

本期目錄

- 1 前言、儀器服務平台、近期消息
- 2 跨越海陸界線：臺灣地震模型的第一版海域孕震構造資料庫
- 4 AI 預警新紀元：TT-SAM 如何運用「Transformer」更精準捕捉地震搖晃？
- 6 臺灣中西部地殼深部高速構造及其被動大陸邊緣意涵
- 9 頻率相依的地震波速度變化揭示清邁盆地分層含水層行為
- 11 本季成員發表文章 (2026.04~)
- 12 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四篇成果發表。感謝國立臺灣大學徐浩德教授與陳承鴻博士、國立中央大學詹忠翰副教授與陳禹衡、國立成功大學李恩瑞教授研究團隊、國立臺灣大學 Chaninthon Rattanaavetchasit 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。

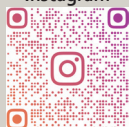
近期消息

TEC 已於 115 年 6 月 15 日至 16 日參加「中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 115 年年會暨學術研討會」，並於國立中正大學大禮堂國際會議廳設置展攤。本次參展已圓滿落幕，非常感謝期間蒞臨展攤交流的各位夥伴。

Facebook



Instagram



Threads



doi: 10.30067/TECNL.202606_(52).0001

跨越海陸界線：臺灣地震模型的第一版 海域孕震構造資料庫

陳承鴻^{1,2}、徐浩德¹¹ 國立臺灣大學地質科學系² 國立中央大學地震災害鏈風險評估及管理研究中心 (E-DREaM)

過去數十年，臺灣廣為使用的斷層資料包括地礦中心公布的活動斷層圖，以及臺灣地震模型 (TEM) 所建構的孕震構造資料庫 (Shyu et al., 2020)。然而，臺灣的地震卻有相當高的比例發生於外海，這不禁令我們反思：過去對斷層與地震風險的認識，是否過度集中於陸域，而忽略了更廣大的海域？

歷史上，臺灣外海曾發生多起規模 7.0 以上的強震。例如，2006 年恆春地震不僅造成陸地建築受損，也導致多條海底電纜中斷；2024 年 0403 地震除了重創花蓮，還使距離逾百公里的臺北盆地出現明顯搖晃。這些事件顯示，外海地震同樣會對臺灣造成大範圍且複合性的災害影響。若未充分掌握外海孕震構造的位置與幾何特徵，現行地震危害評估可能低估其潛在風險。

為填補此缺口，TEM 團隊自 2020 年起整合臺灣海域累積的珍貴地球物理資料，首先透過反射震測剖面中地層訊號的不連續與錯移特徵，辨識可能仍具活動性的斷層位置；再結合海底地形圖中的斷層崖，約束其側向延伸長度。透過「點」的定位與「線」的延展，並引入背景地震提供的深度控制，逐步重建海域構造的地下三維幾何形貌。

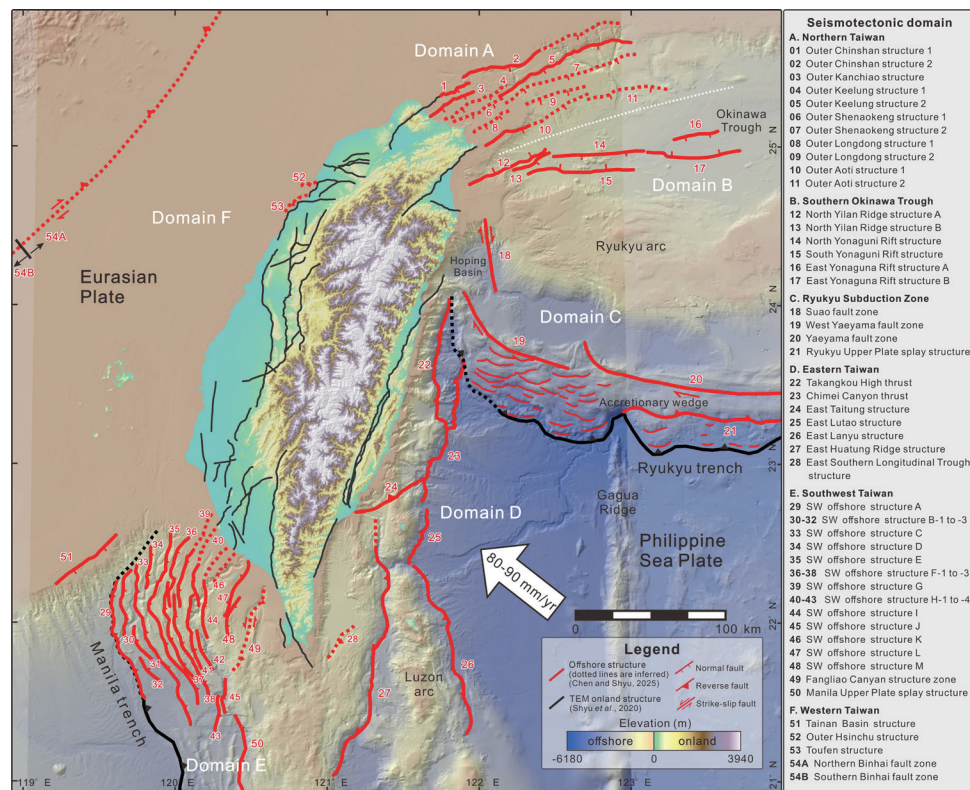
本研究共判釋出 54 條臺灣海域孕震構造的位置與運動學特徵 (Chen & Shyu, 2026；圖一)。依據斷層幾何與規模的經驗關係式，這些構造皆具備發生規模 6.5 以上地震的潛力 (圖二)，部分甚至具有引發海嘯的風險。更重要的是，部分海域構造

