

# 衛星資料反演水氣參數在乾旱分析上之應用初探

劉振榮<sup>1,2,3</sup> 陳宇敬<sup>2</sup> 林唐煌<sup>1</sup>

<sup>1</sup>國立中央大學太空及遙測研究中心

<sup>2</sup>國立中央大學水文科學研究所

<sup>3</sup>國立中央大學大氣物理研究所

## 摘要

本研究之最終目的是建立一個適用於台灣地區的乾旱分析指標，以期尋找出可能的乾旱預警分析方法，現階段的初步目標是以分析總可降水量 (total precipitable water, TPW) 的變化情形，並針對全球、區域及單站來看台灣旱象的特徵。本研究以 NOAA 系列衛星資料求得全球 0-30 度緯向平均總可降水量；以 DMSP 衛星資料選取北緯 0 至 40 度，東經 100-140 度作區域性的範圍平均，另以台灣地區單站的分析則分別以板橋及花蓮探空測站為例。初步結果顯示：2002 年及 2003 年前 6 個月的總可降水量，不論其單月平均或是年平均可降水量，均較於近十二年來之長期平均值有明顯減少的現象，正是近幾年顯著的旱災年，而 2000 和 2001 年則無此現象產生。

## 一、前言

乾旱是自然災害中經濟效益損失極嚴重的原因之一，平均每年在全球造成 60 至 80 億美元的經濟損失，且影響的人數比任何一個天然災害都來的多 (Wilhite, 2000)。因此，如何有效評估乾旱的嚴重度是非常重要的，然而要準確地量化乾旱至今仍是很困難的課題。

乾旱的類型可區分為四類，分別為氣象、水文、農業以及社會經濟 (Rasmussen et al., 1993; Wilhite and Glantz, 1985)。氣象上的乾旱是指降雨的不足，水文上的乾旱是指包括河流流量、水庫蓄水量和地下水水位高度所供應的水體不足；農業上的乾是指供應植物生長水體的短缺，也意指土壤含水率扣除蒸發散損失的不足 (World Meteorological Organization, WMO, 1975)。本研究的主要目的即在於建立一個適用於台灣地區的乾旱分析指標，以期能尋找出可能預警乾旱的方法，以為相關單位的因應決策。

在國際間之相關研究，例如 (Grody et al., 2001) 即利用 AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit) 資料推求可降水和雲水含量。(Alishouse et al., 1990) 則以 SSM/I (Special Sensor Microwave Imager) 資料估算海面上之總降水量，並和不同的地面觀測驗證資料配合，發展出物理法和統計法的反演公式，而研究結果均顯示其與降水有相當程度的相關。因此，利用衛星遙測

所估算的總可降水量，對於建立乾旱指標預期應有莫大的幫助。

本研究的目標主要是先分析台灣近十四年的總可降水量變化情形，再應用相對於傳統資料在空間與時間解析上具優勢的衛星遙測資料，將總可降水量以直接或間接的方式估算出，以更豐富的資料分析評估台灣及鄰近地區總降水量的長期變化情形，並據此分析影響台灣地區乾旱的海氣特徵，以期未來能應用衛星資料充分掌握台灣地區的乾旱趨勢。

## 二、研究方法

### 2.1 探空資料求總可降水量方法

以板橋及花蓮探空資料可知各壓力層的高度，溫度和相對溼度等，由 Clausius-Clapeyron 方程式 (劉等人, 1996) 計算出各高度層飽和水氣壓，以相對溼度即可求得各高度層之水氣含量。求得之後，再由

$$WV_{total} = \int_0^{\infty} WV dz \quad (1)$$

即可累積各層的水氣含量而求得大氣中的可降水量。

## 2.2 AMSU 資料反演總可降水方法

衛星接收到的微波輻射能量可以以輻射傳遞方程，經 (Grody et al., 1980) 推導可得：

$$T_B \cong T_s [1 - \tau_{\nu_s}^{2 \sec \theta} (1 - \varepsilon_{\nu_s})] \quad (2)$$

