

斷層活動性調查及觀測第五階段(2/5)

經濟部中央地質調查所

一、 目標與效益

(一)目標:

配合「行政院災害防救科技創新服務方案」課題四「精進防災科研技術」，為落實「防災資訊創新應用」、「防災科技產業推廣」及「防災科技社會服務」，發揮「深耕研發、創新應用、實質整合」之防災科研應用成效，提升「災害預警技術」並擴大「環境監測技術與應用」，對活動斷層進行調查及觀測，提供明確資訊，以達預警及防災的目標，並加速進行位於人口密集區附近之活動斷層調查及斷層參數的分析，進而評估斷層活動潛勢，計畫成果可供中央及地方政府進一步加值作為災害潛勢的評估分析與災損分析，作為地震防、減災之基礎資訊。

活動斷層相關資料是國土利用規劃的基礎資料，也是地震危害度評估的重要依據。所以，活動斷層調查部分針對未知或資料仍不足的活動斷層應持續利用地表地質調查、地形判釋、地球物理地電阻法探勘、地球物理震測、地表變形觀測及地質鑽探等方法進行斷層位置精查；若有合適地點則透過地質剖面開挖、探坑挖掘及定年等方法，以獲得斷層長期變動速率。

活動斷層觀測部分，藉由長期連續的地表變形觀測，包括地表變形觀測與分析、斷層活動性觀測整合分析、斷層潛勢分析研究等方式，評估斷層的活動潛勢，製作斷層活動機率圖。

(二)效益

本計畫之成果可提供活動斷層相關具體資料，以評估公共建設的規劃與設計，減少盲目提高防範級數擴大工程建設經費，對產業發展後續發展後續投入防、減災工作之各項投資將有明顯助益，對地震防、減災及重大工程建設均有重大經濟效益，納入活動斷層相關資訊與參數後，使防、減災工作可以提升效能，由此亦可窺見本計畫在經濟效益上的重要性。

臺灣百餘年來已發十數起重大的災害性地震，其中最嚴重的 3 次，便造成約 7,000 人死亡，另外僅 921 集集地震就造成 2,400 人以上的死亡及 100 億美元以上有形財物的損失，而這些估算還不包括重建的經費。基本上，本計畫成果是進行國土規劃不可或缺的資料，其投入之經費遠低於災損及重建。計畫調查與觀測成果，對重大工程建設(如核電廠、水庫、高速鐵路、科學園區等)短、中、長期使用安全評估，都是非常關鍵的資料，可提供重大工程設計施工及國土利用規劃之參考，以避離高敏感或高風險的區域。

二、計畫重點

為能有效執行 111 年度地質科技研究發展計畫，將建立高科技水準的地質調查團隊，提供國土開發、保育及防災地質資訊與專業服務。本年度計畫重點分述如下：

本計畫重點為進行活動斷層調查與觀測，工作重點概述如下

- (一) 活動斷層條帶地質圖精進與繪製:外地質調查、方法，針對雙冬斷層南段(烏溪以南)及觸口斷層(八掌溪、崧角溪以及石喞溪)進行活動斷層條帶地質圖精進與繪製。
- (二) 活動斷層地下地質探查:進行初鄉斷層、車瓜林斷層、利吉斷層地下地質探查工作，以增補劃設地質敏感區所需之現地調查資訊，並且藉由統整地質鑽探、岩心記錄分析，建立鑽井位置之地下剖面、區域地質、地形特徵與利吉斷層的地質特性，繪製利吉斷層之斷層跡(帶)位置圖，及撰寫利吉斷層地質敏感區劃設草案。
- (三) 重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估：持續觀測 GPS、水準測量及 PSInSAR 衛星干涉資料進行整合分析，觀測斷層活動相關的地殼變動情形。
- (四) 應用合成孔徑雷達差分干涉技術觀測地表變形：綜合運用地變動觀測資料，建構斷層地下孕震構造，進行斷層活動潛勢評估與境況模擬，製作臺灣地區斷層活動潛勢圖，提供國家地震防、減災規劃之

應用。

(五)活動斷層資料彙整與加值應用：觀測資料標準化格式轉換、資料處理、顯示之公用程式，並將相關計畫研究成果公開上網，方便民眾查詢活動斷層相關資訊。在調查方面，本項持續進行活動斷層之調查，累積活動斷層基本資料，適時更新活動斷層分布圖及活動斷層參數表。

三、計畫成果

(一) 活動斷層條帶地質圖精進與繪製

本年度標的斷層為大茅埔-雙冬斷層南段(烏溪以南)以及觸口斷層，進行斷層位置精查。完成斷層跡追蹤及區域地質調查等野外工作，並繪製路線地質圖、二萬五千分之一條帶地質圖(圖 1、圖 2) 以及撰寫條帶地質圖說明書。

大茅埔-雙冬斷層南段以及觸口斷層分別建立 13 處及 10 處斷層跡追蹤點位。南投縣水里鄉慈雲寺附近可見泥岩上覆厚層礫岩，由岩性判斷分別為樟湖坑頁岩以及頭嵙山礫岩，推測大茅埔-雙冬斷層由此處通過(圖 3)。嘉義縣竹崎鄉阿拔泉的牛稠溪可見具有剪切現象的泥岩，推測觸口斷層經過附近地區(圖 4)。其餘地區則利用岩層位態變化以及岩性差異來推估斷層的位置。

綜合本計畫兩年的成果，除了依據新的地質資料調整大茅埔-雙冬斷層以及觸口斷層跡位置外，臺中市新社區抽藤坑大甲溪階地和石角溪階地的碳 14 定年結果可推測大茅埔-雙冬斷層可能於距今 1,200~400 年間有活動過。1999 年集集地震時，大茅埔-雙冬斷層有地表破裂現象，顯示斷層仍有再活動趨勢，為第一類活動斷層。

