

交通部中央氣象局  
委託研究計畫期末成果報告

地基 GPS 衛星資料天頂總延遲量處理  
與大氣可降水量分析

計畫類別：氣象    海象    地震

計畫編號：MOTC-CWB-102-M-13

執行期間：102 年 3 月 4 日至 102 年 12 月 31 日

計畫主持人：葉大綱副教授

執行機構：國立臺北大學

本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄)：

赴國外出差或研習心得報告 1 份

赴大陸地區出差或研習心得報告 1 份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各 1 份

中華民國 102 年 11 月 20 日

## 政府研究計畫期末報告摘要資料表

計畫中文名稱	地基 GPS 衛星資料天頂總延遲量處理與大氣可降水量分析		
計畫編號	MOTC-CWB-102-M-13		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	國立臺北大學		
年度	102	執行期間	102 年 3 月 4 日至 102 年 12 月 31 日
本期經費 (單位：千元)	500 千元		
執行進度	預定 (%)	實際 (%)	比較 (%)
	100%	100%	0%
經費支用	預定(千元)	實際(千元)	支用率 (%)
	500 千元	500 千元	100%
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	葉大綱	蕭棟元	
報告頁數	62 頁	使用語言	中文
中英文關鍵詞	全球定位系統、對流層、濕延遲、可降水量 GPS, troposphere, zenith wet delay, precipitable water vapor		
研究目的	<p>本研究除了將針對中央氣象局 GPS-ZWD 自動化計算程序進行分析，進而解析美國專家所建立之自動化計算程序之外；也將應用地面 GPS 連續觀測資料來進行大氣中可降水的研究，進一步提升反演的精度以消除系統誤差。地面 GPS 就長期上來看，卻是一種較為經濟、近即時且全面性的觀測方式；因此，本研究將嘗試進一步精進中央氣象局現有之反演架構，提升地面 GPS 連續觀測資料以近即時的方式計算大氣中的可降水量，期望能在氣象預報及民生工程領域能有所貢獻。綜整以上之研究方法，本研究之主要工作項目如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 分析現有作業之地基 GPS 資料處理系統，並進行必要的作業維運與技術轉移。</li> <li>2. 評估使用全臺灣可取得之即時地基 GPS 觀測資料，其資料處理效能、反演的品質以及在數值天氣預報和天氣監測之應用。</li> </ol>		

<p>研究成果</p>	<p>在解算方案的比較中，若考慮山區及平地測站的計算成果，可以發現方案 D（基線組成採 OBS_MAX 並以固定坐標來計算）的表現最佳，PWV 的平均誤差為 3.9 mm，PWV 的平均誤差百分比為 6.8%；但若只考慮平地測站忽略山區測站的計算成果，則以方案 A（基線組成採 STAR 並以浮動坐標來計算）的表現最優異，PWV 的平均誤差為 3.7 mm，PWV 的平均誤差百分比為 5.4%。</p> <p>而在 GPS 觀測資料長度與 PWV 解算精度的分析中，若考慮到全部測站的平均誤差，12 小時的解算精度為 2.1 mm；但若為追求時效性進而擷取較少的資料來進行計算，4 小時的平均誤差為 4.5 mm、2 小時的平均誤差為 8.4 mm。若僅考慮平地測站的平均誤差，12 小時的解算精度為提升為 1.7 mm，若時間縮短為 4 小時的誤差為 3.7 mm、2 小時的誤差為 6.6 mm。</p> <p>最後探討溫度差異對於 PWV 轉換之影響，可以發現內插 PWV 與模式 PWV 大致上完全相符，計算其平均誤差僅有 0.2 mm；而標準 PWV 則與另外兩種方法轉換而得之 PWV 有一明顯的常差，若計算內插 PWV 與標準 PWV 之平均誤差，可發現兩者之間存在 1.5 mm 的差異。</p>
<p>建議事項</p>	<p>在解算方案的選擇上，若測站大多分佈在平地，則採用方案 A 可以獲得最佳的成果，但若需兼顧平地與山區測站的解算精度，則採用方案 D 可以獲得山區測站較高精度之 PWV。在資料長度的部分，若可以克服跨天計算的問題，每次解算採用前 24 小時的觀測資料可以獲得最佳的精度，但若考慮系統計算負擔的問題，仍建議至少要取用 4 小時的觀測資料，方能獲得較可靠之 PWV。最後，利用內插溫度與模式溫度兩者轉換之 PWV 差異不大，未來若無地面實測溫度資料，改用模式溫度亦可獲得相當精度之 <math>\Pi</math> 值來進行轉換 PWV。</p>
<p>具體落實應用情形</p>	<p>地基 GPS-ZWD 自動化計算程序主要有六個自動化流程，分別為：取得 GPS 衛星健康狀態及地基陣列資料、DP（Daily Processing）程序、2 小時 NRT（Near-Real Time）程序、1 小時 NRT 程序、NRT 狀態回報、資料壓縮。地基 GPS-ZWD 自動化計算程序主要由 shell script 和 perl 兩種程式語言來做整個系統程式流程控制，處理程序主要分為三種，第一種是全日 DP 程序，於每日的 7 點 30 分執行。第二種為 2 小時 NRT 程序，於每日的 1:15、3:15、5:15 間隔兩小時跑一次，每次計算前 1 小時至前 3 小時的資料（例如：1:15 跑前一天 22:00~24:00，3:15 跑當天 0:00~2:00，依此類推）。第三種為 1 小時 NRT 程序，於</p>

	每日的 0:40、1:40、2:40 間隔一小時跑一次，每次計算前 1 小時的資料。執行過程中的每一個流程結果皆有回報，使用者可以很方便的透過回報結果來檢查出錯的流程，目前整個計算系統已完成異地備援之建置。
計畫變更說明	無
落後原因	無
檢討與建議 (變更或落後 之因應對策)	無

# 地基 GPS 衛星資料處理與分析

## 摘要

中央氣象局目前在臺灣地區已建立完整的即時地基 GPS 觀測網，總觀測站數目達 80 站，此一地基 GPS 觀測網的建置原本是為監測臺灣地區地殼變動的相關資訊。然而地球大氣層的存在對衛星測量而言卻是一種干擾，在實際 GPS 資料處理中，最重要的工作即是進行大氣誤差修正。另一方面，對氣象而言，大氣水汽對衛星測量所產生的影響卻是有用的訊號，在地基 GPS 氣象學中最重要之議題即是如何由 GPS 資料決定垂直方向的大氣含水量。由於利用地基 GPS 資料反演之大氣含水量具有相當之準確性，因此也大大提升其應用價值，其應用層面包括即時天氣分析與預報、氣候研究領域以及資料同化。臺灣地區地形複雜，因此需要高解析度觀測系統來描述此複雜地形下之大氣條件，而地基式 GPS 觀測資料可提供高解析度區域模式所需之水汽分布資訊，此對於改善短期降水預報可扮演重要的角色。本計畫旨在整合與擴大使用全臺灣之即時地基 GPS 觀測資料，並評估資料處理效能、反演的品質以及其在數值天氣預報和天氣監測之應用，以改進現有之地基 GPS 可降水量產品和資料同化效能。

**關鍵詞：**全球定位系統、對流層、濕延遲、可降水量

## 一、前言

近年來，由於地球環境和氣候的變遷，世界各地相繼的不斷地發生極端氣候事件，例如 2010 年底至 2011 年初，澳洲在昆士蘭和維多利亞省因強降雨引發的洪水事件；2012 年，Sandy 颶風侵襲美國紐約的罕見事件；同年，澳洲新南威爾斯省近海，發生的強烈的水龍捲風事件，這些極端事件都造成許多人民生命和財產的重大損失。因此竭盡一切可用之方法及技術來研究及監測地球環境變遷、氣候和氣象之變化，實是當前必要之急。而全球定位系統(Global Positioning System, GPS) 挾著其不受天候因素的影響、全天候 24 小時觀測以及遍佈陸地及海洋的全球觀測網絡，可說是對地球大氣研究及監測相當有助益的一項利器。

GPS 發展至今，已在諸多領域中受到廣泛的應用。其中有關氣象科學上的應用，可稱之為 GPS 氣象學 (GPS Meteorology, GPS/Met)，其主要目的在於利用地球大氣對於 GPS 衛星信號所造成延遲效應，反演得到有用的大氣資訊，從而增進大氣科學、氣象學等相關學術研究領域之發展。在大氣層中，氮氣、氧氣與氫氣維持固定的比例，而水汽、二氧化碳等則是變動氣體，隨著位置與時間的不一樣而有不同的量，其中變化最大的是水汽，平均而言其變動量為 1%(Wikipedia, 2008)。水汽主要分布在低層的大氣層中，50%的水汽集中在地表至其上方 2 公里的大氣層之中，75%集中在地表至 4 公里，99.99%集中在地表至對流層頂。水汽在大氣中所佔的比例很小，但由於水可以在自然界中三態並存，並藉由這些三態相位的改變形成了各種天氣現象，水三態的變化中會釋放或吸收能量，其中水

氣的蒸發與凝結能夠吸收或釋放潛熱，這些熱量的傳輸，是颱風、雷雨等的能量所在（闕珮羽，2011），因此水氣在氣象預報與氣象監測中，扮演了很重要的角色，能夠精準與快速的求取大氣的水氣含量，將會裨益氣象預報與增進對地球水循環的了解。

台灣位於太平洋西岸的亞熱帶區域，每年平均會受到 3~4 個颱風的侵襲，颱風路徑預估的困難度往往令人印象深刻；2009 年 8 月 8 日的莫拉克颱風，使得台灣經歷了有雨量紀錄史上最大的降雨量，對於台灣南部地區造成相當嚴重的災情（陳登璟，2012）。對於科技及資訊產業如此發達的今日，颱風行進路徑及降雨量的難以捉摸，目前仍無完整的解決方案；其主要原因大多歸咎於颱風的生成及發展主要是發生於觀測資料稀少的海洋上，在缺乏對颱風結構及環境駛流場解析的情況下，欲增加對動力颱風的瞭解及增進數值模式初始場的準確性，一直是颱風研究急待解決的問題（黃葳芃，2005；鍾承儒，2012）。由於偵測大氣可降水量變化對於掌握特定天氣現象具有相當大的幫助，因此對天氣預報來說，大氣可降水量的估計具有其重要性。近年來，GPS 訊號應用越來越廣泛，運用於大氣可降水量估算上，將可以彌補探空氣球觀測大氣可降水量時，空間限制及時間解析度上的不足（蔡亦證，2005）。在過去較常使用的氣象觀測方法中，不論是地面氣象觀測儀器或是探空氣球所量測而得的大氣資料，皆僅是點狀的分佈在大陸及小島上，對於海水分佈占地表面積 70% 的地球來說，這樣的資料顯然不足；且探空氣球受到氣球飛行高度限制，使得飛行限制高度至衛星之間尚存有一段無法測量的區域，而在相關的研究中發現，此段稀薄的中性大氣造成的訊號遲延量，佔整體遲延量約在 6-8% 之間（何人豪，2002）；因此，將此段空氣造成的遲延量彌補以後，整段的遲延量才能拿來做為修正地面氣象模式的依據。

在台灣全島已經佈設超過 400 座的地面 GPS 連續接收站，且將近一半測站的觀測資料已可透過網路即時回傳到資料中心；也就是因為在這樣的時空背景下，我們已經可以輕易的獲得全台灣地區的即時性 GPS 連續觀測資料，使得本研究可以在近即時的條件下，分析台灣地區的對流層水氣含量，進而提高氣象預報更新的頻率，亦應用於長時間之氣候變遷現象之監測、進行全球太空天氣之預報，對於未來對於天氣預報、環境監測及資源災害的監控，亦可提供適當的資訊，供決策者規劃設計之用。

## 二、研究目的及意義

近年來在溫室效應及聖嬰現象的雙重影響之下，全球各地因為豪雨及暴風雪所造成的災情與日俱增，地球環境保護的課題可說是全民運動，在這樣一個環境變遷加遽的年代，世界各國對於全球性的氣象監測，皆在如火如荼的展開中。台灣在此一領域亦將扮演著不可或缺的角色，如國家太空中心於 2006 年所發射的福爾摩沙三號衛星，即是一項國人積極參與國際『氣象、電離層及氣候之衛星星系觀測系統』（FORMOSAT-3/COSMIC）觀測計畫的最佳表現。此外，應用連續觀測的 GPS 衛星定位觀測資料可以獲得大氣對流層中水氣含量的動態變

化，提供高精度、高時空解析度、近即時連續的可降水量變化，可提供服務於氣象學研究，並可大大提高監測突發性天氣的能力；對於改進天氣短期預報，特別是雷暴雨天氣的預報和數值天氣預報模型具有極重要的功用。目前，美國大氣和海洋管理局的地基 GPS 氣象網每 30 分鐘即可算出測站上空可降水量的變化結果；而日本由 1000 多個測站所組成的 GPS 網，也已兼顧地基 GPS 氣象學的應用，根據評估可降水氣的監測精度優於 2 mm，觀測結果與實際降雨量之間也存在良好的相關性，充分顯示出地基 GPS 預報天氣的潛力。

利用 GPS 可以反演大氣可降水的主要原因為衛星訊號在傳播的路徑中會穿過大氣層，此層大氣會使 GPS 衛星訊號的傳播路徑改變及傳播速度改變。大氣層的影響又可大致分為兩種，第一種為電離層導致的，第二種為中性大氣層，第二種的影響主要為對流層與平流層下部的氣體所導致的。當 GPS 衛星訊號穿過中性大氣層時，會受到水氣的影響而改變行進方向與速度，推算與建立模式估計電磁波在中性大氣層中的傳播路徑延遲量，最主要的三個發展為 (Herring, 1992)：(1) Saastamoinen 於 1972 提出的流體靜力延遲天頂方程式；(2) Marini 於 1972 年及 Marini 與 Murray 於 1973 年提出的與訊號仰角相關的仰角正弦函數的連續分數，此函數一般稱為大氣延遲映射函數 (Mapping Function)；(3) Gardner 於 1977 年提出的方位不對稱模式。由估計出的 GPS 衛星訊號於中性大氣層中於天頂方向的傳播延遲量可以得知該時刻大氣層中的物質對 GPS 衛星訊號的影響，稱之為對流層延遲量。對流層延遲量可以分為兩種類型：第一種為流體靜力延遲，又稱乾延遲，第二種為溼延遲。乾延遲的量值在天頂方向約為 2.3 公尺，而乾延遲可以透過地表壓力值來模式化進而移除乾延遲，其精度可達 mm 等級 (Bevis *et al.*, 1992)。經由已知的對流層延遲量與乾延遲相減可得到溼延遲，溼延遲透過一轉換因子可以得到可降水 (Askne and Nordius, 1987)。

近年來 GPS 技術廣泛的使用在計算與估計可降水上 (Wang *et al.*, 2007)，因為使用 GPS 估計可降水的優勢有：不受天候影響、成本低廉、網形覆蓋範圍大、降雨時依然可使用 GPS 估計可降水 (Basili *et al.*, 2002)，且其時間解析度高，大於探空氣球一天施放兩次的時間解析度。有鑒於台灣近年因為島內高度的社經發展導致土地利用失衡，再加上全球氣候變遷等眾多因素的影響，致使氣象災害頻傳。本研究除了將針對中央氣象局 GPS-ZWD 自動化計算程序進行分析，進而解析美國專家所建立之自動化計算程序之外；也將應用地面 GPS 連續觀測資料來進行大氣中可降水的研究，進一步提升反演的精度以消除系統誤差，期望能在氣象預報及民生工程領域能有所貢獻。綜整以上之研究方法，本研究之主要工作項目如下：

1. 分析現有作業之地基 GPS 資料處理系統，並進行必要的作業維運與技術轉移。
2. 評估使用全臺灣可取得之即時地基 GPS 觀測資料，其資料處理效能、反演的品質以及在數值天氣預報和天氣監測之應用。

### 三、研究方法

電磁波在通過不同介質時，會產生速度的變化及行進方向的改變。此現象造成訊號在傳播通過介質與通過真空中時，其行進的路徑與到達接收器所花之時間都會有所差異，此變化量稱為遲延量。這種特性後來被反向應用，可利用訊號通過介質時造成的遲延量來測量所通過介質之性質。當電磁波自太空傳遞至地球表面時，會經過大氣層而受影響。電磁波傳播的空間並不是真空，而是充滿以大氣為介質的空間。GPS 衛星發射的電磁波訊號到地面的接收儀天線，這其中要穿越過性質與狀態各異且不穩定的若干大氣層。所以相對真空來說，存在於傳播路徑上的介質可能改變電磁波傳播的方向、速度和強度。

對流層對於 GPS 衛星訊號之影響主要是在於訊號傳遞的速度比在真空中要慢，以及訊號之傳播路徑是曲線而非直線，此兩者乃是由傳播路徑上之折射率所引起。前者是由於對流層折射率大於真空折射率，因而造成速度的延遲；後者則是因為大氣層各個高度之折射率不同，而使其傳遞路徑形成彎曲的延遲。當衛星觀測仰角大於 15 度時，其幾何遲延部份不大於 1 公分 (Bevis *et al.*, 1992) 通常可以不考慮，若是更進一步僅考慮天頂方向訊號傳播，則根據司乃耳定律 (Snell's law) 訊號傳播的路徑會呈直線，幾何遲延便可去除，如圖 1 所示。

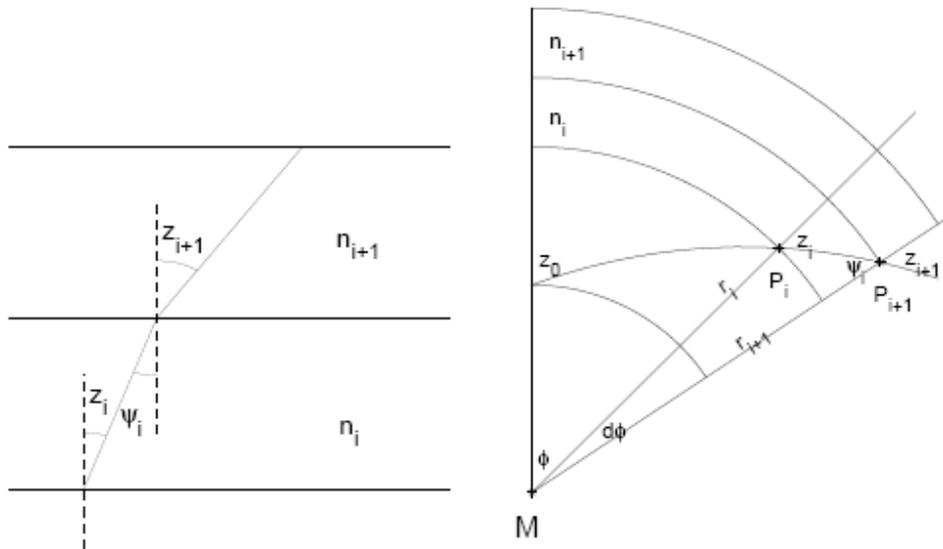


圖 1 Snell's Law (Kleijer, 2004)

由

$$D_{trop} = C_0(t - t_0) = \int_L [n(s) - 1] ds + [S - G]$$

可知天頂向遲延量為：

$$D_{trop}^Z = \int_H^\infty [n(s) - 1] dz = 10^{-6} \int_H^\infty N dz$$

其中，H 為測站接收器高度，N 是溫度、壓力和水氣分壓的函數，稱為折

射係數。

一般折射係數  $N$  的表示為 (Smith and Weintraub, 1953) :

$$N = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 * 10^5 \left( \frac{e}{T^2} \right)$$

$P$  是總大氣壓(mb),  $T$  是溫度(K),  $e$  是水氣分壓(mb), 此式在正常的大氣狀況下精確度約 0.5% (Resch, 1984)。另外考慮非理想氣體影響, 比較準確的式子是 (Thayer, 1974) :

$$N = \left( k_1 \frac{P_d}{T} \right) Z_d^{-1} + \left( k_2 \frac{e}{T} + k_3 \frac{e}{T^2} \right) Z_w^{-1}$$

其中  $Z_d$  和  $Z_w$  是乾空氣和水氣的空氣壓縮因子 (Owens, 1967),  $P_d$  和  $e$  分別為乾空氣和水氣的分壓(mb),  $T$  是溫度(K),  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  為常數, 折射係數中等號右邊第一、二項為乾空氣和水氣所引起, 第三項為水氣所引起, 此式子應用在非常乾燥的空氣中, 精確度可達到 0.018%, 在極度潮濕的空氣中, 精確度可達到 0.048% (Thayer, 1974)。

在大氣層中, 空氣壓縮因子相當接近 1 (與 1 相差不到 0.1%), 因此我們視之為 1, 上式可以整理得到:

$$D_{trop}^z = 10^{-6} \left[ \int_H^\infty \left( k_1 \frac{P_d}{T} \right) dz + \int_H^\infty \left( k_2 \frac{e}{T} \right) dz + \int_H^\infty \left( k_3 \frac{e}{T^2} \right) dz \right]$$

由理想氣體定律空氣密度可寫成:

$$\rho = \rho_d + \rho_w = \frac{M_d}{R} \left[ \frac{P}{T} - \left( 1 - \frac{M_w}{M_d} \right) \frac{e}{T} \right]$$

其中,  $\rho_d$ : 乾空氣密度,  $\rho_w$ : 溼空氣密度,  $R$ : 莫耳氣體常數等於 8.314 J/mol×K,  $M_w$ : 水氣的莫耳質量,  $M_d$ : 乾空氣的莫耳質量等於 28.9644 g/mol。

大氣層通常符合流體靜力方程式:

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$

代入上式積分可得:

$$\int_H^\infty \frac{P}{T} dz = \frac{R P_s}{M_d g_m} + \left( 1 - \frac{M_w}{M_d} \right) \int_H^\infty \frac{e}{T} dz$$

其中,  $P_s$  是地表總大氣壓值(mb),  $g_m$  是大氣垂直空氣柱質量中心的重力加速度(m/s<sup>2</sup>), 將上式代入遲延積分可以得到:

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

上式亦可寫為:

$$D_{trop}^z = D_{trop,h}^z + D_{trop,w}^z$$

上式等號右邊第一項(以  $D_{trop,h}^Z$  表示)可藉著測量地表總大氣壓值得到，稱為流體靜力平衡遲延或稱為乾遲延，等號右邊第二項(以  $D_{trop,w}^Z$  表示)必須要知道大氣層溫度和水氣壓的剖面資訊才能計算，通常稱為溼遲延。

本研究採用最小二乘法解算 GPS 觀測資料，並估計天頂向遲延量。以載波相位觀測方程式計算待測站座標( $X_j, Y_j, Z_j$ )時，先將  $D_{trop,h}^Z$  以模式求得的遲延量代入；且已知電離層遲延量的大小與載波頻率的平方成反比，故可利用雙頻載波無電離層線性組合，消除電離層遲延量。接著使用最小二乘法計算座標，當測站座標已知，衛星位置由精密星曆可知，則測站至衛星的幾何距離即為已知值，可表示如下式：

$$\varphi_{ij}^{pq}(t) = \frac{f}{c} \left\langle D_{i,trop}^Z(t) \cdot [M(\theta_i^p) - M(\theta_i^q)] - D_{j,trop}^Z(t) \cdot [M(\theta_j^p) - M(\theta_j^q)] \right\rangle$$

$\theta_i^p$ ：為測站  $i$  觀測衛星  $p$  的仰角

$\theta_i^q$ ：為測站  $i$  觀測衛星  $q$  的仰角

$\theta_j^p$ ：為測站  $j$  觀測衛星  $p$  的仰角

$\theta_j^q$ ：為測站  $j$  觀測衛星  $q$  的仰角

$M(\theta)$ ：映射函數，只要觀測仰角已知，映射函數即為一常數

$D_{trop}^Z(t)$ ：接收站天頂向對流層大氣遲延量

式中欲求解的未知數有  $i$ 、 $j$  兩站天頂向對流層遲延量，但求解時可觀測到的衛星顆數不只有兩顆，因為觀測量大於未知數數量，此處採用最小二乘法進行參數求解。而溼遲延與可降水的關係，可由上式右邊第二項提出表示為：

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

$$D_{trop,w}^Z = 10^{-6} \left( k_2' + \frac{k_3}{T_m} \right) \int_H^\infty \frac{e}{T} dz$$

其中， $k_2'$  為常數， $k_2' = k_2 - k_1 \frac{M_w}{M_d}$ 。我們定義可降水為一大氣垂直空氣柱中液態水的總量，通常以高度為其單位，即：

$$PW = \frac{1}{\rho_l} \int_H^\infty \rho_w dz = \frac{1}{\rho_l R_w} \int_H^\infty \frac{e}{T} dz$$

