

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(1.1)：第三次工作進度報告(含研討會及舉辦掩星訓

練營執行現況、國際合作推動等)

執行期間： 2012/2/18~2013/2/17

計畫主持人：黃清勇

參與人員：黃成勇、蔡和芳、曾子榜、翁佩芬、

吳怡娟、吳靜美

執行單位：全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)

中 華 民 國 1 0 2 年 1 月

## 一、 摘要

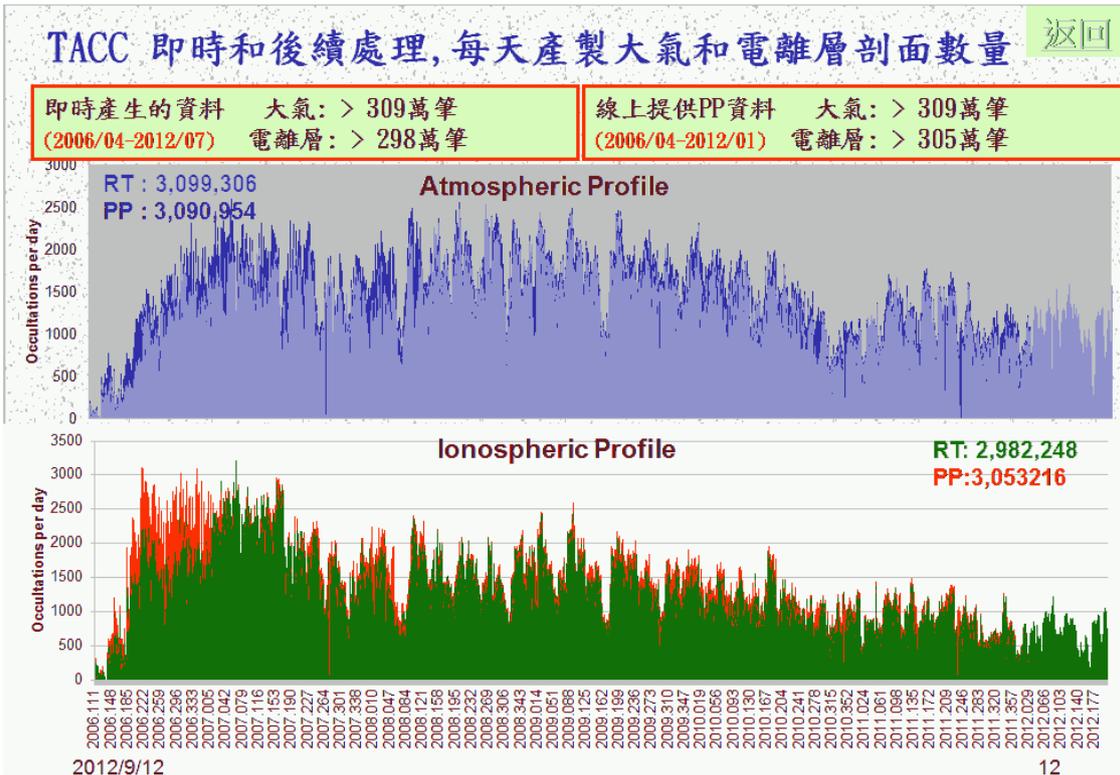
本項委託任務為計畫管理，主要工作為任務規劃、各工作項目間協調、整合，預算控制，執行進度監督、舉辦研討會、推動國際合作，與其他掩星資料發展單位合作，進行技術交流。

## 二、 GPS 研究目標

為了強化數值天氣預報能力和監測電離層太空天氣變化，我國於民國 95 年 4 月 15 日，順利發射福爾摩沙衛星三號(FORMOSAT-3)，將六顆低軌道衛星送到高度約位在地球上空 800 公里六個均分的軌道上，以 72 度的傾角執行掩星觀測科學實驗。此六顆衛星所組成的衛星星系，主要目的在於接收 28 顆全球定位系統 GPS 衛星（高度約為 20200 公里）的雙頻無線電訊號，根據該訊號橫切過地球大氣時，因大氣介質折射作用所造成的訊號延遲，利用適當的反演技術，以估算出射線切點上大氣折射指數(Atmospheric Refractive Index)之垂直分布。在適當的假設之下，藉所謂 Abel 轉換，可以獲得大氣溫度，溼度(水汽含量)，壓力，以及自由電子密度隨高度之垂直分布。此種方法特稱掩星緣測(Occultation Limb Sounding)法。根據前述之衛星星系特性，由此法所反演出之資料垂直解析度約為 200 公尺(地表附近)到 1500 公尺(高度 45 公里以上)之間，預計每一天可以獲得涵蓋全球約 2500 個剖面資料（而目前全球氣球探空數約為 900 個）。根據這些掩星資料，配合適當的電腦模式，可進行即時全球之中性大氣天氣與氣候之分析與預報，以及高層大氣之電離層全球動態研究。因此本計畫特稱 FORMOSAT-3/COSMIC (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate, 簡稱 F3/C) 計畫，在美方通稱 COSMIC 計畫。有關 F3/C 計畫源由及科學背景之詳細介紹，可參考黃清勇與朱延祥（大氣科學，2004）。除此之外，為了從事電離層的各種研究，各衛星上亦配置了一個三頻標識訊號發射機(Tri-band Beacon, TBB；發射頻率為 150MHz、400MHz、1067 MHz)以及一垂直向下之小型電離層測光器(Tiny Ionospheric Photometer, TIP)。前者可用來量測標識訊號之閃爍現象以及電離層全

電子含量，後者則主要用來觀測衛星高度以下之垂直電離層全電子含量，可以了解電離層電子密度的水平不均勻分布，作為發展四維電離層斷層掃描技術的重要初始值。以上所提到的掩星計算須仰賴精確的 F3/C 軌道計算(precise orbit determination, POD)，同等精確度的 GPS 星系軌道計算則由 IGS 提供。即時的軌道計算精確度為幾十公分的程度，但模擬出來的結果卻顯示後製處理可以一定程度的改善 F3/C 軌道計算。使用後者的計算方式可以推演得到地球隨時間變化的重力場，依次又可以得到有關地球上或地球內的質量遷移等資訊，這些資訊對瞭解地球物理及氣象上的變遷有非常大的助益。F3/C 任務已成立了專門研究測地學(geodesy)的團隊來處理這項研究，更精確的說，是利用這一個由 F3/C 任務所附帶來的副產品 POD 來研究地球物理現象。

GPS 掩星觀測(空基及地基)處理分析及反演技術是最上游的工作，我國在福衛三號計畫以前並無獨立處理掩星觀測資料的能力，而之前美方由美國大學大氣研究聯盟(UCAR)所建置的 COSMIC 資料分析與儲存中心(COSMIC Data Analysis and Archive Center；CDAAC)，同時於台灣中央氣象局建立相對映的科學資料分析處理維運中心，即 COSMIC 台灣資料分析中心(Taiwan Analysis Center for COSMIC；TACC)可完全獨立進行全功能維運並備援 CDAAC 運作，定位為 mirror site。自發射以來至目前為止(2012 年 5 月下旬)，由中央氣象局之 TACC 即時處理的掩星資料反演產量(大氣及電離層資訊)如圖。平均每日可提供的全球大氣及電離層探空數約 1500 個，單日最高可達到 2500 個。截至 2012 年底為止，共計約有 1800 位使用者，來自世界上 61 個國家。



大體來說, 每日可穩定提供的全球大氣及電離層探空數約 1500~2000 個, 有時可達到 2500 個。但由於福三衛星的設計壽命為 5 年, 自 2010 年後全日掩星總觀測數已逐漸減少, 目前則仍維持約 1200 筆。在這之前, 已包含多個國家預報中心 (如歐洲 ECMWF、美國 NCEP、英國 UKMO、加拿大 ASTD、中央氣象局等) 直接使用 FORMOSAT-3/COSMIC 掩星觀測資料, 進行逐日全球天氣分析及作業預報, 其成果效益非常良好, 使聯合國國際掩星觀測工作小組(IROWG)大力疾呼持續更多的掩星觀測任務的必要性及重要性。同時, 在我國將 FORMOSAT-3/COSMIC 掩星觀測資料同化應用於劇烈天氣 (如梅雨、颱風等) 預報, 發現對提高降雨及颱風路徑的準確度也有明顯的助益。如最近的莫拉克 (Morakot) 颱風, 無論在 GPS-ARC 相關計畫的事後模擬, 氣象局的作業預報, 或 颱洪研究中心的即時預報, 皆顯示同化 FORMOSAT-3/COSMIC 掩星觀測折射率, 對提昇颱風中心路徑之預測準確度有些正面效益。在應用於太空天氣方面, 由密集且更為精確的電子密度等電離層觀測參數之提供, 進而改善電離層模式之初始條件, 也大為提昇監測或預測太空天氣劇烈變化之能力。這些科研成果直接應用

於國防民生及氣象之防災預警，實質彰顯 FORMOSAT-3/COSMIC 掩星觀測的科學應用面價值。台美已合作 FORMOSAT-3/COSMIC 後續計畫 (FORMOSAT-7/COSMIC-2)，預定於 2016 年 3 月發射第一批六顆衛星，補充掩星觀測，對改善我國對天氣劇烈變化的預測能力及即時監控太空天氣會有進一步幫助。

### 三、 成果報告

本計畫由下列各分項工作整合而成，各分項工作期末報告已另附。本報告為分項工作 1：計畫管理。

分項工作(子計畫主持人)總表		
分項編號	主持人、共同主持人	計畫名稱
分項工作 1	黃清勇	計畫管理
分項工作 2A	黃清勇	以掩星資料進行颱風與豪雨個案分析與模擬：調整偏折角掩星觀測算子之觀測誤差，分析其對劇烈天氣個案之敏感度，並比較不同掩星觀測算子(局部折射率、非局部折射率、偏折角)對劇烈天氣個案預報之影響差別
分項工作 2B	楊舒芝	以掩星資料進行颱風與豪雨個案分析與模擬：利用系集資料同化系統，了解掩星資料對劇烈天氣預報之敏感度及效益評估
分項工作 2C	黃清勇、洪景山	以掩星資料進行颱風與豪雨個案分析與模擬：利用四維資料變分同化系統，了解掩星資料對劇烈天氣預報之敏感度及效益評估
分項工作 3A	王國英	進行掩星資料應用於全球大氣與氣候模擬、分析前置技術發展：以掩星資料進行全球大氣分析與探討大氣垂直結構分布
分項工作 3B	林沛練、簡芳菁	進行掩星資料應用於全球大氣與氣候模擬、分析前置技術發展：以掩星資料進行全球大氣長期模擬及分析
分項工作 4A	蔡龍治	以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技術發展：發展台灣自主的電離層監測模式
分項工作 4B	陳明桂	以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技術發展：建置台灣自主的電離層數值模式
分項工作 4C	朱延祥	以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技術發展：電離層掩星資料反演前瞻技術發展
分項工作 4D	林建宏	以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技術發展：以掩星資料進行電離層同化及福七

		OSSE
分項工作 5A	蔡和芳	掩星資料處理技術建置：掩星資料處理系統與電離層自主反演技術發展
分項工作 5B	黃成勇	掩星資料處理技術建置：大氣層掩星資料自主反演技術發展
分項工作 5C	黃金維	掩星資料處理技術建置：定軌計算自主技術發展
分項工作 6	蕭棟元	福七計畫第一組科學酬載前置資料分析發展：以 CNOF、福一 IPEI 及福三 TBB 資料進行 OSSE 分析

101 年度核定經費為 17,591,134 元，共計支持 14 個子計畫。

計畫管理在經費管控及支出、或須協助子計畫部份均已順利完成。大致子計畫之核定經費皆無變動，僅少數計畫於費用內些許調整細項、人事清單、旅次與變更出差地點。計畫經費截至 2013/2/5 使用情形如附件下：

項目	核定金額	實支數	餘額	使用率 (%)	剩餘率 (%)
直接薪資	12,113,346	11,555,788	557,558	91.38	8.62
其他直接費用	2,443,530	2,000,479	443,051	77.89	22.11
管理費	1,186,679	1,186,679	0	100	100
管理費用	1,847,579	1,438,969	408,610	70.25	29.75
合計	17,591,134	16,181,915	1,409,219	87.87	12.13

### 計畫執行時程工作記實：

- (1). 101 年度計畫於 101/2/16 完成開標並於 101/2/18 開始執行計畫，於 101/3/1 完成開工會議，101/4/06 撥入計畫第一期經費，101/8/09 撥入計畫第二期經費，101/11/05 撥入計畫第三期經費。
- (2). 目前中心已聘任三名專案助理研究員(黃成勇博士、蔡和芳博士與曾子榜博士)。
- (3). 3 月中旬中心主任及黃成勇博士協助中央大氣與高雄女中普通高級中學課程基礎地球科學學科中心舉辦「101 年度地球科學師生合作探究科學課程工作坊實施計畫，利用福衛三號資料庫進行科學探究，並擬將研究成果發表於基礎地球科學學科中心電子報，及學科中心網站，鼓勵更多高中師生有效運用國內學術機構教學資源，並發展探究課程，培養更多地球科學人才。
- (4). 中心空間於 101 年 4 月 23 日由借用改為撥用中心使用，並增加約 25 坪使用空間，已陸續使用中。
- (5). 6 月中旬 APEC 國際研討會海報參展，利用海報方式介紹 GPSARC 中心及福衛三號、福衛七號和目前部分研究成果。
- (6). 七月協助舉辦 2012 全國高中地球科學研習營。招生簡章如下：

#### **2012 中央大學全國高中地球科學研習營**

地球，是個活生生的星球。她，用大地扶持我們，用海洋擁抱我們，高興時天晴，難過時落雨。她，與我們生命息息相關。但是，你們了解地球真正的面貌嗎？知道我們立足的這個星球的所有秘密嗎？立足在台灣這土地上，有多少自然現象及環境變遷你卻從未注目？加入我們的行列吧！讓 2012 全國高中地球科學營帶領你，揭開地球神秘的面紗。

在六天的旅程中，我們要以豐富的內容、廣泛的知識，並穿插許多有趣且具挑戰性的活動，給予你一場娛樂、知性兼備的地球科學盛宴。同時，更要將大學領域中的思考方式與探究精神帶給你，進而使幫助未來選擇科系及人生規劃。

另外，別具特色的野外實習課程。讓你親自造訪、實地觀察，讓學習不僅是一張張書本上的照片。享受在大地上奔跑，在水間嬉戲，在天空下追逐，讓我們成為風的孩子，體會地球的一吐一息。

我們，全體工作人員，竭誠地歡迎你的參與！

- **活動對象**：全國高中學生（包含升高一至升大一）共 70 人

- **主辦單位**：國立中央大學地球科學學院、大氣科學系、地球科學系
- **協辦單位**：國立中央大學課外活動組、全球定位科學與應用研究中心、中國地球物理學會
- **活動時間**：民國 101 年 7 月 5 日至民國 101 年 7 月 10 日
- **活動地點**：中央大學校區跟野外活動地點
- **活動內容**：六天五夜的營隊活動，主要是幫助高中學子對於地球科學相關知識作一個概略性的了解，並在營期中引領他們領略大學生活豐富多元的樣貌。課程內容包含有地球物理、地質、大氣、水文、太空等地球科學所涵蓋之範疇及防災與永續環境認識等課程，更有野外實習與氣象站的參觀。
- **報名方式**：即日起 至 101 年 5 月 28 日。(額滿即截止)
  - 步驟一：詳細填寫報名表(報名表可在網頁下載)
  - 步驟二：至郵局購買匯票「受款人：國立中央大學地球科學學院」
  - 步驟三：請將匯票連同個人報名表掛號寄至  
『320 中壢市中大路 300 號 國立中央大學地球科學學院辦公室』
  - 步驟四：靜心等候，我們收到資料後會主動打電話聯絡您，並於  
網頁公布錄取名單並寄發錄取通知<報名前可先來電詢問  
是否額滿>
- **營隊網頁**：<http://escollege.ncu.edu.tw/esc2012>
- **報名費用**：5000 元整 (含食宿費用、保險、紀念衫、野外車資及雜費等)

(7). 8 月下旬舉辦 GPS 掩星訓練營，介紹福爾摩沙衛星三號計畫的各種掩星觀測、資料處理演算法及其應用。課程內容包括 GPS 掩星方法、大氣、電離層及大地方面有關地面及衛星探測方法及應用，共計有 56 名博碩士生及研究人員報名參與，活動摘要如下：

姓名	單位	職稱
呂柏儀	中央大物所	學生
姚春仔	中央大物所	研究生
林梓舜	中央大氣	碩士生
鄧雯心	中央大學GPSARC	專任助理
謝涵綦	中央大學GPSARC	專任助理
劉豫臻	中央大學GPSARC	專任助理
吳靜美	中央大學GPSARC	專任助理
謝涵綦	中央大學GPSARC	專任助理
高晟傑	中央大學GPSARC	專任助理
吳乙昕	中央大學大物所	研究助理
吳俊澤	中央大學大物所	專任助理
李念青	中央大學大物所	學生
陳冠翰	中央大學大物所	學生
陳盈文	中央大學大物所	學生
陳健安	中央大學大物所	學生
林姸庭	中央大學大物所	學生
陳怡孜	中央大學大物所	學生
趙子瑩	中央大學大物所	學生
安尼舍帝	中央大學大物所	博士班學生
黃建齊	中央大學大物所	研究生
林冠伶	中央大學大物所	準研究生
陳登舜	中央大學大物所	專任研究助理
許郁卿	中央大學大物所	研究助理
詹前烜	中央大學大物所	學生
陳薇鈞	中央大學大物所	專任助理
王筱嵐	中央大學大物所	博士後研究
邱義程	中央大學太空所	研究生
簡國晉	中央大學太空所	學生
曾志豪	中央大學太空所	研究所一年級學生
劉忠青	中央大學太空所	學生
曾子弋	中央大學太空所	學生
蘇泳誌	中央大學太空所	博士生
徐稚婷	中央大學太空所	碩士生
張凱威	中央大學太遙中心	碩士生

楊攸祁	中央大學太遙中心	研究生
陳柏成	中央大學地球科學系	學生
葉文豪	中央大學電機所	學生
林冠全	台灣大學University of Nice - Sophia Antipolis	博士生
陳威翰	成功大學	碩士班二年級
林佳廷	成功大學太空天文與電漿科學所	碩士生
饒詒智	成功大學太空天文與電漿科學研究所	研究生
周中婷	成功大學地球科學系	研究助理
陳佳宏	成功大學地球科學系	博士後研究員
陳昱璵	成功大學地球科學所	學生
郭政靈	成功大學物理系	助理研究員
吳彥蓉	成功大學物理系	學生
張淑鈞	成功大學物理系	博士班學生
李立柔	成功大學物理研究所 (ISUAL團隊)	博士生
黃崧銘	成功大學物理研究所 (ISUAL團隊)	博士生
陳坤林	國家太空中心	研究助理
周哲維	國家太空中心	研究助理
張書銘	國家太空中心操控組	助理研究員
王麗豐	逸奇科技	業務經理
陳孟遠	台灣颱風洪水研究中心	副研究員
張一凡	國立臺灣大學電信工程研究所	研究生
王傳盛	國立台北大學	博士後研究員

## [活動] 2012 GPS 掩星暑期營

GPSARC 活動

GPS 掩星暑期營預計於 2012 年 8 月 21-23 日在本校舉行，為期 3 天。主要對象為具有大氣、電離層及大地測量之相關研究與應用背景之研究生、博士後研究員及年輕科學家或工程師。課程內容包括 GPS 掩星方法、大氣、電離層及大地方面有關地面及衛星探測方法及其應用。歡迎有興趣的產官學者及學生報名參加。

- 訓練營時間：2012 年 8 月 21-8 月 23 日。
- 暑期營地點：中央大學 科學二館 S1-713
- 聯絡人：翁佩芬、吳怡娟
- E-MAIL：berry@atm.ncu.edu.tw
- 聯絡電話：(03)4227151 轉 25515 或 65565
- 傳真電話：(03)4278545
- 報名表下載：[報名表](#)
- 若報名人數過多，則由中心進行篩選後，再另行通知

## [活動] 2012 GPS 掩星暑期營-課程表

2012 GPS 掩星暑期營-課程表下載：[課程表](#)

August 21, 2012 (Tuesday)		
09:00-09:30	Registration	
09:30-09:40	Opening	劉振榮 副校長 (NCU)
09:40-10:30	掩星資料處理程序管理	許志禎 (CWB/TACC)
10:40-11:30	福衛三號掩星任務與酬載原始資料剖析	陳坤林 (NSPO)
11:30-13:30	Lunch	
13:30-14:20	GPS 基本原理	曾子榜 (NCU/GPSARC)
14:30-15:20	GPS POD 處理	李宜珊 (NCTU)
15:30-16:20	GPS ZTD 估算	黃成勇 (NCU/GPSARC)
August 22, 2012 (Wednesday)		

09:00-09:50	LEO POD 處理	曾子榜 (NCU/GPSARC)
10:00-10:50	Atmospheric/Ionospheric RO Excess Phase Processing	Bill Schreiner (UCAR/COSMIC)
11:00-11:50	大氣反演程序	黃成勇 (NCU/GPSARC)
11:50-13:30	Lunch	
13:30-14:20	電離層反演程序	蔡和芳 (NCU/GPSARC)
14:30-15:20	電離層絕對 TEC 估算	蔡和芳 (NCU/GPSARC)
15:30-16:20	福三大氣資料同化(NWP)介紹	黃清勇 (NCU/GPSARC)
<b>August 23, 2012 (Thursday)</b>		
09:00-09:50	Understanding Data Assimilation - Applications to Ionospheric RO	Tomoko Matsuo (CU/CIRES-NOAA/ SWPC)
10:00-10:50	福衛七號簡介	方振洲 (NSPO)
11:00-11:50	GPS Reflectometry: Short Introduction and Activities at GFZ	Jens Wickert (GFZ)
11:50-12:10	綜合討論	
12:10-	Lunch	

- (8). 中心撥用之辦公空間已於 101 年 9 月中旬陸續修繕完畢。
- (9). 10 月下旬由中心主任黃清勇教授、助理研究員黃成勇博士、曾子榜博士以及分項計畫主持人(林沛練教授、朱延祥教授等)參加 Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop，並做口頭論文報告。
- (10).10 月下旬由中心主任黃清勇教授與其專任助理(鄧雯心、劉豫臻)參加 Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop 張貼論文報告。
- (11).10 月下旬專案助理研究員蔡和芳博士至國外 Eumetsat 進行短期研究。
- (12).計畫執行期間中心專案研究員不定期至各大專院校進行演講，介紹福衛三號、福衛七號和目前部分研究成果，進而讓大專學子了解並培養其科學研究的興

趣，達到科學教育推廣的目的。

(13).於 11 月 29 日舉辦 GPS RO Research and Application Retreat 會議。

## GPS RO Research and Application Retreat 議 程

時 間：101 年 11 月 29 日(星期四) 08：40～

地 點：中央大學科二館 702-D 室

議 程：

Time	Speaker	Topic
08：40~08：55	劉 正 彥 劉 代 瑜	福三及後續計畫科研近況與規劃
08：55~09：00	黃 清 勇	GPSARC 2012 計畫及 2013 規劃
09：00~09：10	黃 清 勇	以掩星資料進行颱風與豪雨個案分析與模擬：調整偏折角掩星觀測算子之觀測誤差，分析其對劇烈天氣個案之敏感度，並比較不同掩星觀測算子(局部折射率、非局部折射率、偏折角)對劇烈天氣個案預報之影響差別、以及利用四維資料變分同化系統，了解掩星資料對劇烈天氣預報之敏感度及效益評估
09：10~09：20	楊 舒 芝	以掩星資料進行颱風與豪雨個案分析與模擬：利用系集資料同化系統，了解掩星資料對劇烈天氣預報之敏感度及效益評估
09：20~09：30	王 國 英	進行掩星資料應用於全球大氣與氣候模擬、分析前置技術發展：以掩星資料進行全球大氣分析與探討大氣垂直結構分布
09：30~09：40	林 沛 練、簡 芳 菁	進行掩星資料應用於全球大氣與氣候模擬、分析前置技術發展：以掩星資料進行全球大氣長期模擬及分析
09：40~09：50	蔡 龍 治	以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技術發展：發展台灣自主的電離層監測模式
09：50~10：00	蔡 和 芳	掩星資料處理技術建置：掩星資料處理系統與電離層自主反演技術發展
10：00~10：10	朱 延 祥	以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技術發展：電離層掩星資料反演前瞻技術發展
10：10~10：20	陳 明 桂	以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技術發展：建置台灣自主的電離層數值模式
10：20~10：30	Coffee Break	

10:30~10:40	黃成勇、蕭棟元	掩星資料處理技術建置：大氣層掩星資料自主反演技術發展
10:40~10:50	曾子榜、黃金維	掩星資料處理技術建置：定軌計算自主技術發展
10:50~11:00	林建宏	以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技術發展：以掩星資料進行電離層同化及福七 OSSE
11:00~11:25	郭英華 UCAR COSMIC	CDAAC development for FORMOSAT-7/COSMIC-2
11:25~11:50	朱崇惠、方振洲 NSPO F7/C2 Project	福衛七號計畫現況介紹/福衛七號衛星本體設計之挑戰
11:50~12:00	程家平、何旭慧 CWB TACC	福衛七號計畫近況說明
12:00~12:20	蕭玲鳳、林嫩瑛、謝銘恩、陳御群 TTFRI GPSRO Team	TTFRI 研究與發展規劃
12:20	討論與建議- 午餐 (南方莊園)	

聯絡人：吳怡娟、翁佩芬，Tel： 03-4227151~65565，Email- [doriswu@ncu.edu.tw](mailto:doriswu@ncu.edu.tw)

南方莊園地圖：桃園縣中壢市樹籽路 8 號 03-4202122

中山高下新屋交流道，沿縣道 114 往西行，過中平國小，右轉直行即可抵達南方莊園渡假飯店。



(14).101 年度學者交流訪問計畫經費約 60 萬元，已邀請名單與進度如下：

姓名	單位	訪問目的	目前進度
D. Bill Schreiner	UCAR/COSMIC, USA	協助計畫進行掩星資料處理與討論及參加 2012 年 8 月 21-23 日在中大舉辦之 GPS RO 暑期研習營 (GPS RO Summer Camp) 擔任講員。	已完成
Dr. Jens Wickert	GFZ Potsdam, Germany	協助計畫進行中性大氣掩星資料處理與討論及參加 2012 年 8 月 21-23 日在中大舉辦之 GPS RO 暑期研習營 (GPS RO Summer Camp) 擔任講員。	已完成
Dr. Tomoko Matsuo	NOAA, USA	協助計畫進行掩星資料處理與討論及參加 2012 年 8 月 21-23 日在中大舉辦之 GPS RO 暑期研習營 (GPS RO Summer Camp) 擔任講員。	已完成
Shu-Peng Ben Ho	UCAR/COSMIC, USA	2013 年 1 月 27 至-2 月 1 日訪問中大，協助計畫進行掩星資料分析與討論投稿 SCI 論文，並在中大氣系及中央研究院做兩次專題演講。	已完成
Ying-Hwa Kuo, Bill Schreiner, Douglas C. Hunt	UCAR/COSMIC, USA	2013 年 1 月 30-31 參加在氣象局舉辦之 F7/C2 Data Processing Workshop	已完成(無支助經費)

#### 四、 結語

本計畫由中心成立辦公室負責所有計畫控管及資料處理技術建置整合工作，由 GPSARC 中心主任(計畫主持人)負責執行，推展交付委託任務、整合及分配團隊資源、強化計畫管控及評估分項工作進度。在執行策略上，由中心計畫召開多次計畫工作進度及研究成果報告，一次擴大國內相關單位參與之 Retreat 會議，建置國內 GPS 科學教育訓練及技術交流之服務平台，同時積極參與國際相關研討會及國內福衛七號管理會議，報告計畫交付研究任務成果。在國際交流上，已邀請數名國際專家學者來訪，並於 2012 年 8 月 21-23 日參加中心所舉辦之 GPS RO Summer Camp 提供相關領域之課程指導，同時與專家學者進行討論，商討未來雙方研究合作議題、規劃訪問交流事宜，在期末皆已依計畫內容完成工作執行，並協助完成各分項計畫之活動交流。

## 五、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
任務規劃、各工作項目間協調、整合，預算控制，執行進度監督	100%	核定分配子計畫經費，協調、整合各工作項目。
推動國際合作執行現況	100%	已邀請多位國際專家，參加掩星課程訓練營講課及 FORMOSAT-7/COSMIC-2 Data Processing Workshop，並與計畫同仁討論、合作交流，並在中大大氣系、太空所、中研院專題演講。
舉辦1次國內學術研討會及協辦1次掩星課程訓練營規劃與執行現況	100%	掩星課程訓練營已舉辦完畢，課程講義與相關活動內容皆放至中心網頁中。1次國內學術研討於11月29日舉辦 GPS RO Research and Application Retreat 會議。
參加4月 IROWG#2 及 10月福三使用者國際研討會議	100%	畫由兩名專案助理研究員已參與4月 IROWG#2 Workshops 及中心10月下旬由中心主任黃清勇教授、助理研究員黃成勇博士、曾子榜博士以及分項計畫主持人(林沛練教授、朱延祥教授等)參加 Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop。
國際學者交流報告	100%	已提供
網頁更新與維護	100%	更新最新訊息(福三及福七相關活動)於中心網頁中。
經費收支報告表	100%	繳交期限內完成經費相關作業，並送至請款單位備查。
撰寫報告	100%	已完成

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(1.2): 國際學者交流報告 (II)

執行期間： 2012/2/18~2013/2/17

計畫主持人：黃清勇

參與人員：黃成勇、蔡和芳、曾子榜、吳怡娟、翁佩芬、

吳靜美、謝涵蓁

中 華 民 國 1 0 2 年 2 月

姓名	聯絡資料	單位及職稱	研究專長
Bill Schreiner	America Email: <a href="mailto:schrein@ucar.edu">schrein@ucar.edu</a>	UCAR	Precise orbit determination, GPS radio occultation, CHAMP/GRACE RO data processing and analysis.
Tomoko Matsuo	USA Email : tomoko.matsuo@noaa.gov	University of Colorado at Boulder / NOAA-Space Weather Prediction Center, USA Scientist II	Data assimilation of ionospheric/thermospheric parameters, thermosphere-ionosphere coupling
Jens Wickert	Germany Email: <a href="mailto:wickert@gfz-potsdam.de">wickert@gfz-potsdam.de</a>	Group leading scientist, Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences Section 1.1, GPS/Galileo Earth Observation	GPS radio occultation, CHAMP/GRACE RO data processing and system development, GPS Project management, GPS RO data analysis.
Ho Shupeng	USA Email: spho@ucar.edu	National Center for Atmospheric Research, Atmospheric Chemistry Division University Corporation for Atmospheric Research, COSMIC Program	Member of the American Meteorological Society Member of the American Geophysical Union Member of the International Society for Optical Engineering

# 「學者交流訪問計畫」

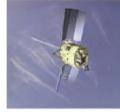
## 短期訪問進行情形報告

訪問學者	Bill Schreiner		
主辦單位	全球定位科學研究中心(GPS-ARC)	邀訪者	黃清勇 教授
時間	2012年8月21日至2012年8月24日		
<p><b>主旨：</b>擔任 2012 掩星暑期營授課講師及演講，介紹 GPS RO Excess Phase Processing 。Lecture in GPSARC RO summer camp and discuss about the application of precise orbit determination of FORMOSAT-3/COSMIC and FORMOSAT-7/COSMIC</p> <p><b>行程及活動經過：</b> Lecture for students. The given topic is “GPS RO Excess Phase Processing.”</p> <p><b>檢討：</b></p> <p>The uncertainty of computing excess phase is mainly caused by the determined FORMOSAT-3/COSMIC orbit and clock. Additionally, the orbit accuracy is highly related to the satellite attitude control. The zero-differenced data process produces less noise than single- and double-differenced data process. Since the above uncertainties, the COSMIC-derived bending angle noise is higher than the METOP-derived one. The use of 5-sec GPS clock will slight improve the noise in the zero- and single-differenced data processing.</p> <p><b>建議：</b></p> <p>The above factors will affect the retrieval of atmosphere profile. Therefore, in the FORMOSAT-7/COSMIC-2 mission, the improvements of orbit accuracy, clock stability and attitude control over FORMOSAT-3/COSMIC are expected. If FORMOSAT-7/COSMIC-2 equips with the ultra-stable oscillator, it will be helpful for the zero-differenced data process. With the GNSS development, we need to modify software for FORMOSAT-7/COSMIC-2 and improve the quality control.</p> <p><b>相關活動：</b></p> <p>Discussion about error sources of precise orbit determination and satellite attitude control.</p>			

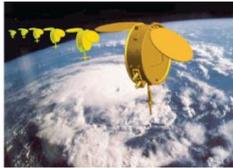
## Some Aspects of Inversion of GPS RO Signals



Bill Schreiner  
S. Sokolovskiy, Janet Zeng, D. Hunt, B. Kuo



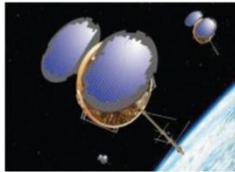
UCAR COSMIC Program Office  
www.cosmic.ucar.edu



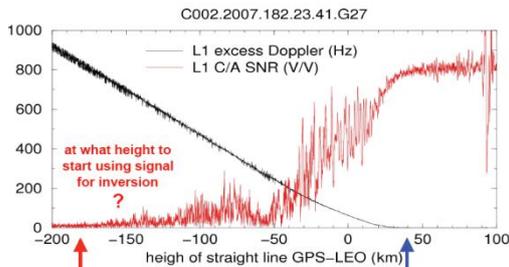
Aug 23, 2012



Seminar at NCU/Taiwan



## Upper stratosphere and lower troposphere are regions of maximum uncertainty for GPS RO inversions



**In the lower troposphere:**  
the signal reduces below noise level in terms of the amplitude

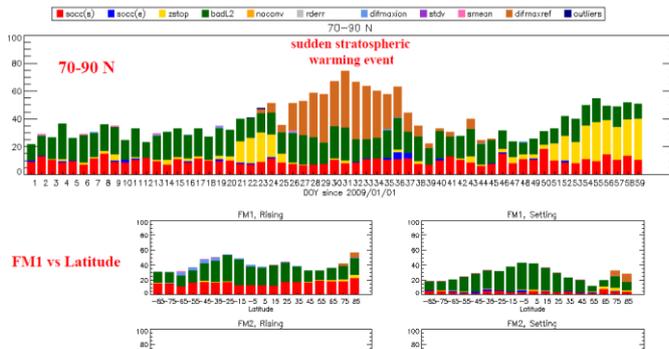
**In the upper stratosphere:**  
the signal reduces below noise level in terms of the phase (Doppler)

Aug 23, 2012

Seminar at NCU/Taiwan

## Neutral Atmospheric Profile QC

- COSMIC data from Jan-Feb 2009
  - Green failures due to poor quality of L2 signal
  - Tan failures due to large departures from climatology
  - Red failures due to problem with rising occultation tracking



## Biographical Sketch: Tomoko Matsuo

### (a) Professional Preparation:

Hokkaido University, Sapporo, Japan, *Geophysics, B.Sc.* 1995  
Nagoya University, Nagoya, Japan, *Physics, M.Sc.* 1998  
State University of New York, Stony Brook, *Atmospheric Sciences, Ph.D.* 2003

### (b) Appointments:

2007-Present *Research Scientist II*, Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado, Boulder  
2003–2007 *Visiting Scientist*, Institute for Mathematics Applied to Geosciences, National Center for Atmospheric Research  
1999–2003 *Graduate Research Assistant*, HAO/NCAR  
1998–1999 *Visiting Research Scientist*, Space Environment Center/NOAA  
1997–1998 *Research/Teaching Assistant*, SUNY, Stony Brook

### (c) Publications Related to This Proposal:

Matsuo, T., I. T. Lee, and J. L. Anderson, Thermospheric mass density specification using an ensemble Kalman filter, *Journal of Geophysical Research*, under review.  
Matsuo, T., Upper atmosphere data assimilation using an ensemble Kalman filter, AGU monograph on modeling the IT system, under review.  
Sun, Y. Y., T. Matsuo, E. A. Araujo-Pradere, J. Y. Liu, Ground-based GPS observation of SED-associated irregularities over CONUS, *Journal of Geophysical Research*, under review.  
Lee, I. T., T. Matsuo, A. D. Richmond, J. Y. Liu, W. Wang, C. H. Lin, J. L. Anderson, M. Q. Chen, Assimilation of FORMOSAT-3/COSMIC electron density profiles into thermosphere/ionosphere coupling model by using ensemble Kalman filter, *Journal of Geophysical Research*, under review.  
Matsuo, T., M. Fedrizzi, T. J. Fuller-Rowell, and M. Codrescu, Data assimilation of thermospheric mass density, *Space Weather*, 10, S05002, doi:10.1029/2012SW000773, 2012  
Matsuo, T., E. A. Araujo-Pradere, Role of thermosphere-ionosphere coupling in a global ionosphere specification, *Radio Science*, 46, RS0D23, doi:10.1029/2010RS004576, 2011.  
Matsuo, T., D. W. Nychka, and D. Paul, Nonstationary covariance modeling for incomplete data: Monte Carlo EM approach, *Computational Statistics and Data Analysis*, 55, 2059-2073, 2011.  
Matsuo, T., and J. M. Forbes, Principal modes of thermospheric density variability: Empirical orthogonal function analysis of CHAMP 2001-2008 data, *Journal of Geophysical Research*, 115, 10.1029/2009JA015109, 2010.  
Matsuo, T., and A. D. Richmond, Effects of high-latitude ionospheric electric field variability on global thermospheric Joule heating and mechanical energy transfer rate, *Journal of Geophysical Research*, 113, 10.1029/2007JA012993, 2008.  
Matsuo, T., A. D. Richmond, and G. Lu, Optimal Interpolation analysis of high-latitude ionospheric electrodynamics using empirical orthogonal functions: Estimation of dominant modes of variability and temporal scales of large-scale electric fields, *Journal of Geophysical Research*, 110, 10.1029/2004JA010531, 2005  
Matsuo, T., A. D. Richmond, and D. W. Nychka, Modes of high-latitude electric field variability derived from DE-2 measurements: Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis, *Geophysical Research Letters*, 29, 10.1029/2001GL014077, 2002.

#### **(d) Synergistic Activities:**

##### Session convener:

IUGG (session: data assimilation and ensemble forecasting for weather and climate), Melbourne, Australia, 2011;  
IUGG (session: data assimilation and space weather session), Perugia, Italy, 2007;  
IAGA (session: data assimilation techniques for the ionosphere-thermosphere magnetosphere system), Toulouse, France, 2005

##### Panelist:

CEDAR workshop data assimilation panel discussion, Santa Fe, NM, 2006;  
International Space Science Institute (ISSI) science team for 3d ionospheric modeling Bern, Switzerland, 2005-2006

##### Proposal Reviews:

NASA Geospace Science proposal peer-review panels and mail-in external reviewers  
NASA Heliophysics Guest Investigators Program peer-review panels;  
NSF Aeronomy Program mail-in external reviewers;  
NSF Antarctic Aeronomy and Astrophysics Program peer-review panels;  
NSF Coupling, Energetics, and Dynamics of Atmospheric Regions Program peer-review panels;

##### Paper Reviews:

Journal of Geophysical Research; Monthly Weather Review;  
Geophysical Research Letter; Tellus; Mathematical Geosciences;  
Annals of the Institute of Statistical Mathematics; Space Weather

#### **(e) Collaborators and other Affiliations:**

##### Collaborators and Co-Editors:

Akmaev, R. (NOAA); Amm, O. (Finnish Meteorological Institute); Anderson, B. J. (APL/JHU); Anderson, J. L. (NCAR); Araujo-Pradere, E. A. (CU-Boulder/NOAA); Aruliah, A. (UCL); Bahcivan, H. (SRI); Buchert, S. C. (Swedish Institute of Space Physics); Codrescu, M. (NOAA); Cosgrove, R. B. (SRI); Crowley, G. (ASTRA); Fedrizzi, M. (CU-Boulder/NOAA); Forbes, J. M. (CU-Boulder); Fuller-Rowell, T. J. (CU-Boulder/NOAA); Fujii, R. (Nagoya Univ.); Gjerloev, J. W. (Univ. of Bergen); Heinselman, C. J. (SRI); Ieda, A. (Nagoya Univ.); Knipp, D. L. (CU-Boulder); Lee, I. T. (NCU); Lin, C. H. (); Liu, J. Y. (NCU); Lu, G. (NCAR); McCready, M. A. (SRI); Maruyama, N. (CU-Boulder/NOAA); Marsh, D. (NCAR); Nychka, D. W. (NCAR); Paul, D. (UC-Davis); Raeder, J. (UNH); Richmond, A. D. (NCAR); Smith, A. K. (NCAR); Stolle, C. (TUD); Sun, Y. Y. (NCU); Vanhamaki, H. (Finnish Meteorological Institute); Wang, W. (NCAR); Yoshikawa, A. (Kyushu Univ.)

##### Graduate Advisors:

A. D. Richmond (NCAR); M. A. Geller (SUNY-Stony Brook)

##### Postdoctoral Sponsors:

D. W. Nychka (NCAR); J. L. Anderson (NCAR)

# 「學者交流訪問計畫」

## 短期訪問進行情形報告

訪問學者	Tomoko Matsuo		
主辦單位	全球定位科學研究中心(GPS-ARC)	邀訪者	黃清勇 教授
時 間	2012 年 8 月 21 日 至 2012 年 8 月 25 日		
<b>主旨：</b> 此行主要在 GPS 掩星暑期營期間，為新進學員講授資料同化概論以及其在電離層反演資料方面的應用，另外公開演講進階之高層大氣 EnKF 資料同化，並進行相關討論與交流。			
<b>行程及活動經過：</b> 8/22 資料同化概論及應用講座 8/23 高層大氣 EnKF 資料同化演講與討論			
<b>檢討：</b> 電離層資料同化已從過去的電離圖資料同化進展到掩星電離層電子密度剖線資料同化，但不論國內外都面臨大量計算資源的窘境。Matsuo 博士在 NOAA 使用大型叢集電腦平行運算，雖然資料同化相關程式可能取得，但仍需相當的軟硬體支援，因此未來福衛七號之電離層天氣現報或預報的作業即時性還有待克服。			
<b>建議：</b> 建議國家太空中心持續支持電離層相關研究經費。			
<b>相關活動：</b> 第一場講座介紹資料同化是先驗系統狀態與直接或間接觀測量的組合，進而由貝氏理論推導後驗機率函數（即條件機率函數，表示在現有觀測量的條件下，先驗值發生的可能性有多少）方程式，並說明共變異數所扮演的角色，最後以福衛三號電離層路徑 TEC（觀測量）為例，展示資料同化前後的差異。 第二場公開演講從人造衛星在太空中的分布談起，說明熱氣層的物質密度會影響衛星軌道的預測。因為我們想要追蹤衛星及太空垃圾，以預知衛星被太空垃圾撞擊的機率為何。但又從何得知熱氣層的物質密度為何呢？熱氣層的觀測量非常稀疏，因此我們需要高層大氣的資料同化。以 EnKF 為基礎，推導出來的條件機率函數，針對德國 CHAMP 衛星所進行的觀測模擬實驗（OSSE），顯示中性大氣密度的誤差，在衛星軌道附近獲得改善。應用福衛三號電離層電子密度剖線於高層大氣的 OSSE 實驗也有初步成效，因此可望應用於未來的福衛七號掩			

# UNDERSTANDING DATA ASSIMILATION

APPLICATIONS TO IONOSPHERIC RADIO OCCULTATION

Tomoko MATSUO (aka – 松尾朋子)  
University of Colorado, Boulder  
Space Weather Prediction Center, NOAA

## Data Assimilation

### Combining Information

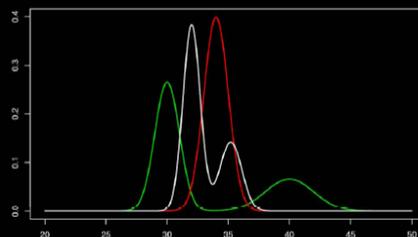
prior knowledge of the state of system  $x$   
empirical or physical models  
*complete in space and time*

## Bayes Theorem

prior  $p(x)$

observation likelihood  $p(y|x)$   
*probability distribution of y when x have a given value*

posterior  
 $p(x|y) \propto p(y|x)p(x)$





## **Dr. Jens Wickert**

*Helmholtz-Zentrum Potsdam*

**Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ**

*Sektion 1.1, GPS/GALILEO-Erdbeobachtung*

*Telegrafenberg, A17 20.03*

*14473 Potsdam*

*Tel.: +49 331 288-1758*

*Fax: +49 331 288-1111*

*E-Mail: [jens.wickert@gfz-potsdam.de](mailto:jens.wickert@gfz-potsdam.de)*

---

### **Wissenschaftliche Interessen:**

- GPS-Radiookkultation der elektrisch neutralen und ionisierten Atmosphäre
- Bodengestützte GPS-Atmosphärensondierung (Atmosphäre/Ionosphäre), GPS-Reflektometrie/Scatterometrie, GPS-Empfängertechnik
- Entwicklung von Auswertesoftware für boden- und satellitengestützte GNSS-Messungen und deren Anwendung unter Echtzeitaspekten
- Geodäsie/Satellitengeodäsie, Geophysik, Atmosphären-/Ionosphärenforschung, GNSS-Seismologie, Erdsystemforschung, interdisziplinäre Forschungsprojekte
- Planung, Realisierung und Betrieb von Satellitenmissionen mit GNSS-Komponenten
- Einwerbung von Drittmitteln für Forschungsprojekte auf nationaler und internationaler Basis bei unterschiedlichsten Projektförderern und Leitung der damit verbundenen Forschungsprojekte
- Publizieren und Popularisieren von wissenschaftlichen Ergebnissen
- Wissenschaftliches Programmieren mit FORTRAN und IDL

- Arbeiten mit LATEX, MS Office, COREL, HTML
- Digitale Fotografie und Bildbearbeitung (mit Adobe Software, z.B., Photoshop, Illustrator, und Premiere)
- Populärwissenschaftliche Vorträge (z.B. URANIA) Satellitenmissionen, Antarktisüberwinterung
- Autor und Fotograf für populärwissenschaftliche Zeitschriften (u.a. MARE, Themen Antarktis, Kaiserpinguine)
- Sprachen: Englisch, Russisch (sehr gut/fliessend), Lettisch, Französisch (Grundlagen)

# 「學者交流訪問計畫」

## 短期訪問進行情形報告

訪問學者	Dr. Jens Wickert		
主辦單位	全球定位科學與應用研究中心 (GPSARC)	邀訪者	黃清勇 教授
時間	2012 年 8 月 22 日 至 2012 年 8 月 25 日		

**主旨：**擔任 2012 掩星暑期營授課講師及演講，GPSARC 與 GFZ 兩單位學術合作及交流。

### 行程及活動經過：

1. 於 101.08.22 抵達台灣準備授課資料與演講資料
2. 於 101.08.23 於中央大學 S1-713 授課，授課題目”**GPS Reflectometry: Short Introduction and Activities at GFZ**”。下午於 S1-702D 演講，題目為 GNSS Reflectometry: Introduction, Recent Results from GFZ and future Prospects。
3. 於 101.08.24 下午 03:00 與中央大學 GPSARC 人員討論未來合作與 GPS 反射應用技術交流。
4. 離開台灣。

### 檢討：

這次的交流，Jens 帶給我們許多 GPS 反射訊號的應用和研究的新觀念與新的應用。提供我們未來發展新的衛星任務許多寶貴的經驗，GFZ 的經驗有許多可借鏡之處。



### 建議：

未來與 GFZ 可多加強合作或學者交流

### 相關活動：



## **Curriculum Vitae: Shu-Peng Ben Ho**

**National Center for Atmospheric Research, Atmospheric Chemistry Division**

**University Corporation for Atmospheric Research, COSMIC Program**

2450 Mitchell Lane, Boulder, CO 80301, USA

Phone: +1-(303) 497-2922, Fax: +1(303) 497-2920,

E-mail: [spho@ucar.edu](mailto:spho@ucar.edu)

### **Education:**

Ph. D. Atmospheric science, May 1998, University of Wisconsin-Madison,

M.S., Atmospheric science, May 1995, University of Wisconsin-Madison

M.S., Meteorology, May 1992, Rutgers-the State University of New Jersey

B.A., Computer Science, May 1987, Feng Chia University, Taichung, Taiwan

### **Professional Experiences:**

2008/03- UCAR/COSMIC, NCAR/ACD, Project scientist II

2005-2008: UCAR/COSMIC

2002-2005: NCAR/ACD, Project scientist I

2001-2002: NCAR/ACD, Associate Scientist III

1998-2001: Analytical Service & Materials, Inc., in affiliation of NASA Langley Research Center,  
Hampton, VA, Research Scientist

1993-1998: Department of Atmospheric and Oceanic, University of Wisconsin-Madison, Research  
Assistant

1990-1992: Department of Meteorology, Rutgers-the State University of New Jersey,  
Research Assistant

### **Professional Activities**

Member of the American Meteorological Society

Member of the American Geophysical Union

Member of the International Society for Optical Engineering

### **Awards and Recognitions:**

Member of international working groups, the World Climate Research Programme (WCRP) Global  
Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX).

Member of international working groups, the World Climate Research Programme (WCRP) Global  
Stratospheric Processes and their Role in Climate (SPARC)

January, 2012: Invited visiting to the GPS Scientific Application Research Center in National  
Central University, Taiwan from 5 to 15 January, 2012.

February, 2012: Selected in "Who is who in American" for 2013 issue.

June, 2011: Selected in "Who is who in American" for 2012 issue.

May, 2011: invited to join the WCRP SPARC group.

March, 2011: invited to attend the World Climate Research Programme (WCRP) Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX) Radiation Panel (GRP) workshop and the ESA Data User Element (DUE) programme's global Vapour project in Frascati, Italy.

November, 2010: invited to be a Contributing Author for the Fifth Assessment Report 2 of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC WGI AR5).

June 2010: Invited visiting to the GPS Scientific Application Research Center in National Central University, Taiwan from June 5 to July 2, 2010.

March 2009: Invited to workshop on the "Assessment of Small Satellite Missions to "Meet the Needs of the Earth Sciences", University of Colorado Laboratory for Atmospheric and Space Physics (LASP).

July 2009: Selected in "Who is who in American" for 2010 issue.

June 2008: Selected in "Who is who in American" for 2009 issue.

April 2007: Special Contribution to UCAR COSMIC Mission Award.

April 2007: Selected by "Who is who in the World" for 2008 issue.

May 2006: Selected in "Who is who in American" for 2007 issue.

#### **Internal:**

December 2006: UCAR Outstanding Accomplishment Award for Scientific and Technical Advancement (for the MOPITT project).

September 2006: Key Contributor to UCAR COSMIC Program Award.

October 2008: COSMIC Special Recognition Award for coordinating COSMIC Student Program.

#### **Externally Funded Collaborations:**

1. Principal Investigator: Validation and Calibration of MSU/AMSU Measurements and Radiosonde Observations Using GPS RO Data for Improving Stratospheric and Tropospheric Temperature Trends, NOAA, NA07OAR4310224, POP: 08/01/07-07/31/10 (300K/ for three years, finished).
2. Principal Investigator: Satellite and Ground-Based Validation of TES Tropospheric CO Products, NASA, NNX07AB52G, POP: 01/15/07-01/14/10 (600K for three years).
3. Co-Principal Investigator: A Climate Virtual Observatory (CVO): Online Data Fusion & Analysis for Climate Variability & Change, POP: 04/01/08-03/31/09 (350K for two years finished).
4. Co-Principal Investigator: UCAR-NOAA Collaborative Planning for an Operational Radio Occultation (RO) Mission, NOAA NESDIS, 2009-2011 (on going).
5. Co-Principal Investigator: Climate Trends and model Evaluation by Radio Occultation Trendeval: Analysis, Detection and Attribution of Atmospheric Climate Trend and Climate Model Evaluation based on Data Records from Radio Occultation, Research Project Proposal to the Austrian Science Fund, 2009-2011, POP: 07/01/10-06/30/12 (on going).
6. Principal Investigator: Construction of Consistent Microwave Sensor Temperature Records and Tropopause Height Climatology Using MSU/AMSU Measurements, GPS RO Data and Radiosonde Observations, NOAA, POP: 07/01/2009-06/30/2012 (600K for three years, on

going).

7. Co-Principal Investigator: Operational processing of COSMIC Radio Occultation Data, 2011-2015 (on going).
8. Consultant: NASA FBAR project, 2010-2013 (on going).
9. Co-Principal Investigator: Applications and Construction of Climate Data Records for Global Climate Change Studies, China-973 project, China, 2010-2014 (on going).
10. Principal Investigator: RO-Calibrated AMSU Brightness Temperature CDR, NOAA (dole source contract, 50K/year, on going).

#### **Professional Service:**

- 2006 – present: NOAA climate contact for COSMIC
- 2006 – present: NASA TES/Aura Science Team, Member
- 2008 – present: NASA sounding science team, Member
- 2006 – present : Multi-center RO trend analysis team, Member
- 2007 – present : NOAA climate data record science team, Member
- 2010 – present : NOAA climate data record science team, lead of GPS RO data
- 2005 – present : Professional Journal Reviews:  
Atmospheric Chemistry and Physics  
Atmospheric Environment  
Environmental Chemistry  
Geophysical Research Letters  
Journal of Geophysical Research-Atmospheres  
IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing
- 2008 – present : Proposal review for NASA
- 2006 – present : Internal review for NCAR ACD and UCAR COSMIC proposals
- Organizer of the Workshop on the Applications of GPS Radio Occultation to Climate, NCAR Foothills Laboratory, Building #1 Atrium Conference Room 3450 Mitchell Lane, Boulder, CO 80301 March 17-18, 2008.
- Supervisor of COSMIC student program, 2008
- Organizer and Co-chair of the COSMIC-NOAA meeting in AMS, 2008.
- Program Committee of COSMIC 2009 International Workshop
- Coordinator and moderator of the UCAR/COSMIC Seminar Series, 2009-
- Chair of NCAR Asian Listening Meeting breakout section, 2008
- Chair of COSMIC scientific applications section in the COSMIC/NCAR/UCAR retreat, 2009.
- Chair and panel member for the Science Opportunities for COSMIC-II, COSMIC/NCAR/UCAR retreat, 2010, Lake Shore Lodge and Conference Center, Estes Park, CO.
- Committee of NCAR Asian circle Meeting, 2009-present.
- Organizer and Co-chair of COSMIC-NOAA climate meeting in AMS, 2008.

- Organizer and Co-chair of COSMIC-NOAA climate meeting in AMS, 2009.
- Organizer and Co-chair of COSMIC-NOAA climate meeting in AMS, 2010.
- Chair of student poster competition of COSMIC international workshop, Boulder, CO, USA, October, 2009.
- Panel member of NCAR Asian circle Meeting, 2010
- Director of the Student Program for 2011 COSMIC student trip and workshop, Taipei, Taiwan.
- Organizer and Co-chair UCAR/COSMIC workshop the RO inversion and climate workshop in Estes Park, CO, USA from 28th March to 3rd April 2012, together with the CGMS International Radio Occultation Working Group (IROWG).
- Lead of the WCRP (World Climate Research Program) GEWEX Radiation Panel (GRP) water vapor profile climate data record assessment.
- Chair for the climate section in the 5<sup>th</sup> FORMOSAT-3/COSMIC Data Users Workshop & ICGPSRO, April, 2011, Taipei, Taiwan.
- Co-Chair of student poster competition of the 5<sup>th</sup> FORMOSAT-3/COSMIC Data Users Workshop & ICGPSRO 2011, April, 2011, Taipei, Taiwan.
- Co-Chair for the COSMIC workshop of the GPS RO Data Processing for Climate Applications, Estes Park, CO, USA from 28th March to 3rd April 2012.
- RO inversion and climate workshop, September, Boulder CO., 2011. □ Member of the WCRP (World Climate Research Program) SPARC global temperature profile climate record assessment.
- Chair of Workshop Organizing Committee for the sixth COSMIC users workshop, 2012.
- Chair for the climate section in the 2<sup>nd</sup> IROWG Workshop 28 March 3, April 2012, CO, U.S.A.
- Moderator of the section of Inventory and requirements on data records and reference data working group for the GEWEX water vapor assessment workshop, September, 25-28, 2012, Germany.

### **Supervisory Experiences:**

2007-2008: supervisor of Dr. Wenying He, COSMIC/UCAR visiting scientist from Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

2008-present: supervisor of Xinjia Zhou, COSMIC/UCAR visiting scientist from Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

2008-present: supervisor of Dr. Patrick F. Callaghan, COSMIC/UCAR post-graduate scientist.

2009-2010: supervisor of Professor Jie Xiang, ACD/NCAR, COSMIC/UCAR visiting scientist from Department of Atmospheric science, Nanjing University, Nanjing, China.

2009-2010: supervisor of Dr. Junmei Zhang, COSMIC/UCAR visiting scientist from Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

2009-2011: supervisor of Teresa VanHove, COSMIC/UCAR associate scientist.

2010-present: co-supervisor of Jerry Raj, Ph. D. student from the National Central University, Taiwan.

2010-present: supervisor of Wen-Hsin Teng, student visitor from the National Central University, Taiwan.

2011-present: supervisor of Dr. Liang Peng, COSMIC/UCAR visiting scientist from Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

2010-present: co-supervisor of Dr. Barbara Scherllin-Pirscher, a NCAR ASP postdoctoral scientist, who is originally from University of Graz, Austria.

2010-present: co-supervisor of Dr. Zhen Zang, NCAR COSMIC project scientist.

2011-present: co-supervisor of Mr. Riccardo Biondi, Ph. D. visitor from DMI.

2012-present: co-supervisor of Ms. Xu Xu, Associate Professor visitor from China

### **Hosting Scientific Visitor:**

2010, July: Dr. Andrea Stenier, research scientist from WegC, Graz

2012, July: Dr. Uli Foelsche, Associate Professor from WegC, Graz

### **Publications:**

#### **Thesis**

1. **Shu-peng Ho**, An Expert System for Validation and Screening of Air Quality data. Master Thesis. Rutgers-the State University of New Jersey. 1992.
2. **Shu-peng Ho**. Atmospheric Profiles from Simultaneous Observations of Upwelling and Downwelling Spectral Radiance. Ph. D. Thesis, University of Wisconsin - Madison, March 1998.

#### **Referred Journal Articles:**

1. **Ho, S.-P.**, Construction of a Consistent Microwave Sensor Temperature Record in the Lower Stratosphere Using Global Positioning System Radio Occultation Data and Microwave Sounding Measurements, *J. Geophys. Research*, 2012 (submitted).
2. **Ho, S. P.**, The Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop: Current Developments on the Applications of COSMIC from the Troposphere to Ionosphere and the Potential Impacts of COSMIC-2 Data, BAMS, 2012 (ready to submit).
3. Mears C., J. Wang, **S.-P. Ho**, L. Zhang, and X. Zhou, Total Column Water Vapor, [In "States of the Climate in 2010]. *Bul. Amer. Meteor. Sci.*, 2013, (ready to submit).
4. Wen-Hsin Teng, Ching-Yung Huang, **S.-P. Ho**, Ying-Hwa Kuo, and Xin-Jia Zhou, Characteristics of Global Precipitable Water in ENSO Events Revealed by COSMIC Measurements, *J. Geophys. Research*, 2012 (accepted).
5. Biondi, R., **S.-P. Ho**, W. Randel, T. Neubert and S. Syndergaard, 2012: Tropical cyclone cloud top detection using GPS bending angle, *J. Geophys. Research* (submitted).
6. Scherllin-Pirscher B., C. Deser, **S.-P. Ho**, C. Chou, W. Randel, and Y.-W. Kuo, (2012), The vertical and spatial structure of ENSO in the upper troposphere and lower stratosphere from

GPS radio occultation measurements, *GRL*, VOL. 39, L20801, 6 PP., 2012,  
doi:10.1029/2012GL053071.

7. **Ho, S.-P.**, Doug Hunt, Andrea K. Steiner, Anthony J. Mannucci, Gottfried Kirchengast, Hans Gleisner, Stefan Heise, Axel von Engel, Christian Marquardt, Sergey Sokolovskiy, William Schreiner, Barbara Scherllin-Pirscher, Chi Ao, Jens Wickert, Stig Syndergaard, Kent B. Lauritsen, Stephen Leroy, Emil R. Kursinski, Ying-Hwa Kuo, Ulrich Foelsche, Torsten Schmidt, and Michael Gorbunov (2012): Reproducibility of GPS Radio Occultation Data for Climate Monitoring: Profile-to-Profile Inter-comparison of CHAMP Climate Records 2002 to 2008 from Six Data Centers, *J. Geophys. Research*. VOL. 117, D18111, doi:10.1029/2012JD017665, 2012.
8. Steiner, A. K., D. Hunt, **S.-P. Ho**, G. Kirchengast, A. J. Mannucci, B. Scherllin-Pirscher, H. Gleisner, A. von Engel, T. Schmidt, C. Ao, S. S. Leroy, E. R. Kursinski, U. Foelsche, M. Gorbunov, Y.-H. Kuo, K. B. Lauritsen, C. Marquardt, C. Rocken, W. Schreiner, S. Sokolovskiy, S. Syndergaard, and J. Wickert, Quantification of Structural Uncertainty in Climate Data Records from GPS Radio Occultation, *ACP (accepted)*.
9. Mears, C., J. Wang, **S.-P. Ho**, L. Zhang, and X. Zhou, 2012: [Global Climate] Hydrological cycle, Total column water vapor [in "State of the Climate in 2011"]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93(7), S25–S26, doi:10.1175.
10. Zeng, Zhen, **S.-P. Ho**, S. Sokolovskiy (2012), The Structure and Evolution of Madden-Julian Oscillation from FORMOSAT-3/COSMIC Radio Occultation Data, *J. Geophys. Research* (accepted).
11. Biondi, R., W. Randel, **S.-P. Ho**, T. Neubert, and S. Syndergaard, 2011: Thermal structure of intense convective clouds derived from GPS radio occultations, in press *ACP*, 2011.
12. Mears, C., J. Wang, **S.-P. Ho**, L. Zhang, and X. Zhou, 2011: [Global Climate] Hydrologic cycle, Total column water vapor [in "State of the Climate in 2010"]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 92(6), S41–S42, doi:10.1175/1520-0477-92.6.S1.
13. **Ho, S.-P.**, IPCC AR5 report (invited).
14. Illingworth, S. M., Remedios, J. J., Boesch, H., **Ho, S.-P.**, Edwards, D. P., Palmer, P. I., and Gonzi, S.: A comparison of OEM CO retrievals from the IASI and MOPITT instruments, *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 775-793, doi:10.5194/amt-4-775- 2011, 2011.
15. **Ho, S.-P.**, Y.-H. Kuo, X.-J. Zhou, P. Callaghan (2011), The Use of the COSMIC/FORMOSAT-3 Global Positioning System Radio Occultation Data as Global Reference Observations in Orbit and Their Applications in Meteorology, *Horizons in Earth Science Research*, Vol. 5, B. Veress and J. Szigehy, Eds. NOVA Publishers, in press (invited).
16. **Ho, S.-P.**, Zhou X., Kuo Y.-H., Hunt D., Wang J.-H., (2010b), Global Evaluation of Radiosonde Water Vapor Systematic Biases using GPS Radio Occultation from COSMIC and ECMWF Analysis. *Remote Sensing*. 2010; 2(5):1320-1330.
17. **Ho, S.-P.**, Ying-Hwa Kuo, William Schreiner, Xinjia Zhou (2010a), Using S/traceable Global Positioning System Radio Occultation Measurements for Climate Monitoring [In "States of the Climate in 2009"]. *Bul. Amer. Meteor. Sci.*, 91 (7), S36-S37. (invited).

18. Mears C., J. Wang, **S.-P. Ho**, L. Zhang, and X. Zhou (2010), Total Column Water Vapor, [In "States of the Climate in 2009]. *Bul. Amer. Meteor. Sci.*, **91** (7), S29-S31 (invited).
19. **Ho, S.-P.**, M. Goldberg, Y.-H. Kuo, C.-Z Zou, W. Schreiner (2009c), Calibration of Temperature in the Lower Stratosphere from Microwave Measurements using COSMIC Radio Occultation Data: Preliminary Results, *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, Vol. 20, doi: 10.3319/TAO.2007.12.06.01(F3C), 2009.
20. **Ho, S.-P.**, W. He, and Y.-H. Kuo (2009b), Construction of consistent temperature records in the lower stratosphere using Global Positioning System radio occultation data and microwave sounding measurements, in *New Horizons in Occultation Research*, edited by A. K. Steiner et al., pp. 207–217, Springer, Berlin, doi:10.1007/978-3-642-00321-9\_17.
21. **Ho, S.-P.**, G. Kirchengast, S. Leroy, J. Wickert, A. J. Mannucci, A. K. Steiner, D. Hunt, W. Schreiner, S. Sokolovskiy, C. O. Ao, M. Borsche, A. von Engel, U. Foelsche, S. Heise, B. Iijima, Y.-H. Kuo, R. Kursinski, B. Pirscher, M. Ringer, C. Rocken, and T. Schmidt (2009a), Estimating the Uncertainty of using GPS Radio Occultation Data for Climate Monitoring: Inter-comparison of CHAMP Refractivity Climate Records 2002-2006 from Different Data Centers, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2009JD011969.
22. **Ho, S.-P.**, D. P. Edwards, J. C. Gille, M. Luo, G. B. Osterman, S. S. Kulawik, and H. Worden, 2009: A global comparison of carbon monoxide profiles and column amounts from Tropospheric Emission Spectrometer (TES) and Measurements of Pollution in the Troposphere (MOPITT), *J. Geophys. Res.*, 114, D21307, doi:10.1029/2009JD012242.
23. He, W., **S.-P. Ho**, H. Chen, X. Zhou, D. Hunt, and Y. Kuo, 2009: Assessment of radiosonde temperature measurements in the upper troposphere and lower stratosphere using COSMIC radio occultation data, *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L17807, doi:10.1029/2009GL038712.
24. Deeter M. N., D. P. Edwards, J. C. Gille, L. K. Emmons, G. Francis, **S.-P. Ho**, D. Mao, D. Masters, H. Worden, V. Yudin, and James R. Drummond, 2009: The MOPITT version 4 CO product: Algorithm enhancements, validation, and long-term stability, *J. Geophys. Res.*, 115, D07306, doi:10.1029/2009JD013005.
25. Anthes, R. A., P. Bernhardt, Y. Chen, L. Cucurull, K. Dymond, D. Ector, S. Healy, **S.-P. Ho**, D. Hunt, Y.-H. Kuo, H. Liu, K. Manning, C. McCormick, T. Meehan, W. Randel, C. R. Rocken, W. Schreiner, S. Sokolovskiy, S. Syndergaard, D. Thompson, K. Trenberth, T.-K. Wee, Z. Zeng, The COSMIC/FORMOSAT-3 Mission: Early Results, *Bul. Amer. Meteor. Sci.* **89**, No.3, 313-333, DOI: 10.1175/BAMS-89-3-313, 2008.
26. **Ho, S.-P.**, Y. H. Kuo, and S. Sokolovskiy, Improvement of the Temperature and Moisture Retrievals in the Lower Troposphere using AIRS and GPS Radio Occultation Measurements, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technique*, doi: 10.1175/JTECH2071.1, 1726-1739, 2007.
27. **Ho, S.-P.**, Y. H. Kuo, Zhen Zeng, and Thomas Peterson, A Comparison of Lower Stratosphere Temperature from Microwave Measurements with CHAMP GPS RO Data, *Geophys. Research Letters*, 34, L15701, doi:10.1029/2007GL030202, 2007.
28. **Ho, S.-P.**, D. P. Edwards, J. C. Gille, J. Chen, D. Ziskin, M. N. Deeter, and G. L. Francis,

- Estimates of the Global 4.7  $\mu\text{m}$  Surface Emissivity from MOPITT Measurements and their Impacts on the Retrieval of Tropospheric Carbon Monoxide Profiles, *J. Geophys. Research*, Vol. 110, No. D21, D21308.10.1029/2005JD005946, 2005.
29. Lamarque, J.-F., Khattatov, B. , Yudin, V. , Edwards, D. P. , Gille, J. C. , Emmons, L. K. , Deeter, M. N. , Warner, J. , Ziskin, D. C. , Francis, G. L. , **Ho, S.-P.** , Mao, D., Chen, J. , Drummond, J. R, Application of a bias estimator for the improved assimilation of Measurements of Pollution in the Troposphere (MOPITT) carbon monoxide retrievals, *J. Geophys. Res.*, Vol. 109, No. D16, D16304 10.1029/2003JD004466, 2004.
  30. Edwards P. D., et al., Observations of carbon monoxide and aerosols from the Terra satellite: Northern Hemisphere variability, *J. Geophys. Res.*, VOL. 109, D24202, doi:10.1029/2004JD004727, 2004.
  31. Ziskin, D., **S.-P. Ho**, Jason Zou, Debbie Mao, Empirical Corrections to Instrument Artifacts in the MOPITT Data Stream, NCAR/TN-466+STR, 2004.
  32. Deeter M. N., L. K. Emmons, G. L. Francis, D. P. Edwards, J. C. Gille, J. X. Warner, D. Ziskin, **S.-P. Ho**, V. Yudin, J.-L. Attie, D. Packman, J. Chen, and D. Mao, Observational Carbon Monoxide Retrieval Algorithm and Selected Results for the MOPITT Instrument. *J. Geophys. Res.*, 108(D14), 4399, doi:10.1029/2002JD003186, 2003.
  33. Emmons L. K., M. Deeter, J.-L. Attie, D. P. Edwards, J. C. Gille , **S.-P. Ho**, B. Khattatov, J. –F. Lamarque, J. Warner, V. Yudin, D. Ziskin, J. S. Chen, D. Mao, J. Drummond, P. Novelli, G. Sachse, M. Coffey, S. Kawakami, Y. Kondo, N. Takegawa, Validation of MOPITT CO retrievals with aircraft in situ profiles, *J. Geophys. Research*, 109(D3), D03309, 10.1029/2003JD004101, 2003.
  34. **Ho, S.-P.**, B. Lin, P. Minnis, and T.-F. Fan, Estimates of cloud vertical structure and water amount over tropical oceans using VIRS and TMI data, *J. Geophys. Res.*, 108(D14), 4419, doi:10.1029/2002JD003298, 2003.
  35. Deeter, M. N., L. K. Emmons, G. L. Francis, D. P. Edwards, J. C. Gille, J. X. Warner, D. Ziskin, **S.-P. Ho**, V. Yudin, J.-L. Attie, D. Packman, J. Chen, and D. Mao, J. R. Drummond, P. Novelli, Evaluation of operational radiances for the Measurements of Pollution in the Troposphere (MOPITT) instrument CO thermalband channels, *J. Geophys. Res.*, 109(D3), D03308, 10.1029/2003JD003970.
  36. Lamarque J.-F., D. P. Edwards, L. K. Emmons, and J. C. Gille, O. Wilhelmi, C. Gerbig, D. Prevedel, M. N. Deeter, J. Warner, D. C. Ziskin, B. Khattatov, G. L. Francis, V. Yudin, **S.-P. Ho**, D. Mao, and J. Chen, Identification of CO plumes from MOPITT data: Application to the August 2000 Idaho-Montana forest fires, *Geophysical Research Letters*, 30(13), 1688, doi:10.1029/2003GL017503, 2003.
  37. **Ho, S.-P.**, Smith, W. L., and Huang, H. L. The Retrieval of Atmospheric Temperature and Water Vapor Profile using Combined Satellite and Ground Based Infrared Spectral Radiance Measurements. *Applied Optics*, 41, 4057-4069, 2002.

## Papers in preparation

38. **Ho, S.-P.**, Y.-H., Kuo, Construction of a Consistent Microwave Sensor Temperature Record in the middle Troposphere (Channel 7) using Global Positioning System Radio Occultation Data, Radiosonde, and Microwave Sounding Measurements, ch7., *J. Geophys. Research*.
39. **Ho, S.-P.**, Y.-H., Kuo, W. C. Schreiner, D. Hunt, C. R. Rocken, 2009: Estimates of the Long-term Stability of GPS RO Derived Variables: inter-comparison of COSMIC and CHAMP results, *J. Geophys. Research*, to be submitted.
40. **Ho et al.**, Sampling error estimation from the GPS RO missions, MMC, ACP.
41. Qiang Fu and **S.-P. Ho**, Using GPS RO data for the CMIP5 assessments.
42. **Ho, S.-P.**, Enhancement of the AIRS Troposphere and Stratosphere Temperature Climate Data Records using Global Positioning System Radio Occultation Data (7 years), ACP (or JGR) paper.
43. **Ho, S.-P.**, the ionosphere effect on the natural atmospheric temperature profiles, JGR.
44. **Ho, S.-P.**, Y.-H., Kuo, An Assessment of the Seasonal and Diurnal Variation of the Radiosonde Systematic Temperature Biases in the Lower Stratosphere using GPS RO Data.
45. **Ho, S.-P.**, Inter-comparing the RSS, UAH, and STAR TLS, PANS.
46. Kumar, V., S. K. Dhaka, R. K. Choudhary, **S.-P. Ho**, and K. K. Reddy, Climatology of coldest temperature in troposphere and stratosphere: A study using COSMIC/ FORMOSAT-3 satellite observations, JGR.

#### **Other Referred Articles:**

1. William L. Smith, H. L. Huang, M. S. Whipple and S.-P. Ho, UW-CIMSS Physical Retrieval System Science Document for AIRS/AMSU/MHS, AIRS science team document, Jet propulsion Laboratory, NASA, Pasadena, Calif., 1996.
2. Ho, S.-P., Smith, William L.; Huang, Hung-Lung Retrieval of atmospheric temperature and water-vapor profiles by use of combined satellite and groundbased infrared spectral-radiance measurements, NASA Center: Langley Research Center, 2002, NTRS: 2005-09-29, Document ID: 20020069237.
3. Ho, S.-P., B. Lin, P. Minnis, T. F. Fan, Estimation of Cloud Properties over Oceans Using VIRS and TMI Measurements on the TRMM Satellite, NASA Technical Report 2000.
4. Lin, B. P. Minnis, B. Wielicki, Y. X. Hu, S.-P. Ho, Overcast clouds determined by TRMM measurements, NASA Technical Report, NASA Center: Langley Research Center, NTRS: 2004-11-03, Document ID: 20000090515, 2000.

#### **Other Publications and Proceedings**

1. **Ho, S.-P.**, J. C. Gille, D. P. Edwards, M. N. Deeter, J. Warner, G. L. Francis, D. Ziskin, Retrieval of surface skin temperature from MOPITT measurements: validation and impacts to the retrievals of tropospheric carbon monoxide profiles Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS apos;02. 2002 IEEE International Volume 6, Issue, 2002 Page(s): 3177 - 3179 vol.6,  
10.1109/IGARSS.2002.1027122.

2. **Ho, S.-P.**, David P. Edwards, John C. Gille, Jarnei Chen, and Daniel Ziskin National Ctr. for Atmospheric Research (USA) Improvement of the global surface emissivity from MOPITT measurements and its impacts on the retrievals of tropospheric carbon monoxide profiles, Proc. SPIE, Vol. 5652, 124 (2004); DOI:10.1117/12.579046.
3. Lin B., Patrick Minnis, **Shu-peng Ho**, Jianping Huang, and Alice Fan, Ice Water Path and Overlapping Frequency of Tropical Overcast Clouds, IUGG 2003 Japan. (proceeding)
4. John C. Gille, David P. Edwards, Juying Warner, Merritt N. Deeter, Gene L. Francis, **Shu-peng Ho** and Daniel Ziskin, SPIE's third International Asia-Pacific Symposium on Remote Sensing of the Atmosphere, Environment, and Space, 23-27 October 2002, Hangzhou, China. (proceeding)
5. Louisa Emmons, John C. Gille, David P. Edwards, Merritt N. Deeter, Juying Warner, Gene L. Francis, **Shu-peng Ho**, Validation of MOPITT Retrieval of Carbon Monoxide, IGARSS 02 annual meeting, Toronto, Canada, 24-28 June 2002.
6. Merritt N. Deeter, John C. Gille, David P. Edwards, Jean-Luc Attie, Juying Warner, Gene L. Francis, **Shu-peng Ho** and Daniel Ziskin, Quantitative Radiance Validation for the MOPITT Instrument, IGARSS 02 annual meeting, Toronto, Canada, 24-28 June 2002
7. Bing Lin, Patrick Minnis, Bruce Wielicki, Yongxiang Hu, and **Shu-peng Ho**. Overcast clouds determined by TRMM measurements. IRS, 24-29 July, 2000 Saint Petersburg, Russia. (proceeding)
8. Young, David F., Minnis, Patrick, Lin, Bing, Ayers, J. Kirk, **Shu-Peng Ho**, Albrecht, Bruce A. - Rifkin, Hollis - Fairall, Chris W. - Garreaud, René. Cloud and Radiation Properties Derived from Satellite Data During the Fall 1999 CIMAR-5 and EPIC Cruises. CLIVAR Pan-American PI Meeting. (proceeding)
9. W. F. Feltz, W. L. Smith, **S.-P. Ho**, T. J. Schmit, X. L. Ma, H. B. Howell : Combined Surface and Satellite Infrared Measurements of Atmospheric Temperature and Water Vapor Profiles. Proceedings of the 10th Symposium on Meteorological Observations and Instrument, Phoenix, AZ, January 11-16, 1998. (proceeding)
10. William L. Smith, S. A. Ackerman, D. H. DeSlover, W. F. Feltz, **S.-P. Ho**, R. O. Knuteson, H. E. Revercomb, and S. A. Clough. ARM Science Applications of AERI Measurements, Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Science Team Meeting, San Antonio, TX March 3-7, 1997. (proceeding)
11. Valery A. Yudin, John C. Gille, David P. Edwards, Merritt N. Deeter, Shu-peng Ho, and Louisa K. Emmons, Data assimilation of carbon monoxide in the troposphere, Proc. SPIE, Vol. 6299, 62990K (2006); doi:10.1117/12.680968, Remote Sensing of Aerosol and Chemical Gases, Model Simulation/Assimilation, and Applications to Air Quality, SPIE, Sunday 13 August 2006, San Diego, CA, USA.
12. Ho S.-P., Xinjia Zhou, Ying-Hwa Kuo, Doug Hunt, Cheng-Zhi Zou, Construction of a Consistent Microwave Sensor Temperature Record in the Lower Stratosphere Using Global Positioning System Radio Occultation Data and Microwave Sounding Measurements, joint 2010 CWB Weather Analysis and Forecasting and COAA 5<sup>th</sup> International Ocean-Atmosphere

Conference, June 28-30, 2010, Center Weather Bureau, Taipei.

### **Invited Talk**

1. **Ho, S.-P.**, GPS RO-MSU calibration and data record, 2008: NOAA-NIST Workshop on Calibration for Climate-Quality Time Series, Camp Springs, MD, Jan 14, 2008.
2. **Ho, S.-P.**, Validation and Calibration of Microwave Sounders' Lower Stratosphere Temperature Trend using GPS RO Data, COSMIC/FORMAST-3, 4, Dec. Taipei, Taiwan, 2006.
3. **Ho, S.-P.**, Climatological Validation of Microwave Lower Stratosphere Temperature using GPS RO Data, invited seminar given in National Central University, May 8, 2006, Taiwan.
4. **Ho, S.-P.**, Validation and Calibration of MSU/AMSU Measurements using GPS RO Data for Improving Stratospheric Temperature Trend Analysis, invited seminar given in National Technical institute, May 10, Taiwan, 2006.
5. **Ho, S.-P.**, Comparability and reproducibility of RO data, Workshop on the Applications of GPS Radio Occultation to Climate, NCAR Foothills Laboratory, Building #1 Atrium Conference Room 3450 Mitchell Lane, Boulder, CO 80301 March 17-18, 2008.
6. **Ho, S.-P.**, Validation of Microwave Sounders' Lower Stratosphere Temperature Trend using GPS RO Data, NOAA-COSMIC climate meeting, 14th Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation, San Antonio, TX 14-18 January 2007.
7. **Ho, S.-P.**, Construction of Consistent Temperature Records using Global Positioning System Radio Occultation Data and Microwave Sounding Measurements, NOAACOSMIC climate meeting in AMS, New Orleans, LA., 20-24 January 2008.
8. **Ho, S.-P.**, Applications of COSMIC RO to Climate Studies, NRC-CES meeting, Boulder, CO, Sep.22-23, 2008.
9. **Ho, S.-P.** "Enhancement of the AIRS Troposphere and Stratosphere Temperature Climate Data Records using Global Positioning System Radio Occultation Data", tele-conference presentation to JPL, Feb. 17 2010
10. **Ho, S.-P.**, Construction of a Consistent Microwave Sensor Temperature Record in the Lower Stratosphere Using Global Positioning System Radio Occultation Data and Microwave Sounding Measurements, 2010 Workshop on Climate Data Records from Satellite Microwave Radiometry, March 22-24, 2010 at the NOAA Science 12 Center, in Silver Spring, MD.
11. **Ho, S.-P.**, Using SI-traceable Global Positioning System Radio Occultation Measurements for Climate Monitoring, 2010 CMOS-CGU Congress, Ottawa, Canada.
12. **Ho S.-P.**, Xinjia Zhou, Ying-Hwa Kuo, Construction of a Consistent Microwave Sensor Temperature Record in the Lower Stratosphere Using Global Positioning System Radio Occultation Data and Microwave Sounding Measurements, June 17, 2010, Center Weather Bureau, Taipei (invited).

### **National and international Conference Presentations**

1. **Ho, S.-P.**, Y. H. Kuo and S. Sokolovskiy, Improvement of the Temperature and Moisture Retrievals in the Troposphere using AIRS and GPS Radio Occultation Measurements, Satellite

Remote Sensing Symposium for celebration of CIMSS 25<sup>th</sup> Anniversary, Madison Wisconsin, 11-13 July, 2005.

2. **Ho, S.-P.**, Y. H. Kuo and S. Sokolovskiy, Improvement of the temperature and moisture retrievals in the tropospheric using AIRS, AMSU and GPS RO measurements, Second GPSRO Users' Workshop 22-24 August 2005 – National Conference Center - Lansdowne, Virginia.
3. Merritt Deeter, John Gille, David Edwards, **Shu-peng Ho**, Valery Yudin, Louisa Emmons and Dan Ziskin, Planned Improvements to the MOPITT CO Product, AGU Fall Meeting, 5-9 December 2005, San Francisco, CA, USA.
4. **Ho, S.-P.**, John C. Gille, David P. Edwards, and Daniel Ziskin, Improvement of Global MOPITT 4.7  $\mu\text{m}$  Surface Emissivity by using MODIS Measurements and its Impacts on the Retrieval of Tropospheric Carbon Monoxide Profiles, MODIS science team meeting, 13-15, July, Baltimore, DC, 2004.
5. Emmons, L. K, M. Deeter, D. Edwards, D., J. Gille, D. Ziskin, G. Francis, V. Yudin, **S.-P. Ho**, P. Novelli, J. R. Drummond, AGU Spring Meeting Montreal, Canada, 17-21, May, 2004.
6. **Ho, S.-P.**, John C. Gille, David P. Edwards, Juying Warner, Merritt N. Deeter, Gene L. Francis and Daniel Ziskin, Calibrating MOPITT Radiances Using Sea Surface Temperature and Determining Land Surface Temperature and Emissivities Satellite Calibration workshop, D. C. Washington, 20-21, November, 2003.
8. **Ho, S.-P.**, John C. Gille, David P. Edwards, Juying Warner, Merritt N. Deeter, Gene L. Francis and Daniel Ziskin, Improvement of the Retrieval of Surface Parameters from MOPITT Measurements and their Impact to the Retrievals of Tropospheric Carbon Monoxide Profiles, AGU Fall Meeting, San Francisco, 8-12 December, 2003.
9. Louisa Emmons, John C. Gille, David P. Edwards, Merritt N. Deeter, Juying Warner, Gene L. Francis, **Shu-peng Ho**, The Distribution of Tropospheric Carbon Monoxide Observed by MOPITT, IGAC Conference, Sep 18-25, 2002.
10. Gille, J. C., J. Drummond, D. Edwards, J.-L. Attie, D. Merritt, L. Emmons, G. Francis, B. Khattatov, J.-F. Lamarque, G. Mand, J. Warner, **S. P. Ho**. The MOPITT experiment on Terra: early results and prospects. SPIE 46<sup>th</sup> annual meeting, San Diego, California, USA, 29 July - 3 August 2001.
11. Warner J., J. C. Gille, J. R. Drummond, D. P. Edwards, M. N. Deeter, G. L. Francis, D. C. Ziskin, M. W. Smith, D. Grant, L. R. Mayer, C. Cavanaugh, J. S. Chen and **S.-P. Ho**. MOPITT cloud detection and its validation. SPIE 46<sup>th</sup> annual meeting, San Diego, California, USA, 29 July - 3 August 2001.
12. Ho, S.-P., John C. Gille, David P. Edwards, Jean-Luc Attie, Merritt N. Deeter, Juying Warner, Gene L. Francis and Daniel Ziskin, The Role of the *A Priori* Information in the Retrieval of CO Profiles from Terra-MOPITT Measurements, 11th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, Madison, Wisconsin, 15-18 October 2001.
13. **Ho, S.-P.**, Lin, Bing, Minnis, Patrick. Estimation of Cloud Properties over Oceans Using VIRS and TMI Measurements on the TRMM Satellite. Fifth Symposium on Integrated Observing

Systems, 81<sup>st</sup> AMS Annual Meeting, Albuquerque, New Mexico, 14-19 Jan 2001.

14. **Ho, S.-P.**, Lin, Bing, Minnis, Patrick. Estimation of the Seasonal Variation of the Liquid Water Path and the Frequency of Cloud Overlapping by using TMI and VIRS data over Ocean - more Validation and Results. CERES 2000 Fall meeting, Huntsville, AL 20-22 Sep, 2000
15. **Ho, S.-P.**, Lin, Bing, Minnis, Patrick. Estimation of the Seasonal Variation of the Liquid Water Path and the Frequency of Cloud Overlapping by using TMI and VIRS data over Ocean. CERES 2000 spring meeting, Hampton VA. 2-4 May, 2000
16. **Ho, S.-P.**, Estimation of Tropical Nonprecipitating Cloud Overlapping by using Microwave, Visible and Infrared Measurements in Oceanic Environment. American Geophysical Union 2000 Spring Meeting, Washington, DC. 30 May - 3 June 2000.
17. **Ho, S.-P.**, Seasonal Variation of the Cloud Overlapping by using Microwave, Visible and Infrared Measurements over Ocean. Gordon Research Conference on Solar Radiation and Climate, Connecticut College, New London, Connecticut. 24 – 29 June. 2000.
18. **Ho, S.-P.**, Smith, W. L., and Huang, H. L. A Study of Vertical Resolution of Simultaneous observations of upwelling and downwelling spectral radiance. Optical Remote Sensing and Fourier Transform Spectroscopy, Santa Barbara CA. 21-25 June, 1999.
19. **Ho, S.-P.**, Smith, W. L., and Huang, H. L. Combined Satellite- and Surface-Based Infrared Atmospheric Profile Retrieval. Optical Remote Sensing and Fourier Transform Spectroscopy, Santa Barbara CA. 21-25 June, 1999.
20. **Ho, S.-P.**, Smith, W. L., and Huang, H. L. Atmospheric profiles from simultaneous observations of upwelling and downwelling spectral radiance. Symposium on Integrated Observing Systems, 3rd, Dallas, TX, 10-15 January 1999.
21. **Ho, S.-P.**, Smith, W. L., and Huang, H. L. The determination of smoothing parameter for sounding retrieval for GOES radiance measurements. Symposium on Integrated Observing Systems, 3rd, Dallas, TX, 10-15 January 1999.
22. Doelling, D. R., **S.-P. Ho**, W. L. Smith Jr., P. Minnis, Initial Cloud Properties Derived from GMS over the Tropical Western Pacific 9th Annual Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Science Team Meeting, San Antonio, TX, 22-26 March, 1999.
23. Louis Nguyen, Patrick Minnis, J. Kirk Ayers, William L. Smith, Jr., and **Shu-peng Ho**. Intercalibration of Geostationary and Polar Satellite Imager Data Using AVHRR, VIRS, and ATSR-2 Data, AMS Conference on Atmospheric Radiation, 10 th, Madison, WI, 28 June - 2 July, 1999.
24. W. F. Feltz, W. L. Smith, R. O. Knuteson, H. E. Revercomb, H. Woolf, H. B. Howell, and **S.-P. Ho**. AERI Temperature and Water Vapor Retrievals: SGP CART Seasonal Statistical Analysis, Monthly Climatic Means for Model Integration, and Future GOES/AERI Retrievals, ARM report San Antonio, TX March 3-7, 1997.
25. **Ho, S.-P.**, Smith, W. L., and Huang, H. L. Sounding Retrieval from Upwelling and Downwelling Infrared Interferometer Radiance Measurements. Optical Remote Sensing of the Atmosphere, Santa Fe, New Mexico, 10-14 February, 1997.(proceeding)
26. **Ho, S.-P.**, Combined Surface and Satellite Infrared Measurements of Atmospheric

Temperature and Water Vapor Profiles. NCAR MOPITT Team, Boulder, Colorado, 26, October 2000.

27. **Ho, S.-P.**, Estimation of the Seasonal Variation of the Liquid Water Path and the Frequency of Cloud Overlapping by using TMI and VIRS data over Ocean – more Validation and Results. NCAR MOPITT Team, Boulder, Colorado, 26, October 2000.
28. **Ho, S.-P.**, Atmospheric profiles from simultaneous observations of upwelling and downwelling spectral radiance. NASA Goddard Institute for Space Studies, Columbia University, New York City, NY. 12. July 1999.
29. **Ho, S.-P.**, Sounding Retrieval from Upwelling and Downwelling Infrared Interferometer Radiance Measurements. NCAR MOPITT Team, Boulder, Colorado, 5 December 1997.
30. **Ho, S.-P.**, Atmospheric profiles from simultaneous observations of upwelling and downwelling spectral radiance. NASA Langley Research Center, Hampton, VA. 28 Sep 1997.
31. **Ho, S.-P.** William Smith, Allen Huang, Wayne Feltz, John Gille, David Edwards and MOPITT team, The Retrieval of Atmospheric Temperature and Water Vapor Profile using Combined Satellite and Ground Based Infrared Spectral Radiance Measurements, NCAR COSMIC seminar, Boulder CO, 22, July, 2003.
32. **Ho, S.-P.** and D. Ziskin, MOPITT Packet Position Problem and the Possible Correction Algorithm, MOPITT science team meeting, Boulder CO, 3, Feb 2001.
33. Ziskin, D., **S.-P. Ho** and D. Mao, Recovery of the First Two Stares for MOPITT Radiances MOPITT science team meeting, Toronto, Canada. 25, June 2002.
34. Valery A. Yudin, John C. Gille, David P. Edwards, Merritt N. Deeter, **Shu-peng Ho**, and Louisa K. Emmons, Data assimilation of carbon monoxide in the troposphere, Proceedings of SPIE 6299, 62990K, 2006.
35. **Ho, S.-P.**, Ying-Hwa Kuo and Zhen Zeng, Validation of Microwave Lower Stratosphere Temperature using CHAMP GPS RO Data, Formosat-3/COSMIC data user Workshop, Oct 17, Boulder. CO, 2006.
36. **Ho, S.-P.**, D. P. Edwards, Improvements of the Retrievals of Carbon Monoxide in the Planetary Boundary Layer using Combined Infrared and Solar Measurements : A Simulation Study, NCAR AIR Quality work shop, Boulder, CO., 2006.
37. **Ho, S.-P.**, D. P. Edwards, A Simulation Study to investigate the possible Retrievals of Carbon Monoxide in the Planetary Boundary Layer using Combined Infrared and Near Infrared Measurements, 3 - 17 August 2006, San Diego, California USA.
38. **Shu-peng Ho**, Y.-H. Kuo and Z. Zhen, Validation of Lower Stratosphere Temperature from AMSU/MSU Measurements using GPS RO data, COSMIC meeting in AMS, San Antonio, TX 14—18 January 2007.
39. **Shu-peng Ho**, Y.-H. Kuo and Z. Zhen, Validation of Microwave Sounders' Lower Stratosphere Temperature Trend using GPS RO Data, 14th Symposium on Meteorological Observation and Instrumentation, San Antonio, TX 14—18 January 2007.
40. **Shu-peng Ho**, D. Edwards, J. C. Gille, Validation of TES CO profiles using MOPITT CO Products, ACD NCAR report, Jan. 9, 2007.

41. **Shu-peng Ho.**, D. Edwards, Validation of TES CO profiles using MOPTT CO Products, AURA validation meeting, Boulder CO., Oct. 2006.
42. **Ho, S.-P.**, Applications of COSMIC Radio Occultation Data to Climate Monitoring: Early Results, NOAA, Camp Springs, MD, July 13, 2007.
43. **Ho, S.-P.**, Applications of COSMIC Radio Occultation Data to Climate Monitoring: Early Results, the 3<sup>rd</sup> international workshop on Occultation for Probing Atmosphere and climate, Graz, Austria, Sep. 17-21, 2007.
44. **Ho, S.-P.**, Inter-comparisons of Refractivity and Dry Temperature Derived from different Data Center, COSMIC-workshop, Boulder, CO., Oct. 22-24, 2007.
45. **Ho, S.-P.**, Applications of COSMIC Radio Occultation Data to Climate Monitoring: Early Results, AMS, New Orleans, LA., 20-24 January 2008.
46. **Ho, S.-P.**, Construction of Consistent Temperature Records using Global Positioning System Radio Occultation Data and Microwave Sounding Measurements, COSMIC meeting in AMS, New Orleans, LA., 20-24 January 2008.
47. Rocken C., S. Sokolovskiy, B. Schreiner, D. Hunt, **S. P. Ho**, B. Kuo, U. Foelsche, Climate Monitoring with Radio Occultation Data: systematic error sources, Workshop on the Applications of GPS Radio Occultation to Climate, NCAR Foothills Laboratory, Building #1 Atrium Conference Room 3450 Mitchell Lane, Boulder, CO 80301 March 17-18, 2008.
48. Sokolovskiy S., C.Rocken, W.Schreiner, D.Hunt, **S.-P.Ho**, Y.-H.Kuo, S. Syndergaard, U.Foelsche, Climate Monitoring with Radio Occultation Data: Effects and magnitudes of some specific errors of GPS RO data and assumptions used in their processing, NCAR Foothills Laboratory, Building #1 Atrium Conference Room 3450 Mitchell Lane, Boulder, CO 80301 March 17-18, 2008.
49. Deeter, M., **Shu-peng Ho** et al. MOPITT Version 4 Products for CO: Content, Format, and Validation.
50. **Ho, S.-P.**, Ying-Hwa Kuo, Wenying He, Doug Hunt, Chris Rocken, William Schreiner, and Sergey Sokolovskiy, Global Comparisons of Water Vapor Profiles in the Lower Troposphere from COSMIC Radio Occultation, in situ Observations, and ECMWF Analysis, 4<sup>th</sup> Asian Space Conference, Taipei, Taiwan, 1-3, October, 2008.
51. **Ho, S.-P.**, Ying-Hwa Kuo, Doug Hunt, Chris Rocken, William Schreiner, and Sergey Sokolovskiy, and Jens Wickert, Anthony J. Mannucci, Quantitative Estimation of the Reproducibility of GPS RO Data for Climate Research, 4<sup>th</sup> Asian Space Conference, Taipei, Taiwan, 1-3, October, 2008.
52. Bill Schreiner, B. Kuo, C. Rocken, S. Sokolovskiy, D. Hunt, **S.-P. Ho**, X. Yue, T.-K. Wee, K. Hudnut, M. Slezziak-Sallee, T. VanHove. CDAAC Current Status and Future Plans. COSMIC workshop, Oct. 2009, Boulder, CO.
53. **S.-P. Ho** ,Tele-conference presentation: JPL talk about the “Enhancement of the AIRS Troposphere and Stratosphere Temperature Climate Data Records using Global Positioning System Radio Occultation Data”
54. **S.-P. Ho**, Xinjia Zhou, Ying-Hwa Kuo , Doug Hunt, Cheng-Zhi Zou. Construction of a

Consistent Microwave Sensor Temperature Record in the Lower Stratosphere Using Global Positioning System Radio Occultation Data and Microwave Sounding Measurements, 2010 Workshop on Climate Data Records from Satellite Microwave Radiometry, March 22-24 2010 at NOAA Science Center in Silver Spring, MD (invited).

55. **Ho, S.-P.**, Xinjia Zhou, Ying-Hwa Kuo, Doug Hunt, Cheng-Zhi Zou, Construction of a Consistent Microwave Sensor Temperature Record in the Lower Stratosphere Using Global Positioning System Radio Occultation Data and Microwave Sounding Measurements, joint 2010 CWB Weather Analysis and Forecasting and COAA 5<sup>th</sup> International Ocean-Atmosphere Conference, June 28-30, 2010, Center Weather Bureau, Taipei, Taiwan.
56. **Ho, S.-P.**, Xinjia Zhou, Ying-Hwa Kuo, Construction of a Consistent Microwave Sensor Temperature Record in the Lower Stratosphere Using Global Positioning System Radio Occultation Data and Microwave Sounding Measurements, June 17, 2010, Center Weather Bureau, Taipei (invited).
57. **Ho, S.-P.**, Using SI-traceable Global Positioning System Radio Occultation Measurements for Climate Monitoring, National Central University, Department of Atmospheric Science, and GPS ARC, June 22, Jhongli, Taiwan (invited).
58. **Ho, S.-P.**, Xinjia Zhou, Ying-Hwa Kuo, Climate Calibration Observatory in Orbit: Calibration and Validation of Measurements of AMSU and AIRS using Global Positioning System Radio Occultation Observations, September, 6-10, OPAC-4, Graz, Austria.
59. A. K. Steiner, **S.-P. Ho**, D. Hunt , G. Kirchengast, A. J. Mannucci, B. Scherllin-Pirscher, H. Gleisner , A. von Engeln , T. Schmidt C. Ao , S. S. Leroy , U. Foelsche , Y-H. Kuo , E. R. Kursinski, K. B. Lauritsen , S. Syndergaard , C. Marquardt , C. Rocken , W. Schreiner , S. Sokolovskiy , J. Wickert W., Uncertainty of the CHAMP Climate Record from Different Data Centers, September, 6-10, OPAC-4, Graz, Austria.
60. **Ho, S.-P.**, Xinjia Zhou, Ying-Hwa Kuo, Assessment of Systematic Biases of Radiosonde Temperature and Moisture Measurements using Global Positioning System Radio Occultation from COSMIC, September, 6-10, OPAC-4, Graz, Austria.
61. **Ho, S.-P.**, Construction of Consistent Microwave Sensor Temperature Records and Tropopause Height Climatology using MSU/AMSU Measurements, GPS RO Data, and Radiosonde Observations, Climate Data Records Program Review meeting, August 4-5, 2010 in Asheville, NC.
62. **Ho, S.-P.**, Construction of Consistent Microwave Sensor Temperature Records and Tropopause Height Climatology using MSU/AMSU Measurements, GPS RO Data, and Radiosonde Observations, ARC/SDS Program Review meeting, September, 14-16, 2010 in Asheville, NC.
63. R. Biondi, **S.-P. Ho**, S. Syndergaard, T. Neubert, Tropical Cyclone Detection using GPS Radio Occultation Data, IUGG XXV General Assembly Earth on the Edge: Science for a Sustainable Planet, Melbourne, Australia 27 June - 8 July 2011.
64. Ricardo Biondi, **S.-P. Ho**, Convective Systems Analysis using GPS Radio Occultation, 3rd International Colloquium - Scientific and Fundamental Aspects of the Galileo Programme 31

August - 2 September 2011, Copenhagen, Denmark.

65. **Ho, S.-P.**, Assessment of Systematic Biases of Radiosonde Moisture Measurements using Global Positioning System Radio Occultation from COSMIC, GEWEX/ESA DUE GlobVapour workshop on long term water vapour data sets and their quality assessment, 8 – 10 March 2011 - ESA/ESRIN, Frascati, Italy (invited).
66. **Ho, S.-P.**, Xinjia Zhou, Ying-Hwa Kuo, Assessment of Systematic Biases of Radiosonde Moisture Measurements using Global Positioning System Radio Occultation from COSMIC, [91st American Meteorological Society Annual Meeting](#), Seattle, WA, USA.
67. Callaghan, P. F., **S.-P. Ho**, T. Yunck, B. D. Wilson, and G. Manion, 2011: Evaluation of AIRS V5 Temperature Profiles Using Matched Retrievals From COSMIC and ECMWF Analyses. Presentation, [91st American Meteorological Society Annual Meeting](#), Seattle, WA, USA.
68. **Ho, S.-P.**, Xinjia Zhou, Ying-Hwa Kuo, Climate Calibration Observatory in Orbit: Using COSMIC RO Data to Calibrate and Validate the AIRS and AMSU Troposphere and Stratosphere Temperature Climate Data Records, [91st American Meteorological Society Annual Meeting](#), Seattle, WA, USA.
69. Steiner, A. K., **S.-P. Ho**, D. Hunt, G. Kirchengast, A. J. Mannucci, B. Scherllin-Pirscher, H. Gleisner, A. von Engel, T. Schmidt C. Ao, S. S. Leroy, U. Foelsche, Y.-H. Kuo, E. R. Kursinski, K. B. Lauritsen, S. Syndergaard, C. Marquardt, C. Rocken, W. Schreiner, S. Sokolovskiy, J. Wickert W. and Coauthors, 2011: Uncertainty of the CHAMP Climate Record from Different Data Centers. The 5<sup>th</sup> FORMOSAT-3/COSMIC Data Users Workshop & ICGPSRO, April 12-14, 2011, Taipei, Taiwan.
70. **Ho, S.-P.**, Y.-H. Kuo, X.-J. Zhou, and P. Callaghan, 2011: Long Term Assessment of Radiosonde Temperature Systematic Biases using COSMIC, CHAMP, and GRACE from 2001 to 2010. The 5<sup>th</sup> FORMOSAT-3/COSMIC Data Users Workshop & ICGPSRO, April 12-14, 2011, Taipei, Taiwan.
71. Zeng, Zhen, **S.-P. Ho**, S. Sokolovskiy, The Structure and Evolution of Madden-Julian Oscillation from FORMOSAT-3/COSMIC Radio Occultation Data. The 5<sup>th</sup> FORMOSAT-3/COSMIC Data Users Workshop & ICGPSRO, April 12-14, 2011, Taipei, Taiwan.
72. Barbara Scherllin-Pirscher, **S.-P. Ho**, Chia Chou, Ying-Hwa Kuo, Reconstruction of the 3-dimensional structure of ENSO using radio occultation data, The 5<sup>th</sup> FORMOSAT-3/COSMIC Data Users Workshop & ICGPSRO, April 12-14, 2011, Taipei, Taiwan.
73. Wen-Xin Deng, **S.-P. Ho**, Ching-Yuang Huang, Global and Regional Distribution of Water Vapor from COSMIC, , the 5<sup>th</sup> FORMOSAT-3/COSMIC Data Users Workshop & ICGPSRO, April 12-14, 2011, Taipei, Taiwan.
74. Jerry, Ching-Yuang Huang, **S.-P. Ho**, Jens Wickert, and Torsten Schmidt, Characteristics of Tropopause Height in Indian Monsoon Region Revealed by COSMIC GPS RO Data, the 5<sup>th</sup> FORMOSAT-3/COSMIC Data Users Workshop & ICGPSRO, April 12-14, 2011, Taipei, Taiwan.

## References

Dr. William L. Smith, Professor  
Center for Atmospheric Sciences  
Hampton University  
Hampton Virginia, 23668  
Ph. (757)728-6743 (office)  
Email: [bill.smith@hamptonu.edu](mailto:bill.smith@hamptonu.edu)

Dr. John C. Gille  
Senior Scientist  
Earth and Sun System Laboratory  
National Center of Atmospheric Research  
3085 Center Green Drive  
Boulder CO, 80301  
Ph. (303)497-8062  
Email: [gille@eos.ucar.edu](mailto:gille@eos.ucar.edu)

Dr. Ying-Hwa Kuo  
Senior Scientist  
Earth and Sun System Laboratory  
National Center of Atmospheric Research  
Director of UCAR COSMIC program  
P.O. Box 3000  
Boulder CO. 80307-3000  
Ph: (303)4978910  
Email: [kuo@ucar.edu](mailto:kuo@ucar.edu)

# 「學者交流訪問計畫」

## 短期訪問進行情形報告

訪問學者	Shu-Peng Ben Ho		
主辦單位	全球定位科學研究中心(GPS-ARC)	邀訪者	黃清勇 教授
時 間	2013 年 1 月 27 日 至 2013 年 2 月 1 日		
<p><b>主旨：來台進行短期訪問研究及演講</b></p> <p><b>行程及活動經過：</b></p> <p>1/27：抵達台灣</p> <p>1/28：在中央大學 GPSARC 進行討論研究合作</p> <p>1/29：在中央大學大氣系進行討論研究及專題演講</p> <p>1/30：在中央大學大氣系進行討論研究合作</p> <p>1/31：在中央研究院進行討論研究及專題演講</p> <p>2/01：在中央大學 GPSARC 進行討論合作論文撰寫重點</p> <p><b>檢討：無</b></p> <p><b>建議：</b>這次何博士訪問中大，除與 GPSARC 及大氣系同仁交流，亦安排至中研院全變中心專題演講。何博士專長為 GPS 掩星觀測資料分析及應用，對使用掩星之溫濕度於詮釋氣候變異及暖化趨勢有深入的研究。在台灣，關於全球及區域氣候變異分析及模擬，也有一些同仁在各單位進行研究，但大多未直接使用 GPS 掩星觀測資料。就未來福衛七號資料，應提昇各單位來廣泛應用，增進我國重要的氣候變異模擬能力。</p> <p><b>相關活動：</b></p> <p><b>在大氣系及中央研究院專題演講：</b></p> <p><b>Current Developments on the Applications of COSMIC from the Troposphere to Stratosphere and the Potential Impacts of COSMIC-2 Data</b></p> <p>Shu-peng Ho</p> <p>COSMIC, University Corporation for Atmospheric Research, P.O. Box 3000, Boulder, CO 80307-3000</p> <p><b>摘要</b></p> <p>Since the launch of the COSMIC constellation in 2006, FORMOSAT-3/COSMIC has provided more than 3.2 million Global Positioning System (GPS) radio occultation (RO) soundings (~1500</p>			

soundings per day) to support research and operational numerical weather prediction (NWP). COSMIC data processed by the COSMIC Data Analysis and Archive Center (CDAAC) have been widely used by meteorology, climate, and ionospheric communities. As of June 2012, more than 1,900 researchers from 63 countries have become registered users of the data. The success of COSMIC has also prompted U.S. agencies to move forward with a follow-on RO mission (called FORMOSAT-7/COSMIC-2, hereafter COSMIC-2) with Taiwan that will launch six satellites into low-inclination orbits in early 2016, and another six satellites into high-inclination orbits in early 2018. Being developed by JPL, the GNSS RO payload, named TriG (Tri-GNSS), is designed to track RO signals from the GPS, GLONASS, and Galileo systems. It is expected to track up to 12,000 high-quality profiles per day after the two constellations are fully deployed. The COSMIC-2 soundings are expected to have better signal-to-noise ratios than those of COSMIC, which would provide an unprecedented capability to explore new applications for weather, climate, and ionospheric communities. The objective of this talk is i) to highlight accomplishments and discuss the remaining challenges in the areas of RO data applications; and ii) to summarize potential new applications that can be explored using COSMIC-2 data.

國立中央大學 大氣科學系暨大氣物理研究所

DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC SCIENCES AND GRADUATE INSTITUTE OF ATMOSPHERIC PHYSICS,  
NATIONAL CENTRAL UNIVERSITY

演講公告 *Announcement*

主講 Speaker : Dr. Shu-Peng Ben Ho  
COSMIC, University Corporation for Atmospheric Research, USA.

講題 Title : Current Developments on the Applications of COSMIC from the Troposphere to Stratosphere and the Potential Impacts of COSMIC-2 Data

時間 Date&Time : January 29, 2013 (Tuesday)  
15:30~17:00 (Including 30mins Discussion)

地點 Location : 科學二館 S1-713  
S1-713, Science Building 2



歡迎參加！

摘要 Abstract:

Since the launch of the COSMIC constellation in 2006, FORMOSAT-3/COSMIC has provided more than 3.2 million Global Positioning System (GPS) radio occultation (RO) soundings (~1500 soundings per day) to support research and operational numerical weather prediction (NWP). COSMIC data processed by the COSMIC Data Analysis and Archive Center (CDAAC) have been widely used by meteorology, climate, and ionospheric communities. As of June 2012, more than 1,900 researchers from 63 countries have become registered users of the data. The success of COSMIC has also prompted U.S. agencies to move forward with a follow-on RO mission (called FORMOSAT-7/COSMIC-2, hereafter COSMIC-2) with Taiwan that will launch six satellites into low-inclination orbits in early 2016, and another six satellites into high-inclination orbits in early 2018. Being developed by JPL, the GNSS RO payload, named TriG (Tri-GNSS), is designed to track RO signals from the GPS, GLONASS, and Galileo systems. It is expected to track up to 12,000 high-quality profiles per day after the two constellations are fully deployed. The COSMIC-2 soundings are expected to have better signal-to-noise ratios than those of COSMIC, which would provide an unprecedented capability to explore new applications for weather, climate, and ionospheric communities. The objective of this talk is i) to highlight accomplishments and discuss the remaining challenges in the areas of RO data applications; and ii) to summarize potential new applications that can be explored using COSMIC-2 data.

# Current Developments on the Applications of COSMIC from the Troposphere to Stratosphere and the Potential Impacts of COSMIC-2 Data

**Shu-peng Ho**  
University Corporation for Atmospheric Research/COSMIC, USA

1

**Theme : Bridge to the future; and Bridge to other communities**

**The purpose** of this workshop is to provide a forum for scientific discussions between the RO community and the weather, climate, and space weather communities, which is crucial to capitalizing the scientific opportunities provided by past, current, and future RO missions. A dialogue between RO data providers and data users is also important to ensure optimal use of RO data for research and operational applications.

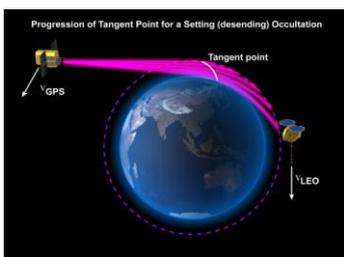
**Background**

1. Since the launch of COSMIC in 2006, we have organized five COSMIC Data Users Workshop, to discuss accomplishments in:

- RO operation and algorithm development
  - Meteorology application
  - Climate
  - Ionosphere
- through accessing COSMIC data from CDAAC.

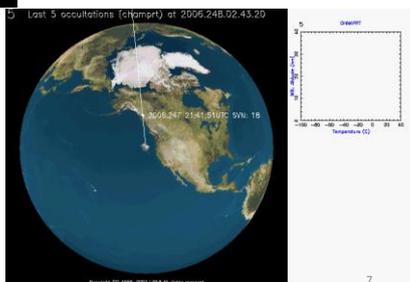
**What have we accomplished ? What are outstanding issues remaining?**  
**Who are using these data/who are not ? Help users to better use the RO data.**

4



Limb sounding of atmosphere as LEO rises or sets with respect to GPS satellites

Global observations of:  
Pressure, Temperature, Humidity  
Refractivity  
Ionospheric Electron Density



財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(1.2): 出國報告

執行期間： 2012/2/18~2013/2/17

計畫主持人：黃清勇

參與人員：黃成勇、蔡和芳、曾子榜、吳怡娟、翁佩芬、

吳靜美、謝涵蓁

執行單位：全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)

中 華 民 國 1 0 2 年 2 月

# 財團法人國家實驗研究院國家太空中心

## 「全球定位科學應用研究中心計畫」

### 出席國際學術會議報告

102 年 2 月 6 日

計畫名稱	全球定位科學應用研究委託案(3/3)	計畫編號	NSPO-S-101014
執行單位	國立中央大學-全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)	出席人員	黃清勇
會議時間	101 年 10 月 30 日 至 11 月 1 日		
會議地點	UCAR, Boulder, Colorado, U.S.A.		
會議名稱	(中文) (英文) Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop		
發表論文題目	(中文) (英文) Impacts of GNSS RO Observations on Prediction of Typhoon Morakot: An OSSE Study for COSMIC-2		

報告內容應包括下列各項：

#### 一、會議目的

Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop 為台美輪流舉辦之福衛三號國際研討會，今年由美方 UCAR 主辦，在 Boulder 舉行三天。此次會議主要為口頭報告一篇論文，兩篇為張貼論文，介紹我個人研究成果。

#### 二、參加會議經過

10 月 29 日(一)：抵達：洛杉磯(LOS ANGELES INTL AIRPORT)

10 月 29 日(一)：抵達：丹佛(DENVER INTL AIRPORT)

10 月 30 日(二)：上午會議開始，詳見附件一(議程)

11 月 01 日(四)：下午會議結束，詳見附件一(議程)

11 月 01 日(四)：出發：丹佛(DENVER INTL AIRPORT)

11 月 03 日(六)：抵達：臺灣桃園機場(TAIWAN TAOYUAN AIRPORT)

#### 三、與會心得

此次會議主要為口頭報告一篇論文(詳見附件二)，兩篇為張貼論文(詳見附件三) 及摘要彙整。口頭報告論文為福衛七號觀測對 Morakot 颱風預報可能的影響，在會中引起迴響。個人亦擔任一個氣象 session 主持人(詳見附件一)，在大會結論 session 時，協助整理氣象資料同化及模擬部分，進行口頭總結報告。目前國際研究及作業單位對福衛三號的觀測及模擬應用已非

常投入，成果豐碩，對福衛七號觀測有很大的期望。我國可再利用此福衛七號觀測任務，加強國際合作交流，將福衛七號價值發揚光大。

#### 四、建議

參加國際會議可增長見聞，知己知彼，了解自己研究需加強、補實部份。今年 2013 年輪由我方主辦，應鼓勵國內相關研究人員踴躍參加，及早開始規劃邀請國內與國際人士報告，更能促進後續計畫的國際合作交流。

#### 五、攜回資料名稱及內容

隨身碟(摘要彙整)。

#### 六、其他

附件一：研討會議程

Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop  
 30 October – 1 November 2012  
 UCAR Center Green Campus  
 3080 Center Green Drive, Building #1 (CG-1)  
 Boulder, Colorado U.S.A.

