

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	180024
參展科別	地球與環境科學
作品名稱	日本南海海槽長微震特性比較及其與環境參數 之關聯

就讀學校	臺北市立成功高級中學
指導教師	陳卉瑄 傅怡雯
作者姓名	吳有恩 董柏宇 李彥樺

關鍵詞	<u>長微震、復發週期、環境參數</u>
-----	----------------------

作者簡介



第一作者

我對地震等地球科學主題充滿熱情，透過數據分析與實驗，探索自然運行機制，並培養嚴謹的科學精神，希望以研究成果揭示地球奧秘。

第二作者

我一直以來便對地球科學富含興致，從變幻莫測的大氣到湛藍無邊的海洋，甚至到本次我們的研究主題——懾人心魂的地震。我們希望透過這次的研究探討地震是否和其他環境因子有些關聯，進而增進我們對地震這種天災的了解及認識。

第三作者

我對地球科學和資訊科技充滿興趣，特別喜歡研究地質與天文相關的知識。在專題中我負責數據呈現，希望能透過科學探索了解更多地球科學現象。

2025年臺灣國際科學展覽會

研究報告

區 別：

科 別：地球與環境科學科

作品名稱：日本南海海槽長微震特性比較及其與環境參數之
關聯

關 鍵 詞：長微震、復發週期、環境參數

編 號：

中文摘要

本研究利用 Slow Earthquake Database 長微震資料探討日本南海海槽長微震事件發生的特性、嘗試找出造成此區長微震發生的原因。我們將日本西南部的四國島、紀伊半島、愛知縣依空間細分為八個小區，分區將長微震的資料繪製成圖表，並利用快速傅立葉轉換（Fast Fourier Transform）進行頻譜分析，尋找該區長微震的活躍程度及復發週期，復發週期為一季至一年不等。另外，我們也將環境參數與長微震的月平均發震時長做比較，發現兩地皆與風速呈負相關、和累積雨量推遲 1~2 個月後兩者間成正相關、和地下水位高度呈負相關。潮汐與長微震的相關性上，潮位高度的影響較漲退潮狀態顯著，但兩者均對長微震的發生有著正相關。

英文摘要

This study utilizes the Slow Earthquake Database to analyze the characteristics of tremor events in the Nankai Trough region of Japan and attempts to identify the causes of these tremors. We divided the southwestern regions of Japan, including Shikoku Island, Kii Peninsula, and Aichi Prefecture, into eight subregions. For each subregion, we mapped the long-period tremor data and performed frequency spectrum analysis using FFT to determine the activity level and recurrence periods of these events, which range from a season to a year. Additionally, we compared environmental parameters with the monthly average duration of tremors and found that both regions show a negative correlation with wind speed. There is also a positive correlation with cumulative rainfall observed 1 to 2 months later, and a negative correlation with groundwater level. Regarding the relationship between tides and long-period tremors, the impact of tidal height is more significant than the state of ebb and flow, and both have a positive correlation with the occurrence of long-period tremors.

壹、前言

一、研究動機

2023 年 2 月 17 日，臺北大屯火山發生芮氏規模 3.1 的有感地震，由於震央於臺北的地震罕見，且大屯火山非活火山，故引起我們對該地震成因的關注。經查詢資料後發現，地層能量釋放方式除斷層快速錯動外，還能透過慢地震。另外，日本的長微震研究資料完整且資料公開免費，故我們選擇研究日本南海海槽之長微震發震特徵及其與當地環境參數之關聯。

二、研究目的

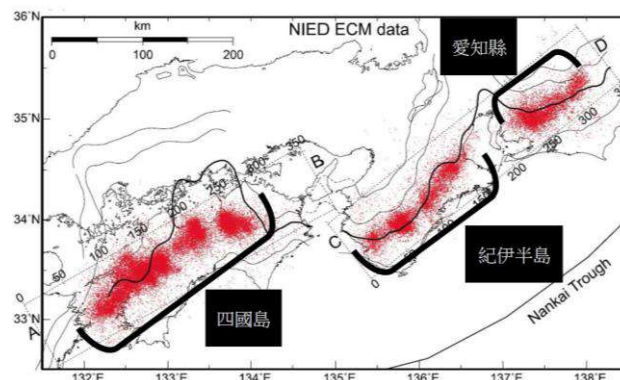
- (一) 探討日本南海海槽長微震之活躍期
- (二) 探討日本南海海槽長微震之復發週期
- (三) 探討日本南海海槽長微震之活躍期與週期性與環境參數的關係—大氣圈與岩石圈
- (四) 探討日本南海海槽長微震之活躍期與週期性與環境參數的關係—水圈與岩石圈

三、文獻回顧

(一) 日本南海海槽長微震之特徵

根據 Obara 等人的研究，2002 年在日本西南部地區（日本四國、紀伊半島及愛知縣，範圍如圖一）所發生的長微震持續時間在數分鐘到數天之間，且訊號是在非火山區域被偵測到。另外，頻率 1~10 Hz 所對應到的能量與其他訊號，例如：背景噪訊、遠距地震等的差異較大，是較能區別長微震與其他雜訊的頻率範圍。

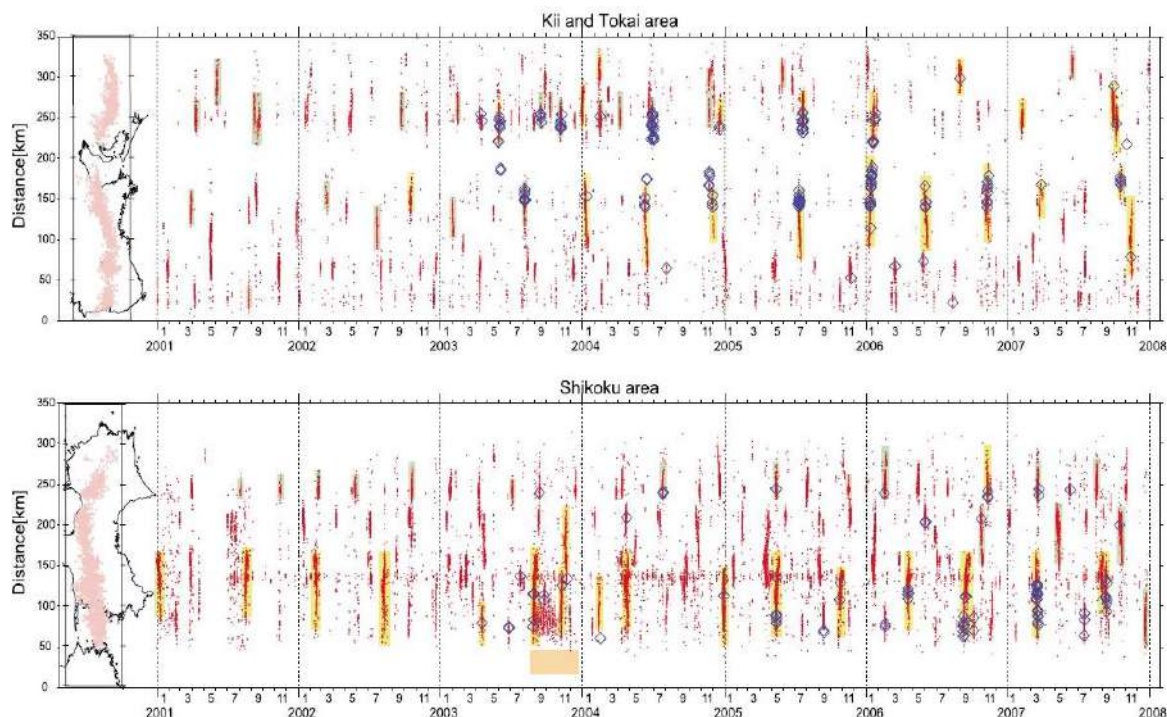
(Obara. K ,2020)



圖一、日本南海海槽長微震的震央分布（本圖片出自於 Obara. K ,2020）

（二）日本西南部長微震的空間特性

根據 Kazushige Obara (2010)，作者將四國、紀伊半島與愛知縣的長微震發生位置與時間分布繪製如圖二。作者發現此區域中可以由空間的不連續，將發生在四國、紀伊半島與愛知縣的長微震進行更細部的分區，而我們的研究也採用此方法進行分區。

