

本期目錄

- 1 前言、儀器服務平台、近期消息
- 2 利用核繞射波探索地核地函邊界構造
- 4 SALUTE 計畫首度揭示南臺灣大陸岩石圈隱沒至弧陸碰撞過渡帶深部衰減構造
- 7 從張裂縫到巨型崩塌：光學影像資料與微地動觀測解析馬太鞍崩塌過程
- 9 本季成員發表文章 (2026.07~)
- 10 致謝

前言

黃信樺

中央研究院地球科學研究所 副研究員、
台灣地震科學中心 執行秘書

本期內容收錄了精彩可期的三篇成果發表，主題涵蓋地核地函邊界構造、南臺灣深部衰減構造以及馬太鞍巨型崩塌歷程解析。感謝中央研究院地球科學研究所郁文哲副研究員、國立臺灣大學地質科學系洪淑蕙教授、國立陽明交通大學土木工程學系趙韋安副教授分享相關成果與資訊！

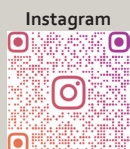
儀器服務平台

地震儀器中心儀器借用申請 <https://brm.nstc.gov.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://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSc1VLaGT6Q9Qsr38HyNWErTRZUHUYZJJxk7A2I9J0FpAzrHMQ/viewform?pli=1>，填寫「地球物理實習課程申請」google 表單。

近期消息

中央研究院地球科學研究所將於 115 年 10 月 17 日（六）舉辦院區開放日（Open House）活動，由 TEC 團隊成員梁文宗研究技師主講與現場展示「探索地震研究的寶藏」主題計畫；活動將透過雲端服務架構呈現珍貴的地震波形紀錄與觀測應用，帶領大眾一探地震科學與斷層研究的奧秘，歡迎各位夥伴與關心地震議題的民眾前往參與交流。



doi: 10.30067/TECNL.202609_(53).0001

利用核繞射波探索地核地函邊界構造

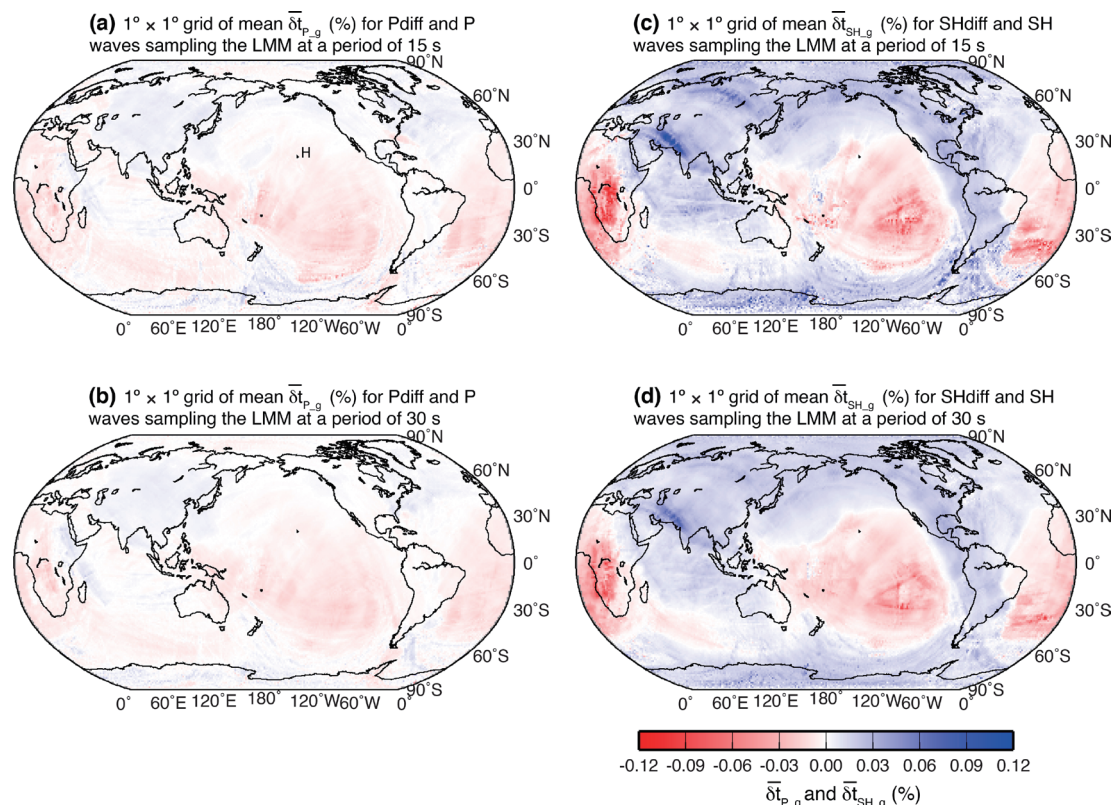
郁文哲¹、戴夏飛¹、洪淑蕙²、黃信樺^{1,2}、柯彥廷³¹ 中央研究院地球科學研究所² 國立臺灣大學地質科學系³ 國立臺灣大學海洋研究所

