

# 福爾摩沙衛星七號電離層電子濃度觀測校驗報告

## Comprehensive Validation of the FORMOSAT-7/COSMIC-2 Electron Density Profiles

李奕德<sup>1,2</sup> 黃俊穎<sup>1</sup> 何旭慧<sup>1</sup> 葉文豪<sup>3</sup> 程家平<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中央氣象局 <sup>2</sup>國立中央大學 <sup>3</sup>國研院國家太空中心

### 摘要

由六顆衛星所組成的福爾摩沙衛星七號(FORMOSAT-7/COSMIC-2)在2019年6月25日成功發射後，透過衛星所酬載的全球衛星導航系統無線電訊號接收器，利用接收來自GPS和GLONASS的信號，每天可以提供將近4,000筆電離層掩星觀測資料。在本次的驗證報告中，將針對福衛七號發射後不同階段所提供的電離層電子濃度剖面，以電離層探測儀的獨立觀測進行綜合校驗。首先，透過六顆衛星在發射初期尚未拉開距離前，以同地觀測相互比較，初步驗證酬載儀器的可用性。接著，利用祕魯(Jicamarca)電離層探測儀和福七觀測相互比較可以發現在高度100到300公里的偏差值相當穩定，但整體而言福衛七號的電子濃度略有高估。此外，為了能夠進行全球範圍的驗證，將以電離層探測儀所觀測到的電離層 F2層峰密度(NmF2) 和層峰高度(hmF2)作為校驗的參考依據。從結果顯示，福七觀測資料與全球電離層探測儀觀測具有高度正相關，其中NmF2和hmF2的相關係數分別為0.94和0.84，另外，NmF2和hmF2的偏差值僅約 $10^3/\text{cm}^3$ 和數公里，也證明福衛七號的電離層觀測具有一定的可靠性。不僅如此，當衛星開始降低軌道高度後也能可以得到一致的結果，並不會因為軌道的高低而影響觀測品質。福衛七號所提供的密集觀測可以縮短重建三維電離層結構所需要的資料累積時間，將有助於實驗近即時電離層狀態監測的目標。本驗證報告將會提供詳細的校驗結果和說明，驗證福衛七號提供的電離層電子濃度是可靠且準確，並可應用於未來的太空天氣作業。

關鍵字：福爾摩沙衛星七號、掩星觀測、電離層電子濃度

## 一、前言

地球電離層是指由大量帶電粒子組成，並且會影響無線電訊號傳播的區域。隨著無線電波頻率、電漿粒子密度的不同以及分布的型態，訊號會產生不同程度的反射、折射或散射現象。在過去的研究中，這樣的特性也被用來探測地球電離層的及因受到太空天氣、大氣對流和地殼變動所引發的擾動。不過，大多數的儀器都是建立在地面的觀測站，或安裝在單一個人造衛星上。受限於地理條件和衛星軌道，多半只能夠提供特定時空的觀測資料，較難累積足以覆蓋全球的觀測資料且同時具備合適的時空解析度。

自20世紀以來，科學家透過行星掩蔽電波信號所造成的相位和振幅變化而進行掩星實驗來探測行星的大氣層(Phinney and Anderson, 1968)。後續也有許多太空任務在人造衛星上攜帶無線電掩星設備。而台灣在2006年所發射的福爾摩沙衛星三號(FORMOSAT-3/COSMIC)，是全球第一個透過6顆微衛星進行地球大氣和電離層掩星觀測的太空任務。這6顆人造衛星在高度約800公里，傾角為72°的軌道面上運行。透過接收來自全球定位系統(GPS)所發出的電

波信號變化，計算全電子含量(TEC)和電離層電子密度分佈，讓科學家和作業中心能夠更進一步瞭解電離層的狀態和結構(Schreiner et al., 2007)。

研究和應用的成果都顯示出福衛三號觀測資料的重要性，也讓交通部中央氣象局太空天氣作業辦公室(SWOO)能夠透過觀測資料進行全球電離層結構監測與發展電離層資料同化系統，提供更多元的電離層太空天氣產品。累積到2020年4月底，福衛三號已經提供超過460萬筆觀測數據，但後期隨著人造衛星電力系統的衰竭，每日資料量逐漸下降到不到100筆，而即時監測作業更顯困難。

