

2010年臺灣國際科學展覽會
優勝作品專輯

編號：150004

作品名稱

震到電離層

The Quaking Ionosphere—

Earthquakes Disturb Ionosphere

得獎獎項

地球科學科大會獎三等獎

學校名稱：台北市立第一女子高級中學

作者姓名：張郁佳

指導老師：劉正彥教授、吳育雅老師

關鍵詞：電離層、地震、太陽活動

作者簡介



我是張郁佳(左)，目前就讀北一女中三年級。前年汶川大地震發生後，一篇新聞報導吸引了我的目光：地震發生前夕，當地上空的電離層電子濃度有異常減少的現象，921 集集地震發生前，台灣上空也有類似情形出現。就這樣，開啟了這次的研究。一開始什麼都不懂，程式語言也是從頭學起，總是將問題想得太簡單、太理想，因此過程中碰到了許多挫折。在這次的專題研究中，我瞭解到知識的累積並不如課本那樣制式，也許這次只得到了小小的結果，但卻有滿滿的收穫。

摘要

本研究探討大地震前電子濃度的減少與地震之間的關係，以 1999 年 921 集集及日本地區 2008/06/13 規模 7.2 兩個地震個案進行檢驗。分別以疊圖的方式累積 24 小時電離層全電子含量(TEC)，採前 15 天 TEC 中位數當作背景參考值，探討電子濃度的增加或減少，且以標準差 σ 檢驗確認其異常現象的程度。此外為分析太陽活動性對電離層 TEC 之影響，各選取相同磁緯、相同地方時的一點與 F10.7 指數相似時期做驗證，結果顯示電子濃度值異常減少可排除太陽活動的影響，而極有可能來自於大地震。

Abstract

In this study, we discuss the pre-earthquake ionospheric anomaly before the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan, comparing with an earthquake happened in Japan on June 13, 2008. We use the ionospheric total electron content (TEC) map overlay to accumulate TEC and take 15 days' median as a standard to judge the ionospheric electron decreasing or increasing. The anomaly was examined by standard deviations to determine the unusual degrees. In addition, to analyze the effect of solar activity, we choose a case that has the same magnetic latitude as the epicenter and a period with the similar F10.7 index to check. Results show that the unusual phenomena are most likely caused by the earthquakes.

壹、前言

一、研究動機

北京時間 2008 年 5 月 12 日 14 時 28 分發生 Mw 8.3 的汶川大地震，災情十分慘重。令人不禁想起 1999 年的 921 集集大地震，當時的恐懼、不安，仍深刻地留在心中。位於環太平洋火山地震帶上台灣的我們，無時無刻不經歷大大小小的地震，但也只能被動地接受它們的到來，難道我們真的束手無策嗎？有趣的是，921 集集大地震和 512 汶川大地震發生前夕，其附近上空的電離層電子濃度都有明顯的減少，這現象究竟是來自於太陽活動所引起的磁暴，還是其他如地球板塊擠壓累積能量等因素，會使得電離層電子濃度如此異常？一直以來，地震前兆的研究是科學家們非常感興趣的一門領域，但在多年的探討下，所得卻寥寥無幾。電離層電子濃度的異常現象，能不能使這長期撲朔迷離的領域露出一道曙光？

二、研究目的及問題

(一)了解 921 集集大地震與電離層電子濃度變化之關係

- 1.電子濃度的變化是否異常
- 2.比較相同磁緯、相同地方時的電離層電子濃度
- 3.探討相似太陽黑子數相似時期電離層的電子濃度

(二)比較 921 集集及日本地區 2008/06/13 規模 7.2 兩個地震個案

(三)分析台灣地區規模較大的地震(≥ 6.0)對電子濃度的影響

貳、文獻探討

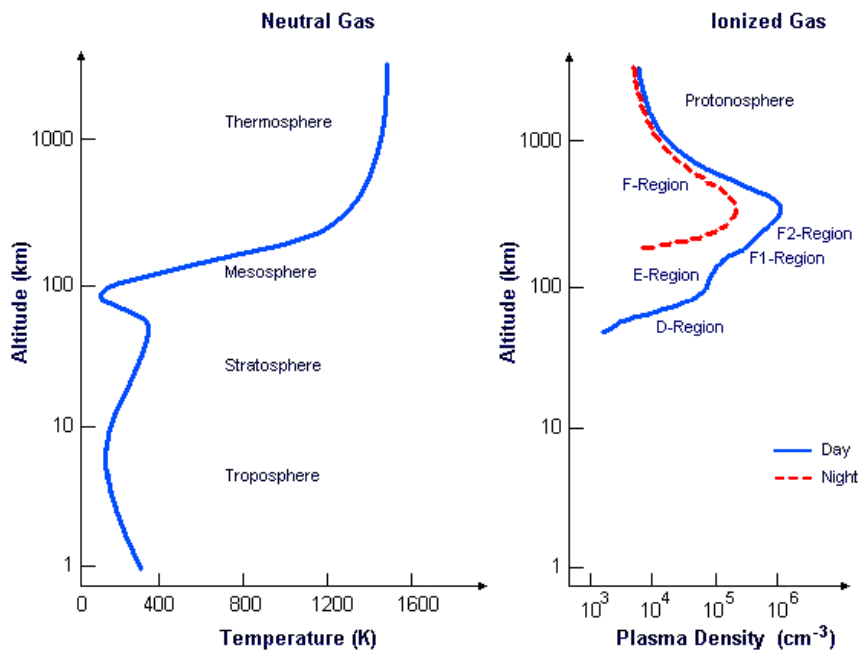
一、電離層

(一)電離層

電離層位處距地球表面約五十公里以上至數千公里之間，存在大量自由電子和離子而會影響電波傳播，使其發生傳播速度、折射、反射、散射、極化和吸收變化。電離層中的電漿主要來自於大氣層中的中性粒子受到太陽光短波輻射游離化而產生，然而其亦可經由電子與離子的結合而消失，或經傳輸作用而改變。

(二)分層

1. D層(最低的一層)：約在 50-90 公里高而白天電子濃度甚小，約為 2.5×10^9 el/m^2 。
2. E層(中層)：約在 100-140 公里高，白天濃度約 10^{11} el/m^2 ，晚上因無太陽光之光化學反應，電子濃度幾乎難以探測。
3. F層：約在 150-400 公里高，因傳輸作用而帶有最多的電漿濃度約 2.0×10^{12} el/m^2 ，白天分為 F₁ 與 F₂ 層，夜間則合併為一個層。



圖左為地球大氣層溫度隨高度之分布。圖右為電離層電子濃度隨高度之分布圖，橫座標為電子濃度，縱座標為高度。白天電離層(藍色實線)可分為 D、E、F₁ 與 F₂ 層，夜晚(紅色虛線)則只有 F 層。

(三)異常

1.冬季異常

夏季因陽光直射中緯度地區，F₂層在白天電離度加高，然而由於季節性氣流的變化，夏季這裡的分子對單原子的比例也增高，造成離子捕獲率的增高，這個捕獲率的增高甚至強於電離度的增高。因此形成夏天電離層電子濃度低於冬天，此現象成為冬季異常。

2.赤道異常(equatorial ionization anomaly, EIA)

電離層 F 層在地磁赤道地區存在有明顯電漿濃度減少的現象，而於磁赤道兩側約 20°附近卻形成兩個電漿濃度峰值。

(四)擾亂

電離層之電子濃度可能會受到太陽風、磁暴、雷暴雨、中性風等的影響而造成其濃度改變。

二、全球定位系統(Global Positioning System, GPS)

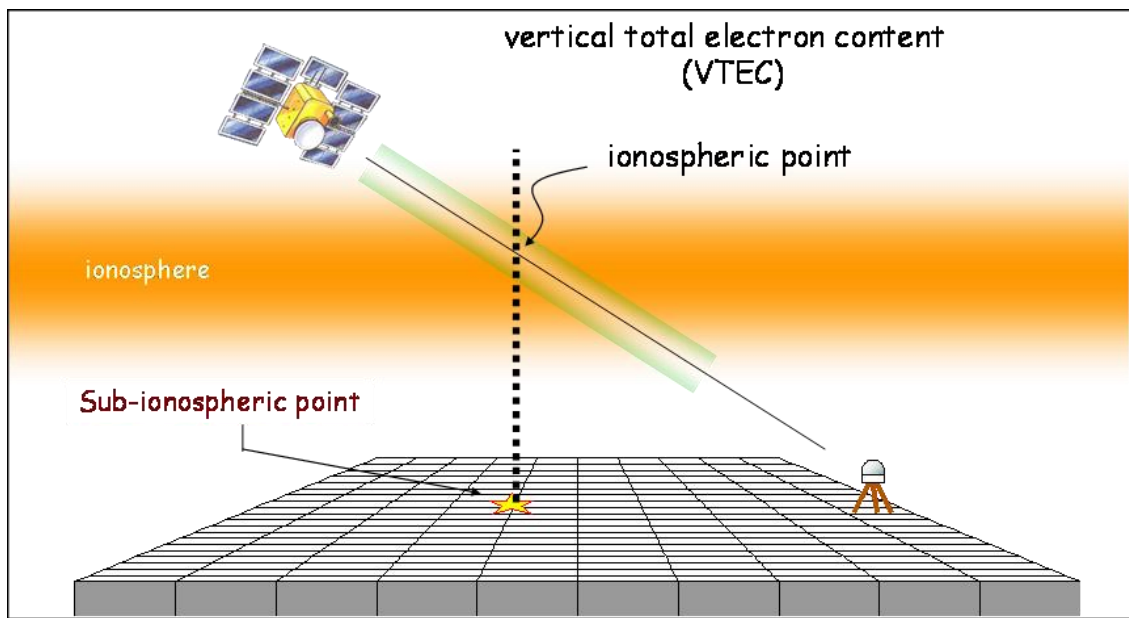
每一顆 GPS 衛星傳送兩種頻率的電波(f₁=1575.42 MHz 與 f₂=1227.60 MHz)，並在其上調制兩種不同的電碼(C/A 與 P)以編制，而在接收器端記錄虛擬距離(pseudo range)與載波相位(carrier phase)。因電離層為一個頻散的介質(dispersive medium)，GPS 衛星訊號通過時會造成電磁波速度的改變。其載波相位的超前和虛擬距離資料的延遲，與通過電離層路徑上電子濃度的積分成正比。因此利用此特性可以估算 GPS 衛星至地面接收站之間傳播路徑上(Slant)的全電子含量 STEC：

$$STEC \equiv \int_{Rx}^{Tx} N(l) \cdot dl$$

此式說明 STEC 為電子密度 N 從 GPS 衛星發射天線 Tx 至地面接收天線 Rx 的路徑積分。(全電子含量(total electron content, TEC)單位：1TECU=10¹⁶el/m²)

GPS 衛星電波穿越電離層的路徑長度會隨著 GPS 衛星的移動而改變，因此 STEC 會隨著衛星的仰角而變。為除去電波幾何路徑的效應，衛星觀測電離層時通常會進行幾何垂直修正，將 STEC 換算成垂直方向上的 vertical TEC (VTEC)。假設 GPS 衛星發射訊號通過電離層的質心，即含最大電子濃度上方附近之電離層點 (ionospheric point)，而與地面接收站之間存在天頂角 χ 。電離層點在地面上的投影則稱為「亞電離層點」(sub-ionospheric point)。亞電離層點上的 VTEC 可表示成：

$$VTEC \approx STEC \times \cos \chi$$



STEC 與 VTEC (陳佳宏, 2006)

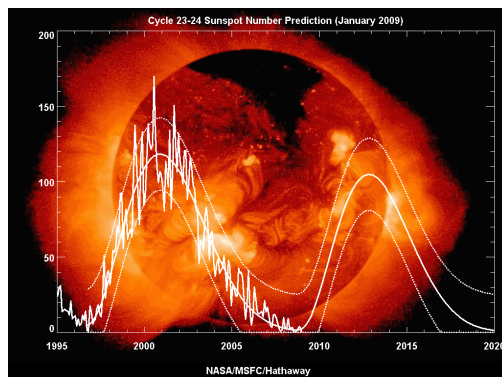
三、全球電離層圖(Global Ionosphere Maps, GIM)

為歐洲軌道測定中心(Center for Orbit Determination in Europe, CODE)利用散佈於全球大約 200 個 GPS/GLONASS 地面觀測站以及其他儀器的觀測資料，計算每天全球電離層 TEC 分佈而得，以提供全球電離層全電子含量的分布狀況。現今 GIM 之時間解析度為 2 小時，而經度和緯度解析度則分別為 5° 和 2.5° 。

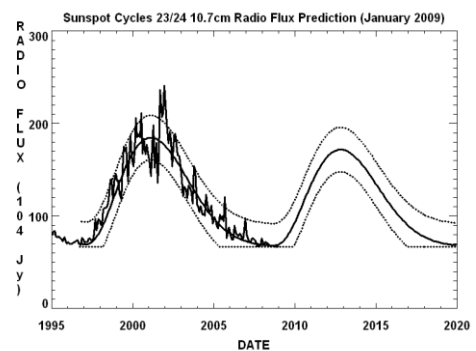
四、太陽黑子數與 F10.7

太陽黑子數與 F10.7 指數常被用來描述太陽活動性。太陽黑子是在太陽的光球層發生的一種太陽活動。一般認為，太陽黑子實際上是太陽表面一種熾熱氣體的巨大漩渦，溫度大約為 4500°C。因為比太陽的光球層表面溫度要低 1000 到 2000°C，所以看上去像一些深暗色的斑點。其形成與太陽磁場有密切關係。黑子的活動周期為 11.2 年，活躍時會對地球的磁場產生影響。

F10.7 指數是依據加大拿首都渥太華至今連續觀測 2800MHz 波段太陽電磁波之強度，單位為 $10^{22} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz})$ 。太陽電波通量來自太陽的無線電波，主要出自日冕活躍區上面被磁場拘束住的電漿。被標示為 F10.7 的為波長 10.7 公分的無線電波，接近被觀察的太陽無線電波的峰值位置。



太陽黑子 (NASA)



F10.7

五、Mw 矩陣級(moment magnitude scale)為記錄地震強度的標度。

$$M_w = \frac{2}{3} \log_{10} M_0 - 6$$

其中地震矩 $M_0 = \mu \times \bar{D} \times S$ (μ 為斷層物質之剛性係數(rigidity 或 modulus) 一般為 30×10^9 帕斯卡。 \bar{D} 為斷層之平均滑動量(位移)。S 為斷層面積。)

