

## 全球定位系統於氣象觀測之應用

呂冠毅<sup>1,2</sup> 吳銘志<sup>1</sup> 曾清涼<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 成功大學地球科學系

<sup>2</sup> 空軍航空技術學院戰航管氣象組

### 摘要

全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)經過多年理論和技術發展下,在氣象觀測領域上已有長足展,尤其在觀測大氣要素上具有高精度、全天候、近即時等高時空分辨率的探測,及在運用上擁有經濟與高效等優點,這也是當今其他各種探測技術所無法比擬的,因此,此一技術已成為新一代大氣遙感探測技術中最為有效,且最具發展前景的方法之一,特別是 GPS 遙測大氣水氣在國內外已成為一種新的觀測手段,主要在大氣水氣的研究、觀測試驗和作業,並且在未來高空氣象觀測、天氣預報技術的發展中將扮演十分重要的角色。

**關鍵字：**全球衛星定位系統、遙感探測、高空氣象觀測、天氣預報

### 一、前言

全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)和定位技術經過多年的發展,其應用領域在現今已擴展到大地測量、太空天氣及氣象觀測等領域,其中一個極為重要的應用就是氣象研究。藉由 GPS 理論和技術來反演地球大氣中的各項要素,並進行氣象學的理論和方法研究,如測定大氣折射率、水氣含量、溫度、密度、壓力與風等要素,及監測氣候變化等,此外衛星在觀測時間的連續性及空間分布等特性上,以及用戶端在取得資料的便利性與經濟性都是現有氣象觀測儀器所無法比擬的。GPS 氣象的研究始於 1980 年代後期最先由美國起步,在美國取得理想的試驗數據及結果之後,其他國家如日本等也逐步開始在 GPS 氣象學中的研究,主要利用放置在地面上的 GPS 接收站測量 GPS 衛星的信號縱向穿透大氣層到達地面時所產生的延遲量,進而反演出天頂方向或斜路徑

上的大氣水氣累積量(如圖 1 所示)。而我國於 2006 年 4 月 15 日自美國加州范登堡基地發射由六顆微衛星所組成的福爾摩沙衛星三號(福衛三號)星系,此衛星星系運轉配合地球自轉,便形成全球「低軌道微衛星星系」,並利用「無線電波掩星」技術(掩星觀測),接收美國 24 顆全球定位衛星(GPS)的訊號,藉以蒐集大氣的垂直分布資料(如圖 2 所示),開啟了空基 GPS 氣象觀測之應用,本文將分別針對 GPS 在地基與空基上氣象觀測之應用進行說明。

### 二、地基 GPS 氣象應用

地基 GPS 氣象應用主要利用 GPS 訊號通過地球大氣時造成之延遲量來反演對流層中水氣量的多寡,藉由 GPS 相位觀測方程式的表示式(Leick, 2004),如式 2-1 所示:

$$\varphi = \rho + c(dt - dT) + Trop + Ion + \lambda N + \varepsilon \quad (2-1)$$

式中虛擬觀測值( $\varphi$ )為衛星到接收儀之真實距離( $\rho$ )加上接收機時鐘誤差( $dt$ )、衛星

時鐘誤差 ( $dT$ )、對流層遲誤差(Trop)、延電離層延遲誤差 ( $Ion$ ) 及虛擬距離觀測量之雜訊 ( $\lambda N$ ) 與多路徑效應等殘差 ( $\epsilon$ )

由於大氣中影響電磁波傳遞主要來自於電離層、乾空氣延遲與濕空氣延遲，而其他大氣中液態水、冰和凝結物在許多理論研究結果對訊號傳播影響幾乎微乎其微，可以忽略(Businger, 1996; Duan, 1996)。因此，如將延遲量中電離層及乾空氣延遲量消除便可知濕空氣延遲量，如此一來便可以利用此延遲量轉換為大氣中可降水量的多寡。