在幾何上可能與陸域斷層相連，具備觸發「聯合破裂」的條件，進一步放大潛在地動與災害規模。

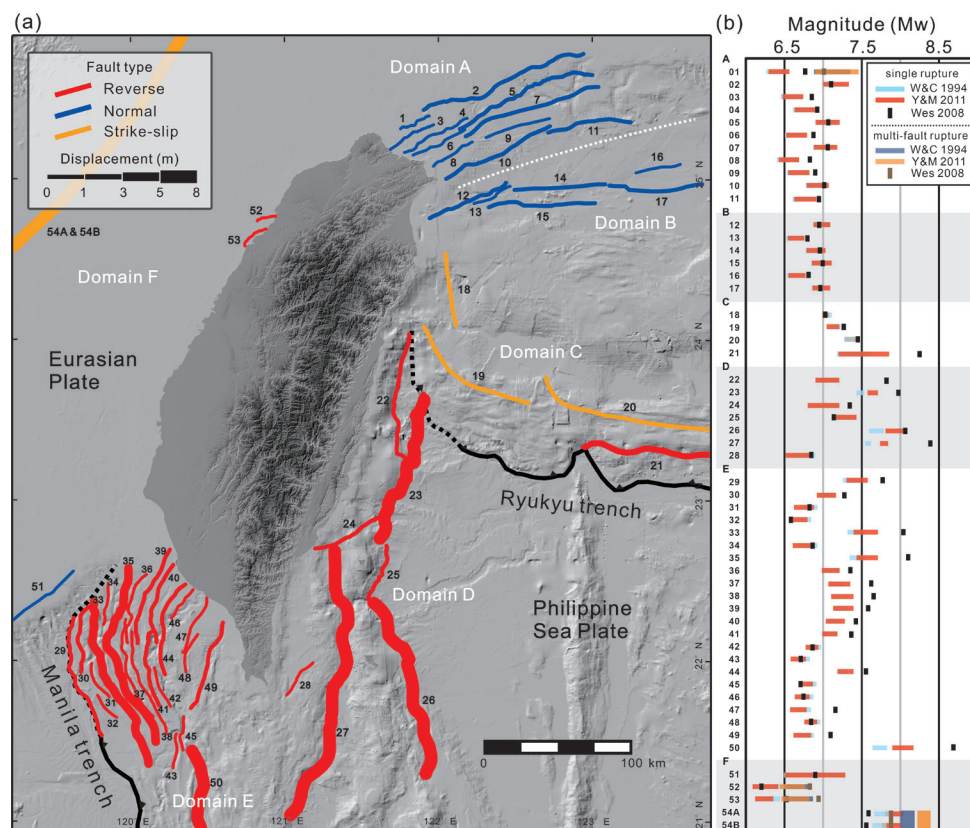
此成果為 TEM 計畫首次建立的海域孕震構造資料庫，也是臺灣地震研究由陸域邁向海陸整合的重要一步。未來除持續納入新資料滾動優化資料庫，團隊也將估算各構造的長期滑移速率與地震再現週期，並整合進機率式地震危害度分析 (Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)，以建立更完整的地震風險評估。臺灣的斷層研究不應止於海岸線，當我們開始看見海底的孕震構造，也將重新界定臺灣地震風險的邊界。

參考文獻

- Chen, C.-H., & Shyu, J. B. H. (2026). Seismogenic Structures Offshore Taiwan and Their Earthquake Potential from the Taiwan Earthquake Model (TEM) Project. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 116(1), 26–51. <https://doi.org/10.1785/0120250009>
- Shyu, J. B. H., Yin, Y.-H., Chen, C.-H., Chuang, Y.-R., & Liu, S.-C. (2020). Updates to the on-land seismogenic structure source database by the Taiwan Earthquake Model (TEM) project for seismic hazard analysis of Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 31(4), 469–478. <https://doi.org/10.3319/TAO.2020.06.08.01>



圖一、臺灣孕震構造分布圖。陸域孕震構造（黑線）引用自臺灣地震模型（TEM；Shyu et al., 2020），海域構造（紅線）為本研究結果。紅色實線代表具有明顯海床線形構造的斷層，虛線則表示線形特徵較不清楚。



