



嶺東科技大學
LING TUNG UNIVERSITY

資訊管理系

實務專題期末報告書

台灣地震特性分析及東部地震能量釋放 預測

指導教授:倪克明教授

組員名單:賴榕芳 A48C051

胡純毓 A48C006

賴俞君 A48C018

蔡偉恩 A48C016

江明憲 A48C072

中華民國一〇八年五月



嶺東科技大學
LING TUNG UNIVERSITY

資訊管理系

實務專題期末報告書

台灣地震特性分析及東部地震能量釋放 預測

指導教授:倪克明教授

組員名單:賴榕芳 A48C051

胡純毓 A48C006

賴俞君 A48C018

蔡偉恩 A48C016

江明憲 A48C072

指導教授簽名:

中華民國一〇八年五月

嶺東科技大學資訊管理系

台灣地震特性分析及東部地震能量釋放預測

中華民國一零八年五月

誌 謝

本專題能夠順利完成，首先要誠摯感謝我們的專題指導老師——倪克明教授，在製作的過程中，我們面臨困難時，老師都能給予建議與專業知識，不厭其煩的批評與指教，且給予我們很大的鼓勵，獲得明確的方向，使我們專題得以順利完成。

在這特別感謝林甘敏教授與謝淑玲教授，在百忙之中抽空來聆聽、指教，提供許多有關我們專題內容的寶貴意見，並且點出本組專題的一些問題，使得最後能將專題完整的呈現。

賴榕芳、胡純毓、賴俞君、蔡偉恩、江明憲

謹誌

中華民國一零八年五月嶺東科技大學

摘要

本專題收集中央氣象局自1995年1月至2018年12月，發生在台灣地區20個行政區地震。地震紀錄分有編號及無編號兩類，有編號地震通常規模較大，影響範圍在兩個行政區以上，無編號地震則規模小，影響較少。經複雜的收集及分析後可得有編號地震分析結果，如後：(1)花蓮是最常發生地震的地方，在過去24年裡面，3321次地震中有1121次發生於花蓮。(2)兩次地震平均間隔時間，最長是彰化，每481天發生一次地震。(3)平均深度新北市為最深，震源平均深度54.1公里。(4)總釋放能量以宜蘭為最高，佔有編號地震釋放能量31.7%。至於有編號加無編號地震分析可得：(1)花蓮市最常發生地震的地方，在過去24年裡面，11077次地震中有4304次發生於花蓮。(2)兩次地震平均間隔時間，最長是澎湖，每862天發生一次地震。(3)平均深度台北市及新北市為最深，震源平均深度33.1公里。(4)總釋放能量以宜蘭為最高，佔總地震釋放能量31.5%。(1)宜蘭以天真預測法預測能量誤差值為最低，因此使用這個方法預測未來2019年12個月的地震能量，則宜蘭2019年總地震能量釋放為0.06顆原子彈。(2)花蓮以移動平均法預測能量誤差值為最低，因此使用這個方法預測未來2019年12個月的地震能量，則花蓮2019年總地震能量釋放為1.46顆原子彈。(3)台東以移動平均法預測能量誤差值為最低，因此使用這個方法預測未來2019年12個月的地震能量，台東2019年總地震能量釋放為0.17顆原子彈。

關鍵詞：有編號地震、無編號地震、地震數量、地震能量。

目錄

.....	I
誌謝	I
摘要	II
目錄	III
表目錄	VI
圖目錄	VII
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 有無感地震	2
2.2 板塊運動	2
2.2.1 板塊交界 3 種型態	2
2.2.2 地震引發之地殼變動	3
2.3 地震帶	3
2.4 地震造成的損害	4
2.5 原子彈	5
2.5.1 Little Boy 原子彈	5
2.5.2 Fat Man 原子彈	6
2.5.3 原子彈計算公式	6
2.6 地震預測	6
2.7 時間序列分析方法探討	6
2.8 天真預測法 (Naïve Method)	6
2.9 移動平均法 (Moving Average)	7
2.9.1 移動平均法公式	7
2.9.2 簡單移動平均法公式	7
2.9.3 雙移動平均線公式	8
2.10 指數平滑法(Exponential Smoothing)	8
2.10.1 簡單的指數平滑法公式	8
2.11 二次指數平滑法(Holt's Method)	8
2.11.1 二次指數平滑法公式	8
2.11.2 趨勢估計	9
2.11.3 對未來 p 的預測	9
2.12 三次指數平滑法(Winter's Method)	9
2.12.1 三次指數平滑法公式	9
2.12.2 趨勢估計	9
2.12.3 季節性估計	10
2.12.4 對未來 p 期的預測	10
2.13 AR(自迴歸)法 (Autoregressive Integrated Moving)	10
2.13.1 AR(自迴歸)模型	10
2.13.2 MA(移動平均)模型	11

2.13.3	AR 模型+MA 模型=ARIMA(p,q,r)模型	11
2.14	地震能量計算	11
第參章	研究方法	12
3.1	進度甘特圖	12
3.2	研究流程圖(A)	13
3.3	研究流程圖(B)	14
第肆章	台灣地震特性敘述統計	15
4.1	有編號地震敘述統計分析	15
4.1.1	平均間隔時間	15
4.1.2	平均深度	16
4.1.3	有編號釋放能量	16
4.2	有編號及無編號地震敘述統計分析	17
4.2.1	平均間隔時間	17
4.2.2	平均深度	18
4.2.3	總釋放能量	18
4.3	規模與經緯度 3D 圖	19
4.3.1	有編號規模與經緯度 3D 圖	19
4.3.2	有編號及無編號規模與經緯度 3D 圖	19
4.4	震度與經緯度 3D 圖	20
4.4.1	有編號震度與經緯度 3D 圖	20
4.4.2	有編號及無編號震度與經緯度 3D 圖	21
4.5	地震深度與經緯度 3D 圖	21
4.5.1	有編號地震深度與經緯度 3D 圖	21
4.5.2	有編號及無編號地震深度與經緯度 3D 圖	22
第伍章	台灣地震時間序列與能量型態辨識分析與預測	23
5.1	宜蘭能量預測	23
5.1.1	天真預測法 (Naïve Method)	23
5.1.2	移動平均法 (Moving Average)	24
5.1.3	指數平滑法 (Exponential Smoothing)	25
5.1.4	二次指數平滑法 (Holt's Method)	26
5.1.5	三次指數平滑法 (Winter's Method)	27
5.1.6	ARIMA 積分移動平均法(Autoregressive Integrated Moving Average)	28
5.1.7	宜蘭 2018 年誤差分析	29
5.1.8	宜蘭 2019 年能量預測	30
5.2	花蓮能量預測	30
5.2.1	天真預測法 (Naïve Method)	30
5.2.2	移動平均法 (Moving Average)	31
5.2.3	指數平滑法 (Exponential Smoothing)	32
5.2.4	二次指數平滑法 (Holt's Method)	33
5.2.5	三次指數平滑法 (Winter's Method)	34
5.2.6	ARIMA 積分移動平均法(Autoregressive Integrated Moving Average)	35
5.2.7	花蓮 2018 年誤差分析	37
5.2.8	宜蘭 2019 年能量預測	38

5.3	台東能量預測	38
5.3.1	天真預測法 (Naïve Method)	38
5.3.2	移動平均法 (Moving Average)	39
5.3.3	指數平滑法 (Exponential Smoothing)	40
5.3.4	二次指數平滑法 (Holt's Method)	41
5.3.5	三次指數平滑法 (Winter's Method)	42
5.3.6	ARIMA 積分移動平均法 (Autoregressive Integrated Moving Average)	43
5.3.7	台東 2018 年誤差分析	45
5.3.8	宜蘭 2019 年能量預測	45
第陸章	結論與建議	47
6.1	台灣地震敘述統計學分析結果	47
6.1.1	有編號地震分析結果	47
6.1.2	有編號加上無編號地震分析結果	47
6.2	地震能量預測	47
6.3	未來發展	47
參考文獻		47
附錄(A)		49
附錄(B)		51
附錄(C)		52
附錄(D)		53

表目錄

表 2-1 天真預測法的優缺點	7
表 5-1 宜蘭 2018 年每月的地震能量(天真預測法)	23
表 5-2 宜蘭 2018 年每月的地震能量(移動平均法)	24
表 5-3 宜蘭 2018 年每月的地震能量(指數平滑法)	25
表 5-4 宜蘭 2018 年每月的地震能量(二次指數平滑法)	26
表 5-5 宜蘭 2018 年每月的地震能量(三次指數平滑法)	27
表 5-6 宜蘭 2018 年每月的地震能量(ARIMA 積分移動平均法)	29
表 5-7 宜蘭六種預測方法誤差比較	29
表 5-8 宜蘭 2019 年總地震能量釋放為幾顆原子彈	30
表 5-9 花蓮 2018 年每月的地震能量(天真預測法)	30
表 5-10 花蓮 2018 年每月的地震能量(移動平均法)	32
表 5-11 花蓮 2018 年每月的地震能量(指數平滑法)	33
表 5-12 花蓮 2018 年每月的地震能量(二次指數平滑法)	34
表 5-13 花蓮 2018 年每月的地震能量(三次指數平滑法)	35
表 5-14 花蓮 2018 年每月的地震能量(ARIMA 積分移動平均法)	37
表 5-15 花蓮六種預測方法誤差比較	37
表 5-16 花蓮 2019 年總地震能量釋放為幾顆原子彈	38
表 5-17 台東 2018 年每月的地震能量(天真預測法)	38
表 5-18 台東 2018 年每月的地震能量(移動平均法)	39
表 5-19 台東 2018 年每月的地震能量(指數平滑法)	40
表 5-20 台東 2018 年每月的地震能量(二次指數平滑法)	41
表 5-21 台東 2018 年每月的地震能量(三次指數平滑法)	42
表 5-22 台東 2018 年每月的地震能量(ARIMA 積分移動平均法)	44
表 5-23 台東六種預測方法誤差比較	45
表 5-24 台東 2019 年總地震能量釋放為幾顆原子彈	45
表 A 台灣 20 個行政區域 (1995 年 1 月至 2018 年 12 月的總地震數據含未編號)	49
表 B 台灣 20 個行政區域 (1995 年 1 月至 2018 年 12 月有編號的地震數據)	51
表 C 21 年來各縣的釋放能量 Total Energy Released (ergs) 相當於幾顆原子彈	52
表 D 台灣東岸(宜蘭、花蓮、台東地區)能量列表	53

圖目錄

圖 2-1 地震板塊圖	4
圖 2-2 地震帶分布圖	5
圖 2-3 核爆	6
圖 3-1 進度甘特圖	12
圖 3-2 地震能量流程圖	13
圖 3-3 3D 圖流程圖	14
圖 4-1 1995 年 1 月至 2018 年 12 月每個縣市有編號的地震次數	15
圖 4-2 每個縣市有編號的每年平均間隔時間	15
圖 4-3 每個縣市有編號的平均深度	16
圖 4-4 每個縣市有編號的釋放能量	16
圖 4-5 1995 年 1 月至 2018 年 12 月每個縣市有編號的地震次數	17
圖 4-6 每個縣市的所有地震（含未編號）每年平均間隔時間	17
圖 4-7 每個縣市的所有地震（含未編號）平均深度	18
圖 4-8 每個縣市的所有地震（含未編號）總釋放能量	18
圖 4-9 有編號規模與經緯度 3D 圖	19
圖 4-10 有編號及無編號規模與經緯度 3D 圖	20
圖 4-11 有編號震度與經緯度 3D 圖	20
圖 4-12 有編號及無編號震度與經緯度 3D 圖	21
圖 4-13 有編號地震深度與經緯度 3D 圖	21
圖 4-14 有編號及無編號地震深度與經緯度 3D 圖	22
圖 5-1 宜蘭 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（移動平均法）	24
圖 5-2 宜蘭 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（指數平滑法）	25
圖 5-3 宜蘭 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（二次指數平滑法）	26
圖 5-4 宜蘭 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（三次指數平滑法）	27
圖 5-5 宜蘭 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（ARIMA 積分移動平均法）	28
圖 5-6 宜蘭每月地震的相關函數（ACF）	28
圖 5-7 宜蘭每月地震的部分相關函數（PACF）	29
圖 5-8 花蓮 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（移動平均法）	31
圖 5-9 花蓮 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（指數平滑法）	32
圖 5-10 花蓮 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（二次指數平滑法）	33
圖 5-11 花蓮 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（三次指數平滑法）	34
圖 5-12 花蓮 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（ARIMA 積分移動平均法）	36
圖 5-13 花蓮每月地震的相關函數（ACF）	36
圖 5-14 花蓮每月地震的部分相關函數（PACF）	37
圖 5-15 台東 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（移動平均法）	39
圖 5-16 台東 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（指數平滑法）	40
圖 5-17 台東 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（二次指數平滑法）	41
圖 5-18 台東 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（三次指數平滑法）	42
圖 5-19 台東 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析（ARIMA 積分移動平均法）	43

圖 5-20 台東每月地震的相關函數 (ACF)	44
圖 5-21 台東每月地震的部分相關函數 (PACF)	44

第壹章 緒論

1.1 研究動機

由於台灣位於菲律賓板塊跟歐亞大陸板塊的斷層地帶，因此地震頻繁。為了可以減少災害造成的損傷，我們統整了自1995年1月至2018年12月台灣發生的地震活動，藉此計算未來地震能量會是多少。

1.2 研究目的

地震是地球內部能量釋放的一種自然現象，而台灣地震發生的原因主要為地殼板塊相互推擠的板塊運動。由於臺灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海洋板塊聚合的地方，所以臺灣是世界上地殼變動最激烈的地方之一。其中以東部為最頻繁，我們這次研究了東部三個縣市1995年1月到2018年12月的地震紀錄，藉此預測往後地震發生會釋放的能量，並用深度3D圖呈現。然而，地震往往會造成人員傷亡或是建築物倒塌等等的災害，因此，為了降低這類災害發生造成得損傷，我們希望可以藉由有關過去地震的研究，來預測地震發生時可能會釋放的能量，藉此降低地震所造成的災害。

第貳章 文獻回顧與探討

2.1 地震概述

臺灣位在歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊相互碰撞的樞紐點上，是屬於典型板塊碰撞所產生的小島嶼。根據地質學家的研究推斷，菲律賓海板塊約在六、七百萬年前開始向歐亞大陸板塊擠壓，此板塊能量釋放至今還在持續進行中。西部地震的地震個數較少但餘震較頻繁，影響範圍較廣，造成災情較重。東部地震則為地震個數多且震源較西部地震帶為深。此地震的形成機制均與板塊構造息息相關，且各地震區內的地震活動有其不同的活動特性及發震形態，需我們各自探討相關地震活動特性。

2.1.1 有無感地震

地震所造成之地表震動，為人體所能感覺到的稱為有感地震，未能感覺到的稱為無感地震。在主要地震發生之前，有時先發生好幾次的小地震，稱為前震(foreshock)。在主要地震之後，常有好幾次的小地震相繼發生，稱為餘震(aftershock)。前震有時不容易察覺，而餘震則較前震明顯。

2.2 板塊運動

板塊構造的基本觀念是將岩石圈分成數個接近剛性之板塊，包括較大的歐亞板塊、美洲板塊、非洲板塊、印度洋板塊、太平洋板塊及南極洲板塊和數個較小之板塊，板塊受到張力、壓力、重力及地函對流的作用，不同的板塊之間每年以數公分的相對速度緩慢移動，大部分的地震、火山及造山運動便由於相鄰板塊之互相作用而發生。

2.2.1 板塊交界3種型態

- (1)分離板塊交界處(divergent boundaries)：代表地殼引伸拉裂的現象，在中洋脊(mid-ocean ridge)處相鄰的兩板塊互相分離，而產生新的岩石圈，其材料來自地函的上部，經熔融作用而產生。地殼在這裡由於張力作用向兩側擴張延伸，沿著發散交界處常有地震發生，其震源深度多在100公里以內。

- (2) 聚合板塊交界處(convergent boundaries)：在這交界處兩板塊相互碰撞，較重者插入較輕者之下方（約以 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之傾角），使老的岩石圈消失而回到地函中，這插入的部分叫隱沒帶(subduction zone)。由於兩板塊間的相互磨擦，所以沿著隱沒帶可以不斷地發生地震而造成一地震帶，其震源深度可從很淺到大約700公里左右。台灣花蓮附近為歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊之聚合板塊交界處所以地震非常頻繁。
- (3) 守恆板塊交界處(conservative boundaries)：不產生新的岩石圈也不使岩石圈消失，相鄰兩板塊彼此橫向移動磨擦，而產生震源深度較淺之地震。台東縱谷斷層即為歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊之守恆板塊交界處[1]。

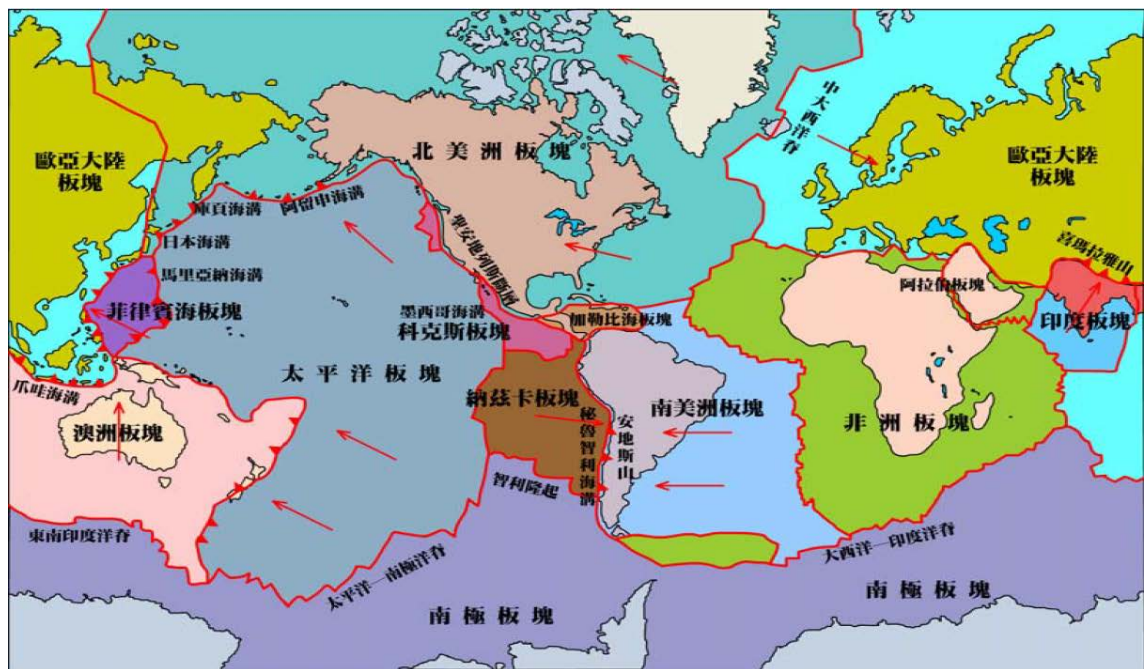


圖 2-1 地震板塊圖

2.2.2 地震引發之地殼變動

因地震引發之地殼變動有斷層、山崩、地裂、地盤隆起、陷沒、崩崖、噴沙、噴泥、土壤液化、井水變化等，此等現象通常伴隨大地震而發生。

2.3 地震帶

台灣地震帶主要有3種：

- (1)西部地震帶：指整個台灣西部地區，大致與島軸平行。主要因為板塊碰撞前緣的斷層作用引發地震活動，但由於西部地區人口稠密、工商建設發達，因此每有大地震發生時都會造成較嚴重的災情。
- (2)東部地震帶：此地震帶的地震因菲律賓海板塊與歐亞板塊碰撞所造成，地震活動頻率最高。此地震帶南端與菲律賓地震帶相接，而且沿著台灣本島平行方向向北延伸經台東、成功、花蓮到宜蘭，與環太平洋地震帶延伸至西太平洋海底相連。
- (3)東北部地震帶：此帶受沖繩海槽擴張作用影響，自蘭陽溪上游附近經宜蘭向東北延伸到琉球群島，屬淺層震源活動地帶，並伴隨有地熱與火山活動現象[1]。