下部地函最深層 (Lowermost Mantle, LMM, 指地核地函邊界上方約 300 公里厚區域) 是地球內部熱與物質組成對流的邊界。地震學家透過全球地震層析成像發現, 非洲與太平洋下方存在數千公里的「大型低剪切波速度省」(LLSVPs)。然而, 這些深部巨型低速構造究竟是單純由高溫引起的熱對流, 還是富含特殊化學成分的物質? 一直是地球動力學中的核心爭議。

研究團隊建立了一套自動化波形量測流程。本研究直接將 SCARDEC 震源時間函數資料庫融入

AxiSEM 與 Instaseis 計算的 1D 格林函數中, 能在進行波形交叉相關前, 去除複雜地震震源破裂的影響。我們處理了全球超過 202 萬筆 Pdiff+P 波與 196 萬筆 SHdiff+SH 波的多頻段波形資料, 構建出目前最具規模的核繞射波走時殘差資料庫。核繞射波 (Pdiff 與 SHdiff) 因沿著地核地函邊界 (CMB) 長距離貼伏傳播, 對下部地函最深層的波速異常具敏感性。

分析結果顯示, 下部地函最深層的 SH 波走時異常 ($\delta t_{SH,g}$) 強度普遍比 P 波 ($\delta t_{P,g}$) 強上 2 至 3



圖一、採樣下部地函最深層 (LMM) 之 $1^\circ \times 1^\circ$ 網格平均正規化絕對走時殘差: (a) 15 秒與 (b) 30 秒週期的 Pdiff 與 P 波 ($\delta t_{P,g}$); 以及 (c) 15 秒與 (d) 30 秒週期的 SHdiff 與 SH 波 ($\delta t_{SH,g}$)。為便於比較, $\delta t_{SH,g}$ 與 $\delta t_{P,g}$ 均採用一致顏色色階。

倍。值得注意的是，非洲 LLSVP 的剪切波減速幅度顯著強於太平洋 LLSVP 達 2 至 3 倍，揭示這兩大深部構造可能擁有不同的演化歷史或物質構成。

為釐清其物理機制，透過同路徑子集資料排除採樣偏差，進一步分析 $R_{SH/P}$ （即 $\delta t_{SH_g}/\delta t_{P_g}$ ）比值。結果發現其分布呈現顯著散佈（主要介於 -2 至 +5 之間），超出純熱效應所預測的 1.7 至 2.6 狹窄範圍。此外， δt_{SH_g} 的統計分布呈現明顯的低速偏態（Skewed distribution），而 δt_{P_g} 則接近常態高斯分布。

這些觀測證據強烈證實：下部地函最深層的 LLSVPs 並非單純的熱效應所致，而是熱與化學

成分（如富含鐵元素或矽酸鹽礦物布里曼石）共同作用的「熱化學構造」（Thermochemical structures）。本研究不僅為下部地函最深層提供了高解析度數據約束，也為未來進行三維（3D）全波形層析成像奠定基礎。