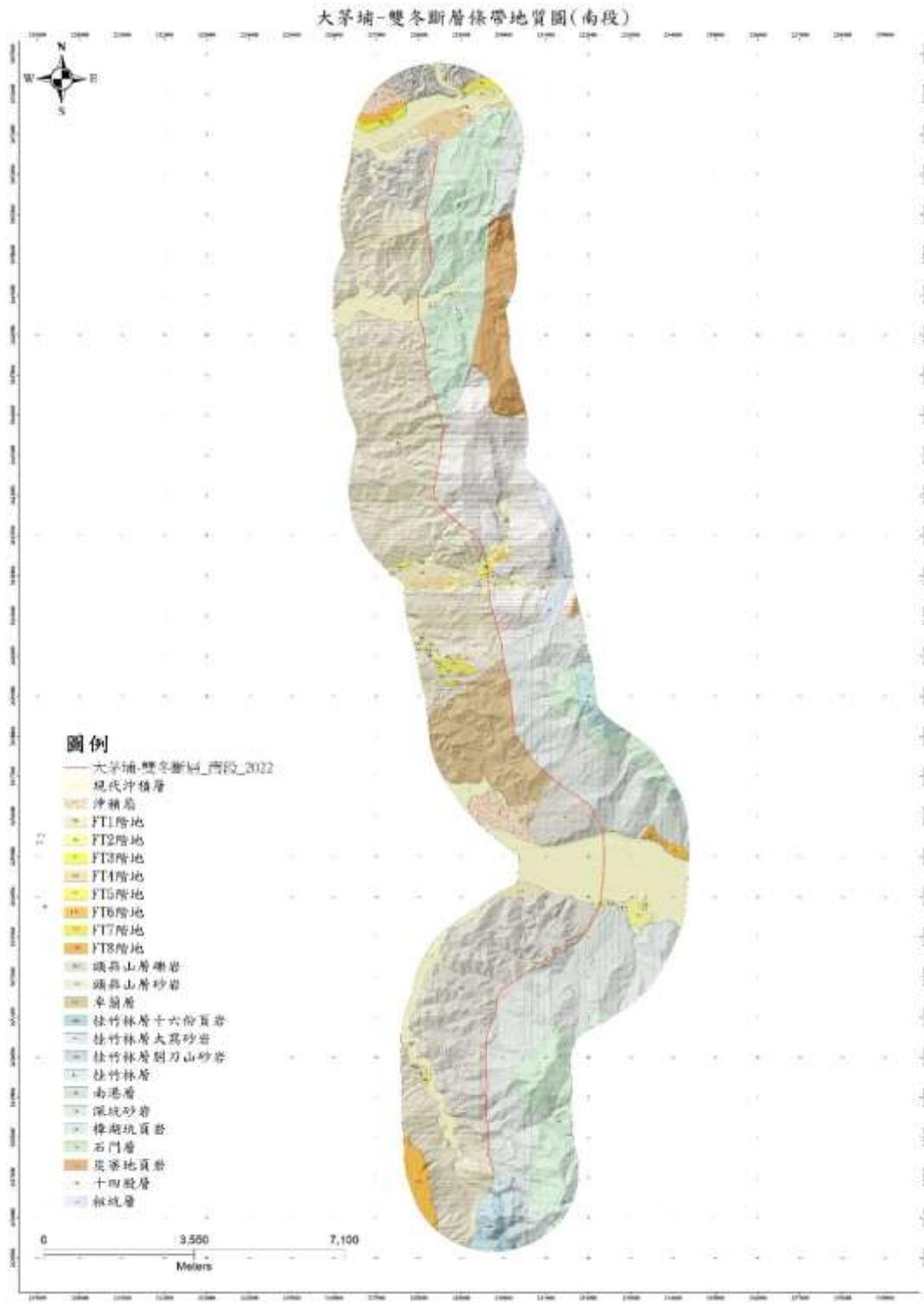


圖 1、大茅埔-雙冬斷層南段條帶地質圖。

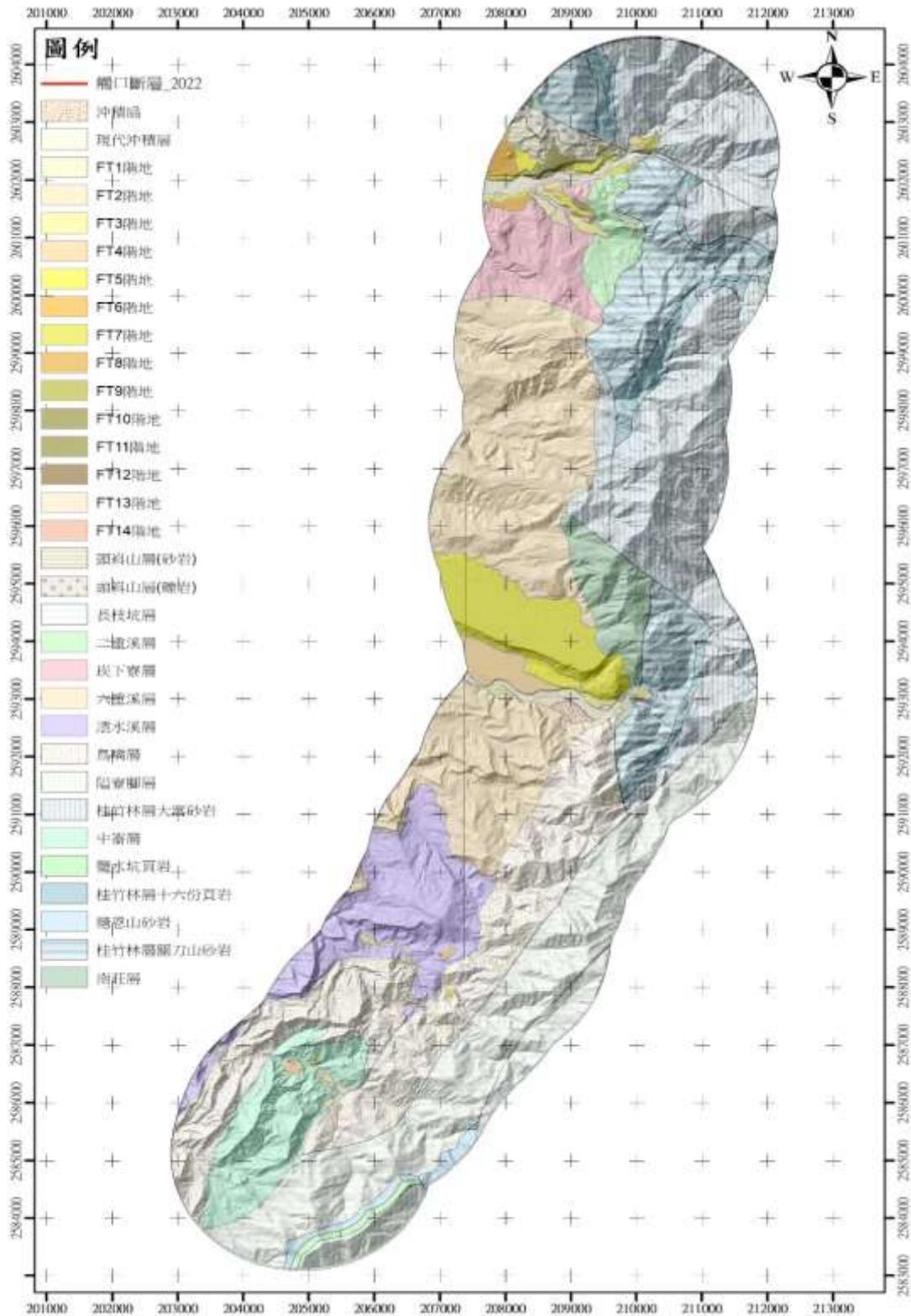


圖 2、觸口斷層條帶地質圖。



圖 3、南投縣水里鄉筍寮地區，水里鄉慈雲寺往南與名間鄉交界處一座檳榔園旁邊崖壁上，岩性為厚層礫岩與青灰色泥岩，推測斷層應由此露頭點通過。西北側為下盤的頭崙山層火炎山相地層(圖 B)，東南側為斷層上盤的樟湖坑頁岩層(圖 C)



