

斷層活動性觀測研究第四階段(4/4)

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「精進防災科技技術」，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、空拍、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槽溝開挖、階地掘坑及定年等方法，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 109 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) 活動斷層特性精細調查:以野外地質調查，搭配空拍、階地掘坑、定年等調查方法，以瞭解崙後斷層與口宵里斷層在近地表區域的變形分布範圍與精確的斷層位置。
- (二) 補充地質調查及斷層位置精查:進行梅山斷層、車瓜林斷層與小崗山斷層補充調查工作，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、地形特徵與梅山斷層的地質特性，繪製(修訂)梅山斷層之斷層跡(帶)位置圖，及撰寫梅山斷層地質敏感區劃設草案。
- (三) 斷層活動性觀測整合分析: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) 斷層潛勢分析評估研究: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) 活動斷層特性精細調查

本年度調查的斷層為崙後斷層南段與口宵里斷層，進行斷層位置精細調查、斷層特性及斷層帶分析以及斷層長期滑移速率評估等工作，完成標的斷層地表地質調查、斷層沿線航拍、曾文溪河床露頭及盧芝坑溝剖面高精度影像航拍、曾文溪沿岸階地沉積物挖掘採樣、C-14 定年及 OSL 定年，並測繪比例尺五千分之一斷層跡(帶)測繪圖(圖 1)，以及比例尺一千分之一地質構造分布測繪圖(圖 2)。

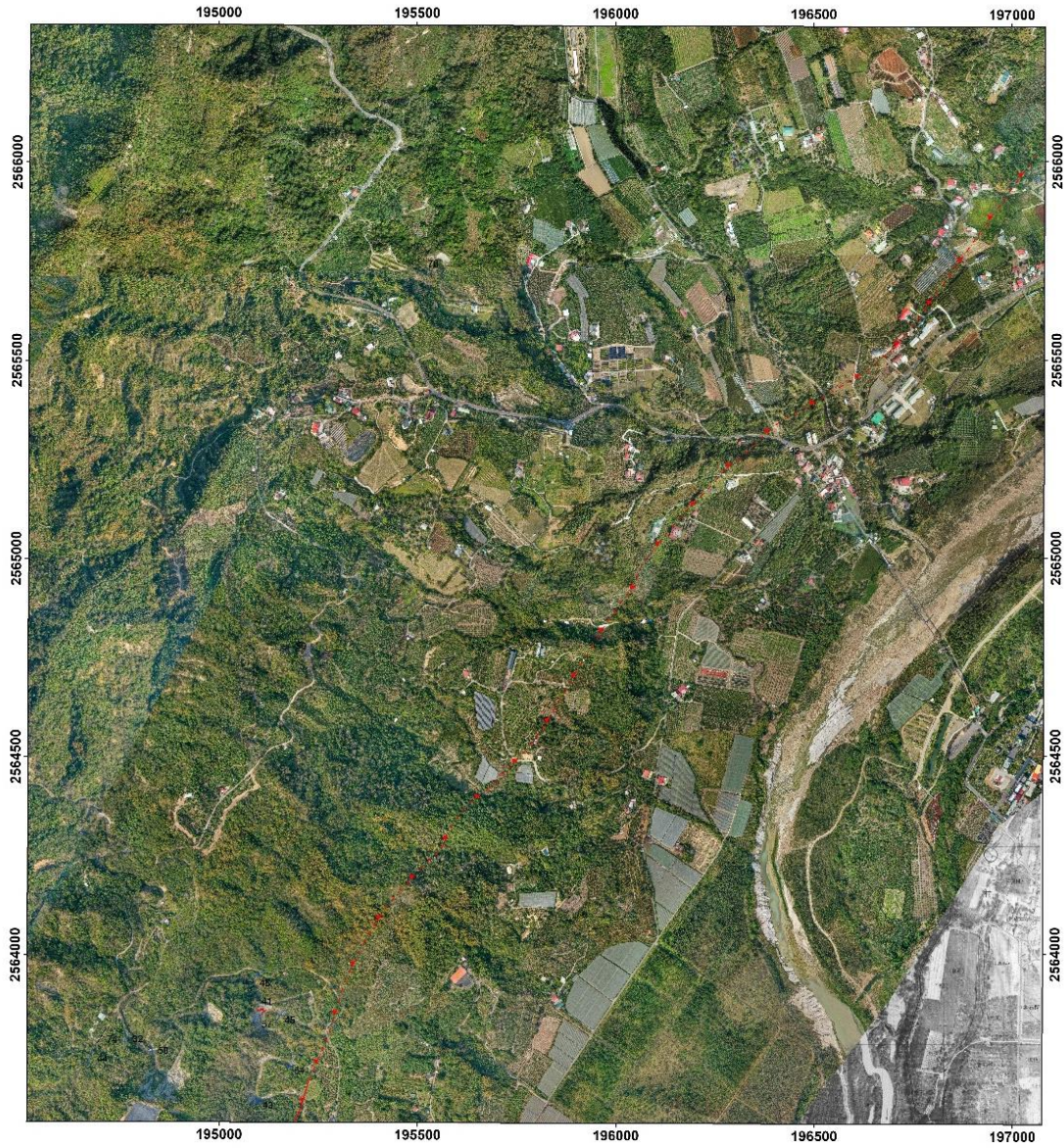
崙後斷層南段可藉由曾文溪北岸走馬瀨橋旁以及盧芝坑溝所出露的剖面確認斷層位置。走馬瀨曾文溪北岸出露之斷層帶寬約 15 至 20 公尺；往南至盧芝坑溝，出露的剪裂帶寬約 120 公尺。結合定年結果分析，推測崙後斷層近 2000 年內，上下盤無明顯垂直滑移量。

