

## 目錄

- 1 前言、儀器服務平台、近期消息
- 2 重複地震與大地測量資料聯合反演：池上斷層的震間變形特性
- 6 臺灣造山帶，地震活動特性大不同
- 8 台灣通用岩盤模型建立與分析
- 10 第七屆年會分組議題討論會後成果分享
- 14 本季成員發表文章 (2023.10~)
- 16 近期活動
- 17 致謝

## 前言

郭陳澔 國立臺灣大學地質科學系 教授  
台灣地震科學中心 執行秘書

本期內容精彩豐富，除了邀請在三位地震學領域的專家學者進行專文分享，更特別收錄了 TEC 第七屆年會的議題討論心得成果，感謝師大陳卉瑄、中正大學溫怡瑛、中央大學郭俊翔、成大景國恩、臺大王昱及中研院地球所黃信樺分享相關成果。

## 儀器服務平台

- 地震儀器中心儀器庫存查詢 <https://tecip.earth.sinica.edu.tw/>，若您有儀器使用之需求請與儀器中心聯絡。
- TEC 支援各大專院校相關科系之地球物理實習課程。歡迎有需求的授課教師於線上系統提出申請，申請網頁為：<https://tec.earth.sinica.edu.tw/geoclass/>
- 隨著 TECIP 中 RefTek 125A Texan 單通道地震觀測系統的淘汰，TEC 有意尋找這些設備的新歸宿，以繼續支持地震學研究。有意者請於 2024 年 01 月 15 日之前提出請求，申請將由 TEC 進行審查。如有任何問題，請聯繫紀宗志博士 (02-2783-9910#2805，[chitc@earth.sinica.edu.tw](mailto:chitc@earth.sinica.edu.tw))

## 近期消息

- 112 年 12 月 12 日於美國舊金山舉辦「IES Alumni and Friends Reception」已圓滿結束，感謝國內外研究學者及與會人士的參與。
- 113 年 1 月 12 日 (五) 下午 1:30 即將在中央研究院環境變遷研究大樓 1 樓潤學廳舉辦「DAS 技術交流工作坊」，歡迎有興趣的學者或研究人員報名參加。報名網址：<https://forms.gle/P8WGBhLFLs4jQsyF6>

## 重複地震與大地測量資料聯合反演：池上斷層的震間變形特性

陳卉瑄、彭葦 國立臺灣師範大學地球科學系

doi: 10.30067/TECNL.202312\_(42).0001

要怎麼精準的量化斷層面上哪裡在鎖定、哪裡在穩定滑移，是斷層監測的關鍵目標。而過去仰賴的手段，是利用大地測量資料進行逆推。然而，池上斷層為一向外海傾沒的逆衝斷層，僅靠陸地上的大地測量點位解算，會在斷層深處失去解析度（約 15 公里以下，Thomas et al., 2014）。為彌補此缺憾，本團隊利用重複地震所得到之深部滑移速率，發展出一套結合「大地測量」以及「重複地震」的逆推方式，重新詮釋池上斷層在震間期的變形行為，以推估大規模地震的再現週期。除此之外，我們亦嘗試釐清中央山脈斷層的活動，如何影響池上斷層的震間期滑移速率。本文於今年九月底發表在 Journal of Geophysical Research，為由本研究室團隊和法國格勒諾勃—阿爾卑斯大學的地球科學研究中心 (ISTerre)，經由國科會「龍門計畫」(2018 – 2020) 與「雙邊研究人員交流計畫」(2021) 所支持、得以持續推動之合作成果。利用 2007 – 2011 年的大地測量 (GPS, InSAR) 和重複地震 (repeating earthquakes) 資料，我們嘗試建立池上的運動學模型，其中 GPS 資料由中研院地球所提供 (<https://tgm.earth.sinica.edu.tw/>)，InSAR 資料由 Thomas et al. (2014) 提供，而重複地震資料由 Chen et al. (2020) 提供，這三種資料由圖一 b-d 表示。為求得斷層面上的滑移速率，我們利用以下通式：

$$d = G \times m, \quad (1)$$

其中  $d$  為觀測值， $G$  為格林函式， $m$  為斷層面上

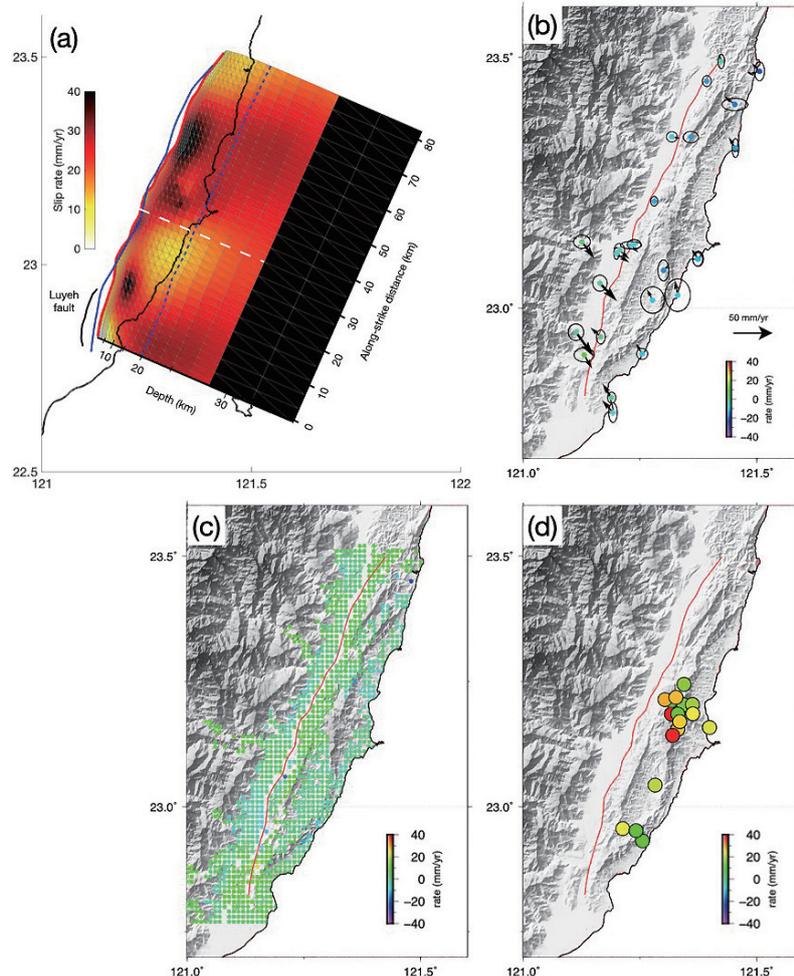
的滑移量。InSAR 觀測提供斷層連續特性、GPS 提供精準的單點約制、而地震資料則用以決定斷層深部幾何。根據上述約制，我們假設池上斷層的長度 79 km，寬度為 45 km，斷層傾角由淺至深介於  $68^\circ - 20^\circ$  間，再者，池上斷層進一步被切割成 1932 個子斷層，子斷層面積亦由淺至深增加，而各子斷層間的錯動量，則由平滑因子所控制 (Radiguet et al., 2011)，其逆推方程式如下：