其中  $T_s$  是地表溫度， $\varepsilon_{\nu_s}$  是地表發射率，與頻率、極化、天頂角和掃描角度有關。而  $\tau_{\nu_s}$  是地表至大氣層頂的透射率，主要與 TPW、CLW (cloud liquid water) 有關，可如下表示：

$$\tau_{\nu_s} = \exp[-(TPW/V_\nu + CLW/Q_\nu) + \kappa_\nu] \quad (3)$$

其中  $\kappa_\nu$  為氧的吸收率， $V_\nu$  和  $Q_\nu$  是頻率  $\nu$  的函數， $Q_\nu$  也和雲的溫度、粒徑大小分佈有關。然而在模擬非降雨性雲層時，粒徑大小比輻射波長小，因此其對粒徑的變化可忽略，而氧吸收率只與頻率有關。結合(2)式和(3)式可得：

$$\frac{TPW}{V_\nu} + \frac{CLW}{Q_\nu} + \kappa_\nu = \frac{\cos \theta}{2} \{ \ln[T_s(1 - \varepsilon_{\nu_s})] - \ln(T_s - T_B) \} \quad (4)$$

由於因海表面發射率改變而使亮溫發生的變化，比起因水氣和液態水使得透射率發生的變化來的小很多，一般可將發射率視為常數。而 TPW 和 CLW 兩個參數的求得，需要兩個頻道來求解，其中 TPW 的估算式如下所示：

$$TPW = \cos \theta \{ C_0 + C_1 \ln[T_s - T_B(\nu_1)] + C_2 \ln[T_s - T_B(\nu_2)] \} \quad (5)$$

經由迴歸分析模擬 AMSU 的量測結果，23.8GHZ 和 31.4GHZ 是最理想的頻道。最後再以  $TPW/\cos \theta$  和  $\ln[T_s - T_B(\nu)]$  作迴歸求得迴歸係數。而為使  $T_s$  大於  $T_B(\nu)$ ，地表溫度設為 285K。將探空測站求得的可降水，與 AMSU-A 所覆蓋掃描的區域設定七個局部天頂角，從 0 度至 60 度以 10 度為單位所觀測的資料，分別代入求取迴歸係數。迴歸結果的均方根差是 0.76mm，所得迴歸係數如下：

$$\begin{aligned} C_0 &= 247.92 - [69.235 - 44.177 \cos(\theta)] \cos(\theta) \\ C_1 &= -116.270 \\ C_2 &= 73.409 \end{aligned}$$

## 2.3 SSM/I 資料反演總可降水方法

本研究所使用的另一種衛星遙測資料為 SSM/I 資料，其頻道包含 19GHZ、37GHZ 和 85GHZ 的垂直與水平極化頻道，以及 22GHZ 垂直極化頻道。本研究中所使用的頻道為 19GHZ、22GHZ 及 37GHZ 垂直頻道，採用的反演公式是由 (Alishouse et al., 1990) 研發的反演公式：

$$TPW = -3.75 + 1.507A - 0.01933A^2 + 0.000219A^3 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} A &= 232.89393 - 0.148596Tb(19V) \\ &\quad - 1.829125Tb(22V) + 0.006193 \\ &\quad Tb(22V)^2 - 0.36954Tb(37V) \end{aligned} \quad (7)$$

## 三、資料收集與處理

本研究所使用的探空資料為中央氣象局 1990 至 2003 年板橋及花蓮的探空資料。

AMSU 是現行作業中的 NOAA 繞極軌道衛星上 ATOVS 系統 (Advanced TIROS Operational Vertical Sounder) 的感測器，AMSU 是由 AMSU-A1、AMSU-A2 與 AMSU-B 三個儀器所組成，AMSU-A1 和 AMSU-A2 共有 15 個微波氧氣吸收頻道，AMSU-B 有 5 個較高頻的微波水氣吸收頻道。本研究所應用的資料為 AMSU-A2 的 23.8 及 31.4GHZ 頻道資料，選取的時間是 2000 年 12 月至 2003 年 7 月，資料觀測範圍在全球北緯 0-30N 之間。

本研究所使用的 SSM/I 資料為 2000 年 1 月 1 日至 2003 年 7 月 31 日的衛星觀測資料，所使用的資料分別有美國國防氣象衛星編號為 F10、F11、F12、F13、F14 及 F15 的 SSM/I 觀測資料。選取北緯 0~40N，東經 100~140E 區域為資料收錄範圍。裝載 SSM/I 微波輻射計的美國國防氣象衛星為一太陽同步衛星 (近似繞極軌道)，軌道高度約為 833km，以傾角 98.8 度繞地球飛行 (Hollinger et al., 1990)。SSM/I 輻射計共包含 19GHZ、22GHZ、37GHZ 及 85GHZ。除 22GHZ 只有垂直極化外，其它皆有垂直及水平極化頻道。

