台灣地震科學中心簡訊
TAIWAN EARTHQUAKE RESEARCH CENTER NEWSLETTER
September 2023 | No. 41

目錄

1 前言、儀器服務平台、近期消息
2 中央研究院地熱發電計畫：現況及展望
4 從衛星大地測量透視 2022 年北呂宋地震之孕震斷層
6 本季成員發表文章 (2023.07~)
7 近期活動、致謝

前言

郭陳澔 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

本期邀請在地熱發電及衛星大地測量研究領域的專家學者進行專文分享，感謝中研院地球所李建成研究員與唐啟賢博士分享相關成果。

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，申請網頁爲：https://tec.earth.sinica.edu.tw/geoclass/

近期消息

- 112 年 9 月 5 日至 6 日於墾丁青年活動中心舉辦「第七屆台灣地震科學中心年會」已圓滿結束，感謝各位成員的參與。

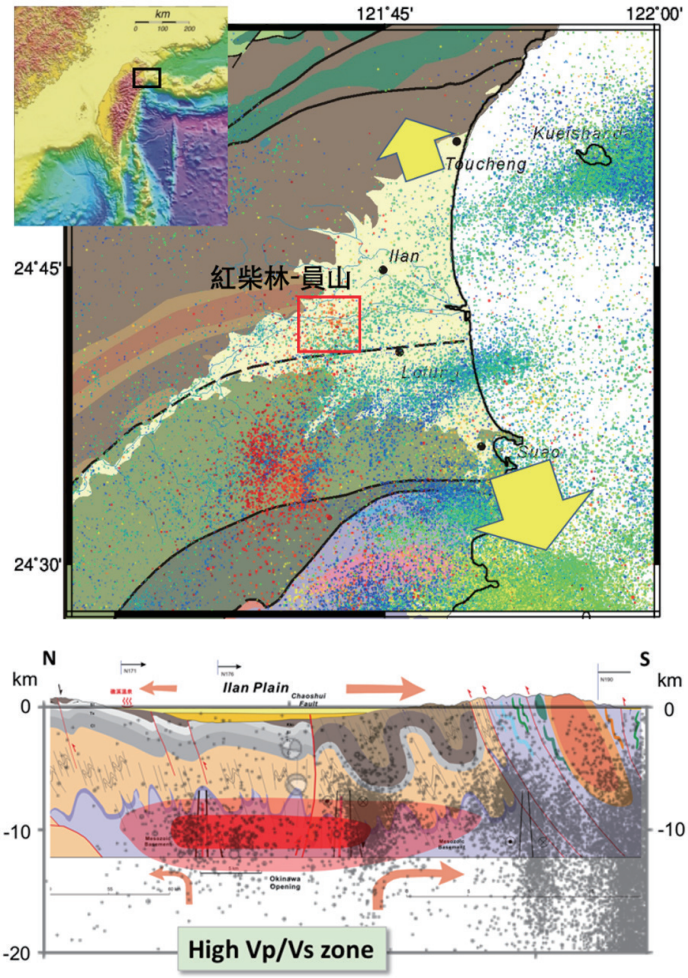
中央研究院地熱發電計畫：現況及展望

李建成 中央研究院地球科學研究所
doi: 10.30067/TECNL.202309_(41).0001

台灣地熱發電的發展，這幾年似乎已經成爲個發燒的議題。能源的不足、供電的需求、環保意識的高漲，隨著人類社會的持續高度開放，綠能的發展已經是這一、二十年來世界各國的重要課題之一。台灣的地熱的研究及探勘，在 1970-1980 年代世界上開始進行探索計畫時，政府部門也曾經花了相當的心，特別是台灣聯合礦業研究 (工研院的前身)，在中油鑽井的協助下，進行了早期台灣地熱的探勘工作，奠定了一些基礎，雖然在 1990 年代就暫時中止了研究計畫。台灣的學界，基本上對於地熱相關的研究，也一直不是主流，投入的人數和經費都少。

近十年來，特別是這兩三年，有了很大的轉變，除了國家能源計畫的兩期計畫 (NEP-I 和 NEP-II) 開始認眞重新評估台灣地熱及發電的潛能，中央地質調查所也在政府政策下，積極進行地熱發電的研究計畫，也直接促成地球科學學界的積極參與。另外中央研究院也在總統府的學術顧問角色下，由院長親自督陣推展淨零減碳綠能開發的前端研究計畫，其中「地熱發電探勘研究及技術開發」，是中研院地球科學所 (及永續中心) 這兩年來，所承接的計畫項目。中研院的地熱計畫團隊，也邀請幾位國內其他大學專家教授，協助共同執行這項任務。