參考文獻

Yu, W., Deschamps, F., Hung, S.-H., Huang, H.-H., & Ko, J. Y.-T. (2026). Mapping Lowermost Mantle Seismic Structures With Core-Diffracted Waves. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 131(6). <https://doi.org/10.1029/2025jb031561>

doi: 10.30067/TECNL.202609_(53).0002

SALUTE 計畫首度揭示 南臺灣大陸岩石圈隱沒至 弧陸碰撞過渡帶深部衰減構造

林侑頻、洪淑蕙

國立臺灣大學地質科學系

臺灣南部岩石圈與造山作用地震觀測計畫 (Southern Array for the Lithosphere and Uplift of Taiwan Experiment, 簡稱 SALUTE) 為一項多年期大型地震觀測計畫，於橫跨南臺灣陸地及東部外海的隱沒－碰撞轉換帶建置高密度寬頻地震觀測網，目的在於探討大陸岩石圈隱沒過渡至弧陸碰撞過程中的構造演化，進而增進對臺灣造山帶形成機制的理解。Lin et al. (2026) 整合 SALUTE、中央研究院寬頻地震觀測網 (BATS) 及中央氣象署 (CWA) 地震觀測網所記錄之南臺灣地震資料，測量 P 波與 S 波頻譜振幅變化並進行地殼與最上部地函三維地震衰減 (Q_P 與 Q_S) 層析成像，建立目前該區解析度最高的三維衰減模型 (圖一)。

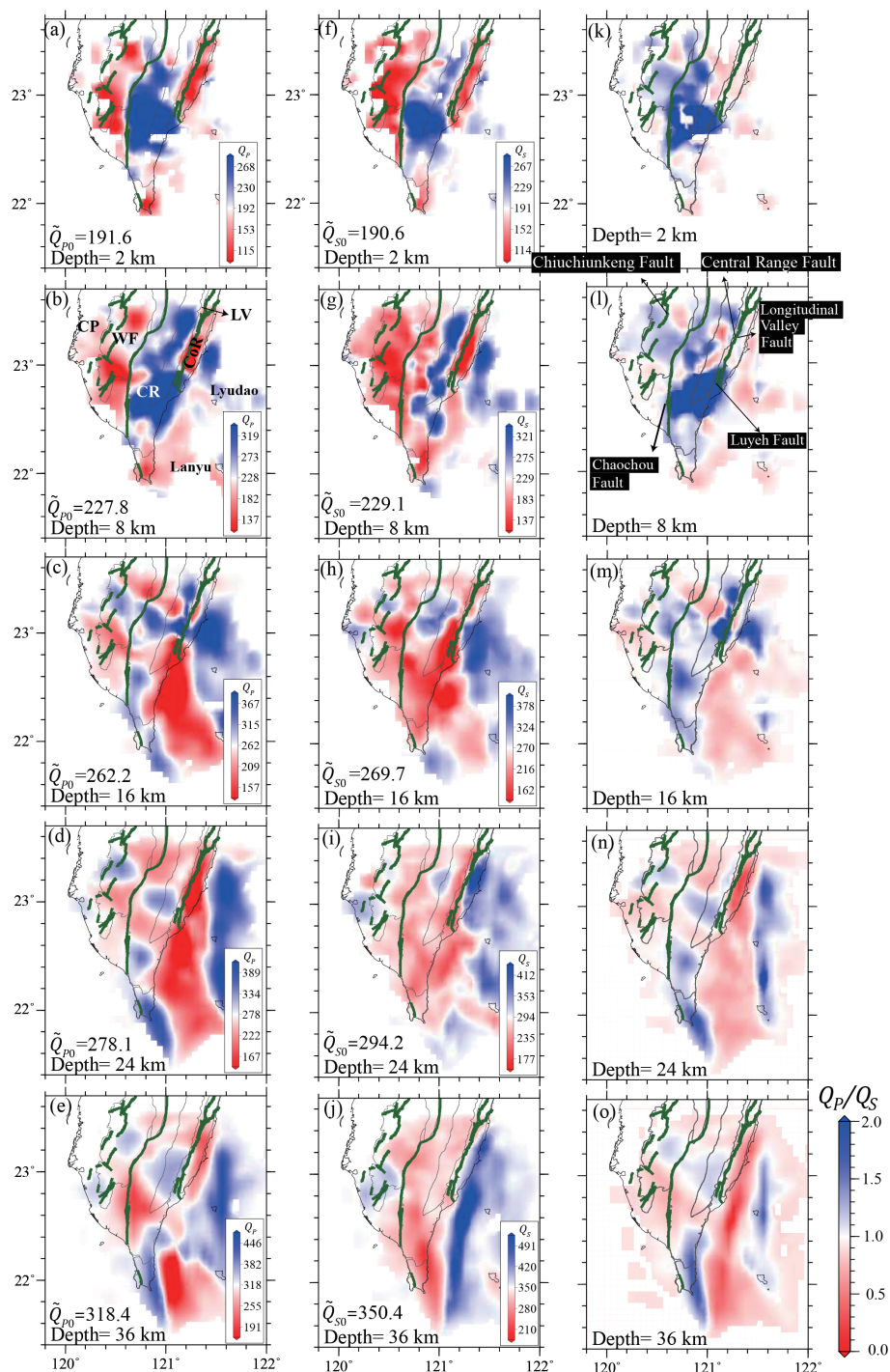
研究結果顯示，主要活動斷層兩側具有顯著的衰減對比，可有效辨識不同岩性與構造邊界，並提供較傳統彈性波速度層析成像更敏感於溫度、流體及岩石非彈性性質的地下構造資訊。此外，中央山脈下方發現廣泛的低 Q 值 (高衰減) 與低 Q_P/Q_S 比值異常，且與長微震 (tectonic tremor) 分布高度一致，顯示中下地殼存在富含流體、具塑性變形特性的弱化帶，對慢滑移及造山作用具有重要意義。

