

應用地面 GPS 觀測估計大氣中總水汽含量

劉說安¹ 林修國²

摘要

本研究利用 GPS 高精度的載波相位觀測量估計大氣所造成的遲延量,再藉由地表氣壓及溫度將遲延量轉換為總水汽含量。在估計遲延量的過程中,首先以氣象局長期的氣球探空及地面觀測資料,建立起台灣地區遲延量與總水汽含量之轉換式,並分析此轉換式的精度。最後,我們利用 GPS 觀測資料求得大氣造成之遲延量,再藉由上述之轉換式,將估計得之遲延量轉換為總水汽含量。

一、前言

大氣中的水分子,藉由本身之永久偶極性(permanent dipole moment),在相位變化時,伴隨發生的是極大能量的釋出或吸收,即潛熱(latent heat)變化,因而影響大氣垂直的穩定度,如颱風的結構與演變。換句話說,在一垂直圓柱體內,水氣總含量(Integrated Water Vapor; IWV)代表從水分子中可釋出的總潛熱含量,是數值氣象預報(Numerical Weather Prediction; NWP)模式中不可或缺的約制[1,2]。其他相關研究也建議,知道水汽的分布對於了解氣象及全球氣候是必備條件[3,4]。

本文探討全球定位系統(Global Positioning System; GPS)估計水氣總含量之技術。GPS 發展源自 1960 年代中期,美國空軍及海軍為了軍事上導航和定位方面的需要各自研擬了定位計畫。於 1973 年時,美國國防部整合這兩項計畫,並且將它擴大它的應用到民事用途,而發展成現今之全球定位系統。目前 GPS 除了被廣泛的應用在測量及導航的領域外,在科學上也常被應用於電離層及大氣層觀測。

二、濕遲延與總水汽含量的關係

利用 GPS 可估計得,因水汽造成之天頂向遲延量(Zenith Wet Delay; ZWD),而該量與可降水(Precipitable Water Vapor; PW)存在著一轉換關係[Bevis et al. 1994]:

$$PW = \Pi \times ZWD \quad (1)$$

而
$$\Pi = \frac{10^6}{\rho R_v [(k_3 / T_m) + k_2']}$$

其中, ρ 為水的密度, R_v 為水汽的比氣體常數(specific gas constant for water vapor), k_2' 為 $22.1 \pm 2.2 \text{ K mb}^{-1}$, k_3 為 $(3.739 \pm 0.012) \times 10^5 \text{ K}^2 \text{ mb}^{-1}$, 以及 T_m 為大氣的加權平均溫度(weighted mean temperature of the atmosphere), 其值為:

¹ 中央大學太空及遙測中心副教授

² 中央大學大氣物理所博士後選人

$$T_m = \frac{\int (P_v / T) dz}{\int (P_v / T^2) dz} \quad (2)$$

其中， P_v 為水汽分壓， T 為溫度。而總水汽含量即為可降水乘上水的密度。

一般而言， Π 約為 0.15，但該量由於季節、所在位置與天候的不同，存在著 20% 的變異性 [Bevis et al. 1994]，因此本文的主要目的之一，即為決定該參數在台灣地區的數值。由式(1)參數 Π 可由 T_m 來決定，而 Bevis 氏(1992)指出可利用地表的溫度(T_s)來描述 T_m ，所以我們嘗試利用氣象局氣球探空資料，以積分的方式分析參數 Π 與地表溫度的關係。

本文利用 84 年 7 月 1 日至 85 年 6 月 30 日，氣象局花蓮站共兩年的氣球探空資料進行分析，總共有 1372 組資料，計算得參數 Π (PW/ZWD) 之結果見圖 1，同時亦繪出對應的地表溫度。由圖 1 可以看出參數 Π 與地表溫度是高相關的，而參數 Π 的平均值為 0.16、標準差為 0.0025，而分布的範圍在 0.151~0.171 之間。