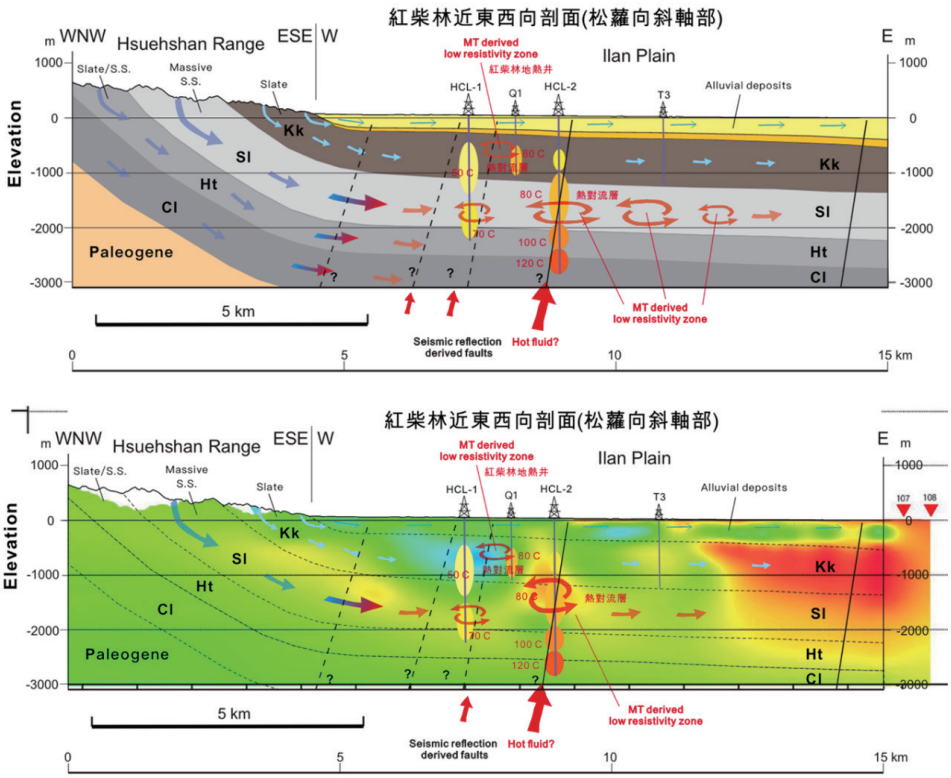
我們的第一個地熱發電探勘目標地區是宜蘭平原。宜蘭平原在地球科學上明顯的深部熱源，應該是和沖繩海槽擴張所伴生的地函及岩漿上湧，有密切的關係。例如龜山島下方的岩漿庫，及蘭陽平原南半側密集張裂型地震帶似乎與火成岩脈的侵入作用有關。我們在 NEP-II 研究成果的基礎下，更進一步探索宜蘭平原西側紅柴林 - 員山地區。這兩年來，進行了多項地球物理及地質的分



圖一、上圖：宜蘭地區地質圖及地震分佈圖；下圖：南北向地質剖面圖、地震分佈、高 Vp/Vs 帶位於宜蘭平原近海深度 8-12 公里。

析，包括了大地電磁、地震學 (天然地震、地表震盪車)、震測剖面 (中油執行)、水 / 氣化學、地表地質。從而建構了紅柴林 - 員山地區地熱地質地下模型，顯示了約一公里厚的四稜砂岩 (上下夾了板岩層)，是個很好的透水儲水層。在紅柴林 - 員山地區，有幾條接近垂直的斷層扮演了重要的角色：引導深部 4-5 公里深的熱液上湧 (在高地溫梯度下，估計超過 150-180 度？)，及或作爲熱水阻隔層。如此形成了一個約 1-2 公里深的淺部熱水儲集層。

同時中研院與中油合作，將進行 4-5 公里深的深部地熱探勘計畫，在紅柴林 - 員山地區的淺部熱水儲集層下方，探索是否有好的條件可以進行深層地熱的開發，在這個地區開創更多地熱發電的潛能。先期的 4-5 公里探勘井及伴隨的井下量測與實驗，預計將在 2023-2024 年間陸續進行。



