

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期

目錄

- 1 前言、儀器服務平台、近期消息
- 2 利用 SeisComP 建立新一代地震預警系統
- 4 利用機器學習自動化密集地震測網的地震目錄生成
- 7 以 2016 年美濃地震為例來探討泥體構造對地震災害潛勢評估的影響
- 9 台灣即時地震科學資訊整合系統 Taiwan Earthquake Scientific Information System (TESIS)
- 12 本季成員發表文章 (2024.04~)
- 13 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

本期內容共有四篇專文分享最近各研究團隊的成果發表，感謝中央氣象署地震測報中心宋冠毅技士及陳達毅科長、成功大學地科系廖勿渝博士生及李恩瑞副教授、成功大學地科系饒瑞鈞教授及測量及空間資訊學系景國恩副教授、中研院地球所資料服務中心梁文宗研究技師團隊分享相關成果。

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

- 113 年 4 月 23 日於中央氣象署舉辦「0403 花蓮地震序列學術研討會」已圓滿結束，感謝國內研究學者及與會人士的參與。
- 113 年 6 月 4 日至 5 日於國立澎湖科技大學舉辦「9th France-Taiwan Symposium in Earth Sciences」已圓滿結束，感謝國內外研究學者及與會人士的參與。
- 113 年 9 月 13 日至 14 日即將在中央研究院人文社會科學館國際會議廳舉辦「集集地震 25 週年紀念研討會」，歡迎有興趣的學者或研究人員報名參加，詳情請參閱會議網站 <https://chichi25.earth.sinica.edu.tw/>。

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期

doi: 10.30067/TECNL.202406_(44).0001

利用 SeisComP 建立新一代地震預警系統

宋冠毅¹、陳達毅¹、吳逸民²、Frédéric Massin³、Maren Böse³、John Clinton³

¹ 交通部中央氣象署

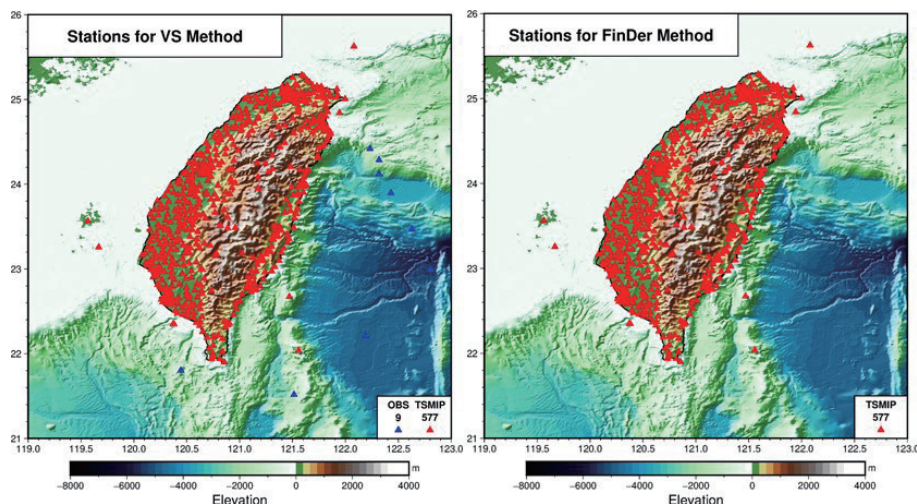
² 國立臺灣大學地質科學系

³ ETHZ-SED, Swiss Seismological Service, Zurich, Switzerland

SeisComP 為世界主流的地震監測軟體，其主要特色為免費、開源且具備完整的地震資料處理流程。自 2023 年 7 月起，交通部中央氣象署（以下稱本署）利用 SeisComP 軟體介接即時地震波形資料以建置地震預警系統（以下稱本系統）。

本系統的資料處理流程包含四個主要步驟：即時資料收集、地震定位、規模估算及全國地震動預估。有關即時資料收集，本系統使用 Seedlink 來收集臺灣強地動觀測網 (TSMIP) 的加速度站及外海的海纜觀測站，總計有 586 個即時站（圖一）。地震定位採用由 SeisComP 內建 scautpick 挑波

模組及德國 gempa GmbH 開發的 scanloc 定位模組來解算地震發生地點。在規模估算部分，本署與蘇黎世聯邦理工學院合作，引入該機構開發的兩套規模演算法，虛擬地震學家 (Virtual Seismologist, V.S.) 及有限斷層破裂偵測法 (Finite Fault Rupture Detector, FinDer)。其中，V.S. 為點震源規模預估方法，可快速於震源參數及振幅資訊取得後評估規模；FinDer 為線震源規模預估方法，此方法在中、大型地震發生 (Mw 達 6.0) 時在估算全國各地地動數值作業上提供相當大的幫助，因為當大地震發生時，以點震源方法描述地



圖一、SeisComP 地震預警系統 V.S 及 FinDer 方法採用即時觀測站分布圖。

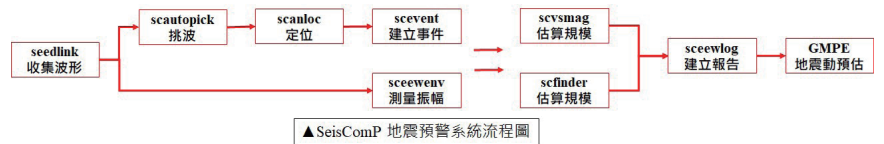
TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期