為了能夠提供更多的觀測資料，台灣財團法人國家實驗研究院國家太空中心(NSPO)和美國國家海洋和大氣總署(NOAA)進一步合作提出了福爾摩沙衛星七號(FORMOSAT-7/COSMIC-1)任務作為延續的掩星觀測任務。圖1顯示福衛七號任務的6顆衛星分布在軌道傾角約24°、高度約為520公里的軌道上。福衛七號所酬載的全球衛星導航系統無線電訊號接收器(TGRS)，可以接收來自美國GPS和俄羅斯全球導航衛星系統(GLONASS)所發出的電波信號，以進行大氣和電離層的掩星觀測。福爾摩沙衛星七號已於2019年6

月25日在美國甘迺迪太空中心透過SpaceX的獵鷹重型火箭成功發射。衛星以每16分鐘的時間由火箭釋放到軌道上，好讓每顆衛星之間能夠保持足夠的距離以便於後續的任務控制。一開始會先將6顆衛星放置在720公里高度、傾角為24度的初始軌道，然後再依次下降到550公里高度的任務軌道。預期經過18個月後，福衛七號將會均勻分布在6個軌道面上，並為南北緯45度之間的區域提供每日約4,000筆的電離層掩星觀測資料。

為了評估福爾摩沙衛星七號所提供的電離層掩星觀測資料品質，台灣資料分析中心(TACC)和太空天氣作業辦公室SWOO，針對衛星所提供的電離層電子濃度剖面(profile)進行了一系列校驗和分析，包括每顆衛星的相互比較以及和地面電離層探測儀的相互比較作為數據質量的獨立參考。本論文將針對校驗和分息的結果進行說明，提供福衛七號電離層電子濃度剖面線的使用者所需要的驗證和評估的資訊。

## 二、觀測資料

在國家太空中心在衛星發射升空之後，先行進行一系列衛星系統檢查和測試工作，之後才將福衛七號所酬載的TGRS開啟進行掩星觀測，並在2019年7月16日記錄了第一筆大氣和電離層的掩星觀測。該筆觀測數據透過地面站下載之後，分別送到福七任務的兩個數據處理中心，美國數據處理中心(CDAAC/USDPC)和台灣數據處理中心(TACC/TDPC)，並進一步解算和產製大氣和電離層產品。由TACC所產製的第一筆電離層電子濃度剖面觀測如圖2所示，清楚的提供了位於太平洋(173.53°E, 11.86°N)上空的電子密度垂直變化，同時也顯示了電離層中的E、F1和F2層得結構。

為了在資料正式開放給使用者和作業單位使用前，針對福衛七號任務的初期階段，自2019年7月16日至2019年10月31日止的觀測資料進行一系列校驗和分析。為了區分每一個福七衛星的觀測資料，依照編號標示為FS7\_1、FS7\_2、FS7\_3、FS7\_4、FS7\_5和FS7\_6。

## 三、校驗結果

### (一)福七衛星交叉比較結果

為了評估每一顆福衛七號衛星上所酬載的TGRS是否能夠提供一致的掩星觀測結果，在6個衛星都開始進行觀測後，利用共點觀測進行交叉比較。觀測資料共點的判斷條件為：(1)彼此間的掩星觀測時間在正負30分鐘以內；(2)彼此間電離層最大電子濃度發生位置在經度方向和緯度方向上的水平間隔要小於0.25度。圖2為2020年7月21日在世界標準時間13:30左右藉由6顆福衛七號衛星所記錄到的電離層電子濃度剖面，同時這6筆觀測資料都是接收到來自GPS系統衛星編號PRN 05所提供的訊號。儘管福衛七號衛星在

軌道上相距一定距離，但觀測結果仍可以視為這些衛星是同時測量了相同的電離層區域。這些觀測值依時間排序，依次來自FS7\_5、FS7\_6、FS7\_2、FS7\_4、FS7\_1和FS7\_3，而這6筆觀測資料的切點投影則約略以東經-108.6度為中心呈東西向分布。

在圖2中可以發現到6顆衛星的觀測資料從上到下幾乎顯現出相同的輪廓，僅在電離層最大電子濃度發生的高度附近有較為明顯的差異。另外，它們也都在接近125公里高的位置顯示出清晰的電離層E層特徵。而造成掩星電離層濃度剖面線在最大電子濃度高度產生差異，應該是由於早晨光化游離作用隨著太陽天頂角而產生的濃度梯度所引起的。不過，由於衛星之間的距離會隨著時間相距越來越遠，因此很難找到多筆能有6顆衛星同時觀測的個案進行分析。為了簡化交叉比較的方式，將以FS7\_1的觀測數據當作比較基準，並且用來尋找其他符合共點條件的觀測資料。最後，在福衛七號任務的初期階段總共可以蒐集到280個案例，其中6、5、4、3和2顆衛星共點的量測個案分別有2、4、24、20和230筆資料。這些選定的電離層濃度剖面線需要重新對高度採樣，轉換到高度接度為1公里的資料，然後才能扣去FS7\_1的觀測數據並計算衛星之間的觀測偏差。觀測偏差計算結果如圖3所示，由上而下的平均偏差值幾乎落在零值線附近，而且標準差也相對較小，這可能用來證明酬載在福衛七號六顆衛星上的TGRS對於電離層的量測是具有一致性的。特別需要說明的是在高度150公里以下的區域，相較起來平均偏差值的波動程度較大，同時也具有較大的標準差數值。這樣的結果可能是由於反演技術所產生的誤差，或是其他需要進一步分析的原因所造成的。

