

國立中央大學

統計研究所
碩士論文

最大餘震規模之統計分析

指導教授：陳玉英 博士

研究生：陳春樹

中華民國九十年六月



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: 陳春樹

論文名稱: 最大餘震規模之統計分析

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: 88225004

日期: 民國 90 年 6 月 18 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

本文針對主震發生之後最大餘震規模與主震規模之差 D_1 進行統計相關分析。透過最大概似估計法 (MLE) 估計 Gutenberg-Richter 模型中的參數，並利用線性迴歸模型配適 D_1 與主震規模 M ， b 值和主震震源深度 h 之間的關係，再經由 D_1 的機率模型和 Logistic 迴歸模型估算當一個主震規模發生時， $D_1 \geq d_1$ 發生的機率和 $D_1 \geq d_1$ 相對於 $D_1 < d_1$ 發生的機率。分析的資料主要針對環太平洋地帶的國家：日本、紐西蘭、台灣和南加州，另外還包括位於歐洲地區地質較為複雜的希臘。

致 謝 辭

首先，必須感謝指導老師陳玉英教授在專業知識上的教導以及日常生活的照顧，使本篇論文得以順利完成。同時也要感謝口試委員嵇允嬋教授、鄭秀麗教授以及樊采虹教授給予本篇論文寶貴的意見，使本篇論文得以更加完善。

研究所的生活雖然短暫，但是既充實又值得回味。七百多個日子裡，虛度的光陰屈指可數。很感謝所上老師在課業上的教導與照顧，也謝謝宏偉、仁偉、嘉仁、政國、子淵、家聖.....在各方面的幫忙與照顧。另外，也要謝謝班上全體同學陪我走過這兩年，讓我的研究所生活更加豐富。

最後，謹將本文獻給我摯愛的父母、姊姊俞靜、妹妹俞曄、弟弟重憲以及女友琳黛，有你們默默的付出與鼓勵，才使我撰寫論文毫無後顧之憂，順利完成學業，真的很感謝你們。

陳春樹 謹誌於

國立中央大學統計研究所

中華民國九十年六月

目 錄

第一章	緒論	1
第二章	地震相關知識、文獻回顧及 b 值的估計	3
2.1	地震相關知識	3
2.2	文獻回顧	5
2.3	b 值的估計	8
第三章	世界各地區主震與最大餘震規模差 之統計相關分析	10
3.1	日本	11
3.2	紐西蘭	14
3.3	台灣	16
3.4	南加州	19
3.5	環太平洋地帶	21
3.6	希臘	24
3.7	整理	26
第四章	結論	29
	參考文獻	30
附錄一	圖	32
附錄二	世界上六個地區詳細之地震資料	54

圖一：紐西蘭兩筆餘震序列配適 Gutenberg-Richter 模型.....	32
圖二：台灣八個餘震序列分別配適 Gutenberg-Richter 模型.....	33
圖三：紐西蘭十四個餘震序列分別配適 Gutenberg-Richter 模型.....	34
圖四：日本主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈圖.....	35
圖五：日本 34 筆資料 D_1 配適 b 值的 Cook's Distance.....	35
圖六：日本主震規模 M 以 0.5 個規模單位分群之 D_1 與 M 的散佈圖 及線性模 式.....	36
圖七：日本 $M = 5.0$ 主震之 D_1 與 b 值的散佈圖及線性模式.....	36
圖八：日本 $M = 6.0$ 主震之 D_1 與 b 值的散佈圖及線性模式.....	37
圖九：日本 $M = 5.0$ 主震之 D_1 的機率模型.....	37
圖十：日本 $M = 6.0$ 主震之 D_1 的機率模型.....	38
圖十一：日本 $M = 5.0$ 主震之 D_1 與其對數勝算.....	38
圖十二：日本 $M = 6.0$ 主震之 D_1 與其對數勝算.....	39
圖十三：紐西蘭主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈圖.....	39
圖十四：紐西蘭 $M = 5.0$ 主震與 D_1 的散佈圖及線性模式.....	40
圖十五：紐西蘭 $M > 6.0$ 主震與 D_1 的散佈圖及線性模式.....	40
圖十六：紐西蘭 $M = 5.0$ 主震之 D_1 與 b 值的散佈圖及線性模式.....	41
圖十七：紐西蘭 $M = 5.0$ 主震之 D_1 的機率模型.....	41

圖十八：紐西蘭 $M = 5.0$ 主震之 $\ln(D_1)$ 與其對數勝算.....	42
圖十九：台灣主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈圖.....	42
圖二十(a)：台灣 $M = 5.0$ 主震與 D_1 的散佈圖及線性模式.....	43
圖二十(b)：移除 $M=7.3, D_1=0.4$ 的資料之後，台灣 $M = 5.0$ 主震與 D_1 的散佈圖及線性模式.....	43
圖二十一：台灣 $M = 5.0$ 主震之 D_1 的機率模型.....	44
圖二十二：台灣 $M = 5.0$ 主震之 $\ln(D_1)$ 與其對數勝算.....	44
圖二十三：南加州主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈圖.....	45
圖二十四：南加州 $M = 5.0$ 主震與 D_1 的散佈圖及線性模式.....	45
圖二十五：南加州 $M = 5.0$ 主震之 D_1 與 b 值的散佈圖及線性模式.....	46
圖二十六：南加州 $M = 5.0$ 主震之 D_1 的機率模型.....	46
圖二十七：南加州 $M = 5.0$ 主震之 D_1 與其對數勝算.....	47
圖二十八：環太平洋地帶主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈 圖.....	47
圖二十九：環太平洋地帶主震規模與最大餘震規模差 D_1 之直方圖...	48
圖三十(a)：環太平洋地帶 $M = 7.0$ 主震與 $D_1 = 1.4$ 的散佈圖及線性模 式.....	48
圖三十(b)：環太平洋地帶 $M = 7.0$ 主震與 $D_1 > 1.4$ 的散佈圖及線性模 式.....	49

圖三十一(a)：環太平洋地帶 $M \geq 7.0$ 主震之 $D_1(\leq 1.4)$ 的機率模型.....	49
圖三十一(b)：環太平洋地帶 $M \geq 7.0$ 主震之 $D_1(>1.4)$ 的機率模型.....	50
圖三十二(a)：環太平洋地帶 $M \geq 7.0$ 主震之 $D_1(\leq 1.4)$ 與其對數勝算.....	50
圖三十二(b)：環太平洋地帶 $M \geq 7.0$ 主震之 $D_1(>1.4)$ 與其對數勝算.....	51
圖三十三：希臘主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈圖.....	51
圖三十四(a)：希臘 $M \geq 5.0$ 主震與 D_1 的散佈圖及線性模式.....	52
圖三十四(b)：希臘 $M \geq 5.0$ 主震與 D_1 的散佈圖及線性模式.....	52
圖三十五：希臘 $M \geq 5.0$ 主震之 D_1 的機率模型.....	53
圖三十六：希臘 $M \geq 5.0$ 主震之 D_1 與其對數勝算.....	53

附表一：日本西元 1973 ~ 1995 年地震資料.....	54
附表二：希臘西元 1971 ~ 1997 年地震資料.....	55
附表三：紐西蘭西元 1987 ~ 1995 年地震資料.....	56
附表四：台灣西元 1991 ~ 1999 年地震資料.....	56
附表五：南加州西元 1933 ~ 1988 年地震資料.....	57
附表六：環太平洋地帶西元 1971 ~ 1986 年地震資料.....	58

第一章 緒論

地震不是因為天神發怒或地牛蠢動而造成的，這是大家都能瞭解的事實。然而真正瞭解地震發生的機制是從二十世紀才開始明朗化的。1910 年美國地震學家雷德觀察 1906 年美國舊金山地震時聖安得列斯斷層廣泛的斷裂作用與大地測量資料，推論這些地表的斷裂並不僅止於表層，並提出地震的斷層理論，即彈性回跳原理。他認為地震是沿著斷層瞬間滑動而造成，震波再向四面八方將儲藏的彈性應變能釋放。這原理就像折斷一根藤條一樣，開始的階段只是將藤條彎曲，等累積的能量足夠後，藤條便將於瞬間折斷。

以台灣為例，因為台灣位於環太平洋地震帶上，菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊在台灣東部的花東縱谷交接，由於菲律賓海板塊每年以穩定的速度向西北移動，它的北端在花蓮、宜蘭外海一帶隱沒至歐亞大陸底下，而西側則直接撞擊歐亞大陸板塊，造成了台灣地區每年平均約兩百次的有感地震，並且大部份集中在台灣的東部。同時根據地震的資料顯示，台灣地區已有多次地震發生時伴隨山崩、噴砂、地鳴和地下水噴出等現象。例如：1906 年嘉義縣之梅山地震、1935 年新竹和台中烈震產生獅潭與屯子腳斷層以及 1946 年台南新化附近的地震等。也正因為地震常在毫無預警的情況下發生，

因此也常造成生命與財產的重大損失。民國 88 年 9 月 21 日集集發生了規模 7.3 的強震，造成 2333 死 10002 傷，也震毀了無數人民辛苦建立的家園。之後更有高達萬次以上的餘震，其中最大餘震居然高達規模 6.9，對災區又造成了第二次嚴重的傷害。

由於主震發生時對地質和建築物的結構已造成破壞，餘震（尤其是最大餘震）的發生將進一步的破壞相關結構和威脅人民的生命及財產的安全，同時也會影響搶修和救援的進行。因此本篇文章著重在最大餘震與其主震規模差 D_1 發生機率的探討，應用統計方法分析 D_1 與主震規模，震源深度及餘震規模分佈之間的相關性，除探討區域的空間特性，並進一步配適迴歸模式（Regression Model），藉以預測主震發生後最大餘震的規模。最後，評估此一預測之 D_1 發生的機率。

本文第二章介紹地震相關知識，回顧相關的文獻及 Gutenberg-Richter（1954）模型參數的最大概似估計量（Maximum Likelihood Estimator，簡寫 MLE）。第三章分別就世界上六個地區的地震，分析最大餘震與其主震規模差 D_1 的發生情形。最後第四章為結論及建議未來可能的研究。

第二章 地震相關知識、文獻回顧 及 b 值的估計

2.1 地震相關知識

地震發生的原因：

地震可分為自然地震與人工地震（例如：核爆）。一般所稱之地震為自然地震，依其發生之原因又可分為：(1) 構造性地震 (2) 火山地震 (3) 衝擊性地震（例如，隕石撞擊）。其中又以板塊運動所造成的地殼變動（構造性地震）為主。

由於地球內有一種推動岩層的應力，當應力大於岩層所能承受的強度時，岩層會發生錯動（dislocation），而這種錯動會突然釋放巨大的能量，並產生一種彈性波（elastic waves），我們稱之為地震波（seismic waves），當它到達地表時，會引起大地的震盪，這就是地震。

震源與震央：

- (1) 震源（hypocenter）：地震錯動的起始點
- (2) 震央（epicenter）：震源在地表的投影點

地震規模及其計算方式：

規模是用來描述地震大小的一個尺度，通常以一個無單位的實數表示，乃依其所能釋放的能量而定。目前世界所通用的地震規模為芮氏規模 (M_L)，乃美國地震學家芮氏於 1935 年所創。其定義為：一標準扭力式伍德-安德森地震儀 (Wood-Anderson torsion seismometer) 在距離震央一百公里處所記錄的最大振幅，以微米 (Micron, $1\mu = 10^{-3}\text{mm}$) 計的對數值。其計算公式為：

$$M_L = \log \left(\frac{A}{A_0} \right) = \log A - \log A_0$$

式中 A = 標準扭力式地震儀，在某觀測站所記錄之最大振幅 (以 μ 為單位)。 A_0 = 距離修正量，當標準扭力式地震儀於標準地震 ($M_L = 0$) 時所記錄之最大振幅。除了芮氏規模 (M_L) 外，尚有體波規模 (m_b) 及表面波規模 (M_s)。其中體波規模是根據體波之振幅 (A) 及週期 (T) 而定，其關係式為：

$$m_b = \log \left(\frac{A}{T} \right) + Q(D)$$

式中 $Q(D)$ 為距離修正量。而表面波規模則是根據表面波振幅 (A) 及週期 (T) 而定，其關係式為：

$$M_s = \log \left(\frac{A}{T} \right) + a \log D + b$$

上式中 D 為距離； a ， b 為區域性常數。

根據地震學家 Gutenberg 的公式：

$$\log E = 11.8 + 1.5M_L$$

可知當規模增加一個單位，其所釋放的能量約增加 30 倍左右。以規模 8.2 的地震為例，它所釋放的能量相當於一千顆當時轟炸日本廣島的原子彈，其威力不得而知。

2.2 文獻回顧

當主震發生之後，絕大多數的能量會藉由餘震的發生繼續釋放。

地震學家 Gutenberg-Richter (1954) 提出餘震的行為可由下列的規模-頻率模型來描述：

$$\text{Log}N(M) = a - bM$$

其中 $N(M)$ 為大於或等於規模 M 的餘震個數， a 為常數， b 為大於 0 的常數且反應強餘震發生的相對危險性 (Bernice Bender, 1982)，較小的 b 值顯示主震發生後，發生較大規模餘震的可能性較大，即發生較大規模餘震的風險較高。通常 b 值的範圍介於 0.4 ~ 1.8 之間。

因為，最大餘震是繼主震之後再一次威脅人類生命與財產的最大禍源，所以已有諸多文獻初探最大餘震規模 (M_1) 與其主震規模 (M) 之差 ($D_1 = M - M_1$) 和主震規模 (M)、 b 值及主震震源深度

(h) 的關係。

(一) D_1 與 M 的探討：

Tsapanos (1990) 分析環太平洋地帶 145 筆主震規模 $M \geq 7.0$ 的資料，結果發現在 D_1 的分配中有兩個峰點，因此 Tsapanos 將資料分成兩群，一群為 D_1 介於 0.1~1.40 之間，同時計算平均值 $\bar{D}_{11} \approx 1.2$ ，此值與 Bath (1965) 所提出的結果一致。另一群的資料是 D_1 介於 1.50~2.60，其平均值 $\bar{D}_{12} \approx 1.8$ 。之後 Tsapanos 觀察這兩群資料在空間上的分配，結果發現 D_1 較大的那一群主要發生在較內陸的地方而 D_1 較小的一群則多數分佈於兩個板塊的交界面上。在顯著水準為 $\alpha=0.1$ 時，作者採用 t 檢定進一步結語這兩群的平均值顯著不同。同時作者也認為 D_1 與主震的規模似乎沒有什麼關係。但是地震學家 Utsu (1969) 分析日本 1959~1968 年主震規模 $M \geq 6.0$ 的地震資料，獲知 D_1 之中位數 (\tilde{D}_1) 與 M 具有負相關，其關係式為：

$$\tilde{D}_1 = 5.0 - 0.5M \quad (M \geq 6.0)$$

Papazachos et al. (1967) 分析希臘地區 1926~1964 年主震規模 $M \geq 5.75$ 的地震資料，發現 D_1 與 M 具有正相關，其關係式為：

$$D_1 = -1.07 + 0.29M \quad (M \geq 5.75)$$

因此得知 D_1 與 M 的關係可能隨地區的不同而有所改變，所以實際去分析各地區的地震資料，是瞭解 D_1 與 M 關係的最佳途徑。

(二) D_1 與 h 的探討：

地震學家 Solov'ev 和 Solov'eva (1962) 提出當主震發生時，餘震規模 $M-2$ 的平均個數 (\bar{k}) 會隨著主震深度的遞增而遞減，其關係式為：

$$\bar{k} = \frac{160}{h}$$

除此之外，Mogi's (1963) 和 Bath's (1965) 的文章也曾提出餘震的行為會隨著 h 的遞增而遞減。

Utsu (1969) 的文章提到， D_1 與 h 有些微的正向關係，即使是用統計的檢定方法也不能夠拒絕 D_1 與 h 無關的假設。同時 Utsu 分析日本的資料求出較淺地震相對於較深地震的發生率論證他的想法，如下表所示：

$H \backslash D_1$	$0 \leq D_1 < \tilde{D}_1/2$	$\tilde{D}_1/2 \leq D_1 < \tilde{D}_1$	$\tilde{D}_1 \leq D_1$
0km $h < 30$ km	11	11	6
30km $h \leq 60$ km	19	23	14
Ratio	0.58	0.48	0.43

表 1：若 $M \geq 6.0$ ，則 $\tilde{D}_1 = 5.0 - 0.5M$ ，若 $5.5 \leq M < 6.0$ ，則 $\tilde{D}_1 = 2.0$ 。

(三) D_1 與 b 值的探討：

Utsu (1969) 的文章中提出 D_1 與 Gutenberg-Richter 模式中的 b 值具正相關。當一個餘震序列的 b 值大的時候，餘震規模會衰退的比較快，亦即大規模餘震發生的相對危險減低。此時， D_1 之值偏大。附圖一利用紐西蘭 1990 年 10 月 4 日和 1992 年 3 月 2 日的兩個主震之餘震序列配適 Gutenberg-Richter 模型的結果，此圖也說明了 D_1 與 b 值的正相關。

2.3 b 值的估計

一般在 Gutenberg-Richter 的頻率-規模關係式中，可以使用最小平方法 (LSE) 估計 b 值。但是地震學家 Utsu (1964) 建議另一種估計 b 值的方法，其估計量 $\hat{b} = \frac{\log_{10} \bar{e}}{M - M_{\min}}$ 。其中 \bar{M} 是規模的平均值， M_{\min} 是資料中最小規模值。Aki (1965) 驗證 Utsu 所提供的估計量即為最大概似估計量 (MLE)。

假設 $M_1, M_2, \dots, M_n \stackrel{iid}{\sim} f(M; b^*) = b^* e^{-b^*(M-M_c)}$ ， M_c

其中 $b^* = b / \log_{10} e$ ， M_c 為研究中地震規模下界。

定義 $y_i = \frac{\partial}{\partial b^*} \log f(M_i; b^*) = \frac{1}{b^*} - (M_i - M_c)$ ， $Y = \sum_{i=1}^n y_i$

因為 $E(y_i) = \int_{M_c}^{\infty} y_i f(M_i; b^*) dM_i = b^* \int_{M_c}^{\infty} \left(\frac{1}{b^*} + M_c - M_i \right) e^{-b^*(M_i - M_c)} dM_i = 0$

$$E(y_i^2) = \int_{M_c}^{\infty} y_i^2 f(M_i; b^*) dM_i = b^* \int_{M_c}^{\infty} \left(\frac{1}{b^*} + M_c - M_i\right)^2 e^{-b^*(M_i - M_c)} dM_i = \frac{1}{b^{*2}} < \infty$$

因此當樣本數 n 夠大時，根據中央極限定理 (CLT)， Y 會服從常態分配，平均值 $\mu=0$ ，變異數 $\sigma^2 = \frac{n}{b^{*2}}$ ，所以得到 b^* 的 $100(1-\alpha)\%$ 信賴區間為：

$$\frac{1 - Z_{\frac{\alpha}{2}} / \sqrt{n}}{\sum_{i=1}^n M_i / n - M_c} \leq b^* \leq \frac{1 + Z_{\frac{\alpha}{2}} / \sqrt{n}}{\sum_{i=1}^n M_i / n - M_c}$$

上式 b^* 的中心值 $\frac{1}{\sum_{i=1}^n M_i / n - M_c}$ 即是 $Y = 0$ 的解。

因此

$$\hat{b}_{MLE} = \hat{b}^* \log_{10}^e = \frac{\log_{10}^e}{\sum_{i=1}^n M_i / n - M_c} = \frac{n}{\ln 10 \sum_{i=1}^n (M_i - M_c)}$$

此結果與 Utsu 所提出的形式完全相同。附圖二和附圖三分別是台灣 8 個餘震序列和紐西蘭 14 個餘震序列配適 Gutenberg-Richter 模式的結果，由此二圖可看出利用 MLE 估計 b 值所得的模型配適良好。因此用最大概似法估計 b 值的 Gutenberg-Richter 模式足以描述餘震序列的行為。

第三章 世界各地區主震與最大餘震規模差 之統計相關分析

根據文獻以及購自中央氣象局的地震資料，世界上六個地區的地震相關資料如下表所示：

	時間	餘震序列個數
紐西蘭	1987 ~ 1995	15
日本	1973 ~ 1995	34
希臘	1971 ~ 1997	39
環太平洋地帶	1971 ~ 1986	145
南加州	1933 ~ 1988	39
台灣	1991 ~ 1999	10

表 2：六個地區資料收集的時間與資料筆數。

本文針對規模 $M \geq 5.0$ 和震源深度 $h \leq 60\text{km}$ 的淺層主震資料進行統計分析。大體上分析的方法除檢視各地區主震與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈 (Spatial Distribution) 外，也應用線性迴歸 (Linear Regression) 及羅吉斯迴歸 (Logistic Regression) 模式分析 D_1 與各相關資料之間的統計關係。

3.1 日本

日本最大餘震與其主震規模差 D_1 的空間分佈如附圖四所示。可以看出較小的 D_1 ($D_1 \leq 0.6$ ，下四分位，lower quartile) 大致分佈於

日本本州中部，較大的 D_1 ($D_1 = 1.6$ ，上四分位，upper quartile) 則分佈於九州及四國地區。

因為第 11 筆資料主震規模 $M < 5.0$ 及第 18 筆資料 ($M=5, D_1=0.1$ ， $h=14.9\text{km}$ ， b 值=1.405) 可能為影響點 (附圖五) 的因素，以下只採用 32 筆資料進行分析：

