

太陽活動 的變化及影響

文／鄭振豐

自遠古時代開始，人類就已發現到太陽表面有不尋常的活動現象，隨著天文觀測儀器的發展，我們發現到太陽表面除了太陽黑子 (Sunspots) 外，還包括米粒組織 (Granule)，日珥 (Solar prominences)，閃焰 (Solar flare) 等明顯的活動現象。太陽的活動週期大約是 11 年，天文學家估計，2013 年 5 月份將進入這次太陽活動週期的極大期，對地球的大氣層造成影響，進而干擾人類通訊、導航與電信系統。

我們的太陽

在宇宙中，我們的太陽是一個平凡的氣態星球，它的直徑將近 140 萬公里，相當於地球的 109.2 倍，質量有 1.9891×10^{30} 公斤，約為地球的 33 萬倍，由 75% 的氫氣、24% 的氦氣及少量的其他金屬或非金屬元素所組成。由於它是個氣態的球體，所以並沒有界限分明的表面。我們把發出強烈連續白光，光線無法穿透的球面層當作太陽的表面，這是太陽大氣的最下層，稱為光球層 (Photosphere)。在表層以內分為核心區、輻射區、對流區三部份，以外則稱為太陽的大氣層，分別由光球層、色球層及日冕三部份所組成。

太陽的能量基本上是由核心區所產生的，主要是藉著核融合反應轉換來維繫，核心溫度約 1500 萬 K，以核融合的方式產生能量，並透過對流及輻射的過程，將能

量傳遞到太陽的表層，再以熱輻射的方式往外傳送。根據太陽中氫的含量，這種核融合反應可以維持近 100 億年，而太陽形成至今約有 46 億年，所以太陽大約再 50 億年多就會膨脹成為 1 顆紅巨星，屆時會膨脹到像金星軌道那樣的大；之後就會將外殼氣體噴灑出去，核心部位則收縮成白矮星，最後冷卻成黑矮星。

由於太陽每秒約放出 3.87×10^{26} 焦耳的能量，使得我們的地球雖然距離太陽約有 1.5×10^8 公里遠，但還是可以感受到太陽的熱量。數十億年以來，它就是如此不斷的以熱輻射的方式將能量傳送至地球，不僅帶動了地球上大氣的活動，並且也孕育出可貴的生命現象。我們地球所接收的太陽輻射約有 70% 被大氣、陸地及海洋所吸收（30% 被反射回太空中），然後經過能量的轉換來支應大氣的環流。



太陽表面的活動現象

人類對太陽一直相當的重視，在約三千多年前，中國的甲骨文中就有疑似太陽表面有異物的記載。之後史書中對於太陽黑子的記載就更多，如《漢書·五行志》記載，漢成帝「河平元年三月乙未，日出黃有黑氣，大如錢，居日中央」；其他還有《宋史》記載，宋神宗「元豐元年閏正月庚子，日中有黑子如李，至二月戊午散」等等。可見在遠古時代，人類就已發現到太陽表面有不尋常的活動現象；十七世紀初期伽利略使用天文望遠鏡觀測後，對太陽表面活動的描述就更為詳實。隨著天文觀測儀器的發展，我們從觀測中發現到太陽表面除了太陽黑子 (Sunspots) 外，

還包括米粒組織 (Granule)，日珥 (Solar prominences)，閃焰 (Solar flare) 等明顯的活動現象。

(一) 太陽黑子 (Sunspots)

太陽黑子是太陽表面最容易被觀測到的現象，其成因是光球層附近的磁力線嚴重地纏繞扭曲在一起，抑制了下方對流能量的傳遞，造成這個區域的溫度差不多在 4200K 上下，而於太陽表面光球層的溫度約為 5800K，由於溫度的差異，於是造成黑子所在區域看起來較光球層為暗（黑子較冷）。中間較暗的部份稱為本影區 (umbra)，周圍較淡黑的纖維狀部份則稱為半影區 (penumbra)。通常太陽黑子習慣成群出現，壽命可持續達數日至數週不等。

