

# 中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高中組 地球科學科

佳作

040503

地震前兆，電離層知道

學校名稱：臺南市私立聖功女子高級中學

作者： 高一 吳宜倫 高一 楊筑媛	指導老師： 吳美琍
-------------------------	--------------

關鍵詞：地震前兆、電離層、TEC

# 地震前兆，電離層知道

## 摘要

本研究分析 2003 至 2006 年全球震矩規模大於等於 6.5 之地震資料，並排除電離層垂直全電子含量(TEC)較低的高緯度地震與受太陽活動影響的地震資料，總計分析地震資料 73 筆，探討震前 TEC 的變化。經分析獲得的結論為：82%的地震事件，在發生前七天至少有一天 TEC 出現異常現象，顯示地震在發生前的確會影響 TEC。岩層因不同的受力形式所引發的不同類型斷層活動，都同樣造成 TEC 的震前異常。地震震源位置不論是位於陸地或海底岩層，都同樣引起 TEC 震前異常，顯示 TEC 震前異常不受海水阻隔影響。震源深度不同的地震，雖然岩層的物理或化學性質不同，但只要岩石發生斷裂錯動，都同樣引起 TEC 震前異常。此外地震發生前 TEC 異常的時間分布，越接近地震發生日，出現異常的次數愈多。

## 壹、研究動機

在基礎地球科學的課程中，談到許多自然災害，而地震算是其中最具破壞力的一種。如近年來發生的 1999 年台灣 921 大地震、2004 年南亞大地震和 2008 年汶川大地震……等，其造成的災難與損失，都令我們驚悚畏懼。地震的威力是如此強大，又如此不可預測，位處板塊交界處，地震頻繁的我們，更是擔憂何時會發生大地震。難道就沒有辦法可以預測地震的來臨嗎？這不禁令我們發想，地震來臨前是否有徵兆？因此，我們便開始著手蒐集與閱讀相關的文獻，發現地震目前雖仍無法預測，卻是有前兆的，例如在地震來臨之前，有些動物會有異常的遷徙或行爲，部分文獻也指出地震發生前，地下水位、地溫、潮汐、電離層、地下水中的氫含量等都會發生異常現象。尤其近年來，大氣電離層垂直全電子含量與地震前兆的相關研究更是引人關注，高層大氣的垂直全電子含量竟會受到來自地下深處的地震所影響，這種想法深深地吸引著我們，同時令我們感到困惑。

部分科學研究指出大地震發生前，電離層的垂直全電子含量的確會產生變化。但到底是什麼原因導致地下深處的變化竟會影響高空大氣呢？地震發生前，電離層垂直全電子含量真的會因此而發生改變嗎？不同種類的斷層活動，岩層受力形式不同，因此不同形式的斷層所引發的地震，其震前電離層垂直全電子含量的變化是否不同呢？地震震央在海底時，海水的阻隔是否仍能影響電離層垂直全電子含量的變化？海底地震與陸地地震在震前的電離層垂直全電子含量變化型態是否有所差異？不同深度的岩層其性質不同，而發生在不同深度的地震，是否都能造成電離層垂直全電子含量的變化呢？另外，地震發生前幾天若有電離層垂直全電子含量的變化，其時間分布又是如何？這些問題吸引著我們動手規劃一次科學研究計劃。

## 貳、研究目的

本研究的目的之一是想知道在地震發生前，電離層垂直全電子含量是否因此而發生變化；研究目的之二是想了解不同斷層引發的地震是否在震前同樣影響電離層垂直全電子含量的變化，以及變化的型態是否有所不同；研究目的之三是想了解地震震源在海底時，海水的阻隔是否仍能影響電離層垂直全電子含量的變化，以及海底地震與陸地地震在震前的電離層垂直全電子含量變化型態是否有所差異；研究目的之四是想了解發生在不同深度的地震，其震源所在位置之岩層性質有所不同，是否仍會造成電離層垂直全電子含量異常，並想知道其異常形態是否有規律；研究目的之五是想知道在地震發生前，電離層垂直全電子含量異常的時間分布情形，是否有特別的趨勢。

## 參、研究設備及器材

- 一、個人電腦含網路連線設備
- 二、Microsoft Excel、Word 軟體、Google Earth 軟體

## 肆、研究過程或方法

### 一、文獻閱讀

研究過程中需要運用到關於電離層特性及磁暴的相關觀念，在學校高一的基礎地球科學課程中雖有介紹到太陽風與地球磁層間的關係，但這些基礎知識仍嫌不足，所以我們從圖書館與網路資源中尋找並閱讀許多相關的文獻資料。文獻閱讀後的相關資料整理如下：

#### （一）電離層性質

電離層為大氣結構的一部份，因其受到來自太陽的 X 光、極紫外線及其他的宇宙射線而游離形成帶有電荷的正電粒子及電子，而這些帶電粒子再和大氣中的中性分子結合形成電離層。根據電子密度的分佈，電離層可再細分成 D 層、E 層和 F 層。D 層為電離層的最低層，高度範圍大約從 70 公里到 90 公里高；E 層高度約為 90 公里到 160 公里高；F 層在 E 層上方，在電離層中又以 F 層的電子密度最高。各層形態及結構亦會隨季節、日夜、緯度及太陽活動而有所變化（圖 1）。

另外，「電離層垂直全電子含量（TEC，Total Electron Content）」的定義是從某固定經緯度上空（從地面到 GPS 衛星高度）所有電子的累積量，其單位是 TECu，1TECu 為每平方公尺的空氣圓柱內有  $10^{16}$  個電子數。

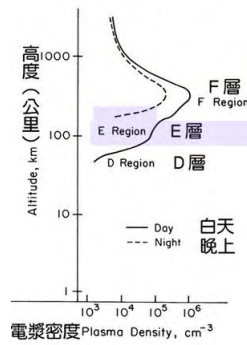


圖 1 電離層的分層。(摘自 <http://www.ss.ncu.edu.tw/~lyu/>)

## (二) 磁暴

太陽風為太陽輻射出完全游離的高能帶電粒子，速度約 300 km/s 至 800 km/s，當其向地球行進時，會與地球磁場相互作用而形成磁層。在磁層裡，帶電粒子受到地球磁場的控制，地球夜側因受到太陽風拖曳作用，使得磁層頂位置比日側遠（圖 2），這些帶電離子也因此能被帶到離地球數百至數千個地球半徑的地方。但當太陽風的速度及密度突然改變時，伴隨之能量將會耦合進入磁層、電離層乃至高層大氣進而造成地球磁場劇烈擾動而形成磁暴，其磁場劇烈變化稱為擾動日（Disturbed days），跟隨磁暴發生後之數小時至數天，電離層電漿密度亦會產生強烈變化形成電離層暴（Ionospheric storm）。

