

合作的太空天氣研究 南瀛天文教育園區 成功大學與

成功大學地球科學系／林建宏

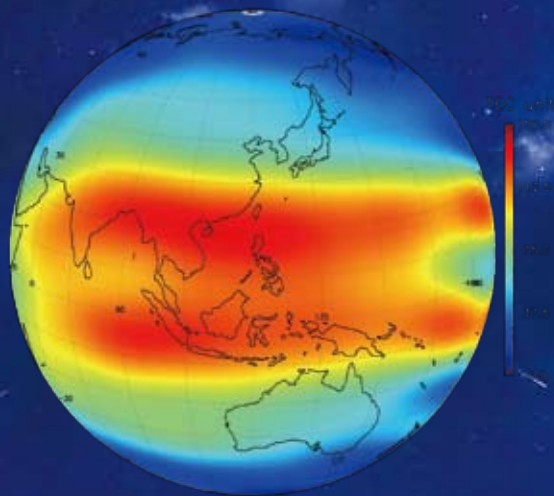
南瀛天文教育園區／張敏悌

成功大學地球科學系／林佳廷

臺南上空的太空天氣

成功大學座落於臺南這個位於北回歸線南邊的溫暖城市，有著迷人的海岸與豐富的虱目魚、蚵仔等海鮮，也因為位於臺灣的西南海岸邊，夏季受到西南風影響偶有旺盛的對流系統，讓我們有豐富的夏季天氣變化，以及在校園內就可拍攝到的高空閃電(紅色精靈)，除了這些肉眼可見的天氣、閃電系統之外，位於我們頭頂上空大約300公里高度則有另一個旺盛的「電漿」對流系統，這個對流系統把地磁赤道上的電漿(約每立方公分有20萬顆帶電粒子)以每秒百公尺的速度，如噴泉般的把電漿傳輸到赤道兩側，此一系統更精準一點的說，是一個赤道電漿噴泉系統。

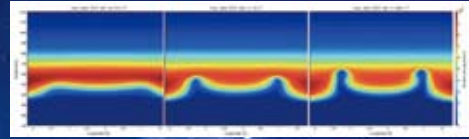
電漿噴泉系統帶給我們的是最大的電漿密度聚集區(圖一)，這個大電漿聚集區域位於地球的地磁赤道(在臺灣這個經度面上，地磁赤道約在地理緯度9度位置)的兩側約地磁緯度南北15度的位置上空，並於每天白天開始發展、到了下午此噴泉系統可以聚集最多的電漿。由圖一可看到，臺灣上空的最高電漿聚集區大約在臺南以南的上空，此一強大的電漿聚集所產生的效應，是對藉由發射電磁訊號的GPS定位系統產生定位誤差，因為這些太空電漿有著小於1的折射指數，使得GPS衛星發出的超高頻(Ultra High Frequency, UHF)電磁訊號「向外」偏折而



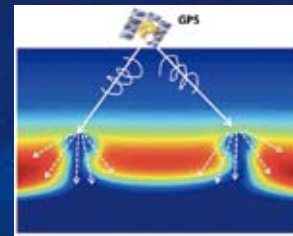
圖一、電離層電漿噴泉效應產生的高密度電漿聚集區域位於地球地磁赤道兩側約地磁緯度15度位置，臺灣位於北半球電漿聚集區內。

多走了一段路程，因而造成定位的誤差，我們一般把這種誤差稱為「電離層延遲」，因為電漿噴泉系統所在的位置正是地球的電離層，電離層電漿讓GPS訊號多走了一些路程，造成訊號的「延遲」。

到了夜晚，雖然電離層電漿噴泉效應漸漸消散，但是太空天氣效應可還沒有結束，藉由地球磁場支撐的電漿，由於呈現電漿密度越往地球上空密度越大的分布，猶如將密度較大的水放置於密度較小的油之上，而可呈現不穩定狀態，此一不穩定狀態(上重下輕：或是高密度在上，低密度於下)如果遇到一些小擾動，例如低層大氣的雷雨系統產生的大氣波動擾動，就有可能產生如圖二之電漿不穩定現象，並形



