

太空人何時出門—— 對太空天氣的觀察

■ 演講人 / 劉正彥
文字整理 / 張志玲

太空天氣變壞，
小則造成廣播、通訊、定位和導航品質不良，
重則引發電流燒毀供電系統造成大停電，
身為現代人不可不知太空天氣。

太空衣有7層，目的在保溫、保濕及保壓，頭盔遮掩鍍金可阻防輻射。



太陽擾動，一般是因為太陽黑子（sunspots）區的爆炸事件所引起，也就是發生所謂的「太陽風暴」或「太陽磁暴」。這時會產生太陽光強度和太陽風速的劇烈變化，進而顯著改變太陽系的溫度、密度和壓力環境，這就是「太空天氣」變化。因為地球在太空

環境中，所以地球附近的太空區域會隨太空天氣而改變，尤其是利用衛星的廣播、定位和導航作業，都會受到太空天氣的影響。一般人出門前要看天氣以便決定穿著打扮；太空人或太空船進入太空時也要看太空天氣才知道何時出發最安全。

太陽活動極大期時，日盤表面布滿大大小小的太陽黑子，伴隨而來的「磁暴」和「閃焰」幾乎時時發生。太陽黑子增多，磁暴發生機率增高，對地球周遭的太空環境產生明顯影響，對在軌道上運行的太空船和太空人也會產生嚴重危害。地球大氣層中的電離層會因為瞬間增強的X光、紫外線，以及大量來自太陽風的帶電粒子而干擾衛星通訊。

如在觀賞衛星轉播的電視節目時，偶爾會因為「訊號微弱」失去精彩畫面，原因可能就是X光和超紫外線急遽增強，導致太空天氣劇烈變化，使得電磁波訊號因為電離層吸收而衰減。現代生活仰賴大量的太空衛星科技，身處太空時代的我們，不只需要氣象預告，也要知道太空天氣的變化和預報。

太空中充滿電漿態物質

在了解太空天氣以前要先界定大氣、太空、天文的範圍。科學上的大氣範圍是指由地面延伸至80公里的高空；太空範圍是指離地面50公里一直到太空船能到的地方，現在界定的範圍是太陽系；天文範圍就是太空船到不了的浩瀚宇宙，因此恆星、星系、銀河等都屬於天文研究的領域。

太空中充滿物質第四態—電漿態（體）。現代物理知道的物質態有固態、液態、氣態、電漿態、玻色—愛因斯坦凝聚態（Bose—Einstein condensate）及費米子凝聚態（Fermionic condensate）等六態。加入能量後的固態會變成液態；加入能量後的液態會變成氣態；加入能量後的氣態，其分子或原子裡的電

子會被激發出來變成電漿態。

電漿態的正、負離子（或電子）個數相等，因此又稱為「等離子體」。生活中使用的日光燈沒有燈絲，裡面充滿水銀蒸氣（汞氣體），管壁塗布螢光物質。如果在兩端施予高電壓，就會產生高速電子撞擊汞原子而使得汞進入激發狀態，當被激發



大氣電離層的主要成分是氧原子，氧原子受電子激發，在離地面約250公里處發出淺綠色極光。能量較高的電子深入大氣層約100~200公里處，與氮分子碰撞，產生一氧化氮，發出粉紅或紫紅極光，電離層中的氮分子則發紫藍色光。

的游離電子回降至基態時，大都會放出藍光或紫外光。管壁螢光物質吸收這些光後，轉而發射波長較長的可見光。日光燈可以算是利用電漿態發光。

太陽核心溫度1千5百萬度

太陽是太空能源所在，釋放出來的能量由太陽光（電磁波）和太陽風

（電漿態），兩者主宰著太空天氣的變化。太陽本體分成內部結構與大氣結構兩部分。內部結構有核心（core）、輻射層（radiation zone）及對流層（convection zone），大氣結構由光球層（photosphere）、色（彩）球層（chromosphere）及日冕（corona）組成。

核心是指由太陽中心點往外到太陽半徑25%的範圍，裡面有核融合反應，溫度約1千5百萬度，也是產生99%太陽能的地方。由太陽核心往外到太陽半徑75%的範圍是輻射層，所有來自核心的光子不斷地在輻射層與粒子碰撞、被吸收、再輻射（或稱散射）而向外傳

