

# 福衛七號掩星觀測資料在防災科技的應用

陳御群 王安翔 林欣弘 王潔如 黃紹欽 吳宜昭 蔡直謙 于宜強  
國家災害防救科技中心

## 摘要

臺美雙方合作的福爾摩沙衛星七號 (FORMOSAT-7, 簡稱福衛七號。美方計畫簡稱 COSMIC-2 (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate), 氣象、電離層與氣候衛星系觀測系統) 計畫於 2019 年 6 月 25 日順利發射, 成功佈建 6 顆低軌道衛星。此計畫以無線電掩星 (Radio Occultation, RO) 觀測技術接收來探測大氣的溫度與水氣垂直狀態。其觀測由我國的「台灣 COSMIC 資料分析中心」(Taiwan Analysis Center for COSMIC, TACC) 與美國的「COSMIC 資料分析與存檔中心」(Cosmic Data Analysis and Archive Center, CDAAC) 進行資料處理, 並於 2020 年 3 月 7 日同步公開釋出。

國家災害防救科技中心即時自「台灣 COSMIC 資料分析中心」接收最新的福衛七號掩星觀測資料, 並建置資料庫, 即時於 WATCH 網站展示福衛七號反演探空斜溫圖。初步比較統計測站探空與福衛七號反演探空差異, 結果顯示兩者溫度觀測相當一致; 福衛七號的水氣在低層較乾, 高層較濕。另外, 利用福衛七號觀測資料估算梅雨氣候監控指標相當可行, 能如實表現出南海地區水氣變化。在模式應用方面, 福衛七號掩星觀測折射率已納入 WRF 系統進行同化分析預報即時作業, 初步結果顯示同化福衛七號掩星觀測可改善台灣地區降雨預報。

關鍵詞：福衛七號、無線電掩星觀測

## 一、前言

台灣位在西北太平洋地區, 四面環海, 天氣型態受到各種綜觀尺度系統的影響, 四季均有可能發生致災性天氣: 春季時受到西南風、梅雨鋒面的影響; 夏、秋季常受到西南氣流的豪雨與颱風的影響; 冬季則主要為極地冷高壓和東北季風帶來豪雨。其中颱風災害一直是台灣地區四大災變天氣之首, 往往造成人民生命財產的鉅大損失, 另一方面, 颱風降雨卻也是本島民眾不可或缺的主要水源之一。因此, 颱

風問題一直是國人所關注, 其中颱風對台灣造成的災害最劇, 不僅有強風也會造成豪雨, 每年往往因颱風造成全國重大的損失。因此, 對於颱風的狀態若能有更佳的掌握, 實是防災減災的一項重要課題。

大多數影響到台灣的颱風均是來自於台灣以東的廣大太平洋, 海洋性的暖心西太平洋副熱帶高壓, 其與大陸性的冷心西伯利亞高壓相互間的消長牽制, 影響到了台灣地區附近鋒面的位置與移動, 其西南緣的風場結構不僅會影響到東亞夏季季風槽的位置, 也會影響到位

在西北太平洋上的颱風移動之路徑。因此，對於西太平洋副熱帶高壓的了解與掌握就直接的影響到了颱風移動路徑的預報。然而由於西太平洋副熱帶高壓位於海上，在其範圍內的傳統探空觀測非常的稀少，使得我們對於它的結構的了解非常有限，對於它的分析和預報也就無法充分的掌握，因此，其他位在海上且具有探空特性的非傳統探空觀測相形之下就顯得極為重要。

## 二、 福衛七號簡介

由於福衛三號計畫的成功，作為福衛三號計畫的後續計畫，福衛七號同樣是以無線電掩星技術對地球大氣層進行臨邊探測，並以滿足氣象預報作業需求為目的的太空計畫。福衛七號計畫為臺美雙方大型國際合作案，執行單位為臺灣國家實驗研究院國家太空中心（National Space Organization, NSPO）、美國國家海洋暨大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）、美國空軍及美國大氣科學研究大學聯盟。有別於福衛三號為觀測全球大氣而將軌道傾角設定為 72 度，福為七號著重於觀測台灣所在的熱帶及中低緯度地區，故軌道傾角設定為 24 度，並同樣部建 6 顆低軌道衛星，成為無線電掩星觀測星系。

福衛七號衛星上的主要任務酬載為全球導航衛星系統無線電訊號接收器，其不僅可接收美國的全球定位系統信號，也能接收俄國的全球導航衛星系統(簡稱 GLONASS)的訊號，因此福衛七號可以比福衛三號提供更大量的無線電掩星觀測。

