臺日探索太空天氣的新里程—ERG 衛星任務

太空與電漿科學研究所 / 談永頤、張滋芳、江致宇

倒數一分鐘，倒數三十秒，倒數十秒，五、四、三、二、一，在眾人齊聲的倒數聲中，ERG衛星在Epsilon-2火箭的推進下，緩緩地向外太空前進，如圖1所示。此時在日本內之浦太空中心的現場觀眾及工作人員，無不響起熱烈的掌聲，為這次的成功發射喝采。在經過37分鐘的等待後，地面接收站收到由衛星傳回的訊號，顯示太陽能板已順利展開並運作正常，這也正式宣告ERG衛星圓滿完成發射與入軌任務。在此同時，臺灣除了派往日本的人員緊盯整個過程外，臺灣的參與團隊也在成大校內舉辦了現場直播派對，見證這歷史性的一刻，這一天就是我們參與日本ERG衛星計畫多年來最重要的日子，2016年12月20日。

細說從頭—背景介紹

近年來各國政府與私人商業機構不斷地將觸手伸往外太空，在大量的金錢投資與推陳出新的做法下，宇宙探索的進展正以相當驚人的速度前進。而臺灣在國際間是個小國，以目前的國力，無法單獨負擔探索太空所需的花費，但我們一直以來都有著很好的科技與科學能量，不該缺席也不該放棄參與這時代演進的機

圖1. Epsilon-2火箭搭載ERG衛星升空。

圖2. 臺日雙方貴賓出席ERG衛星計畫合作簽約儀式。

會，需要採取更積極主動的態度去爭取機會，因此利用國際合作模式就是我國應採取的最佳途徑，利用極低的預算加入先進國家具前瞻性的衛星計畫，並參與製作其中的部分科學儀器以累積實作經驗。就在這樣的策略下，中央研究院(AS)與國立成功大學(NCKU)在長達一年的努力下，終於在2014年年初促成了臺灣與日本宇宙航空研究開發機構(JAXA)達成協議並完成簽約(圖2)，在臺日太空與天文界的重量級貴賓觀禮下，由時任中研院院長翁啟惠院士代表我方與日本簽約。臺灣方面招集了幾位有電漿量測儀器製作經驗和太空電漿科學背景的研究人員組成臺灣ERG團隊，正式加入日本ERG衛星計畫，並負責該計畫中用於量測低能量電子分佈的科學酬載(LEP-e)的開發製作與後續資料分析工作。

ERG衛星全名為Exploration of energization and Radiation in Geospace，上面搭載了量測不同能量範圍的電子和離子酬載，LEP-e就是當中的一項儀器，另外也搭配了量測波動特性的電場和磁場探測儀器，而衛星主要任務是要探索地球磁層(magnetosphere)內的輻射帶(radiation belts)，了解輻射帶內電漿粒子與波動之間的交互作用，並進一步探討相對論性高能粒子是如何產生及消失，期望能從中發掘關鍵性的證據。地球輻射帶也稱為范艾倫輻射帶(Van Allen radiation belts)，是一個充滿高能帶電粒子的區域，並被地球磁場所束縛限制。此帶狀結構以地球磁軸為中心，類似甜甜圈形狀分佈包覆著地球，分為內外兩層的輻射帶結構。內層輻射帶位於地表約2個地球半徑以內的空間，主要的成份大部分為較高能量的質子，接著是數量

相對少的電子，且該區域的範圍大小和粒子數量相對於外層輻射帶而言較為穩定；而外層輻射帶則大約涵蓋3~8個地球半徑內的所有區域，組成的成分主要包含大量高能電子，而不同於內層輻射帶相對穩定的狀態，外層則呈現多變的範圍大小跟形狀變化，而這些改變多半與太空天氣(Space Weather)的變化有直接的關聯性，所以了解范艾倫帶內的複雜物理機制，將是掌握太空天氣的重要指標。

臺灣的參與—LEP-e

臺灣的ERG團隊成員主要由中研院天文及天文物理研究所(ASIAA)及成功大學的太空與電漿科學研究所(ISAPS)所組成，並由中研院的王祥宇副所長及成大的談永頤教授擔任雙方的負責人。在執行任務的初期，我們主要的工作是要設計和規劃出LEP-e最佳量測效率的規格，在經過反覆的模擬驗證與分析後，依照最佳規格製作出高精確度的工程體模型，如圖3所示，左圖為實際製作出之LEP-e工程體，右圖則為設計剖面圖，它主要可以分為三個部分，由上方的靜電分析儀、中間的電子電路系統與下方的高壓供電系統所組成，是相當精密且複雜的儀器，也是臺灣第一次嘗試製作此型探測器。

