

從太陽到地面 與太空天氣有關的科與幻

文/黃明輝

本系列的專文以四篇文章在2011年8月起分四期刊出，各期主題分別如下，一.介紹自然輻射的主要來源：宇宙線，及有關的地磁場其相關的謠言。二.介紹與天文相關的謠言：馬雅曆、銀心連線、光子帶、X行星等。三.介紹與太陽微中子相關的謠言：微中子、太陽的核融合反應、太陽壽命、微中子加熱地球、冰立方等。四.介紹與太空天氣相關的謠言：太陽表面活動(黑子、閃焰、太陽風)、太陽週期、太空天氣(太陽風暴、地磁風暴)、太陽風暴的地面效應。

1 與太陽風暴有關的末日情節

近幾年流傳的2012末日預言中最常出現的一個情節是『太陽表面噴出一陣強風，吹向地球。太陽風暴打壞衛星、產生強烈極光、炸掉變電站；地球陷入黑暗，開始了末日』。類似的情節甚至連國科會出版的「科技短訊」都曾刊登一篇報導『太陽風暴釀災、世界末日到?』[1]：

「美國太空總署(NASA)宣布發現磁氣圈破了個大洞，比地球寬四倍，而且還在擴大。…下次太陽風暴時間在2012年9月22日。…2012年9月22日午夜時分將出現90秒太陽風暴…90秒內，美國東部一半地區將陷入停電。…一年後數百萬美國人將陸續死亡，國家的基礎設施瀕於崩潰…導致2兆美元損失，從災難復原需要四到十年時間。…究竟這是不是2012世界末日?…不妨先好心理準備吧。」

這些內容是引述自某一位『戰略學者』林○○教授在報章、網路及某一本書的序言[2]，其實都是根據一個由美國航太總署(NASA)邀請的專家學者們針對太陽風暴可能造成災害的評估報告[3]，由美國國家科學院出版。引用此報告的末日預言不計其數，林教授只是其中之一而已。NASA的專家都已經『說出』2012年了，而且2012年是馬雅曆的最後一年，再加上全球暖化、洪水、地震等天災頻繁出現，世界末日的跡象不就更明顯了嗎？連美國國家科學院與台灣的國科會都有這種報導了，有這麼多專家做背書，想必其中一定是『有根據的科學預測』囉？到底這些傳言裡面有哪些是真實的科學成分？有多少是虛構的謠言？以下分別解讀。

2 磁層與南大西洋異象

2.1 『磁氣圈?』

『磁氣』與『電氣』都是錯誤的名詞，這兩個名詞都是日本漢字，部分是翻譯者偷懶，並未使用正確的中文，直接使用日本漢字；部分是日本公司名稱沿用同樣的日本字。長久以來，已經造成『電氣』與『電器』混淆不清的狀況。『磁氣』很容易誤導成帶有磁性的氣體。唯一與電磁有關的氣體，就是「電漿plasma」，也就是解離的電子、原子核與其運動所產生的電流與磁場混和出現的狀態。電漿是物質的第四種狀態，不應該再稱為『氣』。

『磁氣』是一個不符合中文意義的日文，正確的譯名是「磁場」；不是『磁氣圈』應該是「磁層」。太陽表面(日冕)的高溫電漿持續往外噴出，形成太陽風，其速度約 300-900 Km/sec以螺旋型軌跡向太陽系外射出，形成行星際磁場。雖然太陽風就是電漿，但是磁層仍是以地磁場為主體，將磁層稱為『磁氣』或電漿則是主從不分、並不恰當。磁層是地球的磁場向太空延伸出去，連接至行星際磁場。面對太陽的上游處，磁場線連接成類似船前進時在船頭推出的球形波，範圍約在10~12倍地球半徑(R_E)；下游處則連接成一束，可延伸到月球軌道($60 R_E$)以外，參考圖1。

2.2 『磁場泡泡破洞?』

許多末日謠言中都提到『磁場破洞會讓宇宙線等輻射線大舉入侵地球，強烈的輻射可能造成生物滅絕』。這個磁層只是磁場線分佈的空間，既無顏色也無固定邊界；科學家為了解說方便，常加上不同顏色，以分割不同特性的區域；畫上一些曲線代表磁場線。許多民眾誤以為真的有這種『磁場泡泡』，然後把磁場較弱的地方稱為『磁氣圈破洞』或『磁場泡泡破洞』。

破洞之義是指內外可以相通。地磁場從地球開始形成磁場時直到現在，一直都有這種破洞存在！在南北極圈附近的磁尖區(polar cusp)，地球偶極場的磁場線是直接連接到外太空，與太陽風的磁場相接。磁尖區以外的磁場線則繞回到地心，形成封閉曲線。宇宙線或太陽風中的帶電粒子會被磁場偏轉，低能量的粒子只能從磁尖區繞著磁場線進入大氣，其他區都會被磁場反轉回到太空，大量地降低了這些游離輻射源的數量。本系列文章的第一篇《天外飛來的輻射》[5]就提到這個「地球的防護罩」。