(一) D_1 與 M ：

配適模式為：

$$D_1 = (0.7783 \pm 0.82) + (0.0572 \pm 0.13) M, (p\text{-value} = 0.66)$$

此配適的結果並不顯著。但在 Utsu 的文獻中曾提及日本地區主震規模 $M \geq 6.0$ 時， D_1 與 M 會呈現負相關，因此配適 $M \geq 6.0$ 的資料，其結果為：

$$D_1 = (2.6011 \pm 1.25) - (0.1982 \pm 0.18) M, (p\text{-value} = 0.28)$$

此配適的結果雖然也不顯著，但 D_1 與 M 確實有負相關的趨勢。接著將 M 以 0.5 個規模單位分群，重新配模得到：

$$D_1 = (3.1025 \pm 0.57) - (0.25 \pm 0.08) M, (p\text{-value} = 0.05)$$

其中相關係數 $r = -0.88$ 。此時雖只有 5 個點，但我們可以很明顯看出 D_1 與 M 的負相關趨勢 (附圖六)，而且配適的結果也是顯著的。

由此結果可得知當主震規模 $M \geq 6.0$ 時，主震規模越大則最大餘震規

模也將會越大。此一結果代表主震並未釋放足夠的能量，因此剩餘的能量則藉由大規模的餘震再次釋放。

(二) D_1 與 b 值：

$$D_1 = (0.1186 \pm 0.58) + (1.2051 \pm 0.62) b, (p\text{-value} = 0.06)$$

此配適的結果是顯著的(附圖七), 但正相關程度並不明顯 $r = 0.34$ 。

接著進一步分析 $M \geq 6.0$ 時 D_1 與 b 值的關係為：

$$D_1 = (-0.0598 \pm 0.52) + (1.4215 \pm 0.54) b, (p\text{-value} = 0.02)$$

此配適的結果也是顯著的(附圖八), 且 D_1 與 b 的正相關程度 r 提高到 0.52。所以由此二結果可約略推知若一個地區具有較大的 b 值, 則當一個主震發生時預期應會有較大的 D_1 值, 即發生較大餘震的風險應會比較低。

(三) D_1 與 h ：

分別配適 $M \geq 5.0$ 及 $M \geq 6.0$ 的 D_1 與主震震源深度 h 的資料如下：

$$D_1 = (1.2144 \pm 0.17) + (0.0011 \pm 0.01) h, (p\text{-value} = 0.85)$$

和

$$D_1 = (1.2522 \pm 0.18) + (0.0021 \pm 0.006) h, (p\text{-value} = 0.72)$$

此二結果均不顯著, 而且其正相關的程度也相當弱。同時其分別的

Fisher Z 檢定統計量 0.1842 和 0.35 均小於 $Z_{0.025} = 1.96$ ，因此沒有足夠的證據顯示 D_1 與 h 的理論相關係數 $r \neq 0$ ，所以對於日本的資料來說， D_1 與 h 沒有顯著的關係存在。

(四) D_1 之機率模型：

分別針對主震規模 $M \geq 5.0$ 及 $M \geq 6.0$ 的資料配適 $P(D_1)$

$= c - kD_1$ ，其結果如下：

(a) $M \geq 5.0$

$$P(D_1) = (1.0996 \pm 0.02) - (0.4514 \pm 0.02)D_1 \quad (p\text{-value} = 0.0001)$$

和

(b) $M \geq 6.0$

$$P(D_1) = (1.2925 \pm 0.03) - (0.5616 \pm 0.02)D_1 \quad (p\text{-value} = 0.0001)$$

其中 $P(d_1) = D_1 \geq d_1$ 之機率。(附圖九)(附圖十)且 $P(D_1)$ 和 D_1 的相關係數均為 -0.98，因此可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之 D_1 值，再透過機率模式估計發生最大餘震規模超過 $M_1 (= M_0 - D_1)$ 的機率。

(五) Logistic 迴歸模式：

令 $p = P(D_1)$ ，則勝算 (Odds) 為 $= p/(1-p)$ 。以 Logistic 迴歸模式分別配適 $M \geq 5.0$ 及 $M \geq 6.0$ 的資料結果如下：

(a) $M \geq 5.0$

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = (3.6065 \pm 0.11) - (2.7075 \pm 0.08)D_1 \quad (p\text{-value} < 0.0001)$$

和

(b) $M \geq 6.0$

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = (4.6598 \pm 0.21) - (3.2931 \pm 0.14)D_1 \quad (p\text{-value} < 0.0001)$$

(附圖十一) (附圖十二) 且 D_1 與 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 的相關係數 $r = -0.98$ 。因此

可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之 D_1 值，記

作 d_1 ，再透過 Logistic 迴歸模式即可估計出 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 或 $\frac{p}{1-p}$ 的值。

所以此模式可以預測當日本地區一個規模 $M = m^*$ 的主震發生時，發生最大餘震與其主震規模差在 D_1 以上相對於 D_1 以下的機率。

3.2 紐西蘭

紐西蘭最大餘震與其主震規模差 D_1 的空間分佈如附圖十三所示，分佈情形並沒有特定的集合。因 D_1 平均值 $\bar{D} = 0.67$ ，中位數 $\tilde{D} = 0.7$ 有偏小的趨勢，所以在紐西蘭地區當一個主震發生時應防範會有與主震規模相近的餘震發生。因為第 2 筆資料深度 $h = 60\text{km}$ ，所以以下只採用 14 筆資料進行分析：

(一) D_1 與 M ：

$$D_1 = (-0.1455 \pm 1.09) + (0.1341 \pm 0.17)M, \quad (p\text{-value} = 0.46)$$

此配適的結果並不顯著，但從附圖十四可以發現當 $M > 6.0$ 時， D_1 與 M 有明顯的負向趨勢，因此重新配適 $M > 6.0$ 的資料如下：

$$D_1 = (4.9377 \pm 1.37) - (-0.6308 \pm 0.21)M, \quad (p\text{-value} = 0.04)$$

此結果是顯著的，且 D_1 與 M 的相關係數 $r = -0.83$ (附圖十五)。由

此結果可得知當主震規模 $M > 6.0$ 時，主震規模越大則最大餘震規模也將會越大。此一結果代表主震並未釋放足夠的能量，因此剩餘的能量則藉由大規模的餘震再次釋放。此一點特性與日本 $M \geq 6.0$ 地震相同。

(二) D_1 與 b 值：

$$D_1 = (-0.2426 \pm 0.53) + (0.8294 \pm 0.47) b, (p\text{-value} = 0.1)$$

此結果是顯著的，且 D_1 與 b 值具有中度的正相關 $r = 0.45$ (附圖十六)。因此可以利用此一模式推知若一個地區具有較大的 b 值，則當一個主震發生時預期應會有較大的 D_1 值，即發生較大餘震的風險會比較低。

(三) D_1 與 h ：

$$D_1 = (0.572 \pm 0.17) + (0.0054 \pm 0.01) h, (p\text{-value} = 0.53)$$

此配適的結果並不顯著，同時 D_1 與 h 的相關係數 $r = 0.18$ 也很弱。所以對於紐西蘭的資料來說， D_1 與 h 沒有顯著的統計關係。

(四) D_1 之機率模型：

針對主震規模 $M \geq 5.0$ 的資料配適 $P(D_1) = c - kD_1$ 的結果如下：

$$P(D_1) = (1.24 \pm 0.07) - (0.9806 \pm 0.09)D_1 (p\text{-value} = 0.0001)$$

其中 $P(d_1) = D_1 \geq d_1$ 之機率。(附圖十七)且 $P(D_1)$ 和 D_1 的相關係數為-

0.95，因此可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M=m^*$ 時之 D_1 值，再透過機率模式估計發生最大餘震規模超過 $M_1(=M_0-D_1)$ 的機率。

(五) Logistic 迴歸模式：

以 Logistic 迴歸模式配適主震規模 $M=5.0$ 的資料結果如下：

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = (-1.4601 \pm 0.09) - (4.4461 \pm 0.18) \ln(D_1) \quad (p\text{-value} < 0.0001)$$

且 $\ln(D_1)$ 與 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 的相關係數 $r = -0.99$ (附圖十八)。因此可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M=m^*$ 時之 D_1 值，記作 d_1 ，再透過 Logistic 迴歸模式即可估計出 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 或 $\frac{p}{1-p}$ 的值。所以此模式可以預測當紐西蘭地區一個規模 $M=m^*$ 的主震發生時，發生最大餘震與其主震規模差在 D_1 以上相對於 D_1 以下的機率。

3.3 台灣

台灣最大餘震與其主震規模差 D_1 的空間分佈如附圖十九所示，主要分佈於台灣本島及東部外海一帶。值得一提的是較小的 D_1 值 ($D_1=0.4$ ，下四分位，lower quartile) 主要分佈於西部內陸，而較大的 D_1 值 ($D_1=0.7$ ，上四分位，upper quartile) 則主要分佈於東部沿海及外海。此一觀察與 Tsapanos (1990) 之結果不盡符合。花東縱谷為板塊交接處，但是此結果顯示在台灣西部內陸當一個主震發生後

伴隨而來的最大餘震規模偏大，亦即會有再次釋放能量之舉，因此防範措施格外重要。而東部沿海及外海地區，主震似乎已釋放儲存能量，故最大餘震規模偏小。因為台灣資料中第 3 筆和第 9 筆的主震震源深度 h 均大於 60km，所以以下僅就合乎條件的 8 筆資料進行分析：

(一) D_1 與 M ：

$$D_1 = (-2.5849 \pm 1.89) + (0.4899 \pm 0.29) M, (p\text{-value} = 0.15)$$

且 D_1 與 M 的相關係數 $r = 0.6$ (附圖二十(a))，從圖中可以清楚看到主震規模 $M=7.3$ ， $D_1=0.4$ 的資料點 (即集集大地震) 可能是一個影響點，使用 SAS 計算 $R_{\text{student}} = -3.4$ ， $D_{\text{ffits}} = -3.24$ ， $\text{Intercept } D_{\text{fbetas}} = 2.64$ ，和 $M \text{ } D_{\text{fbetas}} = 2.79$ 其絕對值均大於 2，因此將此點移除後重新配適模型為：

$$D_1 = (-5.5 \pm 1.3) + (0.97 \pm 0.21) M, (p\text{-value} = 0.0093)$$

且 D_1 與 M 的相關係數 $r = 0.92$ (附圖二十(b))，結果更為顯著。因此透過此模型可以推知當台灣地區一個規模 $M \geq 5.0$ 的主震發生時，較大的 M 值預期將會有較大的 D_1 值。事實上，若有充裕的最大餘震規模及其主震規模的資料，本文建議應分別分析台灣西部內陸及東部地區的地震資料，以求得能夠反應區域空間特色的模型。

(二) D_1 與 b 值：

$$D_1 = (-0.9749 \pm 1.28) + (1.636 \pm 1.3) b, (p\text{-value} = 0.26)$$

此配適的結果雖不顯著，但因為 D_1 與 b 值的相關係數 $r = 0.46$ 仍具有中度正相關，因此我們仍可以預期擁有較大 b 值的地區在主震發生後相對應會有較大的 D_1 值，即發生較大餘震的風險會比較低。

(三) D_1 與 h ：

$$D_1 = (0.5568 \pm 0.29) + (0.0045 \pm 0.02) h, (p\text{-value} = 0.79)$$

此配適的結果並不顯著，且 D_1 與 h 的相關係數 $r = 0.11$ 也很弱，所以對於台灣的資料來說， D_1 與 h 沒有顯著的統計關係。

(四) D_1 之機率模型：

針對主震規模 $M \geq 5.0$ 的資料配適 $P(D_1) = c - kD_1$ 的結果如下：

$$P(D_1) = (0.9297 \pm 0.07) - (0.5947 \pm 0.09)D_1 (p\text{-value} = 0.0007)$$

其中 $P(d_1) = D_1 \geq d_1$ 之機率。(附圖二十一) 且 $P(D_1)$ 和 D_1 的相關係數為 -0.93 ，因此可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之 D_1 值，再透過機率模式估計發生最大餘震規模超過 $M_1 (= M_0 - D_1)$ 的機率。

(五) Logistic 迴歸模式：

以 Logistic 迴歸模式配適主震規模 $M \geq 5.0$ 的資料結果如下：

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = (-1.0908 \pm 0.2) - (2.0431 \pm 0.25) \ln(D_1) \quad (p\text{-value} = 0.0005)$$

且 $\ln(D_1)$ 與 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 的相關係數 $r = -0.96$ (附圖二十二)。因此可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之 D_1 值, 記作 d_1 , 再透過 Logistic 迴歸模式即可估計出 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 或 $\frac{p}{1-p}$ 的值。所以此模式可以預測當台灣地區一個規模 $M = m^*$ 的主震發生時, 發生最大餘震與其主震規模差在 D_1 以上相對於 D_1 以下的機率。

3.4 南加州

南加州最大餘震與其主震規模差 D_1 的空間分佈如附圖二十三所示, 可以看出較小的 D_1 值 ($D_1 = 0.7$, 下四分位, lower quartile) 並沒有特殊了分佈情形, 而較大的 D_1 值 ($D_1 = 1.5$, 上四分位, upper quartile) 則明顯的在中部及南部地區的斷層帶上形成兩個集合。因為第 39 筆資料主震規模 $M = 5.0$, 所以以下採用 38 筆資料進行分析:

(一) D_1 與 M :

$$D_1 = (0.1714 \pm 0.65) + (0.1551 \pm 0.11) M, \quad (p\text{-value} = 0.17)$$

此結果雖不甚顯著 (附圖二十四), 但由 D_1 與 M 的正向趨勢 (相關係數 $r = 0.34$), 仍可預期當南加州地區一個規模 M 的主震發生時, 較大的 M 值應會有較大的 D_1 值。即主震發生後已釋放大部分的能量。

(二) D_1 與 b 值：

$$D_1 = (0.3045 \pm 0.35) + (0.6982 \pm 0.32) b, (p\text{-value} = 0.04)$$

配適結果顯著，且 D_1 與 b 值的相關係數 $r = 0.34$ (附圖二十五)。由此結果可以預期若一個地區具有較大的 b 值，則當一個主震發生時應會有較大的 D_1 值，即發生較大餘震的風險應會較低。

(三) D_1 之機率模型：

針對主震規模 $M \geq 5.0$ 的資料配適 $P(D_1) = c - kD_1$ 的結果如下：

$$P(D_1) = (1.1797 \pm 0.02) - (0.605 \pm 0.02)D_1 (p\text{-value} = 0.0001)$$

其中 $P(d_1) = D_1 \geq d_1$ 之機率。(附圖二十六) 且 $P(D_1)$ 和 D_1 的相關係數為 -0.99 ，因此可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之 D_1 值，再透過機率模式估計發生最大餘震規模超過 $M_1 (= M_0 - D_1)$ 的機率。

(四) Logistic 迴歸模式：

以 Logistic 迴歸模式配適主震規模 $M \geq 5.0$ 的資料結果如下：

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = (3.6993 \pm 0.15) - (3.441 \pm 0.13)D_1 (p\text{-value} < 0.0001)$$

且 D_1 與 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 的相關係數 $r = -0.99$ (附圖二十七)。因此可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之 D_1 值，記作 d_1 ，再透過 Logistic 迴歸模式即可估計出 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 或 $\frac{p}{1-p}$ 的值。所以此模式可以預測當南加州地區一個規模 $M = m^*$ 的主震發生時，發生最大餘

震與其主震規模差在 D_1 以上相對於 D_1 以下的機率。

3.5 環太平洋地帶

Tsapanos (1990) 的文章中提到環太平洋地帶 D_1 的空間分佈 (附圖二十八) 與主震是否發生於板塊的交界面上息息相關, 同時 D_1 的分配有兩個峰點 (附圖二十九), D_1 較大的一群 (D_1 介於 1.50~2.60 之間) 主要發生在較內陸的地方而 D_1 較小的一群 (D_1 介於 0.1~1.40 之間) 則多數分佈於兩個板塊的交界面上。

關於 D_1 的分析, 雖然 145 筆資料的主震規模 $M \geq 7.0$ 且深度 $h \leq 60\text{km}$ 均符合分析的條件, 但或許是因為整個環太平洋地帶包含的範圍太廣, 各地區地質結構有所差異而未能將其數量化加以考慮, 導致在分析 D_1 與 M 及 D_1 與 h 時均沒有顯著的結果。所以以下將就 $D_1 \leq 1.4$ 和 $D_1 > 1.4$ 的兩群資料進行各別分析:

(一) D_1 與 M :

將 $D_1 \leq 1.4$ 和 $D_1 > 1.4$ 的資料分別配適模型如下:

(a) $D_1 \leq 1.4$

$$D_1 = (3.9753 \pm 2.02) - (0.4203 \pm 0.27) M, (p\text{-value} = 0.14)$$

和

(b) $D_1 > 1.4$

$$D_1 = (-0.3441 \pm 1.11) + (0.2885 \pm 0.15) M, (p\text{-value} = 0.08)$$

且相關係數分別為-0.43 和 0.53 (附圖三十(a)和附圖三十(b)), 此結果代表在 $D_1 \leq 1.4$ (即兩個板塊的交界面上) 主震規模越大則最大餘震規模也將越大。反之, 主震規模越大則最大餘震規模越小。

(二) D_1 與 h :

將 $D_1 \leq 1.4$ 和 $D_1 > 1.4$ 的資料分別配適模型如下 :

$$D_1 = (1.0722 \pm 0.08) - (0.0042 \pm 0.003) h, (p\text{-value} = 0.11)$$

和

$$D_1 = (1.7939 \pm 0.05) - (0.0004 \pm 0.002) h, (p\text{-value} = 0.80)$$

配適的結果均不顯著, 且相關係數分別為-0.19 和-0.03, 同時其 Fisher Z 檢定統計量分別為 1.5977 和 0.2511 也均小於 $Z_{0.025} = 1.96$, 因此沒有足夠的證據顯示 D_1 與 h 的理論相關係數 $r \neq 0$, 所以對於環太平洋地帶的資料來說, D_1 與 h 沒有顯著的統計關係。

(三) D_1 之機率模型 :

分別針對 $D_1 \leq 1.4$ 及 $D_1 > 1.4$ 的資料配適 $P(D_1) = c - kD_1$ 的結果如下 :

(a) $D_1 \leq 1.4$

$$P(D_1) = (1.1871 \pm 0.03) - (0.6605 \pm 0.03)D_1 (p\text{-value} = 0.0001)$$

和

(b) $D_1 > 1.4$

$$P(D_1) = (2.9881 \pm 0.07) - (1.3549 \pm 0.04)D_1 \quad (p\text{-value} = 0.0001)$$

其中 $P(d_1) = D_1 \geq d_1$ 之機率。(附圖三十一(a))、(附圖三十一(b)) 且 $P(D_1)$ 和 D_1 的相關係數分別為 -0.93 和 -0.97，因此可以根據主震發生的地理位置，透過不同的 M 與 D_1 關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之 D_1 值，再透過機率模式估計發生最大餘震規模超過 $M_1 (= M_0 - D_1)$ 的機率。

(四) Logistic 迴歸模式：

以 Logistic 迴歸模式分別配適 $D_1 \leq 1.4$ 和 $D_1 > 1.4$ 的資料結果如下：

(a) $D_1 \leq 1.4$

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = (4.001 \pm 0.19) - (3.8378 \pm 0.18)D_1 \quad (p\text{-value} < 0.0001)$$

和

(b) $D_1 > 1.4$

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = (13.1293 \pm 0.24) - (7.2107 \pm 0.13)D_1 \quad (p\text{-value} < 0.0001)$$

且 D_1 與 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 的相關係數分別為 -0.93 和 -0.99 (附圖三十二(a)和附

圖三十二(b))。因此可以根據主震發生的地理位置，再透過不同的

M 與 D_1 關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之 D_1 值，記作 d_1 ，之後

再經過 Logistic 迴歸模式即可估計出 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 或 $\frac{p}{1-p}$ 的值。所以此模

式可以預測當環太平洋地帶一個規模 $M = m^*$ 的主震發生時，發生最大餘震與其主震規模差在 D_1 以上相對於 D_1 以下的機率。

3.6 希臘

希臘最大餘震與其主震規模差 D_1 的空間分佈如附圖三十三所示，可以明顯發現較小的 D_1 值 ($D_1 = 0.5$ ，下四分位，lower quartile) 主要沿著愛琴海域分佈，此區也是地中海域中地質較為複雜且活潑的地帶。而較大的 D_1 值 ($D_1 = 1.2$ ，上四分位，upper quartile) 則明顯分佈於南、北陸地。希臘地區的 39 筆資料均符合 $M \geq 5.0$ 及 $h \leq 60\text{km}$ 的條件，所以以下採用全部 39 筆資料來進行分析：