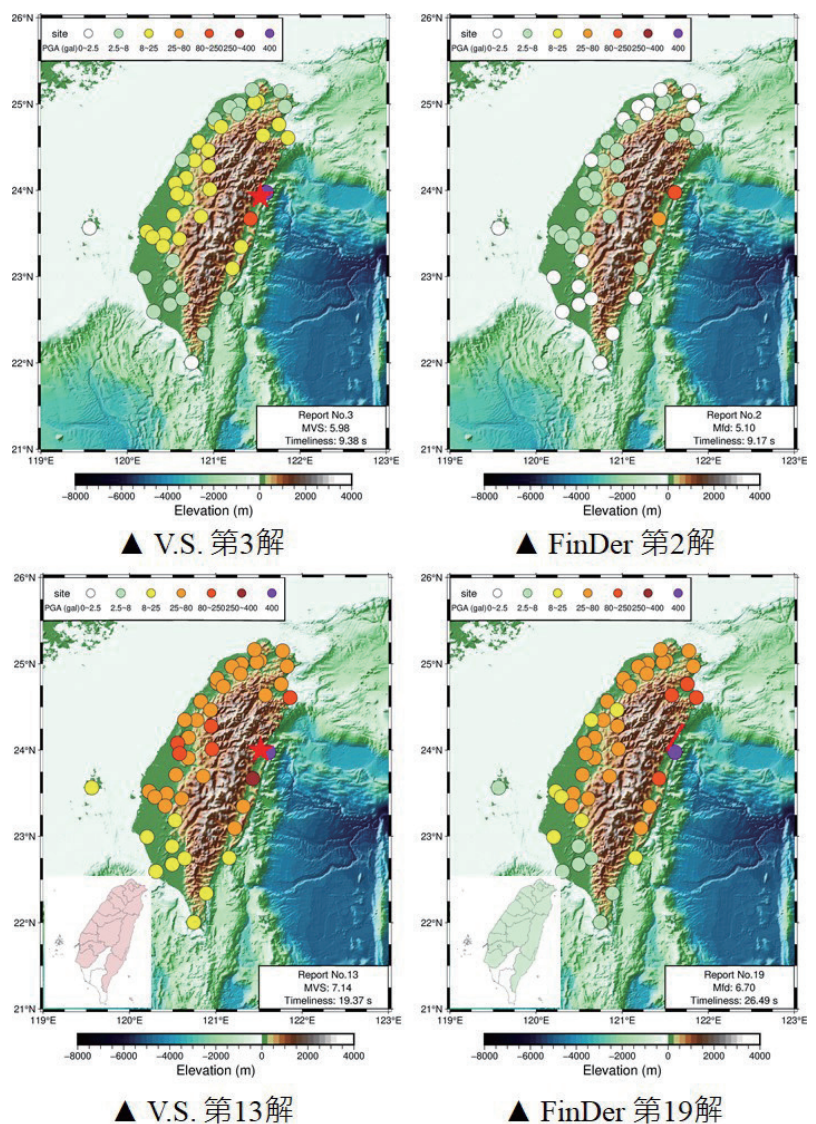
震能量難以完全量化，若能快速取得地表破裂資訊，如：破裂長度及方向性等，將可對後續地動預估有極大的助益。最後，則使用蕭乃祺副主任在 2007 年發表的強地震動預估來估算全國地震的震度狀況。其完整的資料處理流程如圖二所示。

2024 年 4 月 3 日上午 7 時 58 分 9.9 秒於花蓮近海發生芮氏規模 7.2 強震，最大震度 6 強。本次地震，更造成 18 人罹難、建築物災損紅單達 72 件、山區出現落石、崩塌等情形，影響臺灣甚鉅。本系統參考本署災防告警系統 (PWS) 的發送門檻標準。當地震預警系統預估規模達到 5.0，且縣市內任一參考點預估震度達 4 級 (PGA 25 gal) 時，即會向民衆發送國家級警報通知。在這次花蓮主震發生後，本系統利用 V.S. 法和 FinDer 法分別在 9 至 20 秒和 9 至 27 秒內，對全臺島內 17 個縣市預估 4 級以上震度。為驗證結果，經對照本署地震報告後，本次實驗成功預估全臺實際觀測到最大震度 4 級以上的 17 個縣市，僅剩高雄市及屏東縣 2 縣市預估未達 4 級，預估成功率近 90%，驗證本系統的可靠性和準確性。鑒於上述成果，本署將持續確保系統穩定性及評估效能，期待於未來能藉由點震源及線震源規模預估法，來強

化我國地震預警系統效能，提供民衆優質的警報服務及保障人民的生命財產。



圖二、SeisComP 地震預警系統流程圖。



圖三、V.S. 法和 FinDer 法預估 PGA 分布圖。V.S. 法和 FinDer 法可分別在 9 至 20 秒和 9 至 27 秒內針對全臺 17 縣市預估震度 4 級以上震度。