2.3 南大西洋異象

另一個常被提到的『磁場破洞』是在南大西洋上空，科學家稱為南大西洋異象(South Atlantic Anomaly, SAA)。這地區是地表磁場最弱的地區，簡單的說法是地心的磁鐵其實不在地球的正中心，而

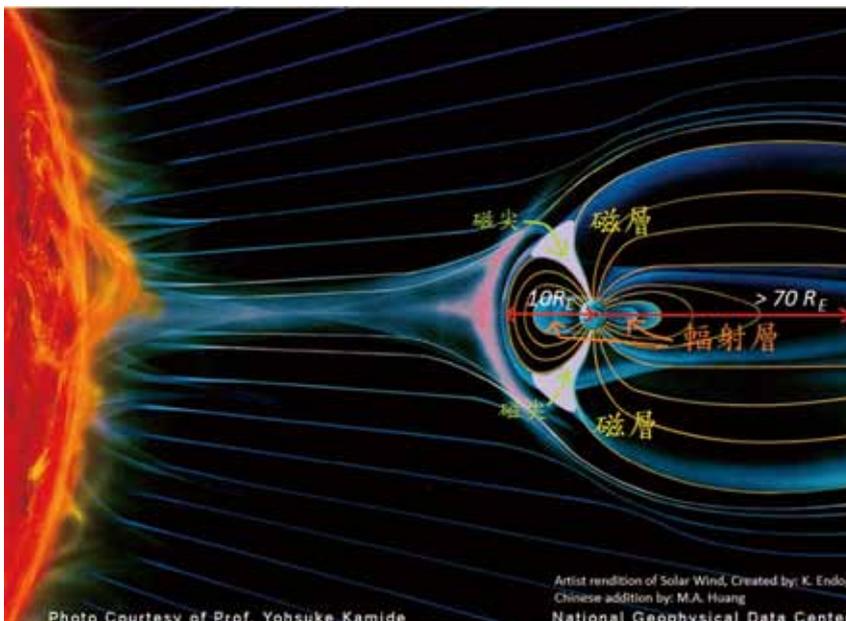


圖1：磁層是地球的磁場與太陽風合併所形成的區域，包含與行星際磁場相接的磁尖(淺紫色漏斗型區域)與內部偶極磁場，還有范艾倫輻射層的位置。 R_E 為地球半徑。本圖僅是示意，尺寸並未按真實比例。(原圖來自NGDC[4])。

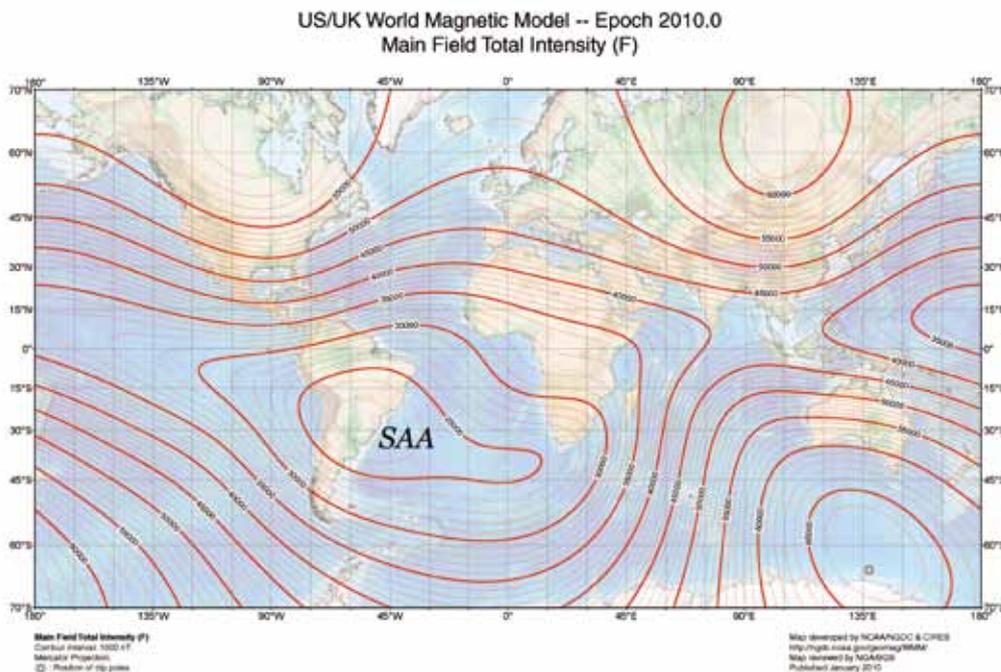


圖2：地表磁場強度的等高線圖 [7]，磁場強度的單位是nT。SAA為南大西洋異常的約略位置。

是偏離了中心約400~500公里遠[6]。SAA地區正是離此地心磁鐵最遠的地方，因此磁場最弱。圖2顯示地表磁場強度的分佈，強度最大值出現在南磁極約6.5萬nT；強度最小值出現在SAA附近，約為2.5萬nT以下 ($1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ Tesla}$, $1 \text{ 高斯 (Gauss)} = 10 \text{ 萬nT}$)。

