



利用GPS反演大氣可降水 及年變化分析

葉大綱¹、王傳盛¹、蕭棟元²、洪景山³、蔡雅婷³

國立台北大學 不動產與城鄉環境學系¹

醒吾科技大學 資訊科技系²

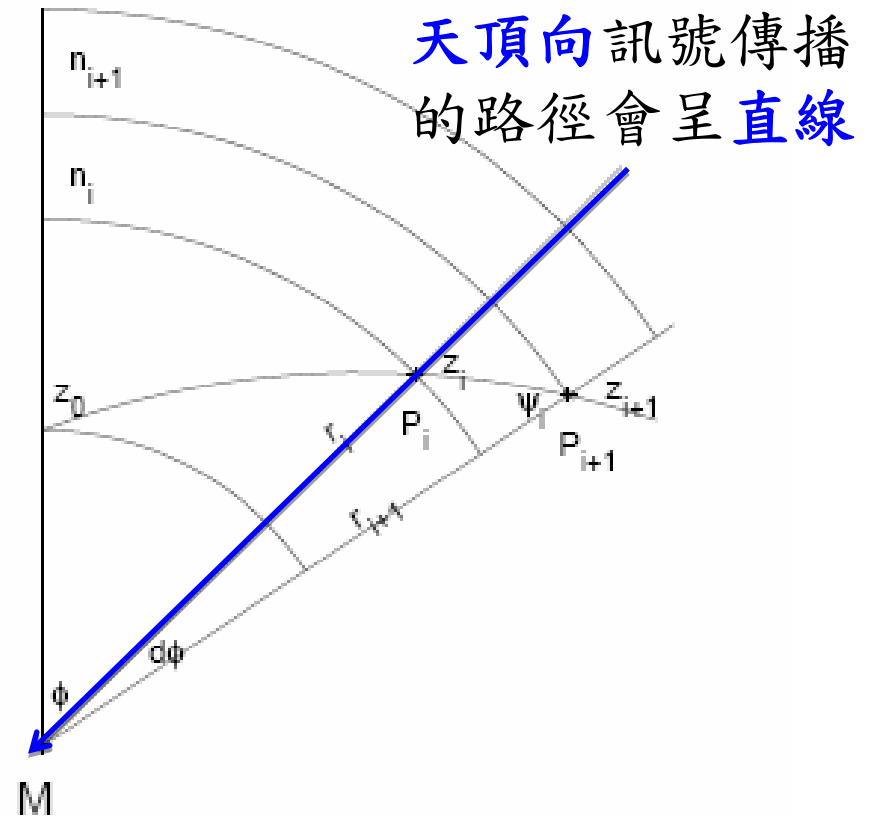
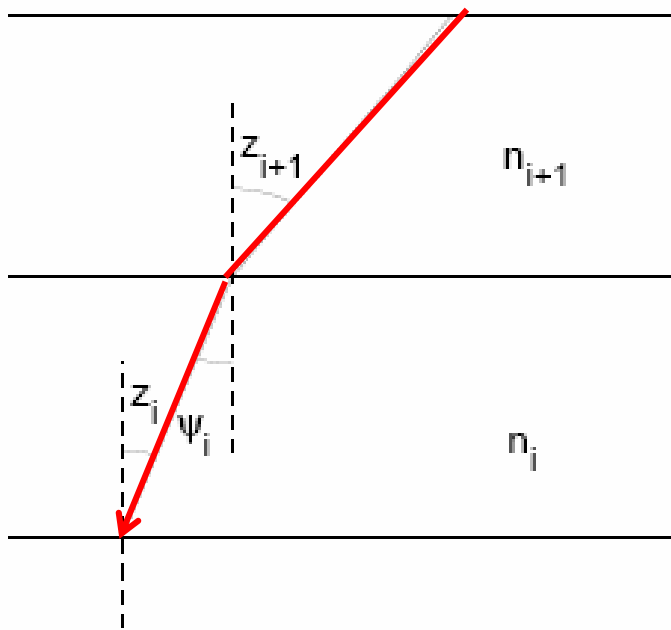
中央氣象局 氣象資訊中心³



GPS 訊號延遲現象

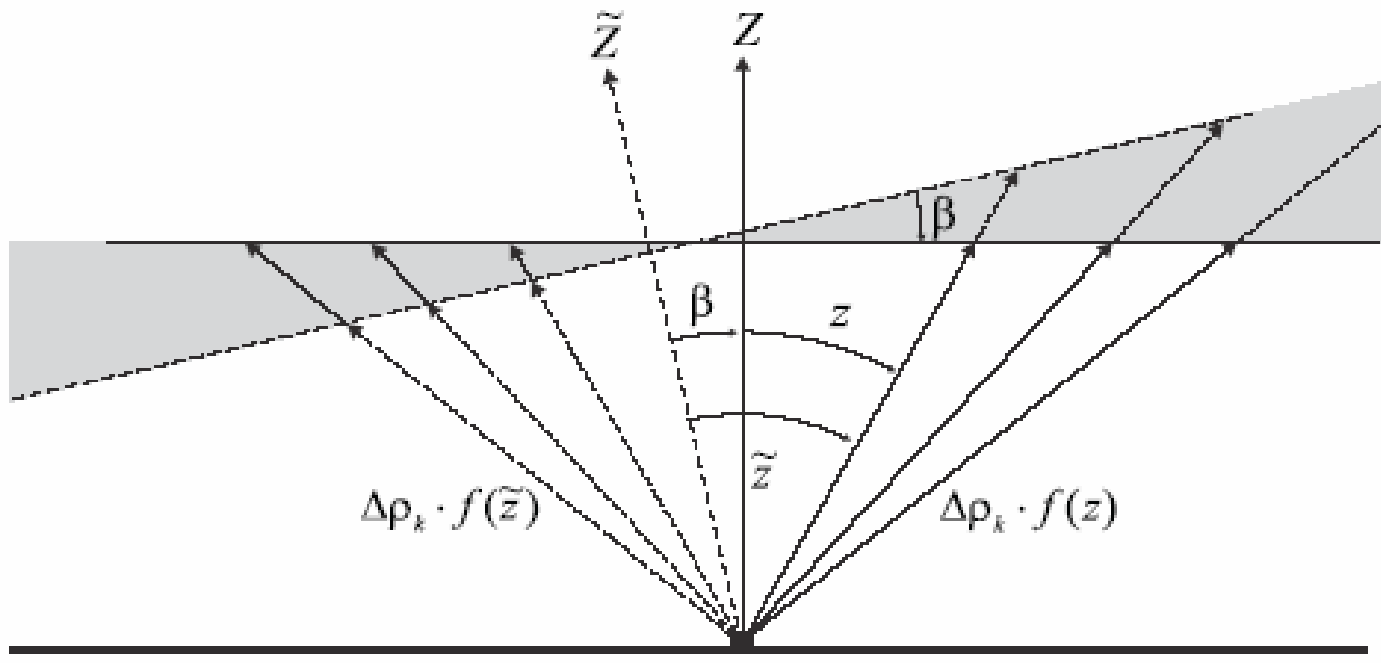
- GPS 衛星訊號在傳播的路徑中會穿過大氣層
 - 訊號在大氣中傳遞的速度比在真空中要慢
 - 訊號在大氣中傳播的路徑是曲線而非直線
- 對流層延遲誤差
 - 中性大氣層：包括對流層、平流層下部的氣體
- 電離層延遲誤差
 - 電離層：包括平流層上部、中氣層、增溫層的氣體

