



# 成大的太空科學探索

成大地科系 \ 林建宏

圖6 SpaceX Falcon-Heavy 側火箭回收返回地球的情形，火箭回收化不可能為可能是激勵我們的最好範例。

## 臺灣接觸太空的起源

我國自1999年發射第一顆人造衛星開啟第一期15年太空計畫後，陸續發射了福爾摩沙衛星二號、三號共三個衛星任務，15年完成三個衛星任務看似不多，但是每個卻都是擲地有聲的衛星任務系列，三個任務分別都開創了太空新頁。飛行在約600公里高度的福爾摩沙衛星一號（福衛一號）搭載的「電離層電漿電動效應儀」提供了國際上難得的低緯度電離層電漿小尺度擾動觀測、並且可以準確的量測電離層電場，發射之後很快地就擄獲太空科學家的心，紛紛來探尋使用福衛一號資料的可能。電離層是起始於90公里高度並向上延伸至1000公里高，正好位於人類定義太空地表

以上100公里高度的起始邊界，電離層電漿密度的變化會影響人造衛星傳至地球用以通訊或是導航定位的無線電訊號，是太空「天氣」影響人類生活的重要因素之一，臺灣位於低緯度，是電離層電漿密度最大的區域，因此電離層對於臺灣附近的衛星通訊、導航定位都有遠高於其他區域的影響。福衛一號任務期間是1999-2004年，當時每個月、甚至每兩週就有太陽風暴襲擊地球，因此科學家希望藉由能快速橫跨世界各地低緯度地區並提供精準電離層量測的福衛一號觀測，進一步研究為什麼電離層會變化如此快速且劇烈？當太陽風暴經由南北兩極襲擊地球時離極區最遠的赤道與低緯度地區的電離層卻是

反應最激烈的！赤道上空電離層電漿能夠經由電磁場效應傳輸數千公里到達南北兩極並脫離地球往外太空傳輸！福衛一號的電離層電場量測提供了關鍵證據讓研究人員能夠掌握這些難以想像的變化，因此當福衛一號退役後，美國太空總署(NASA)的研究人員甚至希望福衛一號的資料可以永遠存放在NASA的資料庫中，甚至現在距離福衛一號退役已經超過15年的2019年仍有不少研究人員持續使用福衛一號觀測，發表一篇篇重要的研究論文。

**成功大學與太空的第一次接觸** 接在福衛一號後於2004年發射的福衛二號是臺灣第一個遙測影像衛星，因為衛星軌道的關係，

## Discovery of Gigantic Jet

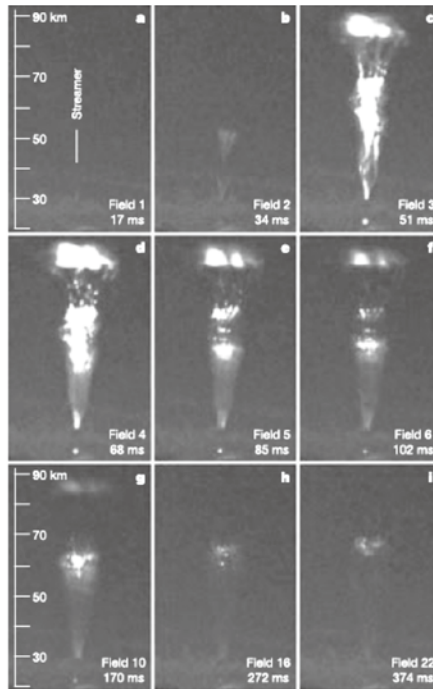
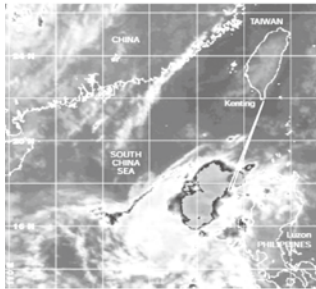


