



星球永續健康線上直播
太陽地磁風暴健康效應(2)

2025 年 6 月 17 日

太陽活動近年進入活躍週期，不僅導致多顆低軌衛星脫軌焚毀，也威脅航空通訊、電力系統與衛星導航現代生活依賴之科技。隨著極端太空天氣事件頻繁發生，科學界也關注對人體健康可能帶來的深層影響。本週我們將聚焦於地磁風暴的最新科學發展與其對健康的潛在衝擊，探討對通訊影響與呼吸道風險挑戰。

星球健康新知

印度在 6 月 13 日發生波音 787 飛機空難。原定飛往倫敦，起飛後僅 30 秒即墜毀，機上共 241 人死亡，僅有一名乘客逃生無大礙。飛機墜毀時撞上當地醫學院宿舍，造成嚴重傷亡，是近十年來最嚴重的航空事故，印度當局已全面展開救援行動。印度與英國當局將聯手調查事故原因，目前等待黑盒子數據解讀。

澳洲、英國、加拿大、紐西蘭及挪威針對以色列國安部長伊塔瑪·本-格維爾與財政部長貝扎雷爾·斯莫特里奇，實施金融制裁與旅遊禁令，理由為兩人煽動對巴勒斯坦人的暴力行為、支持非法定居點擴張，並違反國際人權法。澳洲外交部長黃英賢指出，此舉表明「侵犯人權與鼓動仇恨不可接受」。制裁措施包括資產凍結、禁入澳洲與限制財務援助。澳洲總理艾班尼斯強調支持以色列自衛權，但其行為亦須受國際法規範。綠黨與多國外交官則認為，此制裁雖來得遲但極具必要性，以回應約旦河西岸巴人權利遭侵害的現況。美國對此表達強烈不滿，認為制裁將妨礙停火、人質釋放與外交努力。美國國務卿盧比奧批評盟國忽略「真正的敵人是哈瑪斯」，以方則怒斥制裁為干涉內政。以色列外交部與部長本人亦予以抨擊，認為西方國家試圖阻止以色列確立其「家園」。全球社會展開加薩聲援行動，由突尼西亞發起的「堅定車隊」集結來自 50 國聲援者，預計 6 月 12 日向加薩邊境的拉法口岸進發，儘管遭遇來自利比亞與埃及的軍事阻礙，參與者強調該行動具象徵性，目的是呼籲國際關注以色列對加薩的「種族滅絕式戰爭」。



2025 年 6 月，美國前總統川普重返白宮後，迅速推動多項強硬移民政策，引發國內外爭議與抗爭。其一為「第四版旅遊禁令 (Travel Ban 4.0)」自 6 月 9 日生效，針對 12 個國家人民實施入境限制，理由為國家安全與移民風險控管。禁令涵蓋中東、非洲、拉美等地區，並設有多項豁免條件，如綠卡持有者與美國公民直系親屬等。川普政府引用 2018 年「川普訴夏威夷案」作為法律依據，聲稱本次禁令較前版本更具策略性與法律防禦力。然而，該政策引發質疑，批評者指出被列入國家與實際安全威脅不成比例，部分高簽證逾期國家未納入，顯示政策具有政治操作性。洛杉磯爆發針對聯邦移民突襲行動的大規模抗議。美國移民與海關執法局 (ICE) 於拉丁裔社區大舉逮捕 121 人，並擴大至工作場所檢查，引發群眾不滿。抗爭蔓延至市中心與南部帕拉蒙特地區，數百人遭逮捕，警方並出動橡膠子彈與震撼彈驅離群眾。川普總統未經加州州長同意即出動 4,000 名國民兵與 700 名海軍陸戰隊，主張鎮壓「對聯邦的反叛」，為 1965 年以來首見的強行部署，引發地方政府強烈反彈。雖然國民兵不具執法權，聯邦武力的介入仍被視為對地方自治的挑戰。觀察人士指出，川普此舉可能為選舉策略，藉故激化地方與聯邦對立，以鞏固其保守派基本盤，並向其他城市發出威懾訊號。整體而言，從旅遊禁令到街頭軍事部署，川普政府再度展現其以移民議題為核心、以對抗性方式塑造強人形象的治理風格。

