

總計畫

主持人：黃清勇 教授

- (1) 100 年度核定經費為17,358,000 元，共計支持10 個計畫。大致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、旅次與變更出差地點。
- (2) 100 年度計畫於100/2/19 完成開標並開始執行計畫，於100/3/7 完成開工會議。100/4/22 撥入計畫第一期經費。
- (3) 今年度中心已聘任一名專案助理研究員(黃成勇博士)，另一名專案助理研究員(蔡和芳博士)將於100/8/1 正式起聘。
- (4) 中心空間一案已通過校方空間規劃相關會議，將暫時移至科二館二樓，待教研大樓之完工後(約101 年底)遷至教研大樓。
- (5) 總計畫積極協助NSPO 之TPC 的工作討論及規劃，已由計畫主持人、資料組研究人員及總計畫顧問參加多次工作會議(略)，並將協助8 月舉辦的GPS 資料處理研習會。
- (6) 已於2011 年5 月23 日在中大大氣系舉行本計畫第一次進度會議報告，除邀請由各分項計畫管理人及共同管理人報告目前其工作進度，總計畫並給予意見建議及推動研究之協助，加強互動以使整體工作目標能如期達成。
- (7) 100 年度學者交流訪問計畫經費60 萬元，迄今補助4 位國外學者。除來台短期訪問並參加NSPO 主辦的The 5th COSMIC Data User Workshop，進行論文報告及會議討論，並在邀請單位做專題演講(完整報告於期末提供)，及商討未來雙方研究合作議題、規劃訪問交流事宜。其中 Dr. Seko 受邀但未受補助。

The 5th COSMIC Data User Workshop 暨台美學生國際競賽-相關活動照片：



中央大學合影



太空中心合影



花蓮氣象站合影

- (8) 大眾科普相關活動預計於7/19(二)於中央大學舉辦，初步計畫書已研擬完畢詳細內容如下，對象為10-12 歲國小的小朋友(共40 位)，目前已額滿，活動詳情與報名已放置GPSARC 網站上。



活動海報

結語：

本年度由計畫辦公室來負責所有計畫控管及資料處理技術建置工作，由GPSARC 中心主任負責執行，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，由中心計畫推動國際訪問、交流及長期合作，建置國內GPS 科學教育訓練及技術交流之服務平台。在國際交流上，目前已邀請數人員含 Dr. Lidia (USA NCEP), Dr. Jens Wickert (German GFZ), Dr. H. Seko (Japan JMA), Dr. M. Yamamoto (Japan Kyoto Univ.)，除參加5 月之國際研討會議，進行論文報告及會議討論，在邀請單位做專題演講，及商討未來雙方研究合作議題、規劃訪問交流事宜。在第一次進度報皆已依計畫內容執行完成工作，在國際交流上，計畫辦公室除繼續推動既定內容，亦將再加強推動各分項計畫之規劃活動。

掩星觀測偏折角算子系統測試報告

分項工作管理人：楊舒芝

分項工作共同管理人：黃清勇

a. 局地偏折角觀測算子

我們將先前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(tangent linear model)之檢驗，其準確率可達0.99999992，再檢驗伴隨模式(adjoint model)，其檢驗值分別為9.5500609840177262E-013和9.5500609840177226E-013，此結果已相當精確(電腦位元限制)。

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局地偏折角算子之差異，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EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) ROPP 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1。



圖1. 卡孜基(Kamaegi)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。

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2 (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，兩運算子所得出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。

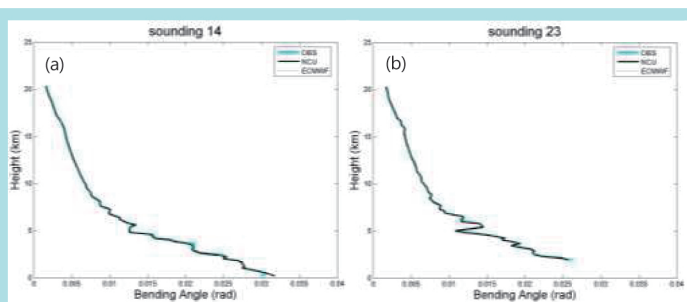


圖2. (a) 單點探空(bfrPrf_C001.2008.197.23.09.G18)，其近地點為(12.790°N,141.802°E)，比較來自TACC 的偏折角資料(OBS)與使用不同向前模式算子(NCU與ECMWF)所得之偏折角垂直分布。(b) 同(a)，但為單點探空(bfrPrf_C004.2008.198.01.48.G29)之偏折角垂直分布，近地點為(20.740°N,148.839°E)。

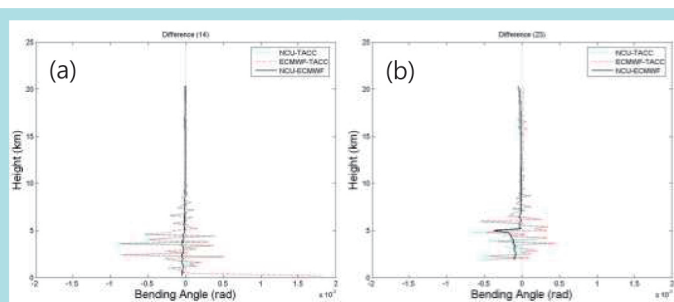


圖3. 同圖2，但為偏折角之差異量垂直分布。

圖3 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3b)。

先期完整的局地偏折角算子測試結果參見上年度的期末報告，完整的同化程式(含adjoint 程式)亦可見於上年度的進度報告，附錄一為此算子的向前模式程式。由前述結果，說明本中心發展之局地偏折角算子之高準確度，因此目前已開始著手將此運算子嵌入WRF VAR 3.2 版及WRF LETKF。

b. 同化系統測試規劃

本年度續延過去研發基礎，在計畫初期已規劃不同的同化系統導入上述局地偏折角算子的時間：

MM5 4DVAR- 目前已將局地偏折角同化算子嵌入，正在測設及改正使通過tangent linear test 及adjoint test。附錄一為MM5 4DVAR 加入此算子的同化程式。預計完整的程式測試及理想資料完成時間約在7 月初，實際導入CDAAC 福衛三號偏折角資料測試約在8 月底，預計9 月中開使進行侵台颱風MM54DVAR 的偏折角同化模擬，並與折射率同化模擬比較。

WRF VAR3.2- 去年部份工作將非局地折射率算子導入WRF VAR3.2 版，目前已完成同化測試，同時查證此版本在同化GPS RO 資料的高度修正。雖然目前已有WRF VAR3.3，為方便整理及測試，本計畫擬將局地偏折角同化算子導入WRF VAR3.2 版。預計7 月中與COSMIC 合作(主要為Dr. Shu-YaChen)，將此局地偏折角同化算子導入，約在8 月中完成嚴格測試，9 月初可開始進行侵台颱風WRF VAR3.2 的偏折角同化模擬。

WRF LETKF- 此為WRF DART 的中大LETKF 自行發展之EnKF 同化系統，目前已順利將局地偏折角同化算子導入LETKF，但同化CDAAC 福衛三號偏折角資料仍需要開發資料導入界面及提供偏折角的觀測誤差，預計8 月底可以順利導入實際資料進行同化模擬評估。

目前掩星觀測局地折射率算子已建立於WRF-LETKF 同化系統中。且各項OSSE 實驗也顯示掩星觀測對於中尺度強對流事件同化與預報有正面的影響。同時利用OSSE 實驗評估新一代掩星觀測(更密集且精確之觀測)對中尺度天氣預報之影響，結果顯示可提昇強降水事件預報之降水強度及對流位置，且此正面影響可維持一天。此外，研究結果也顯示，LETKF 同化系統所使用之多變量相關性，對於修正背景場在中低層大氣之誤差極有幫助。但對高層大氣而言，高精確之掩星觀測對於動力場之修正較無正面幫助，而適合進行溫、濕度場之直接修用。此部份結果將整理於碩士論文中。目前針對2008 年SoWMEX IOP 觀測期間，正在評估真實掩星觀測對中尺度同化及預報的影響。此部份計畫先利用已建立之局地折射率算子進行同化及短期預報實驗。此外，在ETKF 同化系統中，有一優勢為可直接利用非線性觀測算子，無需建立線性化之觀測算子，或其伴隨算子。因此，計畫在WRF-LETKF 系統中直接加入局地偏折角算子，再進一步評估若得以利用更上游之觀測資訊，我們是否能得到更有效之觀測修正量。此外，在我們的初期研究中發現在LETKF 同化系統中，可透過變數局地化(localization of variable)技術控制觀測資訊對於各模式變數之影響。此方法將進一步使用於偏折角觀測與多變量相關性在同化分析上的角色及貢獻。

結語：

第一次進度報告除介紹今年度分項任務有關於同化偏折角資料反演法，由前言與背景說明，在作業考量下，觀測算子仍必須採用所謂的局部偏折角算子，也就是說將反演提供的非局部偏折角當作模式局部偏折角來同化，因此算子是一維的(垂直方向)，相較於非局部偏折角算子(二維的)，在計算過程簡單很多，同時也容易發展平行化程式版本。但相較於局地折射率算子(同化非局地折射率觀測)，局部偏折角算子同化的是更上游的偏折角觀測(反演假設較少)，理論上應較為理想，但因模式仍預假設球對稱的折射率以導出偏折角，局部偏折角算子對分析場的同化效益與局地折射率相較，仍預有待實際導入同化系統後加以驗證。本報告介紹我們自行發展的局部偏折角算子，比歐洲EUMETSAT ROPP(或NCEP GSI)的類似的局部偏折角算子更為精確。這個演算法已完成其tangent linear 算子及adjoint 算子及通過嚴格測誦，已規劃導入於同化系統(如WRF 3DVAR、WRF LETKF、MM5 4DVAR)的完成時間。目前區域模式WRF VAR3.2 已有局地折射率算子，也剛加入非局地折射率算子，若再加上局地偏折角算子，以實務而言，在應用掩星觀測資料已具備足夠的同化模擬工具及開發的自主技術。在基礎研究上，發展完成非局地偏折角算子仍值得進行(IROWG 所建議)，以了解使用局地偏折角算子的同化誤差來源及相對精確度。



高解析度2011年梅雨及豪雨個案分析及模擬成果報告

工作管理人：林沛練

工作共同管理人：簡芳菁、洪景山

高解析度梅雨及豪雨個案分析及模擬成果報告

針對2010年梅雨季期間(2010年5月28日0000 UTC~6月7日1200UTC)，分別以控制組CON及同化GPS資料之實驗組對EC分析場進行各氣象變數之校驗，以探討福衛三號衛星GPS觀測資料數量對區域模式模擬之影響。圖1為2010年梅雨季期間，於第一層網格GPS相對CON於各層的技術得分情況，基本上技術得分可以清楚的顯示實驗GPS對於CON改進或變差的程度。由各層顯示各氣象變數之技術得分有略隨時間增加而上升的情形，其中又以重力位高度場最為明顯，在大部分時間點皆有正貢獻存在。圖2則為第一層網格內每3×3經緯度範圍中GPS RO資料數量與平均技術得分之相關係數，由圖2可見各氣象變數於模擬中、後期大致皆有正相關的趨勢，尤其又以重力位高度場最為明顯，顯示GPS RO資料點數多寡與技術得分之高低有一定的相關性存在，因此於圖1中重力位高度場呈現正貢獻的情形與資料密度有關。

