

財團法人國家實驗研究院國家太空中心

全球定位科學應用研究委託案(3/3)

101年度「全球定位科學應用研究中心」

期末報告

工作項目(6)：科學酬載前置資料分析報告

期末報告計畫名稱：福七計畫第一組科學酬載前置資料分析發展：

以CNOF及福三TBB資料進行OSSE分析

執行期間： 2012/02/18~2013/02/17

分項工作管理人：蕭棟元

參與人員：

中 華 民 國 1 0 2 年 2 月

## 一、 摘要

本計畫目的係利用我國福衛三號和美國空軍C/NOFS衛星三頻訊號標資料進行OSSE(Observing System Simulation Experiments)分析，作為福衛七號三頻訊號標科學酬載的先期評估分析和亞太地區電離層閃爍現象和電離層斷層掃描技術於電離層赤道異常區特性研究，目標為：

- (1) 利用福衛七號12顆衛星軌道(分為高傾角與低傾角)和IRI model模擬全電子含量並加入美國空軍C/NOFS衛星三頻訊號標全電子含量來進行電離層斷層掃描，做為未來福衛七號電離層斷層掃描網建置的評估。
- (2) 觀測亞太地區電離層閃爍現象的特性與統計分析；
- (3) 利用福衛三號三頻訊號標的全電子含量資料與電離層斷層掃描技術推衍出亞太地區的二維電離層結構，並利用二維電離層結構觀測電離層赤道異常現象動態特性並分析；

本計劃研究動機是藉由地面ITS接收站所接收到的三頻訊號標衛星訊號及所得到的相對TEC、斜向TEC、S4閃爍現象等數據資料進行分析比對研究電離層閃爍現象去推論電離層的相對TEC值以及閃爍分佈等特性。目前的福衛三號三頻訊號標接收網(NEW LITN)為台灣北部的中央大學太空及遙測中心、中部的中正大學、南部的海洋生物博物館、南沙太平島、菲律賓馬尼拉，印尼坤甸六個地點。而美國空軍C/NOFS衛星因為軌道傾角(24度)的關係只有屏東海洋生物博物館站可以接收的到訊號，因此初期將以屏東站的實際資料和模擬的福七資料作為OSSE分析。

## 二、 前言

目前已有很多觀測電離層電子密度分佈的技術，如電離層探測系統 (Ionosonde)、異調散射雷達 (Incoherent Scatter Radar, ISR) 和無線訊標衛星 (Radio Beacon Satellite)。然而 Ionosonde 僅能觀測 F<sub>2</sub> 層以下的電子密度及虛高。而不能量測最大電子密度高度以上的電子密度分佈以及未觀測區域。而異調散射雷達花費又太昂貴，而且在時間空間解析度均有所限制，無法對全球上空的電離層做即時的觀測，有其侷限性，而電離層斷層掃描觀測是其中一種價位相對便宜與可行的方式，目前全世界的電離層斷層掃描觀測網((J. R. Austen et. al, 1988; H. Na and H. Lee et. al, 1991; E. J. Fremouw, 1992; V. E. Kunitsyn, et. al, 1992; S. E. Pryse et. al, 1992; L. Kersley et.al, 1994; G. R. Kronschnabl et. al, 1995; W. A. Pakula et. al, 1995) 如圖 3-1 所示，並且只有 New LITN 計畫誇過南北兩赤道異常區，國立中央大學自 2006 開始建立新的低緯度電離層斷層掃描觀測網(New LITN)用以接收美國海軍(NNSS)和我國福衛三號上酬載的三頻訊號標(TBB)( P. A. Bernhardt et. al, 2000 and 2006))，目前六個站已建設完成，分別是台灣北部的中央大學太空及遙測中心、中部的中正大學、南部的海洋生物博物館、南沙太平島、菲律賓馬尼拉，印尼坤甸六個地點(如圖 3-2 所示)，在未來我們將增設日本以及菲律賓南部等站。