圖二、上重下輕的電漿密度分布(紅色顯示較大電漿密度，藍色則為較小電漿密度)容易產生電漿不穩定現象而發展出垂直向上的電漿泡，此圖為理論模式於地磁赤道模擬結果，顯示電漿泡發展過程(由左至右分別為20:45、21:10、21:20 當地時間、縱軸為高度，100-1200公里，橫軸為±5度經度)。



圖三、卡通示意圖顯示GPS等人造衛星發出的電磁波傳播至電漿泡時容易產生不規則散射，造成訊號衰減或是失鎖。

成電漿密度較低而呈現如氣泡般的電漿泡。

電漿泡裡的電漿密度可以是週遭電漿密度的百分之一或甚至更低，由於電漿泡內電漿密度較低而與週遭電漿密度有很大的落差，又因為電磁波的折射指數與電漿密度成反比，因此由人造衛星傳送至地球表面的電磁波，傳播經過不規則的電漿泡時，會產生不規則的散射(如圖三卡通圖所示)，造成電磁波訊號的衰減，因此位於我們上空300公里高度的電漿泡會造成人造衛星通訊訊號的衰減，讓我們的衛星電視、電話在夜晚時產生偶有失靈的現象，電漿泡也會讓GPS衛星發出的電磁訊號產生大幅度的衰減、失鎖，而讓GPS定位變得很兩光。

為了能夠知道何時衛星通訊會被電漿泡影

響而收不到訊號、何時手中的GPS接收機能夠誠實無欺的定位，太空科學家利用了雷達、人造衛星（例如我國的福爾摩沙衛星一號）等先進觀測儀器進行相關觀測研究，而另一個強大的觀測儀器則是大氣輝光觀測。地球大高層大氣會發出各種光芒，在夜晚正好可以利用觀測這些發光來估算大氣的變化，如圖四顯示的是國際太空站太空人以 Nikon 相機拍攝的大氣輝光，可以看到，在最上面的發光主要是紅光，再來是薄薄一層的綠光與黃光。紅光主要分布在150-300公里高，來源是氧分子與氧離子作電荷交換後產生氧原子，由激發態降階至基態而發出的紅光（波長約為630.0 nm），紅光常被用來推估電漿密度的分布。紅光之下的綠光則是分布在較窄的高度範圍(80-110公里)，但是卻有著很大的發光強度，綠色輝光是因為氧原子與氮、氧分子交互作用而發光，由於綠光的發光位置是高層大氣波動最顯著的地方，該光譜常被用來觀測因為地形、山脈、地震、天氣擾動產生的大氣重力波。綠光之下最低的一層則是黃光（50-80公里），發光的原因是流星上剝落的鈉原子受激發後而發出的光芒。

