



嶺東科技大學  
LING TUNG UNIVERSITY

資訊管理系

# 台灣東部地區地震特性 型態辨識及數量預測

指導教授： 倪克明 教授  
組員名單： 劉晏維 A38C017  
梁崇銘 A38C001  
詹修漢 A38C003  
詹昀晟 A38C021  
王翰鈞 A38C075

中 華 民 國 一 〇 七 年 五 月

# 摘 要

本研究蒐集中央氣象局 1995 年到 2017 年 8 月以來台灣的地震公開數據，將有編號（地震規模較大影響大）及無編號（地震規模較小影響較小）統整起來。把台灣東半部地震次數、每個月發生幾次地震、每年發生幾次地震、地震深度、平均地震規模、最大地震規模、地震總能量釋放、兩個地震之間隔時間等，用敘述統計及繪圖方式呈現台灣地震的特性。並以迴歸方程式將台灣地震最頻繁的三個地區即花蓮、宜蘭、台東其震度(Intensity)與震源之經度(Longitude)、緯度(Latitude)、規模 (Magnitude)及深度(Depth, KM)的關係以方程式呈現。這些迴歸方程式可以解釋震度與其他變數間的關係以  $R_{adj}^2$  表示，分析顯示其可以解釋的程度均高於 90%，應有高度參考價值。本專題便是出台灣東岸花蓮、宜蘭、台東地震型態。經多次嘗試錯誤，結果發現宜蘭地震次數以 ARIMA (3,0,0) 模型表示最為正確，而花蓮、台東地震次數以 ARIMA (1,0,0) 表示最為恰當，誤差分析顯示花蓮地震每月地震次數誤差為 0.33 次，其他兩地次數誤差而在 1.6 次之內。而未來 12 個月有編號地震每月在宜蘭、台東的有 2 次，在花蓮的約有 5 次。

關鍵字：地震公開數據、迴歸方程式、台灣地震特性

# 目錄

摘要	I
目錄	II
圖目錄	IV
表目錄	VI
第壹章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	1
第貳章 文獻回顧與探討	2
2.1 地震概述	2
2.1.1 地震常用專屬名詞	2
2.1.2 有感地震的判斷報告	3
2.1.3 地震規模與地震震度有什麼不同	4
2.1.4 台灣發生地震的災害	5
2.2 地震預測	6
2.2.1 動物預測方法	6
2.2.2 地殼變動預測方法	7
2.2.3 氬氣預測方法	7
第參章 研究方法	8
3.1 地震型態辨識與數量預測流程	8
3.2 進度甘特圖	9
第肆章 台灣地震特性	10
4.1 台灣地區有編號地震敘述統計學分析	11
4.1.1 台灣地區各行政區發生的地震次數(有編號)	11
4.1.2 平均每月發生的地震	12
4.1.3 平均每年發生的地震	13
4.1.4 平均深度	14
4.1.5 平均地震規模	15
4.1.6 每個行政區最強規模的地震	16
4.1.7 平均在每個行政區兩個地震之間的時間 (dtimes)	17
4.1.8 平均釋放的能量 (ergs)	18
4.2 所有地震含未編號	19
4.2.1 台灣地區各行政區發生的地震次數(有編號+無編號)	19

4.2.2 平均每月發生的地震 .....	20
4.2.3 平均每年發生的地震 .....	21
4.2.4 平均深度 .....	22
4.2.5 平均地震規模 .....	23
4.2.6 每個行政區最強規模的地震 .....	24
4.2.7 平均在每個行政區兩個地震之間的時間 (dtimes) .....	25
4.2.8 平均釋放的能量 (ergs) .....	26
4.2.9 東岸地區地震規模、深度及震度 3D 圖 .....	28
4.3 震度迴歸分析 .....	33
4.3.1 宜蘭地區 .....	34
4.3.2 花蓮地區 .....	35
4.3.3 台東地區 .....	36
第五章 台灣東岸地震型態辨識及數量預測 .....	38
5.1 ACF、PACF、ARIMA 公式(10) .....	39
5.1.1 ACF (Autocorrelation Function) .....	39
5.1.2 PACF (Partial Autocorrelation Function) (10) .....	39
5.1.3 ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average) (10) .....	39
5.2 宜蘭每月的地震次數 .....	41
5.2.1 宜蘭每月地震的識別型態 .....	42
5.3 花蓮每月的地震次數 .....	44
5.3.1 花蓮每月地震的識別型態 .....	45
5.4 台東每月的地震次數 .....	47
5.4.1 台東每月地震的識別型態 .....	48
5.5 誤差檢驗 .....	50
第六章 結論與未來發展 .....	53
6.1 結論 .....	53
6.1.1 有編號地震敘述統計總結 .....	53
6.1.2 有編輯無編號地震敘述統計總結 .....	54
6.2 地震數量預測 .....	55
6.3 未來展望 .....	55
參考文獻 .....	56
附錄 A 台灣地區有編號地震數據整理 (1995 年 1 月至 2017 年 8 月有編號的地震數據) .....	57
附錄 B 台灣地區所有地震(有編號與無編號)數據整理 (1995 年 1 月至 2017 年 8 月有編號+無編號的地震數據) .....	58
附錄 C 換算成原子彈的公式 (little boy) .....	59

# 圖目錄

圖 3-1 研究流程圖 .....	8
圖 4-1-1 1995 年 1 月至 2017 年 8 月每個縣市有編號的地震次數 .....	11
圖 4-1-2 每個縣市有編號的每月平均數 .....	12
圖 4-1-3 每個縣市有編號的每年平均數 .....	13
圖 4-1-4 每個縣市有編號的平均深度 .....	14
圖 4-1-5 每個縣市有編號的平均規模 .....	15
圖 4-1-6 每個縣市有編號的最大規模 .....	16
圖 4-1-7 每個縣市有編號的平均天數 .....	17
圖 4-1-8 每個縣市有編號的平均能量 .....	18
圖 4-2-1 1995 年 1 月至 2017 年 8 月每個縣市所有地震(含未編號)次數 .....	19
圖 4-2-2 每個縣市的所有地震(含未編號)每月平均數 .....	20
圖 4-2-3 每個縣市的所有地震(含未編號)每年平均數 .....	21
圖 4-2-4 每個縣市的所有地震(含未編號)平均深度 .....	22
圖 4-2-5 每個縣市的所有地震(含未編號)平均規模 .....	23
圖 4-2-6 每個縣市的所有地震(含未編號)最大規模 .....	24
圖 4-2-7 每個縣市的所有地震(含未編號)平均天數 .....	25
圖 4-2-8 每個縣市的所有地震(含未編號)平均能量 .....	26
圖 4-2-9 花蓮有編號 ML 規模深度立體圖 .....	28
圖 4-2-10 花蓮有編號 Intensity 震度立體圖 .....	28
圖 4-2-11 花蓮有編號 Depth 深度立體圖 .....	29
圖 4-2-12 宜蘭有編號 ML 規模深度立體圖 .....	29
圖 4-2-13 宜蘭有編號 Intensity 震度立體圖 .....	30
圖 4-2-14 宜蘭有編號 Depth 深度立體圖 .....	30
圖 4-2-15 台東有編號 ML 規模深度立體圖 .....	31
圖 4-2-16 台東有編號 Intensity 震度立體圖 .....	31
圖 4-2-17 台東有編號 Depth 深度立體圖 .....	32
圖 4-3-1 花蓮震度迴歸分析 .....	34
圖 4-3-2 宜蘭震度迴歸分析 .....	35
圖 4-3-3 台東震度迴歸分析 .....	36
圖 5-1 流程圖 .....	38
圖 5-2 1995 年 1 月至 2017 年 7 月在宜蘭每月發生的地震數 .....	41
圖 5-2-1 宜蘭每月地震的相關函數 (ACF) .....	42
圖 5-2-2 宜蘭每月地震的部分相關函數 (PACF) .....	43
圖 5-2-3 宜蘭每月地震 ARIMA (3,0,0) 的模型殘差相關函數 (ACF) ..	43

圖 5-3	1995 年 1 月至 2017 年 7 月在花蓮每月發生的地震數 .....	44
圖 5-3-1	花蓮每月地震的相關函數 (ACF) .....	45
圖 5-3-2	花蓮每月地震的部分相關函數 (PACF) .....	46
圖 5-3-3	花蓮每月地震 ARIMA (3,0,0) 的模型殘差相關函數 (ACF) ..	46
圖 5-4	1995 年 1 月至 2017 年 7 月在台東每月發生的地震數 .....	47
圖 5-4-1	台東每月地震的相關函數 (ACF) .....	48
圖 5-4-2	台東每月地震的部分相關函數 (PACF) .....	49
圖 5-4-3	台東每月地震 ARIMA (3,0,0) 的模型殘差相關函數 (ACF) ..	49

## 表目錄

表 2-1 地震震度分級表 .....	5
表 3-1 進度甘特圖 .....	9
表 4-1 釋放能量 Total Energy Released (ergs) 與原子彈等量.....	27
表 4-2 震度迴歸方程式及其可解釋程度 .....	38
表 5-1 2011 年 1 月至 2017 年 8 月在 3 縣市的預測與實際每年平均誤差地 震的比較 (MAD 法) (Mean Absolute Deviation).....	49
表 5-2 2011 年 1 月至 2017 年 8 月在 3 縣市的預測與實際每年平均誤差地 震的比較 (RMSE 法) (Root Mean Square Error) .....	50
表 5-3 預測未來 3 縣市 12 個月的地震次數 .....	51
表 5-4 未來 3 縣市 12 個月的地震次數 .....	51

# 第壹章 緒論

## 1.1 研究動機

台灣位於菲律賓板塊跟歐亞大陸板塊的斷層地帶，時常因板塊運動造成地震，造成多次嚴重災害，為了能減少損傷，統整自1995年1月至2017年8月大大小小的地震活動，有效的統整出一個系統，預測下個月地震會在台灣東岸每月發生地震的次數。

## 1.2 研究目的

研究台灣各縣市發生的地震的時間、規模、次數等特性，再以統計的方式呈現。並辨識出台灣東岸三行政區(宜蘭、花蓮、台東)的地震型態 (pattern)，並以形態預測東岸未來 12 個月發生地震每月的次數。此數據可提供給相關政府防災部參考。並作有效減少更多災害發生，提前做好預防措施與對策。

# 第貳章 文獻回顧與探討

## 2.1 地震概述

(1)地震 (Earthquake) 的定義是指地球表面發生的突然震動，它是地殼運動的一種形式。

(2)發生地震的真正原因尚沒有完全知道，但是必定由地球內的變動力所造成。岩石圈內部的岩層在板塊運動的構造力作用下，產生應變而慢慢彎曲，不斷集聚能量；當集聚的能量一旦超過岩層所能承受的臨界點時，岩層就會發生突然斷裂，釋放出大量的能量，其中一部分以地震波的形式傳播出來，地震就這樣發生了。當然地震的成因是多種多樣的，上述的過程僅是其中之一。

(3)震源 (hypocenter) 是指地震錯動的起始點。震央 (epicenter) 是指震源在地表的投影點。

(4)地震震源深度在 0~30 公里者稱為極淺地震 (very shallow earth quake)。在 31~70 公里間者稱為淺層地震 (shallow earthquake)。在 71~300 公里間者稱為中層地震 (intermediate earthquake)。在 301~700 公里之地震為深層地震 (deep earthquake) [1]。台灣地震除基隆外均屬淺層地震。

### 2.1.1 地震常用專屬名詞

(1)有感地震：指一般人體能感覺地表振動之地震。

(2)震源：指地震發生的起始點。

(3)震央：指震源垂直投影至地表之位置。

(4)震源深度：指震源與震央間之距離。

(5)地震規模：指地震所釋放能量之大小，以一無單位之實數表示。中央氣

象局現行採用之地震規模，係芮氏(Richter)地震規模。

(6)地震震度：指地震發生時一處地表振動之程度，以地表振動加速度之實測值界定之。我國地震震度劃分為0至7級，詳如所附「地震震度分級表」。

## 2.1.2 有感地震的判斷報告

地震報告：

(1)地震規模4.0以上，且即時地震站觀測震度達以下情況之一者：

一、任一站之震度達4級以上，或兩站之震度達3級以上。

二、縣（市）政府所在地任一站之震度達3級以上，或兩站震度達2級以上。

三、直轄市市區站之震度達2級以上。

(2)未達上述情況，惟因地震之特殊性，有發布之需要者。

當本局地震觀測結果未符合第四點發布顯著有感地震報告，但符合下列情況之一時，應發布小區域有感地震報告：

一、任一即時地震站之震度達4級以上。

二、地震規模3.5以上，且任一即時地震站之震度達3級以上或兩站震度達2級以上。

三、未符合前二款之情形，惟仍屬有感地震且為一般民眾或機構反映查詢者。

(3)有感地震報告應包含地震發生之日期、時間、震央位置、震源深度、地震規模及各地震度等。顯著有感地震報告並需含年度編號。

(4)有感地震報告之通報及公布方式如下：

一、顯著有感地震發生後，應主動通報行政院、交通部、本局及各附屬氣象測報機構、相關災害防救作業機關(構)及國內外相關研究機構，並通知新聞傳播機構報導。

二、有感地震報告應公布於本局中、英文網站，供各界查閱。

(5)顯著有感地震之規模達6.0以上，除依第七點進行通報外，並應立即加強通報本局局長、副局長、緊急應變小組及內政部消防署，並將通報時間及內容記錄備查。

### 2.1.3 地震規模與地震震度有什麼不同

規模 (Magnitude) 是用以描述地震大小的尺度，係依其所釋放的能量而定，以一無單位的實數表示；震度 (intensity)，是表示地震時地表面上的人所感受到振動的程度，或物體因受振動所遭受的破壞程度，與地表面振動加速度相關。現今地震儀器已能詳細記錄地震時地表面上的加速度，所以震度亦係由地表面的最大加速度值來劃分。震度級以正的整數值來表示，震度分級表由各國地震測報機構訂定，各國不盡相同，中央氣象局地震震度分級表分為 0 至 7 級，與日本所使用者相同，如下表：[2]

震度分級	地動加速度範圍	人的感受	屋內情形	屋外情形
0 無感	0.8Gal 以下	人無感覺。		
1 微震	0.8~2.5Gal	人靜止時可感覺微小搖晃。		
2 輕震	2.5~8.0Gal	大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部分會醒來。	電燈等懸掛物有小搖晃。	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短。

3	弱震	8~25Gal	幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感。	房屋震動，碗盤門窗發出聲音，懸掛物搖癒 C	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃。
4	中震	25~80Gal	有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒。	房屋搖動甚烈，底座不穩物品傾倒，較重傢俱移動，可能有輕微災害。	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也感到搖晃。
5	強震	80~250Gal	大多數人會感到驚嚇恐慌。	部分牆壁產生裂痕，重家具可能翻倒。	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊煙囪傾倒。
6	烈震	250~400Gal	搖晃劇烈以致站立困難。	部分建築物受損，重家具翻倒，門窗扭曲變形。	汽車駕駛人開車困難，出現噴沙噴泥現象。
7	劇震	400Gal 以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動。	部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面。	山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破壞。
註：1Gal = 1cm/s <sup>2</sup>					

表 2-1 地震震度分級表

#### 2.1.4 台灣發生地震的災害

(1)地面斷裂：當斷層活動沿著斷層的兩側發生數公分到數公尺的錯動時，就會造成地面破裂、地盤拱起或陷落的情況，地表也會出現規模不一的斷裂。如果建築物的基礎正好跨越斷層帶，那就難免被撕扯，發生扭曲或斷裂，使得建築物倒塌。

(2)山崩：斷層活動時造成的激烈振動會使鄰近斷層的地區發生大量的山崩，造成災害。

(3)岩層液化：地震發生時，強烈的震動會使原本吸附在岩層中的水滲出，使岩層「液化」而變得軟弱，建築物的地基因此失去支撐，容易使建築物產生下沉、傾斜或倒塌的情況。

(4)火災：地震時劇烈的地動將會直接破壞如水管、瓦斯管及電線等，外洩的瓦斯若碰上電線走火或其它燃燒的火苗便會引起火災。此時由於大部分的水管已被震裂而斷水，在無法搶救的情形下便會形成不可收拾的大火。

(5)地陷：發生地陷會損壞一個都會區的溝渠、地下水道、河流兩岸的堤防等，甚至導致海水倒灌，對都會區造成致命的影響。 [3]

## 2.2 地震預測

地震預測是預測一次地震發生的時間、地點和規模。地震學家目前仍無法預測地震的確切發生時間，然而對地下構造瞭解的進步，科學家能透過震災危害度評估，提供特定規模的地震在未來數年到數十年之間，發生在某區域的機率。雖然部份證據表明，對某些區域的地震預報或許有實用價值，然而這些技術的可靠性既未確立，也無法重製，所以地震學家及地質學家一般認為實用的地震預測還是夢想。[4]

### 2.2.1 動物預測方法

(1) 皇帶魚：又有地震魚之稱，因為漁民認為它常於地震過後出現，是否受地震時海底擾動所驚嚇而游到淺海處仍須查證；但為何會在近岸出現仍然未解，可能與颱風等氣候因素有關。[5]

(2) 蚯蚓：地震發生之前所產生的棲地變化也可能造成蚯蚓爬出洞穴，但尚無研究報導，僅舉出可能原因以供參考。蚯蚓雖然對震動十分敏感，但似乎不致於導致它們離開居住的洞穴，特別是在白天，除非地震已將其棲所擠壓震碎才有可能。間接性的影響則有可能，例如地震導致地下水滲入其棲所造成類似大雨淹沒的現象；或是地震使得附近的刺激性化學物質滲入；也可能是地震導致土壤液化，使得土壤通氣不良，造成缺氧，這些間接因素均可能導致蚯蚓離洞。[6]

## 2.2.2 地殼變動預測方法

測地法 (geodesic method) :

根據過去許多紀錄，在大地震發生時地殼會發生變動，而有時會發生在地震之前。因此測量地殼變動情形並研判地震前兆現象，是可以預測將否有大地震發生。例如西元 1964 年日本新瀉地區發生地震前有地盤下沉現象，因當地經常從事測量調查工作，故發現地震發生之前確有前兆現象可尋。

此外，地殼發生變動的面積會隨地震規模之增大而增加，也就是說地殼發生異常變動的範圍越廣，可能發生地震的規模也越大。[7]

## 2.2.3 氡氣預測方法

井水含氡量的變化：

前蘇聯的科學家，在加爾姆地區發現到水井中的含氡 (Radon) 於地震前會增加，亦用以預測地震。

氡是一種放射性氣體，科學家們認為當岩石受到強大壓力時，岩石內部產生無數微小裂隙，通常只有用顯微鏡才看得見。岩石有了裂隙之後，曝露於地下水的表面積自然也會增加，當地下水滲入裂隙之中，補滿裂開的空隙，可以接觸到較多的放射性物質，同時吸收更多量的氡。直到地震發生，岩石突然崩裂，氡的含量又逐漸下降。因此，監測井水含氡量，可以知道岩石受力情形，從而預測地震。[7]

