

# 4

此圖是以紫外線和 X 射線拍攝的太陽影像合成圖，由太陽表面湧出的環型火焰為日珥，其周圍稀薄的氣體為日冕，右下角的人造衛星是 1995 年 12 月升空的太陽與日冕觀測衛星。



## 第四章 太陽

4-1 太陽的組成

4-2 太陽的大氣層

4-3 太陽的表面活動

4-4 日地關係

4-5 太陽的內部

仰望蔚藍的天空，最引人注目的是那顆金光閃耀的太陽。它創造出地球上的蓬勃生機，給人們光明與溫暖；人類也運用智慧逐漸揭開太陽的奧秘。太陽的組成物質為何？表面活動如何？內部活動又如何？對地球有何影響呢？

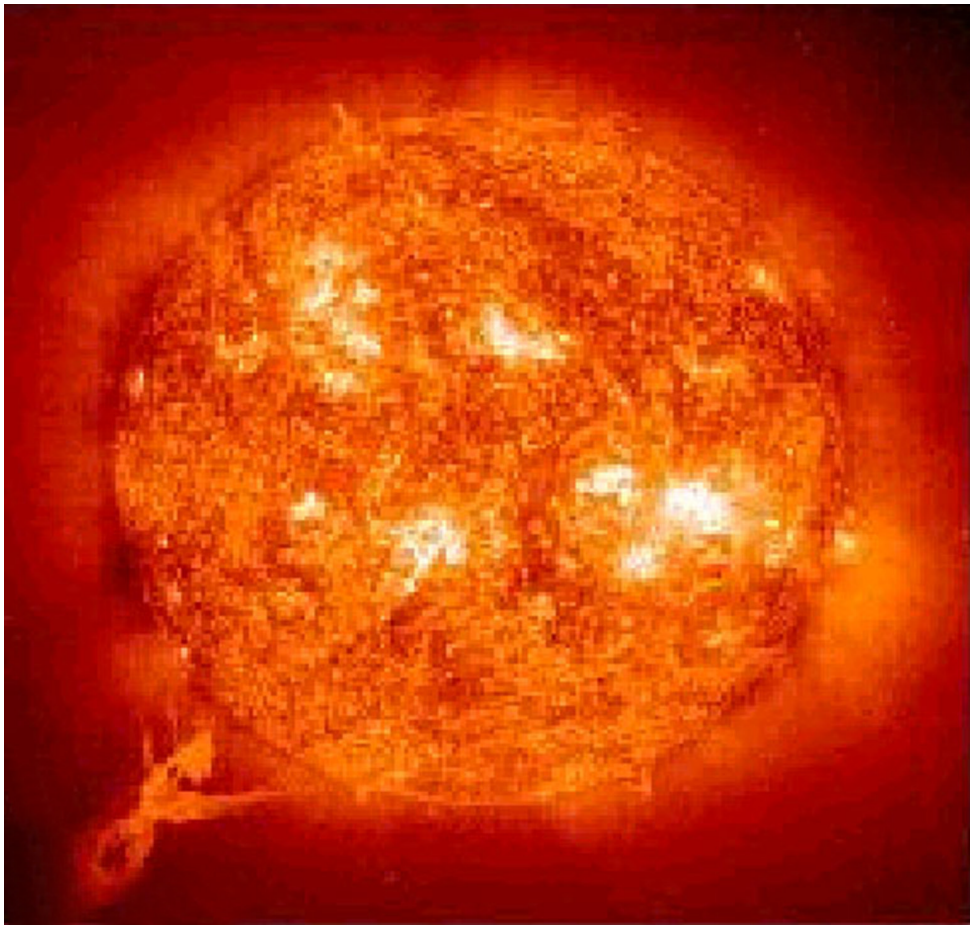


圖 4-1 太陽內部進行核融合產生能量，而其表面也有許多活動不斷進行。

## 4-1 太陽的組成

太陽是顆炙熱氣態的大火球，半徑約為地球的 100 倍，質量約為地球的 30 萬倍，而其平均密度卻只有 1.4 公克/立方公分，約為地球的四分之一。太陽的組成成份主要是較輕的化學元素，由光譜觀測得知各成分元素所占質量比，氫占 71%、氦占 27%，其它元素則占 2%（圖 4-2）。

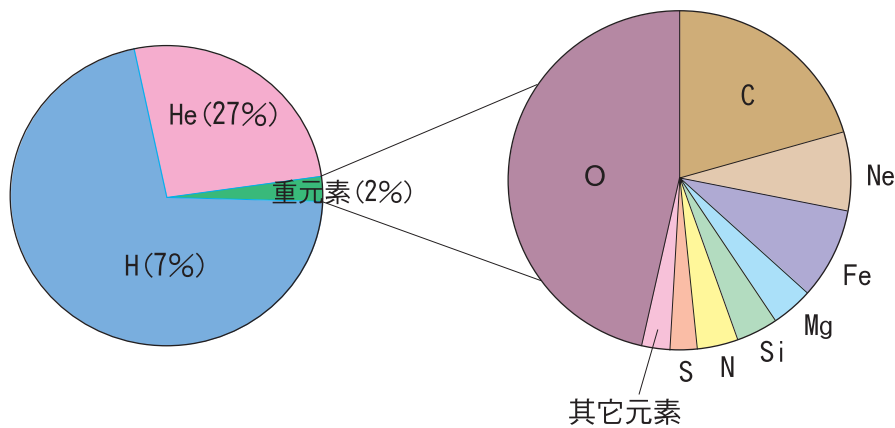


圖 4-2 太陽的組成元素的質量百分比。

太陽是個會自行發光的氣態球體，沒有界線分明的表面，通常把發出強烈可見光的盤面稱為太陽的表面，也就是我們常看到的太陽盤面，稱之為**光球層**。光球層以外的氣體稀薄且透光，而其內部的氣體則濃密不透光，因此內部訊息無法傳出。根據理論模型推測，太陽中心溫度約 1500 萬度，密度為水的 100 倍，在如此高溫、高密度之下，氣體粒子產生劇烈碰撞，而使得核融合的機會增加，在核融合過程中，損失小部份的質量轉變為能量，所產生的能量漸漸的向外傳遞，溫度也逐漸降低，到了太陽表面，溫度降至 6000K，能量便以光與熱的形式向外輻射。