## 四、結果與討論

圖 1 為板橋及花蓮 2000 至 2003 年各月份之比較，可明顯的看出 2002 和 2003 年前六月份較 2000 及 2001 年皆減少許多。

圖 2 是 NOAA15、16、17 衛星所估算得全球北緯 0-30 度平均可降水量的日平均分布圖，由全球大尺度的變化來看，2000 年 12 月份 (圖 2.a) 可降水量由 43.5mm 左右開始下降至 39.5mm 左右，而 2001 年 (圖 2.b) 接續 2000 年從約 39.5mm 開始緩降至 3 月中旬時的約 36mm，之後開始爬升到 7 月中旬時約 49mm，為 2001 年的最高點，後又往下滑至 12 月份時的約 35mm，此時可明顯看出較之 2000 年底低了約 11%。2002 年 (圖 2.c) 接續 2001 年 12 月份，其 1 月份的總可降水量平均約為 35mm，

較 2001 年少了約 5mm，由此可看出在 2001 年底時就已約略顯現 2002 年初總可降水量的不足，也許這也是 2002 年的春雨有減少的原因。在 7 月中旬時的總可降水量約 46mm，較 2001 年亦來的低，而至 12 月份時則約為 34mm，較之 2000 年的正常年平均少了 15%。相同地，在 2003 年（圖 2.d）初減少的總可降水量也反應出春雨較 2000 及 2001 年來的少。

圖 3 是將時間尺度往前推至 1990 年板橋探空站可降水的變化情形，其中粗實線為總可降水量的年平均值。結果顯示 1990 至 1996 年間總可降水量變化不大，1998 年的總可降水量則有上升的情況，雖然 1999 年又回復至平均值，在 2002 年時則明顯下降。圖 5 是以 1990 年至 2001 年板橋探空站各月平均值為標準，分別與 2000、2001、2002 及 2003 年來比較，分析這近四年總可降水量的變異情況；結果顯示 2000、2001 年各月的值較長期平均值來的高；2002 年、2003 年則明顯較平均值低，而 2002 年差最多的是發生在八月份，少了約 20%，2003 年前 6 個月份也均較平均值為低。

圖 4 是 1990 年 1 月至 2003 年 6 月花蓮探空站月平均總可降水的變化情形，其中粗實線為總可降水量的年平均值。結果顯示 1990 至 1994 年總可降水量有些許降低，至 1995 年後有上昇的情況，雖然至 1998 年又回復至平均值，但接著 2000 年又上升至高峯，而在 2001 年後又開始下降。圖 6 是同樣以 1990 至 2001 年花蓮探空站各月的平均值為標準，分別與 2000、2001、2002 及 2003 年的總可降水量月平均值來比較，結果顯示 2000、2001 年各月份的值較平均值高，而 2002 年除了 11 月份外，各月的值均明顯降低，而差最多是發生在八月份，少了約 11%。2003 年前 6 月，除了 4 月份因有颱風較平均值高外，其餘月份也都較平均值低。

## 五、結論

以板橋及花蓮探空為例，2002 及 2003 年的水氣相較於由 1990 至 2001 年十二年長期水氣平均值有明顯的降低，就百分比而言 2002 年的水氣約較長期年平均少了 10%至 15%。由全球 0-30N 緯向平均也可看出在 2001 年和 2002 年底，以及 2002 年及 2003 年的年初都有明顯的降低，且由年底的的可降水量多寡約略可預警隔年的春雨多寡。因此，總可降水量可以是建立一個乾旱指標的重要依據，此外，分別由全球、區域及單站不同的尺度來分析，以及結合更多的海氣參數，如海溫或其它水氣相關參數，應可使應用衛星遙測資料在乾旱預警的分析上更具應用性。

