



GPS Science Application Research Center
全球定位科學與應用研究中心

99年度「全球定位科學應用研究委託案」
1-4月各工作項目進度綜整報告
主持人:黃清勇 教授

進度綜整報告

工作項目一-計畫管理：

任務規劃：

各工作項目間協調、整合：核定經費為35,390,000元，共計支持1個總計畫、5個氣象組分項計畫、8個太空組分項計畫、1個資料組分項計畫與1個測地組分項計畫。並召開1次執行委員會、1次GPSARC&TACC討論會議、1次計畫管理費協調會議與1次retreat討論會議以增進各計畫間之互動與協調並強化GPSARC之執行效率。

預算控制：99年度計畫於99/4/2完成簽約，並於99/5/6撥入計畫第一期經費，目前仍在辦理校外各分項計畫撥款事宜。

執行進度監督、及行政支援：99/5/22召開第1次retreat討論會議，各分項計畫目前研究成果與進度報告以增進執行效率。

工作項目二-建立無線電掩星反演技術：

(1).自主發展無線電掩星資料處理系統架構規劃：

(2).定軌計算軟體發展：

(3).電離層反演演算法發展：

工作項目三-福衛三號後續計畫科學任務規劃：

(1).中低層大氣層觀測系統模擬實驗：

(2).電離層觀測系統模擬實驗：

工作項目四-福衛三號資料分析：

(1).掩星觀測資料對水汽反演問題分析：

(2).掩星觀測資料對水汽預報改善方案：

(3).全球電離層資料誤差改善方案及誤差降低預估分析：

(4).太空天氣監測及預報模式軟體發展、改善太空天氣監測及預報評估：

工作項目五-建立無線電掩星資料同化技術：

(1).同化bending angle資料反演法發展：

(2).劇烈天氣（颱風及梅雨）天氣分析及預報同化技術改善報告：

工作項目六-國際合作：

(1).與German Research Center for Geosciences GFZ洽談雙方簽訂合作事宜。

(2).分項計畫十一即是與美國麻州大學大氣研究中心進行合作。

(3).分項計畫三和中央氣象局密切合作，針對（NCAR）發展之EAKF技術，結合WRF模式預報系統，用以評估GPSRO在EAKF架構下對預報的影響，同時也可作為目前中央氣象局以WRF 3DVAR為主要架構之資料同化系統的比較對象，並評估EAKF未來的作業潛力。

(4).分項計畫四與英國劍橋大學的大氣科學中心合作，進行FS3/C資料與歐洲ECMWF和ECMWF的比較分析工作。

(5).分項計畫六與UCAR/HAO和UCAR/COSMIC合作發展，利用GOX資料推估熱氣層子午向中性風。

工作項目七-教育訓練：

(1).分項計畫主持人參與國立自然科學博物館所舉辦99年第二季科學中心科普演講活動。

(2).協辦中央大學大氣系風雲季活動，以海報呈現的方式向參觀民眾介紹關於GPS的學術應用。

(3).分項計畫一派學生至NCEP學習GSI系統及同化bending angle之技術。

(4).分項計畫十五預計於2010/07/01將一位博士生派往美國the Ohio State University 進行相關性的研究

總計畫

主持人：黃清勇 教授

- 99年度核定經費為35,390,000元，共計支持1個總計畫、5個氣象組分項計畫、8個太空組分項計畫、1個資料組分項計畫與1個測地組分項計畫。集中執行建立無線電掩星反演技術及配合福衛三號後續計畫資料自主處理任務規劃，自主發展無線電掩星資料反演演算法，規劃無線電掩星資料處理系統架構。且提高福衛三號中低層大氣與電離層資料正確性與建立無線電掩星資料同化技術。
- 99年度計畫於99/4/2完成簽約，並於99/5/6撥入計畫第一期經費，目前仍在辦理校外各分項計畫撥款事宜。
- 中心增列人力若干名，專案行政專員與助理研究員之員額，以送請簽呈。在今年度已核准兩位專案助理研究員，其中針對GPS資料處理與反演技術專長，目前已公開徵選，進行聘任程序中。
- 99年度學者交流訪問計畫經費350萬元，迄今補助補助2位國外學者來台短期訪問、2位國外學者來台短期研究和1位計畫相關人員至國外參與研討會。
- GPSARC網頁維護及更新，即時上傳中心與計畫相關活動與訊息，並舉辦與推廣GPSARC相關活動。活動內容如下：

1.LOGO徵選活動：

活動網址：<http://www.gpsarc.ncu.edu.tw/center/ACT/logo.html>

活動海報：

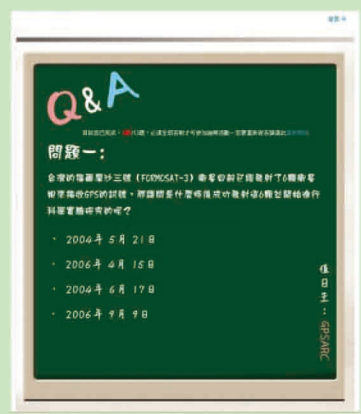


2.網路有獎徵答活動：

活動網址：<http://www.gpsarc.ncu.edu.tw/gpsarc/page.php?p=actQ>

活動主旨：為了讓大眾能認識及了解GPSARC與福爾摩沙三號衛星，特舉辦本次有獎徵答活動。並藉由此活動，推廣中心網站與GPSARC。

活動照片：

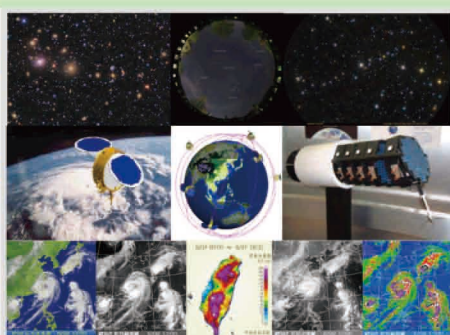


- 協助舉辦大眾科普活動，介紹與推廣福衛三號衛星之任務與天氣預報乃至太空天氣監測之認識。活動相關資料如下：

- 99/5/16- GPSARC中心主任至國立自然科學博物館科學中心演講廳向入場觀眾推廣福衛三號衛星觀測；

活動內容：

國立自然科學博物館 九十九年第二季科學中心科普演講活動簡介			
參加方式：每場次開始前 10 分鐘開放觀眾進入會場。（全場參與活動並依規定領取票退之學校教職及公務人員可申請研習時數）全場參加當日現場活動者，贈送數位學習光碟一片。			
活動地點：本館科學中心地下樓演講廳。			
活動對象：購票入場之學校師生及一般觀眾，每場次約可容納 80 人。			
【活動內容如有變更，請於本館網站及科學中心地下樓演講廳前公告!!】			
【科學常識】場次：下午 13:00 至 14:00，約 1 小時。			
日期	議題	講員	任職機構
64/17	四季六月星空的故事	張宏毅先生	國立自然科學博物館
65/15	數位相機裡的星空	呂其義先生	台中市天文學會
66/19	T21 台灣衛星遙測	謝永敦先生	中央大學天文研究所
【專題演講】場次：下午 14:10 至 16:10，約 2 小時。			
日期	議題	講員	任職機構
94/17	追風追雨—從颱風暴雨觀測的技術演進	林清輝教授	中央大學大氣科學系
95/15	我國福衛三號衛星觀測在氣象之應用	黃清勇教授	中央大學大氣科學系
96/19	海陸空全球溫室氣體大追蹤	王國英教授	中央大學大氣科學系



2. 中央大學大氣系風雲季活動：

活動內容：於學術展覽期間除了以海報呈現的方式向參觀民眾介紹關於GPS的學術應用。之外，同時掛有以巨型海報以及實體展覽品和互動式活動增添活動樂趣，本企畫中的紙造模型可為實體展覽品，亦可為互動式活動中的主要誘因。

活動照片：



- 目前共計召開1次執行委員會、1次GPSARC&TACC討論會議、1次計畫管理費協調會議與1次retreat討論會議以增進各計畫間之互動與協調並強化GPSARC之執行效率。

- 目前正積極與German Research Center for Geosciences GFZ洽談雙方簽訂合作事宜。

福爾摩沙衛星3號資料對水氣和溫度分析的準確性和重要性

主持人：王國英 教授
共同主持人：嚴明鈺 教授

1. 今年度計畫將著重於GPS RO觀測資料應用在年變及年際變化等氣候研究之影響評估。
2. 運用客觀分析法建立95、96及97三年半衛星掃描觀測反演的氣壓場、溫度場與水氣場等之全球氣候資料。
3. 使用NCEP及ECMWF分析場資料，建構95、96及97三年半年變及年際變化氣候環流背景、熱力結構以及水文過程，並與多年氣候比較以建立影響評估之基準。
4. 運用2.中GPS RO觀測所建置資料與NCEP和ECMWF分析場資料配合使用，進行年變及年際變化等氣候環流和水文過程研究之影響評估。
5. 已初步完成研析95/96、96/97及97/98三年半之年變及年際變化等氣候信號，將作為顯現GPS RO資料在年變及年際變化等氣候研究上的重要性影響。

掩星觀測三年半的資料，除有完整的三年可探討年變（圖1及2）外，正好涵蓋年際變化的2006/07冬季聖嬰（圖3）及2009夏季聖嬰（圖4）現象。針對年變及年際變化的水氣收支分析，雖僅使用高於925mb以上的資訊，卻較使用傳統同化資料已有明顯改善。期望水氣的近地層能有更豐富的資料，則較完整的水文循環過程評估會更精準。另在850mb高度場不論是年變或年際變化分析中，總是呈現相當凌亂的分佈情形。於冬季時的分佈結構較夏季時來的有組織，技術上是否有何因素造成如此結果？有賴資料反演團隊來協助改善。

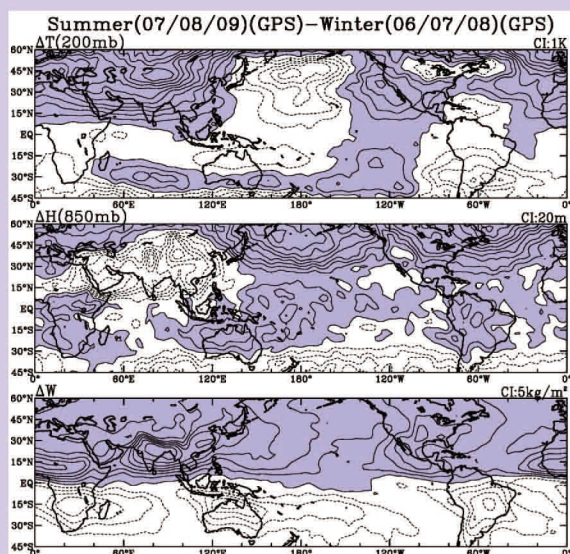


圖1. 用夏季平均與冬季平均差異代表年變分量。

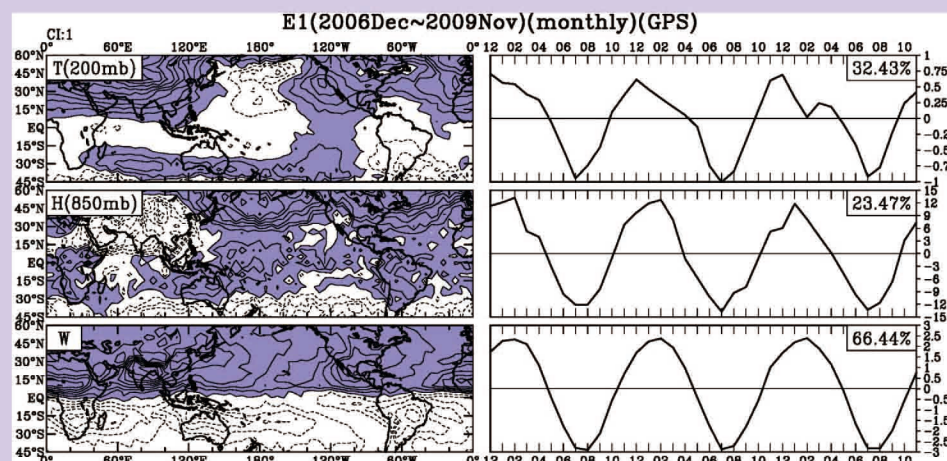


圖2. 運用經驗正交函數分析以驗證年變分量。

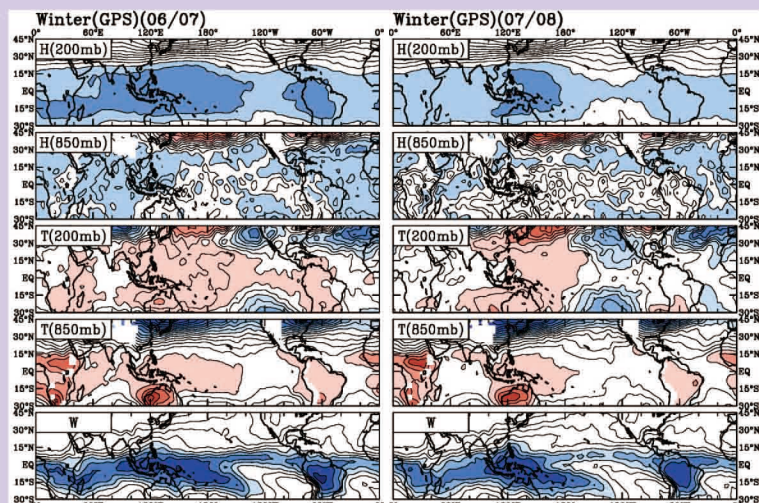


圖3. 冬季聖嬰時高度場、溫度場及水氣空間分佈。

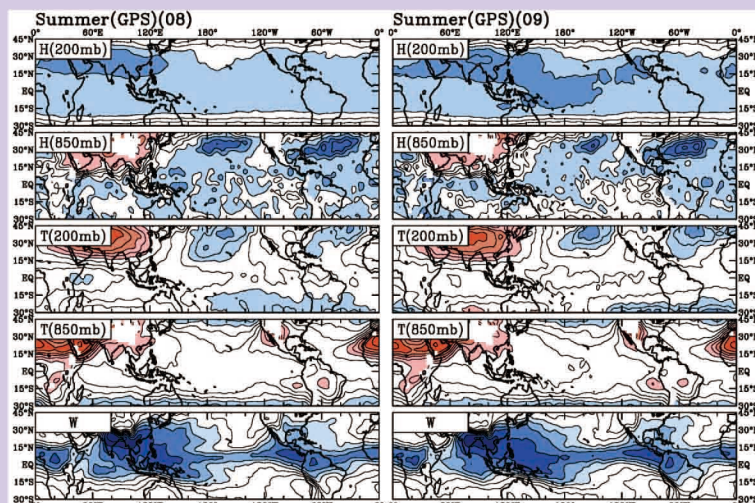


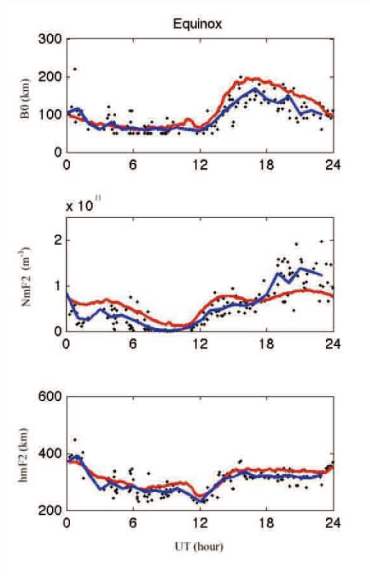
圖4. 夏季聖嬰時高度場、溫度場及水氣空間分佈。

福衛三號電離層資料誤差之分析與最小化

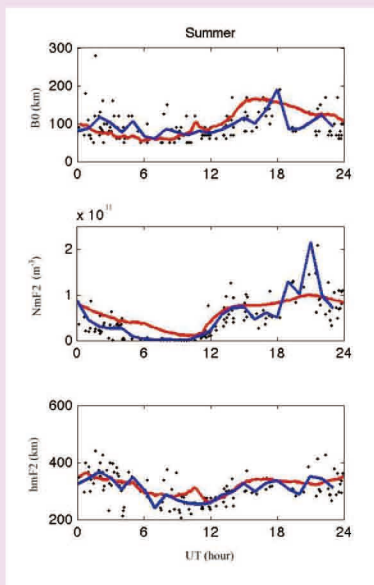
主持人：李建志 副教授 共同主持人：卓裕榮 副教授

本計畫於第1季期間，已比對2年的磁赤道（低緯度）地區福衛三號與地面電離層雷達電離層資料。資料觀測的地點為Jicamarca（12°S，76.9°W）站，觀測期間為2006年4月至2008年4月。因為於2006-2008間太陽活動處於活動極小期，因此可將2年資料依春秋分（圖一）、夏天（圖二）、及冬天（圖三）等3季分類。在圖一至圖三中，紅線為Jicamarca地面電離層雷達電離層資料的1小時平均值，黑點為福衛三號電離層資料，藍線為福衛三號電離層資料的1小時平均值。由圖一至圖三，發現hmF2平均值較為接近，但是NmF2與B0平均值有著明顯的差異。詳細的誤差分析與誤差形成原因的探討，目前正在進行中。