圖 4、位於嘉義縣竹崎鄉阿拔泉地區的牛稠溪攔沙壩下，岩性為剪切泥層，推測斷層應通過此露頭點。

圖 5、大茅埔-雙冬斷層北段(烏溪以北)條帶地質圖

(二) 活動斷層地下地質探查

本年度調查調查利吉斷層、初鄉斷層以及車瓜林斷層的性质與地下構造形貌，進行了地表地質調查、地質鑽探、岩心記錄分析、地球物理探勘及建立剖面等工作，以作為地質敏感區劃定和國土規劃的基礎資料。主要成果包括完成利吉斷層 4 孔、初鄉斷層 6 孔以及車瓜林斷層 3 孔，共計 13 孔地質鑽探工作，總鑽探長度共計 1,230 公尺，繪製 5 處地質構造剖面，20 組碳十四定年，1 條利吉斷層 1100 公尺的地電阻測線，以及完成活動斷層地質敏感區（利吉斷層）劃設草案。

鑽探成果顯示，利吉斷層向南延伸至卑南，斷層上盤側海相沉積層發現剪切帶，斷層在卑南 6 號及卑南 7 號井之間通過(圖 6)，惟上覆的全新世沖積扇礫石層逐漸增厚，斷層跡向南追跡不易；初鄉斷層北端在下城鑽遇少量剪切帶但未發現主斷層，推測斷層在此可能錯距不大，初鄉斷層南端在筍子林尾鑽遇剪切帶，斷層上、下盤兩側分別為桂竹林層、卓蘭層；車瓜林斷層在中崎鑽遇斷層上盤剪切帶，證實斷層南端延伸至此。

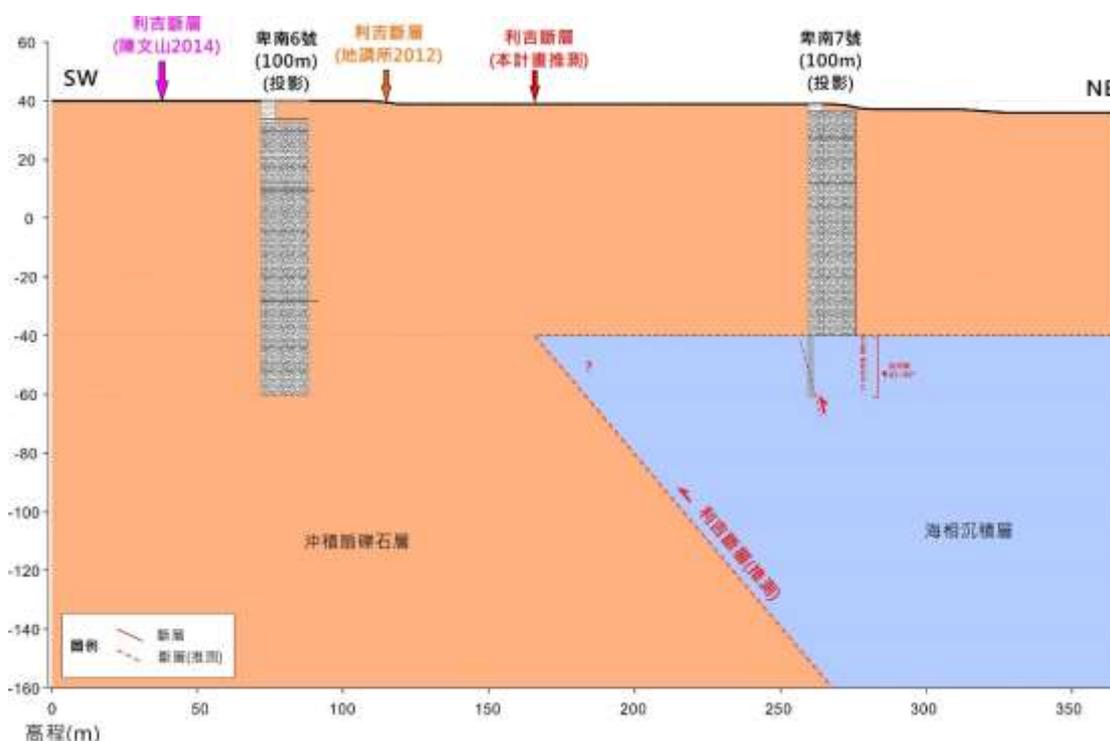


圖 6、利吉斷層調查主要成果（臺東縣卑南 P2 剖面）。

(三) 918 池上地震地質調查

111 年度，東部地區共發生了 3 次規模 6 以上的淺層地震，依序為 323 長濱地震、620 光復地震與 918 池上地震（含前震 917 關山地震），其中以 918 池上地震造成最為顯著災情與地表破裂現象。9 月 17 日晚上 9 點 41 分，在臺東關山發生芮氏規模 6.4 的地震，震源深度 7.3 公里，隔天 9 月 18 日下午 2 點 44 分在臺東縣池上發生芮氏規模 6.8 的地震，震源深度 7 公里。918 池上地震發生後，玉里斷層與池上斷層沿線發生地表破裂，當時本所構造與地震地質組已動員人力，進行野外調查與大地測量工作，地表地質調查結果顯示，玉里斷層與池上斷層沿線均有地表破裂與噴沙現象（圖 7）。玉里斷層方面，玉里鎮至源城溪之間有集中且連續的地表破裂分布，呈左移運動且西側抬升；玉里鎮以北至大禹里，地表破裂零星分布，並逐漸尖滅；客城至長富大橋之間，地表破裂分為數條，範圍寬約數百公尺至 1 公里。整體而言，玉里斷層為左移運動兼具向東逆衝性質，地表破裂位置與 1951 年的地表破裂幾乎一致，但此次更增加長良地區的地表破裂，其左移量最大達 1 公尺，西側抬升 30-100 公分（圖 8），後續。池上斷層的破裂北起玉里鎮春日，南迄鹿野鄉二層坪，地表破裂長度約 67 公里，依特性與延續性不同分為四段：1. 春日至東里、2. 東里至富里、3. 富里至電光、4. 電光以南至二層坪（圖 9）。依據此次地震地質調查結果，池上斷層沿線的地表破裂多數位在池上斷層活動斷層地質敏感區（F0002）內，部分位於地質敏感區外，後續將更新玉里斷層與池上斷層的條帶地質圖，進行玉里斷層地質敏感區的劃定，並評估池上斷層地質敏感區範圍的變更。

大地測量觀測結果顯示，917 關山地震最大同震位移量發生在震央的關山測站，最大的水平位移分量出現在池上斷層西側，朝南方位移並抬升，池上斷層以東則無顯著水平向與垂直向位移。

918 池上地震造成大範圍地殼變形，同震位移大致以花東縱谷為界，東側的海岸山脈地區朝西北方向位移且下陷；西側的中央山脈地區朝西南方向位移並抬升。同震位移量較大的範圍，分布在玉里至池上之間，最大水平位移為震央鄰近的臺東池上鄉福原國小，最大垂直位移為震央東北側的花蓮卓溪古風國小。DInSAR 干涉結果顯示，這兩次地震在花東縱谷造成的地