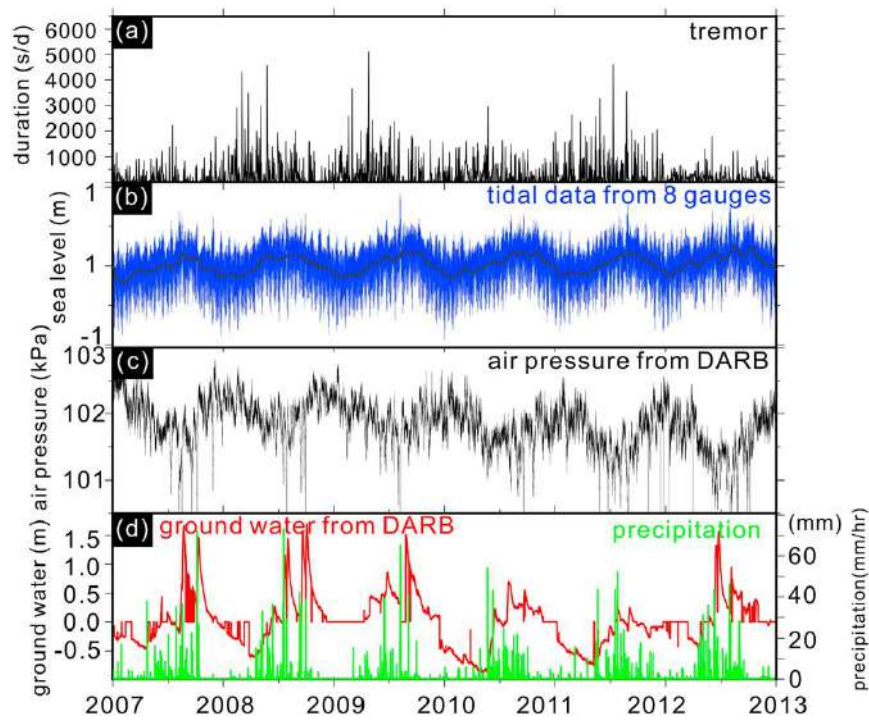


圖二、紀伊半島與愛知縣及四國島之震央水平距離分布與時間關係圖

（本圖片出自於 Obara. K ,2020）

（三）長微震與環境參數的關聯

根據戴心如（2016）的研究，長微震發震時間與潮汐高度相關，作者選用臺灣東西岸的測站中，有約 67% 的長微震發生在潮汐水位大於水位平均值的時刻，而更有 83% 的長微震發生在潮汐水位上升時，表示長微震可能受到潮汐的微小應力變化引起，並指出發震區域可能為高孔隙水壓的環境；而由圖三發現，於 2007~2013 年，臺灣中央山脈的長微震在每年的春天最為活躍，其中，在潮位上漲、大氣壓力下降時、低地下水位時的長微震發生秒數較長。另外，作者也提及在水體壓力去除後，較能引發地殼的滑移，故可解釋在為何地下水位低時，長微震的發生較活躍。然以上的研究皆針對臺灣中央山脈的長微震與環境參數進行探討，此地區並非板塊邊界，與四國南海海槽的聚合性板塊邊界不同。



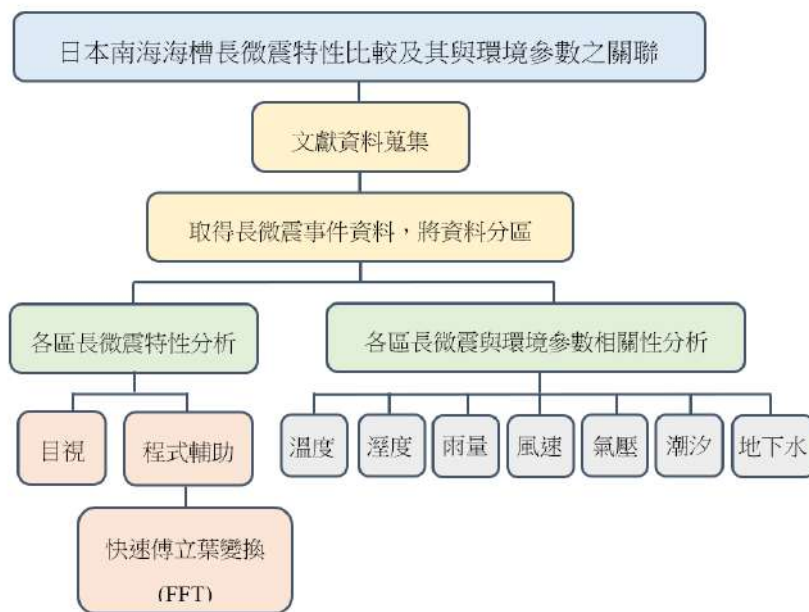
圖三、(a) 2007~2013 年日期與長微震發生秒數長條圖；(b) 2007~2013 年日期與潮汐距平均高度折線圖；(c) 2007~2013 年日期與大氣壓力折線圖；(d) 2007~2013 年日期與地下水位及雨量折線圖（本圖片取自 Kate Huihsuan Chen (2018)）

貳、研究方法或過程

一、研究設備及器材

- (一) 筆記型電腦
- (二) 數據分析與製圖軟體：Excel、Python
- (三) Slow Earthquake Database
- (四) 環境參數資料：日本氣象廳、日本國土交通省

二、研究流程



(本流程圖由第三作者繪)

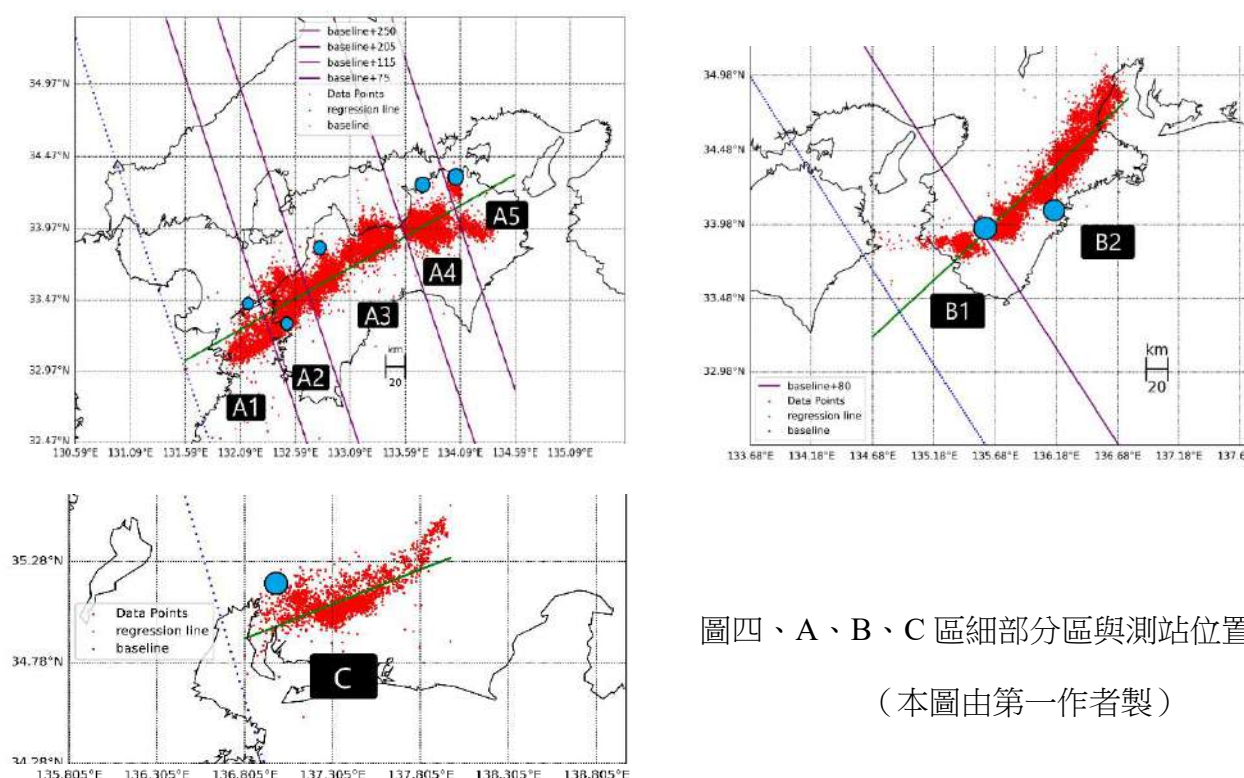
三、分析方法

(一) 研究區域

包含四國、紀伊半島及愛知縣，各震央來源的位置依照 Daiku (2018) 資料庫所提供。有鑑於震央分布範圍廣大，為了解該區長微震發生的細部區域特性，我們參考 Kate Huihsuan Chen et al. (2023) 的做法，將日本南海海槽發生的長微震進行分區，分為 A、B 及 C 三區塊，又參考了 Kazushige Obara (2010) 的作法，將 A、B、C 三區依空間的不連續共分成了 8 個小區域，如圖四所示；其中，紅色點代表長微震的發生位置，藍色點代表 8 區的氣候資料站點位置，經緯度如表一所示。

表一、各區採用長微震資料測站名稱、所在縣市及絕對位置（本表由第二作者製）

地區	四國					紀伊半島		愛知縣
區域名	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	C
測站名	瀨戶	宇和島	松山	多度津	高松	龍神	尾鷲	名古屋
經緯度	33.45 °N	33.23 °N	33.84°N	34.27 °N	34.32 °N	33.94 °N	34.06 °N	35.16 °N
	132.26 °E	132.55 °E	132.78 °E	133.75 °E	134.05 °E	135.55 °E	136.19 °E	136.95 °E