由於 GPS 訊號於穿過地球大氣時會受到大氣組成的影響，改變訊號的傳輸路徑和時間，其中大氣組成的影響包含電離層和中性大氣造成的折射所導致，使其訊號傳播速度和路徑彎曲，造成時間上的延遲，此種時間上延遲等同於傳播路徑的延長，為 GPS 定位上的誤差源。電離層在天頂方向的延遲可達約 1 至 15 公尺(Spilker, 1980)，但電離層的延遲與電磁波的頻率平方成反比，因此，為了方便解決電離層所產生之誤差，可利用接收雙頻訊號，線性組合後消除以校正誤差，中性大氣延遲一般泛指地表至 50 公里以下高度的非電離大氣對電磁波的折射，或稱為中性延遲，由於 80% 的折射發生於對流層，因此又稱為對流層延遲，而對流層在天頂方向的總延遲量約 2.5 公尺左右，其中乾空氣造成的乾延遲或稱為靜力延遲占 90% 左右，約 2.2 公尺。水氣所造成的濕延遲占 10% 以上，約 0.3 公尺(Rocken, 1995)。但水氣引起的濕延遲很難用一個模式精準估計。

儘管水氣在大氣中只占整個大氣比例的 0.1%~4%，但水氣對電磁波所造成延遲量卻佔大氣總延遲量的 10% 以上，因此水氣變化對電磁波的影響十分敏感，以每莫耳水氣的折射率大約是乾空氣的 17 倍(Businger, 1996)，這使得 GPS 定位中無法去除的一個誤差；但是，水氣確是氣象上一個重要的物理量，

如雲和降水的產生皆與水氣的變化密切相關，而水氣相變會產生很高的相變潛熱，這些潛熱確影響大氣的垂直穩定度，對流系統的結構和演變以及地表輻射平衡，亦是影響全球氣候系統中的溫室氣體，它不僅吸收和輻射太陽能量，對低層大氣的化學作用也有顯著貢獻(Randolph H. Ware, 2000)。因此科學家便利用 GPS 定位的這個誤差來反演大氣中的水氣。

以我國現行地面 GPS 觀測站建置的情形(如圖 3)，現已達 300 多個 GPS 站，這些測站目前應用上仍以地震震測及土地測量為主，於氣象應用上僅以學術研究為主，而國外其他有關地基 GPS 氣象應用如天氣分析與預報、氣候分析及數值預報資料同化下面將逐一說明。

#### (一) 天氣分析與預報應用：

目前利用 GPS 網解算出即時的定義可降水量資料(Precipitable Water Vapor, PWV)，產生各種 PWV 的產品，如 PWV 時序圖、分析圖及變化圖等，可作為一種天氣預報與分析的工具。根據每次降水前 PWV 有迅速增加的特點，利用 PWV 時序資料統計每月預報降水過程的 PWV 預報值，此外其他諸如分布演變圖可了解強對流天氣過程中水氣輸送特徵，散度圖可反映出水氣輻合和輻散的變化，對於短時強對流天氣預報有一定參考作用，因 GPS 觀測資料的連續性可以使我們知道大氣中水氣微觀的物理變化，進而瞭解許多天氣現象的發生與演變。

#### (二) 氣候分析：

利用 PWV 長時間尺度的統計，可分析各季節不同型態天氣系統水氣氣候概況，目前已有相關研究指出季節交替之際水氣有季節性跳躍的特徵，未來亦可結合多國的地基 GPS 觀測站資料來統計與分析如聖嬰現象等較大天氣尺度之氣候系統。

#### (三) 數值預報資料同化的應用：

由於過去數值預報資料的初始場資料主要來自於每日 00Z 及 12Z 各國探空測站施放探空氣球所得之大氣垂直資料，而探空氣球於上升過程中受高空風場影響其所量測的大氣垂直溫、溼度往往並非施放點的真实水氣資料，因此，GPS 所測量的 PWV 較探空氣球所測得的水氣量更具客觀性及代表性，目前亦有相關研究將 PWV 資料同化於 MM5 及 WRF 模式，對模式初始溼度場進行調整，結果顯示對降水量預報有顯著改善。

目前 GPS 氣象應用僅限於 GPS 衛星系統，隨著俄羅斯的 GLONASS、歐盟的 Galileo 及中共的北斗星等導航衛星系統的建立，全球定位系統將逐漸統合為 GNSS(Global navigation satellite system)，因此未來地面接收站接收機將可同時接收多個系統的導航衛星訊號，這將使觀測資料的為現今的數倍以上，這不僅使反演的大氣參數精度顯著提高，將使 GPS 監測網在天氣監測和預報發揮更大的功效，尤其在定量降水預報上提供極大助益，除此之外亦可在氣候分析及數值預報上提供客觀及大量的初始場資料。