圖1-1來源：美國阿拉斯加德魯伊

現代生活仰賴大量的太空衛星科技，身處太空時代的我們，
不只需要氣象預告，也要知道太空天氣的變化和預報。



日光燈利用電漿態發光，沒有燈絲，內裝汞（水銀）蒸氣，燈管塗布螢光劑。以高電壓迫使氣體放出高速電子，撞擊汞原子放出藍光或紫外光，管壁螢光劑吸收紫外光轉而發射長波長的可見光。

播。

由輻射層上方到太陽半徑 100 % 的範圍是對流層，這裡幾乎不透明，所有從輻射層傳來的能量，在這裡以對流方式由高熱物質帶到太陽表面，冷物質則下沉，由於上下溫差很大，因此形成沸騰狀態。最後再由太陽表面把能量輻射至四面八方，這些能量從核心傳到太陽表面需要許多萬年的

時間。

一般看到的太陽表面是光球層，範圍約是太陽半徑的 0.02 %，結構是由對流造成，溫度約 5,800 ~ 6,000 K（相當於攝氏 5,500 ~ 5,700 度），底部是濃密的電漿態，會發射與表面溫度相當的熱輻射光譜，太陽黑子便是出現在光球層底部。

更上方的色球層沒有明顯上邊界，發光強度是光球層的萬分之一，被看到的機會不多，惟有在日全蝕的時候，當月球把整個光球層遮住時才能看到玫瑰色的色球層。如果色球層也一起被遮住，太陽四周會出現一片淡色的暈，稱為日冕。日冕層溫度非常高，可達 2 百萬度以上。日冕裡面粒子的熱運動速度非常快，某些粒子會脫離日冕層，從破洞，也就是從「日冕洞」溜出來形成太陽風，太陽風會以每秒 300 ~ 800 公里以上的速度吹出去。

進入太陽黑子新紀元

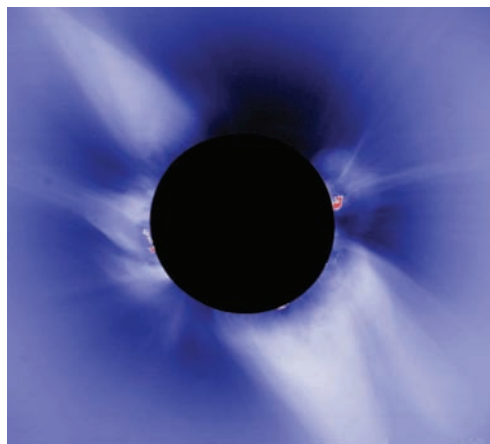
預測太空天氣要看太陽「臉色」，也就是觀察太陽黑子的大小、多寡和位置。太陽活動極大期的時候，表面布滿大小黑子，最大黑子達地球直徑數倍。所謂的日珥、閃焰、日冕等太陽表面活動都與黑子直接或間接有關。太陽黑子的溫度約 4,000K（相當於攝氏 3,700 度），因與太陽表面溫度（約 5,800K）比較起來相對較低，所以呈黑色。太陽是一種電漿體，電漿體是一種超導體，裡面會產生電流和磁場，因此太陽黑子也有非常強的磁場，大約是太陽表面平均磁場的幾百倍。

太陽的自轉方式與地球的剛體自轉不一樣，它是一種「差動式自轉」，接近赤道的地方轉得快，轉一圈約 23 天，而南北極轉得慢，轉一圈約 35 天。赤道與南北極旋轉速度的差異，造成太陽磁力線的糾結與纏繞。太陽內部擾流會因為磁力線糾結

而部分浮出太陽表面，形成所謂的太陽黑子。太陽黑子大都成群結隊出現，通常隨太陽自轉移過太陽表面，磁力線因此越拉越長，最後扯斷，造成南北半球呈反對稱的成對出現。黑子數由極少（小）增至極