### (二)秘魯電離層探測儀校驗結果

在確認福衛七號所酬載的TGRS可一致地對電離層進行掩星觀測並僅有極小的系統偏差後，為了驗證所觀測的電離層結構和數值是否精確，因此需要將測量結果與其他可靠儀器進行比較。對此，本研究選擇位於秘魯Jicamarca觀測站的電離探測儀當作觀測標準值。為了找到位於測站附近的觀測資料點並用於本次比較，觀測資料的篩選必須要滿足以下2個標準：(1)掩星觀測的電離層剖面線密度峰值位置與電離層探測儀站之間在經度與緯度間的距離應小於2度以及(2)與電離層探測儀觀測資料的時間相距不超過30分鐘為限。因此，在福衛七號任務的初期階段總共可以篩選出115比觀測資料進行比對。利用秘魯電離層探測儀透過實高分析所計算的電離層底層電子濃度剖面當作觀測基準，並將電離層探測儀和福衛七號的觀測資料重新取樣成為高度解析度為1公里的剖面線之後再以福七觀測減去電離層探測儀來計算偏差量。圖4所顯示的就是兩者相減之後的結果。由於電離層探測儀只能提供電離層底部的濃度剖面，而且受限於回波

訊號的強弱而讓觀測資料的啟始和結束高度不定。因次，雖然一共有115筆福衛七號觀測資料可以進行比對，但實際比對的資料筆數仍會隨著高度有所不同。結果顯示，由於平均偏差值為正值，因此表示福衛七號的電離層掩星觀測所測量到的電子密度比電離層探測儀略微高估，但即便如此，介於100至300公里的高度範圍內仍然可以保持相當穩定的平均偏差值和較小的標準差數值，分別為 $2.5 \times 10^4/\text{cm}^3$ 和 $8.0 \times 10^4/\text{cm}^3$ 。透過與秘魯電離層探測儀的比較結果，也說明福衛七號的電離層掩星觀測能夠對於電離層底部提供準確的濃度資訊，且在電離層最大電子濃度發生之處也能提供穩定的觀測資料。

### (三)全球電離層探測儀校驗結果

為了將資料校驗的範圍擴大到不同的經緯度區域，觀測資料將進一步通過全球電離層探測儀進行驗證和分析。這些電離層探測儀數據來自麻薩諸塞大學羅威爾分校(University of Massachusetts Lowell)的羅威爾全球電離層電波觀測站(Lowell Global Ionospheric Radio Observatory, GIRO)數據中心所提供的數位式電離圖數據資料庫(Digital Ionogram Data Base, DIDBase)(Reinisch et al., 2011)。GIRO的觀測網是由位於全球各地的105個觀測站所組成，配合福衛七號觀測資料的分佈特性，共有41個測站的位置是可用於進行觀測資料校驗和分析所用，這些觀測站的位置如圖6中的紅色三角形所示。DIDBase提供了兩個主要由電離層探測儀所觀測到的可靠參數，分別為從電離層F2層臨界頻率( $f_oF2$ )換算而來的電離層F2層電子密度峰值(NmF2)和透過實高分析所得到的電離層F2層層峰高度(hmF2)。在此特別說明，DIDBase所提供的NmF2和hmF2是透過使用全自動電離圖偵測與實高分析(Automatic Real-Time Ionogram Scaler with True height, ARTIST)軟體將電離層探測儀所記錄下的電離圖自動分析和判斷相關數據(Reinisch et al., 1983)。在自動判圖的過程中，ARTIST也會針對判斷的結果，在紀錄中提供一個判斷結果的信心指數(Galkin et al., 2013)。為了避免自動判圖技術的不確定性可能導致NmF2和hmF2出現誇張的數值，因此將電離層探測儀所觀測數據藉由信心指數進行篩選。信心指數的範圍從0到100不等，數字愈高代表軟體對於自動判斷的結果愈有信心。因此在本研究中，只有信心指數超過70的觀測資料才有資格並用於校驗福衛七號的觀測。

