



淺談太陽週期 與地球氣候

文／鄭明典

氣候學家很早就發現地球氣候，至少是某些區域的氣候和太陽週期具有明顯相關性，雖然科學界對太陽週期活動如何影響地球氣候的這個議題上仍有爭議，但幾乎確定的是，太陽是影響地球氣候的自然變異要素之一。

一提到「一閃一閃亮晶晶」這句歌詞，敏感的學生馬上會想到，我們看到天上星星的閃爍，那是大氣層擾動的關係，不均勻的大氣讓星光看起來明暗不定，不是星星自己在閃爍。中文「恆星」便隱含有亮

度不變的意思，雖然現代觀測明確顯示，縱使在一個人的生命期內，很多恆星的亮度其實並不固定，反倒是我們的太陽表現出很不尋常的恆定，太陽的恆定特徵還困擾過不少氣候學家。

黑子活動如何影響氣候 科學界仍有爭議

探討太陽對氣候的影響，氣候學家習慣定義「太陽常數」，代表太陽輻射能量不受干擾到達地球表面的理想強度。曾經有一段時期，太陽觀察者認為太陽常數應該會有顯著的週期性變化，因為在可見光範圍觀測太陽（不能用肉眼直視太陽進行觀測），太陽表面常會出現相對的暗區，看起來像黑色斑點，稱為太陽黑子，而太陽黑子活躍度似乎有某種週期性變化特徵。圖 1 是美國太空總署公佈的太陽黑子影像，觀測時間是 2003 年 10 月 28 日。很直覺的想，太陽表面有黑子的變化，太陽的輻射能量輸出應該也會有變化，那就可能影響地球的氣候，也因此人類很早就有觀察太陽黑子變化的紀錄。人類對太陽黑子的觀測有一套現在仍大致沿用的經驗法則，稱為太陽黑子數（不是直接計算的太陽黑子個數），可以將太陽黑子活動的特徵以量化方式記錄下來。

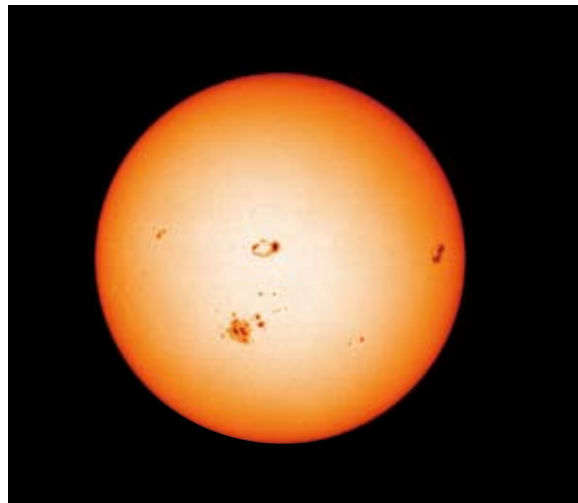


圖 1：可見光觀察太陽表面可見的太陽黑子群，使用不同輔助工具觀察到的太陽黑子清晰度可能不一樣。（圖片來源：NASA Earth Observatory/SOHO）

圖 2 是綜合不同年代觀測所得的太陽黑子數 400 年紀錄，藍色線部分很清楚顯示，太陽黑子的活動具有約 11 年的穩定周期變化，這稱為太陽黑子週期或簡稱太陽週期。氣候學家很早就發現地球氣候，至少是某些區域的氣候和太陽週期具有明顯相關性，不只氣候變化具有類似的 11 年變