六、地震前電離層電子濃度減少，目前有三種假設最為科學界所接受：

(一)重力波理論：

地震前，地表微細變化常會引起大氣極低頻振動，並顯現於距地表 80 公里左右之電離層電子濃度變化中。

(二)地殼化學理論：

地震前，地殼會大量釋放出各種氣體而擴散於大氣中，並進入電離層，而引起電子濃度之變化。

(三)地電磁場理論：

地震前，氣體、地殼擠壓或微小振動，會引起地電及地磁場的變化，產生的電磁場變化又進一步感應大氣及電離層中之帶電粒子而引起異常。

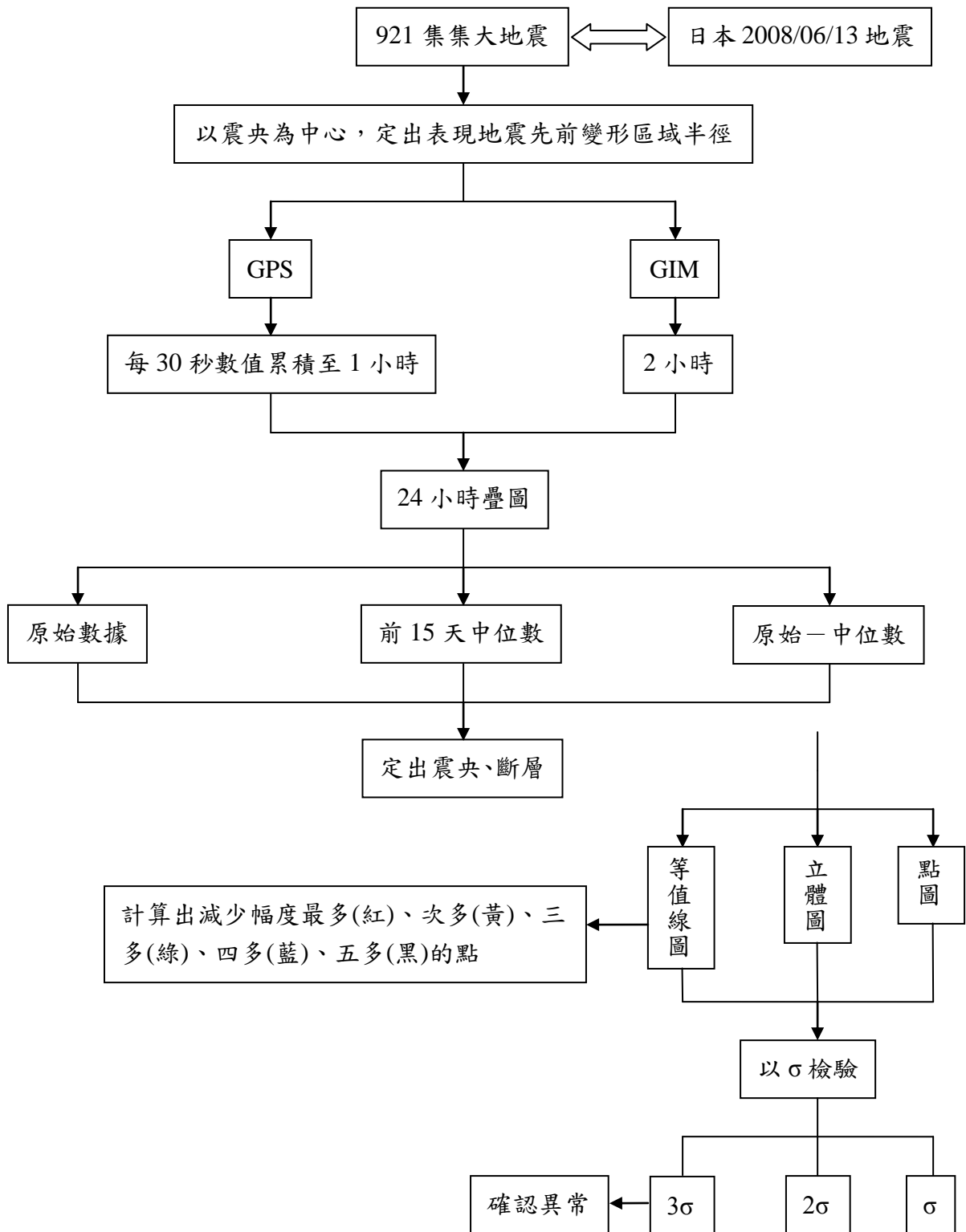
參、研究設備及器材

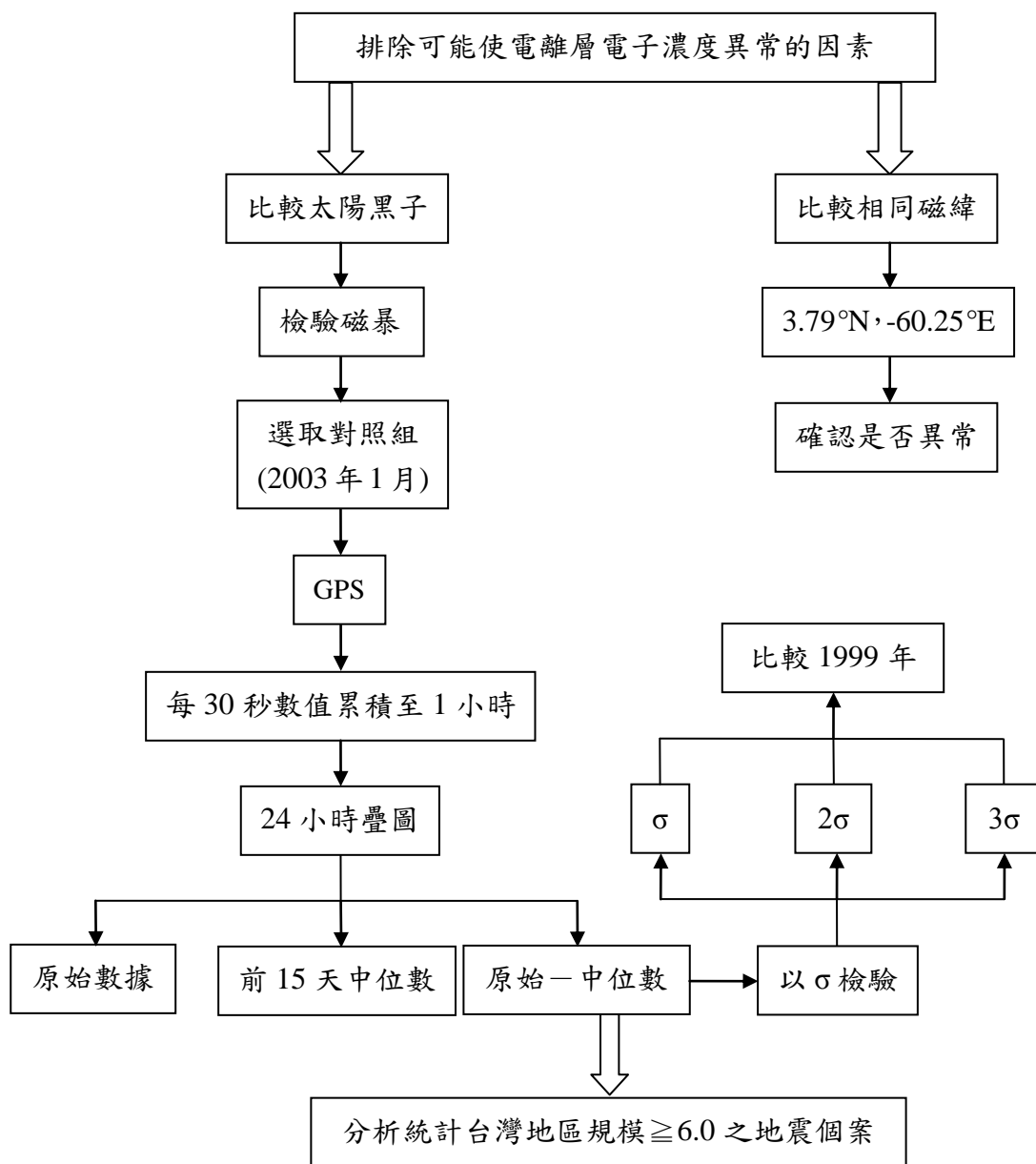
一、全球定位系統(GPS)、全球電離層圖(GIM)

二、軟體：Matlab、UltraEdit-32、Microsoft Office 2003

三、硬體：個人電腦

肆、研究過程或方法



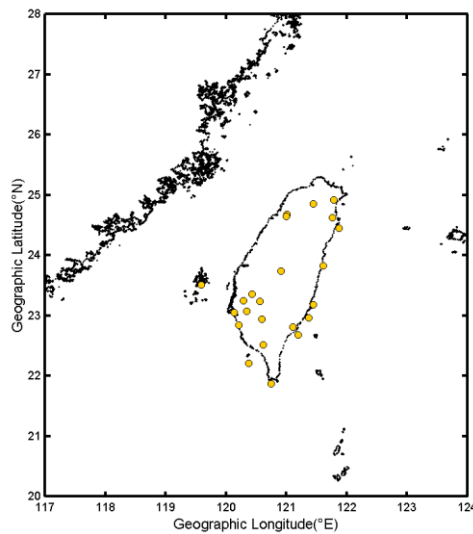


一、921 集集大地震前後電離層電子濃度之變化

(一)以 GPS 分析

- 1.以地震震央(23.85°N, 120.82°E)為中心，定出有效地表現地震先前變形區域半徑(應變半徑) $R=10^{0.43M}$ (M 為地震規模)，將 M 以 7.3 帶入，得一半徑為 1377.2 公里的圓

2.選用 1999 年台灣地區 25 個 GPS 測站(如下圖)，將 GPS 電碼轉觀測值經由理論數學換為電離層全電子含量(TEC)數值(10^{16}el/m^2)



3.以 Matlab 將每 30 秒一筆之數值累積至 1 小時

4.以 Matlab 將一天 24 小時有資料各點作疊圖，取出其中位數，放入第一張子圖 (Color Bar 範圍：25~100 (10^{16}el/m^2))

5.計算前 15 天 TEC 中位數，以與上述相同方法將有資料各點作疊圖，再取出其中位數，放入第二張子圖 (Color Bar 範圍：25~100 (10^{16}el/m^2))

6.將第一張子圖(原始數據)減去第二張子圖(前 15 天 TEC 中位數)，放入第三張子圖 (Color Bar 範圍：-45~25 (10^{16}el/m^2))

7.定出各圖震央與斷層的位置

(二)以 GIM 分析

1.以地震震央(23.85°N , 120.82°E)為中心，定出地有效地表現地震先前變形區域半徑 (應變半徑) $R=10^{0.43M}$ (M 為地震規模)，將 M 以 7.3 帶入，得一半徑為 1377.2 公里的圓

2.取得 1999 年 GIM 資料(經度解析度為 5° ，緯度解析度為 2.5°)

3.將一天 24 小時共 12 筆數據(時間解析度為 2 小時)作疊圖，取出其中位數，放入

第一張子圖 (Color Bar 範圍：0~30 (10^{16}el/m^2))

4. 計算前 15 天 TEC 中位數，以與上述相同方法作疊圖，再取出其中位數，放入第

二張子圖 (Color Bar 範圍：0~30 (10^{16}el/m^2))

5. 將第一張子圖(原始數據)減去第二張子圖(前 15 天 TEC 中位數)，放入第三張子

圖 (Color Bar 範圍：-15~10 (10^{16}el/m^2))

6. 定出各圖震央與斷層的位置

二、以標準差 σ 檢驗其是否為異常

假設有一組數值 X_1, X_2, \dots, X_n (皆為實數)，其平均值為：

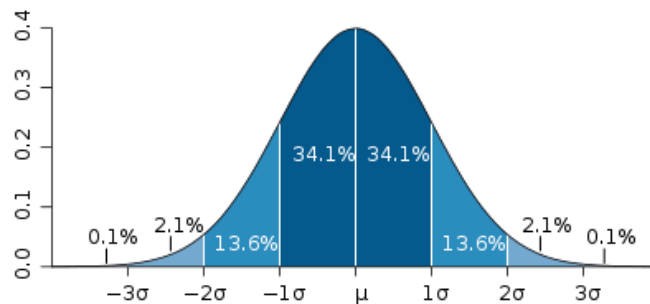
$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (N \text{ 為數值的個數})$$

此組數值的標準差為：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$$

考慮一組數據具有相似於常態分布的機率分布。若其假設正確，則約 68% 數值分布在距離平均值有 1 個標準差之內的範圍，約 95% 數值分布在距離平均值有 2 個標準差之內的範圍，約 99.7% 數值分布在距離平均值有 3 個標準差之內的範圍。

平均值小於一個標準差(深藍)之內的數值範圍約占全部數值的 68%，兩個標準差之內(深藍+藍)約 95%，三個標準差之內(深藍+藍+淺藍)約 99.7%。



(出處：維基百科 <http://www.wikipedia.org/>)

(一)將之前所畫之一天電離層濃度疊圖放入第一張子圖

(二)為避免某點資料過少而造成以 σ 檢驗時無法除去該點，因此以程式判定先行剔除資料少於9筆的點。

(三)以電腦程式判定，剔除數值小於1個 σ 的點，放入第二張子圖

(四)依上述方法，剔除數值小於2個 σ 、3個 σ 的點，分別放入第三、四張子圖

三、減少幅度較多的點

(一)將之前所作之異常日(9/17、9/18)電離層濃度疊圖畫為等值線圖

(二)以程式判定剔除資料少於9筆的點

(三)以(原始數據—前15天TEC中位數)差值判定減少幅度前5名的地點，依次以紅、黃、綠、藍、黑點標示之

四、相同磁緯、Local Time 之比較

(一)以GIM資料，取震央(23.85°N, 120.82°E)上空電離層電子濃度作一圖，包含九月份原始數據、前15天TEC中位數、上界異常值、下界異常值

(二)找出與震央(磁經緯：13.83°N, 191.86°E)相同磁緯、磁經相差180°之點

(三)以GIM資料，取此點(3.79°N, -60.25°E)上空電離層電子濃度作一圖，包含九月份原始數據、前15天TEC中位數、上界異常值、下界異常值

五、F10.7 相近 2003 年 1 月之比較

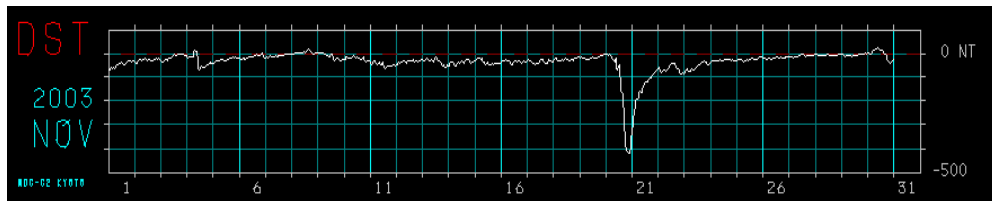
(一)比較與1999年9月(黃色)之F10.7數值較相近的時間

	MONTHLY						ADJUSTED MONTHLY SOLAR FLUX					
	Ottawa/Penticton						MONTHLY					
	2800 MHz Series C (Multiplied by Ten)						1700/2000 UT					
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1999	1381	1386	1249	1180	1519	1752	1710	1750	1372	1637	1874	1645
2000	1531	1691	2061	1855	1887	1855	2114	1672	1838	1666	1749	1682
2001	1613	1431	1761	1793	1520	1792	1356	1671	2362	2066	2081	2282
2002	2201	2001	1784	1911	1824	1534	1792	1884	1778	1659	1651	1523
2003	1394	1214	1308	1272	1187	1334	1319	1252	1134	1501	1377	1114
2004	1104	1044	1110	1019	1021	1005	1224	1127	1041	1051	1112	921
2005	990	949	890	866	1017	966	996	928	921	761	844	879
2006	808	747	747	896	827	790	783	814	786	738	844	819
2007	808	758	715	729	760	760	740	709	678	671	681	761
2008	719	694	722	707	699	680	678	680	678	678	671	670
2009	676											