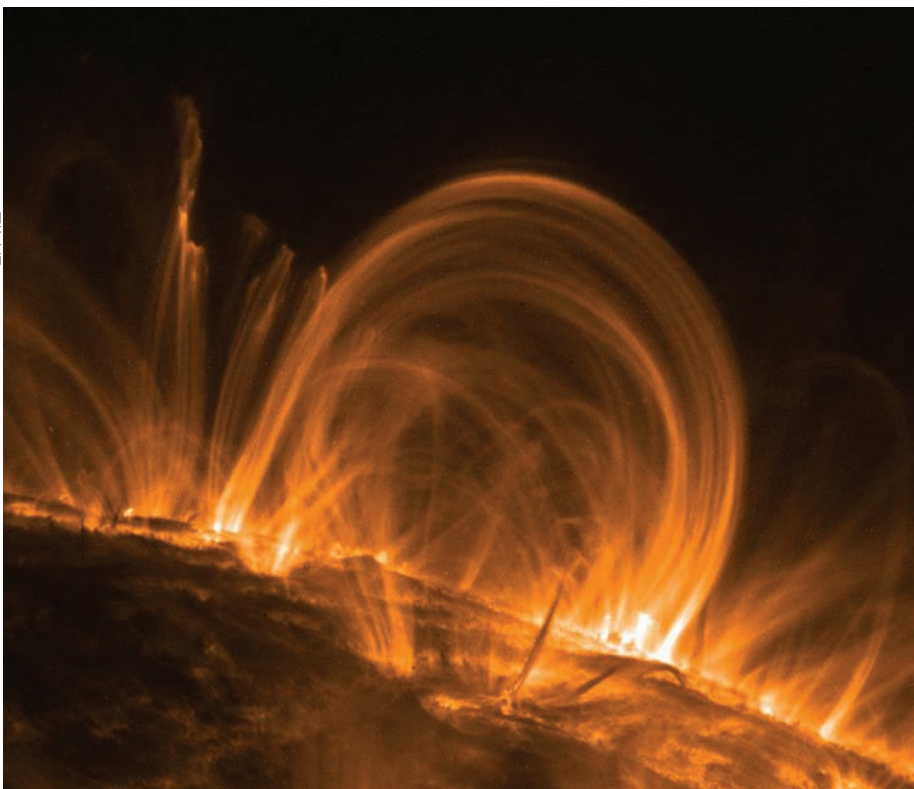
太陽大氣層的最外層，在色球層外面的是乳白色的日冕層。



圖上來源：http://solarscience.msfc.nasa.gov/jm_ogey/Ecl1991a.jpg

太陽黑子出現時，「磁暴」和「閃焰」侵襲地球的機會加大，因此一般並不歡迎太陽黑子。可是太陽表面如果沒有黑子也會產生其他問題。

圖片來源：http://solarsystem.jpl.nasa.gov/multimedia/gallery/coronatoolp_1rce_b1g.jpg



從光球層和色球層竄出到達日冕層的熱離子氣體群，好像貼附在太陽邊緣的耳環，稱為日珥。

多(大)再到極小，整個過程所花費的時間稱為太陽黑子的一個周期。

根據觀測資料，太陽黑子周期最長約13.3年，最短只有7.3年，平均10.8年，因此一般以11年為太陽黑子的平均周期。太陽黑子每經歷一個周期，南北極磁場就互換一次。若要南北極磁場再換回來，需要經過另一個黑子周期，因此太陽磁場周期約22年。繪製黑子分布圖時，若以年分為橫軸，以太陽黑子出現的緯度為縱軸，可看到同一個周期中，太陽黑子的分布形狀像隻蝴蝶，稱為蝴蝶圖。

太陽黑子出現時，「磁暴」和「閃焰」侵襲地球的機會加大，因此一般並不歡迎太陽黑子。可是太陽表面如果沒有黑子也會產生其他問題。譬如中國過去歷史上的嚴寒、夏寒、降水等，大都發生在太陽黑子極少或沒有的時候。此外，17世紀中葉到18世紀初期近80年間，太陽表面沒有黑子（一般稱為蒙德極小期），影響所及使得地球經歷一次小冰河期。因此，黑子多寡會改變太空天氣，也會影響氣候。太陽黑子在2006年的6、7月進入第24周期，也就是說，