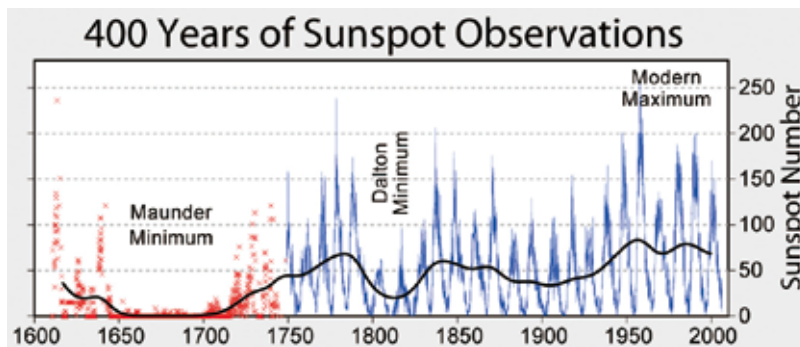


圖 2：綜合不同年代觀測所得的太陽黑子數紀錄，橫坐標是年份。紅色符號是早期比較稀疏的月平均太陽黑子觀測紀錄，藍色線代表幾乎是不間斷的平均逐日太陽黑子觀測紀錄，黑色線代表平滑過的太陽黑子數長期變化趨勢。（圖片來源：Wikimedia Commons/Robert A. Rohde）



化週期，氣候更長期的變化似乎也和太陽週期的長期趨勢變化有關。例如，圖2中代表太陽黑子變化長期趨勢的黑色粗線，它在1650~1700年間幾乎不見太陽黑子的活動，而有些氣候學者便認為這個特徵可能是造成歐洲小冰期發生的因素之一。不過，在解釋太陽黑子活動如何影響地球氣候時，科學界的認知就很不一致，甚至充滿爭議。尤其在人為全球暖化議題討論中，科學界都承認近期地球氣候變遷的成因，同時有人為影響與自然變異的成分，而在氣候的自然變異要素中，太陽的影響幾乎確定是無法忽視的一部分。由於太陽影響的量化估計，會直接左右到人為氣候變遷的程度，因此在全球暖化「論戰」的現實下，嚴謹的探討太陽影響氣候的物理機制，就更加受到重視。

在太陽黑子高峰期，太陽圓盤周邊也會發光的日冕層似乎會放大，所以在黑子高峰期太陽輻射強度可能比較強，或者說太陽常數會比較大。這個推論似乎可以解釋1650~1700年間黑子活動極小期和小冰期的相關性，因為如果當時太陽常數比較小，到達地球的太陽輻射能量減小，地球氣候變冷似乎很合理。問題是，在沒有衛星觀測太陽輻射強度以前，在地面上要確認太陽常數的數值很困難，因為大氣層變化很大，縱使在高山或沙漠地區觀測，估算出來的太陽常數變化也都很雜亂。有部分氣候模擬的學者因此反過來思考，假設太陽常數的變化是一個不變的量加上一個正比於太陽黑子活躍度的變量，那麼利用氣候模式可以反過來推估：「需要有多大振幅的太陽常數變化量，才能解釋氣候變

化和太陽黑子的相關性？」根據國際知名氣候學者真鍋淑郎 (Syukuro Manabe) 先生的說法，1990 年以前的估計值，太陽常數隨太陽黑子活動的變動範圍大約是平均太陽常數的 3%~7%，後來有人認為只要有 0.6% 的變化幅度就夠了。縱使是 0.6%，這還是問題所在，最近衛星觀測分析結果顯示，太陽常數隨太陽黑子變動的幅度小於平均太陽常數的 0.1%！太陽常數是如此的恆定，上述太陽週期變化與氣候關聯機制的推論顯然無法成立。

太陽風和太陽放射的極紫外線

雖然理論詮釋太陽對氣候的影響機制面臨挑戰，觀測上則持續穩定地有新發現。

有人不信任全球平均溫度，改用相對可信的北半球陸地溫度來尋找太陽的影響；也有人認為海洋比較能記憶太陽變化的累積影響，而在海洋溫度記錄中找到更明確、來自太陽週期變化的影響訊號。不管內容細節，觀測上支持太陽週期變化影響地球氣候的客觀證據越來越充足。在另一方面，部分學者也意識到「太陽黑子數」畢竟不是個物理量，進而思考是否有更為恰當的物理量來描述太陽週期的變化？先進的太陽觀測指出兩個方向，隨著太陽周期的變化，太陽對地球的影響最可能經由太陽風 (solar wind) 和太陽放射的極紫外線 (extreme ultraviolet)。太陽風是由太陽表面向外拋射的帶電物質，和太陽常數比，太陽風到達地球的總能量不高，但是卻能顯