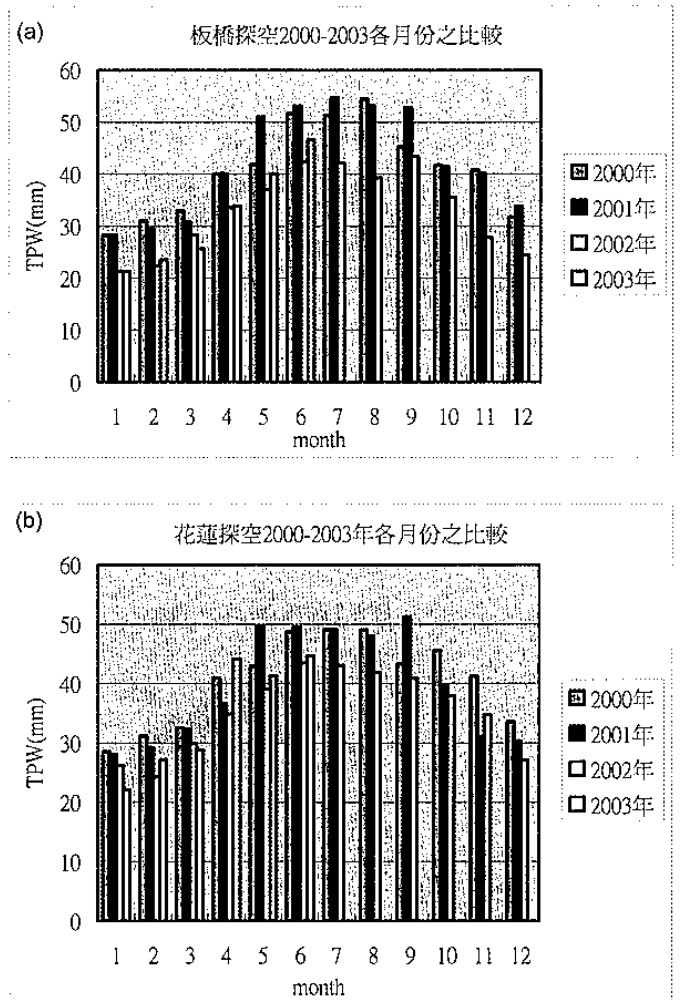
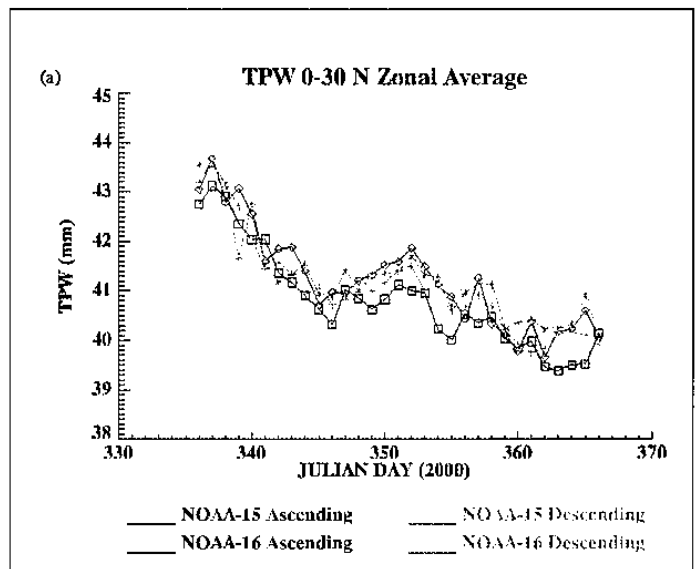