表變形，北起瑞穗，南抵鹿野及卑南地區，長約 80 公里，均有顯著的地表變形位移量（圖 10）

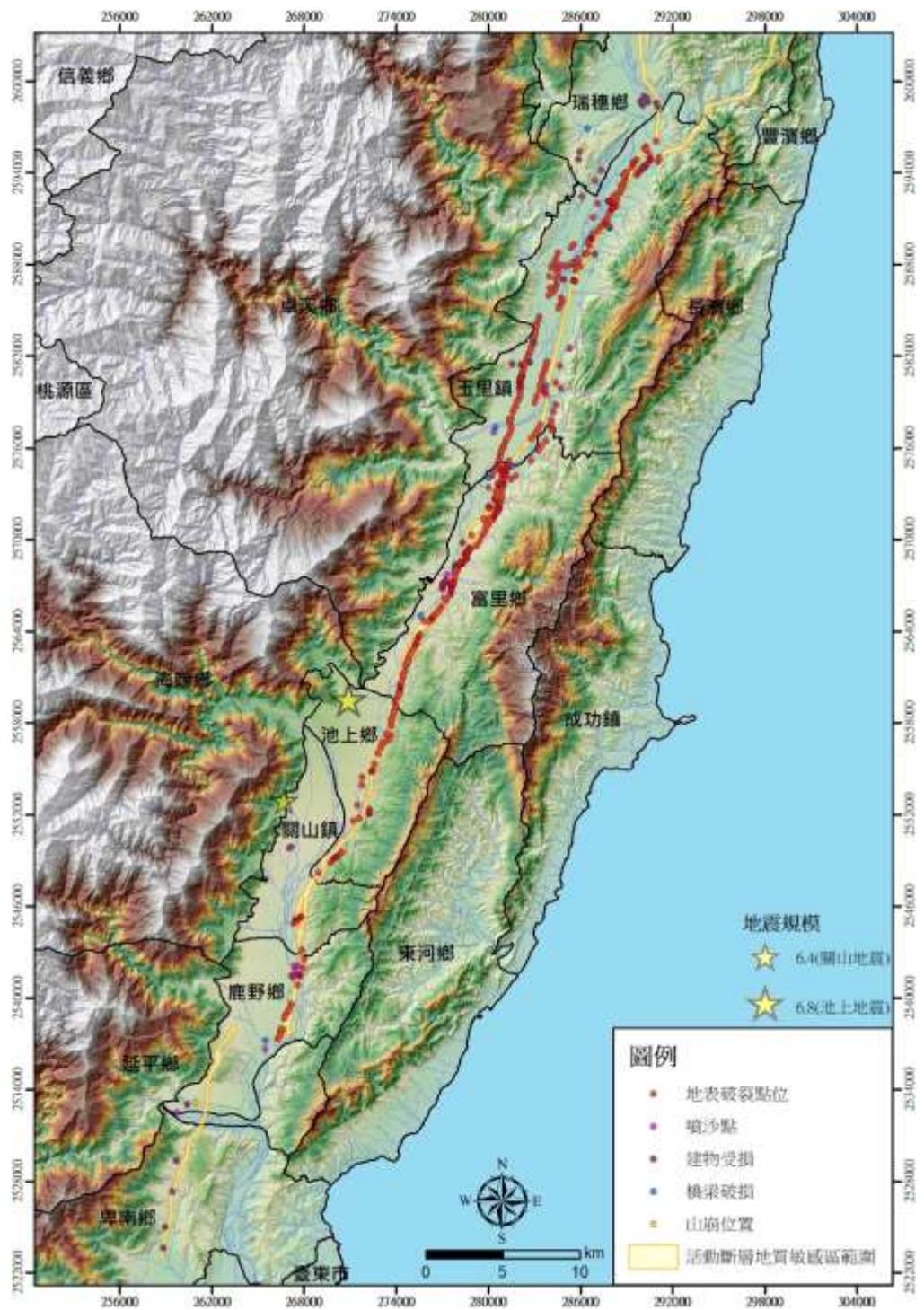


圖7、917關山地震與918池上地震野外調查分布圖。



圖 8、拉庫拉庫溪（樂樂溪）河床，玉里斷層活動所造成的地表破裂，向南拍攝。



圖 9、富里鄉南側，富池橋附近稻田中，池上斷層活動引致地表破裂，向東南拍攝。

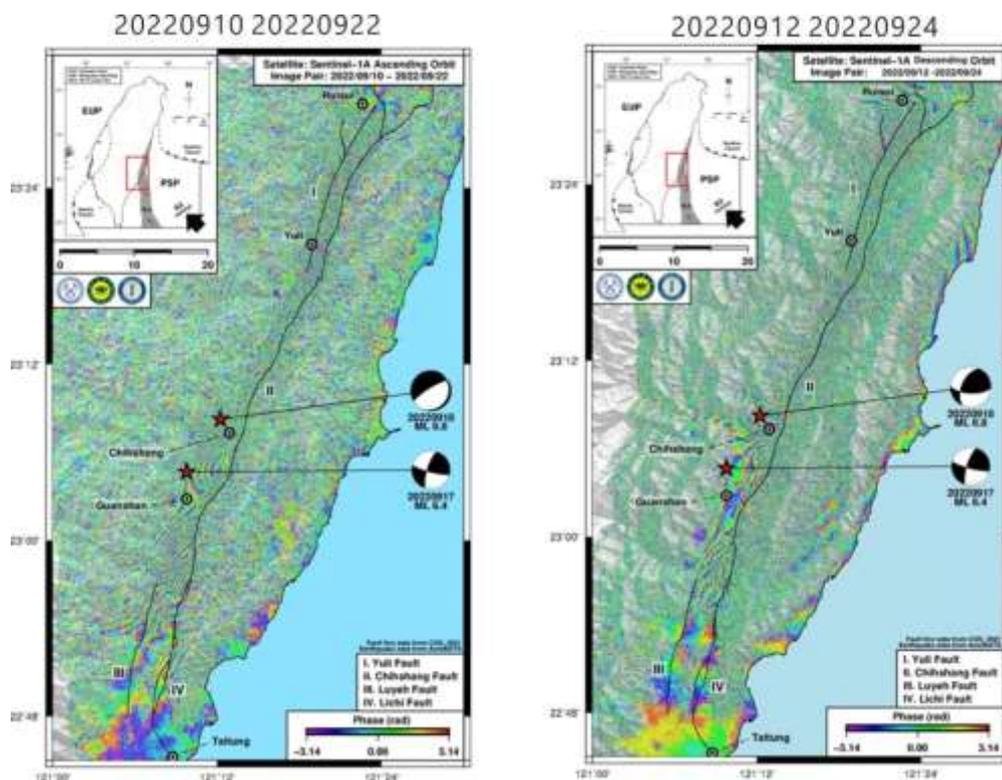


圖 10、917 關山地震與 918 池上地震之雷達差分干涉同震地表變位圖。Sentinel 衛星拍攝，左圖為升軌(Ascending)、右圖為降軌(Descending)，黑白海灘球為震源機制解；黑色線為斷層線，羅馬數字 1 至 4，分別為玉里斷層、池上斷層、鹿野斷層，以及利吉斷層。