Agenda Last Updated: 26 October 2012\*

Day One: Tuesday, 30 October 2012		
8:00-9:00	Registration (CG-1, Lobby)	
<b>Session 1: 9:00-12:00</b>	<b>Programmatic (CG-1, Center and North Auditoriums) (Chair: Bill Kuo –UCAR/COSMIC)</b>	
9:00-9:20	Opening Remarks	Tom Bogdan – UCAR Tiger JY Liu – National Space Organization Chia-Pei Chou – TECO Houston Shu-peng Ben Ho – UCAR/COSMIC
9:20-9:50	NASA's Global Environmental Remote Sensing Program	Jack Kaye – NASA
9:50-10:20	The Important Role of Satellite Data in Advancing the Weather Forecasts	Louis Uccellini – NCEP/NOAA
10:20-10:40	<i>Break and Group Photo</i>	
10:40-11:00	COSMIC-2: A Platform for Advanced Ionospheric Observations	Paul Straus – The Aerospace Corporation
11:00-11:20	New Science Opportunities on COSMIC-2/FORMOSAT-7	Anthony Mannucci – JPL/Caltech
11:20-11:40	Some Key Challenges in climate sciences with a GPS perspective	Graeme Stephens – NASA
11:40-12:00	A Status Report on the Development of the ATOMMS Remote Sensing System	Rob Kursinski – Broad Reach Engineering
12:00-13:00	<i>Lunch (CG-1)</i>	
<b>Session 2: 13:00-14:00</b>	<b>CDAAC Operations (CG-1, Center and North Auditoriums) (Chair: Anthony Mannucci – JPL/Caltech)</b>	
13:00-13:30	CDAAC: Current Status and Future Plans	Bill Schreiner – UCAR/COSMIC
13:30-14:00	Session 2 Discussion	
14:00-14:15	<i>Break</i>	
<b>Session 3: 14:15-16:00</b>	<b>Scientific Applications and Data Validation (CG-1, Center and North Auditoriums) (Chair: William Randel – NCAR/ACD and Co-chair: Josep Maria Aparicio – Environment Canada)</b>	
14:15-14:30	Reproducibility of GPS Radio Occultation Data for Climate Monitoring: Profile-to-Profile Inter-comparison of CHAMP Climate Records 2002 to 2008 from Six Data Centers	Shu-peng Ben Ho – UCAR/COSMIC

**Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop**  
**30 October – 1 November 2012**  
**UCAR Center Green Campus, CG-1**

14:30-14:45	Tropical tropopause variability observed in GPS data and links with stratospheric water vapor	William Randel – NCAR
14:45-15:00	The Impacts of GPS Radio Occultation Data on the Analysis and Prediction of Tropical Cyclones	Bill Kuo – UCAR/COSMIC
15:00-15:15	Probing a hurricane's eye with the GPS radio occultation technique	Panagiotis Vergados – Jet Propulsion Laboratory
15:15-15:30	Turbulence Locations and Intensities from Radio Occultation Soundings	Lakshmi Kantha – University of Colorado, Boulder
15:30-15:45	Assimilation of GNSS Radio Occultation Data at GRAPES	Yan Liu – China Meteorological Administration
15:45-16:00	Reconstructing the GPS Refractivity Profiles inside the Atmospheric Boundary Layer with MODIS Cloud-top-temperature over Subtropical Eastern Oceans	Feiqin Xie – Texas A&M University – Corpus Christi
<b>16:00-17:00</b>	<b>Student Poster Introductions (CG-1, Center and North Auditoriums)</b> <b>(Chair: Zhen Janet Zeng – UCAR/COSMIC and Co-Chair: Pay-Liam Lin - NCU)</b>	
<b>17:00-18:30</b>	<b>Poster Session and Reception (CG-1, South Auditorium and Lobby)</b>	
	Assimilations of GPS radio occultation data with vertical thinning	Shu-Ya Chen – UCAR/COSMIC
	Preliminary Studies of the Applications of HHT (Hilbert-Huang Transform) on FORMOSAT-3/COSMIC GOX Payload Trending Data	Chen-Joe Fong – National Space Organization (NSPO)
	Discussion on the global features and trends of the tropopause derived from GPS/COSMIC RO data	Tingting Han – Ezhou Polytechnic
	Calibration of Microwave Temperature in the Lower Stratosphere from 2001 to 2010 using GPS RO Data	Shu-peng Ben Ho – UCAR/COSMIC
	Characteristics of Global Precipitable Water in ENSO Events Revealed by COSMIC Measurements	Ching-Yuang Huang – National Central University
	Forecast Sensitivity of Typhoon to GPS RO Observations using WRF adjoint	Ching-Yuang Huang – National Central University
	Space System for Disasters Research including GNSS Receivers for TEC Measurements	Anatoliy Lozbin – Institute of Space Techniques and Technologies
	Warming in the tropical tropopause layer estimated from GPS radio occultation data during 2001-2010	Sanjay Mehta – RISH, Kyoto University
	Calibration of Temperature of Tropopause/Stratosphere (TTS) from Microwave Measurements using Radiosonde Types Identified by Radio Occultation Data	Liang Peng – UCAR/COSMIC

**Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop**  
**30 October – 1 November 2012**  
**UCAR Center Green Campus, CG-1**

	Inclusion of atmospheric profiles from GNSS radio occultation on the CPTEC-INPE's global model	Luiz Sapucci – INPE-CPTEC
	GNSS for Global Earth Observation: The European coordination action GfG2	Jens Wickert – GFZ Potsdam
	Statistic analysis of the ionospheric topside scale height based on COSMIC RO measurements	Xu Xu – UCAR/COSMIC
	A feasibility study of the radio occultation electron density retrieval aided by ionospheric data assimilation model	Xinan Yue – UCAR/COSMIC
	<b>Student Posters</b>	
	Role of sensible and latent heat fluxes from the ocean in the genesis of Cyclone Nargis (2008)	Vanessa Almanza – University of Hawaii at Manoa
	Validating estimates of the width of the tropical belt from reanalyses with FORMOSAT/COSMIC radio occultation data	Nicholas Davis – Colorado State University
	Assimilation of FORMOSAT-3/COSMIC electron density profiles into a coupled Thermosphere/Ionosphere model using ensemble Kalman filtering	I-Te Lee – NCAR/HAO
	The effects of 3D error covariance for an ionospheric data assimilation model	Chi-Yen Lin – CU-CIRES, NOAA-SWPC
	Initial atmospheric refractivity profile results from airborne GPS radio occultation measurements during PREDICT	Brian Murphy – Purdue University
	Ocean Wave Slopes from GPS and XM-Radio Reflections for Sea Salt Salinity (SSS) Corrections	Nicole Quindara – Purdue University
	Height-Integrated Pedersen Conductivity in both E and F regions from COSMIC Observations	Cheng Sheng – University of Texas at Arlington
	Inference of meridional neutral winds and zonal electric fields from NmF2 and hmF2 observations	Yang-Yi Sun – CIRES-CU, NOAA-SWPC
	The impact of COSMIC radio occultation data on the prediction of typhoon Morakot	Matthias Trattler – University of Graz
	Data Assimilation of COSMIC GPS Radio Occultation (RO) soundings impacts on the rainfall simulation of a Mei-Yu event during TiMREX (2008)	Chuan-Chi Tu – University of Hawaii
	Airborne and Spaceborne GPS Radio Occultation Signal Strength and Performance Comparison	Kuo-Nung Eric Wang – Purdue University
	Detection of ionospheric sporadic-E layer by using signal to noise ratio data of GPS radio occultation technique	Wen-Hao Yeh – National Central University

**Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop**  
**30 October – 1 November 2012**  
**UCAR Center Green Campus, CG-1**

<b>Day Two: Wednesday, 31 October 2012 (Parallel Sessions)</b>		
<b>Session 4: 8:30-12:00</b>	<b>RO Applications for Meteorology/Weather Forecast (CG1, Center Auditorium)</b> <b>(Chair: Ching-Yuang Huang - NCU and Co-chair: Anthony Reale – NOAA/STAR)</b>	
8:30-8:45	Improvement of Rainfall Ensemble Forecast of Typhoon Morakot (2009) from Assimilation of GPS RO Refractivity Data	Xingqin Fang – UCAR/COSMIC
8:45-9:00	Assimilation of GPS RO Data for Tropical Cyclone Prediction with HWRF	Chunhua Zhou – NCAR
9:00-9:15	Relative impact of GPSRO observation on forecast error	Thomas Auligne – NCAR
9:15-9:30	Impacts of GNSS RO Observations on Prediction of Typhoon Morakot: An OSSE Study for COSMIC-2	Ching-Yuang Huang – National Central University
9:30-9:45	The Impact of Data Assimilation on the Simulation of Typhoon Approaching Taiwan	Pay-Liam Lin – National Central University
9:45-10:00	Recent Improvements to WRF/DART Ensemble Assimilation System for GPS RO Data Assimilation	Hui Liu – NCAR
10:00-10:15	Impact of Quality Control and Data Thinning of GPS RO Data in WRF-Var on Typhoon Track Forecast	Ming-En Hsieh – Taiwan Typhoon and Flood Research Institute
10:15-10:30	<i>Break</i>	
10:30-10:45	Impact of assimilating COSMIC GPS RO moisture and temperature profiles on Polar WRF simulations of West Antarctic cyclones	Francis Otieno – BPRC The Ohio State University
10:45-11:00	Impact of GPS radio occultation data on the analysis and prediction of an intense synoptic-scale storm over the Southern Ocean near the Antarctic Peninsula	Shu-Ya Chen – UCAR/COSMIC
11:00-11:15	Further Explorations of the Meteorological Value of Radio Occultation Data: The Strength of the Constraints to the Radiance Bias Correction	Josep Maria Aparicio – Environment Canada
11:15-11:30	Assimilation of GNSS RO refractivity data into the JMA global NWP system	Hiromi Owada – Japan Meteorological Agency
11:30-12:00	Session 4 Discussion	
12:00-13:15	<i>Lunch (CG-1)</i>	
<b>Session 6: 13:15-17:00</b>	<b>RO Applications for Climate (CG-1, Center Auditorium)</b> <b>(Chair: Rob Kursinski - BRE and Co-chair: Thomas Birner - CSU)</b>	

**Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop**  
**30 October – 1 November 2012**  
**UCAR Center Green Campus, CG-1**

13:15-13:30	Longitudinal dependence in the inter-annual variation of the temperature anomalies	Sanjay Mehta – RISH, Kyoto University
13:30-13:45	Intercomparison of GPS-RO temperature soundings with collocated measurements from AMSU	Carl Mears – Remote Sensing Systems
13:45-14:00	Quantifying the deep convective temperature signal within the tropical tropopause layer (TTL) using co-located measurements from CloudSat and COSMIC	Thomas Birner – Colorado State University
14:00-14:15	Structural Evolution of the Madden-Julian Oscillation from COSMIC Radio Occultation Data	Zhen Zeng – UCAR/COSMIC
14:15-14:30	COSMIC Validation and Potential Benchmark Status in the NOAA Products Validation System (NPROVS)	Anthony Reale – NOAA/STAR
14:30-14:45	Towards improved corrections for radiation-induced biases in radiosonde observations	Bomin Sun – NOAA/NESDIS/STAR
14:45-15:00	Global Assessment of Radiosonde Systematic Temperature Biases in the Lower Stratosphere using COSMIC, CHAMP, and GRACE from 2001 to 2010	Shu-peng Ben Ho – UCAR/COSMIC
15:00-15:15	<i>Break</i>	
15:15-15:30	Detection of cold region in the stratosphere and its seasonal variation over higher latitudes using COSMIC/FORMOSAT-3 satellite observation during 2007-2011	Vinay Kumar – University of Delhi
15:30-15:45	Monthly climatologies of geopotential height and geostrophic wind from ten years of GPS RO data	Olga Verkhoglyadova – JPL/Caltech
15:45-16:00	Separation of the lapse rate and cold-point tropopauses in the tropics and the impact on cloud top – tropopause relationships	Laura Pan – NCAR
16:00-16:15	A Deep Convection Climatology over the Central Amazon derived from COSMIC Radio Occultations Water Vapor Profiles	Antônio Alciélio Amorim da Rocha – Universidad de Estado do Amazonas
16:15-16:30	Estimating the Low Latitude Free Tropospheric Water Vapor Feedback using COSMIC GPS RO Data	Rob Kursinski – Broad Reach Engineering
16:30-17:00	Session 6 Discussion	
17:15	<i>Bus to restaurant leaves from CG-1 front door.</i>	
18:00	<i>Banquet for all registered workshop participants and speakers at Golden Lotus restaurant.</i>	
<b>Day Two: Wednesday, 31 October 2012 (Parallel Sessions)</b>		

**Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop**  
**30 October – 1 November 2012**  
**UCAR Center Green Campus, CG-1**

<b>Session 5: 8:30-12:00</b>	<b>RO Data Processing (CG-1, North Auditorium)</b> <b>(Chair: Chi Ao - JPL and Co-chair: Estel Cardellach - ICE-CSIC/IEEC)</b>	
8:30-8:45	An Analysis of the Short-Term Stability of GNSS Satellite Clocks	Erin Griggs – University of Colorado
8:45-9:00	Processing and application of GPS radio occultation data at GFZ: recent results from GRACE-A, MetOp-A, TerraSAR-X and TanDEM-X	Florian Zus – GFZ Potsdam
9:00-9:15	EUMETSAT Radio Occultation Observation With Metop-A and Metop-B in Orbit	Axel von Engel – EUMETSAT
9:15-9:30	Simplified generation of radio occultation climatologies	Hans Gleisner – Danish Meteorological Institute
9:30-9:45	Measurement noise and how to deal with it in data processing	Tae-Kwon Wee – UCAR/COSMIC
9:45-10:00	Systematic Residual Ionospheric Errors in Radio Occultation Data and a Potential Way to Minimize them	Julia Danzer – Wegener Center
10:00-10:15	On the Resolution and Noise Characteristics of GPS Radio Occultation Retrievals: A Simulation Study	Chi Ao – JPL
10:15-10:30	<i>Break</i>	
10:30-10:45	Detection of tropospheric ducts with GPS radio occultation	Sergey Sokolovskiy – UCAR/COSMIC
10:45-11:00	Specifying the Equatorial Ionosphere using DINEOFs	Russell Stoneback – University of Texas at Dallas
11:00-11:15	Theoretical sensitivity of the GNSS polarimetric radio-occultation technique to precipitation events	Estel Cardellach – ICE-CSIC/IEEC
11:15-11:30	Global 3-D Ionospheric Electron Density Reanalysis based on Multi-Source Data Assimilation	Xinan Yue – UCAR/COSMIC
11:30-12:00	Session 5 Discussion	
12:00-13:15	<i>Lunch (CG-1)</i>	
<b>Session 7: 13:15-17:00</b>	<b>RO Data Applications for Ionosphere (CG-1, North Auditorium)</b> <b>(Chair: Paul Straus – The Aerospace Corporation and Co-chair: Geoff Crowley – ASTRA)</b>	
13:15-13:30	Use of Radio Occultation Data in Ionospheric Assimilation Algorithms	Geoff Crowley – ASTRA
13:30-13:45	Impact of COSMIC Radio Occultation Ingestion on GAIM Electron Density Profile Specification	Mark Butala – NASA JPL

**Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop**  
**30 October – 1 November 2012**  
**UCAR Center Green Campus, CG-1**

13:45-14:00	Study of the Accuracy and Spatial-Temporal Resolution of Ionospheric Data Assimilation due to Ingestion of RO Observations from Satellite Constellations	Gary Bust – JHUAPL
14:00-14:15	Upper Atmosphere Data Assimilation With an Ensemble Kalman Filter	Tomoko Matsuo – University of Colorado, Boulder/NOAA
14:15-14:30	Advanced assimilation of ground- and space-based observations for ionospheric specification	Alex Chartier – University of Bath
14:30-14:45	Daytime Climatology of Ionospheric NmF2 and hmF2 from COSMIC data	Alan Burns – NCAR
14:45-15:00	<i>Break</i>	
15:00-15:15	Solar Cycle and Seasonal Variations of the Ionospheric F2 Peak	Liyang Qian – NCAR/HAO
15:15-15:30	Coordinate investigation of the F2 layer stratification at low-latitude ionosphere: results from the COSMIC and GIRO	Biqiang Zhao – IGGCAS
15:30-15:45	First Results from the GPS Compact Total Electron Content Sensor (CTECS) on the PSSCT-2 Nanosat	Rebecca Bishop – The Aerospace Corporation
15:45-16:00	Amplitude morphology of GPS radio occultation data for sporadic-E layers	Cheng-Yung Huang – National Central University
16:00-16:15	Morphology of Sporadic E Layer Retrieved from COSMIC GPS Radio Occultation Measurements	Yen-Hsyang Chu – National Central University
16:15-16:30	On the occurrence of the equatorial F-region irregularities during solar minimum using radio occultation measurements	Brett Carter – RMIT University
16:30-17:00	Session 7 Discussion	
17:15	<i>Bus to restaurant leaves from CG-1 front door.</i>	
18:00	<i>Banquet for all registered workshop participants and speakers at Golden Lotus restaurant.</i>	

**Day Three: Thursday, 1 November 2012**

<b>Session 8: 8:30-11:00</b>	<b>COSMIC-2 and Future Missions (CG-1, Center and North Auditoriums) (Chair: Jens Wickert – GFZ Potsdam and Co-chair: Dan Mamula - NOAA)</b>	
8:30-8:50	Observations and predictions of atmospheric rivers: Current capabilities and future challenges associated with extreme precipitation	Marty Ralph – NOAA

**Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users' Workshop**  
**30 October – 1 November 2012**  
**UCAR Center Green Campus, CG-1**

8:50-9:05	Approaching the First GNSS Operational Radio Occultation Satellites Mission Carrying TriG Receiver	Chen-Joe Fong – National Space Organization (NSPO)
9:05-9:20	Development of the next generation GRAS instrument	Jacob Christensen – RUAG Space
9:20-9:35	CICERO: Community Initiative for Continuing Earth Radio Occultation	Tom Yunck – GeoOptics Inc.
9:35-9:50	Quality assessments of GPS receiver clocks onboard COSMIC and GRACE satellites based on orbit determination using GPS	Tzu-Pang Tseng – GPSARC, National Central University
9:50-10:00	<i>Break</i>	
10:00-10:15	An Instrument Suite for Neutral and Ion-drifts, Equivalent Temperatures, and Composition	Loren Chang – National Central University
10:15-10:30	Filling a Data Gap in the Ionosphere	Dave Rainwater – University of Texas Applied Research Laboratories (ARL:UT)
10:30-10:45	GNSS radio occultation at GFZ: Recent results and activities related to future missions	Jens Wickert – GFZ Potsdam
10:45-11:00	FORMOSAT-7/COSMIC-2 Status Report	Dan Mamula – NOAA
<b>11:00-12:00</b>	<b>Wrap up Discussions (CG-1, Center and North Auditoriums)</b> <b>(Chair: Bill Kuo – UCAR/COSMIC and Co-chair: Tiger JY Liu – National Space Organization)</b>	
12:00	<i>Workshop adjourns</i>	

*\*agenda is subject to change*

## **Impacts of GNSS RO Observations on Prediction of Typhoon Morakot: An OSSE Study for COSMIC-2**

Ching-Yuang Huang<sup>1,2</sup> and I-Tzu Chen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Atmospheric Sciences, National Central University, Jhong-Li, Taiwan

<sup>2</sup>GPS Science and Application Research Center, National Central University, Jhong-Li, Taiwan

### **Abstract**

This study utilizes OSSE (Observing System Simulation Experiments) to investigate the impact of GNSS RO observations on typhoon prediction for COSMIC-2. The case chosen for impact study is the Morakot typhoon (2009) that affected Taiwan significantly. To reasonably represent the natural state, the MM5 4DVAR with bogus data assimilation (BDA) was used to simulate Morakot. This natural run at the integration time of 12 h then provides the atmospheric conditions for a 2-D ray-tracing model to generate the refractivity and bending angle soundings, given RO events in a hypothetical period during COSMIC-2.

To highlight the impact from OSSE without the identical-twin problem, another model, WRF, is initialized by the NCEP global reanalysis and is integrated for 72 h as the control run. For the assimilation run, the simulated RO soundings are assimilated by WRF 3DVAR. There are about 120 RO points in the regional model domain in a 2-hour assimilation window. Both control run and assimilation run are verified against the natural run. It was found that the improvement on Morakot track prediction increases with more assimilated RO refractivity or bending angle soundings from COSMIC-2 (GPS and/or Galileo). Furthermore, assimilation with local bending angles appears to outperform that with local refractivity by about 10%. This, in turn, further improves the simulated patterns of severe rainfall over Taiwan.

## Characteristics of Global Precipitable Water in ENSO Events Revealed by COSMIC Measurements

Wen-Hsin Teng<sup>1</sup>, Ching-Yuang Huang<sup>1,2,\*</sup>, Shu-Peng Ho<sup>3</sup>, Ying-Hwa Kuo<sup>3</sup>, and Xin-Jia Zhou<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Atmospheric Sciences, National Central University, Jhong-Li, Taiwan

<sup>2</sup>GPS Science and Application Research Center, National Central University, Jhong-Li, Taiwan

<sup>3</sup>COSMIC, University Corporation for Atmospheric Research, Boulder, USA

### 1. Introduction

The derived temperature and water vapor profiles from Global Positioning System (GPS) radio occultation (RO) data are proven to be useful for various climate and meteorological applications. COSMIC and ECMWF water vapor profiles agree within  $0.05 \text{ g kg}^{-1}$  above 2 km and  $0.2 \text{ g kg}^{-1}$  below 2 km [Ho *et al.*, 2010].

Despite local and regional comparisons between COSMIC water vapor profiles and in situ observations [Ho *et al.*, 2010a], and other satellite data (e.g., Wick *et al.* [2008]), global and long-term assessments of COSMIC PW over remote oceans, especially during ENSO events, are still unavailable.

This study is the first attempt to characterize the global PW distributions from COSMIC during the ENSO events and conduct inter-satellite PW comparisons especially over oceans. The five-year RO data cover three ENSO events (one El Niño and two La Niña). We validate GPS RO PW against those from SSM/I and AMSR-E.

### 2. The Data and Methodology

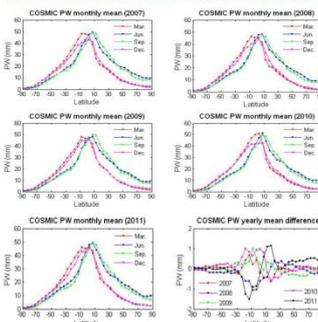
Data from 2007 to 2011 (binned into  $72 \times 36$  global grids) include: GPS RO retrieved specific humidity, SSM/I and AMSR-E estimated PWs (taken from Remote Sensing System), NCEP global reanalysis, the gridded global precipitation rate from GPCP, outgoing longwave radiation (OLR), and SST.

We only use the available RO retrievals with perigee heights below 1 km. To calculate COSMIC PW, we integrate the specific humidity upward from the lowest tangent point to the retrieved maximum height (60 km) and compensate the layer of void data from the perigee height to the surface by filling the same water vapor value obtained at the perigee height.

Year	2007	2008	2009	2010	2011
Total amounts	639033	649588	646551	493204	412811
Perigee height < 1km	465941 (72.9%)	486337 (74.9%)	485766 (75.1%)	367146 (74.4%)	307833 (74.6%)

### 3. Global Zonal and Spatial COSMIC PW Distributions During the ENSO Warm and Cold Events

#### a. Global Variation of Mean Latitudinal COSMIC PW

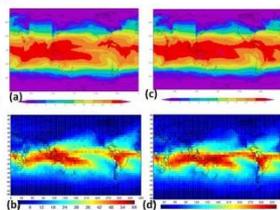


**Fig. 1.** Zonal mean distribution of COSMIC PW (mm) for monthly mean at March, June, September and December in 2007-2011, and also zonal yearly mean PW differences from 2007 to 2011 averages (the lower right).

- The peak of zonal mean PW follows the seasonal variation of the ITCZ.
- The latitudinal variations of zonal mean PW are of similar magnitude.
- The COSMIC PW anomalies in 5 years are within 1.5 mm.
- During the ENSO events (2007, 2009 and 2010), most of the tropical regions are dominated by positive PW anomalies, while the negative PW anomalies dominate in the other two years (2008 and 2011).

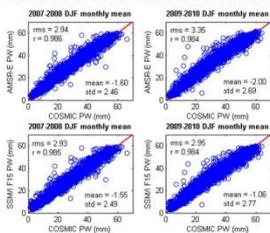
#### b. 2007 La Niña (cold event) & 2009 El Niño (warm event)

**Fig. 2.** Seasonal average of the winter months from December 2007 to February 2008 (the cold ENSO event) for (a) SST ( $^{\circ}\text{C}$ ), (b) COSMIC PW (mm), (c) and (d) as in (a) and (b) but for December 2009 to February 2010.



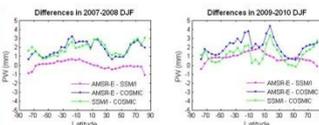
• Tropical variations of COSMIC RO PW and SST are in very good agreement. Strong vertical convection is observed over Amazon, which is also of high COSMIC PW values.

#### 4. Global inter-satellite PW comparisons for the ENSO events



**Fig. 3.** The scattering plots of monthly mean PW for COSMIC, SSM/I and AMSR-E in  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  grids for three winter months in 2007-2008 (cold event) and 2009-2010 (warm event).

- For both 2007 cold event and 2009 warm event, the COSMIC PWs are highly correlated with those from SSM/I and AMSR-E with the correlation coefficient equal to 0.985 and 0.986, respectively.
- The RMS differences of inter-satellite PW are less than 3 mm. But, COSMIC PW exhibits negative mean difference (or bias).

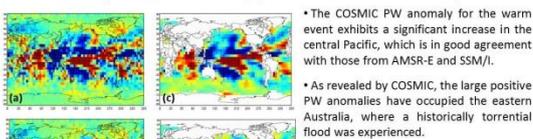


**Fig. 4.** Zonal seasonal mean PW and the differences among COSMIC, AMSR-E and SSM/I in the cold and warm event.

- Very similar latitudinal variations.
- Differences among COSMIC, AMSR-E, and SSM/I are within 3 mm (5 mm) outside (inside) the tropics.

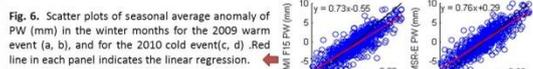
#### 5. PW anomaly during the ENSO events

The inter-satellite (COSMIC, AMSR-E and SSM/I) PW anomalies for climate variability:



- The COSMIC PW anomaly for the warm event exhibits a significant increase in the central Pacific, which is in good agreement with those from AMSR-E and SSM/I.
- As revealed by COSMIC, the large positive PW anomalies have occupied the eastern Australia, where a historically torrential flood was experienced.

**Fig. 5.** Seasonal average anomaly of PW (mm) in the winter months from COSMIC for (a) 2009 warm event, (b) 2010 cold event; (c) and (d) as in (a) and (b), but from AMSR-E.

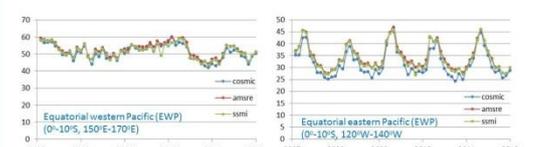


**Fig. 6.** Scatter plots of seasonal average anomaly of PW (mm) in the winter months for the 2009 warm event (a, b), and for the 2010 cold event (c, d). Red line in each panel indicates the linear regression.

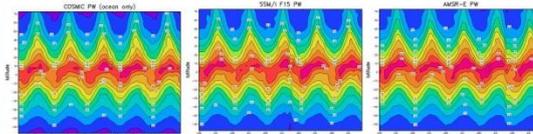
#### 6. Time series differences of COSMIC, SSM/I and AMSR-E PW from 2007 to 2011

We quantify the time series differences among COSMIC, SSM/I and AMSR-E in the period of 2007-2011 for smaller local regions and global latitudinal zones, and find:

- The significant PW variations in EEP are associated with annual cycles. In EWP, the lower PW amounts in 2007-2008 and 2010-2011 winters well correspond to the two cold ENSO events.
- The consistent PW time series among the three satellite data sets clearly demonstrate the signals of convection activity associated with the cold and warm ENSO events.



**Fig. 7.** Time variations of monthly mean PW (mm) in 2007-2011 for COSMIC, SSM/I and AMSR-E.



**Fig. 8.** Latitudinal variations of monthly mean PW (mm) in 2007-2011 for COSMIC, SSM/I, and AMSR-E.

#### 7. Concluding remarks

- For the three ENSO events, the COSMIC monthly mean PW is in a very high correlation (up to 0.98) with those from SSM/I and AMSR-E over the ocean. The PWs from the three different satellites also have similar latitudinal variations.
- The inter-satellite PW anomaly patterns nicely concur on major ENSO signals. Although the PW anomaly correlation is not particularly high, it is encouraging for COSMIC with available RO daily observations less than 2000.
- In the selected cold pool and warm pool regions, PW retrievals from COSMIC, SSM/I and AMSR-E show very similar trends. All the three inter-satellite PWs indicate a reduced peak in the cold pool and a raised peak in the warm pool during the active phase of 2010 warm event.
- These inter-satellite comparisons show a consistent trend of latitudinal variations in monthly mean PW from 2007 to 2011 that displays similar ENSO signals in the cold and warm events.

#### References

Ho, S.-P., X. Zhou, Y.-H. Kuo, D. Hunt, and J.-H. Wang (2010), Global evaluation of radiosonde water vapor systematic biases using GPS radio occultation from COSMIC and ECMWF analysis, *Remote Sens.*, 2, 1320-1330, doi:10.3390/RS20101320.  
Wick, G. A., Y.-H. Kuo, F. M. Ralph, T.-K. Wee, and R. J. Neiman (2008), Intercomparison of integrated water vapor retrievals from SSM/I and COSMIC, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L21805, doi:10.1029/2008GL035126.

# Forecast Sensitivity of Typhoon to GPS RO Observations using WRF adjoint

Ching-Yuang Huang<sup>1,2</sup>, Yu-Jhen Liou<sup>3</sup>, Xin Zhang<sup>3</sup>, and Ying-Hwa Kuo<sup>3,4</sup>  
<sup>1</sup>Department of Atmospheric Sciences, National Central University, Jhong-Li, Taiwan  
<sup>2</sup>GPS Science and Application Research Center, National Central University, Jhong-Li, Taiwan  
<sup>3</sup>National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA  
<sup>4</sup>University Corporation for Atmospheric Research, Boulder, USA

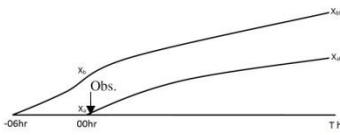
## 1. Introduction

OSSEs (Observing System Simulation Experiments) may be applied to assess the impact of observations on numerical prediction thru denial or combination of specific data. Another robust tool has been developed as FSO (forecast sensitivity to observation) framework thru application of an adjoint model and observation operators (Langland and Baker, 2004). This study attempts to explore FSO using WRF-adjoint and the GPS RO refractivity operator to highlight the impact of GPS RO data from COSMIC, relative to conventional radiosonde soundings, on Fanapi typhoon (2010) track prediction.

## 2. Methodology and Experiments

### a. Methodology

Details of the FSO method for are given by Langland and Baker (2004) in which the impact of observations can be evaluated by adjoint with different observations as shown in Figure 1.

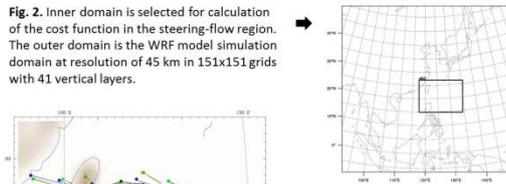


**Fig. 1.** FSO procedure. Prediction differences between the runs with and without data assimilation can be compared with the truth at T hour time.

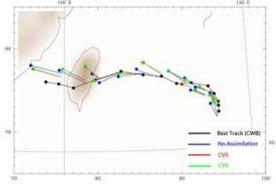
We first define the prediction from -06 h to 00 h as  $X_0$ , assimilation with the observations at 00 h with the first guess  $X_0$  as  $X_0$ , and their predictions after T hours are  $X_{0T}$  and  $X_{0T}$ , respectively. The NCEP global reanalysis is chosen as the true state and their prediction errors are given by  $e_{0T}$  and  $e_{0T}$ . For the data impact, we may define a cost function  $J_f = \frac{1}{2}((x_T - x_t), C(x_T - x_t))$  where C is a co-variance matrix, and then take derivative of the cost function with respect to  $x_j$  to obtain  $\frac{\partial J_f}{\partial x_j}$  and  $\frac{\partial J_f}{\partial x_j}$  using the adjoint model, and finally the observation sensitivity  $\frac{\partial J_f}{\partial y}$ , and observation impact  $\frac{\partial J_f}{\partial y}(y - H(x_0))$ .

### b. Experiments

This study uses the total dry energy  $\langle x, x \rangle = \frac{1}{2} \iiint [u'^2 + v'^2 + (\frac{g}{\sqrt{g_0}})\theta' + (\frac{1}{\rho c_p})^2 p'^2] d\Sigma$  as the cost function. In addition, we also select the horizontal-wind prediction error in the region (see Fig. 2), in which most flow steering takes effect, as the cost function  $J = \frac{1}{2} \iiint [u'^2 + v'^2] d\Sigma$  where  $u'$  and  $v'$  are the prediction error of  $u$  and  $v$  in simulation of Typhoon Fanapi (2010) during 1612-1912 September.



**Fig. 2.** Inner domain is selected for calculation of the cost function in the steering-flow region. The outer domain is the WRF model simulation domain at resolution of 45 km in 151x151 grids with 41 vertical layers.

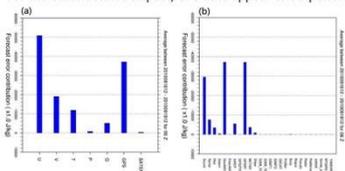


**Fig. 3.** Simulated typhoon tracks in every 6 hours and the best track from CWB (black). Blue lines are for no-assimilation run and red (green) for assimilation run with background co-variance error CV3 (CV5).

## 4. Results

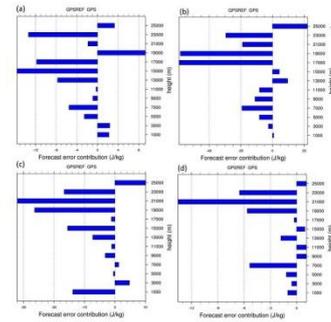
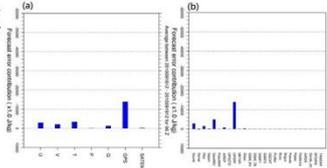
### a. 6-h forecast

Figure 4 shows the impact of observations on the cost function using the total dry energy. Figure 5 shows the impact of observations on the cost function using perturbation kinetic energy in the steering-flow region. As seen in Fig. 4, assimilations of U and GPS RO refractivity have larger positive impacts (i.e., larger negative errors) for the total dry energy. For the other defined impact, GPS data appear to outperform other observations.

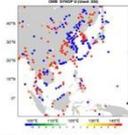


**Fig. 4.** Sum of the impacts on total dry energy (cost function) for 6-h forecasts in Fig. 3, for (a) different variables, (b) different observation types. GPS RO data appear to give larger positive impacts.

**Fig. 5.** Sum of the impacts on perturbation kinetic energy in the steering-flow region (cost function) for 6-h forecasts in Fig. 3, for (a) different variables, (b) different observation types. GPS RO data appear to give the largest positive impacts.



**Fig. 6.** Average impact of GPS RO data on perturbation kinetic energy in the steering-flow region (cost function) for 6-h forecasts, (a) 1612Z, (b) 1712Z, (c) 1812Z, (d) 1912Z. The average (per data) is taken on each vertical layer.

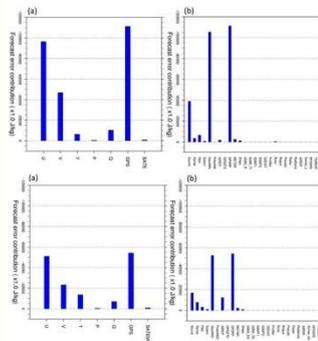


**Fig. 7.** As Fig. 6 but for the impacts of SYNOP observations.

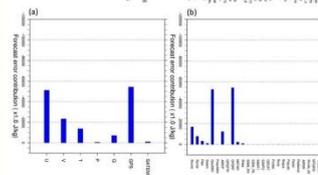
The impact results indicate that larger impacts of GPS RO data are on upper levels for both perturbation kinetic energy in the steering-flow region (Fig. 6) and total dry energy (not shown), while SYNOP observations near coasts have more evident impacts which in fact are larger on lower levels (not shown).

### b. 24-h forecast

Figures 8 and 9 are similar to Figures 4 and 5, respectively, but for 24-h forecast. The impact on 24-h prediction is significantly greater than on 6-h, indicating the accumulative effects of observations with increasing prediction time.



**Fig. 8.** As in Fig. 4 but for 24-h forecast. GPS RO data give the largest positive impacts.



**Fig. 9.** As in Fig. 5 but for 24-h forecast. GPS RO data give the largest positive impacts.

## 5. Conclusions and future studies

- For cost functions defined as total dry energy and the prediction error of perturbation kinetic energy in the steering-flow region, Sounding, GeoAMV and GPS RO data all have positive impacts. GPS RO data gives significantly positive impacts on the latter (cost function) and may further improve the typhoon track prediction.
- On average (per data), larger positive impacts of GPS RO data occur on upper levels, while conventional soundings are on lower levels.
- More observation types need to be investigated in order to illustrate the relative impacts of GPS RO data.
- FSO of bending angle will be compared with FSO of refractivity using OSSE for F7/C2.

### References

Langland, R. H. and N. L. Baker, 2004: Estimation of observation impact using the NRL atmospheric variational data assimilation adjoint system. *Tellus*, **56A**, 189-201.

# 財團法人國家實驗研究院國家太空中心

## 「全球定位科學應用研究中心計畫」

### 出席國際學術會議報告

計畫名稱	全球定位科學應用研究委託案(3/3)	計畫編號	NSPO-S-101014
執行單位	國立中央大學-全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)	出席人員	楊舒芝
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input checked="" type="checkbox"/> 訪問 <input type="checkbox"/> 進修 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 國際會議 <input type="checkbox"/> 其他：		
出國目的	拜訪 Prof. Eugenia Kalnay 及 Prof. Takemasa Miyoshi 討論 WRF-LETKF 系統發展及系集觀測影響評估建置事宜。		
<p>本次訪問主要進行的工作項目有：</p> <p>1. 討論系集觀測影響評估工具建立及實務應用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>在 LETKF 同化系統屬序列式同化方法，且使用了局地化減少樣本誤差等所產生的錯誤誤差相關性。因此在估算觀測影響時亦需小心考量每一個觀測對於不同網格點的貢獻皆不同。</li> <li>藉由本次訪問，已成功在 WRF-LETKF 同化系統使用 Miyoshi (2011)所提出的 adaptive inflation 方法。但由於掩星觀測位置在連續的分析時間差異性頗大，可能不適合使用。但若不進行 inflation 處理，在陸地上的系集離散可能偏低，會影響陸地上掩星觀測的效益。未來應就此部分深入探討。</li> </ul> <p>2. 受邀進行演講與討論</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>至馬里蘭大學 Weather and Chaos 實驗室進行演講與小組討論。講題為” Improving EnKF spin-up for typhoon assimilation and prediction”</li> <li>國際合作                Collaboration with Prof. Shu-Hua Chen from University of California, Davis.                “Evaluating the impact from the airborne-based excess phase observation on typhoon assimilation and prediction”             </li> </ul>			

# 財團法人國家實驗研究院國家太空中心

## 「全球定位科學應用研究中心計畫」

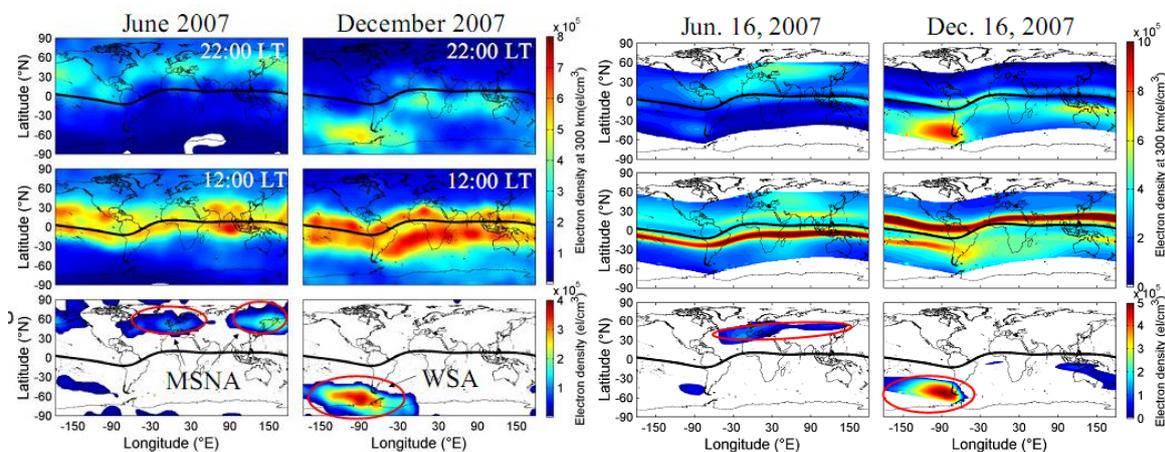
### 出席國際學術會議報告

102 年 2 月 4 日

計畫名稱	全球定位科學應用研究委託案(3/3)	計畫編號	NSPO-S-101014
執行單位	國立中央大學-全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)	出席人員	陳佳宏
會議時間 會議地點	101 年 12 月 2 日 至 12 月 9 日 美國		
會議名稱	(中文) 2012 年美國地球物理學會秋季會議 (英文) 2012 AGU Fall Meeting		
發表論文題目	(中文) (英文) Modeling study of the mid-latitude ionospheric nighttime electron density enhancement by SAMI3		
<p>報告內容應包括下列各項：</p> <p>一、會議目的</p> <p>本次參加會議的主要目的除了發表論文之外，主要是跟 SAMI3 模式的作者 Dr. Huba 討論目前 SAMI3 模式所遇到的問題，以及其解決方法，並且討論 SAMI3 模式整合 TIEGCM 模式的可能性。</p> <p>二、參加會議經過</p> <p><u>12/02</u> 從台南市搭程高鐵在高鐵桃園站轉車到桃園機場搭機前往美國舊金山機場。出了海關之後轉電車到預定的旅館入住休息，並查詢隔天研討會的相關資料</p> <p><u>12/03</u> 前往 Moscone South 會場報到之後參加研討會。</p> <p><u>12/04</u> 在 Moscone South 會場發表研究海報。</p> <p><u>12/05</u> 在 Moscone South 與 Moscone West 會場參加研討會。</p> <p><u>12/06</u> 在 Moscone South 與 Moscone West 會場參加研討會。</p> <p><u>12/07</u> 在 Moscone South 與 Moscone West 會場參加研討會。</p> <p><u>12/08</u> 搭機返回台灣桃園國際機場。</p> <p><u>12/09</u> 到達桃園機場之後轉搭高鐵回到台南。</p> <p>三、與會心得</p>			

AGU 今年的會議安排剛好每天都有想要聽的 section，一個星期的會議認識不少國內外學者也跟他們互相交換與討論研究成果，得到許多寶貴的經驗，對我來說是這一趟行程最有價值的地方。因為本身也有在做電離層 GPS 三維電子濃度反演的研究，東京大學的 Dr. Seto 提到目前這項技術仍有一些問題需要克服：1)時間，全球和連續性問題；2)GPS 接收器誤差問題；3)垂直尺度問題；4)觀測沒有含蓋海洋問題；5)如何從資料插入等問題。他提到說，搭配各種觀測資料以及資料同化(data assimilation)的方式，是最理想的解決方式。另外，資料同化中 error covariance 是影響其結果的重要參數之一，如何取得或如何計算 error covariance 的分佈將會是一個課題。國外的研究團隊早年開始便已經投入電離層資料同化技術，然而國內目前尚處理剛開始起步的階段，期望能透過多與國外學者的交流，進而加速推動國內資料同化的技術與發展。

這一次發表的題目是利用 SAMI3 模式配合 TIEGCM 模式在不同潮汐中性風的情況之下，研究中緯度地區電子濃度增加現象的物理機制。福衛三號(FORMOSAT-3/COSMIC)提供全球的電子濃度觀測資料，其研究發現在中緯度的夏季，存在一個夜間電子濃度的異常現象：夜間電子濃度大於白天。這個異常現象發生在特定的經度區域：北半球在歐洲與東亞洲，而南半球則是發生在南美洲。理論模式研究發現，夜間往赤道吹的中性風為最主要的機制。利用 SAMI3 模式加上 TIEGCM 得到的中性風可以模擬出南半球夏季電子濃度夜間異常現象，然而北半球的模擬結果卻只能在中亞地區出現夜間異常現象，跟觀測資料有兩個異常區域不一樣，推測跟 SAMI3 模式利用 central dipole 磁座標有關，關於這個問題，在會議期間與 SAMI3 作者 Dr. Huba 討論過，期望將來可以透過改變 SAMI3 模式的磁座標為 realistic magnetic field 來修正。



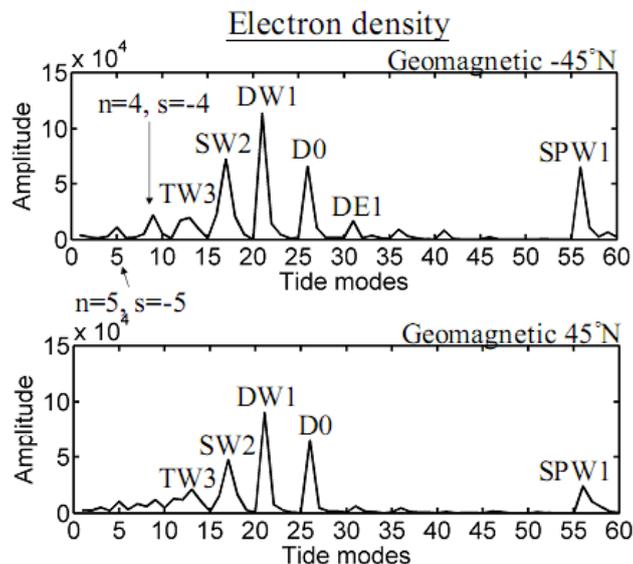
※上圖左是利用福衛三號衛星資料所觀測到的 2007 年六月份及十二月份電子濃度夜間(左上)，白天(左中)和電子濃度的差(左下)。右圖是利用 SAMI2 模式模擬電子濃度的變化。

將南半球與北半球磁緯度 45 度的資料利用下面的式子拿來做潮汐頻譜分析，可以得到不同潮汐的分量及其最初相位的分解結果。

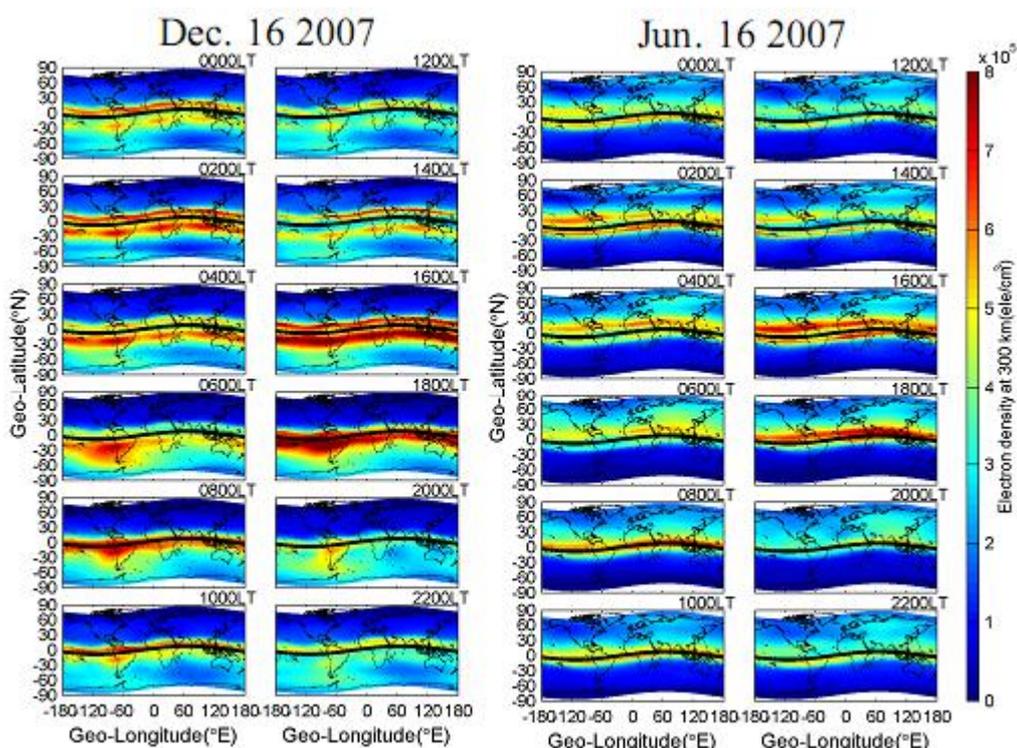
$$X(t_{LT}, \lambda) = \bar{X} + \sum_{n=1}^5 \sum_{s=-5}^5 A_{n,s} \cos[n\Omega t_{LT} - (n+s)\lambda + \theta_{n,s}] + \sum_{s=1}^5 A_{n,s} \cos(-s\lambda + \theta_{n,s})$$

其中 X 是電子濃度， $\bar{X}$  是徑向與時向平均電子濃度，A 是振幅， $\Omega$  是週期，n 是簡協振盪數，s 是波數， $\lambda$  是經度， $\theta$  是最初相位。潮汐分解分析結果如下圖所示，南北半球都存在

有太陽同步潮汐項(migrating tide)：DW1，SW2 與 TW3。另外全日潮(diurnal tide)的項也有相當明顯的振幅，說明夜間電子濃度異常最主要是由全日潮的中性風所造成的。因此，將全日潮項的中性風資料去掉之後，可以重建電子濃度隨時間的分佈。結果發現，南北半球夜間電子濃度異常現象消失，這說明了全日潮的重要性。



※南半球(上)和北半球(下)磁緯度 45 度電子濃度的潮汐分析結果。



※去掉全日潮分量之後，南半球夏季(左)和北半球夏季(右)電子濃度隨時間的變化情形。圖中黑色線為磁赤道。

跟京都大學 Prof. Saito 與電氣通信大學 Dr. Matsumura 討論將來互相合作研究。日本 7 月份發射一顆 all sky camera 到國際太空站上(ISS-IMAP)，目的由宇宙來觀測地球大氣輝光，Prof. Saito 為主要團隊的發起人。台灣福衛二號衛星同樣可以提供地球大氣輝光的觀測資

料，配合 ISS-IMAP 不同軌道的聯合觀測，預計可以反推大氣輝光的三維結構。另外，電氣通信大學 Dr. Matsumura 主要研究為大氣波動對電離層的影響，之前日本 311 地震時，他的大氣模式以理論方式驗證出地震波動傳到電離層時對電子濃度波動造成改變，其成果非常受到國際上的注目。跟他合作的題目為研究火箭升空通過電離層時，對電子濃度造成影響的理論研究，地面 GPS 觀測資料顯示有明顯的電子濃度下降的區域，希望能夠以理論模式加以驗證，預計完成之後能夠加強探空偵測的技術。

#### 四、建議

這一次 AGU 會議跟許多平時很少能夠直接接觸到的學者互相交換研究經驗，以及討論互相合作的可能性，對於國內地球科學方面的研究能夠更進一步與國際接軌，甚至領先國際。當然，光是老師們參加國際會議是不夠的，希望以後能夠多多鼓勵與提供更多研究員與學生參與國際會議的機會，為國內地球科學研究注入新血。

#### 五、攜回資料名稱及內容

會議摘要書一本。

#### 六、其他

附件一： 論文摘要

# 財團法人國家實驗研究院國家太空中心

## 「全球定位科學應用研究中心計畫」

### 出席國際學術會議報告

101 年 11 月 1 日

計畫名稱	全球定位科學應用研究委託案(3/3)	計畫編號	NSPO-S-101014
執行單位	國立中央大學-全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)	出席人員	蔡和芳
會議時間	101 年 3 月 27 日 至 4 月 5 日		
會議地點	美國		
會議名稱	(中文) 國際掩星第二次工作會議 (英文) IROWG-2		
發表論文題目	(中文) (英文) Global Distribution of Ionosphere and Plasmasphere Observed by FORMOSAT-3/COSMIC		

報告內容應包括下列各項：

#### 一、會議目的

國際掩星第二次工作會議(IROWG-2)在美國召開,主要針對近年歐美積極發展的 GNSS 掩星科技、應用與未來發展,進行為期 6 天的通盤性討論。會中除了 GPS 掩星大氣與電離層反演技術的探討之外,也包括福衛三號掩星觀測量在大氣電離層常態與暫態變化的科學研究、掩星資料在數值天氣預報上的資料同化成效,以及創新掩星觀測實驗之設計等等。

本人於會中發表 2 篇會議論文。一篇以福衛三號觀測電離層與電漿層全球分布與變化的研究報告;一篇與黃成勇博士共同發表以福衛三號掩星大氣觀測量,估算電離層 E 層電子密度剖線的創新研究成果,均展示了國內對於福衛三號在電離層方面的探索,已獲得一定的成果。

#### 二、參加會議經過

3 月 27 日:出發日與黃成勇博士一同啟程經舊金山,飛往美國科羅拉多州丹佛市,再搭機場接駁車抵達科州 Estes Park 的會場旅館 check-in。

3 月 28 日至 4 月 3 日:開會第一天主要討論 GPS 掩星資料在數值天氣預報上的研究成果,包括歐洲 EUMETSAT、美、加、英、法、日等國之氣象預報系統。下午是長期天氣系統的 GPS 掩星氣候應用。有學者指出負折射率偏差(negative N-bias)的主因是超折射(super-refraction)和導管(ducting)。所謂導管是一種超折射被增強的形式,導致無線

電波被困在兩巨大平面範圍之間，並且導致場強跟隨顯著的增加和變化。此外，也討論了掩星資料處理技術，及掩星酬載儀器之設計。EUMETSAT 介紹 GRAS 掩星大氣資料的反演現況；UCAR 介紹 GPS 掩星大氣偏折角的誤差評估；NSPO 也展示福衛七號計畫的進程等等。第一天開始發表的 poster，主要展示利用福衛三號 GOX 酬載儀，觀測電離層和電漿層全球分布的應用，也引起許多專家學者的興趣，並與電漿層模式專家討論電漿層電子含量的分布，在質與量方面的異同。在新一代掩星技術方面，聽取了空對空 (LEO-LEO) 微波掩星實驗，以及 GNSS 海洋反射實驗等創新試驗的進展。在電離層掩星科學與技術方面，UCAR 將電離層反演的後續發展導向全球電離層資料同化模式，以 NeQuick 和 IRI 模式為基礎，對福衛三號 GOX 掩星、地面 GNSS-TEC、IGS 的全球電離層圖 (global ionosphere map) 等觀測資料進行同化，並以卡曼濾波 (Kalman filtering) 求解，得到初步的成果，值得借鏡。同行的黃成勇博士發表一篇以複雜的誤差評估分析結果，估算電離層 E 層電子密度剖線的新方法。過去，電離層 E 層一直被認為無法以傳統的方法反演出來，因此這篇可視為少數開創 E 層反演的新方向。大會在週末安排了分組討論。其中多數專家學者感興趣的是以新的觀測量開創新的科學應用，並提議請 CGMS 組織提供財源，支持創新且重要科技的前置研發工作。在論文海報方面，有學生運用福衛三號於地震電離層擾動、火山噴發後之大氣電離層變化的觀測研究。國內中央大學蘇信一教授也發表以降低電離層反演誤差的研究。都有相當值得參考的資訊。

4 月 4 日至 5 日返國：4 日由丹佛機場啟程經舊金山，於 5 日抵臺。

### 三、與會心得

因應未來福衛七號掩星實驗的到來，GNSS 掩星觀測技術與科學應用一直持續受到矚目。本會議報告近期的研究成果與發展。我國今年除了本人之外，還有多位教授、研究員、博士及學生參與，顯見國內學術界對此議題的重視。此行與國際學者的交流，亦有不錯的收穫。

### 四、建議

空載之 GNSS 掩星觀測技術在美國等先進國家，已發展了十數年之久，而在國內仍屬新興領域，因此本次國內參與此會的人數也不多見。今年下半年歐洲也將舉辦第三次工作會議 (IROWG-3)。建議鼓勵國內相關學者參與，以促進國內相關研究。

### 五、攜回資料名稱及內容

無。

### 六、其他

附件一：第 1 篇論文摘要

Global Distribution of Ionosphere and Plasmasphere Observed by the FORMOSAT-3/COSMIC Satellites

Ho-Fang Tsai<sup>1</sup>, Tiffany Ho<sup>2</sup>, Cheng-Yung Huang<sup>1</sup>, Jann-Yenq Liu<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>GPS Science and Application Research Center, National Central University, Taiwan.

<sup>2</sup>Taiwan Analysis Center for COSMIC (TACC), Central Weather Bureau, Taiwan.

<sup>3</sup>Institute of Space Science, National Central University, Taiwan.

<sup>4</sup>National Space Organization, Taiwan.

The traditional global ionosphere map (GIM) provides a series of “snapshots” of the total electron content (TEC), which blends with a part of the plasmasphere. The use of the FORMOSAT-3/COSMIC (F3/C) radio-occultation (RO) and non-RO data provides an opportunity to study the ionosphere and plasmasphere individually. The global plasmasphere map (GPM) constructed from the F3/C non-RO absolute TEC shows the structure and motion of the plasmasphere, while the redefined GIM blended with F3/C RO data and the plasmasphere-free ground GPS data shows the global ionospheric content below 800 km altitude. The ionosphere and plasmasphere monitoring also reveal the interaction between them.

附件二：第 2 篇論文摘要

Electron density profiles of FORMOSAT-3/COSMIC at E-Layer

Cheng-Yung Huang<sup>1</sup>, Tung-Tuan Hsiao<sup>2</sup>, Ho-Fang Tsai<sup>1</sup>, We-Hao Yen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>GPS Science and Application Research Center, National Central University, Taiwan.

<sup>2</sup>Department of Information Technology, Hsing Wu Institute of Technology, Taiwan.

<sup>3</sup>Department of Electrical Engineering, National Central University, Taiwan.

The accuracy of GPS RO electron density is still need to be improved, due to errors of approximation of spherical symmetry of electron density in Abel-inversion, misestimate top electron density and others. A method combining with 1Hz ionospheric and 50Hz atmospheric excess phase data is developed to fix the bias for lower ionospheric electron density (E-Layer). The method is validated by simulation with IRI-2007 model and function well in FORMOSAT-3/COSMIC RO data except little cases. The comparisons of electron density profiles with IRI and ionosondes will be showed and the special cases will also be discussed in this study.

# 財團法人國家實驗研究院國家太空中心

## 「全球定位科學應用研究中心計畫」

### 出席國際學術會議報告

101 年 11 月 20 日

計畫名稱	全球定位科學應用研究委託案(3/3)	計畫編號	NSPO-S-101014
執行單位	國立中央大學-全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)	出席人員	蔡和芳
會議時間	101 年 11 月 3 日 至 11 月 10 日		
會議地點	德國		
會議名稱	(中文) 參訪德國 EUMETSAT (英文)		
發表演文題目	(中文) (英文)		
報告內容應包括下列各項：			
一、會議目的			
<p>本次赴德國 EUMETSAT 參訪，主要瞭解歐洲氣象衛星組織所發展的 GPS 掩星資料處理系統，作為未來福衛七號 GNSS 掩星資料處理系統之參考。</p> <p>歐洲氣象衛星開發組織(EUMETSAT)於今年 9 月發射第二顆 Metop 衛星，酬載了 GPS 掩星觀測儀器，與臺灣近年發展的福衛三號和七號任務關係密切。去年初步造訪該組織，已瞭解其所發展的 GPS 掩星資料處理系統架構，並洽談資料交流及合作事宜。因得知該組織不止開放其掩星資料及產品，也同意公開其掩星程式，對我方發展福七 GNSS 掩星資料處理軟體有很大的參考價值，故國家太空中心與中央氣象局各派一人，合計三人一同前往 EUMETSAT 聽取其軟體發展現況，並取回軟體及掩星資料供後續分析與參考。</p> <p>EUMETSAT 表示他們受限於 3 分鐘的掩星資料處理時限，因此無法進行長時間之 LEO 精密定軌 (POD)，但其軌道精度對大氣反演結果的影響甚小，故可確保即時作業無誤。這點與美國 CDAAC 的做法相當不同，也值得借鏡。另一方面，福七衛星群預計於 2016 和 2018 年分兩次發射，與 EUMETSAT 第三顆 Metop 衛星相近，因此對方也很樂意加強臺歐雙邊關係，表示願意提供近即時的相關輔助資料給我方。這對臺灣大氣掩星方面的國際合作關係，具有顯著且實質的意義。</p>			
二、參加會議經過			

11月3-4日：3日啟程直飛德國法蘭克福機場，再搭機場接駁車抵達 Darmstadt 旅館 check-in。

11月5-8日：EUMETSAT 為發展全球氣象衛星觀測，於2006年發射了第一顆 Metop 衛星，即 Metop-A。今年9月再發射第二顆衛星 (Metop-B)，並預計於2017年發射第三顆衛星 (Metop-C)。這三顆衛星都酬了 GPS 掩星接收機 (稱為 GRAS)，因此他們發展了一套 GPS 掩星資料處理系統，即時分析 GRAS 觀測資料，以提供歐洲氣象預報中心數值天氣預報之用。過去 EUMETSAT 已公開其掩星資料及資料產品，並致力於公開其掩星資料處理程式。該組織的 Christian Marquardt 博士在今年6月5日的電子郵件中表示：他們可以提供軟體雛型 (prototype) 給我。促成此次與國家太空中心陳坤林、中央氣象局黃俊穎等三人，共赴 EUMETSAT 進行掩星資料處理軟體之交流，並取回程式一份供後續參考。參訪期間，Marquardt 亦表示：該軟體雛型已以 GPL 的形式，成為開放原始碼 (open source)，且與他們作業中的掩星資料處理之科學演算法相同。表示我們已取得與他們作業軟體一致的核心科學程式。第一天在簡單介紹雙方認識後，即由 Yago Andres 博士為我們講解 EUMETSAT 掩星資料處理系統架構，及其與外部單位交換資料的關係。他也說明作業所使用的掩星軟體與稱為 YAROS 的軟體雛型的關係，以及資料處理流程圖、資料級別 (level)、資料長度、資料格式與相關之處理程式之間的關係。在安裝 YAROS 到我們帶去的電腦前，必須先安裝很多套件。由於 Marquardt 正在撰寫安裝及操作等相關說明文件，因此大部分的時間都在對方一面講解，我們一面安裝中渡過。由於我們三人所使用的 Linux 系統版本都不相同，所以在透過網路取得並安裝所有套件原始碼時，遇到了許多困難。在解決上述問題之後，要再透過網路取得 YAROS 軟體時，又遇到 EUMETSAT 網路的設定與限制，必須經由外部網路連線，以 SVN 版本控制系統下載 YAROS 原始碼。同樣在安裝及設定 YAROS 程式時，也需要他們從旁指導才能順利完成。畢竟該軟體不是商業軟體，還沒有很完整的客製化，因此對方也在帶領我們安裝之中，學到撰寫相關說明文件應注意的地方，並修正文件草稿中的錯誤。參訪期間也帶我們參觀他們的地面操作機房，簡介衛星控制系統、操作人員的工作，以及異常提示與排除等等。其中衛星控制系統又分成主要及備用兩區。顧名思義，主要系統負責即時作業；備用系統只有在主系統無法工作時才啟動。即時作業定義為3分鐘時限，即每一筆掩星觀測量都必須在3分鐘內處理至大氣偏折角，因此無法像美國 CDAAC 那樣，取數小時的衛星軌道資料，進行長時間軌道積分及定軌。此外，他們也不使用 Bernese 商業軟體，而使用免費的 NAPEOS 軟體來解算 Metop 衛星軌道。Yoke Yoon 博士表示：儘量時間很短，但他們的 LEO 精密定軌 (POD) 處理結果之軌道精度，對於大氣反演結果之影響甚小，可忽略不計。這確保 EUMETSAT 可即時提供大氣偏折角給氣象中心之數值天氣預報系統，做掩星資料同化。最後一天，Marquardt 說明 EUMETSAT 對未來衛星的規劃進程，並明確表示他們有潛時 (latency) 50分鐘的近即時地面觀測資料可提供給我們。因為福三和福七掩星資料處理都需要全球的地面觀測資料，因此建議臺灣資料分析中心 (TDPC) 與國家太空中心可考慮其時效之實用性。至少可用於後處理程序。

11月9-10日：9日由德國法蘭克福機場啟程直飛臺北，於10日抵臺。

### 三、與會心得

因應未來福衛七號掩星實驗的到來，GNSS 掩星觀測技術與科學應用一直持續受到矚目。此行主要聽取 EUMETSAT 掩星資料處理之作業軟體與軟體雛型的關係、軟體雛型的內容，並取回程式一份供後續參考。在僅 3 分鐘的時限下，EUMETSAT 發展另一套解決即時精密定軌的方法，並確保其結果不會影響大氣反演的品質。此外，與其交換意見中，對方也明確表示可提供我方潛時 50 分鐘的近即地 GPS 地面觀測資料。對於未來 GNSS 掩星資料處理之發展，都有相當不錯的收穫，值得更進一步的分析其資料處理方法，以應用於未來的福七任務。

#### 四、建議

除了美國 UCAR，歐洲 EUMETSAT 亦發展一套自主的 GPS 掩星資料處理作業軟體，用於歐洲數值天氣預報系統。其發展之軟體架構、資料處理方法、原始觀測資料及衍生之資料產品規格及發送機制，均值得國內發展福衛七號計畫之 GNSS 掩星資料處理系統之參考。因此建議鼓勵國內相關學者參與，以促進國內相關研究。

#### 五、攜回資料名稱及內容

無。

#### 六、其他

無。

# 財團法人國家實驗研究院國家太空中心

## 「全球定位科學應用研究中心計畫」

### 出席國際學術會議報告

年 月 日

計畫名稱	全球定位科學應用研究委託案(3/3)	計畫編號	NSPO-S-101014
執行單位	國立中央大學-全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)	出席人員	曾子榜
時間會議	2012/10/30~2012/11/1		
地點	Boulder, Colorado U.S.A.		
會議名稱	(中文)第六次福衛三號資料使用者會議 (英文) Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data User's Workshop		
發表論文題目	(中文) (英文) Quality assessments of receiver clocks onboard FORMOSAT-3/COSMIC and GRACE satellites based on orbit determination using GPS		
<p>報告內容應包括下列各項：</p> <p>一、參加會議經過</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 10月29日晚上七點多搭乘班機前往美國舊金山，由於天氣關係，預定從舊金山到丹佛的航班取消，改搭班機到洛杉磯再轉機到丹佛，原本預定美國時間10月29日晚上抵達丹佛，延遲到10月30日中午才抵達開會會場。</li> <li>2. 聆聽演講。</li> <li>3. 10月31日的議程分成兩個 section 同時進行，上午我選擇資料處理的 section。</li> <li>4. 下午選擇對自己本身研究較為相關的 RO 資料應的 section。</li> <li>5. 我自身的演講被安排在11月1日上午，主要演講內容為福衛三號現階段的定軌誤差來源，以及這些誤差來源希望能在福衛七號中被改善。</li> <li>6. 11月1日傍晚七點多的班機前往舊金山轉機回台灣。</li> <li>7. 11月3日抵達台灣。</li> </ol> <p>二、與會心得</p> <p>此次參與 Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data User's Workshop，發覺較少人使用福衛三號的資料於衛星大地這研究領域，因此本人無法與太多相關的學者討論。但藉由吾人的演講，希望能激發其他研究團隊對於衛星定軌這一領域的重視。</p> <p>三、攜回資料及內容</p> <p>四、考察參觀活動(無是項活動者省略)</p> <p>五、建議</p>			

# 財團法人國家實驗研究院國家太空中心

## 「全球定位科學應用研究中心計畫」

### 出席國際學術會議報告

年 月 日

計畫名稱	全球定位科學應用研究委託案(3/3)	計畫編號	NSPO-S-101014
執行單位	國立中央大學-全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)	出席人員	黃成勇
時間會議	2012/03/27~2012/04/03		
地點	Boulder, Colorado U.S.A.		
會議名稱	(中文)全球 RO 技術學術會議 (英文) IROWG 2nd Workshop		
發表演文題目	(中文)利用三號衛星資料觀測散塊 E 層 (英文) Electron density profiles of FORMOSAT-3/COSMIC at E-Layer		

報告內容應包括下列各項：

#### 參加會議經過

3 月 26 日從台灣搭乘長榮飛往美國，美國時間 3 月 27 日下午上抵達旅館，並完成註冊。

3 月 30 日第六個 session 報告題目為” Electron density profiles of FORMOSAT-3/COSMIC at E-Layer”。

會中討論了 RO 可改進的地方，如 WO 反演方法，邊界層如何改進，雲高參數定義等等。

#### 與會心得

此次參加會議最重要收穫為獲得各國如歐洲和美國目前在 RO 方面技術的研究和應用。RO 在氣象的應用已被廣泛接收，其精確度也相當大的提升。在會中也對未來 RO 任務的方向以及未來進行 GNSS 訊號觀測的可能性多所討論。對未來衛星任務方向多所討論，對於 RO 和 GNSS 未來能有的觀測能力相當驚訝，可雖是讓我增加很多視野，也啟發了我的想像力。

攜回資料及內容：開會後，於 COSMIC 網站上可下載相關報告檔案。

建議：多點機會給學生參與。

# 財團法人國家實驗研究院國家太空中心

## 「全球定位科學應用研究中心計畫」

### 出席國際學術會議報告

年 月 日

計畫名稱	全球定位科學應用研究委託案(3/3)	計畫編號	NSPO-S-101014
執行單位	國立中央大學-全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)	出席人員	黃成勇
會議時間	2012/10/30~2012/11/1		
地點	Boulder, Colorado U.S.A.		
會議名稱	(中文)第六次福衛三號資料使用者會議 (英文) Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data User's Workshop		
發表論文題目	(中文)利用三號衛星資料觀測散塊 E 層 (英文) Detection of ionospheric sporadic-E layer by using signal to noise ratio data of GPS radio occultation technique		

報告內容應包括下列各項：

#### 一、參加會議經過

1. 10月29日晚上七點多從台灣搭乘長榮飛往美國舊金山，由於美國東岸颶風侵襲，美國飛機調度出問題，原本從舊金山到丹佛的航班取消，改搭班機到洛杉磯再轉機到丹佛，原本預定美國時間10月29日晚上抵達丹佛，延遲到10月30日中午才抵達開會會場。
2. 10月30日到達會場後，幫 NSPO 方振洲張貼由 HHT 分析三號硬體資訊的分析成果，題目為“Preliminary Studies of the Applications of HHT (Hilbert-Huang Transform) on FORMOSAT-3/COSMIC GOX Payload Trending Data”。
3. 10月31日議程分成兩個 section 同時進行，上午聆聽資料處理的會議。下午聆聽 RO 資料對於電離層探測的應用。原本我要報告的題目，由博士生葉文豪報告，題目為 [Amplitude morphology of GPS radio occultation data for sporadic-E layers](#)，我則幫朱延祥朱教授報告下一個題目 [Morphology of Sporadic E Layer Retrieved from COSMIC GPS Radio Occultation Measurements](#)。

#### 二、與會心得

此次參與 Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data User's Workshop 在學術上的收穫很多，德國 GFZ 的 Jens Wickertc 和美國學者給了許多寶貴的建議。不管是海報或是演講，都離不開 Radio Occultation 的技術及應用，並且藉由其他學者的研究結果，對於未來研究的題目以及軟體的發展都有相大大的幫助。

#### 三、攜回資料及內容

開會後，於 COSMIC 網站上可下載相關報告檔案。

四、考察參觀活動(無是項活動者省略)

五、建議

# 財團法人國家實驗研究院國家太空中心

## 「全球定位科學應用研究中心計畫」

### 出席國際學術會議報告

年 月 日

計畫名稱	全球定位科學應用研究委託案(3/3)	計畫編號	NSPO-S-101014
執行單位	國立中央大學-全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)	出席人員	葉文豪
會議時間	2012/10/30~2012/11/1		
地點	Boulder, Colorado U.S.A.		
會議名稱	(中文)第六次福衛三號資料使用者會議 (英文)Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data User's Workshop		
發表論文題目	(中文) (英文) Detection of ionospheric sporadic-E layer by using signal to noise ratio data of GPS radio occultation technique		

報告內容應包括下列各項：

#### 一、參加會議經過

4. 10月29日晚上七點多搭乘班機前往美國舊金山，由於天氣關係，預定從舊金山到丹佛的航班取消，改搭班機到洛杉磯再轉機到丹佛，原本預定美國時間10月29日晚上抵達丹佛，延遲到10月30日中午才抵達開會會場。
5. 張貼海報並聆聽演講。
6. 在下午四點到五點間，每有張貼海報論文的學生都必須上台對自己的海報內容進行三分鐘的簡介。
7. 下午五點之後為海報時間，在一個多小時的時間內，跟三至四個對自己海報內容有興趣的學者進行討論。
8. 10月31日的議程分成兩個 section 同時進行，上午我選擇資料處理的 section。
9. 下午選擇 RO 資料對於電離層探測的應用這個 section，因為跟自己目前的研究比較有相關。
10. 11月1日上午的演講大部分都是現階段福衛三號的狀況，以及未來的展望。
11. 11月1日傍晚七點多的班機前往舊金山轉機回台灣。
12. 11月3日抵達台灣。

#### 二、與會心得

此次參與 Sixth FORMOSAT-3/COSMIC Data User's Workshop 在學術上的收穫很多，不管是海報或是演講，都離不開 Radio Occultation 的技術及應用，並且藉由其他學者的研究結果，對於未來的研究方向有更多的啟發。

三、攜回資料及內容

四、考察參觀活動(無是項活動者省略)

五、建議

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(2.1)：不同掩星觀測算子對劇烈天氣個案預報之影

響效益報告(III)

計畫名稱：以掩星資料進行颱風與豪雨個案分析與模擬：調整偏折角

掩星觀測算子之觀測誤差，分析其對劇烈天氣個案之敏感

度，並比較不同掩星觀測算子(局部折射率、非局部折射率、

偏折角)對劇烈天氣個案預報之影響差別

執行期間： 2012/02/18~2013/02/17

分項工作管理人：黃清勇

參與人員：鄧雯心、吳俊澤

中 華 民 國 1 0 2 年 1 月

## 一、 摘要

雖然GPS 掩星觀測折射率(refractivity)同化已被證實為方便可靠的同化，對區域天氣預報亦有實質的改善，但目前全球模式同化GPS 掩星觀測時，大都使用局地偏折角(local bending angle) 觀測算子(observation operator)，直接在垂直層上觀測點進行同化。因為採用局地假設(即代表此局地點的偏折角)，不須求解二維的射線方程，因此無複雜的二維非局地偏折角觀測算子之耗時，同時相較於折射率同化，局地偏折角同化優勢在於可以直接使用更上游反演的射線路徑的偏折角。但預報模式並無偏折角變量，須由Abel transform將模式折射率反算出偏折角，再插分至觀測點來代表局部偏折角，並與觀測偏折角(非局地代表值)比較。我們已於100年度將局部偏折角算子建置於WRF VAR3.3及其向前算子建置於WRF EnKF，並完成同化測試及與折射率進行預報實驗比較。第二期本年度(101年度)的主要工作目標將更深入了解局部偏折角算子，進行分析改善及其觀測誤差最佳化，並針對不同同化算子進行系統性的實驗比較。依此子計畫交付項目，本年度工作目標如下：

1. 進行局地偏折角算子於同化系統WRF VAR3.3最佳化及觀測誤差調整，分析及改善局地偏折角算子，探討同化上游GPS偏折角觀測對2010年Fanapi預報模擬的影響及對預報之敏感度。
2. 導入福三掩星觀測，比較局地偏折角、局地折射率及非局地折射率之同化效益，探討對2010年Fanapi颱風個案預報之影響，。
3. 導入福三掩星觀測，比較同化局地偏折角、局地折射率及非局地折射率之分析效益，評估局地偏折角同化對於2012年梅雨預報模擬之影響。

## 二、 背景說明

FORMOSAT-3/COSMIC氣象研究目標主要在充分使用GPS掩星觀測資料於預報模式，藉以了解其對區域天氣預報及全球分析或預報改善之程度，同時探討衛星資料同化理論與技術之發展。所謂GPS掩星觀測，係利用小型低軌道

(low-earth-orbit; LEO)的衛星接收全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)訊號，經由無線電掩星(radio occultation)方法來估計電磁波穿過大氣圈時的偏折角(bending angle)，再據反演原理以算出大氣折射率(refractivity)的分布(詳見黃與朱，2004)。關於GPS掩星觀測資料的高精確程度，已有許多研究深入探討，並與無線電探空比較(Ware et al. 1996; Anthes et al. 2008)。

在導入GPS觀測之折射率或偏折角進行同化時，必須完成所謂的觀測算子(observation operator)。折射率( $N$ )並非模式直接預報變數，因此須由觀測運算子將模式預報的氣象參數和折射率連結起來。折射率定義為 $N = (n-1) \times 10^6$ ， $n$ 為折射指數(為在真空光速與在介質光速之比值)，由實驗得知 $N = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{P_w}{T^2}$ ，其中 $T$ 為溫度， $P$ 為乾空氣壓， $P_w$ 為水汽壓。此式為局地折射率(local refractivity)。而由GPS射線穿越大氣抵LEO之射線可反求出偏折角，再依Abel inversion方法(假設局地球對稱)則可導出折射率。在穿越低層大氣時，由於空氣密度較高、水平梯度亦較大，此由LEO觀測導出之折射率與局部折射率會有較大之誤差。使用偏折角來同化，即不必再假設穿越路徑之折射須嚴格對稱(相對於該近地點)，因此理論上其誤差較小(Zou et al. 1999; Sokolovskiy et al. 2005; Chen 2008; Chen et al. 2009)。而由GPS ray-tracing穿越大氣抵LEO之射線偏折角及其依Abel inversion方法(假設球對稱)導出之折射率，為積分路徑折射率(path refractivity)，反應切過近地點某路徑總折射效應。在穿越低層大氣時，由於空氣密度較高、水平梯度亦較大，此由LEO觀測導出之折射率與局部折射率會有較大之誤差。使用偏折角來同化，即不必再假設穿越路徑之折射須嚴格對稱(相對於該近地點)，因此理論上其誤差較小(Zou et al. 1999; Sokolovskiy et al. 2005)。

偏折角同化的運算子其難度較高，必須求 ray-tracing 方程，即 $d^2 \bar{x} / d\tau^2 = n \bar{\nabla} n$ ( $\bar{x}$ 為射線位置向量)，以導出偏折角進而與觀測偏折角比較(Zou et al. 1999)。在有限區域模式及模擬較高解析度時，由於模式分析場水平變化大，此同化運算

子之價值函數  $J$  有不易收斂而耗時之缺點。過去 ray-tracing 模擬研究 (e.g., Zou et al. 1999) 亦指出影響偏折角僅於近地點附近之 600 公里半徑內之大氣。因此在相當好的近似下, 可以假設射線為直線, 由其反演計算出之折射率已非局地折射率, 因此與觀測之折射率本質相近。目前吾人已將同化沿射線路徑積分的折射率總量此算子 (nonlocal operator) 建置於 WRF 3DVAR 並完成颱風個案論文 (詳見 Chen et al. 2009; Kueh et al. 2009), 並已完成福三此非局地折射率觀測誤差之統計分析 (Chen et al. 2011)。

ECMWF 於 2006 年 12 月即已將 FORMOSAT-3/COSMIC 資料納入全球模式從事即時作業預報, 同化方法為使用全球模式 4DVAR 來同化局地偏折角, Healy (2007, 2008) 檢視全球模式的分析場及預報場, 發現加入 FORMOSAT-3/COSMIC 資料對上對流層及平流層之溫度場之分析及預報有非常正面的效益, 這個效益是在同化非常多種且數量大很多倍的其它衛星資料之後。目前中央氣象局使用 GSI (3DVAR) 來同化局地偏折角, 在全球模式 7 天的預報上發現可增加約 0.03 的正相關性, 當同化折射率時, 預報改進效益並未減少。

然而, 非局地偏折角的同化運算子其難度較高, 必須求 ray-tracing 方程, 即  $d^2\bar{x}/d\tau^2 = n\bar{\nabla}n$  ( $\bar{x}$  為射線位置向量), 以算出實際模式偏折角進而與觀測偏折角比較 (Zou et al. 1999)。在有限區域模式及模擬較高解析度時, 由於模式分析場水平變化大, 此同化運算子之價值函數有不易收斂而耗時之缺點。目前在全球模式同化 GPS 掩星觀測時, 大都使用局地偏折角 (local bending angle), 優勢為直接使用更上游的掩星觀測之偏折角 (相較於折射率)。所謂 "local", 即假設此為模式局部值, 不須求 ray-tracing 方程, 在作業上非常簡單可行。但模式並無偏折角變量, 直接同化觀測之偏折角仍有困難, 因此須由 Abel transform 倒推模式局地折射率回模式局地偏折角, 再插分至觀測點位置得到局部偏折角才能與掩星觀測之偏折角進行比較或同化, 因此此法須完成 Abel transform

$\alpha(a) = -2a \int_{r_p}^{\infty} \frac{d \ln(n)/dr}{\sqrt{n^2 r^2 - a^2}} dr$  ( $a$  為 impact parameter,  $r$  為距地心距離) 的向前算子

(forward operator)、切線算子(tangent linear)及伴隨算子(adjoint operator)。我們在 100 年度已將自行發展之局部偏折角算子模導入 WRF VAR3.3。由於歐洲衛星中心(EUMETSAT)已將局地偏折角同化應用於 ECMWF 每日的全球作業預報，為比較本計畫 100 年度發展之局地偏折角算子之精確度，使用本計畫自行發展之偏折角算子(NCU 方法)及歐洲衛星中心發展 ROPP 之算子(GRAS SAF 方法)，則顯示使用 NCU 運算子計算之偏折角與觀測非常接近，最大差異量僅  $\pm 4 \times 10^{-5}$ (rad)，當使用 GRAS SAF 運算子，則最大誤差維持於  $2 \times 10^{-3}$ (rad)，主要因為 ECMWF 運算子在計算局地偏折角時使用一些假設，進行簡化近似計算，而 NCU 運算子則是直接計算(詳見 99 年度、100 年度之期末報告)。

我們在 100 年度之主要工作任務為分析及探討局地偏折角的同化效益，並與局地折射率同化進行比較，分析二者對於劇烈天氣個案分析與模擬的效益差異，主要針對莫拉克颱風及凡那比颱風，詳見 100 年度期末報告。其中以凡那比(Fanapi)颱風為例，取模擬初始時間，同化 2010 年 9 月 17 日 0000UTC 之福三掩星觀測(偏折角及折射率)，共計 22 筆資料，如圖 1。模擬實驗設計含

- none: 直接利用 NCEP FNL 分析場作為 WRF 模式 3.3 初始場，不進行資料同化，進行三層巢狀模擬。
- atmprf: 如 none，但同化福三偏折角。
- wetprf: 如 none，同化福三折射率。

由圖 2 模擬結果比較同化偏折角之結果與同化折射率之表現，雖然在路徑上較為南偏，但在中心模擬上可以得到較強的結果。wetprf(同化折射率)與 none(無同化)二者表現頗為接近，不似 atmprf(同化偏折角)來得明顯。對莫拉克颱風來說，同化偏折角似乎比同化折射率在路徑及強度上有較佳的表現，但仍未達到統計上顯著的程度。此初期研究顯示必須再探討偏折角同化效益，使其臻至最佳化，於本年度持續進行。

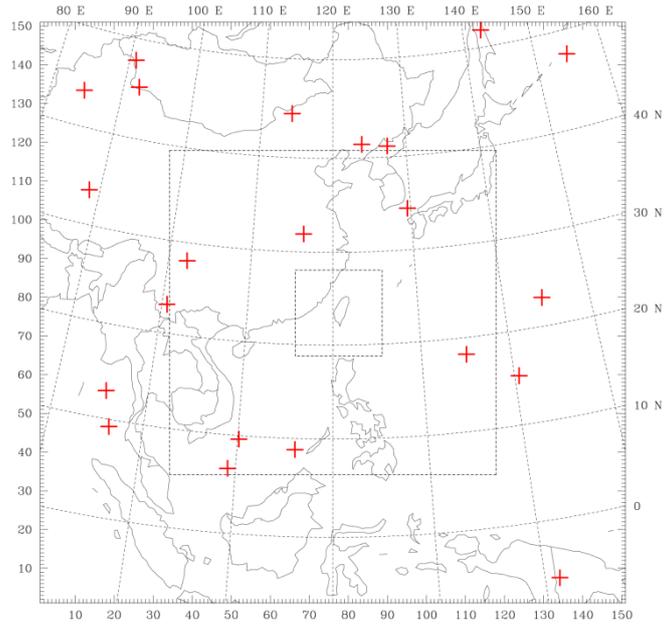


圖 1. 凡那比(Fanapi)颱風之 GPS 掩星觀測分布圖，分析時間 2010 年 9 月 17 日 0000 UTC 之 $\pm 3$  小時同化窗內，共計 22 筆資料。及 WRF Domain1(151\*151)、Domain 2(253\*253)、Domain 3(151\*151)網格分布圖。

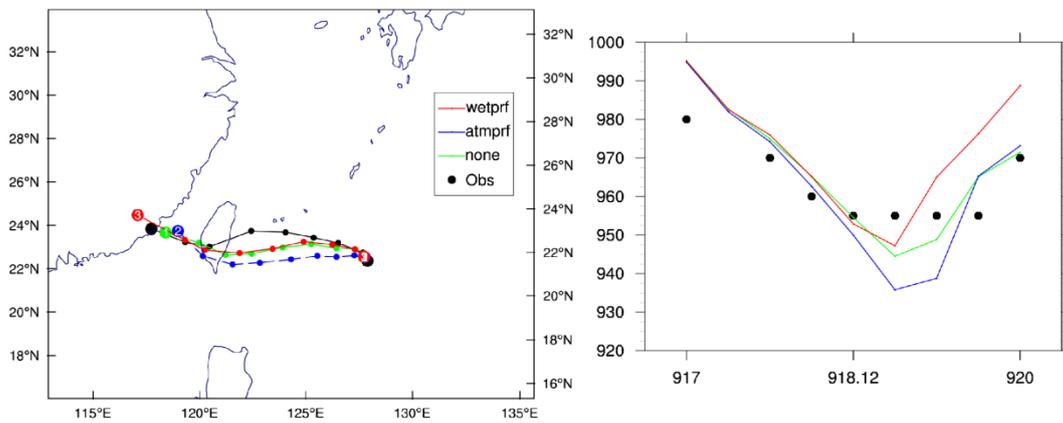


圖 2. Fanapi(2010)模擬結果，(左)模擬路徑，(右)模擬之颱風中心最低氣壓(打點為觀測值)。

本年度(101年度)依交付項目需求，繼續過去研發工作，在此子計畫針對不同GPS觀測同化算子進行系統性實驗比較。為客觀比較，我們使用氣象局及颱風洪

中心相同的WRF VAR同化系統，本計畫之研究成果因此可以迅速回饋於上述兩個單位來參考。基本上，本計畫所進行的三種觀測同化算子已是目前國際作業單位及學術研究上之前鋒，如能獲至清晰的正面結論，對推展我國福三資料的應用價值將會更上層樓。

### 三、 成果報告

針對 2010 年影響台灣之梅姬(Megi)颱風個案使用 WRF V3.3 以及 WRFDA V3.3 進行模擬實驗，以 WRF 3DVAR 的資料同化方法進行同化。模式初始場使用 NCEP/AVN 全球模式分析資料，模擬實驗為三層巢狀網格，梅姬颱風模式網格數則為 181×172、211×211、241×241，水平解析度三層分別為 45、15 和 5 公里，垂直層數為 35 層。對此個案測試延伸，除了局地折射率及偏折角外，實驗另同化非局地折射率。分別為控制組(簡稱 CTL)，表示不同化資料;同化 WRFDAv3.3 版 FORMOSAT-3 GPS RO 局地折射率資料(簡稱 REFv3.3);同化 FORMOSAT-3 GPS RO 局地偏折角資料(簡稱 LBA)；同化 WRFDAv3.2 版 FORMOSAT-3 GPS RO 局地折射率資料(簡稱 REFv3.2);同化 FORMOSAT-3 GPS RO 非局地折射率資料(簡稱 EPH)。討論兩個不同初始時間的個案模擬結果，分別為初始時間 10/17 0000 UTC，預報 72 小時，同化資料點數 31 點；初始時間 10/19 0000 UTC，預報 72 小時，同化資料點數 35 點(表 1)。圖 3 為模式巢狀網格大小設定。

梅姬颱風在 10 月 13 日於關島西南西方海面生成，向西北移動，增強為強烈颱風後轉西南西方向行進，18 日中午前後颱風中心登入呂宋島，穿過呂宋島後，19 日減弱為中度颱風，並轉為向西北西至西北方向移動。20 日之後移動方向轉為向北至北北東，移動速度趨緩。21 日受颱風外圍環流與東北季風的交互作用影響，最大時雨量 21 日在宜蘭縣蘇澳一帶降下達 181 mm 的驚人降雨，造成宜蘭地區嚴重淹水及蘇花公路坍方意外。

模擬初始時間為 10/17 0000 UTC 時，模擬結果顯示(圖 4)，在第一、第二天，

各實驗路徑都與最佳路徑的方向一致，但颱風移速較快；在登陸呂宋島後 REFv3.2、REFv3.3 和 LBA 皆稍微偏北；在移出呂宋島後，除 CTL 外，其他實驗路徑誤差大幅增加且向西南方偏移；不過，在模擬第三天有抓到向西北偏轉的情況，但此時路徑誤差仍大。各實驗平均路徑誤差從 65~80 km，其中以 CTL 路徑誤差最小。雨量模擬結果顯示，各實驗在第二天呈現宜蘭及東部地區的雨量高值，但與實際觀測雨量有相當的差距，模擬第三天的降雨極值位置與實際觀測相差更多(圖略)。

模擬初始時間為 10/19 0000 UTC 時，模擬結果顯示(圖 5)，各實驗路徑誤差在第一天皆小於 50 km，颱風移動方向與最佳路徑接近；但在第二天觀測路徑向北移動時，模擬出的結果卻皆轉向東北移動，各實驗路徑誤差始逐漸增加，且在第三天方向持續往東北、移速又變快，造成誤差增加的幅度更大。比較各組實驗結果，REFv3.2、REFv3.3 與 CTL 差異不大，平均路徑誤差約 98 km；但 EPH 的路徑誤差有明顯減小，平均 81 km。另外，比較中心氣壓變化(圖 6)，各實驗在第二、三天的變化趨勢接近；除 LBA 外，各實驗的中心氣壓皆在 10/21 0600UTC 為最強，且低於觀測結果。降雨結果部分，模擬第一天(圖 7)降雨主要在東部地區，各實驗降雨分布相差不大，且皆有預報出東北部的降雨，但降雨極值比觀測大。將降雨預報得分(圖 8)門檻設計自 10 mm 至 120 mm，各實驗以 EPH 分數為最高(最高達 0.3)，尤其以 50~130 mm 的大雨區間最為明顯，而 BS 則各實驗皆呈現高估情形。模擬第二天(圖 9)颱風向北移動接近台灣，各實驗也皆預報出宜蘭地區大量的降雨，但位置稍偏南，模擬降雨極值也偏多但 LBA 較少而接近觀測值。降雨預報得分(圖 10)反而以 CTL 有較高得分(最高達 0.45)，各實驗 ETS 平均約在 0.2 左右。到模擬第三天時，其路徑及降雨皆與真實相差甚多，故省略討論。

Initial Time	Event	GPS RO
2010-10-17 0000UTC (72hr)	Typhoon Megi	31
2010-10-19 0000UTC (72hr)	Typhoon Megi	35

表 1. 颱風個案模擬的初始時間與同化的 GPS RO 資料筆數。

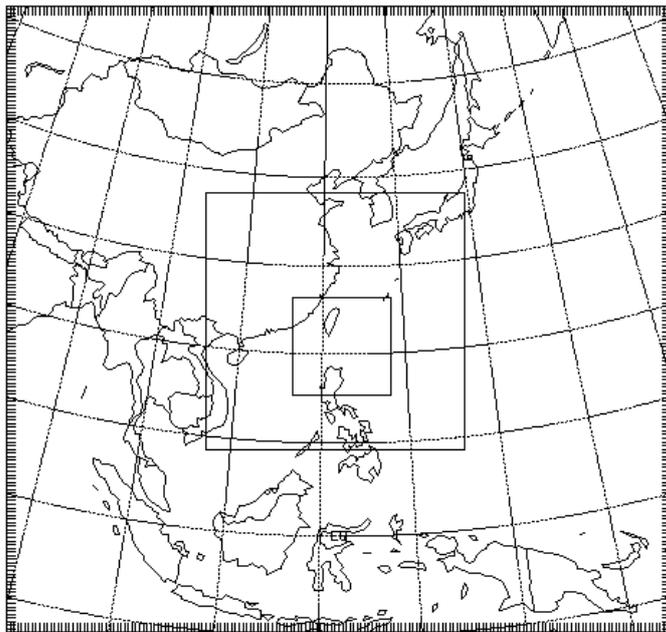


圖 3. 模式三層巢狀網格所涵蓋的區域，網格總數以及網格解析度分別為，第一層 181×172，解析度為 45km、第二層 211×211，解析度為 15 公里、第三層 241×241，解析度為 5 公里。

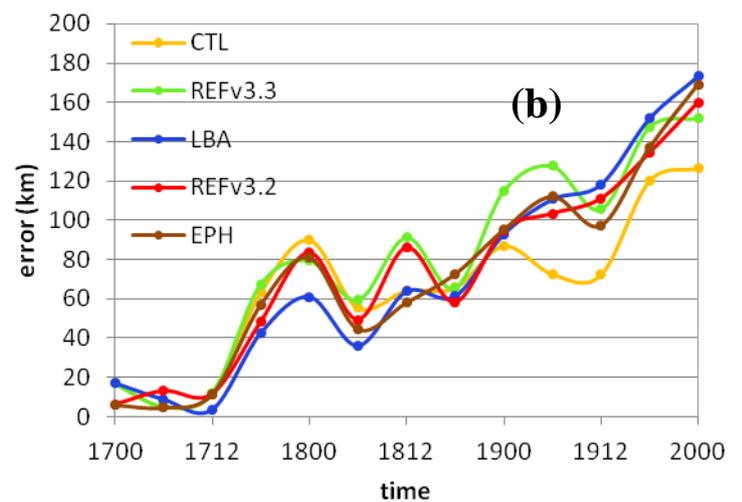
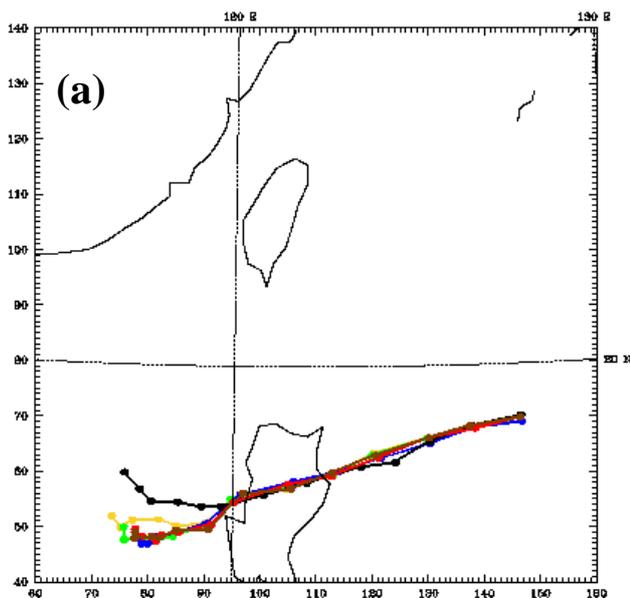


圖 4. (a)梅姬颱風初始時間為 10/17 0000 UTC 之最佳路徑(黑線)與各實驗模擬路徑圖，每 6 小時標示一點 (b)每 6 小時各實驗之路徑預報平均誤差。

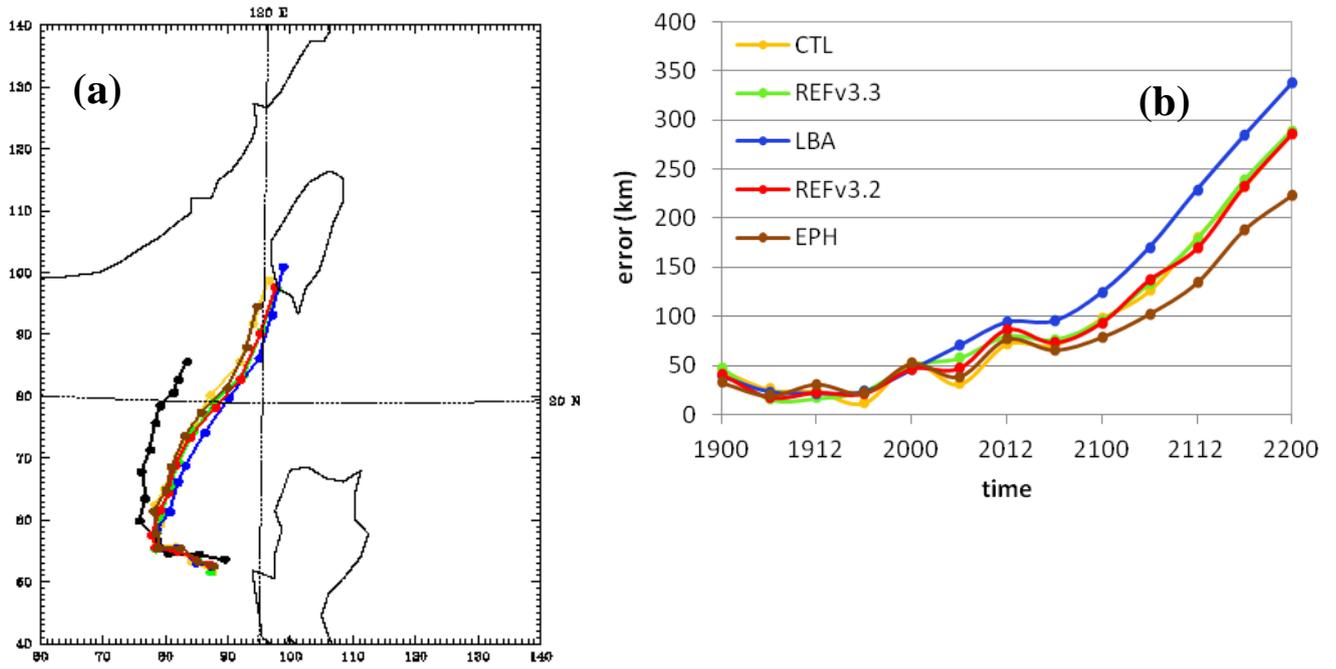


圖 5. (a)梅姬颱風初始時間為 10/19 0000 UTC 之最佳路徑(黑線)與各實驗模擬路徑圖，每 6 小時標示一點 (b)每 6 小時各實驗之路徑預報平均誤差。

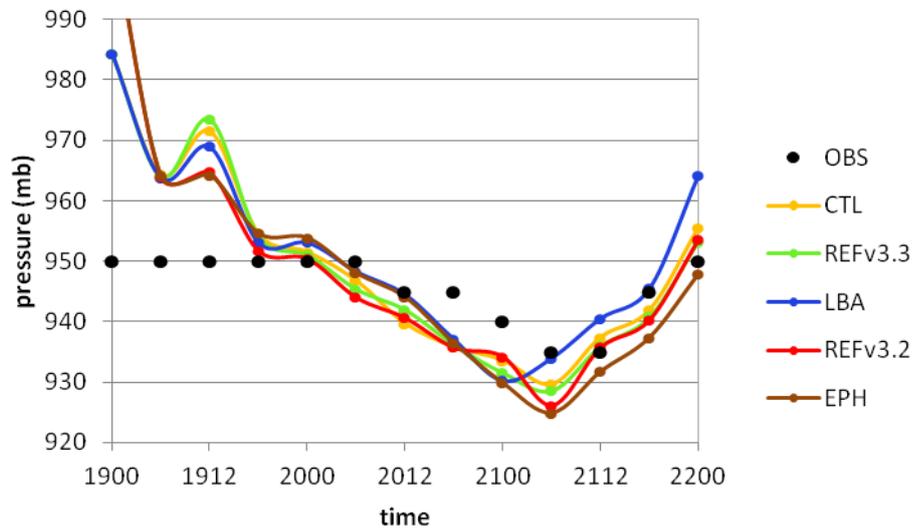


圖 6. 梅姬颱風初始時間為 10/19 0000 UTC 之每 6 小時各實驗的中心最低氣壓觀測及預報結果。

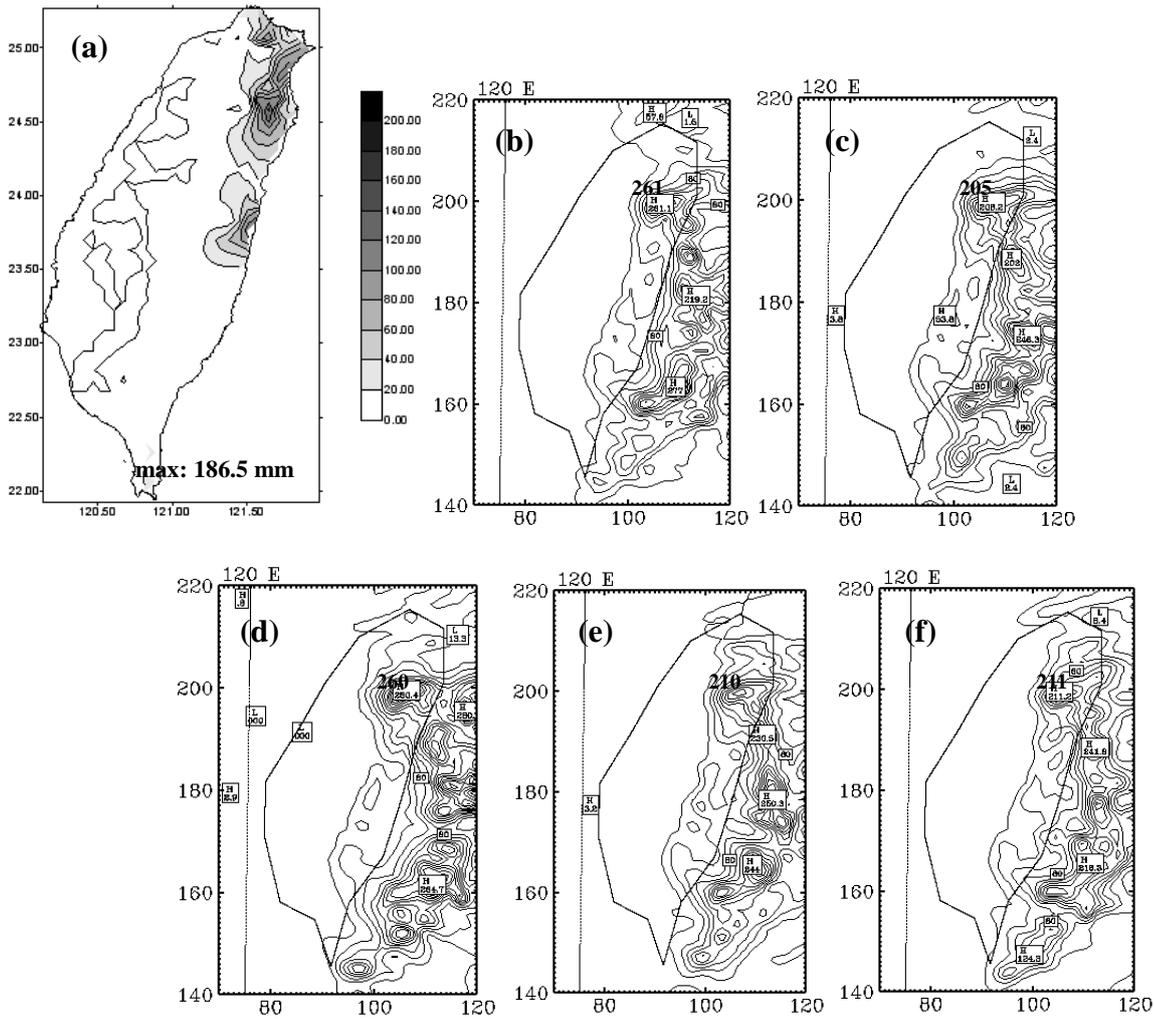


圖 7. 梅姬颱風初始時間為 10/19 0000 UTC 模擬第一天(10/19 0000 UTC ~ 10/20 0000 UTC)之 24 小時累積降雨量(domain 3)。(a)為實際觀測雨量，(b)為實驗 CTL，(c)為實驗 REFv3.3，(d)為實驗 LBA，(e)為實驗 REFv3.2，(f)為實驗 EPH。等值線間距為 20 mm。

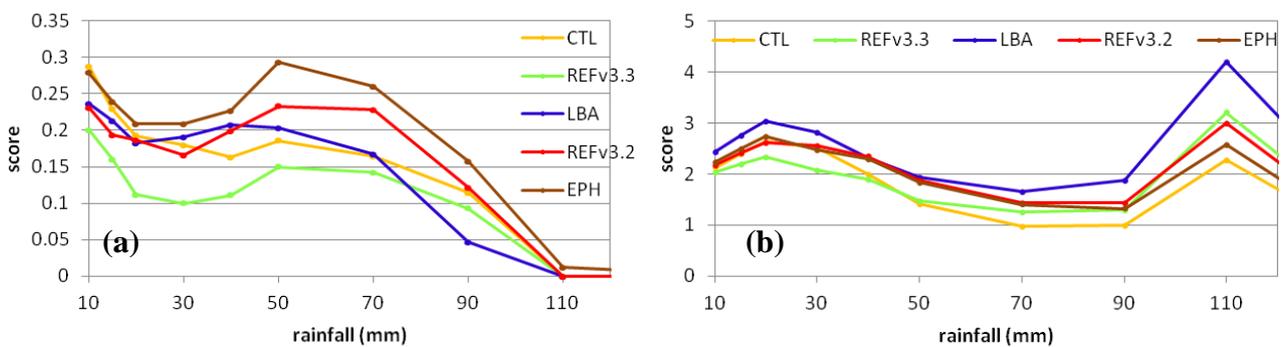


圖 8. 各實驗模擬第一天(10/19 0000 UTC ~ 10/20 0000 UTC)之 24 小時累積降雨量(a)降雨預報得分(ETS) (b)偏離係數得分(BS)。

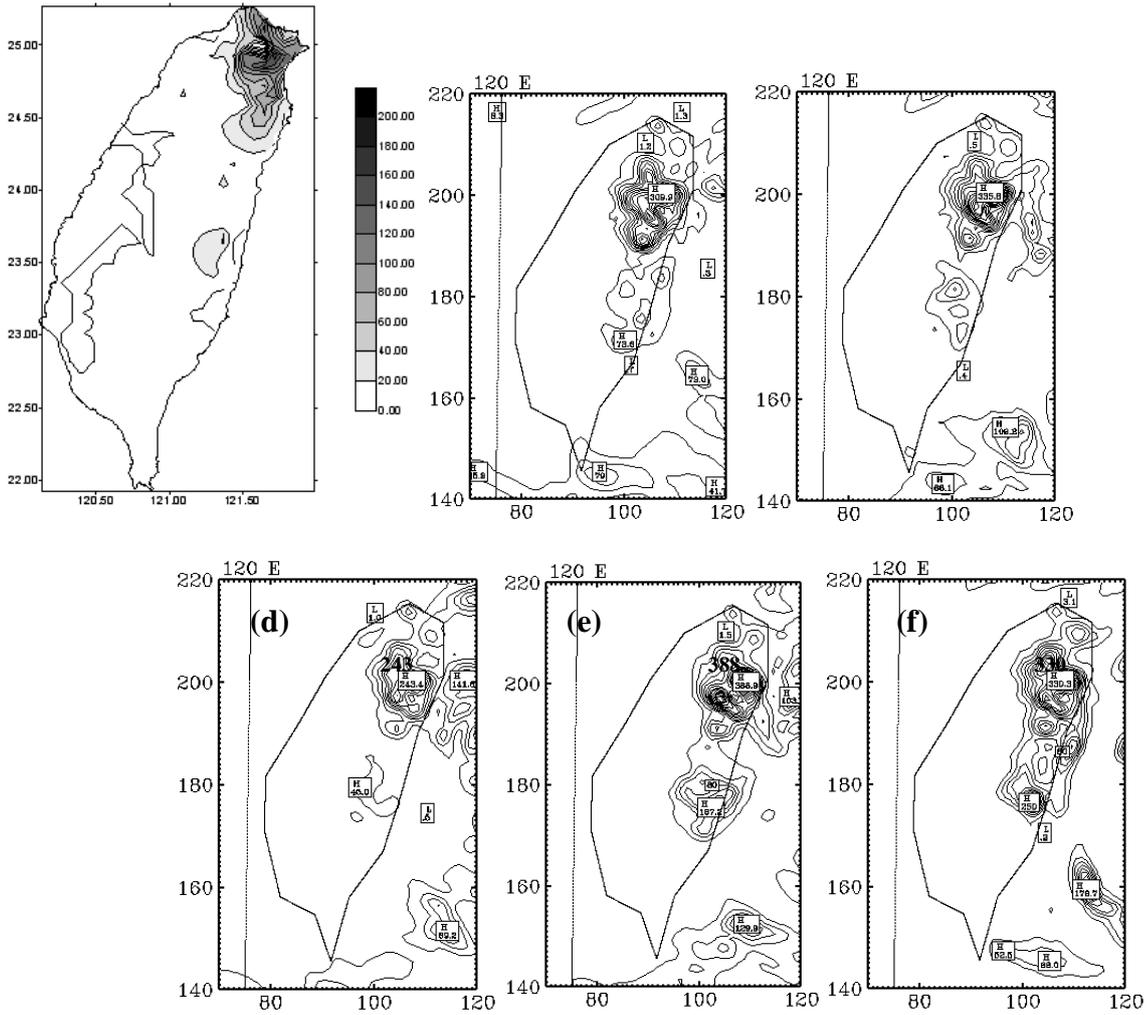


圖 9. 同圖 7，但為梅姬颱風初始時間為 10/19 0000 UTC 模擬第二天(10/20 0000 UTC ~ 10/21 0000 UTC)之 24 小時累積降雨量(domain 3)。

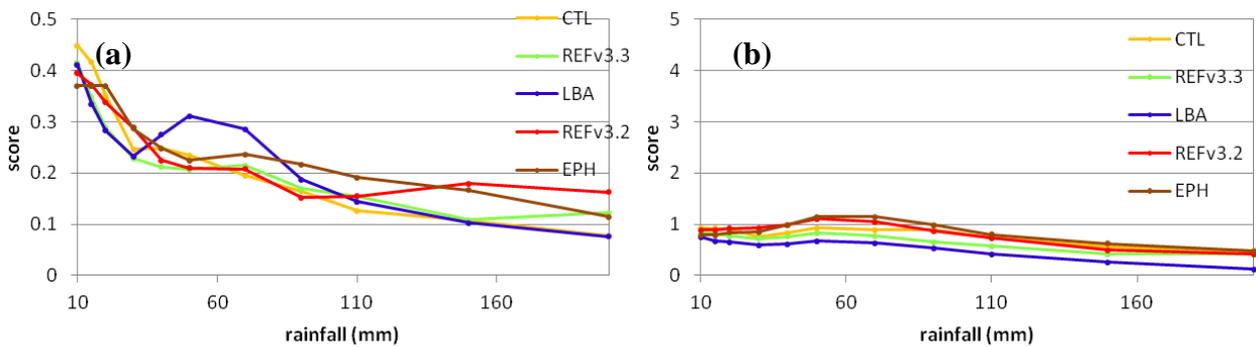


圖 10. 同圖 8，但為各實驗模擬第二天(10/20 0000 UTC ~ 10/21 0000 UTC)之 24 小時累積降雨量(a)降雨預報得分(ETS) (b)偏離係數得分(BS)。

另調整局地偏折角算子觀測誤差，觀測誤差垂直分布如圖 11，以初始時間 10/19 0000UTC 個案測試不同觀測誤差對梅姬颱風模擬結果的路徑、路徑誤差及降雨影響。實驗描述如表 2。

圖 12 為路徑及中心氣壓變化的模擬結果，各實驗從第二天開始皆與觀測相差很多；局地偏折角算子(LBA)三種觀測誤差的路徑模擬和 CTL 在第一天近乎重合，但自第二天開始的誤差都大於 CTL 的結果，平均路徑誤差分別為 96 km (CTL)、102 km (LBA1)、109 km (LBA3)和 115 km (LBA10)，顯示相較未同化結果 CTL 也沒有明顯改善。LBA10 有最大路徑誤差，但其中心氣壓較弱，與觀測結果較相近；另兩種觀測誤差的結果(LBA1、LBA3)則與 CTL 相差不大，在第二至第三天時皆比觀測的中心氣壓還強。

圖 13 為各實驗雨量模擬第一天的結果，和前項實驗結果類似，皆能預報出東部、東北部地區降雨，但雨量高估，其中又以 LBA3 的降雨極值高估最多；各實驗平均 ETS 約落在 0.1、0.2 附近(圖 14(a)(b))，而 LBA3 在大雨(50~130 mm)預報分數較高。同樣的，降雨模擬第二天的結果(圖 13)也與前項實驗相似，降雨極值位置偏南；不同觀測誤差在此個案中對降雨的位置並無明顯的改善，而其中又以 LBA10 的降雨極值高估最多。另以 ETS 評估(圖 14(c)(d))，各實驗分數平均約 0.3，在大雨時以 LBA1 分數高，但至豪雨規模時則分數皆降至 0.2 以下，可能跟降雨位置有些偏南也有關係。

Event	Description	Observation error
CTL	未同化	
LBA1	同化局地偏折角	圖 11 中 1%，不隨緯度變化。
LBA3	同化局地偏折角	圖 11 中 3%，不隨緯度變化。
LBA10	同化局地偏折角	圖 11 中 10%，不隨緯度變化。

表 2. 局地偏折角算子觀測誤差測試實驗設定。

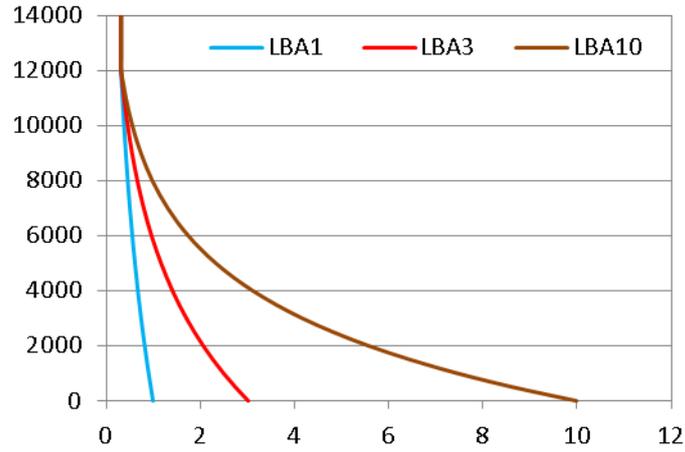


圖 11. 局地偏折角算子觀測誤差測試各實驗垂直分布圖，縱軸為高度，單位為公尺；橫軸為觀測誤差百分比。

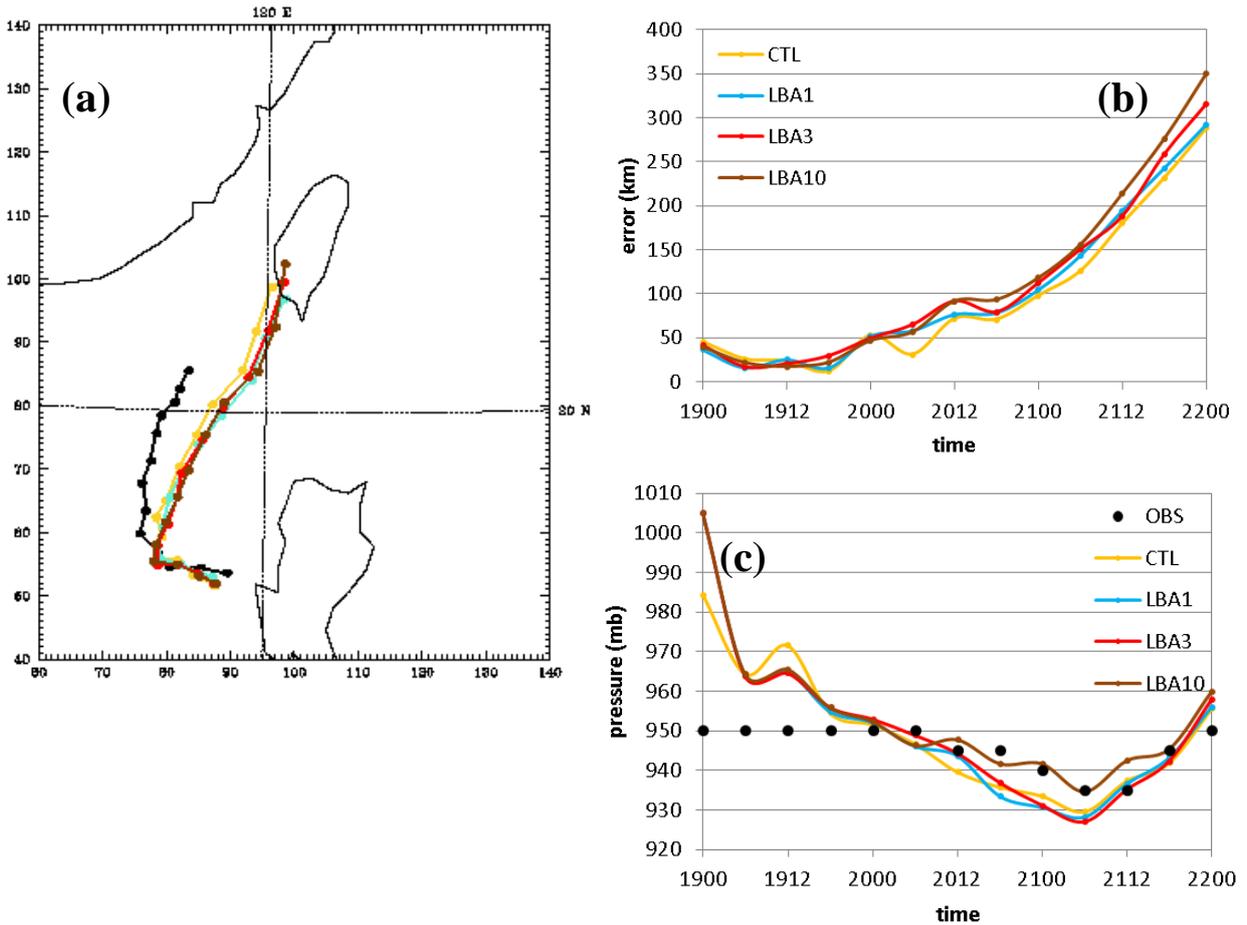


圖 12. 梅姬颱風初始時間為 10/19 0000 UTC 之 (a) 最佳路徑 (黑線) 與本部份各實驗模擬路徑圖，每 6 小時標示一點 (b) 每 6 小時各實驗之路徑預報平均誤差 (c) 每 6 小時各實驗的中心最低氣壓觀測及預報結果。

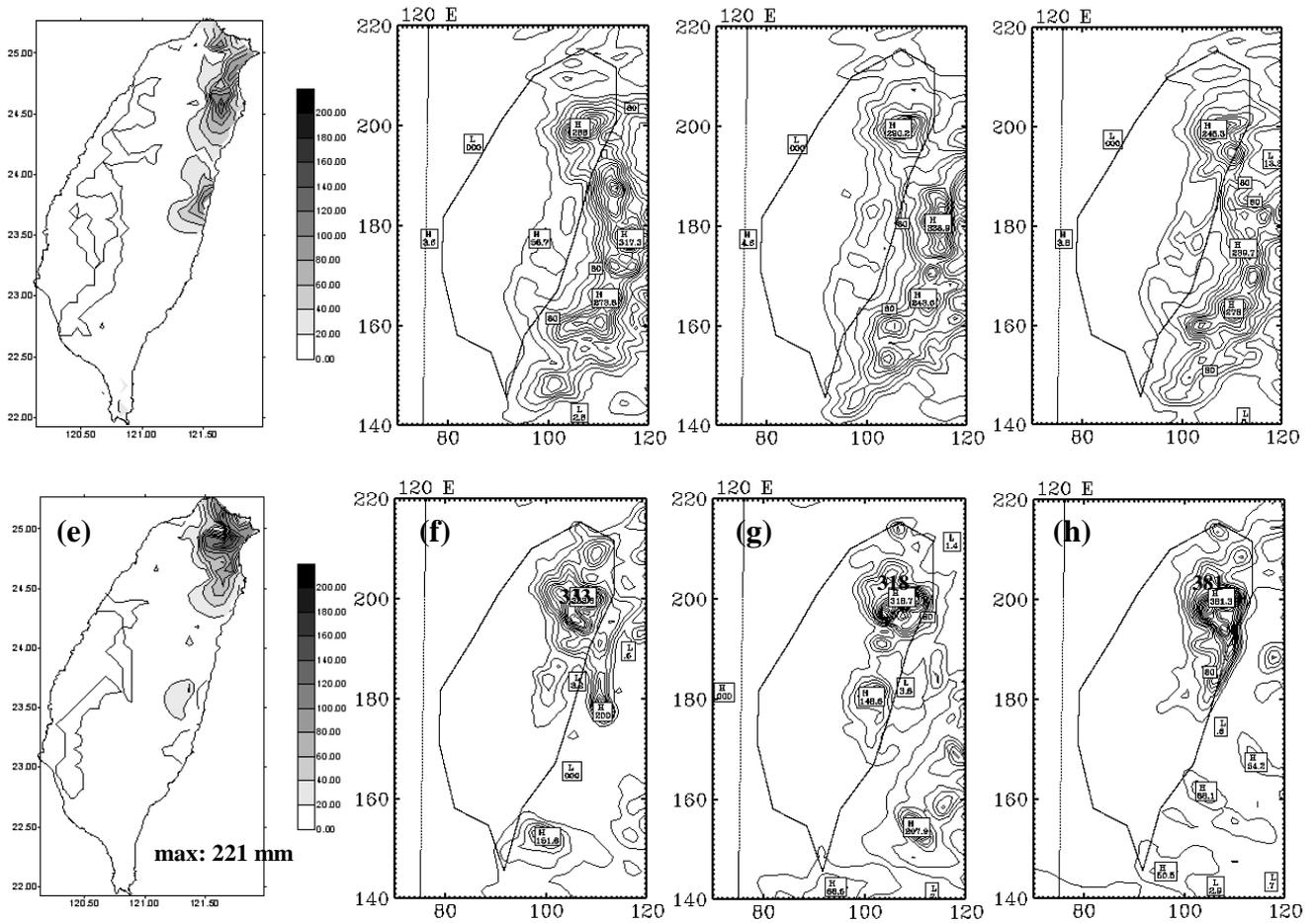


圖 13. 梅姬颱風初始時間為 10/19 0000 UTC 模擬第一天(10/19 0000 UTC ~ 10/20 0000 UTC)之 24 小時累積降雨量(domain 3)。(a)為實際觀測雨量，(b)為實驗 LBA1，(c)為實驗 LBA3，(d)為實驗 LBA10；(e)(f)(g)(h)同(a)(b)(c)(d)，但為模擬第二天(10/20 0000 UTC ~ 10/21 0000 UTC)結果。等值線間距為 20 mm。

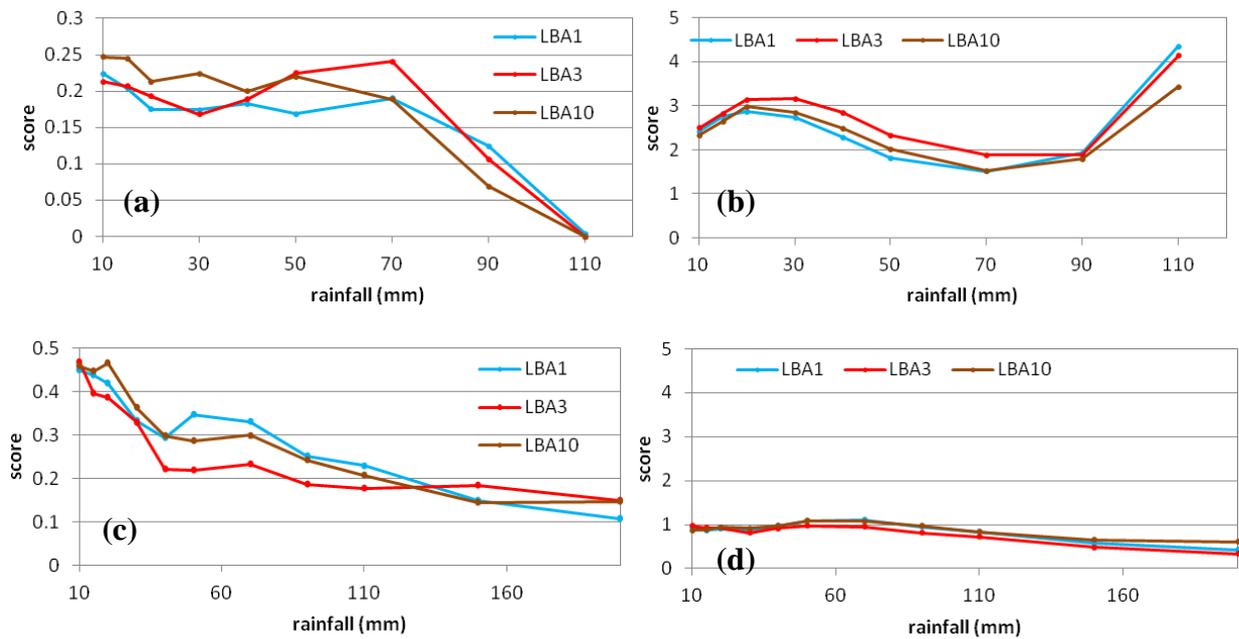


圖 14. 各實驗模擬第一天(10/19 0000 UTC ~ 10/20 0000 UTC)之 24 小時累積降雨量之(a)降雨預報得分(ETS) (b)偏離係數得分(BS)；(c)(d)同(a)(b)但為模擬第二天結果。

針對 2012 年我們選取台灣地區所發生的六月中旬梅雨個案，同樣使用 WRF V3.3 以及 WRFDA V3.3 進行模擬實驗，以 WRF 3DVAR 的資料同化方法進行同化。模式初始場使用 NCEP/FNL 全球模式再分析資料，每 6 小時一筆，解析度為  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。模擬實驗為三層巢狀網格，解析度分別為 45 km、15 km、5 km，水平網格點數為  $181 \times 181$ 、 $211 \times 211$ 、 $241 \times 241$ ，比 Fanapi 個案網格稍大，垂直層數為 35 層，用 YSU 邊界層參數化、WSM 3-class simple ice 微物理參數化及 Kain-Fritsch 積雲參數化(第三層中關閉)，測試同化局地折射率、偏折角及非局地折射率的結果。分別有控制組(簡稱 CTL)，表示不同化資料；同化 WRFDAv3.3 版 FORMOSAT-3 GPS RO 局地折射率資料(簡稱 REF)；同化 FORMOSAT-3 GPS RO 局地偏折角資料(簡稱 LBA)；同化 FORMOSAT-3 GPS RO 非局地折射率資料(簡稱 EPH)。個案初始時間為 06/10 0600 UTC，預報 96 小時，同化資料點數 20 點。

圖 15 為模式巢狀網格大小設定。

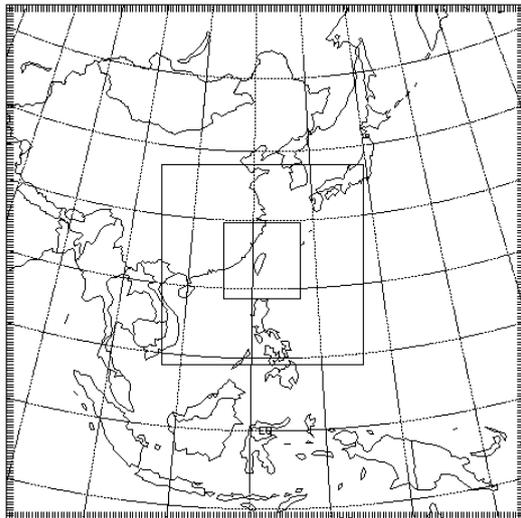


圖 15. 模式三層巢狀網格所涵蓋的區域，網格總數以及網格解析度分別為，第一層  $181 \times 181$ ，解析度為 45km、第二層  $211 \times 211$ ，解析度為 15 公里、第三層  $241 \times 241$ ，解析度為 5 公里。

此梅雨個案由地面天氣圖(圖 16)可看出滯留鋒(梅雨鋒面)從西太平洋向台灣及華南地區一帶延伸，在 6 月 10-14 日接近和通過台灣，造成台灣天氣的不穩定和連綿的降雨。在梅雨鋒面和西南氣流引進豐沛水氣的影響下，造成全台梅雨鋒面期間人員傷亡、撤離、道路中斷封閉和淹水等災害損失。

在降雨模擬方面，第一天(06/10 0600 UTC ~ 06/11 0600 UTC)之24小時累積降雨量(圖17)，觀測雨量最大值為616 mm，降雨主要落於中南部山區。各個實驗都有模擬到中南部的降雨位置，但模擬的降雨量都較觀測值低，其中以實驗REF的降雨極值較接近觀測值。依中央氣象局24小時累積雨量分級定義(50~130 mm 大雨，130~200 mm稱為豪雨，200~350 mm 稱為大豪雨，大於350 mm 稱為超大豪雨)，設定各個降雨門檻值，利用Equitable Threat Score (ETS)，對降雨模擬進行客觀校驗。當 $ETS > 0$  表示有技術得分的預報， $ETS = 1$  表示完美的預報， $ETS < 0$  則是代表沒有技術得分的預報。第一天降雨模擬的ETS分數(圖17f)，各實驗都很接近，對於大雨到大豪雨都有預報能力，其最高得分約0.3，顯示對大雨有較佳的預報。第二天(06/11 0600 UTC ~ 06/12 0600 UTC)之24小時累積降雨量(圖18)，北中南部都有降雨，觀測最大雨量值為566 mm，各實驗(除CTL)都有模擬出從北到南的降雨且雨量極值都較實驗CTL更接近觀測，顯示同化GPS RO資料的助益。第二天降雨模擬的ETS分數(圖18f)，各實驗都優於實驗CTL，顯示同化GPS RO資料有助於提昇降雨預報能力，其中實驗REF最高得分約0.3，顯示對於豪雨和大豪雨有一定的預報能力。

此梅雨個案初始時間為06/10 0600 UTC，同化資料點數有20點，為了同化更多資料，將同化初始時間往前移24小時，即自06/09 0600 UTC開始進行週期性資料同化，將同化後的最佳分析場積分預報六小時，再以模式預報場為同化背景場，進行資料同化，以六小時為一個循環，至06/10 0600 UTC(預報初始時間)，再自此預報初始時間積分96小時。從降雨模擬的ETS得分(圖19)顯示週期性資料同化並未進一步提昇降雨預報能力，這是因為提前24小時作長時間的預報導致模式誤差累積，以致於ETS分數不增反降。此外，我們也使用和氣象局及颱風中心相同的WRF VAR同化系統(OP24)，模擬結果顯示ETS分數在實驗EPH和OP24版本的是相近的，偶有些許較佳的降水預報得分且都優於實驗CTL。



