

國 立 中 央 大 學

統 計 研 究 所  
碩 士 論 文

地震預測之統計分析

研 究 生：林家聖

指 導 教 授：陳玉英 博士

中 華 民 國 90 年 7 月



# 國立中央大學圖書館 碩博士論文授權書

本授權書所授權之論文全文與電子檔，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

(  ) 同意 (立即開放)

(  ) 同意 (一年後開放)，原因是：\_\_\_\_\_

(  ) 同意 (二年後開放)，原因是：\_\_\_\_\_

(  ) 不同意，原因是：\_\_\_\_\_

授與國立中央大學圖書館，基於推動讀者間「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟、網路或其它各種方法收錄、重製、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用。

研究生簽名：\_\_\_\_\_ 林家聖 \_\_\_\_\_

論文名稱：\_\_\_\_\_ 地震預測之統計分析 \_\_\_\_\_

指導教授姓名：\_\_\_\_\_ 陳玉英 博士 \_\_\_\_\_

系所：\_\_\_\_\_ 統計研究 \_\_\_\_\_ 所  博士  碩士 班

學號：\_\_\_\_\_ 88225011 \_\_\_\_\_

日期：民國 90 年 7 月 1 日

備註：

- 1.本授權書親筆填寫後(電子檔論文可用電腦打字)，請影印裝訂於紙本論文書名頁之次頁，未附本授權書，圖書館將不予驗收。
- 2.上述同意與不同意之欄位若未勾選，本人同意視同授權立即開放。

## 摘 要

本文研究 1994/1/1 至 1999/9/21 期間中壢站觀測之電離層最大電漿頻率 (foF2) 異常與地震之相關性，以交叉相關分析 foF2 與地震發生時間的關係，求出 foF2 異常預測地震的時間，並且計算此一預測成功之機率增量。然後利用模擬檢定 foF2 異常現象預測地震成功率之顯著性。最後以回顧式研究 (Retrospective Study) 探討 foF2 異常預測勝算與地震特性，諸如地震規模、震央與中壢觀測站距離和震源深度之相關性。

## 致 謝 辭

衷心的感謝指導教授 陳玉英博士這兩年來的指導與教誨，不論在生活上或是學業上都令我受益良多。

感謝口試委員 稽允嬋博士、鄭秀麗博士、徐南蓉博士與天文所 劉正彥博士對本文提供了須多建言，使本篇論文更臻完善。還有感謝所上 鄭松壽老師、鄭光甫老師、劉淑鶯老師及 樊采虹老師的授課教導，增廣了我的見聞。另外，感謝我的同窗好友德欣、盈男、子淵、仁偉及雅惠學姊、明欽學長的支持與鼓勵，還有及許多學長姐、同學們的照顧及學弟妹們的陪伴，豐富了這兩年的求學過程，謝謝你們。

最後，感謝我的爸爸、媽媽及妹妹，你們的精神支持及鼓勵是我生命中不斷向前邁進最大的原動力，成就了今天的我，真的謝謝你們。謹將本文獻給我的老師、家人及須多關愛我的朋友們。

林家聖 謹誌於

國立中央大學統計研究所

中華民國九十年七月

# 目 錄

圖目錄	II
表目錄	III
第一章 緒論	1
第二章 相關知識及文獻探討	5
2.1 相關知識	5
2.2 文獻探討	7
第三章 預測方法之分析	11
3.1 foF2 異常與地震之相關分析	11
3.2 foF2 異常預測地震之條件檢定	14
第四章 地震相關測度之分析	17
4.1 地震規模與前兆之相關分析	19
4.2 地震距離與前兆之相關分析	20
4.3 地震深度與前兆之相關分析	21
第五章 結論	24
參考文獻	26
附錄 A 圖表	28
附錄 B 1994/1/1 至 1999/9/21 規模至少為 5 之地震資料	47
附錄 C 1994/1/1 至 1999/9/21 foF2 異象發生日期資料	51

## 圖 目 錄

圖 3-1 : 1994 至 1999/9/21 地震與 foF2 異常之時間序列圖	28
圖 3-2 : foF2 和 EQK 的交叉相關函數圖	29
圖 3-3 : 規模 M 以上地震 k 日前具 foF2 異常之頻率圖	30
圖 3-4 : foF2 異常預測 k 日內發生規模 M 以上地震之成功率圖	31
圖 3-5 : foF2 異常預測 k 日內規模 M 以上地震之機率增量圖	32
圖 3-6 : foF2 異常間隔時間的觀察頻率及模擬頻率圖	33
圖 3-7 : 規模 5 以上地震間隔時間的觀察頻率及模擬頻率圖	33
圖 4-1 : 無前兆地震於各規模之位置分佈	39
圖 4-2 : 無前兆地震震央與中壢崙平台距離範圍之位置分佈	42
圖 4-3 : 無前兆地震深度之位置分佈	45
圖 4-4 : 所有地震之位置分佈	46

## 表 目 錄

表 3-1 : foF2 和 EQK 的交叉相關函數	29
表 3-2 : 地震與 foF2 異常之觀測日數	30
表 3-3 : 地震前 foF2 異常頻率	30
表 3-4 : foF2 之成功預測頻率	31
表 3-5 : 預測地震發生率 (PSR) 和 機率增量 (PG)	32
表 3-6 : foF2 異常預測成功率之百分位數	34
表 3-7 : foF2 異常預測成功率之 P 值	34
表 3-8 : 無價值預測成功率之百分位數	34
表 3-9 : 無價值預測成功率之 P 值	34
表 4-1 : 地震特性下 foF2 異常之勝算	35
表 4-2 : 地震特性下 foF2 異常之模型配適	36
表 4-3 : 5.0 $M < 5.4$ 無前兆之地震	37
表 4-4 : 5.5 $M < 5.9$ 無前兆之地震	38
表 4-5 : $M > 6.0$ 無前兆之地震	38
表 4-6 : $0 < D < 100$ 無前兆之地震	40
表 4-7 : $100 < D < 200$ 無前兆之地震	40
表 4-8 : $200 < D < 300$ 無前兆之地震	41
表 4-9 : $D > 300$ 無前兆之地震	41

表 4-10 : $0 < h \leq 10$ 無前兆之地震	43
表 4-11 : $10 < h \leq 20$ 無前兆之地震	43
表 4-12 : $20 < h \leq 30$ 無前兆之地震	43
表 4-13 : $30 < h \leq 60$ 無前兆之地震	44
表 4-14 : $h > 60$ 無前兆之地震	44



# 第一章 緒論

從文獻中得知人類自有文明以來，即發現地震的現象，中國甚至有「地牛翻身」之說，可知早期人類對地震的恐懼如甚。經過幾千年的演進，雖然科學與文明的不斷進步，但始終無法克服地震帶來的影響。地震對人們的傷害，不僅在有形的如地貌、生活環境、建築的破壞，甚至在人們心中深深植入無形的陰影而影響人們的生活。以台灣為例：1999年九二一集集地震是台灣二十世紀規模最大的地震（芮氏規模 7.3），不僅造成了三千多人的死傷，近千戶房屋損毀，後續所引發的居民無家可歸、衛生、土石流、災後重建等問題更是不勝枚舉。因人類對地震的恐懼，使得全世界對地震的研究可說是前仆後繼、百家爭鳴，現在全球有許多研究機構正致力於地震相關的研究工作，期望能更加了解地震的相關知識，其中「地震預測」就是熱門的主題之一。

長久以來科學家嘗試各種可能的方式，找出地震前的跡象以供預測的參考。最常見的是根據一些經驗型的異常跡象，作為預測地震的依據，如：某些動物會因為地震將要發生而造成異常行為或是族群大規模遷徙、地震光（earthquake light）、地下水位急遽下降或上升、地殼隆起等現象。目的是希望能在地震之前加以防範預防，使傷害減到最低。中國在六、七零年代宣稱成功的預測了四個規模甚鉅的地震

(Cao 和 Aki [1983]), 他們應用了各式各樣和自然界異常現象有關的方法預測地震, 其中預測日數範圍甚至長達一個月, 但卻沒有預測到 1976 年 7 月 28 日芮氏地震規模 7.8 的唐山地震。該地震死亡 24.2 萬餘人、重傷 16.4 萬餘人, 是中國大陸近 30 年來危害最大的一次地震。中國的方法除了預測日數範圍過長, 也花費了許多人力、金錢及時間, 不過他們的地震預測法最後仍宣告失敗。另外有一部份的科學家研究以「前震序列」(foreshocks) 作為預測強震的方法 (Maeda [1996]), 根據前震的規模、位置、型態等預測主震可能的發生情形, 但是後來發現規模較大的地震, 其發生前震的頻率甚少, 也有學者透過地震發生率之監測, 根據地震寧靜 (seismic quiescence) 尋求地震前兆 (Habermann [1988])。然而上述地震預測皆屬明確陳述地震發生時間、地點及規模。

在六零年代科學界發現地殼電磁的異常現象 (electro-magnetic anomaly) 在地震期間的效應特別顯著。Varotsos et al. [1981] 宣稱一種以作者姓氏字母命名的 VAN 方法可以成功的預測地震。此法利用地表磁場異於常時的變化方向預測地震可能發生的地點, 預測日數範圍約三週。Varotsos 和 Lazaridou [1991] 又宣稱 VAN 方法成功地預測了希臘 (Greece) 的地震, 並且以統計的觀點 (或說是機率的觀點) 驗證 VAN 方法的預測能力。但是為人詬病的是, VAN 方法未明確的

定義預測地震可能的規模、發生的地點及較確切的發生時間，更嚴重的是其所用的檢定是錯誤的（VAN 方法的假設檢定在第二章會詳細介紹）。1981 年之後許多國家嘗試設立測站以 VAN 方法預測地震，其中以日本投資最多，但是最後並無具體成果。

相對的，自從 Barnes, et al. [1965] 在阿拉斯加（Alaska）發生地震時，發現電離層有擾動現象的發生。之後在 1969 年的 Kurile 島所發生的地震，Furumoto, et al. [1971] 也發現電離層發生類似的擾動現象。這些現象引起了電離層物理學家的興趣，並試著由此著手去找出岩石圈（lithosphere）與電離層間的關係。Blanc [1985] 由許多的觀測資料顯示於地震發生前後，地震活動區的電離層可能存在某些異常現象。Voitove 和 Dobrovolsky [1994] 認為此現象與地震活動帶斷層溢出的氣體有密切的關係，並推論這是因為斷層區內的液體流動，導致氣體分子由地表進入大氣層。

Liu et al. [2000] 鑑於文獻中僅就個案探討，並且異常現象的探討同時包含震後的電離層資料，因此，引用統計過程管制（Statistical Process Control）監測由電離層探測儀所測得的 F2 層最大電漿頻率（foF2），獲知台灣 1994 年至 1999 年 921 地震為止規模 M 6 強震在 6 日內皆具電離層異常現象。

Liu et al. [2001] 又針對台灣 1994 年至 1999 年 921 地震之前規模

M 5 強震前的 foF2 異常現象進行研究。本文則根據 Liu et al. [ 2001 ] 發表的 foF2 異常發生日期，以統計方法分析 foF2 異常與地震發生的相關性，並進一步評估其做為地震預測因子的顯著性。第一章簡述研究的背景及概要。第二章介紹地震及電離層的基本知識及文獻探討。第三章介紹無效預測 ( worthless prediction ) 藉以檢定 foF2 地震預測的顯著性。第四章針對地震的規模、位置 ( 經緯度 ) 及深度與 foF2 前兆發生之相關分析。第五章則為結論。

## 第二章 相關知識及文獻探討

### 2.1 相關知識

#### 電離層及 foF2

距地球表面約六十公里以上大氣層之氣體分子，受太陽光之紫外線及 X 射線的照射與來自太陽及宇宙中高能粒子之衝擊碰撞而游離化 ( ionization )，因此產生負電子與正離子的電離層電漿 ( plasma )。另一方面已存在大氣層中的電子與正離子亦會互相結合與依附，而從大氣中煙消雲散。再考慮電漿本身之傳輸 ( transport ) 運動，地球之高層大氣會形成一含有眾多離子和電子的電漿區域。因為此層會影響到無線電波的傳播，所以又被稱為電離層 ( ionosphere )。電離層電子濃度隨高度的分布約分成兩大部分，分別為 E 及 F 層，E 層的高度約在 90~140 公里，影響此層電子濃度的主要因素為產生與消散的光化作用，F 層的高度約在 140 公里上至數百或數千公里不等，影響此層電子濃度的主要因素為電離層的傳輸運動，亦即所謂的電離層最大層峰，亦稱為 F2 域。此時電離層觀測儀所測到的電離層回波頻率稱之為 foF2。相關知識可參考孫正江 [ 1984 ]、蔡和芳 [ 1995 ]、葉怡君 [ 1996 ]、卓裕榮 [ 1999 ]。

## 太陽磁爆對 foF2 的影響

一般電離層的擾動主要來自上層的太陽和宙間的高能粒子進入地球磁場影響電離層，所以檢測這一影響的方法是以地磁擾動指數來判斷。而地磁中低緯度之地一般是以 Dst 指數作為判別標準，太陽磁爆發生時 Dst 指數會受其影響，而相對電離層 foF2 的變化會於急始磁爆 ( Sudden Storm Comment ; SSC ) 發生時抬昇而後降低。

## foF2 與地震的關係

以往科學家認為電離層擾動機制主要來自太陽和宇宙間的高能粒子的輻射。然而近年來有學者提出許多的觀測結果，發現太陽活動正常 ( 無磁爆發生 ) 且無其他外來因素時，電離層於地震發生前後幾天亦有擾動的現象產生。自 Liu et al. [ 2000 ] 的研究得知台灣規模六以上的強震發生前一天，電離層 foF2 值於當地時間正午 12 點至下午 6 點間會有降低的現象。在地震醞釀期間電離層的變化可能是來自地表板塊擠壓的活動，過程中造成地殼內部的金屬離子被釋放出來，並藉由壓電效應所產生的電場被帶到大氣層中造成電離層的擾動，所以可以在地震前藉由觀測電離層 foF2 的變化作為地震之徵兆。由於 foF2 發生異常現象的原因除了可能是地震引起的，太陽磁爆、黃昏效應及閃電因素也會干擾 foF2 的變化，為避免這些因素的干擾，Liu et al.