圖二、海域孕震構造特性與潛在地震規模。(a) 各構造之單次地震平均滑移量，線條越粗表示單次位移量越大。顏色代表斷層型態：逆斷層（紅）、走滑斷層（橙）、正斷層（藍）。(b) 根據三種經驗關係式推估構造之潛在地震規模。構造 1、52、53 與 54 並納入多斷層聯合破裂情境。

doi: 10.30067/TECNL.202606_(52).0002

AI 預警新紀元：TT-SAM 如何運用「Transformer」更精準捕捉地震搖晃？

陳禹衡、詹忠翰

國立中央大學地震災害鏈風險評估及管理研究中心

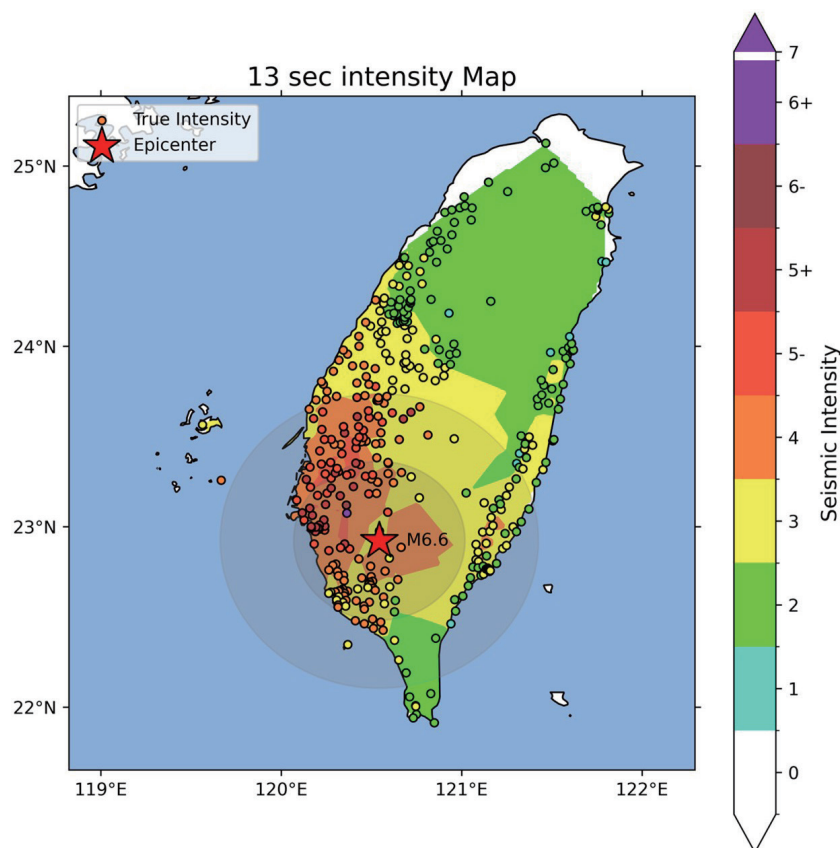
如何在震災來襲前爭取寶貴的數秒至數十秒，一直是地震學家的重要課題。地震預警系統有時在大地震發生時產生「飽和現象」，導致低估震度，或在多震源活動下產生誤判。為了解決痛點，我們開發了全新的「台灣變壓器地震警報模型」(Taiwan Transformer Shaking Alert Model，簡稱 TT-SAM)，為下一代地震預警系統提供實用的技術。

過去多數 AI 預警模型主要預測峰值地面加速度 (PGA)，但過去經驗顯示，峰值地面速度 (PGV) 與建築物的受損程度及地震動能有更強的相關性。中央氣象署目前的震度分級，針對 5 級以上的強震也是以 PGV 為主要判讀標準。TT-SAM 直接將 PGV 作為預測目標，能更直觀地反映潛在的災害風險。

TT-SAM 名稱中的「Transformer」，指的是其採用的核心深度學習架構；這與 ChatGPT 等大型語言模型所使用的基礎架構相同，而 ChatGPT 名稱中的「T」正是「Transformer」的縮寫。這種架構具備強大的「自注意力機制」(Self-attention) 在語言模型中，它可以判斷一句話中不同字詞彼此之間的關係；而在 TT-SAM 中，我們則將這個概念移植到地震觀測網上，讓模型學習不同測站之間的空間關聯與場址效應。不同於僅依賴原始波形的模型，TT-SAM 結合了物理特徵工程，將位

移、累積垂直絕對速度與頻率參數等具有地震物理意義的特徵輸入模型，讓 AI 能精準辨識波形，並且預測可能的強震。

我們利用 2016 年高雄美濃地震序列進行測試。結果顯示，TT-SAM 表現優異，高達 93.56% 的預測結果與實際觀測震度誤差在正負一個震度級以內 (如圖一)。透過「滾動式更新」策略，



圖一、TT-SAM 對 2016 年高雄美濃地震的震度預測結果。圓點表示各地震測站位置，顏色代表實際觀測到的震度；背景色則為 TT-SAM 模型預測的震度分布。結果顯示，模型能掌握美濃地震在台灣西南部造成較強搖晃的空間分布，並有效重現主要影響區域，展現其在地震預警中快速預測強震動範圍的潛力。

模型在 P 波抵達後 3 秒即可給出初步預估，並隨數據累積持續修正，平衡了預警的速度與準確度。

除了高準確率，TT-SAM 在運算效率上也極具優勢，平均處理一次事件僅需約 9.43 毫秒，完全符合即時預警的需求。這項研究證明了將人工智慧與地震物理學深度結合，能大幅提升預警系統的可靠性，為減災應變爭取更多救命時間。