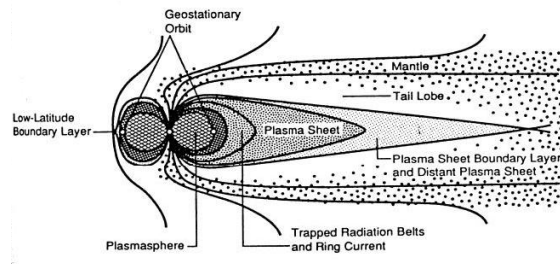


圖 2 地球磁層內部結構。(摘自 Davies, 1990)

地磁指數 The Disturbed Storm Time (Dst) index 是藉由採設於赤道上三個地磁站水平磁場分量之觀測值，用來表示地表磁場受擾動程度。一般而言，地磁指數是負數表示磁暴異常，地磁指數的絕對值越大，表示異常越顯著；當地磁指數小於  $-100\text{nT}$  時，代表強烈磁擾動。如圖 3 藍色框起處即顯示有一強烈磁擾動，大約自 11 月 7 日開始，延續約五天的時間。

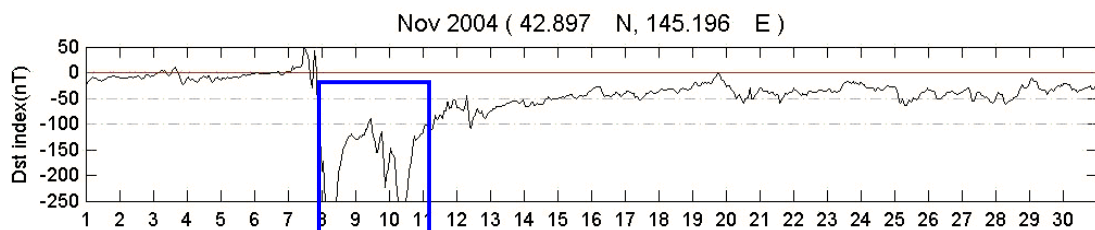


圖 3 2004 年 11 月之地磁指數 (Dst index)，藍色框起處為強烈磁擾動。

### (三) 地震發生前後的岩層變化

目前研究歸納出地震發生的模式有許多說法，經本研究整理後大致分為五個步驟：(1) 岩石受應力作用儲存彈性應變；(2) 應力作用達某一程度後，岩石內部開始產生微裂隙，並發生膨脹現象；(3) 斷層帶上有流體侵入和變形；(4) 地震發生；(5) 餘震後地殼應力突然陡降。

### (四) 電離層垂直全電子含量變化與地震發生之關係

常見的地震前兆如地鳴、地熱、地磁、地電、地光等，這些現象說明地震前所累積的能量，大多是以電和磁的形式外露或釋放。

在我們所閱讀的文獻當中，科學家提出震前電離層垂直全電子含量變化的解釋，目前主要有三種理論，分別為地殼化學理論、地電磁場理論及重力波理論。

1. 地殼化學理論：地殼中的鐳等放射性物質，在衰變的過程中，氦是其中一樣中間產物。地震發生前，岩石會產生微裂隙，釋放出氦氣。氦具有高度的放射性，當其衰變時伴隨之能量若進入較高層的大氣，可能使大氣中的氧、氮等分子游離，造成大氣電離層之電子濃度改變。
2. 地電磁場理論：地震發生前，岩石變形使共價鍵受到影響而斷裂，價電子脫離共價鍵而成為自由電子，電子離開後會在價電帶上留下一帶有正電荷性質的空缺，繼而感應電離層產生電場。此電場受地磁作用，沿著地球磁場來到更高層的電離層，與地球磁場感應產生電磁力，電漿受此力作用而移動位置，造成電離層電子濃度改變。
3. 重力波理論：地震發生前，地表或大氣產生增溫，溫度升高的大氣因體積膨脹變化，產生高空的大氣波動。此波動引起電場的改變而產生電流，電流和磁場感應產生電磁力，電漿受此力作用移動位置，而造成電離層電子濃度改變。

## 二、研究資料蒐集

### (一) 地震資料蒐集

本研究經由「美國國家地質調查署 USGS (the U.S. Geological Survey Earthquake Hazards Program)」網站取得西元 2003 年至 2006 年全球地震矩規模 (Mw) 大於或等於 6.5 的地震資料，共計 97 筆。每筆地震資料內容包含：地震發生時間、震央經緯度、地震矩規模、震源深度、震源機制解。

### (二) 電離層資料蒐集

電離層的資料取得較不容易，原先找到的是「美國太空總署 NASA (National Aeronautics and Space Administration)」網站內所提供的資料，但由於數據內容不符合本研究所需，轉而向中央氣象局及內政部國土測繪中心求助，但前者需經費，後者則未提供這類資料。後來我們與中央大學太空科學研究所聯絡，十分幸運地獲得協助並取得其利用 GPS 衛星所測得之電離層垂直全電子含量與磁暴的相關數據資料。

## 三、統計方法

取得大量電離層垂直全電子含量數據後，爲了能解讀與分析這些數據背後的有意義訊息，本研究運用下列幾項統計概念：

(一) 中位數 (Median)

爲一統計數列的中間數值；即統計數列中有一半數字的值大於中位數，而另一半數字的值小於中位數。

(二) 四分位數 (Quartile)

四分位數是將統計數列分爲四等分，其分割點稱爲四分位數。從數值小的一端算起，第一分割點稱下四分位數 (Lower Quartile) 或第一四分位數 (First Quartile)，第二分割點則爲中位數，第三分割點稱爲上四分位數 (Upper Quartile) 或第三四分位數 (Third Quartile)。

(三) 平均值 (Mean)

假設有一組數值  $X_1, X_2, \dots, X_n$  (皆爲實數)，則：

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

#### 四、研究資料分析

(一) 地震資料分析

1. 斷層類型分類

有鑒於不同種類的斷層活動，岩層受力的形式不同。而岩層受力型態不同是否會影響電離層垂直全電子含量的不同改變呢？爲解決這個疑惑，本研究將地震資料分爲不同斷層類型。

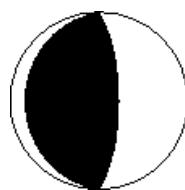
本研究依震源機制解來判斷地震的斷層類型，震源機制 Earthquake Focal Mechanisms (Beach Balls) 是利用 P 波初動的方向來求出地震斷層面解。其表現方式就如一顆海灘球，一般而言正斷層的海灘球以白色面居中，逆斷層以實色面居中，平移斷層則兩條圓弧近中交叉 (圖 4)，我們便依此原理來判斷地震的斷層類型。依本研究需求分爲正斷層、逆斷層和平移斷層三類 (表 1)，並將進一步的探討其與電離層垂直全電子含量異常的關係。