[2001] 考慮正午 12 點至下午 5 點 foF2 連續兩個小時異常可能與地震相關，此外太陽磁爆發生後 48 小時內，foF2 亦可能產生異常現象。因此，若 foF2 的異常現象可能肇因於急始磁爆，則刪除此一 foF2 異象資料。若此一 foF2 異象後伴隨地震發生，則其後之地震亦一併刪除。

## 2.2 文獻探討

Varotsos 和 Lazaridou [1991] 根據 Ms 測度（一種表面波）宣稱 VAN 方法成功地預測了希臘（Greece）的地震，Varotsos et al. [1996a] 更對此法進行解釋，然而此方法卻引起許多爭議。Wyss and Allmann [1996] Stark [1996, 1997] 等質疑 VAN 的預測方法在時間、規模、地點都未明確定義。

傳統上檢驗 VAN 地震預測法是觀察預測後是否有一符合條件的地震發生。但是，真正檢驗 VAN 地震預測法的效率，應是檢定須無假設：「VAN 方法無助於地震預測」。Varotsos 和 Lazaridou [1991] 則隨機生成地震序列，並檢測固定的 VAN 地震預測法對隨機發生之地震的正確預測率。此隨機發生地震的序列通常以波氏過程（Poisson Process）加以模擬，其參數則以某預測時間內地震發生情形估計（Mulargia and Gasperini [1992]、Aceves [1996]），故地震序列建構在

時間間隔的隨機性上。但是，此一檢定若拒絕虛無假設時，可能不是 VAN 地震預測法真的比較好，而是所設計的隨機地震序列有誤所致。從另一角度而言，若虛無假設不被拒絕時，也有可能 VAN 地震預測法真的較佳，只是此一隨機地震序列不符合真實地震的發生。所以 Stark [1996] 認為將焦點放在比較 VAN 預測法和其他預測方法是較合理的。他提出隨機預測方法，然後根據既有的地震資料，檢視預測成功率，最後和 VAN 方法比較預測能力。如此的比較方法是建立在固定地震序列的條件下，故亦稱為「條件檢定」。

如前段所言，VAN 預測法之檢定在地震隨機模型的假設上受到許多爭議。基本上學者認為地震的隨機模型並非均質的波氏過程 (Homogeneous Poisson process)，因為地震在時間上的分佈不是獨立的 (Kagan [1996])。事實上地震有叢集的特性，應該考慮為非均質的波氏過程 (Non-homogeneous Poisson process)。為避免地震發生模式的困擾，Stark [1996] 建議藉由預測成功率檢定 VAN 預測方法是否顯著優於其他隨機地震預測法。

Stark [1996] 考慮的預測法之一是在既有的每一個地震，隨機的 (如：擲銅板、丟骰子或從某一隨機分佈決定等) 決定是否預測地震，然後計算此一方法的成功預測比例。假設 VAN 方法的成功預測率為  $P_0$ ，另一種隨機預測法之成功預測率為  $\hat{P}$ ，在顯著水準  $\alpha$  下，若



$\Pr(\hat{P} > P_0) \leq \alpha$  , 則稱 VAN 方法能「顯著」成功的預測地震的發生。Stark [1997] 運用了幾種隨機的預測方式推翻了 VAN 預測方法的可行性。其他如 Wyss 和 Allman [1996]、Kagan [1996]、Riedel [1996] 也以類似的方式質疑 VAN 預測方法的可行性。然而 Musson [1997] 延續 Stark 條件檢定的想法，建議一種無價值的( worthless )預測方式，此一無價值預測方法根據過去的地震發生率，以波氏過程生成一種隨機預測，然後比對既有的地震序列求出其成功預測率。Musson 根據美國加州地震模擬此一隨機預測成功率，並且列表其中位數及 90 百分位，以供其他預測加州地震發生方法比較之用。

由 Liu et al. [2000] 針對 1994~1999 規模 6 以上的地震研究地震前兆。其研究中觀察所有在寧靜日（無地震發生之日期）及地震日之前 foF2 測度值的變化，發現 foF2 測度值在一般寧靜日之中午 12 點到下午 5 點這段期間相對於其他時間高出很多；而地震發生的前幾日，foF2 測度值卻明顯的下降，故 Liu 以統計管制過程（Statistical Process Control）偵測其顯著之訊號。由於 foF2 的異常現象可能因太陽急始磁爆或黃昏效應等區域影響（Local effect），若 foF2 在每日之正午 12 點到下午 5 點之間連續 2 小時超出統計管制過程的信賴下界，且前兩日內無太陽急始磁爆發生，即鑑定該日具 foF2 異常。本文採用 Liu et al. [2001] 鑑別的 foF2 異常資料，比對台灣自 1994 年至 1999 年 921 地

震前規模至少為 5 的地震資料，分析 foF2 異常做為台灣地震預測方法的可行性。

### 第三章 預測方法之分析

#### 3.1 foF2 異常與地震之相關分析

對於本文所探討之「地震預測」，較令人感興趣的是「當 foF2 發生異常時，後幾日內是否有地震發生」和「某日有地震發生時，前幾日內 foF2 是否有發生異常」這兩個問題，首先將地震和 foF2 異常兩時間序列依時間點畫出 (圖 3-1)，大概可以看出地震之時間序列是以叢集的現象出現，而且 foF2 異常大概出現在地震發生前，所以地震 (EQ) 和 foF2 異常發生時間可能有相關。假設  $X_t$  為 foF2 異常序列， $Y_t$  為地震序列，其中  $X_t$  和  $Y_t$  為二元變數， $X_t=1$  ( $Y_t=1$ ) 代表 foF2 異常 (地震發生)， $X_t=0$  ( $Y_t=0$ ) 代表 foF2 無異常 (無地震發生)。首先考慮  $X_t$  和  $Y_{t+k}$  的樣本交叉相關函數 (sample cross-correlation function, SCCF)：

$$\hat{r}_{XY}(k) = \frac{\hat{g}_{XY}(k)}{S_X S_Y}, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

$$\text{其中 } \hat{g}_{XY}(k) = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(Y_{t+k} - \bar{Y}), & k \geq 0, \\ \frac{1}{n} \sum_{t=1-k}^n (X_t - \bar{X})(Y_{t+k} - \bar{Y}), & k < 0, \end{cases}$$

$$S_X = \sqrt{\hat{g}_{XX}(0)},$$

$$S_Y = \sqrt{\hat{g}_{YY}(0)},$$

並畫出其函數圖 ( cross correlogram ) ( 圖 3-2 )。根據中央極限定理，

$\hat{r}_{xy}(k)$  之漸進近分配是常態分配，其平均數為 0，近似標準誤

( approximate standard error ) 如下：

$$Var[\hat{r}_{xy}(k)] \cong (n-k)^{-1}, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

檢定母體交叉相關函數為 0 之 P 值列於表 3-1。因為針對  $k=1, 2, 3, 4, 5$  的 P 值小於 0.01，得知 foF2 前兆顯著的發生在地震前五日內。所以若以 foF2 的異常預測地震，則可以預測五日內發生的地震。本文即根據此結果，探討 foF2 異常在地震前 5 日內發生的頻率及 foF2 異常預測五日內發生地震的能力。

考慮地震發生前五日內 foF2 的異常頻率，首先定義地震的警訊率 ( Alarm Rate, AR ) 如下：

$$AR_{k,M} = \frac{\text{規模}M\text{以上之地震前}k\text{日內具foF2異常之地震個數}}{\text{規模}M\text{以上地震總數}}$$

$$M = 5.0, 5.5, 6.0, \quad k = 1, 2, \dots, 5.$$

表 3-3 為 1994 到 1999/9/21 之間規模  $M$  以上地震前  $k$  日內具 foF2 異常的日數 (  $N_{k,M}$  ) 及  $AR_{k,M}$ 。由表 3-3 得知規模 5 以上地震前五日內有 foF2 異常的比例高達七成三 (  $AR_{5,5.0} = 0.73$  )，並且除  $k=5$  情形外規模

愈大的地震前  $k$  日內有 foF2 異常的比例有增加的趨勢 (圖 3-4)。這說明了規模較大的地震，前五日內可觀測到 foF2 異常的可能性較高。

考慮 foF2 異常後五日內地震發生的頻率，則定義 foF2 異常預測之成功率或真實率 (True Rate, TR) 如下：

$$TR_{k,M} = \frac{\text{foF2發生異常後}k\text{日內發生規模}M\text{以上地震之foF2個數}}{\text{foF2異常總數}},$$

$$M = 5.0, 5.5, 6.0, \quad k = 1, 2, \dots, 5.$$

表 3-4 列出在後  $k$  日內發生規模  $M$  以上地震之 foF2 異常個數 ( $L_{k,M}$ ) 及  $TR_{k,M}$ 。由表 3-4 得知以 foF2 異常預測規模 5 以上地震在後五日內發生的成功預測比例可達五成以上 ( $TR_{5,5.0} = 0.53$ )，規模較大的地震，成功預測的比例隨之下降 (圖 3-2)。這是很合理的，因為規模較大的地震本身較少，故成功預測的比例自然下降。所以，本文另行考量其他量數以反應不同規模地震之成功預測率。

定義背景地震發生率 (Background seismicity rate, BSR) 預測地震發生率 (Predicted seismicity rate, PSR) 及機率增量 (Probability gain, PG) 如下：

$$BSR_M = \frac{\text{規模}M\text{以上的地震日數}}{\text{研究之總日數}}, M = 5.0, 5.5, 6.0,$$

$$PSR_{k,M} = \frac{\text{foF2預測}k\text{日內規模}M\text{以上的地震日數}}{\text{foF2預測}k\text{日內地震日數}},$$

$$M = 5.0, 5.5, 6.0, \quad k = 1, 2, \dots, 5,$$

$$PG_{k,M} = \frac{PSR_{k,M}}{BSR_M}, \quad M = 5.0, 5.5, 6.0, \quad k = 1, 2, \dots, 5,$$

本文研究的 BSR 列於表 3-2。  $PG_{k,M}$  是預測成功率相對於地震發生率的比，即是調整地震發生率後 foF2 異常預測地震的預測成功率，其可反應出 foF2 異常預測法的真正預測力。上述數值列在表 3-5，由此表得知 foF2 異常較能成功的預測規模越大的地震，因為  $PG_{k,M}$  隨著 M 的增加有增高的趨勢（圖 3-5）。

### 3.2 foF2 異常預測地震之條件檢定：

由 3.1 得知以 foF2 異常預測後五日內發生規模 5 以上地震的成功率可達五成以上，這個數字看似不大，但是以地震本身發生的頻率而言，從 1994 到 1999/9/21 共 2090 天規模 5 以上地震共有 145 天，平均約 15 天發生一次如此之地震。換言之，平均五日發生如此地震之機率約 1/3。因此，五成以上的成功預測率似乎較佳，但是此一 foF2 異常是否能有效的預測地震，則尚待統計檢定。所以本節介紹以條件檢定 foF2 預測地震法的可行性。

根據 Stark (1996) 或 Musson (1997) 的結果，本文考慮兩種隨

機預測法。第一種隨機預測法針對 foF2 異常特性加以模擬。另一種隨機預測則參考台灣的地震發生率，模擬波氏過程預測地震。首先針對相鄰 foF2 異常的間隔時間（日），繪製頻率圖（圖 3-6），由頻率圖中發現有似指數遞減的情形，所以用波氏過程模擬 foF2 的異常發生。然後以生成之波氏過程預測地震，比照自 1994 年至 1999 年 921 之前規模 M 以上地震，求出其成功預測率。重複模擬 10000 次之後，求出預測成功率的中位數及 95 百分位，列在表 3-6。進一步將此一模擬預測法中成功預測率超過表 3-4 的  $TR_{k,M}$  之比例，即此一條件檢定之 P 值列在表 3-7。