(一) D_1 與 M ：

$$D_1 = (-1.8338 \pm 1.05) + (0.474 \pm 0.18) M, (p\text{-value} = 0.02)$$

且 D_1 與 M 的相關係數 $r = 0.56$ (附圖三十四(a))，因為 $M=6.2$ ， $D_1=0.4$ 和 $M=6.3$ ， $D_1=0.3$ 的兩筆資料位於地質較為複雜的愛琴海域且在 D_1 與 M 的散佈圖中也屬於較奇異的點，因此將這兩筆資料移除後重新配適的結果如下：

$$D_1 = (-2.7975 \pm 0.66) + (0.6593 \pm 0.11) M, (p\text{-value} = 0.0001)$$

D_1 與 M 的相關係數 $r = 0.85$ (附圖三十四(b))，此配適結果更為顯著。

且此結果也與 Papazachos et al. (1967) 分析希臘地區 1926~1964 年

主震規模 $M \geq 5.75$ 的地震資料發現 D_1 與 M 具有正相關的結果一致。

因此透過此模型可以推知當希臘地區一個規模 $M \geq 5.0$ 的主震發生

時，較大的 M 值預期將會有較大的 D_1 值。

(二) D_1 與 h :

$$D_1 = (0.8258 \pm 0.12) + (0.0009 \pm 0.01) h, (p\text{-value} = 0.87)$$

此配適結果相當不顯著而且 D_1 與 h 的相關係數 $r = -0.03$ 也很弱。同

時其 Fisher Z 檢定統計量為 $0.18 < Z_{0.025} = 1.96$ ，因此沒有足夠的證據

顯示 D_1 與 h 的理論相關係數 $r \neq 0$ ，所以對於希臘地區的資料來說，

D_1 與 h 沒有顯著的統計關係。

(三) D_1 之機率模型：

針對主震規模 $M \geq 5.0$ 的資料配適 $P(D_1) = c - kD_1$ 的結果如下：

$$P(D_1) = (1.0509 \pm 0.02) - (0.6317 \pm 0.02)D_1 (p\text{-value} = 0.0001)$$

其中 $P(d_1) = D_1 \geq d_1$ 之機率。(附圖三十五) 且 $P(D_1)$ 和 D_1 的相關係數為-

0.99，因此可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之

D_1 值，再透過機率模式估計發生最大餘震規模超過 $M_1 (= M_0 - D_1)$ 的

機率。

(四) Logistic 迴歸模式：

以 Logistic 迴歸模式配適主震規模 $M \geq 5.0$ 的資料結果如下：

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = (3.1214 \pm 0.09) - (3.5878 \pm 0.09)D_1 \quad (p\text{-value} < 0.0001)$$

且 D_1 與 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 的相關係數 $r = -0.99$ (附圖三十六)。因此可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之 D_1 值, 記作 d_1 , 再透過 Logistic 迴歸模式即可估計出 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 或 $\frac{p}{1-p}$ 的值。所以此模式可以預測當希臘地區一個規模 $M = m^*$ 的主震發生時, 發生最大餘震與其主震規模差在 D_1 以上相對於 D_1 以下的機率。

3.7 整理

綜合上述六個地區的分析可以歸納出下列五點結論：

(一) D_1 與 M ：

1. 當 $M < 5.0$ 時, D_1 與 M 均為正相關。
2. 當 $M > 6.0$ 時, 只有日本及紐西蘭的資料為負相關, 其餘仍是正相關。

(二) D_1 與 b 值：

D_1 與 b 值在這六個地區全為正相關, 此結果顯示若一個地區具有較大的 b 值, 則當一個主震發生時預期應會有較大的 D_1 值, 即發生較大餘震的風險應會較低。

(三) D_1 與 h ：

D_1 與 h 的關係在這六個地區均不顯著，其相關性也相當弱，同時利用 Fisher Z 檢定仍沒有足夠的證據顯示 D_1 與 h 的理論相關係數 $r \neq 0$ 。因此對於這六個地區的資料來說， D_1 與 h 均沒有顯著的統計關係。

(四) D_1 之機率模型：

這六個地區的 $P(D_1)$ 和 D_1 均呈現高度負相關，且個別的機率模型均是顯著的。因此可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之 D_1 值，再透過機率模式估計發生最大餘震規模超過 $M_1 (= M_0 - D_1)$ 的機率。

(五) Logistic 迴歸模式：

在這六個地區 D_1 或 $\ln(D_1)$ 與 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 均呈現高度的負相關，且個別的 Logistic 迴歸模式均是顯著的。因此可以透過 M 與 D_1 的關係式求得當主震規模 $M = m^*$ 時之 D_1 值，記作 d_1 ，再透過 Logistic 迴歸模式即可估計出 $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ 或 $\frac{p}{1-p}$ 的值。所以此模式可以預測一個規模 $M = m^*$ 的主震發生時，發生最大餘震與其主震規模差在 D_1 以上相對於 D_1 以下的機率。

將各地區分析的結果整理成表格如下：

	D_1 與 M		D_1 與 b		D_1 與 h		D_1 機率模型		logistic 模型	
	$M \geq 5$	$M \geq 6$	$M \geq 5$	$M \geq 6$	$M \geq 5$	$M \geq 6$	$M \geq 5$	$M \geq 6$	$M \geq 5$	$M \geq 6$
日本	+	-	+ *	+ *	+	+	- *	- *	- *	- *
紐西蘭	+	- *	+ *		+		- *		- *	
台灣	+	+	+		+		- *		- *	
南加州	+	+	+ *				- *		- *	
環太平洋 $M \geq 7.0$										
$D_1 \leq 1.4$	-				-		- *		- *	
$D_1 > 1.4$	+ *				-		- *		- *	
希臘	+ *	+			+		- *		- *	

表 3：“+”表示正相關，“-”表示負相關，“*”表示模型配適在 $\alpha = 0.1$ 時顯著。

第四章 結論

本文針對 D_1 的空間分佈及其與各變數之間的統計關係進行迴歸分析，藉以了解主震發生後最大餘震規模的特性。

目前世界各地受到地震災害威脅的地區損失都很嚴重，科學家致力於地震的研究也越來越多，首先希望能夠發展做到精確的地震預報，正如現在的天氣預報一樣。因此在未來的研究中可以將主震發生的時間、空間以及各地區地質結構等相關因素一起考慮並納入模型中，以做更準確預測。

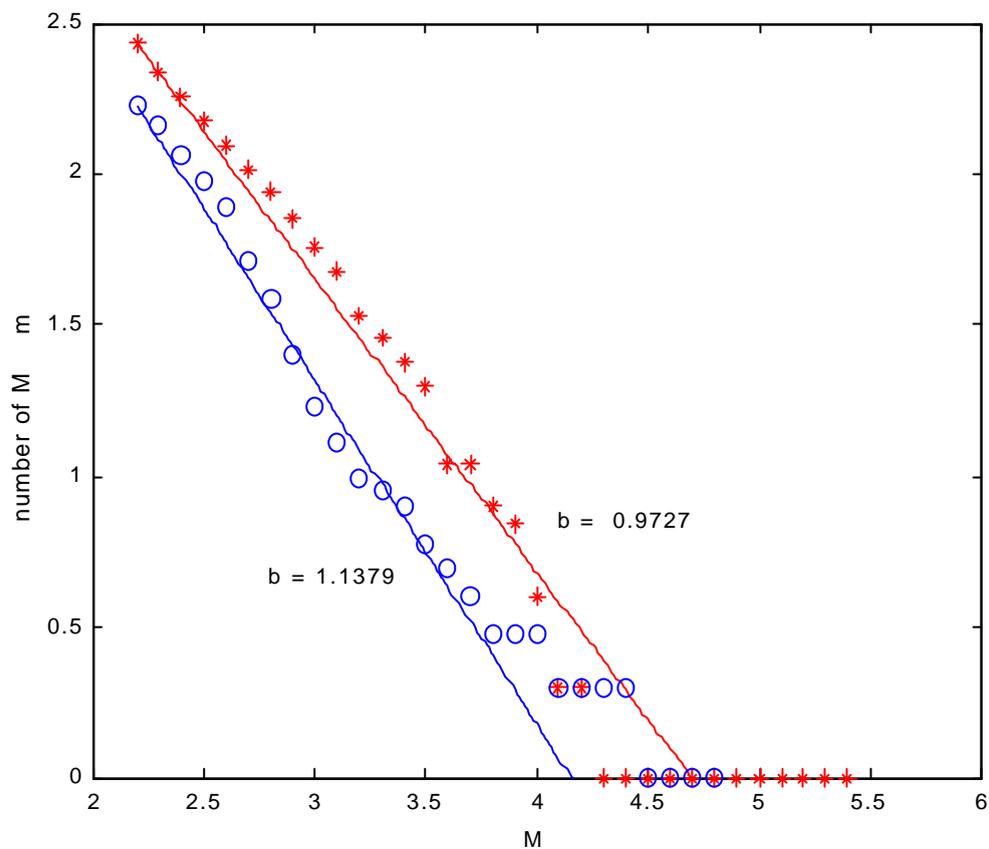
參 考 文 獻

1. Keiiti Aki, Maximum Likelihood Estimate of b in the Formula $\log N = a - bM$ and its Confidence Limits. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, Vol.43 (1965), 237-239.
2. Carl Kisslinger, and Lucile M. Jones, Properties of Aftershock Sequences in Southern California. *Journal of Geophysical Research*, Vol.96, No. B7 (1991), 11947-11958.
3. Zhenqi Guo, and Yosihiko Ogata, Statistical Relations Between the Parameters of Aftershocks in Time, Space, and Magnitude. *Journal of Geophysical Research*, Vol.102, No. B2 (1997), 2857-2873.
4. Theodoros M. Tsapanos, Spatial Distribution of Difference Between the Magnitudes of Main Shock and The Largest Aftershock in the Circum-Pacific Belt. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.80, No. 5 (1990), 1180-1189.
5. George Drakatos, Relative Seismic Quiescence Before Large Aftershocks. *Pure and Applied Geophysics*. 157 (2000), 1407-1421.
6. Jim Mori, and Rechel E. Abercrombie, Depth Dependence of Earthquake Frequency-Magnitude Distributions in California: Implications for Rupture Initiation. *Journal of Geophysical Research*, Vol.102, No. B7 (1997), 15081-15090.
7. G. Drakatos, and J. Latoussakis, Some Features of Aftershock Patterns in Greece. *Geophys. J. Int.* 126 (1996), 123-134.
8. Tokuji. Utsu, *Journal of Faculty of Science, Hokkaido University, Japan, Ser. VII, Vol. III, No. 3* (1969).
9. Bath, M., Lateral Inhomogeneities in The Upper Mantle. *Tectonophysics*, 2 (1965), 483-514.
10. Solov'ev, S.L. and Solov'eva, O.N., Exponential Distribution of the Total Number of an Earthquake's Aftershocks and The Decrease of Their Mean Value With Increasing Depth. *Bull. Acad. Sci. USSR, Ser. Geophys.* (1962), 1053-1060.
11. Mogi, K., Some Discussions on Aftershocks, Foreshocks, and Earthquake Swarms – The Fracture of a Semi-infinite Body Caused by An Inner Stress Origin and its Relation to The Earthquake Phenomena. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 41 (1963), 615-658.
12. Donna Eberhart-Phillips, Aftershock Sequence Parameter in New Zealand. *Bulletin of the seismological society of America*, Vol.88, No.4 (1998), 1095-1097.
13. 地震相關知識網站：

<http://scman.cwb.gov.tw/EDUCATION/100/main.htm>

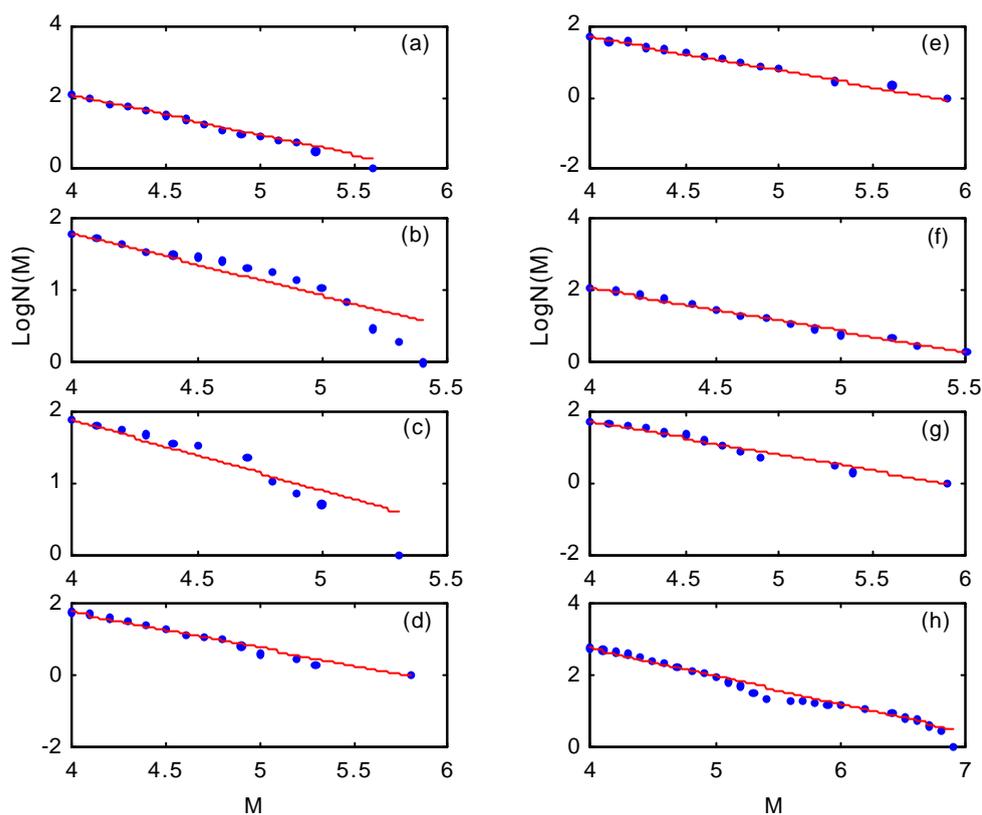
http://home.phy.ntnu.edu.tw/~bandy78/info_earth.htm

附錄一



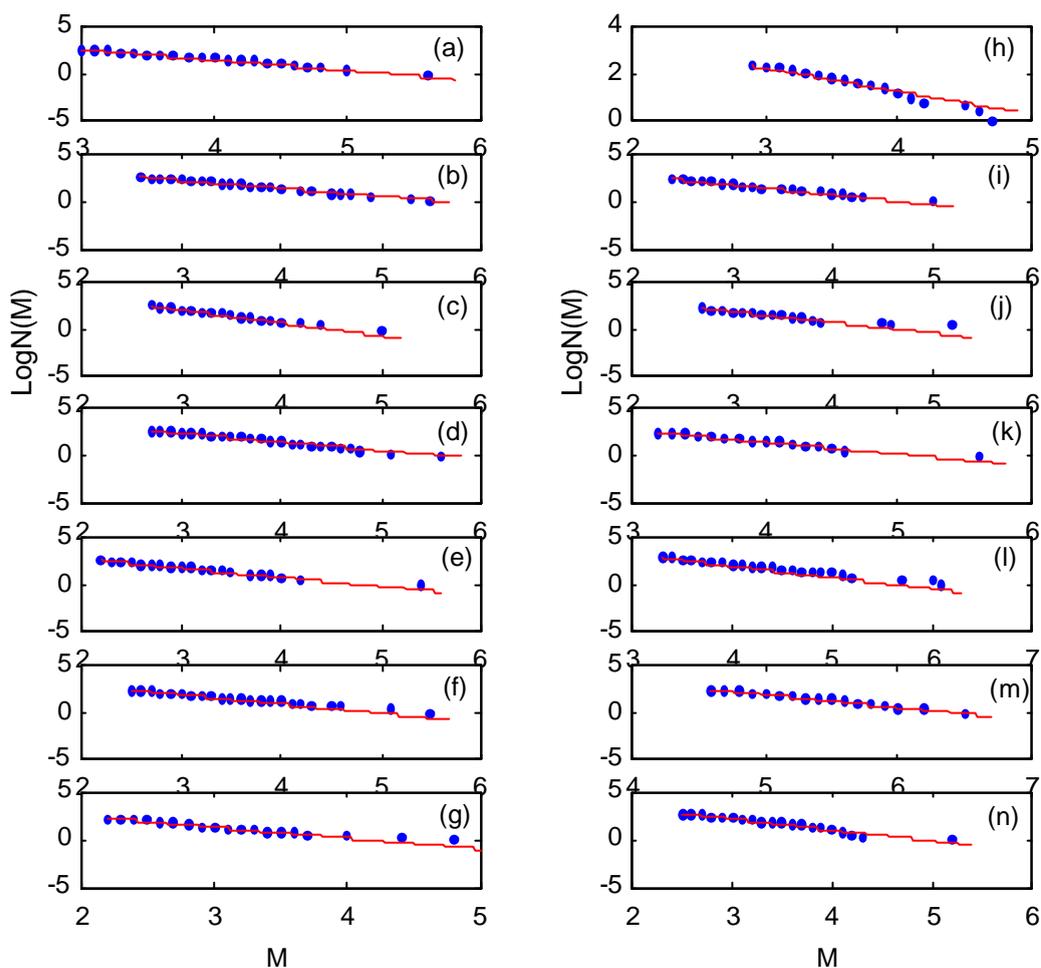
附圖一：(*) 紐西蘭西元 1990 年 10 月 4 日，東經 175.51° 南緯 41.68° ，主震規模 $M=5.5$ ，震源深度 $h=22\text{km}$ 的餘震序列配適 Gutenberg-Richter 模型。

(。) 紐西蘭西元 1992 年 3 月 2 日，東經 176.6° 南緯 40.43° ，主震規模 $M=5.5$ ，震源深度 $h=37\text{km}$ 的餘震序列配適 Gutenberg-Richter 模型。



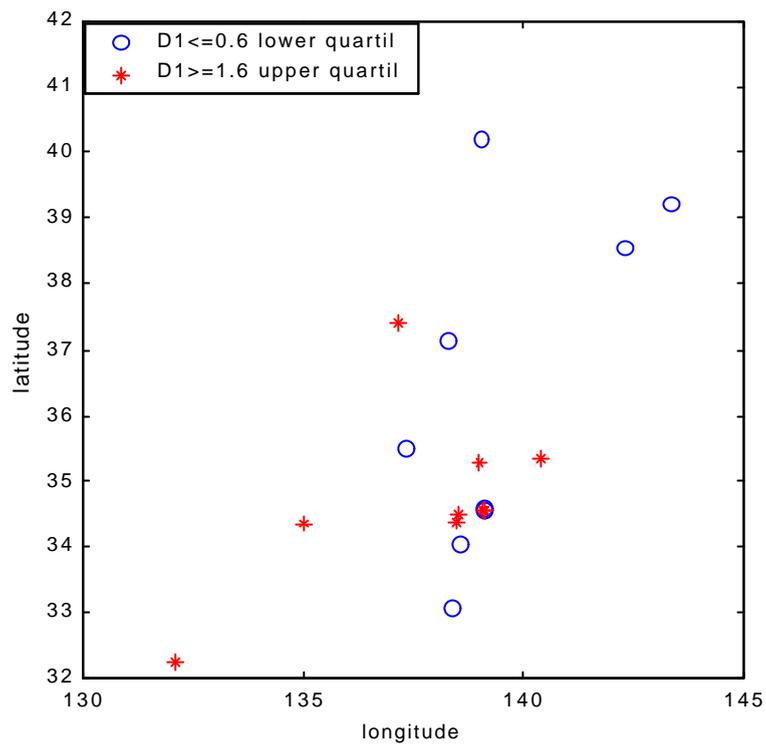
附圖二：台灣八個餘震序列分別配適 Gutenberg-Richter 模型。

- (a)：西元 1991 年 3 月 12 日，主震規模 $M=5.67$ ， b 值=1.215，餘震個數 $n=118$
 (b)：西元 1991 年 9 月 30 日，主震規模 $M=5.89$ ， b 值=0.872，餘震個數 $n=64$
 (c)：西元 1994 年 6 月 5 日，主震規模 $M=6.5$ ， b 值=0.982，餘震個數 $n=76$
 (d)：西元 1995 年 6 月 25 日，主震規模 $M=6.5$ ， b 值=0.997，餘震個數 $n=59$
 (e)：西元 1996 年 3 月 5 日，主震規模 $M=6.4$ ， b 值=0.934，餘震個數 $n=50$
 (f)：西元 1996 年 9 月 5 日，主震規模 $M=7.07$ ， b 值=1.193，餘震個數 $n=118$
 (g)：西元 1998 年 7 月 17 日，主震規模 $M=6.2$ ， b 值=0.904，餘震個數 $n=51$
 (h)：西元 1999 年 9 月 21 日，主震規模 $M=7.3$ ， b 值=0.779，餘震個數 $n=584$