圖1 成大高空閃電團隊發現太空閃電-巨大噴流-發表在 Nature 的研究成果，相機系統往臺灣南方對流雲系上空觀測，發現此一新型態太空閃電。

福衛二號每天在同一時刻忠誠的再訪臺灣上空拍照，一幅幅驚豔的衛星照片讓國人對於福衛二號再熟悉不過了，但較少人知道的是，福衛二號彷彿像一位認真工讀的研究生一樣，白天工作（拍照），晚上則熬夜作科學研究。用的是高解析度、高靈敏度的相機，能夠在閃電發生時自我啟動快速曝光拍攝，在全球各地捕捉一幅幅高空閃電的照片，除了閃電，也順便拍拍低緯度電離層電漿發出的淡淡紅光、綠光以及南北兩極閃耀動人的極光。什麼是高空閃電？為什麼要拍高空閃電？我們一般在地面看到雲對地的閃電是藉以平衡地表與雲層電位差的自然放電現象，但是如果把全世界的閃電放電總量加在一

起卻無法與雲、地間的電位差達到平衡，表示大自然有另外一個我們不清楚的放電過程，這一部分來自於由雲層上方到達太空邊緣的高空閃電（也可以很絢麗的稱為「太空閃電」，較為人知的「紅色精靈」其實也是高空閃電的其中一類）並沒有被好好的加總在閃電放電的計算裡。福衛二號的任務就是在人造衛星上裝上太空閃電偵測器，希望觀測、統計全世界太空閃電的數量與全球分佈，希望藉此更了解全地球電流環流系統或稱為大域電路。這個重要的科學任務就是成大開始太空科學研究的起點，物理系從事光學、固態物理、廣義相對論、天文的教授、博士後研究員們放下原本熟悉的研究領域，重

新開始研究起衛星光學儀器、大氣電學、太空閃電，並且在衛星發射前的先期研究期間即藉由地面觀測系統發現了新的太空閃電類型，一種前所未見的巨大太空閃電-巨大噴流第一次被成大團隊觀測到（圖1），這種新的巨大太空閃電產生的放電現象在過去因未曾被發現而未被加入全球電流環流系統的估算，成大團隊的發現因有利於更準確掌握電流環流的總和以及發現新型態高空閃電，因此受到極大的重視，福衛二號發射後也進一步突破的得到首張全球太空閃電分佈圖，證明福衛二號的科學重要性。自此，成功大學正式成為參與太空科學探索的重要大學，並進一步藉由2006年發射的福衛三號而與太空科學難分難解。

### 更全面性的太空參與

國內知名度遠不及福衛二號的福衛三號其實是我國在國際上最具能見度的衛星任務。福衛三號大有來頭，是世界上第一個六顆微衛星星系搭載全球定位系統（GPS）接收機的太空任務，利用接收GPS訊號在大氣、電離層產收訊號偏移而估算電離層電漿密度與大氣溫度是福衛三號的觀測原理，這種觀測原理因為當福衛三號就算被地球擋住也能繼續在地球背面接收GPS訊號而稱為「掩星」觀測。「掩星」是因為GPS衛星訊號被地球遮掩而無法直視福衛三號，因此得其名，但是即使被遮掩了，仍因為訊號被大氣、電離層介質偏折而能被