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期

doi: 10.30067/TECNL.202406_(44).0002

利用機器學習自動化密集地震測網的地震目錄生成

廖勿渝¹、李恩瑞¹、陳達毅²

¹ 國立成功大學地球科學系

² 交通部中央氣象署地震測報中心

台灣位處於活躍的弧陸碰撞帶，地質構造複雜，地震活動頻繁。密集的地震測網在孕震構造、地震監測和即時預警中發揮了重要作用，能夠提供更多的地震資料，有助於更準確地了解地震活動和特徵。然而，這也帶來了大量的數據處理需求。透過機器學習，可以減少人工處理的工作量，並提升地震目錄的精確性和生成速度。

在即將到來的清明連假前，2024 年 4 月 3 日早上，花蓮近海區域發生了一起 ML7.2 的全台有感地震，隨後在斷層帶上也發生了數個規模 6 以上及數量龐大的餘震。此外，在這次花蓮地震發生之前後，嘉義布袋區域也在數日內發生了多起規模 3 的地震。短時間內，全台測網偵測到的地震數量急劇增加，對於地震觀測產生了極大的挑戰。在這樣的情況下，透過機器學習的應用將地震目錄生成自動化，能有效應對挑戰，提供更為精確和即時的地震目錄。

本研究使用全台灣的地震測網，包括 CWASN、TSMIP 及 BATS 觀測網的資料，利用基於深度學習的地震波相挑選模型 (RED-PAN, Liao et al., 2022a) 在連續資料上進行 P 波和 S 波到時挑選，再以 Back-projection 法在基於三維速度模型的網格上進行波相連結 (phase association)，決定地震事件的初始位置和發震時間 (Liao et

al., 2022b)。接著使用 NonLinLoc (Lomax et al., 2014) 在三維速度模型上進行絕對定位。進一步的相對定位則是基於波形相似度獲取的波相到時差，使用 GrowClust (Trugman et al., 2023) 進行三維相對定位，獲得更精細的發震構造。圖一為自動化地震目錄建構流程圖。

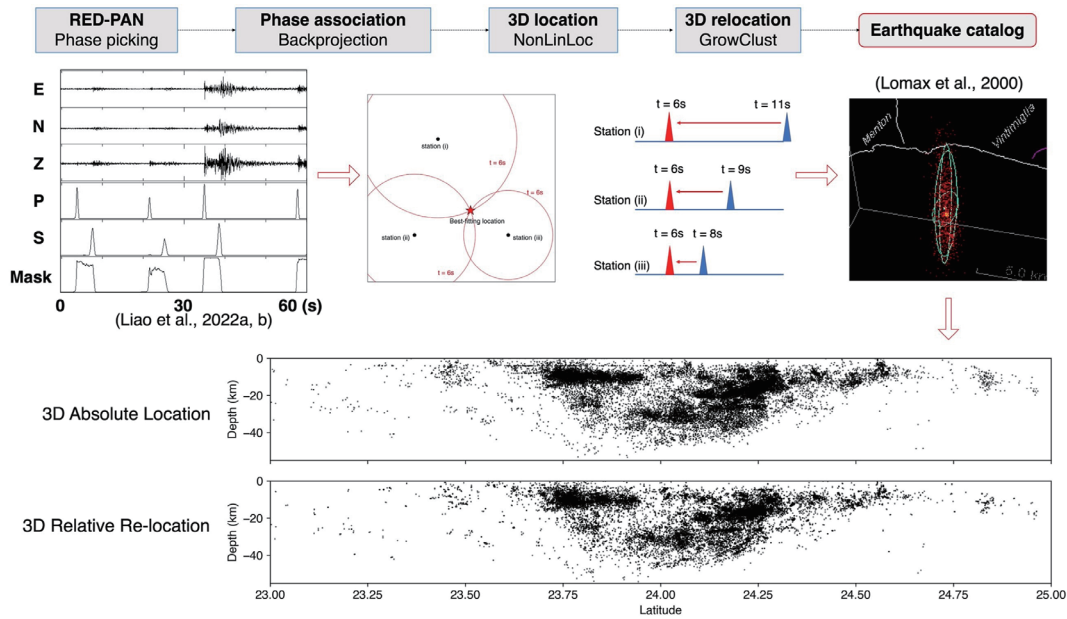
本研究使用的挑波模型 (RED-PAN) 針對觀測到多起地震事件、連續資料上波相挑選和即時 P 波挑選的情況進行資料增強的訓練，因此在地震活動密集的主餘震序列期間，可提供精準和完整的 P 和 S 波到時，有助於地震目錄的建立。透過機器學習，自動化生成 2024 年 3 月 25 日至 2024 年 4 月 27 日期間的全台灣地震目錄，達到 50,000 筆地震記錄，地震主要活躍區為花蓮及嘉義區域 (圖二及圖三)。圖二及圖三顯示本地震目錄與 GDMS 在震前 12 年地震目錄及同時間內氣象署的速報結果的比對。本研究的自動化地震目錄建構在地震活躍期間表現良好，更完整的地震目錄將為地震物理及發震構造的分析等不同應用提供研究基礎。