口宵里斷層在劉陳灣地區的曾文溪南岸和貓兒干地區，可藉由露頭控制斷層位置，其餘地區則利用岩層位態的變化，或是階地中出現地形線崖的地方，推估斷層位置。曾文溪所出露的斷層帶寬約 32 公尺，斷層影響帶約 110 公尺(圖 3)。結合定年資料及河階對比分析，推測口宵里斷層若 4000 年內持續活動，則垂直滑移速率小於 9.5mm/yr，斷層滑移速率小於 13.9mm/yr；若 1.2 萬年內持續活動，則垂直滑移速率小於 3.2mm/yr，斷層滑移速率小於 4.6mm/yr。

斷層跡（帶）測繪圖

口宵里斷層

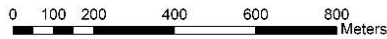
圖號：9419-II-029



圖例

- 斷層位置 (觀察)
- 斷層位置 (推測)
- 岩層位態
- 岩層位態(前人文獻)
- 剪切帶位態

比例尺：五千分之一



坐標系統：TWID97二度分帶

底圖：正射空拍影像

製圖單位：國立中央大學

製圖時間：中華民國109年12月

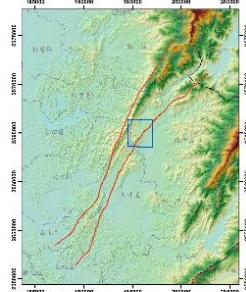
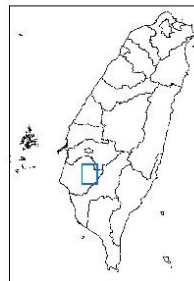


圖 1、口宵里斷層斷層跡測繪圖(比例尺 1/5000)



圖 2、曾文溪河床崙後斷層構造分布測繪圖(比例尺 1/1000)