圖 1. 2000 年至 2002 年各月份月平均總可降水量比較圖，(a)板橋站，(b)花蓮站。



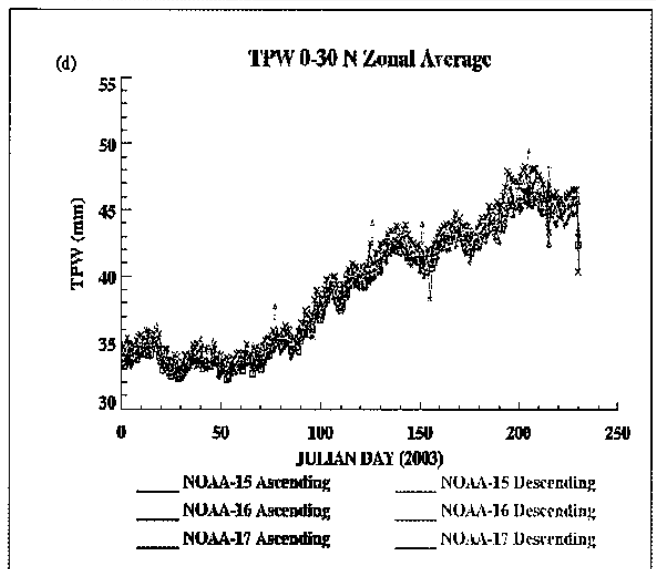
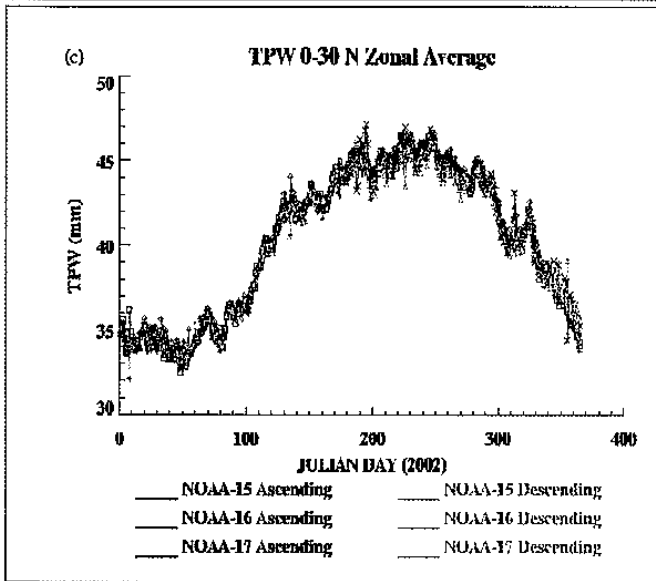
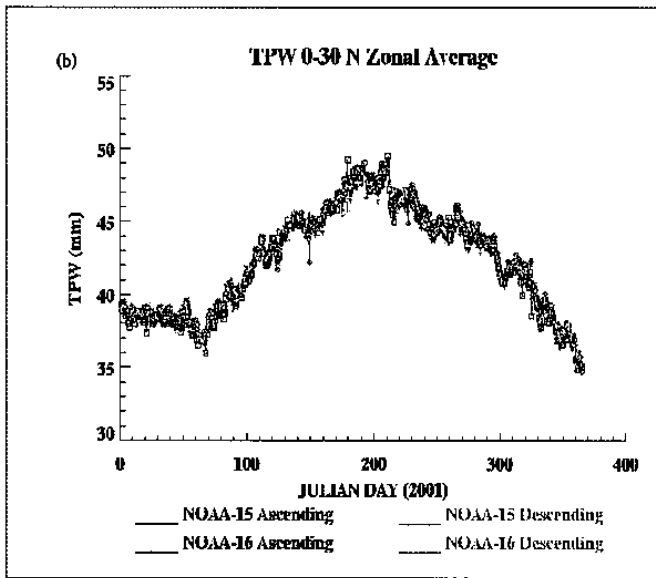


圖 2. NOAA 15、16、17 衛星所估算得全球北緯 0-30 度日平均總可降水量，(a)2000 年，(b)2001 年，(c)2002 年，(d)2003 年。