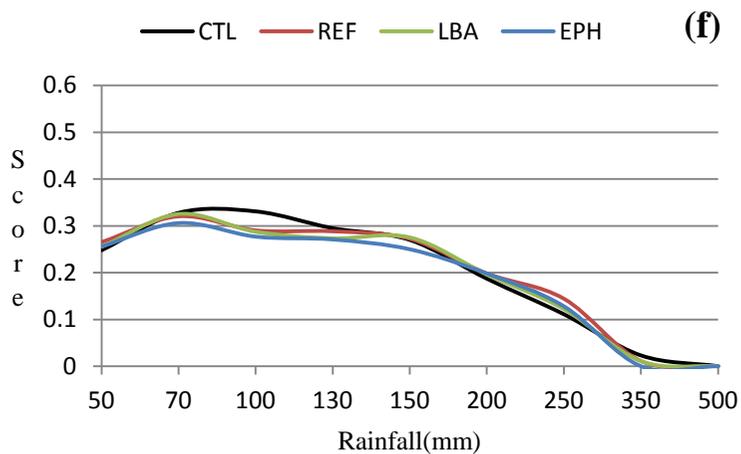
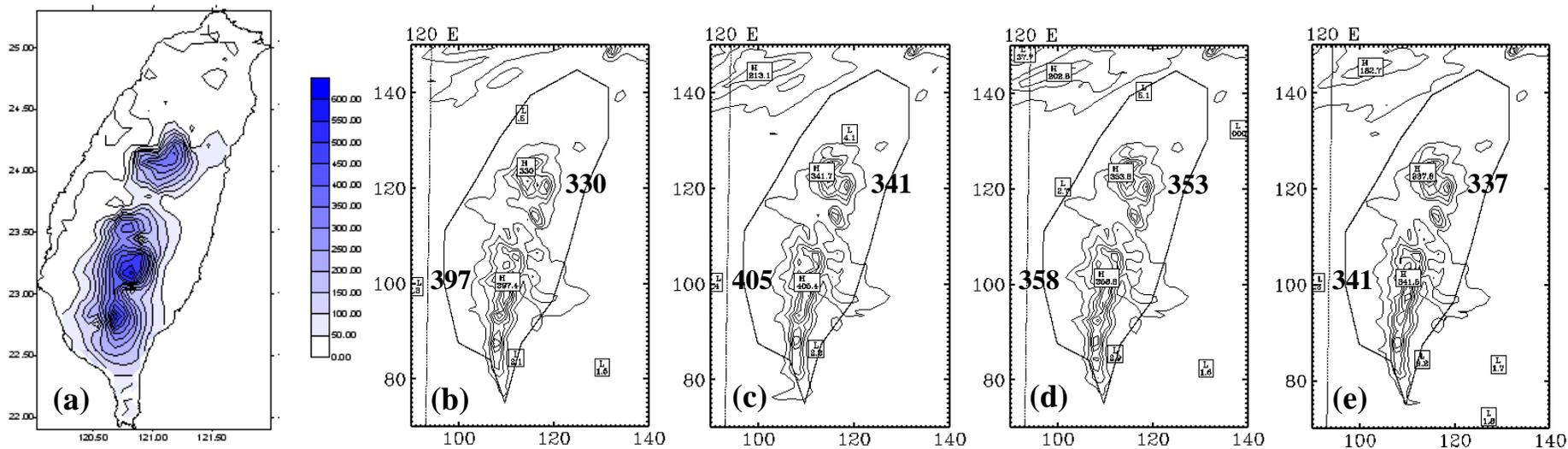


圖 17. 六月中旬梅雨個案，初始時間為 06/10 0600 UTC 模擬第一天(06/10 0600 UTC ~ 06/11 0600 UTC)之 24 小時累積降雨量(domain 3)。(a)為實際觀測雨量，(b)為實驗 CTL，(c)為實驗 REF，(d)為實驗 LBA，(e)為實驗 EPH，等值線間距為 50 mm；(f)為降雨預報得分(ETS)。

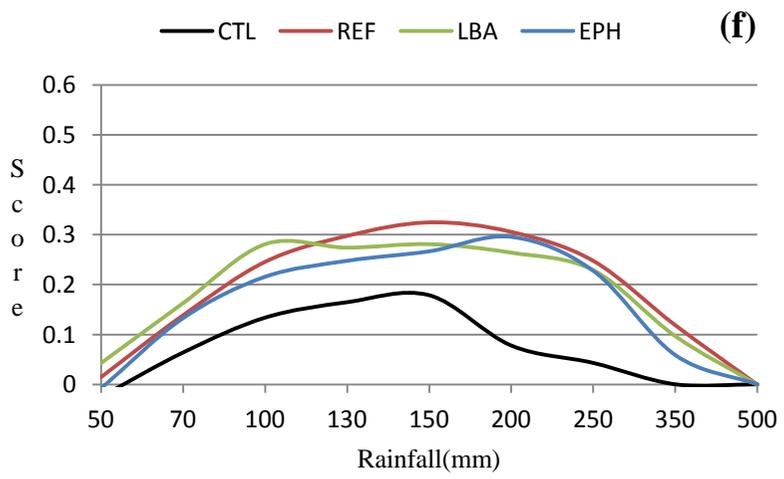
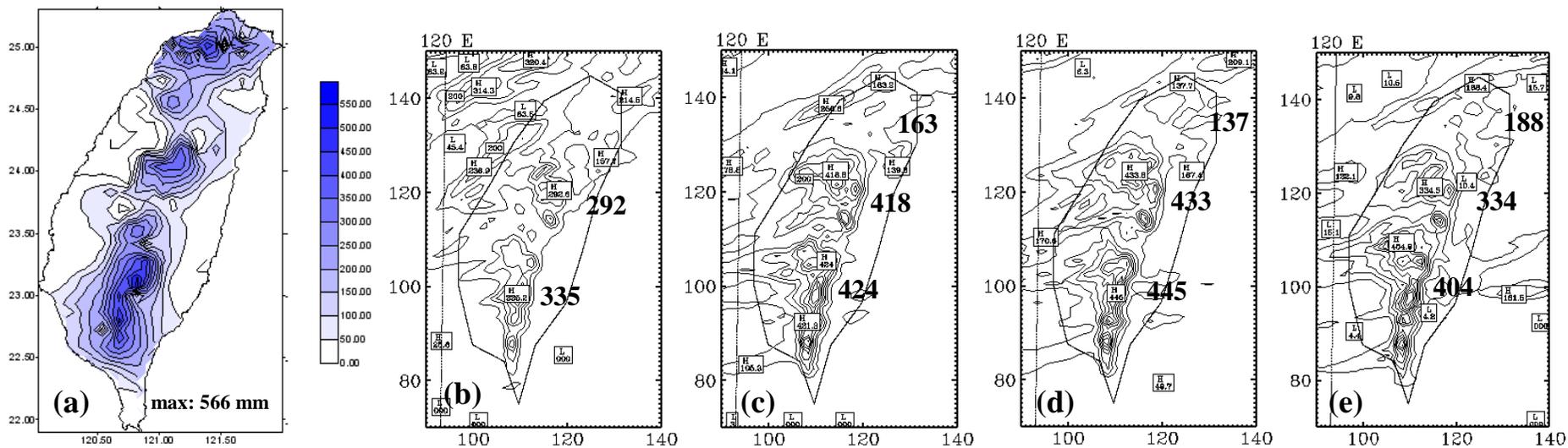


圖 18. 同圖 5，但為模擬第二天(06/11 0600 UTC ~ 06/12 0600 UTC)之 24 小時累積降雨量(domain 3)。

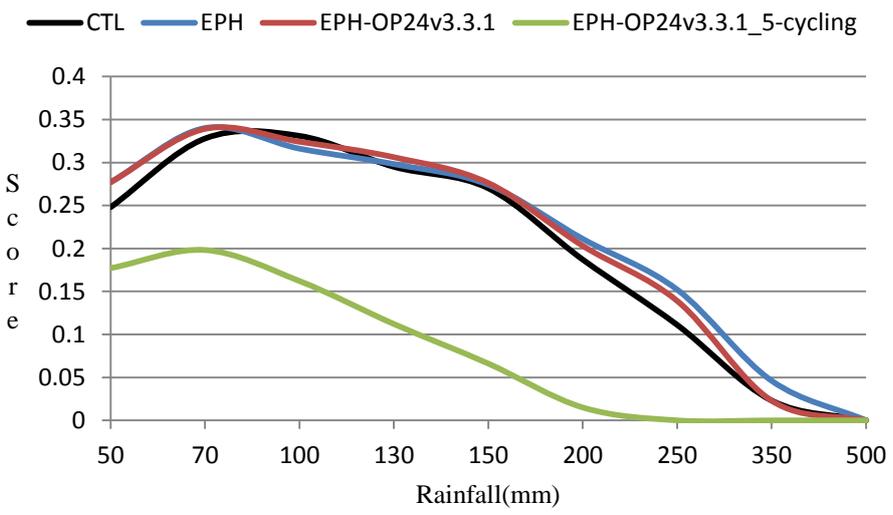
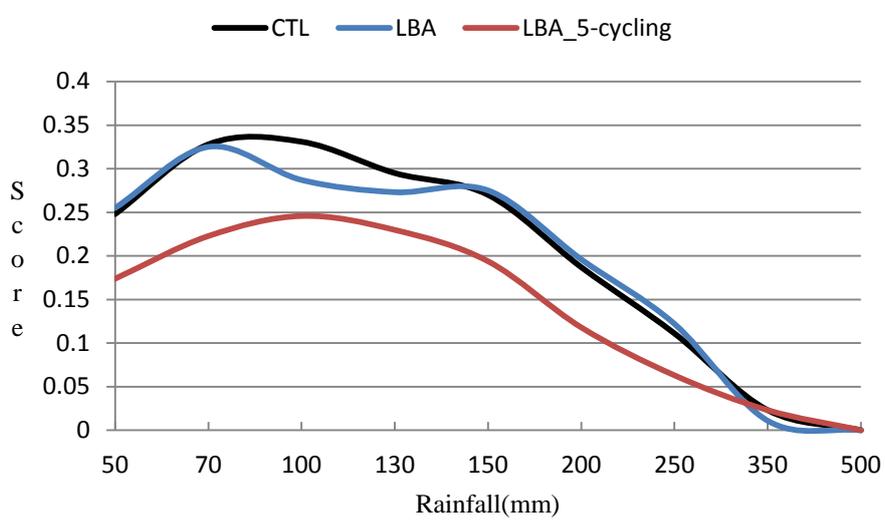
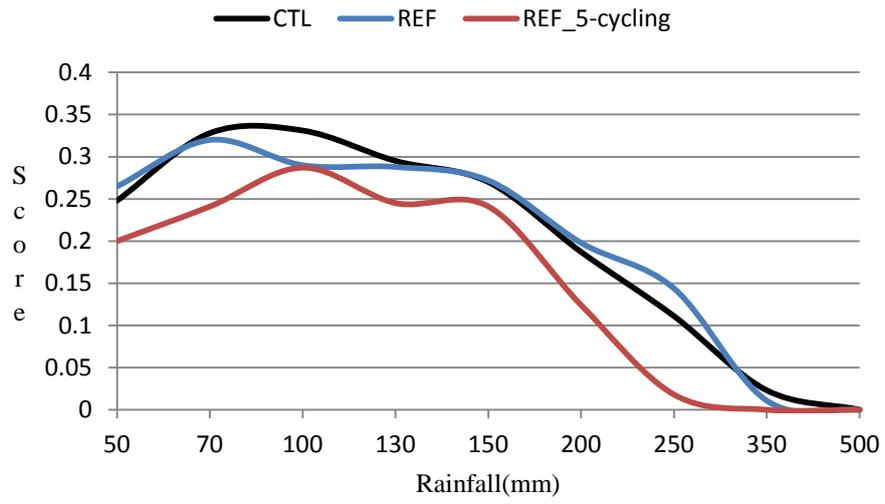


圖 19. 模擬第一天(06/10 0600 UTC ~ 06/11 0600 UTC)之 24 小時累積降雨量的降雨預報得分(ETS)。(a)為實驗 REF，(b)為實驗 LBA，(c)為實驗 EPH。

#### 四、 結語

梅姬颱風個案模擬結果顯示，在初始時間為 10/17 0000UTC 時，各同化實驗的路徑預報結果在一開始方向接近但移速較快，在模擬第三天也有預報出西北方向的偏轉；在初始時間為 10/19 0000UTC 時，則是以 EPH 路徑誤差最小，各實驗與最佳路徑的差異主要在於模擬第三天時，路徑皆向東北方行進但移速過快；且模擬的中心氣壓也較觀測結果強。另外在雨量的部分，各實驗雨量高值皆出現在宜蘭及東部地區，降雨區域分布也接近觀測；而初始時間為 10/19 0000UTC 時，兩天的累積降雨 ETS 得分平均約在 0.2 ~ 0.3，各同化實驗差異不明顯，但 EPH 有改善降雨預報分數。兩時間個案在模擬第三天時，各同化實驗皆呈現觀測與模擬降雨分布差異大的結果。

另以初始時間為 10/19 0000UTC 的個案，測試同化局地偏折角算子不同觀測誤差垂直分布的結果。在路徑上是以 LBA10 的誤差最大，且三個同化實驗都未對 CTL 結果改善；另外，在降雨預報部份，三個誤差測試實驗也與其他同化實驗有相同降雨位置，但降雨偏多。目前持續分析及改善局地偏折角算子，並以不同觀測誤差測試，使同化觀測資料對模擬結果能發揮必要的影響；同時另以不同個案測試各資料同化的結果。

在梅雨的模擬方面，由模擬的降雨型態和 ETS 預報得分，顯示同化 GPS RO 資料對於降雨模擬的助益，尤其是第二天最為明顯。對於大雨和豪雨有一定的預報能力。此外，為同化更多資料，將同化初始時間前移 24 小時開始，進行六小時為一個循環的週期性資料同化，但降雨模擬的 ETS 得分顯示週期性資料同化並未進一步提升降雨預報能力，這是因為提前 24 小時作長時間的預報導致模式誤差累積，以致於 ETS 分數不增反降。此外，我們也使用和氣象局及颱洪中心相同的 WRF VAR 同化系統(OP24)，模擬結果顯示 ETS 分數在實驗 EPH 和 OP24 版本的是相近的，偶有些許較佳的降水預報得分且都優於實驗 CTL。

## 五、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
局地偏折角算子於同化系統 WRF VAR3.3最佳化及觀測誤差調整	100%	有進行觀測誤差調整，測試誤差對局地偏折角算子於同化系統中所造成之影響。
比較同化局地偏折角、局地折射率及非局地折射率之效益、進行颱風個案Fanapi模擬實驗	100%	已完成 Megi 颱風比較同化局地偏折角、局地折射率及非局地折射率之模擬實驗。
持續分析及改善局地偏折角算子	100%	已進行個案測試算子。
比較同化局地偏折角、局地折射率及非局地折射率、評估福三觀測對於台灣地區天氣(2012年梅雨及颱風)預報模擬之影響及效益	100%	已完成。
分析整理	100%	與研究進度同時整理。
撰寫報告	100%	與研究進度同時整理。

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(2.2)：預報對觀測敏感度之系集資料同化系統建置報告

計畫名稱：以掩星資料進行颱風與豪雨個案分析與模擬：利用系集資

料同化系統，了解掩星資料對劇烈天氣預報之敏感度及效

益評估

執行期間： 2012/09/16~2012/01/29

分項工作管理人：楊舒芝

參與人員：高晟傑

中 華 民 國 1 0 1 年 月

## 一、 摘要

本計劃階段評估利用 WRF-LETKF 同化系統進行掩星折射率與偏折角之同化差異。並利用已發展之系集觀測影響評估工具針對 2008 年 6 月 15 日台灣附近的華衛三號掩星觀測資料影響進行評估，並以台灣西南岸附近之濕能量場作為評估標準。結果顯示，最接近台灣的掩星折射率的確對於台灣西南岸附近的水氣場預報最有貢獻。此外，離台灣距離就遠的掩星觀測貢獻則出現在中層大氣，透過平流等過程產生對台灣的局地正面影響。

## 二、 前言

在前期執行階段中藉由個案分析評估確立了 COSMIC 偏折角在 2008 年 SOWMex IOP8 強降水事件對於降雨強度及位置預報皆有重要的改善。相較於未同化掩星觀測的實驗結果，同化掩星觀測除了對濕度場有大幅改善外，同化偏折角亦可改善低層風場。因此對於低層幅合的位置與強度亦有幫助。

而偏折角的貢獻也透過傳統 data denial 的同化實驗方式驗證。實驗結果發現若無同化偏折角則無法呈現上述的改善量。此外，在前期階段系集觀測影響評估工具也成形，並可用以評估如探空等傳統觀測之貢獻。

## 三、 成果報告

### i. 掩星觀測對於豪雨個案同化及與預報影響

在本計劃期間已利用 NCU WRF-LETKF 同化系統進行 2008 年 6 月 13-16 日的同化實驗，並針對 6 月 16 日之豪大雨個案進行掩星觀測影響之分析及比較。

主要發現包括：

1. 掩星觀測對於區域數值模式預報有正面影響。其影響不僅於直接相關之熱力場變數(溫，濕度)，更可改善間接相關的風場。進而改善由南中國海至台灣之水氣輸送通道之水氣傳輸。
2. 掩星偏折角對於水氣場的垂直梯度有極高敏感度，因此表現局地高濕度的特徵，可幫助改善豪大雨區的低層水氣分布。

在此計畫階段主要進一步利用 WRF-LETKF 同化系統，分析同化掩星折射率與偏折角的差異。分析其系集斜方差矩陣發現(圖 1)，系集的敏感度主要來自於水氣場垂直梯度的不確定性。若限制此不確定性，則誤差特性(圖 1.d 及圖 2.d)則與使用折射率的背景誤差相似(圖 1.b 及圖 2.b)。

此外，利用系集離散(ensemble spread)分布特性也發現。模擬的系集偏折角的不確定性主要集中在低層大氣(圖 3.f)。而此特性也與水氣垂直梯度及其系集離散特性相同(圖 3.d 及 3.f)。相較之下，折射率的系集特性則較無此敏感度，且有系集離散程度過小的情況。而圖 3 的結果也顯示了同化偏折角的優勢出現於對水氣梯度的敏感度。對於改善大氣低層水氣量分布，進而影響區域降水特性可以產生重要的影響。

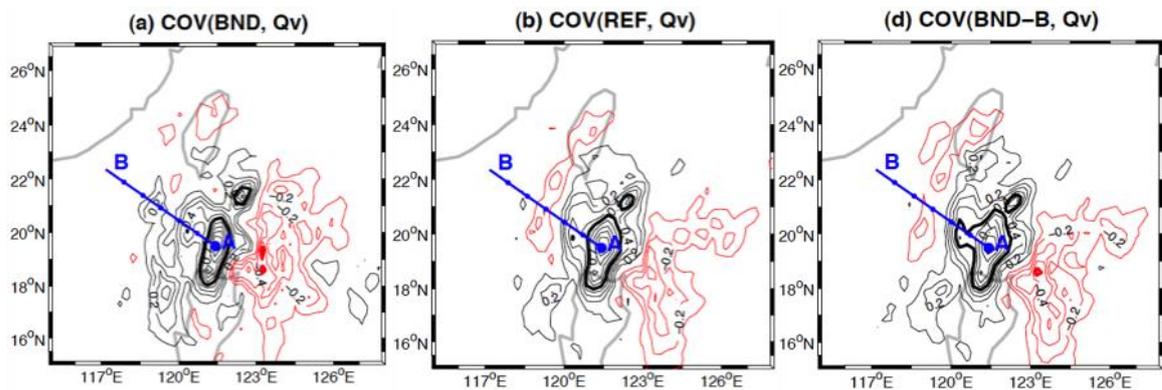


圖 1 觀測與背景場水氣之點誤差斜方差(a)觀測點變數為模擬的偏折角系集, (b) 觀測點變數為模擬的折射率系集及(d)觀測點變數為模擬的偏折角系集，但限制垂直梯度之不確定性。

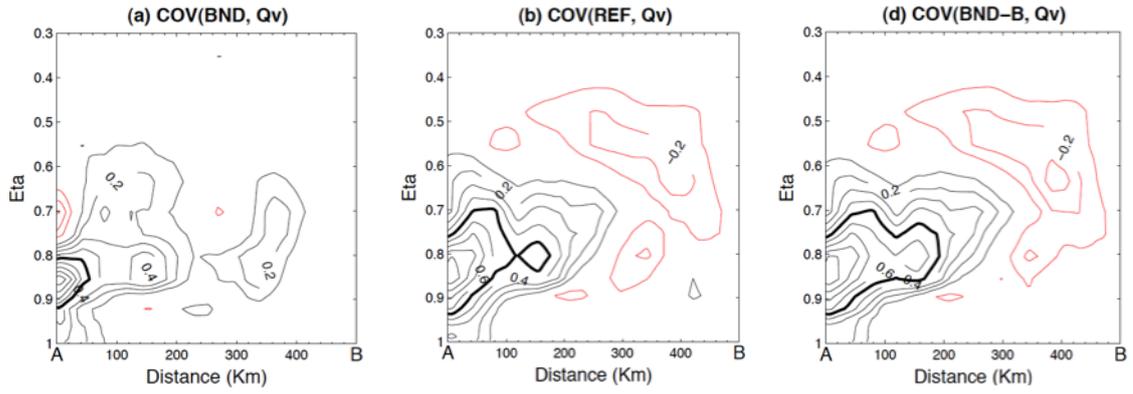


圖 2 與圖 1 相同，但為圖 1 中 AB 線上之垂直剖面結構。A 為觀測點位置。

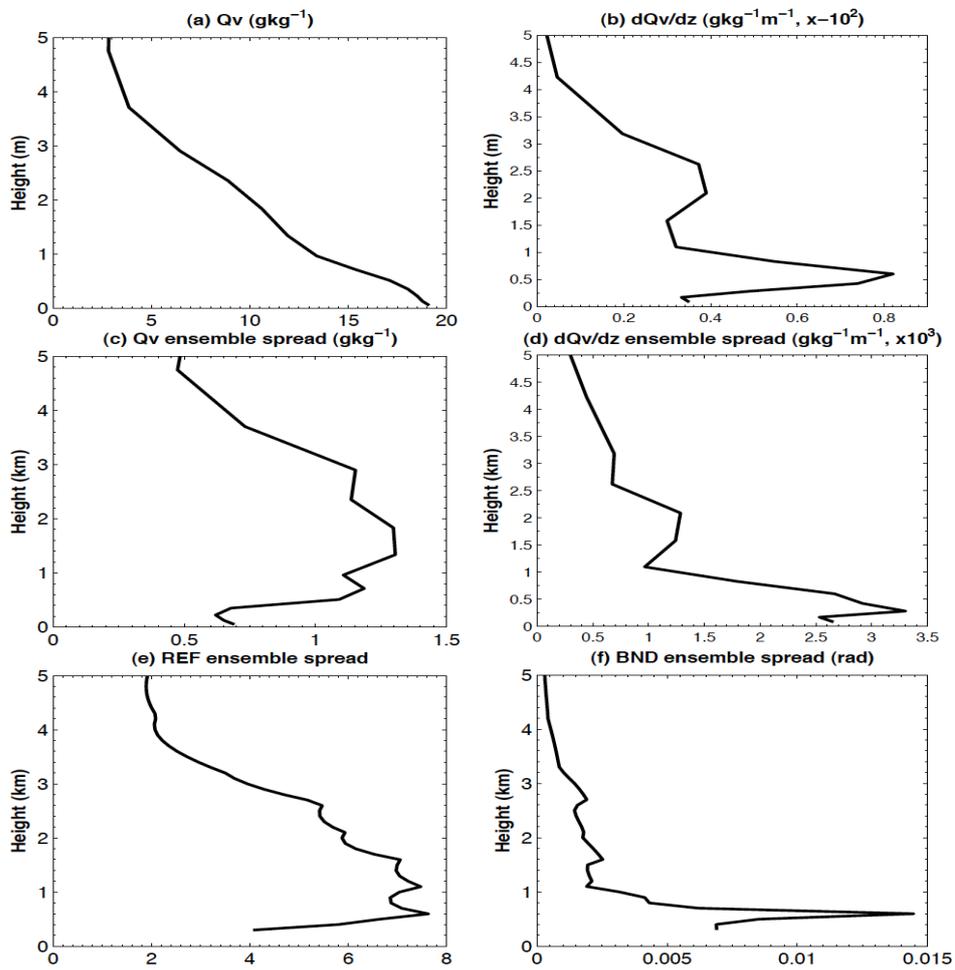


圖 3 各變數在圖 1 中 A 點之垂直分佈(a)水氣，(b)水氣梯度，(c)水氣系集離散度，(d)水氣垂直梯度系集離散度，(e)模擬折射率系集離散度及 (d)模擬偏折角系集離散度。

所得的研究成果(如下列)已部分提交國際期刊(目前在審查階段),並已在國際會議中進行口頭報告。詳細論文內容請參見附件。

- Peer-review paper:
  - Yang, S.-C., S.-Y. Chen, S.-H. Chen, C.-Y. Huang and C.-S. Chen, 2013: Evaluating the impact of the COSMIC-RO bending angle data on predicting the heavy precipitation episode on 16 June 2008 during SoWMEX-IOP8. *Mon. Wea. Rev.*, submitted.
- Oral presentation in the international conference:
  - Yang, S.-C., S.-Y. Chen, S.-H. Chen, C.-Y. Huang and C.-S. Chen, 2013: Evaluating the impact of the COSMIC-RO bending angle data on predicting the heavy precipitation episode on 16 June 2008 during SoWMEX-IOP8. 2013 93<sup>rd</sup> American Meteorology Society Meeting, Austin, Texas

## ii. 利用系集預報敏感度評估工具評估掩星觀測影響

在本次執行期間已利用系集預報敏感度評估工具進行初步觀測影響評估,所選取的對預報誤差影響評估標準定義在濕能量模 (Ehrendorfer et al. 1999)上:

$$J = De^2 = \frac{L_v^2}{C_p T_r} \sum_{i,j,k} S_k q_v^2 \quad (1)$$

式(1)中,  $q_v$  為 water vapor mixing ratio,  $L_v$  latent heat constant,  $C_p$  為 specific heat of air at constant pressure,  $T_r$  為參考溫度。

用以評估的觀測資料為 2008 年 6 月 15 日接近台灣的掩星觀測資料,如圖 1”• ”所示。此外,評估的影響範圍定義為以 6/16 日當天台灣豪大雨區域(台南永康)為中心,半徑 500 km 的範圍內的水氣場(濕能量場)。在前人的研究中已確立傳統的探空資料因其具有高準確性,對於改善及維持分析場準確度有極高的貢獻。與各類觀測相比,其單位觀測貢獻量(observation impact per observation)而言更是名列前茅(Baker et al., 2004)。因此,我們首先先利用此工具判斷傳統探空的風場資訊對 12 小時濕能量場的影響。如圖 2.a 所示,在鋒面前區位於海面上的探空對於水氣場的修正大多有正面的貢獻(負值代表減少預報誤差)。而此也確立了風

場訊息對於水氣傳輸的重要性。若僅考慮圖 2.a 中有正面貢獻的觀測，且以單位探空的貢獻來看(圖 2.b)，各層的貢獻量皆很重要。而此也反映出高準確度探空觀測的重要性。

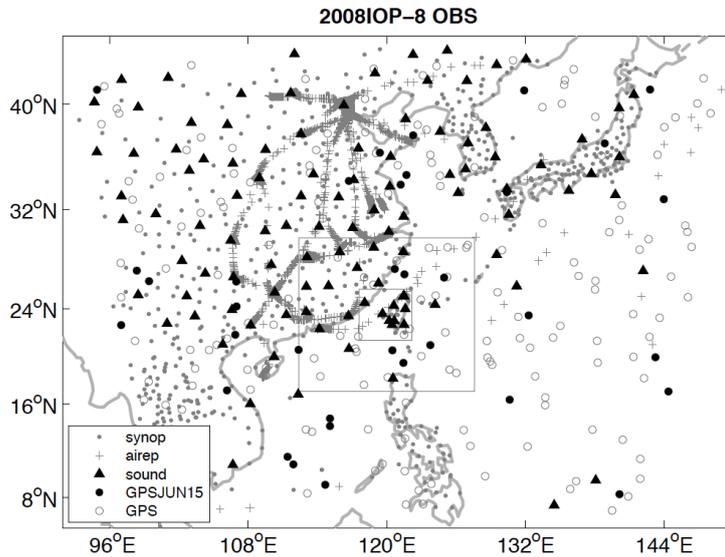


圖 4 同化實驗所使用之觀測分布

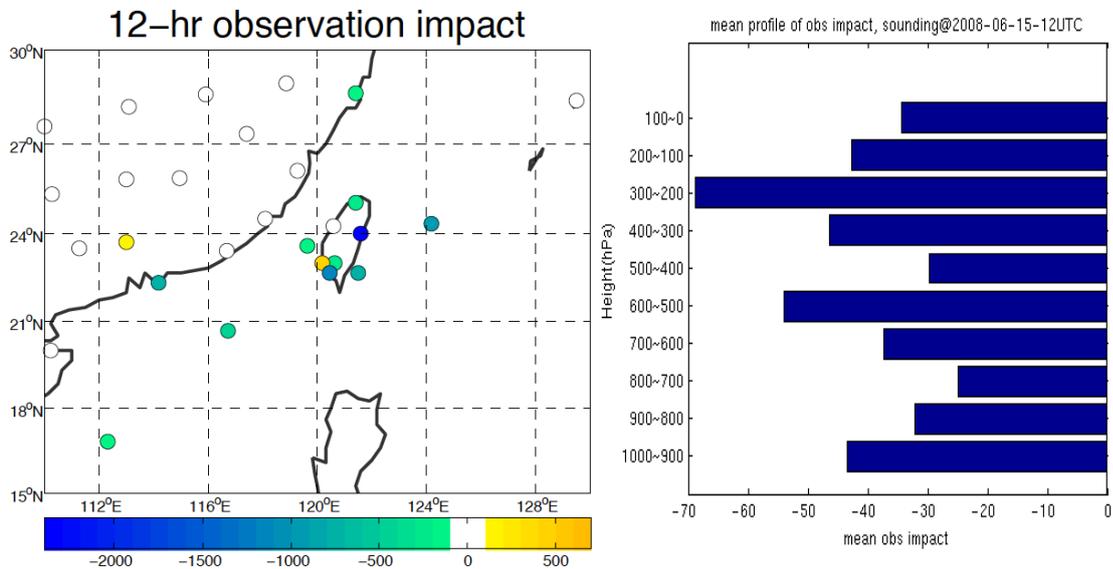


圖 5(a)探空觀測對於 12 小時預報(濕能量)之影響及(b)為單位觀測的影響

圖 6 則為掩星偏折角對濕能量的 12 小時觀測影響，且影響範圍定義與圖 5a 之計算相同。若就單一 profile 的總貢獻而言，離台灣最接近的 profile 對水汽場的正面影響最為明顯，其中以菲律賓東方外海(available at 06/15 12Z)的 profile 對低層的貢獻最為突出(如圖 7b)。而在台灣南方外海的 profile 對於台灣西南岸的水氣分布亦有正面影響，已時間上來看在 00Z 的 profile 正貢獻主要在低層(圖 7a)，而 18Z 的 profile 貢獻則可延伸置中層。推測因為在 16 日 06Z(12-hr 預報)已接近下豪大雨的時間，高濕度層相當深厚。若以傳統的 data denial 的方式來看，若在 15 日 18Z 沒有同化此台灣南方海面的掩星資料時，則台灣西南部外海的水氣量大幅減少(圖 8c vs. 8b)，因而會影響接下來的水氣場及降雨預報。但若僅同化此 profile(圖 8d)，便能恢復大部分在圖 8b 顯示的水汽。

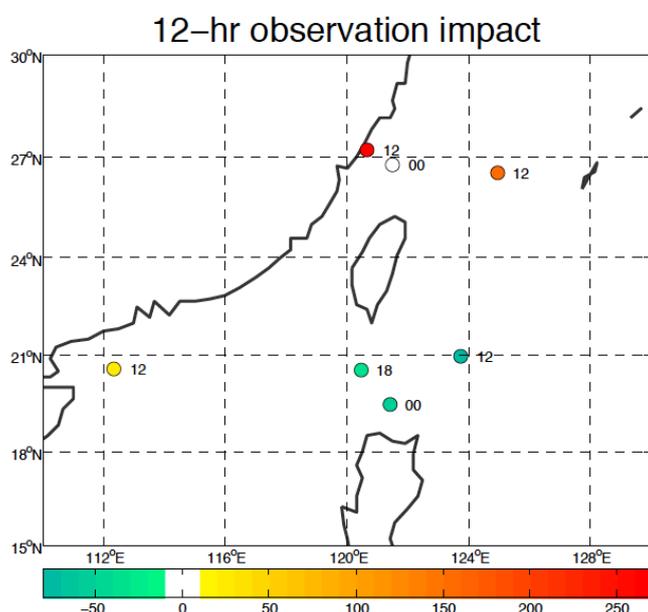


圖 6 (a)偏折角觀測對於 12 小時預報(濕能量)之影響

此外，我們也注意到雖然在鋒面上方的觀測總貢獻量呈現負貢獻(位於圖 6 中國大陸東岸處)。但若細看其貢獻垂直分佈(圖 7c)可知與其他海上 profile 不同，其貢獻主要在中層約 4 公里處。而此也顯示了不同高度的觀測平流等動力傳輸對下游區域產生貢獻。

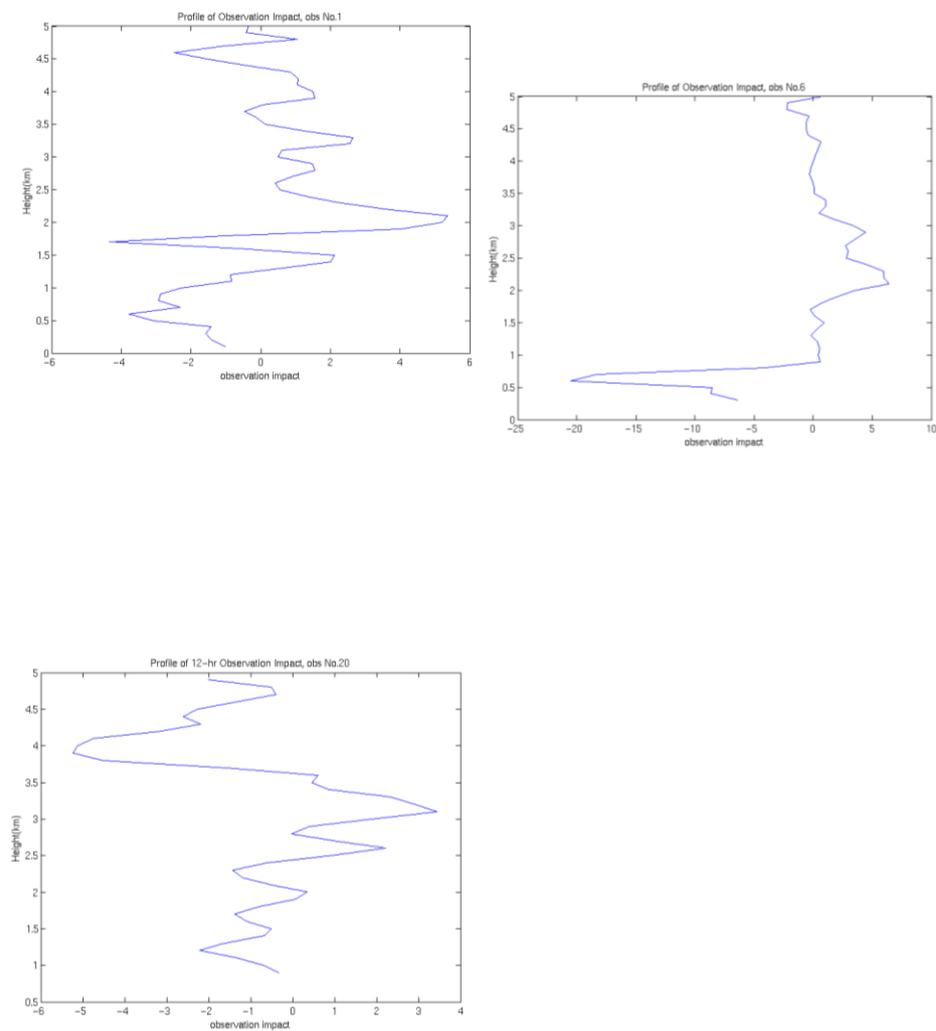


圖 7 單一偏折角觀測影響垂直分佈，各 profile 分別位於:左上: 06/15 00Z 台灣北方海面，右上: 06/15 12Z 台灣東南方海面及左下: 06/15 12Z 中國大陸東岸。

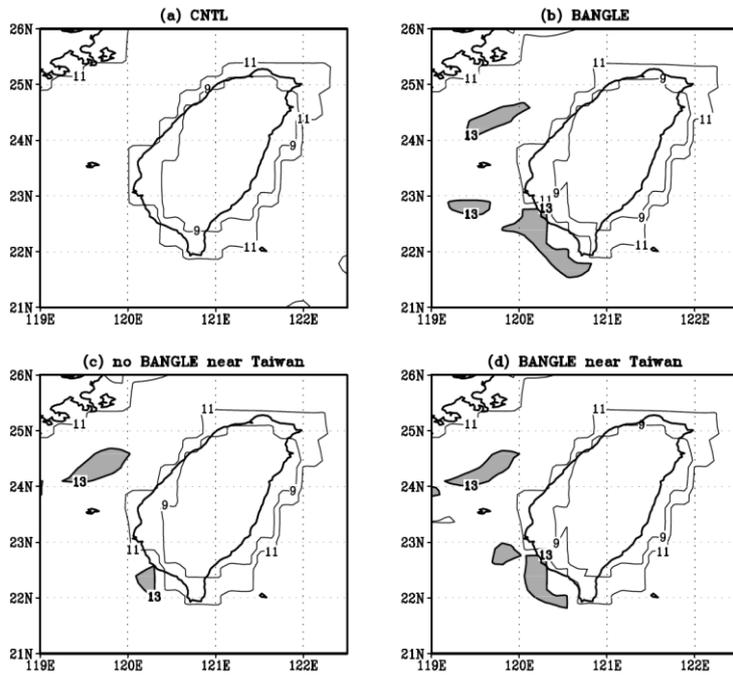


圖 8 可降水量(地面至 500hPa 之總水汽量)：(a)沒有使用掩星資料，(b)使用掩星資料，(c)剷除台灣南方之偏折角 profile, (d)在 06/15 18Z 僅使用台灣南方之偏折角資料。

#### 四、討論

在進行影響評估時須選擇適當的分析場作為最理想的真實場，但在區域分析同化中，若使用全球再分析場當做真實場對於水氣場怎可能無法代表與劇烈天氣有關的區域特性如對流系統等。但若使用區域分析場(如 WRF-LETKF analysis)，在目前副高位置仍會有綜觀尺度掌握度仍不佳的困難出現。但整體而言，用哪一種分析場當做理想真實場所得的相對的正負影響仍一致(如圖 9 所示)。因此建議除看每個 profile 的整理貢獻量外，可進一步分層區分出區域貢獻特性。

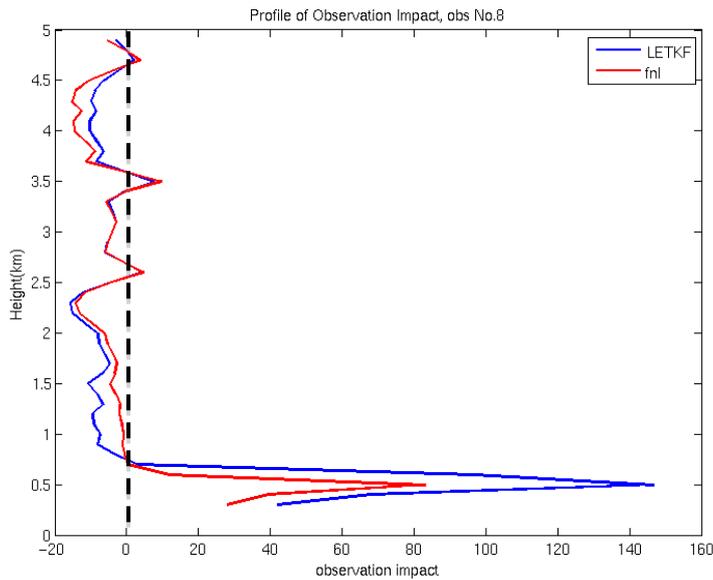


圖 9 利用 NCEP FNL(紅線)及 WRF-LETKF(藍線)分析場當作真實場計算 06/15 00Z 離台灣最近的掩星偏折角觀測影響。

系集為主的觀測評估法的困難之處為系集離散度對不確定性的代表能力，若系集無法合理代表不確定性，便可能會大幅降低觀測影響評估效果。

## 五、結語

透過本期計畫以成功地測試華衛三號掩星觀測資料對於梅雨期間劇烈降水事件的影響。結果顯示，掩星觀測對於改善低層濕度場有重要的改善，且間接對於風場亦有正面的影響。因此可改善降水預報。尤其是偏折角觀測資料對於降水的強度及位置皆有重要的改善，主要的原因為其對濕度的垂直梯度極為敏感，因此更加強降水區域的局地濕度分布。

此外，系集觀測影響評估工具(EnFSO)已建立完成。目前可針對不同的目標區域及不同的預報誤差定義進行觀測影響評估。利用 2008 年 6 月 15 日的華衛三號掩星觀測資料進行觀測影響評估確立，離台灣最近的觀測資料的確對於強烈濕傳輸範圍內的濕能量場有最大的貢獻。此外，雖然有些掩星觀測單一總貢獻量呈現負影響，但仍能利用 EnFSO 的工具估算並釐清此觀測在不同高度層仍能對感興

趣的區域有正面的影響。

但因為本計劃階段仍屬工具建立及測試階段，僅針對單一個案進行評估，仍有樣本數不足的問題。未來期望能針對不同年的梅雨季節，更全面評估掩星觀測對於區域天氣預報的影響。

## 六、自評表

原規劃目標	完成與否	說明
建立系集預報敏感度評估工具	100%	計算及繪圖程式已建立完成
測試各種觀測影響之敏感度實驗	100%	已先就 2008 年 6 月 15 日的傳統探空及掩星觀測進行測試。
出國學習與討論：與系集預報敏感度工具原提出學者進行討論	100%	赴美國馬里蘭大學與 Prof. Kalnay 及 Mitoshi 討論觀測影響的計算與考量觀測在局地化之下對於不同網格點有不同的貢獻。
評估同化偏折角對於預報模擬之影響(FSO)	100%	已分別針對傳統 data denial 及系集觀測影響評估工具進行評估。
分析整理	100%	已針對部分結果進行分析整理，並已提交至國際期刊 (Monthly Weather Review)
撰寫報告	100%	

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(2.3)：預報對觀測敏感度之四維資料變分同化系統測試報告

計畫名稱：以掩星資料進行颱風與豪雨個案分析與模擬：利用四維資

料變分同化系統，了解掩星資料對劇烈天氣預報之敏感度

及效益評估

執行期間： 2012/2/18~2013/2/17

分項工作管理人：黃清勇

分項工作共同管理人：洪景山

參與人員：劉豫臻、鄧雯心

中 華 民 國 1 0 2 年 1 月

## 一、 摘要

一般而言，同化觀測資料可以改善模式分析場及預報結果，但我們很難去了解每種不同類型觀測資料對預報改善之程度，故希望能找出可以評估觀測資料的影響程度的技術。利用 4DVAR 內建的伴隨模式(adjoint model)來計算預報預差對觀測增量之梯度(即敏感度)，可以評估每種觀測資料對預報誤差(價值函數增量)的影響。使用此種方法，不需要增加或減少同化系統之觀測資料即能了解預報誤差如何受到觀測資料同化的影響。觀測資料對於初始場的影響依觀測資料的正確性、數量、種類、及其他觀測資料的分布和背景觀測誤差的統計值而不同，當觀測資料影響到初始場中動力敏感區，對預報結果會有較大的影響。

同化掩星觀測時，我們首要想知道的事是使用此資料是否真能改善預報，過去除了 OSSE 實驗外，現在可使用另一種方式；4DVAR 伴隨模式來評估。使用此技術可以評估同化 FORMOSAT-3/COSMIC 掩星觀測對預報誤差的影響，及對各觀測點的敏感度，並且根據不同預報準確度的定義，可以求出不同觀測點對各變數的預報誤差改善程度。然而此方法仍有它的限制，例如在伴隨模式中，如積雲、邊界層等參數化方法並非線性，伴隨模式在邊界處理上也未完善，且根據不同真值的定義(true value)及預報準確度的定義而有不一樣的結果。

本年度之研究結果，已大致完成測試此工具，嘗試同化不同觀測並計算其對預報誤差的相對貢獻程度，並比較不同模擬時間，同化不同觀測資料(如探空資料 Sounding，地面觀測 Synop 及 GPS 掩星觀測)等之影響；另外，更嘗試增加擾動動能，相當於環境擾動風場向量值之總和對各種觀測之影響。在期末報告中，增加 2010 年凡那比颱風更長時間(24 h)預報結果以及對於不同個案(2010 年梅姬颱風)的測試，檢視上述各種觀測對改善預報誤差的相對貢獻程度。

## 二、 背景說明

福衛三號(FORMOSAT-3/COSMIC)及其後續計畫福衛七號衛星之氣象研究目標，主要在充分使用GPS掩星觀測資料於預報模式，藉以了解其對區域天氣預

報及全球分析或預報改善之程度，同時探討衛星資料同化理論與技術發展。一般研究對於觀測改善程度多使用 OSSE 實驗，經由增加或減少觀測點來測試各觀測之敏感度，除此方法之外，我們可以藉由變分資料同化系統之伴隨模式計算出觀測影響敏感度(Langland and Baker, 2004)。

利用四維變分同化的伴隨模式計算預報誤差對觀測同化的敏感度，圖 1 為其流程概略示意，上圖為同化預報系統流程，下圖為伴隨模式的運作方法，同化預報為一向前模式，而伴隨模式則是向前模式向後回推積分的過程。第一步在背景場( $x_b$ )經由資料同化(目前僅能使用三維資料同化)，得到分析場( $x_a$ )，經由預報模式預報得到預報值( $x_f$ )。為了得到預報誤差，我們定義價值函數(Cost function)

$$J_f = \frac{1}{2} \langle (x_f - x_t), C(x_f - x_t) \rangle$$

將  $J$  對  $x_f$  微分得到  $\frac{\partial J_f}{\partial x_f}$ ，經由預報模式的伴隨模式

可以得到  $\frac{\partial J_f}{\partial x_a}$ ，最後再經由同化系統的伴隨模式可得到預報對觀測的敏感度

(forecast sensitivity to observation, FSO)，目前預報對觀測的敏感度大多選擇為模擬區域乾淨能預報誤差，定義為：

$$\langle x, x \rangle = \frac{1}{2} \iint_{\Sigma} [u'^2 + v'^2 + \left(\frac{g}{N\theta}\right)^2 \theta'^2 + \left(\frac{1}{\rho c_s}\right)^2 p'^2] d\Sigma$$

### 三、 成果報告

長時間之伴隨模式積分需要大量的記憶體，故模擬之時間則主要受限於電腦能力之限制，目前已擴增記憶體容量，進行更長時間之伴隨積分，本次報告另有針對 2010 年凡那比(Fanapi)颱風進行 24 h 之預報誤差比較實驗，但另一 2010 年梅姬(Megi)颱風個案之結果測試目前仍以 06 h 和 12 h 模擬為主。

圖 2 為模擬實驗設計圖，由於 NCEP 場已經過一些初始同化過程，故若為 Cold Start Run 則必須先做一段時間之模擬再做同化，如 Run 06h 為例，將模擬之範圍擴大至 151x151 網格點，價值函數計算範圍為中間 21~130 個網格點以避開邊界，測試之個案時間為凡那比颱風 2010/0916/12Z 至 2010/0919/12Z 中每六

小時重新 cold start 一次，並且每一時間點同化做向後模擬六小時之模擬結果與不同化向後模擬六小時之模擬結果，相較於真值之預報誤差敏感度的平均。若比較時間為 2010/0917/12Z，初始場為 2010/0917/06Z 之 NCEP AVN 再分析場，cold start 進行預報六小時後得到 2010/0917/12Z 的預報場當作同化的背景場( $x_b$ )，分析場( $x_a$ )則為同化 GTS+GPS 資料後之分析場，預報六小時後得 2010/0917/18Z 預報場( $x_f$ )，而未同化前預報六小時結果則為( $x_g$ )，同化窗區為分析時間前後三小時，並且取真值( $x_t$ )為與預報場同一時間之 NCEP AVN 再分析場，作為誤差比較的基準。真值之選擇對實驗結果的解釋上影響很大，然而，在無其他較佳之選擇下，只能選用 NCEP AVN 做為真值。Run 12 h 則同前述，但預報時間為 12 小時；Run 24 h 則預報時間為 24 小時。

目前的 WRF FSO 在同化觀測資料時，除需要觀測誤差外，另須使用模式背景誤差，有 CV3 及 CV5 兩種主要選擇，前者由 NCEP 之季節內全球 24h 減 12 h 預報誤差之統計，後者常為個案預報時間之前一個月內 24h 減 12 h 預報誤差之統計，使用前者主要為方便、省時，使用後者則須實際模擬計算來統計一個月內預報誤差，費時許多。

圖 3 為凡那比颱風模擬路徑結果，因為模擬時間只有六小時，故無明顯差異，但有同化的初始場和 Run 06h 模擬結果，無論 CV3 或 CV5 之背景誤差，皆較未同化者好，但並不是很明顯，並且在 18/12Z、19/06Z 略有變差情況。圖四則為海平面氣壓增量圖，使用同化過後之結果減掉未同化結果所得出( $x_a - x_b$ )，期增量約介於 -1.0 至 3.0 之間，而紅色箭頭為風場的增量。

圖 5 則為模擬六小時後之結果(Run 06h)，為 2010/0916/12Z 至 2010/0919/12Z 之間每 6 小時一筆並且各模擬 6 小時之結果平均，故為 12 筆平均，此結果顯示，同化可以降低模擬一段時間之 NCEP 再分析場的預報誤差。圖 5a 也顯現出觀測對預報變數之影響，對於 U、V 有明顯之改善，T、Q 則次之，對 P 之敏感度則最小，圖 6 則選擇 2010/0917/12Z 其中的一種觀測種類 Synop 做對照，圖 6a 及 6b 可對照圖 5 預報對風場之模擬誤差是有較明顯改善的，故偏藍色的點較多，

而圖 6c 和 6d 顯示 T、Q 也有不錯的表現，而此圖中對 P 則是紅色的點明顯較多，與總和的結果圖 5b 是一致，但圖 6 是水平面上的圖，圖上有正值有負值，故無法單從水平面即判斷其總影響，也無法單從觀測敏感度總和判斷水平之分布之好壞。

圖 7 則為我們所關心同化 GP 衛星資料之結果，目前僅能得到同化折射率之觀測敏感度。圖 7a、b、c 為選擇之其中三層高度場分別代表低、中、高層，其中可以以紅藍色點數數量以及位置分布來分辨好壞，雖然分布點數少，但可以明顯發現在低層 5a 其紅點數較多，因此表現較差，中層則次之，高層則是藍點較多，表示該層可使預報變好，但如同前段所述這是任選之其中幾層，無法代表全部垂直之狀況，並且 GPS 觀測點數相較 Synop 是較少的，水平分布較稀疏，我們必須對照各層之分布。圖 8 則為探空 Sounding 和 GPSRO 同化對變數預報影響程度之垂直分布，已除上觀測點量而得到之平均值，此圖結果可以發現，同化 Sounding 結果之預報影響主要集中在低層(800~700 hPa)，但各變數間則仍有很大的不同，另外 GPSRO 同化結果，主要影響則集中在高層約 13 至 23 公里，此圖為單一筆時間 2010/0917/12Z 向後模擬六小時之結果，如對照其他時間點，則有些許差異，但結果大致同上，但此部分需再做比較分析。

圖 9 為 Run 12h 之結果，是將模擬時間增長為 12 小時之結果，相較圖 5，則大致上有變好的情況，預報誤差之影響貢獻值有增長的狀況，然而個別的時間點如分開來看，則是有正有負，並非每個時間點都是好的貢獻，但其總平均則是正的，個別時間之圖未示。

圖 10 同圖 5 為 Run 06 但使用該模擬時間前一個月之 CV5 背景誤差同化之結果，圖 5 則為 CV3，於模擬結果顯示其預報誤差之影響差異很大，實際上，使用不同參數設定之 CV3 背景誤差測試，其結果差異也相當大(圖未示)，而 CV5 之結果再同化 GPSRO 較好，而 CV3 則稍差，但其他觀測之同化則是 CV3 結果較好。

我們嘗試改變不同價值函數之定義，以期計算不同之預報誤差敏感度，並測

試選擇不同計算敏感度範圍，圖 11 為圈選之計算範圍，範圍選定在颱風移動經駛流場影響後常轉向的區域。圖 12 則為乾淨能之結果，並且選用 CV5 背景誤差，在此範圍內之觀測對乾淨能之皆有較好之影響，其中以 Sound、GEOAMV 以及同化折射率 GPSRO 之同化影響為最好，對照圖 10，在此範圍內 GPSRF 折射率有更好的表現，其中圖 10 及圖 12 為選定不同範圍觀測點之乾淨能總和，故其乾淨能量值則以圖 10 較大(因為範圍大點數多，故值較大)。此外我們嘗試使用範圍內風場擾動之總和計算價值函數，此價值函數恰為風向量差量值之總和

$$J = \iiint u'^2 + v'^2 d\Sigma, \text{ 故可代表觀測變數對平均擾動風場向量之預報敏感度 } \frac{\partial J}{\partial x},$$

得結果為圖 13，結果顯示對於圖 11 所選取之區塊來說，同化 GPSRO 有明顯之正面貢獻，可以明顯減少此區塊之擾動風場預報誤差。故同化之 GPSRO 資料，對此區之駛流風之影響以及颱風預報，可以有不錯的正面影響。

圖 14 則同圖 13，但為水平觀測點對選擇範圍圖 11 之價值函數對預報誤差影響分布圖，圖中顯示很遠的觀測點仍然對於此選擇範圍有影響力，此一結果有待更多分析及驗證。

本次報告測試凡那比颱風 Run 24h 結果如圖 15，同樣以圖 11 之範圍，分別檢視兩種價值函數(乾淨能、擾動動能)定義對預報誤差之影響。與前面結果比較可以發現，選擇特定範圍，或者，較長時間的預報，都能明顯看出同化 GPSRO 對預報誤差的改善，其中又以乾淨能的結果有較大正面影響；但個別時間的結果可能有正有負，因此，挑選其中幾種觀測檢視時間序列結果，在此範圍內表現最佳的 GeoAMV 及 GPSRO 在個別時間皆有正面影響；Sound、Synop 則僅在幾個時間點有明顯正面影響。

為獲得較有統計意義之結果，本次報告加入比較 2010 年梅姬颱風個案，同時也模擬更多時間點，增加模擬筆數。圖 17 為模擬六小時後之結果(Run 06h)，為 2010/1016/06Z 至 2010/1020/12Z 之間每 6 小時一筆並且各模擬 6 小時之結果平均，故為 17 筆平均。對照凡那比颱風個案，兩者的觀測點變數之預報誤差貢

獻結果皆以 U、V 有最明顯之改善，對 P 的敏感度最小；另外，對照單一時間 (2010/1020/00Z) Synop 的敏感垂直總和(圖 17c,d,e)也一致，對 P 有較多紅色點。將敏感度計算範圍縮小至圖 18 所示，選擇包含部分梅姬颱風行進路線且後轉向 北之路徑範圍。圖 19b 結果顯示，與大範圍結果比較(圖 17)，乾淨能量值以圖 17 較大(範圍大點數多，值較大)，但在此範圍內 GPSRO 對預報誤差貢獻相較於 其他觀測明顯較高，其他各觀測的影響程度皆有下降趨勢。圖 18c,d,e 將各觀測 以個別時間分開來看(這裡以 Sound、Synop 以及 GPSRF 結果為例)，雖然 Sound 平均誤差貢獻敏感度為最多，但在 17 筆時間資料中卻也不是每個時間點都有良 好的表現；Synop 的正負值起伏也相當大，反而是 GPSRO 資料在較多的時間點 都有減少誤差的情形，顯示模擬時間筆數對資料貢獻的評斷也有相當大的影響。 另外，在梅姬颱風北轉期間(約為 101918Z~102006Z)，三種觀測表現差異不大， 但平均仍以 Sound 資料改善最為明顯。

圖 20 為水平觀測點對選擇範圍圖 18 之價值函數對預報誤差影響分布圖，選 擇 GPSRO 觀測資料有較大貢獻量之時間 2010/1020/00Z，比較三種垂直層差異。 同化折射率之觀測敏感度顯示中、低層差異不明顯，而高層對預報誤差之敏感度 較好(藍點較多)，可使預報變好。

另模擬 12 小時(Run 12h)，且嘗試使用圖 17 範圍內風場擾動之總和計算價值 函數後之結果為圖 21，為 2010/1016/06Z 至 2010/1020/06Z 之間每 6 小時一筆並 且各模擬 12 小時之結果平均。觀測變數對平均擾動風場向量之預報敏感度，結 果顯示同化各資料平均對預報皆有正面貢獻，但以 GeoAMV 及 Sound 表現最佳， GPSRF 的貢獻並不大。對照同樣使用 cost function 為擾動動能的凡那比颱風個案， 在 24 h 預報結果中，顯示 GPSRF 可明顯影響颱風預報。兩個案結果差異也與背 景場(CV3、CV5)的選擇有關，預期使用 CV5 背景場可能有更好結果。

#### 四、 結語

前述研究結果，已經測試對各種不同觀測種類以及觀測真值的定義比較出的

結果，其中結果顯示，同化資料可以改善初始預報場，其中最主要貢獻為 Sound、GeoAMV、GPSRF。在凡那比颱風個案我們測試不同背景誤差(CV3 與 CV5)之結果，不同背景誤差對預報結果影響很大，其中又以在背景誤差為 CV5 時，GPSRO 有較大正面影響；至於梅姬颱風，目前僅測試 CV3 背景誤差的結果。另外，各觀測平均的貢獻量可能在不同時間上有極大差異，因此，模擬筆數需到達一定數量才有意義；除了本次報告增加的梅姬颱風個案、平均模擬數量，持續增加統計的數量以及不同個案的比較分析是必要的。而預報時間的增長(6hr->12hr->24hr)，以及縮小計算敏感度的範圍結果，皆使 GPSRO 觀測的貢獻相較其他觀測更為突出，尤其凡那比颱風個案在 24 h 預報時，各個時間皆對預報呈現正面影響。此方法優勢在於可以同時使用多種觀測資料同化，不需為了解各種觀測資料對各變數各觀測點的詳細預報誤差敏感度而去除任何變數。

WRFV3.3.1 之 FSO 系統已經可以對觀測點做預報敏感度之詳細分析。利用不同的價值函數定義以及選定範圍之敏感度計算，可分析同化不同觀測所造成的影響。報告中兩個颱風個案的結果在選定之颱風路徑的範圍內，GPSRO 皆有不錯的影響；在凡那比個案中，對擾動動能來說，同化 GPSRO 更明顯有最大的影響。進行更多個案以及大量預報分析，探討如何應用 FSO 工具作更詳細之分析診斷，是本議題未來重要的工作。

# What is observation sensitivity?

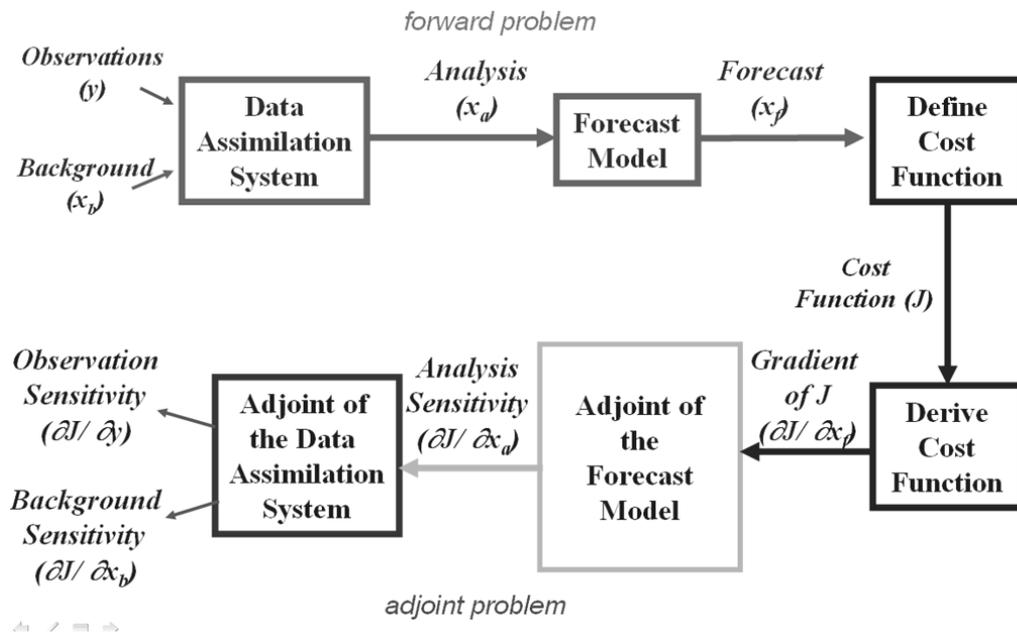


圖 1. WRF 4DVAR 及伴隨系統運作流程圖。

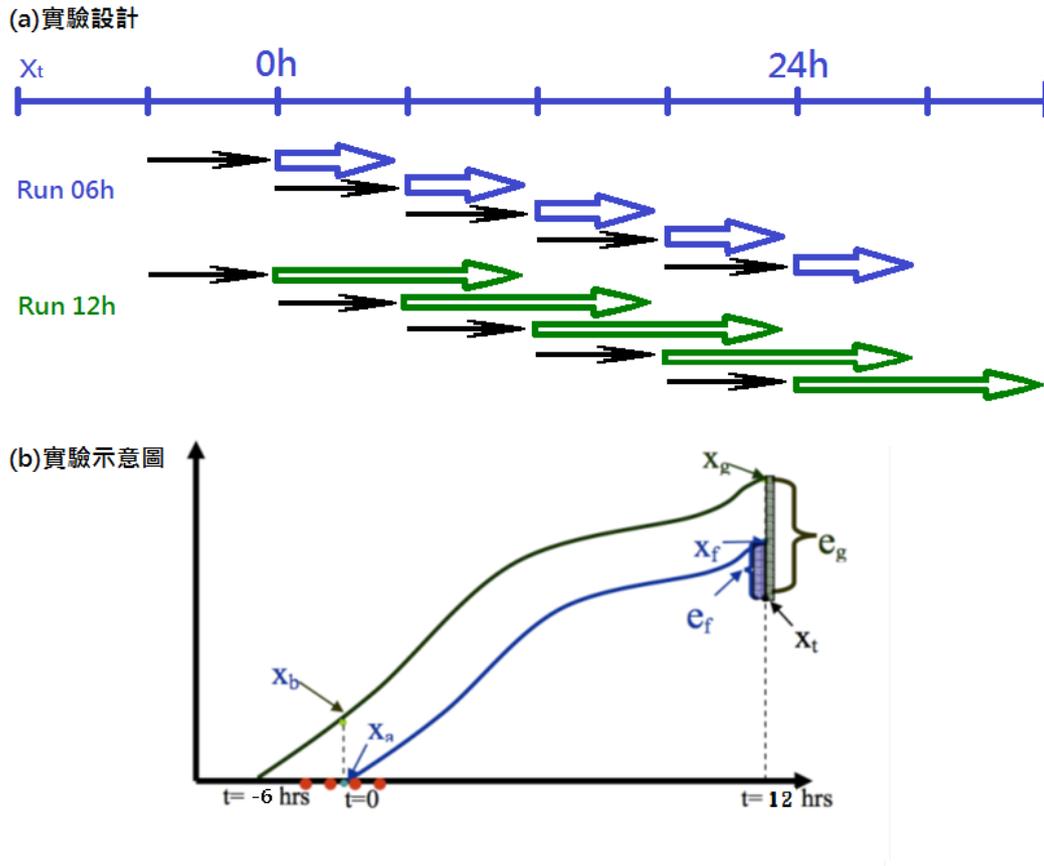


圖 2. (a)實驗設計圖之示意圖，Run 06h 為 cold start 預報 6 小時後同化之分析場再模擬 6 小時(藍線)，Run 12h 為 cold start 預報 6 小時後同化(綠線)再模擬 12 小時，黑線表示 NCEP 再分析場向前積分模擬 6 小時，最上方之時間軸代表對應之模擬時間，真值則使用 NCEP 再分析場，(b)則為 FSO 方法示意圖。

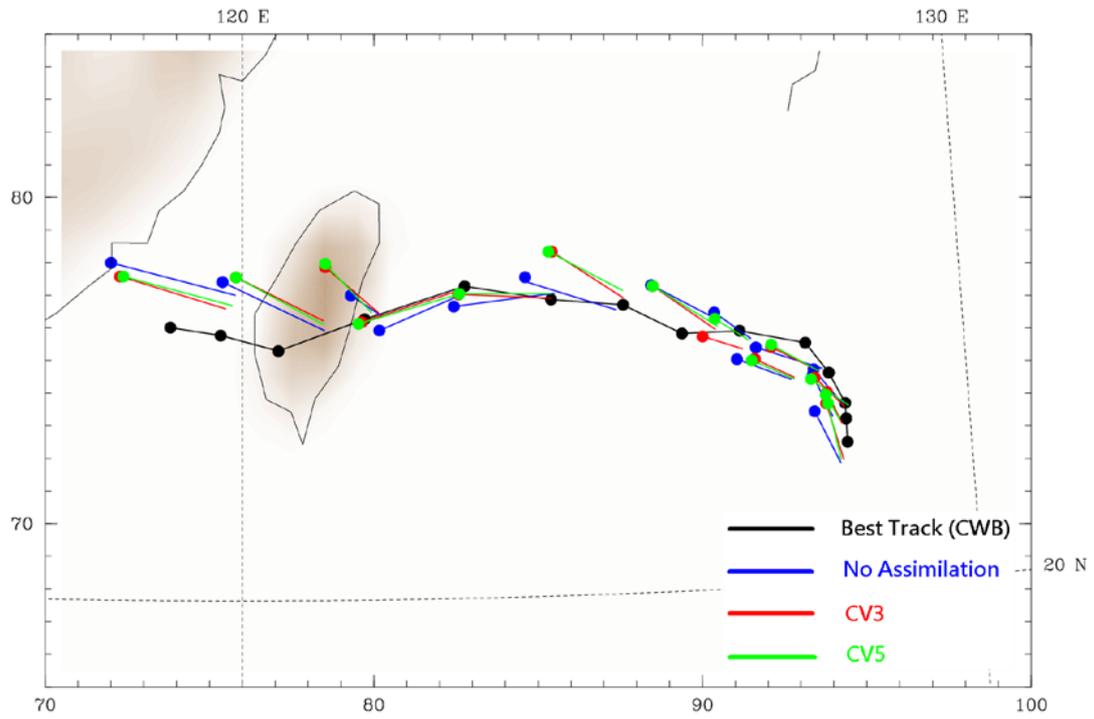


圖 3. 模擬 2010 年凡那比颱風之路徑圖，黑色為最佳路徑；藍色為模擬六小時後未同化再繼續模擬六小時；紅色為背景誤差選用 CV3；綠色為背景誤差選用 CV5。

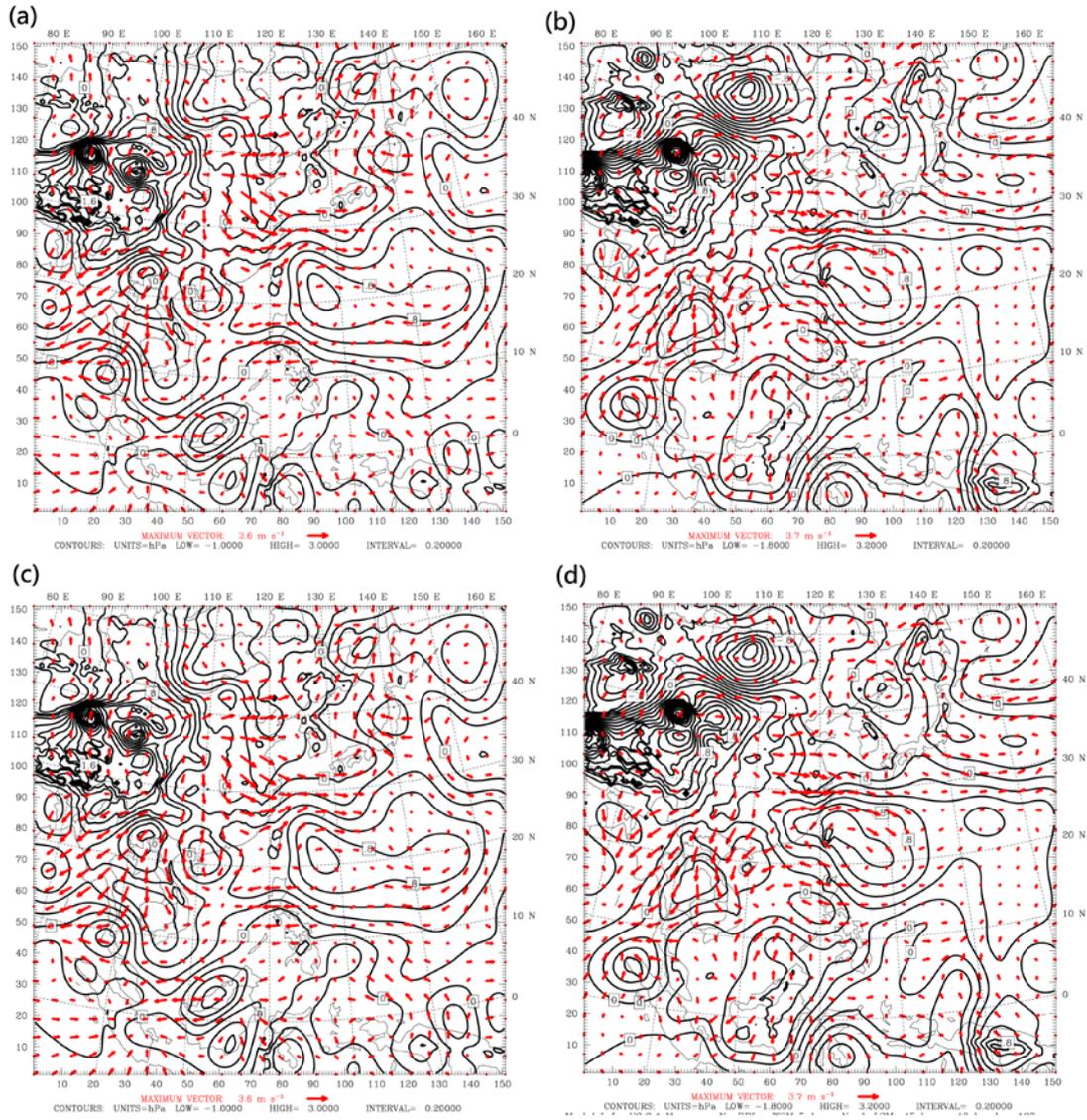


圖 4. 海平面氣壓增量以及水平風場(紅色箭頭)增量圖，等值線間距為 0.2 hpa，  
 (a) 1712 ( $x_a - x_b$ )背景誤差選用 CV3，(b) 1812 ( $x_a - x_b$ )背景誤差選用 CV3，(c) 1712  
 ( $x_a - x_b$ )背景誤差選用 CV5，(d) 1812 ( $x_a - x_b$ )背景誤差選用 CV5。



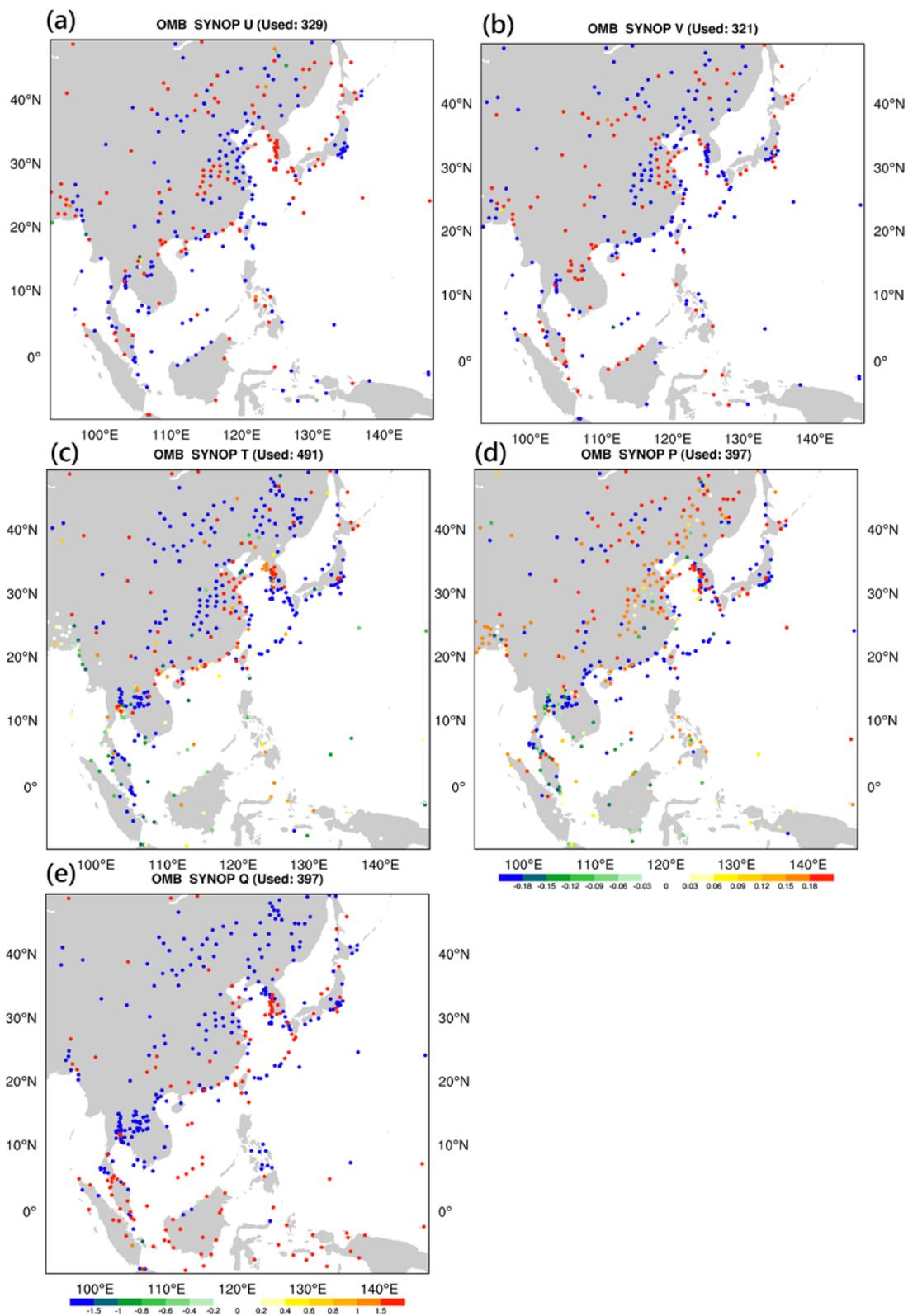


圖 6. Run 06h 結果, 1712Z 水平面上 Synop 各觀測點變數對預報誤差之敏感度垂直總和, 分別為(a) U, (b) V, (c) T, (d) P, (e) Q (價值函數為乾淨能, 單位 J/kg)。

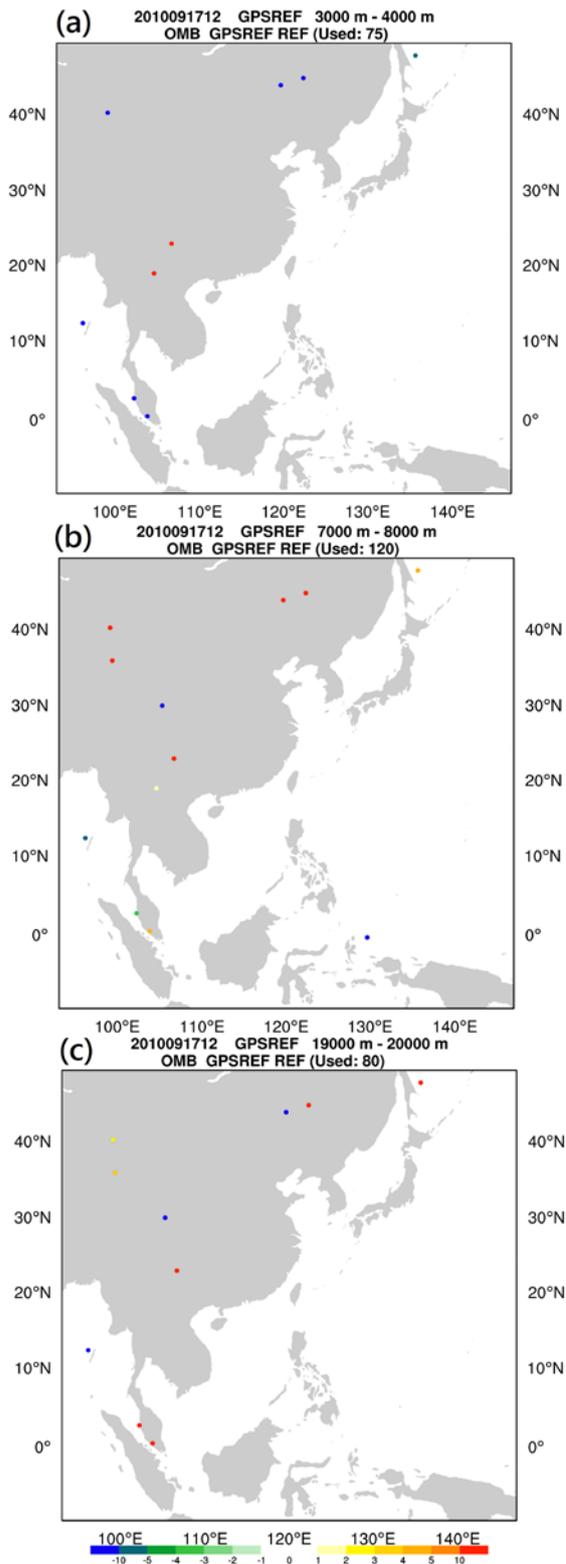


圖 7. Run 06h 結果，1612Z 同化 GPSRO 之折射率造成預報誤差的敏感度，分別為 (a)低層 3000 m 至 4000 m，(b)中層 7000 m 至 8000 m，以及(c)高層 19000 m 至 20000 m 總和 (價值函數為乾淨能，單位 J/kg)。

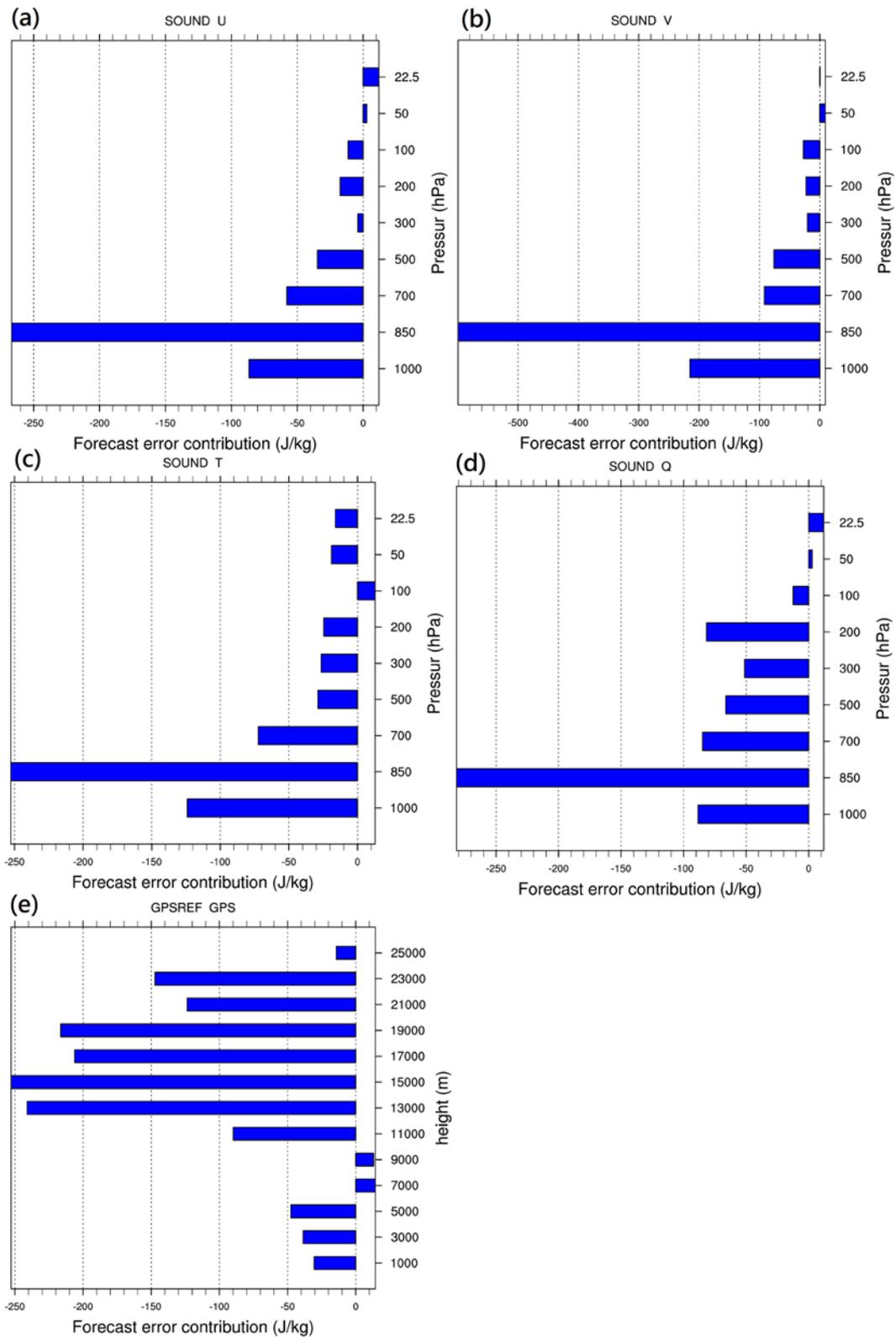


圖 8. Run 06h 結果，1712Z 同化 Sounding 所造成各變數誤差的貢獻程度之垂直分布，分別為變數 (a) U，(b) V，(c) T，(d) Q，此外(e)為同化 GPSRO 之折射率造成預報誤差的敏感度，各層之總和為除於該層點數之平均值(價值函數乾淨能，單位 J/kg)。

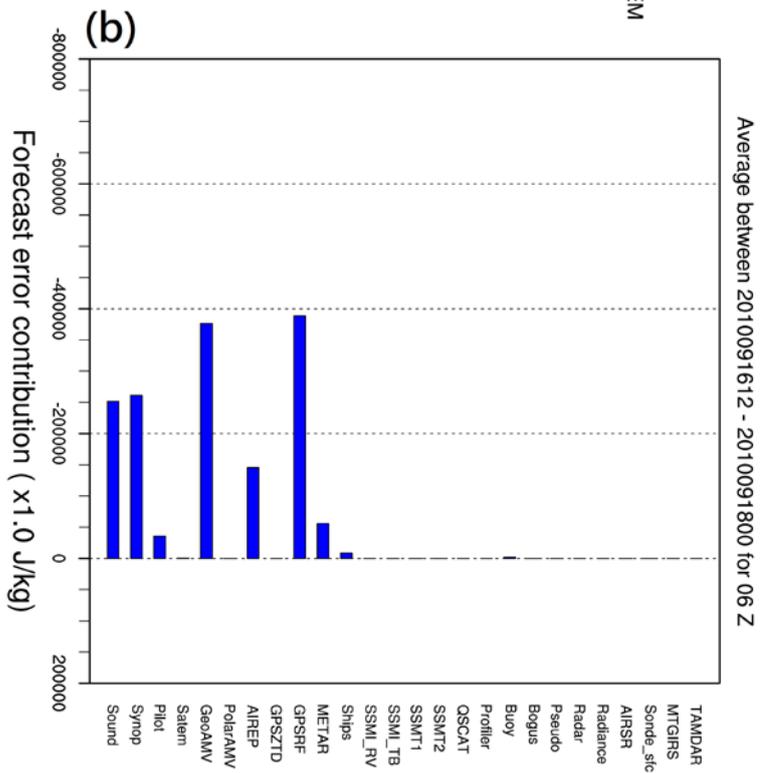
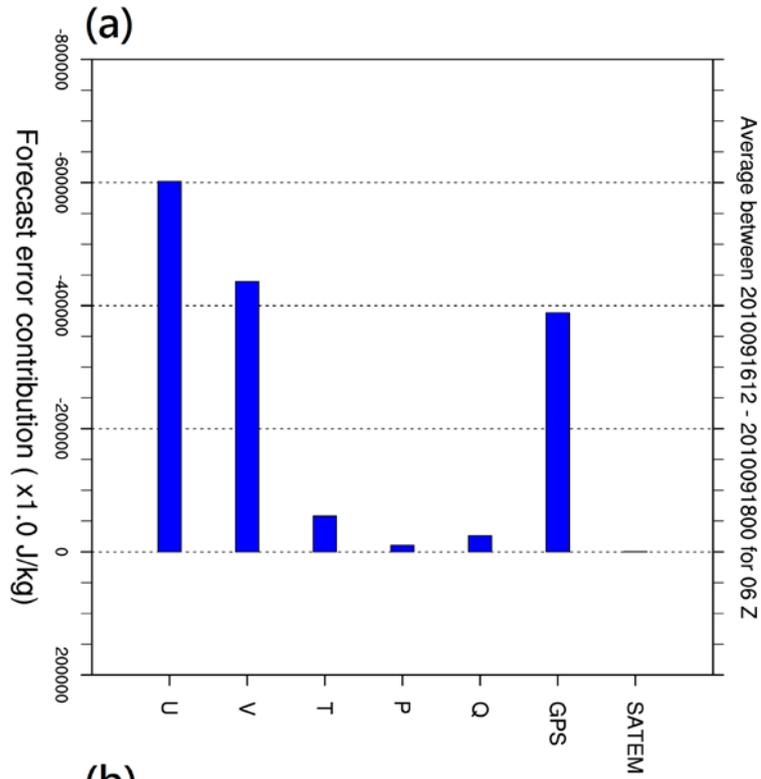


圖 9. Run 12h 結果，(a)各種觀測對預報誤差之貢獻，(b)觀測點變數對預報誤差之貢獻敏感度總和，負值表示同化影響可減少誤差(價值函數乾淨能，單位 J/kg)。

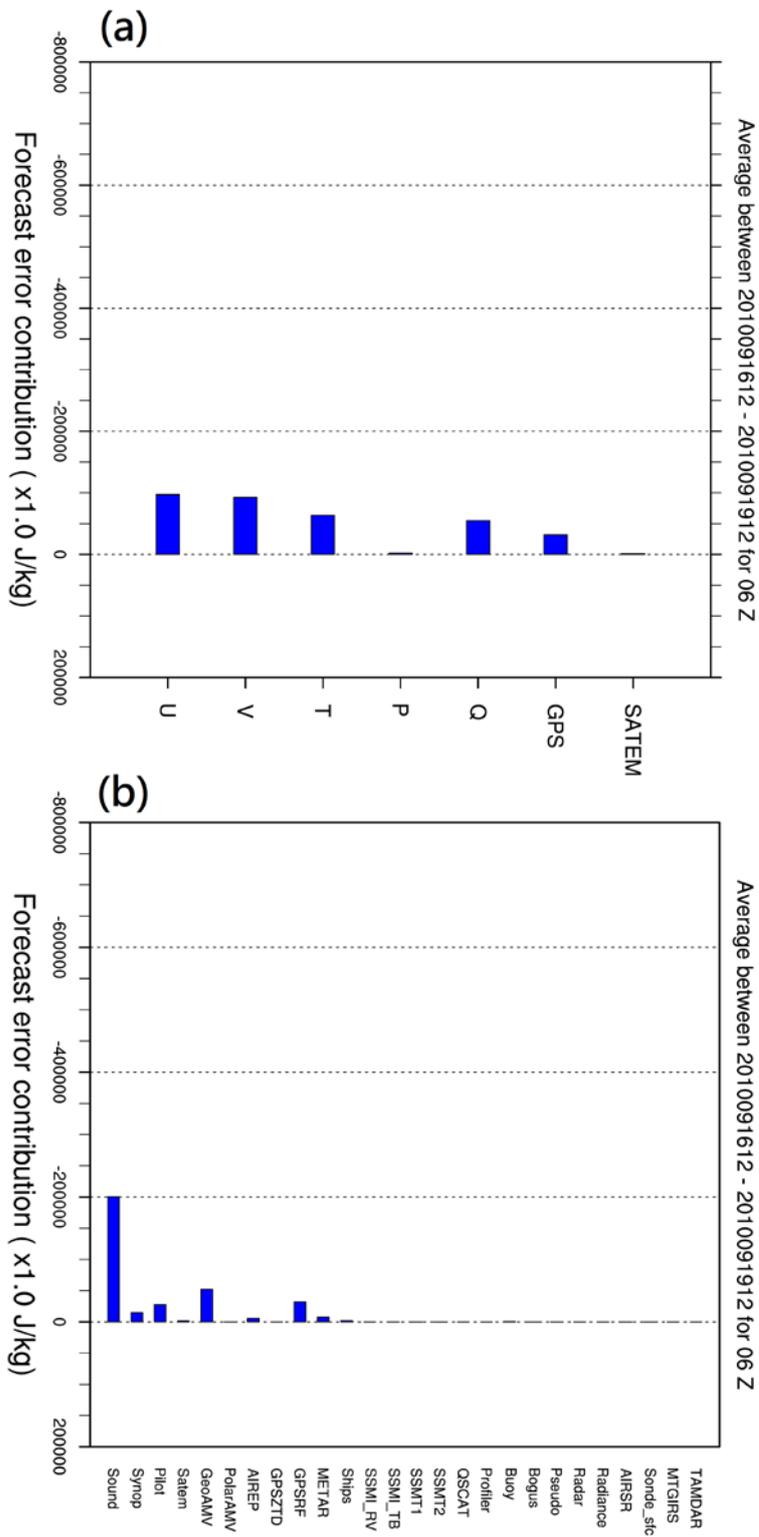


圖 10. Run 06h 但背景誤差為 CV5 結果(a)各種觀測對預報誤差貢獻，(b)觀測變數之預報誤差之貢獻敏感度總和，負值表示同化影響可減少誤差(價值函數為乾淨能，單位 J/kg)。

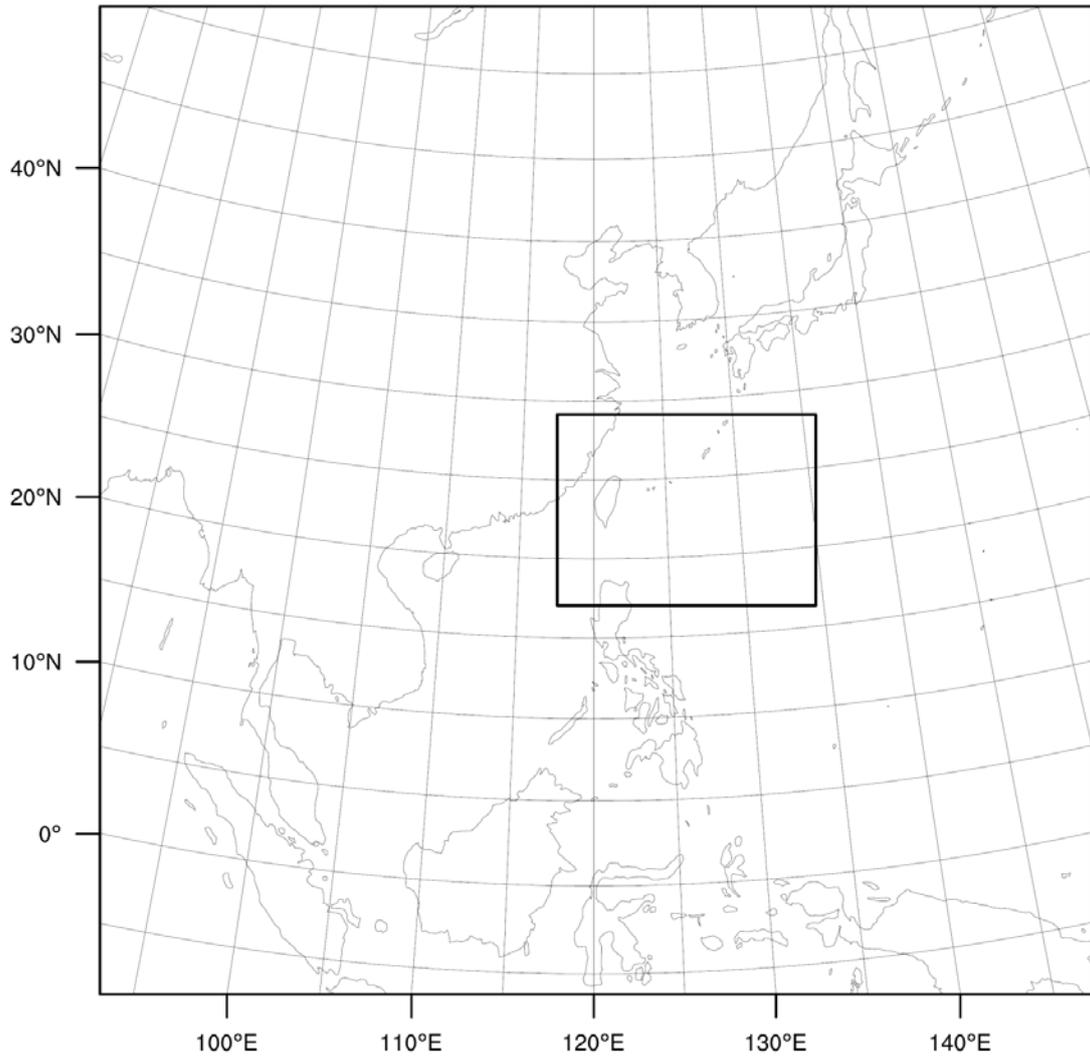


圖 11. 內框為價值函數計算的區域示意圖，Domain 為 45km，151x151。

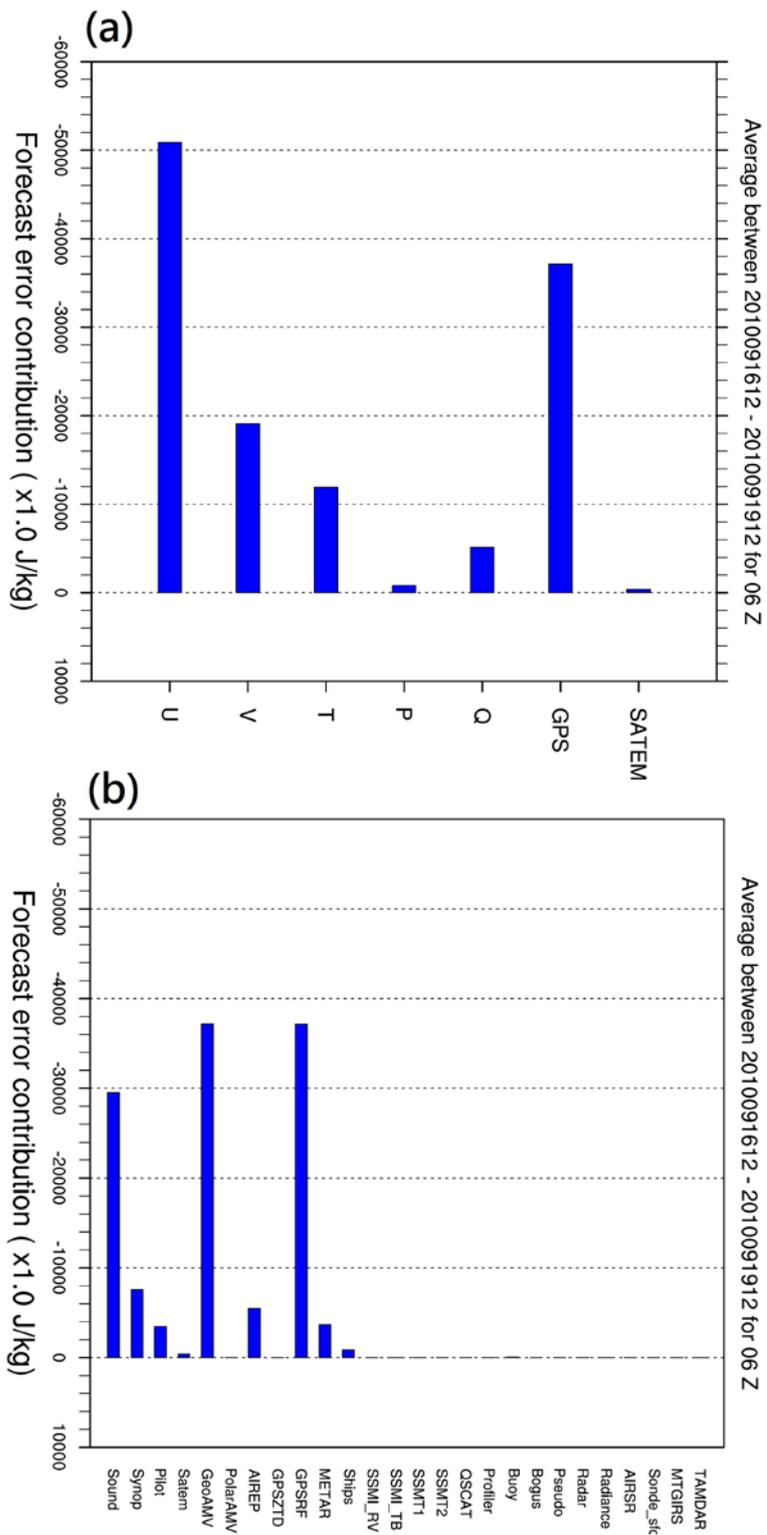


圖 12. Run 06h 但背景誤差為 CV5 結果，並且計算價值函數的範圍如圖 11 (a) 各種觀測對預報誤差之貢獻，(b) 觀測點變數對預報誤差之貢獻敏感度總和，負值表示同化影響可減少誤差(價值函數乾淨能，單位 J/kg)。

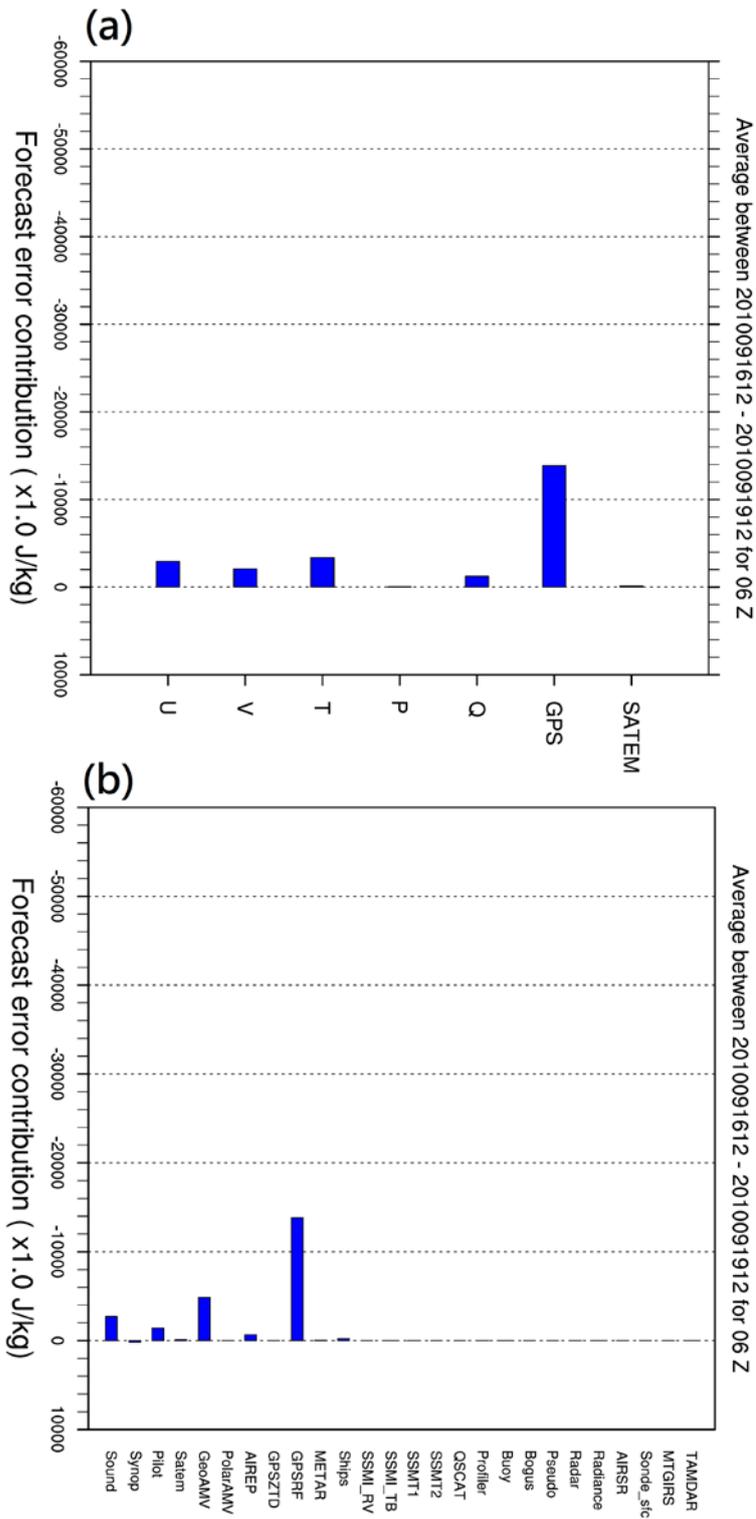


圖 13. Run 06h 但背景誤差為 cv5 結果，並且計算價值函數的範圍如圖 11，但價值函數為擾動動能 (a)各種觀測對預報誤差之貢獻，(b)觀測變數對預報誤差之貢獻敏感度，負值表示同化影響可減少誤差(價值函數擾動動能，單位 J/kg)。

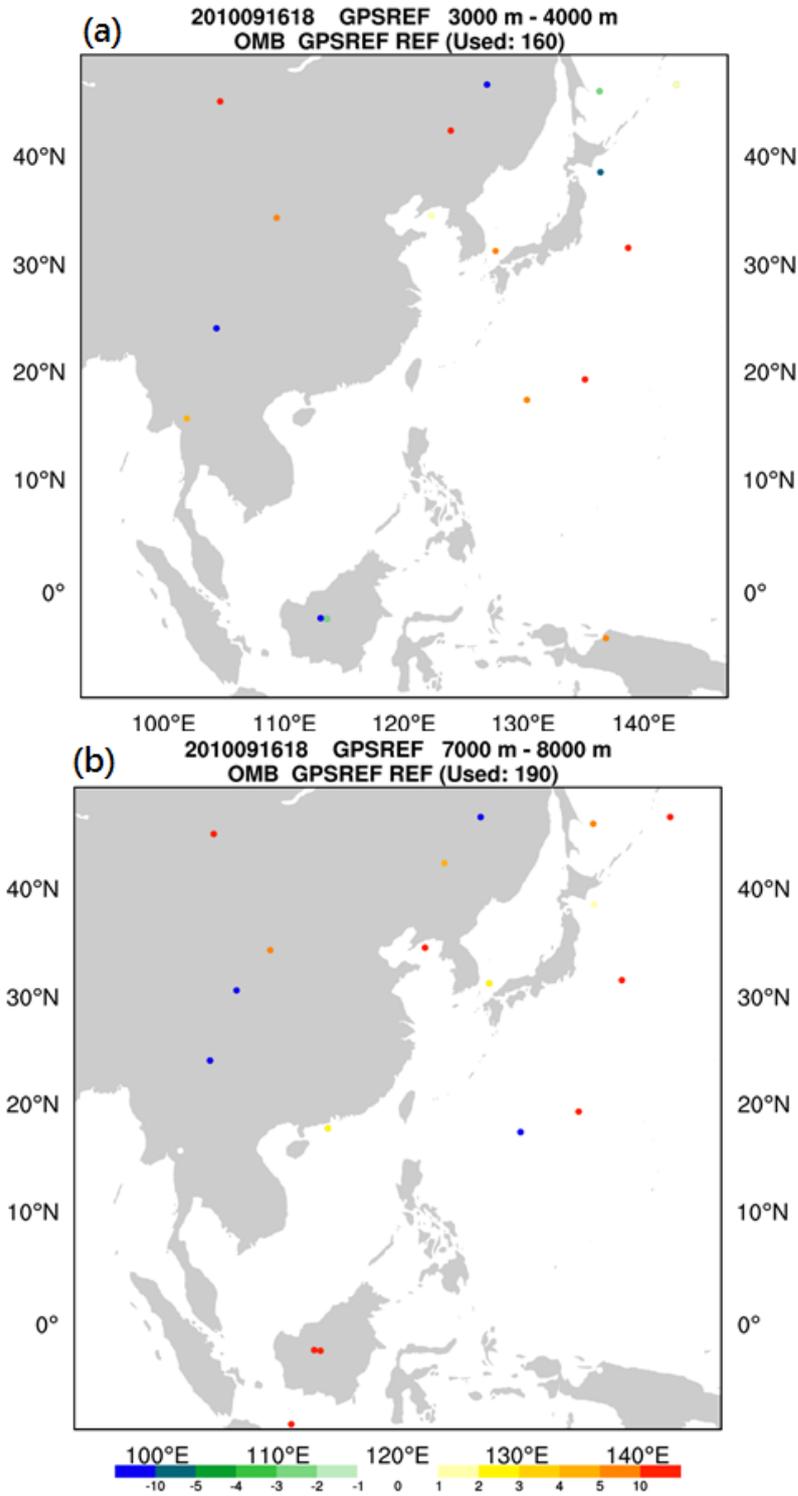


圖 14. Run 06h 但背景誤差為 CV5 結果，並且計算價值函數的範圍如圖 11，1612Z 同化 GPSRO 之折射率造成預報誤差的敏感度，分別為 (a) 低層 3000 m 至 4000 m，(b) 中層 7000 m 至 8000 m 總和 (價值函數擾動動能，單位 J/kg)。

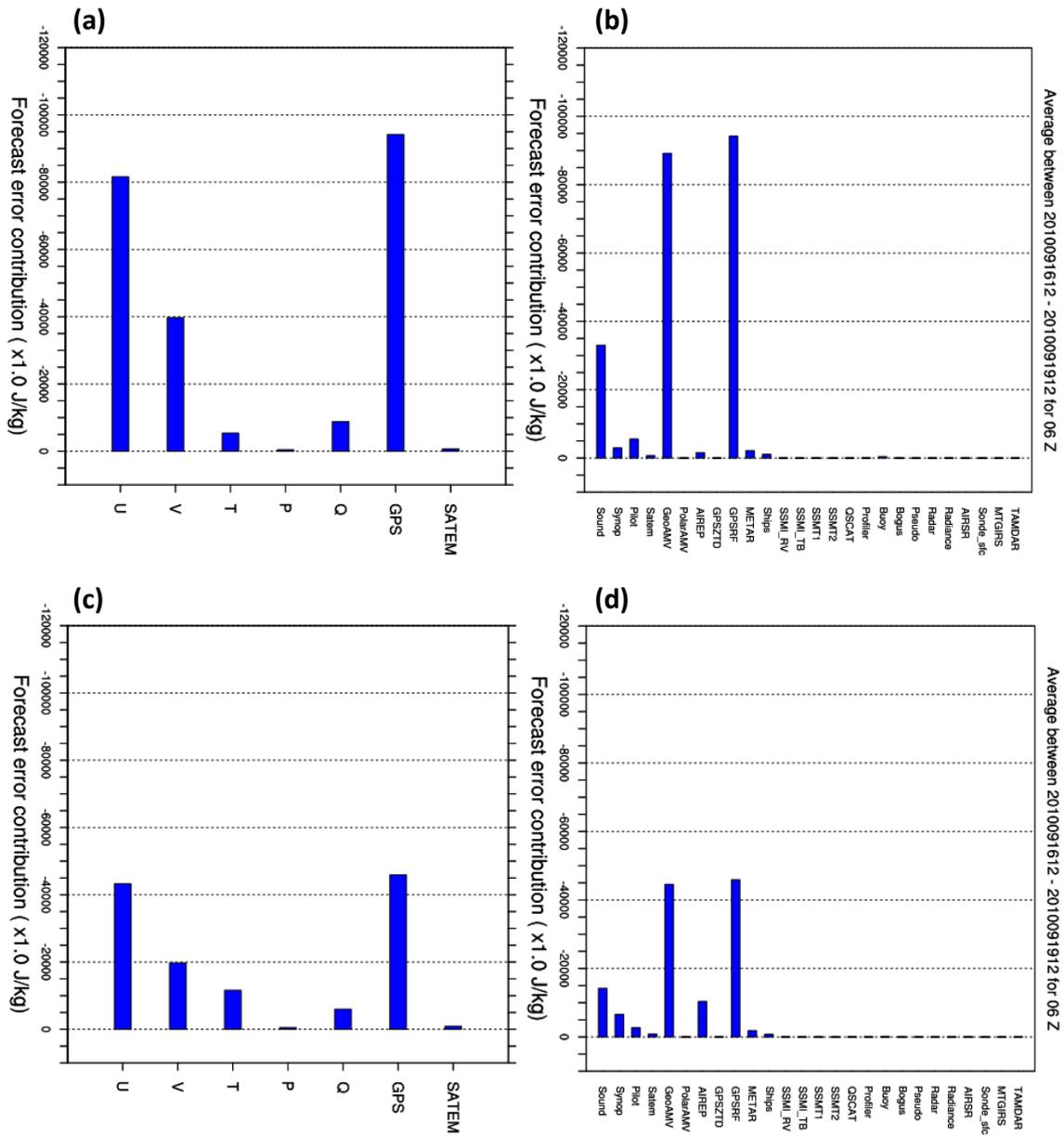


圖 15. Run 24h 且背景誤差為 CV5 結果，並且計算價值函數的範圍如圖 11，價值函數為乾淨能，單位 J/kg。(a) 觀測變數對預報誤差之貢獻敏感度總和，(b) 各種觀測對預報誤差之貢獻，負值表示同化影響可減少誤差；(c)、(d)同(a)、(b)，但價值函數為擾動動能，單位 J/kg。

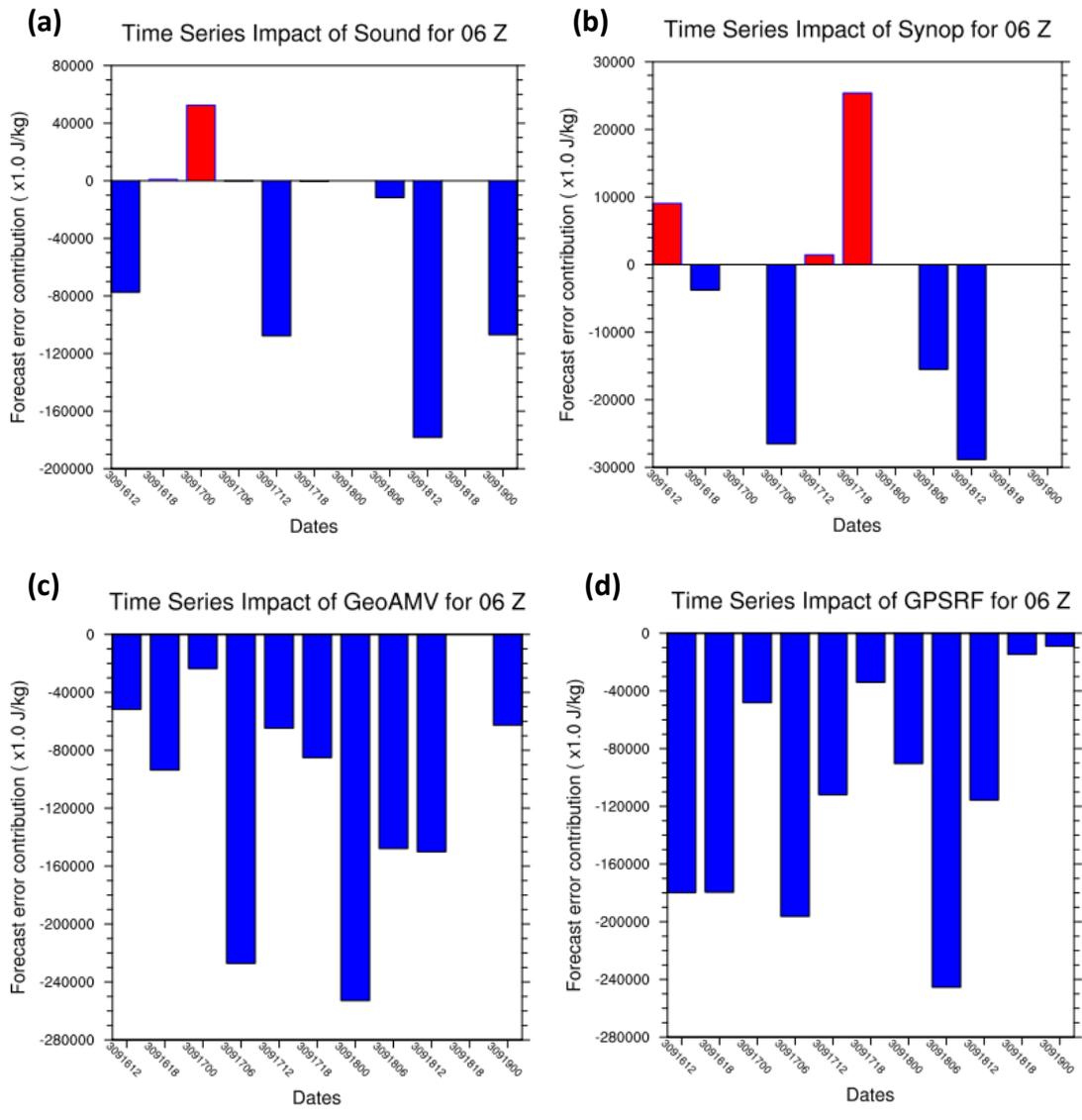


圖 16. 不同觀測對 24-h 預報誤差之貢獻的時間序列(每 6 小時)(2010/09/16/12Z~2010/09/19/00Z)結果，分別為(a) Sound，(b) Synop，(c) GeoAMV，(d)GPSRF 的結果(背景誤差為 CV3；價值函數乾淨能，單位 J/kg)。

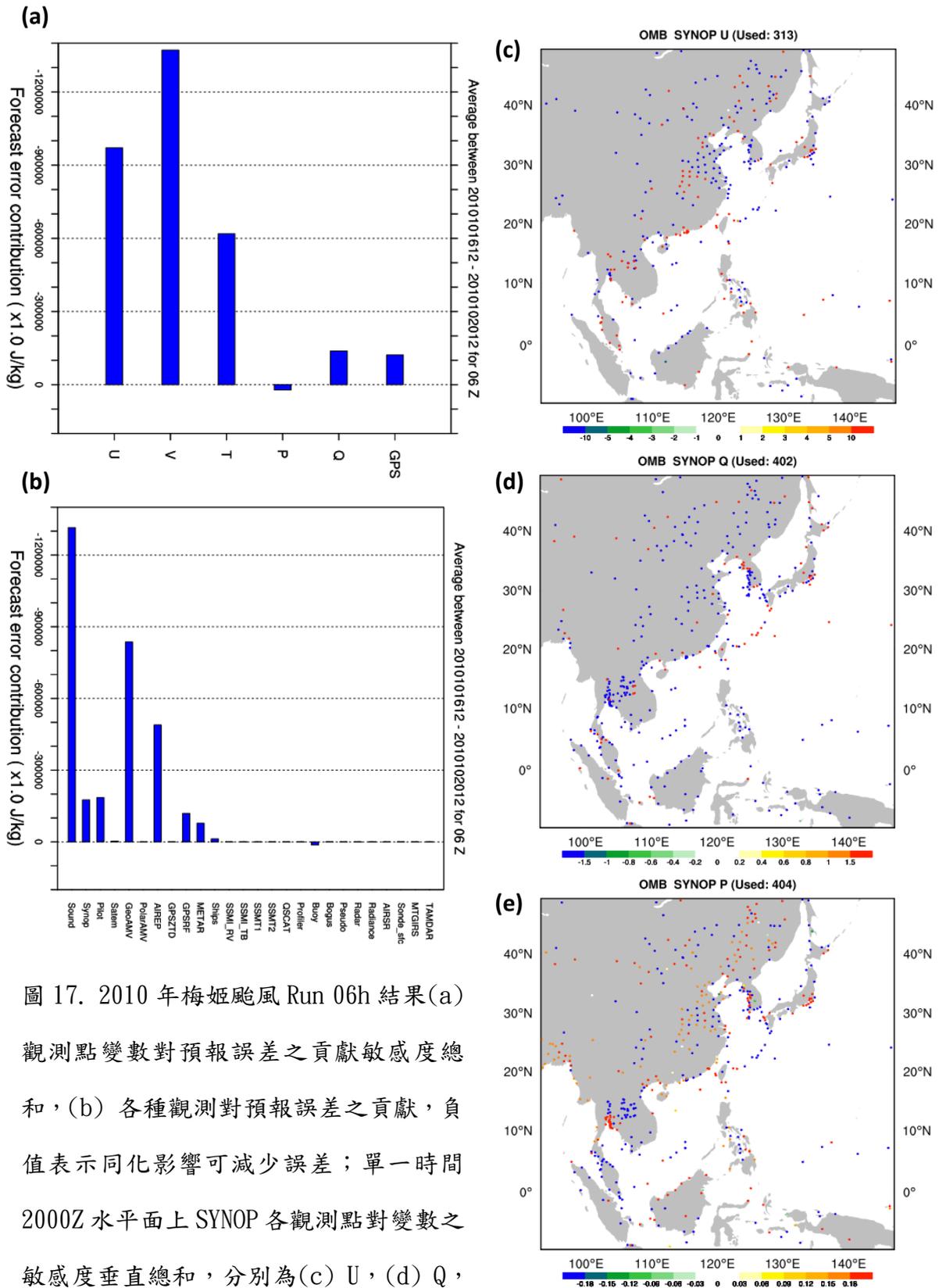


圖 17. 2010 年梅姬颱風 Run 06h 結果(a) 觀測點變數對預報誤差之貢獻敏感度總和，(b) 各種觀測對預報誤差之貢獻，負值表示同化影響可減少誤差；單一時間 2000Z 水平面上 SYNOP 各觀測點對變數之敏感度垂直總和，分別為(c) U，(d) Q，(e) P (背景誤差為 CV3；價值函數為乾淨能，單位 J/kg)。

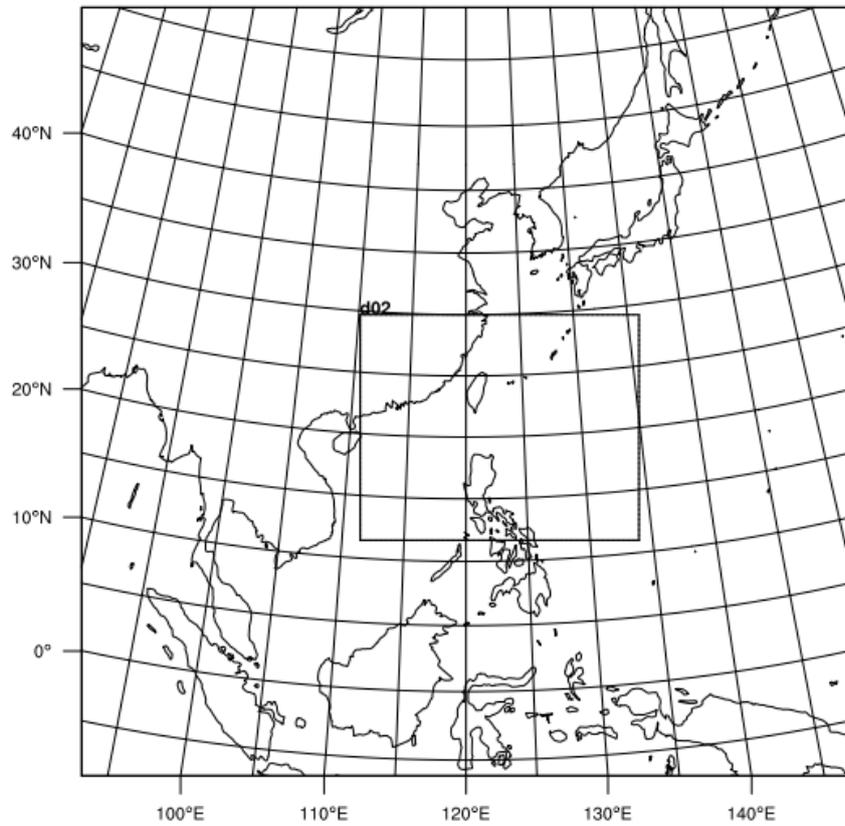


圖 18. 內框為梅姬颱風個案價值函數，計算的區域示意圖，Domain 為 45km，151x151。

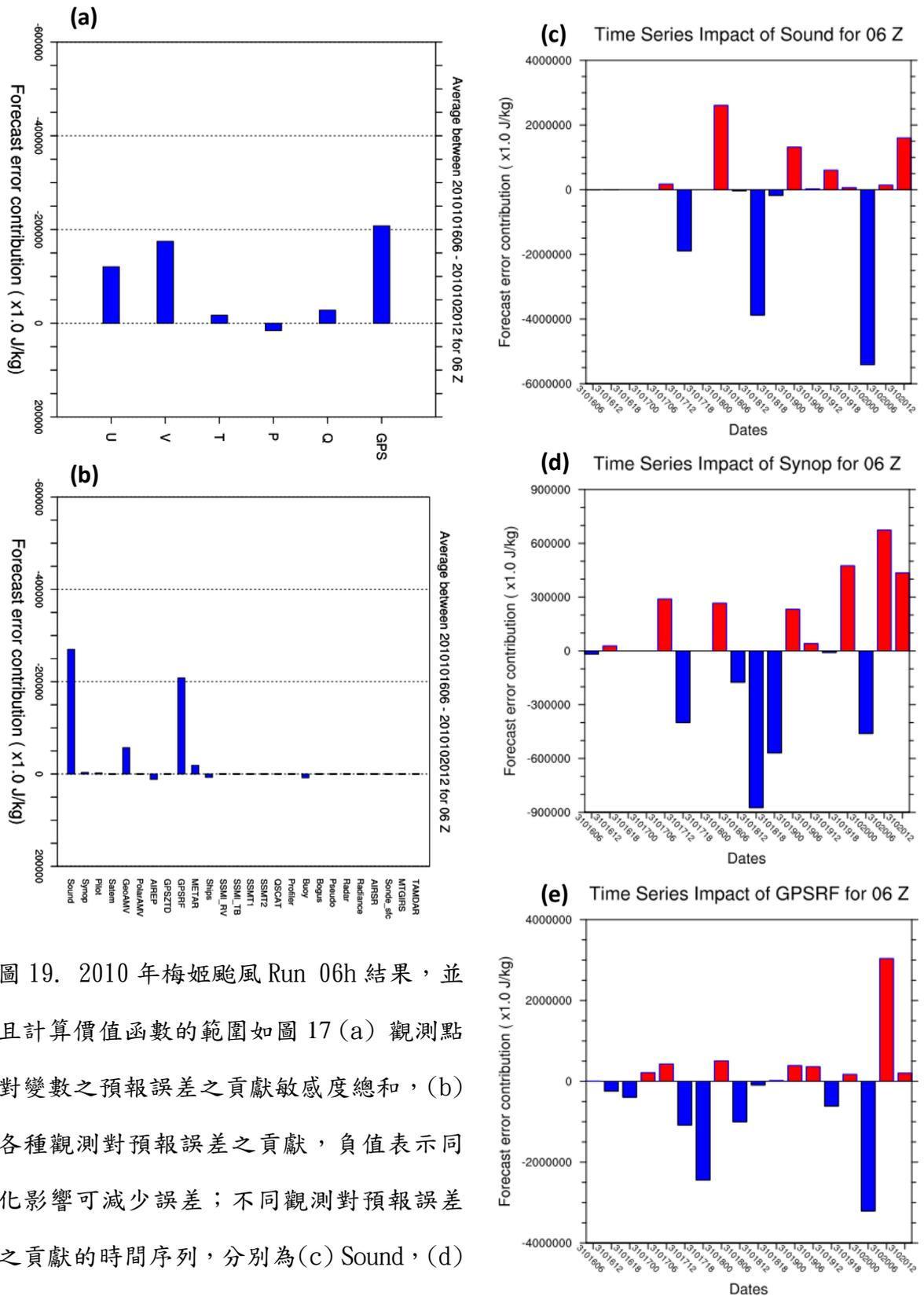


圖 19. 2010 年梅姬颱風 Run 06h 結果，並且計算價值函數的範圍如圖 17 (a) 觀測點對變數之預報誤差之貢獻敏感度總和，(b) 各種觀測對預報誤差之貢獻，負值表示同化影響可減少誤差；不同觀測對預報誤差之貢獻的時間序列，分別為(c) Sound，(d) Synop，(e) GPSRF 的結果(背景誤差為 CV3；價值函數為乾淨能，單位 J/kg)。

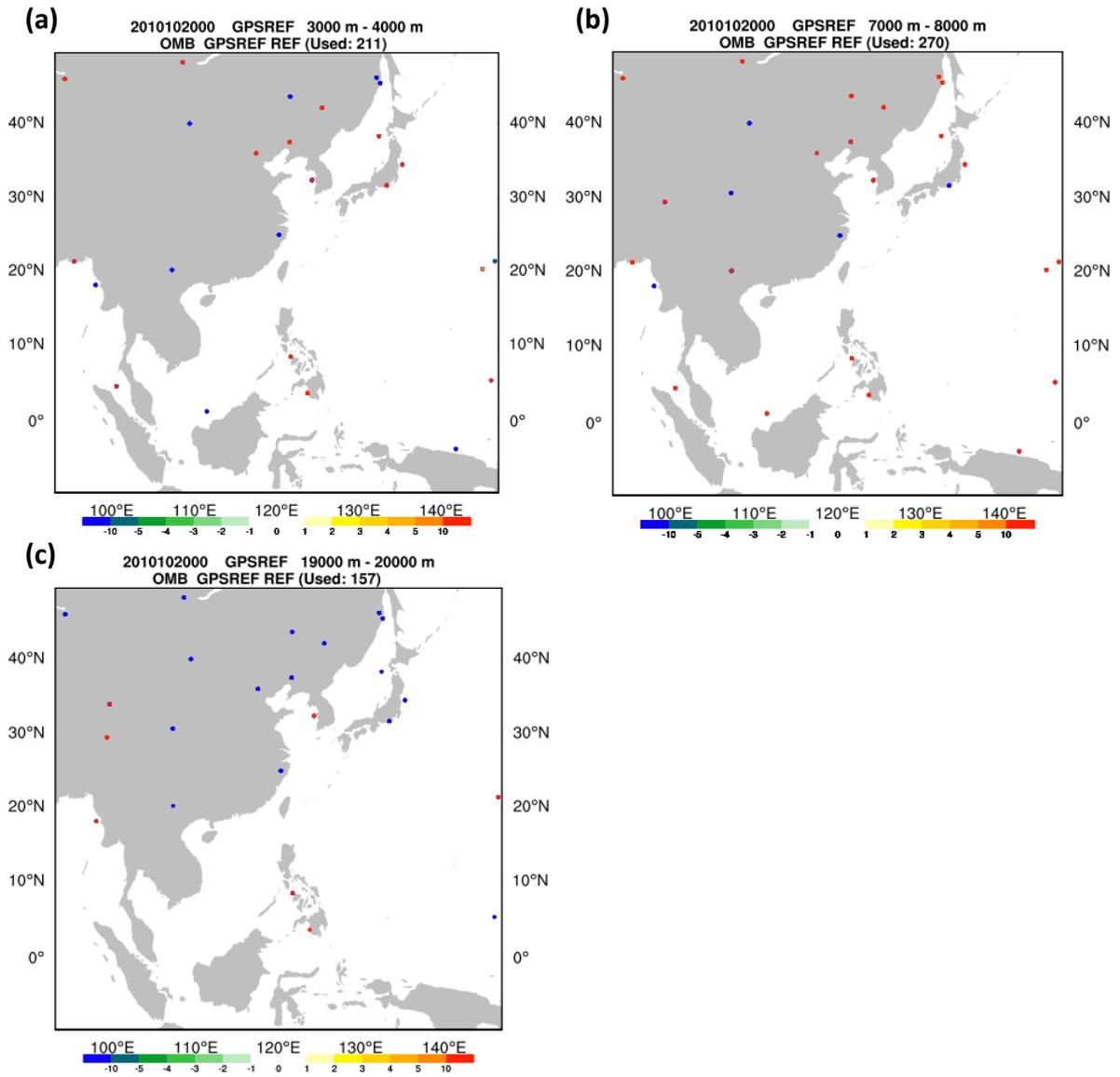


圖 20. 2010 年梅姬颱風 Run 06h 結果，並且計算價值函數的範圍如圖 17，2000Z 同化 GPSRO 之折射率造成預報誤差的敏感度，分別為 (a)低層 3000 m 至 4000 m，(b)中層 7000 m 至 8000 m，以及(c)高層 19000 m 至 20000 m 總和（背景誤差為 CV3；價值函數為乾淨能，單位 J/kg）。

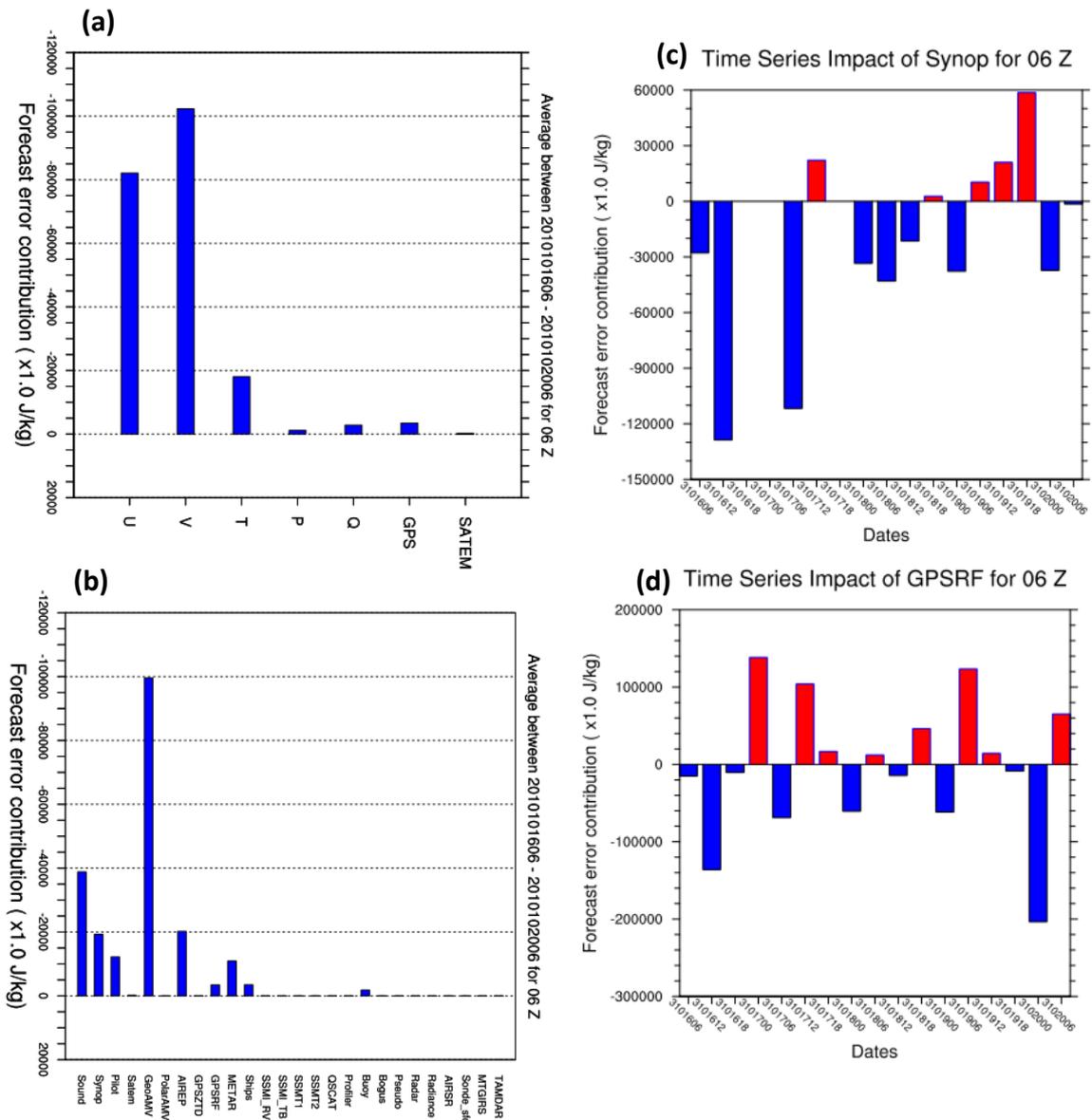


圖 21. 2010 年梅姬颱風 Run 12h 結果，並且計算價值函數的範圍如圖 17 (a) 觀測變數對預報誤差貢獻敏感度總和，(b) 各種觀測對預報誤差之貢獻，負值表示同化影響可減少誤差；不同觀測對預報誤差之貢獻的時間序列，分別為(c) Synop，(d) GPSRF 的結果(背景誤差為 CV3；價值函數為擾動動能，單位 J/kg)。

## 五、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
利用觀測資料同化系統，測試各種觀測影響之敏感度實驗	100%	已測試數種觀測資料同化所造成之誤差貢獻量，並持續增加模擬量並分析，並且已測試各種不同背景誤差之影響。影
比較不同預報準確度設計對觀測點敏感度的差異	100%	已使用選定範圍之擾動風場總和作為價值函數，計算其敏感度，並研究其結果。
出國學習並嘗試將觀測影響敏感度計算建置於四維變分同化系統	-	已取消。
評估同化偏折角對於預報模擬之影響(FSO)	100%	已嘗試評估，規劃建置中。
分析整理	100%	已完成。
撰寫報告	100%	已完成。

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(3.1)：全球大氣垂直結構分析報告(III)

計畫名稱：進行掩星資料應用於全球大氣與氣候模擬、

分析前置技術發展：以掩星資料進行全球

大氣分析與探討大氣垂直結構分布

執行期間： 2012/2/18~2013/2/17

分項工作管理人：王國英

參與人員：林松錦

中 華 民 國 1 0 2 年 2 月



## 一、摘要

工作項目 3A 研發除針對 GPS 掩星觀測反演之一般性全球溫度進行誤差評估，亦針對特殊事件(如火山灰效應、日蝕現象等)，用以彰顯掩星觀測在大氣分析上的獨特貢獻，此研發成果在實用性作業的價值在於新機制的發現以及重要機制的瞭解。當作業模式欠缺核心的重要機制，模式的過程將很難與大氣的過程接近，因此透過預測模式對大氣機制掌握的增進以提升預測結果。

例如，日蝕現象所發現的對流層降溫低平流層增溫的現象是測試預測模式對平流層和對流層偶和機制預測能力的好機會；火山灰效應對於飛航天氣預測的重要性已經在 2010 年冰島火山灰造成歐洲飛機的停飛事件上再次顯現特殊事件的全球性影響；沙漠沙塵對大氣的影響是全球性的，瞭解沙塵影響大氣的方式有助於提升預測模式在大西洋和太平洋區域的預測能力。

由於新機制的發現以及重要機制的瞭解需要更多更好且更為密集的掩星觀測資料，在後續規劃上，特殊事件的研究分析建議應進一步加強並列入為主要工作任務，以分析比較預測模式對上述特殊事件的預測能力。

## 二、前言

**In this work, we focus on using FORMOSAT-3/COSMIC (F3C) data to analyze vertical thermal structures of the atmosphere below 40 km altitudes; and to study the coupling mechanisms between the stratosphere and the troposphere.**

## 三、成果報告

### 3.1. Stratosphere-Troposphere Coupling Studies Using F3C

Sudden tropospheric cooling and induced stratospheric warming were found during the 22 July 2009 total solar eclipse. Can the 22 July 2009 hallmark also be seen in other major solar eclipses? Here we hypothesize that the tropospheric cooling and the stratospheric warming can be predicted to occur during a major solar eclipse event. In this work we use the FORMOSAT-3/COSMIC (F3C) Global Positioning System (GPS) radio occultation (RO) data to construct eclipse-time temperature profiles before, during, and after the passages of major solar eclipses for the years 2006-2010. We use

four times a day of meteorological analysis from the European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) global meteorological analysis to construct non-eclipse effect temperature profiles for the same eclipse passages. The eclipse effects were calculated based on the difference between F3C and ECMWF profiles. A total of five eclipse cases and thirteen non-eclipse cases were analyzed and compared. We found that eclipses cause direct thermal cooling in the troposphere and indirect dynamic warming in the stratosphere. These results are statistically significant. Our results show -0.6 to -1.2 °C cooling in the troposphere and 0.4 to 1.3 °C warming in the middle to lower stratosphere during the eclipses. This characteristic stratosphere-troposphere coupling in temperature profiles represent a distinctive atmospheric responses to the solar eclipses.