表 1 本研究之地震資料斷層分類

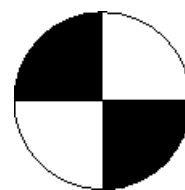
斷層類型	正斷層	逆斷層	平移斷層	總計
地震數	19 筆	58 筆	20 筆	97 筆



正斷層



逆斷層



平移斷層

圖 4 海灘球與斷層類型的對照

## 2. 震源位置分類

地震發生前，岩層的狀態如何影響電離層垂直全電子含量呢？岩層之上為大氣與岩層之上為海水，大氣電離層垂直全電子含量的變化會不會有所差異？海水是否會造成影響呢？為解決這個疑惑，本研究將地震資料依震源所在位置區分為海底地震與陸地地震兩大類。

本研究使用 Google Earth 並套疊板塊的邊界，將本研究之地震資料 97 筆，依震央之經緯度標示於 Google Earth 上，如圖 5。經分類後，計有海底地震 67 筆，陸地地震 30 筆（表 2）。

表 2 本研究之地震資料震央位置分類

震央位置	陸地地震	海底地震
地震數	30 筆	67 筆



圖 5 圖中圖釘符號為本研究地震資料之震央位置

## 3. 震源深度分類

地球的構造由外而內，可約略分為地殼、地函與地核，而震源的深度範圍廣大，我們便感到好奇，不同深度的岩層其性質顯著不同，而發生在不同深度的地震，是否都能影響電離層垂直全電子含量的異常呢？而震源位在地殼與位在地函，其異常形式是否有不同之處？一般而言，地殼平均厚度約為 35 公里，而軟流圈則大約位於 100~200 公里，因此，本研究將地震震源深度分為距地表 0~35 公里的地殼、36~100 公里的地函岩石圈、101~200 公里的軟流圈及 201 公里以上地函物質四個範圍。

### (二) 電離層垂直全電子含量資料分析

#### 1. 資料篩選

為有效分析電離層垂直全電子含量的變化，首先將垂直全電子含量太低，不易觀察其變化的地震資料排除。高緯度地區因受緯度條件影響，電離



層垂直全電子含量較低，因此本研究將震央位於南北緯 60 度以上的地震資料刪除，計有 4 筆地震資料被刪除。

太陽活動會造成磁擾動而影響電離層垂直全電子含量，因此本研究把地震發生前十五天內地磁指數 (Dst index) 小於 -100，亦即電離層垂直全電子含量顯著受太陽活動影響的地震資料排除 (圖 6)，共計排除 20 筆地震。

本研究之原始資料 97 筆，刪除高緯度地震資料 4 筆、太陽活動造成磁擾動的地震資料 20 筆後，實際分析地震資料共計 73 筆。

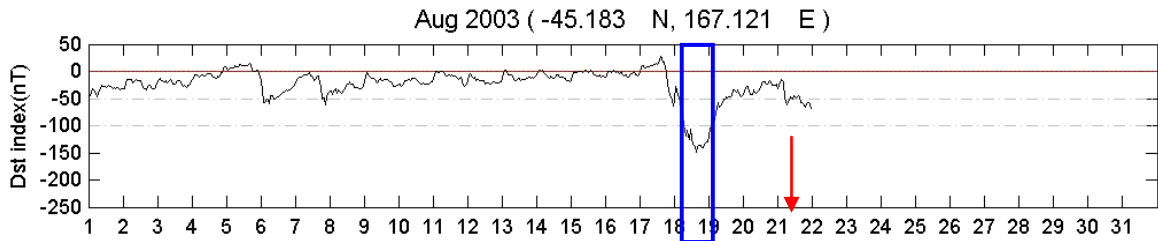


圖 6 2003 年 8 月地磁指數 (Dst index)，藍色框起處之地磁指數小於 -100，紅色箭頭所指為地震發生日期 8 月 21 日，強烈磁擾動發生於震前十五天內，所以這筆地震資料遭到排除。

## 2. 電離層垂直全電子含量數據分析

每一筆地震資料，都對應一組電離層垂直全電子含量資料庫，此資料庫是將全球地表畫分成若干區塊，每一區塊的大小為 2.5° 緯度乘以 5° 經度，意即解析度為 2.5° 緯度 × 5° 經度，而震央所在位置的區塊上空之電離層垂直全電子含量，就是本研究使用之該地震電離層垂直全電子含量。

我們所使用的方法是，取地震當天及前三十天，每 2 小時一筆數據，每天 13 筆資料的平均值作為當天的 TEC，將這三十一個數值取中位數 (M)、上四分位數 (Q1) 和下四分位數 (Q3)，再定義上界 (UB) 和下界 (LB)。

$$\text{上界 UB} = M + 1.5 \times (Q1 - M)$$

$$\text{下界 LB} = M - 1.5 \times (M - Q3)$$

M：震前三十天之中位數

Q1：震前三十天之第一四分位數

Q3：前三十天之第三四分位數

若該天之 TEC 值超過上界，稱為上界異常，代表其電離層垂直全電子含量顯著異常升高；若該天之 TEC 值低於下界，稱為下界異常，代表電離層垂直全電子含量顯著異常過低 (圖 7)。