司乃耳定律



大氣延遲解決對策

- Saastamoinen的流體靜力延遲天頂方程式
- Marini的大氣延遲映射函數(Mapping Function)
- Gardner的方位不對稱模式





大氣延遲解決對策

$$D_{trop}^Z = 10^{-6} \left\{ \frac{k_1 R}{g_m M_d} P_s + \int_H^{\infty} \left[\left(k_2 - k_1 \frac{M_w}{M_d} \right) \frac{e}{T} + k_3 \frac{e}{T^2} \right] dz \right\} = D_{trop,h}^Z + D_{trop,w}^Z$$

R : 莫耳氣體常數

g_m : 大氣垂直空氣柱質量中心

M_d : 乾空氣莫耳質量

M_w : 水氣莫耳質量

P_s : 地表總大氣壓值

- 乾延遲：必須知道**地表總大氣壓**
- 濕延遲：必須知道**大氣溫度及水氣分壓**



大氣延遲計算方式

- 採用最小二乘法解算GPS觀測資料
 - 當測站座標已知，衛星位置由精密星曆得知，則測站至衛星的幾何距離即為已知值
 - 電離層遲延量：與載波頻率的平方成反比，利用雙頻載波無電離層線性組合消除
 - 對流層乾延遲：以**大氣模式**之估計值代入
 - 對流層濕延遲：以附加參數吸收剩餘的延遲量，換句話說當作**未知數**在整體平差中求解



大氣延遲計算方式

- 採用長距離基線相對定位來估算絕對量之天頂向濕延遲量(Zenithal Wet Delay, **ZWD**)
 - 相對於日本TSKB站
- 藉由水氣微波輻射儀(Water Vapor Radiometer, **WVR**)的外部修正，來驗證並進一步**提昇GPS反演之ZWD精度**
- GPS接收儀之天頂向濕延遲量與接收儀上空之可降水量(Precepitable Water Vapor, **PWV**)成比例關係

水氣微波輻射儀

- 擁有介於22~30 GHz之間的5個觀測波段
- 可觀測至10公里高的水氣剖面
- 單筆觀測時間不大於10秒
- 具有量測地表溫度、壓力、相對濕度的功能





ZWD與PWV之轉換

$$PWV = \Pi \times ZWD \quad \Pi = \frac{10^8}{\rho R_v \left[\frac{k_3}{T_m} + k_2' \right]}$$

$\rho = 1000(\text{kg}/\text{m}^3)$ 為水的密度

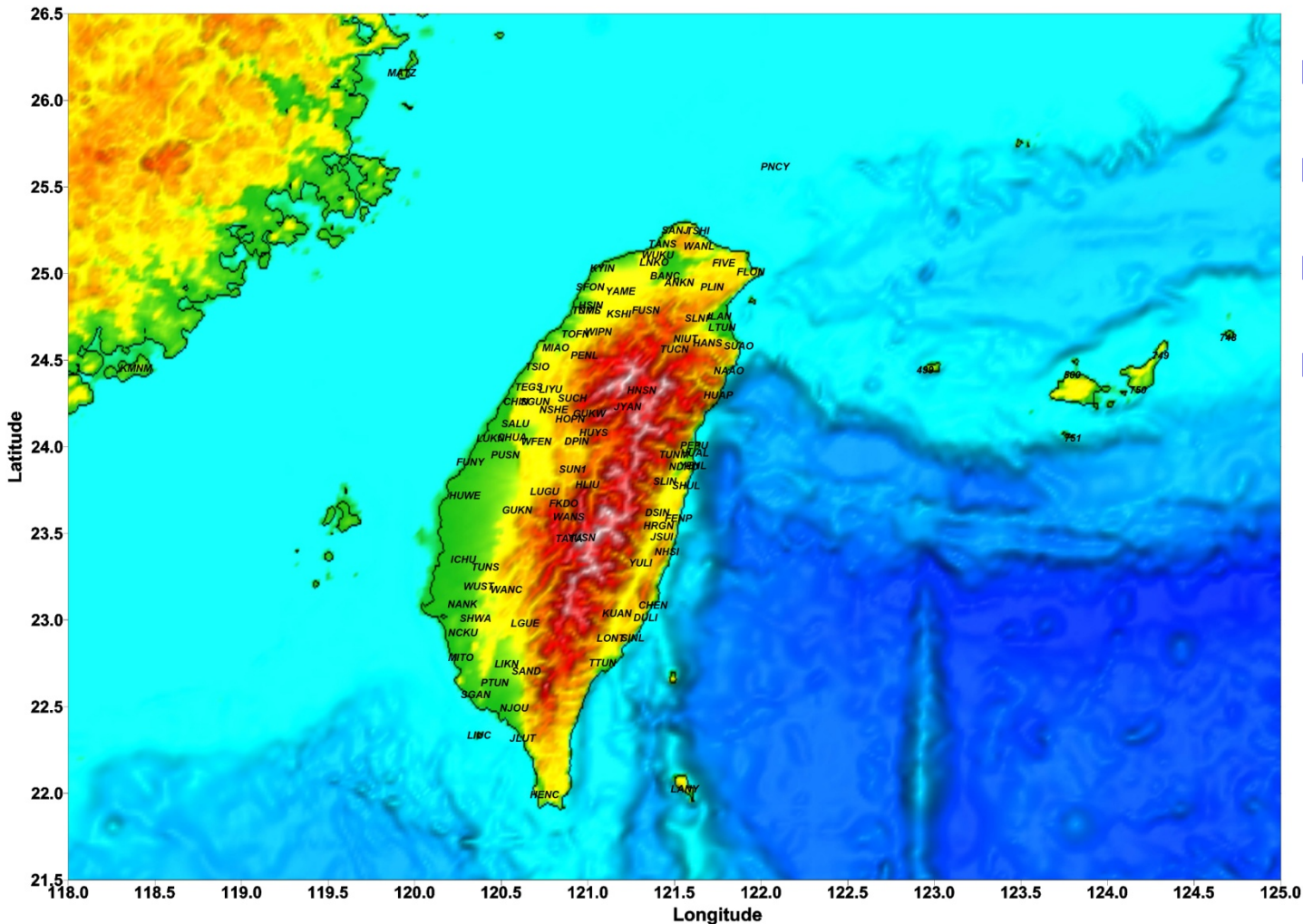
$R_v = 461.524(\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K})$ 為水汽氣體常數