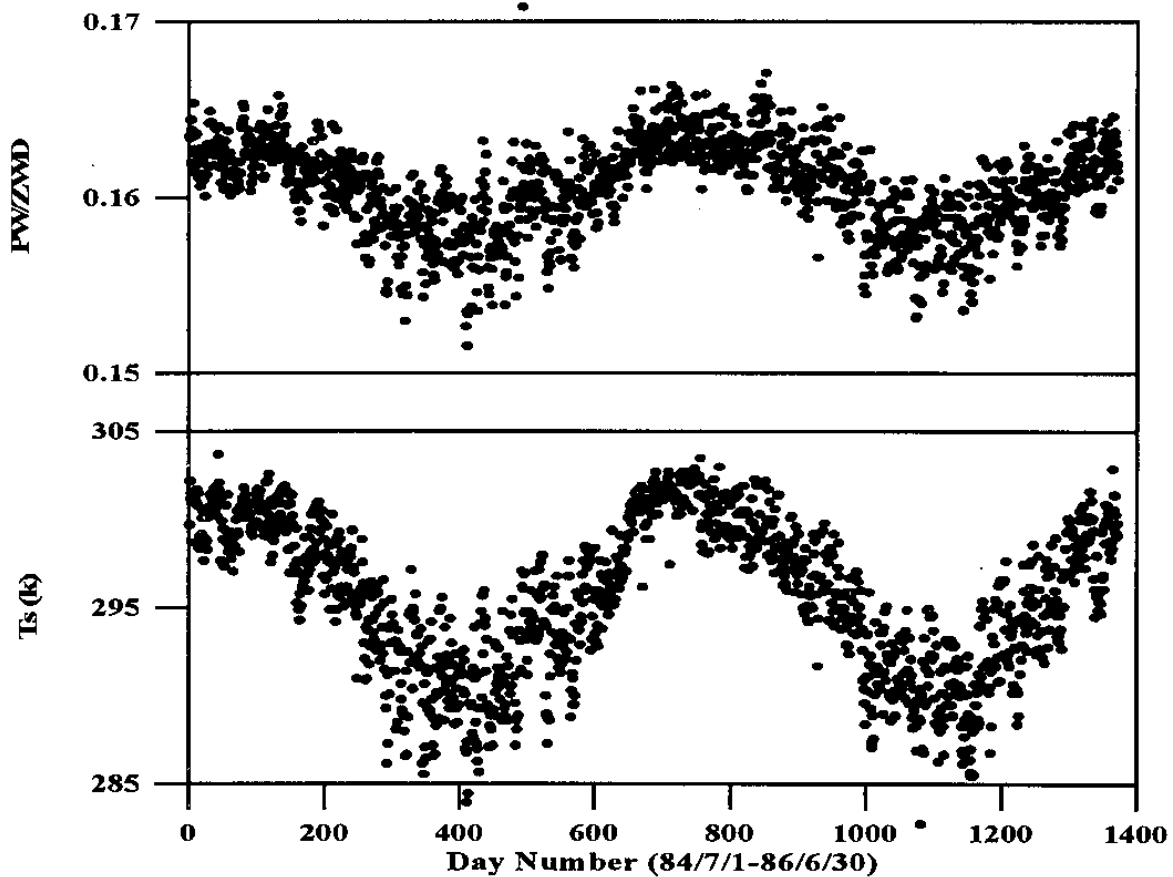


圖 1. 氣象局花蓮站氣球探空資料計算得之參數 Π 及對應之地表溫度。

另外，吾人利用相同的資料分析加權平均溫度與地表溫度的關係，其結果見圖 2。由圖 2 可以發現加權平均溫度與地表溫度的相對關係幾為一直線，因此本文採用一次式來描述兩者的關係。利用上述資料以最小二乘法迴歸其係數後，可將加權平均溫度與地表溫度的關係表為：

$$T_m = 0.91T_s + 13.1 \quad (K) \quad (3)$$

而平差所得之標準差為 2.276 (K)，此關係式與 Bevis 氏(1992)所用之 $T_m = 0.77T_s + 55.8$ (Albany, New York) 有頗大的差異，而這種現象即反應了區域性的差別。