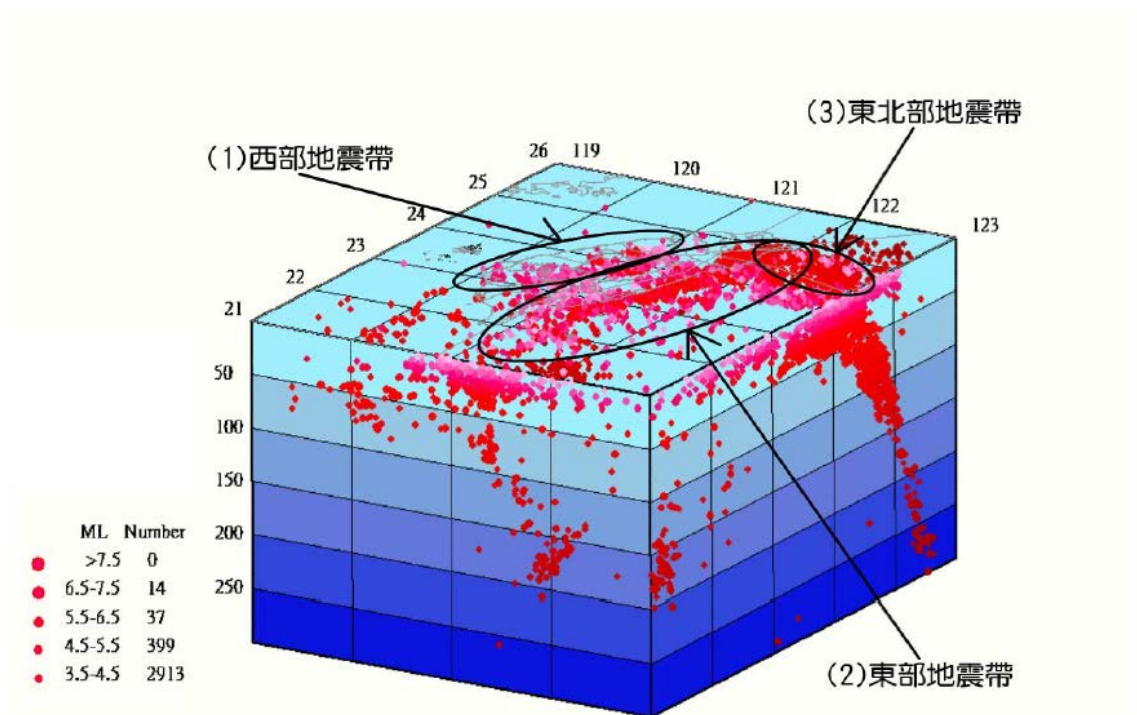


圖 2-2 地震帶分布圖

2.4 地震造成的損害

地震時或地震後，可能導致的損害：

- (1)房屋建築物傾倒，尤其公共建築物如戲院、學校、醫院、市場等人口密集的地方，最容易引起重大的傷亡。
- (2)水壩崩潰、水庫裂開、溪水暴漲，導致洪水氾濫引起水災。

(3)電線桿斷裂倒塌壓垮房屋，引起電線走火，以及屋內瓦斯、煤氣、爐灶等失火，造成火災。

(4)公路坍方、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，擴大災情。

2.5 原子彈

原子彈又稱分裂彈 (Atomic bomb)，是利用鈾和鈾等較容易分裂的重原子核在核分裂瞬間發出巨大能量而引發爆炸的核子武器。由美國最先研製成功，具有極強的破壞力，在爆炸的同時會放出強烈的核放射線，危害生物和非生物組織 [2]。

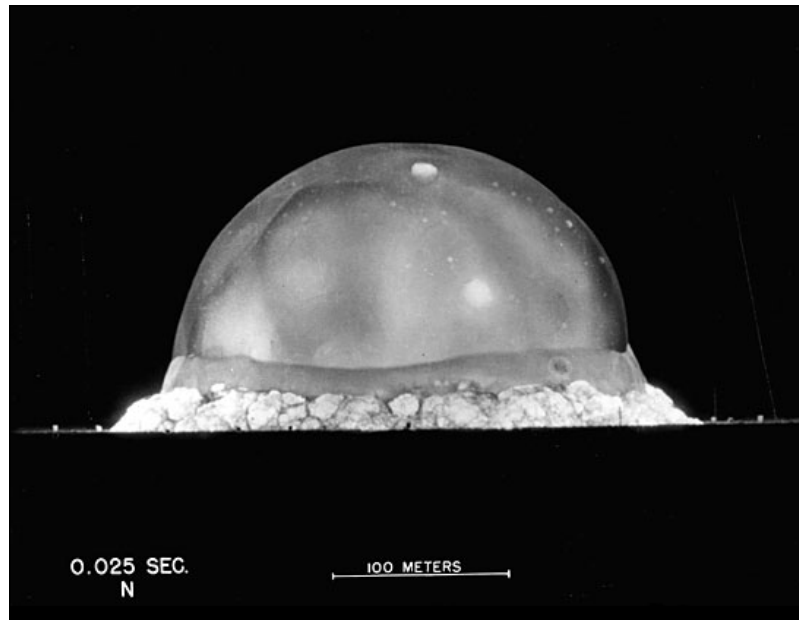


圖 2-3 核爆

2.5.1 Little Boy 原子彈

「小男孩」是人類歷史上首次對人類使用的核武器。小男孩長10英呎（3公尺），寬28英吋（71公分），重8,900磅（4,000公斤）。使用「鎗式」設計，將一個富含鈾的空心圓柱體以炸藥射到相同材料的固體目標上，造成整塊超臨界質量的鈾，引發核子連鎖反應。小男孩裝有64公斤的鈾⁻²³⁵，其中不到一公斤進行了核分裂，釋放的能量約等於13,000公噸的TNT烈性炸藥，即大概為 5.5×10^{13} 焦耳。隨後有大量的人死於核子塵埃放射引起的癌症，懷孕的母親因為放射而出現

流產，部分初生嬰兒發育畸形。死於小男孩原子彈的直接襲擊及核放射線傷害的人數總計已超過20萬人[3]。

2.5.2 Fat Man原子彈

「胖子」是至今為止歷史上第二次也是最後一次對人類使用的核武器。它長10英尺八吋（3.25公尺），直徑五英尺（1.52公尺），重10,000磅（4,545公斤）。釋放的能量約相等於2.1萬公噸的TNT烈性炸藥，即大概為 8.4×10^{13} 焦耳，比投擲在廣島的首枚原子彈稍多。由於長崎地勢多山，造成的損害比平坦的廣島低。約三萬五至四萬人直接死於胖子的原爆，之後數萬人死於核子塵埃放射引起的癌症。胖子是內爆式鈾彈。空心的球狀炸藥內放置了處於低臨界的球形鈾，周圍接上了32枚同時起爆的雷管。雷管接通起爆後，產生強大的內推壓力以擠壓球形鈾。當鈾的密度增加至超臨界狀況，便能引發核子連鎖反應，造成核爆[4]。

2.5.3 原子彈計算公式

公式中的E可以看成是物體總能量，它與地震規模（ M_L ）有關 [5]。

$$E_0 = 10^{11.8+1.5M_L} \quad (2.1)$$

單位：耳格（*ergs*）。

M_L ：地震規模。

2.6 地震預測

在地震發生之前，能夠明確地指出地震發生的地點，地震發生的時間，以及地震的規模、能量等，這就叫做地震預測。我們使用Excel分析地震數據再把數據放入Minitab中去計算地震能量，使用sufer14做出深度3D圖。但是，至今為止，地震預測技術仍未完全成熟。

2.7 時間序列分析方法探討

使用時間序列方法來預測地震能量，時間序列有：天真預測法、移動平均法、指數平滑法、二次指數平滑法、三次指數平滑法、ARIMA法等等。我們總共用6種方法來進行分析。

2.8 天真預測法 (Naïve Method)

使用時間序列的前一期數值當做預測基礎，可用於穩定序列、季節性變異或趨勢。

$$\hat{Y}_{t+p} = Y_t \quad (2.2)$$

$\hat{Y}_{t+p}$ ：p到未來的預測值。

表2-1天真預測法的優缺點 [6]

穩定序列	上一期的數值將成為下一期的預測值。
季節性變異	本季的預測值和上一季的數值相同。
趨勢	預測值為序列中，前一個數值加上（或減去）最後兩個數值的差。
優點	方法簡單迅速；無需分析資料，故容易了解。
缺點	可能不能提供高精確度的預測。

2.9 移動平均法 (Moving Average)

又稱「移動平均線」，是技術分析中一種分析時間序列數據的工具。移動平均可撫平短期波動，反映出長期趨勢或週期。又分為：簡單移動平均、加權移動平均、指數移動平均[7]。

2.9.1 移動平均法公式

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \cdots + Y_{t-k+1}}{k} \quad (2.3)$$

k：移動平均值的順序是k次連續觀察的平均值。

2.9.2 簡單移動平均法公式

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t Y_i \quad (2.4)$$

2.9.3 雙移動平均線公式

$$M'_t = \frac{M_t + M_{t-1} + M_{t-2} + \cdots + M_{t-k+1}}{k} \quad (2.5a)$$

$$a_t = 2M_t - M'_t \quad (2.5b)$$

$$b_t = \frac{2}{k-1} (M_t - M'_t) \quad (2.5c)$$

$$\hat{Y}_{t+p} = a_t + b_t p \quad (2.5d)$$

Y_t ：t的新觀察值或預測價值。

$\hat{Y}_{t+p}$ ：p到未來的預測值。

p：預測到未來的時期。

2.10 指數平滑法(Exponential Smoothing)

是生產預測中常用的一種方法。在移動平均法基礎上發展起來的一種時間序列分析預測法，它是通過計算指數平滑值，配合一定的時間序列預測模型對現象的未來進行預測[8]。

2.10.1 簡單的指數平滑法公式

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) \hat{Y}_t \quad (2.6)$$

α ：水平的平滑常數。

Y_t ：t的新觀察值或預測價值。

2.11 二次指數平滑法(Holt's Method)

二次指數平滑法是對一次指數平滑值作再一次指數平滑的方法。它不能單獨地進行預測，必須與指數平滑法配合，建立預測的數學模型，然後運用數學模型確定預測值。移動平均法的兩個限制因素線上性二次移動平均法中也才存在，線性二次指數，平滑法只利用三個數據和一個 α 值就可進行計算；在大多數情況下，一般更喜歡用線性二次指數平滑法作為預測方法[9]。

2.11.1 二次指數平滑法公式

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2.7)$$

α ：水平的平滑常數。

L_t ：新的平滑值或當前水平估計。

Y_t ：t的新觀察值或預測價值。

2.11.2 趨勢估計

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (2.8)$$

β ：趨勢估計的平滑常數。

L_t ：新的平滑值或當前水平估計。

T_t ：趨勢估計。

2.11.3 對未來 p 的預測

$$\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t \quad (2.9)$$

$\hat{Y}_{t+p}$ ：p到未來的預測值。

L_t ：新的平滑值或當前水平估計。

T_t ：趨勢估計。

p ：預測到未來的時期。

2.12 三次指數平滑法(Winter's Method)

三次指數平滑預測是二次平滑基礎上的再平滑[6]。

2.12.1 三次指數平滑法公式

$$L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2.10)$$

L_t ：新的平滑值或當前水平估計。

α ：水平的平滑常數。

Y_t ：t的新觀察值或預測價值。

s ：季節性的長度。

2.12.2 趨勢估計

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (2.11)$$

T_t ：趨勢估計。

β ：趨勢估計的平滑常數。

L_t ：新的平滑值或當前水平估計。

2.12.3 季節性估計

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (2.12)$$

S_t ：季節性估計。

γ ：季節性估計的平滑常數。

Y_t ：t的新觀察值或預測價值。

L_t ：新的平滑值或當前水平估計。

s ：季節性的長度。

2.12.4 對未來 p 期的預測

$$\hat{Y}_{t+p} = (L_t + pT_t)S_{t-s+p} \quad (2.13)$$

$\hat{Y}_{t+p}$ ：p到未來的預測值。

L_t ：新的平滑值或當前水平估計。

p ：預測到未來的時期。

T_t ：趨勢估計。

s ：季節性的長度。

2.13 AR(自迴歸)法 (Autoregressive Integrated Moving)

ARIMA模型全稱為自迴歸移動平均模型(Autoregressive Integrated Moving Average Model, 簡記ARIMA)。其中ARIMA (p, d, q) 稱為差分自迴歸移動平均模型，AR是自迴歸， p 為自迴歸項；MA為移動平均， q 為移動平均項數， d 為時間序列成為平穩時所做的差分次數[10]。

2.13.1 AR(自迴歸)模型

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \cdots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.14)$$

Y_t ：t的新觀察值或預測價值。

$Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$ ：時間上的應變量滯後於t-1, t-2, ..., t-p這些，Y為自變量。

$\phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$: 要估計的係數。

ε_t : 時間 t 的誤差值，表示模型未解釋的變量的影響。

2.13.2 MA(移動平均)模型

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} - \omega_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \omega_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.15)$$

Y_t : t 的新觀察值或預測價值。

ε_t : 時間 t 的誤差值，表示模型未解釋的變量的影響。

2.13.3 AR模型+MA模型=ARIMA(p, q, r)模型

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} - \omega_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \omega_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.16)$$

Y_t : t 的新觀察值或預測價值。

$Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$: 時間上的應變量滯後於 $t-1, t-2, \dots, t-p$ 這些， Y 為自變量。

$\phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$: 要估計的係數。

ε_t : 時間 t 的誤差值，表示模型未解釋的變量的影響。

ω_1 : 參數。

2.14 地震能量計算

在中央氣象局地震報告中，會記載每個地震的規模(M_L)，本專題利用(2.17)公式計算能量釋放。地震能量以 erg 計算，公式如下：

$$E(ergs) = 10^{11.8+1.5M_L} \quad (2.17)$$

M_L : 地震規模 (Richter Magnitude Scale)

第參章 研究方法

3.1 進度甘特圖

	2018								2019				
	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. 專題題目確立													
2. 了解內容													
3. 企劃書製作													
4. 流程圖製作													
5. 文獻資料收集													
6. 資料分析													
7. 統整數據													
8. 地震圖表繪製													
9. 期中報告													
10. 期末報告													

圖 3-1 進度甘特圖

3.2 研究流程圖(A)

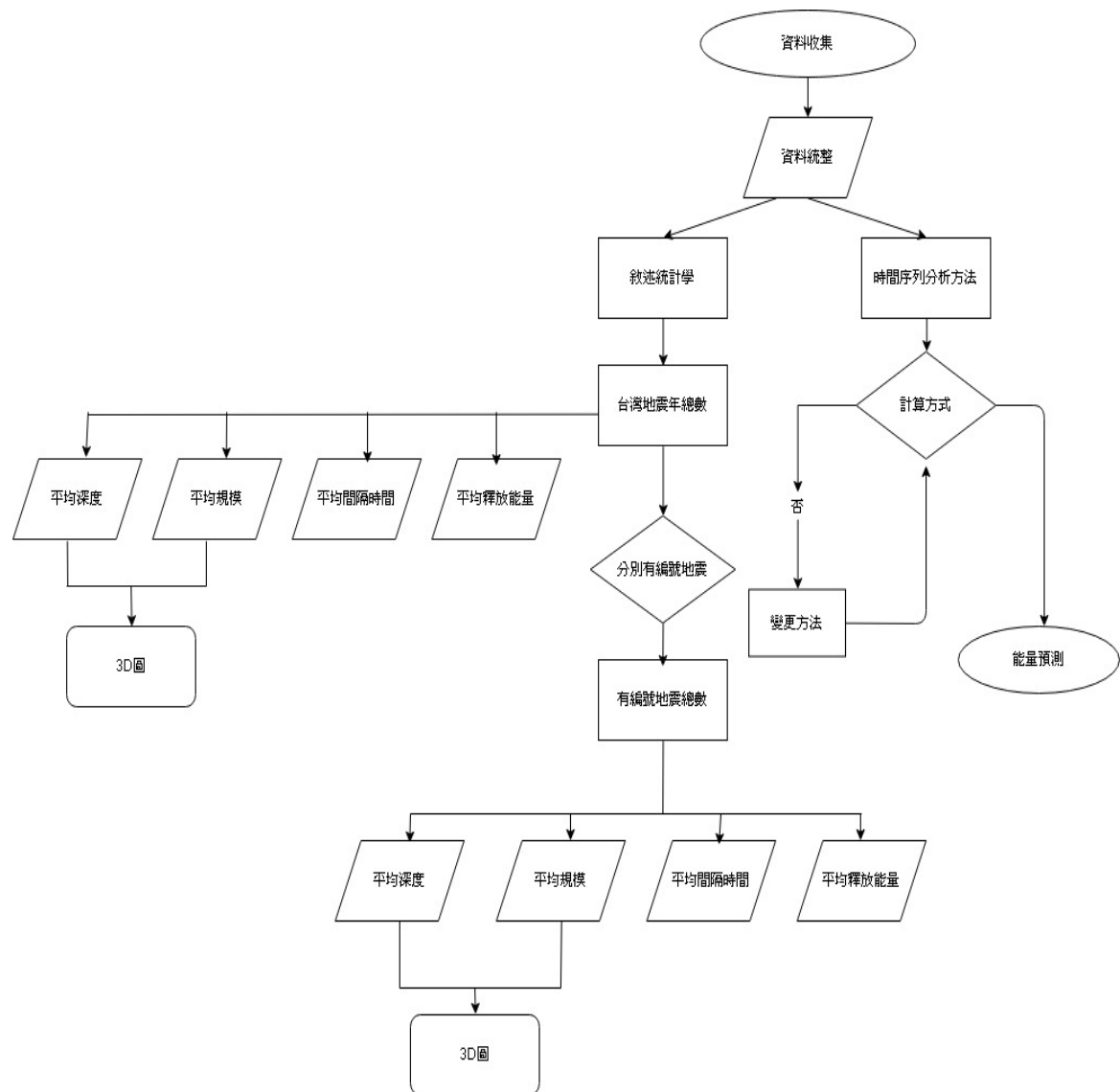


圖 3-2 地震能量流程圖

3.3 研究流程圖(B)

