



20220917 關山地震、0918 池上地震 地質調查報告

第二部分：

大地測量地表變形觀測結果



經濟部中央地質調查所

中華民國 111 年 11 月 7 日

地表變形分析：陳建良、梁均合、梁勝雄、陳盈璇、
潘乙喬、鄭智仁、黃志遠、林楊閔、王怡方、李忠勳

報告撰寫：陳建良、梁勝雄、梁均合、陳盈璇

目錄

摘要	1
一、前言	2
二、917 關山地震及 918 池上地震概述	3
三、大地測量觀測方法說明	9
四、花東地區近十年來的地表變形情形	14
五、917 關山地震同震位移結果	16
六、918 池上地震同震位移結果	19
七、合成孔徑雷達影像差分干涉觀測結果	24
(一)原理說明	24
(二)衛星影像干涉結果	25
八、斷層模擬結果	26
(一)原理說明	26
(二)斷層模型模擬結果	27
九、結論與建議	30
致謝	47
參考文獻	47

圖目錄

圖 1：中央氣象局 20220917 關山地震報告	4
圖 2：中央氣象局 20220917 關山地震震源機制解求解型態與地震波 反演之擬合結果	5
圖 3：917 關山地震餘震分布圖	6
圖 4：中央氣象局 20220918 池上地震報告	7
圖 5：中央氣象局 20220918 池上地震震源機制解求解型態與地震波 反演之擬合結果	8
圖 6：918 池上地震餘震分布圖	9
圖 7：GNSS 連續追蹤站	11
圖 8：GNSS 移動站野外測量觀測情形	11
圖 9：GNSS 移動站野外測量照片拍攝位置	12
圖 10：水準測量基本原理示意圖	13
圖 11：精密水準測量工作情形	13
圖 12：東部地區相對於澎湖白沙站 (S01R) 之水平方向速度場 .	15
圖 13：東部地區相對於澎湖白沙站 (S01R) 之垂直方向速度場 .	15
圖 14：917 關山地震 GNSS 連續觀測站水平方向同震位移分布圖 .	17
圖 15：917 關山地震 GNSS 連續觀測站垂直方向同震位移分布圖 .	18
圖 16：測量點位分布圖	20
圖 17：918 池上地震 GNSS 測量水平方向同震位移分布圖	21
圖 18：918 池上地震 GNSS 測量垂直方向同震位移分布圖	22
圖 19：918 池上地震水準測量垂直方向同震位移圖	23
圖 20：利用不同時間的合成孔徑雷達影像干涉圖	24

圖 21：917 關山地震與 918 池上地震之雷達差分干涉同震地表變位 圖	25
圖 22：地震斷層模型地表變形水平方向位移擬合結果	28
圖 23：地震斷層模型地表變形垂直方向位移擬合結果	29
圖 24：地震斷層模型斷層面滑移分布情形	29
圖 25：917 關山地震、918 池上地震地表破裂與地表水平位移的關 係圖	31
圖 26：917 關山地震、918 池上地震地表破裂與地表垂直位移的關 係圖	32
圖 27：917 關山地震及 918 池上地震地表破裂情形	33
圖 28：917 關山地震及 918 池上地震地表破裂調查位置圖	34

表目錄

表 1：917 關山地震前後之 GNSS 連續追蹤站同震位移資料表	36
表 2：918 池上地震前後之 GNSS 連續追蹤站同震位移資料表	38
表 3：二次地震前後之 GNSS 移動站同震位移資料表	40
表 4：二次地震前後之精密水準測量同震位移資料表	43
表 5：精密水準測線長度資料表	46

摘要

「20220917 關山地震、0918 池上地震地質調查報告」(下稱本報告)以全球導航系統 (Global Navigation Satellite System; 簡稱 GNSS) 連續站、GNSS 移動站(Campaign Mode GNSS)、精密水準測量(Precise Leveling)與衛星雷達差分干涉影像 (DInSAR) 技術等大地測量觀測方式解析 917 關山地震與 918 池上地震之地表變形情形。

觀測結果顯示，917 關山地震最大同震位移量發生在震央所在之關山測站 KUA2。同震位移之水平分量於池上斷層以西朝南方位移且抬升，以東則無顯著水平向與垂直向位移。918 池上地震則造成大範圍之顯著位移，同震位移大致呈以花東縱谷走向為界線，東側的海岸山脈地區朝西北方向位移，且呈下陷情形；西側的中央山脈地區朝西南方向位移，且呈抬升情形。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的臺東池上鄉福原國小 (GC35 測站)、最大垂直位移為震央東北側的花蓮卓溪古風國小 (GE53 測站)。DInSAR 干涉結果顯示，二次地震造成花東縱谷南北長約 80 公里地表變形，除了位於震央的關山與池上外，震央北邊的玉里與瑞穗也有顯著的地表變形位移量；震央南邊的鹿野及卑南地區也有為數不少的干涉環出現。斷層模擬可能的斷層面走向為 015 度，深度約 0 至 15 km，斷層面向西傾斜，傾角約 80 度。

一、前言

2022年9月17日及9月18日於臺東發生兩起規模6.4及規模6.8的地震，震央分別位於臺東關山及臺東池上，二地震之震源深度約7 km。本年度於臺灣東部已發生多起規模大於6之地震事件，3月23日臺東近海長濱地震、6月20日花蓮光復地震、9月17日關山地震及9月18日池上地震。歐亞板塊及菲律賓海板塊不斷斜向擠壓的作用，使臺灣經歷多次的大規模災害性地震（Bonilla, 1975, 1977; Cheng and Yeh, 1989），其中最顯著的例子即是1999年發生在臺灣中部的集集地震。而臺灣東部的花東縱谷為菲律賓海板塊與歐亞板塊碰撞的縫合帶，1951年的地震事件發生在地震活動最高的縱谷中段地區，顯示縫合帶上的斷層有非常高的地震潛能（Yen et al., 2018）。而今年除3月之長濱地震為向東傾斜之斷層活動外，6月及9月三起地震事件皆為向西傾斜之斷層活動，另2006年卑南地震及2013年瑞穗地震亦為向西傾斜斷層之活動，這些地震事件使我們更加瞭解東部地區斷層的活動特性。

為瞭解地震後的變形情形，經濟部中央地質調查所(下稱本所)運用GNSS連續追蹤站觀測、GNSS移動站與精密水準測量觀測資料進行聯合分析，共計使用44個GNSS連續追蹤站、80個GNSS移動站觀測資料進行整體平差與解算；以及紅葉-靜浦測線及東成-富岡測線二條跨斷層的精密水準測量，長度合計57公里（表4），這二條測線較能反映地震同震變形情形，因此在年度測量的工作中適時予以加測。

本報告為同震地表變形觀測部分，主要在說明917關山地震與918池上地震同震變形情形，由於二次地震的發生時間相近，無法及

時於地震間進行野外測量工作，因此917關山地震的同震變形僅能由GNSS連續觀測站資料進行評估。

二、917 關山地震及 918 池上地震概述

2022 年 9 月 17 日於臺東陸上發生規模 6.4 的地震，震央位於臺東縣關山鎮 (23.08°N , 121.16°E)，震源深度約 7.3 km，於花東地區造成地表破裂，且餘震頻繁。中央氣象局即時震度資訊顯示，全島都能感受到這次地震所引起的震動，最大震度為臺東池上 6 強 (圖 1)。由中央氣象局公布的震源機制解指出 (圖 2)，本次地震為左移兼具逆衝斷層所造成，可能為走向近南-北向之向西傾斜斷層型態。地震之餘震分布如圖 3 所示，主要沿著近南北向分布，而深度約在 10 公里範圍內。

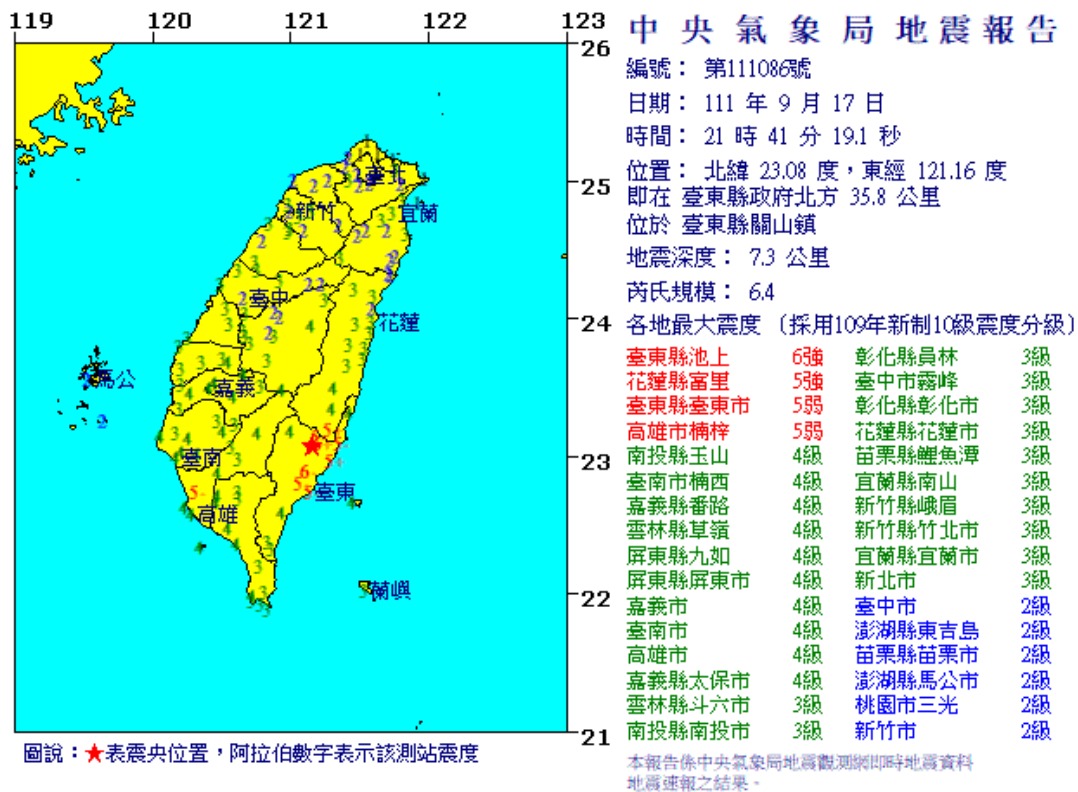


圖 1：中央氣象局 20220917 關山地震報告

(<https://scweb.cwb.gov.tw/zh-tw/earthquake/imgs/20220917關山地震21411964086>)。

Event ID:

Date: 2022 / 9 / 17 Time: 13 : 41 : 19.0
Epicenter: 23.0777 N 121.1630 E
Depth: 17 km
Mw: 6.418
Nodal plane: 192.76 / 80.60 / 4.18
Nodal plane: 102.08 / 85.88 / 170.57
CLVD: 27.03 % Isotropic: 0.00 %
Avg Misfit: 0.594

