

國立中央大學

統計研究所

碩士論文

台灣強震之時間與規模預測模型

指導教授：陳玉英博士

研究生：黃啟軒

中華民國九十二年六月



國立中央大學圖書館 碩博士論文授權書

(91年5月最新修正版)

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：_____

以非專屬、無償授權國立中央大學圖書館與國家圖書館，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。以提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名： 黃啟軒

論文名稱：台灣強震之時間與規模預測模型

指導教授姓名：陳玉英

系所：統計 所 博士 碩士班

學號：90225016

日期：民國 92 年 7 月 14 日

備註：

1. 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁(全文電子檔內之授權書簽名，可用電腦打字代替)。
2. 請加印一份單張之授權書，填寫並親筆簽名後，於辦理離校時交圖書館(以統一代轉寄給國家圖書館)。
3. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

摘要

本文分別根據台灣地區自西元 1900 年 1 月 1 日至西元 1999 年 6 月 30 日所有規模在 5.0 以上的原始地震資料、視窗散群資料及人工散群資料，研究台灣長期的強震發生模式，藉以了解強震發生的間隔時間及規模之間的關係。此外，為了解地震時間—規模預測模式與地質或地區的相關性，進一步採用空間格點 (spatial-grid) 的方法配適空間預測模式，並藉此模式評估強震空間風險。

誌謝辭

很感謝這兩年多來指導老師 陳玉英教授在專業知識上的悉心指導，讓我受益良多，也很感謝 張中白博士在繪圖方法及技巧上的指導，使本文的內容得以完整呈現。同時口試委員 嵇允嬋教授、劉正彥教授及 林正洪博士給予本篇論文寶貴意見，使得本篇論文得以順利完成。

在研究所的兩年期間，謝謝所上所有老師、學長姊以及親愛的同學，不論在學業及生活上都給我很大的幫助。感謝常師父，所有福智團體的法師及老師們，在這兩年中教導我對生命應有的態度，讓我能把握住學習的方向，也對我的未來更有信心。感謝團體中的同行們，時常給我鼓勵與關心，從你們身上我學到了好多。

謹將本文獻給一路陪伴著我、始終支持我的玉華，和我最深愛的家人，以及每一位關心我的朋友，因為你們的包容與關懷，讓我能專心地撰寫論文，無後顧之憂；因為你們的傾聽與鼓勵，讓我可以順利地走完這段充實的研究所生活，由衷地謝謝你們。

黃啓軒 謹識
于國立中央大學統計研究所
中華民國九十二年七月

目 錄

第一章 緒論	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究方法.....	3
第二章 文獻回顧	6
2.1 地震散群.....	6
2.2 時間-規模預測模型.....	8
第三章 台灣地震散群	11
3.1 視窗散群法.....	11
3.2 人工散群法.....	12
第四章 預測模式研究	14
4.1 分區模型.....	14
4.2 整體模式.....	16
第五章 空間預測模式	20
5.1 空間格點法.....	20
5.2 模型參數空間分布.....	20
5.3 整體模式.....	24
5.4 地震風險之評估.....	26
第六章 結論與展望	28

參考文獻.....29

附錄 圖表.....31

圖目錄

圖一：台灣附近地區板塊碰撞示意圖.....	31
圖二：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震規模－頻率關係 圖.....	31
圖三：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震散佈圖.....	32
圖四：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震時間－規模分布 圖.....	33
圖五：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震之空間散布圖....	33
圖六：台灣地區四個地震系統區域.....	34
圖七：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震分布圖.....	35
圖八：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震相隔時間之經驗累 積分布與伽馬分布比較圖.....	36
圖九：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 成對地震在時間差及距 離的二維分布圖.....	37
圖十：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 視窗散群地震資料分布 圖.....	38
圖十一：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 視窗散群地震相隔時 間之經驗累積分布與伽馬分布比較圖.....	39
圖十二：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區第三十筆規模為 7.40 地震	

規模—時間分布圖及空間分布圖.....	40
圖十三：1900/1/1—1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 人工散群地震資料 分布圖.....	41
圖十四：1900/1/1—1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 人工散群地震相隔時 間之經驗累積分布與伽馬分布比較圖.....	42
圖十五：空間格點示意圖.....	43
圖十六：1900/1/1—1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 的原始地震資料經空 間格點法所決定之圓半徑等值線圖.....	43
圖十七：原始資料之空間格點時間預測模型.....	44
圖十八：原始資料之空間格點規模預測模型.....	45
圖十九：視窗散群資料之空間格點時間預測模型.....	46
圖二十：視窗散群資料之空間格點規模預測模型.....	47
圖二十一：人工散群資料之空間格點時間預測模型.....	48
圖二十二：人工散群資料之空間格點規模預測模型.....	49
圖二十三：原始資料之空間格點整體模型.....	50
圖二十四：視窗散群資料之空間格點整體模型.....	50
圖二十五：人工散群資料之空間格點整體模型.....	51
圖二十六：人工散群資料空間格點整體模型之殘差分布圖.....	51
圖二十七：1999/6/30—2000/6/30 台灣地區發生 $M \geq 6.0$ 地震機率之	

空間色散圖.....52

表 目 錄

表一：原始資料之分區時間－規模預測模型.....	53
表二：視窗散群資料之分區時間－規模預測模型.....	54
表三：人工散群資料之分區時間－規模預測模型.....	55
表四：原始資料之整體時間－規模預測模型.....	56
表五：視窗散群資料之整體時間－規模預測模型.....	56
表六：人工散群資料之整體時間－規模預測模型.....	56
表七：原始資料之空間格點整體模型.....	57
表八：視窗散群資料之空間格點整體模型.....	57
表九：人工散群資料之空間格點整體模型.....	57
表十：1999/6/30－2000/6/30 之 4 筆 $M \geq 6.0$ 的地震.....	58

第一章 緒論

1.1 研究動機

古時人們對地震的解釋為”地牛翻身”，今日由於科學的進步，人們已經知道地震是因為地球的板塊運動或火山爆發所造成的地殼變動現象。事實上，全球約百分之九十以上的地震是由於地球板塊運動所造成。

台灣位於環太平洋的地震帶上，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。菲律賓海板塊以每年約 82 公厘的速度穩定的向西北移動，而台灣兩個隱沒帶，一個在台灣東北部，另一個則在台灣南端。東北端在花蓮、宜蘭外海一帶隱沒至歐亞大陸板塊底下，南部則約在巴士海峽西部有一個向東隱沒的地震帶（圖一）（Ho, 1986），因此造成了台灣地區每年平均約兩百次的有感地震，並且大部分集中在台灣的東部。地震發生時，工程建物因受了劇烈的震動，而倒塌崩潰，繼而殃及人類，造成生命的喪失與財產的損失經常是非常嚴重。地震發生後，因為公路塌方，橋樑斷裂，路面突起或下陷，造成交通阻塞，以致消防車、救護車無法出動施救，更擴大傷亡的災情。根據中央氣象局地震資料顯示，台灣地區已發生多起造成重大災害的地震。例如：1906 年發生在嘉義縣的梅山地震，在梅仔坑北方至民雄之間形成了長 13 公里斷層；1935 年發生的新竹和台中烈震產生

獅潭與屯子腳斷層，是台灣近百年來災害死傷最慘重的地震；1946年台南新化附近的地震、1986年的花蓮地震……等，災情都十分嚴重。民國88年9月21日集集發生了芮氏規模7.3的強震，則是二十世紀台灣島內規模最大地震。集集地震造成車籠埔斷層錯動長達80公里，南投、台中縣災情慘重，生命財物的損失無法估計。隨後十天內發生了上萬次的有感地震，其中規模在6.0以上的餘震為數不少。

台灣地區地震紀錄的歷史非常早，從二十世紀初至今，地震觀測的歷程大致可分成四個階段(Wang and Shin, 1998)。第一個階段是從西元1898年至西元1945年，也就是日本統治台灣的時期。此一時期地震觀測的工作是與氣象的觀測同時執行的，全台僅有15個觀測站，所以這個時期所紀錄的地震資料，在經緯度以及深度的定位都是非常不準確的。加上受限於儀器以及觀測站的設置非常零散，小規模的地震幾乎無法紀錄，因此在這個階段只有大規模的地震資料是可採信的。第二個階段是從西元1946年至西元1972年，由於日本時代的儀器老舊損壞，同時台灣處於戰後經濟困難時期，地震的觀測工作十分困難，直到西元1963年才有了小幅度的改進，所以這個階段也是只有大規模的地震是可採信的。第三個階段是從西元1973年至西元1990年。在這個階段，中研院地球科學所發展出一套全台灣地震觀測網路(Taiwan Telemetered Seismic Network, TTSN)，明顯的改進

了地震資料的品質，許多較小規模($M < 4.0$)的地震資料都可被完整的紀錄。第四個階段是從西元 1991 年至今，由於網際網路的快速發展，地震資料的蒐集及發佈十分迅速及精確，而在西元 1994 年更因為寬頻測站的建立，幾乎所有規模 2.0 以上的地震都能被完整的紀錄。

過去描述地震的模型都假設地震的發生在時間上是獨立的，但近期的研究發現，在某些地區所發生的大規模地震具有時間上的相關性(Bufe *et al.*, 1977; Shimazaki and Nakata, 1980; Sykes and Quittmeyer, 1981; Papazachos, 1989)。Papazachos(1989)針對希臘愛琴海附近七個地震活動頻繁地區的淺層地震配適時間及規模的預測模型，描述這個地區長期強震的活動模式，得知前一強震的規模愈大，下一個強震愈慢發生，但是其規模愈小。根據 Gutenberg-Richter(1954)的規模-頻率關係式，台灣地區在西元 1900 年 1 月 1 日至西元 1999 年 6 月 30 日所有 $M > 5.0$ 的地震資料是完整的(圖二)，因此，本文根據台灣地區近百年 $M > 5.0$ 的地震資料(圖三)研究台灣長期的強震發生模式，包括強震發生的間隔時間及未來強震規模的預測模型。

1.2 研究方法

從西元 1990 年 1 月 1 日至 1999 年 6 月 30 日 $M > 5.0$ 的原始地震

資料的規模-時間分布圖(圖四)以及空間散布圖(圖五),可以明顯的發現地震的發生有群集(cluster)現象,某一群集可能是屬於同一序列的地震。所謂同一系列之地震,係指發生位置鄰近,時間相近之所有地震,包括前震(foreshock)、主震(mainshock)和餘震(aftershock),其中此一系列地震中規模最大者稱為主震,在主震發生前所觀測的較小規模地震,稱為前震,主震之後發生的一連串規模較小的地震則稱為餘震。前震曾被視為發生大地震的前兆,故其重要性早被提及,且記載上也有少數強震具有前震。據文獻研究(Agnew and Jones, 1991),約有10%-30%的強震具有前震,惟前震經常在主震發生後才得以認定。至於餘震發生之頻率及規模均隨著時間降低或減小,比較容易以模式加以描述(Utsh, 1961; Reasenberg and Jonse, 1989)。由於本文研究的是主震的行為,因此若原始地震資料呈現群集現象,則必須加以散群(decluster),亦即除去可能的前震及餘震,僅保留主震。本文在第三章分別採用視窗分群法和人工分群法進行地震目錄的散群。

本文在第四章針對散群後台灣強震配適迴歸模型,進行未來強震發生時間(T)及規模(M_f)的預測,其中時間是前後兩個地震間隔時間。模型中以 $\log_{10} T$ 和 M_f 為反應變數,解釋變數則為前一個地震的規模(M_p)及地震的最小規模(M_{\min})。因為地理上的位置及可能的

地質地形變異 (Wang and Shin, 1998) ,本文分別就四個區域(1)東北：琉球隱沒帶系統，(2)東南：菲律賓海板塊邊界系統，(3)西南：南中國海依附系統，(4)西北：推擠彎曲系統 (圖六) 加以配適時間及規模的預測模型。

為了解此一預測模式和地質或地區的相關性，本文在第五章進一步採用空間格點法(spatial gridding method)進行模型的分析(Wyss and Wiemer, 1994) ,其中點格距離約為 20 公里，以點格為中心圈出圓而且在每一個圓中包含 20 個地震，因此，地震密集區的圓半徑較短，而地震稀疏區的圓半徑較長。期望藉由預測模式參數的空間變化，了解地質、地形在地震發生的時間及規模之影響。如獲統計顯著模式，則進一步根據模型計算未來強震在一段時間內發生的機率，以供評估強震空間風險之用。

第二章 文獻回顧

2.1 地震散群

Reasenber(1985)提出地震的相依性不能僅從時間的變化，也應考慮地震發生的地點，特別是時間相鄰兩地震的相隔距離。所以，Reasenber 建議同時檢視地震在相隔時間和相鄰距離的分布。假設 X 代表任二地震的相隔時間， Y 代表此二地震的相鄰距離。令在 $X \leq x$ ， $Y \leq y$ 的機率分布函數為 $F(x, y)$ ，則 X 與 Y 的相關性必須藉由二階動差 $E(XY)$ 加以了解。

為了簡化地震規模對二階動差的影響，Reasenber 將研究地區中所有的地震依選取的規模門檻值 (M_c) 分成兩個部分，其中規模大於門檻值 ($M \geq M_c$) 的稱為主要事件(primary events)。將主要事件及次要事件配對，然後估計 $F(x, y)$ ，並且計算 $E(XY)$ 。例如：若有 m 個主要事件， n 個次要事件，則研究中有 mn 對地震。根據 mn 對地震即可獲得 mn 個 (x, y) 值，加以整理即可估計 $F(x, y)$ 。事實上，Reasenber 就南加州的地震發生情形，建議 $M_c=4.0$ 。

Reasenber 進一步對地震目錄中的每一個事件定義其「交互作用區間」(interaction zone)，此區間考慮時間和空間兩個變數，其中空間的寬度是根據此地震附近的應力重分配(stress redistribution)以及來源(source)加以估計的。時間的寬度則是先

找出研究地區中規模最大(M_{\max})及最小(M_{\min})的地震，然後根據

Omori's 法則 (1894) 所述在主震($t=0$)之後 t 天的餘震發生率：

$$a(t) = Ct^{-\alpha} \quad , \quad t \geq 1 \quad (1)$$

求出 $(0, T)$ 時間內之期望事件個數：

$$n(M_{\max}, M_{\min}, T) = \int_{t_0}^T Ct^{-\alpha} dt$$

根據經驗得知， $\alpha = 1$ ，因此

$$n(M_{\max}, M_{\min}, T) = C(M_{\max}, M_{\min}) \ln(T/t_0) \quad (2)$$

因為 Stein(1982 私人交談)根據經驗推導出：

$$\log_{10} C = \frac{2(M_{\max} - M_{\min} - 1)}{3} \quad (3)$$

結合(1)和(3)式，得知

$$a(\Delta M, t) = 10^{2(\Delta M - 1)/3} t^{-1}$$

其中 $\Delta M = M_{\max} - M_{\min}$ 。此時 $a(\Delta M, t)$ 代表規模 M_{\min} 以上的地震在規模

M_{\max} 地震發生之後的發生率。Reasenbergen 根據上述結果配適一個波

瓦松 (Poisson) 過程，其參數為 $a = a(\Delta M, t)$ 。因此，在時間區間 $(t, t + \tau)$

之內，觀察到 z 個事件的機率為

$$P(z, a(t), \tau) = \frac{e^{-a\tau} (a\tau)^z}{z!}$$

在相同的時間區間 $(t, t + \tau)$ 內，觀察到至少一個事件的機率則為：

$$\begin{aligned} P &= \sum_{z=1}^{\infty} P(z, a(t), \tau) = 1 - P(0, a(t), \tau) = 1 - e^{-a\tau} \\ &= 1 - \exp\left[-10^{2(\Delta M - 1)/3} (\tau/t)\right] \end{aligned}$$

