

中華民國第 65 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
(鄉土)教材獎

051903

臺灣東部群震週期與大地震機率的分析

學校名稱： 國立臺南女子高級中學

作者： 高二 田謙容 高二 蕭喬勻	指導老師： 郭怡君
---------------------------------	------------------

關鍵詞： 群震、週期、地震機率

摘要

本研究使用 1973-2023 年地震數據，以 DBSCAN 進行臺灣東部、東北部及選定區域的群震分群，自相關分析及傅立葉變換探討其週期性，核密度估計推測群震後發生大地震的機率，並以群震及大地震數據擬和方程式。結果顯示選定區域群震空白期為 9.28 年，群震週期為 6.18 年；東北部群震空白期為 13.35 年，週期無法確定；東部群震週期為 7.27 年，空白期無法確定。選定區域、東北部及東部群震後 200 天內發生大地震的機率分別為 9.86%、12.06%及 6.41%。方程式顯示選定區域及東部內群震總能量與群震和大地震時間差呈負相關，東北部為正相關。將三區域 2024 年的群震及地震數據代入方程式，最佳標準化殘差值分別為 0.15、-0.01 及-0.93，方程式具預測價值，但仍需更多數據支持。

壹、前言

一、 研究動機

地震災害常發生於板塊交界，群震的發生原因為地殼受應力擠壓，地質較脆弱的區域先產生破裂，累積的應力較少而導致地震規模小^[1]。若發生群震的周圍一直無地震發生，可能代表該區一直在累積應力，未來有可能產生較大的地震。

位在環太平洋地震帶上的臺灣常發生帶來巨大影響的地震，如何預測地震的發生一直是許多人的研究目的。由於 2024 年 4 月花蓮地區接連發生規模大於 6.0 的地震及位置集中的小規模地震，我們開始思考群震與大地震之間是否存在關聯性，想知道群震是否可能為大地震事件的前兆，希望透過資料分析找出不同區域內群震發生的規律性及群震與大地震發生的關聯性，並了解臺灣東部不同區域的地質活動模式，藉此增加對於不同區域的地震預測的可能性，並讓更多民眾注意到群震所帶來的影響。

二、 研究目的

- (一) 透過自相關性分析及傅立葉變換，分析群震的時間分佈及規律性。
- (二) 透過核密度估計以及機率密度圖，分析群震和規模高於特定值的大地震發生的時間相關性及群震後發生大地震的機率。
- (三) 透過迴歸分析觀察群震釋放的總能量與群震和大地震間隔時間的關係。
- (四) 比對不同區域的數據分析結果，並與參考文獻的預測或記錄之結果進行比較。

貳、研究設備及器材

- 一、 電腦
- 二、 程式撰寫平台：Google Colab
- 三、 程式資料包：Python GMT
- 四、 線上資料庫：臺灣地震與地球物理資料管理系統

參、研究過程與方法

一、研究過程

(一) 實驗數據取得

1. 為避免各年份地震規模區間不同，由台灣地球物理資料管理系統下載規模 3.0 以上的地震資料。
2. 繪製地震分布圖。
3. 研究範圍區分

本研究著重在影響東部安危之陸地與近海的地震，數據範圍區分如下（圖 2）：

(1) 東部：

界線南端為卑南溪出海口垂直海岸線向內外延伸 30 公里，西端為中央山脈中央，東端為海岸線外 30 公里之連線，北端與東北部為界。地震直接肇因於菲律賓海板塊與歐亞板塊碰撞，南端震源深度較深者與板塊隱沒作用有關。

(2) 東北部：

參考中央氣象署地震帶的東北部地震帶劃分，唯東端以海岸線外 30 公里之連線為界。此區主要受沖繩海槽擴張作用影響，屬淺層震源活動地帶。

(3) 選定區域：

此區為地震密集處，界線西端為中央山脈中央連線，東端為海岸線外 30 公里之連線，南邊以菲律賓海、歐亞板塊交界帶南方 30 公里為界，北端為蘭陽平原跟中央山脈的交界。此區地震成因可能包含沖繩海槽張裂（上端）及菲律賓海板塊隱沒兩種板塊運動模式。

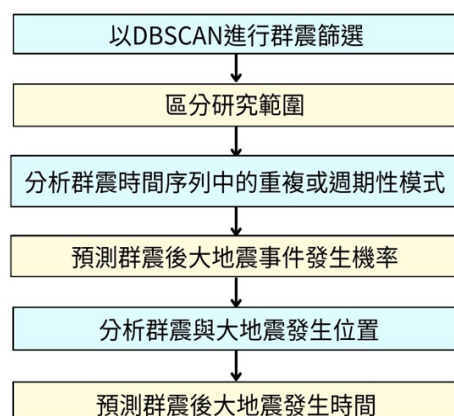


圖 1、研究流程圖（作者自行繪製）

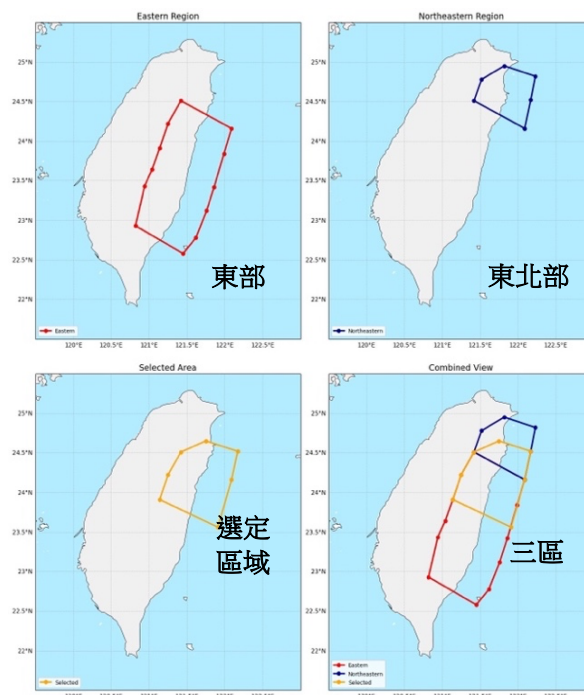


圖 2、研究區域範圍（作者自行繪製）

（二）群震數據分析

1. 群震的定義及篩選：

群震指在短時間內發生一系列地震，無法明確判斷出主震的地震型態。

相關文獻中對於群震篩選的定義不盡相同，本研究利用數量進行計算。為了使得群震樣本數足夠，最後決定皆以五天為單位計算地震數量，找出有五天內地震超過 30 個的年份。接著以 DBSCAN 分群法對符合篩選條件的年份之地震資料進行分群，確認各年份中每一群群震的起始及結束時間。

2. 計算群震發生的平均間隔天數，以此做為自相關分析的數值單位（Lag）。

3. 自相關性分析及傅立葉變換：

自相關性分析可用於檢測地震事件時間序列中的週期性，分析時間間隔與其自身在不同時間間隔（Lag）下的相關程度，其公式為：
$$\rho(k) = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2}$$
。透過繪製自相關性分析圖可以觀察到地震時間序列中潛在的重複性或週期性模式。接著將地震事件的時間間隔數據用於傅立葉變換，並將時間域信號轉換至頻率域，提取各頻率分量的強度，透過功率譜密度（Power Spectral Density, PSD）分析不同頻率下的能量分布，檢測可能的主導頻率。若在自相關圖中出現明顯的週期性峰值，並在傅立葉變換的功率譜密度圖中觀察到對應的主頻率，則可作為判斷此時間序列的依據。

4. ADF 檢定及殘差分析驗證：

使用 ADF 檢定（Augmented Dickey-Fuller Test）及殘差分析驗證數據檢測結果中的 p 值，驗證分析結果是否有意義。

5. 核密度估計以及機率密度圖分析：

計算群震與大地震事件時間間隔後，以機率密度與時間間隔繪出直方圖和平滑的核密度估計（KDE）曲線，推測群震發生後一定時間內發生大地震的機率，並比較不同地區及不同篩選條件的數據分析結果^[2]。

6. 群震與大地震位置圖分析：

以群震後發生大地震機率最高的時間間隔作為大地震選取標準，將地震事件根據位置作圖，觀察群震及大地震是否集中某一區域以及是否與群震位置重疊。

7. 群震釋放能量與群震和大地震間隔時間的關係：

將群震總能量換算成地震矩，以群震地震矩與大地震和群震時間差繪製散佈圖，進行迴歸分析，找出群震能量與之後大地震時間間隔的關係，並使用 2024 年的群震總能量數據預測群震後多久可能發生大地震^[3]。

二、研究方法

（一）自相關分析

自相關性分析 (Autocorrelation analysis) 是一種統計工具，用於量化時間序列中不同時間間隔的相關性。通過計算地震發生時間序列的自相關函數，可以揭示地震活動的週期性或規律性，找出群震活動可能的重複模式。方法為將群震事件轉化為時間序列，以事件發生時間間隔作為分析對象，計算不同時間間隔 (Lag) 下的自相關值，觀察其隨時間間隔的變化，從而分析群震活動的週期性與持續性。通過分析自相關函數的峰值位置及其增減特性，判斷群震活動的週期性及其持續性，以得出更加準確且具參考性的時間規律性。

（二）傅立葉變換

傅立葉變換 (Fourier Transform, FT) [4] 用於將時間信號轉換為頻率，幫助判斷地震活動的頻率特徵和週期性。傅立葉變換主要是將一個時間序列分解為一系列正弦波和餘弦波的組合，每個波具有特定的頻率、幅度和相位。通過分析頻率域中的幅度譜的峰值，可以識別時間序列中的主要週期。取得自相關分析中自相關值顯著或有特定遞增及遞減趨勢的時間間隔後，可同步將傅立葉變換中正弦及餘弦波的頻率峰值倒數以計算週期，得出準確及有參考性的群震發生週期。

（三）DBSCAN 分群法

DBSCAN 是一種基於密度的聚類演算法，可發現任意形狀的聚類並處理噪聲數據，並以第 k 近鄰法作為 Eps 值的尋找方法。分群法需要兩個參數，Eps 及 MinPts。Eps (ϵ , 半徑參數)：定義鄰域的半徑範圍，用於判斷哪些點是鄰域內的點。MinPts (最小點數)：定義一個區域內的最小點數，當某點的鄰域內的點數量大於等於 MinPts 時，該點被視為核心點。最初所有數據點會被標記為未訪問狀態，接著進行鄰域搜索，從一個未訪問的數據點開始，檢查該點的鄰域內是否有足夠的點數，即點數是否大於或等於參數 MinPts，若該點的鄰域點數達到條件，則將其標記為核心點，並將其作為新群的起點；否則該點會被標記為噪聲點，表示它可能是數據中的孤立點或異常值。接著擴散訪問核心點外的其他數據點，將所有鄰域半徑範圍內的點加入到同一個群中，重複上述步驟直至所有數據點都被訪問且已完成分群。

（四）核密度估計（KDE）

核密度估計為用於估計連續隨機變量機率密度函數的非參數方法，可透過一組數據樣本，利用平滑的核函數及核密度(KDE)的積分來生成一條連續的密度曲線，建立地震數據模型，量化及預測群震發生後一段時間內大地震發生的機率，並更清楚顯示群震後大地震發生機率最高的時間。

肆、研究結果

一、選定區域之群震分析

（一）群震數據提取

年份 \ 事件	事件 1	事件 2	事件 3
1986	05/13-06/24	05/31-07/26	11/03-12/30
1990	11/29-12/31		
1999	09/21-11/07		
2002	03/31-04/20	10/08-11/03	
2003	05/13-07/13		
2009	06/07-08/03	12/08-12/31	
2015	09/05-10/25		
2018	01/29-03/02		
2021	07/06-08/09	10/24-11/27	
2023	01/03-03/26		

表 1、選定區域群震發生的年份及日期

(二) 時間規律性

圖 3 結果顯示，2003-2021 年間群震以 3-6 年的間隔時間發生。1973-1986 年及 1990-1999 年群震發生的間隔時間較長，分別為 13 年及 9 年，可能為此區域較長的群震週期。

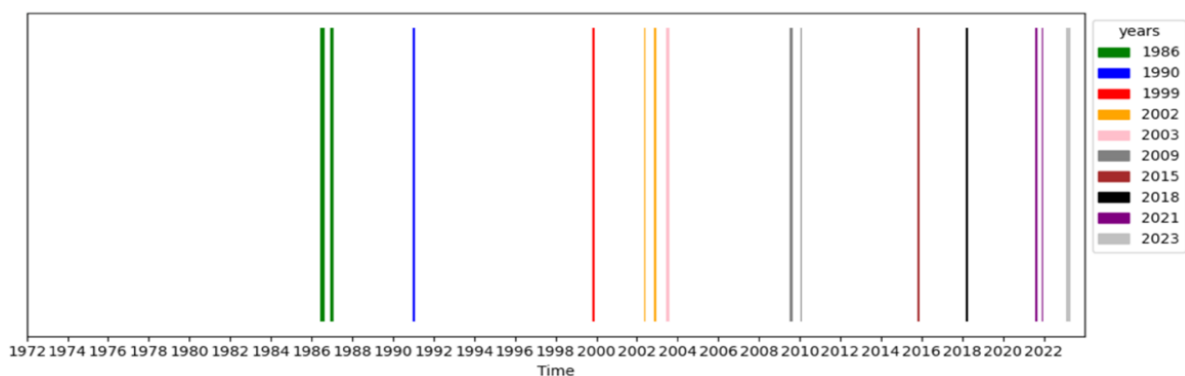


圖 3、選定區域內群震發生年份表示圖，長條的寬度代表地震群持續時間長度
(作者自行繪製)

為了確認圖 3 中群震的週期性，我們先找出選定區域內群震發生的平均間隔天數或單位時間間隔(Lag)，再以此單位時間間隔進行自相關分析。

將 1973 至 2023 年的時間長度除以這段期間內選定區域發生的群震數，選定區域的單位時間間隔(Lag)為 2.6 年。圖 4 自相關分析結果顯示，3 個單位間隔時自相關值(ACF value)顯著，其絕對值為 0.5。3 個單位時間間隔的長度約為 7.8 年，但由圖 3 無法觀察到以 7.8 年為單位的規律性。另外，時間間隔等於 4 個單位時也有較顯著的自相關值，4 單位的时间間隔約為 10 年，與群震在 1990-1999 年間約 9 年沒有群震發生的週期較接近，可推測系列群震可能有 9-10 年的週期性。

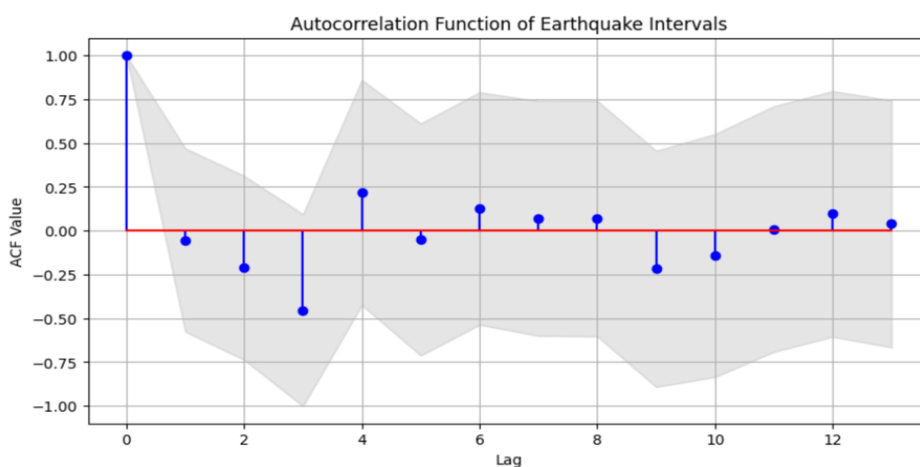


圖 4、1973-2023 年選定區域群震發生時間的自相關圖 (作者自行繪製)

接著我們以傅立葉變換計算更準確的週期數值，並再度驗證圖 3 系列群震空白期的週期性，觀察是否有其他的規律性。圖 5 為傅立葉變換的結果，圖中兩個峰值的頻率分別為 0.155、0.31 及 0.42，可知 1973-2023 年群震的發生時間可能存在兩個不同的週期或空白期：

(1) 0.155 為主頻率，其頻率的功率譜密度最大。主頻率倒數為 6.45 個單位時間間隔，將 6.45 個單位數與 2.6 年的單位時間間隔相乘後約為 16.7 年，但圖 4 中時間間隔為 6 時自相關值並未特別顯著，且未能由圖 3 中觀察到約 16-17 年的規律性，無法推測此週期性存在。資料由 1973 年開始，所以雖為參考圖中觀察到的現象，但約 16-17 年的規律性有可能為 1973-1986 年這個空白期的結果，如果再有更多之前的資料，或許可以驗證。

(2) 頻率 0.28 為功率譜密度的第二大值，此峰值較不明顯，頻率倒數為 3.57 個單位時間間隔，即 9.28 年，為群震的週期或空白期。該週期與群震在 1990-1999 年間的時間間隔接近，可能與本區的系列群震週期（空白期）相關。

(3) 頻率 0.42 為功率譜密度的第三大值，頻率倒數為 2.38 個單位時間間隔，即 6.18 年。該週期與群震在 2003-2015 年間的時間間隔接近，可能為此區域的群震週期。

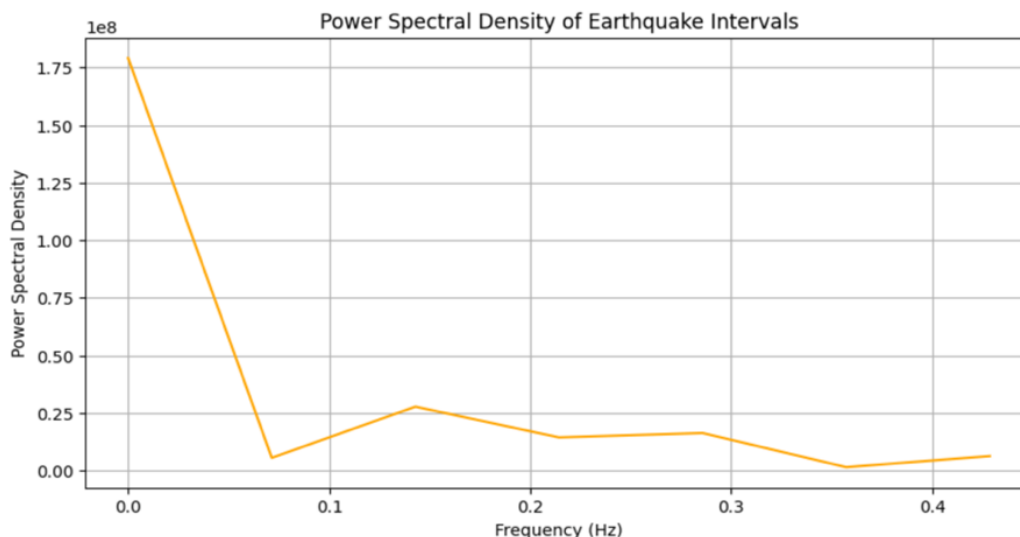


圖 5、1973-2023 年選定區域內群震發生時間之功率頻譜密度圖（作者自行繪製）

最後，利用 ADF 檢定(Augmented Dickey-Fuller Test)及殘差分析對數據殘差值進行平穩性分析。結果顯示 p 值為 0.001，遠小於 0.05，表示週期性分析結果是有意義的。

（三）群震與大地震發生時間的關係

大地震數量依規模選取標準不同而變。圖 6 至圖 9 中核密度估計曲線可知，距離群震發生後 200 天到 400 天內發生大地震機率較高。圖 8 顯示選取地震規模 ≥ 5.0 時，大地震發生機率最高的時間約在群震發生後 200~400 天，由 KDE 曲線下面積可知群震後 200 天內發生大地震機率為 9.86%，群震後 1000 天內發生大地震機率為 52.79%。