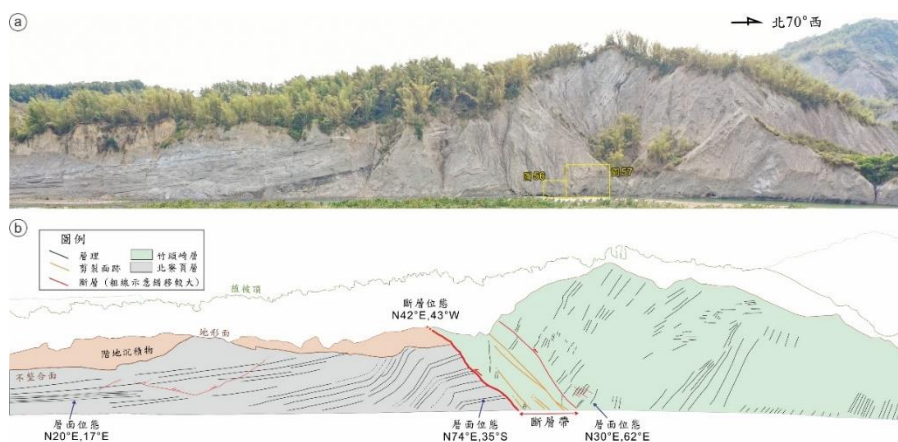


圖 3、曾文溪南岸口宵里斷層露頭照片及素描

(二) 補充地質調查及斷層位置精查

本案目標為延續 108 年計畫，調查梅山斷層、車瓜林斷層與小崗山斷層的斷層帶位置與性質，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，作為地質敏感區劃定和國土規劃的基礎資料。本年度共完成梅山斷層 3 處共 6 孔之鑽探工作、車瓜林斷層 4 處共 8 孔與小崗山斷層 4 處 7 孔地質鑽探工作，合計鑽取與紀錄岩心 1500 公尺，繪製 11 處地質構造剖面，1 處淺層震測，及完成「小崗山斷層地質敏感區劃設草案」。

梅山斷層的 3 處鑽井場址中，其中 2 處發現了斷層的證據(圖 4)，驗證 1906 年的地表破裂跡，並依結果完成其活動斷層敏感區劃設作業；車瓜林斷層向西南延伸位置已確認達燕巢國中附近(圖 5)，推測車瓜林斷層於 10,500~25,000 年間曾活動，後續仍進行車瓜林斷層往西南延伸至橋頭糖廠之線形崖鑽探調查；小崗山斷層也確認線形崖與地下構造關係，並推測小崗山斷層於 13,600~23,500 年前間曾活動，後續再確認中段與南端各 1 處斷層位置，即可進行其活動斷層敏感區劃設。

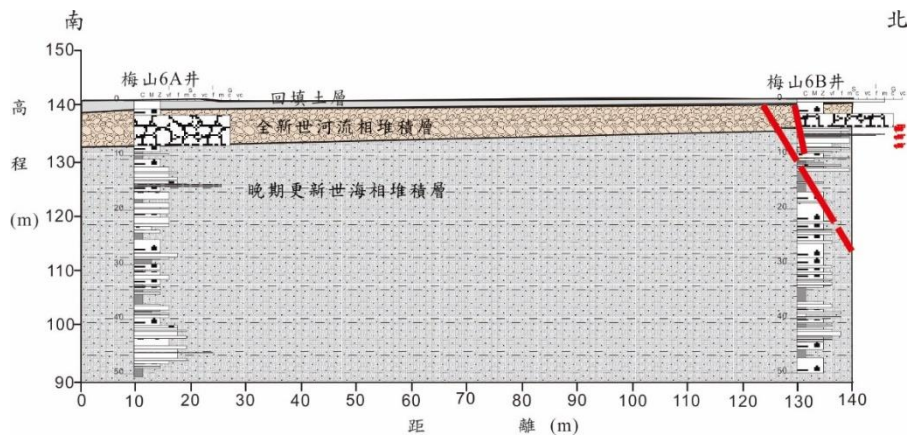


圖 4、梅山斷層調查主要成果 (梅山 P6 剖面)