由此解得

$$\tau = \frac{-\ln(1-P)t}{10^{2(\Delta M-1)/3}}$$

例: $P=0.95$ 之下, 解出 $\tau = \frac{3t}{10^{2(\Delta M-1)/3}}$, 亦即在規模 M_{\max} 地震發生後 τ 時

間內有 95% 機率會發生至少一個規模 M_{\min} 以上的地震。據此,

Reasenbergs 計算南加州地區的 $\tau \leq 10$, 亦即該地區地震散群交互作用區間的時間寬度為 10 天。

最後, 在獲得散群的交互作用區間之後, 利用階層群集

(hierarchical clustering) 將地震加以分群, 步驟如下:

- (1) 一個事件(地震)只要發生在另一個事件的交互作用區間內, 就把這兩個事件定義成一個群集。
- (2) 一個獨立的事件(指還未被分群的事件)只要發生在一個已被分群的事件的交互作用區間內, 就將它歸類於這個群集。
- (3) 當兩個已被分群的事件的交互作用區間有交集, 就將這兩個分別的群集結合為一。

作完分群的工作之後, 將每一個群集之中規模最大的的地震視為主震, 再將其餘的地震從原來的地震目錄中刪除, 便完成散群的工作。

2.2 時間-規模預測模型

Papazachos(1992) 根據地震學、地質學以及地形學的準則將愛琴海附近的區域分成四十九個淺層地震的發生帶, 稱為地震源區

(seismic source)。首先決定每個地震源區中完整地震資料規模，然後對每個地震源區配適迴歸模型：

$$\log T = bM_{\min} + cM_p + a \quad (4)$$

其中 T 是前後兩個地震的間隔時間， M_{\min} 是特定區域中的最小地震規模， M_p 是前一個地震的規模。這裡假設每個地震源區皆具相同的參數 b 和 c ，也就是在每一個地震源區中，最小規模及前一個地震的規模，對未來地震的發生時間的影響都是一樣的，而不同地震源區的差異則是用參數 a 來描述。Papazachos 求得 $b=0.36$ ， $c=0.35$ ，模型誤差的標準差為 0.16 ，迴歸分析的判定係數為 0.89 。由此得前一個地震的規模愈大，則下一個地震與此一地震的間隔時間愈長。此外，相隔時間也與地震規模下限有關。前一地震規模為 M_p ($\geq M_{\min}$) 的情形之下，未來規模大於 M_{\min} 地震發生的時間隨著 M_{\min} 的增加而增長。

Papazachos 也對未來地震的規模配適如下迴歸模型：

$$M_f = BM_{\min} + CM_p + m \quad (5)$$

其中 M_f 是未來地震的規模， M_{\min} 是特定區域中的最小地震規模， M_p 是前一個地震的規模。這裡假設每個地震源區皆具相同的參數 B 和 C ，也就是在每一個地震源區中，最小規模及前一個地震的規模，對未來地震的規模的影響都是一樣的，而不同地震源區的差異則是用參數 m 加以描述。此處資料的 $B=0.85$ ， $C=-0.49$ ，模型誤差的標準差為

0.25，多重相關係數為 0.72，由此得知前一個地震規模對未來地震的規模有明顯的負向($C < 0$)影響，也就是說前一個地震的規模愈大，未來地震的規模會較小。

Papazachos 結合模型 (4) 和 (5) 用以預測未來一定時間內發生某一規模以上地震的機率為

$$P(\Delta t) = \frac{F(L_2/\sigma) - F(L_1/\sigma)}{1 - F(L_1/\sigma)} \quad (6)$$

其中 $L_1 = \log \frac{t}{T_i}$ ， $L_2 = \log \frac{t + \Delta t}{T_i}$ ， t 是上一個地震距今的時間， Δt 是下一個地震發生距今的時間， F 是常態分佈(平均值為 0，標準差為 σ)的累積分布函數。據此可以計算每個地震源區未來地震發生時間及規模的機率，藉此評估特定區域之地震風險。

第三章 台灣地震散群

本文採用的是台灣地區自西元 1900 年 1 月 1 日至西元 1999 年 6 月 30 日所有規模 5.0 以上 ($M \geq 5.0$) 的地震資料。由於台灣地區強震頻繁，這些 $M \geq 5.0$ 的地震仍有群集現象 (圖七)。事實上，若以伽馬分布 (Gamma distribution) 配適上述 $M \geq 5.0$ 強震的相隔時間，得知形狀參數 (shape parameter) 為 0.3331，尺度參數 (scale parameter) 為 75.4328 (圖八)。因為形狀參數遠小於 1，更說明 $M \geq 5.0$ 地震群集的嚴重性。若要獲得強震，特別是強主震的時間及規模預測模型，則必須針對台灣百年 $M \geq 5.0$ 地震進行散群，以便獲得可能的主震資料。

本章將利用時間—空間視窗進行散群，此外也以人工檢視地震時空分布進行散群。

3.1 視窗散群法

因為 Reasenber(1985) 中的應力重分配資料，就台灣而言無法獲得，本文僅利用地震相隔時間及距離的聯合分布中求得視窗進行散群。首先觀察規模 $M \geq 5.0$ 地震目錄中的成對地震的相隔時間及震央距離之二維分布 (圖九)。因為頻率等高線圖顯示較多成對地震發生的間隔時間在 ± 2 天內，又相隔距離在 12 公里之內，因此以時間上的寬度

為時間差前後 2 天，空間上的寬度則為距離 12 公里。這個前後 2 天及 12 公里距離視窗即為 $M \geq 5.0$ 地震資料的交互作用區間。

進一步採用 Reasenber(1985)的準則進行地震分群，再將每個群集中可能的前震或餘震從地震目錄中刪除，獲得以視窗分群的散群資料（圖十）。以伽馬分布配適散群地震的相隔時間，得知形狀參數為 0.5128，尺度參數為 59.4001（圖十一）。相對於配適原始資料的伽馬分布之形狀參數 0.3331 而言，此一視窗散群方法確能發揮其散群作用，不過，仍然低於 1 的形狀參數，也顯示仍有再散群的必要性。

3.2 人工散群法

除了視窗散群法之外，我們也注意到台灣各地的地質及地形上的差異。事實上，每個地震序列的發生原因、行為都不盡相同，因此，每一個地震的交互作用區間可能都不一樣。所以，在本節中採用了最原始、直覺的方式，就每一個潛在主震觀察在一段時間內發生的地震在空間上的分布是否有群集的情形。

首先將 $M \geq 7.0$ 的強震從地震目錄中挑選出來，就每一筆地震觀察在此地震發生後一段時間內所發生的地震的時間—規模分布及空間分布（圖十二）如果這些地震的空間分布很接近此筆 $M \geq 7.0$ 的強震，且有群集的情形，我們便將這些地震視為此筆 $M \geq 7.0$ 強震的可能餘

震。將這些相關的餘震從地震目錄中刪除，如此便完成以此筆潛在 $M \geq 7.0$ 主震的地震序列的散群。

完成所有潛在 $M \geq 7.0$ 主震的地震序列散群工作後，依相同的步驟依次對潛在主震 $M \geq 6.5$ 、 $M \geq 6.0$ 及 $M \geq 5.5$ 的主震進行地震序列散群，最後即獲得人工分群的散群資料（圖十三）。以伽馬分布配適人工散群地震的相隔時間，得知形狀參數為 0.5518，尺度參數為 107.6731（圖十四）。相對於配適原始資料所配適的伽馬分布之形狀參數 0.3331 而言，此處的形狀參數指出人工散群方法具有散群效果。事實上，人工散群結果優於視窗散群（ $0.5518 > 0.5128$ ）但是，上述 $M \geq 5.0$ 地震的散群仍有改進的空間。

第四章 預測模型研究

4.1 分區模型

由於台灣地形及地質上的構造十分複雜，不同地區所配適出的地震時間—規模模型可能不同。因此，本文將針對台灣四個系統區域 (Wang and Shin, 1998) 分別配適強震時間及規模的預測模型。

首先考慮簡單迴歸模型，僅以前一次地震規模 M_p 為解釋變數配適模型 I：

$$\log T = cM_p + a \quad (7)$$

$$M_f = CM_p + m \quad (8)$$

其中 M_f 為後一次地震規模， T 則為前後兩次地震的相隔時間。考慮引入規模下限 M_{\min} 為解釋變數，則可以配適模型 II：

$$\log T = bM_{\min} + cM_p + a \quad (9)$$

$$M_f = BM_{\min} + CM_p + m \quad (10)$$

最後，考慮 M_{\min} 及 M_p 可能帶來的交互作用，我們再加入 $M_p \cdot M_{\min}$ 這個解釋變數配適模型 III：

$$\log T = bM_{\min} + cM_p + dM_p M_{\min} + a \quad (11)$$

$$M_f = BM_{\min} + CM_p + DM_p M_{\min} + m \quad (12)$$

原始資料

首先針對原始地震目錄中此地區所包含 $M \geq 5.0$ 的地震資料配適相關模型（表一）。雖然無論就時間或規模預測模型而言，模型的p值極小，不過，這可能是資料筆數多引起的效果。事實上，除了西南地區的模型 I 之外，時間模型中的判定係數皆不及 12%，顯示模型的解釋變異比例過低。此外，時間模型中的 M_p 之係數為負數，表示前次地震規模愈大，則後一個地震愈快發生，充分說明餘震的現象。規模預測模型 II 和 III 雖然具有較高的判定係數，但是 M_p 之係數為正數指出前一次地震規模愈大，則後一次地震規模傾向愈大，似乎也不盡合理。

視窗散群資料

針對視窗散群後留下的地震資料配適相關模型（表二）。就時間模型而言，西南地區的 M_p 之係數變為正數，但其判定係數卻非常小且模型p值非常大，顯示模型並不理想。其他地區判定係數的值比起原始資料配適之值稍有改進，但是仍低於 14%。至於規模預測模型，其 M_p 之係數皆為正數，結果依舊不甚合理。

人工散群資料

針對人工散群後留下的地震資料配適相關模型（表三）。就時間

模型 II 和 III 而言，東北地區的判定係數皆增加至 15% 左右，且 M_p 之係數皆為正數，意謂前一次地震規模愈大則後一次地震愈晚發生。東南及西北地區的模型判定係數皆非常小，而西南及西北地區的模型 p 值皆非常大，顯示模型並不理想。至於規模預測模型，其 M_p 之係數皆為正數，結果依舊不甚合理。

4.2 整體模式

除了分區配適迴歸模型之外，我們也對整個研究範圍配適整體時間—規模預測模型：

$$\log T_i = bM_{\min i} + cM_{pi} + \sum_{j=1}^n \delta_{ij} a_j \quad (13)$$

$$M_{fi} = BM_{\min i} + CM_{pi} + \sum_{j=1}^n \delta_{ij} m_j \quad (14)$$

其中 T_i 是前後兩次地震的相隔時間，以前次地震的規模 M_{pi} 及引入的規模下限 M_{\min} 為解釋變數，模型在不同地區的差異由截距項 a_j 描述 ($j=1, \dots, 4$ ，分別為 1. 東北地區、2. 東南地區、3. 西南地區、4. 西北地區)，此模型可用線性系統表示：

$$\begin{bmatrix} \log T_1 \\ \log T_2 \\ \vdots \\ \log T_k \\ \vdots \\ \log T_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{\min 1} & M_{p1} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ M_{\min 2} & M_{p2} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{\min k} & M_{pk} & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{\min m} & M_{pm} & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ c \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} M_{f_1} \\ M_{f_2} \\ \vdots \\ M_{f_k} \\ \vdots \\ M_{f_m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{\min 1} & M_{p1} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ M_{\min 2} & M_{p2} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{\min k} & M_{pk} & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{\min m} & M_{pm} & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \\ C \\ m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_n \end{bmatrix} \quad (16)$$

或用矩陣表示：

$$T = Aa \quad (17)$$

$$M = Am \quad (18)$$

我們可以用最小平方法解(17)及(18)式：

$$a_{LSQ} = (A^T A)^{-1} A^T T \quad (19)$$

$$m_{LSQ} = (A^T A)^{-1} A^T M \quad (20)$$

由此模型，我們可以觀察整個台灣地區，前次強震的規模(M_{pi})對前後兩次地震的相隔時間(T_i)及後一次地震的規模(M_{fi})有怎麼樣的影響。

原始資料

首先針對原始地震目錄中台灣地區所包含 $M \geq 5.0$ 的1441筆地震資料配適整體模型(表四)。雖然無論就時間或規模預測模型而言，模型的p值極小，但這可能是資料比數過多引起的效果。事實上，時間模型的判定係數不及12%，顯示模型的解釋變異比例過低。此外，時間模型中的參數 $c < 0$ ，表示前次地震規模愈大，則後一次地震愈快發生，充分說明餘震的現象。規模預測模型雖然具有較高的判定係

數，但是參數 $C > 0$ ，指出前次地震規模愈大，則後一次地震規模傾向愈大，似乎不盡合理。

視窗散群資料

針對視窗散群後所留下的 1189 筆地震資料配適整體模型（表五）就時間模型而言，參數 c 仍為負數，且判定係數的值較原始資料配適之值低。至於規模預測模型，雖然判定係數較原始資料配適之值高，但參數 C 仍為正數，依舊不盡合理。

人工散群資料

針對人工散群後所留下的 610 筆地震資料配適整體模型（表六）就時間模型而言，雖然參數 c 為正數，但判定係數卻較原始資料及視窗散群資料配適之值低。至於規模預測模型，參數 C 仍為正值，依舊不盡合理。

就上述三種資料的時間預測模型之截距項而言， a_1 和 a_2 比 a_3 和 a_4 小，顯示就相同的 M_p 及 M_{\min} ，東北及東南地區的下一個 $M \geq M_{\min}$ 的地震會較快發生。就規模預測模型的截距項而言， m_2 和 m_3 比 m_1 和 m_4 大，顯示就相同的 M_p 及 M_{\min} ，東南及西南地區的下一個 $M \geq M_{\min}$

地震的規模會較大。

第五章 空間預測模式

5.1 空間格點法

本文為了解地震時間－規模預測模式與地質或地區的相關性，進一步採用空間格點（spatial-grid）的方法，在固定的研究範圍（東經 119.6 度至 123 度、北緯 21.5 度至 25.3 度）內，每隔 20 公里取一格點，共分成 360 個點格，最後以點格為中心圈出圓而且在每一個圓中至少包含 20 個地震（圖十五），因此，地震密集區的圓半徑較短，而地震稀疏區的圓半徑較長。

從西元 1990 年 1 月 1 日至 1999 年 6 月 30 日 $M \geq 5.0$ 的原始地震資料經空間格點法所決定之圓半徑等值線圖（圖十六）我們可以發現，台灣西半部海域及東南外海點格上的圓半徑偏大，也就是說這些地區的地震較為稀疏，為了減少模型參數在空間上分布的不準確性，我們僅觀察模型參數在半徑 60 公里以內的圓所包含的區域上的變化。

