

文/ 林建爭

今年是美國太空總署（NASA）的哈伯太空望遠鏡（HST, Hubble Space Telescope）升空的第三十一週年。哈伯太空望遠鏡於1990年4月24日發射升空，截至目前為止，該望遠鏡已經對約48,000個星體進行了超過150萬次的觀測。雖然哈伯太空望遠鏡的軌道高度受到太陽活動極大期影響而衰減降低（如圖1所示），不過在這三十一年間有執行兩次維護任務讓該軌道推升一些，使該望遠鏡能夠持續穩定地繞行地球18萬多圈，總計約72億公里，這個長度超過了地球與天王星來回的距離。哈伯太空望遠鏡觀測的資料讓科學家們發表了一萬八千多篇科學論文，其中有九百多篇於2020年發表，目前資料大小已經超過了169TB，可供當代和未來的研究人員使用。

宇宙射線收集員 哈伯太空望遠鏡



哈伯太空望遠鏡 © ESA

三十多年來，哈伯太空望遠鏡一直站在天文研究的前沿，其光學影像往往令人嚮往深太空之奧妙。不過，其實哈伯太空望遠鏡也不斷的被宇宙射線撞擊，最近就有天文學家利用該望遠鏡的資料，研究隨著磁場流動的宇宙射線與地磁的關係（見圖2地磁想像圖），該最新研究發表在近期的《天體物理學期刊》中。宇宙射線並非傳統的電磁輻射線，其本質其實是質子、原子核、電子等高能粒子，關於宇宙射線《臺北星空第36期》有專文介紹。宇宙射線（或高能粒子）遍佈太陽系的每個角落，其來源有可能是超新星爆炸或噴流，另外太陽風、太陽閃焰也會產生一些低能量的宇宙射線，目前觀測到的宇宙射線能量最高有 3.2×10^{20} 電子伏特（約51焦耳，相當於一顆時速100公里棒球球的動能）；然而，大多數宇宙射線並沒有如此極端的能量，大部分宇宙射線的能量分佈在 3×10^8 電子伏特（約 4.8×10^{-11} 焦耳）。

宇宙射線在有磁性太陽風的影響下進入太陽系，許多宇宙射線甚至能到達地球，威脅太空人、破壞人造衛星、並影響大氣的化學組

成。他們也是每個天文學家的夢魘，無論地面望遠鏡或太空望遠鏡都無法避免宇宙射線的衝擊，當這些高能粒子穿過相機時，它會在觀測的影像上留下清晰明亮的痕跡。因此，去除宇宙射線的污染經常是天文學家分析資料的步驟之一。