動動腦：

我們平時所見到的太陽是黃白色的，但在黃昏時卻看到紅色的太陽，為什麼？

## 4-2 太陽的大氣

太陽的大氣層可分為三層，最內層稱為光球層，光球層以上的太陽大氣依其性質不同可分為**色球層**和**日冕**（圖 4-3）。

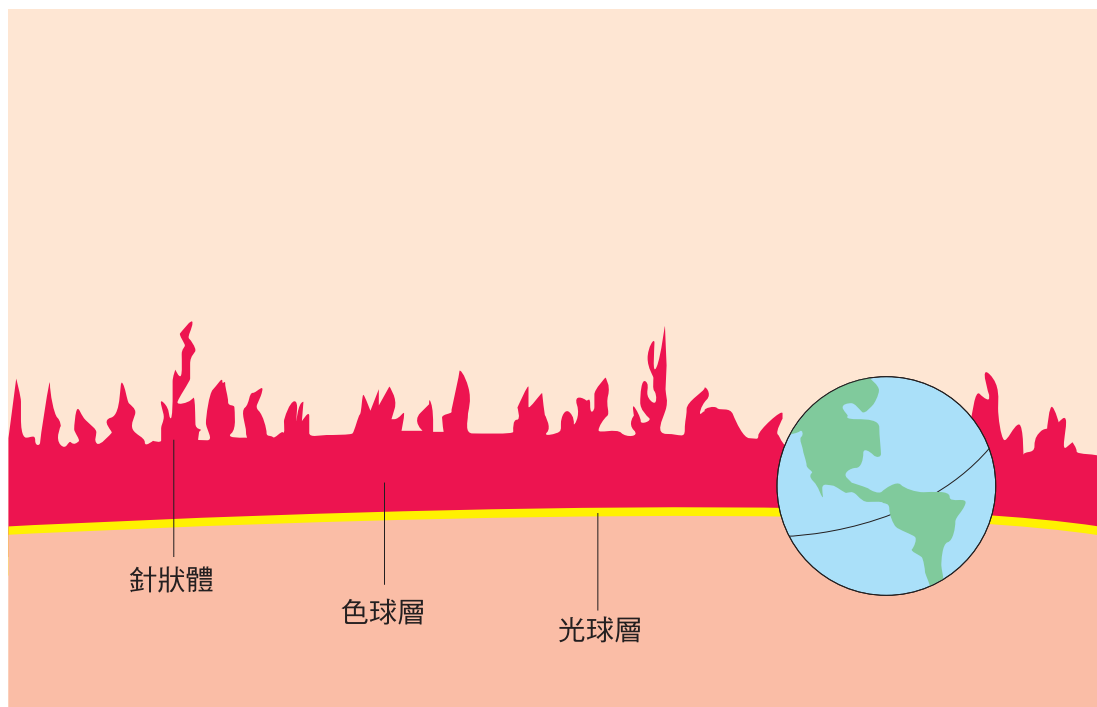


圖 4-3 太陽的大氣層由內而外分為光球層、色球層和日冕。以地球為比例尺，其中的光球層與色球層的厚度為真正的縮小比例，而日冕則須延伸至圖外。

### 4-2.1 光球層

光球層的溫度約為 5800K，輻射最強的部分為可見光。觀測太陽時，會發現太陽盤面邊緣部分較中央昏暗，稱為**緣暗現象**（圖 4-4）。

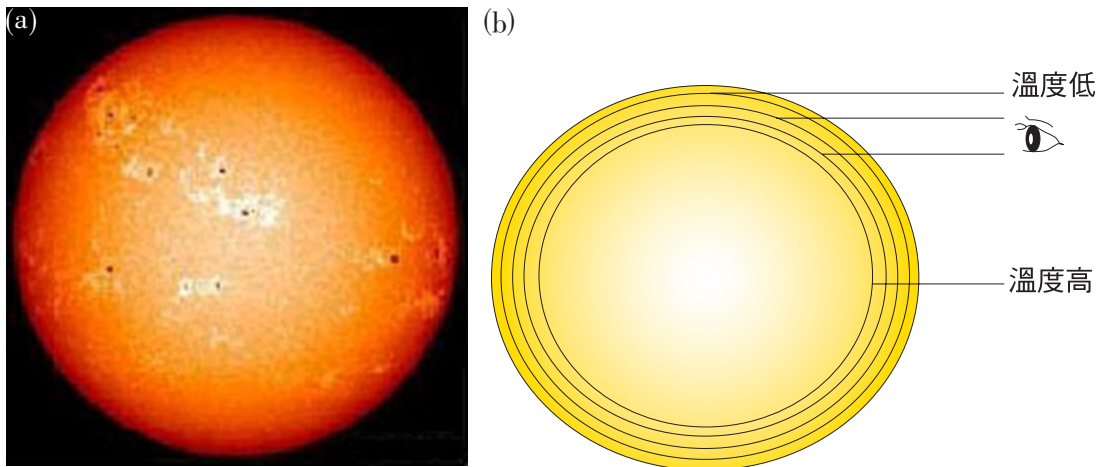


圖 4-4 (a)太陽的緣暗現象。

(b)造成緣暗現象的原因是在太陽盤面中間部份，視線與光球表面垂直，通過短距離就可以看到高溫的光球底層，而在盤面邊緣，視線幾乎與光球表面平行，即使通過長距離也只能看到低溫的光球上層。因此，在太陽盤面不同的部份看到的溫度不同，自然亮度也不同。

