

目錄

- 01 前言、儀器服務平台、近期消息
- 02 整合剪力波的估計函數、波速剖面外插法以及變異局部平均克利金法來加強臺北盆地的 V_{S30} 測繪
- 05 臺灣南澳地區板塊脫水流程誘發震顛之動態觸發機制
- 07 揭開池上斷層的脫氣特徵 - 地底釋出的氣體透露了什麼？
- 09 本季成員發表文章 (2025.07~)
- 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

本期內容邀請三位學者分享最近各研究團隊的成果，感謝中央大學地科系郭俊翔副教授、中研院地球所吳怡萱博士、中研院地球所傅慶州助研究員分享相關成果。

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

- 114 年 11 月 4 日至 6 日即將在中央研究院人文社會科學館國際會議廳舉辦「12th ACES (APEC Cooperation for Earthquake Science) International Workshop」，歡迎有興趣的學者或研究人員報名參加，更多詳情請見會議網站 <https://aces2025.earth.sinica.edu.tw>。
- 114 年 11 月 10 日至 11 日即將在宜蘭國立傳統藝術中心舉辦「2025 Taiwan-Japan-New Zealand Seismic Hazard Assessment Workshop」，歡迎有興趣的學者或研究人員報名參加，更多詳情請見會議網站 <https://2025tw-jp-nz.earth.sinica.edu.tw>。

doi: 10.30067/TECNL.202509_(49).0001

整合剪力波的估計函數、波速剖面外插法以及變異局部平均克利金法來加強臺北盆地的 V_{S30} 測繪

郭俊翔^{1,2,3}

¹ 國立中央大學地球科學系

² 國立中央大學地震災害鏈風險評估及管理研究中心

³ 國家實驗研究院國家地震工程研究中心

覆蓋在堅硬岩盤上的鬆軟沈積層能放大地震波的振幅，加劇強地動，使其更容易造成地震災害，這種特性即為場址效應，臺北盆地因其特殊的沈積環境與構造運動而具有顯著的場址效應。在地震危害度分析中，近地表 30 公尺地層的平均剪力波速(即 V_{S30})，為最具代表性的場址效應參數。因此Nicholas et al. (2025) 提出一套能整合剪力波估計函數(V_s estimation function)、波速剖面外插法(V_s profile extrapolation)以及變異局部平均克利金法(Kriging with varying local means)來加強測繪高密度區域性 V_{S30} 分佈圖的方法，以臺北盆地為研究案例來驗證此方法之可行性與優勢。

具有波速量測資料的井位通常很稀少，但具備土壤參數如孔隙比(void ratio)與單位重(unit weight)的工程鑽井數量則相當可觀，本研究分析這兩種土壤參數與剪力波速的關係，建立出剪力波估計函數，可對其他工程鑽井估算其剪力波速剖面，此方法讓我們可以使用地礦中心在臺北盆地內的工程地質鑽井來獲得剪力波速剖面，共有 6,766 個。因工程鑽井的深度常未達 30 公尺(6,766 個之中有 2,850 個)，若要估計 V_{S30} 則需要另外仰賴一

個可靠的外插法，經過測試，準確性最高的 V_{S30} 外插法為CIP (conditional independent property)法，因此增加了許多可用的 V_{S30} 資料。變異局部平均克利金法乃克利金法的其中一種，是地質統計法中最常用的空間內插法。

