

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

最佳創意獎

051904

從地震能量及頻率探討台灣地區地震特性

學校名稱：國立嘉義高級中學

作者： 高二 陳柏瑋 高二 張庭瑜	指導老師： 劉宏二 黃冠夫
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：地震規模、地震頻率

摘要

本研究利用 USGS 及中央氣象局地震資料庫，分析不同區域地震規模與頻率及實際累積能量與理論累積能量殘差，討論不同地震帶特性並建立地震發生可能性。得到下列結論：

一、地震規模與其發生頻率對數值作圖，會呈現一次函數關係，地震密集帶的斜率愈平緩，其能量累積愈多，大地震的頻率也較高。

二、小規模地震釋放能量少，縱使次數遠多於大地震，但主要的累積能量還是倚靠大規模地震來釋放。

三、台灣地震發生頻繁且能量累積最大的是東北部地震帶，其次是東部地震帶，最少的是西部地震帶。

四、若在大規模地震發生頻率較長時間統計來的少或地震能量累積的殘差圖出現在負值區較大的位置，大規模地震發生的可能性較高。

壹、 研究動機

記得還在念國中時，日本發生了 311 大地震，緊接著如推骨牌般發生了海嘯、核災等災難。幾天的時間內日本被摧殘得面目全非，五年前電視前的驚恐深深烙印在我們心中。

上了高中，記得地科老師在講解到地震的相關課程時，提到了目前科學界對於地震預測尚未有重大進展。老師也曾提過，菲律賓海板塊每年朝歐亞大陸板塊移動，而地震便是板塊相互擠壓所造成，既然可以測出板塊的移動距離，為甚麼預測地震的方法遲遲沒有被提出？而如果對於地震能有一些頭緒，那是否能讓更多人倖免於難？

人類面對尚未找到方法預測的地震只能坐以待斃嗎？我們上網尋找 15 年來的資料，希望可以藉由資料的分析，淺探箇中奧秘。

貳、 研究目的

一、透過網際網路，彙集 USGS 及中央氣象局地震資料建立資料庫。依據能量守恆的概念，透過地震能量探討累積能量特性。

二、藉由分析不同區域地震規模與其發生頻率，探討並建立不同地震帶的地震特性。

三、從實際地震能量釋放和理論能量累積之間的差異，討論並建立可能之地震發生可能性。

參、 研究理論及工具

一、彈性回跳學說(Elastic Rebound Theory)

地殼受變動時所產生的應力不斷的沿著未來的地震斷層慢慢累積起來，使岩石發生變形，但是還沒有斷裂。一旦應力達到了臨界值，斷面上的摩擦力立刻被克服，斷面兩側岩層忽然被折斷，發生破裂，造成斷層。這時原來貯藏在岩石中發生變形的彈性應變能就放了出來，一變而為運動，使斷層兩邊的岩層回彈到沒有應變的位置，同時發生固體的震動，這時就造成地震。這個學說叫做「彈性回跳學說」，是美國地質學者 Harry Fielding Reid 所創立。

二、台灣的板塊構造及地震區分布

台灣位於菲律賓板塊和歐亞板塊的碰撞活動帶，這兩個板塊每年以 8.2cm 的顯著速度相互靠近，使台灣島上發生劇烈的變形，造成台灣地區的活動斷層及地震。而台灣地震帶主要有三(如圖 1)：

- (1) 西部地震帶：自台北南方經台中、嘉義而至台南。寬度約八十公里，大致與島軸平行。地震次數較少，但餘震較頻繁，持續時間較短暫，範圍廣大，災情較重，震源淺(約十餘公里)，地殼變動激烈。
- (2) 東部地震帶：北起宜蘭東北海底向南南西延伸，經過花蓮、成功到台東，一直至呂宋島;北端自宜蘭與環太平洋地震帶延伸至西太平洋海底者相連，南端幾與菲律賓地震帶相接。此帶成近似弧形朝向太平洋，亦和台灣本島相平行，寬一百三十公里，特徵為地震次數多。通常，震源較西部者為深。
- (3) 東北部地震帶：自琉球群島向西南延伸，經花蓮、宜蘭至蘭陽溪上游附近，屬淺層震源活動帶。

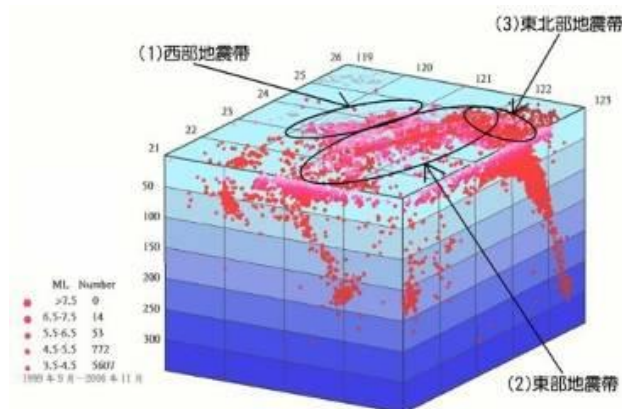


圖 1、台灣地區地震分佈圖

三、台灣地區地殼變形量 GPS 偵測圖

菲律賓海板塊每年以 7-8 公分的速度向歐亞板塊碰撞，導致斷層的活動、山脈的隆起及頻繁的地震活動。圖 2 即為以 GPS 定位測量出的台灣地殼變形量示意圖。

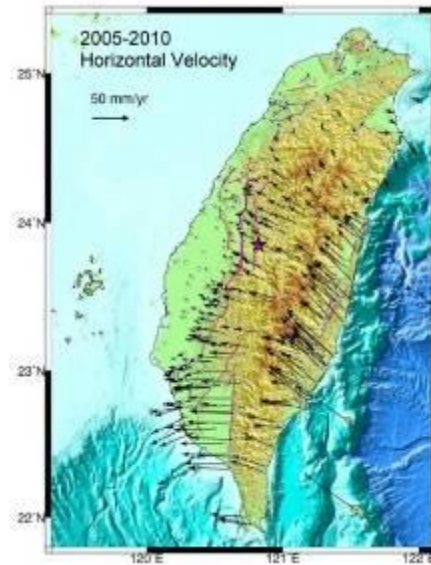


圖 2、台灣地區地殼變形量 GPS 偵測圖

四、研究工具

電腦、紙筆、Microsoft Excel

肆、 研究方法



圖 3、研究流程圖

一、統計地震規模與發生頻率之關係

1. 為了研究地震的規模-數量分布是否具有規律性，我們從美國地質調查所(United States Geological Survey)網站的資料庫(如圖 4)下載 2000 到 2014 年全球地震資料(如圖 5)。USGS 其規模採用震矩規模，由於 USGS 在地震規模 4 以下只收集美國本土的資料，全球的尺度我們只分析規模 4 以上的地震。

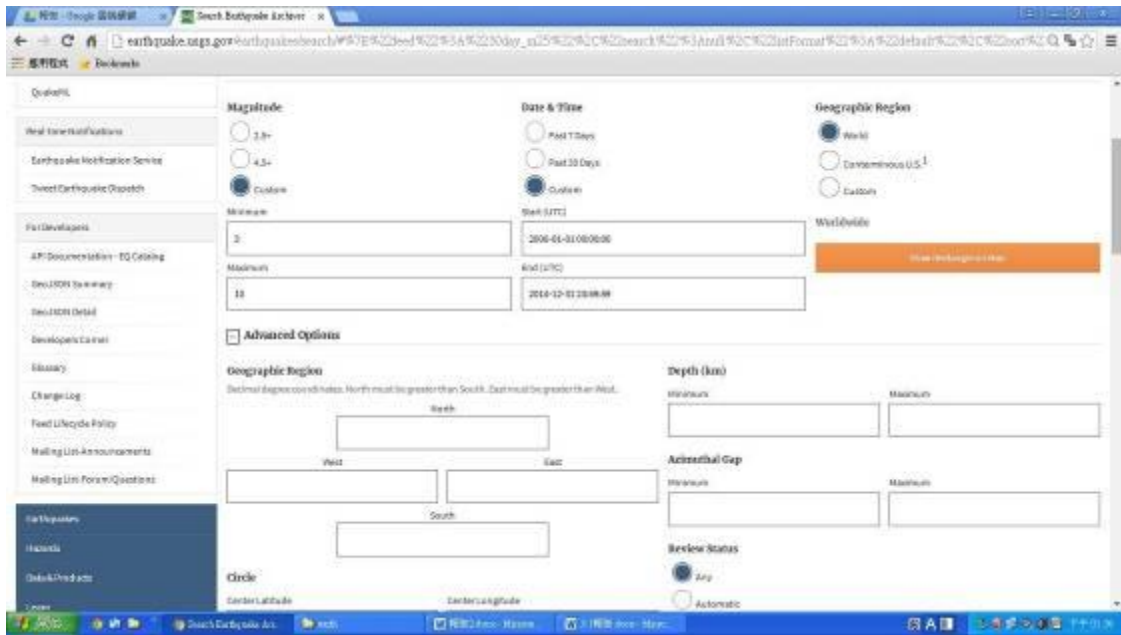


圖 4、USGS 網站地震資料庫

time	latitude	longitude	depth	mag	magType	net	gap	dmin	smin	net	id	updated	place	type
2014-12-31T22:03:	56.1712	114.2334	1	4.0	mb	105	7676	1.23	1.23	us00061c2015-03-144km WSWearthquake				
2014-12-31T21:56:	-20.0231	67.9407	183.7	4.0	mb	64	1.324	0.72	0.72	us00061j2015-03-119km WSEarthquake				
2014-12-31T21:17:	-17.6985	-178.765	575.1	3.0	mb	69	3.033	0.66	0.66	us00060r2015-03-1242km SEearthquake				
2014-12-31T19:47:	-10.0274	33.8632	149	5.0	mb	45	7608	0.89	0.89	us00060c2015-03-112km SWearthquake				
2014-12-31T19:04:	37.9736	72.6023	1194	4.7	mb	48	1.819	0.85	0.85	us00060q2015-03-1104km NEearthquake				
2014-12-31T18:31:	32.9473	-300.84		3.0	mb,lc	50	1.658	0.84	0.84	us00060d2015-03-1296km NNEearthquake				
2014-12-31T18:11:	-27.6109	-177.116	75.3	4.0	mb	39	1.770	0.59	0.59	us00060e2015-03-1198km NNearthquake				
2014-12-31T17:57:	-18.0115	-172.837	80.0	4.0	mb	201	2.956	0.47	0.47	us00060f2015-03-1140km NNearthquake				
2014-12-31T17:54:	-3.0515	-79.4612	92.0	4.0	mb	148	3.419	0.7	0.7	us00060g2015-03-142km ESEearthquake				
2014-12-31T16:41:	34.2108	24.9872	21.7	4.0	mb	115	1.078	0.76	0.76	us00060h2015-03-1288km Eofearthquake				
2014-12-31T16:32:	11.7341	124.2849	51.1	4.0	mb	120	8.886	0.93	0.93	us00060i2015-03-129km Wofearthquake				
2014-12-31T16:28:	6.1389	123.6624	587.1	4.0	mb	104	5.227	0.7	0.7	us00060j2015-03-1154km SWearthquake				
2014-12-31T16:12:	21.9888	93.3688	57.4	4.0	mb	69	3.84	0.68	0.68	us00060k2015-03-129km SEearthquake				
2014-12-31T15:33:	-2.9655	146.4038	1	4.0	mb	123	1.328	0.95	0.95	us00060l2015-03-1142km SEearthquake				
2014-12-31T14:49:	35.7823	139.9016	89.6	4.0	mb	129	0.505	0.96	0.96	us00060m2015-05-10km SEofearthquake				
2014-12-31T14:49:	-55.9827	-27.7992	30.3	4.0	mb	77	5.176	1.29	1.29	us00060n2015-03-1129km NNearthquake				
2014-12-31T14:40:	64.73	-17.0797	8.8	4.0	mb	114	6.069	0.89	0.89	us00060o2015-03-1104km WSEarthquake				
2014-12-31T14:23:	36.6354	140.8938	21.9	4.0	mb	127	0.696	0.69	0.69	us00060p2015-03-118km ESEearthquake				
2014-12-31T14:20:	-5.9913	151.8625	54.3	4.0	mb	37	1.197	0.78	0.78	us00060q2015-03-1134km SEearthquake				
2014-12-31T14:05:	18.5447	-68.2981	16	3.0	ml	4	349.2	1.696019	0.31	pr	pr1436500	2015-03-28	15km ESEearthquake	
2014-12-31T14:02:	36.5392	141.179	6.6	4.0	mb	129	0.854	0.88	0.88	us00060r2015-03-145km ESEearthquake				