# 第叁章 研究方法

## 3.1 地震型態辨識與數量預測流程

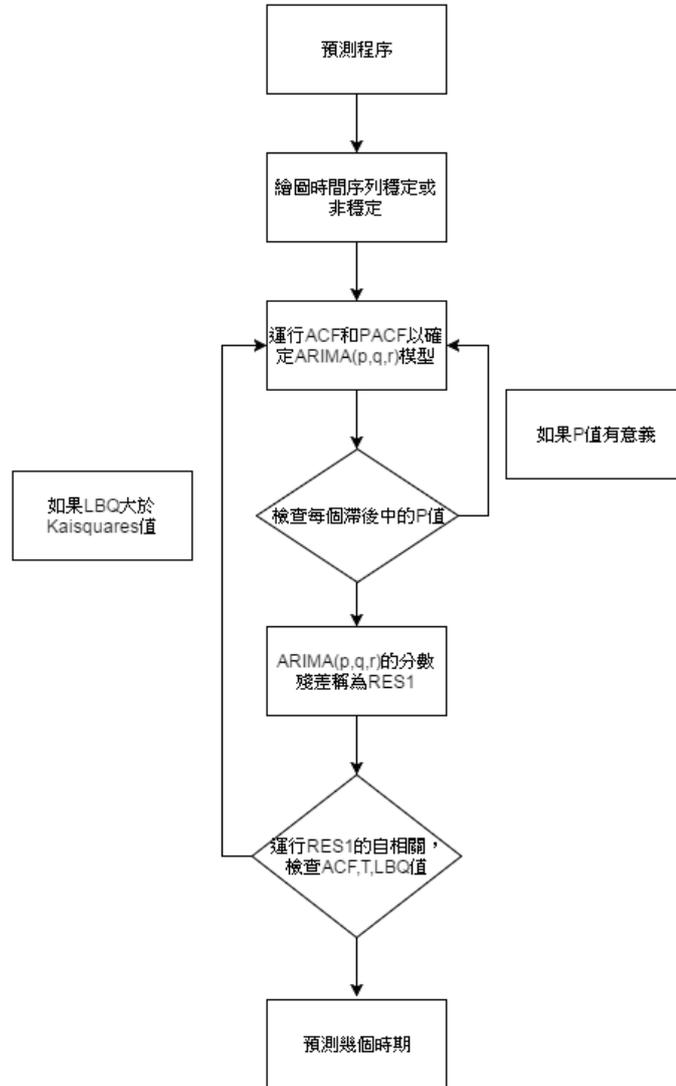


圖 3-1 研究流程圖

### 3.2 進度甘特圖

	2017										2018				
	四 月	五 月	六 月	七 月	八 月	九 月	十 月	十 一 月	十 二 月	一 月	二 月	三 月	四 月	五 月	
1. 尋找組員與教授	■														
2. 專題題目確立	■														
3. 了解內容		■	■	■	■	■									
4. 企劃書製作		■	■	■	■	■	■	■	■						
5. 流程圖製作						■	■	■							
6. 文獻資料收集		■	■	■	■	■									
7. 資料分析		■	■	■	■										
8. 統整數據		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
9. 地震圖表繪製								■	■	■					
10. 期中報告								■	■						
11. 期末報告										■	■	■	■	■	

表 3-1 進度甘特圖

## 第肆章 台灣地震特性

本研究經細心整理，依據中央氣象局公開資料顯示，地震含有編號及無編號兩類，有編號的地震通常地震規模較大並影響數個縣市，無編號者地震規模較小影響不大，有編號的地震合計有 3187 個，無編號+有編號的地震合計 10012 個，此記錄由中央氣象局 1995 年 1 月到 2017 年 8 月（22 年 8 個月），經過繁瑣的數據操作和排列，本組將每一個縣市地震次數總結在附錄 A 及附錄 B。

## 4.1 台灣地區有編號地震敘述統計學分析

### 4.1.1 台灣地區各行政區發生的地震次數(有編號)

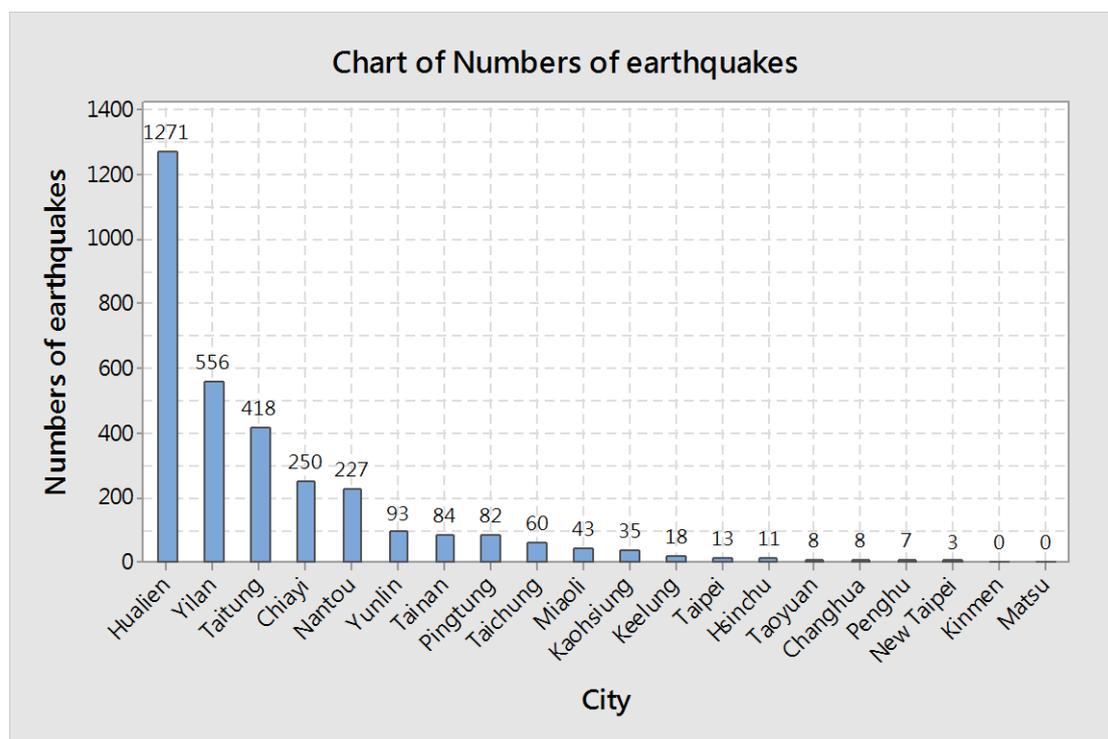


圖 4-1-1 1995 年 1 月至 2017 年 8 月每個行政區有編號的地震次數

根據上圖，發現在台灣花蓮是最常有地震活動的，在有編號總數 3187 之中，有 1271 的地震是位於花蓮，宜蘭以 556 次位居第二，台東則以 418 次位居第三。

#### 4.1.2 平均每月發生的地震

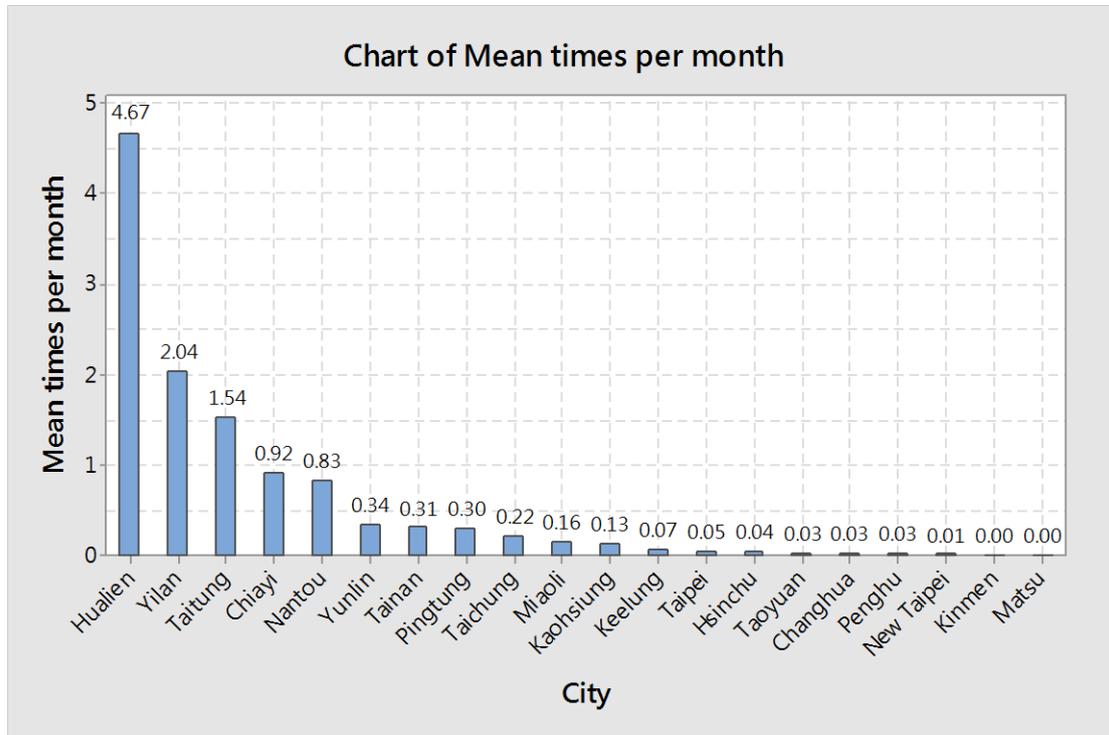


圖 4-1-2 每個縣市有編號的每月平均數

圖 4-1-2 有編號從 1995 年 1 月至 2017 年 8 月，台灣市/縣每個月平均發生的地震次數。花蓮是每月間隔時間之冠，在每個月份有 4.67 次有感地震，宜蘭和台東分別有 2.04 次與 1.54 次。

### 4.1.3 平均每年發生的地震

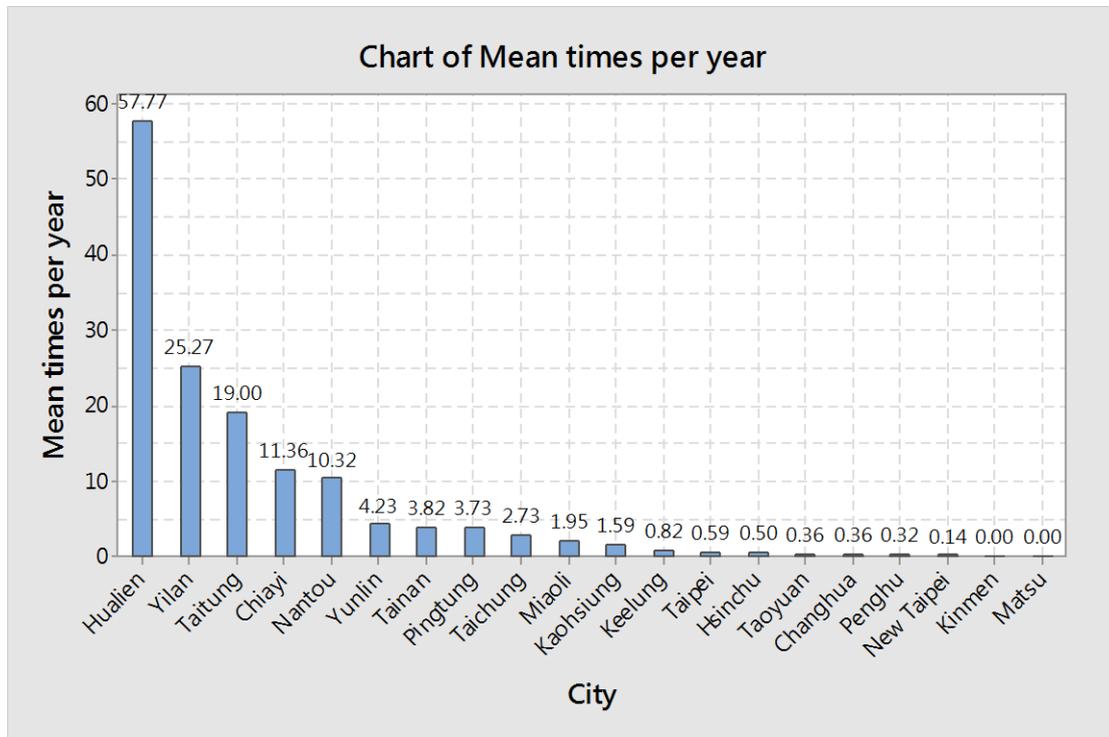


圖 4-1-3 每個縣市有編號的每年平均數

以圖 4-1-3 來看從 1995 年 1 月至 2017 年 8 月，台灣每個市/縣的地震。每年發生地震頻率最高的是花蓮的 57.77，接著是宜蘭的 25.27，和台東的 19.00

#### 4.1.4 平均深度

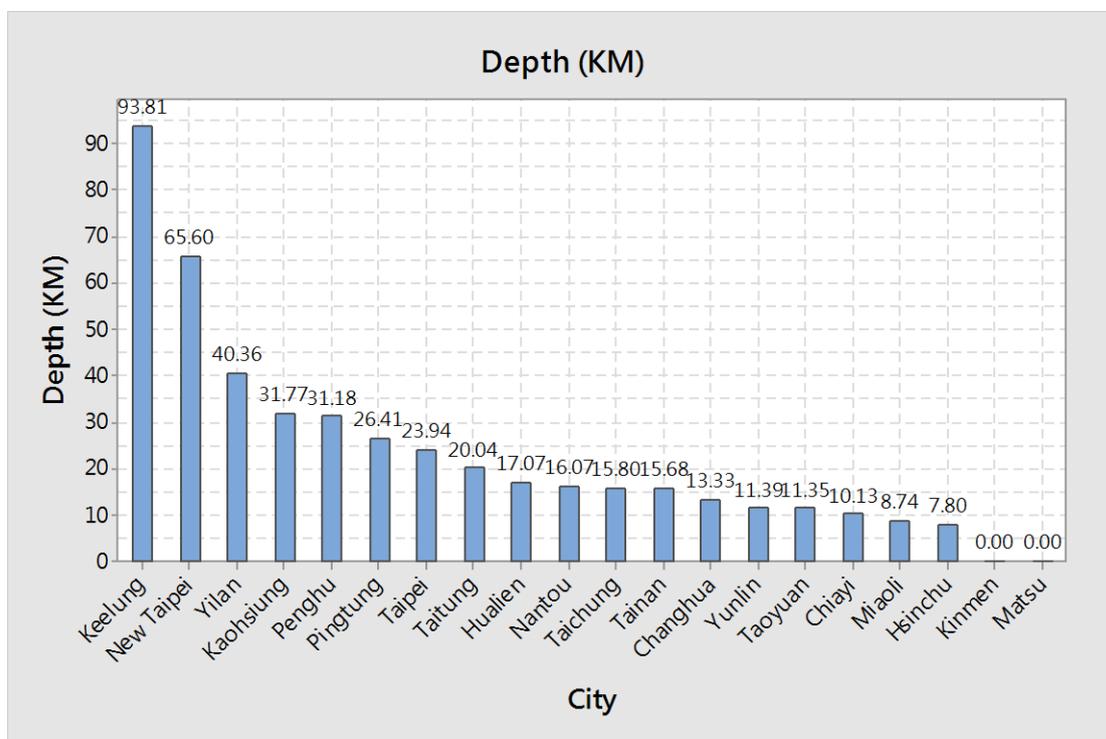


圖 4-1-4 每個縣市有編號的平均深度

圖 4-1-4 有編號平均每從 1995 年 1 月在台灣每個市/縣地震深度一年（公里）至 2017 年 8 月。幾乎所台灣行政區域地震的震源深度為淺層地震（< 70 公里），基隆震源深度 93.81 公里被列為中等深度，也許這是因為在基隆地震源在板塊隱沒帶。