光球層上夾雜著許多顆粒狀的明亮斑點，稱為**米粒組織**（圖 4-5）。每個米粒組織的直徑大約 1000 公里，出現後持續約 20 分鐘就會消失或與相鄰的米粒組織合併。米粒組織中心部分是向上翻湧的氣體，其溫度較米粒組織邊緣下沉的暗氣體高出至少 100 度，故其存在顯示太陽傳遞能量的對流活動。

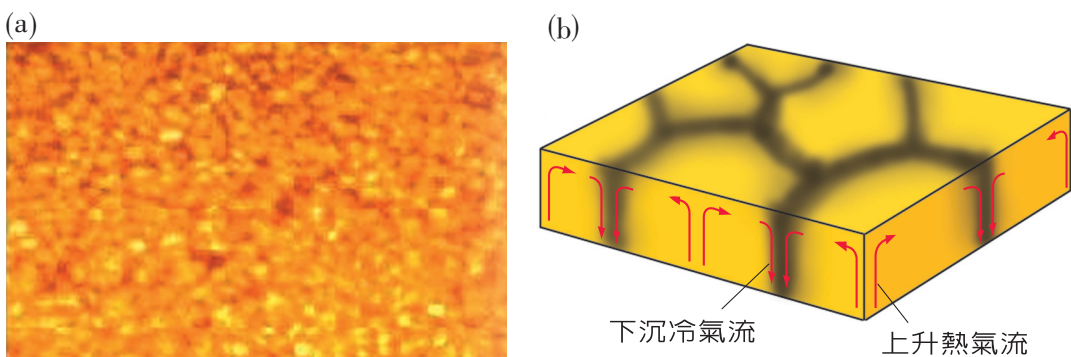


圖 4-5 (a)米粒組織。

(b)光球層的底部湧升而上的熱氣體加熱了光球層，使得此部分較周圍亮，變冷的氣體便散開並沿米粒的邊緣向下流回。

## 4-2.2 色球層

色球層位於光球層之上，氣體稀薄，光線很容易穿透，而其本身的光度只有光球的萬分之一，平時隱沒於光球輝映中無法窺視，只有在日全食中，當月面恰好將整個光球遮住時，才可以在日面邊緣看見玫瑰色的環狀結構，色球層也正因此而得名。色球層不是平滑的球層，在其表面有許多細緻的針狀突起結構，稱為針狀體，色球層是藉由針狀體的噴發將太陽能量傳至日冕（圖 4-6）。

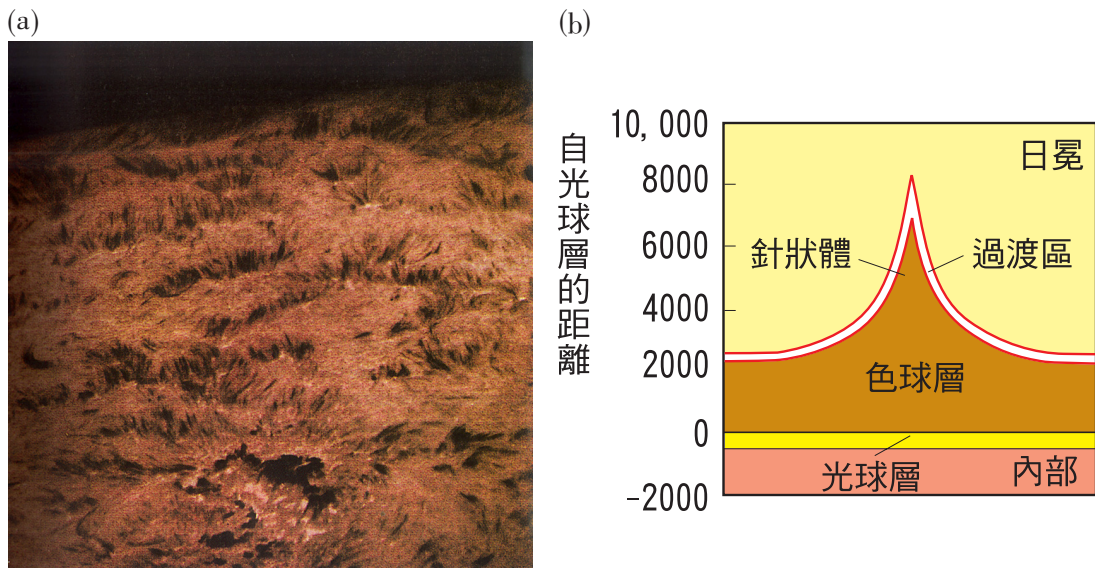


圖 4-6 (a)針狀體是一種噴發的現象，可將太陽能量由色球層傳至日冕。

(b)針狀體直徑約 100 至 1000 公里，可持續約 5 至 10 分鐘，噴發高度超過 10000 公里。

## 4-2.3 日冕

日冕是太陽大氣的最外層，其物質密度極為稀薄，約地球大氣的十萬分之一，而它的亮度僅為光球的百萬分之一左右，相當於滿月的亮度，只有在日全食，才能看到有一片淡白色的暈圍繞在太陽四周（圖 4-7）。隨著科技的進步，科學家已能利用日冕儀擋住光球來研究日冕。