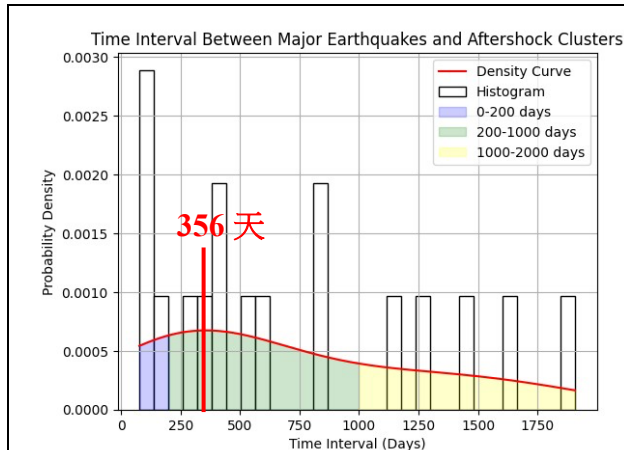


圖 6、1973-2023 年選定區域規模 ≥ 6.0 地震與群震發生時間間隔機率密度圖

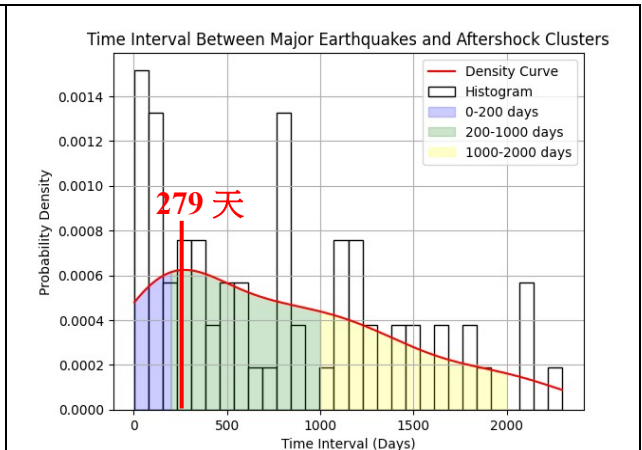


圖 7、1973-2023 年選定區域規模 ≥ 5.5 地震與群震發生時間間隔機率密度圖

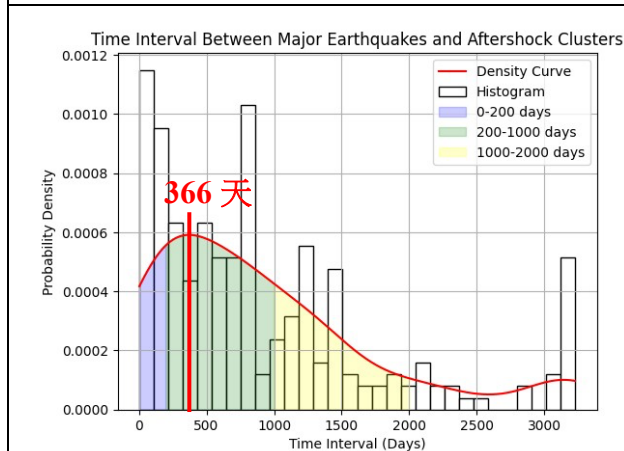


圖 8、1973-2023 年選定區域規模 ≥ 5.0 地震與群震發生時間間隔機率密度圖

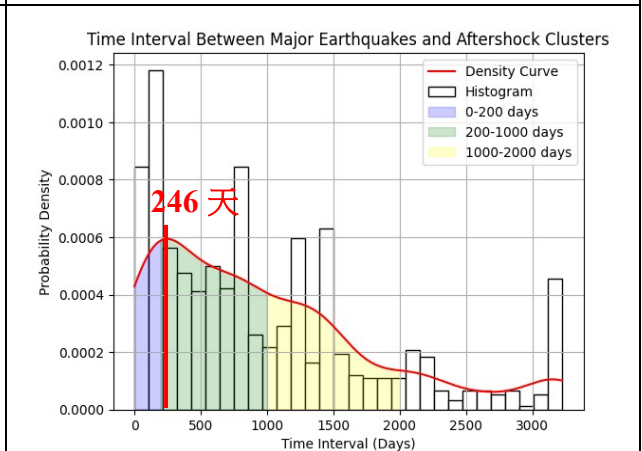


圖 9、1973-2023 年選定區域規模 ≥ 4.5 地震與群震發生時間間隔機率密度圖

註：圖 6-8 由作者自行繪製，大地震選取標準為 1973-2023 年規模 >6.0 、 5.5 、 5.0 、 4.5 的地震事件。

（四）群震與大地震發生位置的關係

考量到不同規模的破壞力及地震數據量，後續分析中使用的大地震規模標準皆為規模大於等於 5.0。圖 10 星號顏色為該群震後 200 天內的大地震事件，星號處為大地震的位置。如淺藍色星號即為 1986/11/03 群震後 200 天內發生的大地震事件。圖 11 為則為選定區域不同年分的群震分佈位置。2021 年 10 月群震事件後 200 天內，在 E121.6°、N23.9°附近有有密集 的大地震（圖 10 深紫色星號）出現，大地震密集處與 2021 年 10 月群震分佈位置（圖 11 中深紫色）比對，兩處有所重疊。

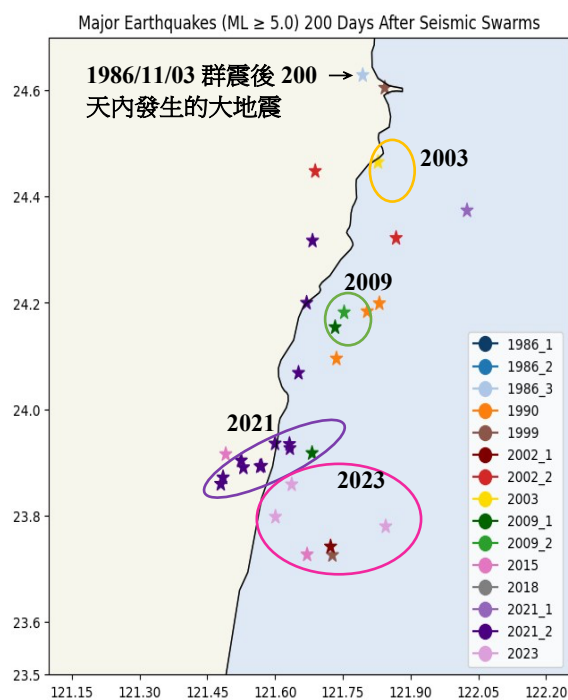


圖 10、選定區域群震後大地震（規模≥5.0）事件分佈位置圖（作者自行繪製）

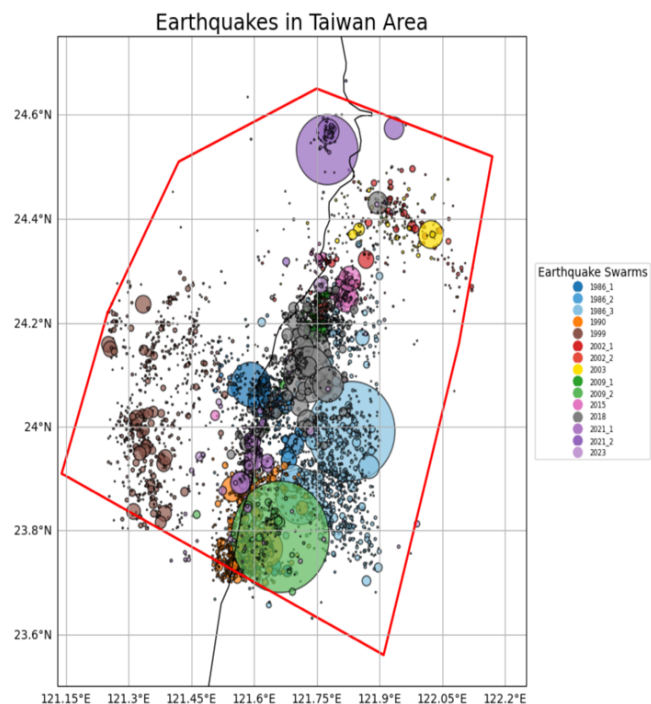


圖 11、1973-2023 年選定區域群震分佈圖（作者自行繪製）

綜合圖 10 和圖 11，除了 2021 年外，2003 年、2009 年及 2023 年群震發生後的 200 天內大地震發生位置也與群震位置重疊。

（五）「群震釋放能量」與「群震和大地震間隔時間」的關係及預測

文獻[3]研究結果顯示，北緯 24 度附近地區以 70 天作為時間選取條件時，得出的擬合模型中群震總能量及群震和大地震時間差相關性高，因此我們也同樣使用 70 天作為時間條件；為了增加資料量及避免與群震時間差較大的地震無法被採用，我們也以 140 天作為時間條件，希望能由此得出有參考價值的方程式。

由圖 12 的相關係數 -0.52 可看出，以群震後 70 天內為條件，群震能量對群震與大地震時間差為中度負相關，表示群震總能量越大則越快發生大地震，方程式為：群震

與大地震間隔時間（天） $= -14.97 \times \text{群震總地震矩} (\text{Log } N \cdot m) + 298.89$ 。而以群震後 140 天內為條件，方程式相關係數為 0.23，方程式為：群震與大地震間隔時間（天） $= -14.46 \times \text{群震總地震矩} (\text{Log } N \cdot m) + 308.72$ 。

圖 12 及 13 可看出以 70 天為時間選取範圍較 140 天的相關性高。

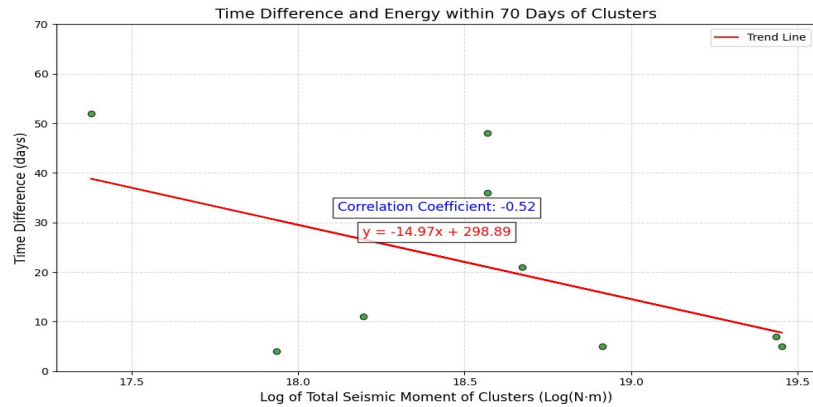


圖 12、選定範圍內群震能量對群震與大地震（群震後 70 天內）間隔時間散佈圖
(作者自行繪製)

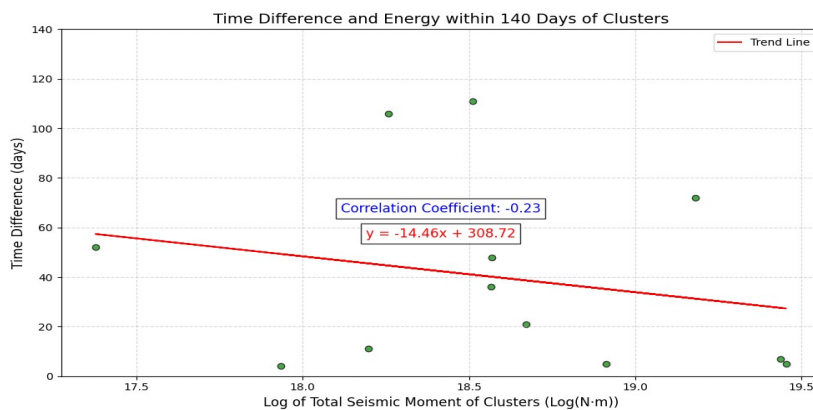


圖 13、選定範圍內群震能量對群震與大地震（群震後 140 天內）間隔時間散佈圖
(作者自行繪製)

我們試以 2024 年選定區域群震來驗證方程式擬合度，圖 14 藍點為此群震總能量及群震和大地震時間差。由圖可見群震數值與方程式趨勢線接近，但因該群震能量大於擬和方程式中的能量最大值，且群震總能量代入方程式後所得的群震與地震時間差將為負值，顯示未來仍需更多數據來確認方程式的參考價值。

選定區域內測試之數據點與方程式的標準化殘差值為 0.15，表方程式可能可以預測群震後發生地震的時間。

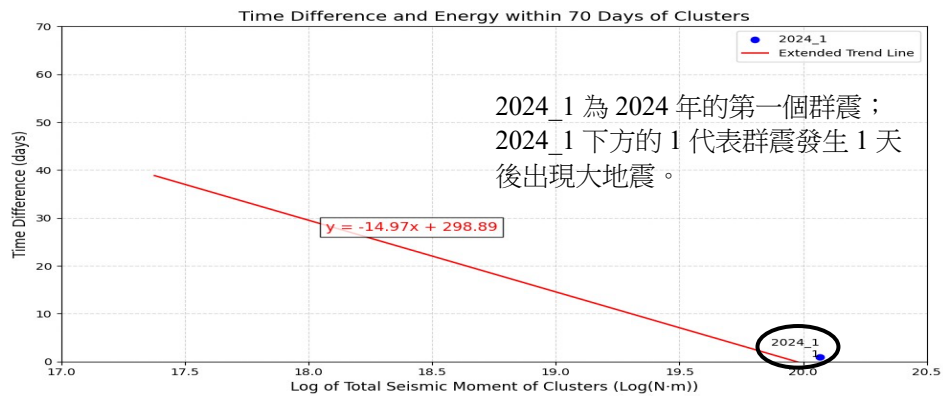


圖 14、2024 年選定區域群震之群震總能量及群震和大地震時間差的分佈位置
(作者自行繪製)

二、東北部之群震分析

(一) 群震數據提取

年份 \ 事件	事件 1	事件 2
1986	01/07-02/07	03/08-04/23
1994	05/20-08/05	10/26-12/09
1995	06/25-08/04	
2002	05/15-05/22	
2003	05/13-06/20	
2005	03/06-04/22	
2015	09/30-10/21	

表 2、東北部群震發生的年份、日期

(二) 時間規律性

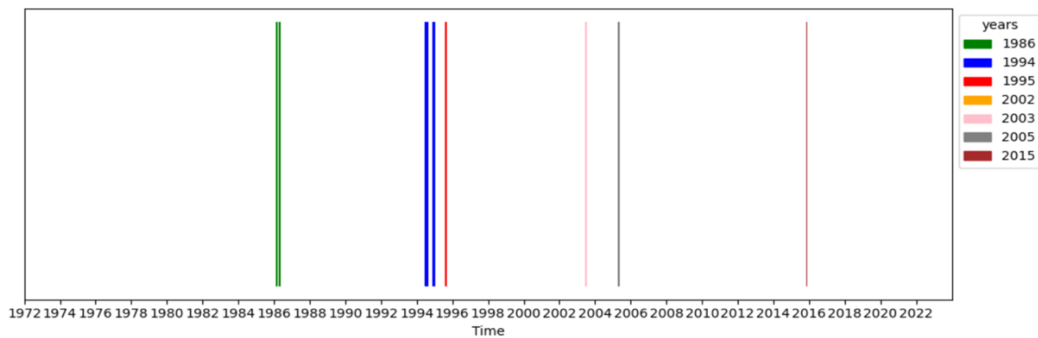


圖 15、1973-2023 年東北部內群震發生年份表示圖（作者自行繪製）

觀察圖 15，若將 1994 年及 1995 年和 2002 年及 2003 年的群震視為接近時間的能量釋放，忽略其極短的群震時間間隔，則群震在 1986-2015 年間以 3-8 年的時間間隔發生。在 1973-1986 年間及 2015-2023 年間群震發生時間間隔較長，分別為 13 年及 8 年，可能為群震較長的發生週期。

1973 至 2023 年東北部內群震單位時間間隔(Lag)為 3.74 年，以此進行之自相關分析顯示，當時間間隔(Lag)等於 3 個單位時，自相關值最大，接近 0.5。3 單位時間間隔，約為 11-12 年的時間長度，與圖 15 中 13 年空白期較接近，可能為此區群震發生週期；時間間隔(Lag)等於 2 個單位時，也有較顯著自相關值 0.375，2 單位的時間間隔約 7.5 年，7.5 年與 1986 年和 1994 年的群震時間間隔及 1995 年和 2002 年的群震間隔時間接近，顯示此區域的另一個群震發生週期可能接近 7.5 年，但仍需進一步的研究結果支持。

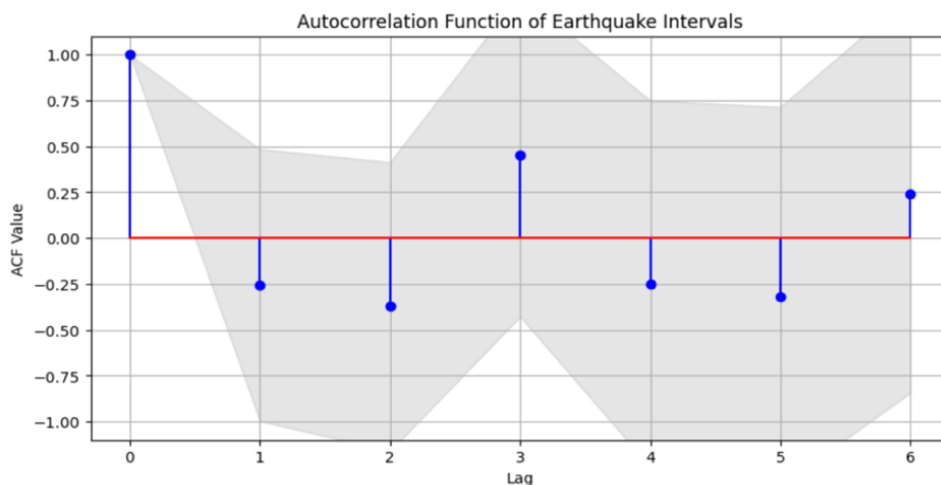


圖 16、1973-2023 年東北部群震發生時間的自相關圖（作者自行繪製）

圖 17 中頻率峰值為 0.28，代表群震可能的發生週期。將 0.28 進行倒數，得週期為 3.57 個單位時間間隔，與圖 15 的自相關最大的 3 單位時間間隔較接近。將 3.57 個單位

數與 3.74 年的單位時間間隔相乘後，群震主要週期或空白期為 13.35 年，與圖 15 中 1973-1986 年群震之間的空白期 13 年接近，系列群震可能存在 13 年的週期性，但仍待後續的地震資料來驗證。

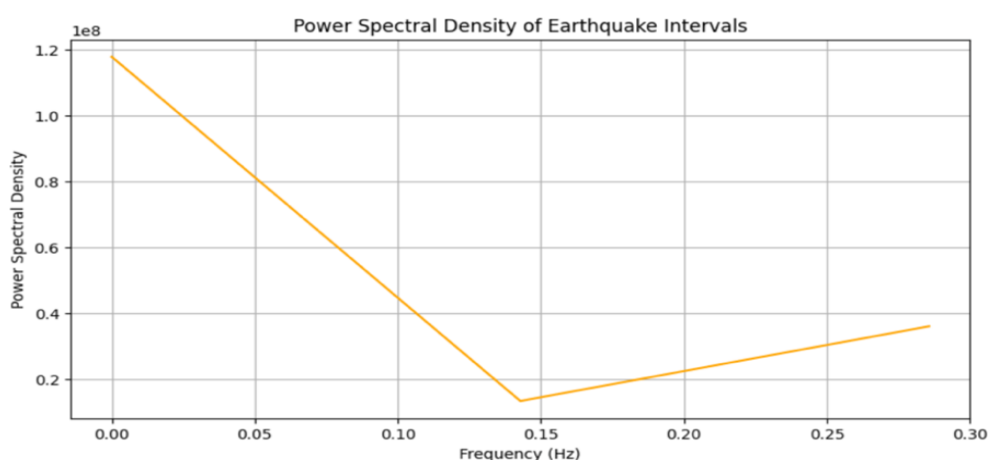


圖 17、1973-2023 年東北部群震發生時間的功率頻譜密度圖（作者自行繪製）

ADF 檢定及殘差分析之 p 值為 0.001，遠小於 0.05，表示此數據分析的結果具有意義且有一定的準確性。

（三）群震與大地震發生時間的關係

由圖 18 至圖 21 的核密度估計可知群震發生後 200~300 天及 2000 天左右發生大地震機率較高。

核密度估計當地震規模值 ≥ 5.0 時（圖 20），大地震發生機率最高約為群震發生後 200 到 400 天，KDE 曲線下面的面積可知 200 天內大地震機率為 6.41%，群震發生後 1000 天內發生大地震機率為 52.63%。