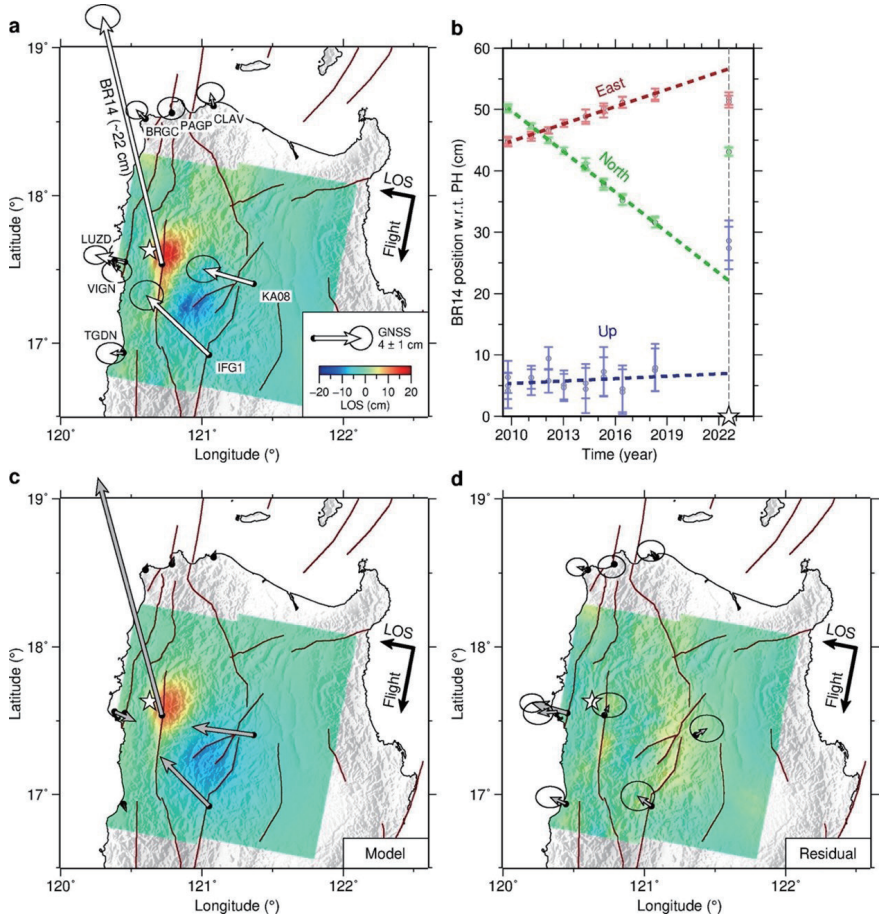
圖二、宜蘭紅柴林地區近東西向地質剖面 (上圖) 及大地電磁剖面 (下圖)。約一公里厚的四稜砂岩 (Sl)，上下夾了板岩層，是個很好的透水儲水層。在紅柴林 - 員山地區，有幾條接近垂直的斷層扮演了重要的角色，引導深部 4-5 公里深的熱液上湧；同時斷層也在某些地方作爲熱水阻隔層。如此形成了一個約 1-2 公里深的淺部熱水儲集層，集中在四稜砂岩中。

從衛星大地測量透視 2022 年北呂宋地震之孕震斷層

唐啓賢 中央研究院地球科學研究所

doi: 10.30067/TECNL.202309_(41).0002

呂宋西北部地區於 2022 年 7 月 27 日發生震矩規模 7.0 強震，震源深度約 15 公里，是菲律賓斷層帶自 1990 年以來最大的地震。然而，縱使釋放了高達規模 7 的能量，北呂宋地震並未產生顯著的地表破裂，暗示此地震可能發生於一條未出露地表的盲斷層上。利用合成孔徑雷達干涉成像技術 (Interferometric Synthetic Aperture Radar; InSAR) 以及全球導航衛星系統 (Global Navigation Satellite System; GNSS) 所觀測到的同震地表位移 (圖一)，我們得以探究北呂宋地震孕震斷層的幾何形貌和同震滑動分佈。透過馬可夫鏈蒙地卡羅 (Markov Chain Monte Carlo;