SAA的範圍並無嚴格的定義，一般都是以磁場強度在某一特定值以下，例如2.5萬nT。過去150年以來，地磁場強度持續緩慢減弱，相對地SAA的面積就逐漸增加。不少流言就把這個SAA擴大的現象，看成跟臭氧洞一樣，說成是『磁場破洞』。其實只是磁場稍微變弱，其2萬多nT的磁場仍遠高於磁層外的10nT以下。即使在高達 $10R_E$ 的高空，地磁場強度降低到約為地表的千分之一，SAA區域仍在封閉磁場線內，沒有內外相通的可能。不會有類似臭氧洞讓紫外線穿透到地表的現象。因此把SAA說成『磁場破洞，會讓輻射線穿透』是完全錯誤的。

另外SAA擴大的現象也常被引用當作地磁反轉的證據，在《天外飛來的輻射》[5]就提到了：既無證據支持現在是地磁反轉期，也無毀滅文明的危險。

2.4 輻射層

跟SAA有關的輻射不是外來的宇宙線，而是

束縛在地磁場內的帶電粒子所形成的輻射層，以質子與電子為主，約出現在400公里以上，甚至高達 $8R_E$ 。輻射層的海拔高度在SAA附近降至最低，大量的帶電粒子撞擊產生游離輻射。圖3顯示海平面上500公里處質子($E > 10 \text{ MeV}$)輻射層的分佈。人造衛星或太空站經過該區時，都會被嚴重干擾。太空站設計在此高度以下，就是要盡量避免輻射層的傷害[5]。

謠言提到的『比地球寬四倍的破洞』，磁層中唯一在 $4R_E$ 大小附近的結構只有輻射層。但它是

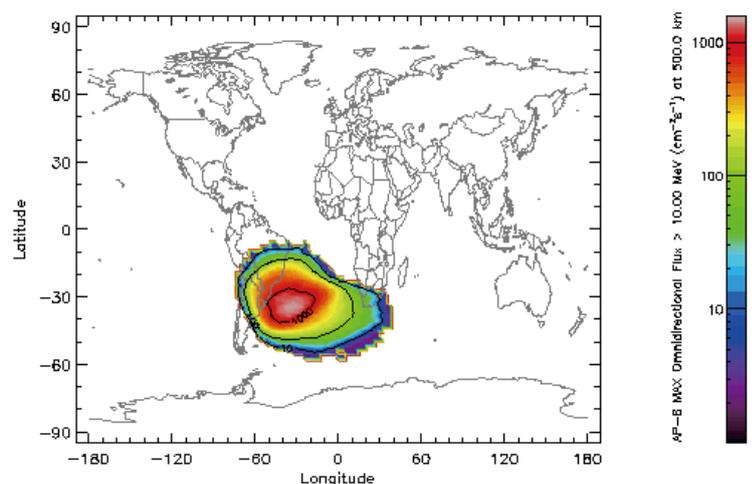


圖3：海平面上500公里處質子($E > 10 \text{ MeV}$)輻射層的分佈圖，南大西洋異常(SAA)區域的通量明顯高於其他地區[8]。

封閉磁場區，太陽風的帶電粒子可能在磁尖區與高層大氣分子碰撞而進入輻射層，然後就被磁場束縛在裡面，不會到達低層大氣。將輻射層說成破洞，一點都沒道理。況且輻射層存在已久，並無擴大；輻射層雖有游離輻射危害，但只對海拔約400公里以上的高空，對地面毫無傷害。

3 太空天氣

3.1 太空天氣

太陽風是由太陽表面噴出的高溫電漿，偶而也會有較激烈的爆發，例如太陽閃焰(Solar flare)、太陽高能質子(Solar energetic proton)、與日冕物質噴發(Corona Mass Ejection, CME)，短時間內噴出大量高能粒子，稱太陽宇宙線。風暴會進入地球附近的磁層，被地磁場偏轉向南北極，部分粒子繞著南北極的磁場線衝入磁尖下方的大氣層；部分反射到背對太陽的那一側，條件合適時又會從磁層尾部衝回來進入大氣層。這些帶電粒子游離空氣，使氮與氧產生螢光，也就是極光。太陽宇宙線會破壞衛星設備，干擾電腦與電子設備；增加太空人甚至飛機上人員的輻射劑量。當風暴的電漿雲抵達地球，強烈

的電磁場會擾亂地磁場及電離層，此種磁場的擾動稱為磁爆。磁爆會擾動電離層，干擾衛星的通訊與方向控制。磁爆會使長程的金屬管路(輸配電網、通信電纜、輸油管等)，因磁場變化產生的感應電場，造成電位突波，可能破壞地面電網，造成大面積停電。參考圖4的解說，本刊第55期中呂凌霄的專文《太陽對地球的影響》[9]有更詳盡的報導。

這些現象會干擾人類在太空及地面的活動，如同地面的氣象一樣，因此將太陽風暴與磁爆等現象稱為「太空天氣space weather」，這種結合太陽物理與太空物理的跨領域科學，也常以『日地關係 Sun-Earth connection』為名[10]。