本研究亦首次清楚描繪出臺灣東南外海呂宋前弧

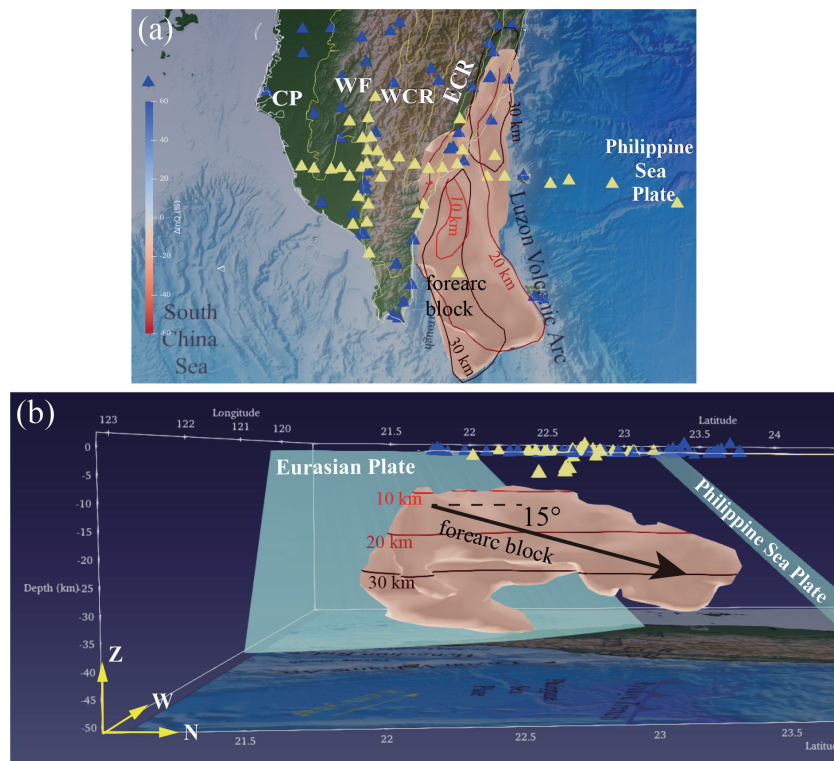
地塊 (Luzon forearc block) 的三維幾何形態 (圖二)，顯示其為一向北傾斜約 15° 、並逐漸變窄的低 Q_P 構造體，提供前弧地塊於弧陸碰撞過程中變形演化的重要地震學證據。此成果不僅補足速度模型無法直接反映之熱狀態、流體分布及非彈性變形等資訊，也深化對臺灣造山帶構造演化與孕震環境的理解，並有助於提升地震災害評估能力。研究成果發表於 *Geophysical Research Letters*，並獲美國地球物理學會 (AGU) 選為 Eos Research Spotlight，凸顯 SALUTE 計畫及本研究在深化臺灣隱沒－碰撞過渡帶地體構造與造山作用研究上的重要科學價值與貢獻。

