

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：

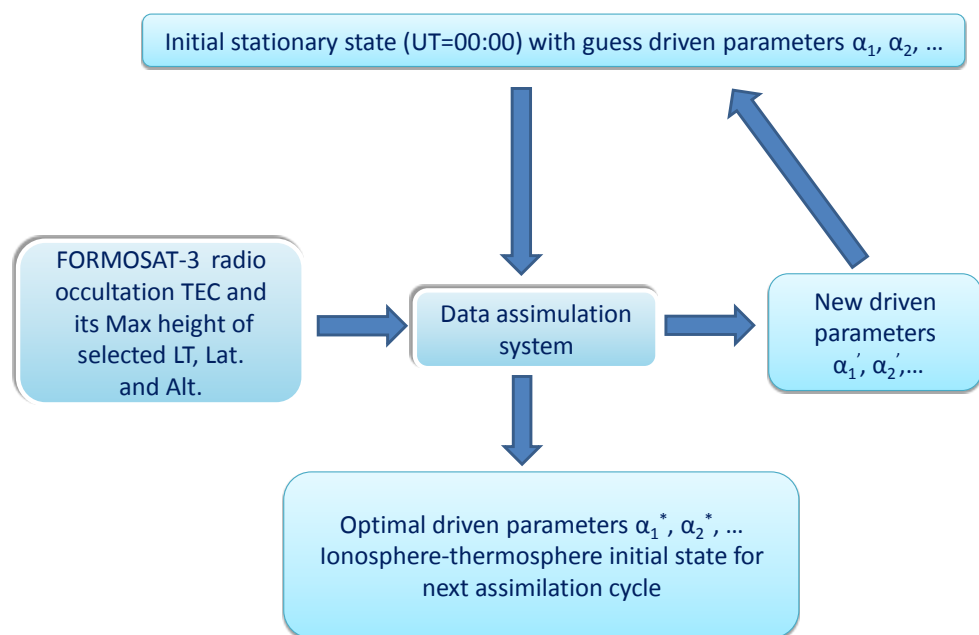
$$J_1[n_e(n_0, \alpha)] = \sum_{t_k} \sum_{\theta_k} \sum_{\varphi_k} \sum_{h_k} [TEC_{TIE-GCM}(n_e(n_0; \alpha), \theta_k, \varphi_k, h_k, t_k) - TEC_{calibrated\_COSMIC}(\theta_k, \varphi_k, h_k, t_k)]^2$$