圖 5、從 USGS 網站下載的地震資料

2.再用 excel 程式以規模 0.1 為間距，統計各規模的地震次數。以縱軸為次數，橫軸為規模，繪出 XY 散佈圖(如圖 6)，進而分析地震發生次數及各規模間的關係。

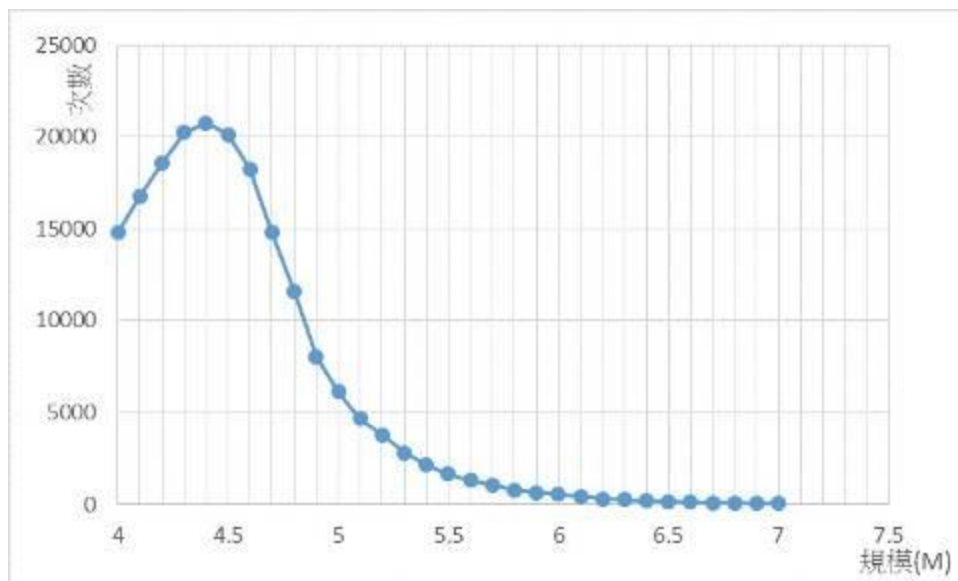


圖 6、2000~2014 全球地震規模與發生次數統計圖

3.為了比較範圍大小對資料精確度的影響，與上述方法相同，我們分別統計出全球與美國 2000~2014 年間，以 0.1 規模為間距的地震次數取 log 值，繪成圖表，再比較、討論之。取 log 值的好處是縱使取的資料年分數不同，資料除以年數後，圖形理論上只會上下平移，並不會影響到其斜率。

二、依據能量守恆的概念，透過 excel 計算地震能量的累積與釋放

1. 依照能量守恆，板塊相互擠壓所累積的能量會等於地震釋放出的總能量，分析地震能量釋放情形便可以推得地震能量累積的模式。首先我們下載中央氣象局台灣附近 2000~2014 年的地震資料(如圖 7)，中央氣象局的規模採用芮氏規模，為了計算地震所釋放的能量，我們用公式:

$$\text{Log } E = 11.8 + 1.5 \times M$$

將規模資料轉換為能量，並把每筆地震資料的能量計算出來。

雖然 USGS 和中央氣象局所採用規模方式不同，但在本研究中並無將不同單位的規模交叉比對，故不影響研究結果。

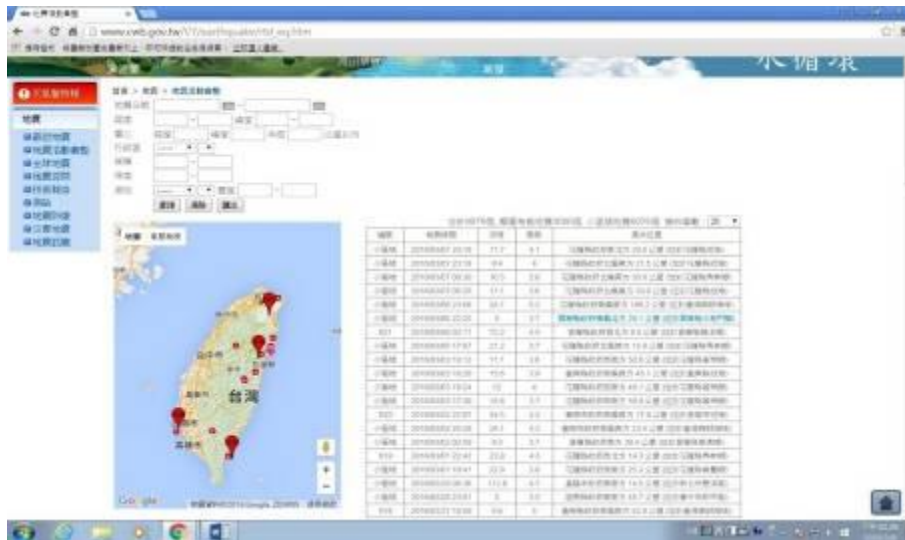


圖 7、中央氣象局網站地震資料庫

2.為了找出地震能量累積與釋放的規律性，我們以台灣地區為藍本，將轉換成能量後的每一筆地震資料依天數不斷累加至上一筆資料上，能量釋放為縱軸，以天數為橫軸，繪成一逐漸遞增的地震能量釋放累加圖(如圖 8)。

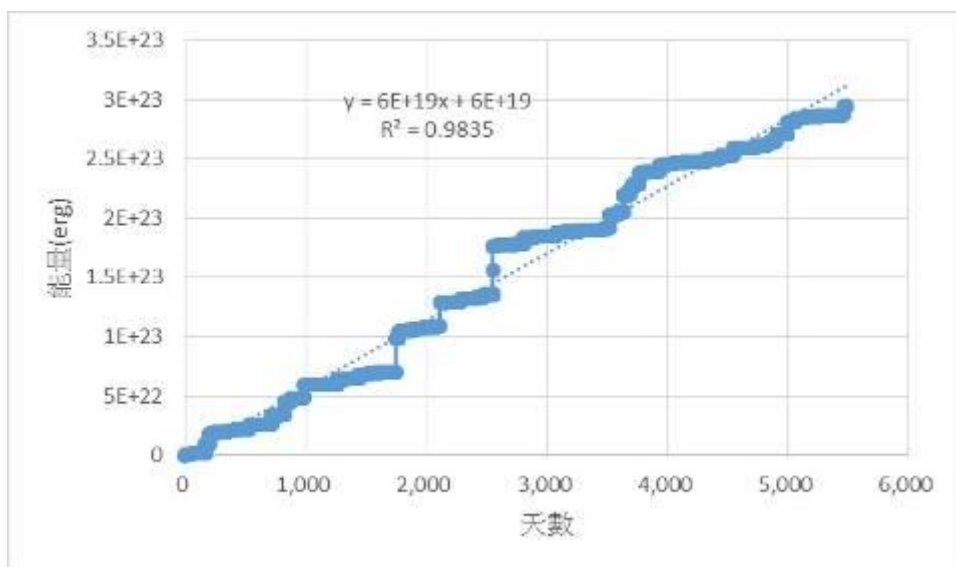


圖 8、台灣 2000~2014 地震能量釋放累加圖

3.我們假定板塊間的能量累積速率固定(推測應為上圖之回歸直線)，將每一天的累積能量與理想的累積能量比較。每天的累積能量測量值減去理想累積能量值，以縱軸為能量差距，橫軸為天數做出殘差圖(如圖 9)。

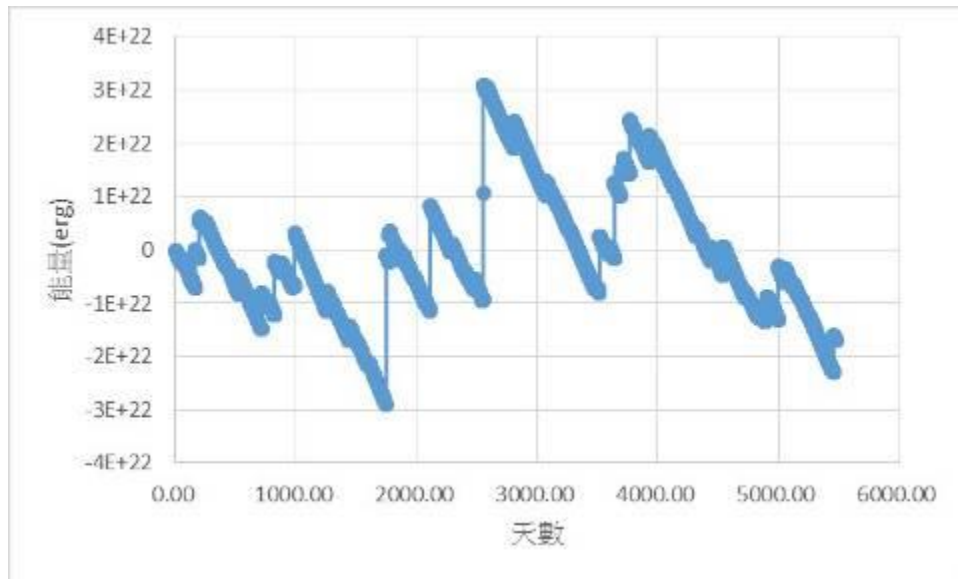


圖 9、台灣 2000~2014 地震能量釋放累加殘差圖

三、比較各板塊接觸帶地震特性差異並探討其原因

1.我們首先由和我們生活最息息相關的台灣附近地震開始著手。因為台灣不同地區的斷層性質不相同，因此需要分別討論。台灣可以簡單的分為三個地震帶資料(如圖 10)：西部地震帶(E118~121、N20~26)、東部地震帶(E121~125、N20~24)，以及東北部地震帶(E121~125、N24~26)。我們繪出台灣三個地震帶的地震發生位置分佈圖得到圖 11、12、13，顯示西部及東部地震帶分布為南北向，主要地震帶長度約為 3 個緯度；而東北部地震帶為東西向，主要地震帶長度約為 2 個經度，較其他二區略小，若要估計單位長度的能量累積及釋放可以加權 1.5 倍。西部及東部地震帶的地震密集區長度大致相近，在比較二個區域時較不會受分布空間大小的差異過大所影響。