(出處：http://www.swpc.noaa.gov/forecast_verification/F10.html)

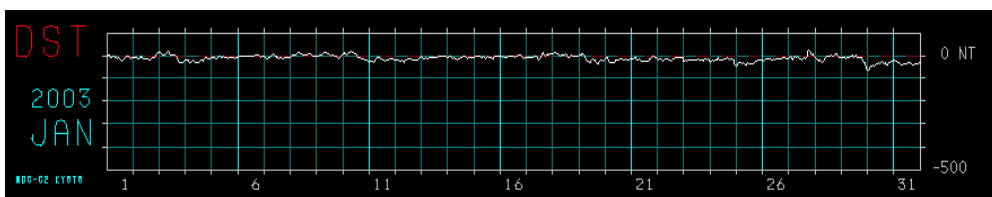
1. 檢查太陽活動的影響

- ① 2003 年 11 月份(紅色)月平均最接近 1999 年 9 月，但發現有明顯的磁暴現象，因此不予採用



(出處：<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>)

- ② 2003 年 1 月份(綠色)月平均次接近 1999 年 9 月，檢查太陽活動的影響，無明顯的磁暴現象，因此將 2003 年 1 月作為對照組



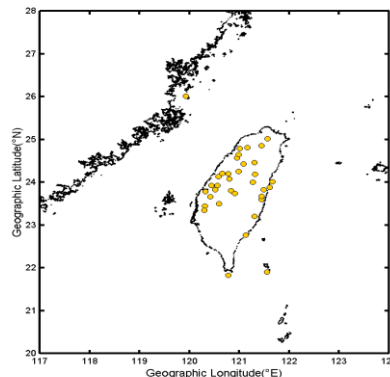
(出處：<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>)

2. 找出與異常日 1999 年 260、261 日(9/17、9/18)相近之 F10.7 數值得 2003 年 006、007 日(01/06、01/07)

1999	260	261								
	1591	1530								
2003	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010
	1112	1144	1331	1382	1432	1568	1578	1680	1769	1787
	011	012	013	014	015	016	017	018	019	020
	1826	1677	1662	1586	1450	1399	1371	1330	1261	1337
	021	022	023	024	025	026	027	028	029	030
	1294	1254	1316	1258	1249	1212	1177	1218	1207	1176
	031									
	1169									

(出處：http://www.swpc.noaa.gov/forecast_verification/F10.html)

(二)選用 2003 年台灣地區 45 個 GPS 測站(如下圖)，將其 GPS 電碼觀測值轉換為 TEC 數值



(三)以 Matlab 將每 30 秒一筆之數值累積至 1 小時

(四)以 Matlab 將一天 24 小時有資料各點作疊圖，取出其中位數，放入第一張子圖

(Color Bar 範圍：25~100 (10^{16} el/m²))

(五)計算前 15 天 TEC 中位數，以與上述相同方法將有資料各點作疊圖，再取出其

中位數，放入第二張子圖 (Color Bar 範圍：25~100 (10^{16} el/m²))

(六)將第一張子圖(原始數據)減去第二張子圖(前 15 天 TEC 中位數)，放入第三張子

圖 (Color Bar 範圍：-45~25 (10^{16} el/m²))

(七)以標準差檢驗 2003 年 006、007 天是否異常

- 1.將之前所畫之一天電離層濃度疊圖放入第一張子圖
- 2.為避免某點資料過少而造成以 σ 檢驗時無法除去該點，因此以程式判定先行剔除資料少於9筆的點。
- 3.以電腦程式判定，剔除數值小於1個 σ 的點，放入第二張子圖
- 4.依上述方法，剔除數值小於2個 σ 、3個 σ 的點，分別放入第三、四張子圖

六、日本地區 2008/06/13(UT)地震與 921 集集地震比較

(一)根據日本氣象廳資料，選取一地震規模與深度和 921 集集地震相似：

2008/06/13 23:43:45.3(UT)，震央經緯度(39.0283°N, 140.88°E)，規模 7.2，深度 8km

(二)以 GPS 資料分別檢驗 1σ 、 2σ 、 3σ 在有效地表現地震先前變形區域半徑(應變半徑) $R=10^{0.43M}$ (M 為地震規模)內電離層的濃度變化(GPS 資料選用與震央經緯度相差 2° 內之 165 個 GPS 測站，位置如附件)

(三)以 GIM 資料比較相同磁緯、相同地方時、磁經相差 180° 的點(21.69°N, -45.06°E)之電離層電子濃度

(四)以 GIM 資料比較太陽活動相似時期(2008/08)之電離層電子濃度

七、台灣地區規模較大的地震(≥ 6.0)前後電離層電子濃度的變化

(一)根據中央氣象局資料，查詢台灣地區 $M \geq 6.0$ 之地震

(二)若同一天有兩個(含)以上 $M \geq 6.0$ 之地震，取其規模最大者，其餘視之為餘震

(三)檢查地震前五天以內是否有磁暴的發生，若有，則不將此次地震列入分析

(四)以 GPS 資料分析地震前後電離層電子濃度是否有異常現象(以標準差檢驗)

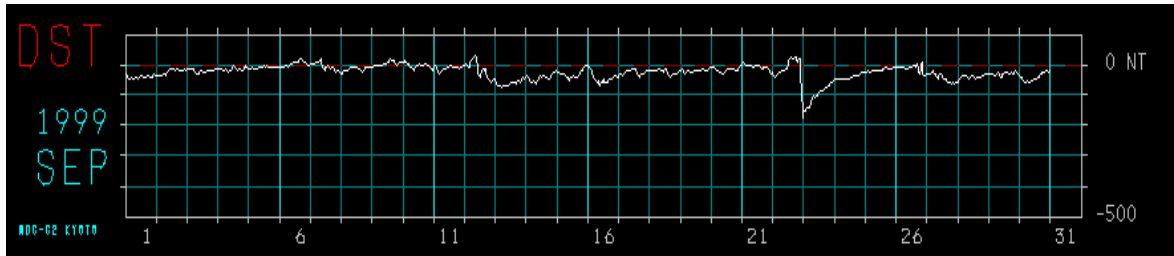
(五)根據中央氣象局資料所得台灣地區 1999~2008 年規模 ≥ 6.0 之地震，共 31 筆。

時間為地方時間(LT)，地震資料請參考附件表一。

伍、研究結果

一、921 集集大地震前後電離層濃度之變化

1999 年 9 月太陽活動

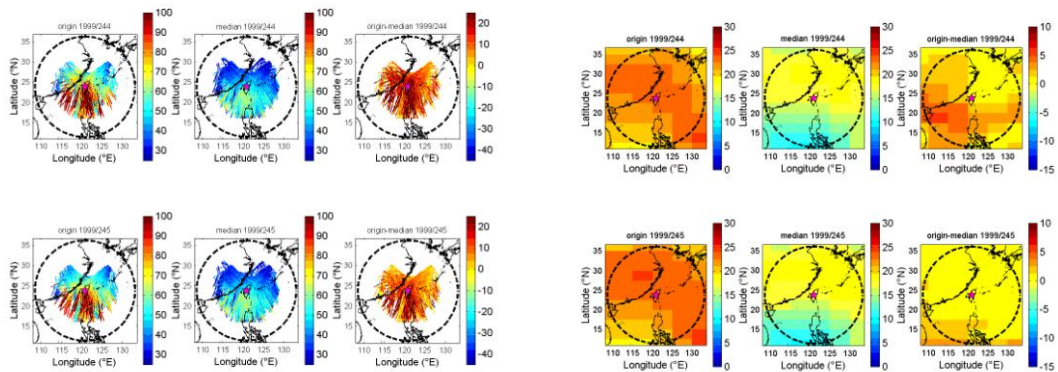
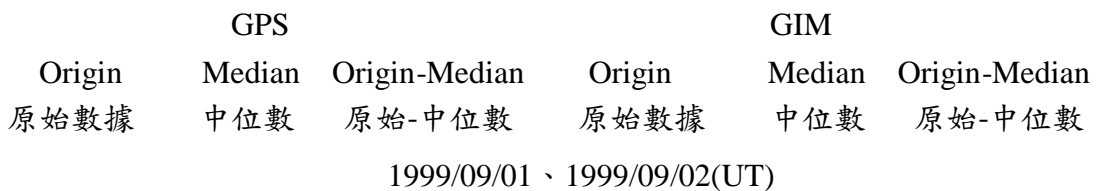


(出處：<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>)

以 GPS(左半)和以 GIM(右半)分析之比較

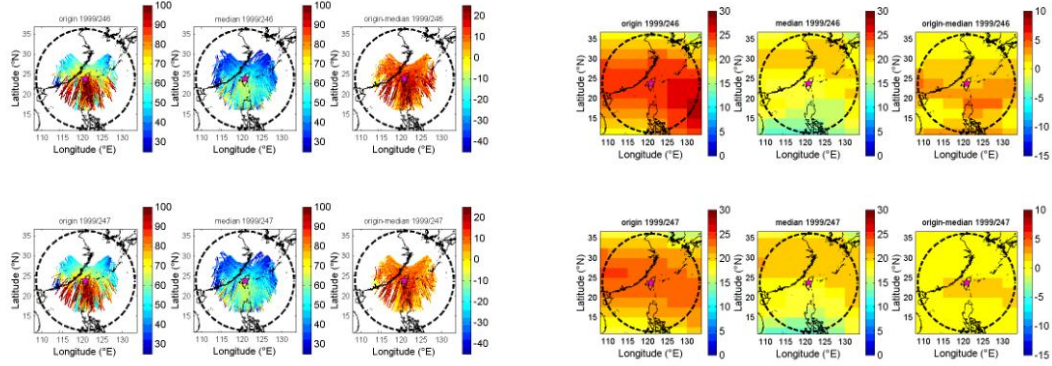
每一張圖包含六張子圖。上左為當天原始的 TEC 數值，上中為前 15 天 TEC 中位數，上右則為(原始的 TEC 數值)-(前 15 天 TEC 中位數)。下三張子圖由左至右分別為下一天的原始的 TEC 數值、前 15 天 TEC 中位數、(原始的 TEC 數值)-(前 15 天 TEC 中位數)。

(紅色星號為震央位置)

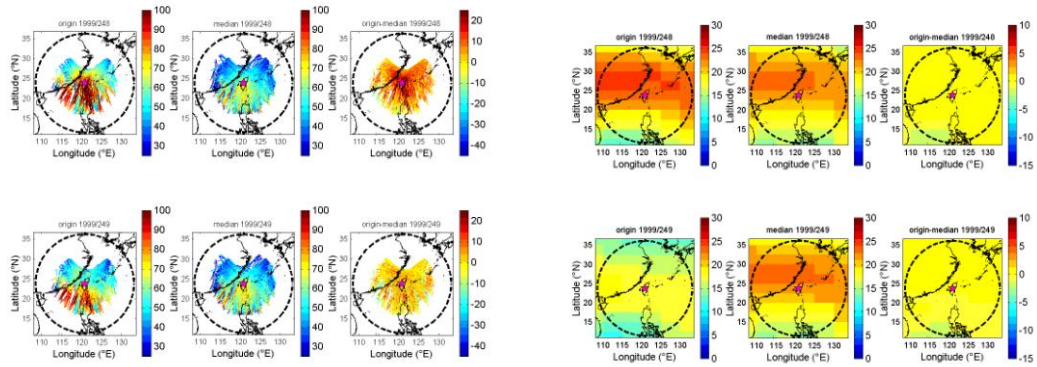


	GPS			GIM		
Origin	Median	Origin-Median	Origin	Median	Origin-Median	
原始數據	中位數	原始-中位數	原始數據	中位數	原始-中位數	

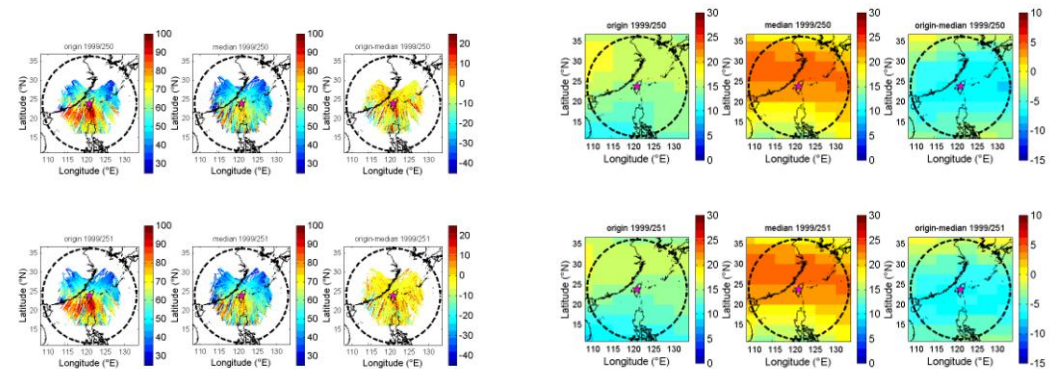
1999/09/03、1999/09/04(UT)



1999/09/05、1999/09/06(UT)

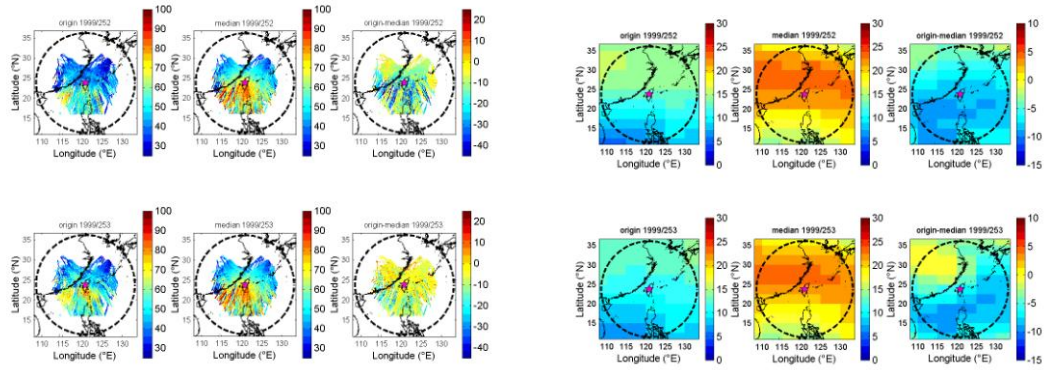


1999/09/07、1999/09/08(UT)

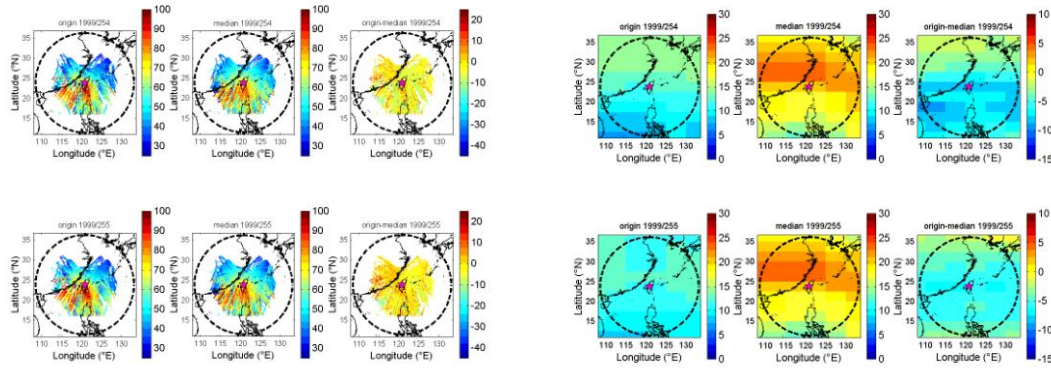


	GPS			GIM		
Origin	Median	Origin-Median	Origin	Median	Origin-Median	
原始數據	中位數	原始-中位數	原始數據	中位數	原始-中位數	