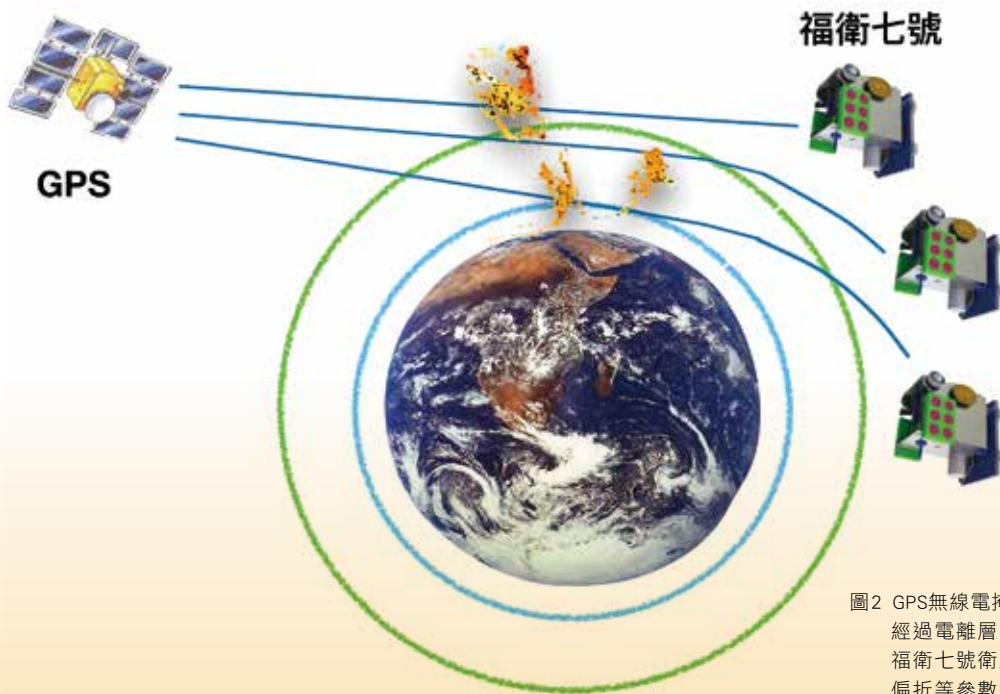


圖2 GPS無線電掩星觀測原理，GPS發射訊號，經過電離層、大氣偏折而讓被地球遮掩的福衛七號衛星接收觀測訊號，並利用訊號偏折等參數變化推算大氣溫度、濕度、以及電離層電漿密度。

福衛三號觀測而稱為「掩星觀測」（圖2）。這種無線電訊號掩星觀測最早被利用於觀測金星、火星大氣。當人造衛星抵達金星或火星等行星軌道後，在行星的背面接收地球發出的無線電訊號，進而利用訊號偏折角度的大小推算行星大氣密度，此一無線電掩星技術是1970年代最驚人的行星探測技術，後續的火星任務得以更深入靠近火星地表，甚至登陸火星就是仰賴掩星觀測所提供的火星大氣密度分佈。

掩星技術應用於地球，在靠近地球的低軌道衛星上搭載GPS接收機並與GPS衛星進行掩星觀測時，因為可以充分掌握GPS軌道等參數可以很精準的推算出電離層電漿與大氣溫、濕度隨高度變化，這是過去很少有的觀測，也因為精準度高以及過去從所未有，因此以天氣預報而言，全世界每天有1600萬筆觀測資料進到天氣預報系統，福衛三號僅提供約2000筆

資料，但卻足以在這這1600萬筆各式觀測中達到位居前五名的重要的地位，並且一舉修正了全世界最具公信力的歐洲中期天氣預報系統(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的基礎預報誤差，歐洲天氣預報中心的研究員甚至在會議中表示「目前世界上各種天氣觀測都已經到達極限，只有GPS掩星觀測仍具有無窮的潛力！」此一註解說明了為何福衛三號發射後，全世界的氣象學家都知道這一個特別的衛星認為，而美國海洋、大氣總署 (NOAA) 也在發射後不久前來與臺灣洽談福衛七號的合作。

福衛三號在太空天氣任務上則是扮演拓荒者的角色，前面提到距離我們最近的太空邊界-電離層-對於我們的高科技生活（導航、通訊）有重要的影響，但是我們要知道電離層電漿結構卻必須等待至少兩

天後才知道今天的電離層結構！因為在當時幾乎沒有任何即時的電離層觀測，要等兩天才能收集世界各地的電離層觀測，而拼湊出全球電離層圖讓專業GPS使用者評估電離層對於GPS導航定位的誤差。因為連監測現在的「現報」都作不到，更遑論預報未來！福衛三號發射後，首先，過去完全沒有觀測的海洋上空陸續可以得到電離層觀測，每一筆福衛三號紀錄的觀測在三小時後可以回傳到使用者手上，並且毫無保留的公開給全世界的研究人員，據此我們發現了各式各樣的

過去未知的新型態電離層電漿結構，更進一步發現原來會影響電離層的除了太陽風暴之外，還包含了地表附近的天氣系統。傳統上認為產生地表氣象變化的對流層（約為地表至15公里高）產生的各式擾動因為大氣的過濾效應，無法穿透約為50公里高的中氣層(mesosphere)並傳播至電離層，但是福衛三號發射後，有越來越多的觀測與理論提出地表的天氣擾動與電離層電漿之關聯性，福衛三號的全球觀測進一步確認這個關聯性的推論，讓研究人員確立「地面天氣的確會影響