圖四、A、B、C 區細部分區與測站位置分布圖

（本圖由第一作者製）

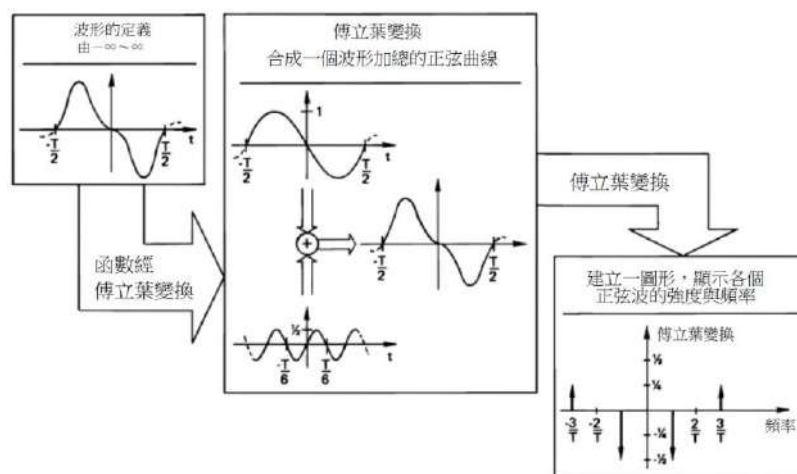
（二）使用去趨勢線分析長微震的活躍程度

由於並非每天都有長微震發生，也並非每天僅發生一起長微震，故在長微震事件目錄處理上，我們分區加總每日發生之多起長微震事件時長，獲得各區每日發生之總長微震時長。接著，我們將各區總長微震時長累加之數值扣除趨勢線數值，去趨勢 (detrend) 線值，並使用此線來定義長微震之活躍程度。

所謂活躍期為「單位時間內之長微震發生時長較長者」。故我們定義絕對與相對活躍程度：去趨勢線值小於 0 者為「絕對非活躍區」，反之為「絕對活躍區」；而「相對活躍」的定義則是相鄰兩資料基於目視法，曲線中的數值點間相互與其左右比較，較高者可知此值之相對活躍，較低者為「相對不活躍」。

(三) 使用快速傅立葉轉換法分析不同區域的長微震復發週期

使用去趨勢線觀察各區微震復發週期無法得到一精確數值，故我們使用快速傅立葉轉換 (Fast Fourier Transform, 以下簡稱 FFT) 來分析各區長微震復發週期，分析過程如圖五所示 (Brigham E. O., 1987)。FFT 可將單一波形轉換成許多不同頻率的正弦波，因此得以協助我們釐清一個波形含有的頻率成分。



(本圖由第二作者譯)

圖五、快速傅立葉變換 (FFT) 的轉換原理以及範例 (截自 Brigham E. O., 1987)

(四) 探討長微震發生頻率與該區環境參數之相關性

1. 由日本氣象廳、日本國土交通省下載氣象資料，包含日平均溫度、日平均風速、日累積降雨量、日平均氣壓和日平均溼度後，繪製各項參數之折線圖，將此圖與資料涵蓋時間的每年相同月份長微震發生個數平均做比較。
2. 在觀察潮汐與長微震的關係時，我們進行以下分析：
 - (1) 提取每個長微震事件發生時的潮汐高度，與平均潮位比較，統計高於和低於平均潮位的事件比例。
 - (2) 分析事件前後的潮汐高度變化，判斷其處於漲潮或退潮階段，並計算各階段的事件比例。
 - (3) 為研究潮汐延遲效應，通過延遲事件時間（如 1 小時）重新分析潮汐狀態，計算延遲後的事件比例。
3. 地下水資料的分析方法與潮汐相似，但時間單位以天為解析度，且無地下水之水位漲落狀態分析。

參、研究結果與討論

一、探討日本南海海槽長微震之活躍期

我們透過去趨勢線觀察各區長微震隨時間的活躍程度，對應到圖六～圖十三：

（一）A 區：

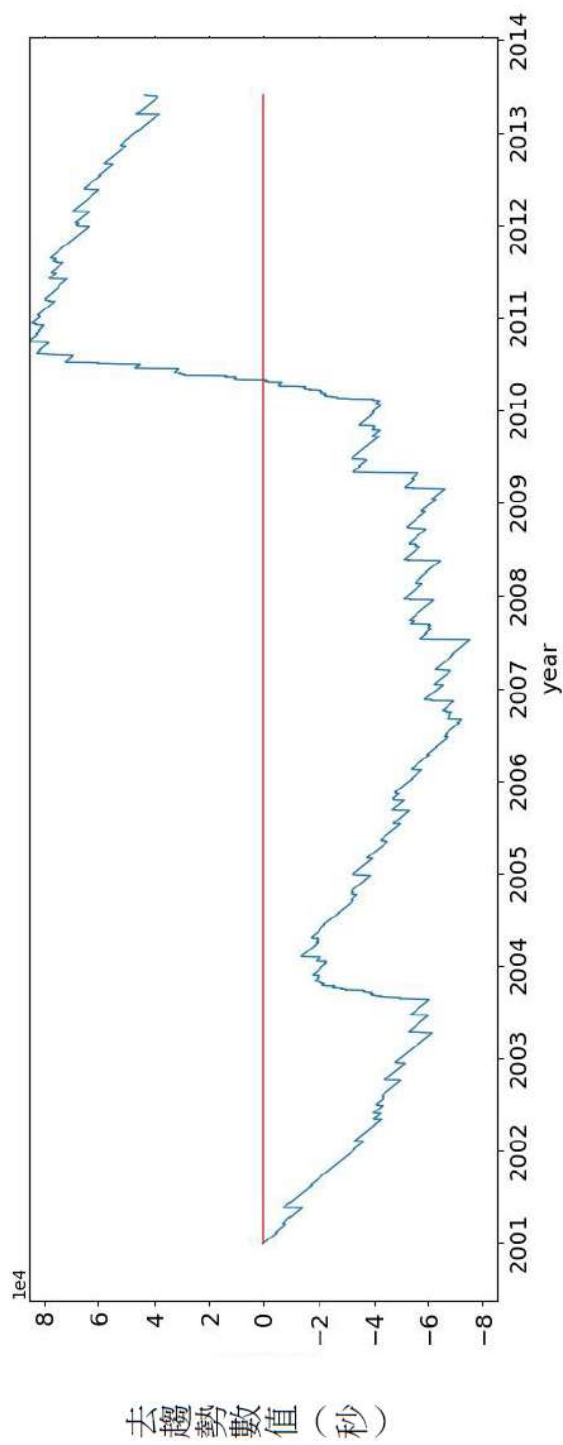
A1、A2 區的長微震在 2010 年中以前的活躍度偏低，2010 年中後活躍度快速升高；A3 區的長微震在 2005 年中以前偏向不活躍，以後愈趨活躍；A4 區的長微震在 2013 年以前活躍度偏低，但在 2013 年後活躍度逐步提升；A5 區的長微震在 2006 年前活躍度偏低，但在 2006～2009 年間，活躍度提升，在 2009 年以後，活躍度又開始下降直到 2014 年中，2014 年中以後活躍度大幅提升。