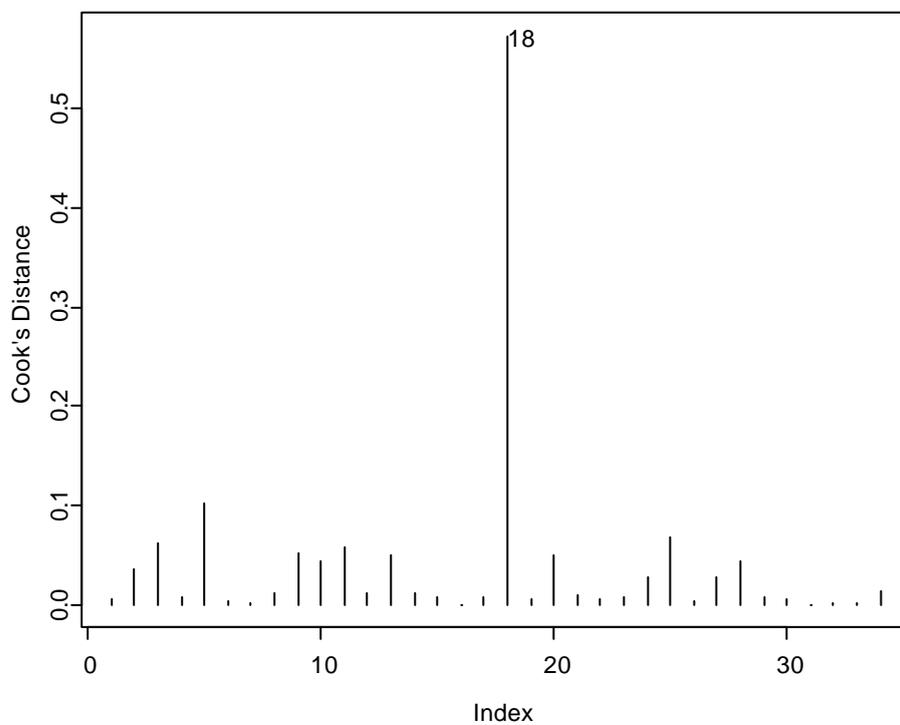


附圖三：紐西蘭十四個餘震序列分別配適 Gutenberg-Richter 模型。

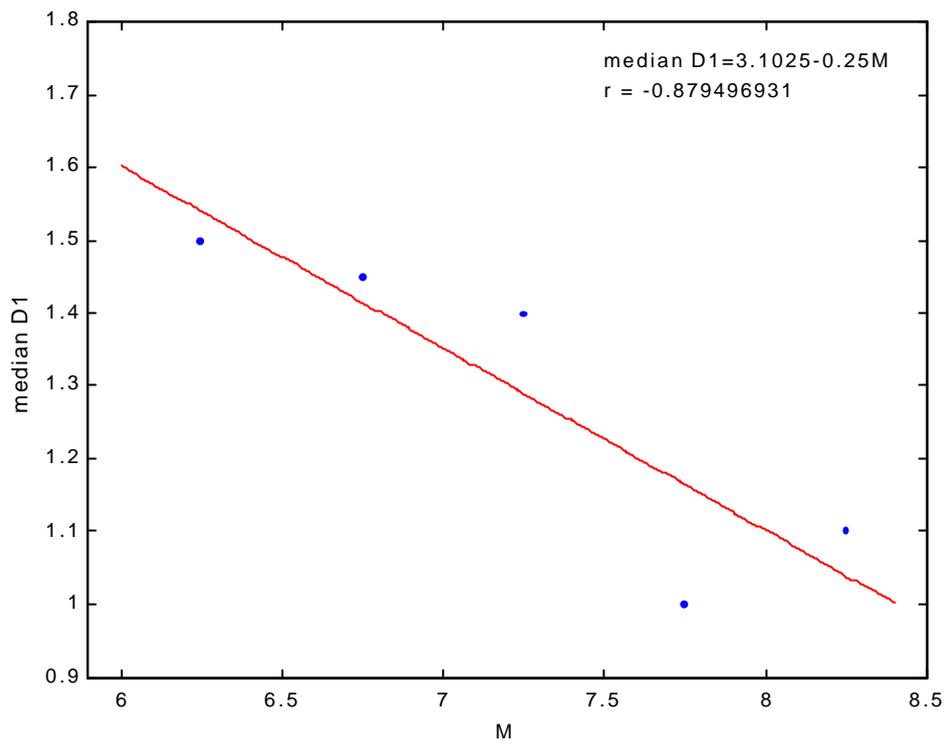
- (a)：西元 1987 年 3 月 2 日，主震規模 $M=6.6$ ， b 值=1.1349，餘震個數 $n=433$
 (b)：西元 1990 年 2 月 10 日，主震規模 $M=5.9$ ， b 值=0.8287，餘震個數 $n=353$
 (c)：西元 1990 年 2 月 19 日，主震規模 $M=6.3$ ， b 值=1.3963，餘震個數 $n=281$
 (d)：西元 1990 年 5 月 13 日，主震規模 $M=6.4$ ， b 值=0.8928，餘震個數 $n=464$
 (e)：西元 1990 年 10 月 4 日，主震規模 $M=5.5$ ， b 值=0.9727，餘震個數 $n=271$
 (f)：西元 1991 年 1 月 28 日，主震規模 $M=6.0$ ， b 值=0.978，餘震個數 $n=227$
 (g)：西元 1992 年 3 月 2 日，主震規模 $M=5.5$ ， b 值=1.1379，餘震個數 $n=169$
 (h)：西元 1992 年 3 月 25 日，主震規模 $M=5.5$ ， b 值=0.9831，餘震個數 $n=225$
 (i)：西元 1992 年 3 月 30 日，主震規模 $M=5.5$ ， b 值=1.0418，餘震個數 $n=231$
 (j)：西元 1992 年 5 月 16 日，主震規模 $M=5.7$ ， b 值=1.1515，餘震個數 $n=162$
 (k)：西元 1992 年 6 月 21 日，主震規模 $M=6.3$ ， b 值=1.2372，餘震個數 $n=288$
 (l)：西元 1994 年 6 月 18 日，主震規模 $M=6.7$ ， b 值=1.2093，餘震個數 $n=680$
 (m)：西元 1995 年 2 月 5 日，主震規模 $M=7.0$ ， b 值=1.3408，餘震個數 $n=251$
 (n)：西元 1995 年 11 月 24 日，主震規模 $M=6.2$ ， b 值=1.1225，餘震個數 $n=535$



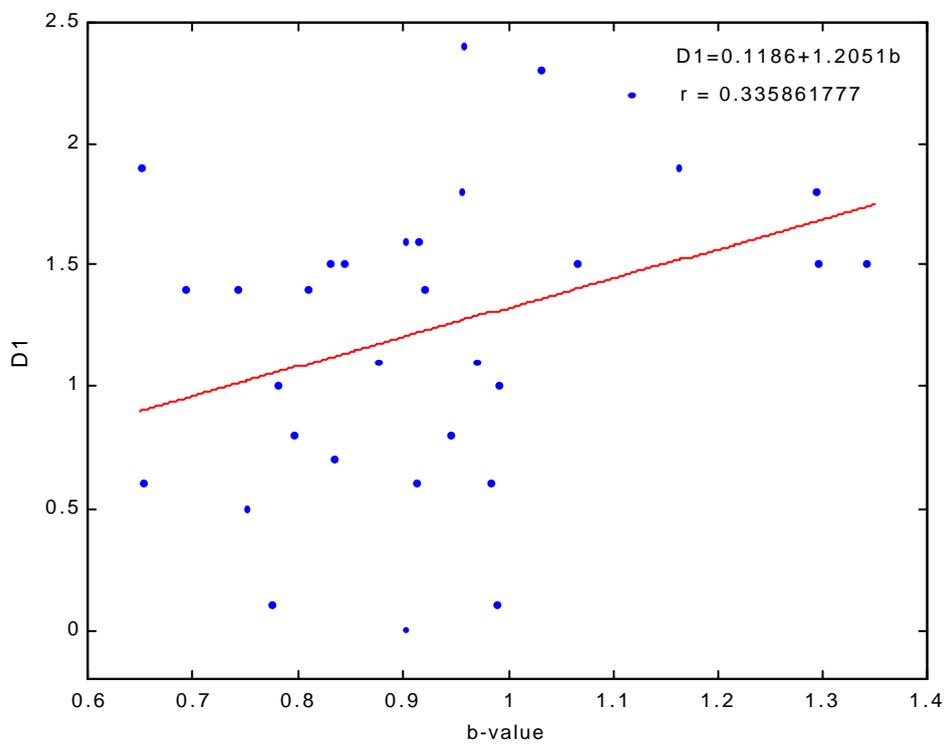
附圖四：日本主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈圖。



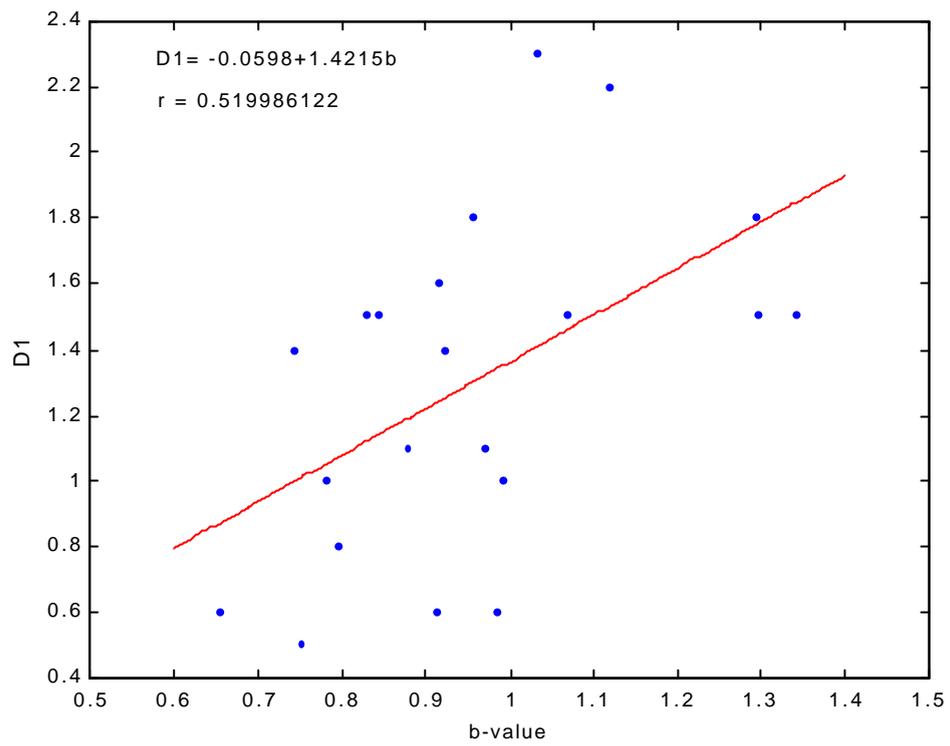
圖五：日本 34 筆資料 D_1 配適 b 值的 Cook's Distance。



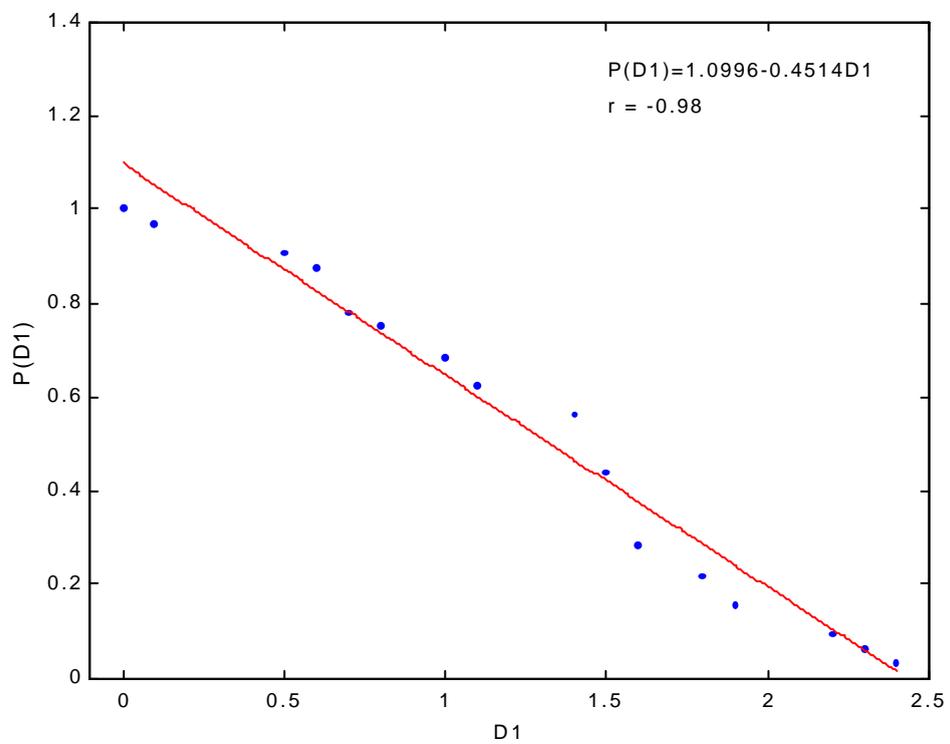
附圖六：日本主震規模 M 以 0.5 個規模單位分群之 D_1 與 M 的散佈圖及線性模式。