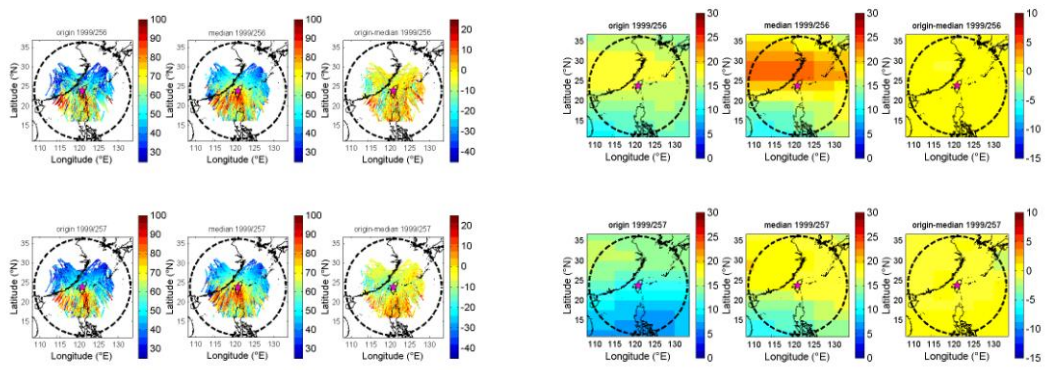
1999/09/09、1999/09/10(UT)



1999/09/11、1999/09/12(UT)

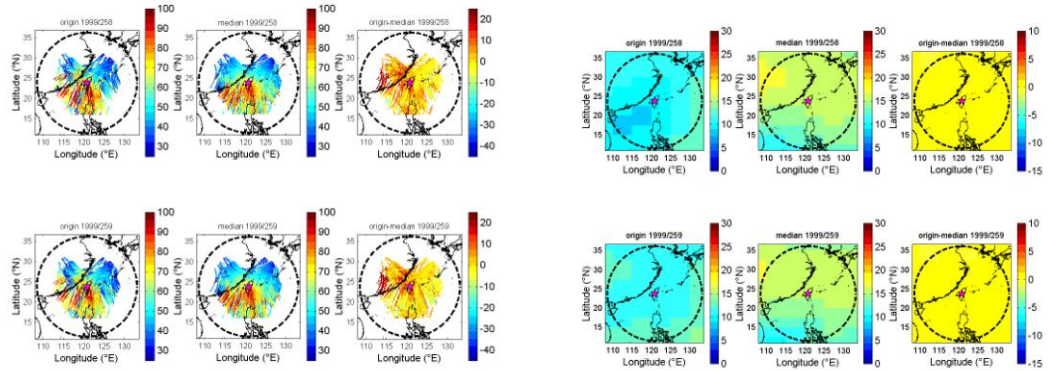


1999/09/13、1999/09/14(UT)

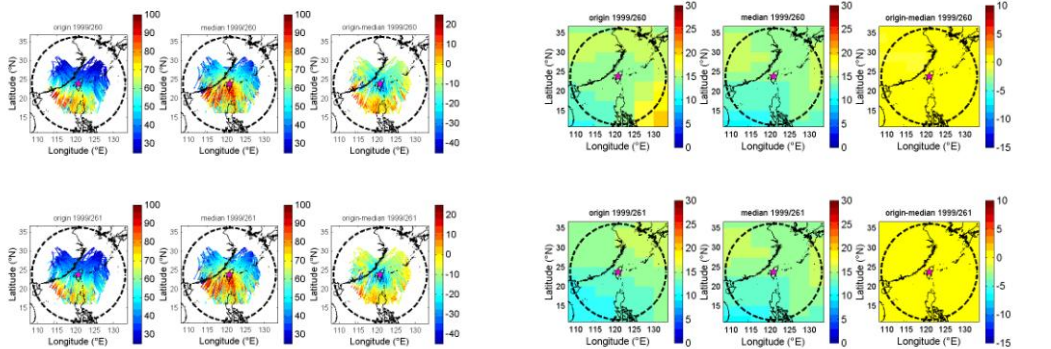


	GPS			GIM		
Origin	Median	Origin-Median	Origin	Median	Origin-Median	
原始數據	中位數	原始-中位數	原始數據	中位數	原始-中位數	

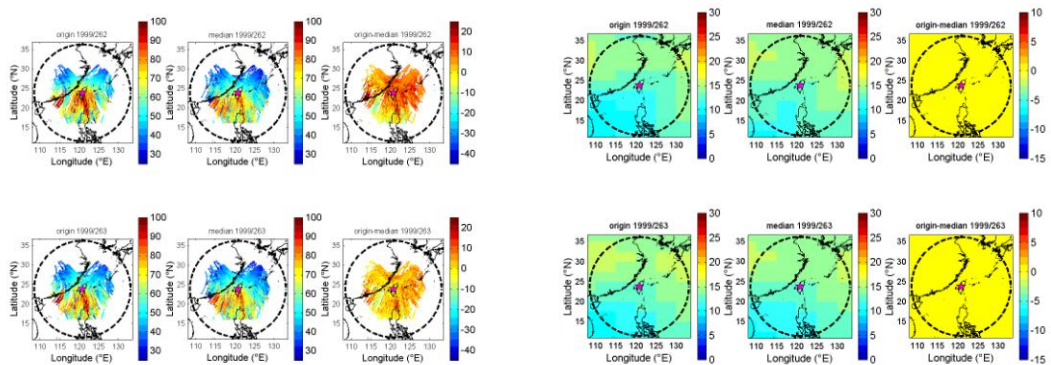
1999/09/15、1999/09/16(UT)



1999/09/17、1999/09/18(UT)

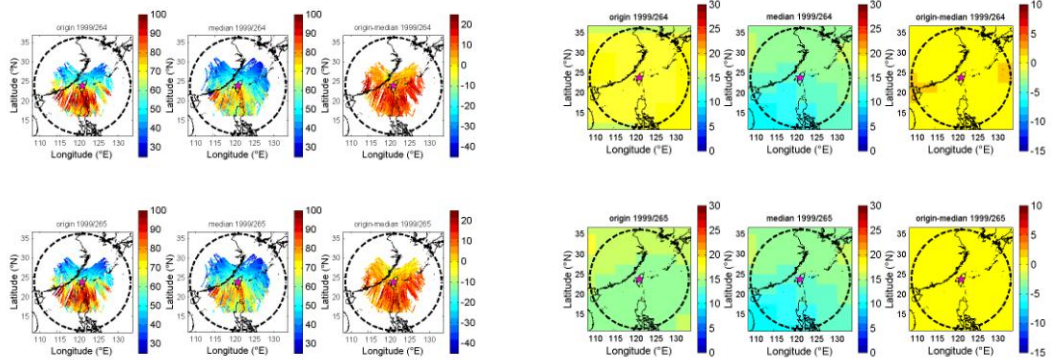


1999/09/19、1999/09/20(UT)

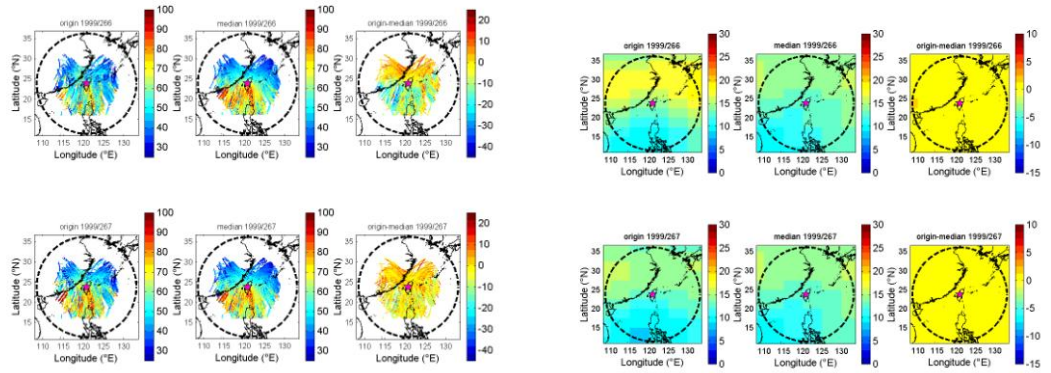


	GPS			GIM		
Origin	Median	Origin-Median	Origin	Median	Origin-Median	
原始數據	中位數	原始-中位數	原始數據	中位數	原始-中位數	

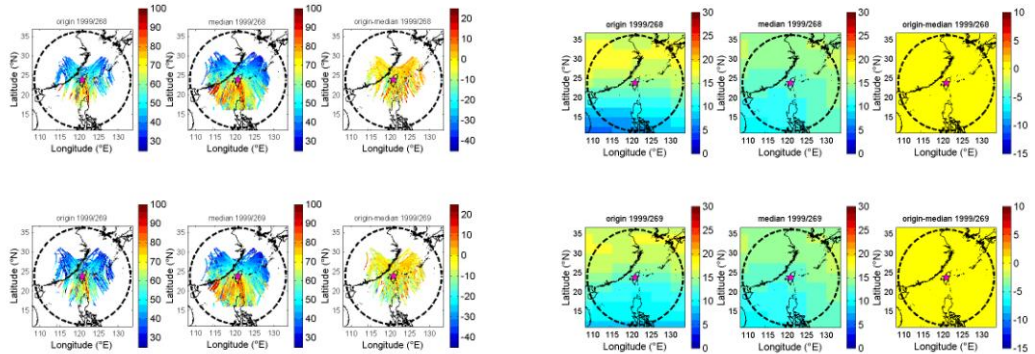
1999/09/21、1999/09/22(UT)



1999/09/23、1999/09/24(UT)

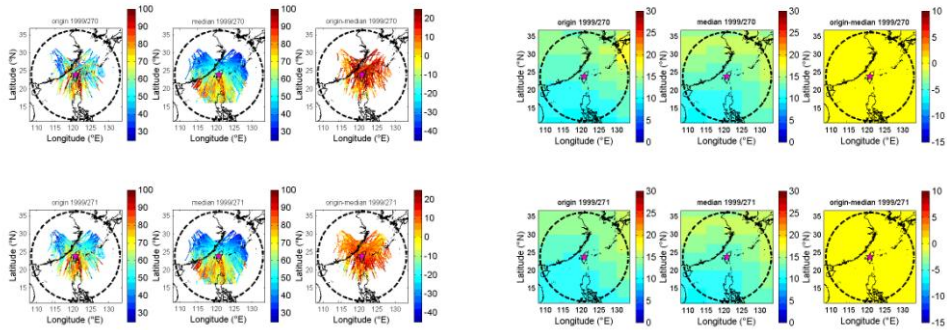


1999/09/25、1999/09/26(UT)

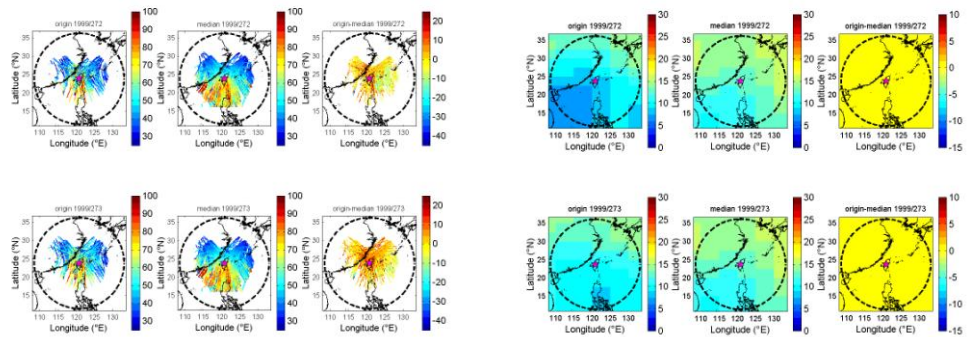


	GPS			GIM		
Origin	Median	Origin-Median	Origin	Median	Origin-Median	
原始數據	中位數	原始-中位數	原始數據	中位數	原始-中位數	

1999/09/27、1999/09/28(UT)



1999/09/29、1999/09/30(UT)



(一)以 GPS 分析

1. 電離濃度前 15 天中位數相比為較高者：共 10 天，約佔 9 月份 33.3%。
2. 電離濃度大致與前 15 天中位數相同者：共 16 天，約佔 9 月份 53.3%。
3. 電離濃度與前 15 天中位數相比為較低者：共 4 天，約佔 9 月份 13.3%。
4. 09/09 台灣附近電離層電子濃度明顯減少。
5. 09/17、09/18 在震央周圍電離層電子濃度明顯減少。

09/01	09/02	09/03	09/04	09/05	09/06	09/07	09/08	09/09	09/10
09/11	09/12	09/13	09/14	09/15	09/16	09/17	09/18	09/19	09/20
09/21	09/22	09/23	09/24	09/25	09/26	09/27	09/28	09/29	09/30

(二)以 GIM 分析

- 1.電離濃度較前 15 天中位數為高者：共 2 天，約佔 9 月份 6.7%。
- 2.電離濃度大致與前 15 天中位數相同者：共 22 天，約佔 9 月份 73.3%。
- 3.電離濃度較前 15 天中位數為低者：共 6 天，約佔 9 月份 20%。

09/01	09/02	09/03	09/04	09/05	09/06	09/07	09/08	09/09	09/10
09/11	09/12	09/13	09/14	09/15	09/16	09/17	09/18	09/19	09/20
09/21	09/22	09/23	09/24	09/25	09/26	09/27	09/28	09/29	09/30

(三)比較 GPS 與 GIM

1.結果大致相同者

09/01、09/03、09/06、09/09、09/13、09/14、09/15、09/16、09/20、09/24、09/25、09/26、09/29、09/30，共 14 天，約佔 46.7%。

2.結果相異者

09/02、09/04、09/05、09/07、09/08、09/10、09/11、09/12、09/17、09/18、09/19、09/21、09/22、09/23、09/27、09/28，共 16 天，約佔 53.3%。

3.無相去甚遠者。

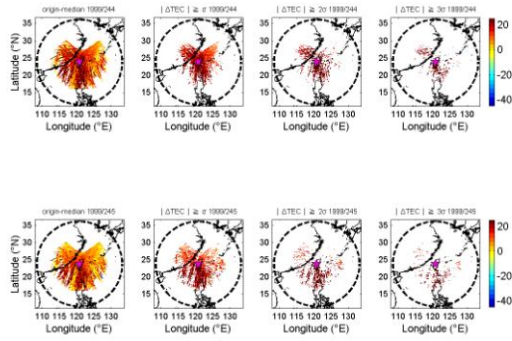
二、以標準差 σ 檢驗其是否為異常

每一張圖包含八張子圖。上左為當天(原始的 TEC 數值)-(前 15 天中位數)，上中左為 $|\Delta\text{TEC}| \geq \sigma$ ，上中右為 $|\Delta\text{TEC}| \geq 2\sigma$ ，上右則為 $|\Delta\text{TEC}| \geq 3\sigma$ 。下四張子圖由左至右分別為下一天(原始的 TEC 數值)-(前 15 天中位數)、 $|\Delta\text{TEC}| \geq \sigma$ 、 $|\Delta\text{TEC}| \geq 2\sigma$ 、 $|\Delta\text{TEC}| \geq 3\sigma$ 。