（二）B 區：

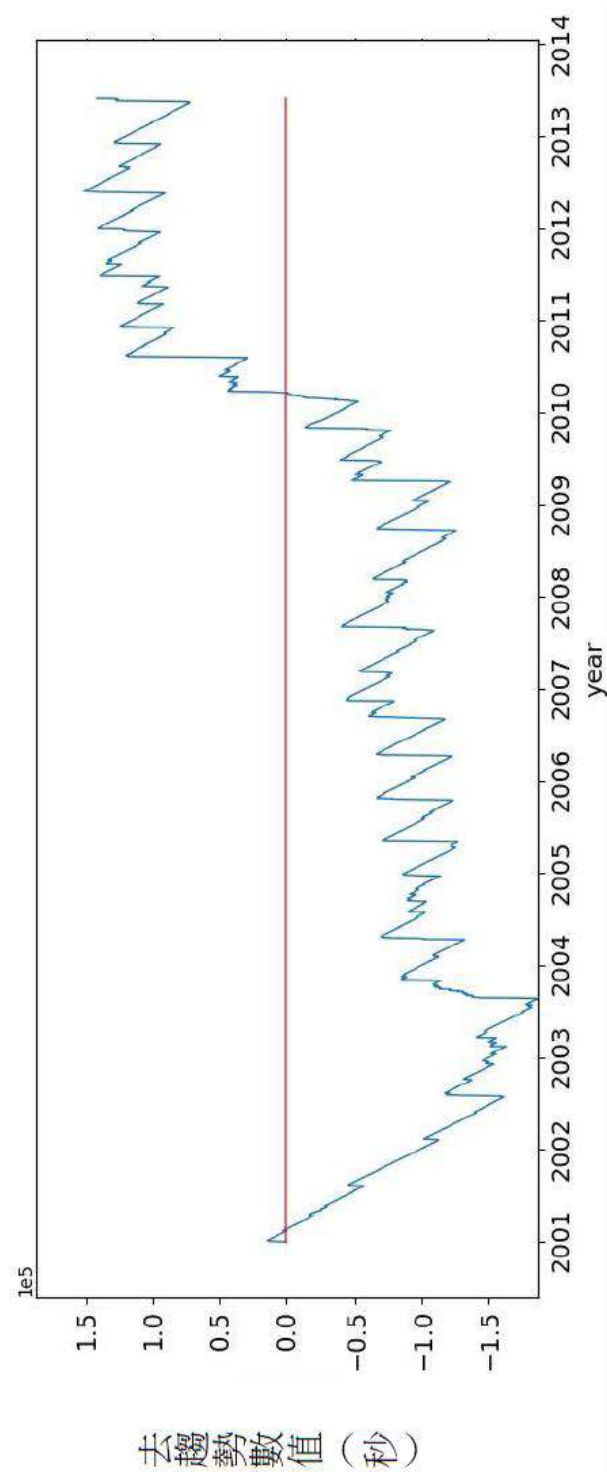
B1 區的長微震在 2010 年以前的活躍度均偏高，之後逐漸下降；B2 區的長微震的活躍度在 2006 年以前偏低，而在 2006～2011 年間活躍度偏高，2011 年後活躍度又開始下降，並且我們觀察到 B2 區的去趨勢圖有起伏較大的波峰，指出該地活躍期與非活躍期的長微震日發生秒數差異較其他組大。

（三）C 區：

C 區的長微震在 2004～2010 年間，長微震的發震較活躍，在 2002～2004 年及 2011 年後，較不活躍。

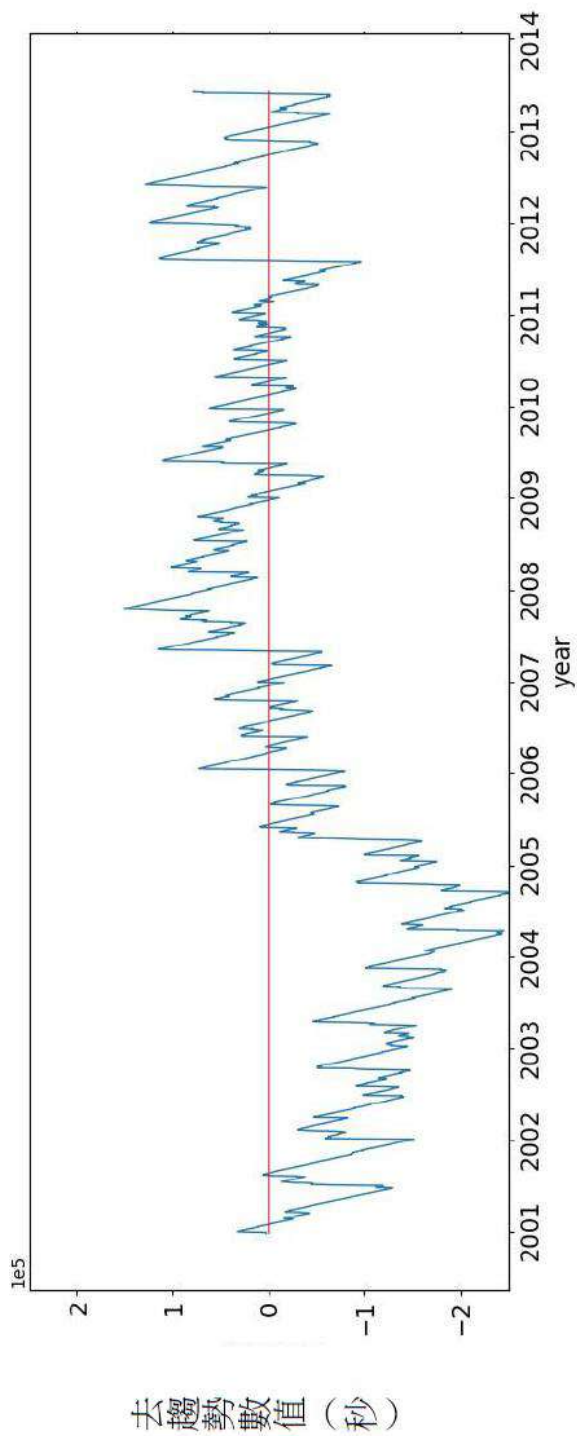


圖六、A1 區長微震發生時長累加資料去趨勢後與時間關係折線圖

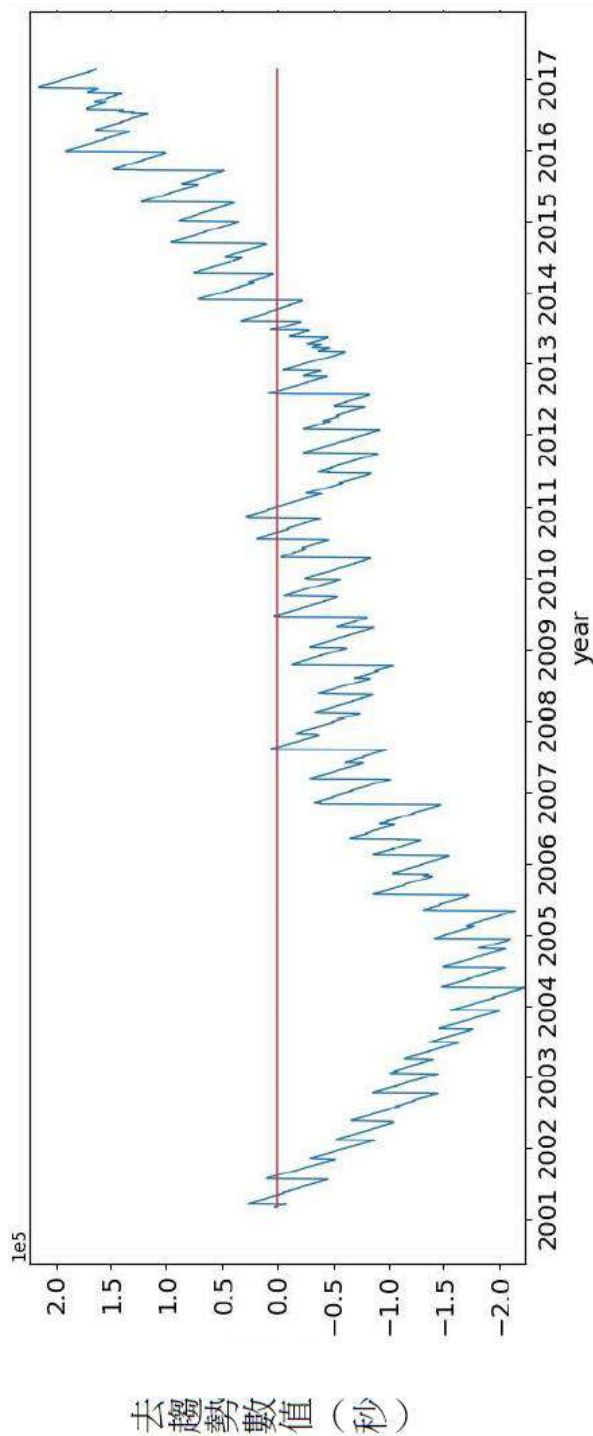


圖七、A2 區長微震發生時長累加資料去趨勢後與時間關係折線圖

(此二圖由第一作者製)

