象要素符合統計極端性為定義，必須是較少發生的特殊現象，通常發生機率不能高於10%。氣象極端事件的發生機率至少要以年為統計單位，如果每年至少發生一次就算不上具有極端規模。例如，中央氣象局定義的「豪雨」事件為24小時累計降雨量達130毫米以上，「大豪雨」事件為24小時累計

降雨量達200毫米以上，以平地測站雨量統計來看，豪雨規模的降雨在全臺各地每年都有機會發生，大豪雨規模的降雨事件則不是每年都會發生的，因此儘管前者的降雨規模固然會造成一些生活不便，在氣候上仍屬於正常的非極端事件。雖然大豪雨事件在平地測站有極端的規模，在山地測站卻是正常，因為山區有地形抬舉作用，雨量普遍多於平地，達到大豪雨規模的事件每年都會發生。可見極端氣候事件帶有明顯的地方特色，判斷標準隨當地氣候條件而異，主要的氣象要素和統計方式也視當地需要而定。另外，極端事件



2009年8月6至10日莫拉克侵臺前後的5日累積雨量分布圖，極端（破記錄）降雨事件集中在臺灣南端山區與沿海區域，嘉義以北的西部沿海區域和臺東以北的東部沿海區域的5日累積雨量都在500毫米以下，突顯了極端氣候事件的地方特色。（製圖：氣象局李明營）



統計1961-1998年中部山區之阿里山、日月潭、玉山三個測站7種延時（1、3、6、12、24、48、72小時）重現期2年以上極端降雨事件的每10年的累積發生次數。雖然在1994年以後看到事件發生頻率明顯上升，但是在1994年以前的發生頻率也有高低變動，整體而言並沒有明顯的線性變化趨勢。

不能與災害大小混為一談，天然災害的嚴重程度往往決定於社會建設和經濟條件等人為因素，不像極端氣候事件的發生與否純粹是自然過程。日本和菲律賓兩國人口受到颱風威脅的程度類似，但是因颱風而喪生的人數菲律賓卻有日本的17倍之多，可見災損的規模和氣候事件的規模並無必然的關係，倒是和防災與減災的意識及行動關係極為密切。

觀測資料不足是極端氣候研究的限制

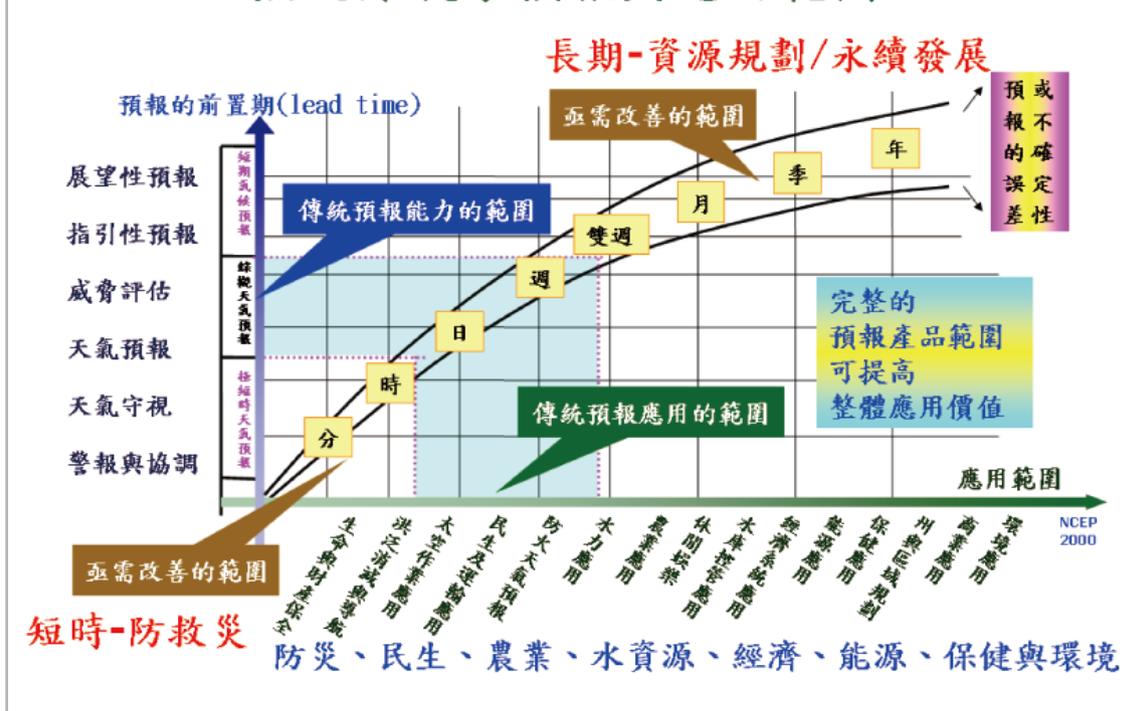
極端氣候的研究主要有四個步驟：一、準備夠長並且夠穩定的觀測資料，二、使用合理的統計方法建立事件極端性判定準則，三、探討極端事件的平均值、變異度、極端性是否隨時間有線性趨勢或週期性的變化，四、分析氣候模式的模擬結果以推估評鑑未來極端氣候的發展。觀測資料不足往往是極端氣候研究的最大限制。臺灣運用現代儀器觀測氣象始於1896年，日本臺灣總督府在臺北、臺中、臺南、恆春、澎湖設立測候所，每日觀測4次。在世界氣象組織（World