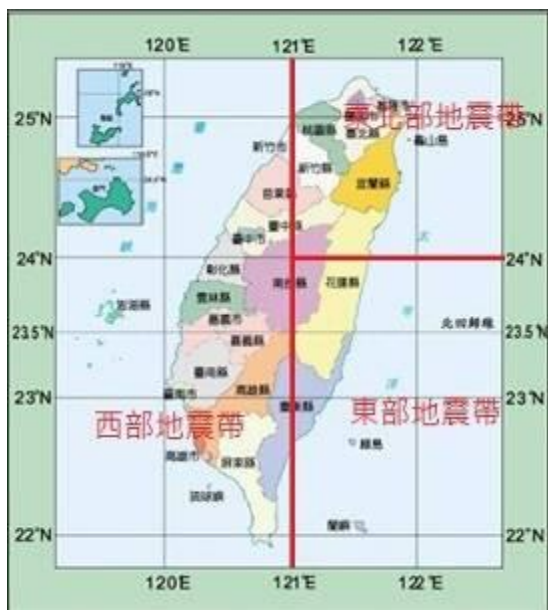


圖 10、台灣地震帶分區

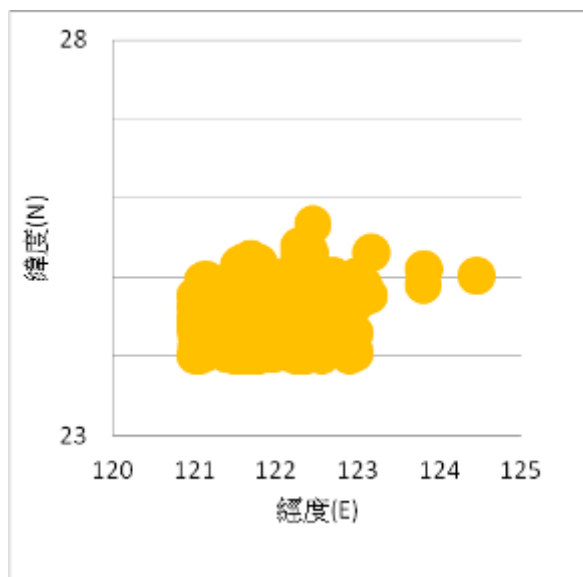


圖 11、台灣東北部地震帶地震發生位置圖

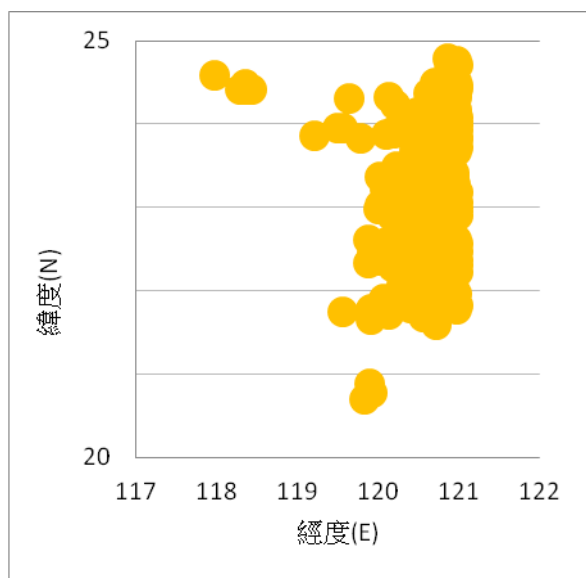


圖 12、台灣西部地震帶地震發生位置圖

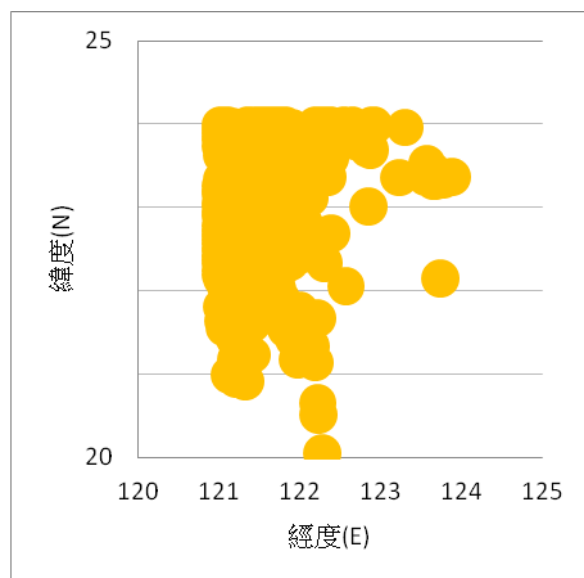


圖 13、台灣東部地震帶地震發生位置圖

2.與美國及全球的做法相同，我們先統計出全台灣 2000~2014 年間，以 0.1 規模為間距的地震次數取 log 值，繪成以橫軸為規模、縱軸為地震次數 log 值的圖表(如圖 14)，將台灣三個地震帶資料分開統計，比較其差異。

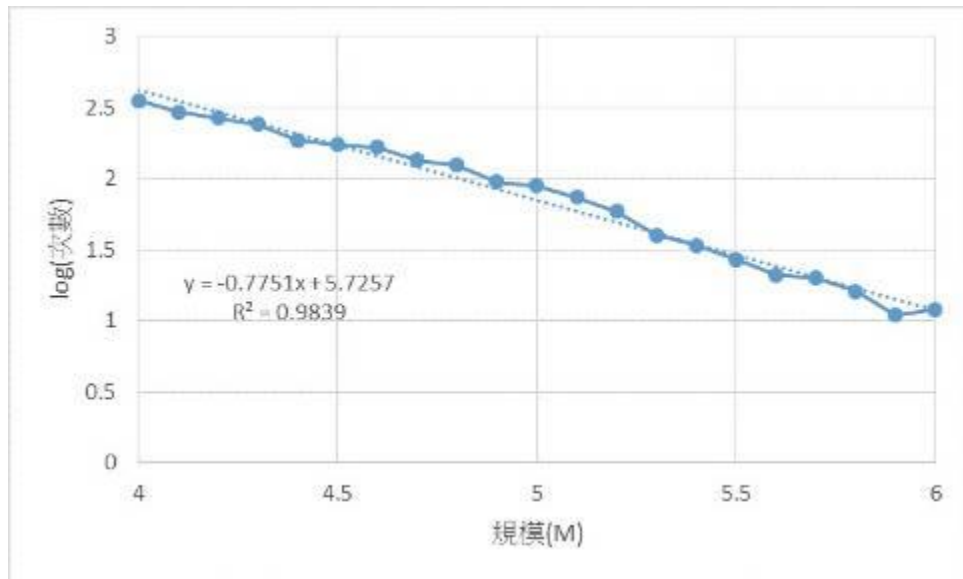


圖 14、2000~2014 台灣地震次數 log 值與規模關係

3.我們將台灣的三個地震帶刪去頭尾後的資料，分開繪製出地震能量釋放累加圖與地震能量釋放累加殘差圖，並比較、分析其中的差異。

四、信度分析

為了證明此研究的地震特性及能量累積是否會受空間及時間取樣不同而改變，我們分別做了不同 10 年、不同時間長短、不同空間大小的比較。

1. 不同 10 年的比較，我們取台灣地區 1995~2004 年與 2005~2014 年的資料，各繪製出 log 次數-規模關係圖以及能量釋放累加圖，並比較、分析其差異。
2. 不同時間長短的比較，我們取台灣地區 2000~2009 年與 2000~2014 年的資料，各繪製出 log 次數-規模關係圖以及能量釋放累加圖，並比較、分析其差異。
3. 同一地震帶不同空間大小的比較，三個地震區中，我們分別取經度、緯度都差 0.5，資料數最多的位置為「小區域」，而原本三區的資料則為「大區域」。選定的小區域分別為:西部地震帶 E120.5-121 N23-23.5、東部地震帶 E121.5-122 N23.5-24、東北部地震帶 E121.5-122 N24.5-25。將三區的小區域及大區域都繪製出 log 次數-規模關係圖，並比較、分析其差異。

伍、 研究結果及討論

一、統計地震規模與發生頻率之關係

1. 由於偵測地震的精確資料，全世界不超過幾十年，某些規模的大地震也許實際上幾百年才發生一次，若在幾十年內出現兩次便會產生加乘；再加上許多小地震由於儀器精密度不足，無法精確測量，我們的探討範圍僅能限定在一定區間內。全球測站的密度不斷增加，較小規模的地震資料也隨之增加，因此我們多只去近十五年的資料，刪除過大過小的地震，以求準確。圖 15 為以縱軸為次數，橫軸為規模，繪出的全球 2000~2014 年的地震規模與發生次數統計圖。

我們猜測此應為一個遞減圖形，規模愈小次數愈多。但我們做出的結果卻與猜測不符。在規模 4.4 出現一個高峰，大於 4.4 符合我們的猜測，小於 4.4 便開始遞減。探討實際結果與理論不符的原因，可能是由於以全球尺度而言，測站密度尚未足夠到能精準的測量所有規模 4.5 以下的地震，造成蒐集到規模 4.5 以下的資料少於實際發生的次數所致。

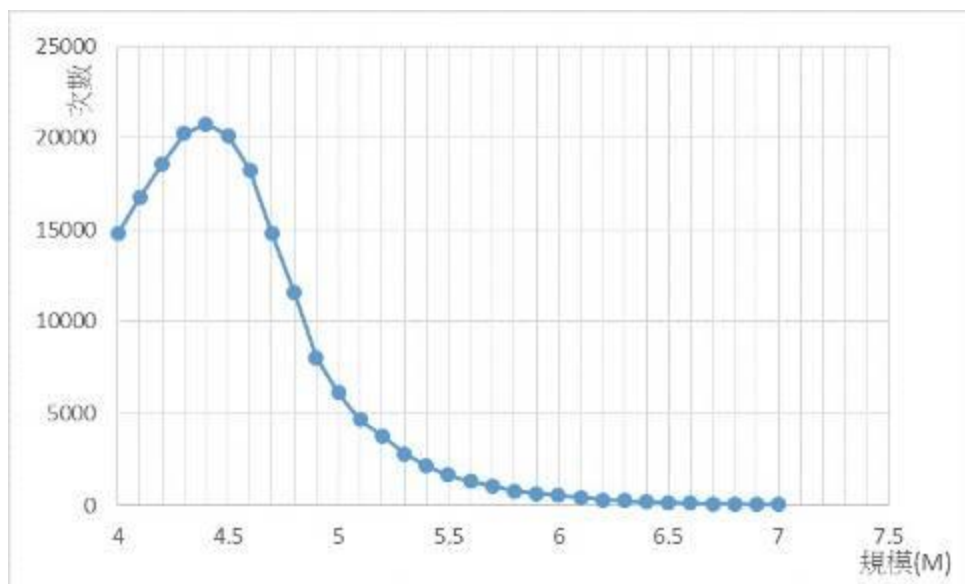


圖 15、2000~2014 全球地震規模與發生次數統計圖

因此，我們另外繪製出只限定美國境內(N26~N50，W64~W128)資料的統計圖，縱軸為次數，橫軸為地震規模，發現結果符合我們所預期。

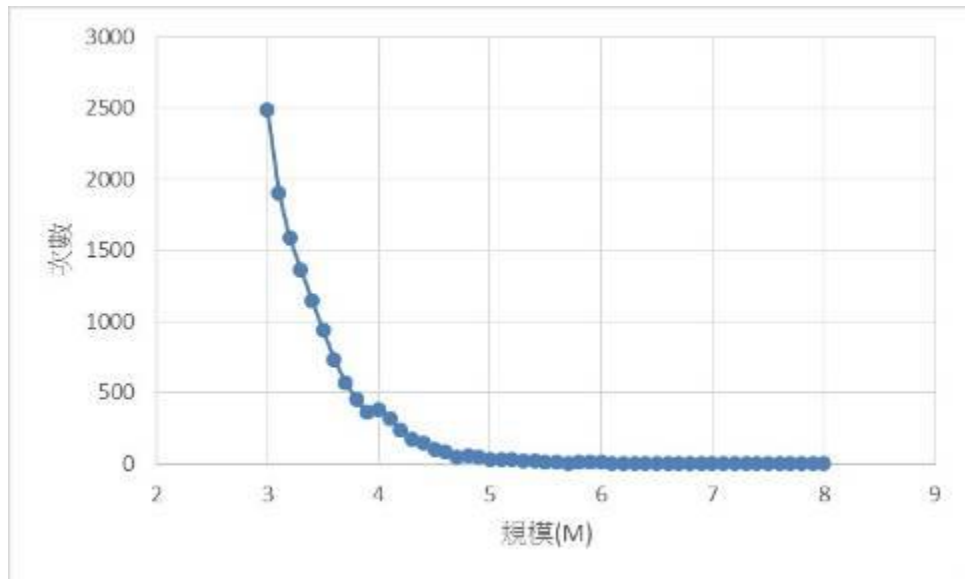


圖 16、2000~2014 美國境內地震規模與發生次數統計圖

我們懷疑此圖形可能呈現對數關係，所以將頭(次數過少易導致誤差過大)尾(儀器精密度不足)的資料去除後次數取 log，發現可以繪製出一個高度相關的一次函數圖形。

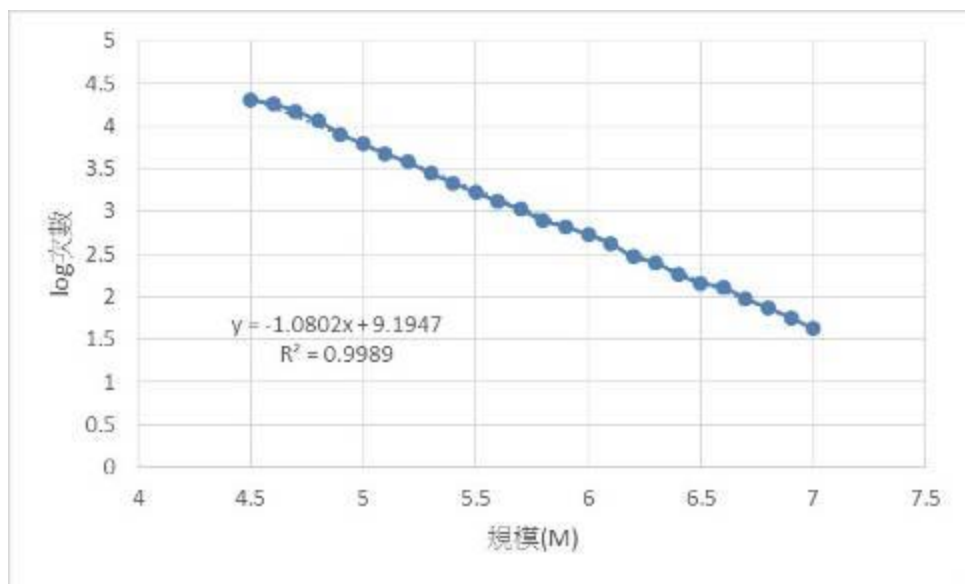


圖 17、2000~2014 全球地震次數取對數值與規模關係圖

2.我們探討大尺度與小尺度區域範圍資料選取規模範圍的可信度差異。

為了方便數據分析與比較，我們將 2000~2014 年全球各規模地震次數與規模關係圖改為平均每年各規模發生次數(頻率)與規模關係圖。以 0.1 規模為間距，每年各規模平均發生次數的 log 值為縱軸，規模為橫軸繪製出圖 18、19。從兩張圖的斜率值比較發現差異極大，但在圖 19 其 R^2 數值過低 (0.5579) 而信度不足，猜測主要儀器分布密度影響無法測得遠距