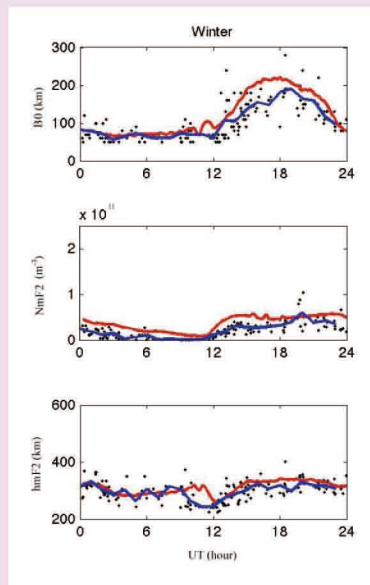
本計畫原規劃1-5月完成「低緯度福衛三號與數位電離層雷達資料比對與誤差分析」，目前已完成資料比對工作，因此第1季的工作進度完全符合計畫甘梯圖的進度。另外，「低緯度福衛三號與數位電離層雷達資料誤差分析」預計於99年7月完成。此一分析結果也會運用在福衛三號電離層資料誤差的改善方案上。



圖一
於春秋分的24小時資料結果，紅線為Jicamarca地面電離層雷達電離層資料的1小時平均值，黑點為福衛三號電離層資料，藍線為福衛三號電離層資料的1小時平均值。



圖二
於夏天的24小時資料結果，紅線為Jicamarca地面電離層雷達電離層資料的1小時平均值，黑點為福衛三號電離層資料，藍線為福衛三號電離層資料的1小時平均值。



圖三
於冬天的24小時資料結果，紅線為Jicamarca地面電離層雷達電離層資料的1小時平均值，黑點為福衛三號電離層資料，藍線為福衛三號電離層資料的1小時平均值。

以電波掩星法反掩電離層電子密度剖面誤差來源之分析、定量估計與移除之研究

主持人：朱延祥 教授

(1) COSMIC量測電離層比較E層和F層電子密度的形態(如圖1與圖2)，這結果表現在準赤道異常區(Quasi-equatorial anomaly)，COSMIC反演得到電離層E層電子密度上，有一不正常增加現象，原因可能來自於使用GPS無線電掩星法的過程中產生的誤差。但是電離層電子密度在赤道區的增加上，似乎是真的，需要使用電離層探測儀(Ionosonde)加以量測證。

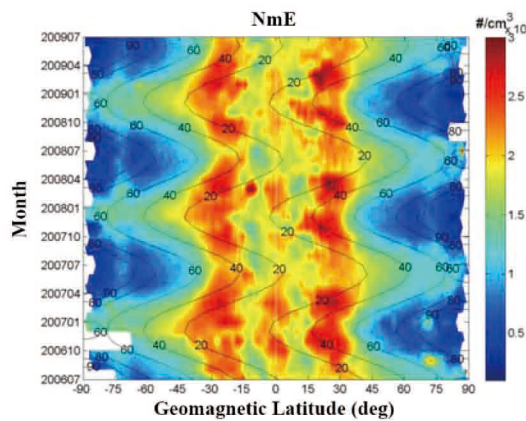


圖1

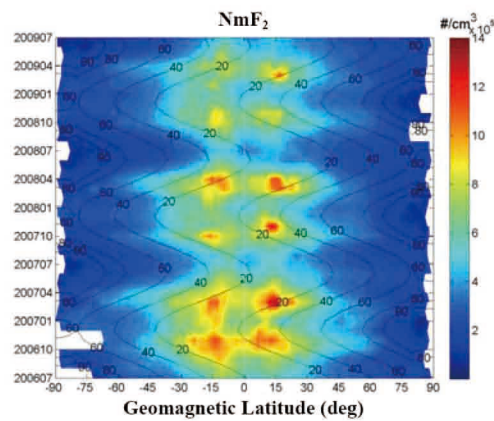


圖2

- (2) 圖3中代表著2006~2009年春分(3、4、5月)與秋分(9、10、11月)月份在緯度上 ΔNmE 的變化的資料，這變化部份指的是電離層探測儀量測到的NmE與查普曼(Chapman)層理論模擬的NmE之間的差值，得到的月中間值變化。此一現象強烈顯現出COSMIC反演得到的電離層E層電子密度增加的情形，有受到非光化學游離的影響，故並不能只以查普曼理論進行解釋。
- (3) 圖4表示資料時間為2007~2009年春季(3~5月)，COSMIC量測反演得到的NmE與電離層探測儀測得的NmE之間的百分比誤差(如下式)，隨緯度變化。春季的平均NmE百分比誤差，在不同緯度區域都是正的，大小在15~45之間。NmE百分比誤差隨緯度的變化特徵顯示COSMIC反演得到的NmE趨勢，大於電離層探測儀量測到的，此處指出COSMIC反演得到的NmE有相當的可信度，表示模擬得到的NmE結果，無法代表COSMIC反演得到NmE的結果。

$$PE = \frac{NmE_{Cosmic} - NmE_{Ionosonde}}{NmE_{Ionosonde}} \times 100\%$$

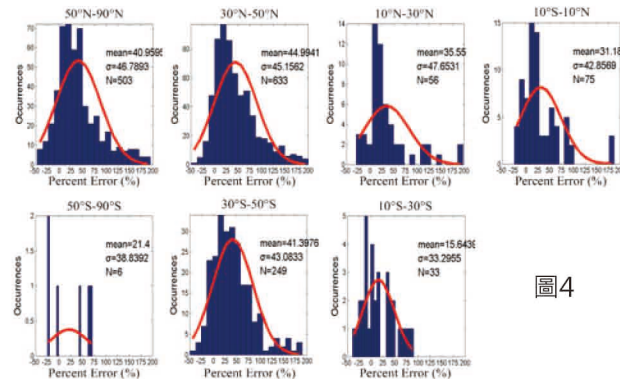


圖4

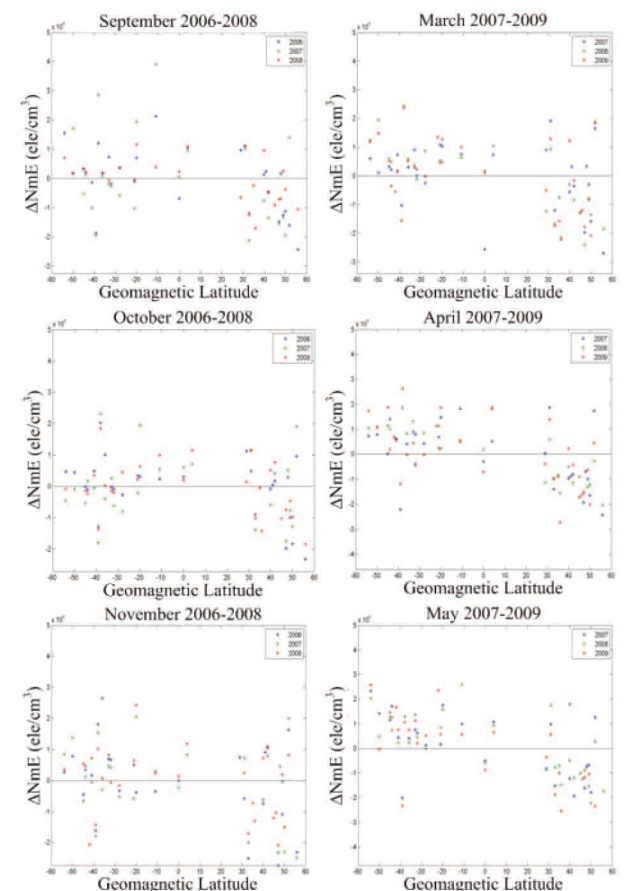


圖3

GNSS無線電掩星觀測誤差修正與電離層監測系統之建立

主持人：林建宏 助理教授

全球電離層資料誤差改善方案及誤差降低預估分析：

利用觀測經驗模式(IRI)以及理論物理模式(TIEGCM)當作背景場，模擬掩星反演，並評估經過球對稱假設反演的電離層電子密度與背景場的誤差。反演結果可歸納為下列6點：

1. 利用IRI模擬掩星觀測誤差顯示，白天在赤道與低緯度地區會產生3個因反演產生的電子密度極大值，並在夜晚產生超過200%的增強誤差，這類的誤差到了300公里高(電離層F層)即明顯減少，同時也沒有虛假的電漿結構產生。
2. 利用TIEGCM模擬掩星觀測誤差顯示，白天會產生與利用IRI模擬類似的電漿結構反演誤差，但是誤差量較利用IRI模擬結果小，並且在250公里高度以上該誤差量就明顯減少，惟夜晚的誤差量同時也達到200%。
3. 利用IRI的模擬都顯示，誤差量在電離層低層(250公里以下)為高估，而在電離層高層則為低估。
4. 利用TIEGCM的模擬都顯示，誤差量在電離層低層(200公里以下)為高估，而在電離層高層則為低估。
5. 利用TIEGCM為背景模擬掩星誤差產生的誤差量較利用IRI小，因此電離層結構的差異會對掩星觀測誤差的評估產生影響。
6. 除了背景模式的差異外，背景模式的模擬高度範圍對於掩星觀測反演亦產生影響。

除了掩星誤差模擬之外，本計畫與日本京都大學團隊合作，利用京都大學在日本架設的TBB觀測站利用斷層掃描反演所得電漿密度結構，與福衛三號觀測電漿結構進行比對，該研究結果已完成並撰寫論文投稿至Radio Science。該比較也顯示掩星觀測在電離層F層上層觀測的電漿密度較斷層掃描結果小，與先前的模擬研究結果吻合。

Thampi, S., M. Yamamoto, C. H. Lin, H. Liu (2010), Tomographic observations of the ionosphere over Japan during summer - Comparison with FORMOSAT3/COSMIC measurements, submitted to Radio. Sci. (SCI)

改善太空天氣監測及預報評估：

目前研究2007-2010年地球低緯度電離層受到大氣潮汐影響所產生的電離層波結構，發現該大氣潮汐影響產生的波結構之月變化在2007、2008、2009均有明顯的差異，超乎原先預期會有相似的月變化結果，此結果顯示電離層預報的複雜性。

同時目前正與NOAA以及NCAR研究員合作發展電離層資料同化模式，該同化模式將可同化地面GPS接收機資料，以及福爾摩沙衛星三號掩星觀測資料。

國際合作執行成果及效益進度：

發展電離層誤差修正以及電離層預報模式的國際合作目前正在進行，已派一位博士生赴美進行研究合作，目前誤差修正的模擬程式已經完成，由誤差模擬程式也可評估未來電離層預報模式最需要加入觀測資料的區域範圍。此外，與日本TBB團隊合作的比較福衛三號以及利用TBB建立電離層斷層掃描的輸出結果也已經完成，已投稿相關論文至Radio Science。

FORMOSAT-3 GPS資料同化對副熱帶天氣預報影響之研究 主持人：林沛練 教授

在部分颱風個案中加入GPS同化後的路徑預報誤差比沒有加入GPS資料的控制組要來的稍微要小一些。顯示使用GPS資料同化後，確實能有效改進颱風初始場環流，提升颱風的路徑預報。(表1)

模擬時間	12	24	36	48	60	72
CTRL	45	149	194	197	318	497
GPS	53	135	94	124	167	354

表1：
2007年韋帕颱風控制組(CTRL)與實驗組(GPS)模擬之颱風路徑誤差值(單位：KM)。紅色字體代表同一模擬時間下，控制組與實驗組兩者中誤差較低的值。

中央氣象局GPS-RO資料同化已於2009年7月正式上線作業，為OP2版本，但該資料同化系統（包括WRF 3DVAR和WRF模式）仍持續發展與更新，未來將更新至2.1版，將WPS由原先的3.0.1版更新至3.1.1版，WRFDA由3.0更新為3.1版，WRF由3.0.1.1版更新為3.1.1版本，以及其他內部細微調整。測試結果顯示，在折射率的校驗上，調整模式的版本，以及error tuning以及data thinning技術、更新資料QC方式後，的確能夠提高模式對於GPSRO資料的使用，改善預報結果(圖1，陳)。

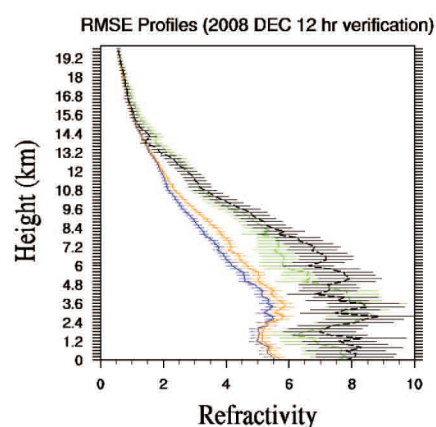


圖1
2008年12月氣象局不同業務模式版本在預報第12小時，折射率觀測校驗之均方根誤差(RMSE)。橘色線與黑色線分別為OP2版本domain 1與domain 2。藍色線與綠色線分別為OP2.1版本domain 1與domain 2。

資料同化系統的效能改善勢必影響GPSRO所扮演的角色。未來中央氣象局區域資料同化系統的改善將著重分析模組和預報模式模組，在分析模組方面包括WRF 3DVAR背景誤差調整、WRF 3DVAR高度場輸出計算之修正和WRF 3DVAR地面分析之改進等，過去我們也曾針對WRF 3DVAR所使用的背景誤差去測試，使用不同的cv5對於預報結果有很大之影響，特別是在預報初期的00~24小時會有最大的影響(圖2)，背景場誤差對於模式預報有相當大的影響。