### 三、空基 GPS 氣象應用

空基 GPS 氣象應用主要利用無線電掩星觀測技術為基礎，而無線電掩星觀測原理為無線電波的傳播在不同介質中也會產生折射的現象。因此，在軌道運行的人造衛星，運用無線電波與其它人造衛星或地面控制站互相傳送資訊時，均會受到大氣層的折射。掩星技術(Radio Occultation, RO)利用這項折射原理，推算出電波訊號所受到的折射，進而推算得知介質的成份與狀態。

目前國際上實際運用此一技術觀測地球大氣電離層與中性大氣，即是「福爾摩沙衛星三號計畫」此計畫為我國與美國合作的一個大型雙邊國際合作計畫，此計畫由雙方政

府授權執行，我國為國家太空中心(NSPO)與美國大學大氣研究聯盟(UCAR)共同合作執行，以建立全球大氣即時觀測網之先進技術發展計畫，又稱之為「氣象、電離層及氣候之衛星星系觀測系統」(Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate, COSMIC)，簡稱為 FORMOSAT-3/COSMIC 計畫。福衛三號星系共有六顆微衛星，於 2006 年 4 月 15 日自美國加州范登堡基地發射載具將六顆微衛星送到約 515 公里的入射軌道。每顆都有三個酬載儀器，包含 GPS 掩星量測儀(簡稱 GOX)，是藉由量測到的 GPS 訊號來推算大氣的溫度、壓力、溼度等各項參數；小型光度量測儀(簡稱 TIP)，是藉由夜間觀測光度來推算電離層電子密度梯度；以及三頻段信標儀(簡稱 TBB)要搭配地面站來探測電離層不規則體的結構。衛星的控制是藉由位於新竹的多重任務中心，利用臺灣的地面站與位在美國及瑞典的遠端地面站，來傳送指令給衛星，並且接收衛星下傳的資料(福爾摩沙三號星系系統架構如圖 4)。

目前在觀測上 1 顆微衛星和 24 顆 GPS 衛星理論上可進行 500 次掩星觀測，6 顆分布全球的微衛星理論上應可提供全球 3000 個掩星觀測點的大氣要素廓線資料(圖 5)，目前實際上每日觀測資料約有 2000 多個掩星觀測的電離層與中性大氣要素的廓線資料，可大大彌補常規探空資料在海洋、高原、沙漠及兩極地區。目前應用上已將此資料應用到天氣分析研究及數值預報模式的資料同化中，目前，國際間重要的數值預報作業中心，如：歐盟(ECMWF)、美國(NCEP)、法國(Meteo France)、英國(UKMO)、加拿大(MSC)等均證實，GPS RO 的偏折角或折射率觀測，透過數值資料同化過程，可以改善全球數值模式的溫度及風場等初始環流結構，從而提高對大氣環流場的預報準確度。

由資料分析顯示，GPS RO 資料具有無偏

差的特性，可作為其它衛星輻射量觀測資料的基準，另外ECMWF發現同化GPS RO資料可減少高層溫度偏差，即是因同化GPS RO資料可減少衛星輻射量觀測偏差所致。而ECMWF在對各類觀測對減少模式預報誤差的貢獻研究發現，此資料與目前數值模式最仰賴的氣象繞極衛星資料效果比較並不遜色，但在觀測資料的全球密度而言GPS RO遠不及傳統繞極軌道氣象衛星。由於使用福衛3號衛星資料的成功經驗，使得美國及歐盟均有興趣對GPS RO觀測衛星做更多的投資，可預想未來GPS RO資料在數值天氣預報系統將會獲得更廣泛的應用，對推動天氣預報品質將更進一步的提升，並可能扮演至關重要的角色。

#### 四、GPS 氣象應用

本文挑選 2010 年 7-9 月份於台南市發生的兩個午後強降雨個案，因正值颱風盛行的月份，個案挑選時在綜觀天氣方面，排除熱帶氣旋或颱風降雨直接影響，且無大尺度的天氣系統影響研究區域天氣的因素，所挑選個案日期分別為 7 月 21 日，當日累積雨量 82 公厘，最大時雨量 60.5 公厘及 8 月 15 日，當日累積雨量 62.5 公厘，最大時雨量 20.5 公厘，分析討論時依發生的日期以 DOY(Day Of Year)表示則 7 月 21 日簡稱為 202 個案而 8 月 15 日簡稱為 227 個案。