#### 4.1.5 平均地震規模

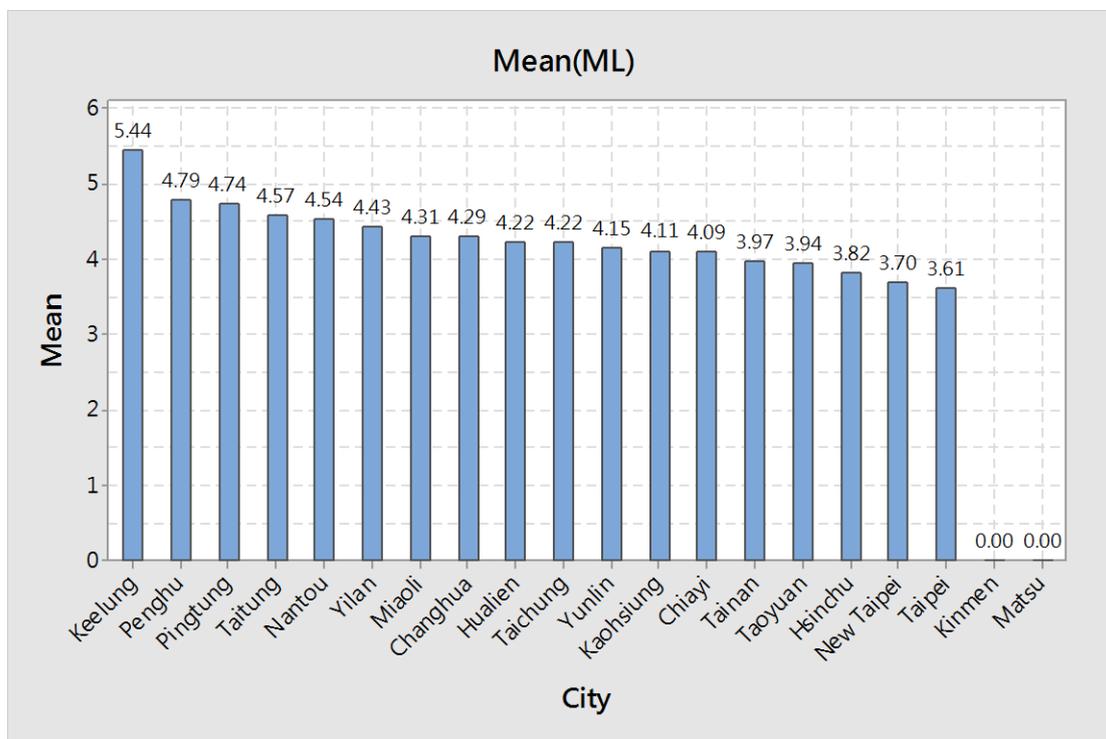


圖 4-1-5 每個縣市有編號的平均規模

圖 4-1-5 台灣最高的平均地震規模為基隆 5.44（芮氏），災難性的地震較罕見發生在基隆，雖然平均值較其他地區高，這也可能是地震發生在較深層的地區。

#### 4.1.6 每個行政區最強規模的地震

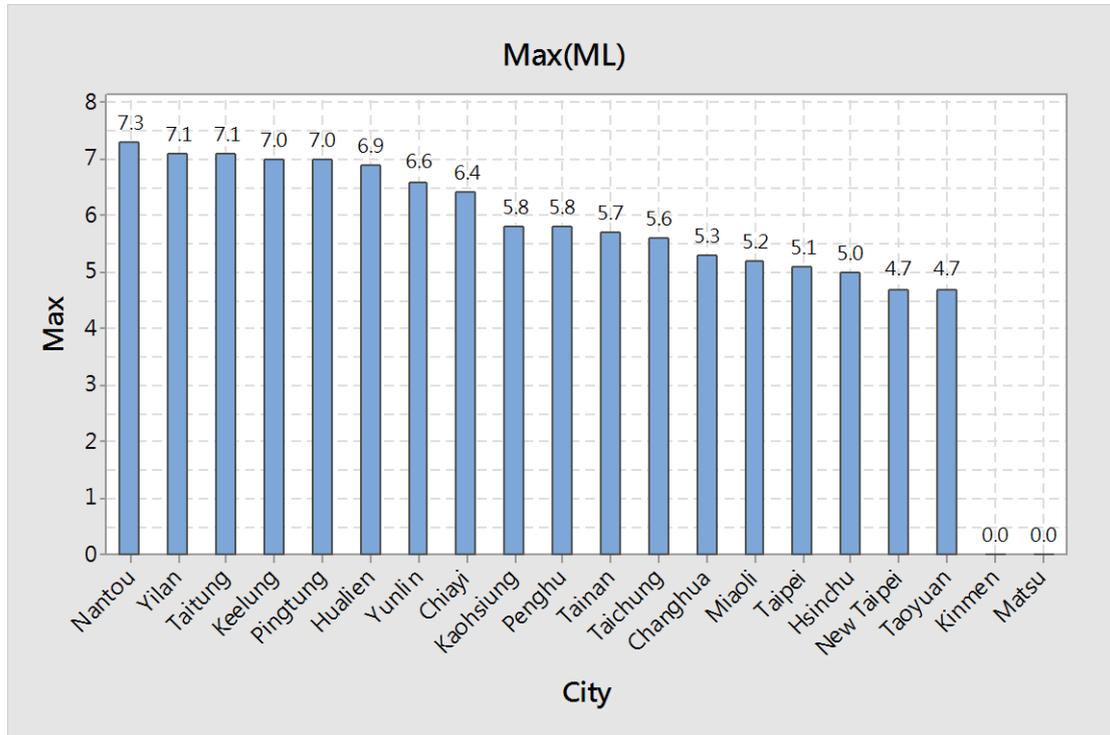


圖 4-1-6 每個縣市有編號的最大規模

圖 4-1-6 在台灣過去 22 年又 8 個月間的最大震級為 7.3 (芮氏震級規模)，1999 年 9 月 21 日在南投。

#### 4.1.7 平均在每個行政區兩個地震之間的時間 (dtimes)

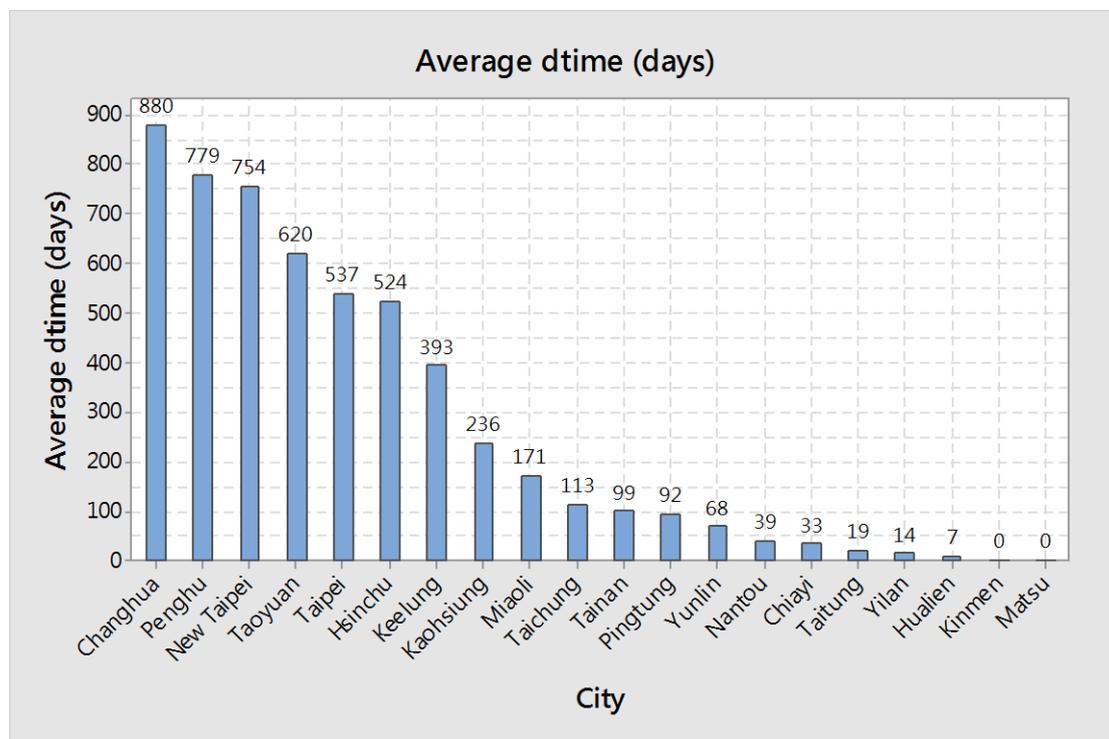


圖 4-1-7 每個縣市有編號的平均天數

從 1995 年 1 月至 2017 年 8 月，在有編號的兩個地震之間的平均間隔時間（天數），圖 4-1-7 在兩個地震之間的平均間隔時間，在花蓮，人們可能每 7 天就會有周圍在震動的經驗，對彰化來說，兩者之間的時間或許要花上 880 天。

#### 4.1.8 平均釋放的能量 (ergs)

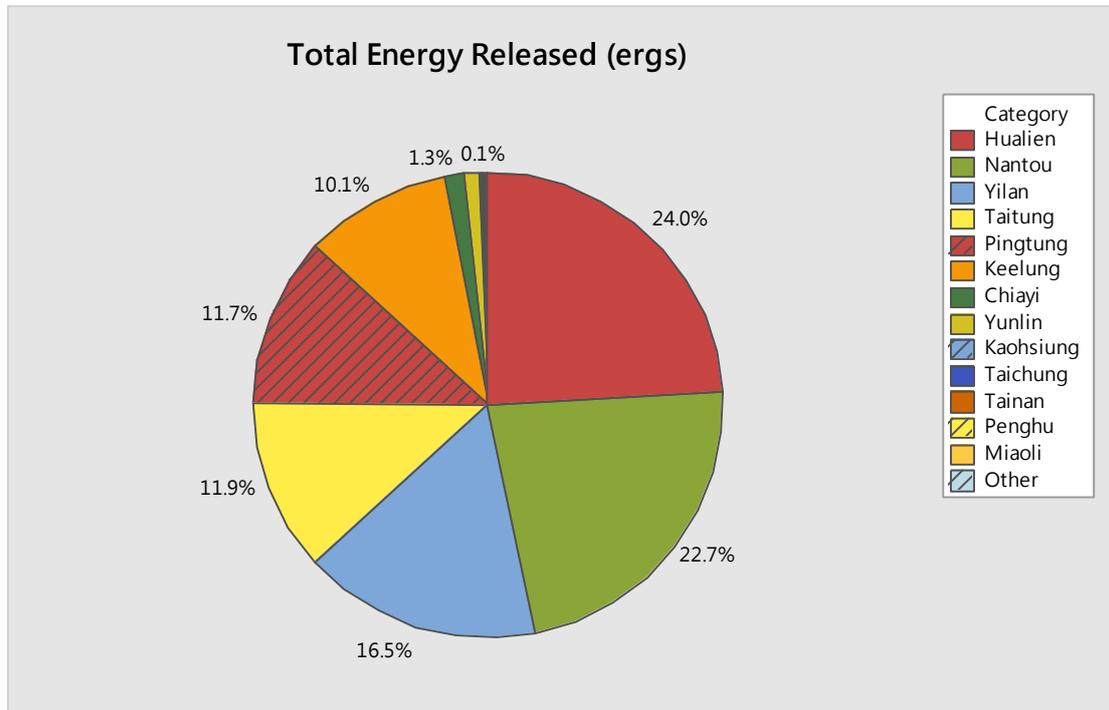


圖 4-1-8 每個縣市有編號的平均能量

從 1995 年 1 月在台灣總地震釋放能量到 2017 年 8 月在比表示。圖 4-1-8 南投 (22.7%)，花蓮 (24.0%)，雖然這兩個地區地震次數大不同，可能南投在 1999 年 9 月 21 日 7.3 級的地震貢獻能量為顯著的一部分。

## 4.2 所有地震含未編號

### 4.2.1 台灣地區各行政區發生的地震次數(有編號與無編號)

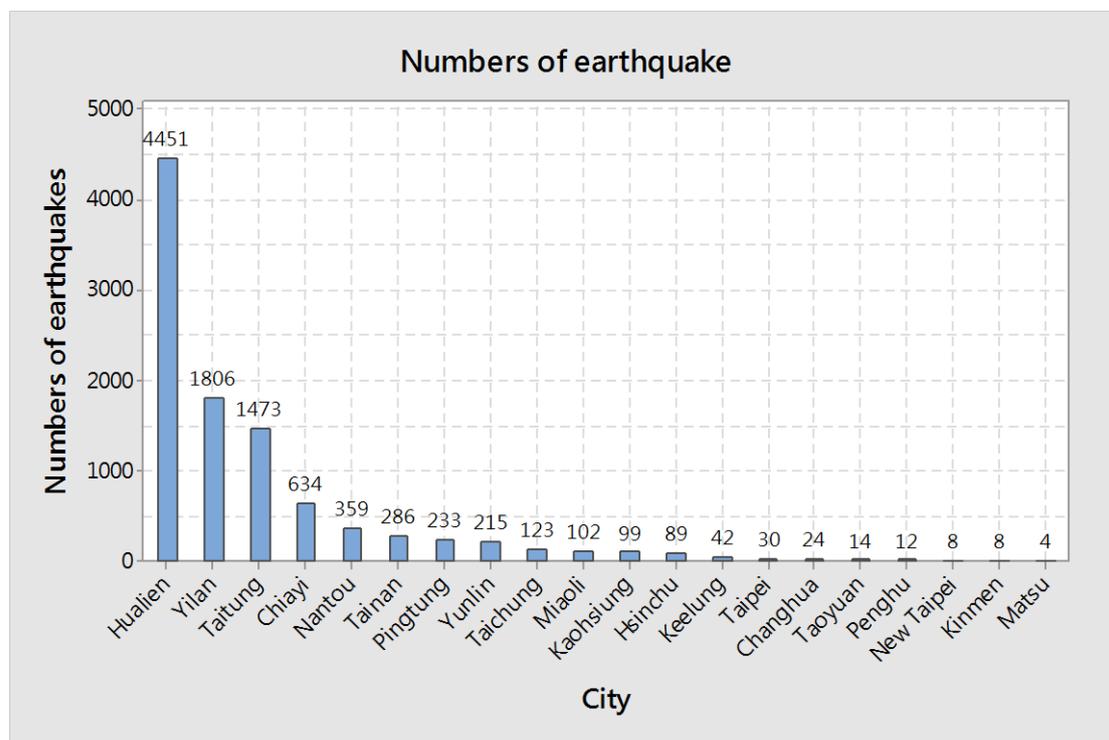


圖 4-2-1 1995 年 1 月至 2017 年 8 月每個縣市的所有地震（有編號及無編號）  
次數

由圖 4-2-1 可得花蓮在過去 22 年又 8 個月中發生 4451 次地震，居台灣之冠，宜蘭次數發生 1806 次地震，台東位居第三，共發生 1473 地震

#### 4.2.2 平均每月發生的地震

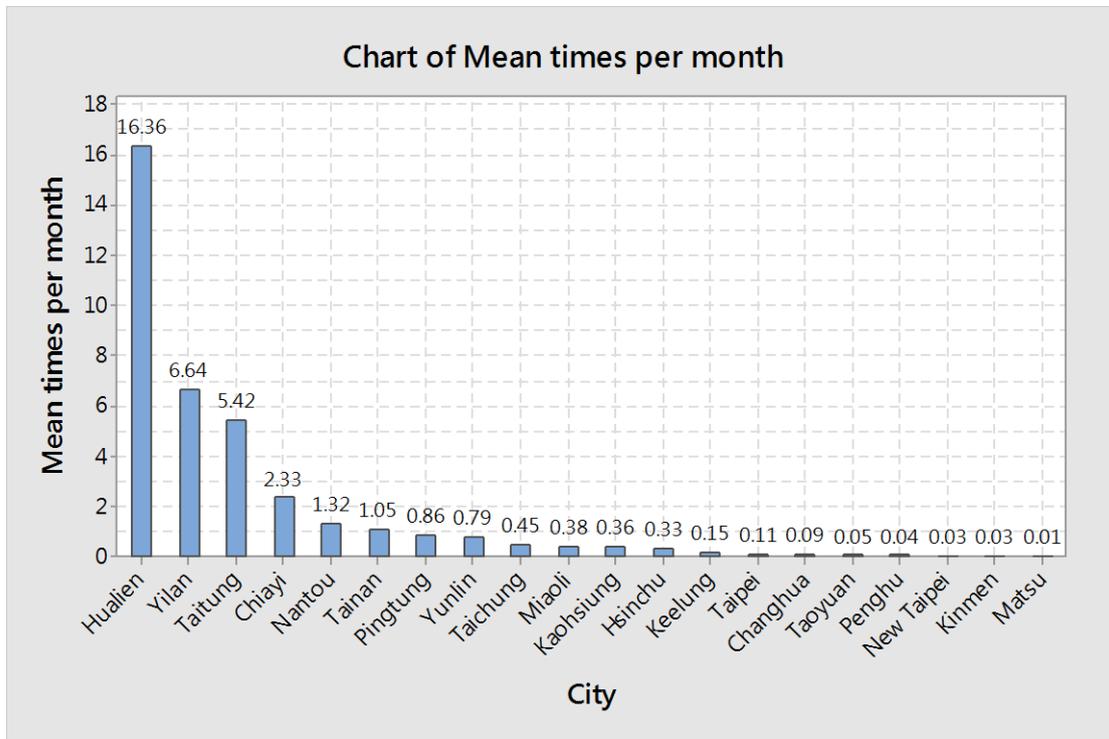


圖 4-2-2 每個縣市所有地震（含未編號）每月平均數

圖 4-2-2 是有編號加無編號地震一樣是花蓮居冠，再來是宜蘭第二台東第三。

### 4.2.3 平均每年發生的地震

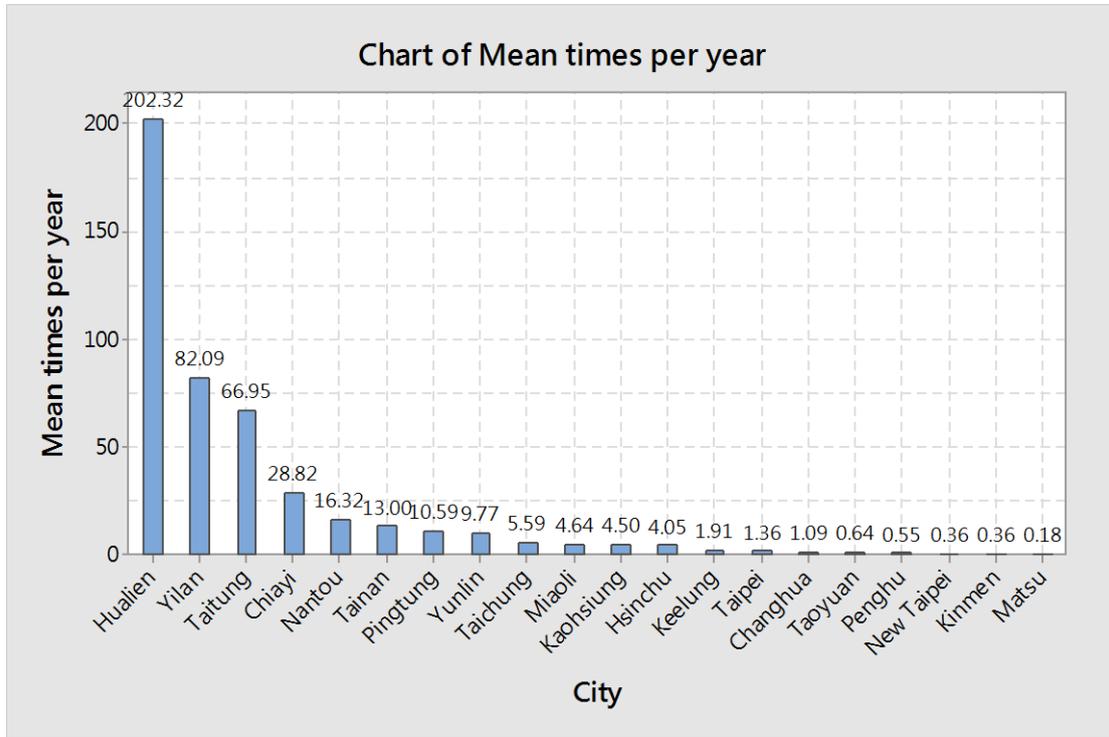


圖 4-2-3 每個縣市有編號的每年平均數

以圖 4-2-3 來看從 1995 年 1 月至 2017 年 8 月，台灣每個市/縣的地震。每年發生地震頻率最高的是花蓮的 202.32，接著是宜蘭的 82.09，和台東 66.95。

#### 4.2.4 平均深度

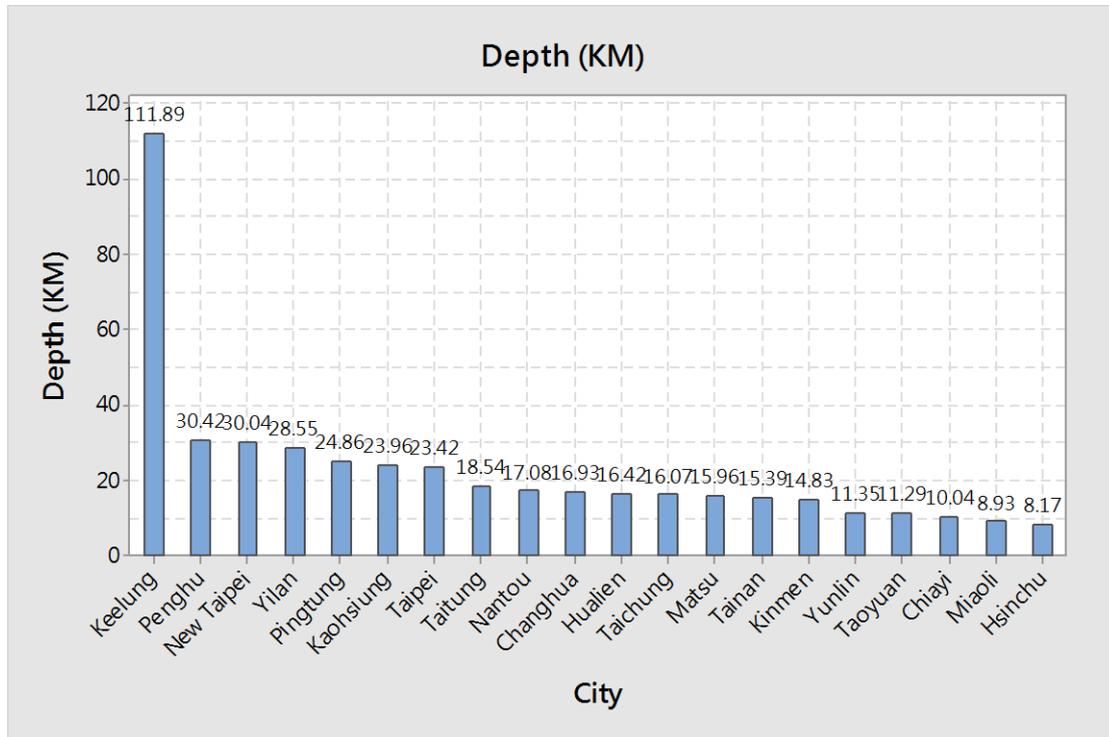


圖 4-2-4 每個縣市的所有地震（含未編號）平均深度

圖 4-2-4 平均每從 1995 年 1 月在台灣每個市/縣地震深度一年（公里）至 2017 年 8 月，基隆震源深度 111.89 公里被列為中等深度，或許是因為在基隆地震源在板塊隱沒帶。