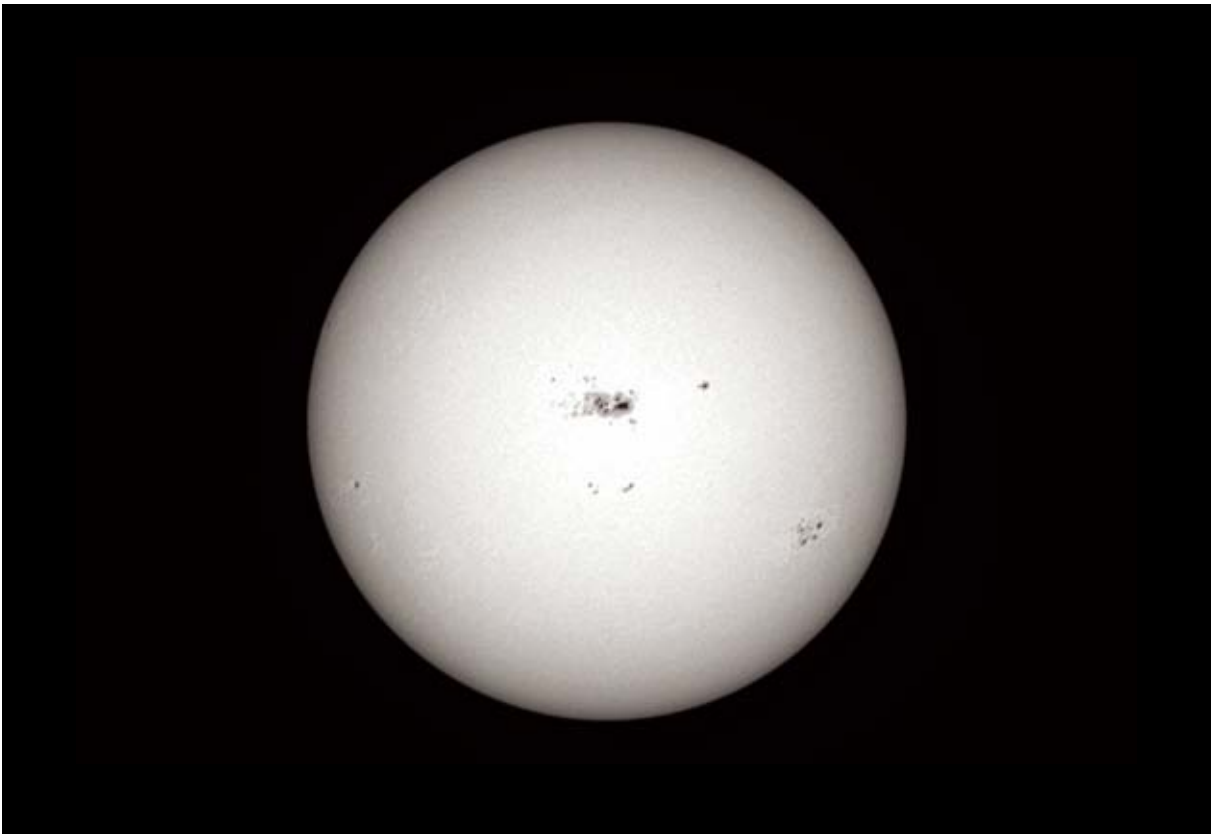


圖 1：2000 年 9 月 24 日太陽面上的大型太陽黑子（鄭振豐攝）



(二) 米粒組織 (Granule)

米粒組織是位於太陽的光球層上，因為對流層內的電漿對流而導致的現象；光球層周邊部分的溫度比中間部分為低而顯得稍暗，於是在日面上形成一粒粒的小型凸狀體。一般用較大口徑的望遠鏡投影日面就可以看到。米粒組織的生命週期不長，約在 8 至 20 分鐘間而已。

(三) 日珥 (Solar prominence)

在太陽表面巨大的扭曲磁場拖曳著游離的電漿向外噴發的現象，有些較大者形成拱型狀，典型的日珥約向外突出延伸數千公里，最大的估計可達數十萬公里。一般生命週期可以持續幾天，

長者甚至達數個月。日珥在平常用一般望遠鏡無法看到，必須在日面出現全食的時候，或使用特定波段的太陽望遠鏡才可以看到。日珥發生在日面周邊時最為明顯；若是發生在日面上，則因視覺的關係，投影在日面上形成暗條狀的絲狀體。

(四) 閃焰 (Solar flare)

閃焰是太陽大氣中的磁能 (magnetic energy) 以強烈的輻射型態突然釋放出來的現象，經分析從無線電、可見光、X 射線到伽瑪線的光譜形式都有，基本上是以高速的質子與電子向外輻射。一次典型的閃焰爆發釋放的能量，大