$k_3 = (3.739 \pm 0.012) \times 10^5 (\text{K}^2/\text{mb})$

$T_m = 70.2 + 0.72T_s$ 為大氣加權平均溫度， T_s 為地面溫度

$k_2' = 22.1 \pm 2.2 (\text{K}/\text{mb})$

資料分析

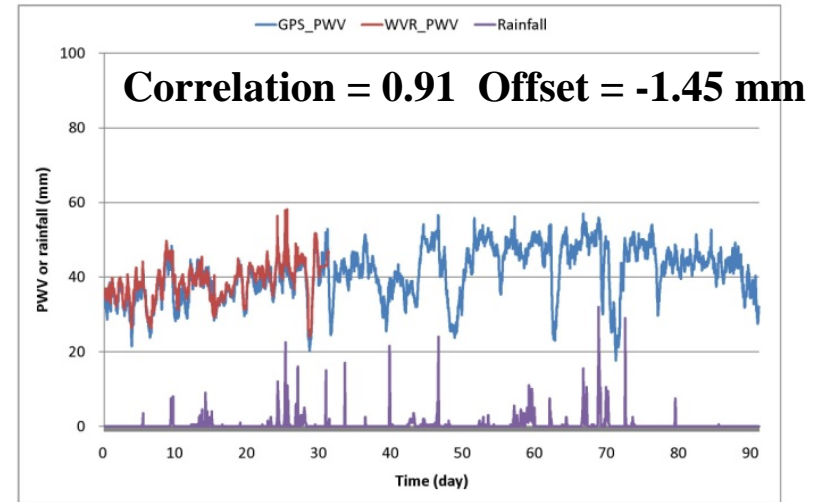
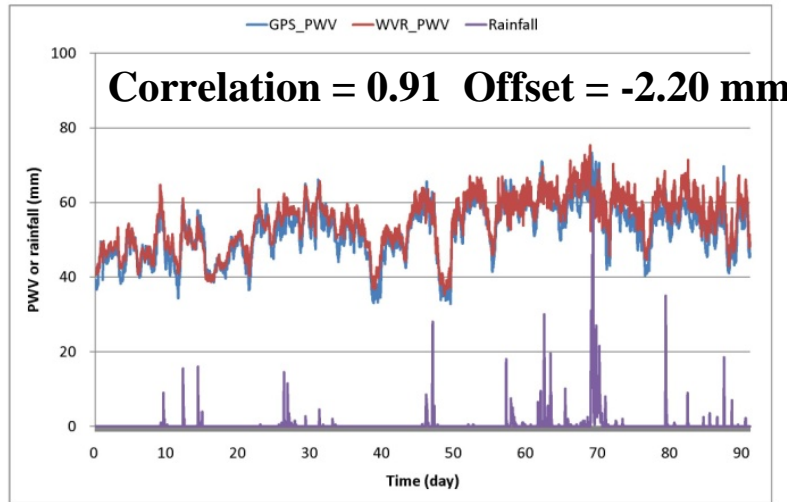


- 2006-2011
- ~100 GPS
- 2 WVR
- 490雨量站

GPS-PWV與WVR-PWV之比較

PKGM

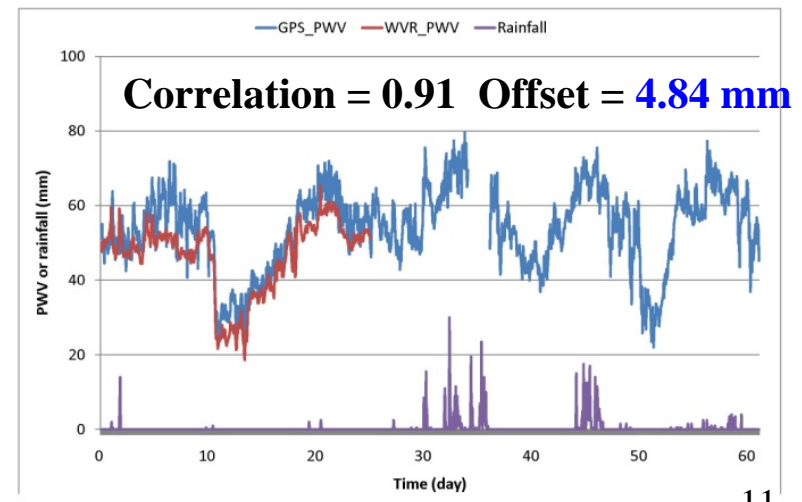
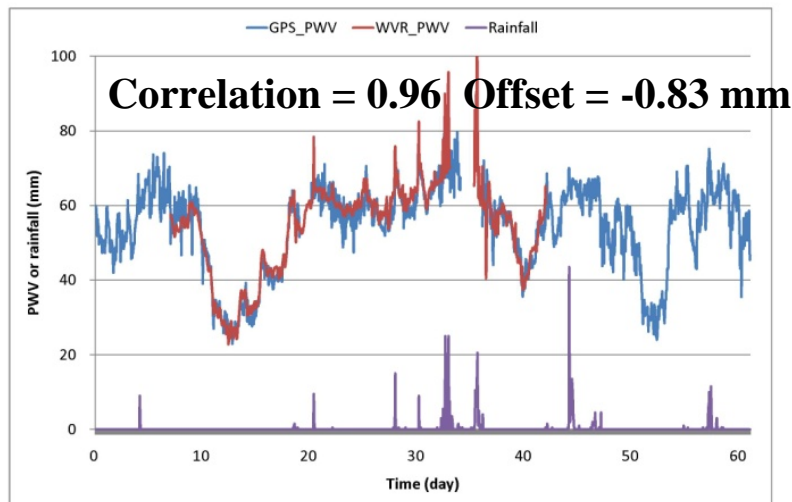
YMSM