小規模地震。

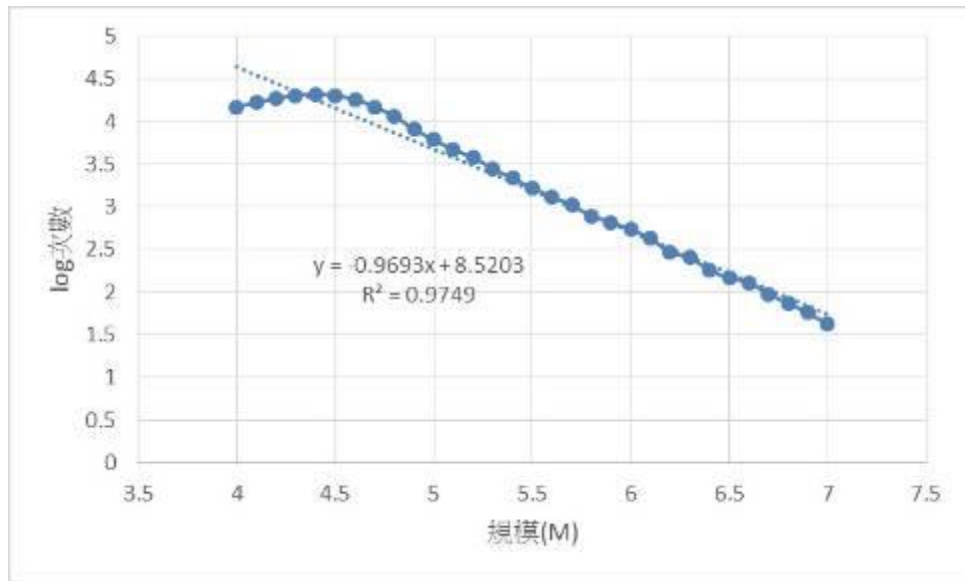


圖 18、全球規模 4-7 地震與 log 發生頻率圖

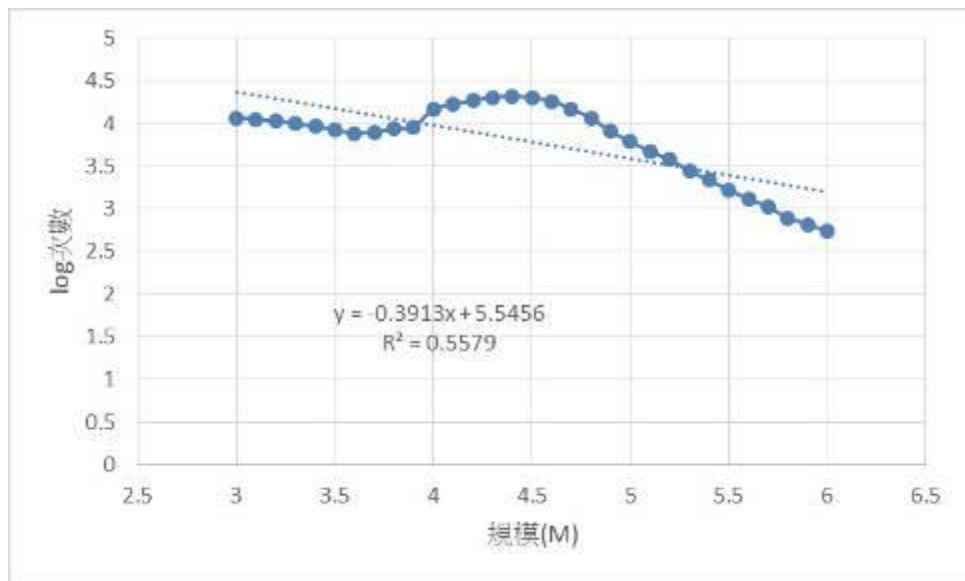


圖 19、全球規模 3-6 地震 log 發生頻率圖

同時，小範圍的地震資料，以美國境內資料為代表，也做相同的處理，繪出圖 20、21。美國主要地震發生在西部的聖安地列斯斷層，其小規模地震的 R^2 值較大，顯示其代表性較大規模地震高。由小規模地震的迴歸直線式

$$Y = -0.9216X + 6.171$$

$Y=0$ 帶入此式， X 約等於 6.7，也就是說每十五年約發生一次規模為 6.7 的大地震。

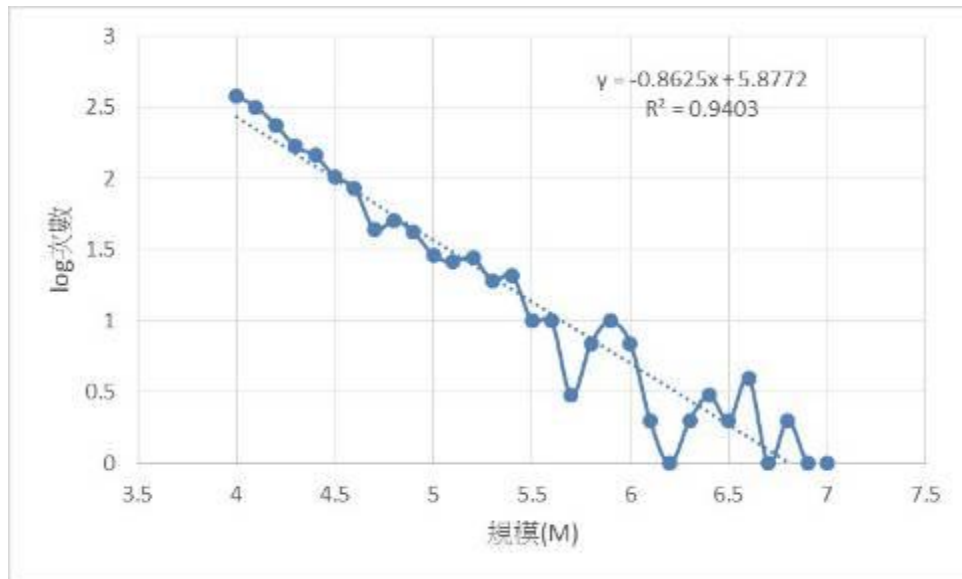


圖 20、美國規模 4-7 地震 log 發生頻率圖

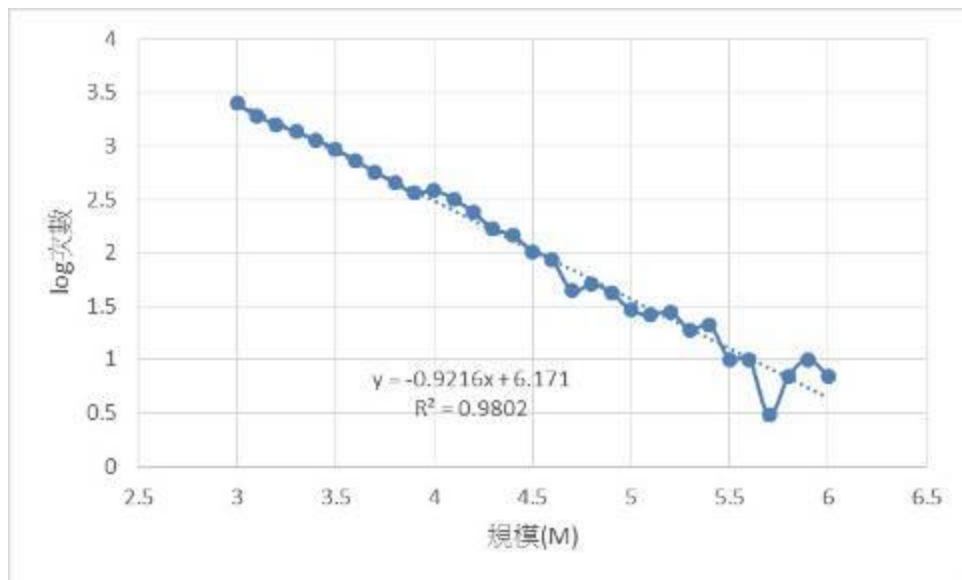


圖 21、美國規模 3-6 地震 log 發生頻率圖

由上四圖相關係數可見小範圍資料由於資料數較少，大規模地震發生次數不多，所以小規模資料(規模 3~6)較具參考性；另一方面，全球地震由於測站密度不足，導致精密度不及小範圍，同時大地震次數也較多，所以大規模資料(規模 4~7)較具參考性。

3.同時，全球對數圖的斜率大於美國對數圖，我們觀察到資料地區範圍大小與發生頻率之間的關係。以規模同為 8 的大地震而言，帶入美國境內的關式。

$$Y = -0.9216 * 8 + 4.9949 = -2.3779$$

$$10^{-2.3779} = 0.00419$$

平均一年 0.00419 次，換言之，每 238.663 年一次。而以規模 8 帶入全球關係式。

$$Y = -0.9693 * 8 + 7.3442 = -0.4102$$

$$10^{-0.4102} = 0.38887$$

平均每年 0.38887 次，約 2.572 年一次。

全球發生規模 8 的大地震頻率較小區域的美國高，此差異明顯與範圍大小相關。

但無論是那個區域地震，其能量及頻率均符合此關係式。

二、分析板塊邊界時間與能量累積的關係

1. 繪製出台灣地區，縱軸為能量(erg)、橫軸為天數的地震能量釋放累加圖及其殘差圖。其中圖 23 的黃點和橘字標示出大地震的規模。

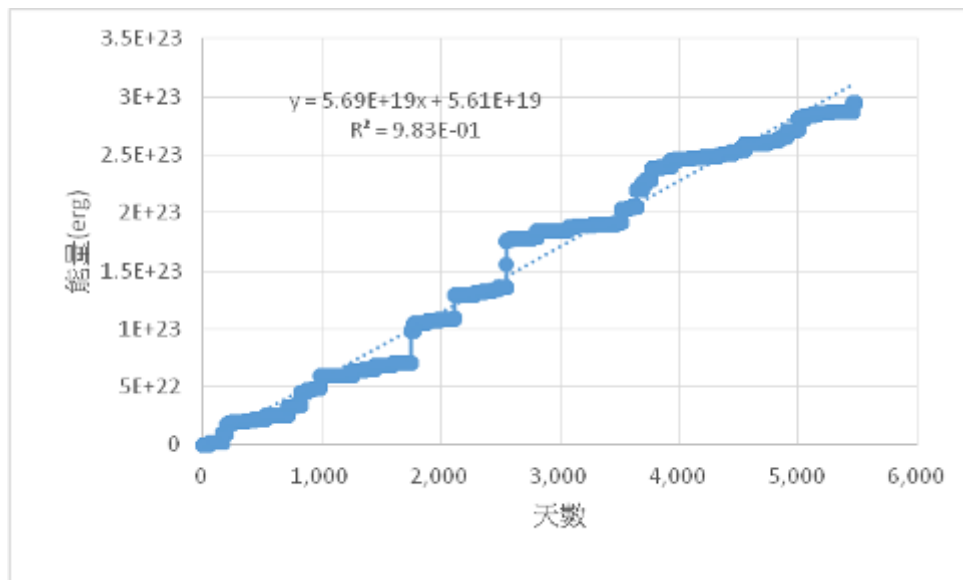


圖 22、台灣 2000~2014 地震釋放累加圖

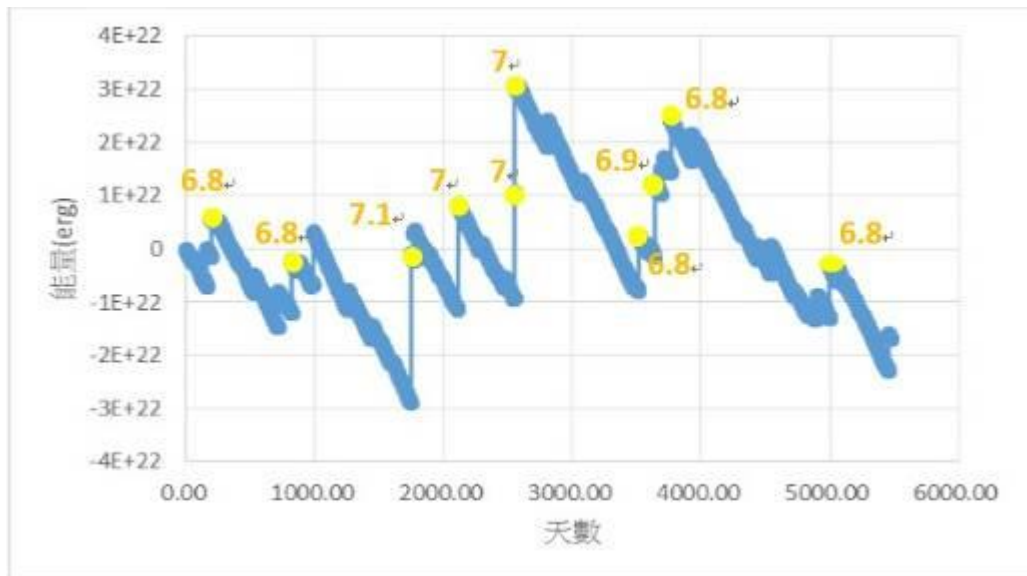


圖 23、台灣 2000~2014 地震能量釋放累加殘差圖

2.對地震規模而言，每差 2 規模，能量就差了 1000 倍。一個規模 5 的地震相當於 31.6 個規模 4 的地震，而一次規模 6 的大地震更需要 1000 次規模 4 的小地震才足以相比，可見小規模地震對於釋放能量的貢獻微乎其微。