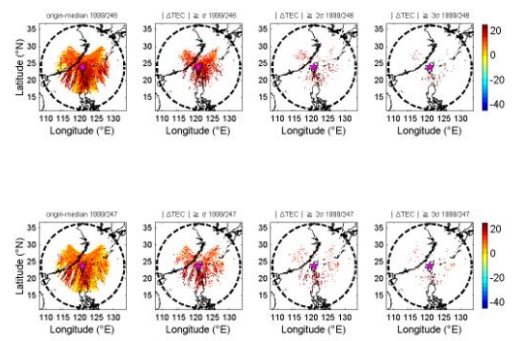
(紅色星號為震央位置)

GPS

Origin-Median σ 2σ 3σ
1999/09/01、1999/09/02(UT)

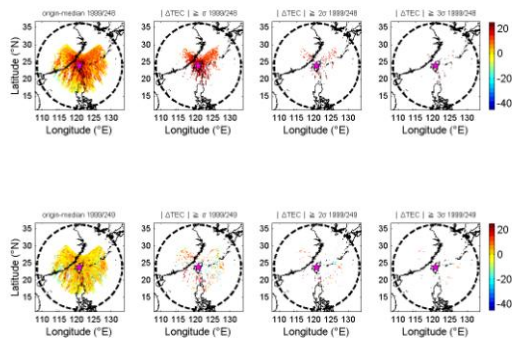


Origin-Median σ 2σ 3σ
1999/09/03、1999/09/04(UT)

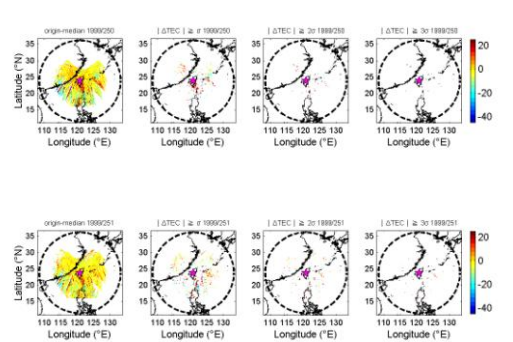


GPS

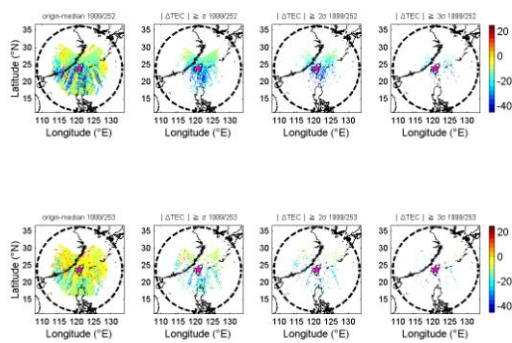
Origin-Median σ 2σ 3σ
1999/09/05、1999/09/06(UT)



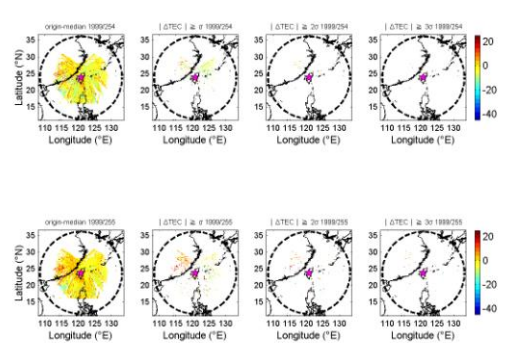
Origin-Median σ 2σ 3σ
1999/09/07、1999/09/08(UT)



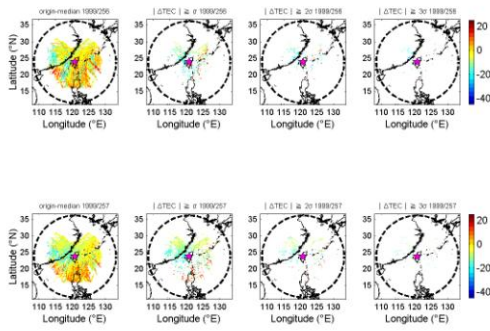
1999/09/09、1999/09/10(UT)



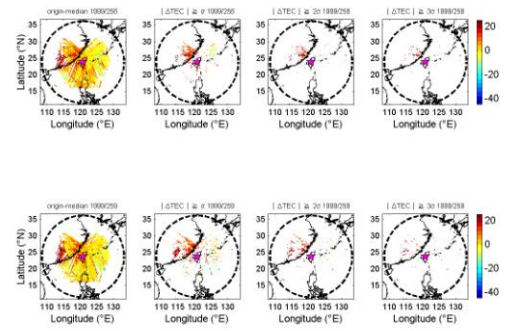
1999/09/11、1999/09/12(UT)



1999/09/13、1999/09/14(UT)



1999/09/15、1999/09/16(UT)

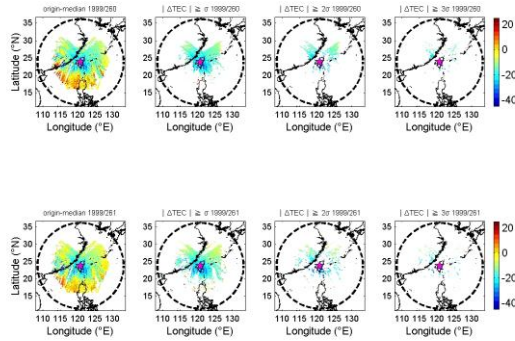


GPS

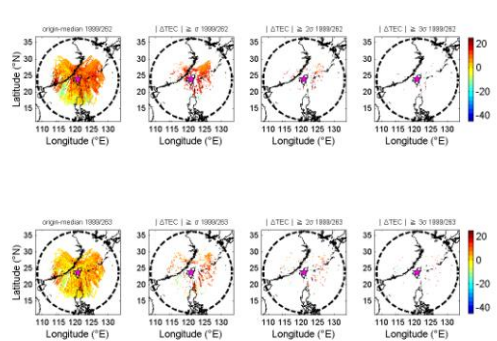
Origin-Median σ 2σ 3σ

Origin-Median σ 2σ 3σ

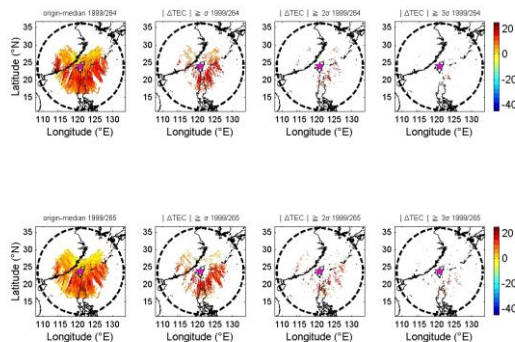
1999/09/17、1999/09/18(UT)



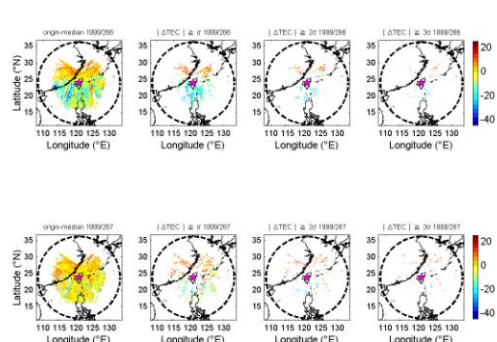
1999/09/19、1999/09/20(UT)



1999/09/21、1999/09/22(UT)

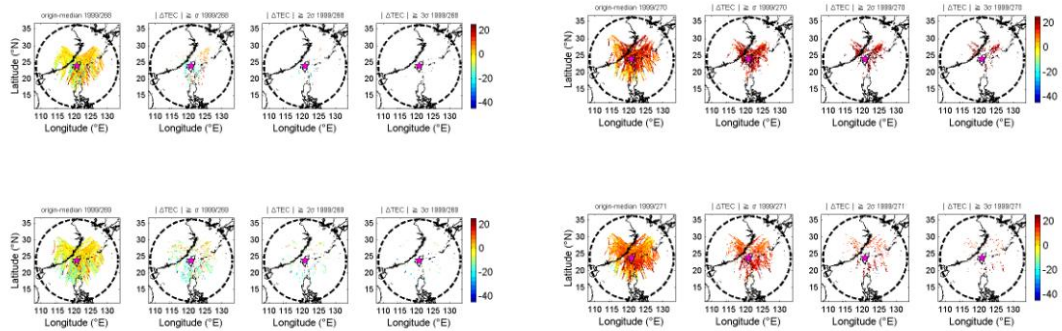


1999/09/23、1999/09/24(UT)



1999/09/25、1999/09/26(UT)

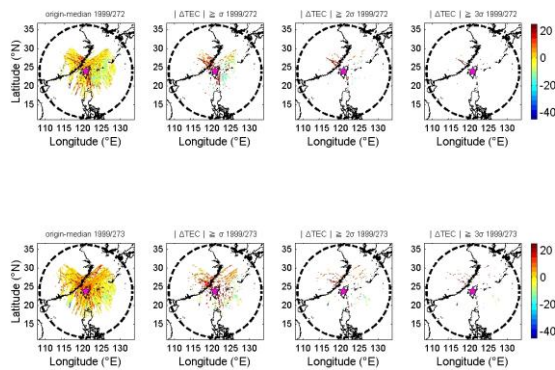
1999/09/27、1999/09/28(UT)



GPS

Origin-Median σ 2σ 3σ

1999/09/29、1999/09/30(UT)

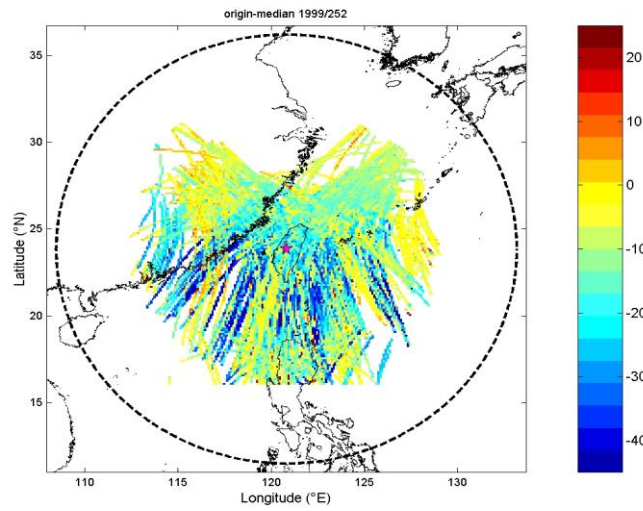


(一)以 3σ 檢驗電離濃度異常高者：

09/01、09/02、09/03、09/04、09/27、09/28，共 6 天，約佔 9 月份 20%。

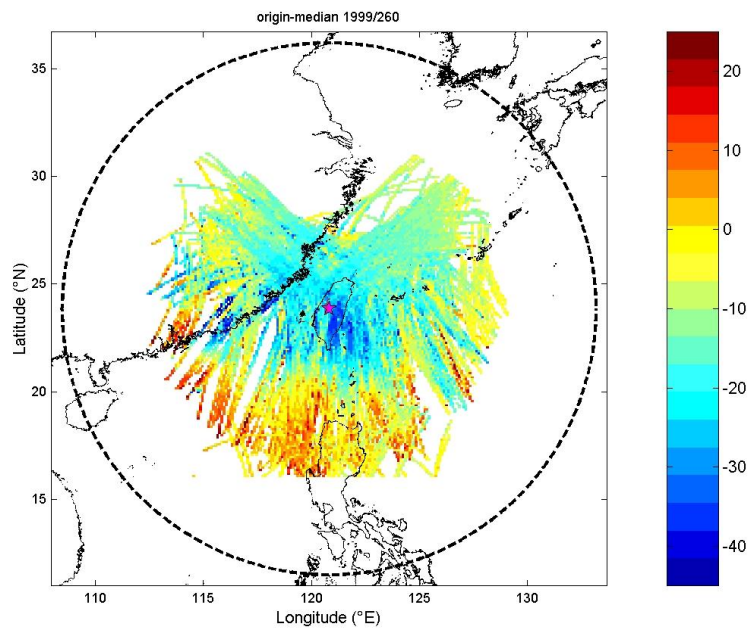
(二)以 3σ 檢驗電離濃度異常低者：

09/09、09/17、09/18，共 3 天，約佔 9 月份 10%。



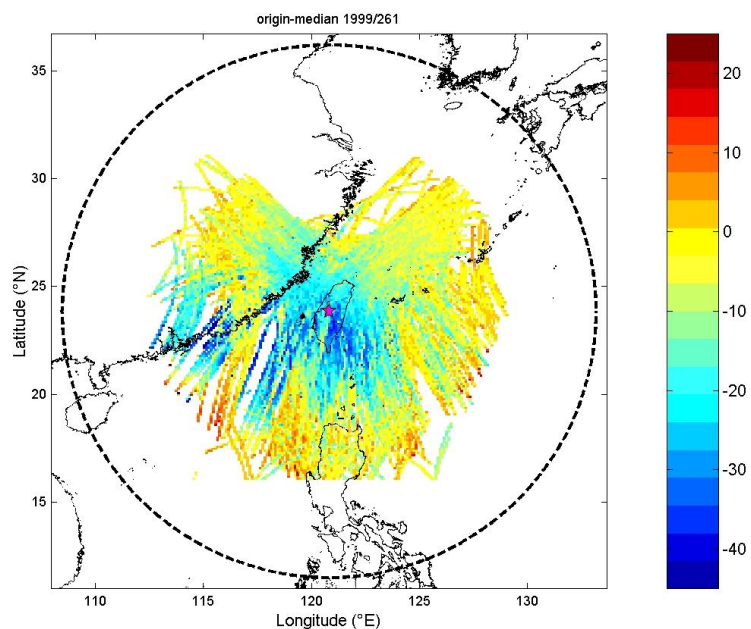
1999/09/09

以 3σ 檢驗，電子濃度仍異常低者。濃度減少最多者大致分布在台灣東側、西側及南側。(紅色星號為震央位置)



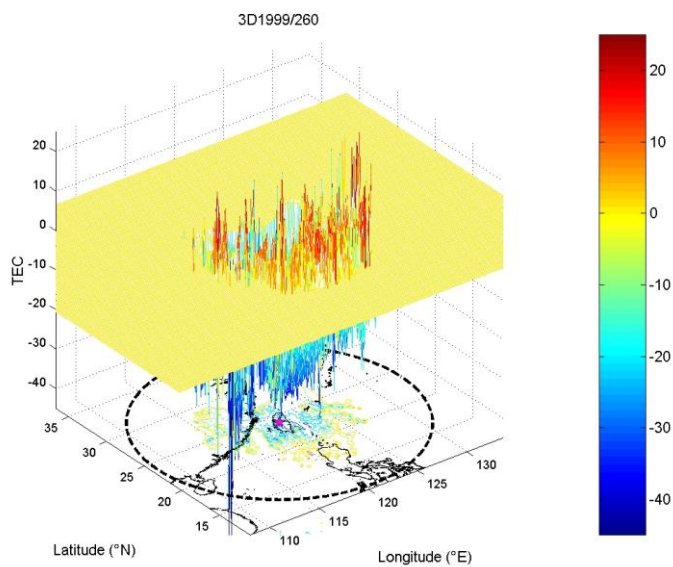
1999/09/17

以 3σ 檢驗，電子濃度仍異常低者。濃度減少最多者大致在震央東南側及台灣西側，且震央附近電子濃度皆有減少的現象。(紅色星號為震央位置)