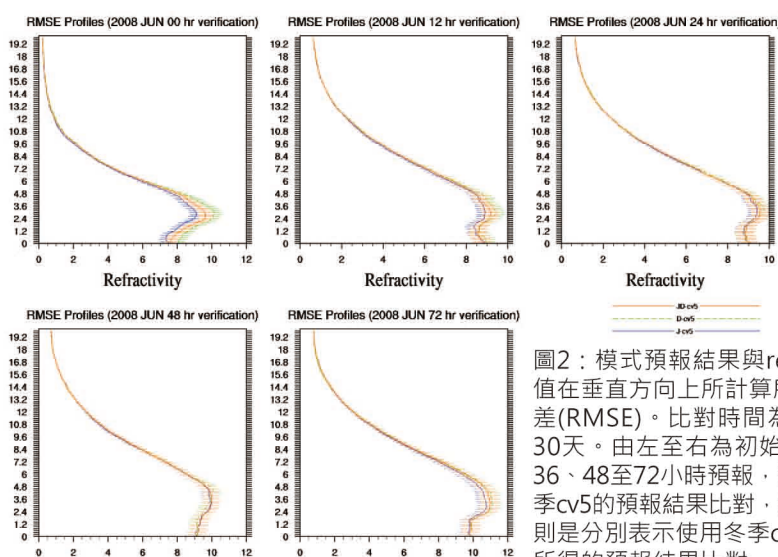


圖2：模式預報結果與refractivity觀測值在垂直方向上所計算所得的均方根誤差(RMSE)。比對時間為2008年6月共30天。由左至右為初始場、12、24、36、48至72小時預報，藍色線為使用夏季cv5的預報結果比對，綠色線與橘色線則是分別表示使用冬季cv5與混合型cv5所得的預報結果比對。

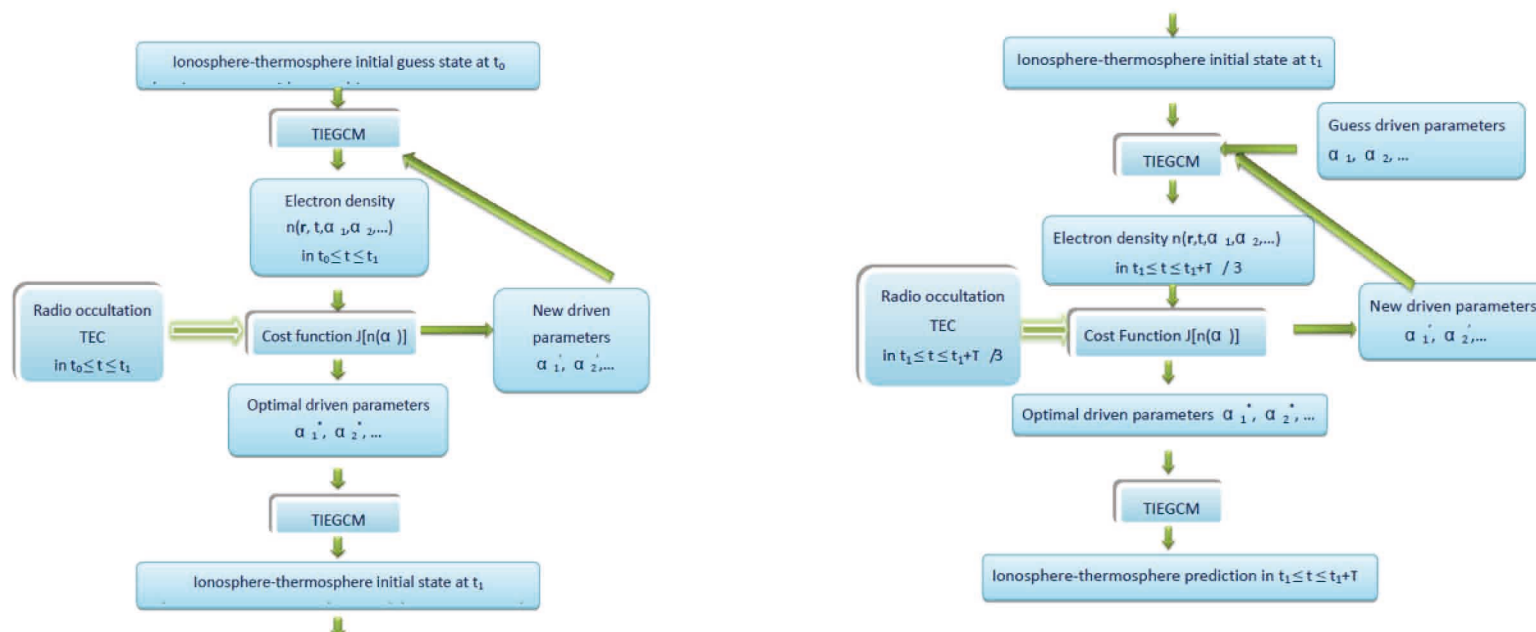
在預報模式模組方面包括積雲和邊界層參數法改善、引進模式初始化技術和颱風渦旋初始化技術改進等。此外，新一代資料同化技術，例如系集資料同化，對於GPS RO觀測資料對數值天氣預報效能影響的研究與應用仍有待進一步研究。

- 本計畫和氣象局密切合作已成功引進美國國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research)資料同化研究平台(Data Assimilation Research Testbed; DART)最新資料同化系統 - 系集調整卡爾曼濾波(Ensemble Adjustment Kalman Filter system; EAKF)，此方法利用擾動產生多組不同的初始場與邊界場資料，再利用卡爾曼濾波進行資料同化，並將各個系集成員與觀測資料進行調整，得到一組最佳的系集分析資料。EAKF與WRFVAR資料同化最大差異在於背景場誤差(Background Error)更新，現有WRFVAR資料同化系統採用一組固定的背景場誤差進行調整。EAKF的背景場誤差會隨時間變動，係利用新的觀測資料進來更新背景場誤差，使得此背景場誤差更接近於實際大氣狀態。目前已針對SINLAKE和JANGMI颱風，使用3dVAR與EAKF資料同化系統，評估GPSRO資料對颱風路徑預報的影響。初步已完成使用EAKF資料同化系統，針對颱風個案進行GPSRO對颱風路徑預報的影響測試。完成系統建置、測試與評估，完成GPSRO資料同化之測試與評估，GPSRO在EAKF資料同化系統中對颱風路徑預報的影響尚未有定論，有些個案好，有些個案不好。需針對EAKF系統進行更多的微調，包括：資料使用性能分析，目前只使用到100 hPa高度的資料，將提升至50 hPa並進行評估，Bogus資料的同化策略分析，同化颱風位置資訊，扮演類似relocation的作用，以減少颱風初始位置的誤差。需要更長的資料同化spin-up time，以取得更平衡的初始場。

用福爾摩沙三號之電波掩星全電子含量於全球高層大氣環流理論模式建構低緯度區電離層與熱氣層的太空天氣模型

主持人：陳明桂

建構的資料同化系統，應用於FORMOSAT3/COSMIC Radio Occultation TEC之流程如下：



福衛三號精密定軌及重力場應用

主持人：黃金維 教授

共同主持人：趙 丰

近即時的處理步驟，如圖一：

步驟一：GPS觀測資料處理：

FMFILE：將已下載的福衛三號精密定軌GPS觀測資料分割檔及衛星姿態角資料分割檔重新命名，以符合Bernese 5.0檔案命名原則。另外，由於Bernese 5.0軟體並無程式提供福衛三號衛星姿態角資料分割檔的合併，因此將衛星姿態角資料分割檔於此程式中合併並刪除無法讀取的內容。

CCRINEXO：將GPS觀測資料分割檔進行合併。由於福衛三號在六顆衛星上均酬載有高精度的GPS雙頻接收儀POD+X天線與POD-X天線，因此針對POD+X與POD-X的GPS觀測資料分割檔各進行一次合併動作。

PODFILE：依據POD+X及POD-X的GPS觀測資料的內容大小，挑選其中資料量較大的合併檔案作為研究使用，並且刪除資料量較小的合併檔案。

RXOBV3：將RINEX標準格式的GPS觀測資料轉換成Bernese 5.0軟體自訂之格式，並將GPS觀測資料分為電碼觀測量及相位觀測量之檔頭與資料檔。

步驟二：建立GPS衛星標準軌道：

GPSFILE：將已下載的Ultra-rapid GPS星曆與地球自轉參數重新命名。

POLUPD：地球自轉參數格式轉換，將CODE所發布之地球自轉參數轉換成Bernese 5.0軟體自訂格式。

CPERP：複製並命名Bernese 5.0軟體自訂格式之地球自轉參數。（由於Bernese 5.0軟體程式設定，造成星曆檔必須與地球自轉參數相同命名方能使用，因此事先複製成之後會使用到的名稱。）

PRETAB：將Ultra-rapid GPS星曆格式轉換成Bernese 5.0軟體自訂的表列格式，並且萃取出GPS時錶資料。

ORBGEN：建立GPS衛星軌道。配合地球自轉參數、章動參數、地球固體潮、海潮、地位係數等，建立Bernese軟體自訂之標準軌道格式。

步驟三：以電碼觀測量建立低軌衛星先驗軌道

CODSPP：以電碼觀測量進行單點定位，求解概略之低軌衛星軌道坐標。

KINPRE：將低軌衛星軌道坐標轉換成低軌衛星星曆格式。

ORBGEN：建立低軌衛星先驗軌道。由低軌衛星星曆建立低軌衛星的Bernese 5.0軟體自訂之標準軌道格式，以作為低軌衛星之先驗軌道。

步驟四：以相位觀測量求解低軌衛星減動力軌道

CODSPP：以電碼觀測量將低軌衛星時間與GPS時間同步，估計低軌衛星接收儀時錶差並存入GPS相位觀測資料中。

MAUPRP：GPS相位觀測量預處理。檢查相位資料品質並標示粗差，進行周波脫落偵測與補償。

GPSEST：參數估計。求解低軌衛星減動力軌道元素及其速度分量。

ORBGEN：將低軌衛星的減動力軌道元素及其速度分量進行積分，建立為Bernese 5.0軟體自訂之標準軌道格式的低軌衛星減動力軌道。

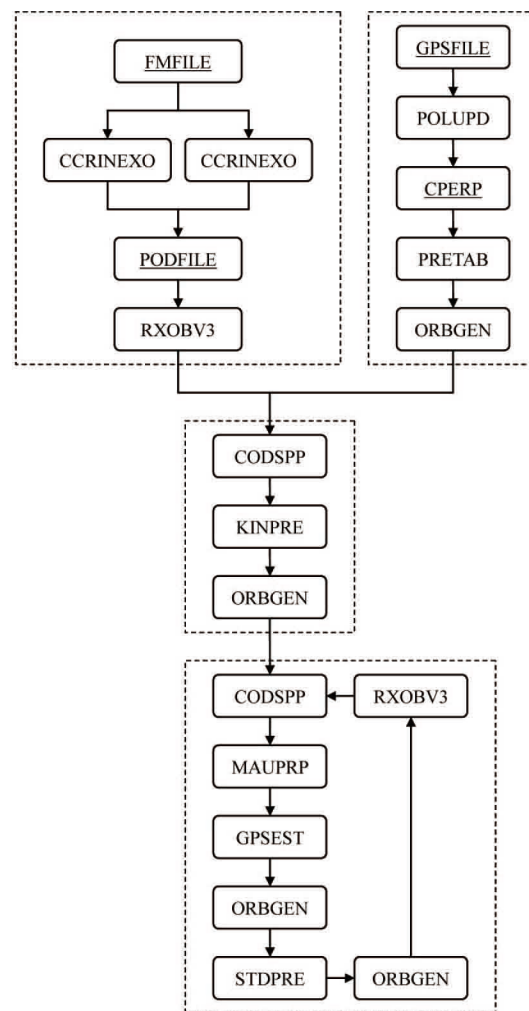
STDPRE：將標準軌道格式之低軌衛星減動力軌道轉換成星曆格式。

ORBGEN：再利用星曆格式之低軌衛星減動力軌道建立Bernese 5.0軟體自訂之標準軌道格式並萃取出輻射壓參數，以作為迭代計算時的先驗軌道。

步驟五：進行迭代，求解最終低軌衛星減動力軌道。

RXOBV3：重新將RINEX標準格式的GPS觀測資料轉換成Bernese 5.0軟體自訂之格式，並將GPS觀測資料分為電碼觀測量及相位觀測量之檔頭與資料檔，以進行迭代。

進行迭代：重覆步驟四CODSPP、MAUPRP、GPSEST、ORBGEN、STDPRE。

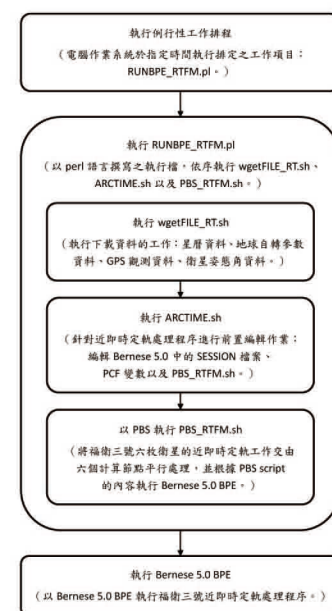


圖一：零次差減動力法求解福衛三號近即時軌道流程

自動化處理系統，如圖二：

在近即時定軌程序中，一般要求在觀測資料釋出後的兩個小時內必須完成軌道解算，因此為了符合近即時定軌的時效性，發展自動化處理系統是近即時定軌程序中不可或缺的重要設備。本研究主要考量目前國內針對衛星計畫，並無獨立自主之自動化處理系統，因此藉由福衛三號作為研究對象，嘗試研發針對福衛三號近即時定軌處理程序的自動化處理系統。

考量衛星定軌所須之電腦處理效能與硬體設備，本研究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。福衛三號近即時處理程序的自動化處理系統之流程架構如圖#，以下各節將分別針對自動化處理系統之主要軟體架構進行說明。



圖二：福衛三號近即時定軌之自動化處理系統流程圖

利用福衛三號建立電離層氣候與太空天氣監測模式

主持人：劉正彥 教授

(1)完成阿貝爾反演所造成誤差之評估及補償。

(2)進行全星載電離層斷層掃描實驗設計。

(3)發展福衛三號熱氣層子午向中性風反演計算。

FORMOSAT-3 GPS掩星觀測資料對於全球模式之影響研究

主 持 人：楊明仁 副教授

本次計劃目的為使用NCEP資料同化系統GSI Gridpoint Statistical Interpolation)來同化GPSRO資料，藉以評估COSMIC GPSRO資料對於中央氣象局全球預報模式(CWB-GFS)的影響。目前已完成工作如下：

1. 已完成NCEP GSI系統的初步測試，並可與CWB-GFS順利運行。
2. 在此六個月期間，GPSRO觀測資料的同化率為73.61%，相對於NCEP-GFS的同化率(75~80%)，實屬良好。
3. 暫時以NCEP所預設的GPSRO觀測誤差為基礎，同化GPSRO資料。計算觀測與背景差異統計，以一值示之，定義為ratio=(obs_N-model_N)/O，即為觀測與背景的折射率差異(obs_N-model_N)與給定的觀測誤差(O)之比例值。在NCEP所預設的GPSRO觀測誤差下，各區域各高度均落在合理的範圍內(1.0~2.0)，但在夏季月份部分地區(北半球4至7公里處，熱帶地區5至10公里，南半球13至19公里)偏大，約為1.8。冬季月份統計則和夏季月份相對，北(南)半球的比例值垂直分布與夏季月份時的南(北)半球類似，尤以7公里以下的中低層最明顯。顯示比例值垂直分布存在季節變化特性。
4. 加入GPSRO資料可幫助衛星資料的調整。在實驗期間8月下旬至10月中時，未加入GPSRO資料的實驗可見AMSUA-N15資料有偏差，而加入GPSRO資料後則大大降低偏差。(圖1)
5. 夏季月份500mb五天預報表現(高度場距平相關)，比較CNTL和GPS實驗的差距，在北半球，兩組實驗的五天預報表現大致相仿，CNTL實驗雖些微較佳，但已可視為相近(neutral)。而在南半球，GPS實驗則有大幅改進，比CNTL多了約0.02，相當於在第五天預報中有4到6小時的預報改進。進一步比較GPS實驗與作業版OPS實驗，無論在南北半球均可看出改進，北半球約有0.005，南半球約有0.023的改進。此外，GPS實驗對於數個CNTL或是OPS實驗會有的AC急速下降個案都有很好的改進。(圖2)
6. 冬季月份500mb五天預報表現(高度場距平相關)，在北半球方面，三組實驗的表現非常接近，不過GPS實驗仍稍微好一些，比CNTL多了約0.001，比OPS多了約0.004。在南半球方面也有同樣的結論，GPS實驗較CNTL好了0.006，較OPS好了0.023。在夏季月份五天預報之溫度預報表現方面，仍為GPS實驗最佳，CNTL實驗次之，而OPS實驗最差(圖3)。