參考文獻

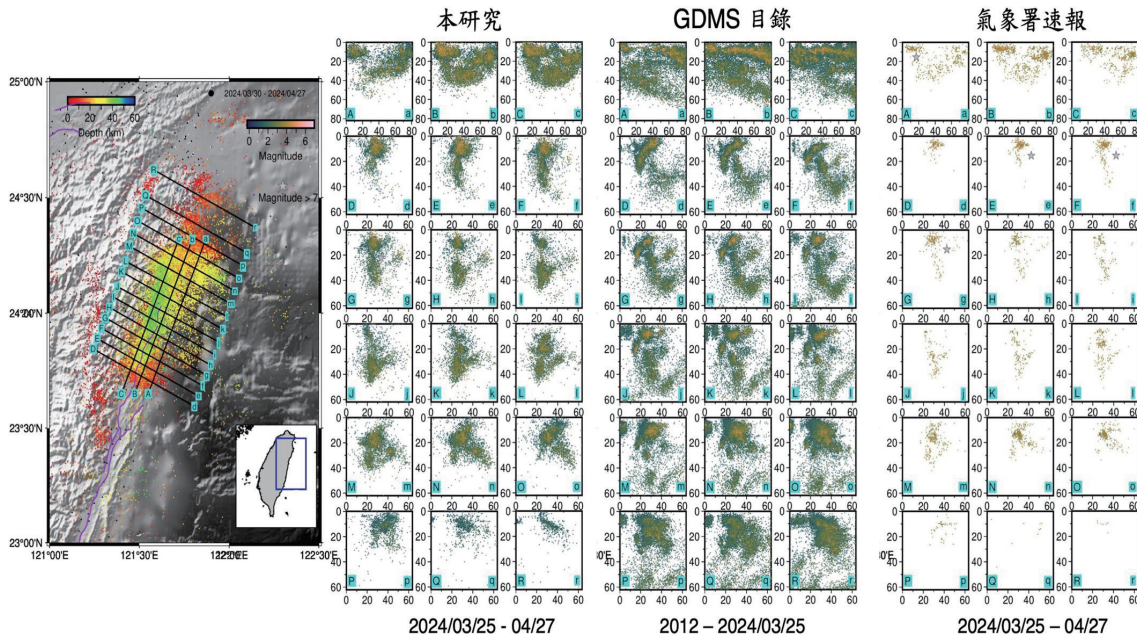
Liao, W.-Y., Lee, E.-J., Mu, D., & Chen, P. (2022a). Toward Fully Autonomous

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期



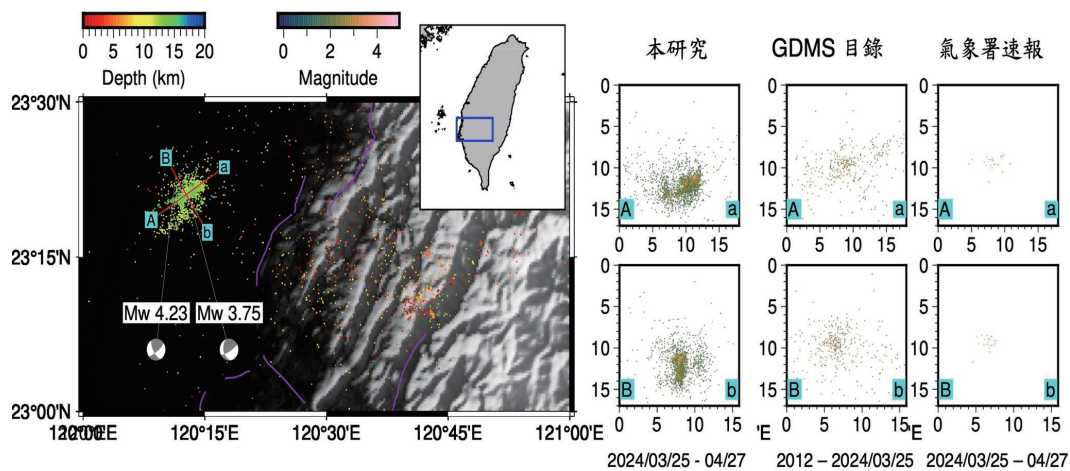
圖一、本研究自動化地震目錄生成流程示意圖。



圖二、2024 花蓮 ML 7.2 地震前後共一個月花蓮地區地震活動分佈。本研究產製的地震目錄與同段時間內氣象署的速報結果、GDMS 收錄之 12 年的歷史地震資料進行對比。

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期



圖三、2024 年 3 月 25 日至 2024 年 4 月 27 日期間嘉義地區地震活動分佈。本研究產製的地震目錄與同段時間內氣象署的速報結果、GDMS 收錄之 12 年的歷史地震資料進行對比。

Seismic Networks: Backprojecting Deep Learning-Based Phase Time Functions for Earthquake Monitoring on Continuous Recordings. *Seismological Research Letters*, 93(3), 1880–1894. <https://doi.org/10.1785/0220210274>

Liao, W.-Y., Lee, E.-J., Chen, D.-Y., Chen, P., Mu, D., & Wu, Y.-M. (2022b). RED-PAN: Real-Time Earthquake Detection and Phase-Picking With Multitask Attention Network. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1–11. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2022.3205558>