$\rho_w$  是水氣密度， $\rho_l$  是液態水密度， $R_w$  是水氣的氣體常數( $R_w=R/M_w$ )。由 GPS 得到的溼遲延量可轉換成可降水量 PW( Askne and Nordius, 1987; Bevis *et al.*, 1994)：

$$PW = \Pi \times D_{trop,w}^Z$$

其中  $\Pi$  為轉換因子，而沿天頂向積分，大氣垂直總水氣含量 (Integrated Water Vapor, IWV) 即為可降水乘上液態水的密度：

$$IWV = PW \times \rho_l$$

IWV 的意義為單位底面積的大氣垂直空氣柱中，含有多少單位重量的水 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )；而 PW 的意義為一單位面積大氣垂直空氣柱中含有多少單位高度的水氣(mm)。

以往計算對流層遲延量的方法，大多將 ZWD 當作未知數或附加參數，與 GPS 定位坐標一併同時求解。但台灣地區相對定位所採用的基線大多小於 300 公里，測站與測站間相對的對流層遲延量雖然可以相當精準的解出，但對於絕對對流層遲延量仍無法做一精準的估計，容易產生系統性的偏差。因此本研究採用計算 GPS 長基線 (約 2000 公里) 以估算台灣地區絕對之對流層遲延量，並輔以水氣微波輻射儀的量測結果進行約制校正，方能消除部分系統誤差。然而，水氣微波輻射儀全台只有兩部，只能針對少數測站的反演資料進行約制，其餘測站只能藉由外差或經驗方法加以修正，其成果仍有精進的空間。

過去一般非天頂角部份的 GPS 訊號遲延量大多利用映射函數進行投影估算，但實際上衛星追蹤站的幾何天頂方向與對流層所假設的球層狀結構天頂方向是有所不同的，這兩者間的角度差便會影響到使用映射函數進行非天頂方向遲延量的估算成果，也就代表著在使用映射函數時亦要考慮遲延量存在著水平梯度的問題 (如圖 2 所示)。對此問題可利用參數估計配合對流層遲延模式，對台灣地區進行對流層參數最佳化設計，並採用水氣微波輻射儀的量測結果進行異質觀測約制，藉以修正此一部份之系統性誤差。

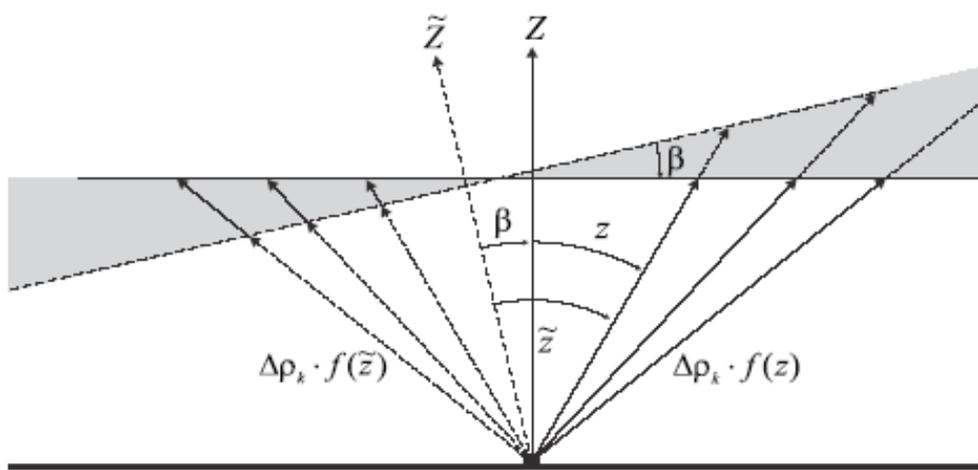


圖 2 對流層與地球幾何天頂方向示意 (Hugentobler *et al.*, 2001)

## 四、具體成果

### 1. 探討適合短時間之 GPS 資料處理模式

由於過去的研究多是採用每日解以獲得較佳的成果，但這樣的資料處理方法卻無法達到氣象預報所需的近即時資料。為了探討適合短時間之 GPS 資料處理模式，本研究以 101 年 6 月 12 日發生於台灣之強降雨事件為案例來進行研究，資料處理的時間為 101 年 6 月 10 日至 16 日共計一週的觀測資料。而取該期間來分析的主要因為測試環境變化較大的案例，藉以探討在最糟的情況下，不同解算模式對於解算品質所帶來的影響。

資料分析先以 24 小時的解算成果作為標準值，再以 4 小時的觀測資料來進行不同模式的解算。比較的解算方法除了吾人提出探討不同基線組成模式（OBS\_MAX 與 STAR 方法）之外，並採納美國學者 Dr. John Braun 的建議，利用固定坐標與浮動坐標來進行比較。其中，OBS\_MAX 為 Dr. John Braun 所採用的方法，讓程式自動挑選觀測量最多的測站進行基線的組成；STAR 則為吾人過去採用的方法，以日本 TSKB 為主站對於所有的測站進行基線的組成。此外，固定坐標為 Dr. John Braun 所採用的方法，在解算的過程中固定所有測站的坐標；浮動坐標則為吾人所採用的方法，在解算的過程中不固定坐標，僅設定約制條件 1 公分來約束坐標的解算。故解算模式總共分為下列四種方案：

- (1) 方案 A：基線組成採 STAR 並以浮動坐標來計算（吾人使用）
- (2) 方案 B：基線組成採 STAR 並以固定坐標來計算
- (3) 方案 C：基線組成採 OBS\_MAX 並以浮動坐標來計算
- (4) 方案 D：基線組成採 OBS\_MAX 並以固定坐標來計算（Dr. John Braun 使用）

也由於本次計算的測站共有 100 站，故先取北區 BANC、西區 HUWE、南區 SGAN、東區 FENP、山區 TATA 的成果，來進行不同案例之精度分析，表 1 所示即為各區測站使用不同解算模式之 PWV 誤差與 PWV 誤差百分比統計表。

首先比較四種解算的方案，若考慮山區及平地測站的計算成果，可以發現方案 D 的表現最佳，PWV 的平均誤差為 3.9 mm，PWV 的平均誤差百分比為 6.8%；但若只考慮平地測站忽略山區測站的計算成果，則以方案 A 的表現最優異，PWV 的平均誤差為 3.7 mm，PWV 的平均誤差百分比為 5.4%；方案 B 與方案 C 則不論在山區及平地測站的表現，皆比不上方案 A 與方案 D。

接下來比較北區、西區、南區、東區、山區的解算成果，由平均誤差可以發現，北區及西區的精度最佳，PWV 的平均誤差為 3.9 mm，PWV 的平均誤差百分比為 5.8%；南區及東區的精度次之，PWV 的平均誤差為 4.2 mm，PWV 的平均誤差百分比為 6.3%；山區的精度則明顯較差，PWV 的平均誤差為 6.2 mm，PWV 的平均誤差百分比為 16.8%。

表 1 各區測站使用不同解算模式之 PWV 平均誤差 (PWV 誤差百分比)

時間 區域	方案 A	方案 B	方案 C	方案 D	平均
北區 BANC	3.4 mm (5.1%)	4.5 mm (6.8%)	3.9 mm (5.9%)	3.7 mm (5.5%)	<b>3.9 mm</b> <b>(5.8%)</b>
西區 HUWE	3.5 mm (5.2%)	4.4 mm (6.5%)	4.2 mm (6.1%)	3.6 mm (5.3%)	<b>3.9 mm</b> <b>(5.8%)</b>
南區 SGAN	4.0 mm (5.8%)	4.9 mm (7.1%)	4.1 mm (5.9%)	3.8 mm (5.5%)	4.2 mm (6.1%)
東區 FENP	3.7 mm (5.6%)	5.3 mm (8.0%)	4.0 mm (6.0%)	3.9 mm (5.9%)	4.2 mm (6.4%)
山區 TATA	7.6 mm (20.6%)	6.5 mm (17.7%)	6.3 mm (17.1%)	4.3 mm (11.7%)	<b>6.2 mm</b> <b>(16.8%)</b>
平均	4.4 mm (8.5%)	5.1 mm (9.2%)	4.5 mm (8.2%)	<b>3.9 mm</b> <b>(6.8%)</b>	
平均 (扣除山區)	<b>3.7 mm</b> <b>(5.4%)</b>	4.8 mm (7.1%)	4.1 mm (6.0%)	3.8 mm (5.6%)	

## 2. GPS 觀測資料長度與 PWV 解算精度之分析

為了探討 GPS 觀測資料長度與 ZWD 解算精度之相關性，因此本研究同樣以 101 年 6 月 12 日發生於台灣之強降雨事件為案例來進行研究，資料處理的時間為 101 年 6 月 10 日至 16 日共計一週的觀測資料。而取該期間來分析的主要原因為測試環境變化較大的案例，藉以探討在最差的情況下，觀測資料長度對於解算品質所帶來的影響。資料分析則以 24 小時的解算成果作為標準，分別探討 12 小時、8 小時、6 小時、4 小時、3 小時、2 小時、1 小時的解算成果；也由於本次計算的測站共有 100 站，這裡先取西區 HUWE 的成果如圖 3 所示，其中由於 1 小時的解算結果明顯誤差較大，故在圖中先移除了 1 小時的解算成果。

由圖 3 中可以發現隨著觀測時間逐漸縮短，解算 PWV 的穩定度也越來越差，為了更進一步瞭解觀測時間與解算精度的相關性，吾人再以 24 小時的解算成果為標準，分別與各種不同觀測時間的成果計算其平均誤差，成果彙整如表 2 所示。吾人並將結果繪製成圖 4 及圖 5，分別表示觀測時間 12、8、6、4、3、2 與 1 小時之 PWV 平均誤差分布圖與 PWV 誤差百分比分布圖。成果顯示，若考慮到全部測站的平均誤差，12 小時的解算精度為 2.1 mm，尚符合 PWV 解算之精度；但若為追求時效性進而擷取較少的資料來進行計算，4 小時的平均誤差為 4.5 mm、2 小時的平均誤差為 8.4 mm 具有較高的效益，唯精度是否符合需求仍要視使用目的而定。此外，若僅考慮平地測站的平均誤差，12 小時的解算精度為提升為 1.7 mm 同樣滿足一般性 PWV 的精度要求，若時間縮短為 4 小時的平均誤差提升為 3.7 mm、2 小時的平均誤差提升為 6.6 mm 則具有較高的效益。

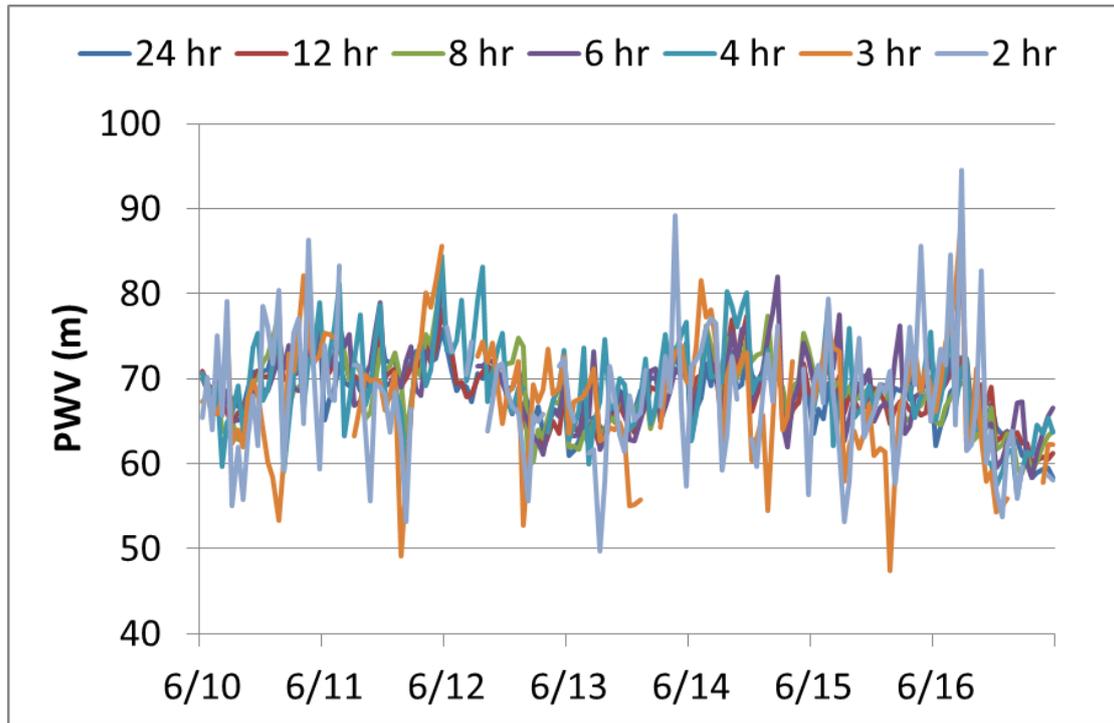


圖 3 西區 HUWE 站觀測時間 24、12、8、6、4、3 與 2 小時的 PWV 解算成果

表 2 以觀測時間 24 小時為標準計算 12、8、6、4、3、2 與 1 小時之 PWV 平均誤差 (PWV 誤差百分比)

時間 區域	12 hr	8 hr	6 hr	4 hr	3 hr	2 hr	1 hr
北區 BANC	1.9 mm (2.8%)	2.1 mm (3.1%)	3.0 mm (4.5%)	3.4 mm (5.1%)	5.1 mm (7.7%)	6.0 mm (9.1%)	17.6 mm (26.5%)
西區 HUWE	1.7 mm (2.4%)	2.2 mm (3.2%)	2.7 mm (4.0%)	3.5 mm (5.2%)	5.3 mm (7.8%)	5.7 mm (8.3%)	16.9 mm (24.7%)
南區 SGAN	1.6 mm (2.2%)	2.8 mm (4.0%)	2.7 mm (3.9%)	4.0 mm (5.8%)	6.1 mm (8.8%)	7.4 mm (10.7%)	29.6 mm (42.6%)
東區 FENP	1.9 mm (2.9%)	2.6 mm (3.9%)	3.2 mm (4.9%)	3.7 mm (5.6%)	5.5 mm (8.3%)	7.1 mm (10.8%)	19.8 mm (30.0%)
山區 TATA	3.5 mm (9.5%)	4.8 mm (12.9%)	5.3 mm (14.4%)	7.6 mm (20.6%)	9.2 mm (24.8%)	16.0 mm (43.3%)	149.5 mm (405.5%)
平均	<b>2.1 mm</b> <b>(4.0%)</b>	2.9 mm (5.4%)	3.4 mm (6.3%)	<b>4.5 mm</b> <b>(8.5%)</b>	6.2 mm (11.5%)	<b>8.4 mm</b> <b>(16.4%)</b>	46.7 mm (105.9%)
平均 (扣除山區)	<b>1.7 mm</b> <b>(2.6%)</b>	2.4 mm (3.5%)	2.9 mm (4.3%)	<b>3.7 mm</b> <b>(5.4%)</b>	5.5 mm (8.2%)	<b>6.6 mm</b> <b>(9.7%)</b>	21.0 mm (31.0%)

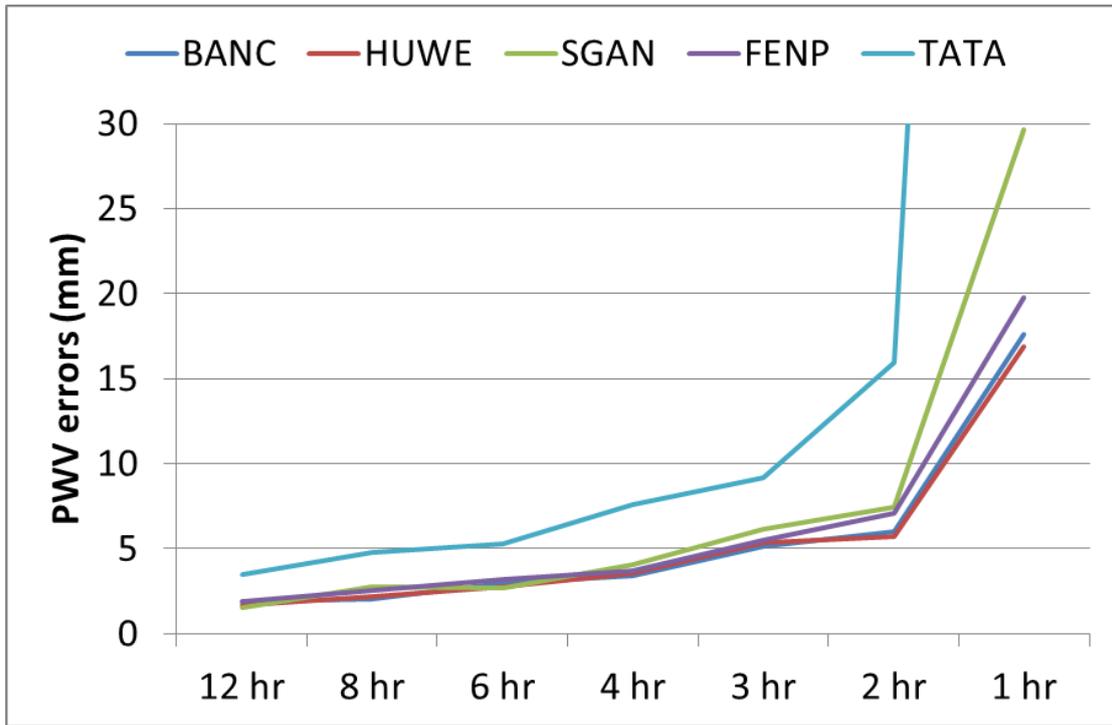


圖 4 觀測時間 12、8、6、4、3、2 與 1 小時之 PWV 平均誤差分布圖

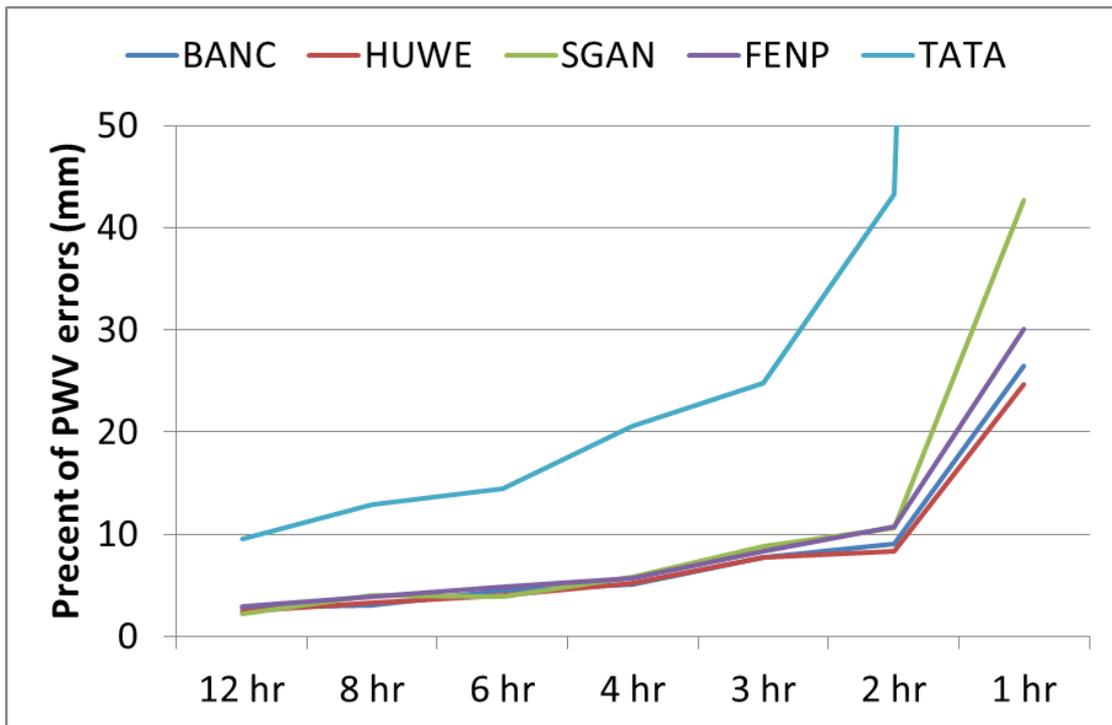


圖 5 觀測時間 12、8、6、4、3、2 與 1 小時之 PWV 誤差百分比分布圖

### 3. 利用氣象模式溫度與內插溫度轉換 PWV 之比較

本小節將探討中央氣象局模式溫度與內插溫度、標準溫度（攝氏 18 度），應

用於 PWV 轉換之影響分析。該模式的覆蓋區域由北部海面至巴士海峽（包含台灣附近海域），並考慮投影後格點間距及投影後最小變形，投影方式選擇藍伯特正形投影（Lambert conformal projection），如此格點間距南北及東西向大約 2.5 公里。模式中最左下方格點之經度及緯度分別為 117.55 E、20.79 N，最又上方格點之經度及緯度分別為 123.92 E、26.66 N，縱向與橫向再分別細分為 260 個格點，模式輸出成果如圖 6 所示。

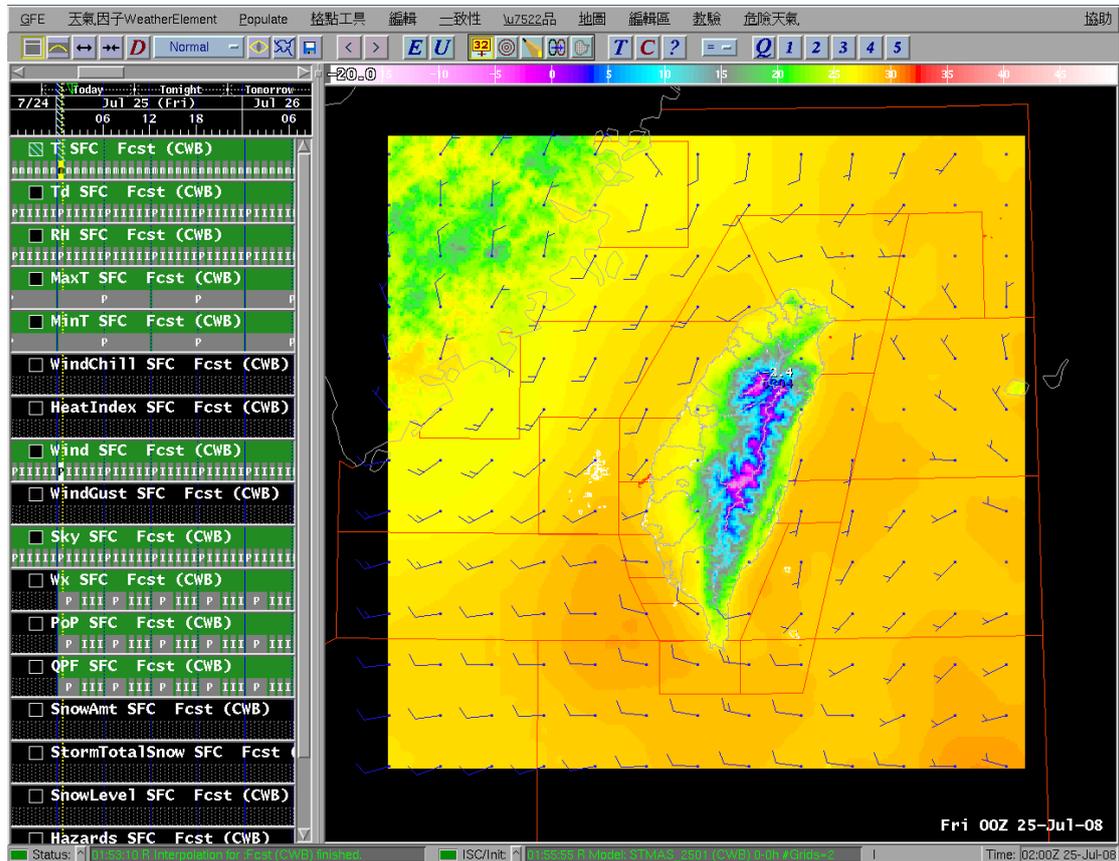


圖 6 模式網格溫度輸出成果示意圖

首先，先取吾人 24 小時的計算成果（方案 A）與 John Braun 的計算成果（方案 D）來進行比較，可以發現兩者的差異雖不明顯，但在 101 年 6 月 12 日零時發生的最大差異為 13.9 mm，該時間剛好是強降雨發生的初期，如圖 7 所示即為 NTPU 計算之 PWV 與 NCAR 計算之 PWV 於南區 SGAN 站之分布圖（利用相同的內插  $\Pi$  值來進行轉換）；若計算兩者的平均誤差，則可發現兩者有 3.6 mm 的平均差異，此一結果與吾人之前的分析相符合。