#### 4.2.5 平均地震規模

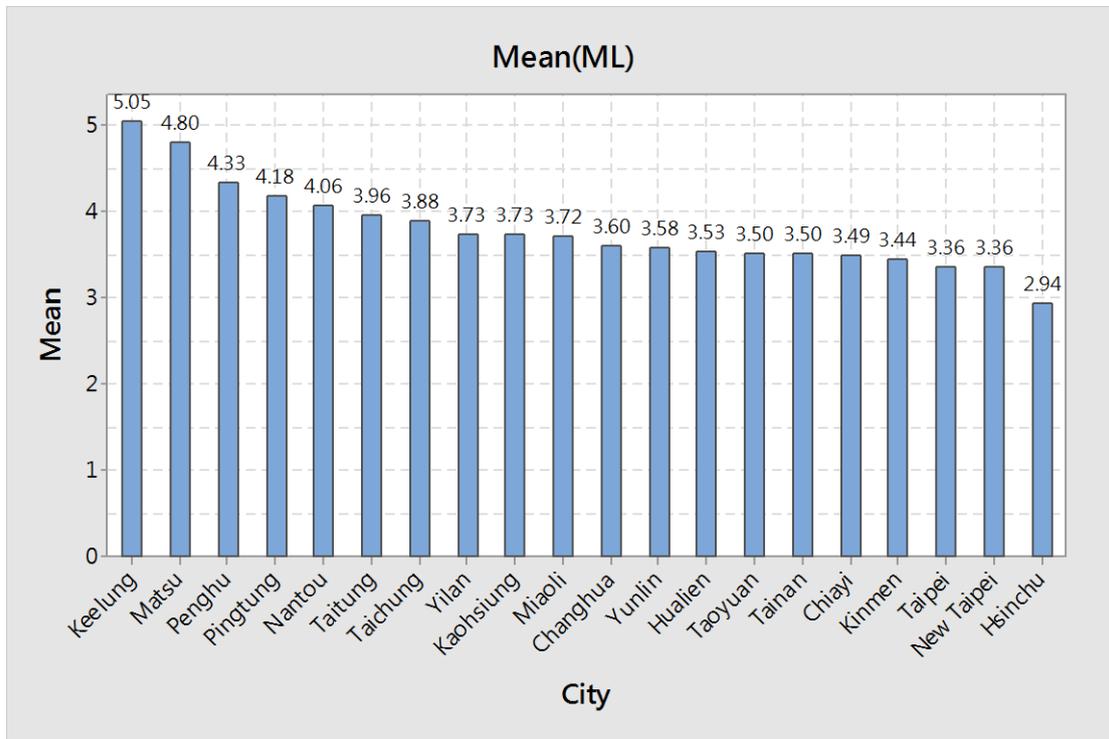


圖 4-2-5 每個縣市的所有地震（含未編號）平均規模

圖 4-2-5 台灣最高的平均地震規模為基隆 5.05（芮氏），可能是地震發生在較深層的地區，所以波衰減、小，對板塊表面來說，危害也相對較小。

#### 4.2.6 每個行政區最強規模的地震

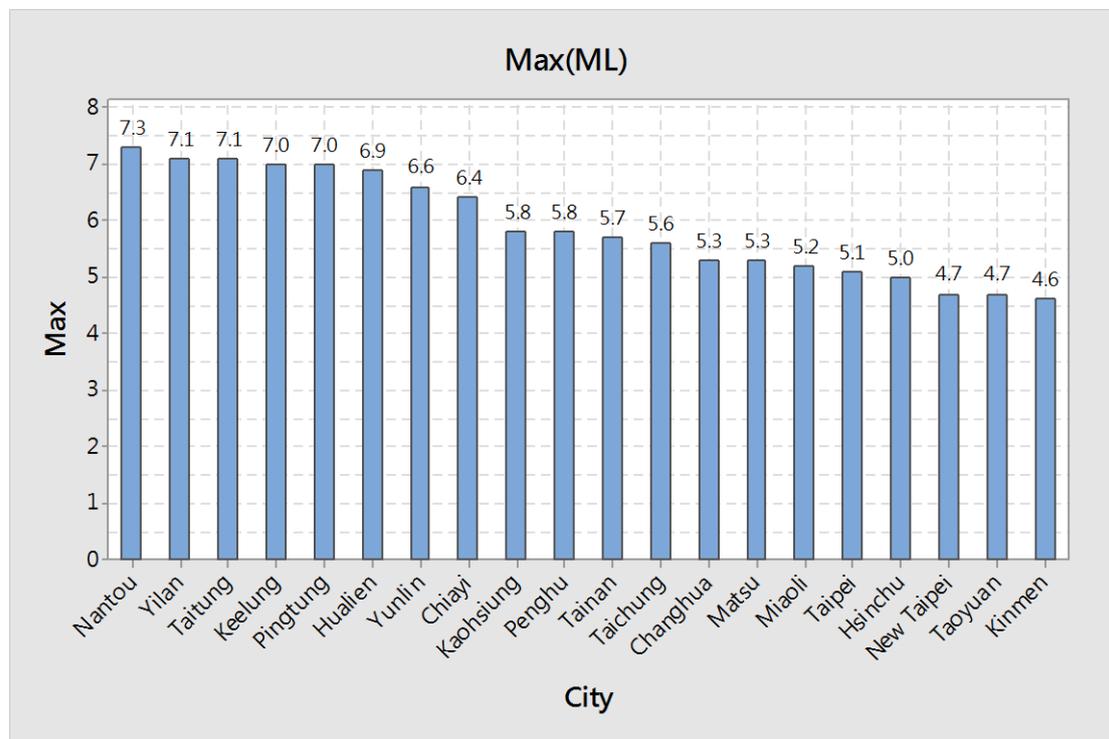


圖 4-2-6 每個縣市的所有地震（含未編號）最大規模

圖 4-2-6 南投為台灣過去 22 年又 8 個月間最大的震級 7.3（芮氏震級規模）。

#### 4.2.7 平均在每個行政區兩個地震之間的時間 (dtime)

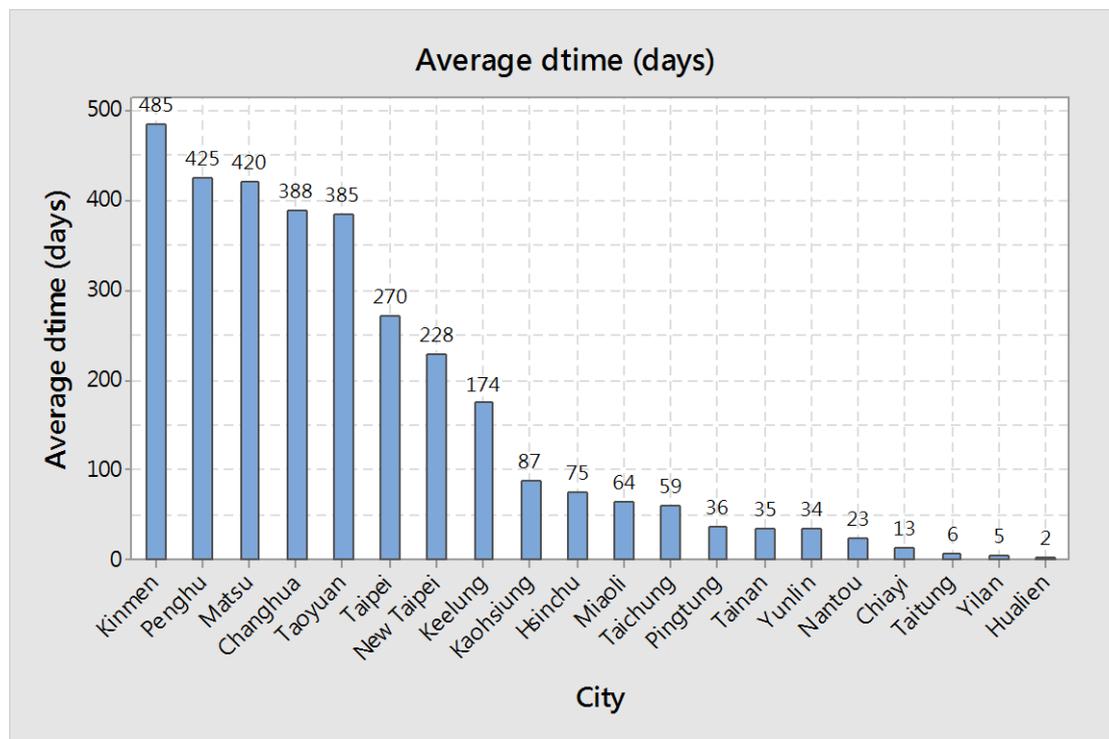


圖 4-2-7 每個縣市的所有地震（含未編號）平均天數

從 1995 年 1 月至 2017 年 8 月，在所有地震（含未編號）的兩個地震之間的平均間隔時間（天數），在圖 4-2-7 花蓮可能平均每隔 2 天就會有震動的經驗，對金門來說，兩者之間的間隔或許要花上 485 天。

#### 4.2.8 平均釋放的能量 (ergs)

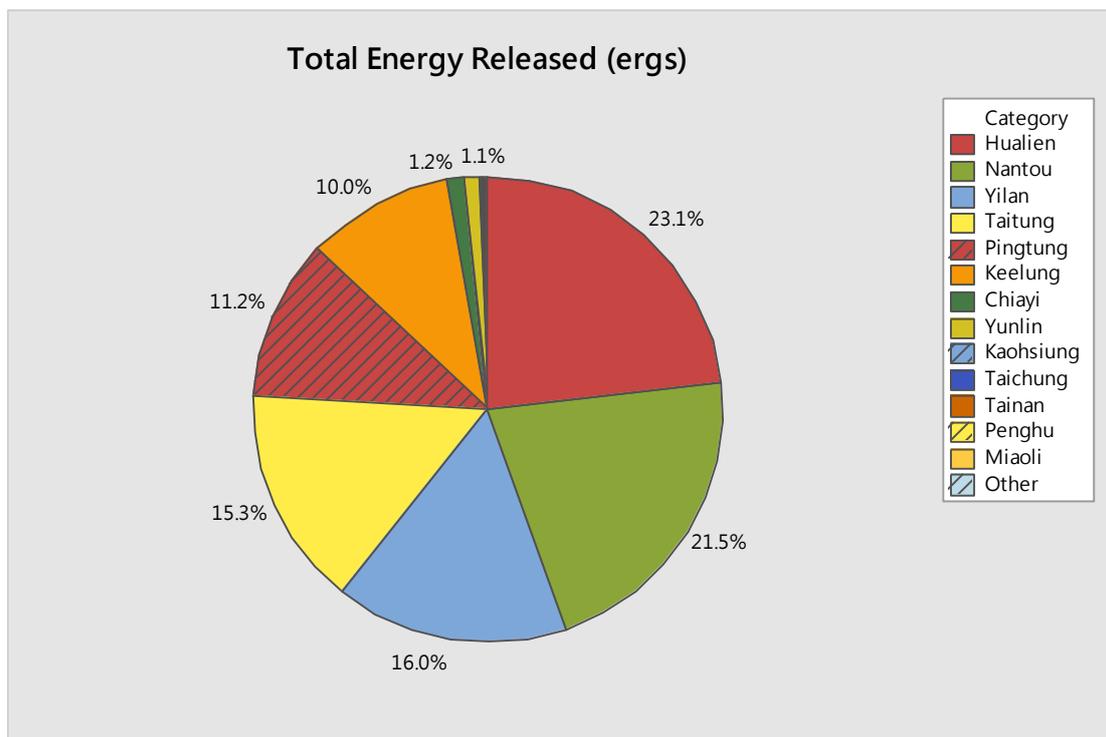


圖 4-2-8 每個縣市的所有地震（含未編號）平均能量

從 1995 年 1 月在台灣總地震釋放能量到 2017 年 8 月在比表示。圖 4-2-8 南投 (21.5%)，花蓮 (23.1%)，雖然這兩個地區地震次數大不同，可能南投在 1999 年 9 月 21 日 7.3 規模的地震貢獻能量頗為顯著。

表 4-1 釋放能量 Total Energy Released (ergs) 與原子彈等量

City	有編號的地震		所有的地震	
	Total Energy Released (ergs)	原子彈 (顆)	Total Energy Released (ergs)	原子彈 (顆)
Yilan	7.86E+22	125	8.08E+22	128
Hualien	1.14E+23	182	1.17E+23	185
Taitung	5.68E+22	90	7.73E+22	123
Nantou	1.08E+23	172	1.08E+23	172
Keelung	4.83E+22	77	5.05E+22	80
Taipei	3.99E+19	0	4.58E+19	0
New Taipei	7.31E+18	0	7.73E+18	0
Taoyuan	1.61E+19	0	1.62E+19	0
Hsinchu	3.46E+19	0	3.97E+19	0
Miaoli	1.9E+20	0	2.13E+20	0
Taichung	6.17E+20	1	6.52E+20	1
Changhua	7.44E+19	0	7.61E+19	0
Yunlin	5.4E+21	9	5.43E+21	9
Chiayi	6.24E+21	10	6.28E+21	10
Tainan	4.67E+20	1	4.96E+20	1
Kaohsiung	6.88E+20	1	7.09E+20	1
Pingtung	5.6E+22	89	5.62E+22	89
Penghu	4.31E+20	1	4.35E+20	1
Kinmen	0	0	6.93E+18	0
Matsu	0	0	1.00E+20	0
	<b>4.77E+23</b>	756	<b>5.04E+23</b>	800

在上表，台東的原子彈數相差了 33 顆，差距是全台第一名，可見台東在小區域地震是很頻繁的，再來是花蓮原子彈數差距 4 顆，位居第二名，其餘的縣差距都不大，在總釋放能量中有編號地震跟所有地震的差額是 44 顆原子彈，平均每年多釋放 2 顆的原子彈，這也表示未編號地震每次釋放的能量雖不大，但其長期的累積能量則不容忽視，計算公式如附錄 C。