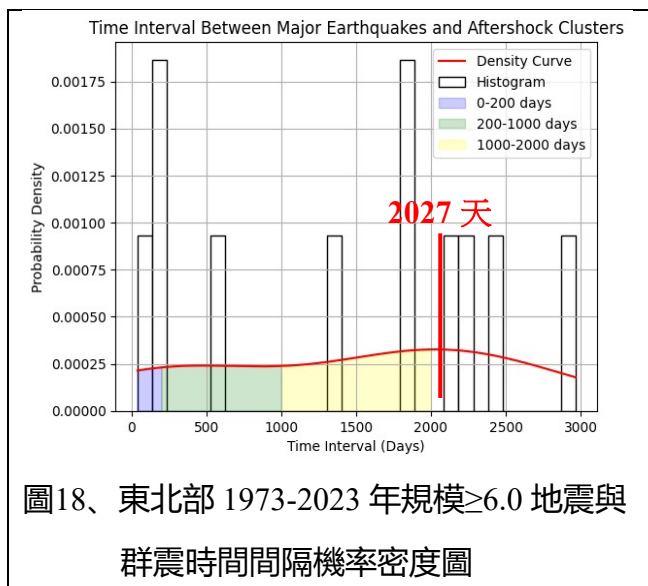


圖18、東北部 1973-2023 年規模 ≥ 6.0 地震與群震時間間隔機率密度圖

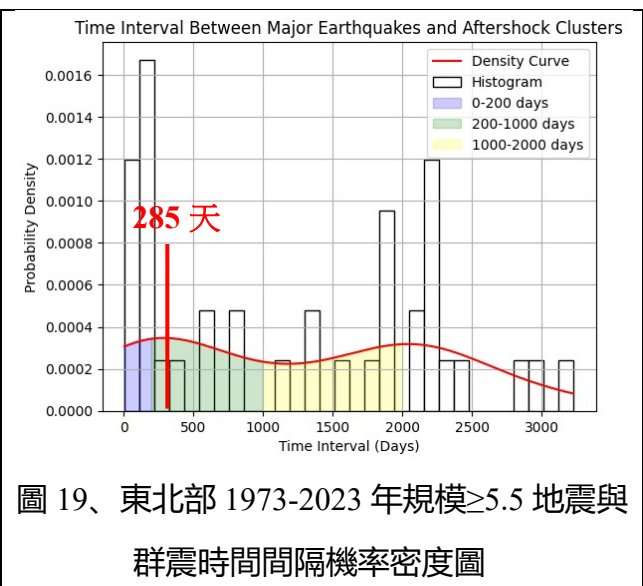


圖 19、東北部 1973-2023 年規模 ≥ 5.5 地震與群震時間間隔機率密度圖

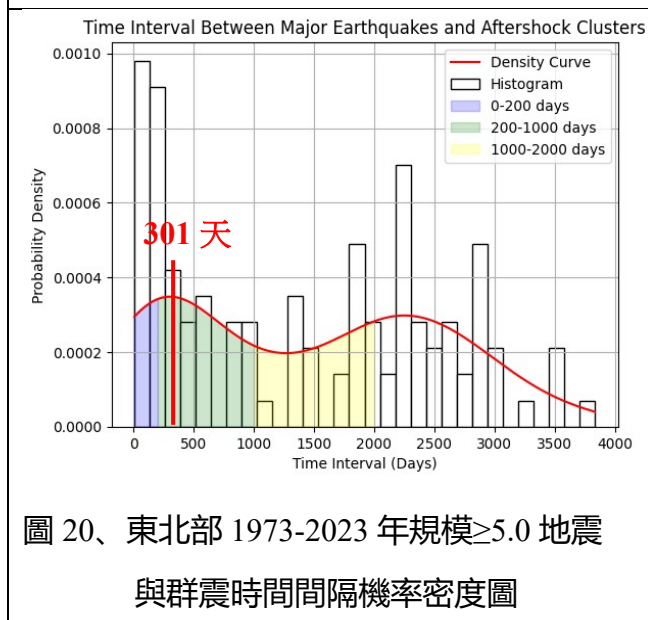


圖 20、東北部 1973-2023 年規模 ≥ 5.0 地震與群震時間間隔機率密度圖

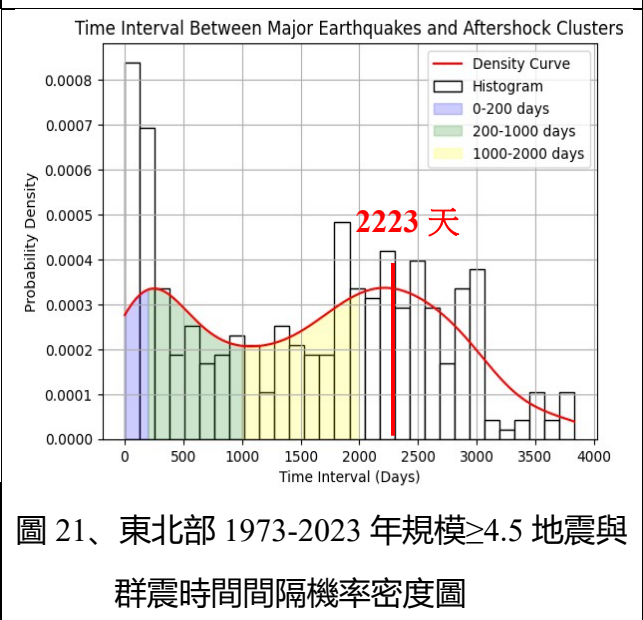


圖 21、東北部 1973-2023 年規模 ≥ 4.5 地震與群震時間間隔機率密度圖

註：圖 18-21 由作者自行繪製。

(四) 群震與大地震發生位置的關係

與選定區域判別方式相同，綜合圖 22 和圖 23 可看出在東北部 1994 年、1995 年及 2003 年群震 200 天內發生的大地震位置與各年群震位置有重疊。

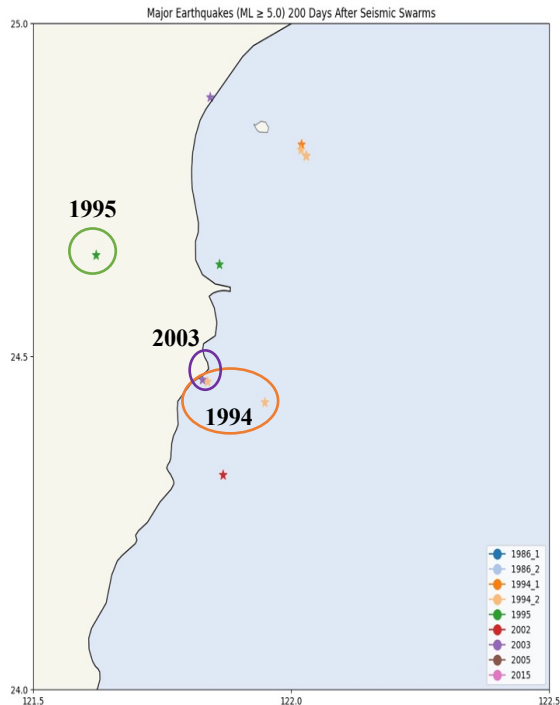


圖 22、東北部群震後大地震事件分佈位置圖
(作者自行繪製)

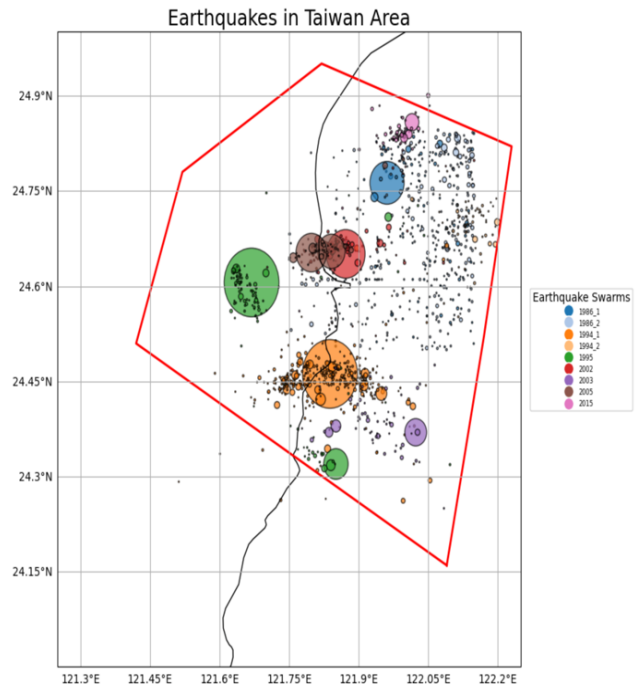


圖 23、1973-2023 年東北部群震分佈圖
(作者自行繪製)

(五) 「群震釋放能量」與「群震和大地震間隔時間」的關係及預測

圖 24 及圖 25 以群震後 70 天及群震後 140 天為條件，「群震能量」對「群震與大地震時間差」相關係數分別為 0.75 與 0.11。圖 24 呈現正相關，但圖 25 並無明顯規律，由此推測在群震後 70 天內，東北部「群震能量」及「群震與大地震時間差」可能成正相關。

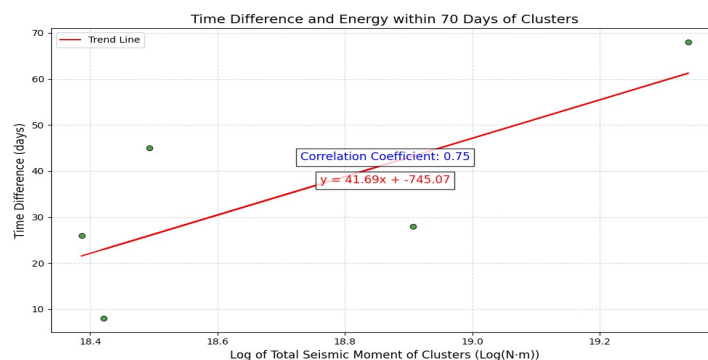


圖 24、東北部群震能量對群震與大地震（群震後 70 天內）間隔時間散佈圖
(作者自行繪製)

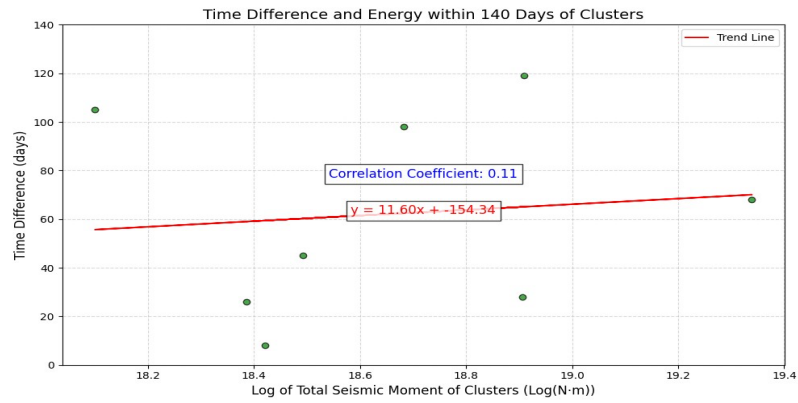


圖 25、東北部群震能量對群震與大地震（群震後 140 天內）間隔時間散佈圖
(作者自行繪製)

在散佈圖中顯示 2024 年發生的群震總能量及群震和地震大地震時間差數據點，東北部內測試之數據點與方程式的標準化殘差值為 -0.01，較選定區域的擬和方程式低，但是建立擬和模型的數據量少，雖方程式可能具有一定的參考價值，仍須更多數據支持。

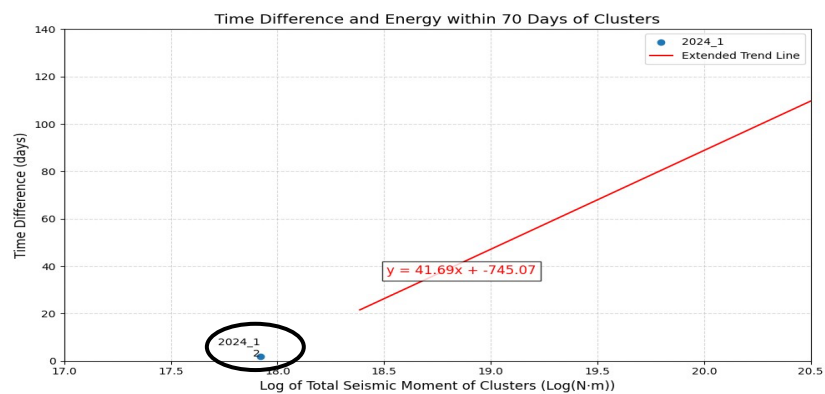


圖 26、2024 年東北部群震總能量及群震和大地震時間差方程式中的分佈位置
(作者自行繪製)

三、東部之群震分析

(一) 群震數據提取

年份 \ 事件	事件 1	事件 2	事件 3	事件 4
1986	05/31-06/27	11/15-12/30		
1990	07/16-08/17	11/27-12/30		
1995	01/19-03/10	05/28-06-23		
1999	09/21-11/15			
2003	11//28-12/31			
2009	06/07-08/03	12/08-12/31		
2018	01/22-03/04			
2021	07/06-07/30			
2022	03/23-04/21	06/20-07/05	09/06-10/10	12/15-12/29

表 3、東部群震發生的年份、日期

(二) 時間規律性

圖 27 中，1986-2003 年間的群震頻繁發生，發生的時間間隔約為 4-5 年，2003-2018 年間群震以約 6-9 年的時間間隔發生，2018-2022 年間群震以約 1-3 年的時間間隔發生，有一定的規律性。與其餘兩個分區一樣，此區群震在 1973-1986 年間存在一個長達 13 年的空白期，2009-2018 年間群震發生時間間隔較長，約為 9 年。

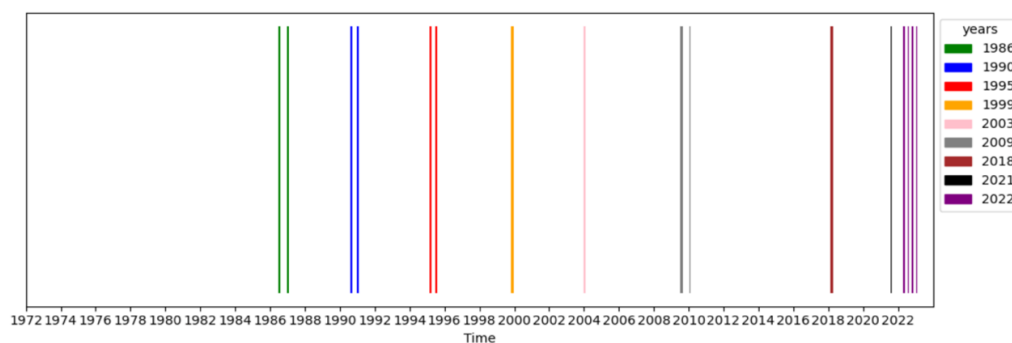


圖 27、1973-2023 年東部內群震發生年份表示圖（作者自行繪製）

1973 至 2023 年東部群震單位時間間隔(Lag)為 2.4 年。時間間隔等於 7 個單位時有顯著的自相關值，其絕對值接近 0.35，7 個單位的時間間隔接近 16 年，大於圖 27 觀察到的群震發生空白期，仍需進一步的傅立葉變換判斷準確的群震週期。除此之外，時間間隔等於 4 及 8 個單位時，自相關值顯著，其絕對值皆為約 0.2，其中 4 單位的時間間隔約為 9.6 年，與群震在 2009-2018 年間的時間間隔接近，8 單位的時間間隔約為 19 年，大於圖 27 觀察到的群震發生空白期，仍需進一步的傅立葉變換判斷準確的群震週期。

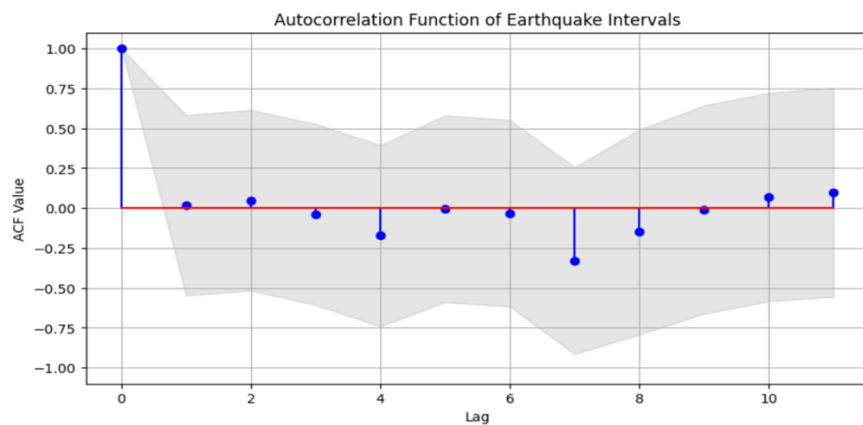


圖 28、1973-2023 年東部群震發生時間繪出的自相關圖（作者自行繪製）

傅立葉變換結果如圖 29，圖中峰值僅有一個，頻率約為 0.33，可能表示此期間群震的發生時間的週期，主頻率的倒數為 3.03 個時間間隔，與圖 28 中自相關值顯著的 4 個時間間隔相近，換算而得的週期為 7.27 年，7.27 年的週期與群震在 2003-2018 年間群震的時間間隔相似，可能為此區域內群震的週期。

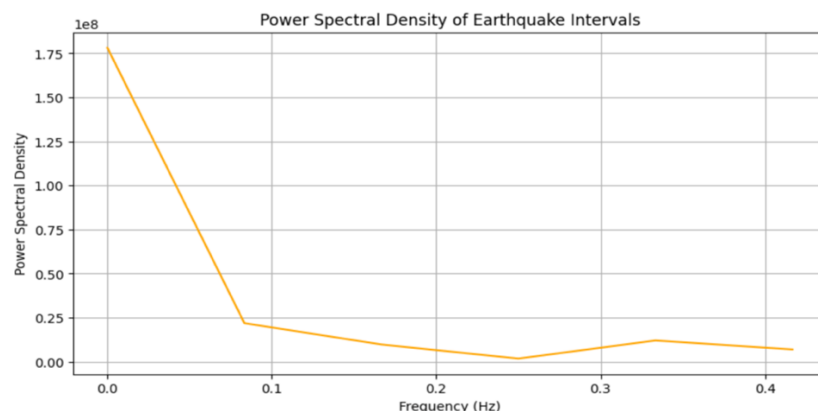


圖 29、1973-2023 年東部內群震發生時間繪出的功率頻譜密度圖（作者自行繪製）

ADF 檢定及殘差分析的 p 值為 0.007，遠小於 0.05，表示此數據分析的結果具有意義且有一定的準確性。

(三) 群震與大地震發生時間的關係

圖 30 至圖 33 的核密度估計曲線可看出群震發生後 100 到 300 天內發生大地震機率較高。圖 32 顯示在選取條件為 ≥ 5.0 時，由 KDE 曲線下面的面積可知大地震發生機率最高約為群震發生後 200 內，機率為 12.06%；群震發生後 1000 天內發生大地震機率為 74.76%。

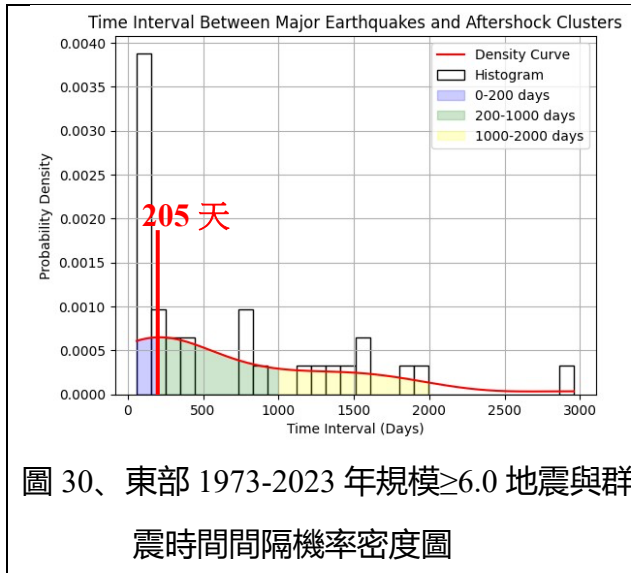


圖 30、東部 1973-2023 年規模 ≥ 6.0 地震與群震時間間隔機率密度圖

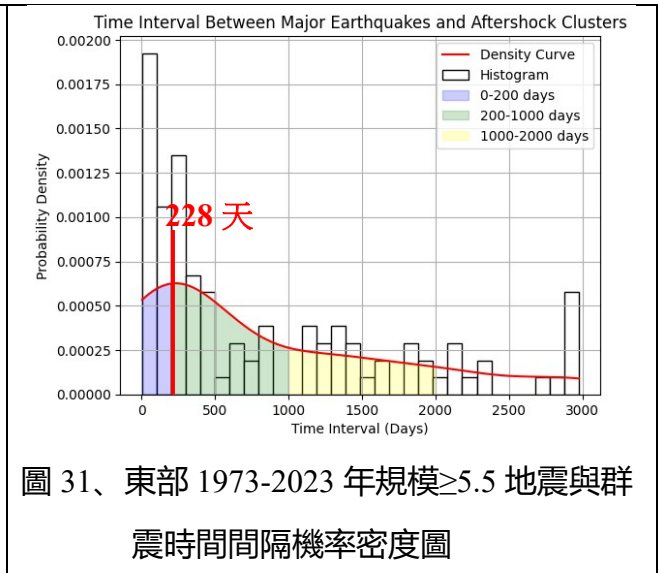


圖 31、東部 1973-2023 年規模 ≥ 5.5 地震與群震時間間隔機率密度圖

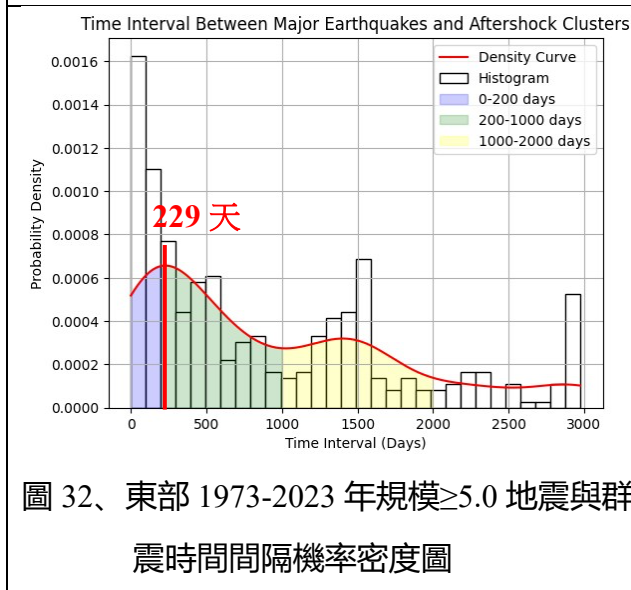


圖 32、東部 1973-2023 年規模 ≥ 5.0 地震與群震時間間隔機率密度圖

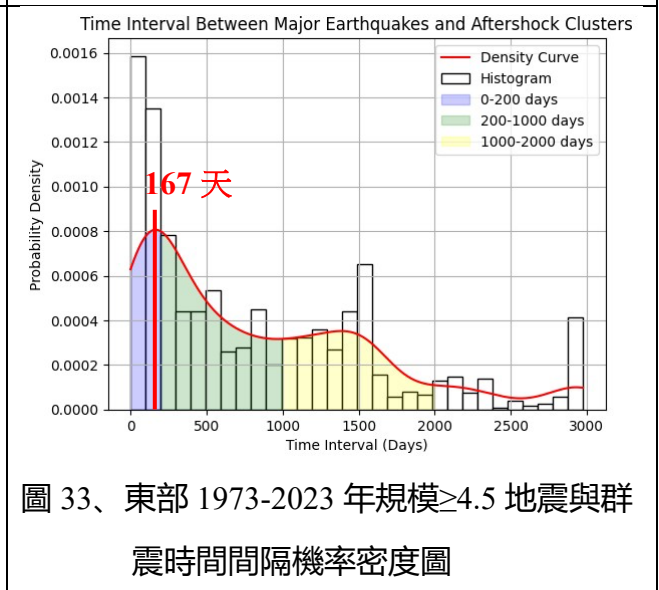


圖 33、東部 1973-2023 年規模 ≥ 4.5 地震與群震時間間隔機率密度圖

註：圖 30-33 由作者自行繪製。

(四) 群震與大地震發生位置的關係

與選定區域判別方式相同，綜合圖 34 和圖 35，可看出在東部 1986 年、1990 年、1999 年、2009 年及 2022 年群震發生 200 天內的大地震位置與各年群震位置有重疊。