參考文獻

Chen, Y.-H., Chan, C.-H., Chang, C.-C., & Ma, K.-F. (2026). A Deep Learning Framework for Peak Ground Velocity Prediction Using Multi-Station Velocity Waveforms: The Taiwan Transformer Shaking Alert Model (TT-SAM). *Journal of Geophysical Research: Machine Learning and Computation*, 3(3).
<https://doi.org/10.1029/2025jh001005>

doi: 10.30067/TECNL.202606_(52).0003

臺灣中西部地殼深部高速構造及其被動大陸邊緣意涵

李恩瑞¹、廖勿渝¹、Ivan Koulakov²、陳珀³、張頌平¹、陳達毅⁴、
吳逸民^{5,6}、梁文宗⁶、羅祐宗⁷、顏宏元⁷、李元希⁸

¹ 國立成功大學地球科學系

² Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech), Russia

³ Department of Geology and Geophysics, University of Wyoming, USA

⁴ 中央氣象署地震測報中心

⁵ 國立臺灣大學地質科學系

⁶ 中央研究院地球科學研究所

⁷ 國立中央大學地球科學系

⁸ 國立中正大學地球與環境科學系

臺灣為全球最活躍的造山帶之一，由於其屬於弧陸碰撞造山系統，因此造山作用的變形模式、地殼幾何形貌與地震活動，深受早期被動大陸邊緣構造所控制。過去研究指出，北港基盤高區、伸張斷層以及大陸邊緣基盤幾何，皆對臺灣前緣褶皺逆衝帶的發育與變形傳遞具有重要影響。然而，相較於淺部構造，深部中下地殼構造的性質與其對造山作用的影響，仍缺乏明確限制。

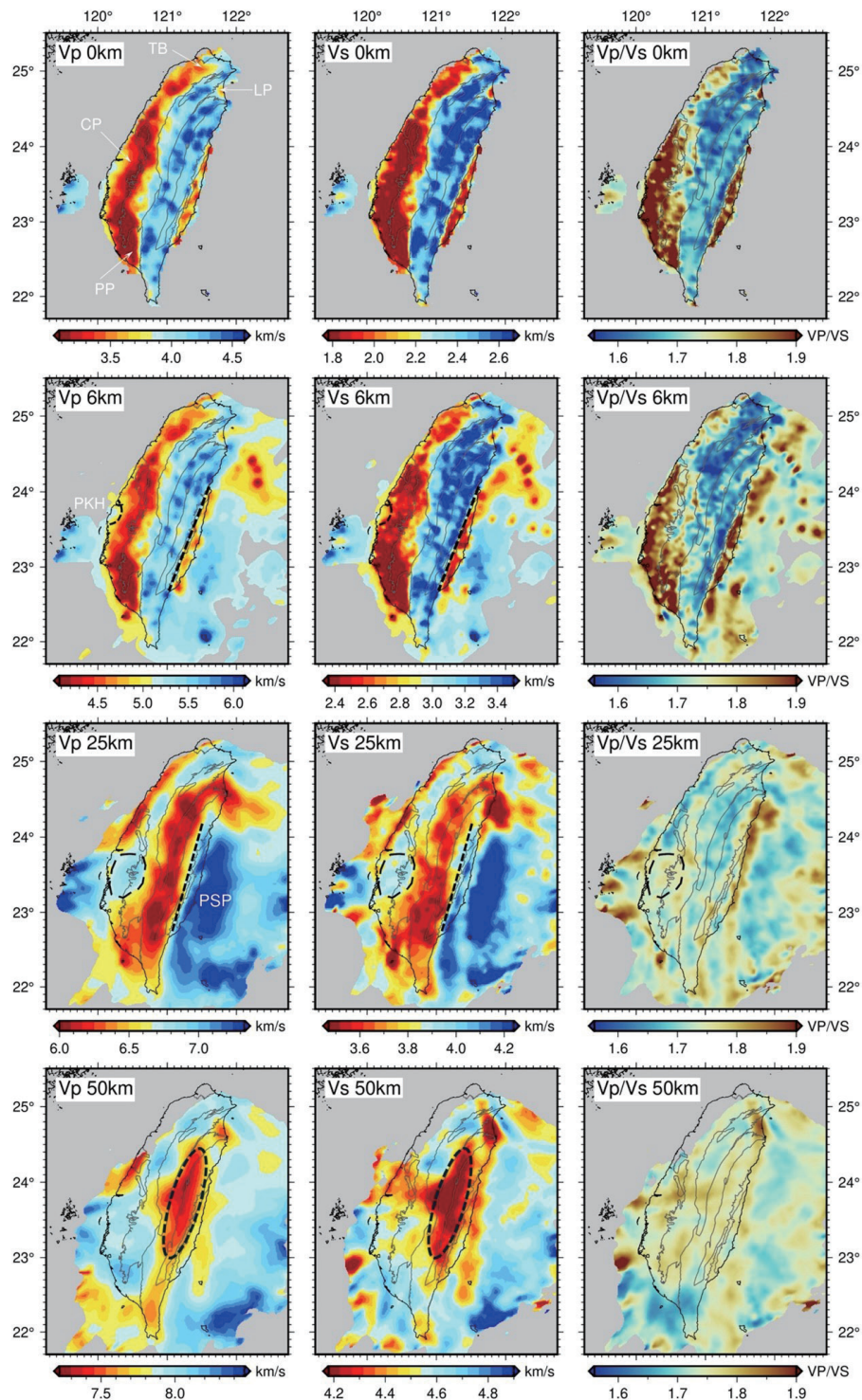
本研究利用臺灣高密度地震觀測資料，建立新的三維地震速度模型，以探討臺灣深部地殼構造特徵。我們整合 CWASN、TSMIP、BATS 與 TAIGER 等多套地震網資料，並透過機器學習挑相模型 RED-PAN 提升 P 波與 S 波到時判定的一致性與精度。相較於過去研究，本研究使用 2012 年後高品質連續觀測資料，可有效降低早期測站時間誤差對地震層析成像的影響，進一步提升模型解析度與可靠性。

