

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

目錄

- 1 前言、儀器服務平台、近期消息
- 2 利用同震地表破裂了解地下構造 - 以二層坪區域為例
- 4 利用噪訊自相關方法監測地下速度構造之變化
- 7 SeisBlue 深度學習地震目錄：解析 2022 MW6.9 臺東關山池上地震序列及其地震地體構造
- 10 本季成員發表文章 (2024.01~)
- 11 近期活動
- 12 致謝

前言

郭陳浩

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，共有三篇專文分享最近各研究團隊的成果發表，感謝中央大學張中白教授、中正大學溫士忠副教授及臺灣大學地質科學系構造地震研究室分享相關成果。

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/>

近期消息

- TEC 即將在 113 年 5 月 7 日至 8 日於國立東華大學環境暨海洋學院舉辦的「中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 113 年年會暨學術研討會」設置攤位，歡迎有興趣的學者或研究人員一同前往交流。
- 113 年 6 月 4 日至 5 日即將在國立澎湖科技大學舉辦「9th France-Taiwan Symposium in Earth Sciences」，歡迎有興趣的學者或研究人員共同參與，詳情請參閱會議網站 <https://9thftses.earth.sinica.edu.tw/>。

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

doi: 10.30067/TECNL.202403_(43).0001

利用同震地表破裂了解地下構造 - 以二層坪區域為例

徐乙君、張中白

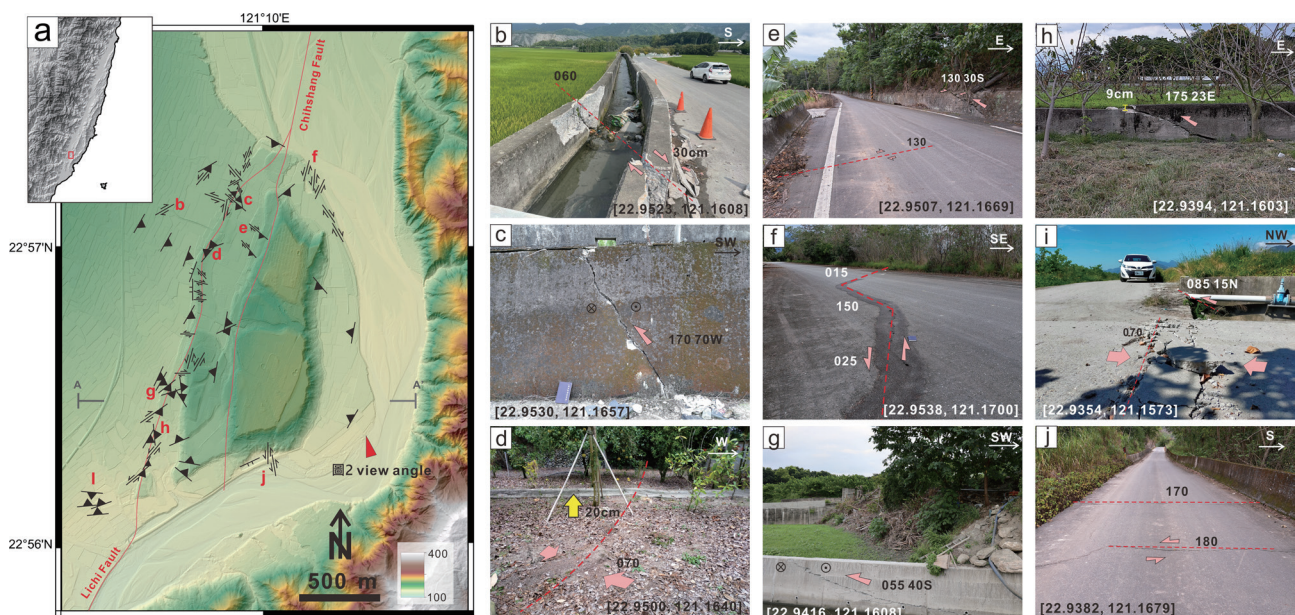
國立中央大學太空及遙測研究中心

2022 年 9 月 17 日和 18 日，在關山和池上地區分別發生兩起規模 6.6 (M_L) 和 6.8 (M_L) 的淺層地震，導致花東縱谷周邊地區多處建築和公共建物 (如橋樑和道路) 的損壞。這兩次地震還導致了大範圍的地表破裂，破裂分布從北到南延伸達 70 多公里。這些地表破裂不僅發生在已知的玉里斷層和池上斷層沿線，還有許多分佈在非斷層跡附近，提供了解地下構造的重要線索。