接著考慮 1994 年到 1999/9/21 規模 M 以上的背景地震發生率，針對相鄰地震的間隔時間（日），繪製頻率圖（圖 3-7），由頻率圖中亦發現有似指數遞減的情形，模擬波氏過程作為無價值的預測方法。與表 3-6 和表 3-7 的結果則列在表 3-8 和表 3-9。

由表 3-6 和表 3-7 可得知對 1994 年到 1999/9/21 的地震而言，以 foF2 異常預測規模 M 以上地震之成功率都是顯著的，因為其 P 值皆低於 0.05。事實上，針對規模 5.0 或 5.5 以上地震其 P 值都顯著至小數四位以下。由表 3-8 和表 3-9 可得知以 foF2 異常預測規模 5.0 及 5.5 以上地震的 P 值都是顯著的，但是預測規模 6.0 以上地震的 P 值卻是不顯著的。由這兩種模擬的驗證結果，對於以 foF2 異常預測規模 5.0

及 5.5 以上的地震確實比以這些隨機預測法預測地震更具可行性，惟規模 6.0 以上的驗證較具爭議。不過由於規模 5.5 及 6.0 以上的地震其資料不夠多而無法更有力的說服其分布亦有指數下降的趨勢，故以波氏過程模擬驗證可能較不具說服力。故對於規模六以上地震，以 foF2 之行為模擬預測確實比由地震行為模擬預測合理。所以就整體而言（各種規模而言）以 foF2 異常預測地震確實比以這些隨機預測法預測地震更具可行性。



## 第四章 地震相關測度與預測之分析

本文第三章已經檢定得知 foF2 異常預測地震成功率之顯著性，此章則進一步研究此一 foF2 異常與地震特性，諸如地震規模、地震深度和震央與中壢電離層測站之距離的關係，其中距離的衡量是震央位置與中壢測站位置的歐幾里得距離，位置雖然是以經緯度表示，但是一經（緯）度約 100 公里，經換算後，本文仍以公里（km）計。首先將上述地震特性予以分組，例如：規模（M）分成  $5.0 < M < 5.4$ 、 $5.5 < M < 5.9$  和  $M > 6.0$  三組，距離（D 公里）分成  $0 < D < 100$ 、 $100 < D < 200$ 、 $200 < D < 300$ 、 $D > 300$  四組，深度（h 公里）依照地科對地震深淺的分類方式粗略分成  $0 < h < 10$ 、 $10 < h < 20$ 、 $20 < h < 30$ 、 $30 < h < 60$ 、 $h > 60$  五組。地震發生前五日內若有 foF2 異常現象，不管發生幾次都定義此地震是有預警的，亦即為成功預測之地震，否則此地震是無預警的。然後依照每個地震的成功預測與否，以回顧式分析（Retrospective Analysis）探討其與地震特性的關係，且在已知成功預測與否的情形下，分析地震特性對預測的影響力。

前一章以成功的預測比例當作比較預測方法的優劣標準，本章將進一步考慮成功預測比例和失敗預測比例的勝算（Odds）判定 foF2 預測法的預測能力，定義：

$$Odds_i = \frac{p_i}{1-p_i}, \text{ 其中 } p_i = \frac{m_i}{N_i}, i=1,2,\dots,I,$$

而  $m_i$  為期望成功預測次數， $N_i$  為總預測次數， $p_i$  為成功預測比例，故勝算亦為成功預測比例的一對一函數。勝算為 1 代表成功預測與失敗預測的比例是相同的，若欲檢定  $H_0: Odds_i = 1$  v.s.  $H_1: Odds_i > 1$  如同檢定  $H_0: p_i = 0.5$  v.s.  $H_1: p_i > 0.5$ ，因成功預測次數  $n_i$  可視為服從以成功預測比例  $p_i$  為平均數的二項分佈，故在虛無假設成立下的檢定統計量為  $T(n_i) = \frac{2n_i - N_i}{\sqrt{N_i}}$ ， $i=1,2,\dots,I$ ，若樣本  $N_i$  夠大，根據中央極限定理  $T(n_i)$ ， $i=1,2,\dots,I$ ，服從標準常態分配，可利用此性質作為檢定標準。

因「地震規模」、「foF2 測量站與震央的距離」、「地震深度」皆屬於次序尺度 (Ordinal Measurement)，所以考慮以配適 Linear Logit Model 描述資料，進而探討兩變數關係，其定義如下：

$$Logit(p_i) = \log(Odds_i) = \log\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = a + bu_i, i=1,2,\dots,I,$$

其中  $u_i = i$ ， $i=1,2,\dots,I$  為單位空間數 (unit-space score)，其勝算比 (Odds Ratio) 為

$$q_i = \frac{Odds_{i+1}}{Odds_i} = \exp[\mathbf{b}(u_{i+1} - u_i)] = \exp(\mathbf{b}) \quad , i = 1, 2, \dots, I - 1$$

此勝算比與  $i$  無關，稱兩變數有均勻關係 (Uniform Association)。特別當  $\mathbf{b} = 0$  時， $q_i = 1$  for all  $i = 1, 2, \dots, I - 1$ ，即勝算不會隨解釋變數的改變而改變，故兩變數無關。

#### 4.1 地震規模與前兆之相關分析

考慮在不同地震規模的情形下地震預測為成功及失敗之分佈情形 (表 4-1 (a))，為了探討預測失敗的原因，在表 4-3 至 4-5 列出了在三種不同規模下預測失敗的地震。可以發現規模 5.0~5.4 地震的深度大多在 30 (km) 以下，屬於較淺層的地震；規模 5.5~5.9 地震的深度較沒有一定的深淺；而規模 6.0 以上地震深度都在 60(km) 以上，屬於較深層的地震。圖 4-1 繪出這些地震的地理位置分佈圖，發現這些預測失敗的地震大多分佈於台灣東側海域，只有 8 筆規模 5.0~5.4 的地震發生在台灣陸地，而規模 5.5 以上預測失敗的地震多分佈於台灣東北測海域，只有一地震 (緯度 22.22°N，經度 125.63°E) 是離台灣較遠的。

由表 4-1 (a) 發現三種不同地震規模的預測能力 (Odds) 有隨規

模增加而增加的趨勢，表中最右邊一欄是 $T(n_i)$ 的檢定值，在顯著水準 0.1 下三種地震規模的 $T(n_i)$ 檢定值均顯著，這意味著成功預測的勝算在三種地震規模均顯著大於 1；接著以卡方獨立性檢定(表 4-2(a))檢驗有無前兆是否和地震規模有關，其檢定結果 P-value=0.87 是不顯著的，即有無前兆和地震規模是無關的；而考慮以 Linear Logit model 的模型配適(表 4-2(a))，發現參數估計中檢定 $H_0: b = 0$ 的 P 值為 0.913 是不顯著的，這也前面的卡方獨立性檢定結果相同，且也解釋了 Odds 隨預測地震規模的增加而增加在統計上是不顯著的。

## 4.2 地震距離與前兆之相關分析

考慮在不同地震距離的情形下地震預測為成功及失敗之分佈情形(表 4-1(b))，為了探討預測失敗的原因，在表 4-6 至 4-9 列出了在四種物不同距離下預測失敗的地震，而圖 4-2 繪出這些地震的地理位置分佈圖。可以發現距離 0~100 (km) 地震的深度均在 60~80 (km) 不等，且由圖中發現這四筆地震都分佈在宜蘭附近；距離 100~200 (km) 地震的深度較沒有一定的深淺，但其規模 6.0 以上的強震其深度均在 60 (km) 以上，而圖中的分佈位置大多在宜蘭或花蓮的外海；距離 200~300 (km) 地震的深度都在 30 (km) 以下，且其規模大多在 5.4 以下，而圖中的分佈位置大多在台東外海；距離 300 (km) 以上其地

震的規模、深度較沒有一定的規則，圖中顯示其地震大都在較偏遠的台灣南部外海。

由表 4-1 (b) 發現四種不同地震距離的預測能力 (Odds) 除了在 0~100 (km) 和 300 (km) 以上較高，在顯著水準 0.1 下四種地震距離的  $T(n_i)$  檢定值均顯著，這意味著成功預測的勝算在四種地震距離均顯著大於 1；接著以卡方獨立性檢定 (表 4-2 (b)) 檢驗有無前兆是否和地震距離有關，其檢定結果 P-value=0.98 是不顯著的，即有無前兆和地震距離是無關的；而考慮以 Linear Logit model 的模型配適 (表 4-2 (b))，發現參數估計中檢定  $H_0: b = 0$  的 P-value=0.796 是不顯著的，這也前面的卡方獨立性檢定結果相同，且也解釋了 Odds 不會隨預測地震規模的改變而變動。即若以 fof2 作為地震預測的方法，不管想要預測的地震距離多遠，成功預測的勝算大概在 2.5~3.2 不等，這說明了預測能力並不會受預測規模改變而隨之改變。

### 4.3 地震深度與前兆之相關分析

考慮在不同地震深度的情形下地震預測為成功及失敗之分佈情形 (表 4-1 (c))，為了探討預測失敗的原因，在表 4-10 至 4-14 列出了在五種物不同深度下預測失敗的地震，而圖 4-3 繪出這些地震的地理位置分佈圖。可以發現深度 30 (km) 以下地震的規模大多在 5.4

以下，而距離遠近不等，位置也沒有一定的分佈，不過大多數預測失敗的地震還是在台灣東部海域；而深度 60 ( km ) 以上地震的規模大多是 5.5 以上的強震，除了一個離台灣較遠地震 ( 緯度 22.22° N ，經度 125.63° E ) 外，其餘地震大都在宜蘭及其外海。

由表 4-1 ( c ) 發現五種不同地震深度的預測能力 ( Odds ) 除了深度在 30~60 ( km ) 較高之外其餘是差不多的。在顯著水準 0.1 下除了深度在 20~30 ( km ) 的  $T(n_i)$  檢定值是不顯著，這是因為地殼在 20~30 ( km ) 間的構造較不一樣所致；其餘四種地震深度的  $T(n_i)$  檢定值均顯著，這意味著成功預測的勝算在這四種地震深度均顯著大於 1。接著以卡方獨立性檢定 ( 表 4-2 ( c ) ) 檢驗有無前兆是否和地震深度有關，其檢定結果 P-value=0.77 是不顯著的，即有無前兆和地震深度是無關的；而考慮以 Linear Logit model 的模型配適 ( 表 4-2 ( c ) ) ，發現參數估計中檢定  $H_0: b = 0$  的 P-value=0.946 是不顯著的，這也前面的卡方獨立性檢定結果相同，且也解釋了 Odds 不會隨預測地震深度的改變而變動。即若以 fof2 作為地震預測的方法，預測能力並不會受預測規模改變而隨之改變。

另外值的一提的是，科學家 Andrija Mohorovicic 發現了一個明顯的邊界，被稱為 Mohorovicic 不連續面，存在於地殼和地函間，普遍被用來作為地殼和地函邊界的定義，但最近加拿大 Slave 克拉通的新

數據顯示，在 Mohorovicic 的深度導電性有一個漸進的變化，Mohorovicic 不連續面的構造會影響電荷的傳遞，故阻礙了由地震引起向地表傳遞的電荷，導致 foFR2 測站所測得的值並無發生異常現象。所以  $T(n_i)$  檢定值在地震深度 20~30 ( km ) 間的檢定不顯著亦驗證了 Mohorovicic 不連續面對導電性的影響。

## 第五章 結論

由第三章條件檢定的結果，證實了 Liu et al. [2000] 以 foF2 的異常現象預測未來五日內是否發生規模 5 以上地震的可行性，這是建立在這兩種隨機預測方法的比較下，未來可以模擬更合理且更有效的隨機預測方法和 foF2 預測法比較。若檢定還是顯著，則更可以凸顯 foF2 預測法的可行性。雖然可能會懷疑以 foF2 的異常現象預測規模 5 以上地震的正確預測比例大概只有五成 ( $TR_{5,5.0} = 0.53$ )，甚至預測規模越高的地震其正確預測比例越低，這樣的預測結果似乎不好，不過規模 5.5 以上的地震不多，故對規模 5.5 以上的地震以 TR 值表現其預測率是不太合理的。而若考慮 PG 值恰好可以反應出 foF2 預測法確實比背景地震發生率高，尤其規模越大 PG 比值越大。故 foF2 預測地震法確實提供了我們較合理的預測資訊。

由第四章對其「地震規模」、「foF2 測量站與震央的距離」、「地震深度」的分析可以得知這三種地震特性對規模 5 以上的地震有無前兆並沒有影響，不過對這三種測度而言，大致上有前兆對無前兆的勝算大都在 2.5 倍以上。在規模方面其預測能力 (Odds) 雖有隨規模遞增的趨勢，這也提供了一些預測能力與預測規模的資訊 (儘管在統計上不是那麼明顯)。在深度 20~30 (km) 其預測能力在統計上並不顯著