在經濟方面歐洲與美國在利率政策上出現明顯分歧。歐洲央行提前降息以對抗通縮，而美國為抑制通膨則延遲降息。利差擴大對歐洲經濟產生壓力，尤其對德國汽車產業構成不利影響。若不及時進行談判協調全球貿易將受到衝擊。中美貿易協議談判成為關鍵，包括稀土供應、關稅調整與芬太尼進口等議題。川普政府維持對中方 55% 的高額關稅，包括 25% 的基本關稅與針對非法藥品的附加關稅。如何在此架構下尋求共識為中美與歐洲三方未來談判的重要挑戰。7 月 9 日後，川普對談判策略的調整將影響全球經貿走向。若能在稀土與芬太尼問題上取得突破，將有助於促進三方合作與協商。在美中貿易政策方面，稀土供應成為關鍵焦點。美國希望中國能放寬稀土出口限制，特別是應用於汽車工業及高科技產品領域的原料。然而，美國仍維持對中國高達 55% 的總體關稅措



施，其中包含 25% 的基本關稅、10% 的附加關稅與針對非法藥物進口的懲罰性關稅。

印太地區正面臨劇烈的科技與軍事角力。當前東亞局勢進入戰略重組階段，中國積極擴張其海權版圖，影響區域穩定；與此同時，南韓則試圖在中美兩大強權之間尋求外交平衡，顯示出其在區域安全政策上的謹慎調整。美國方面，為鞏固與東亞盟邦之間的聯防體系，今夏將舉行一系列軍事演訓，強化聯合部署與應對能力。此外，區域科技勢力也在悄然變化，亞馬遜宣布其 AWS 雲端服務正式在台北啟用，象徵全球科技企業正深化在印太地區的佈局與投資，進一步強化區域數位基礎建設與科技影響力。

全球約 59% 的河流二氧化碳排放來自萬年前固定的大氣碳，主要源自深層土壤、岩石與地下水，非傳統認為的當代生物分解。僅有 41% 為近代碳，顯示現有碳循環模型低估了遠古碳的貢獻。氣候變遷與土地使用改變（如土壤侵蝕）可能加速這些古老碳的釋放，對氣候變遷預測與碳管理政策造成潛在衝擊，尤其在大型河川、高山地形與碳酸鹽岩分布區更為明顯。

全球河流每年釋放大量二氧化碳，其中多數來自深層土壤與古老岩層的碳，而非傳統認為的當代碳來源。此發現顛覆過去認知，凸顯河流在隱性碳排放與全球碳循環中的關鍵角色。

公海因缺乏統一國際管理，導致無限制捕撈，每年長線漁法造成大量海鳥與魚類死亡。公海不僅是漁場，更是全球最大碳匯，透過生物與營養幫浦將碳封存於深海。然而過度捕撈，如鯨魚族群減少，已擾亂碳與養分的上升輸送，削弱碳循環與氣候穩定功能。深海與公海佔有最多碳匯儲量，凸顯其在全球碳循環中的關鍵角色；若關閉部分公海、建立保護區，可提升海洋資源復育與漁業總收益，全球約 120 國可從中受益。整體而言，限制公海開發與建立保育機制，不僅有助恢復海洋生態與碳封存功能，亦能實現經濟與環境雙贏，對抗氣候變遷。

海洋大型哺乳類如鯨豚等面臨混獲、船隻撞擊、噪音污染、塑膠廢棄物等多重威脅顯示現行保育措施難以全面防範，為因應此問題，科學界建議結合動物遷徙追蹤資料與物種特性並且搭配多元管理工具，精準對應人類活動造成的跨區威脅以提升保育成效。



小規模漁業支撐全球超過 5 億人口的生計，具有低生態衝擊與永續發展的潛力，然而工業捕撈、塑膠污染與氣候變遷等因素正對其造成嚴重威脅，此外女性在魚獲加工與銷售中扮演關鍵角色，卻長期被排除在公共政策之外，各國呼籲，未來的海洋保育政策應納入女性參與，推動共管海洋資源、保護漁業、提升氣候韌性與強化治理透明度等五大策略，並強調小規模漁業在糧食安全中的重要地位。

雖然現有氣候模型能掌握全球氣候趨勢，但在區域尺度預測上仍存在偏差與失準，例如低估南美與澳洲的降雨，或無法預測風向變化導致的大西洋氣候異常，過去雖然透過統計修正與精細區域建模，但成本高且成效不穩，當前趨勢轉向運用 AI 技術建立可信的地區預測模式，並朝向建構超高解析度的全球模型，以強化對極端氣候風險的預測與應對能力。

近期太陽風暴頻繁加劇，釋放強烈輻射與磁場擾動，造成地球上層大氣異常膨脹，進而導致低軌衛星受到更大阻力而失控墜落，在 2024 年就已有超過三百顆 SpaceX 低軌衛星重返地球時於大氣層焚毀，呼籲應加強衛星抗干擾設計並調整軌道，並結合太陽活動與磁風暴監測預測以降低未來潛在風險。