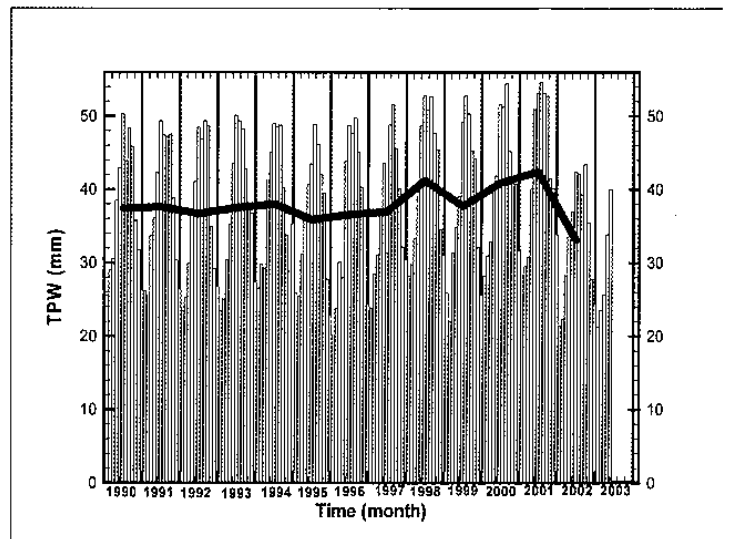


圖 3. 1990-2003 年板橋探空月平均總可降水量分佈圖。

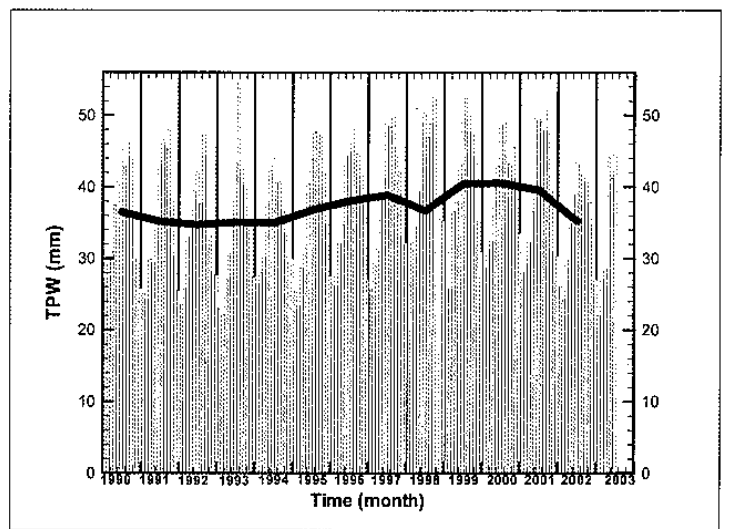
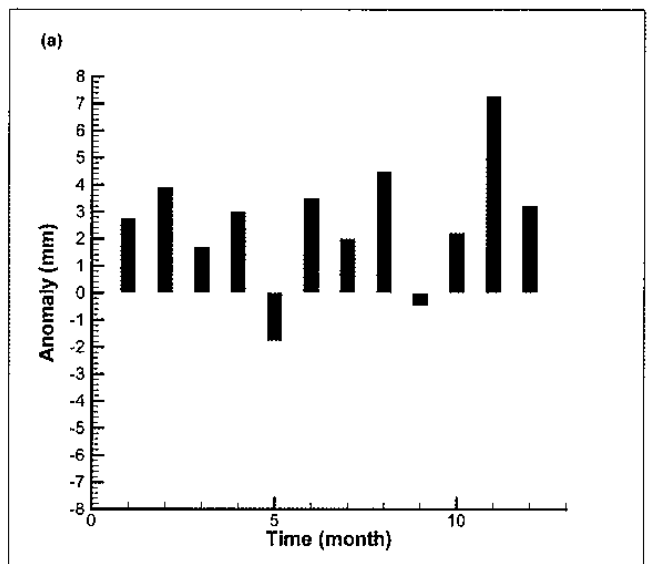