5.2 模型參數空間分布

在前一章中的模型配適結果中，我們發現模型 II 是比較合適的模型，因此本節僅針對每個點格之圓所包含的 20 個地震配適模型 II：

$$\log T = bM_{\min} + cM_p + a \quad (9)$$

$$M_f = BM_{\min} + CM_p + m \quad (10)$$

在此我們考慮 M_{\min} 為每個特定區域中自小至大的規模值。

原始資料

首先針對原始地震目錄中台灣地區所包含 $M \geq 5.0$ 的 1441 筆地震資料經空間格點法所決定的 250 個特定區域配適時間預測模型。由圖十七(C)我們可以發現除了在台灣東部小範圍海域的區域模型並不顯著外，其餘地區的模型都是顯著的。由時間預測模型參數 c 的空間色散圖(圖十七(A))發現，在台灣本島及東部外海，參數 c 皆為負值，唯有東北角海域及東部沿海部份地區為正值，同時觀察模型判定係數的空間色散圖(圖十七(B))發現除了台東地區及東北角沿海地區的模型判定係數較高，其餘地區模型的解釋能力都不高。

我們也針對原始地震資料經空間格點法所決定的 250 個特定區域配適規模預測模型。由圖十八(C)我們可以發現幾乎所有區域的模型都是顯著的。由規模預測模型參數 C 的空間色散圖(圖十八(A))發現，在台灣西南地區及東北部外海，參數 C 為正值，其餘地區為負值，同時觀察模型判定係數的空間色散圖(圖十八(B))發現在參數 C 為正值的區域，其模型的判定係數較高，在參數 C 為負值的區域，其模型的解釋能力反而較低。

由上述結果可知，雖然時間及規模預測模型在特定區域都是顯著的，但是參數的變化並不合乎物理上的意義及 Papazachos 的研究結果，這可能是因為原始資料中有餘震存在的影響。

視窗散群資料

首先針對視窗散群後留下的 1189 筆地震資料經空間格點法所決定的 248 個特定區域配適時間預測模型。由圖十九(C)我們可以發現除了幾個小區域的模型不顯著外，其餘地區的模型都是顯著的。由時間預測模型參數 c 的空間色散圖（圖十九(A)）發現，其空間分布與圖十七(A)的差別並不大，同時觀察模型判定係數的空間色散圖（圖十九(B)）發現其與圖十七(B)的差別亦不大。

我們也針對視窗散群地震資料經空間格點法所決定的 248 個特定區域配適規模預測模型。由圖二十(C)我們可以發現幾乎所有區域的模型都是顯著的。由規模預測模型參數 C 的空間色散圖（圖二十(A)）發現，其空間分布與圖十八(A)的差別並不大，同時觀察模型判定係數的空間色散圖（圖二十(B)）發現其與圖十八(B)的差別亦不大。

由上述結果可知，視窗散群資料的模型配適結果相對於原始資料，並沒有很明顯的改變，這說明了視窗散群法無法很有效的將餘震

完全刪除。

人工散群資料

首先針對人工散群後留下的 610 筆地震資料經空間格點法所決定的 229 個特定區域配適時間預測模型。由圖二十一(C)我們可以發現幾乎所有區域的模型都是顯著的。由時間預測模型參數 c 的空間色散圖(圖二十一(A))發現,幾乎所有區域的參數 c 皆為正值,同時觀察模型判定係數的空間色散圖(圖二十一(B))發現在東部海域及台灣本島南部,其模型的判定係數較高,其餘地區模型的判定係數則不高。

我們也針對人工散群地震資料經空間格點法所決定的 229 個特定區域配適規模預測模型。由圖二十二(C)我們可以發現幾乎所有區域的模型都是顯著的。由規模預測模型參數 C 的空間色散圖(圖二十二(A))發現,相對於圖十八(A)參數 C 為負值的區域有些許的增加,同時觀察模型判定係數的空間色散圖(圖二十二(B))發現大部份區域的判定係數都不高。

由上述結果可知,人工散群資料的時間預測模型配適結果相對於原始資料有明顯的改變,參數 c 大部份皆變為正值,符合了物理上地震發生機制的意義及 Papazachos 的研究結果,這說明了人工散群法

較能有效的將餘震刪除而保留主震。但在規模預測模型方面，其結果並沒有很明顯的改進，這也許是因為人工散群時只刪除可能餘震，並無刪除可能的前震。

5.3 整體模式

除了觀察模型參數在空間上的分布外，視每個包含 20 個地震之圓為一個特定區域，進一步配適整體時間—規模預測模型：

$$\begin{bmatrix} \log T_1 \\ \log T_2 \\ \vdots \\ \log T_k \\ \vdots \\ \log T_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{\min 1} & M_{p1} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ M_{\min 2} & M_{p2} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{\min k} & M_{pk} & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{\min m} & M_{pm} & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ c \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_K \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\begin{bmatrix} M_{f_1} \\ M_{f_2} \\ \vdots \\ M_{f_k} \\ \vdots \\ M_{f_m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{\min 1} & M_{p1} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ M_{\min 2} & M_{p2} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{\min k} & M_{pk} & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{\min m} & M_{pm} & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \\ C \\ m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_K \end{bmatrix} \quad (22)$$

原始資料

首先針對原始地震目錄中台灣地區所包含 $M \geq 5.0$ 的 1441 筆地震資料經空間格點法所決定的 250 個特定區域配適整體模型（表七）。雖然無論就整體性時間或規模預測模型而言，模型的 p 值極小，但這

可能是資料比數過多引起的效果。事實上，時間模型的判定係數不及 15%，顯示模型的解釋變異比例並不高。時間模型中的參數 $c < 0$ 表示前次地震規模愈大則後一次地震愈快發生，充分說明餘震的現象。規模預測模型具有較高的判定係數，且參數 $C < 0$ 指出前次地震規模愈大則後一次地震規模傾向愈小，是合理的結果。同時觀察時間及規模預測模型的截距項在空間上的分布（圖二十三）。就時間模型的截距項而言，在竹苗附近的區域及宜蘭花蓮外海有較低的值，顯示就相同的 M_p 及 M_{min} ，這些地區的下一個 $M \geq M_{min}$ 的地震會較快發生。就規模預測模型的截距項而言，在台灣西部及台東外海有較高的值，顯示就相同的 M_p 及 M_{min} ，這些地區的下一個 $M \geq M_{min}$ 地震的規模會較大。

視窗散群資料

針對視窗散群後所留下的 1189 筆地震資料經空間格點法所決定的 248 個特定區域配適整體模型（表八）。就時間模型而言，參數 c 仍為負數，且判定係數的值較原始資料配適之值低。至於規模預測模型，參數 C 仍為負數，是合理的結果，但其判定係數較原始資料配適之值較小。同時觀察時間及規模預測模型的截距項在空間上的分布（圖二十四）。就時間模型的截距項而言，在竹苗附近向東至花蓮附近的區域及宜蘭花蓮外海有較低的值，顯示就相同的 M_p 及 M_{min} ，這

些地區的下一個 $M \geq M_{\min}$ 的地震會較快發生。就規模預測模型的截距項而言，在台灣西部及台東及屏東外海有較高的值，顯示就相同的 M_p 及 M_{\min} ，這些地區的下一個 $M \geq M_{\min}$ 地震的規模會較大。

人工散群資料

針對人工散群後所留下的 610 筆地震資料經空間格點法所決定的 229 個特定區域配適整體模型（表九）就時間模型而言，參數 c 為正數，且判定係數提高至 21%。至於規模預測模型而言，參數 C 仍為負數，是合理的結果，且判定係數也提高至 28%。同時觀察時間及規模預測模型的截距項在空間上的分布（圖二十五）就時間模型的截距項而言，南投花蓮附近的區域及宜蘭外海有較低的值，顯示就相同的 M_p 及 M_{\min} ，這些地區的下一個 $M \geq M_{\min}$ 的地震會較快發生。就規模預測模型的截距項而言，在花蓮台東外海有較高的值，顯示就相同的 M_p 及 M_{\min} ，這些地區的下一個 $M \geq M_{\min}$ 地震的規模會較大。

5.4 地震風險之評估

由上述可知，人工散群資料經空間格點法所配適的整體模型是比較合理的模型，因此本節根據此預測模型計算未來強震在一段時間內發生的機率，以評估強震空間風險。

就此模型的殘差分布（圖二十六）而言，時間預測模型的殘差分布近似於常態分布（平均數為 0，標準差為 0.4982），而規模預測模型的殘差分布亦近似於常態分布（平均數為 0，標準差為 0.2230）。因此採用 Papazachos 的機率公式（第二章）計算自 1999/6/30 至 2000/6/30 各地區會發生 $M \geq 6.0$ 地震的機率（圖二十七）。事實上，自 1999/6/30 至 2000/6/30 台灣發生了四筆 $M \geq 6.0$ 的地震（表十），從機率空間散佈圖我們發現，唯有第 1 及第 4 筆地震發生在相對較高機率之區域，其他的兩筆資料則發生在機率較低的區域。不過，第 2 及第 3 筆資料皆發生在集集地震（1999/9/20）之後，若將之歸屬於集集餘震，則此一強震時間—規模模型應用於適當散群地震資料，其預測能力仍然可以期待。

第六章 結論與展望

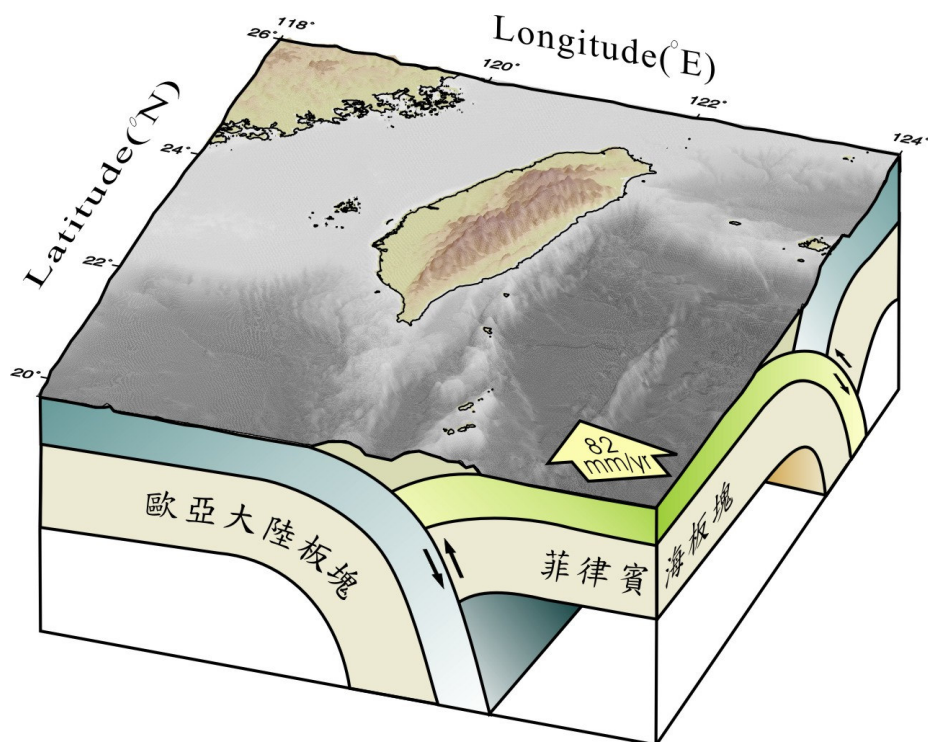
台灣地區百年來的災害性地震大多數是規模 6.0 以上的強震，故分析強震的發生時間及規模即為重要的課題之一。本文分別根據台灣地區自西元 1900 年 1 月 1 日至西元 1999 年 6 月 30 日所有規模在 5.0 以上的原始地震資料、視窗散群資料及人工散群資料，研究台灣長期的強震發生模式，藉以了解強震發生的間隔時間及規模之間的關係。分析結果發現以人工散群資料所配適的模型較為合理，顯示人工散群的方法較能有效的刪除餘震，但是有部份的規模預測模型結果不合理，可能是地震目錄中仍保留可能的前震。本文研究的空間預測模式則能描述此時間－規模預測模型與地質或地區的相關性，且可進一步根據此模型計算未來強震在一段時間內發生的機率，以提供評估強震空間風險之用。

本文針對四個地震系統區所配適的模型均不甚理想，而採用空間格點法時，某些點格的模型相對來說則較為合理，這說明了此預測模型較適合於小範圍的區域。因此在未來的研究中可以針對台灣地區特定斷層或特殊地質的小範圍區域配適此預測模型，以研究強震在小範圍中的發生模式。而在地震散群方面，未來可針對台灣地區的主震配適時空模型進行散群，以獲得更有效的散群資料。

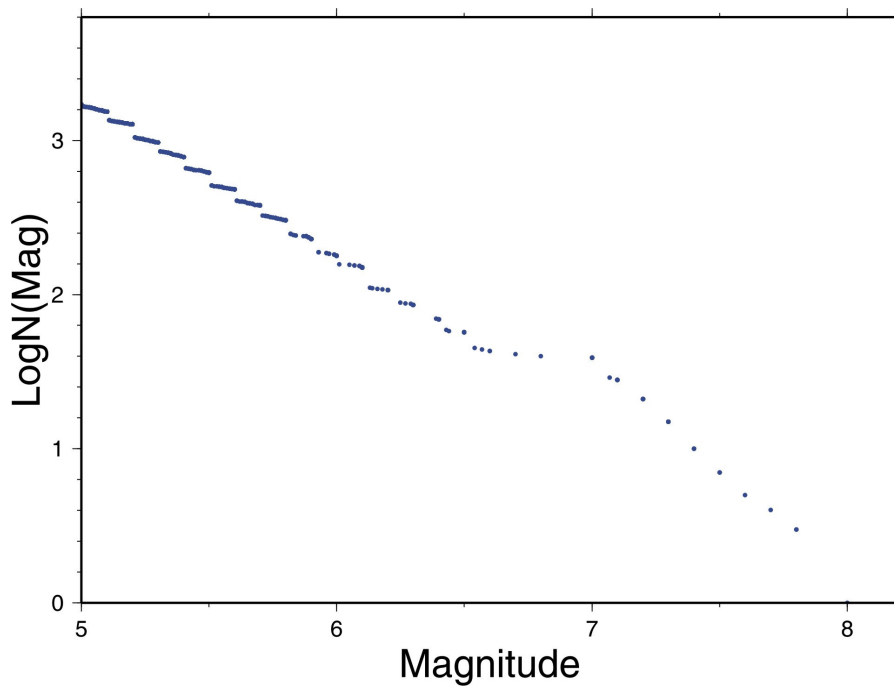
參考文獻

- Agnew, D.C. and L.M. Jones, 1991, Prediction probabilities from foreshocks, *J. Geophys. Res.* **96**, 11959-11971.
- Bufe, C.G., Harsh, P.W. and Burford, R.D., 1977, Steady-state Seismic Slip: A precise recurrence model, *Geophys. Res. Lett.*, **4**, 91-94.
- Gutenberg, B., and C. F. Richter, 1954, *Seismicity of the Earth*, 2nd ed., Princeton University, Princeton, New Jersey.
- Ho, C.S., 1986, A Synthesis of the Geologic Evolution of Taiwan, *TECTONOPHYSICS*, **125**, 1-16.
- Papazachos, B.C., 1989, A time predictable model for earthquake generation in Greece, *Bull. Seism. Soc. Am.* **79**, 77-84.
- Papazachos, B.C., 1992, A time and magnitude predictable model for generation of shallow earthquakes in the Aegean area, *Pure Appl. Geophy*, **138**, 287-308
- Papazachos, B.C. and Papazachou, C.B., 1993, Long term earthquake prediction in the Aegean area based on a time and magnitude predictable model, *Pure Appl. Geophy*, **140**, 593-612.
- Papazachos, B.C. and Papadimitriou, E.E, 1997, Evaluation of the global applicability of the regional time- and magnitude-predictable seismicity model, *Bull. Seism. Soc. Am.* **87**, no. 4, 799-808.
- Papadimitriou, E.E, Papazachos, C.B. and Tsapanos, T.M., 2000, Test and application of the time- and magnitude predictable-model to the intermediate and deep focus earthquakes in the subduction zones of the circum-Pacific, *Tectonophysics*, **330**, 45-68.
- Reasenberg, P., 1985, Second-order moment of central California seismicity 1969-1982, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California, *Journal Of Geophysical Research*, **90**, no. B7, 5479-5495.