地磁風暴科學新知

電影《極地風暴》(Polar Storm)描述哥白尼彗星碎片撞擊阿拉斯加導致地軸傾斜與地磁偏移災難。地磁系統原本是保護地球免受太陽風與接近光速高能粒子侵襲的重要防線，撞擊後磁場偏移使防護屏障薄弱，太陽活動高能粒子得以穿透進入地球，造成各種劇烈干擾。劇中描繪地磁場急遽下降，甚至在中低緯度地區也出現罕見的極光現象。天體物理學家詹姆斯發現地球磁場已陷入失衡狀態，隨後爆發劇烈地磁風暴與連鎖性的電磁脈衝(EMP)，不僅癱瘓全球的電力與通訊系統，還導致飛航定位與控制失效，引發飛機墜毀等重大事故。在健康層面，地磁異常也造成心律調節器失靈，變壓器與電子設備因過載而爆炸，進一步引發大規模停電與社會秩序的崩潰。面對全球危機，詹姆斯與其退役將軍的父親聯手提出一項激進計畫：以潛艇搭載核彈深入馬里亞納海溝，引爆以產生反向震盪，試圖矯正地軸偏移並穩定地磁場。最終行動成功，地球恢復穩定，地磁風



暴終止，人類也逃過一場滅絕性災難，詹姆斯一家亦在劫後重逢。地磁風暴正逐漸成為現代文明的潛在威脅。當太陽活動劇烈時，來自太陽風中的高能質子會高速進入太空，干擾地球磁場的穩定性，進而引發地磁風暴。這些磁場變動不僅會在電離層中產生放電現象，也會形成不同顏色的極光，雖然絢麗壯觀，但背後隱含的風險卻不容忽視。例如在電影中軍機原欲升空調查災害源頭，卻因遭遇強烈的電磁風暴，機上電子設備全面失效，最終導致失控墜毀。反映出地磁風暴可能造成電子設備廣泛失靈，包括藍牙裝置等日常應用，也可能因感應電流而引發觸電風險。甚至像心律調節器這類仰賴精密電力運作的醫療設備，也可能受到磁場擾動影響，對健康構成威脅。太陽的活動與宇宙天氣所引發的地磁風暴，已成為當代文明面臨的新威脅

地磁風暴是指地球磁場因太陽風暴所產生的劇烈擾動。其主要成因為太陽閃焰與日冕物質拋射(CME)所釋放的高能粒子進入太陽風，當 CME 撞擊地球磁層時，會引發磁場劇烈變化，造成地磁擾動與地面感應電流(GIC)。干擾現象可能持續數小時至數天，對全球通訊與電力系統造成嚴重影響。具體包括：高頻無線電通訊中斷、GPS 定位誤差、衛星電子元件損壞與姿態偏移，以及電網過載與變壓器故障，甚至可能導致大規模停電。此外，石油與天然氣輸送管線也可能因電化腐蝕受損，而極光則可能擴展至中緯度地區，顯示地磁擾動的範圍與強度。

宇宙射線、太陽高能質子、太陽閃焰與日冕物質拋射(CME)等太空天氣現象對衛星設備造成輻射損傷，導致導航系統出現誤差。機組人員與乘客也可能因此暴露於過量輻射，增加健康風險。地磁風暴則可造成通訊中斷與衛星定位失準，高空輻射劑量顯著上升，影響航空與太空活動安全，干擾各類電子設備運作。此外，地磁擾動會誘發電網感應電流異常，可能導致變壓器飽和與電壓不穩，進而引發高頻無線電干擾、電子元件故障，甚至導致大規模停電，衝擊航空、海運、鐵路與地面運輸系統的運作與安全。

對太陽風暴所引發的地磁擾動，必須事先做好風險預防與應變準備，否則可能導致高頻通訊中斷，影響飛航航班運作與定位，造成安全威脅。影響評估顯示若每日 18 班極區航班因通訊中斷而取消，估計損失將高達 220 萬歐元，若航線改道或航班調整時



程，損失亦介於 18 萬至 85 萬歐元之間。衛星導航失效時，飛機必須依賴地面導航，導致空域擁塞與航班延誤。研究模擬在 2030 香港機場起降航班影響程度為例，預估損失可達 300 至 400 萬歐元。監控系統亦可能因太陽爆發暫時失效，例如歷史事件評估中 2015 年瑞典空管系統曾因太陽活動中斷一小時，導致航班調度受阻。這類系統故障不僅降低空域容量，也加重空管人員的工作負擔與飛航營運風險。此外高空飛行暴露於宇宙射線的劑量也會隨地磁風暴升高。雖然降低飛行高度可減少約 42% 的輻射劑量，但也會增加燃油消耗與飛行時間。若輻射安全上限設定為 $500 \mu\text{Sv}$ ，則可能需取消航班，造成高達 5,000 萬歐元的損失。若放寬可容忍輻射暴露至 $1,000 \mu\text{Sv}$ ，損失亦近 300 萬歐元。