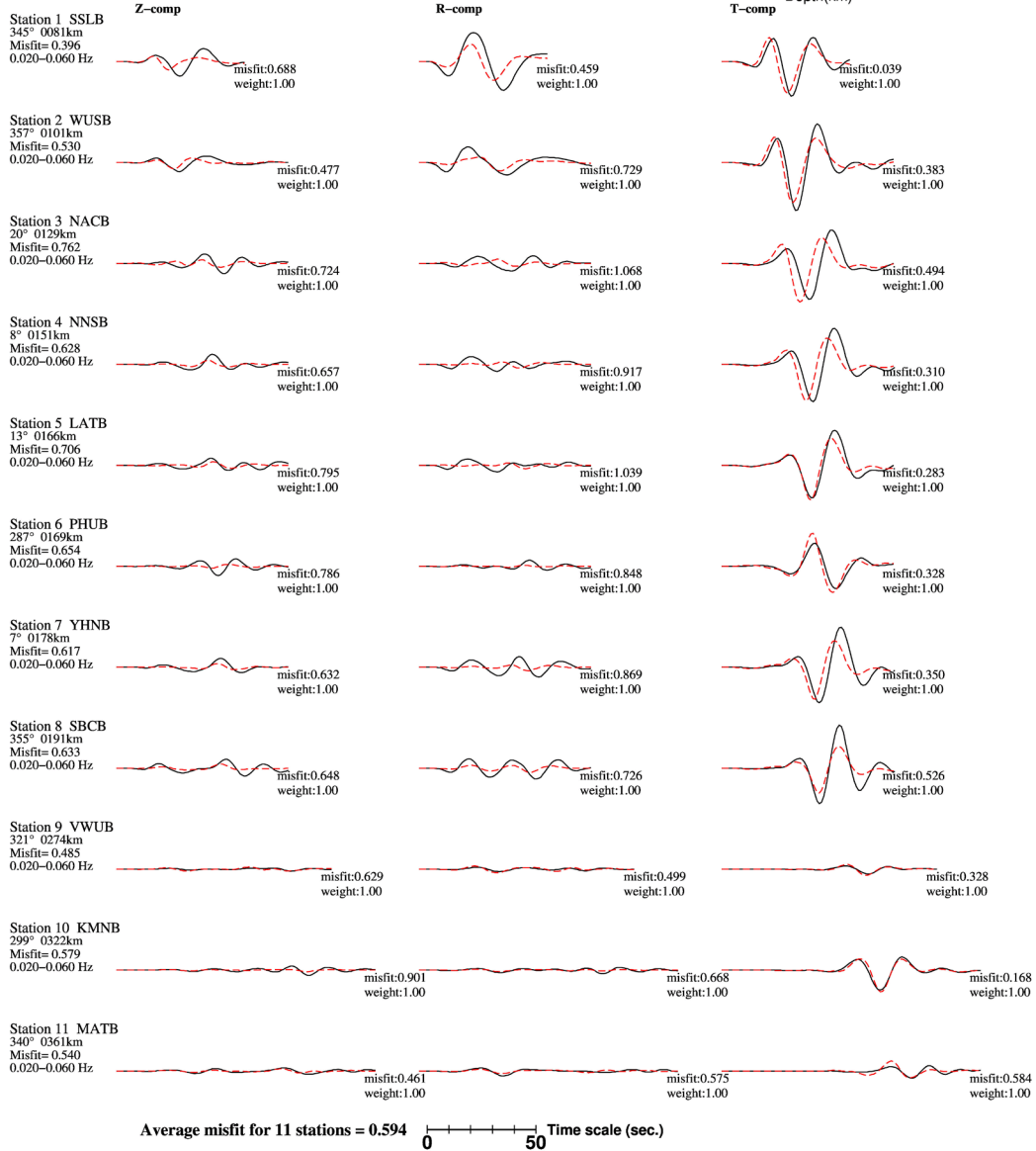
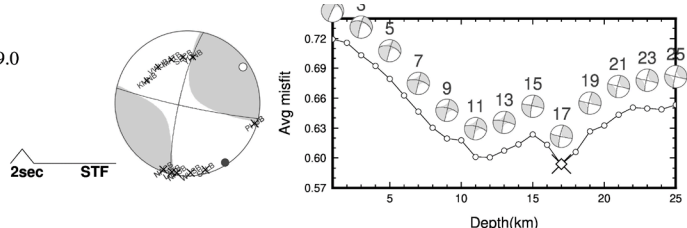


圖 2：中央氣象局 20220917 關山地震震源機制解求解型態與地震波反演之擬合結果 (<https://scweb.cwb.gov.tw/zh-tw/earthquake/cmt/20220917> 關山地震 21411964086)。

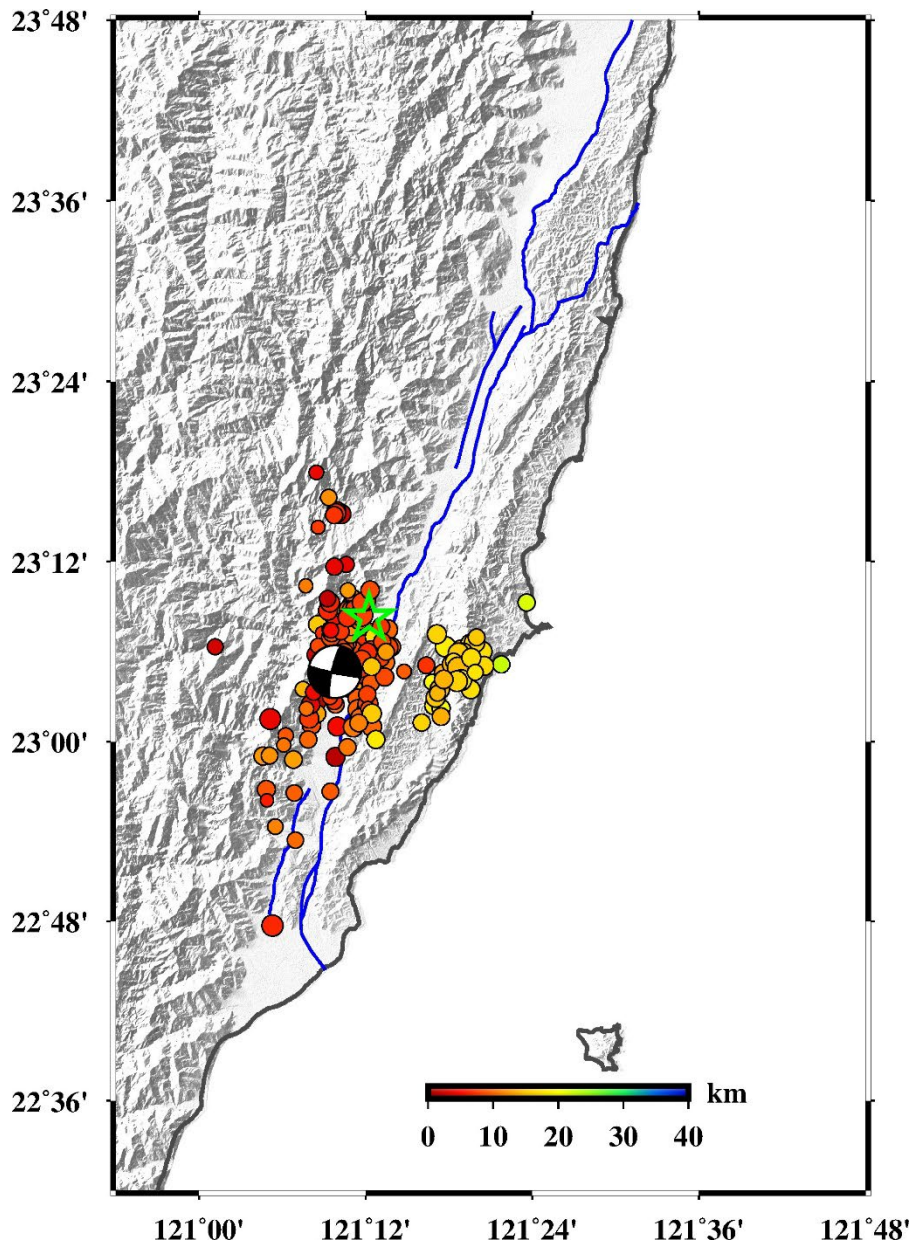


圖 3：917 關山地震餘震分布圖。海灘球表示為此次地震之震源機制解；圓點表示為餘震分布；綠色星號為 918 池上地震事件之震央位置；藍色實線為活動斷層（地震資料來源:GDMS，時間段為 917 關山地震後至 918 池上地震前）。

2022 年 9 月 18 日於臺東陸上發生規模 6.8 的地震，震央位於臺東縣池上鄉（ 23.14°N , 121.2°E ），震源深度約 7.0 km，地震造成花東地區大規模地表破裂，且餘震頻繁。中央氣象局即時震度資訊顯示，全臺都能感受到這次地震所引起的震動，最大震度在臺東池上 6

強（圖 4）。由中央氣象局公布的震源機制解指出（圖 5），本次地震為左移兼逆衝斷層所造成，其可能為走向北北東-南南西之向西傾斜斷層型態。此次地震之餘震分布如圖 6 所示，主要沿著北北東-南南西走向往南、往北分布，而深度約在 10 公里範圍內。

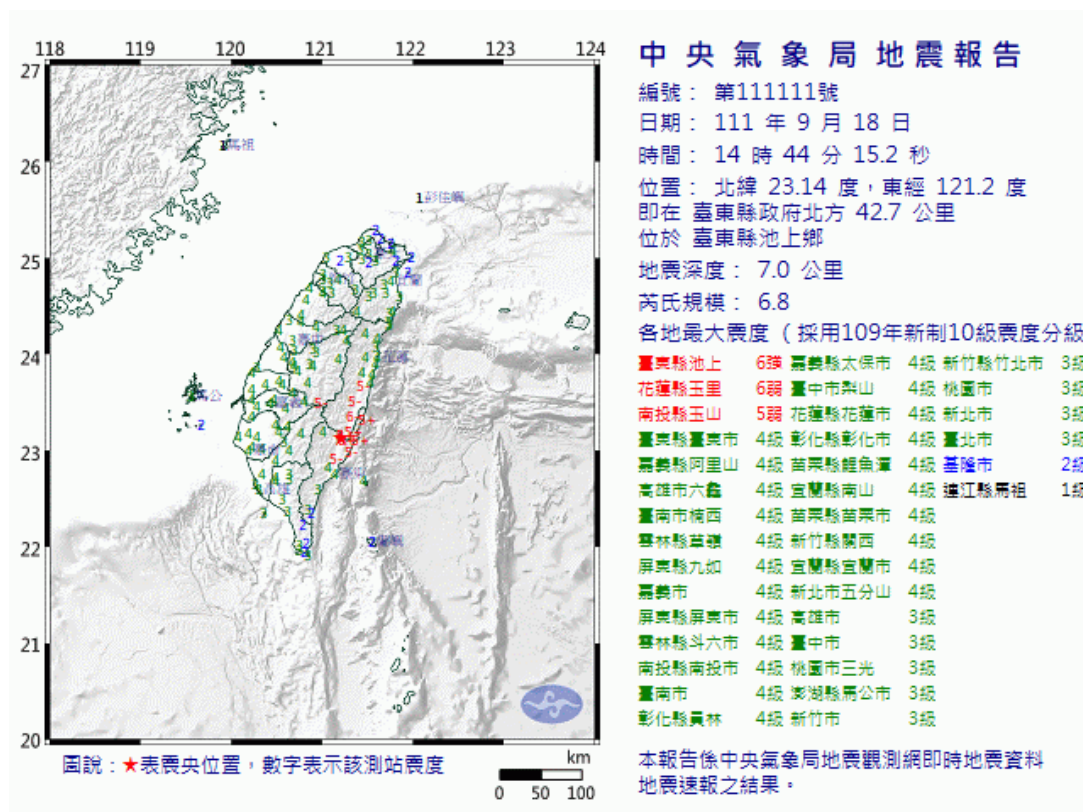


圖 4：中央氣象局 20220918 池上地震報告

(<https://scweb.cwb.gov.tw/zh-tw/earthquake/imgs/2022091814441568111>)。

Event ID:

Date: 2022 / 9 / 18 Time: 6 : 44 : 15.0
 Epicenter: 23.1375 N 121.2040 E
 Depth: 25 km
 Mw: 6.689
 Nodal plane: 96.99 / 77.84 / 171.35
 Nodal plane: 188.82 / 81.55 / 12.30
 CLVD: 13.50 % Isotropic: 0.00 %
 Avg Misfit: 0.781

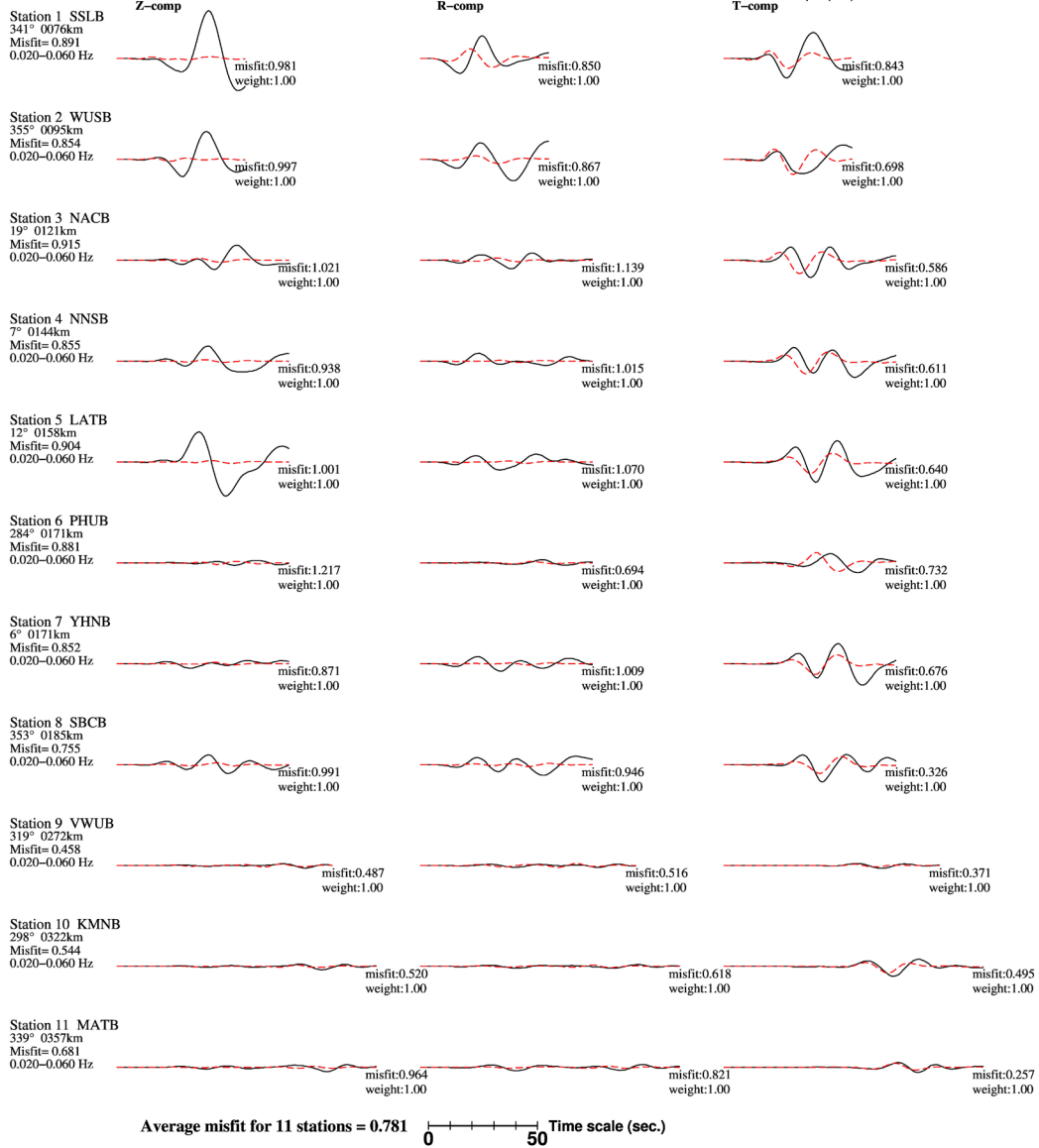
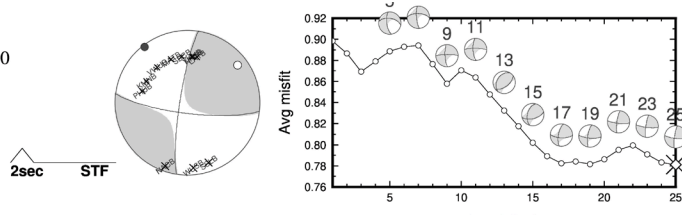