#### 4.2.9 東岸地區地震規模、深度及震度 3D 圖

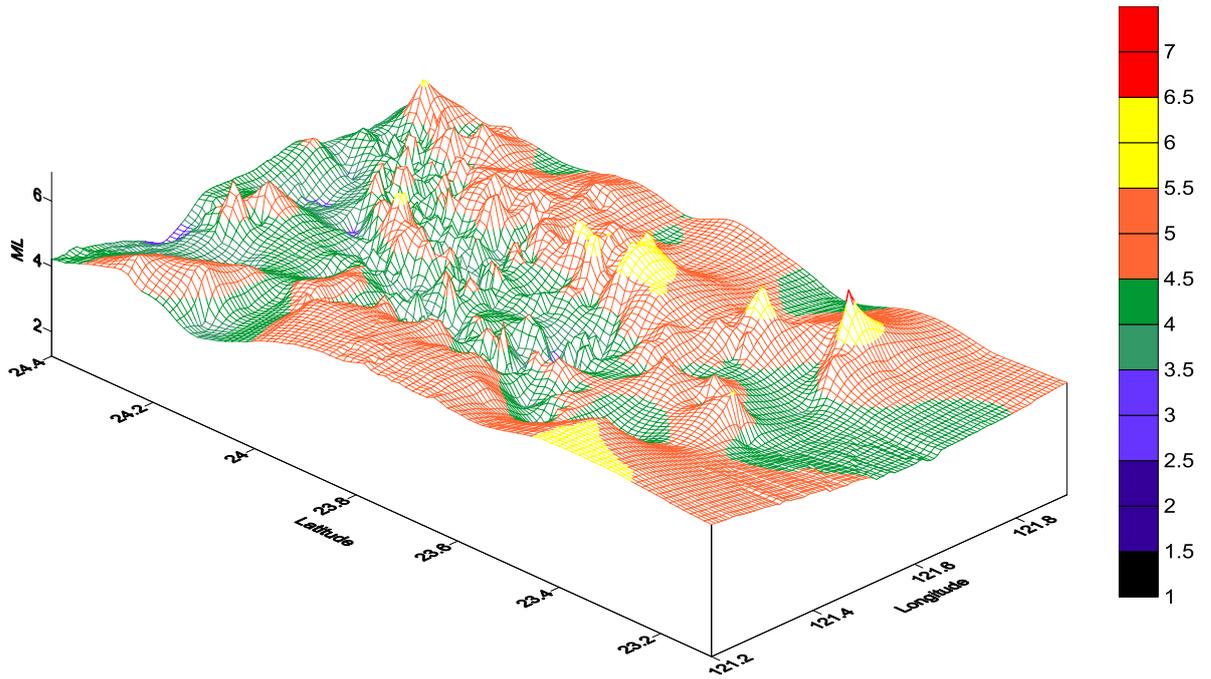


圖 4-2-9 花蓮有編號 ML 規模深度立體圖

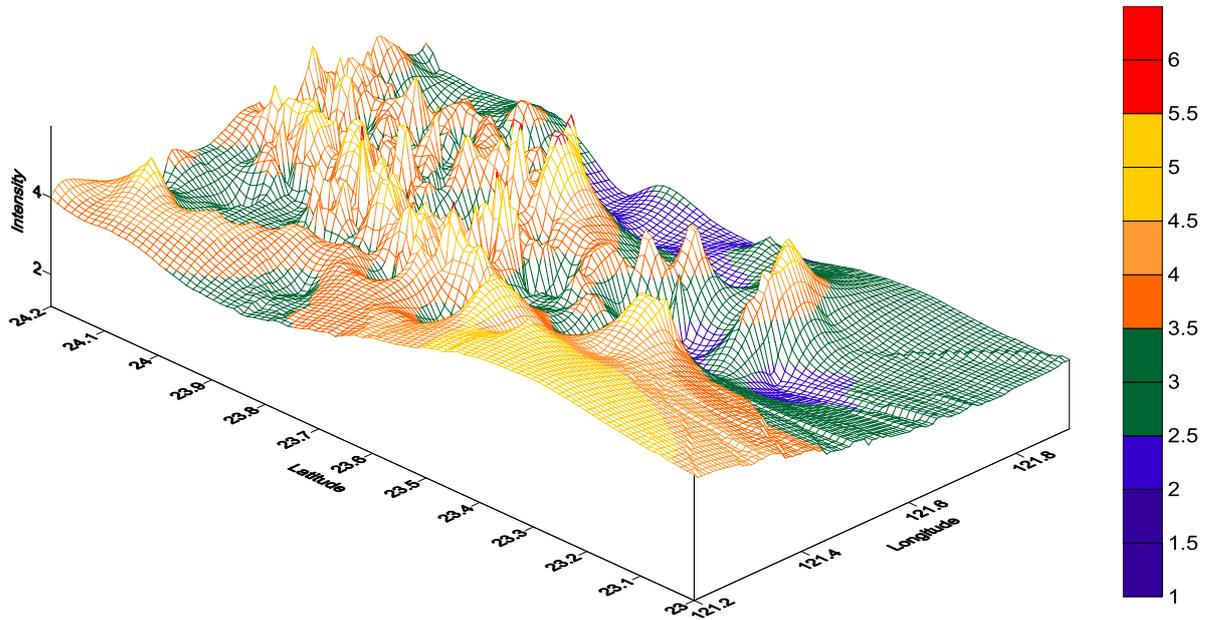


圖 4-2-10 花蓮有編號 Intensity 震度立體圖

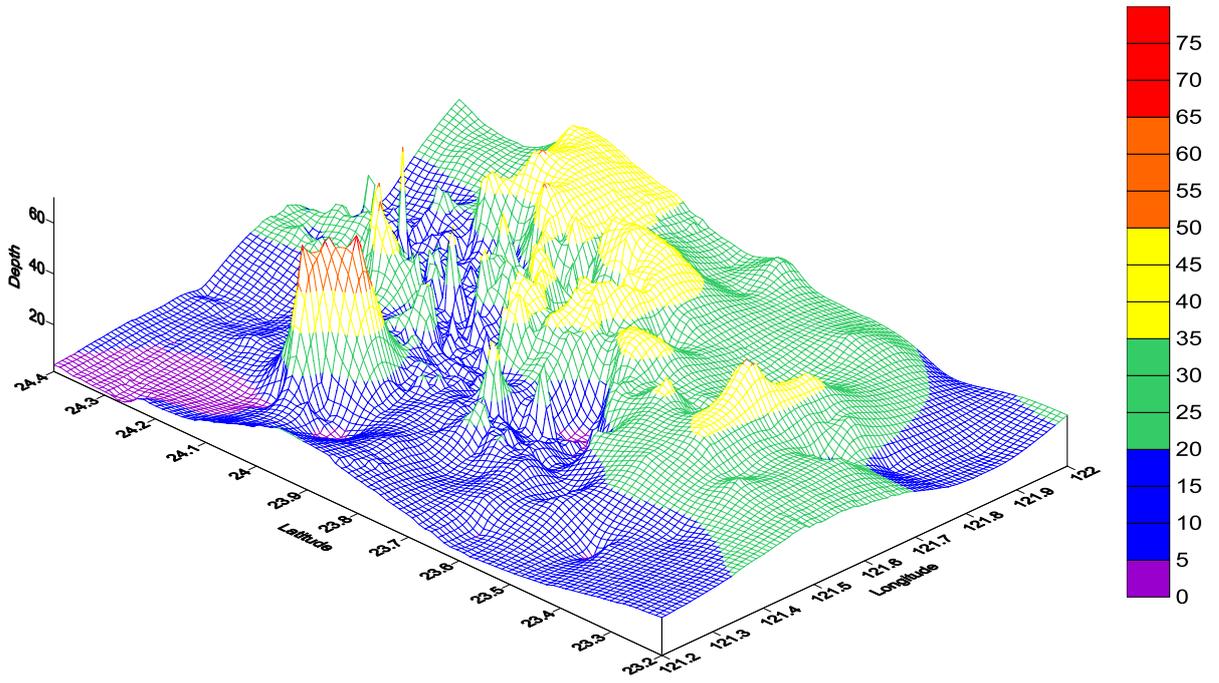


圖 4-2-11 花蓮有編號 Depth 深度立體圖

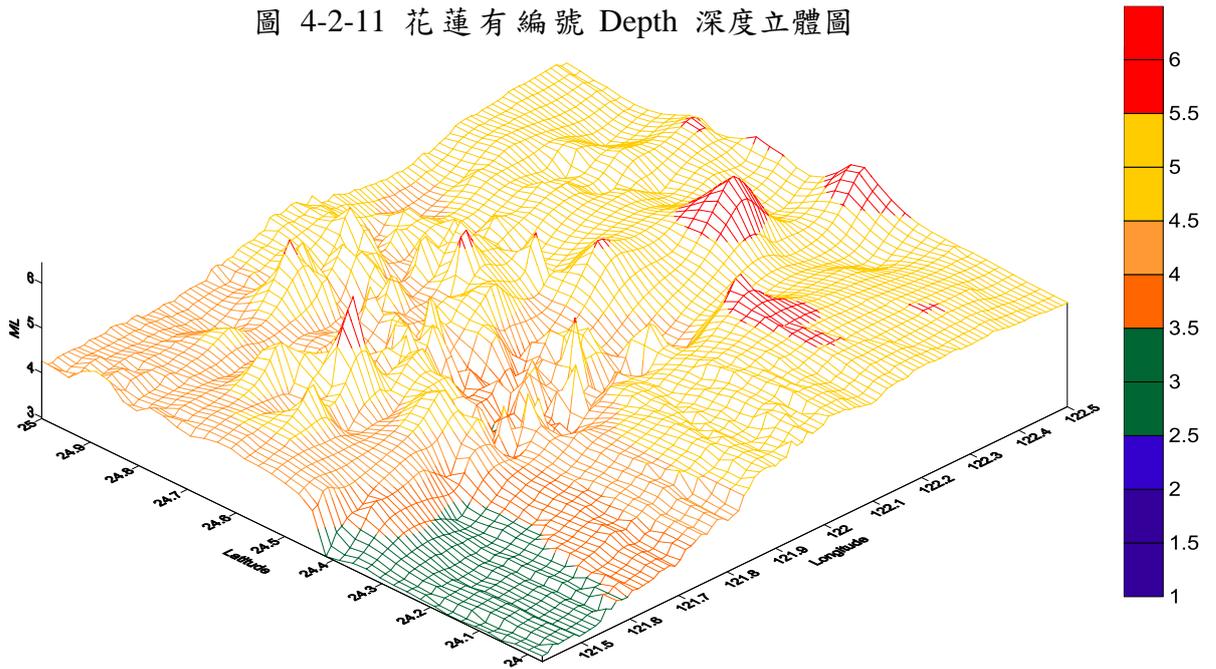


圖 4-2-12 宜蘭有編號 ML 規模深度立體圖

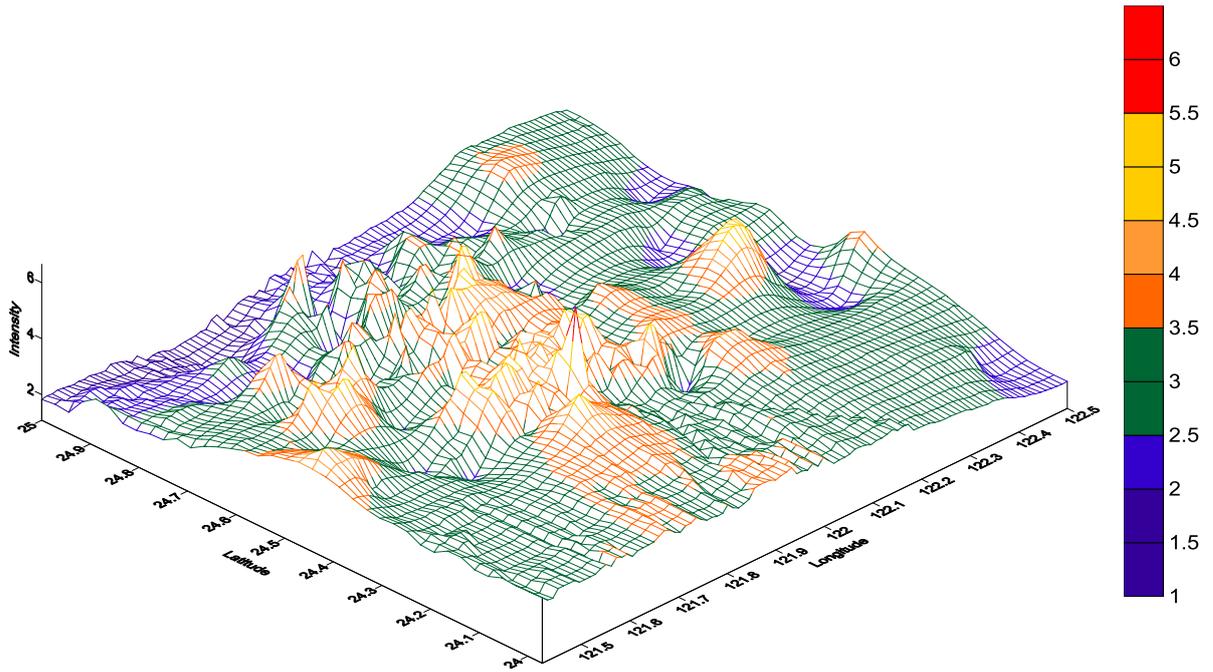


圖 4-2-13 宜蘭有編號 Intensity 震度立體圖

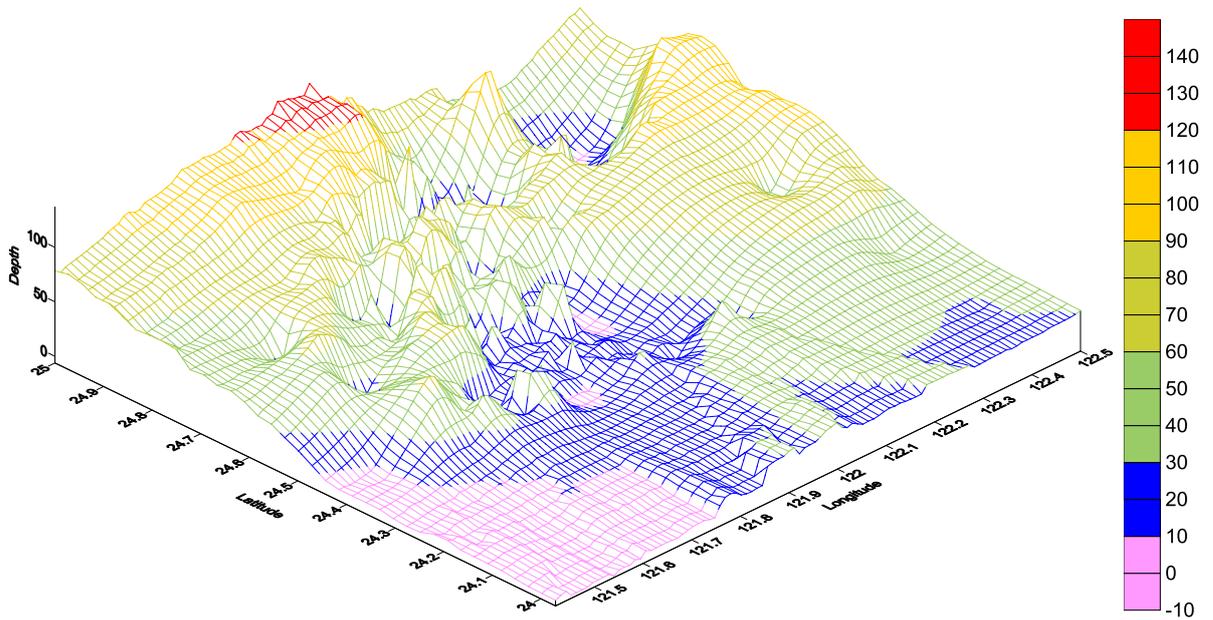


圖 4-2-14 宜蘭有編號 Depth 深度立體圖

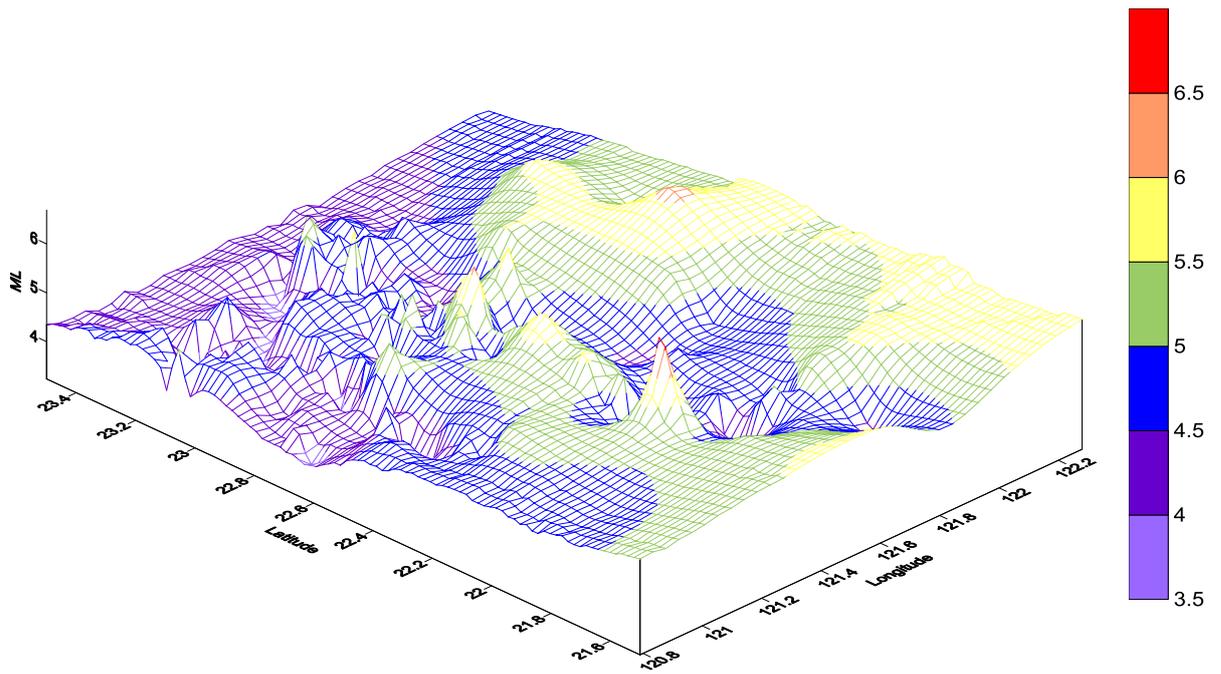


圖 4-2-15 台東有編號 ML 規模深度立體圖

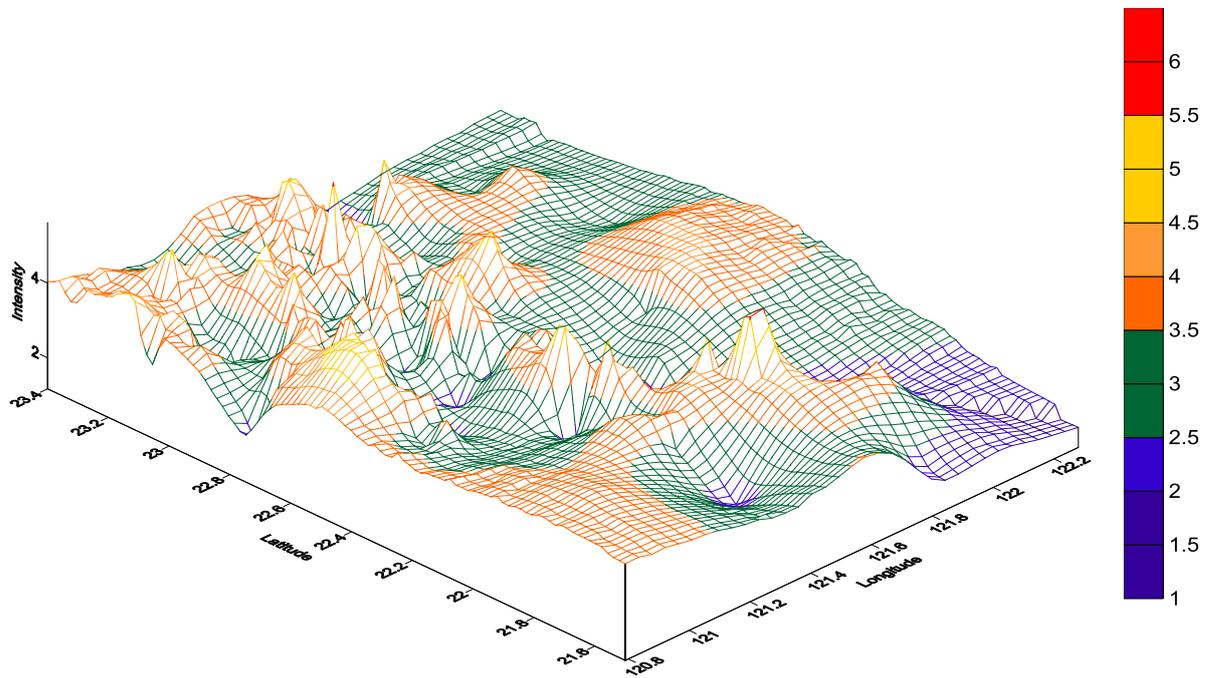


圖 4-2-16 台東有編號 Intensity 震度立體圖

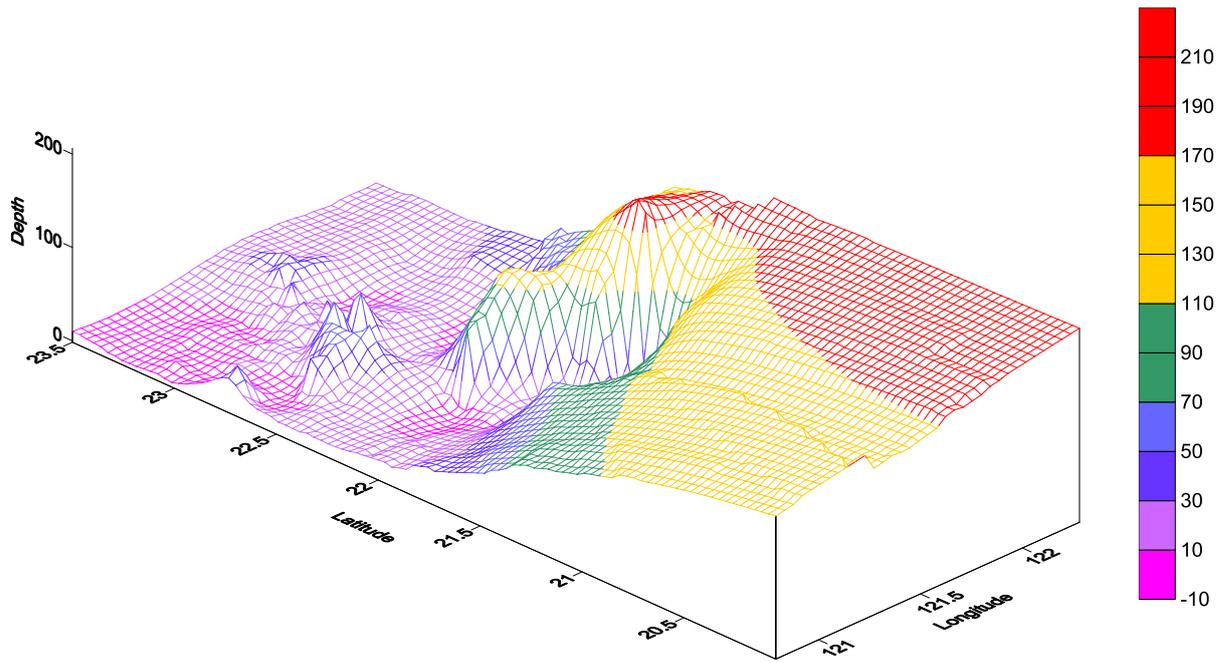


圖 4-2-17 台東有編號 Depth 深度立體圖

### 4.3 震度迴歸分析

本節目的是研究台灣東岸三個行政區所發生地震的震度與經度、緯度、地震規模及深度的關聯性，若能迴歸出可解釋性高的迴歸方程式，一旦該地區發生地震後，將其相關資料輸入迴歸方程式後，即可得到該地震在地表的震度可大量減少計算的時間。

### 4.3.1 宜蘭地區

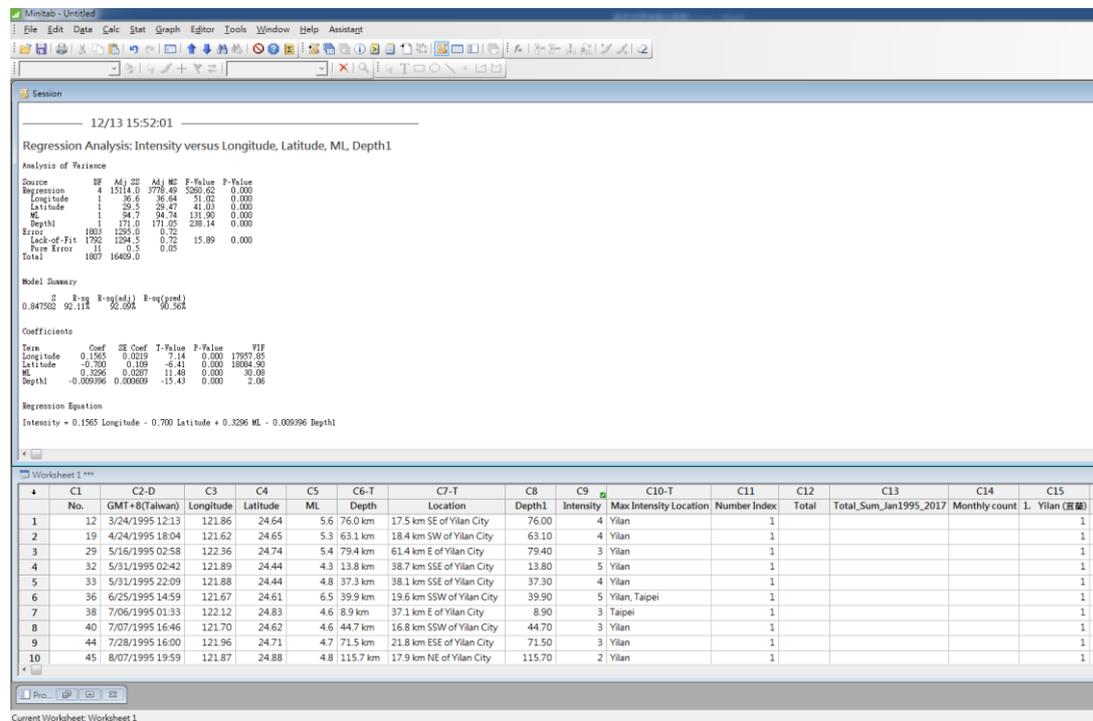


圖4-3-1 宜蘭震度迴歸分析

無常數項 Regression Equation

$$\text{Intensity} = 0.1565 \text{ Longitude} - 0.700 \text{ Latitude} + 0.3296 \text{ ML} - 0.009396 \text{ Depth1}$$

信心 Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.847502	92.11%	92.09%	90.56%

