

建構臺灣地震帶數值模型資料庫

楊清淵¹、柯明淳¹、陳文山²、洪嘉佳²、柯孝勳¹

¹ 國家災害防救科技中心 地震與人為災害組

² 國立臺灣大學地質科學系

摘要

本研究結合臺灣之地震重定位序列、震源機制解與地下速度構造等地球物理資料，分析臺灣全島與鄰近海域的地震分布，完成 20 個具有高地震發生潛勢的地震帶劃分工作，並建置地震帶數值模型資料庫。地震帶數值模型資料庫除了提供地震帶的空間尺度、好發地震類型與歷史地震資料外，模型資料也可以搭配地震震源分布進行活動區塊的分析與展示，協助地震緊急應變工作。

一、前言

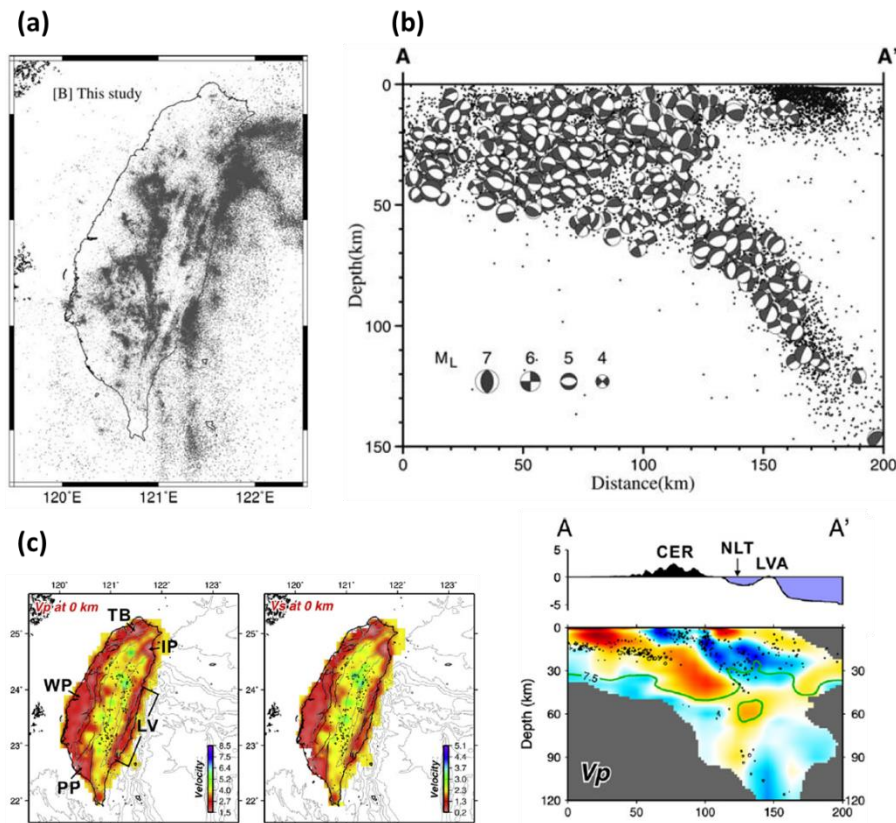
臺灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊的交界，每年發生的大量地震記錄著兩個板塊的快速聚合(Suppe, 1984; Teng, 1990; Yu *et al.*, 1997)。得益於地質調查、鑽井與地震觀測技術的精進與累積，引致地震發生