假定每年板塊移動的距離皆是固定的，以台灣地區而言每年板塊移動約 7~8 公分，而作功正比於位移量，因此每年累積的能量理論上也是固定的。較小的地震能量對能量釋放的影響不大，因此大致會穩定分布於許多斜率固定的直線上(如圖 24 橘線)，而此斜率便是板塊邊界能量累積的速率。

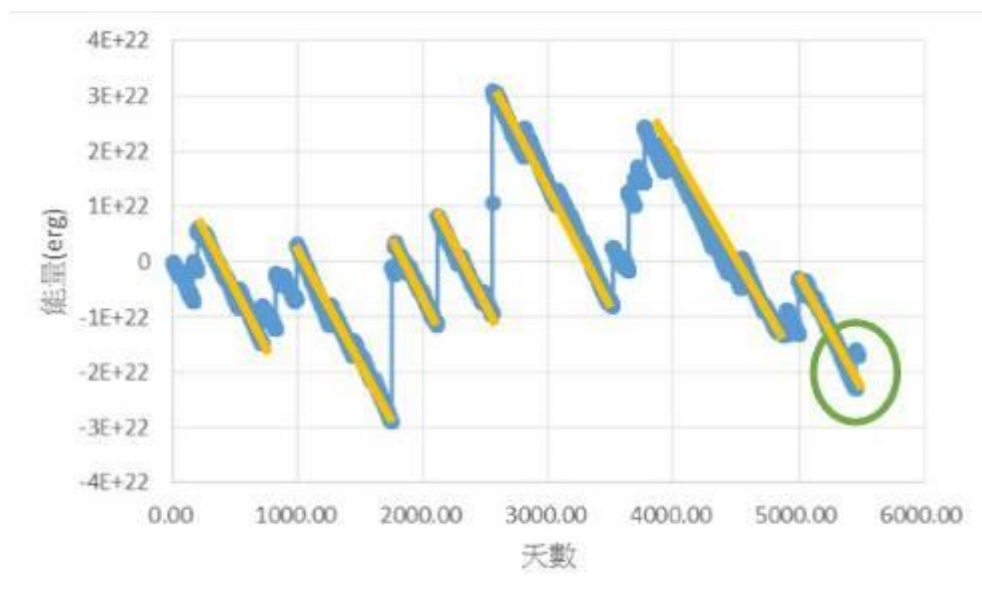


圖 24、台灣 2000~2014 地震能量釋放累加殘差圖

當釋放累加能量殘差位於負值區時，觀測值小於理論值，等到能量累積至一定程度，便

會發生大規模地震，將能量拉回到一定的區域。負值愈多的時候，發生大地震的機率就愈高。地震幾乎依循著此模式發生，而此結果也與彈性回跳學說的內容相符。從圖中顯示 15 年來台灣地區的殘差能量有一閾值（下限值），當能量殘差達到 -3×10^{22} erg 時就會回跳釋放能量，最大產生模規 7 左右地震，在綠色圓圈為接近閾值而有回跳的現象，為確定此現象是否正確，我們將時間尺度拉大在後面的討論再來談。

依據上述的理論邏輯，「小規模地震發生次數越多，斷層就能釋放能量，減少大地震發生的可能性」就成為一個錯誤的迷思。依據地震次數 log 值與規模關係圖，各規模地震的發生頻率是固定的，並不會因為短時間內小規模地震次數的增加而減少。而依照地震能量累積殘差圖，小規模地震對能量釋放的影響幾乎是微不足道的，因此大地震是一個不可避免的存在，使板塊與板塊推擠下累積的能量得以釋放。