$$S(m) = (Gm - d)^t C_d^{-1} (Gm - d) + (m - m_0)^t C_m^{-1} (m - m_0), \quad (2)$$

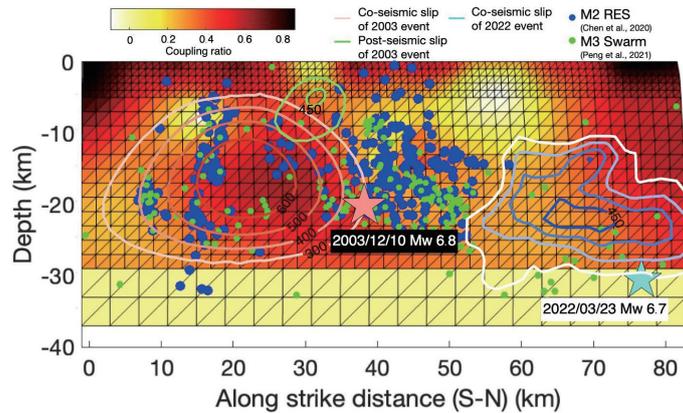
其中  $C_d$  為觀測資料間的不同權重以及單一觀測資料的誤差值之積， $C_m$  則為模型平滑因子。而  $G$ 、 $d$  與  $m$  則與式一相同。對於大地測量資料，我們利用彈性半空間的格林函式 (Okada, 1992)；對於重複地震資料，我們則建立一個矩陣、讓重複地震的滑移量投影到最近的斷層面上，以進行逆推。平滑因子以及斷層滑移方向，是依據殘差值與粗糙度的權衡曲線選擇最佳值，而不同觀測間的權重則利用格點搜尋法求取。聯合逆推結果如圖一 a 所示。滑移速率空間分佈顯示了兩個黃色區域，較低的滑移速率分別發生在最北端（延斷層走向的距離區間落於 70 – 80 km）和南段（20 – 30 km 距離區間），標記出兩個可能鎖定區。若進一步計算耦合率 (Inter-seismic Coupling, ISC)，我們可以將池上斷層粗略區分成三種不同摩擦特性的區塊，以和地震行為進行比較，如圖

二所示。對應著無震滑移行為的重複地震和群震活動以藍色和綠色圓圈標記，而兩個規模 6 地震的「同震滑移量」(co-seismic slip, 此為該次主震發生的位移量分佈) 和「震後滑移量」(post-seismic slip, 為主震發生後斷層面仍持續變形, 此為震後位移動量) 由等值線表現。我們發現規模 6 地震的同震和震後滑移區對應著高耦合率 (ISC > 0.5, 被等值線包覆的深橘色區域), 此為「主要孕震區」。斷層面上耦合率 < 0.2、無地震活動的區域 (淺黃色區域), 為「穩定滑移區」。耦合率在 0.2 - 0.5 間的區域則可稱為「過渡區」(藍、綠圓圈重疊的深黃色區域), 這裡充滿了小地震、重複地震和群震, 並區隔了潛移區以及主要孕震區。

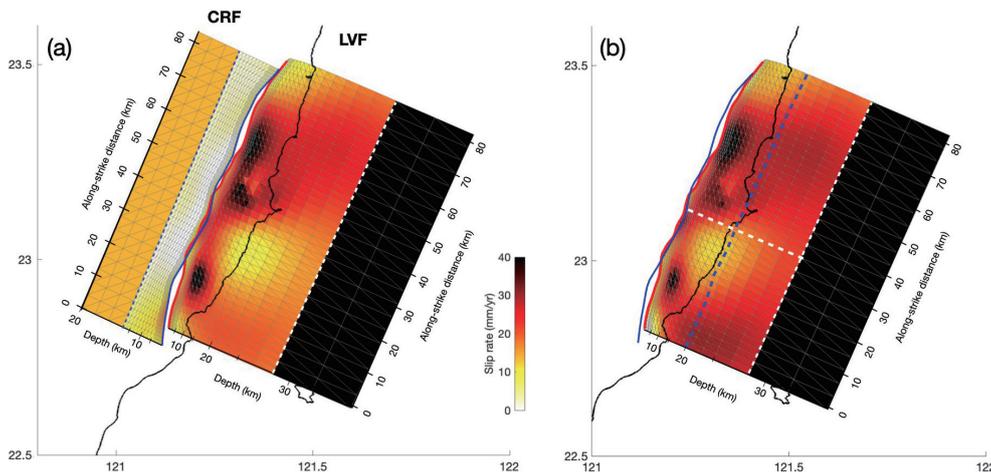
過渡區平常雖以無震滑移的方式釋放能量, 但鄰近地震的應力觸發效應, 常在這裡導致頻繁的餘震。若假設孕震區每年皆以一樣的滑移虧損速率在累積能量, 我們推估在斷層南側 (2003 成功地震區域) 和北側 (2022 年玉里地震區域) 發生規模大於 6 地震的再現週期, 分別為 28 與 78 年。然而以上的結果, 是假設該區域的震間地表變形, 皆累積在池上斷層上。然而鄰近的中央山脈系統在震間變形的貢獻度是可以忽略的嗎? 為釐清此點, 我們亦討論了「雙斷層」系統 (向西傾的中央山脈斷層 + 向東傾的池上斷層) 的逆推結果。如圖三所示, 「雙斷層」和「單一斷層」兩種斷層模型比較之下, 池上斷層震間滑移速率的空間變