的活動構造，如中央地質調查所公告的 36 條活動斷層（林啟文等，2021）、學研調查的活動斷層（陳文山，2016）與孕震構造（Shyu *et al.*, 2020）等構造資料都逐步被調查完成。然而除了上述的活動構造外，仍然有許多地震分布於無法以上述的活動構造解釋的區域。這些發生於活動構造之外的構造空白帶地震，其地震規模、歷史地震事件與地震分布範圍等資料都相對缺失，無法有效進行地震風險評估。有鑑於此，國家災害防救科技中心自 2020 年起與臺灣大學地質科學系合作，嘗試透過地震重定位、震源機制解與地下速度構造等地球物理資料解析臺灣全島的地震分布狀況，劃分具有地震發生高潛勢的區域，以「地震帶」命名之，並建構三維數值模型。地震帶資料除了提供地震的分布範圍，該地震帶的好發地震類型、最大地震規模與所屬歷史地震事件都被詳細描述。

二、 研究方法

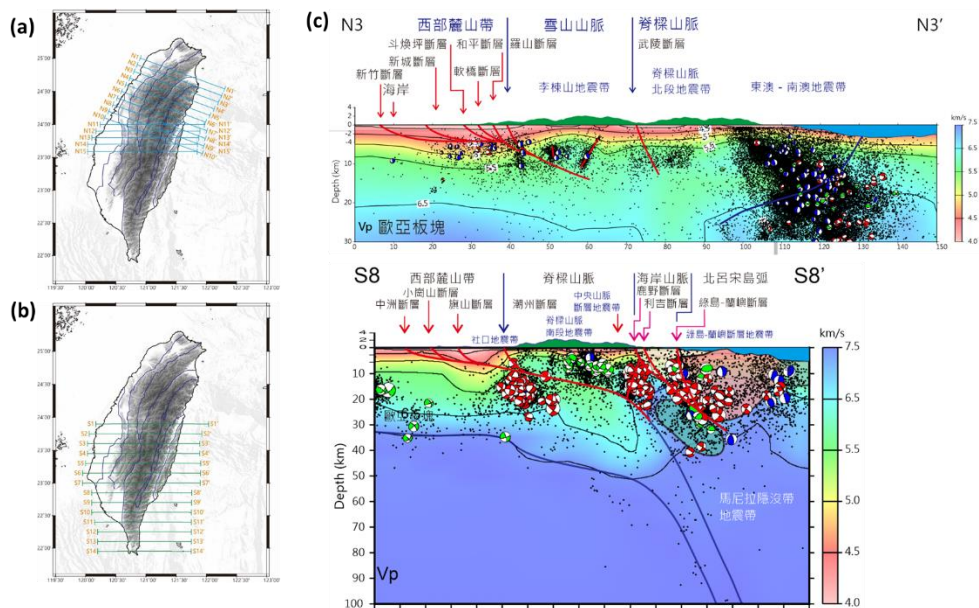
本研究利用地下三維速度構造（Huang *et al.*, 2014）搭配地震重定位序列（Wu *et al.*, 2008a）與震源機制解資料（Wu *et al.*, 2008b）來進行地震帶劃分（圖一）。地下三維速度構造包含 P 波波速（ V_P ）、S 波波速（ V_S ）、兩者比值（ V_P/V_S ）與兩波速擾動值（Perturbation），地下速度的變化可反映傳播介質基礎性質的差異，包括岩石之岩性、變

質度、是否含有流體、剛性體或半塑性等物理性質差異，恰好與應力累積時岩石傾向於岩性差異之交界面或含有流體強度較低的界面破裂的特性契合，因此選用速度構造資料當作劃分地震帶的研判依據。地震資料則選用 1990 至 2019 等 30 年的地震序列進行地震重定位的結果，並透過 P 波初動方向來解析地震震源機制解(柯明淳等, 2021、2022、2023)。