前期

PKGM

KDNM



後期



採用不同的計算主站

相關係數

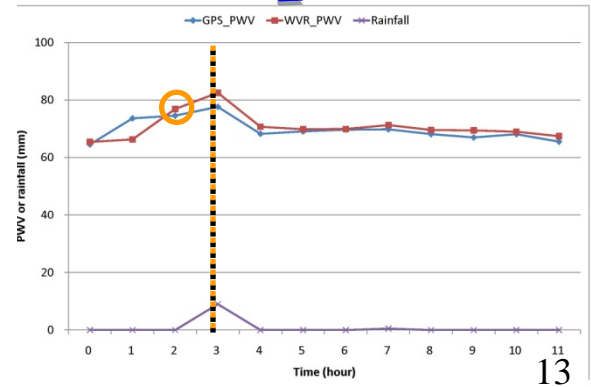
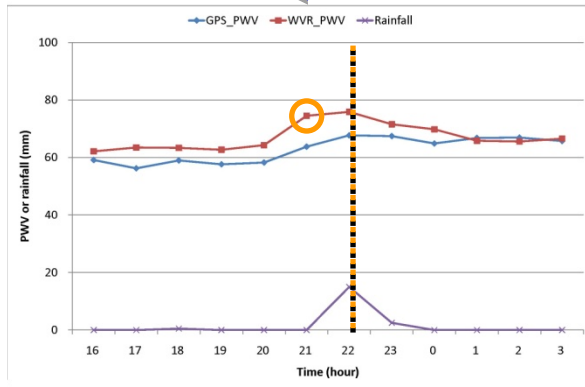
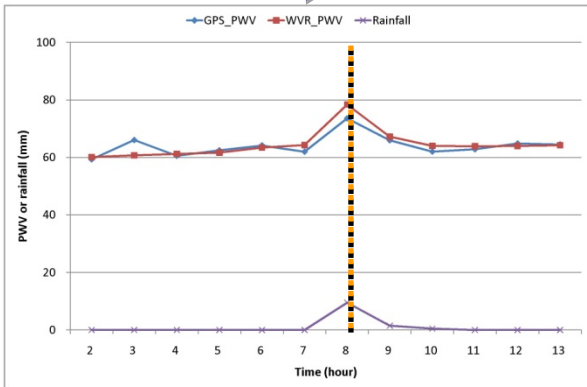
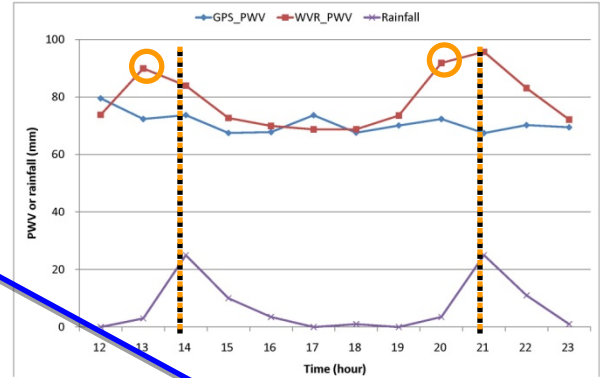
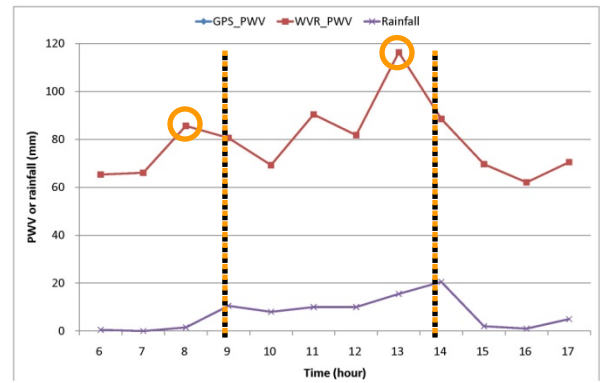
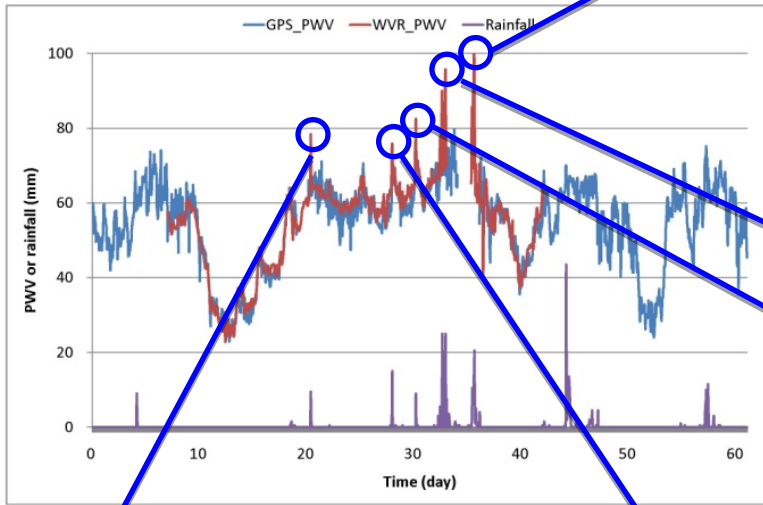
採用主站	基線距離	PKGM	KDNM
日本TSKB	2400 km	0.96	0.91
關島GUAM	2700 km	0.84	0.82
玉山YUSN	120 km	0.56	0.49
北京BJFS	1900 km	0.91	0.90
韓國DAEJ	1600 km	0.93	0.91

偏移量(mm)

採用主站	基線距離	PKGM	KDNM
日本TSKB	2400 km	-0.83	4.84
關島GUAM	2700 km	5.01	5.57
玉山YUSN	120 km	-43.51	-34.96
北京BJFS	1900 km	-1.97	4.82
韓國DAEJ	1600 km	-1.70	4.49