Lomax, A., Michelini, A., & Curtis, A. (2014). Earthquake Location, Direct, Global-Search Methods. In R. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. Springer, New York, NY, 1–33. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27737-5_150-2

Trugman, D. T., Chamberlain, C. J., Savvaidis, A., & Lomax, A. (2023). GrowClust3D.jl: A Julia Package for the Relative Relocation of Earthquake Hypocenters Using 3D Velocity Models. *Seismological Research Letters*, 94(1), 443–456. <https://doi.org/10.1785/0220220193>

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期

doi: 10.30067/TECNL.202406_(44).0003

以 2016 年美濃地震爲例來探討泥體構造對地震災害潛勢評估的影響

饒瑞鈞¹、溫怡瑛^{2,3}、景國恩⁴、謝銘哲^{5,6}、羅祐宗⁷、邱紀瑜⁷

¹ 國立成功大學地球科學系

² 國立中正大學地球與環境科學系

³ 國立中正大學環境與災害監測中心

⁴ 國立成功大學測量及空間資訊學系

⁵ 國立中央大學地震災害鏈風險評估及管理研究中心

⁶ 中興工程顧問社

⁷ 國立中央大學地球科學系

在歷年來利用測地資料進行地震潛勢評估的工作中，常面臨地震重複週期可能被低估，以及地震災害潛勢可能被高估的問題。由於臺灣西南部的背斜構造多被認爲和斷層或泥體構造 (mobile shale/mud diapir) 的活動有關，因此爲了瞭解泥體構造的活動如何影響地震災害型態，Rau et al. (2022) 以 2016 年規模 6.4 的美濃地震爲例來進行探討。爲了區分發震與無震機制造成之同震地表變形型態，Rau et al. (2022) 使用高頻 GNSS 和強地動資料估算發震斷層之同震滑移模型 (圖一)。此模型預估之尖峰地動速度 (PGV) 分布 (圖一) 與震央西北方約 25-30 公里處建築物嚴重損壞的地區分佈相當一致。接著，將觀測之同震位移場扣除模型推估之同震位移場後，即可獲得本地震之無震位移場 (圖二)。結果顯示，在龍船斷層地區有約 90 cm 之無震地表抬升。在整合地質調查、重力異常、地震層析成像、同震和震間水準測量成果後 (圖二)，Rau et al. (2022) 證實，美濃地震誘發泥體構造的加速活動，以非彈性變形的形式在本次地震中產生無震地表變形 (圖二)。

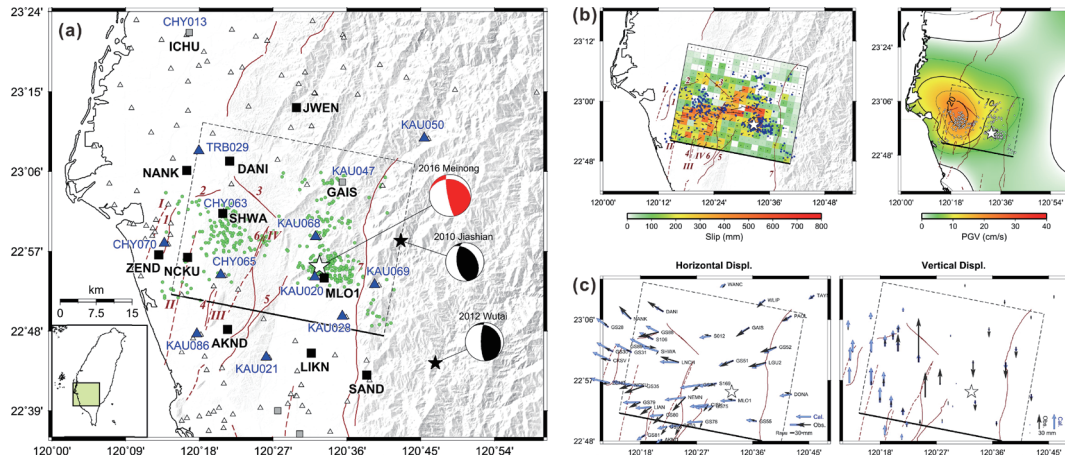
此結果突顯了地震災害潛勢評估的不確定性，並強調在評估臺灣西南部地震對地表變形的影響時，不僅要考慮斷層活動造成之彈性變形，還需要關注由泥體構造引起的非彈性變形，這對於地震風險評估和防災減災具有重要的參考價值。