3.將台灣三個地震帶分開繪製出 2000~2014 年地震能量釋放累加圖(如圖 25、26、27)以及能量釋放累加殘差圖(如圖 28、29、30)如下：

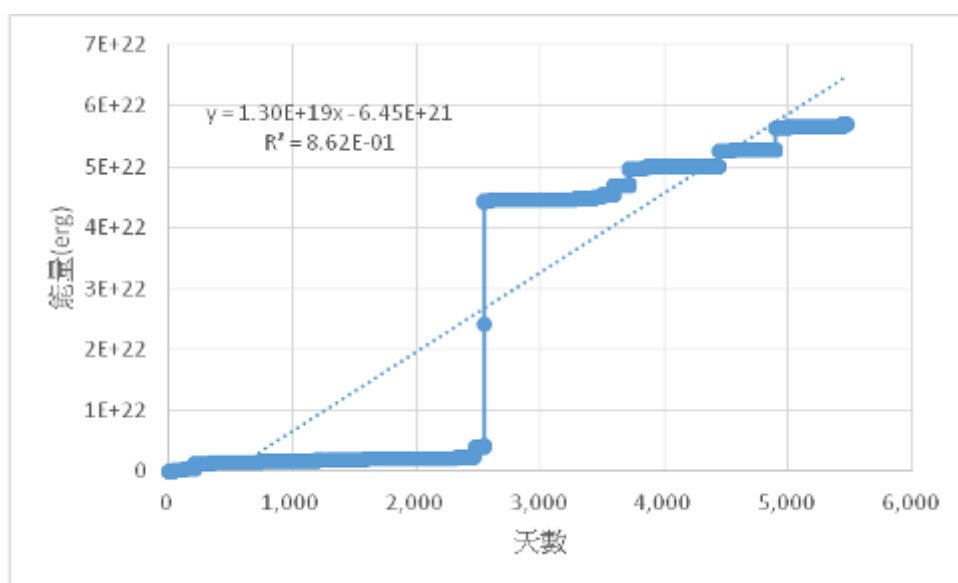


圖 25、西部地震帶能量釋放累加圖

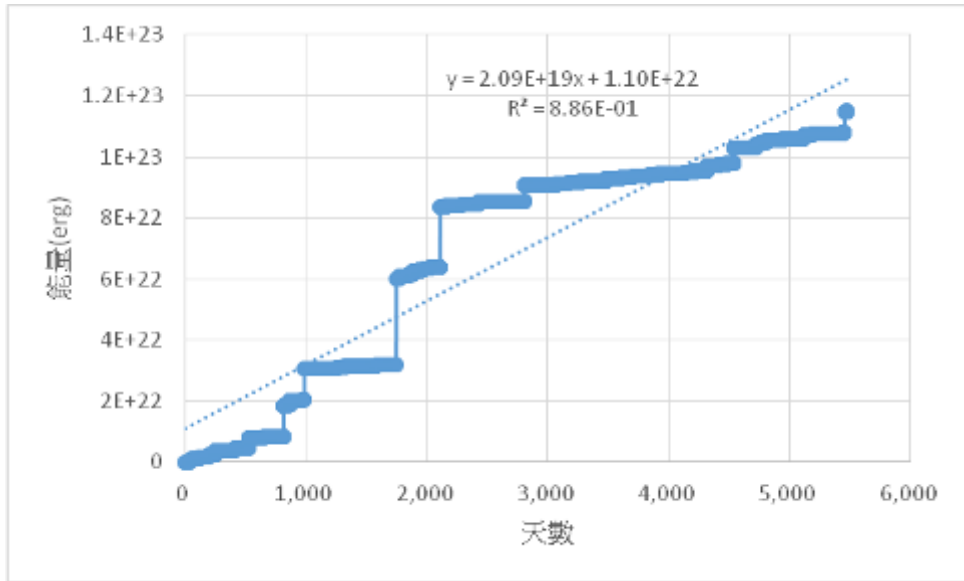


圖 26、東北部地震帶能量釋放累加圖

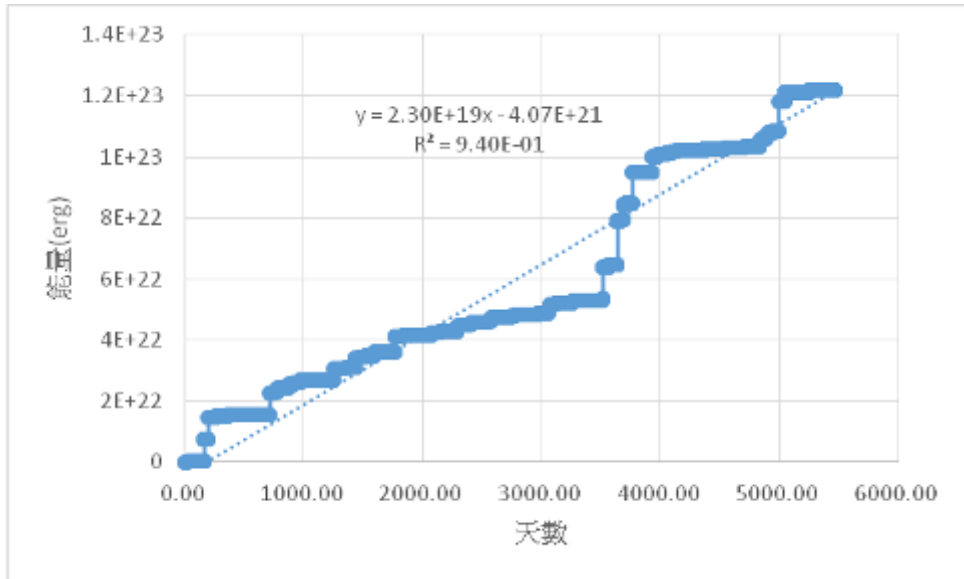


圖 27、東部地震帶能量釋放累加圖

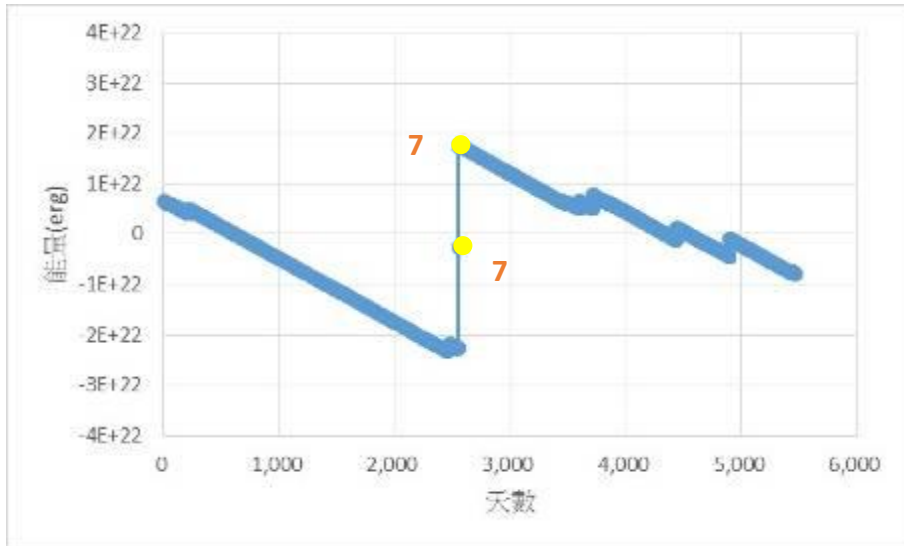


圖 28、西部地震帶能量釋放累加殘差圖

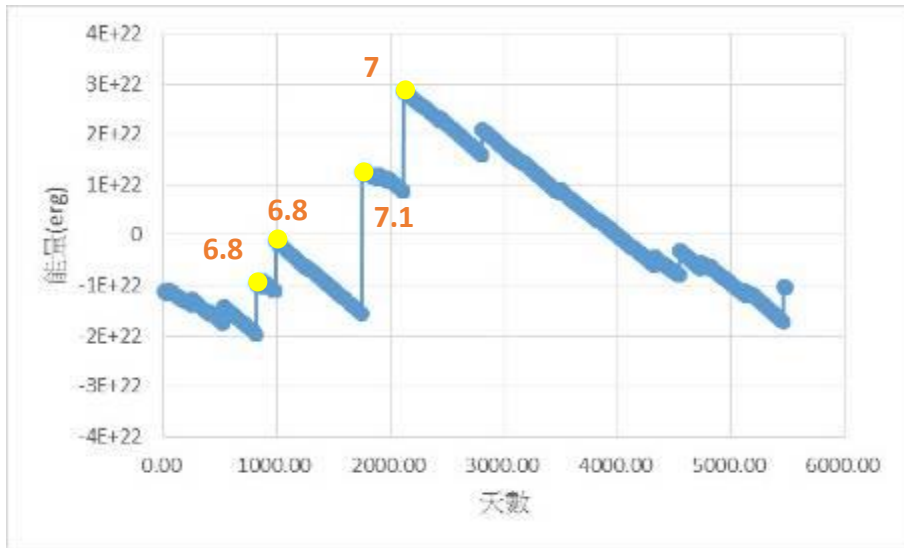


圖 29、東北部地震帶能量釋放累加殘差圖

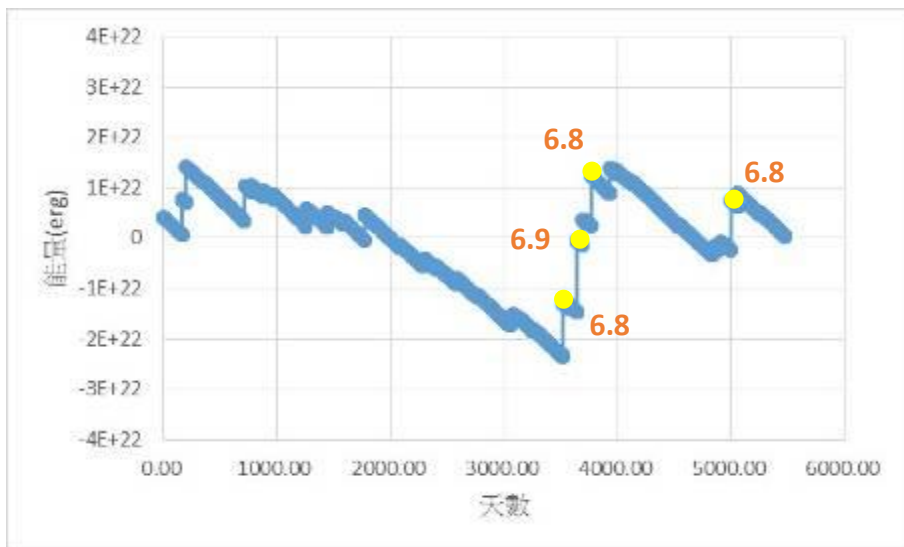


圖 30、東部地震帶能量釋放累加殘差圖

其中圖 25、26、27 代表三個區域地震帶能量釋放累加，其斜率為每天各區能量日累積量，分別為西部 1.30×10^{19} erg/天、東北部 2.09×10^{19} erg/天及東部 2.30×10^{19} erg/天，分區日累積量總和為 5.69×10^{19} erg/天和全區日累積量計算完全一致，表示三個地震帶的累積分開計算的結果會和全台一致。經加權後東北部相同長度能量日累積量約為 3.1×10^{19} erg/天，其中西部的能量累積約為其他區域的一半而已，而東北部較大，東部次之。

雖然西部地震帶累積能量慢，但從殘差圖比較(圖 28、29、30)顯示，其能量釋放方式為兩個規模 7 的大地震，在釋放能量上屬大能量一次爆發的類型，大地震不常發生，但一旦發生會有重大災害。相對的，東部及東北部地震帶的能量累積快，但多為幾次分段釋放。此外在三張殘差圖中無法明確判定分區地震帶有無閾值，除了在東北地震帶似有閾值，其他區域不明顯，可能和採樣數據不足、地震特性有關，不像在全台灣殘差中有明顯閾值。此外，在三張圖的最後殘差值顯示除了東部能量釋放較夠外，西部及東北部的能量有釋放不足的現象，有可能會發生較大的地震。

4.為比較大規模地震的影響，我們擴大蒐集地震資料時間的範圍，從 1995 年(包含 921 大地震)到 2016 年南台灣大地震之後。所繪製出的台灣地區能量釋放累加(圖 31)以及其殘差圖形(圖 32)如下:

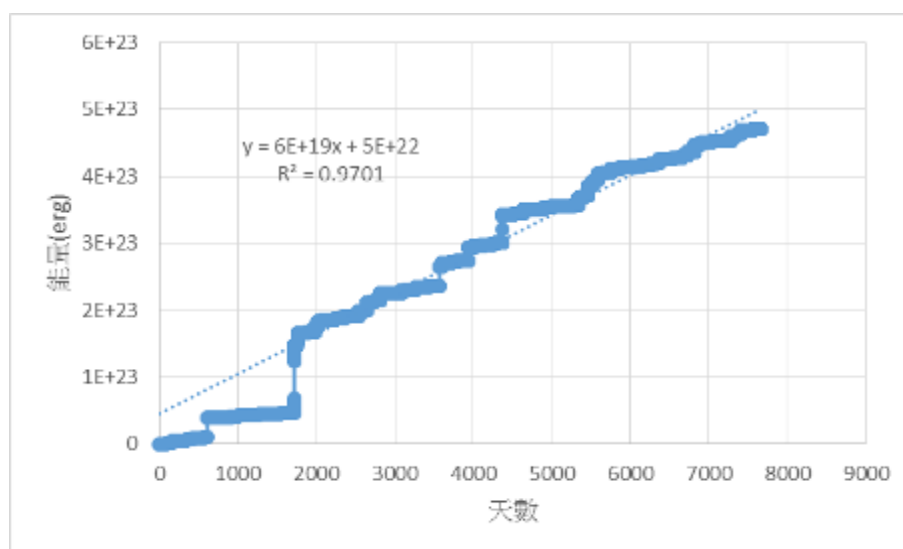


圖 31、台灣 1995~2016 地震能量釋放累加圖

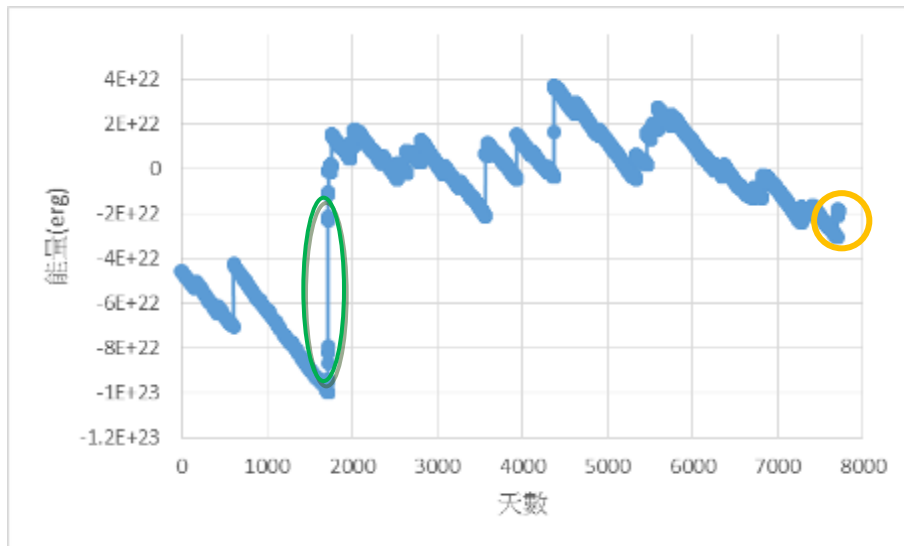


圖 32、台灣 1995~2016 地震能量釋放累加殘差圖

比較加入 921 前後資料的地震能量釋放累加圖（圖 22 及圖 31），顯示地震能量釋放並不會因為取樣時間增加而改變斜率，證明地震能量年增率是固定的，只要採樣時間夠長結果均相同。比較加入 921 前後資料的地震能量釋放累加殘差圖（圖 23 及圖 32）圖中出現了一個很大的負值區(綠圈)是 921 地震資料，受到 921 地震能量釋放的影響，2000 年以後的閾值上修了 1×10^{22} erg，這表示閾值會受採樣時間改變，但亦能從規模 7.3 的 921 地震閾值(約為 -1×10^{23} erg)和 2000 年之後規模 7 地震閾值(約為 -2×10^{22} erg)進行計算，兩者的閾值比約為 5，代入 $\text{Log } E = 11.8 + 1.5 \times M$ 公式計算可得當時會出現規模 7.4-7.5 的地震，和 921 規模 7.3 相近，可證明殘差愈大，會引發更大規模地震可能性，並可計算出其規模，最後一筆往回跳的資料(黃圈)則為南台灣大地震，其釋放後仍有 -2×10^{22} erg 的殘差，表示有可能出現最大值規模 7 地震的能量未釋放。

三、比較各板塊接觸帶地震特性差異並探討其原因

1.我們將規模 3 以上的資料都先繪製出 log 次數-規模關係圖，並以肉眼去除小規模地震向下偏移回歸直線的資料點，以及大規模地震可能因為時間太短而次數出現偏差的資料點。

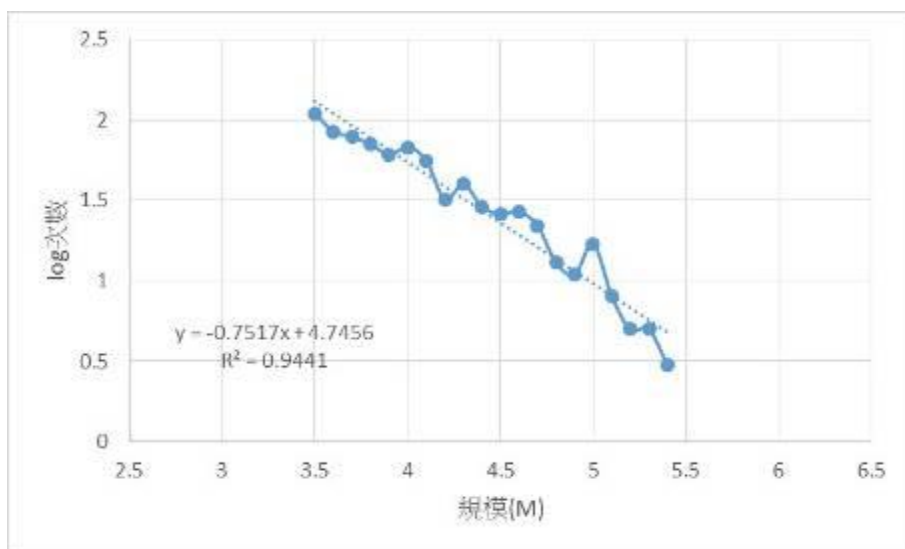


圖 33、地震規模與 log 次數關係圖(西部)

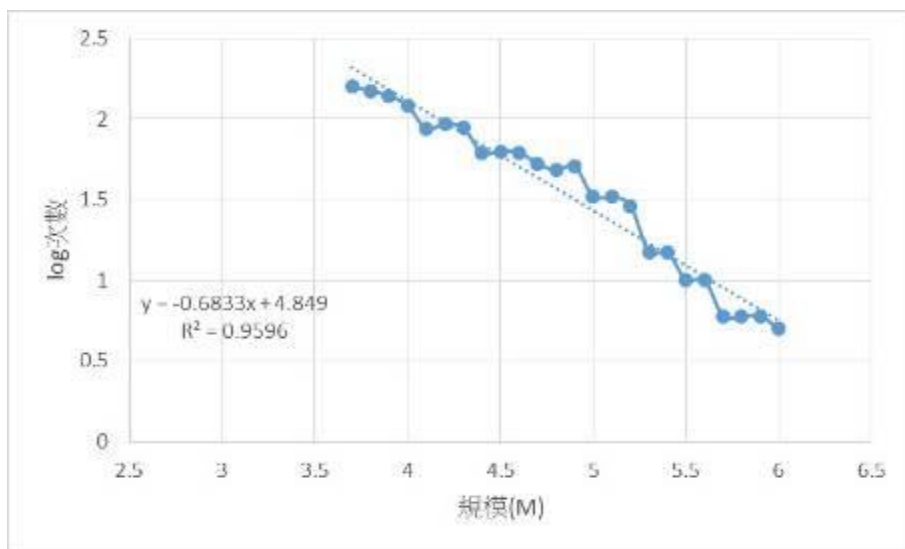


圖 34、地震規模與 log 次數關係圖(東部)