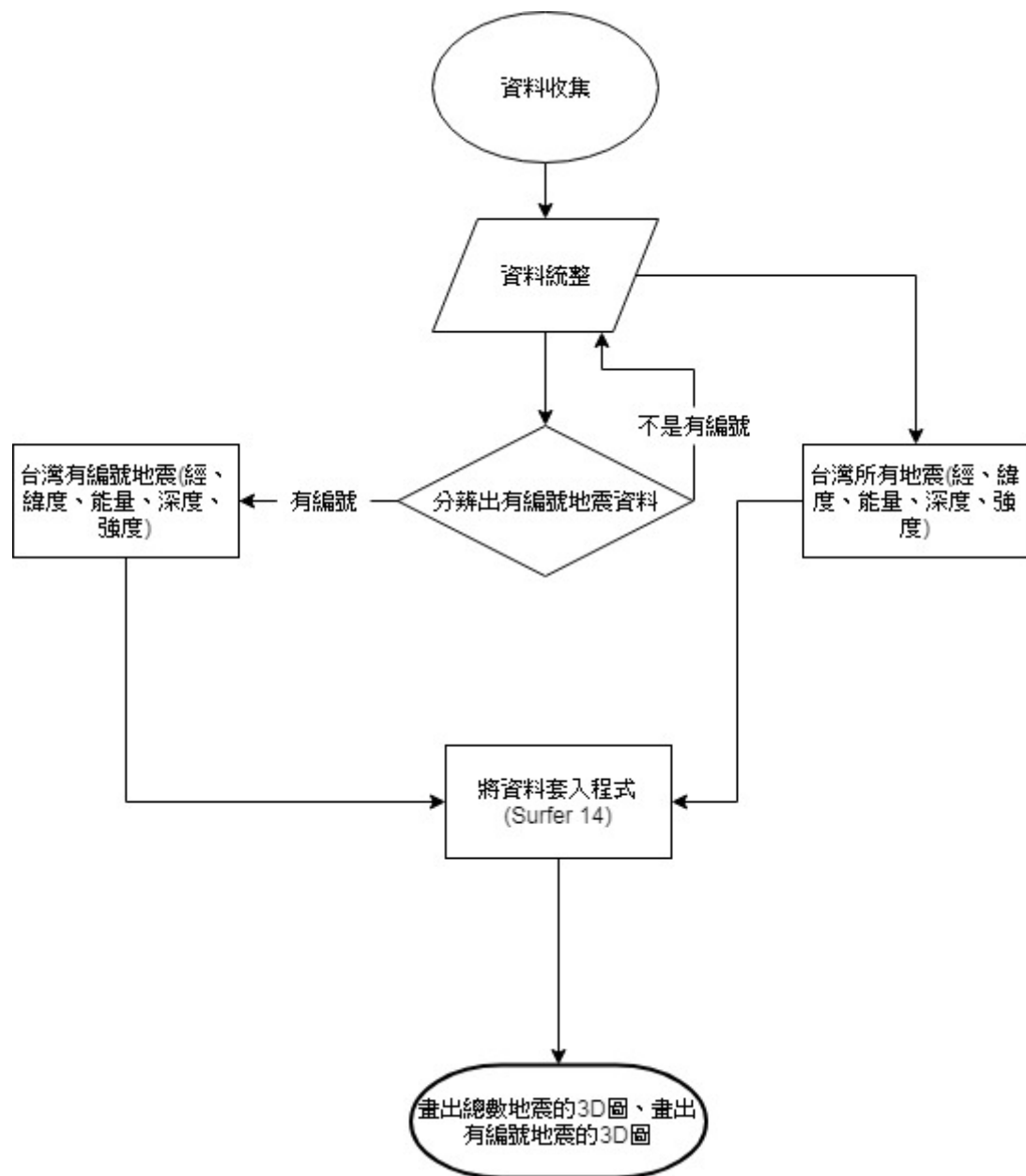


圖 3-3 3D 圖流程圖

第肆章 台灣地震特性敘述統計

4.1 有編號地震敘述統計分析

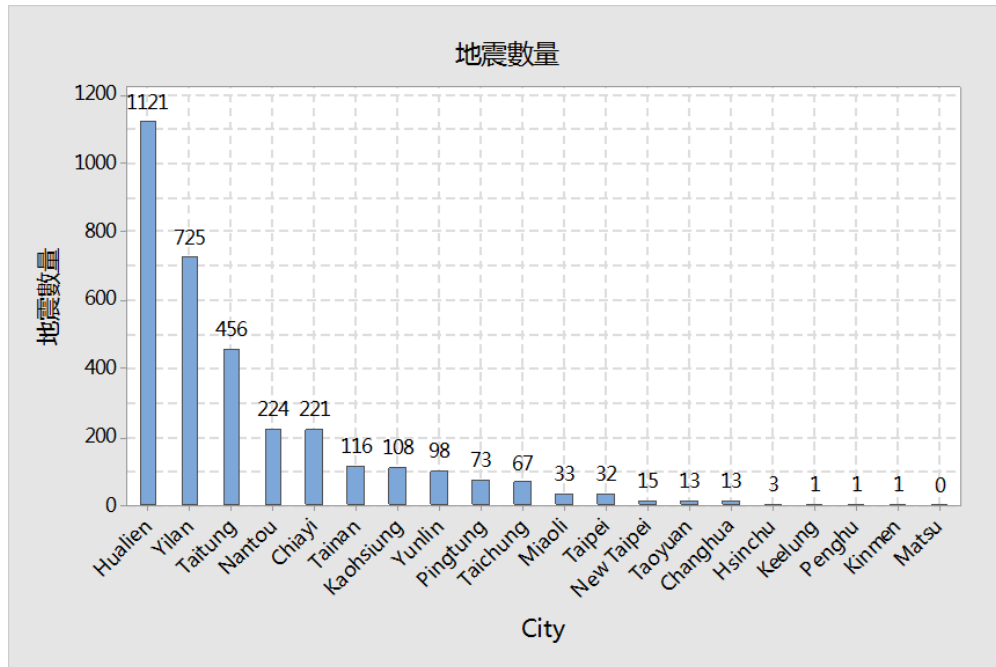


圖 4-1 1995 年 1 月至 2018 年 12 月每個縣市有編號的地震次數

根據圖 4-1，發現在台灣花蓮是最常有地震活動的，在有編號總數 3321 之中，有 1121 的地震是位於花蓮，宜蘭以 725 次位居第二，台東則以 456 次位居第三。

4.1.1 平均間隔時間

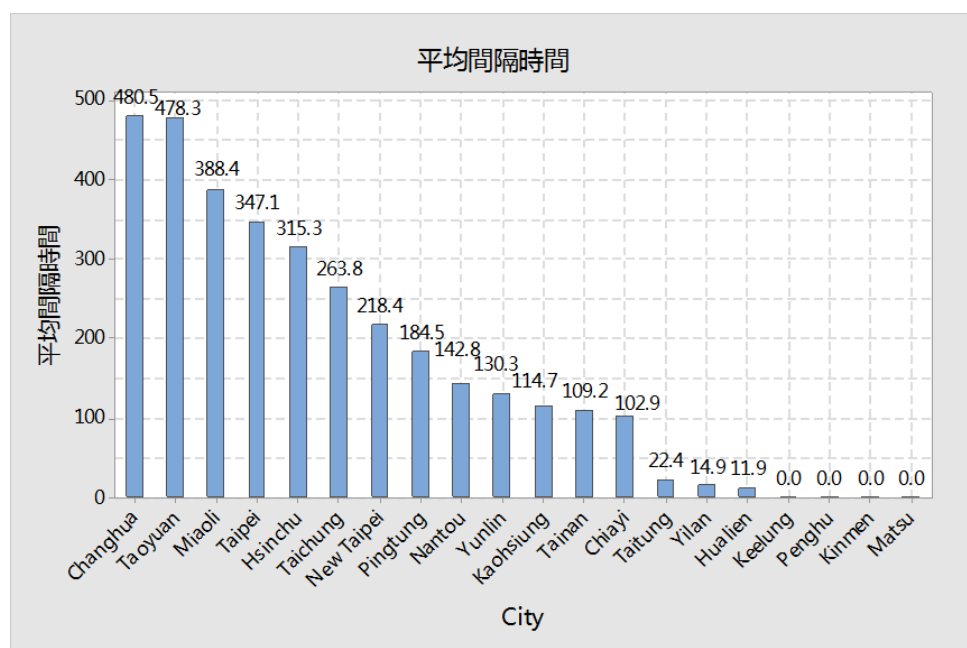


圖 4-2 每個縣市有編號的每年平均間隔時間

以圖4-2來看從1995年1月至2018年12月，台灣每個市/縣的地震。每年發生的平均間隔時間最長是彰化的481天，接著是桃園的478天，和苗栗的388天。

4.1.2 平均深度

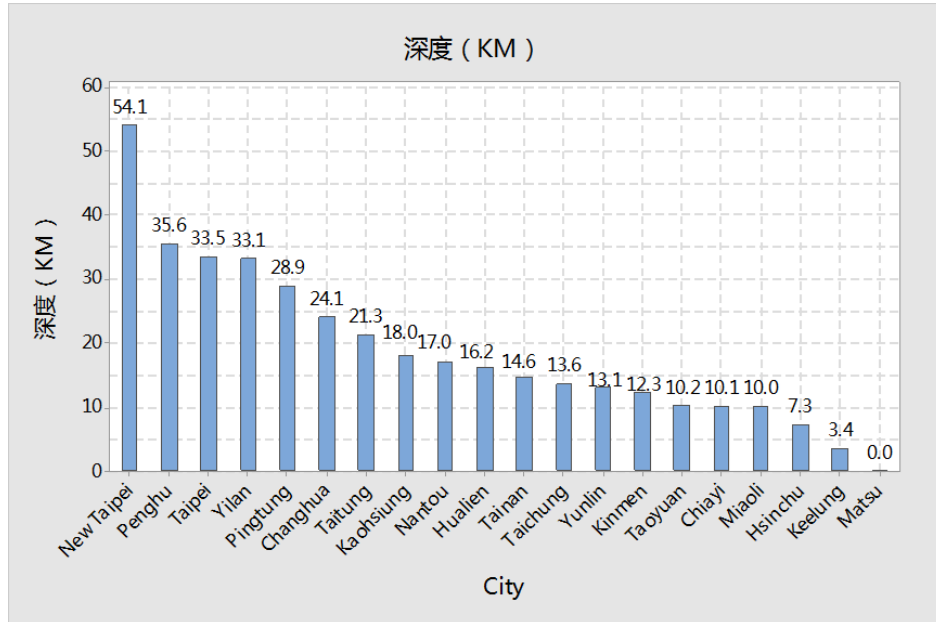


圖 4-3 每個縣市有編號的平均深度

圖4-3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2018年12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）。其中以新北市位居第一，澎湖位居第二，台北市位居第三。

4.1.3 有編號釋放能量

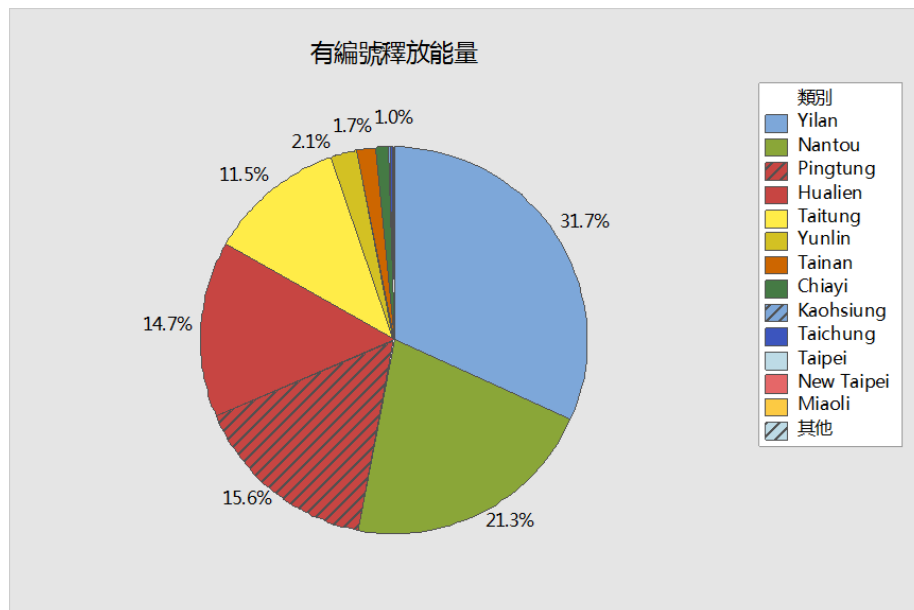


圖 4-4 每個縣市有編號的釋放能量

從1995年1月至2018年12月地震統計，有編號釋放能量最高為宜蘭(31.7%)，接著是南投(21.3%)，和屏東(15.6%)。

4.2 有編號及無編號地震敘述統計分析

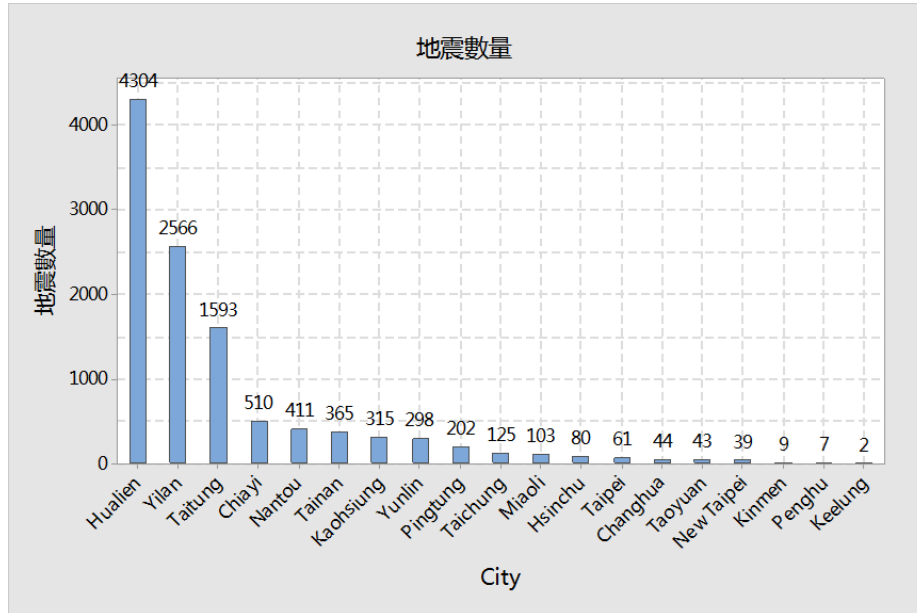


圖 4-5 1995 年 1 月至 2018 年 12 月每個縣市有編號的地震次數

在有編號及無編號地震總數11077次中，花蓮發生了4304次地震，所以花蓮地區的地震次數相當頻繁，宜蘭以2566次位居第二，台東以1593次位居第三。

4.2.1 平均間隔時間

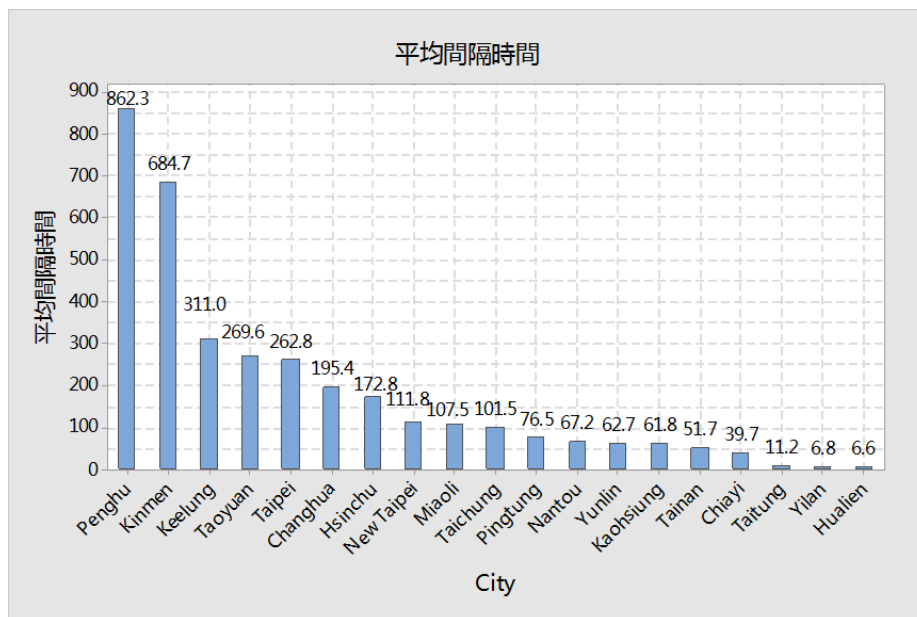


圖 4-6 每個縣市的所有地震（含未編號）每年平均間隔時間

以圖 4-6 來看從 1995 年 1 月至 2018 年 12 月，台灣每個市/縣的地震。每年發生地震平均時間最高的是澎湖的 863 天，接著是金門的 685 天，和基隆的 311 天。

