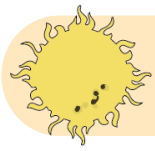


太陽和地球氣候 有關係嗎？

Hayanon 著





三位科學家

引起的

世紀疑問

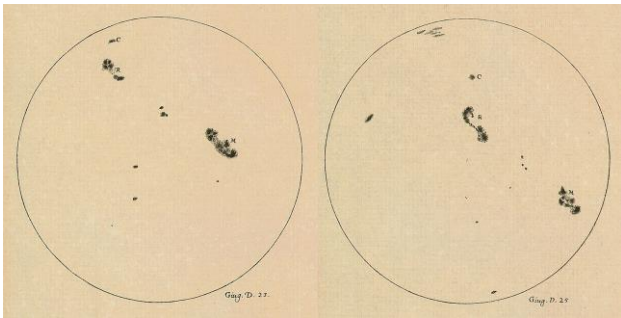


伽利略·伽利萊 (Galileo Galilei, 1564-1642)

義大利

1610年的時候，我使用自己製作的望遠鏡觀測太陽時，看到了數個黑色斑點（太陽黑子），它們的形狀不規則、而且全部都朝同樣的方向運動。從亞里斯多德的論點到天主教會的教導來說，所有的天體應該都是完美無瑕且不會改變的，但是太陽這個最壯麗的天體竟然發現了汙點。

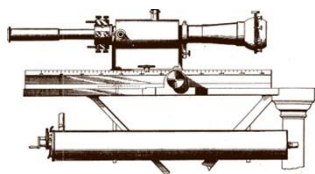
伽利略發現太陽黑子這件事，比德國天文學家史瓦貝 (Samuel Heinrich Schwabe) 發現「黑子會以11年週期出現」時早了200年。



1613年6月23日 (左) 和兩天後 (右) 的黑點素描

塞繆爾·蘭利 (Samuel Pierpont Langley, 1834-1906) 美國

既然太陽黑子數目會週期性地變化，我便思考著...印度的飢荒和倫敦的糧食價格等地球上的事情是否與太陽有所關聯呢？若太陽黑子的數目和太陽放出的能量（太陽常數）有關係的話，為了測量太陽輻射常數，我發明了可以非常精確測量太陽常數的儀器。在儀器內有著黑色的金屬箔，可以將其吸收的熱量轉換成電力，所以就能夠估計太陽送到地球的能量



稱為輻射熱測量計的裝置，用來測量從太陽來的能量。

我們人類可以說是太陽的孩子，所以我相信，學習並且了解地球上各式各樣的事物是如何依賴著太陽，是一件很有意義的事情。

過了100年之後，環繞地球的人造衛星搭載著蘭利發明的裝置，得以不受地球大氣的影響測量太陽常數。

約翰·艾迪 (John A. Eddy, 1931-2009)

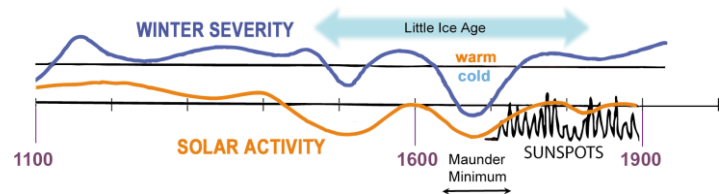
美國

儘管在學校會了解到「太陽的變動是週期性的」的這件事，但是在我耐心地查詢了古時候關於極光和太陽黑子的記錄，也調查了日食發生時對太陽外層大氣的描繪，以及樹木年輪裡儲藏的碳14含量之後，我發現從16世紀到17世紀，太陽黑子幾乎完全消失。




不僅如此，若調查這個時期的繪畫等等，可以發現倫敦或巴黎等地的冬天非常寒冷；於是我們可以確信，太陽的這個異常狀態，引起了地球的異常現象。

在研究初期階段，由於我先入為主的觀點，我想要將「太陽的異常狀態會引起地球的異常現象」這個結論給捨棄掉，但我在文獻中看到對太陽的描繪非常地精確，讓我相信這些歷史報告是可以信賴的。