## 4.3.2 花蓮地區

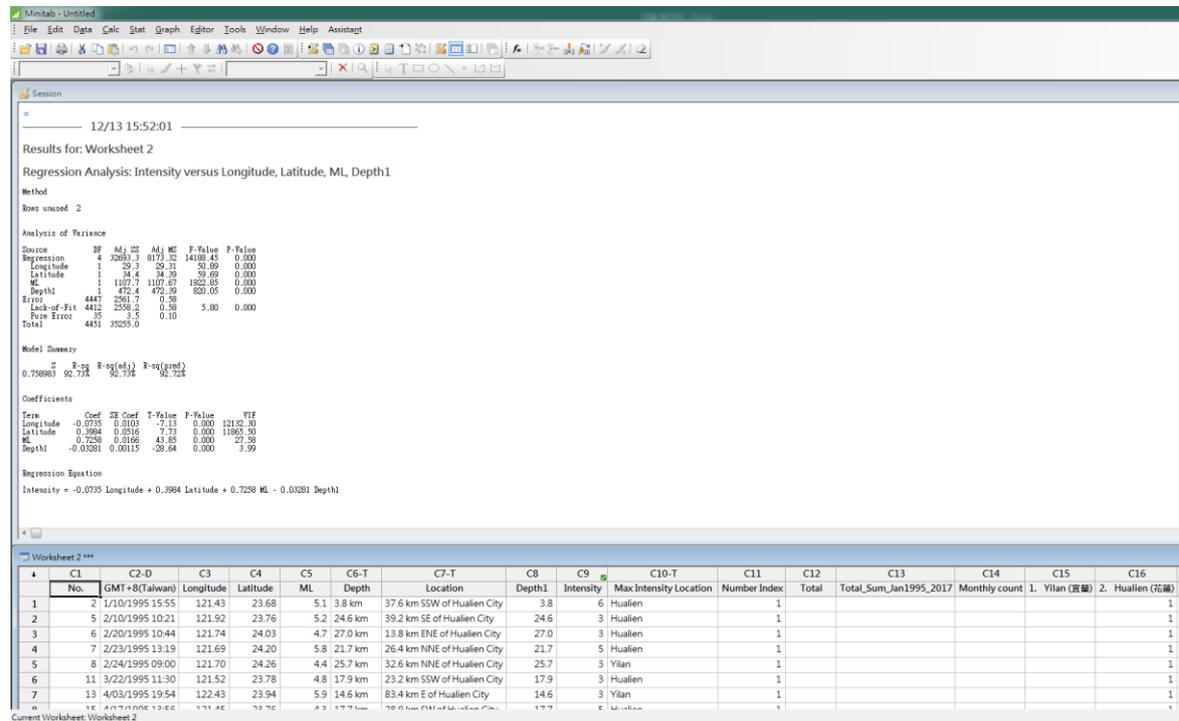


圖 4-3-2 花蓮震度迴歸分析

無常數項 Regression Equation

$$\text{Intensity} = -0.0735 \text{ Longitude} + 0.3984 \text{ Latitude} + 0.7258 \text{ ML} - 0.03281 \text{ Depth1}$$

信心 Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.758983	92.73%	92.73%	92.72%

### 4.3.3 台東地區

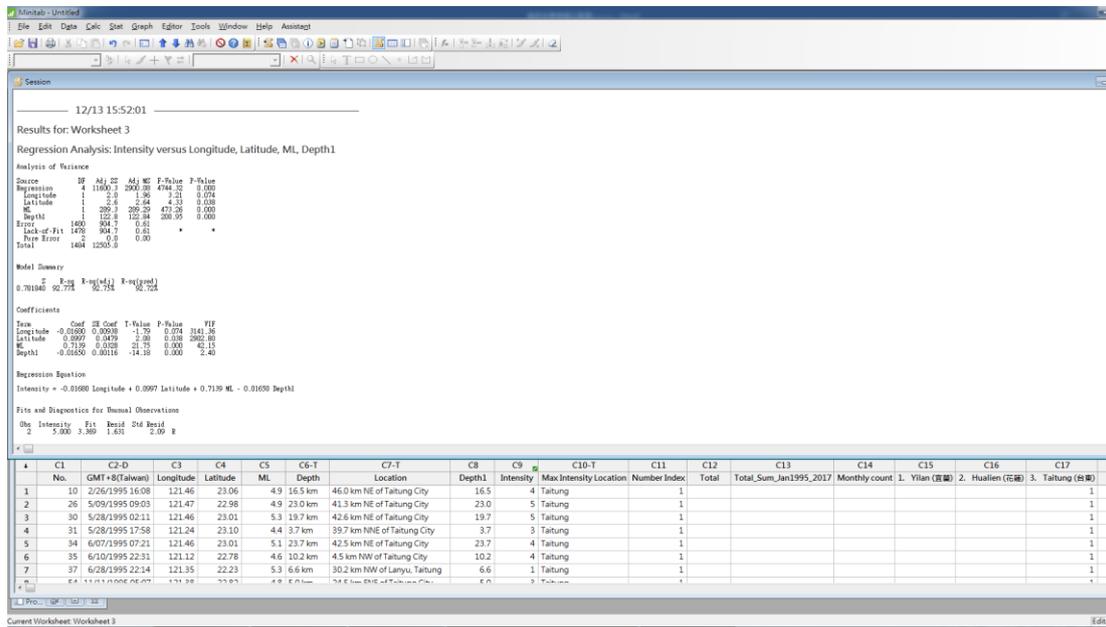


圖 4-3-3 台東震度迴歸分析

無常數項 Regression Equation

$$\text{Intensity} = -0.01680 \text{ Longitude} + 0.0997 \text{ Latitude} + 0.7139 \text{ ML} - 0.01650 \text{ Depth1}$$

信心 Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.781840	92.77%	92.75%	92.72%

表4-2震度迴歸方程式及其可解釋程度

地區	迴歸方程式	$R_{adj}^2$ (%)
花蓮	$Intensity = -0.0735$ $Longitude + 0.3984$ $Latitude + 0.7258 ML -$ $0.03281 Depth$	92.73
宜蘭	$Intensity = 0.1565$ $Longitude - 0.700$ $Latitude + 0.3296 ML -$ $0.009396 Depth$	92.09
台東	$Intensity = -0.01680$ $Longitude + 0.0997$ $Latitude + 0.7139 ML -$ $0.01650 Depth$	92.75

## 第五章 台灣東岸地震型態辨識及數量預測

在台灣地震最頻繁的縣市中，我們取東部共 3 個縣市做分析，在過去 23 年又 8 個月中，宜蘭、花蓮和台東，3187 次地震中有 2245 次在這三個縣發生，佔 71.1%，因此他們都值得拿來探討與研究。ARIMA (p, q, r) (自動迴歸積分移動平均) 在這個模型裡面時間序列是最強而有力的表達法之一，在這個部分，我們希望能預測到近期在各縣市地震發生數量，在所有 ARIMA (p, q, r) 使用的模型中是為了滿足流程圖中的程序測試，包括  $X$  平方的每一個 ARIMA 和相關函數的差別測試。

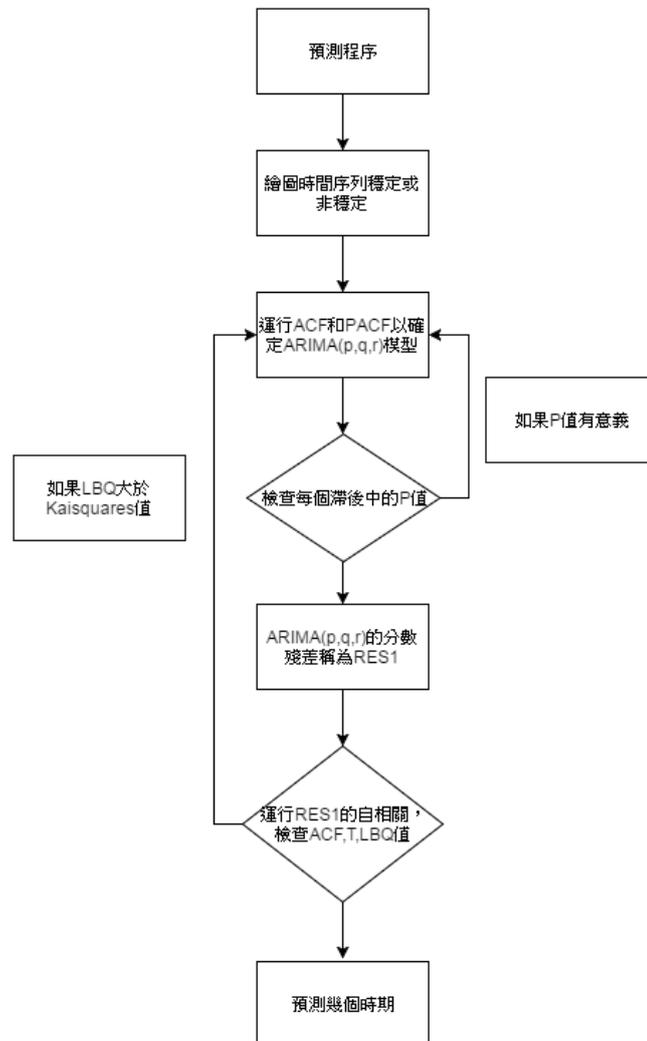


圖 5-1 流程圖

## 5.1 ACF、PACF、ARIMA 公式(10)

### 5.1.1 ACF (Autocorrelation Function)

ACF 的計算方式如公式 (1)

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2} \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

$r_k = k$  週期的滯後的自相關係數

$\bar{Y}$  = 觀測值在時間段內的平均值

$Y_t$  = 在時間段  $t$  的觀察

$Y_{t-k}$  = 觀察  $k$  時間段較早或在時間段  $t-k$

### 5.1.2 PACF (Partial Autocorrelation Function) (10)

PACF 的計算方式如公式 (2)

$$Y_t = \gamma_1 Y_{t-1} + \gamma_2 Y_{t-2} + \dots + \gamma_s Y_{t-s} + \varepsilon_t \quad (2)$$

其中  $\gamma_s$  就是在  $s$  滯後期的 PACF 值，其餘參數意義請參考 (1) 方程式

### 5.1.3 ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) (10)

ARIMA 的計算方式如公式 (3)

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} - \omega_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \omega_q \varepsilon_{t-q} \quad (3)$$

$Y_t$  = 在時間  $t$  的響應 (相關) 變量

$Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$  = 時間上的響應變量分別滯後  $t-1, t-2, \dots, t-p$

$\phi_0, \phi_1, \phi_2, \phi_p$  = 要估計的係數

$\varepsilon_t$  = 在時間  $t$  的誤差項，其表示為由模型解釋的變量的影響；關於誤差項的假設與標準迴歸模型的假設相同

$\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_q$  = 要估計的係數

$\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \varepsilon_{t-3}$  = 在時間  $t$  在先前時間段中的錯誤被併入響應  $Y_t$  中

## 5.2 宜蘭每月的地震次數

宜蘭每月地震數量歷時圖，我們以 Minitab 繪製如圖

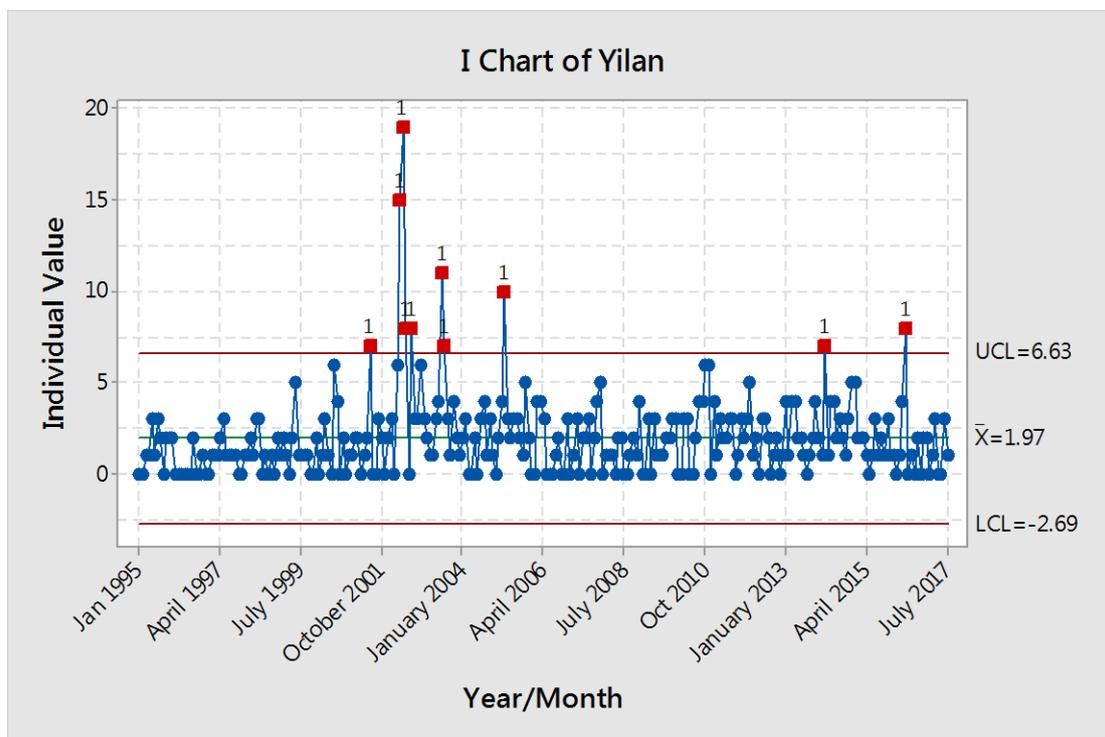


圖 5-2 1995 年 1 月至 2017 年 7 月在宜蘭每月發生的地震數。

在宜蘭縣，平均地震頻率為每月 1.97 次。其中有 10 個月之每月地震數量超過平均數加 3 個標準誤。

### 5.2.1 宜蘭每月地震的識別型態

相關函數的形成 (ACF) 和部分相關函數 (PACF) 在宜蘭每個月的地震頻率的圖表中，發現他們不是隨機數據，宜蘭每個月的地震數量可以預測地震的變化。

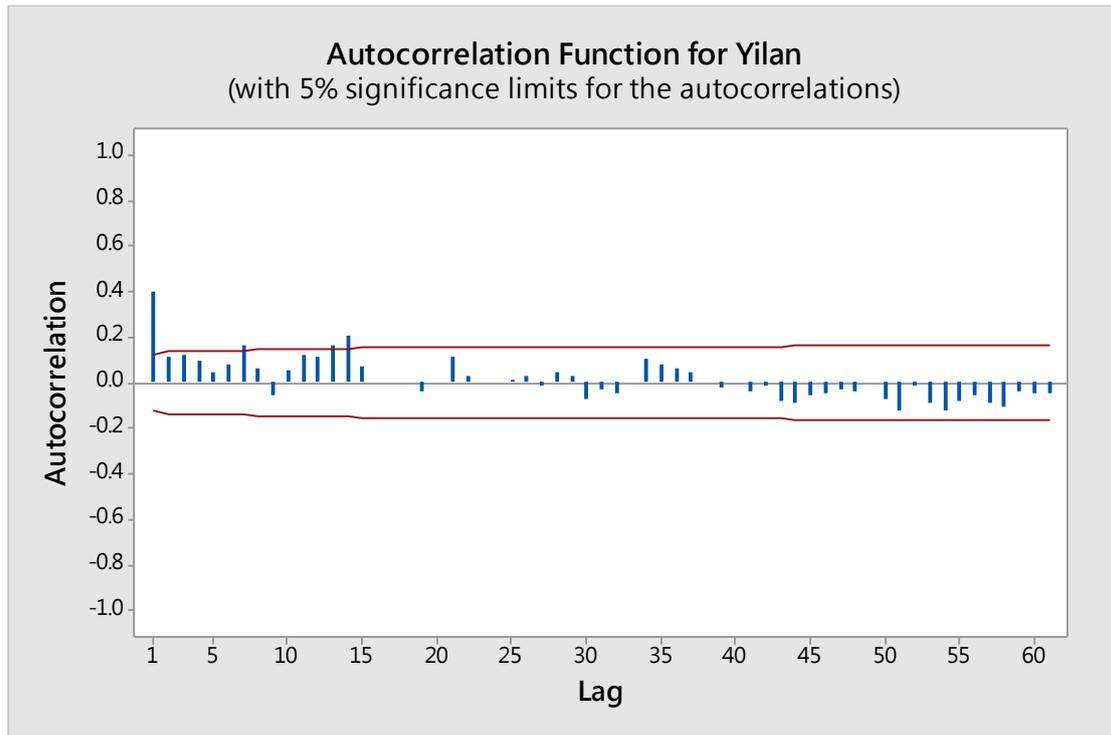


圖 5-2-1 宜蘭每月地震的相關函數 (ACF)

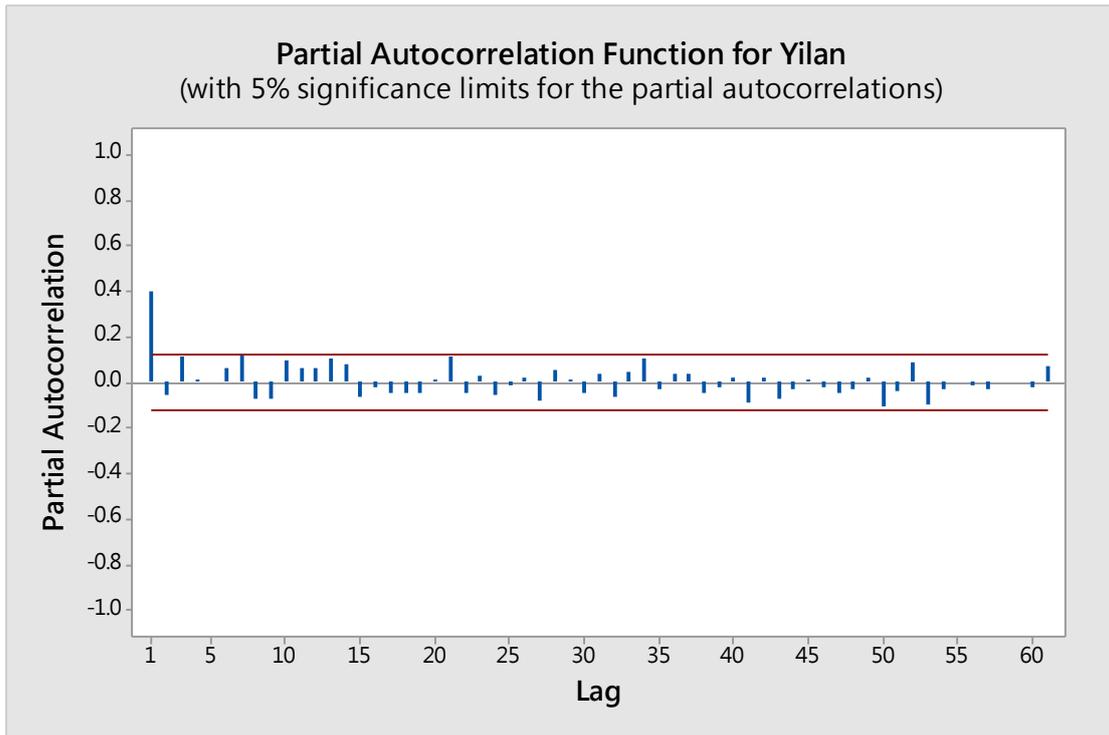


圖 5-2-2 宜蘭每月地震的部分相關函數 (PACF)