參考文獻

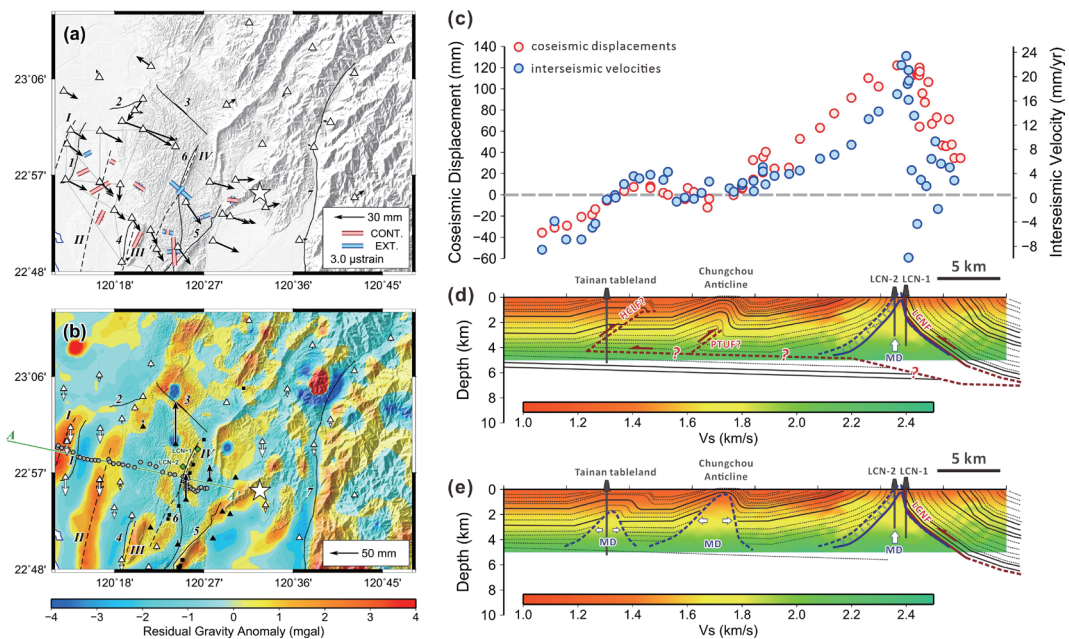
- Kuo-Chen, H., Chen, K.-X., Sun, W.-F., Ho, C.-W., Lee, Y.-H., Guan, Z.-K., Kang, C.-C., & Chang, W.-Y. (2017). 3D Vs ambient noise tomography of the 2016 M_w 6.4 Meinong Earthquake source region in Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 28(5), 693–701. <https://doi.org/10.3319/TAO.2016.12.28.01>
- Rau, R.-J., Wen, Y.-Y., Ching, K.-E., Hsieh, M.-C., Lo, Y.-T., Chiu, C.-Y., & Hashimoto, M. (2022). Origin of coseismic anelastic deformation during the 2016 M_w 6.4 Meinong Earthquake, Taiwan. *Tectonophysics*, 836, 229428. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229428>

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期



圖一、(a) 2016 年美濃地震研究使用的強地動站和高頻 GNSS 站以及震源機制之分布圖 [修改自 Rau et al. (2022)]。三角形和方形分別代表自由場強地動站和高頻 GNSS 站。虛線矩形表示斷層面、粗黑線代表斷層頂部在地表的投影位置。(b) 同震滑移模型與估算的最大地表速度分佈圖。箭頭表示破裂面上的滑移量。藍色圓點表示震後規模大於 2 的餘震，白色圓點代表受損建築物的位置。(c) 同震位移觀測值 (黑色箭頭) 與計算值 (藍色箭頭) 之比對。



圖二、(a) 同震殘差水平位移 (黑色向量) [修改自 Rau et al. (2022)]。白色三角形表示 GNSS 站。藍色線段表示同震壓縮，紅色線段表示伸張。黑線表示活動斷層，黑色虛線表示背斜。(b) 殘差重力異常分布圖。黑色方形表示泥火山。灰色圓圈表示水準點。綠線表示圖二 c 的剖面位置。向量顯示同震殘差垂直位移量。黑色三角形和向量表示隆起，而白色三角形和向量表示沉陷。綠色菱形表示井位 LCN-1 和 LCN-2 的位置。(c) 相對於澎湖的水準垂直變形量。藍色圓圈表示震間期之垂直速度，而紅色圓圈表示 2016 年美濃地震的同震垂直位移。(d) 平衡地質剖面圖，展示 Rau et al. (2022) 提出的第一個泥體構造分布模型。彩色背景是 Vs 模型 (Kuo-Chen et al., 2017)。深藍色實線描繪了地震前泥體構造的形象，而深藍色虛線是地震後泥體構造的推估形象。HCLF：後甲里斷層；PTUF：埤頭斷層；LCNF：龍船斷層。MD：泥體構造。(e) 此剖面圖展示 Rau et al. (2022) 提出的第二個泥體構造分布模型。

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期

doi: 10.30067/TECNL.202406_(44).0004

台灣即時地震科學資訊整合系統 Taiwan Earthquake Scientific Information System (TESIS)

林書丞、李文蕙、邱昊德、梁文宗、李建成

中央研究院地球科學研究所

本系統 (TESIS) 目的在於建置台灣地區地震的即時科學資訊彙整平台，內容以氣象署的地震速報為基礎，在顯著地震發生時，即刻自動整合學界的科學成果 (地震、地質及地球物理等即時資訊)，並與其他相關的基本圖資同時套疊呈現，作為辨識孕震構造、快速評地震災害，以及台灣地震科教的重要依據。圖一是本系統的首頁，橫幅圖片為 2022-09-18 池上地震後的左移地表變形 (影片及圖片分別由李建成及王昱教授提供)。