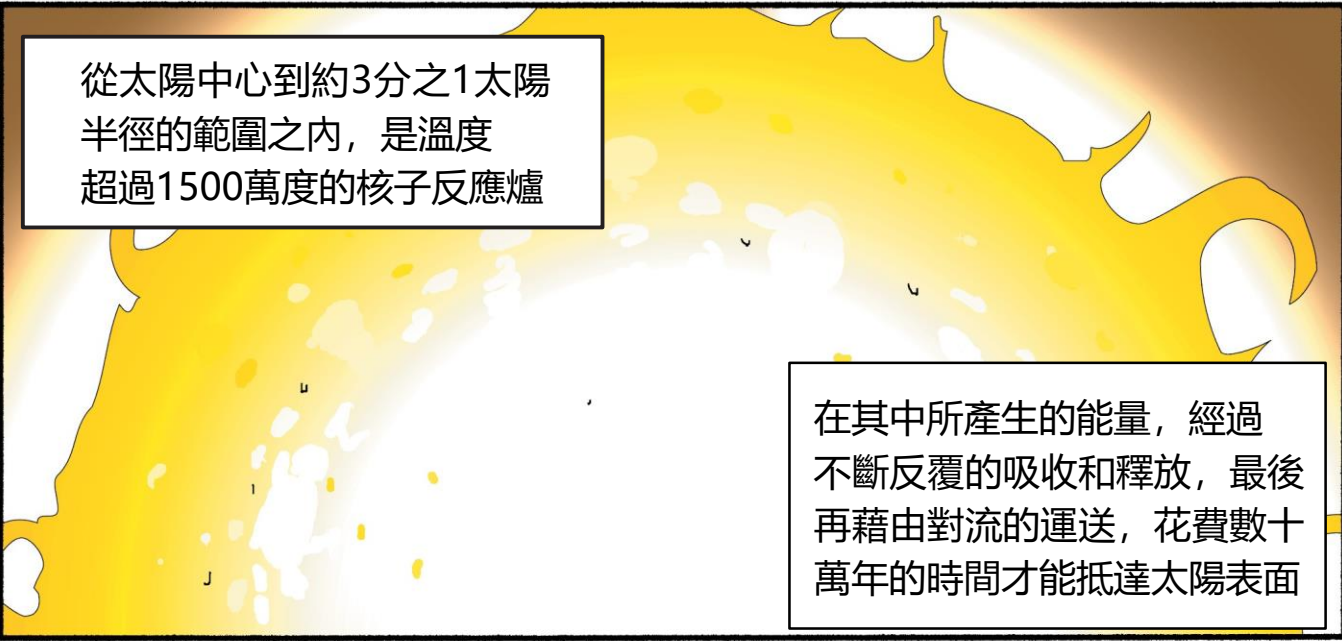
太陽黑子數和冬天寒冷度的關係

在那之後2、30年，研究者開始不得不承認太陽活動會對氣候的變化產生影響。像這類的研究，需要使用到與太陽和地球相關的長期數據。正是在此基礎上，我們才能很好地理解太陽的明亮程度影響地表溫度的機制。




太陽到地球的距離是1億5000萬公里，就算搭乘不靠站的高鐵，也要花50年左右才能到達

儘管距離遙遠，但地球仍在太陽的視線範圍之內




從太陽中心到約3分之1太陽半徑的範圍之內，是溫度超過1500萬度的核子反應爐

在其中所產生的能量，經過不斷反覆的吸收和釋放，最後再藉由對流的運送，花費數十萬年的時間才能抵達太陽表面



而太陽光只需要8分鐘就能抵達地球



從太陽表面傳向地球的能量...

...促進了光合作用...

...使地球變得溫暖

...也產生了天氣和氣候...

...讓地球上的生命得以生存和延續

「地球在太陽的視線範圍之內」是什麼意思呢？會有什麼影響嗎？

美國海軍研究實驗室：位於華盛頓郊區的美國國立研究所，曾出過諾貝爾獎得主；在發明大王愛迪生的要求下於1923年設立，目前在原子核物理、材料科學、機器人工程、雷達工程、宇宙科學等研究領域位居世界領先地位

美國華盛頓特區的海軍研究實驗室 (Naval Research Laboratory, NRL)



那麼，阿盛和米爾博，

讓我們一起來學習，太陽是如何影響我們地球的氣候吧！

沒問題!!



茱蒂絲·連 (Judith Lean) 博士



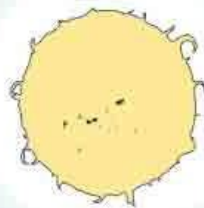
超喜歡科學的小學生阿盛



犬型機器人米爾博

太陽誕生以來，一直是如此的巨大且具有極強的引力，彷彿數十億年間都不曾改變，但是，根據最近的人造衛星觀測...