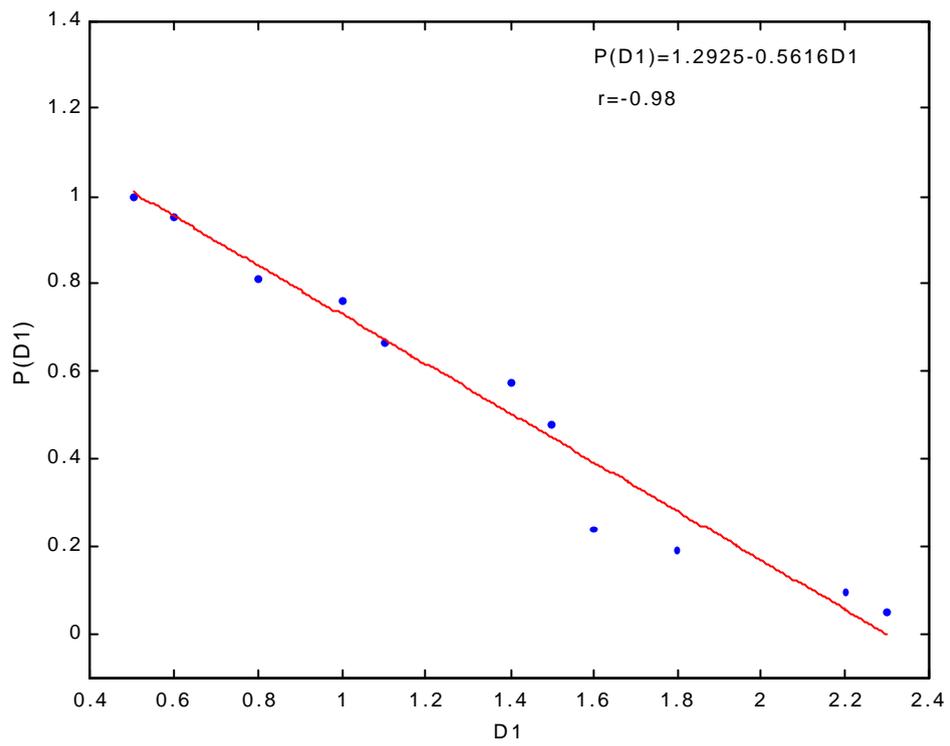
附圖七：日本 M 5.0 主震之 D_1 與 b 值的散佈圖及線性模式。



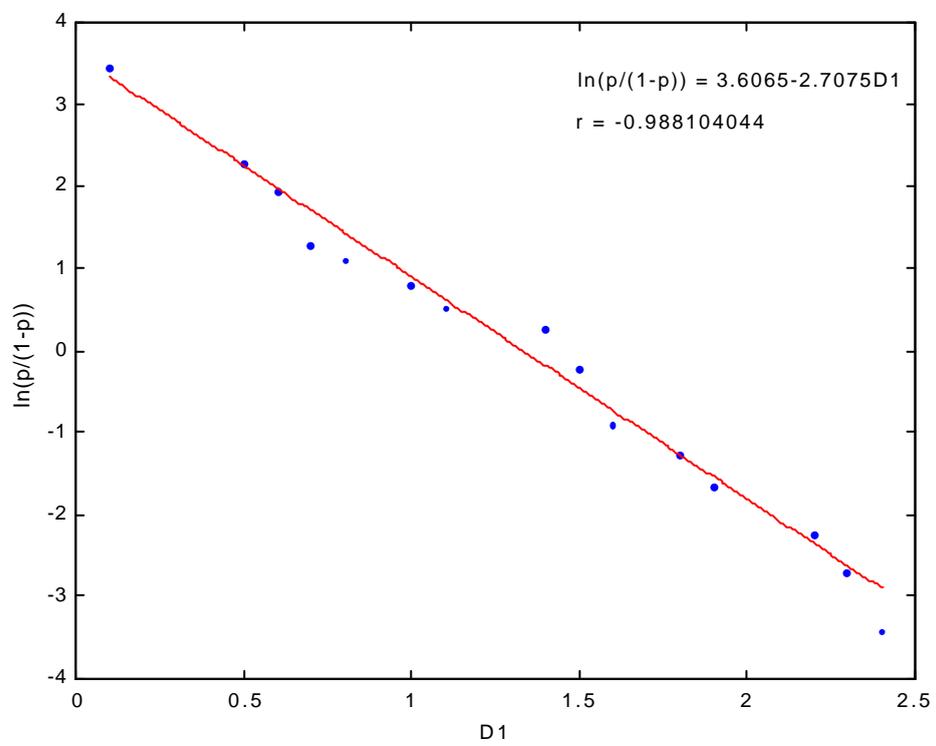
附圖八：日本 M 6.0 主震之 D_1 與 b 值的散佈圖及線性模式。



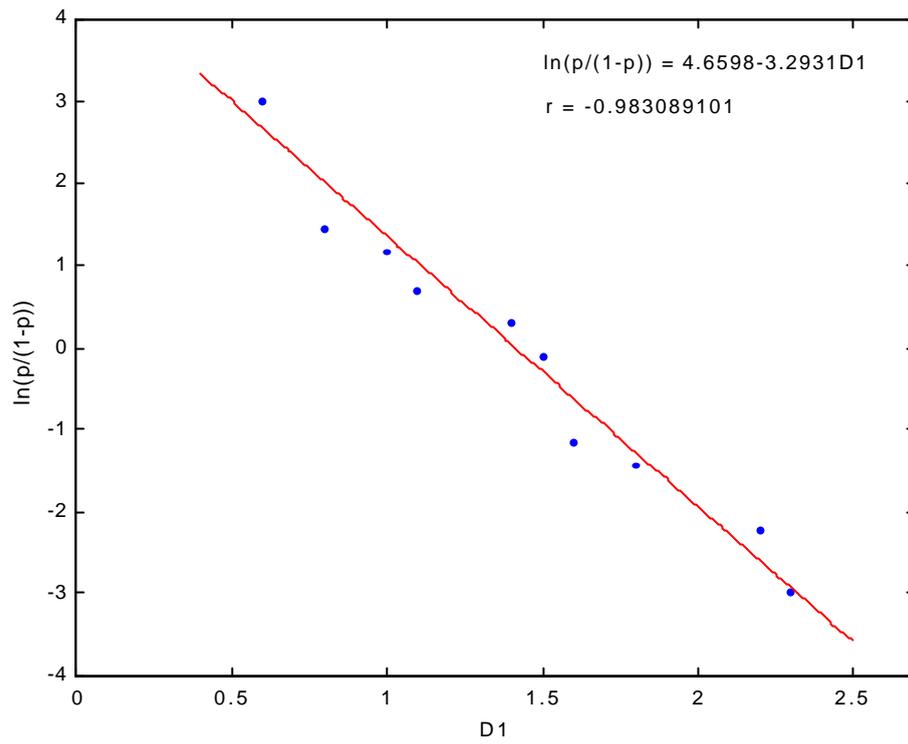
附圖九：日本 M 5.0 主震之 D_1 的機率模型。



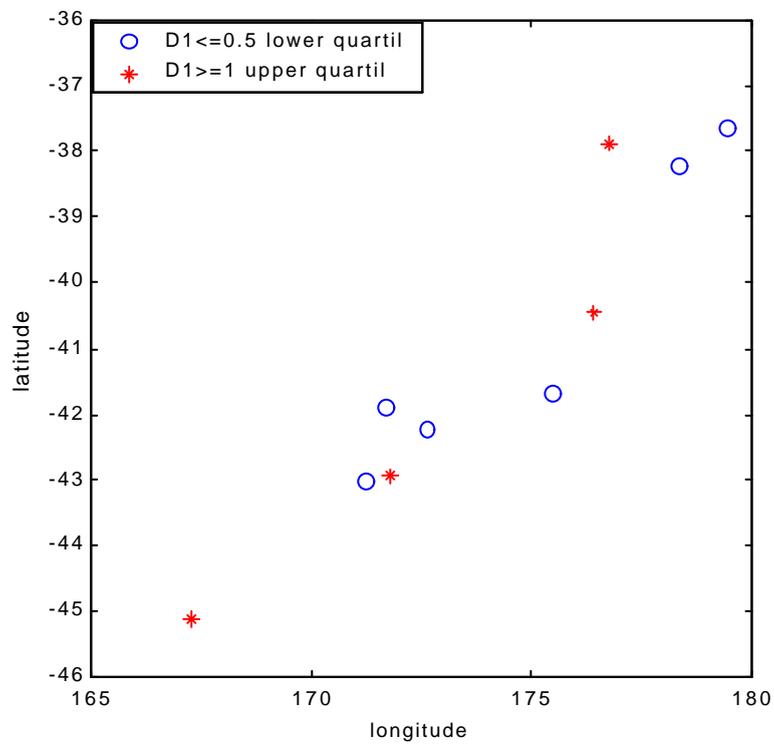
附圖十：日本 M 6.0 主震之 D_1 的機率模型。



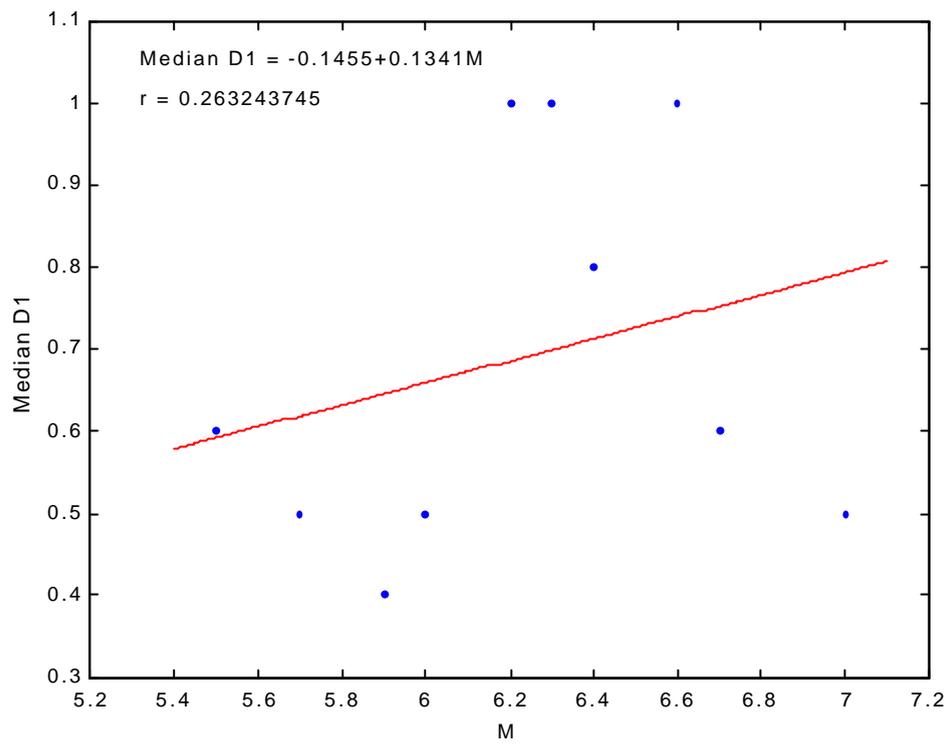
附圖十一：日本 M 5.0 主震之 D_1 與其對數勝算。



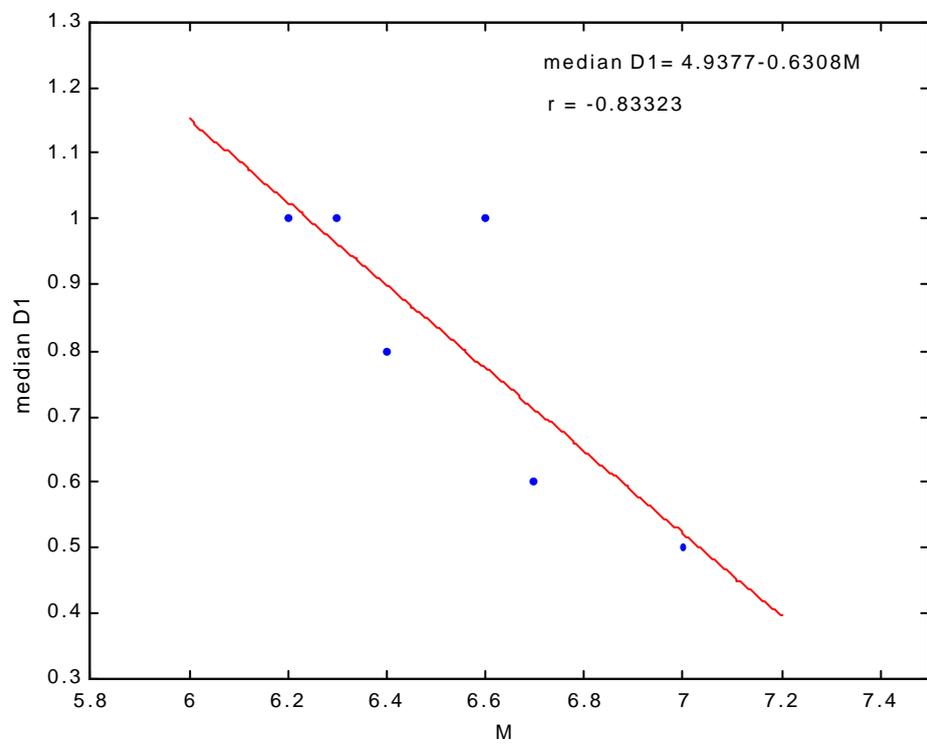
附圖十二：日本 M 6.0 主震之 D_1 與其對數勝算。



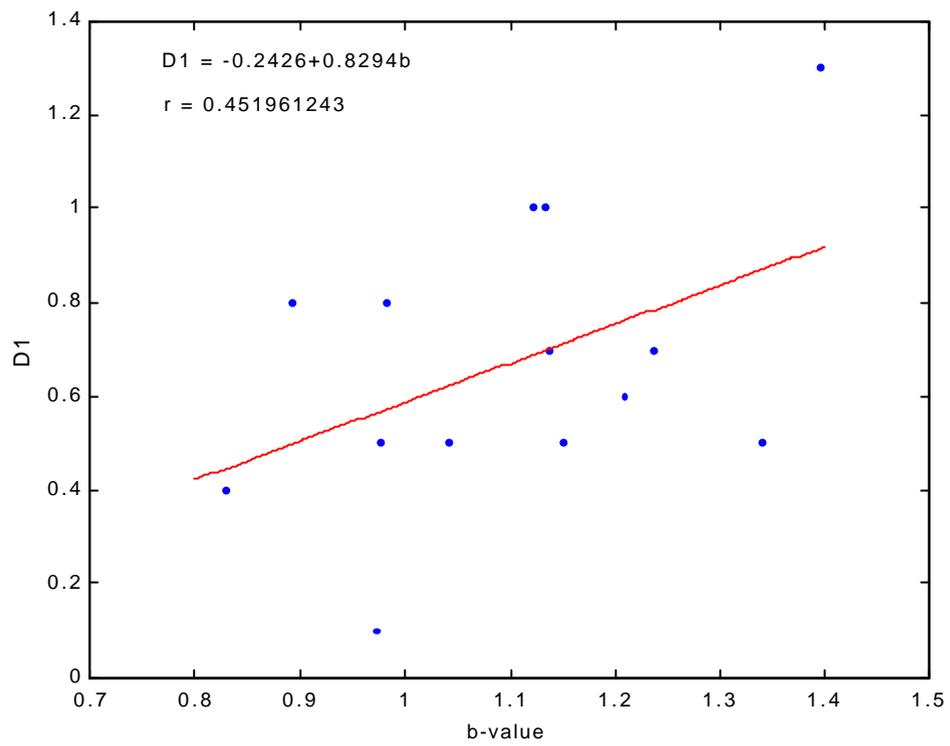
附圖十三：紐西蘭主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈圖。



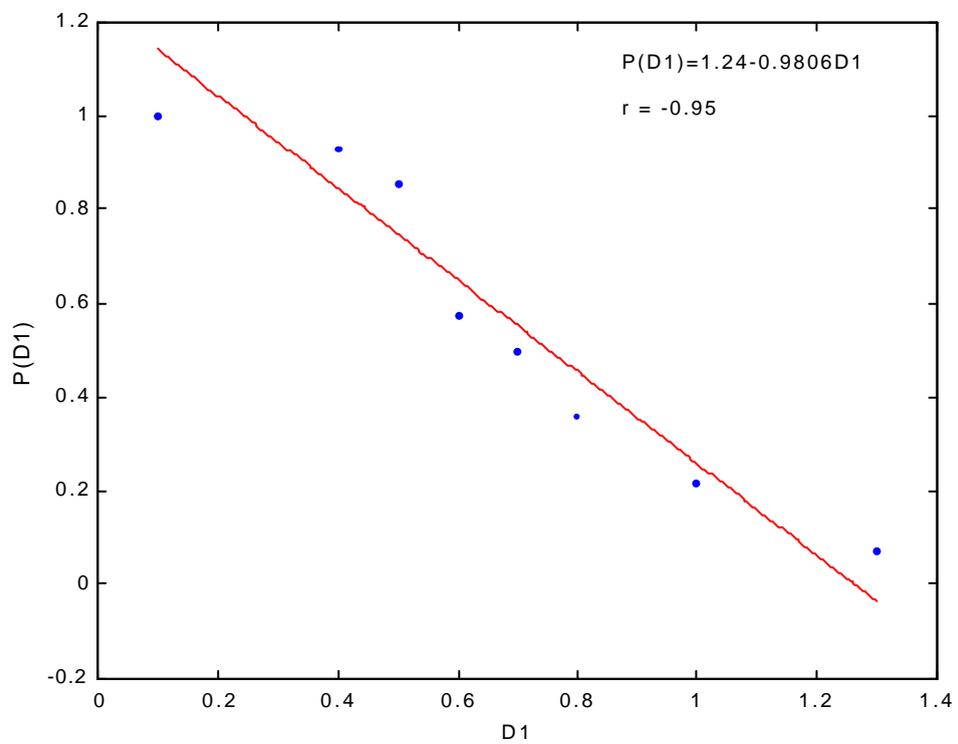
附圖十四：紐西蘭 M < 5.0 主震與 D₁ 的散佈圖及線性模式。



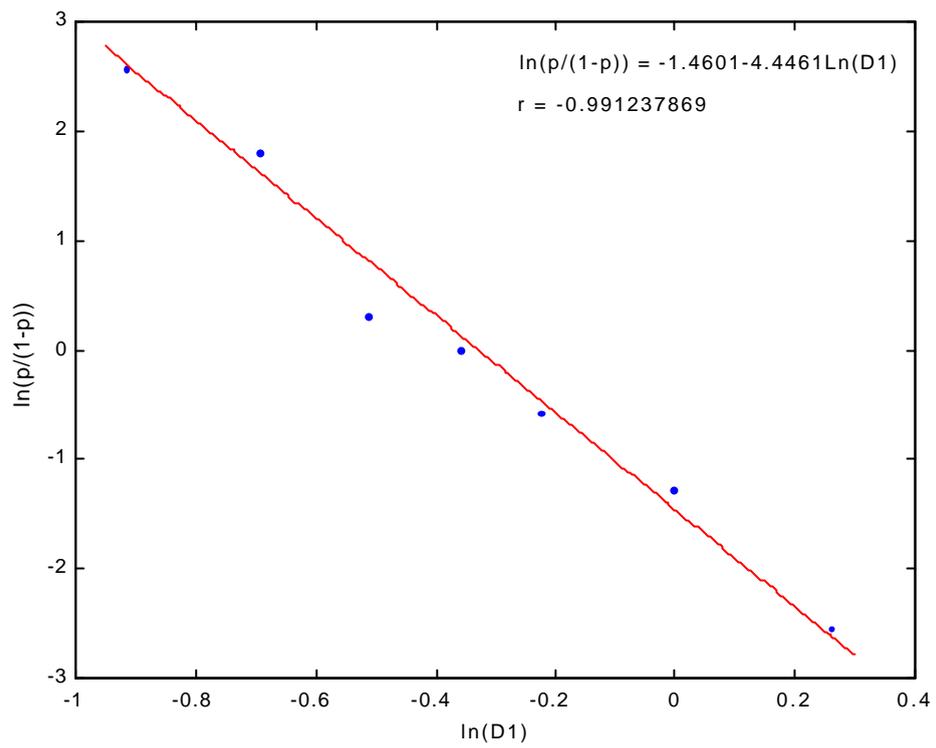
附圖十五：紐西蘭 M > 6.0 主震與 D₁ 的散佈圖及線性模式。



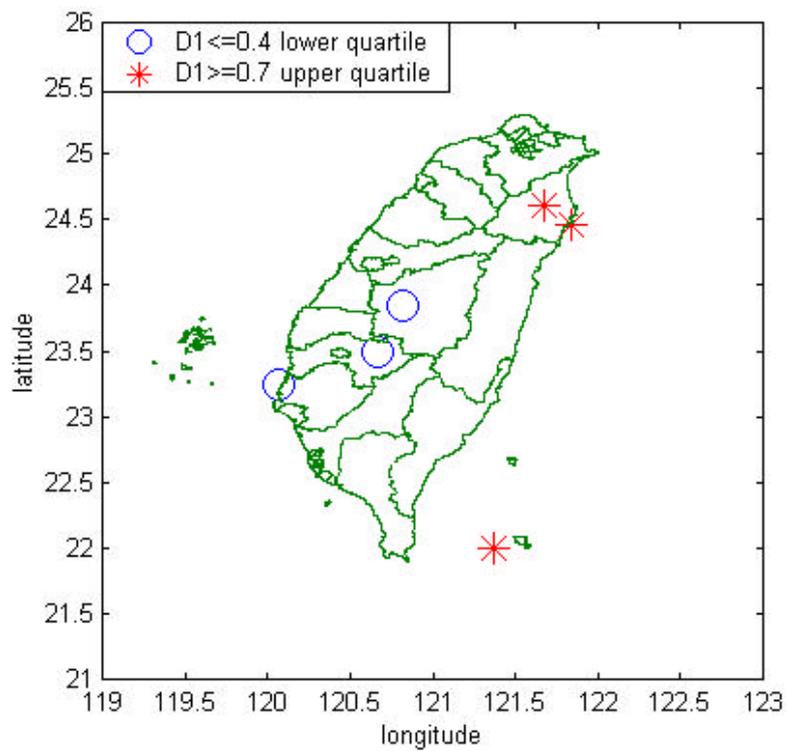
附圖十六：紐西蘭 M 5.0 主震之 D_1 與 b 值的散佈圖及線性模式。



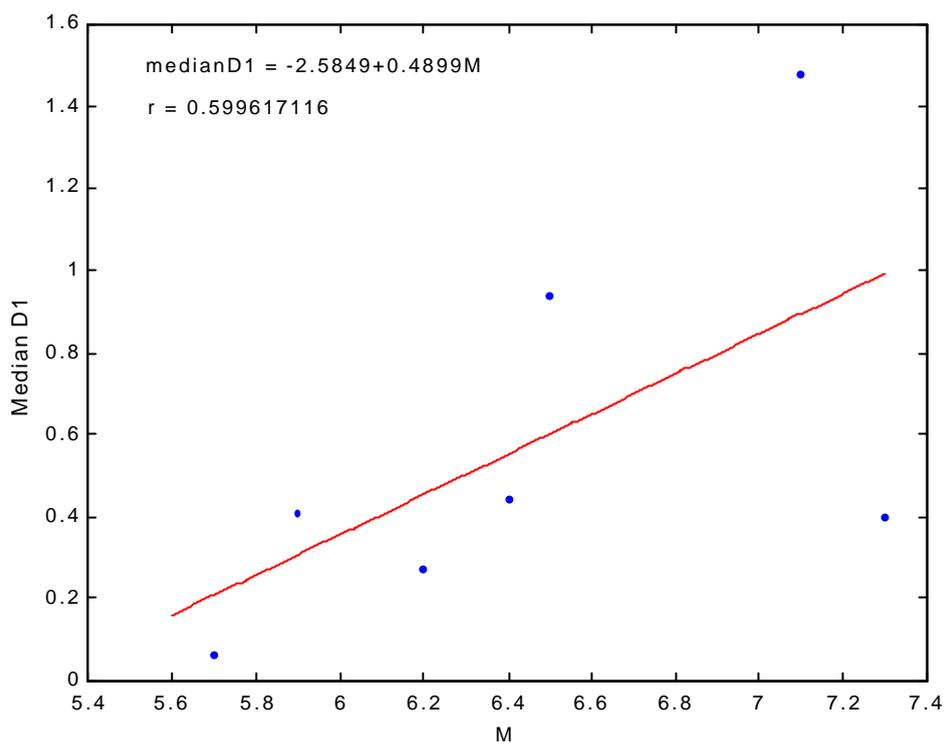
附圖十七：紐西蘭 M 5.0 主震之 D_1 的機率模型。



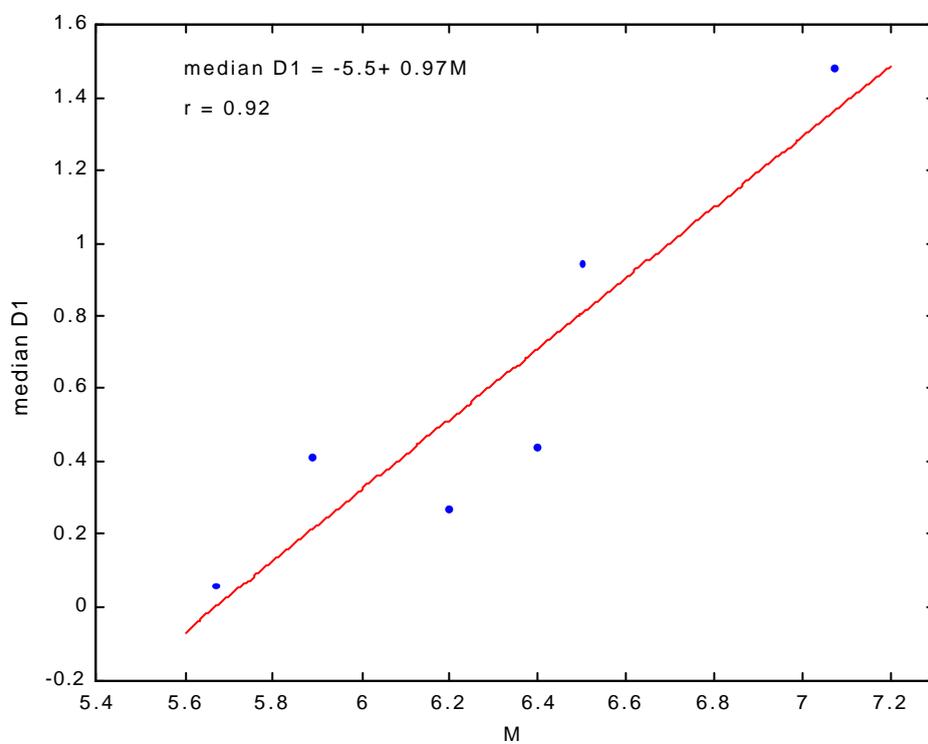
附圖十八：紐西蘭 M 5.0 主震之 $\ln(D_1)$ 與其對數勝算。



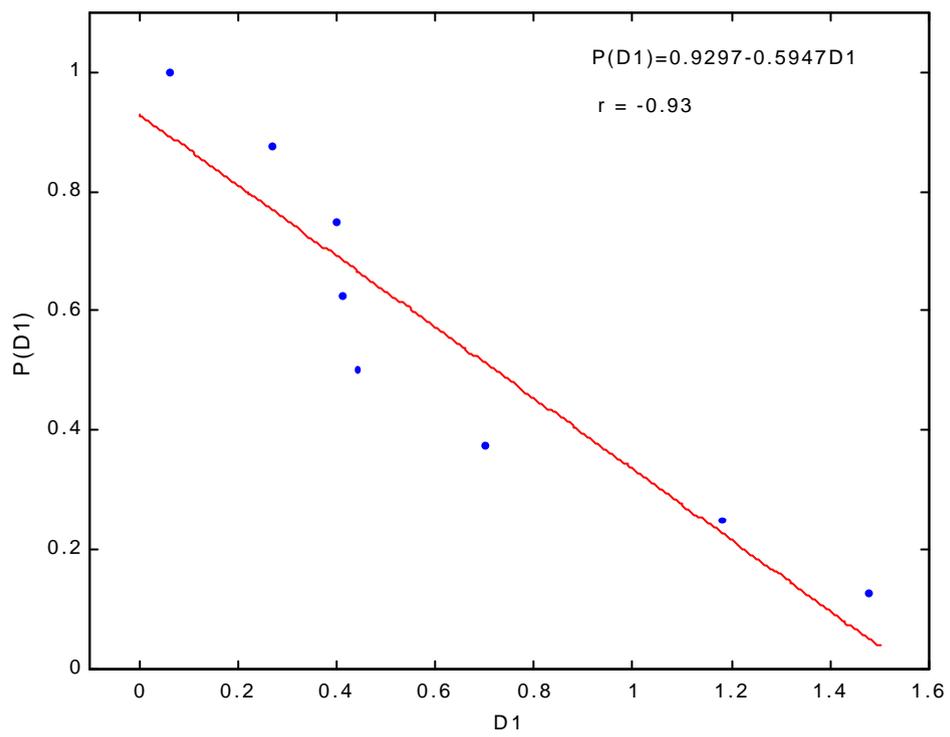
附圖十九：台灣主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈圖。