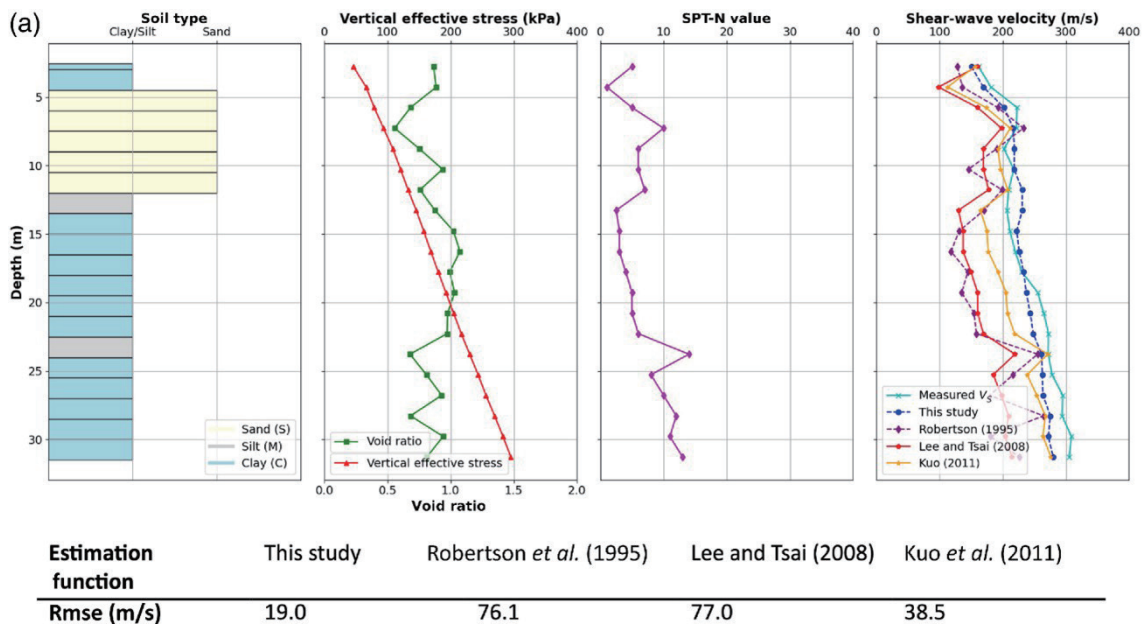
本研究對各種常見的土層，如礫石、砂、粉土、粘土，建立其剪力波速估計函數，如表一所示，其中 e 為孔隙比、 σ'_v 為垂直有效應力(vertical effective stress)。相較於前人結果(Robertson et al., 1995; Lee & Tsai, 2008; Kuo et al., 2011)，此新研究所使用的剪力波速估計函數具有較高的準確性，如圖一所示。本研究和Robertson et al. (1995)使用同樣的函數形式，但因研究區域不同且其波速公式僅適用於砂土，因此本研究之函數對臺北盆地的剪力波速有較佳的預估能力；Lee and Tsai (2008)和Kuo et al. (2011)的剪力波速預估是依據標準貫入試驗的N值和深度。CIP法是由Dai et al. (2013)所提出，是目前常見幾種 V_{S30} 外插法之中準確性最佳者，經測試對臺北盆地剪力波速剖面的表現也是最佳。綜合上述方法，最後得到臺北盆地內精細的 V_{S30} 分佈(見圖二)。盆地北邊及東邊

的 V_{S30} 最低為 <180 m/s，往盆地中心 V_{S30} 較高為 180 m/s – 240 m/s， V_{S30} 最高為 >490 m/s，零星出現在盆地南邊和東南邊，該區域包括樹林區、土