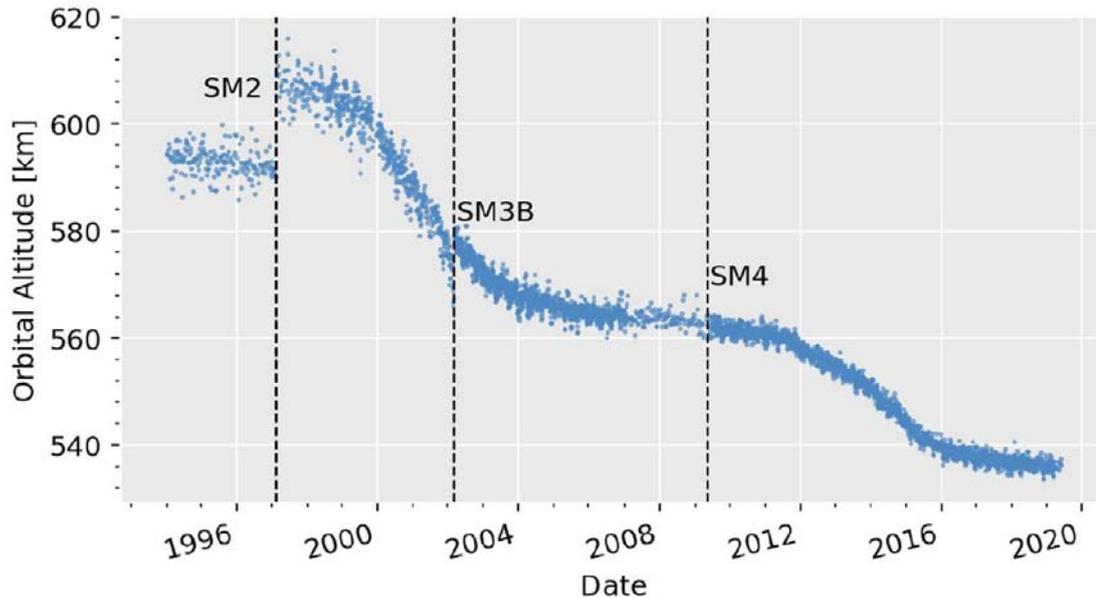


圖1. 哈伯太空望遠鏡的軌道高度隨時間變化分布圖。垂直虛線表示執行增加或移除儀器的維修任務（Service Mission）年份，為了補償哈伯太空望遠鏡的軌道逐年衰減，NASA曾經推升哈伯軌道兩次：一次在SM2，另外一次在SM3B。哈伯太空望遠鏡的軌道會受到太陽活動極大期的影響，太陽活動增加的同時也會提高地球增溫層（Thermosphere）的密度，該層從距地面60公里處延伸到750公里高，介於此軌道範圍的哈伯太空望遠鏡也因阻力增加使得軌道高度衰減加速。（圖片來源：<https://arxiv.org/abs/2006.00909>）