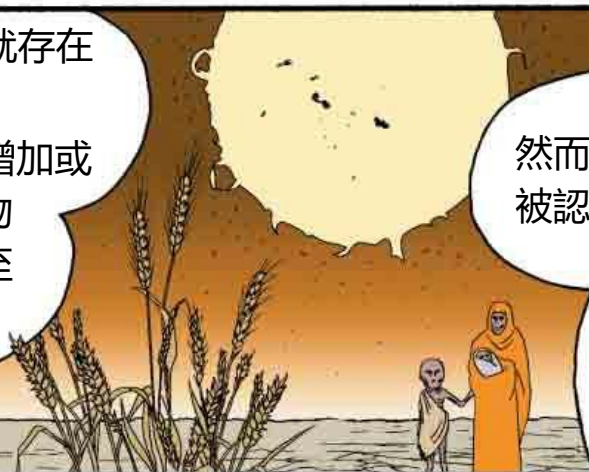
...我們發現太陽其實有著非常複雜的變化

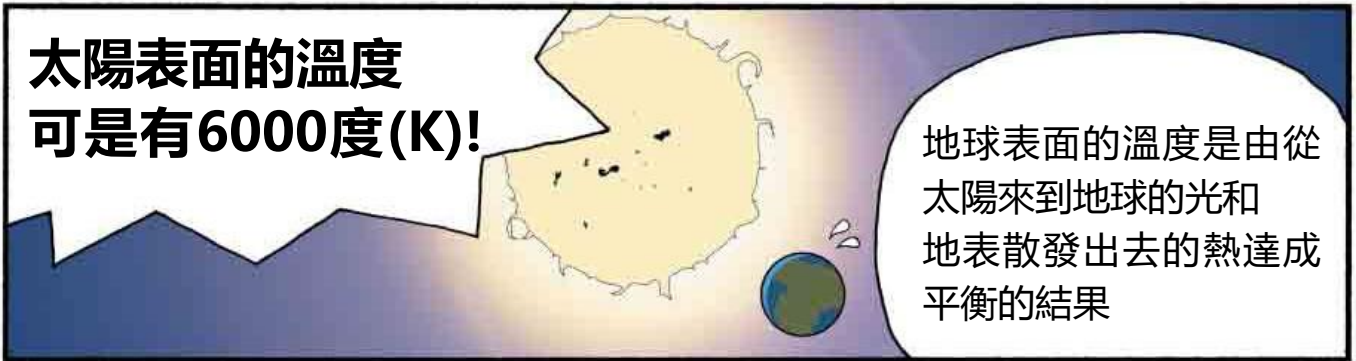


從很久以前開始就存在著這樣的說法，太陽黑子數量的增加或減少，會影響穀物的價格變動，甚至引起飢荒

然而，這些事在當時只被認為是偶然的巧合...

不過直到最近，大家開始了解到太陽其實與地球的氣候是息息相關的





讓我們更詳細說明從太陽來的能量是如何對地球產生影響的吧!

雖然也叫做光，但是也是有人類眼睛看不見的光線喔
 應該有聽過像是紫外線、紅外線這類的吧?

有喔~

紫外線...
 我當然知道啦!
 ...是什麼東西?

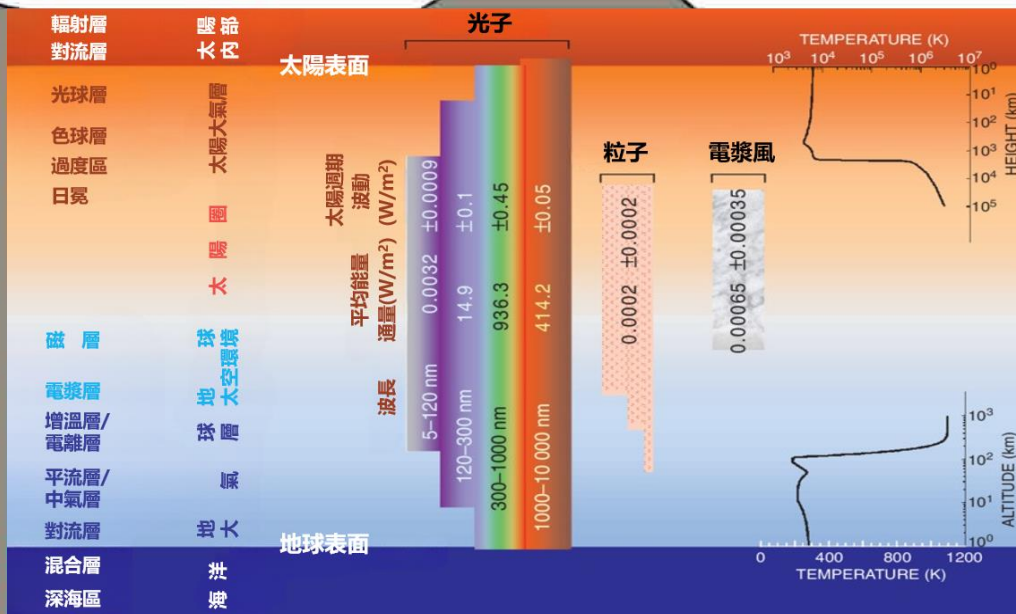
是可以吃的嗎?

在太陽過來的光（電磁波）之中，對地球大氣層來說，特別重要的就是紫外線

太陽和地球大氣層之間，彼此的高度存在著一定的關係喔

地球的增溫層會吸收太陽外層大氣放出的光，產生電離層

中氣層和平流層則吸收了太陽比較低高度的大氣放出的光能量，也是產生臭氧層的主因



臭氧層會吸收紫外線，讓大氣溫暖...

雖然隨著高度的增加，氣溫會逐漸下降，

...但臭氧層附近反而會變得溫暖，臭氧層會守護著我們，避免紫外線傷害植物和動物的細胞

地球和太陽之間的宇宙空間
並不是空無一物的，而是
充滿了帶電粒子和磁場

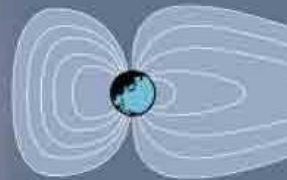


這就是
「太陽圈」啊

從太陽吹出帶有電漿
的風，把地球磁場
變成這樣的形狀

這個太陽風，
其實就是太陽
的大氣

太陽風會對
地球的氣候
產生影響嗎？



不，並不會對地面的氣候產生
直接的影響，
但是，會對從地面一直延續到
地球上空數千公里的距離，稱
做「近地太空」範圍內的大氣
產生影響，
而且，這對理解「太陽-地球氣候」
彼此間的關係也是非常重要的



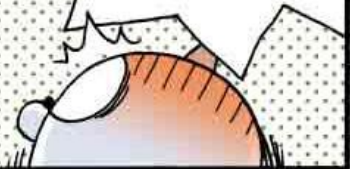
雖然不是直接帶來影響，
但其實是控制著地面的
溫度啊！

那科學家們有好好地
研究過太陽風帶來的
間接影響了嗎？

有時，太陽風會讓近地太空變得
牢不可破，阻擋著宇宙射線到達
地球。但是當太陽風減弱時，
宇宙射線就有機會穿透了...