二層坪位於台東鹿野地區，是一個明顯的構造階地。根據地形特徵和地質調查，前人推測二層坪可能是由池上斷層和利吉斷層的活動抬升所形成 (圖一)。然而，由於階地主要由河階礫岩組成，

再加上人為活動的影響，此處難以直接觀察到斷層的露頭，其幾何形貌與活動情形亦難推測。

震後第一時間的地表破裂調查，可以提供許多解釋地下構造的重要資訊。本研究顯示，2022 年 9 月 17 日的關山地震後二層坪地區出現許多地表破裂，如圖一所示。這些地表破裂主要分佈在第一階地形崖和新良階地附近，同時也是利吉斷層通過的地區。部分破裂位於斷層前緣和第二階階崖之上 (即池上斷層的位置)，以及階地後方。破裂型態以壓縮的破裂脊為主，同時也有橫移剪切造成的破裂。地表破裂位置和破裂行為可進一步與高解析度的地形資料進行比對，顯示二層坪的變



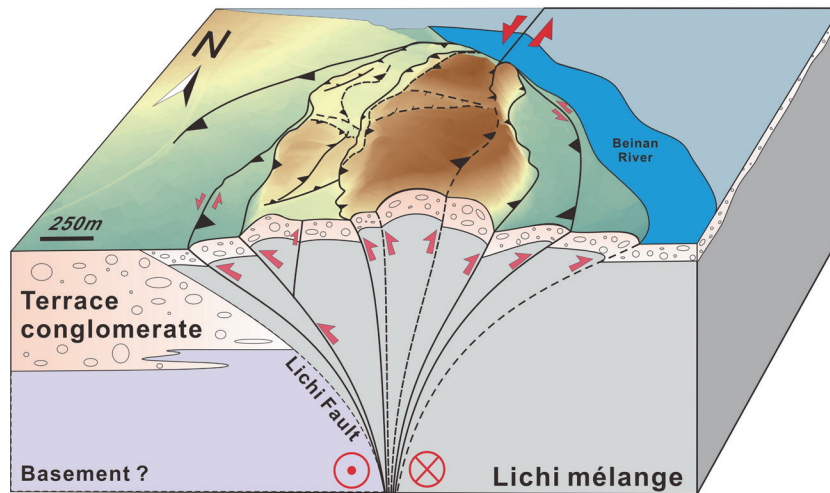
圖一、二層坪地區同震地表破裂的裂隙型態及分布位置。

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

形行為相當複雜。除了同震地表破裂的調查外，本研究還使用 Riedel shear model 對破裂的型態和位態進行分析，結果顯示利吉混同層內的剪切帶方向存在空間上的變化；北段和南段的主要剪

切方向分別為南北向和 020 走向，這種方向的變化使得利吉混同層在橫移壓縮的作用下形成壓力脊（花狀構造），導致階地除了西側的逆斷層外，在東側還普遍存在向東逆衝的高角度斷層（圖二）。