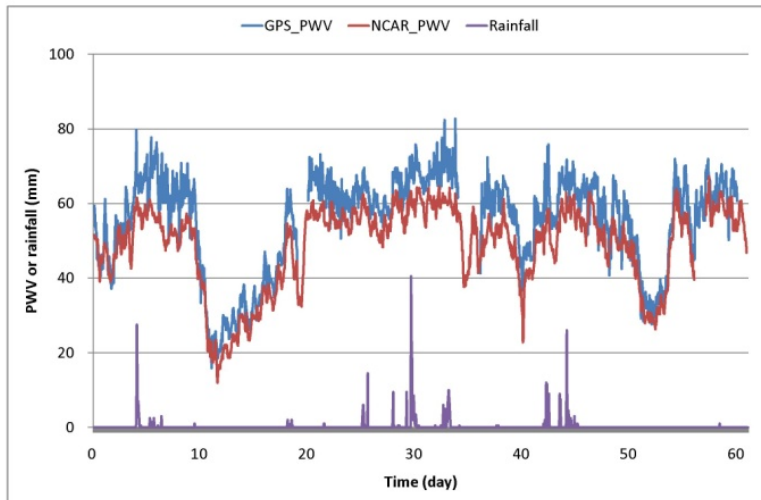
GPS-PWV與 降雨量之比較

PKGM



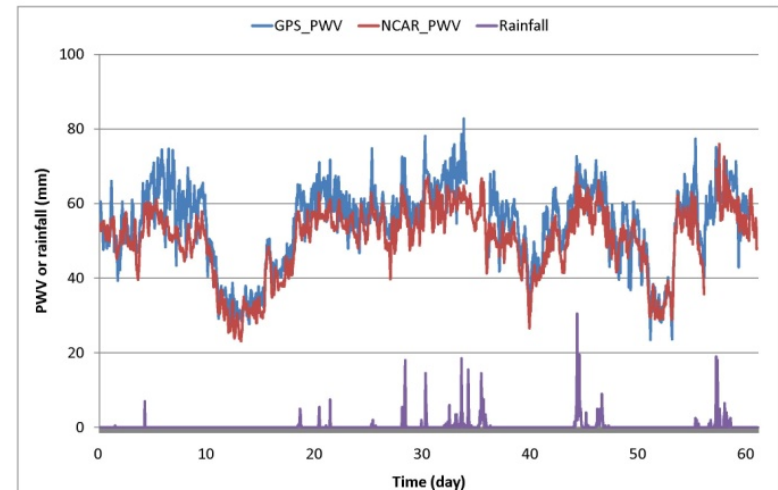
GPS-PWV 與 CWB-PWV 之比較

TSIO



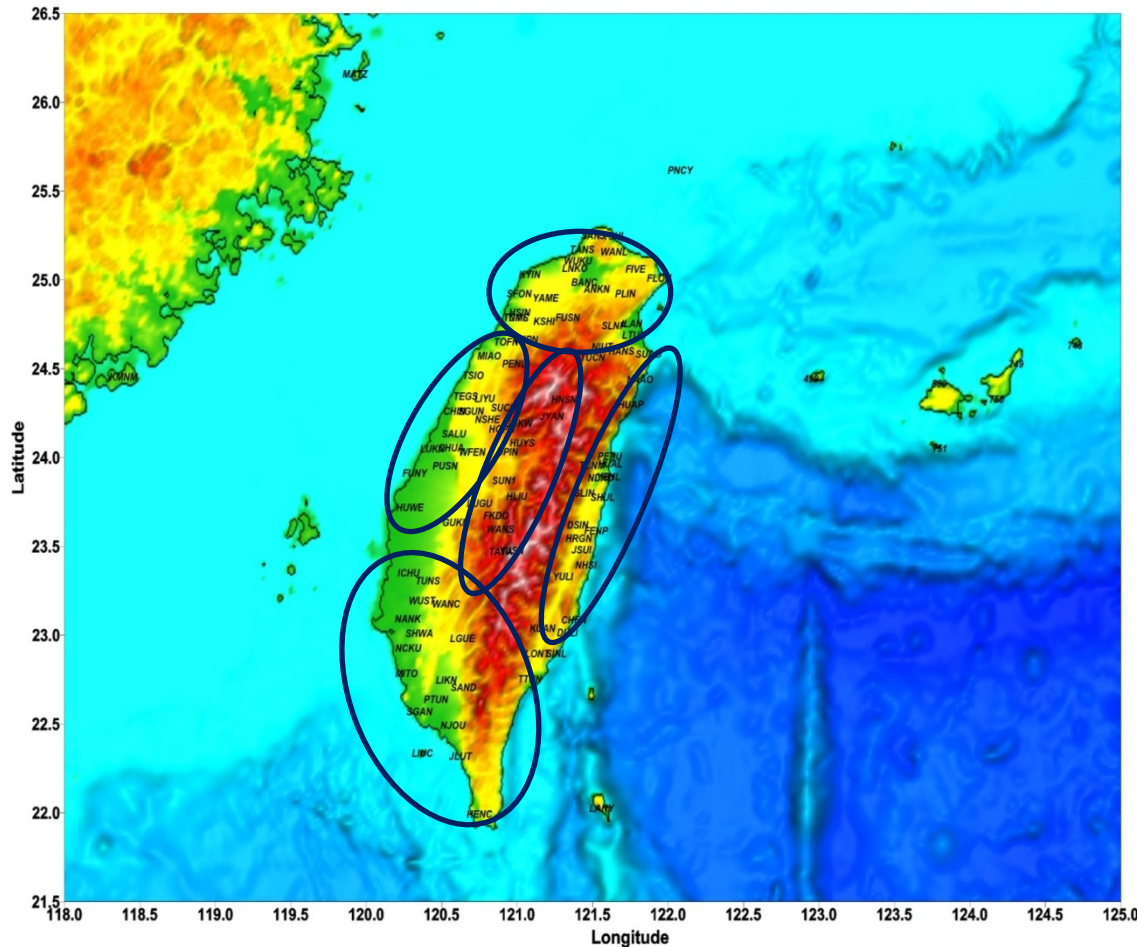
Correlation = 0.94
Offset = 6.48 mm

TUNS



Correlation = 0.90
Offset = 4.29 mm

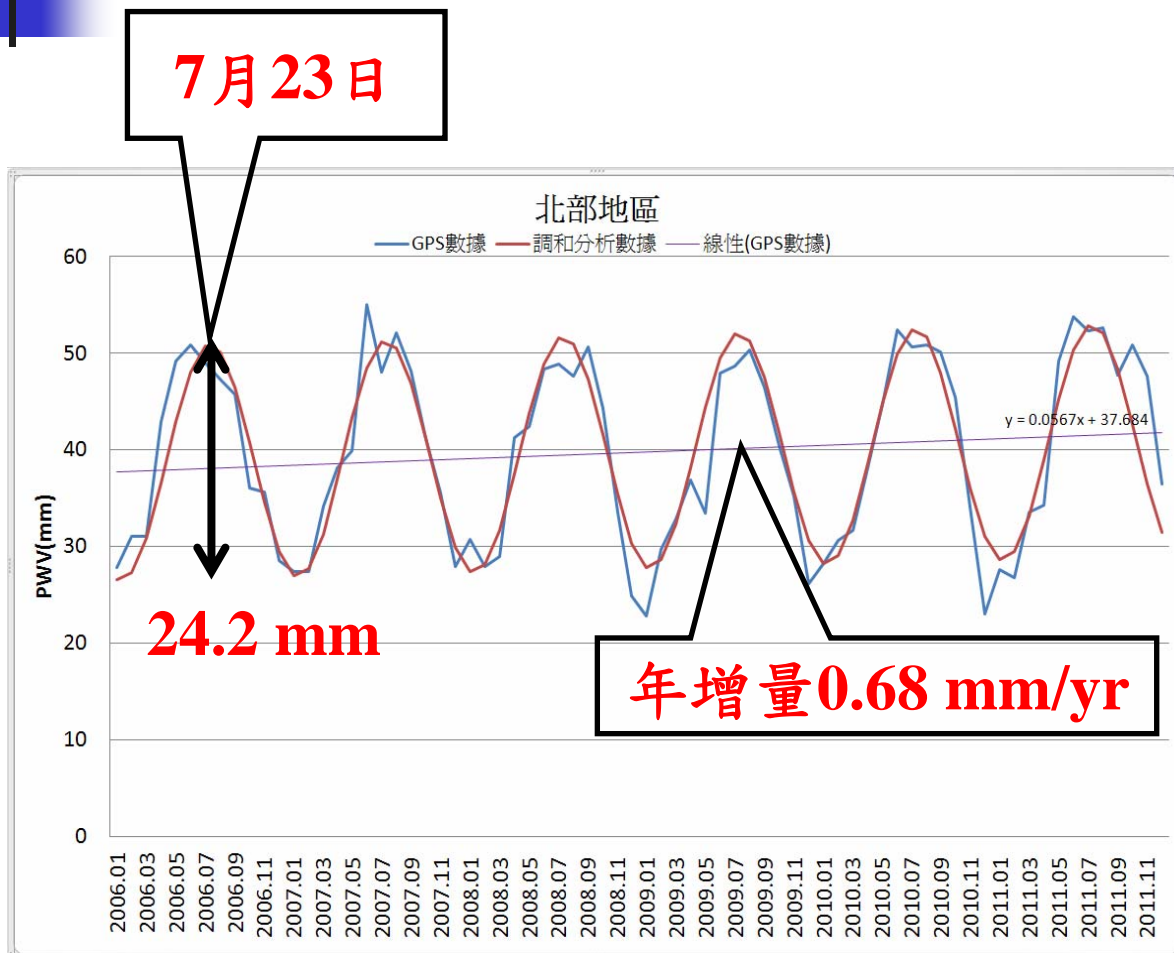
2006~2011之PWV年變化分析



■ 將測站分為五區