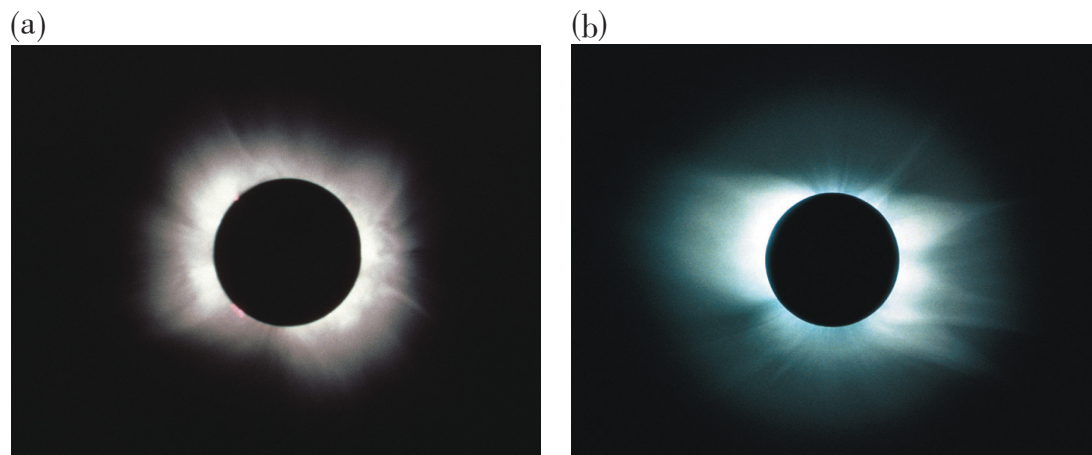


圖 4-7 日冕的形狀隨太陽活動的強弱而有所變動。

(a)在活動極大期，日冕接近圓形。

(b)在活動極小期，日冕較扁且向赤道延伸，類似一橢圓形。

日冕溫度隨高度遞增，在最底層與色球層相接觸的地方，溫度在 300 公里內增高達五十萬度，而在日冕最外層溫度可高達三百萬度（圖 4-8）。這種不尋常的增溫現象，原因至今不明。

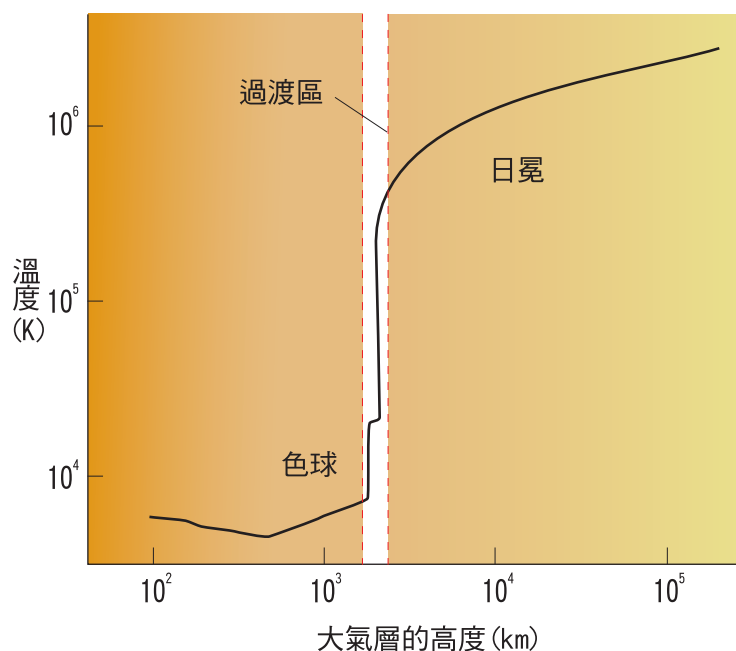


圖 4-8 太陽大氣層的溫度變化。在光球層之上約 11000 公里處，溫度由  $10^4\text{K}$  急速上升至  $10^6\text{K}$ ，為色球層過渡至日冕的分界。

## 4-2.4 太陽風

日冕溫度很高，因此氣體的熱運動速度非常快，這些游離的氣體可以每秒數百公里的速度逃離太陽表面，形成太陽風，使太陽質量每年減少一百萬噸，但與太陽總質量相較卻微不足道。密度極稀薄（每立方公分約 8 個質子或電子）的太陽風撞擊地球大氣層，深深影響地球生態環境和磁場，其影響力甚至遠達木星軌道附近。

## 4-3 太陽的表面活動

### 4-3.1 黑子

太陽活動最直接的觀測就是太陽**黑子**。我國古代稱太陽為金烏，早在望遠鏡發明前中國人已發現太陽表面的黑子，在史籍中留下紀錄，如西漢淮南子書中的精神訓「日中有踰烏」，春秋中則有「日中有三足烏」的記載。早期觀測者認為太陽黑子是一些小行星，在水星軌道內繞著太陽運轉所造成的陰影；伽立略則認為黑子是太陽大氣中移動的雲。

太陽的自轉週期約四週，但太陽非固體球，每個地方的自轉速度不同，例如赤道附近自轉週期為 25 天，而高緯度地區自轉週期為 29 天，這顯示赤道附近物質的旋轉速度比兩極快，稱為**較差自轉**。