為了方便後續利用不同溫度計算  $\Pi$  值的比較，這裡採用 John Braun 計算的 ZWD 來進行分析；再根據計算  $\Pi$  值所使用溫度的不同，共分為內插、標準以及模式三種方法。其中，內插溫度為 John Braun 利用地面的氣象站溫度實測資料，配合 SmosGrd 子程式內插 AWS 和 Mesonet 測站的溫度資料計算而得；標準溫度為大氣模式在執行的過程中，為了簡化模式之架構而假設地面的溫度資料為一固定值（通常假設為攝氏 18 度）；模式溫度則採用中央氣象局所提供的模式內插網

格資料估算而得。本研究所測試的資料區間 101 年 6 月 10~16 日，利用上述三種方法所獲得的南區 SGAN 測站地面溫度如圖 8 所示。

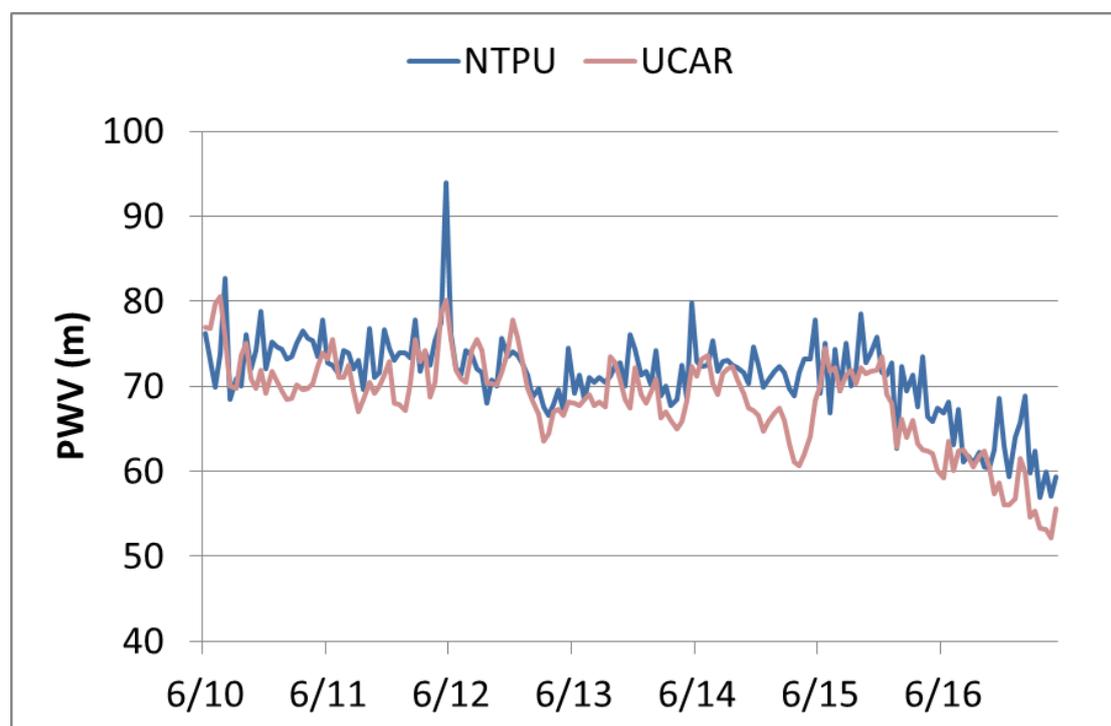


圖 7 NTPU 與 NCAR 計算之南區 SGAN 測站 PWV 值（利用相同的內插[]值來進行轉換）

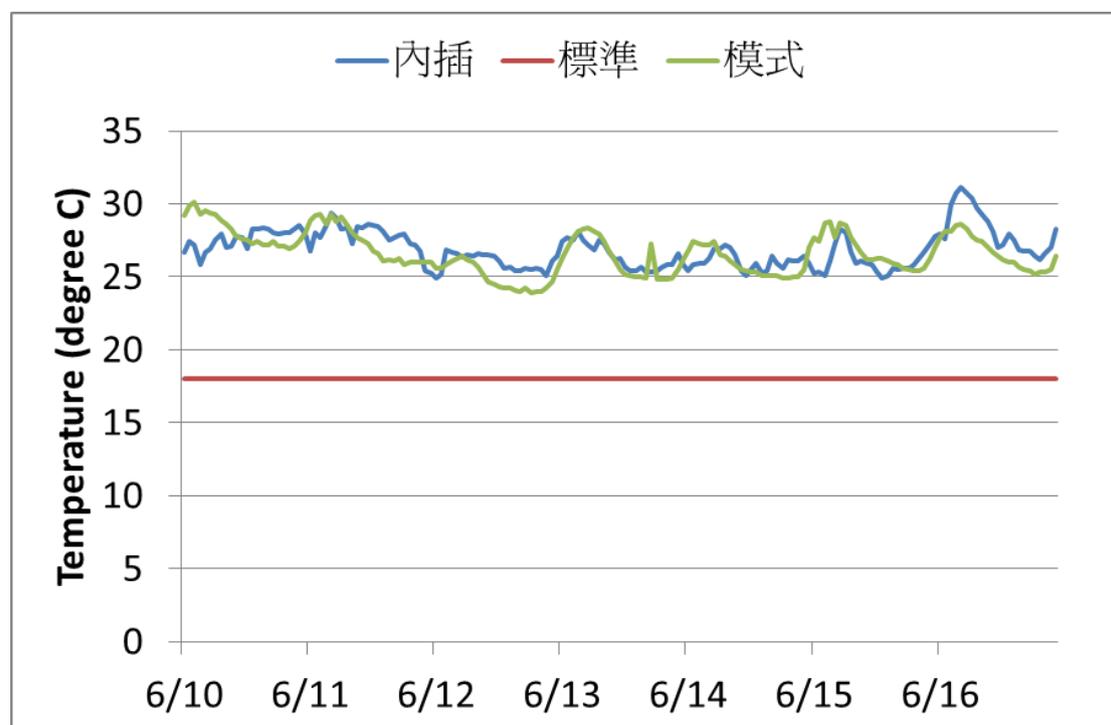


圖 8 利用內插、標準與模式所獲得之南區 SGAN 測站地面溫度值

由圖中可以發現，內插溫度與模式溫度兩者較為接近，也由於本研究的測試期間為台灣剛進入夏季的六月中旬，故溫度明顯高於標準溫度攝氏 18 度。首先計算內插溫度與標準溫度之平均誤差，可得到兩者的平均差異為 8.9 度；其次計算內插溫度與模式溫度的平均誤差，可得到兩者的平均差異僅為 1.1 度。

為了進一步瞭解此一溫度差異對於  $\Pi$  值的影響，以致於影響 PWV 轉換之成果，這裡同樣採用 John Braun 所計算之 ZWD，分別帶入內插  $\Pi$  值、標準  $\Pi$  值與模式  $\Pi$  值轉換而得三種之 PWV，成果如圖 9 所示。由圖中可以發現內插 PWV (藍線) 與模式 PWV (綠線) 大致上完全相符，計算其平均誤差僅有 0.2 mm；而標準 PWV 則與另外兩種方法轉換而得之 PWV 有一明顯的常差，若計算內插 PWV (藍線) 與標準 PWV (紅線) 之平均誤差，可發現兩者之間存在 1.5 mm 的差異。

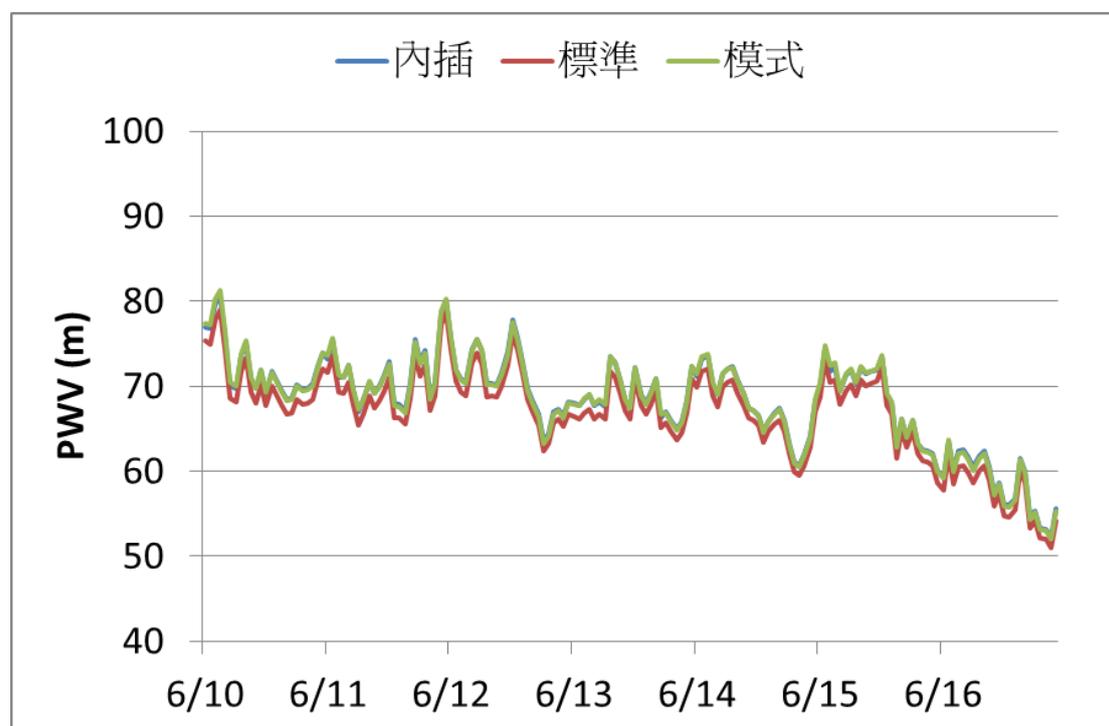


圖 9 利用內插  $\Pi$  值、標準  $\Pi$  值與模式  $\Pi$  值轉換而得之 PWV 值

#### 4. 備援系統建置及系統軟體安裝流程

計算系統是運作於 Linux 系統下，目前是安裝於 Centos 6.3 版本，所需要的軟體如下：

- Bernese Version 5.0
- Perl
- Fortran Compiler
- The Generic Mapping Tools

##### Centos 6.3 安裝：

###### 一、選擇下載安裝的 ISO 檔

在 CentOS 6.3 安裝時，首先就是要取得 ISO 檔來開機，我們可以就近到學術站台抓取，或到官方網站下載也可以。

官方下載 <http://wiki.centos.org/Download>

中華電信 <ftp://mirror01.idc.hinet.net/centos/6.3/isos>

台中教網 <ftp://ftp.tc.edu.tw/Linux/CentOS/6.3/isos/>

靜宜大學 <http://ftp.cs.pu.edu.tw/Linux/CentOS/6.3/isos/>

台研網路 <http://ftp.twaren.net/Linux/CentOS/6.3/isos/>

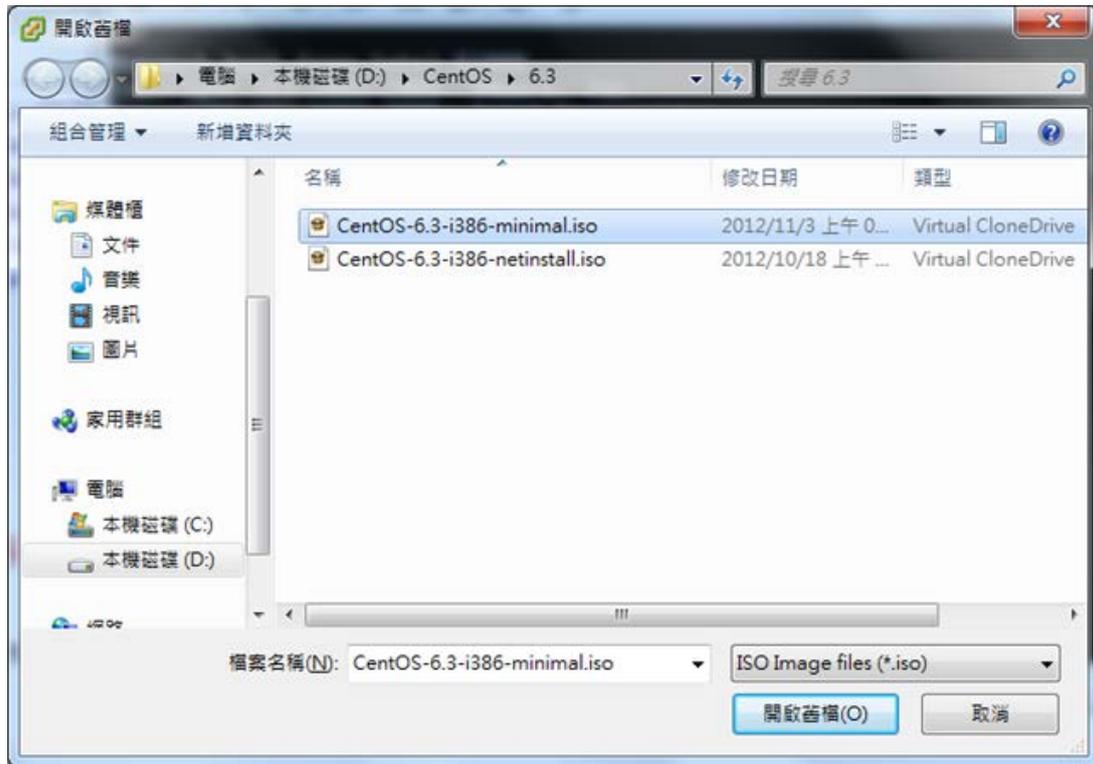
因為 Bernese 還是只支援 32 位元程式，所以選擇 32 位元的版本(i386)版本安裝。

### /Linux/CentOS/6.3/isos/i386/ 的索引

名稱	大小	已修改日期
 [父目錄]		
 0_README.txt	2.0 kB	12/7/6 下午12:37:00
 CentOS-6.3-i386-LiveCD.iso	690 MB	12/7/7 下午5:14:00
 CentOS-6.3-i386-LiveCD.torrent	216 kB	12/7/9 下午6:31:00
 CentOS-6.3-i386-LiveDVD.iso	1.6 GB	12/7/7 上午9:03:00
 CentOS-6.3-i386-LiveDVD.torrent	259 kB	12/7/9 下午6:31:00
 CentOS-6.3-i386-bin-DVD1.iso	3.5 GB	12/7/7 上午8:46:00
 CentOS-6.3-i386-bin-DVD1to2.torrent	182 kB	12/7/9 下午6:24:00
 CentOS-6.3-i386-bin-DVD2.iso	1.1 GB	12/7/7 上午8:47:00
 CentOS-6.3-i386-minimal.iso	293 MB	12/7/7 上午8:49:00 ← 最小安裝版
 CentOS-6.3-i386-netinstall.iso	194 MB	12/7/7 上午8:36:00 ← 網路安裝版
 md5sum.txt	577 B	12/7/28 下午6:48:00
 md5sum.txt.asc	1.4 kB	12/7/28 下午6:50:00
 sha1sum.txt	649 B	12/7/28 下午6:49:00
 sha1sum.txt.asc	1.5 kB	12/7/28 下午6:51:00
 sha256sum.txt	865 B	12/7/28 下午6:50:00
 sha256sum.txt.asc	1.7 kB	12/7/28 下午6:51:00

## 二、使用 CentOS 開機 ISO 檔進行安裝

在實際安裝的主機或虛擬機中放入光碟進行開機，確定 BIOS 設定為光碟優先(在本例中使用 Minimal 最小安裝片來開機)。



出現熟悉的開機畫面，選擇第二個文字模式來安裝 CentOS 6.3 的安裝程式須要至少 392MB 記憶體才能運作。文字模式會自動被應用於擁有少於 652MB 記憶體的系統上。

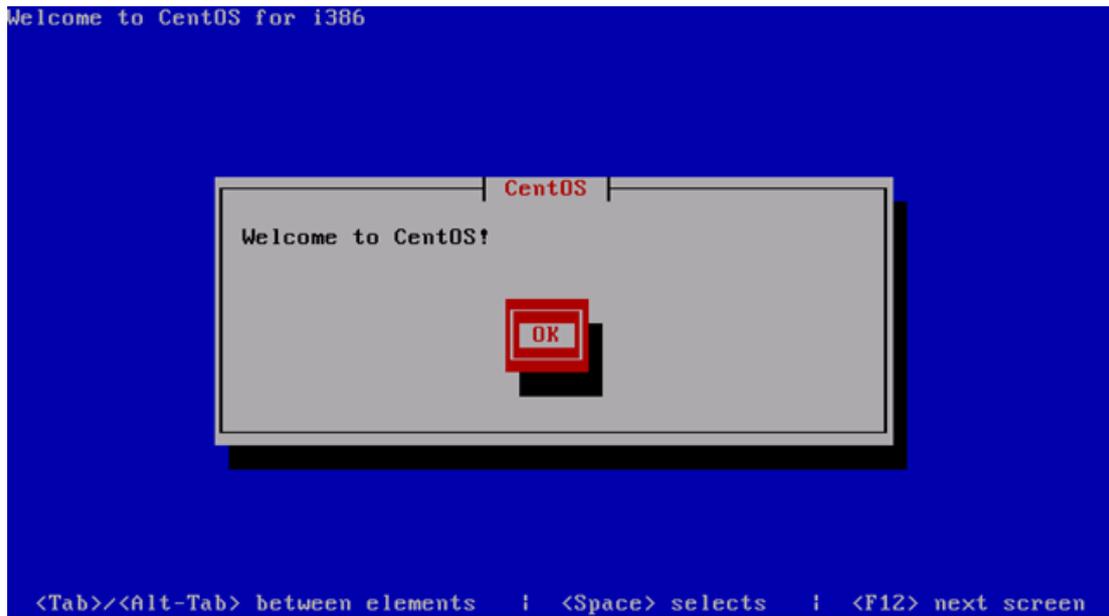


### 三、安裝步驟圖文說明對照

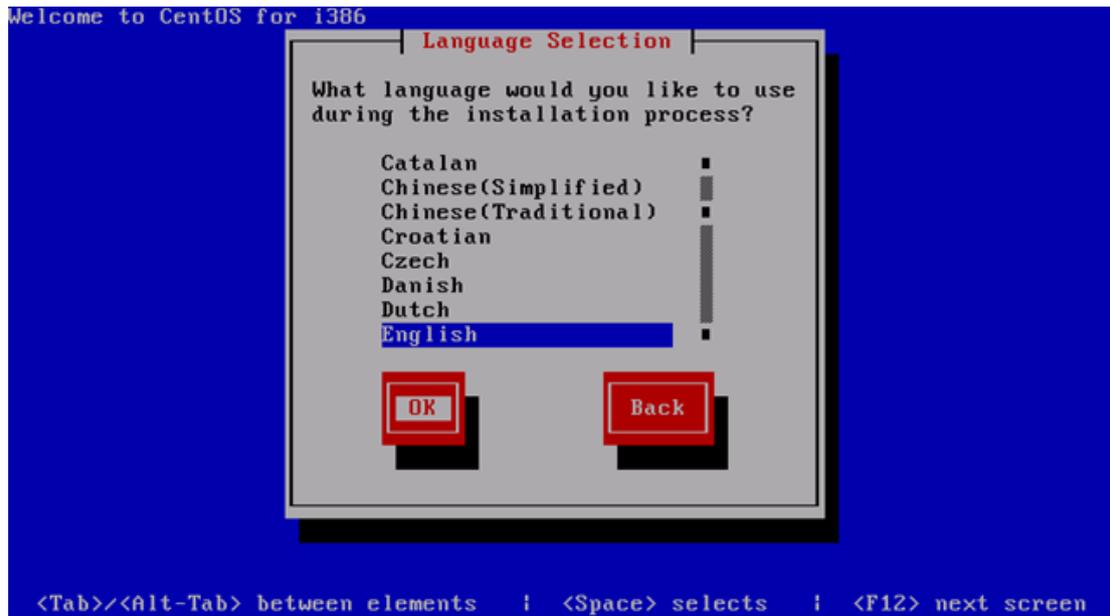
[Step.1] 驗證光碟的完整性，可以選擇 Skip 跳過



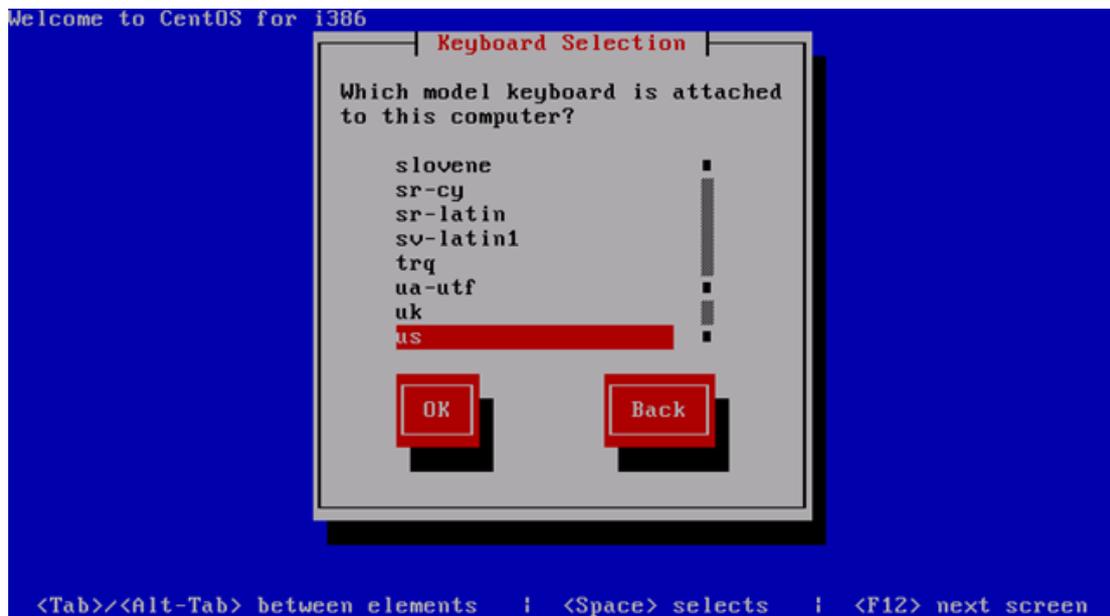
[Step.2] Welcome to CentOS!