福衛七號星系 6 枚低軌道衛星部署完成後，軌道高度 550 公里，繞行地球一圈約 97 分鐘；每日可提供在南北緯 50 度間約 4000 筆無線電掩星觀測資料，在台灣地區附近的資料量約是福衛三號的 3~4 倍，大幅增加包含臺灣

在內的低緯度地區氣象資料。2019 年 6 月 25 日，台灣時間下午 14 時 30 分，委託美國民間公司 SpaceX 以獵鷹重型（Falcon Heavy）運載火箭，從美國佛羅里達州的甘迺迪太空中心順利將福衛七號成功發射。隨後依序將每顆低軌道衛星從 720 公里高度向下推至 550 公里高處之軌道面，改變軌道高度的過程需耗時 108 天，低軌道衛星在此過程中減速並降低高度，藉此依序將每顆低軌道衛星分開間格各為 60 度。待 6 顆低軌道衛星依序抵達各自在 550 公里的軌道面之時，福衛七號衛星完成定軌佈建，總需時約 19 個月。

## 三、 福衛七號掩星觀測資料即時接收

福衛七號成功發射並經測試與校驗後，並於年 12 月 10 日首度對外開放測試版掩星觀測資料，供各界下載測試及意見回饋。今（2020）年 3 月 7 日，福衛七號觀測正式對外公開，於每日臺灣時間上午 10 時在「台灣 COSMIC 資料分析中心」官方網頁開放下載前一日所有掩星觀測。國家防災科技中心於 3 月 16 日取得福衛七號觀測即時資料權限後，隨即建置完成即時資料接收及建檔系統，每小時自「台灣 COSMIC 資料分析中心」自動接收最新的福衛七號掩星觀測資料，同時亦逐步補齊自 2019 年 10 月 1 日起之所有資料。接收之福衛七號觀測主要有 wetPf2 與 atmPrf 兩種產品，均為 NetCDF 格式，前者可作為大氣監控之用，後者可做為氣象預警之用。此外，並同步將位在 -2.5°N~50°N、70°E~165°E 區域內的 wetPf2 探空觀測轉換為近地面至 30km 高；垂直解析度 50m 之 ASCII 格式資料，以更方便讀取與應用，內容包含高度、氣壓、溫度、水氣壓、相對溼度、露點溫度、比濕。

## 四、 福衛七號掩星探空觀測大氣監控應用

福衛七號利用無線電掩星觀測以求得大氣中垂直方向的剖面資料，因此可以不受陸

地與海洋的限制，近隨機均勻分布在全球各地，探測過程不受天氣影響且能提供高垂直解析度大氣探空資料，是極為難得的觀測型態。福衛七號探空觀測雖不像傳統氣象測站能定時定點觀測，其觀測的時間空間密度卻大於傳統探空觀測，實為天氣及氣候分析監控十分有利的觀測資料。

在天氣監控方面，即時接收的福七 wetPf2 觀測資料可進一步繪製成大氣斜溫圖，提供全球大氣垂直探空觀測資訊，尤其在海洋上，這樣的觀測能發揮很大的效益。目前已完成全球福七掩星探空最新斜溫圖即時展示，可供防災應用上除台灣地區 6 個傳統測站外的額外探空觀測資料參考。

統計 2019 年 10 月至 2020 年 6 月福衛七號掩星探空反演與台灣地區 6 個探空測站觀測指出：福為七號反演的溫度與測站探空相當一致，兩者的平均差值（圖 1a 藍線）小於 $\pm 0.5$ 度，僅在 850hPa 以下福七溫度普遍略低；平均差值的（圖 1a 紅線）標準差也僅約 1 度，說明兩者差值的變異度也不大。露點溫度（圖 1b）在低層也相當一致，而在高層 400hPa 以上則有較大差異。福衛七號反演水氣（圖 1c）在低層較少於測站探空觀測，最大差異發生在約 900hPa（差約 1g/kg，佔比約 25%）；高層約 400hPa 以上水氣則較高於測站探空觀測。這亦是造成兩者露點溫度在高層有較大正偏差的因素，因為由於水氣含量在高層非常少，故兩者水氣在高層差異就顯得較為顯著。