圖 4. 如圖 3，但為花蓮站。



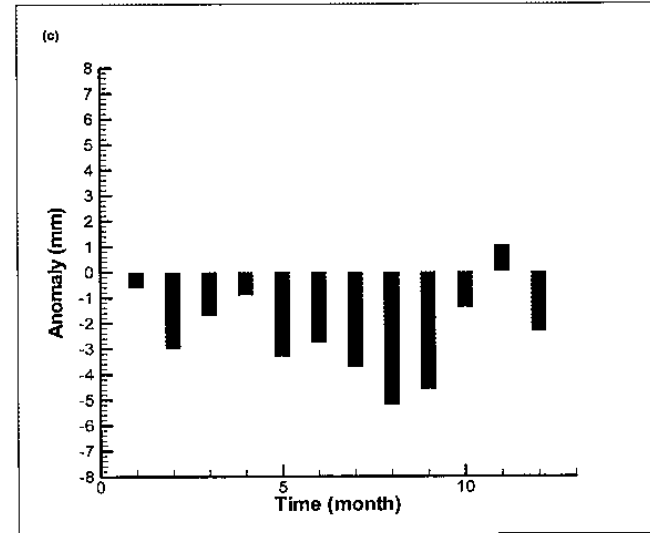
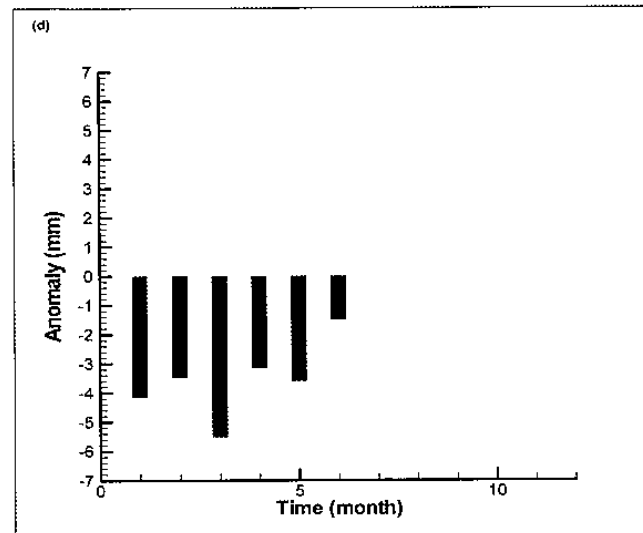
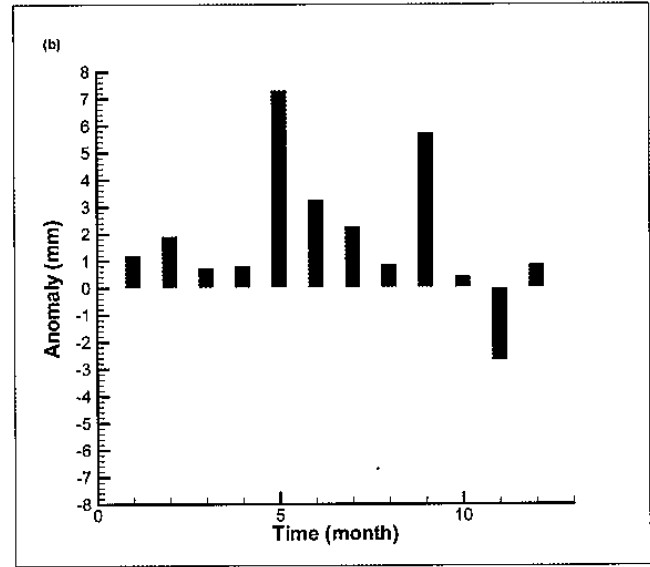
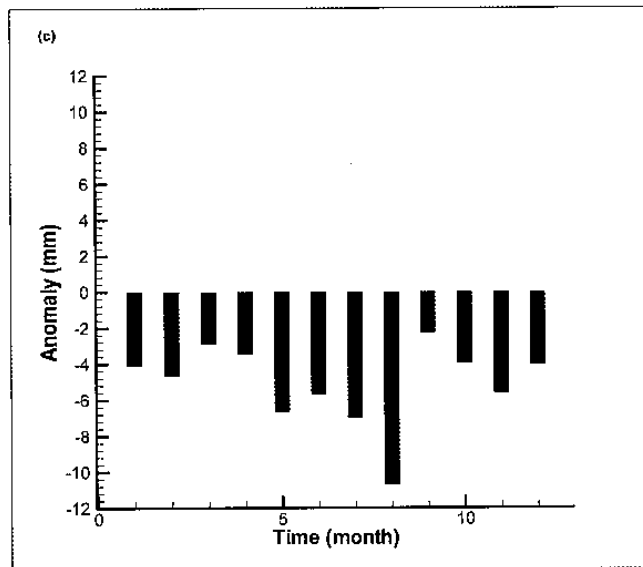
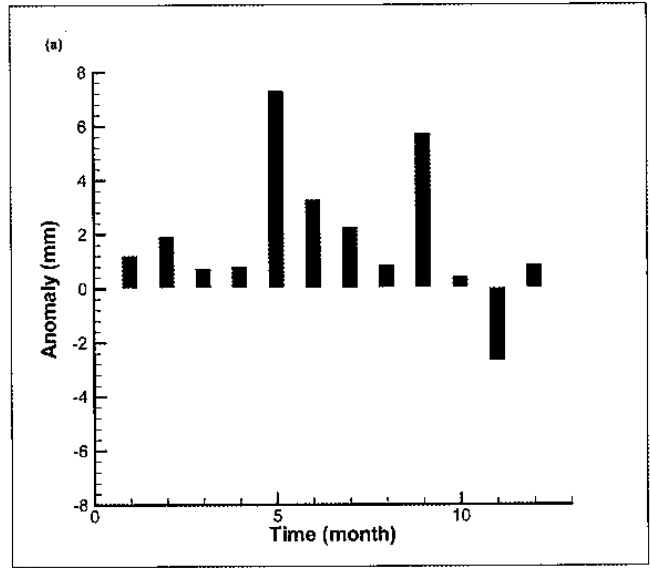
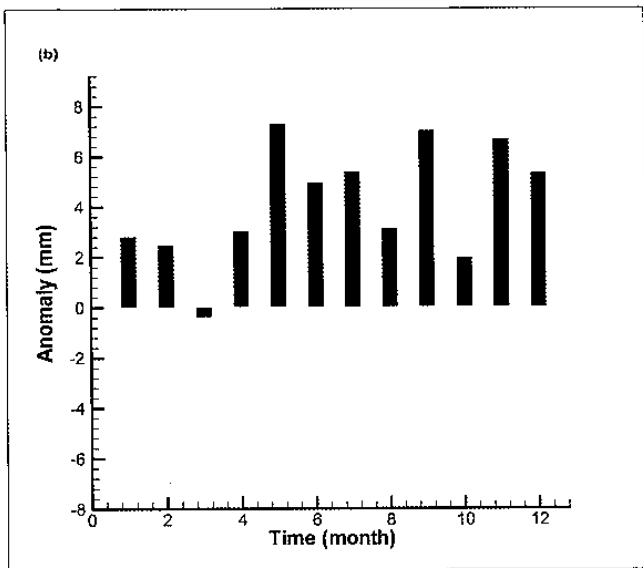