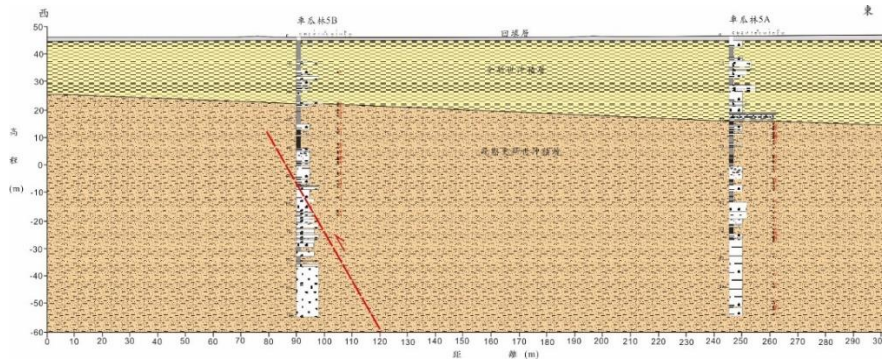


圖 5、車瓜林斷層調查主要成果（車瓜林 P5 剖面）

（三）活動斷層帶地表變形大地測量

本年度共計觀測 GNSS 點位 767 點及精密水準測線 1,012 公里，觀測結果加入數值模式反演計算，可求得斷層面上的滑移率(slip rate)、鎖定率及滑移虧損(slip deficit)，提供活動斷層潛勢評估的重要參數。

GPS 速度場觀測結果顯示，水平速度場在跨越縱谷斷層系統、西部麓山帶和變形前緣的速度梯度變化較大，與主要活動構造的分布吻合。臺南以南地區，新化斷層南北兩盤的水平速度場變化較大；在新化斷層以南地區，測站速率約 3-5 cm/yr，向西或西南運動，速度場呈現逆時針旋轉。另外北部地區則呈順時針旋轉，速度場由西北向逐漸轉向北和東北向，在宜蘭地區則由東北向漸轉至向東和東南向，且速度場由北往南漸增，其變形模式以橫移伸張（transtensional）變形為主。（圖 6）垂直速度場方向上則以西部彰雲地區、宜蘭平原、屏東平原、中央山脈東翼以及海岸山脈北段為主要下陷區域，中央山脈呈現以抬升為主的變形行為。各不同時期及類型之觀測結果經整合分析，可建立模型模擬斷層的活動特性，分析結果對斷層的活動度評估相當重要。