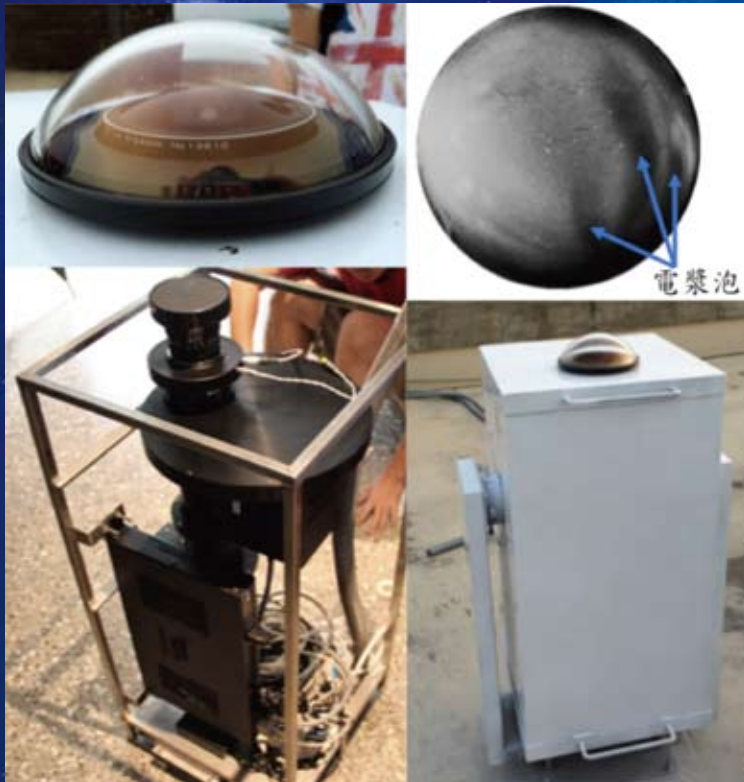
因為這些輝光都氧離子、原子、鈉原子的密度有關，我們可以藉觀測輝光強度推估大氣化學成份的密度。例如150-300公里高度的紅光與氧離子有關，我們可以藉由觀測紅光強度

與分布得知該高度範圍內氧離子的密度與分布，且由於在這高度範圍，電漿的主要成份為氧離子與電子，而電漿的定義是離子總數等於電子總數，因此我們可以藉由觀測紅光的強度分布知道氧離子的密度與分布，進而推估電漿的密度與分布，圖四中可以看到在圖的右邊有某些區域有著較暗的條紋帶，這些暗紋帶就是電漿密度較低的區域，也就是圖二、三所顯示的電漿泡結構。

經由圖四，我們發現大氣輝光觀測可以提供給我們電漿泡的空間分布，讓我們知道哪些區域上空會有電漿泡這種不規則電漿結構存在，使得人造衛星訊號傳輸受到影響。國際太空站上太空人以商用Nikon相機拍得的結果受到學界很大的迴響，因為沒想到一般市面上買得到的單眼相機也可用來作科學觀測研究，但是因為不是每位科學家都有機會搭乘國際太空



圖四、國際太空站太空人持Nikon相機拍攝之高層大氣輝光，最上層紅光為氧離子與氧分子作用產生(150-300公里高度)，中間的綠光為氧原子與氮、氧分子作用產生（80-110公里），底層黃光為常見的鈉原子光譜，源自於流星（50-80公里）。電漿泡可見於圖右邊紅光較暗區域。



圖五、輝光照相機（左下）、廣角魚眼鏡頭與保護罩（左上）、照相機保護外殼（右下）、以及觀測的紅光輝光(630.0 nm)與三個電漿泡暗紋帶（右上）。

站，或委託太空人拍照，而且國際太空站每天繞地球14圈不斷的移動，對於想要持續觀測同一地點之大氣輝光或電離層電漿泡的科學家而言，並不是一個很好的觀測選擇，因此在地面上架設輝光照相機，還是一個較合適的選項。圖五顯示的是我們的輝光照相機裝置以及所拍攝到的電漿泡。為了能夠拍攝較大範圍，一般輝光照相機是使用視野較大的廣角魚眼鏡頭，搭配CCD 感光元件，以及觀測特定頻段的濾光鏡，並以較長的曝光時間得到較大的輝光強

度。圖五右上角即為我們以紅光(630.0 nm)波段觀測得到臺灣上空的輝光分布（較亮區域）以及電漿泡區域（暗紋帶）。為了保護輝光照相機，我們設計了一個鋼鐵保護架，並連接空調系統使得CCD感光元件以及控制曝光時間的電腦能夠連續不間斷的在工作溫度進行拍照，長期觀測的電漿泡分布、生成時間等紀錄，以協助我們建立一套電漿泡預報系統，作為太空天氣預報的部份產品。