如圖6所示，在校驗分析的時間區間內，總計有121,884萬筆觀測資料分佈在南、北緯45度之間。觀測資料是否接近電離層探測儀並且選定進行校驗的選擇標準與前述相似，但多增加了一項：掩星觀測層峰高度數值應介於150到450公里之間，以避免因為觀測到Es層而有誤判的錯誤來影響校驗的結果。根據這3個條件總計篩選出1,637筆觀測資料來進行比較。

為了簡化校驗的結果，因此透過計算兩種觀測資料之間的相關係數、偏差平均值和標準差數值來說明結果。以NmF2的結果來看，相關係數、偏差平均值和標準差數值分別為0.9395、 $1.173 \times 10^4/\text{cm}^3$ 和 $8.539 \times 10^4/\text{cm}^3$ 。這樣的結果也和秘魯電離層探測儀比較結果一致，顯示出福衛七號的電離層掩星觀測會在電離層F2層峰高度附近高估電子濃度。整體而言，這些數值仍足以表明福衛七號的電離層掩星觀測所提供的電離層F2層峰密度數值和電離層探測儀觀測具有高度的相關性和一致性。相比之下，hmF2的結果分別為0.8382、-3.35公里和23.93公里，雖然也是和電離層探測儀的觀測結果大致相符。但相較於NmF2則顯現出較低的相關係數和更高的標準差數值。

進一步的將觀測資料依照福衛七號的編號分成6群，以確認自不同衛星的測量結果是否也能一致。詳細的相關係數、偏差平均值和標準差陳列於表1和表2之中。可以看到不管是哪一顆衛星的結果都與整體校驗的結果相似，這再次表明所有的福衛七號衛星彼此之間並沒有顯著的差異，且都可以提供相當準確的測量結果。

另一方面，相較於福衛三號所使用的無線電掩星酬載，福衛七號所使用的TGRS可以同時接收GPS和GLONASS兩種GNSS信號進行觀測。這也提供了一個很好的機會來評估同一個接收器在使用兩套GNSS信號進行掩星觀測時，觀測品質是否會有差異。因為前述已經完成的校驗結果又可以在針對訊號來源區分成兩組，並且也依照衛星結果細分，結果如表1和表2所呈現。整體來看，使用GPS和GLONASS信號所得到的觀測資料，針對NmF2的相關係數為0.9402和0.9561，而針對hmF2的相關係數則為0.8361和0.8610，兩者之前並無顯著的差異。即便是按照福衛七號的編號進行區分，每一個衛星對於這兩套GNSS系統的信號並不會產生明顯的不一致。從校驗結果可以說明福衛七號不管是利用GPS訊號或是GLONASS訊號進行電離層掩星觀測後所反演得到的電離層電子濃度剖線都是與地面電離層探測儀測的觀測結果非常吻合，可提供相當準確的NmF2和hmF2觀測數據。

## 四、討論與結論

在福爾摩沙衛星器號發射一年多內，隸屬於中央氣象局的太空天氣作業辦公室和台灣資料分析中心針對電離層掩星觀測資料進行了一系列的驗證和評估，以確保福衛七號的掩星觀測酬載和電離層觀測資料品質。在本研究報告中，針對對福衛七號掩星觀測所反演的電離層電子濃度剖線進行完整的校驗和分析，並且提供相對應的結果報告。首先，通過福衛七號衛星間的相互自我比較，可以確認六顆衛星的觀測相當一致，能夠呈現出相似的精確度和品質。而從與秘魯Jicamarca電離層探測儀的必較結果顯示，針對電離層底部的觀測能夠穩定的觀測品質，但掩星觀測有

略有高估電子濃度的情況發生。同時，雖然福七所反演得到的電離層電子濃度剖面最低高度可以低於100公里以下，甚至進一步延伸到地表附近。但從衛星間的相互比較或是與秘魯電離層探測儀的比較結果，都指出觀測資料在高度150公里以下的不確定性相當的高。因此，這些極低高度的電子濃度值可能不慎精確，如果要使用前科學研究或測報作業前都需要在經過仔細評估和確認。