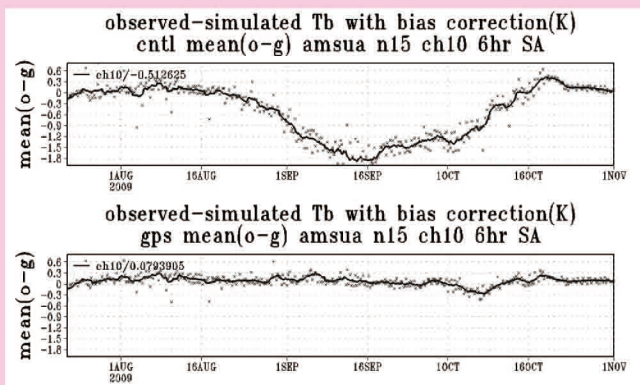


圖1：AMSUA_N15衛星資料亮溫，在南半球2009年7月22日至11月1日期間隨時間的校正(觀測與背景場之差值)，頻道為第10頻道，觀測高度自10至40公里，尖峰值在20至21公里處。上圖為CNTL實驗南半球亮溫隨時間的校正，下圖為GPS實驗。星點為每六小時校正平均值，黑色實線為移動平均。

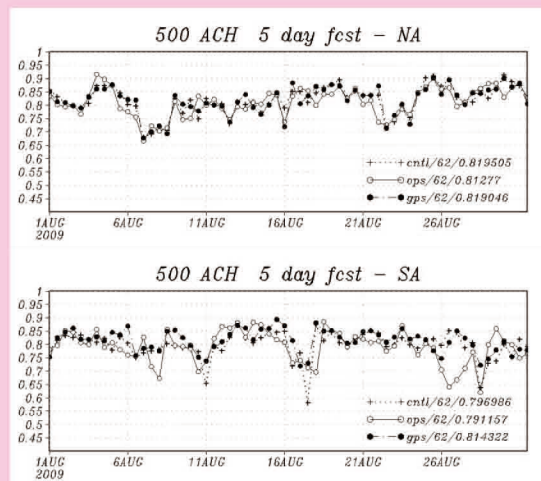


圖2：2009年8月三組實驗在500mb高度之五天預報高度場的距平相關隨時間的變化。十字點線為CNTL實驗；空心圓實線為OPS實驗；實心圓虛線為GPS實驗。

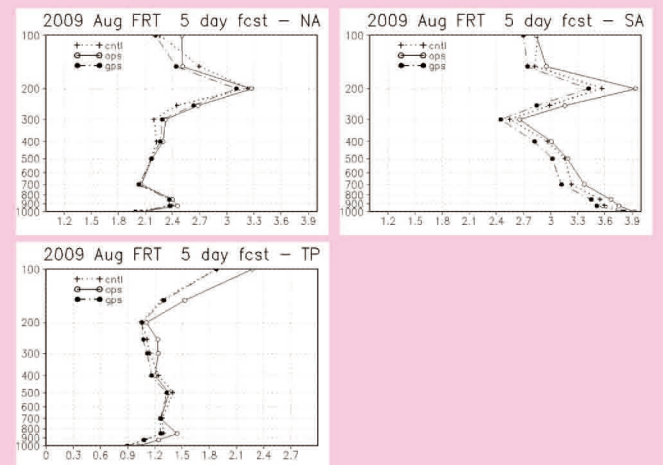


圖3：2009年8月三組實驗五天預報的溫度均方根誤差隨氣壓的變化。縱軸為氣壓，單位是mb。十字點線為CNTL實驗；空心圓實線為作業版OPS實驗；實心圓虛線為GPS實驗。左上圖為北半球(NA)，左下圖為熱帶區域(TP)，右上圖為南半球(SA)。

全球電離層電子密度估計與數值模式研究

主 持 人：蔡龍治 教授

1. 建立臺灣自主電離層數值模式 (the TaiWan Ionospheric Model, TWIM)

臺灣自主電離層數值模式(the TaiWan Ionospheric Model, TWIM)是由計畫主持人於2008年所開發制作(Tsai et al.,2009)，利用我國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數值模式 (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尺度的電離層各層峰值 (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、電離層斷層掃描...等電離層基礎資料。電離層基本上可以依照電漿濃度與高度的不同，區分成D、E、F1及F2層，因此從FormoSat-3/COSMIC掩星觀測中所得之電離層電漿濃度的高度變化也可依此做分層，並視電漿濃度的高度變化為不同層的組合結果；換言之，能以各分層的電漿濃度、高度與厚度等參數來取代電漿濃度的高度變化以進行模式的製作。因此TWIM先利用Chapman function對掩星觀測資料做擬合 (fitting)，其中Chapman function是單純表示電離層光化學離化結果的表示式，先以Chapman function對濃度最大高度進行fitting，由其fitting的結果與原COSMIC資料相扣，若掩星觀測對fitting結果在某高度有明顯的高於時，則再對此高度進行再次fitting，並以高度區間來定義此次fitting結果為何層。由此Chapman function中可以取得D、E、F1及F2各層峰值電漿濃度、峰值高度及其標尺高。Chapman function為式(1)，左式為電漿濃度的高度變化， θ 、 λ 分別代表經緯度，h是高度，而右式的i是用來表示D、E、F1及F2各分層，Nemax是峰值電漿濃度，在指數(e)的次方項中，hm表示峰值高度，H則為標尺高。

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

$$(2) \quad \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \Gamma}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \Gamma}{\partial \lambda^2} = 0$$

以Chapman function fitting過後的Nemax、hm、H則為TWIM所提供的基本參數。再累計許多觀測點則可對經緯平面做映射 (mapping)。

在經緯度上之數值映射 (numerical mapping) 是透過球形諧波分析 (spherical harmonic analysis) 來定義，並以球形諧波函數 $\Gamma(\theta, \lambda)$ 表示，其中變數 λ 為地理緯度， θ 為地理經度。因為球面Laplace方程式之特別解又可稱作球形諧波 (spherical harmonics)，首先我們先定義Laplace方程式 (2)：

透過變數分離與Gram-Schmidt 正交化過程 [Davis 1989] 所得到的Laplace方程式解為spherical harmonics方程式 (3)：

上式中，m為級數 (order)；n為次數 (degree)。各層參數在經緯度上的變化可用 $U_{nm}(\theta, \lambda)$ 與 $V_{nm}(\theta, \lambda)$ 來表示，其中 P_n^m 即為Legendre正交序列多項式。在本論文中採用的是級數為3、次數為40的正交序列多項式。藉由Chapman function fitting後所得的參數與spherical harmonic的mapping結果，即可將FormoSat-3/COSMIC掩星觀測資料製成全球電離層數值模式，此模式即為臺灣自主電離層數值模式(the TaiWan Ionospheric Model, TWIM) (Tsai et al.,2009)。對使用者而言TWIM不須要複雜的計算，經由TWIM所提供各不同時間條件下的Legendre正交序列多項式可以快速的計算出此時間條件下的全球電離層狀態。經上所述，可以了解TWIM可以提供電離層各層參數。在時間類型上TWIM主要分為以全球標準時間 (UT) 類型及全球相同當地時間 (LT) 類型，前者是以UT為時間標準，可反應全球電離層的實際情況；而後者則是以當地時間為時間基準，表全球各經度皆為相同的當地時間，此形式可以用以了解全球電離層隨時間、季節、年份等變化，並可比較電離層在各經度上的變化差異。下圖分別是TWIM之全球標準時間 (UT) 類型及全球相同當地時間 (LT) 類型所計算出的F2層峰值電漿頻率 (foF2) 的結果。

2. 運用台灣自主全球電離層數值模式，建立並改良高頻天波傳播途徑預估線上平台 (http://140.115.111.231/mufluf/wave_www/)。此網頁計算平台可提供最佳的通訊位置、其傳播路徑及路徑上之全電子含量(TEC)。
3. 運用臺灣自主全球電離層數值模式改進補償性Abel轉換電離層電子密度掩星反演技術並與全球49部電離層探測儀資料進行比對，其foF2的均方根差值可由1.22MHz改進至0.76MHz，foE則由1.56MHz改進至0.94MHz。

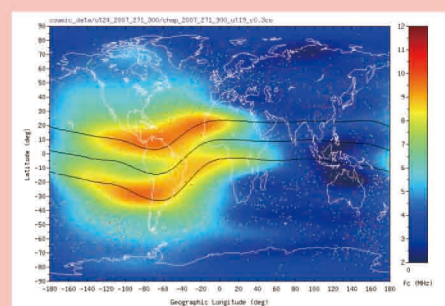


圖. TWIM foF2全球標準時間 (UT) 類型圖。
[Tsai et al.,2009]

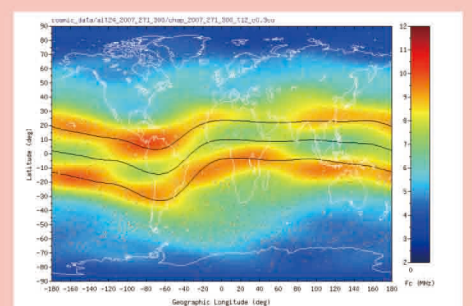


圖. TWIM foF2 全球同當地時間 (LT) 類型圖。
[Tsai et al.,2009]

建立地面近即時福衛三號三頻訊號標電離層斷層建立地面近即時福衛三號三頻訊號標掃描監測網與掩星資料比較誤差分析

主持人：蕭棟元 助理教授

●擬寫主動傳回程式：(完成度100%)

如右圖所示各接收站每成功接收到一筆衛星資料後主動傳回後，LITN server輸出基本的相位、閃爍指數和全電子含量等資料後，分為兩個執行緒，一是執行電離層斷層掃描程式，二是判斷是否有閃爍現象程式，然後將其結果輸出至LITN Web Site給使用者連線觀看其結果。依照計畫書之干特圖所規劃，第一季本計畫須完成主動傳回每一筆衛星資料的網路程式，目前本計畫已經完成伺服器端與客戶端之間的python網路應用程式，因為三頻接收機的控制軟體就是使用Python作為接收系統的主程式，因此當系統只有收到一筆成功的資料後即會主動送回檔案伺服器。

●架設網站與系統應用程式(完成度0%)

此項目為第二季的工作項目，另因為本計畫尚未與醒吾技術學院完成簽約手續，在款項未撥至醒吾技術學院前並沒有辦法購買相關的電腦零件來架設伺服器。

●整理TBB和閃爍現象資料(完成度100%)

資料整理部分：

- 收集TBB (台灣三站) DATA 2010年1月至2010年12月資料。
- 整理2010年1月至2010年4月共8筆閃爍資料。
- 整理2010年1月至2009年4月TBB TEC (Total Electron Content)的資料。
- 分析2010年1月至4月之 2D Tomography影像。
- 整理2010年1月至4月C/NOFS資料。

●擬寫與改進斷層掃描程式(完成度30%)

為配合即時網路即時執行解決人工執行的目的，須跟改部分的程式碼解決人工輸入參數的問題目前已完成約30%的進度。

●維修國內外三頻訊號接收機(完成度100%)

- 2010年1月至印尼坤甸站維修三頻接收機，順利解決當地電源與網路問題，但因為計畫執行日為2月12號，因此出差費用只能由計畫主持人自己承擔。
- 2010年2月委託菲律賓Dr. Vallar教授協助Tarlac站天線基座升高的鐵塔工程，順利解決C/NOFS資料的過短的問題。(如圖二所示)

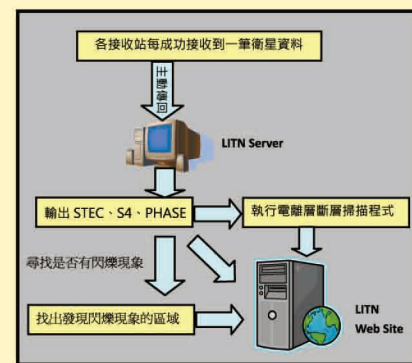


圖1.即時監控系統執行流程



圖二. 菲律賓TARLAC站鐵塔施工過程圖。

推估福爾摩沙衛星3號電波掩星法反演散塊E層擾動誤差

主持人：王建亞 副教授

依照規劃進度干梯圖第一季應完成兩項工作，分別為(1) 分析完成2006年7月~2009年5月三年福衛RO資料，統計不同季節Es在各緯度發生率，(2) 由HWM07模型模擬各緯度在東西及南北方向不同季節的中性風切剖面，目前這兩項都已經完成，正進行探討福衛Es在各季節發生率與HWM07中性風切剖面的相關性工作，初步得到定性結論有下列兩點：

- (a)統計福衛RO資料得到四個季節Es現象的發生率，顯示春夏兩季，北半球低緯度地區(5°~20°N)日出後在高度100~90公里間有全日潮，中午後在120~90公里間有半潮(如圖1在20°N春夏兩季)；而中緯度地區(25°~60°N)，則分別從日出與中午在120~90公里間有半日潮現象(圖2春季中緯度地區~35°N、~40°N)。其中黑色(紅色)曲線為根據風切理論得到離子的高度-地方時變化，假設經度方向全日(半日)潮中性風場是主要的影響項目。
- (b)定性比對RO得到Es發生率與HWM07的中性風切，顯示在相同緯度Es發生在高度-時間圖與經度方向風切等值線為負的區域符合，特別是春夏兩季在中緯度地區(30°~60°N)的半日潮有較好的一致性(圖3)。

第二季工作，預計以理想潮汐中性風場的風切理論湊配福衛統計發生率的全日及半日潮做垂直潮汐波長的定量分析，另外將統計中壢特高頻雷達30MHz、52MHz系統對Es觀測的結果，針對雷達回波緯度區域可以與福衛統計結果比對。

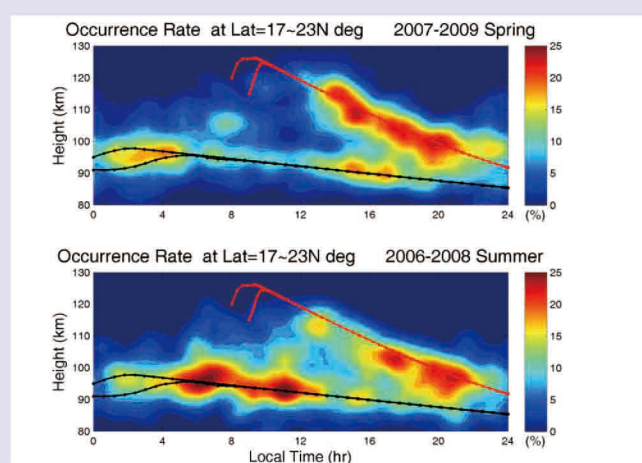


圖1: 統計福衛RO資料2007-2009三年Es發生率的高度-地方時變化圖，春夏兩季在20°N地區，從午夜開始在高度100~90公里間有全日潮，中午後在120~90公里間有半日潮現象，其中黑色(紅色)曲線為根據風切理論得到離子的高度-地方時變化，假設經度方向全日(半日)潮中性風場是主要的影響項目。