嗚哇！
好厲害！

而樹木的年輪和冰層的
冰芯，就很好地紀錄了
太陽過去數萬年間的變化



為了直接測量太陽來的能量，不能被地球的大氣干擾，因此...

要依賴在人造衛星上的精密儀器

這通常被稱為太陽常數，在地球大氣層外量測到的數據約為 $1362\text{W}/\text{m}^2$ ，...

太空的觀測告訴了我們這股能量會隨著太陽黑子的數量而長期變動...

...太陽常數因為名稱的關係，容易被誤認為是固定的數值，但實際太陽傳遞來的總能量是一直在變化的...

當太陽黑子數量多的時候，太陽送來到地球的能量會變得更多，但由於...

...太陽黑子的溫度相對較低，所以這乍聽之下是個矛盾的發現，但其實...

...在太陽黑子的附近，有著發出大量能量，稱為光斑的明亮區域，因此當太陽黑子數量多的時候，太陽整體而言所發出的能量也較多

在太陽活動的極大和極小期間，太陽黑子所導致的光的變化量

會有0.1%左右的變化，但這個變化量會根據光的波長而有所差異

這可

不行!!

雖然相對而言是很小的變動，但這仍然是很龐大的能量，可是會對地球產生很大的影響，地球可是個很敏感的行星呢

本來還想說是有多大的變化呢，原來11年裡最多只差了0.1%?

這種程度，就算不管它也可以吧?

什麼嘛~

一點點而已嘛~

而且，在紫外線的範圍來說，可是有著比0.1%還要大得多的變化量

太陽能量會以11年的週期變動，太陽變得活躍的話，發出的能量也會跟著增加，接著，在地球上隨著高度的增加，也會受到更強烈的影響，

是靠近太陽的關係嗎？

並不是這麼簡單的，在11年的太陽週期中，地表附近接受到的太陽能量，若每1平方公尺增加1瓦特的話，地表附近的溫度就會上升0.1度（全球平均）

400公里

增溫層/電離層

90公里

中氣層

50公里

臭氧層

平流層

10公里

對流層

但是，在50公里高的地方，因紫外線的照射，溫度會增加多達1度

因為太陽活動的原因，位於平流層的臭氧層，會有數%的變動

這個變動量，和氟氯碳化物引起的臭氧長期減少，以及因聖嬰現象等緣故而引起的臭氧變動，是差不多的比例喔

國際太空站所在的高度400公里左右，會因為極紫外線的變動，而讓溫度上升500度喔！

嗚哇～這麼誇張!?

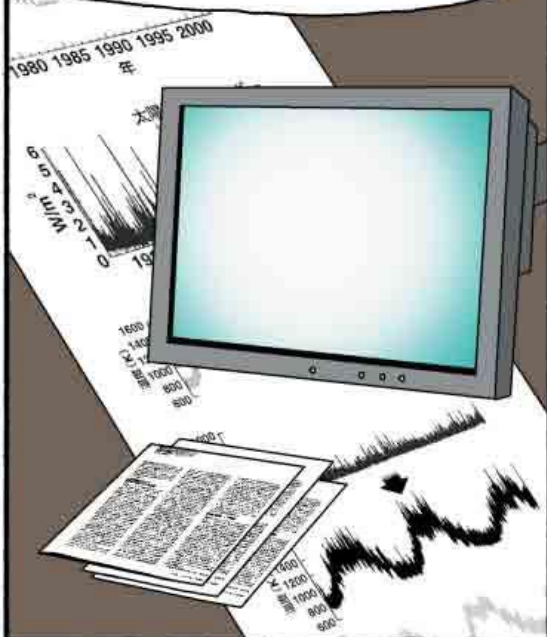
太陽的變動會造成這麼大的影響，實在是...