我們已進入太陽黑子的新紀元。

地球有四大保護盾牌

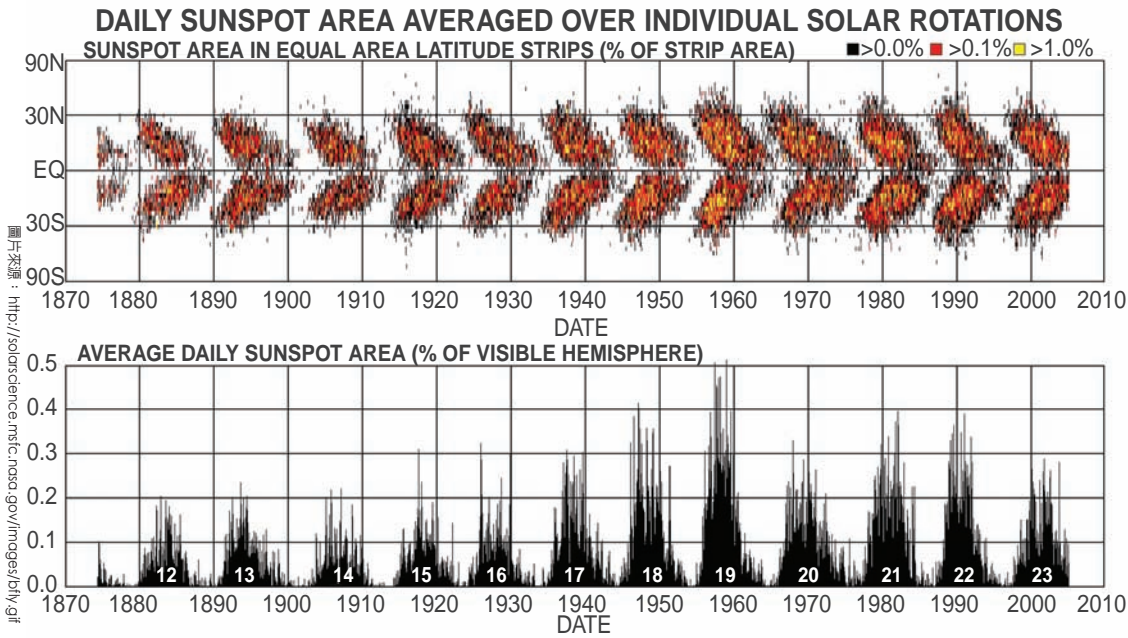
太空中的太陽光、太陽風、磁暴、閃焰、隕石等會侵襲地球，幸好地球有四大盾牌保護。第一面盾牌是地磁層，可以阻擋太陽風。第二面盾牌是電離層，可以阻擋來自太陽的X光、超紫外線、紫外線等。第三面盾牌是大氣層，可以阻擋隕石。第四面盾牌是臭氧層，可以阻擋紫外線。

地球磁場原本是對稱的，但在太陽風的吹襲下，形成迎太陽風面被壓縮、背太陽風面被拉拽的磁層結構（magnetosphere）。這些磁層會與地球大氣層一起擋住來自太陽風的粒子，不過仍有少部分粒子由磁尾溜進地球極區與地球大氣碰撞，產生美麗極光。

離地面50~2,000公里的高空是電離層，裡面的電子和離子濃度非常大，可擋住來自太陽會傷害生物的高能光線，譬如X光、超紫外線、紫外線等。全球電離層濃度最高的地區南北半球各有一處，就是在地磁南北緯15度附近，台灣正好位在北半球的異常區帶。

每天早上受到太陽光照射，菲律賓地區的磁赤道區因為光離化產生的大量電子和離子會向上噴發，最後降

地球有四大盾牌保護。第一面盾牌是地磁層，可以阻擋太陽風。第二面盾牌是電離層，可以阻擋來自太陽的X光、超紫外線、紫外線等。第三面盾牌是大氣層，可以阻擋隕石。第四面盾牌是臭氧層，可以阻擋紫外線。



繪製黑子分布圖時，以年分為橫軸，太陽黑子出現的緯度為縱軸，可看到在同一周期中，太陽黑子的分布形狀像隻蝴蝶，稱為蝴蝶圖。

落在南北半球，使得台北和高雄之間的電子和離子（即電漿）濃度達到全球最高。所以說台灣位在「電離層赤道異常區」，上空的太空天氣變化很大，導致電波傳播的雜訊相當大，通訊與定位導航作業經常受干擾。

地球大氣層可防隕石，又可細分成對流層、平流層、中氣層、熱氣層及外氣層。對流層是離地面10~12公里的大氣層，這一區的對流作用旺盛，特徵是地面高度每上升1公里氣溫降低攝氏6度。平流層是離地面20~50公里處，在這裡，部分氧氣受太陽光紫外線照射而變成臭氧，形成臭氧層，臭氧層能吸收紫外線保護部分地球生物。可能因為南極冬天照不到