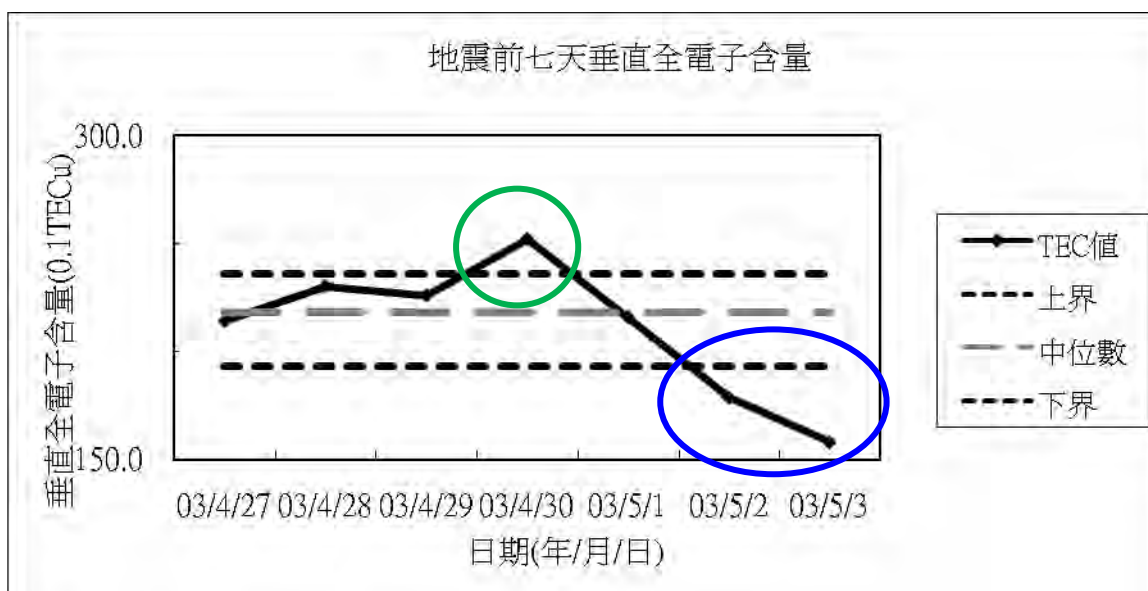


圖 7 地震當天（2003 年 5 月 4 日）之前七天電離層垂直全電子含量圖，其中黑線為該天 TEC 值，黑色虛線分別為上界和下界，灰色虛線為中位數。而綠色圈起處為上界異常，藍色圈起處為下界異常。

本研究以地震前七天的電離層垂直全電子含量是否發生異常來定義地震之前兆現象，又同時將電離層垂直全電子含量異常區分為異常升高的上界異常與異常降低的下界異常 2 種。

### 3. 異常發生時間分布分析

本研究將地震前電離層垂直全電子含量異常出現的時間，分為異常徵兆出現於地震前第 1、2、3、4、5、6、7 天，篩選有出現地震前異常之地震資料作統計分析，又將其細分成上界異常及下界異常，以觀察電離層垂直全電子含量異常出現的時間分布情形。

## 伍、研究結果

一、全球規模大於 6.5 的地震事件中，震前七天電離層垂直全電子含量異常的比例達 82%。

地震矩規模 ( $M_w$ ) 大於或等於 6.5，並排除高緯度與磁暴影響之地震資料 73 筆，其中有 60 筆地震資料在震前七天中至少有一天出現電離層垂直全電子含量異常，佔本研究分析資料的 82%，說明地震發生前七天電離層垂直全電子含量異常，應可視為地震的前兆現象（圖 8）。

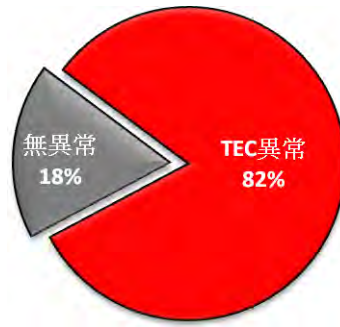


圖 8 震前電離層垂直全電子含量異常分析

舉例來說，圖 9-a 為 2003 年 10 月 8 日，發生於北緯 42.623，東經 144.457，Mw6.6 的地震，經分析後所得出的結果。圖中綠色圈起處為上界異常，可明顯看出地震發生前第 1、2、5、6 天的當天 TEC 值顯著升高。圖 9-b 為 2004 年 12 月 6 日，發生於北緯 42.897，東經 145.196，Mw6.7 的地震，經分析後所得出的結果。圖中藍色圈起處為下界異常，可明顯看出地震發生前第 1、2、3、4 天的當天 TEC 值顯著降低。

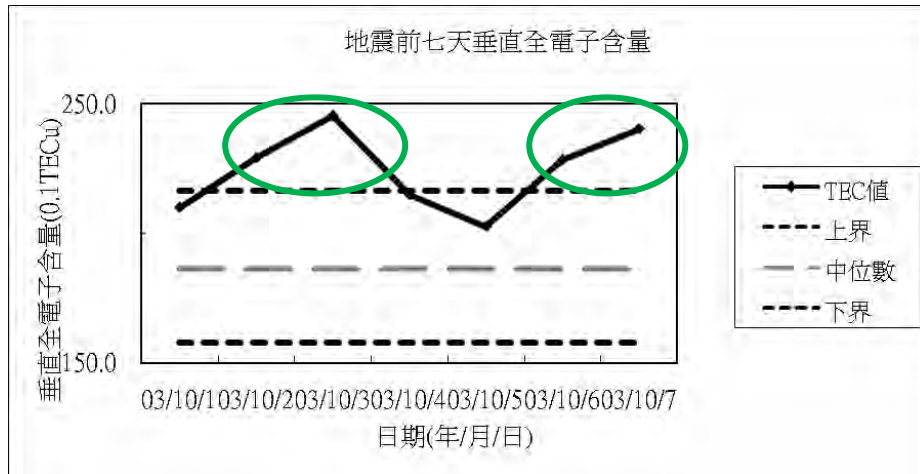


圖 9-a 發生於 2003 年 10 月 8 日的地震之分析結果

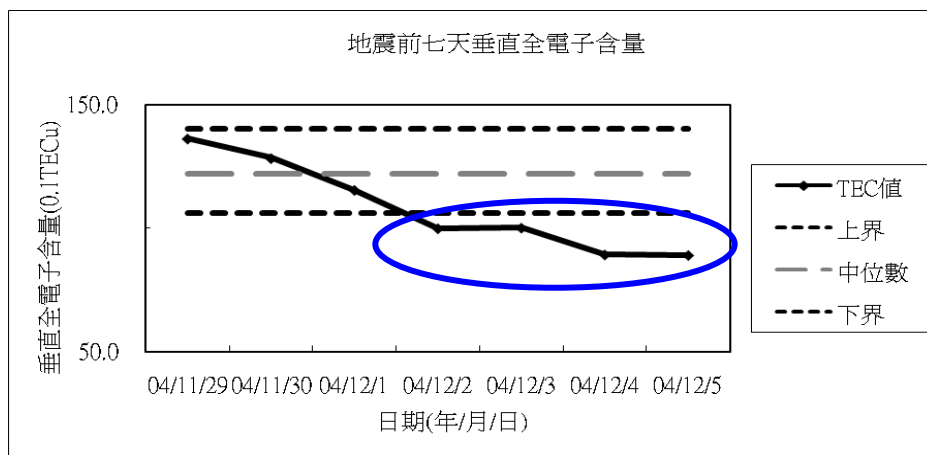


圖 9-b 發生於 2004 年 12 月 6 日的地震之分析結果

二、不同類型的斷層所引發的地震，震前七天出現電離層垂直全電子含量異常的比例，正斷層有 93%、逆斷層有 80%、平移斷層有 80%。其中逆斷層引發的地震異常型態以震前電離層垂直全電子含量異常升高為多；正斷層引發的地震異常型態以震前電離層垂直全電子含量異常降低為多；平移斷層引發的地震異常型態則有些呈現震前電離層垂直全電子含量異常升高，有些呈現震前電離層垂直全電子含量異常降低。