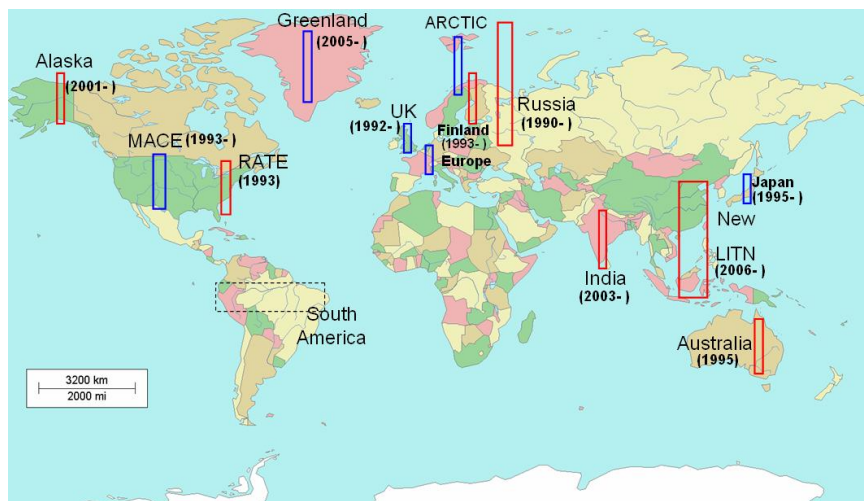


圖 3-1. 低緯度電離層斷層掃描觀測網(New LITN)示意圖

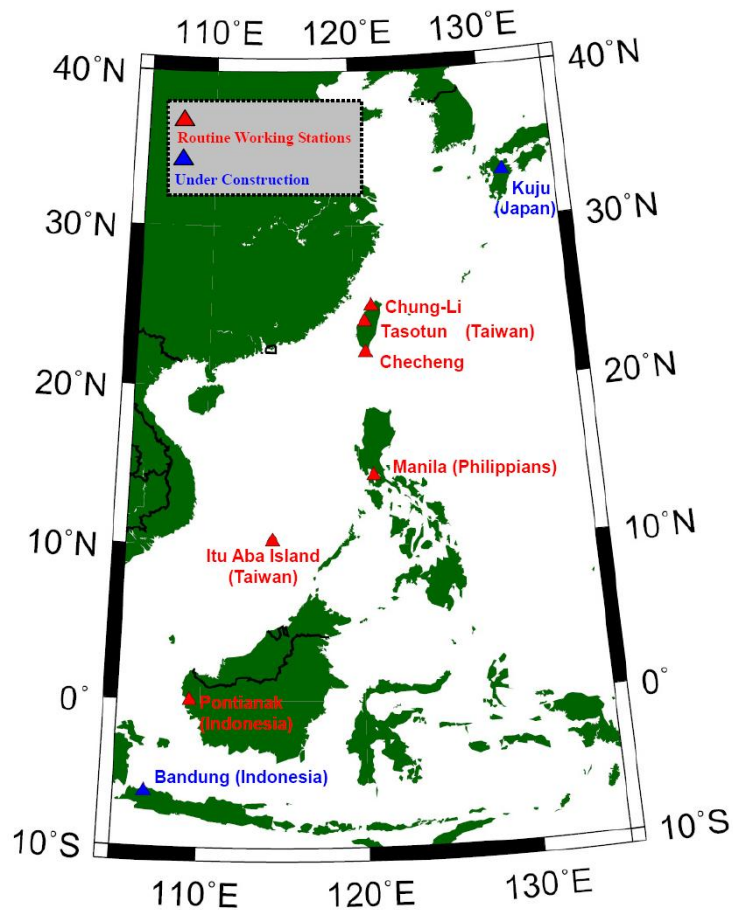


圖 3-2. 低緯度電離層斷層掃描觀測網(New LITN)示意圖

低緯度電離層斷層掃描觀測網(New LITN)主要有兩大應用(如圖 3-3 所示)，一是利用斷層掃描重建二維或是三維的電離層結構觀測來觀測與研究電離層大尺度現象，利用其中三頻訊號中的兩個頻率的訊號，我們可以推演出其路徑上的全電子含量(TEC)，並利用斜向的全電子含量(STEC)和電離層斷層掃描的演算法產生二維高度和緯度的剖面影像，此方法可以用來觀測大尺度的電離層現象包含電離層赤道異常現象(EIA)等等。另一則是用來觀測電離層閃爍現象，電離層是無線電衛星訊號傳播到地面接收站的必經介質，當電離層的狀態不穩定的時候，訊號會有閃爍的情況，我們稱之為”閃爍現象”(Scintillation)，閃爍現象可分為訊號的閃爍(Power Scintillation)和相位的閃爍(Phase Scintillation)，且好發在春秋分的季節以及落日之後，台灣上空的電離層是

閃爍現象好發區，常引起通信中斷、誤碼率增大等現象。對 GPS 而言，閃爍現象可導致衛星導航、定位誤差高達幾十米至幾百米，甚至信號中斷，這些突然閃爍現象都對短波或是衛星通訊系統產生了嚴重影響而發生多次系統中斷，如果有了及時監測與通報，就能提供了很好的第一手空間天氣情報。

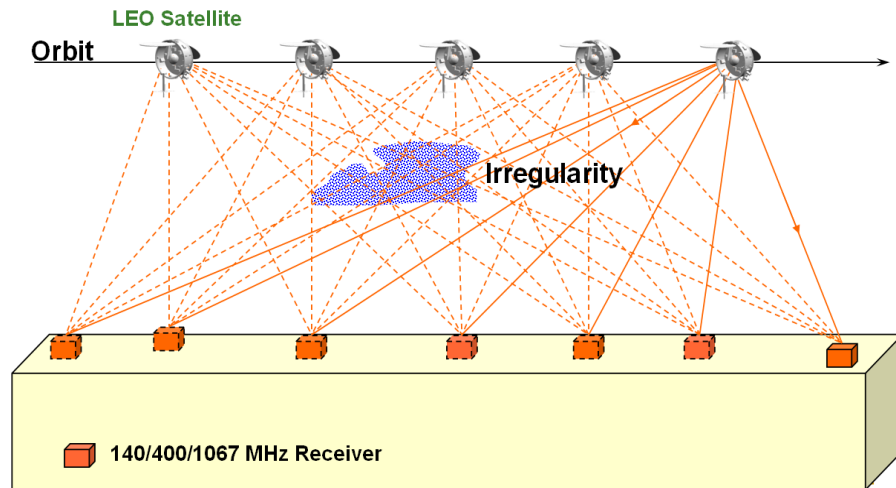


圖 3-3. 閃爍現象和斷層掃描觀測說明圖

### 3.研究方法與步驟說明

簡單的說，電離層所造成的電波訊號閃爍現象便是由於當電波穿過不規則體時，由於介質上性質的差異，造成訊號在振幅以及相位上均產生變化，再加上不規則體本身的變化以及移動，使得穿過的訊號在接收的時候產生忽大忽小有如閃爍一般的現象。歷史上最初的電離層閃爍理論是用一個不規則相位變化的篩(screen)所引起繞射的想法作為基礎，假設有一定振幅  $A_0$  入射之平面波，當波傳經不規則體層時，電離層的行為便像是一個相位變化的篩，並只對入射波相位變化做修正。針對具有統計性質的不規則體，我們可以對此電離層閃爍現象建立模型。在  $z=0$  到  $z=L$  之間的區域為不規則隨機之電子濃度分佈結構，有一時間諧和電波在  $z=0$  處入射此不規則體層 (slab) 並在地面  $(r, z)$  處被接收，假設此不規則體層可以用介電係數來表現其特徵：

$$\varepsilon = \langle \varepsilon \rangle [1 + \varepsilon_1(\vec{r}, t)] \quad (2-1)$$

其中  $\langle \varepsilon \rangle = (1 - \frac{f_{p0}^2}{f^2}) \varepsilon_0$  是背景之平均介電係數， $\varepsilon_1(\vec{r}, t)$  為一變化的部分用來描述由不規則體所造成之隨機變化， $f_{p0}$  是對應背景電子密度  $N_0$  之電漿頻率 (plasma frequency)， $f$  是入射波之頻率，在變化百分比  $\xi = \Delta N / N_0$  上，不論是在凍流 (frozen flow) 中的不規則體運動或是非凍流中的不穩定變化，均假設在入射波週期內不規則體的暫態變化甚小；當波傳經不規則體層時，首先只有相位在折射係數上被隨機之變動所影響。因此當波穿出不規則體層後其相位波前已被隨機調變，當波傳到地面時，扭曲的波前會建立一個繞射之程序；此程序和相位波前彎曲之隨機偏差有關，此相位波前之彎曲乃依序由不規則體的尺度跟強度分佈決定。由簡單的幾何計算指出在地面收到的振幅變動主要是以電離層不規則體在  $F$  尺度時所造成之相位波前偏差為主

$$dF = \sqrt{\lambda(z - \frac{L}{2})} \text{ 稱為 first Fresnel zone 之尺度。通常會使用 } F = \sqrt{2\lambda z}$$

，稱為 Fresnel scale 來做為代表，並可再配合不規則體飄移速度推算出 Fresnel frequency。基本上，這描述出當相位偏差小時振幅閃爍現象之性質，即在經過聚焦或散焦之不規則體時波前仍保持基本的同調性；然而當不規則體強度到相

$$\varepsilon_1(\vec{r}, t)$$

當大的時候，相位偏差變得很強烈，以致於相位波前在通過大於某強度之不規則體層時不再保持同調，此不規則體亦失去聚焦或散焦的能力，故關於振幅變動之干涉機制便不成立，定性來說我們會預期振幅變動的飽和發生；另外是當不規則體層厚度夠厚時，我們便可預期見到其內部會發生振幅變動，所以當波射出此層時會同時有相位跟振幅的擾動，所以在地面上接收到的閃爍現象同時受到此兩項因素影響。由電動力學中的波動方程式出發做以下的假設：在波動的週期內不規則體的暫態變化甚小。所以在不規則體層中的向量電場的向量波動方程式可以用