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

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

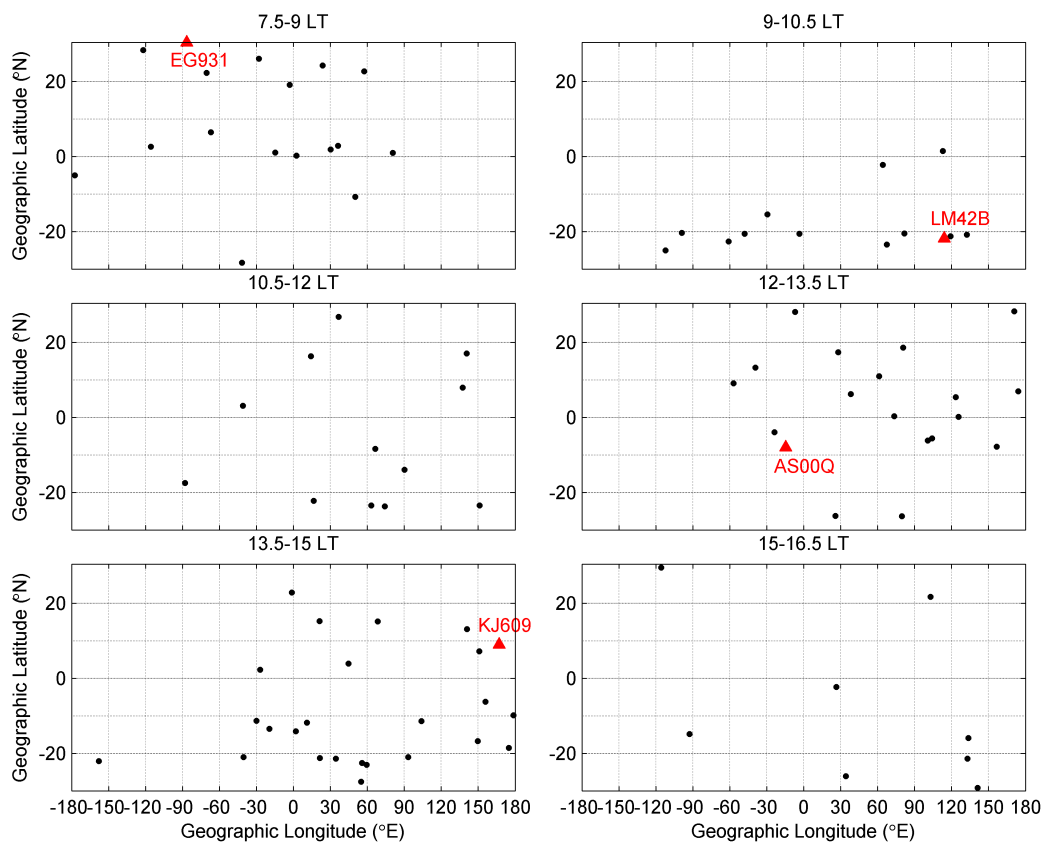
子濃度，因此改變的模式高層電子濃度，會造成模式 OTEC 與觀測 OTEC 之主要差異，無法同化低層 OTEC 資料達到參數最佳化。目前對於 OTEC 資料的同化，我們選用其切點高度範圍為 250-450 km，位置分布限制在低緯度區(南北緯 30 度之間)，掩星發生的當地時間限制為 07:00~17:00LT 之間。