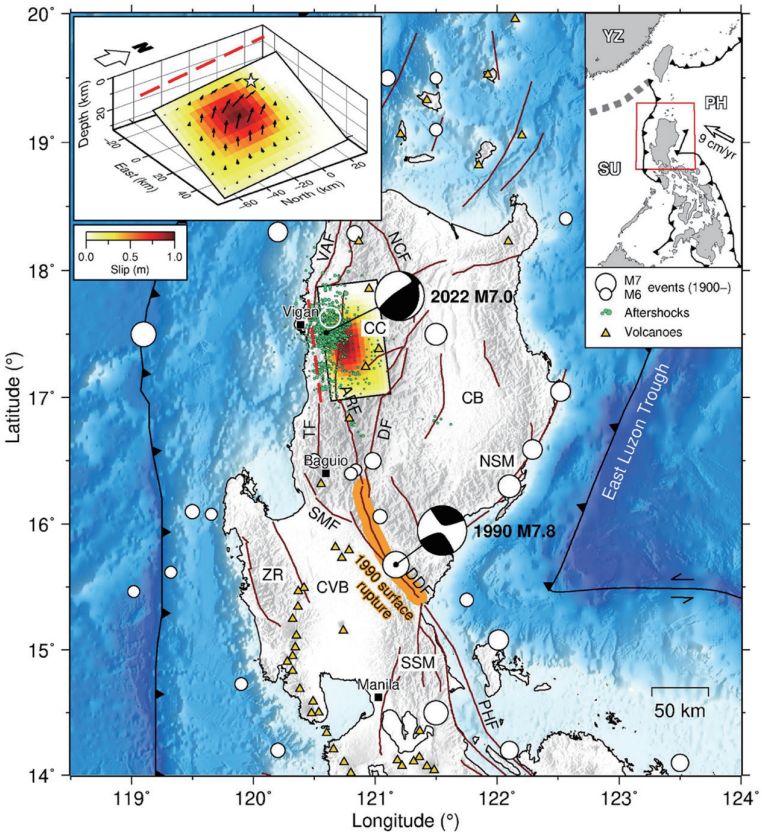


圖一、同震位移觀測與模型擬合結果比較 (取自 Tang et al., 2023)。(a) 觀測資料，背景顏色爲 Sentinel-1A 衛星降軌影像測得的衛星視方向 (LOS) 同震位移，白色向量表示 GNSS 水平同震位移及其 95% 信心區間。白色星號爲主震震央位置。(b) 定期重測點 BR14 相對菲律賓海板塊之位移時間序列，誤差線爲 95% 信心區間，其位於阿布拉河斷層西側並測得最大同震位移量 (水平約 22 公分朝北北西方向、垂直約 22 公分抬升)。(c) 模型預測之同震位移。(d) 資料減去模型預測後的殘差。

MCMC) 算法，我們估算得出地震所伴隨的同震滑移最有可能發生於走向約 N353°、傾角約 29° 朝東的斷層面上，斷層平均滑移約爲 1.2 m，錯動面積約爲 41-km × 22-km 並位於深度 12-22 公里的範圍內 (圖二)。由於主要滑移區位於主震震央東南側，暗示地震破裂有向南及往斷層深部傳遞的特性，滑移方向由淺至深也有從左移走向滑移轉爲逆衝的趨勢。本研究推測的斷層幾何形貌與距離主震最近的阿布拉河斷層 (Abra River Fault; ARF) 明顯不符，相反地，該斷層向地表的延伸與呂宋西北部陸上斷層帶的變形前緣—維甘 - 阿高斷層 (Vigan-Aggao Fault; VAF)—南段大致吻合。北呂宋地震的孕震斷層可能是 VAF 向深處的延伸，亦或是菲律賓斷層帶裡一條未出露地表的分支斷層。北呂宋地震與歷史地震活動顯示菲律賓斷層帶的地殼孕震厚度可能至少達到 30 公里，此厚度是世界上其他陸上走滑斷層系統 (10-15 公里) 的 2-3 倍，顯示其孕震潛能不容小覷。主震造成的靜態庫侖應力變化顯示 VAF 淺部 5 公里內的應力增加高達 2 bar，需密切注意此斷層上後續的地震活動。

參考文獻

Tang, C.-H., Hsu, Y.-J., Bacolcol, T., Lin, Y. N., Chen, H.-Y., Kuo, Y.-T., Su, H.-H., Lee, H.-M., Pelicano, A., Sapla, G., & Yu, S.-B. (2023). Oblique blind faulting underneath the Luzon volcanic arc during the 2022 M_w 7.0 Abra earthquake, the Philippines. *Geophysical Research Letters*, *50*(9), e2023GL103659. https://doi.org/10.1029/2023gl103659