經過多次試驗，發現 ARIMA(3,0,0)模型的地震模式最適合在宜蘭。ARIMA(3,0,0) 相關函數的殘差表示在圖中，大部分是在 95%信賴區間內。

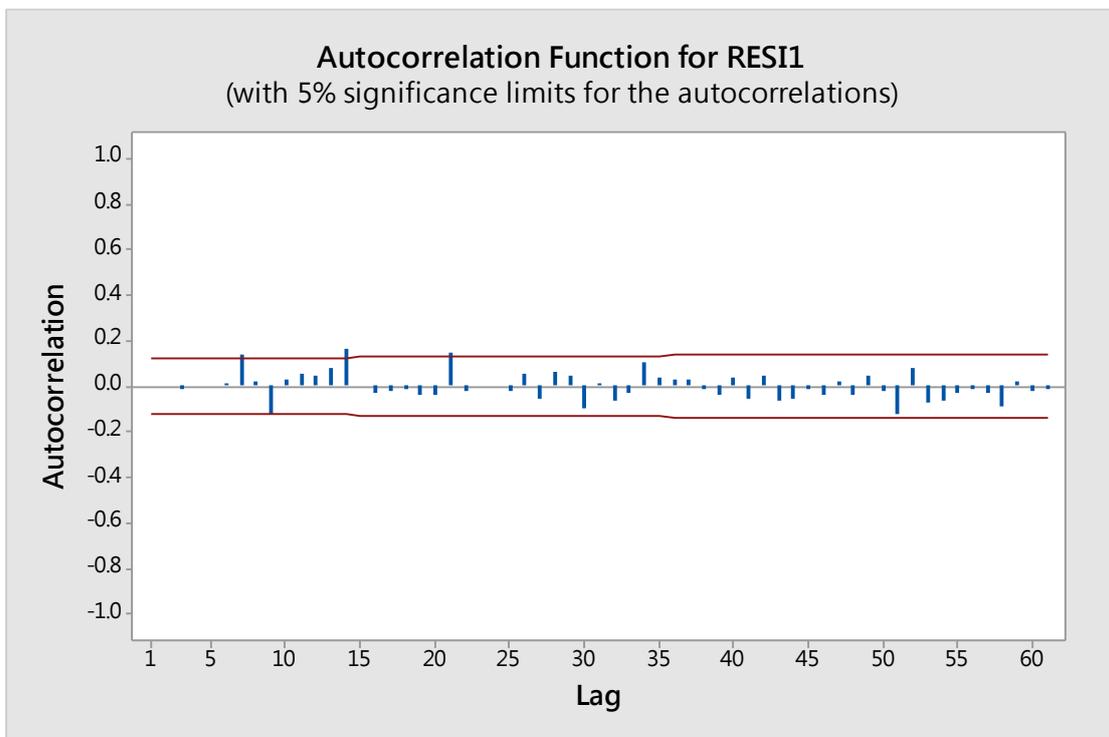


圖 5-2-3 宜蘭每月地震 ARIMA (3,0,0) 的模型殘差相關函數 (ACF)

### 5.3 花蓮每月的地震次數

花蓮每月地震數量歷時圖

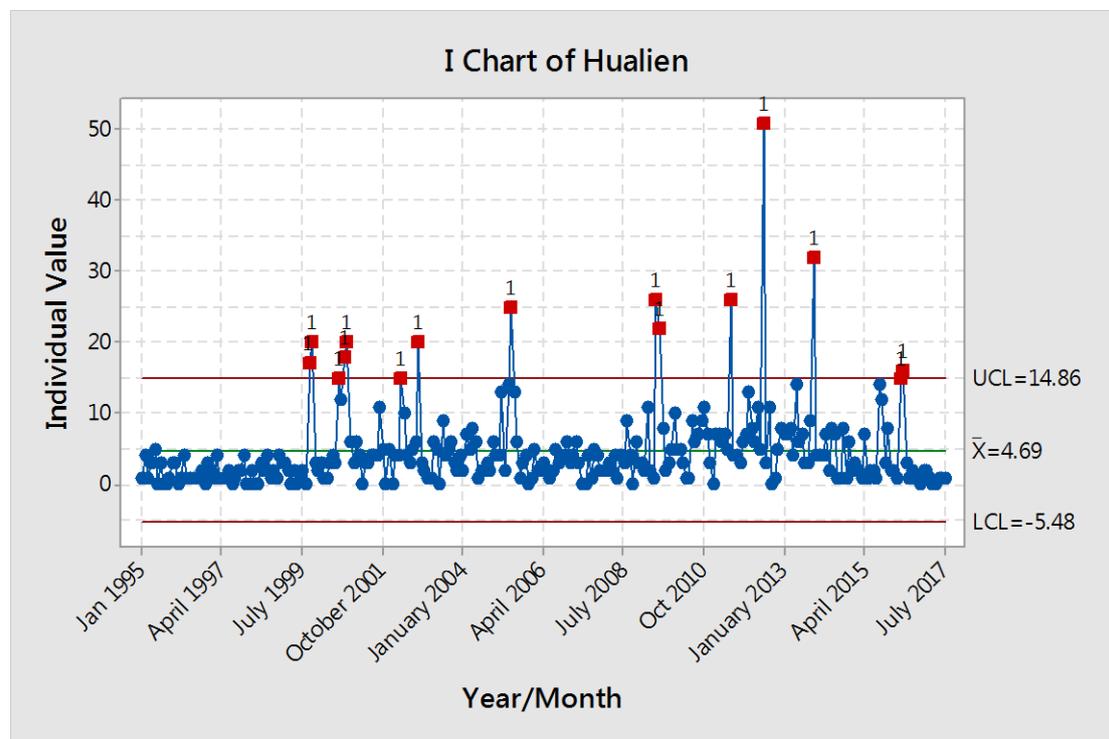


圖 5-3 1995 年 1 月至 2017 年 7 月在花蓮每月發生的地震數。

在花蓮縣，平均地震頻率為每月 4.69 次。其中有 15 個月之每月地震數量超過平均數加 3 個標準誤。

### 5.3.1 花蓮每月地震的識別型態

相關函數的形成 (ACF) 和部分相關函數 (PACF) 在花蓮每個月的地震頻率的圖表中，發現他們不是隨機數據，花蓮每個月的地震數量可以預測地震的變化。

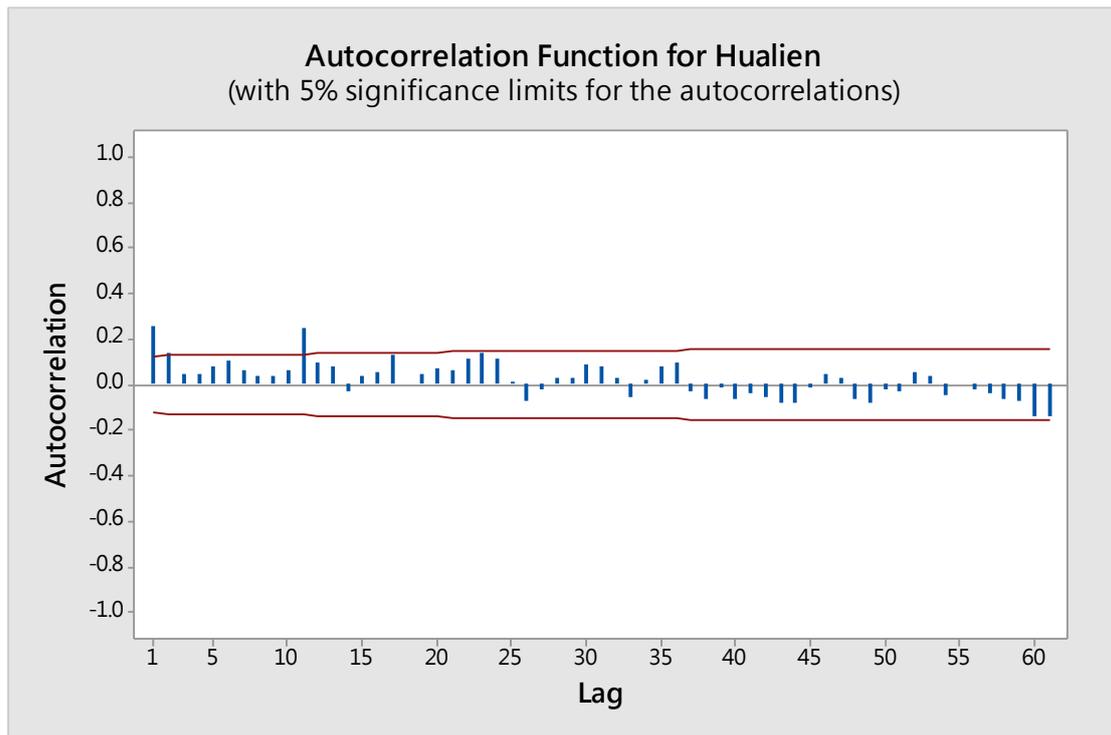


圖 5-3-1 花蓮每月地震的相關函數 (ACF)

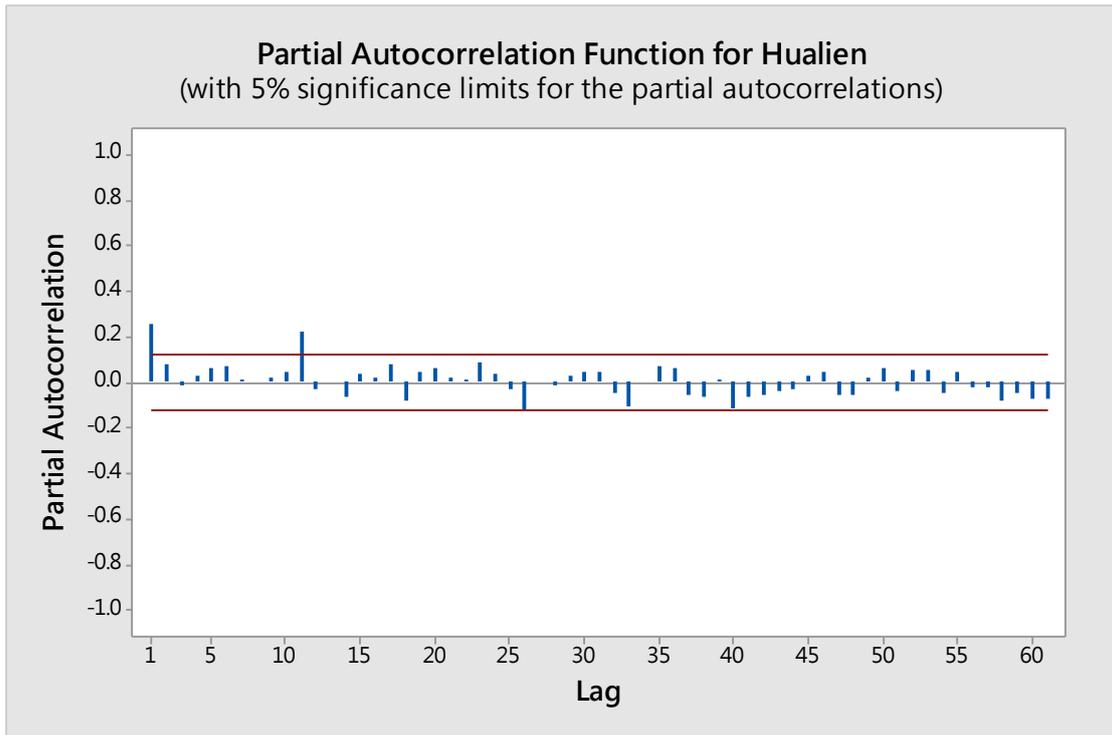


圖 5-3-2 花蓮每月地震的部分相關函數 (PACF)

經過多次試驗，發現 ARIMA(1,0,0)模型的地震模式最適合在花蓮。ARIMA(1,0,0) 相關函數的殘差表示在圖中，大部分是在 95%信賴區間內。

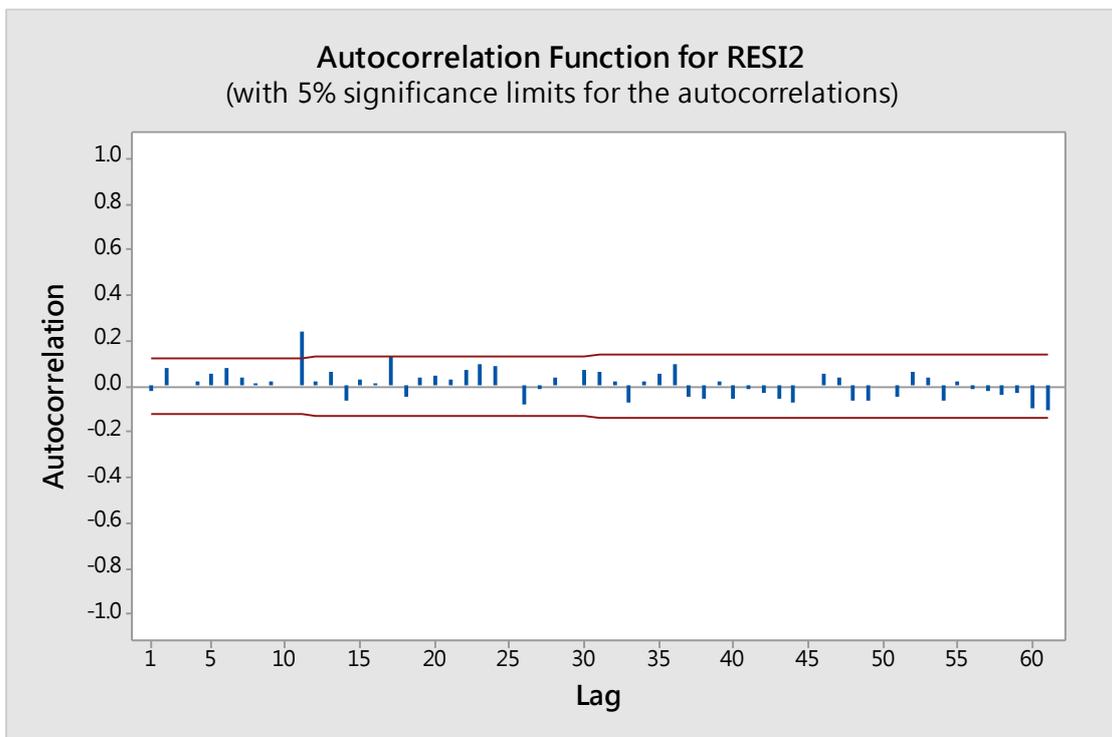


圖 5-3-3 花蓮每月地震 ARIMA (1,0,0) 的模型殘差相關函數 (ACF)

## 5.4 台東每月的地震次數

台東每月地震數量歷時圖

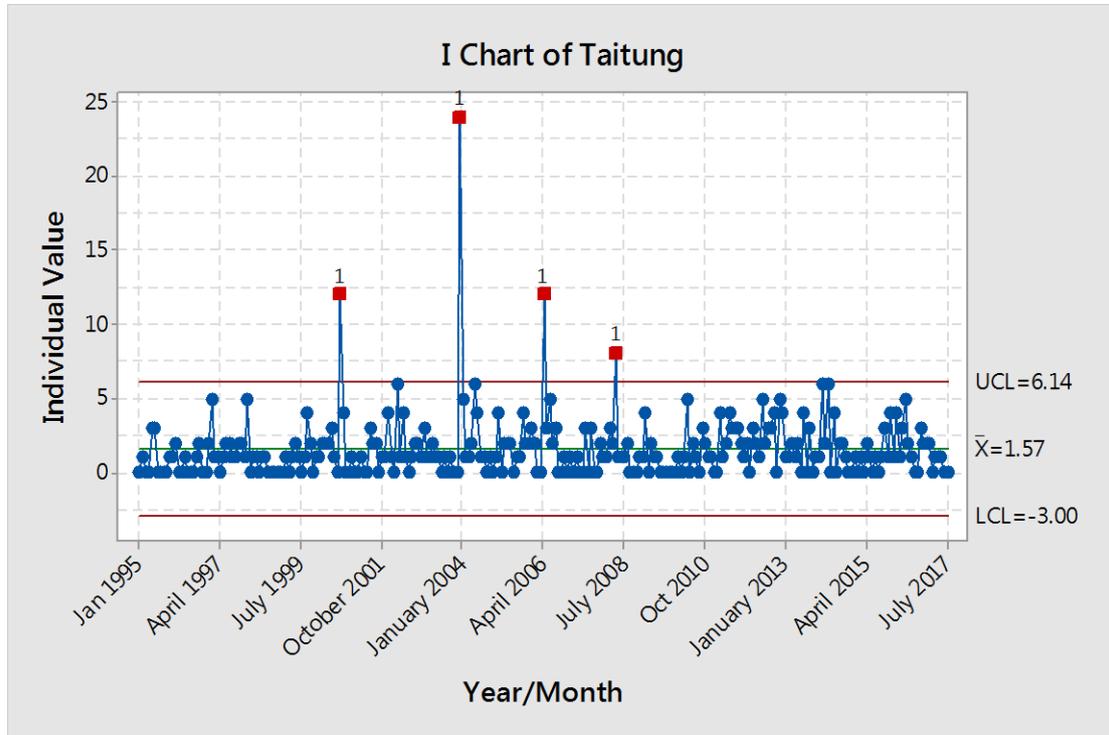


圖 5-4 1995 年 1 月至 2017 年 7 月在台東每月發生的地震數。

在台東縣，平均地震頻率為每月 1.57 次。其中有 4 個月之每月地震數量超過平均數加 3 個標準誤。

### 5.4.1 台東每月地震的識別型態

相關函數的形成 (ACF) 和部分相關函數 (PACF) 在台東每個月的地震頻率的圖表中，發現他們不是隨機數據，台東每個月的地震數量可以預測地震的變化。

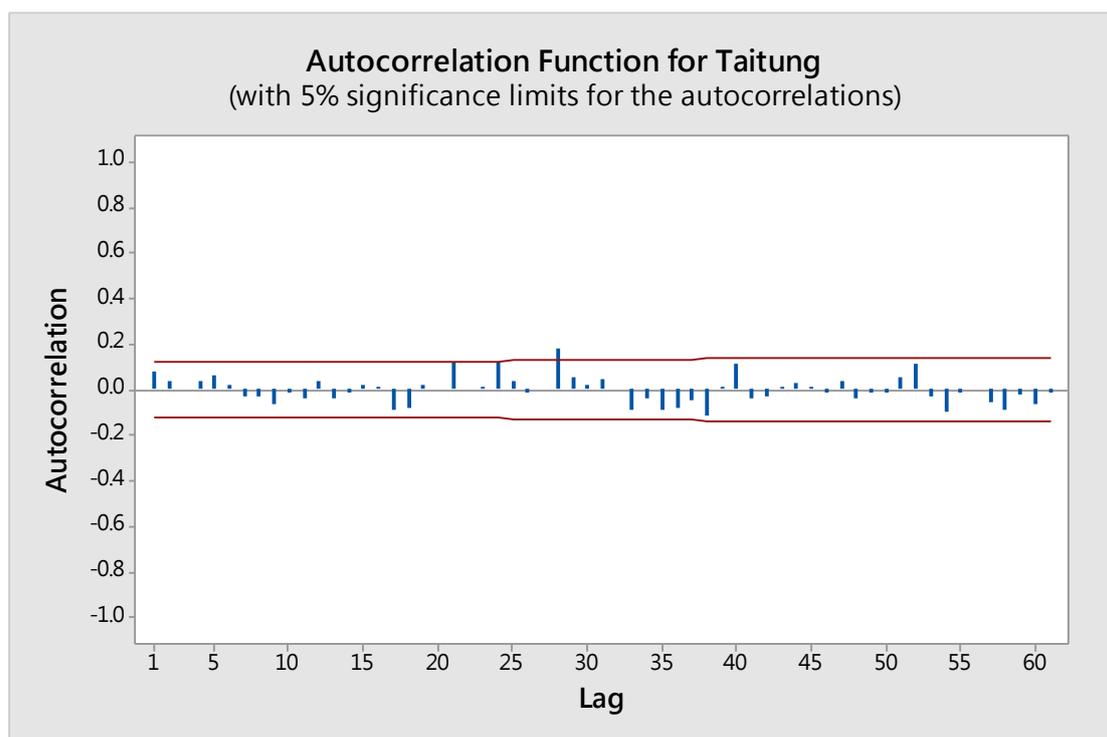


圖 5-4-1 台東每月地震的相關函數 (ACF)