- 北部地區
- 中部地區
- 南部地區
- 東部地區
- 山區

以調和分析北部地區之PWV



- 振幅
 - 12.10公釐
- 相位
 - 203.87度
- 斜率
 - 0.0567



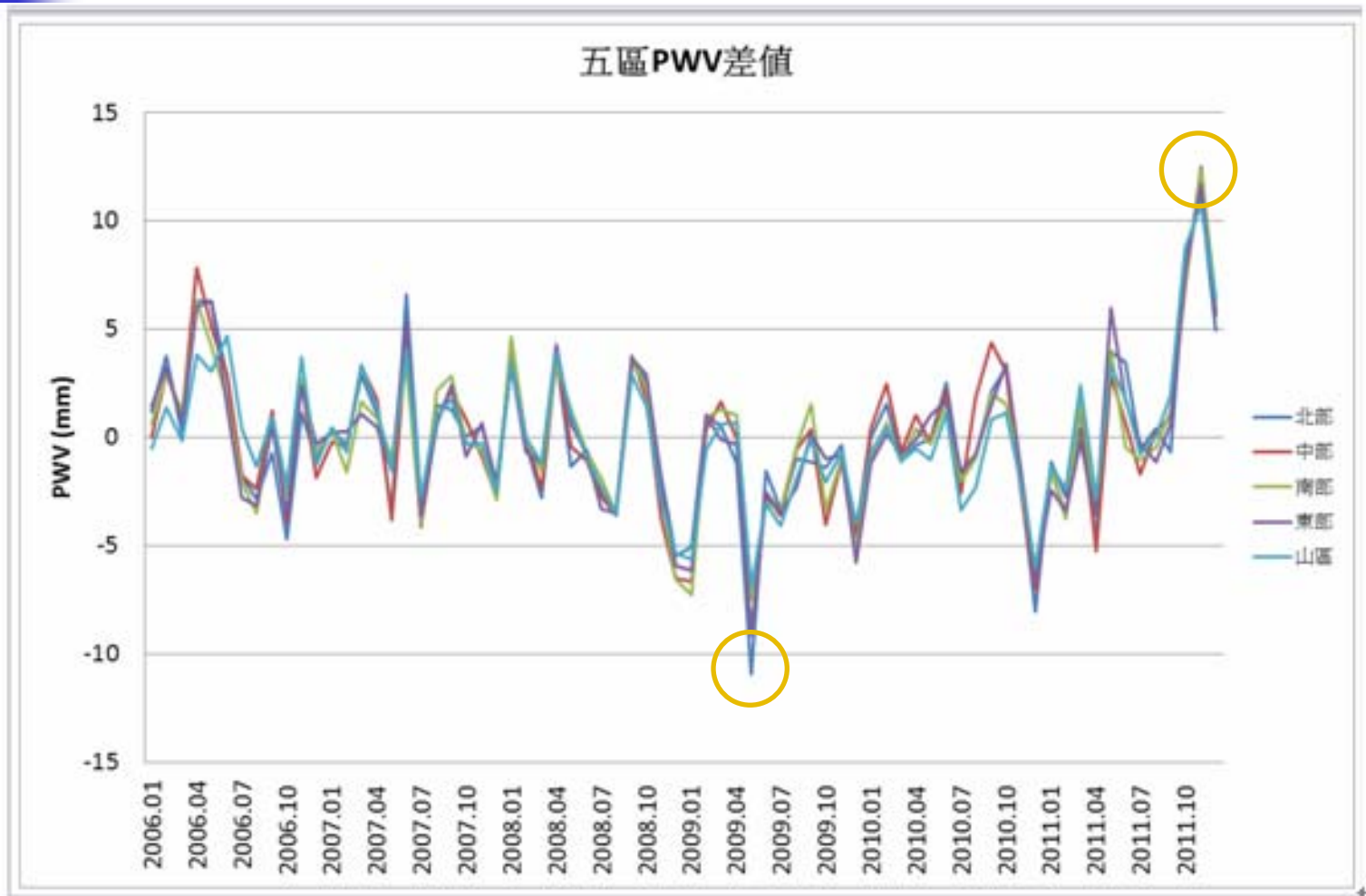
以調和分析五區之PWV

	振幅 (mm)	相位 (deg)	波峰時間 (月/日)	年增量 (mm/yr)
北部地區	12.10	203.87	7/23	0.68
中部地區	13.10	201.29	7/22	0.83
南部地區	12.88	204.99	7/25	0.71
東部地區	11.53	207.68	7/28	0.67
山區	10.98	203.17	7/23	0.74