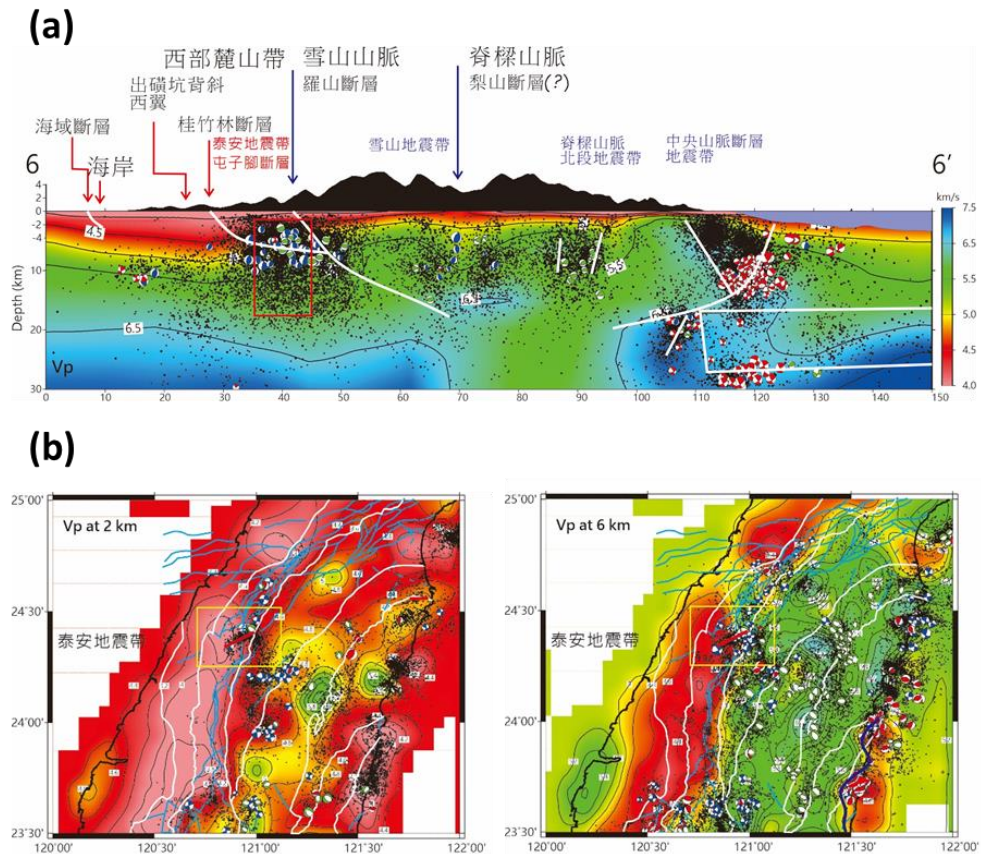


圖一、本研究採用之地球物理資料。(a)地震重定位序列；(b)震源機制解；(c)地下三維速度構造（資料來源：(a)Wu *et al.*, 2008a、(b) Wu *et al.*, 2008b、(c) Huang *et al.*, 2014)。

完成地下速度構造與地震資料的處理，本研究垂直主要活動構造走向，由北至南共產製 29 個垂直速度構造剖面（圖二-a、b）。考量臺灣南部位於馬尼拉隱沒帶之深緣地震，本研究以濁水溪為分界，以北的垂直剖面共 15 條、深度 30 公里；以南的垂直剖面共 14 條，深度 100 公里（圖二-a、c）。除了垂直剖面外，本研究也嘗試自地表以每五公里為區間，產製水平速度構造剖面，用以解析不同深度下單一地震帶的範圍變化（圖二-b、c）。地震帶之判釋則透過垂直與水平剖面交互比較進行劃分（圖三）。完成之地震帶判釋圖則匯入 GOCAD[®] Mining Suite 軟體中製作帶有向量資料的三維立體模型。