圖一、(a) 利用 GPS、InSAR 和重複地震資料聯合反演所得到的震間滑移速率分佈圖。其顏色對應到滑移速率 (0 - 40 mm/yr 不等), 而池上斷層和中央山脈斷層分別由紅和藍線表示。(b)、(c)、(d) 分別為聯合反演所使用的 GPS、InSAR 和重複地震資料。



圖二、池上斷層運動學模型示意圖。背景顏色標記了耦合率，白至紅色代表耦合率由低至高，粉色和藍色曲線則為 2003 成功地震和 2022 年玉里地震的同震滑移量之等值線，綠色曲線則為 2003 年成功地震的震後滑移區，紅色與藍色星號分別表示震源位置。藍色和綠色圓圈分別為重複地震與群震。



圖三、(a) 雙斷層系統下震間滑移速率逆推結果。CRF 為相西傾之中央山脈斷層，LVF 為向東傾之縱谷斷層。(b) 單一斷層系統下震間滑移速率逆推結果。向西傾的中央山脈斷層在深部的滑移速率為 1.3 cm/yr 橘黃色區域，而向東傾的池上斷層在深部的滑移速率假設為 4.0 cm/yr 黑色區域。詳細斷層幾何和深部滑移速率的設計詳見原文文章附錄 (Peng et al., 2023)。

異趨勢 (隨深度變化、隨距離變化) 非常相似。但若比較其絕對值，在雙斷層模型中，池上斷層的滑移速率少了 0.2 – 1 cm/yr。一個向西傾的中央山脈斷層上，到底每年「分走」多少池上斷層的變形量？本研究推估，兩種模型得到的震矩速率差異約達 10%，這說明中央山脈斷層的震間滑移行為的解析能力，對池上斷層的震間滑移速率推估有一定程度的影響力。這亦強調了未來在更多地質、構造、地球物理、大地測量資料的加入和約制下，雙系統斷層系統的考量在區域地震潛能推估上，勢必不能缺席。

## 參考文獻

- Chen, Y., Chen, K. H., Hu, J.-C., & Lee, J.-C. (2020). Probing the Variation in Aseismic Slip Behavior Around an Active Suture Zone: Observations of Repeating Earthquakes in Eastern Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(5), e2019JB018561. <https://doi.org/10.1029/2019jb018561>
- Okada, Y. (1992). Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space.



*Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(2), 1018–1040. <https://doi.org/10.1785/bssa0820021018>

Peng, W., Radiguet, M., Pathier, E., & Chen, K. H. (2023). Fault Coupling on a Creeping Thrust Fault: Joint Inversion Using Geodetic Data and Repeating Earthquakes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 128(9), e2023JB026843. <https://doi.org/10.1029/2023jb026843>

Radiguet, M., Cotton, F., Vergnolle, M., Campillo, M., Valette, B., Kostoglodov, V., & Cotte, N.

(2011). Spatial and temporal evolution of a long term slow slip event: the 2006 Guerrero Slow Slip Event. *Geophysical Journal International*, 184(2), 816–828. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246x.2010.04866.x>

Thomas, M. Y., Avouac, J.-P., Champenois, J., Lee, J.-C., & Kuo, L.-C. (2014). Spatiotemporal evolution of seismic and aseismic slip on the Longitudinal Valley Fault, Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(6), 5114–5139. <https://doi.org/10.1002/2013jb010603>

## 臺灣造山帶，地震活動特性大不同

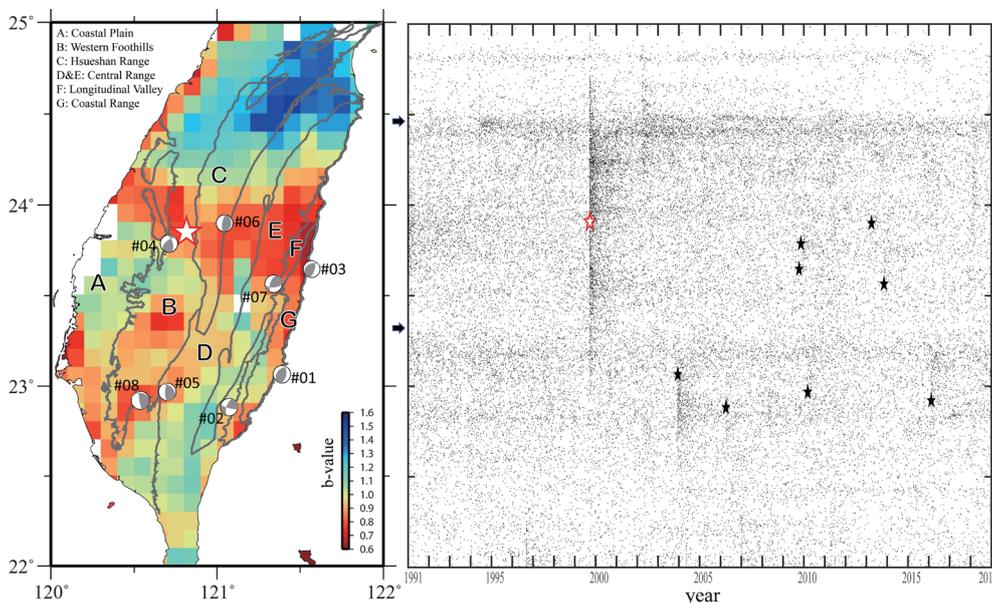
溫怡瑛 國立中正大學地球與環境科學系  
doi: 10.30067/TECNL.202312\_(42).0002

地震活動和應力場狀態的時空變化有關聯，許多研究也顯示大地震發生前會出現地震活動模式的變化。臺灣造山帶雖然是活躍且仍在進行中的碰撞區，但從北到南展現不同的碰撞階段特性，地震活動度的邊界大致吻合這些分區 (圖一黑色箭頭)。利用 8 個  $M > 6$  地震之震前活動度進行分析，發現臺灣南段區域展現主震前寧靜 (quiescence) 行爲 (Q-type; 圖二 a)；而臺灣中段區域則是展現和 1999 年集集地震相似的主震前活躍 (activation) 行爲 (A-type; 圖二 b)。另一方面，南段 Q-type 地震前的寧靜時期長短和主震規模相呼應，震央附近的寧靜狀態主要和  $2.5 < M < 4.5$  地震活動下降的程度有關 (圖三 a)，尤其當相對高 b 值的中央山脈南段周圍出現這類的寧靜現象，就要提高警覺此區可