間接的解釋了 Mohorovicic 不連續面對導電性的影響。若針對失敗預測的地震加以探討，[圖 4-4](#) 繪出了所有地震之位置分佈，多數預測失敗的地震發生在海裡，陸地發生的地震未被正確預測的例子有 9 筆，僅佔了未被正確預測之地震總數（共 40 筆）約四分之一，且佔了所有陸地地震（共 25 筆）約五分之二，所以就陸地地震的預測而言有不錯的表現。

## 參考文獻

- Aceves, R.L., Park, S. K. and Strauss, D. J., Statistical evaluation of the VAN method using the historic earthquake catalog in Greece, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1425-1428, 1996.
- Alan Agresti, *Categorical data analysis*, Wiley, 1990.
- Barnes R. A., J. R.; R. S. Leonard, Observation of ionospheric disturbances following the Alaska earthquake, 1965.
- Blanc, E, Observations in the upper atmosphere of ionospheric disturbances from natural or artificial sources: a summary., *Ann. Geophys.*, 3, 673-688.
- Cao, T. and Aki. K., Assigning probability gain for precursors of four large Chinese earthquakes. *J. Geophys. Res.*, 88, 2185-2190, 1983.
- Furumoto A. S., G. W. Pross, P. F. Weaver, and P. C. Yuen, Acoustic coupling into the ionosphere from seismic waves of the earthquake at Kurile Islands on August 11, 1969, 1970.
- Habermann, R. E., Precursory seismic quiescence: past, present and future, *Pageoph*, 126, 279-318, 1988.
- J. Y. Liu., Y.I. Chen, S.A. Pulinet, Y.J. Chuo, Seismo-ionospheric signatures prior to M 6.0 Taiwan earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 19, 2000.
- J. Y. Liu., Y.I. Chen, S.A. Pulinet, Y.J. Chuo, and Pulinet, S. A. (2001), foF2 signature before M 5.0 Taiwan earthquakes. IRS meeting, Nice, France.
- Kagan, Y. Y., VAN earthquake predictions - an attempt at statistical evaluation, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1315-1318, 1996.
- M. Wyss and A. Allmann. Probability of chance correlations of earthquakes with predictions in areas of heterogeneous seismicity rate: the VAN case, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1307-1310, 1996.
- Maeda, K., The use of foreshocks in probabilistic prediction along the Japan and Kuril trenches. *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 242-254, 1996.
- Mulargia, F., and Gasperini, Evaluating the statistical validity beyond chance of VAN earthquake precursors, *Geophys. J. Int.*, 111,33-44, 1992.
- Philip B. Stark, A few considerations for ascribing statistical significance to earthquake predictions, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1399-1402, 1996.
- Philip B. Stark, Earthquake prediction: the null hypothesis, *Geophys. J. Int.*, 131, 495-499, 1997.
- Riedel, K. S., Statistical tests for evaluating earthquake prediction methods, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1407-1409, 1996.
- R.M.W. Musson, Testing earthquake prediction Results statistically, *Seismo. Res. Lett.* 68,

- 6, 944-946, 1997.
- Varotsos, P., K. Alexopoulos, and K. Nomicos, Seismic electric currents, *Prakt. Akad. Athenon*, 56. 277-286, 1981.
- Varotsos, P., and M. Lazaridou, Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals, *Tectonophysics*, 188, 321-347, 1991.
- Varotsos, P., K. Eftaxias, M. Lazaridou., E. Dologlou, and V. Hadjicontis, Reply to Basic Principles for evaluating an earthquake prediction method, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1311-1314 1996a.
- Varotsos, P., K. Eftaxias, K. Vallianatos, and M. Lazaridou. Basic Principles for evaluating an earthquake prediction method, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1295-1298 1996b.
- Voitove, G. I., I. P. Dobrovolsky, Chemical and isotropic-carbon instabilities of the native gasflows in seismically active regions, *Physics of the Earth*, 3, 20-31, 1994(in Russian).
- William W. S. Wei, *Time series analysis-Univariate and multivariate methods*, Addison Wesley, 1990.
- 卓裕榮, 強地震發生前電離層變化之統計分析, 碩士論文, 國立中央大學太空科學研究所, 中壢, 1999.
- 孫正江 和 王華俊, 地電概論, pp. 53-69, 地震出版社, 1984.
- 徐名同, 地震學國立編譯館, 黎明文化事業公司出版, 台北, 民國 79 年.
- 葉怡君, 電離層的地震現象, 碩士論文, 國立中央大學太空科學研究所, 中壢, 1996.

# 附錄 A 圖表

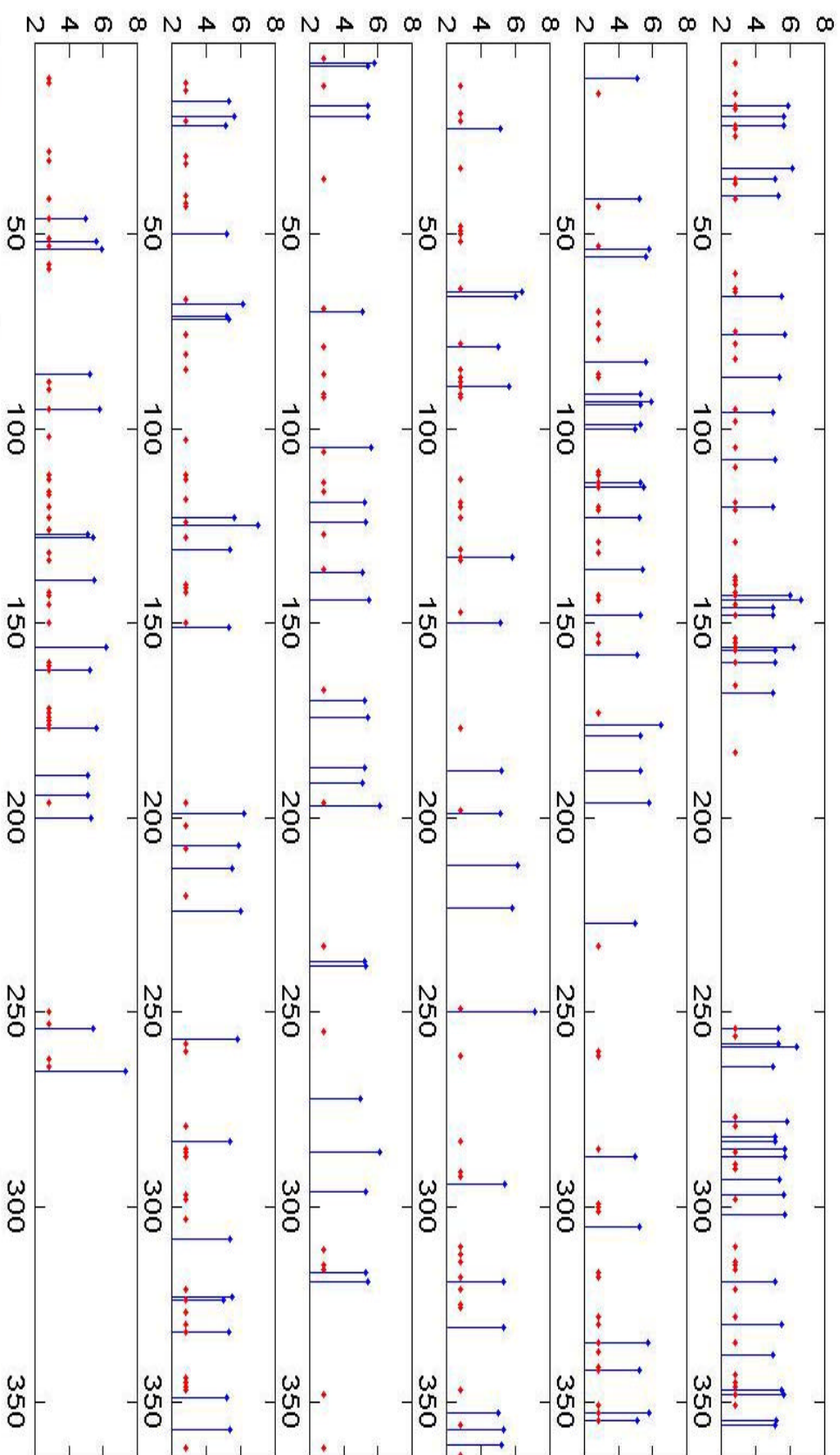


圖 3-1：1994 至 1999/9/21 地震與 foF2 異常之時間序列圖，其中釘柱為地震之時間點，釘柱之高度為地震規模，點為 foF2 發生異常之時間點

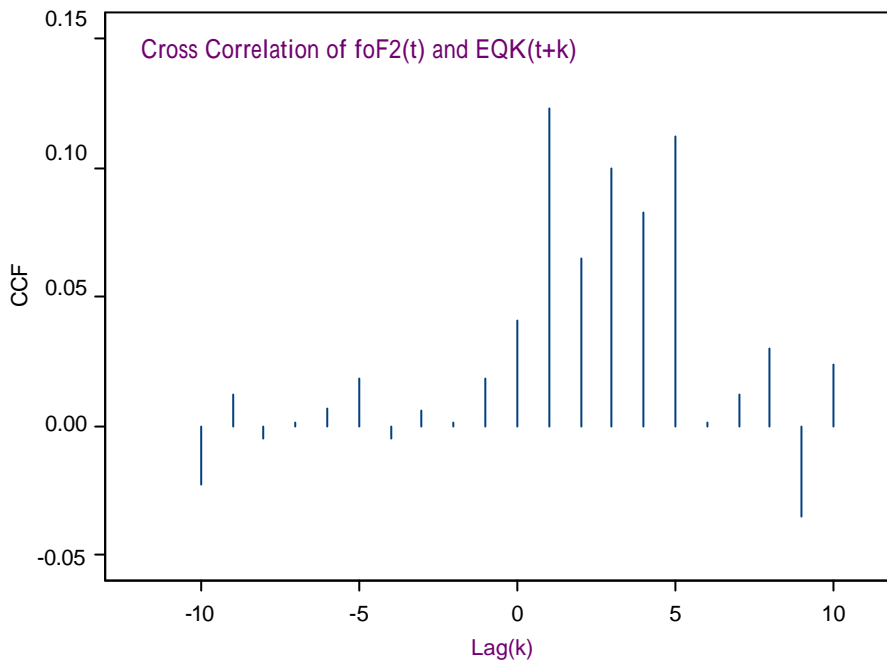


圖 3-2 : foF2 和 EQK 的交叉相關函數圖

表 3-1 : foF2 和 EQK 的交叉相關函數

Lag k	$\hat{r}_{XY}(k)$	Approx. Std.	P-value	Lag k	$\hat{r}_{XY}(k)$	Approx. Std.	P-value
-10	-0.023	0.021926	0.109	1	0.123	0.021869	0.000 *
-9	0.012	0.021921	0.158	2	0.065	0.021863	0.001 *
-8	-0.005	0.021916	0.446	3	0.100	0.021858	0.000 *
-7	0.001	0.021911	0.428	4	0.083	0.021853	0.000 *
-6	0.007	0.021905	0.428	5	0.112	0.021848	0.000 *
-5	0.018	0.021900	0.158	6	0.001	0.021843	0.445
-4	-0.005	0.021895	0.341	7	0.012	0.021837	0.340
-3	0.006	0.021890	0.324	8	0.030	0.021832	0.033
-2	0.001	0.021884	0.445	9	0.035	0.021827	0.108
-1	0.018	0.021879	0.157	10	0.024	0.021822	0.060
0	0.041	0.021874	0.034				

表 3-2：地震與 foF2 異常之觀測日數

地震規模	地震			foF2 異常
	M 5.0	M 5.5	M 6.0	
日數	145	56	18	244
BSR	0.069	0.027	0.009	

表 3-3：地震前 foF2 異常頻率

地震規模	M 5.0		M 5.5		M 6.0	
	$N_{k,5.0}$	$AR_{k,5.0}$	$N_{k,5.5}$	$AR_{k,5.5}$	$N_{k,6.0}$	$AR_{k,6.0}$
-1	38	26.21%	21	37.50%	9	50.00%
-2	57	39.31%	28	50.00%	10	55.56%
-3	78	53.79%	33	58.93%	13	72.22%
-4	91	62.76%	36	64.29%	14	77.78%
-5	106	73.10%	42	75.00%	14	77.78%