4.2.2 平均深度

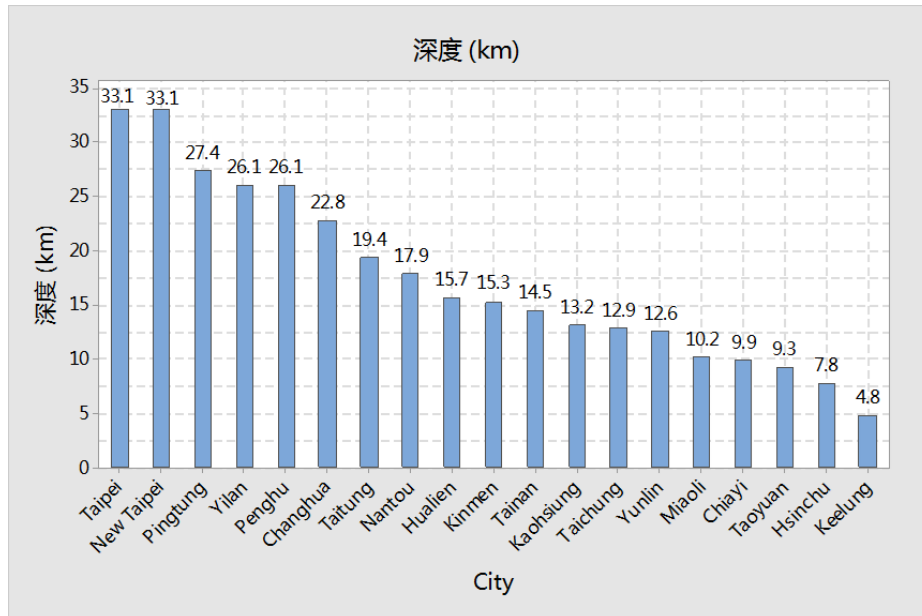


圖 4-7 每個縣市的所有地震（含未編號）平均深度

圖4-7平均每從1995年1月至2018年12月在台灣每個市/縣地震平均深度。其中以台北市及新北市位居第一，屏東位居第二，宜蘭位居第三。

4.2.3 總釋放能量

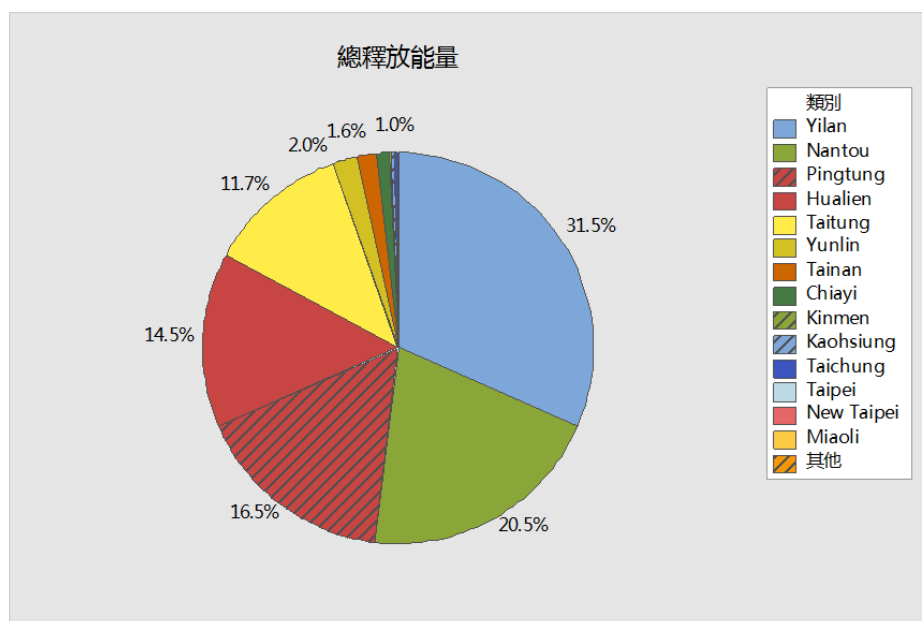


圖 4-8 每個縣市的所有地震（含未編號）總釋放能量

從1995年1月至2018年12月地震統計，總釋放能量最高為宜蘭(31.5%)，接著是南投(20.5%)，和屏東(16.5%)。

4.3 規模與經緯度3D圖

我們使用surfer14程式去呈現有編號及總表的規模與經緯度3D圖。

4.3.1 有編號規模與經緯度3D圖

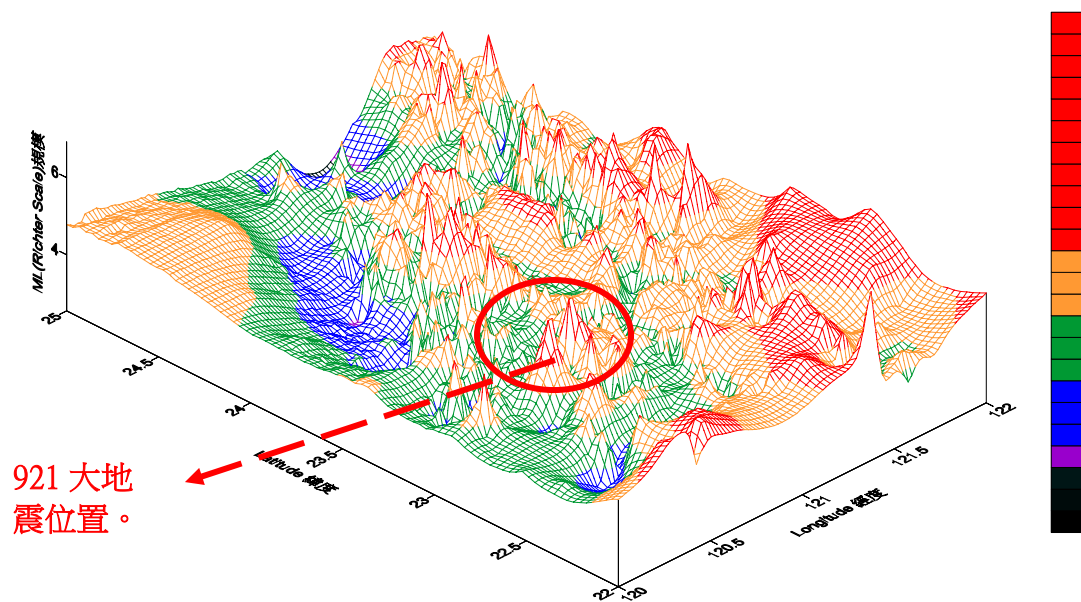


圖 4-9 有編號規模與經緯度 3D 圖

有編號地震最大規模為7.3。

4.3.2 有編號及無編號規模與經緯度3D圖

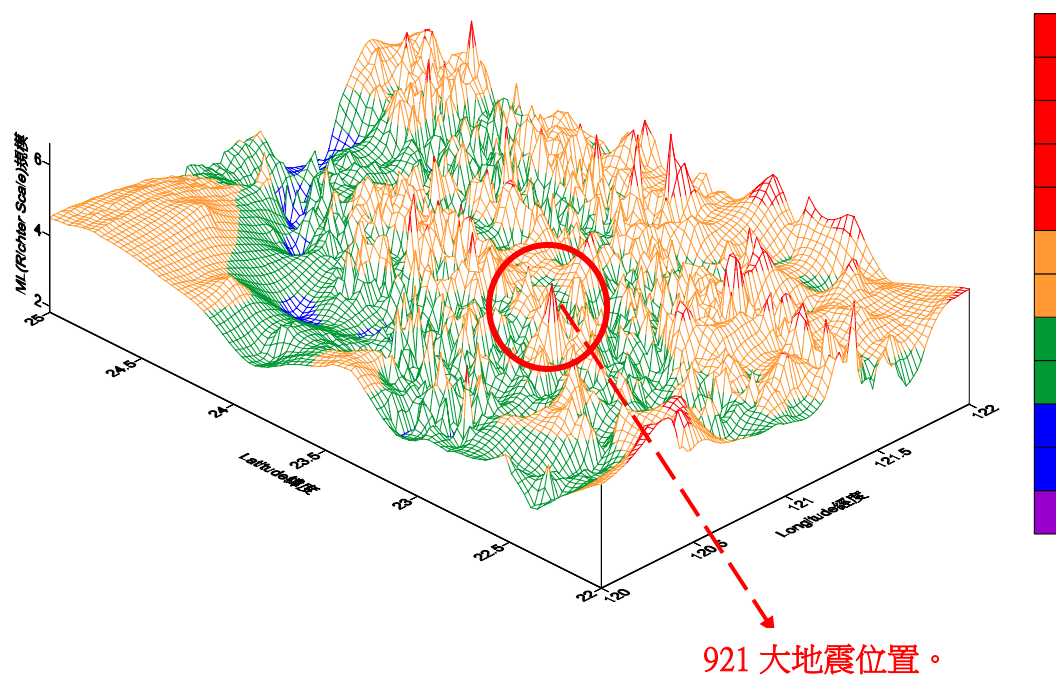


圖 4-10 有編號及無編號規模與經緯度 3D 圖
有編號及無編號地震最大規模為7.3。

4.4 震度與經緯度 3D 圖

我們使用surfer14程式去呈現有編號及總表的震度與經緯度3D圖。

4.4.1 有編號震度與經緯度 3D 圖

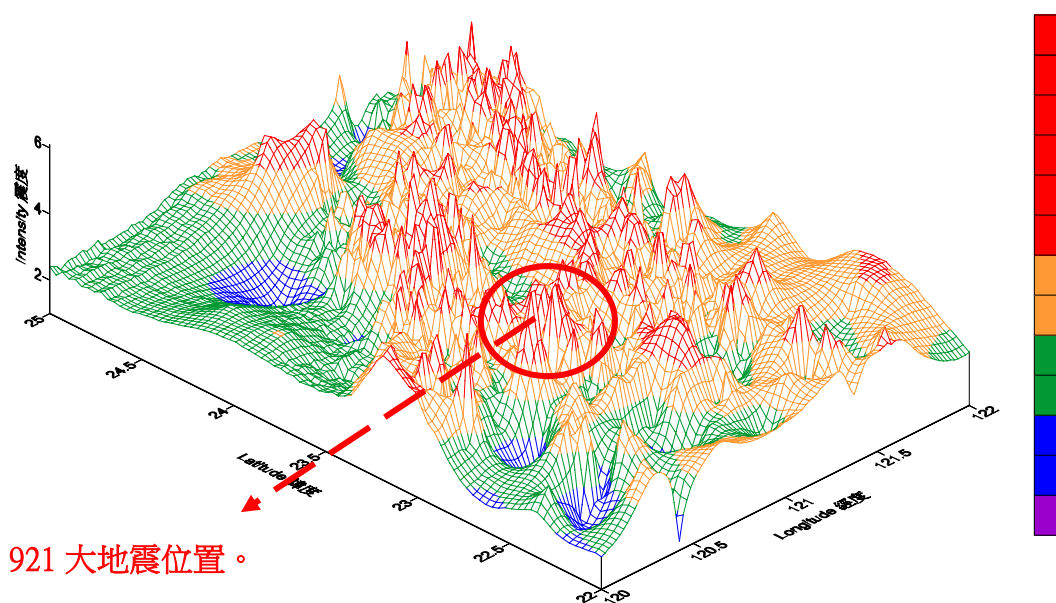


圖 4-11 有編號震度與經緯度 3D 圖
有編號地震最大震度為7。

4.4.2 有編號及無編號震度與經緯度 3D 圖

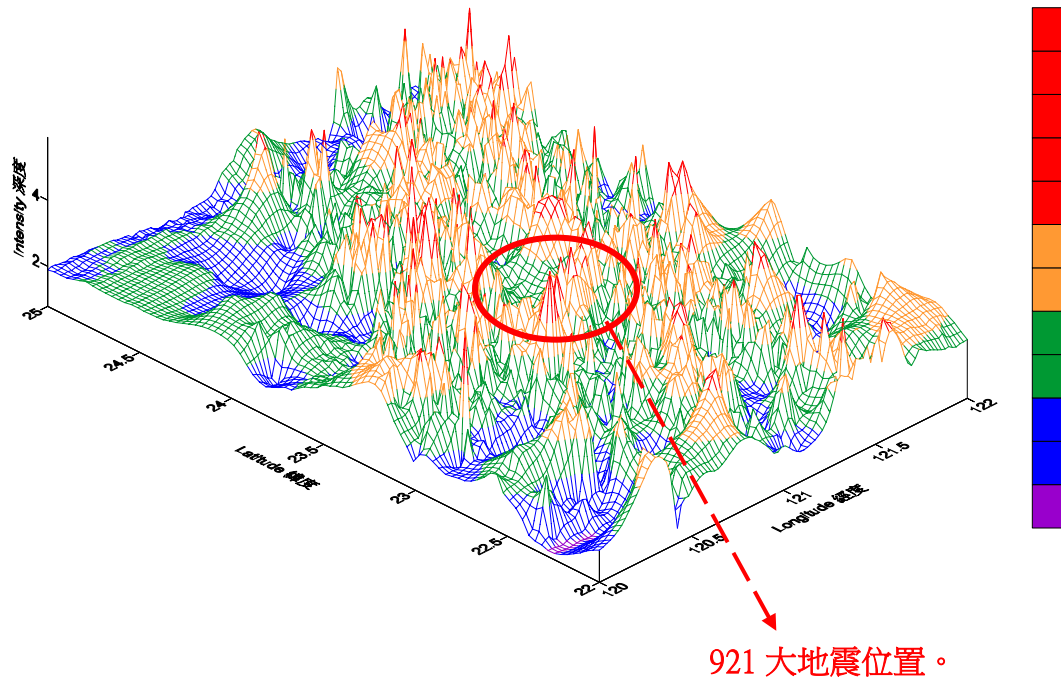


圖 4-12 有編號及無編號震度與經緯度 3D 圖
有編號及無編號地震最大震度為7。

4.5 地震深度與經緯度 3D 圖

我們使用surfer14程式去呈現有編號及總表的深度與經緯度3D圖。

4.5.1 有編號地震深度與經緯度 3D 圖

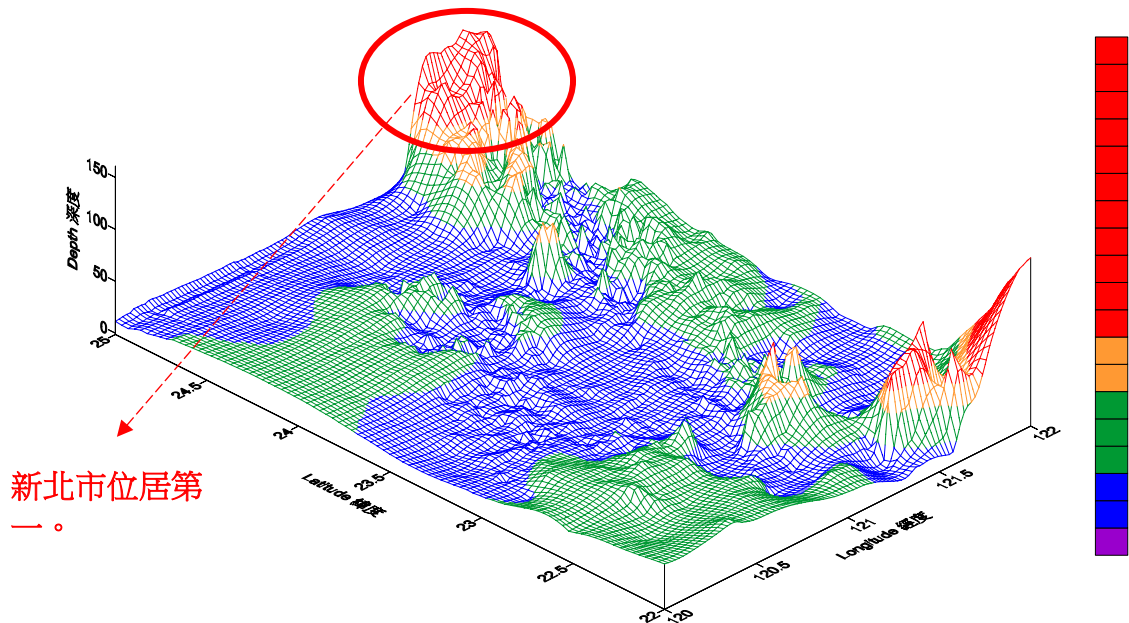


圖 4-13 有編號地震深度與經緯度 3D 圖
有編號地震最大深度在新北市大於70公里，屬於中層地震。

4.5.2 有編號及無編號地震深度與經緯度 3D 圖

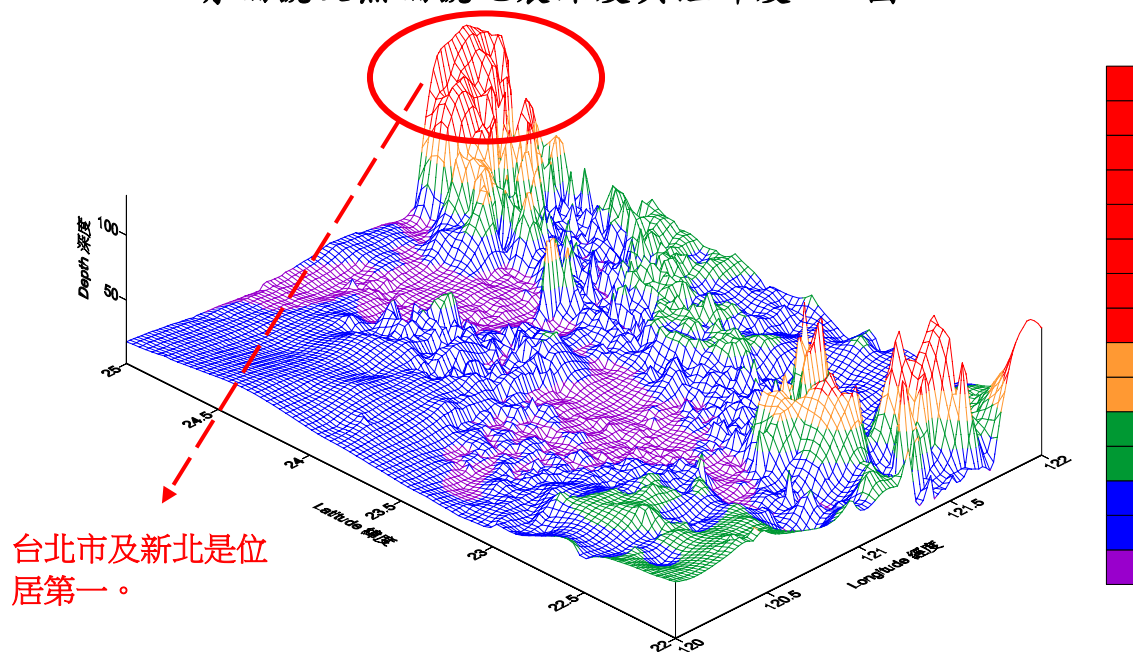


圖 4-14 有編號及無編號地震深度與經緯度 3D 圖

有編號及無編號地震最大深度在台北市及新北市大於70公里，屬於中層地震。

第伍章 台灣地震時間序列與能量型態辨識 分析與預測

本章將台灣東岸(宜蘭、花蓮、台東地區)所有地震能量釋放作預測分析，找出最適合的方法，作2019年東岸各地區總地震能量釋放的數學模式。我們使用六種方法(天真預測法、移動平均法、指數平滑法、二次指數平滑法、三次指數平滑法、ARIMA積分移動平均法)預測宜蘭、台東、花蓮三個地區，分別以1995年至2018年的資料預測12個月能量資料做誤差分析，找出誤差最小的方法。

5.1 宜蘭能量預測

我們分別使用天真預測法、移動平均法、指數平滑法、二次指數平滑法、三次指數平滑法、ARIMA積分移動平均法六種方法，預測1995年至2018年宜蘭地震所釋放的能量和2019年所釋放的地震能量。

5.1.1 天真預測法 (Naïve Method)

表 5-1 宜蘭 2018 年每月的地震能量(天真預測法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.005	0.005	0
2018/2M	0.321	0.005	0.316
2018/3M	0.637	0.005	0.632
2018/4M	0.012	0.005	0.007
2018/5M	0.185	0.005	0.18
2018/6M	0.105	0.005	0.1
2018/7M	0.008	0.005	0.003
2018/8M	0.015	0.005	0.01
2018/9M	0.003	0.005	0.002
2018/10M	1.357	0.005	1.352
2018/11M	0.054	0.005	0.049
2018/12M	0.005	0.005	0
總和			2.651
平均			0.220916667

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。宜蘭2018年地震釋放能量總和為2.66，平均每月釋放能量為0.22。

5.1.2 移動平均法 (Moving Average)

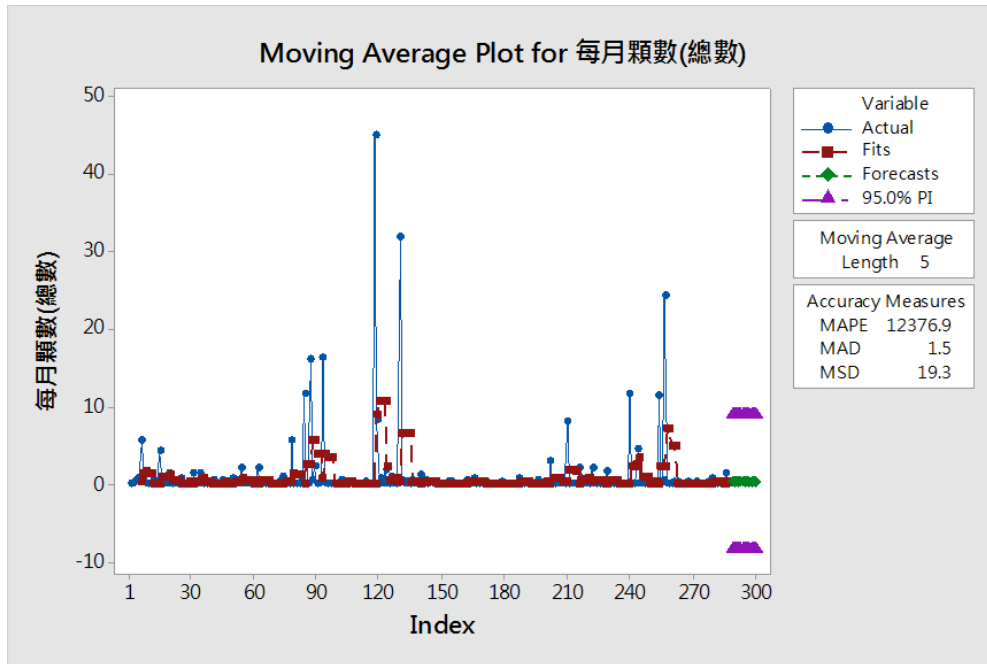


圖 5-1 宜蘭 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(移動平均法)

宜蘭 1995 年至 2018 年的資料使用移動平均法預測 12 個月地震能量，做誤差分析。

表5-2宜蘭2018年每月的地震能量(移動平均法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.005	0.286808	0.281783
2018/2M	0.321	0.286808	0.034055
2018/3M	0.637	0.286808	0.350449
2018/4M	0.012	0.286808	0.274992
2018/5M	0.185	0.286808	0.102032
2018/6M	0.105	0.286808	0.181938
2018/7M	0.008	0.286808	0.278857
2018/8M	0.015	0.286808	0.271504
2018/9M	0.003	0.286808	0.283723
2018/10M	1.357	0.286808	1.070064
2018/11M	0.054	0.286808	0.233224
2018/12M	0.005	0.286808	0.281613
總和			3.644236
平均			0.303686

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。宜蘭2018年地震釋放能量總和為3.64，平均每月釋放能量為0.3。

5.1.3 指數平滑法 (Exponential Smoothing)