一旦發生大區域有感地震，系統在第一時間收到氣象署的地震速報結果，會自動將發震時間、震源位置、規模，以及各地震度等資訊推入資料庫，並擷取中研院地球所數個運用不同資料、方法與震波速度模型的震源機制解 (AutoBATS, RMT, W-Phase) 展示在地圖上，以確認地震的破裂錯動型態，同時將震源所對應的地體構造及地質背景與地圖並列。本系統運用網路地理資訊系統 (WebGIS) 的概念，提供多個資訊圖層的套疊功


能，這些圖層有 (1) BATS 寬頻測站之即時地震波形，(2) P-Alert 強震網的全台即時 PGA/PGV，(3) 該地震前後三個月內的地震活動，(4) 中研院地球所提供的同震變形 ($M > 6.5$)；此外，背景圖層則包括有 (1) 歷史地震活動、(2) 震間變形、(3) 由地礦中心的網路地圖服務 (經濟部地質調查及礦業管理中心 WMS 服務，https://geomap.gsmma.gov.tw/gsb108-1/list_service.cfm) 所提供的活動斷層及地質圖等。圖二是



圖一、TESIS 首頁即時顯示近期規模大於 6 之地震及近 10 筆最新地震。

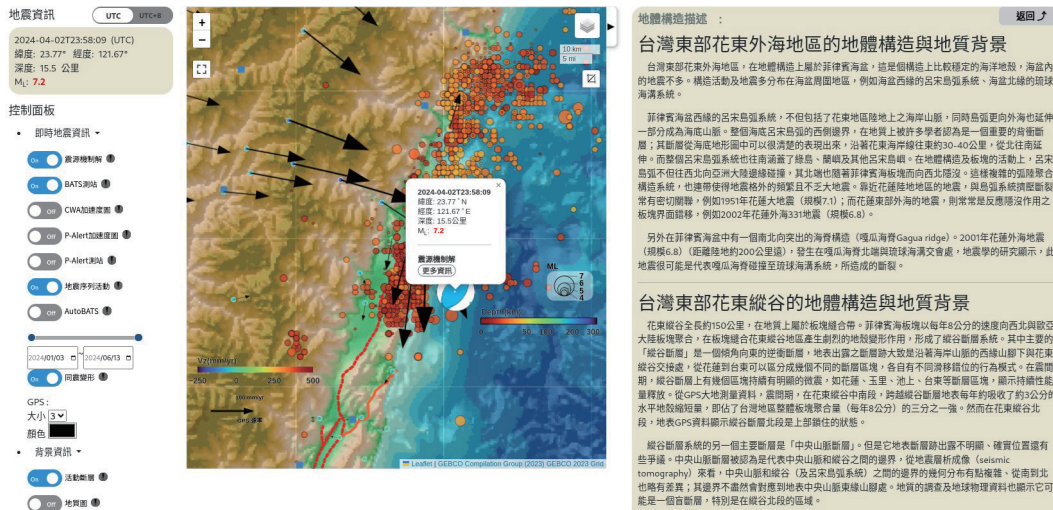
TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期

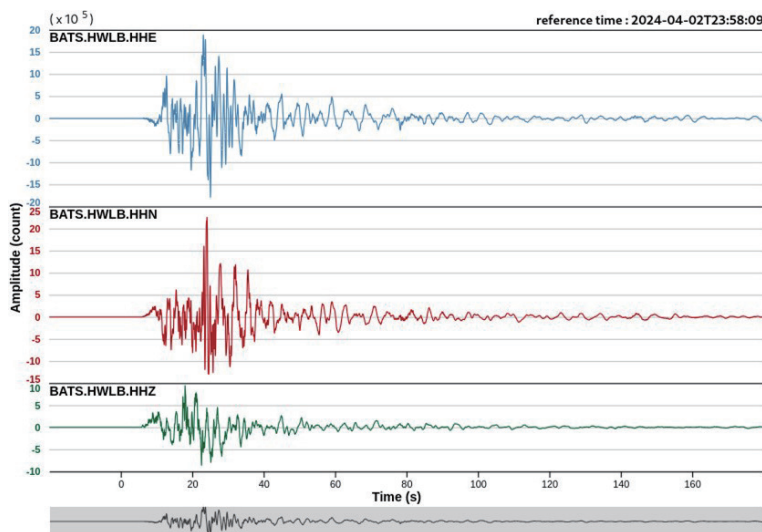
在 TESIS 上使用 API 針對 2024-04-02 23:58 (UTC) M7.2 的花蓮地震，在地形圖上呈現主震的震源機制，並疊上餘震序列、同震變形和活動斷層等資訊，選取右上的度量功能  可在地圖上量取長度或面積；圖三則是套疊 BATS 測站功能後，點選花蓮測站 (HWLB) 所呈現的互動式波形。

本系統提供台灣地區顯著地震的即時科學數據及資訊，對孕震構造的快速辨識、餘震的評估，以

及其他可能觸發之地質災害的判定應能扮演重要的角色，透過 TESIS 平台的服務可以落實即時地震學的應用，並進一步作為地震科學的即時教材。本平台以 Django 作為後端資料管理，並且以 Vue 前端框架加上 Leaflet 地圖平台作為使用者介面，適合在電腦、手機或平板等裝置上直接操作，歡迎各界踴躍使用。TESIS 的服務網址為 <https://tesis.earth.sinica.edu.tw>。