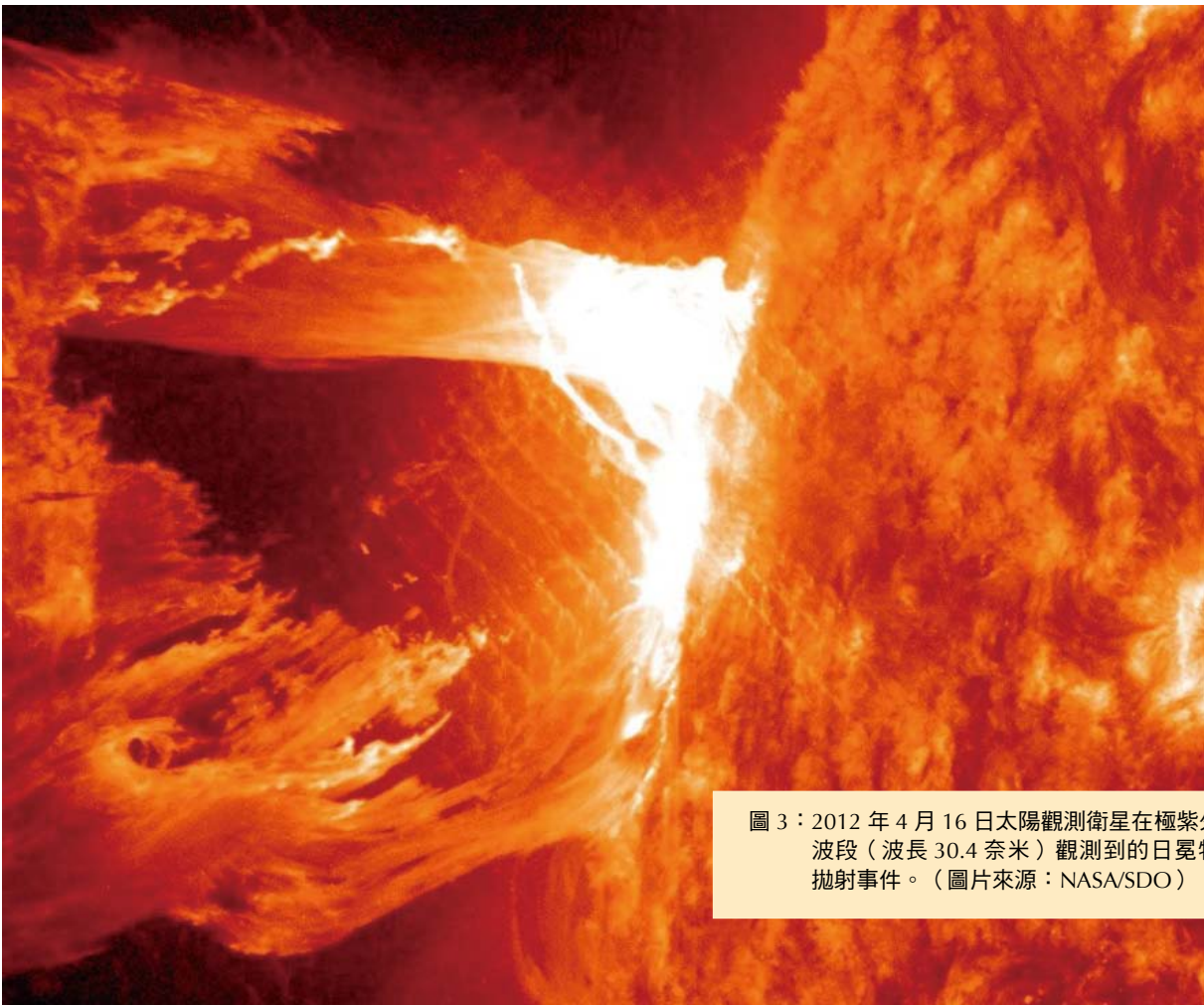


圖 3：2012 年 4 月 16 日太陽觀測衛星在極紫外線波段（波長 30.4 奈米）觀測到的日冕物質拋射事件。（圖片來源：NASA/SDO）

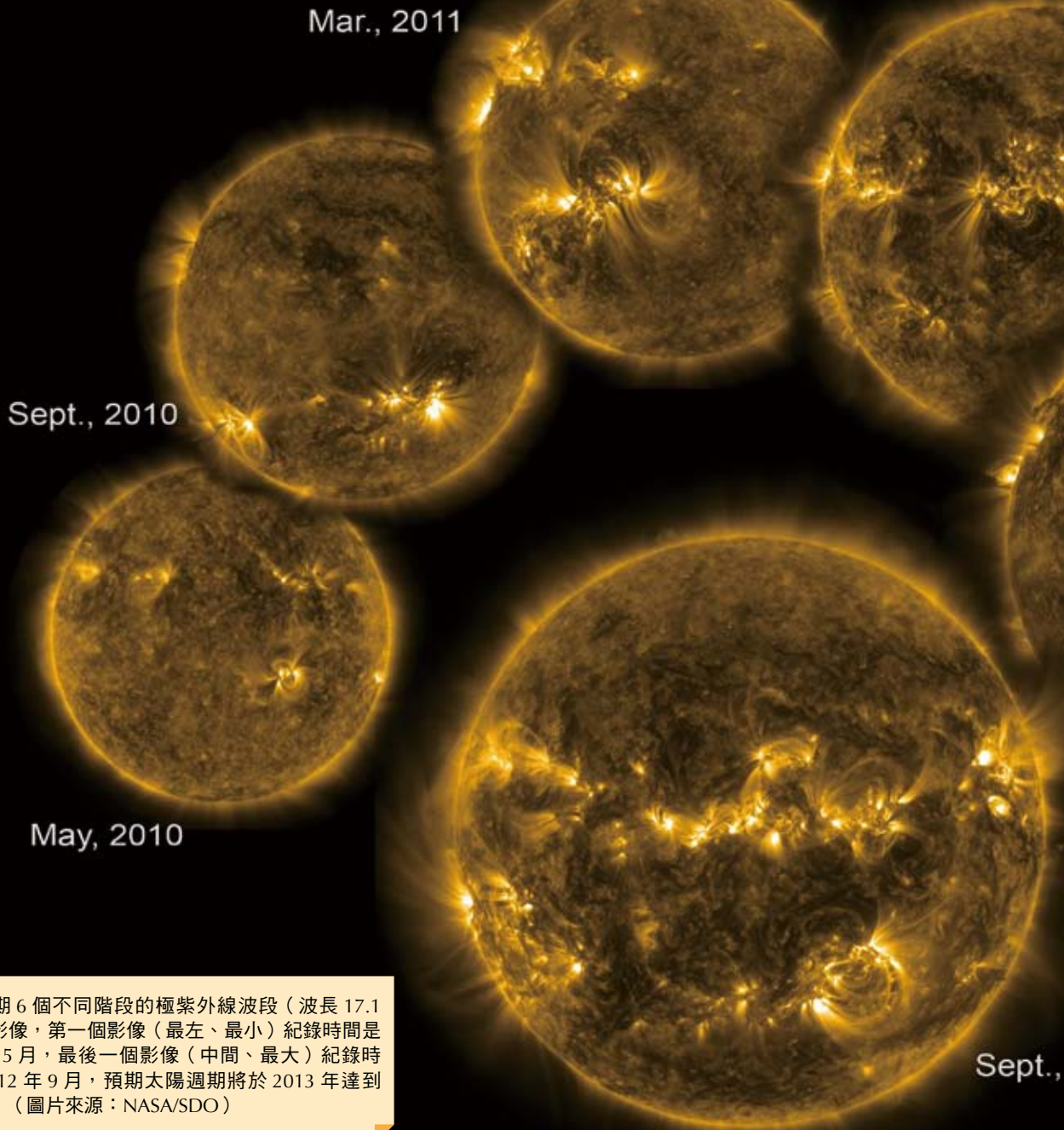


圖 4：太陽週期 6 個不同階段的極紫外線波段（波長 17.1 奈米）影像，第一個影像（最左、最小）紀錄時間是 2010 年 5 月，最後一個影像（中間、最大）紀錄時間是 2012 年 9 月，預期太陽週期將於 2013 年達到高峰期。（圖片來源：NASA/SDO）

Progressing towards Solar Max

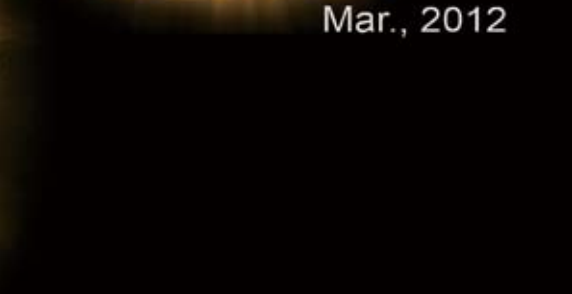