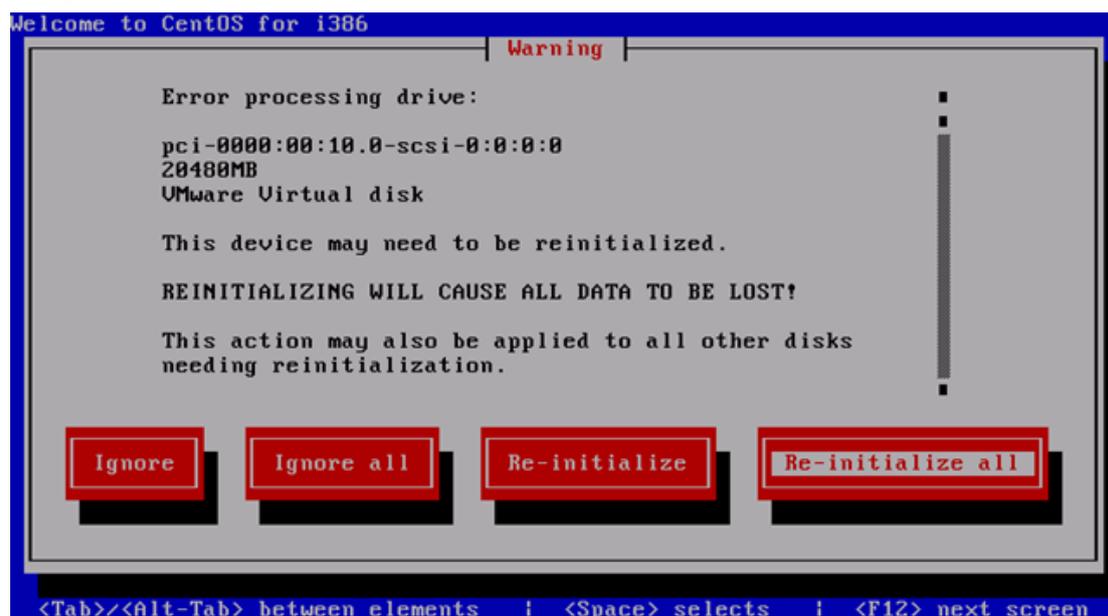
[Step.3] 安裝過程的語言選擇，選擇 English。



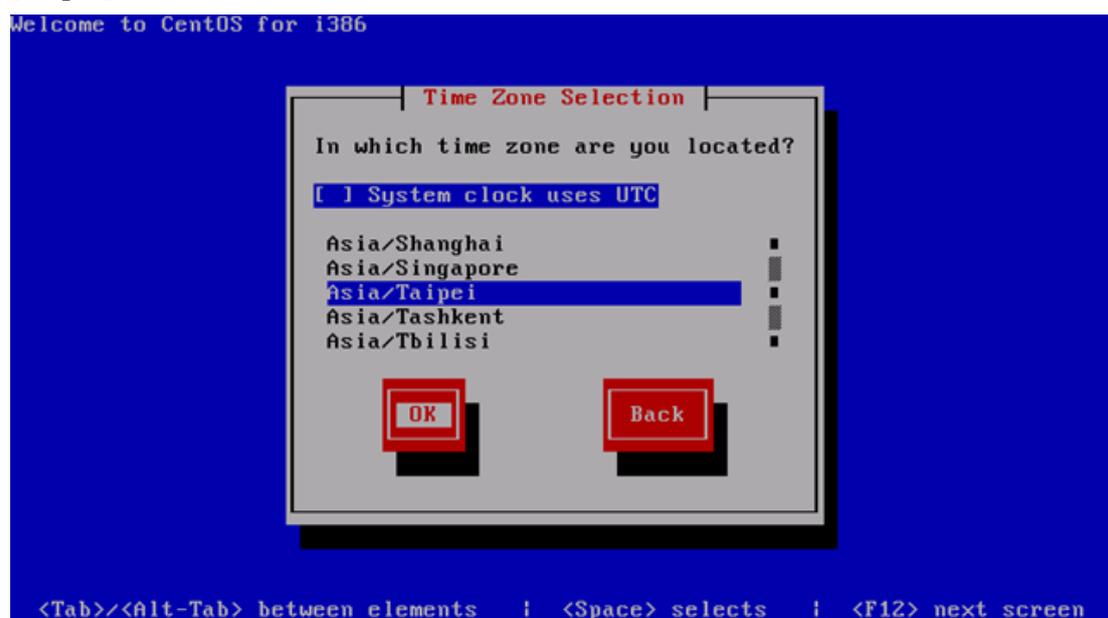
[Step.4] 選擇鍵盤，美式 us 鍵盤



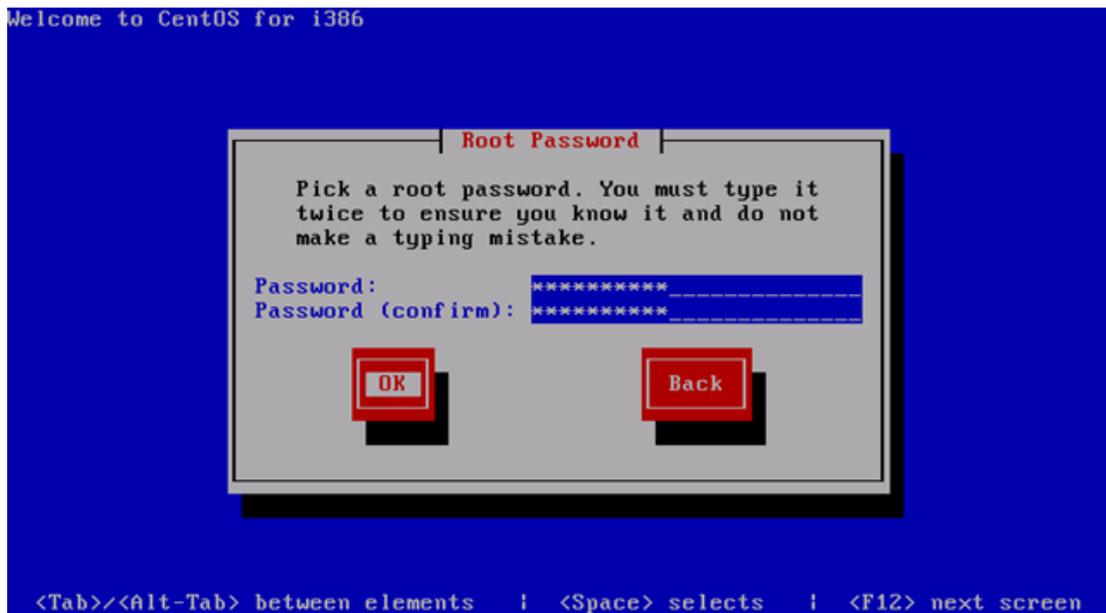
[Step.5] 這裡是警告，如果繼續安裝，你的硬碟資料將會被刪除。



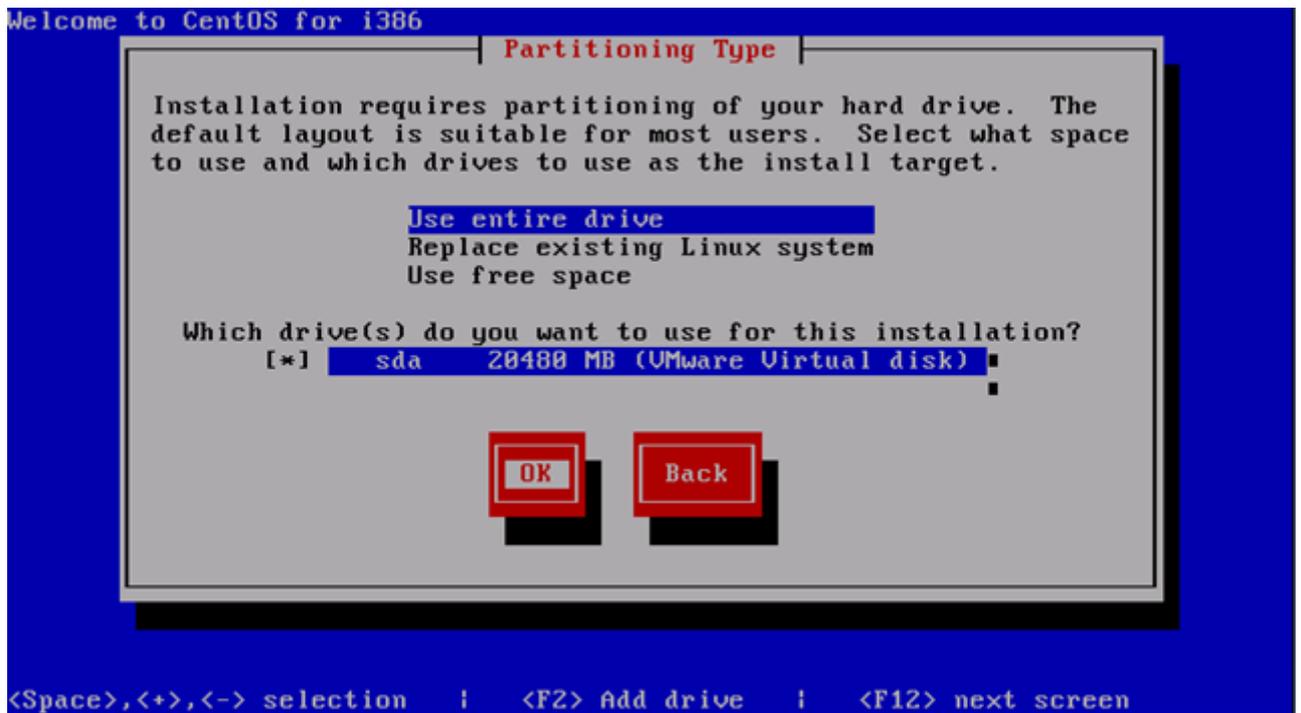
[Step.6] 選擇時區，選擇 UTC(國際協調時間)，因為系統的運作已 UT 為主



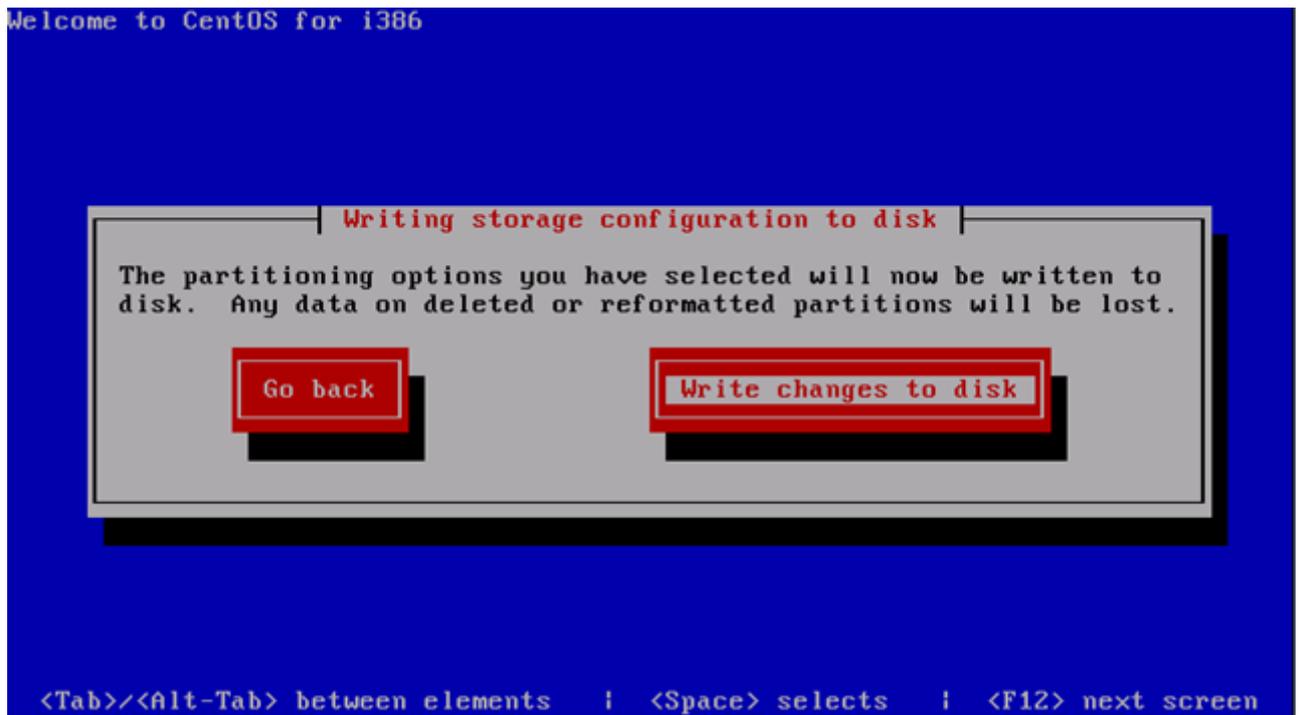
[Step.7] Root 帳戶的密碼(Linux 中最高權限的帳戶)



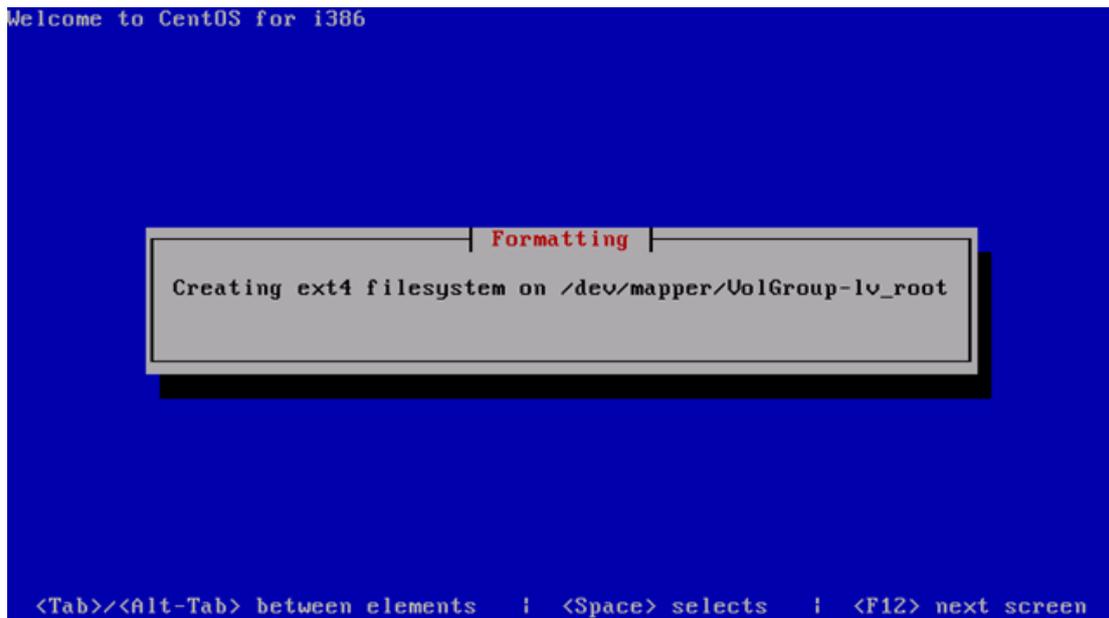
[Step.8] 安裝的硬碟(sda 為主機的第一個硬碟名稱)



[Step.9] 再一次提醒，繼續安裝會將全部資料刪除



[Step.10] 接下來就是格式化和開始安裝，我們可以看到 CentOS 6.3 採用 ext4 為預設的檔案格式



[Step.11] 安裝完畢，點選 Reboot 後就會重開機



[Step.12] 開機，使用 root 帳戶登入

```
CentOS release 6.3 (Final)
Kernel 2.6.32-279.el6.i686 on an i686

localhost login: root
Password:
[root@localhost ~]#
[root@localhost ~]# _
```

Perl 安裝：

因為 centos 預設是使用 Bash Shell 所以不需額外安裝，但是 Perl 則需另外安裝，只需要執行”`yum install perl`”，即可完成安裝。安裝畫面如下：

```
[root@localhost ~]# yum install perl
Setting up Install Process
Resolving Dependencies
-> Running transaction check
-> Package perl.x86_64 4:5.10.1-127.el6 will be installed
-> Processing Dependency: perl-libs = 4:5.10.1-127.el6 for package:
4:perl-5.10.1-127.el6.x86_64
-> Processing Dependency: perl-libs for package: 4:perl-5.10.1-127.el6.x86_64
-> Processing Dependency: perl(version) for package: 4:perl-5.10.1-127.el6.x86_64
-> Processing Dependency: perl(Pod::Simple) for package: 4:perl-5.10.1-127.el6.x86_64
-> Processing Dependency: perl(Module::Pluggable) for package: 4:perl-5.10.1-127.el6.x86_64
-> Processing Dependency: libperl.so()(64bit) for package: 4:perl-5.10.1-127.el6.x86_64
-> Running transaction check
-> Package perl-Module-Pluggable.x86_64 1:3.90-127.el6 will be installed
-> Package perl-Pod-Simple.x86_64 1:3.13-127.el6 will be installed
-> Processing Dependency: perl(Pod::Escapes) >= 1.04 for package:
1:perl-Pod-Simple-3.13-127.el6.x86_64
-> Package perl-libs.x86_64 4:5.10.1-127.el6 will be installed
-> Package perl-version.x86_64 3:0.77-127.el6 will be installed
-> Running transaction check
-> Package perl-Pod-Escapes.x86_64 1:1.04-127.el6 will be installed
-> Finished Dependency ResolutionDependencies
Installing:
perl x86_64 4:5.10.1-127.el6 base 10 M
Installing for dependencies:
perl-Module-Pluggable x86_64 1:3.90-127.el6 base 38 k
perl-Pod-Escapes x86_64 1:1.04-127.el6 base 30 k
perl-Pod-Simple x86_64 1:3.13-127.el6 base 210 k
perl-libs x86_64 4:5.10.1-127.el6 base 576 k
perl-version x86_64 3:0.77-127.el6 base 49 kTransaction Summary

Install 6 Package(s)Total download size: 11 M
Installed size: 36 MIs this ok [y/N]: y
Downloading Packages:
(1/6): perl-5.10.1-127.el6.x86_64.rpm | 10 MB 01:14
(2/6): perl-Module-Pluggable-3.90-127.el6.x86_64.rpm | 38 kB 00:00
(3/6): perl-Pod-Escapes-1.04-127.el6.x86_64.rpm | 30 kB 00:00
(4/6): perl-Pod-Simple-3.13-127.el6.x86_64.rpm | 210 kB 00:01
(5/6): perl-libs-5.10.1-127.el6.x86_64.rpm | 576 kB 00:03
(6/6): perl-version-0.77-127.el6.x86_64.rpm | 49 kB 00:00

-----
Total 138 kB/s | 11 MB 01:22
Running rpm_check_debug
Running Transaction Test
Transaction Test Succeeded
Running Transaction
Installing : 1:perl-Pod-Escapes-1.04-127.el6.x86_64 1/6
Installing : 4:perl-libs-5.10.1-127.el6.x86_64 2/6
Installing : 1:perl-Pod-Simple-3.13-127.el6.x86_64 3/6
Installing : 3:perl-version-0.77-127.el6.x86_64 4/6
Installing : 1:perl-Module-Pluggable-3.90-127.el6.x86_64 5/6
Installing : 4:perl-5.10.1-127.el6.x86_64 6/6
Verifying : 1:perl-Module-Pluggable-3.90-127.el6.x86_64 1/6
Verifying : 1:perl-Pod-Escapes-1.04-127.el6.x86_64 2/6
```

安裝完畢後，執行”`perl -v`”即可知道版本

```
[root@localhost ~]# perl -v
This is perl, v5.10.1 (*) built for x86
```

### 編譯器(Compiler) 安裝：

因為需要編譯 Bernese 的原始檔，因此需要 gcc、g++、gfortran 和 g77 的編譯器，步驟如下：(以下詳細安裝畫面省略)

```
[root@localhost ~]# yum install gcc gcc-g++ gcc-gfortran
```

因為 John Braun 有些程式是用 g77 格式撰寫，使用 gfortran 雖然可以編譯，但會出現否些錯誤以至於編譯不成功，因此建議安裝 g77 編譯器，但 g77 在 gcc 3.4 版之後就不再支援，因此要另外安裝，指令如下。

```
[root@localhost ~]# yum install compat-gcc-34-g77
```

### Net-Cdf 安裝：

系統所使用的資料有些是 net-cdf 的格式，因此需要安裝 net-cdf 的函式庫，首先下載最新版的 netcdf 版本至使用者目錄下，安裝指令如下：

```
$tar -xvf netcdf-4.1-3
$cd netcdf-4.1-3
$./configure --prefix=/usr/local/netcdf
$make
$make install
```

而配置 .bashrc 裡的環境變數如下：

```
export NETCDF=/usr/local/netcdf
export NETCDF_LIB=$NETCDF/lib
export NETCDF_INC=$NETCDF/include
export PATH=$PATH: $NETCDF/bin
$source .bashrc
```

### The Generic Mapping Tools 安裝：

因為圖形的輸出與某些內插演算法是使用 GMT 的套件，因此也需要安裝，GMT 的安裝較為繁瑣，centos 可以使用 yum 指令即可安裝，指令如下：

```
[root@localhost ~]# yum install gmt gmt-examples
```

因為系統需要較精確的標頭檔和函式庫，因此還是手動完整安裝比較不會出現呼叫錯誤的情況。首先先確定 gcc 和 make 套件是否有安裝並下載 install\_gmt，指令如下：

```
[root@localhost ~]# yum install gcc make
[root@localhost ~]# wget -c ftp://ftp.soest.hawaii.edu/gmt/install_gmt chmod +x install_gmt
```

上面指令更改 install\_gmt 為可執行的權限，並直接執行 install\_gmt 手動安裝。安裝完畢後，設定環境變數後就完成 GMT 的安裝。

而配置.bashrc 裡的環境變數如下：

```
export PATH=/opt/GMT/bin:$PATH
export GMT_SHARED_DIR=/etc/GMT
export MANPATH=/opt/GMT/man:$MANPATH
$source .bashrc
```

## 五、落實應用情形

### 分析地基 GPS 資料處理之流程

地基 GPS-ZWD 自動化計算程序流程（如圖 11 所示）主要由 shell script 和 perl 兩種程式語言來做整個系統程式流程控制，處理程序主要分為兩個，一個是近即時（Near-Real Time, NRT），另一個則是全日（Daily Processing, DP）程序。NRT 每兩小時執行一次，於每日的 1:15、3:15、5:15 間隔兩小時跑一次，每次計算前 1 小時至前 3 小時的資料。例如：1:15 跑前一天 22:00~24:00，3:15 跑當天 0:00~2:00，依此類推；目前現況由於即時資料來不及進入資料庫，故大多只跑 1 小時的資料。DP 每日的 7 點 30 分執行，執行的每一流程結果皆有回報，使用者可以很方便的透過回報結果來檢查出錯的流程。

而地基 GPS-ZWD 自動化計算程序流程主要有五個自動化流程：

1. 取得衛星相關資料和 GPS 地基陣列資料
2. DP 程序
3. 2 小時 NRT 程序
4. NRT 狀態回報
5. 資料壓縮（Data Archiving, TBD）

101 年 5 月開始，NCAR 開始新增了每小時執行一次的流程，於 0:40、1:40、2:40 每一小時跑一次，跑前 1 小時的資料。例如：0:40 跑前一天 23:00~24:00，1:40 跑當天 0:00~1:00。

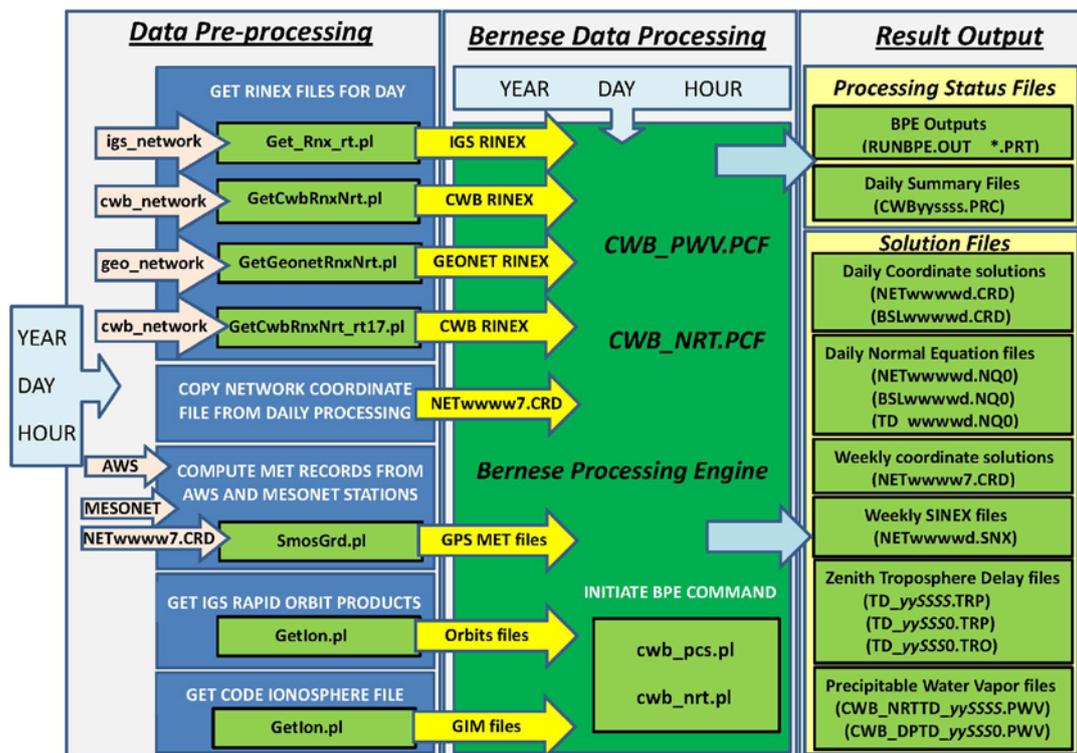


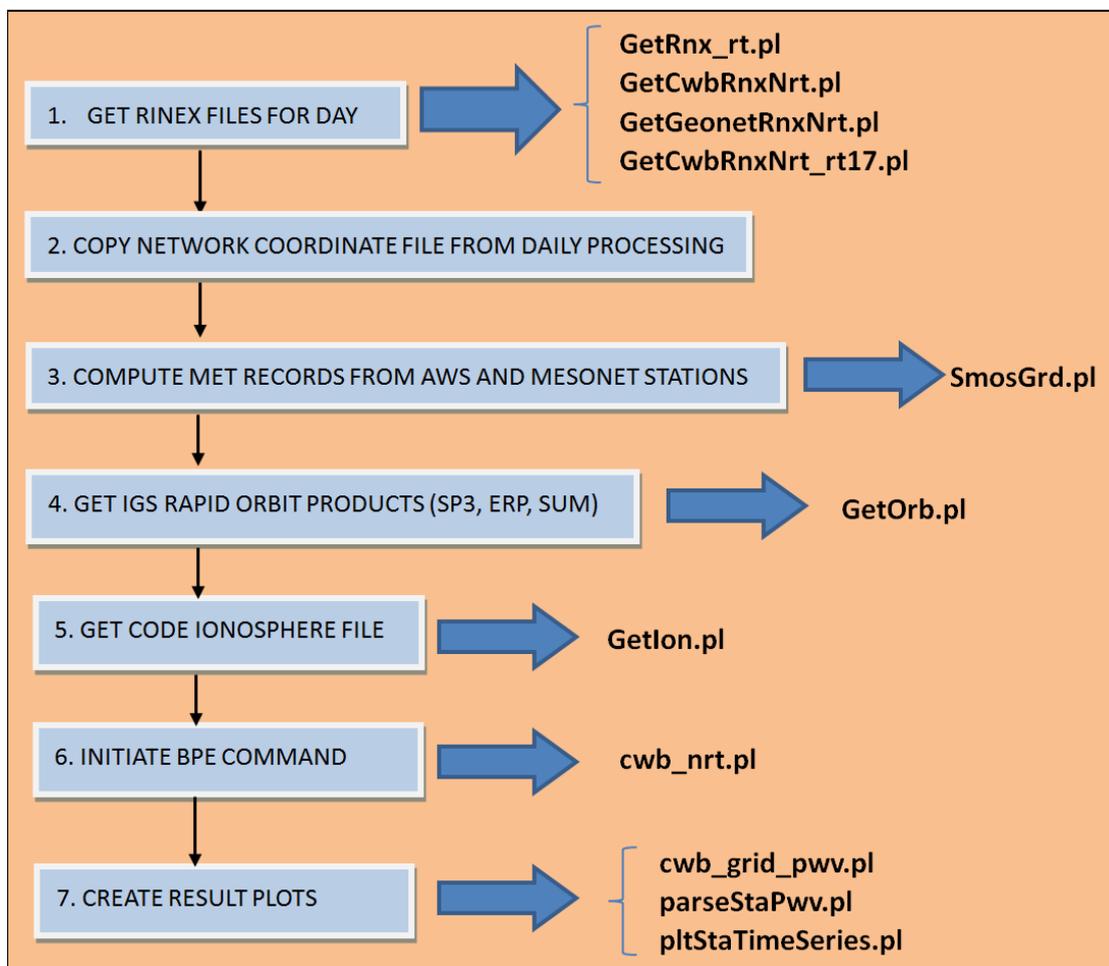
圖 11 地基 GPS-ZWD 自動化計算程序流程

## cwb\_nrt\_cron NRT(Near-Real-Time processing) 程序

NRT 程序由 cwb\_nrt(shell script 檔)來做主要流程控制，它包含了以下七個流程：

1. 下載當日目前所有的 Rinex 檔(GET RINEX FILES FOR DAY)。
2. 複製前一天 DP(Daily Processing )CRD 檔(COPY NETWORK COORDINATE FILE FROM DAILY PROCESSING)
3. 計算出內插過後的 MET 檔(COMPUTE MET RECORDS FROM AWS AND MESONET STATIONS)
4. 下載衛星軌道檔案(GET IGS RAPID ORBIT PRODUCTS (SP3, ERP, SUM))
5. 下載 GIM 電離層模式參數檔(GET CODE IONOSPHERE FILE)
6. 啟始 BERNESE 主程式(INITIATE BPE COMMAND)
7. 繪圖並輸出至網頁(CREATE RESULT PLOTS)