(四) 活動斷層帶地表變形大地測量

自 91 年起執行「地震地質調查及活動斷層資料庫建置」計畫迄今，已在活動斷層分布區域設置超過 800 處移動式衛星導航系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 與水準測量 (Leveling Surveying) 觀測基樁，並布設近千公里的跨斷層精密水準測線，利用每年進行定期與重複觀測，獲取近斷層區域水平與垂直速度場，藉此推求斷層短期滑移速率與地表應變分布情形，同時藉由地震發生前後的量測工作得到同震地表變形資訊。

根據中央氣象局地震資料顯示 111 年臺灣本島與海域共發生 14 次芮氏規模超過 6 以上之地震，其中深度較淺，且產生地表破裂現象之地震有 4 次，分別為 0323 長濱地震、0620 光復地震、0917 關山地震與 0918 池上地震。本年度除了例行觀測工作外，亦針對前述地震進行測量，以 0918 池上地震為例，同震位移量較大處分布在玉里至池上之間，最大水平位移為震央鄰近

臺東池上鄉福原國小 (GC35)，往西南方向位移 98.5 公分 (圖 11)；最大垂直位移為震央東北側的花蓮卓溪古風國小 (GE53)，垂直抬升 97.5 公分 (圖 12)；精密水準測線觀測到垂直變形量，最大為紅葉-靜浦測線上之紅葉內溫泉水準點 (W031)，抬升 8.1 公分，相關資訊能供政府與民間作為地震防、救災與減災之應用，以及國土規劃之參考。