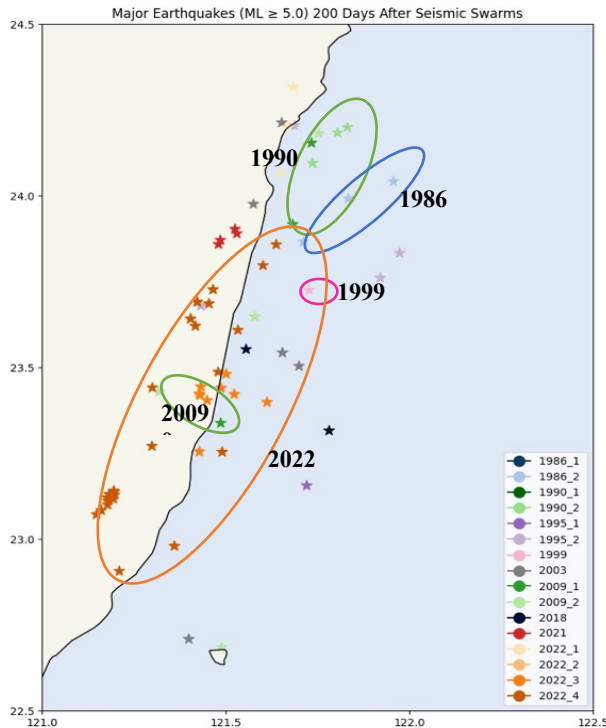


圖 34、東部群震後大地震分佈位置圖
(作者自行繪製)

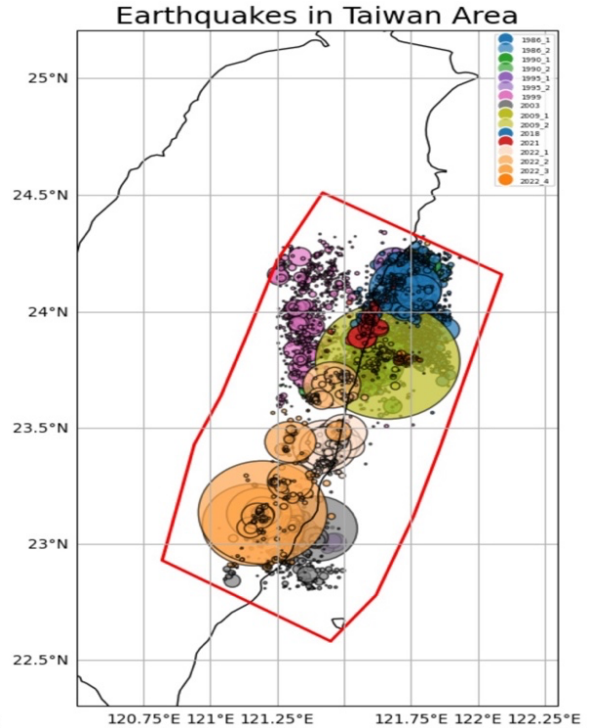


圖 35、1973-2023 年東部地震群分佈圖
(作者自行繪製)

(五) 群震釋放能量與群震、大地震間隔時間關係探討及預測

圖 36 中以群震後 70 天為條件，「群震能量」對「群震與大地震間隔時間」的相關係數為-0.20，方程式為：群震與大地震間隔時間（天）=-6.67*群震總地震矩（Log N*m）+149.95。

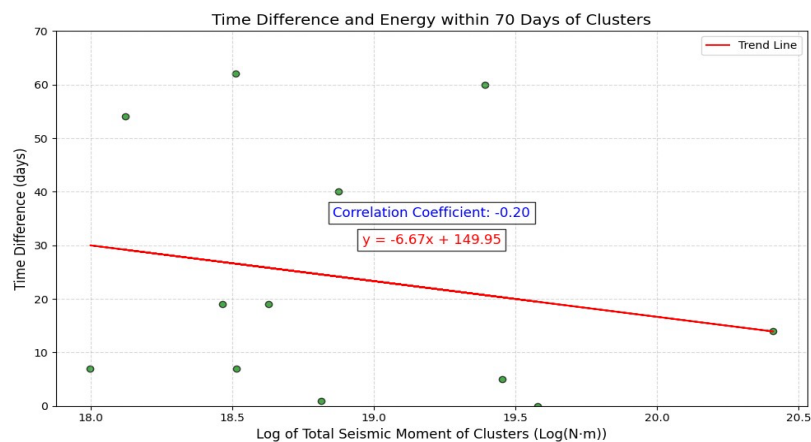


圖 36、東部群震能量對群震與大地震（群震後 70 天內）間隔時間散佈圖
(作者自行繪製)

圖 37 則以群震後 140 天為條件，兩者之相關係數-0.54，呈中度負相關，表示群震總能量越大，則越快發生大地震。方程式為：群震 與大地震間隔時間（天）=-27.51* 群震總地震矩（Log N*m）+551.50。

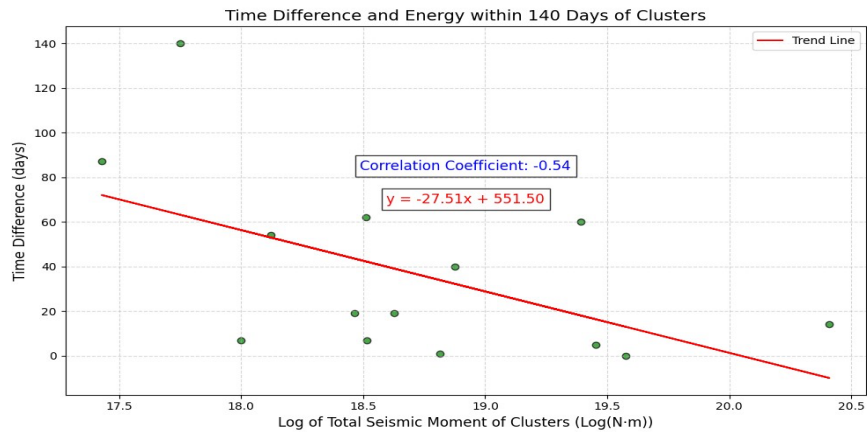


圖 37、東部群震能量對群震與大地震（群震後 140 天內）間隔時間散佈圖
(作者自行繪製)

2024 年東部群震後發生大地震的事件共有兩起，圖 38 兩個數據點為其群震總能量及群震和大地震時間差之結果。第一起事件（2024-1-3）與趨勢線距離較選定區域遠，標準化殘差值為-2.03；第二起事件（2024-2-5）的群震總能量在擬和方程式的總能量區間內，標準化殘差值為 -0.39。然而，兩者皆較選定區域及東部的標準化殘差值低，表方程式預測之群震後發生地震的時間可能較不準確。

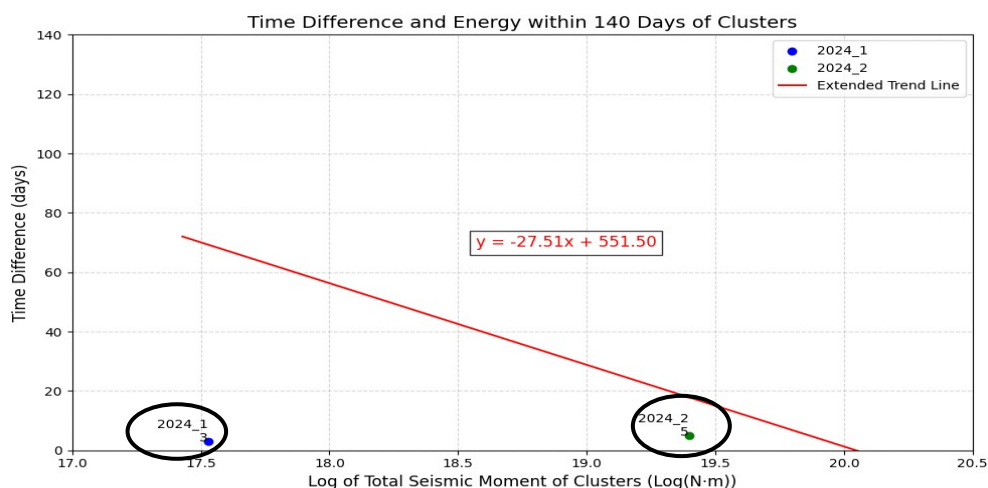


圖 38、2024 年東部群震總能量及群震和大地震時間差方程式中的分佈位置
(作者自行繪製)

伍、討論

一、不同範圍內群震發生時間的規律性

（一）群震的週期性

選定區域的群震在 2003-2015 年間以約 6 年的時間間隔發生，有一定的規律性，數據分析顯示選定區域群震發生週期大致為 6.18 年，在發生若干次群震後會有一段沒有群震發生的較長週期（或稱為空白期），傅立葉變換結果顯示此空白期為 9.28 年，與紀錄的群震發生時間相符，這個特徵可能與本區蓄積能量的形式相關。

東北部群震發生的空白期約為 13.35 年，與 1973-1986 年沒有群震發生的較長週期吻合。然而由東北部的週期性分析結果無法判斷群震準確的週期，若已超過 10 年的最大群震時間間隔而仍未發生群震，可能顯示空白期已經開始。

東部群震在 2003-2018 年間發生的時間間隔大約為 6-9 年，有一定的規律性，且存在長達 13 年無群震發生的空白期。經數據分析，此區域的群震週期為 7.27 年，但無法確定東部內無群震發生的空白期之準確值。

由數據分析推論，群震的發生可能同時受到長期應力以及短期應力調整的影響，空白期的出現可能是因應力累積速度慢或該時期存在其他地殼構造變化，使得群震發生機率減少。研究結果中的空白期或許與大地震前地震次數減少，應力無法藉由小地震釋放而逐漸累積有類似作用，顯示應力累積可能導致地震事件時間間隔變長並增加地震事件能量。

（二）誤差分析

以 ADF 檢定對自相關性分析的數據殘差值進行平穩性分析，選定區域、東北部及東部內分析結果的 p 值分別為 0.001、0.001、0.007。選定區域及東北部內群震發生時間的分析較準確，模型擬和程度高。三個區域的分析結果 p 值皆小於 0.05，顯示週期性分析具有一定的可信度，可作為群震發生的規準。

雖然週期性分析結果的 p 值皆小於 0.05，但三個區域的自相關圖中，幾乎所有自相關值都位於置信區間（自相關圖中的灰色區域內）內，可能是樣本數或分析的數據量不足，導致模型仍具有不確定性，仍需要更多年的數據來輔佐分析。但透過後續的傅立葉變換及與群震時間分佈圖的對照，具有相當的吻合度可知本研究中自相關分析的結果仍然有一定的可信度。

二、群震與規模大於特定值之地震發生關係

（一）機率分析中時間和規模的篩選條件及實際情形與模型的比較

從選定範圍、東北部及東部內的群震與大地震時間間隔機率密度圖可知，以規模 ≥ 5.0 為大地震標準時，群震後發生大地震機率最高（KDE 曲線峰值）的時間間隔介於 200 到 400 天。

若篩選規模 ≥ 6.0 ，因數據量較少，導致預測結果易受極值影響；而篩選規模越小，規模 ≥ 4.5 時，峰值越接近 200 天。而本研究中考量到災害不能太小及數據樣本數要多，最後選擇以規模 ≥ 5.0 進行後續分析。

時間條件上，若選取時間太長，如超過一年，則大地震的發生以可能受其他因素影響，與群震的關係較小，較無預測意義。因此，本研究中後續分析皆採用群震後 200 天，約半年做為篩選條件。

範圍 \ 機率	模型預測機率	實際發生比率
選定區域	9.86%	9.78% (23/235)
東北部	12.06%	7.56% (28/366)
東部	6.41%	6.25% (7/112)

表 4、三個分區中模型預測之群震後大地震發生機率及實際發生比率

表 4 中括號內的數值為群震後 200 天內發生的大地震數量除以群震後大地震總數。因核密度估計曲線在擬和時會平滑頻率峰值，三個區域大地震發生在群震後 200 天的實際發生比率會略低於模型預測的機率。

另外，表 4 中東北部大地震發生的模型預測機率與實際發生比率的差異較大，未來或許可以以更多數據探討東北部內的群震和大地震時間上存在的特殊關係。

群震及大地震的發生位置重複的年份數在選定區域、東北部及東部內分別為 4、3 及 5 年，故群震可能會影響對大地震的發生，使得群震發生的區域在推測的時間內發生大地震。

(二) 群震總能量對群震和大地震時間差方程式的趨勢與預測

範圍 \ 天數	70 天	140 天
選定區域	-0.52	-0.23
東北部	0.75	0.11
東部	-0.20	-0.54

表 5、三個分區中群震總能量對大地震與時間差的相關係數

群震總能量對群震和大地震時間差的分析中，時間選取條件參考文獻[3]採用的 70 天，考量到群震影響時間及預測價值，本研究採 70 天與 140 天。文獻[5]中提到台灣的東半部包含兩種板塊運動方式，分別為菲律賓海板塊的隱沒及琉球海槽的張裂。而本研究區域中，東部位於歐亞板塊與菲律賓海板塊碰撞帶，選定區域包含歐亞板塊與菲律賓海板塊碰撞、菲律賓海板塊隱沒及沖繩海槽的張裂等作用，東北部則主要位於沖繩海槽的張裂現象之影響範圍內。

選定區域及東部之群震能量對大地震時間差均呈負相關，表示群震的發生是因為不斷累積能量的而發生，所以當群震能量越大則會越快發生大地震。

東北部內群震總能量對群震和大地震時間差呈正相關。70 天的相關係數雖極高，但是樣本數僅有不足 10 筆，使得此方程式擬和結果參考價值較低，日後還需要更多數據佐證其正確性，而 140 天分析中的相關係數也極低。東北部能量釋放形式隨時間的變化與其他分區不同，可能與震源深度與張裂作用及聚合作用不同有關。

選定區域在 70 天的相關係數為中度負相關，但 140 天相關性極低，造成此現象的原因可能是此區地震機制較複雜，因此更大時間選取範圍內的群震總能量及群震和大地震時間差的相關性會降低，故若需要預測時間尺度較大的群震和大地震關係，選定區域內的方程式擬和結果較不適合。

東部以 140 天為條件時，群震總能量及群震和大地震時間差為中度負相關，而 70 天較無相關性，推測是因地質運動較單純且未包含板塊交界帶，群震能量可穩定長時間累積。

參考表 6，東北部 2024 年數據與群震能量對群震和大地震時間差方程式的標準化殘差值最接近 0，然而方程式分析結果中東北部地震帶的模型參考價值較低，無法由此說明模型準確度最高；選定區域之群震總能量對群震和大地震時間差為負相關，數據點標準化殘差值也趨近於 0，顯示方程式有一定參考價值；東部的標準化殘差較大，代表群震總能量及群震和大地震時間差的方程式擬和較無法有效預測將發生的地震與群震的關係，仍需更多資料輔助。

範圍	標準化殘差值 1	標準化殘差值 2
選定區域	0.15	
東北部	-0.01	
東部	-2.03	-0.39

表 6、2024 年三個分區中數據點與該區方程式之標準化殘差值

（三）誤差分析

核密度分析及機率密度估計模型中大地震發生機率小於實際可能與 KDE 模型平滑化有關。模型將高度集中於 200 天內的地震事件進行平滑處理而使機率略為分散到其他區間，或是將離散的地震事件建立為連續的模型，導致的數值差異。群震中也可能有模型無法分析的特定地質活動模式或未考量到的其他因素，如群震與大地震的距離。

（四）群震釋放的總能量與群震與大地震的距離

群震釋放「總能量」可能影響大地震的「發生位置」。我們認為，群震周圍的地方若一直沒有產生地震，代表該區一直在累積應力，未來有可能產生較大的地震。而群震的能量越大，其影響區域越大，使得群震後的大地震發生位置可能與群震距離較遠。

三個區域繪製的「群震和大地震的距離」與「群震總能量」關係圖如表 7，兩者皆呈正相關，與推論相符。但因擬和模型數據量少，仍需更多數據來佐證方程式的準確性。

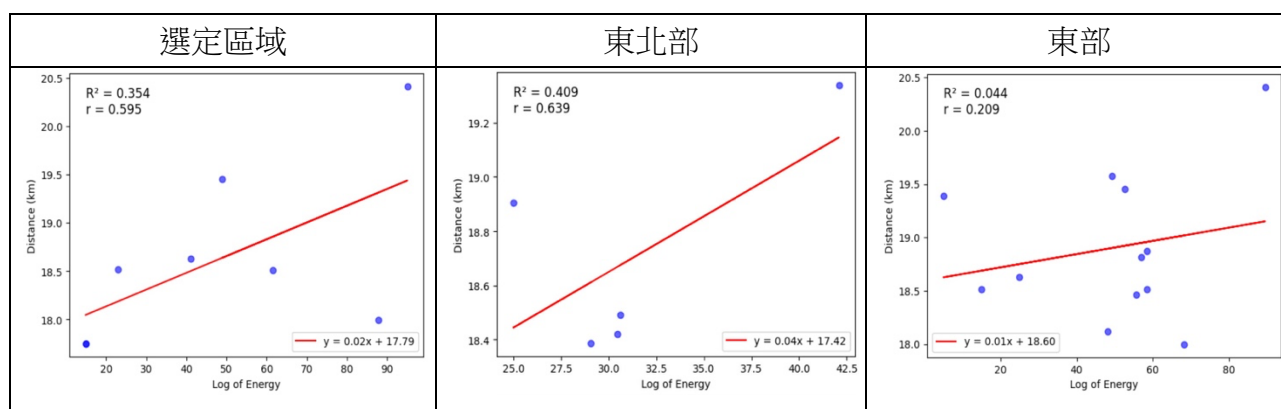


表 7、三分區中群震總能量與群震和大地震距離之散佈圖（作者自行繪製）

不同於群震和大地震間隔時間與群震總能量的方程式擬和結果，此方程式之 R 平方值以東北部為最高。然而其樣本數少，仍需更多數據來支持方程式準確性和地震預測可能性。未來或許可以透過擬和方程式方法找出群震和大地震發生時間間隔有更明顯的相關性的變因。

三、不同區域的數據分析結果對比

由於選定區域較不會影響到群震的數據採集，群震的樣本數較其他分區足夠，在自相關分析的殘差值分析中 p 值皆相對較高，群震總能量與群震和大地震時間差的方程式之 R 平方值在 70 天為呈負相關之方程式中的最佳值。然而，可能因為選定區域內橫跨不同的地質構造，此區域內造震機制多樣，使得群震總能量與群震和大地震時間差的方程式之 R 平方值在 140 天內非最佳，顯示選定區域可能較適合時間尺度小的地震預測。因此可知，若要以長時間的數據歸納出地震預測方程式，除了群震及地震樣本數需足夠，仍需考慮地質構造。

東部在長時間的回歸分析中 p 值較高，可能較適合時間尺度大的地震預測研究。

陸、結論

- 一、1973-2023 年間，選定區域內群震週期為 6.18 年，發生若干次以 6.18 年為時間間隔的群震後，群震可能有 9.28 年的空白期。東北部的群震發生週期無法確定，空白期為 13.35 年。東部的群震週期為 7.27 年，空白期無法確定。
- 二、在選定區域、東北部及東部內，以規模 ≥ 5.0 作為大地震標準時，群震後 200-400 天為大地震發生機率最大時，群震後 200 天內發生大地震的機率分別為 9.86%、12.06%及 6.41%。
- 三、選定區域內群震發生後 70 天內群震和大地震時間差（天）與群震總地震矩（ $\text{Log } N \cdot m$ ）方程式相關係數為-0.52，群震與大地震間隔時間（天） $= -14.97 \cdot \text{群震總地震矩}(\text{Log } N \cdot m) + 298.89$ ；東部群震發生後 140 天內群震和大地震時間差（天）與群震總地震矩（ $\text{Log } N \cdot m$ ）方程式相關係數為-0.54，群震與大地震間隔時間（天） $= -27.51 \cdot \text{群震總地震矩}(\text{Log } N \cdot m) + 551.50$ 。選定區域及東部群震和大地震時間差與群震總能量呈負相關，表示群震總能量越大則越快發生大地震；東北部群震發生後 70 天內群震和大地震時間差（天）與群震總地震矩（ $\text{Log } N \cdot m$ ）方程式相關係數為 0.75，群震與大地震間隔時間（天） $= 41.69 \cdot \text{群震總地震矩}(\text{Log } N \cdot m) - 745.07$ ，群震和大地震時間差與群震總能量呈正相關，表示群震總能量越大則越慢發生大地震，但由於東北部數據量少，方程式較不具參考價值。
- 四、由群震能量預測大地震發生時間的結果及文獻探討內容可知，選定區域較適合約兩個月內的短時間週期分析，東部可能較適合約四個月內的長時間週期分析，而東北部則沒有明顯規律。
- 五、將 2024 群震數據帶入三區擬和模型中，得到最佳標準化殘差值為 0.15、-0.01 及-0.39，顯示模型具預測價值。
- 六、選定區域內群震及地震樣本數較多，然而造震機制較複雜，導致在 140 天內的方程式擬和結果呈幾乎無相關，故在較長時間尺度下的群震總能量及群震和大地震時間差的分析中仍應考慮研究區域的造震機制及地質構造。