面對太陽活動引發的地磁風暴，應從三個面向著手，包括強化宇宙氣象的監測與預警系統、提升關鍵基礎設施的韌性設計，以及建立具備彈性的交通管理策略，以有效降低風暴對現代社會運作的衝擊。在台灣區域的風險分析中，儘管台灣位處非高緯地區，仍可能受到中等以上強度地磁風暴的影響。由於台灣電網高度集中，供電穩定性相對脆弱，對地面感應電流（GIC）特別敏感，桃園、台中與南部等地的大型變電站更具潛在風險。同時，台灣廣泛應用衛星導航技術於農業、交通運輸與地震監測，一旦發生地磁擾動，這些領域的作業與監控系統皆可能受到干擾，導致運作中斷或失準。雖然台灣地區通常無法觀測到極光，但歷史上曾有 G4 等級以上的地磁風暴使日本北部出現極光現象，顯示東亞地區在強烈風暴期間亦可能受到波及。因此，北海道等中高緯地區應納入區域聯防機制，並針對航空與遠洋通訊的潛在干擾建立更完整的預警與應變措施。在具體策略上，應依據 Kp 指數與 NOAA 太陽活動評估等級提前預警，並為電網設置 GIC 防護模組與監測儀器，強化太空天氣通報機制與跨部門應變系統。同時，衛星與航空設備也應具備容錯與備援設計，以確保在極端太空天氣下仍能維持穩定運作，降低對國內關鍵基礎設施與民眾生活的衝擊。

人工智慧與機器學習已逐漸應用於地磁擾動的動態分析與預測。模型的輸入資料來源包括太陽風參數(如速度、密度、溫度)、日冕物質拋射(CME)觀測數據，以及 Kp、Dst、



AE 等地磁活動指數與地面磁場變化率 (dB/dt)。這些資料經由特徵工程處理，包括時間序列視窗特徵、小波轉換與頻域特徵分析，並整合空間－時間動態網絡，作為後續模型訓練之依據。機器學習模型選擇方面，RNN、LSTM 與 GRU 等時間序列深度學習架構，能有效捕捉地磁活動的時間動態模式。此外結合隨機森林與 XGBoost 進行特徵篩選與風險排序，並搭配 CNN 與 LSTM 融合影像與序列資料。近期亦有研究應用 Transformer 架構來進行長期預測。針對極端事件模擬，則可運用生成對抗網路 (GAN) 進行樣本合成與強化學習。以全球地磁擾動預測模型為例，一套結合 GRU 時間序列摘要與球面諧波展開的架構，可於不到 1 秒內預測未來 30 分鐘全球 dB/dt (磁場變化率) 分佈，具有計算快速、高空間解析度與可整合即時太陽風資料等優勢。

在台灣的應用上，可進行地磁風險管理與決策支援，例如辨識 GIC 熱區、整合地磁與變電站地理資料進行建模、建置 AI 驅動的預警與應變平台，並模擬極端地磁風暴對供電系統的衝擊，同時針對衛星與航空系統實施預防性調整。此類預測模型的核心架構為門控循環單元 (GRU)，屬於 RNN 系列的一種，能擷取不同時間點的關鍵隱藏狀態，經加權整合後預測地磁擾動的空間分佈模式。透過兩小時內的太陽風參數、行星磁場與紫外線通量等時序資料進行編碼，可即時預測全球不同區域地磁擾動的分佈情形，有助於提前部署。

在智慧預測的準確性評估中，模型預測結果與實際觀測值整體趨勢一致，其中 2011 年地磁風暴的預測表現優於 2015 年。然而散點圖顯示部分預測值略低於理想線，顯示模型在高強度擾動下可能有低估情形。預測誤差的來源可能包括輸入資料的不完整性、太陽風變化的劇烈程度或地區性磁場條件的差異。若能進一步提升模型準確度，地磁風暴的時間與空間分佈將可即時掌握，模型提供的 30 分鐘動態預測視圖能清楚呈現擾動強度在經緯度空間的分佈，有助於辨識影響最劇烈的地區，提供全球部署與應變決策的重要依據。