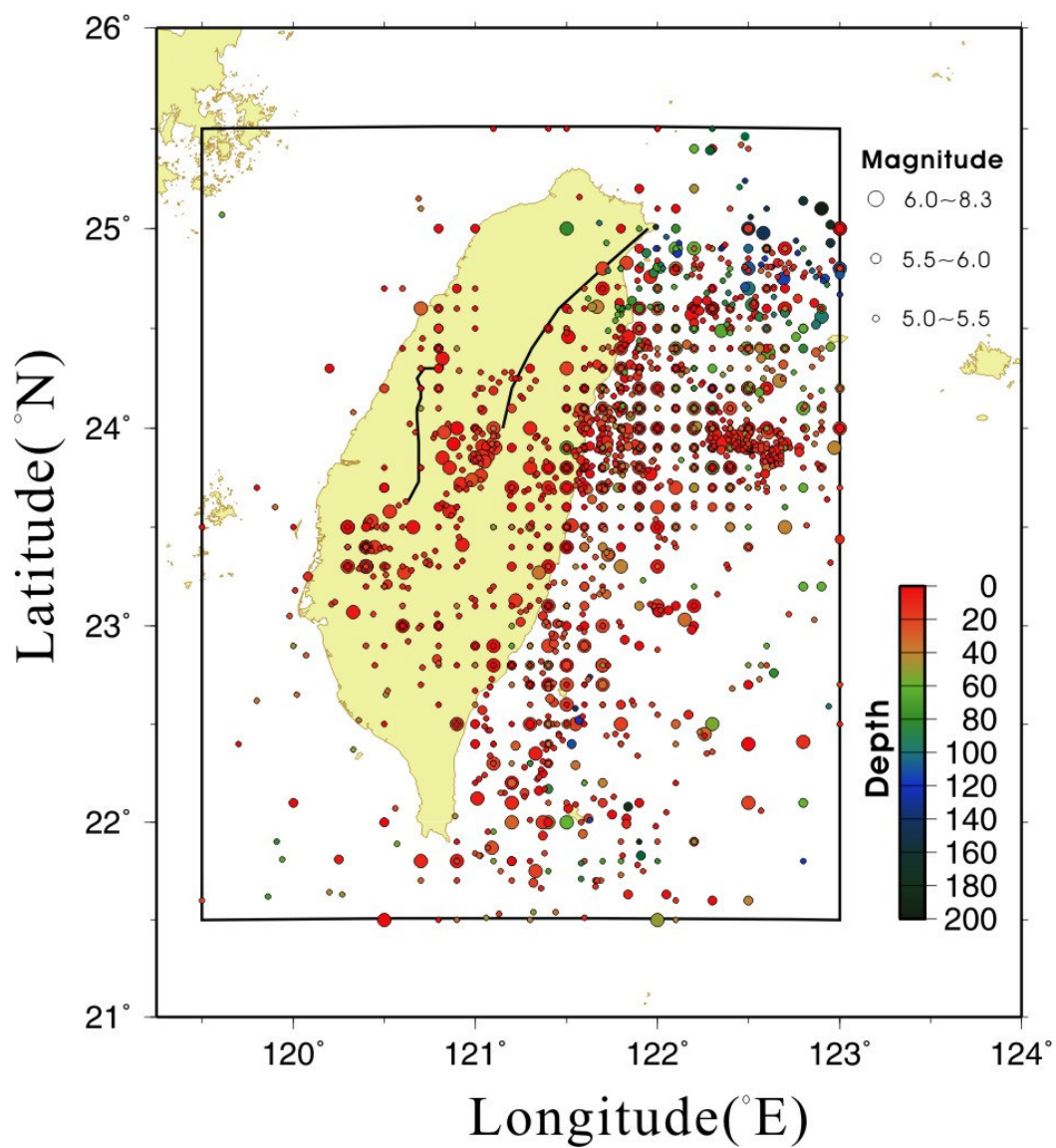
- Reasenber, P. A. and Jones, L. M., 1989, Earthquake hazard after a mainshock in California, *Science*, **243**, 1173-1176.
- Shimazaki, K. and Nakata, T., 1980, Time-Predictable Recurrence Model for Large Earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, **7**, 279-282.
- Sykes, L.R. and Quittmeyer, R.C., 1981, Repeat times of great earthquakes along simple plate boundaries in earthquake prediction, *An International Review*, **4**, 297-332.
- Utsu, T., 1961, A statistical study on the occurrence of aftershocks, *The Geophysical Magazine*, **30**, 4, 521-605.
- Wang, C.Y. and Shin, T.C., 1998, Illustrating 100 years of Taiwan seismicity, *TAO*, **9**, no. 4, 589-614.
- Wyss, M and Wiemer, S., 1994, Seismic Quiescence Before the Landers (M=7.5) and Big Bear (M=6.5) 1992 Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **84**, 900-916.



圖一：台灣附近地區板塊碰撞示意圖。

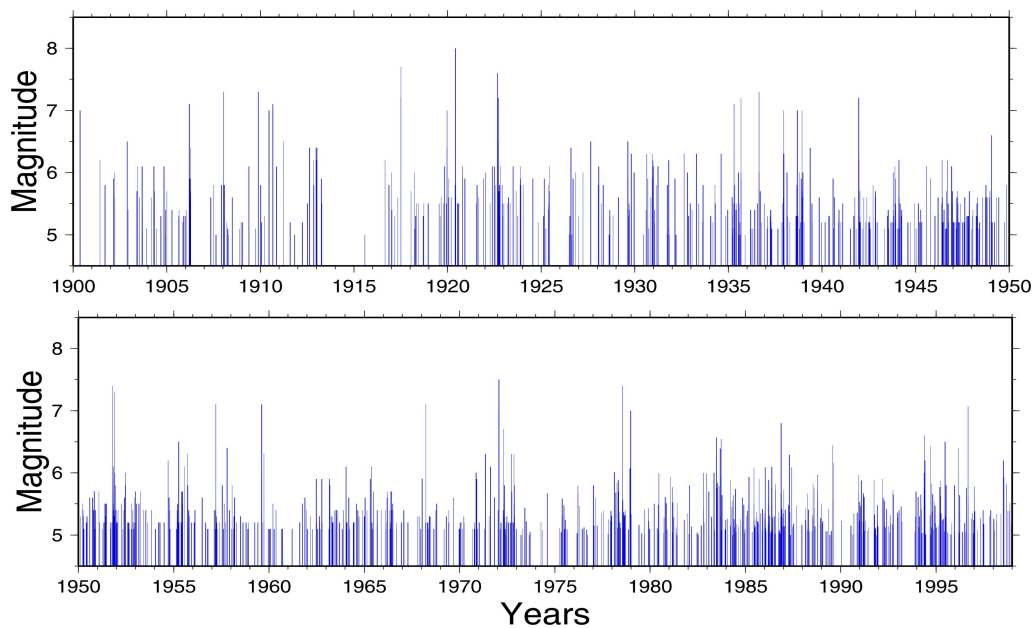


圖二：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震規模－頻率關係。

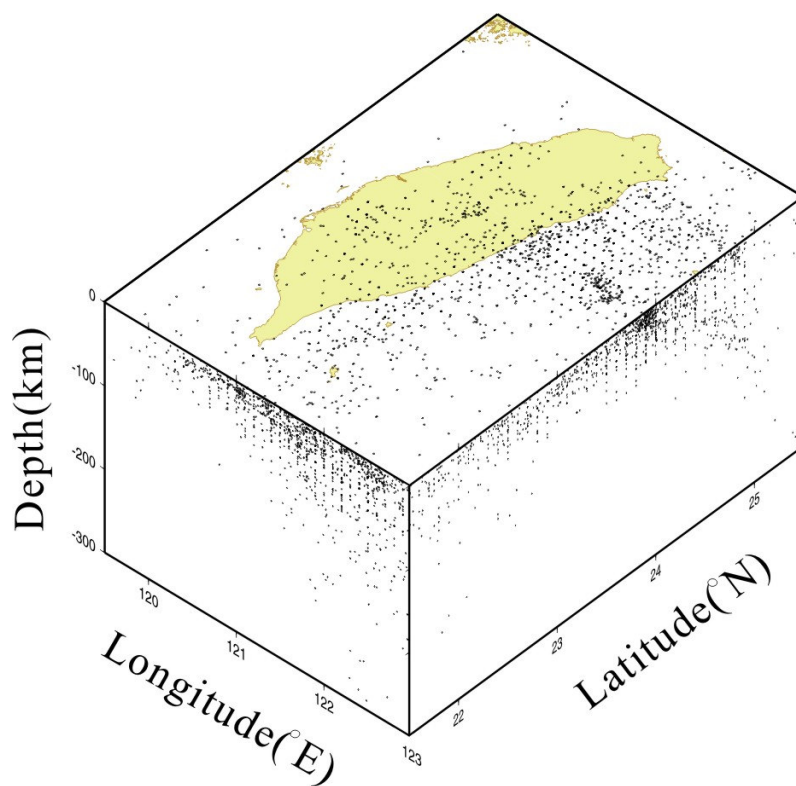


圖三：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震散佈圖。

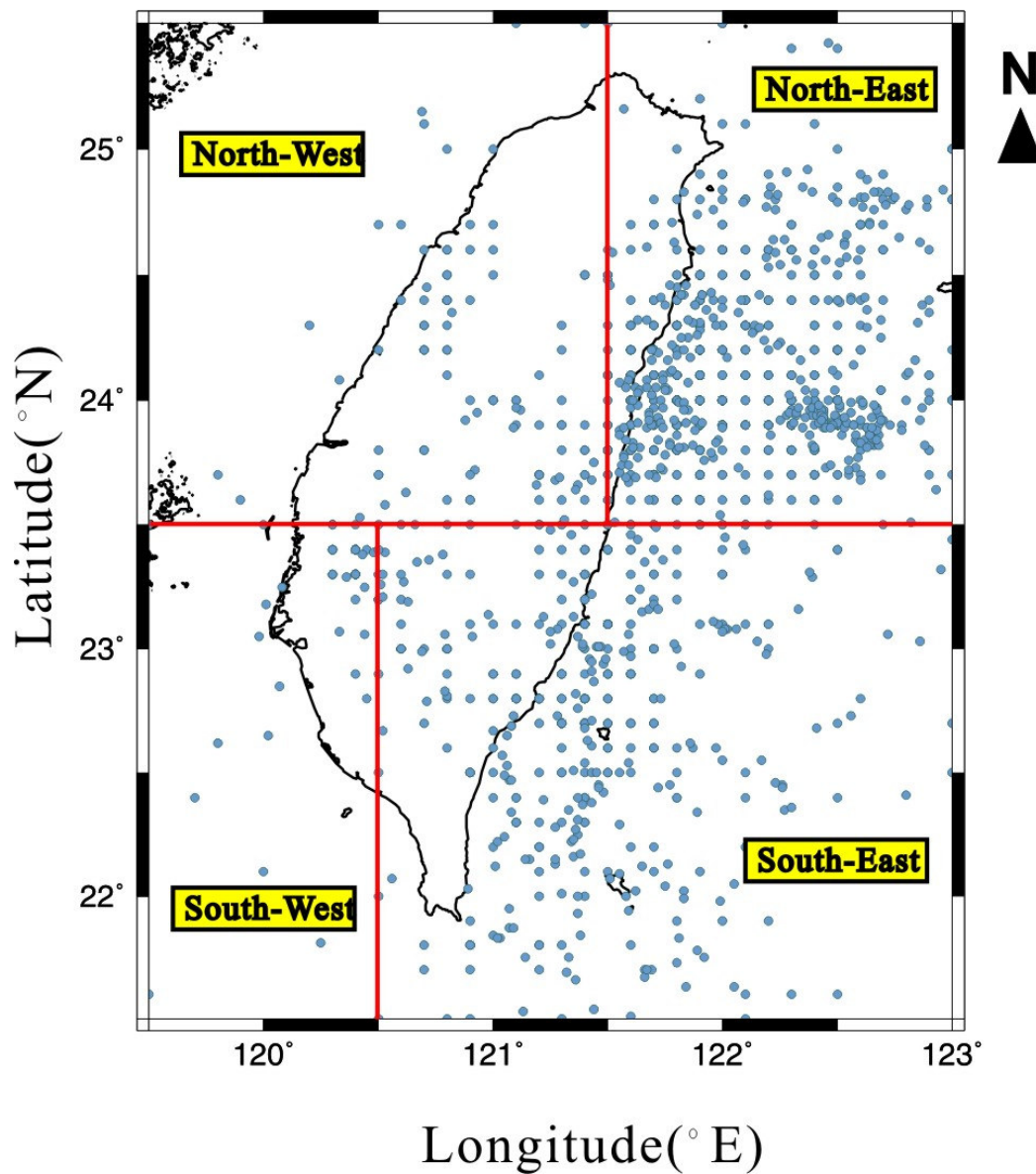
(資料來源：中央氣象局)



