

知識天地

全球降雨的兩極化－雨季更濕乾季更乾

周佳副研究員（環境變遷研究中心）

在過去有溫度計觀測一百多年的紀錄中，全球溫度上升的趨勢是相當明確的，特別是最近三十年，全球暖化的速度有加快的情形。造成全球暖化的原因雖然仍有一些爭議，但是目前所有最先進的氣候模式均指出人為活動所排放出的過量溫室氣體（例如二氧化碳）所產生的溫室效應是最有可能的原因。不論從觀測資料分析，或著是氣候模式模擬，溫度上升是個全球性的現象，幾乎全球各地均呈現出暖化的趨勢，但增加的強度則會因地點的不同而有所變化。例如，陸地上溫度增加的速度比海上快，極區（特別是北極）的溫度增加的速率遠較低緯度地區來得快。

在全球逐漸變暖的過程中，降雨的改變是另一項影響人類生活甚劇的氣候變化，但是降雨的變化卻是一個相對而言較為複雜的問題。不同於溫度的變化，降雨的改變不僅僅會因地點的不同而改變，並且降雨的變化有可能是增加，但也有可能是減少的，這種在不同地區增加或減少的現象，造成觀測資料中全球降雨的平均值到目前為止仍無明顯的趨勢。利用最先進的氣候模式模擬在二十一世紀末降雨的變化，多數模式的結果均指出全球平均降雨會隨溫度的上升而增加，但區域的變化卻非常地不一致。以台灣為例，氣候模式的結果並無法肯定地告訴我們台灣在未來較為溫暖的氣候下，降雨到底是增加還是減少。

如何降低不同氣候模式模擬結果間的差異，進而增加對於未來降雨預測的能力與準確度？瞭解降雨改變的原因及動力機制是一個可行的方向。首先針對「政府間氣候變遷委員會」IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)在 2007 年所發表的氣候模式模擬結果中的十六個不同的模式，進行在 1960~2099 期間熱帶降雨（30°S~30°N）變化的分析。因為南北半球的降雨隨季節的改變相同，所以這裡僅呈現北半球（0°~30°N）平均降雨的分析結果。〔圖 1(a)〕所呈現的是北半球平均降雨在 1960~2099 期間的變化率，即每十年降雨改變的速率。在北半球夏天時，北半球的平均降雨率是增加的，然而在北半球冬天時，降雨卻是減少的，這結果顯示降雨的改變有著非常明顯的季節變化。一般而言，夏天是降雨的主要季節（即雨季），而冬天卻是主要的乾季，所以上述降雨隨季節改變的現象隱含著雨季降雨有增加的趨勢，同時乾季降雨有減少的趨勢，這表示降雨的季節變化（即雨季及乾季的差別）有逐漸加強的趨勢。更進一步地分析夏天和冬天的降雨變化，十六個模式的結果均顯示夏天的降雨是隨著全球暖化而逐漸增加〔圖 1(b)〕，十六個模式中的十五個模式結果亦顯示冬天的降雨是減少的〔圖 1(c)〕，所以這個降雨季節變化增加的趨勢在多數的氣候模式中均可發現且是非常一致的。從氣候模式的結果預測，到了二十一世紀末降雨季節的變化將會增加 15%，這增加率遠比熱帶降雨平均值的變化（約 4%）大了許多。