參考文獻

- Lin, Y.-P., Hung, S.-H., Tseng, T.-L., Lin, P.-Y. P., Tan, E., & Chen, Y.-N. (2026). Seismic Attenuation Reveals Fault and Forearc Structure Across the Subduction-Collision Transition in Southern Taiwan. *Geophysical Research Letters*, 53(8). <https://doi.org/10.1029/2025gl121583>
- Scharping, N. (2026). Seismic Attenuation Techniques Reveal What Lies Beneath Taiwan. *Eos*, 107. <https://doi.org/10.1029/2026EO260150>



圖一、臺灣南部三維 Q_P 、 Q_S 與 Q_P/Q_S 模型。由衰減層析成像模型推導出不同深度 (a) - (e) 之 Q_P 與 (f) - (j) 之 Q_S 分布圖，並疊加地質分區圖（細黑線）。紅色代表較強的衰減，藍色代表較弱的衰減。圖 (a) - (e) 中標註的 Q_P 數值與 (f) - (j) 中的 Q_S 數值，代表各深度處 $\Delta \ln Q = 0\%$ 時對應的參考 Q 值。內嵌色標顯示由 -40% 至 $+40\%$ 的相對變化量，刻度線則標示相應的 Q_P 與 Q_S 絕對值。(k) - (o) 由三維 Q_P 與 Q_S 層析成像模型所估算不同深度之 Q_P/Q_S 比值圖。粗綠線為主要斷層位置，斷層名稱標註於圖 (l)。圖 (b) 中由西至東的地質單元縮寫如下：CP，海岸平原；WF，西部麓山帶；CR，中央山脈；CoR，海岸山脈；LV，花東縱谷。



圖二、三維 Q_p 衰減構造與呂宋弧前地塊 (Luzon forearc block) 幾何形態。(a) 地圖顯示 $\Delta \ln Q_p = -20\%$ 等值面所呈現之呂宋弧前塊體的水平分布範圍。圖中同時疊加地形及地震測站位置 (三角形)，藍色與黃色三角形分別代表 BATS/CWASN 與 SALUTE 測站。(b) 垂直剖面展示影像解析出的呂宋前弧塊體幾何形態，可見其以約 15° 的傾角向北緩傾。圖 (a) 與 (b) 中由亮紅至深紅色線條表示前弧塊體 10、20 與 30 公里深度的等深線，用以呈現其三維幾何形態及延伸深度。圖 (b) 中半透明青色介面分別代表隱沒中的菲律賓海板塊 (Philippine Sea Plate) 與歐亞板塊 (Eurasian Plate) 之幾何構造。

doi: 10.30067/TECNL.202609_(53).0003

從張裂縫到巨型崩塌：光學影像資料與微地動觀測解析馬太鞍崩塌過程

趙韋安^{1,2}、楊哲銘³¹ 國立陽明交通大學土木工程學系² 國立陽明交通大學防災與水環境研究中心³ 國立臺灣科技大學營建工程系

2025 年 7 月 21 日下午 5 時 54 分，花蓮馬太鞍溪上游發生巨型深層崩塌，估計崩塌體積約達 3.08 億立方公尺，為目前臺灣有紀錄以來規模最大的崩塌事件。約 2.08 億立方公尺的崩塌物進入河道並形成大型天然壩；堰塞湖形成 62 天後發生潰壩，潰決洪水造成嚴重災害。這場事件不僅凸顯巨型崩塌與堰塞湖的複合災害風險，也提供了一個難得的科研契機，讓本研究從多時序衛星和空拍影像以及地震波紀錄重新解析巨型崩塌的發生過程 (李國維等，2026)。

透過多時期 Sentinel-2 衛星影像，本研究發現該邊坡在崩塌前其實已發育明顯的崩塌前兆之地貌。2024 年 4 月 3 日花蓮地震 (Mw 7.3) 與降雨後，舊崩崖之冠部西側開始出現張裂縫特徵；進一步陸續受到颱風、強降雨與地震等多重事件影響，冠部東側亦發育張裂縫且逐漸延伸、加寬，最終相互連接。至崩塌發生前，已可由衛星影像辨識出一道清楚且連續的線性裂縫。此外，崩塌前 75 小時累積降雨量達 585.5 mm，長時間強降雨可能進一步提高潛在滑動面的孔隙水壓與坡體含水量，成為最終觸發邊坡失穩的重要因素 (Chao & Yang, 2026；圖一)。