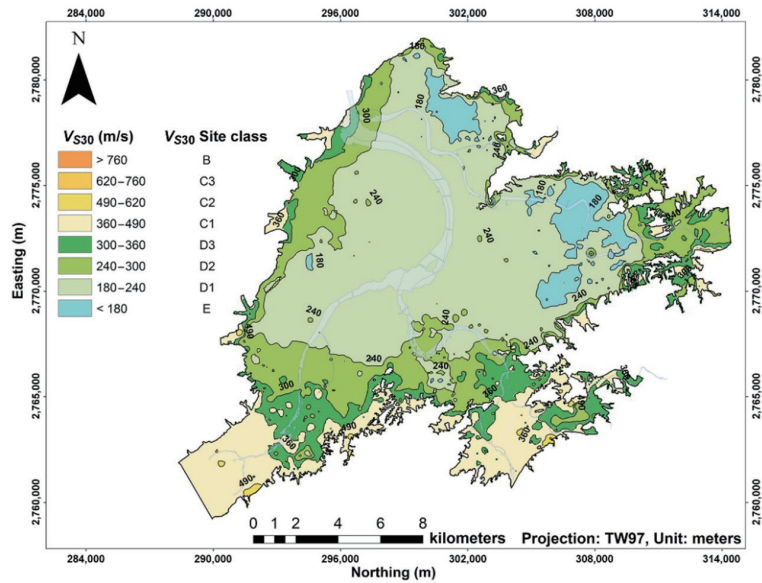
城區、新店區和文山區，其主要的 V_{S30} 相對較高，為 360 m/s – 490 m/s。此高精度的 V_{S30} 分佈圖對臺北盆地內的地震危害度評估將有所助益。

表一、不同土壤類型的剪力波速估計函數。Gravel：礫石、Sand：砂、Silt：粉土、Clay：粘土。

土壤種類	估計函數	RMSE (m/s)	R ²
Gravel	$V_s = (360.6)(\frac{\sigma'_v}{100})^{0.38}$	86.70	0.60
Sand	$V_s = (240.5 - 35.9e)(\frac{\sigma'_v}{100})^{0.28}$	30.80	0.44
Silt	$V_s = (230.2 - 21.1e)(\frac{\sigma'_v}{100})^{0.23}$	26.52	0.46
Clay	$V_s = (213.1 - 21.3e)(\frac{\sigma'_v}{100})^{0.33}$	29.86	0.60



圖一、以強震站 TAP020 為例，使用本研究的剪力波速估計函數所得的波速剖面（藍色曲線）相較於前人研究所得的結果（紫色、紅色和黃色曲線），具有和量測波速剖面（青色曲線）最為接近的結果。



圖二、本研究所得的臺北盆地 V_{S30} 分佈圖。

參考文獻

Dai, Z., Li, X., & Hou, C. (2013). A Shear-Wave Velocity Model for V_{S30} Estimation Based on a Conditional Independence Property. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(6), 3354–3361. <https://doi.org/10.1785/0120130025>

Kuo, C.-H., Wen, K.-L., Hsieh, H.-H., Chang, T.-M., Lin, C.-M., & Chen, C.-T. (2011). Evaluating empirical regression equations for V_s and estimating V_{S30} in northeastern Taiwan. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(3), 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.09.012>

Lee, C.-T., & Tsai, B.-R. (2008). Mapping V_{S30} in Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and*

Oceanic Sciences, 19(6), 671–682. [https://doi.org/10.3319/tao.2008.19.6.671\(pt\)](https://doi.org/10.3319/tao.2008.19.6.671(pt))

Nicholas, S. C., Nguyen, L. T. M., Kuo, C.-L., Gao, J.-C., Kuo, C.-H., Tran, D.-H., Wang, S.-J., & Dong, J.-J. (2025). Enhancing V_{S30} Mapping in the Taipei Basin: Integrating New V_s Estimation Functions, Extrapolated V_s Profiles, and Kriging with Varying Local Means. *Bulletin of the Seismological Society of America*. <https://doi.org/10.1785/0120250020>

Robertson, P. K., Sasitharan, S., Cunning, J. C., & Segoo, D. C. (1995). Shear-Wave Velocity to Evaluate In-Situ State of Ottawa Sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 121(3), 262–273. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9410\(1995\)121:3\(262\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9410(1995)121:3(262))

doi: 10.30067/TECNL.202509_(49).0002

臺灣南澳地區板塊脫水流體誘發震顫之動態觸發機制

Mechanism of Dynamic Triggering for Slab-Related Fluid-Induced Tremors Occurred in Nanao, Taiwan