圖二、根據同震地表破裂推測之二層坪地下構造模型。

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

doi: 10.30067/TECNL.202403_(43).0002

利用噪訊自相關方法監測地下速度構造之變化

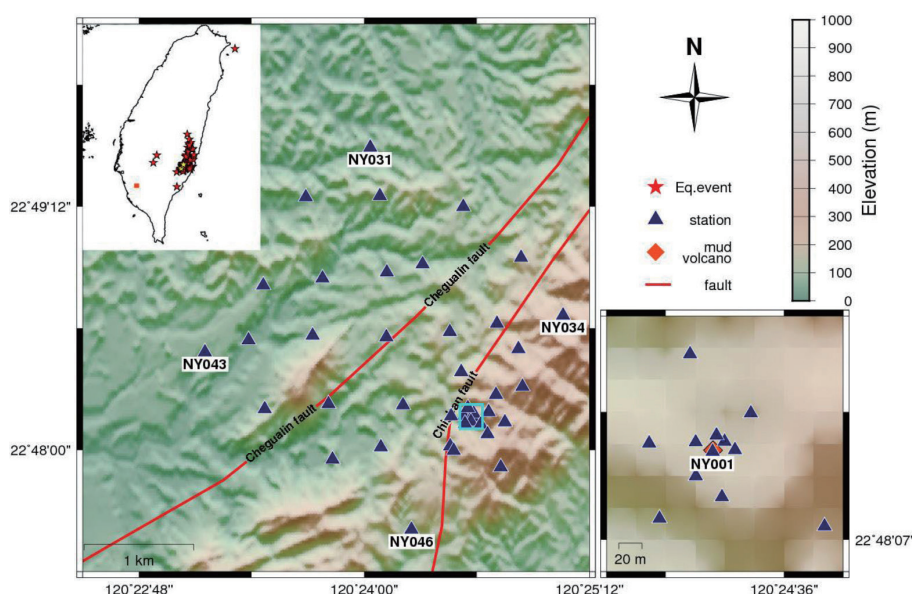
薛誠曜、溫士忠

國立中正大學地球與環境科學系

在地震事件發生的前後，地下應力狀態的改變 (Nishimura et al., 2000)、地層間的裂隙及近地表受到強地動所造成的破壞 (Peng & Ben-Zion, 2006)，甚至是地下水位的變化 (Jónsson et al., 2003) 等因素，皆會改變地球內部構造的物理特性。這些內部狀態的改變，便會影響地層間的波傳速度及其散射特性。由於波傳速度對於應力狀態及岩層特性相當敏感，因此便能監測其變化 (dv/v) 以了解地下構造的資訊。

本研究在 2022 年於高雄新養女湖泥火山區布設密集地震儀陣列以監測該區域地底下的活動 (如圖一所示)。觀測期間所獲得的連續紀錄，可透

過噪訊自相關方法 (auto-correlation) (Schimmel, 1999; Sens - Schönfelder & Wegler, 2006) 獲得單一測站下方的格林函數 (Green's function)，其反映測站下方的速度構造響應。由於 2022 年 9 月所發生的台東關山 - 池上地震序列，我們得以一窺強烈的地震動如何影響距離震央逾 80 公里外的泥火山區域及此區地下速度構造的時空變化。經由上述方法的分析結果，顯示位於泥火山周遭及泥岩區的測站所獲得的格林函數大多呈現出不同程度的擾動 (如：相位偏移或震幅改變)。在進一步估計研究區域內各測站下的速度構造後，結果顯示與台東關山 - 池上地震序列前的數值相比，



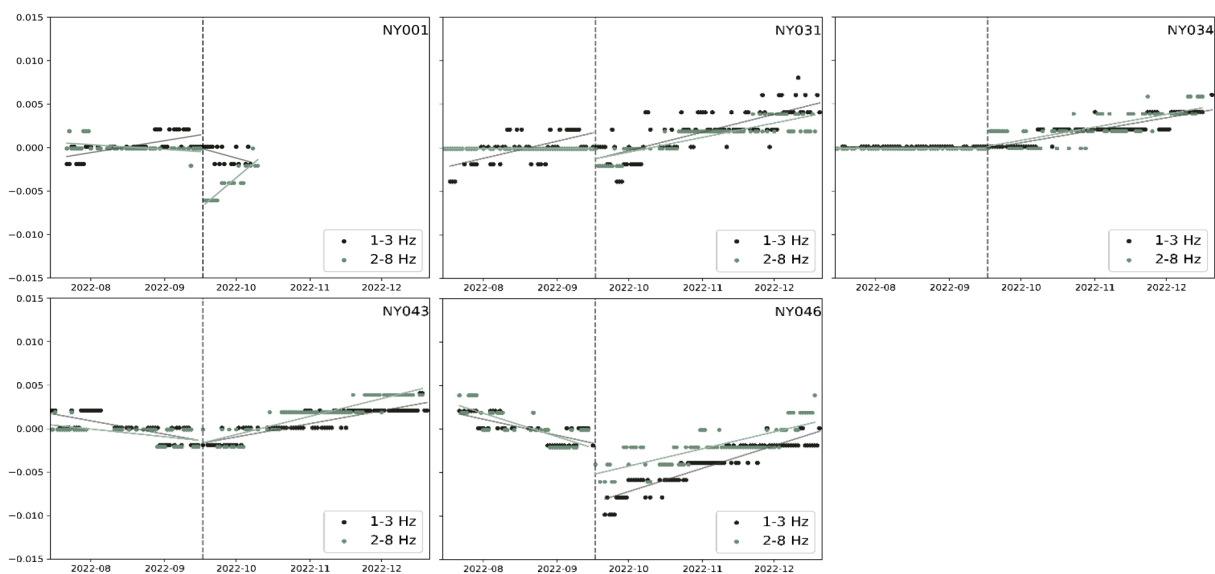
圖一、本研究之測站、周遭斷層線及 2022 年 12 月 17 日至 18 日間發生之地震事件分布圖。圖中靛藍色方框為泥火山噴口周圍之測站，其分布如右下圖所示。