圖二、點擊首頁或地震回顧任一地震即可轉跳至該地震相關資訊，TESIS 也提供地震事件的 API 連結，例如地震發震時間為 2024-04-02T23:58:09 (UTC)，可以直接輸入 <https://tesis.earth.sinica.edu.tw/map/20240402235809> 取得所有科學資訊。



圖三、提供 BATS 測站即時地震波形。

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期

參考文獻

Central Weather Administration. (2012). *Central Weather Administration Seismographic Network* [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. <https://doi.org/10.7914/SN/T5>

Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan. (1996). *Broadband Array in Taiwan for Seismology* [Data set]. International Federation of Digital Seismograph Networks. <https://doi.org/10.7914/SN/TW>

Jian, P.-R., Tseng, T.-L., Liang, W.-T., & Huang, P.-H. (2018). A New Automatic Full - Waveform Regional Moment Tensor Inversion Algorithm and Its Applications in the Taiwan Area. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(2), 573–587. <https://doi.org/10.1785/0120170231>

Lee, S.-J., Liang, W.-T., Cheng, H.-W., Tu, F.-S., Ma, K.-F., Tsuruoka, H., Kawakatsu, H., Huang, B.-S., & Liu, C.-C. (2013). Towards real-time regional earthquake simulation I: real-time moment tensor monitoring (RMT) for regional events in Taiwan. *Geophysical Journal International*, 196(1), 432–446. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt371>

Liang, W.-T. (2022). The Taiwan Earthquake Research Data Center (TECDC). *TEC Newsletter*, 36. [https://doi.org/10.30067/TECNL.202206_1\(1\).0002](https://doi.org/10.30067/TECNL.202206_1(1).0002)

Wu, Y.-M., Chen, D.-Y., Lin, T.-L., Hsieh, C.-Y., Chin, T.-L., Chang, W.-Y., Li, W.-S., & Ker, S.-H. (2013). A High-Density Seismic Network for Earthquake Early Warning in Taiwan Based on Low Cost Sensors. *Seismological Research Letters*, 84(6), 1048–1054. <https://doi.org/10.1785/0220130085>

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 期

本季成員發表文章 (2024.04~)

- Egorushkin, I., Koulakov, I., Jakovlev, A., **Huang, H.-H.**, Gordeev, E. I., Abkadyrov, I., & Chebrov, D. (2024). Crustal structure beneath Central Kamchatka inferred from ambient noise tomography. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 449, 108070. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108070>
- Kawabata, K., Tsunomori, F., Kitamura, Y., Lin, Y.-Y., **Chan, C.-H.**, & **Ma, K.-F.** (2024). Radon concentration in seawater as a geochemical indicator of submarine fault activity in the Yatsushiro Sea, Japan. *Scientific Reports*, 14(1), 8664. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59006-6>
- Lee, S.-J.**, Liu, T.-Y., & Lin, T.-C. (2024). Abnormal apparent supershear rupture with discontinuous jumping propagation during the 2023 Türkiye M7.8 earthquake. *Communications Earth & Environment*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01481-w>
- Serhalawan, Y., & **Chen, P.-F.** (2024). Seismotectonics of Sulawesi, Indonesia. *Tectonophysics*, 883, 230366. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2024.230366>
- Shih, D. C.-F., & **Wu, Y.-M.** (2024). Exploring building vibration dynamics in the wake of the Chi-Chi earthquake: implications for natural hazard preparedness. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06721-y>
- Wang, P.-L., Tu, T.-H., Lin, L.-H., Chou, H.-L., Wang, Y.-J., Chen, J.-N., Wang, L.-Y., Chang, J.-M., Chu, M.-F., Hsu, Y.-C., **Chang, C.-P.**, **Wu, Y.-M.**, Lin, Y.-T., & Ke, C.-C. (2024). Microbial communities modulate chemical weathering and carbon dioxide cycling in an active orogen in Taiwan. *Communications Earth & Environment*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01345-3>

ACCEPTED

- Chen, W.-S., **Wu, Y. M.**, Yeh, P. Y., Lai, Y. X., Ke, S. S., Ke, M. C., & Yang, C. Y. (2024). Insights into the seismogenic structures of the arc-continent convergent plate boundary in eastern Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*.
- Long, H. V., **Huang, H.-H.**, Nguyen, L. M., **Huang, B.-S.**, Duong, N. V., Ha, T. G., Le, Q. K., Dinh, Q. V., Le, T. S., Hung, N. T., Nguyen, C. N., Smith, K., & Pham, T. T. (2024). Geotectonic architecture beneath Northern Vietnam revealed by local earthquake tomography combining seismic data from multiple networks. *Tectonophysics*.

TEC NEWSLETTER

台灣地震科學中心簡訊 第 44 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、楊詠霽、黃淑真及吳美芳協助編輯，第四十四期內容感謝交通部中央氣象署地震測報中心宋冠毅技士及陳達毅科長、國立成功大學地球科學系廖勿渝博士生及李恩瑞副教授、國立成功大學地球科學系饒瑞鈞教授及測量及空間資訊學系景國恩副教授、中央研究院地球科學研究所梁文宗研究技師團隊提供。