圖二、剖面位置與南北剖面深度差異。(a)臺灣北部 15 條剖面位置；(b)臺灣南部 14 條剖面位置；(c)北部與南部速度構造剖面。

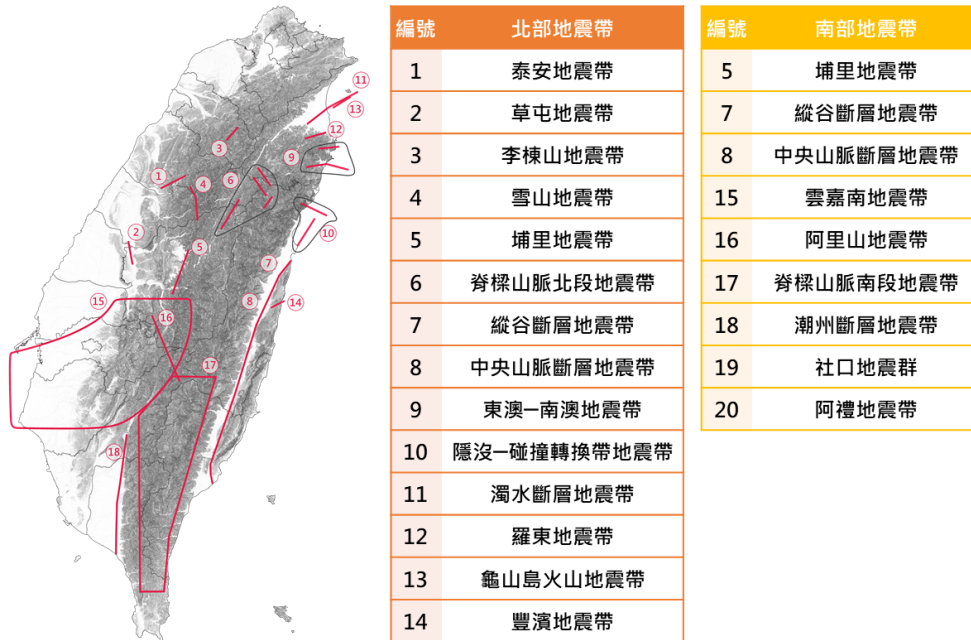


圖三、本研究速度構造剖面範例。(a)垂直速度構造剖面；(b)水平速度構造剖面。

三、 研究結果與模型建置

透過地下速度構造差異與地震分析，本研究於全臺共劃分出 20 個地震帶（圖四）。本研究發現在過去三十年中（1990-2020），於中央地質調查所已公告的 36 條活動斷層中，僅縱谷斷層（嶺頂、瑞穗、池上、利吉斷層）與潮州斷層在斷層帶上有明顯地震聚集現象，其他斷層則無明顯地震聚集，推測與斷層活動特性、間震期斷層成鎖定狀態