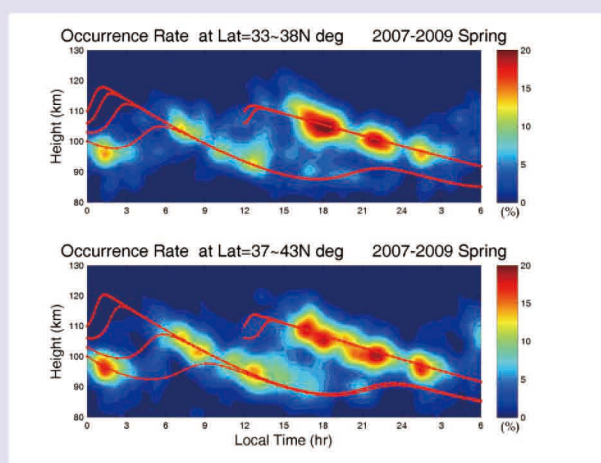


圖2: 福衛RO資料三年Es發生率的高度-地方時變化圖，顯示春季中緯度地區(~35°N、~40°N)，分別在日出(地方時6 hr)與傍晚(地方時16 hr)開始，在120~90公里間有半日潮現象，其中兩個紅色曲線為根據風切理論得到離子的高度-地方時變化，假設經度方向半日潮中性風場是主要的影響項目。

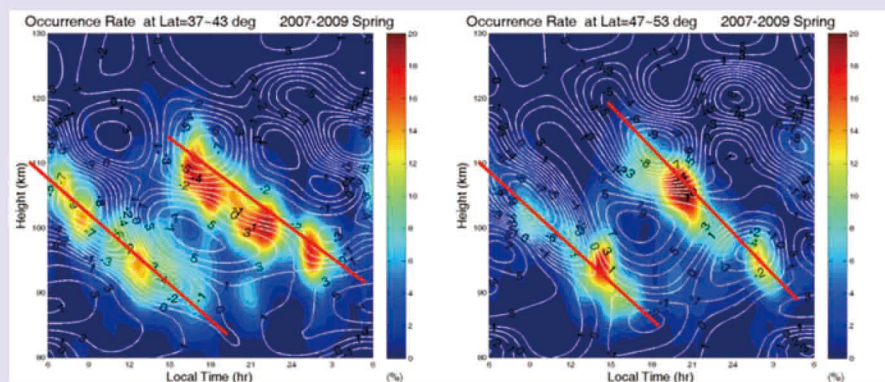


圖3: 福衛RO資料三年Es發生率的高度-地方時變化，與HWM07經度方向風切等值圖(白色曲線)，紅色曲線標示風切等值線為負的區域與Es發生率大的區域符合[~40°N(左)，~50°N(右圖)]。

成立福衛三號/COSMIC科學資料控制中心

主持人：蘇信一教授、劉說安教授

- NCURO 反演程式結構化、改進暨作業化(完成進度：20%)
-進行NCURO反演技術模組化，以便在CWB的test bed上進行交互測試比較。
- 反演資料統計分析(完成進度：50%)
-已完成基本資料分析，達成時程所要求的目標。
- GPS RO 反演大氣水汽資料分析(完成進度：10%)
-目前進行和探空氣球資料比對分析。

- 完成中心mirror site之硬體規劃及初步採購及程式的測試(完成進度：30%)
-正在進行採購程序。
- 完成改進Abel transform 反演法電離層掩星資料之初步評估(完成進度：20%)
-完成line of sight之TEC的取得。
- 完成更新電離層ray-tracing電波在球形地球的傳播程式(完成進度：0%)
-負責人員黃成勇博士在8月才能回國。

福衛三號衛星資料、投落送、與雷達資料在短期數值天氣預報之應用研究

主持人：簡芳菁 教授

- 蒐集重要天氣個案(梅雨、颱風等)之各項資料，包括CWB GFS、NCEP GFS之分析資料，以及各項觀測資料(含福衛三號衛星GPS觀測資料、投落送探空及加密探空資料、雷達資料等)。
 - √ 完成進度：75%
 - √ 已蒐集包含2008及2009年梅雨季之福衛三號衛星GPS觀測資料、投落送探空及加密探空資料、雷達資料等。目前正陸續蒐集2010年梅雨季各項觀測資料。
- 利用全球模式(NCEP GFS)分析資料進行WRF模擬，加入傳統觀測資料進行資料同化與模擬，作為控制組。
 - √ 完成進度：65%
 - √ 針對2009年6月12~15日個案之控制組實驗，利用全球模式分析資料，加入WRF VAR對傳統觀測資料(SYNOPSOUND)同化後所得之初始場進行WRF模擬，並對個案進行評估。且利用控制組於個案模擬之累積降水差異，與2009年梅雨季期間之定量降水預報校驗進行探討，以了解短期降水預報與長期校驗之相關性。
- 同上，但加入福衛三號衛星GPS資料進行資料同化模擬後所得之WRF初始場進行WRF模擬，當作GPS組，與控制組比較異同，以探討投落送探空資料對區域模式之模擬有何效益。
 - √ 完成進度：65%
 - √ 同上，但為加入WRF VAR對福衛三號衛星GPS資料進行同化後所得之WRF初始場進行WRF模擬，並對個案進行評估。且利用實驗GPS組於個案模擬之累積降水差異，與2009年梅雨季期間之定量降水預報校驗進行探討，以了解短期降水預報與長期校驗之相關性。
- 同上，但加入投落送探空及加密探空資料進行資料同化模擬後所得之WRF初始場進行WRF模擬，當作Dropsonde組，與控制組比較異同，以探討投落送探空資料對區域模式之模擬有何效益。
 - √ 完成進度：65%
 - √ 同上，但為加入WRF VAR對投落送探空資料進行同化後所得之WRF初始場進行WRF模擬，並對個案進行評估。且利用實驗DRP組於個案模擬之累積降水差異，與2009年梅雨季期間之定量降水預報校驗進行探討，以了解短期降水預報與長期校驗之相關性。
- 同上，但同時加入福衛三號衛星GPS資料、投落送探空及加密探空資料進行資料同化模擬後所得之WRF初始場進行WRF模擬，當作All組，與控制組比較異同，以探討同時加入福衛三號衛星GPS資料、投落送探空資料對區域模式之模擬有何效益。
 - √ 完成進度：65%
 - √ 同上，但為加入WRF VAR同時對福衛三號衛星GPS資料、投落送探空資料進行同化後所得之WRF初始場進行WRF模擬，並對個案進行評估。且利用實驗ALL組於個案模擬之累積降水差異，與2009年梅雨季期間之定量降水預報校驗進行探討，以了解短期降水預報與長期校驗之相關性。
- 選擇台灣一鄰近地區當成實驗目標區。以MM5模擬當成nature run，以不同的初始條件開始模擬，並視為control run。結合control run提供的背景風場與多部都卜勒雷達的觀測，合成出三維風場，此風場將會包含誤差。
 - √ 完成進度：65%
 - √ 探討同化COSMIC RO與都卜勒雷達觀測以改進模式預報。將模擬的大氣觀測與反演狀態變數(state variables)，置入另一已產生誤差的模式預報場中，並檢視其對改善預報的程度。以MM5產生一組Natural run，從2008/05/27 18Z模擬到 2008/05/31 18Z。另外，再設計一組non-Natural run，從 2008/05/30 06Z開始模擬到 2008/05/30 12Z，代表一個已產生誤差的預報。圖1紅線以內的區域，代表台灣環島雷達網可觀測到的區域，吾人在此區域內會有風場的觀測，再經由風場以及GPS RO的觀測，可以進一步反演出溫度與壓力等熱力場。
- 實際進行熱力場反演與水汽調整。將合成風場、反演之熱力場與水汽場置入模式中，令其繼續模擬，並與nature run比較，以評估其對後續預報之影響。
 - √ 完成進度：65%
 - √ 將 Natural run 在2008/05/30 16Z的大氣狀態變數場，置入到 non-Natural run 2008/05/30 12Z中，再進行6小時的積分，檢視其對non-Natural run預報的影響。分別測試了置入UVW、UVWT、UVWTP、UVWTPQ等四種組合的變數場，發現其中以UVWT、UVWTP兩組的結果最好，因此探討這兩組實驗的結果。圖2為回波場預報到3小時後的結果，圖中可見到有在置入資料的模擬中，部份強回波帶已登陸台灣西岸，與Natural run較為吻合。圖3-圖5分別為non-Natural run 在資料(UVWT與UVWTP)置入後繼續預報6小時，其中U、W、回波與Natural run的相關係數，吾人可發現在有置入資料的模擬中，風場維持與Natural run較高的相似程度，但回波只有在前3小時較佳。我們推測這是因為回波並非置入的參數之一，但經由提升風場與熱力場的精確度，回波的預報仍然可以被改進，但只能持續前3小時。圖6-圖8則為U、W、回波分別在有無置入資料的情形下，與Natural run結果的均方根誤差，基本上顯示出與相關係數相同的訊息。

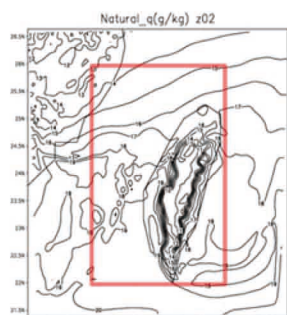


圖1 紅色代表為資料置換的區域。

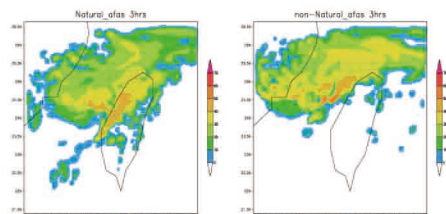
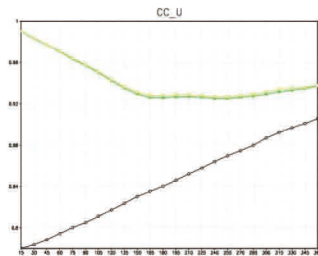
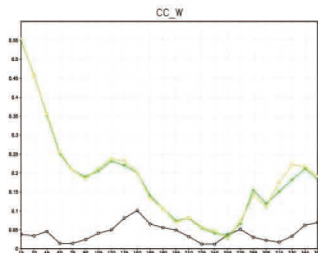
圖2 同化完後預報到第3小時回波與Natural run比較
(a)Natural run (b)non-Natural run (c)同化UVWT
(d)同化UVWTP。圖3 同化完後預報6小時內U風場與Natural run三維相關係數。
黑線 - UVW，
綠線 - UVWT，
黃線 - UVWTP，
紅線 - UVWTPQ。
橫坐標為時間(分鐘)。

圖4 同圖3，但為同化完後預報6小時內W風場與Natural run的三維相關係數。

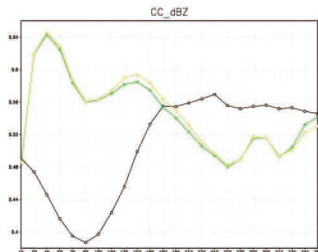


圖5 同圖3，但為同化完後預報6小時內回波與Natural run的三維相關係數。

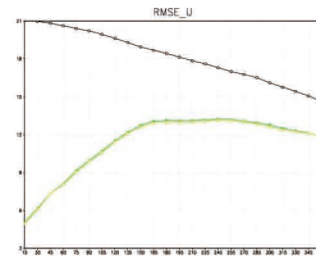
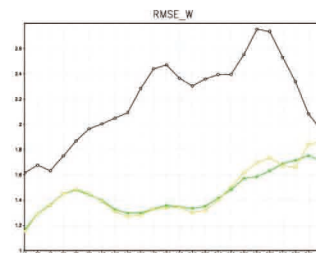
圖6 同化完後預報6小時內U風場與Natural run的均方根誤差。
黑線：Non-Natural run，
綠線：UVWT，
黃線：UVWTP。
橫坐標為時間(分鐘)。

圖7 同圖6，但為同化完後預報6小時內W與Natural run的均方根誤差。

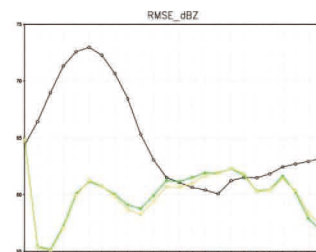


圖8 同圖6，但為同化完後預報6小時內回波與Natural run的均方根誤差。

GPS資料同化方法及觀測算子改善對區域天氣模擬之效益
FORMOSAT-3/ COSMIC Follow-on Mission 觀測系統模擬實驗

主持人：黃清勇 教授
共同主持人：楊舒芝 教授

1) 個案模擬與預報

本研究使用MM5模式及四維變分資料同化(4DVAR)系統，針對2009年莫拉克(Morakot)颱風進行同化模擬與預報。莫拉克颱風於2009年8月4日在菲律賓東北方約1000公里海面上生成，5日增強為中度颱風並向西移動。莫拉克颱風持續增強並繼續向西移入台灣東部近海，受到地形影響，使其移速減慢並轉向西北，7日23時50分左右在花蓮市附近登陸，登陸期間其移動速度更加緩慢，8日2時強度略為減弱，14時左右在桃園附近出海。根據水利署莫拉克颱風水文分析報告，颱風侵襲期間，台灣中南部發生超大豪雨，嘉義縣阿里山雨量站總累積雨量為2884毫米，超越1996年賀伯(Herb)颱風所創下的降雨紀錄(1987毫米)。根據內政部消防署及行政院農委會資料，受颱風緩慢通過台灣陸地，加上西南季風夾帶的水氣影響，中南部、東部多處地區降下刷新歷史紀錄的雨量，引發嚴重水患，造成臺南、高雄、屏東及臺東等縣重大災情，鐵、公路多處路基流失造成交通中斷，多處地區發生嚴重土石流災害。計有673人死亡，26人失蹤，農損逾195億元。莫拉克颱風帶來如此驚人的降雨量，目前的颱風數值模式是否有能力準確預報出，值得深入研究。

本研究採用的中尺度天氣預報模式為MM5 3.7版，其模式初始氣象場是使用NCEP Global Forecast System (GFS) Model的預報場，模擬實驗使用三層巢狀網格的配置(圖1a)，其中心位置選取在北緯23.5度；東經120度。三層巢狀網格的網格數皆為151×151，水平解析度分別為45、15和5公里，垂直層數為35層，自2009年8月6日0000 UTC進行72小時預報，物理參數化設定如表1。

本部分共有四組模擬實驗(表2)，分別為控制實驗(簡稱None)、同化2009/08/06 0000-0300 UTC之GPS折射率(簡稱GPS1；共6筆掩星觀測資料)、同化2009/08/06 0000-0400 UTC之GPS折射率(簡稱GPS2；共11筆掩星觀測資料)與同化2009/08/06 0000-0500 UTC之GPS折射率(簡稱GPS3；共15筆掩星觀測資料)，三組同化窗區所同化的福衛三號折射率觀測資料分佈如圖1b,c,d。首先將討論同化GPS RO資料的實驗組初始場與控制實驗(None)初始場之間的差異。圖2分別為實驗組(GPS1、GPS2、GPS3)與控制實驗(NONE)之300 hPa溫度增量和850 hPa水汽增量，實驗GPS1在太平洋上的溫度增量較實驗GPS2和實驗GPS3少，主要增量大值在同化之GPS點附近，水汽增量的結果類似，以GPS資料點處有較大增量值。圖3與圖2相同分別為850 hPa和500 hPa折射率增量，GPS資料點處折射率增量最大，受同化資料點數及資料點位置影響，實驗GPS3在太平洋上的增量較多。