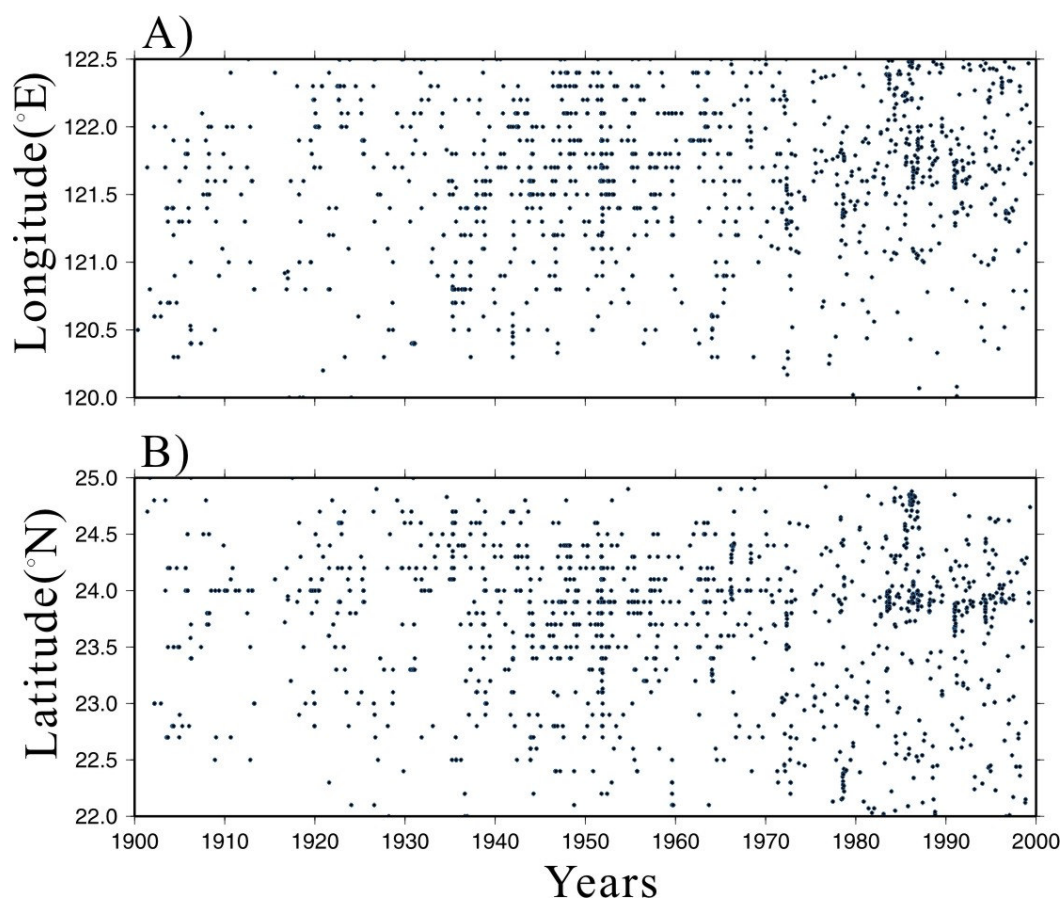
圖四：1900/1/1—1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震時間—規模分布圖。



圖五：1900/1/1—1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震空間散布圖。



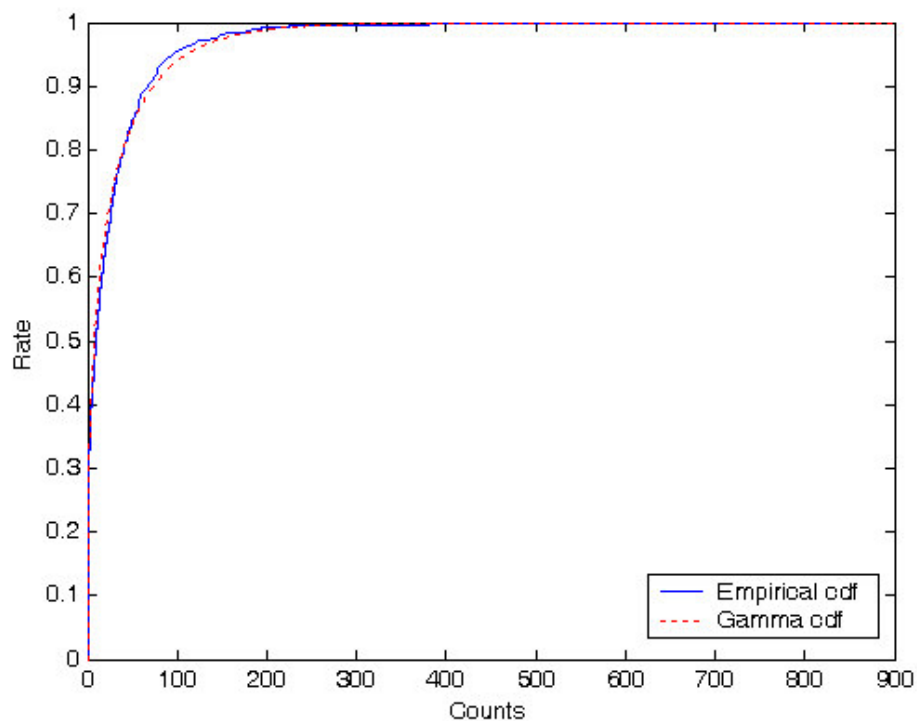
圖六：台灣地區四個地震系統區域：(1)東北：琉球隱沒帶系統，(2)東南：菲律賓海板塊邊界系統，(3)西南：南中國海依附系統，(4)西北：推擠彎曲系統。



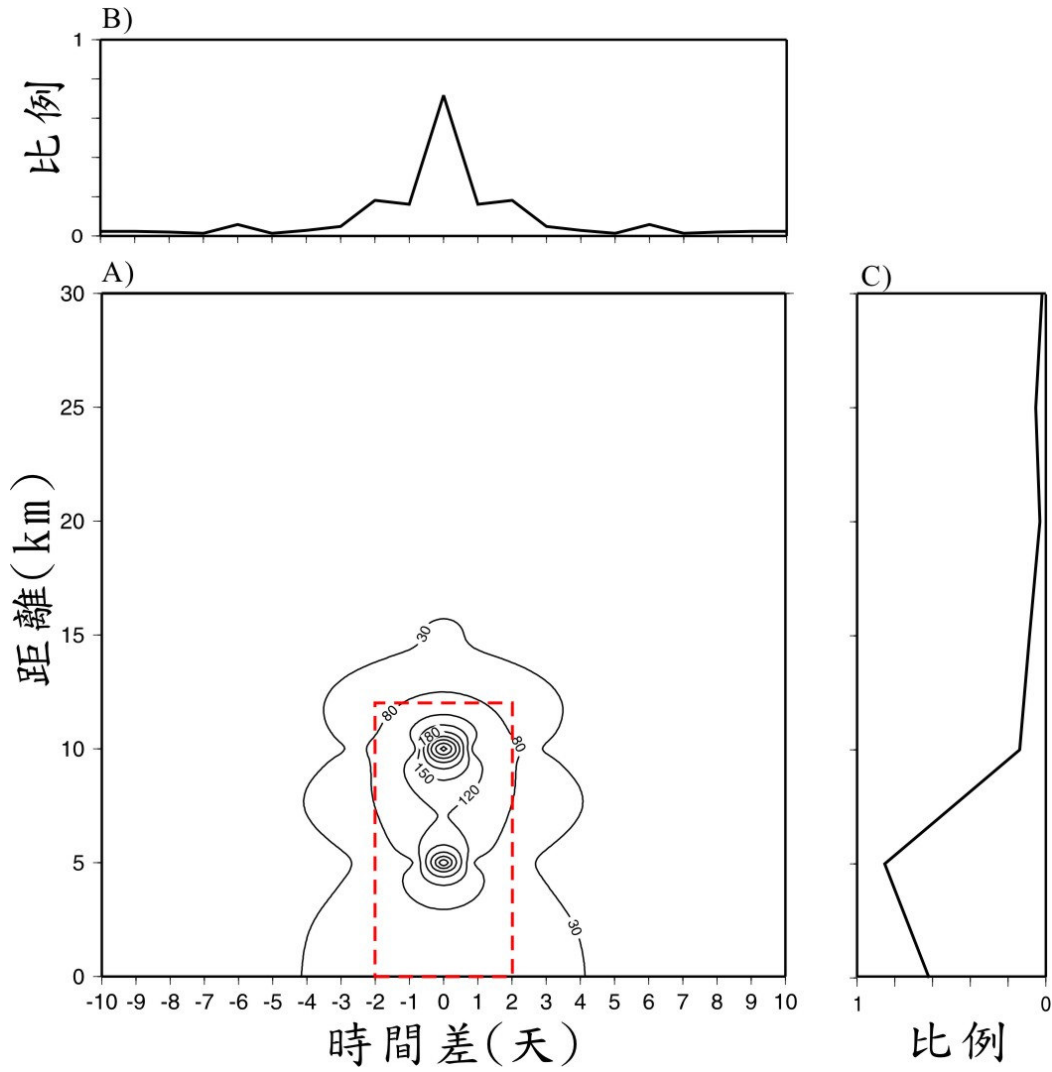
圖七：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震分布圖。

(A) 時間－經度分布圖。

(B) 時間－緯度分布圖。

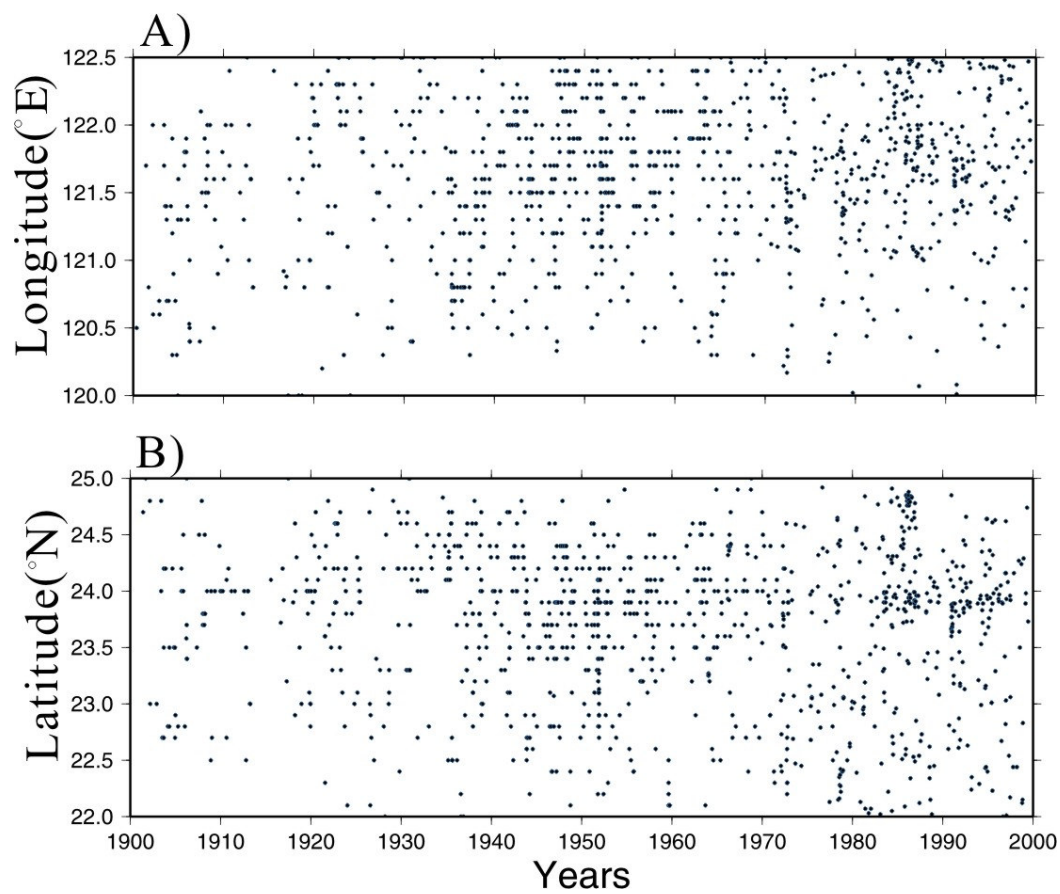


圖八：1900/1/1—1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 地震相隔時間之經驗累積分布和伽馬分布(形狀參數為 0.3331, 比率參數為 75.4328)比較圖。



圖九：1900/1/1—1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 成對地震在時間差及距離的二維分布圖。