研究地區的 GPS 觀測站與氣象測站與自動雨量站分布如圖 6，中央氣象局局屬觀測站與自動氣象觀測站資料如表 1，GPS 觀測站資料如表 2。

透過 GPS 及地面氣象站的降雨資料進行分析，以 202 及 227 個案的 GPS/PWV 在同一時間其測站延遲量之比較，可由圖 7a 及 7b 中我們可以發現，計算出來的大氣可降水量變化趨勢非常一致，因此我們統計各測站間

大氣可降水量的關係係數，其結果如表 3a 及 3b 所示與地形高程呈現高度相關，因此在相鄰的地理位置下，其環境水氣分布應大致相同，至於為何降雨事件的發生在相鄰地區並非同時發生，主要受到高空風、平流效應、地表環境及熱力作用等因素所影響。

進一步分析大氣可降水量與降雨的關係時發現到，降雨發生前大氣可降水量會發生陡升的情況，表示降雨發生前需水氣聚集。另外從累積雨量較明顯處都發生在高可降水量之後如圖 8 及圖 9 所示，因此可證明 GPS-PWV 可顯示發生強降雨前的變化量，換言之可能提前知道降雨現象發生。另由圖 10 及圖 11 所示可降水量會隨著溫度變化和改變，當溫度上升時可降水量亦隨之上升，經降雨過後延遲量有減少趨勢。但由圖 10 及圖 11 顯示在降雨發生後可降水量確有再度升高的情況，而降雨量並未隨之增加，其所表示的意義可能因發生二次對流使降落至地面的降雨因地表高溫使降水蒸發、散成水氣，而造成可降水量增加之情況或受高空風影響將降雨區吹拂至雨量站以外之地點造成高可降水量而無對應之降雨量，此一現象尚有許多因素造成。因此亦可知造成區域降雨量的多寡，其影響因素眾多，如能在局部地區密集設立 GPS 觀測站及雨量站配合高空風場資訊應可有效掌握與瞭解中尺度降雨與可降水量之間之關係。

由圖 12 歸納出最大可降水量與最大降雨量時間差( $\Delta t$ )可發現有定量的關係，但與 GPS 及氣象站位置有關，表 4 為 GPS 測站與氣象站之距離，如 GS32 及 GS35 兩測站與氣象站距離皆小於 1 公里，其 $\Delta t$ 在兩個案之值皆非常接近甚至吻合，且就距離來看距離越近期吻合度愈高，以 GS32 測站為例於最大可降水量發生後 120 分鐘為最大降雨量發生時間，GS35 測站與氣象站距離為 0.8 公里其最大可降水量發生後 60 分鐘為最大降雨量發生時

間，而測站距離大於 1 公里以上時，其 $\Delta t$ 差異性便非常之大，無參考價值。

以 GS32 及 GS35 兩測站之地理位置分析其 $\Delta t$ 值大小的關係，就地形而言 GS32 測站位於虎頭埤風景區該地形高程雖與鄰近區域相近，但接近由於接近丘陵地形，地形高程有較顯著的抬升，而 GS35 測站位於歸仁鄉其地形為平原地形，就對流發展機制而言丘陵與平原除同受熱力作用產生的自然對流外，丘陵地因受氣流沿地形高程被迫抬升而產生強制對流，故其對流機制較僅受熱力作用之平原地區對流強度較強，因此最大可降水量極值發生後，在此可降水量可視為環境最大可容納的水氣量，其後因空氣飽和轉為液態降水降落地面，因對流雲內的舉升氣流尚能支撐液態降水，故最大可降水量極值發生時間與最大降雨量發生的時間差將對流強度影響。利用可降水量的數值的變動趨勢，將有助於降雨預報。

#### 五、結論

眾所周知，形成降水與強對流天氣過程均需具備兩個基本條件，首要的即是充沛的水氣供應，其二便是較強的上升運動，就常規氣象觀測資料而言主要還是依賴地面與探空觀測，以目前常規探空觀測的站點間距就全球平均約為 300 公里，時間間隔為 12 小時，而大氣中的水氣變化是一個高度可變參數，常規的探空資料有時間及空間的侷限性，使我們無法即時瞭解大氣的水氣變化，因此導致預報的失準。具備高精度、高空間辨識率及觀測連續性的 GPS/PWV 資料對監測大氣中的水氣變化，提高降水與災害性天氣的監測和預報能力有著重要應用。