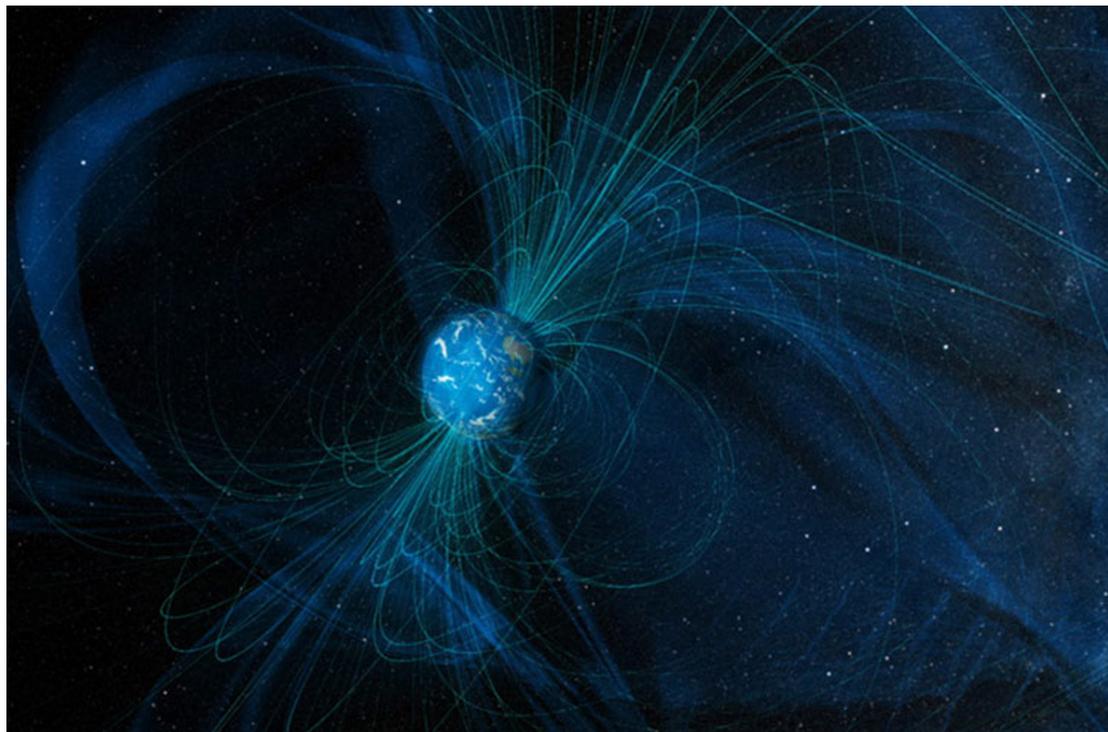


圖2. 地球磁場的想像圖。© NASA

不過一個人的垃圾，有時候卻是另一個人的寶藏。來自美國太空望遠鏡科學研究所（Space Telescope Science Institute）的 Susana Deustua 博士就認為宇宙射線對於研究磁場有其重要性。她提到：「在約五或六年前一個關於太空天氣的會議上，我們來自不同國家的天文學家、粒子物理學家和行星科學家，突然蹦出了關於宇宙射線與地球磁場相互作用的研究計畫，我們知道哈伯太空望遠鏡無可避免地在其相機上會偵測到宇宙射線，因此理論上我們應該能間接從 HST 的觀測資料裡挖出地球磁場的資訊。」

Susana Deustua 博士帶領的研究團隊從哈伯太空望遠鏡資料庫裡挖掘出大量的檔案，他們首先找出一批適合他們研究計劃的校正影像，最後從過去 25 年的資料裡收集到了近十萬張影像。事實上，從天文影像中尋找和去除宇宙射線軌跡的演算法已經存在了幾十年；不過該團隊的目標不是移除這些宇宙射線的痕跡，而是盡可能的了解每條宇宙射線痕跡的特徵。該團隊在美國加州大學

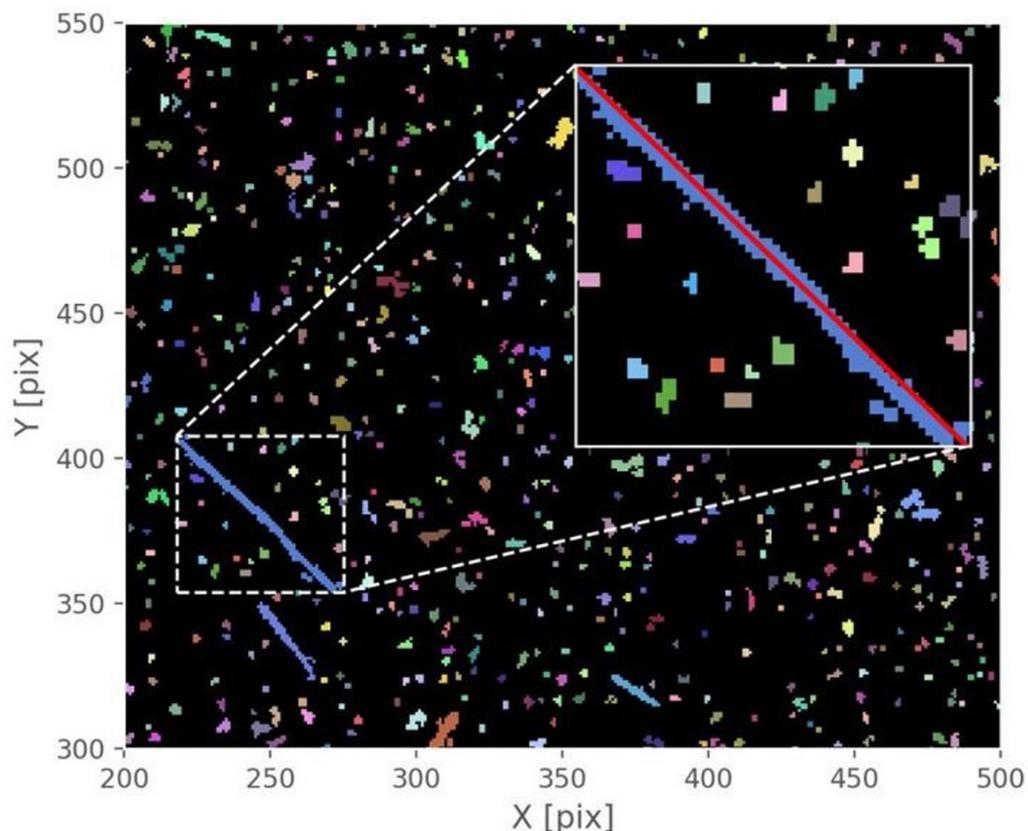
的研究生 Nathan Miles 進一步解釋：「我們想知道每條宇宙射線影響了相機上多少像素，以及這些高能粒子在此過程中損失了多少能量。」Nathan Miles 因此開發了擷取此類資訊的軟體，他使用雲端設備來執行耗時的計算，最終從影像中收集了超過 10 億條宇宙射線的資訊，如圖 3 所示。