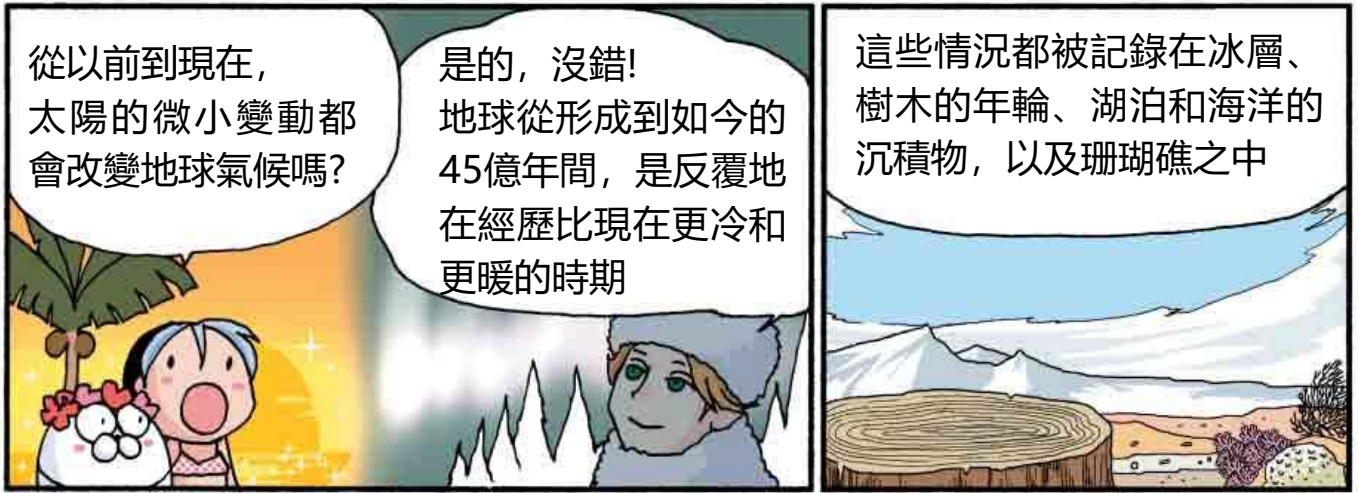
但是，地球大氣的變化有著各式各樣的原因！

因此將這些因素定量化確認哪個是最重要的因素，是現在正進行的研究課題



若使用太陽常數的觀測數據，去計算地面溫度變化的話，我們會發現計算出來的結果，總是會比實際觀測到的地面溫度要小得多





從以前到現在，太陽的微小變動都會改變地球氣候嗎？

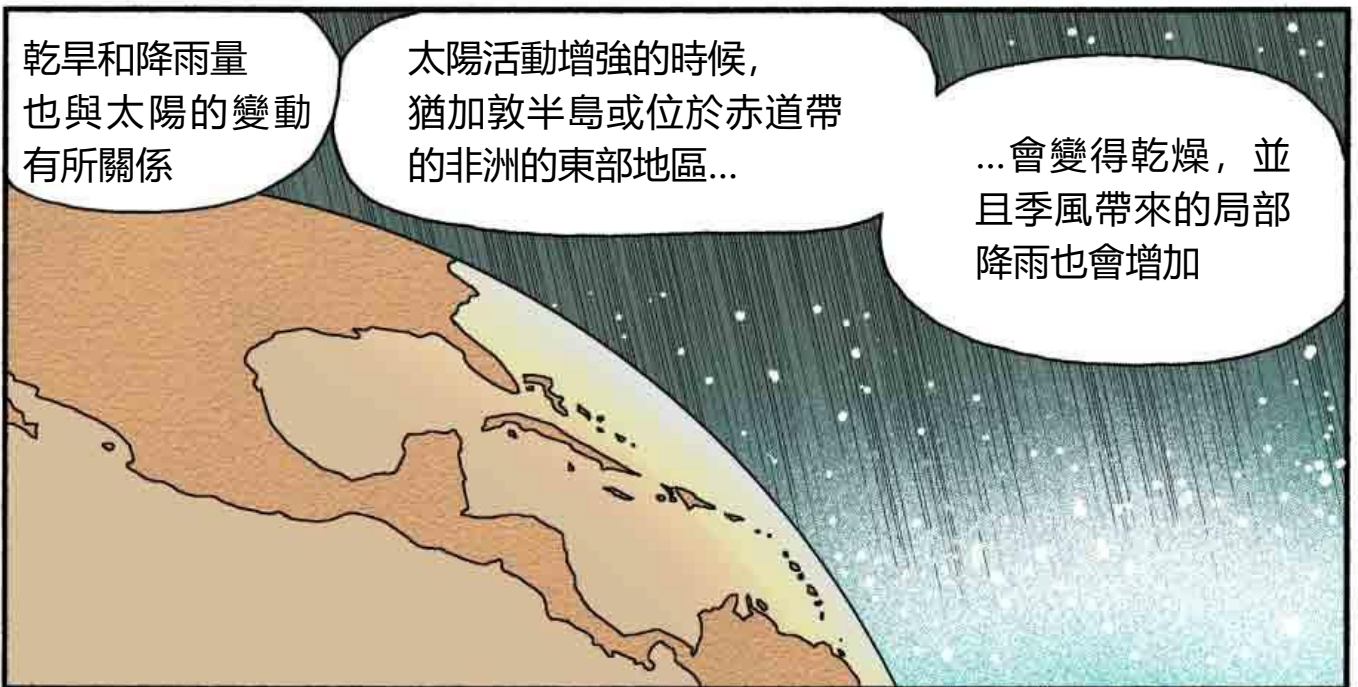
是的，沒錯！地球從形成到如今的45億年間，是反覆地在經歷比現在更冷和更暖的時期

這些情況都被記錄在冰層、樹木的年輪、湖泊和海洋的沉積物，以及珊瑚礁之中



太陽和火山的活動，最大會對地球整體的平均溫度帶來1度C的變動，

因為經過確認，這些都是發生在工業革命之前的事情，所以並不是由人類活動所造成的；只能說大自然就是這樣呢



乾旱和降雨量也與太陽的變動有所關係

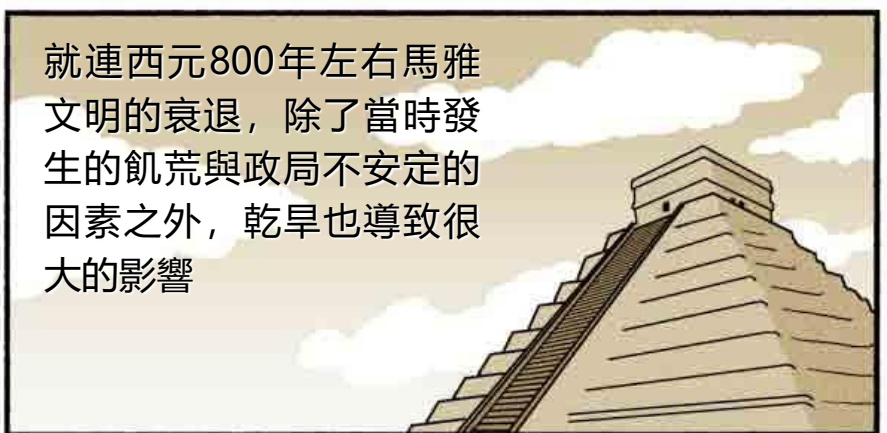
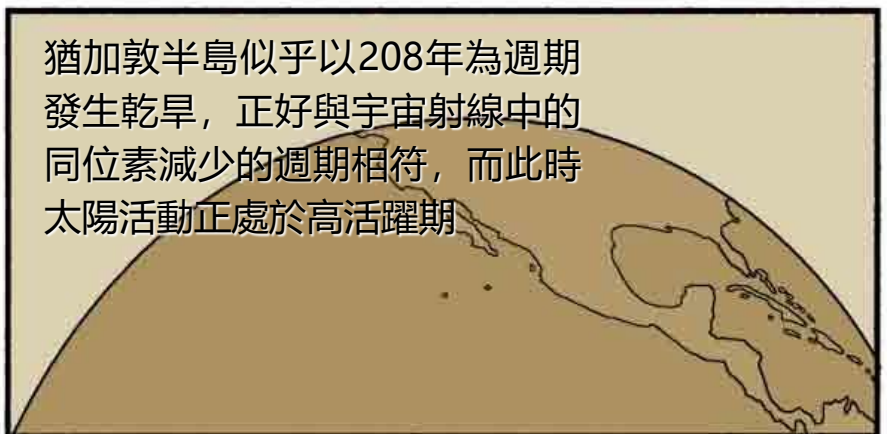