圖 5：中央氣象局 20220918 池上地震震源機制解求解型態與地震波反演之擬合結果 (<https://scweb.cwb.gov.tw/zh-tw/earthquake/cmt/2022091814441568111>)。

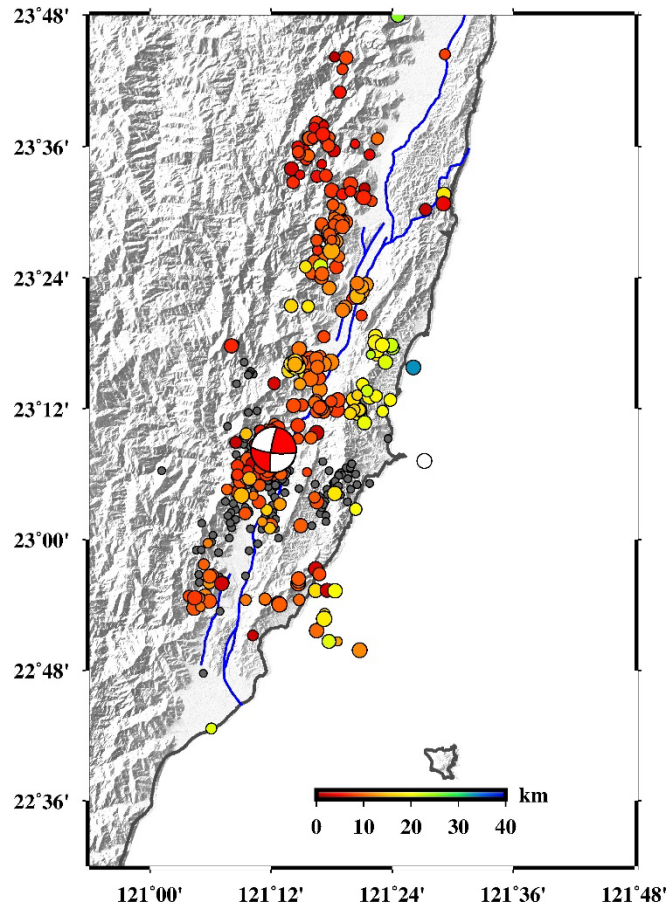


圖 6：918 池上地震餘震分布圖。海灘球表示為此次地震之震源機制解；圓點表示為餘震分布，黑色圓點表示 917 關山地震之餘震分布，以色階表示深度變化之圓點為 918 池上地震後的餘震；藍色實線為活動斷層（地震資料來源:GDMS，時間段為 918 池上地震後至 9 月 30 日）。

三、大地測量觀測方法說明

震後較快速的變形結果由GNSS連續追蹤站取得，利用固定場址設立的天線架進行長期且連續地精密定位（圖7），毋須赴野外作業即可獲得資料進行解算與分析。連續站接收儀(Receiver)使用雙頻、多星系接收儀，抗多路徑效應天線盤(Antenna)於透空度良好站址進行連續性觀測，觀測資料記錄間隔為每1秒一筆及每30秒一筆，藉由

資料紀錄密度的差異特性，分別運用於同震及間震時期，衛星接收資料以網路即時將數據回傳至控制室，配合精密星曆進行解算，得到每個站即時的坐標，藉此獲取同震的地表變形訊息。

GNSS移動站測量依照排定之觀測計畫，每日安排10~15部儀器與人員進行野外測量，架設儀器時需在已埋設的地殼變動基準點上，以取得其共同的變動基準（圖8、圖9）；觀測同時段所有儀器均須同步且持續地接收衛星訊號達6小時以上，以獲得足夠之觀測精度，觀測值在觀測期間可以換算取得各點位的位移量或位移速度，由於移動式GNSS測量屬非連續性資料，因此利用階層函式以等速度擬合坐標時間序列來獲得同震位移，可降低觀測時間(t)對於觀測結果的影響量。

精密水準測量外業通常為三人一組進行，觀測人員在二之標尺中間透過水準儀進行觀測，前、後豎立標尺。藉由觀測前、後標尺讀數 (f_i 、 r_i) 相減後得到兩標尺間的高程差 (Δh_i) (圖10)，逐站累積計算後就可以獲得二個水準點的高程差值。一般多於夜間施測，若於白天施測時，觀測時間應避開艷陽高照之時段測量(圖11)。觀測時間於冬天早上於黎明至10時，下午於15~17時；夏天早上於黎明至9時，下午於16至19時。



圖 7：GNSS 連續追蹤站，測站設於透空度良好地點，天線罩內為天線，使用穩定之電力系統接收衛星訊號，透過網路傳送觀測資料。



圖 8：GNSS 移動站野外測量觀測情形(黃志遠拍攝)。

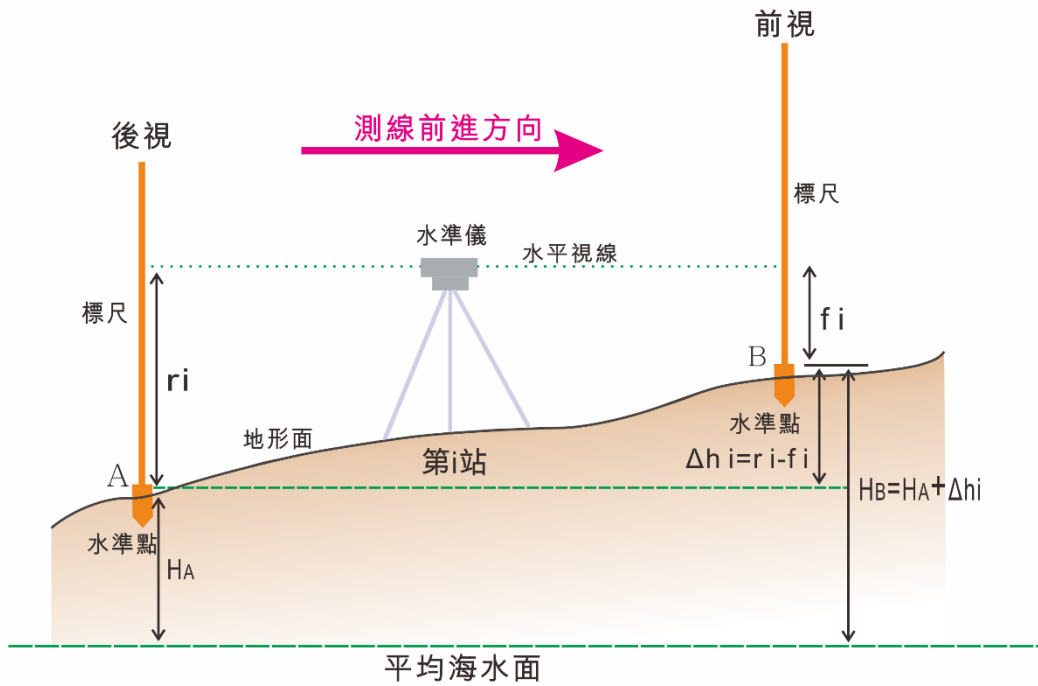


圖 10：水準測量基本原理示意圖（梁勝雄與陳建良，2019）。



圖 11：精密水準測量工作情形，於跨斷層之柏油道路上進行，依內政部一等水準測量作業實施規範（內政部，2014）施作。

四、花東地區近十年來的地表變形情形

近期的大地測量成果指出，花東縱谷正以每年約 40 mm/yr 的速度相互聚合（例如：Yu et al., 1997）。池上斷層表現出地表潛移的行為，池上地區之速度剖面顯示斷層以約 20-30 mm/yr 的速率在潛移（Angelier et al., 1997; Lee et al., 2001）。

透過本所長期執行之精密水準測量與衛星導航系統觀測結果顯示，本區水平速度場位移方向為北偏西，每年位移速率超過3公分，於2013年之瑞穗地震、2018年之花蓮地震，改變了較長時期穩定之速度場，因此我們在評估花東地區速度場時，考慮了地震的影響，將同震時期的顯著變形量扣除，將速度場區分三個時間段分別估算不同區間的速度場，得到2002至2013年水平速度量值分布於13.6-70.2 mm/yr、2013至2018年速度量值9.12-69.8 mm/yr、2018至2021年速度量值9.8-63.2 mm/yr（圖12，景國恩等，2021）。

垂直速度場方面，在花東縱谷東側的海岸山脈與西側的中央山脈變形機制在北、南段差異顯著（Chen, et al., 2021），海岸山脈南段沉陷較小，北段垂直變形則大致呈現下陷，跨池上斷層的兩側有不同的運動方向，東側約有10mm/yr 的抬升速度，而西側約有10 mm/yr的沉降速度，其中光復-豐濱測線在2013年瑞穗地震後沉陷速度變大，值約13.9-34.8 mm/yr。精密水準測量時間序列分析結果顯示，紅葉-靜浦、龍澗-嶺頂及光復-豐濱測線，在2009年以及2013年瑞穗地震後均發生速度場之變化（圖13）。整體而言，東部地區由於處於板塊聚合處，速度場相較臺灣其他地區快速許多。

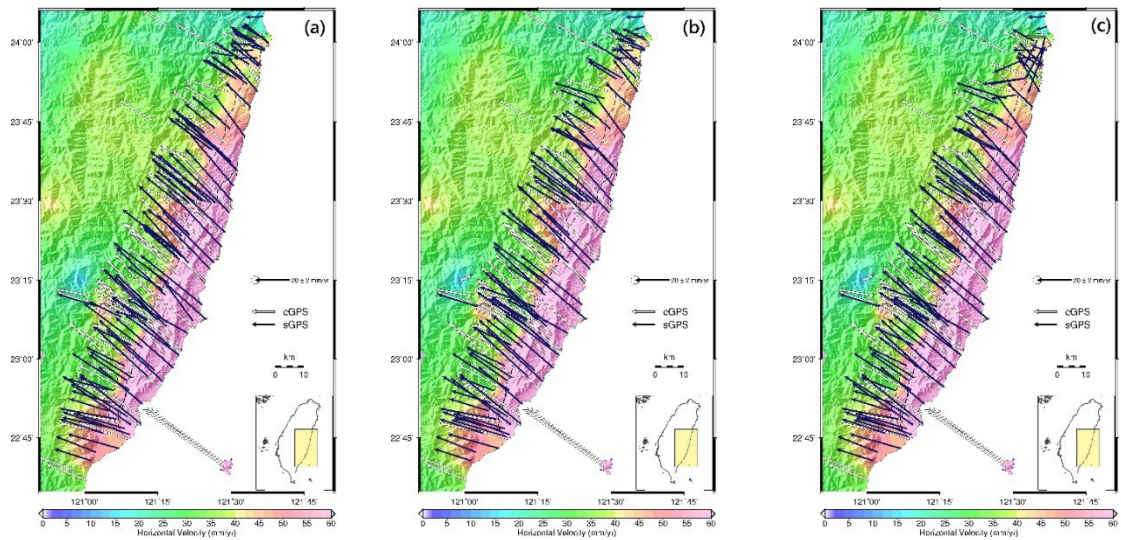


圖 12：東部地區相對於澎湖白沙站（S01R）水平方向速度場，左圖表示 2003~2009 年速度場，彩色色階為資料解算之速度場分布色階圖。(a)表示 2002-2013 年速度場，(b)表示震後 2013-2018 年速度場，(c)表示震後 2018-2021 年速度場。