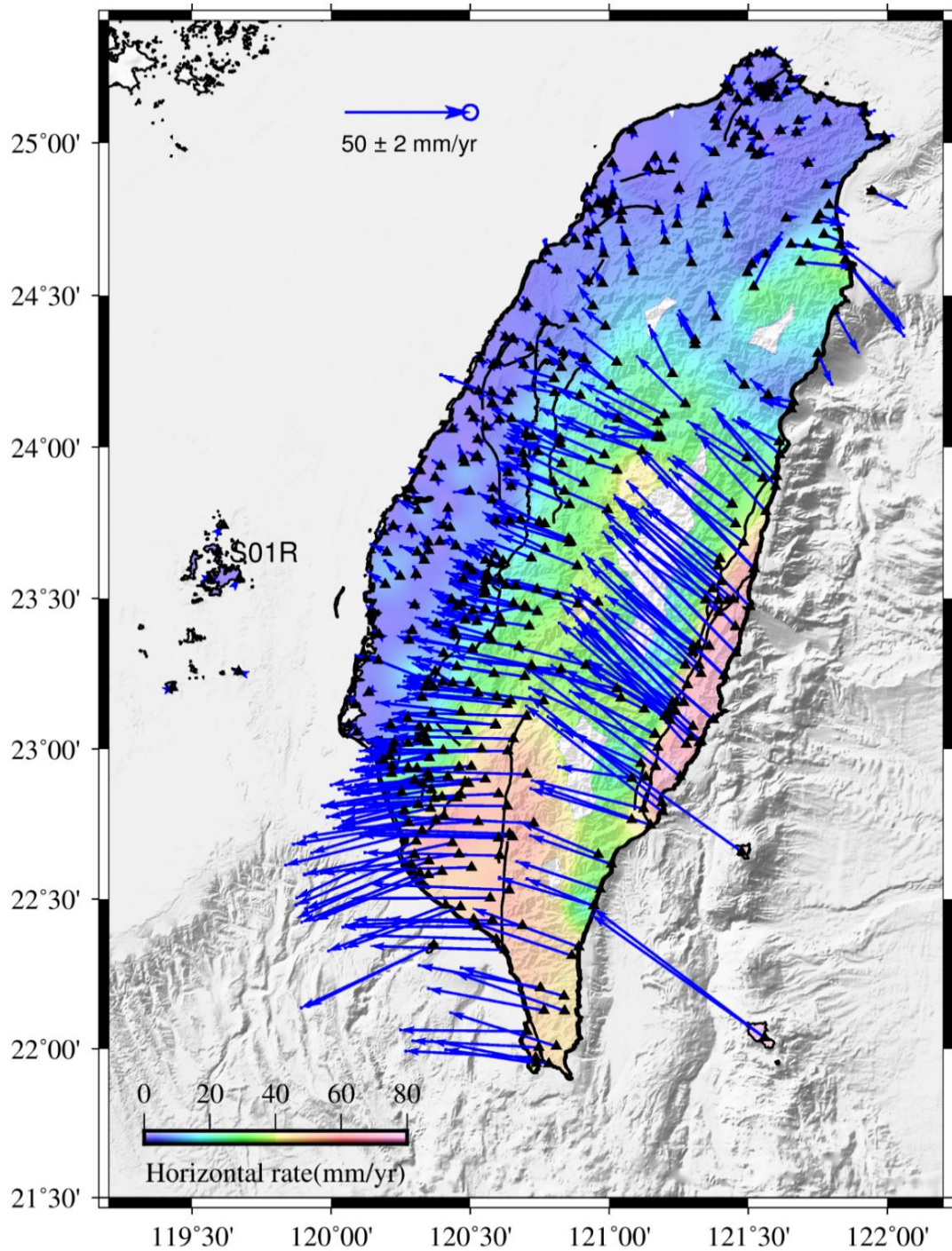


圖 6、2002 至 2020 年臺灣地區 GPS 移動測站及連續站相對於澎湖白沙站 (S01R) 之速度場分布圖。

(四) 地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估

綜整全臺之 GPS 連續站、GPS 移動站、精密水準測量及 PS-InSAR 衛星影像等觀測資料，推求全臺地表速度場，透過斷層模型建立，推估斷層滑

移速度、虧損率及最佳斷層幾何參數。

觀測結果顯示：中南部測站多為東南東往西北西移動，臺南以南地區多呈現東北往西南移動；另外北部地區則是由南往北移動，在宜蘭地區有一速度方向轉向東南的旋轉行為。縱谷斷層東側與西南部地區為水平速度較大的區域；垂直速度場以西部彰雲地區以及東部縱谷斷層西側為主要下陷區域，中央山脈呈現以抬升為主的變形行為。(圖 7)PSInSAR 資料顯示，北部區域的臺北盆地變形量較小，主要的下陷區域位於泰山、五股區域。中部地區在八卦山以南的彰化沿海地區與濁水溪以南雲林地區有明顯下陷。南部地區兩個主要的下陷區域位於沿海的嘉南地區以及南邊的屏東地區，臺南臺地則觀測到最大抬升變形。此外在跨過後甲里斷層、旗山斷層、龍船斷層、鳳山轉換帶、嶺頂斷層、池上斷層以及鹿野斷層兩側可以看到明顯的速度不連續性。(圖 8)

推求臺灣東部地區活動斷層之斷層滑移虧損率，結果顯示米崙斷層為 6.9 mm/yr，嶺頂斷層為 9.7 mm/yr，瑞穗斷層為 11.9 mm/yr，奇美斷層為 8.0 mm/yr，玉里斷層為 15.4 mm/yr，池上斷層為 9.4 mm/yr，鹿野斷層為 6.9 mm/yr，利吉斷層為 6.2 mm/yr。