TEC NEWSLETTER

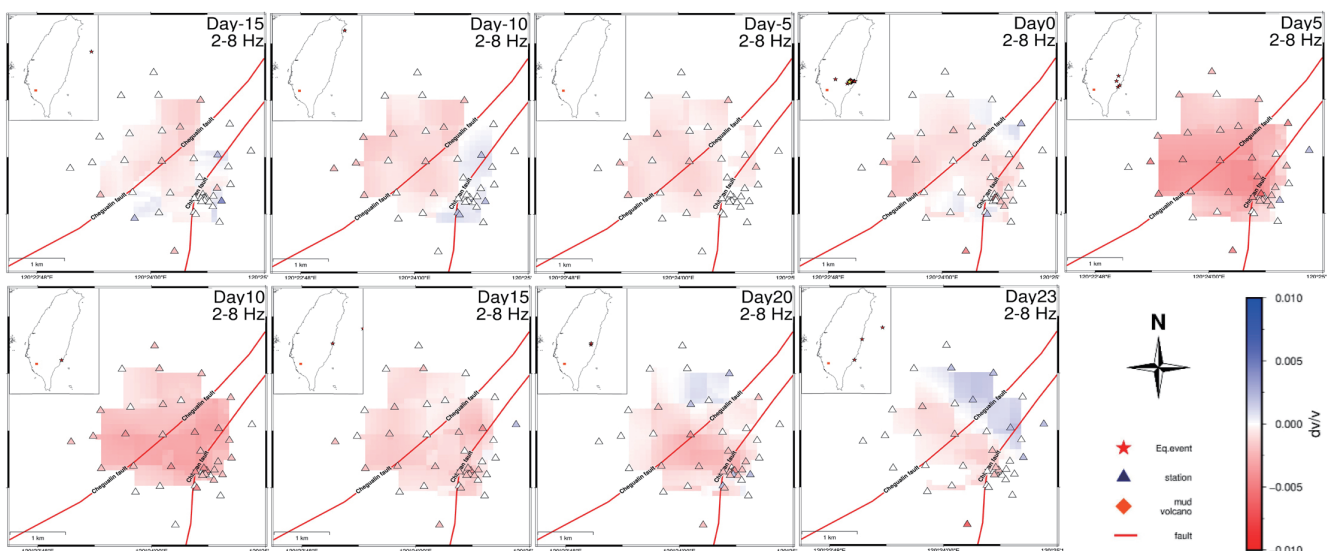
台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

在地震發生後多數測站皆呈現出波傳速度下降之現象，並且後續觀測到在震後兩周逐漸恢復至背景值（如圖二、圖三所示）。本研究推測此現象為受到強烈地震動的影響所造成的流體壓力改變或是近地表裂隙的開啟及閉合，進而導致波傳速度的變化。

根據本研究結果顯示，利用密集地震儀陣列以監測地下速度構造之變化，其在空間與時間上的解析能力優於以往的地震尾波干涉方法，並且成功觀測到強地動所致的波傳速度變化。期許未來能廣泛應用於斷層帶的地殼活動監測或是碳封存及地熱開發之工程場址之背景參數收集。



圖二、研究區域內其中五個測站經過不同濾波頻段所得到的波傳速度變化。除了測站 NY034 位於旗山斷層上盤之砂岩層及測站 NY001 位於泥火山噴口周圍，其餘測站皆位於旗山斷層下盤之泥岩層。2022 年 9 月 17 日台東關山地震的發生時間以垂直虛線表示。



圖三、研究區域在 2022 年 12 月 17 日台東關山地震前後共五周之單日速度變化及該日發生之地震分布圖，測站間之速度變化數值 (dv/v) 採用內插形式進行計算。