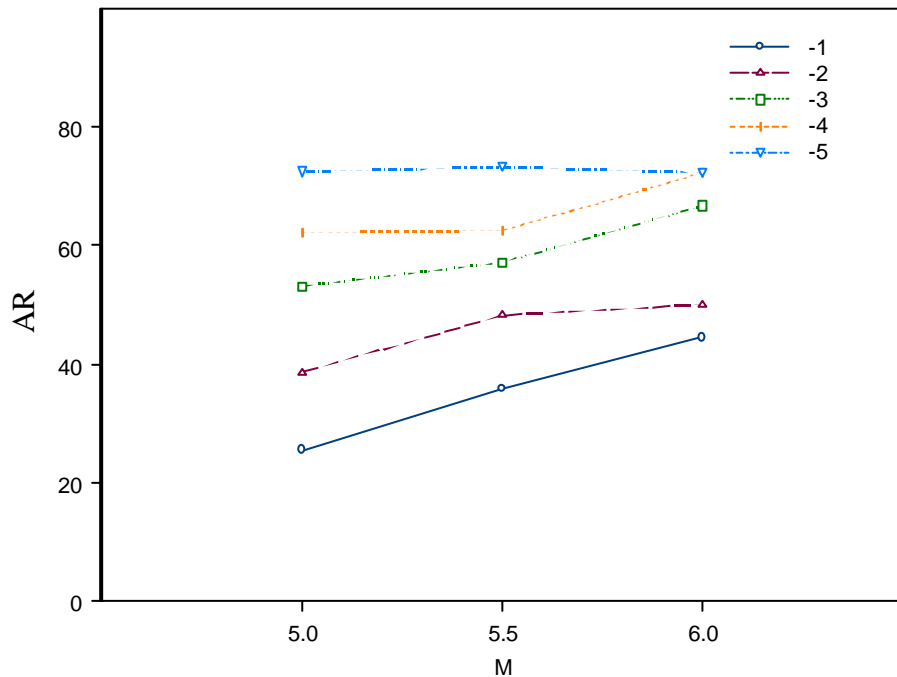


圖 3-3：規模 M 以上地震 k 日前具 foF2 異常之頻率 (AR) 圖

表 3-4 : foF2 之成功預測頻率

地震規模	M 5.0		M 5.5		M 6.0	
預測日數	$L_{k,5.0}$	$TR_{k,5.0}$	$L_{k,5.5}$	$TR_{k,5.5}$	$L_{k,6.0}$	$TR_{k,6.0}$
1	38	15.51%	21	8.57%	9	3.67%
2	60	24.49%	31	12.65%	10	4.08%
3	84	34.29%	40	16.33%	15	6.12%
4	106	43.27%	47	19.18%	17	6.94%
5	130	53.06%	56	22.86%	19	7.76%

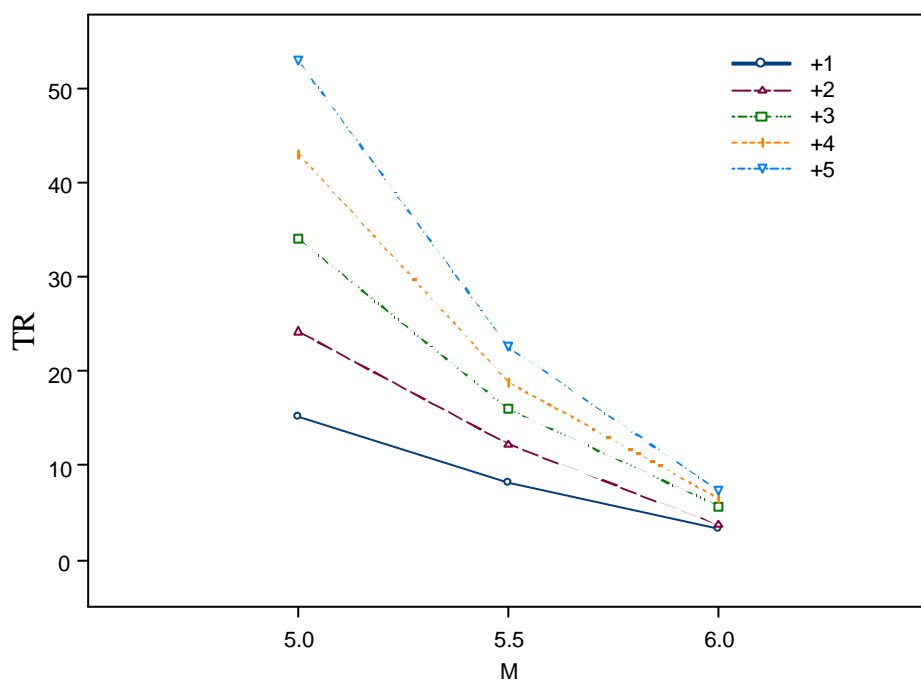


圖 3-4 : foF2 異常預測 k 日內發生規模 M 以上地震之成功率 (TR) 圖

表 3-5 : 預測地震發生率 (PSR) 和 機率增量 (PG)

地震規模	M 5.0		M 5.5		M 6.0	
預測日數	$PSR_{k,5.0}$	$PG_{k,5.0}$	$PSR_{k,5.5}$	$PG_{k,5.5}$	$PSR_{k,6.0}$	$PG_{k,6.0}$
1	0.16	2.24	0.24	8.99	0.28	32.23
2	0.13	1.94	0.2	7.62	0.23	26.54
3	0.14	1.96	0.2	7.41	0.22	25.75
4	0.13	1.93	0.19	7.08	0.21	24.41
5	0.14	1.96	0.19	7.13	0.21	24.36

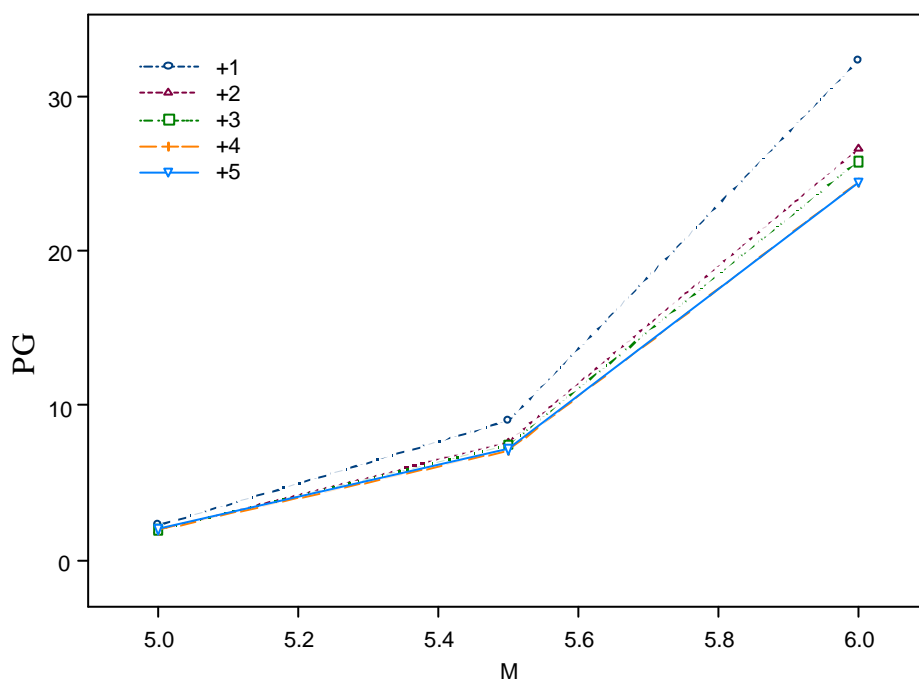


圖 3-5 : foF2 異常預測 k 日內規模 M 以上地震之機率增量 (PG) 圖



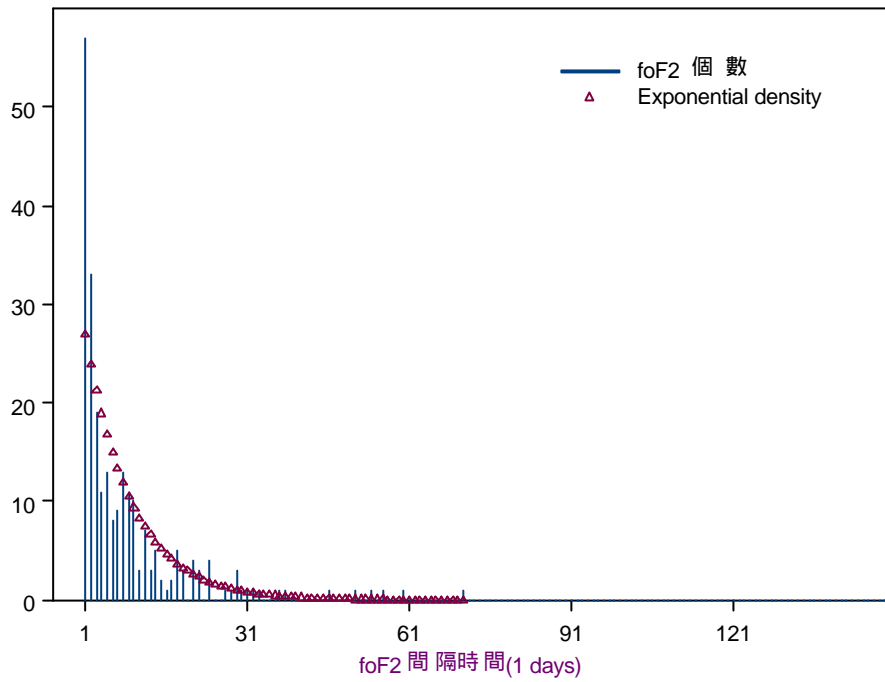


圖 3-6 : foF2 異常間隔時間的觀察頻率及模擬頻率 ( 虛線 )

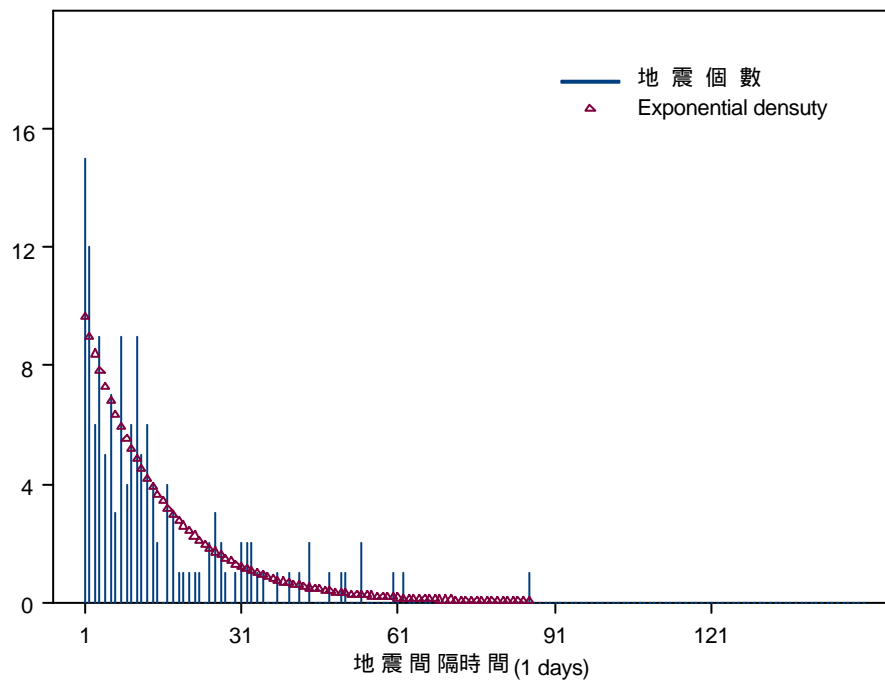


圖 3-7 : 規模 5 以上地震間隔時間的觀察頻率及模擬頻率 ( 虛線 )

表 3-6 : foF2 異常預測成功率之百分位數

地震規模	M 5.0		M 5.5		M 6.0	
	50th	95th	50th	95th	50th	95th
1	6.91%	9.69%	2.63%	4.48%	0.88%	1.89%
2	13.18%	16.82%	5.17%	7.62%	1.54%	3.06%
3	18.80%	23.01%	7.46%	10.36%	2.33%	4.12%
4	24.12%	28.70%	9.72%	12.96%	3.11%	5.12%
5	29.06%	33.99%	11.96%	15.53%	3.88%	6.10%

表 3-7 : foF2 異常預測成功率之 P 值

預測日數\地震規模	M 5.0	M 5.5	M 6.0
1	0 *	0 *	0.0010 *
2	0 *	0 *	0.0118 *
3	0 *	0 *	0.0026 *
4	0 *	0 *	0.0044 *
5	0 *	0 *	0.0050 *

表 3-8 : 無價值預測成功率之百分位數

地震規模	M 5.0		M 5.5		M 6.0	
	50th	95th	50th	95th	50th	95th
1	6.82%	11.76%	2.63%	8.00%	0.00%	6.25%
2	13.04%	19.48%	5.13%	12.12%	0.00%	7.69%
3	18.68%	25.88%	7.14%	15.63%	0.00%	10.00%
4	24.10%	31.82%	9.38%	18.52%	0.00%	11.11%
5	29.11%	37.18%	11.76%	21.62%	0.00%	13.04%

表 3-9 : 無價值預測成功率之 P 值

預測日數地震規模	M 5.0	M 5.5	M 6.0
1	0.0043 *	0.0429 *	0.1358
2	0.0023 *	0.0468 *	0.2413
3	0.0002 *	0.0437 *	0.2007
4	0.0000 *	0.0451 *	0.2000
5	0.0000 *	0.0365 *	0.1953