Major solar eclipses such as total solar eclipse and annular solar eclipse arise from direct block out of incoming solar radiation by the moon to the atmosphere [Zirker, 1980; Lindsey et al., 1992; Pasachoff, 2009]. This sudden drop in the incoming solar radiation causes the cooling of the surface and higher up, resulting in the changes of atmospheric temperatures. These temperature variations drive changes in pressures and winds [Ballard et al., 1969; Anderson et al., 1972, Founda et al., 2007; Gerasopoulos et al., 2007; Kameda et al., 2009; Wang and Liu, 2010], and induces vertically propagating gravity waves [e.g., Chimonas, 1970; Chimonas and Hines, 1971; Seykora et al., 1985; Zerefos et al., 2007]. Solar eclipse also changes the ionosphere total electron density [Le et al., 2009]. Treumann et al. [2008] described the physics of electric discharges in the atmospheric gases, and average altitude profiles of temperature and mass density from the surface to 150-km altitude.

Though the troposphere and the stratosphere are regarded as a coupled system [Holton et al., 1995], the effects of the eclipse on this coupled system is not well known, due to the lack of observational data from the troposphere to the stratosphere when the lunar shadows move through the atmosphere.

Wang and Liu [2010] used F3C data to study the atmospheric effect of the 22 July 2010 total solar eclipse. They found a significant cooling through the troposphere and a distinctive warming in the lower stratosphere. This sudden tropospheric cooling and stratospheric warming appeared as a hallmark in the coupled

stratosphere-troposphere system during the 22 July 2009 total solar eclipse. Can the 22 July 2009 hallmark also be seen in other major solar eclipses? Here we hypothesize that the tropospheric cooling and the stratospheric warming can be predicted to occur during a major solar eclipse event. The motivation for this study is to use F3C GPS RO data, together with the daily ECMWF global meteorological analysis, to demonstrate that the tropospheric cooling and stratospheric warming feature is indeed a hallmark during a major solar eclipse.

The results of this work has been published as a chapter in a book entitled “Dynamic Coupling Between Earth’s Atmosphere and Plasma Environments”, Springer, 2013. Following is a photo figure of this book.

SPACE SCIENCES SERIES OF ISSI

# Dynamic Coupling Between Earth's Atmospheric and Plasma Environments



T. Böisinger · J. LaBelle · H.J. Opgenoorth  
J.-P. Pommereau · K. Shiokawa · S.C. Solomon  
R.A. Treumann *Editors*

 Springer

 INTERNATIONAL  
SPACE  
SCIENCE  
INSTITUTE

## 3.2. Vertical Temperature Profiles Variability in the Lower Troposphere

Long-range transport of the Saharan dust plumes is a pronounced feature occurring during May-September of each year over the tropical North Atlantic atmosphere [Dunion and Veldon, 2004]. Hence, the impacts of these transporting Saharan dust plumes and its associated Saharan air are of great importance for weather predictions [Pratt and

Evans, 2009] and climate assessments [Mahowald and Luo, 2003].

Previous studies have shown that Saharan dust plumes exert influences over the tropical North Atlantic atmosphere by changing vertical wind shear [Dunion and Veldon, 2004], vertical thermodynamic stability [Dunion and Veldon, 2004; Wong and Dessler,

2005; Dunion and Marron, 2008; Jury and Santiago, 2010], water vapor content [Dunion and Marron, 2008], and sea surface temperatures [Evan et al., 2009]. These results were mostly derived based on limited radiosondes launched from fixed islands [Dunion and Marron, 2008] and ships [Nalli et al., 2005], and aircraft sampling [Calson and Prospero, 1972; McConnell et al., 2008]. Most of the observations were made around the western boundary ( $80^{\circ}\text{W} - 60^{\circ}\text{W}$ ) and the eastern boundary ( $\sim 20^{\circ}\text{W}$ ) of the tropical North Atlantic atmosphere [Sun et al., 2009].

As such, detailed observations for the long-range transport Saharan dust plumes in the longitudes between  $20^{\circ}\text{W}$ , where dust plumes leave the Sahara Desert and enter the North Atlantic atmosphere, and  $60^{\circ}\text{W}$ , where dust plumes have traveled over the 40 degrees in longitudes and are about to enter the North Western Atlantic regions, remain elusive. Currently, only satellite observations are able to provide high density measurements over the vast open ocean regions.

The benefits of using satellite data over the tropical North Atlantic atmosphere, that were not available in previous works, have been shown recently. Wu et al. [2006] and Sun et al. [2009] showed that the assimilation of the Aqua AIRS satellite data during the Saharan dust outbreaks enables the models to make more realistic predictions of hurricane tracks than the predictions without the usage of the Aqua AIRS data.

### 3.3. Comparison of F3C Data With Radiosondes

**1) Following is a table (Table 1) showing the warm years (red colored) and**

**cold years (blue colored) since 2006 until present. This table is an extract from a report by US Climate Prediction Center. In this work, we use F3C data to understand the atmospheric responses in the vertical during these very different years.**

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2006	-0.9	-0.7	-0.5	03 16	3 13	3 14	3 15	3 16	0.5	0.8	1.0	1.0
2007	0.7	3 16	03 14	03 15	03 16	03 16	03 16	-0.6	-0.9	-1.1	-1.2	-1.4
2008	-1.5	-1.5	-1.2	-0.9	-0.7	-0.5	03 16	03 15	03 14	03 15	03 17	03 1:
2009	03 1<	03 1;	03 19	03 15	3 14	3 17	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
2010	1.6	1.4	1.1	0.7	3 15	03 16	-0.8	-1.2	-1.4	-1.5	-1.5	-1.5
2011	-1.4	-1.3	-1.0	-0.7	03 17	03 15	03 15	03 16	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.5	03 16								

Table 1.

Most of the previous works on the analysis of the past ENSO events generally employed the use of the meteorological reanalysis data. For example, data taken from NCEP, UKMO, ECMWF, etc, are frequently used to derive understanding of ENSO events.

However, as Figure 1 shows that direct measurements of vertical temperature profiles from radiosondes in the stratosphere is rare. In a sharp contrast, direct profile temperature measurements in the upper troposphere contain more data than those shown in the stratosphere (Figure 2).

Total Sondes 71 ROs 1093  
Altitude Range From 35 To 40 KM  
Data Period From 20120101 To 20120131

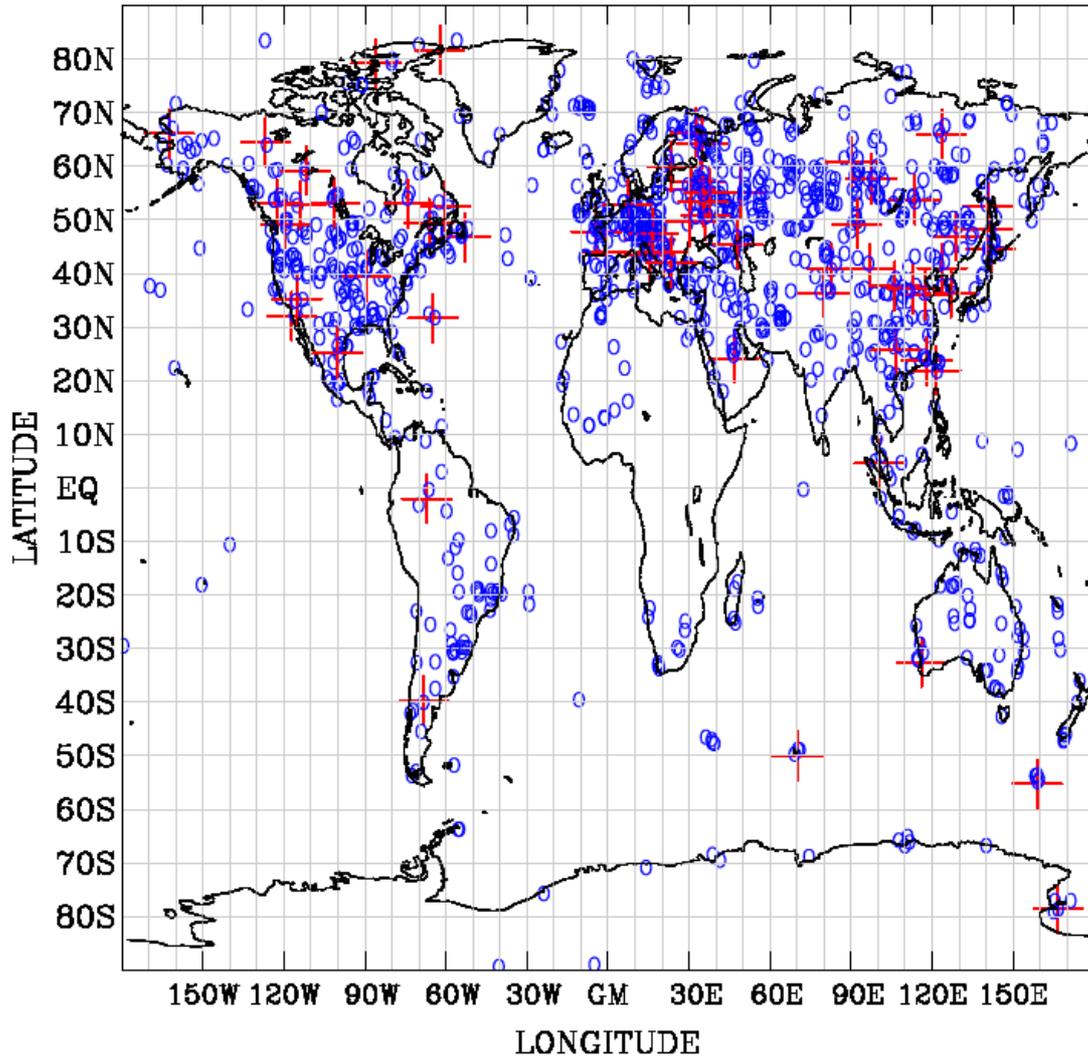
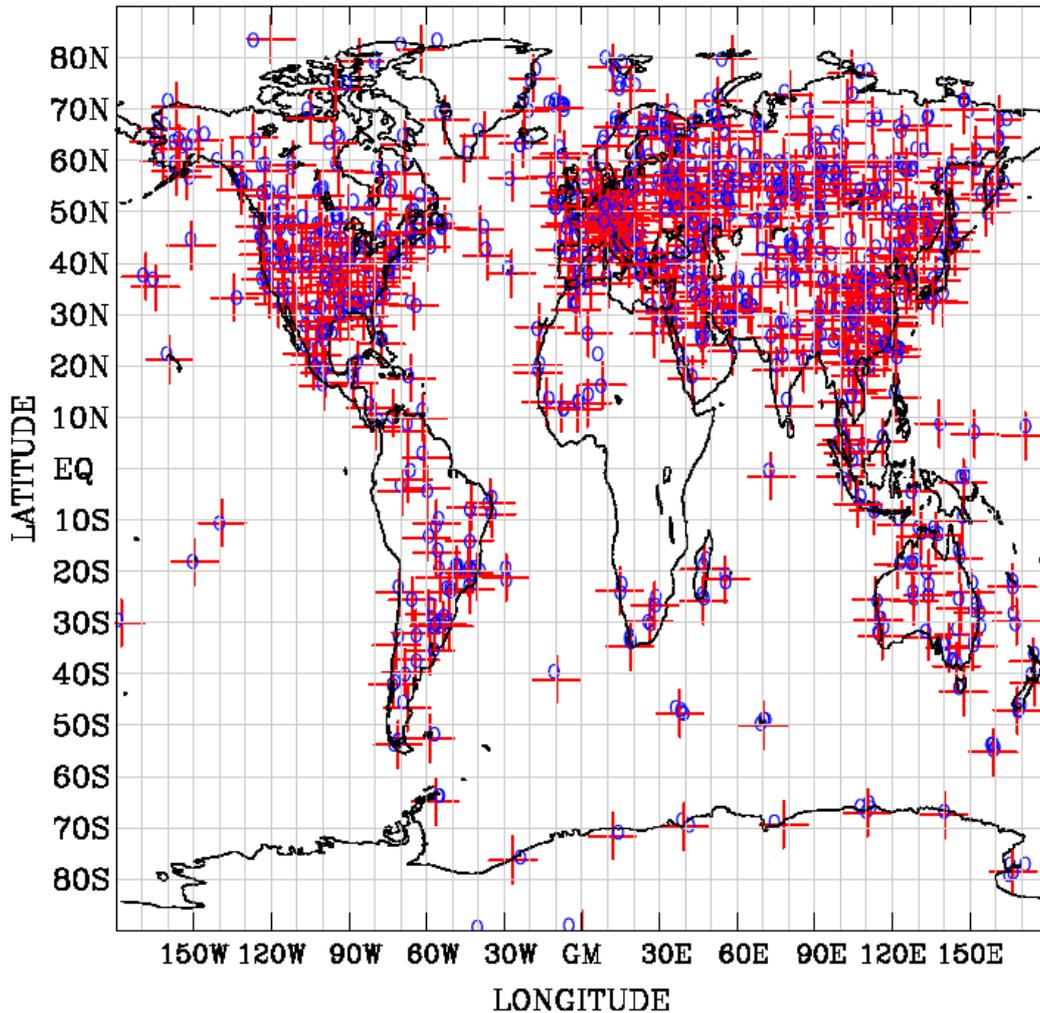


Figure 1. Availability of direct profile of temperature measurements in the altitude range between 35 and 40 km from radiosondes (red crosses) and F3C profiles (blue circles) for January 2012.

Total Sondes 1078 ROs 1093  
Altitude Range From 05 To 10 KM  
Data Period From 20120101 To 20120131



**Figure 2. Availability of direct profile of temperature measurements in the altitude range between 5 and 10 km from radiosondes (red crosses) and F3C profiles (blue circles) for January 2012.**

**We have continued working on this line of analysis, to understand the accuracy of the F3C data when compared with the radiosondes in the different layers of the atmosphere and different regions of the world.**

**Currently, we have obtained detailed radiosonde data for the period from Apr 2006, when the F3C was launched, to July 2012. We have also created gridded RO data based on F3C data and all F3C post-processed profiles. Based on this rich data set, we expect to work out spatial and temporal accuracy analysis for**

**the F3C data since Apr 2006.**

**2) Other works are ongoing (please refer to the table shown in section 5.**

#### **四、結語**

**We have continuously worked on the use of F3C data to elucidate the working of the atmosphere from surface ocean/land, through troposphere and to the stratosphere. We intend to produce good results following these works, which can be useful for understanding the coupling processes in the atmosphere.**

eale et al. [2009] reported positive impact of assimilating AIRS in forecasting tropical cyclones. Wang [2010] combined profiles of temperature measurements from F3C with aerosol index (AI) data from OMI to show that profiles of temperature response to the Saharan dust outbreaks exhibit pronounced warming of the atmosphere at altitudes below 5 km, with the maximum warming of 3-5 K occurring around 2-3 km altitudes. It is very encouraging to see that the enhanced spatial coverage of the Aqua AIRS and the F3C Global Positioning System (GPS) radio occultation (RO) data over the tropical North Atlantic atmosphere provide more detailed observations of the transporting dust plumes than were previously available from the conventional data [Wong et al., 2009; Huang et al., 2010]. These additional data were able to improve predictions of hurricane tracks. In this work we use the F3C GPS RO data to reveal temperature variations of the transporting dust plumes. We compare F3C with Aqua AIRS observations. We also compare and contrast these satellite observations with meteorological analyses from the National Centers for Environmental Predictions (NCEP), the United Kingdom Met Office (UKMO), and the European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF), in the days with and without Saharan dust outbreaks. These comparisons highlight the importance of the changing temperature structures associated with the long-range transport Sahara dust plumes which are not often seen by the meteorological analyses (as shown here) but prominently feature from the F3C and the AIRS observations.

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(3.2)：全球大氣與氣候模式掩星觀測同化及模擬報告

期末報告計畫名稱：進行掩星資料應用於全球大氣與氣候模擬、分

析前置技術發展：以掩星資料進行全球大氣長

期模擬及分析

執行期間： 2012/02/18~2013/02/17

分項工作管理人：林沛練

參與人員：簡芳菁 陳致穎 邱思翰 許郁卿

中 華 民 國 1 0 2 年 2 月

## 一、 摘要

本計畫探討福衛三號衛星 GPS RO 觀測資料對長時間區域模式模擬之影響，針對 2010 年 5 月中至 6 月中旬進行一個月延續模擬，結果顯示同化 GPS RO 資料對重力位高度場之技術得分有較大正值的現象，於熱帶地區有更為明顯之正貢獻情形，又以最後 11 天期間之模擬有最顯著之正技術得分。由過去研究發現 GPS RO 資料對短期 11 天的模擬有正貢獻，本研究顯示同化 GPS RO 資料對於一個月長時間延續模擬之重力位高度場也有所貢獻，又以觀測資料較為缺乏的熱帶海洋地區最為明顯，其中同化 GPS RO 資料後，對於控制組於孟加拉灣處模擬過低的氣旋有顯著改善之現象，而與分析場之強度較為相似。

第二部分是探討 GPS RO 資料對於 Global WRF 模擬的影響，比對 2012 年 6 月份的 Global WRF 有無加入 GPS 的分析場可以發現，加入 GPS RO 資料對相對溼度、溫度與風速皆有改善，其中對於風速的正貢獻最大。而 Global WRF 預報場的部分，本研究從 2012/06/09 進行 72 小時的模擬，結果顯示有無加入 GPS RO 資料對於相對濕度、溫度、風場差異不大，都是低緯度的模擬結果跟 NCEP FNL analysis 相近，中高緯度的模擬結果則是跟 NCEP FNL analysis 有較大的誤差。

## 二、 前言

本研究針對 2010 年 5 月中至 6 月中旬梅雨季期間(2010 年 5 月 15 日 0000 UTC~6 月 15 日 1200 UTC)，利用 Update cycle 的方式，進行有無同化 GPS RO 資料之一個月延續模擬測試，分別以控制組 CON 及同化 GPS RO 資料之實驗組 (GPS)對 ECMWF 分析場進行各氣象變數之校驗，以探討福衛三號衛星 GPS 觀測資料對一個月長時間 WRF 區域模式模擬之影響，並分別比較各時期同化 GPS RO 資料所造成之效應。本實驗第二部分時間以 2012 年 6 月為主，利用 EAKF 產生一個月(2012060100~2012063000)的系集增量分析場以及進行 72 小時的模擬(2012060900~2012061200)。實驗名稱 GFS 代表沒有同化 GPS RO 資料，實驗名稱為 GPS 表示有同化 GPS RO 資料。探討加入 GPS RO 資料對於 Global WRF 的影響。

### 2.1.1 資料來源與模式設定(第一部分)

針對 2010 年(2010 年 5 月 15 日 0000 UTC~6 月 15 日 1200 UTC)之 32 天 64 組模擬的梅雨季期間，使用 WRF 模式與三維變分同化系統(WRF 3DVAR) 將觀測資料同化至模式中。以同化傳統地面測站與探空資料之控制組(CON)，及除了同化傳統地面測站與探空資料外另加入 GPS RO 資料之實驗組(GPS)，分別對 ECMWF 分析場進行重力位高度場之校驗，以探討有無同化福衛三號 GPS RO 觀測資料之差異，並進行 72 小時定量評估。其模式設定分別如下：使用藍伯特地圖投影，模擬的範圍選取 WRF 模式三層巢狀網格設定(圖 1)，第一層(簡稱 D1)、第二層(簡稱 D2)及第三層(簡稱 D3)的水平解析度分別為 45 公里、15 公里及 5 公里，相鄰兩層網格間的資料可透過雙向交互作用(two-way interactive)互相影響，而垂直方向則為 32 層，模擬預報時間 72 小時。雲物理設定採用 Goddard GCE scheme (簡稱 G-GCE)並搭配 Kain-Fritsch 積雲參數法(簡稱 K-F)，邊界層參數法則選用 Yonsei University(簡稱 YSU)。WRF 模式的初始場及邊界資料來自於 NCEP (National Center for Environmental Prediction)每 6 小時一筆的 GFS(Global Forecast System)分析場資料 (水平解析為  $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ )，模擬長度達 72 小時。

### 2.1.2 實驗設計與研究方法

針對 2010 年有無同化 GPS RO 資料之差異分為 2 組模式成員(參見表 1)，各成員第 1 組模擬之初始條件來源皆為初始時間的 NCEP GFS 分析場，而其餘的 63 組模擬皆使用前 6 小時初始時間的 6 小時預報場作為初始場(6-h update cycle)。並利用梅雨季期間實驗 GPS 的重力位高度場，與 ECMWF 分析場進行校驗，藉以檢驗其預報能力。表 2 則為利用 WRF VAR 於 2010 年梅雨季期間所同化的資料總量，在此我們使用均方根誤差(Root-mean square error, RMSE)求得實驗組 GPS 與控制組間的技术得分(skill score, SS)來進行校驗，其定義分別如下：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (F_n - O_n)^2}{N-1}} \quad (1)$$

$$SS = -\frac{RMSE_{GPS} - RMSE_{CON}}{RMSE_{CON}} \times 100\% \quad (2)$$

(1)式中的 F 及 O 分別代表預報場及觀測場，N 則為所有的樣本數。當均方根誤差較小時，代表預報的結果與觀測的結果較為接近，而(2)式之技術得分則為實驗組 GPS 相對於控制組 CON 預報的改進程度百分比，可判斷重力位高度場的正確性及改進程度。

## 2.2 研究方法與實驗設計(第二部分)

### 2.2.1 EAKF 資料同化系統概述

資料同化係將特定時間內所有的觀測資料加上模式背景場估計出大氣狀態。本局近年來不斷發展大氣資料同化系統以取代傳統的客觀分析方法，EAKF 利用系集預報與資料同化的特性，使得分析場更接近於實際大氣狀態，特別是在中尺度天氣系統上。

EAKF 採用卡爾曼濾波方法進行系集資料同化。EAKF 與一般的 EnKF 在資料同化過程中有所不同，主要在於 EAKF 使用每個系集成員的連續概率分佈和擷取背景場誤差，計算連續概率分佈和觀測資料的分析增量，利用此分析增量調整各個系集成員，得到新的系集成員的概率分佈，即調整後的系集增量分析場；EnKF 則是利用擾動觀測法計算出分析增量，再將分析增量加回到各個系集成員，得到新的系集增量分析場。

### 2.2.2 實驗設計

本研究使用 WRF (Weather Research and Forecasting) 模式為 v 3.1.1 版本。模式使用單層巢狀網格，預報區域如圖 16 所式，模式解析度為 111 km，垂直層使用 eta 座標共有 31 層，模式層頂為 30hPa。模式物理參數法包括 NOAH 土壤模式、WSM5 微物理參數法、YSU 邊界層參數法、Betts-Miller-Janjic 積雲參數法、RRTMG 長波輻射參數法和 RRTMG 短波輻射參數法等，各參數法之介紹詳見

WRF 使用手冊 (Skamarock et al., 2008)。模式之側邊界採用 NCEP 全球模式  $1^\circ \times 1^\circ$  的分析與預報場，並以 NCEP 計算的 CV3 背景場誤差斜方差資料作為系集成員初始的背景場誤差斜方差。實驗採用 32 組系集成員作資料同化與短期預報，受限於電腦運算資源，使用 EAKF 系集平均進行 72 小時決定性預報。

本實驗以 2012 年 6 月為主，產生一個月 (2012060100~2012063000) 的系集增量分析場以及一筆預報資料 (2012060900~2012061200)。實驗名稱 GFS 代表沒有同化 GPS RO 資料，實驗名稱 GPS 表示有同化 GPS RO 資料。探討加入 GPS RO 資料對於 Global WRF 的影響。

### 三、 成果報告

#### 3.1.1 同化 GPS RO 資料與分析場之校驗(第一部分)

圖 2 為 2010 年梅雨季期間 (2010 年 5 月 15 日 0000 UTC~6 月 15 日 1200 UTC)，第一層網域之 GPS 相對 CON 於各層之技術得分情況。由 2010 年第一層網域之技術得分，分別針對短期 11 天、一個月、一個月之模擬擷取與短期 11 天之相同時段及取最後 11 天之模擬結果可發現，同化 GPS RO 資料對各時期中、低層重力位高度場皆大致有正技術得分，又以一個月之最後 11 天的模擬於中、低層皆有較為顯著之正貢獻情形，顯示同化 GPS RO 資料所造成之影響會隨模擬時間累積，並於模擬最後時段顯現較為明顯之效應。

為進一步探討同化 GPS RO 資料對不同緯度範圍之影響，另依不同緯度，將 2010 年第一層網域 GPS 資料劃分成熱帶、副熱帶及中緯度等三個區域 (圖 3) 來進行探討。由圖 4 之 2010 年梅雨季各期間於第一層網格 GPS 依不同緯度區域 (區域 5 至 7) 的平均技術得分顯示，同化 GPS RO 資料於熱帶地區 (區域 7，圖 4c)，有較中緯度及副熱帶地區 (區域 5 與 6，圖 4a、b) 顯著之重力位高度場正貢獻，又以中、低層最為明顯。此外，由 2010 年梅雨季選取最後 11 天期間 (2010 年 6 月 5 日 0000 UTC~6 月 15 日 1200 UTC) 中之各區域平均技術得分更顯著可見同化 GPS RO 資料於中、低層之熱帶地區有明顯重力位高度場正貢獻的現象，顯示

同化 GPS RO 資料對於觀測資料較為缺乏的熱帶地區有較大之助益，又以後 11 天期間更為顯著，與第一層網域之分布相似。

除探討不同緯度範圍之影響外，為了解同化 GPS RO 資料分別對海洋及陸地區所造成之效應，另將第一層網域分成海、陸兩部分來進行探討。由圖 5 之 2010 年梅雨季各期間於第一層網格 GPS 分別依海洋及陸地的平均技術得分顯示，同化 GPS RO 資料對於海洋地區(圖 5b)，有較陸地區域(圖 5a)顯著重力位高度正貢獻，又以中、低層最為明顯。此外由 2010 年梅雨季選取最後 11 天期間(2010 年 6 月 5 日 0000 UTC~6 月 15 日 1200 UTC)中之海、陸區域平均技術得分更顯著可見同化 GPS RO 資料於中、低層之海洋地區有明顯重力位高度場正貢獻的現象，顯示同化 GPS RO 資料對於觀測資料較為缺乏的海洋地區有較大之助益，又以後 11 天期間更為顯著，與第一層網域、不同緯度地區之分布相似。

### 3.1.2 同化 GPS RO 資料之效應

由圖 4c 可發現同化 GPS RO 資料後對熱帶地區之中、低層的重力位高度場有顯著之正貢獻，再由 2010 年 5 月 15 日 0000 UTC 至 6 月 15 日 1200 UTC 之 GPS 組於第一層網域初始之各層平均重力位高度技術得分(圖 6)顯示，500 及 850 hPa 的重力位高度技術得分(圖 6b、c)，皆於孟加拉灣處有明顯正貢獻之現象，而於 300 hPa(圖 6a)之正重力位高度技術得分則較不顯著。為了解同化 GPS RO 資料對熱帶之孟加拉灣地區的中、低層有明顯正貢獻之原因，由圖 2010 年 5 月 18 日 1200 UTC 之實驗 CON、GPS 及 ANA 各層重力位高度場(圖 7 至 9)及 2010 年 6 月 7 日 1200 UTC 之重力位高度場分布(圖 10 至 12)顯示此兩時期於孟加拉灣處分別有氣旋及熱帶氣旋存在，與觀測相似(圖 13a、b)而 CON 所模擬之氣旋重力位高度值較低，與分析場 ANA 之氣旋強度有較大之差異，而同化 GPS RO 資料之實驗 GPS 組所模擬之氣旋強度有明顯修正之情形，與分析場 ANA 之氣旋強度較為相近。另分別比較此兩時期各垂直層之 CON、GPS 與 ANA 顯示，CON 於 500、850 hPa(圖 8、9 及圖 11、12)與 ANA 有較大重力位高度值差異之情形，

而 300 hPa 的 CON(圖 7 及圖 10)與 ANA 之差異則較不明顯，因此同化 GPS RO 資料之後對該處過低的重力位高度修正的幅度較小，造成 300 hPa 於孟加拉灣處的重力位高度正貢獻較小，此為實驗 GPS 組於熱帶孟加拉灣處之中、低層有較高層顯著重力位高度之正貢獻的原因。

除比較控制組 CON 及實驗 GPS 於孟加拉灣處之重力位高度與分析場之差異外，另針對 2010 年 5 月 18 日 1200 UTC 及 2010 年 6 月 7 日 1200 UTC 於孟加拉灣處所選取之三點 GPS RO 資料點(圖 14a、b)的重力位高度值來進行探討。圖 15a 為 2010 年 5 月 18 日 1200 UTC 所選取之三點 GPS RO 資料點之重力位高度值與 5 月 18 日 0600 UTC 模擬 6 小時之 GPS 組(first guess)、5 月 18 日 1200 UTC 於初始之 GPS、CON 及 ANA 在相同位置的重力位高度值之比較。結果顯示，除位於圖 6 重力位高度之負貢獻處之點 1 外，

其於點 2、3 在同化原始較高之重力位高度的 GPS RO 資料點後，實驗 GPS 組有較 first guess 及 CON 高之重力位高度值，而與分析場 ANA 較為相近。而圖 15b 之 2010 年 6 月 7 日 1200 UTC 所同化的三點 GPS RO 資料也有類似之情形，在同化該三點較高之重力位高度的 GPS RO 資料後，實驗 GPS 組有較 first guess 及 CON 高之重力位高度值，而與分析場 ANA 較為相近，與 5 月 18 日 1200 UTC 之結果相似，顯示同化 GPS RO 資料後有助於修正控制組於孟加拉灣處模擬過低的氣旋，而與分析場之強度較為接近。

## **3.2 GPS RO 資料對於 Global WRF 分析場與預報場的影響(第二部分)**

### **3.2.1 分析場差異分析**

風速場(陰影)與溫度場(等值線)，在 GPS、GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖中(圖 17、圖 18、圖 19 和圖 20)，低層(850 hPa)，2012/06/01 00:00(圖 17)，GPS 的風速稍大於 NCEP FNL analysis，且兩者相當接近；GFS 的資料風速則略小於 NCEP FNL analysis。兩者和 NCEP FNL analysis 溫度部分差異不大，GPS

和 GFS 的溫度都高於 NCEP FNL analysis。2012/06/30 00:00 (圖 18)，整體而言 GPS 的風速較大於 GFS，此時 GPS 和 GFS 兩者和 NCEP FNL analysis 的差異較大於 2012/06/01 00:00 時的風速；溫度部分 GPS 偏小，但三者差異不大。高層(500 hPa)，2012/06/01 00:00 (圖 19)，風速和溫度部分，GPS、GFS 兩者和 NCEP FNL analysis 差異不大。2012/06/30 00:00 (圖 20)，GPS 跟 NCEP FNL analysis 的風速和溫度差異值較小。

相對溼度(陰影)與風場(箭頭)，在 GPS(上圖)、GFS(下圖)和 NCEP FNL analysis 的差異圖中(圖 21、圖 22、圖 23 和圖 24)，低層(850 hPa)，2012/06/01 00:00 (圖 21)，三者差異不大。2012/06/30 00:00 (圖 22)，整體而言 GPS 的相對濕度是三者中最低的，尤其是在太平洋和印度洋區域；風場部分 GPS 差異圖箭頭較小，可見 GPS 和 NCEP FNL analysis 差異較小。高層(500 hPa)，2012/06/01 00:00 (圖 23)，整體而言 GPS、GFS 相對濕度、風場差異不大，兩者相對濕度多大於 NCEP FNL analysis。2012/06/30 00:00 (圖 24)，GFS 的相對濕度差異較大，特別是印度洋地區；風場部分 GPS 和 NCEP FNL analysis 差異較小。

風速、溫度與相對溼度場 RMSE 時間序列圖中(圖 25、圖 26 與圖 27)，無論是風速、溫度和相對溼度上，GPS 於低層(850 hPa)的 RMSE (Root Mean Square Error，均方根誤差，在此為 GPS 或是 GFS 跟 NCEP FNL analysis 資料相比)值大多比 GFS 的 RMSE 小，但兩者差異不大，可見加入 GPS 資料可稍微改善初始場資料，但影響可能不顯著。

風速、溫度與相對溼度場 Mean Error(在此是 GPS 或是 GFS 減去 NCEP FNL analysis 資料) 時間序列圖中(圖 28、圖 29 與圖 30)，也是 GPS 表現較好，特別是在風速上，可發現 GPS 跟 NCEP FNL analysis 的差異較小；但溫度與相對溼度上，GPS 和 GFS 則是差異不大。

### 3.2.2 模擬結果分析

風速場(陰影)與溫度場(等值線)，在 GPS、GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異

圖中 (圖 31、圖 32)，低層 (850 hPa)，2012/06/12 00:00，模擬第 72 小時(圖 31)，GPS 和 GFS 的結果相似。高層 (500 hPa)，2012/06/12 00:00，模擬第 72 小時(圖 31)，GPS、GFS 風速兩者差異不大，兩者皆是低緯度的模擬結果跟 NCEP FNL analysis 較為接近。溫度部分則是 GPS 和 NCEP FNL analysis 較為相近，兩者的溫度大致上高於 NCEP FNL analysis。

相對溼度(陰影)與風場(箭頭)，在 GPS(上圖)、GFS(下圖)和 NCEP FNL analysis 的差異圖中(圖 33、圖 34)，在低層(850 hPa)和高層(500 hPa)，2012/06/12 00:00，模擬第 72 小時，GPS、GFS 相對濕度、風場差異不大，都是低緯度的模擬結果跟 NCEP FNL analysis 相近，中高緯度的模擬結果則跟 NCEP FNL analysis 有較大的差異。

表 1 2010 年有無同化衛星資料之模式成員實驗設計說明。其中 GPS RO 為 GPS RO 衛星資料。

模式成員	同化資料種類(common)	同化資料種類(special)
CON	SYNOP、SOUND	N/A
GPS	SYNOP、SOUND	GPS RO data

表 2 利用 WRF VAR 於 2010 年 5 月 15 日 0000 UTC 至 6 月 15 日 1200 UTC 之 32 天梅雨季期間 64 組模擬中所同化的資料總量。(地面測站、探空及 GPS RO 資料)

<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>5/15 00</b>	<b>5/15 06</b>	<b>5/15 12</b>	<b>5/15 18</b>	<b>5/16 00</b>	<b>5/16 06</b>	<b>5/16 12</b>	<b>5/16 18</b>	<b>5/17 00</b>	<b>5/17 06</b>	<b>5/17 12</b>
地面測站	973	976	968	929	979	977	969	930	975	969	969
探空	152	3	129	4	152	4	132	4	154	4	125
GPS	9	15	9	18	10	19	9	5	4	14	9
<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>5/17 18</b>	<b>5/18 00</b>	<b>5/18 06</b>	<b>5/18 12</b>	<b>5/18 18</b>	<b>5/19 00</b>	<b>5/19 06</b>	<b>5/19 12</b>	<b>5/19 18</b>	<b>5/20 00</b>	<b>5/20 06</b>
地面測站	928	967	1001	987	941	1001	998	996	937	991	997
探空	4	150	4	125	4	152	4	129	4	151	4
GPS	11	3	11	13	19	12	9	13	13	18	16

<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>5/20 12</b>	<b>5/20 18</b>	<b>5/21 00</b>	<b>5/21 06</b>	<b>5/21 12</b>	<b>5/21 18</b>	<b>5/22 00</b>	<b>5/22 06</b>	<b>5/22 12</b>	<b>5/22 18</b>	<b>5/23 00</b>
地面測站	994	934	993	1002	993	944	993	997	994	943	991
探空	127	4	151	4	129	4	148	4	132	4	152
GPS	14	20	4	14	12	10	6	10	7	7	5
<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>5/23 06</b>	<b>5/23 12</b>	<b>5/23 18</b>	<b>5/24 00</b>	<b>5/24 06</b>	<b>5/24 12</b>	<b>5/24 18</b>	<b>5/25 00</b>	<b>5/25 06</b>	<b>5/25 12</b>	<b>5/25 18</b>
地面測站	1000	994	933	973	971	968	941	1001	991	968	943
探空	5	132	4	152	4	127	4	150	4	128	4
GPS	15	7	10	13	21	13	23	12	18	8	7
<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>5/26 00</b>	<b>5/26 06</b>	<b>5/26 12</b>	<b>5/26 18</b>	<b>5/27 00</b>	<b>5/27 06</b>	<b>5/27 12</b>	<b>5/27 18</b>	<b>5/28 00</b>	<b>5/28 06</b>	<b>5/28 12</b>
地面測站	991	998	968	939	1003	1004	967	947	969	994	963
探空	149	5	131	4	149	4	129	4	149	6	127
GPS	10	4	3	22	13	15	7	11	10	15	3

表 2 (續)

<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>5/28 18</b>	<b>5/29 00</b>	<b>5/29 06</b>	<b>5/29 12</b>	<b>5/29 18</b>	<b>5/30 00</b>	<b>5/30 06</b>	<b>5/30 12</b>	<b>5/30 18</b>	<b>5/31 00</b>	<b>5/31 06</b>
地面測站	905	957	968	965	911	993	993	992	943	996	1001
探空	8	145	8	126	4	145	4	126	4	150	4
GPS	9	3	18	6	18	3	10	6	15	8	11
<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>5/31 12</b>	<b>5/31 18</b>	<b>6/1 00</b>	<b>6/1 06</b>	<b>6/1 12</b>	<b>6/1 18</b>	<b>6/2 00</b>	<b>6/2 06</b>	<b>6/2 12</b>	<b>6/2 18</b>	<b>6/3 00</b>
地面測站	996	929	971	1000	993	927	977	986	960	931	968
探空	126	4	149	4	126	4	147	3	127	3	147
GPS	7	10	5	8	5	7	14	9	4	7	8
<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>6/3 06</b>	<b>6/3 12</b>	<b>6/3 18</b>	<b>6/4 00</b>	<b>6/4 06</b>	<b>6/4 12</b>	<b>6/4 18</b>	<b>6/5 00</b>	<b>6/5 06</b>	<b>6/5 12</b>	<b>6/5 18</b>
地面測站	976	935	917	967	972	959	907	970	987	972	933
探空	3	129	3	148	3	129	3	148	3	129	3
GPS	10	4	10	9	15	7	11	6	6	8	12
<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>6/6 00</b>	<b>6/6 06</b>	<b>6/6 12</b>	<b>6/6 18</b>	<b>6/7 00</b>	<b>6/7 06</b>	<b>6/7 12</b>	<b>6/7 18</b>	<b>6/8 00</b>	<b>6/8 06</b>	<b>6/8 12</b>
地面測站	969	992	948	924	977	975	997	953	996	1005	997
探空	146	3	129	3	148	3	129	3	147	3	129
GPS	5	8	6	14	10	6	8	11	11	13	10

<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>6/8 18</b>	<b>6/9 00</b>	<b>6/9 06</b>	<b>6/9 12</b>	<b>6/9 18</b>	<b>6/10 00</b>	<b>6/10 06</b>	<b>6/10 12</b>	<b>6/10 18</b>	<b>6/11 00</b>	<b>6/11 06</b>
地面測站	942	994	984	994	938	1001	980	996	941	1009	1000
探空	3	148	3	129	3	144	4	130	7	147	6
GPS	11	11	10	9	10	5	10	17	5	15	14
<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>6/11 12</b>	<b>6/11 18</b>	<b>6/12 00</b>	<b>6/12 06</b>	<b>6/12 12</b>	<b>6/12 18</b>	<b>6/13 00</b>	<b>6/13 06</b>	<b>6/13 12</b>	<b>6/13 18</b>	<b>6/14 00</b>
地面測站	975	932	990	983	976	930	973	995	993	911	998
探空	128	4	144	4	127	4	145	6	124	4	144
GPS	14	13	13	13	20	16	22	6	18	21	16
<b>Init time (dd/hh)</b>	<b>6/14 06</b>	<b>6/14 12</b>	<b>6/14 18</b>	<b>6/15 00</b>	<b>6/15 06</b>	<b>6/15 12</b>					
地面測站	994	994	923	996	990	977					
探空	5	127	4	144	5	128					
GPS	6	9	18	18	7	20					

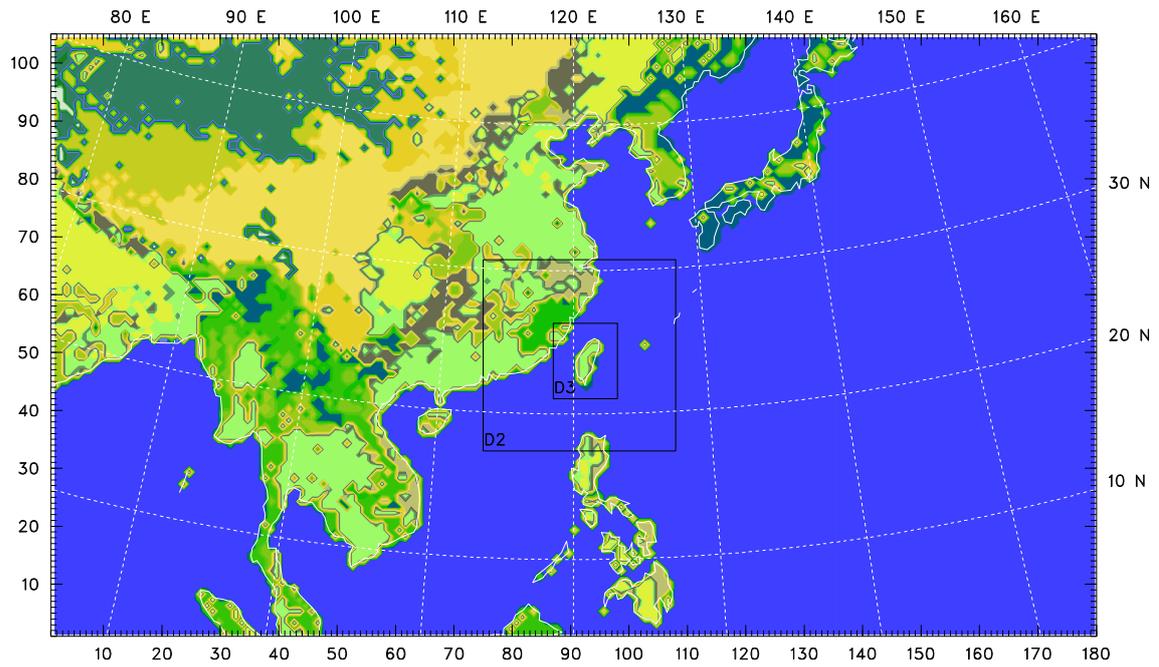


圖 1 2010 年梅雨季期間模式網格設定，第一層(D1)、第二層(D2)及第三層(D3)的水平解析度分別為 45 公里、15 公里及 5 公里。

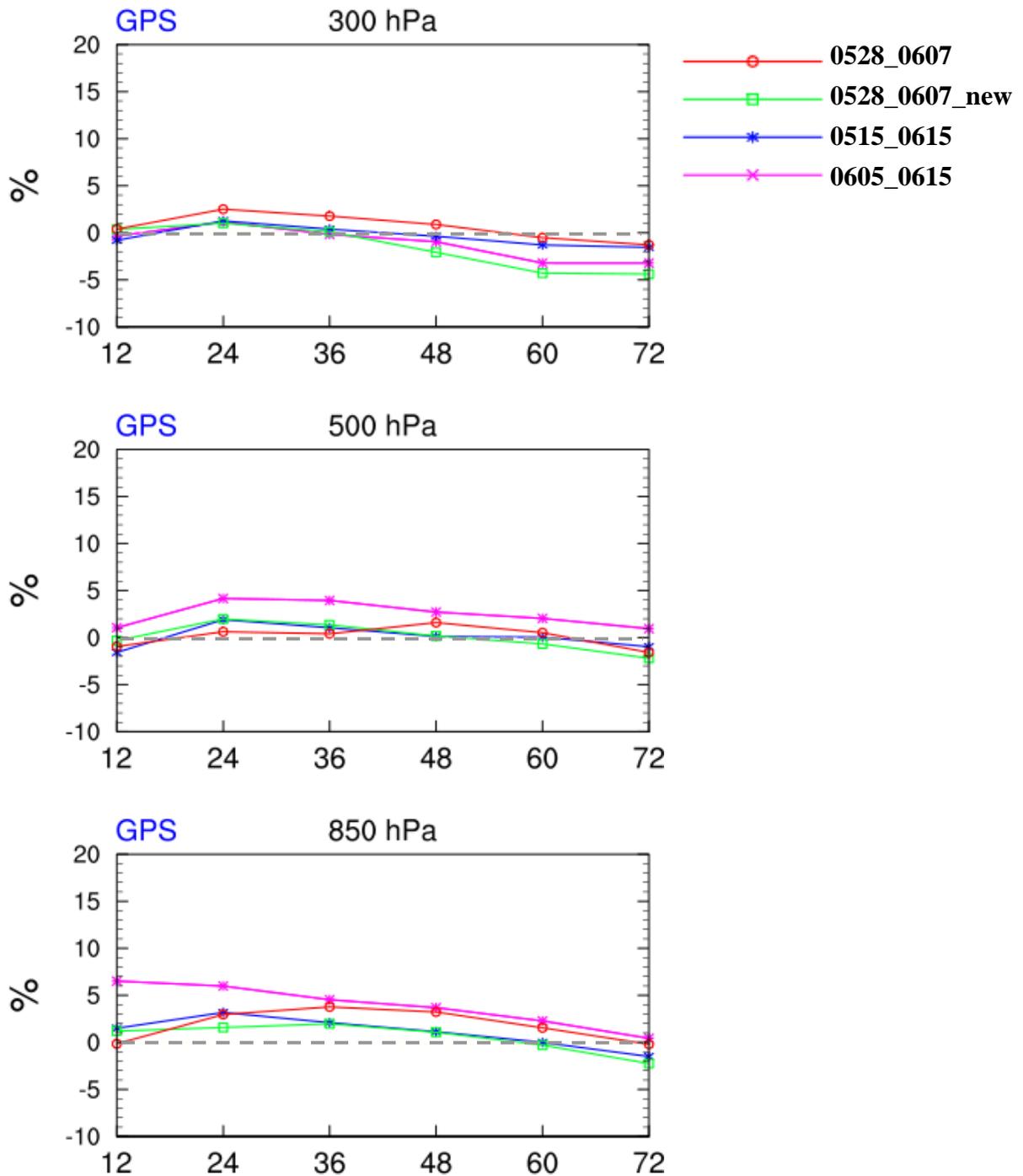
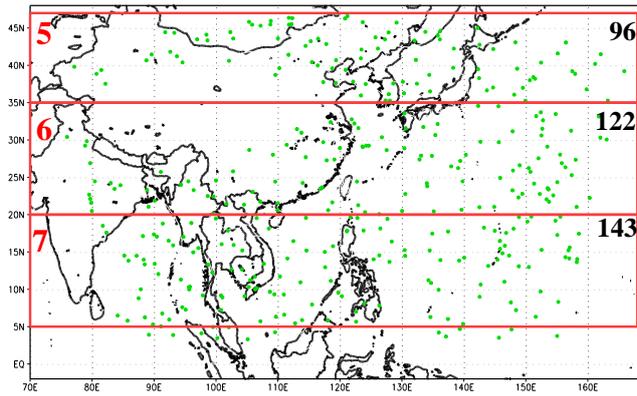
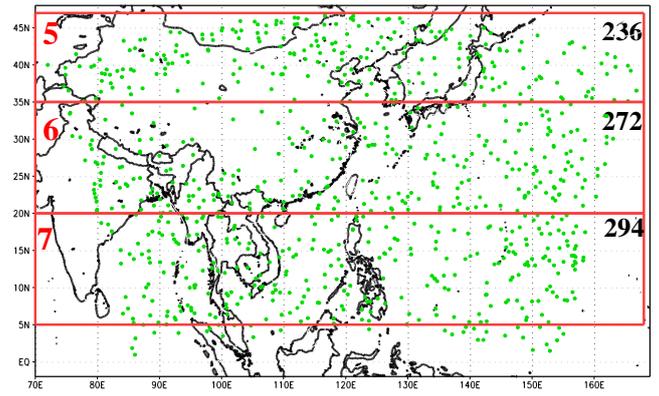


圖 2 2010 年梅雨季期間 D1 實驗 GPS 對照 CON 於 300、500 及 850 hPa 的重力位高度技術得分。其中紅線為短期 11 天(5/28~6/7)之模擬，綠線為一個月(5/15~6/15)之模擬取與上述短期相同期間的結果；藍線及粉線則分代表一個月之模擬及一個月期模擬取最後 11 天(6/5~6/15)期間之結果。橫座標為為模擬的時間，單位為 hr；縱座標為改進程度(技術得分)，單位為百分比。

(a) 2010052800-060712



(b) 2010051500-061512



(c) 2010060500-061512

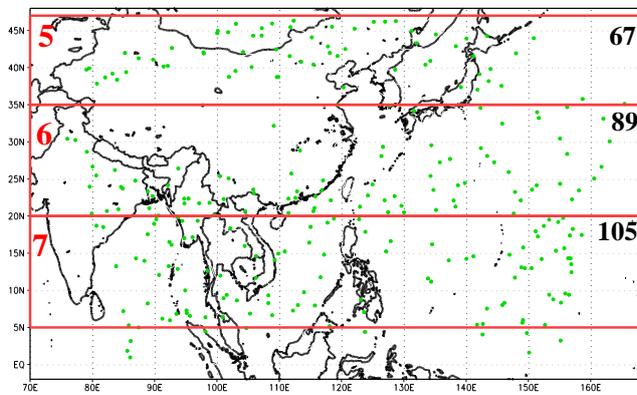


圖 3 (a)2010 年 5 月 28 日 0000 UTC 至 6 月 7 日 1200 UTC 於第一層網域 GPS RO 資料依不同緯度分布所選取之區域範圍及其資料分布。其中區域 5 至 7 分別為中緯度、副熱帶及熱帶區域，黑色數字則代表各區域所包含的資料點數。(b)、(c)同(a)，但分別為 5 月 15 日 0000 UTC 至 6 月 15 日 1200 UTC 及 6 月 5 日 0000 UTC 至 6 月 15 日 1200 UTC 期間之結果。

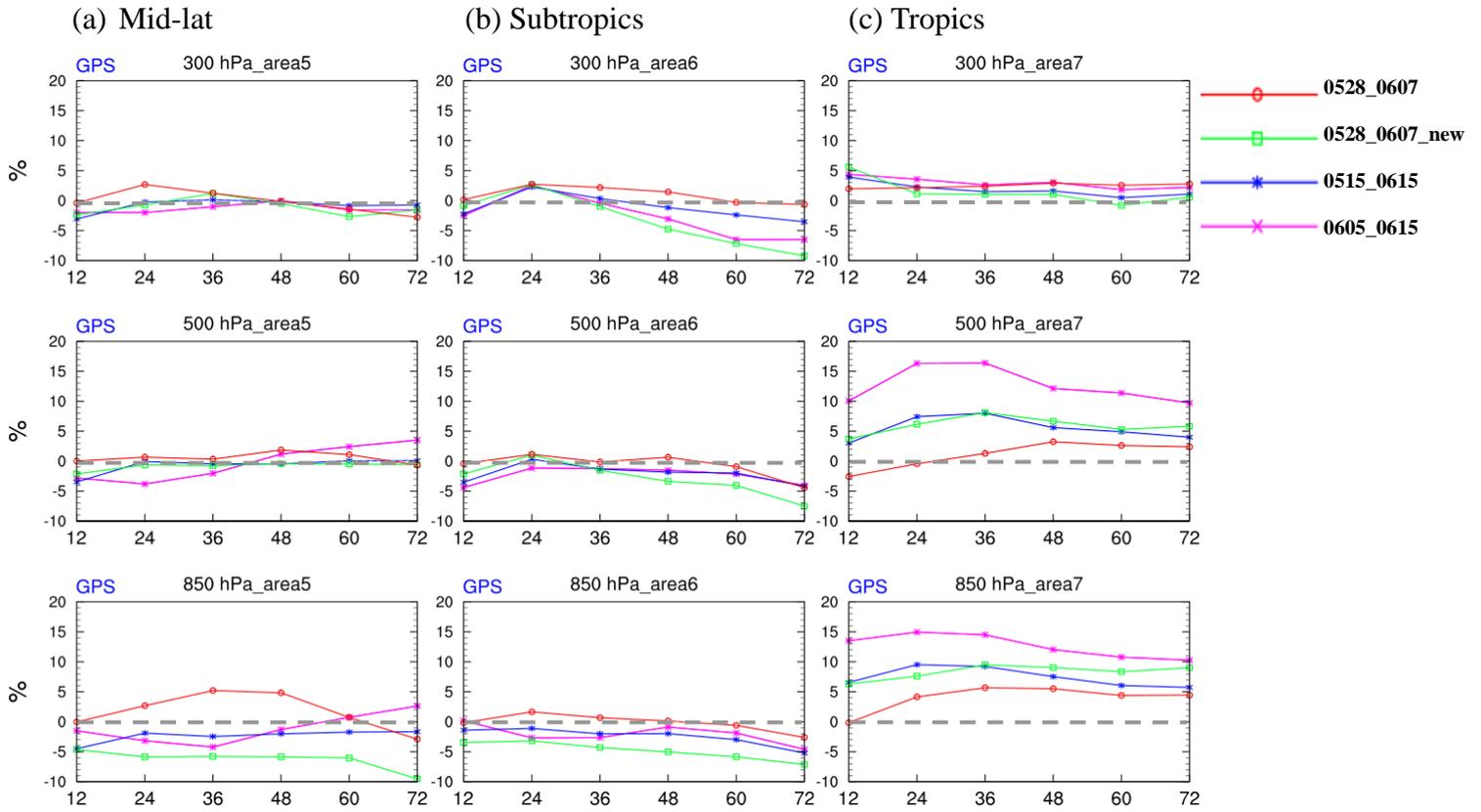


圖 4 (a)至(c)同圖 2，但為 2010 年 D1 實驗 GPS 依圖 4 之緯度分區(區域 5 至 7)的重力位高度技術得分。

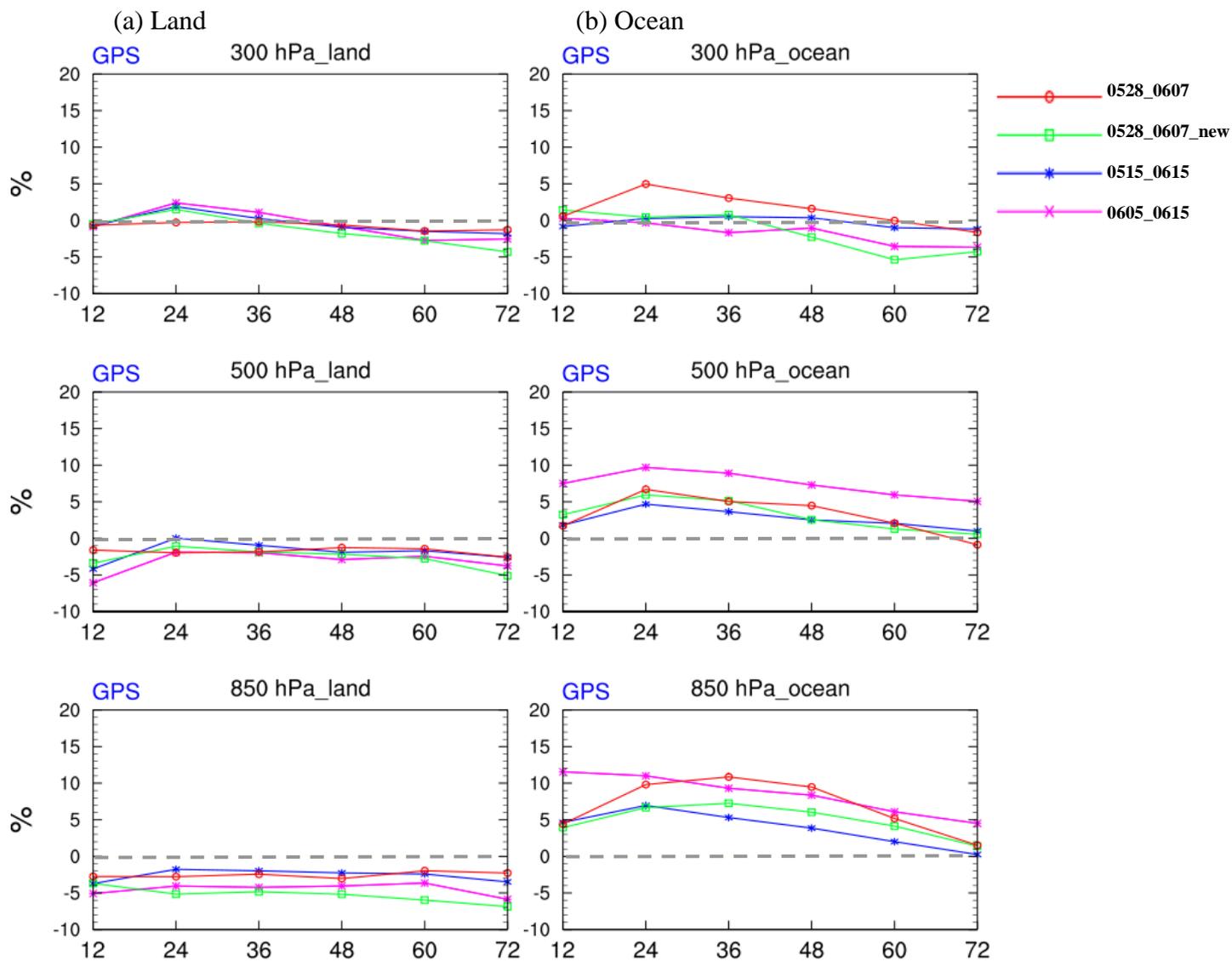
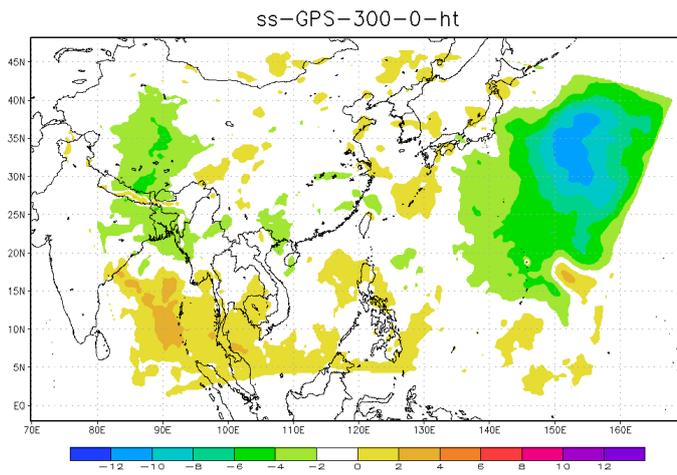
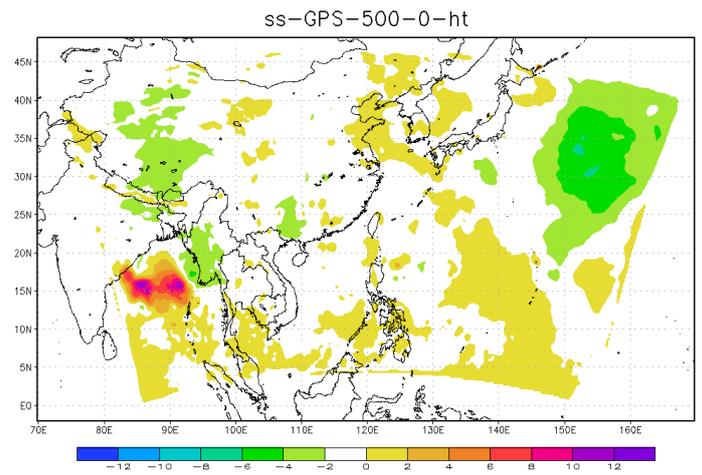


圖 5 (a)、(b)同圖 2，但分別為 2010 年陸地及海洋的重力位高度技術得分。

(a) 300 hPa



(b) 500 hPa



(c) 850 hPa

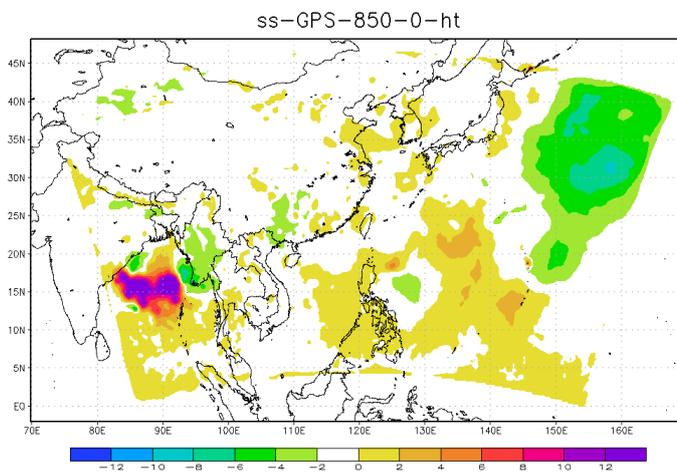


圖 6 (a)至(c)分別為 2010 年 5 月 15 日 0000 UTC 至 6 月 15 日 1200 UTC 之 GPS 組於第一層網域初始之 300、500 及 850 hPa 的平均重力位高度技術得分。

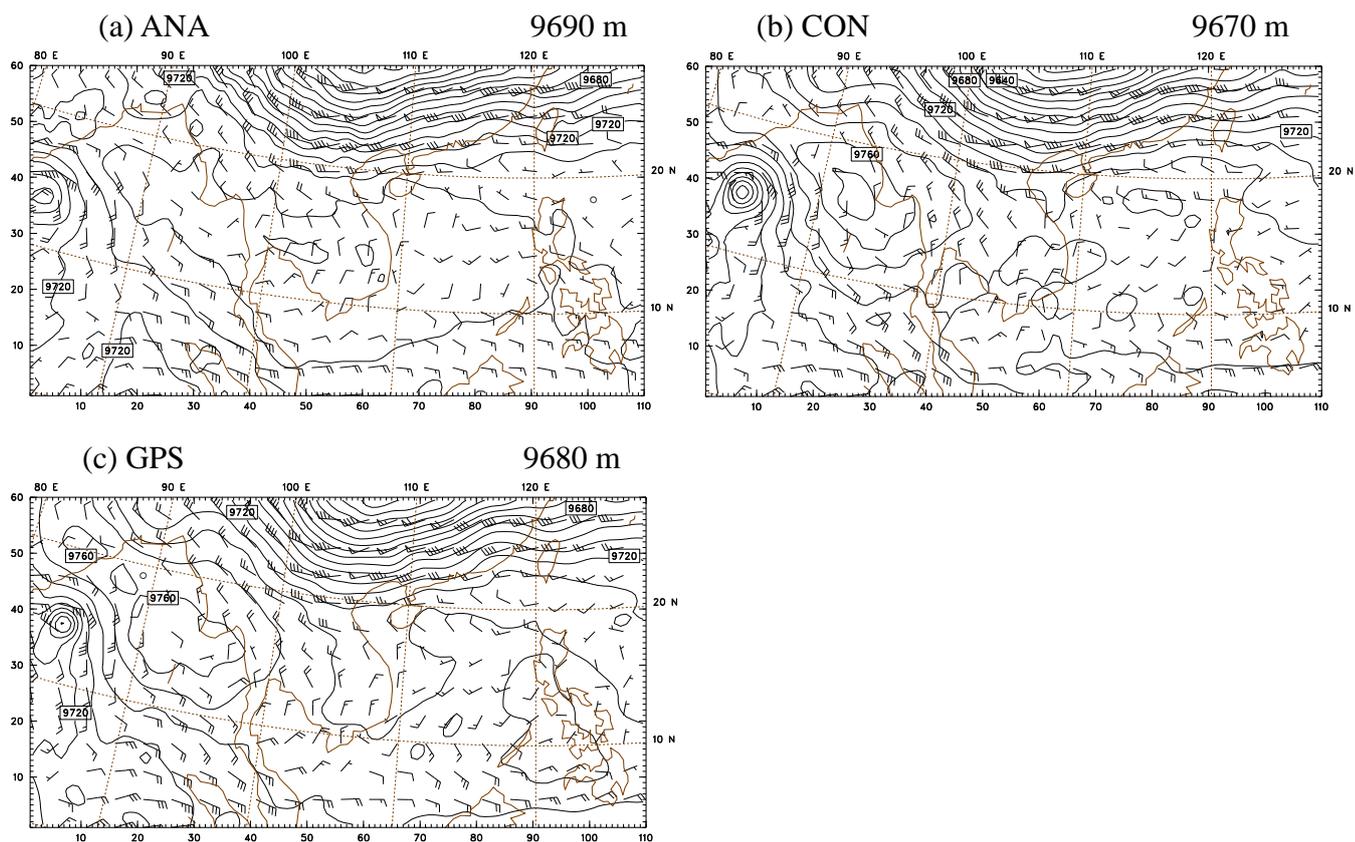


圖 7(a)至(c)分別為 2010 年 5 月 18 日 1200 UTC 之 ECMWF 分析場(ANA)、CON 及 GPS 於 300 hPa 的重力位高度場(黑色實線，間距 10 m)。其中圖之右上方數值則分別代表各組於孟加拉灣之最低重力位高度值。

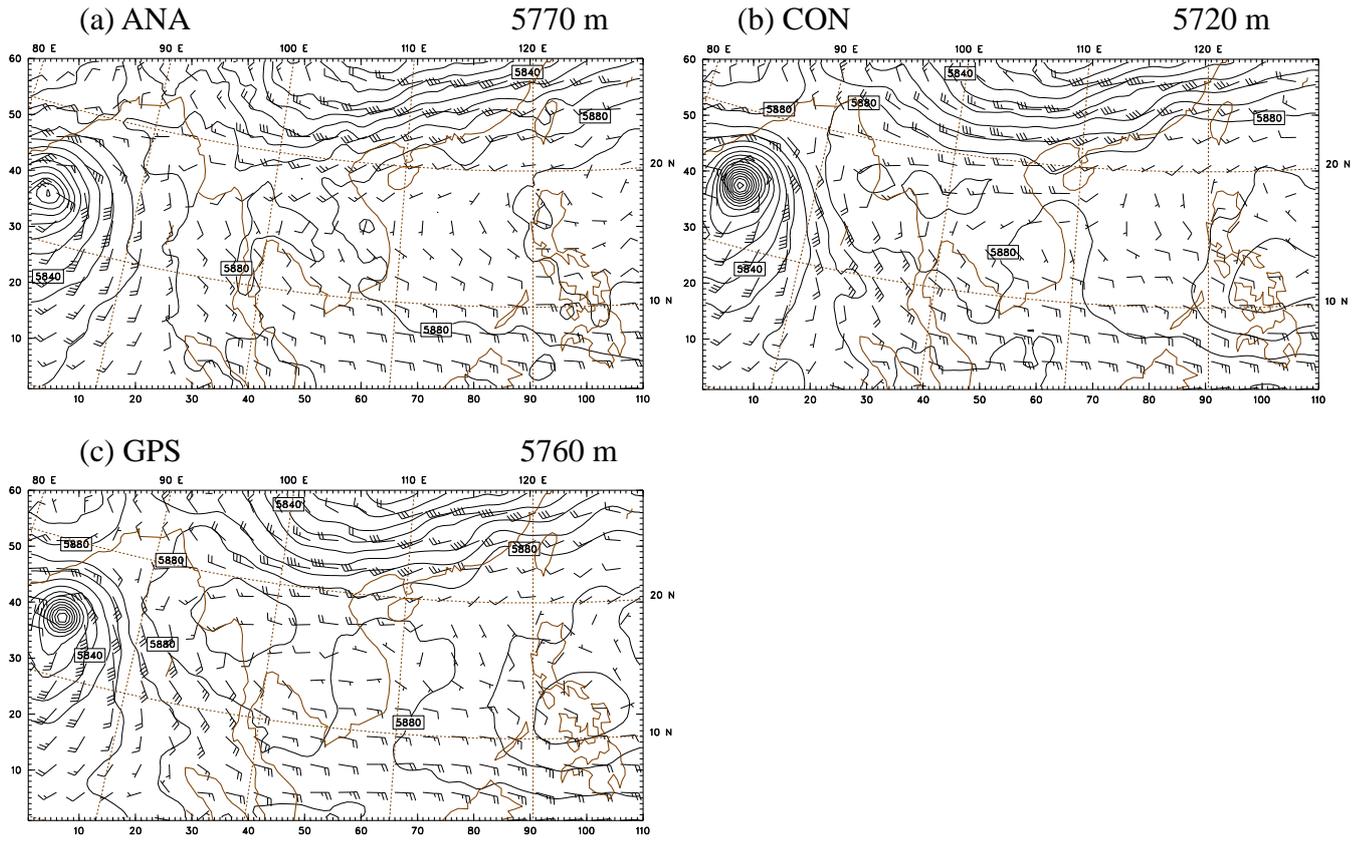


圖 8 同圖 7，但為 500 hPa 之重力位高度場。

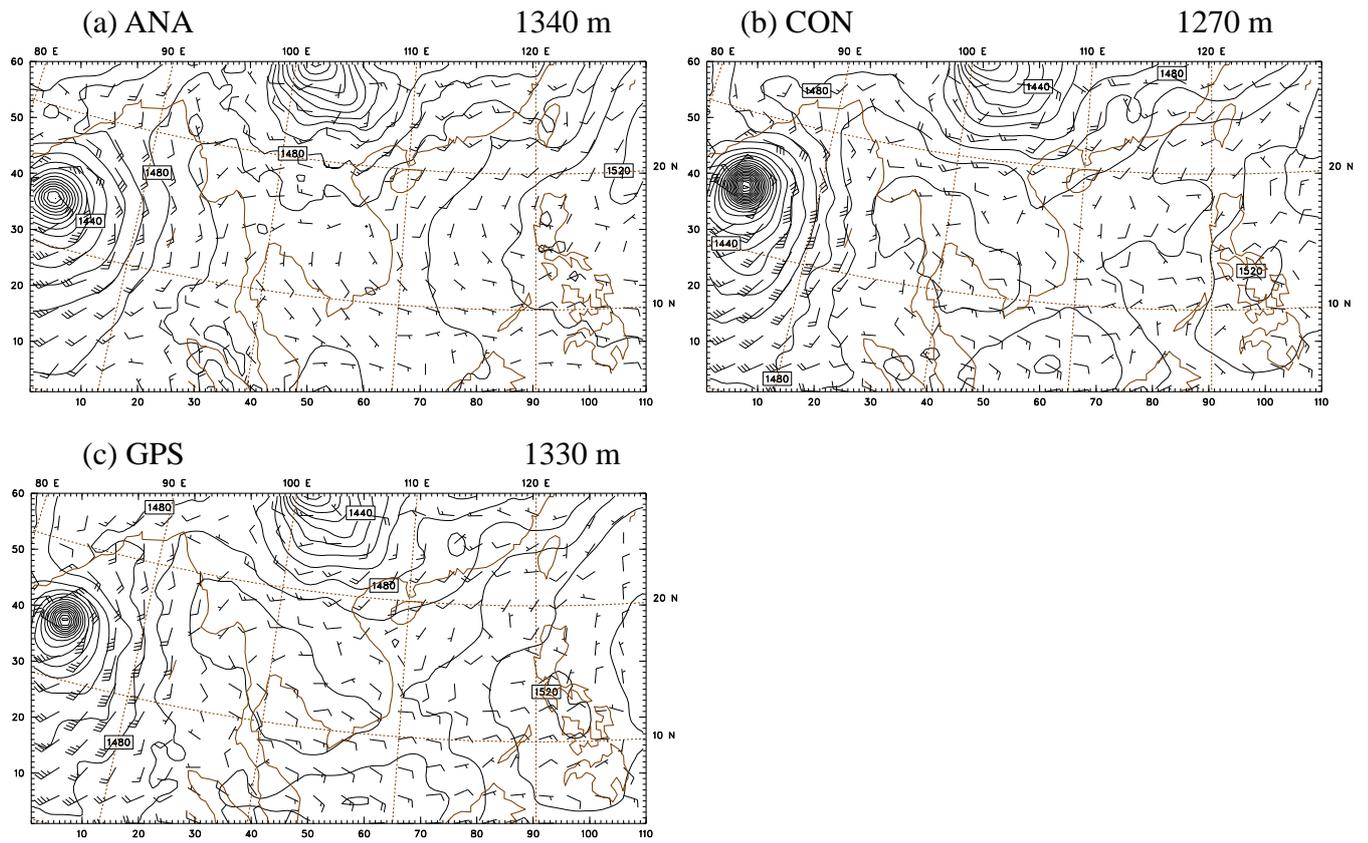


圖 9 同圖 7，但為 850 hPa 之重力位高度場。

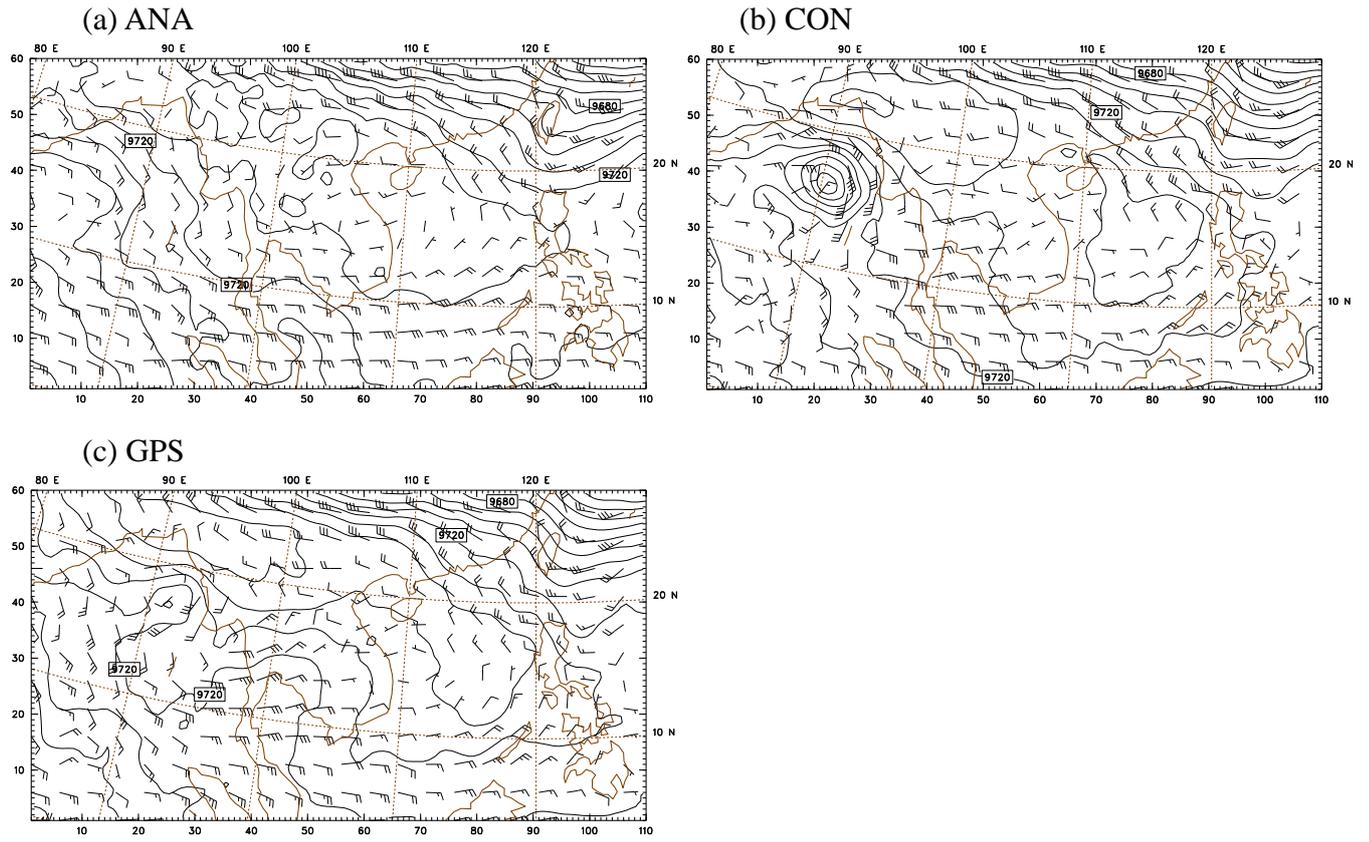


圖 10 同圖 7，但為 2010 年 6 月 7 日 1200 UTC 之 300 hPa 重力位高度場。

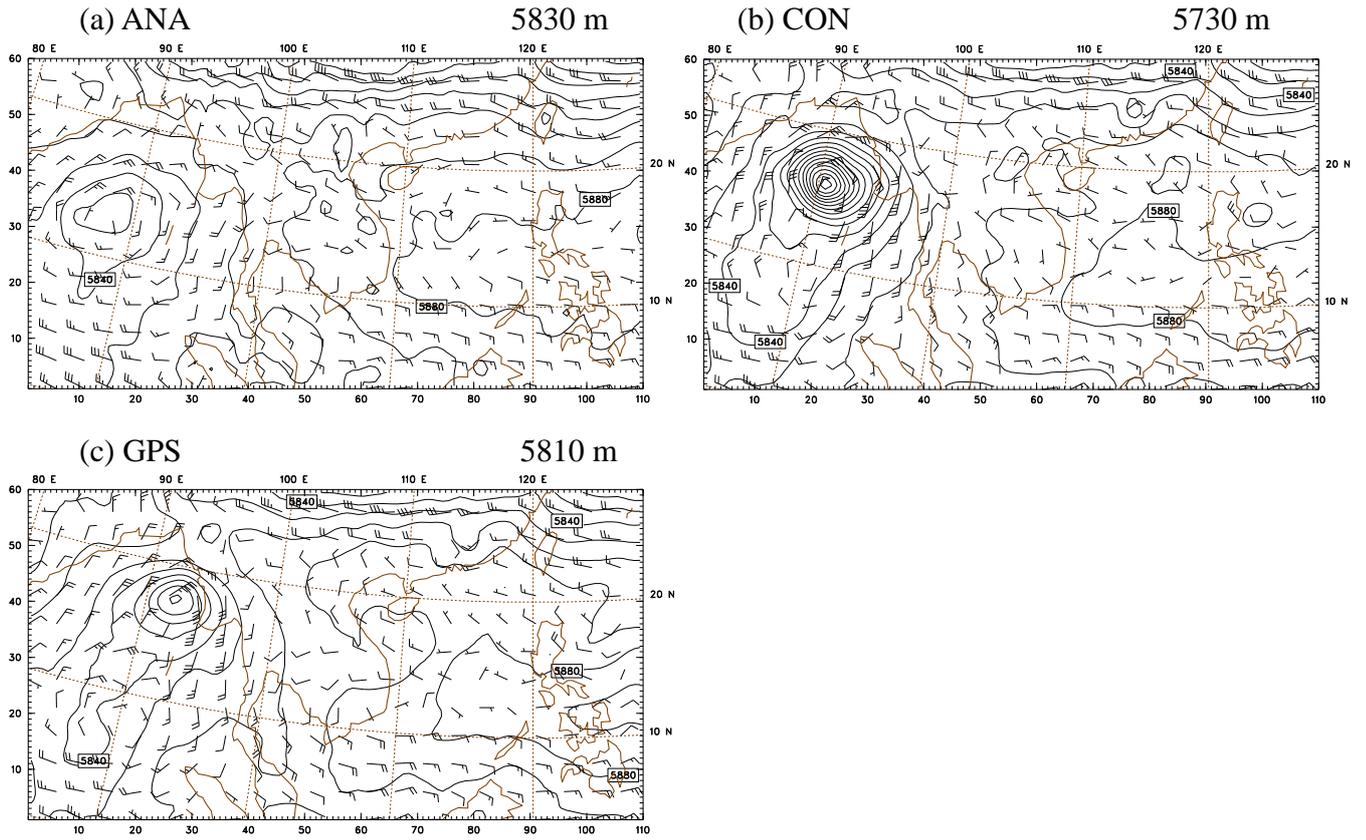


圖 11 同圖 10，但為 500 hPa 之重力位高度場。

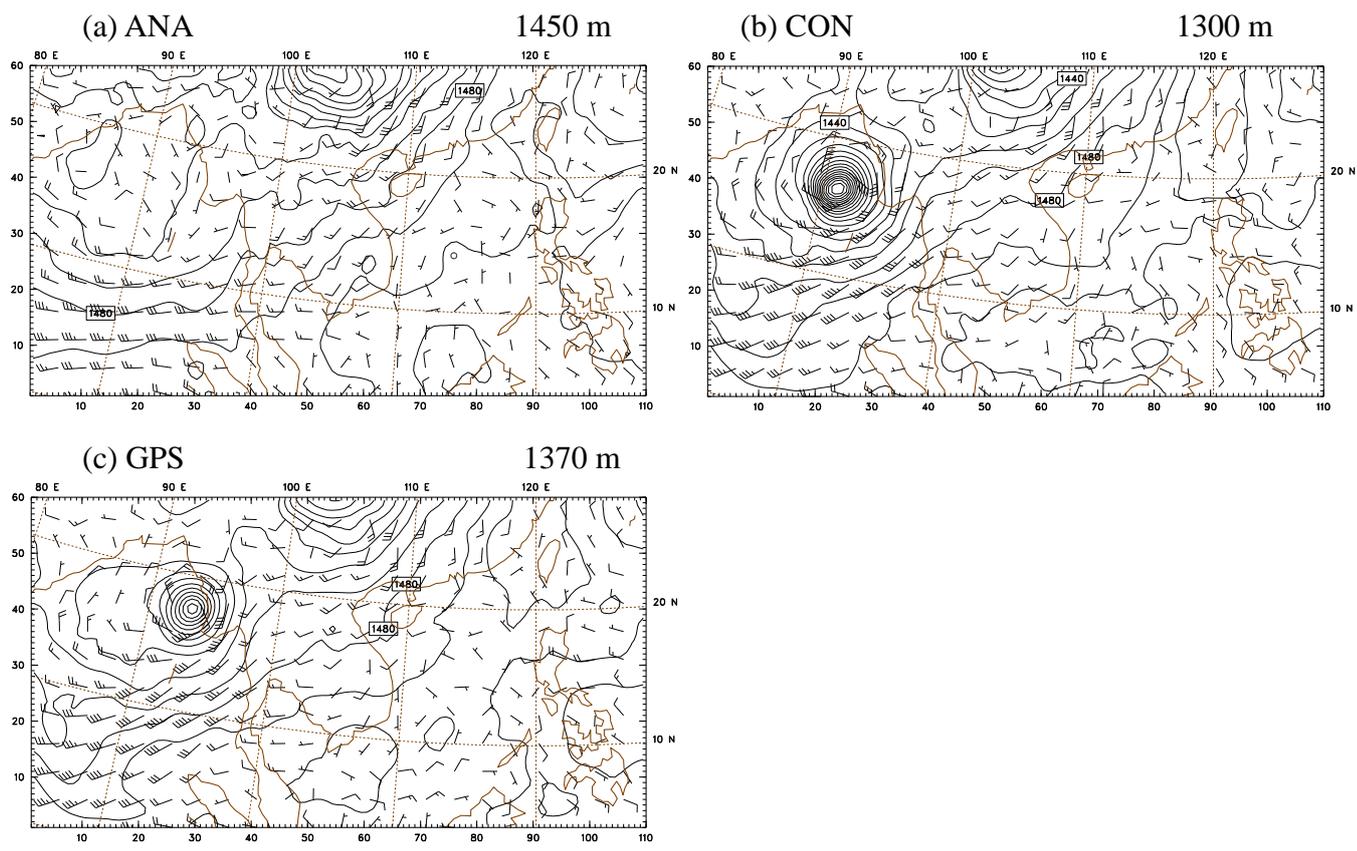
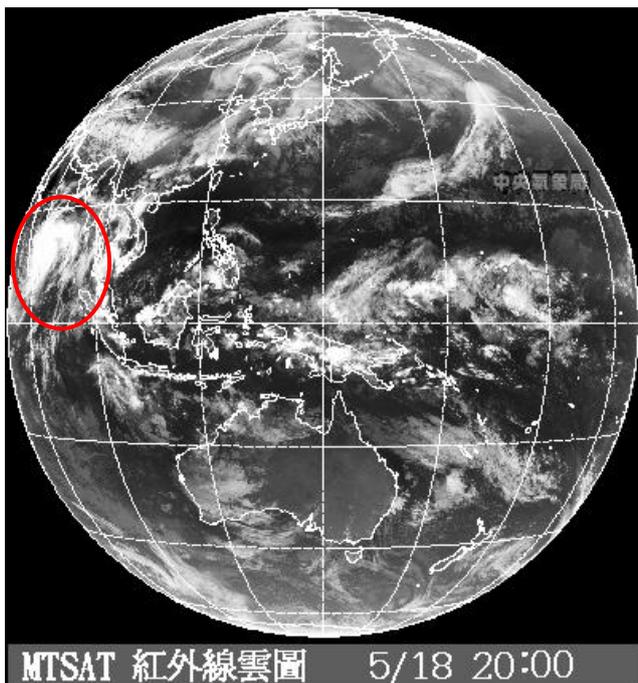


圖 12 同圖 10，但為 850 hPa 之重力位高度場。

(a) 2010051812 UTC



(b) 2010060712 UTC

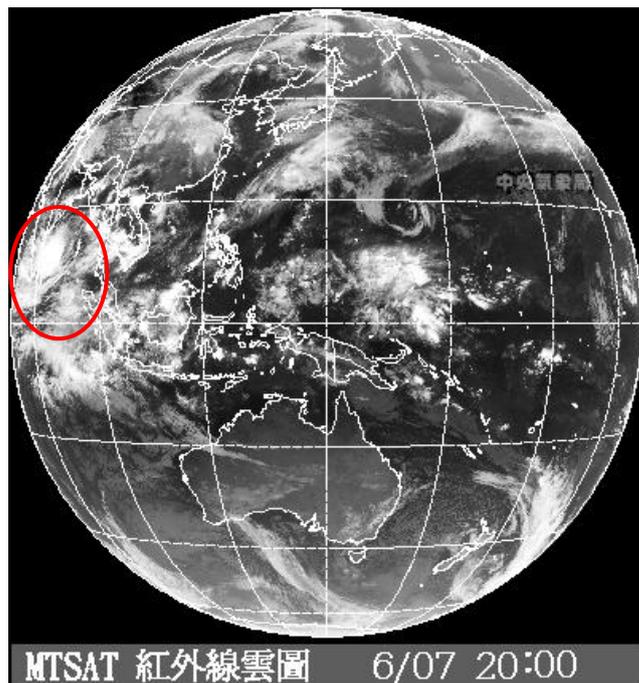
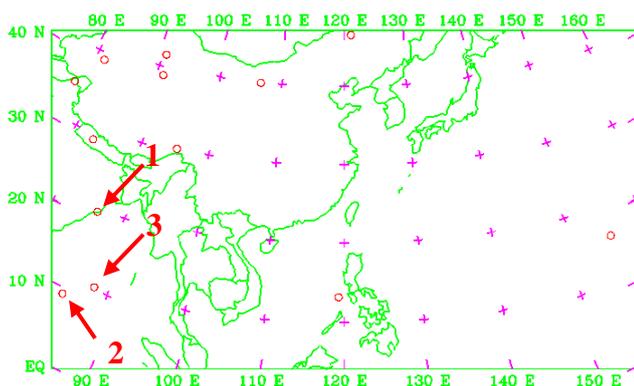


圖 13 (a)為 2012 年 5 月 18 日 1200 UTC 的紅外線衛星雲圖，其中紅圈部分為位於孟加拉灣的氣旋。(b)同(a)，但為 2012 年 6 月 7 日 1200 UTC 的結果，而紅圈部分為熱帶氣旋的位置。

(a) 2010051812 UTC



(b) 2010060712 UTC

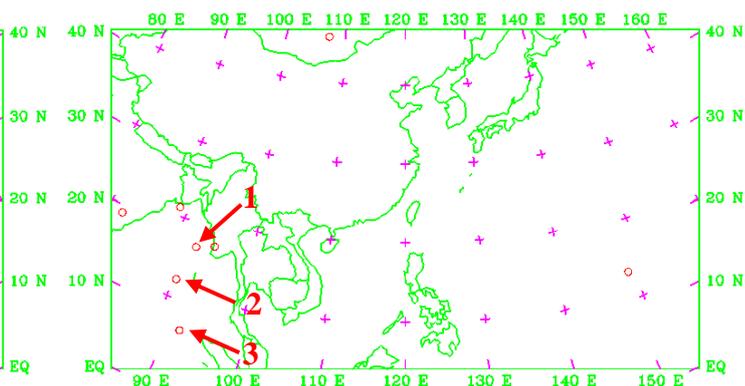
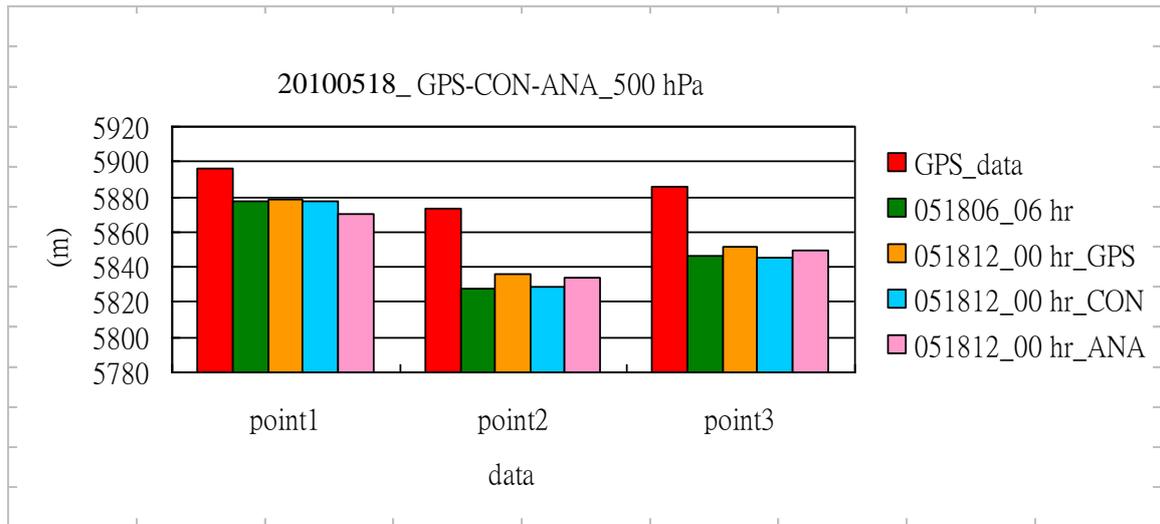


圖 14 (a)為 2010 年 5 月 18 日 1200 UTC 於孟加拉灣所標註的 3 點 GPS RO 資料點的位置。(b)同(a)，但為 2010 年 6 月 7 日 1200 UTC 之結果。

(a)



(b)

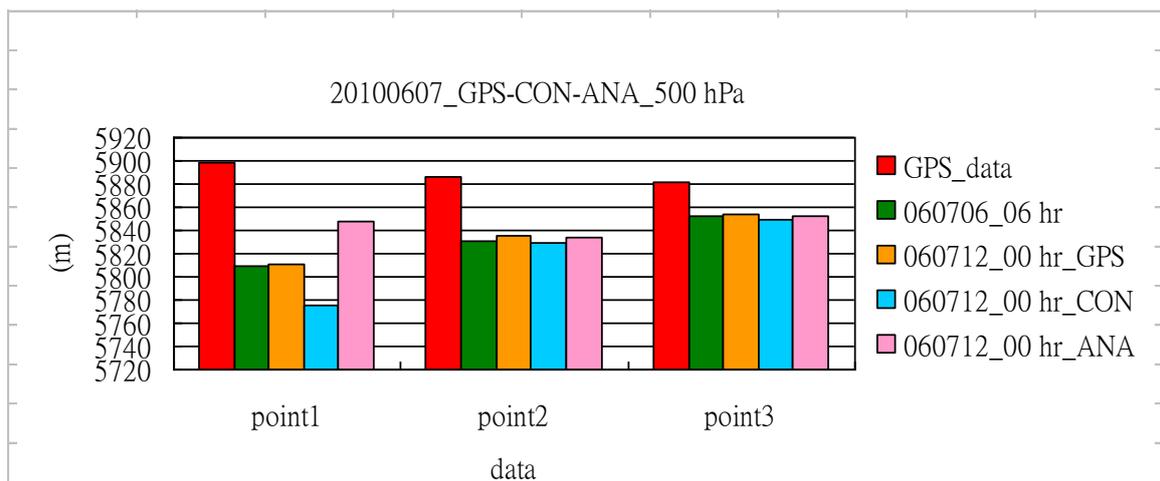


圖 15 (a)為圖 14(a)2010 年 5 月 18 日 1200 UTC 所選取的三點 GPS RO 資料點的 500 hPa 重力位高度值(紅色)，5 月 18 日 0600 UTC 模擬 6 小時之相同位置的重力位高度值(first guess，綠色)，與 5 月 18 日 1200 UTC 之 GPS、CON 及 ANA 於初始場的相同位置之重力位高度值(分別為橙、藍及粉色)。(b)同(a)，但為 2010 年 6 月 7 日 1200 UTC 於圖 14(b)所選取的三點 GPS RO 資料之結果。

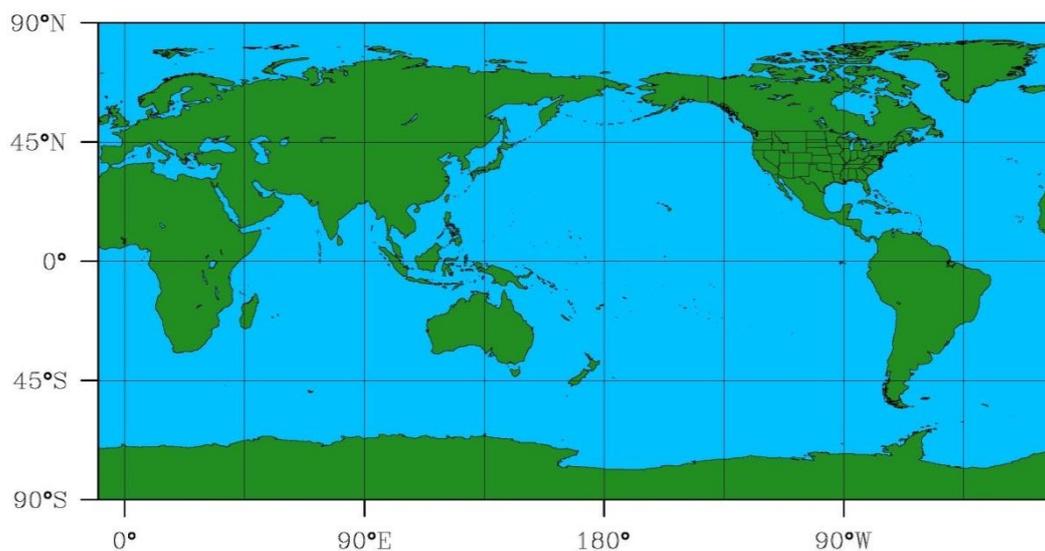


圖 16 WRF 模式預報網格點範圍，網格數為 361 x 181，格點解析度為 111 km，垂直層數為 31 層，模式層頂為 30 hPa。

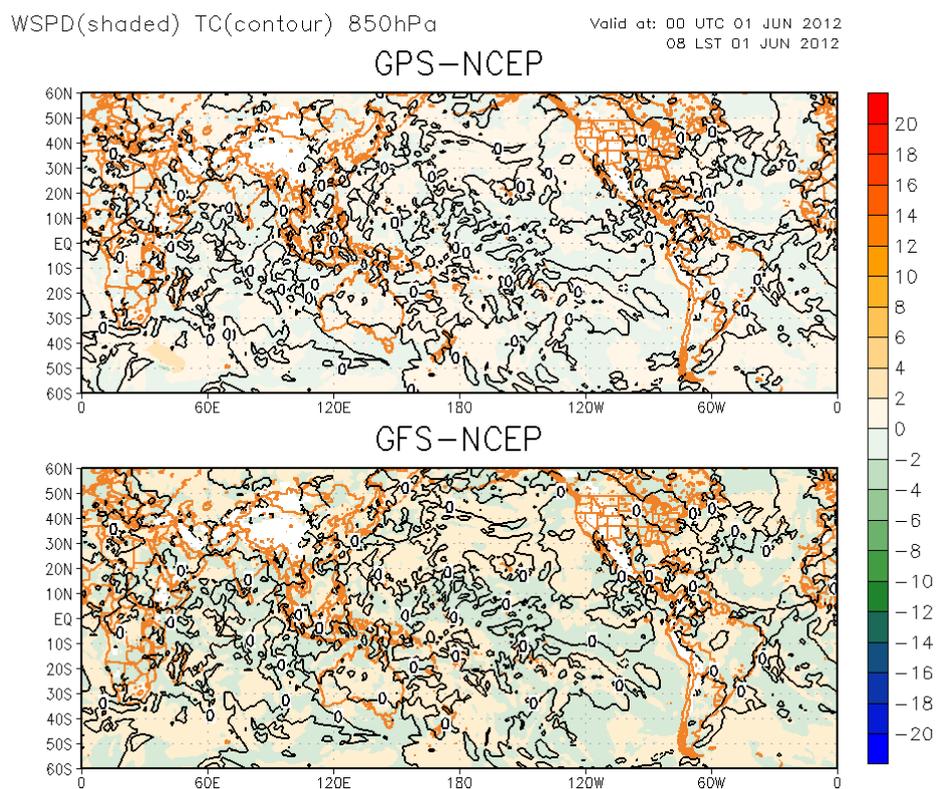


圖 17 上圖為 850hPa，2012/06/01 00:00，GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，陰影為風速差異，等值線為溫度差異。(分析場)

WSPD(shaded) TC(contour) 850hPa

Valid at: 00 UTC 30 JUN 2012  
08 LST 30 JUN 2012

GPS-NCEP

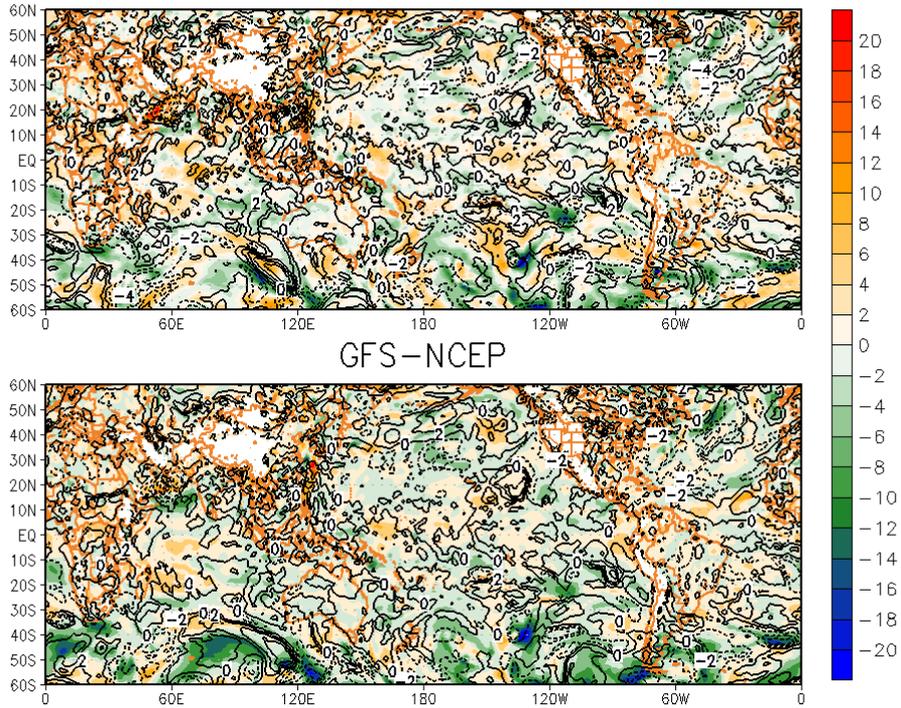


圖 18 上圖為 850hPa, 2012/06/30 00:00, GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 陰影為風速差異, 等值線為溫度差異。(分析場)

WSPD(shaded) TC(contour) 500hPa

Valid at: 00 UTC 01 JUN 2012  
08 LST 01 JUN 2012

GPS-NCEP

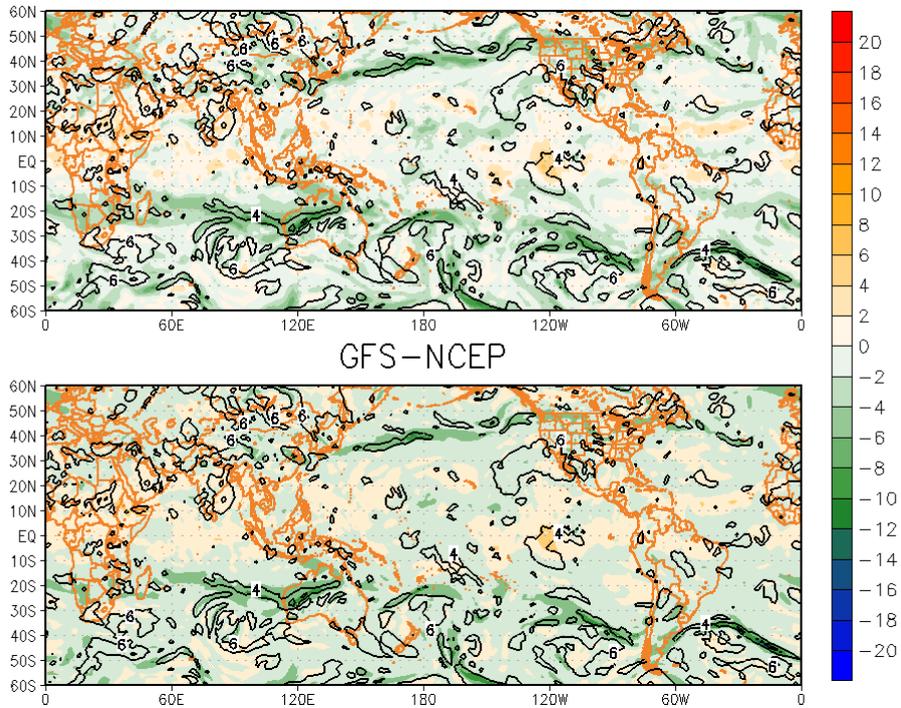


圖 19 上圖為 500hPa, 2012/06/01 00:00, GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 陰影為風速差異, 等值線為溫度差異。(分析場)

WSPD(shaded) TC(contour) 500hPa

Valid at: 00 UTC 30 JUN 2012  
08 LST 30 JUN 2012

GPS-NCEP

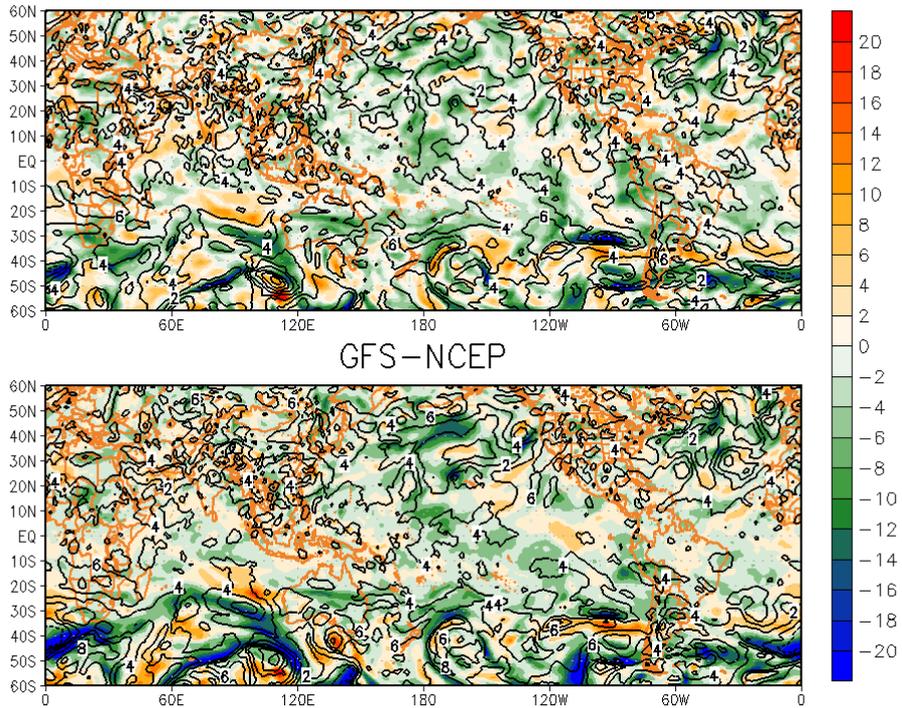


圖 20 上圖為 500hPa, 2012/06/30 00:00, GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 陰影為風速差異, 等值線為溫度差異。(分析場)

RH(shaded) WSPD(vector) 850hPa

Valid at: 00 UTC 01 JUN 2012  
08 LST 01 JUN 2012

GPS-NCEP

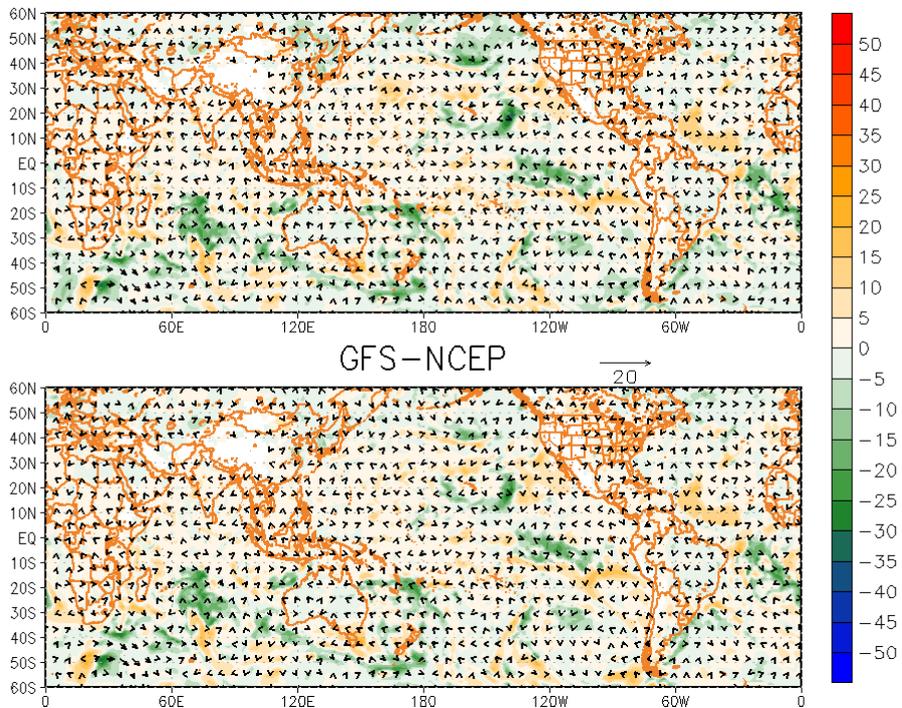


圖 21 上圖為 850hPa, 2012/06/01 00:00, GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 陰影為相對濕度, 風標為風場差異。(分析場)

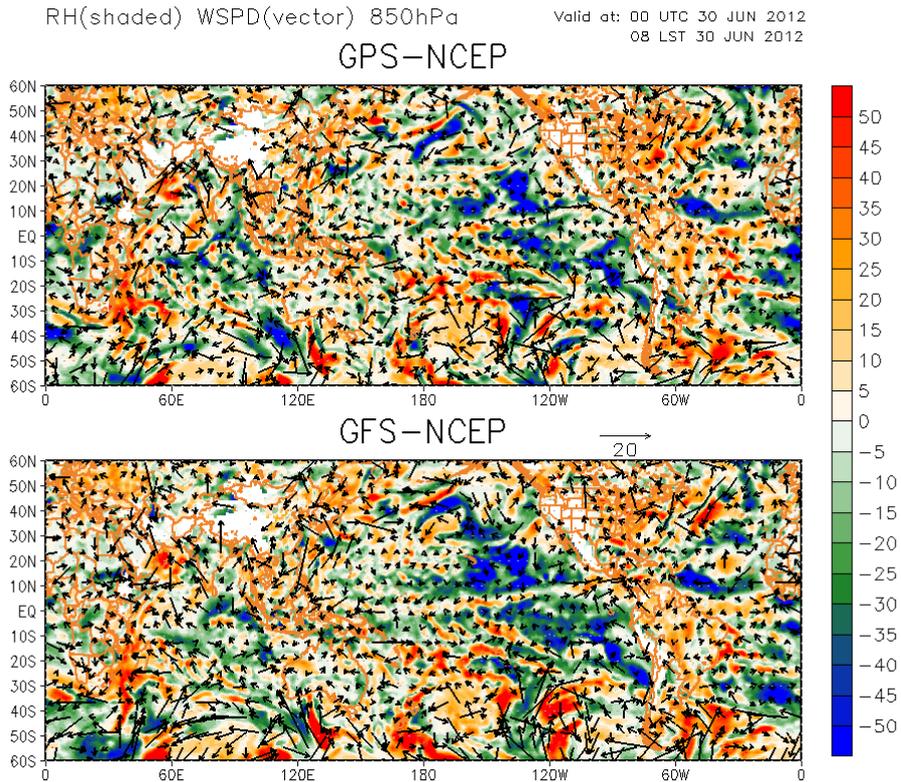


圖 22 上圖為 850hPa，2012/06/30 00:00，GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，陰影為相對濕度，風標為風場差異。(分析場)

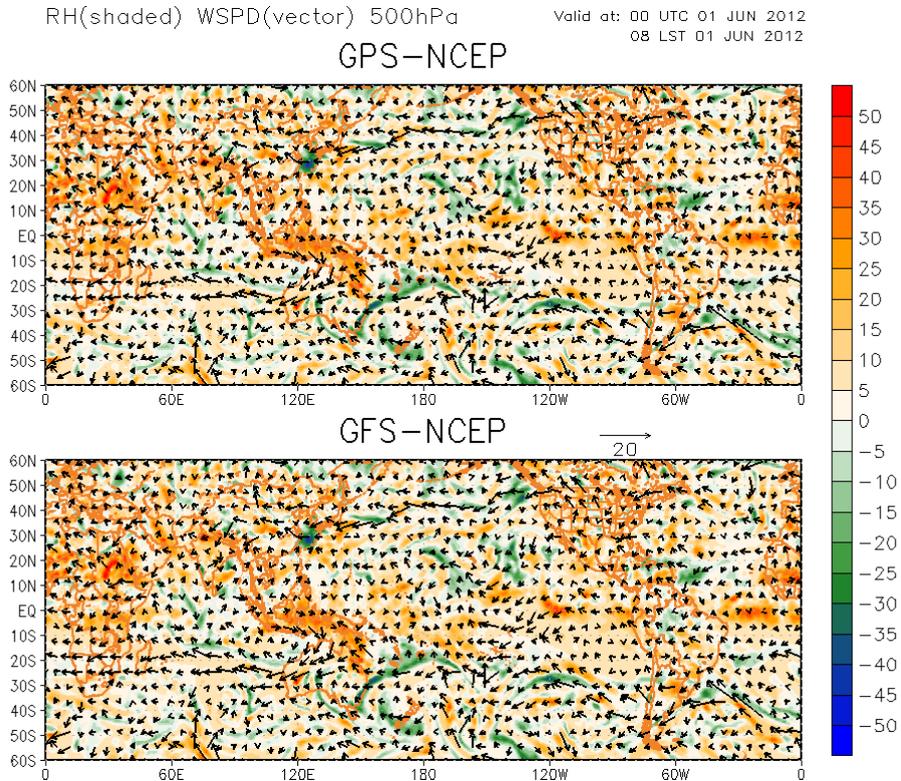


圖 23 上圖為 500hPa，2012/06/01 00:00，GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，陰影為相對溼度，風標為風場差異。(分析場)