- (A) 聯合二維分布圖。
- (B) 時間差邊際分布比例圖。
- (C) 距離邊際分布比例圖。

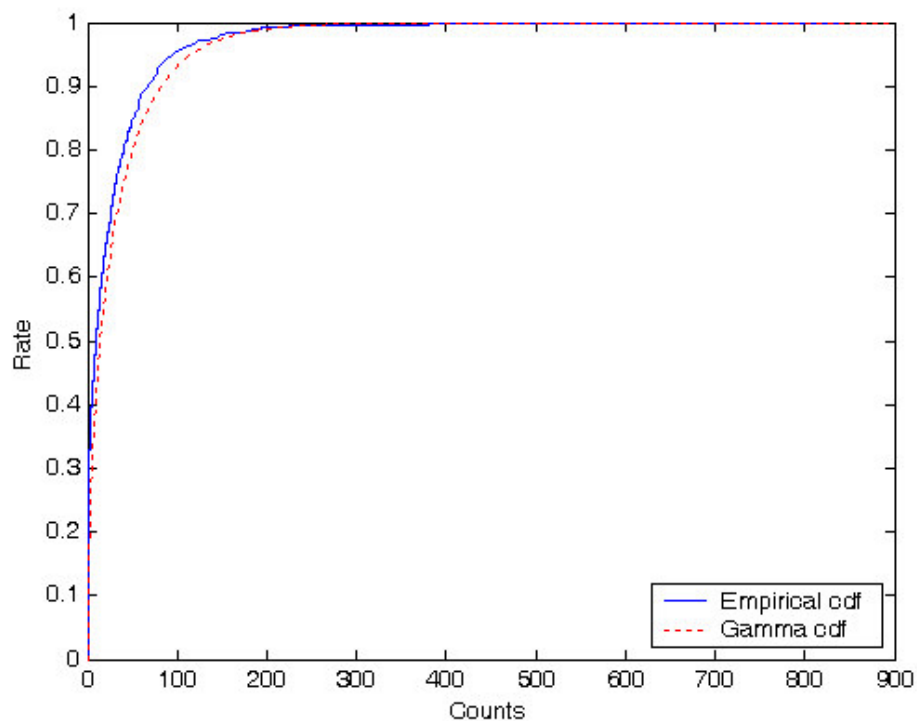


圖十：1900/1/1—1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 視窗散群地震資料分布

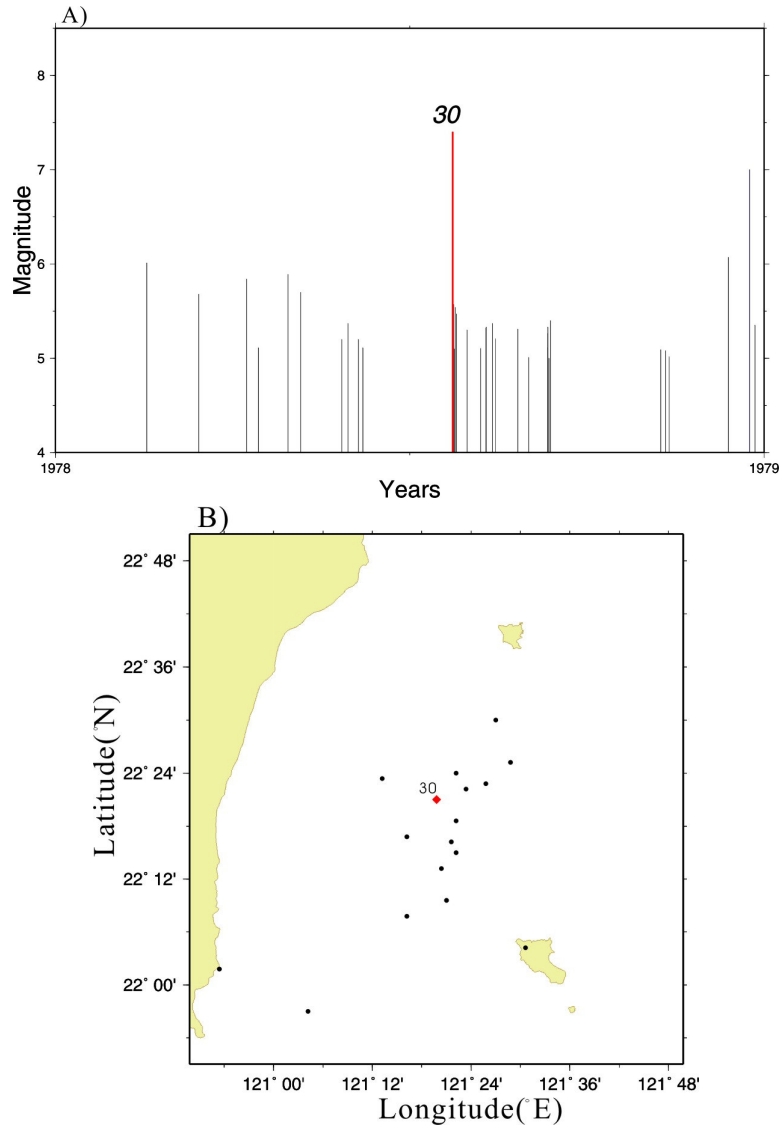
圖。

(A) 時間—經度分布圖。

(B) 時間—緯度分布圖。



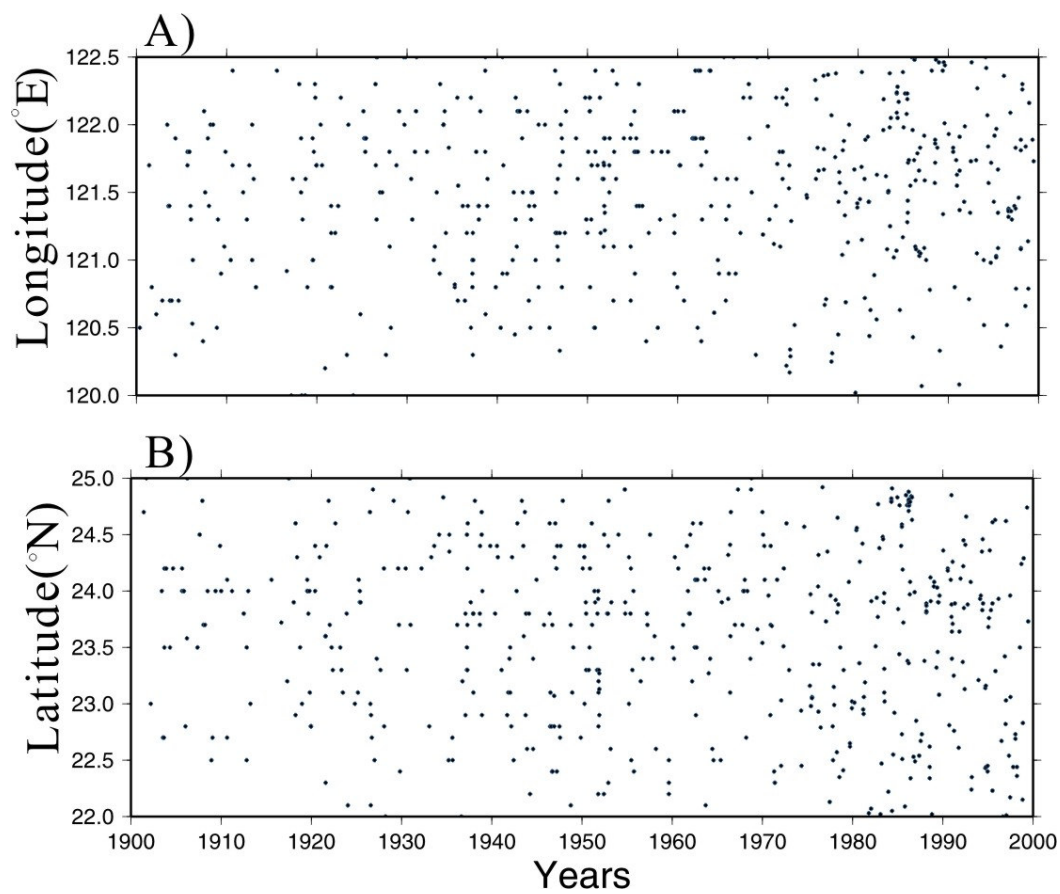
圖十一：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 視窗散群地震相隔時間之經驗累積分布和伽馬分布（形狀參數為 0.5128，比率參數為 59.4001）比較圖。



圖十二：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區第三十筆規模為 7.40 地震
規模－時間分布圖及空間分布圖。

(A) 第三十筆規模為 7.40 的地震 (時間：1978/7/23，位置：
東經 121.33 度，北緯 22.35 度)，其發生後兩個月內，
地震的發生有群集的現象。

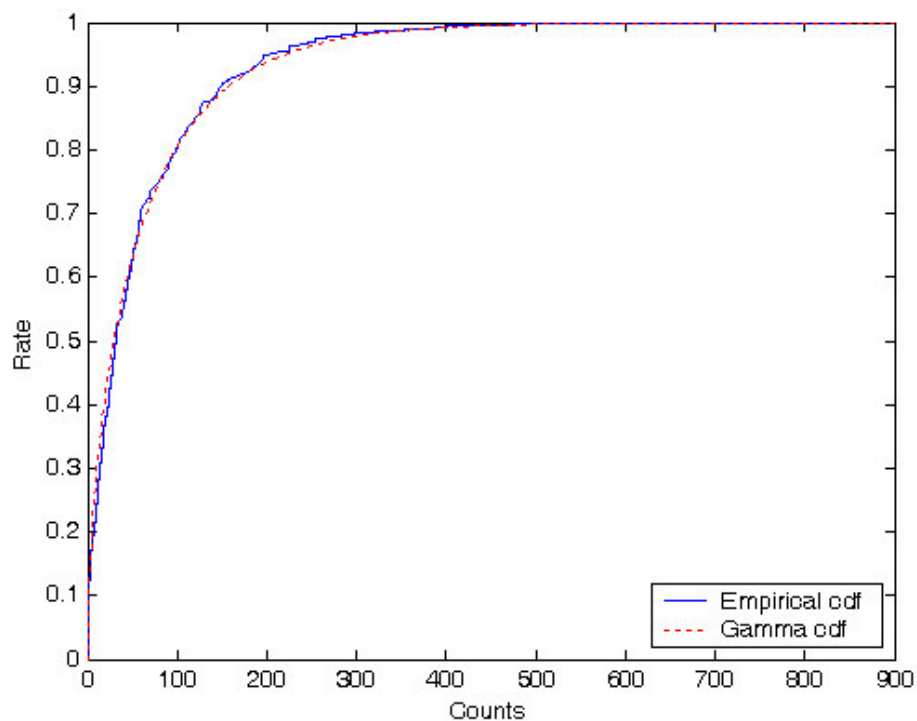
(B) 此筆規模為 7.40 的地震發生後兩個月內之地震空間分
布圖。



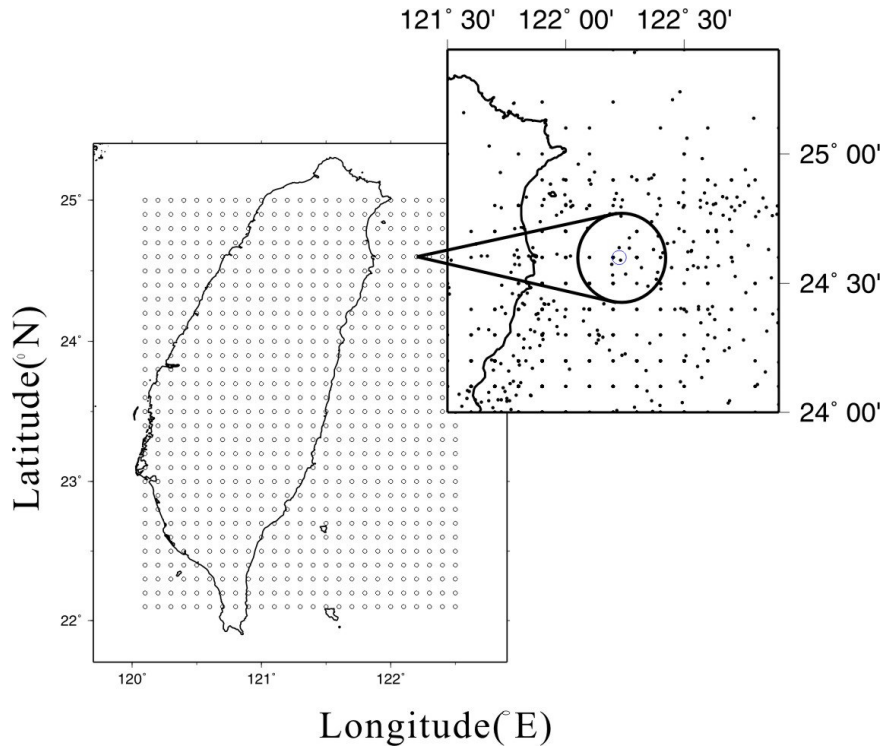
圖十三：1900/1/1—1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 人工散群地震資料分布圖。

(A) 時間—經度分布圖。

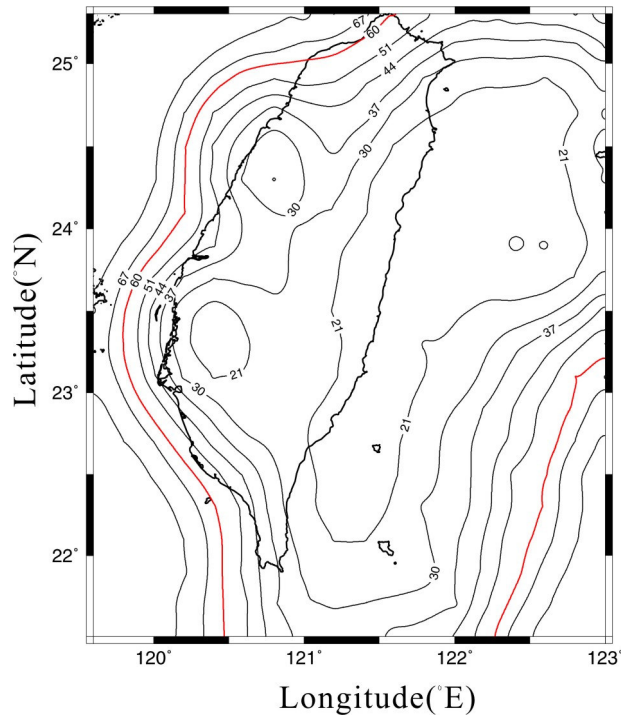
(B) 時間—緯度分布圖。



圖十四：1900/1/1—1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 人工散群地震相隔時間之經驗累積分布和伽馬分布（形狀參數為 0.5518，比率參數為 107.6731）比較圖。