為了解不同區域之GPS RO資料數量與區域技術得分之關係，分別選取小區域(圖3a)及依不同緯度之大區域(圖3b)，來進行探討。由圖4.1-4.3顯示，包含較多GPS RO資料的area2、3，在各層大致有較高的技術得分，又以重力位高度場最為明顯，而大區域涵蓋資料量較多的area7(圖4.4-4.6)也有相同的情形，顯示同化較多的GPS RO資料對於模擬結果有較大之正貢獻存在。

莫拉克(MORAKOT)颱風的三維變分與系集卡曼同化測試

個案介紹

莫拉克(MORAKOT)颱風為2009年8月3日18Z在菲律賓東北方海面生成的第八號颱風，西北太平洋副高約從8月4日開始慢慢增強西伸，因此颱風生成以後受副高南緣的東風駛流引導，向西北西偏西的方向移動並持續增強，圖5為莫拉克颱風路徑圖。8月5日12Z(圖5中綠色線)增強為中度颱風，繼續往西移向台灣東方海面。8月6日18Z莫拉克颱風開始受到地形阻擋及副高駛流作用減弱的影響，速度減慢並轉向西北移動，8月7日16Z在花蓮市登陸，並改為朝北北西方向移動，強度逐漸減弱轉為輕颱，並在8月8日06Z於桃園出海進入台灣海峽北部，而後持續往向北北西移動，約8月9日10Z移進大陸福建，最後於8月10日18Z減弱為熱帶氣旋。由於莫拉克颱風侵台間颱風速度異常緩慢使得台灣陸地受到颱風暴風圈影響的時間延長，受颱風和西南氣流影響，再加上莫拉克颱風西南側的柯尼颱風提供了充足水氣，中南部和東部多處地區雨量刷新歷史紀錄，尤其是8月8日，引發了嚴重水災，多處地區也發生嚴重土石流災害，計有673人死亡，26人失蹤，農業損失超過195億元。莫拉克颱風是2009年強度達到中度颱風等級並帶來嚴重的災情，故選取2009年莫拉克颱風作為本研究的研究個案。

模式設定及實驗設計

1、模式設定

本研究使用的模式版本為WRF v3.1.1、3DVAR使用WRFDA_V3.1.1及EAKF資料同化系統為v3.1版。模式使用單層巢狀網格(圖6)，水平網格點數為301x253，網格間距為15km，垂直使用 σ 座標，共31層，模式層頂為50hPa。模式的初始場使用NCEP AVN資料及模式預報場，並以NCEP GFS全球模式分析場資料作為模式邊界場。

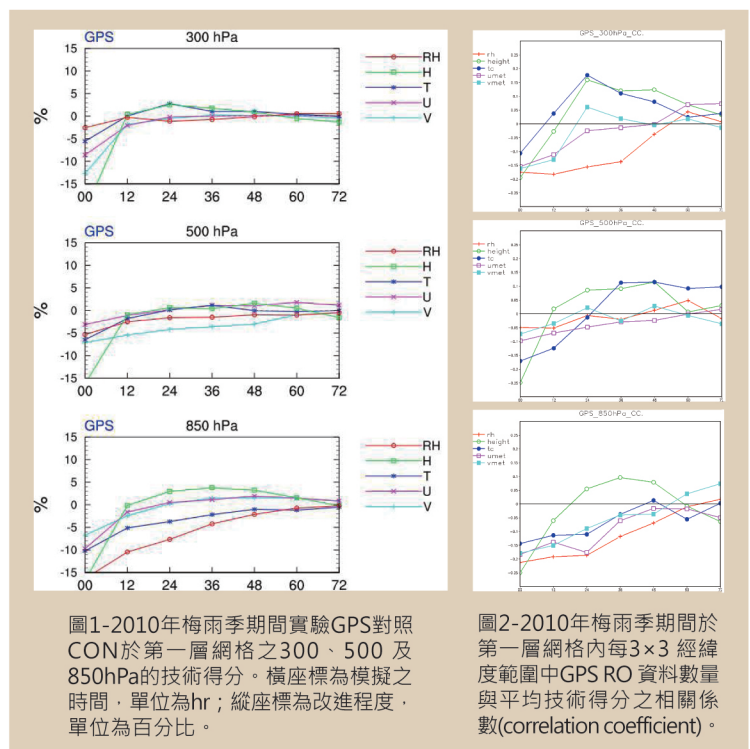


圖1-2010年梅雨季期間實驗GPS對照CON於第一層網格之300、500及850hPa的技術得分。橫座標為模擬時間，單位為hr；縱座標為改進程度，單位為百分比。

圖2-2010年梅雨季期間於第一層網格內每3×3經緯度範圍中GPS RO資料數量與平均技術得分之相關係數(correlation coefficient)。

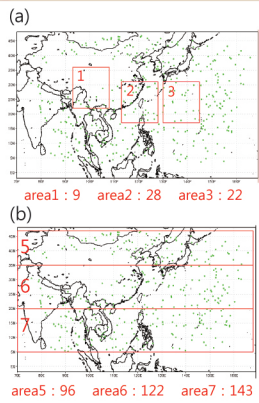


圖3-2010年梅雨季期間於第一層網格內選取的區域範圍及其包含的GPS RO資料點數。(a)、(b)分別小區域(area1~3)及大區域(area5~7)之情形。

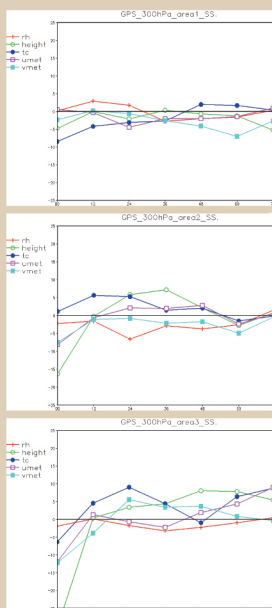


圖4.1-同圖1，但為圖3a之300hPa(area1~3)平均技術得分

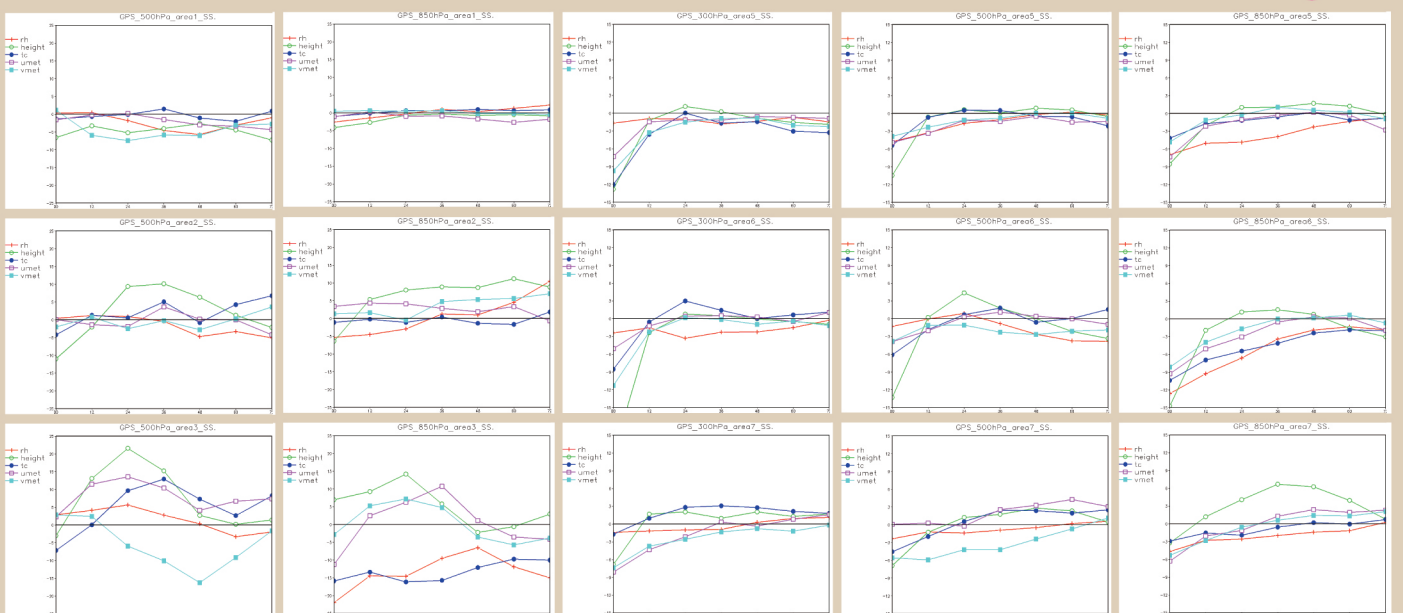


圖4.2 同圖4.1，但為500hPa之area1~3的平均技術得分。

圖4.3 同圖4.1，但為850hPa之area1~3的平均技術得分。

圖4.4 同圖4.1，但為圖3b之300hPa (area5~7)平均技術得分。

圖4.5 同圖4.4，但為500hPa之area5~7的平均技術得分。

圖4.6 同圖4.4，但為850hPa之area5~7的平均技術得分。

本研究採用的物理參數化設定，微物理參數化選用WSM 5-classscheme (Hong et al., 1998 ; Hong et al. 2004)，邊界層參數化設定為YSU scheme (Hong and Pan, 1996)，積雲參數化選用Kain-Fritsch (new Eta)scheme (Kain and Fritsch, 1990, 1993)，長波輻射參數化採用rrtm scheme (Mlawer et al., 1997)，短波輻射參數化採用Goddard short wave (Chou and Suarez, 1994)，近地層參數化選用Monin-Obukhov scheme (Monin and Obukhov, 1954)，地表參數化選用Unified Noah land-surface model (Chen and Dudhia, 2001)。WRF 3DVAR 的設定採用氣象局的設定，背景誤差統計值為NCEP 全球模式所計算出的統計值(CV3)，在資料同化過程中此統計值都是固定不變。EAKF 資料同化系統可隨時間同化當時的可獲得的觀測資料並更新背景誤差統計值，因此EAKF 分析後的分析場較趨近實際大氣狀態。

2、實驗設計

本研究共有四組實驗，以兩種不同的同化系統(即3DVAR和EAKF)同化GTS資料和FORMOSAT-3 GPS RO資料，實驗設計如表1，GTS表示使用WRF 3DVAR同化GTS資料，GPS表示利用EAKF同化GTS和GPS RO資料，GTSe表示使用EAKF 資料同化系統同化GTS資料，GPSe為利用EAKF同化GTS和GPS RO資料，本研究資料同化時間窗區為6小時，也就是採用同化時間前後三小時內的觀測資料來進行同化，GPS RO觀測資料筆數可參考表2。由於NCEP GFS全球模式在2007年5月1日已宣布將FORMOSAT-3 GPSRO觀測資料加入模式的初始場分析，所以本研究取得的NCEP GFS資料已包含GPS RO訊息，因此本研究資料同化的預報實驗設計在前48小時做只同化GTS資料的循環式資料同化，目的為先讓同化系統warm up及削弱NCEP AVN所提供初始場中GPS RO的效力，透過同化系統分析之18後得到最佳初始場，再從8月6日00Z至8月8日12Z每六小時分別以3DVAR和EAKF進行GTS或GPS+GTS的循環式資料同化，且每個資料同化週期(共有11個資料同化週期)都會進行72小時預報，實驗設計概念圖請參考圖7。此外，在EAKF 同化系統實驗中，本研究採用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，採用32組的系集平均進行72小時預報。研究實驗選取2009年8月的莫拉克颱風個案，分析時間為2009080600~2009080812。為了比較四組實驗的預報效益，將EAKF和WRF3DVAR的預報結果與NCEP分析場資料進行校驗，主要以高度場、溫度場、濕度場及風場進行校驗，也將全台382個自動雨量站雨量資料內插到同樣解析度的模式網格點上，驗證預報累積降水量和實際觀測累積降水量。探討FORMOSAT-3 GPS RO 資料在WRF 3DVAR 和EAKF 資料同化系統下對莫拉克颱風預報的效益。