另外，本研究報告中利用全球電離層探測儀對福衛七號觀測的校驗結果顯示NmF2和hmF2的相關係數與Liu et al. (2010)進行福衛三號校驗的結果相似，當時也是以福衛三號的掩星觀測與秘魯Jicamarca電離層量測結果進行比較。雖然Araujo-Pradere et al. (2019)指出利用ARTIST進行自動判圖後所估計的電離層參數可能存在著嚴重的誤差，是需要仔細評估並進行品質管控後才能使用。然而，Lin et al. (2020)的報告中利用人工判圖後所得結果進行的福衛七號觀測資料相關比對時，針對NmF2和hmF2所呈現的相關係數均為0.885。而本研究中，利用ARTIST自動判斷並搭配信心指數篩選的驗證結果，針對NmF2所呈現的相關係數更優於前述結果，而針對hmF2的結果則和他們的報告相似。另外，中國大陸風雲三號C任務與地面電離層探測儀的校驗結果之相關係數分別為0.96和0.85(Yang et al., 2018)也與本研究報告結果相似，足以顯示福衛七號具備著與國際其他任務相似的觀測品質。

雖然在hmF2校驗所得到的相關係數低於 NmF2的校驗結果，但hmF2的標準差數值是低於45 公里的，也就是低於在層峰濃度附近的標尺高範圍，因此仍然可以認為觀測數據具有一定的量測品質。因此，利用全球電離層探測器的觀測資料可驗證福衛七號的電離層電子濃度剖面具有一定的品質和可靠性。此外，Liu et al. (2010)也曾指出掩星觀測結果會高估了中緯度的NmF2量值，但低估了電離層赤道異常區附近的NmF2及hmF2。而從hmF2和NmF2的平均偏差值來看，福衛七號的觀測結果則主要是低估了電離層層峰高度，但高估電離層層峰密度。

另一方面，福衛七號是第一個可以同時接收GPS和GLONASS兩套GNSS信號進行掩星觀測的衛星系統。根據校驗與分析結果，可以清楚地發現到當衛星接收這兩種訊號後所得到的觀測資料在品質上是一致的。在某些情況下，接收GLONASS訊號的觀測資料的相關係數和平均偏差值會優於接收GPS訊號的觀測資料。但一般情況下，不管是接收GPS或是GLONASS訊號，其實都沒有明顯的系統性差異，因此可以直接合併一起用於電離層太空天氣的應用上。

自從福爾摩沙衛星三號在2020年5月退役之後，福爾摩沙衛星七號已經取代其重要位置，為地球大氣層和電離層提供無線電掩星觀測資訊。在發射入軌一年多以後，福衛七號各個衛星運行正常，並且也已經

全面部署到預定的任務軌道。平均每天在接收來自GPS和GLONASS的訊號後，可以為電離層提供將近4,000筆的觀測資料。

本研究報告利用全球電離層探測儀對福衛七號電離層電子濃度剖面進行了綜合校驗和分析。結果證實福衛七號可以為中低緯度提供可靠且準確的電離層濃度資訊。另一方面，福衛七號所提供的密集觀測資料點，也可以在較短的資料累積時間內重建電離層三維電場結構，實現即時監測電離層太空天氣的可能性。未來，這些應用成果都可能用於瞭解電離層空間天氣的結構和形態，並為無線電通信、衛星定位和其他可能的用途進行監測和預報產品。

福爾摩沙衛星七號目前已經發布的電離層產品可以透過TACC的台灣數據處理中心(<https://tacc.cwb.gov.tw/v2/download.html>)或是CDAAC的美國數據處理中心下載使用。

## 參考文獻

- Araujo-Pradere, E., Weatherhead, E. C., Dandenaault, P. B., Bilitza, D., Wilkinson, P., Coker, C. et al., 2019: Critical issues in ionospheric data quality and implications for scientific studies. *Radio Science*, 54, 440 – 454. <https://doi.org/10.1029/2018RS006686>.
- Galkin, I.A., B. W. Reinisch, X. Huang, G. M. Khmyrov, 2013: Confidence score of ARTIST-5 ionogram autoscaling, INAG Technical Memorandum, pp. 1 – 7.
- Lin, C. Y., C. H. Lin, J. Y. Liu, P. K. Rajesh, T. Matsuo, M. Y. Chou, H. F. Tsai, and W. H. Yeh, 2020: The Early Results and Validation of FORMOSAT-7/COSMIC-2 Space Weather Products: Global Ionospheric Specification and Ne-Aided Abel Electron Density Profile, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125(10), 1-12, doi:10.1029/2020JA028028.
- Liu, J. Y., C. C. Lee, J. Y. Yang, C. Y. Chen, B. W. Reinisch, 2010: Electron density profiles in the equatorial ionosphere observed by the FORMOSAT-3/COSMIC and a digisonde at Jicamarca, *GPS Solutions*, 75-81, doi:10.1007/s10291-009-0150-3., 2010.
- Phinney R. A. and D. L. Anderson, 1968: On the Radio Occultation Method for Study Planetary Atmospheres, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, Vol. 73, No. 5, 1819-1827.
- Reinisch, B. W., R. R. Gamache, J. S. Tang, and D. F. Kitrosser, 1983: Automatic real time ionogram scaler with true height analysis- ARTIST, AFGL-TR-83-0209, AD A135174.
- Reinisch, B. W., and I. A. Galkin, 2011: Global ionospheric radio observatory (GIRO), *Earth, Planets,*