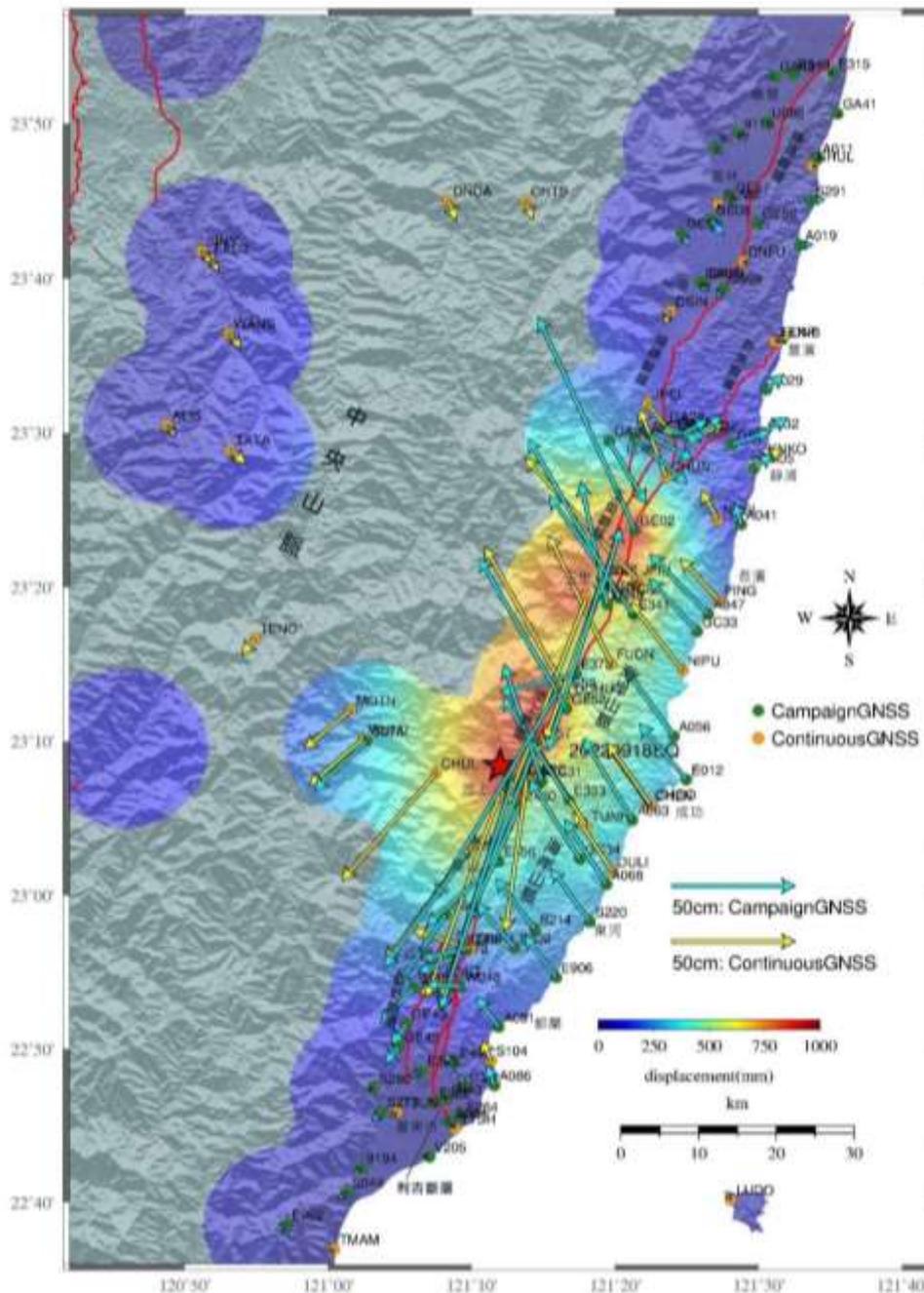


圖 11、0918 池上地震之 GNSS 測量水平方向同震位移分布圖，箭頭代表水平位移方向、長度代表量值，彩色色階顯示等值化之成果。

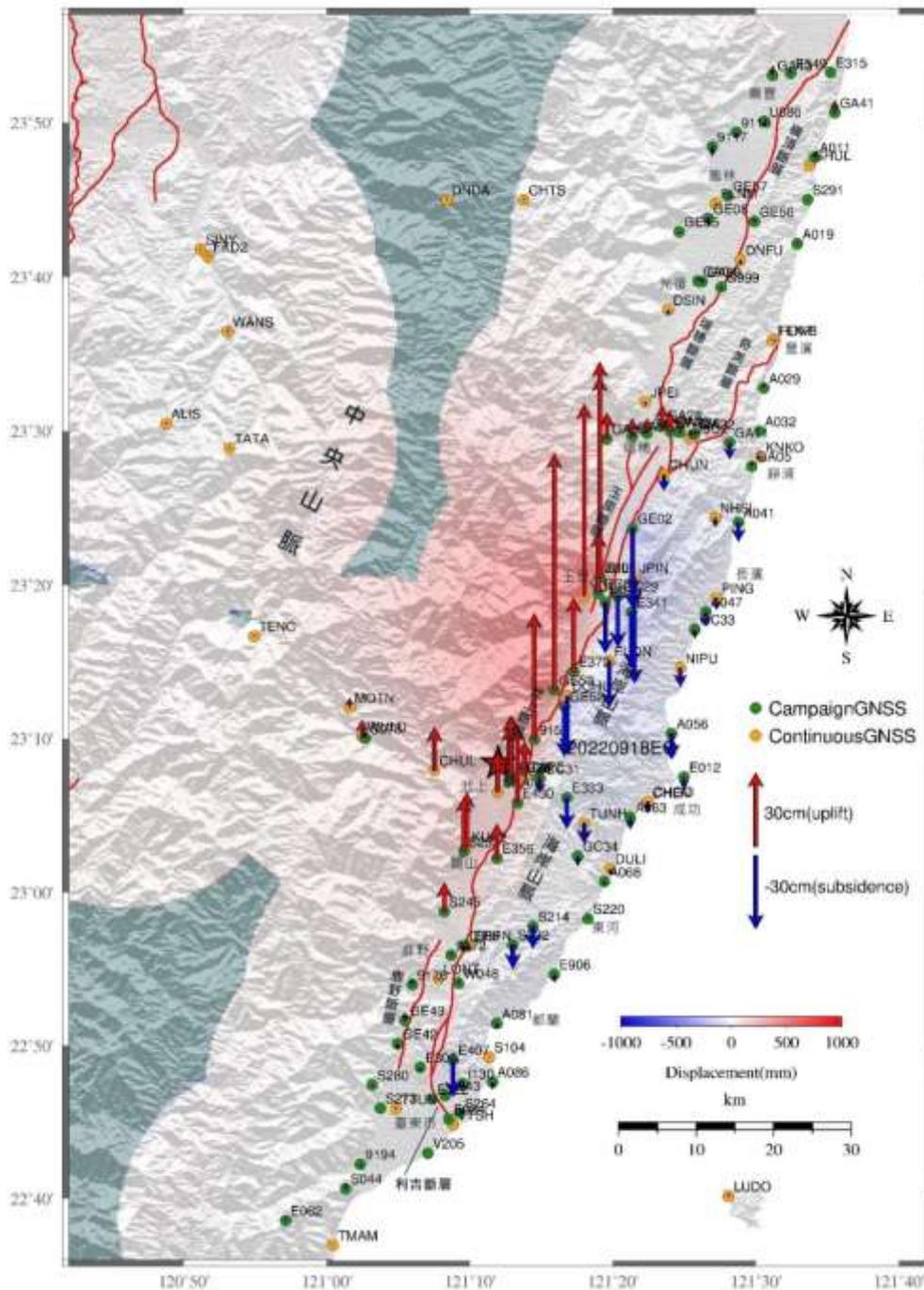


圖 12、0918 池上地震 GNSS 測量垂直方向同震位移分布圖，箭頭代表水平位移方向、長度代表量值，彩色色階顯示等值化之成果。

(五) 重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估

分析全臺大地測量資料（包含 GNSS 連續站、移動站及水準測量），相對於 S01R(澎湖白沙)測站之速度場顯示，嘉南地區之地表運動主要由東往

西偏南方向移動，整體速度場約 10.0-15.0 mm/yr。垂直速度場部分，臺南科學園區周遭僅有約 5.0 mm/yr 以內的沉陷速度，沙崙綠能科學城附近側站則僅約 0.0 至 5.0 mm/yr 的抬升，臺南都會區範圍內則由東往西由抬升轉為沉降，速率則僅-10 至 5.0 mm/yr。同時透過斷層模型之建立整合測量與地質資料，依據基線應變反演模型成果，推求與繪製斷層活動潛機率。經由地動預估式與三維斷層錯位模型，繪製口宵里斷層、新化斷層以及後甲里斷層於重要區域之景況地震動與同震位移分布情形（圖 13）。

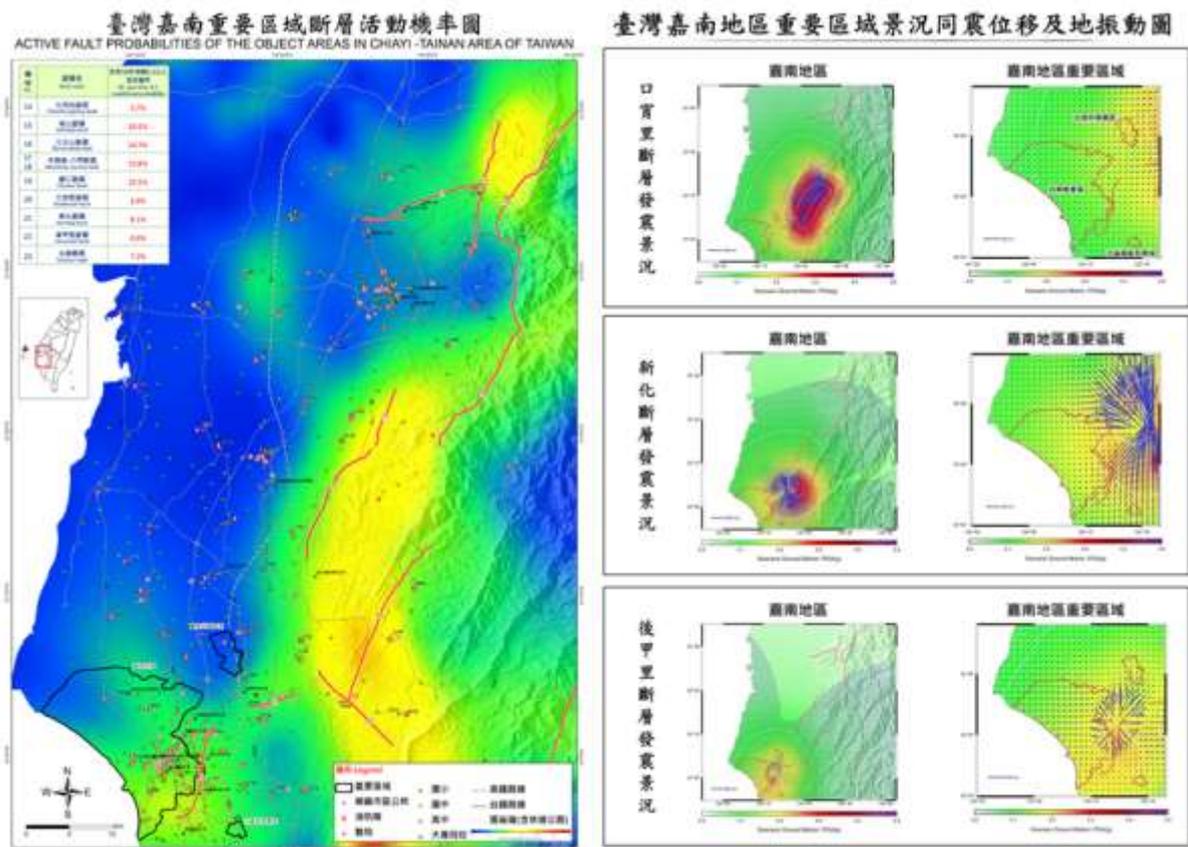


圖 13、嘉南地區重要區域斷層活動機率及景況同震位移圖。

(六) 應用合成孔徑雷達差分干涉技術觀測地表變形

運用合成孔徑雷達差分干涉技術針對嘉南地區觀測地表變形，包含 11 條斷層（九芎坑斷層、梅山斷層、大尖山斷層、觸口斷層、木屐寮斷層、六甲斷層、新化斷層、後甲里斷層、左鎮斷層、口宵里斷層、崙後斷層等區域），以及南部科學園區、沙崙綠能科學城與臺南都會區等區域。