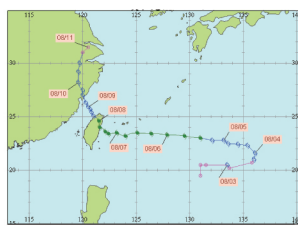


圖5-中央氣象局莫拉克颱風最佳路徑圖。



圖6-本研究模式設定的單層巢狀網格，水平網格點數為301x253，網格間距為15km。

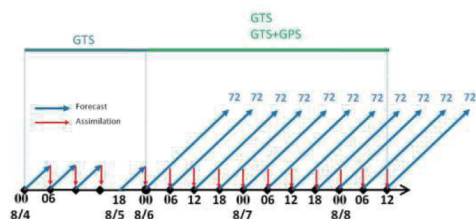


圖7-本研究實驗設計概念圖，藍色箭頭為預報，紅色箭頭為作資料同化。

預報結果討論及統計分析

颱風路徑預報

本研究期望經資料同化後可以得到較佳的初始場以改善後來的預報結果，提高模式預報準確度，首先討論從8月6日00Z至8月8日12Z每間隔六小時的颱風72小時預報路徑及中心氣壓強度。

由初始時間為8月6日00Z的72小時路徑預報(圖8(a))可看到同化系統為3DVAR的預報颱風路徑在約前18小時，GPS比GTS南、較接近最佳路徑，但在後來的預報GPS則比較差，在EAKF資料同化系統方面，因為在這個時間剛好在颱風附近有一筆GPS RO觀測資料，GPSe則因為同化時比GTSe多同化了GPS資料(圖8(a)右上角的小圖)，從預報路徑圖、路徑誤差及中心氣壓強度(圖8(b)及(c))可以發現，GPSe在初始位置明顯比GTSe接近真實颱風位置，改善了150公里，再接下來約40小時內路徑誤差也比較小，且颱風強度略比GTSe強，由此可知，加入GPS RO資料比未加入加強了颱風強度並改善了路徑預報。

在初始時間8月6日06Z的72小時颱風預報路徑圖9中，GPS的72小時內的路徑預報都比GTS佳，48小時的預報路徑誤差可改善達24公里，GPSe預報12小時內路徑誤差也比GTSe改善了5公里，在預報36小時內，有同化GPS RO的颱風強度無論是GPSe或GPS都比未加入GPS RO資料的颱風強度強，可能因為距離颱風中心600到800公里的GPS RO觀測點幾乎都在颱風東南方海面上，且增強了颱風強度。而在下一個資料同化週期預報(圖10)GPS RO觀測位置和颱風的距離都超過500公里，因此，此同化週期的GPS RO效益小，GTS和GPS由於前一個同化週期的6小時預報場還不錯造成這個同化週期的72小時預報路徑誤差持續在200公里以下，GPS又比GTS好，從圖10(b)GPSe在預報12小時的路徑誤差比GTSe少5公里，但隨著預報時間愈久路徑誤差越大，另一方面GPSe預報的颱風移速較快，所以和最佳颱風路徑誤差比GTSe大。

隨著颱風慢慢往西移向台灣本島，颱風外圍開始受到地形影響，初始時間為8月6日18Z和8月7日00Z資料同化週期的GPS RO觀測位置離颱風中心距離都不在500公里內(可參考圖11、圖12、表2)，但同化8/6 18Z在颱風東南方海面大約600公里的GPS RO觀測應可稍微改善初始時間颱風位置，再加上GPS之前同化週期累積的GPS RO效益依然存在，長時間的路徑預報誤差增大為300公里，GPSe則因GPS RO觀測位置遠改善幅度小，在初始時間誤差只比GTS少8公里且颱風移速較快造成往後預報路徑誤差都比較大，此外，由於GPSe預報的颱風移速比較快導致颱風強度比較快受到地形阻擋效應而減弱，因此在預報30小時以後(圖11(c))反而GPSe比GTSe接近實際颱風強度。

圖13為初始時間為8月7日06Z的颱風72小時預報路徑、路徑誤差及氣壓誤差圖，圖13(a)右上角小圖中可清楚看到此時GPS RO資料筆數少且距離颱風超過500公里，但在颱風東南方海面上有一筆觀測約距離颱風600公里，雖然四組實驗受GPS RO影響小，但此微弱影響和之前的同化週期GPS RO的效益仍使GPS預報路徑誤差和颱風強度在預報30小時內比GTS好，且GPSe的強度也增強並接近實際颱風強度。初始時間為8月7日12Z的資料同化週期(圖14)，在GPS RO資料影響小的情況下，GPSe預報的颱風在登陸前仍持續增強直到受到地形破壞後出海，而出海位置與觀測位置接近，誤差約16公里，而雖然GPS在預報36小時誤差比GTS小，但GPS和GTS預報的颱風路徑都北偏了。8月7日18Z受到(圖15)受到颱風西北方約500公里RO觀測影響，GPSe和GPS預報颱風的預報路徑皆有改善，上一個資料同化週期GPS預報6小時的颱風路徑誤差約100公里，同化後和實際颱風位置誤差變為65公里，GPSe則在出海後比GTSe靠近最佳路徑。

初始時間為8月8日00Z的資料同化週期中可以看到台灣東南方海面上的RO觀測(圖16(a)右上角的小圖)修正了GPS的颱風強度及路徑，但之後因為颱風登陸本島使預報路徑誤差變大，不過GPSe預報的颱風強度一直增強直到颱風登陸中國大陸才減弱，造成颱風於台灣本島出海後GPSe預報路徑誤差都小於GTSe，尤其在預報間為36小時。由於8月8日06Z及12Z的颱風預報路徑(圖17和圖18)只有GTS最接近實際觀測，因此雖然在台灣東北邊或東南邊有RO觀測資料，但其影響小無法修正GPSe及GPS的預報路徑，但可以發現使用EAKF資料同化系統再分析後增強了GTSe和GPSe預報的颱風強度，同樣的在初始時間為8月8日12Z的DA周期中預報颱風中心氣壓誤差圖中也可看到此情形。

將8/6 00Z到8/8 12Z(共11個資料同化週期)每個3DVAR資料同化週期的72小時颱風路徑預報及颱風最佳路徑圖(圖19、圖20)中可看出每個同化週期的早期路徑預報，GPS較GTS接近最佳路徑，但在預報中後期，GPS預報到的颱風位置離實際觀測的颱風路徑較遠。在每個EAKF資料同化週期的72小時颱風路徑預報及颱風最佳路徑圖(圖21、圖22)中也可看出加入GPS RO資料讓颱風移速比較快，使颱風往西北方向移動較快，離觀測位置較遠，造成GTSe比GPSe在路徑預報上比較準確。比較圖19至圖22，發現使用經3DVAR分析後的初始場預報得到的颱風路徑比較偏最佳路徑的右側，使用EAKF分析後的預報颱風路徑則偏向最佳路徑的左側，使用EAKF同化技術同化完GTS抑或GPS後的路徑預報在預報前期都比3DVAR分析完後的預報路徑來得接近觀測路徑，預報後期GPSe和GTSe皆比GPS和GTS差。

接下來，將四組實驗每組11個資料同化週期72小時的颱風路徑誤差作平均(圖23)，顯示無論是只同化GT 還是有多同化GPS，72小時內的平均颱風路徑預報誤差都隨預報時間而增加，GPS在預報前24小時的平均路徑誤差比GTS小，預報24小時的平均路徑誤差GPS比GTS少約9公里(表4)，但在36小時之後GPS相較於GTS路徑誤差則變大，預報72小時的平均路徑誤差可相差高達83公里，從圖8-圖18中也可以看到除了後來受到地形阻擋颱風預報路徑北偏外，其他時間的資料同化週期GPS所預報的颱風路徑大部分都因同化GPS RO資料而受到改善。而GPSe則和GPS RO觀測距離颱風相對位置較敏感，由圖8-圖18中可看出颱風尚未登陸前，若GPS RO資料距離500公里內影響較大，超過800公里就幾乎沒影響了。而且，從平均路徑預報誤差圖(圖23)中也可清楚看到除了初始時間GPSe誤差較大外，在預報前48小時內，使用EAKF資料同化系統無論是同化GTS或GTS加GPS RO資料，都比3DVAR好。從8月6日00Z至8月8日12Z每隔六小時的颱風中心氣壓強度圖(圖8-圖18每張圖的(c))，也能發現無論是只同化GTS還是多同化了GPS RO資料，也不管GPS RO觀測距離颱風的相對距離遠近，同化更新後約6個小時的颱風強度預報都是增強的！由平均預報颱風中心低壓誤差圖(圖24)也可發現，使用EAKF所預報出的颱風強度在前24小時內都比較接近颱風實際觀測強度，GPSe在預報前12小時比GTSe接近真實颱風強度，GPS的平均預報中心氣壓誤差在預報30小時內也稍微比GTS小。

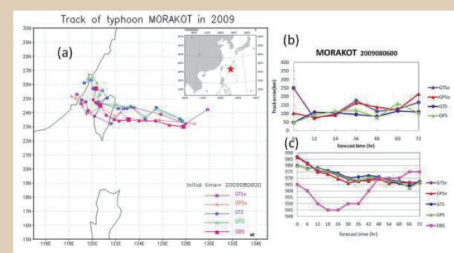


圖8-初始時間為8月6日00Z的(a)72小時颱風預報路徑圖，圖中每六小時標記一點，洋紅色線的JMA的最佳颱風路徑圖，紫色線為GTSe，紅色線為GPSe，藍色線為GTS，綠色線為GPS。右上角的小圖內為此時間的GPS RO觀測資料點的位置，星號處為當時JMA颱風中心真實位置。(b)72小時內的預報路徑誤差，單位為公里。(c)颱風中心隨預報時間的變化，單位為百帕。

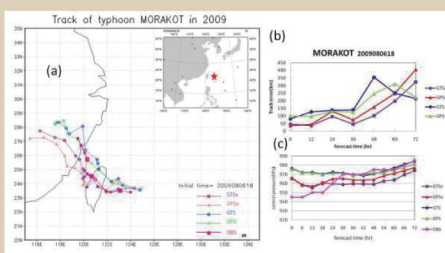


圖11-初始時間為8月6日18Z的(a)72小時颱風預報路徑圖，圖中每六小時標記一點，洋紅色線的JMA的最佳颱風路徑圖，紫色線為GTSe，紅色線為GPSe，藍色線為GTS，綠色線為GPS。右上角的小圖內為此時間的GPS RO觀測資料點的位置，星號處為當時JMA颱風中心真實位置。(b)72小時內的預報路徑誤差，單位為公里。(c)颱風中心隨預報時間的變化，單位為百帕。

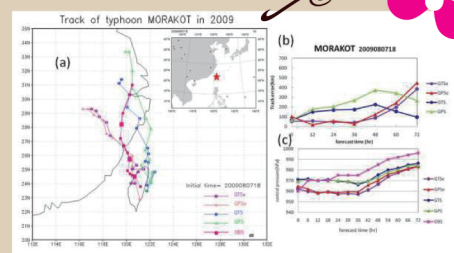


圖15-初始時間為8月7日18Z的(a)72小時颱風預報路徑圖，圖中每六小時標記一點，洋紅色線的JMA的最佳颱風路徑圖，紫色線為GTSe，紅色線為GPSe，藍色線為GTS，綠色線為GPS。右上角的小圖內為此時間的GPS RO觀測資料點的位置，星號處為當時JMA颱風中心真實位置。(b)72小時內的預報路徑誤差，單位為公里。(c)颱風中心隨預報時間的變化，單位為百帕。