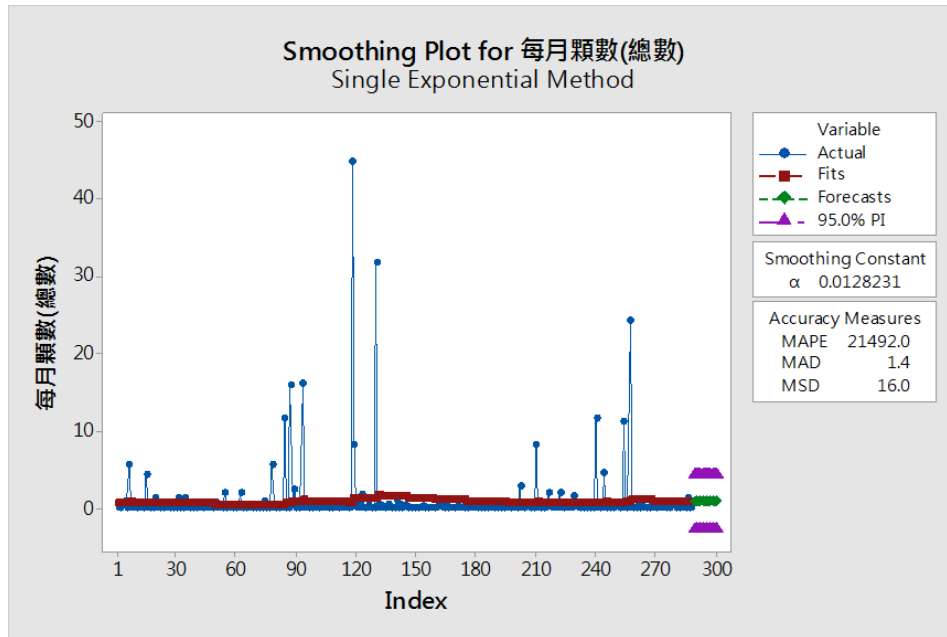


圖 5-2 宜蘭 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(指數平滑法)

宜蘭 1995 年至 2018 年的資料使用指數平滑法預測 12 個月地震能量，做誤差分析。

表5-3宜蘭2018年每月的地震能量(指數平滑法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.005	0.816446	0.811421
2018/2M	0.321	0.816446	0.495583
2018/3M	0.637	0.816446	0.179189
2018/4M	0.012	0.816446	0.80463
2018/5M	0.185	0.816446	0.63167
2018/6M	0.105	0.816446	0.711576
2018/7M	0.008	0.816446	0.808495
2018/8M	0.015	0.816446	0.801142
2018/9M	0.003	0.816446	0.813361
2018/10M	1.357	0.816446	0.540426
2018/11M	0.054	0.816446	0.762862
2018/12M	0.005	0.816446	0.811251
總和			8.171606
平均			0.680967

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。宜蘭2018年地震釋放能量總和為8.17，平均每月釋放能量為0.68。

5.1.4 二次指數平滑法 (Holt's Method)

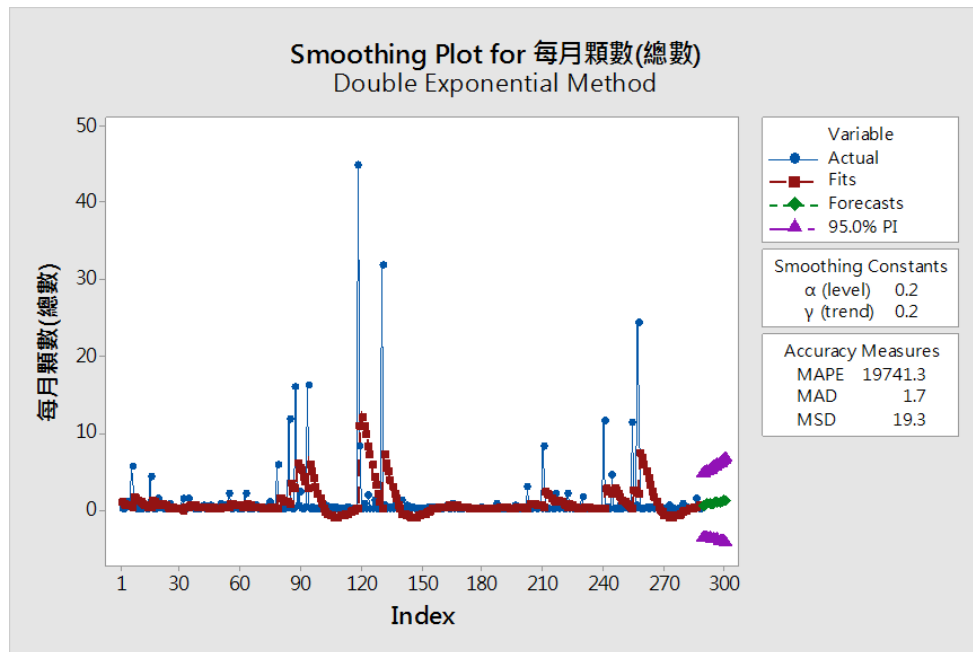


圖 5-3 宜蘭 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(二次指數平滑法)
宜蘭 1995 年至 2018 年的資料使用二次指數平滑法預測 12 個月地震能量，
做誤差分析。

表5-4宜蘭2018年每月的地震能量預測(二次指數平滑法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.005	0.45444	0.449415
2018/2M	0.321	0.51348	0.192617
2018/3M	0.637	0.57253	0.064727
2018/4M	0.012	0.63157	0.619754
2018/5M	0.185	0.69061	0.505834
2018/6M	0.105	0.74965	0.64478
2018/7M	0.008	0.80869	0.800739
2018/8M	0.015	0.86774	0.852436
2018/9M	0.003	0.92678	0.923695
2018/10M	1.357	0.98582	0.371052
2018/11M	0.054	1.04486	0.991276
2018/12M	0.005	1.10390	1.098705
總和			7.515031
平均			0.626253

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。宜蘭2018年地震釋放能量總和為7.52，平均每月釋放能量為0.63。

5.1.5 三次指數平滑法 (Winter's Method)

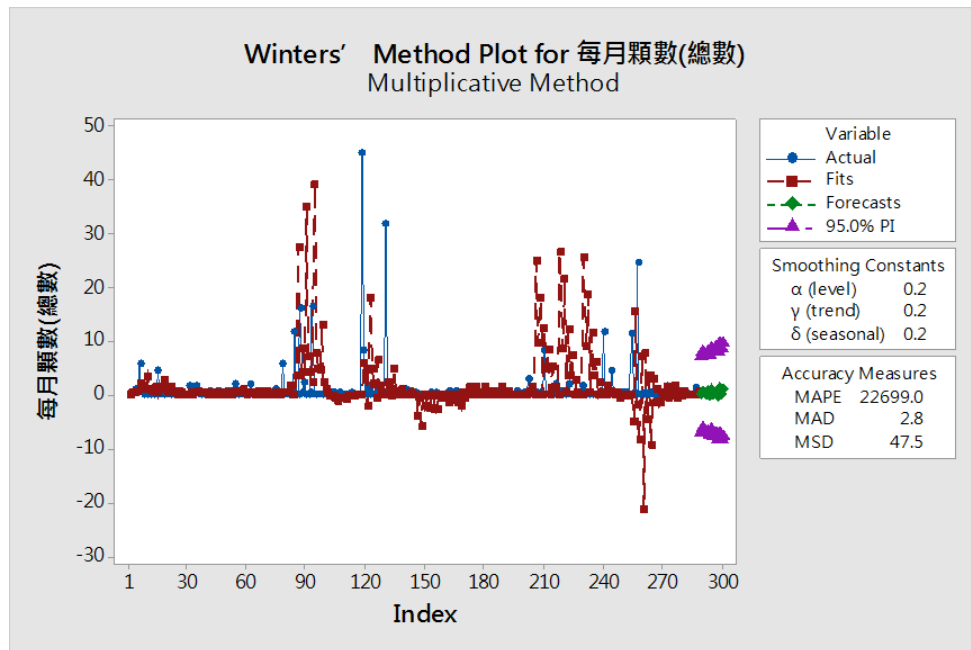


圖 5-4 宜蘭 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(三次指數平滑法)
宜蘭 1995 年至 2018 年的資料使用三次指數平滑法預測 12 個月地震能量，
做誤差分析。

表5-5宜蘭2018年每月的地震能量預測(三次指數平滑法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.005	-0.13170	0.136725
2018/2M	0.321	0.71299	0.392127
2018/3M	0.637	0.03869	0.598567
2018/4M	0.012	0.51901	0.507194
2018/5M	0.185	-0.17517	0.359946
2018/6M	0.105	0.93043	0.82556
2018/7M	0.008	0.04965	0.041699
2018/8M	0.015	0.65635	0.641046
2018/9M	0.003	-0.21865	0.221735
2018/10M	1.357	1.14787	0.209002
2018/11M	0.054	0.06061	0.007026
2018/12M	0.005	0.79369	0.788495
總和			4.729123
平均			0.394094

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。宜蘭2018年地震釋放能量總和為4.73，平均每月釋放能量為0.39。

5.1.6 ARIMA 積分移動平均法 (Autoregressive Integrated Moving Average)

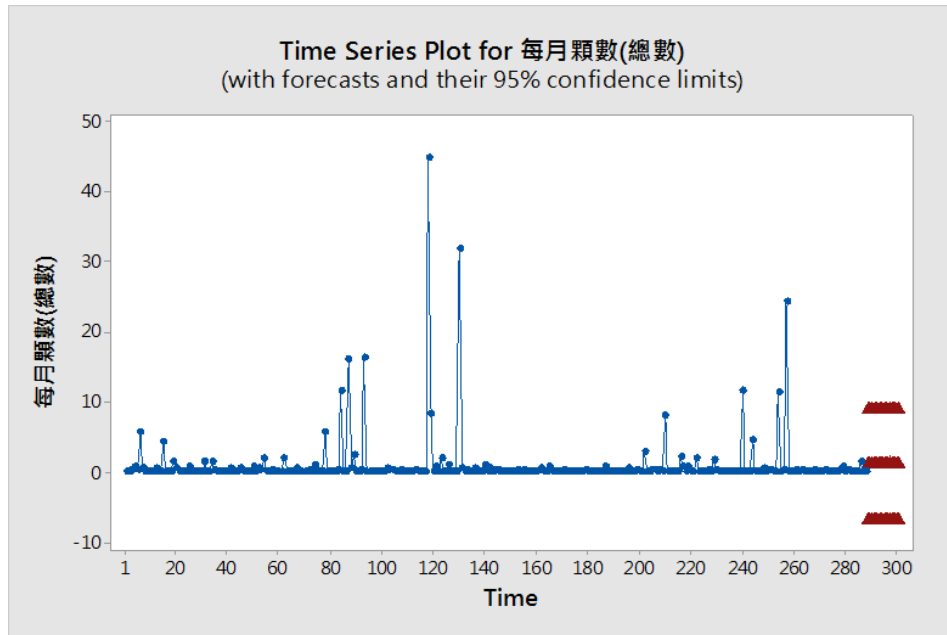


圖 5-5 宜蘭 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析 (ARIMA 積分移動平均法)
宜蘭 1995 年至 2018 年的資料使用 ARIMA 積分移動平均法預測 12 個月地震能量，做誤差分析。

宜蘭每月型態辨識相關函數的形成 (ACF) (圖 5-6) 和部分相關函數 (PACF) (圖 5-7) 在宜蘭每個月的地震能量圖表中，發現宜蘭每個月的地震能量可以預測地震的變化。

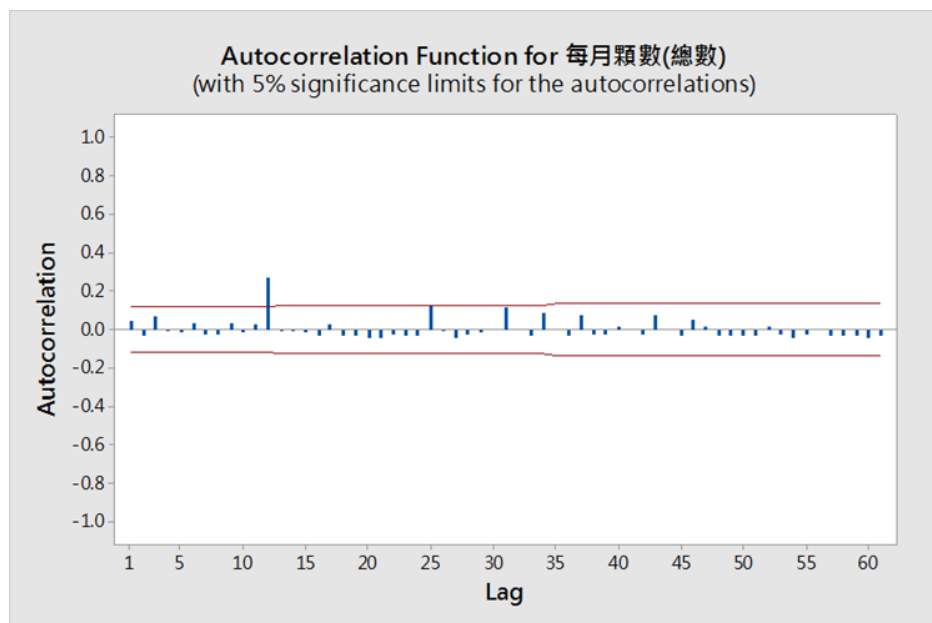


圖 5-6 宜蘭每月地震的相關函數 (ACF)

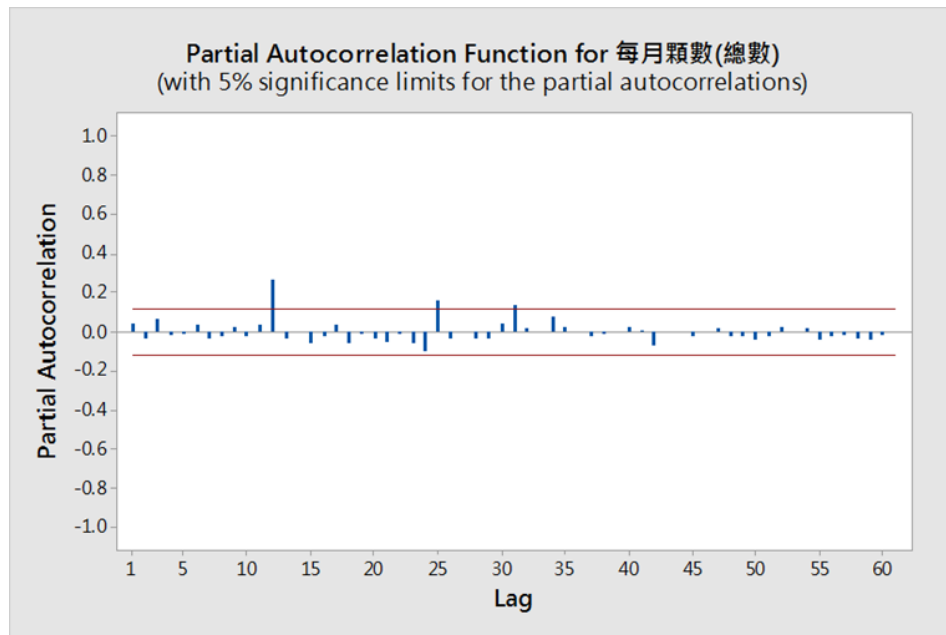


圖 5-7 宜蘭每月地震的部分相關函數 (PACF)

表5-6宜蘭2018年每月的地震能量預測(ARIMA積分移動平均法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.005	0.85233	0.847305
2018/2M	0.321	0.887375	0.566512
2018/3M	0.637	0.888824	0.251567
2018/4M	0.012	0.888884	0.877068
2018/5M	0.185	0.888887	0.704111
2018/6M	0.105	0.888887	0.784017
2018/7M	0.008	0.888887	0.880936
2018/8M	0.015	0.888887	0.873583
2018/9M	0.003	0.888887	0.885802
2018/10M	1.357	0.888887	0.467985
2018/11M	0.054	0.888887	0.835303
2018/12M	0.005	0.888887	0.883692
總和			8.857881
平均			0.738157

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。宜蘭2018年地震釋放能量總和為8.86，平均每月釋放能量為0.74。

5.1.7 宜蘭2018年誤差分析

表5-7宜蘭六種預測方法誤差比較

2018年	真實	天真預測法	誤差	Arima預測	誤差	移動平均法	誤差	單指數	誤差	雙指數	誤差	三指數	誤差
2018/1M	0.005	0.005	0	0.85233	0.847305	0.286808	0.281783	0.816446	0.811421	0.45444	0.449415	-0.1317	0.136725
2018/2M	0.321	0.005	0.316	0.887375	0.566512	0.286808	0.034055	0.816446	0.495583	0.51348	0.192617	0.71299	0.392127
2018/3M	0.637	0.005	0.632	0.888824	0.251567	0.286808	0.350449	0.816446	0.179189	0.57253	0.064727	0.03869	0.598567
2018/4M	0.012	0.005	0.007	0.888884	0.877068	0.286808	0.274992	0.816446	0.80463	0.63157	0.619754	0.51901	0.507194
2018/5M	0.185	0.005	0.18	0.888887	0.704111	0.286808	0.102032	0.816446	0.63167	0.69061	0.505834	-0.17517	0.359946
2018/6M	0.105	0.005	0.1	0.888887	0.784017	0.286808	0.181938	0.816446	0.711576	0.74965	0.64478	0.93043	0.82556
2018/7M	0.008	0.005	0.003	0.888887	0.880936	0.286808	0.278857	0.816446	0.808495	0.80869	0.800739	0.04965	0.041699
2018/8M	0.015	0.005	0.01	0.888887	0.873583	0.286808	0.271504	0.816446	0.801142	0.86774	0.852436	0.65635	0.641046
2018/9M	0.003	0.005	0.002	0.888887	0.885802	0.286808	0.283723	0.816446	0.813361	0.92678	0.923695	-0.21865	0.221735
2018/10M	1.357	0.005	1.352	0.888887	0.467985	0.286808	1.070064	0.816446	0.540426	0.98582	0.371052	1.14787	0.209002
2018/11M	0.054	0.005	0.049	0.888887	0.835303	0.286808	0.233224	0.816446	0.762862	1.04486	0.991276	0.06061	0.007026
2018/12M	0.005	0.005	0	0.888887	0.883692	0.286808	0.281613	0.816446	0.811251	1.1039	1.098705	0.79369	0.788495
總和			2.651		8.857881		3.644236		8.171606		7.515031		4.729123
平均			0.220917		0.738157		0.303686		0.680967		0.626253		0.394094

我們發現天真預測法誤差值為最低，因此使用這個方法預測未來2019年12個月的地震能量。

5.1.8 宜蘭2019年能量預測

表5-8宜蘭2019年總地震能量釋放為幾顆原子彈

Year2019	Yilan
Jan	0.005
Feb	0.005
Mar	0.005
Apr	0.005
May	0.005
Jun	0.005
Jul	0.005
Aug	0.005
Sep	0.005
Oct	0.005
Nov	0.005
Dec	0.005
總數	0.06

宜蘭2019年總地震能量釋放為0.06顆原子彈。

5.2 花蓮能量預測

我們分別使用天真預測法、移動平均法、指數平滑法、二次指數平滑法、三次指數平滑法、ARIMA積分移動平均法六種方法，預測1995年至2018年花蓮地震所釋放的能量和2019年所釋放的地震能量。

5.2.1 天真預測法 (Naïve Method)

表 5-9 花蓮 2018 年每月的地震能量(天真預測法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.001696	0.583482	0.581786
2018/2M	4.339567	0.583482	3.756085
2018/3M	0.029394	0.583482	0.554088
2018/4M	0.034498	0.583482	0.548984
2018/5M	0.011812	0.583482	0.57167
2018/6M	0.037874	0.583482	0.545608
2018/7M	0.003514	0.583482	0.579968
2018/8M	0.001115	0.583482	0.582367
2018/9M	0.016724	0.583482	0.566758
2018/10M	0.003089	0.583482	0.580393
2018/11M	0.005553	0.583482	0.577929
2018/12M	0.583482	0.583482	0
總和			9.445636
平均			0.787136333

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用預測值減去真實值算出誤差值。花蓮2018年地震釋放能量總和為9.45，平均每月釋放能量為0.79。

5.2.2 移動平均法 (Moving Average)