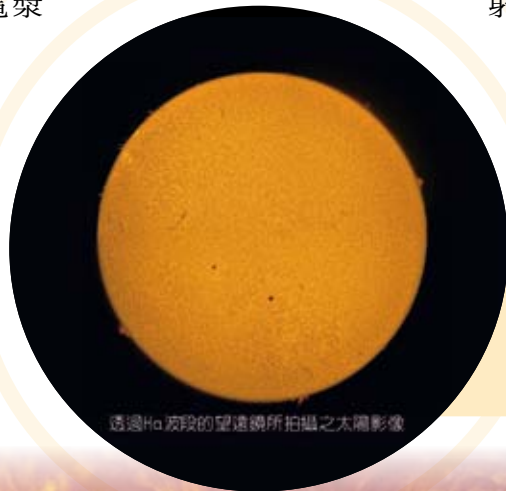


圖 2：從特殊波段的望遠鏡中，可以看到太陽面上的結構及周邊的日珥。(鄭振豐攝)

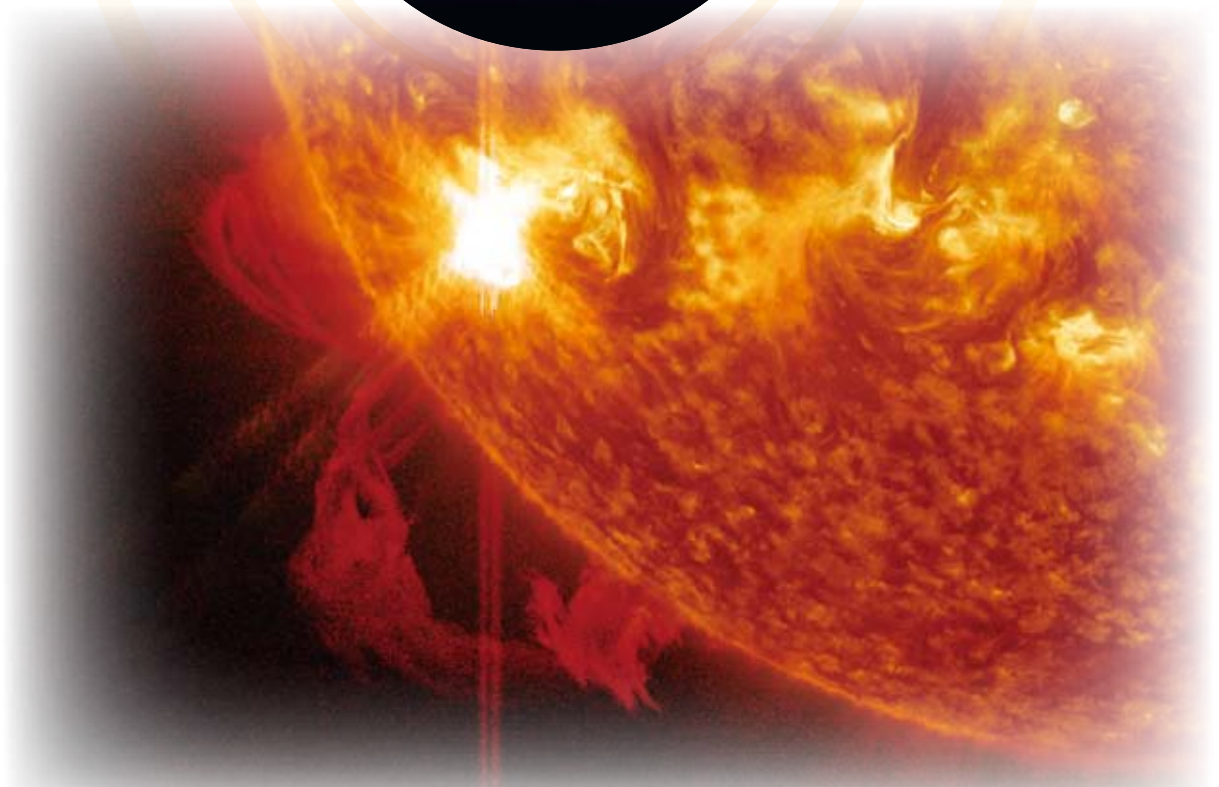


圖 3：太陽閃焰 (圖片來源：Courtesy of NASA/SDO and the AIA, EVE, and HMI science teams.)