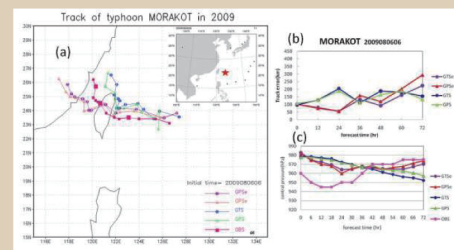


圖9-初始時間為8月6日06Z，圖說同圖8。

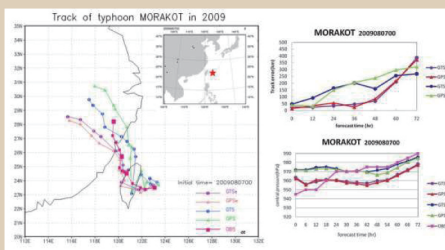


圖12-初始時間為8月7日00Z，圖說同圖11。

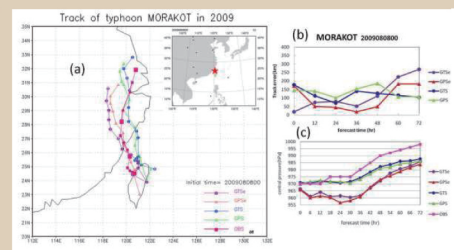


圖16-初始時間為8月8日06Z，圖說同圖15。

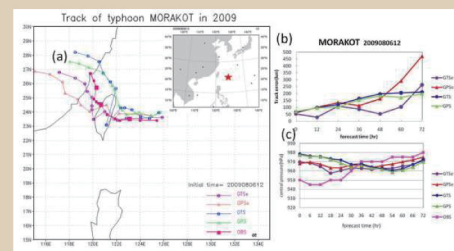


圖10 初始時間為8月6日12Z，圖說同圖8。

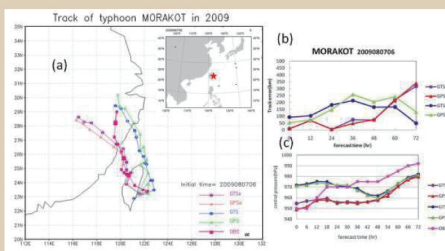


圖13-初始時間為8月7日06Z，圖說同圖11。

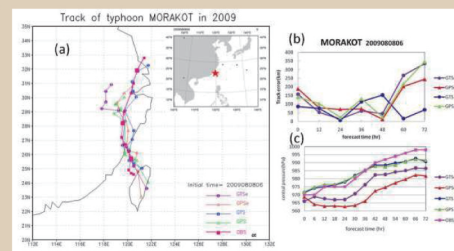


圖17-初始時間為8月8日06Z，圖說同圖15。

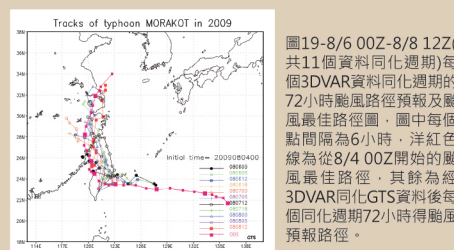


圖19-8/6 00Z-8/8 12Z(共11個資料同化週期)每個3DVAR資料同化週期的72小時颱風路徑預報及颱風最佳路徑圖，圖中每個點間隔為6小時，洋紅色線為從8/4 00Z開始的颱風最佳路徑，其餘為經3DVAR同化GTS資料後每個同化週期72小時得颱風預報路徑。

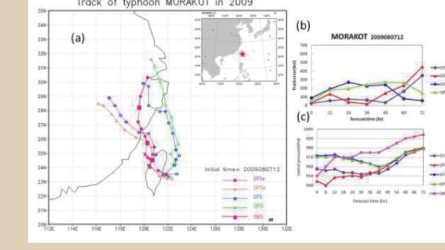


圖14 初始時間為8月7日12Z，圖說同圖11。

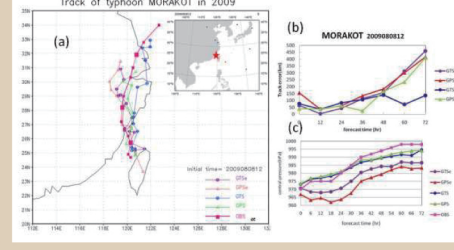


圖18-初始時間為8月8日06Z，圖說同圖15。

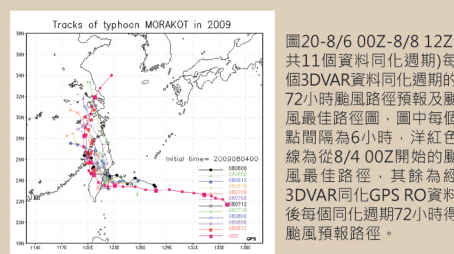


圖20-8/6 00Z-8/8 12Z(共11個資料同化週期)每個3DVAR資料同化週期的72小時颱風路徑預報及颱風最佳路徑圖，圖中每個點間隔為6小時，洋紅色線為從8/4 00Z開始的颱風最佳路徑，其餘為經3DVAR同化GPS RO資料後每個同化週期72小時得颱風預報路徑。

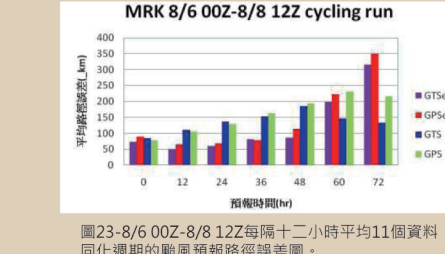


圖23-8/6 00Z-8/8 12Z每隔十二小時平均11個資料同化週期的颱風預報路徑誤差圖。

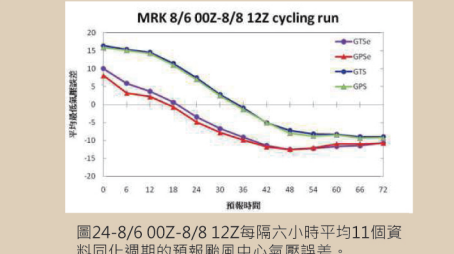


圖24-8/6 00Z-8/8 12Z每隔六小時平均11個資料同化週期的預報颱風中心氣壓誤差。

全球大氣垂直結構分析報告(I)

工作管理人：王國英

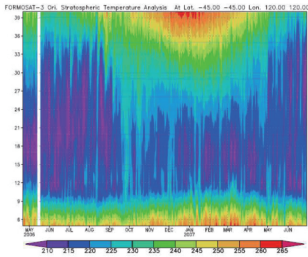


Figure 1. A time-series of temperature profiles at 45 degree S from F3C for the period Apr 2005-Jun 2007.

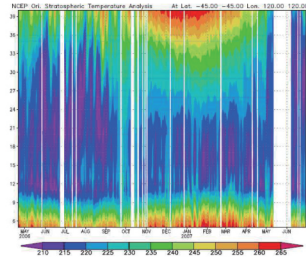


Figure 2. A time-series of profiles of temperatures from NCEP analysis for the period Apr 2006-Jun 2007.

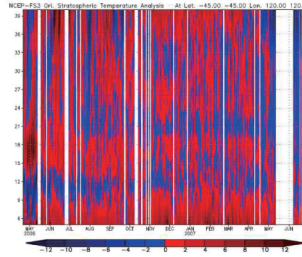


Figure 3. Profiles of temperature differences $DT (T(NCEP)-T(F3C))$ for the period Apr 2006-Jun 2007.

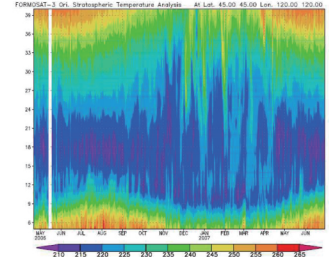


Figure 4. A time-series profiles of temperatures in the 45 N for the period Apr 2006-Jun 2007 from F3C.

Figure 1 shows profiles of temperatures at 45 degree S (Southern Hemisphere mid-latitude) from F3C.

Figure 2 shows similar temperature profiles but taken from NCEP meteorological analysis. The general structure of these two analyses resemble to each other. However, a more detailed difference can be found when we compute the difference between NCEP analysis and F3C RO profiles (Figure 3). Here we found that NCEP produces warmer temperatures in the troposphere and upper stratosphere (in altitudes higher than 36-km altitudes). Wave structures of these differences are seen in the vertical.

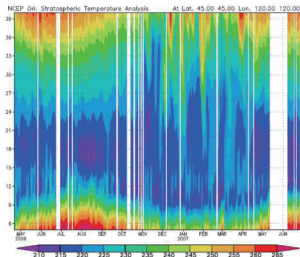


Figure 5. A time-series profiles of temperatures for the 45 degree N from NCEP analysis for the period Apr 2006-Jun 2007.

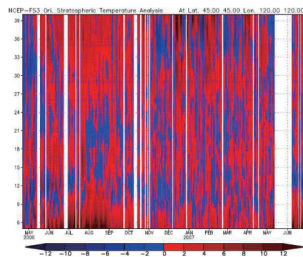


Figure 7. Profiles of temperature differences $DT (T(NCEP)-T(F3C))$ at 45 degree N for the period of Apr 2006-Jun 2007.

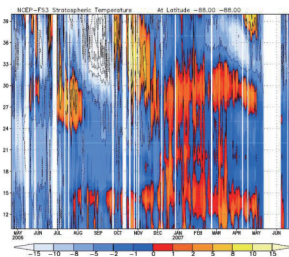


Figure 8. Profiles of temperature difference $DT (T(NCEP)-T(F3C))$ for the Southern Hemisphere polar latitude (88 degree S) for the period Apr 2006-Jun 2007.

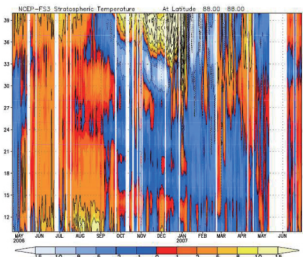


Figure 9. Profiles of temperature differences $DT (T(NCEP)-T(F3C))$ for the Northern Hemisphere polar latitude (88 degree N) for the period Apr 2006-Jun 2007.

Figure 5 shows profiles of temperatures at 45 degree N from F3C, while Figure 6 shows profiles of temperature differences at the same latitude but taken from NCEP meteorological analysis. The patterns of annual temperature variations between these two data sets resemble to each other.

However, if we compute the difference $DT=T(NCEP)-T(F3C)$, we found the differences exist from the surface up to 40-km altitude. The NCEP analyses show warmer temperatures in the troposphere and summer-time upper stratosphere than the F3C observations.

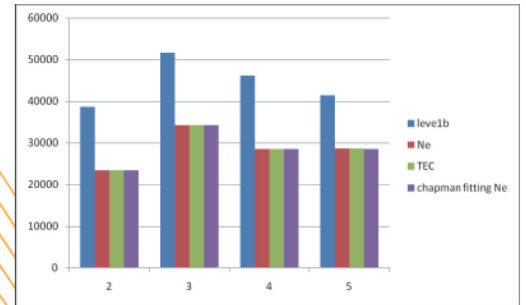
Figure 8 compare profiles of temperature differences for the Southern Hemisphere (SH) polar latitude (88 degree S) for the period Apr 2006-Jun 2007. We found that the SH winter polar vortex is much cooler from the NCEP analysis than the FC3 profiles. On the other hand, the summer SH high latitude is generally warmer in NCEP than in F3C.