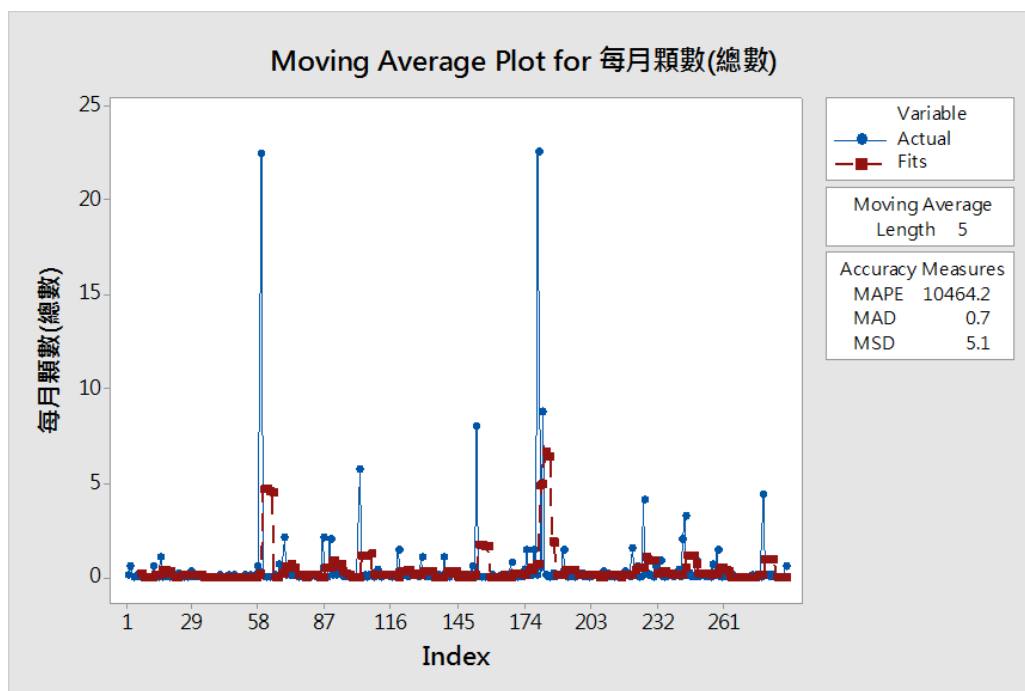


圖 5-8 花蓮 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(移動平均法)

花蓮 1995 年至 2018 年的資料使用移動平均法預測 12 個月地震能量，做誤差分析。

表5-10花蓮2018年每月的地震能量(移動平均法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.001696	0.121993	0.120296741
2018/2M	4.339567	0.121993	4.217574469
2018/3M	0.029394	0.121993	0.092599208
2018/4M	0.034498	0.121993	0.087495188
2018/5M	0.011812	0.121993	0.110180657
2018/6M	0.037874	0.121993	0.084119326
2018/7M	0.003514	0.121993	0.118479207
2018/8M	0.001115	0.121993	0.120877878
2018/9M	0.016724	0.121993	0.105268724
2018/10M	0.003089	0.121993	0.118903714
2018/11M	0.005553	0.121993	0.116439556
2018/12M	0.583482	0.121993	0.461488714
總和			5.753723382
平均			0.479476949

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。花蓮2018年地震釋放能量總和為5.75，平均每月釋放能量為0.48。

5.2.3 指數平滑法 (Exponential Smoothing)

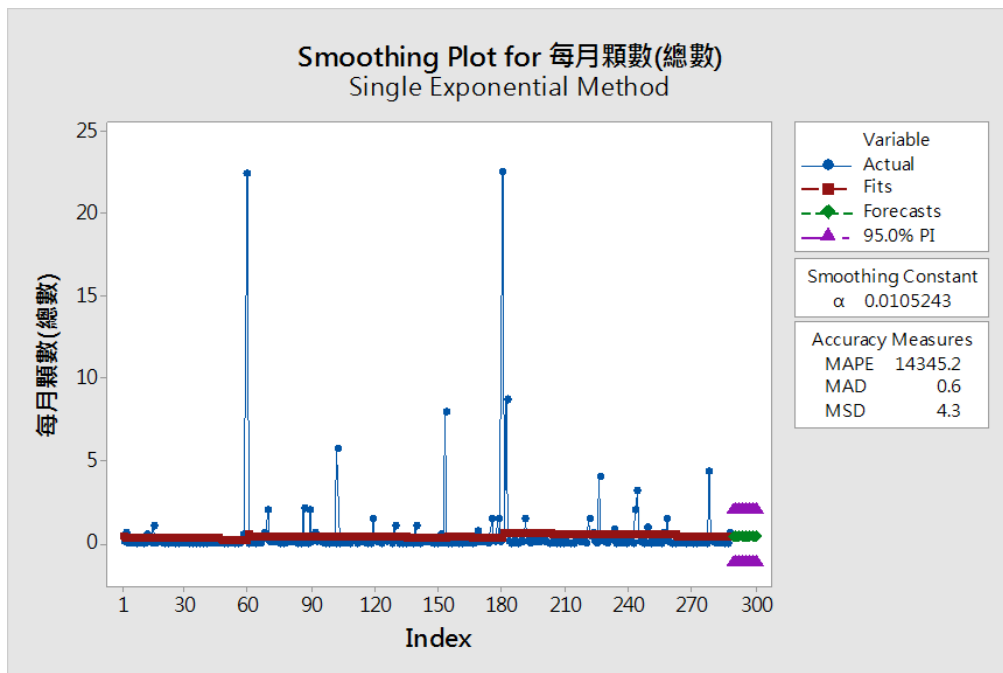


圖 5-9 花蓮 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(指數平滑法)
花蓮 1995 年至 2018 年的資料使用指數平滑法預測 12 個月地震能量，做誤

差分析。

表5-11花蓮2018年每月的地震能量(指數平滑法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.001696	0.386384	0.384687741
2018/2M	4.339567	0.386384	3.953183469
2018/3M	0.029394	0.386384	0.356990208
2018/4M	0.034498	0.386384	0.351886188
2018/5M	0.011812	0.386384	0.374571657
2018/6M	0.037874	0.386384	0.348510326
2018/7M	0.003514	0.386384	0.382870207
2018/8M	0.001115	0.386384	0.385268878
2018/9M	0.016724	0.386384	0.369659724
2018/10M	0.003089	0.386384	0.383294714
2018/11M	0.005553	0.386384	0.380830556
2018/12M	0.583482	0.386384	0.197097714
總和			7.868851382
平均			0.655737615

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。花蓮2018年地震釋放能量總和為7.87，平均每月釋放能量為0.66。

5.2.4 二次指數平滑法 (Holt's Method)

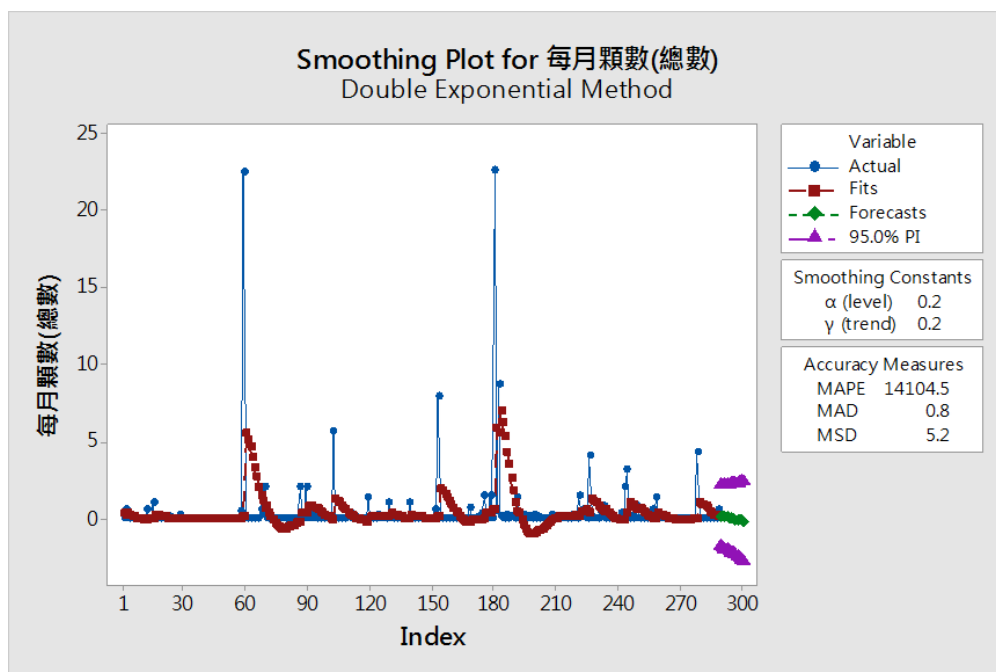


圖 5-10 花蓮 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(二次指數平滑法)

花蓮 1995 年至 2018 年的資料使用二次指數平滑法預測 12 個月地震能量，
做誤差分析。

表5-12花蓮2018年每月的地震能量預測(二次指數平滑法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.001696	0.178285	0.176588741
2018/2M	4.339567	0.147754	4.191813469
2018/3M	0.029394	0.117223	0.087829208
2018/4M	0.034498	0.086693	0.052195188
2018/5M	0.011812	0.056162	0.044349657
2018/6M	0.037874	0.025631	0.012242674
2018/7M	0.003514	-0.004900	0.008413793
2018/8M	0.001115	-0.035431	0.036546122
2018/9M	0.016724	-0.065961	0.082685276
2018/10M	0.003089	-0.096492	0.099581286
2018/11M	0.005553	-0.127023	0.132576444
2018/12M	0.583482	-0.157554	0.741035714
總和			5.665857572
平均			0.472154798

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出
誤差值。花蓮2018年地震釋放能量總和為5.67，平均每月釋放能量為0.47。

5.2.5 三次指數平滑法 (Winter's Method)

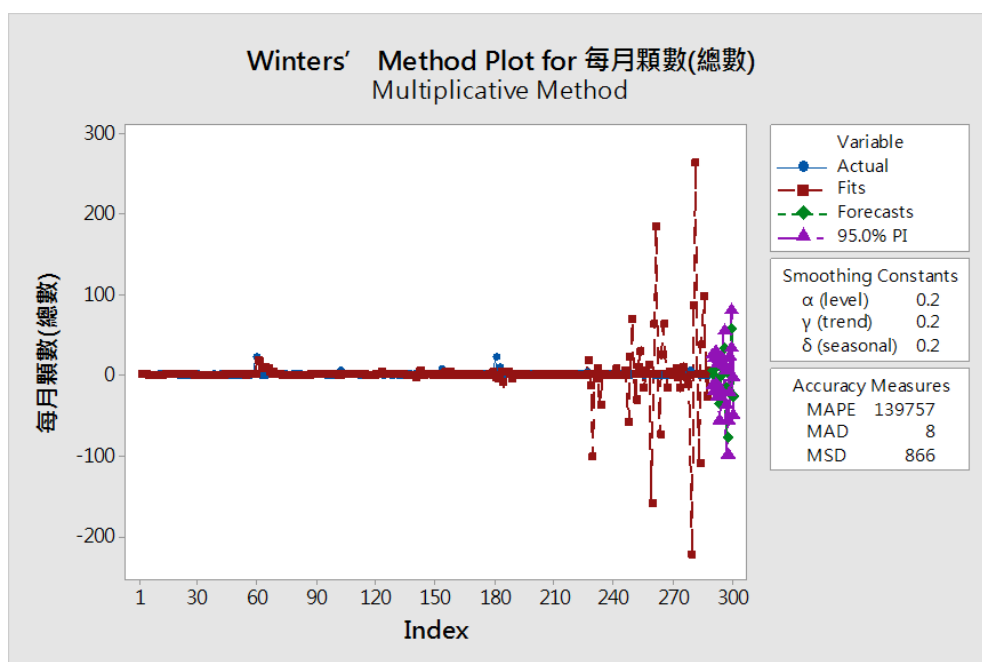


圖 5-11 花蓮 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(三次指數平滑法)
 花蓮 1995 年至 2018 年的資料使用三次指數平滑法預測 12 個月地震能量，
 做誤差分析。

表5-13花蓮2018年每月的地震能量預測(三次指數平滑法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.001696	5.6194	5.617703741
2018/2M	4.339567	-0.0285	4.368067469
2018/3M	0.029394	8.5922	8.562806208
2018/4M	0.034498	-6.2876	6.322097812
2018/5M	0.011812	-35.9958	36.00761234
2018/6M	0.037874	-0.2762	0.314073674
2018/7M	0.003514	32.1346	32.13108621
2018/8M	0.001115	-16.5120	16.51311512
2018/9M	0.016724	-77.6110	77.62772428
2018/10M	0.003089	-0.5239	0.526989286
2018/11M	0.005553	55.6771	55.67154656
2018/12M	0.583482	-26.7363	27.31978171
總和			270.9826044
平均			22.5818837

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。花蓮2018年地震釋放能量總和為271，平均每月釋放能量為22.6。

5.2.6 ARIMA 積分移動平均法 (Autoregressive Integrated Moving Average)

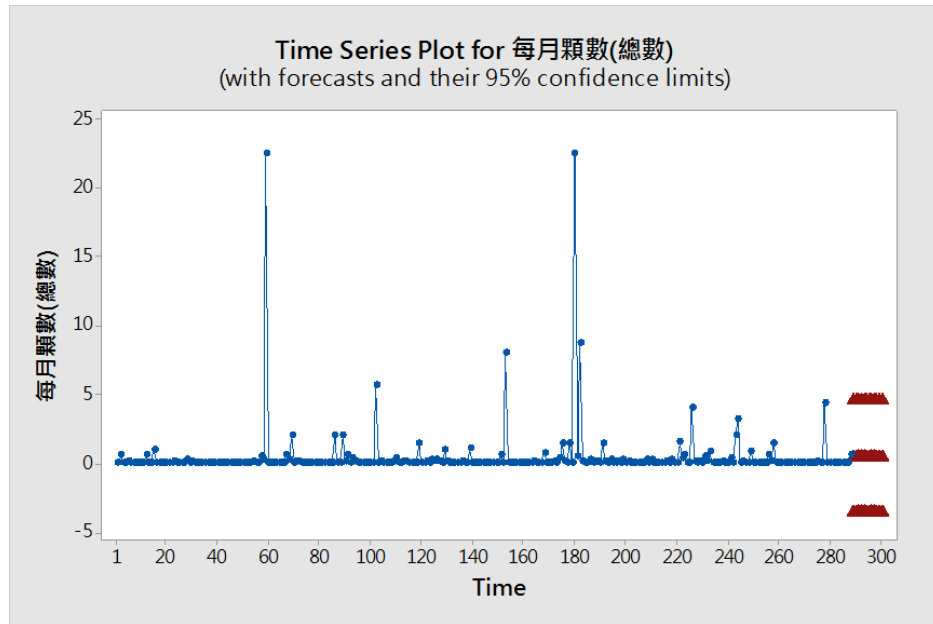


圖 5-12 花蓮 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(ARIMA 積分移動平均法)
 花蓮 1995 年至 2018 年的資料使用 ARIMA 積分移動平均法預測 12 個月地震
 能量，做誤差分析。

花蓮每月地震的辨識型態相關函數的形成 (ACF) (圖 5-13) 和部分相關函
 數 (PACF) (圖 5-14) 在花蓮每個月的地震能量圖表中，發現花蓮每個月的地震
 能量可以預測地震的變化。

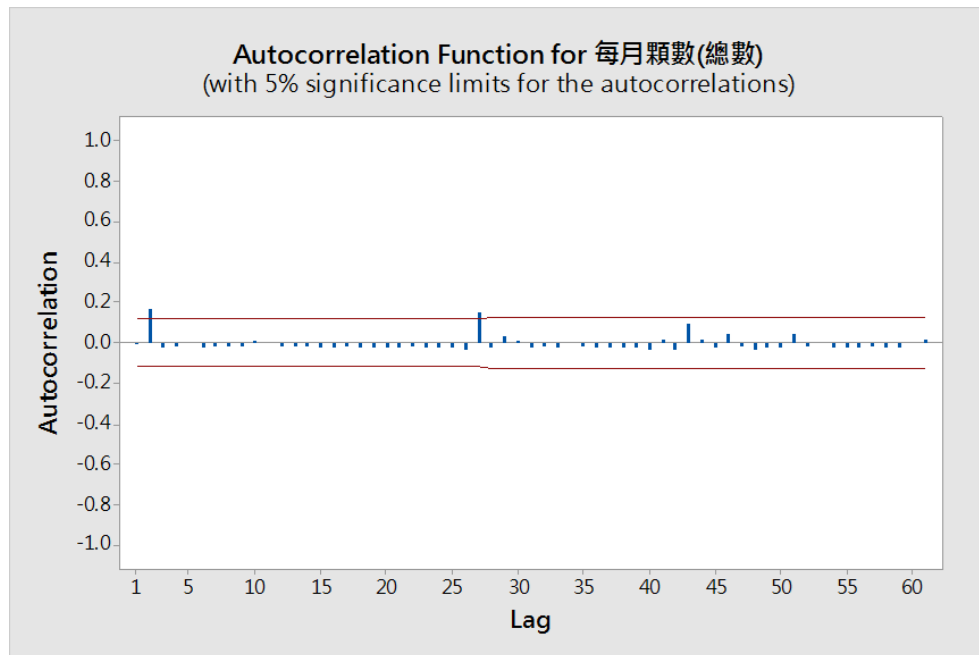


圖 5-13 花蓮每月地震的相關函數 (ACF)

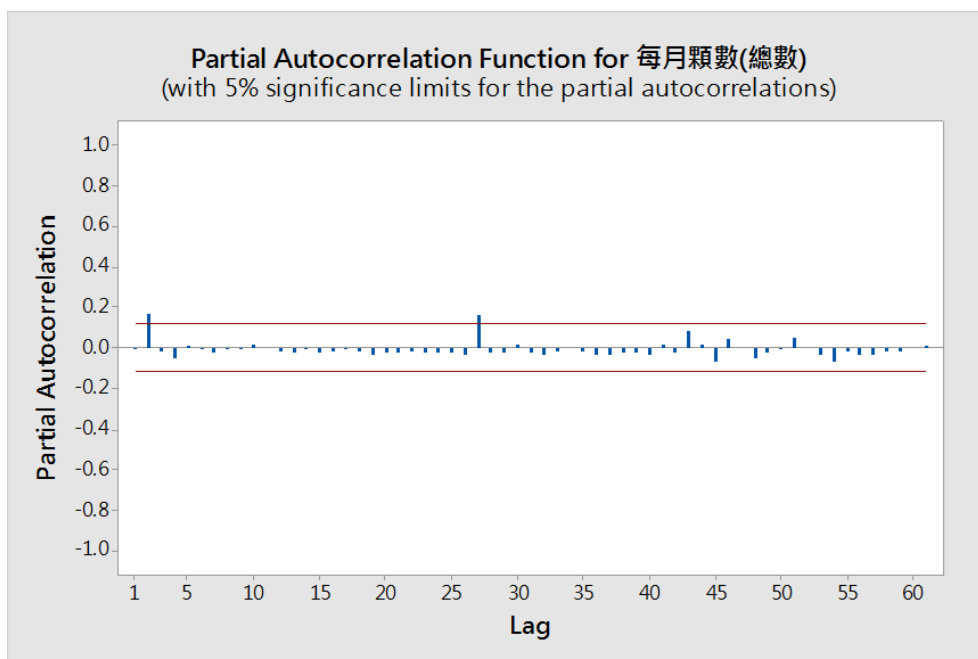


圖 5-14 花蓮每月地震的部分相關函數 (PACF)

表5-14花蓮2018年每月的地震能量預測(ARIMA積分移動平均法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.001696	0.407076	0.405379741
2018/2M	4.339567	0.409057	3.930510469
2018/3M	0.029394	0.409035	0.379641208
2018/4M	0.034498	0.409035	0.374537188
2018/5M	0.011812	0.409035	0.397222657
2018/6M	0.037874	0.409035	0.371161326
2018/7M	0.003514	0.409035	0.405521207
2018/8M	0.001115	0.409035	0.407919878
2018/9M	0.016724	0.409035	0.392310724
2018/10M	0.003089	0.409035	0.405945714
2018/11M	0.005553	0.409035	0.403481556
2018/12M	0.583482	0.409035	0.174446714
總和			8.048078382
平均			0.670673199

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。花蓮2018年地震釋放能量總和為8.05，平均每月釋放能量為0.67。