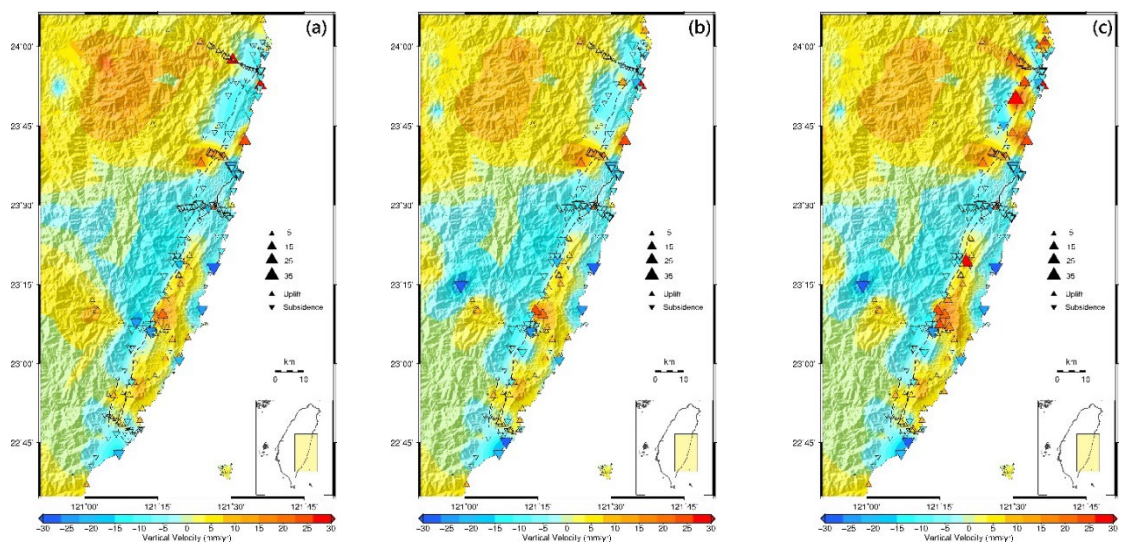


圖 13：東部地區相對於澎湖白沙站（S01R）垂直方向速度場，左圖表示 2003~2009 年速度場，彩色色階為資料解算之速度場分布色階圖。(a)表示 2002-2013 年速度場，(b)表示震後 2013-2018 年速度場，(c)表示震後 2018-2021 年速度場。

五、917 關山地震同震位移結果

以美國NASA實驗室開發的GIPSYX軟體程式解算地震發生前後七天之每日坐標解，包含2022年9月10日至2022年9月25日間的觀測資料，計算發震時間前後期間的坐標加權平均值，同震位移量則是地震後之坐標平均值減去地震前之坐標平均值。

同震位移結果指出，此次地震造成之同震位移集中在震央 10 公里範圍內，範圍以外地區較無顯著之同震位移。最大同震位移量，出現在鄰近震央之關山測站 KUA2，水平位移方向往南南西移位 171.03 mm(圖 14 及表 1)，垂直方向抬升 102.19 mm(圖 15 及表 1)。整體而言，同震位移場顯示於池上斷層以西朝南方位移且抬升，以東則無顯著水平向及垂直向位移，相較之後的 918 池上地震位移小很多。

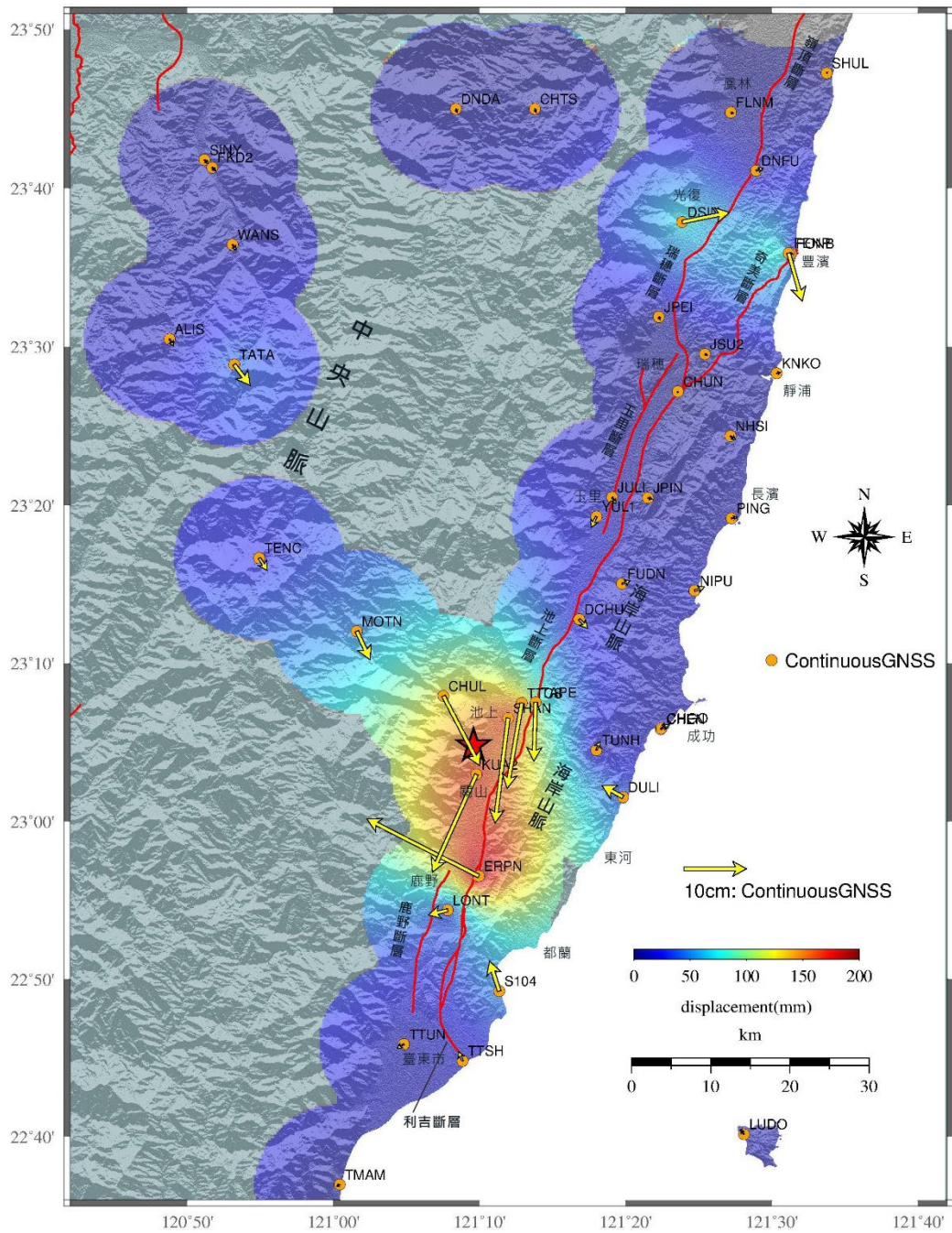


圖 14：917 關山地震 GNSS 連續觀測站水平方向同震位移分布圖，箭頭代表水平位移方向、長度代表量值，彩色色階顯示等值化之成果（資料搜尋半徑設為 20 公里）。

六、918 池上地震同震位移結果

GNSS 連續站使用 9/18 地震發生前（917 關山地震後）至地震後 9/25 日之資料進行解算(表 2)；GNSS 移動站(表 3)及精密水準測量則考量 GNSS 連續站的解算結果，選擇測區範圍後，委請中興測量公司進行野外測量，GNSS 移動站觀測時間由 10/3-11；精密水準測量觀測時間由 10/3-9，GNSS 移動站及精密水準測量的結果包含 917 關山地震的影響量，各觀測站分布情形如圖 16。

同震位移結果顯示，此次地震造成大範圍之顯著位移，同震位移大致呈以花東縱谷走向為界線，東側的海岸山脈地區朝西北方向位移，且呈下陷情形；西側的中央山脈地區朝西南方向位移，且呈抬升情形。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的臺東池上鄉福原國小（GC35 測站），往西南方向位移 98.5 公分(圖 17)；最大垂直位移為震央東北側的花蓮卓溪古風國小(GE53 測站)，垂直抬升 97.5 公分(圖 18)；精密水準測線由於位置距離震央相對較遠，因此觀測到的垂直變形量較小，最大為紅葉-靜浦測線上之紅葉內溫泉水準點(W031)，抬升 81.3mm(圖 19 及表 4)。



紅葉-靜浦水準測線



東成-富岡水準測線

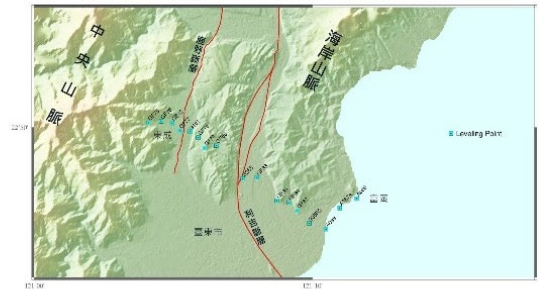


圖 16：測量點位分布圖，左圖為東部地區 918 池上地震測量點位分布圖，包含 GNSS 連續站、GNSS 移動站及精密水準測量點位；右圖為二條水準測線分布範圍放大圖，以呈現各水準點之相對位置。