更值得一提的現象，震波反演分析告訴我們這並不是一次單純的滑動。寬頻地動訊號紀錄中可以清楚辨識兩組不同的訊號，因此本研究發展多塊體單力源 (multiple-block single-force, mSF; Chao et al., 2016, 2017; Chao & Yang, 2026)

模型進行震源反演。結果顯示，兩個主要崩塌事件僅相隔約 65 秒：第一階段為較陡峭的坡體快速崩滑並向東南運動；第二階段的作用力較小、滑動傾角僅約 6.8°，且以向西運動為主。這種多震源、不同方向的運動過程，使崩塌材料在河谷中重新轉向與堆積，最終形成巨型天然壩 (Chao & Yang, 2026；圖二)。

這項研究顯示，利用多時序影像料可從崩塌前的地貌變化尋找潜在前兆，而即時地動觀測則能在事件發生後近即時掌握崩塌的位置與動力過程。若未來能進一步整合坡地遙測、即時微地動監測，以及河道沿線的地動測站，將有機會建立從「邊坡失穩、巨型崩塌、堰塞壩形成到潰壩洪水」的災害鏈監測架構，以科學循證，為山區複合災害的預警與應變提供更即時科學資訊 (王凱石等，2026)。

參考文獻

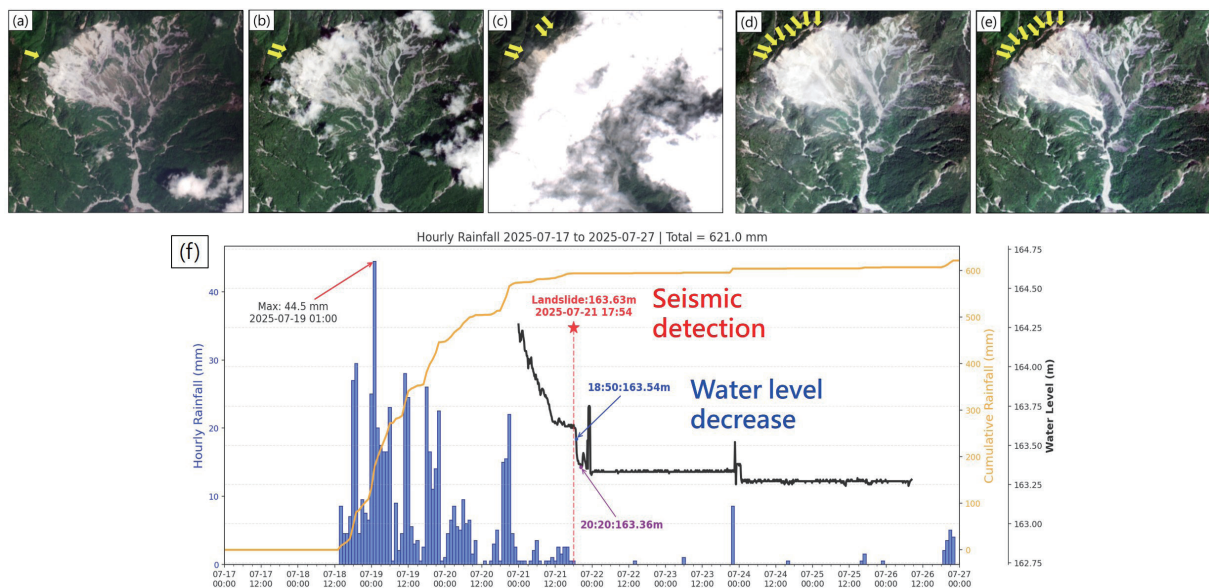
- Chao, W.-A., Zhao, L., Chen, S.-C., Wu, Y.-M., Chen, C.-H., & Huang, H.-H. (2016). Seismology-based early identification of dam-formation landslide events. *Scientific Reports*, 6(1), 19259. <https://doi.org/10.1038/srep19259>
- Chao, W.-A., Wu, Y.-M., Zhao, L., Chen, H., Chen, Y.-G., Chang, J.-M., & Lin, C.-M. (2017). A first near real-time seismology-based landslide monitoring system.