純量波動方程式來取代：

$$\nabla^2 E + k^2 [1 + \varepsilon_1(\vec{r})] E = 0 \quad (0 < z < L) \quad (2-2)$$

其中E是電場在相量表示法中的分量， $k^2 = k_0^2 \langle \varepsilon \rangle$ ，上式是一隨機係數之偏微分方程式，如果可求其解便是閃爍理論之基礎，但不幸的是此式的通解並不可能，我們必須在不同的應用情況下安排不同的近似解，我們在探討這些解之前先限定為垂直入射的情形，而斜向入射的歸納結果並不在此討論。在垂直入射的情形中對於波場形式使用複數振幅來說明是很方便的：

$$\vec{E} = u(\vec{r}) \exp(-jkz) \quad (2-3)$$

由前一式 (2.3.3) 便可得複數振幅的程式：

$$-2jk \frac{\partial u}{\partial z} + \nabla^2 u = -k^2 \varepsilon_1(\vec{r}) u \quad (0 < z < L) \quad (2-4)$$

以此為基礎有一名為 Parabolic Equation Method (PEM) 之方法，以下為此法的假設：

1. 計算散射場之相位可用Fresnel近似，即 $z \gg \ell \gg \lambda$ 。
2. 前向散射 (forward scattering) 乃是波主要以一小角度並以傳播路徑為中心之圓錐散射； $\ell$ 是不規則體典型的尺度，可視作不規則體某種平均尺度大小；此外在對應到 $\langle \varepsilon_1^2 \rangle kz \ll 1$ 時可忽略後向散射 (backscattering) 的能量。當假設以上假

設均滿足時，(2-4) 式可近似為：

$$-2jk \frac{\partial u}{\partial z} + \nabla_{\perp}^2 u = -k^2 \varepsilon_1(\vec{r})u \quad (0 < z < L) \quad (2-5)$$

其中  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ ， $\nabla_{\perp}^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ 。這是一個拋物線 (parabolic) 型式的方程式，其解由  $z=0$  的初始條件決定。這個方程式用於近光學 (quasi-optics) 和其他傳播問題。以 (2-5) 為基礎外加以上假設可得到一系列複數振幅的 moment 方程式，並成為閃爍理論基礎之佐助。在不規則層外，則複數振幅滿足：

$$-2jk \frac{\partial u}{\partial z} + \nabla_{\perp}^2 u = 0 \quad (z > L) \quad (2-6)$$

(2-6) 之初始條件乃由 (2-5) 在  $z=L$  的解而得。故 (2-5)、(2-6) 為電離層閃爍理論發展之基礎。在解得訊號的振幅函數  $u$  之後便可求得閃爍現象的另一個很重要的參數，叫做閃爍指數 (scintillation index)  $S_4$ ， $S_4$  是一個用來定義訊號閃爍程度的量值，在某一段時間內的閃爍訊號強度，先減去這段訊號強度的平均值，然後再除以這個平均值作歸一化，如此便得到此段時間內所有時刻下閃爍訊號強度對於平均值的歸一化訊號強度差值，但為了避免由於正負差值的平均為零而得到沒有閃爍的假象，所以所有歸一化差值都先平方，再做平均來求閃爍的量。



S4的定義如下

$$S4 = \frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2} \quad (2-7)$$

$I$ : intensity

對於 TEC 測量，ITS30 採用的是差分都譜勒技術。由衛星接收機接收訊號。在大尺度的電離層結構下，其仰角不會太小時（ $5^\circ$  以上），傳播路徑可視為直線。電離層電漿頻率可表示為：

$$f_p^2 = \frac{N_e e^2}{4\pi^2 m \epsilon_0} \quad (3-1)$$

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

$$f_p^2 = 80.62 N_e \quad (3-2)$$

當電波在電漿中傳播，其折射係數  $n$  可表示成

$$n^2 = 1 - \frac{f_p^2}{f^2} \quad (3-3)$$

當電波頻率  $f \gg$  電漿頻率  $f_p$  時，可將折射係數  $n$  以二項式展開趨近式如下：

$$n = 1 - \frac{f_p^2}{2f^2} \quad (3-4)$$

將  $f_p^2$  帶入式中可得

$$n = 1 - \frac{40.31Ne}{f^2} \quad (3-5)$$

另電波接收站的相位 ( $\phi_r$ ) 至發射站的相位 ( $\phi_s$ ) 之關係式為

$$\phi_r = \phi_s + \omega \frac{L}{C} = \omega t + \frac{\omega}{C} \int_s^r n ds \quad (3-6)$$

其中  $\omega$  為角頻率， $L$  為接收站至發射站的光學路徑距離。電波相位對時間變化為

$$\frac{d\phi_r}{dt} = \omega + \frac{\omega}{C} \frac{d}{dt} \int_s^r n ds \quad (3-7)$$

所以都卜勒頻移  $\Delta f$ ：

$$\begin{aligned} \Delta f &= \frac{f}{C} \frac{d}{dt} \int_s^r n ds = \frac{f}{C} \frac{d}{dt} \int_s^r \left(1 - \frac{40.31Ne}{f^2}\right) ds \\ &= \frac{f}{C} \frac{d}{dt} \int_s^r ds - \frac{40.31}{Cf} \frac{d}{dt} \int_s^r Ne ds \end{aligned} \quad (3-8)$$

前一項為衛星運動所引起的頻移，後一項為介質所附加的頻移。為了得到介質的影響項，NNSS 使用兩個同相不同頻的電頻波，

$f_1 = 150\text{MHz} = f_r \times m_1$ ,  $f_2 = 400\text{MHz} = f_r \times m_2$ ,  $f_r = 50\text{MHz}$  為參考頻率，如此可以消去第一項所引起的頻移。則在時間  $t$  的差分都普勒頻移可表示為：

$$\varphi(t) = 2\pi \left( \frac{\Delta f_1}{m_1} - \frac{\Delta f_2}{m_2} \right) \quad (3-10)$$

兩邊積分得

$$\Phi(t) + \Phi_0 = \frac{80.6\pi}{f_r C} \left( \frac{1}{m_1^2} - \frac{1}{m_2^2} \right) \int_s^r \text{Neds} \quad (3-11)$$