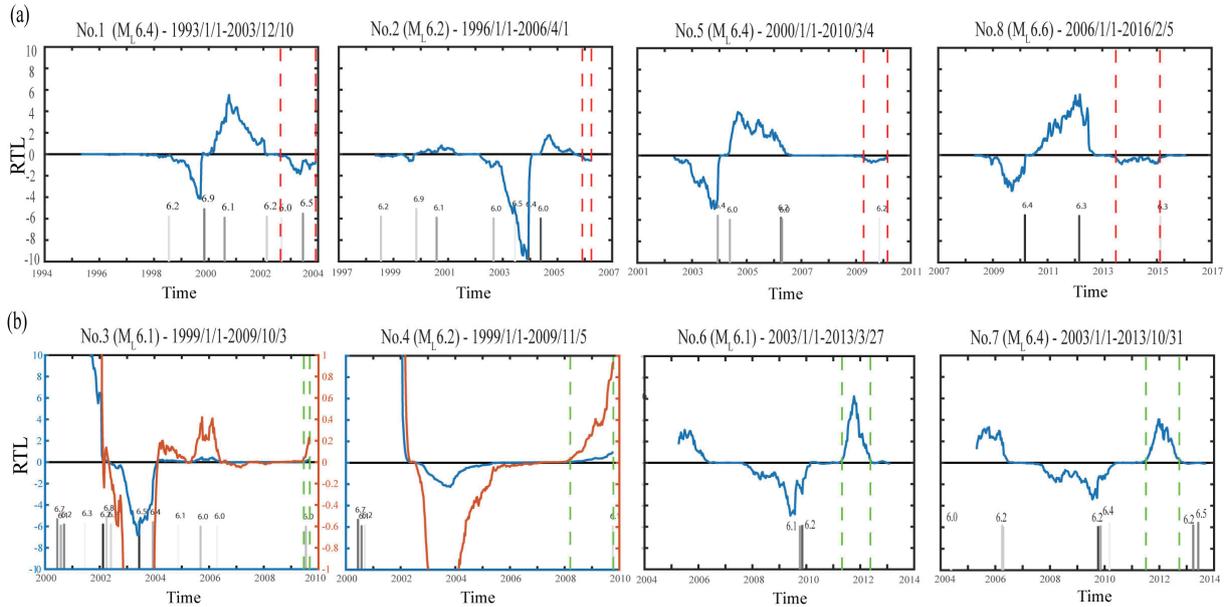
能在累積應力，為下一個大地震的發生做準備；而中段的 A-type 地震則傾向在出現  $3 < M < 5$  地震活動度加速的低 b 值區域發生 (圖三 b)，這可能是因為震間期累積的應力狀態受到擾動而促進了大地震的成核發生。對於不同的板塊運動與應力狀態特性區域，孕震期的地震活動時空變化行爲也不一樣，因此必須針對各自的指標訊號進行監測。

### 參考文獻

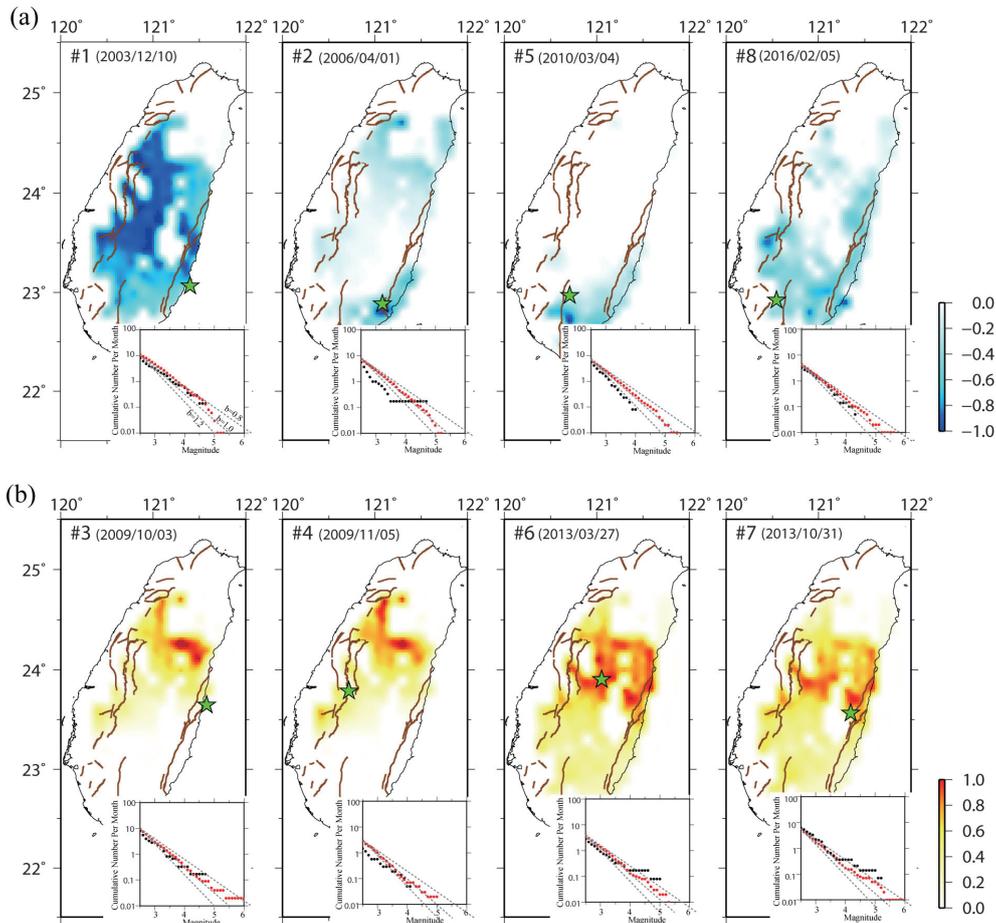
Wen, Y.-Y., Chen, C.-C., Wen, S., & Lu, W.-T. (2023). Spatiotemporal seismicity pattern of the Taiwan orogen. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(5), 1835–1846. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1835-2023>