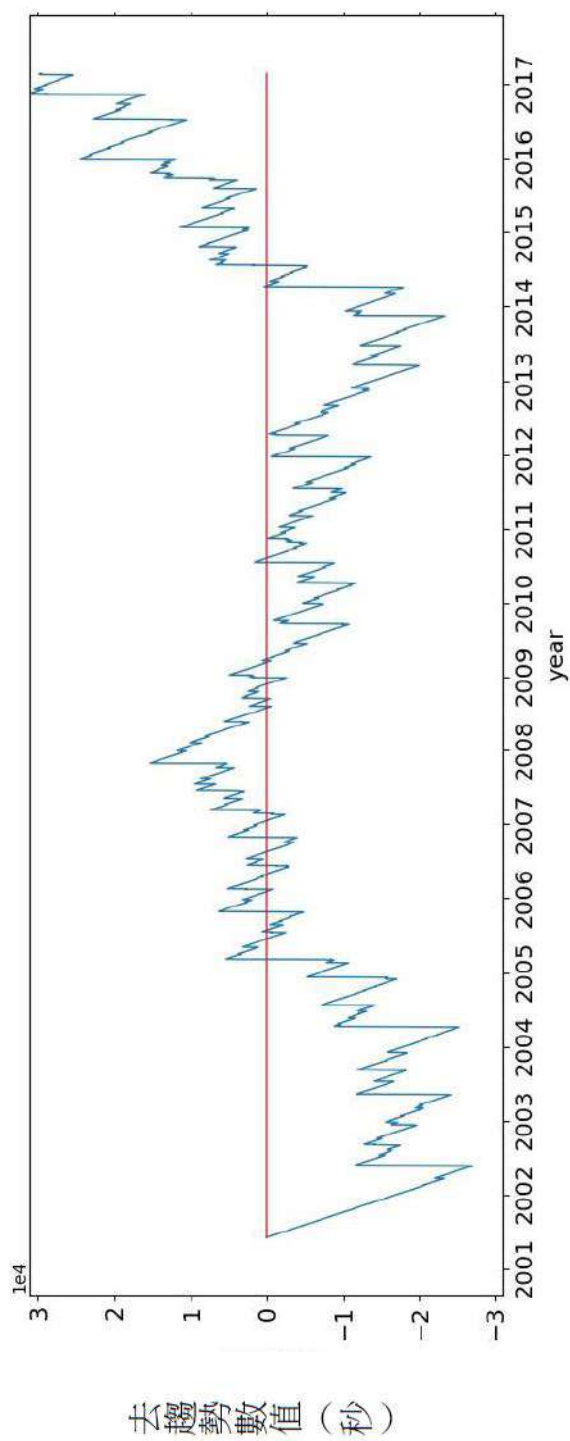


圖八、A3 區長微震發生時長累加資料去趨勢後與時間關係折線圖

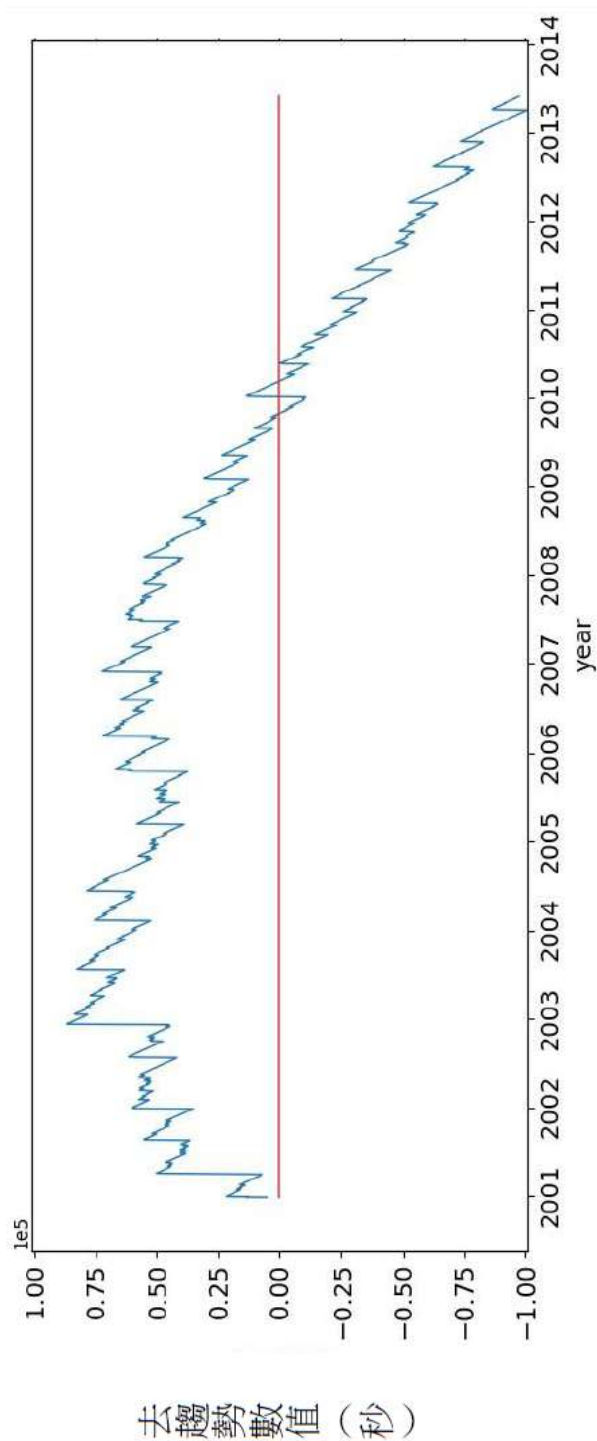


圖九、A4 區長微震發生時長累加資料去趨勢後與時間關係折線圖

(此二圖由第二作者製)

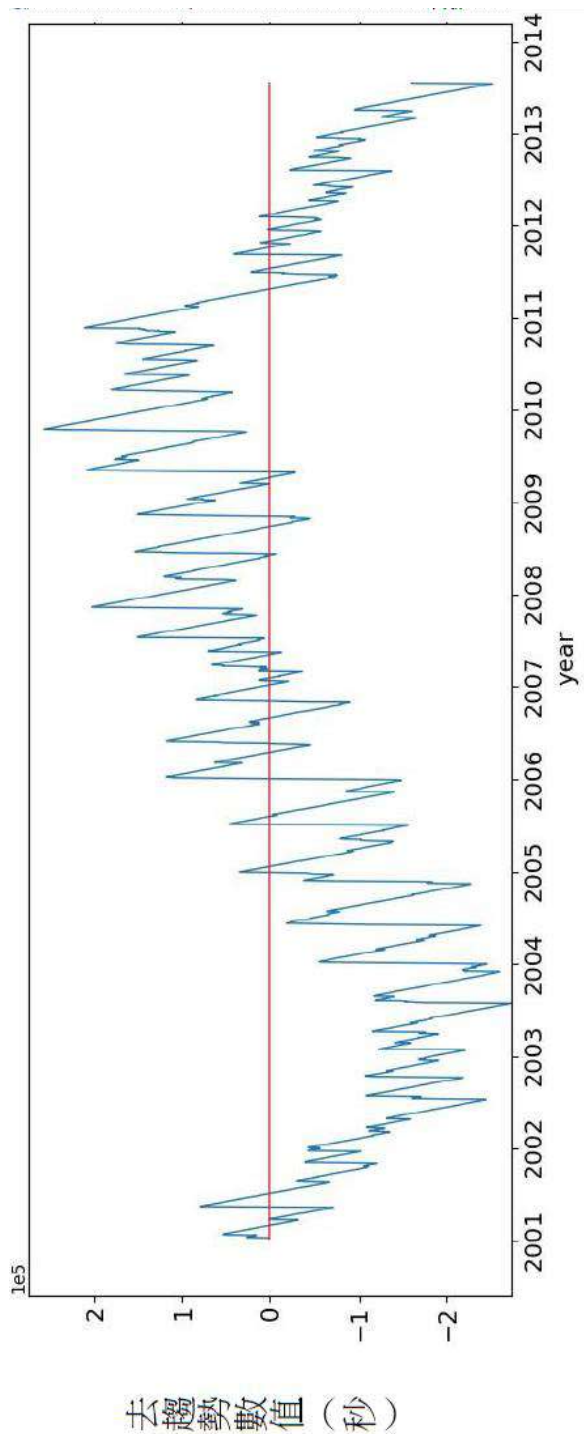


圖十、A5 區長微震發生時長累加資料去趨勢後與時間關係折線圖

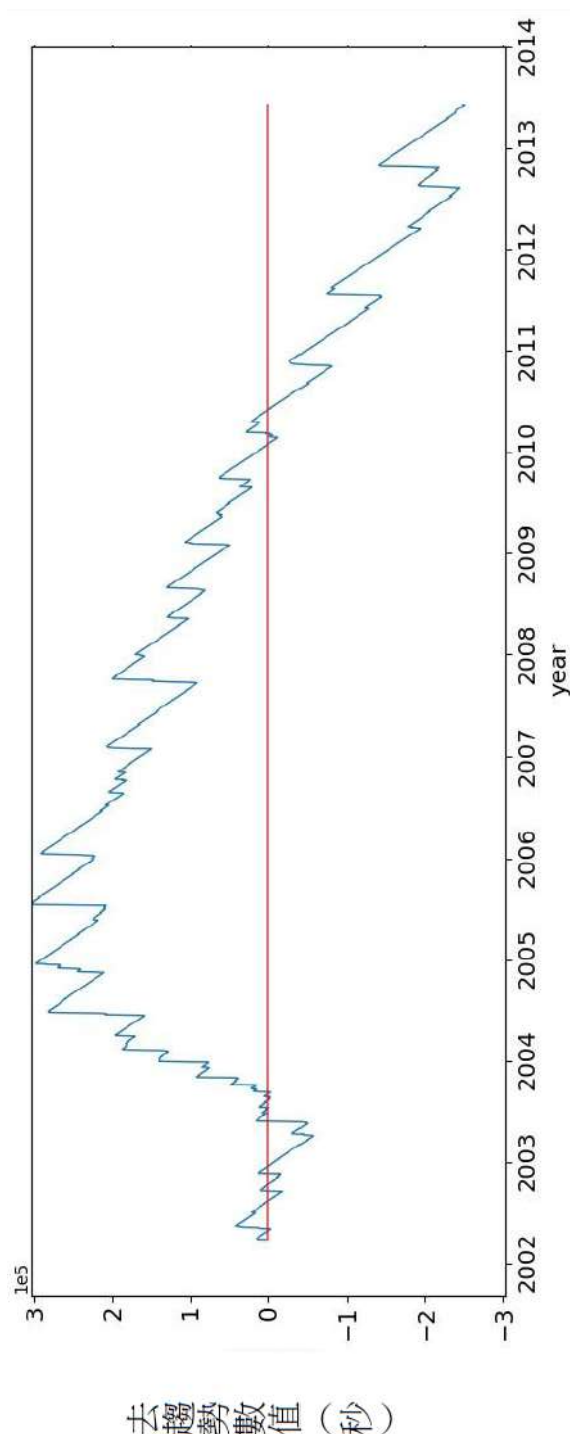


圖十一、B1 區長微震發生時長累加資料去趨勢後與時間關係折線圖

(此二圖由第三作者製)