正斷層引發的地震有 14 筆，震前七天顯示出電離層垂直全電子含量異常的有 13 筆，其中上界異常 4 筆，下界異常 7 筆，上下界異常 2 筆；逆斷層的地震有 44 筆，顯示出震前七天電離層垂直全電子含量異常的有 35 筆，其中上界異常 16 筆，下界異常 13 筆，上下界異常 6 筆；平移斷層的地震有 15 筆，顯示出震前七天電離層垂直全電子含量異常的有 12 筆，其中上界異常 4 筆，下界異常 3 筆，上下界異常 5 筆（表 3、圖 10）。

表 3 不同斷層的地震與震前七天電離層垂直全電子含量異常的統計表

斷層類型		正斷層		逆斷層		平移斷層	
篩選後地震數		14 筆		44 筆		15 筆	
TEC 異常的地震數		13 筆		35 筆		12 筆	
TEC 異常地震數的比例		92.9%		79.5%		80.0%	
異常型態	上界異常	4 筆	30.8%	16 筆	45.7%	4 筆	33.3%
	下界異常	7 筆	53.8%	13 筆	37.1%	3 筆	25.0%
	上下界異常	2 筆	15.4%	6 筆	17.1%	5 筆	41.7%

註：上下界異常：地震前七天中分別出現有上界異常和下界異常，代表電離層垂直全電子含量有大幅變動。

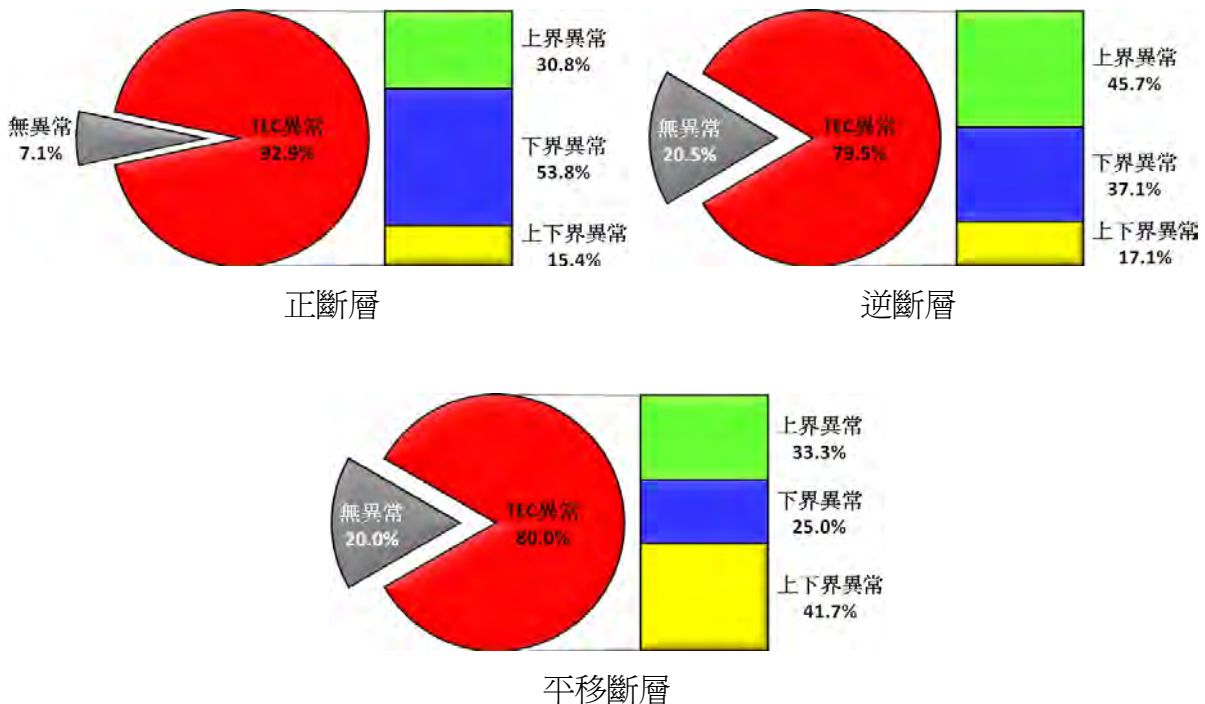


圖 10 不同斷層類型之電離層垂直全電子含量異常分析

三、不同震源位置的地震，震前七天出現電離層垂直全電子含量異常的海底地震有 88%、陸地地震有 70%。其中海底地震以下界異常為主。陸地地震以上界異常為主。

海底地震資料 50 筆，顯示出震前七天電離層垂直全電子含量異常的有 44 筆，其中上界異常 16 筆，下界異常 20 筆，上下界異常 8 筆；陸地地震資料 23 筆，顯示出震前七天電離層垂直全電子含量異常的有 16 筆，其中上界異常 8 筆，下界異常 3 筆，上下界異常 5 筆（表 4、圖 11）。

表 4 海底及陸地地震在震前七天電離層垂直全電子含量異常的統計表

斷層種類		海底地震		陸地地震	
篩選後地震數		50		23	
TEC 異常的地震數		44		16	
TEC 異常地震數的比例		88.0%		69.6%	
異常型態	上界異常	16	36.4%	8	50.0%
	下界異常	20	45.5%	3	18.8%
	上下界異常	8	18.2%	5	31.3%