結果顯示，新的三維速度模型除了清楚描繪臺灣主要地質構造與板塊幾何外，也在臺灣中西部約 20–30 公里深處發現顯著的地殼深部高速異常體（圖一）。該高速體與北港基盤高區的位置具

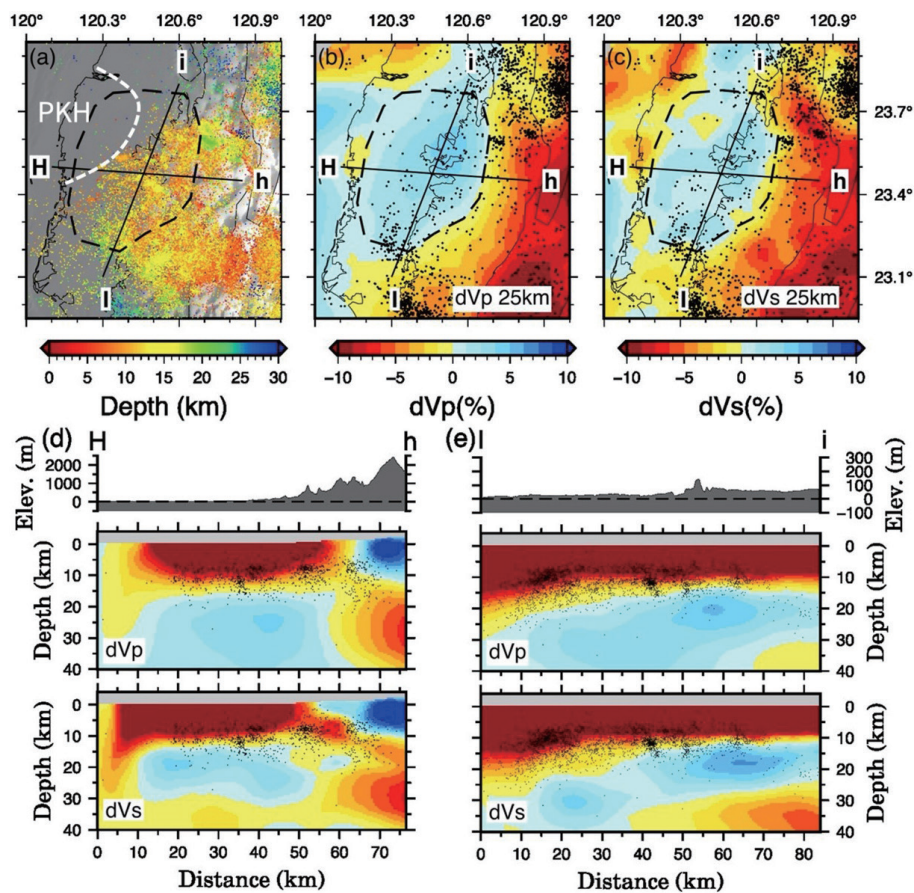
有良好對應，並向東延伸至更深部地殼。

透過 V_p 、 V_s 與密度分析比較，其性質較接近基性麻粒岩、輝長岩及角閃岩等高密度基性岩石，顯示此構造可能與早期被動大陸邊緣發育時期的基性岩漿底侵（mafic underplating）或岩漿侵入作用有關。此外，重力資料比對結果亦顯示，該區深部存在高密度物質分布，與速度模型結果具有良好一致性。另一方面，在區域應力分布與地震活動特徵上（圖二），亦可觀察到與此深部高速構造具有明顯相關性。

臺灣造山帶的地表型貌與變形特徵，在淺部受到北港基盤高區的明顯控制，而其形成機制則可能與被動大陸邊緣發育時期的岩漿作用有關。類似的深部高速與高密度構造，也可見於南海北部大陸邊緣的東沙隆起（Dongsha Rise），顯示兩者可能具有相似的構造與岩漿演化背景。本研究結果指出，深部被動大陸邊緣遺留構造，除了影響造山帶幾何形貌外，亦可能對地殼變形、區域應力分布及地震活動扮演重要角色。此研究提供了臺灣弧陸碰撞帶深部構造的證據，也有助於理解被動大陸邊緣構造在後期造山作用中的影響。