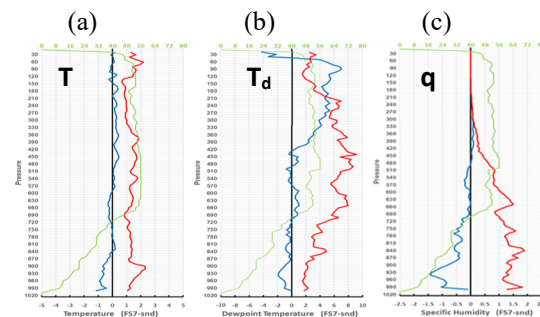


圖 1 統計福衛七號掩星探空反演與台灣地區 6 個探空測站的溫度、露點、比濕差異  
由於掩星探空反演大氣溫溼度亦會受到

大氣穩定度狀態的影響，因此，若依天候分別統計晴天與陰雨天時福七反演與測站的差異，則可發現在晴天時，兩者溫度的差異更為一致，福七溫度在低層略低的狀況不顯著（圖略）。

在氣候監控方面，許多氣候監控指標估算的區域多位於海洋上，以往多使用模式分析場或預報場的區域平均值來進行估算，然而模式分析及預報有其不確定性。有了高時空密度的實際觀測福七掩星探空，以此來估算氣候監控指數，可用來作為由模式所估算者的參考，甚至是校驗依據。目前已建置完成即時梅雨季氣候監控指標，如圖 2 所示，相較於以全球模式分析場所估算的監測指標（藍線），亦可以每日在指定區域內（ $5^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 、 $110^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ）發生的福七掩星觀測相同定義來估算垂直水氣量，並進行日平均來作為此指數（紫線）。圖 2 結果可見福七觀測所估算的指標與分析場估算的指標具有相當一致的時間趨勢，惟由於指定區域範圍較小，此區域內福七掩星觀測的數量對估算的指標值相當敏感。特別是在五月中由於西南氣流爆發，造成台灣地區劇烈降雨的事件，由福衛七號觀測估算而得的指標亦監測出南海地區水氣突增的現象。

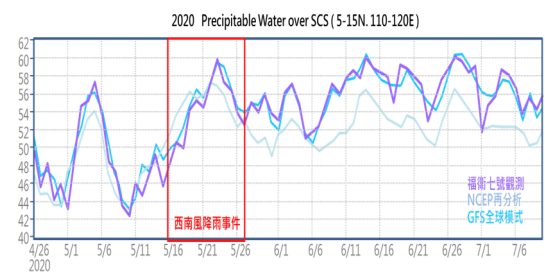


圖 2 利用福衛七號掩星觀測反演估算南海地區水氣的梅雨指標

此外，此方法亦應用於孟加拉灣區域，監控夏季來自孟加拉灣水氣的狀況，如圖 3 所示：紫線為福衛七號掩星觀測反演估算的水氣指標，藍線為 NCEP 再分析場所估算。今年五六月，孟加拉灣水氣持續偏高，透過西南季風傳送至中國長江流域，造成極嚴重的水災事件。圖中可見，由福衛七號觀測的監控，也確

認了孟加拉灣水氣偏高的現象。

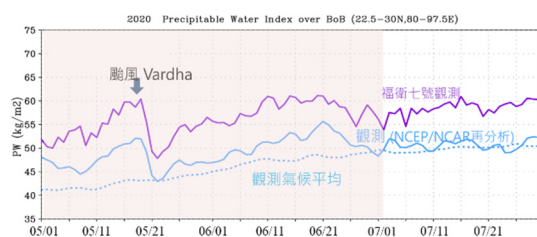


圖 3 利用福衛七號掩星觀測反演估算孟加拉灣水氣指標

## 五、福衛七號掩星觀測於模式分析預報應用

氣象作業單位對於無線電掩星觀測的使用，主要是以資料同化系統吸收無線電掩星觀測的資訊，藉以提升數值天氣預報與分析的表現。國際間重要的數值預報作業單衛均證實，全球定位系統無線電掩星的偏折角或折射率觀測，透過數值資料同化過程，可以改善數值模式初始場結構，從而改善分析與預報。國家防災科技中心的預報模式，亦已將福衛七號掩星觀測資料納入同化，進行作業。目前系集成員 N02 已於今年 5 月 26 日起上線同化福七掩星折射率觀測作業分析與預報，模式三層巢狀網格 (45km/15km/5km) 均啟動福七掩星觀測資料同化。N02 每日即時進行 4 次同化福衛七號資料分析預報作業，此外，系集成員 N08 設定與 N02 完全相同，唯獨無同化福七掩星觀測，故 N02 與 N08 分析預報結果的比較可作為評估福七掩星觀測資料對模式分析與預報影響之依據。表 1 為統計系集成員 N02 與 N08 在五、六月期間模式降雨預報得分比較，結果顯示，同化福衛七號觀測可改善模式預報第二天累積降雨量。

第二天累積雨量	同化福七觀測	無同化福七觀測
相關係數	0.17131	0.16351
方均跟誤差	14.369	14.5233
TS	0.06331	0.05625