Scientific Reports, 7(1), 43510. <https://doi.org/10.1038/srep43510>

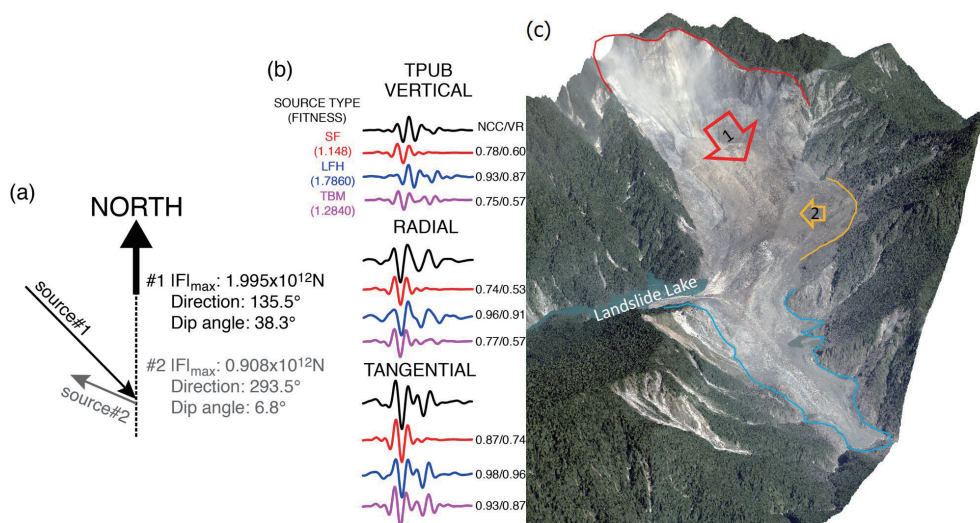
Chao, W.-A., & Yang, C.-M. (2026). A giant two-stage landslide at Matai'an, Taiwan: insights from seismic source inversion and remote-sensing analysis. *Landslides*, 23(7), 2015–2027. <https://doi.org/10.1007/s10346-026-02767-0>

王凱石、趙韋安、楊哲銘、周政宏、楊皓雯 (2026)。馬太鞍崩塌與堰塞湖潰決後之災害鏈監測～以微地動觀測技術為例。地工技術，No.188/2026.6 P43。

李國維、趙韋安、張智安、王慧蓉、廖仲達、楊昇學、鍾仁凱、楊哲銘、林承翰 (2026)。馬太鞍溪堰塞湖調查與致災風險評估。地工技術，No.188/2026.6 P21。



圖一、馬太鞍崩塌發生前張裂縫發育的 Sentinel-2 衛星影像。(a) 2024 年 4 月 14 日；(b) 2024 年 8 月 22 日；(c) 2024 年 11 月 30 日；(d) 2025 年 3 月 25 日；(e) 2025 年 4 月 14 日。黃色箭頭標示馬太鞍崩塌冠部張裂縫。(f) 太安雨量站時序資料與馬太鞍溪橋水位站資料。(修改自 Chao & Yang, 2026)



圖二、(a) 雙震源震波反演成果；(b) 多震源型態之震波訊號範例；(c) 於立體光學影像上標示馬太鞍崩塌運動轉向之空間分布。(修改自 Chao & Yang, 2026)

本季成員發表文章 (2026.07~)