約有數百萬個氫彈爆炸（或相當於 1,000 萬個火山的爆炸）所釋放的能量。閃焰多發生於黑子密集區域，亦即該處的能量很不穩定，在太陽活動活躍期間，可能幾天就發生一次，反之在太陽活動較為平靜時，數十天也未必會出現。

太陽活動的週期

太陽活動有 11 年的週期，1843 年由德國天文學家史瓦貝（Heinrich Schwabe）在長達 17 年的太陽黑子觀測所發現的。1849 年瑞士天文學家魯道夫·沃夫 (Rudolf Wolf) 對太陽面上的黑子制定了一套有效的分類與數量標準，把觀測分類的黑子群數乘以 10 再加上黑子的個數，量化成一組結合群組與個數的數字，我們稱為沃夫黑子相對數 (Wolf Number)，並將太陽黑子的相對數回溯至十七世紀。透過這方法，我們可以看到太陽黑子的數量變化最明顯的是大約有 11 年的震盪週期，短的只有 9 年，而最長的曾長達 14 年。黑子數量的多寡跟太陽活躍與否有著直接的關係，是我們觀察太陽活動的指標。太陽黑子數量多時稱為極大期，此時，太陽表面因磁場零亂而

活動頻繁；太陽黑子數量少時稱為極小期，在那段期間太陽表面就顯得較為平靜。

在極大期前後幾年，太陽表面上的黑子區相當的活躍，常會有閃焰爆發及日冕物質拋射 (coronal mass ejection) 等能量的釋放。每次閃焰爆發時，除了強輻射直接向外衝擊外，還有隨之所帶來一連串密集的帶電粒子流向外傳遞，俗稱太陽風 (Solar wind)；而這些粒子流現象稱為日冕物質拋射 (CME)，是太陽能量釋放時被帶出來的日冕物質，傳播速度大約每秒 350 ~ 450 公里，而在 24 ~ 72 小時後就會到達地球附近。如果太陽風直接吹襲地球表面，就會對地球上的生命與環境造成毀滅性的影響！不過別擔心，大約在地球上方 100 ~ 60,000 公里處就包圍著磁場帶，稱為范艾倫輻射帶 (Van Allen radiation belt)，會將大部份衝擊而來的高能粒子俘獲及導引，使它們不能到達地面，避免對地面上生物直接的致命威脅。雖然 1959 年及 1989 年曾因大型閃焰爆發衝擊，引發地球磁場的強度和方向發生急劇不規則變化，造成通訊系統及加拿大的發電廠故障等這類事件，但在歷史上尚未有因太陽活動直接傷害生命的紀錄。