如下圖所示部分流程會呼叫的 PERL 檔。



NRT(Near Real Time processing)的子程序說明如下：

cwb\_nrt\_cron：呼叫 `~/bin/cwb_nrt `date -u --date "3 hour ago" '+%Y %m %d %H'`

`~/bin/cwb_nrt`：輸入前一天的年 月 日 小時, 例如：2012 02 01 12

GetRnx\_rt.pl：根據/STA/igs\_network 裡的站下載 RINEX 站資料

GetGeonetRnxNrt.pl：同 GetRnx.pl 但下載 [ftp://terras.gsi.go.jp/data/GPS\\_products/](ftp://terras.gsi.go.jp/data/GPS_products/)

GetCwbRnxNrt.pl：轉換2小時 CWB T00 格式成 RINEX 格式

GetCwbRnxNrt\_rt17.pl：轉換1小時 r-17格式成 RINEX 格式

UPPERC2：轉換檔案名稱為大寫的格式

SmosGrd：內插 AWS 和 Mesonet 資料

GetOrb.pl：到 IGS 網站下載 IGR 軌道檔案

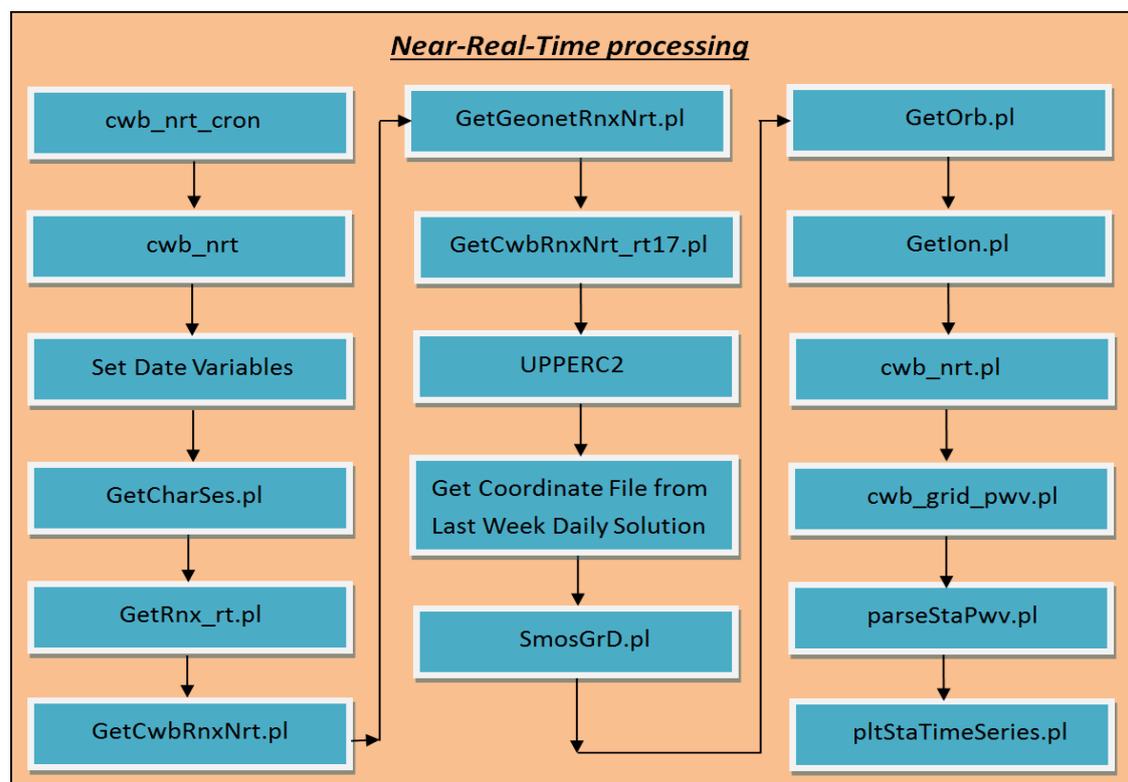
GetIon.pl：到 CODE 網站下載 GIM 電離層模式檔案

cwb\_nrt.pl：執行 Bernese BPE 程序

cwb\_grid\_pvw.pl：內插 PWV 網格

parseStaPvw.pl：轉換 PWV 檔案格式

pltStaTimeSeries.pl：繪圖並輸出至網站



## cwb\_nrt\_cron

cwb\_nrt\_cron：呼叫~/bin/cwb\_nrt `date -u --date "3 hour ago" +%Y %m %d %H`  
~/bin/cwb\_nrt 輸入前一天的年 月 日 小時，例如： 2012 02 01 12

## cwb\_nrt

~/John/cwb\_nrt 是一個 Shell script 檔，所有 NRT(Near Real Time processing)透過它來呼叫所有子程序，以下為 cwb\_nr 程式碼(藍色底為程式碼)說明：

設定 Bernese Campaign 路徑和指定 PCF(procedure control file)檔。

```
CAMP_PATH=$P #設定 Bernese Campaign 路徑$P 是指/pub/john/GPSDATD  
CAMPAIGN=CWB_NRT #指定 Campaign 名稱  
PCF=CWB_NRT #指定 PCF(procedure control file)檔名稱  
  
CAMP_PATH_POST_PROC=$P  
CAMPAIGN_POST_PROC=CWB_DP #找 Weekly coordinate solutions (CRD)檔的路
```

設定輸入的日期轉為 GPS 常用的日期格式，方便 Bernese 呼叫使用。

```
yr=$1 #獲得輸入的四個參數 年 月 日 小時  
mo=$2  
day=$3  
hour=$4  
  
y2=`echo $yr | cut -c3-4` #轉換為 GPS 的日期格式  
gweek=`ymd2gps $yr $mo $day| awk '{print $1}'`  
gweekm1=`ymd2gps $yr $mo $day| awk '{print $1-1}'`  
gday=`ymd2gps $yr $mo $day| awk '{print $2}'`  
dom=`echo $day | awk '{printf("%02i",$1)}'`  
day=`ymd2doy $yr $mo $day| awk '{printf("%03i",$2)}'`  
mjd=`doy2mjd ${yr} ${day} | awk '{printf("%05d",$1)}'`  
S=`GetCharSes.pl $hour` #呼叫 GetCahrSes.pl 把小時的整數轉為英文字母，方便程式使用
```

```

#下載所有必需的 RINEX 檔。
echo " "
echo "RETRIEVING RINEX FILES"
echo " "

#切換到/pub/john/GPSDATDATA/ CWB_NRT/RAW 目錄下
cd ${CAMP_PATH}/${CAMPAIGN}/RAW

# Get data from IGS network

gunzip *${day}*.gz
GetRnx_rt.pl ../STA/igs_network ${yr} ${day} ${hour} 2> /dev/null
GetCwbRnxNrt.pl ../STA/cwb_network ${yr} ${day} ${hour} 2> /dev/null
GetGeonetRnxNrt.pl ../STA/geonet_network ${yr} ${day} ${hour} 2> /dev/null
GetCwbRnxNrt_rt17.pl ../STA/cwb_network ${yr} ${day} ${hour} 2> /dev/null
$X/EXE/UPPERC2 ${day}?.${y2}?

```

在這裡一共呼叫 GetRnx\_rt.pl、GetCwbRnxNrt.pl、GetGeonetRnxNrt.pl 和 GetCwbRnxNrt\_rt17.pl 四個 Perl 的程式檔，以下為這四個程式的說明：

### GetRnx\_rt.pl

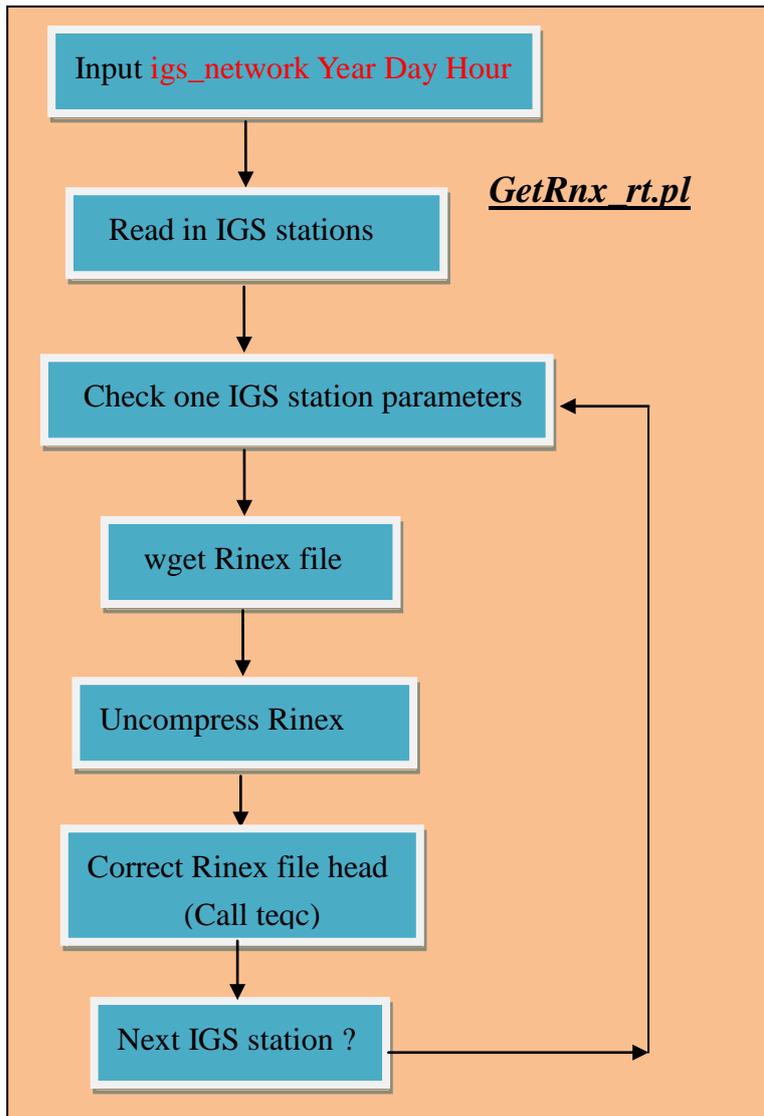
#### 程式執行流程概述：

移至/pub/john/GPSDATA/CWB\_NRT/RAW 目錄

1. 下載鄰近台灣的 IGS 追蹤站(紀錄於對應的/SAT/igs\_network 檔案中)的 RINEX 資料，並根據 igs\_network 列表的 IGS 追蹤站的 ftp 站下載 RINEX 資料。
2. 因為每一 IGS 追蹤站的儀器、天線盤、天線高度和檔案的格式都不進相同，因此需要先呼叫 UNAVCO 聯盟提供的 teqc 程式做 RINEX 檔頭的轉換符合 Bernese 的輸入格式，才能讓 Bernese 主程式順利的運作。

Input：igs\_network 年 日 時

Output：修正過後的 RINEX data(副檔名為 .xxo，xx 為年)



*GetRnx\_rt.pl*

GetGeonetRnxNrt.pl

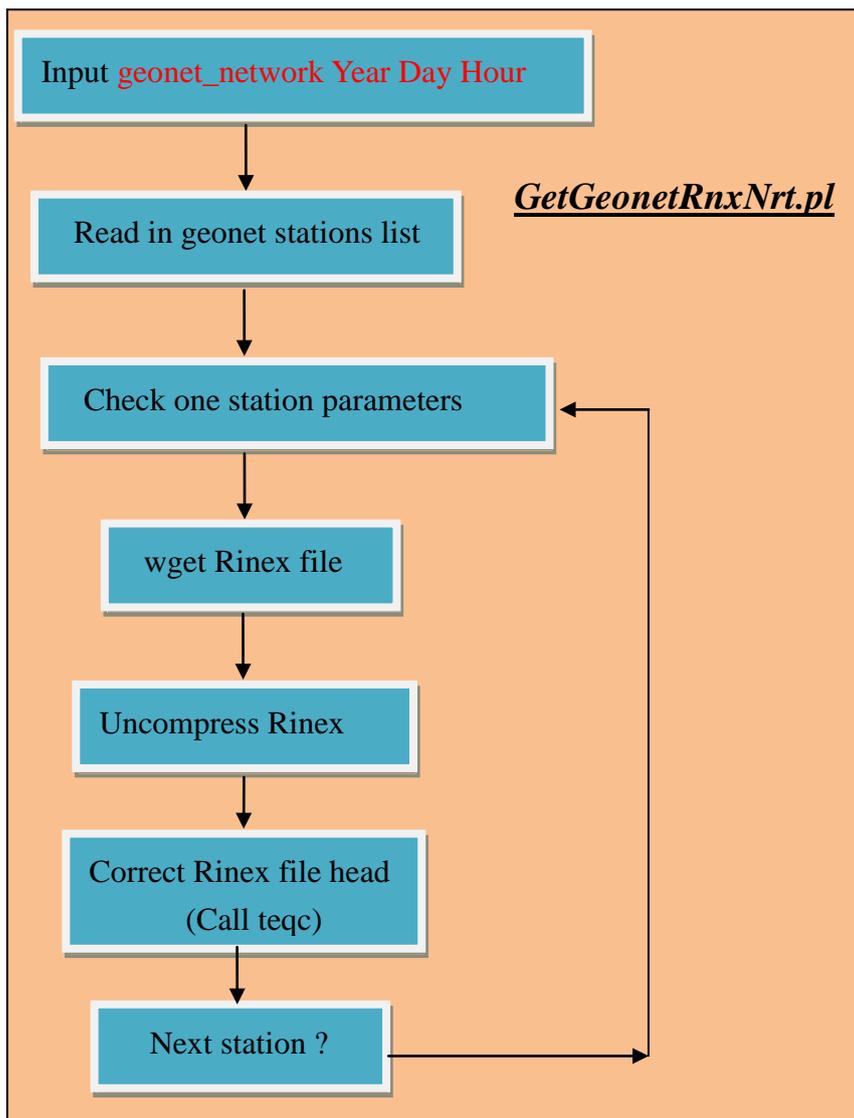
程式執行流程概述：

移至/pub/john/GPSDATA/CWB\_NRT/RAW 目錄

執行的流程大致同 getRnx\_rt.pl，只是下載的 GPS 資料網為日本的 GEONET GPS 網路，並根據 SAT/geonet\_network 檔案裡的所列的站下載所需的 GPS 檔案。

Input：geonet\_network 年 日 時

Output：修正過後的 RINEX data(副檔名為 .xxo，xx 為年)



GetCwbRnxNrt\_rt17.pl

程式執行流程概述：

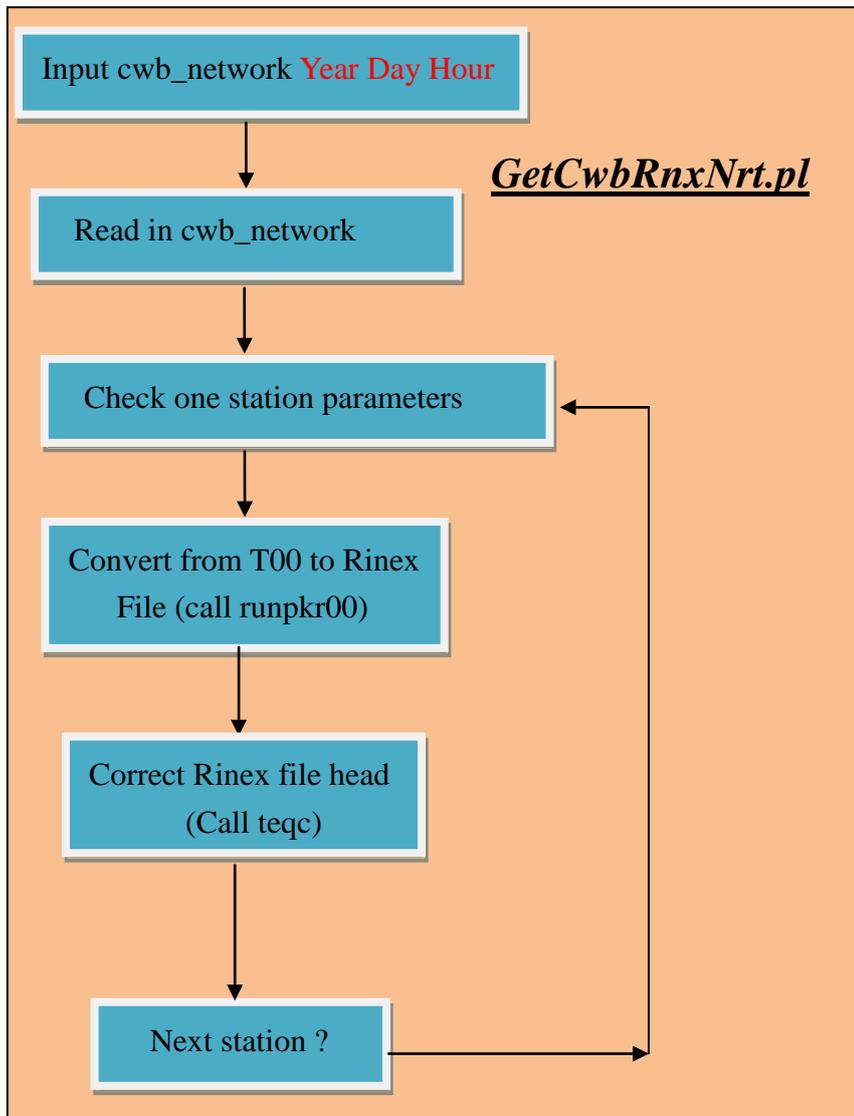
移至/pub/john/GPSDATA/CWB\_DP /RAW 目錄

執行的流程大致同 getRnx\_rt.pl，但省去的下載 Rinex 檔的程式碼，因為氣象局內部的 GPS t00 資料是自動上傳至氣象局內部的磁碟陣列，所以不需要下載。

1. 氣象局的 GPS 資料位於/ops/cwb/t00，因為 t00 資料並不是 Rinex 檔的格式，所以需要呼叫 trimble 提供的 runpkr00 程式把 t00 檔轉至 Rinex 檔格式。

Input : cwb\_network 年 日 時

Output : 修正過後的 RINEX data(副檔名為 .xxo , xx 為年)



GetCwbRnxNrt\_rt17.pl

程式執行流程概述：

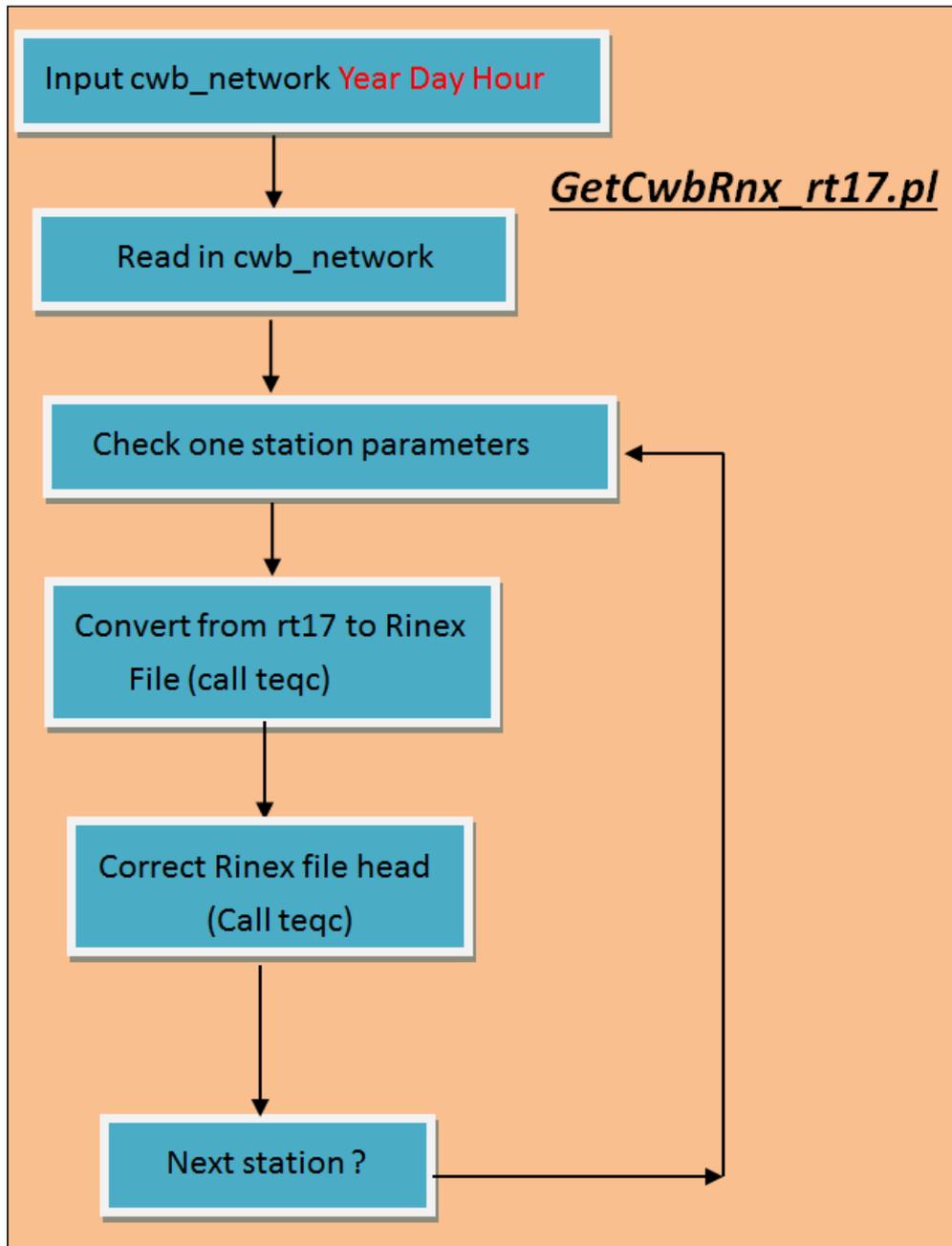
移至/pub/john/GPSDATA/CWB\_DP /RAW 目錄

執行的流程大致同 getRnx\_rt.pl, 但省去的下載 Rinex 檔的程式碼, 因為氣象局內部的 GPS rt17 資料是自動上傳至氣象局內部的磁碟陣列, 所以不需要下載。