柒、引用文獻及資料

中文文獻

1. 高若甄、陳達毅 (2022)。以時空分布與 b 值分析臺灣群震特性。《氣象學報》，57(2)，1-15。
2. 葉宏融 (2010)。台灣區域震源潛勢地震發生機率之評估與分析 (未出版的碩士論文)。國立中央大學。臺灣博碩士論文知識加值系統。
3. 許世弘 (2009)。台灣花蓮地區地震前兆特性研究 (未出版的碩士論文)。國立成功大學。
4. 陳建名 (2004)。快速傅立葉轉換架構之設計研究 (未出版的碩士論文)。國立東華大學。臺灣博碩士論文知識加值系統。
5. 黃信樺 (2007)。台灣東北地區的地震構造：由碰撞末期轉變為隱沒拉張之構造特性 (碩士論文)。國立臺灣大學理學院地質科學研究所。

【評語】 051903

1. 本研究設計跨時間區段、跨區域分析，有助於比較並驗證群震是否能預判大地震之預期趨勢。分析方法使用 DBSCAN 分群搭配規模篩選標準進行群震的判定，具備邏輯一致性，也有學理支撐。
2. 應用大量的統計分析技術，包含自相關函數(ACF)、功率譜密度(PSD)、KDE 機率密度估計、ADF 檢定與線性回歸等，豐富且多元。
3. 研究結論雖指出群震後數百天內可能發生大震，但欠缺明確的地震物理(如應力轉移、能量釋放遞增)機制說明，若能引用構造帶、地質圖或歷史震源區作為依據，將可提升本研究之科學性。
4. 地震為高度非線性事件，線性回歸雖可作為趨勢的參考，但推估未來事件時，應該補充不確定度與模型誤差說明。另回歸樣本數偏少，將導致模型穩定性不足，多數線性回歸點數小於 10，建議未來延伸更多的群震事件後，可以再進行更深入的分析。其次，作者採用 DBSCAN 進行群震分群應為適切。利用自相關分析及傅立葉變換探討其週期性，和密度，則應考量資料特性，以及傅立葉變換之基本假設。尤其是地震列表為離散數據 (discrete data)，且具非線性(nonlinear)與非穩態(nonstationary)之特性，自相關分析及傅立葉變換之使用應審慎評估。建議可採用小波分析(wavelet

transform)或希爾伯特-黃轉換(Hilbert-Huang Transform, HHT)。

作品海報

臺灣東部

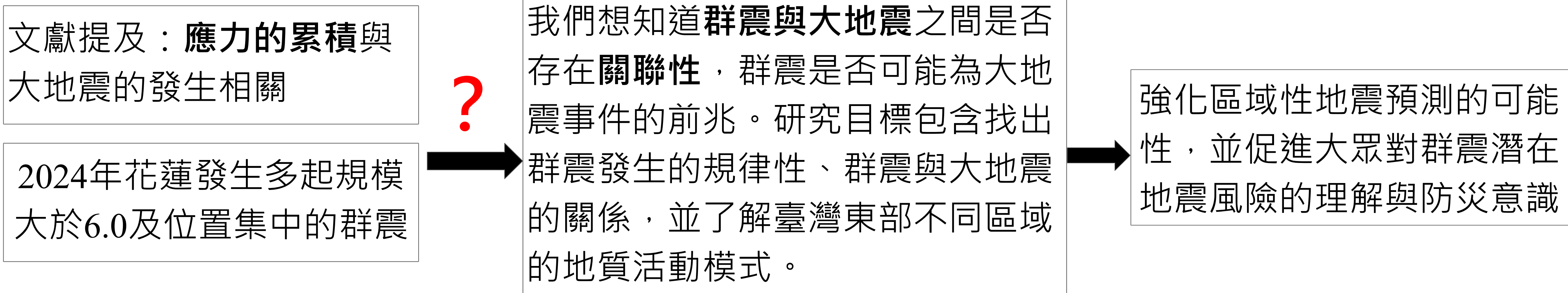
群震週期與大地震機率的分析

• Earthquake Cycle and Major Earthquake Probability Analysis in Eastern Taiwan •

★ 摘要

本研究使用1973-2023年地震數據，以DBSCAN進行臺灣東部、東北部及選定區域的地震分群，自相關分析及傅立葉變換探討其週期性，核密度估計推測群震後發生大地震的機率，並以群震及大地震數據擬和方程式。結果顯示選定區域群震空白期為**9.28**年，群震週期為6.18年；東北部群震空白期為13.35年，週期無法確定；東部群震週期為7.27年，空白期無法確定。選定區域、東北部及東部群震後200天內發生大地震的機率分別為9.86%、12.06%及6.41%。方程式顯示選定區域及東部內群震總能量與群震和大地震時間差呈負相關，東北部為正相關。將三區域2024年的群震及地震數據代入方程式，最佳標準化殘差值分別為0.15、-0.01及-0.93，方程式具預測價值，但仍需更多數據支持。

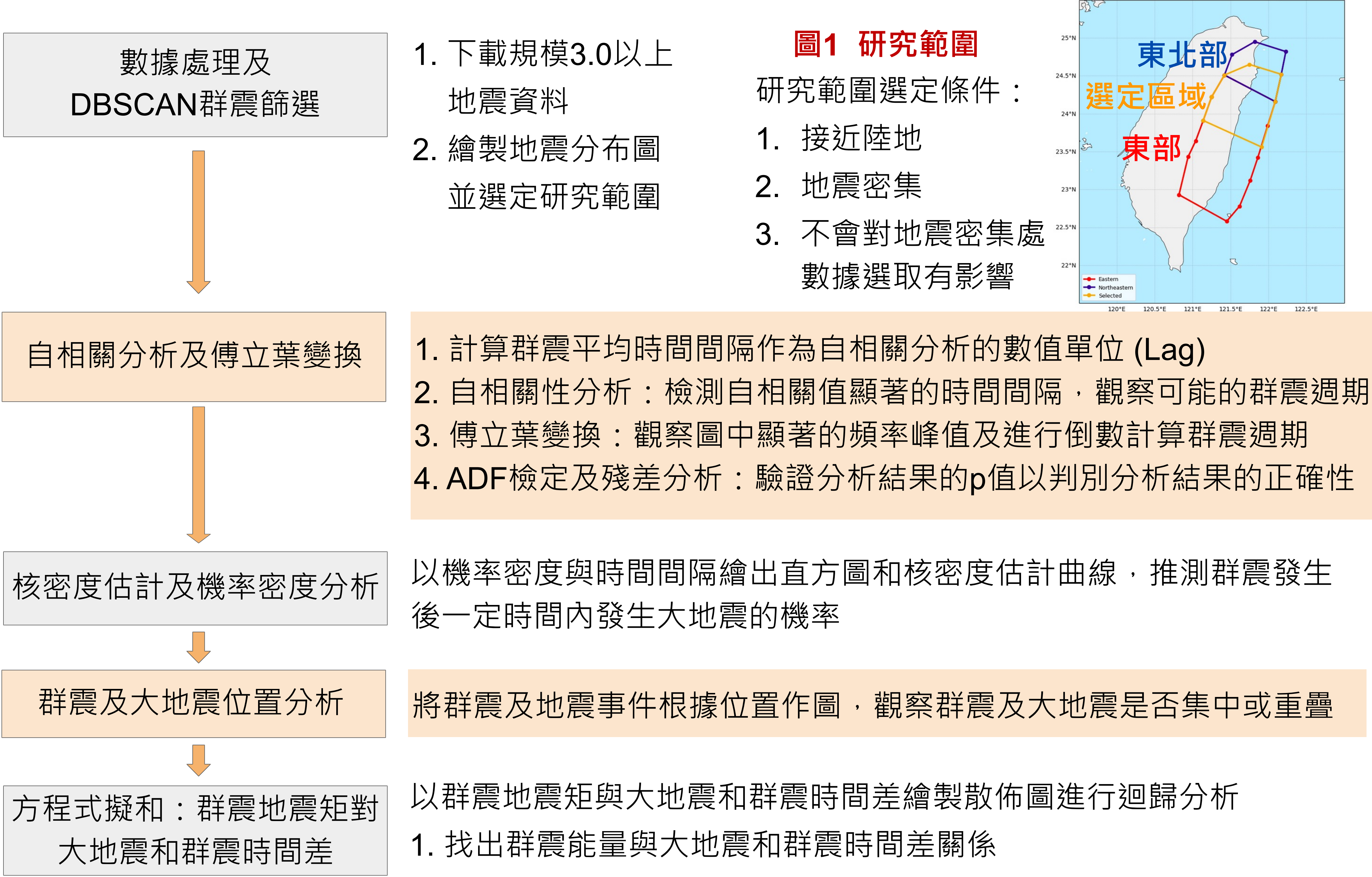
壹、研究動機



貳、研究目的

- 一、透過自相關性分析及傅立葉變換，分析群震的時間分佈及規律性。
- 二、透過核密度估計及機率密度圖，分析群震後發生規模高於特定值的大地震的機率。
- 三、透過迴歸分析觀察群震總能量與群震和大地震間隔時間的關係。
- 四、比對不同區域數據分析結果，並與文獻的預測或記錄做比較。

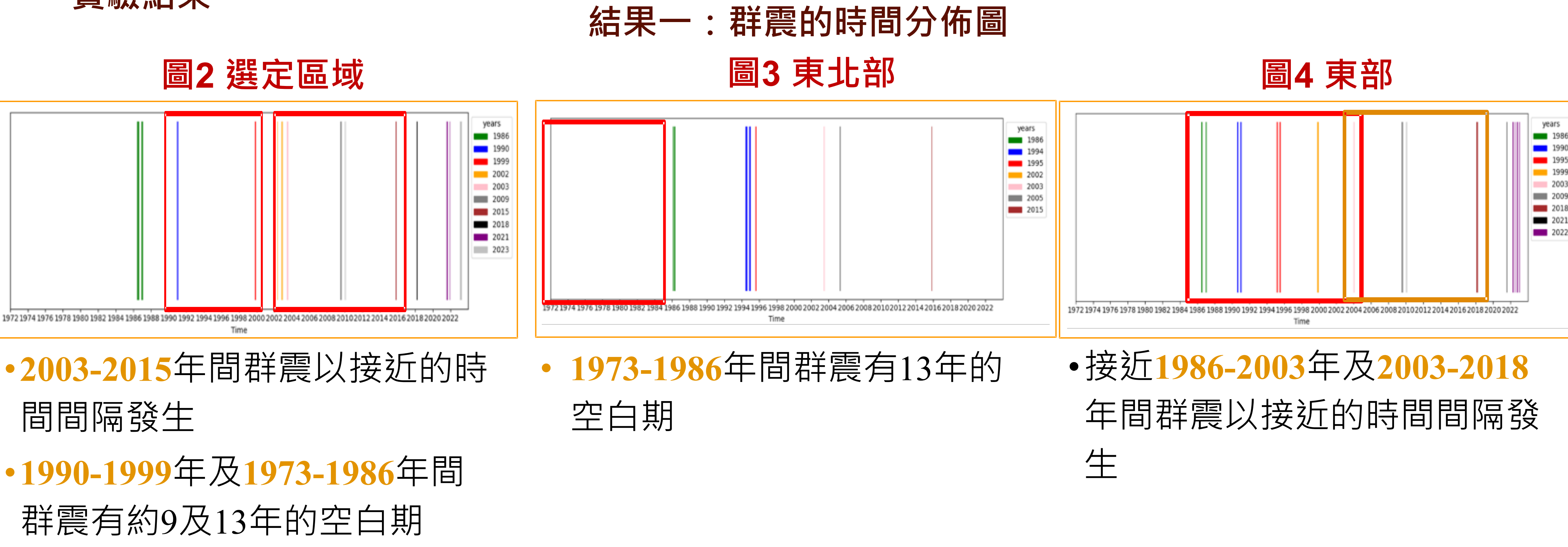
參、研究過程與方法



肆、研究結果

【群震發生的規律性】

一、實驗結果



結果二：群震發生時間的自相關圖

圖5 選定區域

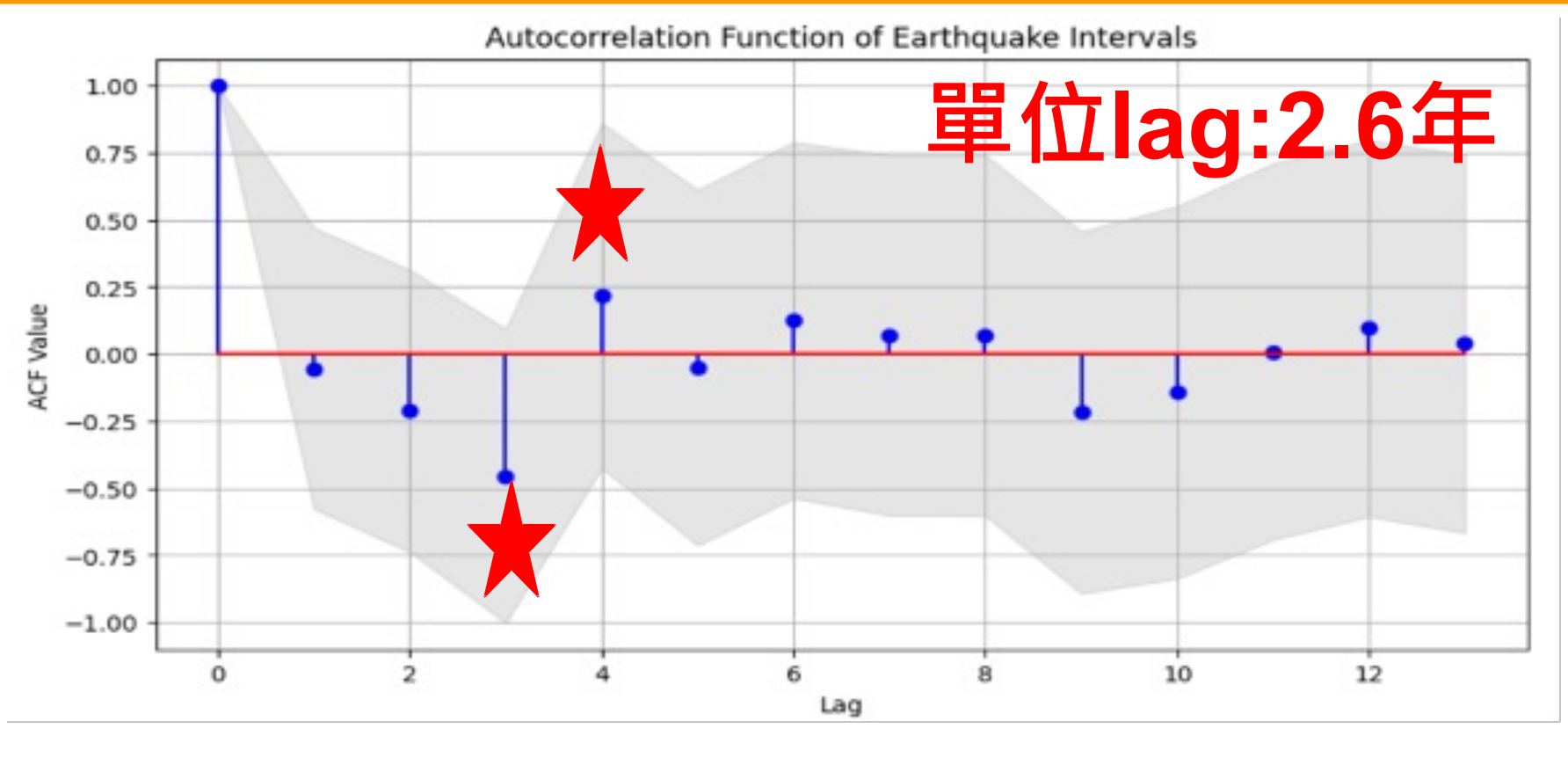


圖6 東北部

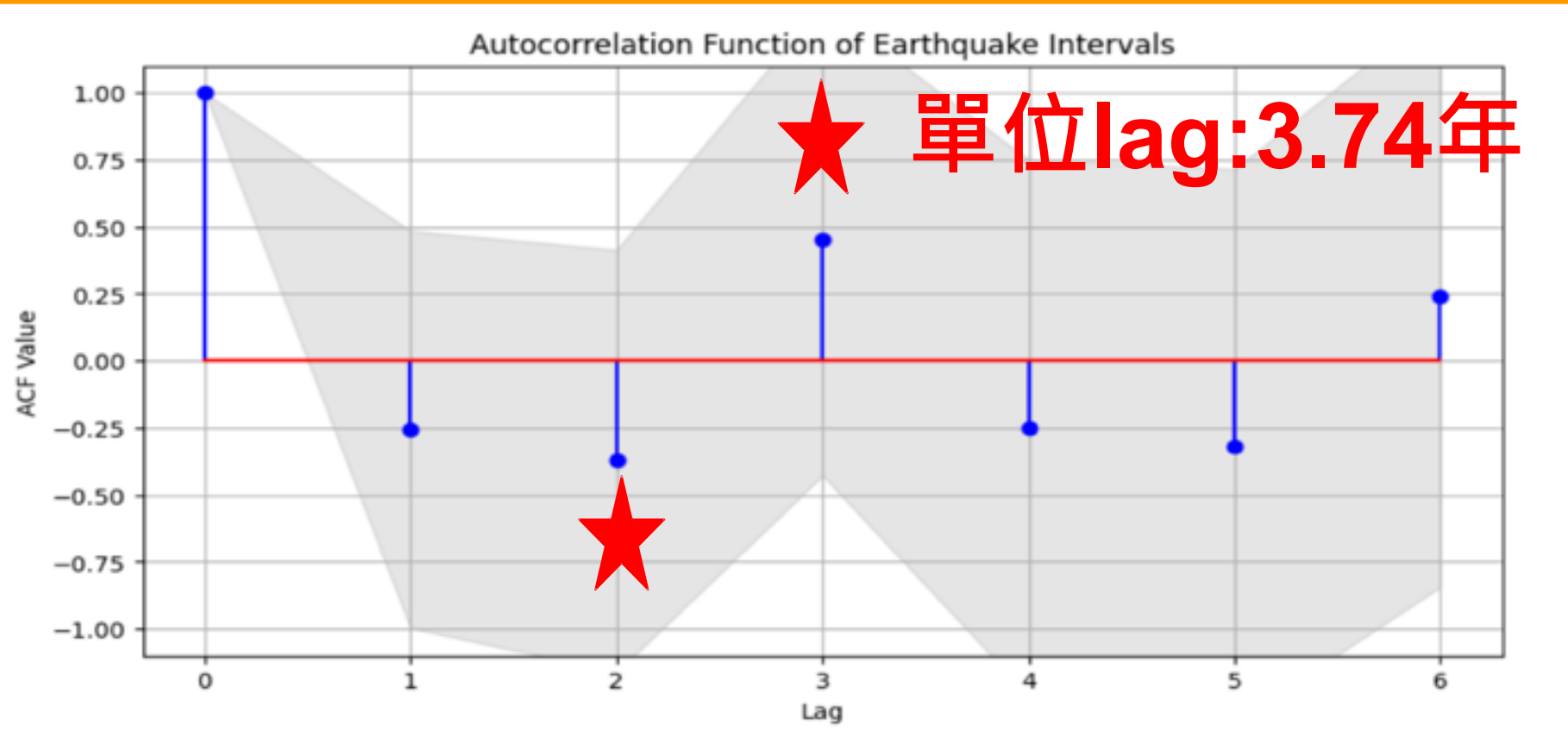
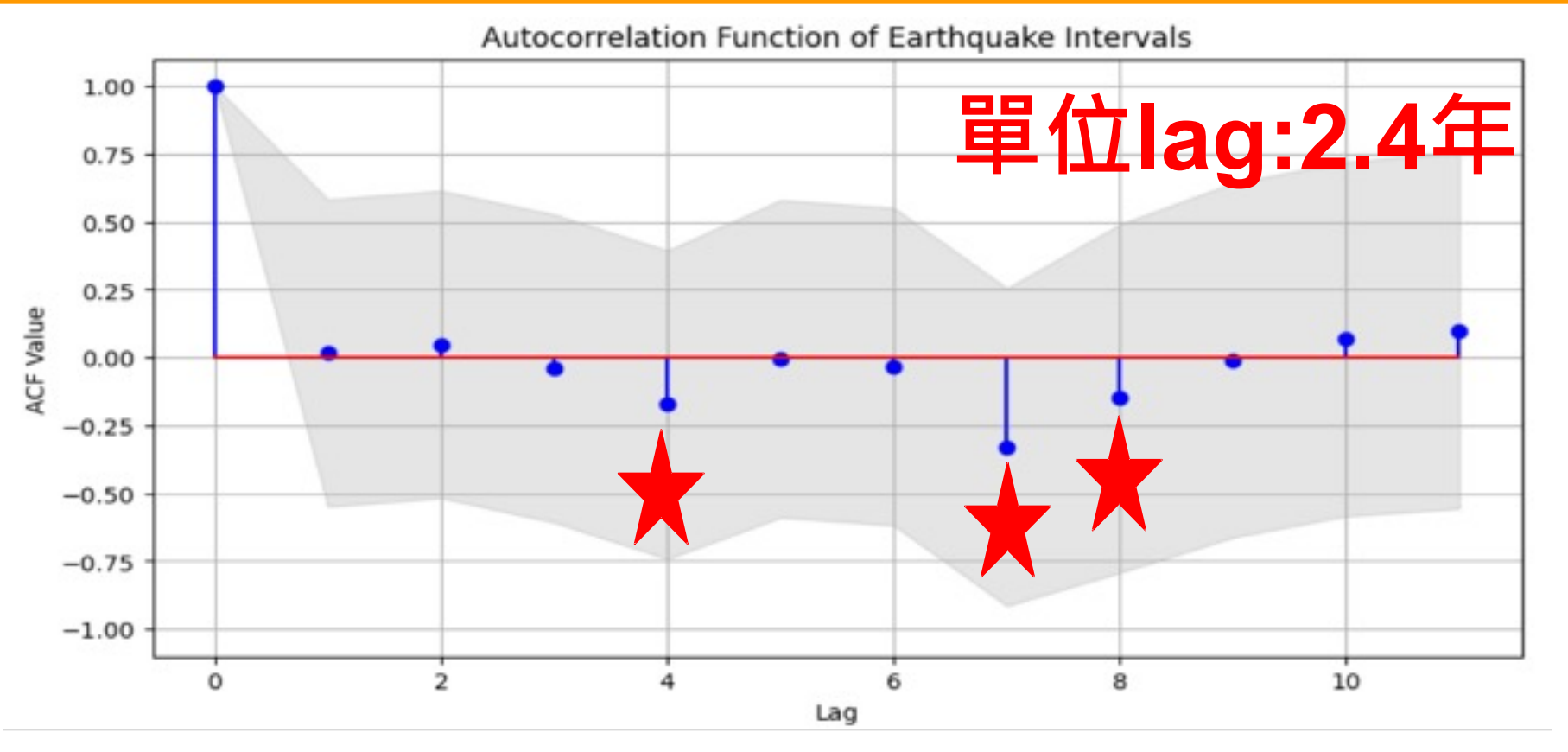