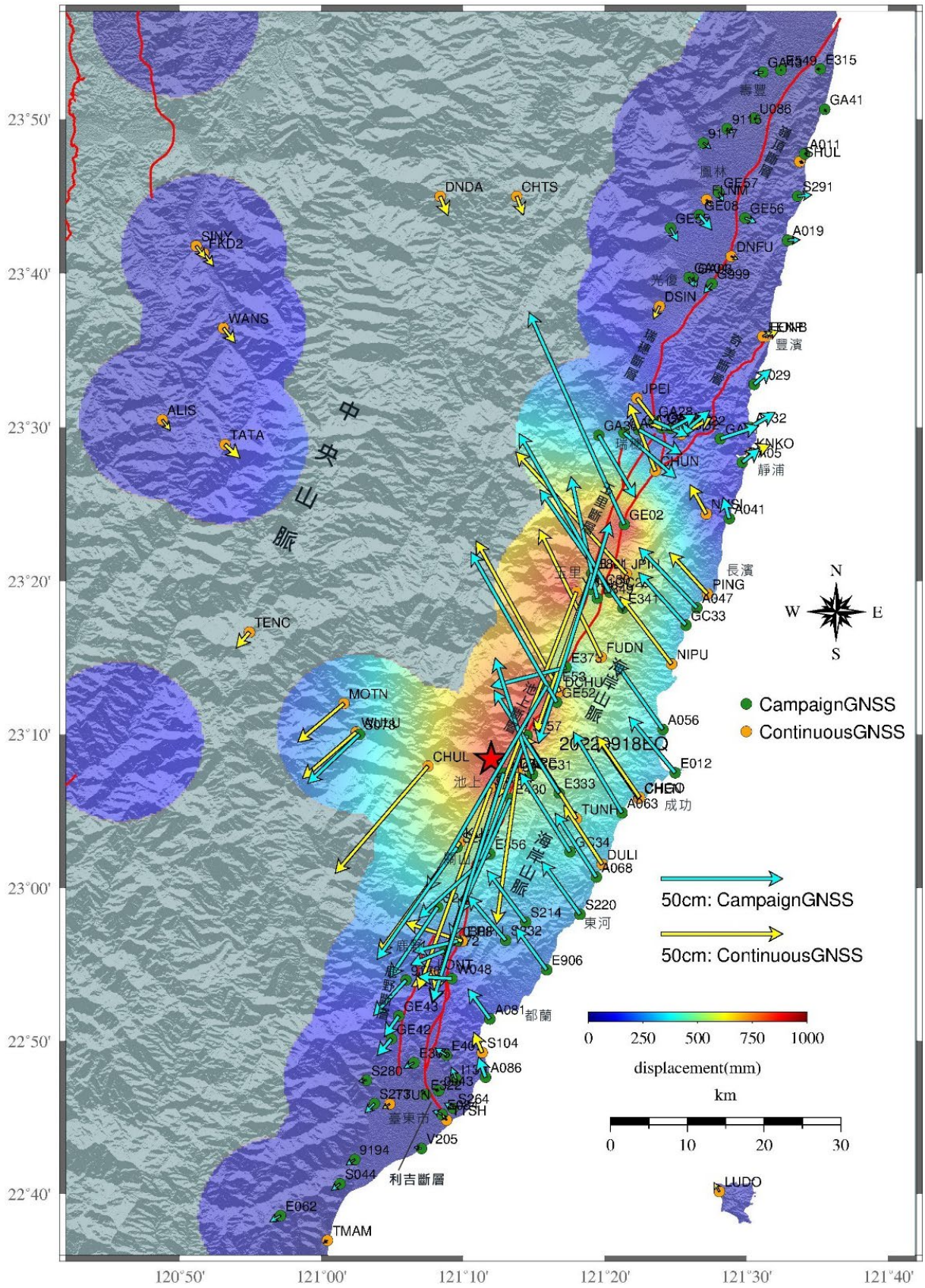


圖 17：918 池上地震 GNSS 測量水平方向同震位移分布圖，箭頭代表水平位移方向、長度代表量值，彩色色階顯示等值化之成果。

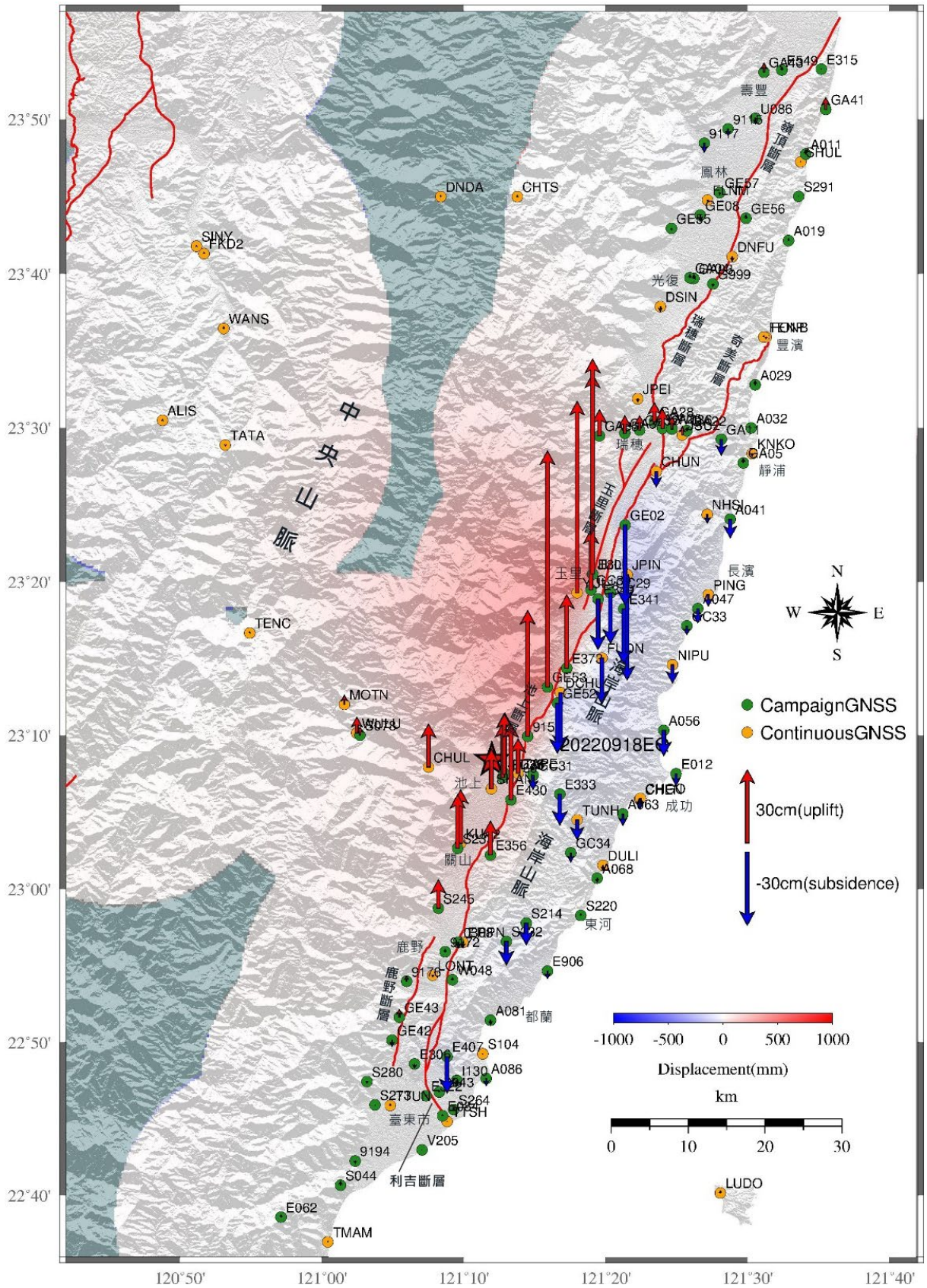


圖 18：918 池上地震 GNSS 測量垂直方向同震位移分布圖，箭頭代表水平位移方向、長度代表量值，彩色色階顯示等值化之成果。

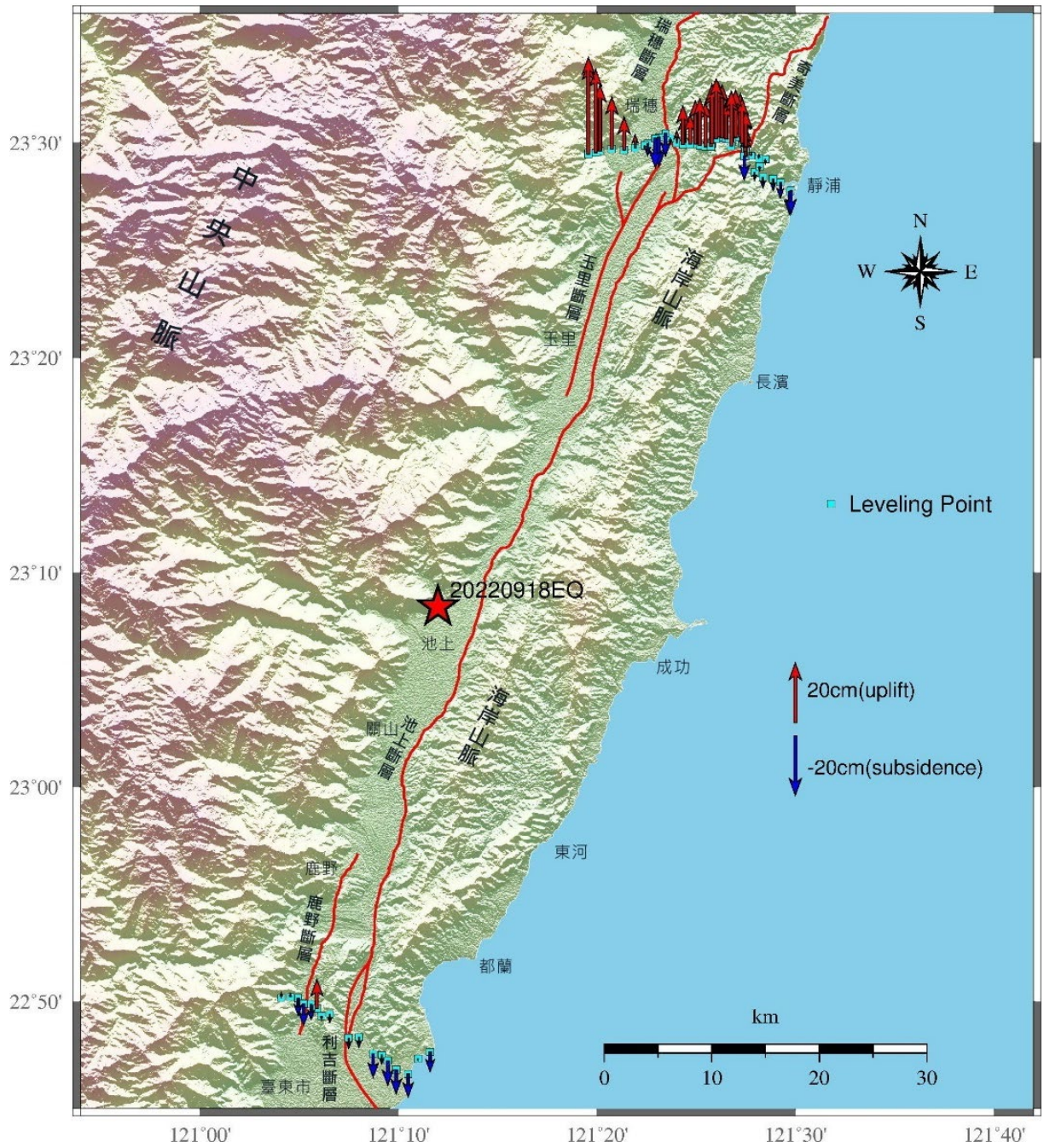


圖 19：918 池上地震水準測量垂直方向同震位移圖，箭頭代表垂直位移方向、長度代表量值。

七、合成孔徑雷達影像差分干涉觀測結果

(一)原理說明

將地震前的合成孔徑雷達影像當作參考影像，地震後的影像作為主影像，進行干涉演算，成功量測到地震前、後雷達影像的相位差，這個方法稱為合成孔徑雷達差分干涉技術（Differential Interferometric SAR, DInSAR）。此方法假定航空器的飛行高度皆相同，待測物變成大地，如果某地點地表沒有變化，則相位差為0；如果產生相位差，表示是衛星與地表之間距離變化所造成（張中白，2005）。

將相位差的變化，賦予不同的顏色，如把相位從 $-\pi$ 到 $+\pi$ ，設定為從紅色到紫色，形成環狀如同彩虹般的顏色，稱為干涉環（interference rings）（圖20），現今此方法已經成功應用在地震、火山、地層下陷，以及山崩潛勢等地質事件引起的地表變形事件（張中白，2005；梁勝雄等，2016）。

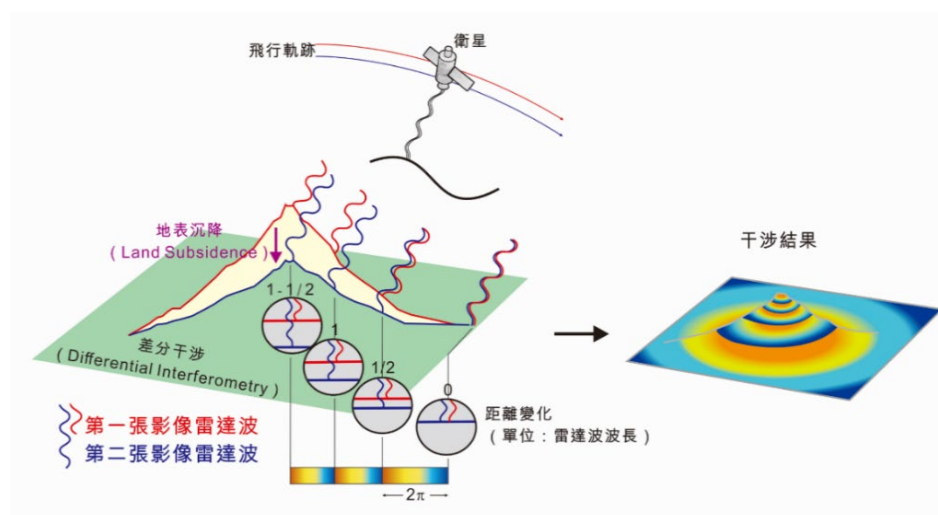


圖 20：利用不同時間的合成孔徑雷達影像干涉圖，以監測火山地表變形為例，進行干涉演算，得到雷達影像的相位差是衛星與地表之間距離變化所造成（改繪自張中白，2004；梁勝雄等，2016）。

(二)衛星影像干涉結果

藉由DInSAR這個技術，分析歐洲太空總署哨兵1號（Sentinel-1）衛星分別於2022年9月10日與9月22日所拍攝的雷達影像，能協助判釋9月17日關山地震與9月18日池上地震，以及其餘震所產生之地表變形（圖21）。

觀察彩虹干涉環分佈能發現，兩次地震造成花東縱谷南北長約80公里地表變形，除了位於震央的關山與池上外，震央北邊的玉里與瑞穗也有顯著的地表變形位移量；震央南邊的鹿野及卑南地區也有為數不少的干涉環出現；縱谷兩側山區因Sentinel-1衛星的C波段（波長為5.6公分）不易穿透植被的限制，且植被的擾動較大等因素影響，導致影像資訊斑駁而不易成相，無法確認地表變形的狀況。