從哈伯太空望遠鏡收集到的宇宙射線經過該團隊分析，其特性和 PAMELA 團隊探測到的特性一致，此初步結果令該團隊相當滿意。PAMELA（Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics）是一項太空任務，致力於尋找原生反物質和暗物質湮滅信號、研究銀河系中宇宙射線的加速和傳播機制、長期監測被太陽調節後的宇宙射線、來自太陽的高能粒子的測量、以及地球周圍的輻射環

境。PAMELA 於 2006 年 6 月 15 日發射，是第一個運用衛星作載體的磁譜儀望遠鏡，PAMELA 收集了十年的資料，直到 2016 年任務結束。

Susana Deustua 博士團隊也在他們的分析結果中發現南大西洋異常區（South Atlantic Anomaly），如圖 4 紫色曲線內磁場強度小於 18 微特斯拉（ $1 \mu T = 1000 nT$ ），該區是地球上地磁最弱的一塊區域（地磁平均約為 25~65 微特斯拉）。他們亦觀察到宇宙射線峰值的變化與太陽活動週期一致，然而當太陽活動劇烈時會造成宇宙射線更分散，使地球接收到的宇宙射線通量減少，此結果間接證實哈伯太空望遠鏡所收到的宇宙射線大多是來自太陽系外的銀河宇宙射線（galactic cosmic rays）。註：關於太陽活動週期《臺北星空第

圖 3. Susana Deustua 博士研究團隊偵測到的宇宙射線軌跡圖之一。宇宙射線軌跡具有不同的形狀並影響相機上不同數量的像素，右上圖是放大左下虛線框裡的宇宙射線軌跡，紅色線是軌跡長度跟方框對角線等長。（圖片來源：<https://arxiv.org/abs/2006.00909>）