圖7 東部



結果三：群震發生時間的功率頻譜密度圖

圖8 選定區域

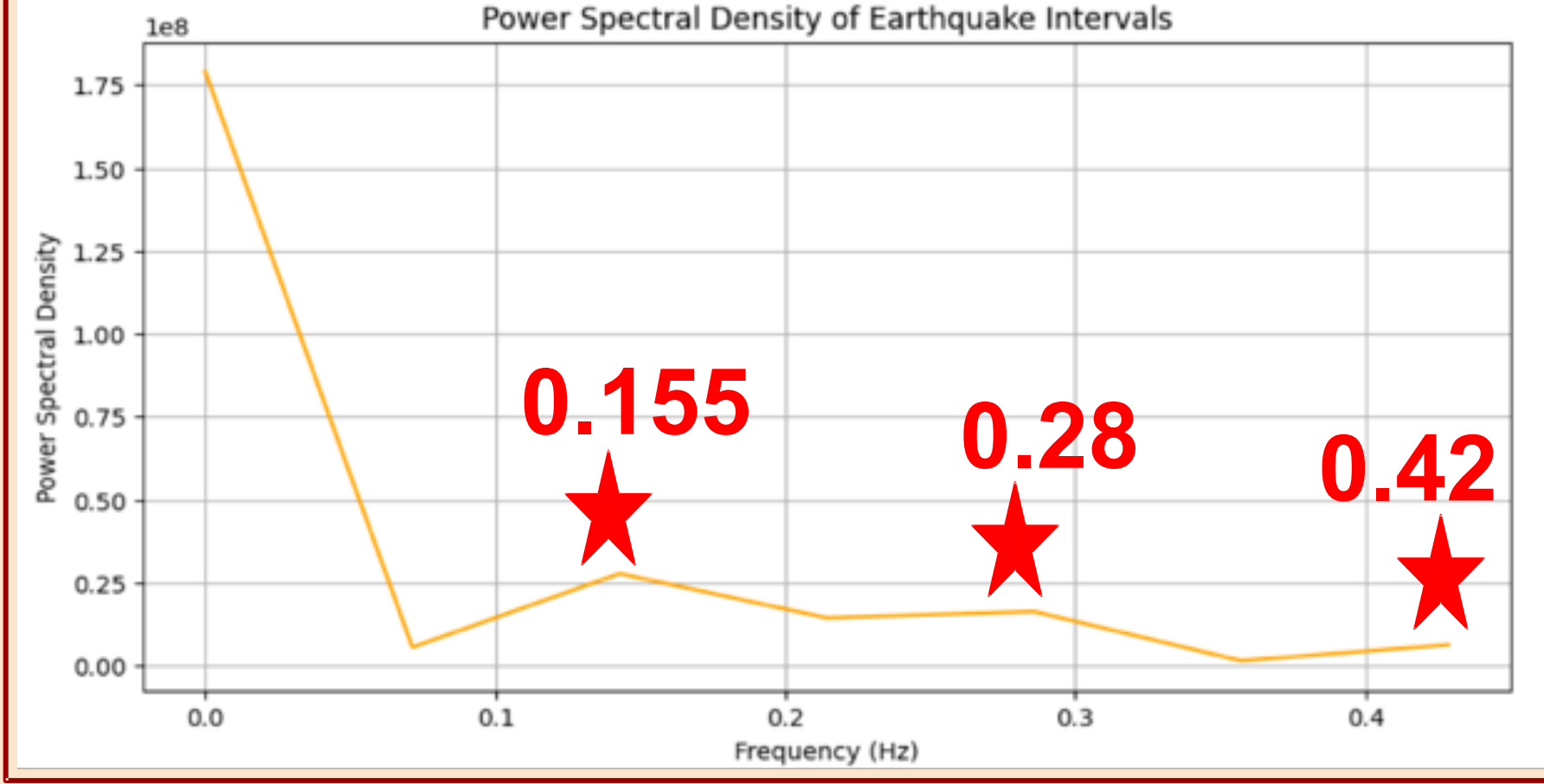


圖9 東北部

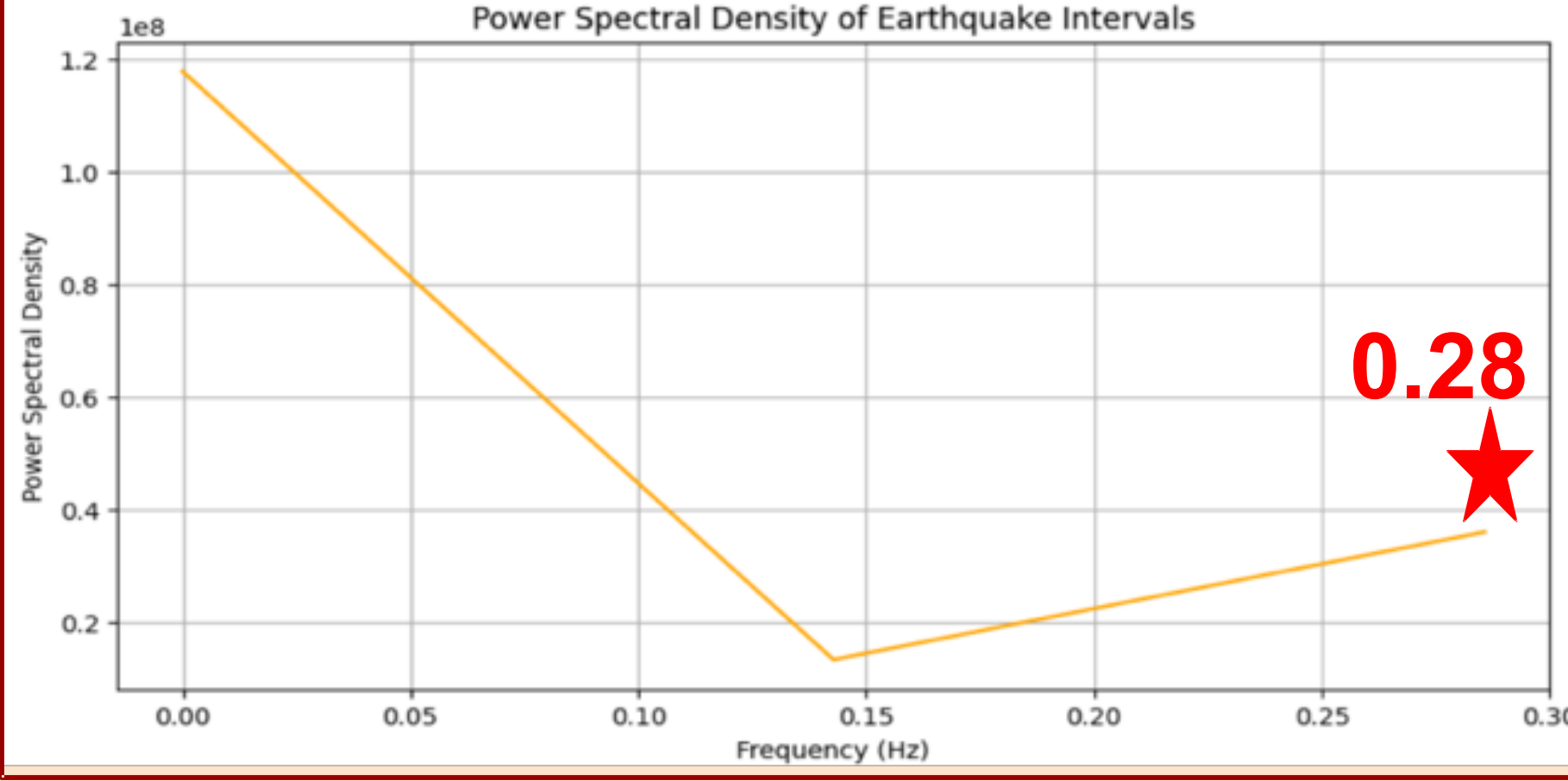
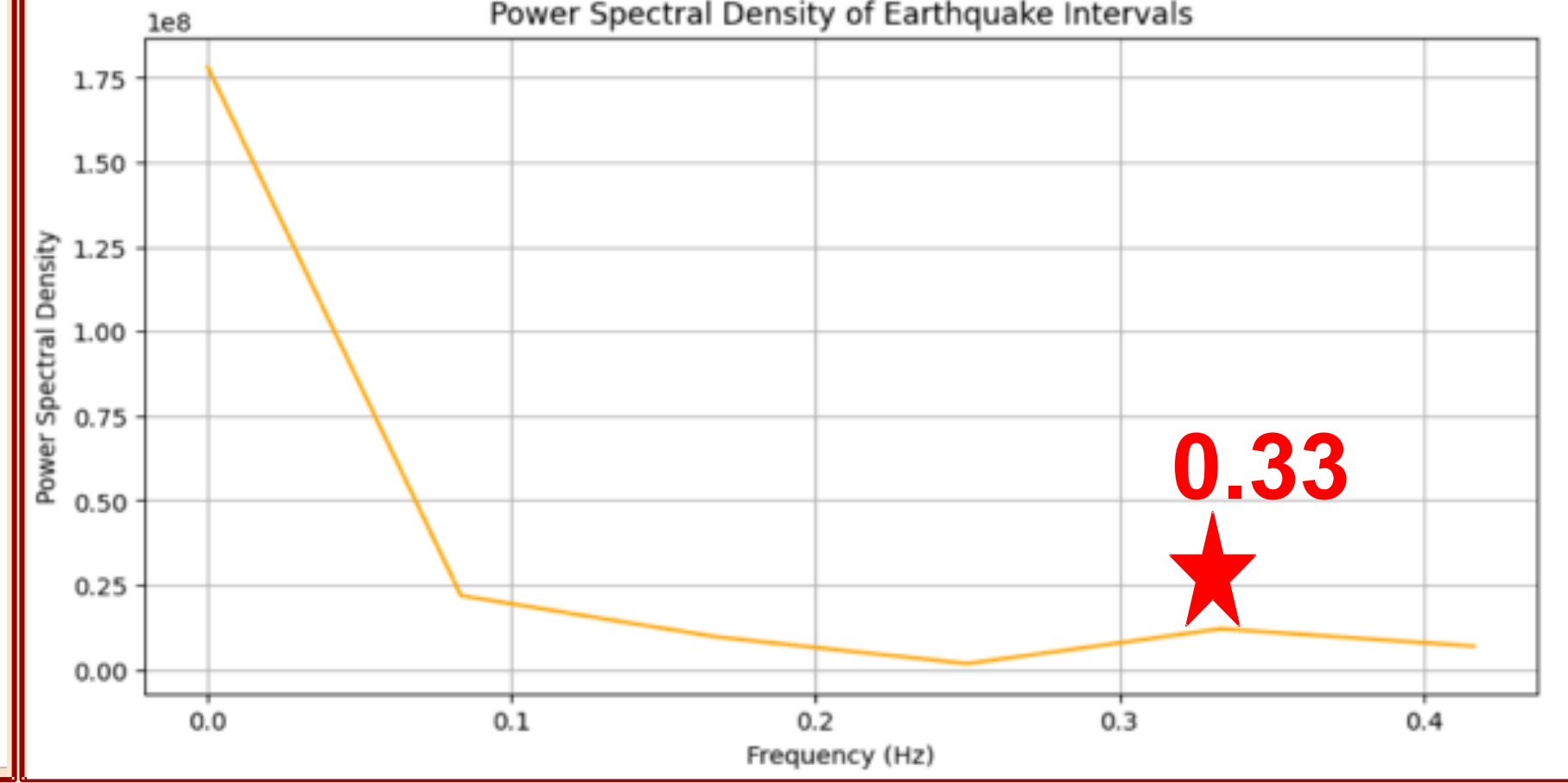


圖10 東部



週期1	9.28年	13.35年	
週期2	6.18年		7.27年

表1 由自相關分析及傅立葉變換得出的群震週期結果

二、說明與討論：

- (一) 我們推論可能是應力累積速度慢或地殼構造變化，使群震發生機率減少造成空白期的發生。
- (二) ADF檢定結果顯示選定區域、東北及東部地震帶之分析結果的 p 值分別為 0.001、0.007、0.001，表示三區內群震發生時間的分析具有一定準確性。三個區域的自相關圖中幾乎所有自相關值都位於置信區間內，可能是樣本數或地震數據量不足導致模型的預測較不準確，透過後續的傅立葉分析及與群震時間分佈圖的對照可知本研究的群震週期性分析有一定的可信度。