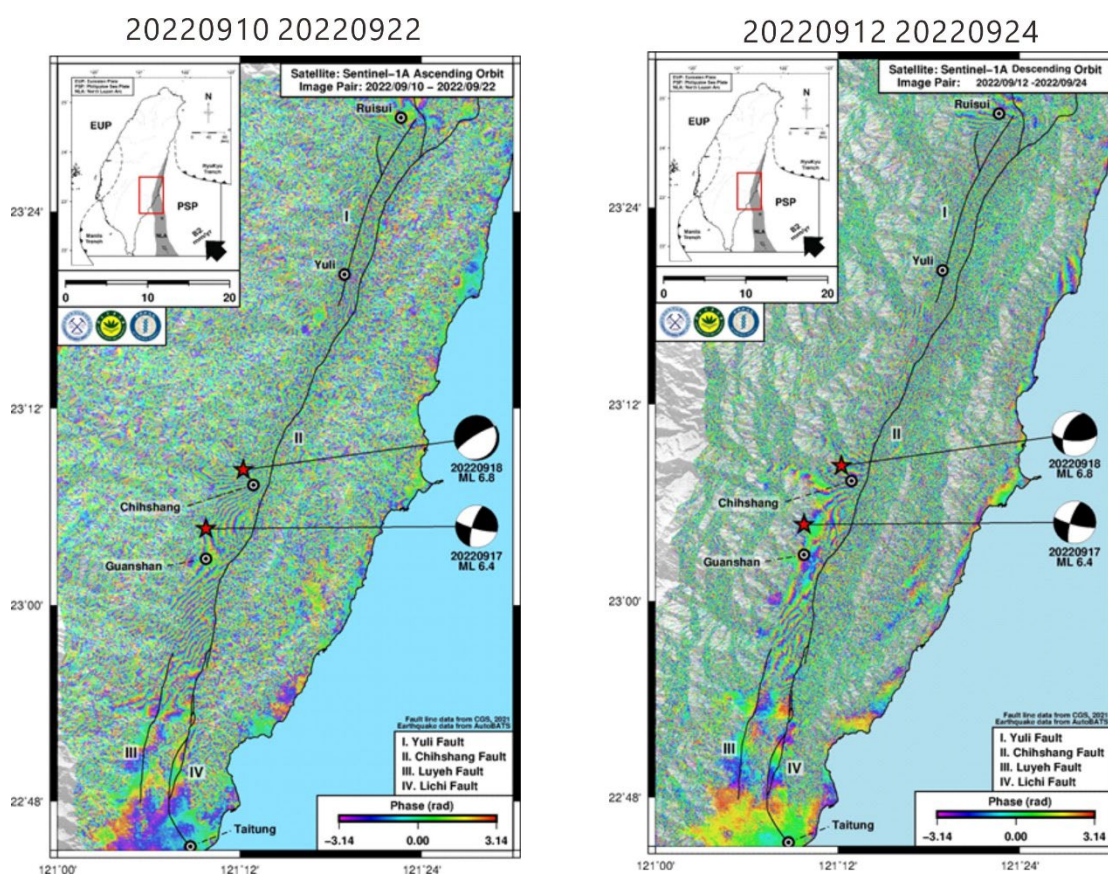


圖 21：917 關山地震與 918 池上地震之雷達差分干涉同震地表變形圖。Sentinel 衛星拍攝，左圖為升軌(Ascending)、右圖為降軌

(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。

八、斷層模擬結果

(一)原理說明

斷層錯位模型採用根據彈性錯動理論 (Okada, 1985, 1992) 所建立之斷層錯位模型，理論上是利用斷層滑移量計算地表特定點之位移量。假設地球為表面平坦、垂直方向無限延伸的彈性半空間(half space)，介質特性為具有蒲松比 0.25 的蒲松固體(Poisson solid)，即彈性模量(λ)等於剪切模量(μ)之彈性體。沿著斷層元素(fault patch/fault element)的斷層滑移量 Δu_j (ξ_1, ξ_2, ξ_3) 會使均質均向的彈性體表面產生位移場 Δu_i (x_1, x_2, x_3)，其關係如下式所列。其中， δ_{jk} 為克羅內克函數； v_k 為正交於地表元素 $d\Sigma$ 之餘弦函數方向； F 為施力點之力量大小。

$$u_i = 1/F \iint_{\Sigma} \sum_{j,k} [\Delta u_j [\lambda \delta_{jk} (\partial u_i / \partial \xi_n) + \mu ((\partial u_i / \partial \xi_j) / (\partial \xi_k) + (\partial u_i / \partial \xi_k) / (\partial \xi_j))] v_k d\Sigma$$

為了更加釐清斷層幾何、斷層滑移量與地表位移量間的關係，在此重新定義個個參數之使用符號。斷層幾何參數包括：斷層平面位置 (km)、深度 (km)、長度 (km)、寬度 (km)、走向 ($^\circ$)、傾角 ($^\circ$)。其中，斷層平面位置是指斷層面下緣中間的位置；斷層深度是指斷層斷層面下緣的深度。斷層滑移量 (fault slip) 包含三個方向的分量[S1, S2, S3]，分別以左移 (left-lateral strike slip)、逆衝 (reverse dip slip) 及伸張 (tensile slip) 為正方向。在進行對雙偶合

震源之斷層活動分析時，一般只會考慮走向滑移量（S1, strike slip）與傾向滑移量（S2, dip slip）；在進行火山之岩漿沿岩脈運動分析時，才會採用伸張滑移量（S3）。斷層滑移角（rake）指示斷層上盤相對於下盤之運動方向，其和斷層滑移量之關係為 $\tan(\text{rake}) = S2 / S1$ 。地表位移量（displacement）同樣也包含三個方向的分量[U1, U2, U3]，分別以東（East）、北（North）與上（Up）為正方向。水平位移量（horizontal displacement）則為 $\sqrt{U1^2 + U2^2}$ 。

(二)斷層模型模擬結果

假設917關山地震與918池上地震屬於同一斷層面活動，因此不再區分二起地震的分別模擬結果，將此斷層面劃分成256個小斷層面（patch）以求取同震斷層滑移量分布型態。獲得之最佳模型解（圖22至圖24）指出，此斷層有二主要滑移分布：