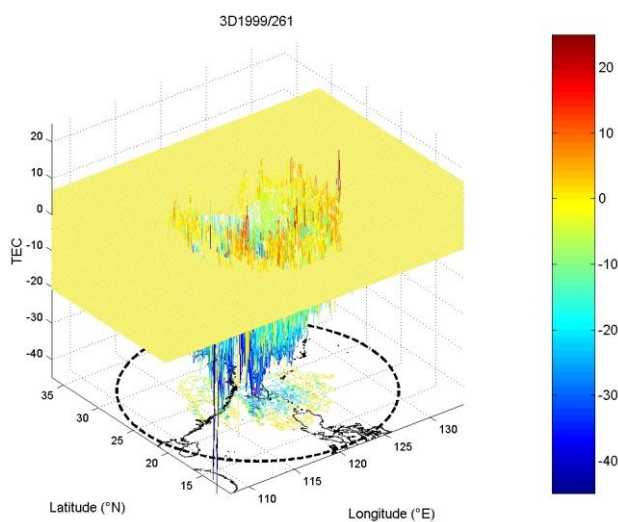
1999/09/18

以 3σ 檢驗，電子濃度仍異常低者。濃度減少最多者大致在震央東南側及台灣西南側，且震央附近電子濃度皆有減少的現象。(紅色星號為震央位置)



1999/09/17

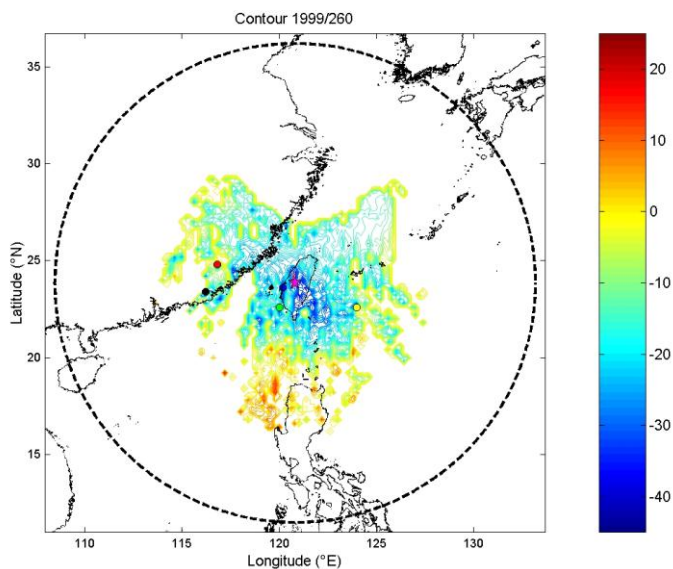
以 3D 圖檢視台灣地區及其附近上空電離層電子濃度減少情形，並在 xy 平面上投影出等值線圖。藍綠色為濃度較前 15 天 TEC 中位數為低者，反之則為橘紅色。
(紅色星號為震央位置)



1999/09/18

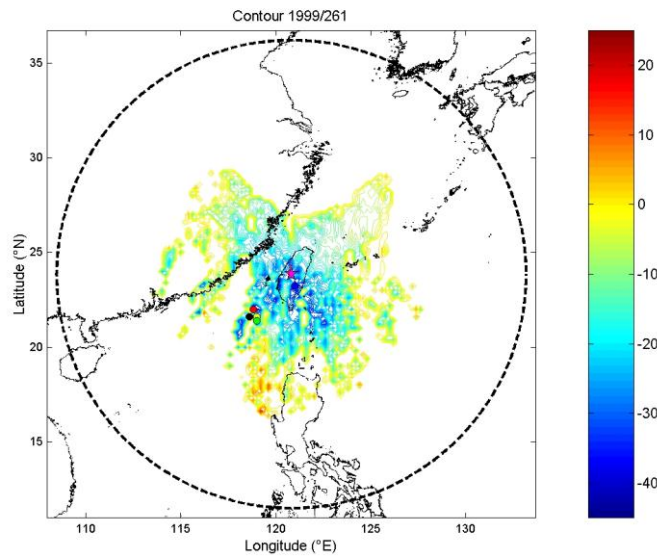
以 3D 圖檢視台灣地區及其附近上空電離層電子濃度減少情形，並在 xy 平面上投影出等值線圖。藍綠色為濃度較前 15 天 TEC 中位數為低者，反之則為橘紅色。(紅色星號為震央位置)

三、減少幅度較多的點



1999/09/17

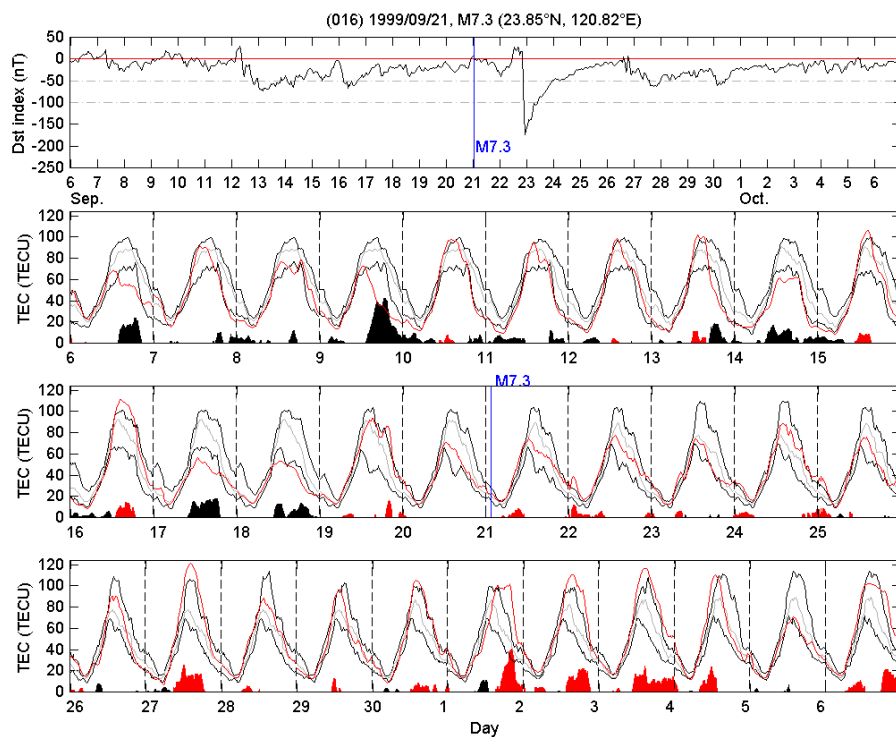
減少幅度較大的前 5 名，依次以紅、黃、綠、藍、黑點標示。減少最多的點(紅)約位於震央西北西方之中國東南地區。其中最接近震央的點則為位於震央西南方減少第四多(藍)的點。(紅色星號為震央位置)



1999/09/18

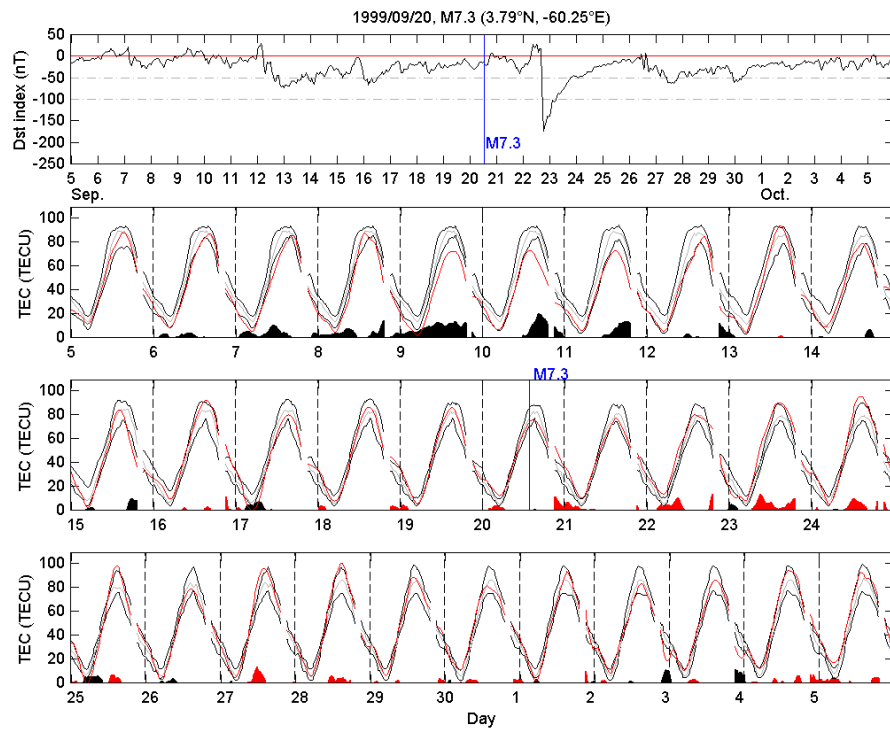
減少幅度較大的前5名，依次以紅、黃、綠、藍、黑點標示。減少最多(紅)、次多(黃)、三多(綠)、五多(黑)的點約集中位於震央西南方之海面上。其中最接近震央的點則為位於震央東南方減少第四多(藍)的點。(紅色星號為震央位置)

四、相同磁緯、相同地方時之比較



震央(23.85°N, 120.82°E)上空9月份電離層電子濃度變化圖(劉正彥, 2002)。

第一列為太陽的活動，在 9/23 前後有一大磁暴。第二、三、四列為電離層電子濃度變化，紅線為當天原始數據，灰線為前 15 天 TEC 中位數，兩黑線則分別為上界異常值及下界異常值，下方的黑色及紅色區塊分別為電腦所判定之異常低和異常高的程度。由圖中可以看出 9/17、9/18 此地(震央)上空的電離層電子濃度明顯低於下界異常。



本研究參考上圖方式繪製與集集大地震震央相同磁緯、磁經相差 180°之點 (3.79°N, -60.25°E)，所得該地上空 9 月份電離層電子濃度變化圖。

第一列為太陽的活動，在看出 9/23 前後有一大磁暴。第二、三、四列為電離層電子濃度變化，紅線為當天原始數據，灰線為前 15 天 TEC 中位數，兩黑線則分別為上界異常值及下界異常值，下方的黑色及紅色區塊分別為電腦所判定之異常低和異常高的程度。由圖中可以看出 9/17、9/18 此地點上空並沒有高於上界異常值，亦無低於下界異常值。

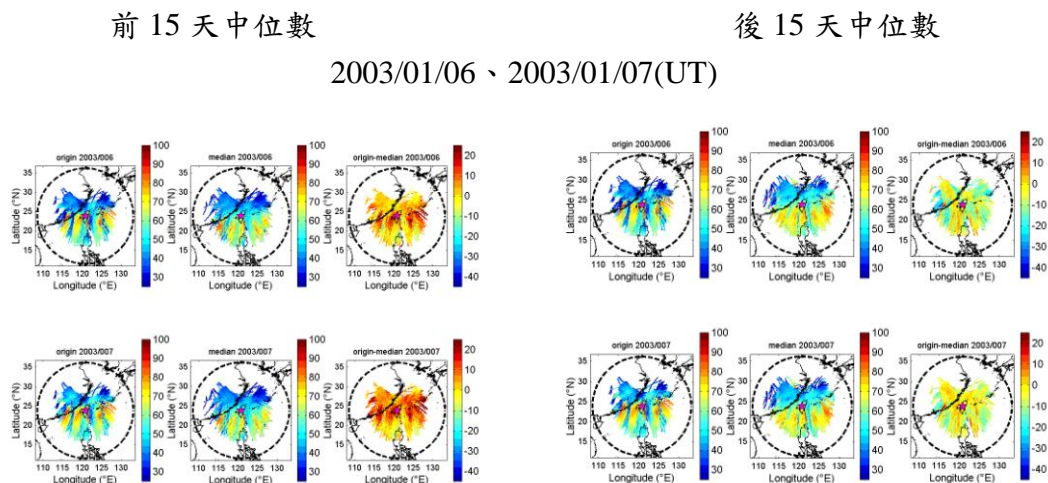
五、太陽活動以 F10.7 相近的日期作比較

(一)選出與 1999 年 921 集集地震相近 F10.7 數值的 2003 年 1 月，分析

該月的電離層電子濃度。

左圖包含六張子圖。上左為當天原始的 TEC 數值，上中為前 15 天 TEC 中位數，上右則為(原始的 TEC 數值)－(前 15 天 TEC 中位數)。下三張子圖由左至右分別為下一天原始的 TEC 數值、前 15 天 TEC 中位數、(原始的 TEC 數值)－(前 15 天 TEC 中位數)。

右圖包含六張子圖。上左為當天原始的 TEC 數值，上中為後 15 天 TEC 中位數，上右則為(原始的 TEC 數值)－(後 15 天 TEC 中位數)。下三張子圖由左至右分別為下一天原始的 TEC 數值、後 15 天 TEC 中位數、(原始的 TEC 數值)－(後 15 天 TEC 中位數)。



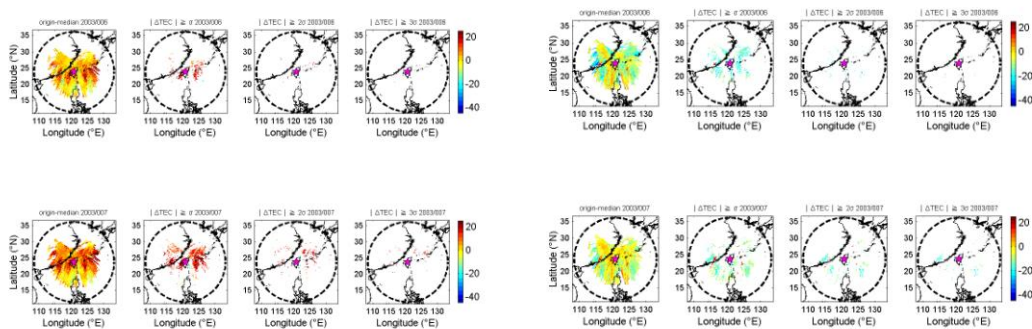
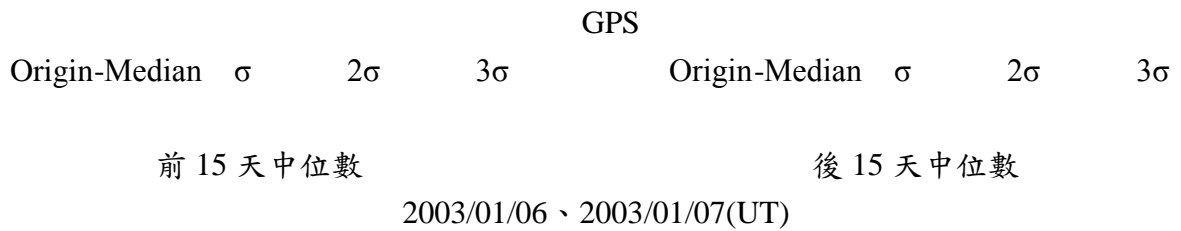
1.左圖顯示電離濃度較前 15 天中位數為高