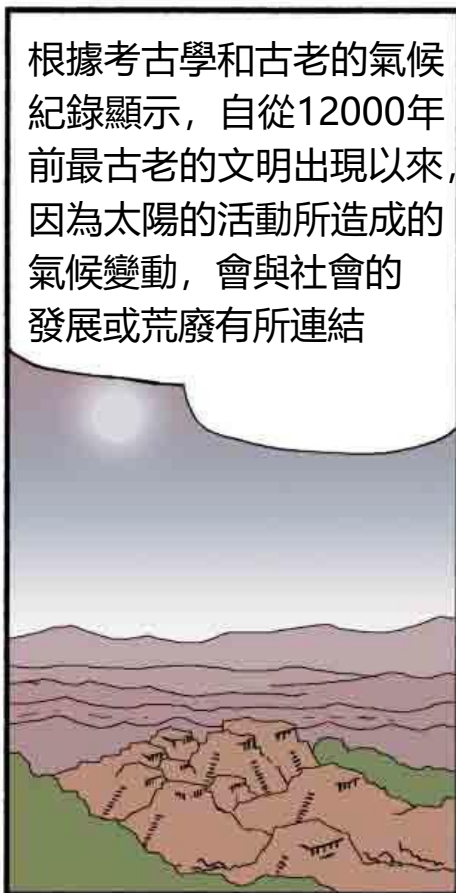
太陽活動增強的時候，猶加敦半島或位於赤道帶的非洲的東部地區...

...會變得乾燥，並且季風帶來的局部降雨也會增加



這竟然也是因為太陽的關係！

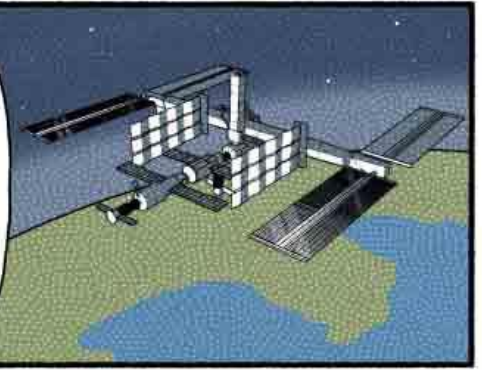
因為除了太陽變動之外，洋流等因素也會造成氣候的改變，所以可不能這樣輕易斷言呢



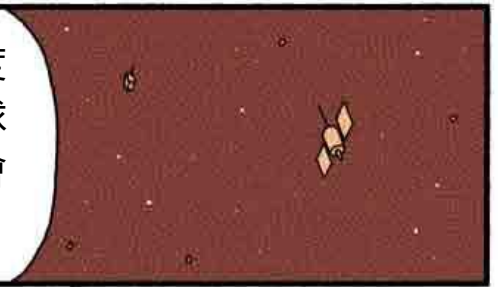
前面談到的都是「太陽-地球氣候」的長期變動，那如果以短期來看...

處在更高層的大氣或是宇宙空間之中，受到太陽的影響遠比地面更強

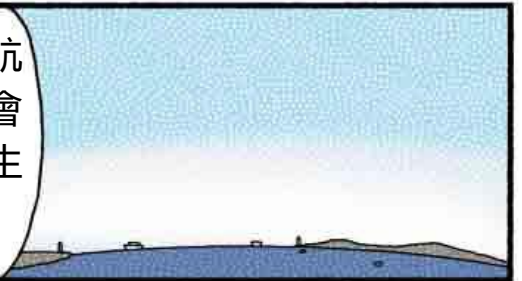
隨著太陽閃焰產生的高能粒子，會對人造衛星的儀器、太空人，甚至對飛行在兩極地區的飛機上乘客造成健康上的危害



太陽活動也會導致大氣密度發生變化，此時處於低地球軌道的人造衛星，也可能會因此改變軌道



由於太陽活動的關係，導航或無線通訊等功能也可能會因為電離層的電子密度發生變化而變得混亂



不只天上，地面也會發生嚴重的事情!