圖二、由 GNSS 與 InSAR 資料聯合反演之 2022 年北呂宋地震同震滑移模型 (修改自 Tang et al., 2023)。紅色虛線爲斷層面投影至地表的位置。白色空心圓圈表示 2022 年地震震央位置，實心圓圈則是 1900 年後深度 35 公里內規模 6 以上的地震事件。綠色圓圈表示 2022 年震後 6 天內的餘震。橘色區域爲 1990 年呂宋地震的地表破裂。震源機制解來自 GCMT。ARF：阿布拉河斷層 (Abra River Fault)；DF：道爾頓斷層 (Dalton Fault)；DDF：狄格狄格斷層 (Digdig Fault)；NCF：北科迪勒拉斷層 (North Cordillera Fault)；PHF：菲律賓斷層 (Philippine Fault)；SMF：聖曼紐斷層 (San Manuel Fault)；TF：土保斷層 (Tubao Fault)；VAF：維甘 - 阿高斷層 (Vigan-Aggao Fault)；CB：卡加延谷地 (Cagayan Valley Basin)；CC：中部山脈 (Cordillera Central)；CVB：中部谷地 (Central Valley Basin)；NSM/SSM：北 / 南馬德雷山脈 (Northern/Southern Sierra Madre)；ZR：三描禮士山脈 (Zambales Range)；PH：菲律賓海板塊；SU：巽他地塊；YZ：揚子地塊。

本季成員發表文章 (2023.07~)

Chao, B. F. (2023). Gravitational inversion for arbitrary surface mass distribution—application to earth's time-variable gravity with topography. *Geophysical Journal International*, *234*(3), 2458–2464. https://doi.org/10.1093/gji/ggad261

Huang, T.-C., & **Wu, Y.-M.** (2023). Improving Earthquake Early Warning Initial Peak Ground Motion Magnitude Estimation with Station Corrections: A Case Study Using the P-Alert Network in Taiwan. *Journal of Earthquake Engineering*, 1–20. https://doi.org/10.1080/13632469.2023.2245498

Ko, J. Y.-T., **Kuo, B.-Y.**, Lin, S.-C., & Hung, Y.-S. (2023). Thermal ages of the Huatung Basin determined from seismic waveform modeling: insights into Southeast Asia's evolution. *Scientific Reports*, *13*(1), 15201. https://doi.org/10.1038/s41598-023-42454-x

Lee, H.-Y., **Gung, Y.**, Chen, L.-W., Chen, W.-S., Chen, Y.-N., Cai, S.-J., Chen, H.-C., & Liao, C.-W. (2023). Strong variation of near-surface seismic anisotropy in Taiwan and its geological implications. *Earth and Planetary Science Letters*, *620*, 118339. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2023.118339

Putriani, E., **Wu, Y.-M.**, Chen, C.-W., Ismulhadi, A., & Fadli, D. I. (2023). Development of landslide susceptibility mapping with a multi-variance statistical method approach in Kepahiang Indonesia. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, *34*(1), 18. https://doi.org/10.1007/s44195-023-00050-6

Tang, C.-H., **Lin, Y. N.**, **Tung, H.**, **Wang, Y.**, **Lee, S.-J.**, **Hsu, Y.-J.**, **Shyu, J. B. H.**, **Kuo, Y.-T.**, & **Chen, H.-Y.** (2023). Nearby fault interaction within the double-vergence suture in eastern Taiwan during the 2022 Chihshang earthquake sequence. *Communications Earth & Environment*, *4*(1). https://doi.org/10.1038/s43247-023-00994-0

Zhai, Q., Peng, Z., & **Hsu, Y.-J.** (2023). Southern California earthquake was unlikely triggered by Hurricane Hilary. *Temblor*. http://doi.org/10.32858/temblor.322

ACCEPTED

Lin, H.-F., Gualandi, A., Hsu, Y.-F., **Hsu, Y.-J.**, **Huang, H.-H.**, Lee, H.-M., & Canitano, A. (2023). Interplay between seismic and aseismic deformation on the Central Range fault during the 2013 M_w 6.3 Ruisui earthquake (Taiwan). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. https://doi.org/10.1029/2023jb026861

Peng, W., Radiguet, M., Pathier, E., & **Chen, K. H.** (2023). Fault coupling on a creeping thrust fault: Joint inversion using geodetic data and repeating earthquakes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. https://doi.org/10.1029/2023jb026843

近期活動

第七屆台灣地震科學中心年會圓滿落幕，感謝所有參與的人員，因爲您們的支持與鼓勵是台灣地震科學中心進步的最大動力。期待明年再相見。

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、郭陳澔教授、楊詠甯、黃淑眞及吳美芳協助編輯，第四十一期內容感謝中央研究院地球科學研究所李建成研究員與唐啟賢博士提供。