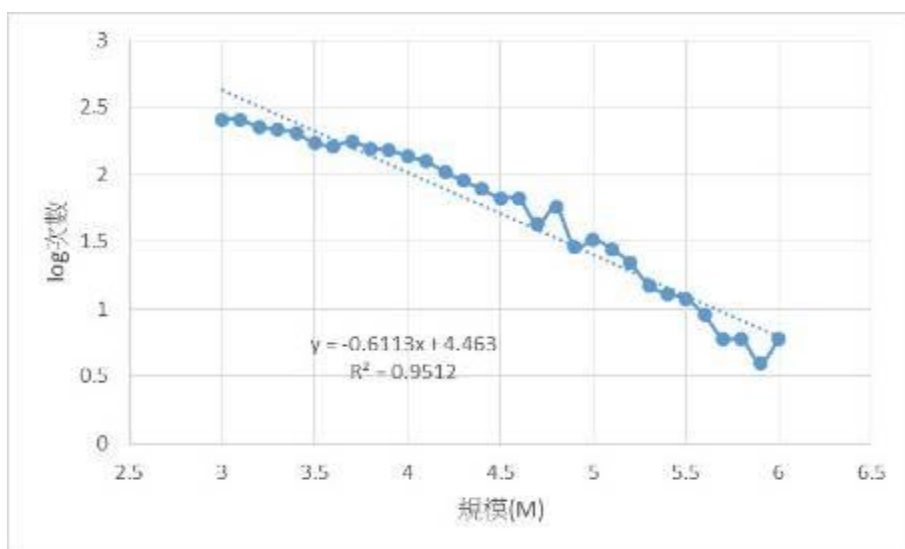


圖 35、地震規模與 log 次數關係圖(東北部)

經過處理後，圖形的相關係數平方(R^2)皆提升到 0.9 以上，表示這種處理方式的代表性相當高。從圖 33 (西部) 中的 X 軸交點為 6.3，顯示西部地震帶出現規模 6.3 的大規模地震出現機率為每 15 年可能有 1 次。從圖 34 (東部) 中的 X 軸交點為 7.1 及圖 35 (東北部) 中的 X 軸交點為 7.3，東部及東北部出現大地震的可能性高。從圖 33、34、35 三張圖中的迴歸線結果，計算理論得到從規模 4.0-7.0 的地震累加釋放能量，和實際釋放量來比較，得到下列表格，顯示其所得數量級一致。但有二個區域的地震釋放較為異常，一是東北部地震帶實際釋放量遠低於理論值，差了約 4.5×10^{22} erg，約為一個規模 7.2 的地震，二是西部較預期釋放量偏高，但出現在西部規模 7 的地震一天連續 2 次釋放 (規模 7 能量約 2×10^{22} erg)，其出現位置在恆春西南近海是否為區域劃分所造成的問題無法排除，需再釐清。但無論是(實際/理論)或是地震殘差圖比較均暗示東北部地震有較大的機會出現大規模地震，可能需要再注意。

區域	實際累加釋放能量	理論累加釋放能量	(實際/理論)
東北	1.18E+23	1.64E+23	0.72
東	1.22E+23	1.33E+23	0.90
西	5.80E+22	3.82E+22	1.52

地震規模與 \log 次數關係的斜率值亦可分析地震頻率特性，斜線愈平代表各規模地震出現的頻率相近，也就是多次不同規模地震分段釋放能量；斜線愈斜代表小規模地震出現多而大規模地震出現頻率較少，若有出現大地震為一次爆發性的地震。由以上推論來討論全球地震(圖 17)斜率為-1.08 及美國地震(圖 21) 斜率為-0.92，顯示在美國部分地區位在地震密集帶的斜率會較全球平緩。

在台灣地區的三個地震帶分析其斜率東北部-0.61、東部-0.68 及西部-0.75，斜率均較全球及美國小，表示台灣位在地震密集區。其中東北部位在向菲律賓板塊向北穩沒帶其斜率偏小而平緩，地震規模大且易有分段釋放。而東部及西部地震帶均為歐亞板塊向東隱沒作用，形成西部的造山帶及東部的隱沒帶造成能量分散，而從東部斜率較西部平緩顯示此作用主要的能量仍在東部釋放，西部規模小但易出現爆發性的大地震，和前面的分析結果一致，可能造成二個地區殘差圖無法判定閾值的主因。西部地震帶在 2000~2014 年間的地震資料數是 1428 筆，相較於東北部的 3830 筆以及東部的 2486 筆明顯少上許多，上列數據均和前面各區地震能量累積有關。

四、信度分析

1.不同 15 年比較

(1)圖 36 為 1995~2004 年與 2005~2014 年的規模-log 次數關係圖，兩者的回歸直線斜率相差約 7.41%、截距差約 4.33%，可視為相同，代表 921 大地震後的測站密度增加對規模 4 以上的地震精準度並無太大影響，也代表我們所做出的規模-log 次數關係圖不會隨選取的時間不同而改變，有相當的可信度。這張圖同時也證明了「921 大地震之前總地震次數有減少」的說法是錯誤的，否則 1995~2004 年的圖形應當向下平移。

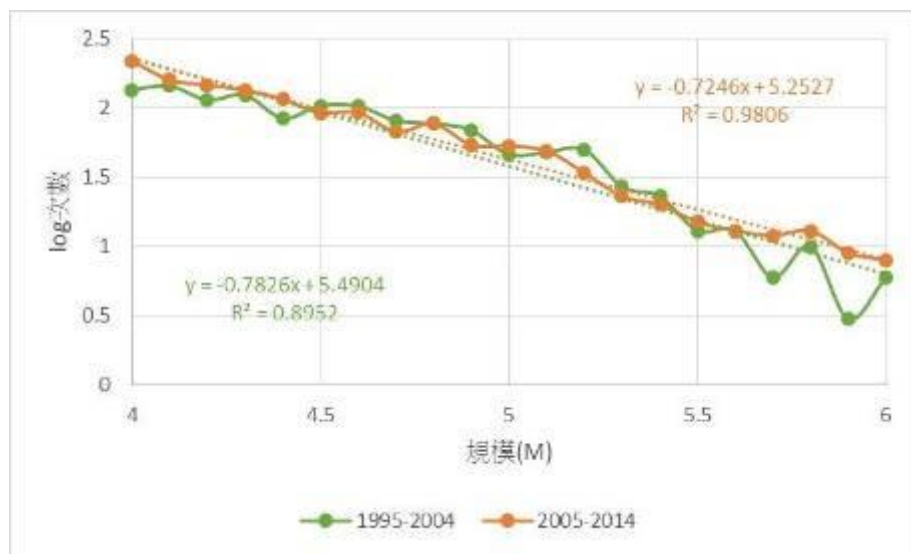


圖 36、不同 10 年規模與 log 次數關係比較圖

(2)圖 37 為包含 921 大地震的能量釋放累加圖，與圖 22 不包含 921 大地震的能量釋放累加圖做比較。兩圖的斜率相差了 37.5%，是由於 921 大地震出現的偏差所造成，也可能和取樣時間有關，若取樣時間再向前數值可能會更接近；但其斜率變化仍在合理範圍，顯示若能長期以此種模式觀察地震能量釋放，便有可能找出每個時間點發生大地震的機率。

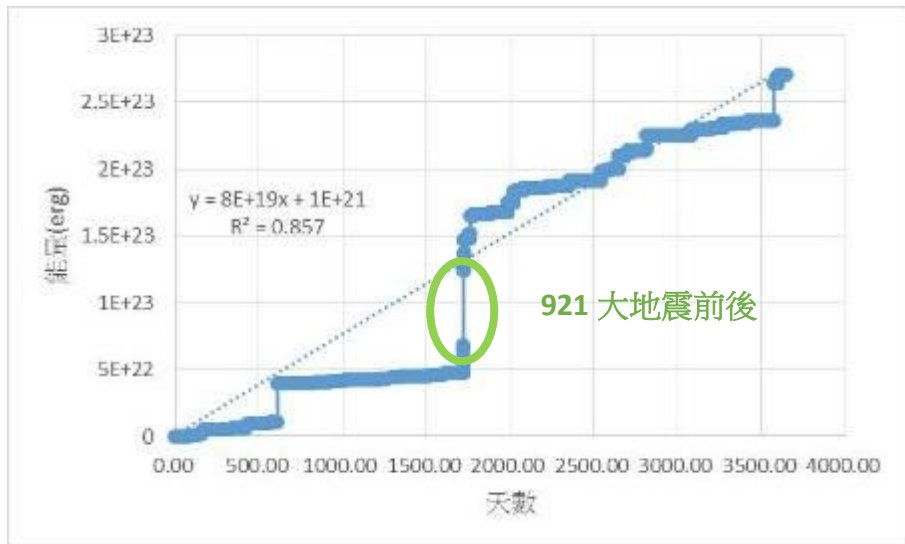


圖 37、1995~2004 年台灣地震能量釋放累加圖

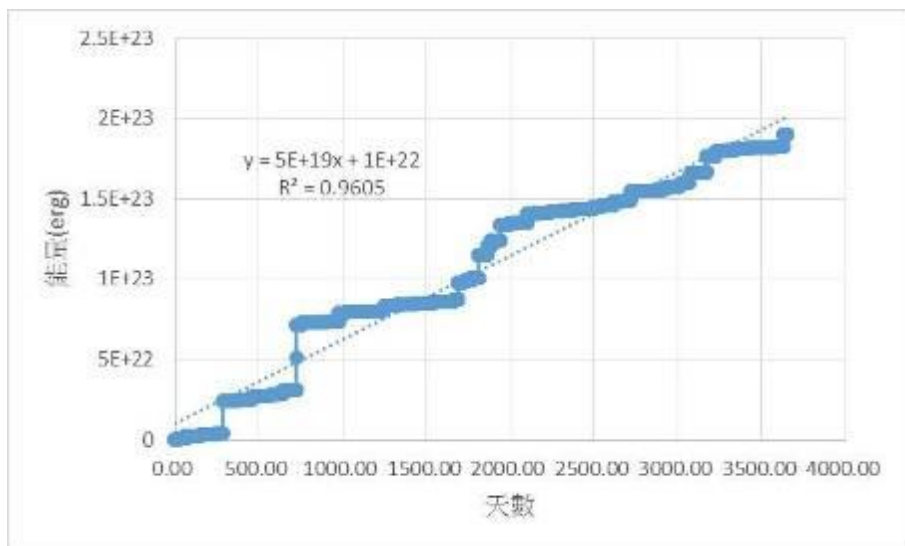


圖 38、2005~2014 年台灣地震能量釋放累加圖

2.不同時間長短比較

(1) 圖 39 為短時間(以 2000~2009 年為代表)與長時間(以 2000~2014 年為代表)的規模 -log 次數關係圖。兩條回歸直線的斜率差不多，10 年區間的線為 15 年區間的向下平移，代表時間長短只有影響截距，採樣時間愈長，地震規模愈大。以 15 年及 10 年的截距平移量差距估計為 $\log(15/10)=0.176$ ，規模增加量為 $0.225(0.176/0.78)$ ，在 15 年的 X 軸交點為 7.33，而 10 年的 X 軸交點為 7.06 的差值為 0.266，誤差約為 15%。

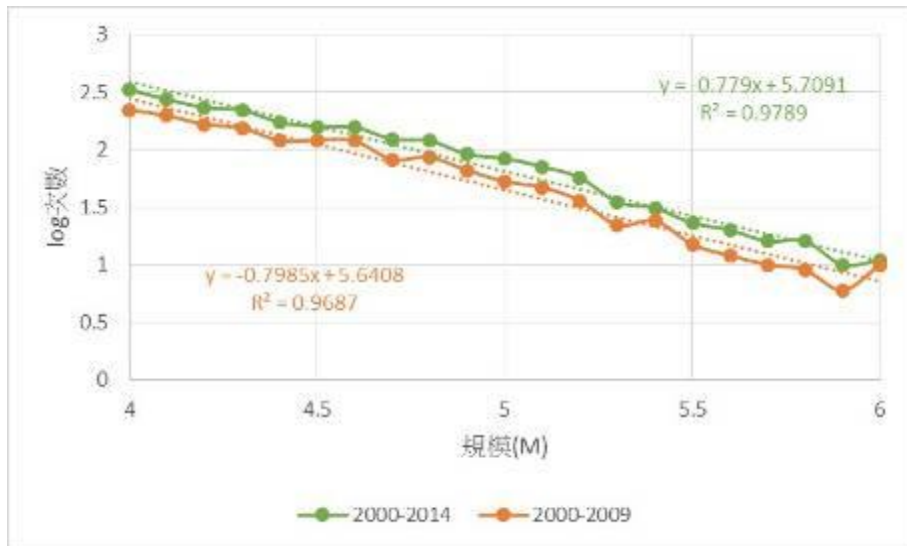


圖 39、不同時間長短地震規模與 log 次數關係比較圖

(2)圖 40 為短時間(以 2000~2009 年為代表)的地震能量釋放累加圖，與圖 38(以 2000~2014 年為代表)相比較，兩者的斜率完全相同，短時間的圖形則為長時間的向下平移。顯示我們所分析出的能量累積速率並不會隨選取時間的長短而改變，具相當一致性。