光球層上有些區域的磁場較周圍平均磁場高，由於強磁場抑制來自內部的能量傳輸，使得黑子區域的溫度較周圍來得低，看起來較暗，故稱為黑子（圖 4-9）。黑子常成群出現，稱為黑子群，若觀測到單一存在的黑子可能是一群黑子中的殘存者。每群黑子的數目多少不一，大小也不一定。黑子的生命期與其大小有關，小黑子的大小約為 10000 公里，平均壽命可持續長達一週，而大黑子直徑達數萬至數十萬公里，可存留數月。每群黑子中通常有前導和後隨黑子之分，前者在自轉前方，存留時間較長，後者易分裂而先消失。它們的緯度大致相同，但經度相差數度至 10 度左右。



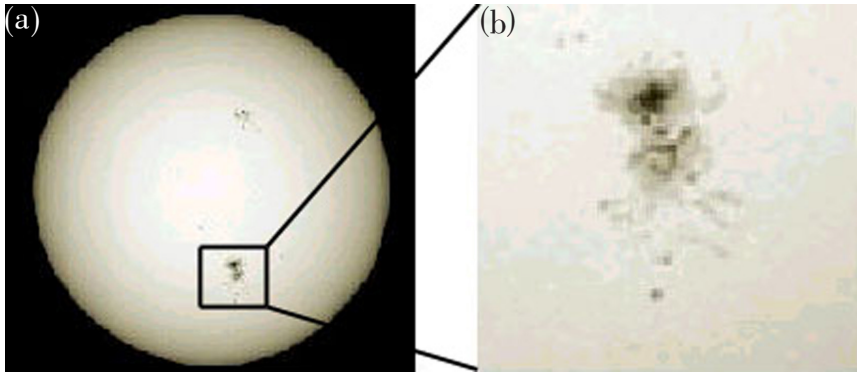


圖 4-9 (a)太陽表面的巨大黑子。

(b)黑子中的暗核心部分稱為本影，溫度約為 4200K，圍繞著本影，較亮的邊緣稱為半影，溫度約為 5680K。

太陽黑子活動具有規律性的變化，黑子數目的變化呈現 11 年的週期，稱此為太陽黑子週期。黑子群在日面緯度上的分布具有規律性，在太陽黑子週期開始時，黑子大都出現在太陽中緯度的區域內，隨黑子數增加，出現位置移向低緯度區。當黑子大部分出現在緯度  $10^\circ$  至  $20^\circ$  間，黑子數開始減少，在週期末期時，黑子則在赤道附近消失。在前一個週期的黑子未完全消失前，後一個週期的黑子又開始出現在太陽中緯度。黑子出現緯度隨對時間的變化情形，如圖 4-10，為蒙德首先發現，又因其狀似蝴蝶形，故稱為**蒙德蝴蝶圖**。太陽大氣中許多活動現象，大都與黑子有關，也有 11 年的變化週期，因此黑子的數量多寡可作為太陽活動的標誌。

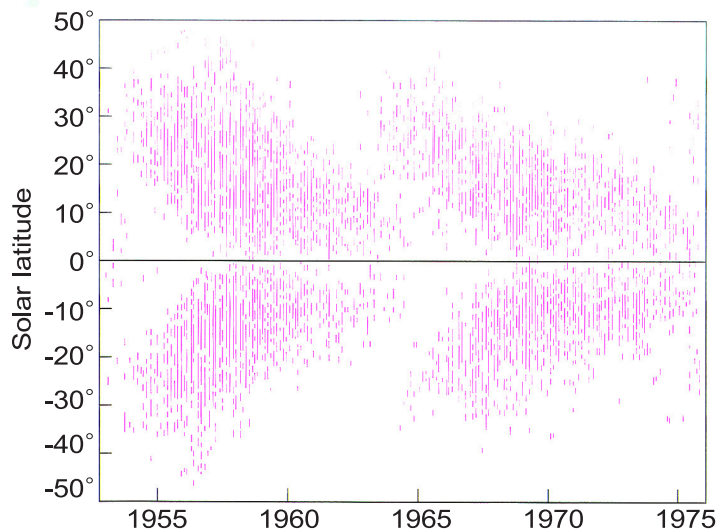


圖 4-10 由蒙德蝴蝶圖可看出太陽黑子有一個週期約 11 年的規律變化。

太陽黑子的週期與整個太陽磁場的變化有關。若太陽北半球的前導黑子呈磁北極性，其後隨黑子則呈磁南極性，太陽南半球黑子的磁性完全相反。隨著太陽黑子週期的更迭，上述的磁性會整個相反過來。因此太陽磁場週期為黑子活動週期的 2 倍，約為 22 年（圖 4-11）。