3.2 強烈太陽風暴對人類的影響

1989年3月12日太陽表面出現一個日冕物質噴發(CME)，3月13日凌晨2:44，CME襲擊地球。一些繞極軌道的衛星失去控制數小時，極光連遠到德州都看的到；磁爆襲擊地面，瞬間的突波造成魁北克水力發電廠的五條線路跳脫電網，鄰近的電網無法補上足夠功率，也跟著為了自保而跳脫電網；接著一連串的連鎖反應，如雪崩般的展開，兩分鐘之

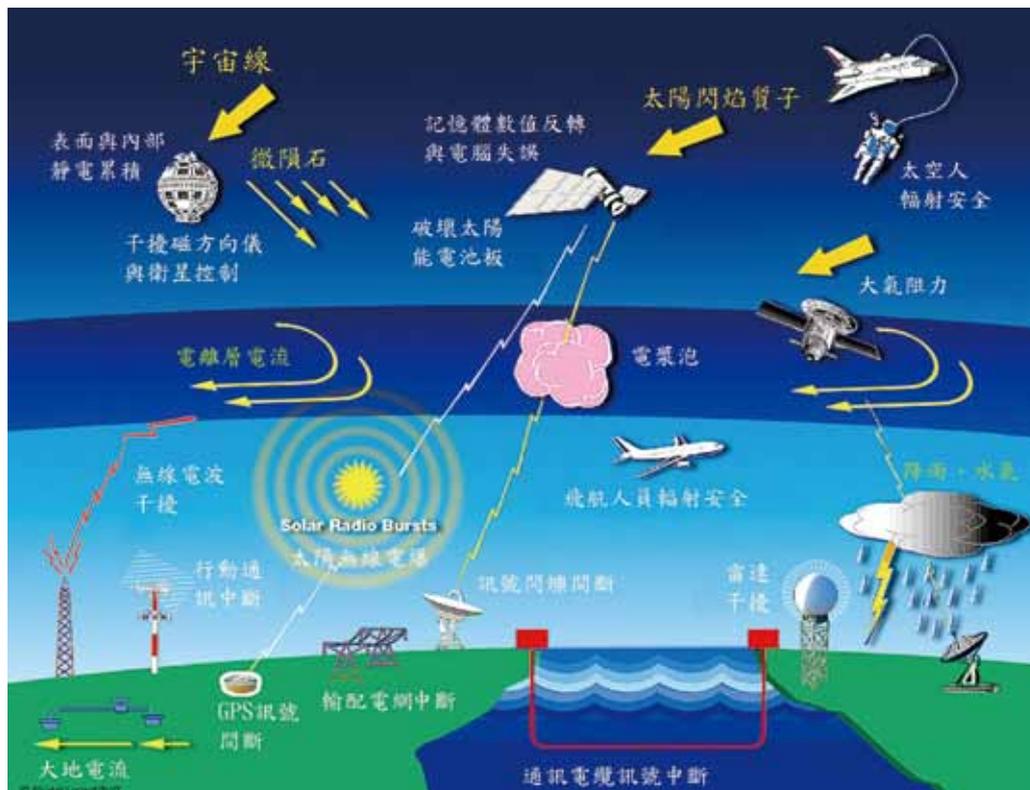


圖4：太空天氣對人類活動的影響。(本圖修改自L.J. Lanzerotti的原圖[11])。

內就造成加拿大最大的一次停電，損失供電容量約 21,000 MW (約台灣電力公司裝置容量的一半)，11 小時後電力恢復 83%，其餘 17% 則靠輪流供電，歷時數月才完全修復 [12]。

隨著人類越來越倚重人造衛星，例如通訊、定位、地面監測等，太空天氣的預測也越來越重要。類似嚴重案例可能會對社會及經濟造成嚴重傷害，因此美國成立一個委員會「嚴重太空天氣事件對社會與經濟之衝擊委員會 (Committee on the Societal and Economic Impacts of Severe Space Weather Events, 以下簡稱 SSWE)」，它的目的是評估超強太陽風暴發生後所有可能的傷害，以提供政府了解可能的傷害，預先做好準備，減少傷害的程度。此委員會的總結報告 [3] 指出多種層面的影響，比較嚴重的幾項如下：

- * 對太空：癱瘓衛星通訊與控制，造成通訊中斷，行政、商業、國防都無法正常運作。
- * 對地面：癱瘓輸配電網，造成輸配電系統損壞，參考圖 5。
- * 短期缺電：造成交通紊亂、停滯；食物與醫療用品因缺乏冷藏而腐敗；飲水短缺等。
- * 長期缺電：製造業停頓、金融業崩潰，公共設施混亂。

這些內容是許多末日謠言中常見的情節，其實都來自 SSWE 報告，並非空穴來風。謠言是將真實

情節以非常誇張的比例，放大了可能的傷害。我們萬萬不能因為這些是科幻片的情節，因而輕忽了準備的工作。即使真的有超強太陽風暴發生了，這些狀況全都出現了，人類也不會滅亡。原因就在地球的兩個防護罩：地磁場與大氣層 [5]！強烈的太陽風暴會擴大磁尖區，使極光發生的位置往赤道移；其他封閉磁場線的地區會被壓縮變小。這些嚴重的事件侵襲的地區就只侷限於極光發生的區域附近及以內，不會造成全球毀滅性的傷害。全球經濟都會受影響，但沒受災的地區 (例如低緯度的台灣) 仍保有工業設施，假以時日，就可以重新恢復災區的供電設備的需求。