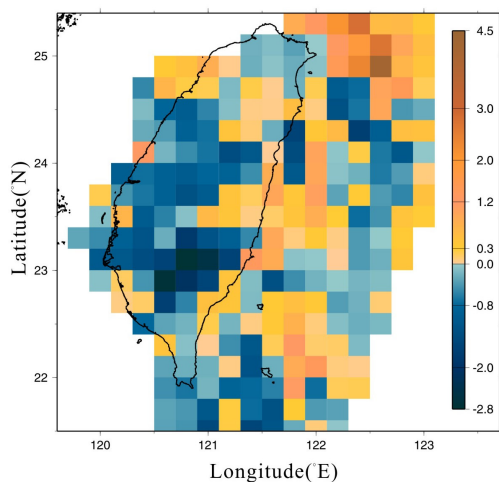


圖十五：空間格點示意圖。

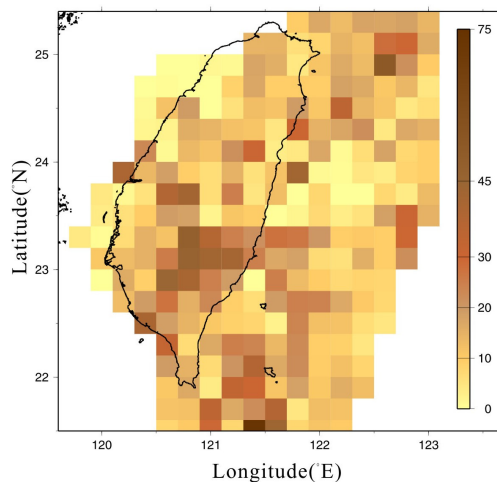


圖十六：1900/1/1－1999/6/30 台灣地區 $M \geq 5.0$ 的原始地震資料經空間格點法所決定之圓半徑等值線圖。

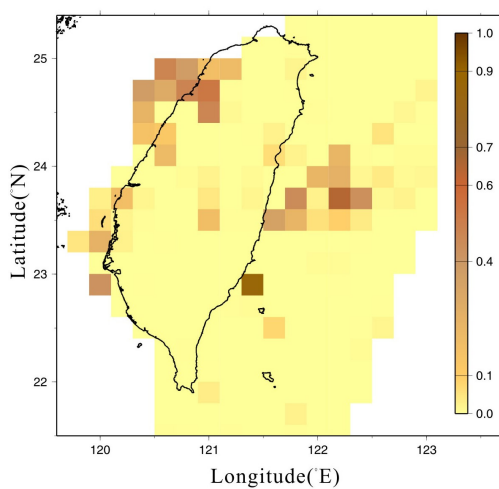
(A) 參數 c 空間色散圖



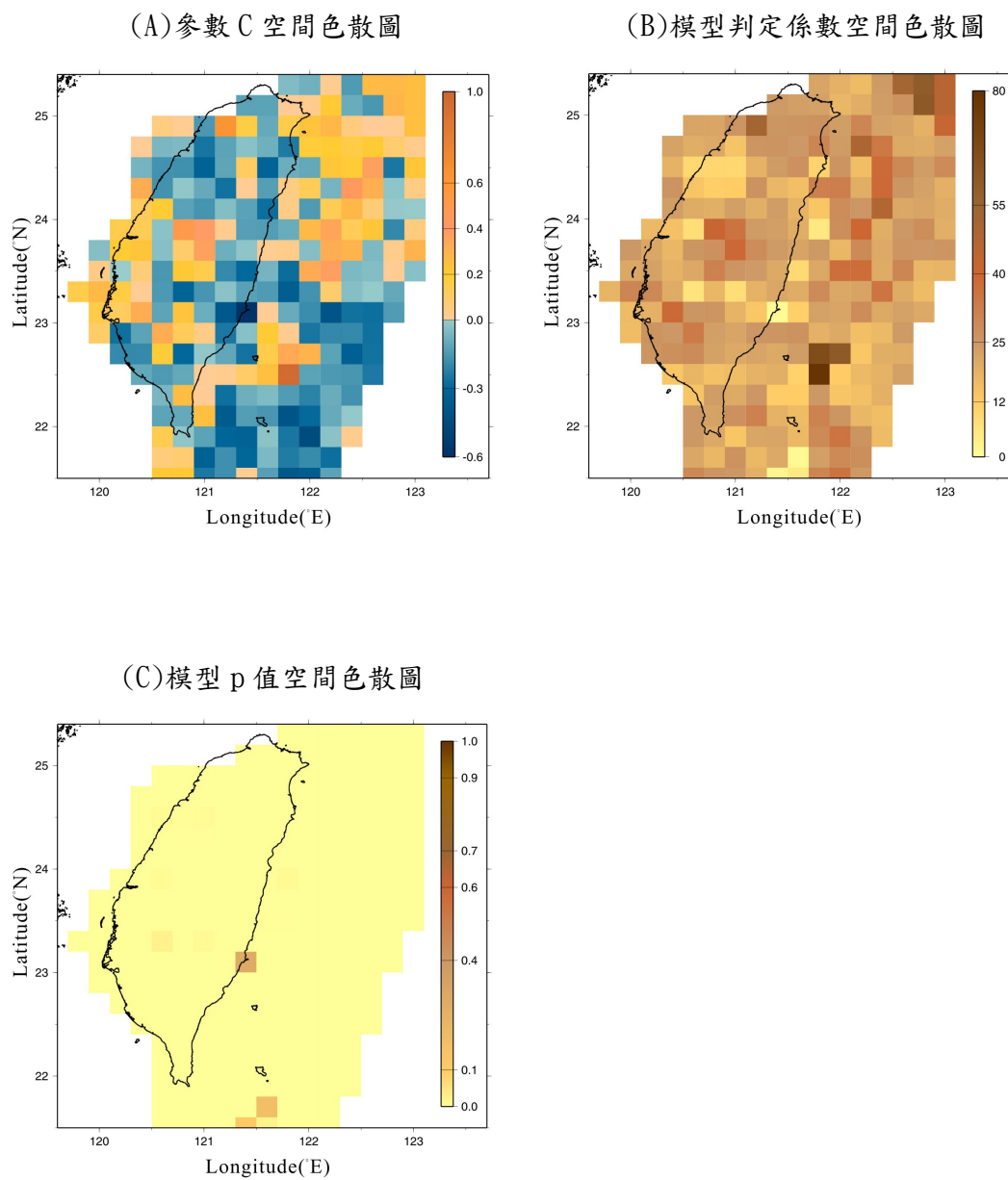
(B) 模型判定係數空間色散圖



(C) 模型 p 值空間色散圖

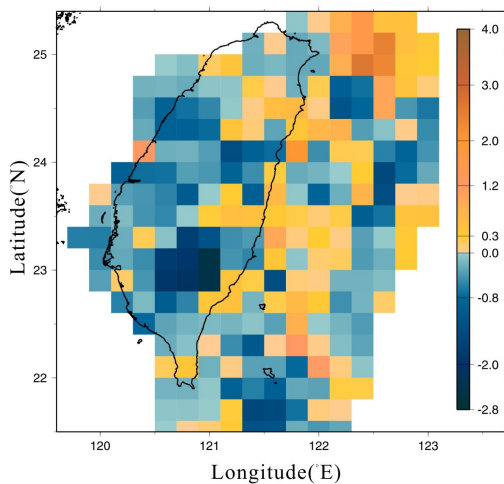


圖十七：原始資料之空間格點時間預測模型。

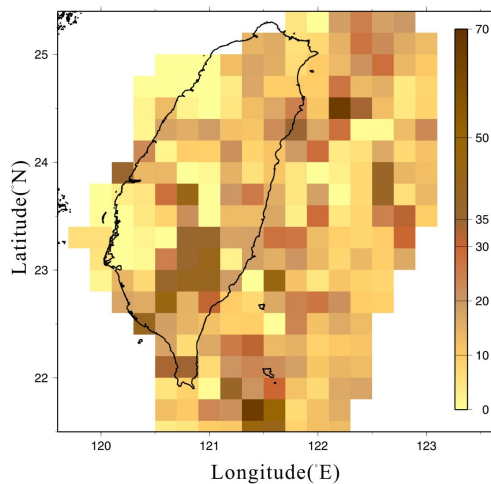


圖十八：原始資料之空間格點規模預測模型。

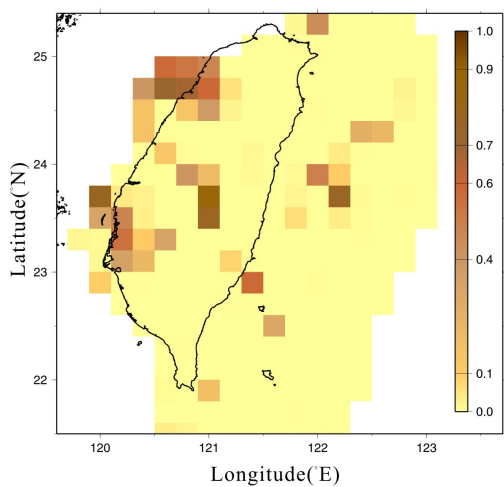
(A) 參數 c 空間色散圖



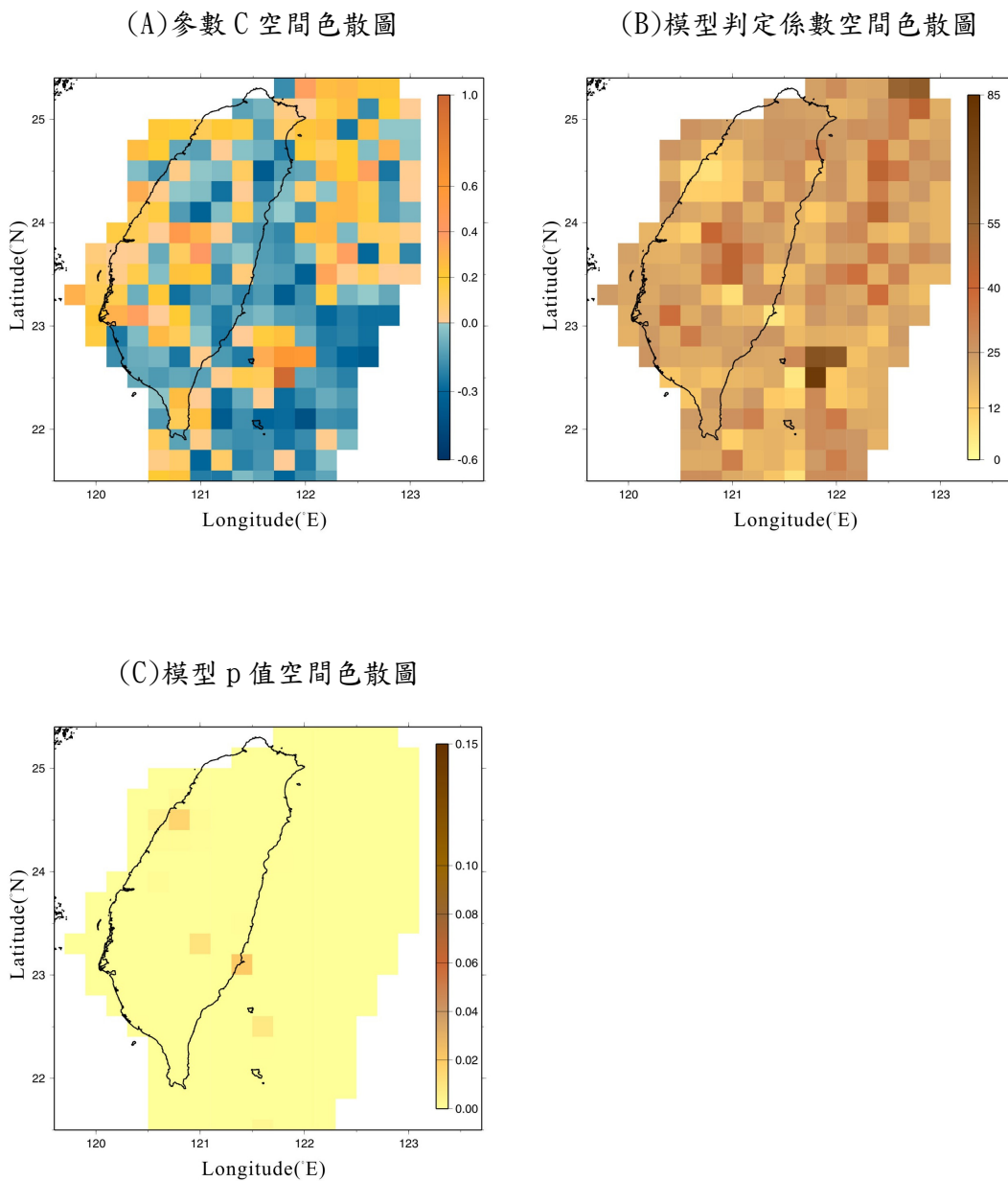
(B) 模型判定係數空間色散圖



(C) 模型 p 值空間色散圖

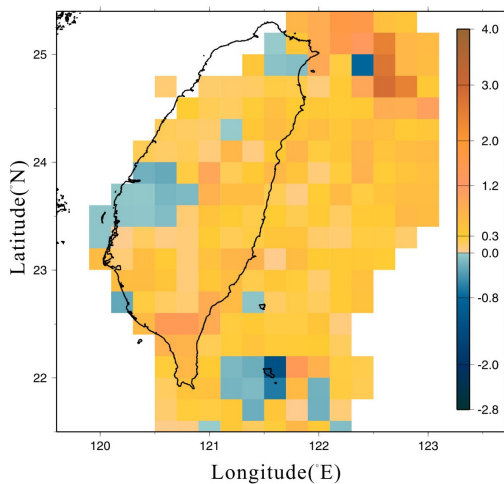


圖十九：視窗散群資料之空間格點時間預測模型。

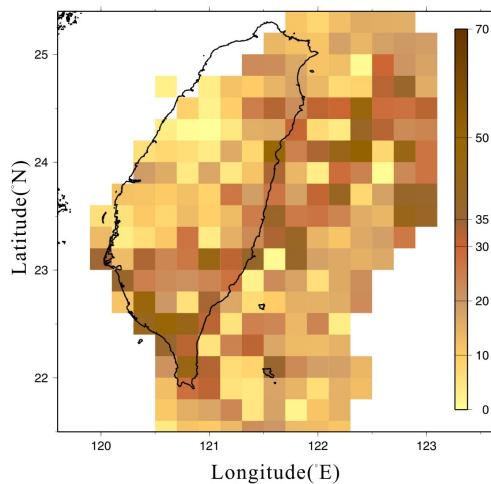


圖二十：視窗散群資料之空間格點規模預測模型。

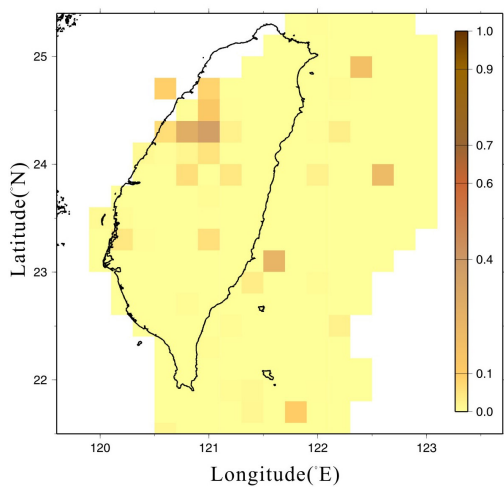
(A) 參數 c 空間色散圖



(B) 模型判定係數空間色散圖

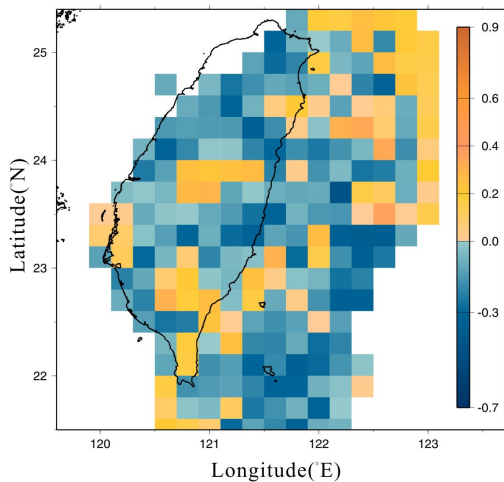


(C) 模型 p 值空間色散圖

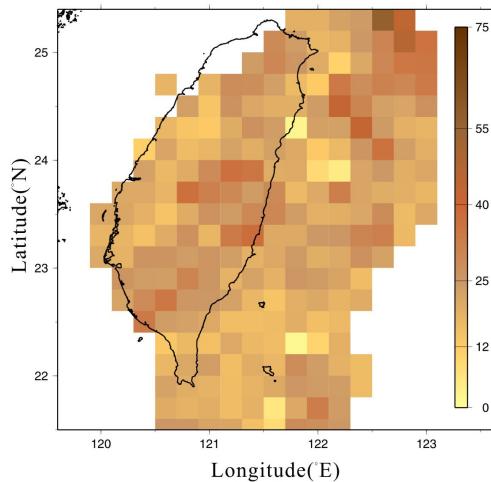


圖二十一：人工散群資料之空間格點時間預測模型。

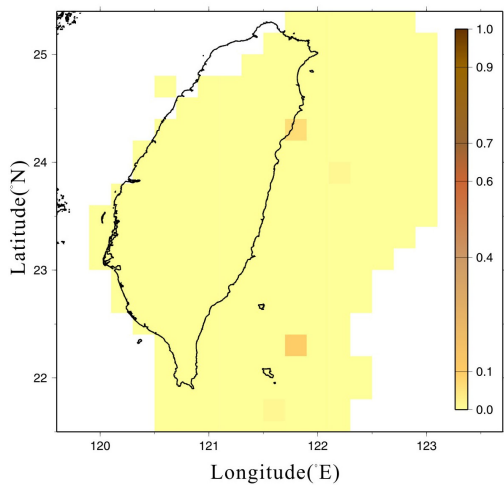
(A) 參數 C 空間色散圖



(B) 模型判定係數空間色散圖

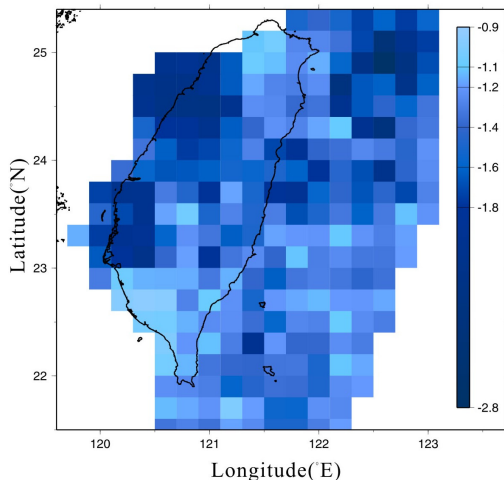


(C) 模型 p 值空間色散圖

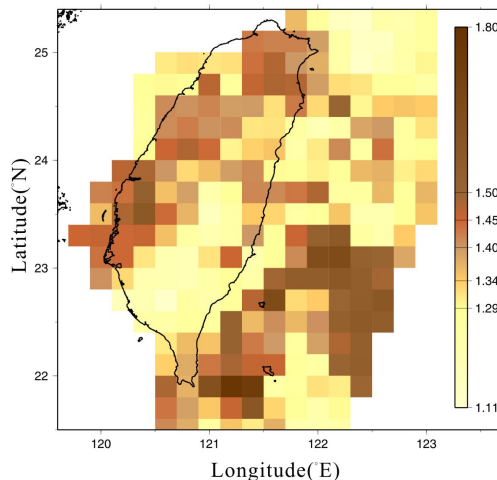


圖二十二：人工散群資料之空間格點規模預測模型。

(A) 時間模型截距項空間色散圖

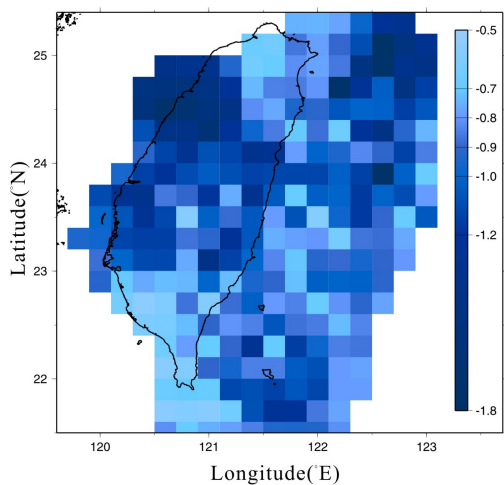


(B) 規模模型截距項空間色散圖

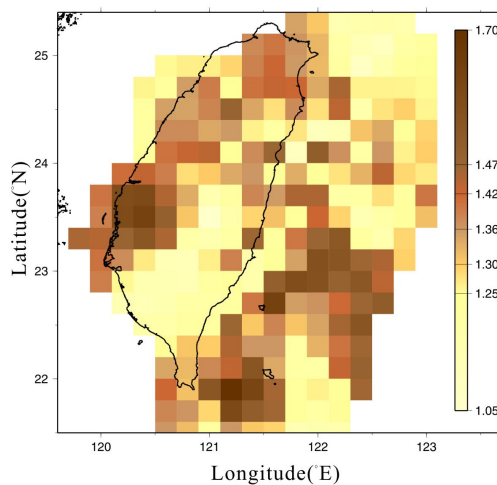


圖二十三：原始資料之空間格點整體模型。

(A) 時間模型截距項空間色散圖

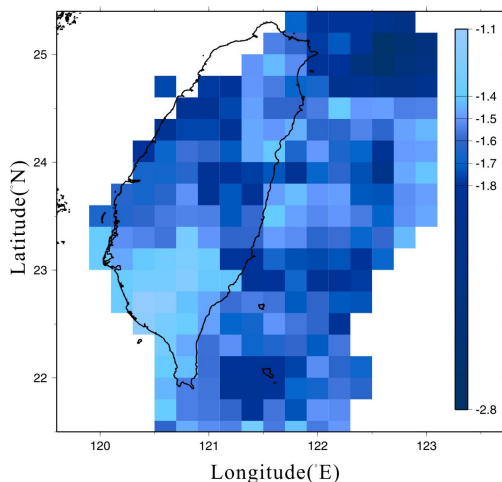


(B) 規模模型截距項空間色散圖

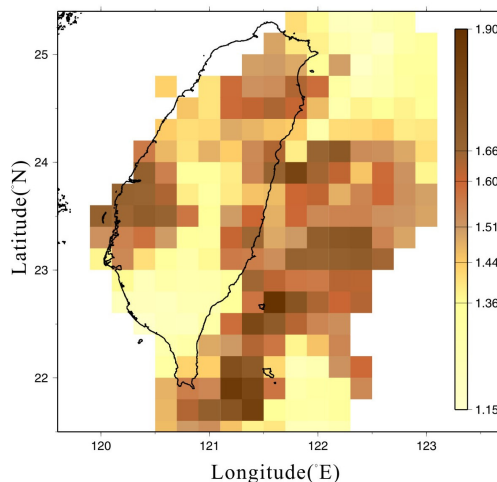


圖二十四：視窗散群資料之空間格點整體模型。

(A) 時間模型截距項空間色散圖

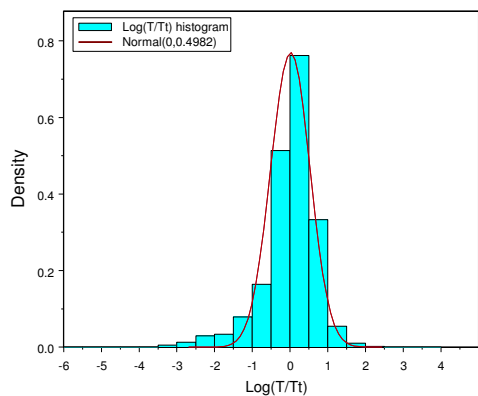


(B) 規模模型截距項空間色散圖

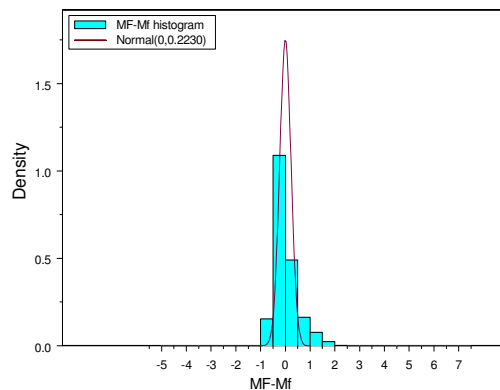


圖二十五：人工散群資料之空間格點整體模型。

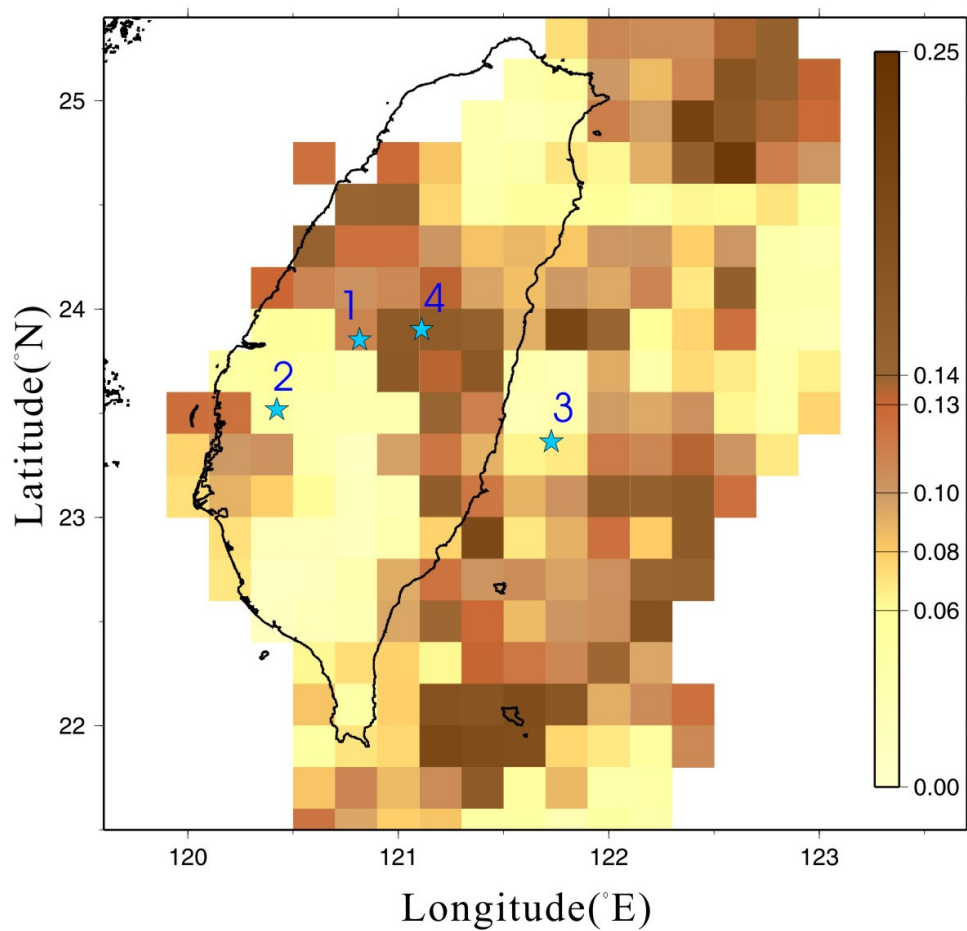
(A) 時間預測模型殘差分布



(B) 規模預測模型殘差分布



圖二十六：人工散群資料空間格點整體模型之殘差分布圖。



圖二十七：1999/6/30-2000/6/30 台灣地區發生 $M \geq 6.0$ 地震機率之空間色散圖。

表一：原始資料之分區時間－規模預測模型

表中各區時間預測模型 I 及 II 的 M_p 之係數為參數 c ，時間預測模型 III 的 M_p 之係數為 $c + d \times 5.0$ （就 $M_{\min} = 5.0$ 而言）規模預測模型 I 及 II 的 M_p 之係數為參數 C ，時間預測模型 III 的 M_p 之係數為 $C + D \times 5.0$ 。

地區	模型	時間預測模型			規模預測模型		
		M_p 之係數	判定係數(%)	模型 p 值	M_p 之係數	判定係數(%)	模型 p 值
東北	I	-0.4829	1.79	0.0001	0.1450	2.11	0.0000
	II	-0.4450	6.39	0.0000	0.1204	38.69	0.0000
	III	-0.5000	6.49	0.0000	0.1100	38.72	0.0000
東南	I	-0.7596	8.27	0.0000	0.0939	0.91	0.0577
	II	-0.8358	11.39	0.0000	0.0415	42	0.0000
	III	-0.8219	11.4	0.0000	0.0592	42.09	0.0000
西南	I	-1.7798	21.94	0.0018	0.1334	1.76	0.4027
	II	-1.3235	8.98	0.0354	0.1648	39.74	0.0000
	III	-1.3549	9.01	0.0838	0.1424	39.92	0.0000
西北	I	-0.4349	2.86	0.0734	0.1201	1.41	0.21
	II	-0.5655	4.88	0.0139	0.1146	38.74	0.0000
	III	-0.5270	4.95	0.0343	0.0977	38.82	0.0000

表二：視窗散群資料之分區時間－規模預測模型

表中各區時間預測模型 I 及 II 的 M_p 之係數為參數 c ，時間預測模型 III 的 M_p 之係數為 $c + d \times 5.0$ 。規模預測模型 I 及 II 的 M_p 之係數為參數 C ，時間預測模型 III 的 M_p 之係數為 $C + D \times 5.0$ 。

地區	模型	時間預測模型			規模預測模型		
		M_p 之係數	判定係數(%)	模型 p 值	M_p 之係數	判定係數(%)	模型 p 值
東北	I	-0.276	1.77	0.0008	0.1734	3.02	0.0000
	II	-0.3789	8.78	0.0000	0.157	39.24	0.0000
	III	-0.3264	9.00	0.0000	0.1498	39.26	0.0000
東南	I	-0.5872	8.14	0.0000	0.0941	0.91	0.0723
	II	-0.7596	13	0.0000	0.0415	42.18	0.0000
	III	-0.6701	13.65	0.0000	0.0672	42.38	0.0000
西南	I	0.0857	0.17	0.8294	0.2508	6.21	0.1921