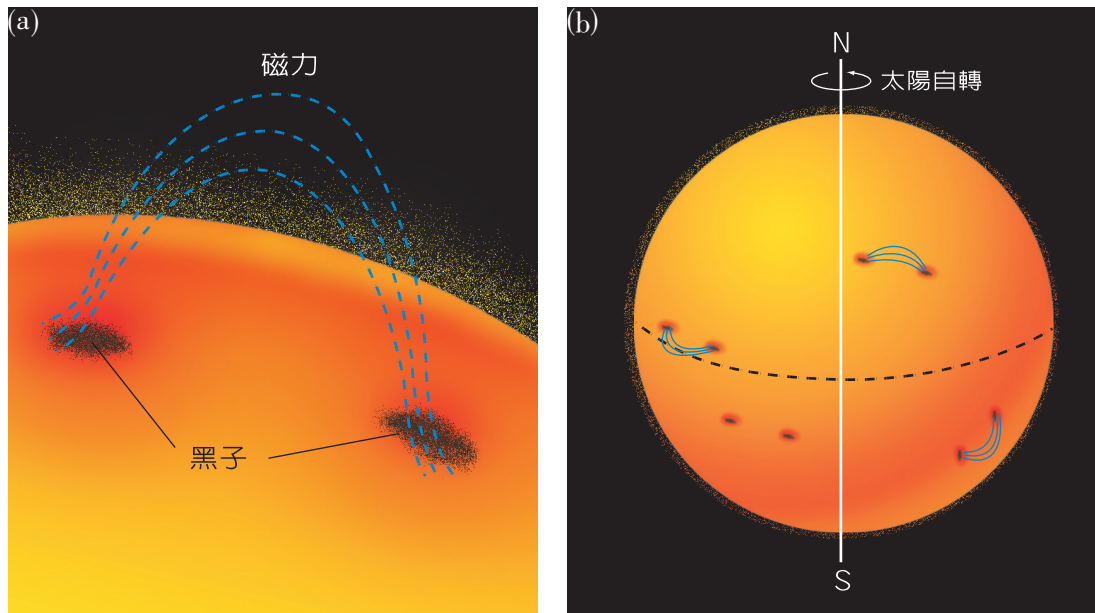


圖 4-11 (a)黑子對以磁力線連結，太陽磁場由其中一個黑子出來，再由另一個黑子進入太陽。  
(b)在太陽北半球的前導黑子有相同的磁極，而在南半球的前導黑子其磁性與北半球相反。

### 4-3.2 閃焰

閃焰（圖 4-12）比日珥更劇烈，是一種高能爆發的現象，發生於色球，又稱為色球爆發，活動範圍涉及光球、色球和日冕。其能量來自對流層，能量變化在幾分鐘內可達極大，並於幾小時內逐漸減弱，爆發總能量約為  $10^{23}$  至  $10^{24}$  焦耳。太陽的閃焰會噴射出許多高能的粒子流，對地球大氣層和磁場有很大的影響。太陽閃焰幾乎都重覆出現在太陽黑子群附近，可見其發生可能亦與磁場有關，或許是磁場嚴重扭曲所儲存的巨大能量於瞬間釋放出來而造成的。

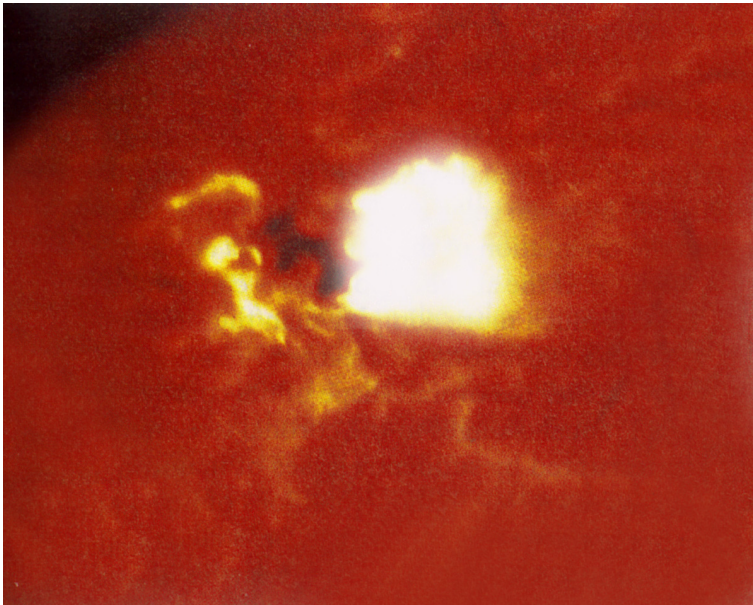


圖 4-12 閃焰是太陽表面的爆炸現象，可把物質加速到很高的速度，使物質噴離太陽表面。

### 4-3.3 日珥

日珥為游離化的氣體，受到太陽黑子附近巨大的扭曲磁場拖曳而突出日面邊緣（圖 4-13）。在日全食時，以肉眼可見於太陽盤面周圍的火紅色日珥。日珥主要是日冕中的現象，但有些日珥的下端與色球相連，甚至與針狀體難以區分。從光譜分析中發現日珥的物質組成與色球相似，因此日珥應是由噴發出來的色球物質所構成，而非日冕物質凝聚而成。日珥的形狀變化莫測，有的成拱環狀，有的貌似靜止停留於半空中，有的由高處落下。一般認為日珥的產生、發展和變化與活動區上空的磁場有關。

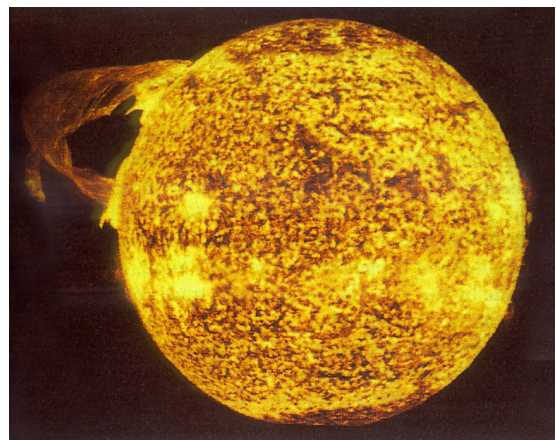


圖 4-13 日珥大多成弧狀，像暗絲條狀繞過太陽磁場活躍區。

## 4-4 日地關係

太陽輻射雖只有少部分被地球吸收，卻是地球上生物生存、大氣運動及地表地質活動的原動力，沒有太陽就沒有地球的種種活動。然而現代科學中所研究的日地關係並非太陽對地球的一般貢獻和作用，而是著重於太陽活動對地球的影響。