表 4-1：地震特性下 foF2 異常之勝算

(a) 地震規模

規模	Days of Precursor Index		Odds	Stdz. Odds
	有前兆	無前兆		
5.0 ~ 5.4	64	25	2.56	4.13 *
5.5 ~ 5.9	28	10	2.80	2.92 *
6.0 以上	14	4	3.50	1.89 *

(b) 震央與中壢台的距離

距離 (km)	Days of Precursor Index		Odds	Stdz. Odds
	有前兆	無前兆		
0~100	13	4	3.25	2.18 *
100~200	59	23	2.57	3.98 *
200~300	19	7	2.71	2.35 *
300 以上	15	5	3.00	2.24 *

(c) 震源深度

深度 (km)	Days of Precursor Index		Odds	Stdz. Odds
	有前兆	無前兆		
0~10	30	11	2.73	2.97 *
10~20	18	8	2.25	1.96 *
20~30	12	5	2.40	1.70
30~60	17	3	5.67	3.13 *
60 以上	29	12	2.42	2.65 *

表 4-2：地震特性下 foF2 異常之模型配適

(a) 地震規模

規模 v.s. 有無預警				
卡方獨立性檢定	Chi-Square	df	P-value	
	0.271	2	0.87	
模型適合度檢定	Likelihood Ratio	df	P-value	
	0.030	1	0.861	
模型參數估計 (MLE)	Estimate	Std. Error	Square	P-value
$\hat{a}$	0.922	0.439	4.410	0.036
$\hat{b}$	-0.029	0.265	0.010	0.913

(b) 震央與中壢台的距離

距離 v.s. 有無預警				
卡方獨立性檢定	Chi-Square	df	P-value	
	0.190	3	0.98	
模型適合度檢定	Likelihood Ratio	df	P-value	
	0.100	2	0.796	
模型參數估計 (MLE)	Estimate	Std. Error	Square	P-value
$\hat{a}$	1.095	0.537	4.150	0.042
$\hat{b}$	0.055	0.213	0.070	0.796

(c) 震源深度

深度 v.s. 有無預警				
卡方獨立性檢定	Chi-Square	df	P-value	
	1.810	4	0.78	
模型適合度檢定	Likelihood Ratio	df	P-value	
	2.220	3	0.952	
模型參數估計 (MLE)	Estimate	Std. Error	Square	P-value
$\hat{a}$	0.943	0.381	6.130	0.013
$\hat{b}$	-0.008	0.115	0.000	0.946

表 4-3 : 5.0 M < 5.4 無前兆之地震

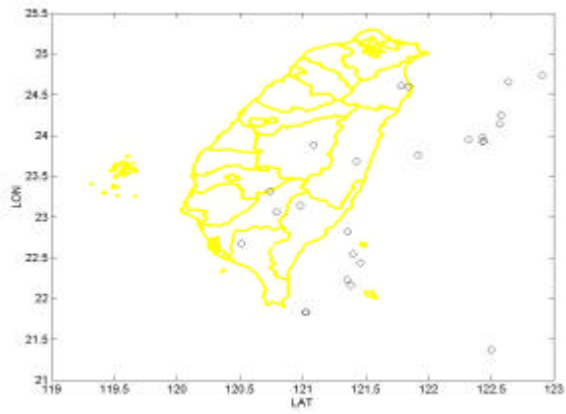
J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
36	1994	2	5	21.37	122.5	389.06	6.5	5.1
254	1994	9	11	24.14	122.57	170.31	29.4	5.3
264	1994	9	21	23.14	120.98	186.39	11.1	5
375	1995	1	10	23.68	121.43	136.06	3.8	5.1
406	1995	2	10	23.76	121.92	148.66	24.6	5.2
459	1995	4	4	23.95	122.32	160.96	3.9	5.3
464	1995	4	9	21.83	121.03	317.08	15.7	5.3
465	1995	4	10	21.83	121.02	317.1	29.8	5
544	1995	6	28	22.23	121.35	278.13	6.6	5.3
553	1995	7	7	23.89	121.09	111	13.1	5.3
592	1995	8	15	23.98	122.43	167.61	9.7	5
918	1996	7	6	22.67	120.51	240.35	27	5.2
1083	1996	12	18	22.82	121.36	219.55	16.2	5
1115	1997	1	19	23.93	122.44	171.48	15.1	5.4
1219	1997	5	3	22.54	121.4	247.82	3.6	5.3
1269	1997	6	22	22.17	121.38	284.38	1.8	5.4
1282	1997	7	5	23.06	120.79	196.46	5.2	5.2
1286	1997	7	9	23.92	122.43	171.33	2	5.1
1367	1997	9	28	24.61	121.78	78.39	68.6	5
1391	1997	10	22	22.44	121.46	258.52	10.2	5.3
1510	1998	2	18	24.66	122.64	157.71	97.2	5.2
1817	1998	12	22	24.25	122.58	165.92	45.5	5.4
1911	1999	3	26	24.74	122.91	182.86	116.9	5.2
2014	1999	7	7	23.32	120.74	171.81	13.8	5.1
2019	1999	7	12	24.6	121.84	84.12	73.2	5.1

表 4-4 : 5.5 M < 5.9 無前兆之地震

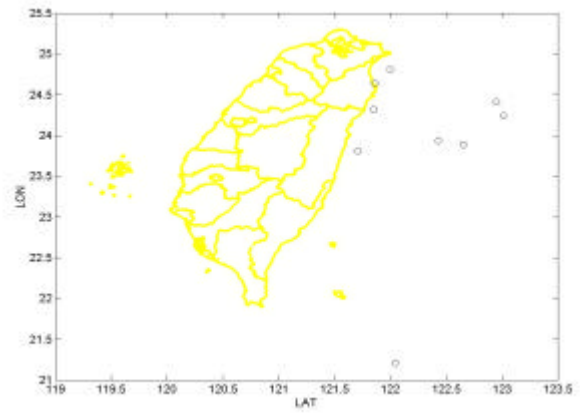
J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
285	1994	10	12	24.81	122	91.98	73.1	5.7
297	1994	10	24	20.36	122.05	473.63	99.6	5.6
448	1995	3	24	24.64	121.86	84.1	76	5.6
458	1995	4	3	23.94	122.43	170.07	14.6	5.9
561	1995	7	15	24.32	121.85	101.24	8.8	5.8
953	1996	8	10	23.89	122.65	190.65	5.7	5.8
1200	1997	4	14	23.81	121.71	133.72	45.5	5.6
1239	1997	5	23	21.21	122.04	390.48	168.6	5.5
1480	1998	1	19	24.41	122.95	194.18	55.5	5.6
1717	1998	9	13	24.24	123.01	205.57	28.1	5.8

表 4-5 : M > 6.0 無前兆之地震

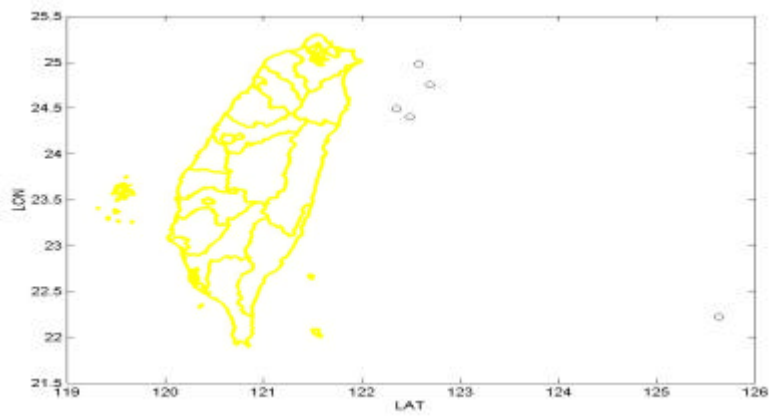
J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
33	1994	2	2	24.75	122.69	160.95	115.6	6.1
942	1996	7	30	24.49	122.35	135	65.7	6.1
1381	1997	10	12	24.98	122.58	148.01	146.4	6.1
1981	1999	6	4	24.4	122.49	151.4	61.7	6.2



(a) 5.0  $M < 5.4$



(b) 5.5  $M < 5.9$



(c)  $M > 6.0$

圖 4-1：無前兆地震於各規模之位置分佈

表 4-6 :  $0 < D < 100$  無前兆之地震

J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
285	1994	10	12	24.81	122.00	91.98	73.10	5.7
448	1995	3	24	24.64	121.86	84.10	76.00	5.6
1367	1997	9	28	24.61	121.78	78.39	68.60	5.0
2019	1999	7	12	24.60	121.84	84.12	73.20	5.1

表 4-7 :  $100 < D < 200$  無前兆之地震

J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
33	1994	2	2	24.75	122.69	160.95	115.6	6.1
254	1994	9	11	24.14	122.57	170.31	29.4	5.3
264	1994	9	21	23.14	120.98	186.39	11.1	5
375	1995	1	10	23.68	121.43	136.06	3.8	5.1
406	1995	2	10	23.76	121.92	148.66	24.6	5.2
458	1995	4	3	23.94	122.43	170.07	14.6	5.9
459	1995	4	4	23.95	122.32	160.96	3.9	5.3
553	1995	7	7	23.89	121.09	111	13.1	5.3
561	1995	7	15	24.32	121.85	101.24	8.8	5.8
592	1995	8	15	23.98	122.43	167.61	9.7	5
942	1996	7	30	24.49	122.35	135	65.7	6.1
953	1996	8	10	23.89	122.65	190.65	5.7	5.8
1115	1997	1	19	23.93	122.44	171.48	15.1	5.4
1200	1997	4	14	23.81	121.71	133.72	45.5	5.6
1282	1997	7	5	23.06	120.79	196.46	5.2	5.2
1286	1997	7	9	23.92	122.43	171.33	2	5.1
1381	1997	10	12	24.98	122.58	148.01	146.4	6.1
1480	1998	1	19	24.41	122.95	194.18	55.5	5.6
1510	1998	2	18	24.66	122.64	157.71	97.2	5.2
1817	1998	12	22	24.25	122.58	165.92	45.5	5.4
1911	1999	3	26	24.74	122.91	182.86	116.9	5.2
1981	1999	6	4	24.4	122.49	151.4	61.7	6.2
2014	1999	7	7	23.32	120.74	171.81	13.8	5.1

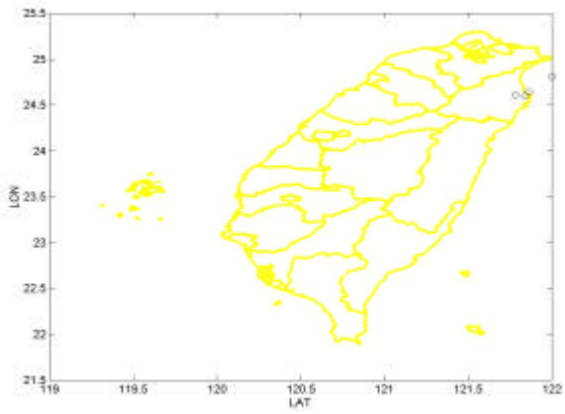


表 4-8 : 200 < D 300 無前兆之地震

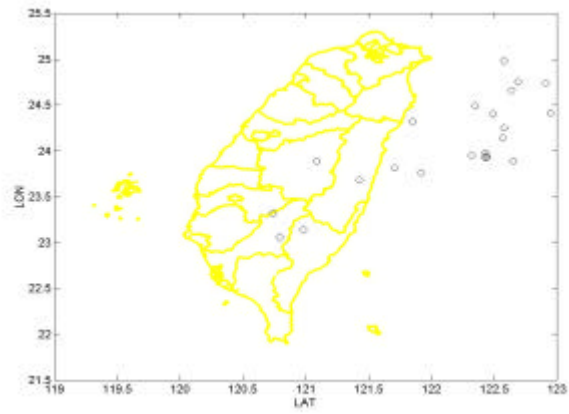
J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
544	1995	6	28	22.23	121.35	278.13	6.6	5.3
918	1996	7	6	22.67	120.51	240.35	27	5.2
1083	1996	12	18	22.82	121.36	219.55	16.2	5
1219	1997	5	3	22.54	121.4	247.82	3.6	5.3
1269	1997	6	22	22.17	121.38	284.38	1.8	5.4
1391	1997	10	22	22.44	121.46	258.52	10.2	5.3
1717	1998	9	13	24.24	123.01	205.57	28.1	5.8

表 4-9 : D > 300 無前兆之地震

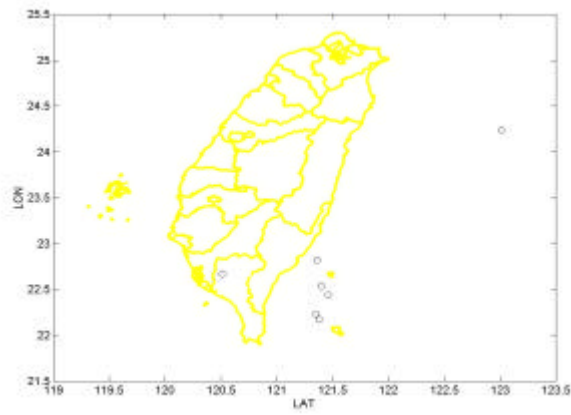
J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
36	1994	2	5	21.37	122.5	389.06	6.5	5.1
297	1994	10	24	20.36	122.05	473.63	99.6	5.6
464	1995	4	9	21.83	121.03	317.08	15.7	5.3
465	1995	4	10	21.83	121.02	317.1	29.8	5
1239	1997	5	23	21.21	122.04	390.48	168.6	5.5