與南瀛天文教育園區結緣

由於電漿泡的生成與電離層電漿密度有關，而且地磁赤道的磁場結構（水平的磁場方向）對於電漿泡生成有利，因此電漿泡大多由地磁赤道開始發展，並逐漸往圖一所示之南北電漿噴泉區域移動，因此臺灣上空屬於電漿泡旺盛發展的區域。我們希望利用這套費時三年建立的輝光照相機好好的觀測臺灣上空的電漿泡發展，那麼哪裡是好的觀測地點呢？成大的航空太空研究領域在國內享有盛名，既然是太空天氣研究，於是我們就天真的想把機器架設在位於歸仁的航空太空實驗場，這種想法在我們餵了一個晚上蚊子後得到覺醒，光害程度比想像中嚴重許多，於是我們轉往安平海邊嘗試，後來又發現臺南市政府貼心保護市民安全的路燈的確不利大氣輝光觀測，於是我們把腦筋動到天文觀測站，因為他們跟我們一樣必須躲開光害，他們要看距離我們遙遠的星星，我們則必須捕捉大氣那一抹淡淡的光輝。

2012年當時我們發現臺南有一個已經開放5年的天文觀測館，該館開放後仍陸續增建，並在當時準備正式開幕為天文教育園區，這個特別的地方有個夢幻的名稱，「南瀛」天文館。更進一步瞭解南瀛天文館的發展原委，我

們發現該館是當時的臺南縣長結合縣內天文愛好者一起完成的夢想，巧合的是找尋地點時最適合的位置是屬於當時大內鄉內北天宮廟的土地，在北天宮主祀，主管北極星的北極玄天上帝應許下，順利在該地點建址。從國內自主設計、平地最大的76公分口徑牛頓反射式望遠鏡觀測宇宙星體早期狀態(圖六)，到白天觀測太陽、夜晚觀測行星、星雲的BRC 250望遠鏡，以及太陽系行星教育展覽，南瀛似乎是一個以觀測與提供太陽、太陽系行星科學教育為主題地方，與我們觀測地球太空天氣的目標一致。

很快的我們就得到南瀛天文教育園區研究人員的正面回應，並在南瀛研究員的陪伴下進行了幾次一夜未眠的觀測，嘗試觀測期間，我們站在天文觀測館的屋頂、露天迴廊下，在準備安裝輝光照相機時夕陽下，看到園區週邊美麗的泥岩地形，在深夜裡眺望寧靜的星空與清新的空氣，當然，也看到圖五所示的電漿泡結構（三個暗紋帶），這幾個電漿泡結構位於在臺灣東南方上空，並隨著高層大氣風場，逐漸往東漂移，我們把這結果與其他觀測比較，確認其為電漿密度較低區域，可能產生電磁波訊號的衰減影響。



圖六、南瀛的觀測主力，76公分口徑牛頓反射式望遠鏡。

南瀛天文教育園區長期合作

與南瀛團隊有了成功的初期合作後，我們想看看大氣輝光與電漿泡一年四季的變化情形，也想瞭解太陽活動的影響，當然更想看看太陽磁暴效應的影響，因此必須將輝光照相機長期架設在南瀛的天文觀測館，在南瀛研究員的協助下，從2014年開始我們的儀器變成天文觀測館屋頂的另一架觀測儀器，我們的研究人員只要在成大的實驗室遠端遙控開啟相機，並調整曝光時間，隔天就可以收到一幅幅輝光影像，以進行進一步的研究。在很快的將來，我們的觀測結果也有機會變成南瀛天文教育園區展覽的一部份，以「Dagik Earth四次元數位地球儀展示系統」呈現觀測與太空天氣研究結果，成功大學的學生可以在校園控制照相機，進行太空天氣研究，當然也可以到南瀛擔任志工貢獻在學校學系的天文與自然科學知識。2014年5月成大理學院更進一步與南瀛天文教育園區簽訂合作協議，我們的合作又更進一步了！