太陽閃焰所釋放的 X 射線和紫外線會於 8 分多鐘後到達地球，並增加地球上空大氣層中電離層的游離現象，造成離子濃度增高，電波吸收增強，使地球向陽半球的無線電信號立即衰減或完全中斷，但一般只能持續幾分鐘至 1 小時。利用電離層傳送電波或靠衛星傳訊都有斷訊的危機，飛機和船艦因通訊網路中斷而失去衛星導航而迷失方向。

太陽閃焰釋放出高能質子束和電子束，約在幾十小時至幾天之後到達地球。電子受地球磁場的加速並順著地磁流入極地，與高層大氣中的稀薄氣體碰撞，氣體受激發而產生**極光**（圖 4-14）。強大電流也使地球磁場變形（圖 4-15）和產生**磁爆**。此外，太陽閃焰會使大量的電荷聚集在人造衛星表面，造成幽靈訊號，使人造衛星脫離正常軌道。而來自太陽的強大電磁能會順著電線的傳輸，引起短路或燒毀電氣設備。



圖 4-14 極光是地磁極區上空大氣中的彩色發光現象，一般成帶狀、糊狀、幕狀或放射狀，有時穩定，有時做連續性變化。

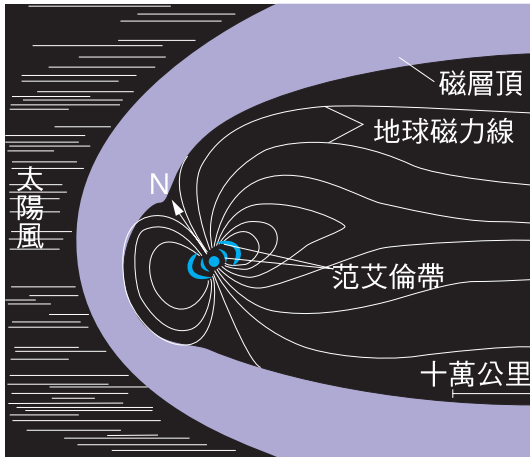


圖 4-15 地球磁極類似磁棒所產生的磁場，但在高空中的磁力線受太陽風影響向後彎曲，形成如彗星般拖曳著長尾的地球磁層。當太陽活動激烈時，朝向太陽一面的磁層會被突然增強的太陽風壓縮，使地表上的磁效應增大，稱為磁暴。

從人類歷史的記載中，經由統計發現太陽活動性的起伏可能與地球上的氣候、氣象、水文、地震……等相關。有人發現 1645 年至 1715 年的是歷史上小冰期的最冷時期，而在這段期間之內的觀測紀錄上幾乎沒有黑子和極光（圖 4-15），日全食時也沒有提及日冕和色球。後來發現此期間樹木的年輪中碳 14 的含量較高，證明此時太陽風較弱，無法吹開深入地球的宇宙粒子，空氣中的氮與粒子作用，變成碳 14 的數量增加。但此時期黑子不存在卻與近 200 年觀測到的黑子 11 年的週期變化相矛盾，因此黑子的存在問題仍在爭議中。

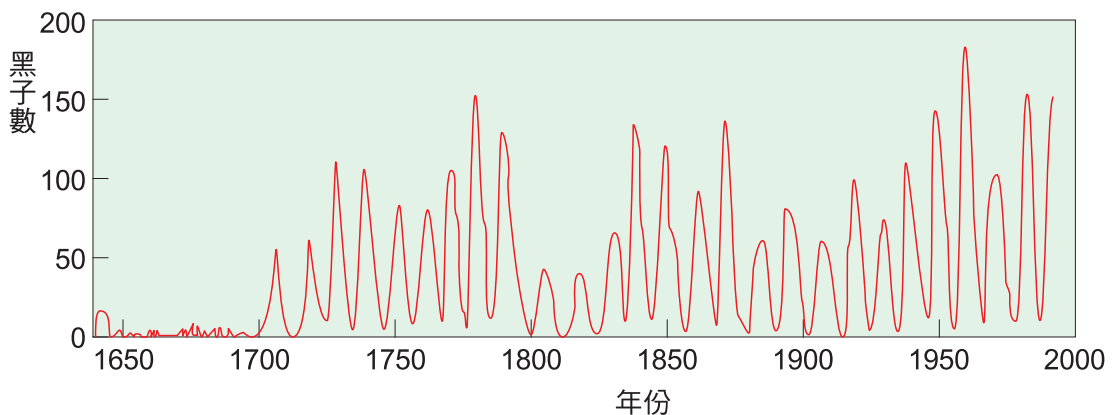


圖 4-16 在 1645 至 1715 年間利用望遠鏡觀測到的太陽黑子數目非常的少，這顯示太陽磁場活動並不連續。

動動腦：

地球擁有大氣和磁場，而其衛星月球沒有大氣和磁場，當太陽風襲擊地球與月球時，地球上所發生的哪些現象是月球所沒有的？

地球上的氣候與太陽表面活動有關。太陽黑子週期約 11 年，但太陽輻射能量只有千分之一的變化。在太陽黑子極大期時，太陽輻射的高能部分成比例增加，分解氧分子形成氧原子，使地球大氣中的臭氧量增加，暖化高層大氣，使得全球氣候型態改變。太陽活動性對地球上的氣候、氣象、水文、地震……各方面的長期影響，尚需更多可靠的統計資料與理論。