3.3 太陽風暴可以預測嗎？

非常多的末日謠言提到 SSWE 報告中預測『2012 年 9 月 22 日午夜時分將出現 90 秒太陽風暴』，這是真的嗎？

1995 年 SOHO (Solar & Heliospheric Observatory [14]) 發射進入地球與太陽之間的第一拉格朗日點 (Lagrange point，衛星對地球及衛星對太陽引力平衡的位置，參考圖 6 [15])，SOHO 相對於地球與太陽保持相對靜止，又不受地球遮蔽，可以全天觀測太陽表面的變化 [16]。SOHO 主要觀測的儀器是 UV 及 X 光，當太陽風暴產生時，太陽表面發出的 UV 或 X 光均以光速前進，約只需 8 分 14 秒就可到達 SOHO。畫面傳回地球後，科學家從觀測的數據可

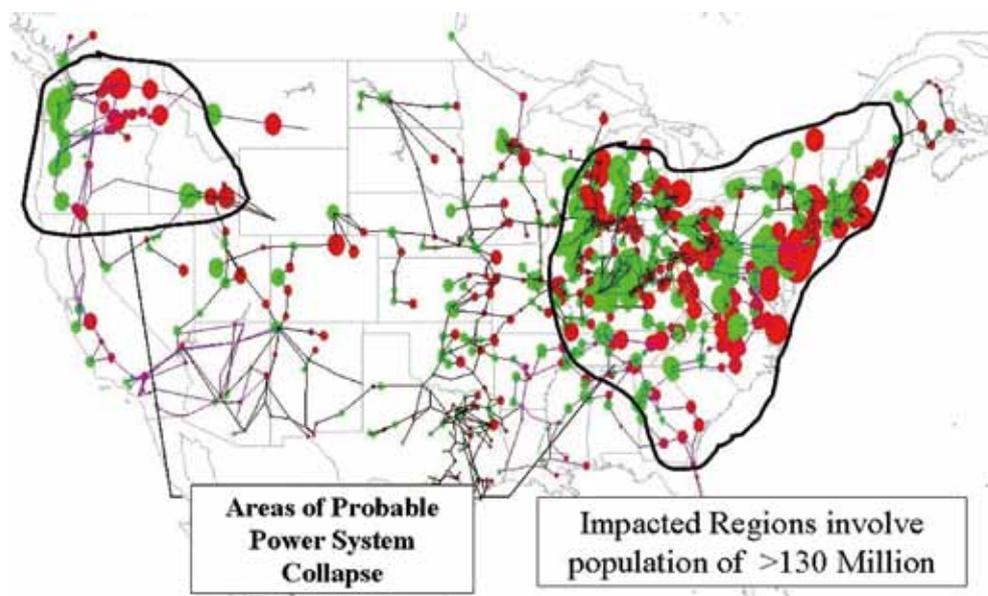


圖 5：百年一次的強烈太陽風暴出現時，模擬美國電力網受災的狀況 [13]。紅色點是大地電流流入變電站，綠色點是電流流出變電站。點的大小代表電流變化的大小。圈起來的嚴重受災區人口數在 1.3 億人以上。

以估算這個風暴的途徑。太陽風雖然是高能量粒子，但大多數粒子的速度仍低於光速。而且這些太陽宇宙線會繞著磁場線迴旋轉動，彼此的運動產生的磁場互相干擾，並非直線前進，因此需要約十幾小時到數日的時間，才能抵達地球軌道附近。若此時地球正好在此處，這個太陽風暴才會侵襲地球。太陽風暴雖然多，只有少數才會剛好打到地球。太陽風暴從出現到抵達地球需要一段時間，這讓科學家有足夠的時間做出計算與提出預報，可以通知衛星預做準備，停止太空人的艙外活動，甚至在最強時期進入避難區。

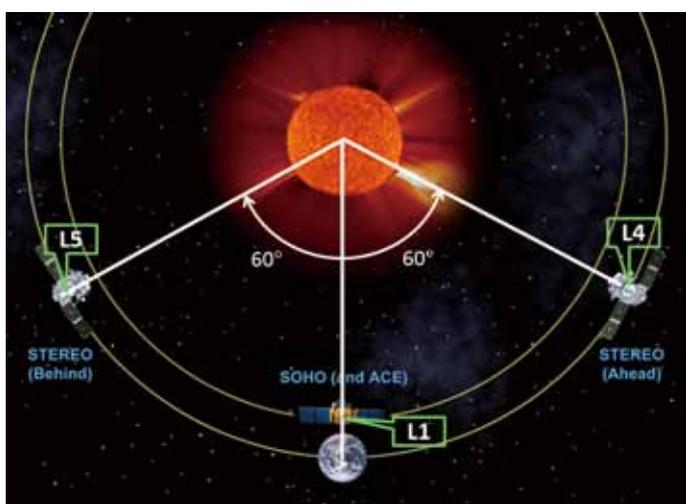


圖6：觀測太陽的三個衛星，SOHO是位在地日連線上引力平衡的L1點上，兩個STEREO衛星則在與地日連線成60°的另外兩個平衡點L4與L5上(本圖修改自[15])。