- 1.斷層北段，近玉里地區，以逆移為主具左移分量運動；滑移量主要介於2250 mm - 2750 mm，集中在深度約0 - 10 km的位置；

- 2.斷層南段，近震央，以左移為主具逆移分量運動，滑移量主要介於1750 mm - 2250 mm，集中在深度約0 - 6 km的位置。

該斷層之測地矩（M0）為 3.93×10^{26} dyne-cm，相當於 Mw 7.03。

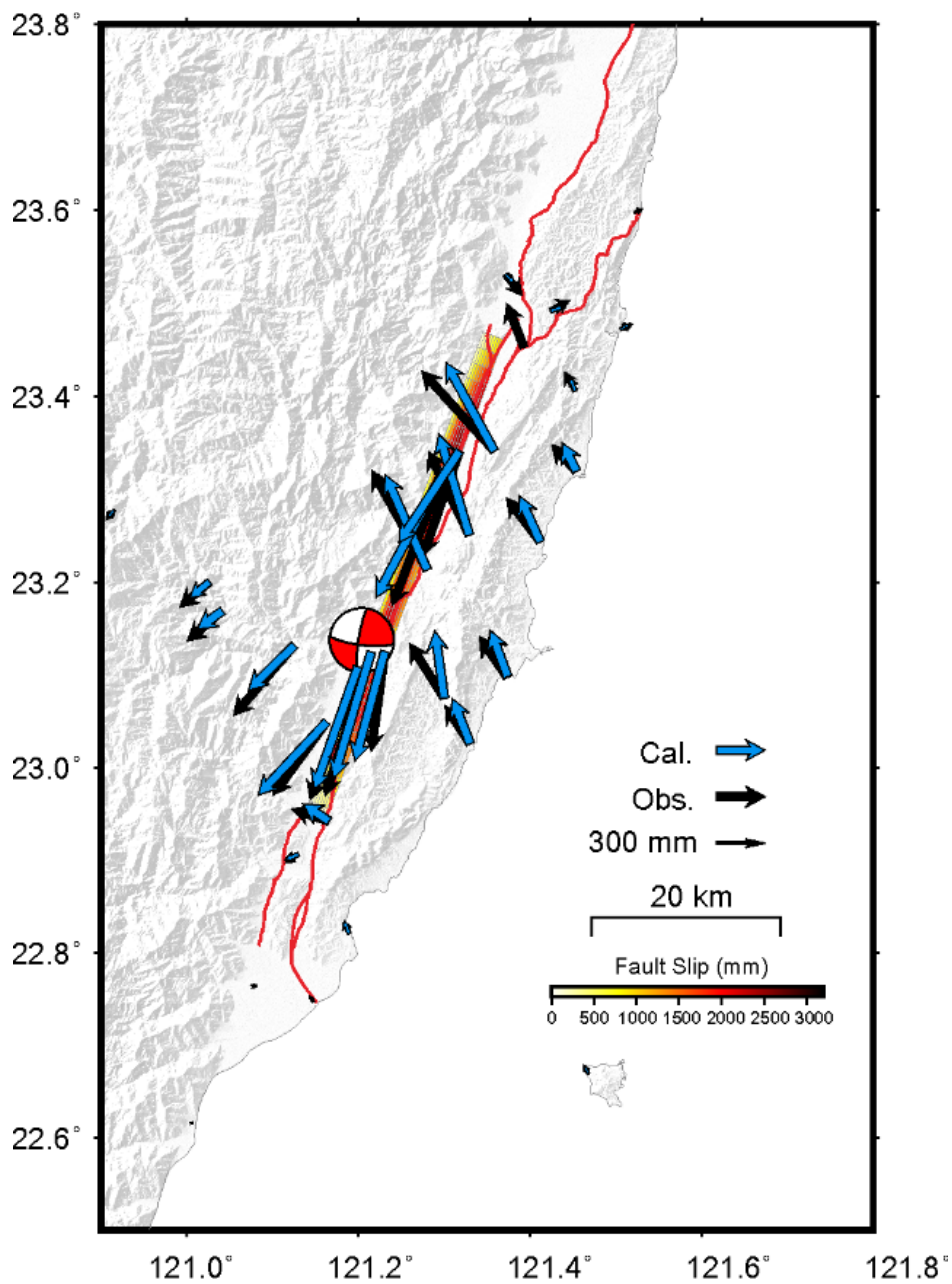


圖 22：地震斷層模型地表變形水平方向位移之擬合結果。矩形為斷層投影至地表的位置，顏色反映滑移量的大小；震源機制解為主震震央位置；紅色實線為活動斷層。

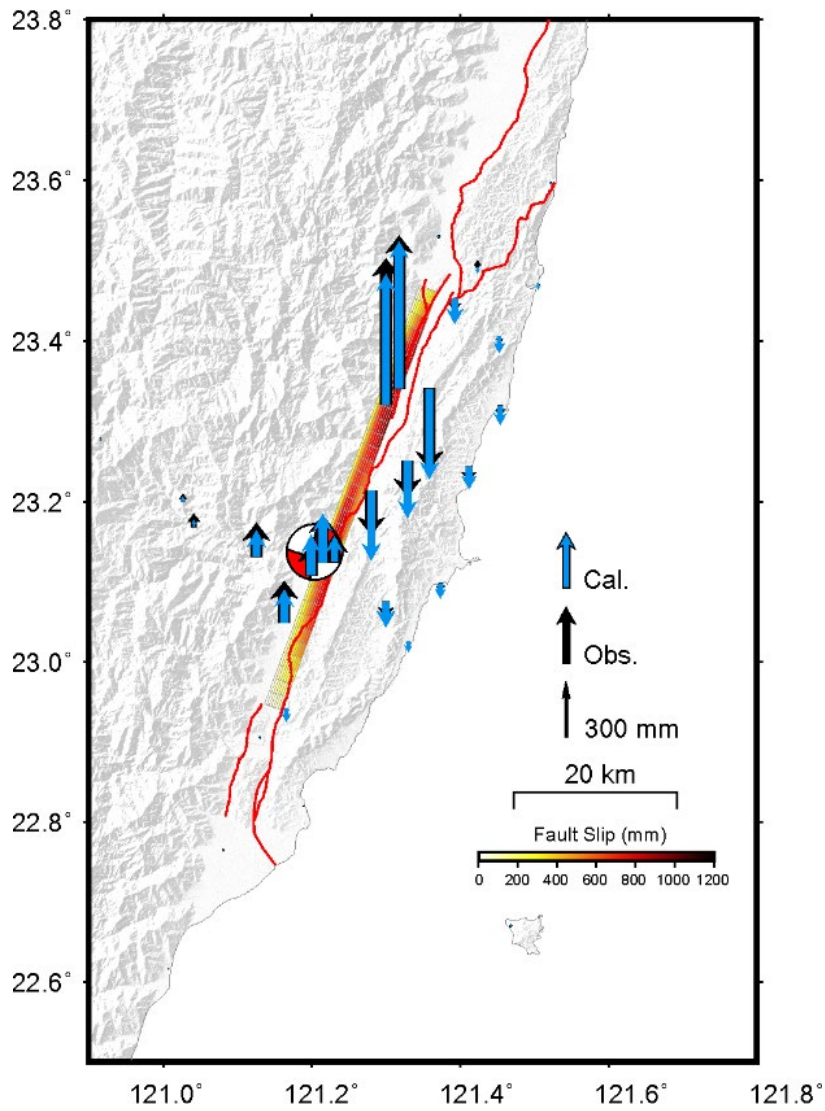


圖 23：地震斷層模型地表變形垂直方向位移之擬合結果。矩形為斷層投影至地表的位置，顏色反映滑移量的大小；震源機制解為主震震央位置；紅色實線為活動斷層。

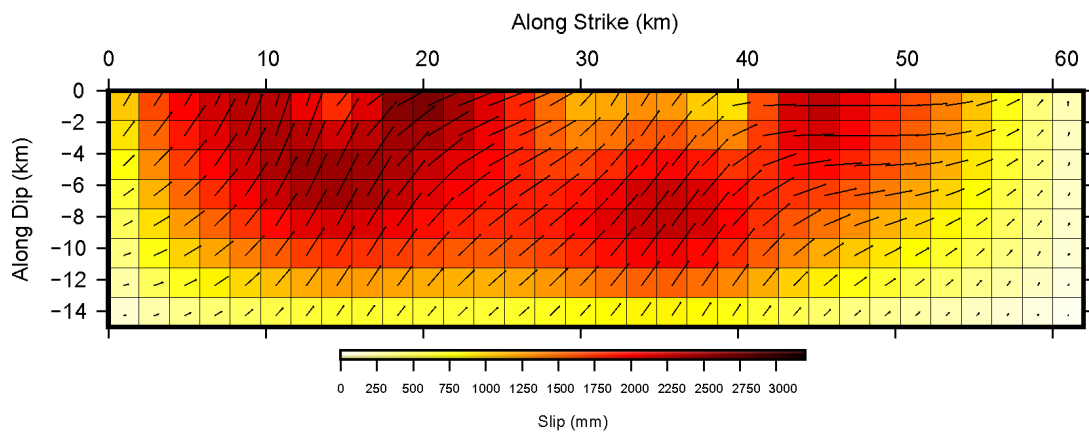


圖 24：地震斷層模型斷層面滑移分布情形。

九、結論與建議

為瞭解917關山地震與918池上地震這二次地震的地表變形情形，本所聯合各機關共同蒐集全臺之GNSS連續站資料，同時規劃與進行GNSS移動站與精密水準測量觀測工作，對地表同震位移場進行解算與分析。

917關山地震造成之同震位移集中在震央10公里範圍內，以外地區較無顯著之同震位移。最大同震位移量，發生在鄰近震央之關山測站KUA2，水平位移方向往南南西移位171.03 mm，垂直方向抬升102.19 mm。整體而言，同震位移場顯示於池上斷層以西朝南方位移且抬升，以東則無顯著水平向及垂直向位移。

918池上地震地表同震位移場指出，此次地震造成大範圍之顯著同震位移，同震位移型態以花東縱谷為界，西側的中央山脈朝西南位移且抬升、東側的海岸山脈往西北方向位移並下陷。

結合地表破裂調查成果發現（圖25至圖28），地表破裂分布在縱谷的玉里斷層及池上斷層，這些地點屬於地表位移劇烈且位移方向變化位置，在地表破裂的北、南端部分，地表破裂收尾結束處，地表位移也逐漸較不顯著。垂直位移結果顯示，此地區同震位移趨勢與震間時期的運動方向相反，特別是在縱谷東側的海岸山脈地區，垂直變形由震間的抬升同震位移變為下陷情形，說明池上斷層應非主動活動造成的變形行為。應為西傾的斷層面在發震後，誘使池上斷層的被動活動而造成的陷落現象，相信未來持續觀測後應可見到此區回復震間變形的狀態。

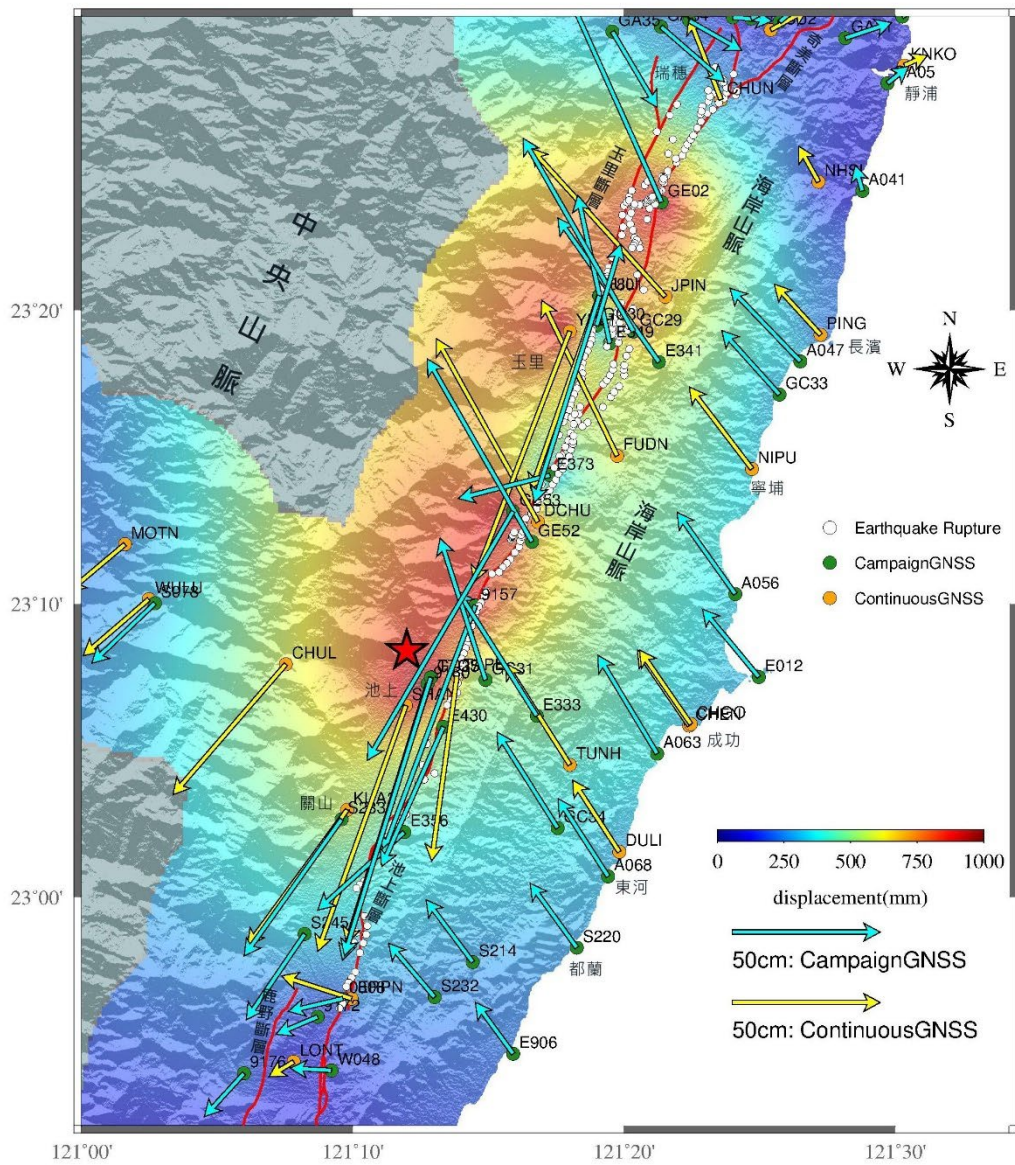


圖 25：917 關山地震、918 池上地震地表破裂與地表水平位移關係圖，地表破裂點位為現地調查結果。

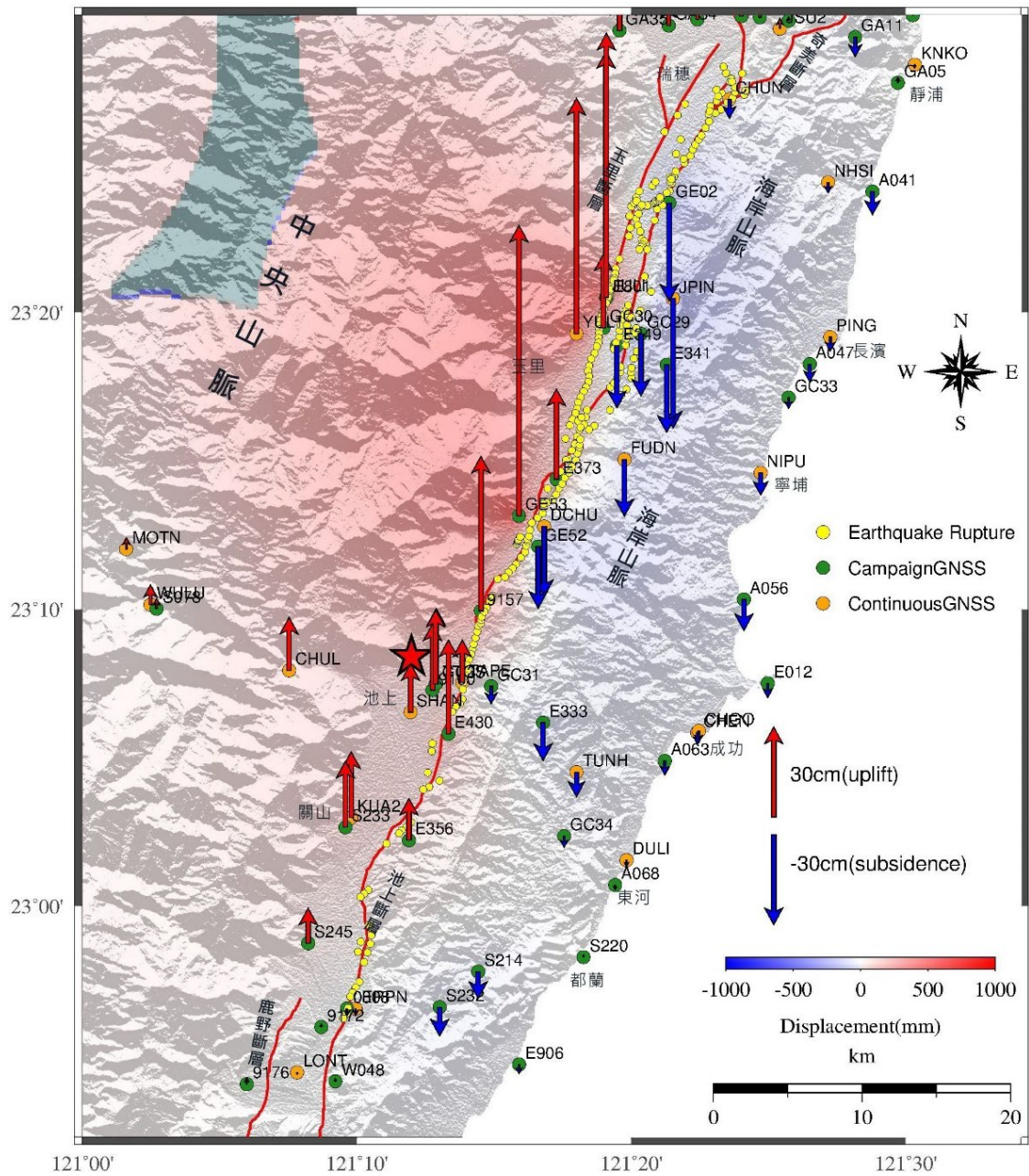


圖 26：917 關山地震、918 池上地震地表破裂與地表垂直位移關係圖。



圖 27：917 關山地震及 918 池上地震地表破裂情形。照片 1：玉里斷層錯動，導致地面西側拱起，並形成一系列含左移現象的雁行破裂列；照片 2：地表破裂穿過河堤一路往北，稻田呈現東部抬升；照片 3：池上斷層由東向西逆衝並帶左移分量，導致舊玉里大橋東側橋墩左移拱起；照片 4：池上斷層由東向西逆衝，導致東側駁坎抬升數十公分（黃志遠拍攝）。