5.2.7 花蓮2018年誤差分析

表5-15花蓮六種預測方法誤差比較

2018年	真實	天真預測法	誤差	Arima預測	誤差	移動平均法	誤差	單指數	誤差	雙指數	誤差	三指數	誤差
2018/1M	0.001696	0.583482	0.581786	0.407076	0.40537974	0.121993	0.1202967	0.386384	0.3846877	0.178285	0.176588741	5.6194	5.6177037
2018/2M	4.339567	0.583482	3.756085	0.409057	3.93051047	0.121993	4.2175745	0.386384	3.9531835	0.147754	4.191813469	-0.0285	4.3680675
2018/3M	0.029394	0.583482	0.554088	0.409035	0.37964121	0.121993	0.0925992	0.386384	0.3569902	0.117223	0.087829208	8.5922	8.5628062
2018/4M	0.034498	0.583482	0.548984	0.409035	0.37453719	0.121993	0.0874952	0.386384	0.3518862	0.086693	0.052195188	-6.2876	6.3220978
2018/5M	0.011812	0.583482	0.57167	0.409035	0.39722266	0.121993	0.1101807	0.386384	0.3745717	0.056162	0.044349657	-35.9958	36.007612
2018/6M	0.037874	0.583482	0.545608	0.409035	0.37116133	0.121993	0.0841193	0.386384	0.3485103	0.025631	0.012242674	-0.2762	0.3140737
2018/7M	0.003514	0.583482	0.579968	0.409035	0.40552121	0.121993	0.1184792	0.386384	0.3828702	-0.0049	0.008413793	32.1346	32.131086
2018/8M	0.001115	0.583482	0.582367	0.409035	0.40791988	0.121993	0.1208779	0.386384	0.3852689	-0.03543	0.036546122	-16.512	16.513115
2018/9M	0.016724	0.583482	0.566758	0.409035	0.39231072	0.121993	0.1052687	0.386384	0.3696597	-0.06596	0.082685276	-77.611	77.627724
2018/10M	0.003089	0.583482	0.580393	0.409035	0.40594571	0.121993	0.1189037	0.386384	0.3832947	-0.09649	0.099581286	-0.5239	0.5269893
2018/11M	0.005553	0.583482	0.577929	0.409035	0.40348156	0.121993	0.1164396	0.386384	0.3808306	-0.12702	0.132576444	55.6771	55.671547
2018/12M	0.583482	0.583482	0	0.409035	0.17444671	0.121993	0.4614887	0.386384	0.1970977	-0.15755	0.741035714	-26.7363	27.319782
總和			9.445636		8.04807838		5.7537234		7.8688514		5.665857572		270.9826
平均			0.787136		0.6706732		0.4794769		0.6557376		0.472154798		22.581884

我們發現移動平均法誤差值為最低，因此使用這個方法預測未來2019年12個月的地震能量。

5.2.8 宜蘭2019年能量預測

表5-16花蓮2019年總地震能量釋放為幾顆原子彈

Year2019	Hualien
Jan	0.121993
Feb	0.121993
Mar	0.121993
Apr	0.121993
May	0.121993
Jun	0.121993
Jul	0.121993
Aug	0.121993
Sep	0.121993
Oct	0.121993
Nov	0.121993
Dec	0.121993
總數	1.46

花蓮2019年總地震能量釋放為1.46顆原子彈。

5.3 台東能量預測

我們分別使用天真預測法、移動平均法、指數平滑法、二次指數平滑法、三次指數平滑法、ARIMA積分移動平均法六種方法，預測1995年至2018年台東地震所釋放的能量和2019年所釋放的地震能量。

5.3.1 天真預測法 (Naïve Method)

表 5-17 台東 2018 年每月的地震能量(天真預測法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.016	0.016	0
2018/2M	0.26	0.016	0.244
2018/3M	0.007	0.016	0.009
2018/4M	0.059	0.016	0.043
2018/5M	0.016	0.016	0
2018/6M	0.011	0.016	0.005
2018/7M	0.277	0.016	0.261
2018/8M	0.003	0.016	0.013
2018/9M	0.001	0.016	0.015
2018/10M	0.005	0.016	0.011
2018/11M	0.045	0.016	0.029
2018/12M	0.016	0.016	0
總和			0.63
平均			0.0525

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。台東2018年地震釋放能量總和為0.63，平均每月釋放能量為0.05。

5.3.2 移動平均法 (Moving Average)

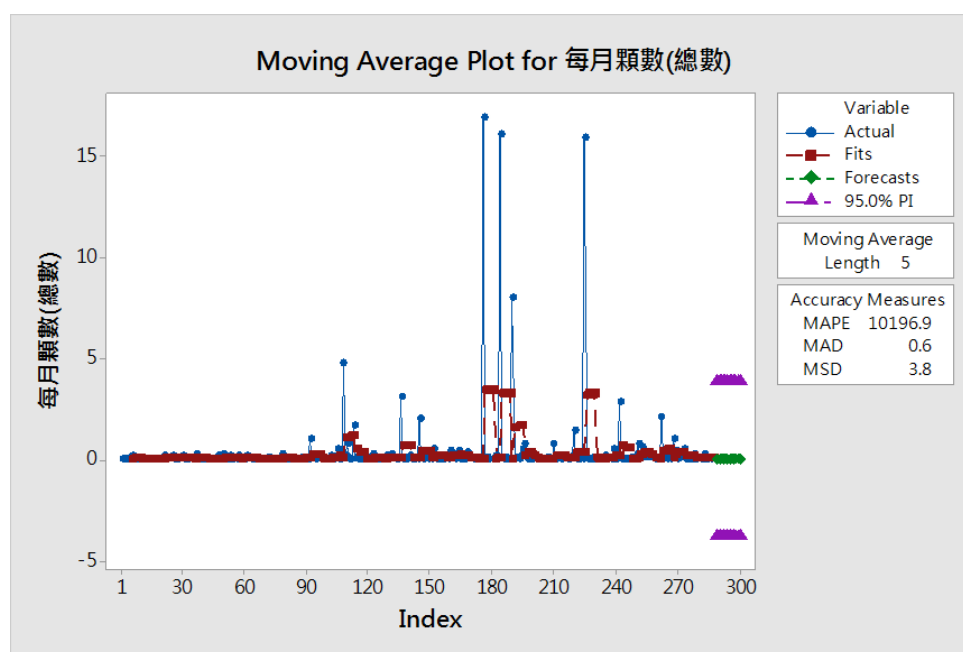


圖 5-15 台東 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(移動平均法)
台東 1995 年至 2018 年的資料使用移動平均法預測 12 個月地震能量，做誤差分析。

表5-18台東2018年每月的地震能量(移動平均法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.016	0.014	0.002
2018/2M	0.26	0.014	0.246
2018/3M	0.007	0.014	0.007
2018/4M	0.059	0.014	0.045
2018/5M	0.016	0.014	0.002
2018/6M	0.011	0.014	0.003
2018/7M	0.277	0.014	0.263
2018/8M	0.003	0.014	0.011
2018/9M	0.001	0.014	0.013
2018/10M	0.005	0.014	0.009
2018/11M	0.045	0.014	0.031
2018/12M	0.016	0.014	0.002
總和			0.634
平均			0.052833

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。台東2018年地震釋放能量總和為0.63，平均每月釋放能量為0.05。

5.3.3 指數平滑法 (Exponential Smoothing)

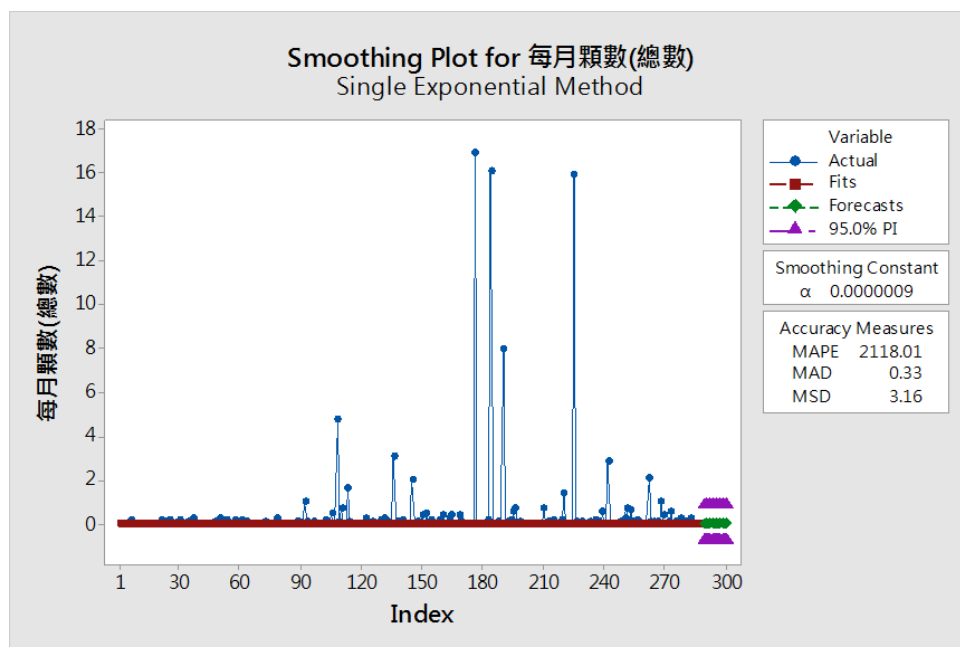


圖 5-16 台東 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(指數平滑法)
台東 1995 年至 2018 年的資料使用指數平滑法預測 12 個月地震能量，做誤差分析。

表5-19台東2018年每月的地震能量(指數平滑法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.016	0.0451404	0.0291404
2018/2M	0.26	0.0451404	0.2148596
2018/3M	0.007	0.0451404	0.0381404
2018/4M	0.059	0.0451404	0.0138596
2018/5M	0.016	0.0451404	0.0291404
2018/6M	0.011	0.0451404	0.0341404
2018/7M	0.277	0.0451404	0.2318596
2018/8M	0.003	0.0451404	0.0421404
2018/9M	0.001	0.0451404	0.0441404
2018/10M	0.005	0.0451404	0.0401404
2018/11M	0.045	0.0451404	0.0001404
2018/12M	0.016	0.0451404	0.0291404
總和			0.7468424
平均			0.062236867

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。台東2018年地震釋放能量總和為0.75，平均每月釋放能量為0.06。

5.3.4 二次指數平滑法 (Holt's Method)

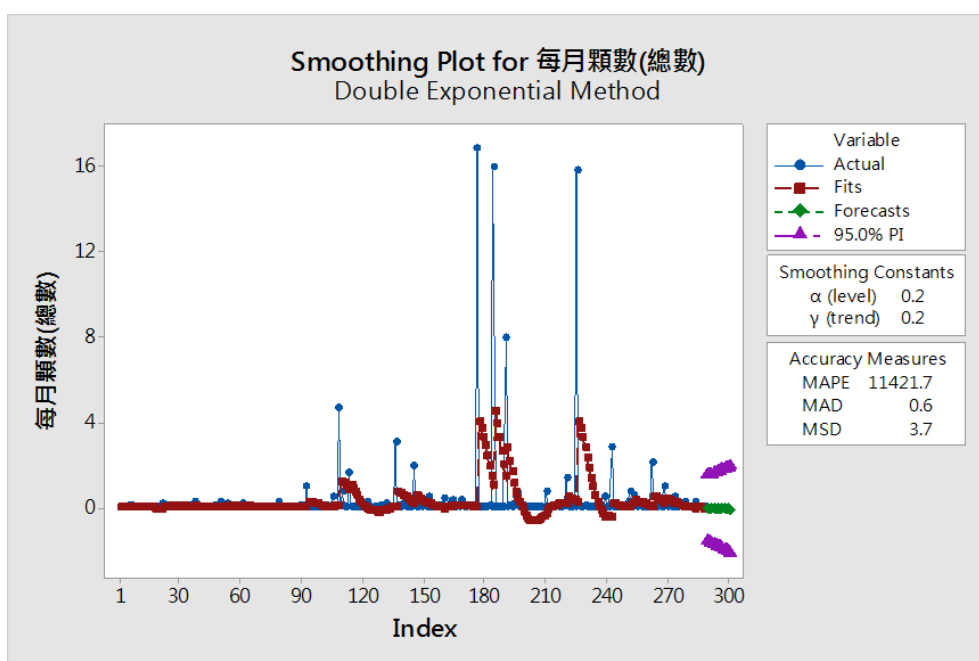


圖 5-17 台東 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(二次指數平滑法)
台東 1995 年至 2018 年的資料使用二次指數平滑法預測 12 個月地震能量，
做誤差分析。

表5-20 台東2018年每月的地震能量預測(二次指數平滑法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.016	-0.0121753	0.0281753
2018/2M	0.26	-0.0197663	0.2797663
2018/3M	0.007	-0.0273572	0.0343572
2018/4M	0.059	-0.0349482	0.0939482
2018/5M	0.016	-0.0425391	0.0585391
2018/6M	0.011	-0.0501301	0.0611301
2018/7M	0.277	-0.0577210	0.334721
2018/8M	0.003	-0.0653120	0.068312
2018/9M	0.001	-0.0729029	0.0739029
2018/10M	0.005	-0.0804939	0.0854939
2018/11M	0.045	-0.0880848	0.1330848
2018/12M	0.016	-0.0956758	0.1116758
總和			1.3631066
平均			0.113592217

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。台東2018年地震釋放能量總和為1.36，平均每月釋放能量為0.11。

5.3.5 三次指數平滑法 (Winter's Method)

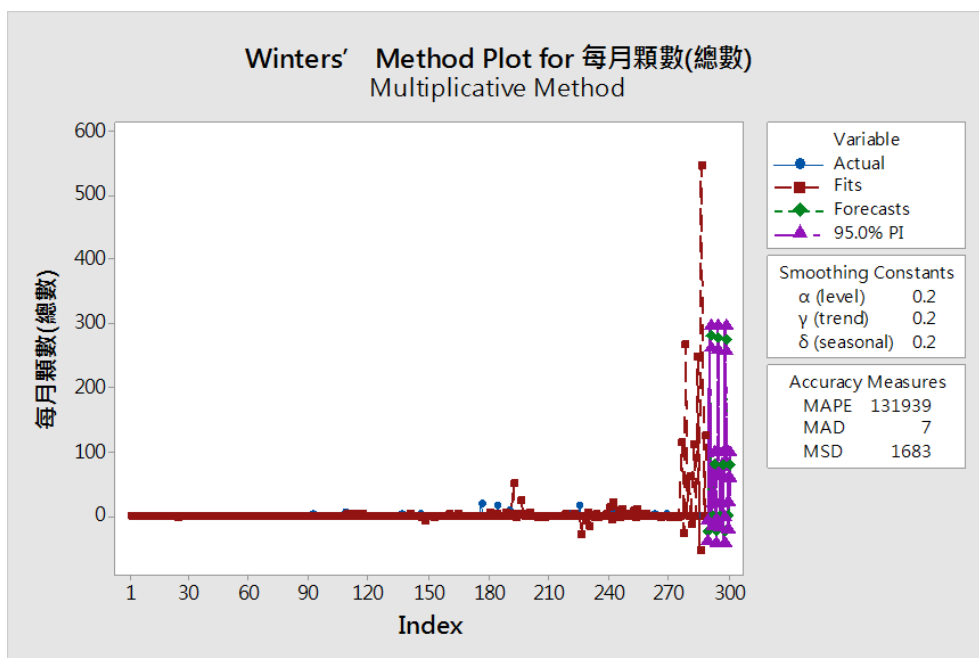


圖 5-18 台東 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(三次指數平滑法)
台東 1995 年至 2018 年的資料使用三次指數平滑法預測 12 個月地震能量，
做誤差分析。

表5-21 台東2018年每月的地震能量預測(三次指數平滑法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.016	-24.656	24.672
2018/2M	0.26	278.781	278.521
2018/3M	0.007	0.056	0.049
2018/4M	0.059	79.303	79.244
2018/5M	0.016	-24.462	24.478
2018/6M	0.011	276.578	276.567
2018/7M	0.277	0.056	0.221
2018/8M	0.003	78.674	78.671
2018/9M	0.001	-24.267	24.268
2018/10M	0.005	274.374	274.369
2018/11M	0.045	0.056	0.011
2018/12M	0.016	78.044	78.028
總和			1139.099
平均			94.92491667

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。台東2018年地震釋放能量總和為1139，平均每月釋放能量為95。

5.3.6 ARIMA 積分移動平均法 (Autoregressive Integrated Moving Average)

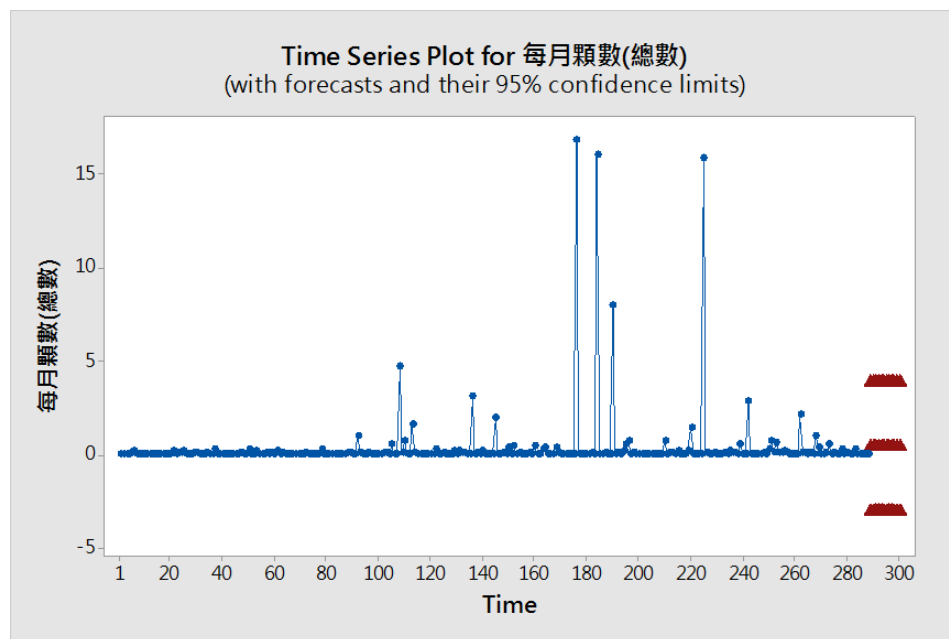


圖 5-19 台東 1995 年至 2018 年每月的地震誤差分析(ARIMA 積分移動平均法)

台東 1995 年至 2018 年的資料使用 ARIMA 積分移動平均法預測 12 個月地震能量，做誤差分析。

台東每月地震的辨識型態相關函數的形成（ACF）（圖5-20）和部分相關函數（PACF）（圖5-21）在台東每個月的地震能量圖表中，發現台東每個月的地震能量可以預測地震的變化。