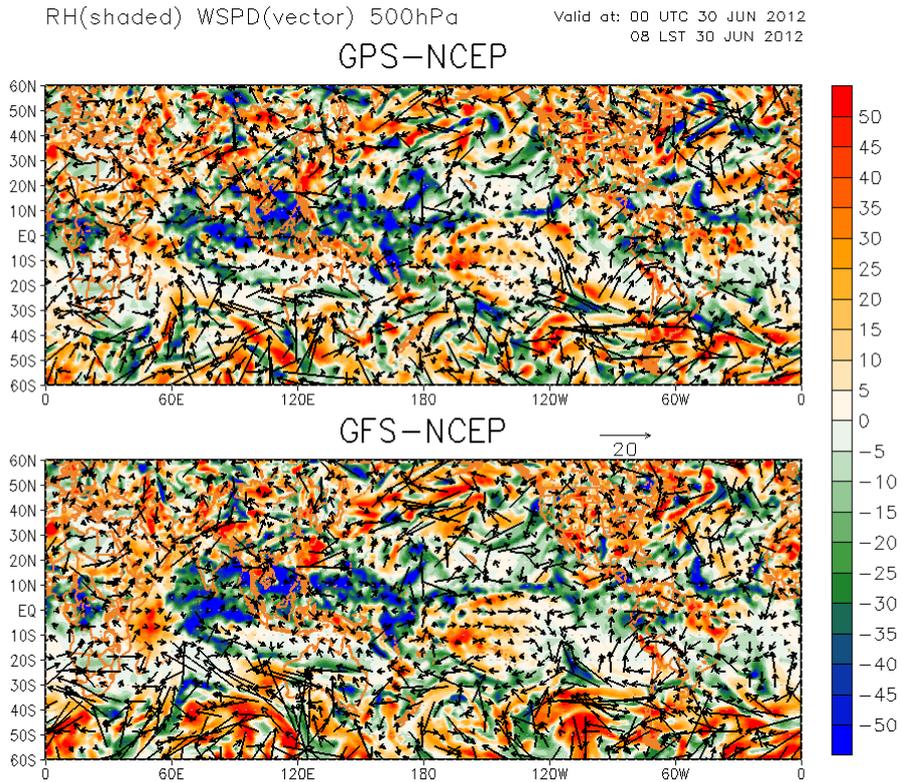


圖 24 上圖為 500hPa，2012/06/30 00:00，GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，陰影為相對溼度，風標為風場差異。(分析場)

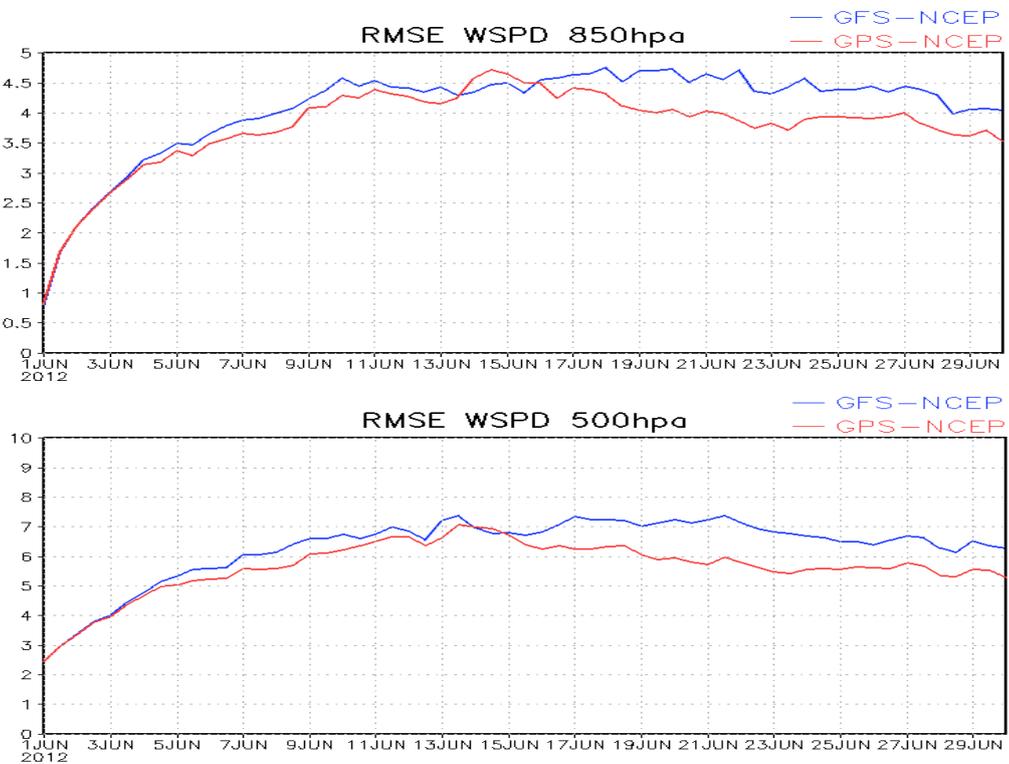


圖 25 模擬區域內，風速 RMSE 的時間序列，紅線為 GPS，藍線為 GFS，上圖是 850hPa，下圖是 500hPa。(分析場)

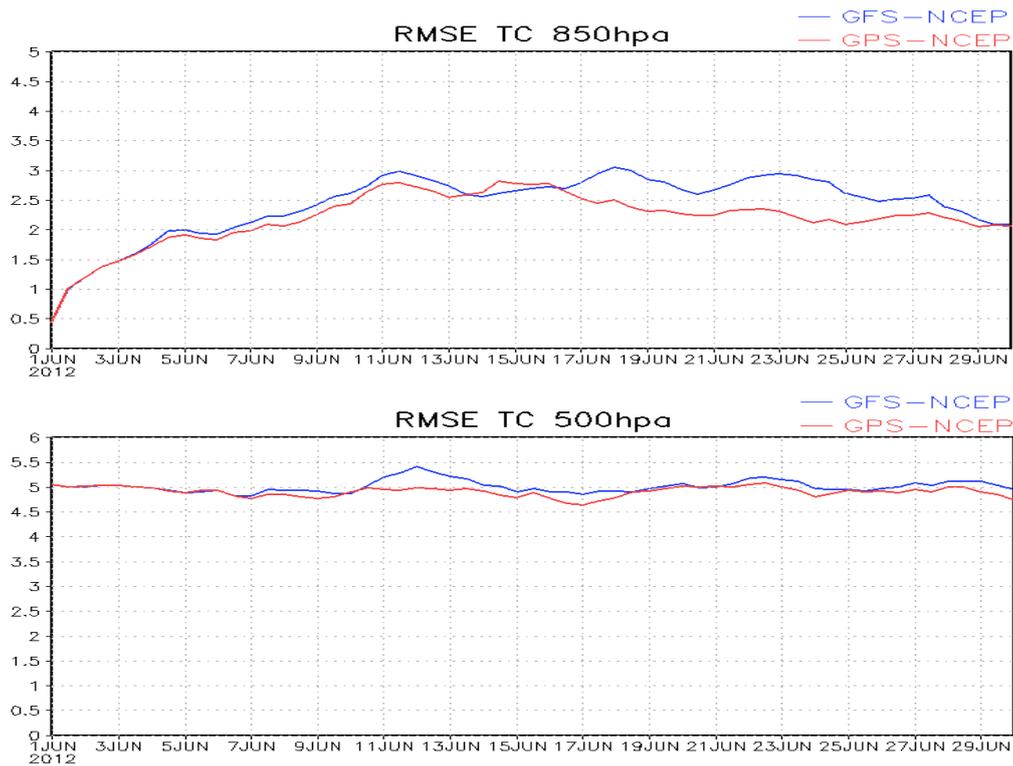


圖 26 模擬區域內，溫度 RMSE 的時間序列，紅線為 GPS，藍線為 GFS，上圖是 850hPa，下圖是 500hPa。(分析場)

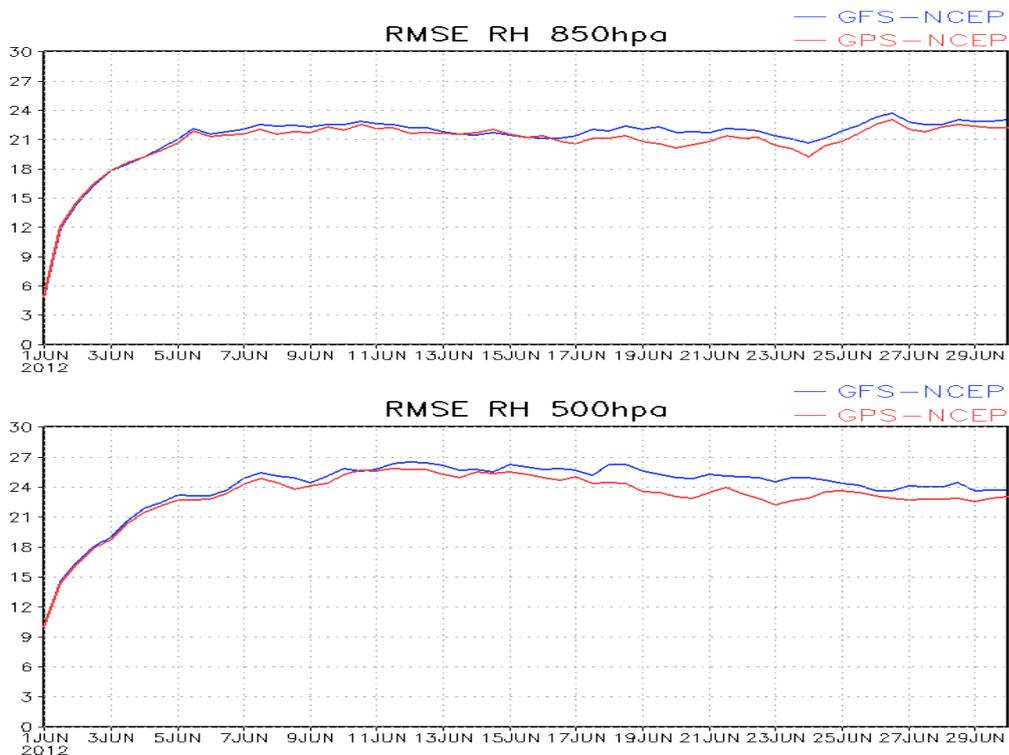


圖 27 模擬區域內，相對溼度 RMSE 的時間序列，紅線為 GPS，藍線為 GFS，上圖是 850hPa，下圖是 500hPa。(分析場)

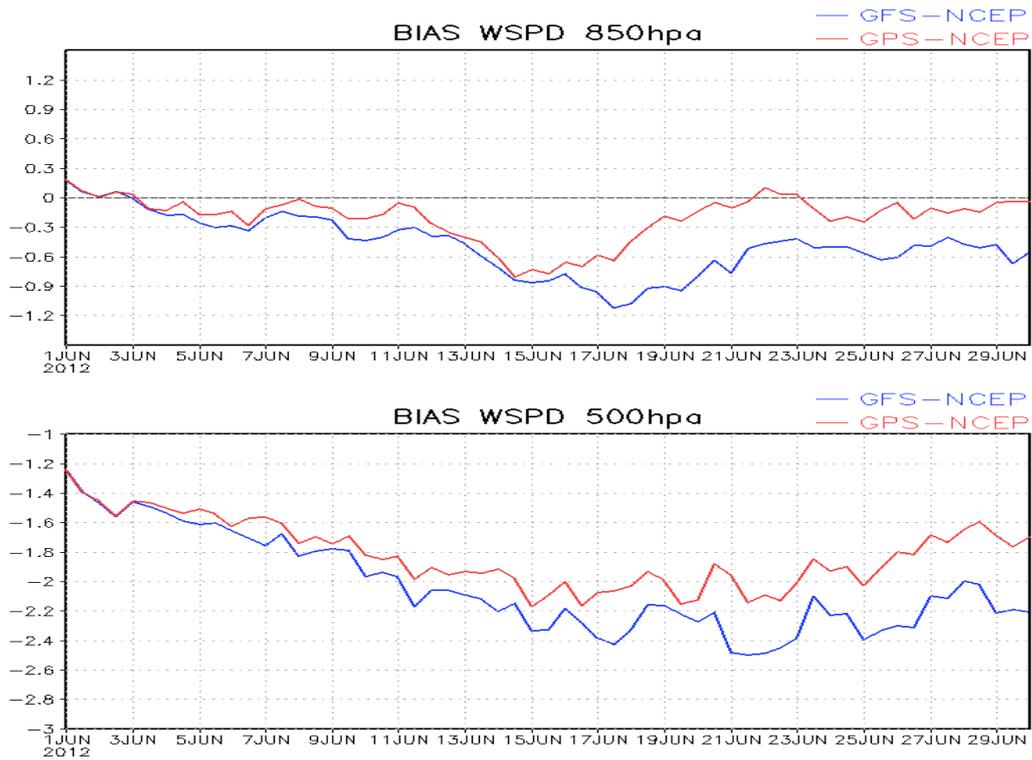


圖 28 模擬區域內，風速 Mean Error 的時間序列，紅線為 GPS，藍線為 GFS，上圖是 850hPa，下圖是 500hPa。(分析場)

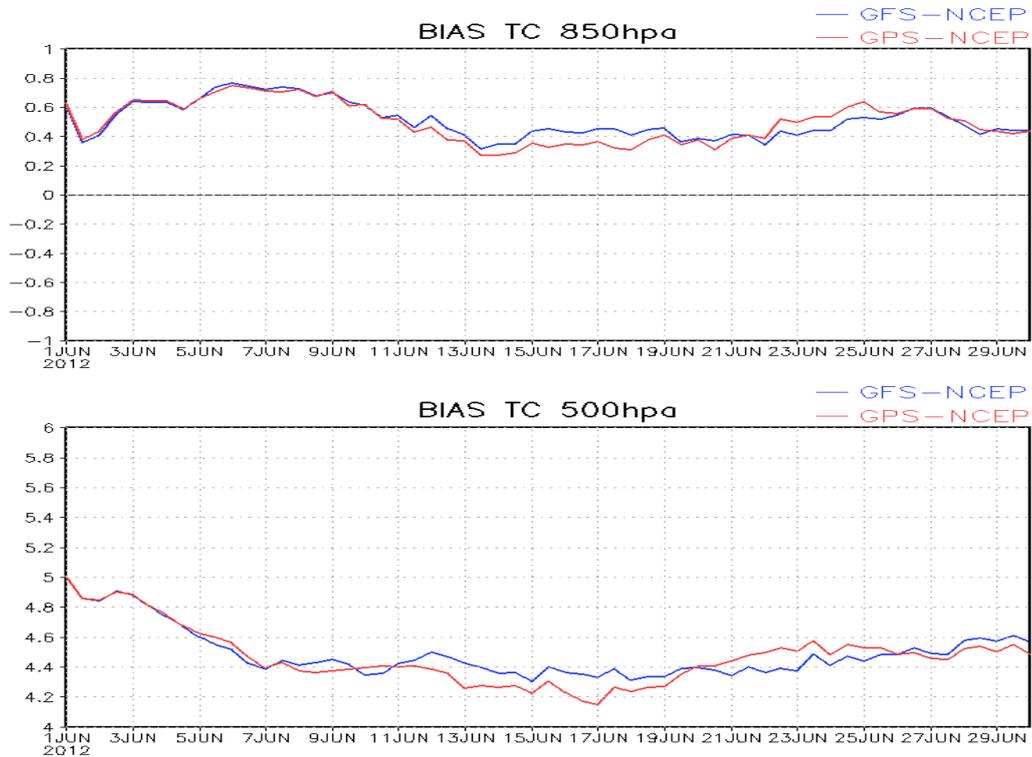


圖 29 模擬區域內，溫度 Mean Error 的時間序列，紅線為 GPS，藍線為 GFS，上圖是 850hPa，下圖是 500hPa。(分析場)

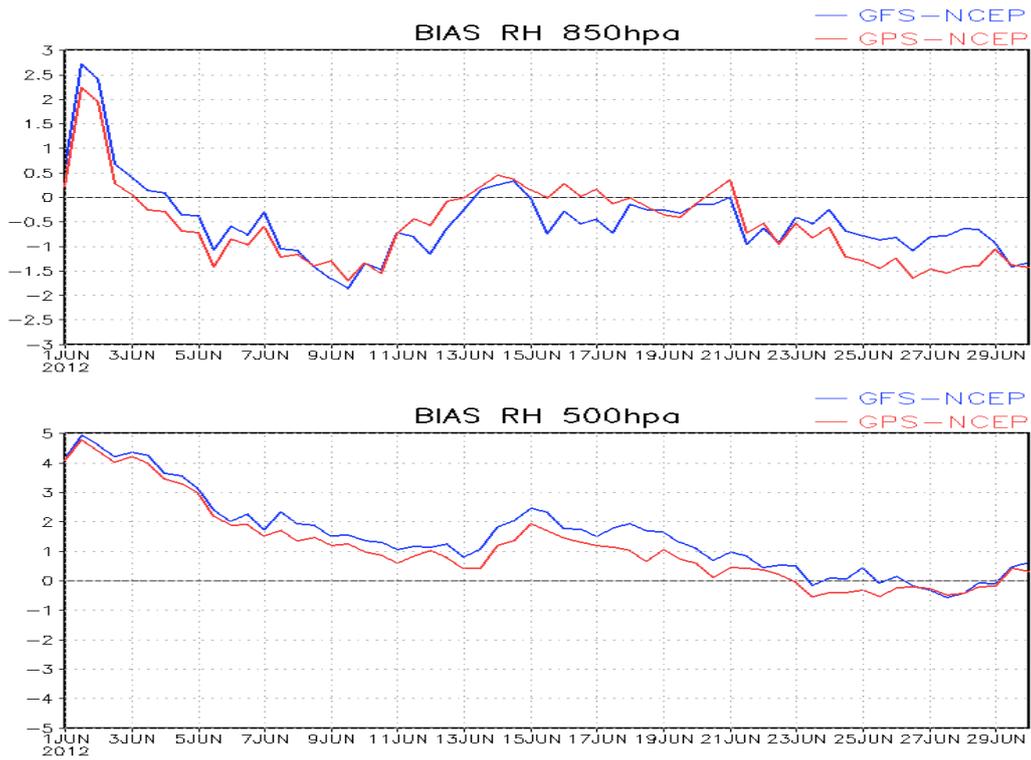


圖 30 模擬區域內，相對溼度 Mean Error 的時間序列，紅線為 GPS，藍線為 GFS，上圖是 850hPa，下圖是 500hPa。(分析場)

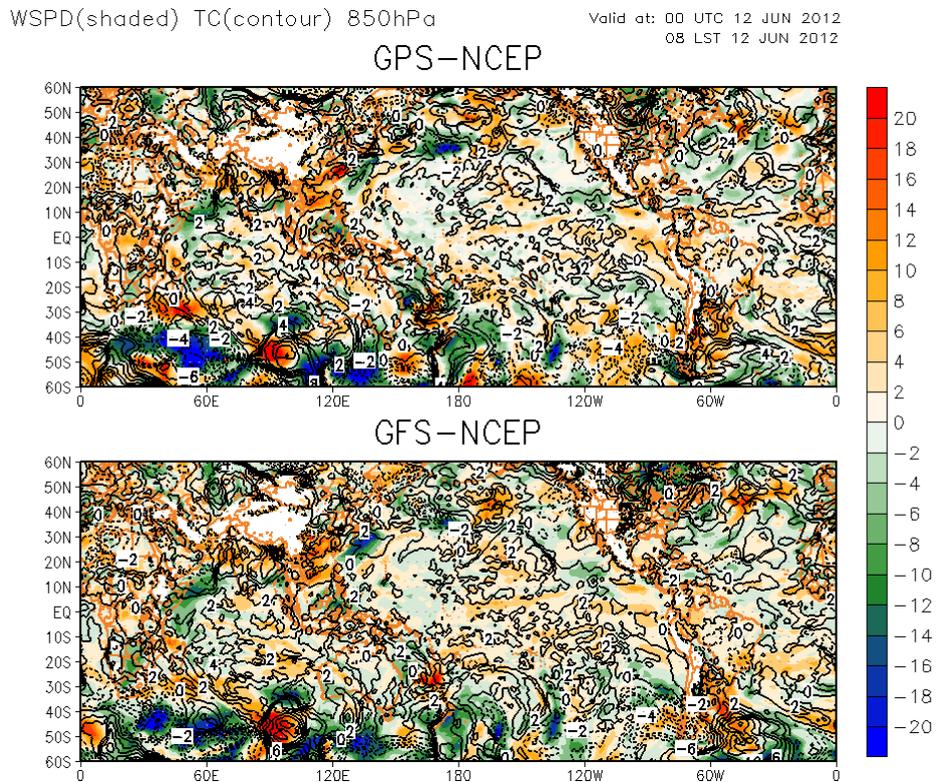


圖 31 上圖為 850hPa，2012/06/12 00:00，GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，陰影為風速差異，等值線為溫度差異。(預報場)

WSPD(shaded) TC(contour) 500hPa

Valid at: 00 UTC 12 JUN 2012  
08 LST 12 JUN 2012

GPS-NCEP

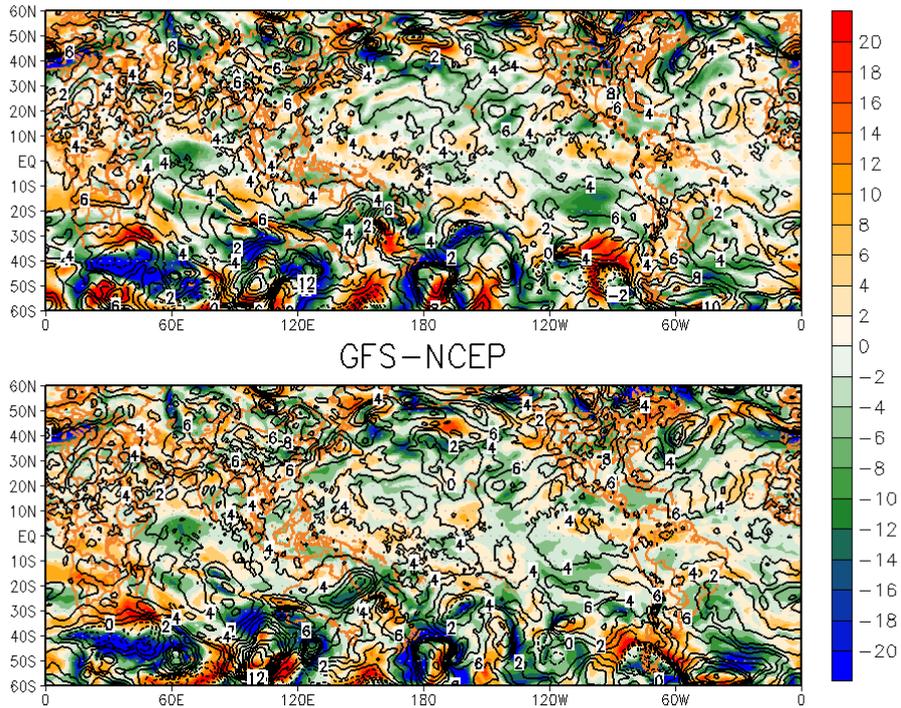


圖 32 上圖為 500hPa, 2012/06/30 00:00, GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 陰影為風速差異, 等值線為溫度差異。(預報場)

RH(shaded) WSPD(vector) 850hPa

Valid at: 00 UTC 12 JUN 2012  
08 LST 12 JUN 2012

GPS-NCEP

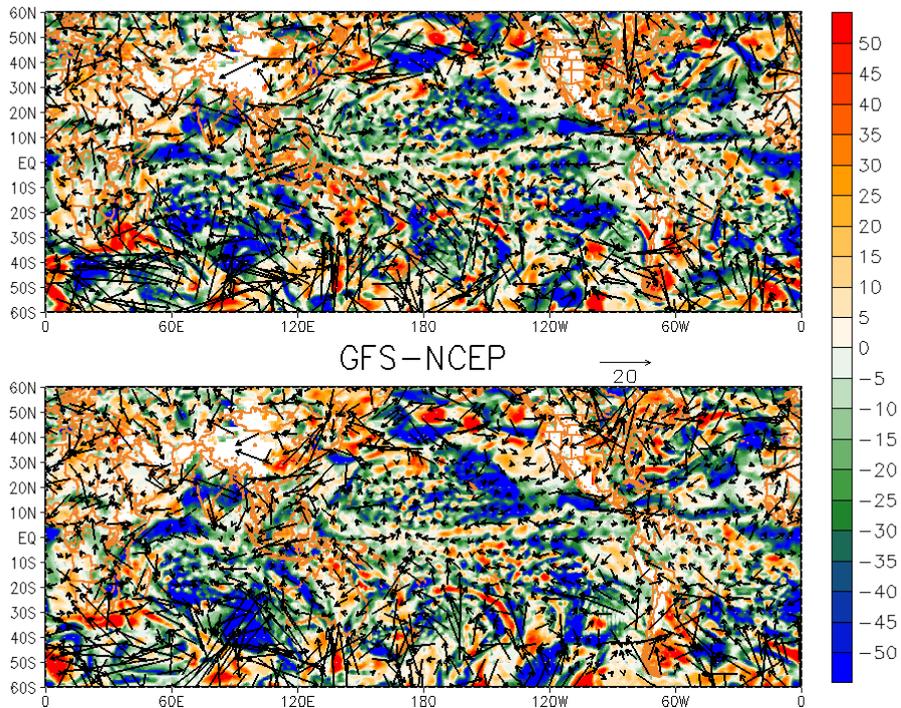


圖 33 上圖為 850hPa, 2012/06/12 00:00, GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖, 陰影為相對濕度, 風標為風場差異。(預報場)

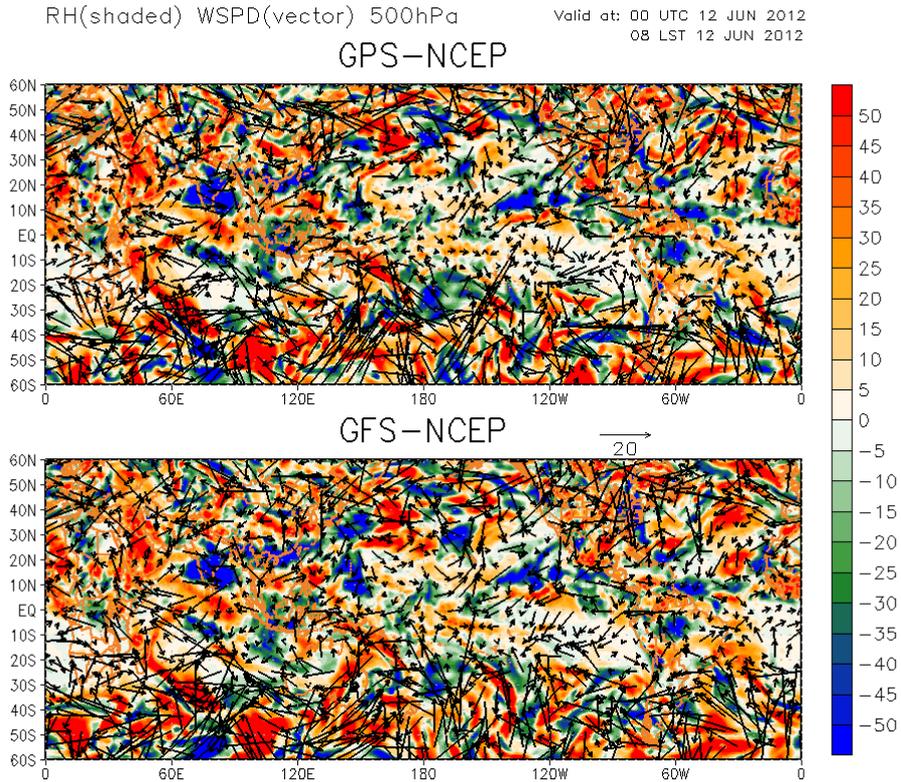


圖 34 上圖為 500hPa，2012/06/12 00:00，GPS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，下圖為 GFS 和 NCEP FNL analysis 的差異圖，陰影為相對濕度，風標為風場差異。(預報場)

#### 四、 結語

本部分針對 2010 年梅雨季，藉由數值模擬探討同化福衛三號 GPS RO 觀測資料對長時間區域模式模擬之影響，並對 2010 年 5 月中至 6 月中旬進行一個月延續模擬。結果顯示各時期同化 GPS RO 資料對重力位高度場之技術得分皆有較大正值的現象，於熱帶地區有更為明顯之正貢獻情形，又以最後 11 天期間之模擬有最顯著之正技術得分，顯示同化 GPS RO 資料所造成之影響會隨模擬時間累積，並於模擬最後時段顯現較為明顯之效應。

由過去研究發現 GPS RO 資料對短期 11 天的模擬有正貢獻，本研究顯示同化 GPS RO 資料對於一個月長時間延續模擬之重力位高度場也有所貢獻，又以觀測資料較為缺乏的熱帶海洋地區最為明顯，有較高之正技術得分，其中同化 GPS RO 資料後，由於原始 GPS RO 資料有較高之重力位高度值，對於控制組於孟加拉灣處模擬過低的氣旋有顯著改善之現象，而與分析場之強度較為接近。

本部分利用 EAKF 產生 2012 年 6 月份的 Global WRF 分析場，比對有無加

入 GPS 資料可以發現，加入 GPS RO 資料對相對溼度、溫度與風速皆有改善，其中對於風速的正貢獻最大。而 Global WRF 預報場的部分，本研究從 2012/06/09 進行 72 小時的模擬，結果顯示有無加入 GPS RO 資料對於相對濕度、溫度、風場差異不大，都是低緯度的模擬結果跟 NCEP FNL analysis 相近，中高緯度的模擬結果則是跟 NCEP FNL analysis 有較大的誤差。

## 五、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
蒐集梅雨季與颱風季之各項資料及模式建置準備工作	完成	已蒐集 2008~2011 梅雨季與颱風季資料及 2012 梅雨季資料，正持續收集 2012 年颱風季之各項資料。
評估 RO 在不同資料同化策略 (full cycle, partial cycle) 下的影響	完成	已完成 RO 在不同資料同化策略下影響之測試，正進行不同資料同化策略對長時間積分影響之探討。
進行 WRF VAR 同化與模擬	完成	已完成颱風雨梅兩個案 WRF VAR 同化與模擬，正進行更多個案之模擬。
改進 WRF 3DVAR 資料同化系統中 GPSRO 資料的使用	完成	已比較利用 3DVAR 與 ENKF 不同同化方法對 GPSRO 資料使用的差異。正進行更深入之探討。
進行 Global WRF 模組或 HiRAM 模式研發與 WRF VAR 和 GSI 同化與模擬	完成	已完成 Global WRF 的安裝與測試，正進行長時間之積分。正進行 HiRAM 模式的評估與測試。
探討 GPS 資料進行 WRF VAR 同化之後，對區域氣候模擬與分析之影響	完成	已完成梅雨季一個月 WRF 模式的長期積分，並正進行 WRF VAR 同化 GPSRO 的模擬。
探討 dropsonde 資料、SSMI、AIRS 資料進行 WRF VAR 同化之後，對區域氣候模擬與分析之影響	完成	已完成 2008~2011 的 dropsonde、SSMI、AIRS 等資料進行 WRF VAR 同化之後，對梅雨季模擬與分析之影響。
撰寫報告	完成	期末報告撰寫完成。

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(4.1)：台灣自主的電離層監測模式(第二版)報告(III)

期末報告計畫名稱：以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技術發展：發

展台灣自主的電離層監測模式

執行期間：2012/02/18~2013/02/17

分項工作管理人：蔡龍治

參與人員：

中 華 民 國 1 0 2 年 0 2 月

## 一、摘要

福衛三號即在利用六顆低軌道衛星接收 GPS 衛星訊號，電波訊號傳播過程中，在經過電離層或大氣層時，由於傳播介質的改變，所以造成電波訊號產生一偏折角度或電波延遲，此即為電波掩星現象。系統所測得的資料可推算出偏折角度或電離層全電子含量，再經由 Abel 積分轉換而換算成電離層中的電子密度對高度的剖面資料，進而進行全球電離層模式數值分析。本計畫目的在應用福衛三號掩星觀測資料建立全球電離層電子密度估計與四維數值模式系統，並應用電離層數值模式於觀測全球電離層氣象與相關高頻天波傳播研究。本子計畫分層目標分別為：(1) 利用經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析於福衛三號掩星所得電離層垂直電子密度資料凝合，用以過濾不規則垂直電子密度資料，同時挑選正常垂直電子密度資料用以進行以下全球三維模式數值分析；(2) 利用於挑選所得電離層正常垂直電子密度資料進行全球三維模式數值分析方法：二維球面諧波函數最佳化加上垂直雀普曼(Chapman)函數最佳化，用以建立即時全球電離層模式系統；(3) 利用全球電離層三維數值模式系統建立高頻天波傳播途徑預估與電波強度相關評估。

## 二、前言

本計畫目的在應用福衛三號掩星觀測資料建立全球電離層電子密度估計與四維數值模式系統，用於研究全球電離層氣象與相關高頻天波傳播研究。本項計畫主持人已發展出一橫向不均勻電離層電子密度反演技術，並確實掌握相關的資料分析與驗證能力，達到技術自主的地步。計劃使用國內中壢站與花蓮站動態式電離層觀測儀及全球電離層觀測儀設備，驗證 COSMIC 反演電離層資料，以確定資料的正確性。除此之外，計畫主持人亦已發展出電離層參數映射技術，根據適當的球諧函數(Spherical Harmonic function)將 COSMIC 電離層參數做全球分布的展開，以近即時監測並研究電離層全球的動態變化，建立台灣第一套自主的全球電離層數值模式，我們將此全球電離層數值模式命名為 TWIM (the TaiWan Ionospheric numerical Model)，我們將此 TWIM 數值模式持續發展與改進。本子計畫分層目標分別為：

(1) 利用經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析於福衛三號掩星所得電離層垂直電子密度資料凝合，用以過濾不規則垂直電子密度資料，同時挑選正常垂直電子密度資料用以進行以下全球三維模式數值分析；(2) 利用於挑選所得電離層正常垂直電子密度資料進行全球三維模式數值分析方法：二維球面諧波函數最佳化加上垂直雀普曼(Chapman)函數最佳化，用以建立即時全球電離層模式系統；(3) 利用全球電離層三維數值模式系統建立高頻天波傳播途徑預估與電波強度相關評估。

### 三、成果報告

#### 3.1 電離層垂直電子密度經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析

福衛三號 FORMOSAT-3 /COSMIC (Constellation Observing System for Meteorology Ionosphere and Climate)則於 2006 年 4 月 15 日於美國加州升空，並執行新的 GPS 電波掩星觀測任務，其衛星軌道高度為 700~800 公里，軌道面與赤道面傾角為 70 度，衛星每繞行地球一週約 100 分鐘，未來利用六顆低軌衛星(每顆衛星上之 GPS 接收器有兩個掩星觀測天線)提供每天超過 2500 筆的掩星觀測資料，圖 2-1. 顯示福衛三號系統(FORMOSAT-3/COSMIC)自 2006 年至今每日所得電波掩星觀測資料數(Level 1b)以及各子衛星(FM1..FM6) 所得垂直電子密度資料數，由於 GPS 衛星和 LEO 衛星在軌道高度上的差異，使得當由 GPS 衛星發射信號到 LEO 衛星時，電離層和大氣層會遮蔽到傳播信號，造成在傳播路徑上介質的改變，因而產生一偏折角度。這其中包含了電子密度、折射係數和偏折角度之間的相關性。事實上，以 GPS 載波的頻率，即使在電離層變化最激烈的狀態下，由電離層及大氣層所造成的偏折角度仍然是相當微小的，當 GPS 信號通過電離層而產生偏折角度的傳播路徑，和直線的傳播路徑相比較時，其偏折距離不過是數公里甚至更少，此偏折距離遠小於傳統之電離層電子密度對垂直高度的高度等級。甚至是在白天或太陽極大時，在 F 層（偏折角度最大）不論是以 L1 或 L2 的載波頻率傳播，其偏折角度均不會超過 0.03 度[Schreiner et al., 1999]。因此，UCAR 對於應用在無線電波掩星觀測反演的的方法，是直接將其偏折角度忽略不計，以直線為其傳播路徑。然而，在真實狀態下，對於 L1 和 L2 信號的傳播路徑是不同的，而且分別求得的全電子含量(Total Electron Content，簡稱 TEC)亦有些許的差距。但由於直接以直線為其傳播路徑，故 L1 和 L2 信號的傳播路徑是相同的，因此不論是用相位延遲量  $S_1$  或  $S_2$  來計算，所得到的 TEC 皆相同。而在沿著傳播路徑上，TEC 的計算如下：

$$T = \int n_e dl = -\frac{f^2}{40.3} \int (n-1) dl = -\frac{f_1^2 S_1}{40.3} = -\frac{f_2^2 S_2}{40.3} = -\frac{(S_1 - S_2) f_1^2 f_2^2}{40.3(f_1^2 - f_2^2)}$$

其中  $T(\text{el/m}^2)$  是沿著傳播路徑的 TEC； $n_e(\text{el/m}^3)$  是電子密度； $S_1$ 、 $S_2(\text{m})$  則分別是對應於 L1 及 L2 的相位延遲量。使用上式中雙頻的 GPS 信號（最右邊那一項）於 TEC 的計算，便可由相位延遲量計算而得到 TEC，此法可以直接將軌道誤差和時鐘誤差自動去除，不再需要額外的地面站資料，故可以讓反演的過程更為即時完成。在直線傳播路徑的假設下，TEC 對電子密度的關係如下：

$$T(r_t) = \left[ \int_{r_t}^{r_{GPS}} + \int_{r_t}^{r_{LEO}} \right] \frac{rn_e(r)}{\sqrt{r^2 - r_t^2}} dr .$$

應用 Abel 積分轉換，在球對稱的假設下，電子密度可以轉換成如下的積分式：

$$n_e(r_t) = -\frac{1}{\pi} \int_{r_t}^{r_{LEO}} \frac{dT(r)/dr}{\sqrt{r^2 - r_t^2}} dr .$$

再將已求得的 TEC 資料代入上式中，便可獲得電子密度。至西元 2012 年 12 月，福衛三號電離層垂直電子密度反演成功率可高於 75%。

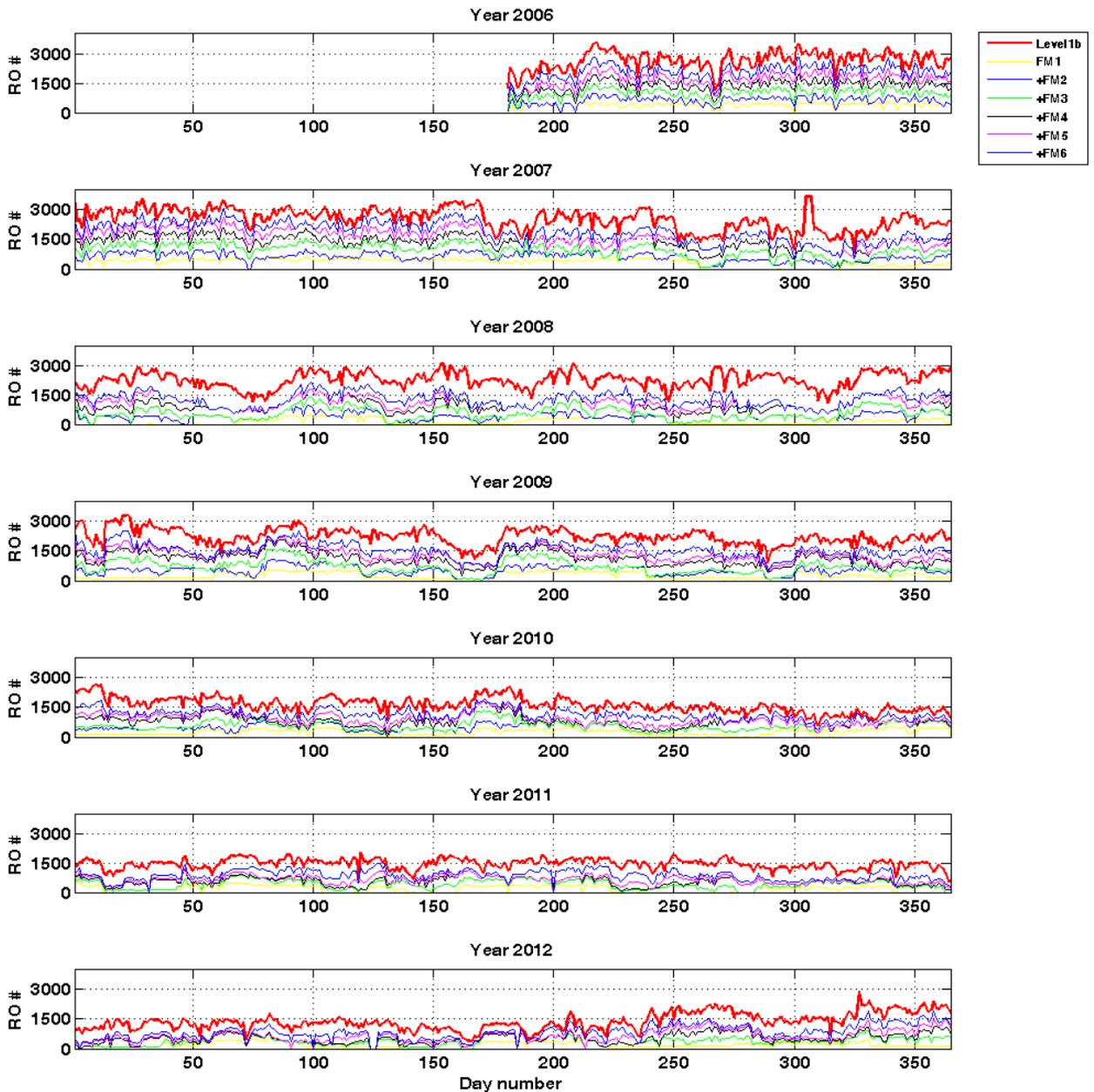


圖 3-1. 福衛三號(FORMOSAT-3/COSMIC) 自 2006 年至今每日所得電波掩星觀測資料數 (Level 1b)以及各子衛星(FM1..FM6)所得垂直電子密度資料數.

本子計畫將利用經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析於福衛三號掩星所得電離層垂直電子密度資料凝合，用以過濾不規則垂直電子密度資料，其中垂直電子密度資料經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析如下：

$$f_N(\theta, \lambda, g(\theta, \lambda) \times h) = foF2(\theta, \lambda) \left( \overline{f_N(h)} + \sum_{i=1}^n a_i(\theta, \lambda) \times E_i(h) \right)$$

其中  $g(\cdot)$  和  $a_i(\cdot)$  為球面諧波函數， $E_i(h')$  為垂直經驗正交函數，圖 3.2 為一 FormoSat-3/ COSMIC 掩星觀測電離層垂直電子密度分佈與相關經驗正交函數分析後所得標準化平均垂直電子密度分佈與一組相關經驗正交函數圖。透過經驗正交函數(EOF)分析，我們可以把 FormoSat-3/ COSMIC 掩星觀測電離層垂直電子密度分佈分類，資料種類包含

- (1) 正常垂直電子密度分佈(見圖 3.3)及其經驗正交函數(EOF)分析(見圖 3.4)
- (2) 含散塊 E 層垂直電子密度分佈(見圖 3.5)及其經驗正交函數(EOF)分析(見圖 3.6)
- (3) 不規則垂直電子密度分佈(見圖 3.7)及其經驗正交函數(EOF)分析(見圖 3.8)
- (4) 不正常強 E 層垂直電子密度分佈(見圖 3.9)及其經驗正交函數(EOF)分析(見圖 3.10)
- (5) 不正常強 F1 層垂直電子密度分佈(見圖 3.11)及其經驗正交函數(EOF)分析(見圖 3.12)

同樣由利用經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析於福衛三號掩星所得電離層垂直電子密度資料凝合，用以挑選正常垂直電子密度資料用以進行以下全球三維模式數值分析，得到全球電離層模式系統。

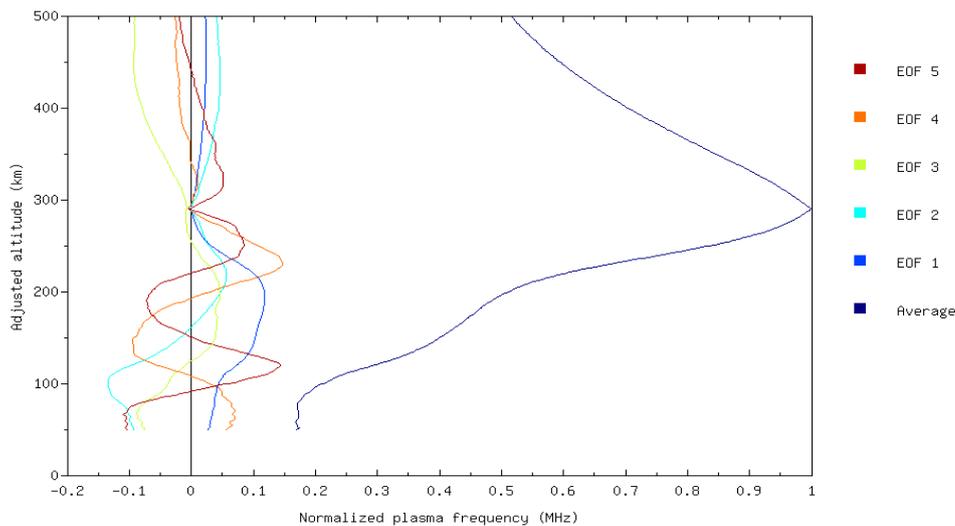


圖 3.2. FormoSat-3/ COSMIC 掩星觀測垂直電子密度分佈相關經驗正交函數分析後所得標準化平均垂直電子密度分佈與一組相關經驗正交函數圖。

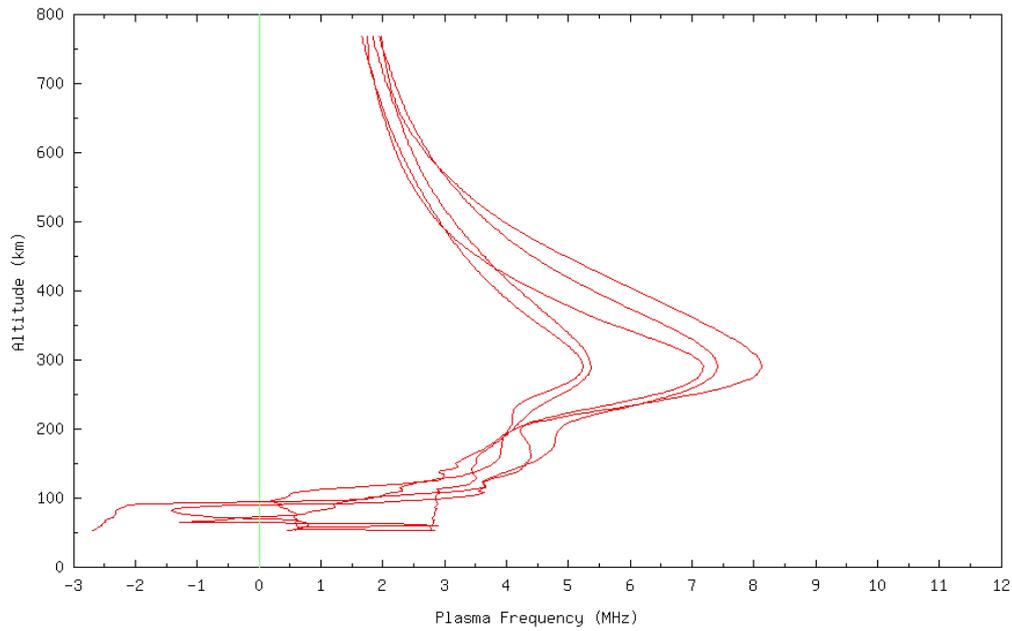


圖 3.3. 正常垂直電子密度分佈

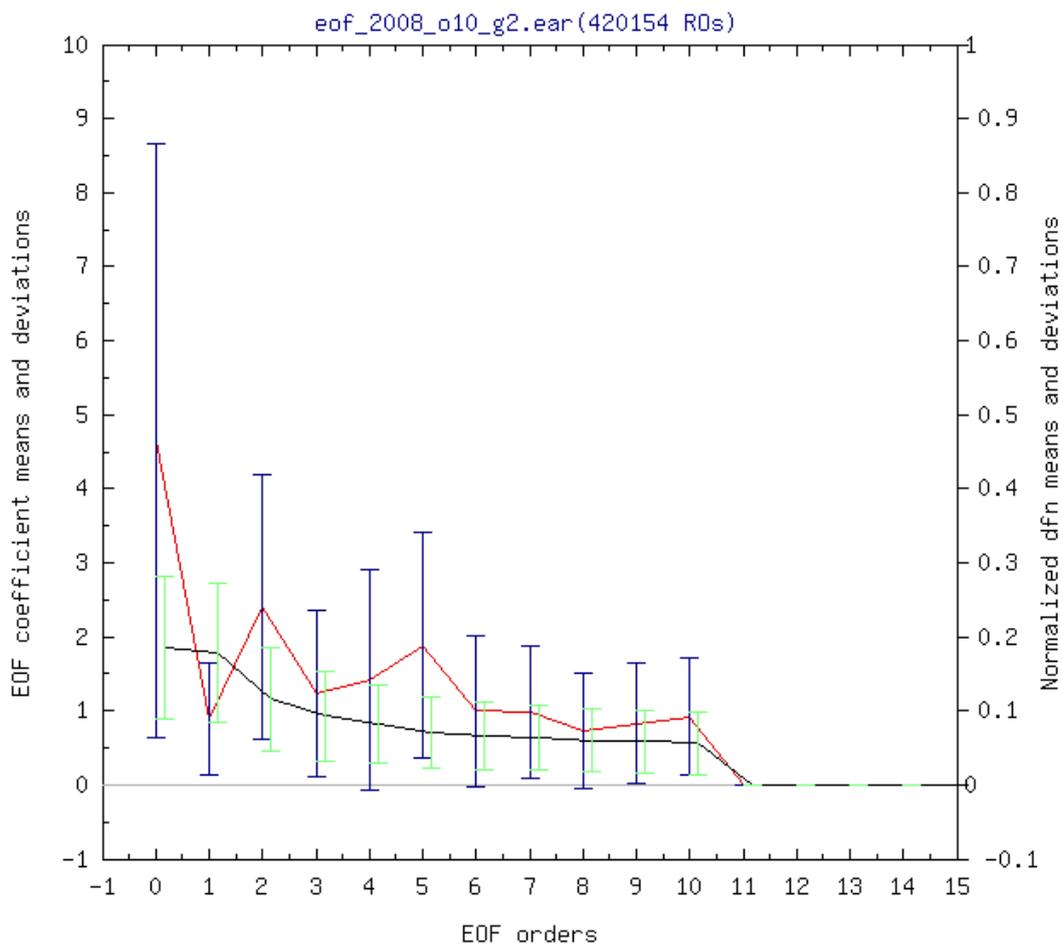


圖 3.4. 正常垂直電子密度分佈其經驗正交函數(EOF)分析

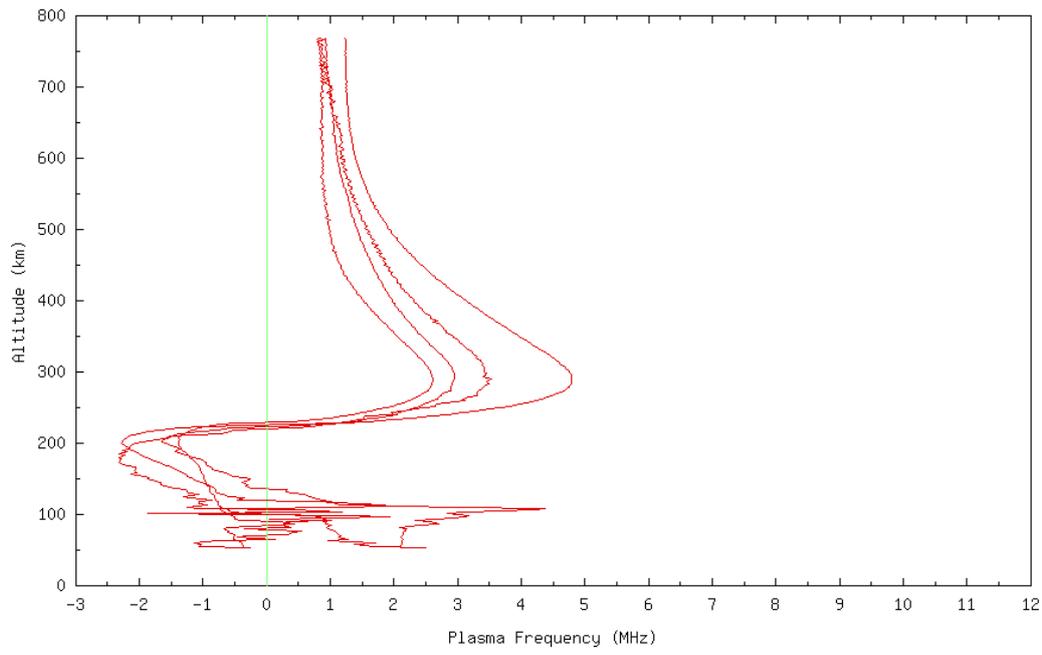


圖 3.5. 含散塊 E 層垂直電子密度分佈

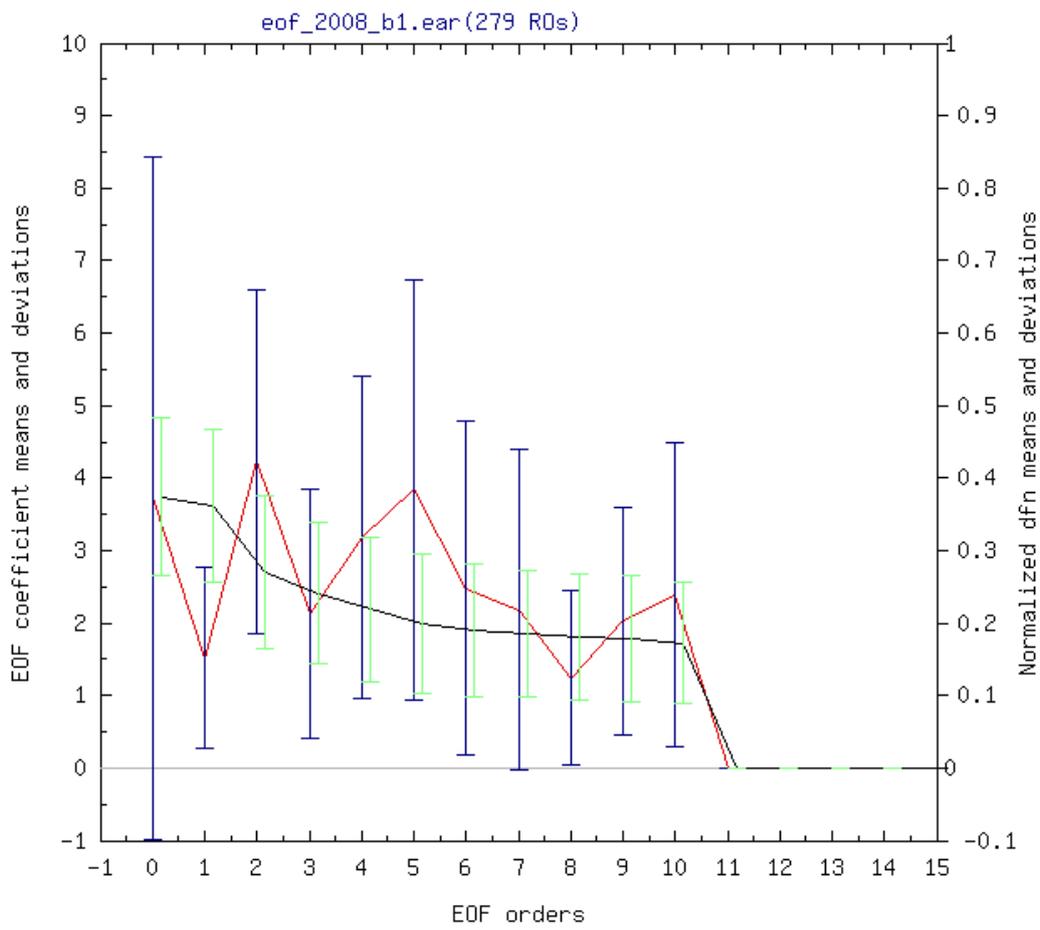


圖 3.6. 含散塊 E 層垂直電子密度分佈其經驗正交函數(EOF)分析

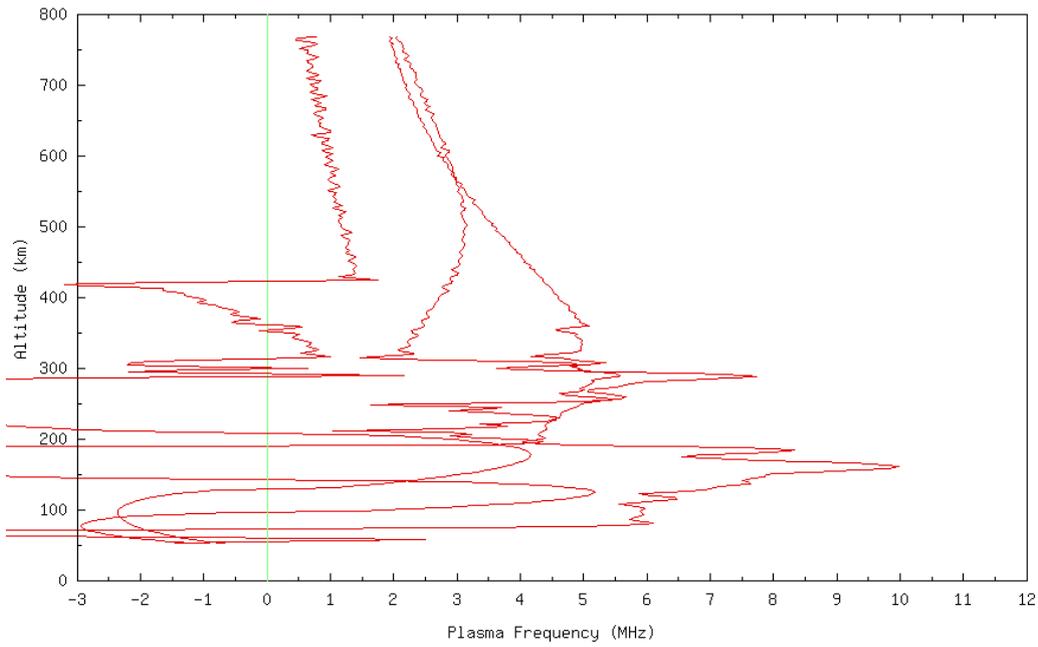


圖 3.7. 不規則垂直電子密度分佈

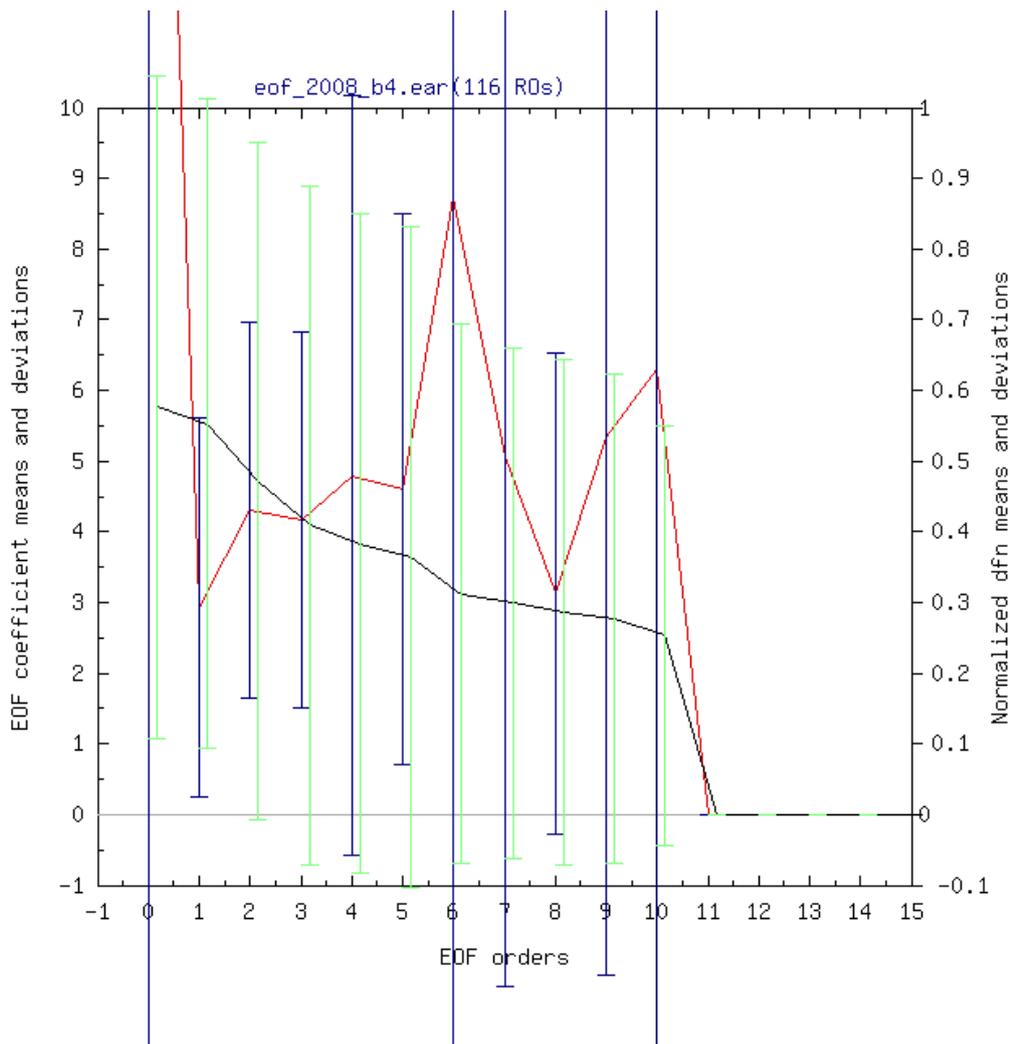


圖 3.8. 不規則垂直電子密度分佈其經驗正交函數(EOF)分析

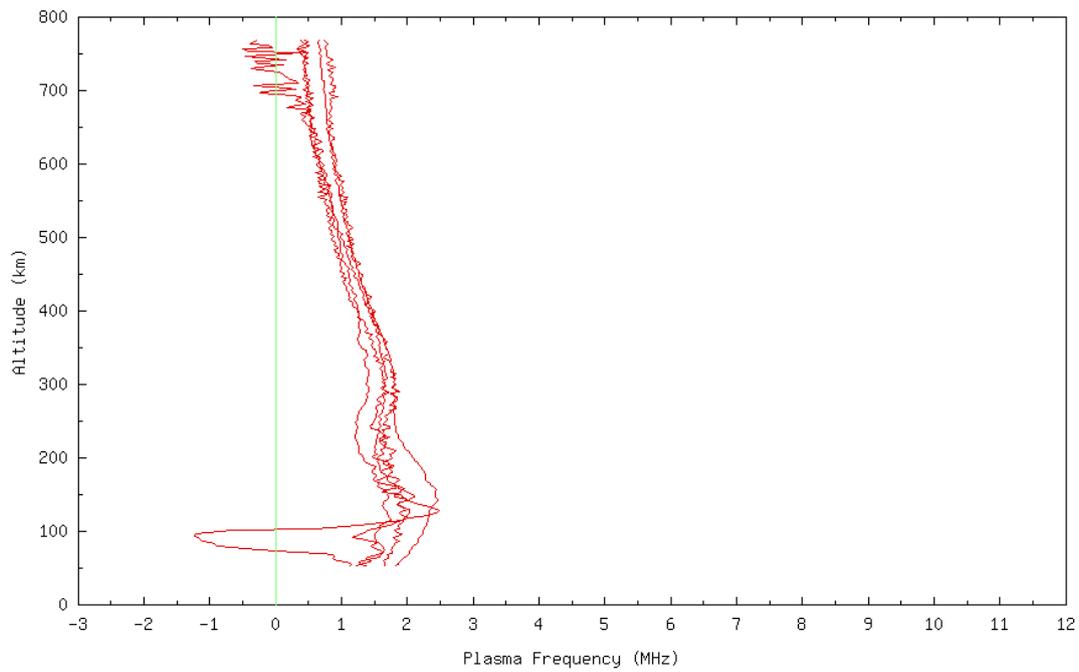


圖 3.9. 不正常強 E 層垂直電子密度分佈

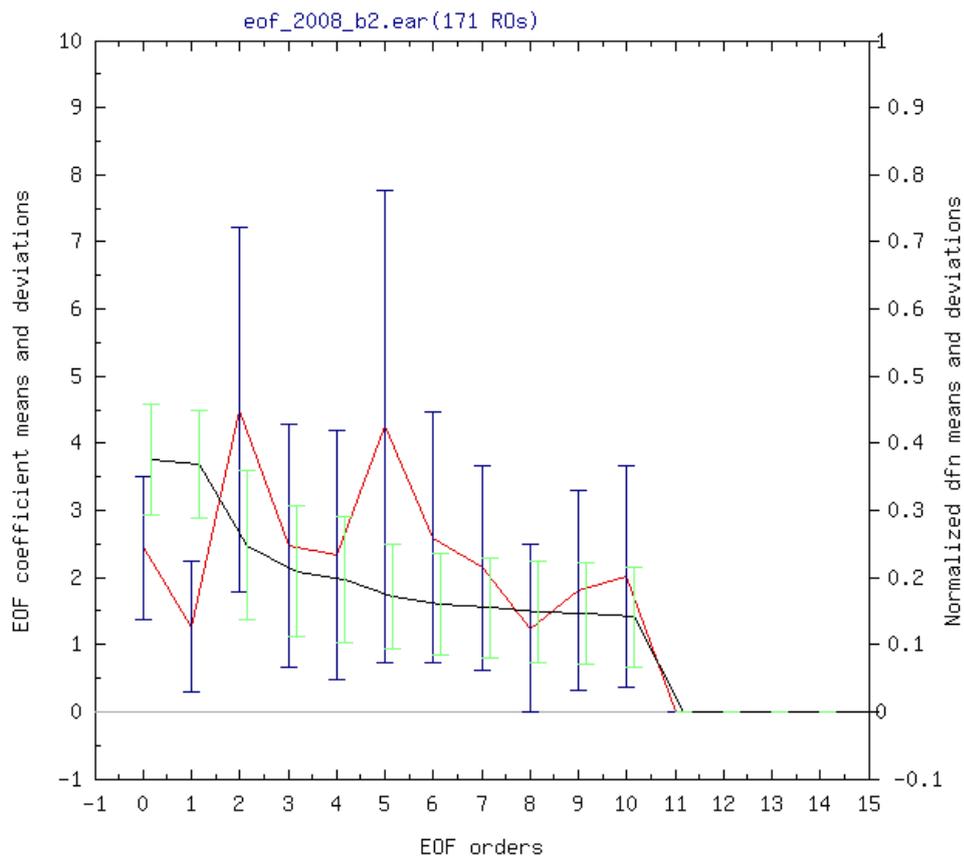


圖 3.10. 不正常強 E 層垂直電子密度分佈其經驗正交函數(EOF)分析

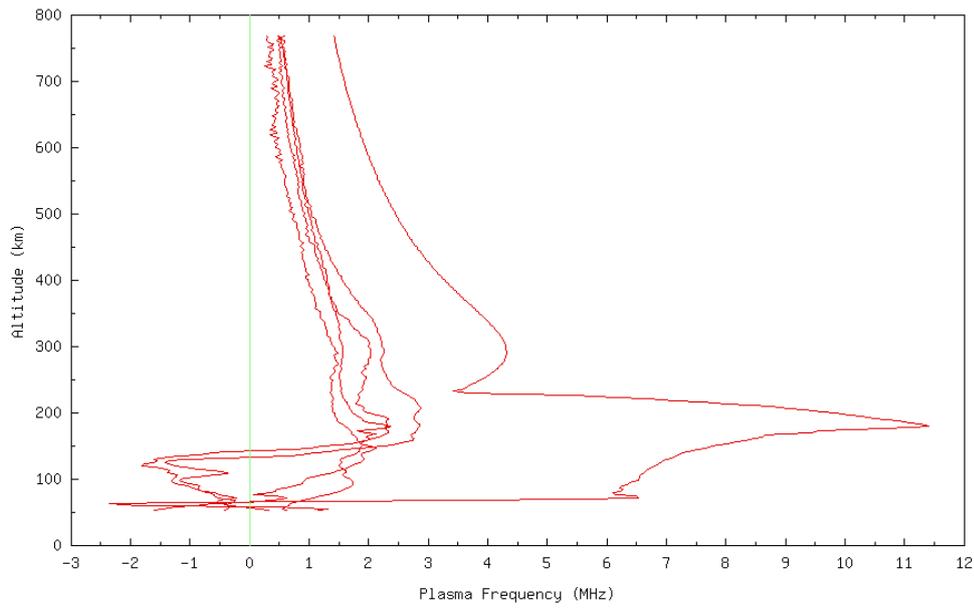


圖 3.11. 不正常強 F1 層垂直電子密度分佈

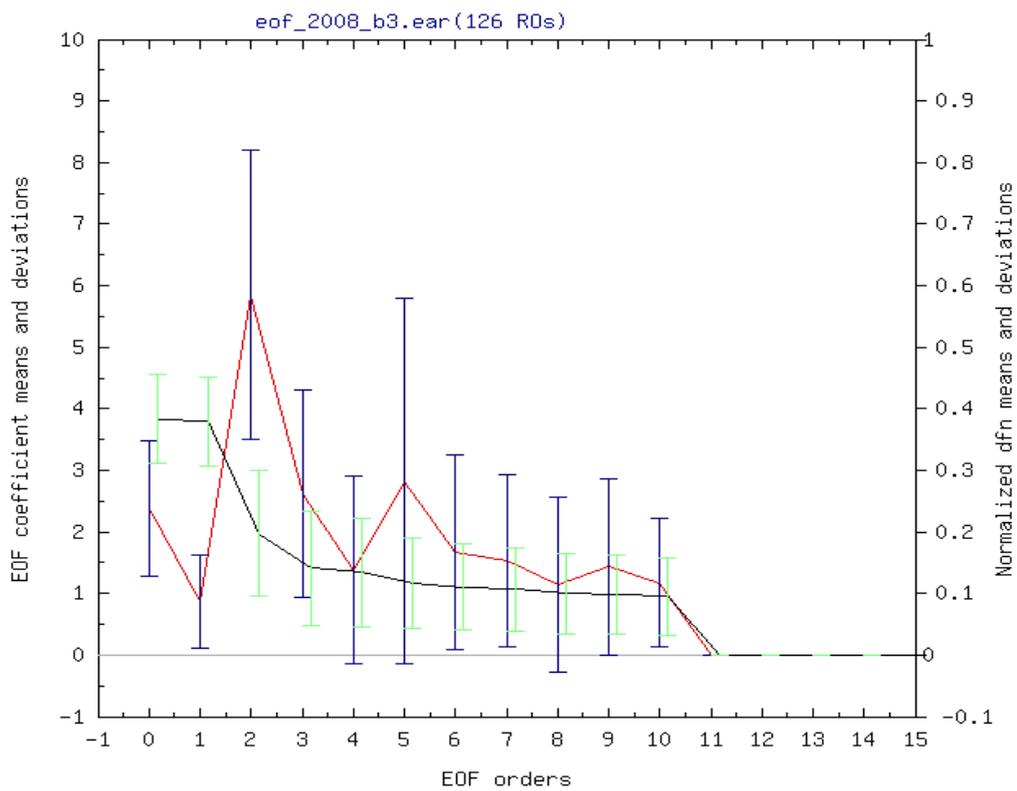


圖 3.12. 不正常強 F1 層垂直電子密度分佈其經驗正交函數(EOF)分析

### 3.2 經驗正交函數處理後 TWIM 可信度分析

為了了解經驗正交函數處理後 TWIM 可信度，比較原 TWIM，同樣由利用經驗正交函數 (Empirical Orthogonal Function, EOF) 分析於福衛三號掩星所得電離層垂直電子密度資料凝合，用以挑選正常垂直電子密度資料進行全球三維模式數值分析，得到另一全球電離層 TWIM 模式系統。我們首先將 TWIM 中所得到的資料與單站電離層觀測儀 (ionosonde) 的觀測結果做比較，做為比較對象是取用在印尼 Kwajalein island (9°N, 167°E) 的電離層觀測儀。比對時間是由 2006 年七月至 2008 年十月。但由於從電離圖 (ionograms) 中無法直接且明確的定義 D 層、F1 層以及 E 層和 F2 層的峰值高度，所以只對  $foE$  與  $foF2$  做比對，其結果如圖 3.13。圖中橫軸為電離層觀測儀所得電漿頻率，縱軸則是 TWIM 的對應值，其中黑色斜線為 1:1 的基準線。圖中藍色交叉點與黑色點分別為  $foE$  與  $foF2$  的 TWIM 跟電離層觀測儀比對結果。可以發現  $foE$  與  $foF2$  皆是隨著基準線分佈，表示 TWIM 與電離層觀測儀結果有相當的一致性。為了定義兩者之間的誤差值，這裡利用了兩種誤差估計的方式，第一種為均方根誤差 (RMS error) 另一種則是平均相對誤差 (mean relative error)。均方根誤差可以了解各頻率平均的誤差大小值單位為兆赫 (MHz)；而平均相對誤差則是表示各頻率的誤差程度單位為百分比 (%)。其兩者表示式如下：

$$\text{RMS error} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{dfc})_i^2}{n}}$$

$$\text{Mean relative error} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(\text{dfc})_i}{\text{fc}_i}}{n}$$

其中  $n$  是總共的比較數， $\text{fc}$  是電離層觀測儀所觀測到的峰值頻率， $\text{dfc}$  則是 TWIM 的峰值頻率與電離層觀測儀觀測值的差值，從圖 3.13 結果中我們得知 TWIM 與印尼 Kwajalein island 電離層觀測儀  $foF2$  與  $foE$  的均方根誤差 (黑色與藍色曲線) 皆在 1MHz 以下；而  $foF2$  與  $foE$  的平均相對誤差 (紅色與綠色曲線) 在 4MHz 以下較大約是在 -20% 至 50% 之間，但在 4MHz 以上誤差皆小於正負 10% 以內，表示 TWIM 在電漿濃度較高之白天時有相當好的可信度。

在單一地區上 TWIM 對不同電漿濃度觀測的可信度分析後，我們接著以 TWIM 中所得到的

資料與全球近 60 站電離層觀測儀的觀測結果做比較，以全球近 60 站電離層觀測儀的 foF2 與 foE 觀測結果為基準，對 TWIM 的 foF2 與 foE 進行平均誤差與均方根誤差平均計算。無與有利用經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析於挑選正常垂直電子密度資料進行全球三維模式數值分析結果分別為圖 3.14 與圖 3.14，圖中黑色點為 TWIM 對電離層觀測儀觀測值的 foF2 平均誤差；藍色十字點則為 foE 的平均誤差，其中 foF2 平均誤差在各緯度皆分佈在正負 0.5MHz 內，表示無與有利用經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析 TWIM 之 foF2 在全球觀測結果擁有良好的可信度。而無利用經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析 foE 平均誤差較大，低緯度地區約為-0.5MHz，中高緯度地區約為-0.5~-1.0 MHz，表示 TWIM foE 在全球觀測結果低估約 0.5MHz 至 1MHz 之間，而有利用經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析所得 TWIM 的 foE 則大幅改進。

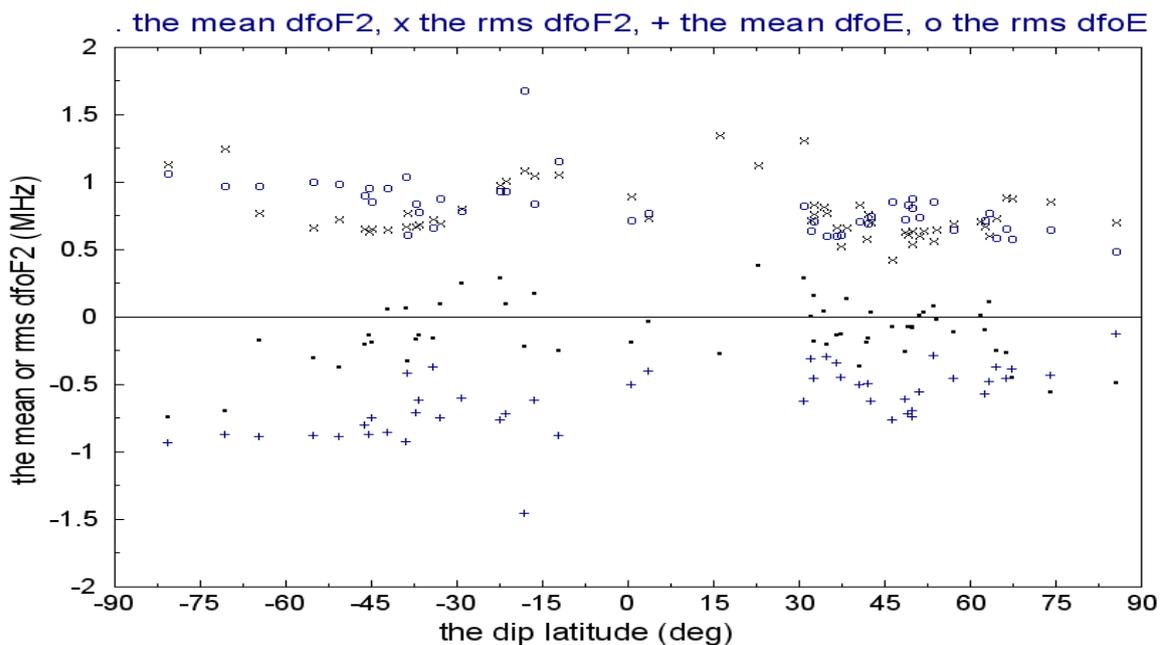


圖 3.13. 無利用經驗正交函數分析，全球不同緯度上 TWIM 與電離層觀測儀(ionosonde)之 foF2 與 foE 的平均誤差與均方根誤差結果圖。

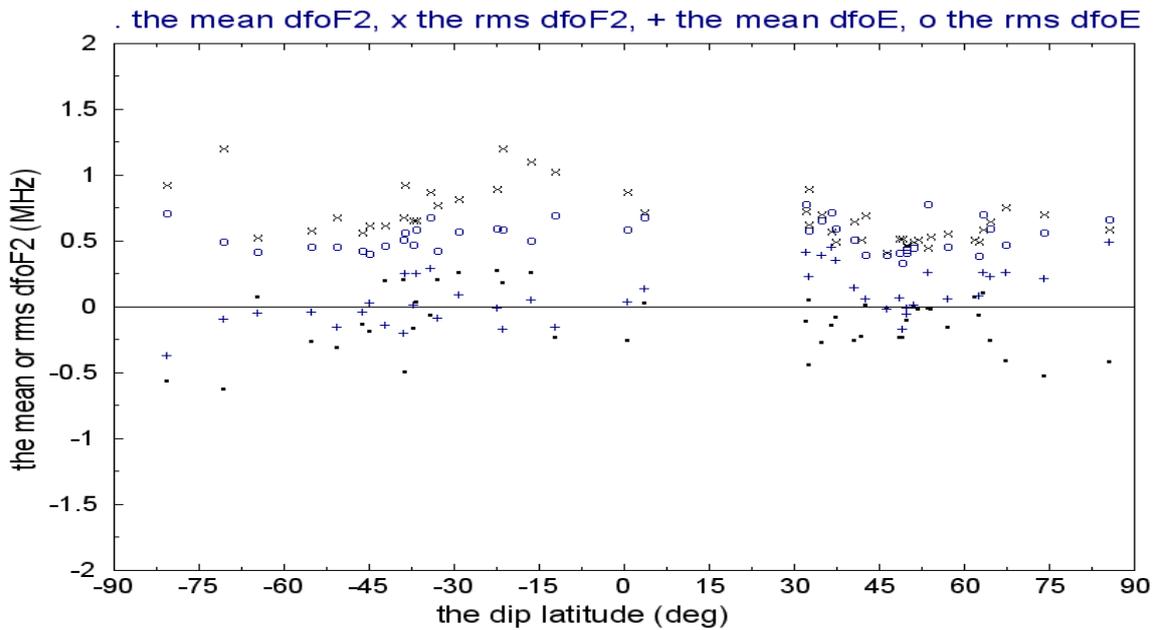


圖 3.14. 有利用經驗正交函數分析，全球不同緯度上 TWIM 與電離層觀測儀(ionosonde)之 foF2 與 foE 的平均誤差與均方根誤差結果圖。

### 3.3 加入全球電離層觀測資料，用以改進臺灣自主電離層數值模式(TWIM)

臺灣自主電離層監測模式(the TaiWan Ionospheric Mode 1, TWIM)是由計畫主持人於 2009 年所開發制作，利用我國福衛三號 FormoSat-3/COSMIC 中 GPS 掩星觀測所提供的垂直電漿剖面資料所製作出的監測模式 (numerical model)，為純粹採用實際觀測資料所製成的經驗模式 (empirical model)，可提供從 2007 年至今全球電離層 D、E、F1、F2 層的相關資料。TWIM 可以隨使用者的需求，提供不同時間及空間的電離層各層峰值 (peak) 之電漿頻率、峰值高度、以及其標尺高等數值，以作為實際三維電離層電子密度環境的參考；經簡化的計算量能快速且方便使用於其他應用上，如波傳播預測、電離層斷層掃描...等電離層基礎研究資料。

TWIM 方法：適時性二維球面諧波 + 垂直雀普曼(Chapman)函數模式

我們可由福衛三號 GPS 掩星觀測反演的電離層垂直電子密度資料，利用雀普曼函數做配

適，其中雀普曼函數是單純表示電離層光化學離化結果的表示式，先以雀普曼函數對濃度最大高度進行配適，由其配適的結果與原反演的電離層垂直電子密度資料相扣，若掩星觀測對配適結果在某高度有明顯的高於時，則再對此高度進行再次配適，並以高度區間來定義此次配適結果為何層。相關雀普曼函數對垂直電子密度配適公式如下：

$$N_e(\theta, \lambda, h, t) = \sum_{i=1}^n N_{e_{\max}}(\theta, \lambda, t) \times e^{\frac{1}{2} \left( 1 - \frac{h-h_m(\theta, \lambda, t)}{H(\theta, \lambda, t)} - e^{-\frac{h-h_m(\theta, \lambda, t)}{H(\theta, \lambda, t)}} \right)}$$

透過數值分析計算，我們可以得到電離層電子密度隨高度的分佈，至少分為四個層次：F2層、F1層、E層、D層。其中上公式  $n=4$  分別代表電離層 F2, F1, E層和 D層，而  $N_{e_{\max}}()$ ,  $h_m()$ , 和  $H()$  分別代表電離層各層次中臨界電子密度, 高度, 與電離層尺度高度函數。因此我們可由福衛三號 GPS 掩星觀測反演電離層垂直電子密度資料，經過雀普曼函數配適分析，可得到該觀測 12 個電離層參數 ( $foF2$ ,  $hmF2$ ,  $HF2$ ,  $foF1$ ,  $hmF1$ ,  $HF1$ ,  $foE$ ,  $hmE$ ,  $HE$ ,  $foD$ ,  $hmD$ , and  $HD$ ) 資料。

在垂直電子密度雀普曼函數配適分析後，以 TWIM 中所得到的資料，再加入全球近 60 站電離層觀測儀的觀測結果，對 TWIM 與全球近 60 站電離層觀測儀的  $foF2$  與  $foE$ ，我們進行相關電離層參數 (如  $foF2$ ,  $hmF2$ ,  $HF2$ ,  $foF1$ ,  $hmF1$ ,  $HF1$ ,  $foE$ ,  $hmE$ ,  $HE$ ,  $foD$ ,  $hmD$ , and  $HD$ ) 二維全球分佈分析，我們可透過相關數值映射 (numerical mapping) 分析，使用變數分離與 Gram-Schmidt 正交化過程得到的 Laplace 方程式解為 spherical harmonics 方程式：

$$U_{nm}(\theta, \lambda) = \sqrt{\frac{2n+1}{2\pi} \frac{(n-m)!}{(n+m)!}} P_n^m(\cos \theta) \cos m\lambda, \text{ and}$$

$$V_{nm}(\theta, \lambda) = \sqrt{\frac{2n+1}{2\pi} \frac{(n-m)!}{(n+m)!}} P_n^m(\cos \theta) \sin m\lambda$$

$$(n = 0, 1, 2, \dots; m = 0, 1, 2, \dots),$$

上式中， $m$  為級數 (order);  $n$  為次數 (degree)。各層參數在二維經緯度上的變化可用  $U_{nm}(\theta, \lambda)$  與  $V_{nm}(\theta, \lambda)$  來表示，而其中  $P_n^m$  即為 Legendre 正交序列多項式。在本計畫中，我們使用  $\cos \lambda$  形式之多項式配適 (fitting) 能將資料均勻地從赤道拉到極區之效用，而資料以  $\cos \lambda$  (非  $\lambda$ ) 的形式將能更均勻地分佈。此外，在  $\lambda$  高次時有較大的絕對值，因此以  $\lambda$  表示

之多項式在極區比在赤道來的不穩定；相比之下，以  $\cos \lambda$  表示的多項式可減少最大誤差，而且在靠近極區與赤道時，有著相同的穩定度，因此我們在做多項式配適時採用  $\cos \lambda$  函數而非  $\lambda$  函數。多次利用 FORMOSAT-3 /COSMIC 資料分析，我們得到級數為 3 以及次數為 40 之最小平方近似多項式配適經驗值。此經過垂直雀普曼函數式配模分析與電離層各層參數適時性二維球面諧波數值映射分析後，TWIM 即可以提供全球三維電離層電子密度分佈模式。

事實上電離層電子密度與電漿頻率可表示為：

$$f_p^2 = \frac{N_e e^2}{4\pi^2 m \epsilon_0}$$

其中  $N_e$  為電子密度， $e$  為電荷， $m$  為電子質量(Kg)， $\epsilon_0$  為介電係數(F/m)，將  $e=1.602 \times 10^{-19}$  庫倫， $m=9.107 \times 10^{-31}$  公斤， $\epsilon_0=8.854 \times 10^{-12}$  代入可得

$$f_p^2 = 80.62 N_e$$

在時間類型上 TWIM 主要分為以全球標準時間 (UT) 類型或以全球相同當地時間 (LT) 類型，在此兩種時間類型下，TWIM 皆提供了電離層 D、E、F1 及 F2 各層之峰值電漿頻率 ( $f_c$ )、峰值所在高度 ( $hm$ ) 及標尺高 ( $H$ ) 等三項參數。本計畫已完成全球三維 TWIM 使用平台：<http://isl.csr.sr.ncu.edu.tw>(參考圖 3.15)，可以隨使用者的需求，提供不同時間及空間尺度的全球三維電離層電漿頻率分佈、各層峰值 (peak) 之電漿頻率、峰值高度、以及其標尺高等數值，以作為實際電離層環境的參考；經簡化的計算量能快速且方便使用於其他應用上，如波傳播預測、電離層斷層掃瞄…等，並利用此全球電離層模式決定點對點中高頻無線電通訊最高可用頻率(MUF)與最低可用頻率(LUF)。

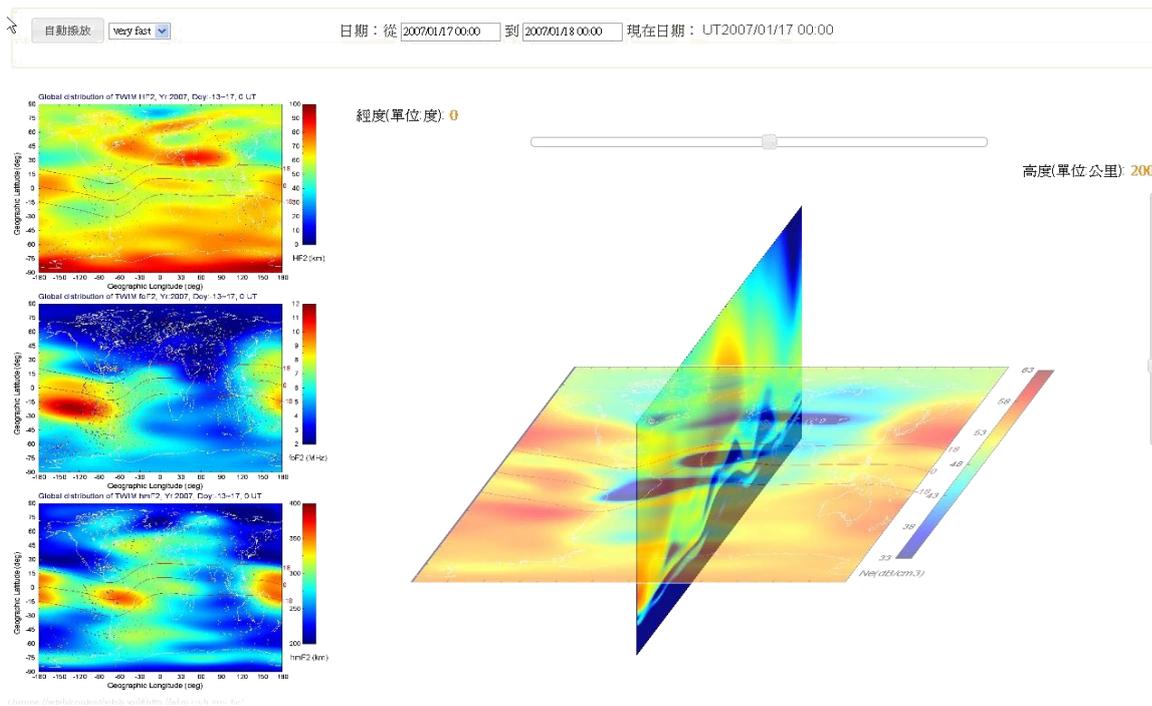


圖 3.15. 全球三維 TWIM 使用平台：<http://isl.csr.sr.ncu.edu.tw>，可以隨使用者的需求，提供不同時間及空間尺度的電離層三維電漿頻率分佈、各層峰值（peak）之電漿頻率、峰值高度、以及其標尺高等數值

### 3.4 電離層監測模式 TWIM 應用於無線電波傳播途徑分析

電離層監測模式 TWIM 應用於無線電波傳播途徑分析基本理論最主要架構在一地面發射站發射高頻電波至電離層後，經電離層反射至地面，而被中大電離層動態式接收儀所接受的電波而討論。這也就是一次回波機制的地面發射站定位測量。若有多次回波的情形，可依照一次回波定位的理論再加以重複推演得到，然而二次或者多次回波定位，它的地面發射站定位誤差會隨著回波機制的次數而增加。本研究計畫將於已知國際高頻信號標無線電波發射站位置、無線電波頻率、電波發射方位角與仰角、與電波極化(正常極化波或異常極化波)，分析得到不同電波傳播途徑，同時也可經無線電波測量波臨角(Angle of Arrival, AOA)反推無線電波發射站位置。如圖 3.16 所示，頻率 6.5 兆赫無線電波於不同仰角與不同極化波(白色為正常極化波傳播途徑，黑色為異常極化波傳播途徑)，所得不同電波傳播三維途徑。無線電波傳播途徑分析若配合定頻都卜勒探測系統做為參考發射站位置，途徑分析將更為準確。另一實例分析~20 MHz 特定頻率環境電波觀測所得電波方位角分析資料，電波發射方位角

( $300^\circ$ )與仰角( $15^\circ$ )，於已知時間(2011年4月23日4:30 UT)與當時TWIM全球電離層監測模式，經過無線電波傳播路徑分析，所得無線電波傳播路徑俯視圖(圖3.17)、無線電波傳播路徑緯度側視圖(圖3.18)、與無線電波傳播路徑緯度側視圖(圖3.19)。

無線電波發射站的定位研究常使用的另一項技術是兩站法，所謂的兩站法是利用不同觀測系統分別觀測同一地面發射站之水平方位角，利用在空間分佈上兩個不同點的回歸線(水平方位角觀測)交叉至一目標位置，用來找到無線電波發射站的位置。利用兩站法來測量發射站位置的系統，功能上需要有無線電波方位角測量的功能，在超高頻率以上範圍可以有特殊天線來測量方位角，然而在高頻或中頻率範圍上因波長過長，則需要陣列天線以及多接收機的系統功能。同時方位角測量的精確度決取於系統的精密度及信號處理的解析度，比如說方位角的解析度誤差越大，定位的誤差也就越大。一般傳統類比式的電離層觀測儀並無陣列天線及多接收機的功能，所以也沒有電波測相的功能，而數位電離層探測儀，當它信號數位處理解析度不夠，比如說以8bit為例，方位角測量的誤差常達到20個degree的範圍，以尋求一個1000公里傳播距離的地面發射站來說，它的誤差達到1000公里 $\times$ 0.35，也就是350公里的誤差，此時它的定位效果不切實際。所以我們特別提到兩站法的定位觀測，常尋求於幾個要素，第一必須有多天線多接收機，另外一方面必須有系統的高精密度以及信號處理的高解析度功能才能提供很好的定位效果。在進一步方面，本研究計劃找出中高頻通訊中地面通訊源(發射站)定位方法與相關確切程序，地面通訊源定位研究中將以定頻都卜勒探測系統做為參考發射站位置，該系統包含三個發射站分別為台北、苗栗、及花蓮，同時使用兩個頻率組(頻率分別為 $\sim 5.2$ 及 $\sim 7.8$ 兆赫)，該系統可藉由不同發射站的空間關係，提供地面通訊源(發射站)定位研究的已知發射站參考位置。

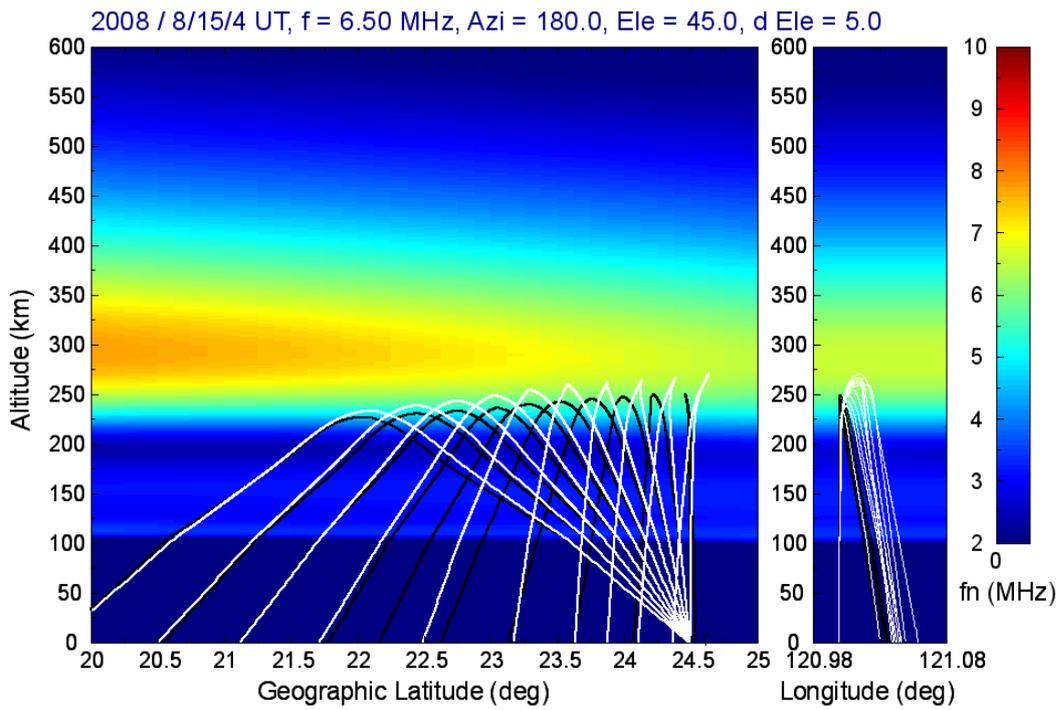


圖 3.16. 頻率 6.5 兆赫無線電波於不同仰角與不同極化波(白色為正常極化波傳播途徑，黑色為異常極化波傳播途徑)，所得不同電波傳播三維途徑

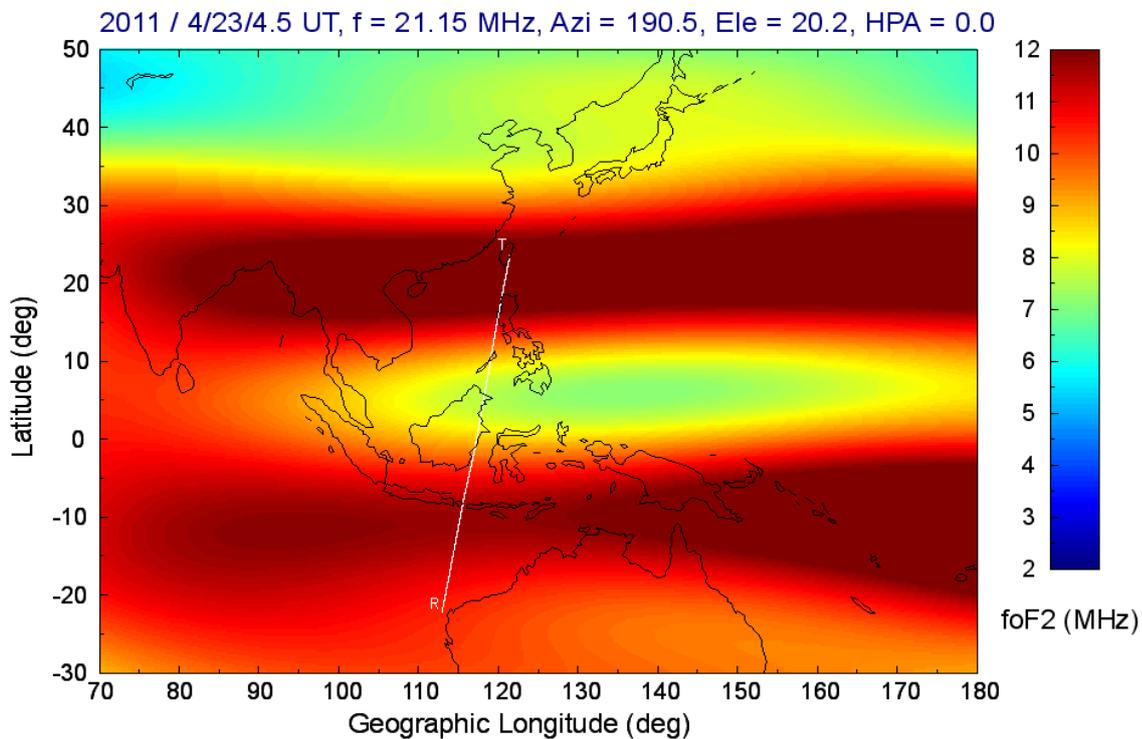


圖 3.17. 21.15 MHz 無線電波發射站定位分析實例：無線電波傳播路徑分析俯視圖，背景顏色表示電離層 F 層臨界頻率值。

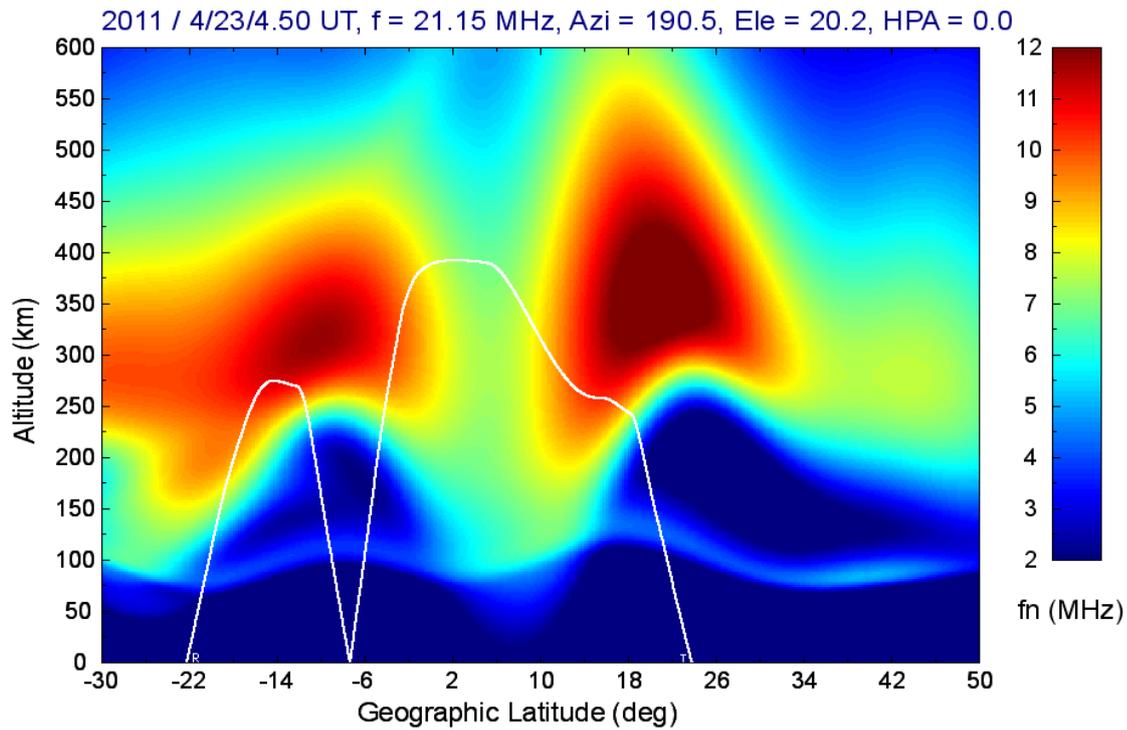


圖 3.18. 21.15 MHz 無線電波發射站定位分析實例：無線電波傳播路徑分析緯度側視圖，背景顏色表示電離層電漿頻率值。

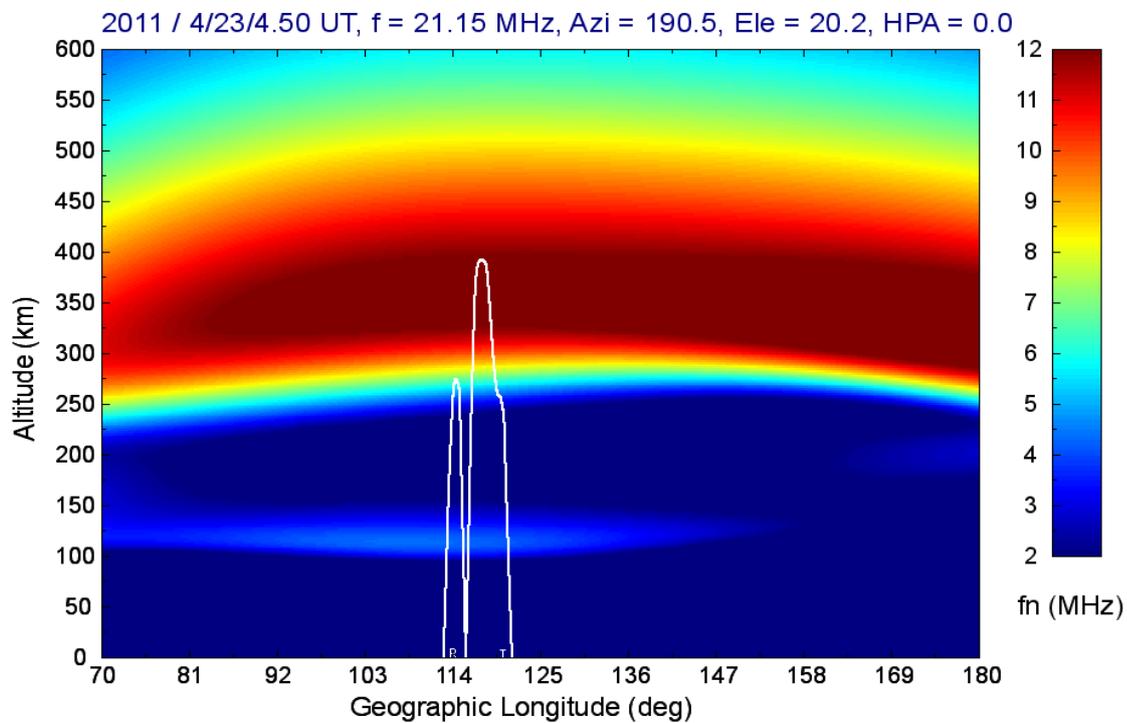


圖 3.19. 21.15 MHz 無線電波發射站定位分析實例：無線電波傳播路徑分析經度側視圖，背景顏色表示電離層電漿頻率值。

## References:

- Tsai, L.-C. and W. H. Tsai (2004), Improvement of GPS/MET ionospheric profiling and validation with Chung-Li ionosonde measurements and the IRI, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* (SCI Journal), 15 (4), 589-607.
- Tsai, L.-C., W. H. Tsai, J. Y. Chou, and C.H. Liu (2006), Ionospheric tomography of the reference GPS/MET experiment through the IRI model, *TAO* (SCI Journal), 17(1), 263-276.
- Dmitriev, A.V., L.-C. Tsai, H.-C. Yeh, C.-C. Chang (2008), COSMIC/FORMOSAT-3 tomography of SEP ionization in the polar cap, *Geophysical Research Letters* (SCI Journal), Vol. 35, L22108, doi:10.1029/2008GL036146.
- Tsai, L.-C., C.H. Liu, and T. Y. Hsiao (2009), Profiling of ionospheric electron density based on the FormoSat-3/COSMIC data: results from the intense observation period experiment, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* (SCI Journal), 20, 181-191, doi: 10.3319/TAO.2007.12.19.01(F3C).
- Tsai, L.-C., C.H. Liu, T. Y. Hsiao, and C. C. Chang (2009), Maps of the ionospheric F2-layer characteristics derived from GPS radio occultation observations, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* (SCI Journal), doi:10.3319/TAO.2008.07.07.02(AA).
- Tsai, L.-C., C. H. Liu, T. Y. Hsiao, and J. Y. Huang (2009), A near real-time phenomenological model of ionospheric electron density based on GPS radio occultation data, *Radio Science* (SCI Journal), 44, doi:10.1029/2009RS004154.
- Tsai, L.-C., C. H. Liu, and J. Y. Huang (2010), Three-dimensional and numerical ray tracing on a phenomenological ionospheric model, *Radio Science* (SCI Journal), 45, doi:10.1029/2010RS004359.
- Tsai, L.-C., K. Kevin Chang, and C. H. Liu (2011), GPS radio occultation measurements on ionospheric electron density from low Earth orbit, *Journal of Geodesy* (SCI Journal), doi:10.1007/s0019001104769.
- 陳冠宏, 吳究, 蔡龍治, 陳揚仁 (2011), 改良式模稜函數法應用於台灣地區GNSS定位研究, submitted to 地籍測量學會會刊.
- Macalalad, E. P., L.-C. Tsai, J. Wu, C.H.Liu, Application of the TaiWan Ionosphere Model to Single-Frequency Ionospheric Delay Corrections for GPS Static Point Positioning, submitted to GPS solution.

#### 四、結語

1. 模式發展方面：建立與改進台灣第一套全球大尺度電離層數值模式，the TaiWan Ionospheric numerical Model(TWIM)，以即時監測並研究電離層全球的動態變化，對於提供無線電通訊、近太空環境監測與研究、與發展全球高頻電波最大通訊頻率的即時預報，有極大的助益。此計畫研究結果，所得foF2與foD臨界電漿頻率數值映射分析結果，可應用於長距離高頻通訊最高可用頻率(MUF) 與最低可用頻率(LUF)初始估計。
2. 國際合作：本計畫更將運用觀測期電離層參數映射資料進行相關全球數值分析改良國際電離層參考模式 (the International Reference Ionosphere (IRI) Model) 中F2 層臨界頻率 (foF2)，F2 層臨界頻率高度 (hmF2) ，E 層臨界頻率(foE)，與E 層臨界頻率高度 (hmE) 全球數值分佈表。
3. 資料推廣方面：建立福衛三號電離層觀測、及TWIM數值模式資料與應用平台 (<http://isl.csrsl.nctu.edu.tw/>)，該資料平台亦加入國科會太空資料中心。

#### 五、自評表

原規劃目標	完成與否	說明
經驗正交函數(EOF)分析，挑選正常垂直電子密度資料用以進行全球電離層三維模式分析	完成	持續測試FormoSat-3/ COSMIC掩星觀測垂直電子密度分佈相關經驗正交函數分析
加入全球電離層觀測資料，用以改進臺灣自主電離層數值模式(TWIM)	完成	以 TWIM 中所得到的資料與全球近 60 站電離層觀測儀的觀測結果做比較，以全球近 60 站電離層觀測儀的 foF2 與 foE 觀測結果為基準，對 TWIM 的 foF2 與 foE 進行平均誤差與均方根誤差平均計算
建立高頻天波傳播途徑評估	完成	完成高頻天波傳播途徑並已上平台，提供使用者線上操作。

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(4.2)：台灣自主的電離層數值模式(第二版)報告(III)

期末報告計畫名稱：以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技

術發展：建置台灣自主的電離層數值模式

執行期間：2012/02/18~2013/02/17

分項工作管理人：陳明桂

參與人員：

中 華 民 國 1 0 2 年 2 月

## 一、摘要

本計畫利用 FORMOSAT-3 觀測之掩星全電子含量(Occultation TEC, OTEC)於全球高層大氣環流理論模式(TIE-GCM)，建構低緯度地區之台灣自主電離層數值模式，以呈現上空電離層的電子濃度分布。TIE-GCM 由美國 NCAR/HAO 發展，是一個具自恰性的理論模型，它包含熱氣層與電離層之電動耦合作用，可用來探討熱氣層與電離層的動態特性。此理論模型可以依實際的一些物理參數與低層、高空的邊界條件來模擬動態的電離層與熱氣層。由全球定位系統 GPS 衛星與低軌道衛星 LEO 兩者間所形成的電波星蝕現象，可觀測在電波路徑上的電離層全電子含量，我們結合全電子含量資料與 TIE-GCM 理論模型來進行電離層電子濃度之資料同化與模擬。

資料同化的進行是以類似 4 維變分資料同化法(4DVAR data assimilation method)，將 FORMOSAT-3 掩星全電子含量(OTEC)同化於全球高層大氣環流模型(TIE-GCM)求得最佳模式參數，建構符合觀測資料的電離層模式。由於掩星路徑如果經過電離層 F 層，則其 OTEC 最主要的電子含量是來自 F 層的高電子密度分布。我們選用日間 FORMOSAT-3 觀測資料，其掩星切點高度在 F 層區且位置在低緯度區的 OTEC 資料，同化求得最佳化之太陽 EUV 強度參數與下邊界之大氣全日潮與半日潮參數，建構自主的資料同化電離層模式，用以提供比原先 NCAR/HAO 之 TIE-GCM 更準確的數值模擬，作為往後建構電離層天氣現報模式的基礎。

## 二、前言

FORMOSAT3/COSMIC 觀測之 OTEC 資料是用經過矯正的兩種頻率( $f_1$ ,  $f_2$ )GPS 訊號，其超前相位量(excess phase)  $S_1$ ,  $S_2$  計算得到，其計算公式如下：

$$TEC = \frac{|S_1 - S_2| f_1^2 f_2^2}{40.3(f_1^2 - f_2^2)}, \quad f_1 = 1.5754GHz, \quad f_2 = 1.2276GHz$$

其對應的 TIE-GCM 之掩星 OTEC，則是計算 GPS 至 LEO 衛星直連線上經過

模式電離層之總含量。

在理論模式中的物理參數，如 EUV 的輻射量、下邊界條件的大氣潮汐參數，是本資料同化法之電子濃度分佈變分的控制參數，進行同化資料變分的方式是調整這些模式控制參數，找出最小量的“cost function”之最佳參數。各個參數除了會改變 TIE-GCM 模式的電子濃度大小外，也會改變電離層 F 層最大電子濃度的高度，為了提高資料同化的效益，本研究定義了兩種 cost function，分別調整觀測與模式之間 OTEC 的差( $J_1$ )以及觀測與模式間 OTEC 剖面最大值高度的差( $J_2$ )。其定義分別如下：

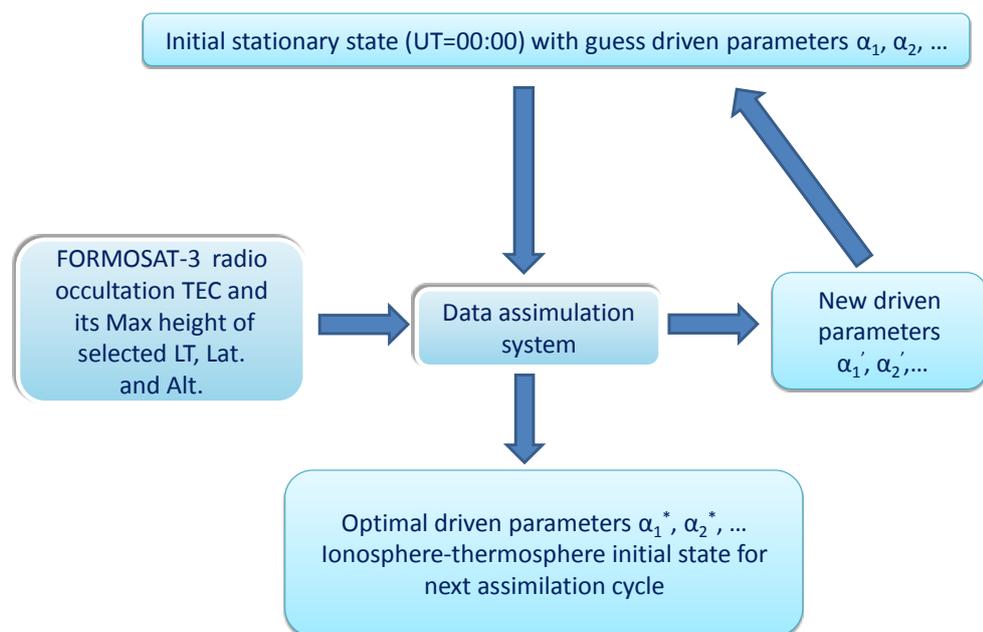
$$J_1[n_e(n_0, \alpha)] = \sum_{t_k} \sum_{\theta_k} \sum_{\varphi_k} \sum_{h_k} [TEC_{TIE-GCM}(n_e(n_0; \alpha), \theta_k, \varphi_k, h_k, t_k) - TEC_{calibrated\_COSMIC}(\theta_k, \varphi_k, h_k, t_k)]^2$$

$$J_2[n_e(n_0, \alpha)] = \sum_{t_k} \sum_{\theta_k} \sum_{\varphi_k} [OTE C\_Mh_{TIE-GCM}(n_e(n_0; \alpha), \theta_k, \varphi_k, t_k) - OTE C\_Mh_{calibrated\_COSMIC}(\theta_k, \varphi_k, t_k)]^2$$

其中  $OTE C\_Mh$  代表 OTEC 剖面中最大值之高度， $t_k$  為掩星發生的時間，而從低軌道衛星(LEO)至 GPS 做直線的切點(此直線距地球最近點)之座標緯度  $\theta_k$ 、經度  $\varphi_k$ 、高度  $h_k$  標示每一個掩星的觀測路徑， $n_0$  代表模式的初始電子濃度分佈， $\alpha$  為可調整之模式參數。由於初始電子濃度分佈  $n_0$  亦為模式參數  $\alpha$  作用下的穩定態電子濃度分佈，因此我們將 cost-function 表示為模式參數  $\alpha$  的函數  $J_{1,2} = J_{1,2}(\alpha)$ ，而原本為 4-維電子濃度分佈的變分，以模式參數  $\alpha$  作為變分的控制參數來取代。

TIE-GCM 模式之 EUV 輻射量與大氣潮汐等參數的改變，相當容易影響 F 層的電子濃度分布，其中 EUV 參數的改變對於 F 層的電子濃度分布造成非常顯著的影響。若同化 FORMOSAT-3 觀測之低層 OTEC 資料(100-150 km) 搜尋最佳化參數(如：EUV)，則因下層 OTEC 資料必定包含 F 層區域上的電

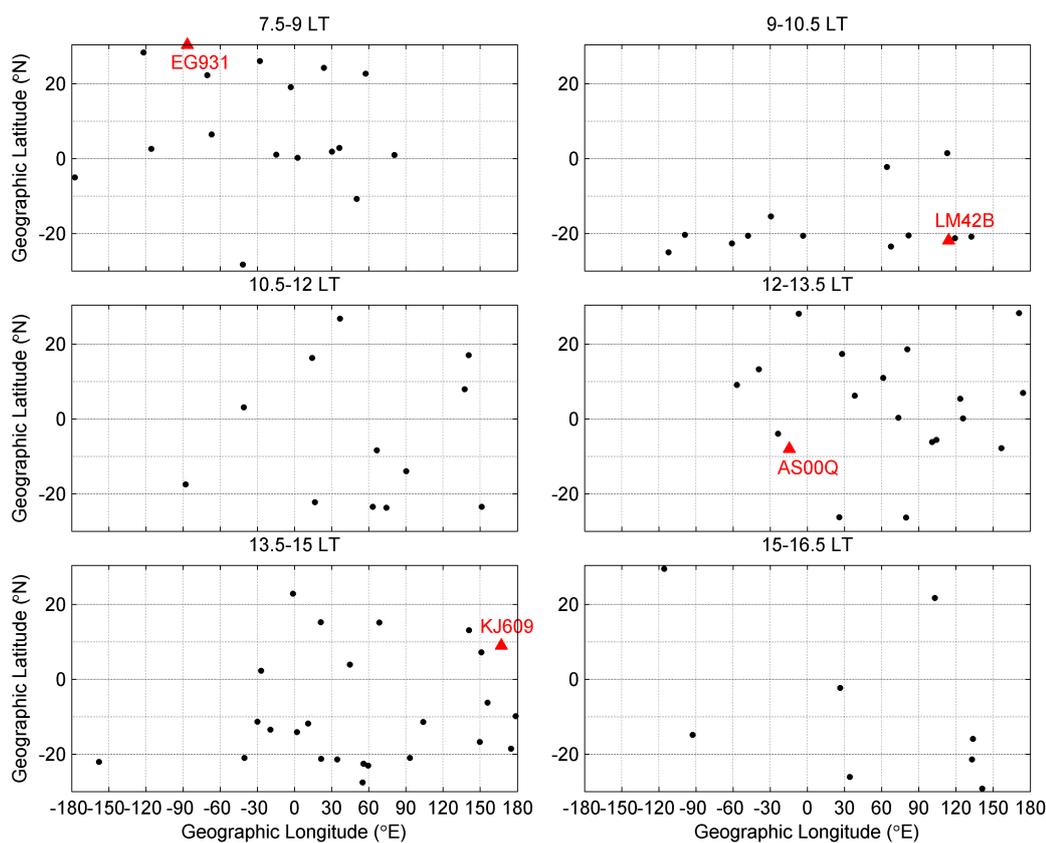
子濃度，因此改變的模式高層電子濃度，會造成模式 OTEC 與觀測 OTEC 之主要差異，無法同化低層 OTEC 資料達到參數最佳化。目前對於 OTEC 資料的同化，我們選用其切點高度範圍為 250-450 km，位置分布限制在低緯度區(南北緯 30 度之間)，掩星發生的當地時間限制為 07:00~17:00LT 之間。本次報告將針對 2008 年春分(第 80 日，處於地磁寧靜日)進行資料同化，經由調整 TIE-GCM 模式的參數，建構低緯度區的電離層模式。FORMOSAT-3 掩星資料同化於 TIE-GCM 模式的方法流程，如圖一所示。



圖一、FORMOSAT-3 掩星資料同化於 TIE-GCM 模式的方法流程。

### 三、 成果報告

本報告以 2008 年第 80 日作為構造資料同化電離層模式為範例，進行 FORMOSAT-3 資料的同化流程。所選用的資料，依據 GOX 提供的各掩星反掩剖面，最大電子濃度位置分布，示於圖二。為方便比較各區段內 FORMOSAT-3 觀測與資料同化前後 TIE-GCM 模式的電子濃度剖面差異，我們依資料點之當地時間，從 7 點 30 分至 16 點 30 分，每間隔一個半小共分成 6 個時段。將資料分布位置，由緯度  $-30^{\circ}$  N 至  $30^{\circ}$  S，每間隔  $10^{\circ}$  共分成 6 個區域。圖中之紅色三角形標誌，為各區域與時段之 ionosonde 站分布，其位置座標列於表一。表二為掩星全電子含量資料同化之各步驟的數據。首先，我們增加模式 EUV 第 16~37 個波段之輻射量為 1.09 倍以降低 OTEC 的 cost function  $J_1$ ，其次搜尋大氣日潮(Hough mode (1,1))與半日潮(Hough mode (2,2))的相位，調整 OTEC 剖面之最大值高度 cost function  $J_2$ ，雖然此步驟相對於前一步驟  $J_2$  大幅降低， $J_1$  卻也顯著地增加。因此我們再利用大氣日潮(1,1)與半日潮(2,2)的振幅來降低  $J_1$ ，但為了避免  $J_2$  同時劇烈地增加，此步驟我們限制  $J_2$  相對於前一步驟，其增加幅度小於 3%。



圖二、2008 年第 80 日所選用的 FORMOSAT-3 資料之最大電子濃度切點分布(黑點)，紅色三角形為用來比較資料同化結果的 ionosonde 站分布。

URSI code	Station Name	Latitude (° N)	Longitude (° E)
<u>LM42B</u>	Learmonth	-21.80	114.10
<u>AS00Q</u>	Ascension Island	-7.95	-14.40
<u>KJ609</u>	Kwajalein	9.00	167.20
<u>EG931</u>	Eglin AFB	30.50	-86.50

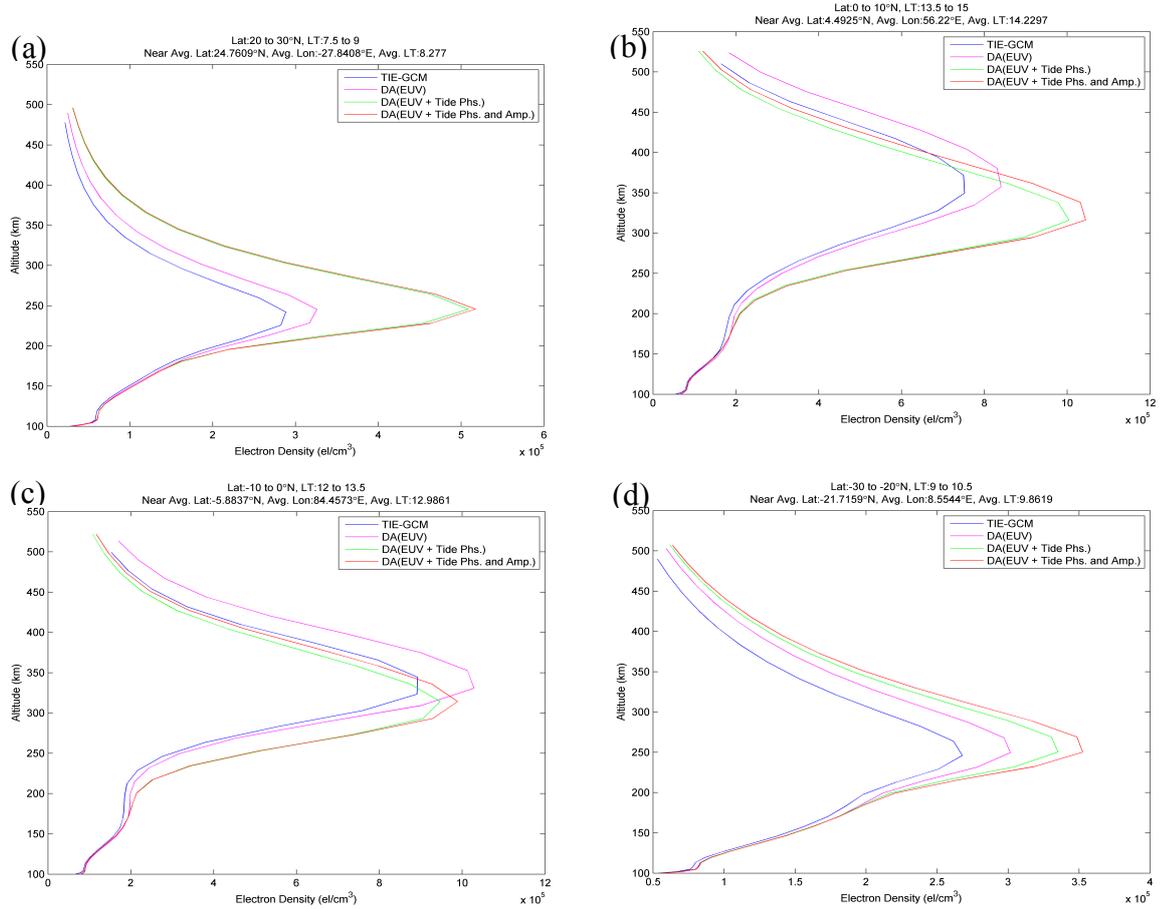
表一、ionosonde 站之經緯度.