圖一、b 值分布與去叢集 (declustered) 之地震活動度時空分布。白星號是 1999 年集集地震，震源機制則為 8 個  $M > 6$  研究地震。黑箭頭暗示地震活動度邊界。圖來自 Wen et al. (2023)。



圖二、(a) Q-type 地震與 (b) A-type 地震之震前的地震活動時間變化 (RTL) 函數，正值為活躍，負值為寧靜。垂直虛線標示震前的寧靜期或活躍期。圖修改自 Wen et al. (2023)。



圖三、(a) Q-type 地震的寧靜期分布與 (b) A-type 地震的活躍期分布。右下角則為每個地震的累積頻率 - 規模關係，紅點為震前 10 年的長期趨勢，黑點則為震前寧靜期或活躍期的結果。圖修改自 Wen et al. (2023)。

## 台灣通用岩盤模型建立與分析

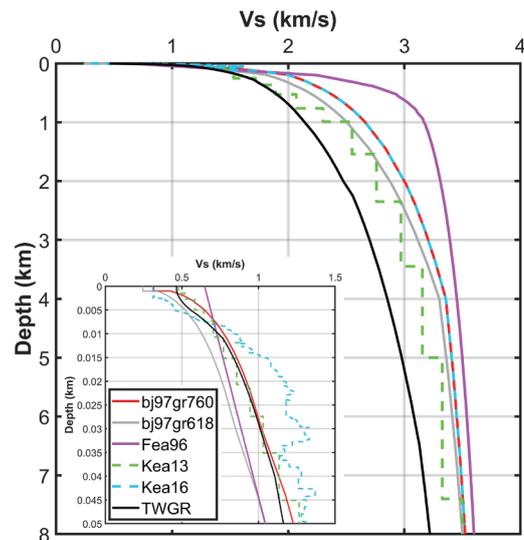
郭俊翔 國立中央大學地球科學系、國立中央大學地震災害鏈風險評估及管理研究中心、國家實驗研究院國家地震工程研究中心

doi: 10.30067/TECNL.202312\_(42).0003

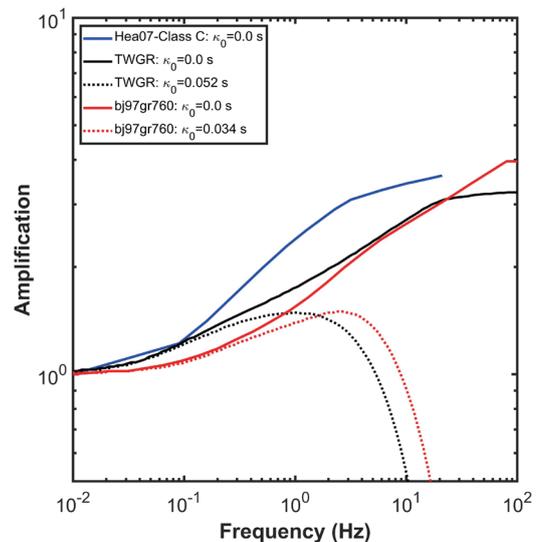
台灣位於地震活躍的區域，受惠於高密度的強震觀測網，能提供豐富的強震記錄，這些數據對於研究台灣的強地動特性及地動模型 (GMMs) 的開發都至關重要。近來的研究 (Kuo & Abrahamson, 2023) 建立一個符合工程岩盤 ( $V_{S30} = 760$  公尺 /s) 條件的台灣通用岩盤 (TWGR) 模型，以提高對台灣強震資料的理解和使用，並改進基於這些強震資料的地動模型。研究方法涉及從許多現有的研究收集資訊，涵蓋從地表到 16 公里深度的範圍，資料來源包括強震站的速度井測數據，以及其他不同解析深度的地球物理研究成果。研究者根據這些資料開發了一個通用岩盤 S 波速度 ( $V_S$ ) 剖面，並將其擴展至地震基盤 ( $V_S = 3.5$  公里 / 秒)，同時也提供了對應的通用岩盤 P 波速度 ( $V_P$ ) 剖面。

現今絕大部分的 GMM 都使用  $V_{S30}$  (近地表 30 公尺平均剪力波速) 作為考量場址效應的參數，但理論上僅考慮 30 公尺地層的波速並無法確實地表現出某個測站的場址效應， $V_{S30}$  之所以能夠良好地反應場址效應乃是因為它和深部真正控制場址效應的  $V_S(z)$  特性具有高度相關性，然而  $V_{S30} - V_S(z)$  的關係在不同區域並不相同，故某地區基於  $V_{S30}$  的放大模型並不能適用於其他地區。

TWGR 速度剖面與加州幾個通用岩盤剖面相比 (如圖一)，TWGR 在 50 公尺至 8 公里深度的  $V_S$  值較低，反映出台灣與加州的速度構造存在顯著不同並造成兩個區域場址特性的差異 (如圖二)，此結果能解釋兩個區域強地動差異性的原因，也說明將全球強震資料混合使用時，仍應考慮到可能存在的區域差異性。



圖一、台灣 (TWGR, 黑色曲線) 和幾個加州 (其他) 的通用工程岩盤的  $V_S$  剖面的比較。以 TWGR 和 bj97gr760 兩者為例，明顯可見雖然在淺部 50 公尺內兩者平均波速幾乎相等，但在 50 公尺至 8 公里範圍內兩者的波速差異性相當明顯。(取自 Kuo & Abrahamson, 2023)



圖二、台灣 (TWGR) 和加州 (bj97gr760) 通用岩盤模型以及台灣 C 類地盤的放大函數比較。實線是不考慮高頻衰減效應  $\kappa_0$  的放大函數，虛線是加入各自  $\kappa_0$  之後的放大函數。此結果顯示，相對於加州，台灣通用岩盤的放大效應在高頻較弱而在低頻較強。(取自 Kuo & Abrahamson, 2023)



## 參考文獻

Kuo, C.-H., & Abrahamson, N. (2023).  
Development of the Taiwan Generic Rock

Seismic Velocity Profile. *Seismological  
Research Letters*, 94(6), 2740–2749. [https://  
doi.org/10.1785/0220230007](https://doi.org/10.1785/0220230007)