2. 氣象局的 GPS 資料位於/ops/cwb/t00，因為 rt17 資料並不是 Rinex 檔的格式，所以需要呼叫 UNAVCO 聯盟提供的 teqc 程式把 rt17 檔轉至 Rinex 檔格式並修正 Rinex 檔頭資訊。

Input : cwb\_network 年 日 時

Output : 修正過後的 RINEX data(副檔名為 .xxo , xx 為年)



在 DP(Diary Processing)的程序會依據 GPS week 的第一天輸出一 CRD 檔，紀錄每一 GPS 接收站的位置(A-priori Coordinate Information)當成參考值，沒有這個檔案，後續的 Bernese 主程式會顯示錯誤，結果將會跑不出來。

```

#####
# GET COORDINATE FILE FROM LAST WEEK DAILY SOLUTION
#####

echo " "
echo "RESOLVING APRIORI COORDINATE FILE "
echo " "
#切換到/pub/john/GPSDATDATA/ CWB_NRT/STA 目錄下
cd ${CAMP_PATH}/${CAMPAIGN}/STA
if [ -f NET${gweekm1}7.CRD ] #找到了 CRD 檔
then

    echo "COORDINATE FILE ALREADY EXISTS "
    HAVE_CRD=0
#如果在 STA 目錄下沒找到，就去 CWB_DP 目錄下尋找
elif [ -f
${CAMP_PATH_POST_PROC}/${CAMPAIGN_POST_PROC}/STA/NET${gweek
m1}7.CRD ]
then

    echo "COORDINATE FILE ALREADY EXISTS " #找到了 CRD 檔
    cp
${CAMP_PATH_POST_PROC}/${CAMPAIGN_POST_PROC}/STA/NET${gweek
m1}7.CRD .
    HAVE_CRD=0

else

    echo "WE HAVE TROUBLE "
    echo "NO NETWORK COORDINATE FILE FOUND "
    HAVE_CRD=-1 #未找到 CRD 檔，並輸出錯誤訊息

```

f

以下 cwb\_nr 部分程式碼主要工作是利用氣象局的資料內插出每一 GPS 接收站上方的大氣資料。

```
#####  
# Interpolate surface observations to GPS Station Locations  
#####  
  
echo " "  
echo "INTERPOLATING AWS AND MESONET RECORDS"  
echo " "  
  
#切換到/pub/john/GPSDATDATA/ CWB_NRT/ATM/SmosGrd 目錄  
cd ${CAMP_PATH}/${CAMPAIGN}/ATM/SmosGrd  
  
cp /ops/aws/rsdf${y2}${mo}${dom}???.dat . #複製最新的 aws 資料至目錄下  
cp /ops/mesonet/rsnf${y2}${mo}${dom}???.dat . #複製最新的 mesonet 資料  
  
#執行內插程式 SmosGrd.pl  
SmosGrd.pl --crdfil  
${CAMP_PATH}/${CAMPAIGN}/STA/NET${gweekm1}7.CRD \  
    --year ${yr} --day ${day} \  
    rsdf${y2}${mo}${dom}???.dat rsnf${y2}${mo}${dom}???.dat  
  
#刪除目錄下的 aws 和 mesonet 資料  
rm rsdf${y2}${mo}${dom}???.dat rsnf${y2}${mo}${dom}???.dat  
  
#將每 GPS 站上方內插出的大氣資料(.MET 檔)移到/pub/john/GPSDATDATA/  
CWB_NRT/ATM/目錄  
  
for fil in ???${day}0.MET  
do  
    if [ -s $fil ]  
    then  
        mv ${fil} ../.  
    fi  
done
```

以下是內插程式 SmosGrd.pl 的說明：

## SmosGrD.pl

### 程式執行流程概述：

整個系統使用氣象局兩個主要的資料群，一是氣象局 GPS 地面觀測站資料，包含兩個小時的 t00 格式資料和一個小時 rt17 的 Rinex 資料，另一是地面氣象觀測資料(automated weather system (AWS) and mesonet networks)包含溫度、壓力、風向、風力等，主要由 automatic meteorological data processing system (AMDP)系統運作管理。以下為 SmosGrd.pl 程式所需要輸入的資料說明：

### **AWS data：**

每個文件包括各站的氣壓，溫度，風向和相應的高度，緯度，經度和觀測時間。文件名稱是 rsdfyyMMDDhhmm.dat 格式，檔案位於/pub/aws 目錄下，目前每小時一筆檔案。

### **Mesonet data：**

每個文件包括各站氣壓，溫度，露點溫度(dew-point)，風向和相應的高度，經度，緯度和觀測時間。文件名稱是 rsnfyyMMDDhhmm.dat 格式，檔案位於/pub/mesonet 目錄下，目前每小時一筆檔案。

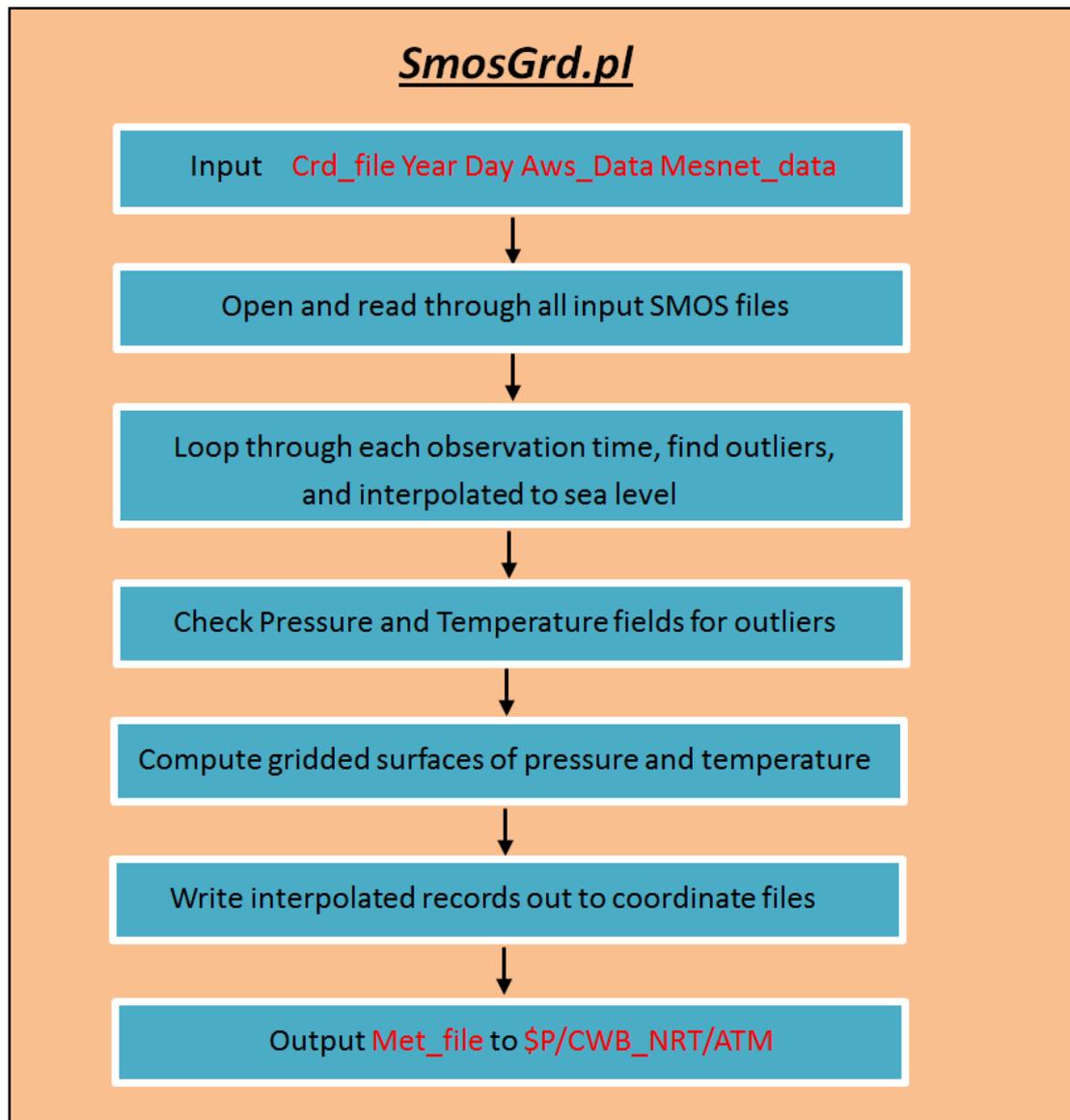
### **A-priori Coordinate Information：**

根據 IGS 追蹤站所發佈座標的包括 ITRF 和 IGS 參考坐標可作為一參考的資訊，亦是 bernese 運算的重要參考數據，否則無法算出較精確的定位點。在本程式中是用來獲取每一 GPS 接收儀的位置，再內插出 GPS 站上方的天氣資訊，文件名稱是 APR\_MMyy.CRD.dat 格式，檔案位於\$P/CWB\_DP/STA 目錄下。

因為計算 ZTD 轉換為 PWV 時需要當地 GPS 站上方的溫度和壓力值，但不是每一個 GPS 站都有這些相對應的觀測儀器，因此透過氣象局的 AWS 和 Mesonet 的資料網內插出位於 APR\_MMyy.CRD 中所有 GPS 站上方的溫度和壓力值。在 SmosGrd.pl 程式中，在內插前需先進行網格化(網格精度為 0.1(經緯度))，而為了消除資料間的不一致性，本程式採用 GMT 軟體所提供的 blockmedian 演算法作前處理每單一網格內的資料，然後呼叫 GMT 的 Surface 程式(adjustable tension continuous curvature surface gridding algorithm, Smith, W. H. F, and P. Wessel, 1990)指令內插出所有網格的值(tension factor  $T = 0.1$ )，有了網格內的所有內插值後，再根據 APR\_MMyy.CRD 裡的找出所有 GPS 站上方的溫度和壓力值，並輸出至 MET 檔。

首先移至 /pub/john/GPSDATA/CWB\_NRT/ATM/SmosGrd 目錄，將 /ops/aws/rsdf\${y2}\${mo}\${dom}.dat 和 /ops/mesonet/rsnf\${y2}\${mo}\${dom}.dat 的資料複製到/pub/john/GPSDATA / CWB\_NRT /ATM/SmosGrd 目錄中。

Input : APR\_{\$mo}\$y2}.CRD --year \$1 --day \$day  
rsdf{\$y2}\$mo}\$dom}??dat rsnf{\$y2}\$mo}\$dom}??dat  
Output : 所有 GPS 站的 MET 檔於\$P/CWB\_NRT/ATM 中



此程式需四個 perl 的模組 `File_IO`、`Geo_Sub`、`Time_Sub` 和 `Getopt::Long`，`File_IO`、`Geo_Sub`、`Time_Sub` 三個 PM 檔位於 `~john/bin` 目錄下，`Getopt::Long` 可以透過 CPAN 安裝即可。

以下 `cwb_nr` 部分程式碼，主要工作是下載 GPS 廣播星曆，如有重複則更新，沒有更新到的話先用舊的。

```

#####
# GET ORBIT FILES
#####
echo " "
echo "RETRIEVING ORBIT FILES"
echo " "
#切換到/pub/john/GPSDATDATA/ CWB_NRT/ORB 目錄
cd ${CAMP_PATH}/${CAMPAIGN}/ORB

#下載最新版的星曆前，先把檔名改為_OLD
if [ -f IGU${gweek}${gday}.SP3 ] && [ -f IGU${gweek}${gday}.IEP ]
then
    mv IGU${gweek}${gday}.SP3 IGU${gweek}${gday}_OLD.SP3
    mv IGU${gweek}${gday}.IEP IGU${gweek}${gday}_OLD.IEP
fi

#下載最新的廣播星曆

GetOrb.pl igu ${yr} ${day}
$X/EXE/UPPERC2 igu

# 檢查是否是最新的廣播星曆，如果沒有就先用前一個最新來用

if [ -f IGU${gweek}${gday}_18.SP3 ] && [ -f IGU${gweek}${gday}_18.ERP ]
then

    cp IGU${gweek}${gday}_18.SP3 IGU${gweek}${gday}.SP3
    cp IGU${gweek}${gday}_18.ERP IGU${gweek}${gday}.IEP

elif [ -f IGU${gweek}${gday}_12.SP3 ] && [ -f
IGU${gweek}${gday}_12.ERP ]
then

    cp IGU${gweek}${gday}_12.SP3 IGU${gweek}${gday}.SP3
    cp IGU${gweek}${gday}_12.ERP IGU${gweek}${gday}.IEP

```

```

elif [ -f IGU${gweek}${gday}_06.SP3 ] && [ -f
IGU${gweek}${gday}_06.ERP ]
then

    cp IGU${gweek}${gday}_06.SP3 IGU${gweek}${gday}.SP3
    cp IGU${gweek}${gday}_06.ERP IGU${gweek}${gday}.IEP

elif [ -f IGU${gweek}${gday}_00.SP3 ] && [ -f
IGU${gweek}${gday}_00.ERP ]
then

    cp IGU${gweek}${gday}_00.SP3 IGU${gweek}${gday}.SP3
    cp IGU${gweek}${gday}_00.ERP IGU${gweek}${gday}.IEP

#如果都沒有下載到星曆只好先用上一次下載(_OLD 檔)的
elif [ -f IGU${gweek}${gday}_OLD.SP3 ] && [ -f
IGU${gweek}${gday}_OLD.ERP ]
then
    cp IGU${gweek}${gday}_OLD.SP3 IGU${gweek}${gday}.SP3
    cp IGU${gweek}${gday}_OLD.IEP IGU${gweek}${gday}.IEP

fi

if [ -f IGU${gweek}${gday}.SP3 ] && [ -f IGU${gweek}${gday}.IEP ]
then
    HAVE_ORB=0 #有廣播星曆
    echo "ORBIT FILE: " `ls -lrt IGU${gweek}${gday}.SP3`

```

以下是 GetOrb.pl 的說明：

GetOrb.pl

移至 /pub/john/GPSDATA / CWB\_NRT /ORB 目錄

#### 程式執行流程概述：

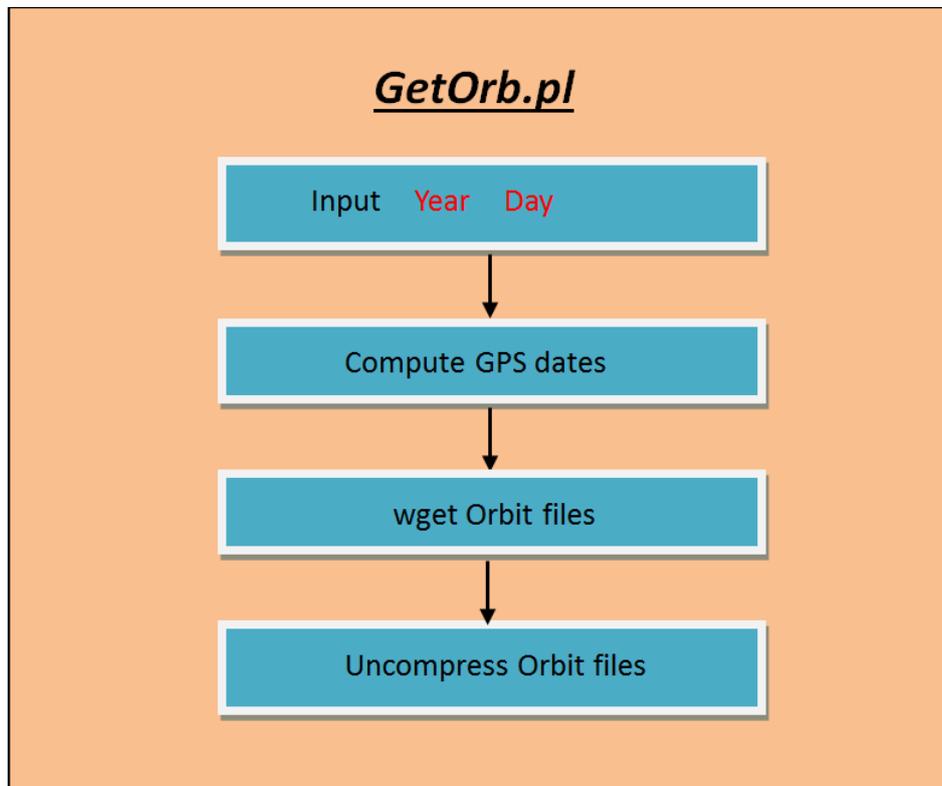
本程式至 IGS CNETER(如下表)下載 IGS 衛星軌道檔(IGS orbit file)和地球自轉資訊檔(earth rotation files)，這兩個檔案用來定義整體參考座標(global reference

frame)。檔案下載完後置放於/pub/john/GPSDATA / CWB\_NRT /ORB 目錄裡。

Archive Center	Path
CDDIS	ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/WWW/
SOPAC	ftp://garner.ucsd.edu/pub/products/WWW/
IGN	ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/products/WWW/
IGSCB	ftp://igsb.jpl.nasa.gov/pub/product/WWW/

Input : Year Day

Output : 附檔名為.sp3 和.sum 的檔案



以下 cwb\_nr 部分程式碼，主要工作是下載電離層 GIM 參數檔，如有重複則更新，沒有更新到的話先用舊的。

```
#####  
# GET IONOSPHERE MAP FILE  
#####  
echo ""  
echo "RETRIEVING IONOSPHERE FILE FROM CODE "  
echo ""  
#切換到/pub/john/GPSDATDATA/ CWB_NRT/ATM 目錄  
cd ${CAMP_PATH}/${CAMPAIGN}/ATM  
  
if [ -f COD${gweek}${gday}.ION ] #先備份舊的 GIM 參數檔  
then  
    mv COD${gweek}${gday}.ION COD${gweek}${gday}.ION_P2  
fi  
GetIon.pl ${yr} ${day} #下載最新的 GIM 參數檔  
$X/EXE/UPPERC2 COD${gweek}${gday}  
  
if [ -f COD${gweek}${gday}.ION ]  
then :  
elif [ -f COD${gweek}${gday}.ION_R ] #如果沒有下載到最新的，就用舊的  
then  
    cp COD${gweek}${gday}.ION_R COD${gweek}${gday}.ION  
elif [ -f COD${gweek}${gday}.ION_P ]  
then  
    cp COD${gweek}${gday}.ION_P COD${gweek}${gday}.ION  
elif [ -f COD${gweek}${gday}.ION_P2 ]  
then  
    cp COD${gweek}${gday}.ION_P2 COD${gweek}${gday}.ION  
fi  
if [ -f COD${gweek}${gday}.ION ] || [ -f COD${gweek}${gday}.ION_R ]  
then  
    HAVE_ION=0 #有 GIM 檔  
    ls -lrt COD${gweek}${gday}.ION  
else  
    HAVE_ION=1 #通知系統沒有下載到 GIM 檔  
fi
```

以下是 GetIon.pl 的說明：

GetIon.pl

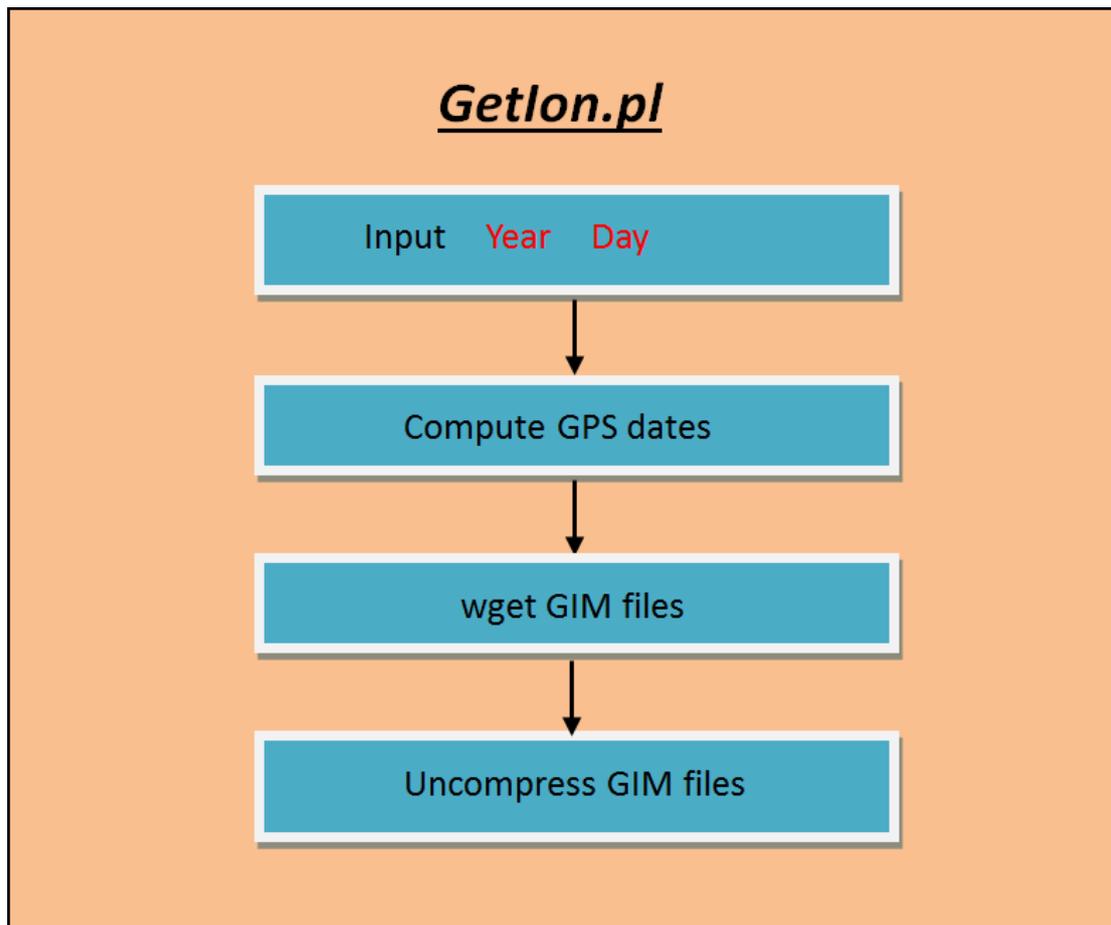
移至 /pub/john/GPSDATA / CWB\_NRT /ATM 目錄

程式執行流程概述：

本程式至 <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/> 下載 GIM 參數檔(CODE Global Ionosphere Model (GIM) Files)，GIM 是一電離層模式，在 Bernese 軟體中的 CWB\_NRT.PCF 和 CWB\_PWV.PCF 會使用到，它利用 QIF(Quasi-Ionosphere Free (QIF) method)方法抵銷電離層延遲(Ionospheric Delay)的影響，但還是有剩餘的 residual ionospheric error 造成未定解(ambiguities)，在 Bernese 軟體中則透過 GIM 電離層模式來剔除掉。檔案下載完後置放於/pub/john/GPSDATA / CWB\_NRT /ATM 目錄裡