TIE-GCM 模式	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	最佳化參數
原始 TIE-GCM 模式	27409065	182890	
EUV 輻射量	<b>20283320</b>	207978	增加 1.09 倍
大氣日潮(1,1)與半日潮(2,2)	29555925	<b>158450</b>	日潮相位: 7.5hr
Hough mode 相位			半日潮相位: 5.33hr
大氣日潮(1,1)與半日潮(2,2)	<b>26275277</b>		日潮振幅: 30m
Hough mode 振幅	<b>(限制 J2 增加 約 3%)</b>	163790	半日潮振幅: 200m

表二、掩星資料同化之最佳化參數值與 cost function 值

為以探討不同參數變化之效應，我們選 4 個區段(a: Lat. 20~30° N, LT 7.5~9hr; b: Lat. 0~10° N, LT 13.5~15hr; c: Lat. -10~0° N, LT 12~13.5; d: Lat. -30~-20° N, LT 9~10.5)，用圖二顯示其各同化步驟之模式垂直電子濃度剖面的比較，圖中各曲線代表模式垂直電子濃度，位在最接近該區段之資料平均經、緯度之位置(FORMOSAT-3 資料提供)，和落在最接近其平均當地時間的時刻。在第一次的同化步驟得最佳化 EUV 參數後，四區段剖面之 F 層的電子濃度皆增加。而最佳化大氣潮汐相位參數後(第二同化步驟)，除了(c)區段在 F 層的最大電子濃度(nmf2)下降之外，其他區段都增加。由於此參數

是調整 cost function  $J_2$ ，我們可以看到(b)和(c)區段之最大電子濃度的高度(hmf2)有明顯的下降，而(a)和(d)區段其高度變化則較小。第三次同化步驟之最佳化大氣潮汐振幅參數模式，造成四個區段的 nmf2 皆增加。

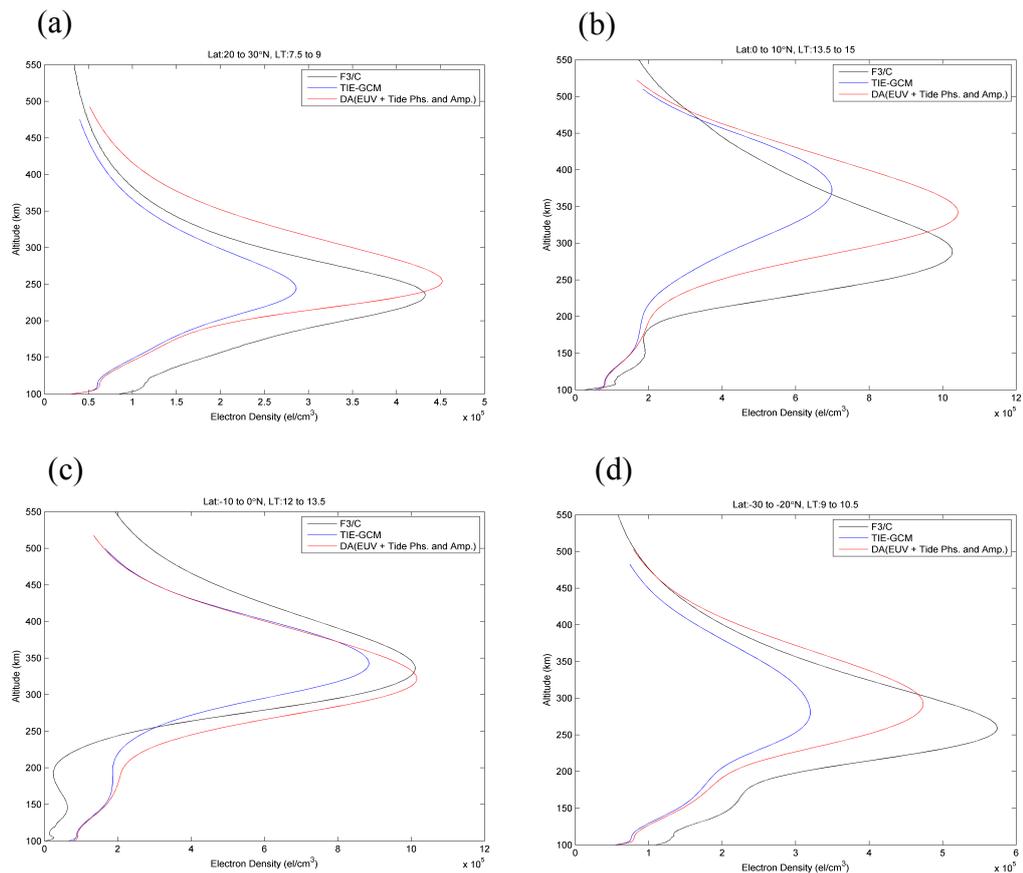


圖三、4 個區段(a: Lat. 20~30° N, LT 7.5~9hr; b: Lat. 0~10° N, LT 13.5~15hr; c: Lat. -10~0° N, LT 12~13.5; d: Lat. -30~-20° N, LT 9~10.5)各同化步驟之模式垂直電子濃度剖面比較。各曲線代表同化模式的結果，分別為：原始 TIE-GCM(藍),最佳化 EUV 參數模式(紫),最佳化大氣潮汐相位參數(綠),最佳化大氣潮汐振幅參數(紅)。各圖之標題上標示該區段之平均經、緯度與平均發生當地時。

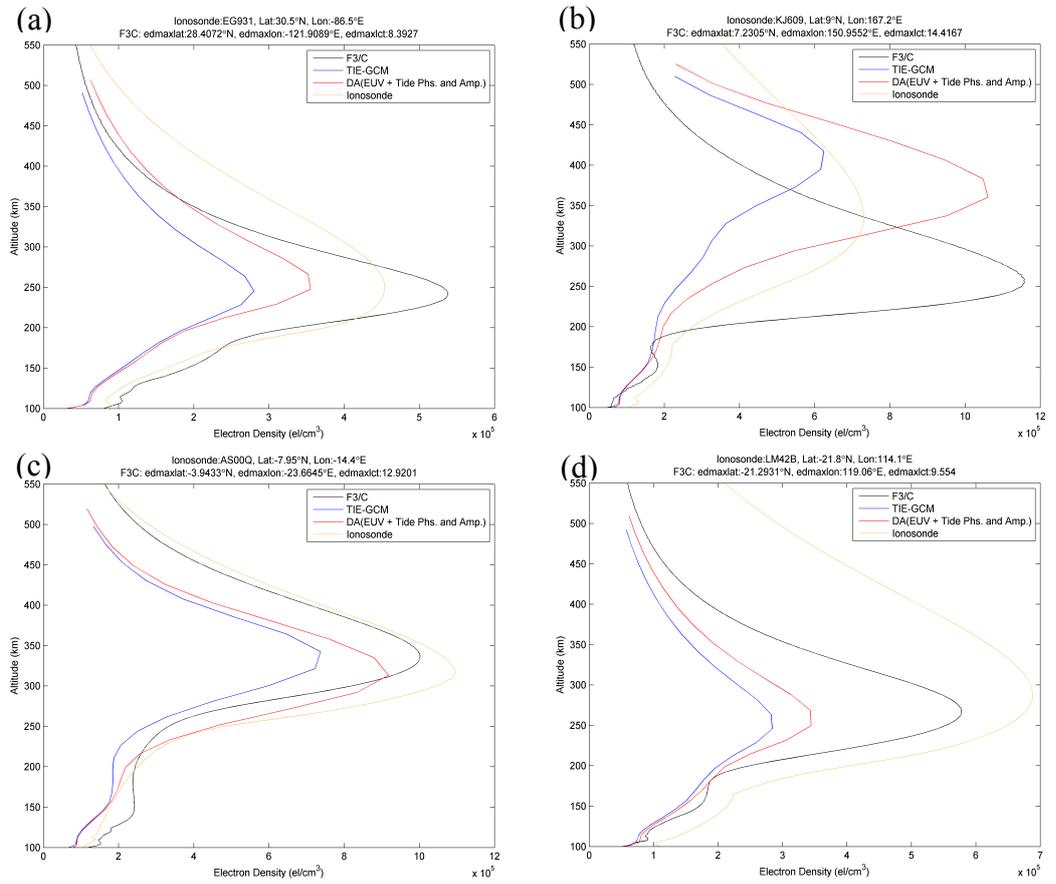
圖四呈現上述四個區段內 FORMOSAT-3 觀測反演電子濃度剖面(黑)、對應位置之原始 TIE-GCM(藍)和同化模式(紅)的平均電子濃度分布。可以看到同化模式在此四個區段的 nmf2 相較於原始 TIE-GCM 模式，同化模式的結果都明顯地靠近福衛三號資料。同化模式於(a)、(c)和(d)三個區段與 FORMOSAT-3 資料之 hmf2，其平均有些許的差異(<50 km)，而在(d)區段雖然兩者平均 hmf2 的差異較大，但相較於原始 TIE-GCM 模式的模擬結果亦有明顯的靠近觀測反演結果。

除了與 FORMOSAT-3 的觀測比對外，我們也將結果比對 ionosonde 資料。目前使用的 ionosonde 資料皆是 **auoto-scaled** 資料，圖五為此四個區段

電子濃度剖面的比較結果。圖中顯式的模式電子濃度剖面，其位置是取最接近 ionosonde 觀測站位置之模式格點，圖中黑色曲線是 FORMOSAT-3 資料在四個區段內之 ionosonde 位置附近的電子濃度剖面，ionosonde 觀測與模式電子濃度剖面(其當地時間為最接近 FORMOSAT-3 觀測)。其顯示(a)、(c)和(d)三個區段，同化模式正確地改進了 F 層的電子濃度分布，其中(c)區段的電子濃度剖面與 ionosonde 觀測最為接近，而(d)區段則顯示模式 F 層電子濃度仍明顯地不足。另外，在(b)區段同化模式的 F 層電子濃度明顯高估於 ionosondes 資料，但由於 ionosonde 資料為 auto-scaled，其準確度仍有待評估。此外最佳化之大氣潮汐參數，所造成模式之中性大氣風場的變化，亦有待與其他觀測資料比較。目前由於缺乏觀測，本報告無法作進一步的討論。



圖四、各區段內 FORMOSAT-3 觀測反掩的平均電子濃度剖面 (黑)、對應之原始 TIE-GCM 模式和最佳化參數模式(紅)三者之比較。



圖五、各區段之 ionosonde 電子濃度剖面(橘)、最接近 ionosonde 站格點之原始 TIE-GCM 模式(藍)與搜尋最佳化大氣潮汐振幅參數後(紅)和 ionosonde 附近的 FORMOSAT-3 電子濃度剖面(黑)。Ionosonde 觀測與模式電子濃度剖面的當地時間為最接近 FORMOSAT-3 當地時間之時刻。

#### 四、 結語

本計畫對於將同化福衛三號之掩星全電子含量同化於 TIE-GCM，完成第二版的資料同化電離層模式。此模式在地磁寧靜日時有效的降低低緯度區、日間 TIE-GCM 模式的模擬和 FORMOSAT-3 的觀測之間電子濃度分布的差異。同化模式的執行步驟已建立電腦流程，呈列於本報告之附錄。

#### 五、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
收集、整理FORMOSAT-3資料	完成	基於以資料同化法建置電離層數值模式，目前僅用 2008 年之第 80 日掩星資料收集與整理，以進行資料同化流程。
資料比對與篩選	完成	對於福衛三號之掩星全電子含量的觀測資料，依照連續觀測資料的連續性做資料的篩選，去除極度偏大的 OTEC 資料。
掩星數值模式建置	完成	目前的掩星同化系統建置比第一版本較準確的模擬電離層之 F2 層。
模式測試與檢驗	完成	第二版的同化模式已完成最佳化三種模式參數，太陽 EUV 輻射參數，模式下邊界之遷移性大氣潮汐，全日潮與第一膜的半日潮。
電離層數值模式上網執行	完成	完成上網執行同化流程，但由於同化模式過於複雜，最佳參數值的求得需大量的電腦運算時間。
數值模式執行結果比對	完成	進行同化的模式之電離層電子密度分布與 GOX 提供的資料比對，而且也與 ionosonde 觀測比對。

六、出國報告

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

「全球定位科學應用研究中心計畫」

出席國際學術會議報告

年 月 日

計畫名稱	全球定位科學應用研究委託案(3/3)	計畫編號	NSPO-S-101014
執行單位	國立中央大學-全球定位科學與應用研究中心(GPSARC)	出席人員	
會議時間 會議地點	年 月 日 至 月 日		
會議名稱	(中文) (英文)		
發表論文題目	(中文) (英文)		

報告內容應包括下列各項：

一、會議目的

二、參加會議經過

三、與會心得

四、建議

五、攜回資料名稱及內容

六、其他

附件一：論文摘要

## 附錄：同化模式電腦執行手冊

執行電腦程序的輸入範例與說明如下：

作業系統：LINUX Ubuntu

TIE-GCM 模式版本：TIE-GCM 1.92

### 一、前置作業

我們在進行 TIE-GCM 最佳化參數搜尋前，須先執行數個前置步驟，如：修改 TIE-GCM 模式程式碼，使我們能改變寫於 TIE-GCM 模式中的參數、取出模擬當日的 GPI 資料、轉換 F3/C ionPhs 檔案的資料為 ASCII 格式以及搜尋想要同化的 F3/C 資料等。這些前置作業執行後，我們即能對一個或數個模式參數，進行最佳化參數搜尋。

1. 修改 TIE-GCM 模式的原始碼 qrj.F。以提供 sfmin16\_37 檔案的方式，

調整模式中太陽 EUV 第 16 至第 37 個波段的參數值。修改方式如下：

- a. 開啟原始碼 qrj.F 檔案，在 init\_qrj 副程式480行之後，增加定義 f\_16\_37 變數，如下所示：

```
subroutine init_qrj
```

```
integer :: m,n
```

```
real ::f_16_37          !←增加此行
```

- b. 並在845行處增加以下程式碼（粗體字為增加的部份）：

```
|          1.27e+00, 2.04e+00, 4.11e+00, 5.70e+01, 1.78e+01,  
|          2.03e+01, 8.79e+01/)
```

```
! cmq modify 2011-01-27
```

```
open(unit=17, file='sfmin16_37')
```

```
read(17, *) f_16_37
```

```
close(17)
```

```
do n=16, lmax
```

```
sfmin(n)=sfmin(n)*f_16_37
```

```
enddo
```

```
! end modify
```

```
!
```

```
! transfer units of cross section to cm^2
```

因此，在執行模式的目錄下，提供 sfmin16\_37 檔案，即可調整太陽 EUV 第 16 至第 37 個波段的參數倍率。

2. 修改 TIE-GCM 模式的原始碼 oplus.F。以提供 oplus\_phi 檔案的方式，調整模式中上邊界條件之**日間與夜間的電漿傳輸量**。修改方式如下：

- a. 在約 888 行之後，增加以下程式碼(粗體字)：

```
real :: fen(lon0:lon1) ! was t5
```

```
real :: phid_123
```

```
real :: phin_123
```

```
real :: phid_fact
```

```
real :: phin_fact
```

```
open(unit=64319,file='oplus_phi')
```

```
read(64319,*) phid_fact
```

```
read(64319,*) phin_fact
```

```
close(64319)
```

```
phid_123=phid*phid_fact
```

```
phin_123=phin*phin_fact
```

b. 之後，在第 911 行修改其下兩行程式碼(粗體字為修改的部分)：

```
endif
```

```
fed(i) = phid_123*a(i)
```

```
fen(i) = phin_123*a(i)
```

```
if (chi(i,lat)-0.5*pi >= 0.) then
```

因此，在執行模式的目錄下，提供 oplus\_phi 檔案即可**改變電漿傳輸量的倍率**，oplus\_phi 檔案內第一行為**日間的傳輸量倍率**，第二行為**夜間的傳輸量倍率**。

### 3. 修改 TIE-GCM 模式的原始碼 util.F：

若作業系統為 LINUX Ubuntu，須修改 TIE-GCM 1.92 的原始碼 util.F，以確保編譯可順利完成。修改後的檔名存為 util-ubuntu-linux.F。修改之方式為：將 util.F 檔案內第 291、318、341、359、395、412 和 445 行中，大寫字母 LINUX 改為小寫字母 linux，例如：將第 291 行：**#elif LINUX** 改為 **#elif linux**。目前我們使用的 TIE-GCM 執行檔取名為 **tiegcm1-92-qrj\_cmq-sfmin2**

### 4. 執行 TIE-GCM 模式，取出由 GPI 所得之 F10.7、81 日的 F10.7 平均、Cross-tail potential 和 Hemispheric Power 參數值：

a. 提供 input 參數檔。設定模式 namelist input 檔案參數：

```
START= 079, 0, 0
```

```
STOP= 079, 0, 3
```

並指定使用 GPI 資料檔案(GPI\_NCFILE 參數)，而不使用 CTPOTEN，HPOWER，F107和 F107A 參數。

b. 提供 sfmin16\_37檔案，執行 TIE-GCM 模式。

```
./tiegcm1-92-qrj_cmq-sfmin2 <get_gpi.inp >write06.dat
```

get\_gpi.inp 為其 input 參數檔。輸出的 write06.dat 檔案內即含有由 GPI 所得之 F10.7 (F107)、81 日的 F10.7 平均(F107A)、Cross-tail potential (CTPOTEN) 和 Hemispheric Power (HPOWER)等參數值。

c. 複製 write06.dat 為 write06\_pre-process0.dat，避免以後輸出的檔案覆蓋 write06.dat。

### 5. 執行 nc\_write\_process\_tec Fortran 程式，產生 nc\_process-ut\_time 程序與相關的 input 文字檔。

a. 建立一個名為 pre-input1的文字檔，其內容如下：

```
2008-080_081          ← 欲模擬第80日
```

```
24                   ← 由0時算起，模擬24小時
```

b. 複製 pre-input1為 input，並執行 nc\_write\_process\_tec Fortran 程式。輸入：  
cp pre-input1 input

`./nc_write_process_tec <input`

- c. 執行完成，工作目錄下會產生一個名為 `nc_process-ut_time` 的自動化程序 `script`，及多個用以輸入的文字檔，如：`nc_2008-080_081-00_00`...等。

## 6. 執行 `calib-cosmic-to-cor_cz` 程式，將 F3/C ionPhs 檔案資料轉為 ASCII 格式：

- a. 在 ionPhs 檔案目錄下，建立一個名為 `files` 的文字檔，其內容第一行為目錄下 ionPhs 的檔案個數，第二行以後為 ionPhs 的檔案列表。方法如下：  
執行 `count-files` Fortran 程式，輸入：`./count-files`  
移除程式輸出的暫存檔，輸入：`rm files-temp`  
輸入完畢，即建立一個名為 `files` 的文字檔，其內含有目錄下的 ionPhs 檔案總數與列表。
- b. 執行 `calib-cosmic-to-cor_cz` Fortran 程式，進行資料矯正和轉換：  
輸入：`./calib-cosmic-to-cor_cz`  
執行之後的輸出檔有：福衛三號與 GPS 之位置資料儲存於 `~.cor` 檔案。  
掩星發生時間和 L1、L2 頻率在福衛三號之 `excess phase` 資料儲存於 `~.cz` 檔案。

## 7. 搜尋欲同化於 TIE-GCM 模式的 F3C 資料

- a. 執行 TIE-GCM 模式，模擬當日的電離層狀態，並儲存每隔 10 分鐘的模擬資料，此步驟前不需執行模式獲得的穩定態資料。相關的 `namelist input` 參數有：

`HIST= 0, 0, 10` ← 儲存每隔10分鐘的模擬資料：

`OUTPUT='2008-080_081-st_00.nc', 'to'`

`'2008-080_081-st_08.nc', 'by', '1'` ← 將模擬結果存為9個檔案。

`MXHIST_PRIM = 18` ← 每份檔案最多存入18個時間點資料(3小時)。

- b. 提供 `sfmin16_37` 檔案，執行 TIE-GCM 模式，如輸入：

`./tiegcm1-92-qrj_cmq-sfmin2 <search_F3C_data.inp >write06.dat`

`search_F3C_data.inp` 為其 `input` 參數檔。

- c. 執行 `nc_process-ut_time` 自動化程序，操作步驟：

- 更改 `nc_process-ut_time` 的權限，如輸入：

`chmod 777 nc_process-ut_time`

- 複製當日的福衛三號 `~.cor` 與 `~.cz` 檔案至目前的工作目錄。

- 建立福衛三號的檔案列表，依序輸入：

`ls *.cz >files`

`./count-files`

`rm files-temp`

建立之名為 `files` 文字檔，其內即含有福衛三號的檔案總數與列表。

- 工作目錄下需有步驟 a. 輸出的 TIE-GCM 模擬檔案，如：`2008-080_081-st_00.nc` 等檔案。

- 工作目錄下需有編譯完成的 `nc_write_hist` 與 `calib-cosmictotie-abv10km_altmax-10min` 兩個 Fortran 程式。
- 工作目錄下需有 `nc_2008-080_081-00_00` 等檔案，這些檔案為 `nc_write_hist` Fortran 程式的輸入檔。
- 建立一個名為 `alt-min_max` 的文字檔案，其會被讀入 `calib-cosmictotie-abv10km_altmax-10min` Fortran 程式，其內容如下：

**100. 150. 30.**

其中，前兩個值設定切點的高度範圍 (km)，程式計算此範圍的切點平均經、緯度。第三個值設定 LEO 與 GPS 衛星直連線上，取樣的單位長度 (km)。因為這個階段只是找出要同化於 TIE-GCM 模式的檔案，並非為了計算對應於福衛三號資料的模擬掩星 TEC，設定取樣的單位長度為 30 km 以減少計算的時間。

- 執行 `nc_process-ut_time` 程序，輸入：`./nc_process-ut_time`  
此程序執行 `nc_write_hist` 與 `calib-cosmictotie-abv10km_altmax-10min` Fortran 程式，其計算並輸出每筆掩星事件的切點位置，以及由 TIE-GCM 模式模擬的對應掩星 TEC。
- 移除 TIE-GCM 的模擬資料檔案、`alt-min_max` 文字檔以及其它的輸出檔案。接著，將建立之所有檔名開頭為 `fort-~.17` 與 `~.16` 檔案，分別結合成為 `fort.17` 與 `fort.16` 檔案，再移除這些檔名開頭為 `fort-` 的檔案。依序輸入：

```
rm 2007-079_080-st_*.nc
rm alt-min_max
rm fort.17
rm fort.16
cat fort-*.17 >fort.17
cat fort-*.16 >fort.16
rm fort-*.17
rm fort-*.16
```

- d. 執行 `find_cosmic_data_assimilation` Fortran 程式，尋找並建立切點的平均緯度與當地時間在某一範圍之檔案列表，找出的檔案將用來同化於 TIE-GCM 模式。操作步驟：

- 建立一個名為 `pre-input2` 的文字檔案，作為 `find_cosmic_data_assimilation` Fortran 程式的 `input` 檔案。其內容範例：

**30. -30. 7. 17.**

提供的 4 個值分別是：設定緯度範圍的北邊界 (N)、南邊界 (N)、當地時間範圍的起始時間 (hr) 和結束時間 (hr)。複製 `pre-input2` 為 `input`，實際輸入給 `find_cosmic_data_assimilation` Fortran 程式的檔案為 `input`。

- 輸入：

```
cp pre-input2 input
```

```
./find_cosmic_data_assimilation <input
```

- 移除 input 檔案和輸出的暫存檔、複製工作目錄下的 files 檔案（所有檔案的列表）存為 files-total，再複製輸出之新檔案列表 files\_assimilation.17 儲存為 files。最後移除 files\_assimilation.17 檔案。依序輸入：

```
rm input
```

```
rm fort.18
```

```
rm fort.17
```

```
cp files files-total
```

```
cp files_assimilation.17 files
```

```
rm files_assimilation.17
```

新的 files 檔案即含有欲同化於 TIE-GCM 模式的檔案總數和列表。

## 二、 搜尋最佳化參數

執行最佳化參數搜尋是利用 `assimilation-process1`和 `process-copy2`兩個程序。`assimilation-process1`程序是用來計算不同參數作用下的 `cost function`，`process-copy2`程序則是用來複製需要的檔案，以利我們不斷改變參數與計算 `cost function`。

### 1. `assimilation-process1`程序

`assimilation-process1`程序可分為三個部分說明(程序的內容以粗體字表示，說明以非粗體字表示)：

- a. 提供模式參數，進行 TIE-GCM 電離層模擬：

**`chmod -R 777 .`**

**`cp sfmin16_37-1.09 sfmin16_37`** ←提供 EUV 第16至第37個波段的參數倍率。

**`cp oplus_d1.0_n1.0 oplus_phi`** ←提供上邊界條件之日間與夜間的電漿傳輸量。

**`./tiegcm1-92-qrj_cmq-sfmin2`** <`tiegcm1-92-1-2008-080-0.inp`  
**`>write06.dat`**

←提供下邊界 GSWM 資料或潮汐 Hough mode 參數。並模擬在參數作用下該日的穩定態電離層電子濃度分布，存為一個 Primary history 輸出檔。

**`./tiegcm1-92-qrj_cmq-sfmin2`** <`tiegcm1-92-2-2008-080-0.inp`  
**`>write06.dat`**

←提供下邊界 GSWM 資料或潮汐 Hough mode 參數。以該日的穩定態 Primary history 檔案作為起始電子濃度分布的來源檔，模擬一日的電離層電子濃度分布，並分成9個檔案以儲存每隔十分鐘的模擬資料(方法與步驟7a相同)。

**`rm sfmin16_37`** ←移除複製之 EUV 參數設定檔。

- b. 利用 TIE-GCM 輸出的電離層電子濃度模型，模擬該日 FORMOSAT-3觀測之掩星 TEC。最後再複製輸出之 TEC 模擬檔案。

**`cp alt-min_max-250_450-05 alt-min_max`** ←提供 `alt-min_max` 的文字檔案，其會被讀入 `calib-cosmictotie-abv10km_altmax-10min` Fortran 程式。`alt-min_max` 檔案中第三個值為 LEO 與 GPS 衛星直連線上，取樣的單位長度 (km)，將其設定為5 km 以精確計算掩星 TEC。

**`./nc_process-ut_time`** ←進行掩星 TEC 模擬。輸出的 `~.tec` 檔案其第3行即為對應 F3/C 觀測之模式掩星 TEC。輸出的 `~.abvtec` 檔案則不需理會。

**`rm files_flag`** ←移除輸出檔。

**`./files_cosmic_tec-write <initial_tec`** ←`initial_tec` 檔案內提供7個字元，如 `xxxxxxx`。執行完 `files_cosmic_tec-write` 後會產生一個

files\_tec 程序。

```
chmod 777 files_tec          ←更改權限。
./files_tec                   ←執行 files_tec 程序，其複製～.tec 檔案為～-xxxxxxx.tec (根據所給的 initial_tec 內容)。
rm files_tec                  ←以下為移除和整理檔案。
rm fort.17
rm fort.16
cat fort-*.17 >TIDE-assimilation-fort.17
rm fort-*.17
cat fort-*.16 >TIDE-assimilation-fort.16
rm fort-*.16
```

c. 計算參數作用下的 cost function

```
./getapha_general < initial_tec          ← getapha_general Fortran 程式計算 alt-min_max 檔案裡前2個值之高度範圍間的 OTEC cost function。提供 initial_tec 以讀取複製後的檔案。
cp Jcost.dat Jcost-general.dat          ←Jcost-general.dat 內為 OTEC cost function 值。
rm Jcost.dat
cp getapha_diff getapha_diff-general     ← getapha_diff-general 內為每個 path 之模式與觀測的掩星 TEC 差。
rm getapha_diff
./getapha_peakheight_scale < initial_tec ← getapha_peakheight_scale Fortran 程式計算所選的掩星事件，其 OTEC 最大值高度 cost function。提供 initial_tec 以讀取複製後的檔案。
cp Jcost.dat Jcost-peakheight.dat       ← Jcost-peakheight.dat 內有兩個值，先後分別是未加權和加權後的 OTEC 最大值高度 cost function 值。
rm Jcost.dat
cp getapha_diff getapha_diff-peakheight ← getapha_diff-peakheight 內為每筆掩星事件之模式與觀測的 OTEC 最大值高度差。
rm getapha_diff                          ←以下為移除檔案。
rm *2007.tec
rm -f 2008-080_081-st_*.nc
rm *.cor *.cz *.geo
```

## 2. process-copy2程序

process-copy2程序為用來複製檔案的程序，其內容如下：

```
cp ~/1/teigcm1-92-1-2008-080-0.inp .      ←模式穩定態參數檔。
cp ~/1/teigcm1-92-2-2008-080-0.inp .      ←模式執行一日參數檔。
cp ~/1/sfmin16_37-1.80 .                  ←EUV 參數檔。
cp ~/1/oplus_d1.0_n1.0 .                  ←日間與夜間的電漿傳輸量參數
檔。
cp ~/1/initial_tec .                      ←用來複製檔案的7字元文
字檔。
cp ~/1/alt-min_max-250_450-05 .          ←設定高度範圍與取樣單位長度之檔
案。
cp ~/1/nc_process-ut_time .              ←模擬模式掩星 TEC 之程
序。
cp ~/1/files .                            ←欲同化於模式的福衛三號檔案
列表。
cp ~/1/nc_2008-080_081-* .              ←nc_write_hist Fortran 程式之輸入
檔。
cp ~/DA/exe/teigcm1-92-qrj_cmq-sfmin2 .  ←TIE-GCM 模式執行檔。
cp ~/DA/exe/files_cosmic_tec-write .     ←以下為需要的 fortran
程式。
cp ~/DA/exe/nc_write_hist .
cp ~/DA/exe/calib-cosmictotie-abv10km_altmax-10min .
cp ~/DA/exe/getapha_general .
cp ~/DA/exe/getapha_peakheight_scale .
cp ~/DA/cor_cz/2008.080/*.cor .          ←福衛三號~.cor 資料檔。
cp ~/DA/cor_cz/2008.080/*.cz .          ←福衛三號~.cz 資料檔。
```

其中，~/1/目錄為：在搜尋某一個參數時，第一次設定參數的資料夾。每一次將檔案由~/1/目錄複製到目前的工作目錄之後，只需改變要搜尋的參數值，即可以執行 assimilation-process1程序，計算參數作用下的 cost function。我們以此方法往較低的 cost function 方向搜尋參數，求得最佳化之參數值。

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(4.3)：電離層掩星資料反演前瞻技術發展報告 (III)

計畫名稱：以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技術發展：電

離層掩星資料反演前瞻技術發展

執行期間： 2012/2/18~2013/2/17

分項工作管理人：朱延祥

參與人員：

中 華 民 國 1 0 2 年 1 月

## 一、 摘要

低軌道人造衛星(如福爾摩沙衛星三號)接收 GPS 衛星訊號，利用電波掩星法(Radio Occultation)反演電離層電子密度剖面等相關參數，經由研究電離層特性，可探究對高頻通訊、衛星通訊的影響，與分析太空天氣環境的變遷。為達此重要的科學研究與應用目的，電波掩星法反演過程所導致的電離層參數的系統誤差，必須被徹底的分析與研究。一般而言，電波掩星反演法有兩種，一為偏折角(Bending angle)法，係由超額相位(Excess phase)和衛星的位置和速度的資料，可算出偏折角，再利用 Abel transform 積分法算出電離層折射指數(Index of Refractivity)，進而算出電離層之電子密度剖面。另一個方法是直接由超額相位算出電離層全電子量(Total Electron Density, TEC)，再利用 Abel 轉換反演出電子密度。本計畫將探討此兩種反演方法在演算過程中使用的不同邊界條件與積分方式，對反演結果產生的影響與誤差。將反演結果與地面電離層觀測儀的實測電離層資料進行比對分析，將可分析出不同掩星反演法之準確性。

## 二、 前言

福爾摩沙衛星三號(FORMOSAT3/COSMIC)由六顆微衛星所組成，分佈於地球表面 700~800 公里高之不同軌道中，分別圍繞著地球運

轉，組成涵蓋全球的低軌道微衛星星系來接收美國全球定位衛星(GPS)所發出的訊號。經由電波掩星法(Radio occultation)可反演出電離層電子密度剖面，其中包括電離層 E 域、F 域與散塊 E 層(Sporadic E Layer, Es)的高度與最大電子密度。這些資料除了可做為大氣與太空環境的監測之用外，若經過同化(Assimilation)程序，並與適當的數值預報模式結合，則可以作為氣象以及太空天氣預報之用。另外，透過進一步數據分析與處理過程，福衛三號所測得的最大電離層電子密度與高度的觀測資料，亦可應用在高頻(High Frequency)電波傳播通道以及最佳通信頻率的預報上，對於提升我國高頻電波在救災，廣播，遠距通信，與資訊傳遞等國計民生與國防安全的應用上，已有重要的貢獻。至於福衛三號電離層資料中的電離層電子密度不規則體訊息，則對人造衛星通訊品質影響至鉅。電離層電子密度不規則體會對人造衛星訊號產生所謂的閃爍(Scintillation)現象，使得人造衛星通訊品質因而劣化(Degradation)，嚴重時甚至造成人造衛星通訊的失聯。若能結合地面雷達對於電離層電子密度不規則體的觀測與定位，福衛三號的電離層不規則體資料將可以提升人造衛星的通訊品質。至於在科學學術研究上，則更需要準確的觀測數據，透過資料分析處理與理論研究，才可了解並探究大自然的奧秘，並發現新的現象，使人類的知識庫增加新的成份與元素，以滿足人類的求知慾，並為日後進一步的應用奠

定基礎。為了使前述的目的得以落實，就必須了解電波掩星法(Radio Occultation, RO)反演之電離層觀測資料的誤差特性，進而研究出可行的誤差移除方案，以確保福衛三號觀測資料的正確性。

電波掩星反演法有兩種，一為偏折角(Bending angle)法，係由超額相位(Excess phase)和衛星的位置和速度的資料，可算出偏折角，再利用 Abel transform 積分法算出電離層折射指數(Index of Refractivity)，進而算出電離層之電子密度剖面。另一個方法是直接由超額相位算出電離層全電子量(Total Electron Density, TEC)，再利用 Abel 轉換反演出電子密度。此兩種電波掩星反演法將因使用不同的積分方式、不同的起始條件與不同的邊界條件等，造成不同的反演結果，形成演算過程產生的誤差。這些於演算過程產生的誤差，是必須要被釐清的，如此才可更進一步發展更精準的演算過程與方法。本計畫將探討此兩種反演方法在演算過程中使用的不同起始條件、邊界條件與積分方式，對反演結果產生的影響與誤差進行分析。同時，將反演結果與地面電離層觀測儀的實測電離層資料進行比對分析，將可分析出不同掩星反演法之準確性。並在本計畫中針對邊界條件與積分方法試著進行修正，嘗試找出新的演算過程，減少演算過程產生的誤差，增進掩星反演法演算結果的精度。

### 三、 成果報告

#### 3.1 電波掩星反演法中積分方法的探討

掩星觀測法所測量到的GPS電波訊號的超額相位(Excess phase)，可以換算成電波訊號之偏折角，經由Abel Transform把偏折角轉換成折射指數，如(1)式。另外，福衛三號接收GPS衛星所獲得的全電子含量，亦可經由Abel Transform反轉換，得到校正(calibrated)的電子濃度，如(2)式。使用Abel transform的積分方法會遇到奇異點的問題如前面所提到的

$$n(P) = e^{\frac{1}{\pi} \int_{r_0}^{\infty} \frac{\alpha(P)}{\sqrt{P^2 - r_0^2}} dr} \quad (1)$$

與

$$N(P) = -\frac{1}{\pi} \int_P^{r_L} \frac{dT(r)/dr}{\sqrt{r^2 - P^2}} dr \quad (2)$$

當積分遇到下邊界時會產生奇異點，由於每次的積分區間會不停的改變，如下圖。因此不同積分方法，將可能產生不同的誤差影響，故本計畫針對不同的掩星反演方法進行推導，了解其中的積分方法。

$$\ln(n(p)) = \frac{1}{\pi} \int_p^{p_{1\infty}} \frac{\alpha(p')}{\sqrt{p'^2 - p^2}} dp' = \frac{1}{\pi} \begin{bmatrix} c(p_1, p_{i-1}, p = p_{i-1}) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c(p_1, p_{i-1}) & c(p_{i-1}, p_{i-2}, p = p_{i-2}) & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c(p_1, p_{i-1}) & c(p_{i-1}, p_{i-2}) & \dots & c(p_3, p_2, p = p_2) & 0 \\ c(p_1, p_{i-1}) & c(p_{i-1}, p_{i-2}) & \dots & c(p_3, p_2) & c(p_2, p_1, p = p_1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha(p') \\ \alpha(p') \\ \vdots \\ \alpha(p') \\ \alpha(p') \end{bmatrix}$$

### 3.1.1 偏折角的積分

在偏折角的積分中，推導過程如下。使用[George,1998]中所提供的方法，將(1)式做分佈積分：

$$\begin{aligned}
 \ln(n(P)) &= \frac{1}{\pi} \int_P^{P_{LEO}} \frac{\alpha(P)}{\sqrt{P^2 - P_0^2}} dP \\
 &= \frac{1}{\pi} \left[ \int_P^{P_{i+1}} \frac{\alpha(P)}{\sqrt{P^2 - P_0^2}} dP + \int_{P_{i+1}}^{P_{LEO}} \frac{\alpha(P)}{\sqrt{P^2 - P_0^2}} dP \right] \\
 &= \frac{1}{\pi} \left[ \alpha(P) \ln(P + \sqrt{P^2 - P_0^2}) - \alpha(P_0) \ln(P_0) + \int_{P_0}^{P_1} \alpha(P_0) \ln(P + \sqrt{P^2 - P_0^2}) \frac{d\alpha(P)}{dP} dP \right] \\
 &\quad + \frac{1}{\pi} \int_{P_{i+1}}^{P_{LEO}} \frac{\alpha(P)}{\sqrt{P^2 - P_0^2}} dP \tag{3}
 \end{aligned}$$

透過偏折角先反演出折射指數再透過折射指數反演出電子濃度，這裡會需要使用Abel transform積分式來演算，最後再跟福爾摩沙衛星三號的電子濃度做比對。以下先進行分佈積分的Abel transform積分，公式如(3)式

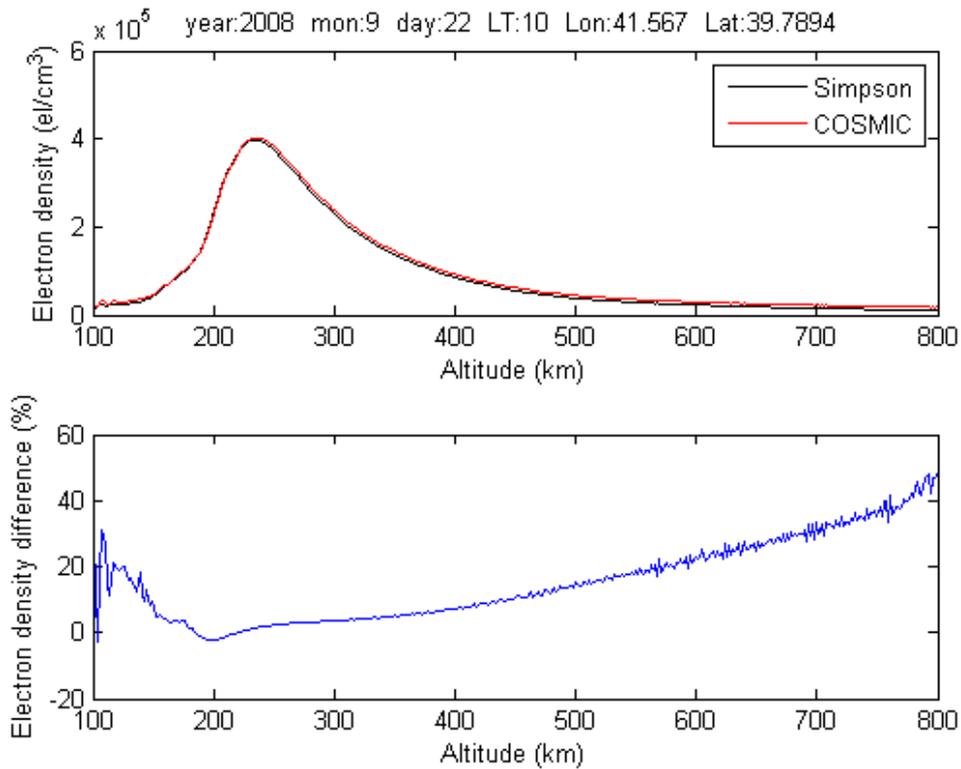


圖1、COSMIC與分佈積分比較圖。上圖黑線為(3)式所得到的電子濃度，紅線為COSMIC所公布的電子濃度。下圖為兩方法之差值。

(3)式的後半段積分使用的是辛普森(Simpson)法，透過辛普森法可以獲得比梯形法更精確的數值。由圖1可以看得出兩條曲線是十分貼合的，F層的誤差大多都在10%以內，以2008/09/22這個例子來看，150km~450km都在10%以內，尤其是在電子濃度最大值的位置，誤差約為1%。

### 3.1.2 全電子含量的積分

全電子含量的積分中，由(Jiu hou Lei,2007)中所提供的方法，首先將(4)式改寫成(5)式：

$$T(P) = 2 \int_P^{r_L} \frac{rN(r)}{\sqrt{r^2 - P^2}} dr \quad (4)$$

$$T(P_i) = 2 \sum_{k=1}^m \int_{P_{i+k-1}}^{P_{i+k}} \frac{rN(r)}{\sqrt{r^2 - P^2}} dr \quad (5)$$

然後假設在每一小塊的積分區間裡面電子濃度為線性變化，其解析解可改寫成：

$$\begin{aligned} T(P_i) = & \frac{P_{i+1}}{\Delta P_i} \left[ \sqrt{P_{i+1}^2 - P_i^2} - \frac{P_i^2}{P_{i+1}} \ln \left( \frac{P_{i+1} + \sqrt{P_{i+1}^2 - P_i^2}}{P_i} \right) \right] N(P_i) \\ & + \sum_{k=1}^{m-1} \left\{ \frac{P_{i+k+1}}{\Delta P_{i+k}} \left[ \sqrt{P_{i+k+1}^2 - P_i^2} - \sqrt{P_{i+k}^2 - P_i^2} - \frac{P_i^2}{P_{i+k+1}} \ln \left( \frac{P_{i+k+1} + \sqrt{P_{i+k+1}^2 - P_i^2}}{P_{i+k} + \sqrt{P_{i+k}^2 - P_i^2}} \right) \right] \right. \\ & \left. - \frac{P_{i+k-1}}{\Delta P_{i+k-1}} \left[ \sqrt{P_{i+k}^2 - P_i^2} - \sqrt{P_{i+k-1}^2 - P_i^2} - \frac{P_i^2}{P_{i+k-1}} \ln \left( \frac{P_{i+k} + \sqrt{P_{i+k}^2 - P_i^2}}{P_{i+k-1} + \sqrt{P_{i+k-1}^2 - P_i^2}} \right) \right] \right\} N(P_{i+k}) \\ & - \frac{P_{i+m-1}}{\Delta P_{i+m-1}} \left[ \left( 2 - \frac{P_{i+m}}{P_{i+m-1}} \right) \sqrt{P_{i+m}^2 - P_i^2} - \sqrt{P_{i+m-1}^2 - P_i^2} - \frac{P_i^2}{P_{i+m-1}} \ln \left( \frac{P_{i+m} + \sqrt{P_{i+m}^2 - P_i^2}}{P_{i+m-1} + \sqrt{P_{i+m-1}^2 - P_i^2}} \right) \right] N(P_{i+m}) \end{aligned} \quad (6)$$

其中為  $\Delta P_i = P_{i+1} - P_i$ ，透過化簡可把(6)式改寫成：

$$T(P_i) = P_i (c_{i,0} N(P_i) + \sum_{k=1}^{m-1} c_{i,k} N(P_{i+k}) + c_{i,m} N(P_{i+m})) \quad (7)$$

其中  $c_{i,0}$ 、 $c_{i,k}$  與  $c_{i,m}$  分別為：

$$c_{i,0} = \varepsilon_1^{-1} \left[ (1 + \varepsilon_1) \sqrt{\varepsilon_1(2 + \varepsilon_1)} - \ln(1 + \varepsilon_1 + \sqrt{\varepsilon_1(2 + \varepsilon_1)}) \right]$$

$$c_{i,k} = (\varepsilon_{k+1} - \varepsilon_k)^{-1} \left[ (1 + \varepsilon_{k+1}) (\sqrt{\varepsilon_{k+1}(2 + \varepsilon_{k+1})} - \sqrt{\varepsilon_k(2 + \varepsilon_k)}) - \ln \left( \frac{1 + \varepsilon_{k+1} + \sqrt{\varepsilon_{k+1}(2 + \varepsilon_{k+1})}}{1 + \varepsilon_k + \sqrt{\varepsilon_k(2 + \varepsilon_k)}} \right) \right]$$

$$-(\varepsilon_k - \varepsilon_{k-1})^{-1}[(1 + \varepsilon_{k-1})(\sqrt{\varepsilon_k(2 + \varepsilon_k)} - \sqrt{\varepsilon_{k-1}(2 + \varepsilon_{k-1})}) - \ln\left(\frac{1 + \varepsilon_k + \sqrt{\varepsilon_k(2 + \varepsilon_k)}}{1 + \varepsilon_{k-1} + \sqrt{\varepsilon_{k-1}(2 + \varepsilon_{k-1})}}\right)]$$

$$c_{i,m} = (\varepsilon_m - \varepsilon_{m-1})^{-1}[(1 + \varepsilon_m + 2\varepsilon_{m-1})(\sqrt{\varepsilon_m(2 + \varepsilon_m)} - (1 + \varepsilon_{m-1})\sqrt{\varepsilon_{m-1}(2 + \varepsilon_{m-1})}) - \ln\left(\frac{1 + \varepsilon_m + \sqrt{\varepsilon_m(2 + \varepsilon_m)}}{1 + \varepsilon_{m-1} + \sqrt{\varepsilon_{m-1}(2 + \varepsilon_{m-1})}}\right)] \quad (8)$$

(8)式中  $\varepsilon_k = \frac{P_{i+k} - P_i}{P_i}$ ，需注意分子的第二項為  $P_i$ 。接下來將(7)式改寫

成：

$$N(P_i) = c_{i,0}^{-1} \left[ \left( \frac{T(P_i)}{P_i} \right) - \sum_{k=1}^m c_{i,k} N(P_{i+k}) \right] \quad (9)$$

因此透過分段的方式避開奇異點。

(9)式與COSMIC公布的方法應該為同一個積分方法，差別在於COSMIC所公布的高層之全電子含量是透過經驗式得到。而(9)式之最上面之全電子含量是透過外推法得到，當外推法所得到的數值為負值時，使用0為其邊界值，所使用的全電子含量為校正全電子含量(Calbrated TEC)。

由圖2可以看得出兩條曲線是十分貼合的，原因是因為積分方式相同，以2008/09/22這個例子來看，整個電子濃度剖面圖都在10%之內，150km ~ 550km的誤差約在1%左右，擾動的來源推測是在為

了進行兩個方法比較時將兩個曲線的電子濃度內差到同一個高度時產生的數值誤差。

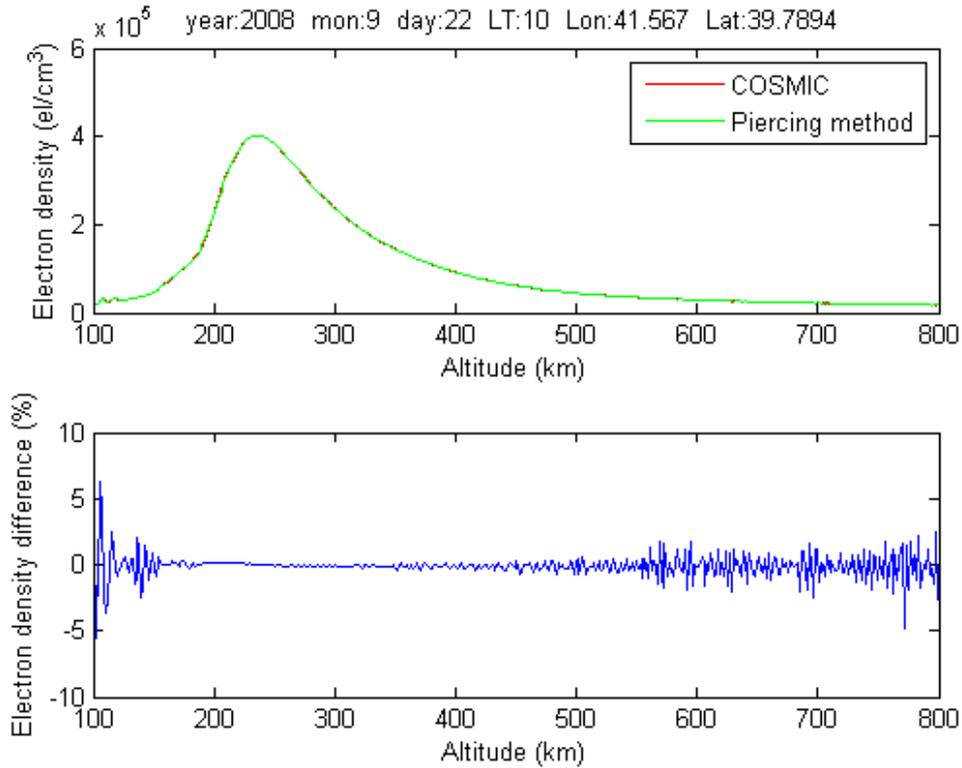


圖 2 COSMIC 與 Piercing method 比較圖。上圖綠線為(9)式所得到的電子濃度，紅線為 COSMIC 所公布的電子濃度。下圖為兩方法之差值。

### 3.2 新積分方法修正電波掩星反演法

經由 Abel Transform 把偏折角轉換成折射指數

$$n(P) = e^{-\frac{1}{\pi} \int_{r_0}^{\infty} \frac{\alpha(P)}{\sqrt{P^2 - P_0^2}} dP} \quad (1)$$

將折射指數經(2)式轉換為電子密度

$$n = 1 - \frac{40.3n_e}{f^2} \quad (2)$$

本研究中提出新的積分方法如(3)式

$$\begin{aligned} \ln(n(P)) = & [\ln(p_1 + \sqrt{p_1^2 - p_0^2}) - \ln(p_0) - \frac{\sqrt{p_1^2 - p_0^2}}{p_1}] \alpha(p_0) \\ & + \sum_{k=1}^{k=m} \{ [\ln(p_{k+1} + \sqrt{p_{k+1}^2 - p_0^2}) - \ln(p_k + \sqrt{p_k^2 - p_0^2}) - \frac{\sqrt{p_{k+1}^2 - p_0^2}}{p_{k+1}}] \\ & - [\ln(p_k + \sqrt{p_k^2 - p_0^2}) - \ln(p_{k-1} + \sqrt{p_{k-1}^2 - p_0^2}) - \frac{\sqrt{p_k^2 - p_0^2}}{p_k}] \} \alpha(p_k) \end{aligned} \quad (3)$$

帶入掩星反演法中，利用計算出折射指數(1)式與電子密度。圖3資料時間2008/09/22，為本研究計畫提出的積分方法，應用於偏折角計算，獲得折射指數，再轉換為電子密度，上圖為新的積分方法獲得的結果與COSMIC公布的電子密度，下圖為兩者之間差百分比。由圖中可以看出在高度上有些許差異，但是電子濃度最大值兩個方法是十分貼合的，F層(170km~420km)的誤差大多都在10%以內。

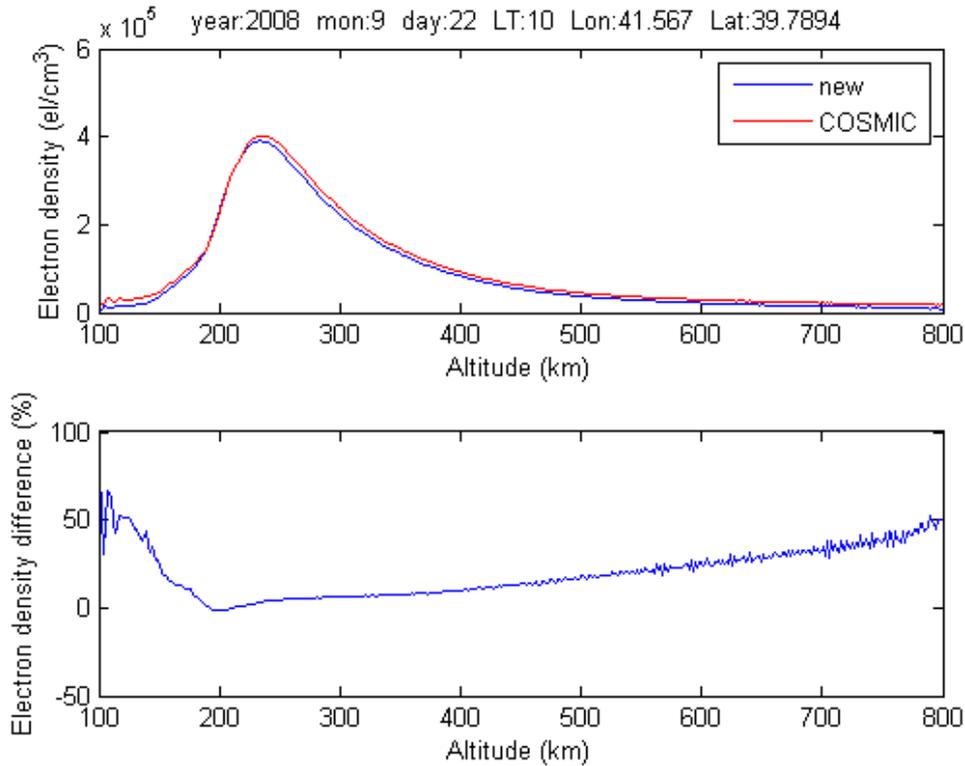


圖3、COSMIC與新方法比較圖。上圖藍線為(3)式所得到的電子濃度，紅線為COSMIC所公布的電子濃度。下圖為兩方法之差值。

接著將四個方法放在一起進行比較，同時計算其誤差，此處是以COSMIC 減去其他的方法，在除上 COSMIC 的電子濃度，如圖 4，資料時間為 2008/09/22。上圖中藍線為新方法所得到的電子濃度，黑線為分布積分所得到的電子濃度，紅線為 COSMIC 所公布的電子濃度，綠線為 Piercing method 所得到之電子濃度。下圖藍線為新方法與COSMIC 的差異，黑線為分布積分與COSMIC 的差異，綠線為 Piercing method 與 COSMIC 的差異，上圖可看出大致上四個方法的電子密度都差不多。下圖使用全電子含量與偏折角進行反演，在高層與低層的在趨勢上有所差異，在 F 層的結果誤差幾乎在 10% 之內，由此可以知道偏折角與全電子含量在電離層的上層與下層反演出來的電子濃度

有著部份的差異性，但是在 F 層的結果大致上是貼合的。以 COSMIC 公布資料為基準討論，顯然 COSMIC 公布資料是以 TEC 反演得到的。由於 COSMIC 所公布的資料是透過全電子含量進行反演，而全電子含量與偏折角又有著趨勢上的差異。表 1 為本研究所討論的三種積分方法，與 COSMIC 公布資料列表。為進一步討論，將與實際量測資料進行比對分析，後文將針對春、夏、秋、冬四季分別進行討論，探討以實際資料(電離層探測儀觀測)為基準下，各個方法的偏差量與優缺點。

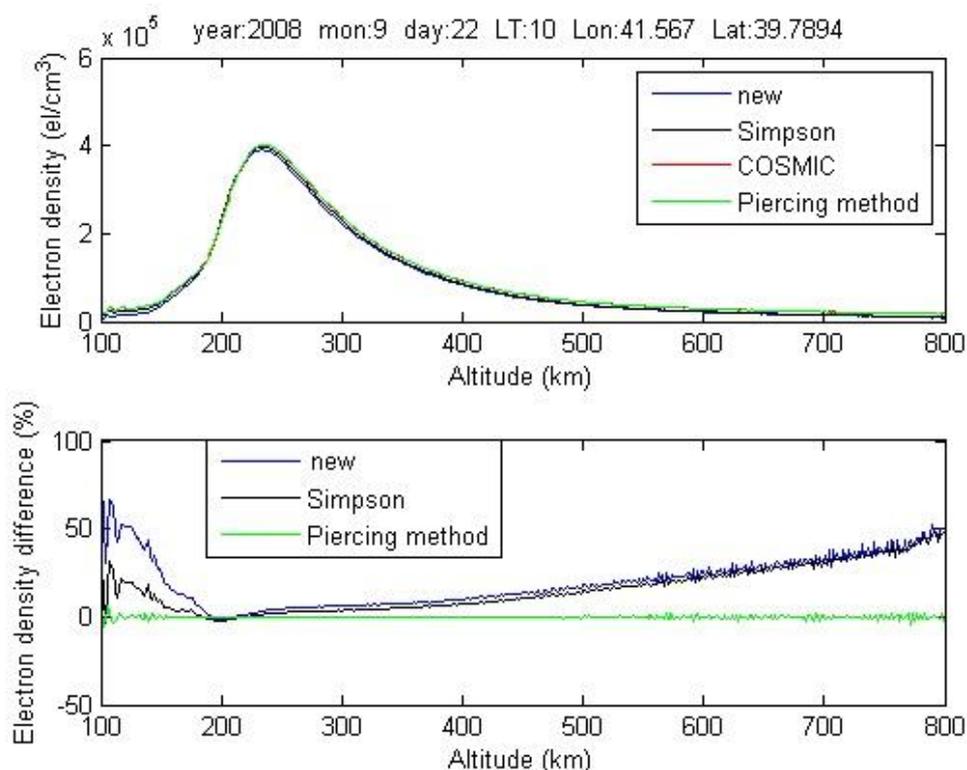


圖4、COSMIC與各方法比較圖。上圖藍線為新方法所得到的電子濃度，黑線為分布積分所得到的電子濃度，紅線為COSMIC所公布的電子濃度，綠線為Piercing method所得到之電子濃度。下圖藍線為新方法與COSMIC的差異，黑線為分布積分與COSMIC的差異，綠線為Piercing method與COSMIC的差異。

表1、無線電波掩星反演法積分表

方法	積分式
Simpson	$\ln(n(P)) = \frac{1}{\pi} [\alpha(P) \ln(P + \sqrt{P^2 - P_0^2}) - \alpha(P_0) \ln(P_0)]$ $+ \int_{P_{i+1}}^{P_{LEO}} \alpha(P_0) \ln(P + \sqrt{P^2 - P_0^2}) \frac{d\alpha(P)}{dP} dP + \frac{1}{\pi} \int_{P_{i+1}}^{P_{LEO}} \frac{\alpha(P)}{\sqrt{P^2 - P_0^2}} dP$
Piercing method	$N(P_i) = c_{i,0}^{-1} \left[ \frac{T(P_i)}{P_i} - \sum_{k=1}^m c_{i,k} N(P_{i+k}) \right]$
COSMIC	同Piercing method，但700~800km電子濃度透過經驗式疊代
new	$\ln(n(P)) = \left[ \ln(p_1 + \sqrt{p_1^2 - p_0^2}) - \ln(p_0) - \frac{\sqrt{p_1^2 - p_0^2}}{p_1} \alpha(p_0) \right]$ $+ \sum_{k=1}^{k=m} \left\{ \left[ \ln(p_{k+1} + \sqrt{p_{k+1}^2 - p_0^2}) - \ln(p_k + \sqrt{p_k^2 - p_0^2}) - \frac{\sqrt{p_{k+1}^2 - p_0^2}}{p_{k+1}} \right] \right.$ $\left. - \left[ \ln(p_k + \sqrt{p_k^2 - p_0^2}) - \ln(p_{k-1} + \sqrt{p_{k-1}^2 - p_0^2}) - \frac{\sqrt{p_k^2 - p_0^2}}{p_k} \right] \right\} \alpha(p_k)$

### 3.3 積分方法應用於電波掩星反演法結果分析

電子濃度最大值的擷取參考[柯孝聰,2005]，事件的對應標準為電離層探測儀取樣點的前後7.5分鐘且在經緯度2.5度內之電子濃度最大值，圖中的相關係數(Correlation)代號為R、平均偏差量  $M_0$  與均方根差(Root Mean Square Error, RMSE)分別如(4)式、(5)式與(6)式：

$$R = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{N \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (4)$$

$$M_0 = \left[ \sum \frac{(y-x)}{y} \right] \frac{1}{N} \times 100\% \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y-x)^2}{N}} \quad (6)$$

其中x代表各反演法反演出來的事件數值，y代表電離層探測儀探測出來的事件數值，N代表發生事件的總數， $\sum x$ 代表各反演法反演出來的事件之加總， $\sum y$ 代表電離層探測儀觀測的事件之加總， $\sum x^2$ 代表各反演法反演出來的事件先平方再加總， $\sum y^2$ 代表電離層太空儀探測出來的事件先平方再加總， $\sum xy$ 代表電離層太空儀探測出來的事件與對應之反演法之數值相乘後再加總。

### 3.2.1 日間電波掩星法反演結果比較

圖5為秋季日間資料比對，此處日間定為LT的9點到17點。由圖5可以看出秋季日間的部分使用偏折角反演出來的結果，比使用全電子含量來的好，本研究計畫所提出了反演法，其準確度與電離層探測儀的結果吻合性最好。另外，值得注意的是使用Piercing Method所得到的結果，雖然在準確度不如COSMIC所公佈的資料，但其與電離層探測儀的資料之精確度(RMES值)為四個方法之中最高的，四個方法在秋季的部分與電離層探測儀的相關性都超過0.8，可以說是擁有很高的相關性。

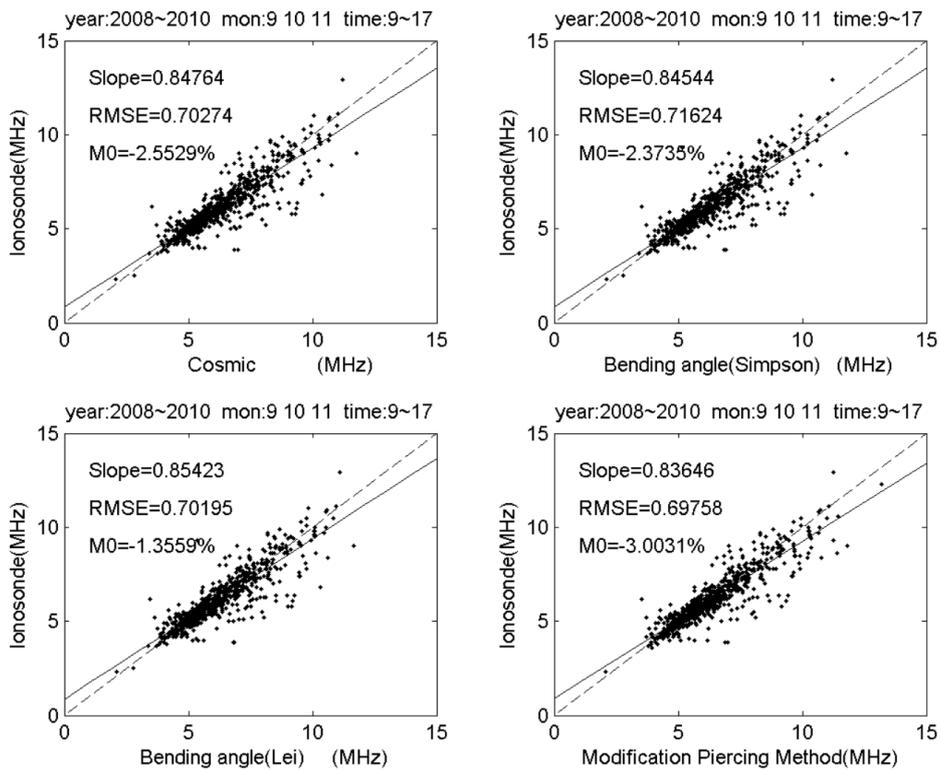


圖5、2008~2010年秋季日間散布圖。左上方為電離層探測儀與COSMIC公佈之資料的散布圖，右上方為電離層探測儀與分布積分法之散布圖，左下方為電離層探測儀與新方法的散布圖，右下方為電離層探測儀與Piercing method之散布圖。

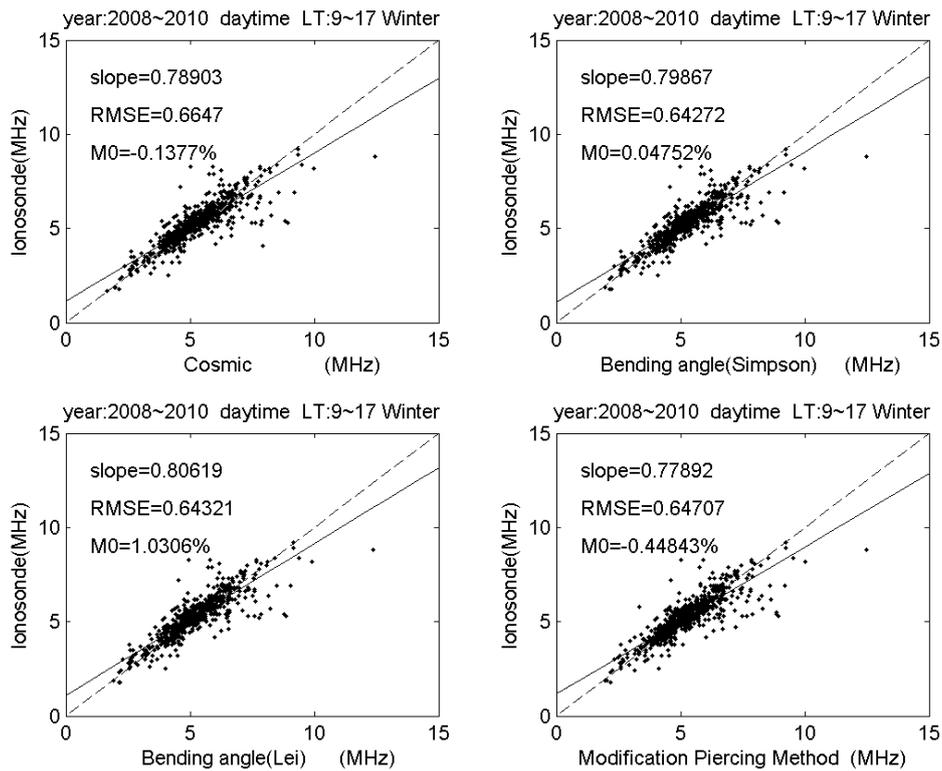


圖6、2008~2010年冬季日間散布圖。左上方為電離層探測儀與COSMIC公佈之資料的散布圖，右上方為電離層探測儀與分布積分法之散布圖，左下方為電離層探測儀與本計畫方法的散布圖，右下方為電離層探測儀與Piercing method之散布圖。

圖6為2008~2010年冬季日間散布圖，可以看出冬季日間的部分使用偏折角反演出來的結果比使用全電子含量來的好，新的積分反演法與電離層探測儀的結果仍然是吻合性最好，使用Piercing Method所得到的結果，雖然在準確度不如COSMIC所公佈的資料，但其與電離層探測儀的資料之精確度(RMES)仍然為四個方法之中最高的，四個方法在冬季的部分與電離層探測儀的相關性都超過0.8，可以說是擁有很高的相關性。

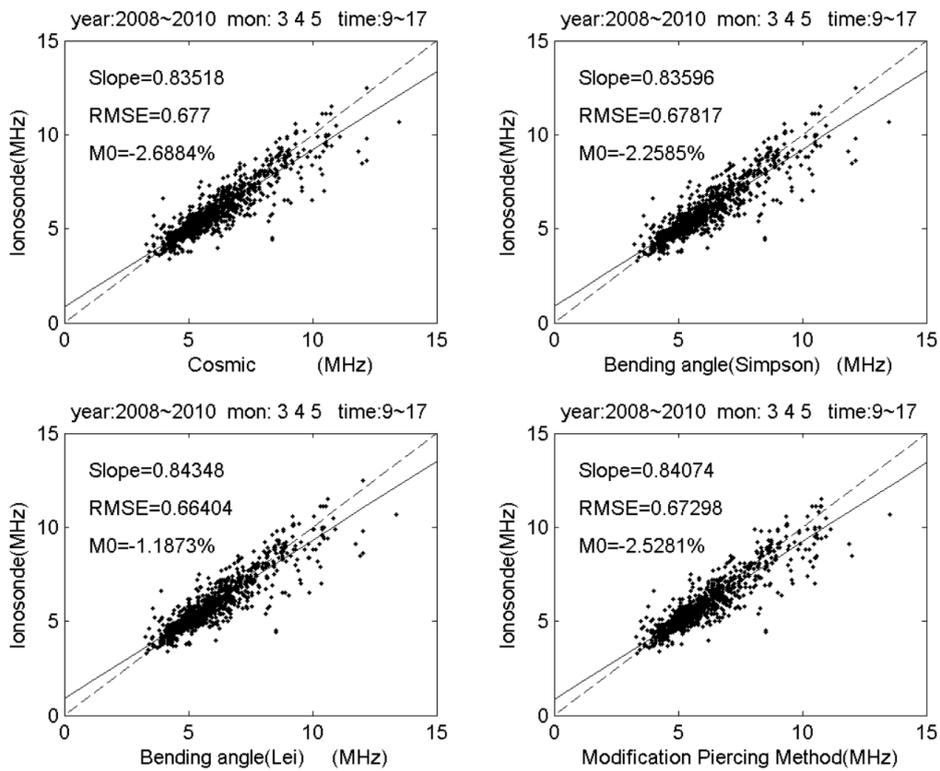


圖7、2008~2010年春季日間散布圖。左上方為電離層探測儀與COSMIC公佈之資料的散布圖，右上方為電離層探測儀與分布積分法之散布圖，左下方為電離層探測儀與本計畫方法的散布圖，右下方為電離層探測儀與Piercing method之散布圖。

由圖7為2008~2010年春季日間散布圖，可以看出春季日間的部分使用偏折角反演出來的結果比使用全電子含量來的好，新反演法與電離層探測儀的結果仍然是吻合性最好，春季的精確度的部分也是由新的方法較好，但四個方法的精確度差異並不大，四個方法在春季的部分與電離層探測儀的相關性都超過0.9，這個數值為兩者有極高的相關性。

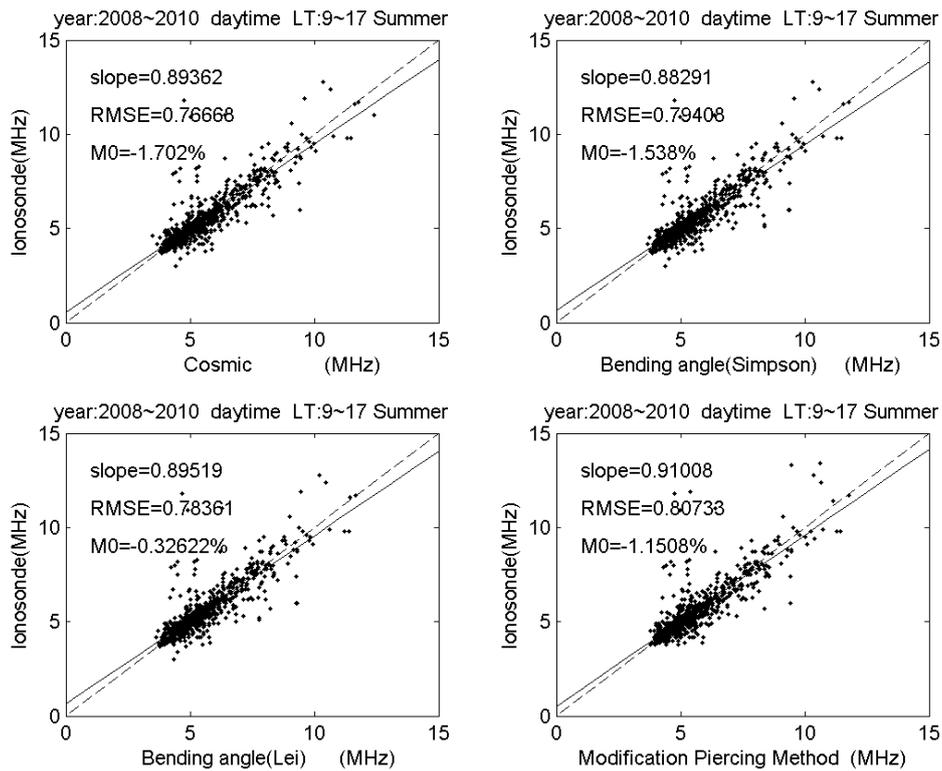


圖8、2008~2010年夏季日間散布圖。左上方為電離層探測儀與COSMIC公佈之資料的散布圖，右上方為電離層探測儀與分布積分法之散布圖，左下方為電離層探測儀與本計畫方法的散布圖，右下方為電離層探測儀與Piercing method之散布圖。

由圖8為2008~2010年夏季日間散布圖，夏季日間的部分使用偏折角反演出來的結果比使用全電子含量來的差，準確度的方面為Piercing Method所使用反演法與電離層探測儀的結果是吻合性最好，夏季的準確度的部分則是由COSMIC所提出的方法較為優秀，四個方法在夏季的部分與電離層探測儀的相關性都小於0.8。就相關性論，各反演法，在夏季所得到的反演結果是較差的。

### 3.2.2 夜間電波掩星法反演結果比較

FORMOSAT/COSMIC夜間資料比對，對夜間的設定為LT20點到凌晨4點。首先依然先看秋季的資料，如圖9，可以看的出與日間相反，全電子含量所反演出來的結果比偏折角反演出來的結果好。在夜間，秋季資料其相關性極高，在準確性的部分與白天相反，本計畫提出的方法精確性最低，Modification Piercing Method所反演出來的方法最高。

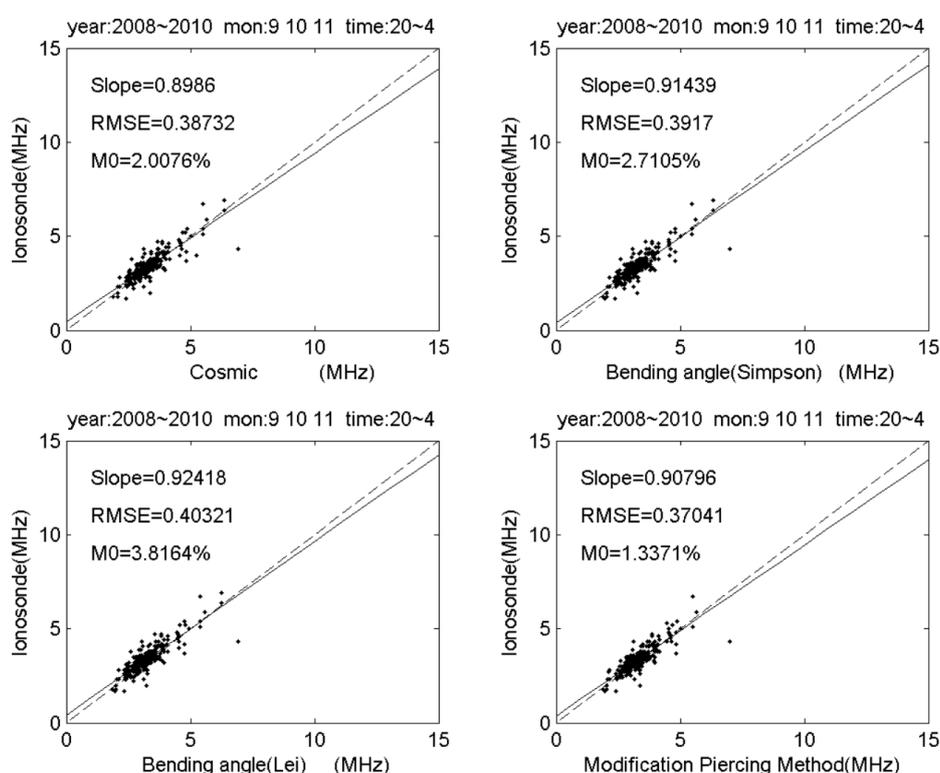


圖9、2008~2010年秋季夜間散佈圖。左上方為電離層探測儀與COSMIC公佈之資料的散佈圖，右上方為電離層探測儀與分佈積分法之散佈圖，左下方為電離層探測儀與本計畫方法的散佈圖，右下方為電離層探測儀與Modification Piercing method之散佈圖。

圖10亦表現出與日間相反，全電子含量所反演出來的結果比偏折角反演出來的結果優秀。夜間的冬季資料其相關性較低，約在0.75左

右，在準確性的部分與白天相反，本計畫所提出的方法精確性最低，Modification Piercing Method所反演出來的方法最高，四個方法差異並不大。

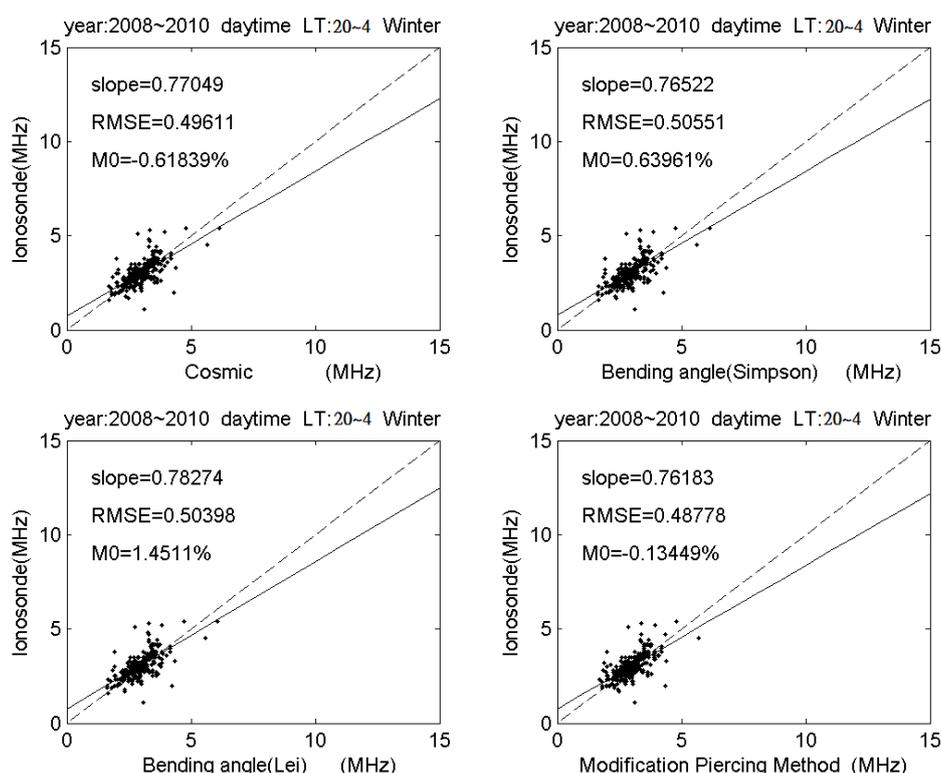


圖10、2008~2010年冬季夜間散佈圖。左上方為電離層探測儀與COSMIC公佈之資料的散佈圖，右上方為電離層探測儀與分佈積分法之散佈圖，左下方為電離層探測儀與本計畫所提方法的散佈圖，右下方為電離層探測儀與Modification Piercing method之散佈圖。

圖11同圖10一致，顯示出與日間相反，全電子含量所反演出來的結果比偏折角反演出來的結果優秀。夜間的春季資料其相關性依然極高，約在0.9左右，在準確性的部分與白天相反，本計畫所提出的方法準確性最低，Modification Piercing Method所反演出來的方法最高，

精確度部分則由COSMIC最高，四個方法一樣差異並不大。

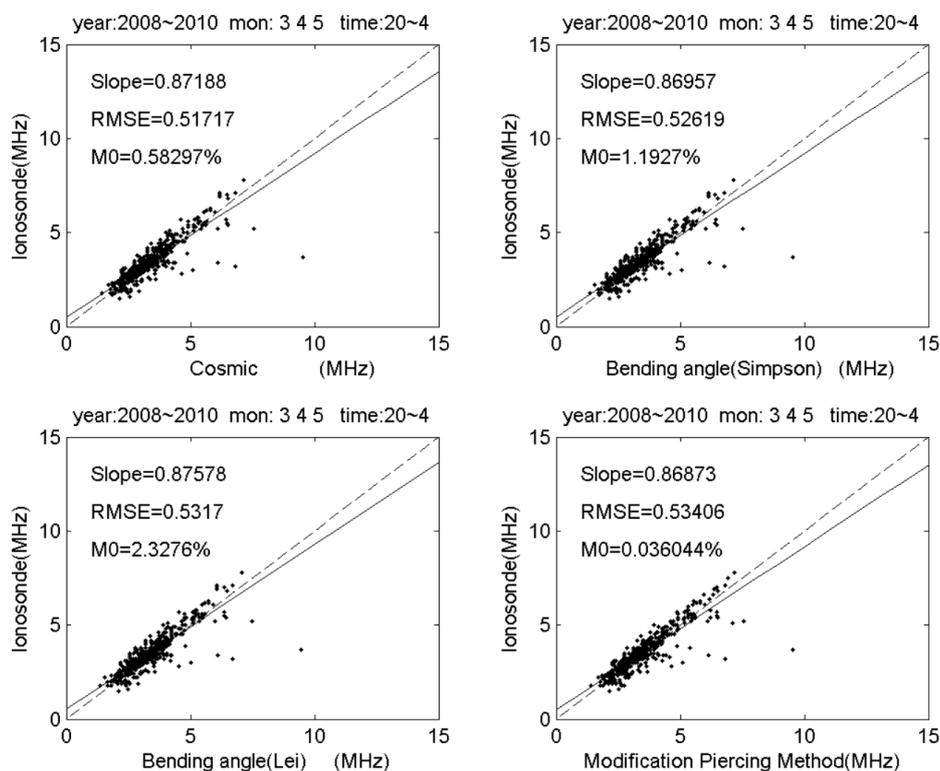


圖11、2008~2010年春季夜間散佈圖。左上方為電離層探測儀與COSMIC公佈之資料的散佈圖，右上方為電離層探測儀與分佈積分法之散佈圖，左下方為電離層探測儀與本計畫提出方法的散佈圖，右下方為電離層探測儀與Modification Piercing method之散佈圖。

圖12則顯現不出哪一個反演法比較優秀，夜間的夏季資料其相關性依然極高，都在0.9以上。在準確性部分COSMIC所提供的最好，精確度部分四個方法一樣差異一樣並不大。

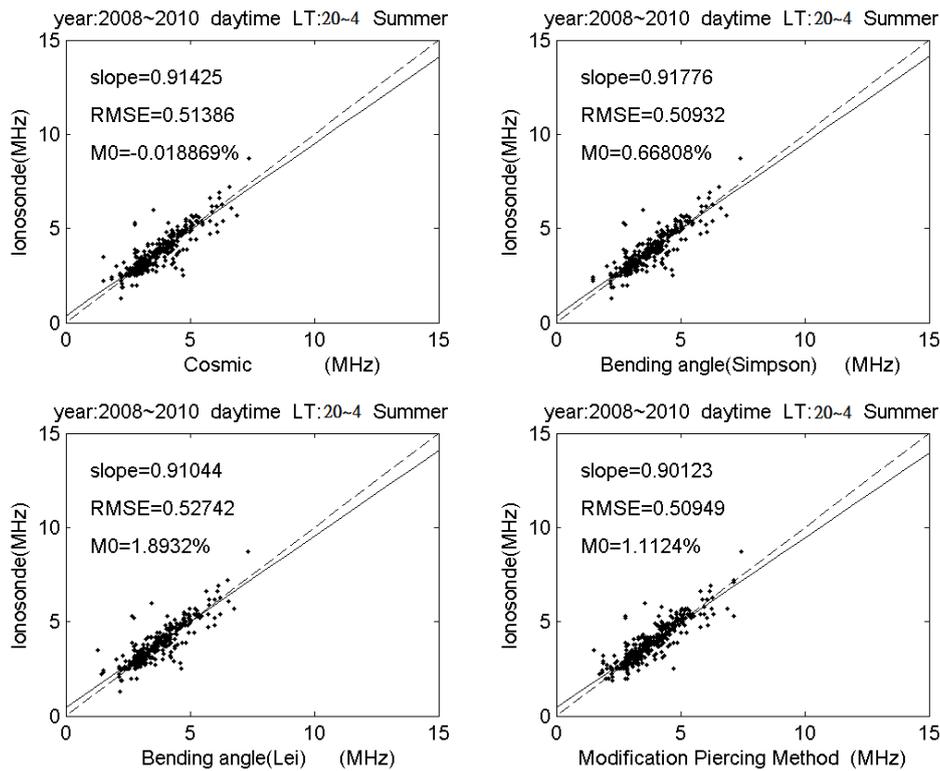


圖 12、2008~2010 年夏季夜間散佈圖。左上方為電離層探測儀與 COSMIC 公佈之資料的散佈圖，右上方為電離層探測儀與分佈積分法之散佈圖，左下方為電離層探測儀與本計畫所提方法的散佈圖，右下方為電離層探測儀與 Modification Piercing method 之散佈圖。

圖 13~圖 15 為 2008~2010 年每個月的  $M_0$ 、相關性與 RMSE 圖，本研究計畫所提出的積分方式，在北半球的結果幾乎都比其他方法的準確度高。南半球冬天結果較差，基本上應與電離層探測儀數量與位置，在南半球較少有關。可以看出在 RMSE 各個方法的差異並不大，但在夏季都有變差的趨勢，代表精確度上個方法差異性並不大。相關性上，則三年的各月平均，基本上差異不大。

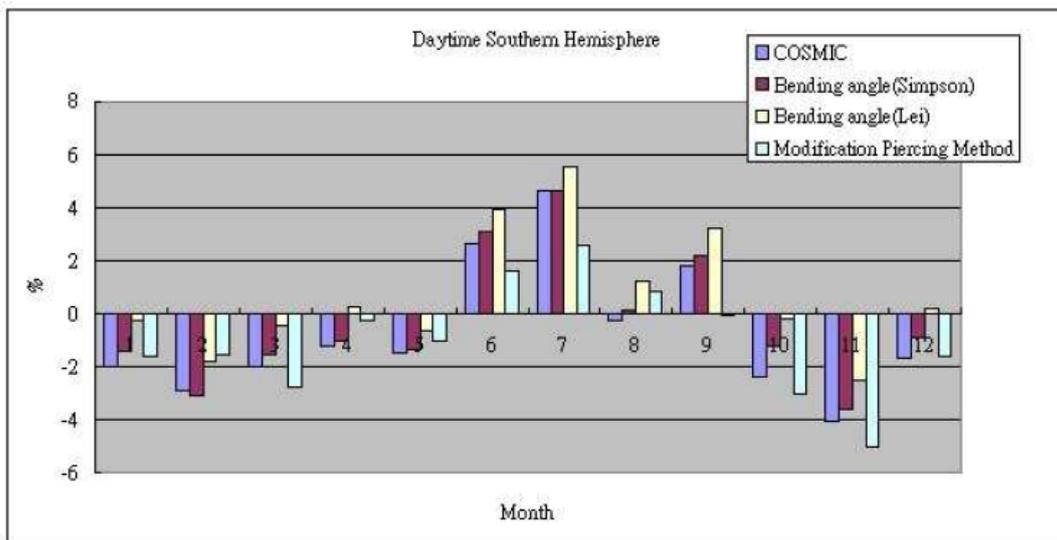
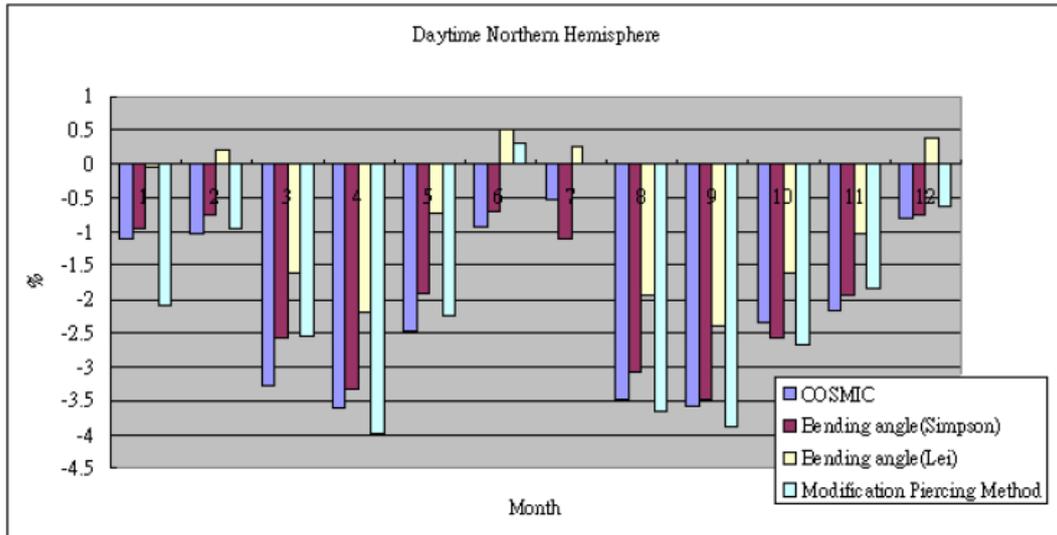


圖 13、2008~2010 年日間各月平均  $M_0$  統計圖，上圖為北半球，下圖為南半球。

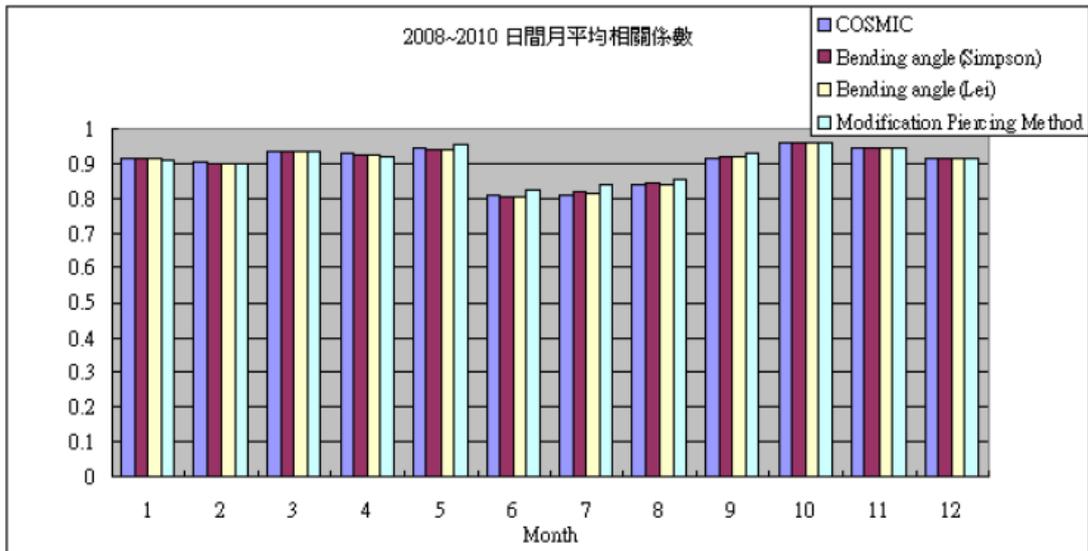


圖 14、 2008~2010 年日間各月平均日間各月相關係數統計圖。

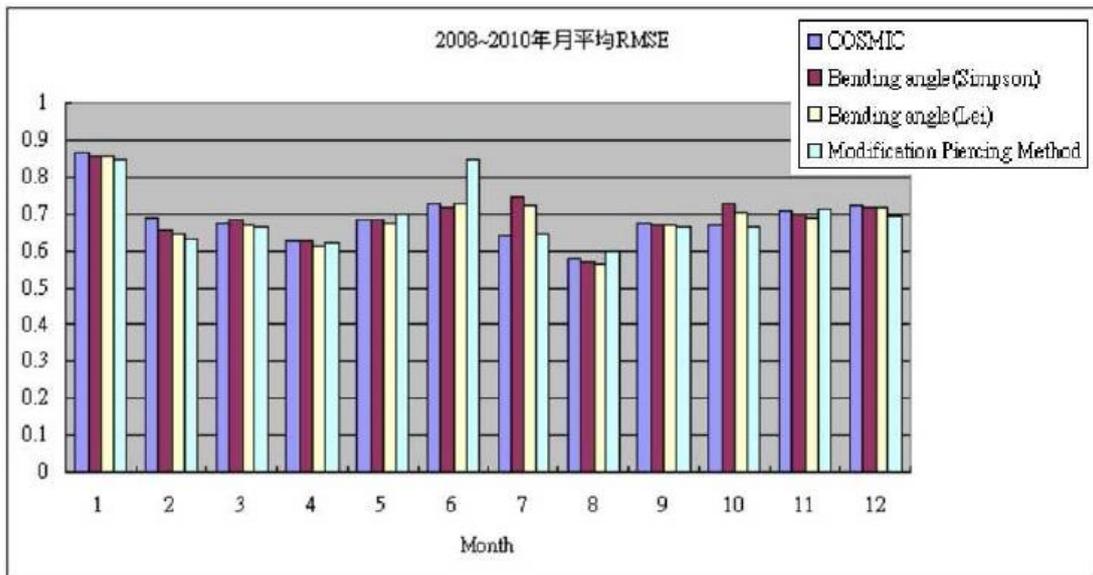


圖 15、 2008~2010 年日間各月平均日間各月 RMSE 統計圖。

#### 四、 結論

透過反演方法的蒐集，建立新的積分法，帶入反演方法中，獲得結果，確認積分法修正的可行性。

掩星資料經由各個不同反演法，獲得類似的結果。與實際地面電離層探測儀觀測資料進行比對，發現使用全電子含量與偏折角兩種不同的物理量進行反演在電離層的高層和低層有比較大的誤差，但是在F層的兩者的數值是貼近的。

日間F層多數情況下偏折角反演出來的準確度較高，夜間則全電子含量的準確度較高。在精確度上，日間與夜間兩個時段，差異並不大。

#### 五、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
蒐集與推導由偏折角演算過程中所應用的積分方法	100 %	已完成
蒐集與推導由全電子含量演算過程中所應用的積分方法	100 %	已完成
於電波掩星反演法中，修正或建立新的積分方式	100 %	已完成
利用實際地面觀測資料，分析與比較各演算過程中的誤差	100 %	已完成
報告撰寫	100%	

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

第三次進度報告

工作項目(4.4):以掩星資料進行電離層同化及福七OSSE(第二版)報告

(III)

期末報告計畫名稱：以掩星資料應用於太空天氣分析模擬等前置技

術發展：以掩星資料進行電離層同化及福七

OSSE

執行期間： 2012/02/18~2013/02/17

分項工作管理人：林建宏

參與人員：孫楊軼、林其彥、李奕德、

周中婷、陳佳宏、黎文筠

中 華 民 國 1 0 2 年 2 月

## 一、 摘要

福爾摩沙衛星三號超過5年的電離層觀測資料已經被證明可以讓人類觀測到更多的太空環境參數，利用過去缺乏的海上觀測以及電子密度高度分布資訊，科學家了解低層大氣與太空天氣耦合效應 (Lin et al., 2007a; 2007b)；也發現南極威德海 (Weddell Sea) 的夏季電子密度異常在北歐以及北日本與韓國其實都有類似的現象 (Burns et al., 2008; Lin et al., 2009; Lin et al., 2010; Burns et al., 2011)；進一步了解高緯度平流層瞬時暖化 (stratospheric sudden warming, SSW) 如何經由影響大氣潮汐讓低緯度電離層受到影響 (C. H. Lin et al., 2012; J. T. Lin et al., 2012)。這些科學成果都使福衛三號成為知名衛星任務，但是福衛三號觀測仍然存在兩個不足之處，一是雖然福衛三號一天有2,500點觀測，但是電離層隨local time有明顯變化，因此每小時全球約100點的觀測量仍嫌不足，目前的研究成果大都需要累積約20天的觀測資料得到三維電離層全球觀測，此種資料處理方式僅對於研究較長期電離層變動有幫助。另一不足之處是目前的電子密度反演，需要假設大範圍電離層電子密度屬於均勻分布，此一假設使得低緯度地區200公里以下的電子密度會產生嚴重誤差 (Liu et al., 2010)。解決這些不足需要發展電離層資料同化技術，利用資料同化技術將福衛三號與其他電離層觀測同時進行資料同化到電離層模式，以得到每小時電離層全球分布，此外，由於此項工作也利用其他觀測資料 (如地面GPS觀測)，因此在掩星觀測位置得到的電離層電子密度分布將具備福衛三號或七號掩星觀測資料以及其他觀測資料同化至模式，所得到的電離層電子密度分布將可能比目前的反演系統好，並可改善目前200公里高度以下的反演誤差。

## 二、 前言

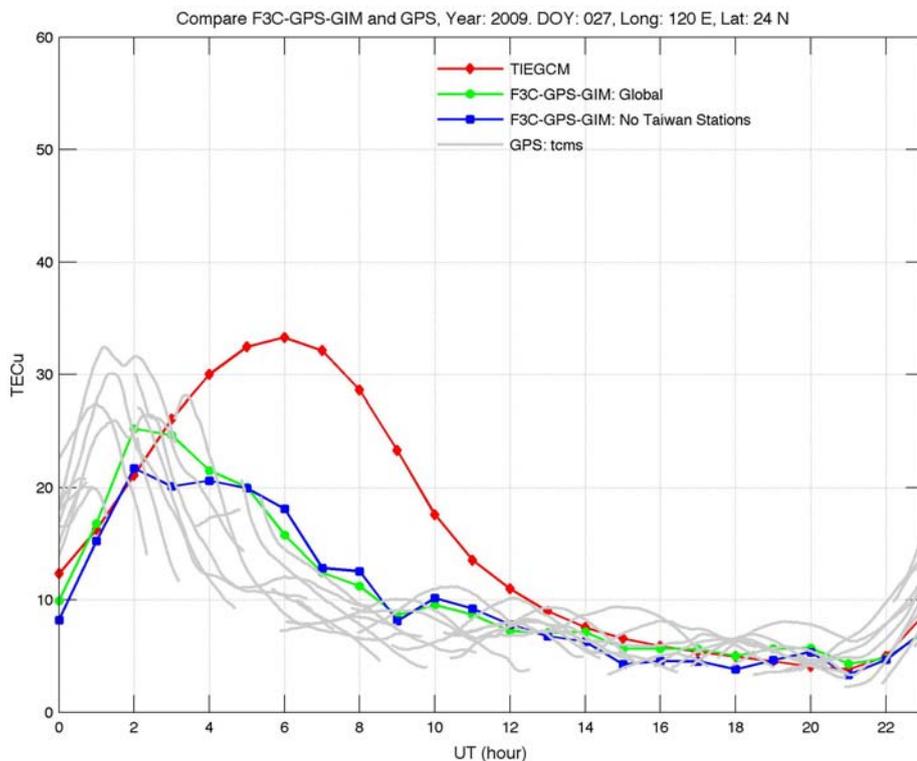
本年度原規劃支工作為繼續發展以Discrete Kalman Filter建立全球電離層全電子含量圖，以及Ensemble Kalman Filter的初步發展。同時希望能夠評估是否這些資料同化模式可以應用於福衛七號電離層反演，並以本計畫發展之資料同化模式進行福衛七號之模擬系統實驗。

## 三、 成果報告

利用福衛三號觀測以及地面 GPS 站觀測資料同時同化到本計畫以 discrete Kalman filter 所建立之資料同化模式，並將地面 GPS-TEC 資料與同化後結果比較，圖一顯示紅線為利用 NCAR-TIEGCM 輸出的背景場於台灣上空( $120^{\circ}\text{E}$ ,  $24^{\circ}\text{N}$ )的全電子含量在 2009 年 1 月 27 日一天內變化情形，可以看到背景場在 0600 UT (1400 LT)達到最大值，而同化後的結果（綠線）顯示全電子含量在 0200 UT (1000 LT)即達到最大值，其結果與該點附近地面 GPS 接收站之全電子含量觀測（灰線）相近，如果我們再次進行資料同化模式的運算，並忽略該地點的地面 GPS 資料，則會得到藍線的結果，此結果雖不如綠線一般與地面觀測站相近，但仍然顯示最大全電子含量出現的時間為 0200 UT (1000 LT)，顯示即便該點附近之地面 GPS 站資料未同化至模式，但附近的地面 GPS 資料仍足以影響其結果，使得同化後的結果與背景場有很大的差異。圖二顯示資料同化模式僅同化福衛三號資料，並嘗試同化一天，事件前後一天（共三天），前後兩天（共五天）的福衛三號電離層掩星資料（同化電離層垂直電子濃度積分後之全電子含量），結果顯示掩星資料產生的結果是較背景場較低的全電子含量，但最大全電子含量與背景場相近。

我們也在多個區域進行類似的比較，圖三顯示於  $130^{\circ}\text{E}$ ， $-24^{\circ}\text{N}$  澳洲中

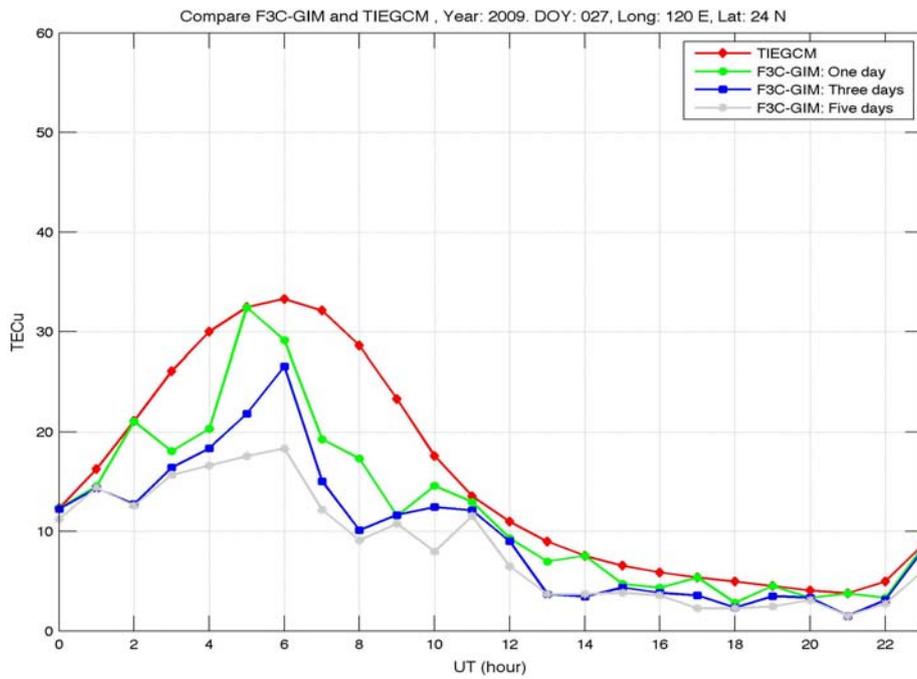
部得到相似於圖一的比較，結果一樣顯示包含地面 GPS 觀測站的同化結果與地面 GPS 站資料較接近，而排除地面 GPS 資料的同化結果則不若圖一所顯示與包含地面 GPS 資料結果如此相近，推測原因是澳洲附近所同化的地面 GPS 站較少，去除掉該點附近的地面站資料會使結果差異變大。圖四則顯示僅同化福衛三號資料之結果，再次顯示僅在特定的時間點，全電子含量比較背景場有明顯下滑趨勢，顯示福衛三號資料僅於幾個時間點在該區域有觀測量，並影響資料同化模式的結果。



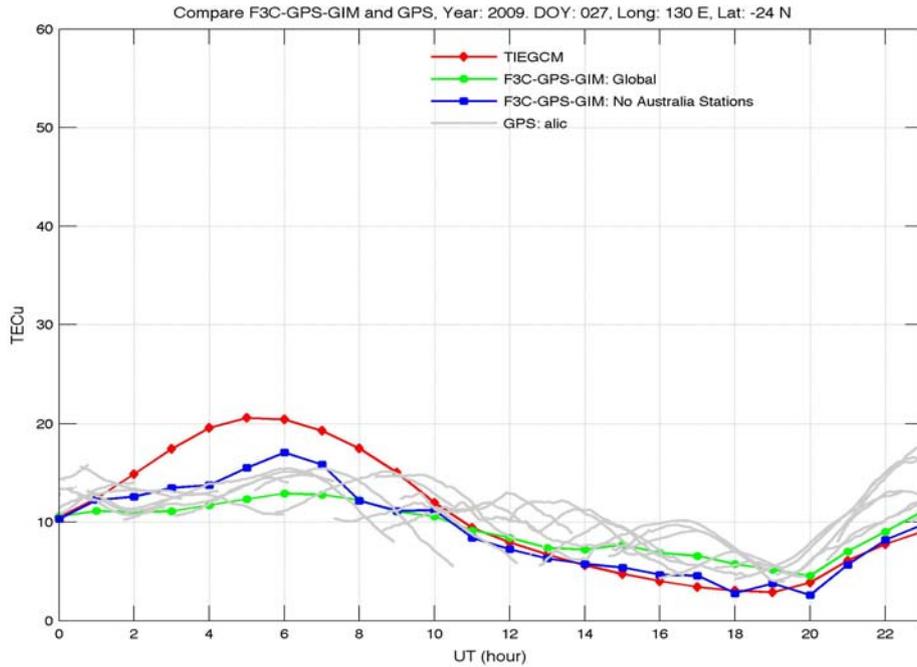
圖一、資料同化模式於 120°E，24°N 之背景場(紅線)、同化後之全電子含量(綠線)、該點附近之地面 GPS 觀測之全電子含量(灰線)、忽略該地點附近地面 GPS 站資料之同化模式結果(藍線)。

本階段工作得到一個重要的啟示，即地面 GPS 觀測站的資料對於福衛三號的資料同化模式有重要的影響，因此下階段工作重點為評估在現有福衛

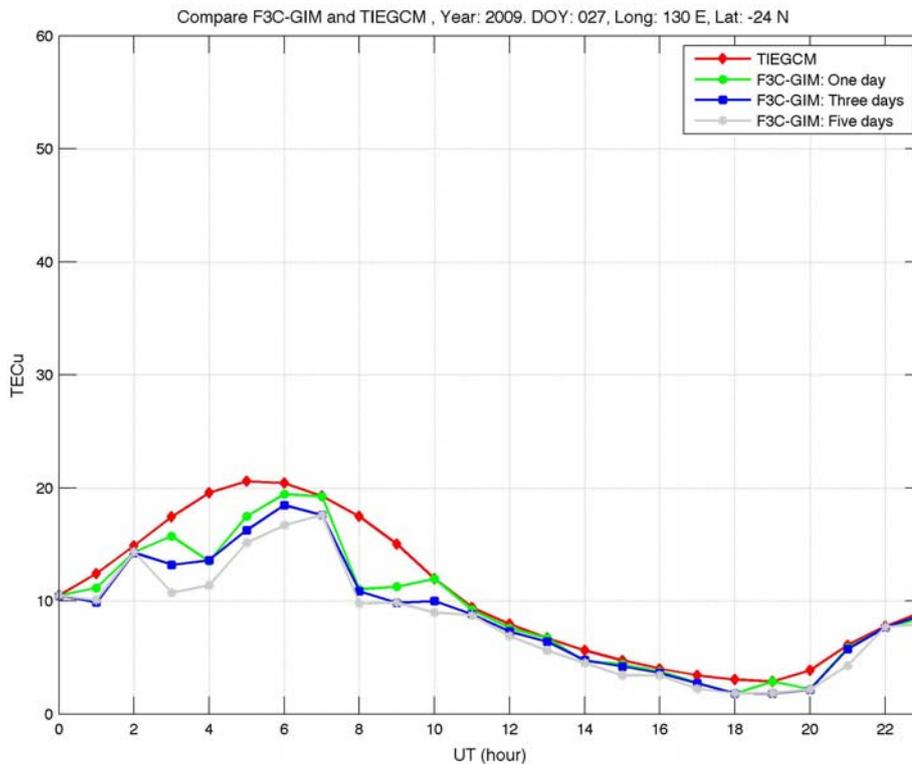
三號的觀測點，以及未來福衛七號可得到的觀測點之下，要選取多少地面 GPS 站資料，使得資料同化模式可以得到改進的結果之下，同時保有運算效率，並且可以得到與地面驗證站的資料較為接近的結果。



圖二、資料同化模式於 120°E，24°N 之背景場(紅線)、同化一天(綠線)、三天(藍線)、五天之福衛三號觀測全電子含量(灰線)同化模式結果。

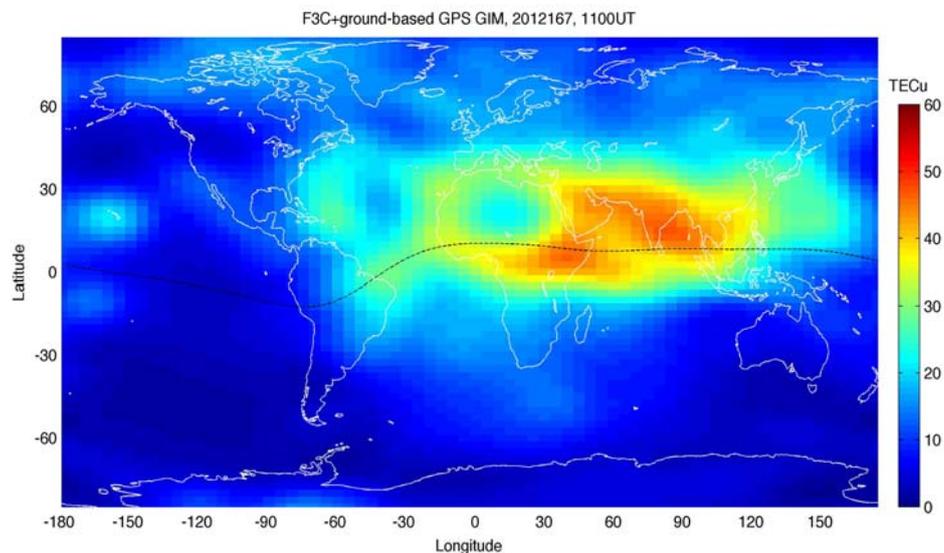


圖三、資料同化模式於 130°E, -24°N 之背景場(紅線)、同化後之全電子含量(綠線)、該點附近之地面 GPS 觀測之全電子含量(灰線)、忽略該地點附近地面 GPS 站資料僅同化福衛三號觀測之結果(藍線)。

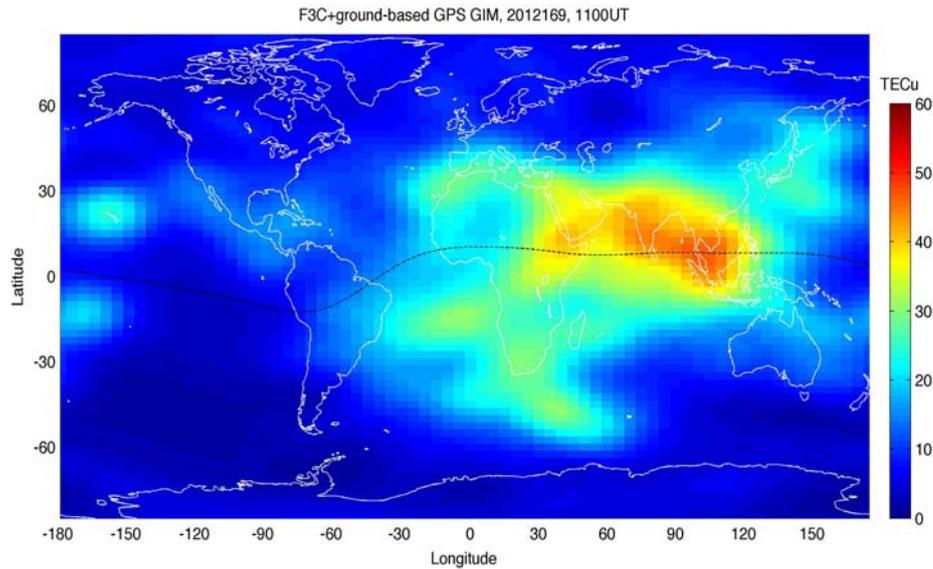


圖四、資料同化模式於 130°E, -24°N 之背景場(紅線)、同化一天(綠線)、三天(藍線)、五天之福衛三號觀測全電子含量(灰線)同化模式結果。

經過上述評估後，我們確認地面 GPS 接收機網對於輔助福衛三號觀測建立電離層資料同化的重要性，並將此技術應用於 2012 年 6 月 17 日的小規模太陽磁暴對地球電離層電子密度的影響觀測。圖五顯示以本計畫所建立的全球電子含量(TEC)分布圖於磁暴前 (2012 年 6 月 15 日) 之結果，圖六則顯示磁暴天的全電子含量變化，可以看到北半球中高緯度的全電子含量在磁暴天減少，並且可以看到在經度 0-30 度南半球呈現磁暴時常出現之 storm enhanced density (SED)現象。



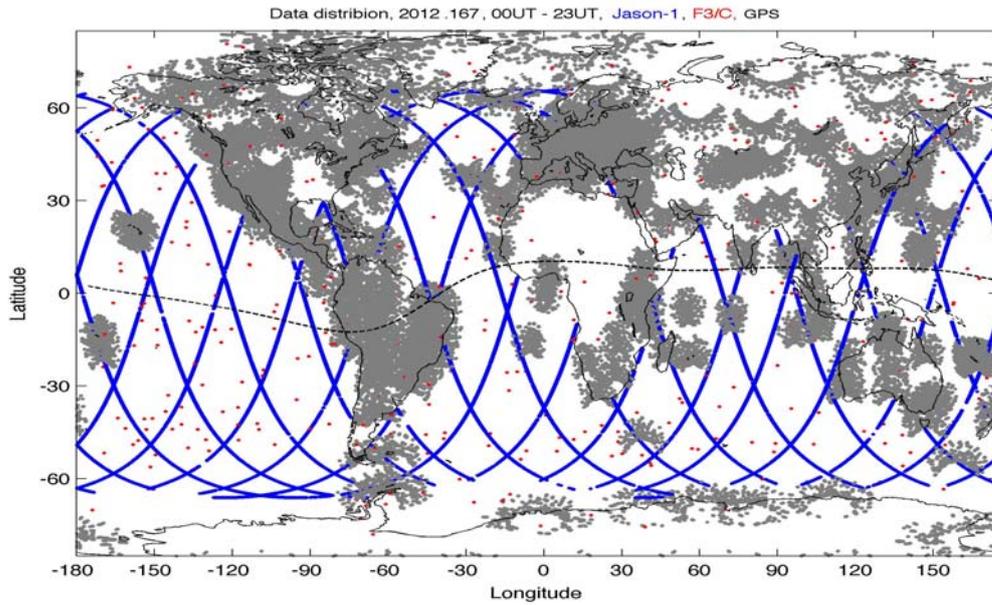
圖五、結合地面 GPS 與福衛三號觀測建立之全球電子含量圖於磁暴前 (2012 年 6 月 15 日)之觀測結果。



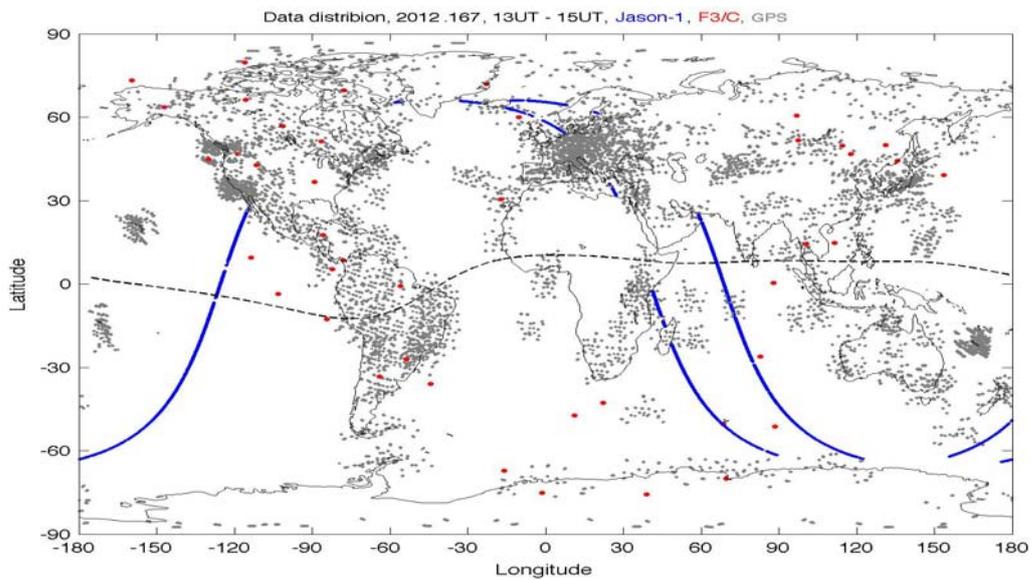
圖六、結合地面 GPS 與福衛三號觀測建立之全球電子含量圖於磁暴天 (2012 年 6 月 17 日)之觀測結果。

### 評估同化 JASON-1 TEC 資料至全球電離層 TEC map

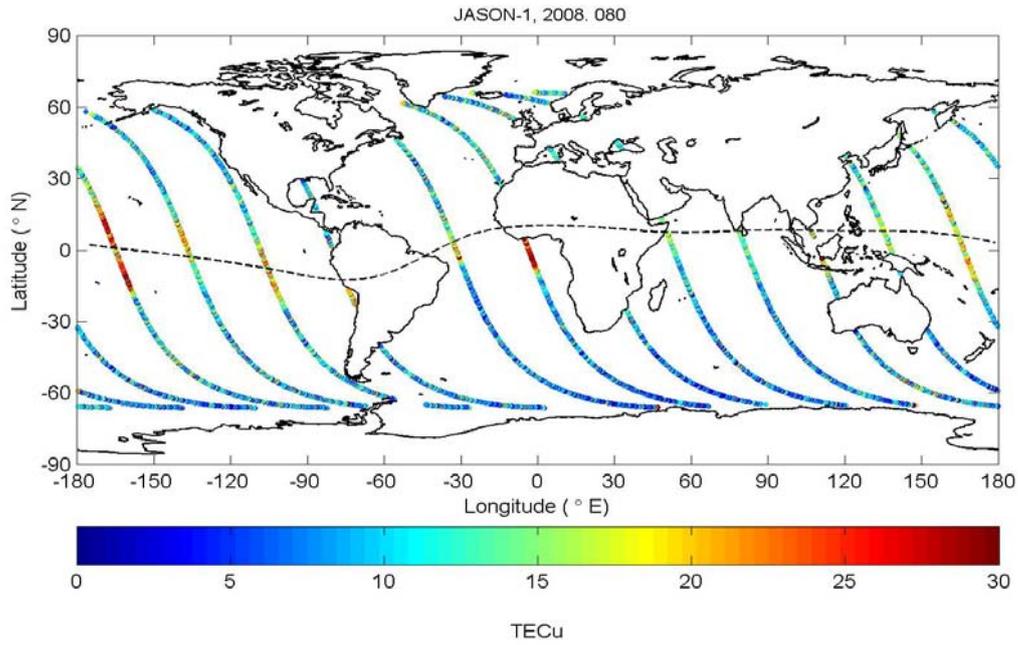
由於福衛三號的觀測點數在海面上仍嫌不足，利用海面測高衛星如 TOPEX 或其後繼之 JASON 衛星可以提供進一步的觀測資訊，因此我們評估比較分析福衛三號，地面 GPS 接收站資料，以及 JASON-1 於一天中 (圖七) 以及 3 個小時 (圖八) 的觀測點分布，圖中可知，JASON-1 的觀測點可補助目前日益減少的福衛三號掩星觀測資料點，圖九則顯示 JASON-1 TEC 可以捕獲低緯度電離層赤道異常(equatorial ionization anomaly, EIA)現象，圖十更進一步累積多天 JASON-1 TEC 資料，除了可以看到 EIA，也可以看到 EIA 因為季節效應產生的南北半球不對稱分布。此外，我們進一步比較傳統 GIM，JASON-1 TEC，以及本計畫建立的電離層 TEC map 模式尚未同化 JASON-1 TEC 時的差異 (圖五)，可以看到 GIM 的結果較為高估，而本計畫建立之電離層 TEC map 則較為低估，因此同化 JASON-1 TEC 對於本計畫發展之 TEC 資料同化模式具有重要性。



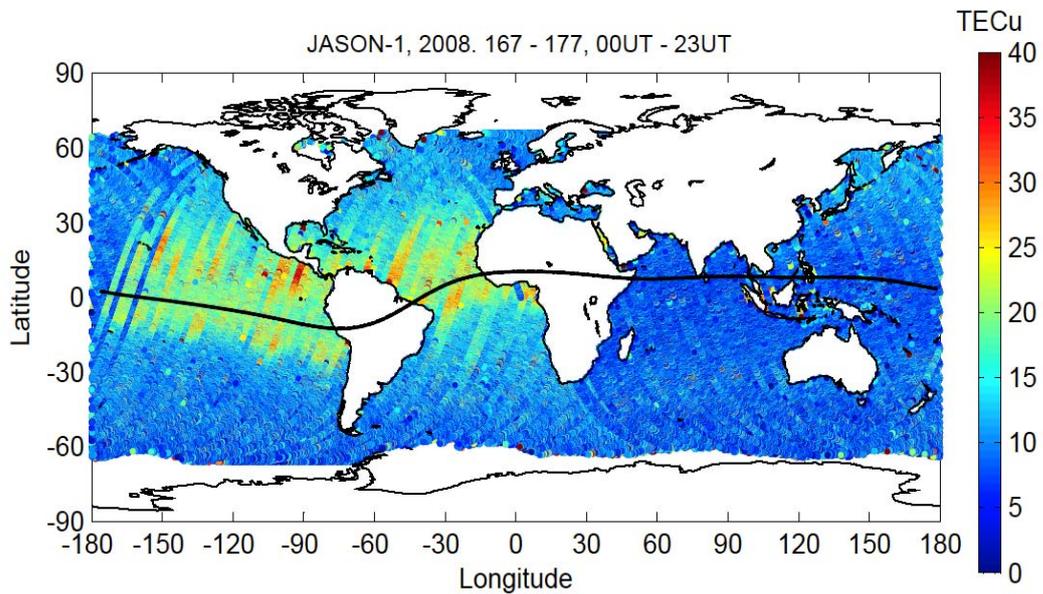
圖七、JASON-1(藍色)、F3/C(紅色)和地面 GPS 觀測站(灰色)於 2012 年 DOY: 167 (00-23UT) 累積資料點數的分佈情形。