100期》有專文介紹。

雖然到目前為止只是初步分析的結果，該團隊相信等哈伯太空望遠鏡完整資料釋出之後，我們對於銀河宇宙射線、太陽和地球環境之間的關係，必然會有更進一步的認識。

參考資料：

<https://hubblesite.org/>

<https://arxiv.org/abs/2006.00909>

林建爭：美國夏威夷大學天文研究所、泛星計畫博士後研究員

王品方校稿：美國夏威夷 專案文物修復師

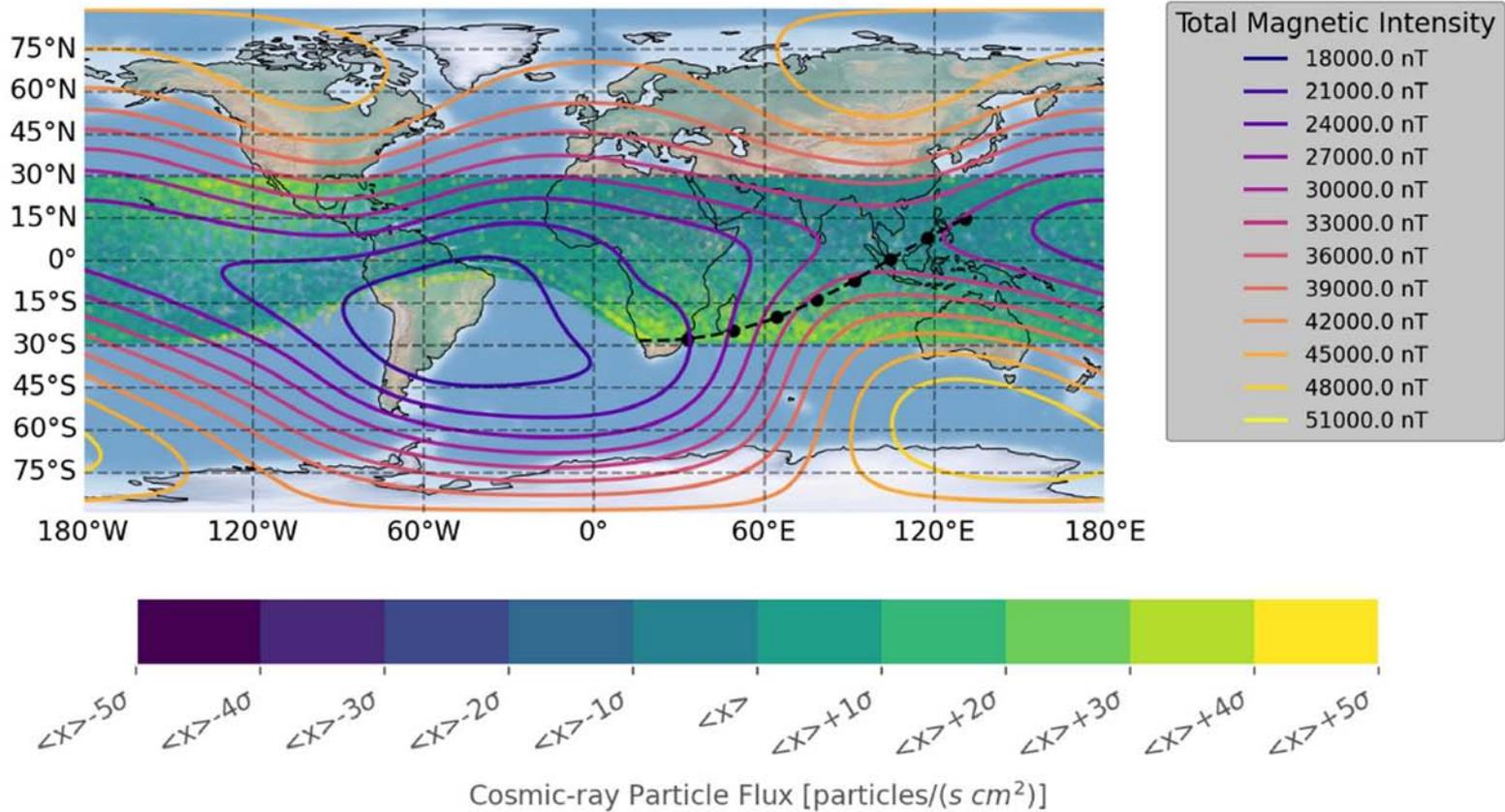


圖4. 宇宙射線粒子通量與軌道位置分布圖。圖中介於南北緯30度的每個點是觀測積分時間超過 800 秒的觀測值，下方顏色表對應觀測到的宇宙射線粒子通量，其中平均值是 $\langle x \rangle$ ，標準偏差是 σ 。黑色虛線表示積分時間超過 2000 秒的軌跡，黑點標記出每250秒的間隔。(圖片來源：<https://arxiv.org/abs/2006.00909>)

YouTube相關影片：



自製雲霧室收集宇宙射線
<https://www.youtube.com/watch?v=xky3f1aSkB8>



模擬 Eta Carinae 發射宇宙射線
<https://www.youtube.com/watch?v=B4PwWDNc9qM>



宇宙射線如何幫助我們了解宇宙
<https://www.youtube.com/watch?v=91801Y1IsCg>