Yi-Hsuan Wu^{1,2}(吳怡萱), Wu-Cheng Chi¹(戚務正), Liam Chai³, Akiko Toh⁴, M. Megawati¹, and Chin-Jen Lin¹(林欽仁)

¹ 中央研究院地球科學所

² 國家環境研究院氣候變遷研究中心

³ 台北美國學校

⁴ 日本海洋研究開發機構 (JAMSTEC)

我們在宜蘭南澳地區的地震觀測中發現一類前所未見的高頻非火山性震顫(High-Frequency Tremors, HFTs)，其含有一般震顫常見之 2–8 Hz 信線，另同時含有一頻率信號可達 10–30 Hz，顯著高於過去文獻中常見的 2–8 Hz 範圍。這些震顫不僅作為背景活動長時間存在，更於 2011 年東北大地震時被遠震動態觸發，顯示其與流體相關的破裂機制。

本研究資料來自中央研究院及台灣地震科學中心建置於南澳地區的半永久性地震陣列。此陣列為孔徑約 110 公尺之三臂軸同心圓幾何陣列，覆蓋半徑約 250 公尺，此設計用意在於希望透過如頻率一波數分析 ($f-k$ analysis) 此類陣列信號處理對於南澳地區之震顫進行定位，並可達到應變反演 (strain inversion) 計算。

我們運用連續小波轉換 (Continuous Wavelet Transform, CWT) 揭露高頻震顫的時頻特徵，並結合震後一小時內的資料分析發現多起具大移動時間差 (moveout) 特徵的震顫事件，顯示其源區可