Meteorological Organization）於1950年成立以前，全球氣象觀測據點相當缺乏，如臺灣面積大小能擁有數個百年以上觀測歷史的國家實在不多。缺乏夠長並且夠穩定的觀測資料，就無法提出具有充分說服力的數據作為極端氣候事件長期變化的佐證，這是氣候研究無法改變的限制。至於事件極端性的判定準則的建立和分析極端事件隨時間的變化，因有相當成熟的統計方法可以選用，是研究中難度較小的部分。

氣候變遷對極端氣候的影響

全球氣候變遷對氣候極端事件一定會構成影響，如何判斷卻是非常困難的科學問題。氣候系統數值模式是現代氣候變遷研究的基本工具。地球氣候系統由大氣圈、水圈、冰凍圈、岩石圈和生物圈五大圈所構成，由於系統非常複雜，能用以檢驗模擬結果的觀測資料又非常有限，如何評量模式準確性便是一門大學問，也是研究與推估氣候變化趨勢短期內難以克服的障礙。目前科學界處理這種問題的方式是：運用多種模式進行大量運算以建立龐大的氣候預測資料庫，再用統計

無縫隙氣象預報與應用範圍



以科技為基礎的無縫隙 (seamless) 氣象預報服務與應用範圍，縱軸為預報產品，橫軸為應用領域。預報前置期愈長，產品誤差愈大，不確定性也愈大。(製圖：氣象局 程家平)

方法分析未來趨勢的可能性。然而這些做法並不能改變「氣候模式不足以掌握真實大氣長期變化」的事實，也限制了氣候學家推估結果的實用性。臺灣位於世界最大洋面和最大陸塊的交界處，氣候變化主要受東亞季風環流、鋒面與颱風等天氣系統的影響，全島有2/3以上的土地屬於100公尺以上的山地，複雜的地形往往使中央山脈的東、西、南、北方位對同一種天氣現象有不同的反應。居住在此，我們往往期望了解比100公里還小的區域性氣候變化。然而這和聯合國跨政府氣候變遷小組 (IPCC) 指出，氣候模式的準確度在空間上還無法達到比洲際更小的尺度，顯然與我們的期望有相當大的差距。IPCC科學家認為，全球暖化有可能使極端氣候事件的強度變強，頻率增加，但無法進一步確定何處的降雨會更多更強，何處乾旱會更加嚴峻。