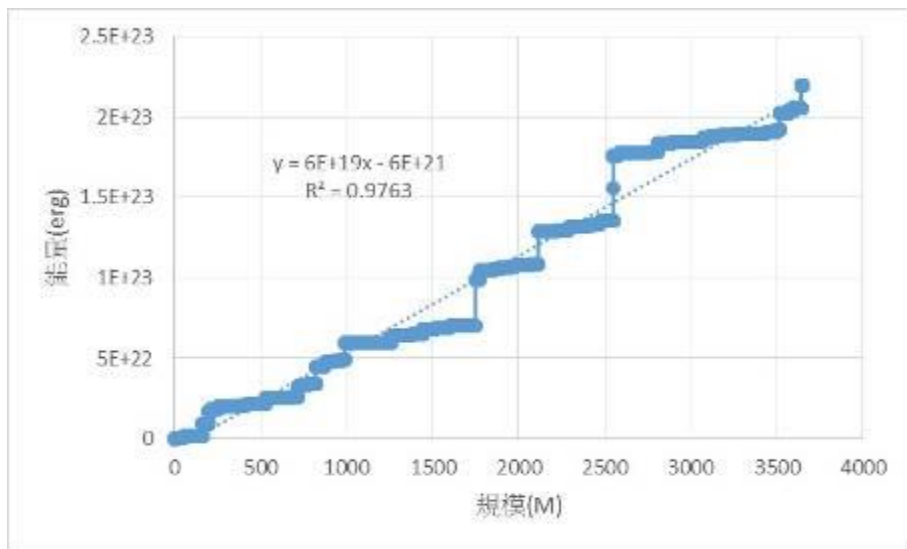


圖 40、2000~2009 年台灣地震能量釋放累加圖

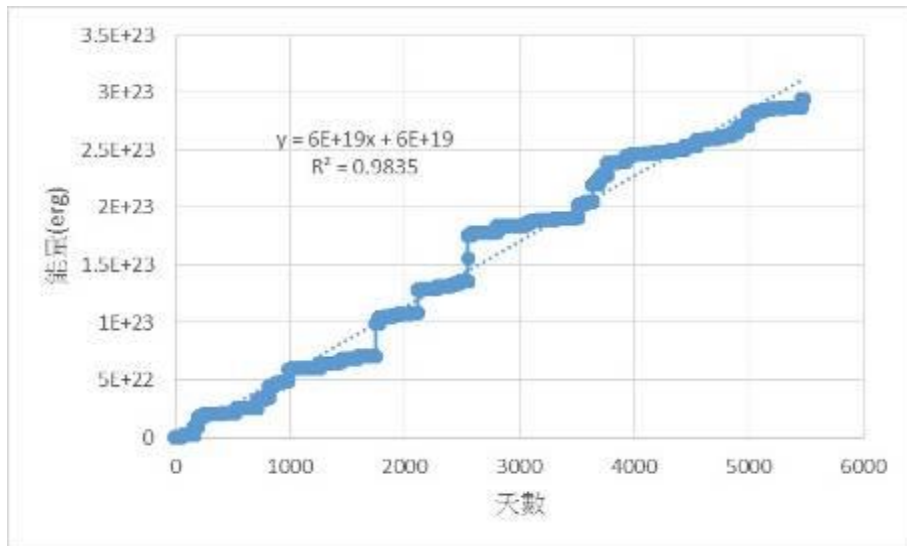


圖 41、2000~2014 年台灣地震能量釋放累加圖

3.不同空間大小比較

圖 42~44 為三個地震區大範圍與小範圍 log 次數-規模關係圖。而小區域的回歸直線雖然看得出類似大區域回歸直線向下平移的樣子，但是斜率並不完全一樣。我們可以由原理三的 GPS 板塊運動圖得知，縱使在同一個地震帶，各地的地殼變形量還是有不算小的差異，由此造成選取各區小範圍及大範圍做出的 log 次數-規模關係圖斜率會有差異。

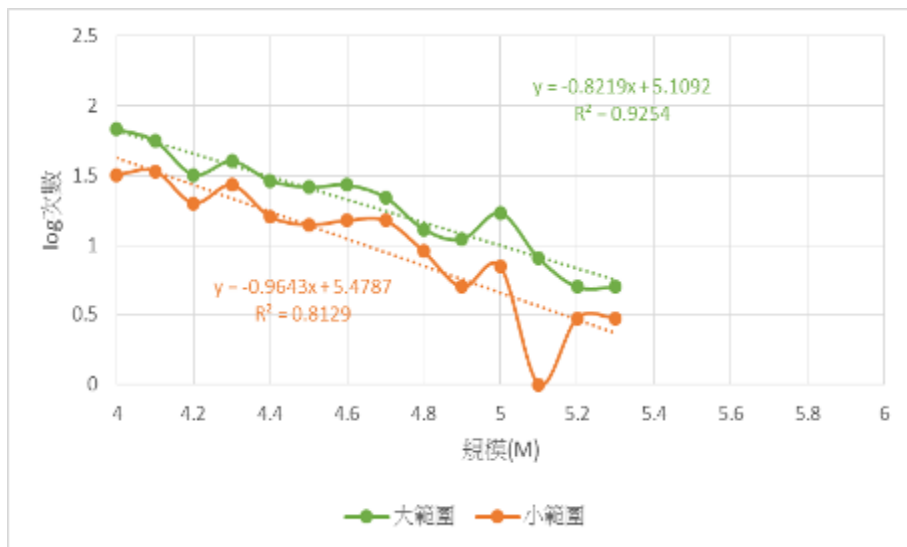


圖 42、西部地震帶不同空間大小地震規模與 log 次數關係比較圖

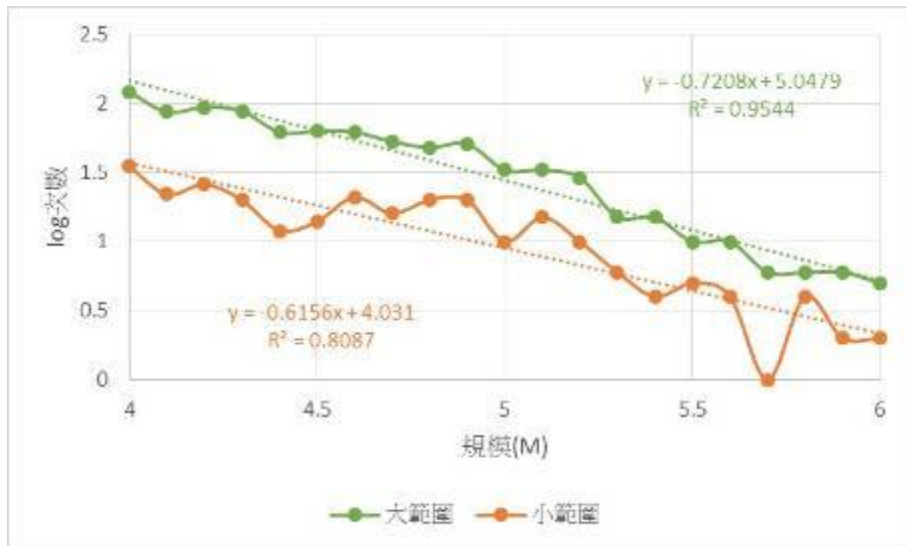


圖 43、東部地震帶不同空間大小地震規模與 log 次數關係比較圖

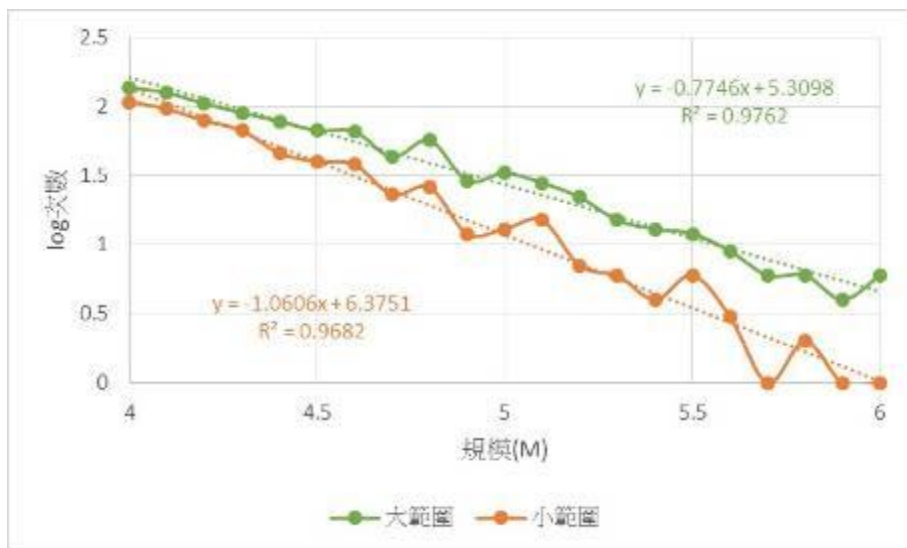


圖 44、東北部地震帶不同空間大小地震規模與 log 次數關係比較圖

陸、 結論

- 一、 各個地震規模與其發生頻率對數值作圖，會呈現一次函數關係，而此對數圖形在各地區皆呈現差異，可代表此區域的地震頻率特性，地震密集帶的斜率愈平緩，其能量累積愈多，大地震的頻率也比較高。
- 二、 小規模地震能釋放的能量非常有限，從能量累積與天數關係所繪成的殘差圖上可以發現，他們大致分布於斜率固定的斜直線上，而此斜率便代表板塊邊界的能量累積速率。由於小規模地震釋放能量少，縱使次數遠多於大地震，但主要的累積能量還是倚靠較少發生的大規模地震來釋放。
- 三、 由「地震規模與發生頻率關係」、「大規模地震才足以釋放板塊擠壓的巨大能量」此兩個觀點，便可以共同推翻常見的迷思「小地震發生愈多，釋放能量越多，就少一點大地震發生的可能」的說法。
- 四、 將台灣地區三個地震帶的資料分開比較，地震發生頻繁且能量累積最大的是東北部地震帶，其次是東部地震帶，最少的是西部地震帶。西部地震帶在釋放能量上屬大能量一次爆發的類型，大地震不常發生，但一旦發生會有重大災害。
- 五、 在短時間內，一地的地震規模與發生頻率關係圖，若在短時間內大規模地震發生頻率較長時間統計來的少，大規模地震發生的可能性就較高。觀察地震能量累積的殘差圖，若長期資料出現在負值區較大的位置，大規模地震發生的可能性也較高。

柒、 參考資料

- 1.中央氣象局網站 <http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
- 2.USGS 網站 <http://www.usgs.gov/>
- 3.溫國樑、張毓文、陳俊德、黃雋彥。2011。台灣地區地震潛勢評估之研究。地球物理研究所研究計劃。國立中央大學地球物理研究所、國立地震工程研究中心。
- 4.蒲新杰、郭鎧紋、何美儀、林正洪、呂佩玲。2012。以地震累積能量法探討全球地震發生之特性。氣象學報第 49 卷第一集:37~50。
- 5.數位典藏與數位學習國家型科技計畫網站 <http://nadm.gl.ntu.edu.tw/nadm/cht/index.php>
- 6.國家地震工程研究中心 <http://www.ncree.org/>

【評語】 051904

本作品由隨機無序的地震目錄中整理出地震能量釋放規律，藉由分析地震發生頻率與規模關係理出台灣地區的發生特性，本作品資料分析嚴謹，成果具體，研究報告整理有條理完整，未來宜增加完整文獻回顧，以獲更深入成果。GPS 的變形資料可以提供非地震型態的能量釋放，未來宜增加討論以增研究的完整性。