圖十二、B2 區長微震發生時長累加資料去趨勢後與時間關係折線圖



圖十三、C 區長微震發生時長累加資料去趨勢後與時間關係折線圖

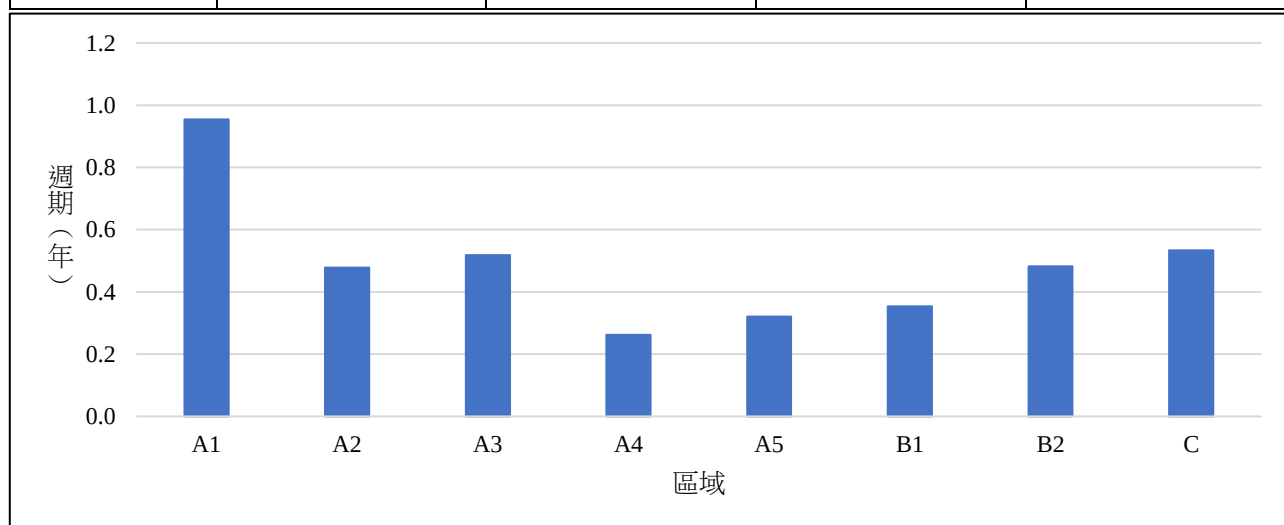
(此二圖由第一作者製)

二、探討日本南海海槽長微震之復發週期

日本八區經 FFT 後得到之強度最大值，可找到相對應的頻率，倒數後可得週期，如表二所示。

表二、各區強度、頻率及週期之最大值分析表（本表由第一作者製）

	A1	A2	A3	A4
強度最大值	1.5×10^4	5.2×10^5	1.1×10^6	1.3×10^6
頻率 (次/天)	2.9×10^{-3}	5.7×10^{-3}	5.3×10^{-3}	1×10^{-2}
週期 (天/次)	348.61	174.46	189.2	95.6
	A5	B1	B2	C
強度最大值	1.5×10^5	3×10^5	2.2×10^6	6.3×10^5
頻率 (次/天)	8.5×10^{-3}	7.7×10^{-3}	5.7×10^{-3}	5.1×10^{-3}
週期 (天/次)	117.14	129.07	176.04	194.81



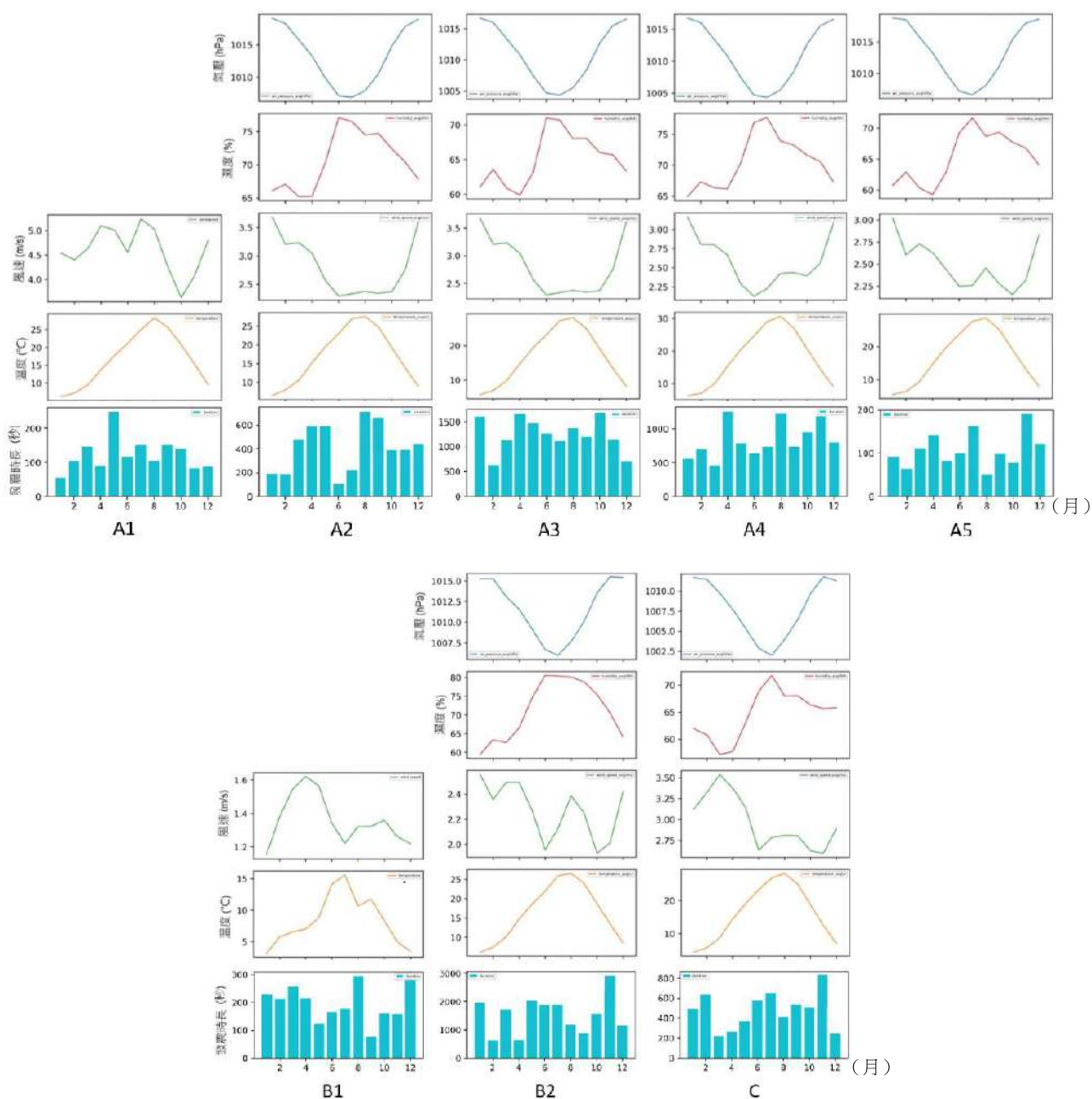
圖十四、各區長微震發震週期比較之柱狀圖（此圖由第一作者製）

由圖十四可發現，強度最大值所對應之週期可分為約以一年、半年以及一季為週期之區域，依地理分區西到東排列橫向比較可以發現愈靠近東或西側的週期愈長，位於中央則較其他組別短，其中又以最西邊的 A1 區最長，為 348 天。