雨量強度增強和乾旱現象加劇，並同時在地球不同區域頻繁出現，的確是科學家所擔心的氣

候變遷發展趨勢。陸地和海面上的溫度都升高，使地面和海面的水氣蒸發量增多，增加了大氣的水分供應量，再加上暖化的大氣能容納更多水，提高了單位時間的可降雨量，也就是雨量強度的上限。更多的雨並不等於有更多可用的水，科學家也擔心未來大氣對流系統變得更強更集中，會造成許多地方雨期縮短，乾期延長。暖化除了會改變大氣水含量之外，還會改變雲、大氣環流、大氣擾動及風暴活動等方面氣候要素，目前的科學技術還不能準確模擬這些變化。

全球氣候服務框架－雖然極端但不意外

本世紀初的10年 (2000-2009) 是自有現代觀測儀器紀錄以來最溫暖的10年，也是水災與旱災都很頻繁的10年。世界氣象組織 (WMO) 於2009年在瑞士日內瓦舉行了第三次世界氣候大

會，強調唯有加強各國的氣候服務能力，才能充分掌握極端氣候事件的氣象資訊，致力於這類事件，「雖然極端但不意外」，進而提升人類全體的氣候適應力，減輕災損，消除饑餓貧窮。為達到氣候服務供應者與使用者之間緊密聯繫的理想，WMO認為應儘速建立一套規範氣候資訊產生、傳遞與服務的準則，名為「全球氣候服務框架」（Global Framework for Climate Services），簡稱GFCS。以GFCS為架構的氣候服務在技術發展方面大致分為觀測、預測、資訊整合與運用三個面向，三者緊密接合，相互支撐。國際間一致認為，觀測與預測的技術都不能由一個國家獨立負擔，國際間彼此合作、資源共享才有可能發展精細有用的氣候預測模式，提供以科技為基礎的氣候服務。

結語

氣候變遷是一個全球關注的問題，極端氣候事件將會加劇區域性的水、糧食和能源問題，其嚴重與迫切的程度已引起聯合國安理會的高度關切。國際間在因應氣候變遷的大旗下正在快速調整合作策略，這些行動在2011年開始實行GFCS之後將更為具體。我國被排除在聯合國外已有一個世代，對於仰賴國際合作甚深的氣象科技發展極為不利。能否在政治現實的限制下，維持政府研究發展工作不與國際脫節，得以即時掌握氣候監測和預報資訊並被相關部門有效運用，確實攸關全民生命安全與生活福祉。莫拉克已遠，極端氣候事件對臺灣的挑戰方興。📖（本專題共同策畫／地理環境資源學系姜蘭虹教授&全球變遷研究中心柳中明主任&法律學系詹森林教授）

延伸閱讀：

- (1) 盧孟明、陳佳正，林昀靜，2007：1951-2005年臺灣極端降雨事件發生頻率之變化。大氣科學35, 87-104。
- (2) 蕭代基、黃星祥、洪銘堅、盧孟明、羅以倫，2007：淡水河流域洪災損失機率風險分析。臺灣經濟預測與政策。37:3, 31-53.
- (3) 陳佳正、盧孟明，2007：臺灣極端降雨氣候事件判定方法。大氣科學。35, 105-118。
- (4) 蔡孝忠、呂國臣、盧孟明，2008：大氣環流模式資料之颱風辨識方法研發。氣象學報。47, 21-38。
- (5) 盧孟明、陳雲蘭、陳圭宏，2008：全球暖化趨勢對臺灣水稻栽培環境之影響。作物、環境與生物資訊。5, 60-72。
- (6) 卓盈旻、盧孟明，2010：IPCC第四期評估報告氣候模式對亞洲夏季季風模擬之分析。大氣科學。Vol.38, No.1（印製中）



盧孟明小檔案

1980年臺灣大學大氣科學系畢業，1980-1987年間在美國UCLA繼續攻讀大氣科學博士學位，1987年學成後在美國、歐洲工作數年，1992年8月30日返臺定居，同年11月2日進入氣象局服務至今。2002年起投入氣候預測相關研究，負責帶領月與季氣候預報系統的開發與建置。現任氣象局科技中心主任研究員。