## 第七屆年會分組議題討論 會後成果分享

台灣地震科學中心 (TEC) 爲了持續推動地震相關的發展，以 TEC CEO 爲首，羅列出四項關於現在或未來的重要主題，並在年會中規畫以分組討論的型式，讓與會者共同參與討論，會中邀請成功大學景國恩副教授、臺灣大學王昱副教授、中研院地球所黃信樺副研究員爲小組負責人，分別爲各議題組織成員進行討論。

主題

1

### 地震危害潛勢分析精進 ( 淺層速度構造、高解析數值模擬、多斷層破裂、海外構造、測地資料角色 )

分組負責人：國立成功大學測量及空間資訊學系 景國恩副教授

#### 高解析數值模擬、淺層速度構造

現今以中大尺度速度構造進行波傳模擬，對於長週期震波已可解釋良好，但針對地震工程對於短週期振動之需求，仍須仰賴隨機式方法計算高頻地震波，爾後與長週期地震波以混合法結合。基於上述緣由，欲進行更高解析之數值模擬計算地震波形，將高度仰賴高精度中大尺度速度構造、淺層速度構造與盆地幾何等。這部分工作將須仰賴 TCVM 模型來提供更細緻、反應淺層速度構造之速度模型，以其進行模擬計算，並與地震工程實務需求交叉比對來投入更多地震工程應用。



#### 多斷層破裂、海外構造

多個斷層進行複合破裂及分段破裂可依據歷史地震與地質學家決定斷層組合 ( 兩個或兩個以上斷層 ) ( 例如：Chan et al., 2020 )，或以庫倫應力理論推算斷層組合 ( 例如：Chang et al., 2023 )，上述目前以陸域構造爲主。

海外孕震構造目前以台大徐浩德教授團隊的模型爲主，其以具備供 PSHA 計算的相關參數，後續可再發展海域或海域加陸域的多斷層破裂模式。

#### 測地資料角色

目前測地研究團隊提供以測地資料爲基礎評估各斷層之滑移速率，以供 PSHA 使用。由於測地資料能監測斷層於地震發生前能量累積的訊息，同時偵測無震滑移事件及非彈性變形事件，因此下一階段將

包含以下幾個工作：(1) 改進斷層模型之計算策略來獲得更加合理的斷層滑移速率；(2) 透過斷層模型之建置，提供各斷層幾何參數進一步之約制資訊；(3) 嘗試利用應變速率推求地震潛勢。

## 機率式斷層位移分析與機率式同震應變分析

同震破裂產生的地表位移可依機率式斷層位移分析 (PFDHA) 進行分析，Gao et al. (2022) 已配合 2018 花蓮地震事件探討米崙斷層上與周遭的位移危害，下一階段可發展全台斷層的位移危害度圖。

目前測地研究團隊已經可以針對特定斷層可能產生的同震地表位移場 (景況同震位移場) 進行評估，然而景況同震位移場並不足以提供後續防災的實際應用，因此下一階段需要將景況同震位移場轉換為景況同震應變場，並考量各斷層的影響，進行機率式同震應變分析 (PCSHA)。進一步也能參考同震應變之研究，推估地震時可能產生地表破裂的位置。

## GMPE 和高解析數值模擬之比對

數值模擬所產製之波形可計算其對應的反應譜，並與 GMPE 之結果相互比對，目前可參考大規模地震災害防治計畫中的相關結果，後續可再計算特定斷層破裂的波形以利比較。

## 以嘉義地區開始精進

配合大規模地震災害防治計畫，地震危害潛勢分析的相關精進，嘉義地區為本期的研究重點。

## 參考文獻

- Chan, C.-H., Ma, K.-F., Shyu, J. B. H., Lee, Y.-T., Wang, Y.-J., Gao, J.-C., Yen, Y.-T., & Rau, R.-J. (2020). Probabilistic seismic hazard assessment for Taiwan: TEM PSHA2020. *Earthquake Spectra*, 36(1<sub>suppl</sub>), 137–159. <https://doi.org/10.1177/8755293020951587>
- Chang, C.-C., Chang, C.-Y., Gao, J.-C., & Chan, C.-H. (2023). Quantifying the probability and uncertainty of multiple-structure rupture for Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 34(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s44195-023-00040-8>
- Gao, J.-C., Chan, C.-H., Ma, K.-F., & Lee, C.-T. (2022). Probabilistic Fault Displacement Hazards along the Milun Fault. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 112(5), 2745–2757. <https://doi.org/10.1785/0120210312>

主題

2

陸域及海域活動斷層及構造調查及彙整，與地質模型的不確定性討論

分組負責人：國立臺灣大學地質科學系 王昱副教授

在過去數年的研究中，我們已經針對臺灣本島地區陸域活動構造進行一系列的資料整理與分析研究，

並利用活動構造於地表產生相關變形對該活動構造的相关活動參數進行約制。與此同時，運用類似方法的研究業已朝海域方向進行，透過整理過往所發表的研究成果與資料，以及利用大地構造變形歷史約制等方法，建立海域構造的可能位置與活動速率、運震週期等資料。然而，與陸域活動構造資料相比，與海域構造有關的地形與地下構造資料較為有限，公開發表的研究資料密度也較為疏鬆，因此在一定程度上限制了海域活動構造模型相關參數的準確性與可推測性。對於陸域與海域活動構造的深度幾何控制，也缺乏相對高解系度的地球物理模型佐證與約束，以致斷層於深部幾何的控制較為不佳，也增加了地質模型的不確定性。因此，為了降低地質模型的不確定性，我們建議應於可行的範圍內增加地球物理資料的觀測密度，降低地下地質與地表地質的觀測資料尺度差異。同時，亦可透過建置地球物理資料統一平台的方式，透過資料平台整合不同團隊於過去所發表、或可開放的地下資料，增加觀測資料的空間密度，以降低未來建構地質模型於地下幾何的可能不確定因素，以進一步整合地表地質調查成果與地球物理勘探之成果。