Figure 9 shows profiles of temperature differences $DT (T(NCEP)-T(F3C))$ for the Northern Hemisphere (NH) polar latitude of 88 degree N for the period Apr 2006-Jun 2007. In this analysis we found that NH polar region appear to be warmer in NCEP than in F3C during the NH late spring, summer, and early fall months. On the other hand, temperatures in the NH polar vortex from NCEP are cooler than those from F3C in the altitudes between 15 and 33 km altitudes.

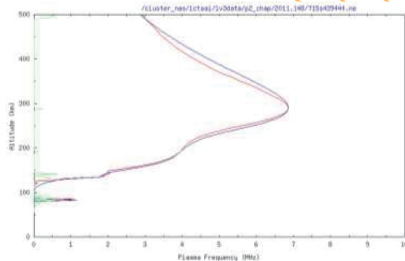
全球電離層全電子含量(太空) 天氣監測模式系統測試報告(I)

工作管理人：蔡龍治

- ◆ 收集TACC 機構之level1b 的ionPhs 資料2011 年2-5 月共177862筆。
(2月共38692筆，3月共51602筆，4月共46162筆，5月共41406筆)
- ◆ 自主反演結果：
- ◆ 2010年2-5月間共114978筆TEC (Total Electron Content)的資料。
(2月共23473筆，3月共34320筆，4月共28537筆，5月共28648筆)
- ◆ 2010年2-5 月間共114943筆Ne 資料。
(2月共23471筆，3月共34312筆，4月共28525筆，5月共28635筆)
- ◆ 2010年2-5 月間經Chapman function fitting 資料共114905筆。
(2月共23465筆，3月共34301筆，4月共28516筆，5月共28623筆)



圖一、各月資料量圖。

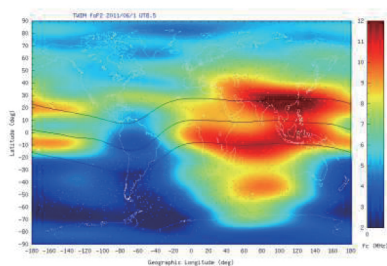


圖二、垂直Ne 剖面資料經Chapman function fitting 結果，紅色線為原始Ne 剖面、藍色線為Chapman function fitting 結果、綠線為兩者差異。圖中可見運用Chapman function fitting 我們得除了在明顯分層處有良好的結果，在厚度較薄(80km 處)與Ne 變化微小(130km 處)處皆能確實的擬合。

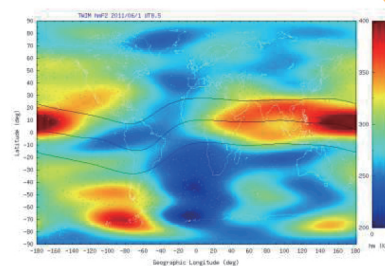
- ◆ 已完成2011 年2 月1 日至2010 年5 月31 日(太陽日32 至151 日)之臺灣自主全球電離層數值模式。其提供電離層各層之峰值濃度(fc)，峰值高度(hm)與其標尺高(H)共計18 項參數，如下表所示：

fo, hm, H of F2 layer			fo, hm, H of F1.5 layer			fo, hm, H of F1 layer		
c0	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8
fo, hm, H of E layer			fo, hm, H of D layer			fo, hm, H of F3 layer		
c9	c10	c11	c12	c13	c14	c15	c16	c17

- ◆ 於本實驗室網站上提供以臺灣自主全球電離層數值模式模擬的當日當時全球F2 層峰值電子濃度與高度的分佈圖。如圖三、圖四。

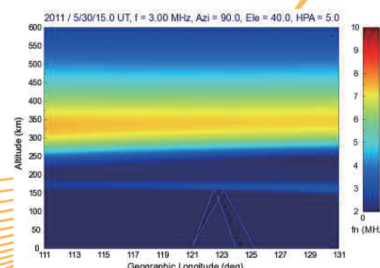
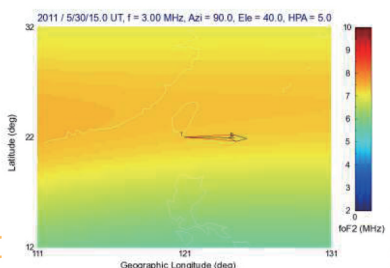


圖三、2011/06/01 全球標準時8.5 時F2層峰值電子濃度分佈圖。



圖四、2011/06/01 全球標準時8.5 時F2層峰值高度分佈圖。

- ◆ 建立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系統。



- ◆ 收集TACC機構之champ /level1b的ionPhs資料(太陽日2006年091日至365日，2007年001日至254日)以增加臺灣自主全球電離層數值模式之基礎資料量。

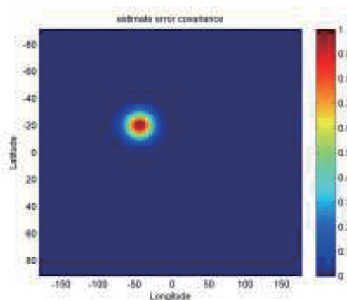
電離層(太空)氣候模式技術報告(I)

工作管理人：陳明桂

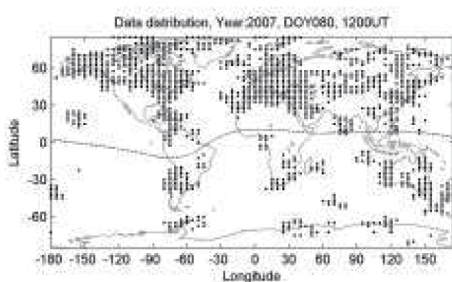
分項工作共同管理人：林建宏

本計畫所用的電離層太空監測系統，是將GPS之TEC資料以Kalman filter法同化於IRI，對每一個GPS資料點都選用相同的測量誤差共變異數矩陣(measure error covariance matrix)與預估誤差共變異數矩陣(estimate error covariance matrix)，其中測量誤差共變異數矩陣是單位矩陣(unit matrix)、預估誤差共變異數矩陣為高斯狀分佈。

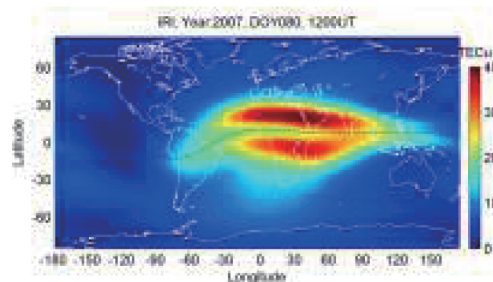
圖一所示為資料點在經度-35°，緯度-17.5°處所呈現之預估誤差共變異數。我們以2007年3月21日每隔一小時的GPS TEC資料同化於IRI，其UT=12:00~UT=13:00資料分布如圖二，原始的IRI模式之GIM、GPS資料同化之結果、二者的差異分布，分別顯示於圖三、圖四與圖五。



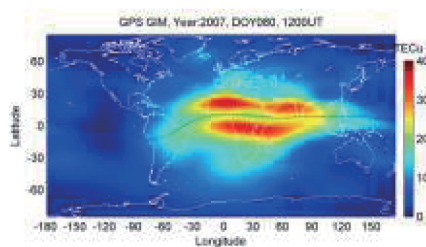
(圖一)



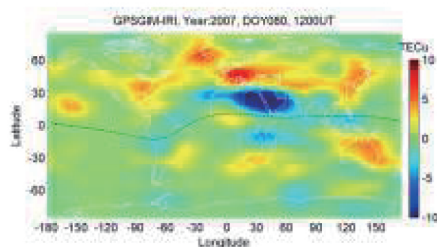
(圖二)



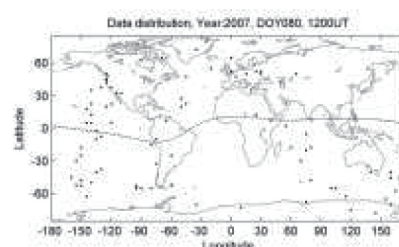
(圖三)



(圖四)



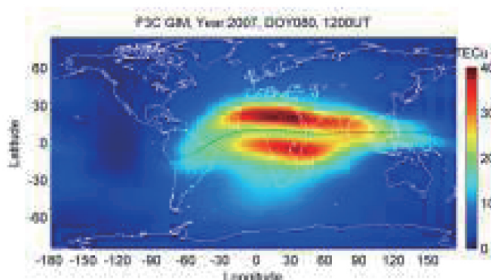
(圖五)



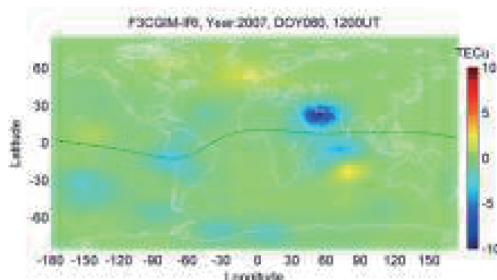
(圖六)

由圖五之比較結果顯示在赤道異常區(EIA)之原始IRI估算高於GPS觀測。

雖然在一小時內之福衛三號提供的TEC資料觀測量遠少於GPS所提供的，但由於福衛三號之觀測點分布相當均勻(圖六)，以此資料同化於IRI亦呈現不錯的GIM(圖七)。用福衛三號資料同化的結果也顯示原始IRI模式提供之TEC，在赤道異常區有明顯高估(圖八)。



(圖七)



(圖八)

三維電離層電子濃度反演技術報告(I)

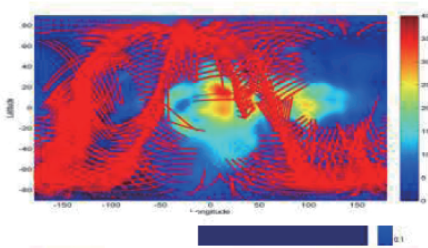
工作管理人：陳明桂

分項工作共同管理人：林建宏

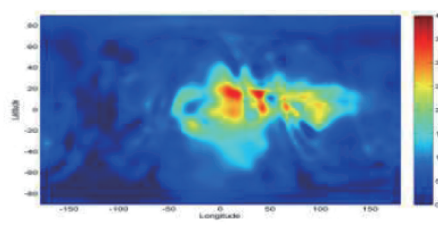
在本季我們用MAGIC同化系統將福衛三號之2007年3月21日掩星全電子含量同化於IRI，掩星路徑每隔10秒取樣，平均一小時內約共取15000~20000個掩星TEC 資料同化於電離層模式，圖九所示為UT=12:00至UT=13:00間所選用的路徑投射於地面之分布圖。圖十是資料同化結果之電離層TEC，其相較於原始IRI之TEC，顯示此三維資料同化法未能有較好的結果。MAGIC同化系統原設計用於同化地面GPS觀測之高仰角TEC(slant TEC)，因此對於低仰角之福衛三號掩星TEC資料，目前可能尚不適用。

本計畫之OSSE模擬福衛三號全電子含量觀測，作電子濃度反演的程序已經準備完成。我們用福衛三號之0和1號天線(圖三)所提供衛星位置，對電離層模式作OSSE，計算掩星絕對TEC，其目的是為研究如何增進電子濃度之反演精確度。為此，我們對各種電離層模式作OSSE計算掩星絕對TEC，再以Abel反演法求得之電子濃度。(圖四)為4筆不同時間不同位置在各高度上之電子濃度分布，藍曲線是福衛三號之GOX提供，綠線是IRI 模式之電子濃度，黑線是經MAGIC同化系統之電離層模式的電子濃度，紅線是有用資料同化之電離層模式作OSSE再由Abel反演所得。此結果顯示(1)目前的MAGIC系統所構造之電離層模式，會造成電子濃度下降(黑線與綠線之比較)，(2)只要經由Abel反演之電子濃度(紅線、藍線)