圖一、臺灣三維地震速度模型於不同深度之 V_p 、 V_s 與 V_p/V_s ratio 分布圖。圖中展示 0、6、25 與 50 公里深度之速度構造特徵。淺部 (0 公里) 低速構造主要分布沉積盆地與花東縱谷地區，顯示速度構造與地表地形及地質單元具有高度對應性。圖中花東縱谷地后虛線標示表菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊之主要碰撞交界帶。於 6 公里深度可觀察到北港基盤高區 (PKH) 之高速特徵，而在約 25 公里深度，臺灣中西部出現顯著地殼深部高速構造，可能與被動大陸邊緣發育時期之基性岩漿底侵 (mafic underplating) 或岩漿侵入作用有關。此外，在 50 公里深度之虛線圓圈區域，可觀察到臺灣造山帶深部之低速構造。



圖二、臺灣中西部地震活動與深部高速構造之空間關聯。(a) 顯示臺灣中西部地區之地震分布與研究區域位置，背景顏色為地震深度分布，並標示北港基盤高區 (PKH) 及兩條剖面位置 (H-h 與 I-i)。(b) 與 (c) 分別為 25 公里深度之 dVp 與 dVs 擾動分布，黑點為深度大於 20 公里之地震活動。結果顯示，臺灣中西部之深部高速異常體周圍，深部地震活動明顯減少。(d) 與 (e) 為沿 H-h 與 I-i 剖面之 dVp、dVs 與地震分布剖面圖。剖面顯示，在高速構造區域下方與周圍，深部地震活動相對較少，顯示深部高速體可能對區域應力分布與地震活動具有重要控制作用。

參考文獻

Lee, E.-J., Liao, W.-Y., Koulakov, I., Chen, P., Chang, S.-P., Chen, D.-Y., Wu, Y.-M., Liang, W.-T., Lo, Y.-T., Yen, H.-Y., & Lee, Y.-H. (2025). Tomographic Constraints on a Mid-Crustal High-Velocity Body Beneath

West-Central Taiwan: Implications for Passive-Margin Mafic Additions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 130(12), e2025JB032225. <https://doi.org/10.1029/2025JB032225>

doi: 10.30067/TECNL.202606_(52).0004

頻率相依的地震波速度變化揭示清邁盆地分層含水層行爲

Chaninthon Rattanaavetchasit (張甯)¹、黃信樺^{2,1}¹ 國立臺灣大學地質科學研究所² 中央研究院地球科學研究所

含水層儲存的淡水量遠超全球所有河流與湖泊的總和，然而我們對其監測，大多仰賴分散各處的監測井，每口井僅能採樣系統中一條極為狹窄的垂直切片。季節性洪水、長期乾旱與地下水超抽，會以難以在井與井之間觀察到的方式重塑含水層的結構。若有一種方法能夠持續對含水層進行空間上地探測——例如環境地震噪訊——將從根本上改變地下水的監測與管理模式。這正是本研究試圖填補的空缺與研究目標。

由環境地震噪訊干涉法所得到的地震波速變化 (dv/v)，長久以來被用作反映多種地下物理性質變化的指標。其原理直觀易懂：地震波的傳播速度，取決於介質的彈性性質及地下應力狀態，會略微加快或減慢。 dv/v 在多種環境下已展現出作為地下水位指標的良好應用潛力。地下水位亦可透過 GNSS 或遙測衛星等其他方法推估，然而要從中提取深度上精確的變化資訊，仍極具挑戰性。當地下水位上升時，三種效應會同時發生：水充填孔隙空間、孔隙壓力改變，以及增加的水體重量對下方地殼產生承載效應。長期以來困擾水文地球物理學界的難題在於，這三種效應對不同觀測的作用方向會相反，相互抵銷。目前 dv/v 對各效應之敏感度 (Sensitivity) 隨深度變化的規律，亦仍缺乏系統性的理解。

本研究分析了泰國清邁盆地兩個跨盆地地震測站長達 17 年的地震資料 (2006–2022 年)，期間

涵蓋了 2011 年與 2022 年的兩次洪水事件。透過選取分別對淺層與深層結構具有敏感度的頻段進行 dv/v 的分析，並結合地下水位、GNSS 及氣象觀測記錄來探討不同深度含水層的時序變化反應 (圖一 a)。計算得到的低頻與高頻 dv/v 的結果呈現出相反的季節性波動規律 (圖一 b)。高頻 dv/v 與地下水位呈負相關，此結果與前人研究一致，且波速降幅最大的時期恰好與洪水年份相吻合。這種負相關性一般被詮釋為地下水位上升導致孔隙水壓增加、有效應力下降的響應。