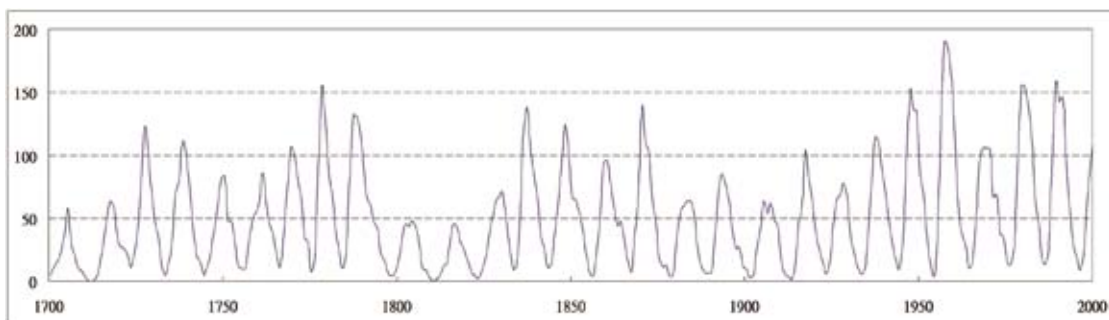


圖 4：太陽黑子相對數年平均圖（繪製：鄭振豐；數據資料來源：國際太陽黑子資料中心）

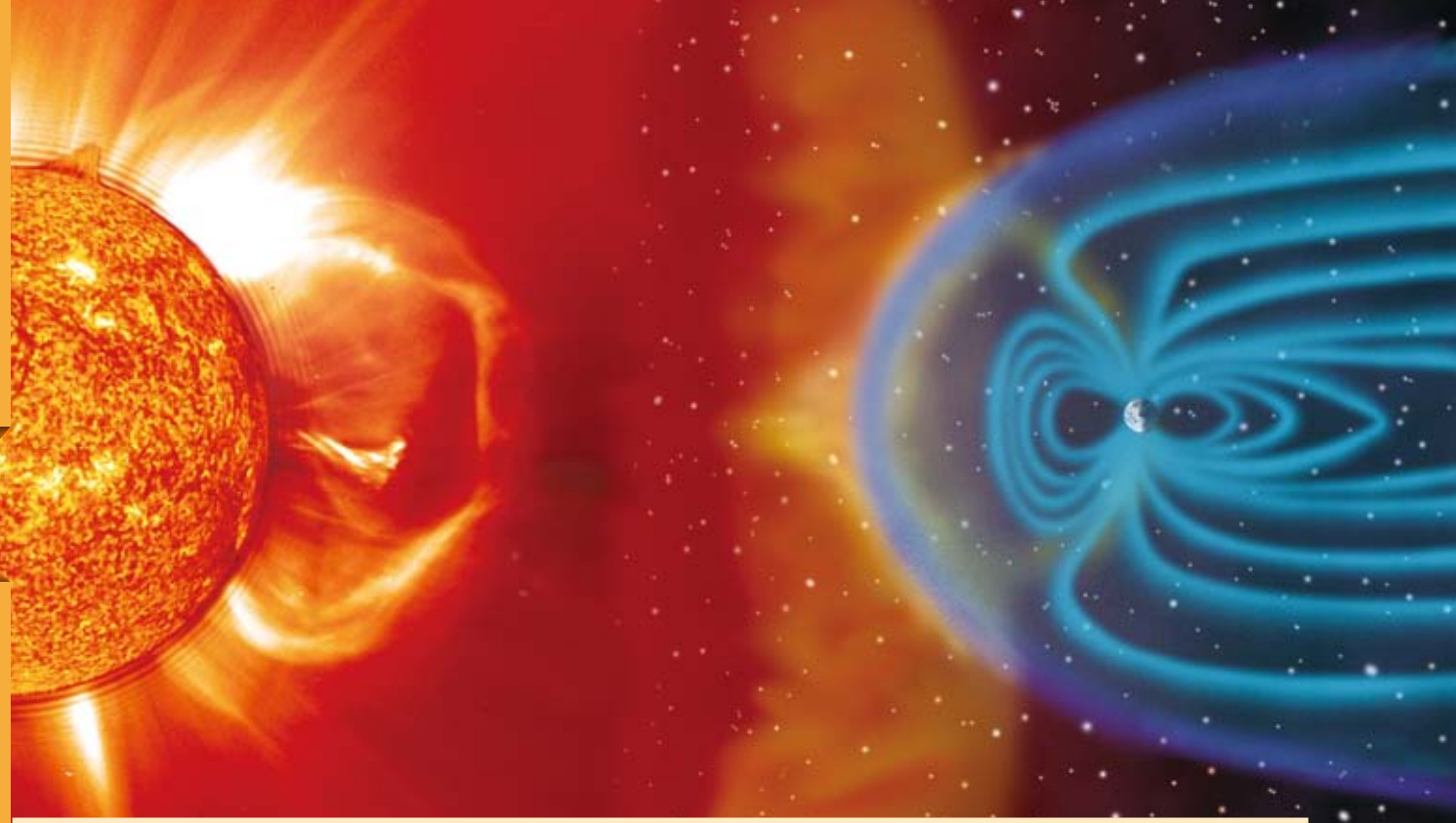


圖 5：太陽活動與地球的關係，影像中太陽的右上可見剛爆發的閃焰現象，隨之向外擴散的帶電粒子在 1~3 天影響到地球附近時，被地球上空的范艾倫輻射帶俘獲及導引。（圖片來源：SOHO (ESA & NASA)）

最近數十年來，天文學家正持續的留意太陽活動的各種情形，因為其活動變化有可能影響到我們地球，尤其在閃焰爆發正好對著地球時，急衝而來的高能輻射及粒子流可能會直接衝擊地球，對於地球的大氣層影響最大。主要可能的影響如下：

1. 高層大氣中的電離現象更加明顯，使電離層的範圍更加擴展。
2. 讓電離層變形造成極光發生的頻率增加。
3. 隨著電離層的變化，無線電波收訊訊號不良。
4. 受到高速粒子流的衝擊，對暴露於太空中的太空人及精密的電子零件會造成直接危險。
5. 通信及導航設備破壞。
6. 甚至導致地面機電設備受損而停電。