相關，因此 20 個地震帶包括上述兩組活動斷層的縱谷斷層地震帶與潮州斷層地震帶，其餘斷層帶則以鄰近地名或所屬地質構造分區命名。

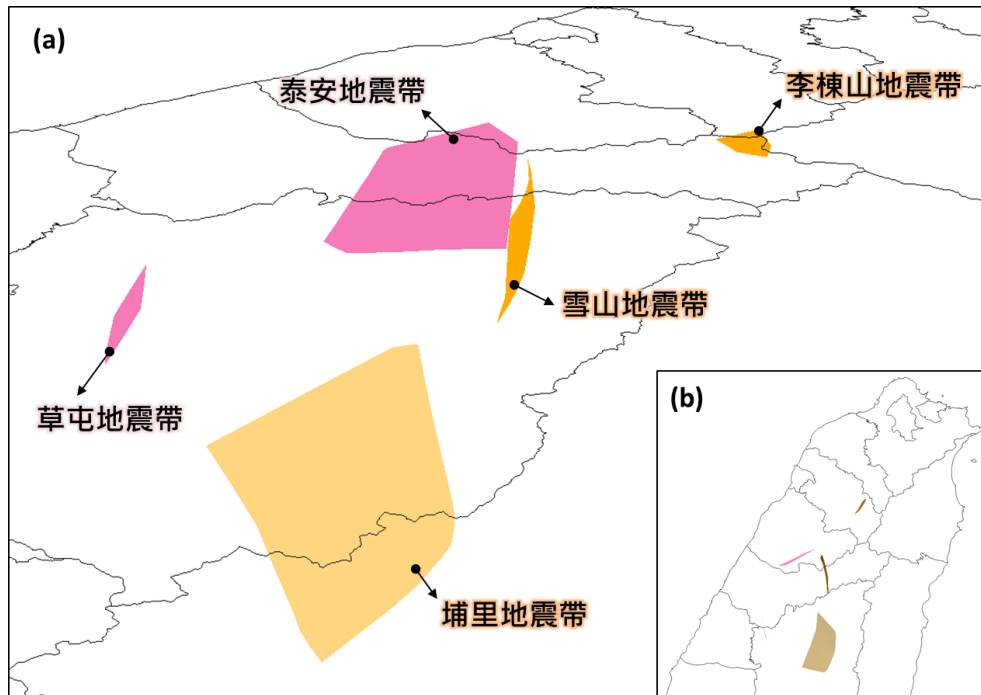


圖四、全臺地震帶分布一覽。

(一) 臺灣北部地震帶

本研究於濁水溪以北的臺灣北部共判釋出 14 個地震帶（圖四），分別為位於西部麓山帶的泰安地震帶、草屯地震帶；位於雪山山脈的李棟山地震帶、雪山地震帶、埔里地震帶；位於脊梁山脈的脊梁山脈北段地震帶；位於脊梁山脈東翼的中央山脈斷層地震帶、東澳—南澳地震帶、隱沒—碰撞轉換帶地震帶、縱谷斷層地震帶；位於蘭陽平原的濁水斷層地震帶、羅東地震帶、龜山島火山地震帶與位於海岸山脈的縱谷斷層地震帶、豐濱地震帶。臺灣北部之地震帶，其地震通常成

面狀分布，除了在地下速度構造上有明顯的速度差異，地震沿著速度差異處呈現面狀分布外，震源機制解顯示的主要破裂面也具有一致性，因此其三維數值模型會被建構為面狀模型（圖五）。