莫拉克颱風之模擬路徑圖(圖4)，模擬第一天(2009/08/06 0000 UTC ~ 2009/08/07 0000 UTC)觀測與模擬的颱風移動方向相似，往西移動接近台灣。由於模式初始場的颱風結構和強度(中心氣壓為984hPa)較觀測(中心氣壓為960 hPa)為弱，因此模擬的颱風皆出現中心擺動的現象。模擬第二天(2009/08/07 0000 UTC ~ 2009/08/08 0000 UTC)，觀測的颱風先是往西移動，登陸花蓮後轉向西北且移速減慢，但模擬的颱風登陸地點稍微南偏，且登陸後繼續向西移動，唯實驗GPS3的登陸地點和路徑與觀測較接近。模擬第三天(2009/08/08 0000 UTC ~ 2009/08/09 0000 UTC)，觀測的颱風繼續向西北移動，並在桃園出海。模擬的颱風路徑與觀測差異大，但同化衛星觀測資料的模擬結果則較早轉往北移動，其路徑誤差比控制實驗小(圖5)，以模擬三天平均路徑誤差來看實驗GPS3結果最佳。至於降雨量方面(圖6)，模擬第一、二天，由於同化GPS折射率能對模擬範圍的水汽和溫度作出修正，因此模擬結果較控制實驗接近真實觀測。整體來說，模擬結果的降雨量較小，且降雨位置分佈偏南，原因是其颱風強度較弱和路徑偏南所造成。由ETS(Equitable Threat Score)預報得分和BIAS代表模式預報的雨量為高估或低估評分(圖7)，第一天實驗GPS3之ETS得分較高，接近0.2，其他實驗則近似於0，在大雨以上明顯高估很多。第二、三天則是實驗GPS3之ETS得分最低，比起其他實驗較為低估降雨量，第二天實驗GPS1得分較高，接近0.4，第三天平均得分較高則為實驗None。

此外，由於模式的颱風初始強度弱，所以本部分的實驗將加入虛擬渦旋，共有四組模擬實驗(表2)，分別為同化虛擬渦旋(簡稱BDA)、同化虛擬渦旋和2009/08/06 0000-0300 UTC之GPS折射率(簡稱BDA+GPS1)、同化虛擬渦旋和2009/08/06 0000-0400 UTC之GPS折射率(簡稱BDA+GPS2)與同化虛擬渦旋和2009/08/06 0000-0500 UTC之GPS折射率(簡稱BDA+GPS3)。同樣的先討論同化虛擬渦旋以及同化虛擬渦旋加GPS折射率與控制實驗(NONE)之初始場增量。圖8、圖9分別為同化虛擬渦旋(BDA)和同化虛擬渦旋加GPS折射率(BDA+GPS1、BDA+GPS2、BDA+GPS3)與控制實驗(NONE)之300 hPa溫度增量和850 hPa水汽增量，在溫度增量方面因有同化虛擬渦旋，使得在虛擬渦旋的位置都有明顯的增量，實驗BDA+GPS3因虛擬渦旋和其附近的GPS資料點影響增量分布有些微不同。水汽增量方面亦同，在虛擬渦旋以及GPS資料點處有明顯增量，GPS資料對於水汽增量值大於虛擬渦旋。圖10為850 hPa的折射率增量，增量仍集中在GPS點附近，GPS資料對於折射率增量值明顯大於虛擬渦旋。

莫拉克颱風同化虛擬渦旋和不同窗區的GPS折射率之模擬路徑圖(圖11)，同化虛擬渦旋使得初始場的颱風結構和強度(中心氣壓為954 hPa)較強，其第一天模擬路徑出現北偏的現象，第二天當同化GPS折射率對大範圍環流作出修正，則降低其模擬的路徑誤差。颱風登陸前以實驗BDA+GPS3結果最佳，登陸地點和路徑各實驗皆與觀測相當接近，登陸後各實驗和觀測的颱風皆向西北方面移動，並在桃園出海。模擬的颱風路徑與觀測在第一天誤差較大(圖12)，但在第二天有明顯降低路徑誤差，第三天各實驗路徑誤差皆小於60公里。

由於颱風結構和強度得到改善，同化虛擬渦旋的降雨量和降雨位置分佈較接近真實觀測(圖13)，最大的三天總降雨量為2323毫米，與觀測的2461毫米相近。以ETS得分和BIAS評分來看(圖14)，第一天各個實驗ETS得分相似，最高約0.3，在大雨部分都有高估的現象，第二天實驗BDA+GPS3的得分明顯優於其他實驗，最高約0.4，雨量方面仍稍微高估，第三天BDA+GPS1得分高達0.6，雨量則是接近於最佳的預報。

表1. 物理參數化方法

Cloud microphysics	Goddard SFC graupel scheme
Longwave radiation	RRTM scheme
Shortwave radiation	Goddard shortwave scheme
Boundary layer parameterization	MRF scheme
Cumulus parameterization	Kain-Fritsch scheme
Surface-layer	Monin-Obukhov similarity scheme
Land-surface parameterization	Unified Noah land-surface model

表2. 實驗設計

實驗名稱	同化窗	說明
NONE		無同化
GPS1	2009/08/06 0000 UTC ~ 2009/08/06 0300 UTC	共計 6 筆 GPS RO
GPS2	2009/08/06 0000 UTC ~ 2009/08/06 0400 UTC	共計 11 筆 GPS RO
GPS3	2009/08/06 0000 UTC ~ 2009/08/06 0500 UTC	共計 15 筆 GPS RO
BDA	2009/08/06 0000 UTC	僅同化虛擬渦旋
BDA+GPS1	同實驗 GPS1	同實驗 GPS1，且同時同化虛擬渦旋資料
BDA+GPS2	同實驗 GPS2	同實驗 GPS2，且同時同化虛擬渦旋資料
BDA+GPS3	同實驗 GPS3	同實驗 GPS3，且同時同化虛擬渦旋資料

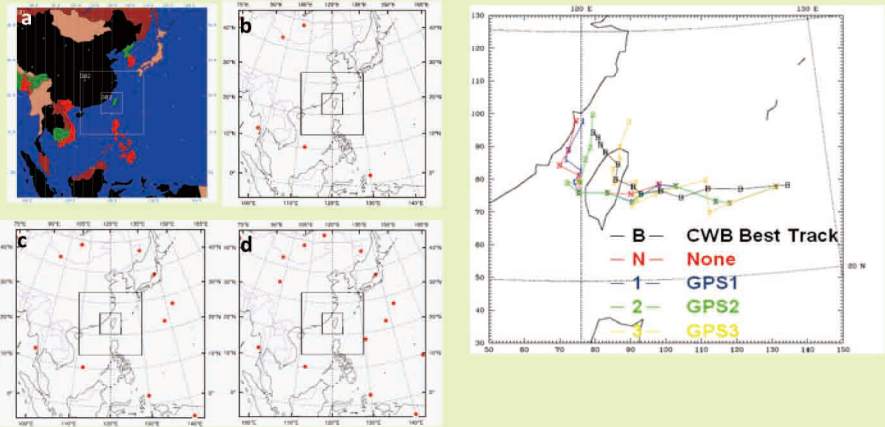


圖1. (a)模式三層槽狀網格示意圖。(b)福衛三號之折射率觀測資料分佈圖，同化窗區為2009/08/06 0000-0300 UTC (實驗名稱：GPS1)，共計6筆掩星觀測資料(紅色圓點)位於模試範圍內；(c)同(b)，但為同化窗區2009/08/06 0000-0400 UTC (實驗名稱：GPS2)，共計11筆資料；(d)同(b)，但為同化窗區2009/08/06 0000-0300 UTC (實驗名稱：GPS3)，共計15筆資料。

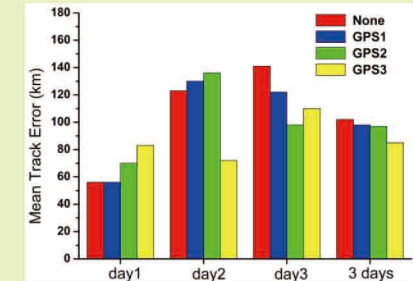


圖5. 各模擬實驗第一、第二、第三與三天的平均路徑誤差圖。

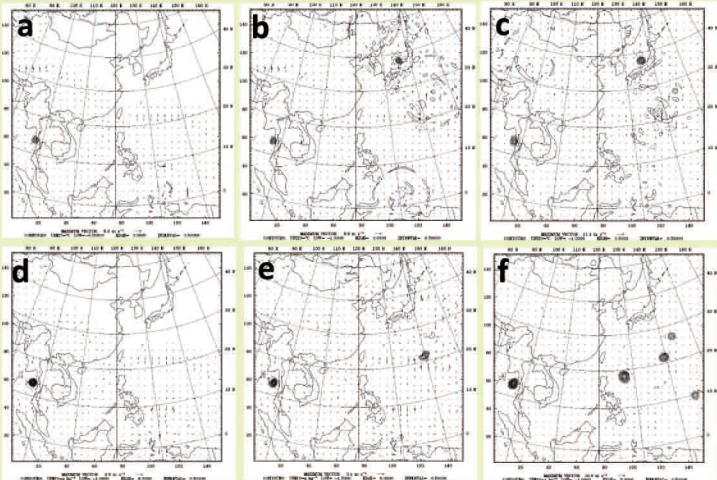


圖2. (a)實驗GPS1於300 hPa之溫度增量，等值線間距為0.5 °C；(b)同(a)，但為實驗GPS2；(c)同(a)，但為實驗GPS3。(d)、(e)和(f)同(a)、(b)和(c)，但為850 hPa之水汽增量，等值線間距為0.5 g kg⁻¹。
圖2. (a)實驗GPS1於300 hPa之溫度增量，等值線間距為0.5 °C；(b)同(a)，但為實驗GPS2；(c)同(a)，但為實驗GPS3。(d)、(e)和(f)同(a)、(b)和(c)，但為850 hPa之水汽增量，等值線間距為0.5 g kg⁻¹。

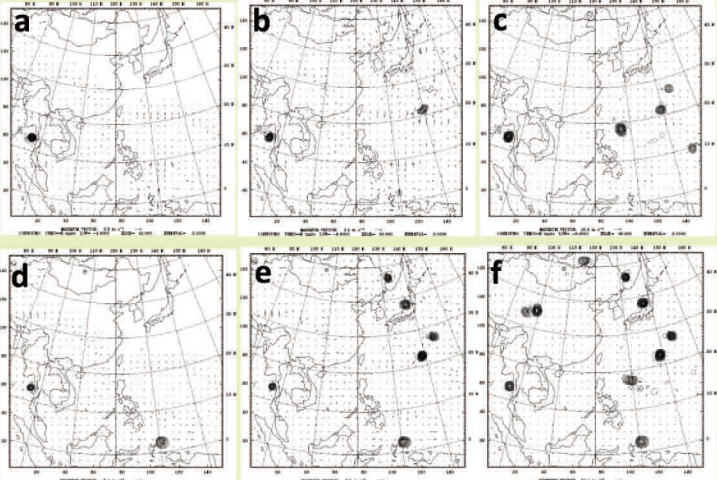


圖3. 同圖2，但(a)、(b)、(c)為850 hPa之折射率增量。(d)、(e)、(f)為500 hPa之折射率增量，等值線間距為2 N。

GPS資料同化方法及觀測算子改善對區域天氣模擬之效益 FORMOSAT-3/ COSMIC Follow-on Mission 觀測系統模擬實驗

主持人：黃清勇 教授

共同主持人：楊舒芝 教授

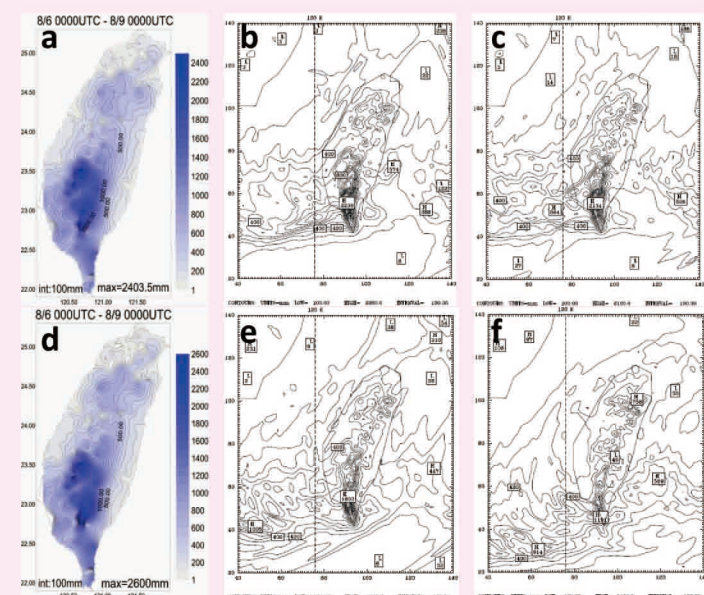


圖6. 2009/08/06 0000 UTC ~ 2009/08/09 0000 UTC期間之累積降雨量。(a)、(d)為不同客觀分析的中央氣象局實際觀測雨量圖。(b)控制實驗NONE，(c)實驗GPS1，(e)實驗GPS2，(f)實驗GPS3，等值線間距為100 mm。

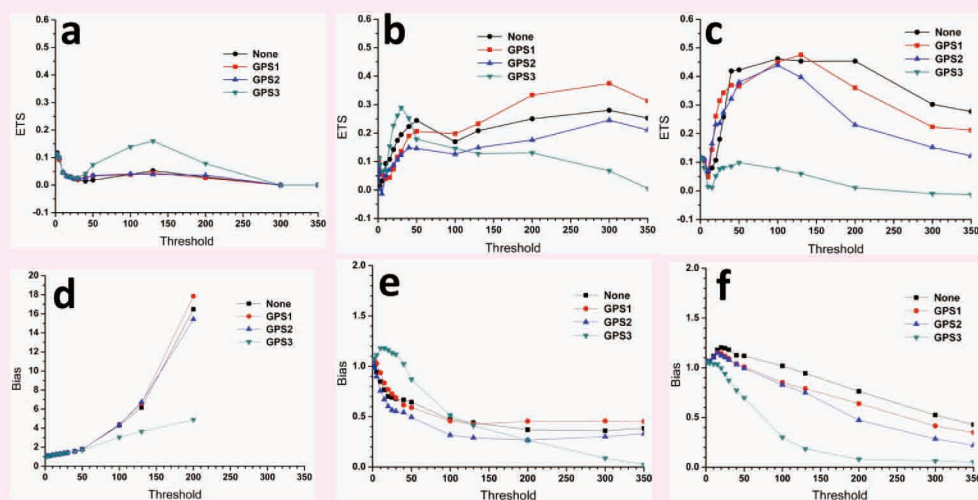


圖7. (a)、(b)、(c)為第一、第二、與第三天的ETS(Equitable Threat Score)預報得分，其數值等於1為完美預報。(d)、(e)、(f)為第一、第二、與第三天的BIAS，代表模式預報的雨量為高估或低估，數值為1代表最佳預報。

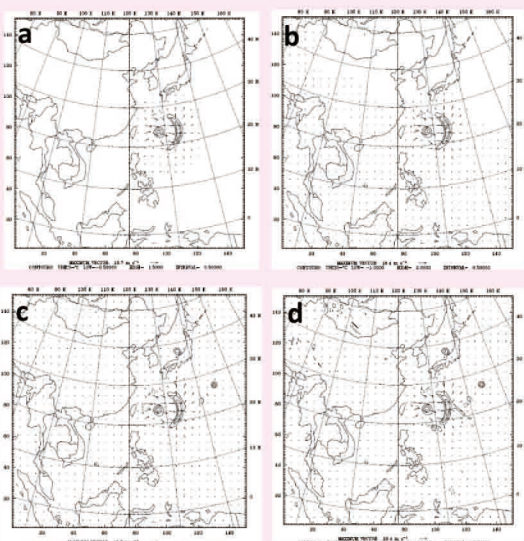


圖8. (a)實驗BDA，(b)實驗BDA+GPS1，(c)實驗BDA+GPS2，和(d)實驗BDA+GPS3於300 hPa之溫度增量，等值線間距為0.5 °C。