Input：Year Day

OutPut：附檔名為 ION 的檔案



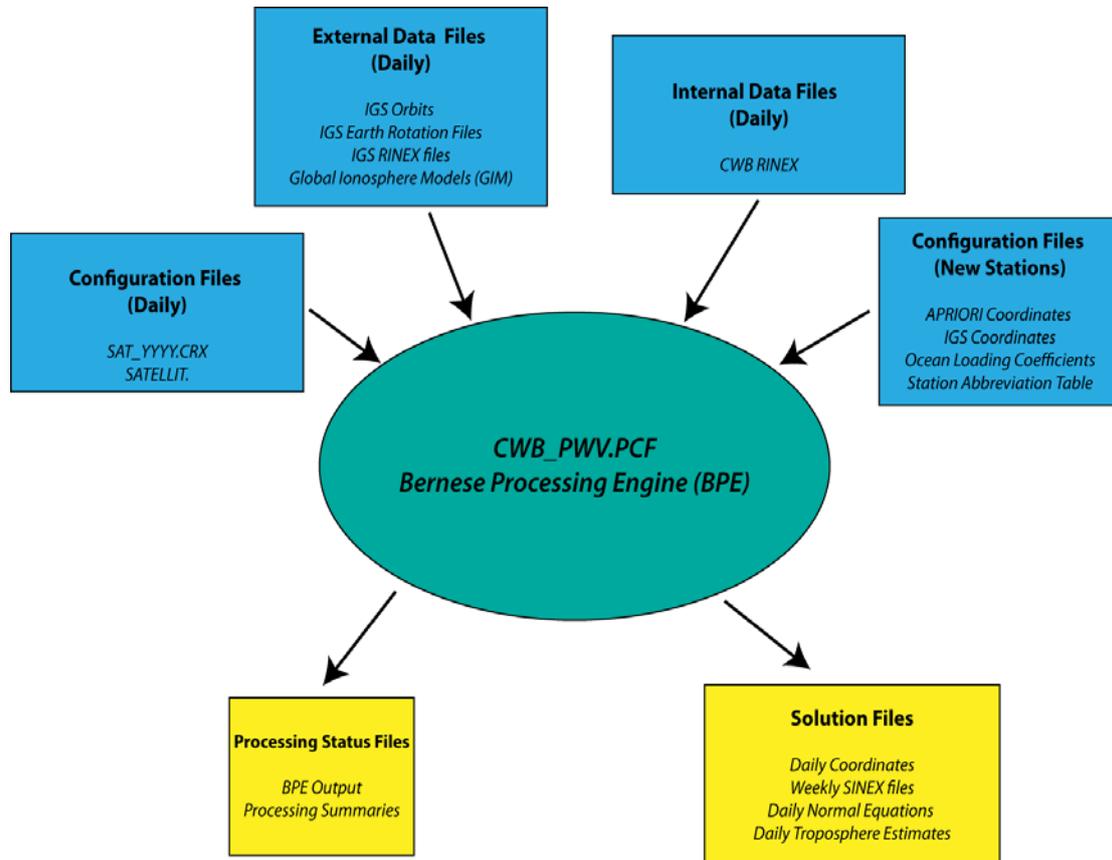
以下 cwb\_nr 部分程式碼，主要工作是呼叫 Bernese 執行主要的計算工作。

```
# Initiate BPE Command
#執行/home/john/BERN50/GPSUSER/SCRIPT 裡的 cwb_nrt.pl 檔
$U/SCRIPT/cwb_nrt.pl ${yr} ${day}${S}
```

cwb\_nrt.pl

### 程式執行流程概述：

透過程式 cwb\_nrt.pl 呼叫 Bernese 軟體執行，因為 Bernese 軟體的主程式也是透過 perl 語言執行，因此本程式主要工作就是設定 NRT(Near Real Time processing) 的參數(PCF 檔)然後呼叫 Bernese 主體執行，運算結果輸出 PWV 檔至 /pub/john/GPSDATDATA/ CWB\_NRT/ATM 裡。



如上圖所示，我們可以得知在執行 cwb\_nrt.pl 之前的所有程式，都是執行綠色區塊 BPE (Bernese Processing Engine) 前的準備工作(藍色方塊部分)，當所有的藍色區塊的資料都順利正確產生後，呼叫 BPE 才會計算出黃色區塊的資料，BPE 根據 CWB\_NRT.PCF(如下表所示)裡的設計來呼叫 Bernese 所有子程序來執行：

```

# Procedure Control File (PCF)
# All comment lines start with a #
# Comments:
#
#
PID SCRIPT   OPT_DIR  CAMPAIGN CPU      P WAIT FOR....
3** 8***** 8***** 8***** 8***** 1 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3** 3**
#
# Translate Pole Files in ORB/ Directory
#
003 POLUPD   NRT_ORB          ANY      0
#
# Generate Standard Orbits and Sat. Clocks
#
010 PRETAB   NRT_ORB          ANY      0 003
011 ORBGEN   NRT_ORB          ANY      0 010
#
# Zero Difference File Processing (RXOBV3 and CODSPP)
#
#018 PREP_RNX ZDP                any      002
019 RNXGRA   NRT_ZDP          ANY      0 011
020 RXOBV3   NRT_ZDP          ANY      0 019
021 CODSPP   NRT_ZDP          ANY      0 020 011
022 CODXTR   NRT_ZDP          ANY      0 021
#
# Single Difference Creation (SNGDIF)
#
030 SNGDIF   NRT_MAXO          ANY      0 022
#
# Clean Single Differences of Cycle Slips (MAUPRP)
#
040 MAUPRP   NRTCLEAN          ANY      0 030
041 MPRXTR   NRTCLEAN          ANY      0 040
042 GPSEDTP NRTCLEAN          ANY      0 041
043 GPSEDT_P NRTCLEAN          ANY      0 042
044 GPSRMSCK NRT_CHK          ANY      0 043
#
# Compute network solution based on amb free baseline solutions
#
045 ADDNEQ2  NRT_CHK          ANY      1 044
046 GPSXTR   NRT_CHK          ANY      1 045
#
# Resolve Ambiguities Baseline Wise (GPSEST)
#
050 GPSQIFAP NRT_QIF          ANY      0 046
051 GPSQIF_P NRT_QIF          ANY      0 050
052 GPSXTR   NRT_QIF          ANY      0 051
#
# Compute Troposphere Solution
#
060 GPSEST   NRT_TRP          ANY      0 052
061 STK_NEQ  NRT_TRP          ANY      0 060
062 TRO_2PW  NO_OPT           ANY      0 060
063 TRO_2PW  NO_OPT           ANY      0 061
#
# Clean up and create summary files
#
090 SES_CLN  NO_OPT           ANY      0 061
091 NRT_SUM  NO_OPT           ANY      0 090
#
#
999 DUMMY    NO_OPT           ANY      1 091
#
# additional parameters required for PID's
#
PID USER          PASSWORD PARAM1  PARAM2  PARAM3  PARAM4  PARAM5  PARAM6
PARAM7  PARAM8  PARAM9
3** 12***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8***** 8*****

```

```

8*****
#
042          $042
043          PARALLEL $042
044          NEXTJOB 030
#
#050          $050
#051          PARALLEL $050
#
050          SKIP
051          SKIP
052          SKIP
#
062          TD_      suomiday Bv95    CWB_NRT  SUOMI   LOCAL
063          TRP      suomiday Bv95    CWB_NRT  SUOMI   LOCAL
#
091          CWB_NRT
#
#
VARIABLE DESCRIPTION          DEFAULT
8***** 40***** 16*****
V_O      TWO CHARACTER PREFIX FOR ORBITS          IGU
V_PLUS   VARIABLE FOR NUMBER OF FORWARD SES      0
V_MINUS  VARIABLE FOR NUMBER OF PREV SESS        -6

```

關於 PCF 的說明請參閱 Bernese 的手冊第一章和第三章，以下是 PCF 檔所呼叫的 Bernese 子程式的簡單說明，至於詳細的說明請參閱 Bernese 手冊：

- POLUPD：轉換地球參考座標檔( pole files)成 Bernese 可用的檔案規範。
- PRETAB：產生精密星曆的表格檔。
- ORBGEN：從精密星曆的表格檔產生標準衛星軌道和時鐘。
- RNXGRA：創建 RINEX 觀測檔的 graphic table，用來檢查資料品質。
- RXOBV3：轉換 RINEX 檔成 Bernese 觀測檔格式。
- TCOXSPP：處理 pseudo-ranges 資料來計算 GPS 接收機的時鐘誤差，亦可以得

到接下來計算二次差(double difference)時會用的距離(true distance)，此距離是指 GPS 衛星與接收機的距離。

- CODXTR：取出 CODSPP 輸出。
- SNGDIF：從兩個零次差(Zero Difference)檔得到一次差檔(single difference)。
- MAUPRP：清除一次差的周波脫落(cycle slips)。
- MPRXTR：取出 MAUPRP 輸出的資訊。
- GPSEDTP：準備二次差(double difference)資料平行運算篩選-步驟。  
GPSEDTP\_P(包含 includes GPSEST, RESRMS, SATMRK, GPSEST)：二次差(double difference)資料篩選。
- GPSRMSCK (包含 RESRMS, RESRMS, RESCHK)：檢查二次差(double difference)資料篩選結果，篩選出品質較差的 GPS 站資料並剔除掉。

- ADDNEQ2：堆疊正規方程式(normal equations)並檢查接收站是否有錯誤的基線解，計算所有基線(baselines)解(含網路解和單一基線解)的時候會使用到 ADDNEQ2。
- GPSXTR：取出 ADDNEQ2的輸出檔資訊。
- GPSQIFAP (含 BASLST)：準備平行(parallel)運算 QIF 未定解(ambiguity resolution)程序，QIF 只算 GPSXTR 輸出的基線(baselines)。
- GPSQIF\_P(含 GPSEST)：計算網路解(network solution)
- GPSXTR：取出 GPSEST 的輸出檔資訊
- GPSEST：估算 GPS 載波相位觀測資料的相關參數。
- TK\_NEQ(含 ADDNEQ2)：估算每兩小時的 ZTD，並且整併到12小時的 TRP。
- TRO\_2PW：轉換 ZTD 檔(TRP 格式)成 PW 檔。
- TRO\_2PW：同上
- SES\_CLN：刪除相關不在需要的檔案。
- SES\_SUM：輸出 NRT 處理程序的摘要檔(CWByyssss.PRC)。

在 Bernese 執行的當中，BPE Server 會即時更新最新的狀態到 RUNBPE.OUT，如果有錯誤，使用者可以到 /CWB\_NRT/BPE 下找到 RUNBPE.OUT 的錯誤回報，檢查問題並解決它。

Time	Sess PID	Script	Option	Status
11-Jun-2008 01:28:53	1620 YR:2008	CWB_NRT		: Server started at 44231
11-Jun-2008 01:28:57	1620 003_000	POLUPD	NRT_ORB	: Client started
11-Jun-2008 01:28:57	1620 003_000	POLUPD	NRT_ORB	: Script started
11-Jun-2008 01:28:58	1620 003_000	POLUPD	NRT_ORB	: Script finished OK
11-Jun-2008 01:28:58	1620 010_000	PRETAB	NRT_ORB	: Client started
11-Jun-2008 01:28:58	1620 010_000	PRETAB	NRT_ORB	: Script started
11-Jun-2008 01:28:59	1620 010_000	PRETAB	NRT_ORB	: Script finished OK
11-Jun-2008 01:28:59	1620 011_000	ORBGEN	NRT_ORB	: Client started
11-Jun-2008 01:28:59	1620 011_000	ORBGEN	NRT_ORB	: Script started
11-Jun-2008 01:29:03	1620 011_000	ORBGEN	NRT_ORB	: Script finished OK
11-Jun-2008 01:29:03	1620 019_000	RNXGRA	NRT_ZDP	: Client started
11-Jun-2008 01:29:03	1620 019_000	RNXGRA	NRT_ZDP	: Script started
11-Jun-2008 01:29:06	1620 019_000	RNXGRA	NRT_ZDP	: Script finished OK
11-Jun-2008 01:29:06	1620 020_000	RXOBV3	NRT_ZDP	: Client started
11-Jun-2008 01:29:06	1620 020_000	RXOBV3	NRT_ZDP	: Script started
11-Jun-2008 01:29:12	1620 020_000	RXOBV3	NRT_ZDP	: Script finished OK
11-Jun-2008 01:29:12	1620 021_000	CODSPP	NRT_ZDP	: Client started
11-Jun-2008 01:29:12	1620 021_000	CODSPP	NRT_ZDP	: Script started
11-Jun-2008 01:29:39	1620 021_000	CODSPP	NRT_ZDP	: Script finished OK
11-Jun-2008 01:29:39	1620 022_000	CODXTR	NRT_ZDP	: Client started

RUNBPE.OUT 檔只是簡單的說明每一個 Bernese 子程序的運算結果，在 PCF 檔裡每個子程序都有設定一 PID(process ID)號碼，每個 PID 程序都會輸出相對應的 PRT 檔(位於\$P/CWB\_NRT/BPE)，也就是說明每 PID 程序的摘要檔，如下表所示：

```

PROTOCOL FILE FOR BPE SCRIPT
-----
Campaign      : ${P}/CWB_NRT
Year         : 08
Session      : 1620
PCF name     : CWB_NRT.PCF
Script name  : TRO_2PW
Path to executables: ${XG}
Option directory : NO_OPT
Process ID   : 063
Sub-process ID : 000
Server host  : taccop4g.cwb.gov.tw
Remote host  : taccop4g.cwb.gov.tw
CPU name     : localhost
Path to work area : /home/john/GPSTEMP/BPE_CWB_NRT_44231_08_1620_063_000
User name    : john

Date          Time          Run time  Pgm.time  Sta Program  Message
-----
11-JUN-2008  01:37:29  00:00:00          MSG RUNBPE.pm SCRIPT  STARTED
11-JUN-2008  01:37:29  00:00:00          MSG RUNBPE.pm SCRIPT  STARTED
11-JUN-2008  01:37:32  00:00:03          MSG RUNBPE.pm SCRIPT  ENDED
-----

```

當 DP 和 NRT 的 Bernese 運算的成功執行完後，除了上述的摘要檔 (RUNBPE.OUT 與 PRT 檔)外，剩下就是運算結果的相關檔案，以下是這些結果檔的相關說明：

**Daily coordinate solutions (CRD)：每日 CRD 檔**

每當 DP 的程序執行完就會有 Daily coordinate CRD 的座標檔被產生出來，由 CWB\_PWV.PCF 檔中 060 PID 程序(Compute Network Geodetic Solution)跑完輸出至 \$P/CWB\_DP/STA 目錄中，每一天產生一個檔，檔案格式為 NETwwwwd.CRD，www 指的是 GPS week，而 d 是指 GPS week 當中的第幾天，如果是 GPS week 的第三天，d 則是 3，NETwwwwd.CRD 是由 NETwwwwd.NQ0 檔(Daily Normal Equation files)演算出來的，取名”NET”是因為它是由所有 GPS 站網路所算出的解，另一類的 CRD 檔則是則是由每一 GPS 站的基線(baseline)所算出來的，因此取名為”BSL”，檔案格式為 BSLwwwwd.CRD，同樣的，它也是由 BSLwwwwd.NQ0 所演算來的。

**Daily Normal Equation files (NQ0)：每日法線檔**

NQ0 檔是 DP(Daily Processing) 的法線方程式檔，檔案位於 \$P/CWB\_DP/SOL，格式為 NETwwwwd.NQ0，www 指的是 GPS week，而 d 是指 GPS week 當中的第幾天，如果是 GPS week 的第一天，d 則是 1，由 CWB\_PWV.PCF 檔中 060 PID 程序(Compute Network Geodetic Solution)輸出的，之後 ADDNEQ2 將會利用 NQ0 檔產生出 weekly coordinate solutions CRD 檔。其他的法線檔，包含計算單一基線的 BSLwwwwd.NQ0 檔是 NRT 的程序產生出來的，而 TD\_wwwwd.NQ 檔則是由 DP 程序產生出來的。

**Weekly coordinate solutions (CRD)：周 CRD 檔**

在 DP 程序中的 PID 070(ADDNEQ2)會將之前計算出的整日 CRD 檔產生周

CRD 檔(Weekly coordinate solutions (CRD))，檔案位於\$P/CWB\_DP/STA 目錄裡，格式為 NETwww7.CRD，www 指的是 GPS week，每 GPS week 中的第一天，DP 程序會被指定要產出一周 CRD 檔，所以這代表前七天的對流層的運算已經成功的分析完成，所以周 CRD 檔將會用來獲得下一周的所有 GPS 站的先期座標(a-priori coordinates)(內插氣象局大氣資料會使用到)，以及協助 DP 程序中的 PID 075(GPSEST)和 PID 076(ADDNEQ2)對流層資料解算，例如在 GPS week 1450 周當中七天的座標解將會用來計算 GPS week 1451 周的對流層結果。

### Weekly SINEX files (SNX)：周 SNX 檔

SINEX(Solution Independent Exchange)檔記錄了一周的 GPS 網座標的計算結果和它們的諧方差(covariance)，格式為 NETwwwwd.SNX，命名方式與 Daily coordinate solutions (CRD)相同，檔案位於\$P/CWB\_DP/SOL 中，每天產生一次，SINEX 檔的用途很多，包含數周的座標解算到單一基站的解算都會用到它，例如每產生一 SINEX 檔可用來協助獲得當週的法線方程式(normal equation file)和座標解。

### Zenith Troposphere Estimates：天頂對流層估算

天頂對流層的計算結果包含兩類資料，一是 ZTD(zenith troposphere delay)和 PW(precipitable water)兩種，ZTD 包含乾遲延(hydrostatic Zenith)和濕遲延項(wet Zenith)，因此需要大氣總氣壓(surface pressure)的測量資料才能隔離出濕遲延項，而 PW 則由濕遲延項推導出來的

(1) ZTD 資料把所有 GPS 站的天頂延遲量整合到一個檔案裡，格式是 TD\_yySSSS.TRP，yy 代表年，SSSS 代表 Bernese PCF 的 session 數字，檔案位於\$P/CWB\_DP/ATM，每一檔案包含先期的天頂延遲(a-priori zenith delay)，天頂延遲的修正量，先期和天頂延遲修正量的總和，和錯誤估計等，詳細的說明請參考 Bernse manual 22.9 章節。TRP 檔範例如下表所示：

NETWORK TROPOSPHERE SOLUTION: 122290				19-SEP-12 12:44				
-----				-----				
A PRIORI MODEL:	-15	MAPPING FUNCTION:	4	GRADIENT MODEL:	0	MIN. ELEVATION:	5	TABULAR
INTERVAL:	1800 /		0					
STATION NAME	FLG	YYYY MM DD HH MM SS		MOD_U	CORR_U	SIGMA_U	TOTAL_U	
AKND	P	2012 08 16 00 00 00		2.2895	0.39128	0.00292	2.68080	
AKND	P	2012 08 16 00 30 00		2.2895	0.40764	0.00193	2.69717	
AKND	P	2012 08 16 01 00 00		2.2895	0.37794	0.00159	2.66746	
AKND	P	2012 08 16 01 30 00		2.2895	0.36815	0.00151	2.65767	
AKND	P	2012 08 16 02 00 00		2.2895	0.36600	0.00265	2.65552	

NRT 程序的 ZTD 檔案格式是 TD\_yySSSS.TRP，資料包含 2 小時到 14 小時的範圍，間距為 2 小時，而 DP 程序的 ZTD 檔案格式是 TD\_yySSSS0.TRP，資料共有 26 小時的數據，間距一樣是 2 小時。另外 troposphere SINEX 檔一樣也會一起被產生出來，副檔名為 TRO 檔，內容是一樣的，只是資料格式不同而已。

(2) PW 資料把所有 GPS 站的天頂濕延遲量整合到一個檔案裡，在 NRT 程序中檔案格式是 CWB\_NRTTD\_yySSSS.PWV，是從天頂延遲量 TD\_yySSSS.TRP 推導而來，檔案位於 \$P/CWB\_NRT/ATM，相對的，如果是 DP 程序的話，PW 檔案格式是 CWB\_DPTD\_yySSSS0.PWV，是從 TD\_yySSSS0.TRP 推導而來，檔案位於 \$P/CWB\_DP/ATM 目錄裡。

PW 檔案格式的說明如下

- Site：GPS 站名。
- PWVmidTim：兩個 epochs 時間的中間內插值，如果是0015，代表他是0000和0030的內插中間值。
- Duration：兩個 epochs 之間的時間格式間( minutes)
- PW：估算的可降水量(Precipitable water vapor estimates) ( mm)
- FMerr：可降水量的錯誤量(Formal error)( mm)
- Wdelay：濕延遲(Wet delay) ( mm)
- Mdelay：模式延遲(Model delay) ( mm)
- Tdelay：天頂總延遲量(Zenith total delay) ( mm)
- KFAC：K-factor (non-unit)
- Press：大氣壓力(mbar)
- Temp：大氣溫度(degrees C)
- Rhum：相對溼度 (never estimated so always -99.9; Unit: %)
- Ddelay：乾延遲( mm)
- Flg：大氣壓力觀測值的旗標。A 代表有實際值，I 代表是內插值，U 代表沒有資料。

(3) KfFlg:K-factor 旗標,代表 K-Factor 由是那數值模式所推導出來的, Bv95 代表是 Bv95 model, U 是未知, 通常是代表沒有資料。PWV 檔範例如下表所示:

Site	PWVmid	Tim	Duration	PW	FMerr	Wdelay	Mdelay	Tdelay	KFAC	Press	Temp	Rhum	Ddelay	Flg	KfFlg	
SSSS	YYYYMMDD	HHMM	MIN	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	d.ddd	[mbar]	[c]	[%]	[mm]	S S
ALIS	20120816	0015	30	22.6	0.3	141.1	-99.9	1880.6	6.246	762.0	19.1	-99.9	1739.5	I	Bv95	
ALIS	20120816	0045	30	22.7	0.3	141.4	-99.9	1881.4	6.231	762.2	20.1	-99.9	1740.0	A	Bv95	
ALIS	20120816	0115	30	22.8	0.3	142.2	-99.9	1881.8	6.236	762.1	19.8	-99.9	1739.6	I	Bv95	
ALIS	20120816	0145	30	23.7	0.3	147.7	-99.9	1886.9	6.240	761.9	19.5	-99.9	1739.2	A	Bv95	
ALIS	20120816	0215	30	24.5	0.4	152.8	-99.9	1892.6	6.233	762.2	20.0	-99.9	1739.8	I	Bv95	
ALIS	20120816	0245	30	26.8	0.3	166.6	-99.9	1907.1	6.226	762.5	20.5	-99.9	1740.5	A	Bv95	
ALIS	20120816	0315	30	29.2	0.3	182.5	-99.9	1922.8	6.246	762.4	19.1	-99.9	1740.3	I	Bv95	
ALIS	20120816	0345	30	29.9	0.3	187.3	-99.9	1927.3	6.267	762.3	17.7	-99.9	1740.0	A	Bv95	
ALIS	20120816	0415	30	29.9	0.3	187.2	-99.9	1927.0	6.266	762.2	17.7	-99.9	1739.8	I	Bv95	
ALIS	20120816	0445	30	29.0	0.3	181.8	-99.9	1921.4	6.265	762.1	17.8	-99.9	1739.6	A	Bv95	
ALIS	20120816	0515	30	29.2	0.2	183.0	-99.9	1922.4	6.268	762.0	17.6	-99.9	1739.4	I	Bv95	
ALIS	20120816	0545	30	31.0	0.3	194.2	-99.9	1933.4	6.270	761.9	17.4	-99.9	1739.2	A	Bv95	
ALIS	20120816	0615	30	33.7	0.3	211.2	-99.9	1950.3	6.268	761.9	17.6	-99.9	1739.1	I	Bv95	
ALIS	20120816	0645	30	34.5	0.2	216.5	-99.9	1955.5	6.266	761.8	17.7	-99.9	1739.0	A	Bv95	
ALIS	20120816	0715	30	33.4	0.3	209.5	-99.9	1948.1	6.269	761.6	17.5	-99.9	1738.6	I	Bv95	
ALIS	20120816	0745	30	33.9	0.3	212.9	-99.9	1951.1	6.272	761.5	17.3	-99.9	1738.2	A	Bv95	
ALIS	20120816	0815	30	35.7	0.3	224.2	-99.9	1962.5	6.272	761.5	17.3	-99.9	1738.3	I	Bv95	
ALIS	20120816	0845	30	38.1	0.3	239.2	-99.9	1977.6	6.272	761.5	17.3	-99.9	1738.4	A	Bv95	

### Daily Summary Files :

在執行完一個完整執行完的 BPE 程序後, 會一個所有資訊的摘要檔產生, 檔案格式是 CWBbysssss.PRC, yy 代表年, SSSS 代表 Bernese PCF 的 session 數字, 如果是 DP 程序的話, 檔案位於 \$P/CWB\_DP/OUT 目錄裡, 它包含以下幾個資訊:

1. 鑑定出 RINEX 資料裡是否有不一致的情況, 也就是原始 RINEX 資料的品質是否可靠。
2. 所輸入的衛星軌道資料的方均根(Root mean square)重複性。
3. 簡短的摘要說明單點定位(用來同步接收機的時脈)的品質, 。
4. 統計修復周波脫落(cycle slips)的基線數據, 刪除太短的觀測量區段以及評估載波相位數據的品質。
5. 對於未檢測出問題的相位載波資料, 說明殘留篩檢(residual screening)的摘要。
6. 解算載波相位未定解的能力報告。
7. 統計周座標解(the weekly combination of coordinate solutions)。