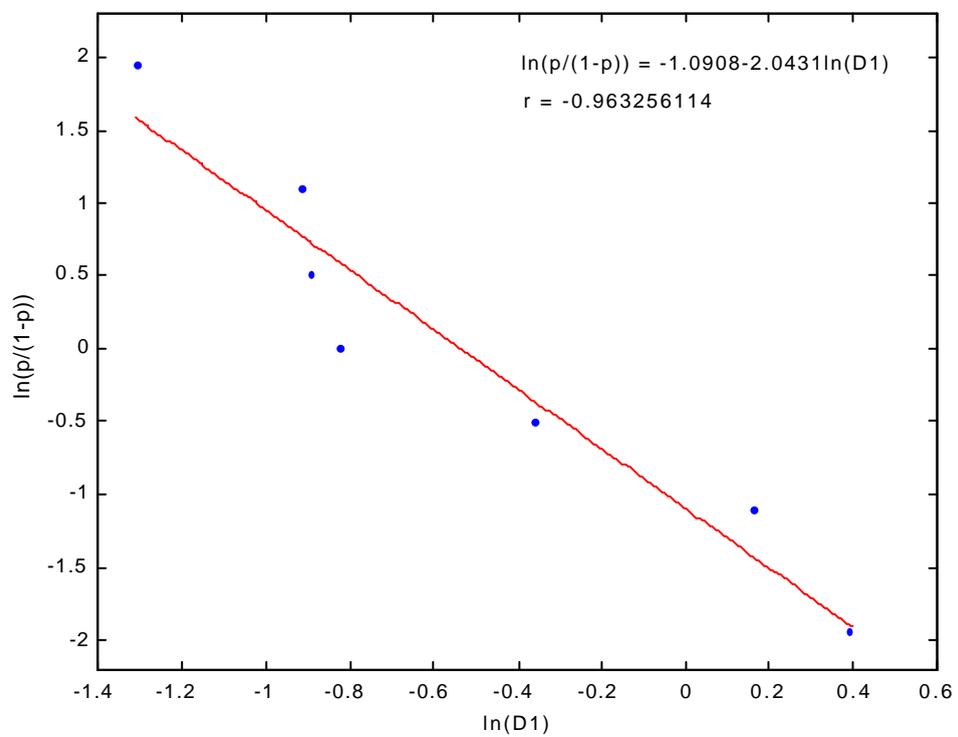
附圖二十(a)：台灣 M > 5.0 主震與 D₁ 的散佈圖及線性模式。



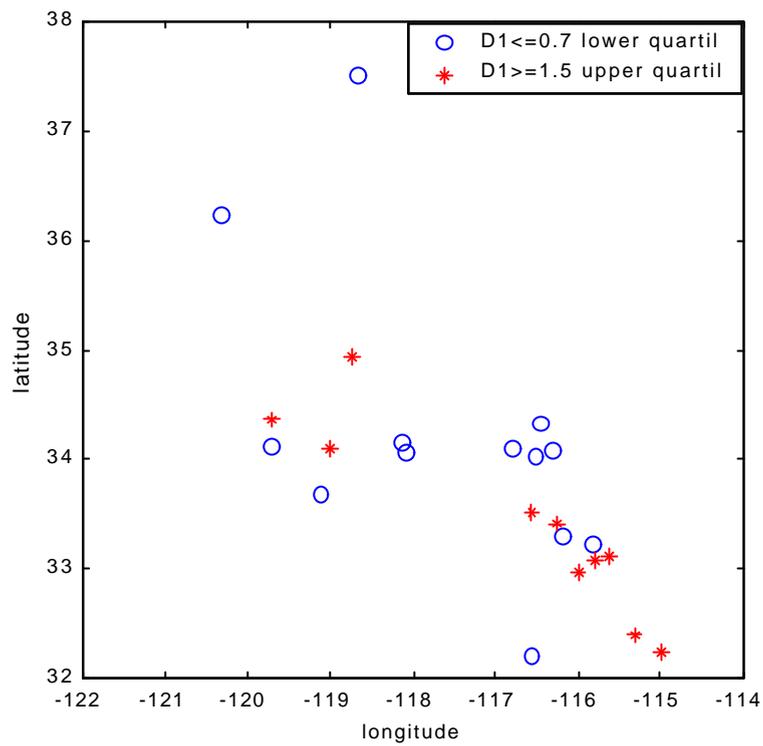
附圖二十(b)：移除 M=7.3 , D₁=0.4 的資料之後，台灣 M > 5.0 主震與 D₁ 的散佈圖及線性模式。



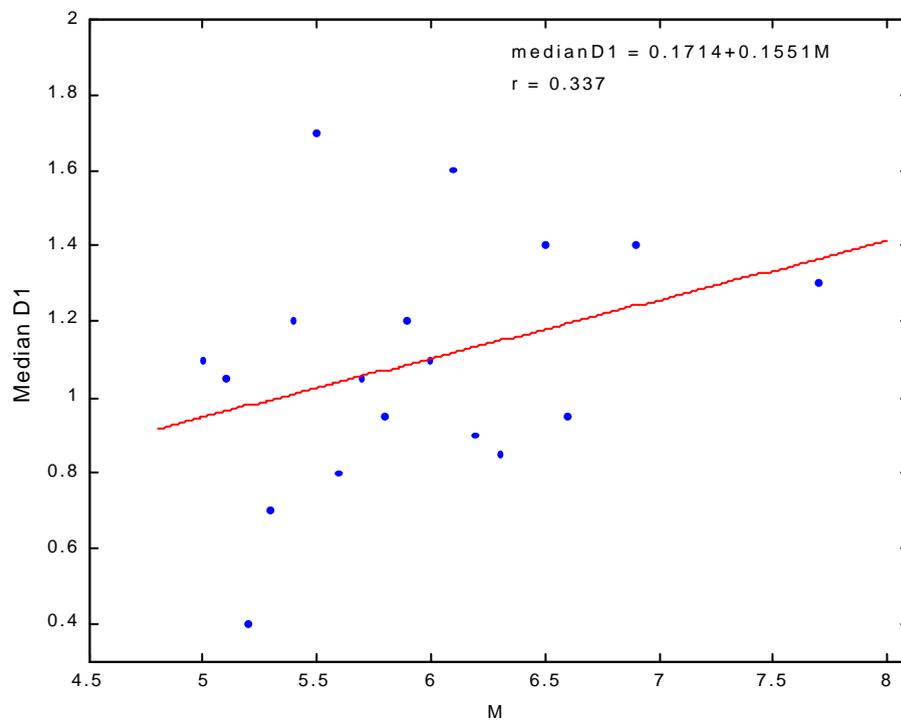
附圖二十一：台灣 M 5.0 主震之 D_1 的機率模型。



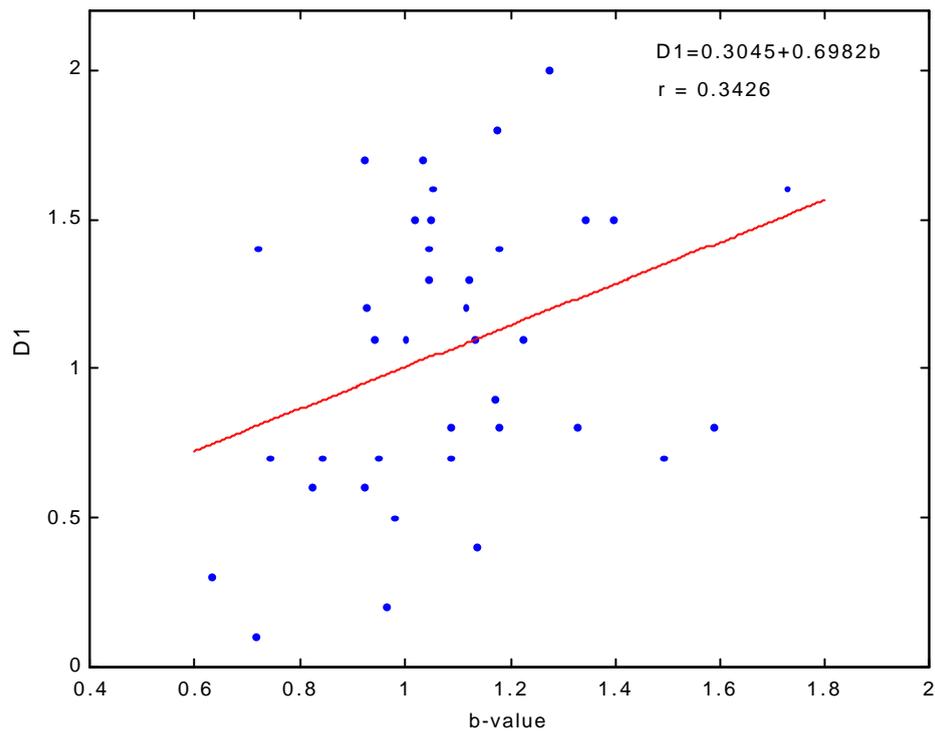
附圖二十二：台灣 M 5.0 主震之 $\ln(D_1)$ 與其對數勝算。



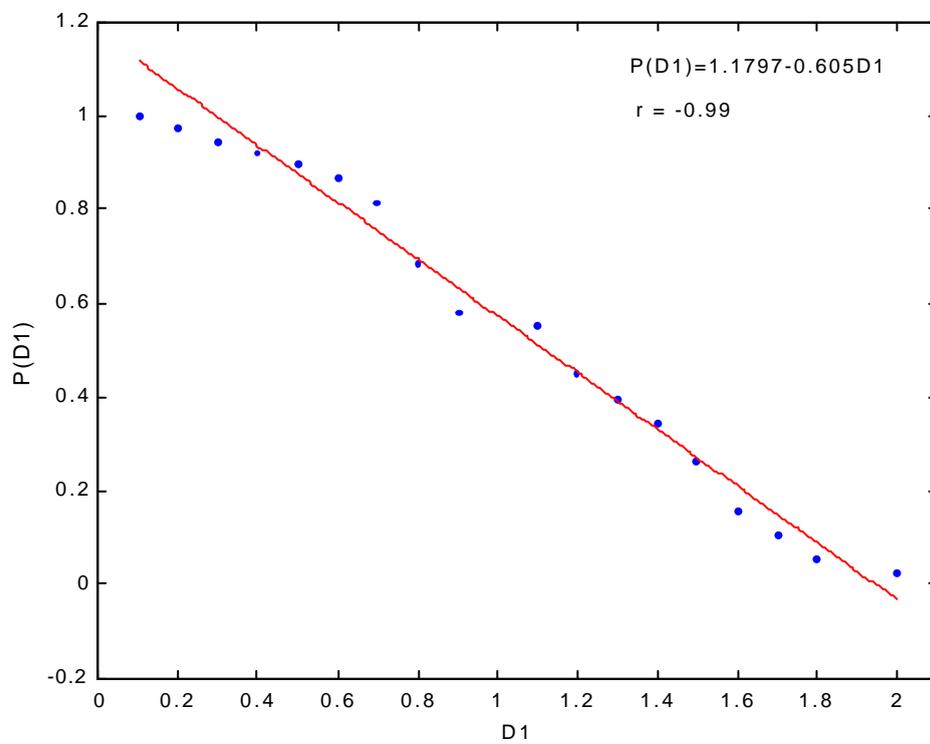
附圖二十三：南加州主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈圖。



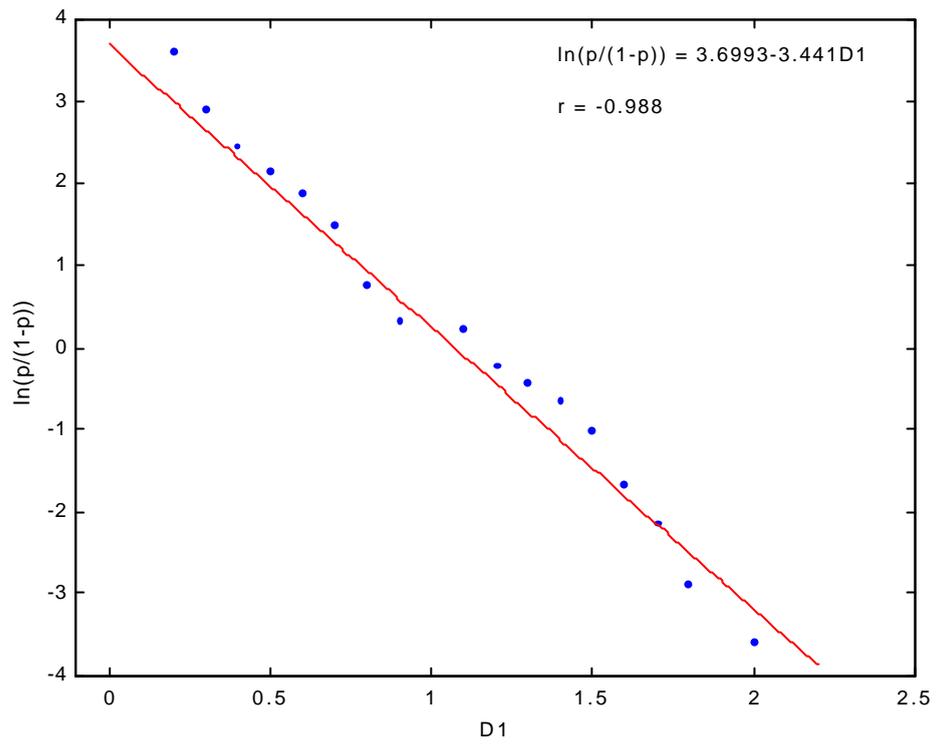
附圖二十四：南加州 $M \geq 5.0$ 主震與 D_1 的散佈圖及線性模式。



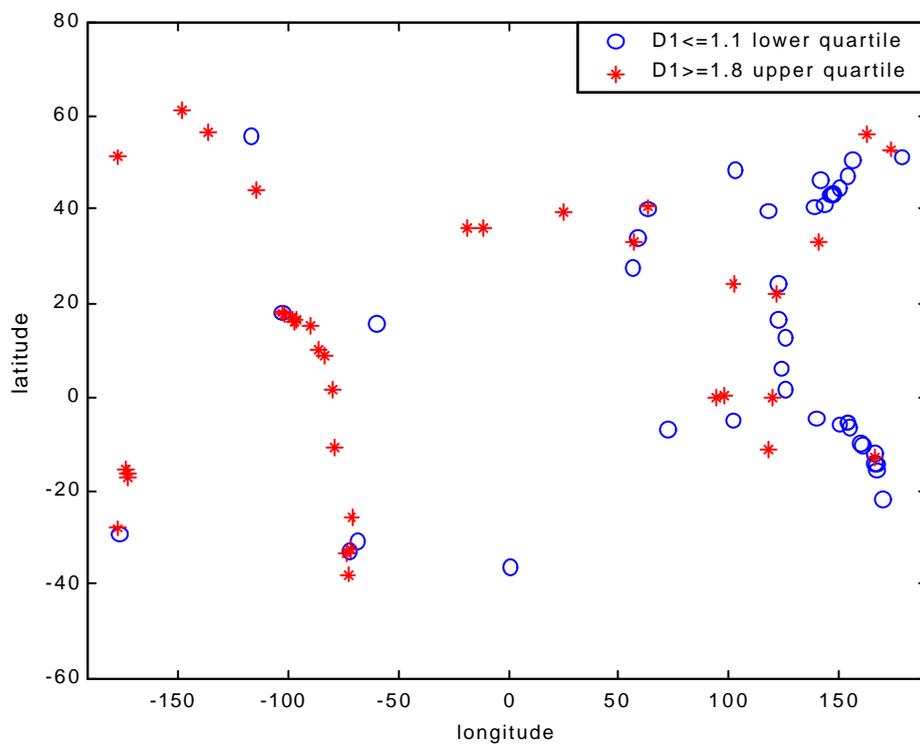
附圖二十五：南加州 M 5.0 主震之 D_1 與 b 值的散佈圖及線性模式。



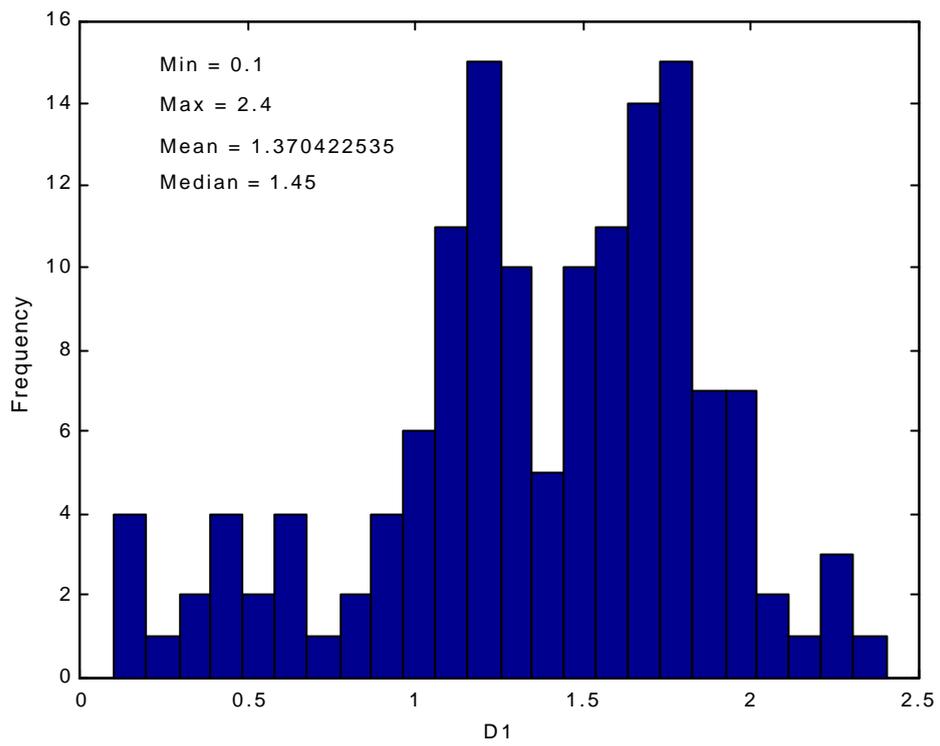
附圖二十六：南加州 M 5.0 主震之 D_1 的機率模型。



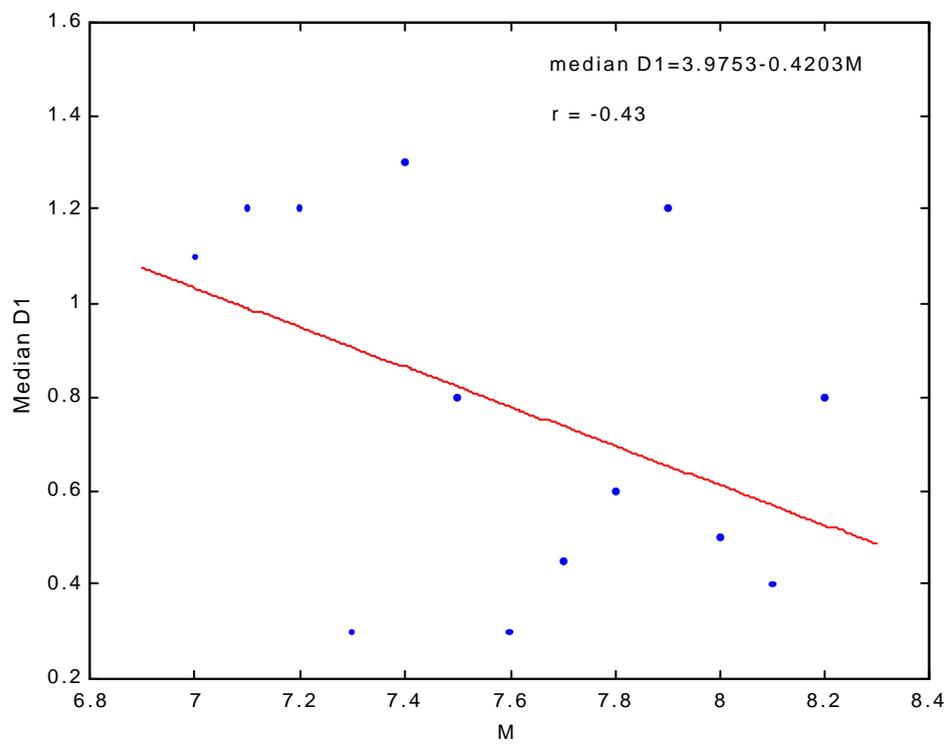
附圖二十七：南加州 M 5.0 主震之 D_1 與其對數勝算。



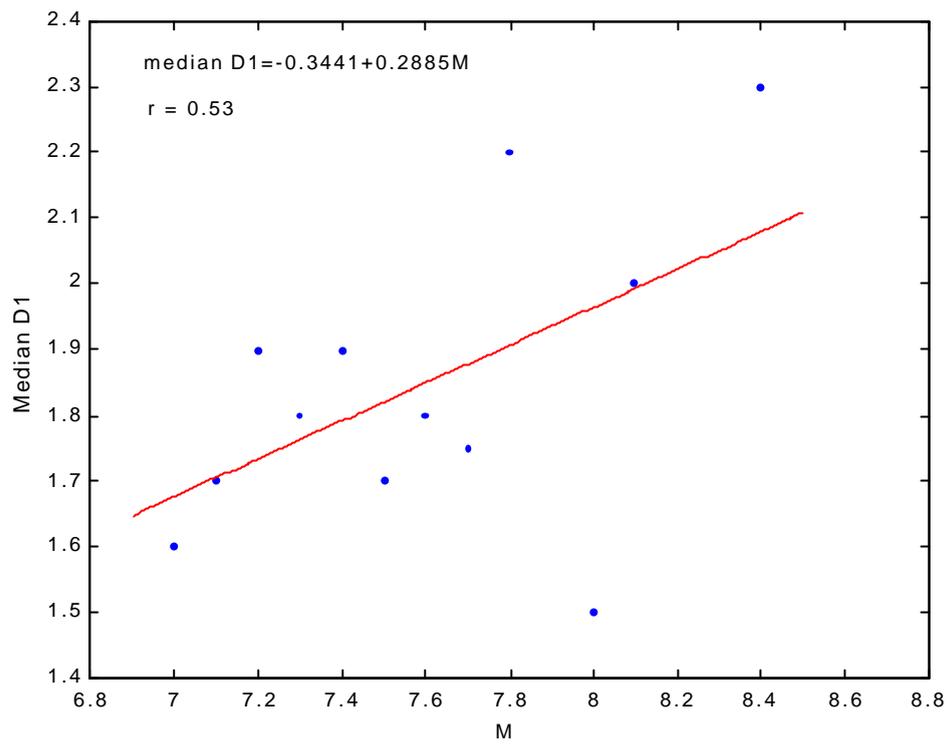
附圖二十八：環太平洋地帶主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈圖。