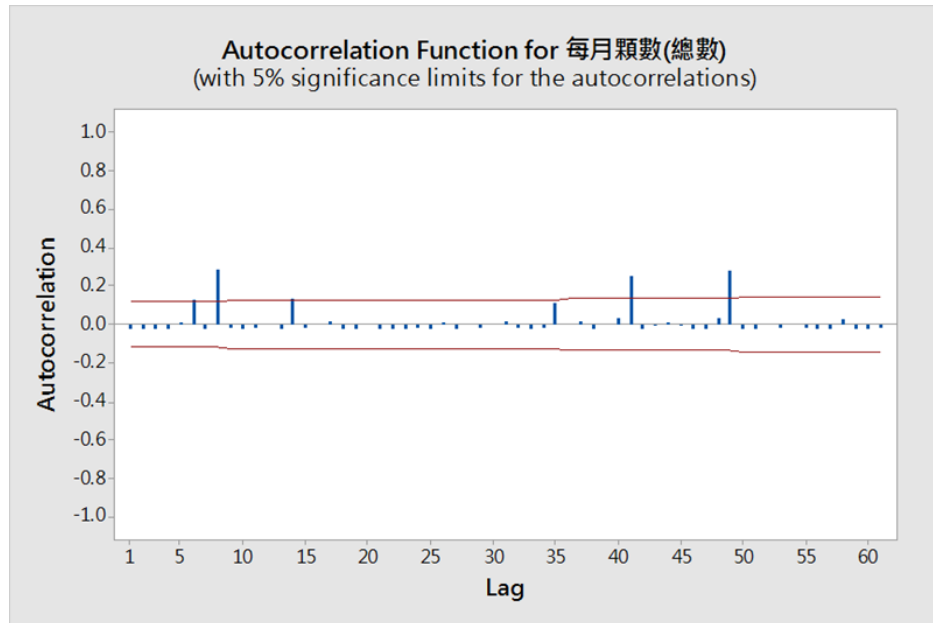


圖 5-20 台東每月地震的相關函數（ACF）

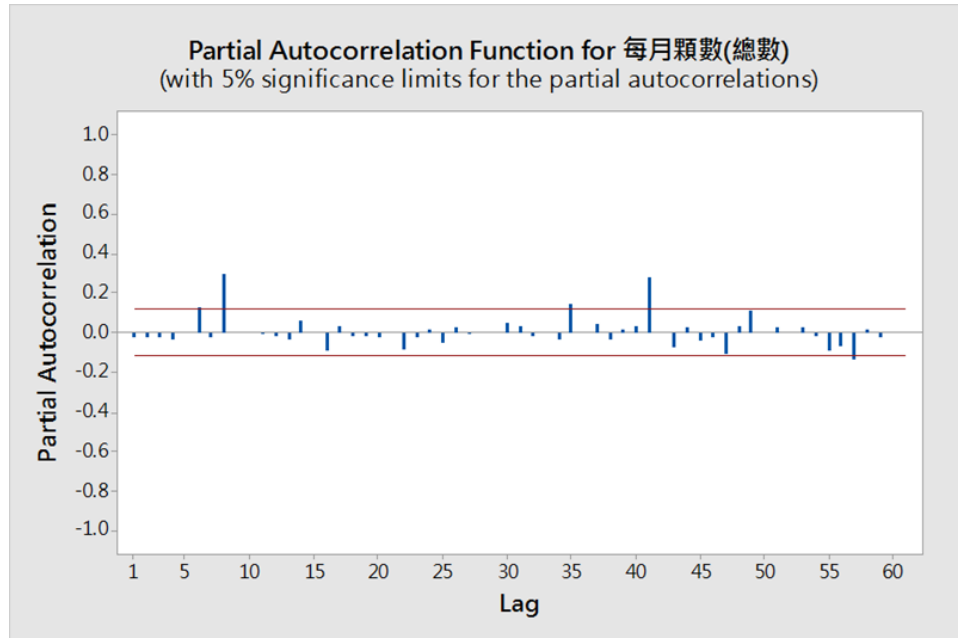


圖 5-21 台東每月地震的部分相關函數（PACF）

表5-22台東2018年每月的地震能量預測(ARIMA積分移動平均法)

2018 年	真實	預測	誤差
2018/1M	0.016	0.340266	0.324266
2018/2M	0.26	0.331000	0.071

2018/3M	0.007	0.331265	0.324265
2018/4M	0.059	0.331257	0.272257
2018/5M	0.016	0.331258	0.315258
2018/6M	0.011	0.331258	0.320258
2018/7M	0.277	0.331258	0.054258
2018/8M	0.003	0.331258	0.328258
2018/9M	0.001	0.331258	0.330258
2018/10M	0.005	0.331258	0.326258
2018/11M	0.045	0.331258	0.286258
2018/12M	0.016	0.331258	0.315258
總和			3.267852
平均			0.272321

表中的真實值為我們從氣象局上找出的資料，再使用真實值減去預測值算出誤差值。台東2018年地震釋放能量總和為3.27，平均每月釋放能量為0.27。

5.3.7 台東2018年誤差分析

表5-23台東六種預測方法誤差比較

2018年	真實	天真預測法	誤差	Arima預測	誤差	移動平均法	誤差	單指數	誤差	雙指數	誤差	三指數	誤差
2018/1M	0.016	0.016	0	0.340266	0.324266	0.014	0.002	0.04514	0.0291404	-0.01218	0.0281753	-24.656	24.672
2018/2M	0.26	0.016	0.244	0.331	0.071	0.014	0.246	0.04514	0.2148596	-0.01977	0.2797663	278.781	278.521
2018/3M	0.007	0.016	0.009	0.331265	0.324265	0.014	0.007	0.04514	0.0381404	-0.02736	0.0343572	0.056	0.049
2018/4M	0.059	0.016	0.043	0.331257	0.272257	0.014	0.045	0.04514	0.0138596	-0.03495	0.0939482	79.303	79.244
2018/5M	0.016	0.016	0	0.331258	0.315258	0.014	0.002	0.04514	0.0291404	-0.04254	0.0585391	-24.462	24.478
2018/6M	0.011	0.016	0.005	0.331258	0.320258	0.014	0.003	0.04514	0.0341404	-0.05013	0.0611301	276.578	276.567
2018/7M	0.277	0.016	0.261	0.331258	0.054258	0.014	0.263	0.04514	0.2318596	-0.05772	0.334721	0.056	0.221
2018/8M	0.003	0.016	0.013	0.331258	0.328258	0.014	0.011	0.04514	0.0421404	-0.06531	0.068312	78.674	78.671
2018/9M	0.001	0.016	0.015	0.331258	0.330258	0.014	0.013	0.04514	0.0441404	-0.0729	0.0739029	-24.267	24.268
2018/10M	0.005	0.016	0.011	0.331258	0.326258	0.014	0.009	0.04514	0.0401404	-0.08049	0.0854939	274.374	274.369
2018/11M	0.045	0.016	0.029	0.331258	0.286258	0.014	0.031	0.04514	0.0001404	-0.08808	0.1330848	0.056	0.011
2018/12M	0.016	0.016	0	0.331258	0.315258	0.014	0.002	0.04514	0.0291404	-0.09568	0.1116758	78.044	78.028
總和			0.63		3.267852		0.634		0.7468424		1.3631066		1139.099
平均			0.0525		0.272321		0.052833		0.0622369		0.113592217		94.924917

我們發現移動平均法誤差值為最低，因此使用這個方法預測未來2019年12個月的地震能量。

5.3.8 宜蘭2019年能量預測

表5-24台東2019年總地震能量釋放為幾顆原子彈

Year2019	Taitung
Jan	0.014
Feb	0.014
Mar	0.014

Apr	0.014
May	0.014
Jun	0.014
Jul	0.014
Aug	0.014
Sep	0.014
Oct	0.014
Nov	0.014
Dec	0.014
總數	0.17

台東2019年總地震能量釋放為0.17顆原子彈。

第陸章 結論與建議

6.1 台灣地震敘述統計學分析結果

以所有地震（含有編號、無編號）從1995年1月至2018年12月的地震數據進行分析，得到以下結論。

6.1.1 有編號地震分析結果

(1)花蓮市最常發生地震的地方，在過去24年裡面，3321次地震中有1121次發生於花蓮。(2)兩次地震平均間隔時間，最長是彰化，每481天發生一次地震。(3)平均深度新北市為最深，震源平均深度54.1公里。(4)總釋放能量以宜蘭為最高，佔有編號地震釋放能量31.7%。

6.1.2 有編號加上無編號地震分析結果

(1)花蓮市最常發生地震的地方，在過去24年裡面，11077次地震中有4304次發生於花蓮。(2)兩次地震平均間隔時間，最長是澎湖，每862天發生一次地震。(3)平均深度台北市及新北市為最深，震源平均深度33.1公里。(4)總釋放能量以宜蘭為最高，佔總地震釋放能量31.5%。

6.2 地震能量預測

(1)宜蘭以天真預測法預測能量誤差值為最低，因此使用這個方法預測未來2019年12個月的地震能量，則宜蘭2019年總地震能量釋放為0.06顆原子彈。(2)花蓮以移動平均法預測能量誤差值為最低，因此使用這個方法預測未來2019年12個月的地震能量，則花蓮2019年總地震能量釋放為1.46顆原子彈。(3)台東以移動平均法預測能量誤差值為最低，因此使用這個方法預測未來2019年12個月的地震能量，台東2019年總地震能量釋放為0.17顆原子彈。

6.3 未來發展

本專題是依據中央氣象局提供的資料，研究台灣東部地區地震特性分析及能量釋放，雖然我們無法直接預測何時會在哪裡發生地震，希望未來我們能更準確預測台灣各地區地震能量釋放。

參考文獻

- [1] 中央氣象局地震百問
- [2] 原子彈
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8E%9F%E5%AD%90%E5%BC%B9>
- [3] 小男孩原子彈
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B0%8F%E7%94%B7%E5%AD%A9%E5%8E%9F%E5%AD%90%E5%BD%88>
- [4] 胖子原子彈
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%B3%AA%E8%83%BD%E7%AD%89%E5%83%B9>
- [5] 原子彈計算公式
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%B3%AA%E8%83%BD%E7%AD%89%E5%83%B9>
- [6] 天真預測法、三次指數平滑法
<https://docs.google.com/presentation/d/1nWZformbzlsyLkDz5hlmtlh26uMfPSn1NGuQUbB8RFg/edit#slide=id.i208>
- [7] 移動平均法
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A7%BB%E5%8B%95%E5%B9%B3%E5%9D%87>
- [8] 指數平滑法 <https://wiki.mbalib.com/zh-tw/%E6%8C%87%E6%95%B0%E5%B9%B3%E6%BB%91%E6%B3%95>
- [9] 二次指數平滑法 <http://wiki.mbalib.com/zh-tw/%E4%BA%8C%E6%AC%A1%E6%8C%87%E6%95%B0%E5%B9%B3%E6%BB%91%E6%B3%95>
- [10] ARIMA 法 <http://wiki.mbalib.com/zh-tw/ARIMA>

附錄(A)

表A 台灣20個行政區域（1995年1月～2018年12月的總地震數據含未編號）

City	地震數量	每年的 平均時間	地震百分比 %	深度 (KM)	最大值 ML	總能量釋放 (<i>ergs</i>)	平均 dtim e
Yilan	2566	7	23.15%	26.1	7.1	1.61E+23	3
Hualien	4304	7	38.84%	15.7	6.9	7.4215E+22	2
Taitung	1593	11	14.37%	19.4	6.8	6.0095E+22	5
Nantou	411	67	3.71%	17.9	7.3	1.05E+23	21
Keelung	2	311	0.02%	4.8	3.5	1.2633E+17	311
Taipei	61	263	0.55%	33.1	5.2	2.3452E+20	479
New Taipei	39	112	0.35%	33.1	5.5	1.6615E+20	73
Taoyuan	43	270	0.39%	9.3	4.6	1.4941E+19	156
Hsinchu	80	173	0.72%	7.8	4.2	3.1729E+18	81
Miaoli	103	108	0.93%	10.2	5	1.5394E+20	71
Taichung	125	102	1.13%	12.9	5.6	7.9535E+20	53
Changhua	44	195	0.40%	22.8	4.8	2.6031E+19	149
Yunlin	298	63	2.69%	12.6	6.6	1.0338E+22	28
Chiayi	510	40	4.60%	9.9	6.4	4.8932E+21	17
Tainan	365	52	3.29%	14.5	6.6	8.2095E+21	24
Kaohsiung	315	62	2.84%	13.2	5.7	1.2913E+21	71
Pingtung	202	77	1.82%	27.4	7.1	8.4313E+22	39
Penghu	7	862	0.06%	26.1	4.7	2.1774E+19	633
Kinmen	9	685	0.08%	15.3	5	1.3045E+21	371
Matsu	5	495	0.05%	14.9	5.3	8.0924E+19	336
Total	11082	NA	100	NA	NA	5.12E+23	NA
Energy	$\log_{10} E = 11.8 + 1.5M_s$						

在上表中的地震所釋放的能量（*ergs*）基於方程式 $\log_{10} E = 11.8 + 1.5M_s$ ，
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 M_s （剪力波），然而氣象局紀錄是以 M_L （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 M_L 取代 M_S ，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(B)

表B 台灣20個行政區域（1995年1月至2018年12月有編號的地震數據）

City	地震數量	每年的 平均時間	地震百分比	深度 (KM)	最大值 ML	總能量釋放 (<i>ergs</i>)	平均 dtim e
Yilan	725	15	21.83%	33.1	7.1	1.5583E+23	12
Hualien	1121	12	33.75%	16.2	6.9	7.2482E+22	8
Taitung	456	22	13.73%	21.3	6.8	7.66E+22	19
Nantou	224	143	6.74%	17.0	7.3	1.0472E+23	41
Keelung	1	0	0.03%	3.4	3.5	1.122E+17	0
Taipei	32	347	0.96%	33.5	5.2	2.0929E+20	218
New Taipei	15	218	0.45%	54.1	5.5	1.5519E+20	183
Taoyuan	13	478	0.39%	10.2	4.6	1.0722E+19	371
Hsinchu	3	315	0.09%	7.3	4.2	1.3484E+18	420
Miaoli	33	388	0.99%	10.0	5	1.3357E+20	186
Taichung	67	264	2.02%	13.6	5.6	7.7595E+20	102
Changhua	13	481	0.39%	24.1	4.8	1.8299E+19	543
Yunlin	98	130	2.95%	13.1	6.6	1.0319E+22	87
Chiayi	221	103	6.65%	10.1	6.4	4.8671E+21	38
Tainan	116	109	3.49%	14.6	6.6	8.1518E+21	74
Kaohsiung	108	115	3.25%	18.0	5.7	1.2106E+21	79
Pingtung	73	185	2.20%	28.9	7.1	7.6641E+22	120
Penghu	1	0	0.03%	35.6	4.7	7.0795E+18	0
Kinmen	1	0	0.03%	12.3	6.2	1.2589E+21	0
Matsu	0	0	0	0.0	0	0	0
Total	3321	NA	100	NA	NA	5.13E+23	NA
Energy	$\log_{10} E = 11.8 + 1.5M_s$						

附錄(C)

表C 24年來各縣的釋放能量Total Energy Released (*ergs*) 相當於幾顆原子彈

	有編號的地震		所有的地震	
City	Total Energy Released (<i>ergs</i>)	原子彈 (顆)	Total Energy Released (<i>ergs</i>)	原子彈 (顆)
Yilan	1.5583E+23	247.33	1.61E+23	256.08
Hualien	7.2482E+22	114.47	7.4215E+22	117.80
Taitung	7.66E+22	89.62	6.0095E+22	95.39
Nantou	1.0472E+23	166.22	1.05E+23	166.29
Keelung	1.122E+17	0	1.2633E+17	0
Taipei	2.0929E+20	0.33	2.3452E+20	0.37
New Taipei	1.5519E+20	0.25	1.6615E+20	0.26
Taoyuan	1.0722E+19	0	1.4941E+19	0.02
Hsinchu	1.3484E+18	0	3.1729E+18	0.01
Miaoli	1.3357E+20	0.21	1.5394E+20	0.24
Taichung	7.7595E+20	1.23	7.9535E+20	1.26
Changhua	1.8299E+19	0.03	2.6031E+19	0.04
Yunlin	1.0319E+22	16.38	1.0338E+22	16.41
Chiayi	4.8671E+21	7.72	4.8932E+21	7.77
Tainan	8.1518E+21	12.94	8.2095E+21	13.03
Kaohsiung	1.2106E+21	1.92	1.2913E+21	2.05
Pingtung	7.6641E+22	121.65	8.4313E+22	133.83
Penghu	7.0795E+18	0.01	2.1774E+19	0.03
Kinmen	1.2589E+21	0	1.3045E+21	2.07
Matsu	0	0	8.0924E+19	0.13
Total	5.13E+23	780	5.12E+23	813

附錄(D)

表D 台灣東岸(宜蘭、花蓮、台東地區)能量列表

年	台灣各地區		宜蘭		花蓮		台東	
	總數	有編號	總數	有編號	總數	有編號	總數	有編號
1995/1M	0.058	0.058	0.006	0.006	0.045	0.045	0.000	0.000
1995/2M	0.604	0.604	0.004	0.004	0.576	0.576	0.022	0.022
1995/3M	0.267	0.267	0.252	0.252	0.016	0.016	0.000	0.000
1995/4M	1.020	1.020	0.798	0.798	0.004	0.004	0.032	0.032
1995/5M	0.364	0.364	0.145	0.145	0.102	0.103	0.116	0.116
1995/6M	5.774	5.774	5.632	5.632	0.000	0.000	0.142	0.142
1995/7M	0.646	0.646	0.549	0.549	0.000	0.000	0.000	0.000
1995/8M	0.038	0.038	0.038	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000
1995/9M	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1995/10M	0.049	0.049	0.032	0.032	0.011	0.011	0.000	0.000
1995/11M	0.101	0.101	0.009	0.009	0.005	0.005	0.016	0.016
1995/12M	1.015	1.015	0.445	0.445	0.547	0.547	0.022	0.022
1996/1M	0.064	0.064	0.045	0.045	0.019	0.019	0.000	0.000
1996/2M	0.011	0.011	0.000	0.000	0.011	0.011	0.000	0.000
1996/3M	5.273	5.273	4.270	4.270	1.002	1.002	0.000	0.000
1996/4M	0.035	0.035	0.000	0.000	0.008	0.008	0.011	0.011
1996/5M	0.049	0.049	0.000	0.000	0.045	0.045	0.000	0.000
1996/6M	0.022	0.022	0.000	0.000	0.022	0.022	0.000	0.000
1996/7M	1.505	1.505	1.431	1.431	0.011	0.011	0.000	0.000
1996/8M	0.518	0.518	0.502	0.502	0.000	0.000	0.016	0.016
1996/9M	44.931	44.931	0.016	0.016	0.001	0.001	0.178	0.178
1996/10M	0.024	0.024	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
1996/11M	0.219	0.219	0.000	0.000	0.127	0.127	0.089	0.089
1996/12M	0.071	0.071	0.000	0.000	0.017	0.017	0.054	0.054
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
2017/1M	0.066	0.047	0.009	0.000	0.044	0.038	0.003	0.002
2017/2M	0.437	0.424	0.001	0.000	0.001	0.001	0.072	0.063
2017/3M	0.096	0.077	0.080	0.070	0.007	0.000	0.006	0.006
2017/4M	1.197	1.007	0.182	0.000	0.001	0.000	1.008	1.002
2017/5M	0.435	0.421	0.002	0.000	0.000	0.000	0.372	0.363
2017/6M	0.087	0.082	0.079	0.077	0.003	0.001	0.001	0.000
2017/7M	0.067	0.010	0.006	0.000	0.010	0.008	0.047	0.000
2017/8M	0.441	0.034	0.358	0.000	0.012	0.011	0.068	0.022
2017/9M	0.590	0.534	0.012	0.011	0.061	0.018	0.516	0.505
2017/10M	0.127	0.004	0.108	0.000	0.002	0.001	0.013	0.000
2017/11M	0.502	0.487	0.008	0.008	0.068	0.063	0.055	0.053
2017/12M	0.108	0.066	0.072	0.063	0.007	0.000	0.024	0.000
2018/1M	0.205	0.184	0.005	0.000	0.002	0.000	0.016	0.006
2018/2M	4.931	4.656	0.321	0.316	4.340	4.081	0.260	0.252
2018/3M	0.808	0.200	0.637	0.045	0.029	0.022	0.007	0.000
2018/4M	0.114	0.056	0.012	0.000	0.034	0.002	0.059	0.047
2018/5M	0.221	0.203	0.185	0.178	0.012	0.011	0.016	0.011
2018/6M	0.169	0.122	0.105	0.089	0.038	0.017	0.011	0.004
2018/7M	0.337	0.066	0.008	0.003	0.004	0.001	0.277	0.020
2018/8M	0.109	0.062	0.015	0	0.001	0.000	0.003	0.001
2018/9M	0.026	0.017	0.003	0.002	0.017	0.011	0.001	0.000
2018/10M	1.378	1.367	1.357	1.357	0.003	0.002	0.005	0.004
2018/11M	2.173	2.018	0.054	0.013	0.006	0.004	0.045	0.000
2018/12M	0.610	0.596	0.005	0.000	0.583	0.579	0.016	0.014

我們取 1995 年至 2018 年少數能量數據來呈現。