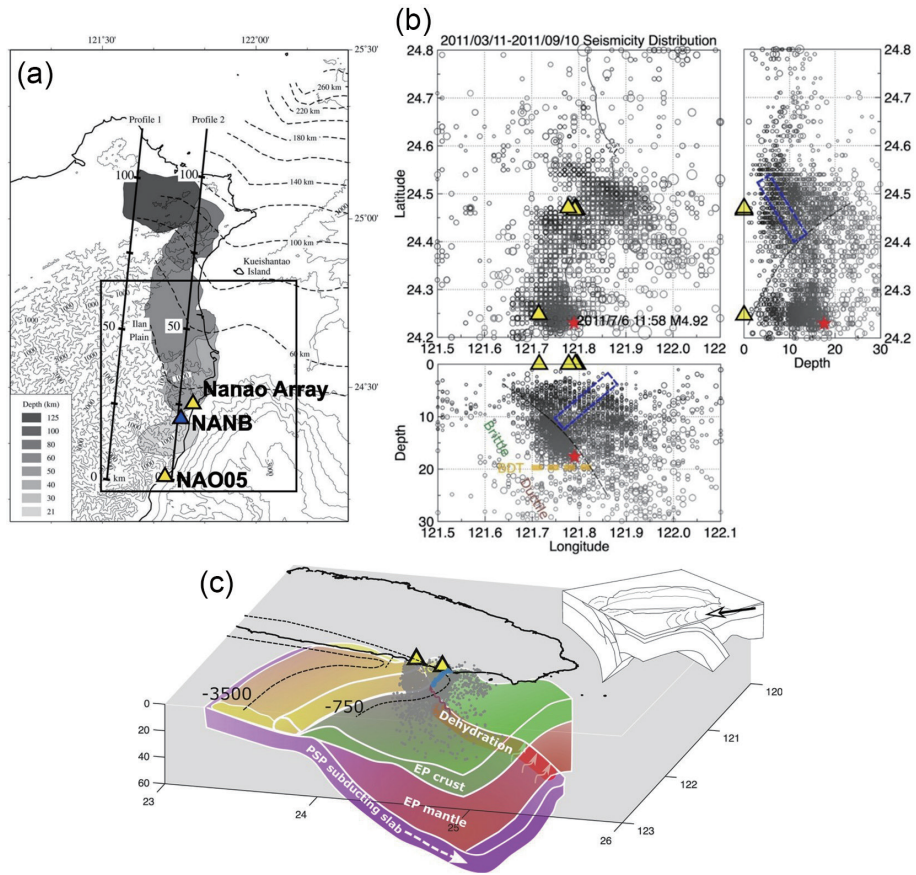
能具有移動性或為多重震源。

藉由地震陣列資料進行應變反演 (strain inversion) 後，我們發現 P 波通過時震顫對應到擴張變形 (dilation) 達 10^{-8} ，與南海海槽深部震顫觸發機制相似。推測為隱沒板塊脫水產生的熱液上升至淺部，儘管原處於岩壓與孔隙壓力平衡狀態，當擴張造成瞬時解壓，觸發流體運動並引發破裂與高頻震顫。

本研究首次揭露了由隱沒版塊脫水與邊緣流體遷移所觸發之高頻震顫，並說明可藉由南澳陣列的長期觀測探討底下之板塊運動。

參考文獻

Wu, Y.-H., Chi, W.-C., Chai, L., Toh, A., Megawati, M., & Lin, C.-J. (2025). Mechanism of Dynamic Triggering for Slab-Related Fluid-Induced Tremors Occurred in Nanao, Taiwan. *Bulletin of the Seismological Society of America*. <https://doi.org/10.1785/0120240256>



圖一、隱沒版塊脫水之熱流誘發的破裂機制說明圖。

doi: 10.30067/TECNL.202509_(49).0003

揭開池上斷層的脫氣特徵 - 地底釋出的氣體透露了什麼？

傅慶州¹、牟鍾香¹、郭陳濤²、王珮玲³、林立虹²、Vivek Walia⁴、陳國航¹、吳國維¹

¹ 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

⁴ 國家實驗研究院國家地震工程研究中心

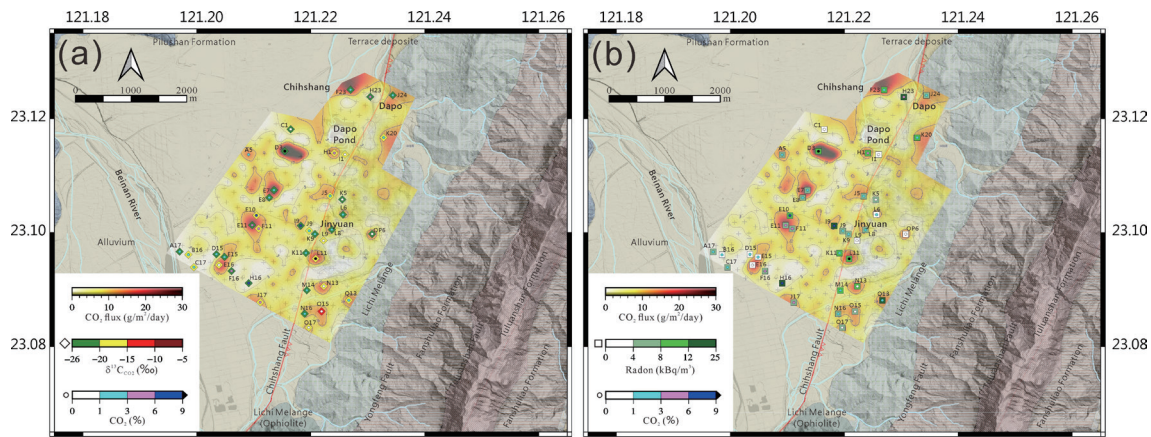
臺灣位處歐亞板塊與菲律賓海板塊交界，是全球最活躍的構造區之一。東部的池上斷層正是這個板塊碰撞帶的一部分，不僅地震頻繁，也可能是氣體逸出的重要通道。若是如此，那這些從地底釋出的氣體到底從哪裡來？又透露了哪些地質訊息？本研究首次系統性調查池上斷層(Chihshang Fault)的土壤氣體逸氣特徵，揭示活動構造邊界下的地氣脫氣行為與氣體來源。