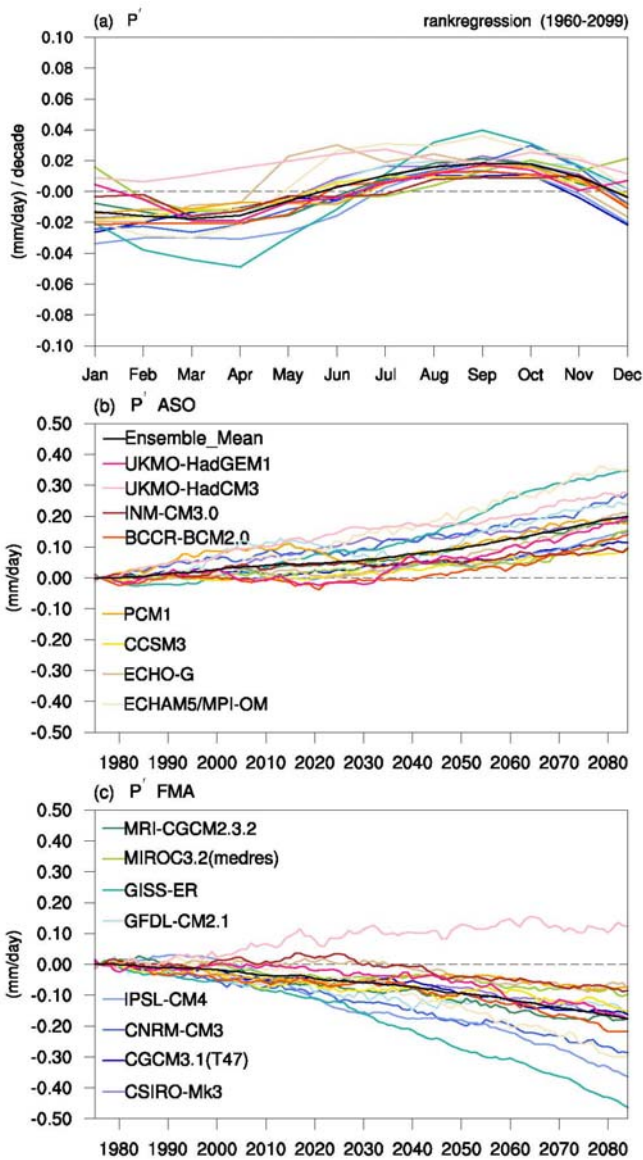


圖 1：(a)IPCC 第四份報告中十六個海洋及大氣耦合模式在 A2 的溫室氣體排放情境模擬實驗下，北半球熱帶地區 (0°-30°N) 在 1960-2099 期間相對於熱帶平均 (30°S-30°N) 的平均降雨距平變化率的季節變化。單位為每十年每天可降下多少公釐的雨水 (mmday⁻¹decade⁻¹)。北半球熱帶地區平均降雨距平在(b)夏天及(c)冬天隨時間的改變，單位為每天可降下多少公釐的雨水 (mmday⁻¹)。