圖 5. (a)2000 年板橋探空總可降水量月平均的變異，(b)2001 年板橋探空總可降水量的月平均變異，(c)2002 年板橋探空總可降水量的月平均變異，(d)2003 年板橋探空總可降水量月平均變異，其中(a)至(d)以 1990-2001 年各月份平均值為標準值計算得的結果。

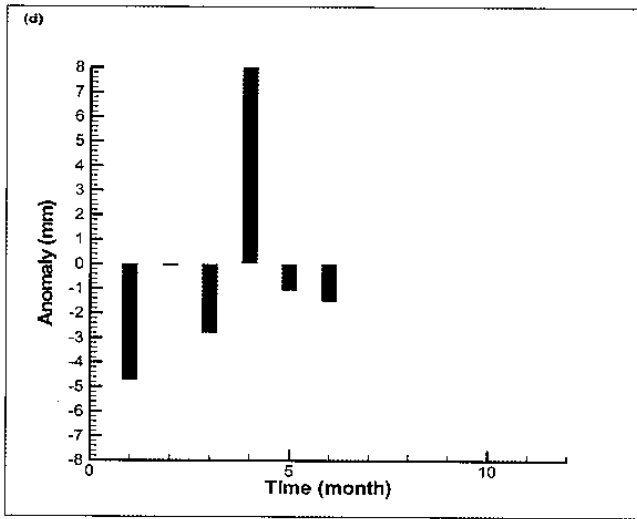


圖 6. (a)2000 年花蓮探空總可降水量的月平均變異，(b)2001 年花蓮探空總可降水量的月平均變異，(c)2002 年花蓮探空總可降水量的月平均變異，(d)2003 年花蓮探空總可降水量的月平均變異，其中(a)至(d)是以 1990-2001 年各月份平均值為標準值所計算得的結果。

## 六、參考文獻

- 劉振榮，高而正，林唐煌，1996: 地面微波遙測資料在大氣水氣含量估算上之研究。大氣科學，Vol.24, No.3, 165-188。
- Alishouse, J.C., S. Snyder, J. Vongsathorn, and R.R. Ferraro, 1990: Determination of oceanic total precipitable water from the SSM/I. *IEEE Trans. Geo. Rem. Sens.*, 28, 811-816.
- Grody, N., J. Zhao, R. Ferraro, F. Weng, and R. Boers, 2001: Determination of precipitable water and cloud liquid water over ocean from the NOAA 15 Advanced microwave sounding unit, *J. Geophys. Res.*, 106, 2943-2953.
- , A. Gruber, and W. C. Shen, 1980: Atmospheric water content derived from the Nimbus-6 scanning microwave spectrometer over the tropical pacific, *J. Appl. Meteorol.*, 19, 986-996.
- Hollinger, J. P., J. L. Perich, and G. A. Poe, 1990: SSM/I instrument evaluation, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 28, 781-790.
- Rasmussen, E.M., R. E. Dickinson, J. E. Kutzbach, and M. K. Cleaveland, 1993: Climatology. *Handbook of Hydrology*, D. R. Maidment, Ed., McGraw-Hill, 2.1-2.44.

Wilhite, D. A., 2000: Drought as a natural hazard: Concepts and definitions.

Drought: A Global Assessment, D. A. Wilhite, Ed. Routledge, 3-18.

-----, and M. H. Glantz, 1985: Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water Int.*, 10, 111-125.

WMO, 1975: Drought and Agriculture. WMO Tech. Note 138, 127 pp.

## 致謝

本研究為國科會專題研究計劃之部分成果，計劃編號為 nsc92-2625-z-008-008。