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

參考文獻

- Jónsson, S., Segall, P., Pedersen, R., & Björnsson, G. (2003). Post-earthquake ground movements correlated to pore-pressure transients. *Nature*, 424(6945), 179–183. <https://doi.org/10.1038/nature01776>
- Nishimura, T., Uchida, N., Sato, H., Ohtake, M., Tanaka, S., & Hamaguchi, H. (2000). Temporal changes of the crustal structure associated with the M6.1 earthquake on September 3, 1998, and the volcanic activity of Mount Iwate, Japan. *Geophysical Research Letters*, 27(2), 269–272. <https://doi.org/10.1029/1999GL005439>
- Peng, Z., & Ben-Zion, Y. (2006). Temporal Changes of Shallow Seismic Velocity Around the Karadere-Düzce Branch of the North Anatolian Fault and Strong Ground Motion. *Pure and Applied Geophysics*, 163(2–3), 567–600. <https://doi.org/10.1007/s00024-005-0034-6>
- Schimmel, M. (1999). Phase cross-correlations: Design, comparisons, and applications. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(5), 1366–1378. <https://doi.org/10.1785/bssa0890051366>
- Sens - Schönfelder, C., & Wegler, U. (2006). Passive image interferometry and seasonal variations of seismic velocities at Merapi Volcano, Indonesia. *Geophysical Research Letters*, 33(21). <https://doi.org/10.1029/2006GL027797>

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

doi: 10.30067/TECNL.202403_(43).0003

SeisBlue 深度學習地震目錄：解析 2022 M_w 6.9 臺東關山池上地震序列及其 地震地體構造

郭陳濤¹、孫維芳¹、潘勝彥¹、黃俊銘¹、管卓康¹、顏一勤²、何俊瑋³、紀宗志⁴、古進上⁴、黃柏壽⁴、傅慶州⁴

¹ 國立臺灣大學地質科學系

² 顏一勤應用地質技師事務所

³ 交通部中央氣象署

⁴ 中央研究院地球科學研究所

地震目錄一直是地震研究的奠基石，提供基礎震源資訊，例如地震規模與分布、震源機制與 b 值等。尤其大地震過後，製作快速且準確的餘震序列目錄 (Kuo-Chen et al., 2022)，不僅是重要的學術成果，所提供的斷層錯動與餘震發展方向等相關資訊，能有效協助防救災專責單位評估災損與規劃救災。以 2022 M_w 6.9 臺東關山池上地震為例，大地震的餘震數量一天內可以超過 1000 個，若依靠傳統人工處理模式，將耗費數月才能完成相對完整的地震目錄，失去地震防救災的時效性。近年來，全台地震站數量快速增長加上中大型地震發生頻繁，欲定位完成的地震數量不斷地堆疊，需要相當時日才能逐步消化完成。交通部中央氣象署所提供的地震目錄，是許多地震統計研究的基礎數據，然而，一直以來，地震挑波與定位被視為基層工作，自然較不易受到重視。2018 年花蓮地震後，因東部中大型地震發生頻繁，龐大的地震到時資料仍依賴人工處理，短時間內地震目錄一直難以完整，在分析資料後 (尤

其地震統計)，逐漸體認完整地震目錄的重要性。近年來，利用深度學習於地震定位的蓬勃發展 (郭陳濤等，2022) 在“適當的應用”下，提供了一個非常好的契機，可以有效率並精簡人力的完成地震目錄。而所謂的“適當的應用”，即利用在地化的訓練資料集與建立好的資料品質篩選流程。在地化的訓練資料集代表特定區域的地震波特性和，使得深度學習模型可以更精準的挑出地震訊號，減少誤判。另外，建立好的資料品質篩選流程，可以快速篩出非地震訊號，加以剔除。本篇文章即在這樣的思考架構下，建立並完成 2022 M_w 6.9 臺東關山池上地震序列目錄 (Sun et al., 2024)。