三、探討日本南海海槽長微震之復發週期與環境參數的相關性—大氣圈與岩石圈

在相關性分析圖中，由於 A1 與 B1 使用測站未提供該地的平均氣壓及平均溼度資料，故只採取其餘兩項進行討論。

我們透過相關性分析圖發現，平均氣溫、平均氣壓、平均溼度這三個變因與長微震的發生較無相關，而平均風速與長微震呈現負相關；於是我們將平均風速與長微震進行相關係數分析，發現平均風速在風速數據沒有移動或延遲 1 個月時，達最明顯的負相關。



圖十五、各環境參數與長微震發震時長之相關性分析圖（此圖由第三作者製）

表三、平均風速與長微震發震時長之相關係數表（本表由第三作者製）

測站	風速		
	沒有移動	延遲 1 個月	延遲 2 個月
A1	0.17	0.36	0.48
A2	-0.19	-0.25	-0.22
A3	-0.11	0.25	-0.11
A4	-0.20	-0.33	-0.41
A5	-0.11	-0.39	-0.18
B1	-0.09	-0.42	-0.24
B2	-0.44	-0.49	0.13
C	-0.59	-0.48	-0.15

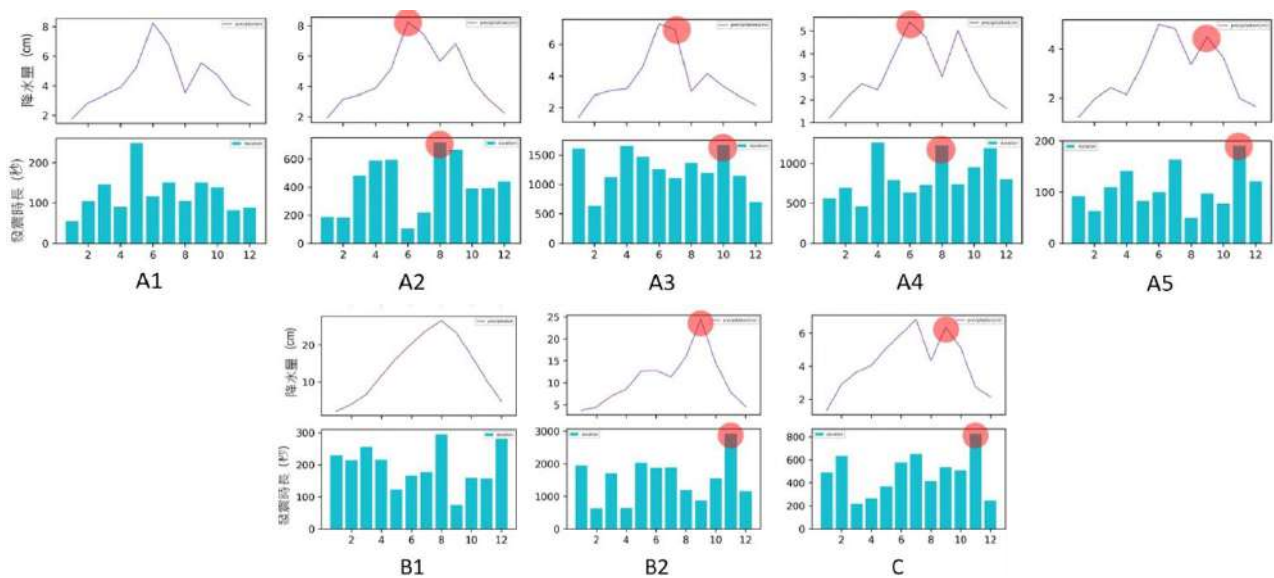
四、探討日本南海海槽長微震之復發週期與環境參數的相關性—水圈與岩石圈

（一）平均雨量

由相關性分析圖可見，在 A2、A3、A4、A5、B2、C 區之長微震發生和降水量呈現正相關，標記峰值（紅點處）觀察後，發現此正相關是基於降水量數據延遲 1~2 個月進行觀察。以 B2 區為例，九月時降水量出現最高峰，將其推延 2 個月後與長微震的發生峰值吻合；反之，在降水量較少時也發現長微震發生個數減少。

透過相關係數分析，我們發現平均雨量與長微震的相關性在雨量數據延遲 2 個月時，相關性多為最高。

為了減少整合數據造成的誤差，我們也使用以天為單位的數據和長微震進行比較。數據格式為天的相關係數普遍較低，但數據在延遲 2 個月時，相關性也大多最高。



圖十六、降水量與長微震發震時長之相關性分析圖（此圖由第三作者製）

表四、降水量與長微震發震時長之相關係數表（本表由第三作者製）

降水量				降水量 (數據格式為天)			
測站	沒有移動	延遲 1 個月	延遲 2 個月	測站	沒有移動	延遲 1 個月	延遲 2 個月
A1	0.5	0.17	-0.08	A1	0.13	0.02	-0.02
A2	0.00	0.18	0.45	A2	-0.03	0.01	0.06
A3	0.01	0.2	0.06	A3	-0.04	-0.01	0.08
A4	-0.15	0.38	0.55	A4	-0.05	0.1	0.03
A5	-0.06	0.16	0.11	A5	-0.04	0.02	0.01
B1	-0.37	-0.42	-0.29	B1	-0.05	-0.01	0.01
B2	-0.15	0.21	0.54	B2	-0.04	-0.02	0.02
C	0.16	0.27	0.42	C	-0.03	-0.01	0.06

（二）地下水位

由表五可發現 A5、B1 區在地下水位「低」於平均值的發生的長微震事件數目占比較高，A1、A4 區則相反。

在考慮降雨對地殼造成應力的延遲後，我們將數據延後一天觀察長微震對地下水位的反應情形，如表六。A1、A4、A5 區長微震發生在地下水位低於平均值的占比皆略微提升，只有 B1 區不減反增。

故我們推測地下水的低水位會使長微震發生的次數增加，並認為長微震並非即時受到地下水的反應，而是因應地下水位降低而延遲發震。

表五、未延遲情況下長微震於地下水位的發生頻率（本表由第二作者製）

未延遲	A1	A4	A5	B1
高於平均（%）	52.65	63.74	39.57	39.62
低於平均（%）	47.35	36.26	60.43	60.38

表六、延遲 1 天情況下長微震於地下水位的發生頻率（本表由第二作者製）

延遲 1 天	A1	A4	A5	B1
高於平均（%）	50.83	62.60	36.07	40.67
低於平均（%）	49.17	37.40	63.93	59.33

（三）潮汐漲落與長微震事件發生之關聯

1. 為了釐清長微震的發生與潮汐是否相關，我們進行潮汐漲退狀態、潮位高度對長微震事件的分析；與地下水分析一致，我們也考慮延遲效應是否會影響長微震的發生。
2. 如下表七所示：比較 A1~C 各組長微震發生時刻所對應到的潮汐漲退狀態，發現大部分區域之長微震事件傾向發生於漲潮時段，而少部分區域雖傾向發生於退潮時段，但兩者比例差異不大。以 A4 區為例，61.23% 之長微震發生於高潮位區間。

3. 由下表七數據我們發現雖長微震事件傾向發生於漲潮時段，但比例並不懸殊，多數測站漲潮與退潮兩種狀態的比例近相差不到 8%，故我們推測潮汐的漲退狀態會使長微震發生的次數增加，但並非主因。

表七、各區域長微震事件發生時的漲潮與退潮比例（本表由第一作者製）

狀態	區域							
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	C
正在漲潮(%)	44.69	48.45	59.2	61.23	45.71	53.35	51.31	55.35
正在退潮(%)	55.31	51.55	40.8	38.77	54.29	46.65	48.69	44.65

4. 潮位高度與長微震事件發生之關聯

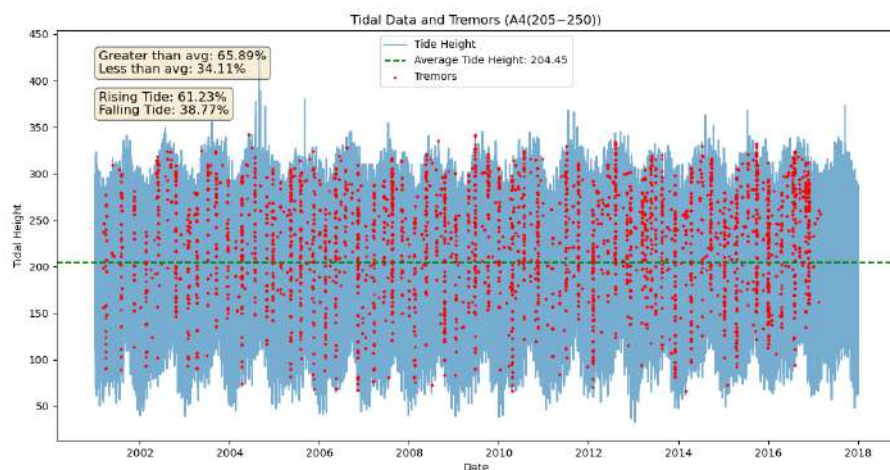
- (1) 未考慮延遲效應下分析：如下二表八、九所示，比較 A1~C 各組長微震發生時刻所對應到的潮汐高度，發現所有區域之長微震事件發生於高潮位的比例均較大。以下左圖十九之 A4 區為例，69.89%之長微震發生於高潮位區間。
- (2) 考慮延遲效應下分析：如下二表八、九所示：比較 A1~C 各組長微震發生時刻延後 1、2、3 小時後所對應到的潮汐高度，發現多數區域「高於平均潮位」之比例上升，而少部分測站持平或些微下降。
- (3) 我們發現，相較於潮汐的漲退狀態，潮位高低更可能影響長微震的發生，多數區域的長微震發生於高潮位的比例高於低潮位比例之 20%，又延遲後影響效果更甚（在大部分區域），在考慮延遲效應後，僅 A5 區的高潮位占比相對於位延遲時是降低的。