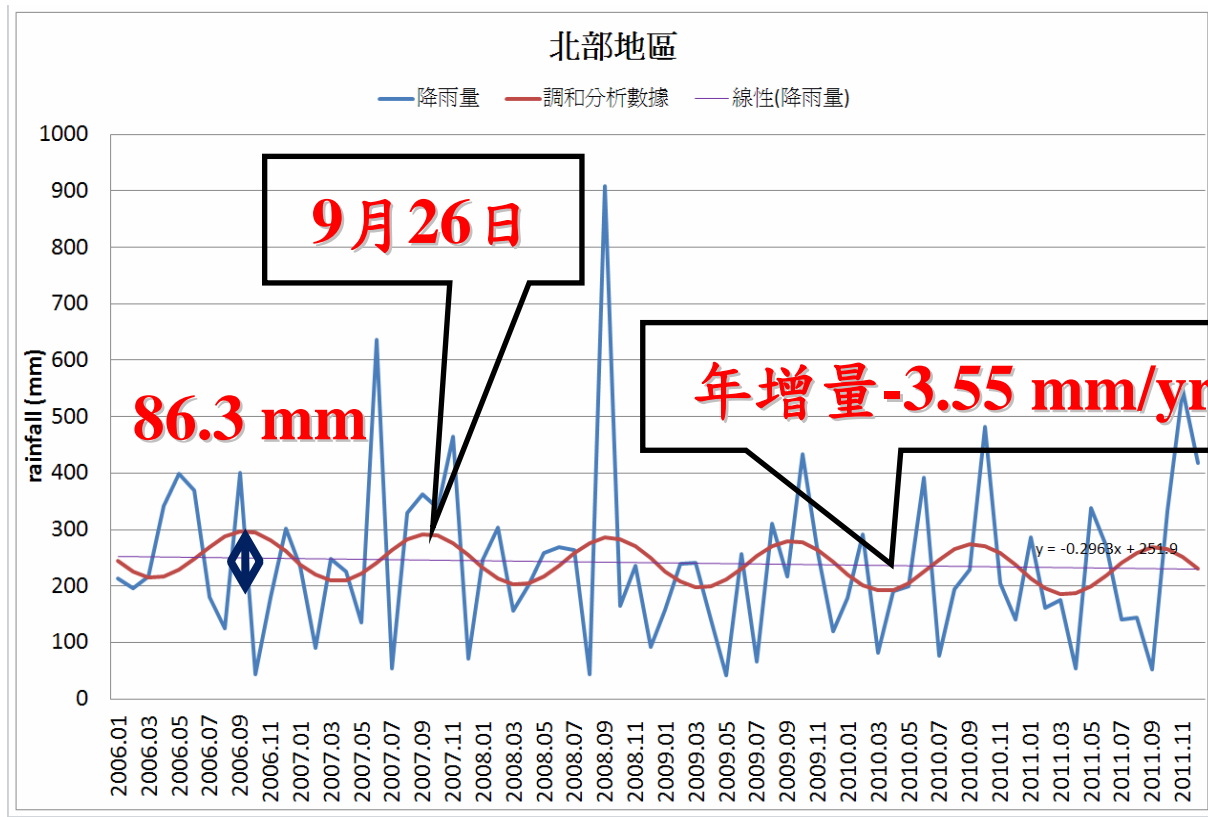
五區PWV之平均值(mm)

	北區	中區	南區	東區	山區	平均值
2006	39.58	39.59	42.86	42.53	32.87	39.49
2007	39.57	39.11	42.36	42.15	32.67	39.17
2008	39.11	39.05	42.55	42.09	32.57	39.07
2009	37.56	37.70	40.92	40.17	31.08	37.49
2010	39.99	40.98	42.96	42.70	32.77	39.88
2011	42.71	42.97	45.81	45.36	36.75	42.72
平均值	39.75	39.90	42.91	42.50	33.12	

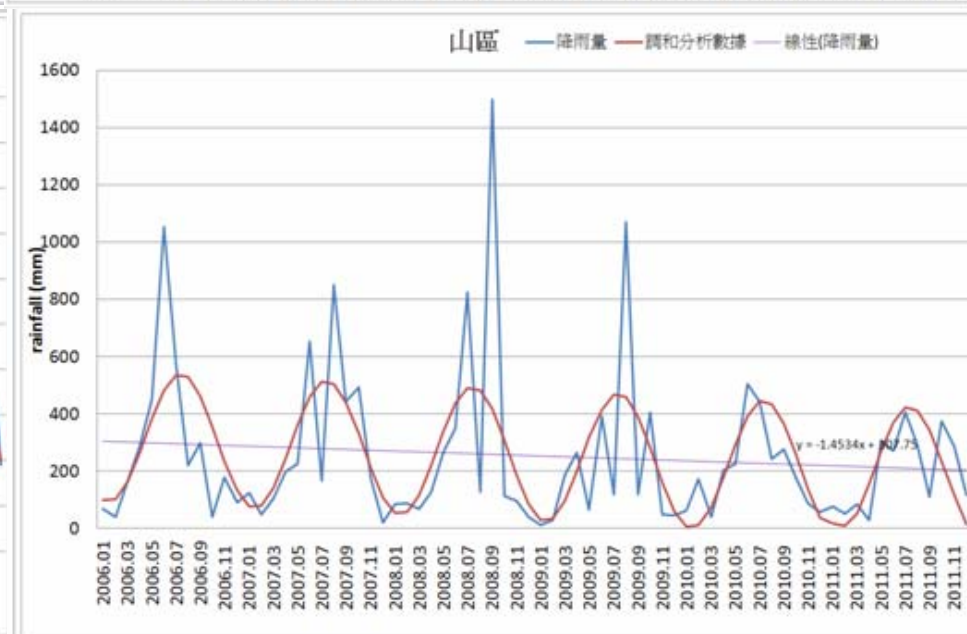
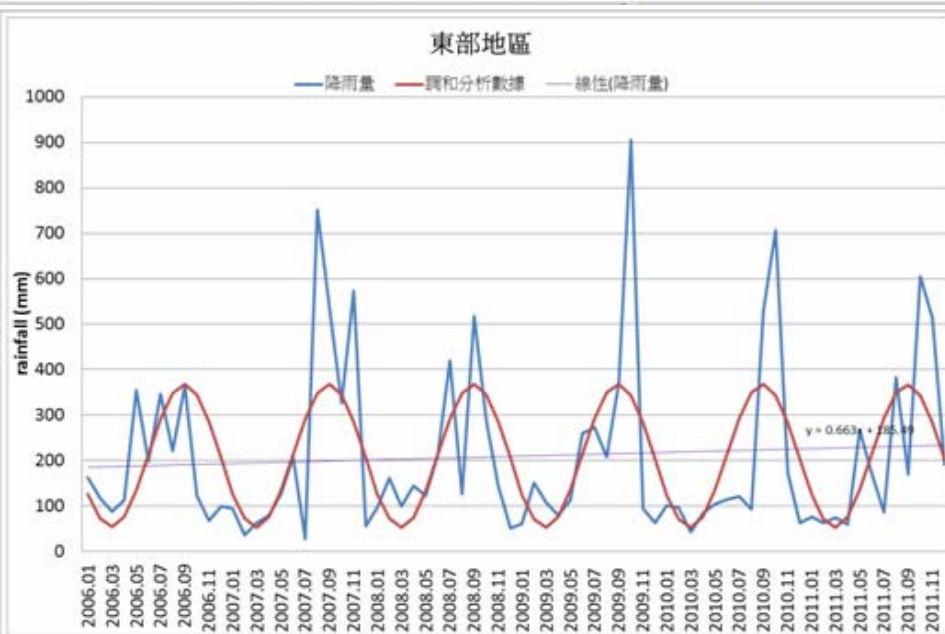
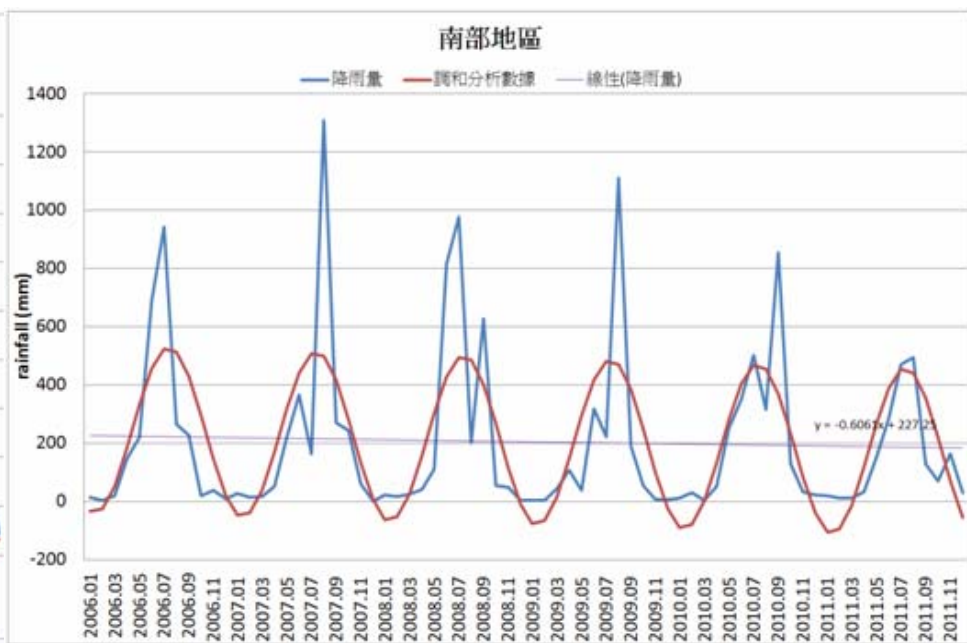
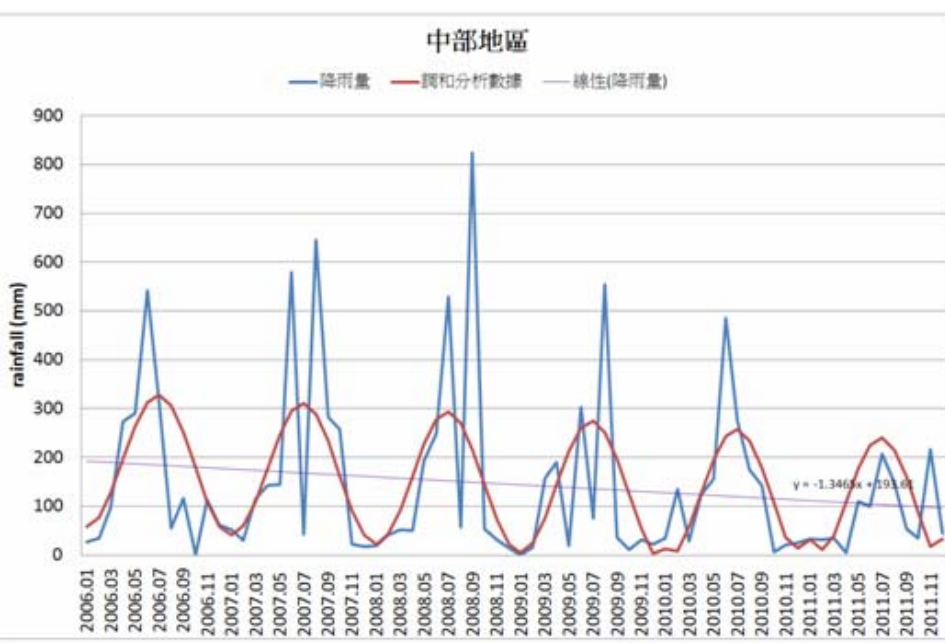
五區PWV年變化差值