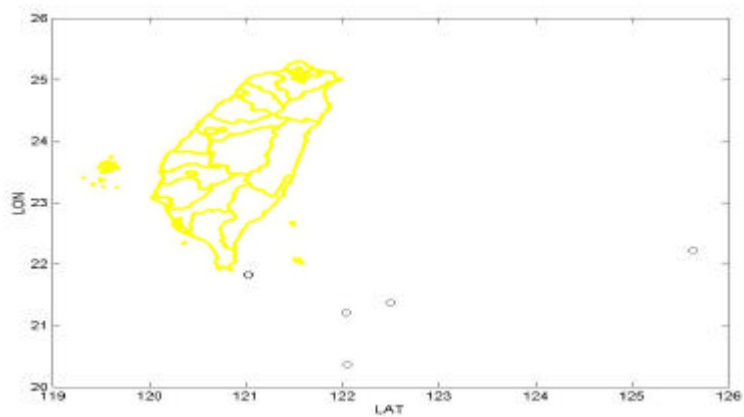
(a)  $0 < D \leq 100$



(b)  $100 < D \leq 200$



(c)  $200 < D \leq 300$



(d)  $D > 300$

圖 4-2：無前兆地震震央與中壢崙平台距離範圍之位置分佈

表 4-10 :  $0 < h \leq 10$  無前兆之地震

J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
36	1994	2	5	21.37	122.5	389.06	6.5	5.1
375	1995	1	10	23.68	121.43	136.06	3.8	5.1
459	1995	4	4	23.95	122.32	160.96	3.9	5.3
544	1995	6	28	22.23	121.35	278.13	6.6	5.3
561	1995	7	15	24.32	121.85	101.24	8.8	5.8
592	1995	8	15	23.98	122.43	167.61	9.7	5
953	1996	8	10	23.89	122.65	190.65	5.7	5.8
1219	1997	5	3	22.54	121.4	247.82	3.6	5.3
1269	1997	6	22	22.17	121.38	284.38	1.8	5.4
1282	1997	7	5	23.06	120.79	196.46	5.2	5.2
1286	1997	7	9	23.92	122.43	171.33	2	5.1

表 4-11 :  $10 < h \leq 20$  無前兆之地震

J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
264	1994	9	21	23.14	120.98	186.39	11.1	5
458	1995	4	3	23.94	122.43	170.07	14.6	5.9
464	1995	4	9	21.83	121.03	317.08	15.7	5.3
553	1995	7	7	23.89	121.09	111	13.1	5.3
1083	1996	12	18	22.82	121.36	219.55	16.2	5
1115	1997	1	19	23.93	122.44	171.48	15.1	5.4
1391	1997	10	22	22.44	121.46	258.52	10.2	5.3
2014	1999	7	7	23.32	120.74	171.81	13.8	5.1

表 4-12 :  $20 < h \leq 30$  無前兆之地震

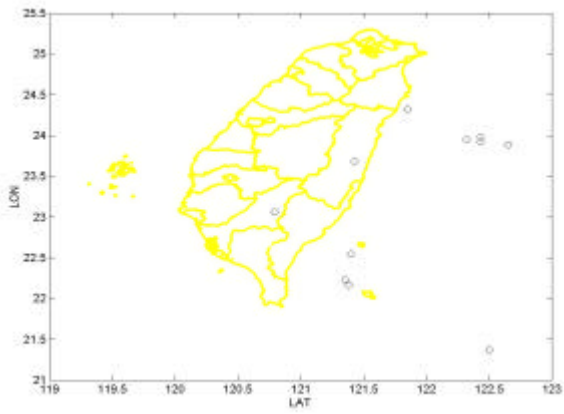
J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
254	1994	9	11	24.14	122.57	170.31	29.4	5.3
406	1995	2	10	23.76	121.92	148.66	24.6	5.2
465	1995	4	10	21.83	121.02	317.1	29.8	5
918	1996	7	6	22.67	120.51	240.35	27	5.2
1717	1998	9	13	24.24	123.01	205.57	28.1	5.8

表 4-13 : 30 < h 60 無前兆之地震

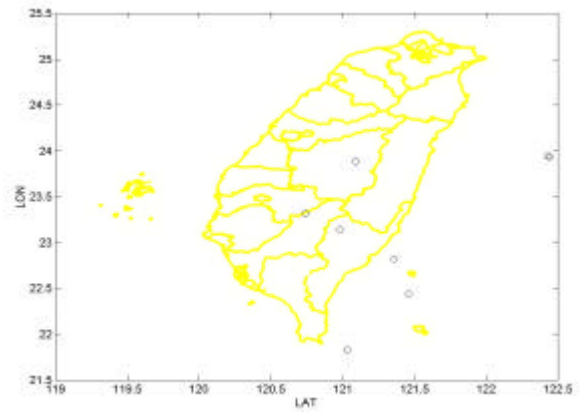
J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
1200	1997	4	14	23.81	121.71	133.72	45.5	5.6
1480	1998	1	19	24.41	122.95	194.18	55.5	5.6
1817	1998	12	22	24.25	122.58	165.92	45.5	5.4

表 4-14 : h > 60 無前兆之地震

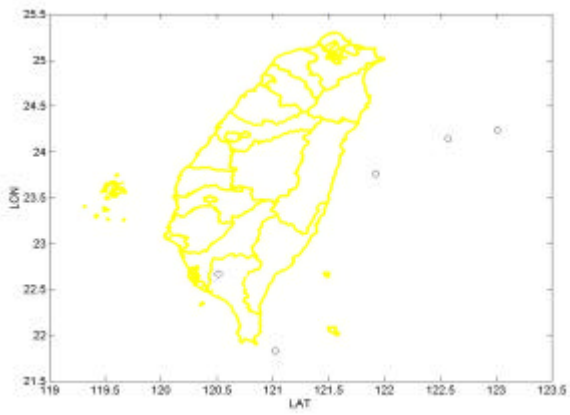
J.Date	年	月	日	緯度	經度	距離	深度	規模
33	1994	2	2	24.75	122.69	160.95	115.6	6.1
285	1994	10	12	24.81	122	91.98	73.1	5.7
297	1994	10	24	20.36	122.05	473.63	99.6	5.6
448	1995	3	24	24.64	121.86	84.1	76	5.6
942	1996	7	30	24.49	122.35	135	65.7	6.1
1239	1997	5	23	21.21	122.04	390.48	168.6	5.5
1367	1997	9	28	24.61	121.78	78.39	68.6	5
1381	1997	10	12	24.98	122.58	148.01	146.4	6.1
1510	1998	2	18	24.66	122.64	157.71	97.2	5.2
1911	1999	3	26	24.74	122.91	182.86	116.9	5.2
1981	1999	6	4	24.4	122.49	151.4	61.7	6.2
2019	1999	7	12	24.6	121.84	84.12	73.2	5.1



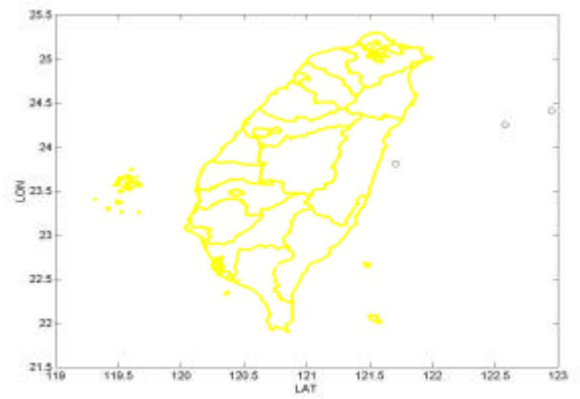
(a)  $0 < h < 10$



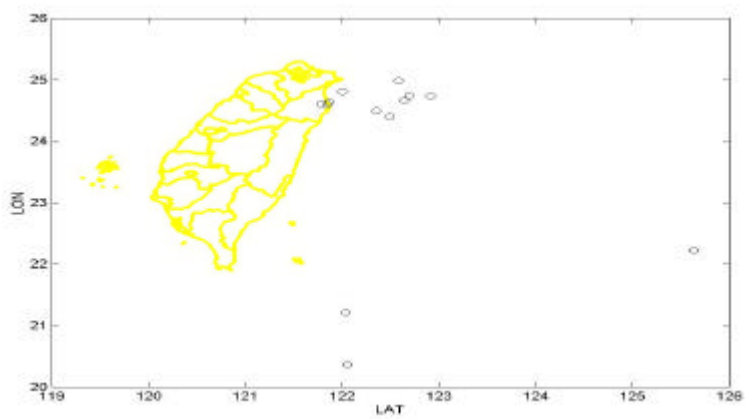
(b)  $0 < h < 20$



(a)  $20 < h < 30$



(b)  $30 < h < 60$



(e)  $h > 60$

圖 4-3：無前兆地震深度之位置分佈

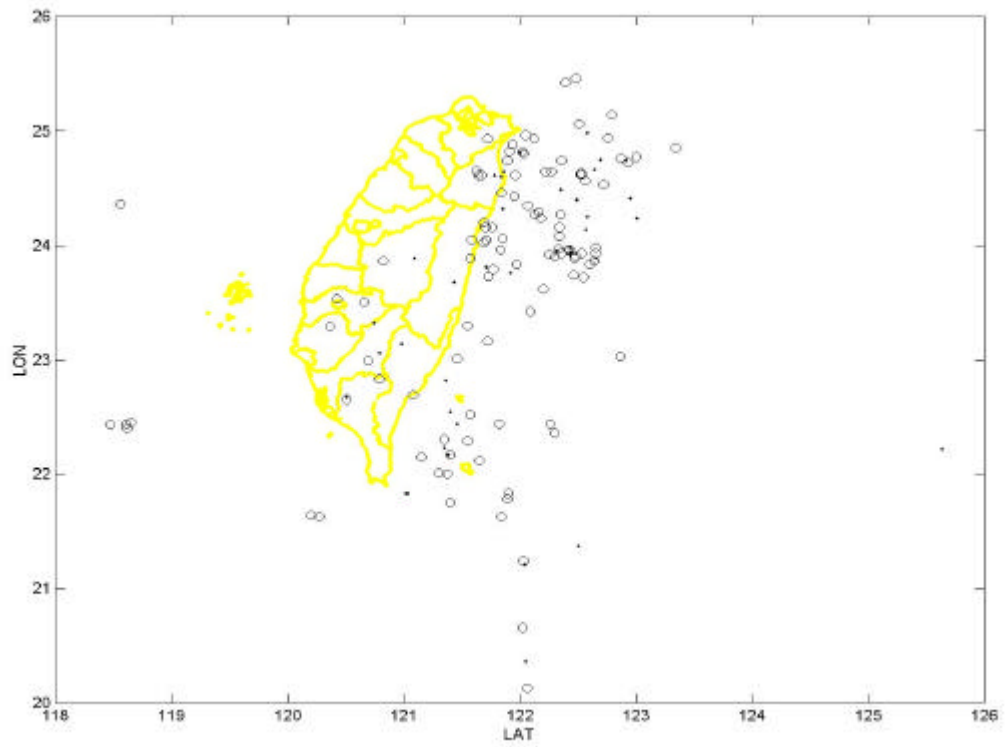


圖 4-4：所有地震之位置分佈

註：「」代表預測成功之地震；「」代表預測失敗之地震

附錄 B : 1994/1/1 至 1999/9/21 規模至少為 5 之地震資料

年	月	日	時	緯度	經度	深度	規模
1994	1	17	15	24.77	123	110.2	5.9
1994	1	20	13	24.06	121.85	49.5	5.6
1994	1	22	2	22.29	121.55	35	5.6
1994	2	2	6	24.75	122.69	115.6	6.1
1994	2	5	22	21.37	122.5	6.5	5.1
1994	2	9	18	23.93	122.53	2.9	5.3
1994	3	7	3	24.82	122.02	97.5	5.5
1994	3	17	19	23.96	122.42	0.6	5.7
1994	3	28	16	22.99	120.69	14.4	5.4
1994	4	6	9	23.53	120.42	13.4	5
1994	4	18	18	24.8	122.03	94.9	5.1
1994	4	30	17	24.35	122.07	3.9	5
1994	5	23	13	23.92	122.69	7.2	5.8
1994	5	23	14	23.84	122.67	16.1	5.7
1994	5	23	15	23.9	122.57	13	5.6
1994	5	23	23	23.86	122.64	5.5	6
1994	5	24	12	23.83	122.6	4.4	6.6
1994	5	24	12	23.76	122.55	11.7	5.3
1994	5	24	12	23.81	122.63	16.4	5.5
1994	5	24	13	23.77	122.59	5.2	5.7
1994	5	26	12	23.74	122.46	9.8	5
1994	5	28	10	23.72	122.55	14.6	5
1994	6	5	9	24.46	121.84	5.3	6.2
1994	6	5	12	24.42	121.82	1	5
1994	6	6	16	24.43	121.95	3.5	5.1
1994	6	9	22	23.3	121.55	43.2	5.1
1994	6	17	19	23.89	121.57	21.2	5
1994	9	11	9	24.14	122.57	29.4	5.3
1994	9	15	15	23.62	122.2	15.8	5.3
1994	9	16	14	22.43	118.47	19.1	6.4
1994	9	21	3	23.14	120.98	11.1	5
1994	10	5	9	23.16	121.72	31.3	5.8
1994	10	9	15	24.24	122.18	9.4	5.1
1994	10	10	5	24.96	122.05	106.5	5.1
1994	10	12	17	24.81	122	73.1	5.7
1994	10	14	18	22.52	121.57	124.4	5.7
1994	10	20	1	22.44	118.61	8	5.4
1994	10	24	5	20.36	122.05	99.6	5.6
1994	10	29	7	24.64	122.27	2	5.7
1994	11	15	6	23.96	122.43	11.9	5.1