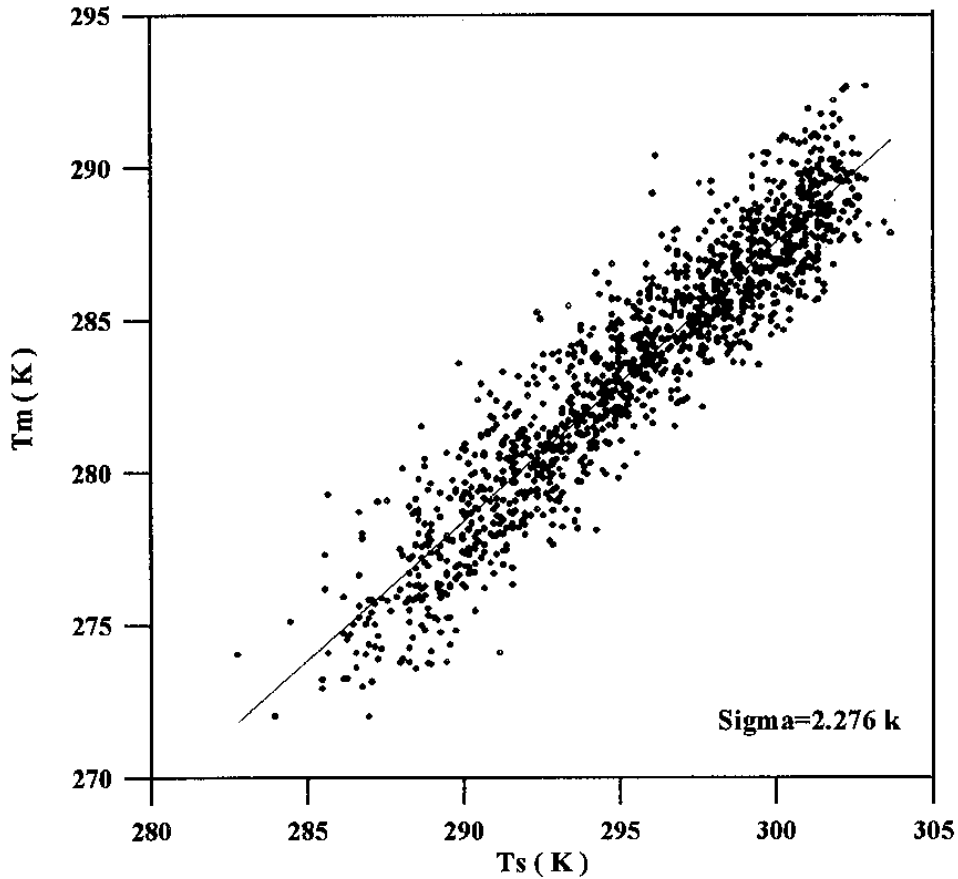


圖 2. 地表溫度與加權平均溫度之關係圖。

利用上述的關係式，即可由地表的溫度執行式(1)估得參數 $\hat{\Pi}$ ，將參數 $\hat{\Pi}$ 與氣球探空資料計算得之參數 Π 進行比較，可以發現兩者之間之較差平均值為 0.0009 及標準差為 0.0014(見圖 3)。也就是說，若視氣球探空資料計算得之參數 Π 為參考值，由於參數 Π 為 0.16(參圖 1)，則以上述關係式求得之參數 $\hat{\Pi}$ 有 $\frac{0.0014}{0.16} = 0.9\%$ 的精度。