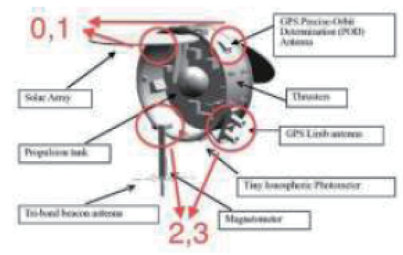
在低層(100km 以下)之電子濃度會過小，甚而是不合常理的負值。



(圖一)

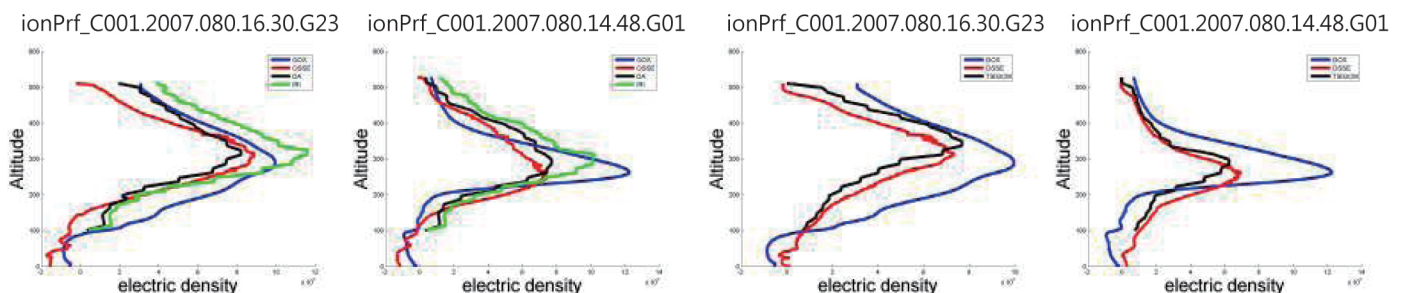


(圖二)



(圖三)

由於目前的MAGIC系統尚同化正確的用福衛三號掩星資料做同化處理，我們擬改用TIE-GCM同化系統，並對其所建立之電離層模式作OSSE。我們目前先行對未經資料同化處理之TIE-GCM電離層模式做OSSE，其結果經Abel反演之電子濃度(紅線)，以(圖五)呈現其與福衛三號之GOX 資料(藍色)、原始TIE-GCM之電子濃度(黑線)三者的比較。針對TIE-GCM之電離層模式，Abel反演OSSE之電子濃度(紅線)在100km至300km間的造成電子濃度增高(相較於黑線)。



(圖四)

(圖五)

電離層掩星資料反演技術報告(I)

工作管理人：朱延祥

分項工作共同管理人：蘇清論

1. 電離層簡介

早在1839年，C. F. Gauss猜測地磁場強度的微小擾動應源自於大氣層中的電流。1860年，Lord Kelvin推測大氣層中應存在一導電層(conducting layer)以產生地磁場的擾動。1882年，Balfour Stewart提出「發電機理論」(Dynamo Theory)。他認為當游離氣體存在於大氣層中的導電層時，受到拖曳力而跨越磁力線運動將會產生電場與電流。隨後，A. Schuster等人試圖發展出此理論模型，然而對此導電層的形成原因、物理機制、化學成分、高度與厚度等特性仍是未知的。1900年，J. J. Thomson發現電子，依據此新興的原子科學和物理理論，確立了此導電層的特性逐漸被廣泛的研究方向與討論。1901年，G. Marconi使用了400英尺長的天線，在英國發射高頻無線電波(500Hz)，在同年12月12號首次收到跨越大西洋地電波傳播(over-the-horizon communication)。反射理論被提出用來解釋遠距離的傳播。1902年，A. E. Kennelly與O. Heaviside推測在大氣層上方可能存在具更足夠電子含量的導電層可以反射無線電波使得長距離電波傳播能成功。因此導電層被命名為「Kennelly-Heaviside Layer」。1903年與1906年，J. E. Taylor與J. A. Fleming推測導電層中的游離氣體是由中性氣體受太陽遠紫外線(EUV: Extreme Ultra Violet)輻射游離而產生。然而，在當時的科學界他們的理論並沒更被廣泛地接受。1924年，Appleton與Barnett無線電波的干涉實驗證實了導電層的存在並且可以反射無線電波。至此，電離層物理的領域正式揭開了序幕。1925年，Briet與Tuve 發明了脈波雷達可以測量導電層的高度，這是第一次人類得以測量大氣層中導電層的位置。1926年，R. A. Watson-Watt首次提出了「電離層」這個術語來描述大氣層中的導電層。在未來的幾年間，「電離層」被大多數的學者所接受而取代了數十年來所使用的導電層。

由於大氣層中的中性氣體分子及原子受到太陽輻射(如遠紫外線、X-ray)和來自宇宙中的宇宙射線等輻射而游離成帶正電之離子和帶負電之電子，形成了物質的第四態電漿態(plasma)，包含原來未游離的中性分子和中性原子即形成電離層；其高度的涵蓋範圍自地表數十公里至幾千公里高度，也視為大氣層中外圍的球層。

從Kelly[1989]、Rishbeth and Garriott[1969]和Davies[1965]電離層的特徵介紹中，能夠整理分成下面幾項描述：

- (1) 電離層是高層大氣的一部分，介於50km~500km(或是800km)，由許多層組成電離層的主體。
- (2) 電離層由足夠多的電子和離子所組成，這些電子和離子的產生是由於太陽輻射中性大氣造成光化游離作用，或者是離子和電子在結合過程中產生。
- (3) 電離層當中擁更中性大氣、各種離子和電子，其中離子和電子受到電場和地球磁力線的控制。
- (4) 電離層擁更足夠的自由電子，影響電磁波的傳播，並且引領著遠距通訊的應用。
- (5) 電離層屬於層狀結構，可分成D、E、F1 和F2層，各層的型態和結構會隨著日夜、季節、緯度、太陽活動等因素變化，圖1為典型中性大氣和電離層的分層結構圖，圖2為中緯度地區電離層電子濃度隨高度變化圖，原本的F層更細分出F1層和F2層。

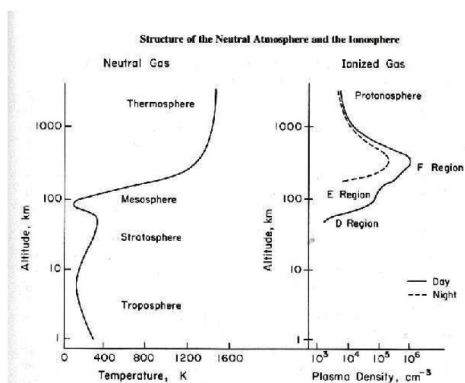


圖 1

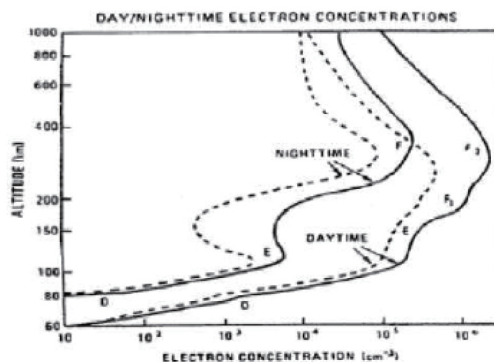


圖 2

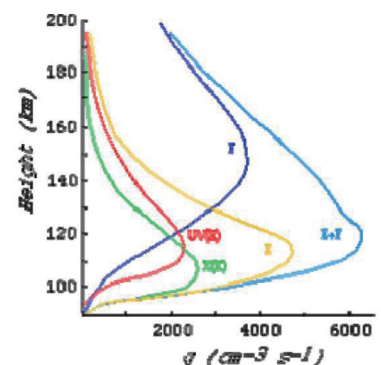


圖 3

2. 電離層結構

電離層的高度分層依電子濃度垂直剖面可分為D層(高度約為55~90公里)、E層(高度約為90~140公里)與F層(高度約為140公里以上)，其中F層為電離層在白天時又可分為F1層(高度約為140~220公里)與F2層(高度約為220公里以上)。

(a) D層

D層高度介於55~90公里處，一般D層電子濃度峰值高度位於80~85km處。太陽輻射大部分都被高層大氣的中性粒子所吸收，會穿透並且影響D層的太陽輻射主要為兩種：Lyman- α 射線(波長121.6nm)和X射線(波長<10nm)，Lyman- α 射線能游離一氧化氮(NO)，X射線能游離各種中性大氣氣體，X射線又和太陽活動週期更關，太陽活動強則X射線強，太陽活動弱則X射線弱。除了這兩種射線之外，宇宙射線(cosmic ray)也是D層產生自由電子的重要因素。因為宇宙射線的能量非常高，造成宇宙射線碰撞中性粒子，產生主要的離子和電子，而主要的離子和電子依然更足夠的能量造成第二次的碰撞，產生電子和離子，因而造成低層D層主要的形成原因，但是自由電子生成時間非常短，很快地又跟離子去做結合，所以沒辦法長時間維持D層的存在。因為自由電子和中性粒子的碰撞頻率非常高，通常電子會去附著在中性粒子上面，形成帶正電的離子。另外，波長介於102.7nm~111.8nm的太陽輻射，也能夠離化激發態的氧分子 $O_2(^1\Delta_g)$ ，但是數量不是很多。總結，主要產生電離層D層自由電子的射線，是由於Lyman- α 射線能游離一氧化氮(NO)和X射線能游離各種中性大氣氣體。因為D層日間受到太陽輻射影響，所以維持穩定的電子濃度，並在80~85公里處更峰值產生；夜間沒更太陽輻射照射，所以電子濃度急速下降，幾乎沒更電子濃度，完全受到太陽輻射控制。季變化則在於夏季和秋季濃度大於冬季和春季。

(b) E層

E層高度介於90~140公里處，一般E層電子濃度峰值高度位於110km處。經由觀測現象顯示E層是最符合查普曼理論的結構，因此E層電子濃度形成機制，主要是太陽光化游離效應所造成，消失機制是因為分解再結合的過程。大致上來說，太陽輻射造成E層產生自由電子的波段，主要可以分為三個波段：(1)X射線(<14nm)，(2)14~79.6nm，(3)UV(79.6~102.7nm)。如圖3所示，電離層E層電子產生率主要貢獻來自於X-ray和UV，X-ray能離化各種中性大氣，UV可以離化NO、O、O₂、H。其中波段14~79.6nm在電離層F層時，已經被吸收了大半，所以在電離層E層電子產生率貢獻量相對較小。如果將X-ray和UV的電子產生率貢獻量相加，會發現在110km處會更一個峰值，再加上波段14~79.6nm的貢獻，則在120km處會更一個峰值。另外將電子消失率考慮進去，E層符合 α 查普曼層，電子濃度剖面圖預符合 α 查普曼層的狀況。

(c) F1層

F1層高度介於140~220公里處，一般F1層電子濃度的峰值高度位於160~180之間，中緯度地區發生F1層的機率相對較大。F1層形成和太陽輻射更絕對的關係，但是圖3顯示，除了E和F層的峰值並沒更其他明顯的峰值狀態，所以F1層的形成原因必須將消失機制考慮進去。F1層的形成是由於產生機制和消失機制平衡關係所造成，在F1層主要產生電子濃度是由於大氣離子和數量的比例變化，多代表是由 β 查普曼層主導，多代表是由 α 查普曼層主導，F1層受到太陽輻射影響出現在日間，正午過後達一天的最大值，日落後離子快速地與電子結合，所以夜間F1層消失。