表八、不考慮延遲效應時，各區域長微震事件發生時潮位高低比例（本表由第一作者製）

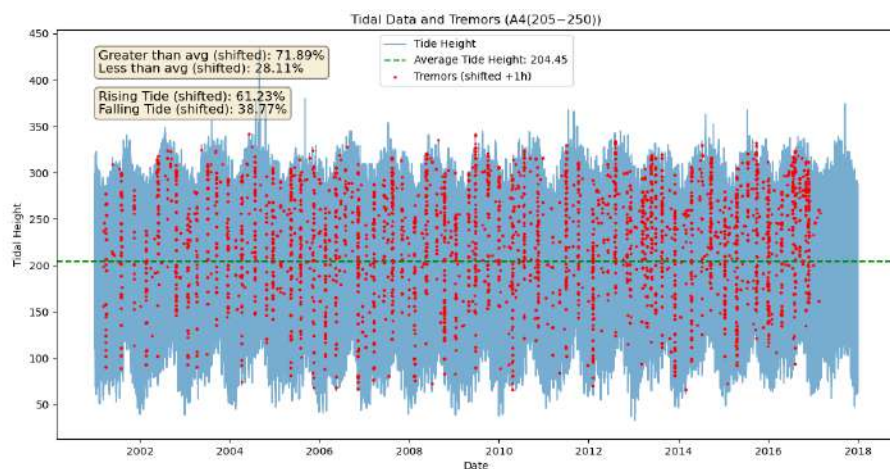
狀態	區域							
未考慮延遲效應	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	C
高於平均潮位(%)	53.44	61.85	61.7	65.89	50.63	55.98	53.55	56.72
低於平均潮位(%)	46.04	37.82	37.13	34.11	49.37	44.02	46.45	43.28

表九、考慮延遲效應時，各區域長微震事件發生時的漲潮與退潮比例（本表由第一作者製）

狀態	區域							
+1hr	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	C
正在漲潮(%)	50.71	61.72	65.46	71.89	49.19	57.46	54.36	57.35
正在退潮(%)	48.83	39.74	33.38	28.11	50.81	42.54	45.64	42.65



圖十九、A4 區未延遲下長微震與潮位高度、漲退潮之比例（此圖由第一作者製）



圖二十、A4 區延遲一小時下長微震與潮位高度、漲退潮之比例（此圖由第一作者製）

五、討論

（一）分區方式、斷層種類對長微震發生影響

平均降雨量在某些區域延後 1 至 2 個月與長微震平均發生時長呈正相關，代表降雨可能與長微震發震機制有關。

（二）長微震之季節性

因日本西南部夏季的降雨普遍較冬天多，加上我們發現長微震的發生與平均風速多呈負相關，與平均降雨延遲 1~2 個月的數據呈正相關。在降雨較多的條件下，可以推論在夏秋之際的長微震發生數量應該較高，我們也確實觀察到日本各區在 12~3 月的長微震發生的平均秒數普遍較短。

（三）潮汐與地下水對長微震的影響

對於分析發現潮位高度之影響大於漲退潮狀態，我們做出以下分析。潮汐在高潮位時，地下水系統或含水層中的孔隙壓力上升，可能降低斷層的摩擦力，使斷層滑動的門檻變低，從而更容易發生長微震。而在低潮位時，孔隙壓力減少，斷層更穩定，長微震發生的概率較低。而漲退潮狀態是一緩慢且連續的周期性變化，造成板塊或斷層應力逐漸改變。根據我們的推測在低潮位、漲潮時，雖然應力逐漸增加，但尚未達到門檻值，因此長微震較不頻繁發生；反觀高潮位、退潮時，雖然應力漸減，但仍達域值，因此長微震較活躍。

（四）地下水位高低對長微震的影響

地下水在低水位時，水體對地殼造成的壓力較小，使板塊較易錯動；考慮時間的延遲的情況，我們推測長微震不會在水位低於平均值時馬上反應，而在低水位發生後，逐步釋放能量。

肆、結論與應用

一、日本南海海槽長微震之活躍期

(一) A 區

A1、A2 區的長微震在 2010 年中以前的活躍度偏低，2010 年中後活躍度快速升高；A3 區的長微震在 2005 年中以前較不活躍，以後趨向活躍；A4 區的長微震在 2013 年以前活躍度偏低，但在 2013 年後活躍度逐步提升；A5 區的長微震在 2006 年以前活躍度偏低，但在 2006～2009 年間，活躍度提升，往後在 2009 年後，活躍度又開始下降直到 2014 年中，此後活躍度明顯提升。

(二) B 區

B1 區的長微震在 2010 年以前的活躍度偏高，之後逐漸下降；B2 區的長微震的活躍度在 2006 年以前偏低，而在 2006～2011 年間活躍度偏高，2011 年後活躍度又開始下降。

(三) C 區

C 區的長微震在 2004～2010 年間，長微震的發震較活躍，在 2002～2004 年及 2011 年後較不活躍。

二、日本南海海槽長微震之復發週期

A1 區週期最長約為 349 天，A4 區週期最短為 96 天，且區域愈接近極東與極西的週期較長。

三、日本南海海槽長微震之活躍期與週期性與環境參數的關係—大氣圈與岩石圈

長微震的發生與平均風速與成負相關，與平均溼度、氣壓、溫度關聯性不大。

四、日本南海海槽長微震之活躍期與週期性與環境參數的關係—水圈與岩石圈

就平均雨量而言，長微震的發生與其呈現正相關，且延遲兩個月的相關係數普遍較高。地下水位方面，數值高低對長微震的影響不大，但經延遲一天觀察發現，在低地下水位下長微震發生比例略增，推測地下水下降可能增加長微震發震頻率。潮汐方面，「潮汐漲落狀態」與「潮位高低」均會影響長微震發生，其中後者影響更顯著；觀察延遲數據後，發現多數區域在高潮位時，長微震發震更頻繁。

伍、參考文獻

- Brigham E. O. (1987). *The fast fourier transform and its applications*. Prentice-Hall International.
- Chen, K. huihsuan. (2018). Tidal Modulation and Tectonic Implications of Tremors in Taiwan. *Solid Earth*, 5945, 5950.
- Chen, K.H., Chiu, HY., Obara, K. *et al.* Segmentation characteristics of deep, low-frequency tremors in Shikoku, Japan using machine learning approaches. *Earth Planets Space* **75**, 32 (2023).
<https://doi.org/10.1186/s40623-023-01776-w>
- Obara, K. (2010). Phenomenology of Deep Slow Earthquake Family in Southwest Japan: Spatiotemporal Characteristics and Segmentation. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 115, 7, 13–15.
- Obara, K. (2020). Characteristic Activities of Slow Earthquakes in Japan. *Proceedings of the Japan Academy, Ser. B*, 96, 4.akes in Japan. *Proceedings of the Japan Academy, Ser. B*, 96, 4.
- 戴心如 (2016)。臺灣非火山長微震之活動特徵及可能之孕震構造和機制。碩博士論文網。

【評語】 180024

本研究結合了地震學、環境科學和數學分析等多個學科，運用快速傅立葉變換(FFT)等技術來分析長微震的活躍度和復發週期，並與多種環境參數進行對比，這種跨領域的方法能夠從多角度了解長微震的觸發機制。將南海海槽分為八個不同的小區域進行分析，以細緻的區域對比來分析長微震活躍程度及其與環境因素的關聯。使用許多圖表來輔助展示數據和結果，能協助讀者快速掌握重點，並清楚了解各變數間的相互關係。本項研究主要依賴公開資料和數據庫的數據，缺乏來自現地的實地觀測數據支持。這部分可能會對研究結論的普遍性和可信度造成影響，尤其是對於環境變數和微震之間的物理關聯。本項研究的數據主要集中在 2002 至 2017 年間，缺少更長期的地震活動數據支持，因此難以評估長微震活動的長期趨勢和變化。研究時間範圍的局限性可能會影響結果的適用性，建議擴展數據範圍，涵蓋更長的時間段，以提升對長期趨勢的分析。