本次報告將針對 2008 年春分(第 80 日，處於地磁寧靜日)進行資料同化，經由調整 TIE-GCM 模式的參數，建構低緯度區的電離層模式。FORMOSAT-3 掩星資料同化於 TIE-GCM 模式的方法流程，如圖一所示。



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

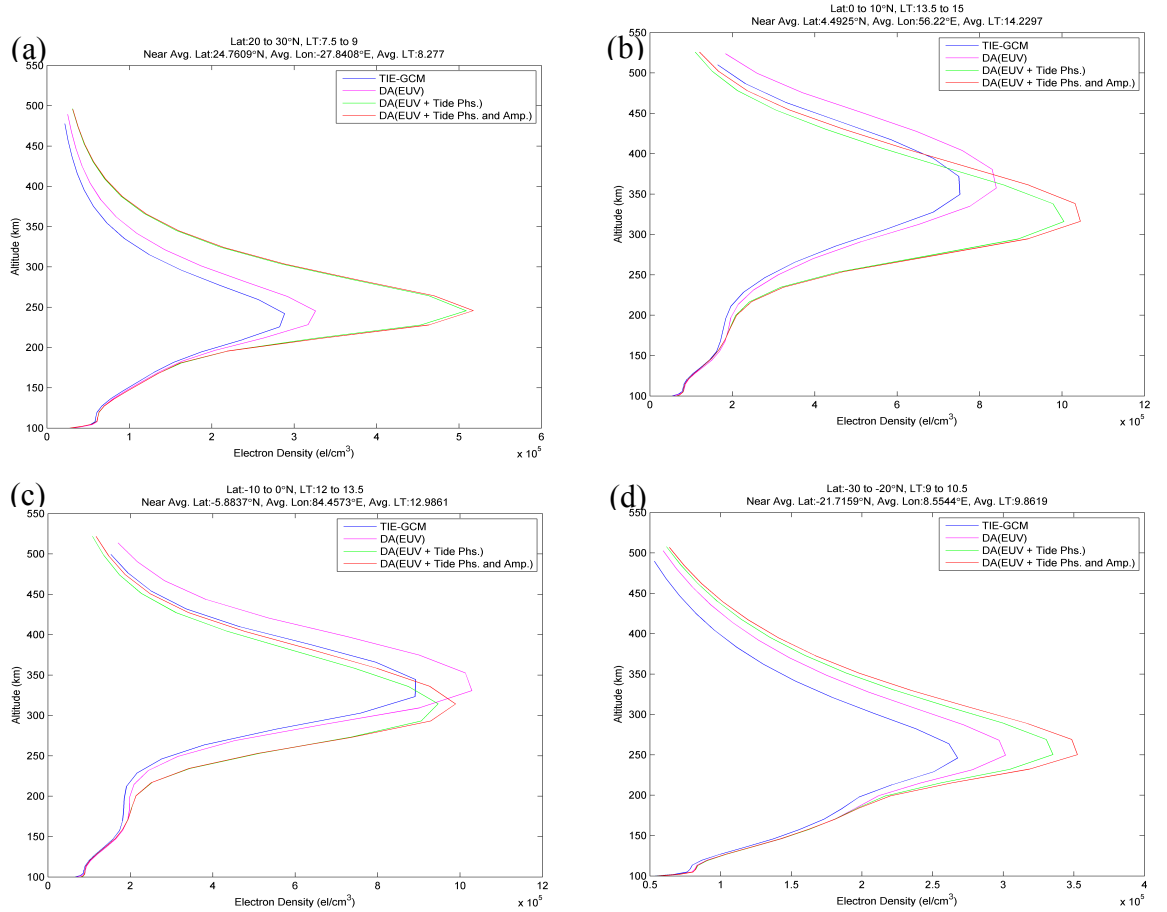
表一、ionosonde 站之經緯度.