成立臺灣ERG數據中心

臺灣ERG團隊在順利完成LEP-e與衛星發射升空之後並非就此結束任務，而是將原先工程導向的目標轉換為科學導向的工作內容，這裡面包含兩個部分，第一項就是設計LEP-e的科學資料格式與內容，並進行衛星資料下載後的流程規劃。由於衛星計畫的重要任務之一就是要將在太空中量測收集到的資料交由該領域的研究專家進行分析，所以臺灣團隊必須將我們負責的酬載用國際通用的資料格式進行輸出作業，並且設計出完善的資料內容供科學家來使用，這部分的工作目前由我們和日本名古屋大學的ERG科學資料中心共同合作進行中。至於第二項工作則是臺灣方面的另一個亮點，我們將成立臺灣ERG科學數據中心，地點規劃設立在成功大學內，本中心將是日本唯一授權的海外數據中心，負責保存與分送ERG衛星的所有

圖3. 由臺灣負責設計與製作的LEP-e科學酬載，左圖為工程實體，右圖為設計剖面圖。

即時科學資料(九組科學酬載)，以及研議提出臺灣方面的衛星特殊觀測申請，更重要的是，還可以幫助臺灣參與未來有關太空天氣相關的科學研究議題。

根留臺灣

相較於獨立發展一個衛星任務(重量在百公斤以上的等級)，從初始規劃設計到升空順利運作，動輒耗費數十億台幣的經費預算，我們這次能夠順利加入日本磁層觀測衛星—ERG衛星計畫的團隊，臺灣方面僅需負擔LEP-e的人力及儀器研製的相關經費，即可參與擁有先進太空科技國家的衛星計畫。臺灣不但可以參與全程的科學儀器規劃、製作、測試與科學資料格式的設計，日方也以相當開放的態度將所有資料分享給我們，幫助我們成立臺灣ERG科學數據中心；所以整體而言，這項任務適度平衡了風險與突破，並以精簡的投資獲得最大的價值。除此之外，參與此計畫另一特別之處在於：根留臺灣；臺灣有機會派遣本土人力進行實質參與，透過合作的模式，臺灣研究人員得以與國際專家親身交流，待計畫順利完成，技術與人才也同時留在臺灣，繼續傳承，繼續累積能量。這一直是臺灣在太空發展上很欠缺的一塊，過去的合作案大多只重視結果而不注重過程，例如斥資數十億於一顆衛星，以委外的方式交由國外單位負責設計及製作，導致一旦任務結束，儘管留下漂亮的表面成績，卻無法在臺灣複製成功經驗，原因就是出在沒有辦法留下實質的技術和人才。臺灣應該破除迷思，要重視能夠實質參與衛星計畫的過程，才能隨著經驗獲得最長遠的價值。希望透過ERG衛星合作的案例，未來能推動更多實質的國際合作計畫，一步一步讓臺灣累積實力，相信假以時日，臺灣終能獨自發展出高層次的衛星技術。

結語

太空科技的進步，太空奧祕的探索，看似只和人類夢想有關，但從先進國家的經驗，我們知道太空科技相關的發展，往往在所需之時回饋到民生需求、防災救災、工業與商業發展等許多層面，因此太空發展早已不再是單純的實現夢想，而是你我生活中息息相關的一項產業。ERG衛星目前已順利升空運作，成為國際太空天氣監視網絡的一員，不但能為范艾倫輻射帶提供便多的即時數據，還能對其間多變的電漿現象、相對論性高能粒子的生成及消失機制找出更多的線索。臺灣能有榮幸參與這項任務，不但極具指標性且充滿突破性，因為這是臺灣第一次能直接加入日本官方的衛星合作案，為臺日太空合作開啟新頁，並在此同時，我們自製的科學儀器也創下臺灣的新紀錄，運行軌道最遠到達約32,000公里的地方，也就是將近五個地球半徑的距離，這一切都歸功於中研院與成功大學所有參與者的努力，有鑑於此，我們期待雙方能在未來有更進一步的合作，共同為臺灣開拓更多的機會。