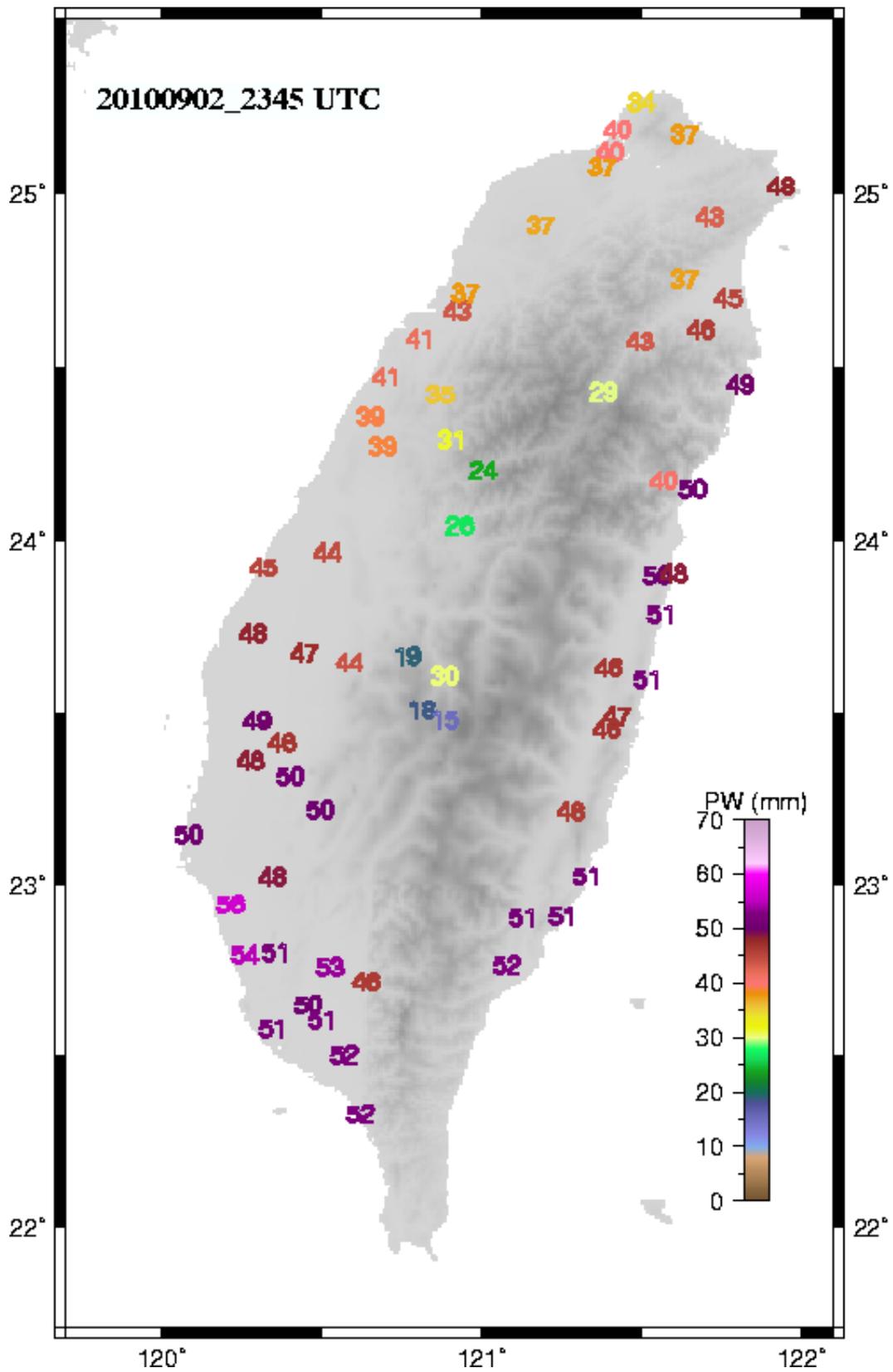
以下 cwb\_nr 部分程式碼，主要工作是將 Bernse 跑完的結果繪圖，並輸出至網站。

```
# Create Result Plots
pwv_fil=`echo ${y2} ${day} ${S} | awk #設定要讀取的 PWV 檔格式
'{"printf("CWB_NRTTRP%02d%03d%s.PWV",$1,$2,$3)}'`
cd ${CAMP_PATH}/${CAMPAIGN}/ATM #切換到/ATM 目錄下
ls $pwv_fil
if [ -f ${pwv_fil} ] #如果有 PWV 檔存在
then
    cd image_map #畫出每個 GPS 站的 PWV 值
cwb_grid_pwv.pl ../${pwv_fil}${CAMP_PATH}/${CAMPAIGN}/STA/NET${gweekm1}7.C
RD
cd ..

parseStaPwv.pl ${pwv_fil} #把每個站的 PWV 值等大氣資料獨立輸出為個別的檔案
cd image_timeSeries
for sta_fil in `ls ../????_${yr}.PWV`
do
    pltStaTimeSeries.pl ${sta_fil} ${day} 2 #將每一 GPS 站的 PWV 時間序列資料繪
出。
    id=`echo ${sta_fil} | cut -f2 -d'/' | cut -c1-4`
    sta_fig=`echo ${id} ${yr} ${day} | awk '{"printf("%s_%04d%03d.png",$1,$2,$3)}'`
    current_fig=`echo ${id} | awk '{"printf("%s_CURRENT.png",$1)}'`
    if [ -f ${sta_fig} ] #如果圖有畫出來，則輸出至網站
    then
        cp ${sta_fig} /pub/websvc/image_timeSeries/${current_fig}
        cp ${sta_fig} /pub/websvc/image_timeSeries/${sta_fig}
    fi
done
cd ..
```

在這裡一共呼叫 cwb\_grid\_pwv.pl、parseStaPwv.pl 和 pltStaTimeSeries.pl 三個 Perl 的程式檔，以下為這三個程式的說明：

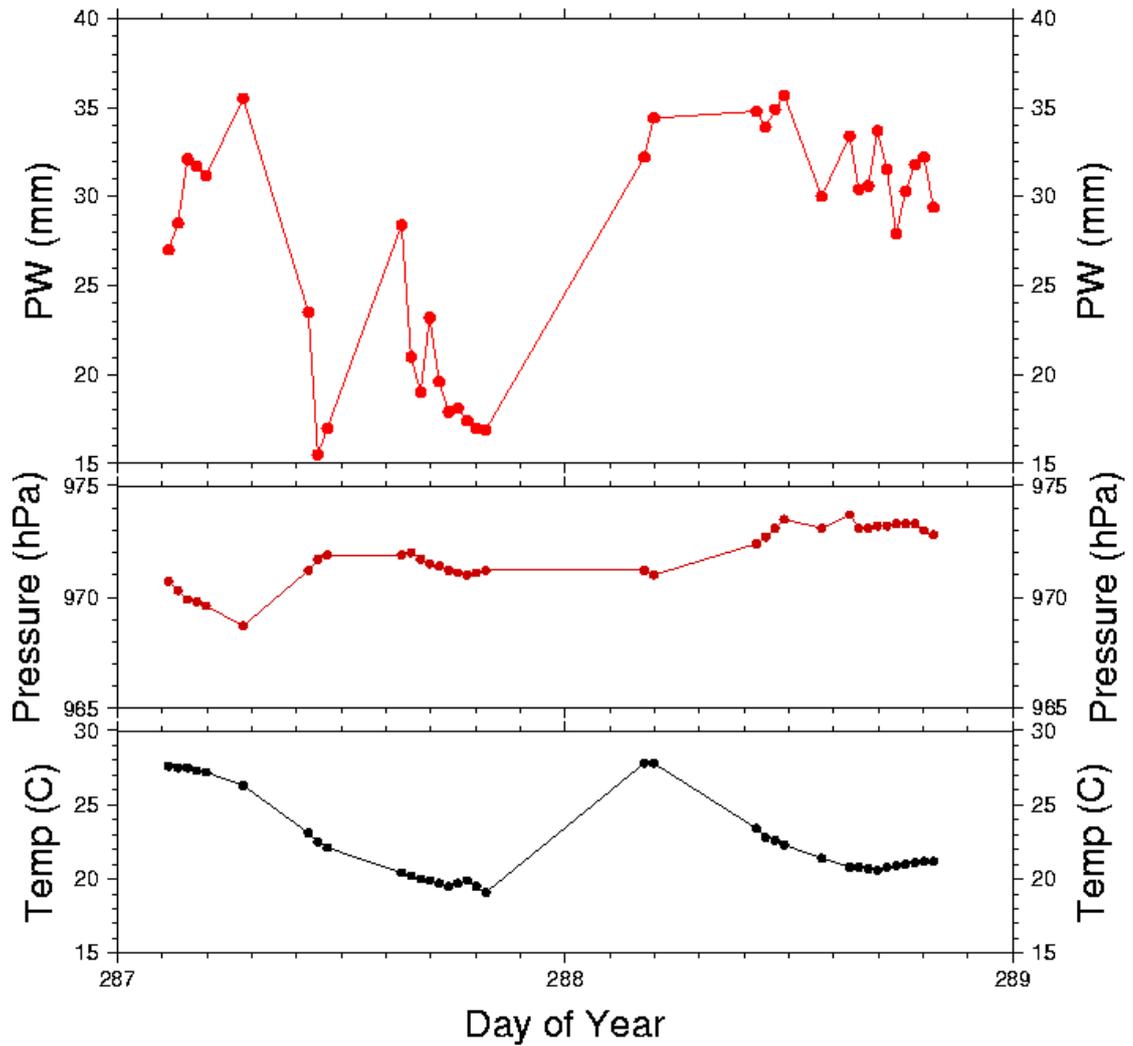
**cwb\_grid\_pwv.pl**：呼叫 GMT(Generic Mapping Tools)的函式，並將每一 GPS 站的 PWV 值標示出來，並以顏色表示等分。結果如下圖所示：



**parseStaPwv.pl**：因為 PWV 檔是把所有 GPS 站的 PWV 寫在同一個檔案裡，為了方便輸出每個 GPS 站的時間序列，所以把每個站的 PWV 值等大氣資料獨立輸出為個別的檔案。

**pltStaTimeSeries.pl**：依據 parseStaPwv.pl 所輸出的個別檔案，把兩小時為等分的 PWV、壓力和溫度值繪出。如下圖所示為 BLOW 站的範例

## BLOW\_20121014

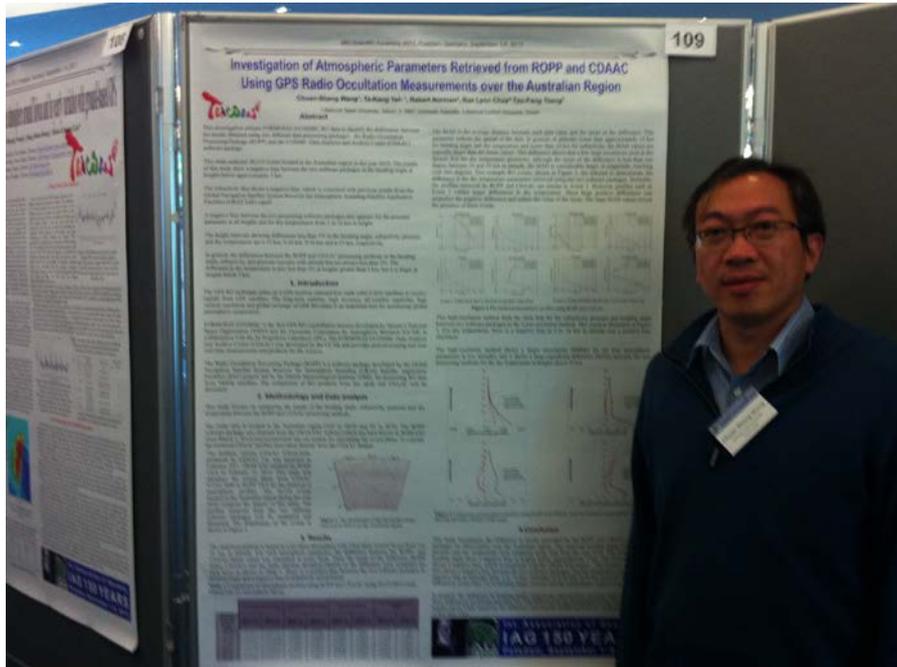


## 附件

### 出席國際學術會議心得報告及發表之論文

#### 一、參加會議經過

會議進行時間共計六日，發表的文章海報編號 109。會議文章海報展示時間分為兩梯次，第一梯次為 2 日~3 日，第二梯次為 4 日~5 日。本次的發表文章被大會排入第一梯次，發表演場如下圖。



星期日(01/09)大家開始陸續於大會接待處完成註冊後，此次大會的開幕儀式並非在星期一(02/09)早上，而是選擇於星期一的下午接近傍晚時刻，IAG 的主席致詞情況如下圖。





文章海報發表時間大約在每日的 11:00, 13:00 以及 1600 三個時段, 每個時段約莫有一個小時的討論時間, 但每天的正确時間大會會稍微做一調整。因此本次參與此大會, 總共做了兩天六個時段的的文章發表並與前來觀看的學者或研究人員進行討論。

除了本次的文章海報發表之外, 其餘時間則參加他人口頭文章發表的場次, 每天都有三個平行口頭發表的場次同時進行, 而本人大多選擇 Multi-GNSS 定位精度提昇、低軌道衛星定軌、GNSS 應用於地球坐標框架定義、GNSS 應用於大氣遙測的主題為主要的聽取內容。

## 二、與會心得

針對此次參與國際性研討會, 表達個人之心得如後: 此次 IAG2013 研討會中對於 Multi-GNSS 為一主要重點之探討, 其內容不僅在於單獨討論其精密定位的技術精進, 更多的是其衍生出的諸多科學之應用。

在眾多的文章當中, 其中有些是關於地面 GPS 觀測與可降水之研究, 學者多半將地面 GPS 所求之大氣遲延量轉換為可降水, 並再與數值天氣模型做進一步比較; 大體而言, 兩者所呈現的趨勢均相當一致, 其中還有一位從波蘭來的博士生單獨利用 GPS 可降水成果進行大氣相關參數的預估, 其展現的成果似乎頗為不錯。另外還有幾篇文章則是探討低軌道衛星進行 GPS Reflectometry 相關技術探討及成果比較的研究, 頗為吸引大家的注意。

此外, 相當值得台灣學者關注的是, 全球衛星定位系統在未來已經不是美國的 GPS 定位系統可以獨佔了, 因為歐洲的 Galileo 系統已正式送上兩顆衛星(先前兩顆衛星為測試用), 十年之內將會形成一完整運作的星系; 中國大陸的北斗系統, 目前則已有十幾顆導航衛星已在運作; 日本和印度的區域導航衛星計劃也已完成規劃並開始發射衛星進行佈局。但更值得一提的是, 俄羅斯的 GLONASS 系統是目前世上唯二具有全球定位能力及正常運作的星系(另一個則是美國的 GPS), 俄羅斯當局目前不僅全力在維護此一系統, 並且已經規劃好將在未來數年

之內全面汰換舊技術的 FDMA 頻道識別，而轉為較先進的 CDMA 系統，這是讓全世界的學者及研究人員所期待的。

另外這次在 IAG 會場時，著名的研究用定位軟體 Bernese，其開發單位瑞士伯恩大學亦有許多學者前往參加此研討會，藉由相互討論軟體之功能及理論其結果可謂獲益良多。

### 三、考察參觀活動(無是項活動者省略)

本次大會安排參觀位於德國 Postdam 的 Satellite Laser Ranging (SLR，衛星雷射測距)觀測站，此技術在於利用地面精準的雷射與衛星上的反射稜鏡，測量衛星與地球表面的距離，做為精準衛星軌道的計算並應用於地球坐標參數的定義以及 GNSS、大氣和重力等科學；台灣目前並無此等技術，實為一難得之經驗。

### 四、建議

近三十年來隨著全球定位系統(GPS)技術精度的提高，其衍生而來的科學及民生用途亦漸漸的廣泛起來，而隨著多國皆欲發展各自的導航星系，Multi-GNSS 似乎正在流行並取代 GPS 一詞。Multi-GNSS 的應用可分為兩種。一種是原有的功能(特別是在即時定位方面)大量被用於民生用途上，例如工程測量、汽車導航和變形監測.....等等，這方面應用隨著硬體價格的下降，各種民生應用如雨後春筍般的出現。另一種就是 Multi-GNSS 在其它科學學門上，變成一種非常便利及有效率的工具，例如地殼變動監測、遙測大氣含水量、測量電離層全電子含量、量測時間標準...等等，目前許多先進國家都挹注大量人力和經費進行相關的研究工作。國內運用 GPS 技術之相關研究人員，更應規劃整合人力資源朝更高更遠的目標邁進。

此研討會是一相當專業的研討會，參與人員雖大多以歐洲國家為主，但許多技術仍然相當前端且值得學習的，參與此會可增進多方面的知識，亦可在自身研究的領域與世界各地的研究人員互相學習討論，是一相當可貴的學習經驗。

### 五、攜回資料名稱及內容

IAG Scientific Assembly 2013 Conference 大會議程一份、大會發表文章摘要電子檔一份。

# Investigation of Atmospheric Parameters Retrieved from ROPP and CDAAC Using GPS Radio Occultation Measurements over the Australian Region

Chuan-Sheng Wang<sup>1</sup>, Ta-Kang Yeh<sup>1</sup>, Robert Norman<sup>2</sup>, Sue Lynn Choy<sup>2</sup>, Tzu-Pang Tseng<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Taipei University, Taiwan, <sup>2</sup>RMIT University, Australia, <sup>3</sup>National Central University, Taiwan



## Abstract

This investigation utilizes FORMOSAT-3/COSMIC RO data to identify the differences between the results obtained using two different data processing packages - the Radio Occultation Processing Package (ROPP) and the COSMIC Data Analysis and Archive Center (CDAAC) software package.

This study analyzes 20,210 events located in the Australian region in the year 2010. The results of this study show a negative bias between the two software packages in the bending angle at heights below approximately 5 km.

The refractivity also shows a negative bias, which is consistent with previous results from the Global Navigation Satellite System Receiver for Atmospheric Sounding Satellite Application Facilities (GRAS SAF) report.

A negative bias between the two processing software packages also appears for the pressure parameter at all heights and for dry temperatures from 5 to 16 km in height.

The height intervals showing differences less than 1% in the bending angle, refractivity, pressure and dry temperatures are 0-25 km, 0-16 km, 0-16 km and 6-23 km, respectively.

In general, the differences between the ROPP and CDAAC processing methods in the bending angle, refractivity, and pressure increase with altitude but are always less than 3%. The difference in dry temperature is also less than 3% at heights greater than 5 km, but it is larger at heights below 5 km.

## 1. Introduction

The GPS RO technique relies on a GPS receiver onboard low earth orbit (LEO) satellites to receive signals from GPS satellites. The long-term stability, high accuracy, all-weather capability, high vertical resolution and global coverage of GPS RO make it an important tool for monitoring global atmospheric temperature.

FORMOSAT-3/COSMIC is the first GPS RO constellation mission developed by Taiwan's National Space Organization (NSPO) and the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) in collaboration with the Jet Propulsion Laboratory (JPL). The FORMOSAT-3/COSMIC Data Analysis and Archive Center (CDAAC) was developed by the UCAR and provides post-processing and near real-time measurements and products for the mission.

The Radio Occultation Processing Package (ROPP) is a software package developed by the Global Navigation Satellite System Receiver for Atmospheric Sounding (GRAS) Satellite Application Facilities (SAF) project, led by the Danish Meteorological Institute (DMI), for processing RO data from MetOp satellites. The comparison of RO products from this study and CDAAC will be discussed.

## 2. Methodology and Data analysis

This study focuses on comparing the results of the bending angle, refractivity, pressure and dry temperature between the ROPP and CDAAC processing methods.

The study area is located in the Australian region (110° to 160°E and 10° to 50°S). The ROPP software package was obtained from the GRAS SAF website (which has been known as ROM SAF since March 1, 2012) and incorporated into our system for calculating the excess phase. In contrast, the retrieved CDAAC profiles were taken directly from the CDAAC dataset.

The product, version CDAAC V2010.2640, produced by CDAAC 3.0, was launched in February 2011. GRAS SAF released the ROPP V6.0 on February 12, 2012. This study will introduce the excess phase from CDAAC V2101.2640 to ROPP V6.0 for the retrieval of atmospheric profiles. The 20,210 events located in the Australian region during the year 2010 comprise the dataset of this study. The profiles retrieved from the two different software packages will be compared and discussed. The distribution of the events is shown in Figure 1.

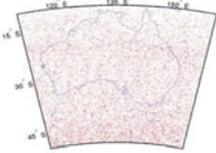


Figure 1. The distribution of the 20,210 RO events observed in 2010 over the Australian region.

## 3. Results

The statistical analysis is based on a six-layer atmosphere with 5-km thick vertical layers from 5 to 35 km in altitude. For each atmospheric parameter, the difference between the ROPP- and CDAAC-based values was calculated at every layer. Then, the mean of the difference (ROPP minus CDAAC) and the mean absolute deviation (MAD) of the difference were computed for each layer, as shown in Table 1. There is a positive bias between the two software packages in bending angle and a negative bias in refractivity and pressure.

Table 1 Comparison of atmospheric profiles using ROPP and CDAAC using 20,210 RO events binned into six atmospheric layers.

Altitude from the ground surface (km)	Bending Angle (rad)		Refractivity (N-units)		Pressure (hPa)		Dry Temperature (C deg)	
	Mean of difference	MAD of difference	Mean of difference	MAD of difference	Mean of difference	MAD of difference	Mean of difference	MAD of difference
05-10	0.0000672	0.0002147	-0.2049	0.5585	-0.8266	0.9681	-0.1160	0.7695
10-15	0.0000978	0.0001408	-0.3330	0.3509	+1.0662	1.0804	-0.1280	0.3980
16-20	0.0000484	0.0000840	-0.3528	0.3947	-0.9922	0.9563	-0.1567	0.4581
20-25	0.0000280	0.0000457	-0.2383	0.2394	-0.5784	0.5828	0.4345	0.6893
25-30	0.0000161	0.0000232	-0.1412	0.1414	-0.3548	0.3827	0.6833	1.2389
30-35	0.0000080	0.0000121	-0.0810	0.0823	-0.2116	0.2250	0.9109	2.2304

The MAD is the average distance between each data value and the mean of the difference. This parameter reflects the spread of the data. In general, at altitudes lower than approximately 15 km for bending angle and dry temperature and lower than 10 km for refractivity, the MAD values are typically larger than the mean values. This difference shows that a few large excursions exist in the dataset. For the dry temperature parameter, although the mean of the difference is less than one degree between 25 and 35 km in altitude, the MAD is considerably larger in magnitude, reaching over two degrees. Two example RO events, shown in Figure 2, are selected to demonstrate the difference in the dry temperature parameters retrieved using the two software packages. Normally, the profiles retrieved by ROPP and CDAAC are similar to Event 1. However, profiles such as Event 2 exhibit larger differences in dry temperature. These large positive differences can neutralize the negative difference and reduce the value of the mean. The large MAD values reveal the presence of these events.

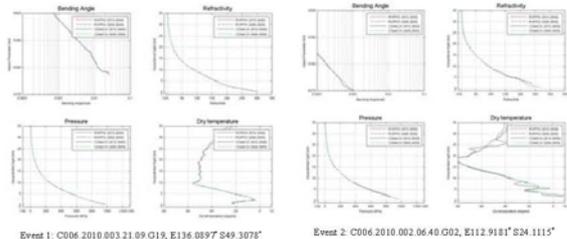


Figure 2 The retrieved atmospheric profiles using ROPP and CDAAC

This high-resolution method finds the same bias for the refractivity, pressure and bending angle parameters as the lower-resolution method. This result is illustrated in Figure 3. For dry temperature, there is a negative bias at 5 to 16 km in altitude and a positive bias elsewhere.

The high-resolution method shows a larger uncertainty (RMSE) for all four atmospheric parameters at low altitudes, and it shows a large significant difference (MAD) between the two processing methods for the dry temperature at heights above 25 km.

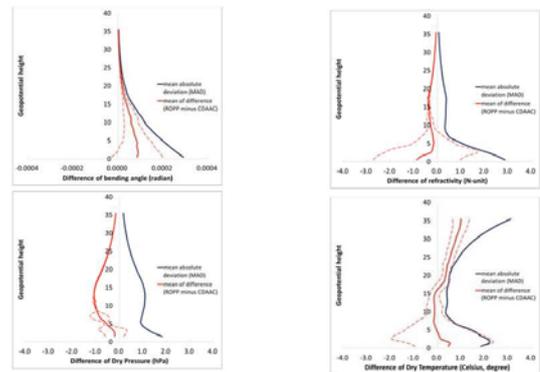


Figure 3 Comparison of atmospheric profiles using ROPP and CDAAC with the statistical mean and the mean absolute deviation (MAD) of the mean.

## 4. Conclusion

This study investigates the difference in results generated by the ROPP and CDAAC software packages for observations over the Australian region. The retrieved bending angle, refractivity, pressure and dry temperature were compared using data from the year 2010. The results of the bending angle show a negative bias at heights below approximately 5 km. The refractivity also shows a negative bias, which is consistent with the GRAS SAF report. The pressure parameter also shows a negative bias between the two software packages. The dry temperature also shows a negative bias at altitudes from 5 to 16 km. Altitudes of 0-25 km, 0-16 km and 6-23 km exhibit differences of less than 1% in bending angle, pressure and dry temperature, respectively.

In general, the difference in bending angle, refractivity, and pressure increase with altitude, but these differences are always less than 3%. The difference in dry temperature is also less than 3% at heights above 5 km. However, the difference between the ROPP and CDAAC is larger at altitudes of less than 5 km.