## 主題

# 3

## 高解析地球物理、地溫探測、水氣監測、微地震訊號監測，以及人工智慧與大數據分析的精進應用

分組負責人：中央研究院地球科學研究所 黃信樺副研究員

### 資料開放的層級

由於數位化與大數據時代的開展，資料的使用與開放成爲一項越來越重要的課題，鼓勵資料的開放與交流是國際趨勢，也是加速科學進展與驗證的要素之一。台灣在寬頻地震網 (BATS) 與地震預警低價位強地動網 (P-alert) 等開放資料的先驅平台的帶動下，近年如中央氣象署的地球物理資料系統 (GDMS) 與中研院地球所的台灣地震資料典藏平台 (TAPS) 也陸續建置開放資料，但仍屬階段性開放，目前主要開放給國內各大專院校的教授學者註冊使用，本小組討論到是否該對廣大的博士後與研究生群體開放註冊，進一步落實開放的精神與促進國內研究交流之便。



### 光纖地震儀 (DAS) 的租借與推廣

花蓮米崙深鑽計畫 (MiDAS) 除結合岩芯與各式地物地化觀測，更引進了新興的光纖地震感測技術，其成果陸續展示出光纖地震儀的可應用性與其在空間上公尺級的高精度優勢，特別在碳封存、地熱監測，以及高解析的斷層帶與水資源探測等應用有很大的潛力。因此在下個階段，TEC 儀器中心預計採購與租借光纖地震儀，規劃提供基本資料處理的訓練課程，由於是高單價的儀器，相關運送與維護的安全規章也會一併考量。



## 資料儲存格式的進展與觀望

隨著密集陣列與光纖地震儀的興起，大數據時代的另一個難題是與日遽增的資料量，因此全球地震社群為因應龐大的資料量，早在過去幾年便開始討論設計新的資料格式，以容納近年地震試驗動輒上百破千的測站數 (如 PH5)，包含更有效的壓縮格式 (如 Miniseed3)，經討論認為目前還是會採取主流的 Miniseed2.4 作為主要資料儲存與交換的格式，並且密切關注新的進展。

## 人工智慧演算法如何除錯？

人工智慧 (AI) 如深度學習演算法的應用已經在各領域席捲全球，在地球科學領域亦是如火如荼的展開，在很多方面都有突破性的進展。其中像地震挑波 (Picking) 建立更完整的地震目錄就是一項傳統但根本性的突破，讓過去需費時數月的人工作業能大幅縮減到數日就完成。但伴隨而來的問題是如何知道結果的對錯？特別是當 AI 技術開始普及，越來越多團隊都能迅速建立各自的地震目錄時，退去具公信力的機構角色 (如 CWA) 時，該如何驗證呢？本小組進行了有趣的發想，認為 TEC 或許可以利用三維速度構造與震波模擬，建立一組已知答案的地震目錄，來邀請各團隊來參加盲測他們的 AI 演算法。其實這在過去南加州建立 Community simulation code，以及近期 SCEC 邀請各團隊來測試不同 Stress drop 的量測方法的精神相似，一方面可透過比較來開發出更好的演算法 / 方法，另一方面也能透過各團隊不同的結果討論量測誤差的大小。這或許是將來值得思考嘗試的方向。

## 本季成員發表文章 (2023.10~)

- Chao, S.-H., **Kuo, C.-H.**, Lin, C.-M., Huang, J.-Y., Rathje, E., & Abrahamson, N. (2023). Observed nonlinear site amplification of vertical ground motion in Taiwan. *Earthquake Spectra*, 39(4), 2379–2405. <https://doi.org/10.1177/87552930231190985>
- Chen, S. K., Chen, P.-Y., **Wu, Y.-M.**, **Chen, C.-C.**, & **Chan, C.-H.** (2023). Temporal Variations of Earthquake Magnitude - Frequency Relation in the Source Area of  $M \geq 6.0$  Earthquakes: A Systematic Survey in Taiwan. *Earth and Space Science*, 10(12), e2023EA002927. <https://doi.org/10.1029/2023ea002927>
- Hwang, R.-D.**, Huang, Y.-L., Chang, W.-Y., Lin, C.-Y., Lin, C.-Y., & Chang, J.-P. (2022). Rise time of the 2018  $M_w$  6.4 Hualien earthquake revealed by source time functions: A restrictive estimation of static stress drop. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 327, 106878. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2022.106878>
- Kuo, C.-H.**, & Abrahamson, N. (2023). Development of the Taiwan Generic Rock Seismic Velocity Profile. *Seismological Research Letters*, 94(6), 2740–2749. <https://doi.org/10.1785/0220230007>
- Lee, C.-S.**, Hutchings, L., Wang, S.-C., Jarpe, S., Syu, S.-Y., & Chen, K. (2022). Tectonic Collision, Orogeny and Geothermal Resources in Taiwan. In M. Cengiz & S. Karabulut (Eds.), *Earth's Crust and Its Evolution - From Pangea to the Present Continents*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101504>
- Syu, S.-Y., Hutchings, L., **Lee, C.-S.**, & Jarpe, S. (2024). The implications of S-wave attenuation in geothermal reservoirs. *Geothermics*, 117, 102861. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102861>
- Wu, Y.-M.**, Mittal, H., Lin, Y.-H., & Chang, Y.-H. (2023). Magnitude determination using cumulative absolute absement for earthquake early warning. *Geoscience Letters*, 10(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s40562-023-00314-6>
- Wuestefeld, A., Spica, Z. J., Aderhold, K., **Huang, H.-H.**, **Ma, K.-F.**, Lai, V. H., Miller, M., Urmantseva, L., Zapf, D., Bowden, D. C., Edme, P., Kiers, T., Rinaldi, A. P., Tuinstra, K., Jestin, C., Diaz-Meza, S., Jousset, P., Wollin, C., Ugalde, A., Barajas, S. R., Gaité, B., Currenti, G., Prestifilippo, M., Araki, E., Tonegawa, T., de Ridder, S., Nowacki, A., Lindner, F., Schoenball, M., Wetter, C., Zhu, H.-H., Baird, A. F., Rørstadbotnen, R. A., Ajo-Franklin, J., Ma, Y., Abbott, R. E., Hodgkinson, K. M., Porritt, R. W., Stanciu, A. C., Podrasky, A., Hill, D., Biondi, B., Yuan, S., Luo, B., Nikitin, S., Morten, J. P., Dumitru, V.-A., Lienhart, W., Cunningham, E., & Wang, H. (2023). The Global DAS Month of February 2023. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220230180>