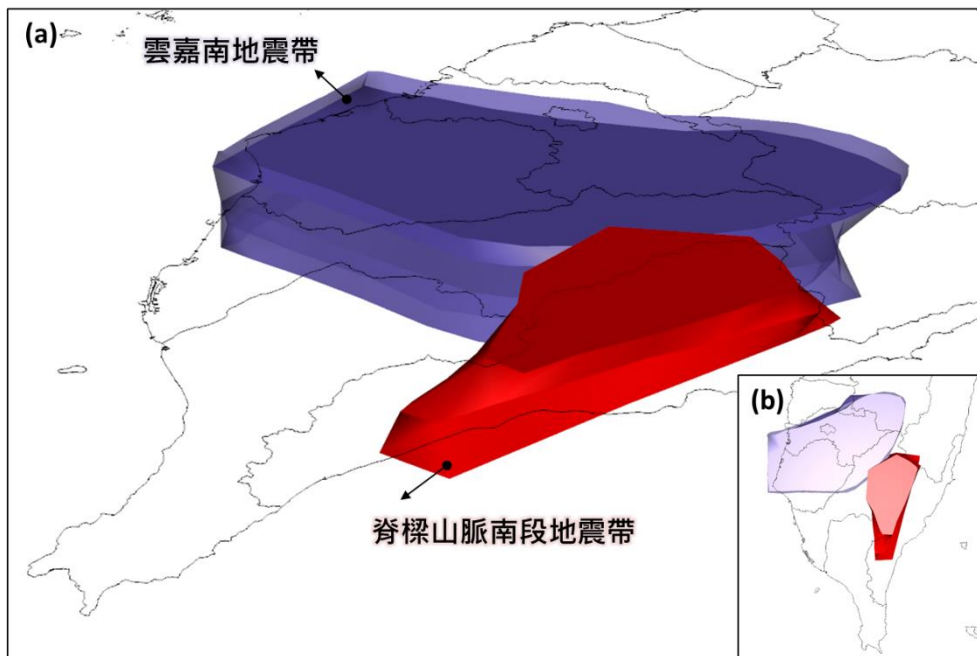


圖五、北部地震帶範例。(a)北部五地震帶之側視圖，地震帶為面狀分布；(b)地震帶俯視圖。

(二) 臺灣南部地震帶

濁水溪以南的臺灣南部共判識出 9 個地震帶（圖四），包含 3 個由北部延續至南部的埔里、縱谷斷層與中央山脈斷層地震帶，以及位於西部麓山帶的雲嘉南地震帶、阿里山地震帶與位於脊樑山脈的脊樑山脈南段地震帶、潮州斷層地震帶、社口地震群、阿禮地震帶。臺灣

濁水溪以南之地震數量多、分布密集，本研究嘗試將 1990 至 2019 等 30 年的地震資料以發震時間進行區分 (1990-2000、2001-2010、2010-2019)，結果顯示地震仍廣泛分布於地震帶的範圍內，無明顯面狀結構，因此在數值模型的建構上本研究將單一地震帶在不同深度的分布空間與以圈繪，並連結不同深度的地震範圍，建構團狀的地震帶模型 (圖六)。