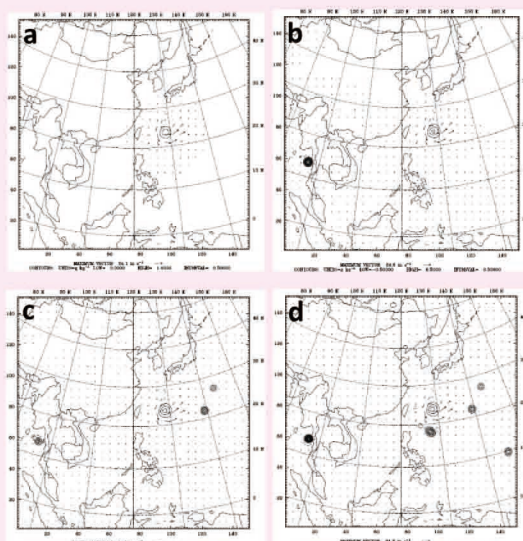


圖9. 同圖8，但為850hPa水汽增量，等值線間距為0.5 g kg⁻¹。

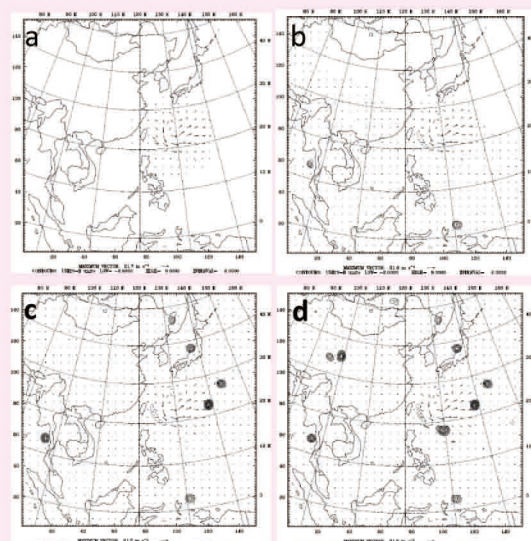


圖10. 同圖8，但為500hPa折射率增量，等值線間距為2 N。

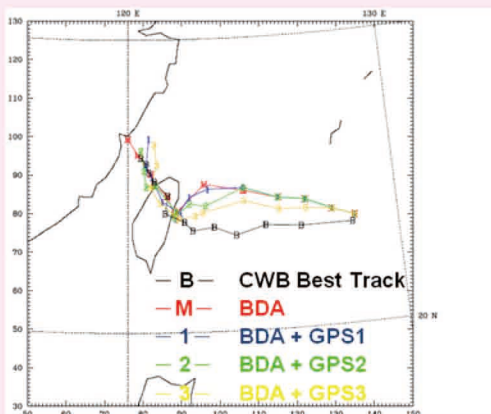


圖11. 同化虛擬渦旋和不同窗區的GPS折射率之模擬路徑。CWB Best Track為莫拉克颱風(2009/08/06 0000 UTC ~ 2009/08/09 0000 UTC)之中央氣象局觀測最佳路徑(CWB Best Track)，以及各實驗之模擬路徑圖。每6小時標示一點。

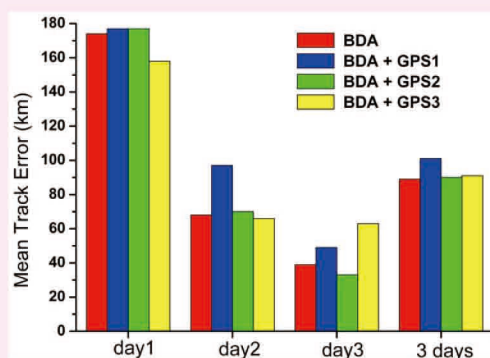


圖12. 各模擬實驗第一、第二、第三與三天的平均路徑誤差。

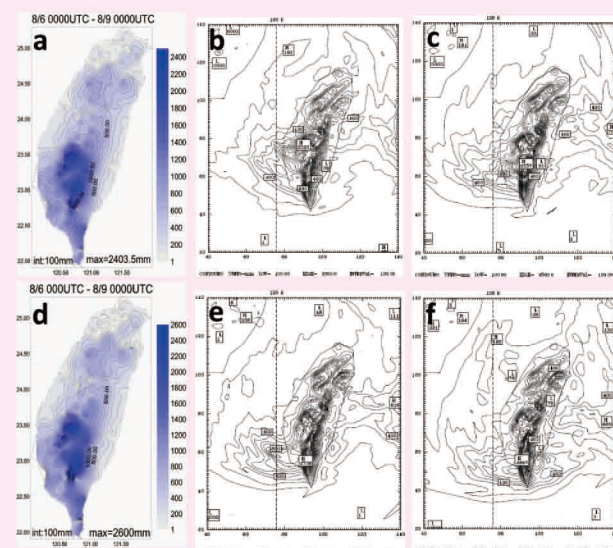


圖13. 2009/08/06 0000 UTC ~ 2009/08/09 0000 UTC期間之累積降雨量。(a)、(d)為不同客觀分析的中央氣象局實際觀測雨量圖。(b)實驗BDA，(c)實驗BDA+GPS1，(e)實驗BDA+GPS2，(f)實驗BDA+GPS3之模擬累積雨量，等值線間距為100 mm。

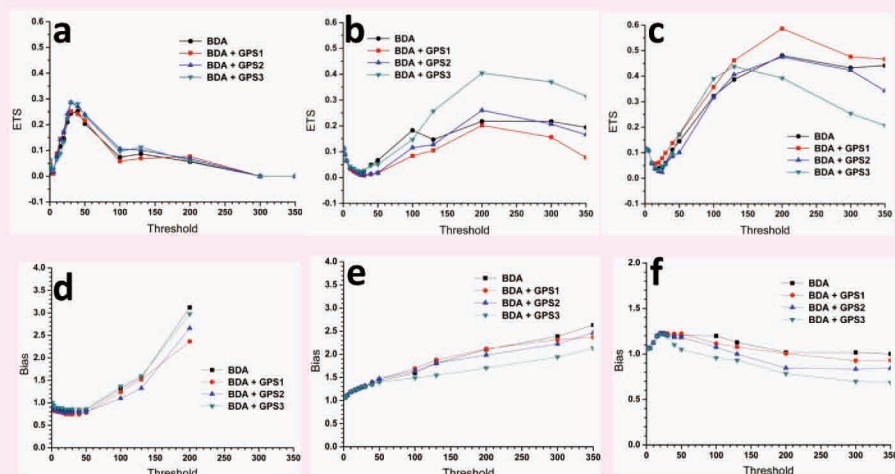


圖14. (a)、(b)、(c)為第一、第二、與第三天的ETS (Equitable Threat Score)預報得分，其數值等於1為完美預報。(d)、(e)、(f)為第一、第二、與第三天的BIAS，代表模式預報的雨量為高估或低估，數值為1代表最佳預報。

GPS資料同化方法及觀測算子改善對區域天氣模擬之效益 FORMOSAT-3/ COSMIC Follow-on Mission 觀測系統模擬實驗

主持人：黃清勇 教授

共同主持人：楊舒芝 教授

2) 局地偏折角同化算子

我們將先自行研發完成之局地偏折角算子進行檢驗，藉由設定幾組垂直上呈現指數分布之折射率資料進行測試。由切線算子之檢驗，其準確率可達0.99999992，再檢驗伴隨模式，其檢驗值分別為9.5500609840177262E-013和9.5500609840177226E-013，此結果已相當精確。

為比較本中心發展之局地偏折角算子與目前已應用於全球作業模式中之偏折角算子之差異，我們選取目前歐洲天氣預報中心所使用之一維局地偏折角算子的結果進行比對。此二局地偏折角算子主要皆利用Abel inversion，已知折射率(N)之情形下可求出偏折角(α)，其中n為折射指數，a為impact parameter，r為距地心距離。在此，將本中心發展之局地偏折角向前模式算子簡稱為NCU，歐洲中心的向前模式算子則簡稱為ECMWF (Healy and Thépaut 2006)，目前放在EUMUSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites)提供使用。以卡孜基颱風期間之GPS掩星觀測點為例，此期間共計31筆資料，分布如圖15。將此31筆掩星折射率資料應用於上述二個局地偏折角算子中，則所得之偏折角的垂直分布如圖16(在此僅顯示二筆資料)，並與觀測之偏折角相比較(取自TACC)，由圖可看出三者分布皆非常接近，僅近地層之偏折角分布與觀測有些微之差異，兩運算子所得之偏折角垂直分布非常一致，且每一垂直上的梯度變化(彎曲程度)大致都可得出。

圖17顯示使用二運算子所得之偏折角與觀測偏折角之差異量垂直分布，由圖顯示差異量皆很小，且二反演的偏折角與觀測之偏差表現有其一致性，然而，由NCU與ECMWF之差異可看出，NCU反演之偏折角有較ECMWF之偏折角稍微偏小的傾向，尤以掩星點C004.2008.198.01.48.G29約高度5公里處更為明顯(圖17b)。圖18顯示此31筆掩星資料之反演所得偏折角與觀測的差異垂直分布，不論使用NCU或ECMWF之向前模式，所得之偏折角皆與觀測誤差在 $\pm 2 \times 10^{-3}(\text{rad})$ 內，以10公里以下誤差較明顯，10公里以上則誤差約在 $\pm 1 \times 10^{-4}(\text{rad})$ 內。比較NCU與ECMWF之反演偏折角差異則在 $\pm 5 \times 10^{-4}(\text{rad})$ 內，其主要差異皆落於 $\pm 1 \times 10^{-4}(\text{rad})$ 內，唯一一筆資料(圖17b)之差異較大，最大值約 $-3.72 \times 10^{-4}(\text{rad})$ ，此即位於圖16b之偏折角變化最明顯處。

圖19則說明使用此二向前算子與觀測之偏折角的部分差異量分布，結果顯示其部份差異量皆在 $\pm 8\%$ 以內(圖19a,b)，且分布相似。兩個向前算子目前之測試均已考慮球體半徑曲率，二者結果相當接近，因此與觀測的誤差可能來源有二：一為上述結果主要來自於在計算Abel inversion時，模式層頂(約20公里)以上之積分是使用外延法估計，此可能導致低層之誤差累積；二為資料垂直解析度所造成。首先，我們將模式頂提升至60公里(與觀測同)，由圖20a,c顯示計算之偏折角與觀測偏折角之主要差異位於20公里以下，由部分差異百分比(圖20b,d)則顯示約20公里以下之差異量與圖19接近，而高層之大差異比例，主要因為觀測本身之偏折角已非常小。上述之估計偏折角皆使用TACC之觀測折射率計算(TACC bfrPrf data)，其資料垂直解析度約200公尺一筆。另外，我們使用約3-5公尺之垂直解析度的折射率資料(TACC atmPrf data)進行估計，則結果如圖21。圖21a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 $\pm 4 \times 10^{-5}(\text{rad})$ ，若使用ECMWF運算子(圖21c)，則最大誤差維持於 $2 \times 10^{-3}(\text{rad})$ ，由圖21b,d說明NCU與觀測之偏折角的部分差異於25公里以下小於0.5%，而ECMWF則是大於10%，主要因為ECMWF運算子在計算Gaussian error function時使用近似計算(Healy and Thépaut 2006)，而NCU運算子則是直接計算。

由於TACC bfrPrf data是將atmPrf data經過Fourier smoothed後，再差分至固定間距高度，此可能就是造成使用高解析度資料於低層原本皆為正偏差(圖21d)，而使用低解析度資料之低層誤差分布卻較均向性(圖19b)的原因，因此，比較圖20、圖21，說明當使用較低解析度資料時，需考慮低層之較大誤差。由上述結果，說明本中心發展之局地偏折角算子之高準確度，因此，將此運算子嵌入WRF DA 3.2版(此版本為WRF VAR 3.1之進階版)為本計畫之下一階段之主要工作。本報告所使用的二個局地偏折角向前模式算子，請詳見附錄一。

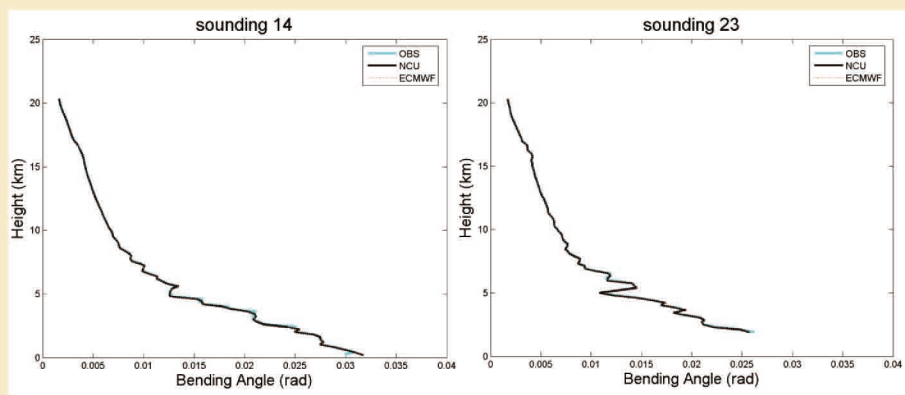


圖16. (a)單點探空(bfrPrf_C001.2008.197.23.09.G18)，其近地點為(12.790°N, 141.802°E)，比較來自TACC的偏折角資料(OBS)與使用不同向前模式算子(NCU與ECMWF)所得之偏折角垂直分布。(b)同(a)，但為單點探空(bfrPrf_C004.2008.198.01.48.G29)之偏折角垂直分布，近地點為(20.740°N, 148.839°E)。