## 4-5 太陽的內部

太陽中心產生核融合反應的區域稱為核心，承受來自太陽重力所造成的巨大壓力，致使其溫度高、密度大，而釋放出能量來維持太陽的平衡，這些能量也是太陽輻射和活動的動力來源。

從核心向外能量主要以輻射的方式來傳遞，稱為**輻射層**。來自核心的高能光子，不斷與輻射層內濃密物質粒子相碰撞，被物質粒子吸收後再輻射，大部分轉換成可見光及其他形式的輻射。

太陽物質集中於核心，愈往外密度愈低。在輻射層外因密度低，溫度下降快，再加上太陽表面的輻射能量損失，使此層上下溫差很大，形成強烈的對流，故稱為**對流層**。對流層幾乎完全不透明，由輻射層傳來的能量，大部分以對流的方式把熱氣團帶到表面，熱氣團的將能量輻射出變冷後，漸漸的下沉回到對流底部，再度的被加熱而上升，如此循環不已。而小部分的能量轉化為氣流的動機，展現在太陽表面的各種活動中，如光球層、色球層和日冕裡的活動和不穩定爆發。

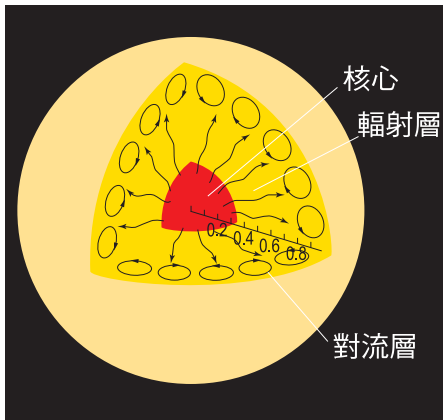


圖 4-17 太陽經由核融合產生的能量，可藉由輻射和對流傳到太陽表面，最後主要以可見光的形式向四面八方輻射。

太陽能量由內部傳出後，已完全改變了原貌，因此科學家無法藉由光線來了解太陽的內部。幸好，核融合反應除了產生光子外，尚產生微中子，微中子幾乎不與物質作用，因此可順利的逃離太陽表面。藉由對微中子數目進行探測，可推測太陽內部的核反應。

太陽是顆氣態的球體，表面會有振動，稱為**日震**。震盪週期可由數分鐘至數小時，(圖 4-18)科學家可利用日震推斷太陽的內部結構，其原理類似地震學家利用地震波在地球內部的反射與傳遞來推測地球的內部結構。

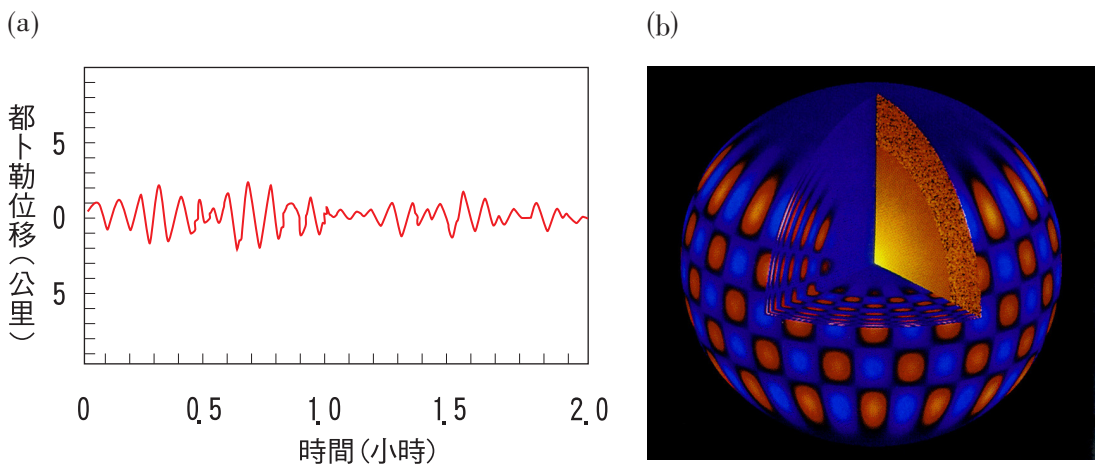


圖 4-18 (a)五分鐘震盪為萊頓首先發現的太陽表面震盪，其振幅的變化來自太陽上有其他不同週期震盪的干涉。

(b)由電腦所模擬的日震可能模式之一，此振動是由太陽內部聲波共振所造成的，紅色代表向內運動，藍色代表向外運動，剖切面顯示震盪的深度。

## 作 業

1. 若不考慮地球大氣層對太陽光的吸收和散射效應，太陽照射在地球地面上每平方公尺的能量約為 1360 焦耳 / 秒（太陽常數），利用日地間的平均距離，計算太陽每秒鐘需發出多少能量？
2. 利用太陽的質量和大小，求其平均密度，並與地球的平均密度比較。
3. 簡述太陽大氣層的分布，並討論各層的現象。
4. 利用韋恩（Wien）公式  $\lambda_{\max}T=0.2897$ （ $\lambda_{\max}$  的單位為 cm）計算光球、色球、日冕所輻射出的主要波長各為何？（光球、色球、日冕的平均溫度各為 5800K、50000K、 $1.5 \times 10^6$  K）
5. 太陽表面有哪些活動？這些活動對地球有何影響？
6. 試述太陽內部的結構及其分部。