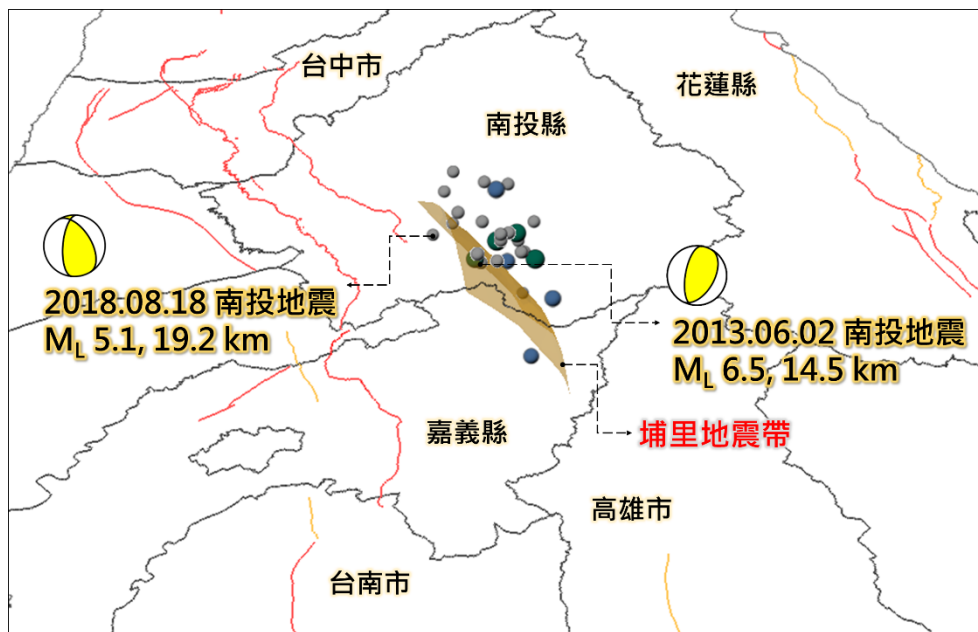


圖六、南部地震帶範例。(a)南部二地震帶之側視圖，因地震呈團狀分布於整個空間內，因此將地震帶以團狀模型表示；(b)地震帶俯視圖。

四、 地震帶應用實例

現階段地震帶模型主要應用於歷史地震資料的統整與解釋，以及

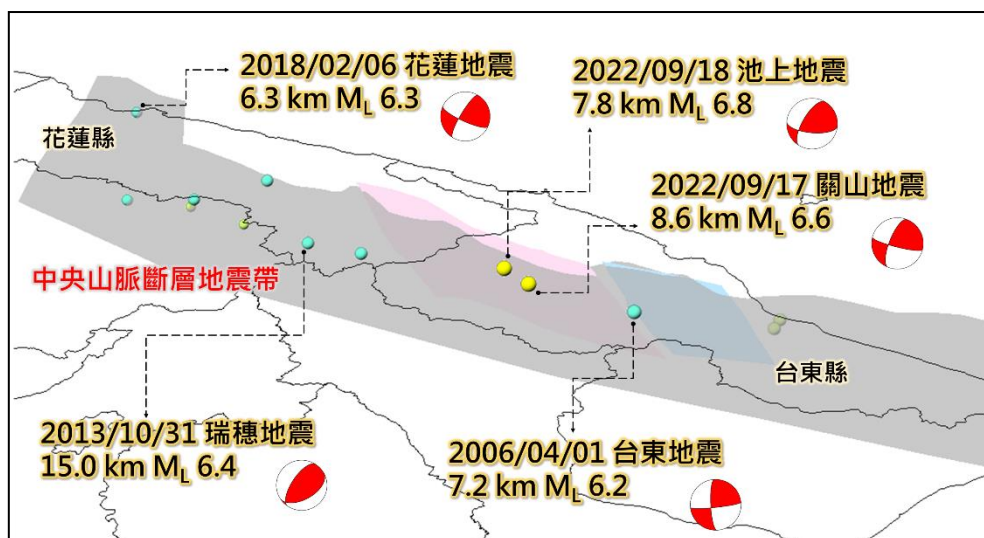
地震事件發震構造的協助研判。以 2011/06/26 (M_L 5.0、14.8 km)、2013/03/27 (M_L 6.2、19.4 km)、2013/06/02 (M_L 6.5、14.5 km) 與 2018/08/18 (M_L 5.1、19.2 km) 等多起南投地區的有感地震為例，目前公告的活動斷層，無法解釋這些規模大於 5.0 的地震事件，但透過地震帶模型的對比，這四起有感地震都屬於埔里地震帶的標準地震事件（圖七），震源機制解符合埔里地震帶南—北、東南—西北走向，向東傾斜 20-30 度。顯示南投地區主要的活動構造並未破裂至地表，而是以 10 至 35 公里的地下破裂與錯動為主。



圖七、埔里地震帶與南投地區歷史地震。

於 2022 年 9 月在花東縱谷西翼、花蓮臺東交界所發生的一系列逆衝與左移斷層地震，其中最大的兩起地震為 2022/09/17 的關山地震

(M_L 6.6、8.6 km) 與 2022/09/18 的池上地震 (M_L 6.8、7.8 km)。透過震源位置與震源機制解的分析，這兩起主震並不屬於縱谷斷層（池上斷層），而是由位於脊樑山脈東翼、向西傾斜的中央山脈斷層地震帶所引發的逆衝斷層地震事件（圖八）。此地震帶除了在 P 波、S 波比值 (V_P/V_S) 有明顯的差異外，透過歷史地震的分布，也顯示了此地震帶地震深度向西逐漸變深，分布範圍約為地底 8 至 20 公里，下覆於縱谷斷層之下。統計此地震帶規模大於 6.0 之地震事件，包括 2006 年臺東地震 (M_L 6.2)、2013 年瑞穗地震 (M_L 6.4)、2018 年花蓮地震 (M_L 6.3) 與 2022 年光復 (M_L 6.0)、關山 (M_L 6.6) 及池上地震 (M_L 6.8)，顯示中央山脈斷層地震帶由北至南分布長度約 300 公里，並有分段活動的現象。



圖八、中央山脈斷層地震帶與其歷史地震。

五、 結論

透過地震重定位序列、震源機制解與地下速度構造等地球物理資料，本研究於全臺劃分出 20 個具有高地震潛勢的地震帶，並詳述各個地震帶的地震規模、活動特性、範圍大小與重大歷史地震事件。