以調和分析北部地區之降雨量



- 振幅
 - 43.14公釐
- 相位
 - 265.58度
- 斜率
 - -0.2968





以調和分析五區之降雨量

	振幅 (mm)	相位 (deg)	波峰時間 (月/日)	年增量 (mm/yr)
北部地區	43.14	265.58	9/26	-3.55
中部地區	139.72	193.09	7/13	-16.15
南部地區	287.77	206.41	7/27	-7.27
東部地區	157.21	253.44	9/13	7.95
山區	229.27	207.13	7/28	-17.44



五區年降雨量之總和(mm)

	北區	中區	南區	東區	山區	平均值
2006	2968	1925	2592	2257	3474	2643
2007	3186	2330	2737	2880	3510	2929
2008	3142	2111	2935	2383	3688	2852
2009	2481	1413	2095	2686	2758	2286
2010	2661	1607	2547	2231	2499	2309
2011	2919	1013	1860	2657	2406	2171
平均值	2893	1733	2461	2516	3056	

大氣可降水服務網

- 網址 <http://bigsteel.no-ip.org/>



GPS精密求定 大氣可降水及服務網

應用地面GPS資料來進行大氣中可降水的研究，即是利用遙測方式來反演氣候資訊的一種方式。就目前的技術看來，其計算精度已相當接近利用探空氣球或水氣微波輻射儀的直接量測精度，但其範圍遠不及空中福衛三號的全球量測資料；但是就長期上來看，卻是一種較為經濟（地面GPS接收站多為現有且多功能，福衛三號所費不貲且有其壽命限制）、近即時（觀測資料皆可近即時獲得）且全面性（台灣本島及離島皆已覆蓋高密度的GPS連續接收站）的觀測方式。本研究即是以地面GPS接收訊號來計算對流層天頂向的濕延遲量，藉以觀察天頂向濕延遲量與地面可降雨量之間的關係。

資料計算使用Bernese 5.0軟體來處理GPS觀測資料，並利用水氣微波輻射儀所觀測到的濕延遲量來驗證本研究所計算之成果。研究成果顯示，水氣微波輻射儀及GPS訊號值呈現一致的趨勢，以北港站為例，兩者的相關係數達0.96，平均誤差為0.83 mm；而墾丁站的相關係數達0.91，平均誤差為4.84 mm。配合地面上雨量數據呈現出，在延遲量較高的情況下通常即有降雨的跡象，藉由數據上的統計分析了解天氣的狀態，希望對氣象的預報上提供參考的數據。未來將進一步建構台灣地區近即時性的對流層延遲及水氣含量服務網，以提供給相關領域的研究者使用，未來亦可應用於環境監控及天氣預報上，提供民生及科學研究等各領域之應用服務。



大氣可降水服務網

- 提供2006~2011年每小時一筆之GPS-PWV資料
- 台灣本島及離島共計100個測站
- PWV在**氣象預報**上的應用
 - 提供資料同化、近即時天氣分析
 - 改善模式的短期定量降水預報
- PWV在**誤差修正**上的應用
 - GNSS定位（斷層監測、地震位移）
 - InSAR遙測（板塊變動、地層下陷）
 - 福衛三號/福衛七號資料品質校驗



結論與建議

- 相對精度：GPS-PWV、CWB-PWV與WVR-PWV具有高度相關性，相關係數達**0.9**以上
- 絕對精度：假設WVR為真值，GPS-PWV的誤差為**1~2 mm**，CWB-PWV的誤差為**3~6 mm**
- PWV與降雨量在某些案例中具有高度相關性
- 目前發現2011年GPS-PWV有異常升高的現象，未來持續分析長時期之PWV與降雨量資料

報告完畢～敬請指正～