年	月	日	時	緯度	經度	深度	規模
1994	11	26	19	24.64	122.22	3.8	5.5
1994	12	4	12	24.94	122.76	138.9	5
1994	12	13	8	23.93	122.65	15.9	5.5
1994	12	14	1	25.14	122.79	165.4	5.6
1994	12	21	19	22.4	118.62	25.7	5.2
1994	12	22	12	22.45	118.65	28.6	5.1
1995	1	10	15	23.68	121.43	3.8	5.1
1995	2	10	10	23.76	121.92	24.6	5.2
1995	2	23	13	24.2	121.69	21.7	5.8
1995	2	25	11	24.36	118.56	36.1	5.6
1995	3	24	12	24.64	121.86	76	5.6
1995	4	1	17	24.93	122.12	122.2	5.3
1995	4	3	19	23.94	122.43	14.6	5.9
1995	4	4	6	23.95	122.32	3.9	5.3
1995	4	9	12	21.83	121.03	15.7	5.3
1995	4	10	17	21.83	121.02	29.8	5
1995	4	24	18	24.65	121.62	63.1	5.3
1995	4	25	16	22.65	120.51	43.7	5.5
1995	5	3	6	23.83	121.97	23.9	5.2
1995	5	16	2	24.74	122.36	79.4	5.4
1995	5	28	2	23.01	121.46	19.7	5.3
1995	6	7	7	23.01	121.46	23.6	5.1
1995	6	25	14	24.61	121.67	39.9	6.5
1995	6	28	22	22.23	121.35	6.6	5.3
1995	7	7	11	23.89	121.09	13.1	5.3
1995	7	15	0	24.32	121.85	8.8	5.8
1995	8	15	22	23.98	122.43	9.7	5
1995	10	14	11	24.63	122.53	14.3	5
1995	11	1	6	23.29	120.36	10.6	5.2
1995	12	1	11	24.61	121.64	45.1	5.7
1995	12	8	21	24.27	122.35	50	5.2
1995	12	19	0	24.02	121.69	22.1	5.8
1995	12	21	7	24.05	121.71	33.7	5.1
1996	1	23	3	24.93	121.72	66.9	5.1
1996	3	5	22	23.93	122.36	6	6.4
1996	3	6	1	23.9	122.3	10.8	6
1996	3	19	15	23.91	122.31	1.6	5
1996	3	19	15	23.92	122.25	5.2	5
1996	3	29	1	24.02	122.29	7.7	5.3
1996	3	29	11	23.97	122.33	5.8	5.6



年	月	日	時	緯度	經度	深度	規模
1996	5	12	23	22.3	121.35	99	5.8
1996	5	29	5	24.05	121.58	25	5.1
1996	7	6	9	22.67	120.51	27	5.2
1996	7	17	17	23.9	122.48	18	5.1
1996	7	30	4	24.49	122.35	65.7	6.1
1996	8	10	14	23.89	122.65	5.7	5.8
1996	9	6	7	22	121.37	14.8	7.1
1996	9	6	8	21.84	121.38	20	5.3
1996	9	6	10	21.93	121.37	7	5.5
1996	9	6	16	21.66	121.36	9.2	5
1996	9	6	19	21.69	121.32	19.9	5.6
1996	10	20	2	20.13	122.06	20	5.4
1996	11	14	9	23.42	122.09	12.8	5.3
1996	11	26	17	24.16	121.7	26.2	5.3
1996	12	18	19	22.82	121.36	16.2	5
1996	12	22	0	24.72	122.93	84.1	5.3
1996	12	26	5	24.16	122.34	19.6	5.2
1997	1	5	18	24.62	122.53	1.1	5.8
1997	1	6	2	23.03	122.86	33	5.4
1997	1	16	9	22.01	121.3	8.9	5.4
1997	1	19	1	23.93	122.44	15.1	5.4
1997	3	10	15	24.08	122.34	8.5	5.1
1997	4	14	1	23.81	121.71	45.5	5.6
1997	4	28	7	24.61	121.96	60.6	5.2
1997	5	3	10	22.54	121.4	3.6	5.3
1997	5	16	14	24.53	122.72	81.8	5.1
1997	5	23	18	21.21	122.04	168.6	5.5
1997	6	18	10	23.96	121.83	31.7	5.2
1997	6	22	17	22.17	121.38	1.8	5.4
1997	7	5	1	23.06	120.79	5.2	5.2
1997	7	9	0	23.92	122.43	2	5.1
1997	7	15	19	24.62	122.52	86.6	6.1
1997	8	24	20	21.64	120.2	41.5	5.2
1997	8	25	2	21.63	120.27	45.6	5.3
1997	9	28	15	24.61	121.78	68.6	5
1997	10	12	2	24.98	122.58	146.4	6.1
1997	10	22	19	22.44	121.46	10.2	5.3
1997	11	12	8	21.75	121.4	70.3	5.3
1997	11	14	12	24.16	121.76	3.1	5.4
1998	1	15	1	21.78	121.89	5.4	5.3

年	月	日	時	緯度	經度	深度	規模
1998	1	15	1	21.83	121.82	5	5.2
1998	1	19	3	22.73	121.09	3.3	5.1
1998	1	19	6	24.41	122.95	55.5	5.6
1998	1	21	7	22.69	121.08	3.8	5.1
1998	2	18	8	24.66	122.64	97.2	5.2
1998	3	8	8	20.66	122.02	173.7	6.1
1998	3	11	14	22.36	122.3	25.2	5.2
1998	3	12	1	22.44	122.26	4.1	5.3
1998	5	2	13	24.56	122.56	86.1	5.6
1998	5	4	7	22.22	125.63	61.3	7
1998	5	10	4	24.82	121.91	83.6	5.4
1998	5	30	14	24.27	122.13	37.8	5.3
1998	7	17	12	23.5	120.66	2.8	6.2
1998	7	25	2	21.63	121.84	6.7	5.9
1998	7	31	17	24.76	122.87	107.4	5.5
1998	8	11	10	24.85	123.34	116.3	6
1998	9	13	13	24.24	123.01	28.1	5.8
1998	10	9	20	22.12	121.65	10	5.4
1998	11	3	15	22.15	121.15	24.7	5.4
1998	11	18	6	22.83	120.79	16.5	5.5
1998	11	19	18	23.79	121.77	42.3	5
1998	11	27	6	25.06	122.51	172	5.3
1998	12	14	8	24.29	122.16	38.7	5.2
1998	12	22	9	24.25	122.58	45.5	5.4
1999	2	14	5	23.89	122.47	4.3	5
1999	2	20	10	21.83	121.9	205.4	5.6
1999	2	22	21	23.98	122.65	4.2	5.9
1999	3	26	22	24.74	122.91	116.9	5.2
1999	4	4	12	24.88	121.94	88.9	5.8
1999	5	6	21	21.24	122.03	5	5.1
1999	5	7	9	24.74	121.89	4.2	5.4
1999	5	18	11	22.17	121.4	84.3	5.5
1999	6	4	0	24.4	122.49	61.7	6.2
1999	6	10	15	23.73	121.73	17.2	5.2
1999	6	25	22	25.46	122.48	288.9	5.6
1999	7	7	21	23.32	120.74	13.8	5.1
1999	7	12	4	24.6	121.84	73.2	5.1
1999	7	18	4	25.42	122.39	281.5	5.3
1999	9	10	22	22.44	121.82	5.2	5.4
1999	9	21	1	23.86	120.82	8	7.3

附錄 C : 1994/1/1 至 1999/9/21 foF2 異象發生日期資料

年	月	日	年	月	日	年	月	日	年	月	日
1994	1	6	1994	10	6	1995	9	18	1996	6	25
1994	1	14	1994	10	13	1995	10	12	1996	7	16
1994	1	17	1994	10	16	1995	10	26	1996	9	5
1994	1	18	1994	10	17	1995	10	27	1996	9	17
1994	1	22	1994	10	25	1995	10	28	1996	10	9
1994	1	23	1994	11	6	1995	11	13	1996	10	17
1994	1	25	1994	11	10	1995	11	14	1996	10	18
1994	2	5	1994	11	11	1995	11	24	1996	11	5
1994	2	6	1994	11	12	1995	11	26	1996	11	7
1994	2	10	1994	11	17	1995	12	1	1996	11	9
1994	3	1	1994	11	24	1995	12	3	1996	11	13
1994	3	5	1994	12	1	1995	12	7	1996	11	16
1994	3	6	1994	12	9	1995	12	8	1996	11	20
1994	3	16	1994	12	11	1995	12	17	1996	11	21
1994	3	19	1994	12	12	1995	12	19	1996	12	12
1994	3	23	1994	12	14	1995	12	21	1996	12	21
1994	4	5	1994	12	17	1996	1	12	1996	12	29
1994	4	8	1995	1	14	1996	1	19	1997	1	4
1994	4	15	1995	2	12	1996	1	21	1997	1	11
1994	4	20	1995	2	22	1996	2	2	1997	2	4
1994	4	29	1995	3	11	1996	2	17	1997	3	9
1994	5	1	1995	3	14	1996	2	18	1997	3	19
1994	5	9	1995	3	18	1996	2	19	1997	3	26
1994	5	18	1995	3	27	1996	2	21	1997	3	31
1994	5	19	1995	3	28	1996	3	4	1997	4	1
1994	5	20	1995	4	21	1996	3	18	1997	4	15
1994	5	22	1995	4	22	1996	3	25	1997	4	23
1994	5	23	1995	4	24	1996	3	27	1997	4	25
1994	5	25	1995	4	25	1996	3	28	1997	5	6
1994	5	28	1995	4	30	1996	3	29	1997	5	15
1994	6	3	1995	5	1	1996	3	31	1997	6	15
1994	6	4	1995	5	9	1996	4	1	1997	7	14
1994	6	5	1995	5	12	1996	4	22	1997	8	20
1994	6	6	1995	5	23	1996	4	28	1997	9	11
1994	6	9	1995	5	24	1996	4	29	1997	11	6
1994	6	15	1995	6	2	1996	5	2	1997	11	10
1994	7	2	1995	6	4	1996	5	10	1997	11	11
1994	9	11	1995	6	22	1996	5	12	1997	12	13
1994	9	13	1995	8	21	1996	5	13	1997	12	27
1994	10	4	1995	9	17	1996	5	26	1998	1	10

年	月	日	年	月	日	年	月	日		
1998	1	12	1998	12	11	1999	9	6		
1998	1	20	1998	12	12	1999	9	9		
1998	1	29	1998	12	27	1999	9	18		
1998	1	31	1999	1	9	1999	9	20		
1998	2	8	1999	1	10					
1998	2	10	1999	1	28					
1998	2	11	1999	1	30					
1998	3	7	1999	2	9					
1998	3	16	1999	2	14					
1998	3	21	1999	2	19					
1998	3	25	1999	2	21					
1998	4	12	1999	2	26					
1998	4	21	1999	2	27					
1998	4	22	1999	3	28					
1998	4	27	1999	3	30					
1998	5	7	1999	4	4					
1998	5	19	1999	4	11					
1998	5	20	1999	4	21					
1998	5	21	1999	4	22					
1998	5	29	1999	4	25					
1998	7	14	1999	4	26					
1998	7	20	1999	4	29					
1998	7	26	1999	5	2					
1998	8	7	1999	5	5					
1998	9	14	1999	5	11					
1998	9	16	1999	5	13					
1998	10	5	1999	5	21					
1998	10	11	1999	5	22					
1998	10	12	1999	5	24					
1998	10	13	1999	5	29					
1998	10	23	1999	6	8					
1998	10	24	1999	6	9					
1998	10	29	1999	6	10					
1998	11	16	1999	6	20					
1998	11	19	1999	6	21					
1998	11	22	1999	6	22					
1998	11	25	1999	6	23					
1998	11	27	1999	6	24					
1998	12	9	1999	6	25					
1998	12	10	1999	7	14					