因為磁暴的關係而產生的感應電流，會導致地面上的電線或管線有電流流動，這樣的現象可能會將電線燒壞而引起停電

為了不讓這些事情發生，就要進行研究並決定相關對策呢!


理解「太陽-地球氣候」的系統，就是理解我們生活的舞台...


...所以，接下來的研究也是必要的喔


原來如此啊~


感覺到太陽和地球緊密聯繫的阿盛和米爾博


太陽和地球氣候有關係嗎？


 「太陽明亮而且溫暖」是理所當然的事情吧。為什麼研究「太陽-地球氣候」會這麼困難呢？


 這是很自然就會想到的問題呢！因為地球一面自轉，一面以傾斜的自轉軸進行公轉，導致太陽的熱能傳達到地球的不同緯度，然後才有了日夜和季節的溫度變化。可是以全球的年平均溫度來看是不變的。但是，若太陽的光本身就會變動的話，地球的年平均溫度也會跟著改變。簡單來說，要把各種不同的因素全都考慮進來是非常困難的。


 雖然在學校有教我們，太陽整體的亮度稱為太陽常數，但它其實會改變嗎？


 沒錯！太陽整體的亮度，包含各種波長的能量在內，合計會以11年為週期作變化。雖是這麼說，但變動的幅度只到0.1%的程度。從觀測得知，紫外線的變動量比可見光或紅外線要來得更大，這必須藉由人造衛星上的精密裝置，在大氣層之外進行測量。


 真的很有趣呢。既然黑子的數量就代表了太陽的活躍程度，那太陽黑子和太陽發出來的能量有什麼關係呢？


 又是個好問題！如你們所知，太陽活躍的時候黑子的數量較多。而黑子就是太陽表面的黑色區域，其放射出來的能量比較少。但黑子附近出現、稱為光斑的明亮區域則會放射出較多能量，使得太陽整體增加的放射能量比黑子減少的放射能量更多，所以太陽整體會稍微（0.1%左右）變得更明亮。


 對太陽來說，這麼小的能量變動，就能夠改變地球的氣候嗎？

 所謂0.1%的變動只是相對上的數值，但以總體能量來看還是很大的變動量。雖然說是0.1%的變動，但太陽來的能量在11年間的變動，與現在溫室氣體所造成的影響其實差不多相等喔。根據觀測，地球的平均溫度在11年間，會有0.1度的變動。如果依照地球上位置的不同，因為大氣和海洋的影響，這個數值可能變動更大。如果觀察過去的數據，雨量或乾旱等現象對太陽常數的變動尤其敏感。

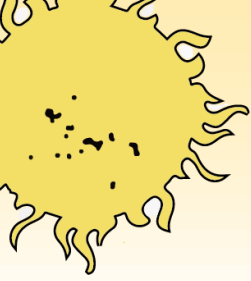
 那麼，太陽活動能夠用來解釋最近100年左右的全球暖化現象嗎？

 以第四次IPCC（政府間氣候變化專門委員會）評估報告（2007年）來說，1750年以來，溫室氣體所增加造成的氣候變動，是太陽活動影響的10倍。而且，從1880年以來，太陽活動所造成的地表溫度增加是0.1度；人類造成的溫室效應則大於0.65度。

 要是太陽活動又處於像17世紀那樣的極小期的話，地球也會變得像當時一樣寒冷嗎？全球暖化會變得如何呀？

 太陽活動造成的太陽明亮度變化，只有零點幾%而已，所以因此只會讓地球寒冷上個零點幾度吧。相對地，二氧化碳的量要是變成兩倍的話，地球溫度可是會上升4度，人類活動造成的暖化可是會「勝出」喔。

 不管是哪一邊的勝利，都希望能手下留情一點呀！

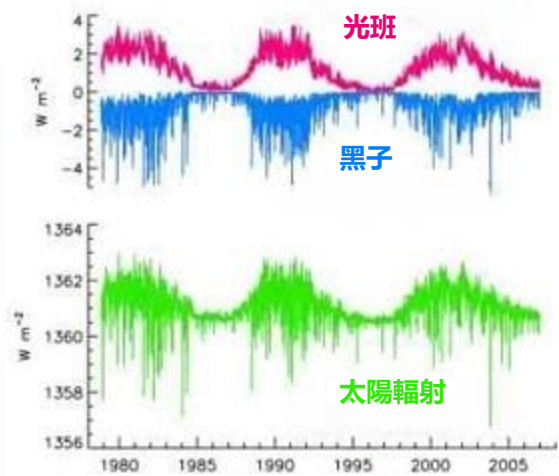


理解太陽和地球氣候關係的須知

太陽現在約已經度過了其壽命的一半；在廣闊的宇宙之中，太陽是一顆非常普通的恆星。地球是顆以1億5千萬公里為半徑繞行太陽的行星。從以前開始，科學家就已經在研究，太陽放出的能量是如何地影響地球。現在，對全球暖化的關心正處在高峰，清楚地了解地區所受到自然變動（即太陽的效應）和人類活動兩者對氣候變動的效應，是很緊急的研究課題。