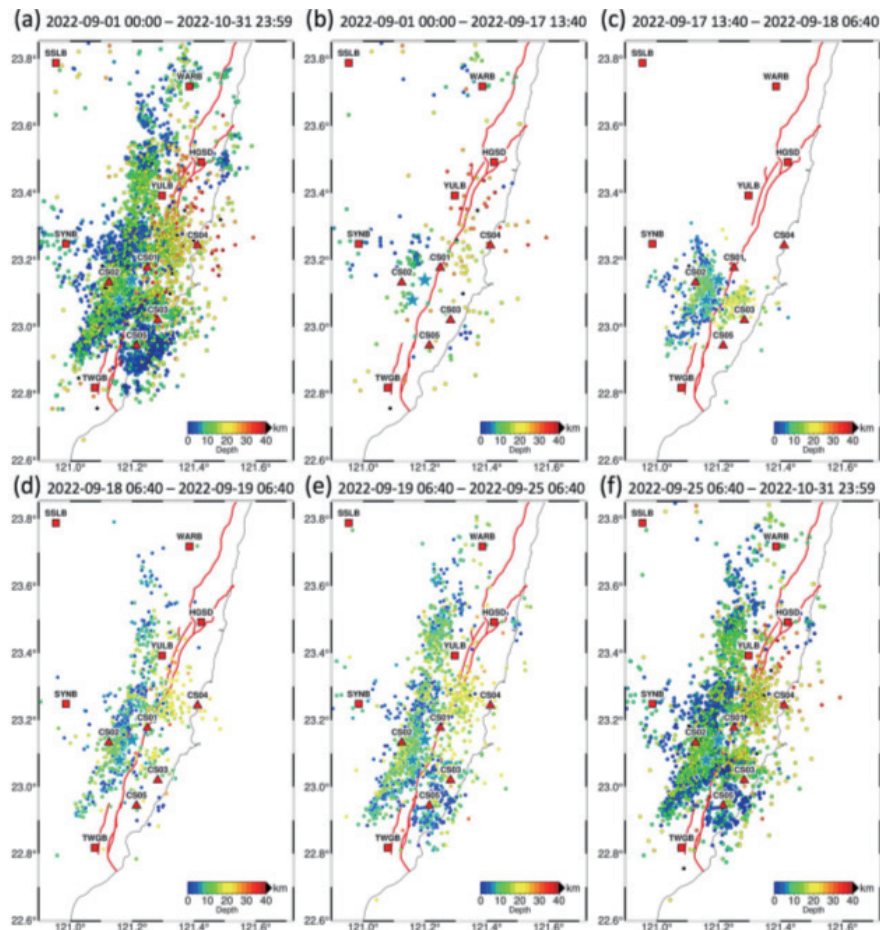
根據 SeisBlue 深度學習地震目錄結果顯示 (圖一)，地震分布主要在花東縱谷兩側，分為中央山脈與海岸山脈孕震構造，地震深度大多分布在 20 公里以上。縱谷盆地地下地震並不多見，這與縱谷盆地反射震測的結果一致 (圖二)，顯示縱谷盆地少有斷層切穿 (Kuo-Chen et al., 2023)。另外，

TEC NEWSLETTER

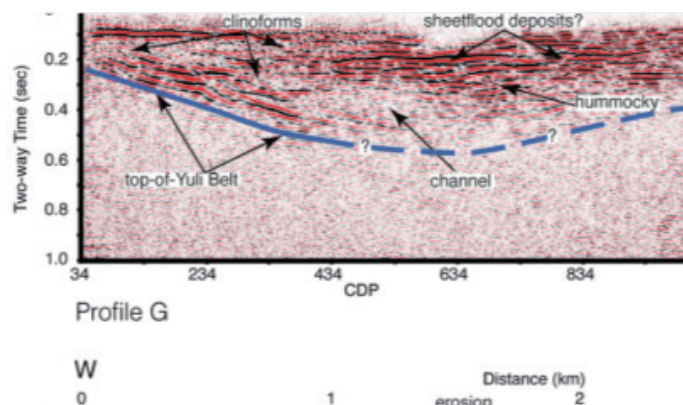
台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