	II	0.4726	3.58	0.4249	0.1926	44.71	0.0000
	III	0.6246	4.78	0.5169	0.2218	45.03	0.0000
西北	I	-0.3546	2.44	0.1047	0.112	1.23	0.2512
	II	-0.5392	5.01	0.014	0.1043	38.56	0.0000
	III	-0.4727	5.26	0.0301	0.0885	38.63	0.0000

表三：人工散群資料之分區時間－規模預測模型

表中各區時間預測模型 I 及 II 的 M_p 之係數為參數 c ，時間預測模型 III 的 M_p 之係數為 $c+d \times 5.0$ 。規模預測模型 I 及 II 的 M_p 之係數為參數 C ，時間預測模型 III 的 M_p 之係數為 $C+D \times 5.0$ 。

地區	模型	時間預測模型			規模預測模型		
		M_p 之係數	判定係數(%)	模型 p 值	M_p 之係數	判定係數(%)	模型 p 值
東北	I	0.4486	5.3	0.0003	0.1588	2.54	0.012
	II	0.4085	14.63	0.0000	0.167	37.31	0.0000
	III	0.4577	14.84	0.0000	0.1606	37.32	0.0000
東南	I	0.0724	0.15	0.5634	0.0604	0.38	0.3647
	II	-0.0091	3.86	0.0008	0.0562	41.04	0.0000
	III	0.0845	4.67	0.0007	0.0682	41.08	0.0000
西南	I	0.2362	3.37	0.4382	0.2684	7.1	0.2562
	II	0.7661	11.26	0.1666	0.2607	51.14	0.0000
	III	0.8932	11.97	0.2888	0.2853	51.33	0.0001
西北	I	0.0973	0.37	0.6371	0.1647	2.64	0.2067
	II	-0.0801	0.13	0.9365	0.0967	37.74	0.0000
	III	-0.0026	0.46	0.9268	0.0995	37.74	0.0000

表四：原始資料之整體時間－規模預測模型

	時間預測模型						規模預測模型					
模型係數	b	c	a1	a2	a3	a4	B	C	m1	m2	m3	m4
估計值	1.3869	-0.6253	-4.3872	-3.8177	-3.9473	-3.3145	0.8602	0.0959	0.6005	0.6386	0.6971	0.6318
標準差	0.1146	0.0752	0.4710	0.4756	0.5074	0.4843	0.0333	0.0219	0.1371	0.1384	0.1476	0.1409
p 值	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
判定係數	11.59						40.14					
模型 p 值	0.0000						0.0000					

表五：視窗散群資料之整體時間－規模預測模型

	時間預測模型						規模預測模型					
模型係數	b	c	a1	a2	a3	a4	B	C	m1	m2	m3	m4
估計值	1.0789	-0.5013	-2.8998	-2.6652	-2.0782	-2.3164	0.8567	0.1128	0.5424	0.5794	0.6278	0.5596
標準差	0.0905	0.0587	0.3722	0.3750	0.4065	0.3806	0.0368	0.0239	0.1515	0.1527	0.1655	0.1550
p 值	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
判定係數	10.95						40.44					
模型 p 值	0.0000						0.0000					

表六：人工散群資料之整體時間－規模預測模型

	時間預測模型						規模預測模型					
模型係數	b	c	a1	a2	a3	a4	B	C	m1	m2	m3	m4
估計值	0.3908	0.1842	-2.7098	-2.7581	-2.2434	-2.3151	0.8579	0.1166	0.5768	0.6149	0.5888	0.5916
標準差	0.1186	0.0756	0.4990	0.5012	0.5364	0.5081	0.0516	0.0329	0.2171	0.2180	0.2333	0.2210
p 值	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
判定係數	6.1						39.4					
模型 p 值	0.0000						0.0000					

表七：原始資料之空間格點整體模型

	時間預測模型		規模預測模型	
	b	c	B	C
模型係數	b	c	B	C
估計值	1.0051	-0.1717	0.8247	-0.0136
標準差	0.0258	0.0128	0.0112	0.0056
p 值	0.0000	0.0000	0.0000	0.0075
判定係數(%)	14.61		26.93	
模型 p 值	0.0000		0.0000	

表八：視窗散群資料之空間格點整體模型

	時間預測模型		規模預測模型	
	b	c	B	C
模型係數	b	c	B	C
估計值	0.9365	-0.1835	0.8332	-0.0121
標準差	0.0215	0.0106	0.0109	0.0054
p 值	0.0000	0.0000	0.0000	0.0121
判定係數(%)	13.47		26.76	
模型 p 值	0.0000		0.0000	

表九：人工散群資料之空間格點整體模型

	時間預測模型		規模預測模型	
	b	c	B	C
模型係數	b	c	B	C
估計值	0.5822	0.2826	0.8666	-0.0582
標準差	0.0165	0.0080	0.0110	0.0054
p 值	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
判定係數(%)	20.79		28.27	
模型 p 值	0.0000		0.0000	

表十：1999/6/30—2000/6/30 之 4 筆 $M \geq 6.0$ 的地震

No.	年	月	日	時:分:秒	經度	緯度	深度(公里)	規模
1	1999	9	20	17:47:16	120.8155	23.8525	8	7.3
2	1999	10	22	02:18:57	120.4225	23.517	16.59	6.4
3	1999	11	1	17:53:02	121.7258	23.3618	31.33	6.9
4	2000	6	10	18:23:30	121.1092	23.901	16.21	6.7