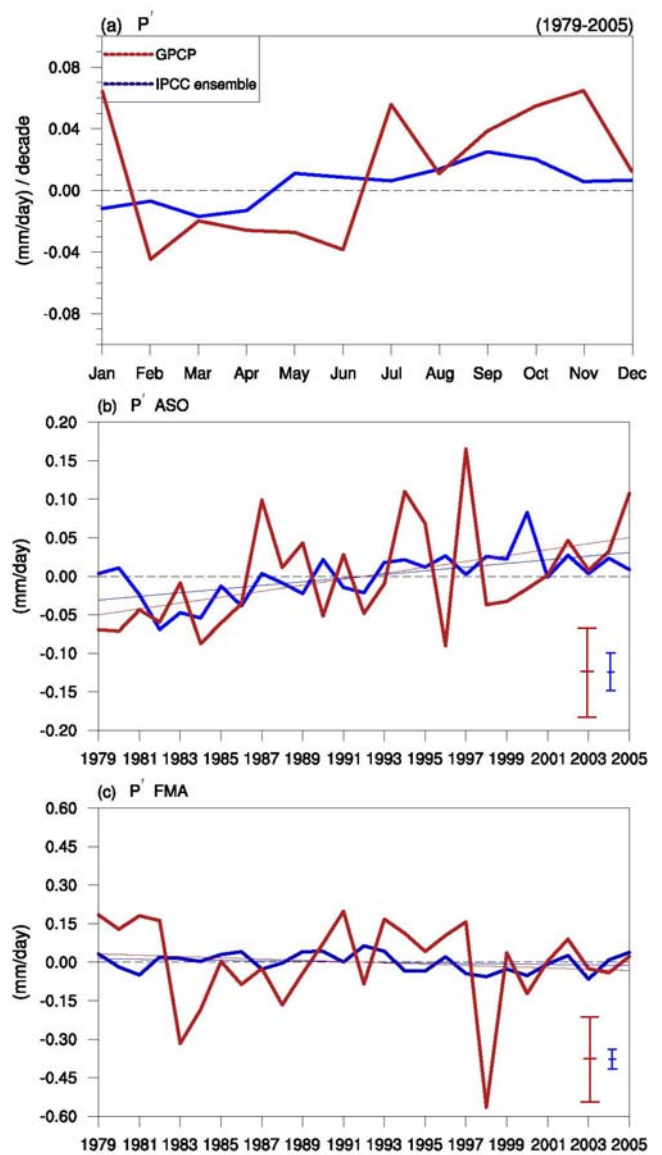


圖 2：相似於圖 1，但針對觀測資料 GPCP (紅色) 及十六個海洋及大氣耦合模式的平均降雨在 1979-2005 期間的變化。

造成未來降雨變化會隨著季節而改變的原因是什麼？簡單的說，這和大氣環流，即何處氣流會上升，何處氣流會下沉有關。在全球溫度增加的情況下，空氣中的水氣也會同時地增加，這是因為溫度較高的空氣能保有較多的水氣。如果將大氣中降雨的過程比喻為利用電梯將水運送到頂樓，再將水往樓下倒的情形類似，當每趟電梯能載的水增加時 (大氣中水氣的含量增加)，載水到屋頂的速度自然就增加了，所以往樓下倒水的量也會跟著增加，只要能知道電梯在何處，自然就可以知道增加的區域在哪裡。熱帶地區的大氣流場主要是由所謂的赫德利環流 (Hadley Circulation) 所主導，在北半球夏天時主要的上升氣流區 (即電梯的所在位置) 是位於北半球，而冬天的時候則會移動到南半球，所以未來降雨的變化會隨著赫德利環流季節的南北移動而改變，這便是降雨季節變化增加的主要原因。

接下來的研究則針對目前的全球降雨觀測資料做類似的分析，即檢查降雨季節的變化是否已經明顯發生了。首先將全球降雨氣候計畫 GPCP (Global Precipitation Climatology Project) 在 1979~2005 的觀測資料和十六氣候模式結果的平均做比較，如前頁〔圖 2(a)〕所顯示的降雨的季節變化速率，不管是在實際觀測資料(紅線)或是氣候模式模擬結果(藍線)均有明顯的季節變化，亦即夏天降雨增加，冬天降雨減少。比較觀測和模式模擬的結果，觀測資料的季節變化比模式結果的變化速率更大，這隱含著模式所預測的 15% 的變化很可能是低估了。分別檢查夏天和冬天的降雨變化，夏天降雨增加的趨勢相當明顯且已通過統計上顯著性的檢驗，但冬天的變化相對較為不明顯，這主要是因為北半球冬天是聖嬰現象的成熟期，而聖嬰現象也會產生類似在全球暖化中降雨季節的改變，〔圖 2(c)〕中紅線的極小值即發生在 1983 及 1998，這兩年是二十世紀最強的兩個聖嬰現象所發生的時期。

本研究中發現在全球暖化的影響下，熱帶降雨的改變會隨著季節而有所不同，亦即雨季的降雨會增加，但乾季的降雨卻會減少。降雨季節變化的增加速率遠大於熱帶平均降雨變化的速率，這顯示如果想要提早觀測到全球暖化對於降雨的影響，季節變化的大小，遠比直接的平均更為有效。然而降雨季節變化的增加，會對人類有何影響？雨季降雨的增加隱含著兩種可能性：一是單一降雨事件的強度可能增加，二是降雨的日數可能增加。不論是降雨強度的增加或是降雨日數的增多，都可能造成水災發生機率的上升。另外，乾季的降雨減少，亦會增加旱災發生的頻率。除此之外，這種降雨極化的效應對於類似台灣氣候的地區，其影響會更為明顯。台灣的平均降雨雖多，但由於地型的陡峭，不易將雨水留於土壤之中，加上目前台灣所擁有的水庫並無法儲存足夠的雨水，降雨極化的結果，將會使得缺水(不一定是旱災)的頻率增加，特別是中南部乾季較長的區域，所以未來如何做好水資源的管理是個非常重要且急迫的課題。

※各期知識天地文章請逕於本院網頁：<http://www.sinica.edu.tw/>「常用連結」之「週報〈知識天地〉」項下瀏覽。※