許多科幻片或科普節目中都出現過這樣情節：先看到太陽表面X光閃焰，接著衛星被打壞，地面通訊中斷等的連續畫面！這些劇情都沒有考慮到太陽風暴的傳遞時間！另一個沒考慮到的時間差是微中子，本系列專文的第三篇《從日心到地心》[16]就提到了：微中子來自太陽核心，太陽風暴來自太陽表面，沒有證據支持兩者有關聯。即使是核心增溫造成表面活動更激烈，微中子也應該提早十幾萬年到達地球。

太空天氣的預報跟氣象預報的本質上有很大的差異。氣象預報有完整的物理機制在控制每一個參數的演變，預報的精度仍受限於資料的精度與計算的精度。太空天氣的預報只能靠著已經在太陽表面發生的風暴，來推測到達地球的狀況。即便是根據「已經發生」的事實，預報的狀況仍常與實際狀況有出入。例如：偶而會看到有線電視台打出跑馬燈警告「X日X時

可能受到太陽風暴影響造成訊號中斷」，但可能到時都沒事。有時又不明不白的訊號受到干擾，事後才用跑馬燈說明致歉。由此可知，太空天氣的預報仍需改進。

由這個例子就可以了解，SSWE委員會的科學家根本不可能在2008年就預測出『2012年9月22日午夜時分』會發生什麼事！這個SSWE委員會的目的是預測傷害，並非預測何時會發生。其中提到的時間點，純粹只是一個假想的日期。這個日期只是“假想狀況”，許多人卻將它當成是“未來預言”！這個離譜的錯誤，就好像把我方(政府)軍事演習(超強太陽風暴的傷害)的狀況，當成敌方(太陽)開戰(太陽風暴)的秘密。演習當然需要逼真，所以用一個日期把可能發生狀況依照時序說明，但這絕不是預言！

長期而言，太空天氣的預報能不能像氣象預報一樣，做出一週的預報呢？科學家們努力地了解太陽風暴產生的機制與反應的原理。當主控這些反應的原理都了解清楚，加上有足夠的太陽表面的數據，這種預報才有可能性。不過電漿的反應素來就是非常繁複與紊亂的系統，即使是根據基本原理的預報，仍會有很大的系統誤差，預測的現象可能會很像「晴時多雲偶陣雨」。

3.4 超級閃焰

會不會真的有末日謠言的超級太陽風暴足以造成全球性災難呢？天文學家發現有一種星會產生亮度突然增加10%的現象，稱為超級閃焰(super flare)。目前認為這種現象是出現在一個恆星有著一顆很近的巨大的類木行星。兩者的磁場線因為公轉的關係，會不斷糾纏擠壓。跟太陽表面的閃焰一樣，當磁場線斷裂，重新連結時就爆發出閃焰。這種現象因為是行星公轉引起的，所以會重複出現。在太陽系裡，木星離太陽太遠，這種超級閃焰的現象不會出現！若是太陽系會出現這種超級閃焰，地球上就不可能有生命存在。實際上地球已經出現45億年了，所以不必擔心這種超級閃焰的可能性。

4 太陽黑子與太陽週期

4.1 為何是2012？

SSWE委員會為何特別挑出2012年當作演習狀況的時間？這不是隨便挑選的，而是配合太陽週期。太陽放出的能量(日照度)、太陽風的強度、與太陽風暴的次數與強度都與太陽黑子數有關。太陽黑子的數目有約11年的週期；若考慮太陽磁場方向的對調，則是22年。上次第23週期的寧靜期出現在1996年，活躍期出現在2000年。SSWE委員會準備這份報告是在2008年，正是第23週期末期，進入轉換到第24週期的寧靜期，當時科學家的預測第24週期會在2012年中達到高峰。最可能出現嚴重的太空天氣事件的時間，應該就是最活躍的時候，因此選定2012年9月。許多末日信仰者就將此演習狀況當成預言，再配合2012馬雅曆書終止的題材，發展出各式各樣的末日預言！

從2005年開始，太陽物理學家就在預測何時會是第24週期的高峰。第23週期從1996年底開始，預期約在2008年12月結束。但是2009年卻同時有23週期的黑子出現在低緯度，與24週期的黑子出現在高緯度。第23週期遲至2010/11月才完全結束。美國海洋與大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)對第24週期的太陽黑子數的官方預測在2009年之前，一直出現兩個推測。一個高峰出現在2011年底，黑子數約130；另一個的高峰出現在2012年初，黑子數約90。經過了超長的寧靜期，直到2009年5月才有比較一致的結論，預測高峰約在2013年5月，黑子數約90，參閱圖7 [17]。近三來的觀測顯示24週期的上升速度仍不如預期的快，可能高峰的時間會再度延後，或者黑子數可能下降到約只有60左右[18]。