and Space, 63, 377-381,  
doi:10.5047/eps.2011.03.001.

Schreiner, W., C. Rocken, S. Sokolovskiy, S. Syndergaard,  
and D. Hunt, 2007: Estimates of the precision of GPS  
radio occultations from the COSMIC/FORMOSAT-3  
mission, Geophys. Res. Lett., 34, L04808,  
doi:10.1029/2006GL027557.

Yang, G., Y. Sun, W. Bai et al., 2018: Validation results of  
NmF2 and hmF2 derived from ionospheric density  
profiles of GNSS on FY-3C satellite. Sci. China  
Technol. Sci. 61, 1372 - 1383,  
doi:10.1007/s11431-017-9157-6.



圖 1：福爾摩沙衛星七號共有6顆衛星分佈於軌道傾角約24度、高度520至550公里的軌道上運行。

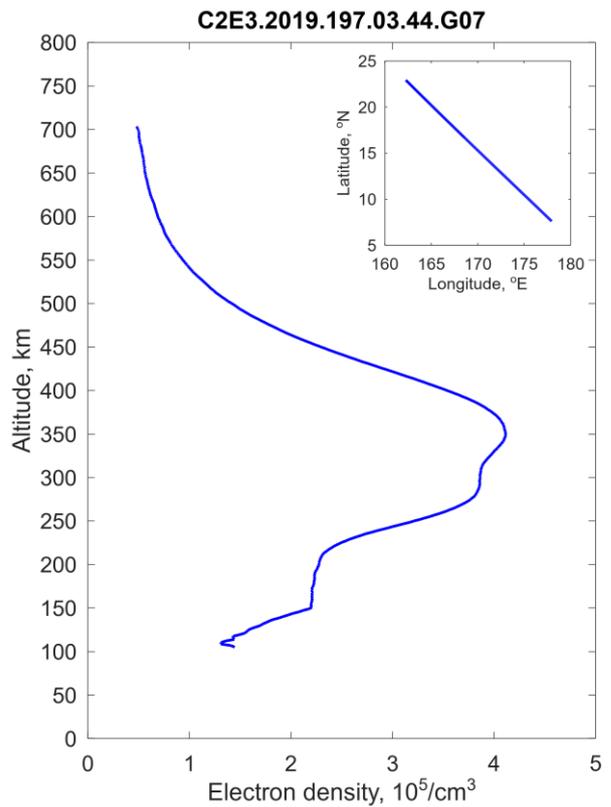


圖 2：福衛七號在2020年7月16日在太平洋上空所觀測到的第一筆電離層電子濃度剖線。

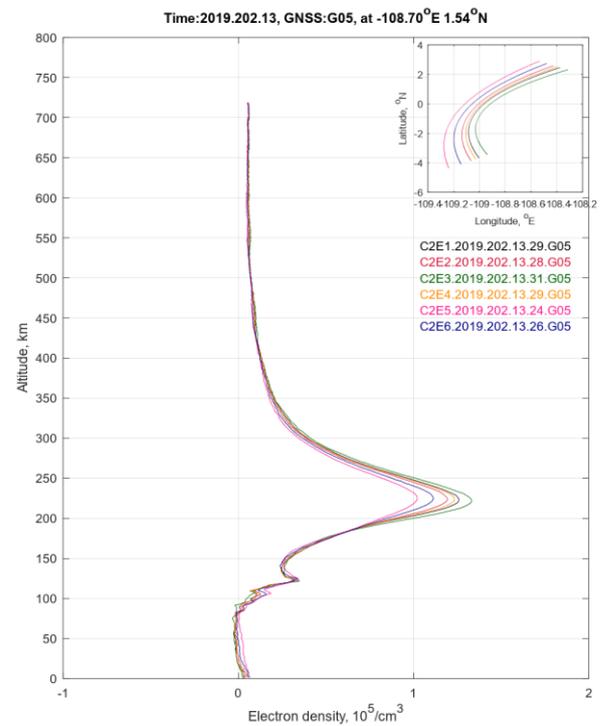


圖 3：由6顆福衛七衛星在2020年7月21日所得到的共點電離層電子濃度剖線。彩色線分別代表從編號FS7\_1(C2E1)到FS7\_6(C2E6)的觀測數據。掩星觀測的射線切點投影位置顯示在右上方的圖框中。