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。

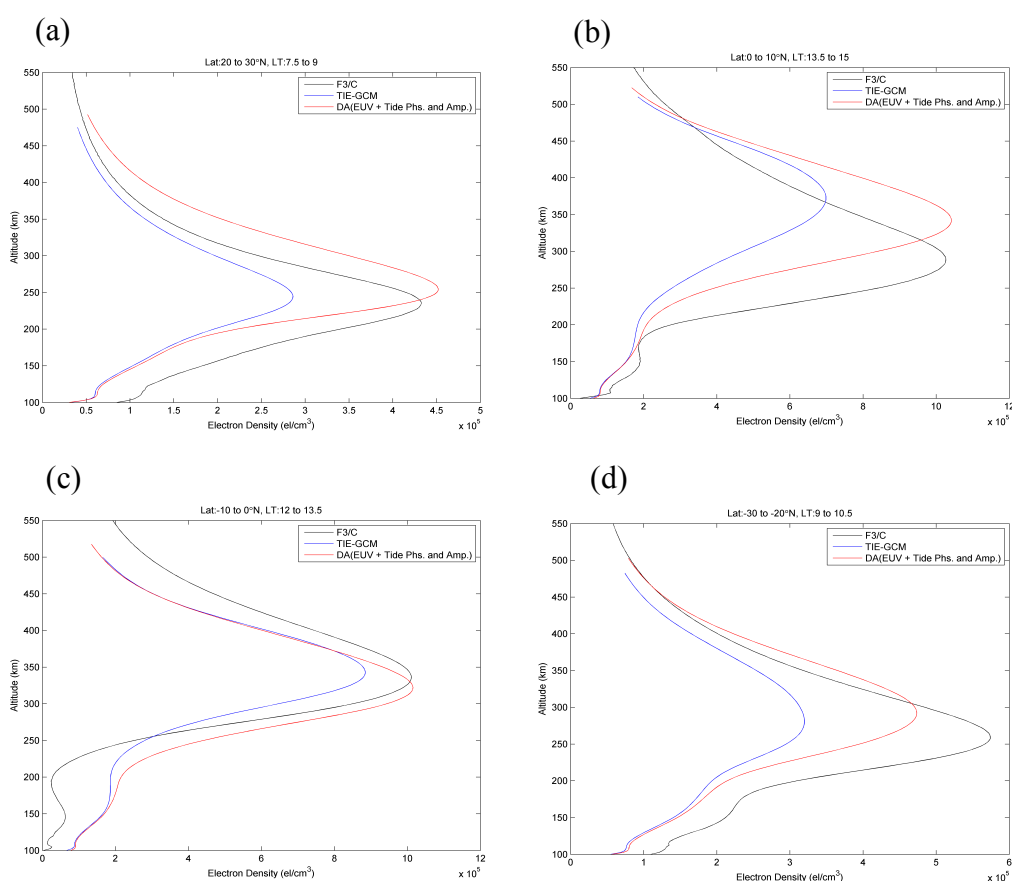


圖三、4 個區段(a: Lat. 20~30° N, LT 7.5~9hr; b: Lat. 0~10° N, LT 13.5~15hr; c: Lat. -10~0° N, LT 12~13.5; d: Lat. -30~-20° N, LT 9~10.5)各同化步驟之模式垂直電子濃度剖面比較。各曲線代表同化模式的結果，分別為：原始 TIE-GCM(藍),最佳化 EUV 參數模式(紫),最佳化大氣潮汐相位參數(綠),最佳化大氣潮汐振幅參數(紅)。各圖之標題上標示該區段之平均經、緯度與平均發生當地時。

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。

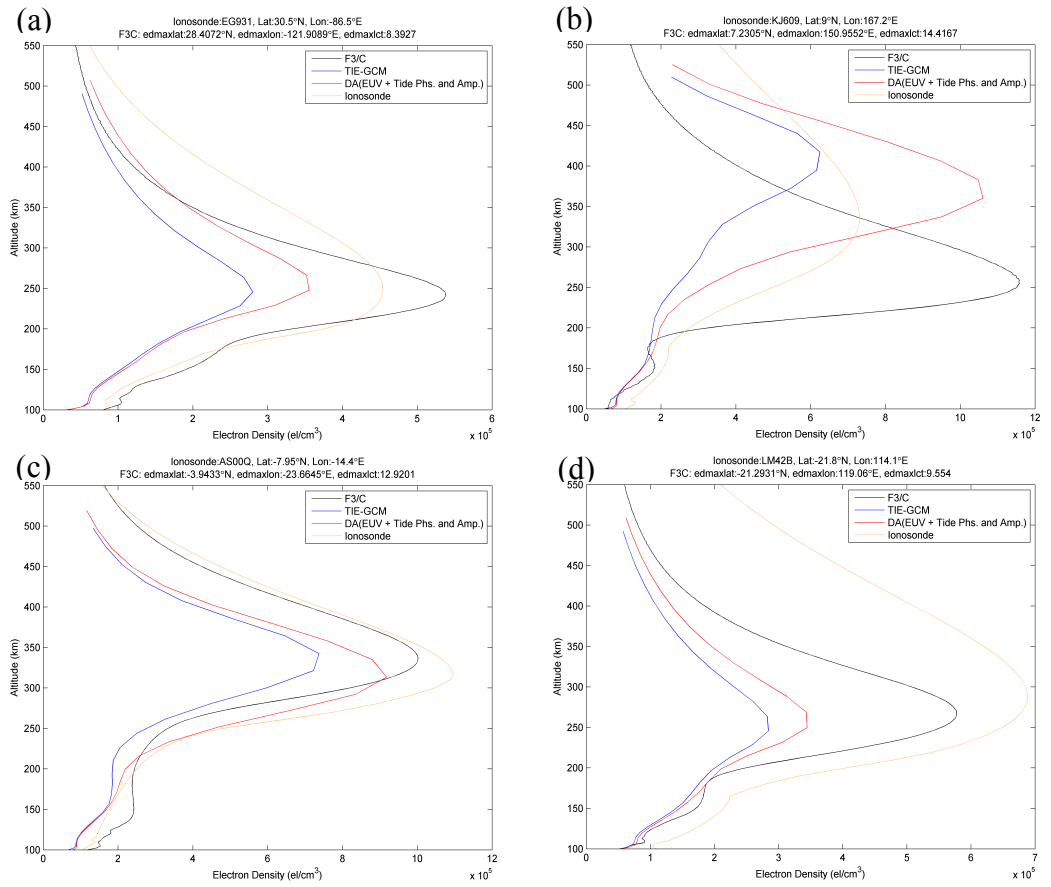
除了與 FORMOSAT-3 的觀測比對外，我們也將結果比對 ionosonde 資料。目前使用的 ionosonde 資料皆是 **auoto-scaled** 資料，圖五為此四個區段

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（粗體字為增加的部分）：

```
|          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。