太空天氣」的立論，後續研究人員為了能夠更完整的預測電離層，紛紛建立「全大氣模式」，模擬範圍從地面一直延續到數百公里高的電離層，為了驗證模式的正確性，福衛三號觀測成為最佳的模式驗證利器。但是這仍然與太空天氣預測有著一段不小的距離，因為電離層受太陽影響變化快速，從衛星接收觀測到傳遞給預報模式不能超過一個小時！

### 開啟太空天氣預報的新頁

福衛三號任務的三小時資料傳遞時間符合天氣預報作業標準，即在觀測後必須在六小時內傳遞，但是這個規範在電離層卻不適用，因為從來沒有確切的研究結果告訴我們該在多短的時間內傳輸完成方能對預報系統有正面影響。在規劃福衛七號的時候，美國海洋大氣總署的研究人員根據電離層尺度估算，認為需要15分鐘內回傳，但這基本上是有執行的困難，因為衛星進行觀測後儲存的資料必須在與地面指令站對接後方能下傳到地面的資料中心，再由網路傳至資料庫並提供給預報模式，然而低緯度、低軌道的衛星90分鐘繞地球一圈的飛行週期內涵蓋極廣大的地球範圍，而且大部分是海洋與渺無人跡的陸地，因此必須在世界各地建立成本極高的衛星接收站才有可能達到15分鐘回傳觀測資料的要求，成大團隊根據成大太空天氣測報模式研究發現30分鐘內回傳觀測

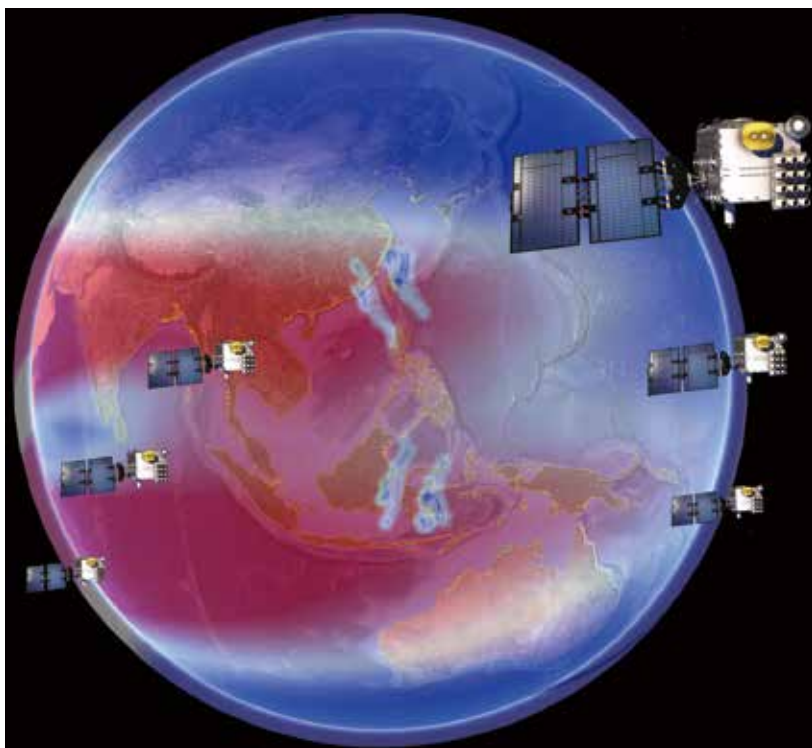


圖3 福衛七號是目前世界上唯一能提供電離層觀測進行太空天氣預報的衛星任務，臺灣上空有著最大的電離層電漿密度（粉紅色階）以及電漿擾動（樹枝狀暗紋結構），對於衛星通訊、導航定位有很大的衝擊。