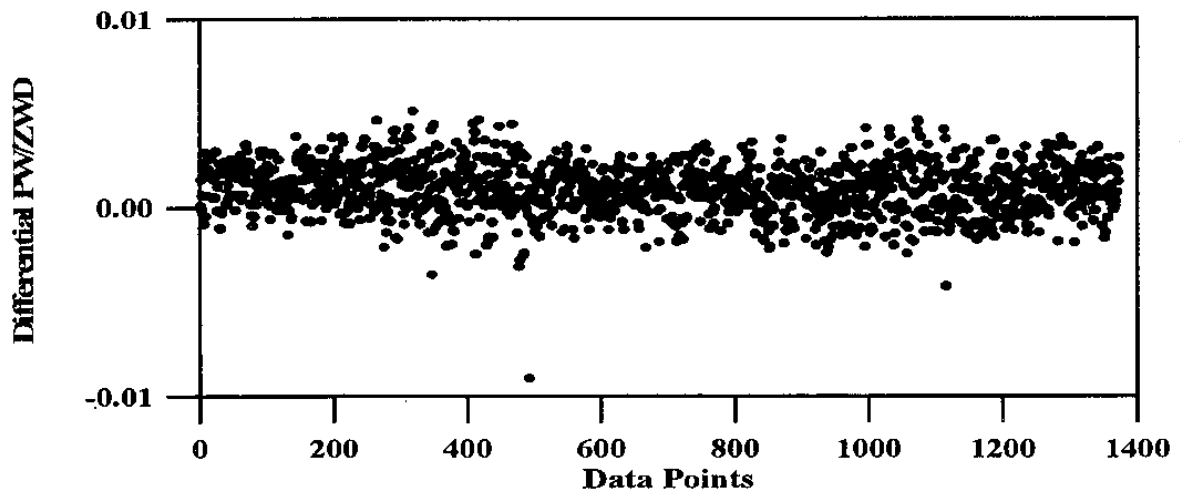


圖 3. 模式估計與氣球探空資料計算所得參數 Π 之比較圖。

三、應用 GPS 觀測大氣遲延量

當 GPS 衛星訊號自衛星播送下來時，於通過大氣層的過程中會受到大氣影響。而這些影響可依其介質的性質，區分為內外兩層；以離地表高度 50 公里處為界，內層為中性大氣層（含對流層、同溫層）部分，外層為離子化區之電離層（ionosphere）部分（含中氣層、增溫層）。其中電離層的影響可利用雙頻的資料予以消除或予以估算[林修國 1992, Hofmann-Wellenhof et al. 1994]，而中性大氣之影響亦可以模式進行大致的估算[Janes et al. 1989、1991]或藉由映射函數(mapping function)加以估算[Leick 1995]，本文即利用此方式來估計對流層遲延量。

表 1 所示為地面 GPS 觀測估計之可降水，觀測時間為 1996 年 8 月間，觀測地點於中央大學研究大樓衛星主點(SPP1)，參考站為內政部一等衛星控制點(中壢休息站)。求得之可降水介於 33 到 43 mm 間，是屬於相當合理的數值。

表 1. 地面觀測估計大氣中可降水

時間 (日:時:分)	可降水 (mm)	遲延量 (m)
26:23:05	0.043	2.5827
26:23:15	0.041	2.5721
26:23:25	0.040	2.5668
26:23:35	0.042	2.5788
26:23:45	0.041	2.5698
26:23:55	0.039	2.5595
27:00:05	0.039	2.5571
27:00:15	0.038	2.5518
27:00:25	0.038	2.5544
27:00:35	0.039	2.5606
27:00:45	0.038	2.5557
27:00:55	0.040	2.5643
27:01:05	0.037	2.5498
27:01:15	0.033	2.5226

四、結論與展望

我們以迴歸分析的方式，建立起因水汽造成之天頂向遲延量與可降水的關係式，當與氣球探空資料計算得之成果進行比較時，得知該轉換關係有 0.9% 的精度。另外，成功的以 GPS 觀測量求得可降水，其數值為一合理的等級，但仍待其他方法(如 water vapor radiometers)來驗證其精度。

參考文獻

- 林修國，1992:「用GPS雙頻P電碼及載波相位研究電離層與衛星定位」，碩士論文，國立中央大學太空科學研究所，中壢。
- Bevis, M., S. Businger, T. A. Herring, C. Rocken, R. A. Anthes, and R. H. Ware, 1992: "GPS Meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System," *Journal of Geophysical Research*, 97, 15787-15801.
- Bevis, M., S. Businger, and S. Chiswell, 1994: "GPS Meteorology: Mapping Zenith Wet Delay onto precipitable water," *Journal of Applied Meteorology*, 33, 379-386.

- Janes, H. W., R. B. Langley and S. P. Newby, 1989: "A Comparison of Several Models for the Prediction of Tropospheric Propagation Delay," Proceedings of the Fifth International Geodetic Symposium, Las Cruces, New Mexico, 777-788.
- Janes, H. W., Langley, R. B., and Newby, S. P., 1991: "Analysis of Tropospheric Delay Prediction Models: Comparisons with Ray-Tracing and Implications for GPS Relative Positioning." Bulletin Géodésique, 65(3), 151-161.
- Kuo, Y.-H., Y.-R., Guo, and E. R. Westwater, 1993: "Assimilation of precipitable water into a mesoscale numerical model," Monthly Weather Review, 121, 1215-1238.
- Kuo, Y.-H., and Y.-R., Guo, 1996: "Variational assimilation of precipitable water using a nonhydrostatic mesoscale adjoint model, Part I: Moisture retrieval and sensitivity experiments," Monthly Weather Review, in press.
- Leick A., 1995: GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons, New York .
- Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, and J. Collins, 1994: Global Positioning System Theory and Practice, Springer-Verlag, Wien.
- Stephens, G. L., and T. J. Greenwald, 1991: "The Earth's radiation budget and its relation to atmospheric hydrology," Journal of Geophysical Research, 96, 15311-15324.
- Houghton, J. T., B. A. Callander, and S. K. Varney, Eds., 1992: Climate Change, University of Cambridge Press.