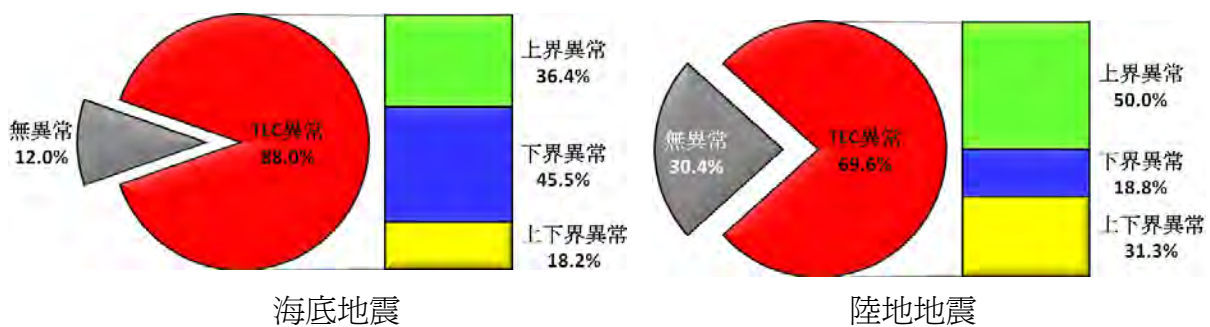


圖 11 不同震源位置之電離層垂直全電子含量異常分析

四、不同的地震震源深度，震前七天出現電離層垂直全電子含量異常的地殼範圍（深度 0~35 公里）有 80%、地函岩石圈（深度 36~100 公里）有 88%、軟流圈（深度 101~200 公里）有 86%、軟流圈之下地函物質（深度 201 公里以上）有 75%。

震源深度位於 0~35 公里的地震資料共有 46 筆，顯示出震前七天電離層垂直全電子含量異常的有 37 筆，其中上界異常 15 筆，下界異常 14 筆，上下界異常 8 筆；震源深度位於 36~100 公里的地震資料共有 16 筆，顯示出震前七天電離層垂直全電子含量異常的有 14 筆，其中上界異常 6 筆，下界異常 4 筆，上下界異常 4 筆；震源深度位於 101~200 公里的地震資料共有 7 筆，顯示出震前七天電離層垂直全電子含量異常的有 6 筆，其中上界異常 3 筆，下界異常 3 筆，上下界異常 0 筆；震源深度位於 200 公里以上的地震資料共有 4 筆，顯示出震前七天電離層垂直全電子含量異常的有 3 筆，其中上界異常 0 筆，下界異常 2 筆，上下界異常 1 筆（表 5、圖 12）。

表 5 不同地震震源深度在震前七天電離層垂直全電子含量異常的統計表

震源深度		0~35 公里		36~100 公里		101~200 公里		201 公里以上	
篩選後地震數		46 筆		16 筆		7 筆		4 筆	
TEC 異常的地震數		37 筆		14 筆		6 筆		3 筆	
TEC 異常地震數的比例		80.4%		87.5%		85.7%		75.0%	
異常型態	上界異常	15 筆	40.5%	6 筆	42.9%	3 筆	50.0%	0 筆	0.0%
	下界異常	14 筆	37.8%	4 筆	28.6%	3 筆	50.0%	2 筆	66.7%
	上下界異常	8 筆	21.6%	4 筆	28.6%	0 筆	0.0%	1 筆	33.3%

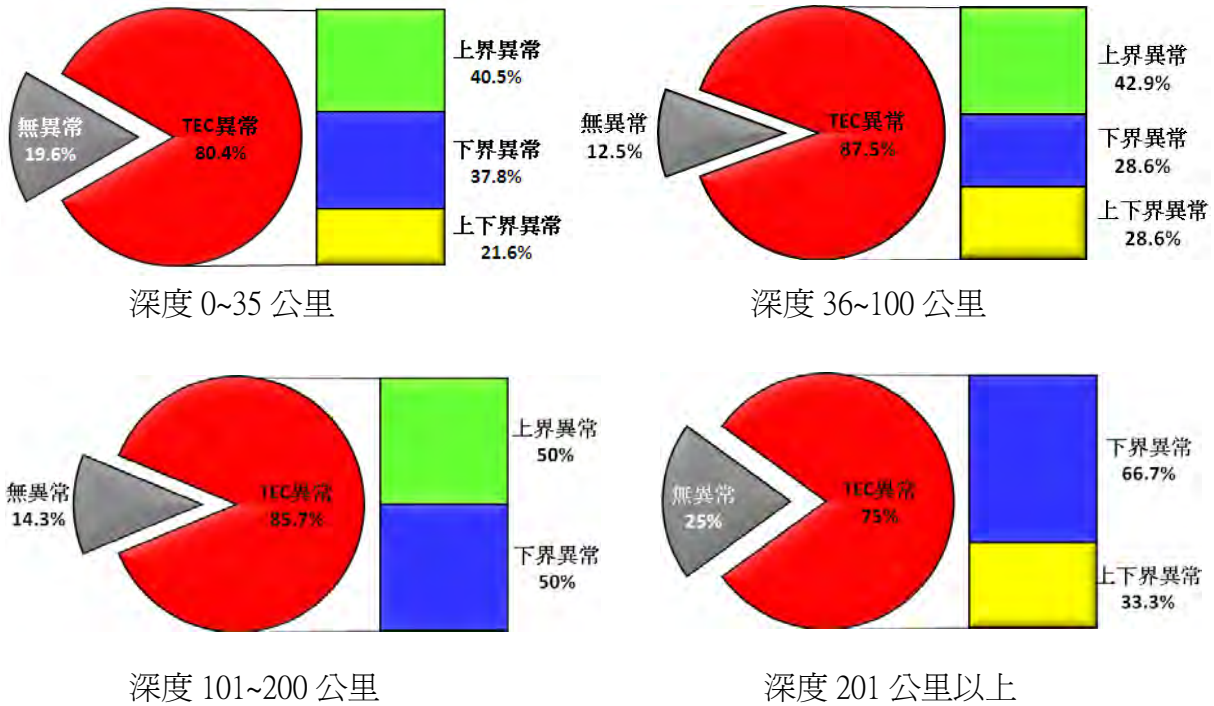


圖 12 不同震源深度之電離層垂直全電子含量異常分析

五、異常發生時間分布情形，整體而言，有震前異常的地震事件，當越接近地震發生日，其出現異常的筆數越多（表 6、圖 13-a）。其中出現下界異常的筆數，越接近地震發生當天越為增加（圖 13-b），上界異常則無顯著趨勢（圖 13-c）。

表 6 電離層垂直全電子含量異常之時間分布表

地震前	第 7 天	第 6 天	第 5 天	第 4 天	第 3 天	第 2 天	第 1 天
異常筆數	15 筆	21 筆	22 筆	22 筆	23 筆	24 筆	26 筆
上界異常	7 筆	14 筆	12 筆	8 筆	12 筆	10 筆	10 筆
下界異常	8 筆	7 筆	10 筆	14 筆	11 筆	14 筆	16 筆