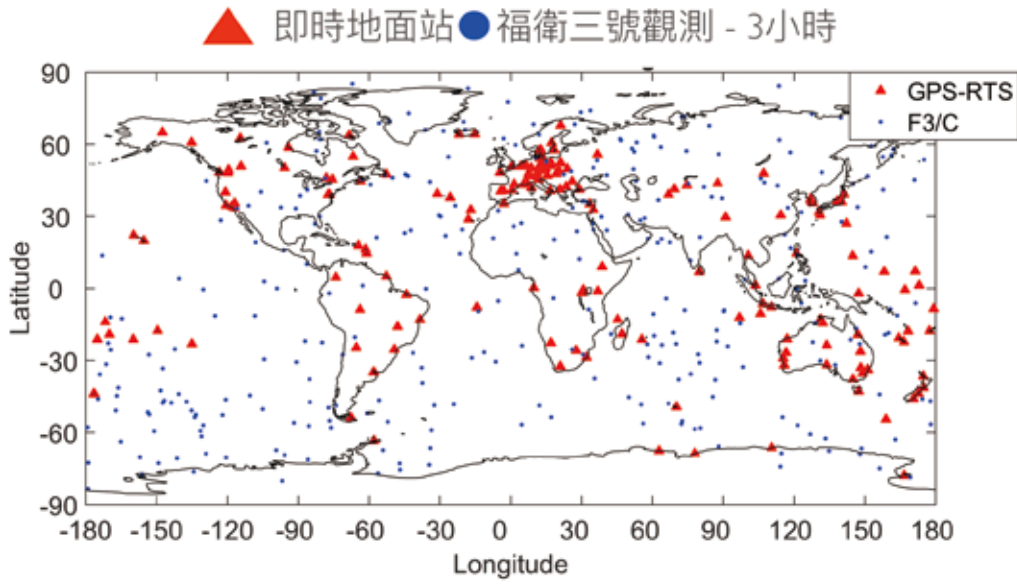


圖4 福衛三號在3小時內的全球觀測（藍點）以及地面GPS接收站提供即時觀測的位置（紅三角），顯示福衛三號填補了海洋、大範圍陸地上空的觀測空缺。

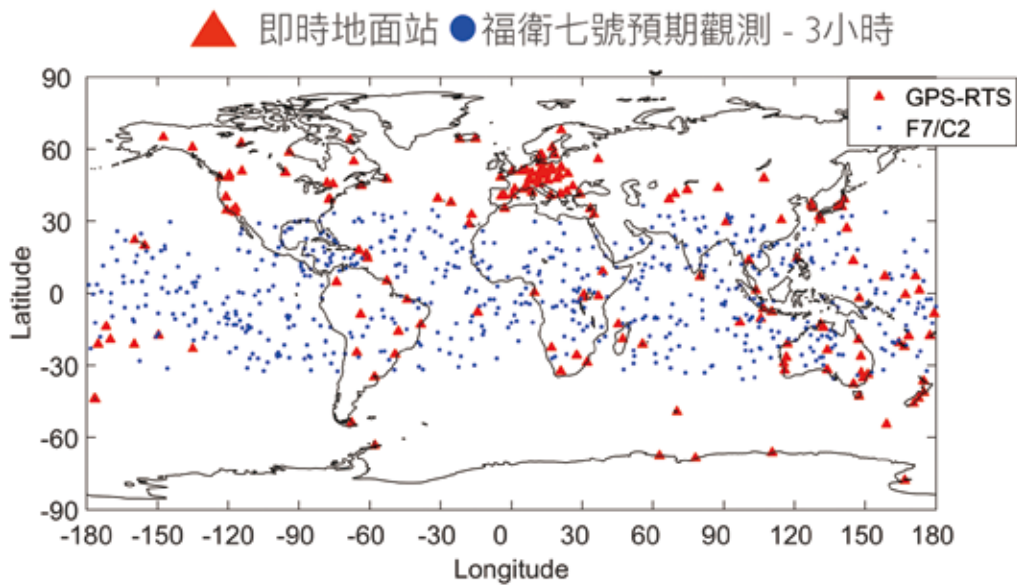


圖5 福衛七號在3小時內的全球觀測（藍點）以及地面GPS接收站提供即時觀測的位置（紅三角），顯示福衛七號在低緯度有更密集的觀測。