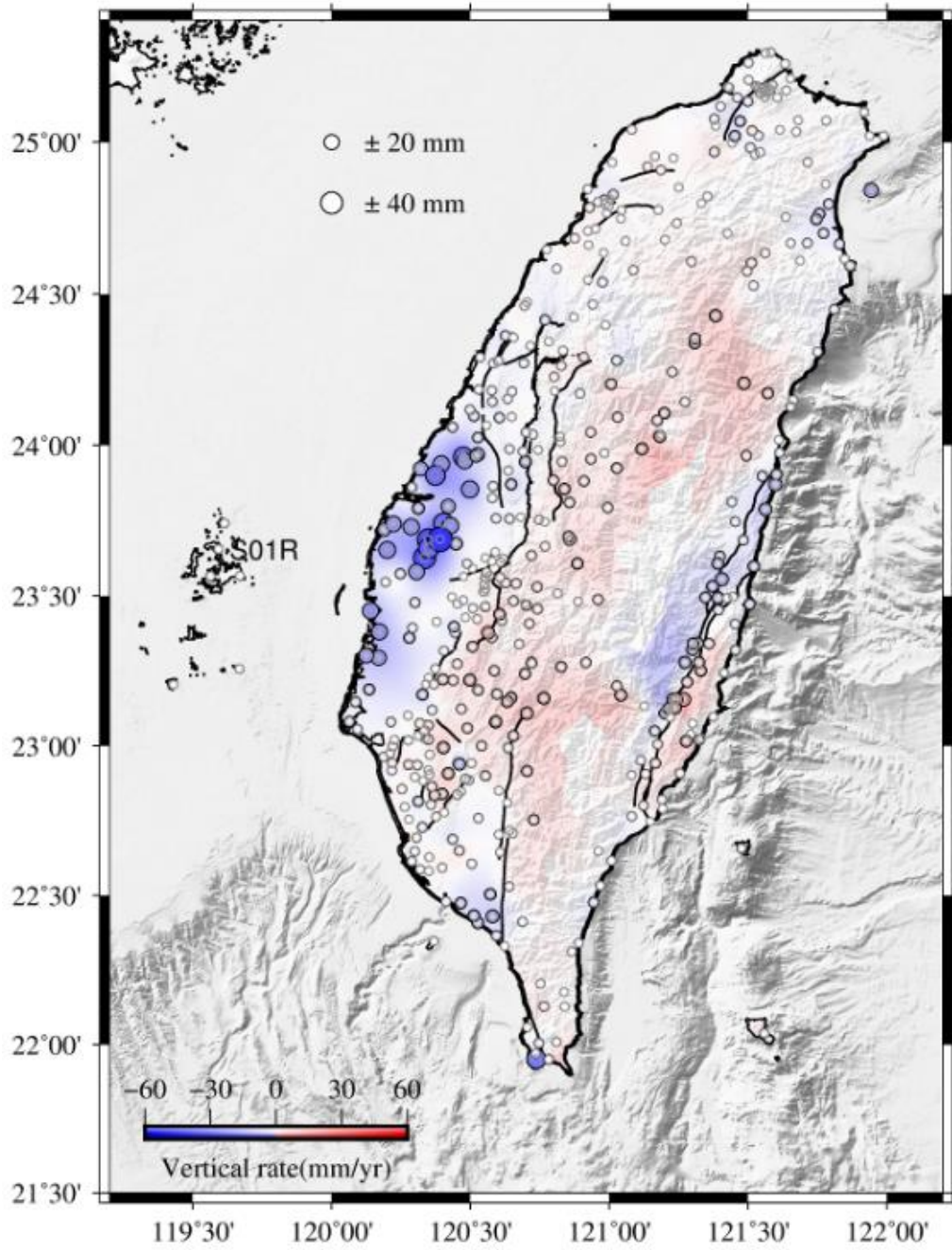


圖 7、全臺 GPS 連續觀測站測得之地表垂直速度場分布圖。整合歷史資料至 2020 年，並修正同震位移、震後位移、週期性變化及測站異常後，相對 S01R 澎湖白沙站之速度場。