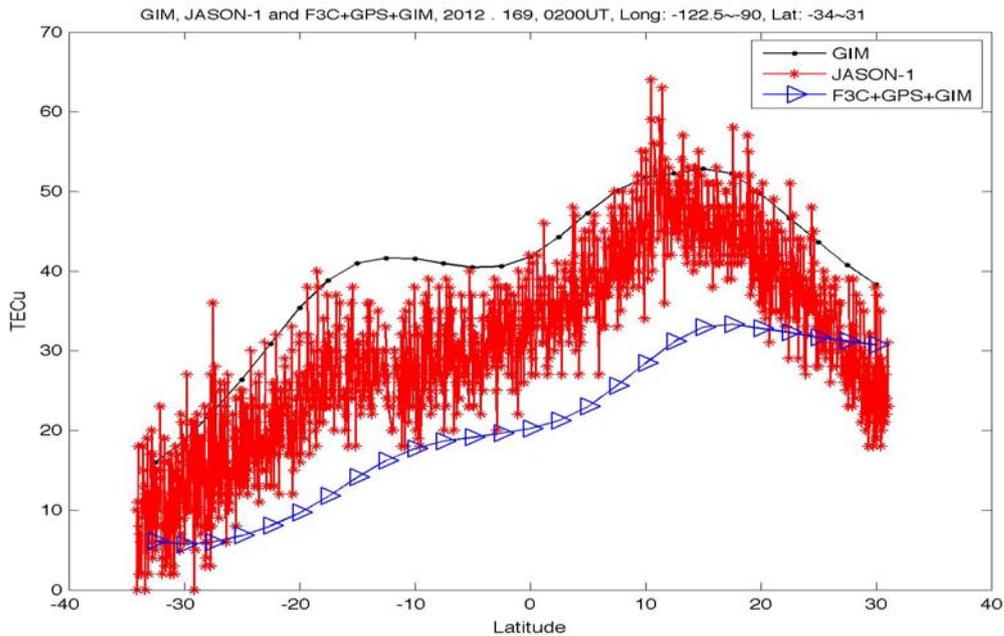
圖八、JASON-1(藍色)、F3/C(紅色)和地面 GPS 觀測站(灰色)於 2012 年 DOY: 167 三小時累積資料點數的分佈情形。



圖九、JASON-1 一天的電離層全電子含量觀測，該衛星可觀測電離層赤道異常現象(equatorial ionization anomaly, EIA)。

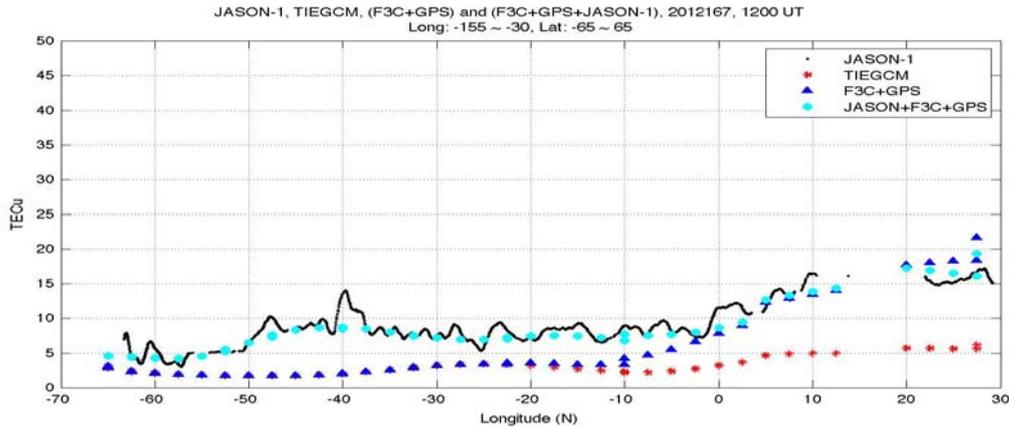


圖十、累積 10 天的 JASON-1 TEC 觀測資料，可以明顯看到南北不對稱的電離層赤道異常峰(asymmetric EIA crests)。



圖十一、比較傳統 global ionospheric map (GIM) (黑線)，JASON-1 (紅線)，以及本計畫以地面 GPS 接收站以及福衛三號觀測建立之電離層模式位於 JASON-1 軌道的 TEC 比較，JASON-1 觀測將有助於提升目前較為低估的 TEC 值。

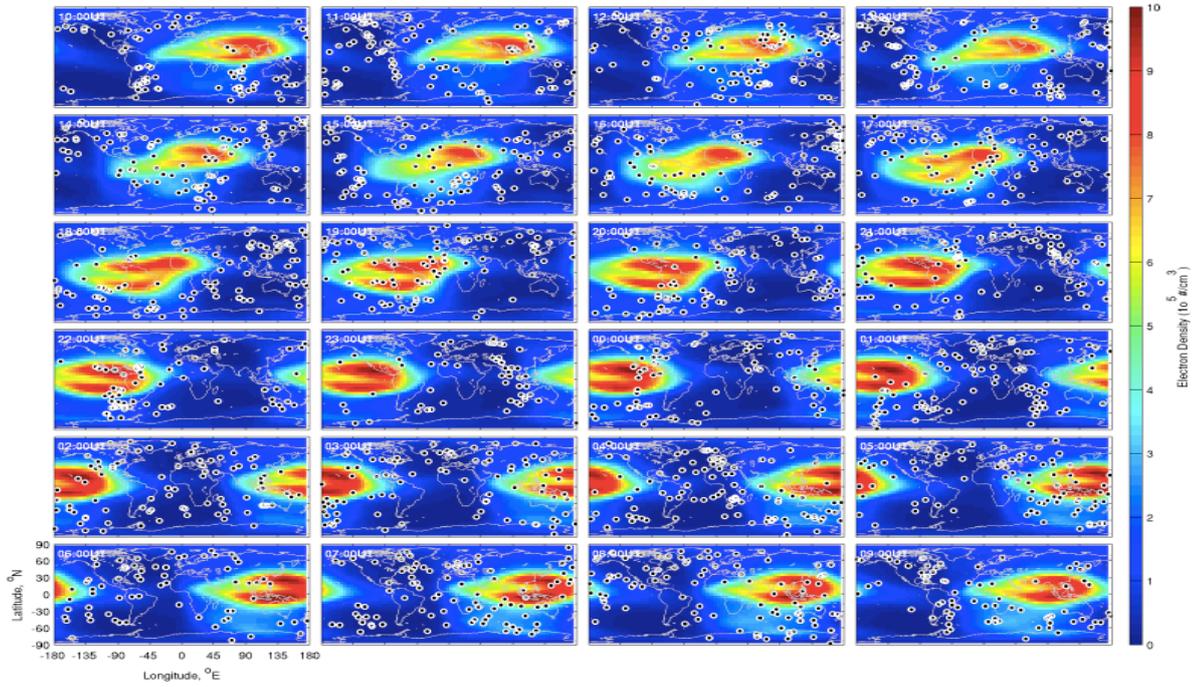
圖十二比較同化 JASON-1 資料後之 TEC 結果與未同化該觀測量之結果比較，並且與背景場以及 JASON-1 自身觀測之比較，可以看到考慮 JASON-1 觀測後之資料同化結果與 JASON-1 的觀測較為接近，因此該衛星資料的觀測在本季的工作中，已經包含在資料同化模式的程式模組中。



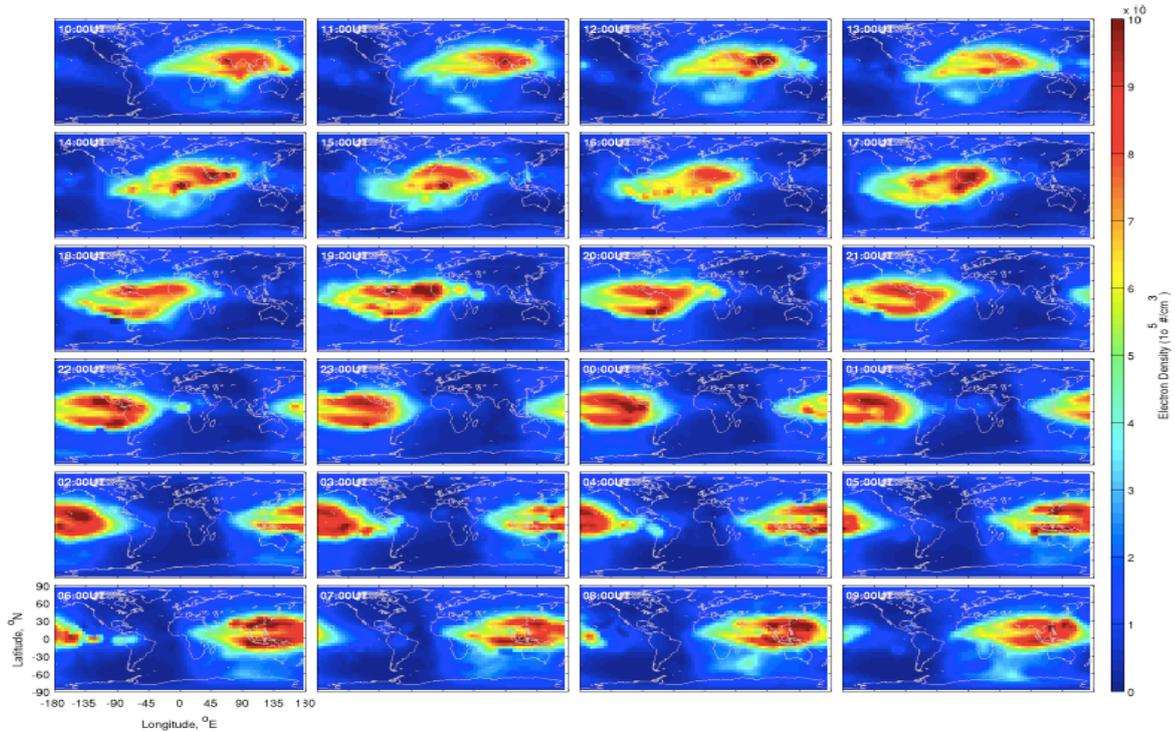
圖十二、比較同化福衛三號與地面 GPS 以及 JASON-1 資料後之 TEC 結果(水蘭圓點)與未同化 JASON-1 之結果(藍三角)，並與背景場(紅圓點)、JASON-1 觀測比較。

### 以 Ensemble Kalman filter 同化福衛三號資料至 NCAR TIEGCM

除了評估 JASON-1 TEC 對於本計畫所建立之電離層 TEC 分布圖的影響之外，本季工作包括利用 ensemble Kalman filter 進行福衛三號資料同化，本計畫所採用之方法為將背景場 NCAR TIEGCM 以調整 f10.7 或是大氣潮汐參數方式得到 90 各 ensemble number，並計算這些 ensemble number 的 error covariance，同時將福衛三號資料在這 90 個 ensemble number 進行 Kalman filter 的計算（圖十三），並進一步更新 error covariance 以及 Kalman gain，在進一步的經由 Kalman filter 的步驟更新 model output，以此流程得到圖十四的資料同化結果，可以看到背景場的電子密度在經過同化觀測量之後，觀測點附近的電離層電子密度被修正到較大的值。後續工作將嘗試考慮電子密度以外的其他 state vector，例如電離層電場，高緯度電離層電位等參數。本項工作目前同化的是掩星觀測經過 CDDAC 反演為電子濃度垂直剖面變化。



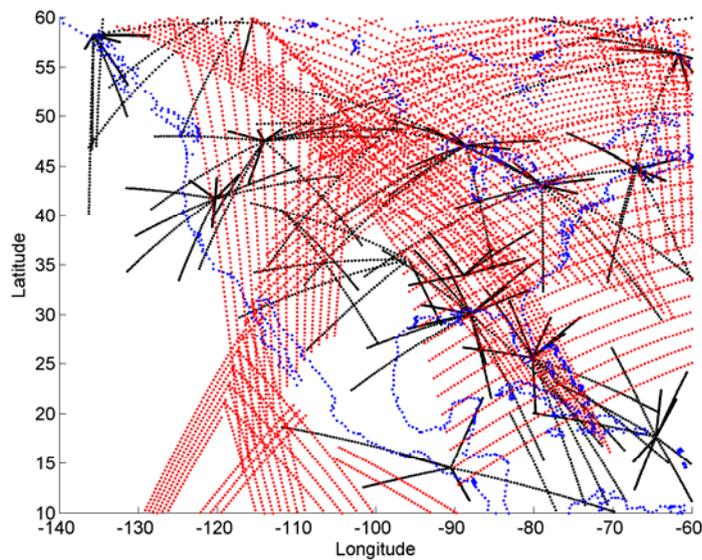
圖十三、NCAR-TIEGCM 背景場於電離層 F 層(約 300 km altitude)以及福衛三號觀測資料點位置(白色空心圓圈)。



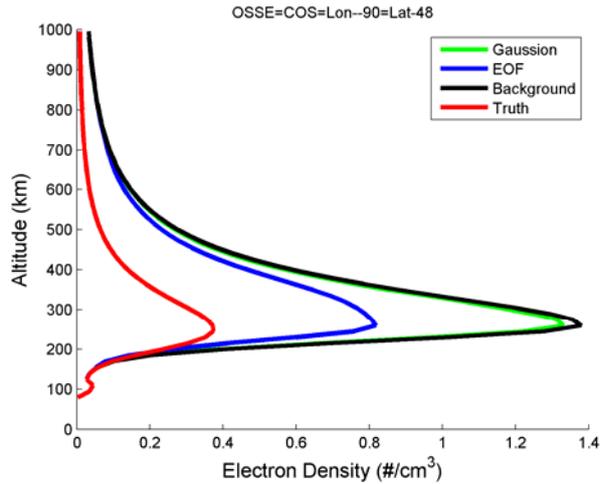
圖十四、以圖十三之背景場模式，以及福衛三號觀測，進行 ensemble Kalman filter data assimilation 所得到之電離層 F 層電子密度分布。

### 評估以資料同化模式反演福衛三、七號掩星觀測：

本計畫同時評估以資料同化模式進行福衛三號掩星觀測反演之可能性。利用 Kalman Filter 並考慮三維 error covariance，圖十五顯示搭配地面 GPS-TEC 射線以及福衛三號水平 TEC 射線所包含的空間分布，以及反演後的結果（圖十六），由圖十六結果可知，利用 EOF 與高斯分布所建立的三維 error covariance 進行的 Kalman Filter 資料同化得到的結果最接近本模擬實驗的真實場。



圖十五、掩星 TEC (紅線)、地面 GPS-TEC (黑線)，共同使用於進行資料同化反演福衛三號資料實驗。



圖十六、以觀測模擬系統模擬以資料同化反演福衛三號觀測的結果，紅線為真實結果，黑線為初始場，綠線為以三維高斯分布作為 error covariance 之結果，藍色為結合 EOF 以及高斯分布所建立的 error covariance 的反演結果。

#### 四、 結語

本分項工作進行了多項資料同化研究工作，包括同化地面 GPS 資料、福衛三號與海洋測高衛星資料建立全球 TEC 圖、ensemble Kalman Filter 先期發展，以及以資料同化技術反演福衛三號或七號的掩星反演可行性評估。所受補助之金額約 70 萬元，遠低於原先規劃工作所需之預算規模，因此許多工作應可以更進一步深入研究，但礙於經費（人力）限制，並無法在本年度完成。即便如此，本年度的預設研究目標皆已達成。

## 五、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
Ensemble Kalman filter 同化資料於理論電離層模式	完成	利用 NCAR DART 與 TIEGCM 同化電離層垂直電子密度於同化系統中，發現可以改進電子密度以及中性大氣溫度變化。
Discrete Kalman filter與3-D error covariance 建立	完成	本報告所使用的資料同化模式即為包含 3D error covariance 的 discrete Kalman filter based 資料同化模式。
評估利用資料同化模式反演福衛七號電離層掩星觀測	完成	以 discrete Kalman filter 以及 IRI 模式或 TIEGCM 模式為背景場，並同化掩星全電子含量。
先期計算分析地面GPS與福衛三號電離層資料	完成	本工作已完成，並新增 JASON-1 觀測資料。
評估利用福衛七號觀測建立即時全球電離層圖	完成	基礎的同化模式已經完成，需要太空中心確認福衛七號軌道以及接收哪些 GNSS 衛星後即可進行相關評估工作。

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(5.1): 電離層掩星資料反演軟體及軟體使用手冊(第二版)、

測試報告

期末報告計畫名稱：掩星資料處理技術建置：掩星資料處理系統與

電離層自主反演技術發展

執行期間： 2012/02/18~2013/02/17

分項工作管理人：蔡和芳

參與人員：吳靜美、黃成勇

中 華 民 國 1 0 2 年 2 月

## 一、 摘要

自主發展之電離層反演模組包含一次差電離層超量相位估算程序及電離層反演程序。前者由 GPS 掩星觀測量估算電離層的超量相位 (excess phase)；後者以幾何光學法估算電離層偏折角 (bending angle)，最後以 Abel 反演積分法求得電離層電子密度剖線。現階段以 CDAAC 最新版軟體 (4.00 版) 為藍本，配合其自動化流程控制介面設計，將已發展之電離層反演模組整合到 CDAAC 4.00 中。測試結果顯示目前已可自行反演出福衛三號電離層電子密度剖線。

## 二、 前言

本計畫為應用福衛三號 GPS 掩星電離層觀測量於太空天氣之監測與預報，規畫自主發展 GPS 掩星電離層反演程序，並與美國 UCAR 所發展之 CDAAC 軟體整合，以利提供更精準且更密集的電子密度等電離層觀測參數，改善電離層模式之初始條件，使國內監測或預測太空天氣劇烈變化之能力大為提升。這些科研成果直接應用於國防民生及氣象之防災預警，實質彰顯 FORMOSAT-3/COSMIC 掩星觀測的科學應用面價值。

在研發電離層反演程序的過程中，發現了自主發展福衛三號電離層反演所面臨的挑戰。首先發現 CDAAC 所估算之電離層超量相位 (excess phase) 有許多非物理性的奇異點 (singular point)。再比較交大團隊和 CDAAC 所估算的 GPS、LEO 時錶偏差值，對電離層都卜勒頻移 (Doppler shift) 的影響，結果顯示：CDAAC 以零次差估算之電離層超量相位，可能有周波脫落未加以補償，因此無法直接用來進行單頻偏折角反演。其中，交大和 CDAAC 所估算的 GPS 時錶偏差相當一致，因此懷疑奇異點也和福三 LEO 時錶偏差有關。

為了判斷何者較為可信，故再取國際公認 LEO 時錶品質較佳的 GRACE 資料，進行分析。結果顯示：反演後的電離層電子密度剖線和 CDAAC 一致，因此初步證明了自主電離層反演的可行性。

儘管 CDAAC 以零次差分別估算 L1 和 L2 雙頻之電離層超量相位，但在電離層反演程序中，假設雙頻訊號沿直線傳播，而對超量相位做雙頻差分，估算電波路徑上的電離層總電子含量 (TEC)，再以 TEC 反演出電離層電子密度剖線。而 LEO 時錶偏差項在雙頻差分時，就互相抵消了，因此可以說，其 TEC 反演法與 LEO 時錶偏差無關。

反觀本文所採用的單頻偏折角反演，需讀入無 LEO 時錶偏差之電離層超量相位，而上述之分析比較結果，都顯示福三 LEO 時錶偏差之精度很可能直接影響電離層超量相位之精度，而反演出不良的電離層電子密度剖線，所以必須改用空中一次差以去除 LEO 時錶偏差，這使得原本規畫只發展電離層反演程序，還須另外發展一次差電離層超量相位估算程序，才能反演福衛三號電離層剖線。因

此本次進度所提之電離層反演程序中，已包含了一次差電離層超量相位估算。

### 三、 成果報告

自主發展之電離層反演模組包含一次差電離層超量相位估算程序及電離層反演程序兩部分。與 CDAAC 4.00 軟體整合後的資料流程如圖 1 至圖 5 所示。圖 1 中的 ioninv.pl 讀入 GPS 掩星觀測量 (podCrx)、絕對 TEC 觀測量 (podTec)、GPS 時錶校正值 (comClr) 等輸入資料，產出電子密度剖線 (ednPrf)。輸出入資料說明見表 1 和表 2。演算說明分述如下。

一次差電離層超量相位估算程序以空中一次差估算電離層超量相位。得以進行一次差的條件是，單一低軌衛星同時接收來自一顆掩蔽中的 GPS 衛星的訊號和另一顆非掩蔽中的參考 GPS 衛星的訊號。前者之 GPS-LEO 連線稱之為掩星連線 (occultation link)；後者稱之為參考連線 (reference link)。為進行空中一次差估算，本程序需讀入參考連線上的絕對 TEC 值 (podTec)，以求解掩星連線上的電離層超量相位與都卜勒頻移 (Doppler shift)。

圖 2 中的 ion\_inv.f 將每份下傳的 GPS 掩星觀測量 (podCrx) 依掩星事件分成很多小檔 (podPhs)，每個小檔只存放一個掩星事件的觀測量。一次差電離層超量相位估算程式 exphaseSD\_sh.m 依每個小檔的檔名，在 ionPhs 檔中找到相應之 GPS、LEO 坐標及速度分量，再從絕對 TEC 檔 (podTec) 找到可配對的參考連線，配合 GPS 時錶校正值 (comClr) 估算電離層超量相位。

電離層偏折角程式 benim\_sh.m 以幾何光學法估算電離層偏折角及相應之射距離 (impact distance)。最後以電離層反演程式 abel\_sh.m，以 Abel 反演積分法求得電子密度剖線 (ednPrf)。其結果樣本如圖 6 所示。

圖中比較自主發展之電離層反演模組所求得之電子密度剖線與 CDAAC 反演之電子密度剖線均有一致的趨勢，顯示反演結果具有定性上的可信度。定量上，圖 6a 顯示自主剖線略低於 CDAAC 剖線。在電離層層峰高度 hmF2 (約 250 公里處)，最大電子密度 NmF2 相差約  $4 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ，低於 CDAAC 約 30%。圖 6b 則反之，自主剖線略高於 CDAAC 剖線，但 hmF2 則較低。圖 6c 顯示兩剖線在 600 公里以上相當吻合，hmF2 也相當接近，惟 NmF2 相差 30% 左右。圖 6d 則顯示兩剖線在 600 公里以下相當接近，但 600 公里以上，CDAAC 剖線皆為無物理意義的負值。圖 6e 類似圖 6c；圖 6f 類似圖 6d，在 600 公里以上，CDAAC 剖線出現不連續的奇異點及無物理意義的負值，而自主反演程序則可排除這些狀況。

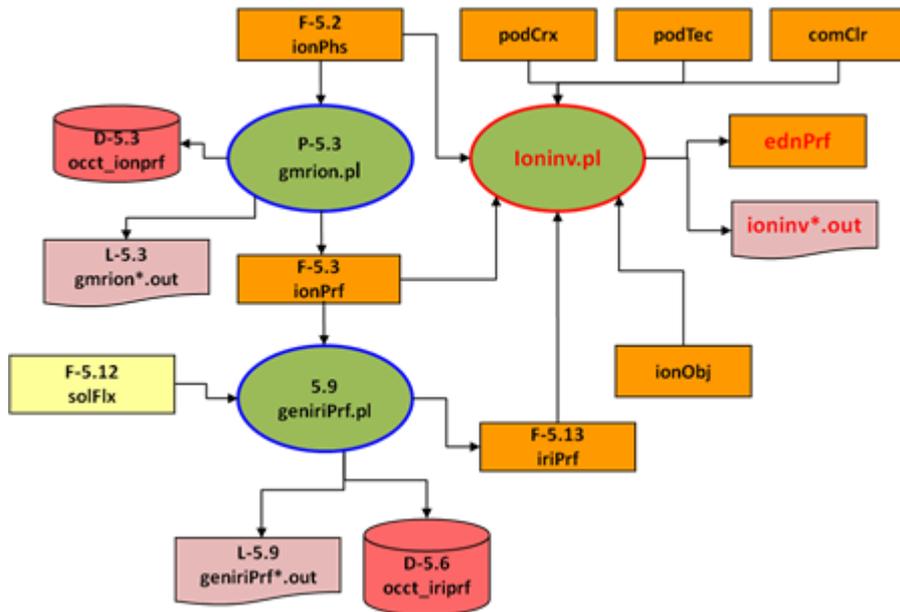


圖 1：自主發展之電離層反演程序（紅字部分）與 CDAAC 軟體之電離層反演程序（黑字部分）整合之資料流程圖第 1 層。產出之 ednPrf 相當於 CDAAC 軟體產出之 ionPrf。

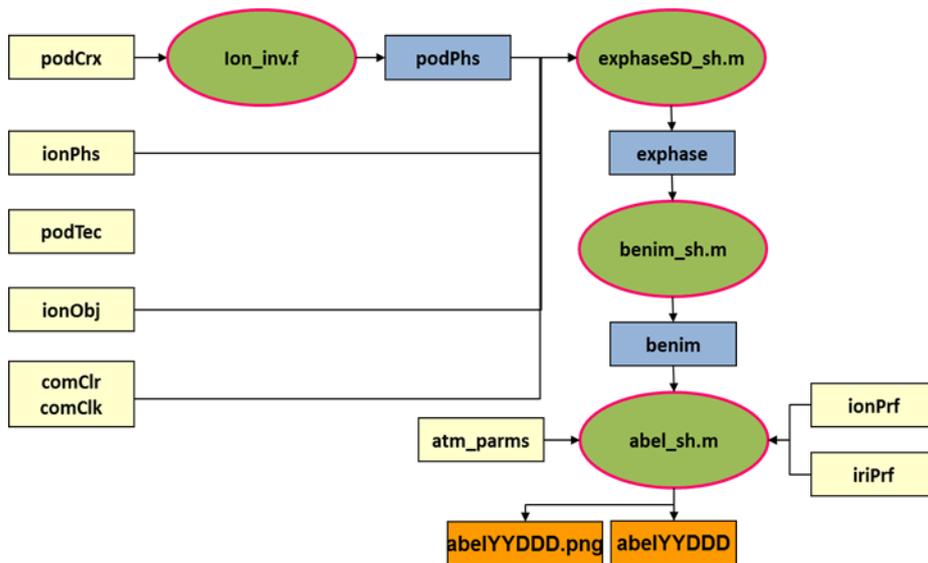


圖 2：自主發展之電離層反演模組第 2 層 (ioninv.pl)。

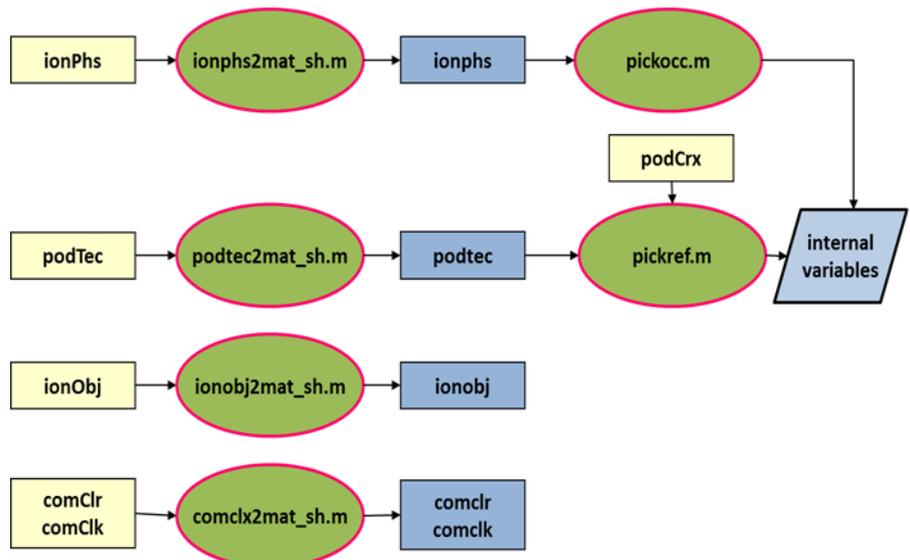


圖 3：自主發展之電離層反演模組第 3 層 (exphaseSD\_sh.m)。

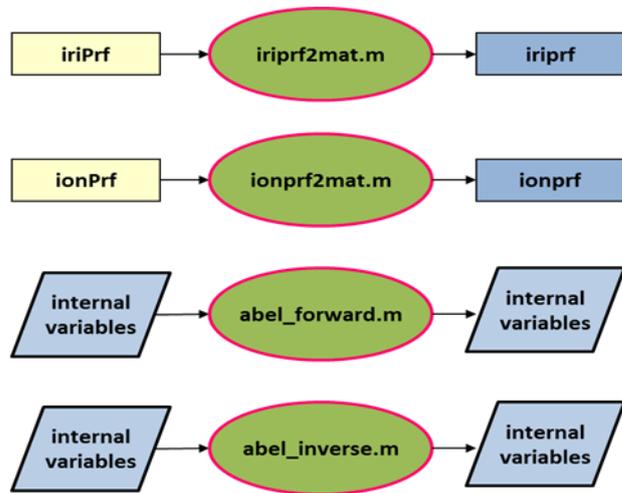


圖 4：自主發展之電離層反演模組第 3 層 (abel\_sh.m)。



圖 5：自主發展之電離層反演模組第 4 層 (pickref.m)。

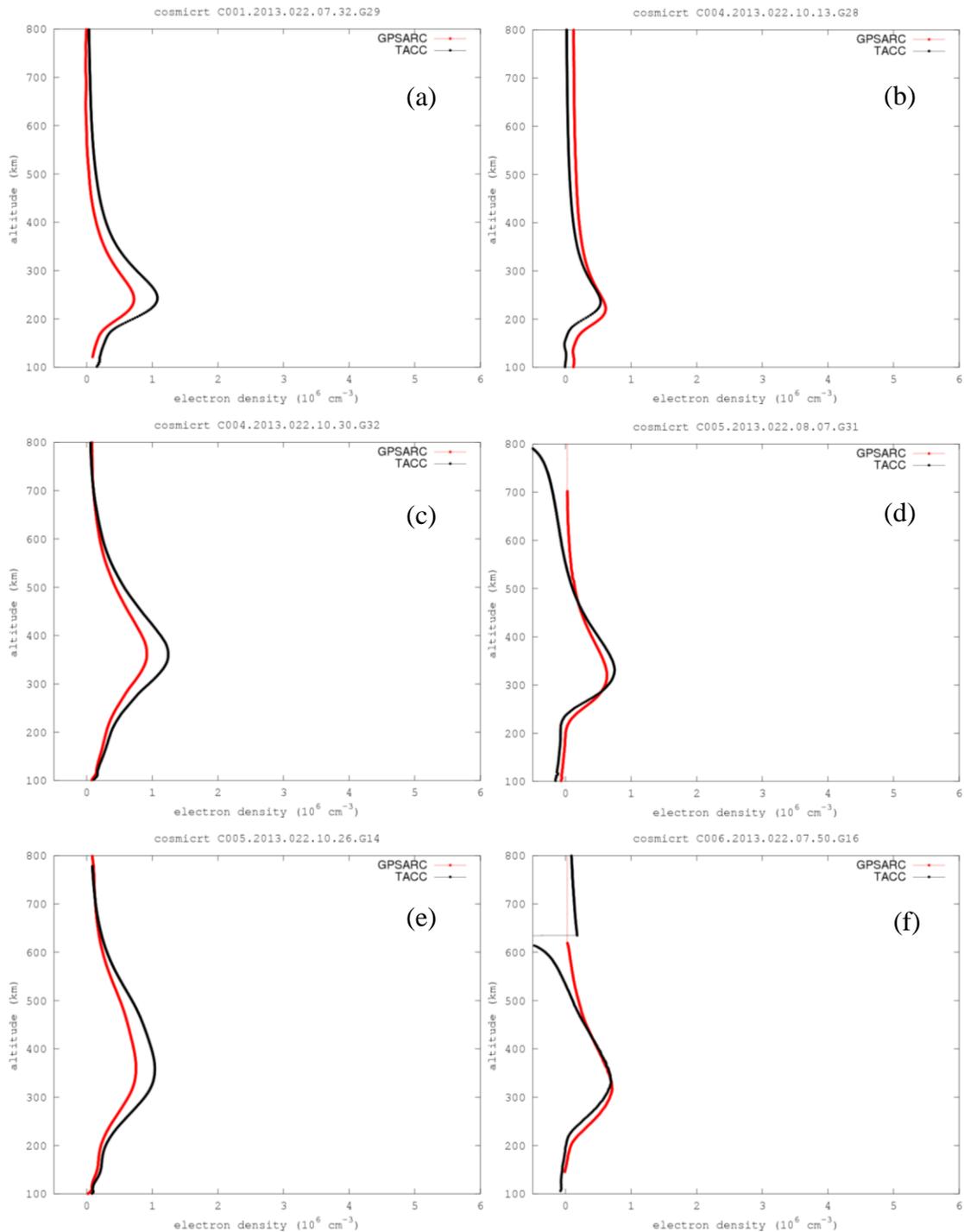


圖 6：自主發展與 CDAAC 電離層反演之電子密度剖線比較。

表 1：自主發展之電離層反演程序需輸入資料檔案命名規則及說明，其中 YYYY 為年份，DDD 為日數，LLL 和 IIII 均為低軌衛星編號，NN 為下傳編號 (dump number)，SSSS 和 VVVV 均為版本代號，TT 為 GPS 接收天線編號，HH 為小時，MM 為分鐘，UUUU 為紀錄時間的長度，GGG 為 GPS 衛星編號。

檔名	說明
comClr_YYYY.DDD.LLL.NN_SSSS.VVVV_clk	GPS 時錶校正值

podCrx_YYYY.DDD.LLL.NN.TT_crx.gz	GPS 原始觀測量，含 L1、L2 載波相位觀測量和 C/A、P2 虛擬距離觀測量（只用 POD 天線接收之資料，1 秒取樣）
podTec_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.UUUU.GGG.TT_SSSS.VVVV_nc	絕對 TEC 觀測量（用於參考連線）
ionObj_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_pl	電離層掩星物件表
ionPhs_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_nc	電離層超量相位及相應之 GPS、LEO 坐標和速度分量（只用後者，不用前者）
ionPrf_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_nc	電離層電子密度剖線（只用於反演結果比較）
iriPrf_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_nc	IRI 電離層電子密度模式值（只用於決定剖線最高點之電子密度值）

表 2：自主發展之電離層反演程序可輸出資料檔案命名規則及說明，其中檔名代號說明見表 1。

檔名	說明
ednPrf_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV.mat	電離層電子密度剖線
ednPrf_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV.png	自主與 CDAAC 產出之電子密度剖線比較圖

#### 四、 結語

原規畫發展之電離層反演模組，因福衛三號 LEO 時錶偏差品質不如預期，因此新增一次差電離層超量相位估算程序，以空中一次差估算福衛三號電離層超量相位，再以幾何光學估算偏折角與射距離，最後以 Abel 反演積分法估算電子密度剖線。

比較自主反演剖線與 CDAAC 剖線顯示，兩者有一致的趨勢，顯示兩者都有很高的可信度。自主剖線之 NmF2 通常低於 CDAAC 值，最大可達 30% 左右。hmF2 則等於或低於 CDAAC 值。在與 CDAAC 4.00 進行整合測試結果顯示，目前已可自行反演出福衛三號電離層電子密度剖線。

#### 五、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
電腦硬體採購與系統安裝測試	100%	
電離層反演	100%	
大氣反演程式整測	100%	

電離層反演程式整測	100%	
結案報告撰寫	100%	

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(5.2)：大氣層掩星資料反演軟體及軟體使用手冊

(第二版)、測試報告

計畫名稱：掩星資料處理技術建置：大氣層掩星資料自主反  
演技術發展

執行期間： 2012/02/18~2013/02/17

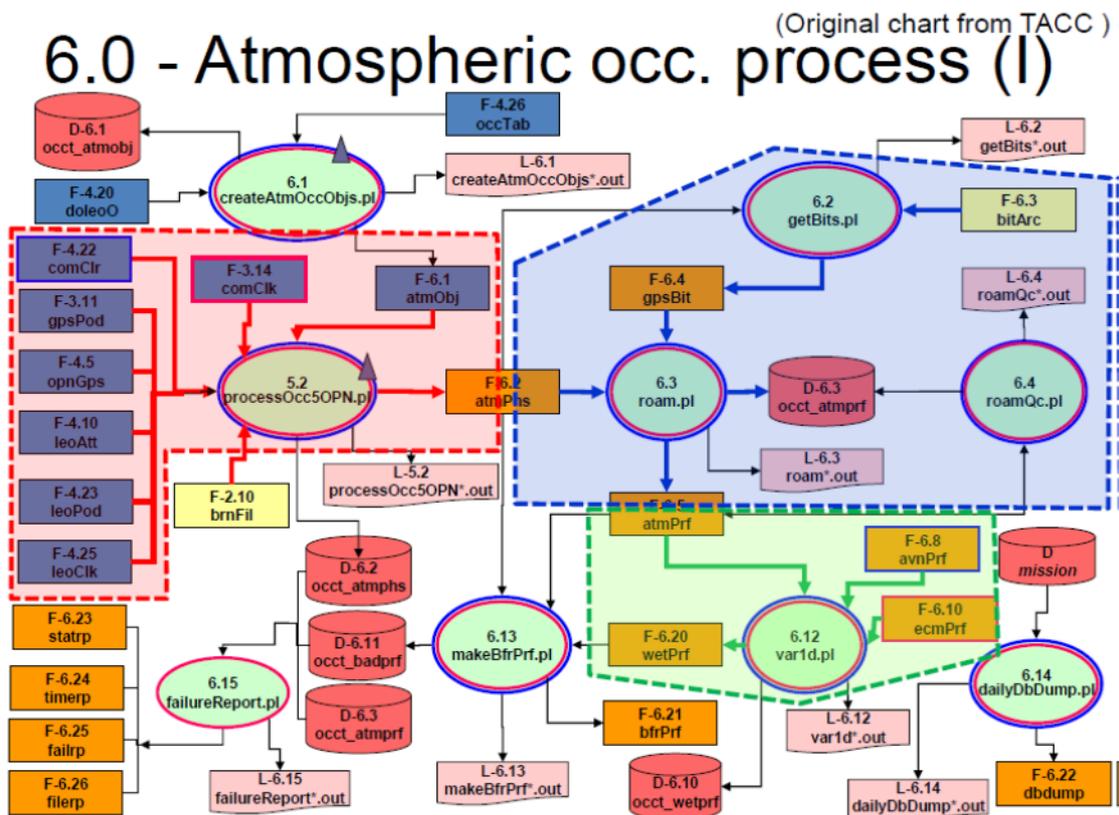
分項工作管理人：黃成勇

參與人員：黃成勇、蔡和芳、謝函蓁、吳靜美

中 華 民 國 1 0 2 年 2 月

## 一、摘要

本篇報告主要說明大氣掩星剖面反演，包含超額相位反演，大氣乾、濕溫度剖面反演，內容包含反演原理與各副程式功能說明。超額相位反演本軟體資料處理目標為從 GPS 衛星軌道和福衛三號軌道資訊以及三號衛星酬載 GOX 所收到的 50Hz 觀測資料反演到掩星超額相位(Excess Phase)。主要輸入資料為 POD 兩個天線所收到的 50Hz 參考資料和 OCC 兩個天線所收到的掩星觀測資料。乾溫度剖面本計畫目前使用 phase matching 法，計算偏折角，改進傳統電離層校正方式，忽略大氣水氣的影響，反演出大氣乾溫度剖面、折射率和壓力剖面。濕氣壓剖面反演須利用地面輔助觀測資料或大氣模式進行 one-D VAR 變分最佳化處理。目前前兩部分已經已 Perl 以及 Fortran 語言完成大部分的程式，第三部分已經使用 R Langrange 完成一維變分方法折射率資料反演的測試，下年度四月前將完成一維變分篇折角，以 Fortran 程式完成的套件。屆時大氣反演將有初版完整的反演套件。



圖一、大氣資料反演流程圖

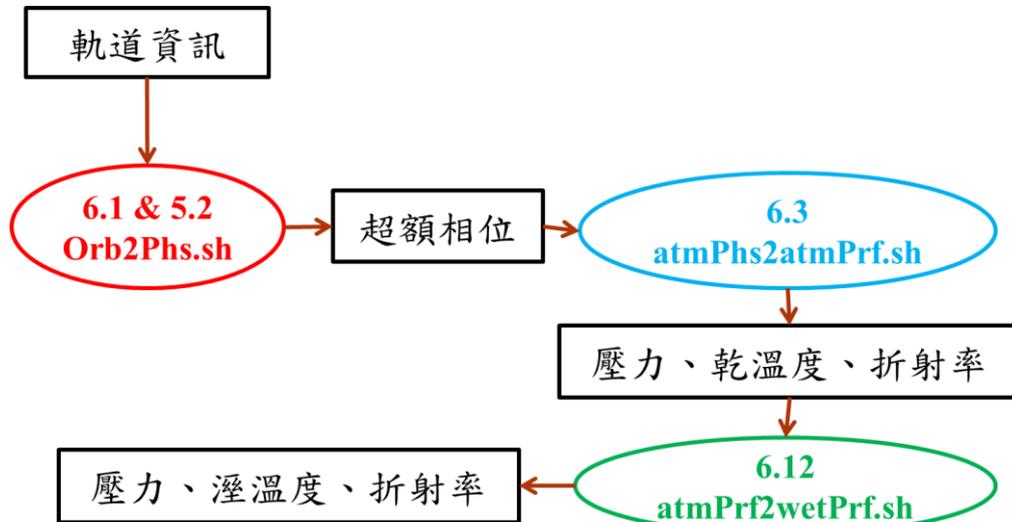
	Finish	Future Work
<u>Orbit</u> → <u>excess phase</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Occ. table for single difference</li> <li>● Single difference for excess phase</li> <li>● Cycle slip detection</li> <li>● Time synchronization</li> <li>● Relativity correction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Zero difference &amp; Double difference</li> <li>➤ Orbit improvement (colaboration with Tuse-Pang Chen)</li> </ul>
<u>Excess phase</u> → <u>atmPrf</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ionospheric correction</li> <li>● Cycle slip detection</li> <li>● Forward model</li> <li>● Open Loop (GPSBit)</li> <li>● Bending angle optimization</li> <li>● Phase matching method for bending angle</li> <li>● Refraction, Pressure, Dry temperature</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ High order ionospheric effect</li> <li>➤ WO improvement</li> <li>➤ Data QC improvement</li> <li>➤ Background model improvement at Higt Altitude (&gt;25km)</li> </ul>
<u>atmPrf</u> → <u>wetPrf</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ground temperature fixing or model temperature fixing method</li> <li>● One-D Var (Refractivity) ( test in R Langrange)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Transfer to Fortran Langrange (1DVAR BA)</li> <li>➤ Two dimation, end to end, forward model for bending angle</li> </ul>

表一、列出三個模組:衛星軌道至超額相位、超額相位到乾剖面、乾剖面到濕剖面等各自已經完成的函示及其功能(藍色)，以及未來可以改進的部分(紅色)。

## 二、 大氣資料軟體處理程序

圖一為目前 CDAAC 反演大氣剖面資料的資料流程，主要分成三個部分。第一部分為圖上紅色區域，須入資料為 GPS 和低軌道衛星資料，衛星時鐘誤差和衛星姿態，及掩星觀測資料，透過一次差分或二次差分反演超額相位。第二部分為藍色區域，由超額相位經 Abel-inversion 反演 GPS 訊號路徑偏折角、大氣折射率、壓力和乾溫度剖面。第三部分為藍色區域部分，由大氣乾溫度剖面結合地

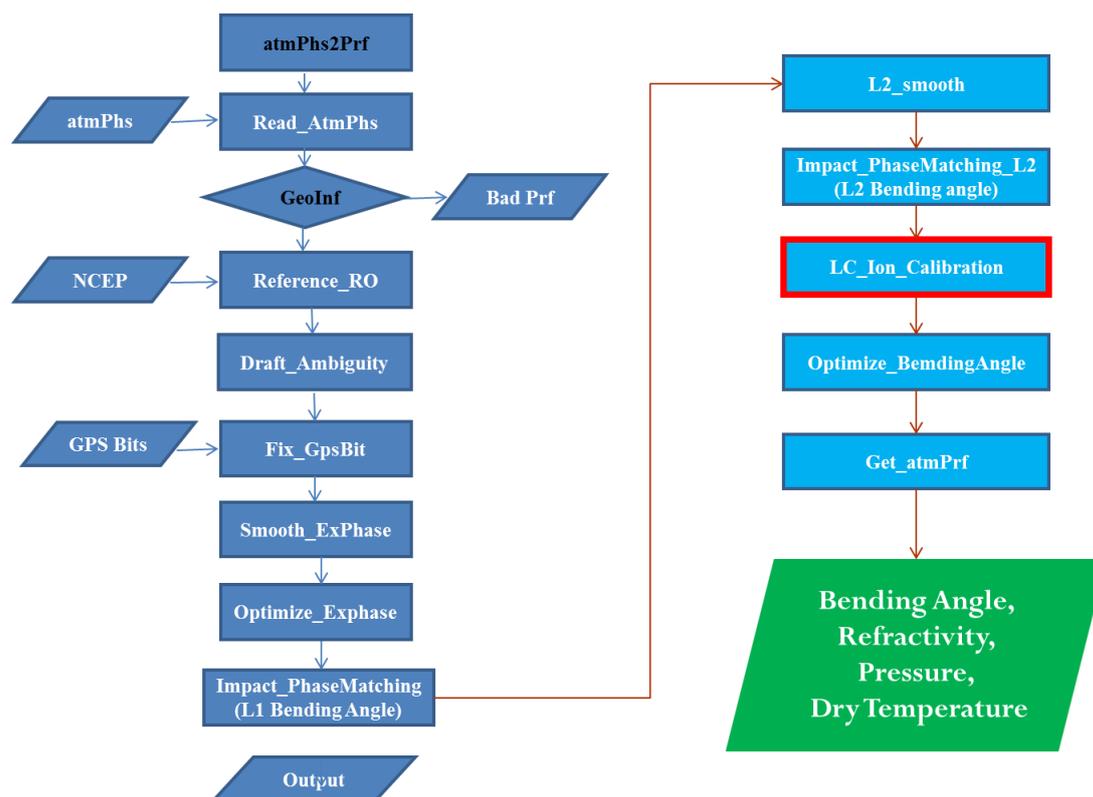
面輔助大氣觀測資料或大氣模式，經行 one-D VAR 處理反演出濕乾溫度剖面 and 濕氣壓剖面。下圖為目前本計畫大氣掩星資料流程簡圖，詳細資料流程會在之後報告做更詳細的說明。



圖二、大氣掩星反演資料處理流程

### 三、 超額相位反演至乾溫度剖線:

此部分資料處理輸入資料包含超額相位(atmPhs)，GPS navigation message (GPSBit)，大氣參考背景模式(NCEP or CIRA)，輸出資料為乾溫度剖線參數(atmPrf)，參數包含偏折角、折射係數、壓力以及溫度剖線。程式主要功能包含 10 公里以下 OPEN LOOP 接收訊號校正，訊號超額相位和偏折角模擬，Phase Matching 法計算偏折角、電離層影響誤差校正、偏折角最佳化、大氣參數(折射率、乾溫度、壓力)計算等。



圖三、大氣掩星剖面資料處理流程圖

### 副程式功能說明:

#### AtmPhs2Prf.f90:

為大氣掩星剖面主程式，主要功能為控制由大氣超額相位反演到大氣掩星剖面的掩星反演資料處理流程，呼叫副程式執行各項功能。

#### Read\_atmPhs.f90

讀取 netcdf 格式的 atmPhs 檔案，目前所使用的套件為 netcdf\_4.0.1 靜態函式庫。

#### GeoInf.f90

依低軌道衛星以及 GPS 衛星軌道計算掩星事件相關地理資訊，包含掩星事件地點，時間，掩星剖線的最高點以及最低點，並依掩星事件高低點以及事件發生判斷掩星觀測資料反演與否。

#### Reference\_RO.f90

依 Ray Tracing 方式以及以 NCEP 大氣模式為背景條件，模擬大氣訊號路徑以及訊號延遲量。模擬出來的相位當作參考訊號，以做為修正觀測到的掩星訊號週波模稜值判定使用，尤其做為低高度，OPEN LOOP 校正使用。

### Ref\_bending\_excess.f90

依 Ray Tracing 方式以及以 NCEP 大氣模式為背景條件，模擬大氣訊號路徑以及訊號延遲量以及掩星訊號偏折角。模擬出來的相位當作參考訊號，以做為修正觀測到的掩星訊號週波模稜值判定使用，尤其做為低高度，OPEN LOOP 校正使用。

### Fix\_gpsBit.f90

讀取 GPS bit 資料以及校正 OPEN LOOP，GPS RO 訊號在接近地表約 15 公里以下，低軌道衛星 GPS 接收器會使用 OPEN LOO 技術追鎖 GPS 掩星訊號，接收到的相位會隨 GPS bits 資料而有半波長的差異，因此需要須入 GPS bits 資料校正，已獲得分辨性較好的全波長觀測訊號。

### Draft\_Ambiguity.f90

初步偵測與校正 L1 以及 L2 訊號的週波模稜值，使訊號更接近真實情形以及模擬的參考訊號，以利接下來更精密的訊號週波模稜值判定。

### Tools.f90

包含掩星反演軟體所需各項工具，如 Lagrange 內插，排序，高斯平滑，濾波等基本數學工具。

### Half\_Wavelength.f90

以半波長方式修補 OPEN LOOP 觀測資料，此方法用在缺乏 GPS bits 資料或 GPS bits 資料不完全時使用。

### Gnufor2.f90

網路上免費程式，先在 Linux 下安裝 gnuplot 套裝軟體，在使用 Gnufor2 當作 Fortran 軟體畫圖介面，目前在城市開發階段，使用此軟體當作偵測工具，等軟體開發完成，則視是否需要安裝此軟體。

### Smooth\_ExPhase.f90

此程式主要功能為判定訊號的品質，依不同的時間窗區判定資料的好壞，並作為掩星剖面最低點的依據。

### Optimize\_ExPhase.f90

依照 Smooth\_ExPhase 的成果，以及週波模稜為整數等限制條件，最佳化超額相位判定。

### Impact\_PhaseMatching.f90

依據 Jensen2004 年文獻，並加以修改而成的程式，用來計算掩星訊號偏折角，為掩星反演精確與否的關鍵程式。此程式的反演方法稱為 Phase Matching method，根據理論為 Born and Wolf, 1999 的 stationary point。

### LC\_Ion\_Calibration

傳統無電離層項線性組合，以雙頻訊號計算出來的偏折角，進行無電離層組合，消除高層電離層電子濃度對大氣剖面的影響。

### Optimize\_BendingAngle.f90

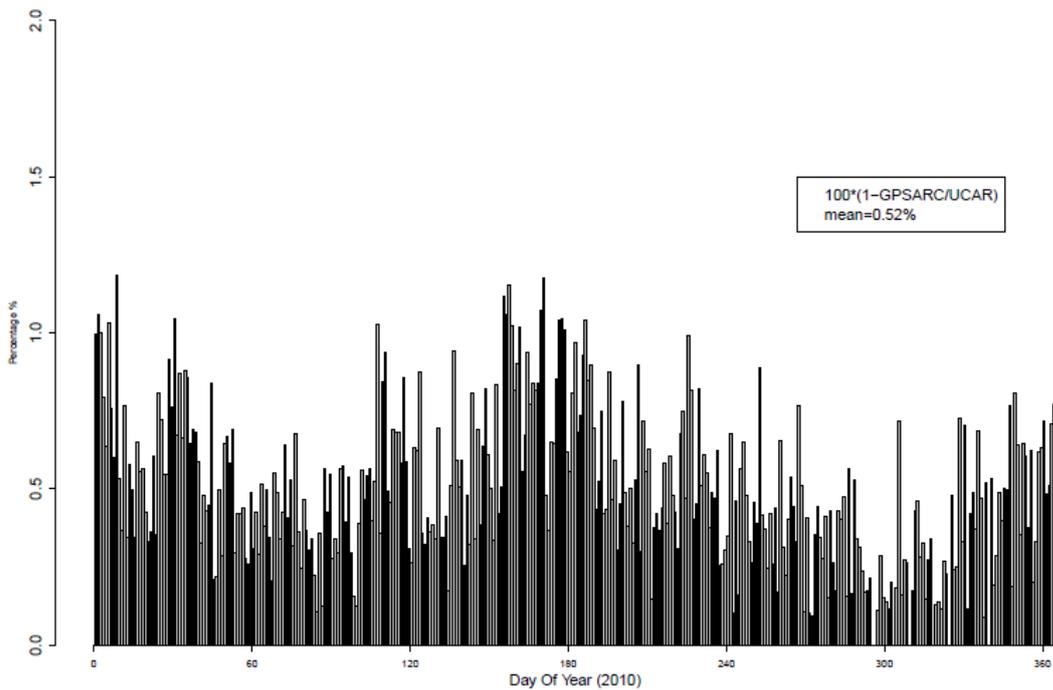
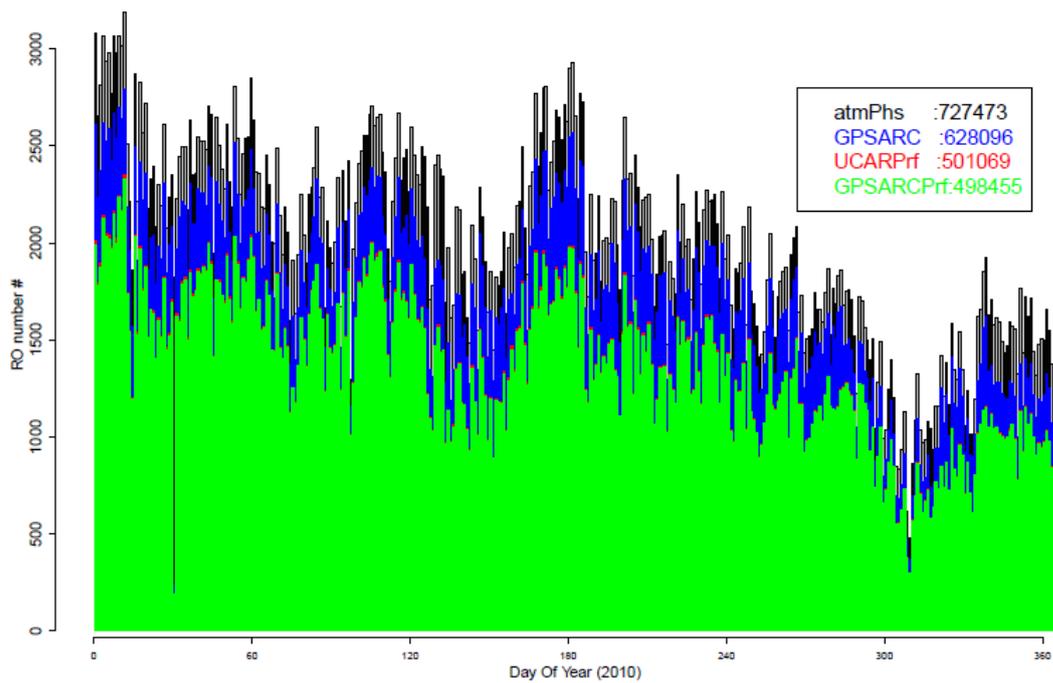
依據雙頻訊號的優劣，以及背景大氣模式條件，組合量測的訊號偏折角和背景條件偏折角，進行 30 公里以上偏折角的最佳化。

### Get\_atmPrf.f90

輸入偏折角，以 Abel inversion 計算乾溫度大氣參數，參數包含大氣折射係數，大氣壓力以及乾溫度垂直剖線。

## 成果分析

在此部份我們用了 2012 年一整年的掩星觀測資料，驗證大氣乾溫度剖面程式。在此區間中，福衛三號衛星總共觀測到 72 萬 7473 筆掩星觀測超額相位資料 (atmPhs)。UCAR 總共反演出 501069 筆乾溫度剖面，在 UCAR 反演的剖面中，我們反演出 498455 筆乾溫度剖面，為反演出來的比率約為 0.5。另外 UCAR 未反演出來的超額相位剖面中，我們還多反演出 127027 筆，因為目前不清楚 UCAR 未反演出來的原因，或是因為資料品質而不使用，所以上不可以說我們的反演的軟體比較好，此原因將待整套原形軟體完成後，做進一步的分析。在整個測試中，使用 Intel(R) Core(TM) i7 CPU(8 core) 2.93GHz CPU PC，8G ram，Linux FC16，同時使用 7 個 core,共花了約六天的時間。若以成功的剖面計算，平均單一剖面約花 6 秒的時間。下圖為 2012 一整年反演剖面數量的比較圖。黑色為掩星觀測到的掩星數量，藍色為自主程式反演的乾溫度剖面數量，紅色為 UCAR 反演出來的剖面數量，綠色為自主程式在紅色的掩星事件中可反演的掩星數目。下圖二顯示尚未反演出來的比率，平均尚未反演出來的比率約為 0.5%。



#### 四、 超額相位計算原理

##### 衛星訊號介紹

福衛三號四個 GPS 天線所量測到的訊號主要為 1Hz 的 CA 的虛擬距離 (version 1)、50Hz 的雙頻 L1 和 L2 的載波相位。虛擬距離用方程式表示如下:

$$Pr_{k,1}^p(t) = \rho_k^p(t) - cdt_k + cdt^p + I_{k,1,p}^p(t) + T_k^p(t) + d_{k,1,p}(t) + d_{1,p}^p(t) + \varepsilon_{1,p} \quad (1)$$

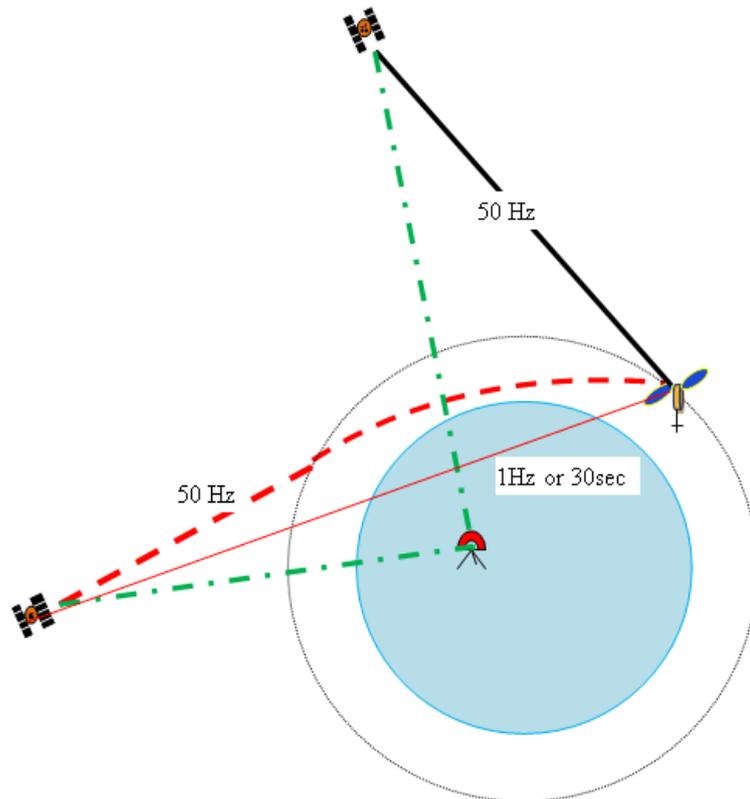
雙頻相位為

$$\Phi_{k,1}^p(t) = \rho_k^p(t) - cdt_k + cdt^p + \frac{c}{f_1} N_{k,1}^p(1) - I_{k,1,p}^p(t) + T_k^p(t) + d_{k,1,\Phi}(t) + d_{1,\Phi}^p(t) + \varepsilon_{1,\Phi} \dots (2)$$

$$\Phi_{k,2}^p(t) = \rho_k^p(t) - cdt_k + cdt^p + \frac{c}{f_2} N_{k,2}^p(1) - \frac{f_1^2}{f_2^2} I_{k,2,p}^p(t) + T_k^p(t) + d_{k,2,\Phi}(t) + d_{2,\Phi}^p(t) + \varepsilon_{2,\Phi} \dots (3)$$

上式中， $c$  為光速，數字 1 和 2 分別表示載波 L1 和 L2， $\rho$  為 GPS 衛星  $p$  和 GPS 訊號接收器  $k$  的直線距離， $dt^p$  和  $dt^q$  分別代表 GPS 衛星( $p$ )和接收器( $q$ )的時鐘誤差， $I$  為電離層延遲， $T$  為大氣延遲， $d_{p,1}$ 、 $d_{\phi,1}$  和  $d_{\phi,2}$  分別代表 GPS 接收器硬體電碼延遲和雙頻的相位延遲， $d^{p,1}$ 、 $d^{\phi,1}$  和  $d^{\phi,2}$  為 GPS 衛星的電碼延遲和雙頻的相位延遲。

一次差分



圖四、超額相位解算幾何圖

如圖四所示，掩星超額相位解算作業中主要有兩種方式，分別為一次差分和二次差分方式。一次差分為兩顆衛星和一顆低軌道衛星，如圖上黑色實線和紅色虛線進行差分，得到紅色虛線的超額相位。二次差分為利用二顆 GPS 衛星，一個低軌道衛星和一個地面 GPS 接收站訊號進行差分，即利用圖上兩條綠色虛線進行差分後在與低軌道衛星訊號一次差分後的結果進行差分，下列分別用方程式表示一次差分：

$$\Phi_{Leo,1}^{pq}(t) = \rho_{Leo}^{pq}(t) + cdt^{pq} + \frac{c}{f_1} N_{Leo,1}^{pq}(1) - I_{Leo,1,P}^{pq}(t) + d_{Leo,1,\Phi}^{pq}(t) + \varepsilon_{1,\Phi} \quad (4)$$

$$\Phi_{Leo,2}^{pq}(t) = \rho_{Leo}^{pq}(t) + cdt^{pq} + \frac{c}{f_2} N_{Leo,2}^{pq}(1) - \frac{f_1^2}{f_2^2} I_{Leo,2,P}^{pq}(t) + d_{Leo,2,\Phi}^{pq}(t) + \varepsilon_{2,\Phi} \quad (5)$$

和二次差分：

$$\Phi_{Leo,Gnd,1}^{pq}(t) = \rho_{Leo,Gnd}^{pq}(t) + \frac{c}{f_1} N_{Leo,Gnd,1}^{pq}(1) - I_{Leo,Gnd,1,P}^{pq}(t) - T_G^{pq}(t) + \varepsilon_{1,\Phi} \quad (6)$$

$$\Phi_{Leo,Gnd,2}^{pq}(t) = \rho_{Leo,Gnd}^{pq}(t) + \frac{c}{f_2} N_{Leo,Gnd,2}^{pq}(1) - \frac{f_1^2}{f_2^2} I_{Leo,Gnd,2,P}^{pq}(t) - T_G^{pq}(t) + \varepsilon_{2,\Phi} \quad (7)$$

在低軌道衛星上，大氣延遲可被忽略。比較二次差分和一次差分，一次差分無大氣延遲效應，但是仍有 GPS 軌道誤差、GPS 時鐘誤差和 GPS 硬體延遲，另外還有廣義相對論影響(下節描述)。因此一次差分所需要的軌道經度需求比二次差分需求高。因應未來與 UCAR 合作的不確定性，地面 GPS 輔助站的資料獲得量的不定性和即時性，本文直接採用 International GNSS Service 的 GPS 精密軌道和 GPS 時鐘誤差，校正 GPS 訊號一次差分的結果。

### 廣義相對論校正

廣義相對論也會影響 GPS 的時鐘誤差，其形成原因為衛星經過不同重力位能場時，重力加速度造成。由狹義相對論產生的時鐘誤差，已經經由 GPS 衛星直接校正，所以本文無須校正，另外低軌道衛星所受到的影響，也會經由一次差分消除，所以無需校正。重力對 GPS 造成的時鐘誤差為：

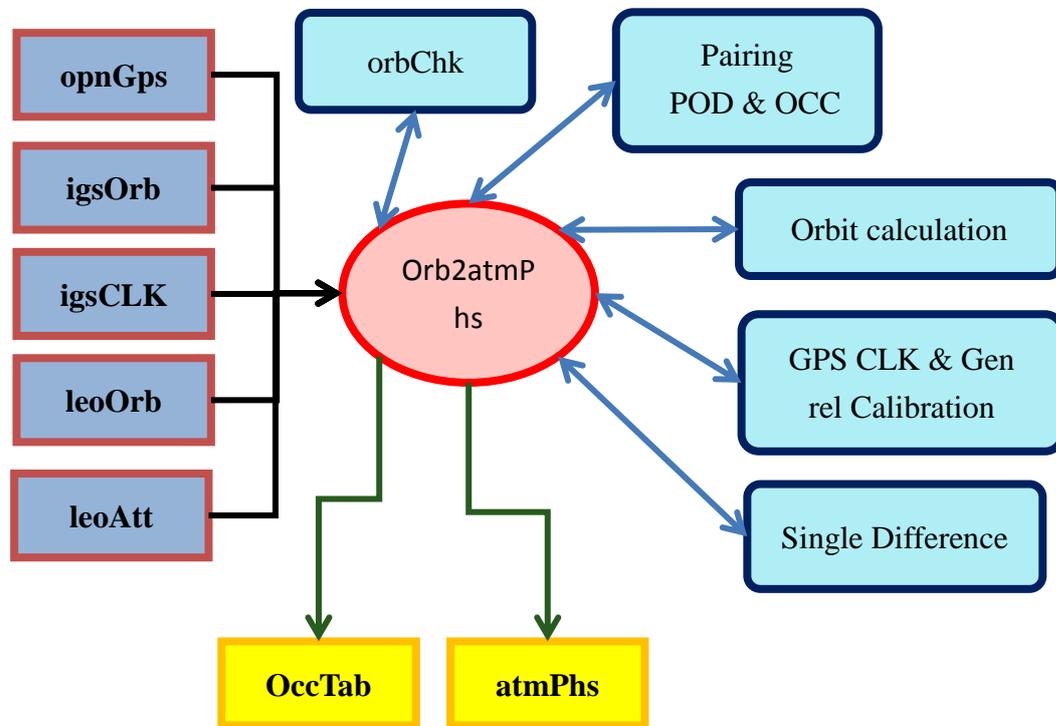
$$\Delta t_R(t) = -\frac{2}{c^2} \sqrt{a\mu e} \sin E = -\frac{2}{c^2} \mathbf{X} \cdot \dot{\mathbf{X}} \quad (8)$$

$\mathbf{X}$  和  $\dot{\mathbf{X}}$  分別代表衛星在 ECI 座標下的位置和速度向量，其第二階重利差修正項為

$$\delta\rho_{r,rel}^S = \frac{2GM_E}{c^2} \ln\left(\frac{r^S+r_r+\rho_r^S}{r^S+r_r-\rho_r^S}\right) \quad (9)$$

$G$  為重力場常數， $M_E$  為地球重量， $r^S$  和  $r_r$  分別為衛星和接收器的地心半徑長。在忽略周波模稜值和噪音的情況下。

## 五、 成果報告



圖五、超額相位資料處理流程圖

### 輸入資料:

**igsOrb** : GPS 衛星軌道資料，內容包含每 15 分鐘 32 顆 GPS 衛星在地固座標的位置和時鐘誤差(SP3 format, from IGS)。

**igsCLK** : GPS 衛星每 30 秒鐘的衛星時鐘誤差(SP3 format, from IGS)。

**leoOrb**：低軌道衛星每一秒的衛星在地固座標的位置和時鐘誤差(SP3 format, from TACC)。

**leoAtt**：低軌道衛星姿態(VC1)，紀錄衛星飛行時本體及太陽能板相對三軸位置及轉動角度。

**opnGps**：包含 POD 和 OCC 天線接收到的 GPS 訊號，大部分目前的掩星觀測資料為 version11.0，內含 1Hz CA 電碼所量到的虛擬距離，50Hz 的雙頻載波訊號。

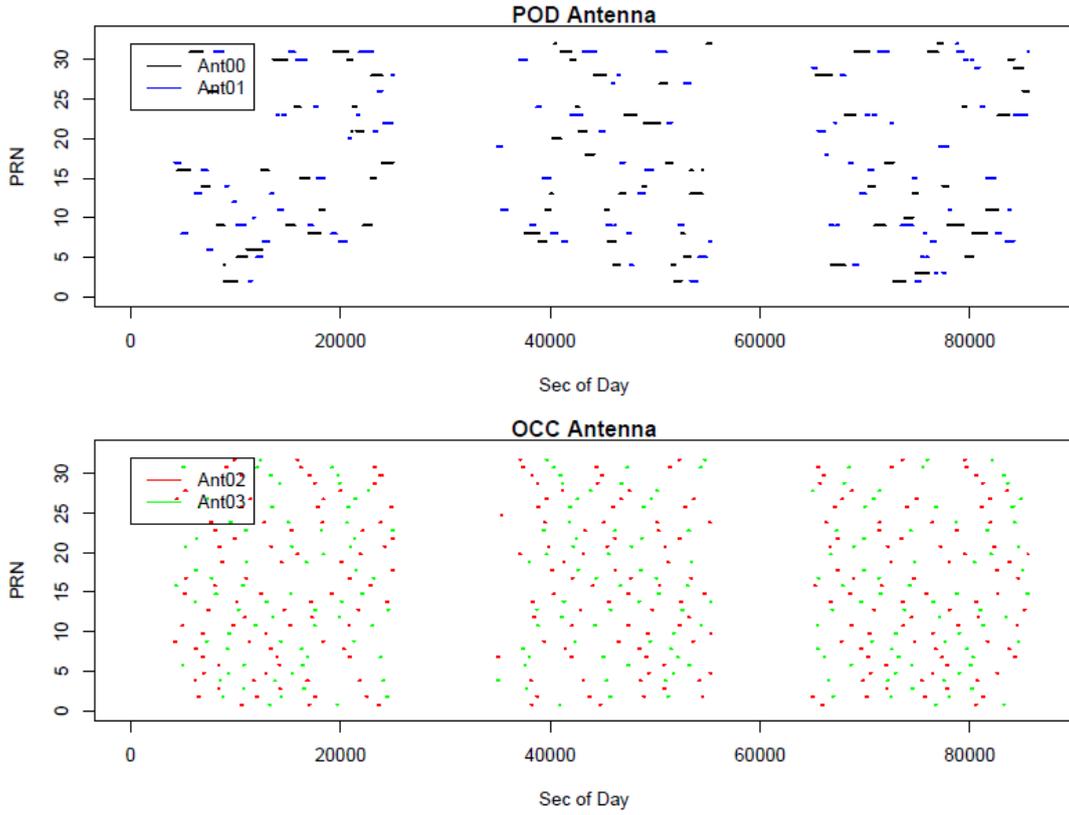
### 輸出資料

**Occtab**：建立一次差分掩星觀測事件表，輸出包含掩星事件發生位置、時間、POD 與 OCC 掩星配對等。

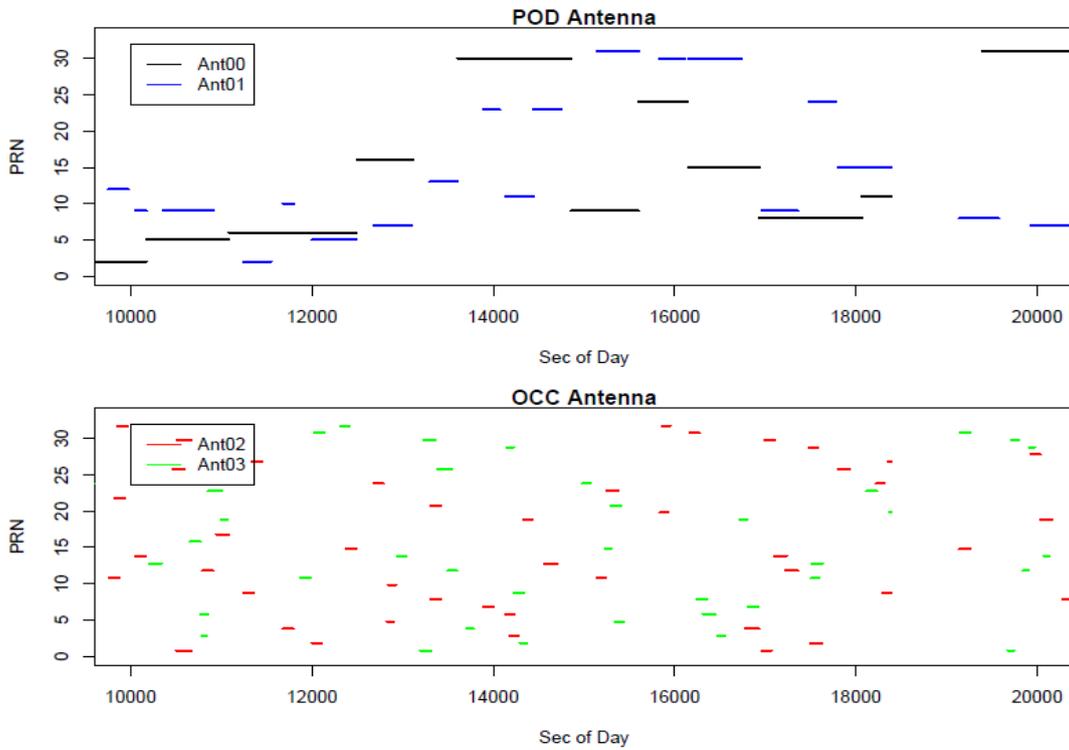
**atmPhs**：GPS 衛星軌道，低軌道衛星軌道、L1 和 L2 超額相位。

### 資料處理流程

1. 進行低軌道衛星確認，確定獲得低軌道衛星軌道的窗區，並進行衛星品質確認。
2. 將 POD 和 OCC 所量測的 50Hz 資料進行配對，並確認可獲得低軌道得到可以進行一次差分的掩星事件，輸出掩星觀測事件表。圖六和圖七顯示 POD(黑色藍色線)天線和 OCC(紅色和綠色)天線觀測到的 GPS 訊號時間表。將 OCC 天線的時間軸與 POD 天線同一間做匹配，即得掩星觀測一次差分表。
3. 讀取 GPS 衛星時鐘誤差，進行衛星時鐘誤差校正。
4. 計算衛星速度，衛星軌道半徑，廣義相對論影響校正。
5. 一次差分，獲得超額相位，訊號周波脫落偵測修復。



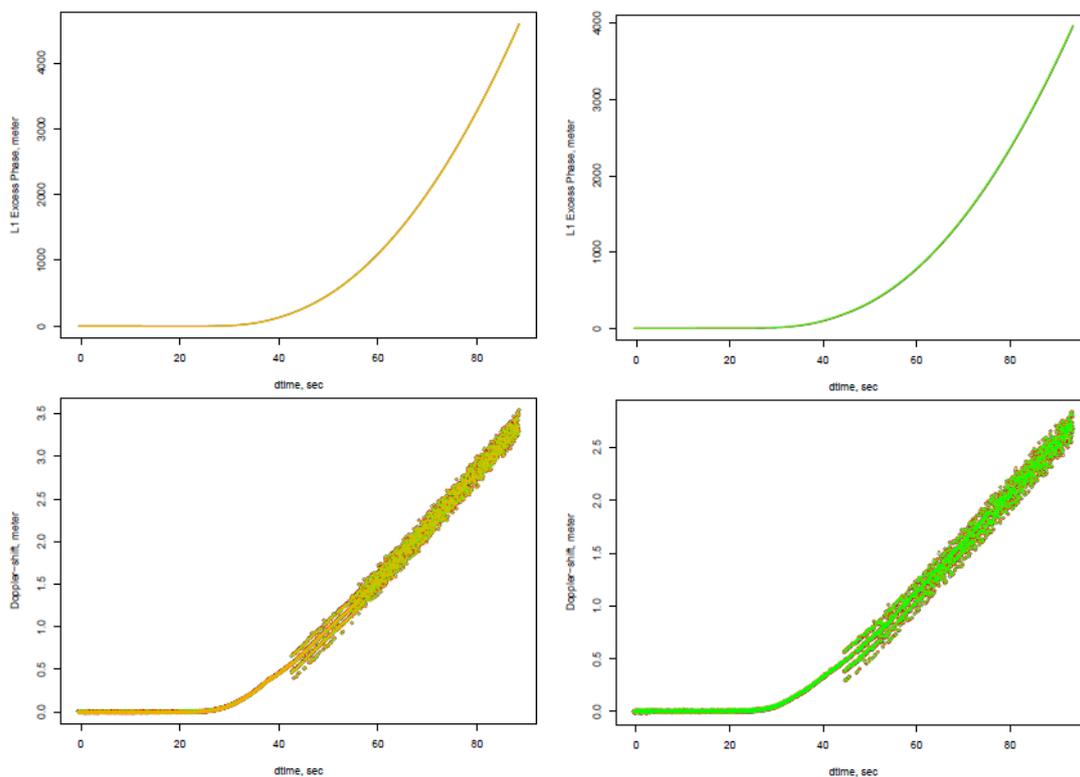
圖六，POD 和 OCC 天線觀測時間表



圖七，POD 和 OCC 天線觀測時間表

下圖為中心目前發展的軟體所反演出來的超額相位和都普勒平移量，與

UCAR(黑色實線)相當一致，



圖八、超額相位及都普勒平移量反演成果

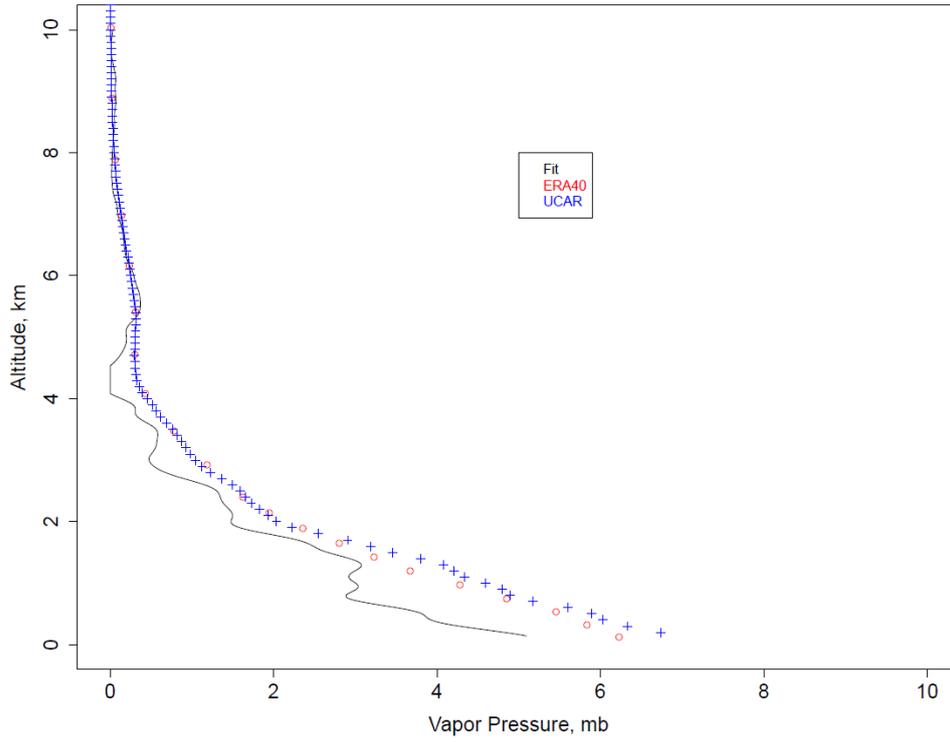
### 濕溫度剖面反掩

在失溫度剖面反演上，已經完成固定模式溫度剖面方法反演大氣濕溫度剖面。下圖舉出兩個反演的例子。圖上、黑色線為自主軟體反演出來的成果，藍色十字符號為 UCAR 目前在網上公布的結果，紅色為 ERA40 模式的成果。反演方式為裏用下列方程式

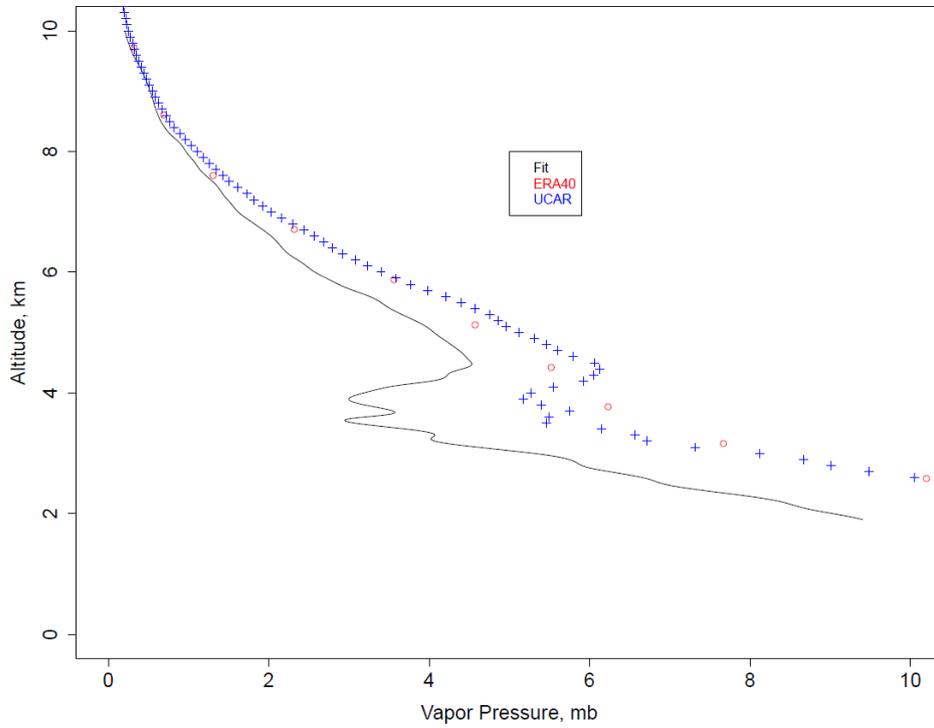
$$N = c_1 \frac{P}{T} + c_2 \frac{e}{T^2}$$

方程式中折射率 N 來自於乾溫度剖面，溫度剖面由模式提供，即可反演出大氣濕溫度剖面，溫度剖面可由乾溫度剖面的溫度折返點，加上地面溫度或由雲高溫度加以限制而得，取代模式溫度剖面。目前反演程式暫由 R Langrange 完成，下年度計畫將改由作業化效率較高的 Fortran 和 Perl 完成。

WetPrf\_C001.2010.001.00.07.G32



WetPrf\_C001.2010.001.00.38.G22



圖九、濕溫度剖面: 黑色線為自主軟體反演出來的成果，藍色十字符號為 UCAR 目前在網上公布的結果，紅色為 ERA40 模式的成果。

## 瞭解 CDAAC 掩星事件表建立流程

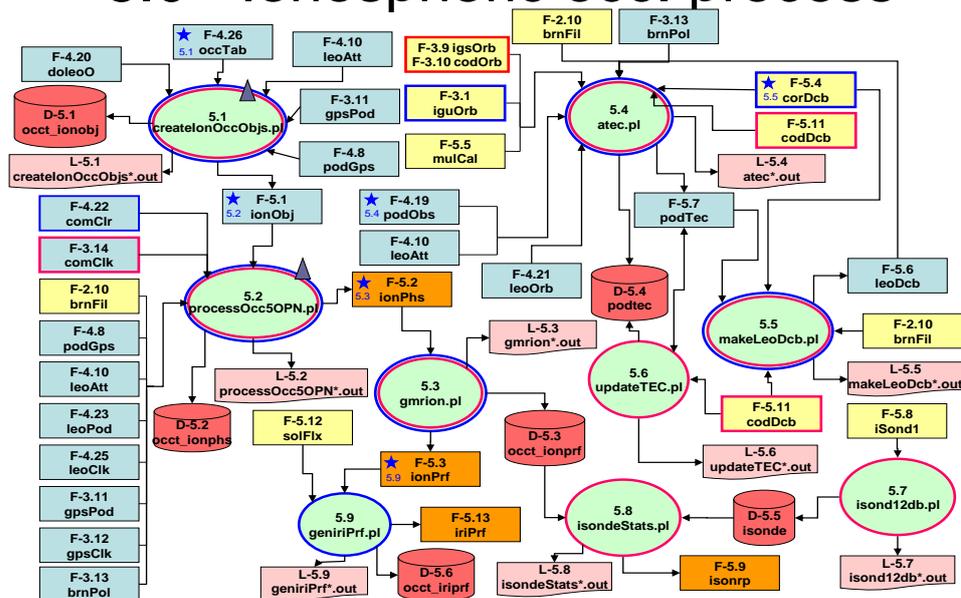
掩星事件表是一種清單，記錄掩星事件發生的 metadata，以提供大氣、電離層反演程序的必要資訊之一。CDAAC 程式在 LEO POD 程序之後，大氣及電離層反演程序之前，建立掩星事件表(occTab)，進而產生大氣掩星物件(atmospheric occultation objects: atmObj)，以及電離層掩星物件(ionospheric occultation objects: ionObj)，分別提供大氣及電離層反演程序使用。

電離層掩星物件其實為 perl 片段，其中包含電離層反演所需的輸入檔路徑，方便電離層反演程序處理。其中會比較掩星起訖時間，篩選掩星時間長度至少大於 30 秒的物件；小於 30 秒的物件會被捨棄。將代表同一掩星事件的前後兩半資料檔名並列於同一 perl 片段中(但直到一次差超量相位程序才處理銜接的問題)。不同的是，篩選電離層掩星事件的工作是根據 podGps 而不是 opnGps。

createIonOccObjs.pl: 主要從 occTab 中，篩選出實際發生的電離層掩星事件。此外，不以最高點和最低點的掩星觀測時間來判斷上升和下降掩星，而是以 GOX 天線和姿態 (leoAtt) 來決定。同樣到最後，程式將每一個 perl 片段存成每個小檔案，即得 ionObj。

在自行建立演興表上，我們已經建立完成大氣掩星表部分，內容包含超額相位資料觀測資料在 opnGps 檔案內的記憶體位置，方便加速資料讀取，一次差分所需的輔助資料所需檔案資料，基本幾何觀測資料，等等如掩星發生時間，地點等等。這份掩星表將成為整個大氣反演資料處理流程的控制表。

## 5.0 - Ionospheric occ. process



圖九、CDAAC 中 5.0 電離層資料處理流程。

輸入檔	資料內容
gpsPod	GPS 軌道資訊檔，GPS 衛星質心之 J2000 坐標和速度 File format: Bernese STD format
podGps	含 GPS-LEO 衛星雙頻電碼相位觀測量，1 秒取樣，與 opnGps 同為 GOX 接收。用於一次差程序，也被用在 LEO POD 程序，估算 LEO 衛星軌道。 File format: BINEX format 0x7f format
leoAtt	LEO 衛星姿態參數，含衛星姿態四元數、LEO 衛星的 ECEF 坐標和速度。用來輔助 LEO POD 程序解算 LEO 軌道、輔助 TIP 程序計算 TIP 指向方向，並繪製 attPlt 圖檔 LEO 姿態檔，該檔為 GFZ 制定的衛星姿態檔案格式 File format: txt
occTab	大氣及電離層掩星表。包含資訊為：掩星發生事件資料下載(地點、時間) (one dump of data for one LEO) File format: netCDF format

doleoO	This file is used to schedule calling of the leoOrb program which computes LEO orbits (positions and velocities of a Low Earth Orbiter with respect to time).  File format: Perl
--------	--

表一、為掩星表製作時所需之輸入檔之資料

輸出檔	資料內容
createIonOccObjs*.out	記錄 createIonOccObjs.pl 讀入及處理(暫存檔)
ionObj	Ionospheric occultation object file. Contains file names of all data needed to process an ionospheric occultation (excess phase + inversion).

表二、為掩星表製作時所需之輸出檔之資料

**輸出檔範例:**

createIonOccObjs*.out	<pre> \$conId                = '1';  @gpsPodfiles          = (/pub/cosmic/level1b/gpsPod/gpsPod_2010.305.00.00.2880_2010.2640_std');  @leoClkfiles          = (/pub/cosmic/level1b/leoClk/leoClk_2010.305.001.01_2010.2640_clk');  \$leoId                = '921';  @leoPodfiles          = (/pub/cosmic/level1b/leoPod/leoPod_2010.305.001.01_2010.2640_std'); </pre>
-----------------------	--

	@lrfiles	=
	(/pub/cosmic/level1a/podGps/2010.305/podGps_2010.305.001.01.01_bnx');	
	@mrfiles	= (");
	\$occId	= '745';
	\$occPrn	= '31';
	\$occtag	= 'C001.2010.305.22.35.G31';
	\$setting	= '1';
	\$startTime	= '972685715';
	\$stopTime	= '972686155';

**程式流程:**

- 1.將輸入的參數檔案解出 occTab 與 doleoO 的相關檔案分別定義為 occTabfile 與 doleoOfile
- 2.使用 PubFile 剖析 occTabfile,並取得對應的下載資訊 dumpid 和 leoid.
- 3.取得 occTabfile 的版本資訊 ( for creating ionObj)
- 4.使用 PDF::NetCF 開啟 occTabfile,並取得所需資料放到相對應的變數  
(1)occ\_id, early\_occ,late\_occ, occ\_type, occ\_sat,  
ion\_start\_time,ion\_stop\_time,setting,occ\_yr,occ\_doy,occ\_doy,occ\_hr,occ\_min.
- 5.將輸入的參數檔案解出 occTab 與 doleoO 的相關檔案分別定義為 occTabfile 與 doleoOfile
- 6.使用 PubFile 剖析 occTabfile,並取得對應的下載資訊 dumpid 和 leoid.
- 7.取得 occTabfile 的版本資訊 ( for creating ionObj)

8.使用 PDF::NetCF 開啟 occTabfile,並取得所需資料放到相對應的變數

(1)occ\_id, early\_occ,late\_occ, occ\_type, occ\_sat,

ion\_start\_time,ion\_stop\_time,setting,occ\_yr,occ\_doy,occ\_doy,occ\_hr,occ\_min.

9. Loop function

10.使用 PubFile 開啟並依先前得到的資訊初始化 ionObj

(1)取得 occtab(s)

(2)指定是 SION\_OCC 或 RION\_OCC(setting)(s)

(3)取得天線 ID: lrAntID 和 mrAntID 並根據先前下載資訊與 podfiles,取得相對應的檔案(irfiles(s), mrfiles(s))

(4)將所獲得的資訊寫入 ionObj.

## Excess phase(超額相位)

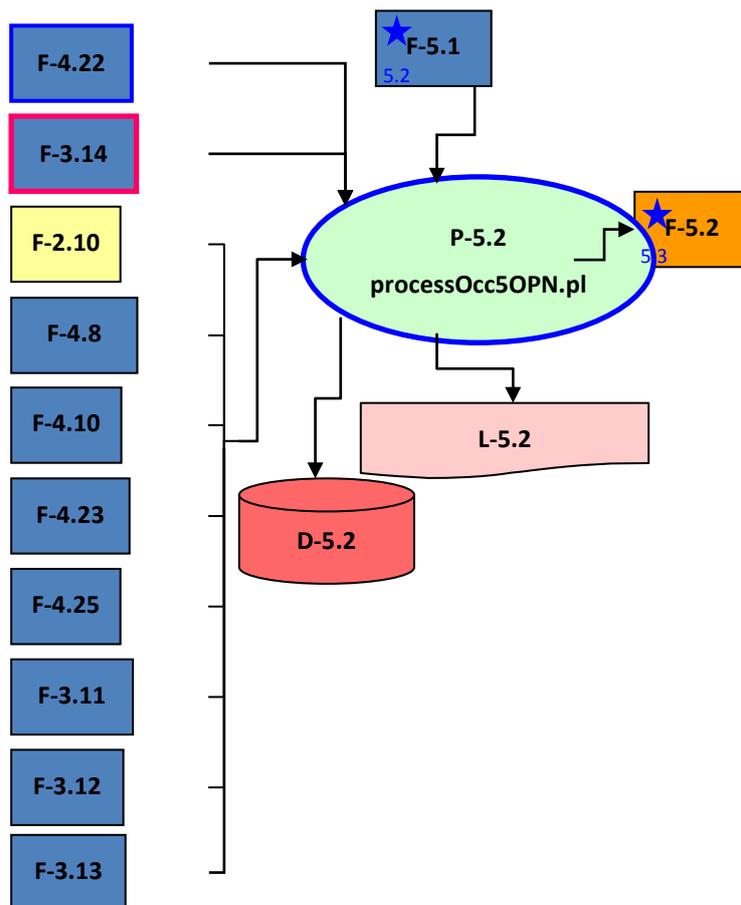
超額相位和是大氣超額相位以及電離層超額相位之和,但對大氣掩星而言,削減電離層貢獻量的步驟要到大氣反演程序才會進行;反之,電離層超額相位卻是以零次差估算的。由於後續的電離層反演法也只需相對的超額相位,因此周波未定值也忽略不計。

CDAAC中processOcc5OPN.pl程式主要估算大氣和電離層之超額相位。它同樣和Bernese 程式緊密結合,其中叫用多支Bernese 程式及類Bernese 程式進行演算。類Bernese 程式源自標準Bernese 程式,但經過CDAAC 人員增修而來。不論即時處理程序或後處理程序,皆採一次差演算程序估算大氣超額相位;以零次差估算電離層超額相位。

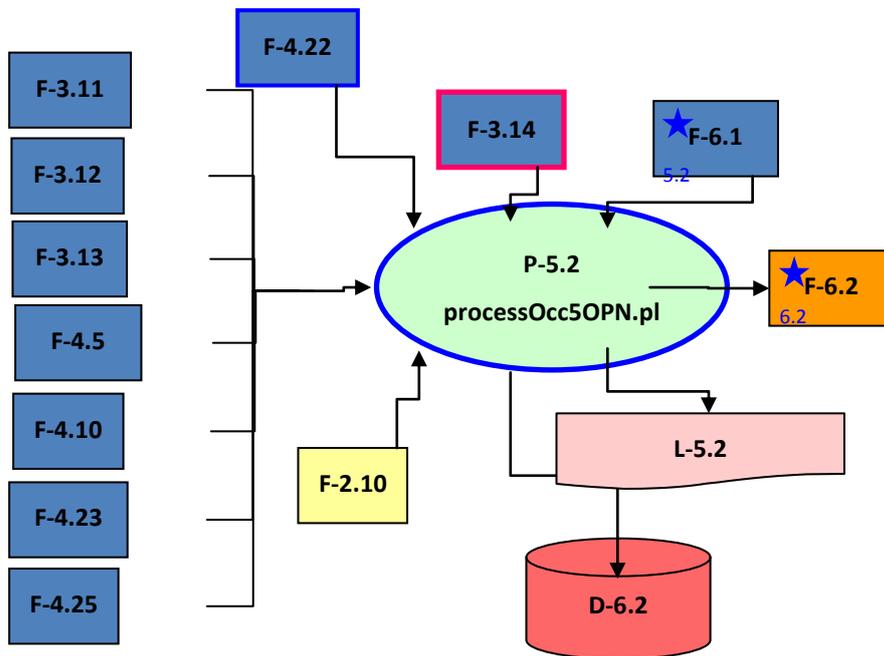
在大氣方面,本程式根據50 Hz 取樣的GPS 大氣觀測資料 (opnGps) 、低

軌衛星姿態檔(leoAtt)，配合POD 程序所得之GPS 和LEO 軌道(gpsPod 和leoPod)、GPS 時錶偏差值(即時comClr;後處理comClk)及LEO 時錶偏差值(leoClk)，估算大氣超額相位(atmPhs)。進行一次差的條件是，單一低軌衛星同時接收來自一顆掩蔽中的GPS 衛星的訊號和另一顆非掩蔽中的參考GPS 衛星的訊號。取掩星連線之相位觀測量與參考連線之無電離層相位觀測量做一次差，可消除LEO 時錶偏差項。其優點是可使GPS 觀測量中的誤差，例如多路徑效應、大氣殘差、熱雜訊(一種隨溫度與系統頻寬而變的內部雜訊)等，減至最小[Schreiner et al., 2005]。

在電離層方面，則以1 秒取樣的podGps 取代opnGps，配合上述資料估算電離層超額相位(ionPhs)。



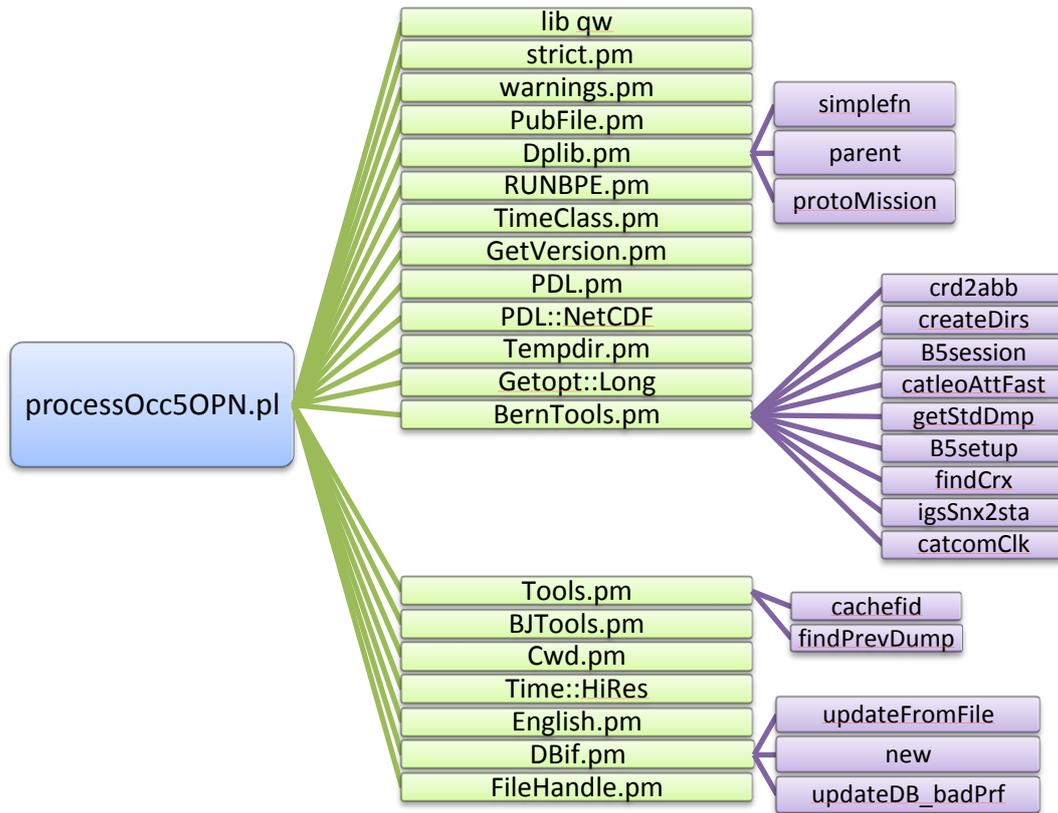
圖二、processOcc5OPN.pl此程式處理電離層資料之流程圖。



圖三、processOcc5OPN.pl此程式處理大氣層資料之流程圖。

**processOcc5OPN.pl：建立電離層和大氣之超額相位檔。**

本程式主要估算大氣和電離層之超額相位和。開迴路資料亦適用。這支程式可由二次差、一次差和零次差的計算方式處理資料，但目前指定以一次差的方式處理大氣資料；以零次差處理電離層資料，故只需叫用 GENPHS5OPN 程式。該程式雖為 CDAAC 所撰寫，但叫用多支 Bernese 或類 Bernese 程式以估算超額相位。類 Bernese 程式的命名規則很像 Bernese 程式，但實際上是 CDAAC 自行撰寫或修改自 Bernese 的程式。



圖三、processOcc5OPN.pl此程式所包含之perl模組。

輸入檔	資料內容
gpsPod	GPS 軌道資訊檔，GPS 衛星質心之 J2000 坐標和速度 File format: Bernese STD format
leoAtt	LEO 衛星姿態參數，含衛星姿態四元數、LEO 衛星的 ECEF 坐標和速度。用來輔助 LEO POD 程序解算 LEO 軌道、輔助 TIP 程序計算 TIP 指向方向，並繪製 attPlt 圖檔 LEO 姿態檔，該檔為 GFZ 制定的衛星姿態檔案格式 File format: txt
gpsClk	GPS 時錶偏差值，Bernese CLK 格式，取自 iguOrb
brnPol	地軸校正參數，Bernese ERP 格式
leoPod	低軌衛星質心之 J2000 坐標和速度，Bernese STD 格式

leoClk	低軌衛星時錶偏差值
comClk、 comClr	30 秒取樣之 GPS 衛星時錶偏差值 (前者 4 小時 1 檔；後者從前者取出最新資料，且涵蓋整個掩星觀測時間)
opnGPS	50 Hz 取樣的 GPS 大氣觀測資料  Atmospheric occultation data in a simple custom binary format. This data file contains all high rate atmospheric data sent us by the GNSS receiver on the LEO.
atmObj	Atmospheric occultation object file. Contains file names of all data needed to process an Atmospheric occultation (excess phase + inversion).
brnFil	含低軌衛星及天線名稱的參數檔，Bernese STA 格式。  在本程式中使用天線相位中心檔 (brnFil) 中，低軌衛星之掩星天線和參考天線名稱 (長 16 個位元組)。其中，掩星天線即為掩星連線上的 OCC 天線；參考天線即為參考連線上的 POD 天線。

表三、為超額相位製作時所需之輸入檔之資料

輸出檔	資料內容
processOcc5OPN *.out	記錄 processOcc5OPN.pl 讀入及處理(暫存檔)
atmPhs	大氣超量相位

表四、為超額相位製作時所需之輸出檔之資料

六、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
改善電離層校正方式，增加掩星資料反演比率	100%	
以一年以上的掩星觀測資料，進行乾溫度參數進行驗證並改進程式	100%	99.5% ， 6days for 1years atmphs profiles. 6sec/per RO
撰寫One-D VAR計算濕溫度參數程式(濕溫度，濕氣壓)	100%	已經完成由 R Langrange 撰寫的1DVAR 由折射率計算溼氣壓程式雛形，未來將輸入資料改為偏折角或超額相位，並改由 Fortran 程式撰寫。
改進周波脫落偵測方法，改善超額相位正確度與精度，及品質偵測(QC)程式	100%	

## 附錄

### 程式碼(processOcc5OPN.pl)

```
#!/ops/tools/bin/perperl
#
## Copyright (c) 1995-2004 University Corporation for Atmospheric Research
## All rights reserved
#
my $pkgdoc = <<'EOD'; # Save package level doc
#/**-----
# @file      processOcc5OPN.pl
#
# This is the script which creates one excess phase file given an occ object.
# It takes an atmospheric/ionospheric occ object as input and creates an
# atmPhs/ionPhs excess phase file as output.
# It also updates the database with information from the excess phase file.
# This script works for OPEN LOOP data.
#
# @author    Bill Schreiner
# @status
# @since     04/26/2005
# @version   $URL:
svn://ursa.cosmic.ucar.edu/branches/cdaac_3.1/src/genXphase5OPN/processOcc5OPN.pl $ $Id:
processOcc5OPN.pl 13792 2011-04-22 19:39:07Z vanhove $
# @cdaacTask no
# @usage     processOcc5OPN.pl [atm|ion]Obj_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_pl
[mission] [--parmsfile=parms1_pl]
# @          [--(no)db] [--(no)clean] [--(no)test] [--menu] [--dbonly] [--lvs=l08]
# @example   processOcc5OPN.pl atmObj_CHAM.2002.213.00.06.G09_0001.0002_pl
--parmsfile=processOcc5.parms1 --test
# @          Input is the name of an atmObj/ionObj file.
# @          By default, run script and clean out tmpdir. The mission can optionally be specified.
# @          If the mission is not specified, then the environment variable 'cdaac_mission' is
consulted
# @          instead. It is a good idea to specify the mission, since perperl can get confused if
# @          multiple missions are running at the same time.
# @          If --nodb is specified, do not populate the database.
# @          If --dbonly is specified, only populate the database.
# @          If --noclean is specified, then don't clean out tmpdir.
# @          If --test is specified, then use the GPSUSER directory in the CVS area
# @          otherwise (default) use GPSUSER from /ops/tools/parms
# @          If --lvs is set, then use specified antenna pcv's
# @          If --menu is specified, then do not run the Bernese programs,
# @          just set up the directory structure and call the MENU program
# @          this is used to edit the *.INP files for the program
# @          If --debug=pgm is set (eg --debug=GENPHS5OPN) then run up until this
# @          program is to be called, but instead of calling it, output a file containing
# @          the full path to the input file for that program. This allows easy debugging
# @          of that program (provided it is compiled with -g, of course!).
# @log       $log$
# -----*/
EOD
$|++;
#/** @call perlib::BernTools.pm:catcomClk */
#/** @call perlib::BernTools.pm:findCrx */
#/** @call perlib::BernTools.pm:igsSnx2sta */
```

```

#!/** @call perllib::Dplib.pm:protoMission */
#!/** @call perllib::Tools.pm:cachefid */
#!/** @call perllib::BernTools.pm:B5setup */
#!/** @call perllib::BernTools.pm:getStdDmp */
#!/** @call perllib::BernTools.pm:catleoAttFast */
#!/** @call perllib::BernTools.pm:B5session */
#!/** @call perllib::BernTools.pm:createDirs */
#!/** @call perllib::BernTools.pm:crd2abb */
#!/** @call database::DBif.pm:updateDB_badPrf */
#!/** @call database::DBif.pm:new */
#!/** @call perllib::Dplib.pm:parent */
#!/** @call perllib::Tools.pm:findPrevDump */
#!/** @call database::DBif.pm:updateFromFile */
#!/** @call perllib::Dplib.pm:simplefn */

#!/**使用方法: processOcc5OPN.pl [atm|ion]Obj_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_pl
[mission] [--parmsfile=parms1_pl][--(no)db] [--(no)clean] [--(no)test] [--menu] [--donly] [--lvs=108] */
#!/** atm: 大氣層 ion 電離層 */
#!/** mission: 任務名稱*/
use lib qw(. /ops/tools/lib /ops/tools/bern5/BERN/BPE); # Add current directory to include path
use strict; # Uptight version of perl
use warnings;
use PubFile;
use Dplib;
use RUNBPE;
use TimeClass;
use GetVersion;
use PDL;
use PDL::NetCDF;
use Tempdir;
use Getopt::Long;
use BernTools;
use Tools;
use BJTools;
use Cwd;
use Time::HiRes qw(gettimeofday tv_interval);

use English;
use FileHandle;
STDOUT->autoflush(1); # Set pipes to immediate flush
STDERR->autoflush(1); # Set pipes to immediate flush

no warnings 'once'; # get rid of 'used only once' warnings for variables in obj:: and parms::
# 如果沒有檔案則跳出
if (@ARGV < 1) {
    print $pkgdoc;
    exit -1;
}

#
## Deal with command line options
# 處理 command line 的選項, 以下為選項預設值

my $parmsfile = 'processOcc5.parms1'; # default
my $lvs = ""; # use absolute pcv's
my $donly = 0;
my $db = 1; # populate database
my $clean = 1; # clean out tmpdir

```

```

my $test    = 0; # set to 1 to test with GPSUSER from CVS directory. Set to 0 for production use
from /ops/tools/parms
my $menu    = 0; # set to 1 to run the menu program, useful in filling out *.INP files
my $debug   = ""; # set to the name of the Bernese FORTRAN program to debug
GetOptions ("parmsfile=s" => \$parmsfile,
           "db!"      => \$db,
           "donly!"  => \$donly,
           "clean!"  => \$clean,
           "menu!"   => \$menu,
           "lvs=s"   => \$lvs,
           "debug=s" => \$debug,
           "test!"   => \$test) || die "Cannot parse command line options!";

# Input file
# infile 為輸入的那串指令, 如果沒有定義 mission, 則使用環境變數中的 mission 值取代
my $infile = shift;
my $mission = shift;

$ENV{cdaac_mission}=$mission if(defined($mission));

# Check mission
die "Please set environment variable: cdaac_mission to eg champ (or specify mission on the command
line)"
  unless (defined($ENV{cdaac_mission}));

# 檢查 mission 是否設定正確
do "/ops/tools/lib/DBif.pm"; # do this at run time to make sure mission is set correctly!

# netcdf object
# 定義 ncobj 物件, 之後使用
my ($ncobj);

#
## Extract some initial vars.
# 使用 PubFile 模組解析命令列, 並將解析結果填入各欄位 ($filetype, $yr, $doy, $leoid, $hr, $min,
$occsat, $occtag, $leoname)
my $pub = PubFile->parse($infile);
my $inpath = $pub->fullpath;
die "Cannot find input file: $infile" unless (-e $inpath);

my ($filetype, $yr, $doy, $leoid, $hr, $min, $occsat, $occtag, $leoname) =
  ($pub->filetype, $pub->yr, $pub->doy, $pub->leoid, $pub->hr, $pub->min, $pub->occsat,
  $pub->occtag, $pub->leoname);
my $leonum = $BernTools::satidmap{$leoname};
my $yr2d = sprintf("%02d", TimeClass::two_digit_year($yr));

print "Starting processOcc5OPN for File = $infile\n";

# 將 gettimeofday 塞入 t0 變數, 於執行 script 時使用
my $t0 = [gettimeofday];

# use prototype mission
# 再次確認 mission, uc 為 upper case, 把字串全變大寫
$mission = $ENV{cdaac_mission};
my $missionuc = uc $mission;

```

```

#protoMission : 由任務名稱取出原任務名稱，例如從任務 cosmicrt 中取出原任務名稱 cosmic。
my $protomission = Dplib::protoMission($mission);
my $protomissionuc = uc $protomission;
# 改成大寫的兩個變數似乎未使用到.....( missionuc, protomissionuc)
## Read in occ obj
package obj;
do $inpath;
package main;

#
## Read in parms
# If the user has the OPSTOOLS environment variable set, use parms files from there.
# 選擇 OPSTOOLS 目錄
my $parmsdir = $Dplib::parmsdir;
$parmsdir =~ s|/ops/tools|$ENV{OPSTOOLS}| if (exists($ENV{OPSTOOLS}));

# 如果代有選項 --test (test mode) , 則使用當下目錄
# If the user runs in --test mode, use local parms file D. Hunt 1/12/2009
my $srcdir = cwd();
$parmsdir = Dplib::parent($srcdir) if ($test);

die "Cannot find input parmsfile: $parmsfile" unless (-e "$parmsdir/genXphase5OPN/$parmsfile");
package parms;
# Use 'do' instead of 'require' since this forces the parms file to be read every time.
# This is important when using perperl! D. Hunt 2010.1.11
do "$parmsdir/genXphase5OPN/$parmsfile";
package main;

#
## Set variable for processing with absolute/relative phase centers
# 設定環境變數, absolute/relative phase centers....(For Bernese)
my $satabsrel = $lvs ? "SATELLIT.${lvs}" : "SATELLIT.";
my $phafilerelel = $lvs ? "${missionuc}.PHA.${lvs}" : "${missionuc}.PHA";

#
## Get subver, Output file
# 選則輸出 file 的 type 是 atmPhs 或 ionPhs
my $outfiletype = ($filetype =~ /atm/) ? "atmPhs" : "ionPhs";
# 由 GetVersion::GetVersion 決定輸出的 sub version
my $subver = GetVersion::GetVersion ('genXphase5OPN', $parmsfile, $outfiletype, $infile);
my ($subType, $version) = split(/\./,$subver);
# 根據以上資訊, 使用 PubFile->new 產生名稱為 outfile 的 PubFile 物件
my $outfile = PubFile->new (FILETYPE => $outfiletype, OCCTAG => $occtag, SUBVER =>
$subver)->fullpath;

# 如果有定義 dbonly, 則去做 UPDATEDB function( 本 Perl 最後幾行 )
goto UPDATEDB if ($dbonly);

# Create temp directory
# 建立 temp 目錄..
my $tmpdir;

# use eval to trap errors. close after execution.
# eval :將大括號裡面的字串視為 Perl 指令執行, 若有錯誤則印出
eval {

## Assemble LEO info

```

```

my $prochist = 'GENPHS5 1.0      ';

#
## Format times
# 初始化 startObj , stopObj 為 0,0
# 並根據 obj::setting, 以 TimeClass 初始並設定 startObj 與 stopObj
my ($startObj,$stopObj) = (0,0);
if ($obj::setting == 1) {          # Setting
    $startObj = TimeClass->new->set_gps($obj::startTime->inc_sec_gps(-$parms::occOverTop);
    $stopObj  = TimeClass->new->set_gps($obj::stopTime->inc_sec_gps($parms::occOverBot);
} else {                          # Rising
    $startObj = TimeClass->new->set_gps($obj::startTime->inc_sec_gps(-$parms::occOverBot);
    $stopObj  = TimeClass->new->set_gps($obj::stopTime->inc_sec_gps($parms::occOverTop);
}

# 取得 startGps 與 stopGps
my $startGps = $startObj->get_gps;
my $stopGps  = $stopObj->get_gps;

# 由 startObj 取出 start Year, start Day of Year, Hour, Minute, Second
my ($startYr, $startDoy, $hour, $minute, $second) = $startObj->get_yrdoyhms_gps;
# 由 start year 和 start day of year 求出 month 跟 day ..
my ($month, $day) = TimeClass::find_date ($startYr, $startDoy);

# 求出 開始日期 date 與結束日期 enddate
my $date      = $startObj->get_yrdoy_gps;
my $enddate  = $stopObj->get_yrdoy_gps;

# 定義 dates 陣列, 並將 date, enddate, enddatep1 全部放入此陣列中
my @dates = ($date);
my $enddatep1 = TimeClass->new->set_gps($stopGps->inc_sec_gps(86400)->get_yrdoy_gps;
push @dates, $enddate unless ($enddate == $dates[0]);
push @dates, $enddatep1;

#
## Fiducial data overlap
# 算出 startGps 與 stopGps
$startGps += -$parms::fidOver+1;
if ($parms::proctype == 0) {          # DOUBLE DIFF
    $stopGps += $parms::fidOver-1;
} else {
    $stopGps += $parms::fidOver;
}
## Call getStdDmp to get gpsPod files for processing
# 根據 startGps 與 stopGps , 使用 BernTools 求出 gpsPolfile, gpsClkfile, gpsPodfile 供後續程式使用
my ($gpsPolfile, $gpsClkfile, $gpsPodfile) = BernTools::getStdDmp($startGps, $stopGps);

#
## Decide whether to process delta or double differences
# 決定 Delat 或 Double difference, 以下為初始預設值...
my $fidtrpfile = "";
my $fidtrptext = 1;
my %binexfiles = ();
my @scriptList = ();
my ($obsfil1,$obsfil2) = ("",""); # occ
my ($obsfil1r,$obsfil2r) = ("",""); # ref
my $occantid='00';
my $refantid='00';

```

```

# 取出檔名
my $scriptname = Dplib::simplefn($0);
if ($test) { #測試 mode
    my $foo = "$srcdir/TEMPDIR";
    $tmpdir = \$foo;
    mkdir $$tmpdir || die "Could not make TEMPDIR in " . cwd() . "\n";
} else { # 正常 mode
    $tmpdir = Tempdir->new($scriptname);
    $Tmpdir::delete = 0 unless ($clean); # remove temp dir after run unless --noclean is specified
}

system "rm -rf $$tmpdir/*"; # start from scratch!清除 temp 目錄

# Double differences 二次差 (但在 CDAAC 中未使用)
if ($parms::proctype == 0) { # DOUBLE DIFF

    print "Double Difference Processing\n";

    # Fiducial Data Ready
    ## Get fiducial trop file
    # 由 startGPS, stopGps 時間內尋找 fidTrp, 並回傳一資料結構給 filecahce.
    my $filecache = Tools::cachefid("fidTrp", $startGps, $stopGps);
    # 將 filecahce 所有符合條件的物件列出 which(($filecache->{START} <= $stopGps) &
    ($filecache->{END} >= $stopGps))
    my @trpfiles = map { $filecache->{LIST}[$_] } list which(($filecache->{START} <= $stopGps) &
    ($filecache->{END} >= $stopGps));
    unless (@trpfiles) {
        my $tStartStamp = TimeClass->new->set_gps($startGps)->get_stamp_gps;
        my $tStopStamp = TimeClass->new->set_gps($stopGps)->get_stamp_gps;
        die "No fidTrp file found covering the time span from $tStartStamp to $tStopStamp";
    }

    $fidtrpfile = $trpfiles[$#trpfiles];
    $fidtrptext = {"BERNTRP.TRP" => $fidtrpfile};
    # 根據 mission, 定義要執行的 script
    @scriptList = ($protomission eq 'gpsmet') ? qw(BXOBV3 GENPHS5OPN) : qw(BXOBV3 CODSPP
    GENPHS5OPN);
    die "Cannot process atmGps files, only opnGps files. Please use processOcc5.pl" if
    ($obj::occhrfiles[0] =~ /atmGps/);

    #
    ## Get BINEX fiducial data ready for bernese
    # 準備給 bernese 的 binex 地面站資料
    # 取得站名
    my ($stat) = ($obj::fidGpsfiles[0] =~ m/fidGps_(\w\w\w\w)\./);
    die "Cannot determine station name from input file: $obj::fidGpsfiles[0]" unless defined($stat);

    my $dat = "";
    if (@obj::fidGpsfiles) {
        my $offset = 0;
        foreach my $file (@obj::fidGpsfiles) {
            my $realfile = PubFile->parse(Dplib::simplefn($file))->fullpath; # swap in current mission,
            PUBNAME D. Hunt 1/12/2009
            open (IN, $realfile);
            my $size = -s $realfile;
            read (IN, $dat, $size, $offset);
            close IN;
        }
    }
}

```

```

    $offset += $size;
  }
  $binexfiles{"${stat}${doy}A.${yr2d}O"} = sub {$dat};

  if (defined($obj::occhrfiles[0]) && $obj::occhrfiles[0]) {
    my $pub = PubFile->parse($obj::occhrfiles[0]);
    $occantid = $pub->ant;
    $obsfil1 = $obj::occhrfiles[0];
    $obsfil2 = $obj::occhrfiles[1] if (defined($obj::occhrfiles[1]));
  }
  if (defined($obj::refhrfiles[0]) && $obj::refhrfiles[0]) {
    my $pub = PubFile->parse($obj::refhrfiles[0]);
    $refantid = $pub->ant;
    $obsfil1r = $obj::refhrfiles[0];
    $obsfil2r = $obj::refhrfiles[1] if (defined($obj::refhrfiles[1]));
  }
} else {
  die "No fiducial files found for prefix fidGps, station $stat";
}
}
#一次差 with hr clocks/ 零次差
elsif ($parms::proctype == 1 || $parms::proctype == 3 ) { # delta diff with hr clocks or zero-difference
processing

  if ($parms::proctype == 1) {
    print "Delta Difference Processing with HR clocks\n";
  } else {
    print "Zero-difference processing\n";
  }

  # occClk clk file
  my @clkfiles = ();
  $gpsClkfile = "$$tmpdir/BERNCLK.CLK";

  if ($ENV{versionMode} =~ /real/) {
    # 產出所需檔案
    my $pub = PubFile->parse($obj::leoPodfiles[$#{ $obj::leoPodfiles }]);
    my $clrsuver = GetVersion::GetVersion ('leoOrb5', "", "comClr");
    @clkfiles = PubFile->new(FILETYPE => 'comClr', DUMPID => $pub->dumpid => SUBVER =>
$clrsuver)->fullpath;
    die "No comClk files found" unless (@clkfiles);
    # 建立連結
    symlink $clkfiles[0], $gpsClkfile;

  } else {
    ## Use cachefid to get list of comClk files to concatenate together.
    my $filecache = Tools::cachefid ("comClk", $startGps, $stopGps);
    @clkfiles = map { $filecache->{LIST}{$_} list which((( $filecache->{START} <= $startGps) *
($filecache->{END} >= $stopGps))};
    die "No comClk files found" unless (@clkfiles);

    # cat comClk files together
    if (@clkfiles > 1){
      BernTools::catcomClk($gpsClkfile, \@clkfiles);
    } else {
      symlink $clkfiles[0], $gpsClkfile;
    }
  }
}

```

```

}
# 定義 scriptList 為 GENPHS5OPN
@scriptList = qw(GENPHS5OPN);

die "Cannot process atmGps files, only opnGps files. Please use processOcc5.pl" if
($obj::occhrfiles[0] =~ /atmGps/);

if (defined($obj::occhrfiles[0]) && $obj::occhrfiles[0]) {
    my $pub = PubFile->parse($obj::occhrfiles[0]);
    $occantid = $pub->ant;
    $obsfil1 = $obj::occhrfiles[0];
    $obsfil2 = $obj::occhrfiles[1] if (defined($obj::occhrfiles[1]));
}
if (defined($obj::refhrfiles[0]) && $obj::refhrfiles[0]) {
    my $pub = PubFile->parse($obj::refhrfiles[0]);
    $refantid = $pub->ant;
    $obsfil1r = $obj::refhrfiles[0];
    $obsfil2r = $obj::refhrfiles[1] if (defined($obj::refhrfiles[1]));
}
}
# 電離層, 或一次差 with IGS clocks
elsif ($parms::proctype == 2) { # IONOSPHERE, OR deltadiff with IGS clks

    # must convert full path mrfiles and lrfiles to local PUBNAME and mission for testing
    # D. Hunt 1/12/2009
    my $mrfiles0 = eval { PubFile->parse(Dplib::simplefn($obj::mrfiles[0]))->fullpath };
    my $lrfiles0 = eval { PubFile->parse(Dplib::simplefn($obj::lrfiles[0]))->fullpath };
    if (defined($mrfiles0) && (-s $mrfiles0) && (!defined($parms::skipmrdata))) {
        my $pub = PubFile->parse($obj::mrfiles[0]);
        $occantid = $pub->ant;
        $obsfil1 = $mrfiles0;
        if (defined($obj::mrfiles[1])) {
            $obsfil2 = PubFile->parse(Dplib::simplefn($obj::mrfiles[1]))->fullpath;
            $obsfil2 = undef if (!-s $obsfil2);
        }
    }
    elsif (defined($lrfiles0) && -s $lrfiles0) {
        my $pub = PubFile->parse($obj::lrfiles[0]);
        $occantid = $pub->ant;
        $obsfil1 = $lrfiles0;
        if (defined($obj::lrfiles[1])) {
            $obsfil2 = PubFile->parse(Dplib::simplefn($obj::lrfiles[1]))->fullpath;
            $obsfil2 = undef if (!-s $obsfil2);
        }
    }
    else {
        die "No MR or LR LEO Data Available\n";
    }
}
# 定義 scriptList 為 GENPHS5OPN
@scriptList = qw(GENPHS5OPN);
print "Ionospheric Occultation Processing, L4=L1-L2 OR\n";
print "Delta Difference Processing with IGS Clocks\n";
}

## Set up necessary environment variables and the standard options hash
## for RUNBPE