目前地震帶主要協助提供構造空白區或未破裂至地表、但有大量地震發生的區域構造解釋，如中央山脈斷層地震帶近 20 年來頻頻發生規模 6.0 以上的地震事件，同時地震帶的數值模型也可以配合地震的震源分布進行構造活動區塊的分析與展示，於地震應變工作提供協助。本研究已完成劃分之 20 個地震帶，特別是臺灣南部的團狀地震帶，是否能再更精細的分類其中的地震群，亦或未來地震帶模型是否能更進一步提供區域地震的評估參數，如地震帶空間尺度或地震再現周期，則仰賴進一步更細緻的地下速度構造模型與地震定位工作。

六、 致謝

本研究為國家科學與技術委員會防災學門科技部防災學門對於大規模地震衝擊評估模型強化與應用面建構（計劃編號 MOST 109-2124-M-865-002、110-2124-M-865-002、111-2124-M-865-002）之提供，於此感謝國家科學與技術委員會。感謝臺灣大學地質科學系吳逸民教授提供地震資料。

七、 參考文獻

- 林啟文、劉彥求、周稟珊、林燕慧 (2021) 臺灣活動斷層調查的近期發展。經濟部中央地質調查所彙刊，第三十四號，第 1-40 頁。
- 柯明淳、楊清淵、陳文山、楊耿明、葉恩肇、方星尹、洪嘉佳、吳佩庭、柯孝勳 (2021) 臺灣北部地區地質地下向量化資料更新與維護。國家災害防救科技中心報告，NCDR 109-A19，共 60 頁。
- 柯明淳、楊清淵、陳文山、楊耿明、吳逸民、葉恩肇、陳炳權、洪佳嘉、吳佩庭、方星尹、柯孝勳 (2022) 建置地質地下數值資料庫與其實例應用。國家災害防救科技中心報告，NCDR 110-T10，共 86 頁。
- 柯明淳、楊清淵、陳文山、楊耿明、吳逸民、葉恩肇、洪嘉佳、方星尹、吳品蓉、陳炳權、塗冠婷、黃明偉、柯孝勳 (2023) 地質數值資料庫維護與地震應變應用。國家災害防救科技中心報告，NCDR 111-A18，共 68 頁。
- 陳文山 (2016) 臺灣地質概論。中華民國地質學會，共 204 頁。
- Huang, H. H., Wu, Y. M., Song, X., Chang, C. H., Lee, S. J., Chang, T. M., and Hsieh, H. H. (2014) Joint Vp and Vs tomography of Taiwan: implications for subduction-collision orogeny. *Earth and Planetary Science Letters*, 392, 177–191.
- Shyu, J. B. H., Chuang, Y. R., Chen, Y. L., Lee, Y. R., and Cheng, C. T. (2016) A New On-Land Seismogenic Structure Source Database from the Taiwan Earthquake Model (TEM) Project for Seismic Hazard Analysis of Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*, 27(3), 311-323.
- Shyu, J. B. H., Yin, Y. H., Chen, C. H., Chuang, Y. R., and 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 & Oceanic Sciences*, 31, 469-478.
- Suppe, J. (1984) Kinematics of arc–continent collision, flipping of subduction, and back-arc spreading near Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China*, 6, 21–33.
- Teng, L.S. (1990) Geotectonic evolution of late Cenozoic arc-continent collision in Taiwan. *Tectonophysics*, 183, 57–76.

- Wu, Y. M., Chang, C. H., Zhao, L., Teng, T. L., and Nakamura, M. (2008a) A Comprehensive Relocation of Earthquakes in Taiwan from 1991 to 2005. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 98, 1471–1481.
- Wu, Y. M., Zhao, L., Chang, C. H., and Hsu, Y. J. (2008b) Focal mechanism determination in Taiwan by genetic algorithm. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 98, 651–661.
- Yu, S. B., Chen, H. Y., and Kuo, L. C. (1997) Velocity field of GPS stations in the Taiwan area. *Tectonophysics*, 274(1), 41-59.