其中  $\Phi(t)$  為差分都普勒相移， $\Phi_0$  為相移積分常數。電離層的全電子含量 TEC 定義為電子密度沿傳播路徑的積分，所以全電子含量 TEC 可表示為

$$\begin{aligned} \text{TEC} &= \int_s^r \text{Neds} \\ &= 6.2 \times 10^{14} \times (\Phi(t) + \Phi_0) \end{aligned} \quad (3-12)$$

TEC 的單位是  $\text{el}/m^2$ ， $1\text{TECU} = 10^{16} \text{el}/m^2$  故一旦決定積分常數  $\Phi_0$  後，則可求出絕對 TEC，由於本實驗無法得知積分常數，故我們所得到為相對 TEC 而非絕對 TEC。在 LITN 作 Tomography 的研究中只要是使用 MART 這種代數的方法都需要一個參考的電子濃度的值(初始值)來做為 Tomography 的繁衍。所以當 LITN 無法觀測到的 TEC 部份就利用 IRI model 輸出的結果來做的初始值。

### 3.1.1 代數重建法 ART ( Algebraic Reconstruction techniques, ART)

這是 1970 年 Gordon et al 所提出運用在醫學電離層斷層掃描系統。1986 年 Austen et al 以這種方式來提出電腦化電離層斷層掃描。

初值：  $X_o \in R^n$

$$\text{循環部: } x_j^{k+1} = x_j^k + \lambda_k \times \frac{c_i - \sum_{l=1}^n a_{il} \times x_l^k}{\sum_{l=1}^n a_{il} a_{il}} \times a_i \quad (3-13)$$

i : TEC 路徑編號

j : 網格編號

n : 總網格數

$X_j^{k+1}$  : 疊代 k+1 次的第 j 個網格的電子密度

$X_j^k$  : 迭代 k 次的第 j 個網格的電子密度

$C_i$  : 第 i 個路徑的全電子含量

$\lambda_k$  : 鬆弛常數

$a_{il}$  : 第 i 個路徑在第 l 個像素的路徑長。

$a_i$  : 第 i 個路徑的總長度。

此方法有一種缺點就是不保證迭代出來的值為正值。所以不可在過程中讓  $X < 0$ ，否則出來的值不符合物理意義，值小於零。所以 X 都設有一個門檻 使得最後出來的值都能大於零，但是還有另一項缺點，就是收斂性非常差，不一定能得到理想的結果。

### 3.1.2 倍數代數重建法(MART)

倍數代數重建法(Multiplicative Algebraic Reconstruction techniques, MART)，改進了 ART 代數重建法(**Algebraic Reconstruction techniques**)的缺點就是收斂慢還有出來的值並不一定是正值。但是 MART 必需給一個初始值，給的初始值越好就能預期值的收斂處越接近真實的值。如果給的初始值不好 所得到的值就會有很大的誤差，所以說初始值的給定在 MART 是很重要的事。當 ITS system 得到 TEC 資料時 使用 MART 來求得網格內 Ne 的資料 但使用 MART 必須要給一個初始值來作為資料的繁衍 而初始值就利用 IRI-model 來提供。

MART 演算法(Raymund et al., 1993)如下：

$$x_j^{k+1} = x_j^k \cdot \left( \frac{c_i}{\sum_{l=1}^n a_{il} \times x_l^k} \right)^{\lambda_k \times a_{il} / a_i} \quad (3-14)$$

i：TEC 路徑編號

j：網格編號

n：總網格數

$x_j^{k+1}$ ：疊代 k+1 次的第 j 個網格的電子密度

$x_j^k$ ：迭代 k 次的第 j 個網格的電子密度

$c_i$ ：第 i 個路徑的全電子含量

$\lambda_k$ ：鬆弛常數  $a_{il}$ ：第 i 個路徑在第 l 個像素的路徑長

$a_i$ ：第 i 個路徑的總長度。

MART 主要是利用網格內的長度與上一次的到之全電子含量用來決定新迭代的全電子含量，所以初始值對於後來新迭代的解有非常大的影響，之前提到因為台灣本島四個站的資料無法涵蓋所有的赤道異常區的範圍，無法涵蓋的部分我們先用 IRI model 給的值來做模擬。因此我們將會使用上述的結論把程式自動化，先利用 IRI-2001 模擬出初其結果，之後執行 Mart 演算法，執行步驟如圖 3-13 和結果圖 3-14 所示。