2.右圖顯示電離濃度較後 15 天中位數為低

(二)以 σ 檢驗其是否異常

左圖包含八張子圖。上左為當天(原始的 TEC 數值)-(前 15 天中位數)，上中左為 $|\Delta\text{TEC}| \geq \sigma$ ，上中右為 $|\Delta\text{TEC}| \geq 2\sigma$ ，上右則為 $|\Delta\text{TEC}| \geq 3\sigma$ 。下四張子圖由左至右分別為下一天(原始的 TEC 數值)-(前 15 天中位數)、 $|\Delta\text{TEC}| \geq \sigma$ 、 $|\Delta\text{TEC}| \geq 2\sigma$ 、 $|\Delta\text{TEC}| \geq 3\sigma$ 。

右圖包含六張子圖。上左為當天(原始的 TEC 數值)-(後 15 天中位數)，上中左為 $|\Delta\text{TEC}| \geq \sigma$ ，上中右為 $|\Delta\text{TEC}| \geq 2\sigma$ ，上右則為 $|\Delta\text{TEC}| \geq 3\sigma$ 。下四張子圖由左至右分別為下一天(原始的 TEC 數值)-(前 15 天中位數)、 $|\Delta\text{TEC}| \geq \sigma$ 、 $|\Delta\text{TEC}| \geq 2\sigma$ 、 $|\Delta\text{TEC}| \geq 3\sigma$ 。



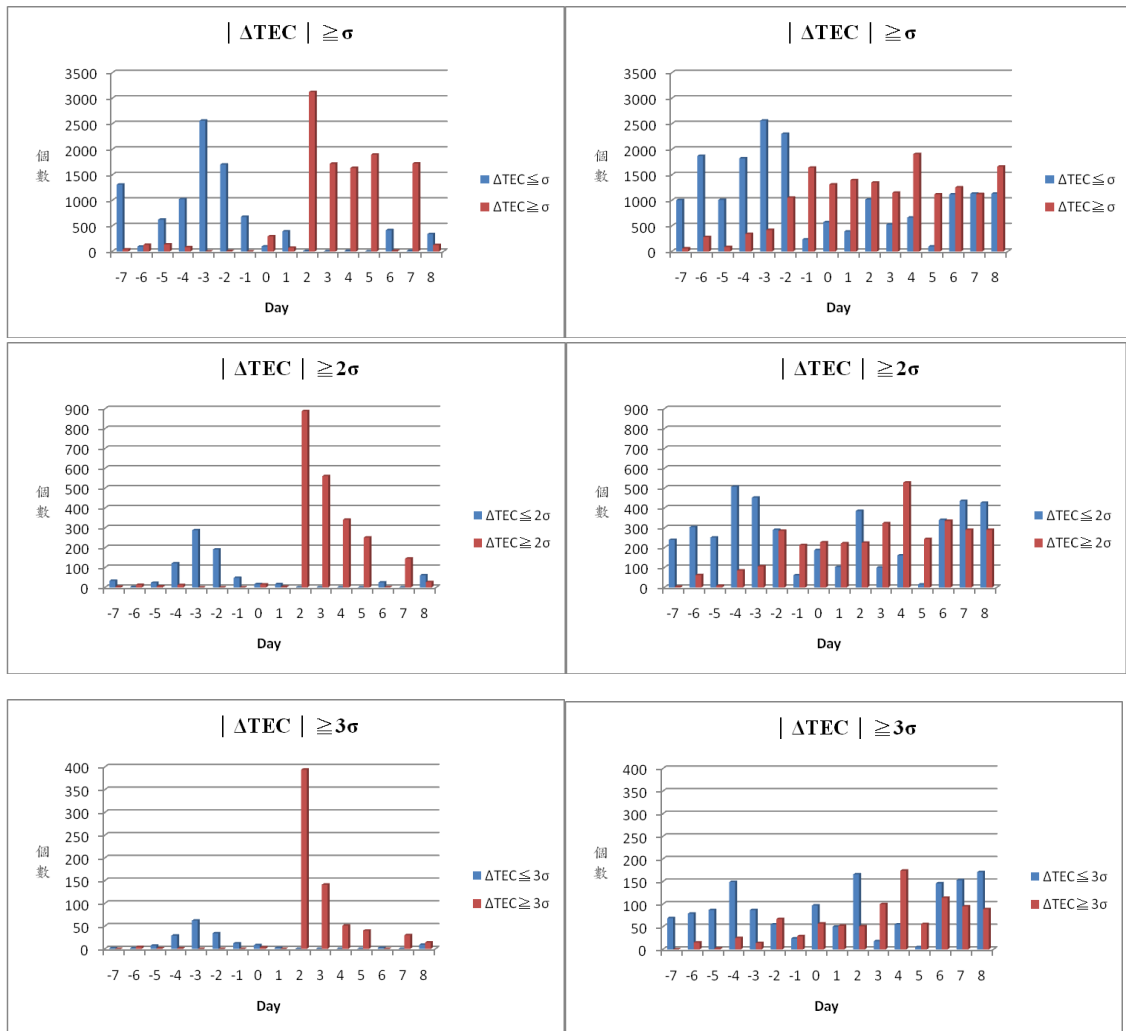
1.以 3σ 檢驗，兩者皆無異常。

六、日本地區 2008/06/13(UT)地震與 921 集集地震比較

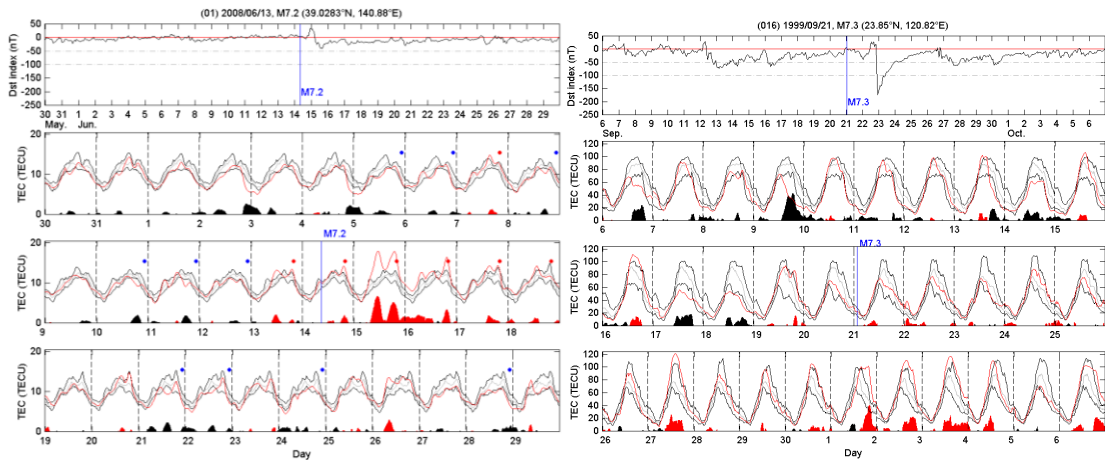
	日本	台灣
時間(UT)	2008/06/13 23:43:45.3	1999/09/20 17:47:15
(LT)	2008/06/14 08:43:45.3	1999/09/21 01:47:15
震央	39.0283°N, 140.88°E	23.8525°N, 120.8155°E
規模	7.2	7.3
震源深度	8 km	8 km
月平均 F10.7 數值	680	1372
與震央相同磁緯、磁經相差 180°之點	21.69°N, -45.06°E	3.79°N, -60.25°E
太陽活動相似月份	2008/08	2003/01

日本

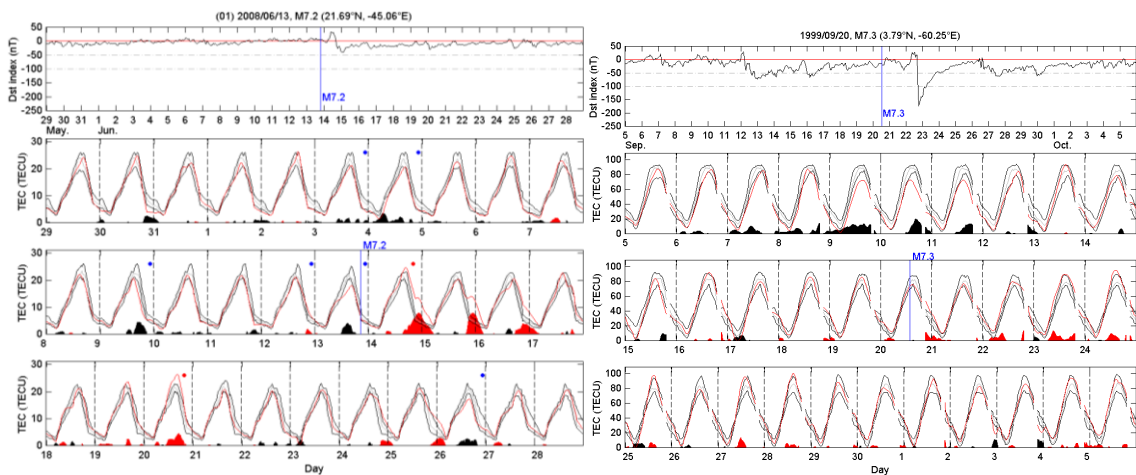
台灣



以上 6 張圖為日本 2008/06/13(UT)地震(左)與台灣 1999/09/20(UT)地震(右)，在地震發生當天、前 7 天和後 8 天中，有效表現地震先前變形區域半徑內，以 GPS 資料所得 $|\Delta\text{TEC}|$ 分別 $\geq\sigma$ (上)、 $\geq 2\sigma$ (中)、 $\geq 3\sigma$ (下)之點的個數(橫軸)，紅色代表 $\Delta\text{TEC} \geq \sigma(2\sigma、3\sigma)$ ，藍色為 $\Delta\text{TEC} \leq \sigma(2\sigma、3\sigma)$ 。

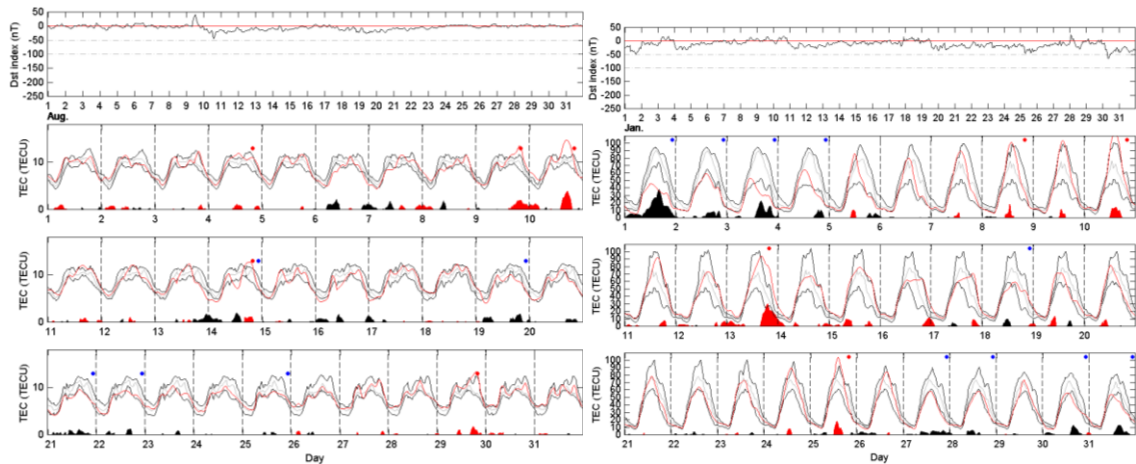


以上 2 張圖為日本 2008/06/13(UT)地震(左)與台灣 1999/09/20(UT)地震(右)，以 GIM 資料繪製震央上空電離層濃度變化圖，第一列為太陽活動所引起的磁暴示意圖，第二、三、四列為電離層電子濃度變化，紅線為當天原始數據，灰線為前 15 天 TEC 中位數，兩黑線則分別為上界異常值及下界異常值，下方的黑色及紅色區塊分別為電腦所判定之異常低和異常高的程度。時間軸為地方時間(LT)。



以上 2 張圖為與日本 2008/06/13(UT)地震(左)和台灣 1999/09/20(UT)地震(右)震央相同磁緯、磁經相差 180° 之點(21.69°N, -45.06°E、3.79°N, -60.25°E)該月份上

空，以 GIM 資料繪製之電離層濃度變化圖。第一列為太陽活動所引起的磁暴示意圖，第二、三、四列為電離層電子濃度變化，紅線為當天原始數據，灰線為前 15 天 TEC 中位數，兩黑線則分別為上界異常值及下界異常值，下方的黑色及紅色區塊分別為電腦所判定之異常低和異常高的程度。時間軸為地方時間(LT)。



以上 2 張圖為與日本 2008/06/13(UT)地震(左)和台灣 1999/09/20(UT)地震(右)相似太陽活動時期(2008/08、2003/01)，以 GIM 資料繪製震央上空之電離層濃度變化圖。第一列為太陽活動所引起的磁暴示意圖，第二、三、四列為電離層電子濃度變化，紅線為當天原始數據，灰線為前 15 天 TEC 中位數，兩黑線則分別為上界異常值及下界異常值，下方的黑色及紅色區塊分別為電腦所判定之異常低和異常高的程度。時間軸為地方時間(LT)。

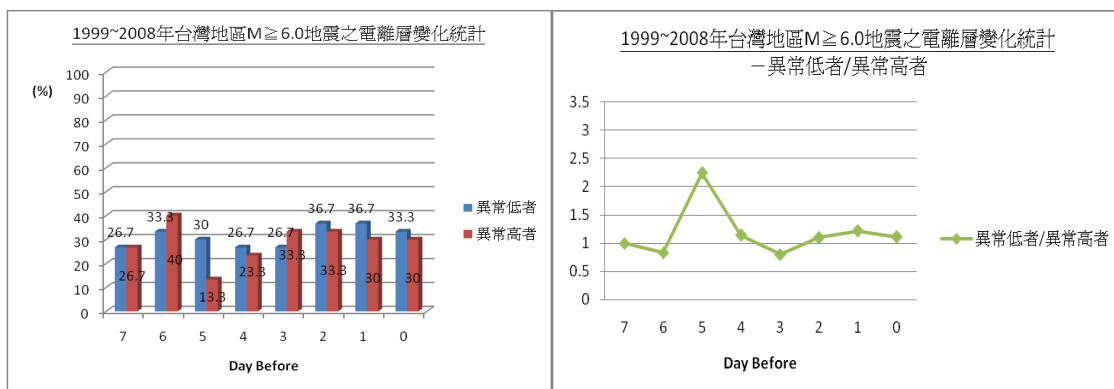
七、1999~2008 年台灣地區規模較大的地震(≥ 6.0)前後電離層電子濃度的變化