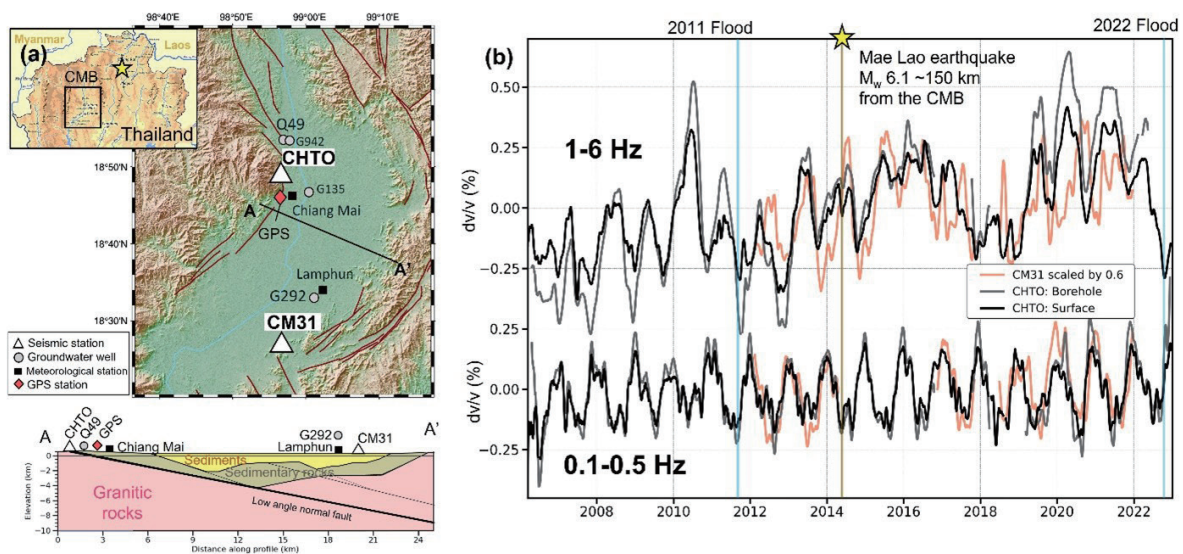
為建立更完整的理論框架，我們提出一套有效應力公式，同時納入承載效應與孔隙壓力效應來模擬比對觀測的結果。在高頻 dv/v 對應的淺部地層中，孔隙壓力變化與地下水位波動高度同步，並主導有效應力方程式，從而解釋了觀察到的負相關現象。而在低頻 dv/v 對應的較深部地層中，孔隙水壓訊號因孔隙彈性擴散而衰減，使得水體直接造成的承載效應逐漸變得顯著 (圖二)。我們的模擬結果顯示，低頻 dv/v 與地下水位承載訊號有更好的正相關性，強於其與孔隙水壓的影響。承載效應對地震波速的影響，此前只在冰層的相關 dv/v 研究中有所報導；而據我們所知，本研究是首次觀測到深層含水層中地下水承載效應對地震波速的影響。

本研究最令人振奮之處，在於其水文地球物理學的應用前景。透過從日常背景地震噪訊中持續

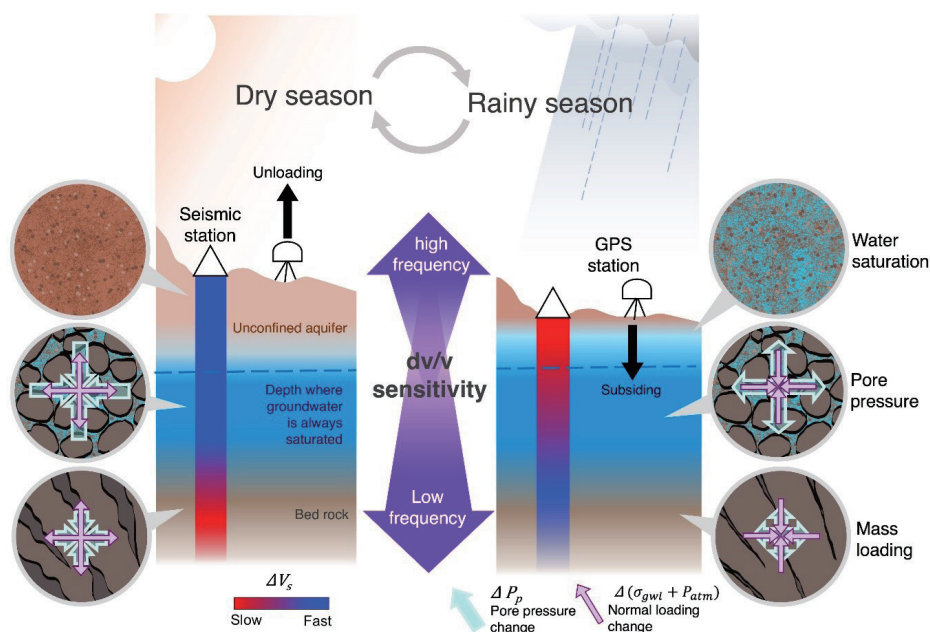
追蹤對應不同深度地層的 dv/v 變化，我們得以在無需另行鑽井的情況下，讀取含水層的動態響應。全球各主要盆地均已積累了數十年的地震觀測資料，意味著此方法不僅可即時應用，更可回溯性地分析歷史資料。有很高的潛力成為一項實用的水文監測工具——無論是面對乾旱、城市需水壓力，或是氣候變遷，凡是地下水資源面臨威脅的地方，皆可付諸應用。