【群震與大地震發生時間及空間的關係】

結果一：規模≥5.0地震與群震發生時間間隔機率密度圖

圖11 選定區域

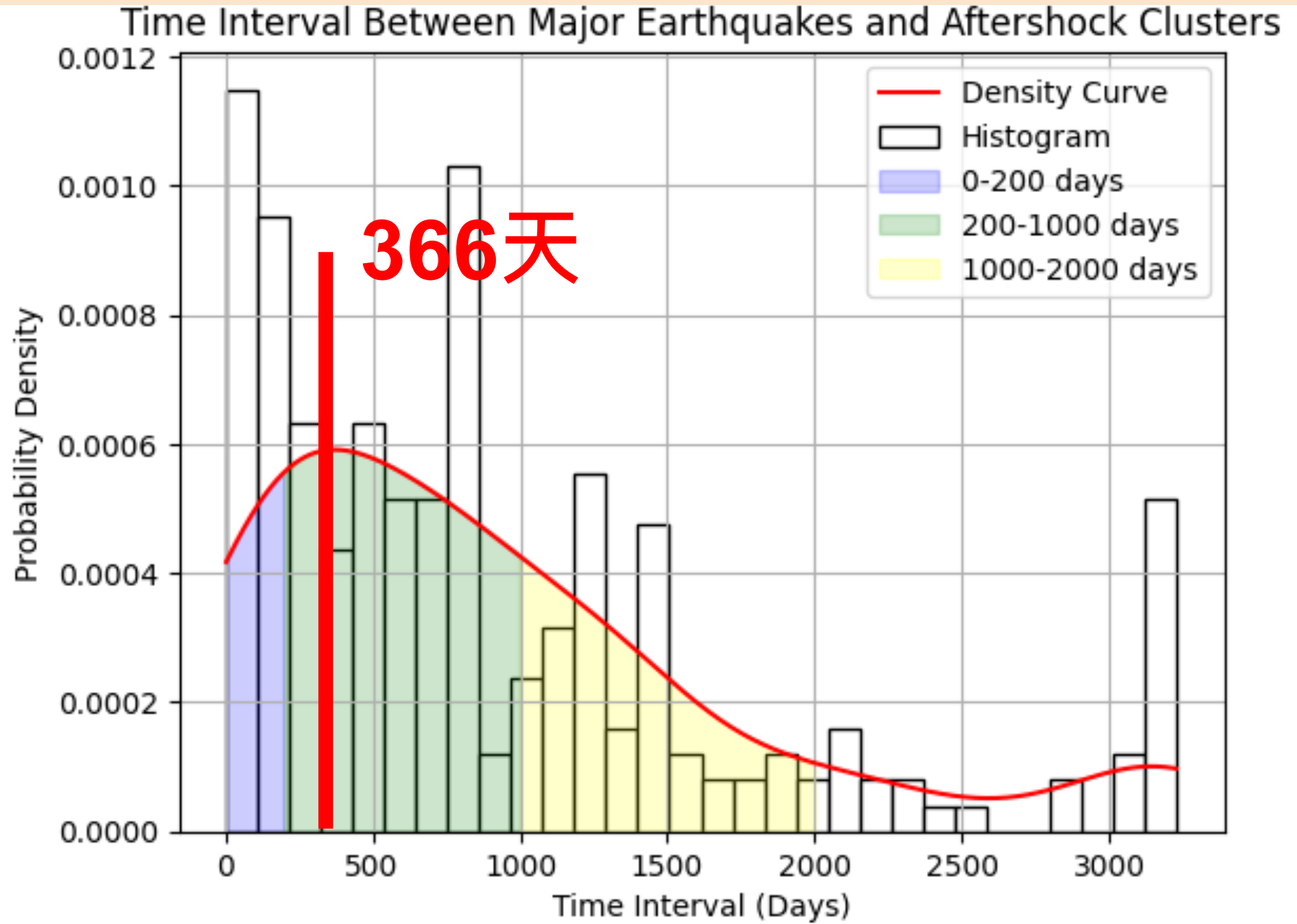


圖12 東部

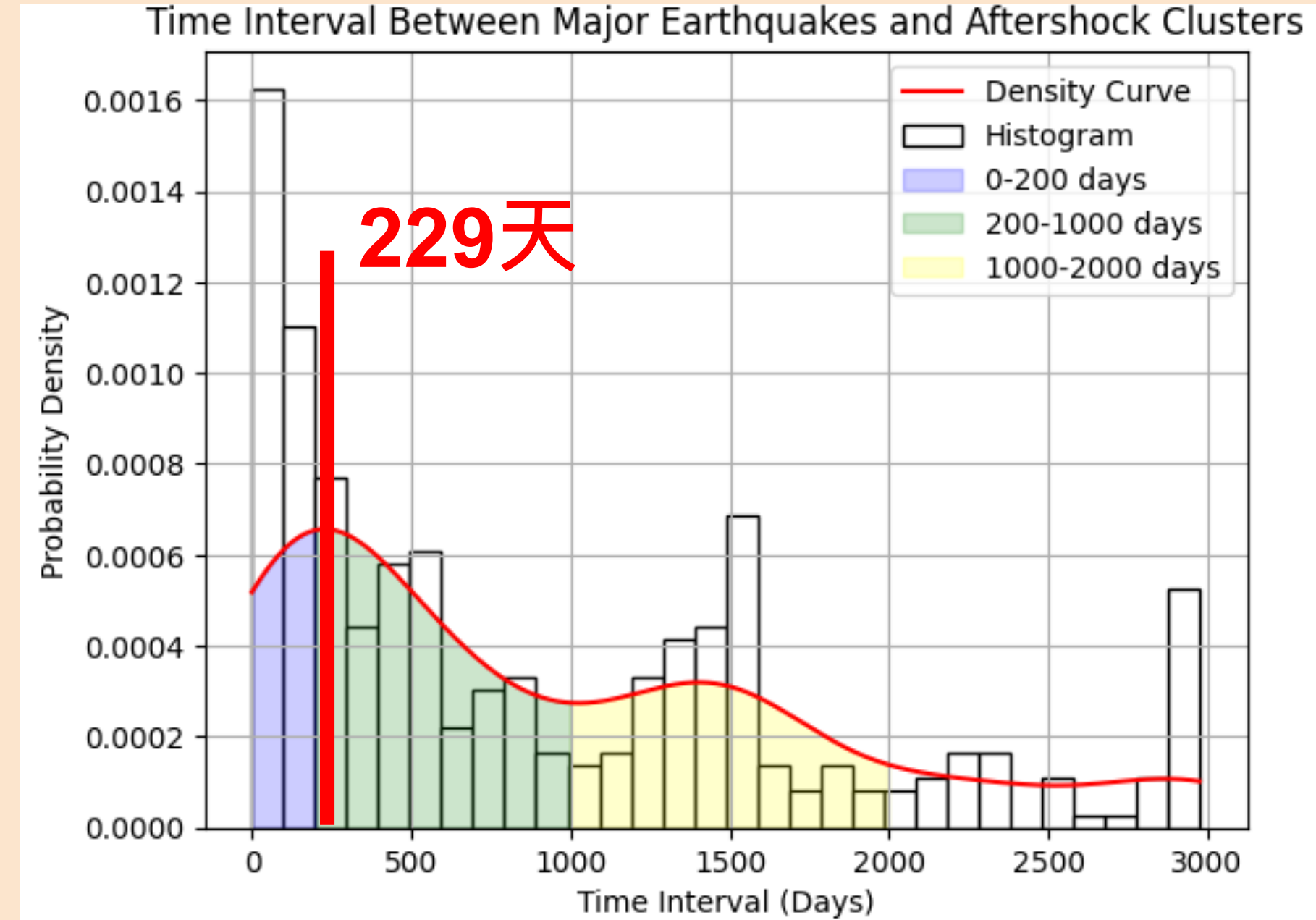
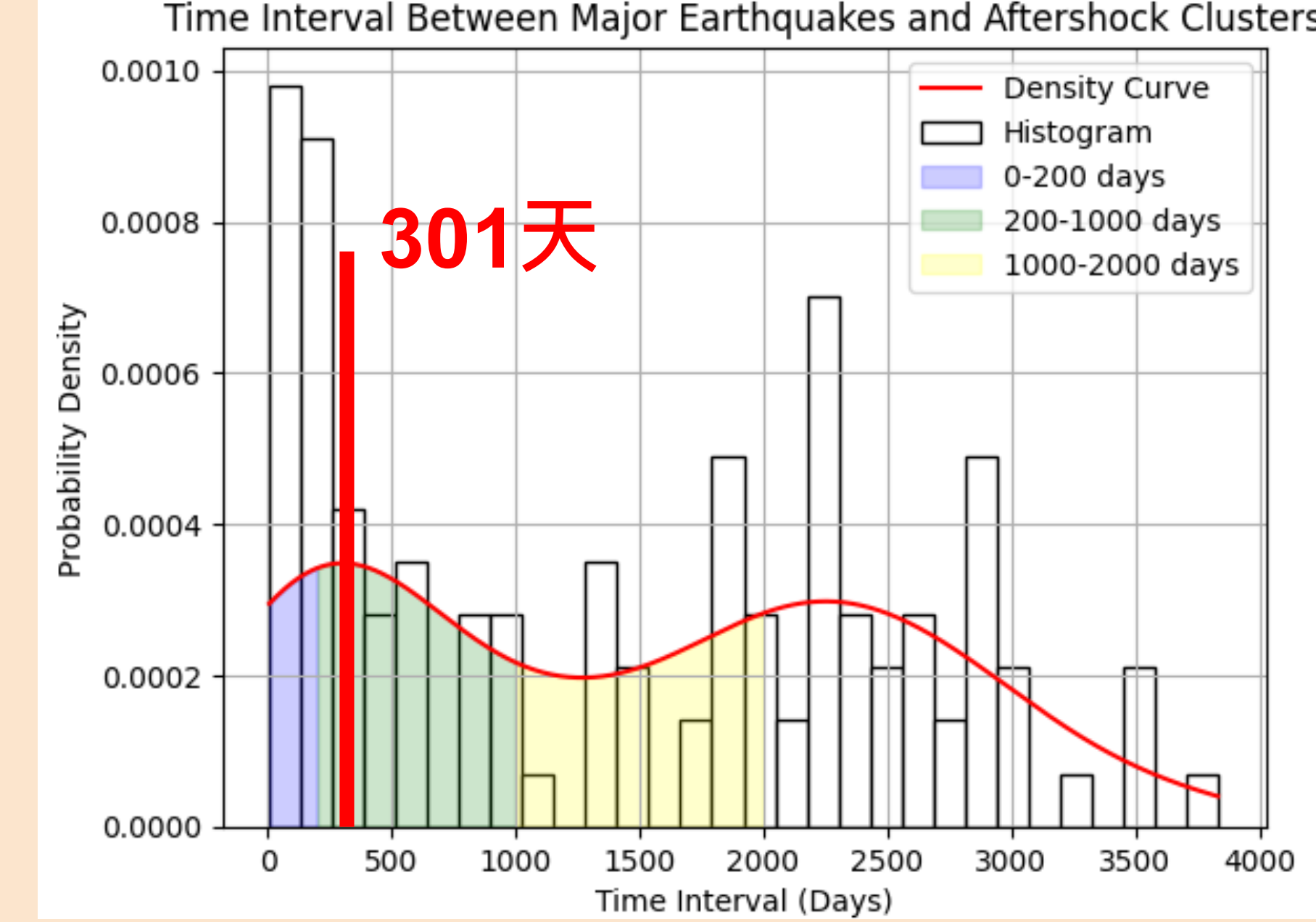


圖13 東北部



範圍	機率	預測機率	實際比率
選定區域		9.86%	9.78%
東北		12.06%	7.56%
東部		6.41%	6.25%

表2 地震預測機率

結果二：群震後大地震分佈位置及群震分佈圖

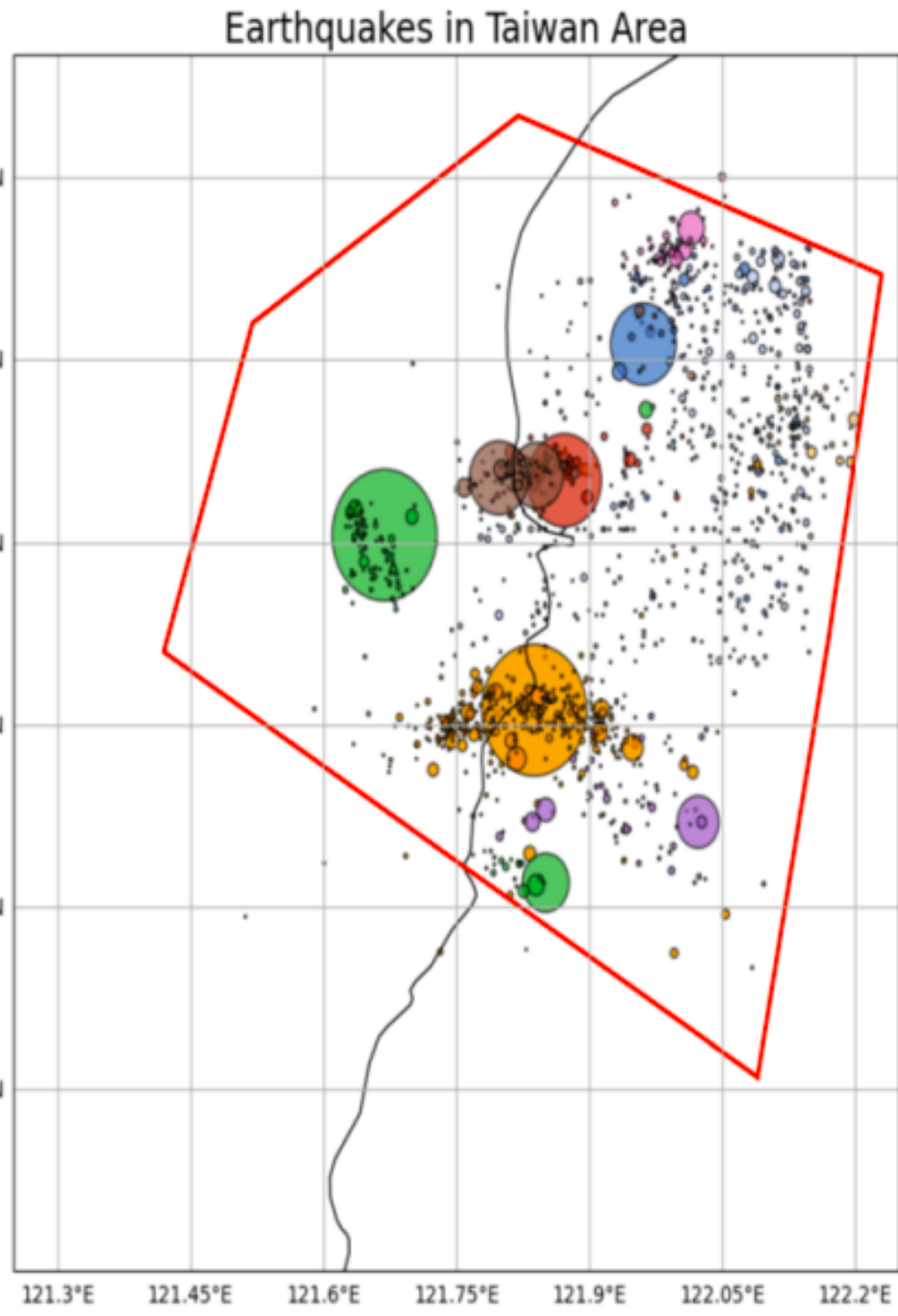
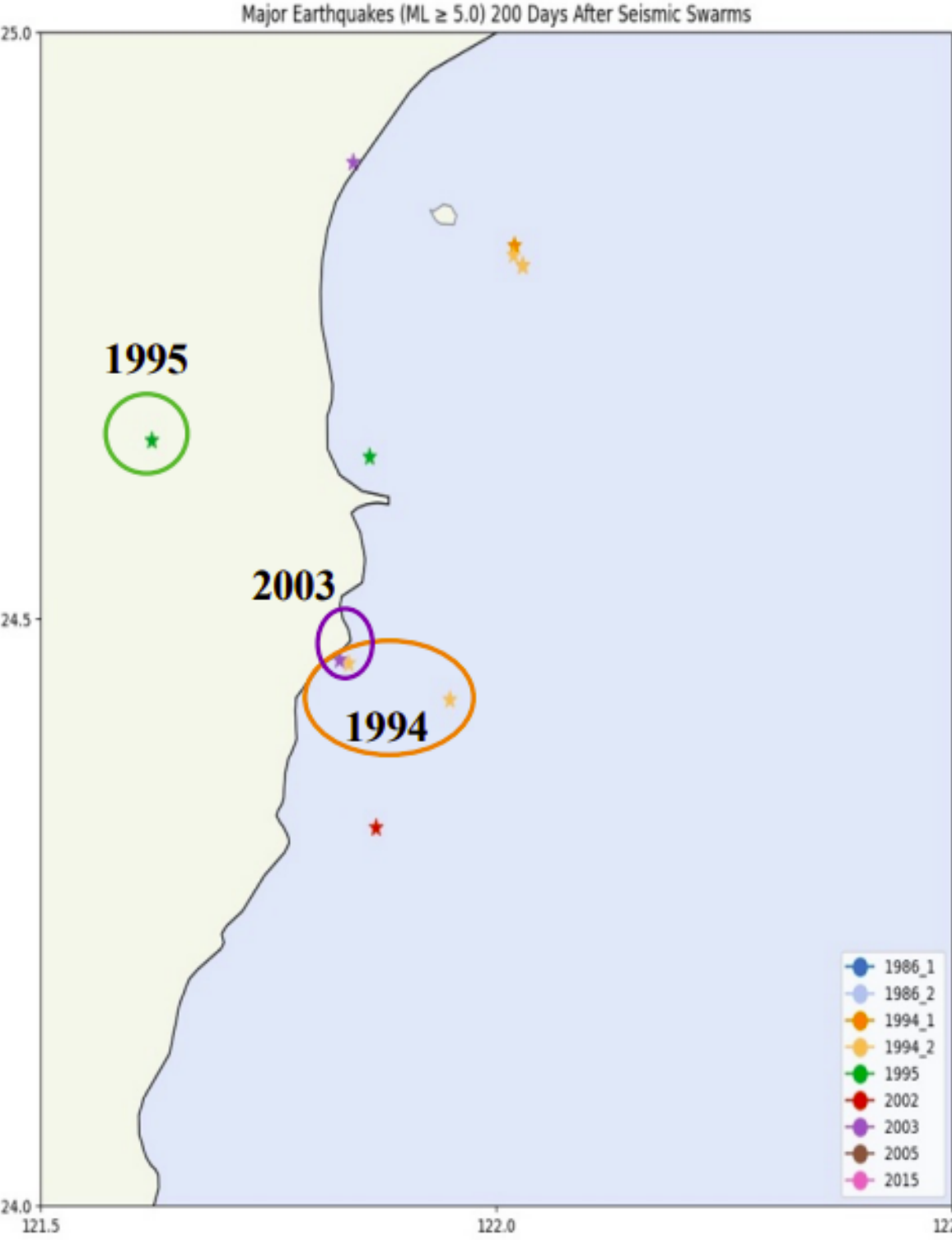