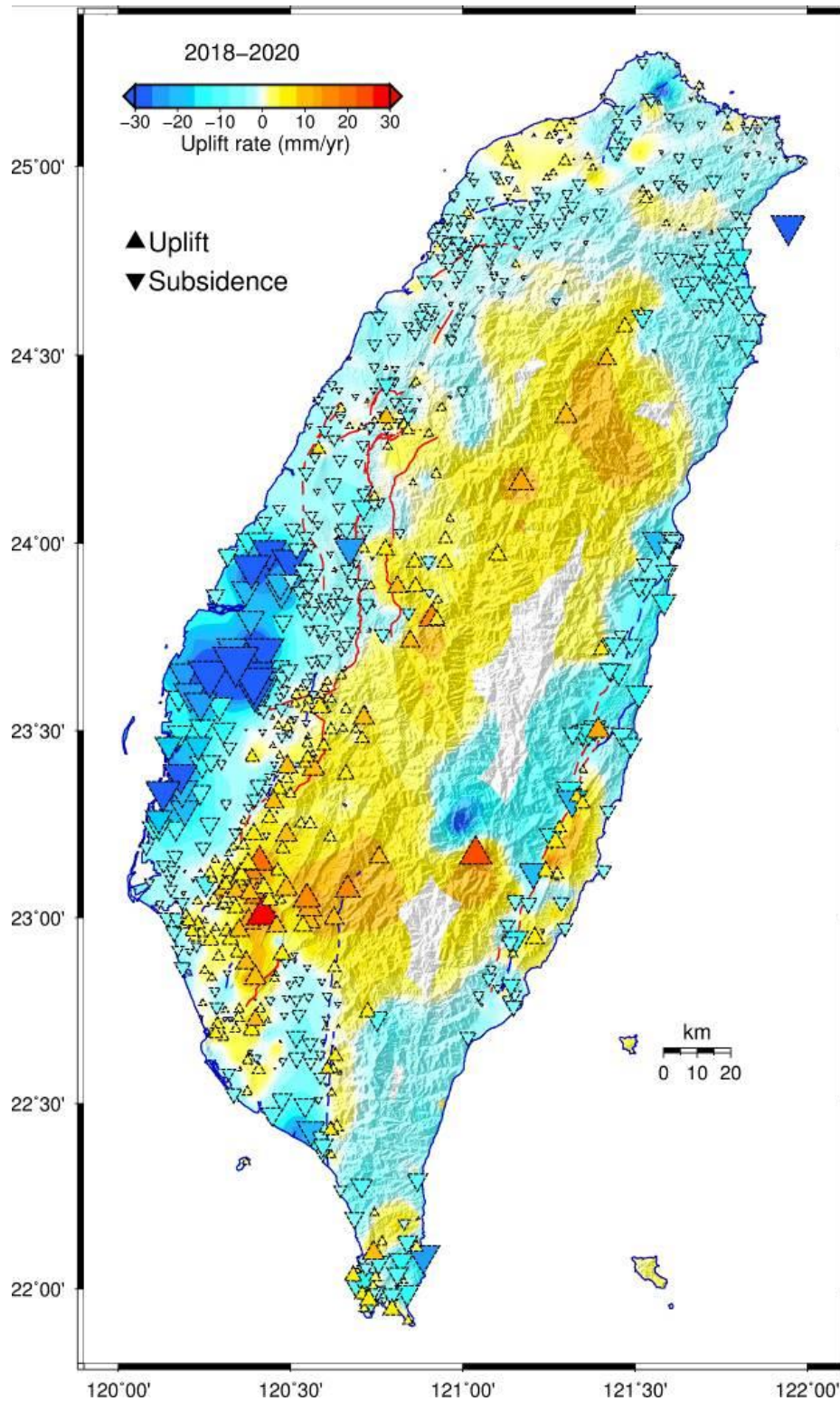


圖 8、SENTINEL-1 垂直方向年平均變動量（單位：mm/yr）。暖色系三角形代表地表變形抬升；冷色系倒三角形代表地表變形下降。三角形為連續 GPS 測站垂直方向位移速率。

(五) 2020 年臺灣活動斷層潛勢圖

本計畫參酌美國、日本對於斷層引發地震潛勢評估方法，從文獻資料致力收集相關斷層參數，包含斷層幾何（斷層長、斷層寬、斷層傾角）、斷層分段及長期滑移速率。使用彙整的斷層參數計算斷層面積之後，進一步估算特徵地震規模，於此每個斷層對應的回歸週期即可被予以估算。最後，選擇適當的機率模型估算活動斷層在未來 30 年、50 年和 100 年之發震潛勢。