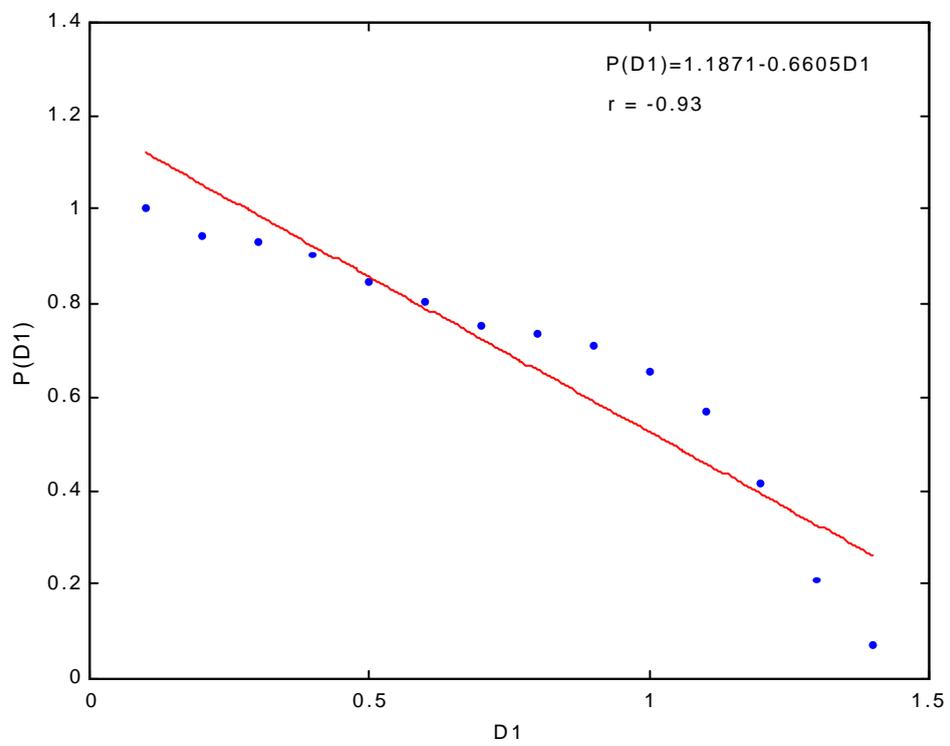
附圖二十九：環太平洋地帶主震規模與最大餘震規模差 D_1 之直方圖。



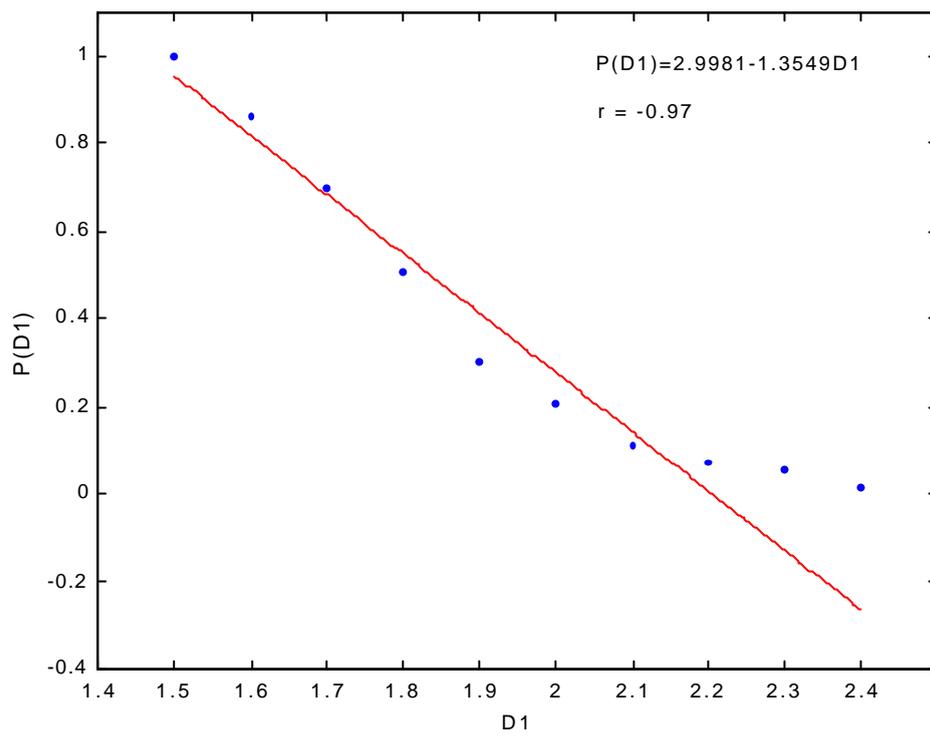
附圖三十(a)：環太平洋地帶 $M \geq 7.0$ 主震與 $D_1 \geq 1.4$ 的散佈圖及線性模式。



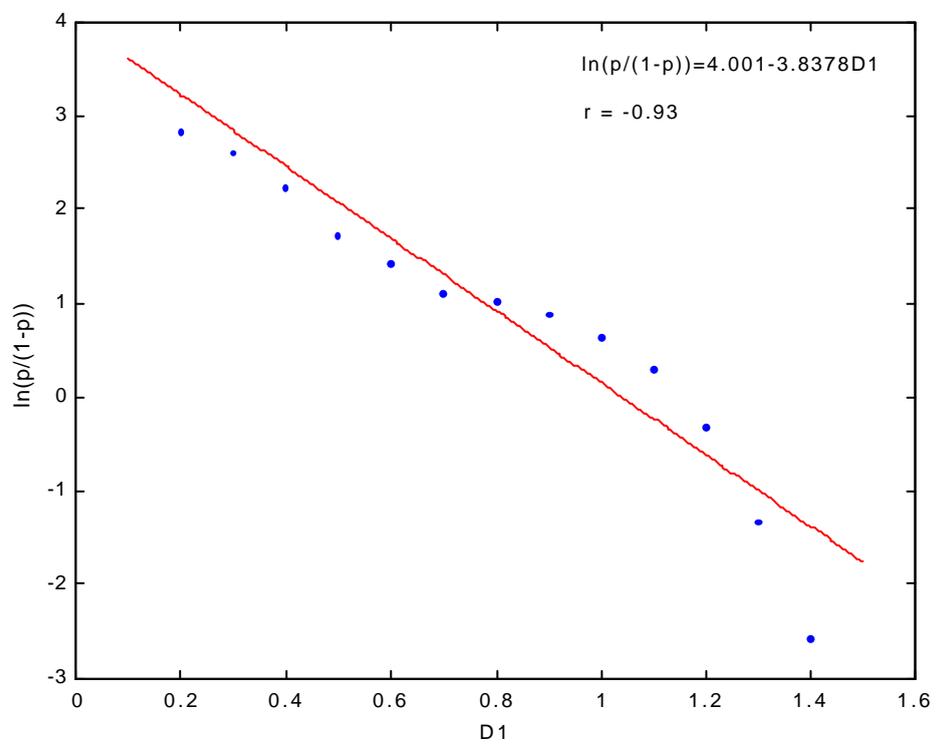
附圖三十(b)：環太平洋地帶 $M > 7.0$ 主震與 $D_1 > 1.4$ 的散佈圖及線性模式。



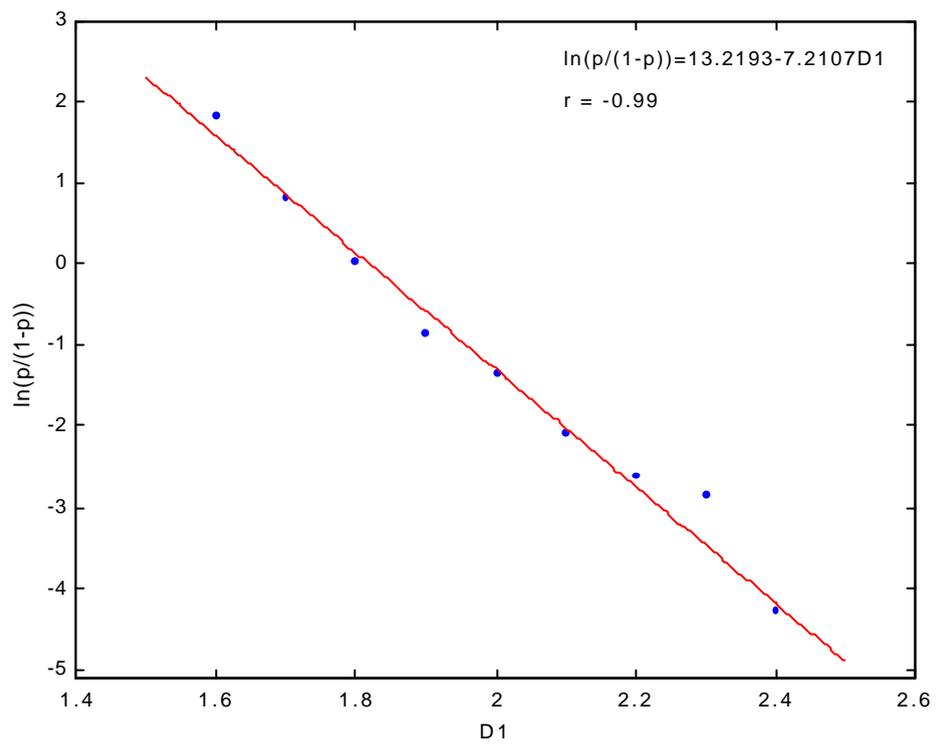
附圖三十一(a)：環太平洋地帶 $M > 7.0$ 主震之 $D_1 > 1.4$ 的機率模型。



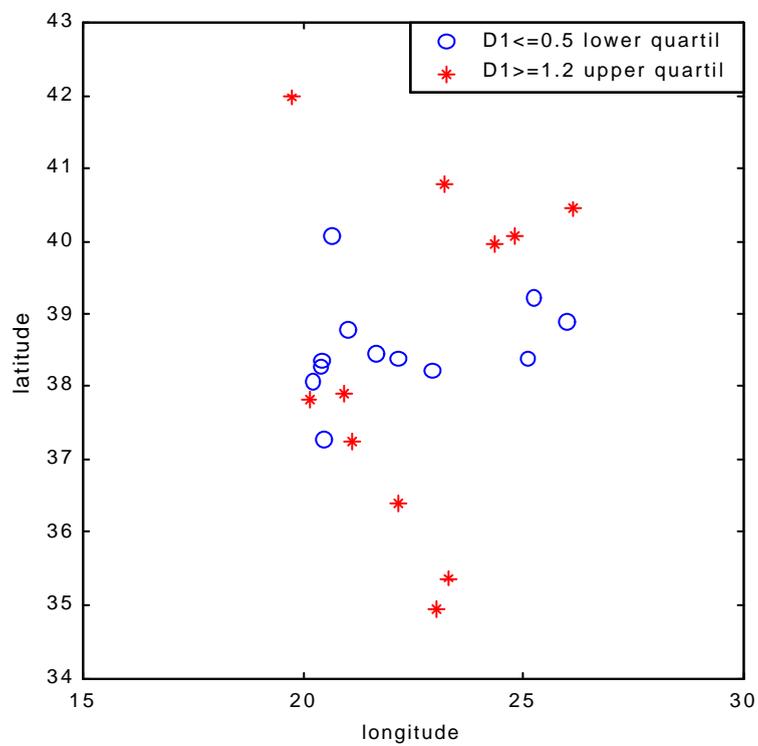
附圖三十一(b)：環太平洋地帶 $M \geq 7.0$ 主震之 $D_1 (> 1.4)$ 的機率模型。



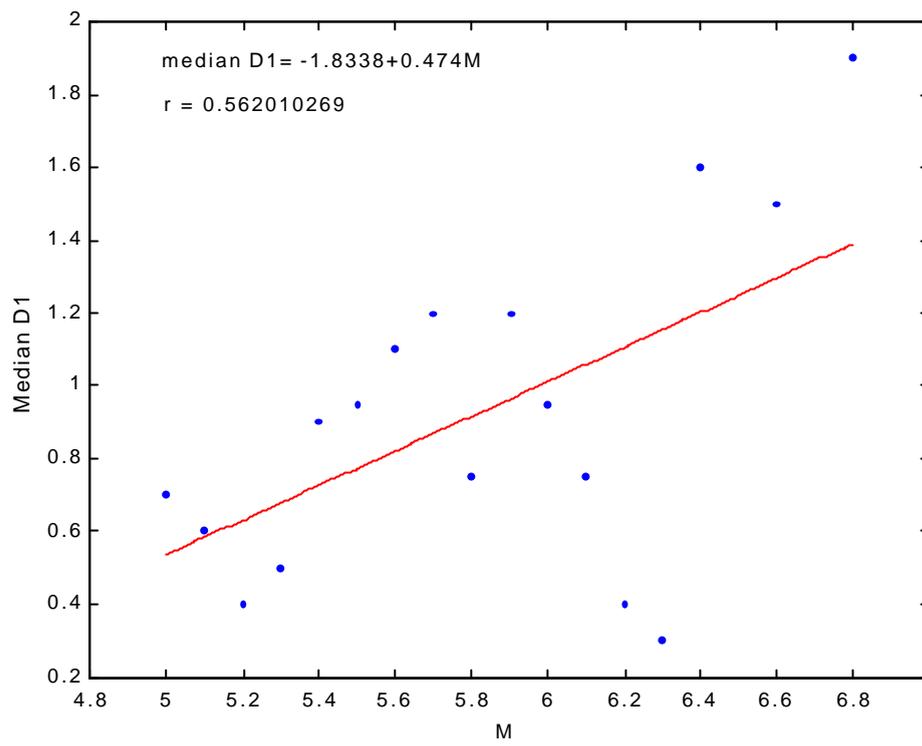
附圖三十二(a)：環太平洋地帶 $M \geq 7.0$ 主震之 $D_1 (> 1.4)$ 與其對數勝算。



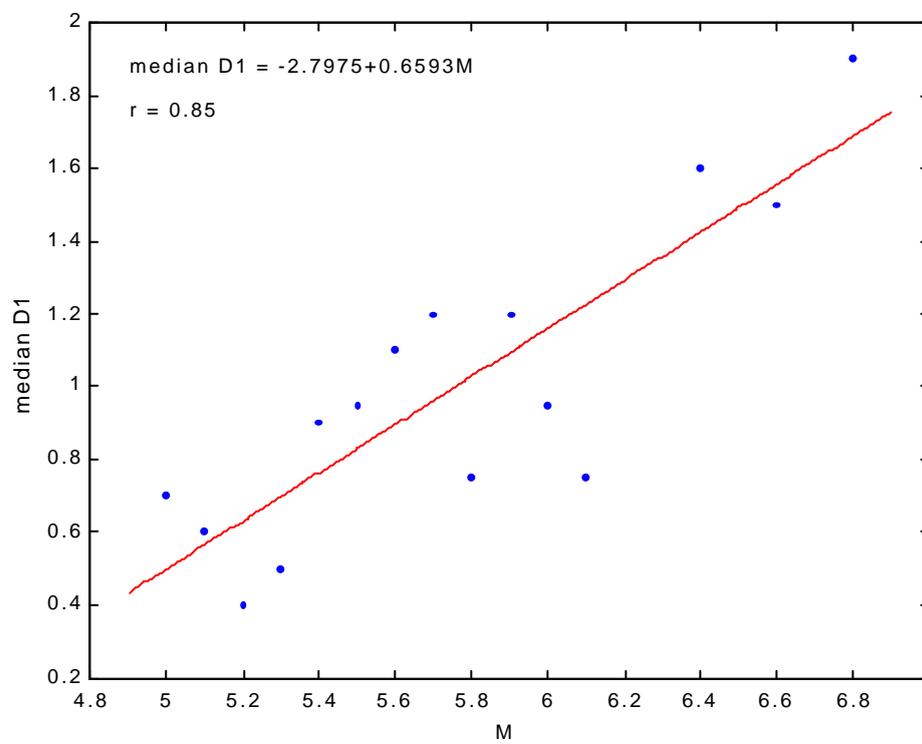
附圖三十二(b)：環太平洋地帶 M 7.0 主震之 $D_1 (>1.4)$ 與其對數勝算。