- (一)除 921 集集地震以外，台灣地區 1999 年以後共有 30 筆地震規模 ≥ 6.0
- (二)以 3σ 檢驗判定，若數值較前 15 天 TEC 中位數高者以 **H** 標示，若較前 15 天 TEC 中位數低者以 **L** 標示，若一天同時出現異常高及異常者以 **LH** 標示，如下表

年	月	日	Day(s) Before								規模	深度
			7	6	5	4	3	2	1	0		
1999	6	3	X	L.H	X	X	L.H	L.H	L.H	L.H	6.18	61.7
1999	9	22	L	L	L	L.H	L.H	L.H	L.H	L.H	6.8	15.6
1999	11	1	X	X	L	X	L	L	L	L.H	6.9	31.3
2000	1	28	X	X	L	X	L	L	L.H	X	6.94	76.2
2000	2	25	L	L.H	L	L	X	X	X	L.H	6.19	93.8
2000	6	10	L.H	L	L.H	L.H	X	X	L	L.H	6.7	16.2
2000	7	28	H	H	L.H	L.H	H	H	L	L	6.1	7.3
2000	9	10	X	X	X	X	H	L.H	H	L.H	6.2	17.7
2001	6	13	L	L	X	H	X	H	H	H	6.25	64.4
2001	6	14	X	X	H	X	H	H	H	X	6.3	17.3
2001	12	18	L	H	L	X	H	X	L	X	6.7	12
2002	2	12	H	H	L	L	H	H	X	X	6.2	30
2002	3	31	L.H	L.H	L	L	X	L	X	X	6.8	13.8
2002	5	28	X	X	X	L	X	X	X	X	6.2	15.2
2002	8	28	H	H	X	X	L	L	X	X	6.03	12
2002	9	16	H	H	X	H	H	H	H	X	6.8	175.7
2003	6	10	L	L	X	X	L	L	X	X	6.48	32.3
2003	12	10	X	L	X	X	L	L	L	X	6.42	17.7
2004	5	19	L	X	X	X	X	X	X	X	6.03	27.1
2004	10	15	H	X	X	X	H	H	L.H	L.H	7.1	91
2005	9	6	H	H	X	X	L	L	L	L	6	16.8
2005	10	15	X	H	X	X	X	X	X	X	7.02	190.8
2006	4	1	X	X	X	X	X	X	X	X	6.23	7.2
2006	7	28	X	X	X	X	X	H	H	H	6.02	28
2006	8	27	X	H	X	H	X	X	X	X	6	135.3
2006	10	9	X	X	X	X	X	X	X	X	6.26	28
2006	12	26	X	L	X	X	H	X	X	X	6.99	50.2
2007	1	25	X	X	X	X	X	X	X	X	6.24	25.8
2007	9	6	X	X	H	H	X	L	X	L	6.63	54
2008	6	1	X	L.H	L	L	X	X	L	X	6.37	41.9

(三)2006/04/01 及 2007/01/25 前七天內未出現異常現象

(四)2005 年~2008 年出現異常現象的天數較 1999 年~2004 年少



1999~2008年30筆地震個案前七天內，電離層電子濃度異常統計圖。圖中藍色為出現異常低者，紅色為異常高者。

以異常低者除以異常高者所得之折線圖。

由圖中可以看出地震發生前7、5、4天，異常低所佔的比例較異常高者為高。

陸、討論

一、1999年921集集地震前夕，台灣上空電離層電子濃度異常減少的

可能因素

以GPS換算所得電離層全電子含量(TEC)數值，在震央周圍之電子濃度明顯減少的日期為1999/09/09、09/17與09/18。進一步以標準差檢驗其是否為異常，結果仍有許多點的數值大於3個標準差(0.3%的機率)，因此實屬為異常現象。

前人研究指出台灣地區184個規模 \geq 5.0之地震統計顯示，電離層電子濃度減少通常發生於地震前1-5天(Liu, J. Y., et al, 2006)。1999/09/09電子濃度的減少，可能與集集大地震無關，但當時並無太陽強烈活動或磁暴發生，根據中央氣象局地震紀錄，得知1999/09/10 14:18(UT)有一芮氏規模5.4的地震，其震央為(22.44°N, 121.83°E)，推測可能與此次電子濃度減少有關。

二、9/17-9/18 電離層電子濃度異常是否受太陽活動影響

1999/09/17 與 09/18，震央周圍之電子濃度明顯減少，但太陽活動與前幾天無太大差別。電子濃度與太陽活動息息相關，在一天之中就可以明顯的看出其隨太陽而移動的現象。為排除此因素的影響，選取相同磁緯、Local Time 作一比較。由於 1999 年 GPS 測站尚未十分發達，此次僅以一點(3.79°N, -60.25°E)與震央上空比較。此點並無出現異常現象，可排除此因素之影響。

為確認其電離濃度減少現象並非由太陽活動所引起，另以太陽活動相似時檢驗。太陽的活動周期為 11 年，若假設其活動為一波形，2010 年為 1999 年後一周期，但尚未來臨，無法作對照。又電離層相關資料數據是在 1995 年之後漸漸發展，因此前 11 年 1988 年也無法作為對照，所以選了 F10.7 數值相近的 2003 年作一比較。作為檢驗電離濃度是否增加或減少的標準，若取的資料時間較短(例如 < 7 天)沒有統計上的可信度，較長(例如 > 30 天)又會受到電離濃度季節性不同的影響。在台灣規模 ≥ 5.0 的地震之重覆發生(the reoccurrence day)為 12-14 天，為避免餘震效應，以前 15 天中位數作為標準。2001 年為太陽極大期，若以較巨觀的角度，1999 太陽活動正在上升，2003 年則在下降，為作為 1999 年的對照組，考慮作為標準的中位數應取前 15 天或後 15 天。將此兩者皆以標準差檢驗，均無異常。進一步比較 F10.7 數值，1999/09/17、09/18 前 15 天中位數皆為 1335，2003/01/06、01/07 前 15 天中位數皆為 1232，後 15 天中位數則分別為 1578、1450，得知前 15 天中位數較接近 1999 年。

三、日本地區 2008/06/13(UT)地震與 921 集集地震比較

以 GPS 數據檢驗有效表現地震先前變形區域半徑內，出現異常高與異常低之點數，日本地區在地震發生前三天內異常低的現象非常明顯，甚至到 3σ 都可看到此現象。

而地震後的 06/14 有出現磁場異常(Dst index 有升高再下降到-30, -50nT 以下的趨勢)，此異常高的現象可能來自於磁暴的影響。台灣地區地震前大致呈現異常低的現象，地震後異常低與異常高之現象皆有出現，從地磁擾動圖(Dst index)中可看出地震後有大型磁暴發生(Dst index < -100nT)，因此推測此異常可能來自於磁暴影響。

相同磁緯、相同地方時間比較中，日本地區震央上空地震 06/10~06/13 (Local Time)皆出現異常，所選取之點(21.69°N, -45.06°E)06/09 出現異常低，其餘無異常。

日本地區地震在 06/09~06/12(UT)出現異常低現象、06/13(UT)出現異常高現象，與其 F10.7 數值相似天數分別為 2008/08/25, 08/17, 08/16, 08/22, 08/24，但 08/16、08/17 因受磁暴影響不予比較，另外三天無異常現象出現，與 921 地震檢驗結果相符。

四、1999~2008 年台灣地區規模 ≥ 6.0 之地震發生前七天，電離層電子濃度的變化

前人的研究指出一地震發生前若影響到電離層電子濃度，通常為減少，而濃度增加的例子則較為少見。本研究所分析的 30 個個案中，地震前第五天出現異常低($|\Delta\text{TEC}| \geq 3\sigma$)現象的比例是 30%，而其中 19 筆個案(63.3%)在地震前五天內有異常低的現象出現。然此次的結果顯示，異常增加者也不在少數(18 筆，60%)，但可以確定的是，此 30 筆地震發生前五天內有 25 筆(83.3%)出現異常現象，前七天內有 28 筆(93.3%)出現異常現象。有時甚至同時出現異常低與異常高($|\Delta\text{TEC}| \geq 3\sigma$)的點，猜測可能是因為將數據資料做了 24 小時的疊圖，因此將不同時刻的電子濃度變化反應至同一張圖上。在 2005 年前一地震發生前 7 天中，平均有 4.75 天出現異常現象，而 2005 年後，前 7 天中只有 2.2 天出現異常，甚至 2006/04/01 及 2007/01/25 兩筆地震前七天內未出現異常現象，猜測可能是因為此時太陽活動較不活躍，而影響到電離層的電子濃度與表現。地震前電子濃度將如何變化，將等待統計更多地震並做進一步的分析與探討。

柒、結論

921 地震前電離層濃度發生異常的現象，經 GPS 全電子含量(TEC)檢驗，在 1999/09/17、09/18 兩天的電離層電子濃度的確有異常現象。本研究檢驗異常的步驟首先以前 15 天 TEC 中位數當作背景參考值，發現異常現象在三個標準差(3σ)範圍仍出現。進一步查驗太陽活動的影響，選出和 921 地震事件相同磁緯、相同地方時及太陽黑子數相近的日期(2003 年 01/06、01/07)對照，然而後者並無相似的電離層異常現象發生。因此更能推論 1999 年 921 前震央地區電離層電子濃度明顯減少的異常現象，極可能與 921 集集大地震有關聯。

為了解電離層異常是否也在其他地區發生，另行選取日本地區 2008/06/13(UT) 地震個案做相同的檢驗，結果與 921 同樣都可確認有異常，且與地震較有關，同時發現日本地震個案顯示地震前異常低，震後異常高，有極明確且均一的異常現象。

前人在電離層研究有使用 GIM 資料，在本研究中，將 GPS 反衍所得電離層電子濃度與 GIM 的差異進行比較，發現 GIM 在時間及空間解析度不如 GPS 觀測資料來得好，可能是因 GIM 資料空白處常應用模式關係補白，台灣地區面積較小，因而 GIM 顯示效果並不如 GPS。

另外在分析 1999~2008 年台灣地區規模 ≥ 6.0 共 30 筆地震個案後，得出其中 16 筆個案結果顯示地震發生前 7 天內有 93.3% 發生異常現象。然而，在 2005 年之後的個案出現異常的天數不及 2005 年前的一半，尤其是 2006 年和 2007 年有完全沒有異常日數的地震個案，可能與 2005 年後太陽活動非常平靜有關。

捌、未來展望

希望能將分析電子濃度減少之趨勢應用在全球其他地震帶上，檢驗 GPS 反衍的電離層濃度與規模較大地震日期的相關性，在未來全球建立 GPS 測站日漸密集後，應有機會取得更多精確的數據來進行擴大研究。

玖、參考資料及其他

- 一、陳佳宏(2006)，電離層赤道異常與赤道電噴流，國立中央大學太空科學研究所
碩士論文
- 二、劉正彥(2002)，高空電離層透露的訊息，《科學發展》，305期，20-24頁
- 三、Chen, Y. I., J. Y. Liu, Yi-Ben Tsai, & Chuan-Shu Chen. (2004). Statistical Tests for
Pre-earthquake Ionospheric Anomaly, *Terrestrial Atmospheric and Oceanic
Sciences.*, 15, 385-396.
- 四、Dobrovolsky, I. P., S. I. Zubkov, V. I. Miachkin. (1979). Estimation of the size of
earthquake preparation zones, *Pure and Applied Geophysics*, 117, 1025-1044.
- 五、Liu, J. Y., Y. I. Chen, Y. J. Chuo. (2006). A statistical investigation of pre-earthquake
ionospheric anomaly, *Journal of Geophysical Research.*, 111,
A05304,10.1029/2005JA011333. (SCI)
- 六、Liu, J. Y., C. H. Chen, Y. I. Chen, H. Y. Yen, K. Hattori, & K. Yumoto. (2006).
Seismo-geomagnetic anomalies and M 5.0 earthquakes observed in Taiwan during
1988-2001, *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, 215-222.
- 七、Liu, J. Y., Ho Fang Tsai & Ting Kuo Jung. (1996). Total Electron Content Obtained
by Using the Global Positioning System, *Terrestrial Atmospheric and Oceanic
Sciences.*, 7, 107-117.
- 八、Tsai, I. B., Liu, J.Y., Ma, K.F., Hen, H.Y., Chen, K. S., Chen, Y. I., Lee, C. P.(2006).
Precursory phenomena associated with the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan as
identified under the iSTEP program, *Physics and Chemistry of the Earth*, 31,
365-377.
- 九、日本氣象廳 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 十、中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>

十一、美國地質調查局(United States Geological Survey, USGS) <http://www.usgs.gov/>

十二、美國國家航空暨太空總署(National Aeronautics and Space Administration,
NASA) <http://www.nasa.gov/>

十三、維基百科 <http://www.wikipedia.org/>

十四、Global Ionospheric Map http://www.ips.gov.au/HF_Systems/6/5

十五、World Data Center for Geomagnetism, Kyoto
<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/>

拾、附件

(表一)台灣地區 1999~2008 年 $M \geq 6.0$ 之地震 (資料來源：中央氣象局)

年	月	日	時	分	秒	經度	緯度	規模	深度(km)
1999	6	4	0	11	42	122.4868	24.4037	6.18	61.7
1999	9	21	1	47	15	120.8155	23.8525	7.3	8
1999	9	22	8	14	40	121.0467	23.8263	6.8	15.6
1999	11	2	1	53	2	121.7258	23.3618	6.9	31.3
2000	1	29	0	39	22	125.3212	25.4647	6.94	76.2
2000	2	25	14	12	56	124.4485	25.017	6.19	93.8
2000	6	11	2	23	29	121.1092	23.901	6.7	16.2
2000	7	29	4	28	7	120.9327	23.411	6.1	7.3
2000	9	10	16	54	46	121.5838	24.0853	6.2	17.7
2001	6	13	21	17	54	122.6065	24.3812	6.25	64.4
2001	6	14	10	35	25	121.928	24.4188	6.3	17.3
2001	12	18	12	3	0	122.652	23.847	6.7	12
2002	2	12	11	27	25	121.7227	23.7407	6.2	30
2002	3	31	14	52	49	122.1915	24.1398	6.8	13.8
2002	5	29	0	45	14	122.3968	23.913	6.2	15.2
2002	8	29	1	5	34	121.3732	22.2609	6.03	12
2002	9	16	8	3	30	122.3875	25.1015	6.8	175.7
2003	6	10	16	40	32	121.6992	23.5037	6.48	32.3
2003	12	10	12	39	13	121.3982	23.0667	6.42	17.7
2004	5	19	15	4	12	121.3698	22.7135	6.03	27.1
2004	10	15	12	8	50	122.8517	24.4623	7.1	91
2005	9	6	9	16	0	122.2835	23.9582	6	16.8
2005	10	15	23	51	4	123.8075	25.0997	7.02	190.8
2006	4	1	18	2	19	121.0807	22.8835	6.23	7.2
2006	7	28	15	40	10	122.658	23.9662	6.02	28
2006	8	28	1	11	16	123.0657	24.7983	6	135.3
2006	10	9	18	1	45	119.8285	20.6953	6.26	28
2006	12	26	20	34	15	120.4197	21.9698	6.99	50.2
2007	1	25	18	59	15	122.0267	22.6105	6.24	25.8
2007	9	7	1	51	26	122.2542	24.278	6.63	54
2008	6	1	9	57	15	121.0985	17.4478	6.37	41.9

2008/06/13 日本地震所選用之 165 個

GPS 測站位置圖