#### 六、參考文獻：

- 呂冠毅，2011，GPS 衛星訊號對流層濕空氣與降水量之關係研究——以台南地區夏季中尺度降水為例，國立成功大學地球科學系碩士論文。
- 劉說安、曾珮莉、王傳盛，2005，近即時 GPS 觀測大氣可降水量技術之開發，第二十四屆測量學術及應用研討會。
- 曾清涼，儲慶美，1999，GPS 衛星測量原理與應用，(第二版)，國立成功大學衛星資訊研究中心。
- Bauersima I., 1983, NAVSTAR/Global Positioning System(GPS) II, diointerferome-trische 5Satellitenbeobachtungen. Mitteilungen der Satelliten-Beobachtungsstati-on Zimmerwald, Bern, vol. 10.
- Bevis, M., S. Businger, S. Chiswell, T. A. Herring, R. A. Anthes, C. Rocken, and R. H. Ware, 1994. GPS Meteorology - Mapping zenith wet delays onto precipitable water. Journal of Applied Meteorology, 33: 379-386.
- Bevis, M., S. Businger, T. A. Herring, C. Rocken, R. A. Anthes, and R. H. Ware, 1992. GPS Meteorology: Remote sensing atmospheric water vapor using Global Positioning System. Journal of Geophysical Research, 97(D14): 15787-15801.
- Businger, S., S. R. Chiswell, M. Bevis, J. P. Duan, R. A. Anthes, C. Rocken, R. H. Ware, M. Exner, T. van Hove, and F. S. Solheim, 1996. The promise of GPS in atmospheric monitoring. Bulletin of the American Meteorological Society, 77: 5-18.
- Duan, j., et al., 1996, GPS meteorology : Direct estimation of the absolute value of precipitable water, J. Apple Meteorology., 35, 6, 830-838.,
- Liou, Y. A., and C. Y. Huang, 2000, GPS

observations of PW during the passage of a typhoon, Earth Planets and Space, 52(10), 709-712.

Leick, A., 2004, GPS satellite surveying, Wiley. Niell, A. E., 1996, Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 101(B2), 3227-3246.

Thayer, D., 1974: An improved equation for the radio refractive index of air. Radio Sci., 9, 803-807.

Rocken, C., J. M. Johnson, R. E. Neilan, M. Cerezo, J. R. Jordan, M. J. Falls, I. D. Nelson, R. H. Ware, and M. Hayes, 1991, The Measurement of Atmospheric Water-Vapor - Radiometer Comparison and Spatial Variations, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 29(1), 3-8.

Rocken, C., van Howe T, et al., 1995, GPS/STORM: GPS sensing of atmospheric water vapor for meteorology. J Atmos Oceanic Techn, 12:468-478.

Rocken, C., R. Anthes, M. Exner, D. Hunt, S. Sokolovskiy, R. Ware, M. Gorbunov, W. Schreiner, D. Feng, B. Herman, Y.H. Kuo, and X. Zou, 1997, Analysis and validation of GPS/MET data in the neutral atmosphere. J. Geophys. Res., 102, 29849-29866

Randolph H. Ware; David W. Fulker; Seth A. Stein; David N. Anderson; Susan K. Avery; Richard D. Clark; Kelvin K. Droegemeier; Joachim P. Kuettnner; J. Bernard Minster., 2000, Soroosh Sorooshian (Profiled Author: Seth A Stein) Bulletin of the American Meteorological Society. 81(4):677-694.

Saastamoinen, J., 1972, Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites. In the use of artificial

satellites for geodesy, Geophys. Monogr. Ser. edited by Henriksen SW et al, 15, 247-251.

Saastamoinen, J., 1973, Contributions to the theory of atmospheric refraction, Bulletin Géodésique, 47(1), 13-34. Spilker, J., 1980, GPS signal structure and performance characteristics. Navigation (USA) 25 (1978). In: Janiczek (ed.) (1986), Vol. 1: 29-54.