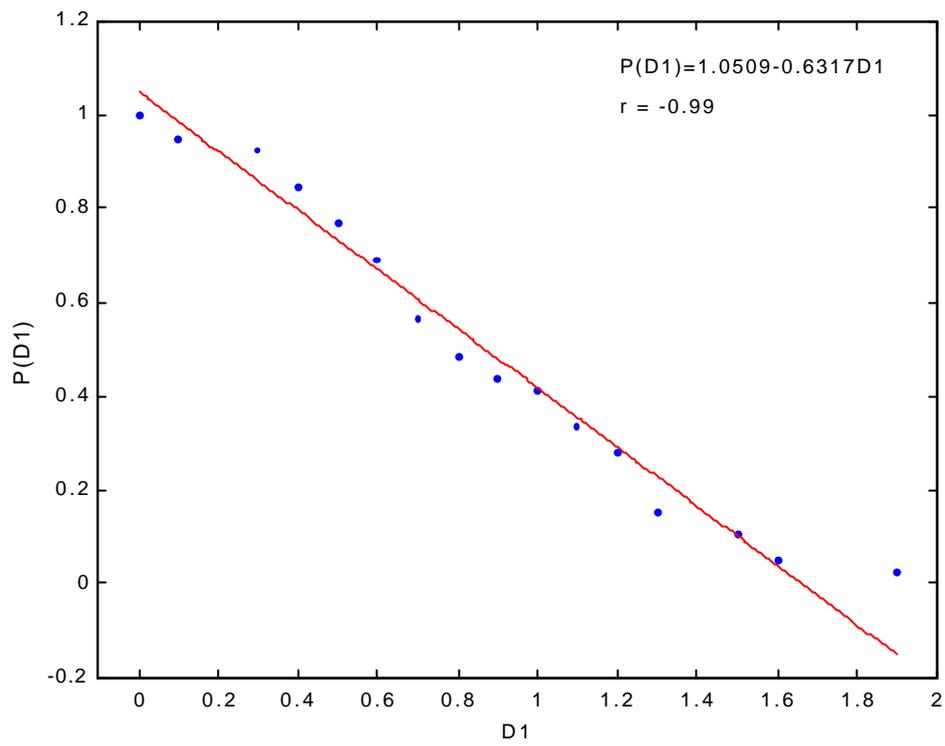
附圖三十三：希臘主震規模與最大餘震規模差 D_1 的空間分佈圖。



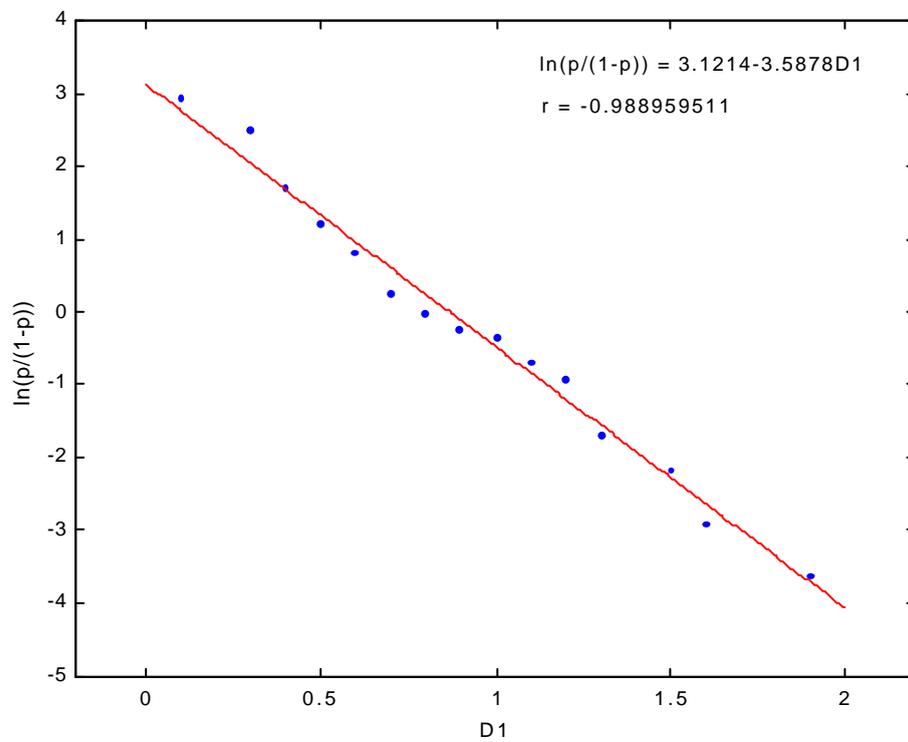
附圖三十四(a)：希臘 M ≥ 5.0 主震與 D₁ 的散佈圖及線性模式。



附圖三十四(b)：希臘 M ≥ 5.0 主震與 D₁ 的散佈圖及線性模式。



附圖三十五：希臘 M 5.0 主震之 D_1 的機率模型。



附圖三十六：希臘 M 5.0 主震之 D_1 與其對數勝算。

附錄二

資料	年	月	日	經度	緯度	M	D1	h	B 值
1	1973	10	1	140.47	35.42	5.3	0.8	49.93	0.945
2	1974	3	3	140.44	35.34	5.6	1.9	49.46	1.164
3	1974	5	9	138.49	34.38	6.6	2.2	2.22	1.120
4	1974	7	9	138.54	34.48	5.0	1.6	1.62	0.903
5	1976	6	16	139.00	35.29	5.9	1.9	14.06	0.652
6	1976	8	18	138.58	34.46	5.8	1.4	1.57	0.810
7	1978	1	14	139.15	34.45	7.0	1.4	3.80	0.922
8	1978	4	7	141.14	35.06	5.7	1.4	7.51	0.692
9	1978	12	3	139.10	34.55	5.8	2.4	6.67	0.958
10	1980	1	29	139.13	34.54	6.6	1.8	11.03	1.294
11	1980	9	10	138.56	34.02	4.7	0.2	3.20	1.083
12	1983	5	26	139.04	40.21	7.7	0.6	14.00	0.984
13	1984	8	7	132.09	32.22	7.1	2.3	33.00	1.033
14	1984	9	14	137.33	35.49	6.8	0.6	2.00	0.914
15	1986	11	22	139.31	34.32	6.0	1.5	15.10	1.342
16	1987	2	6	141.56	36.56	6.7	1.1	35.00	0.878
17	1987	3	18	132.03	31.58	6.6	1.5	48.10	0.831
18	1987	5	11	139.15	34.55	5.0	0.1	14.90	1.405
19	1987	12	17	140.29	35.22	6.7	1.5	57.90	0.844
20	1988	7	31	139.13	34.57	5.2	0.0	5.10	0.903
21	1989	7	9	139.06	34.59	5.5	0.7	3.40	0.834
22	1989	11	2	143.03	39.51	7.1	0.8	0.00	0.795
23	1990	2	20	139.14	34.45	6.5	1.4	5.80	0.742
24	1990	9	24	138.38	33.06	6.6	0.6	60.00	0.654
25	1990	12	7	138.33	37.12	5.4	0.1	14.90	0.775
26	1991	9	3	138.49	33.41	6.3	1.5	33.10	1.068
27	1992	7	18	143.39	39.22	6.9	0.5	0.00	0.752
28	1992	12	28	142.33	38.55	5.9	0.1	33.50	0.989
29	1993	2	7	137.18	37.39	6.6	1.6	24.80	0.916
30	1993	7	2	139.11	42.46	7.8	1.5	35.10	1.297
31	1994	10	4	147.42	43.22	8.1	1.1	23.00	0.972
32	1994	12	28	143.44	40.25	7.5	1.0	0.00	0.781
33	1995	1	7	142.18	40.13	7.2	1.0	47.80	0.992
34	1995	1	17	135.02	34.35	7.2	1.8	17.90	0.957

附表一：日本西元 1973 ~ 1995 年地震資料

資料	年	月	日	經度	緯度	M	D1	H
1	1971	3	12	29.72	37.40	5.8	0.8	27
2	1972	9	17	20.27	38.35	5.8	0.7	33
3	1975	3	27	26.12	40.45	5.7	1.2	15
4	1975	6	30	21.62	38.49	5.4	0.8	13
5	1975	12	21	21.67	38.47	5.1	0.0	1
6	1976	6	12	20.58	37.52	5.6	1.1	29
7	1976	6	14	26.57	38.79	5.5	0.7	6
8	1977	9	11	23.05	34.95	5.9	1.2	38
9	1978	6	20	23.24	40.78	6.0	1.3	3
10	1979	4	15	19.75	41.97	6.8	1.9	10
11	1979	7	23	26.37	35.48	5.1	0.6	45
12	1980	7	9	22.91	39.29	6.0	0.6	7
13	1981	2	24	22.97	38.23	6.2	0.3	17
14	1981	3	27	21.01	38.79	5.0	0.0	24
15	1981	6	28	20.13	37.82	5.5	1.5	8
16	1981	12	19	25.25	39.22	6.3	0.3	16
17	1982	1	18	24.39	39.96	6.4	1.6	5
18	1983	1	17	20.25	38.07	6.2	0.5	17
19	1983	8	6	24.81	40.08	6.6	1.5	22
20	1984	2	11	21.93	38.32	5.1	1.1	24
21	1984	6	17	25.99	38.88	5.3	0.5	41
22	1984	6	21	23.31	35.36	5.9	1.2	46
23	1986	3	25	25.13	38.38	5.2	0.1	16
24	1986	9	13	22.19	37.10	5.5	0.7	1
25	1988	3	18	20.47	38.35	5.3	0.3	1
26	1988	7	12	23.44	38.79	5.0	1.0	1
27	1988	10	16	20.96	37.90	5.5	1.2	4
28	1989	3	19	23.57	39.29	5.3	0.6	13
29	1989	8	20	21.12	37.24	5.4	1.2	1
30	1992	1	23	20.41	38.28	5.0	0.4	3
31	1992	11	18	22.33	38.27	5.2	0.6	23
32	1995	3	13	21.71	40.18	6.1	1.0	39
33	1995	6	15	22.15	38.37	5.6	0.4	26
34	1996	4	2	26.88	37.89	5.0	1.0	15
35	1996	7	20	27.14	36.21	5.9	0.6	45
36	1996	8	5	20.67	40.07	5.2	0.4	5
37	1997	10	13	22.18	36.41	5.6	1.3	6
38	1997	11	14	25.87	38.80	5.4	0.9	25
39	1997	11	18	20.49	37.26	6.1	0.5	5

附表二：希臘西元 1971 ~ 1997 年地震資料

資料	年	月	日	經度	緯度	M	D1	h	B 值
1	1987	3	2	176.80	-37.89	6.6	1.0	10	1.135
2	1988	6	3	167.29	-45.12	6.7	1.4	73	0.959
3	1990	2	10	172.65	-42.25	5.9	0.4	13	0.829
4	1990	2	19	176.44	-40.47	6.3	1.3	34	1.396
5	1990	5	13	176.47	-40.43	6.4	0.8	30	0.893
6	1990	10	4	175.51	-41.68	5.5	0.1	22	0.973
7	1991	1	28	171.73	-41.90	6.0	0.5	17	0.978
8	1992	3	2	176.60	-40.43	5.5	0.7	37	1.138
9	1992	3	25	177.21	-37.25	5.5	0.8	12	0.983
10	1992	3	30	171.23	-43.05	5.5	0.5	5	1.042
11	1992	5	16	178.37	-38.23	5.7	0.5	24	1.152
12	1992	6	21	176.88	-37.60	6.3	0.7	23	1.237
13	1994	6	18	171.46	-43.01	6.7	0.6	11	1.209
14	1995	2	5	179.49	-37.65	7.0	0.5	12	1.341
15	1995	11	24	171.82	-42.95	6.2	1.0	7	1.123

附表三：紐西蘭西元 1987 ~ 1995 年地震資料

資料	年	月	日	經度	緯度	M	D1	h	B 值
1	1991	3	12	120.07	23.25	5.67	0.06	12.26	1.125
2	1991	9	30	121.43	22.61	5.89	0.41	18.81	0.872
3	1994	2	1	122.69	24.75	6.13	0.48	115.55	0.917
4	1994	6	5	121.84	24.46	6.50	1.18	5.30	0.982
5	1995	6	25	121.67	24.61	6.50	0.70	39.88	0.997
6	1996	3	5	122.36	23.93	6.40	0.44	6.00	0.934
7	1996	9	5	121.37	22.00	7.07	1.48	14.76	1.193
8	1998	7	17	120.66	23.50	6.20	0.27	2.80	0.904
9	1999	6	3	122.49	24.40	6.18	0.61	61.67	1.109
10	1999	9	21	120.82	23.85	7.30	0.40	8.00	0.779

附表四：台灣西元 1991 ~ 1999 年地震資料

資料	年	月	日	經度	緯度	M	D1	b 值
1	1933	3	11	-117.97	33.62	6.3	0.8	1.330
2	1935	10	24	-116.80	34.10	5.1	0.6	0.825
3	1937	3	25	-116.26	33.41	6.0	1.5	1.050
4	1940	5	18	-116.30	34.08	5.4	0.2	0.965
5	1940	5	19	-115.50	32.73	6.9	1.4	0.720
6	1941	7	1	-119.58	34.37	5.9	1.4	1.048
7	1942	10	21	-116.00	32.97	6.5	1.5	1.020
8	1946	3	15	-118.06	35.73	6.3	0.9	1.172
9	1947	4	10	-116.55	34.98	6.2	1.1	1.003
10	1947	7	24	-116.50	34.02	5.5	0.3	0.632
11	1948	12	4	-116.50	33.93	6.0	1.1	0.943
12	1949	5	2	-115.68	34.02	5.9	1.2	0.929
13	1949	11	4	-116.55	32.20	5.7	0.6	0.926
14	1952	7	21	-119.02	35.00	7.7	1.3	1.045
15	1954	3	19	-116.18	33.28	6.2	0.7	1.089
16	1957	4	25	-115.81	33.22	5.2	0.1	0.716
17	1966	6	28	-120.53	35.92	5.6	0.8	1.086
18	1968	4	9	-116.13	33.19	6.5	1.3	1.124
19	1968	7	5	-119.70	34.12	5.2	0.7	1.495
20	1971	2	9	-118.40	34.41	6.6	0.8	1.178
21	1973	2	21	-119.00	34.10	5.5	1.7	0.926
22	1978	8	13	-119.70	34.35	5.1	1.5	1.399
23	1978	10	4	-118.68	37.51	5.8	0.5	0.979
24	1979	1	1	-118.68	33.95	5.0	1.1	1.227
25	1979	3	15	-116.45	34.32	5.2	0.4	1.139
26	1979	10	15	-115.33	32.63	6.6	1.1	1.135
27	1980	2	25	-116.55	33.52	5.5	1.8	1.177
28	1980	6	9	-114.98	32.22	6.1	1.6	1.053
29	1981	4	26	-115.63	33.10	5.7	1.5	1.346
30	1981	9	4	-119.11	33.67	5.3	0.7	0.843
31	1983	5	2	-120.32	36.22	6.5	0.7	0.952
32	1985	8	4	-120.05	36.15	5.8	1.4	1.181
33	1986	7	8	-116.81	34.00	5.9	1.2	1.117
34	1986	7	13	-117.86	32.98	5.4	0.8	1.590
35	1987	2	7	-115.31	32.39	5.4	1.6	1.732
36	1987	10	1	-118.08	34.06	6.0	0.7	0.744
37	1987	11	24	-115.78	33.08	6.5	1.7	1.036
38	1988	6	10	-118.74	34.94	5.4	2.0	1.274
39	1988	12	3	-118.13	34.15	4.9	0.5	0.359

附表五：南加州西元 1933 ~ 1988 年地震資料

資料	年	月	日	經度	緯度	M	D1	H
1	1964	2	6	-115.9	55.8	7.0	1.0	13
2	1964	3	28	-147.6	61.1	8.4	2.3	20
3	1964	6	16	139.1	38.3	7.5	1.7	12
4	1964	7	24	153.8	47.2	7.0	1.1	20
5	1964	11	17	150.7	-5.7	7.0	1.0	60
6	1965	1	24	126.0	-2.4	7.5	1.6	6
7	1965	2	4	178.6	51.3	8.2	0.8	36
8	1965	8	11	167.1	-15.8	7.3	0.2	31
9	1965	8	23	-95.8	16.3	7.6	1.9	29
10	1966	3	12	122.7	24.2	7.8	1.1	42
11	1966	3	22	115.1	37.5	7.1	1.7	28
12	1966	6	15	160.9	-10.4	7.7	0.5	34
13	1966	10	17	-78.6	-10.7	7.8	2.3	38
14	1966	12	28	-70.7	-25.5	7.7	2.4	23
15	1966	12	31	166.4	-11.9	7.9	0.8	60
16	1967	1	5	102.9	48.2	7.5	0.6	24
17	1967	7	22	30.7	40.7	7.1	1.7	33
18	1967	12	21	-70.1	-21.9	7.3	1.5	20
19	1967	12	25	153.7	-5.3	7.2	0.1	55
20	1968	1	29	146.7	43.5	7.3	1.5	20
21	1968	4	1	132.3	32.5	7.6	1.6	37
22	1968	5	16	143.4	40.9	8.1	0.4	9
23	1968	5	20	150.3	44.7	7.0	1.1	44
24	1968	5	23	172.0	-41.7	7.1	1.3	21
25	1968	7	25	-178.1	-31.0	7.1	1.2	17
26	1968	8	1	122.1	16.3	7.2	0.7	31
27	1968	8	2	-97.8	16.6	7.2	1.9	36
28	1968	8	10	126.2	1.4	7.5	1.0	1
29	1968	8	14	119.7	0.1	7.3	2.0	22
30	1968	8	31	59.0	34.2	7.1	1.1	25
31	1968	10	23	143.3	-3.4	7.0	1.5	21
32	1969	2	28	-10.6	36.0	7.8	2.1	14
33	1969	8	11	147.8	43.4	7.8	0.4	41
34	1969	11	21	94.6	0.1	7.5	2.2	20
35	1969	11	22	163.3	57.7	7.1	1.7	51
36	1969	12	25	-59.6	15.6	7.0	1.1	1
37	1970	1	4	102.5	24.1	7.3	2.0	15
38	1970	4	7	121.7	15.8	7.1	1.2	40
39	1970	4	29	-92.6	14.7	7.1	1.2	56
40	1970	5	31	-78.8	-9.2	7.6	1.5	48

41	1970	12	10	-80.7	-4.0	7.4	1.6	15
42	1971	1	10	139.7	-3.2	7.9	1.2	41
43	1971	5	2	-177.2	51.4	7.1	1.8	38
44	1971	7	9	-71.2	-32.5	7.7	1.8	40
45	1971	7	14	153.9	-5.5	7.8	0.1	43
46	1971	8	2	143.4	41.4	7.1	1.4	45
47	1971	9	5	141.5	46.5	7.1	0.6	14
48	1971	12	15	163.2	56.0	7.5	1.8	39
49	1972	1	23	166.3	-13.2	7.1	1.3	33
50	1972	1	25	122.4	22.6	7.4	1.3	29
51	1972	2	29	141.0	33.4	7.4	1.4	50
52	1972	4	25	120.3	13.4	7.1	1.4	38
53	1972	7	30	-135.9	56.8	7.4	1.9	28
54	1972	8	17	152.9	-6.0	7.1	1.2	26
55	1972	11	2	168.9	-20.0	7.0	1.6	37
56	1972	12	4	140.8	33.3	7.5	2.1	62
57	1973	1	30	-102.9	18.5	7.3	1.6	42
58	1973	2	6	100.5	31.3	7.2	1.2	5
59	1973	2	28	156.6	50.5	7.0	0.5	62
60	1973	6	17	145.7	43.1	7.7	0.4	41
61	1973	12	28	166.8	-14.6	7.3	0.3	13
62	1974	2	1	155.6	-7.3	7.1	1.2	12
63	1974	7	2	-175.9	-29.2	7.0	0.9	33
64	1974	7	13	-77.6	7.8	7.1	1.2	12
65	1974	8	11	73.8	39.3	7.1	1.2	7
66	1974	8	18	-73.3	-38.3	7.1	1.7	19
67	1974	10	3	-77.6	-12.2	7.6	1.5	9
68	1975	2	2	173.6	53.1	7.4	2.1	10
69	1975	5	10	-72.8	-38.0	7.6	1.8	30
70	1975	5	26	-17.6	36.0	7.8	2.3	34
71	1975	6	10	147.4	43.2	7.0	0.9	24
72	1975	7	20	155.1	-6.6	7.6	0.1	54
73	1975	10	1	102.2	-4.8	7.0	1.1	47
74	1975	10	11	-175.2	-24.9	7.7	1.6	11
75	1975	10	31	126.0	12.5	7.4	0.9	48
76	1975	12	26	-172.5	-16.2	7.5	1.8	33
77	1976	1	14	-177.4	-29.0	7.9	1.2	56
78	1976	2	4	-89.2	15.3	7.5	1.8	5
79	1976	4	8	63.7	40.3	7.1	0.1	10
80	1976	5	29	98.6	24.5	7.0	1.2	4
81	1976	6	20	96.3	3.4	7.0	1.2	1
82	1976	6	25	140.1	-4.6	7.1	1.1	33

83	1976	7	11	-78.3	7.6	7.0	1.6	3
84	1976	7	27	117.9	39.6	7.8	0.6	10
85	1976	8	16	124.1	6.2	7.8	1.1	8
86	1976	11	24	44.0	39.1	7.1	1.6	10
87	1977	3	18	122.3	16.7	7.0	1.3	40
88	1977	3	21	56.4	27.6	7.0	1.0	24
89	1977	4	20	160.5	-9.9	7.6	0.3	33
90	1977	8	19	118.4	-11.2	8.1	2.0	33
91	1977	10	10	-175.4	-25.9	7.0	1.6	24
92	1977	11	23	-67.8	-31.0	7.2	1.1	4
93	1978	2	9	-177.6	-30.6	7.0	1.2	34
94	1978	3	24	148.6	44.1	7.5	1.6	62
95	1978	6	12	142.0	38.2	7.5	1.5	48
96	1978	6	17	-172.3	-17.1	7.1	1.8	0
97	1978	7	23	121.4	22.2	7.2	1.9	34
98	1978	8	23	-85.3	10.2	7.1	1.8	58
99	1978	9	16	57.4	33.4	7.2	1.9	34
100	1978	11	5	162.2	-11.1	7.2	1.2	38
101	1978	11	29	-96.6	16.1	7.6	1.8	23
102	1979	2	16	-72.6	-16.5	7.0	1.3	42
103	1979	2	28	-141.6	60.7	7.0	1.7	15
104	1979	3	14	-101.3	17.8	7.4	1.9	3
105	1979	9	12	136.1	-1.7	7.7	1.7	33
106	1979	10	12	165.9	-46.5	7.2	1.5	33
107	1979	10	15	-115.5	32.9	7.0	1.7	0
108	1979	10	23	161.4	-10.7	7.2	1.4	17
109	1979	11	27	59.8	34.1	7.3	1.3	9
110	1979	12	12	-79.3	1.6	7.6	1.8	28
111	1980	2	23	146.6	43.5	7.1	1.1	49
112	1980	7	17	166.1	-12.5	7.7	1.7	29
113	1980	10	10	1.4	-36.2	7.1	1.0	0
114	1980	10	25	169.8	-21.8	7.0	1.0	27
115	1981	1	30	176.1	51.8	7.0	1.3	22
116	1981	4	24	166.4	-13.4	7.0	1.5	45
117	1981	7	15	167.6	-17.3	7.0	1.5	30
118	1981	9	1	-173.1	-15.1	7.7	2.0	20
119	1981	10	16	-73.1	-33.2	7.2	1.9	18
120	1981	10	25	-102.0	18.2	7.3	1.8	28
121	1981	12	19	25.3	39.2	7.4	2.0	10
122	1981	12	26	-177.7	-30.0	7.0	1.3	8
123	1982	1	11	124.3	13.9	7.2	1.2	38
124	1982	7	7	160.6	-51.2	7.1	1.7	10

125	1982	8	5	166.1	-12.6	7.2	1.8	28
126	1982	12	19	-176.0	-24.2	7.5	1.7	40
127	1983	1	17	20.3	38.1	7.1	1.4	14
128	1983	4	3	-83.1	8.8	7.3	1.8	44
129	1983	5	26	139.1	40.5	7.8	0.9	16
130	1983	10	4	-70.6	-26.6	7.5	1.6	5
131	1983	10	28	-113.8	44.1	7.3	1.8	10
132	1983	11	30	72.0	-6.9	7.6	1.1	10
133	1984	2	7	160.5	-10.0	7.5	1.7	4
134	1984	3	19	63.4	40.4	7.1	1.8	15
135	1984	3	24	148.1	44.0	7.2	1.7	42
136	1984	11	17	98.0	0.2	7.3	2.0	33
137	1985	3	3	-71.9	-33.1	7.8	0.6	33
138	1985	7	3	152.8	-4.4	7.3	1.6	46
139	1985	8	23	75.2	39.4	7.2	1.3	7
140	1985	9	19	-102.5	18.2	8.0	0.5	28
141	1985	11	17	134.8	-1.8	7.0	1.3	10
142	1985	11	28	166.2	-14.0	7.1	0.4	43
143	1986	5	7	-174.8	51.4	7.8	1.7	33
144	1986	10	20	-176.4	-28.1	8.1	2.0	33
145	1986	11	14	121.8	24.0	8.0	1.5	33

附表六：環太平洋地帶西元 1971 ~ 1986 年地震資料