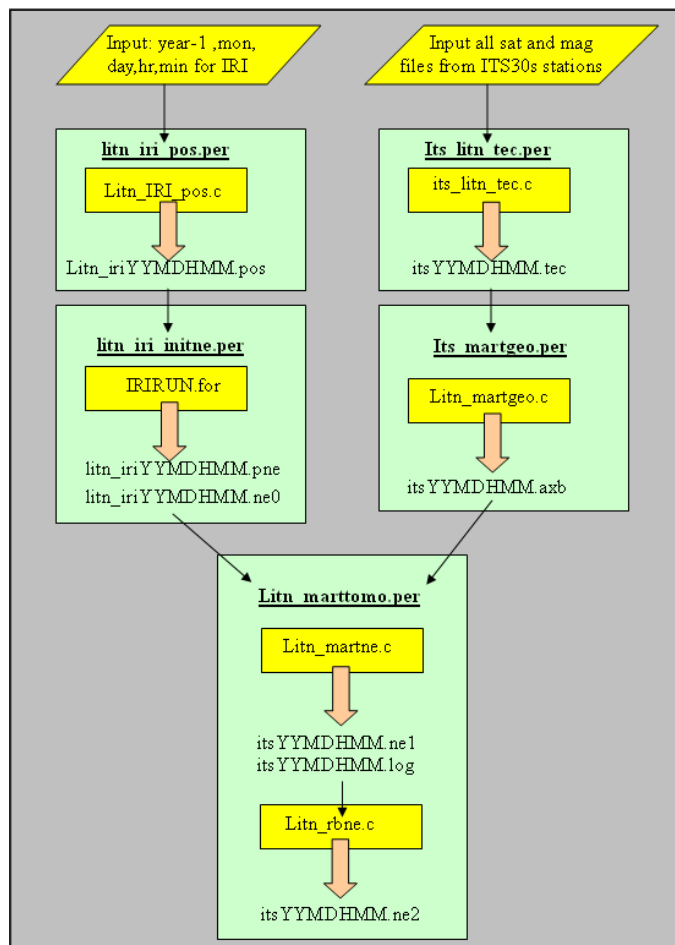


圖 3-13. 電離層斷層掃描執行流程圖

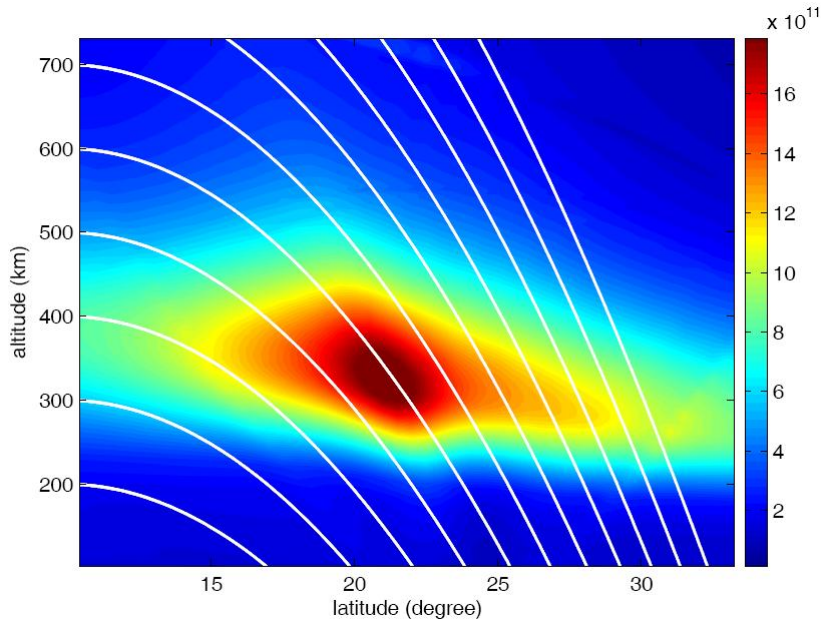


圖 3-14. 電離層斷層掃描實例圖

### 三、 科學酬載前置資料分析報告

本計畫目的係利用我國福衛三號和美國空軍C/NOFS衛星三頻訊號標資料進行OSSE(Observing System Simulation Experiments)分析，因為福衛七號並未實際佈署，所以本計畫先利用軌道模擬配合IRI電離層模式來做為未來福衛七號科學酬載的前置資料分析，利用福衛七號12顆衛星軌道(分為高傾角與低傾角)和IRI model模擬全電子含量並加入美國空軍C/NOFS衛星三頻訊號標全電子含量來進行電離層斷層掃描，做為未來福衛七號電離層斷層掃描網建置的評估。

#### 1. 福衛七號軌道模擬:

為了定義衛星在空間中之位置，首先必須先定義出軌道相對於慣性空間中的位置，然後才能決定衛星的位置，依據克卜勒定律定義出了軌道六元素，此六元素的定義為：

$a$ ：軌道半長軸 (Semi-major axis): 定義軌道之大小，軌道長軸長度之一半

值，若軌道為圓軌道則為軌道半徑。

$e$ ：偏心率 (Eccentricity)：定義軌道的形狀，當 $e = 0$ 時，軌道為圓軌道；若 $0 < e < 1$ ，軌道則為橢圓軌道。

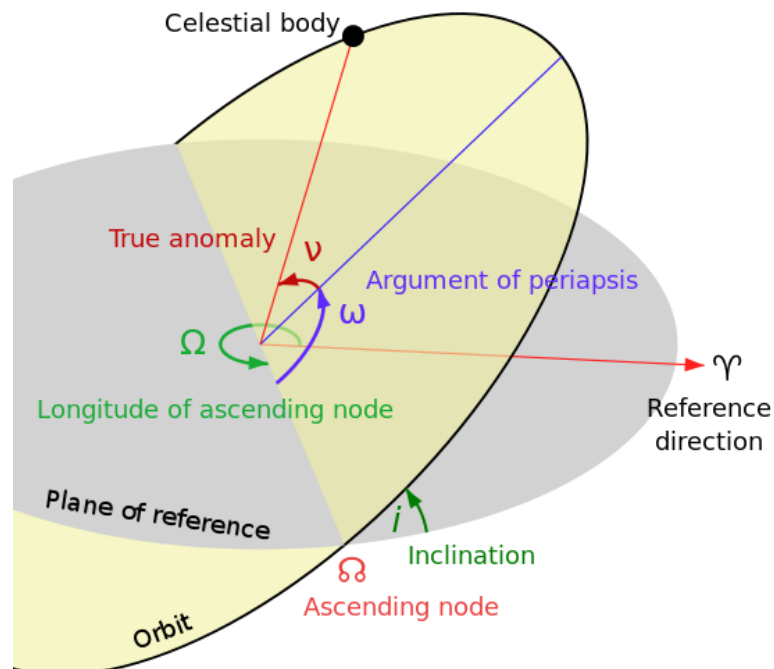
$i$ ：軌道傾角 (Inclination): 赤道面與軌道面之夾角。

$\Omega$ ：升交點經度 (Longitude of the ascending node): 升交點是衛星由南半球經赤道向北半球飛行時，軌道面與赤道面之交點。

$\omega$ ：近地點幅角 (Argument of perigee)。衛星軌道上離地球最近的點稱為近地點，而近地點幅角是由軌道升交點至近地點的角度。若近地點可能發生在升交點，近地點幅角可以為零。

$\theta$ ：真實角 (True anomaly): 定義衛星在軌道上的位置。

在軌道座標系統中，可以用二個參數( $a$ 、 $e$ )來定義軌道的外形、三個參數定義( $i$ 、 $\Omega$ 、 $\omega$ )來定義軌道與地球的相對關係，以及另一個參數( $\theta$ )定義衛星在軌道上的位置，如下圖所示。



衛星軌道六參數說明。



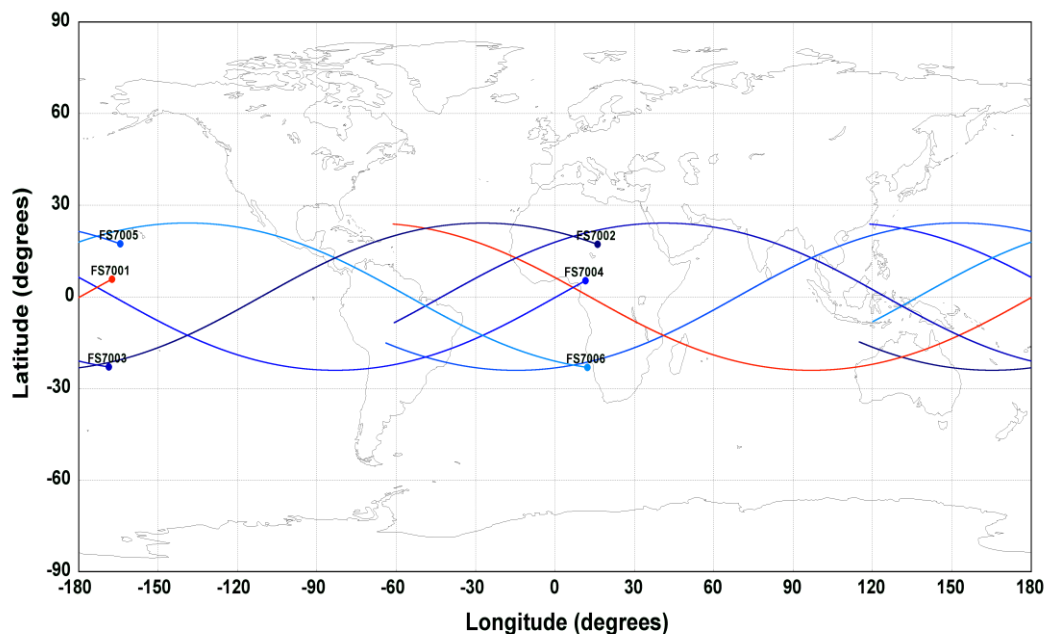
北美航空司令部(North American Aerospace Defense Command)負責監視所有在北美上空(包括太空中)的人造飛行器，所以該單位和美國太空總署(NASA)共同制定了two-line element set (TLE)來定義每一人造衛星的資訊(包含軌道六參數等)，並根據SGP(Simplified perturbations models)數值模式來計算出衛星軌道，因此在模擬出福衛七號的軌道前，必須先定義出福衛七號的TLE參數，幸運的是國家太空中心(NSPO)公佈了一參考的TLE，例如FS7001(福衛七號第一顆衛星)下所示:

FS7001

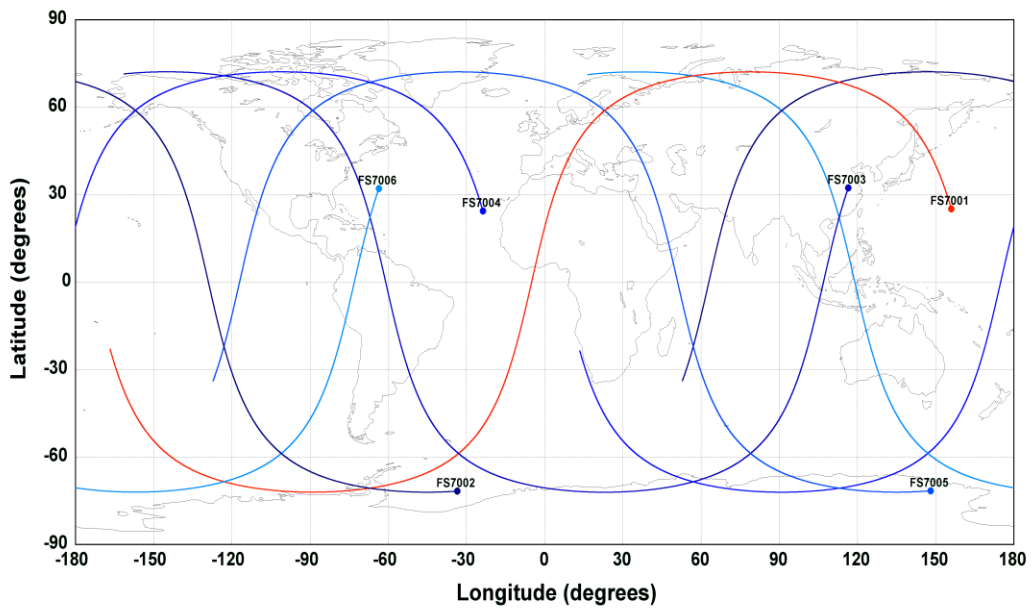
```
1 50001U 15200A 15300.00000000 .00000004 00000-0 18257-4 0 7204
```

```
2 50001 24.0000 0.0000 0032912 0.0000 0.0000 15.15368000 0
```

有了相關的TLE就可以模擬福衛七號預計的軌道和位置，並根據SGP4數值模式模擬出高傾角(75度)與低傾角(24度)的福七軌道，如下圖所示



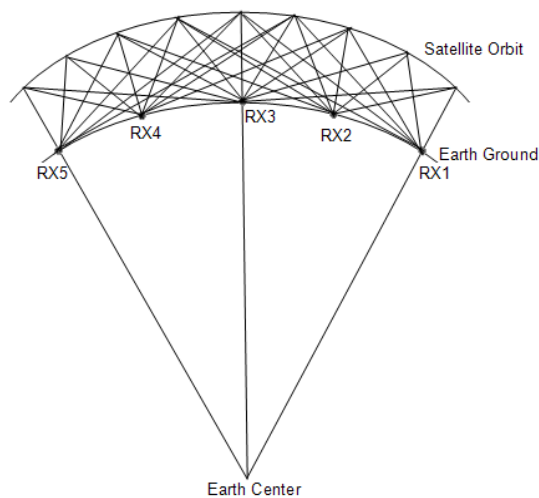
福衛七號低傾角軌道模擬



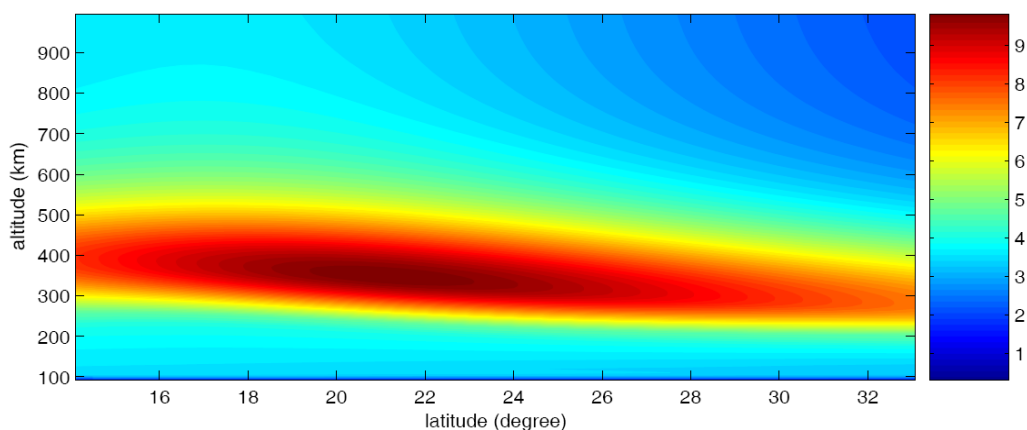
福衛七號高傾角軌道模擬

2. 模擬福衛七號軌道輸入至 IRI 電離層模式作為初始值並完成模擬同步化電離層斷層掃描程式

模擬完福衛七號軌道後，便可以設定接收站的位置，輸入至 IRI 電離層模式並將每一條 STEC 射線的值積分出來，並每一條 TEC 射線與 C/NOFS 酬載資料輸入至電離層斷層掃描程式。