(d) F2層

F2層高度位於220km以上，一般F2層的峰值高度位於250~400公里處，會隨日夜、緯度、季節而不同。F2層除了要考慮產生機制和消失機制之外，另外擴散效應(diffusion effect)在F2層十分重要。白天時，電子自F2層向上擴散至protonsphere；夜間，電子自protonsphere向下流入F2層，補充夜間的F2層，所以即使夜間，沒更太陽輻射，無法經光化游離作用產生自由電子，仍然更自protonsphere沉降的自由電子來維持夜間F2層的存在，所以protonsphere可以視為電子儲存區。F2層更明顯的日夜變化，在日間電子濃度最大值發生在下午兩到三點間，最小值發生在太陽升起前，夜間F2層依然存在。日間F2峰值高度較夜間F2峰值高度低；F2層季節變化，一般而言，春秋季值最高，冬季次之，夏季最小；F2層緯度上的變化，固定一經度線而言，在地磁赤道附近受到由西向東電場影響，造成B $\times$ E一向上的電子濃度抬升，受重力影響沿磁力線方向沉降，使得電子濃度峰值位於地磁南北緯20度附近，在地磁赤道區域更一谷值，此現象稱為赤道異常現象(Equatorial Anomaly Phenomenon)，如圖4所示。

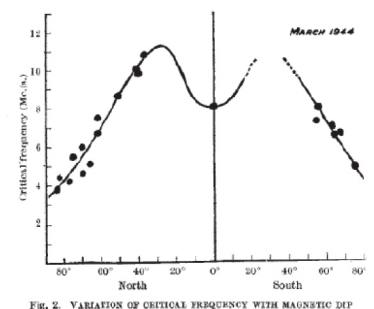


FIG. 2. VARIATION OF CRITICAL FREQUENCY WITH MAGNETIC DIP

圖 4

3. 查普曼層理論(Chapman Theory)

3.1 查普曼層理論

S. Chapman [1931a,b]提出中性氣體能夠被太陽輻射經光化游離作用產生離化氣體。離化氣體包含電子和離子，將會以層狀結構存在。這項理論首先合理的解釋地球大氣中離化層的形成機制。

查普曼理論假設如下：(1)太陽輻射是單色。(2)地球大氣為單一成份。(3)大氣溫度均勻分佈。(4)大氣是層狀結構分佈。查普曼理論的推導根據流體靜力方程(hydrostatic equation)和理想氣體定律(ideal gas law)，互相代入藉由各種假設計算可得：

$$q(\chi, h) = \frac{p \cdot S_{\infty}}{H \cdot e} \cdot \sigma \cdot n_0 \cdot H \cdot e \cdot e^{-\frac{h}{H} - \sigma \cdot n_0 \cdot e^{-\frac{h}{H}} \cdot \sec \chi \cdot dh}$$

其中Z是虛高(reduced height)， $Z = \frac{h - h_0}{H}$ 。

根據上式， q/q_0 對Z作圖，可得圖6。

由圖6可以發現電子產生率隨高度更層狀結構的現象。隨著太陽天頂角的不同，會發現電子產生率最大值和其高度(peak-height峰值高度)會隨之改變。當太陽天頂角為0度時，電子產生率為最大，但峰值高度卻是最低；當太陽天頂角越大時，電子產生率隨之減少，但峰值高度卻隨之增加。此種類型的層狀結構，是根據(16)式得來，又稱為查普曼層(Chapman layer)，查普曼理論為構成電離層層狀結構的重要理論。

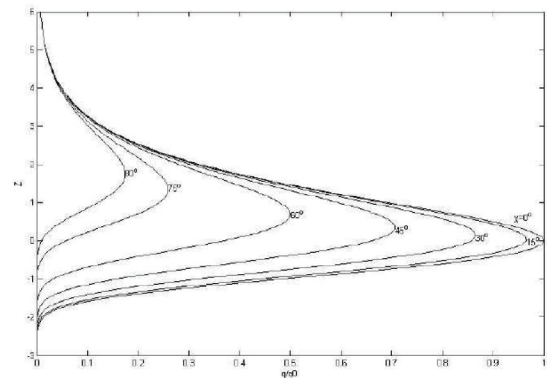


圖6 虛高與電子產生率關係圖。縱軸代表虛高，橫軸代表電子產生率(q/q_0)，不同的曲線代表不同的太陽天頂角所對應之關係。

3.2 查普曼層的應用

查普曼理論用於處理因為太陽輻射過程，所造成電子產生率之層狀結構。在應用查普曼層理論之前，電離層中的電子產生和消失率應該先被探討。基本上，電離層中電子消失率可以整合成四種類型如下：

- (1) 輻射再結合過程(radiative recombination)
- (2) 分解再結合過程(dissociative recombination)
- (3) 三體再結合過程(three-body recombination)
- (4) 離子再結合過程(ion-ion recombination)

除了上述這四種過程，電子附著(attachment process)在中性粒子的過程也是很重要的消失機制，然而這個過程只在D層比較重要，E和F層皆可以忽略。在電離層中電子消失率，分解再結合過程扮演了一個重要的角色。

因為電離層中氧原子是主要的氣種，所以氧原子的產生過程和消失過程顯得十分重要。氧原子的化學反應式能被以下兩個過程描述：

- (1) O^+ 的產生
- (2) O^+ 的消失

經計算後，將查普曼理論(Chapman theory)和連續方程(continuity equation)結合可得下式，針對下式進行討論：

$$\frac{\partial N[e^-]}{\partial t} = q - \frac{\gamma N[XY] N^2[e^-]}{\gamma N[XY] + \alpha N[e^-]}$$

(1)在低層電離層，電子濃度小而中性大氣粒子濃度大，在此種狀況下，電子消失率和 $N [e]$ 成比例。

在化學平衡的狀態下，在低電離層當中，計算結果此類型的查普曼層，稱之為 α -Chapman layer。

(2)在高電離層中，電子濃度大而中性大氣粒子濃度小，在此種狀況下，電子消失率成比例。

在化學平衡的狀態下，在高電離層當中，計算結果此類型的查普曼層，稱之為 β -Chapman layer。

4. GPS Radio Occultation演算方法與原理

利用人造衛星無線電波掩星技術探測地球大氣的思想是在20世紀60年代由JPL首先提出的[Fishbach,1965;Lusignan, 1969]。由於當時的技術和經濟條件的限制下，所以遲遲不能實施此計劃。直到克服了種種障礙，美國和前蘇聯各自都籌建了自己的全球定位系統Global Position System(GPS)和Global Orbit Navigation Satellite System (GLONASS)，提供利用掩星技術探測地球大氣和電離層之條件，因此，更時也把該技術統稱為Global Navigation(GNSS)掩星技術。1993年UCAR、亞歷桑納州大學和JPL聯合制定GPS Meteorology (GPS/MET)計畫，於1995年4月3日的成功發射了此計劃的第一顆實驗衛星---MicroLab1。自此之後，展開了GPS Occultation技術探測地球大氣和電離層的開端，為相關的研究機構和研究人員提供了更多的觀測資料；從觀測方法的觀點來看，也增加了觀測方法的多樣性。

COSMIC計畫的六顆低軌道衛星上主要儀器是每顆衛星上的GPS接收器(GOX)，用以接收GPS衛星訊號。低軌道衛星位於約八百公里高，GPS衛星在二萬公里左右的軌道，而且軌道面和軌道傾角也不相同，造成彼此間的相對位置會一直改變。GPS衛星的訊號傳到低軌道衛星，時而被地球擋住而斷訊，時而無阻地順利傳達。這與我們在地球上早上看到太陽昇昇照耀，黃昏看到夕陽落到地球的另一面而看不見一樣，只是經由六顆福爾摩沙三號衛星來看二十四個GPS衛星時，「星出(GPS Satellite rising)」、「星落(GPS Satellite setting)」現象就非常頻繁，且發生的方位在各角落都更。「掩星(Occultation)」的意義就是低軌道衛星接收GPS的訊號的過程，當GPS的訊號穿越電離層和大氣層時，就會提供機會來量測電波訊號的折射，進而可反演推算出電離層的電子密度與大氣層的溫度、壓力與水汽等隨高度變化的剖面。

4.1 偏折角(bending angle)

- (A) 光學路徑和Bouguer's Law
- (B) 都卜勒平移(Extra Doppler Shift)
- (C) 計算偏折角

4.2 Abel transform-偏折角和折射指數

- (A) Abel transform 的推導
- (B) 折射指數和電子濃度

4.3 Abel transform-全電子含量和電子濃度

GPS 載波的頻率，不論L1(1.57 GHz)或L2(1.22 GHz)頻段在電離層變化最激烈的狀態下，由電離層與大氣層所造成的偏折角度是相當微小的。當GPS信號通過電離層而產生偏折角度的傳播路徑，與直線的傳播路徑差距約是數公里的等級，此偏折距離遠小於電離層電子濃度對垂直高度的高度尺度(scale)。即使在白天或太陽極大時，F層(偏折角度最大的高度範圍)其偏折角度都非常的小[Schreiner et al., 1999]。在電離層中反演電子濃度方法的修正，可直接將偏折角度忽略，假設直線為其傳播路徑，計算路徑上的全電子含量(Total Electron Content，以下簡稱TEC)。然而L1與L2的傳播路徑更很小的偏差，因此所求得的TEC亦更些許的差距。但由於假設以直線為其傳播路徑，故L1與L2訊號的傳播路徑是相同的，因此L1與L2所得到TEC的誤差亦可忽略。

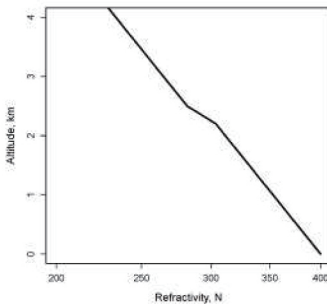
結語：

本計畫針對電波掩星法電離層反演部分，目前完成基本理論的了解、自行推導與建立，接下來將針對所推導的理論，進程式的撰寫與資料的代入，建立電離層E層與F層的反演分析。

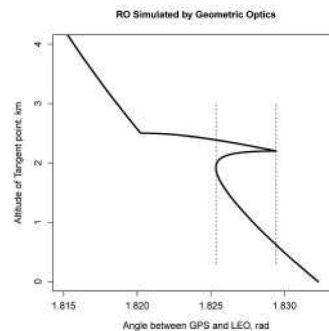
大氣層掩星資料反演技術報告(I)

工作管理人：黃成勇
分項工作共同管理人：蔡和芳

圖二為模擬的折射率剖面，在2.2到2.5公里處標高(scale height)為4公里，其他高度為8公里，此剖面設定了大氣邊界層存在於2.2到2.5公里之間，目的除了在於模擬邊界層外，同時也探討多路徑對掩星觀測訊號的影響。圖三說明如果以簡單的幾何光學模擬掩星訊號，兩衛星在地球的夾角與訊號路徑切點高度的剖面圖。圖上顯示在1.8255到1.8295度之間，兩點線中間的區域，單一夾角相對應到不同的三個高度，此代表同一低軌道衛星可同時收到來自三個不同路徑的訊號，亦即所謂的多路徑區域。模擬結果顯示大氣邊界層的存在，會造成底下多路徑效應。