4.2 太陽週期的預測

3.2節中提到太陽風暴是偶發事件，目前仍無法提前預報何時會出現太陽風暴。太

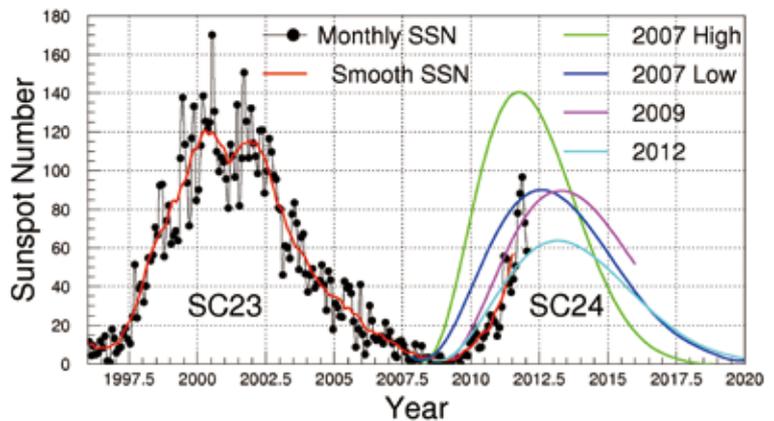


圖7：第23與24週期的太陽黑子數及四個預測。資料點為每月黑子數，紅色線為±6個月的移動平均值。2007年(綠色與藍色線)及2009年的預測(紫色線)來自NOAA的第24週期官網 [17]，2012的預測(青色線)來自D.H. Hathaway [18]。

陽黑子活動有週期性，是不是可以做更好的預測呢？其中一類則是根據一些物理模型，嘗試解釋過去的數據，再預測未來的變化；此法比較像正規科學研究的方法。

另一類預測方法是根據以往的數據，以統計分析的方法找出類似的週期的演化的規律。看起來似乎跟彩票賭徒的演算方式差不多，其實是假設未知的物理機制的某些變動，產生某種現象；統計方法只是找出現象的關聯，而忽略變動的機制，並非全無科學根據。

從4.1節對第24週期的預報來看，2007年的預報分成高低兩種並陳，已經說明預報的方法與結果可能有很大的分歧，而且雙方勢力相當。即使是同一組人，也可能會有很大差距。例如Hathaway等人在2006年預測24週期是比23週期更強烈，高峰黑子數約160 [19]；現在的預測卻修正到只有60 [18]！2007的低預測值雖與2009的預報接近，但仍跟現在實際觀測的數據有差距，顯示這兩類預測的準確性都不高！主要原因是科學家對黑子演化的物理機制仍不清楚，更無定論。統計預測與物理模型預測只是一體兩面，兩者都還有極大的改進空間！

4.3 第24週期可能後果

從1944年到2010年，歷經第18~23太陽週期，其中有五個的黑子數最大值超過150，甚至有三個週期超過180。第24週期的預測值已經降到60~90，比起前六週期而言，24週期的太陽算是緩和許多。雖然我們無法預測個別太陽風暴，但其強度與出現的頻率都與黑子數有關。由最新

的黑子數預報，可以預估未來兩年內，太陽風暴的數量會增加(趨近高峰期的現象)，但數量及強度不太可能比前六週期還大！

太陽風的強度分成五級。2012年2月為止，24週期最大的太陽風暴是1/22/2012，但也只有第三級而已！2012~2013年期間還可能出現較強的風暴。但這些最新的成果否定了末日預言『2012年9月或12月起強太陽風暴』，日期雖無法預知，但強度不會比第23週期大。人類都已經安然無恙地度過了比較強烈的前六個週期，第24週期絕不可能是毀滅人類文明的末日。

第23週期有個超長的寧靜期，累計無黑子的日數有802天。比起18~22週期的平均值305天多出許多，超出許多科學家的預期。科學家發現23週期的寧靜期很像1810~1843的達頓最小期(Dalton Minimum)，這是近代的一個小冰河期。這種關聯引起一些憂慮，有人指出全球暖化的趨勢可能因此減緩，或是『全球冷卻的開始』，甚至進入另一個小冰河期。這些說法並非毫無依據，全球暖化的原因有兩派學說，一個是佔主流地位的人為學說(人造溫室氣體造成溫室效應)，另一個是自然學說(太陽變化引起氣候變遷)。前者已經是眾所皆知的官方版本，後者常被流傳成為「反官方的另類說法」。

事實上有許多科學家以不同方式嚴格地驗證這些理論，在我的另一篇文章《太陽、宇宙線與氣候的關聯》[20]有詳盡的報導。簡單的說：太陽活動越強→日照越強、黑子數越多→太陽風越強→宇宙線越弱→大氣中水氣凝結核越少→低層雲越少、穿透地面陽光越強→降雨減少、地表增溫。反之，太陽黑子數減少時，地表溫度會降低。第23週期的最低點出現在2009~2010兩年，考慮太陽風傳遞至太陽系邊緣約8~12個月的時間，地球具有膨大熱容量要降溫也需要一段時間(~2個月)，因此地球最冷的時間就會延後到2010~2011年！對照這兩年的氣候，冬季常創下最冷紀錄，夏季則豪雨成災，這些現象都符合自然學說的預測。