解算之資料，以三時間段作為區分，分別為 2014-2016，2016-2018，以及 2018-2021。除了雷達相關成果外，並將雷達相關資訊與同時期水準測量、GNSS 連續站與移動式觀測等結果進行比對，並將雷達資料解析為東西向與垂直向之地表變形資訊。整體來說，能觀察到後甲里斷層與木屐寮斷層兩側有速度落差；彰化雲林沿海地區以下陷為主，最大量值達 6 公分/年；六甲、木屐寮、觸口、口宵里及車瓜林斷層間以抬升現象為主，最大值能達 2 公分/年（圖 14）。

此外，亦利用相關技術分析 2022 年臺灣東部幾次規模較大之有感地震及其餘震所產生之地表變形，例如觀察 0917 關山與 0918 池上地震，兩次地震造成地表長約 80 公里之地表變形干涉環，本案相關成果能輔助未來進一步於區域內進行鑽探等地質調查與活動斷層地質敏感區劃設等工作。

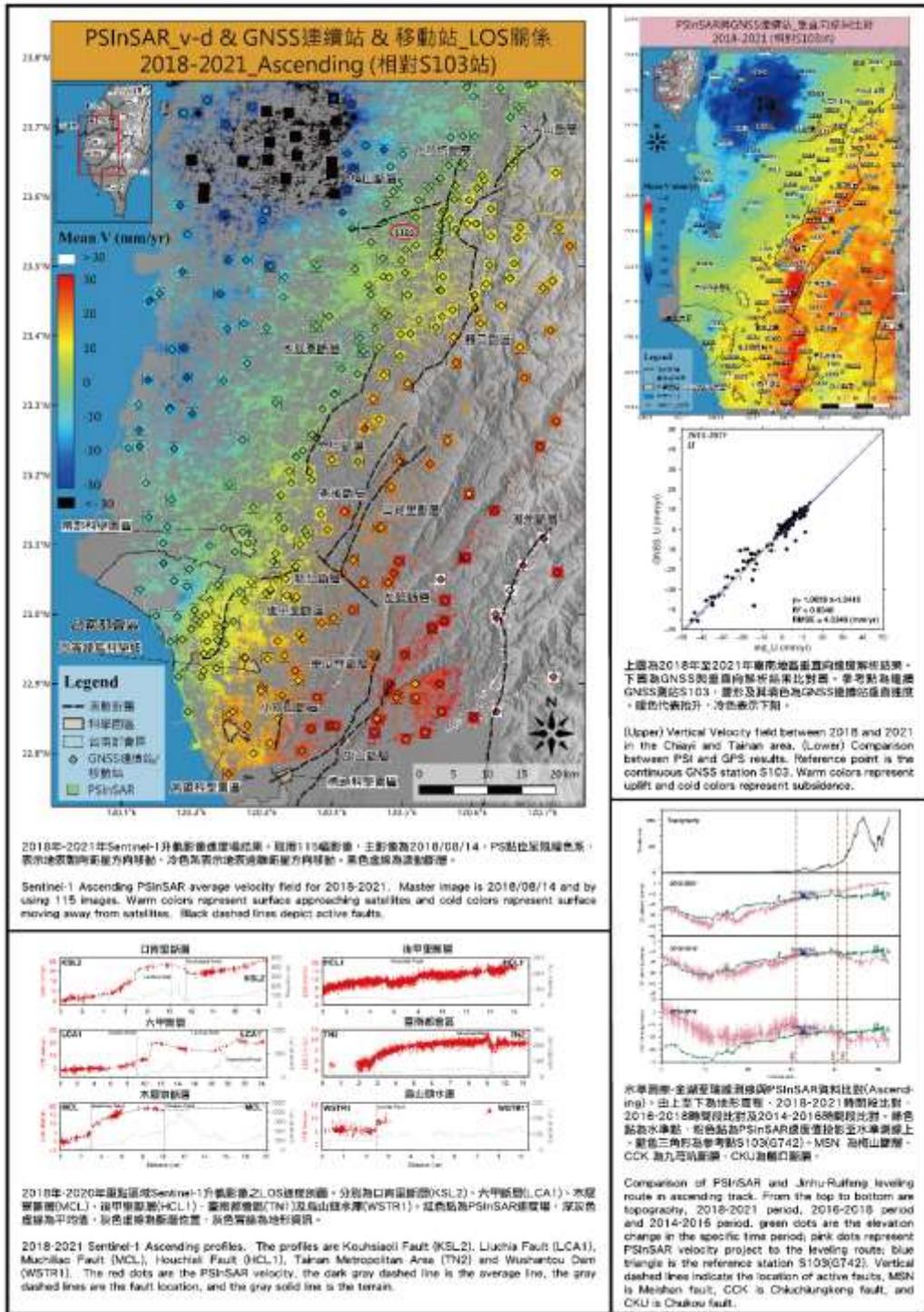


圖 14、合成孔徑雷達差分干涉技術觀測嘉南地區地表變形相關成果圖。

(七) 活動斷層分布圖活動斷層地質敏感區劃定—F0023 車瓜林斷層

車瓜林斷層為臺灣西南部重要的活動斷層之一，為逆移斷層，呈東北走向，北起高雄市內門，向西南延伸經旗山區大廊庭山，西南端在燕巢區崎溜以南進入平原區，局部具明顯斷層線崖特徵，長度約 22 公里。由地質鑽探

與碳十四定年資料顯示，車瓜林斷層曾於 7,500 年前活動(林啓文等,2021)，且在橋頭科學園區補充地質調查資料更顯示 4,500 年來地層等時線受錯移；國道 3 號等人工結構物，跨越車瓜林斷層與旗山斷層有持續變形現象，大地監測等也顯示斷層帶具潛移現象；因斷層曾於十萬年內活動，符合活動斷層地質敏感區劃定標的斷層之條件。

車瓜林斷層活動斷層地質敏感區(圖 15)位於高雄市，北起高雄市內門，向西南延伸通過高雄市內門區、旗山區、田寮區、燕巢區與橋頭區等 5 處行政區，長約 22 公里，總面積約 6.7 平方公里。