## ACCEPTED

- Chao, B. F.**, & Shih, S. A. (2023). On Clairaut's Theory and Its Extension for Planetary Hydrostatic Equilibrium Derived Using Gravitational Multipole Formalism. *Geophysical Journal International*. (in press)
- Huang, H.-H.**, **Ma, K.-F.**, Wu, E.-S., Cheng, Y.-Z., Lin, C.-J., Ku, C.-S., Su, P.-L., & MiDAS working group (2023). Spatiotemporal monitoring of a frequently-slip fault zone using downhole distributed acoustic sensing at the MiDAS Project. *AGU Books*. (in press)
- Hwang, R.-D.**, Lin, C.-Y., & Lin, C.-Y. (2023). Source parameters of the 2022  $M_L$  6.6 Guanshan (Taiwan) Earthquake Determined through Teleseismic P-wave Inversion and Rupture Directivity Analysis. *Journal of Seismology*.
- Khafaj, E., **Chan, C.-H.**, & **Ma, K.-F.** (2023). Earthquake forecasting model for Albania: the area source model and the smoothing model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.
- Khafaj, E., **Ma, K.-F.**, **Chan, C.-H.**, & Gao, J.-C. (2023). On the Use of Instrumental and Macroseismic Data to Evaluate Ground Motion Models: The 2019 Mw6.4 Durres, Albania, earthquake sequence. *Seismological Research Letters*.
- Yang, B. M., Mittal, H., & **Wu, Y.-M.** (2023). P-Alert Earthquake Early Warning System: Case Study of the 2022 Chishang Earthquake at Taitung, Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*.

## 近期活動

### 2023/10/21 中央研究院 OPEN HOUSE

TEC 配合院區開放日活動，規畫四個活動攤位主題，分別介紹 AS-1 手做地震儀、智慧地震儀 (QIS) - 微機電感測器的應用、米崙斷層及 MIDAS 光纖地震儀，並同步在大螢幕上播放光纖佈放的過程影片吸引參觀者了解更多關於米崙斷層計畫的內容。



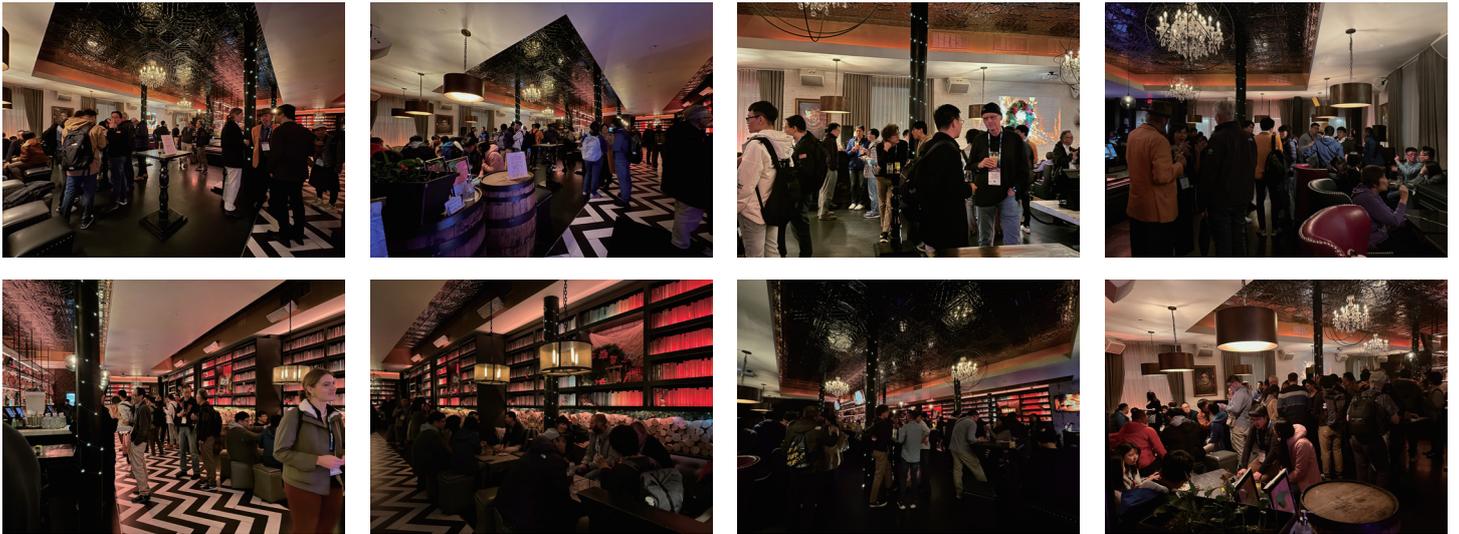
### 2023/11/21 IES 與 NCDR 簽訂 MOU

中央研究院地球科學研究所與國家災害防救科技中心，為提升地球科學與地震災害防救科技之研究能量與專業水準，以「分工合作、成果互惠、資源共享」為原則，推動相關學術研究與技術研發、應用工作，於 2023/11/21 在國家災害防救科技中心辦公室簽訂合作備忘錄。



## 2023/12/12 IES ALUMNI AND FRIENDS RECEPTION

2023 AGU FALL MEETING 期間，TEC、中央研究院地球科學研究所連同 E-DREaM 團隊共同舉辦一場小型的 IES Alumni and Friends Reception，邀請國內外相關領域的學者及研究人員共同交流。此次的招待聚會選定於離 AGU 會場步行約 5 分鐘左右的 NOVELA 酒吧，以輕鬆的方式讓參與聚會的學者們能互相認識並彼此交流，除了現場交流熱絡，會後也接收到許多稱讚及良好的評價，並期待未來有相關活動可以繼續舉辦。



## 致謝

本季刊由 TEC 辦公室成員許雅儒主任、馬國鳳特聘研究員、郭陳濤教授、楊詠寧、黃淑真及吳美芳協助編輯，第四十二期內容感謝國立臺灣師範大學地球科學系陳卉瑄教授、國立中正大學地球與環境科學系溫怡瑛教授、國立中央大學地球科學系郭俊翔副教授、國立成功大學測量及空間資訊學系景國恩副教授、國立臺灣大學地質科學系王昱副教授及中央研究院地球科學研究所黃信樺副研究員提供。