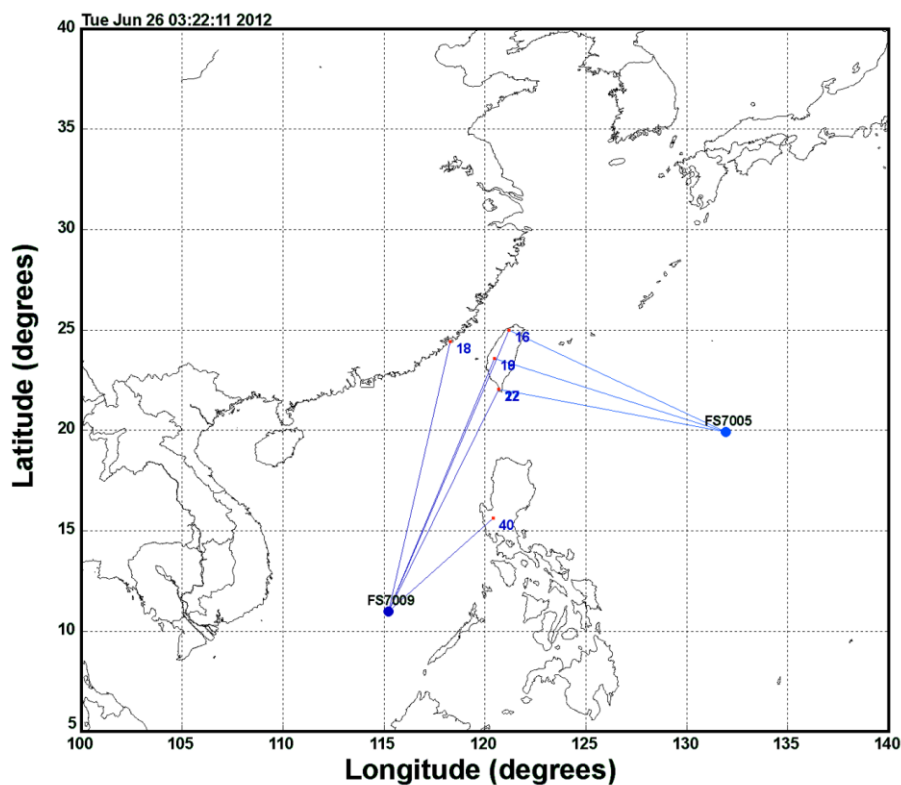
衛星與接收站 STEC 模擬示意圖



東經 121 度 06 03:55UT 電離層斷層掃描結果

### 3. 電離層斷層掃描網接收站分佈分析

福衛七號分為高傾角(75 度)和低傾角(24 度)的分佈，在實際發射之前本計畫預先模擬接收站位置的接收情況，以利於未來選擇架設接收站位置的考量，目前我們將中壢(中央大學太遙)、嘉義民雄(中正大學)、屏東車城(海生館)、金門(氣象站)以及菲律賓(馬尼拉)五個地點加入為接收站，因為天線接收角度對於仰角大於 15 度以上的效果較好，所以只接收仰角大於 15 度的訊號，結果如下圖所示：

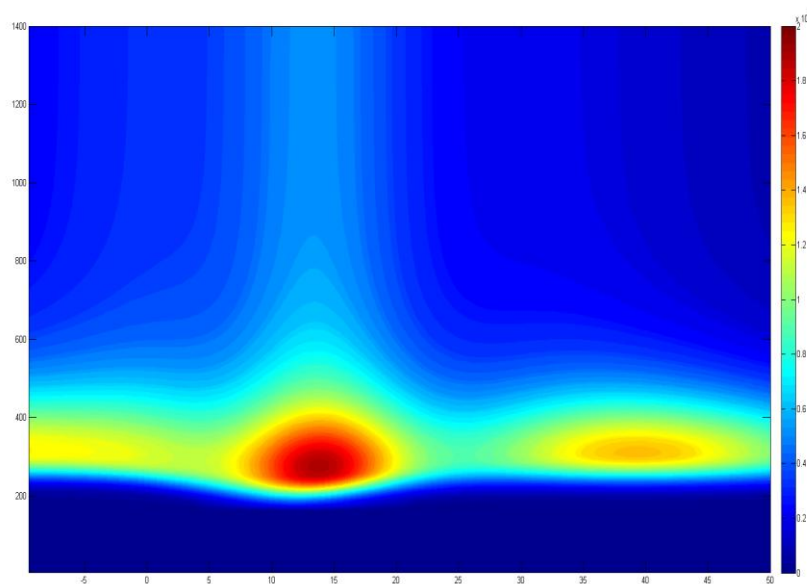


電離層斷層掃描網接收站分佈模擬

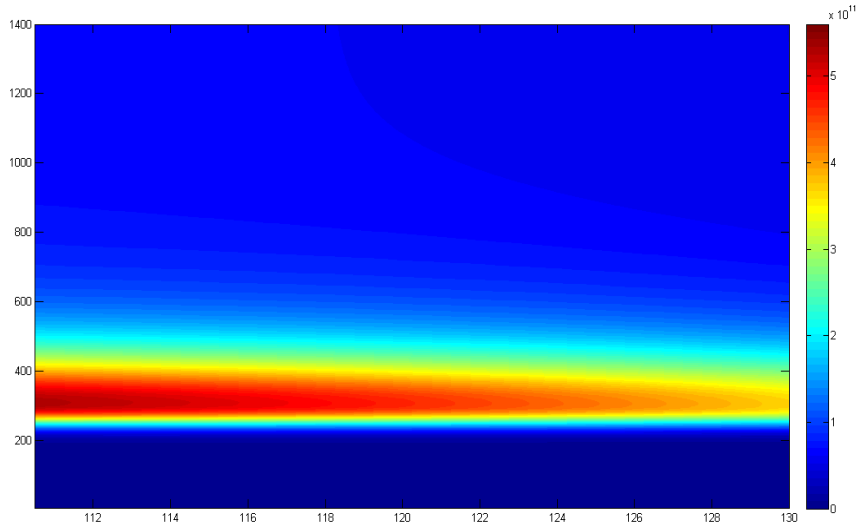
本計畫模擬一天的接收情形，每站對於福為七號 12 顆衛星每一天可接收約 40 筆資料，比現今的 ITS 系統每天只有 5 筆資料豐富許多，且因為低傾角的衛星群是 24 度，連最北邊的中壢站都可以穩定接收，而不會像 C/NOFS 衛星傾角(15 度)只有台灣屏東站可接收的困境。

#### 4. 福衛七號電離層斷層掃描網 OSSE 分析

經過電離層斷層掃描網接收站分佈分析後，我們將五個站的接收站的位置，輸入至 IRI 電離層模式並將每一條 STEC 射線的值積分出來，並每一條 TEC 射線與 C/NOFS 酬載資料輸入至電離層斷層掃描程式，以往的 TBB 衛星都是高傾角的分佈，我們只能分析同一經度的斷層掃描網，而福衛七號低傾角衛星群的分佈讓我們可以分析同一緯度的斷層掃描網，對於低緯度的閃爍現象觀測和電離層斷層掃描在不同經度動態的變化觀測可以更全面，模擬結果如下圖所示。