2013 年將進入太陽活動極大期

NOAA 的太空天氣預報中心 (Space Weather Prediction Center) 於 2009 年 5 月就預測，在 2013 年 5 月份將進入這次太陽活

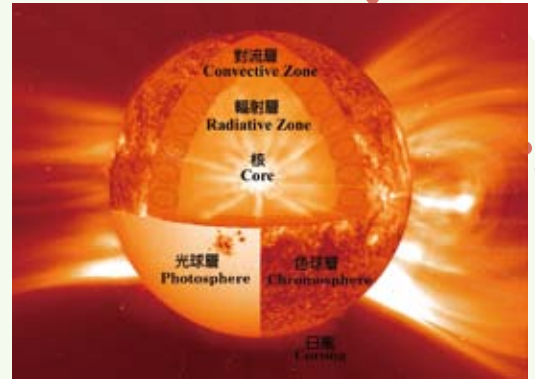
動週期的極大期。然今年開始迄今，太陽的活動雖然活躍，但程度不如 2011 年，強烈的閃焰現象甚至好幾個月沒發生過，真的今年是太陽活動週期的極大期嗎？

為此，NASA 的太陽物理學家 Pesnell 提出解釋：現在的確是太陽極大期沒錯，只不過和一般極大期不一樣的地方，這次的極大期可能有兩個峰值。傳統的觀念認為，太陽的活動週期是 11 年，但這是個平均值，太陽活動週期並沒那麼規律，振幅從 10 ~ 13 年不等。而且在之前的 1989 年和 2001 年前後，都是擁有兩次峰值，太陽活動先逐漸攀升，而後降低，之後又再度向上攀升，像是一個大週期中另有著兩個迷你小週期，每個小週期約持續 2 年左右。現在可能就是發生了類似的狀況，黑子數量在 2011 年攀升，在 2012 年下降，因此 Pesnell 預期黑子數量在 2013 年會再度達到第二個峰值，而這次的小週期會持續到 2014 年左右。不論太陽的活動會如何演變，現在僅能大致上知道，2013 年底的活動程度應該會比年初時更為活躍！

太陽的結構

我們將太陽分為 6 層，從中心往外分別為：

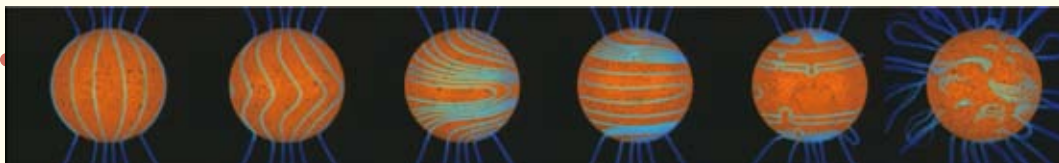
1. 核心：約占太陽中心半徑的 1/4，溫度大約是 1,500 萬 K。
2. 輻射區：將能量以輻射的方式往外傳遞的區域。
3. 對流區：將能量以對流的方式往外傳遞的區域。
4. 光球層：我們所看到的太陽表面，溫度大約是 5,800K，是太陽黑子活動的區域。
5. 色球層：緊接在光球層外，一般被視為太陽的大氣，厚度可延伸至 2500 公里處，溫度由底層的 4,400K 向上可上升至 3 萬 K。
6. 日冕：太陽大氣的外層，是密度很低而且形狀很不規則的區域；它可延伸到數個太陽半徑的距離，溫度介於 100 萬至數百萬 K 之間。



(圖片來源：THE SOLAR AND HELIOSPHERIC OBSERVATORY)

太陽黑子：太陽球面磁場「緯流差」擾動的結果

太陽本身是一個電漿體，在緯度不同地方的自轉速度也不一樣，例如赤道附近的週期約 25 天，而高緯度地區自轉週期約 30 多天；表示赤道附近的物質比兩極附近的移動為快，磁力線因此沿著緯度線旋繞在太陽的低緯度地區，由於「緯流差」的擾動使磁力線扭曲打結而形成團狀，在局部地區抑制了下方對流能量的傳遞，造成「太陽黑子」。



影像來源：SOHO (ESA & NASA)

延伸閱讀：

美國太空總署 (NASA) 網站 2013 年 3 月 1 日所載科學新聞：“Solar Cycle Update: Twin Peaks?”
(網址：http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2013/01mar_twinpeaks/)

鄭振豐 中央氣象局天文站薦任技士