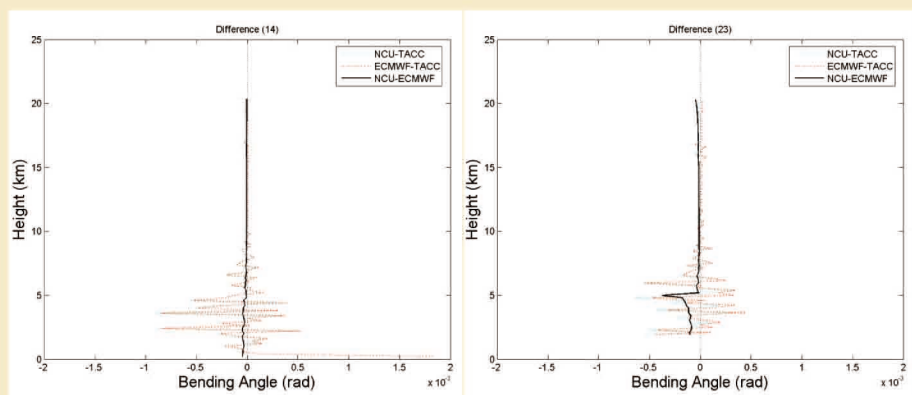


圖17. 同圖16，但為偏折角之差異量垂直分布。

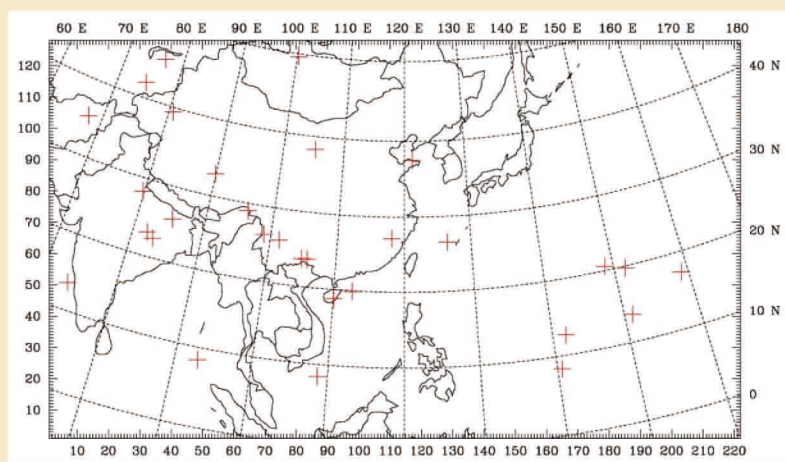


圖15. 卡孜基颱風期間之GPS掩星觀測分布圖，以分析時間2008年7月16日0000 UTC之 ± 3 小時同化窗內，共計31筆資料。

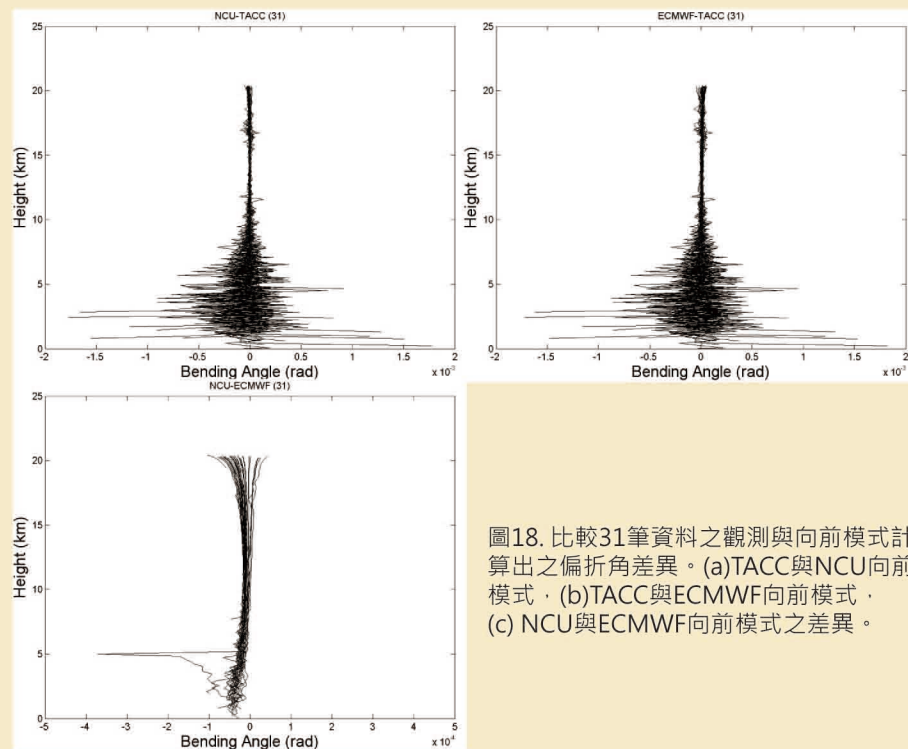


圖18. 比較31筆資料之觀測與向前模式計算出之偏折角差異。(a)TACC與NCU向前模式，(b)TACC與ECMWF向前模式，(c) NCU與ECMWF向前模式之差異。

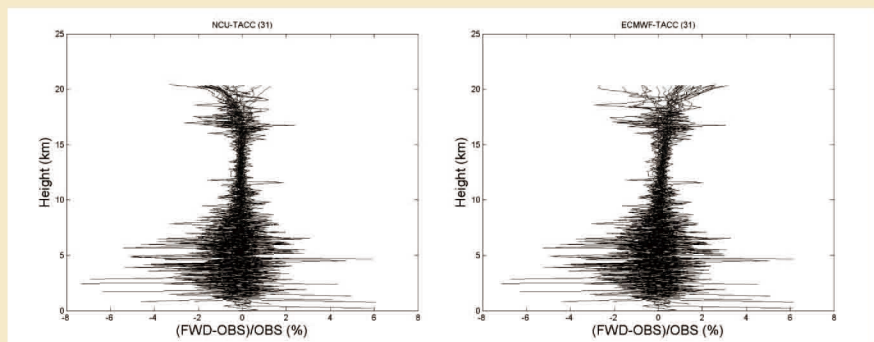


圖19. (a)TACC之偏折角與NCU向前模式所得之偏折角差異的部分差異量(%)，(b)同(a)，但為使用ECMWF的向前模式。

GPS資料同化方法及觀測算子改善對區域天氣模擬之效益 FORMOSAT-3/ COSMIC Follow-on Mission 觀測系統模擬實驗

主持人：黃清勇 教授

共同主持人：楊舒芝 教授

3) 觀測系統模擬實驗 (OSSE)

為了解FORMOSAT-3/COSMIC Follow-on Mission在不同星系部署下的觀測資料，對於颱風個案分析與模擬之效益，於去年期末報告中，已針對數個颱風個案，如：辛樂克、卡玫基、莫拉克颱風等，進行觀測系統模擬實驗 (Observing System Simulation Experiments)，導入理想化的GPS掩星折射率進行同化。由結果說明FORMOSAT-3/COSMIC Follow-on Mission之觀測對颱風路徑預報有正面的影響，此僅針對少數個案進行研究之結果，今年將針對緊接而來的颱風季，進行新個案模擬，以探討GPS RO於不同星系部署下對於侵台颱風之影響。

4) 系集同化系統 (LETKF)

4.1-研究動機

在此研究中，針對COSMIC衛星觀測進行以颱風預報為主之系集資料同化。以此評估這些觀測資料對初始場準確度之貢獻，並進一步了解同化校正對颱風預報的影響。在目前之WRF 3D-Var系統中，仍先不考慮比濕與其他模式變數如溫度、風場的關係。因而沒有濕度對多變量調整之特性。因此，我們將探討是否可藉由Local Ensemble Kalman Filter所能獲得之背景誤差間之多變量關係，使得COSMIC衛星觀測資料不僅能對大氣溫濕度有調整外亦能對其它變數進行調整。

4.2-WRF-LETKF資料同化系統

本研究利用於中央大學新建立之WRF系集資料同化系統。此系集資料同化系統所採用的方法為Ott et al. (2004)及Hunt et al. (2007)發展的Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF)，運用局地 (local) 的概念進行局地資料同化分析。針對每一點分析網格點，背景場協方差矩陣由局地的系集樣本所獲得，並結合同地可得之觀測值進行卡門濾波(Kalman Filter)分析。不同於三維或四維變分方法，系集資料同化方法僅需數值模式的輸出場，而不需建立伴隨模式(adjoint model)，或伴隨觀測算符。因此，此種同化方法並不受限於模式發展或修改。相較於三維資料變分方法，系集資料同化中所使用的背景場誤差協方差矩陣具有隨時間及隨背景動力演變(flow-dependent)之特性(Yang et al. 2009)。我們希望利用此特性提高對觀測資料的使用效率，並增加分析場及預報場的精確度。

初步研究結果顯示探空資料對於濕度並無顯著的改善。且為了解多變量關係之影響，採用variable localization的方法將探空對濕度(比濕)及REF對風場的影響關掉。使得REF僅對溫濕度及氣壓擾動有影響。在此，LETKF將代表使用標準之WRF-LETK進行同化實驗，LETKF-V則代表分離多變量間之關係。此外，我們再進一步將多變量關係分離限制在低層同化分析，而中高層則維持使用所有變數之多變量關係。以下，此分法稱為LETKF-VL。

4.3-資料同化實驗設計

本研究中採用的模式解析度為45公里，以台灣為模式範圍中心 (125° E, 23.5° N)，水平範圍為110° 110網格點，垂直層數為27層。因WRF-LETKF為新建立之資料同化系統，需先了解其同化表現。因此本研究現階段仍以完美模式假設為主，尚未考量模式誤差。首先，我們以NCEP AVN(1°x1°全球分析場) 2006/09/14 00Z資料為初始平均場，並利用WRF三維變分同化(WRF-VAR)系統建立25組系集擾動。此25組系集為WRF模式初始場，進行四天積分。

其中，真實大氣場由25組系集中，挑選一組作為假想真實大氣狀況。剩餘之24組系集則作為系集初始擾動場。此外，利用所定義之假想真實場資料，加上隨機擾動量建立模擬觀測資料。模擬之觀測包括11點探空資料(風場及溫度)及Cosmic refractivity資料(REF)。探空資料的位置參考真實探空觀測，且風場及溫度觀測誤差分別為1m/s及0.5K。考量真實COSMIC衛星觀測分布，此實驗中平均500公里有一點REF觀測，且其誤差隨高度變化(由2%隨高度降至0.35%)。

如表3所示，本研究中進行四組實驗，分別以不同之同化方法同化探空及REF資料。

4.4-實驗結果與討論

同化初期因海面上之探空資料相當稀少，同化REF資料(EXPB, EXPC及EXPD)對風場、溫度及地面壓力皆提供有效之修正量。唯，EXPB中低層比濕(圖22, QV中紅線)的分析場準確度卻比僅同化探空之EXPA(圖22及圖23之藍線)差，也是所以所有實驗中最差的一組。

EXPB的結果顯示利用LETKF之多變量相關之背景場誤差協方差矩陣同化REF對於同化初期調整模式風場及氣壓場有幫助。但當颱風結構在分析場已相當明顯時(第七個同化循環後)，則無法對分析場的風場及地面壓力提供探空資料以外之有效修正量。但如REF僅修正溫濕度及氣壓擾動，且限制對風場之影響(EXPC, 圖22之綠線)，則在低層(750百帕以下)對模式各變量皆有明顯的幫助。但對於高層卻有相反的結果。如圖23顯示，在高層(Sigma<0.5)，忽略REF對風場貢獻所得之分析場準確度結果比EXPB來的差。

當僅對低層限制REF對風場的貢獻，而讓中高層風場也能隨REF的貢獻進行調整時，EXPD結果顯示(圖22及圖23黑線)此作法最能同時確保風場、溫溼都保持最佳準確度。如圖24所示，EXPD最能使REF針對颱風垂直熱力及動力結構達到最大效益。

4.5-小結

在系集同化架構下同化REF資料時，需考慮其各變量之間的關係。不當之多變量關係反而會對風場產生不利之修正量。如限制REF資料在低層與模式其他變量之貢獻，且僅對溫溼度，及氣壓擾動作修正，最能確保各層最佳使用REF資料訊息。對於颱風垂直結構的發展最有幫助。

5-GPS掩星觀測資料誤差分析

已針對FORMOSAT-3/COSMIC掩星觀測資料，分析其局地折射率及非局地折射率之觀測誤差，此統計分析結果對精進GPS資料同化效益有很大的幫助，詳細內容可見Chen et al. (2010)。

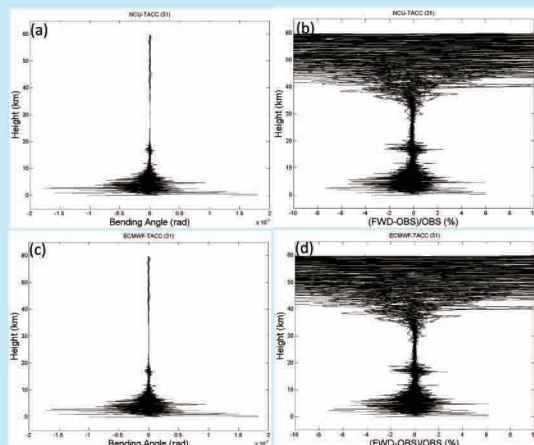


圖20. (a)TACC之偏折角與NCU向前模式所得出之偏折角的差異垂直分布(rad)，資料垂直解析度約200公尺，(b)同(a)，但為部分差異量(%)，(c)和(d)同(a)和(b)，但為使用ECMWF的向前模式。

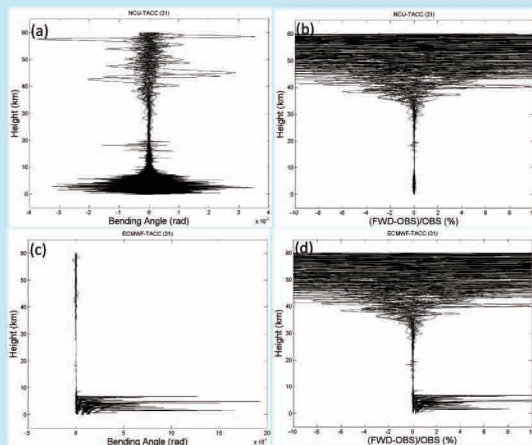


圖21. 同圖20，但資料垂直解析度約3-5公尺。

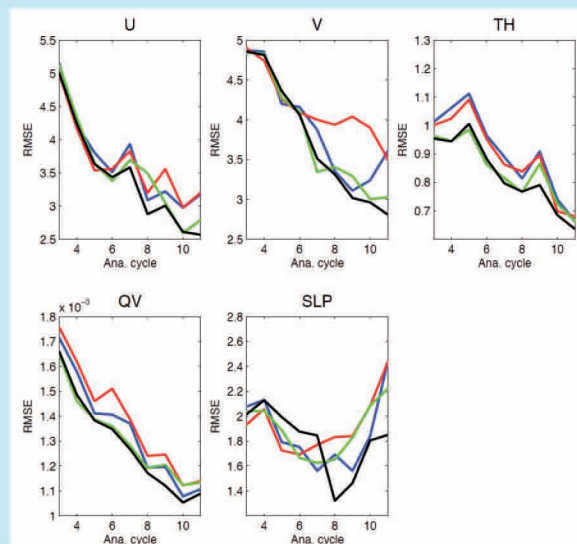


圖22. 模式各變量在低層(模式第1至9層平均)之分析場均方根誤差時序。

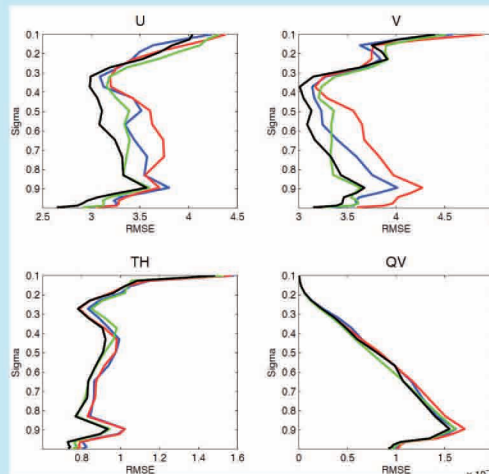


圖23. 模式各變量之分析場均方根誤差平均垂直分布。

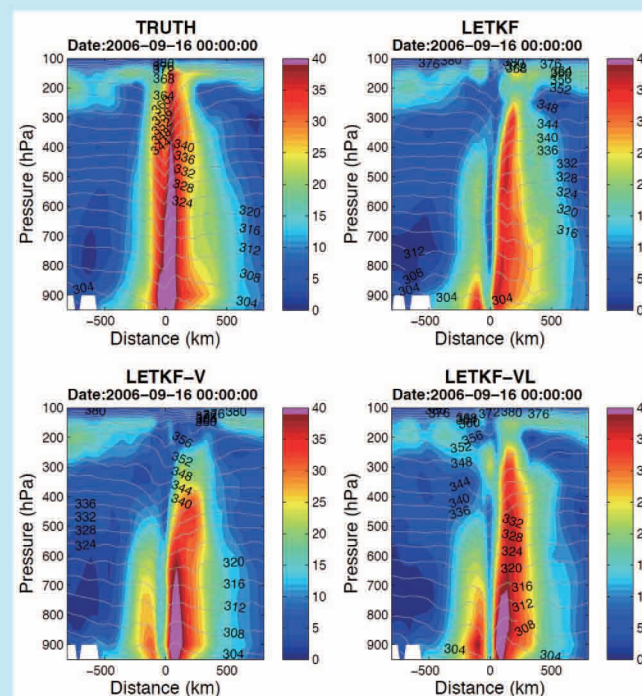


圖24. 由不同LETKF同化方法同化REF及探空所得之風速及溫度垂直剖面。