餘震序列震源機制解非常的複雜，各種錯動型式的機制皆有，需要再針對各地震分群加以分析其應力狀態。地震目錄的規模完整度為 $M_L 0.8$ (圖

三)，顯示 SeisBlue 地震資料處理平台，搭配中研院與國科會 MAGIC 計畫架設的地震寬頻網資料，對此區域地震有非常好的偵測能力。



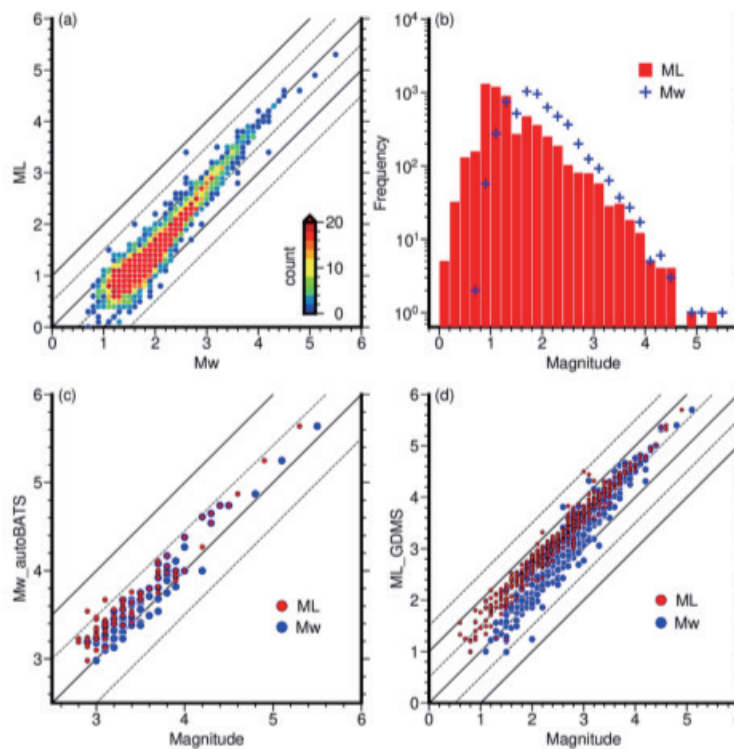
圖一、臺東關上池上地震序列地震分布 (2022 年九月至十月)。(a) 兩個整月，(b) 九月初到最大前震前，(c) 前震後一天內，(d) 主震後一天內，(e) 主震後第二至七天，(f) 主震後第八天至十月底。紅色三角形為池上微震寬頻觀測網測站位置，紅色矩形為 BATS 地震站，地震資訊為 SeisBlue 地震目錄 (Sun et al., 2024)。



圖二、在關山前震與池上主震地區的反射震測剖面顯示在縱谷淺層 (深度兩公里內) 並沒有明顯斷層構造存在 (Kuo-Chen et al., 2023)。

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 43 期



圖三、臺東關上池上地震序列地震規模 (2022 年九月至十月)。(a) 芮氏規模 (M_L) 與震矩規模 (M_w)，(b) 地震規模數量分布，(c) 與 autoBATS 震矩規模 (M_w) 比較，(d) 與氣象署 (GDMS) 芮氏規模 (M_L) 比較 (Sun et al., 2024)。

參考文獻

Kuo-Chen, H., Sun, W.-F., Huang, C.-M., & Pan, S.-Y. (2022). Near real-time seismic data processing helps scientist understand aftershocks. *Temblor*. <https://doi.org/10.32858/temblor.276>

Kuo-Chen, H., Brown, D., Lai, S.-Y., & Chen, J.-Y. (2023). Reflection seismic profiling along the Longitudinal Valley Basin, Eastern Taiwan: In search of the Central Range fault. *Tectonophysics*, 869, 230129. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230129>

Sun, W.-F., Pan, S.-Y., Huang, C.-M., Guan, Z.-K., Yen, I.-C., Ho, C.-W., Chi, T.-C., Ku, C.-S., Huang, B.-S., Fu, C.-C., & Kuo-Chen, H. (2024). Deep learning-based earthquake catalog reveals the seismogenic structures of the 2022 M_w 6.9 Chihshang earthquake sequence. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 35(1). <https://doi.org/10.1007/s44195-024-00063-9>

郭陳浩、黃俊銘、孫維芳 (2022)。深度學習法在地震資料處理上之發展與應用。《地質》，41(3-4)，98–101。

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

本季成員發表文章 (2024.01~)