本研究於池上斷層地區約 3 平方公里範圍內進行超過 300 個測點的二氧化碳(CO₂)通量測量，並輔以土壤氣體濃度與氦、碳同位素分析，解析氣體地球化學的特徵。結果顯示，池上斷層沿線及其西側可能的盲斷層，出現明顯的二氧化碳高通量異常，說明這些區域是地殼深部氣體遷移至地表的重要擴散脫氣構造(Diffuse degassing structures, DDS) (Chiodini et al., 2001)。進一步分析指出，氣體可區分為兩類：其一為深部來源，具有高二氧化碳通量、偏高的氦氣(Radon)濃度與地殼源的氦、碳同位素比值；其二則為來自地表淺層、具有生物源碳同位素特徵的氣體，

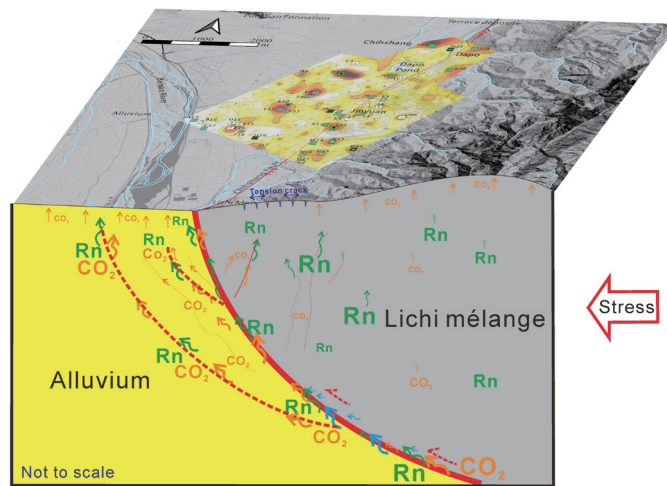
反映有機物分解與土壤呼吸的影響。本研究揭示地底氣體的來源與遷移路徑，指出池上斷層西側因持續構造擠壓下，仍在形成新的次級破裂帶，未來有進一步演化的潛力，提供了良好的深部氣體遷移通道；相較之下，東側利吉混同層(Lichi Mélange)則因低滲透性而阻礙氣體擴散，形成明顯的空間分異(圖一)。

本研究首次量化池上斷層地區的天然二氧化碳逸散量，結果顯示日排放量可達約 1200 公噸，雖然占全臺燃燒化石燃料排放量的比例不高(約 0.17%) (IEA, 2024)，但若假設臺灣其他 36 條活動斷層有類似的逸氣特性，總計可能釋放超過每日 1.7 萬公噸的碳排放，顯示活動斷層在區域碳循環中的潛在角色不可忽視。

總結而言，本研究建立了池上斷層脫氣的地球化學模型(圖二)，說明斷層與氣體遷移之間的密切耦合關係，並提供氣體異常辨識斷層與活動構造的重要依據；隨著氣候變遷與碳排放議題日益受到關注，本研究亦對於理解自然碳循環提供了新的地質觀點。



圖一、土壤中二氧化碳通量與濃度(以圓形標示)的空間分佈圖，其中包含 (a) 二氧化碳的碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$) 值(以菱形表示)與 (b) 氡氣濃度(以方形標示)。圖中的等高線表示二氧化碳通量大於 $10 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 的區域，顯示異常二氧化碳通量的分佈範圍。十字代表通量的測量點，紅線為池上斷層的斷層線位置。



圖二、研究區域池上斷層逸氣行為的概念模型。該模型顯示斷層帶為深源氣體(例如二氧化碳與氡氣)向上遷移至地表的主要通道。斷層的下盤具有較高的裂隙密度，有利於氣體側向遷移，並在池上斷層西側形成明顯的次級斷層系統。相對地，上盤的利吉混同層滲透性低、裂隙稀少，限制氣體的傳輸；然而，此處仍可觀察到高濃度的淺源氡氣。圖中紅色虛線代表根據氣體地球化學資料推測出的潛在次級斷層或構造位置。此概念模型為非等比例之剖面示意圖。