參考文獻

Rattanavetchasit, C., Huang, H.-H., Sone, H., & Wu, Y.-M. (2026). Frequency-Dependent Seismic Velocity Variations Reveal Layered Aquifer Behavior Under Groundwater Fluctuations. *Geophysical Research Letters*, 53(4), e2025GL118568. <https://doi.org/10.1029/2025gl118568>



圖一、泰國清邁盆地的地震波速度變化 (dv/v) 監測。(a) 固定地震測站 (三角形)、地下水位監測井 (圓形)、氣象測站 (方形) 與 GPS 測站 (菱形) 的位置。(b) 以單站跨分量方法計算之高頻段 (1 到 6 Hz) 與低頻段 (0.1 到 0.5 Hz) dv/v 變化。



圖二、地下水系統與有效應力變化的概念圖，說明在不同深度下不同作用機制對地震波速變化的影響。

本季成員發表文章 (2026.04~)

Published

- Chen, H.-H.**, Tsai, P.-S., Chen, Y.-C., Li, C.-Y., Lin, Y.-K., Huang, W.-R., & Huihsuan Chen, K. (2026). Predicting Daily Cardiovascular Emergencies Using Weather and Air Quality Data: A 23-Year Machine-Learning Analysis in Taiwan. *GeoHealth*, 10(6), e2025GH001769. <https://doi.org/10.1029/2025gh001769>
- Chen, S. K., Peng, W., Lai, Y.-T., **Shyu, J. B. H.**, & **Wu, Y.-M.** (2026). Stress Transfer From Slow Slip Events to Earthquake Swarms as a Cycle in the Southernmost Ryukyu Subduction Zone. *Geophysical Research Letters*, 53(8), e2026GL121835. <https://doi.org/10.1029/2026gl121835>
- Chen, Y.-N.** (2026). Intrinsic Uncertainty of Noise Cross-Correlation Functions and Its Implications for Source Properties. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220250455>
- Fu, C.-C.**, Heinicke, J., Yang, T. F., & Walia, V. (2026). Anomalous fluid emissions at the Chung-lun mud pool, southwestern Taiwan: evidence for seismic–pore fluid interactions in a thrust fault system. *International Journal of Earth Sciences*, 115(3), 33. <https://doi.org/10.1007/s00531-026-02586-7>
- Huang, B.-S.**, Huang, W.-G., Le, T. S., Dinh, V. T., Lee, T.-Y., Yao, H., Chang, W.-Y., **Wu, Y.-M.**, **Huang, H.-H.**, Nguyen, V. D., Nguyen, L. M., Nguyen, T. H., Nguyen, C. N., Ha, T. G., Phung, V. B., & Ha, V. L. (2026). Seismic Array Observations and Scientific Explorations in Vietnam: A Long-Term Geoscience Collaboration Story from Taiwan. In S.-L. Chung, W.-Y. Chang, & S.-Y. Huang (Eds.), *Tectonic Evolution and Natural Hazards in Southeast Asia: From Scientific Observations to Disaster Reduction* (pp. 103–132). Atmosphere, Earth, Ocean & Space, Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-95-8549-6_5
- Lin, X.-Y., Huang, T.-C., & **Wu, Y.-M.** (2026). Discussion of local magnitude scale for deep earthquakes in Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s44195-026-00136-x>
- 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), e2025GL121583. <https://doi.org/10.1029/2025gl121583>
- Lin, Y.-Y.**, **Huang, H.-H.**, **Hsieh, M.-C.**, **Kuo, L.-W.**, **Chen, C.-C.**, Chang, M.-H., Chen, T. Y., Chen, H.-A., Brown, D., & Wang, S.-J. (2026). Lightning-Induced Implosive Microseismic Events at Depth Detected by Downhole Distributed Acoustic Sensing in Taiwan. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220250432>
- Putriani, E., **Wu, Y.-M.**, & Chen, C.-W. (2026). Multivariate statistical assessment for mapping landslide susceptibility: a case study of the Yilan area, Taiwan. *Geoenvironmental Disasters*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-026-00384-6>
- Walia, V., **Fu, C.-C.**, Kamra, P., Kumar, A., & Lin, S.-J. (2026). A Review of Statistical Methods for Analysing Radon Monitoring Data for Earthquake Precursory Studies in Taiwan. In K. Mohan & H.

Mittal (Eds.), *Geophysics for Advancing Seismology* (pp. 137–159). Springer Geophysics, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-11111-1_8

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), e2025JB031561. <https://doi.org/10.1029/2025jb031561>

Accepted

Hsu, Y.-J., Wang, Y., Tung, H., Lin, Y. N., Tang, C.-H., **Huang, H.-H.,** Chen, H.-Y., & **Shyu, J. B. H.** (in press). Complex rupture of the 2024 Mw 7.3 Hualien earthquake from onshore and seafloor geodesy and its tectonic implications. *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、楊詠寧、黃淑真及吳美芳協助編輯，第五十二期內容感謝國立臺灣大學徐濤德教授與陳承鴻博士、國立中央大學詹忠翰副教授與陳禹衡、國立成功大學李恩瑞教授研究團隊、國立臺灣大學 Chaninthon Rattana- vetchasit 提供。