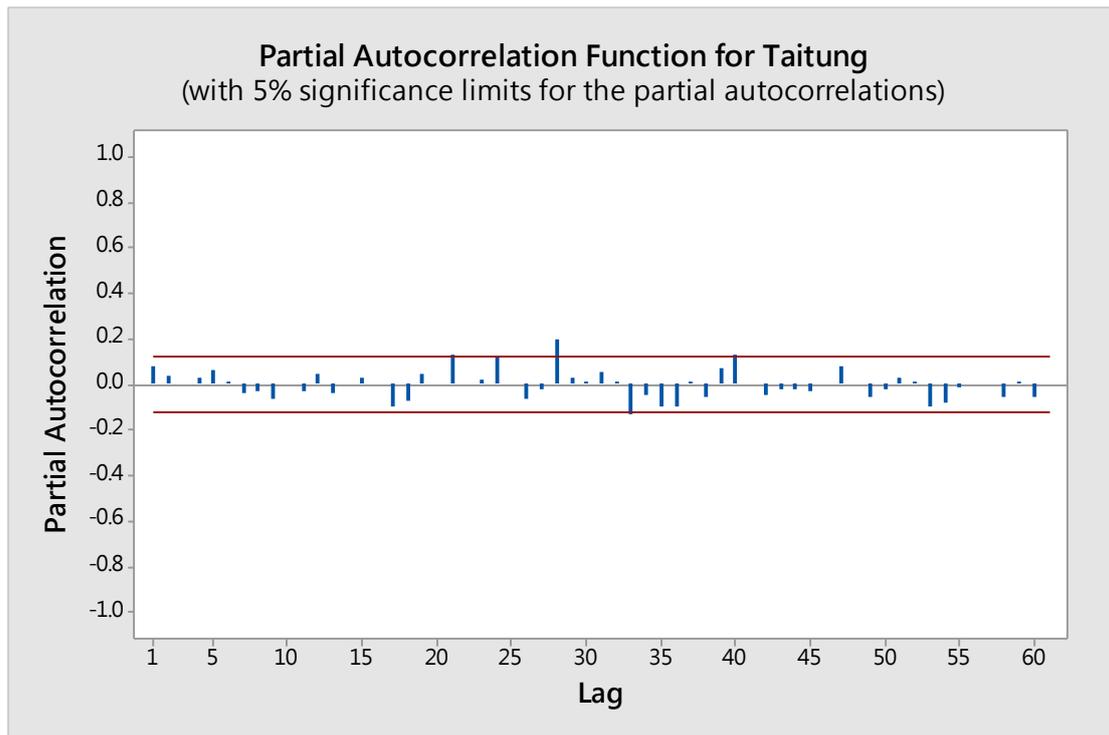


圖 5-4-2 台東每月地震的部分相關函數 (PACF)

經過多次試驗，發現 ARIMA(1, 0, 0)模型的地震模式最適合在台東。ARIMA(1, 0, 0) 相關函數的殘差表示在圖中，大部分是在 95%信賴區間內。

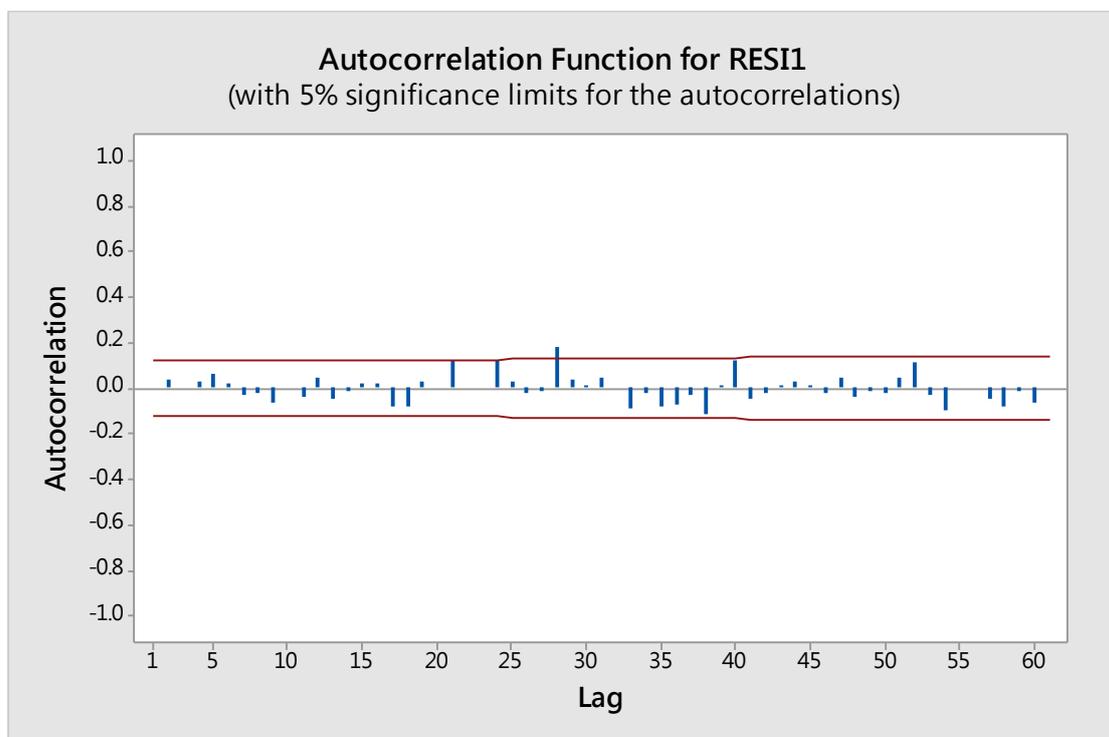


圖 5-4-3 台東每月地震 ARIMA (1, 0, 0) 的模型殘差相關函數 (ACF)

## 5.5 誤差檢驗

使用 ARIMA 模型，預測宜蘭、花蓮、台東、雲林、嘉義、屏東、南投 2011 年至 2017 年 8 月各年的地震平均誤差值，此表是檢視誤差值是否在可接受的範圍內，如下表 5-1、5-2 所示

平均絕對偏差 (Mean absolute deviation, MAD) 有如公式 (4) 的形式

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t| \quad (4)$$

其中  $Y_t$  = 在時間  $t$  的實際值； $\hat{Y}_t$  =  $t$  期預測值； $n$  = 月數

表 5-1 2011 年 1 月至 2017 年 8 月在 3 縣市的預測與實際每年平均誤差地震的比較 (MAD 法)

	Yilan ARIMA (3,0,0)	Hualien ARIMA (1,0,0)	Taitung ARIMA (1,0,0)
2011	1.07	3.58	1.25
2012	1.14	7.12	1.83
2013	0.96	4.31	0.97
2014	1.68	2.54	1.67
2015	1.02	3.54	1.12
2016	1.43	4.96	1.52
2017	1.50	3.50	1.00
平均	1.25	4.17	1.31

均方根誤差 (Root mean squared error, RMSE) 有如公式 (5) 的形式

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \quad (5)$$

其中  $Y_t$  = 在時間  $t$  的實際值； $\hat{Y}_t$  =  $t$  期預測值； $n$  = 月數

表 5-2 2011 年 1 月至 2017 年 8 月在 3 縣市的預測與實際每年平均誤差地震的比較 (RMSE 法)

	Yilan ARIMA (3,0,0)	Hualien ARIMA (1,0,0)	Taitung ARIMA (1,0,0)
2011	1.34	6.63	1.45
2012	1.39	14.05	2.17
2013	1.32	7.50	1.08
2014	2.18	2.79	2.17
2015	1.13	4.21	1.28
2016	1.79	6.01	1.79
2017	1.58	3.54	1.41
平均	1.52	6.33	1.60

誤差值是以 1995 年至 2010 年所觀察到的每月地震數量為基礎，套入所推得的 ARIMA (p, q, r) 模型，計算出 2011 年 12 個月的平均地震數量誤差值並填入表 4-1、4-2，再用 1995 年至 2011 年的每月地震記錄，套入推得的 ARIMA(p, q, r) 模型，計算出 2012 年 12 個月的地震月數量，求出的值與真實值比較平均誤差，重複此步驟 6 次，直至資料用盡為止。

使用 ARIMA 模型，預測了宜蘭、花蓮、台東 3 個縣市未來六個月每月的地震數，如下表所示：

表 5-3 預測未來 3 縣市 12 個月的地震次數

	Yilan ARIMA (3,0,0)	Hualien ARIMA (1,0,0)	Taitung ARIMA (1,0,0)
2017/08	2	5	2
2017/09	2	5	2
2017/10	2	5	2
2017/11	2	5	2
2017/12	2	5	2
2018/01	2	5	2
2018/02	2	5	2
2018/03	2	5	2
2018/04	2	5	2
2018/05	2	5	2
2018/06	2	5	2
2018/07	2	5	2

表 5-4 未來 3 縣市 12 個月的地震次數

	Yilan ARIMA (3,0,0)	Hualien ARIMA (1,0,0)	Taitung ARIMA (1,0,0)
2017/08	0	1	1
2017/09	0	2	1
2017/10	0	0	0
2017/11	0	1	2
2017/12	0	0	0
2018/01	0	0	1
2018/02	2	55	0
2018/03	2	1	0
2018/04	0	1	4
2018/05	0	0	0

# 第陸章 結論與未來發展

## 6.1 結論

以所有地震（含有編號、無編號）從 1995 年 1 月至 2017 年 8 月的地震數據進行分析，可以得到以下 6.1.1、6.1.2 結論：

### 6.1.1 有編號地震敘述統計總結

(1) 花蓮是台灣地震最活躍的地方，在總地震數 3187 中有 1271 次在花蓮，百分比為 39.9%，宜蘭位居第二名，發生地震次數有 556 次，百分比為 17.4%，台東位居第三名，發生地震次數有 418 次，百分比為 13.1%。

(2) 在平均每個月地震數以花蓮為 4.7 次位居第一，宜蘭為 2.0 次位居第二，台東為 1.5 次位居第三。

(3) 每年地震發生頻率最高的是花蓮 57.8 次，其次為宜蘭 25.3 次，台東 19.0 次。

(4) 在台灣地震的平均深度，除了基隆（93.81 公里）外，台灣幾乎所有地震都 < 70 公里為較淺層，基隆屬於中深度。

(5) 台灣最大的平均規模在基隆（ $5.44M_L$ ），雖然平均值比其他地區高，但因地震發生在較深層的地區，所以震波衰減後，對板塊表面來說，危害也相對較小。

(6) 在台灣過去 22 年又 8 個月間的最大規模發生於 1999 年 9 月 21 日的南投（ $7.3M_L$ ），當時造成許多人傷亡。

(7) 在花蓮的人們每 7 天能感受到地面震動，而在彰化兩次地震間隔的時間需要 880 天，是台灣地區最長的。

(8) 在台灣每個縣市的平均釋放能量最高的為花蓮縣 24% 再來就是南投

22.7%，這兩個縣市在地震次數上是差很多，但在釋放能量比相差無幾，原因是 1999 年 9 月 21 日 7.3 級在南投的地震能量貢獻是非常顯著的。

### 6.1.2 有編輯無編號地震敘述統計總結

(1) 花蓮是台灣地震最活躍的地方，在總地震數 10012 中有 4451 次在花蓮，百分比為 44.5%，宜蘭位居第二名，發生地震次數有 1806 次，百分比為 18.0%，台東位居第三名，發生地震次數有 1473 次，百分比為 14.7%。

(2) 在每月的間隔時間，花蓮為 16.7 次位居第一，宜蘭為 6.64 次位居第二，台東為 5.42 次位居第三。

(3) 每年地震發生頻率最高的是花蓮 202.3 次，其次為宜蘭 82.1 次，台東 67 次。

(4) 在台灣地震的平均深度，除了基隆（111.9 公里）外，台灣幾乎所有地震都 < 70 公里為較淺層，屬於中深度。

(5) 台灣最大的平均規模在基隆（ $5.05M_L$ ），雖然平均值比其他地區高，也可能是地震發生在較深層的地區，所以波衰減，對板塊表面來說，危害也相對較小。

(6) 在台灣過去 22 年又 8 個月間的最大規模發生於 1999 年 9 月 21 日的南投（ $7.3M_L$ ），當時早成許多人員傷亡。

(7) 在花蓮的人們每 2 天能感受到地面震動，而金門兩次地震間隔的時間需要 485 天，是台灣地區最長的。

(8) 台灣每個縣市的平均釋放能量最高的為花蓮縣 23.1% 再來就是南投 21.5%，這兩個縣市在地震次數上是差很多的，但在釋放能量比是沒差多少的，在 1999 年 9 月 21 日 7.3 級在南投的地震能量貢獻是非常顯著的。

## 6.2 地震數量預測

(1) 在宜蘭我們預測出未來 12 個月 (2017 年 8 月至 2018 年 7 月) 每月的數量保守預測是 2 次。

(2) 在花蓮我們預測出未來六個月 (2017 年 8 月至 2018 年 7 月) 每月的數量保守預測是 5 次。

(3) 在台東我們預測出未來六個月 (2017 年 8 月至 2018 年 7 月) 每月的數量保守預測是 2 次。

## 6.3 未來展望

本專題是依據中央氣象局提供的資料, 研究台灣地區地震型態辨識及數量預測, 雖然我們不能直接性去預測在何時何處在哪會發生地震, 但我們希望這三個地區的預測誤差值都能在 1 以內。

## 參考文獻

(1)天搖地動-地震概述

<http://web.tcfsh.tc.edu.tw/natu/earth/geo/quake/921/stu/5/qua/page2.htm>

(2)地震專欄

<http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/planning/seismological.htm>

(3)陳老師的教學網站-地震的原因

[http://www.loxa.edu.tw/classweb/webView/index2.php?m\\_Id=19044&m\\_Type=4&m\\_Sort=9&webId=1965&teacher=cy-it17&postId=60822&page=1](http://www.loxa.edu.tw/classweb/webView/index2.php?m_Id=19044&m_Type=4&m_Sort=9&webId=1965&teacher=cy-it17&postId=60822&page=1)

(4)維基百科-地震預測

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%9C%B0%E9%9C%87%E9%A0%90%E6%B8%AC>

(5)臺灣魚類資料庫-地震魚

<http://fishdb.sinica.edu.tw/chi/NewKnowledge/NK12.php>

(6)蚯蚓大量離洞的現象與地震關係

[http://web.nchu.edu.tw/~htshih/worm/earthworm/eq\\_earth.htm](http://web.nchu.edu.tw/~htshih/worm/earthworm/eq_earth.htm)

(7)地震預測方法-測地法、氦氣預測法

<http://scman.cwb.gov.tw/eqv5/eq100/100/075.HTM>

(8)地震的預防

<https://www.ctcn.edu.tw/~s01/web/OFA/s1/house/homepage/%E5%9C%B0%E9%9C%87%E5%9C%B0%E9%9C%87%E7%9A%84%E9%A0%90%E9%98%B2.htm>

(9)交通部中央氣象局-地震

<http://www.cwb.gov.tw/V7e/earthquake/seismic.htm>

(10)Business Forecasting

(11)Hanke, J.E. and Wichern, D.W. *Business Forecasting 9<sup>th</sup> Edition*, Pearson Education, Inc. (2009)

附錄A 台灣地區有編號地震數據整理  
(1995年1月至2017年8月有編號的地震數據)

City	Numbers of earthquakes	Mean times per month	Mean times per year	Earthquakes percentage %	Depth (KM)	Magnitude		Total Energy Released (ergs)	Average dtime (days)
						Mean	Max		
Yilan	556	2.04	25.27	17.44587	40.36	4.43	7.1	7.86E+22	14
Hualien	1271	4.67	57.77	39.88077	17.07	4.22	6.9	1.14E+23	7
Taitung	418	1.54	19.00	13.11578	20.04	4.57	7.1	5.68E+22	19
Nantou	227	0.83	10.32	7.122686	16.07	4.54	7.3	1.08E+23	39
Keelung	18	0.07	0.82	0.564794	93.81	5.44	7	4.83E+22	393
Taipei	13	0.05	0.59	0.407907	23.94	3.61	5.1	3.99E+19	537
New Taipei	3	0.01	0.14	0.094132	65.6	3.7	4.7	7.31E+18	754
Taoyuan	8	0.03	0.36	0.25102	11.35	3.94	4.7	1.61E+19	620
Hsinchu	11	0.04	0.50	0.345152	7.8	3.82	5	3.46E+19	524
Miaoli	43	0.16	1.95	1.349231	8.74	4.31	5.2	1.9E+20	171
Taichung	60	0.22	2.73	1.882648	15.8	4.22	5.6	6.17E+20	113
Changhua	8	0.03	0.36	0.25102	13.33	4.29	5.3	7.44E+19	880
Yunlin	93	0.34	4.23	2.918105	11.39	4.15	6.6	5.4E+21	68
Chiayi	250	0.92	11.36	7.844368	10.13	4.09	6.4	6.24E+21	33
Tainan	84	0.31	3.82	2.635708	15.68	3.97	5.7	4.67E+20	99
Kaohsiung	35	0.13	1.59	1.098211	31.77	4.11	5.8	6.88E+20	236
Pingtung	82	0.30	3.73	2.572953	26.41	4.74	7	5.6E+22	92
Penghu	7	0.03	0.32	0.219642	31.18	4.79	5.8	4.31E+20	779
Kinmen	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00E+00	0
Matsu	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00E+00	0
Total	3187	NA	NA	100	NA	NA		4.77E+23	NA
Energy									

附錄B 台灣地區所有地震(有編號與無編號)數據整理  
(1995年1月至2017年8月有編號+無編號的地震數據)

City	Numbers of earthquakes	Mean times per month	Mean times per year	Earthquakes percentage %	Depth (KM)	Magnitude		Total Energy Released (ergs)	Average dtime (days)
						Mean	Max		
Yilan	1806	6.64	82.09	18.03835	28.55	3.73	7.1	8.08E+22	5
Hualien	4451	16.36	202.32	44.45665	16.42	3.53	6.9	1.17E+23	2
Taitung	1473	5.42	66.95	14.71235	18.54	3.96	7.1	7.73E+22	6
Nantou	359	1.32	16.32	3.585697	17.08	4.06	7.3	1.08E+23	23
Keelung	42	0.15	1.91	0.419497	111.89	5.05	7	5.05E+22	174
Taipei	30	0.11	1.36	0.29964	23.42	3.36	5.1	4.58E+19	270
New Taipei	8	0.03	0.36	0.079904	30.04	3.36	4.7	7.73E+18	228
Taoyuan	14	0.05	0.64	0.139832	11.29	3.5	4.7	1.62E+19	385
Hsinchu	89	0.33	4.05	0.888933	8.17	2.94	5	3.97E+19	75
Miaoli	102	0.38	4.64	1.018777	8.93	3.72	5.2	2.13E+20	64
Taichung	123	0.45	5.59	1.228526	16.07	3.88	5.6	6.52E+20	59
Changhua	24	0.09	1.09	0.239712	16.93	3.6	5.3	7.61E+19	388
Yunlin	215	0.79	9.77	2.147423	11.35	3.58	6.6	5.43E+21	34
Chiayi	634	2.33	28.82	6.332401	10.04	3.49	6.4	6.28E+21	13
Tainan	286	1.05	13.00	2.856572	15.39	3.5	5.7	4.96E+20	35
Kaohsiung	99	0.36	4.50	0.988813	23.96	3.73	5.8	7.09E+20	87
Pingtung	233	0.86	10.59	2.327207	24.86	4.18	7	5.62E+22	36
Penghu	12	0.04	0.55	0.119856	30.42	4.33	5.8	4.35E+20	425
Kinmen	8	0.03	0.36	0.079904	14.83	3.44	4.6	6.93E+18	485
Matsu	4	0.01	0.18	0.039952	15.96	4.8	5.3	1.00E+20	420
Total	10012	NA	NA	100	NA	NA		5.04E+23	NA
Energy									

在上表中的地震所釋放的能量 (ergs) 基於方程式，公式由來 Gutenberg and Richter (Kramer,1996)，公式考慮到特定的地質區域，Richter 的原始定義為 (剪力波)，然而氣象局紀錄是以 (Local) 表示，本研究並不區分此兩種規模表示方式，在計算釋放能量時以取代，按此式推算地震每增加 1 規模 (Magnitude)，地震波能量增加 32 倍。

### 附錄C 換算成原子彈的公式 (little boy)

$\log(E) = 11.8 + 1.5 * M$  (E: Energy 能量, 單位耳格; Magnitude 地震級數)

9.0 級:  $1.5 * 9.0 + 11.8 = 25.3 = \text{Log}(E)$

$E = 10^{25.3} = (1.99526231496888 * 10^{25})$  耳格

1 噸的 TNT =  $4.184 * 10^9$  焦耳 =  $4.184 * 10^{16}$  耳格

1 廣島原子彈 = 15000 噸的 TNT =  $15000 * 4.184 * 10^{16} = (6.276 * 10^{20})$  耳格

$(6.276 * 10^{20})$  耳格 =  $6.30E+20$  (科學記號)