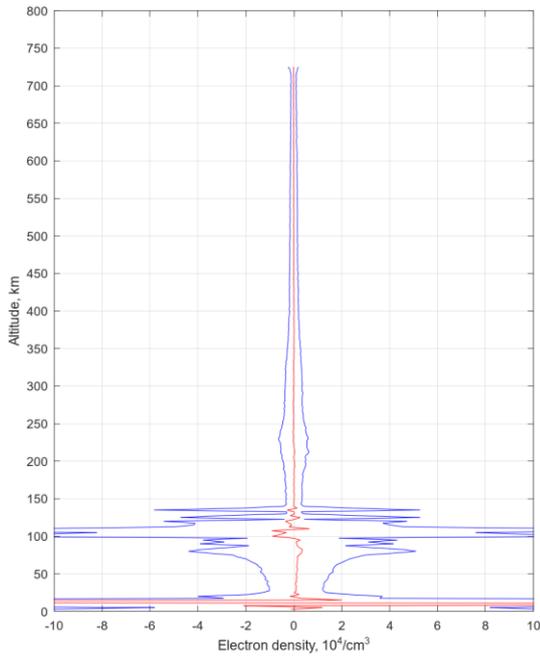


圖 4：2019年7月16日至2019年10月31日間，所有福衛七號共點觀測的統計結果。紅線表示平均偏差值，藍線表示標準差。

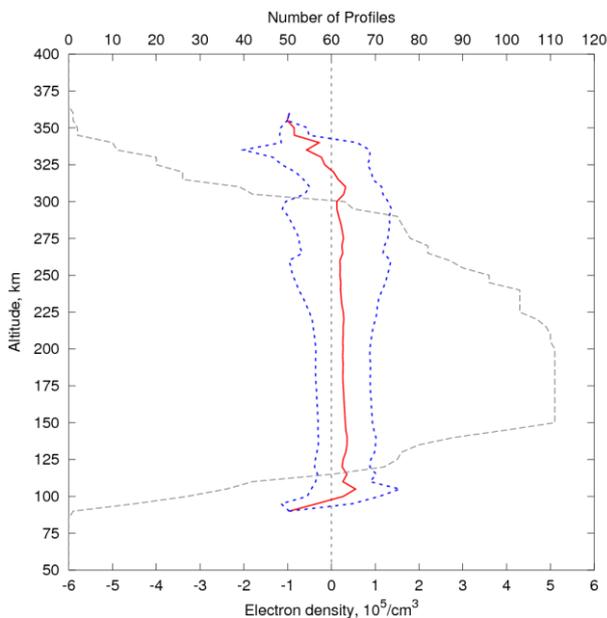


圖 5：福七電子密度與秘魯Jicamarca觀測的統計比較結果。紅線表示平均偏差值，藍虛線表示標準差，而黑色虛線代表不同高度的實際比較資料筆數。

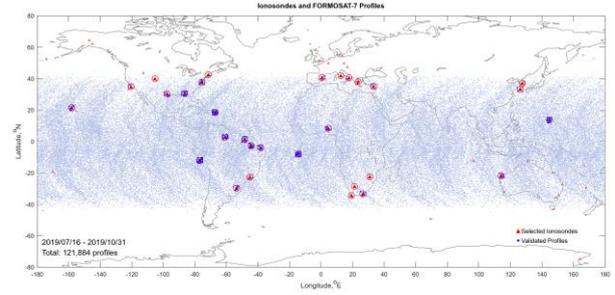


圖 6：2019/07/16至2019/10/31間，GIRO電離層探測儀分佈圖和福衛七號觀測資料點分佈圖。三角形表示GIRO電離層探測儀的位置，圓點表示福衛七號資料點。紅色三角形表示資料有被選用的電離層探測儀，藍色點表示有用於校驗的掩星資料點，而紅色圓圈用於簡單地表示基於挑選標準的覆蓋範圍。