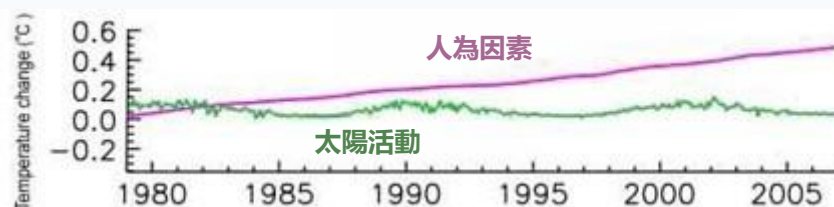
太陽藉由在其中心的核融合反應產出能量。這個電磁能量從太陽表面以各種不同波長放射到宇宙空間中，光譜的波峰正好落在人類的可見光範圍內。雖然根據計算，太陽放射的能量可以讓地球表面維持在-18度C，但實際上的地球平均氣溫，比這個數值要再高了33度。這是因為大氣中存在的溫室氣體，將地球往太空散發的熱能吸收起來了。也就是說，從太陽過來的熱能和地球散發的熱能，兩者共同決定了現在地球的平均溫度。要是兩者的平衡被破壞了，氣候就會發生變化。

利用人造衛星上搭載的高精度輻射計來測量太陽的亮度。早在1970年代末期就發現了從太陽過來的能量並非定值，而是時常有所變動的，太陽活動頻繁的時候亮度會增加，這是因為光斑增加的亮度比黑子減少的亮度要來得多的緣故。實際上，用理論模型去計算黑子減少的太陽亮度和光斑增加的太陽亮度，可以解釋所觀測到85%的變動。但是，「太陽常數」只有11年週期的變動嗎？還是存在更長週期的變動呢？要確認這件事情，自然就還需要更長期的連續觀測。



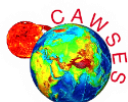
太陽常數的11年週期，是源自於溫度低的黑子和溫度高的光斑，兩者相減的效應。

太陽活動造成的地球氣候變動，只不過是眾多可能要素的其中一個，其他例如，火山爆發、聖嬰現象，或其他的大氣-海洋交互作用，森林等的土地覆蓋率（綠覆蓋率），又如平流層的微小粒子（氣膠）或是溫室效應氣體等等，全部都會對氣候變動產生不小的影響。在調查之前的氣候數據，並使用電腦進行模型模擬計算之後，會發現人類在開始使用機械的工業革命之前，光靠太陽活動和火山爆發就能解釋數千年間的氣候變動（最高可達1度）。而從任何時候的數據都清楚顯示，太陽的明亮度對於多雨或乾旱等現象的影響非常敏感。可以想像，如果將引起聖嬰現象的海洋-大氣的交互作用等等的因素都考慮進去，用以改良氣候模型，相信將可以幫助未來的氣候預測變得更加準確吧。

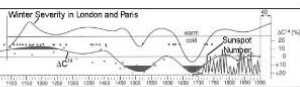


因為太陽活動和人為因素導致的地球表面平均氣溫的變動（依據多重回歸分析）兩條曲線都以1976年（太陽活動極小期）的值為基準，將其設定為零。





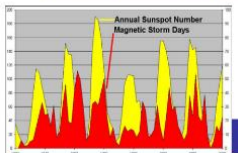
Solar Influence on Climate



Space Weather: Science and Applications



Atmospheric Coupling Processes



Space Climatology

CAWSES 是由 SCOSTEP (日地物理學科學委員會) 贊助的一項國際計劃, 旨在顯著提高我們對太空環境及其對生活和社會影響的理解。CAWSES的主要任務是去幫助協調並實現至關重要的觀察、建模和理論方面的國際活動, 讓已發展和發展中國家的科學家能夠參與進來, 並為各級學生提供教育機會。CAWSES 辦公室位於美國馬薩諸塞州波士頓的波士頓大學。CAWSES的四個科學主題如左圖所示。

<http://www.bu.edu/cawses/>
<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SCOSTEP/scostep.htm>



Solar-Terrestrial Environment Laboratory (STEL), Nagoya University

STEL在由日本多所大學一起合作運行的實驗室, 其目的是與日本國內外的許多大學和機構合作, 促進“日地系統的結構和動力學研究”。實驗室下設大氣環境、電離層和磁層環境、太陽圈環境、綜合研究四個研究室。地球空間研究中心也隸屬於實驗室, 以協調和推動聯合研究項目。在其七個天文台/觀測站, 對各種物理和化學實體進行地面觀測。

<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp>



はやのん Hayanon

Hayanon畢業於琉球大學物理系, 是一名作家同時也是漫畫家, 憑藉其深厚的科學和電腦遊戲背景, 在熱門雜誌上投稿多部連載用她一貫的寫作風格, 表達對科學的熱愛, 廣受大眾好評

<http://www.hayanon.jp/>

子供の科学

誠文堂新光社出版的《子供の科学》是青少年面向的月刊自1924年創刊以來, 該雜誌通過提供從日常生活中的科學現象到前沿研究主題的各個方面的科學, 不斷地促進科學教育

<http://www.seibundo.net/>

“太陽和地球氣候有關係嗎?” 與《子供の科学》合作出版
阿盛、米爾博和老師感謝 TTSS 和 TSU 幫忙準備我們的中文版故事

中文版本執行單位為臺灣科學特殊人才提升計畫TTSS及臺灣太空科學聯盟TSU
翻譯: 鄭宜帆; 校訂: 許仁愷, 楊孟澤
審閱: 奇奇, MVP, 小英, 小同