表 1. 中央氣象局局屬觀測站與自動氣象觀測站資料表

站號	站名	海拔高程(m)
467410	臺南	13.8m
467420	永康	8.1m
C1O95	和順	4 m
C1O97	虎頭埤	60 m
C1O99	媽祖廟	23 m
C1N00	沙崙	25 m
C1O98	新市	76 m
C0O90	善化	64 m
C1V23	高中	760 m
C1V22	小關山	1781 m
C1V20	梅山	860 m

表 2. 本研究選取的 GPS 連續觀測站表

站名	測站全名	海拔高程(m)	建站單位
GS28	中崙加壓站	26	地調所
GS31	西勢國小	44	地調所
GS32	虎頭埤	57	地調所
GS33	永華國小	25	地調所
GS35	成大航太	51	地調所
PAOL	寶來	431	中研院
TAYN	桃源	645	中研院
MESN	梅山	925	測繪中心

表 3a. 7 月 20 至 21 日台南地區各測站大氣可降水量之關係係數

	GS28	GS31	GS32	GS33	GS35	PAOL	TAYN	MESN
GS28	1	0.88	0.92	0.90	0.85	0.66	0.62	0.42
GS31	0.89	1	0.96	0.94	0.97	0.75	0.79	0.55
GS32	0.92	0.96	1	0.93	0.93	0.74	0.75	0.49
GS33	0.90	0.94	0.93	1	0.90	0.75	0.77	0.50
GS35	0.85	0.97	0.93	0.90	1	0.73	0.77	0.55
PAOL	0.66	0.75	0.74	0.75	0.73	1	0.95	0.88
TAYN	0.62	0.79	0.75	0.77	0.77	0.95	1	0.82
MESN	0.42	0.55	0.49	0.50	0.55	0.88	0.82	1

表 3b. 8 月 14 至 15 日台南地區各測站大氣可降水量之關係係數

	GS28	GS31	GS32	GS33	GS35	PAOL	TAYN	MESN
GS28	1	0.94	0.91	0.90	0.90	0.17	0.10	-0.03
GS31	0.94	1	0.93	0.90	0.93	0.15	0.10	-0.02
GS32	0.91	0.93	1	0.81	0.93	0.25	0.23	0.11
GS33	0.90	0.90	0.81	1	0.83	0.16	0.10	-0.02
GS35	0.90	0.93	0.93	0.83	1	0.25	0.24	0.11
PAOL	0.17	0.15	0.25	0.16	0.25	1	0.94	0.71
TAYN	0.10	0.10	0.23	0.10	0.24	0.94	1	0.77
MESN	-0.03	-0.02	0.11	-0.02	0.11	0.71	0.77	1

表 4. GPS 測站與氣象站之距離

GPS 測站	中崙 GS28	西勢 GS31	虎頭埤 GS32	永華 GS33	成大 GS35	寶來 PAOL	桃源 TAYN	梅山 MESN
雨量參考站	台南	媽祖廟	虎頭埤	永康	沙崙	高中	小關山	梅山
相應距離 km	8	1.3	0.4	3.6	0.8	3.2	4.4	1.3

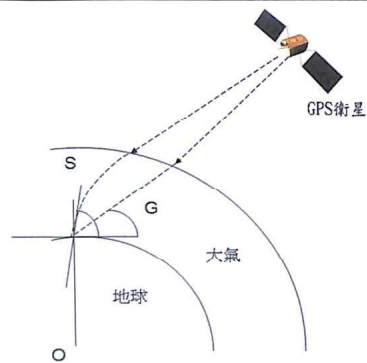


圖 1. GPS 訊號通過地球大氣的傳播路徑 S 和幾何直線路徑 G。

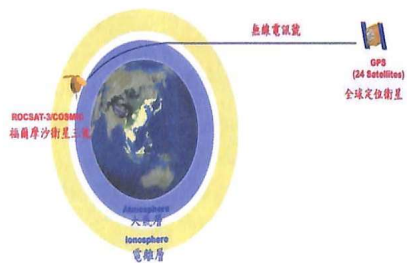


圖 2. 福衛三號為應用掩星技術結合全球定位衛星的科學衛星(修改自劉 2005)