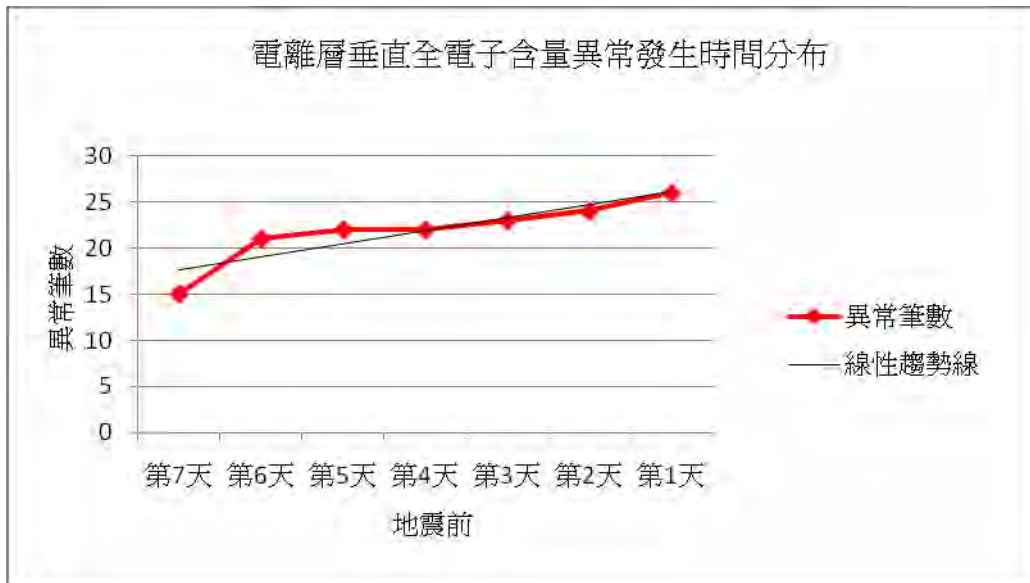


圖 13-a 電離層垂直全電子含量異常發生時間分布情形。  
紅色線代表異常發生次數，黑線為線性趨勢線。

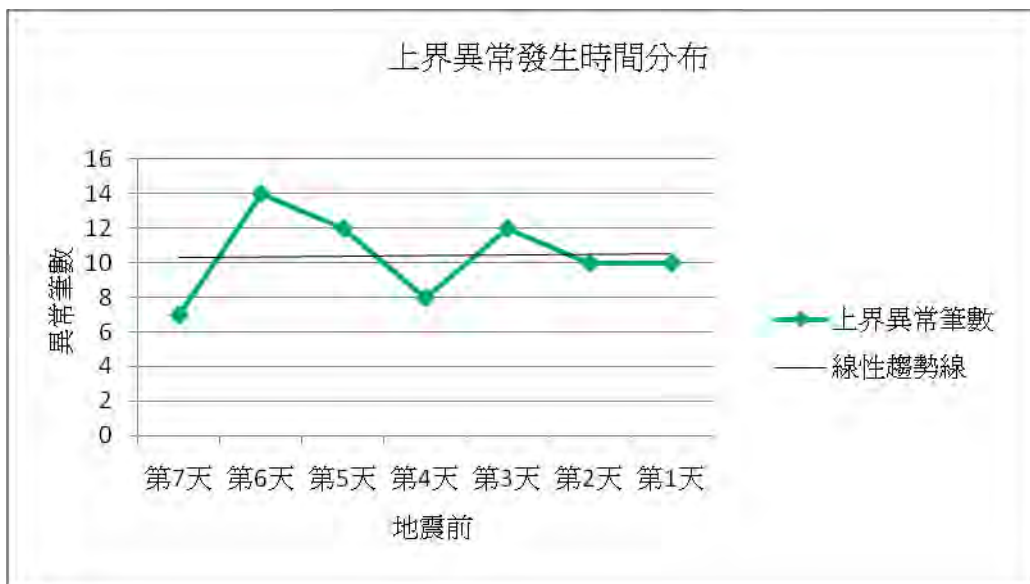


圖 13-b 電離層垂直全電子含量異常升高發生時間分布情形。  
綠色線代表上界異常發生次數，黑線為線性趨勢線。

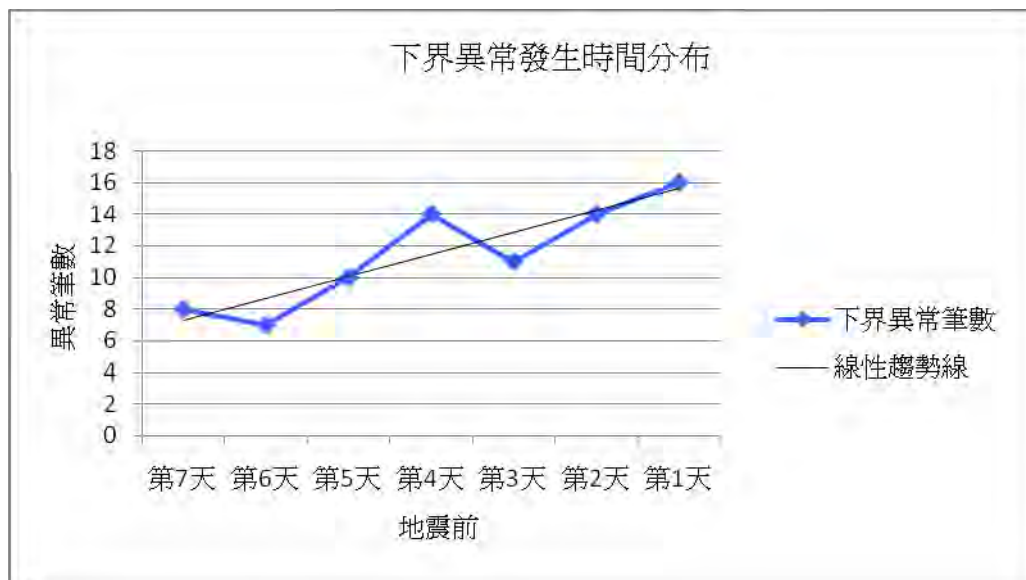


圖 13-c 電離層垂直全電子含量異常降低發生時間分布情形。  
藍色線代表下界異常發生次數，黑線為線性趨勢線。

## 陸、討論

- 一、由本研究獲得的結果顯示：全球規模大於 6.5 的地震事件中，地震發生前七天至少有一天電離層垂直全電子含量出現異常的現象佔 82%，這表示地震在發生前七天，的確會影響電離層垂直全電子含量。
- 二、本研究將地震分成三種斷層類型，每種斷層發生的岩層受力型式不同，例如正斷層是張力，逆斷層是擠壓力，平移斷層則是水平應力，我們試著找出岩層受力型式不同是否會造成電離層垂直全電子含量異常的差異。研究結果顯示，不同類型的斷層類型所引發的地震，震前七天出現電離層垂直全電子含量異常的比例，正斷層有 93%、逆斷層有 80%、平移斷層有 80%。其中受力型式截然不同的正斷層與逆斷層，皆同時可觀察到震前電離層垂直全電子含量異常升高與異常降低兩種變化，這說明不論岩層受力形式為何，只要岩層累積應力，地震發生前，岩層產生變形或微裂隙等變化，都同樣會對電離層產生影響。
- 三、本研究依地震震源位置分成海底地震與陸地地震，目的在於了解海水的阻隔是否會影響電離層垂直全電子含量異常的狀況。研究結果發現，不同震源位置的地震，震前七天出現電離層垂直全電子含量異常的海底地震有 88%、陸地地震有 70%。地殼化學理論假設地震前地殼釋出氫氣，而其放射出之能量使大氣中的分子解離，但本研究認為這些氫氣或其放射能量應受海水阻隔或吸收，無法對大氣造成改變，故本研究認為利用地殼化學理論來解釋震前電離層異常仍有待商榷。依本研究的結果判斷，造成電離層垂直全電子含量異常的因素應不受海水阻隔影響。
- 四、本研究將地震震源深度分為距地表地殼、地函岩石圈、軟流圈、軟流圈之下地函物質四個範圍，不同深度的岩層性質不同，如密度、組成成分、礦物特性、岩石的剛性與塑性等，我們想藉此探討不同深度所發生的地震是否都會造成電離層垂直全電子含量的異



常。研究結果顯示，不同的地震震源深度，震前七天出現電離層垂直全電子含量異常的地殼範圍（深度 0~35 公里）有 80%、地函岩石圈（深度 36~100 公里）有 88%、軟流圈（深度 101~200 公里）有 86%、軟流圈之下（深度 201 公里以上）有 75%，表示岩層化學或物理性質雖有不同，但只要岩層受應力而發生斷裂，其產生的變化同樣都會影響電離層的電子濃度。

五、我們閱讀的許多文獻當中，都表示電離層垂直全電子含量的異常主要出現在震前 3~5 天，因此我們亦將地震資料作震前七天的異常發生時間統計。經過分析後，我們發現越接近地震發生當天，其 TEC 值出現異常情形機會越高，並不特別集中於震前三到五天。

## 柒、結論

- 一、地震矩規模（ $M_w$ ）大於或等於 6.5 之大部分地震發生前七天至少有一天電離層垂直全電子含量出現異常現象佔 82%，這表示地震在發生前七天，的確會影響電離層垂直全電子含量。
- 二、不同類型的斷層類型所引發的地震，震前七天出現電離層垂直全電子含量異常的比例，正斷層有 93%、逆斷層有 80%、平移斷層有 80%，表示不同的受力形式所引發的斷層活動都會造成電離層垂直全電子含量的震前異常。
- 三、不同震源位置的地震，震前七天出現電離層垂直全電子含量異常的海底地震有 88%、陸地地震有 70%，表示引起電離層垂直全電子含量的震前異常的因素，並不受海水阻隔影響。