參考文獻

Chiodini, G., Frondini, F., Cardellini, C., Granieri, D., Marini, L., & Ventura, G. (2001). CO_2 degassing and energy release at Solfatara volcano, Campi Flegrei, Italy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 106(B8), 16213–16221. <https://doi.org/10.1029/2001jb000246>

Fu, C.-C., Mu, C.-H., Kuo-Chen, H., Wang, P.-L., Lin,

L.-H., Walia, V., Chen, K.-H., & Wu, K.-W. (2025). Geochemical characteristics and origins of CO_2 emissions within the tectonic collision boundary of the Chihshang fault, eastern Taiwan. *Geoscience Letters*, 12(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s40562-025-00395-5>

IEA (2024). CO_2 Emissions in 2023, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>. Licence: CC BY 4.0

本季成員發表文章 (2025.07~)

- Han, W.-C., Chen, L., Chi, W.-C., Chiang, H.-T., Chen, S.-C., Liu, C.-S., & Shyu, C.-T. (2025). Seafloor thermal structures controlled by recent slope failure and fluid flow: An example from offshore SW Taiwan. *Marine and Petroleum Geology*, 177, 107394. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2025.107394>
- Huang, T.-C., Liu, T.-L., Yang, B. M., & Wu, Y.-M. (2025). Attention-Based Neural Network for Onsite Peak Ground Velocity Earthquake Early Warning. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220240496>
- Tang, C.-H., Hsu, Y.-J., Okada, Y., Ohta, Y., Sagiya, T., Jian, P.-R., Tamura, Y., & Jike, T. (2025). Geodetic Evidence of Shallow Slow-Slip Phenomena Beneath the Southern Ryukyu Forearc. *Geophysical Research Letters*, 52(13). <https://doi.org/10.1029/2025gl114742>
- Tong, J.-H., Tseng, T.-L., Lin, P.-Y. P., Meliksetian, K., Chang, S.-F., Huang, B.-S., Sahakyan, E., Gevorgyan, M., & Sargsyan, L. (2025). Interaction between layered mantle flow and progressively thinned lithosphere beneath the Armenia Volcanic Highland: Evidence from seismic azimuthal anisotropy. *Earth and Planetary Science Letters*, 671, 119641. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2025.119641>
- Yang, B. M., Mittal, H., & Wu, Y.-M. (2025). Earthquake Directivity and Early Warning: The Response of P-Alert Network to the 2024 M_w 7.4 Hualien Event. *Bulletin of the Seismological Society of America*. <https://doi.org/10.1785/0120250076>

ACCEPTED

- Ma, K.-F., Lee, S.-J., Liao, J., & Cheng, S.-N. (2025). A Comparative Analysis of the (M_L 6.8, M_w 7.3) November 14, 1986, and (M_L 7.1, M_w 7.4) April 2, 2024, Hualien, Taiwan earthquakes: Insights into Seismic Characteristics and Regional Impact. *Bulletin of the Seismological Society of America*. (in press)
- Peng, W., Chen, K. H., Burgmann, R., Hsu, Y. J., & Chen, Y. H. (2025). Aseismic slip and seismic swarms leading up to the 2024 M 7.3 Hualien earthquake. *Nature Communications*.
- Song, G.-Y., Chen, D.-Y., Wu, Y.-M., Massin, F., Böse, M., & Clinton, J. (2025). Early Warning Performance of FinDer, Virtual Seismologist, and eBEAR Systems in the 2024 M_L 7.2 Hualien Earthquake (Taiwan). *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、楊詠甯、黃淑真及吳美芳協助編輯，第四十九期內容感謝國立中央大學地球科學系郭俊翔副教授、中央研究院地球科學研究所吳怡萱博士、中央研究院地球科學研究所傅慶州助研究員提供。