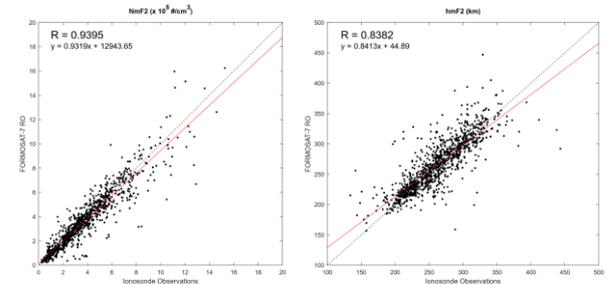


圖 7：福衛七號所提供的電離層層峰濃度與層峰高度和電離層探測儀的比較結果。左、右圖分別為NmF2和hmF2的散布圖、相關係數和回歸函示。紅線表示線性回歸線。

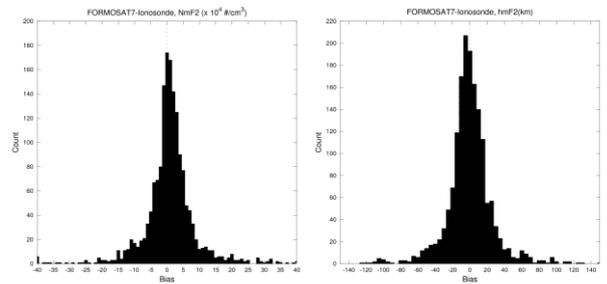


圖 8：福衛七號所提供的電離層層峰濃度與層峰高度和電離層探測儀的比較結果。左右圖分別為NmF2和hmF2的偏差分佈。紅線表示平均偏差值，黑虛線為零值線。

表 1：2019/07/16至2019/10/31間，福衛七號觀測和全球電離層探測儀對NmF2的比較統計結果。相關係數(COEF)、平均偏差值(Bias)和標準差(STD)的統計結果均在按照福七衛星編號劃分，並進一步將接收來自GPS和GLONASS信號的結果分開。

NmF2									
	Total			GPS			GLONASS		
	COEF	Bias 10 <sup>4</sup> /cm <sup>3</sup>	STD. 10 <sup>4</sup> /cm <sup>3</sup>	COEF	Bias 10 <sup>4</sup> /cm <sup>3</sup>	STD. 10 <sup>4</sup> /cm <sup>3</sup>	COEF	Bias 10 <sup>4</sup> /cm <sup>3</sup>	STD. 10 <sup>4</sup> /cm <sup>3</sup>
<b>F7/C2</b>	0.940	1.174	8.539	0.939	1.128	8.570	0.945	1.529	8.315
<b>F7_1</b>	0.952	1.288	8.337	0.951	1.171	8.400	0.959	2.312	7.947
<b>F7_2</b>	0.937	1.439	8.264	0.934	1.521	8.516	0.963	0.821	6.136
<b>F7_3</b>	0.929	0.997	9.799	0.932	0.811	9.635	0.920	2.031	10.785
<b>F7_4</b>	0.952	0.984	7.461	0.948	1.019	7.774	0.978	0.769	5.276
<b>F7_5</b>	0.950	0.433	7.317	0.958	0.276	6.747	0.899	1.682	11.009
<b>F7_6</b>	0.923	1.915	9.628	0.921	1.908	9.808	0.991	2.078	3.653

表 2：2019/07/16至2019/10/31間，福衛七號觀測和全球電離層探測儀對hmF2的比較統計結果。相關係數(COEF)、平均偏差值(Bias)和標準差(STD)的統計結果均在按照福七衛星編號劃分，並進一步將接收來自GPS和GLONASS信號的結果分開。

hmF2									
	Total			GPS			GLONASS		
	COEF	Bias km	STD. km	COEF	Bias km	STD. km	COEF	Bias km	STD. km
<b>F7/C2</b>	0.838	-3.35	23.93	0.836	-3.21	24.13	0.861	-4.40	22.36
<b>F7_1</b>	0.869	-6.07	22.61	0.875	-5.24	21.76	0.813	-1.33	28.93
<b>F7_2</b>	0.840	-4.06	25.59	0.836	-3.99	26.51	0.889	-4.59	17.56
<b>F7_3</b>	0.790	-2.75	25.73	0.797	-2.35	25.24	0.777	-4.99	28.63
<b>F7_4</b>	0.839	-1.61	23.99	0.827	-1.61	24.80	0.913	-1.62	18.71
<b>F7_5</b>	0.950	-3.56	18.29	0.889	-4.15	18.51	0.912	1.17	16.14
<b>F7_6</b>	0.923	-2.09	26.09	0.804	-1.94	26.48	0.911	-5.84	14.88