Published

- Arya, L., **Hung, S.-H.**, & **Kuo, B.-Y.** (2026). Microseism Generation by Two Consecutive Super Typhoons Crossing the Ryukyu Arc Observed with Ocean-Bottom Seismometers. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220250385>
- Chen, L., **Han, W.-C.**, Lo, S.-C., Lu, Y.-W., & Hsu, C.-C. (2026). Joint geophysical surveys for underwater cultural heritage investigation: An example from the Taijiang Waters in Taiwan. *Near Surface Geophysics*. <https://doi.org/10.1002/nsg.70075>
- Chiang, T.-L., Hsin, Y.-C., & **Wu, C.-R.** (2027). Numerical study on genesis of wintertime low sea level anomaly off northwestern Luzon and dominant factor in super-ENSO-related changes. *Ocean Modelling*, 205, 102817. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2026.102817>
- Gao, J.-C.**, Kao, J.-C., **Chan, C.-H.**, **Chuang, R. Y.**, Chen, C.-H., **Shyu, J. B. H.**, **Ching, K.-E.**, **Wang, Y.**, & **Ma, K.-F.** (2026). Probabilistic seismic hazard assessment for Taiwan: Updates and improvements in TEM PSHA2025. *Engineering Geology*, 371, 108903. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2026.108903>
- Hsu, Y.-J.**, **Wang, Y.**, Tung, H., **Lin, Y. N.**, **Tang, C.-H.**, **Huang, H.-H.**, **Chen, H.-Y.**, & **Shyu, J. B. H.** (2026). Complex Rupture of the 2024 M_w 7.3 Hualien Earthquake from Onshore and Seafloor Geodesy and Its Tectonic Implications. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220250365>
- Ku, C.-S.**, **Ma, K.-F.**, **Liang, W.-T.**, **Huang, H.-H.**, & **Lin, C.-J.** (2026). A Continuous DAS Dataset of the 2 April 2024 M_w 7.4 Hualien, Taiwan, Earthquake Sequence from the MiDAS Observatory. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220260166>
- Lai, T.-S., **Chao, W.-A.**, Yang, C.-M., **Wu, Y.-M.**, **Chang, J.-M.**, **Chen, D.-Y.**, & **Wu, C.-F.** (2026). Rapid Coseismic Landslide Susceptibility Assessment via Newmark Analysis, the Decision Tree Algorithm, and a Web-Based Display System. *Journal of GeoEngineering*, 21(2), 107-119. [https://doi.org/10.6310/jog.202606_21\(2\).0004](https://doi.org/10.6310/jog.202606_21(2).0004)
- Ling, Y. Y., **Kuo, L.-W.**, **Ma, K.-F.**, & **Wu, W.-J.** (2026). Mechanoradical hydrogen generation during seismic slip in an active fault zone. *Communications Earth & Environment*. <https://doi.org/10.1038/s43247-026-03912-2>
- Myo, E. M. N., **Wang, Y.**, **Wu, Y.-M.**, Wei, S., Aung, L. T., Maung, P. M., **Huang, H.-H.**, **Huang, B.-S.**, **Chan, C.-H.**, & Pornsopin, P. (2026). Ground motion characteristics of the 2022 M_w 5.9 Keng Tung earthquake in the northern Sunda Block. *Earth, Planets and Space*, 78(1), 174. <https://doi.org/10.1186/s40623-026-02506-8>
- Song, G.-Y., & **Wu, Y.-M.** (2026). Relationship between ground motion parameters and building damage for 2016 M_w 6.4 Meinong, Taiwan earthquake. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s44195-026-00139-8>
- Wu, C.-R.**, & Chang, Y.-C. (2026). Hybrid Transformer AI enables operational forecasting of turbine-scale Kuroshio power generation at optimal sites. *Energy Conversion and Management: X*, 30, 101923.

<https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2026.101923>

Zhang, W., **Hsieh, M.-C.**, & Chen, P.-Y. (2026). Large-Scale Physics-Based Broadband (up to 8 Hz) Ground-Motion Simulations of M_w 6.4+ Earthquakes for Hualien, Taiwan, Area. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220260146>

Accepted

Wu, E.-S., Huang, H.-H., Yonemori, K., Emoto, K., Nakahara, H., **Ko, J. Y.-T., Lin, C.-J., & Ku, C.-S.** (in press). A transferable strain-rate-to-PGA scaling relation for DAS-based on-site earthquake early warning. *Seismological Research Letters*.

致謝

本季刊由 TEC 辦公室成員陳卉瑄主任、馬國鳳特聘研究員、黃信樺副研究員、楊詠騫、黃淑真及吳美芳協助編輯，第五十三期內容感謝中央研究院地球科學研究所郁文哲副研究員、國立臺灣大學地質科學系洪淑蕙教授、國立陽明交通大學土木工程學系趙韋安副教授提供。