- Chao, B. F., & Shih, S.-A.** (2024). On Clairaut's theory and its extension for planetary hydrostatic equilibrium derived using gravitational multipole formalism. *Geophysical Journal International*, 236(3), 1567–1576. <https://doi.org/10.1093/gji/ggad498>
- Chi, W.-C., Yang, C.-F., Wege, S., Lin, C.-J., & Ke, C.-C.** (2024). Transient ground bulge derived from a dense broadband seismic array during an aquifer step-drawdown pumping test. *Journal of Hydrology*, 628, 130595. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130595>
- Hsu, Y.-C., Chang, C.-P., Yen, I.-C., Huang, S.-Y., & Yen, J.-Y.** (2024). Investigating the structure under the Pingting Terrace from the co-seismic surface rupture of the 2022 Guanshan earthquake. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 35(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s44195-024-00061-x>
- Huang, B.-S., Ku, C.-S., Lin, C.-J., Lee, S., Chen, Y.-L. E., Jiang, J.-S., & Sun, W.-F.** (2024). The first 30 min hidden aftershocks of the 2022 September 17, M_L 6.4, Guanshan, Taiwan earthquake and its seismological implications. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 35(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s44195-023-00059-x>
- 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*. <https://doi.org/10.1007/s10950-023-10185-1>
- Ide, S., & Chen, K. H.** (2024). Spatiotemporal Characteristics of Tectonic Tremors in the Collisional Orogen of Taiwan. *Geophysical Research Letters*, 51(4). <https://doi.org/10.1029/2023GL106759>
- Lin, C., Liao, Y.-C., Wang, C., Kuo, B.-Y., Chen, H.-H., Jang, J., Chen, P., Chang, H., Lin, F.-S., & Chang, K.-H.** (2024). Development and evaluations of the broadband ocean bottom seismometer (Yardbird-BB OBS) in Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 35(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s44195-024-00062-w>
- Lin, Y.-P., Ko, J. Y.-T., Huang, B.-S., Lin, C.-H., & Shih, M.-H.** (2024). Unveiling attenuation structures in the northern Taiwan volcanic zone. *Scientific Reports*, 14(1), 4716. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55397-8>
- Megawati, M., Ma, K.-F., Chen, P.-F., Sianipar, D., & Hsieh, M.-C.** (2024). Source characterization of Intermediate-Depth earthquakes in southern Java, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 264, 106040. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2024.106040>
- Sun, W.-F., Pan, S.-Y., Huang, C.-M., Guan, Z.-K., Yen, I.-C., Ho, C.-W., Chi, T.-C., Ku, C.-S., Huang, B.-S., Fu, C.-C., & Kuo-Chen, H.** (2024). Deep learning-based earthquake catalog reveals the seismogenic structures of the 2022 M_w 6.9 Chihshang earthquake sequence. *Terrestrial,*

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

- Atmospheric and Oceanic Sciences*, 35(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s44195-024-00063-9>
- Widiatmoko, F. R., **Yen, J.-Y.**, **Yen, I.-C.**, **Huang, S.-Y.**, & Shih, N.-W. (2023). Assessing the Yuli surface deformation from the 20220918 Chishang earthquake: an integrated RTK GNSS network approach. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 34(1), 25. <https://doi.org/10.1007/s44195-023-00058-y>
- Khafaj, E., **Chan, C.-H.**, & **Ma, K.-F.** (2024). Earthquake forecasting model for Albania: the area source model and the smoothing model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 24(1), 109–119. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-109-2024>
- Khafaj, E., **Ma, K.-F.**, **Chan, C.-H.**, & Gao, J.-C. (2024). On the Use of Instrumental and Macroseismic Data to Evaluate Ground-Motion Models: The 2019 M_w 6.4 Durres, Albania, Earthquake Sequence. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220230205>
- 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*, 34(1), 26. <https://doi.org/10.1007/s44195-023-00057-z>

ACCEPTED

- Li, L., Qiu, Q., Ye, M., Peng, D., **Hsu, Y.-J.**, Wang, P., Shi, H., Larson, K. M., & Zhang, P. (2024). Island-based GNSS-IR network for tsunami detecting and warning. *Coastal Engineering*, 104501. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2024.104501> (in press)
- Zhang, Z., Yu, W.-C., & **Huang, H.-H.** (2024). Constraining seismic anisotropy on the mantle transition zone boundaries near subduction zone. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. (in press)

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

近期活動

DAS 技術交流工作坊

2024/1/12 DAS 技術交流工作坊已圓滿結束，感謝林欽仁、古進上、馬國鳳、黃信樺、郭陳浩、李逸帆六位講者、及 APSensing、Neubrex 兩個合作廠商共同來分享交流相關技術。



EARTHQUAKE EARLY WARNING WORKSHOP

2024/1/25 Earthquake Early Warning Workshop 已圓滿結束，感謝 James Jiro Mori 及 Masumi Yamada 兩位日本學者來分享交流 earthquake early warning 資訊，詳細會議內容：<https://tec.earth.sinica.edu.tw/activity/EEW/>。



RYUKYU-TAIWAN PSHA WORKSHOP



TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 43 期

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，第四十三期內容感謝國立中央大學太空及遙測研究中心徐乙君博士後研究與張中白教授、國立中正大學地球與環境科學系薛誠曜與溫士忠副教授、國立臺灣大學地質科學系郭陳濤教授、孫維芳博士、潘勝彥、黃俊銘、管卓康博士後研究員、顏一勤應用地質技師、交通部中央氣象署何俊瑋、中央研究院地球科學研究所紀宗志博士後研究、古進上研究助技師、黃柏壽特聘研究員、傅慶州助研究員提供。