本年度為計畫最終年，全案重點事項為檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新進行現階段臺灣 33 條活動斷層之邏輯樹與斷層潛勢機率評估，並以機率法評估活動斷層特徵地震規模之發生機率，完成全臺活動斷層潛勢圖(圖 9)，此外亦彙整如臺南前緣構造、右昌構造及龍船構造等活動構造之震源參數。

後續成果可應用於全臺後續之地震危害度分析及地震模擬等衍生性研究與防災實務應用上，更可進一步應用於國土計畫、地震安全規定的建築規範、災害防救、緊急應變、地震保險及計算重要工程之最大耐震度等實務貢獻，並可提供國人於減災觀念提昇之教育推廣。

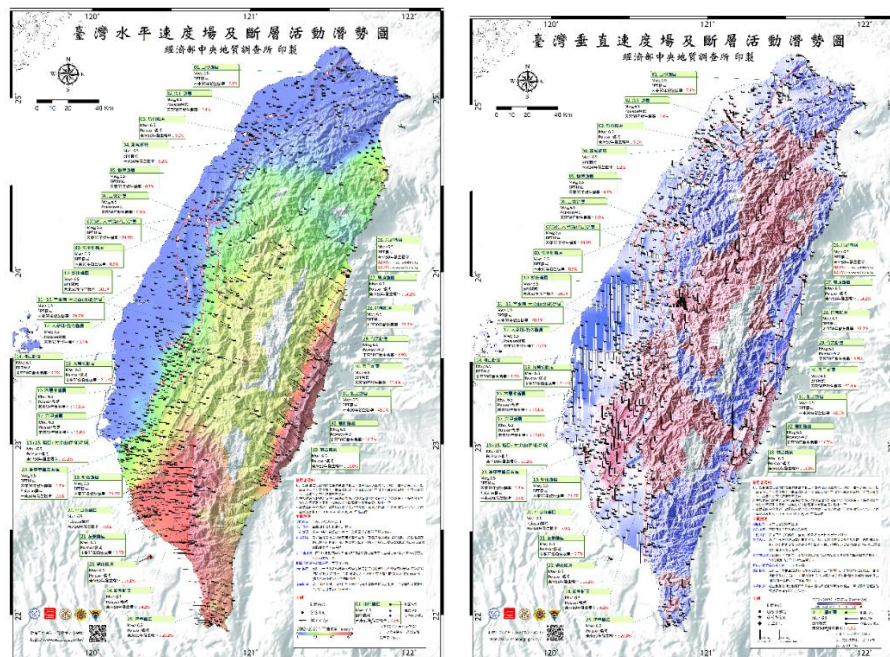


圖 9、（左）2020 年臺灣水平速度場及斷層活動機率圖；（右）2020 年臺灣垂直速度場及斷層活動機率圖。

(六) 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。

此外，本所活動斷層查詢網頁以 Google 地圖與 Google 衛星影像為底圖，結合 ESRI ArcGIS JavaScript API 與全國門牌地址定位 API，提供活動斷層空間位置展現，行政區暨門牌地址定位與活動斷層定位及環域分析。活動斷層查詢網站之功能架構主要可以分為基本圖台、定位功能、圖層套疊功能、活動斷層資訊查詢與活動斷層資訊匯出等五項功能模組。既有活動斷層查詢網頁之斷層資訊以條帶地質圖及說明文字形式呈現。(圖 10)

本網頁除了既有活動斷層查詢功能，亦加入擴充之斷層資訊，包含斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果，透過圖形化互動介面，公開相關研究成果，公開活動斷層資訊，提供民眾查詢活動斷層資訊，及提供活動斷層知識供民眾了解，滿足民眾知的權利。(圖 11)

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，包括烏山頭水庫、中山大學仁武校區、2018 台中花博、國道 7 號、豐原-東勢生活圈快速道路、龍崎掩埋場、淡北快速道路、馬頭山掩埋場等案，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。



圖 10、中央地質調查所活動斷層查詢系統。



圖 11、活動斷層查詢網站示意圖。