表 1 有無同化福衛七號資料對模式降雨預報得分統計

## 六、結語

福衛七號自 2019 年發射至今已逾 1 年，觀測資料自 2020 年 3 月公開至今也約半年。其掩星觀測的特性，能對廣大的海洋地區所缺乏的氣象探空觀測提供很珍貴的資訊，其軌道特性使得掩星觀測能多集中在我國所處的熱帶地區，且其觀測反演的大氣探空與傳統測站探空觀測的量測值相當具有一致性，實為氣象觀測中十分優質的觀測資料。國家防災科技中心，自即時下載福衛七號掩星觀測之後，即多方面將福衛七號觀測應用於防災科技上，除了以最被人廣泛使用的資料同化技術來改善氣象模式預報之外，亦將其應用於大氣狀態的監控、以及將其資訊實際落實於防災應用的即時降雨預警上。結果顯示，透過資料同化技術，福衛七號觀測的資訊可以改善模式預報初始場，並進而提升模式在台灣地區降雨預報的表現。在大氣監控方面，以往氣候指標多為模式再分析場或模式預報場來估算，福衛七號得利用其在海洋上有大量觀測分布，本研究也確認可以利用福衛七號觀測來進行氣候指標的估算，估算結果均能顯現出水氣指標消長的趨勢。

## 參考文獻

- Anthes, R. A., and Coauthors, 2008: The COSMIC/FORMOSAT-3 mission: Early results. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 89, 313–333.
- Chen, Y.-C. and M.-E. Hsieh, 2015: Systematic evaluation of the impacts of GPSRO data on the prediction of typhoons over the northwestern Pacific in 2008–2010. *Atmos. Meas. Tech.*, 8
- Chien, F.-C., J.-S. Hong, and Y.-H. Kuo, 2019: The marine boundary layer height over the western North Pacific based on GPS radio occultation, island soundings, and numerical models. *Sensors*, 19
- Chou, M.-D. and C.-H. Weng, 2009: Analyses of FORMOSAT-3/COSMIC humidity retrievals and comparisons with AIRS retrievals and NCEP/NCAR reanalyses. *Journ. Geoph. Reasea*. 114
- Healy, S. B. , 2008: Forecast impact experiment with a constellation of GPS radio occultation receivers. *Atmos. Sci. Lett.*, 9

Kuo, Y.-H. and H. Liu, 2009: Impact of FORMOSAT-3/COSMIC data on typhoon and Mei-yu prediction, in: Recent Progress in Atmospheric Sciences: Applications to the Asia-Pacific Region, World Scientific, 458–483, 2009.

Steiner, A. K. and B. C. Lackner, 2011: GPS radio occultation for climate monitoring and change detection. *Radio Sci.* 46

# **The applications of FORMOSAT-7/COSMIC-2 radio occultation observations in NCDR**

**Yu-Chun Chen, An-Hsiang Wang, Hsin-Hung Lin, Chieh-Ju Wang, Shao-Chin Huang,  
Yi-chao Wu, Chih-Chien Tsai, Yi-Chiang Yu  
National Science and Technology Center for Disaster Reduction**

## **Abstract**

The Formosa Satellite 7 / Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate 2 (FORMOSAT-7/COSMIC-2, abbreviated as F7/C2) space project is a collaborative program between Taiwan and the U.S. 6 low earth orbit (LEO) satellites of F7/C2 were launched successfully on June 25th, 2019 for probing the status of the atmospheric vertical profiles by using the radio occultation (RO) techniques. The RO observation data of F7/C2 is processed and archived by Taiwan Analysis Center for COSMIC (TACC) and Cosmic Data Analysis and Archive Center (CDAAC) of the U.S. and were publicly released on March 7th, 2020.

The real-time F7/C2 RO data have been downloaded from TACC by National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR), and the real-time skew T-log diagrams of RO data instantly showed on the WATCH website. A comparison of F7/C2 RO retrievals and radiosondes around Taiwan area has conducted. In the preliminary results, the temperature of F7/C2 retrievals show a very good agreement with radiosondes, and the moisture of F7/C2 is lower/higher than the radiosondes in the lower/higher levels. The F7/C2 RO data is also used to estimate the monsoon index for climate monitoring, and it performed well on the tendency of variation of moisture over the South China Sea. In the improvement of the numerical weather prediction (NWP), the refractivity observations of F7/C2 RO are assimilated in Weather Research and Forecasting (WRF) system for real-time operational forecasts. The evaluation shows the precipitation forecasts in Taiwan can be improved by the assimilation of F7/C2 RO data.

Keywords: FORMOSAT-7/COSMIC-2, radio occultation observations