陽光，無法有效製造臭氧，所以南極冬天空有天然臭氧洞。近年來南極臭氧洞有擴大趨勢，北極和北半球臭氧量也大幅減少，情況嚴重，頗令人擔心。

中氣層是離地面50~90公里處，這裡的溫度迅速降低，達到大氣中的極低值。熱氣層是離地面100公里以上的地方，地球大氣溫度在這裡急速增至1,500~2,500K左右。外氣層是離地面500~600公里以上的地方，大氣分子會從這裡逃至太空，再也不回地球。

太空天氣與現代生活

太陽每秒鐘約有相當於40億顆

氫彈的爆炸，平常釋出太陽光（電磁波）與太陽風（電漿態）。太陽表面擾亂不安定時，會有太陽黑子區的爆炸事件，伴隨產生的是閃焰。閃焰會以光速傳至地球，擾亂地球電離層。太陽表面爆炸事件會釋出高能帶

電粒子、日冕拋射物質、電漿雲等，並在2小時至2天後到達地球，引發地球磁場劇烈改變，這就是「磁暴」，磁暴會造成惡劣的近地太空天氣變化。以下是幾個與太陽黑子、太陽風、隕石、閃焰、磁暴等有關的實例。

兩伊戰爭時，美國大量利用衛星科技，因此在攻打伊拉克前要觀看太空天氣，主要是看太陽黑子的位置是否正對地球。如果正對，就不發動戰爭，等黑子轉過去以後才開始攻打。為什麼呢？因為巡弋飛彈飛行時需要靠全球定位系統GPS定位和瞄準，而隨太陽黑子區爆炸事件產生的閃焰會干擾電離層，可能會造成衛星訊號偏

科學家已提出警告 2010 年到 2011 年是太陽黑子第 24 周期活動的極大期，屆時衛星通訊和利用電離層反射電波訊號的能力，可能受到嚴重挑戰，因此需要加強監測並及早因應。



圖片來源：http://photowww.nasa.gov/photo/08oct2003/teepee_tourney.jpg



來自太陽風的粒子進入地球極區與地球粒子和空氣碰撞，產生美麗極光，一般在地球南北緯 65 度以上地區較易看到極光。

移數公尺乃至數公里，所以要避開太陽巨大閃焰所引起的太空天氣變化。

此外，美國一座發電廠曾因太陽風暴產生感應電流使得整座電廠燒毀，造成北美五、六十萬用戶沒電可用，當時是冬天，很多人因為沒有暖氣而凍死。俄國地區也曾因為太陽風暴發生，地下油管因為感應起電而爆炸，還因此引起巨大火災。這些都是典型太空天氣引發的事件。

太陽黑子爆炸時，巨量的高能量帶電粒子、日冕拋射物質從太陽表面大塊飛出，幾百幾千個地球那麼大的電漿雲朝著地球飛撞過來，會把地球磁力線向內擠壓，使得同步人造衛星完全暴露在太陽風的轟擊下。這時候利用衛星科技的交通定位系統乃至導航、國防系統，都可能受到影響。

流星雨來的時候，如果人造衛星的太陽能板被打中，可能引起短路，燒毀人造衛星。因此流星雨發生時期，衛星姿態有時需要做適度調整與改變。此外，來自太陽的高能太陽風粒子，會因為撞擊到衛星上的電子元件而形成電荷堆積或電流。因此衛星上的電腦最好選用堅固穩當的古老型號，因為早期的線路比較粗大、比較堅固，不會一碰就壞。

衛星上使用的電腦元件也不能任意添加保護它的阻擋

物，因為高能粒子轟擊阻擋物時，就像打撞球一樣，一顆變二、四、八……變成成千上萬顆粒子的轟擊，電腦在這樣的情況下被打到，很容易就毀損。

一顆價值幾十億元的人造衛星，有可能因為沒有注意太空天氣而被摧毀。科學家已提出警告，2010 年到 2011 年是太陽黑子第 24 周期活動的極大期，屆時衛星通訊和利用電離層反射電波訊號的能力，可能受到嚴重挑戰，因此需要加強監測並及早因應。未來世界將非常依賴太空天氣預報，萬一太空天氣劇烈變化，全球定位系統 GPS 定位可能出現嚴重誤差，衛星通訊可能中斷，定位導航容易產生誤差，這些狀況都會使得人類生活大受影響。

演講人 / 劉正彥

中央大學太空科學研究所

文字整理 / 張志玲

本刊特約文字編輯



圖片來源：http://www.nes-hsco.jp/~ens_hu/fashio/yuuseiu.htm

流星雨來的時候，如果人造衛星的太陽能板被打到形成短路，衛星電路就可能毀損。