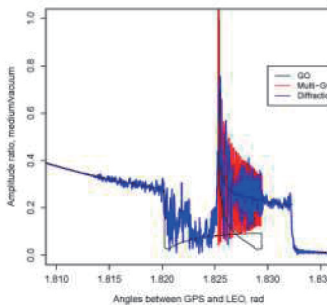


圖二
折射率剖面，大氣邊界層於
2.2-2.5 公里處。

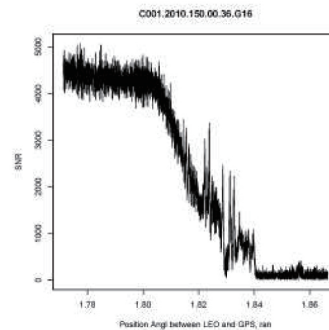


圖三
衛星夾角與掩星路徑切點高
度關係圖，兩虛線間為多路
徑區域。

圖四為利用繞射理論模擬出來的掩星訊號與幾何光學模擬出來的比較圖。黑色線為單存的幾何光學模擬結果，紅色線為將LEO在同一位置的幾何光學模擬訊號相加的結果，紅色為繞射理論的模擬結果。從模擬的結果與圖五掩星觀測資料的SNR比較，可以發現由繞射理論模擬出來的結果，與觀測結果相當類似，由模擬出來的ABL訊號變化趨勢，恰與圖五夾角1.83度相當類似。由繞射理論也同時模擬出當低軌道衛星進入訊號陰影區時的訊號變化趨勢。



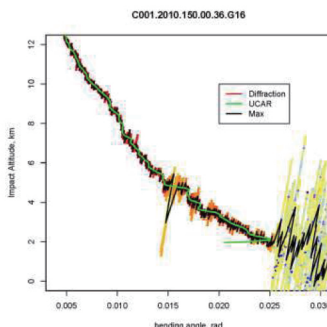
圖四
掩星訊號震幅模擬比較圖。



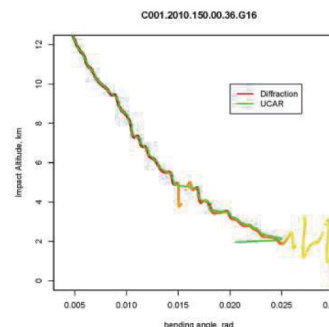
圖五
掩星事件訊號SNR 圖。

圖五顯示由三種方法模擬出來的訊號相位反演出impact高的結果，黑色為幾何光學，紅色為多路徑幾何光學，藍色為繞射理論模擬出來的結果。由繞射理論模擬出來的結果相當符合觀測到的掩星相位資料。

圖七和圖八本中心自行發展的偏折角反演方法所反演的成果，黑色以及由紅色以及黃色混合而成的曲線為本中心反演出來的結果，綠色線為UCAR反演的結果。圖七為在未使用任何濾波或平滑(smooth)工具下得到的結果，圖八為經由一輕微的平滑工具得到的成果。由圖上可以看出，由我們方法得到的偏折角大致上一致，在偏折角0.015度(大氣邊界層)上則尚有差異。UCAR目前對多路徑效益尚未有完善的方法求解，而我們也將進一步請圖改進偏折角剖面。



圖七
掩星訊號震幅模擬比較圖。



圖八
掩星訊號震幅模擬比較圖。

近即時定軌技術報告(I)

工作管理人：黃金維

分項工作共同管理人：趙 丰

The NRT POD includes the space-based LEO POD processing and the ground-based GPS processing. The space-based processing is responsible for the precise orbit determination of LEO. The ground-based processing is responsible for estimating all station zenith tropospheric delays and high-rate GPS satellite clocks through analyzing the observations of the ground IGS stations. The observations can be obtained from Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS). Experimental solutions are carried out using the GPS ultra-rapid ephemeris and Earth rotation parameters from CODE and high-rate (30 sec) GPS clocks from the ground-based processing. The reduced-dynamic method based on zero-differenced GPS phases with ionosphere free linear combinations is used to compute the NRT orbit of the F3/C satellites (Fig. 1).

The computer hardware is the Linux PC Cluster with high efficient disk array and high speed network, and the automatic processing system for the F3/C POD is based on the Linux job scheduler and Bernese Processing Engine (BPE) of Bernese 5.0 with the Perl programs and shell scripts. It is important for the automatic NRT POD processing procedure of the F3/C that with a latency of less than two hours after the NRT POD observations and NRT attitudes have been released. In order to reduce time latency, we have developed an automatic NRT POD processing system in NCTU. Fig. 2 shows this system under a Linux/PC cluster, including some of the files of perl and shell scripts. The NCTU NRT orbit is also compared with the UCAR (University Corporation for Atmospheric Research) NRT orbit, which is currently used in the F3/C atmospheric applications. Table 1 shows the RMS differences between these two orbits.

Table 1: RMS between the NCTU and UCAR NRT orbit on DOY 68~70, 2011

FM/DOY	068_3D RMS	069_3D RMS	070_3D RMS	MEAN_FM
				3D RMS(068~070)
FM1	0.132	0.111	0.119	0.121
FM2	0.141	0.552	0.133	0.275
FM4	0.133	0.270	0.209	0.204
FM5	0.056	0.073	0.065	0.065
FM6	0.031	0.076	0.063	0.057
MEAN_DOY	0.099	0.216	0.118	0.144

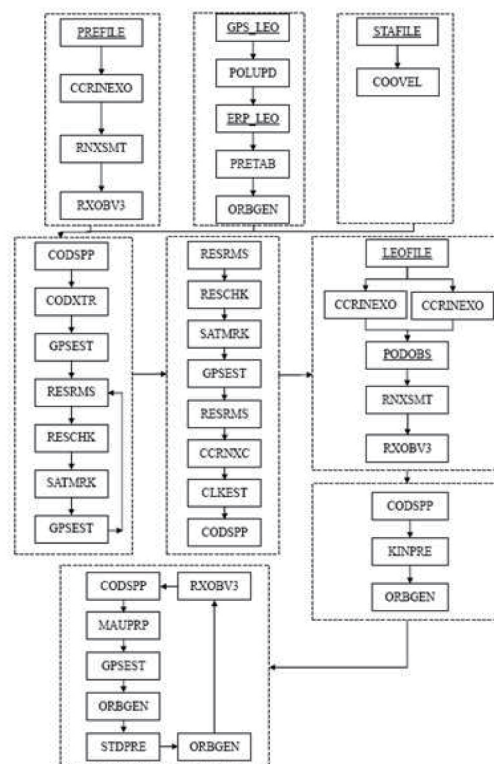


Fig. 1: Procedure of near real-time orbit generation for F3/C (Bernese 5.0)

重力場低階係數 J_2 和 J_3 的長期變化可以用於研究和解釋地幔滯彈性和冰後回彈問題。 J_2 和 J_3 的周期和短周期變化與固體地球、海洋和大氣的潮汐和非潮汐變化以及季節變化有關。 J_2 又稱為重力扁率，因而從 J_2 的變化可以了解到地球內部或表面質量的重新分佈、大氣質量的改變、地下水位的變化、地幔流動方向及地球內部密度的變化等。科學家利用衛星資料及SLR資料發現低階地位係數的變化投入研究地球重力場之時變，尤其是 J_2 在一年當中都有規則的變化，而且每年都有減小之趨勢，如Cox and Chao(2002) 於Science期刊中分析1979年到2001年之SLR資料，發現1979~1997， J_2 呈現穩定的下降，Yoder et al.(1983)首次利用5年的Lageos-1衛星的SLR跟蹤觀測資料研究 J_2 的長期變化。Cheng et al. (1989)利用3年的Starlette衛星的SLR觀測資料，研究了 J_2 的長期變化以及 J_2 和 J_3 的周年和半年變化。Cheng et al.(1997) 對Starlette，Lageos 1 and 2，Ajisai，Etalon 1 and 2，Stella和BE-C等8顆大地測量衛星的20年的SLR跟蹤資料進行分析。一般來說， J_2 有季節性的變化，夏季變大冬季變小， J_2 為負說明地球動力學形狀變得越來越圓，而 J_3 為負表明地球的梨形增強(郭金運, 2004)。

地球重力場帶諧項與引力位係數之間的關係(Kaula, 1966)為

$$J_n = -C_{n0} = -\sqrt{2n+1} \bar{C}_{n0}$$

C_{n0} 為非規格化球諧係數； $\bar{C}_{n0}$ 為完全規格化球諧係數。

吾人在本研究中將使用Bernese 軟體來嘗試建立處理SLR 觀測資料流程並進行時變重力場求解，未來福衛七號若能加裝SLR 反射稜鏡，則可提供其軌道驗證及時變重力場之研究。

The characteristic of the gravity field at regional scale such as Central Asia may not be well-represented by the global gravity solution such as GRACE L2B. We attempt to enhance the temporal and spatial resolutions of the regional gravity field, 10 days and 200 km, respectively. We use Energy Balance approach with Newton law of gravitation to solve for the mass. An example shows the ground track on March 10, 2005 over South America region, the Geopotential different shows that the KBR ranging is attracted by the hydrology signal. Fig. 3 shows the recovered regional gravity field over South America region in 2005.

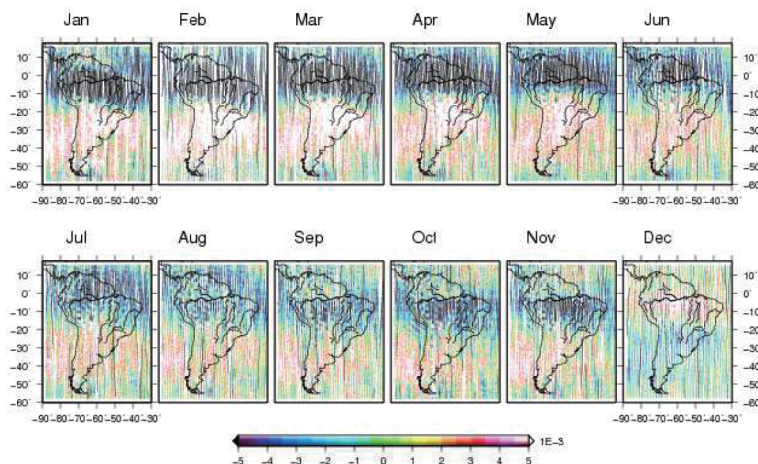


Fig. 3 Regional gravity recovery over South America region in 2005

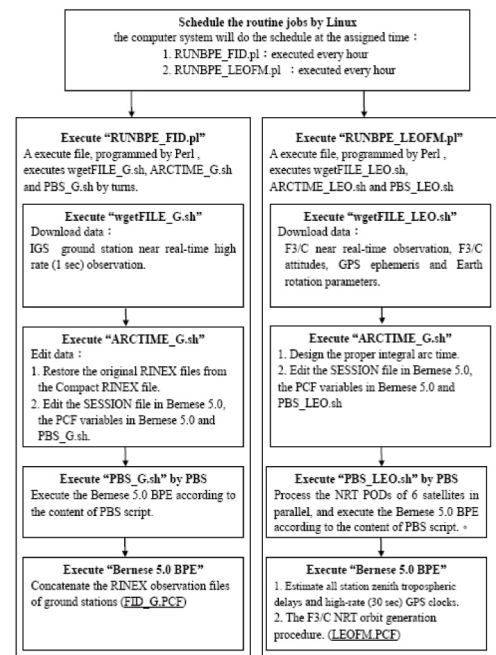


Fig. 2: A processing system of automatic NRT POD for the F3/C mission under a Linux/PC cluster.