- 四、不同的地震震源深度，震前七天出現電離層垂直全電子含量異常的地殼範圍（深度 0~35 公里）有 80%、地函岩石圈（深度 36~100 公里）有 88%、軟流圈（深度 101~200 公里）有 86%、軟流圈之下地函物質（深度 201 公里以上）有 75%，表示岩層性質雖有不同，但只要岩石斷裂，都同樣會引起電離層的電子濃度異常。
- 五、地震發生前之電離層垂直全電子含量異常的時間分布，越接近地震發生當天，其異常情形越為明顯。

## 捌、參考資料及其他

### 參考文獻

- 林鈺翔（2004）。**利用全球定位系統觀測電離層地震前兆**。國立中央大學太空科學研究所碩士論文，未出版，桃園縣。
- 卓裕榮（2002）。**電離層地震前兆之研究**。國立中央大學太空科學研究所博士論文，未出版，桃園縣。
- 徐浩翔（2001）。**台灣地區1996年散塊E層之變化**。國立中央大學太空科學研究所碩士論文，未出版，桃園縣。
- 莊皓琨（2004）。**台灣地區地震前之電離層電子濃度異常**。國立中央大學太空科學研究所碩士論文，未出版，桃園縣。
- 楊燦堯、宋聖榮、陳正宏、劉聰桂（2002）。**地震前兆之化學性監測**。臺灣之活動斷層與地震災害研討會，89-106。
- 劉正彥（2002）。**高空電離層透露的訊息**。科學發展，35，22-24。
- 劉正彥、顏宏元、陳佳宏、林昱程、陳盛文、陳耀淳（2004）。**地震活動與大氣、電離層擾亂**。行政院國家科學委員會專題研究成果報告（報告編號：NSC 93-2119-M-008-015）
- C.C. Hsiao, J.Y. Liu, K.-I. Oyama, N.L. Yen, Y.H. Wang, J.J. Miao(2009), Ionospheric electron density anomaly prior to the December 26, 2006 M7.0 Pingtung earthquake doublet observed by FORMOSAT-3/COSMIC, *Physics and Chemistry of the Earth*,34,474-478.
- Friedemann T. Freund(2002),Positive Holes (p-holes) and Positive Hole Pairs (PHP): Key to Understanding Many Pre-Earthquake Phenomena, International Workshop on Earthquake Precursor, Taiwan : National Central University.
- Hines, C. O.(1960), Internal atmospheric gravity waves at ionospheric heights, *Can. J. Phys.*,38, 1441-1481.
- J. Y. Liu(2002),A study of Seismo-ionospheric precursor in Taiwan, International Workshop on Earthquake Precursor, Taiwan : National Central University.
- Sergey Pulinets(2002), The Basics Of Seismo-Ionospheric Coupling, International Workshop on Earthquake Precursor, Taiwan : National Central University.

## **【評語】 040503**

本實驗分析地震發生前的電離層異常現象，收集資料十分豐富，但並無具體結論，電離層異常作為地震前兆目前仍未發展到受肯定的階段，本實驗參考了日前已有的論文，但結論並不明確，宜增加自己的資料收集能力及層面，未來可進行更深入的分析。