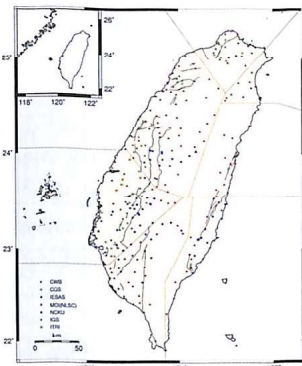


圖 3. 我國地面 GPS 測站分布圖

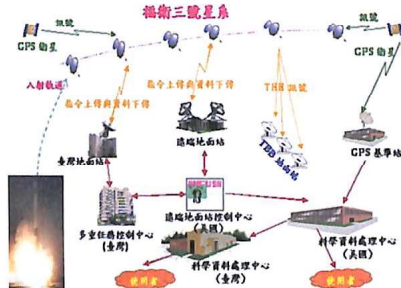


圖 4. 福爾摩沙三號星系系統架構

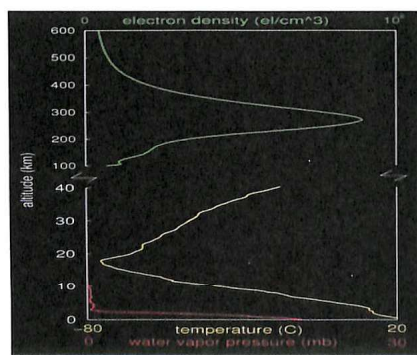


圖 5. 大氣要素廓線資料(CDAAC 數據產品)