```

```

#
# 定義所有 BernTools::B5setup 所需資訊
# Save time objects
my $tstart = $startObj;
my $tstop = $stopObj;

# Determine if an attitude file is available. If so, set up INP file
# and directory structure to point to it. D. Hunt 9/22/2004
# Get a list of the names of the leoAtt files from /pub needed for this run
# If leoAtt files unavailable, try getting level0/chpAcc files
# If no attitude files found, then use default pointing
my @leoattfiles = ();
my $attfile;
my ($Time, $Att);

# Do this in post-processing only. D. Hunt 11/22/2006
if ($ENV{versionMode} =~ /post/) {
    for my $dat (@dates) {
        push (@leoattfiles, sort PubFile->new(FILETYPE => "leoAtt", DATE => $dat, LEO =>
$leoid)->glob);
    }
} else { # For real time, only use current and previous dump files. D. Hunt 11/22/2006
    my $dumpid = PubFile->parse($obj::leoPodfiles[-1])->dumpid;
    my $prevdumpid = Tools::findPrevDump ($dumpid);
    push (@leoattfiles, PubFile->new(FILETYPE => "leoAtt", DUMPID => $prevdumpid)->glob)
        if (defined($prevdumpid));
    push (@leoattfiles, PubFile->new(FILETYPE => "leoAtt", DUMPID => $dumpid)->glob);
}
if (@leoattfiles != 0) {
    $attfile = "$tmpdir/BERNLEO.ATT";
    # Uncomment for old (perhaps more correct, but very slow) catleoAtt
    # ($Time, $Att) = BernTools::catleoAtt(\@leoattfiles, $leoid, $attfile, $startGps-10, $stopGps+10,
"att", "rat", "sad", "ang");

    # New fast catleoAtt written in C
    BernTools::catleoAttFast(\@leoattfiles, $leoid, $attfile, $startGps-10, $stopGps+10);
} else {
    # Post-Processed, chpAcc or leoAtt
    $attfile = PubFile->new(FILETYPE => "chpAcc", YR => $yr, DOY => $doy,
        HR => 0, MIN => 0, DUR => 1440)->fullpath('nocreate');
}

my @attinfo = ();
if (-s $attfile) {
    @attinfo = ('LEO.ATT' => $attfile); # for createDirs
} else {
    print "\nNo leoAtt files found ..... USING Default Attitude\n\n";
}

# For GPS/MET, use L1P1 phase not L1CA.
my $usel1ca = ($protomission eq 'gpsmet') ? 0 : 1;

# For GPS/MET, use L1
my $usel1cafid = ($protomission eq 'gpsmet') ? 0 : 1;
my $usel1cafid = 0;

# For GPS/MET, Minimum epochs
my $minepo = ($protomission eq 'gpsmet') ? 0 : 30;

```

```

# REFSAT for ZD case
my $refprn = (!defined($obj::refPrn)) || ($obj::refPrn == -999) ? 0 : $obj::refPrn;

# GPSUSER is in the CVS directory if --test is specified, otherwise its in /ops/tools/parms
my $gpsuser = $test ? "$srcdir/GPSUSER" : "$Dplib::parmsdir/genXphase5OPN/GPSUSER";

# Switch in the correct PUBNAME and MISSION. Do not use the full path
# name from the atmObj. D. Hunt 1/8/2009
$obsfil1 = PubFile->parse(Dplib::simplefn($obsfil1))->fullpath if ($obsfil1);
$obsfil2 = PubFile->parse(Dplib::simplefn($obsfil2))->fullpath if ($obsfil2);
$obsfil1r = PubFile->parse(Dplib::simplefn($obsfil1r))->fullpath if ($obsfil1r);
$obsfil2r = PubFile->parse(Dplib::simplefn($obsfil2r))->fullpath if ($obsfil2r);

my $opts = BernTools::B5setup ($gpsuser, $tstart, $$tmpdir,
    {(MISSION => $missionuc,
    USEL1CA => $usel1ca, #0
    USEL1CAFID => $usel1cafid, #0
    MINEPO => $minepo, # 0
    LEONAME => $leoname,
    LEONUM => $leonum,
    PROCTYPE => $parms::proctype,
    OBSFIL1 => $obsfil1,
    OBSFIL2 => $obsfil2,
    OBSFIL1R => $obsfil1r,
    OBSFIL2R => $obsfil2r,
    GENRES => "$$tmpdir/GPSDATA_Q/THIS/ORB/ex.nc",
    STARTDOY => $doy, # day of year
    LI1 => $parms::ilink[0],
    LI2 => $parms::ilink[1],
    LI3 => $parms::ilink[2],
    LI4 => $parms::ilink[3],
    LS1 => $parms::isml4[0],
    LS2 => $parms::isml4[1],
    LS3 => $parms::isml4[2],
    LS4 => $parms::isml4[3],
    LN1 => $parms::isml4n[0],
    LN2 => $parms::isml4n[1],
    LN3 => $parms::isml4n[2],
    LN4 => $parms::isml4n[3],
    L4WINOPT => $parms::l4winopt,
    INOCHKL2SLIP => $parms::inochk2slip // 0,
    IREFL3L1 => $parms::irefl3l1 // 0,
    ISACK => $parms::isack,
    FIXREFGAP=> $parms::fixrefgap,
    FIXREFOUT=> $parms::fixrefout,
    REFMAXTOL=> $parms::refmaxtol,
    IDUR => $parms::idur,
    NDEG => $parms::ndeg,
    CFITTOL => $parms::cfittol,
    IRL => $parms::intreflink,
    SUBTYPE => $subType,
    VERSION => $version,
    SETTING => $obj::setting,
    LEOID => $leoid,
    DUMPID => "1",
    GNSSID => $obj::conId,
    OCCSAT => $obj::occPrn,
    REFSAT => $refprn,

```

```

        SAMPLING => $parms::fsamp,
        MAXZEN   => $parms::fmaxzen,
                SATABSREL=> $satabsrel,
        STARTGPS => ($tstart->get_mjd),
        STOPGPS  => ($tstop->get_mjd));

$opts{FASTMENU} = 1; # speed processing
# $opts{DEBUG} = 1; # Turn off debug to reduce number of kids spawned
$opts{NOCHDIR} = 1;

#
## Specify and create directory hierarchy for BPE.
## (mostly just the CAMPAIGN directory).
## $tree contains a hash structure which is used by createDirs to create the necessary
## directory tree.

# Make sure session includes fiducial overlap
$tstart->inc_sec_gps(-$parms::fidOver+1);
if ($parms::proctype == 0) { # 二次差
    $tstop->inc_sec_gps($parms::fidOver-1);
} else {
    $tstop->inc_sec_gps($parms::fidOver);
}
#
## Only include station info for double difference processing. D. Hunt 2/21/2007
#
my $crdfile_string;
my @stainfo = ();
if ($parms::proctype == 0) {
    my $datep = TimeClass->new->set_yrdoym_gps($date)->inc_sec_gps(-86400)->get_yrdoym_gps;
    if ($ENV{versionMode} =~ /real/) {
        $crdfile_string = ReadFidTab5::makeBerneCrd($tstart->get_gps, 'IGS00', {DISTANCE =>
3650});
    } else {
        $crdfile_string = ReadFidTab5::makeBerneCrd($tstart->get_gps, 'IGS00', {PRECISE => 1,
DISTANCE => 3650});
    }
    @stainfo = (
        "BERNCRD.CRD" => sub { $crdfile_string },
        "BERNABB.ABB" => sub { BernTools::crd2abb($crdfile_string) },
        "BERNSTA.STA" => sub { BernTools::igsSnx2sta($datep) }
    );
}

my $pubname = defined($ENV{PUBNAME}) ? $ENV{PUBNAME} : '/pub';

# Get leoclk and leopod full paths using the correct PUBNAME and MISSION from
# environment variables. Do not use the full path from the atmobj!
# This allows one to run this in a test configuration
# D. Hunt, 1/8/2009
# 根據 PUBNAME 和 MISSION 取得 leoclok 和 leopod 的完整路徑
my $leoClkfile = PubFile->parse(Dplib::simplefn($obj::leoClkfiles[0]))->fullpath;
my $leoPodfile = PubFile->parse(Dplib::simplefn($obj::leoPodfiles[0]))->fullpath;
my $tree =
{
    STATUS    => sub {}, # empty file
    GPSTEMP   => {AUTO_TMP => 1},
    GPSDATA_Q => {THIS => {ATM    => $fidtrptext,

```

```

        DATPAN => 1,
        OBS    => 1,
        OUT    => 1,
        ORB    => {"GPS.CLK"      => $gpsClkfile,
                  "LEO.CLK"      => $leoClkfile,
                  "GPS.STD"      => $gpsPodfile,
                  "LEO.STD"      => $leoPodfile,
                  @attinfo,
                  "GPS.ERP"      => $gpsPolfile},
        SOL    => 1,          # map of Bernese names for input normal
equations files to CDAAC names
        RAW    => \%binexfiles,
        STA    => { @stainfo,
                  "BERNPHA.PHA" => "cp
$pubname/$mission/config/brnFil/$phafilereI",
                  "BERNCRX.CRX" => BernTools::findCrx($yr, $mission),
                  "LEOCC.STA"  => "cp
$pubname/$mission/config/brnFil/${missionuc}.$occantid.STA",
                  "LEOREF.STA" => "cp
$pubname/$mission/config/brnFil/${missionuc}.$refantid.STA",
                  "BERNSTA.STA" => sub { BernTools::igsSnx2sta($date) },
                  "ITRFCODE.BLQ" => "cp $ENV{X}/GEN/ITRFCODE.BLQ",
                  "SESSIONS.SES" =>
                      sub { BernTools::B5session
("$ENV{X}/SKL/SESSIONS.SES", $tstart, $tstop) }}}
};

# Create a directory hierarchy, including symlinks to files and directories and
# generated files under $$tmpdir according to $tree.
# 建立目錄，並建立 tree 與 tmpdir 連結
BernTools::createDirs ($$tmpdir, $tree);
system "chmod -R 0777 $$tmpdir";

#
## Now call the menu program (and exit) if requested by the user
#
#-----
#Useful for debug...
#chdir ("${ENV{XQ}}");
#foreach my $key (sort keys %ENV) { print "$key => ${ENV{$key}}\n"; }
#exec "gdb ${ENV{XQ}}/menu" if ($menu);
#-----
MENU:
exec "${ENV{XQ}}/menu ${ENV{U}}/PAN/MENU.INP" if ($menu);

printf "Elapsed = %5.2f\n", tv_interval ($t0); $t0 = [gettimeofday];

#
## Run all scripts in newly created processing area
#
# Set things up for debugging the specified program
if ($debug) {
    $opts->{DEBUG_PGM} = $debug;
    $opts->{DEBUG} = 1;
}

```

```

my $pid = 1;
# Run all scripts
#####
# 執行 script! (GENPHS5OPN)
for my $script0 (@scriptList) {
    my ($script, $optdir) = split /\_/, $script0;
    $optdir = "THIS" unless (defined($optdir));
    $$opts{OPT_DIR} = $optdir;
    print "Executing script: $optdir:$script...";
    $$opts{FASTMENU} = 0 if !($script eq "GENPHS5OPN"); # no speed processing
    $$opts{CMD_PATH} = '/ops/schrein/bin' if (exists($ENV{OPSTOOLS}) && $ENV{OPSTOOLS} =~
/schrein/ && $script eq "GENPHS5OPN");

    # Run local build of GENPHS5OPN if --test. D. Hunt 12/31/2008
    $$opts{CMD_PATH} = '.' if ($test && $script eq "GENPHS5OPN");

    RUNBPE->new(%$opts, SCRIPT => $script, PID => $pid++)->copyUarea->run;
    printf "Elapsed = %5.2f\n", tv_interval($t0); $t0 = [gettimeofday];
    if ($script eq 'CODSPP') {
        die "ProcessOcc5.pl ERROR: BAD CODSPP Solution" if (-s
"$${tmpdir}/GPSDATA_Q/THIS/OUT/CODXTR.DEL");
    }
}
}; # close of eval for trapping errors
#列出錯誤訊息
if ($?) {
    my $errstr = $?;
    # Add failed attempt to badPrf database
    DBif->new->updateDB_badPrf($outfile, $errstr)->close if (!$test);
    die $errstr;
}

# Update badPrf db if file not created.
# 如果執行錯誤, 則更新 badPrf db.
unless (-s "$${tmpdir}/GPSDATA_Q/THIS/ORB/ex.nc") {
    # Add failed attempt to badPrf database
    DBif->new->updateDB_badPrf($outfile, "Excess phase file not created")->close if (!$test);
    die "Excess phase file not created";
}

#
### Get info from netCDF file

my $bad = 0;
my $errstr = "";

eval {
    # PDF::NetCDF->New 一個 NetCDF 的物件, 指向 ncobj
    $ncobj = PDL::NetCDF->new ("${tmpdir}/GPSDATA_Q/THIS/ORB/ex.nc");
    # 取得 NetCDF 物件 (ncobj)的資訊
    my $l2min = $ncobj->getatt('l2min')->at(0);
    my $refrms = $ncobj->getatt('refrms')->at(0);
    my $refmax = $ncobj->getatt('refmax')->at(0);
    my $fidoccrms = $ncobj->getatt('fidoccrms')->at(0);
    my $fidoccmx = $ncobj->getatt('fidoccmx')->at(0);
    my $fidrefrms = $ncobj->getatt('fidrefrms')->at(0);
}

```

```

my $fidrefmax = $ncobj->getatt('fidrefmax')->at(0);
# 檢查資訊是否符合範圍, 若不符合則印出 errstr, 並將 bad 設為 1, 以供接下來程式輸出錯誤訊息
if ($l2min < $parms::minrefl2snr) {
    $errstr .= "Failed: LOW L2 SNR ON REFERENCE LINK: $l2min < $parms::minrefl2snr";
}
if ($refrms > $parms::refrmstol) {
    $errstr .= "Failed: BAD L4 RMS FOR LEO REFSAT LINK: $refrms > $parms::refrmstol";
}
if ($refmax > $parms::refmaxtol) {
    $errstr .= "Failed: BAD L4 MAX RESIDUAL FOR LEO REFSAT LINK: $refmax >
$parms::refmaxtol";
}
if ($fidrefrms > $parms::fidrmstol) {
    $errstr .= "Failed: BAD L4 RMS FOR FIDUCIAL REFSAT LINK: $fidrefrms > $parms::fidrmstol";
}
if ($fidoccrms > $parms::fidrmstol) {
    $errstr .= "Failed: BAD L4 RMS FOR FIDUCIAL OCCSAT LINK: $fidoccrms > $parms::fidrmstol";
}
if ($fidrefmax > $parms::fidmaxtol) {
    $errstr .= "Failed: BAD L4 MAX RESIDUAL FOR FIDUCIAL REFSAT LINK: $fidrefmax >
$parms::fidmaxtol";
}
if ($fidoccmx > $parms::fidmaxtol) {
    $errstr .= "Failed: BAD L4 MAX RESIDUAL FOR FIDUCIAL OCCSAT LINK: $fidoccmx >
$parms::fidmaxtol";
}

if ($errstr) {
    $bad = 1;
} else {
    $errstr = "OK";
}

# Write to netcdf file.
# 將其餘資訊寫入 NetCDF 檔案並儲存
$ncobj->putatt ($occtag, 'fileStamp'); # add complete occ id as global attribute
$ncobj->putatt ($parmsfile,'parmsfile'); # add parameter file name as global attribute
$ncobj->putatt ('UCAR/CDAAC','center'); # add processing center as global attribute
$ncobj->putatt ($bad, 'bad');
$ncobj->putatt ($errstr, 'errstr');
$ncobj->close;
};
# 列出錯誤訊息
if ($?) {
    $errstr .= "Failed: Cannot read netCDF file: $?";
    system "mv $$tmpdir/GPSDATA_Q/THIS/ORB/ex.nc $outfile.unreadable";
    # Add failed attempt to badPrf database
    DBif->new->updateDB_badPrf($outfile, $errstr)->close if (!$test);
    die $errstr;
}
# 如果執行錯誤, 則更新 badPrf db.
if ($bad) {
    print "Badness found: \n$errstr\n";
    # Add failed attempt to badPrf database
    DBif->new->updateDB_badPrf($outfile, $errstr)->close if (!$test);
    die $errstr;
}
}

```

```
# Write file to pub, print "FILE CREATION".
# 建立 File.
system "rm -f $outfile" if (-e $outfile);
system "mv $$tmpdir/GPSDATA_Q/THIS/ORB/ex.nc $outfile";
print "FILE CREATION: ", Dplib::simplefn($outfile), "\n";

#
## Update the database for this occ
#
# 如果有定義 , 則做以下程式 UPDATEDB
UPDATEDB:

# update the database
DBif->new->updateFromFile($outfile)->close if (!$test);

print "Done!\n";

exit;
```

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(5.3)：近即時定軌軟體及軟體使用手冊（第二版）、

測試報告

計畫名稱：掩星資料處理技術建置：定軌計算自主技術發展

執行期間： 2012/02/18~2013/02/17

分項工作管理人：黃金維 教授

參與人員：曾子榜 博士

李宜珊 博士生

中 華 民 國 1 0 2 年 0 2 月

## 一、 摘要

本研究團隊藉由福衛三號作為研究對象，研發針對福衛三號近即時定軌程序的自動化處理系統，以提供未來國內發展自主衛星任務之參考基礎架構。將自動化處理系統建置於Linux 系統之叢集電腦（PC Cluster）的工作環境下，計算端共配置16 個計算節點可供平行處理運算。配合定軌研究使用的Bernese 5.0 軟體之自動化處理（Bernese Processing Engine, BPE），採用佇列排程控管軟體PBS（Portable Batch System）與Linux 作業系統之例行性工作排程，以實現福衛三號近即時定軌自動化處理系統，其中包含地面站資料收集、對流層參數解算、GPS 時錶改正估計以及福衛三號軌道之求定。運作概念是以例行性工作排程於指定時間啟動自動執行，並將欲執行之近即時定軌解算工作交由佇列排程控管軟體分配計算資源，使各解算工作可獨立且進行平行運作。

## 二、 前言

本研究中的近即時低軌衛星精密定軌程序，可分為地面站資料收集與處理、GPS 時錶估計以及低軌衛星的軌道求定三部分，如圖 1 所示。第一部分是「地面測站處理程序」，利用此程序對地面觀測料進行下載、合併等整理工作。透過收集的地面 GPS 測站觀測資料，進行第二部分「高取樣率 GPS 時錶差處理程序」，包含求解測站坐標位置與其上空之對流層資訊，進而計算 GPS 時錶偏差，其中以超快速 GPS 精密星曆作為先驗軌道。第三部分則是「低軌衛星定軌處理程序」，此程序利用衛星追蹤衛星技術，以 GPS 觀測資料解算低軌衛星軌道。

本研究之近即時定軌系統架構在 Linux 環境下的 PC cluster，為使福衛三號六枚衛星能夠同時進行定軌解算而不互相影響或佔用系統伺服器端資源，該系統使用佇列排程控管軟體 PBS 分配欲執行之工作至計算端各計算節點進行工作。另針對福衛三號近即時定軌之自動化處理，分別以 shell script 撰寫下載資料的執行檔，定軌處理程序前置編輯作業的執行檔，以及執行工作平行處理運算的 PBS 執行檔，並以 perl 語言整合以上所述之執行檔，配合例行性工作排程每 15 分鐘

定時執行 IGS 地面站觀測資料下載與合併，並每小時執行計算高取樣率 GPS 時錶差計算(如圖 2 所示)，另每隔 10 分鐘偵測是否有新的福衛三號觀測資料釋出並予以定軌(如圖 3 所示)，以此系統自動執行福衛三號之近即時定軌工作。

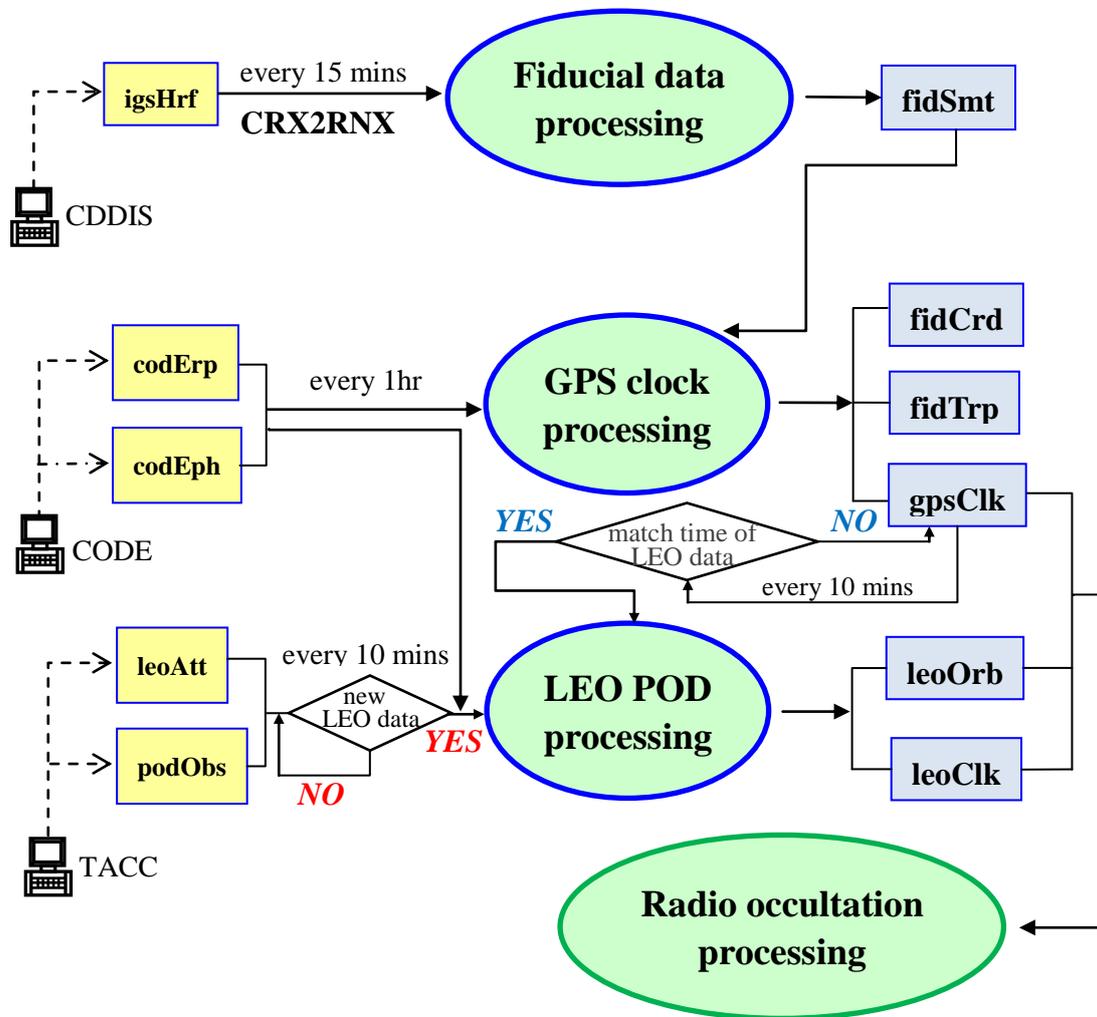


圖 1: 自動化近即時定軌系統架構

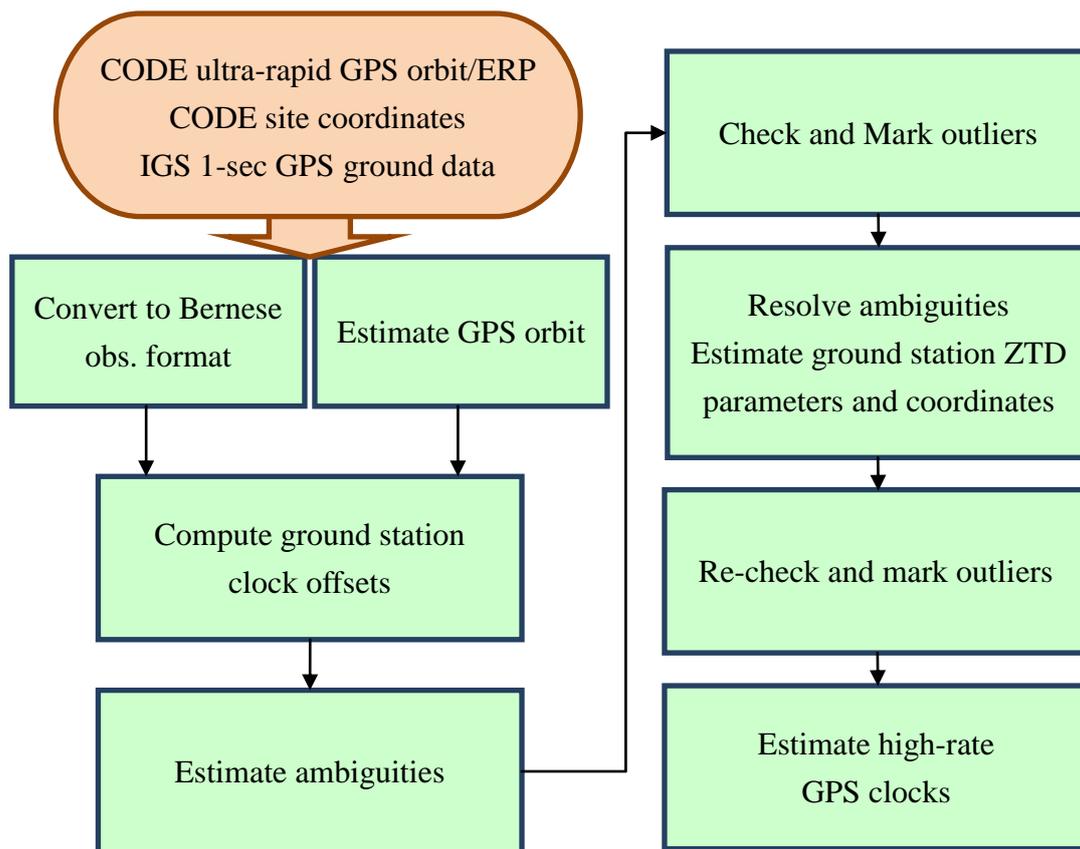


圖 2: GPS 時錶改正解算流程

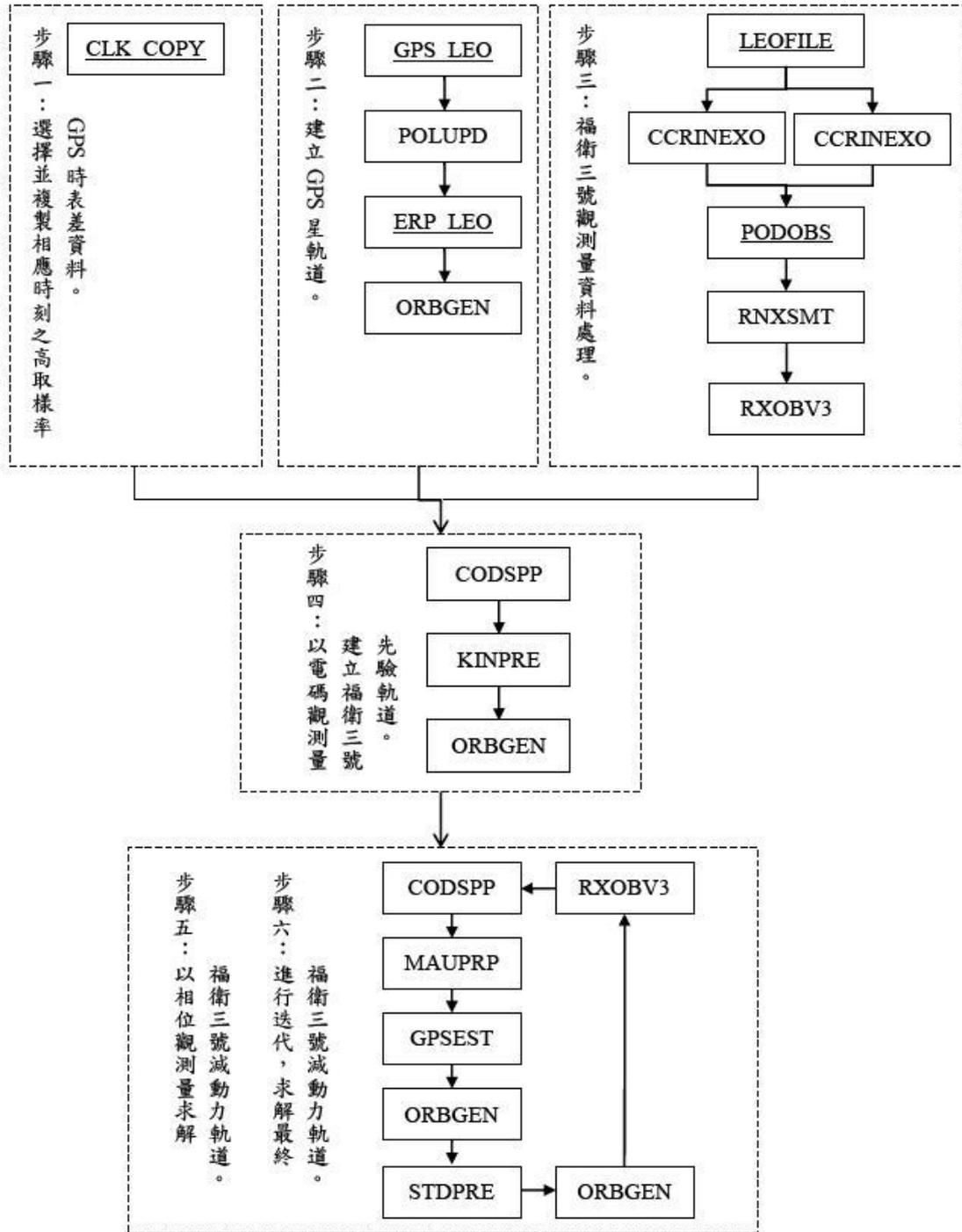


圖 3: 福衛三號及時定軌計算流程

### 三、 成果報告

#### 3-1 地面站的使用

為使地面站資料均勻全球分布，目前 TACC 使用的 CDAAC 軟體其所採用的地面站資料來源有四，分別是 IGS, NRCAN, EUMETSAT and CDAAC，如圖 4(a)所

示。受限於資料交換使用合約，目前本團隊研究使用之地面站資料來源僅為 IGS，若以 2011 年第 86 天所下載使用之地面站為例，如圖 4(b)所示，TACC 所使用之地面站較本研究所使用的地面站其幾何分佈更為均勻。圖 4(b)中之淺藍色線為 GPS 衛星的地面軌跡。下一章節將顯示由 TACC 所求定的 GPS 時錶差與本研究所求定的時錶差之比較。

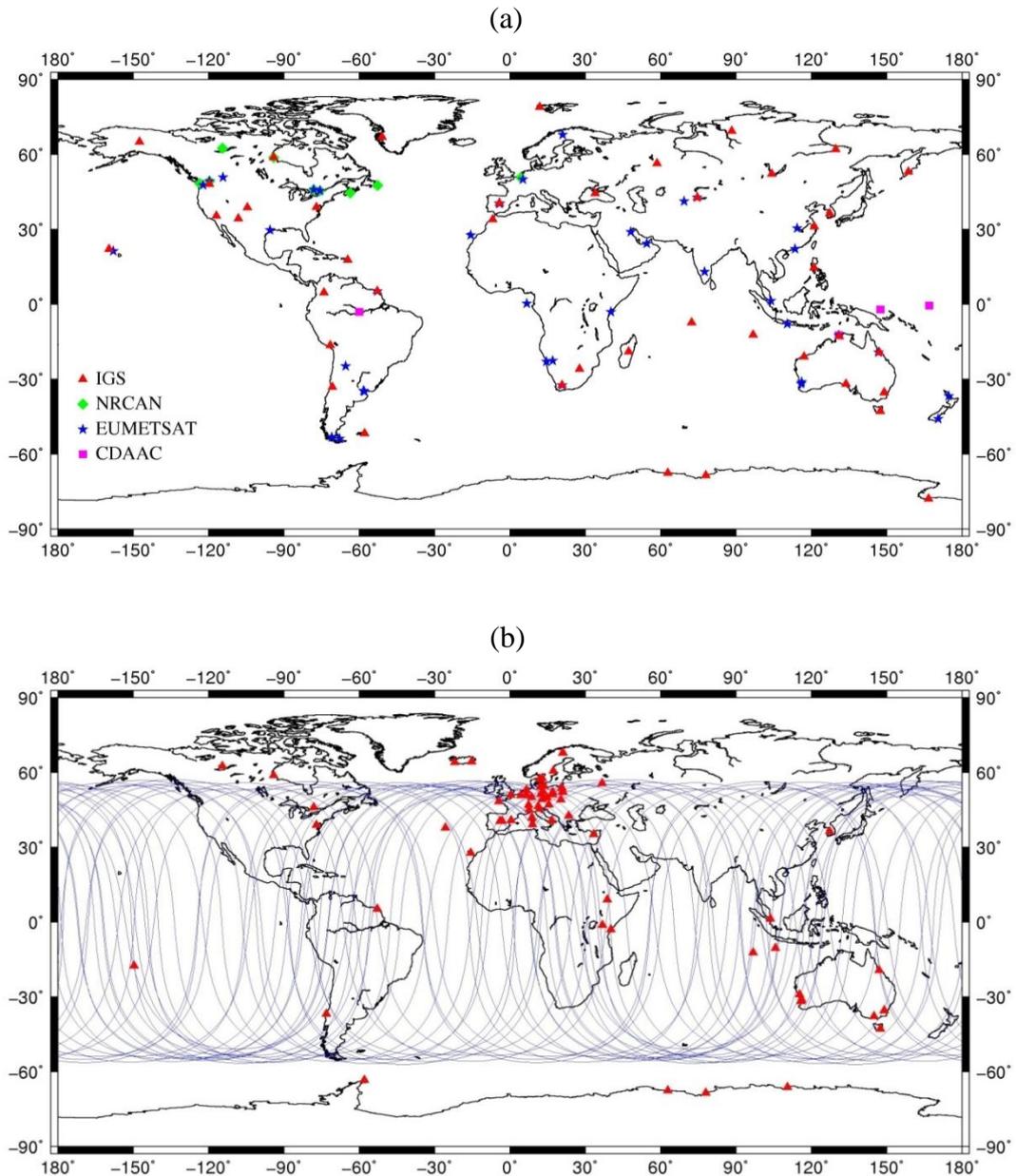


圖 4: (a)TACC 地面站的使用(b)本研究地面站的使用

### 3-2 GPS 時錶差之比較

以 2011 年第 83~90 資料計算為例，表 1 及圖 5 說明了三種不同計算軟體的高取樣率 GPS 時表差結果：(1)本研究團隊求得之近即時時表差，稱為 NRT(NCTU)；(2) UCAR 的 CDAAC 軟體求得之近即時時表差，稱為 NRT(CODE)；(3) CODE 的後處理時表差，稱為 PP(CODE)。由表 1 可知，每一個 GPS 時錶改正的產品，因選擇的時鐘基準不同造成差異，但其差異仍介於同一等級。此外，即時的產品當中 NCTU 與 UCAR 的比較(NRT (NCTU) – NRT (UCAR))比其他兩列來的高，是由於 CODE 使用精度較的後處理 GPS 軌道進行 GPS 時錶差估計；反觀 NRT (NCTU) – PP (CODE)與 NRT (UCAR) – PP (CODE)的比較，其量級較為相近，意指兩個產品(NCTU 與 UCAR)所估計出來的即時 GPS 時錶改正精度相當。

表 1: GPS 時錶差之 RMS 與平均值的比較(NRT 意指即時;PP 意指後處理)

Case	RMS	Mean
NRT (NCTU) – PP (CODE)	1.427	-0.292
NRT (UCAR) – PP (CODE)	1.332	-0.515
NRT (NCTU) – NRT (UCAR)	1.939	-0.202

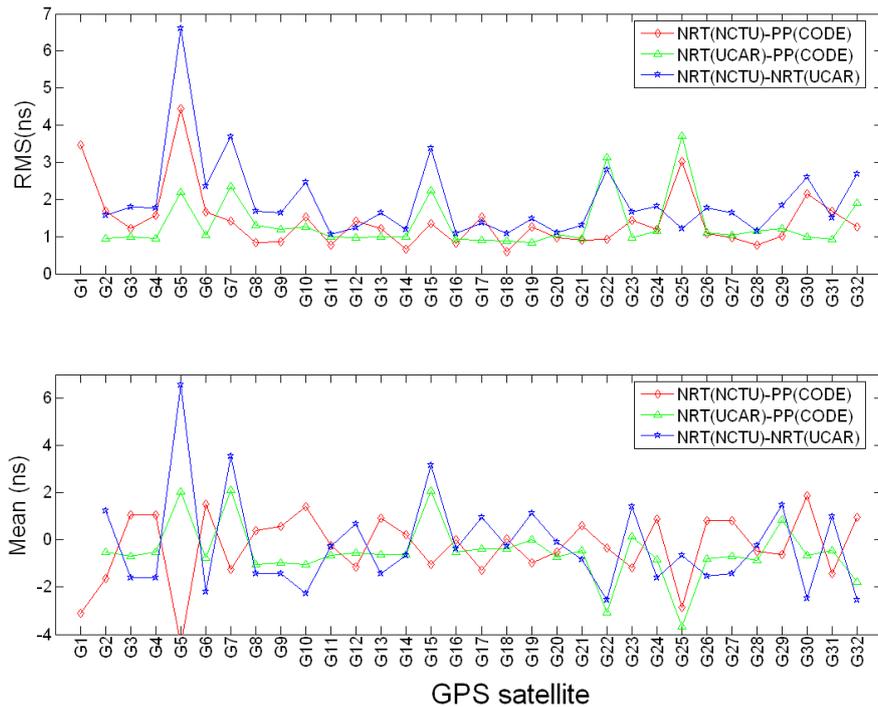


圖 5:GPS 時錶改正 RMS 與平均值分布圖

### 3-3 定軌結果比較

在定軌計算中，同樣以 2011 年第 83~90 天的觀測資料進行計算。對定軌成果精度分析，表 2 與圖 6 中的軌道比較包括三種不同來源的定軌成果：(1)本研究團隊求得之近即時定軌成果，稱為 NRT(NCTU)；(2) UCAR 的 CDAAC 軟體求得之近即時定軌成果，稱為 NRT(CODE)；(3)後處理定軌成果，稱為 PP。在近即時定軌系統精度成果分析中，分別以近即時減動力軌道重疊較差、近即時時減動力軌道與後處理減動力軌道較差、不同近即時減動力軌道較差等三種方式估算。在近即時軌道重疊比較中，NCTU 近即時軌道精度約為 9 公分(NRT (NCTU) – NRT (NCTU))，而 UCAR 近即時軌道精度約為 15 公分(NRT (UCAR) – NRT (UCAR))；在近即時減動力軌道與後處理減動力軌道比較中，NCTU 近即時軌道與後處理軌道差異約為 10 公分(NRT (NCTU) – PP)，而 UCAR 近即時軌道精度約為 15 公分(NRT (UCAR) – PP)；在 NCTU 與 UCAR 近即時減動力軌道比較中，兩者的近即時軌道差異約 18 公分(NRT (NCTU) – NRT (UCAR))。

表 2 各軌道較差之平均均方根值(單位:公尺)

Case of overlap	Position (m)	Velocity (mm/s)
NRT (NCTU) – NRT (NCTU)	0.090	0.238
NRT (UCAR) – NRT (UCAR)	0.153	0.245
NRT (NCTU) – PP	0.097	0.239
NRT (UCAR) – PP	0.154	0.258
NRT (NCTU) – NRT (UCAR)	0.177	0.261

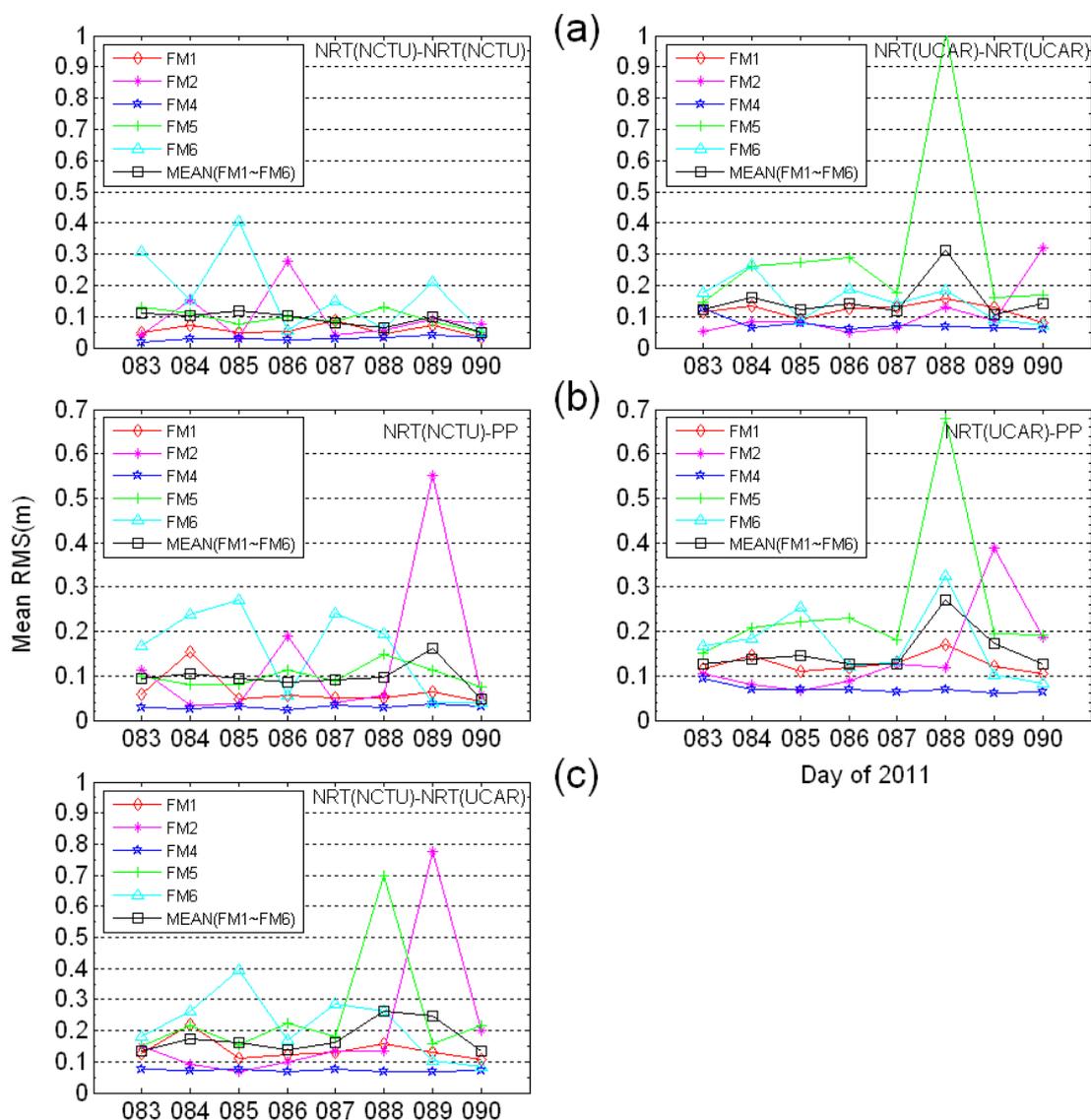


圖 6 近即時軌道精度比較成果。(a) 近即時減動力軌道重疊較差；(b) 近即時減動力軌道與後處理減動力軌道較差；(c)NCTU 與 UCAR 近即時減動力軌道較差

#### 四、 結語

目前本團隊對於福衛三號自動化近即時定軌程序業已完成，包含地面處理程序與太空定軌處理程序之整合，從資料下載到完成計算均由電腦系統自動進行不須人工操作，真正達到自動化近即時處理之目標。藉由福衛三號建置自動化近即時定軌處理系統，除提供福衛三號即時軌道以利大氣科學研究應用，並可作為未來我國發展太空科技之參考架構。在目前有限地面 GPS 觀測資料來源下，本自動化近即時定軌處理系統之軌道重疊精度約為 10 公分，計算延遲時間約為 15 分鐘，已和 CDAAC 為相同等級，若能加入全球均勻分布地面觀測資料來源，定能有效提升本系統各項表現精度。本系統相關軟體程式已移交太空中心，進行整合測試。

#### 五、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
繳交近即時定軌軟體及軟體使用手冊	是	已完成軟體及手冊繳交。接下來為等待太空中心，進行整合測試。
測試報告	是	

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(5.1)：掩星資料處理系統架構報告

系統整合測試程序報告書(v1.0)

全球定位研究中心

吳靜美

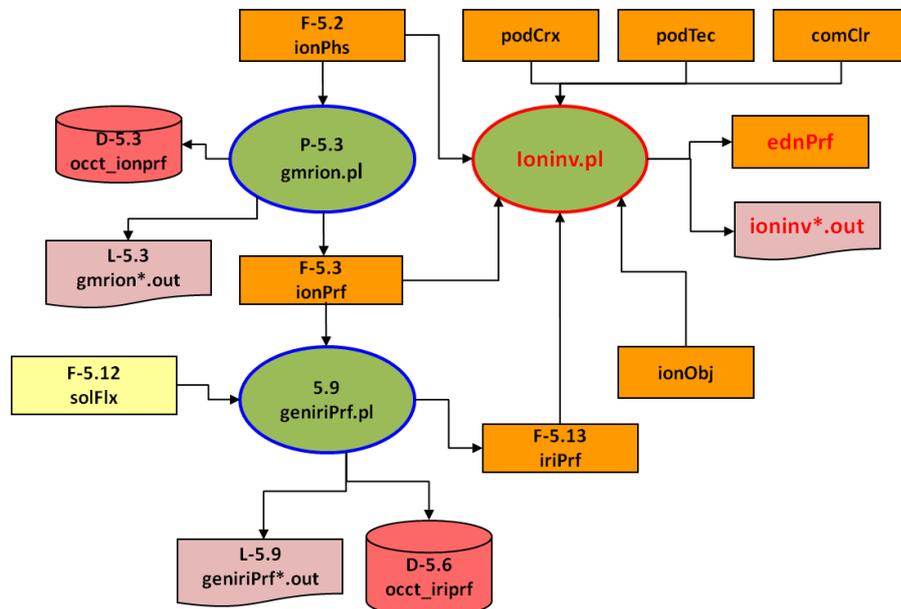
中 華 民 國 1 0 2 年 0 2 月

## 一、目的

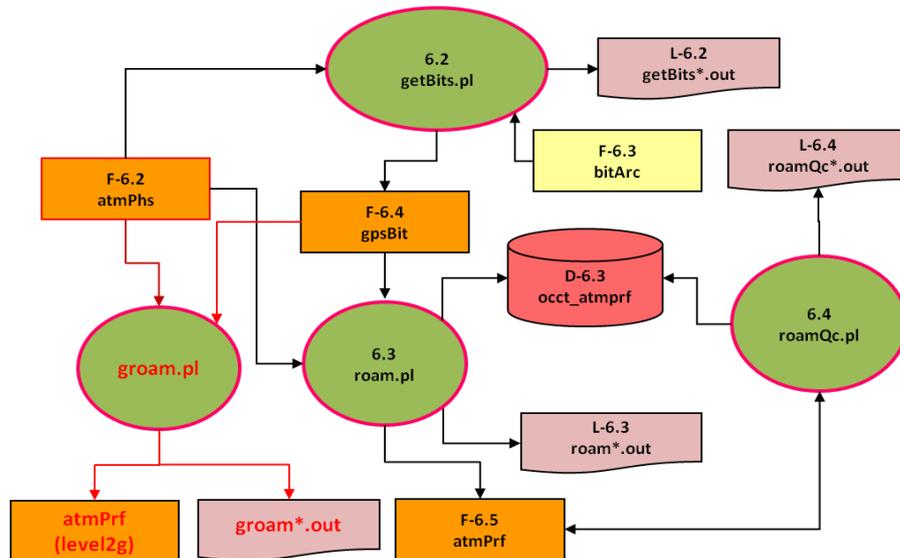
整合本中心研究員在個自平台上自主發展的掩星資料反演模組至同一作業平台上並建置及發展 GPSARC 掩星資料處理系統。現階段以現有的掩星資料反演軟體 CDAAC4.00 為藍本，參考其外部流程控制介面設計，將本中心自主發展之掩星資料反演模組整合至 CDAAC 4.00 中。本報告程序書就目前初步完成之電離層及大氣乾剖面反演模組來做整測，內容包括外部流程控制介面架購、輸入及產出資料說明、內部程式演算流程、系統需求環境、系統整合與安裝程序、系統使用說明、整測成果、後續發展規劃及附錄。

## 二、外部流程控制介面架購

### 1. 電離層反演模組流程控制介面架購



### 2. 大氣乾剖面反演模組流程控制介面架購



### 三、輸入及輸出資料說明

#### 1. 電離層反演模組

##### ● 輸入資料

檔名	說明
comClr_YYYY.DDD.LLL.NN_SSSS.VVVV_clk	Clock offset values for each GPS satellite during the period specified in the file name. The clock values are kept at the same rate as the high rate fiducial data (one second).
podCrx_YYYY.DDD.LLL.NN.TT_crx.gz	Raw L1 and L2 pseudo-range and carrier phase tracking data in CRX format
podTec_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.UUUU.GGG.TT_SSSS.VVVV_nc	Absolute total electron content from the POD antennas (including ionospheric occultations).
ionObj_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_pl	Ionospheric occultation objects
ionPhs_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_nc	Ionospheric excess phases and auxiliary data used for generating ionospheric profiles.
ionPrf_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_nc	Ionospheric profiles of electron density (CDAAC)
iriPrf_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_nc	iri profile for corresponding ionPrf

##### ● 輸出資料

檔名	說明
ednPrf_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV.mat	Ionospheric profiles of electron density.(GPSARC)
ednPrf_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV.png	Image file of Ionospheric electron profiles.

#### 2. 大氣乾剖面反演模組輸入資料

##### ● 輸入資料

檔名	說明
gpsBit_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_txt	GPS navigation data modulation bits used for processing open loop data in the lower troposphere
atmPhs_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_nc	Atmospheric excess phases and auxiliary data used for generating atmospheric profiles.

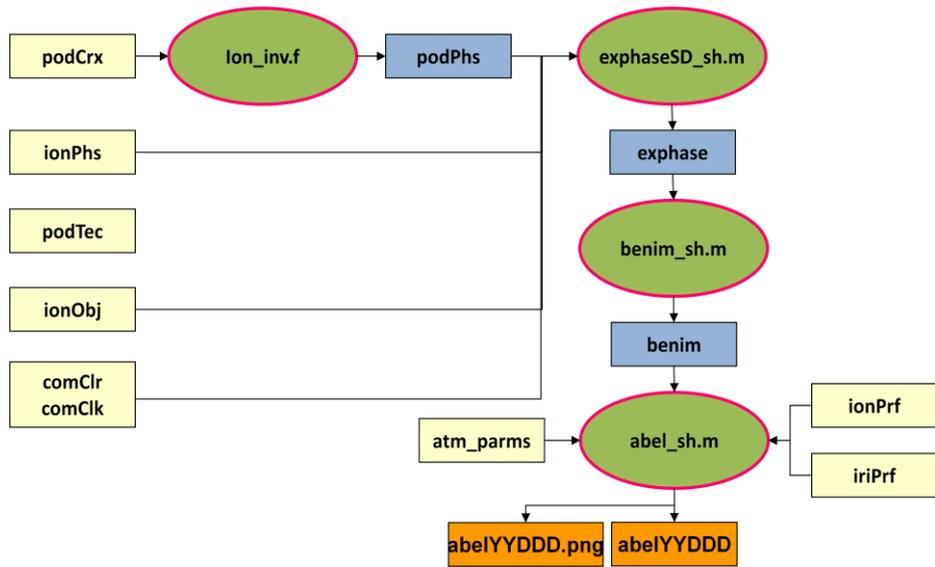
##### ● 輸出資料

檔名	說明
atmPrf_IIII.YYYY.DDD.HH.MM.GGG_SSSS.VVVV_nc	Atmospheric profiles of bending angle, refractivity, and dry temperature.(GPSARC)

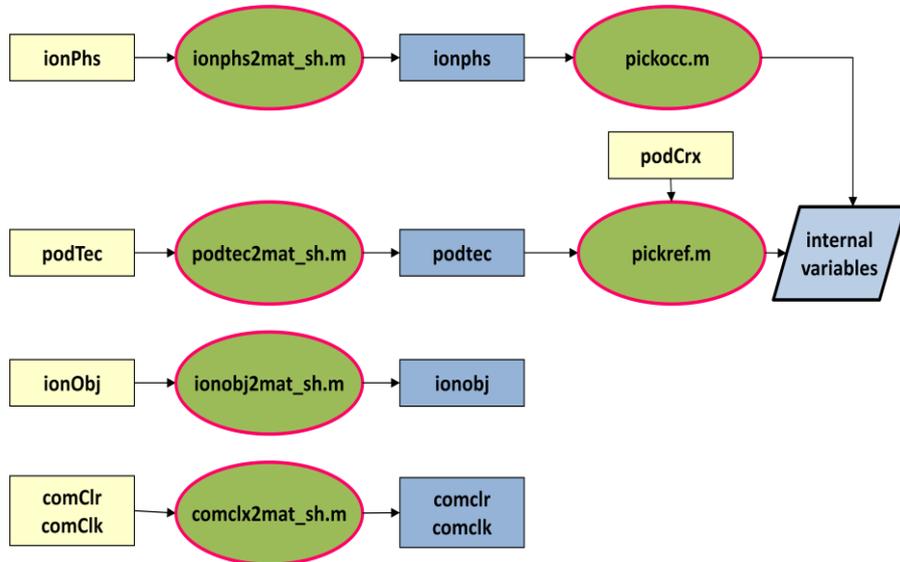
### 四、內部程式演算流程

#### 1. 電離層反演模組程式演算流程

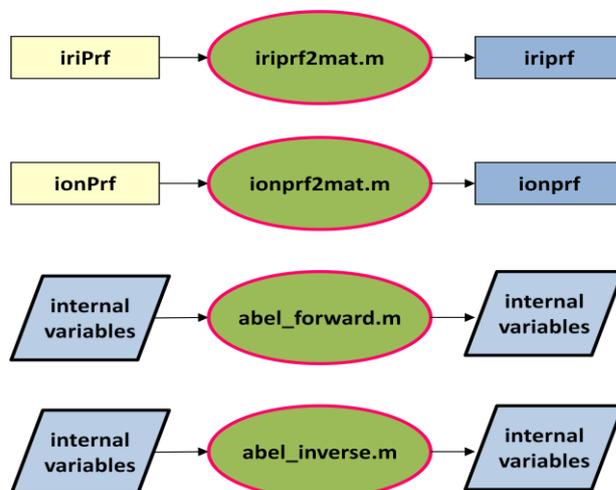
##### ● DFD 第一層



● DFD 第二層-exphaseSD\_sh.m



● DFD 第二層-abel\_sh.m



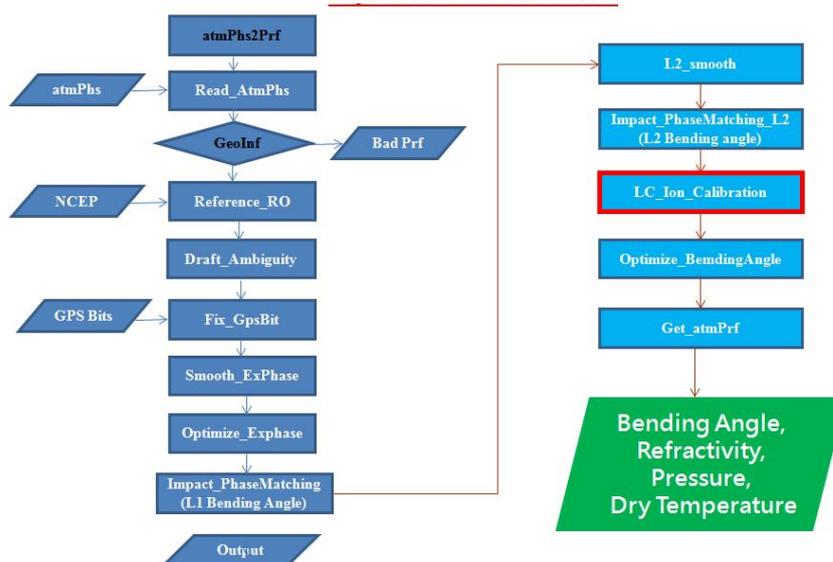
- DFD 第三層-pickref.m



## 2. 大氣乾剖面反演模組程式演算流程

超額相位 → 大氣壓力、乾溫度、折射率剖線

**atmPhs → atmPrf**



## 五、系統需求環境

- CentOS 6.3 64bit
- CDAAC 4.00
- Gfortran4.4 , netcdf-4.0.1
- Octave3.6.1 以上版本及其相依套件、octcdf1.2 以上版本(附錄)

## 六、系統整合與安裝程序

1. 先確認是否安裝 Octave3.6.1 以上版本及其相依套件、octcdf1.2 以上版本。(安裝程序如附錄)
2. 整合 GPSARC 自主發展反演模組 GPSARC1.00 至 CDAAC4.00—程序如下：
  - 將 GPSARC 反演程式壓縮檔 GPSARC1.00.tar.gz 複製到家目錄下 (ex. /home/cosmicops) 並解壓縮。  
[cosmicops@gpsarc1]\$ tar -zxvf GPSARC1.00.tar.gz → 解壓縮後產生一個 GPSARC1.00 的目錄。
  - 切換到 GPSARC1.00 目錄下開始進行安裝。  
[cosmicops@gpsarc1]\$ cd GPSARC1.00
  - 切換到 root 管理者身份進行安裝 netcdf-4.0.1。  
[cosmicops@gpsarc1 GPSARC1.00]\$ su root

- [root@gpsarc1 GPSARC1.00]# **cd netcdf-4.0.1**
- 執行 `install_netcdf.sh` 將 netcdf-4.0.1 安裝至正確目錄下。  
[root@gpsarc1 netcdf-4.0.1]# **./install\_netcdf.sh**
- netcdf-4.0.1 安裝完成後，登出 **root** 管理者身份回到 **cosmicops** 使用者身份進行電離層反演模組的安裝。  
[root@gpsarc1 netcdf-4.0.1]# **exit**  
[cosmicops@gpsarc1 GPSARC1.00]\$ **cd ioninv**
- 執行 `install.sh` 將電離層反演模組程式 `compile` 並安裝至正確目錄下。  
[cosmicops@gpsarc1 ioninv]\$ **./install.sh**
- 電離層反演模組程式安裝完成後，回到上一層目錄並切換到 `roam` 目錄下準備安裝大氣反演乾剖面模組程式。  
[cosmicops@gpsarc1 ioninv]\$ **cd ../roam**
- 執行 `install.sh` 將大氣反演乾剖面模組程式 `compile` 並安裝至正確目錄下。  
[cosmicops@gpsarc1 roam]\$ **./install.sh**
- 大氣反演乾剖面模組程式安裝完成後，回到上一層目錄，依據 `Config.pm` 裏的設定來做 GPSARC 自主發展反演模組的排程，`ioninv.pl` 及 `groam.pl` 分別為 GPSARC 電離層反演模組及大氣反演乾剖面模組的流程控制程式，將兩支流程控制程式加入 `/pub/cosmicrt/config/Config.pm` 的 CDAAC4.00 的排程中，即完成系統的安裝與整合。

## 七、系統使用說明

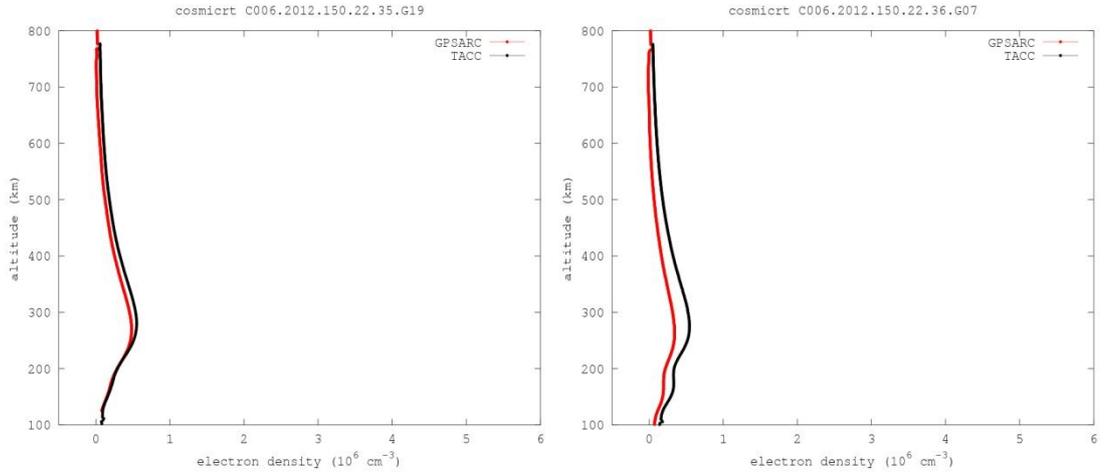
1. 按 CDAAC 資料處理程序流程先啟動 daemons。  
[cosmicops@gpsarc1]\$ **daemons.pl -start**
2. 執行 CDAAC 即時資料處理程序-電離層反演：`ionPhs`→`ionPrf`  
[cosmicops@gpsarc1]\$ **fileNotify.pl YYYY.DDD cosmicrt --prefix=ionPhs**
3. 執行完畢後，可在 `/pub/cosmicrt/level2g/ednPrf/YYYY.DDD` 目錄底下得到 GPSARC 自主發展電離層反演模組所產生之資料
4. 執行 CDAAC 即時資料處理程序 `atmPhs`→`atmPrf`  
[cosmicops@gpsarc1]\$ **fileNotify.pl YYYY.DDD cosmicrt --prefix=atmPhs**
5. 執行完畢後，可在 `/pub/cosmicrt/level2g/atmPrf/YYYY.DDD` 目錄底下得到 GPSARC 自主發展電離層反演模組所產生之資料

## 八、整測成果

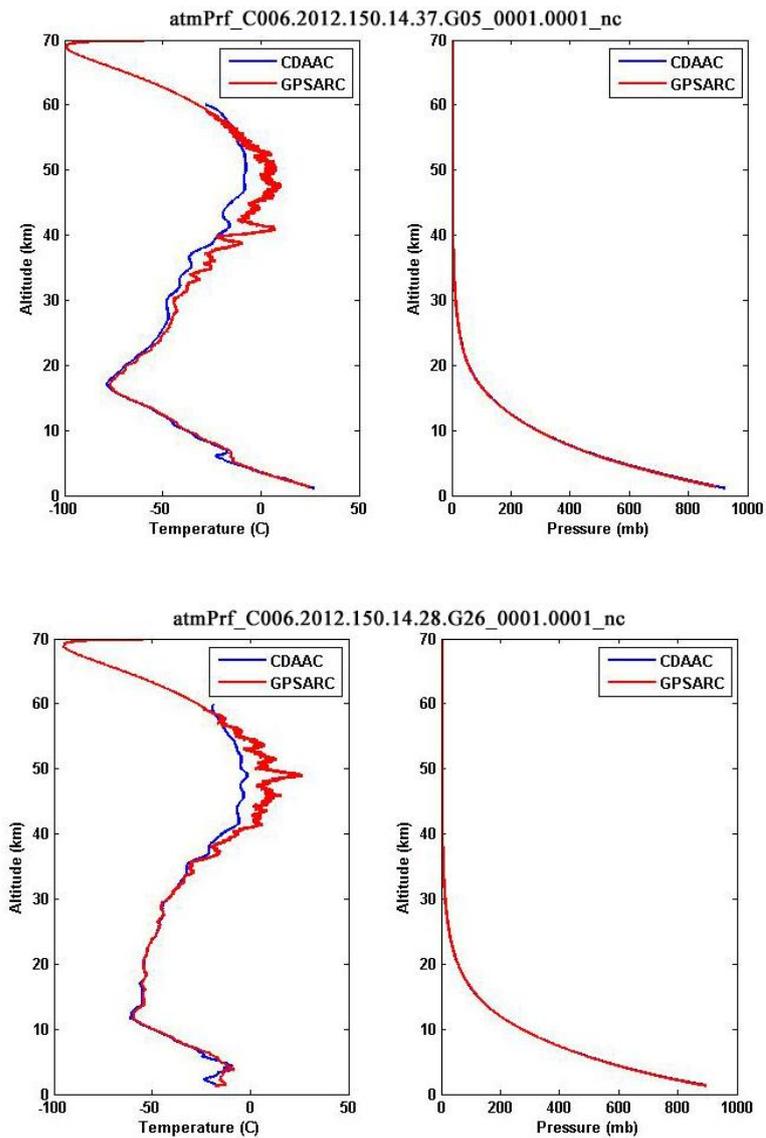
兩個自主發展反演模組已成功的整合至 CDAAC4.00 中，並可按 CDAAC 4.00 資料處理程序產出自主發展反演模組之資料。以下為自主發展反演模組

與 CDAAC4.00 反演模組產出資料之比較圖。

● 電離層反演模組



● 大氣乾剖面反演模組



## 九、後續發展規劃

將持續掩星資料處理系統建置-自主發展定軌技術核心模組至大氣超量相位模組間的架構整合與測試，預計分四階段來進行：

- 第一階段：將在不同平台上發展的定軌技術核心模組及大氣超量相位模組移植至 CentOS 6.3 系統上，修改其檔案路徑及輸出入介面以確保這兩個模組能在 CentOS 6.3 系統上運作。
- 第二階段：修改能在 CentOS 6.3 系統上運作之定軌技術核心模組及大氣超量相位模組之輸出入介面以符合福七輸出入資料格式，並測試資料是否產出。
- 第三階段：定軌技術核心模組及大氣超量相位模組外部流程控制程式設計及發展。
- 第四階段：系統整合及測試—定軌→大氣超量相位→大氣乾剖面。

## 十、附錄

### Octave3.6.3 安裝程序

1. 先確認 gcc 是否為 4.4 以上版本，若否則先執行 `yum install gcc44` 安裝。
2. 先用 `yum install` 安裝或更新以下套件：glibc, glib-common, ghostscript-devel, lcm-devel 等。
3. 下載以下檔案的原始檔和-devel 檔 (ex, atlas, atlas-devel)，並依序安裝：  
Blas→lapack→atlas → libdap → libnc → cln → ginc → glpk → fltk → fftw3 → hdf5 → ImageMagick → ImageMagick-c++ → qhull → qrupdate → ufsparse  
(大部份檔案可在這個網站 <http://pkgs.org/> 下載)
4. 下載 Octave3.6.3 來源檔 [octave-3.6.3.tar.gz](http://ftp.gnu.org/gnu/octave/octave-3.6.3.tar.gz) 並安裝 ([ftp://ftp.gnu.org/gnu/octave/](http://ftp.gnu.org/gnu/octave/))
5. 下載 octcdf-1.1.5.tar.gz (<http://octave.sourceforge.net/octcdf/>)
6. 進入 octave 系統中安裝 octcdf  
\$ octave  
octave:1> `pkg install octcdf-1.1.5.tar.gz`

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」  
期末報告

工作項目(5.6)：後續發展規劃報告

執行期間： 2012/02/18~2013/02/17

工作管理人：黃清勇

參與人員：蔡和芳、黃成勇、曾子榜、吳靜美

中 華 民 國 1 0 2 年 2 月

# 後續發展規劃報告

## 摘要

本中心後續規畫將配合太空中心七號衛星任務的規劃與時程，盡快完成三號資料自主軟體及七號資料處理的先期研究，模擬 GNSS 資料，修改自主軟體，以符合七號衛星處理的需求。

在電離層方面現已完成電離層反演模組，由福衛三號 GPS 掩星觀測量估算全球電離層電子密度剖線。未來將因應福衛七號電離層相關之科學酬載儀器，如 TriG 大氣電離層掩星實驗、VIDI 離子速度與濃度探測儀等，發展福衛七號 GNSS 掩星電離層資料處理系統，以及 VIDI 觀測資料處理系統。配合福七發展時程，預計於 102 年 6 月、9 月及 11 月以前，階段性發展電離層掩星資料反演科學演算核心模組，設計系統輸出入介面與整合流程控制，並於 103 年 3 月以前，完成電離層掩星資料反演科學演算核心模組品質驗證報告，以及電離層掩星資料反演系統軟體使用手冊。

在軌道方面將持續改進福衛三號即時定位軟體，探討福衛三號軌道誤差來源。在 GNSS 上則將利用地面 GNSS 資料，進行 GNSS 定位測試，進而當作發射福衛七號之前置作業。

在大氣層反演方面，將針對已完成大部分工作的超額相位反演以及乾溫度剖面反演持續加以改進，並且完成濕溫度剖面反演的一次變分反演模式。也將針對 GNSS 訊號加以模擬，已進行七號衛星的資料處理測試(from level 1)，以利進行七號資料自主程式的改寫，以及作

業化的測試。

在系統方面，將持續掩星資料處理系統建置-自主發展定軌技術核心模組至大氣超量相位模組間的架構整合與測試。

**工作項目：**

**系統**

預計分四階段來進行：

- 第一階段：將在不同平台上發展的定軌技術核心模組及大氣超量相位模組移植至 CentOS 6.3 系統上，修改其檔案路徑及輸出入介面以確保這兩個模組能在 CentOS 6.3 系統上運作
- 第二階段：修改能在 CentOS 6.3 系統上運作之定軌技術核心模組及大氣超量相位模組之輸出入介面以符合福七輸出入資料格式，並測試資料是否產出。
- 第三階段：定軌技術核心模組及大氣超量相位模組外部流程控制程式設計及發展。
- 第四階段：系統整合及測試一定軌、大氣超量相位、大氣乾剖面。

**軌道：**

- 持續改進福衛三號即時定位軟體。
- 持續探討福衛三號軌道誤差來源。

- 利用地面 GNSS 資料，進行 GNSS 定位測試，進而當作發射福衛七號之前置作業。

#### 電離層掩星:

- 改善現有之一次差電離層超量相位估算程序，使之相容於 TriG 掩星電離層觀測量，並求得全球電離層電子密度剖線；
- 改善現有電離層資料反演程序，使之相容於 TriG 電離層超量相位觀測量；
- 整合與測試改善後的電離層反演模組至福衛七號掩星資料處理軟體。
- 處理 VIDI 觀測量，產出更多全球電離層參數。

#### 大氣層掩星:

- 完成衛星酬載 GNSS 反射訊號模擬器原型(GNSS-R 模擬器)，模擬環境包含大氣層和電離層。模擬器主要依據 GNSS 衛星軌道、接收機位置與地表模型推算訊號反射點並依據 GNSS-R 接收機(含天線)特性以及反射表面之屬性分析訊號之變化。
- 改進大氣超額相位(Excess Phase)反演精度。
- 提升乾溫度與溼溫度剖面反演精度與演算法改進。
- 核心模組化發展與掩星資料處理系統相容性程式編寫。
- GNSS 資料處理程式改寫。

### 時程規劃:

- 102.5.30→配合 NSPO 完成三號資料核心科學資料處理軟體 (定軌、大氣層、電離層)雛型與部分模組系統整合。
- 102.06.30→完成定軌、電離層、大氣層模組介面定義(GPS)。
- 102.12.31→完成定軌、電離層、大氣層模組介面定義(GNSS: start from Level 1a format)。
- 102.12.31→GNSS 資料先期研究與模擬。
- 103.06.30→改寫三號自主程式成可執行七號 GPS 觀測資料。
- 103.10.31→改寫三號自主程式成可執行七號 GNSS 觀測資料。
- 103.12.30→改寫三號自主程式成可執行七號 GNSS 觀測資料與測試。

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(6)：科學酬載前置資料分析報告

期末報告計畫名稱：福七計畫第一組科學酬載前置資料分析發展：

以CNOF及福三TBB資料進行OSSE分析

執行期間： 2012/02/18~2013/02/17

分項工作管理人：蕭棟元

參與人員：

中 華 民 國 1 0 2 年 2 月

## 一、 摘要

本計畫目的係利用我國福衛三號和美國空軍C/NOFS衛星三頻訊號標資料進行OSSE(Observing System Simulation Experiments)分析，作為福衛七號三頻訊號標科學酬載的先期評估分析和亞太地區電離層閃爍現象和電離層斷層掃描技術於電離層赤道異常區特性研究，目標為：

- (1) 利用福衛七號12顆衛星軌道(分為高傾角與低傾角)和IRI model模擬全電子含量並加入美國空軍C/NOFS衛星三頻訊號標全電子含量來進行電離層斷層掃描，做為未來福衛七號電離層斷層掃描網建置的評估。
- (2) 觀測亞太地區電離層閃爍現象的特性與統計分析；
- (3) 利用福衛三號三頻訊號標的全電子含量資料與電離層斷層掃描技術推衍出亞太地區的二維電離層結構，並利用二維電離層結構觀測電離層赤道異常現象動態特性並分析；

本計劃研究動機是藉由地面ITS接收站所接收到的三頻訊號標衛星訊號及所得到的相對TEC、斜向TEC、S4閃爍現象等數據資料進行分析比對研究電離層閃爍現象去推論電離層的相對TEC值以及閃爍分佈等特性。目前的福衛三號三頻訊號標接收網(NEW LITN)為台灣北部的中央大學太空及遙測中心、中部的中正大學、南部的海洋生物博物館、南沙太平島、菲律賓馬尼拉，印尼坤甸六個地點。而美國空軍C/NOFS衛星因為軌道傾角(24度)的關係只有屏東海洋生物博物館站可以接收的到訊號，因此初期將以屏東站的實際資料和模擬的福七資料作為OSSE分析。

## 二、 前言

目前已有很多觀測電離層電子密度分佈的技術，如電離層探測系統 (Ionosonde)、異調散射雷達 (Incoherent Scatter Radar, ISR) 和無線訊標衛星 (Radio Beacon Satellite)。然而 Ionosonde 僅能觀測 F<sub>2</sub> 層以下的電子密度及虛高。而不能量測最大電子密度高度以上的電子密度分佈以及未觀測區域。而異調散射雷達花費又太昂貴，而且在時間空間解析度均有所限制，無法對全球上空的電離層做即時的觀測，有其侷限性，而電離層斷層掃描觀測是其中一種價位相對便宜與可行的方式，目前全世界的電離層斷層掃描觀測網((J. R. Austen et. al, 1988; H. Na and H. Lee et. al, 1991; E. J. Fremouw, 1992; V. E. Kunitsyn, et. al, 1992; S. E. Pryse et. al, 1992; L. Kersley et.al, 1994; G. R. Kronschnabl et. al, 1995; W. A. Pakula et. al, 1995) 如圖 3-1 所示，並且只有 New LITN 計畫誇過南北兩赤道異常區，國立中央大學自 2006 開始建立新的低緯度電離層斷層掃描觀測網(New LITN)用以接收美國海軍(NNSS)和我國福衛三號上酬載的三頻訊號標(TBB)( P. A. Bernhardt et. al, 2000 and 2006))，目前六個站已建設完成，分別是台灣北部的中央大學太空及遙測中心、中部的中正大學、南部的海洋生物博物館、南沙太平島、菲律賓馬尼拉，印尼坤甸六個地點(如圖 3-2 所示)，在未來我們將增設日本以及菲律賓南部等站。

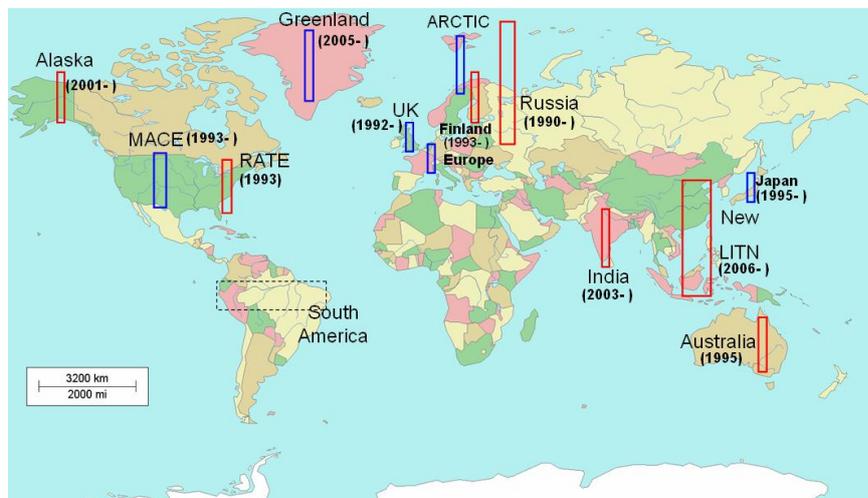


圖 3-1. 低緯度電離層斷層掃描觀測網(New LITN)示意圖

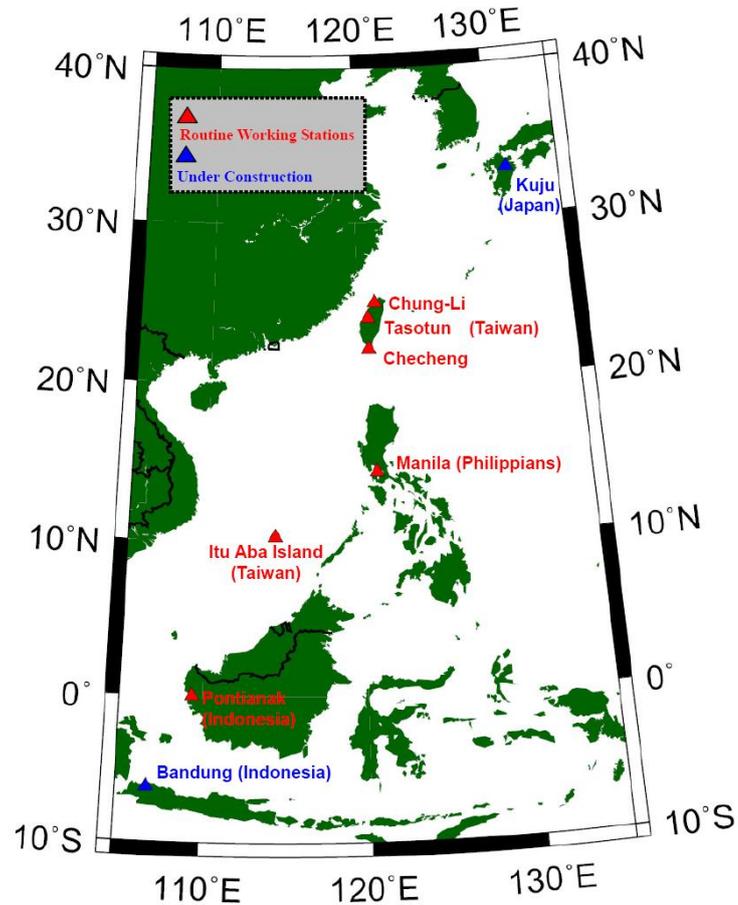


圖 3-2. 低緯度電離層斷層掃描觀測網(New LITN)示意圖

低緯度電離層斷層掃描觀測網(New LITN)主要有兩大應用(如圖 3-3 所示)，一是利用斷層掃描重建二維或是三維的電離層結構觀測來觀測與研究電離層大尺度現象，利用其中三頻訊號中的兩個頻率的訊號，我們可以推演出其路徑上的全電子含量(TEC)，並利用斜向的全電子含量(STEC)和電離層斷層掃描的演算法產生二維高度和緯度的剖面影像，此方法可以用來觀測大尺度的電離層現象包含電離層赤道異常現象(EIA)等等。另一則是用來觀測電離層閃爍現象，電離層是無線電衛星訊號傳播到地面接收站的必經介質，當電離層的狀態不穩定的時候，訊號會有閃爍的情況，我們稱之為”閃爍現象”(Scintillation)，閃爍現象可分為訊號的閃爍(Power Scintillation)和相位的閃爍(Phase Scintillation)，且好發在春秋分的季節以及落日之後，台灣上空的電離層是

閃爍現象好發區，常引起通信中斷、誤碼率增大等現象。對 GPS 而言，閃爍現象可導致衛星導航、定位誤差高達幾十米至幾百米，甚至信號中斷，這些突然閃爍現象都對短波或是衛星通訊系統產生了嚴重影響而發生多次系統中斷，如果有了及時監測與通報，就能提供了很好的第一手空間天氣情報。

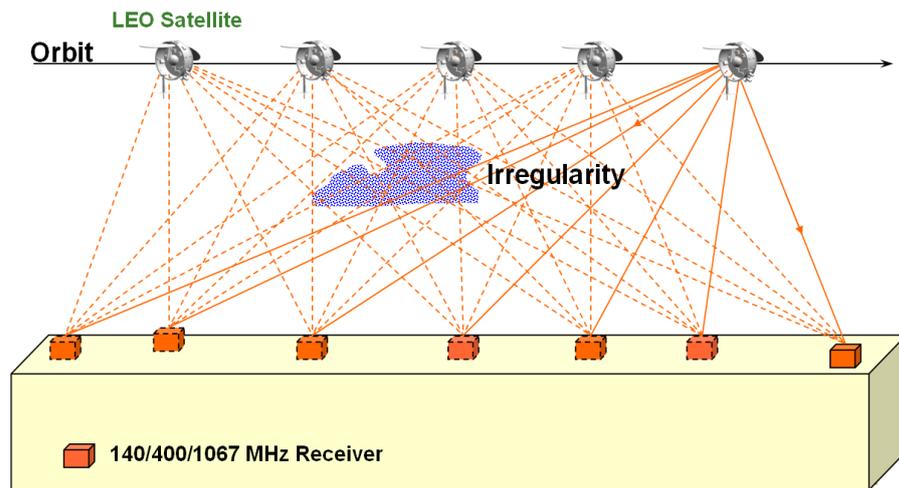


圖 3-3. 閃爍現象和斷層掃描觀測說明圖

### 3.研究方法與步驟說明

簡單的說，電離層所造成的電波訊號閃爍現象便是由於當電波穿過不規則體時，由於介質上性質的差異，造成訊號在振幅以及相位上均產生變化，再加上不規則體本身的變化以及移動，使得穿過的訊號在接收的時候產生忽大忽小有如閃爍一般的現象。歷史上最初的電離層閃爍理論是用一個不規則相位變化的篩(screen)所引起繞射的想法作為基礎，假設有一定振幅  $A_0$  入射之平面波，當波傳經不規則體層時，電離層的行為便像是一個相位變化的篩，並只對入射波相位變化做修正。針對具有統計性質的不規則體，我們可以對此電離層閃爍現象建立模型。在  $z=0$  到  $z=L$  之間的區域為不規則隨機之電子濃度分佈結構，有一時間諧和電波在  $z=0$  處入射此不規則體層 (slab) 並在地面  $(r, z)$  處被接收，假設此不規則體層可以用介電係數來表現其特徵：

$$\varepsilon = \langle \varepsilon \rangle [1 + \varepsilon_1(\vec{r}, t)] \quad (2-1)$$

其中  $\langle \varepsilon \rangle = (1 - \frac{f_{p0}^2}{f^2}) \varepsilon_0$  是背景之平均介電係數， $\varepsilon_1(\vec{r}, t)$  為一變化的部分用來描述由不規則體所造成之隨機變化， $f_{p0}$  是對應背景電子密度  $N_0$  之電漿頻率 (plasma frequency)， $f$  是入射波之頻率，在變化百分比  $\xi = \Delta N / N_0$  上，不論是在凍流 (frozen flow) 中的不規則體運動或是非凍流中的不穩定變化，均假設在入射波週期內不規則體的暫態變化甚小；當波傳經不規則體層時，首先只有相位在折射係數上被隨機之變動所影響。因此當波穿出不規則體層後其相位波前已被隨機調變，當波傳到地面時，扭曲的波前會建立一個繞射之程序；此程序和相位波前彎曲之隨機偏差有關，此相位波前之彎曲乃依序由不規則體的尺度跟強度分佈決定。由簡單的幾何計算指出在地面收到的振幅變動主要是以電離層不規則體在  $F$  尺度時所造成之相位波前偏差為主

$$dF = \sqrt{\lambda(z - \frac{L}{2})} \text{ 稱為 first Fresnel zone 之尺度。通常會使用 } F = \sqrt{2\lambda z}$$

，稱為 Fresnel scale 來做為代表，並可再配合不規則體飄移速度推算出 Fresnel frequency。基本上，這描述出當相位偏差小時振幅閃爍現象之性質，即在經過聚焦或散焦之不規則體時波前仍保持基本的同調性；然而當不規則體強度到相

$$\varepsilon_1(\vec{r}, t)$$

當大的時候，相位偏差變得很強烈，以致於相位波前在通過大於某強度之不規則體層時不再保持同調，此不規則體亦失去聚焦或散焦的能力，故關於振幅變動之干涉機制便不成立，定性來說我們會預期振幅變動的飽和發生；另外是當不規則體層厚度夠厚時，我們便可預期見到其內部會發生振幅變動，所以當波射出此層時會同時有相位跟振幅的擾動，所以在地面上接收到的閃爍現象同時受到此兩項因素影響。由電動力學中的波動方程式出發做以下的假設：在波動的週期內不規則體的暫態變化甚小。所以在不規則體層中的向量電場的向量波動方程式可以用

純量波動方程式來取代：

$$\nabla^2 E + k^2 [1 + \varepsilon_1(\vec{r})] E = 0 \quad (0 < z < L) \quad (2-2)$$

其中E是電場在相量表示法中的分量， $k^2 = k_0^2 \langle \varepsilon \rangle$ ，上式是一隨機係數之偏微分方程式，如果可求其解便是閃爍理論之基礎，但不幸的是此式的通解並不可能，我們必須在不同的應用情況下安排不同的近似解，我們在探討這些解之前先限定為垂直入射的情形，而斜向入射的歸納結果並不在此討論。在垂直入射的情形中對於波場形式使用複數振幅來說明是很方便的：

$$\vec{E} = u(\vec{r}) \exp(-jkz) \quad (2-3)$$

由前一式 (2.3.3) 便可得複數振幅的程式：

$$-2jk \frac{\partial u}{\partial z} + \nabla^2 u = -k^2 \varepsilon_1(\vec{r}) u \quad (0 < z < L) \quad (2-4)$$

以此為基礎有一名為 Parabolic Equation Method (PEM) 之方法，以下為此法的假設：

1. 計算散射場之相位可用Fresnel近似，即 $z \gg \ell \gg \lambda$ 。
2. 前向散射 (forward scattering) 乃是波主要以一小角度並以傳播路徑為中心之圓錐散射； $\ell$ 是不規則體典型的尺度，可視作不規則體某種平均尺度大小；此外在對應到 $\langle \varepsilon_1^2 \rangle kz \ll 1$ 時可忽略後向散射 (backscattering) 的能量。當假設以上假

設均滿足時，(2-4) 式可近似為：

$$-2jk \frac{\partial u}{\partial z} + \nabla_{\perp}^2 u = -k^2 \varepsilon_1(\vec{r})u \quad (0 < z < L) \quad (2-5)$$

其中  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ ， $\nabla_{\perp}^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ 。這是一個拋物線 (parabolic) 型式的方程式，其解由  $z=0$  的初始條件決定。這個方程式用於近光學 (quasi-optics) 和其他傳播問題。以 (2-5) 為基礎外加以上假設可得到一系列複數振幅的 moment 方程式，並成為閃爍理論基礎之佐助。在不規則層外，則複數振幅滿足：

$$-2jk \frac{\partial u}{\partial z} + \nabla_{\perp}^2 u = 0 \quad (z > L) \quad (2-6)$$

(2-6) 之初始條件乃由 (2-5) 在  $z=L$  的解而得。故(2-5)、(2-6) 為電離層閃爍理論發展之基礎。在解得訊號的振幅函數  $u$  之後便可求得閃爍現象的另一個很重要的參數，叫做閃爍指數 (scintillation index)  $S_4$ ， $S_4$  是一個用來定義訊號閃爍程度的量值，在某一段時間內的閃爍訊號強度，先減去這段訊號強度的平均值，然後再除以這個平均值作歸一化，如此便得到此段時間內所有時刻下閃爍訊號強度對於平均值的歸一化訊號強度差值，但為了避免由於正負差值的平均為零而得到沒有閃爍的假象，所以所有歸一化差值都先平方，再做平均來求閃爍的量。

S4的定義如下

$$S4 = \frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2} \quad (2-7)$$

$I$ : intensity

對於 TEC 測量，ITS30 採用的是差分都譜勒技術。由衛星接收機接收訊號。在大尺度的電離層結構下，其仰角不會太小時（ $5^\circ$  以上），傳播路徑可視為直線。電離層電漿頻率可表示為：

$$f_p^2 = \frac{N_e e^2}{4\pi^2 m \epsilon_0} \quad (3-1)$$

其中  $N_e$  為電子密度， $e$  為電荷， $m$  為電子質量 (Kg)， $\epsilon_0$  為介電係數 (F/m)，將  $e=1.602 \times 10^{-19}$  庫倫， $m=9.107 \times 10^{-31}$  公斤， $\epsilon_0=8.854 \times 10^{-12}$  代入可得

$$f_p^2 = 80.62 N_e \quad (3-2)$$

當電波在電漿中傳播，其折射係數  $n$  可表示成

$$n^2 = 1 - \frac{f_p^2}{f^2} \quad (3-3)$$

當電波頻率  $f \gg$  電漿頻率  $f_p$  時，可將折射係數  $n$  以二項式展開趨近式如下：

$$n = 1 - \frac{f_p^2}{2f^2} \quad (3-4)$$

將  $f_p^2$  帶入式中可得

$$n = 1 - \frac{40.31Ne}{f^2} \quad (3-5)$$

另電波接收站的相位 ( $\phi_r$ ) 至發射站的相位 ( $\phi_s$ ) 之關係式為

$$\phi_r = \phi_s + \omega \frac{L}{C} = \omega t + \frac{\omega}{C} \int_s^r n ds \quad (3-6)$$

其中  $\omega$  為角頻率， $L$  為接收站至發射站的光學路徑距離。電波相位對時間變化為

$$\frac{d\phi_r}{dt} = \omega + \frac{\omega}{C} \frac{d}{dt} \int_s^r n ds \quad (3-7)$$

所以都卜勒頻移  $\Delta f$ ：

$$\begin{aligned} \Delta f &= \frac{f}{C} \frac{d}{dt} \int_s^r n ds = \frac{f}{C} \frac{d}{dt} \int_s^r \left(1 - \frac{40.31Ne}{f^2}\right) ds \\ &= \frac{f}{C} \frac{d}{dt} \int_s^r ds - \frac{40.31}{Cf} \frac{d}{dt} \int_s^r Ne ds \end{aligned} \quad (3-8)$$

前一項為衛星運動所引起的頻移，後一項為介質所附加的頻移。為了得到介質的影響項，NNSS 使用兩個同相不同頻的電頻波，

$f_1 = 150\text{MHz} = f_r \times m_1$ ,  $f_2 = 400\text{MHz} = f_r \times m_2$ ,  $f_r = 50\text{MHz}$  為參考頻率，如此可以消去第一項所引起的頻移。則在時間  $t$  的差分都普勒頻移可表示為：

$$\varphi(t) = 2\pi \left( \frac{\Delta f_1}{m_1} - \frac{\Delta f_2}{m_2} \right) \quad (3-10)$$

兩邊積分得

$$\Phi(t) + \Phi_0 = \frac{80.6\pi}{f_r C} \left( \frac{1}{m_1^2} - \frac{1}{m_2^2} \right) \int_s^r \text{Neds} \quad (3-11)$$

其中  $\Phi(t)$  為差分都普勒相移， $\Phi_0$  為相移積分常數。電離層的全電子含量 TEC 定義為電子密度沿傳播路徑的積分，所以全電子含量 TEC 可表示為

$$\begin{aligned} \text{TEC} &= \int_s^r \text{Neds} \\ &= 6.2 \times 10^{14} \times (\Phi(t) + \Phi_0) \end{aligned} \quad (3-12)$$

TEC 的單位是  $\text{el}/m^2$ ， $1\text{TECU} = 10^{16} \text{el}/m^2$  故一旦決定積分常數  $\Phi_0$  後，則可求出絕對 TEC，由於本實驗無法得知積分常數，故我們所得到為相對 TEC 而非絕對 TEC。在 LITN 作 Tomography 的研究中只要是使用 MART 這種代數的方法都需要一個參考的電子濃度的值(初始值)來做為 Tomography 的繁衍。所以當 LITN 無法觀測到的 TEC 部份就利用 IRI model 輸出的結果來做的初始值。

### 3.1.1 代數重建法 ART ( Algebraic Reconstruction techniques, ART)

這是 1970 年 Gordon et al 所提出運用在醫學電離層斷層掃描系統。1986 年 Austen et al 以這種方式來提出電腦化電離層斷層掃描。

初值：  $X_0 \in R^n$

$$\text{循環部: } x_j^{k+1} = x_j^k + \lambda_k \times \frac{c_i - \sum_{l=1}^n a_{il} \times x_l^k}{\sum_{l=1}^n a_{il} a_{il}} \times a_i \quad (3-13)$$

i : TEC 路徑編號

j : 網格編號

n : 總網格數

$X_j^{k+1}$  : 疊代 k+1 次的第 j 個網格的電子密度

$X_j^k$  : 迭代 k 次的第 j 個網格的電子密度

$C_i$  : 第 i 個路徑的全電子含量

$\lambda_k$  : 鬆弛常數

$a_{il}$  : 第 i 個路徑在第 l 個像素的路徑長。

$a_i$  : 第 i 個路徑的總長度。

此方法有一種缺點就是不保證迭代出來的值為正值。所以不可在過程中讓  $X < 0$ ，否則出來的值不符合物理意義，值小於零。所以 X 都設有一個門檻 使得最後出來的值都能大於零，但是還有另一項缺點，就是收斂性非常差，不一定能得到理想的結果。

### 3.1.2 倍數代數重建法(MART)

倍數代數重建法(Multiplicative Algebraic Reconstruction techniques, MART)，改進了 ART 代數重建法(**Algebraic Reconstruction techniques**)的缺點就是收斂慢還有出來的值並不一定是正值。但是 MART 必需給一個初始值，給的初始值越好就能預期值的收斂處越接近真實的值。如果給的初始值不好 所得到的值就會有很大的誤差，所以說初始值的給定在 MART 是很重要的事。當 ITS system 得到 TEC 資料時 使用 MART 來求得網格內 Ne 的資料 但使用 MART 必須要給一個初始值來作為資料的繁衍 而初始值就利用 IRI-model 來提供。

MART 演算法(Raymund et al., 1993)如下：

$$x_j^{k+1} = x_j^k \cdot \left( \frac{c_i}{\sum_{l=1}^n a_{il} \times x_l^k} \right)^{\lambda_k \times a_{il} / a_i} \quad (3-14)$$

i：TEC 路徑編號

j：網格編號

n：總網格數

$x_j^{k+1}$ ：疊代 k+1 次的第 j 個網格的電子密度

$x_j^k$ ：迭代 k 次的第 j 個網格的電子密度

$c_i$ ：第 i 個路徑的全電子含量

$\lambda_k$ ：鬆弛常數  $a_{il}$ ：第 i 個路徑在第 l 個像素的路徑長

$a_i$ ：第 i 個路徑的總長度。

MART 主要是利用網格內的長度與上一次的到之全電子含量用來決定新迭代的全電子含量，所以初始值對於後來新迭代的解有非常大的影響，之前提到因為台灣本島四個站的資料無法涵蓋所有的赤道異常區的範圍，無法涵蓋的部分我們先用 IRI model 給的值來做模擬。因此我們將會使用上述的結論把程式自動化，先利用 IRI-2001 模擬出初其結果，之後執行 Mart 演算法，執行步驟如圖 3-13 和結果圖 3-14 所示。

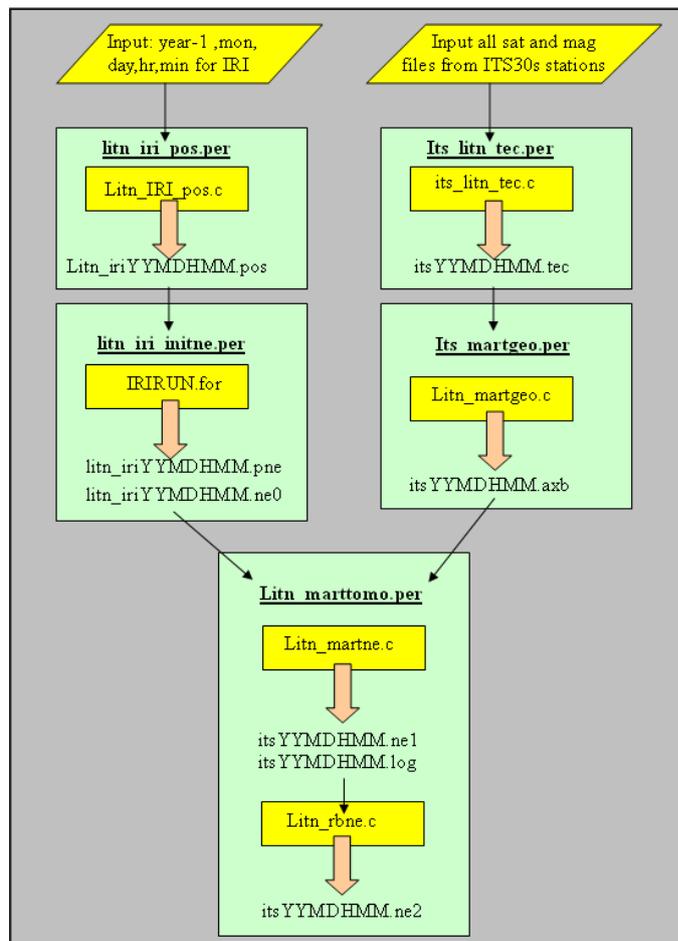


圖 3-13. 電離層斷層掃描執行流程圖

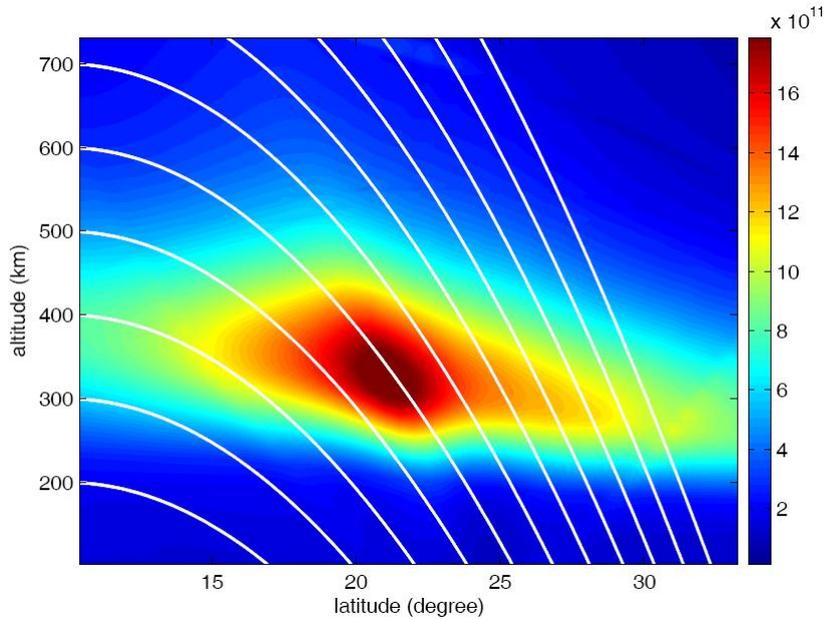


圖 3-14. 電離層斷層掃描實例圖

### 三、 科學酬載前置資料分析報告

本計畫目的係利用我國福衛三號和美國空軍C/NOFS衛星三頻訊號標資料進行OSSE(Observing System Simulation Experiments)分析，因為福衛七號並未實際佈署，所以本計畫先利用軌道模擬配合IRI電離層模式來做為未來福衛七號科學酬載的前置資料分析，利用福衛七號12顆衛星軌道(分為高傾角與低傾角)和IRI model模擬全電子含量並加入美國空軍C/NOFS衛星三頻訊號標全電子含量來進行電離層斷層掃描，做為未來福衛七號電離層斷層掃描網建置的評估。

#### 1. 福衛七號軌道模擬:

為了定義衛星在空間中之位置，首先必須先定義出軌道相對於慣性空間中的位置，然後才能決定衛星的位置，依據克卜勒定律定義出了軌道六元素，此六元素的定義為：

$a$ ：軌道半長軸 (Semi-major axis): 定義軌道之大小，軌道長軸長度之一半

值，若軌道為圓軌道則為軌道半徑。

$e$ ：偏心率 (Eccentricity)：定義軌道的形狀，當 $e = 0$ 時，軌道為圓軌道；若 $0 < e < 1$ ，軌道則為橢圓軌道。

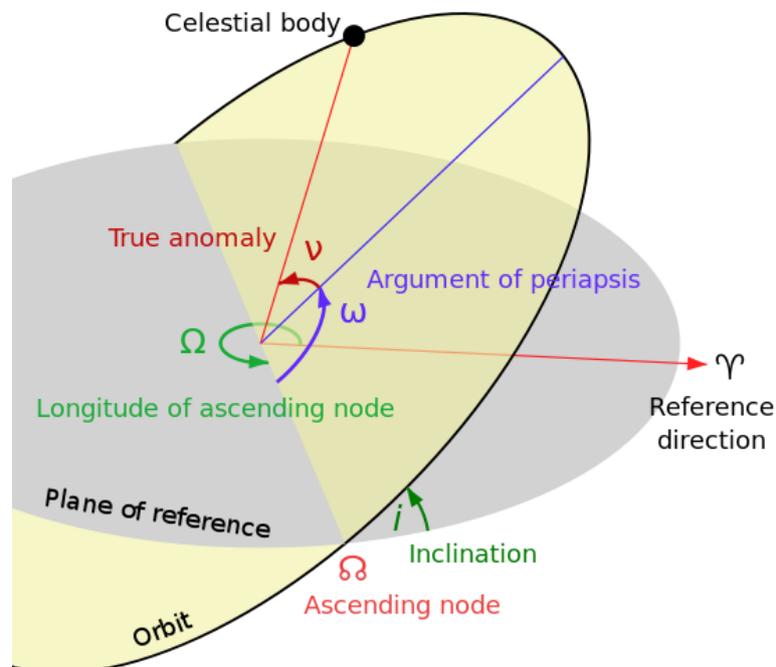
$i$ ：軌道傾角 (Inclination): 赤道面與軌道面之夾角。

$\Omega$ ：升交點經度 (Longitude of the ascending node): 升交點是衛星由南半球經赤道向北半球飛行時，軌道面與赤道面之交點。

$\omega$ ：近地點幅角 (Argument of perigee)。衛星軌道上離地球最近的點稱為近地點，而近地點幅角是由軌道升交點至近地點的角度。若近地點可能發生在升交點，近地點幅角可以為零。

$\theta$ ：真實角 (True anomaly): 定義衛星在軌道上的位置。

在軌道座標系統中，可以用二個參數( $a$ 、 $e$ )來定義軌道的外形、三個參數定義( $i$ 、 $\Omega$ 、 $\omega$ )來定義軌道與地球的相對關係，以及另一個參數( $\theta$ )定義衛星在軌道上的位置，如下圖所示。



衛星軌道六參數說明。

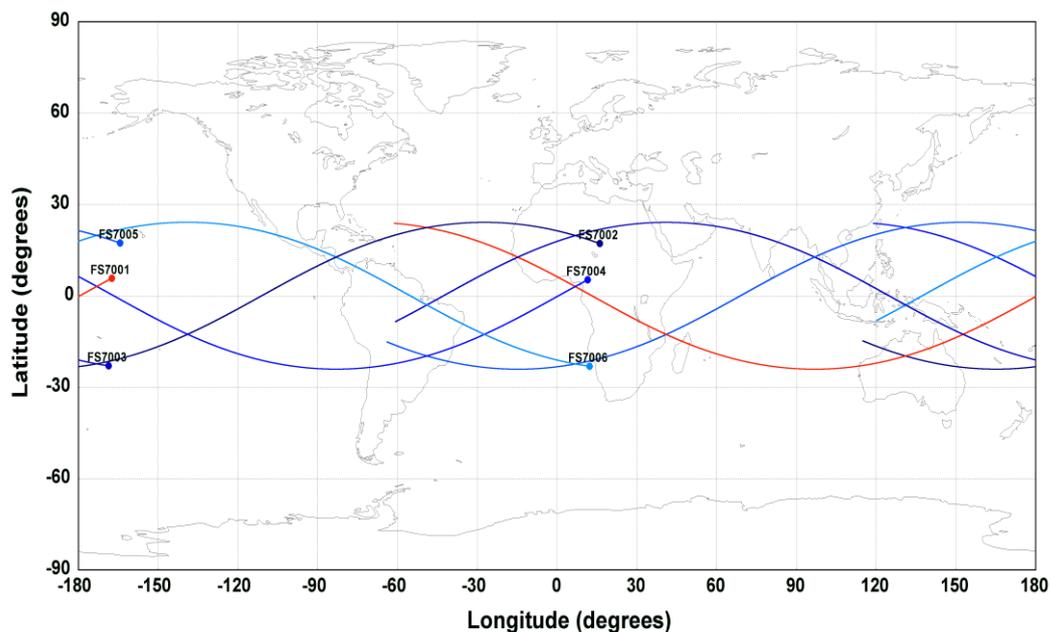
北美航空司令部(North American Aerospace Defense Command)負責監視所有在北美上空(包括太空中)的人造飛行器，所以該單位和美國太空總署(NASA)共同制定了two-line element set (TLE)來定義每一人造衛星的資訊(包含軌道六參數等)，並根據SGP(Simplified perturbations models)數值模式來計算出衛星軌道，因此在模擬出福衛七號的軌道前，必須先定義出福衛七號的TLE參數，幸運的是國家太空中心(NSPO)公佈了一參考的TLE，例如FS7001(福衛七號第一顆衛星)下所示:

FS7001

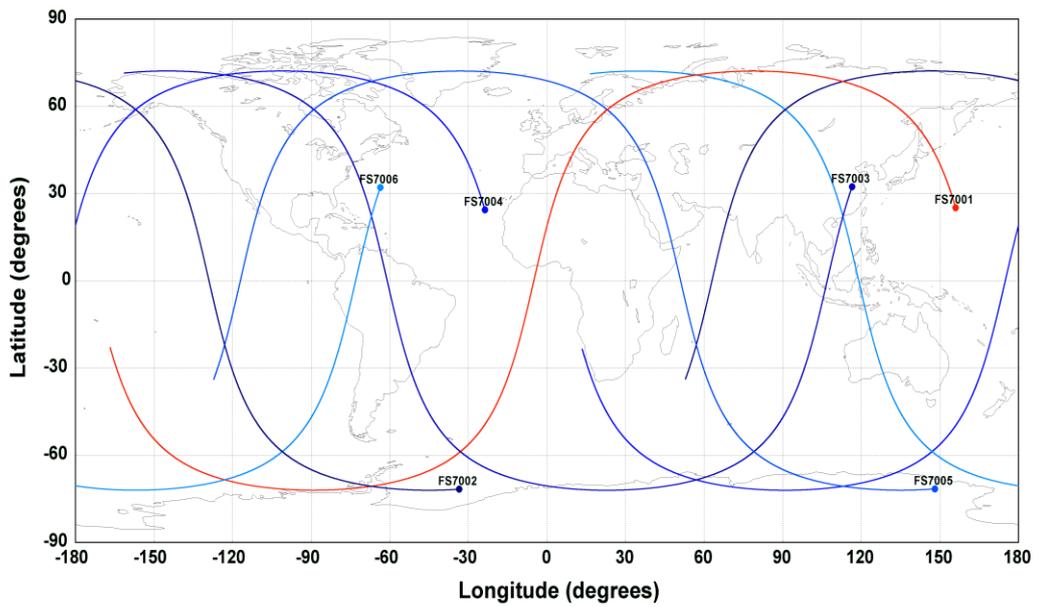
```
1 50001U 15200A 15300.00000000 .00000004 00000-0 18257-4 0 7204
```

```
2 50001 24.0000 0.0000 0032912 0.0000 0.0000 15.15368000 0
```

有了相關的TLE就可以模擬福衛七號預計的軌道和位置，並根據SGP4數值模式模擬出高傾角(75度)與低傾角(24度)的福七軌道，如下圖所示



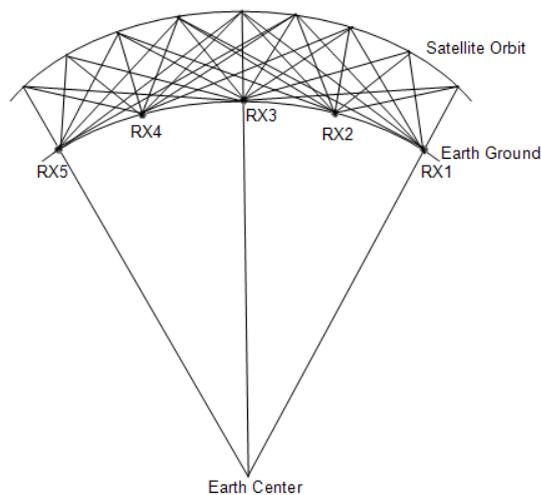
福衛七號低傾角軌道模擬



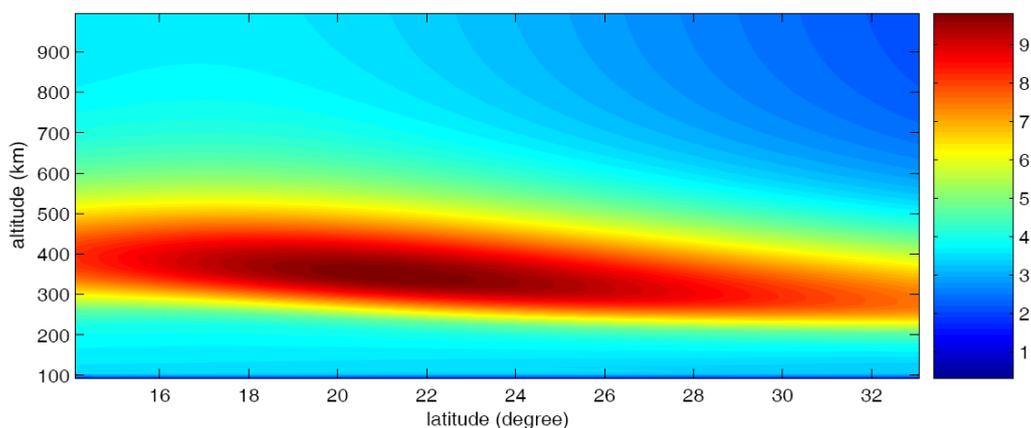
福衛七號高傾角軌道模擬

2. 模擬福衛七號軌道輸入至 IRI 電離層模式作為初始值並完成模擬同步化電離層斷層掃描程式

模擬完福衛七號軌道後，便可以設定接收站的位置，輸入至 IRI 電離層模式並將每一條 STEC 射線的值積分出來，並每一條 TEC 射線與 C/NOFS 酬載資料輸入至電離層斷層掃描程式。



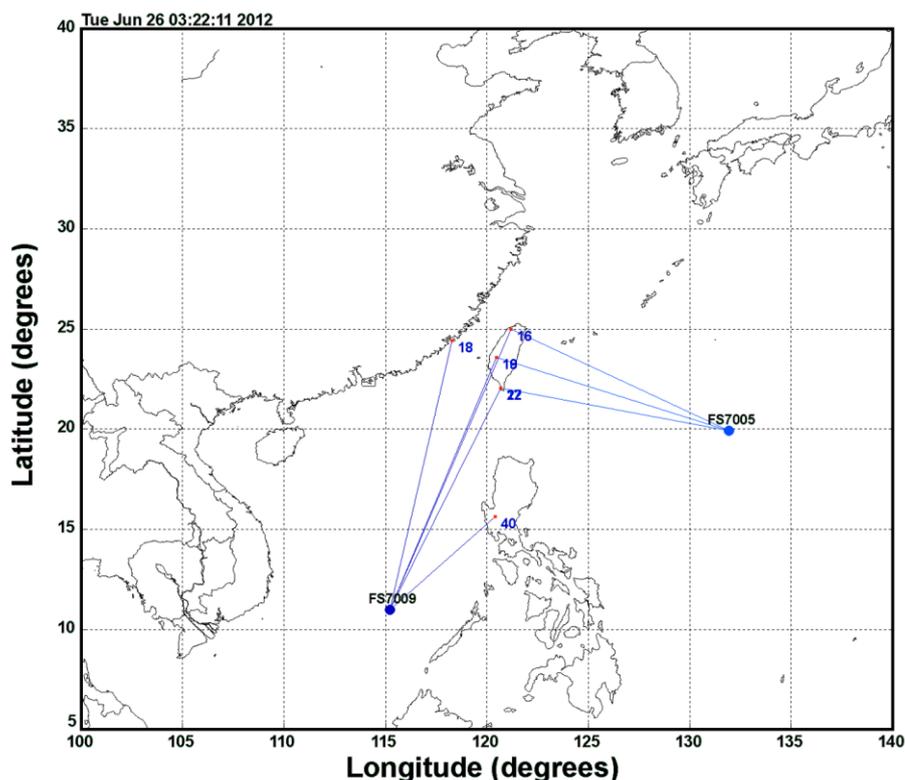
衛星與接收站 STEC 模擬示意圖



東經 121 度 06 03:55UT 電離層斷層掃描結果

### 3. 電離層斷層掃描網接收站分佈分析

福衛七號分為高傾角(75 度)和低傾角(24 度)的分佈，在實際發射之前本計畫預先模擬接收站位置的接收情況，以利於未來選擇架設接收站位置的考量，目前我們將中壢(中央大學太遙)、嘉義民雄(中正大學)、屏東車城(海生館)、金門(氣象站)以及菲律賓(馬尼拉)五個地點加入為接收站，因為天線接收角度對於仰角大於 15 度以上的效果較好，所以只接收仰角大於 15 度的訊號，結果如下圖所示：

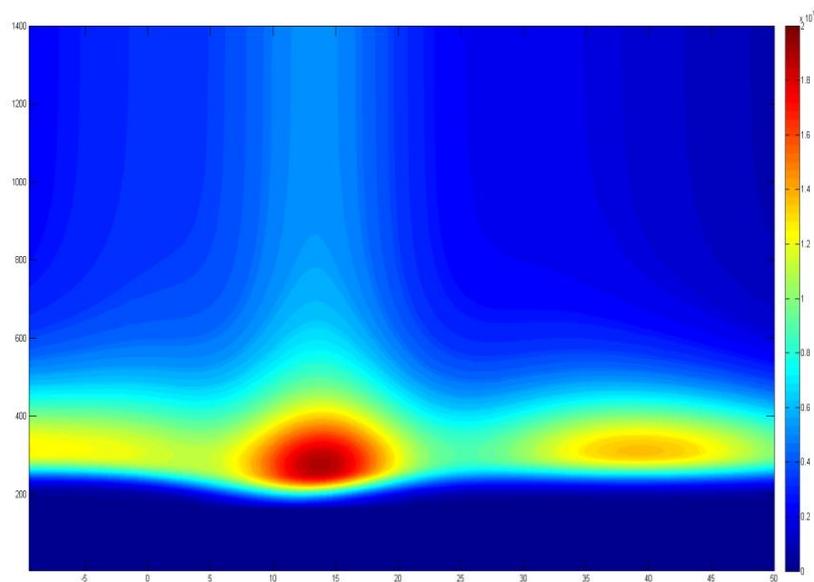


電離層斷層掃描網接收站分佈模擬

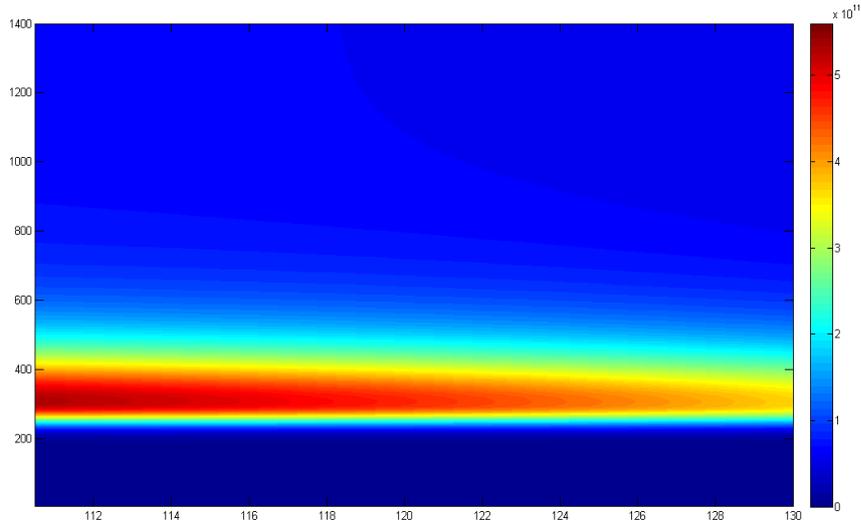
本計畫模擬一天的接收情形，每站對於福為七號 12 顆衛星每一天可接收約 40 筆資料，比現今的 ITS 系統每天只有 5 筆資料豐富許多，且因為低傾角的衛星群是 24 度，連最北邊的中壢站都可以穩定接收，而不會像 C/NOFS 衛星傾角(15 度)只有台灣屏東站可接收的困境。

#### 4. 福衛七號電離層斷層掃描網 OSSE 分析

經過電離層斷層掃描網接收站分佈分析後，我們將五個站的接收站的位置，輸入至 IRI 電離層模式並將每一條 STEC 射線的值積分出來，並每一條 TEC 射線與 C/NOFS 酬載資料輸入至電離層斷層掃描程式，以往的 TBB 衛星都是高傾角的分佈，我們只能分析同一經度的斷層掃描網，而福衛七號低傾角衛星群的分佈讓我們可以分析同一緯度的斷層掃描網，對於低緯度的閃爍現象觀測和電離層斷層掃描在不同經度動態的變化觀測可以更全面，模擬結果如下圖所示。



五站在東經 121 度的斷層掃描結果(同一經度)

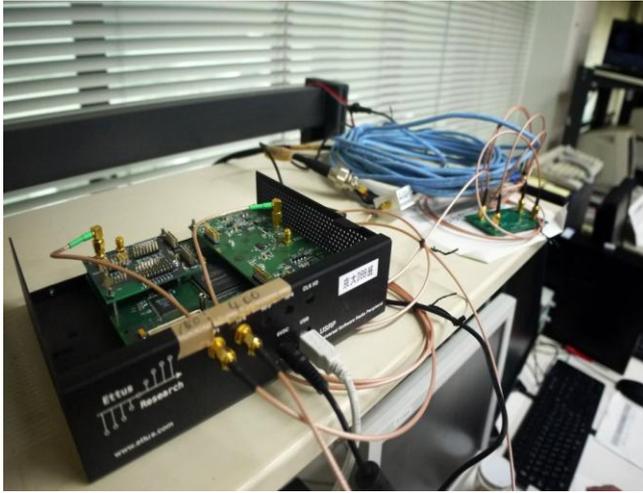


五站在北緯 23 度的斷層掃描結果(同一緯度)

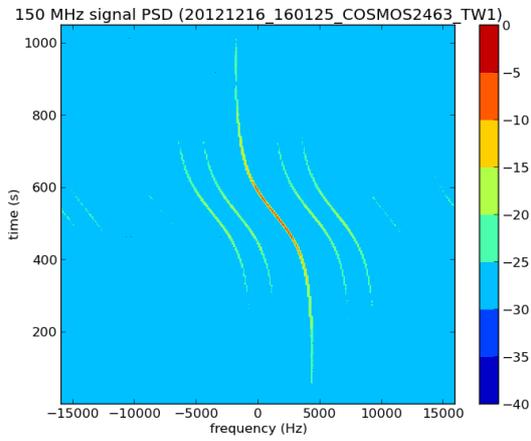
#### 5. 完成數位雙頻接收機自製

本計畫與日本京都大學團隊合作發展低價位 TBB 接收機，做為未來大量佈建觀測站，建立福為七號高低傾角衛星之電離層斷層掃描網的先期考量，因為接收機的軟硬體以開放源碼(Open Source)的方式授權，所以除了價錢低以外，軟體與日本京都大學團隊共同開發，本計畫除了掌握原始碼並可以針對系統做客製化的修改。

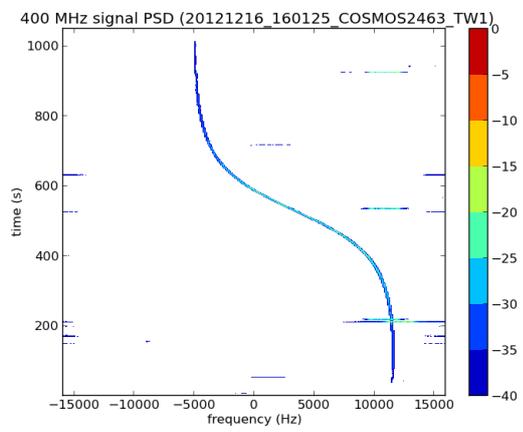
目前已經完成第一台雙頻數位接收機的架設於中壢中央大學太遙中心，於 2012 年 12 月中開始穩定接收中，接收資料如下圖所示，因為它的接收頻寬是 ITS 系統的兩倍，所以可以接收較多的蘇聯 COSMOSS 系列衛星，目前每天可接收大約 15 筆資料，在下一年的計畫預計將在安裝台北陽明山、台南成功大學和墾丁架設接收站。



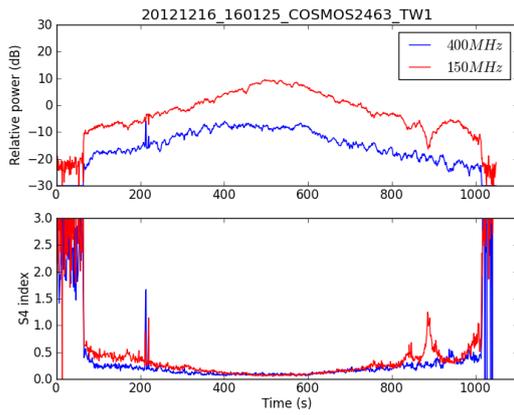
雙頻數位接收儀與接收天線



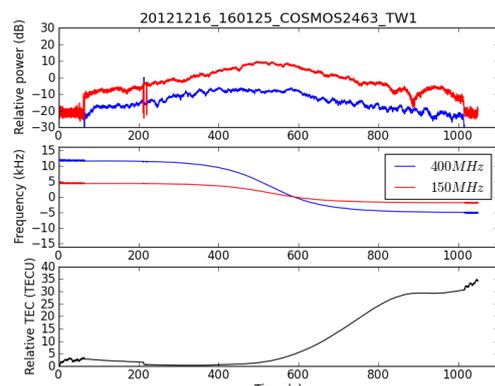
150MHz 訊號頻譜



400MHz 訊號頻譜



接收訊號與 S4 index



TEC

#### 四、 結語

1. 本計畫目的係利用我國福衛三號和美國空軍 C/NOFS 衛星三頻訊號標資料進行 OSSE(Observing System Simulation Experiments)分析，作為福衛七號三頻訊號標科學酬載的先期評估分析和亞太地區電離層閃爍現象和電離層斷層掃描技術於電離層赤道異常區特性研究，主要有以下成果與效益：

2.

■ 完成科學酬載前置資料模擬與分析

■ 太空天氣監測

透過即時的三頻訊號標資料網站並發佈說明現在衛星通訊的品質作為太空天氣監測和衛星通訊品質的第一手資訊。

■ 培養製作 TBB 接收機與電離層斷層掃描的研究人員。

■ 國際合作

目前本計畫與日本、菲律賓和印尼的相關學者合作架設三頻接收機於當地，除了分享彼此的三頻接收機資料外，他們也提供他們所擁有的雷達和 GPS 的相關設備資料與本計畫分享，相信在未來可以共同發表研討會與相關論文。

五、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
科學酬載OSSE分析模式建置完成	是	目前已完成福七 TBB 軌道(550 Km 和 750Km)模擬和 IRI 電離層模式模擬同步化電離層斷層掃描，完成分析模式的建置。
科學酬載OSSE分析模式測試報告	是	完成福衛七號軌道(550 Km 和 750Km)模擬與台灣本島三站電離層斷層掃描分析。
科學酬載前置資料分析報告	是	完成雙頻數位接收自製和。科學酬載前置資料分析。