地磁風暴健康效應

太陽與地磁擾動可能透過干擾晝夜節律與褪黑激素分泌，誘發氧化壓力與發炎反應，



造成肺部健康損害。當太陽黑子活躍增加，可能引發全球地磁波動，進一步影響空氣污染的光化學反應與氣溶膠生成，並加重空氣污染對呼吸道的影響。地磁擾動亦可能透過交感神經失衡導致肺功能下降與全身性發炎反應。太陽活動與地磁擾動呈現週期性波動，並與 PM2.5 濃度具高度相關性。分析顯示黑子數、地球磁場強度及地磁風暴強度等因素與空氣污染物濃度變化相關，可能共同影響肺部功能與呼吸健康。顯示太空天氣、地面環境及健康風險之連結。對太陽活動與地磁風暴對空汙濃度對肺功能造成不良影響評估顯示，隨著太陽活動與地磁風暴影響時間延長，用力呼氣量 (FEV₁) 與肺活量 (FVC) 顯著下降，且變化與太陽黑子數、電磁指數等活動指標呈現一致趨勢。此外前述宇宙氣象活動指標對 FEV₁/FVC 比值造成略微上升趨勢。此結果反映太陽與地磁活動可能以不同機制影響肺部結構與功能。

當空氣污染 (PM2.5) 與太陽、地磁活動交互作用時，對肺功能的負面影響顯著加劇，FVC 與 FEV₁ 下降量分別達 120 與 75 毫升。隨著累積暴露時間越長，肺功能損害愈趨明顯，突顯太空天氣變化與空汙之間的健康風險疊加效應。研究指出，在太陽與地磁活動較強時，黑碳濃度上升與肺功能惡化關聯顯著，FEV₁ 與 FVC 下降量高達 100 與 140 毫升。此結果說明，太空天氣異常可能擴大空氣污染物對人體健康的傷害，特別是在高污染時期對呼吸系統的影響更不可忽視。

科學評估證實地磁風暴能干擾人體生理時鐘、增加氧化壓力，影響內分泌與免疫系統。地磁風暴會抑制褪黑激素的分泌，並引發免疫系統的氧化壓力反應，對肺部功能造成影響。在空氣品質尚可、PM2.5 與黑碳濃度不高的情境下，單一地磁風暴事件可能對一般人影響有限。然而在現代都市環境中，空汙指數高、粒狀污染物持續暴露，當地磁風暴同步來襲時，兩者交互作用將顯著加重肺部危害，特別是對慢性阻塞性肺病 (COPD) 患者或氣喘族群。

結合智慧穿戴裝置與機器學習模型，有助於預測高風險族群在地磁風暴期間的健康狀況。透過分析不同區域的地磁波動資料、氣象數據、空汙濃度 (如 PM2.5、黑碳濃度) 及個人背景資訊 (如年齡、吸菸習慣、BMI 等)，可評估個別民眾在特定條件下發生肺



功能惡化的機率。以 74 歲、具吸菸史中老年人為例，在高 Kp 指數 (>6) 且 PM2.5 濃度超過 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的地區長時間暴露，其肺功能可能下降達 8%，引發 COPD 急性惡化風險。運用機器學習模型可在地磁風暴發生前提供預警，結合跨部門資料與長期觀測(如天文序列或衛星監測)這類預測系統不僅可應用於臨床決策，更可實現個人層級的精準預防，運用監測與評估互動平台建議高風險族群暫避戶外、調整藥物，或啟用穿戴式裝置以監測呼吸與活動狀態。透過 AI 與感測技術的整合，可望建立起對抗宇宙氣象與地面環境交互威脅的健康防護網，保障民眾在宇宙氣象暴露高風險期間呼吸道健康。

以上內容將在 2025 年 6 月 17 日(二) 10:00 am 以線上直播方式與媒體朋友、全球民眾及專業人士共享。歡迎各位舊雨新知透過[星球永續健康網站專頁](#)觀賞直播！

- 星球永續健康網站網頁連結: <https://www.realscience.top/7>
- Youtube 影片連結: <https://reurl.cc/o7br93>
- 漢聲廣播電台連結: <https://reurl.cc/nojdev>
- 不只是科技: <https://reurl.cc/A6EXxZ>



講者：

陳秀熙教授/英國劍橋大學博士、許辰陽醫師、陳立昇教授、嚴明芳教授、林庭瑀博士

聯絡人：

林庭瑀博士 電話: (02)33668033 E-mail: happy82526@gmail.com

劉秋燕 電話: (02)33668033 E-mail: r11847030@ntu.edu.tw