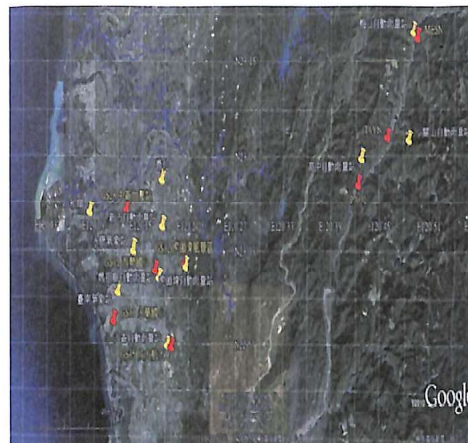


圖 6. GPS 觀測站與氣象測站與自動雨量站分布圖

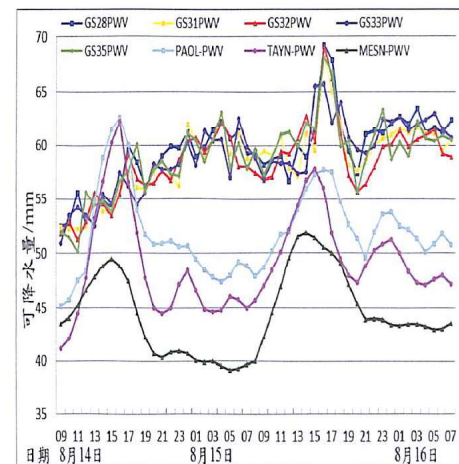


圖 7b. 2010 年 8 月 14-16 日台南地區可降水量時序變化圖

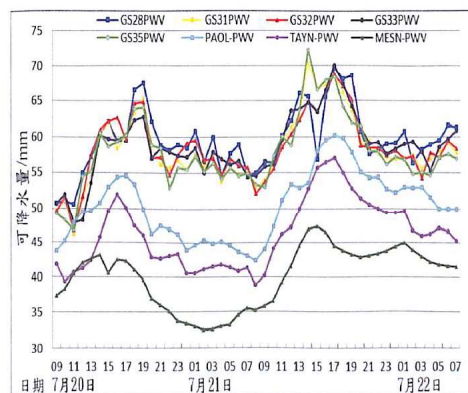


圖 7a. 2010 年 7 月 20-22 日台南地區可降水量時序變化圖

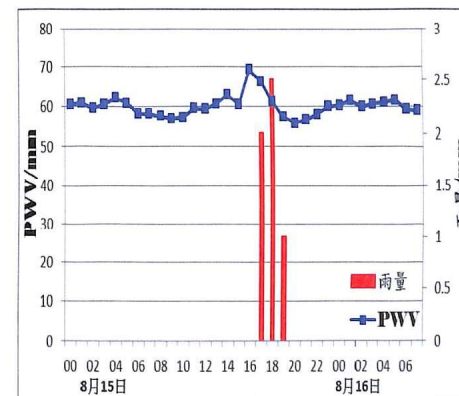


圖 8. 虎頭埤站(GS32)降雨量與溫度及可降水量關係

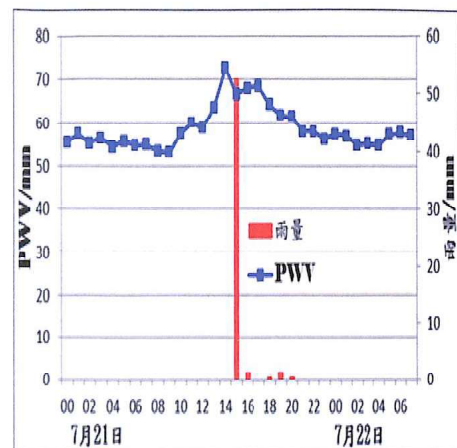


圖 9. 成大航太站(GS35)降雨量與溫度及可降水量關係

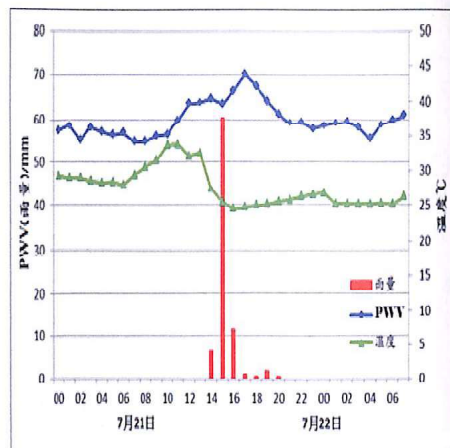


圖 11. 永華國小站(GS33)降雨量與溫度及可降水量關係

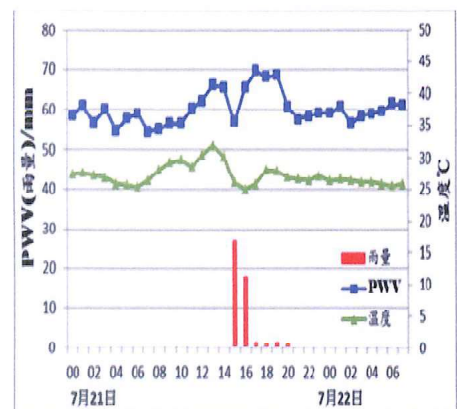


圖 10. 中崙加壓站(GS28)降雨量與溫度及可降水量關係

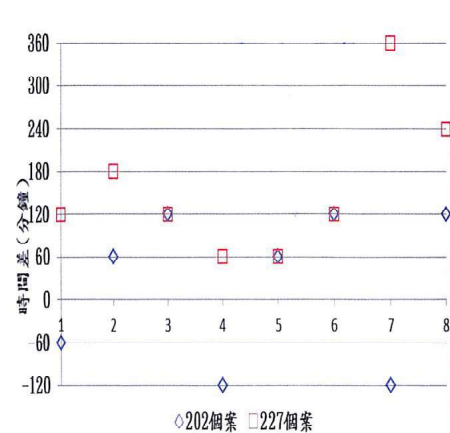


圖 12. 最大可降水量與最大降雨量時間差之散布圖。橫軸 1 表 GS28 測站；2 表 GS31 測站；3 表 GS32 測站；4 表 GS33 測站；5 表 GS35 測站；6 表 PAOL 測站；7 表 TAYN 測站；8 表 MESN 測站。

### Applications of GPS in Meteorology Observations

Lu Guan-Yi<sup>1,2</sup> Ming-Chee Wu<sup>2</sup> Tseng Ching-liang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Tactical Control Air Traffic Control & Meteorology, Air Force Institute of Technology

<sup>2</sup> Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University

#### Abstract

The Global Positioning System (GPS) remote sensing of atmospheric water vapor is a new observation method, at high altitude observations, forecasts technology development is very important. The traditional ground-based observatories only sampled data from the ground, and are unable to extend the vertical height. Therefore, the high resolution and continuity of observation capabilities of the high-altitude satellites can make up for the shortcoming of the ground-based observatories. The propagation path of GPS signals from high-altitude contained tropospheric water vapor characterized with a vertical distribution, which makes it different from the conventional observation data.

**Keywords:** global positioning system, remote sensing, high-altitude observations, forecast