人為學說與自然學說的紛爭仍未解決，對於全球暖化的貢獻仍待屏除成見客觀研究。依我個人分析，溫室氣體的貢獻約55%，自然因素約佔

45%[20]。則第24週期內全球暖化的趨勢減緩是有可能的；但要倒轉升溫為降溫，則機會不大。誰對誰錯，恐怕得等第25週期結束才能分曉。

現在可以預測到的是：2012末日沒出現之後，還是會有人會將末日的預測日期延後！一些流言會繼續鼓吹暖化的人間煉獄，一些流言會把小冰河期來臨當成地球另一種末日，另外一些會找到各種奇怪的理由來支持他們所信仰的末日。

5 結論

在眾多末日預言中，與太空天氣有關的內容中，正確的比率較高，但仍有誇大其效應的現象。表一將本文的內容以表格列舉，區分正確與錯誤的內容。

參考文獻：

1. 國科會「科技短訊」(08/24/2009) http://stn.nsc.gov.tw/view_detail.asp?doc_uid=0980821005&kind_no=A04
2. 林XX，當科學與預言相遇，《2012XXXX》序言(為避免為謠言宣傳，不列出全名與出版商)
3. Committee on the Societal and Economic Impacts of Severe Space Weather Events: A Workshop, National Research Council, Severe Space Weather Events--Understanding Societal and Economic Impacts: A Workshop Report, ISBN: 9780309127691, (The National Academies Press, 2008); http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12507
4. <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/icons/solarexp.jpg>
5. 黃明輝，天外飛來的輻射，臺北星空(天文館期刊)，53: 8-15 (2011/8)
6. 偏心磁偶極到地心的距離有數種說法，從400~700 km不等。由於地表磁場的變動，這個數值也會跟著變。此處引用的數據來自<http://www.spennis.oma.be/help/background/magfield/cd.html>。
7. <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/data/>

- WMM2010/WMM2010_F_MERC.pdf
8. <http://www.spennis.oma.be/help/background/traprad/traprad.html>
 9. 呂凌霄，太陽對地球的影響，臺北星空(天文館期刊)，55: 8-15 (2012/1)
 10. 郝玲妮，日地物理與太空天氣，科學發展，377: 44-51 (2004/5)
 11. L.J. Lanzerotti, http://www.nasa.gov/images/content/607507main_agu-lanzerotti4.jpg
 12. Sten Odenwald, http://www.nasa.gov/topics/earth/features/sun_darkness.html
 13. John Kappenman, Geomagnetic Storms and Their Impacts on the U.S. Power Grid, Report to Oak Ridge National Laboratory, Metatech Corporation, Jan. 2012; 圖下載自 http://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/spaceweather_hazard.html
 14. NASA 的 SOHO 官網 http://www.nasa.gov/mission_pages/soho/
 15. <http://stereo.gsfc.nasa.gov/gallery/item.php?id=spacecraft&iid=31>
 16. 黃明輝，從日心到地心：與微中子有關的科與幻，臺北星空(天文館期刊)，55: 16-23，(2012/2)
 17. <http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/SC24/>
 18. David H. Hathaway, <http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml>
 19. D.H. Hathaway and R.M. Wilson, Geomagnetic activity indicates large amplitude for sunspot cycle 24, Geophys. Res. Lett. 33: L18101, (2006)
 20. 黃明輝，太陽、宇宙線與氣候的關聯，物理雙月刊，31: 516-528, (2009/10)
- 黃明輝副教授:任教於國立聯合大學 能源工程學系及 共同教學中心物理組，國立台灣大學 梁次震宇宙學與粒子天文物理中心
E-mail: mahuang@nuu.edu.tw

錯誤的部分	正確的部分
磁氣、磁場泡泡	磁層或磁圈
磁氣圈破了個大洞，比地球寬四倍；南大西洋異象(South Atlantic Anomaly, SAA)是個磁場破洞	磁層中類似4倍地球半徑的結構只有輻射層，但它是封閉磁場區，沒有連結到外太空，不能說成破洞。磁尖區(polar cusp)是開放的磁場線，低能量的太陽風粒子也可穿透到此區。SAA在封閉磁場線地區，只有高能量宇宙線可穿透。
太陽風暴造成全球性災難	破壞衛星設備、干擾通訊、增加太空人甚至飛機上人員的輻射劑量、干擾輸配電網、擾亂磁場等。低緯度的台灣不會受太陽風暴的直接影響。
太陽風暴產生與地面通訊中斷幾乎連續發生	太陽風暴傳播到地球需要十幾小時到數日
2012年9月22日午夜時分產生超級太陽風暴造成全球性災難，導致世界末日	無法預測何時會發生太陽風暴！只能在發生後預測會不會與何時抵達地球。 最可能產生強烈太陽風暴的時期在黑子數的高峰期。目前預估黑子數的高峰期在2013年5月。尚無完美的黑子數預報，準確度仍低。 人類都已經安然無恙地度過了比較強烈的前六個週期，第24週期應該更緩和，嚴重傷害的可能性更低。 超級閃焰需有很靠近恆星的巨大類木行星，太陽系不可能出現超級閃焰。
全球冷卻、進入小冰河期	暖化的趨勢可能減緩

表一：與太空天氣有關的末日謠言及其對應的正確內容。