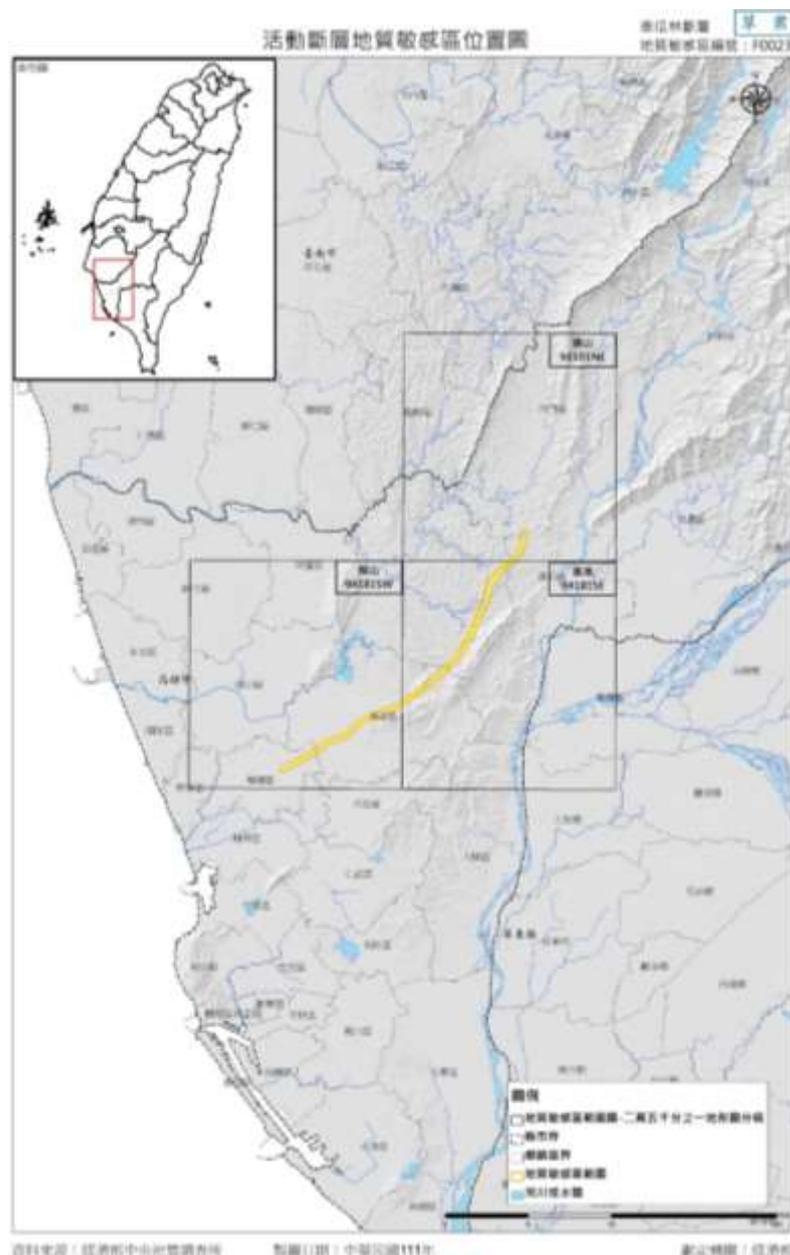


圖 15、車瓜林斷層活動斷層地質敏感區位置圖。

(八) 活動斷層資料彙整與加值應用

活動斷層調查資料，整合野外地質調查、淺層鑽探、地電阻探勘、空拍等調查方法，建立地質構造剖面相關資料，完成活動斷層地質敏感區劃定計畫書草案。活動斷層觀測資料透過標準化格式轉換、資料處理、分析，對活動斷層短期滑移速率與潛在的活動構造進行分析研究。

111 年活動斷層網頁新增活動斷層照片查詢功能、事件型活動斷層雲端服務、岩心紀錄系統更新及精進作業等，以促進活動斷層調查與觀測成果的永續經營。活動斷層岩心紀錄系統以 WEB 方式改寫舊有單機版系統之岩心圖及其相關紀錄繪製相關產製模組，柱狀圖繪製模組調整以 SVG 為產製格式；並擴建活動斷層岩心紀錄資料庫，將具備查詢、維護、後製輸出、是否套版、批次開啟等功能，部分資料登打功能支援離線應用情境；改寫後系統可匯入工程探勘資料庫匯出之 mdb 檔，並繪製 SVG 格式柱狀圖(圖 16)。

此外，由於 9 月 17 日(六)關山地震與 9 月 18 日(日)池上地震事件發生，啟動租用中華電信雲端環境以因應上班日可能湧入大量的查詢 GIS 查詢系統，供大家便利與快速的查詢服務效能。

上述活動斷層相關資料，可應用於是否位於地質敏感區區位之查詢，並協助內政部辦理申請人查詢土地與活動斷層空間之關係，供其申辦非都市土地變更或開發使用，同時並協助國內重大開發案件提供地質專業意見。

活動斷層參數資料，可供行政院災害防救專諮會、國家地震工程研究中心、國家災害防救科技中心及行政院災害防救辦公室，供做地震風險評估使用。提供國家重要公共建設地質諮詢服務，參與許多國內重大開發案之意見諮詢，包括「南部科學園區嘉義園區開發計畫環境影響說明書」、「經濟部工業局彰濱工業區資源化處理中心新建營運移轉計畫(BOT)案環境影響說明書」、「屏東科技產業園區(擴區)設置計畫開發計畫暨細部計畫」、行政院環境保護署「屏東科技產業園區(擴區)環境影響說明書」、「屏東縣六塊厝農場設置加工出口區計畫環境影響說明書第五次變更內容對照表」、「中埔產

業園區設置計畫環境影響說明書」、「彰濱工業區線西西三區環保用地開發計畫環境影響說明書」、「南部科學園區臺南園區三期基地開發計畫環境影響說明書」、「臺南科學園區二期基地開發暨原一期基地變更計畫環境影響差異分析報告」、「新市產業園區設置計畫案環境影響說明書」、「北高雄產業園區設置計畫環境影響說明書」、「臺南金融科技智慧產業園區」、「南部科學園區屏東園區開發計畫環境影響說明書」、「高雄—屏東間東西向第 2 條快速公路」、「臺中都會區大眾捷運系統藍線建設計畫環境影響說明書」、「嘉義縣市鐵路高架化延伸計畫環境影響說明書」、「臺南市綠能產業園區環境影響說明書」、「水上產業園區設置計畫」、「大里夏田產業園區環境影響評估報告書初稿」、「北台科技產業園區（替代方案）案環境影響說明書」、「大林廠真空蒸餾單元、溶劑脫瀝青單元暨相關工場更新計畫」、「國道 7 號高雄路段計畫環境影響評估報告書初稿」、「南投縣竹山竹藝產業園區」、「新竹科學園區（寶山用地）第 2 期擴建計畫」、「北台科技產業園區（替代方案）環境影響說明書」、「基隆市七堵區台五線段產業園區開發案」、「基隆市政府第 15 屆環境影響評估審查委員會」、「南部科學園區嘉義園區開發計畫暨細部計畫」、「擬定彰化水五金田園生產聚落特定區計畫政策評估說明書」、「桃園農業物流園區開發計畫與細部計畫」、「褒忠產業園區設置計畫環境影響說明書」、「龍港工業園區開發計畫環境影響說明書第三次環境影響差異分析報告（園區產業調整暨新增儲能設施與太陽光電）」、「新訂中壢產業特定區計畫政策評估說明書」等案，本所均透過公、私管道提供專業地質意見，對於社會影響甚為深遠。



震源機制顯示

岩心調查作業系統-岩心紀錄、柱狀圖展繪工具

圖 16、臺灣活動斷層 GIS 查詢功能維運及強化。