五站在東經 121 度的斷層掃描結果(同一經度)

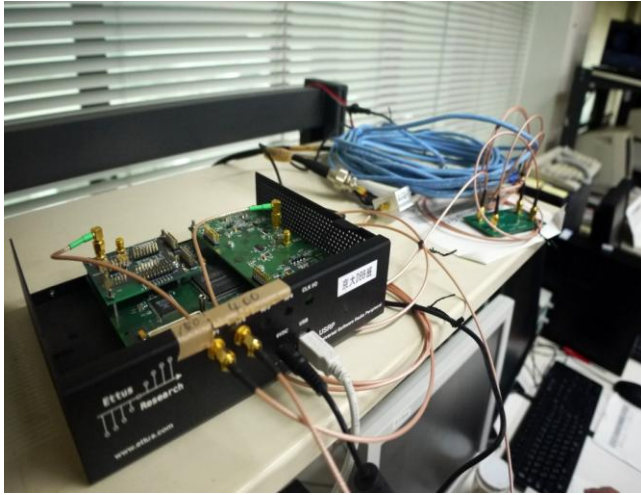


五站在北緯 23 度的斷層掃描結果(同一緯度)

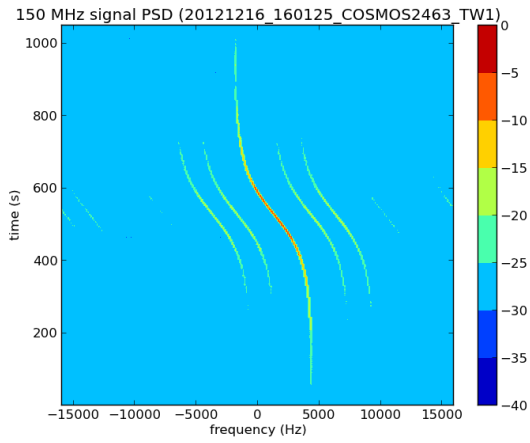
#### 5. 完成數位雙頻接收機自製

本計畫與日本京都大學團隊合作發展低價位 TBB 接收機，做為未來大量佈建觀測站，建立福為七號高低傾角衛星之電離層斷層掃描網的先期考量，因為接收機的軟硬體以開放源碼(Open Source)的方式授權，所以除了價錢低以外，軟體與日本京都大學團隊共同開發，本計畫除了掌握原始碼並可以針對系統做客製化的修改。

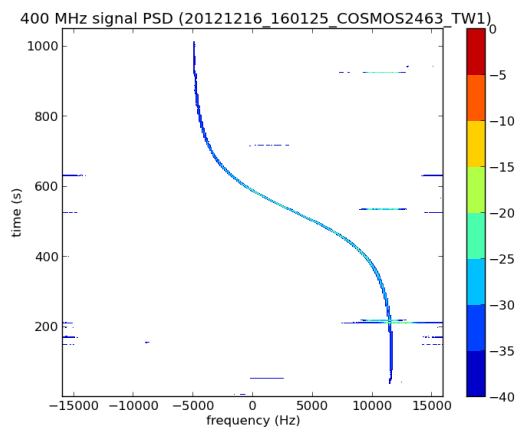
目前已經完成第一台雙頻數位接收機的架設於中壢中央大學太遙中心，於 2012 年 12 月中開始穩定接收中，接收資料如下圖所示，因為它的接收頻寬是 ITS 系統的兩倍，所以可以接收較多的蘇聯 COSMOSS 系列衛星，目前每天可接收大約 15 筆資料，在下一年的計畫預計將在安裝台北陽明山、台南成功大學和墾丁架設接收站。



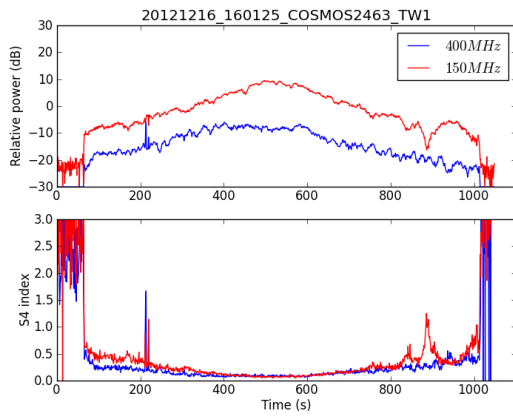
雙頻數位接收儀與接收天線



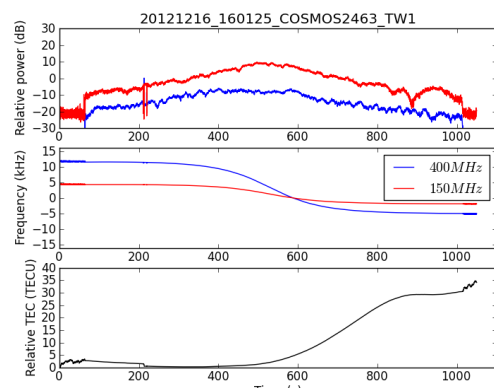
150MHz 訊號頻譜



400MHz 訊號頻譜



接收訊號與 S4 index



TEC

#### 四、 結語

1. 本計畫目的係利用我國福衛三號和美國空軍 C/NOFS 衛星三頻訊號標資料進行 OSSE(Observing System Simulation Experiments)分析，作為福衛七號三頻訊號標科學酬載的先期評估分析和亞太地區電離層閃爍現象和電離層斷層掃描技術於電離層赤道異常區特性研究，主要有以下成果與效益：

2.

- 完成科學酬載前置資料模擬與分析

- 太空天氣監測

透過即時的三頻訊號標資料網站並發佈說明現在衛星通訊的品質作為太空天氣監測和衛星通訊品質的第一手資訊。

- 培養製作 TBB 接收機與電離層斷層掃描的研究人員。

- 國際合作

目前本計畫與日本、菲律賓和印尼的相關學者合作架設三頻接收機於當地，除了分享彼此的三頻接收機資料外，他們也提供他們所擁有的雷達和 GPS 的相關設備資料與本計畫分享，相信在未来可以共同發表研討會與相關論文。

五、 自評表

原規劃目標	完成與否	說明
科學酬載OSSE分析模式建置完成	是	目前已完成福七 TBB 軌道(550 Km 和 750Km)模擬和 IRI 電離層模式模擬同步化電離層斷層掃描，完成分析模式的建置。
科學酬載OSSE分析模式測試報告	是	完成福衛七號軌道(550 Km 和 750Km)模擬與台灣本島三站電離層斷層掃描分析。
科學酬載前置資料分析報告	是	完成雙頻數位接收自製和。科學酬載前置資料分析。