著影響地球磁場和部分電離層大氣。極紫外線是比一般稱紫外線的電磁波之波長更短、能量更高的電磁波。太陽的極紫外線輻射強度，通常在太陽黑子週期的高峰期達到最大時，其變化幅度可以到達這個波段平均輻射強度的 10%，這要比太陽常數變化的 0.1% 顯著的多。

太陽風的變化很複雜，一種稱為「日冕物質拋射 (CME)」的太陽表面現象，是影響太陽風最為壯觀的因素。圖 3 是美國太空總署 (NASA/SDO) 即時太陽影像，於 2012 年 4 月 16 日捕捉到的一次日冕物質拋射影像，該次事件還伴隨強烈「太陽閃焰」，那是太陽表面突然增強放射 X 光射

Sept., 2011



Mar., 2012



2012



線的現象。觀測上，日冕物質拋射的規模和頻率在太陽黑子週期的高峰期會比較顯著，在黑子平靜期則往往沒有這種現象。

圖 4 是美國太空總署 (NASA/SDO) 公布的一組太陽極紫外線影像，這是比圖 3 波長再短一點、能量更高的極紫外線波段影像。預期這個太陽周期將於 2013 年達到

高峰期，所以圖中六個太陽影像約略表示正往高峰期演進的太陽表面極紫外線的放射情形。中間最大的影像上有很多的亮點和流線般的線條，那是太陽表面猛烈的電漿與磁場活動，及高溫的太陽表面物質放射出高強度極紫外線輻射的現象。衛星觀測顯示，在極紫外線波段觀察的太陽活躍度，和傳統觀測太陽黑子週期變化的步調相當一致。

太陽風或太陽極紫外線輻射影響地球氣候的途徑有許多可能，通常都牽涉到多重尺度的大氣熱力學和動力過程，有些假說甚至包含複雜的大氣化學過程，共通點是環環相扣的變化影響過程，發生區域擴及高、低層不同性質的大氣層場。其中部分細節，以現在的科技還無法確切的證實或反證實，因此我們還是稱這些可能途徑的描述為科學「假說」。也就是說，目前還無法利用這些「假說」，定量的來評估太陽黑子週期變化對地球氣候的影響程度。由於地球大氣運動的能量幾乎全來自太陽，也就是說天氣系統的最終能量來源就是太陽，因此太陽如何影響地球氣候，尤其是在百年尺度範圍，應該會持續受到人們的重視。不過，要完全消彌科學爭議，可能不會是短時間能完成的事。

鄭明典 中央氣象局氣象預報中心主任