圖15 東北部

圖14 選定區域

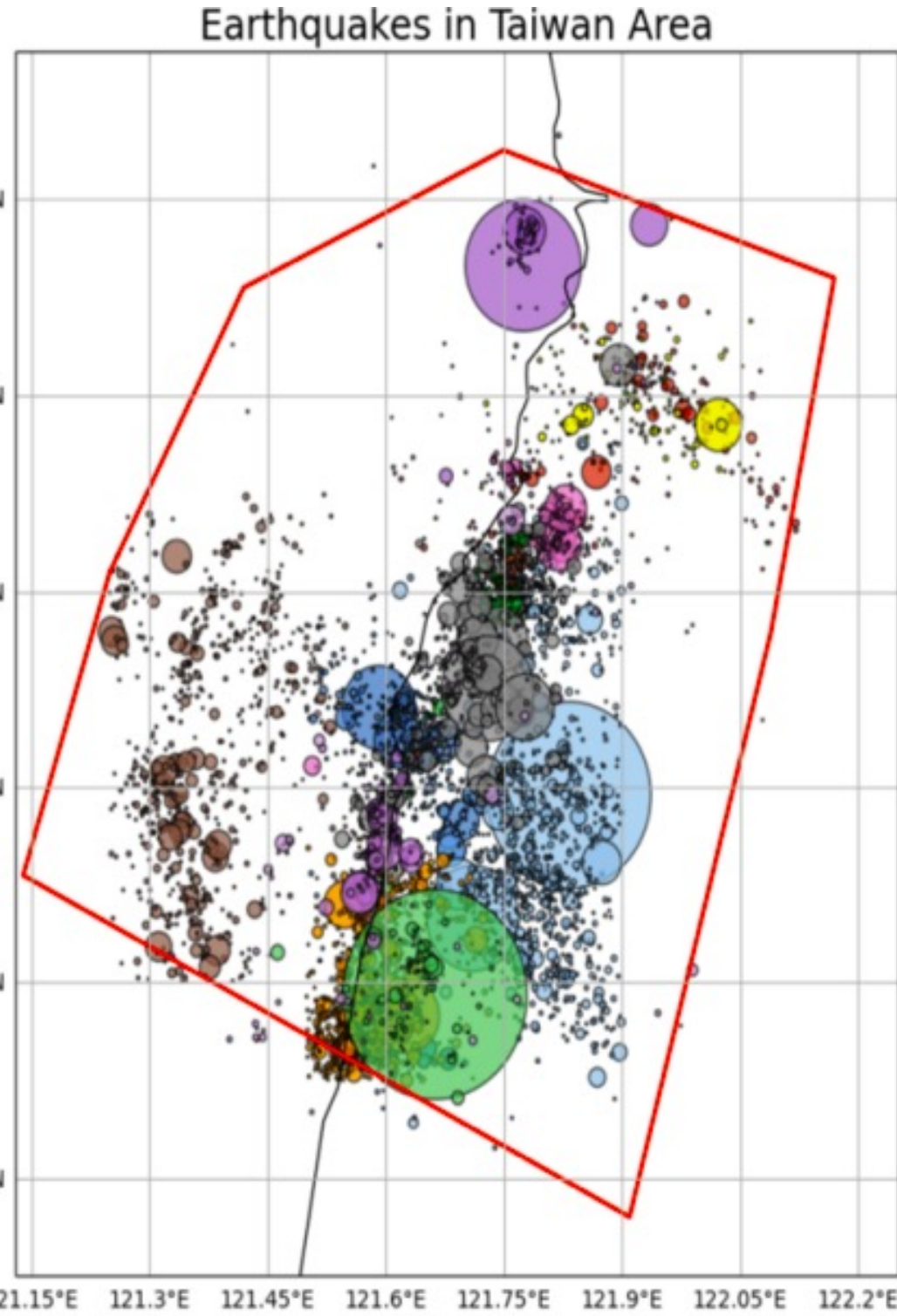
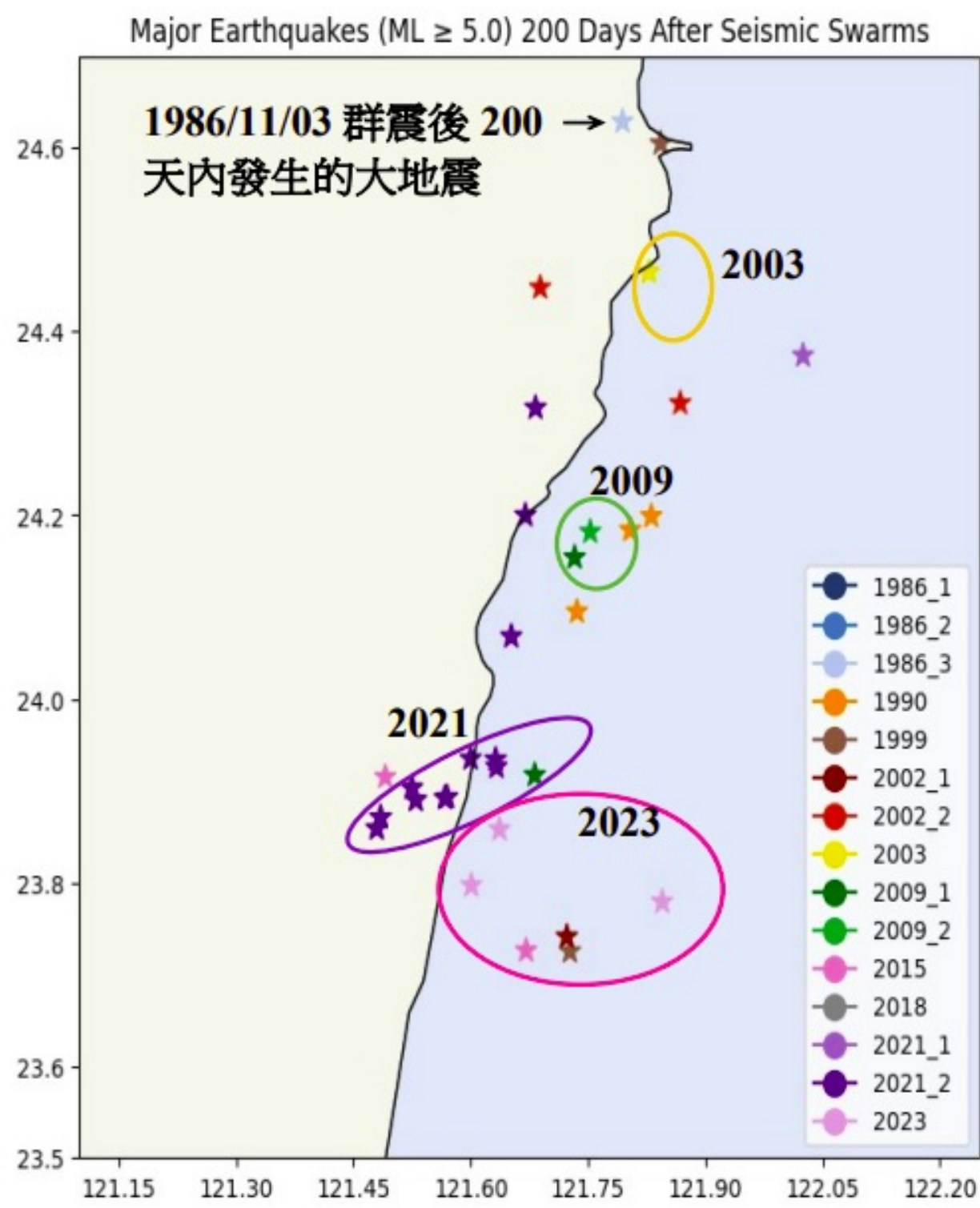
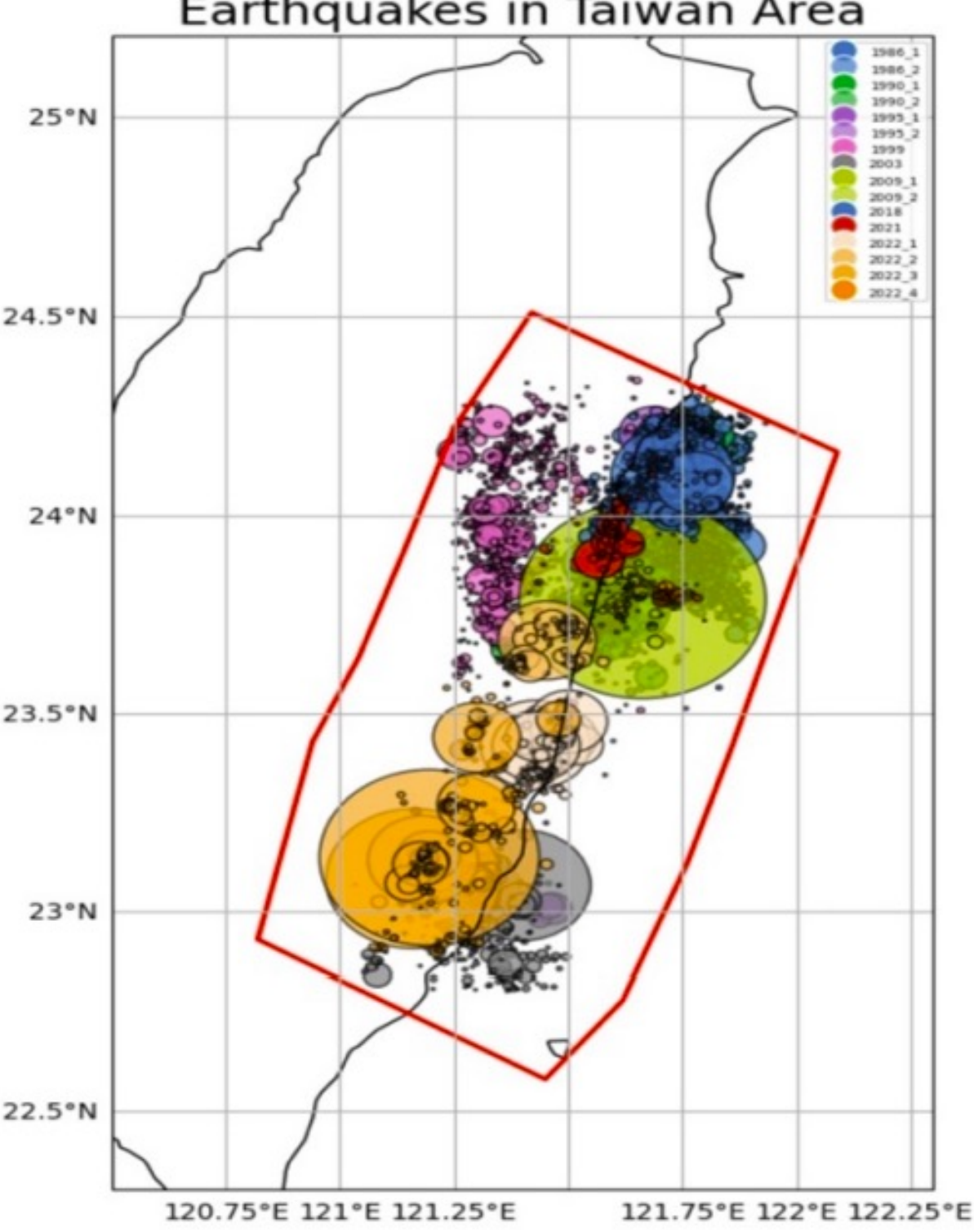
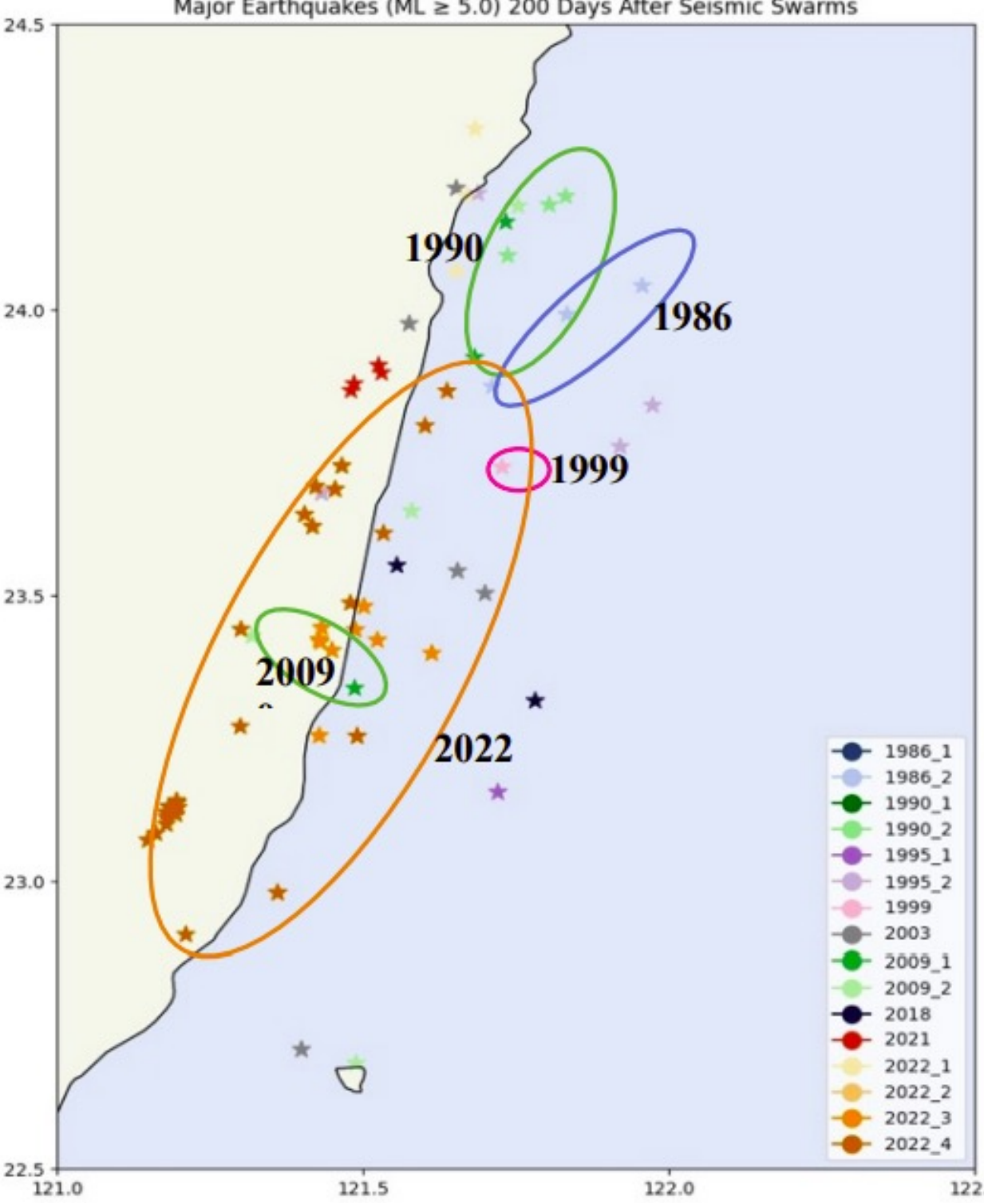
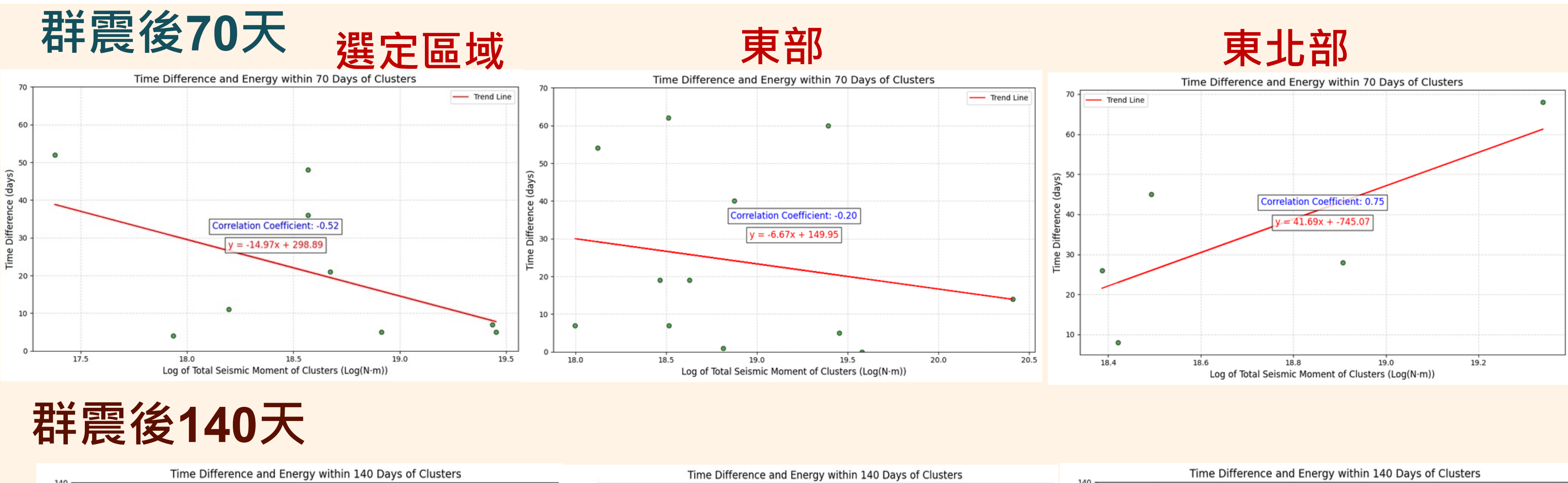


圖16 東部



【群震釋放能量與群震及大地震間隔時間的關係】

一、實驗結果 結果一：群震能量對群震與大地震間隔時間散佈圖



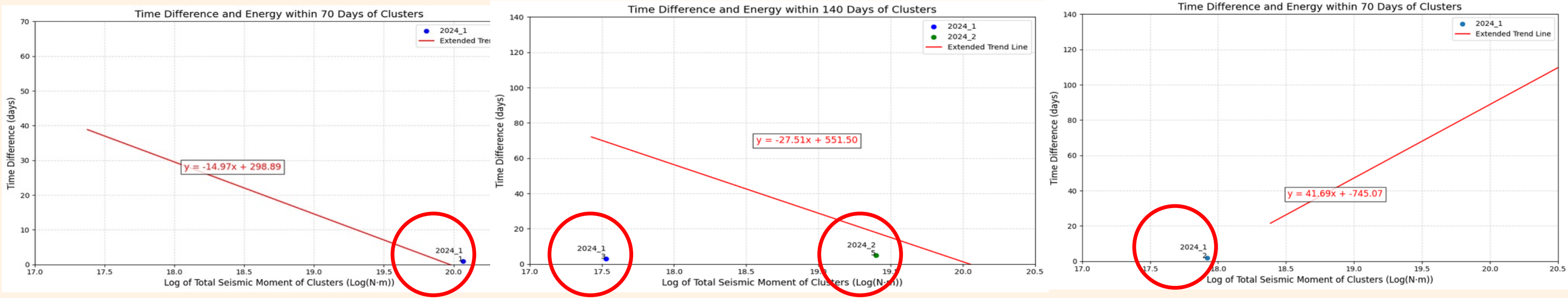
天數	70 天	140 天
範圍		
選定區域	-0.52	-0.23
東部	-0.2	-0.54
東北	0.75	0.11

表3 群震能量對群震和大地震時間差相關係數

範圍	天數	殘差值
選定區域	70天	0.15
東部	140天	-0.39
東北	70天	-0.01

表4 2024數據擬和最佳標準化殘差值

結果二：2024數據測試模型之標準化殘差值



二、說明與討論

(一) 群震能量對群震與大地震「時間差」擬合方程式

- 70天選取條件參考自文獻，為避免較長能量累積過程被截斷，我們多使用140天作為比較。
- 表3中選定區域及東部相關係數為**中度負相關**，東北為高度正相關，但東北因群震數量較少，仍需更多數據佐證。雖然尚未能建立精確的預測模型，但透過分析群震總能量與間隔時間關聯性，發現選定區域及東部呈中度負相關，暗示了**能量累積過快可能促使主震提早發生**，具有潛在預警價值。未來可結合更多樣本與區域資料，驗證此趨勢是否具普遍性。
- 選定區域及東北部在70天相關性高於140天**，推測皆受沖繩海槽張裂與歐亞板塊聚合影響，**造震機制較複雜**，故長時間數據選取易受不同能量形式干擾。
東部則是140天相關性大於70天，推測此區只受歐亞板塊聚合影響，造震機制相較較單純穩定，能量可長時間累積。
- 使用2024年地震資料套入方程式並做殘差標準化，可得**最佳的標準化殘差值皆極低**，因此我們認為模型**具有預測價值**，但是仍需要更多地震數據來支持假設。

(二) 群震總能量對群震與大地震「距離差」的擬合方程式

- 群震周圍的地方，若一直沒有產生地震，代表該區一直在累積應力，未來有可能產生較大的地震。
- 群震的能量越大，其影響區域越大，使得群震後的大地震發生位置可能與群震距離較遠。
- 「群震和大地震的距離」與「群震總能量」呈正相關，但仍需更多數據佐證。

群震總能量與群震和大地震發生距離散佈圖

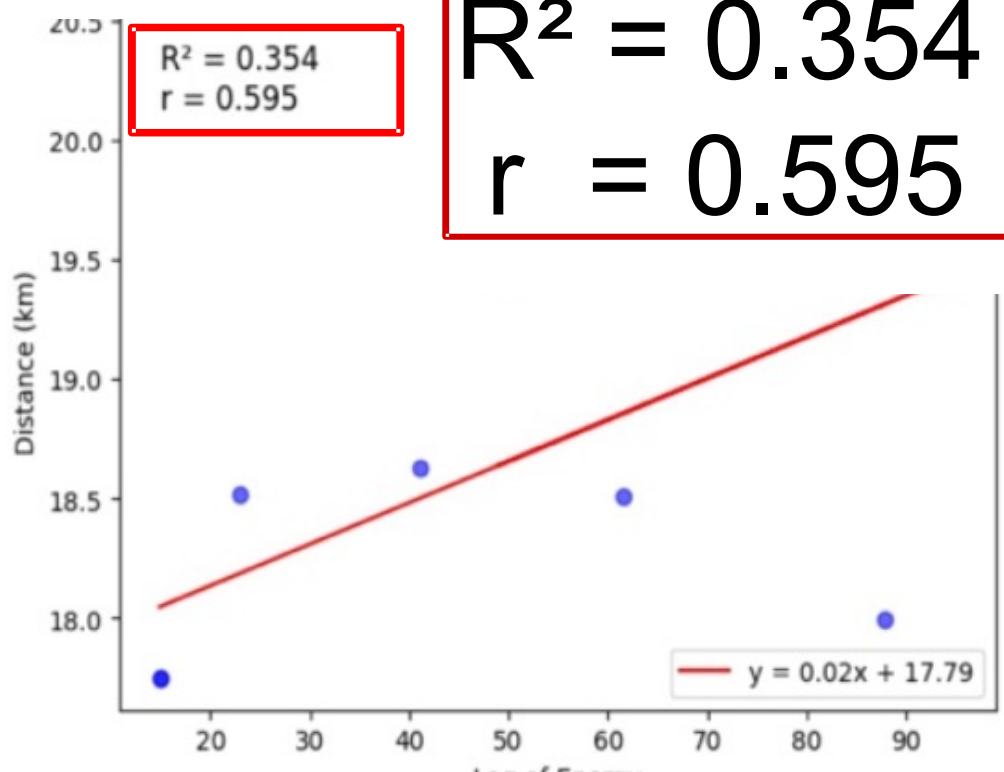


圖20 選定區域

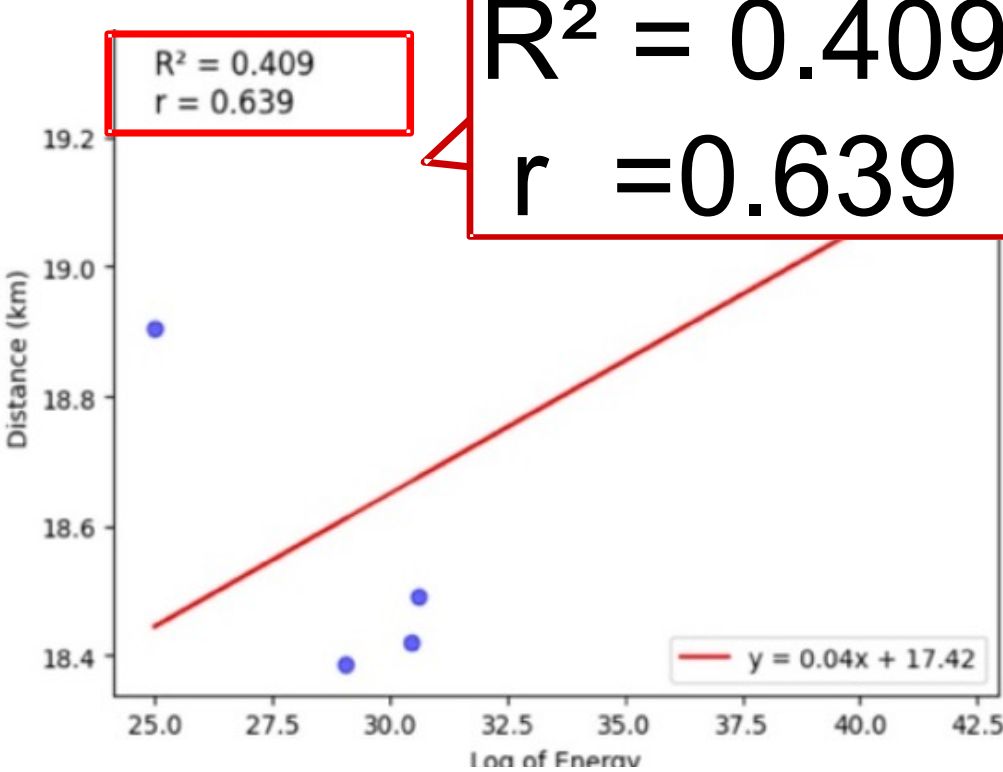


圖21 東北部

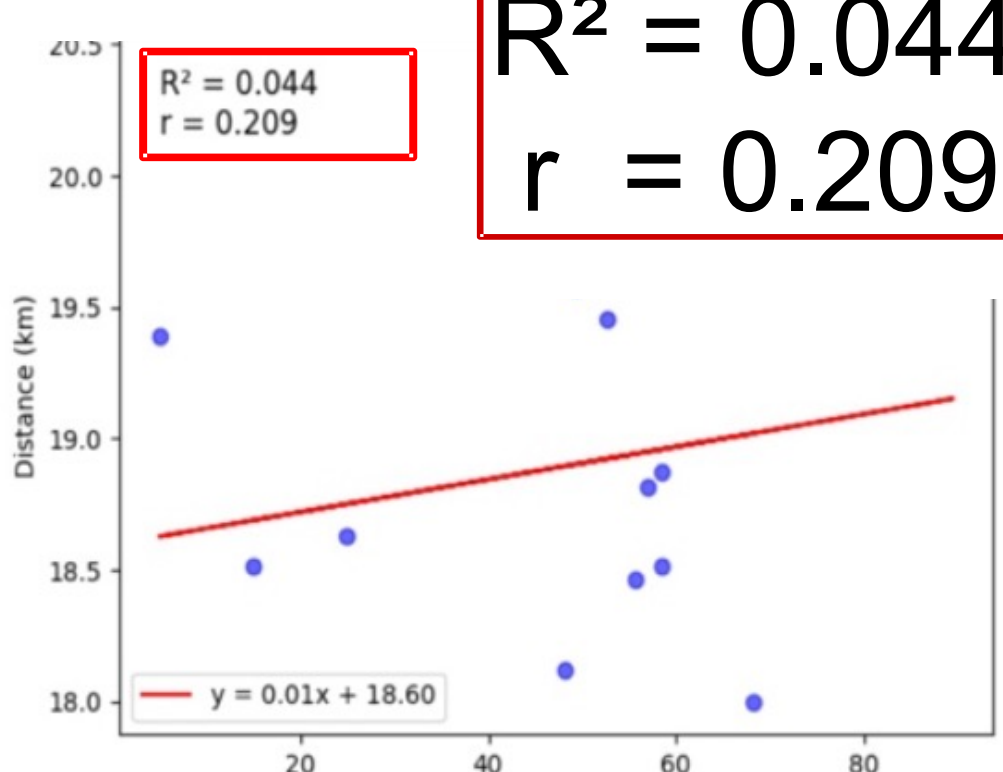


圖22 東部

伍、結論

- 1973-2023 年，選定區域群震週期為 6.18 年，空白期為 9.28 年。東北部的群震週期無法確定，空白期為 13.35 年。東部的群震週期為 7.27 年，空白期無法確定。
- 在選定區域、東北部及東部內，以規模 ≥ 5.0 作為大地震標準時，群震後 200-400 天為大地震發生機率最大之時間，群震後 200 天內發生大地震的機率分別為 9.86%、12.06%及 6.41%
- 選定區域及東部群震總能量對群震和大地震時間差呈負相關，表群震能量越大越快發生大地震。東北呈正相關，表示群震總能量越大則越慢發生大地震，但由於數據量少，參考價值較低。
- 由分析結果及文獻探討可知，選定區域較適合約兩個月內的短時間週期分析，東部可能較適合約四個月內的長時間週期分析，而東北部則沒有明顯規律。
- 將2024年數據套入擬和模型，得最佳標準化殘差值為 0.15、-0.01 及 -0.39，表模型具預測力。
- 長時間尺度下，群震總能量對時間差的分析仍應考慮研究區域的造震機制及地質構造。

陸、引用文獻及資料

- 高若甄、陳達毅 (2022)。以時空分布與 b 值分析臺灣群震特性。《氣象學報》，57(2)，1-15。
- 許世弘 (2009)。台灣花蓮地區地震前兆特性研究 (未出版的碩士論文)。國立成功大學。