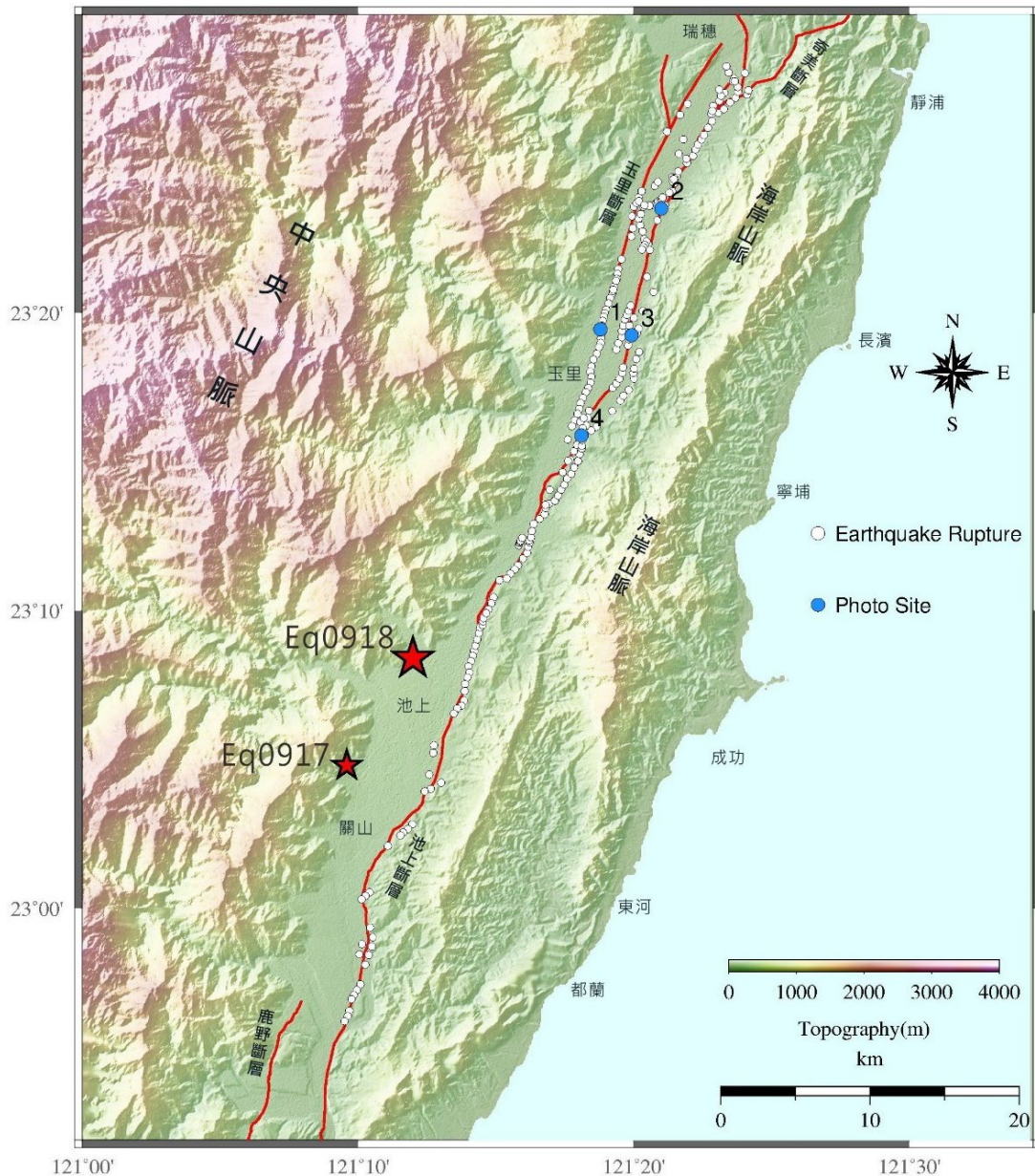


圖 28：917 關山地震及 918 池上地震地表破裂調查位置圖，圖上標示白色圓點為調查後發現地表破裂處；藍色圓點為四個調查地點照片拍攝位置。

考慮二起地震發生時間、空間位置與地震動初解結果，可能為前震與主震之關係，因此若假設二地震為同一斷層面之運動導致，同震位移場及模型結果顯示，於斷層南段以左移運動為主，北段則以逆移運動為主。

花東縱谷地區在東部屬於農業、觀光旅遊業及鄉鎮集中區域，位置恰於兩大板塊聚合擠壓交界處，是臺灣陸上地震最頻繁與活動斷層最密集之區域，地震發生機率較高，應持續加強活動斷層、地質調查與地表變形觀測相關之國土基礎調查工作，相關資訊整合提供作為政府與民間防災與應變之參考，降低地震防、減災之風險，使國土合理與有效之利用。本報告主要目的為將二次地震後之大地測量觀測成果進行說明與公開，變形結果應考量各個時間段之差異，成果提供各界參考及進一步利用與研究。

(陳建良、梁勝雄、梁均合、陳盈璇)

表 1：917 關山地震前後之 GNSS 連續追蹤站同震位移資料表

站號	經度 (°E)	緯度 (°N)	經度方向位移 量(mm)	緯度方向位移 量 (mm)	垂直方向位移 量 (mm)	經度方向標準 差 (mm)	緯度方向標準 差 (mm)	垂直 方向 標準 差 (mm)
TMAM	121.0075	22.6161	-4.60	-3.07	1.75	1.8	1.7	7.8
LUDO	121.4684	22.6693	-5.74	7.31	21.30	1.8	1.7	7.5
TTSH	121.1476	22.7471	-6.32	14.57	5.74	1.8	1.7	7.7
TTUN	121.0807	22.7646	-10.76	-6.38	-10.81	2.9	2.5	12.9
S104	121.1894	22.8208	-15.52	48.07	-14.99	1.8	1.7	7.4
LONT	121.1306	22.9063	-30.69	-7.67	-9.51	1.9	1.7	8.1
ERPNI	121.1661	22.9422	-178.50	91.13	-29.91	1.7	1.6	7.4
DULI	121.3306	23.0257	-33.68	18.46	9.07	13.5	7.4	48.1
KUA2	121.1634	23.0496	-70.32	-155.90	102.19	2.0	1.8	8.5
TUNH	121.3002	23.0752	5.34	13.62	-20.71	2.7	2.0	11.8
CHEN	121.3736	23.0974	10.59	6.93	-13.80	2.1	1.8	9.0
CHGO	121.3745	23.0983	11.63	6.11	-5.32	1.8	1.7	7.9
SHAN	121.1995	23.1089	-20.87	-167.59	-37.32	1.8	1.7	7.7
TTCS	121.2151	23.1249	-23.21	-136.17	1.91	1.9	1.8	8.2
TAPE	121.2309	23.1256	-2.89	-94.02	-12.03	1.8	1.8	8.1
CHUL	121.1257	23.1324	58.16	-111.32	68.02	16.1	9.2	46.6
MOTN	121.0269	23.2005	21.35	-45.59	-3.66	1.7	1.6	7.2
DCHU	121.2806	23.2132	13.71	-14.61	-5.50	2.1	1.8	9.3
NIPU	121.4121	23.2433	15.71	5.93	7.60	2.1	1.9	10.3
FUDN	121.3293	23.2507	13.26	4.39	-0.67	1.9	2.0	9.0
TENC	120.9157	23.2778	12.92	-20.01	2.73	1.7	1.8	7.8
PING	121.4543	23.3195	9.00	2.23	-8.48	1.8	1.7	7.7
YUL1	121.3002	23.3214	-8.34	-17.39	43.97	7.7	5.3	31.0
JPIN	121.3589	23.3411	6.73	-1.76	-13.48	2.2	2.1	10.4

站號	經度 (°E)	緯度 (°N)	經度方向位移 量(mm)	緯度方向位移 量 (mm)	垂直方向位移 量 (mm)	經度方向標準 差 (mm)	緯度方向標準 差 (mm)	垂直方向標準 差 (mm)
JULI	121.3182	23.3417	6.05	-10.18	-3.89	1.7	1.7	7.3
NHSI	121.4530	23.4062	8.29	-5.77	-8.50	2.4	2.3	11.2
CHUN	121.3931	23.4529	-0.44	-1.82	10.20	2.0	2.2	10.2
KNKO	121.5057	23.4722	5.91	1.41	-10.01	1.7	1.6	7.3
TATA	120.8871	23.4814	25.51	-33.33	-130.12	9.8	8.0	50.3
JSU2	121.4238	23.4924	3.98	-1.59	4.35	2.0	2.0	10.8
ALIS	120.8133	23.5082	6.43	-10.88	12.81	3.0	2.8	14.8
JPEI	121.3714	23.5316	2.10	-4.80	-4.09	2.3	2.0	10.7
FONB	121.5220	23.5982	3.24	-1.28	0.05	1.8	1.7	7.7
FENP	121.5194	23.5985	21.82	-76.59	147.67	51.1	27.0	134.5
WANS	120.8852	23.6075	6.04	-8.41	0.09	2.3	1.9	9.5
DSIN	121.3980	23.6312	75.78	15.30	-123.86	51.4	15.6	61.5
DNFU	121.4823	23.6851	11.19	3.75	-14.22	6.0	3.3	22.3
FKD2	120.8620	23.6884	5.80	-5.48	-6.91	2.3	1.9	9.8
SINY	120.8532	23.6965	6.10	-6.27	-13.13	2.0	1.8	8.7
FLNM	121.4534	23.7463	4.77	-1.78	7.40	2.0	1.8	8.8
CHTS	121.2300	23.7500	2.09	-5.60	-0.06	1.6	1.6	6.7
DNDA	121.1400	23.7500	2.18	-6.03	-4.74	1.6	1.6	6.7
SHUL	121.5627	23.7876	1.54	1.04	-13.02	3.7	2.9	17.5

表 2：918 池上地震前後之 GNSS 連續追蹤站同震位移資料表

站號	經度 (°E)	緯度 (°N)	經度方向 位移量 (mm)	緯度方向 位移量 (mm)	垂直方向 位移量 (mm)	經度 方向 標準 差 (mm)	緯度 方向 標準 差 (mm)	垂直 方向 標準 差 (mm)
TMAM	121.0075	22.6161	-16.04	-11.48	2.40	1.4	1.3	6.1
LUDO	121.4684	22.6693	-21.94	36.05	8.68	1.3	1.2	5.6
TTSH	121.1476	22.7471	-19.15	22.39	0.41	1.4	1.3	6.0
TTUN	121.0807	22.7646	-28.92	-18.41	6.00	2.2	1.9	9.2
S104	121.1894	22.8208	-35.16	83.75	-1.40	1.3	1.3	5.7
LONT	121.1306	22.9063	-84.08	-51.12	-6.28	1.4	1.3	6.1
ERPN	121.1661	22.9422	-236.80	77.14	-22.69	1.3	1.2	5.5
DULI	121.3306	23.0257	-158.01	242.07	-20.73	6.8	5.6	32.0
KUA2	121.1634	23.0496	-336.90	-459.18	219.79	1.5	1.4	6.7
TUNH	121.3002	23.0752	-217.90	343.64	-81.77	2.0	1.5	8.5
CHEN	121.3736	23.0974	-175.14	255.37	-38.41	1.6	1.4	7.0
CHGO	121.3745	23.0983	-173.37	250.54	-38.46	1.4	1.3	6.0
SHAN	121.1995	23.1089	-297.73	-830.62	161.69	1.3	1.3	5.8
TTCS	121.2151	23.1249	-287.34	-899.66	250.96	1.5	1.3	6.2
TAPE	121.2309	23.1256	-85.48	-624.45	141.17	1.4	1.3	6.1
CHUL	121.1257	23.1324	-381.52	-441.09	176.75	6.8	6.8	28.7
WULU	121.0415	23.1693	-221.70	-190.85	65.27	1.8	1.6	8.0
MOTN	121.0269	23.2005	-189.73	-159.69	37.36	1.3	1.2	5.4
DCHU	121.2806	23.2132	-343.39	619.71	-233.80	1.6	1.4	7.4
NIPU	121.4121	23.2433	-211.79	276.85	-73.87	1.7	1.5	8.0
FUDN	121.3293	23.2507	-254.99	525.69	-188.25	1.4	1.5	6.8
TENC	120.9157	23.2778	-54.28	-65.02	4.50	1.3	1.3	6.0
PING	121.4543	23.3195	-156.38	170.76	-46.66	1.4	1.3	6.0
YUL1	121.3002	23.3214	-325.87	-848.00	785.67	4.6	3.6	20.5

站號	經度 (°E)	緯度 (°N)	經度方向 位移量 (mm)	緯度方向 位移量 (mm)	垂直方向 位移量 (mm)	經度 方向 標準 差 (mm)	緯度 方向 標準 差 (mm)	垂直 方向 標準 差 (mm)
JPIN	121.3589	23.3411	-455.26	501.72	-432.60	1.6	1.6	7.8
JULI	121.3182	23.3417	-229.66	-657.27	821.76	1.3	1.2	5.7
NHSI	121.4530	23.4062	-67.20	120.49	-34.60	1.9	1.7	8.8
CHUN	121.3931	23.4529	-107.95	277.19	-63.74	1.6	1.7	8.0
KNKO	121.5057	23.4722	78.67	34.56	-9.39	1.3	1.2	5.6
TATA	120.8871	23.4814	62.38	-56.63	-2.87	7.1	6.3	35.6
JSU2	121.4238	23.4924	124.97	69.16	33.21	1.6	1.5	8.3
ALIS	120.8133	23.5082	33.65	-43.91	2.96	2.2	2.1	10.8
JPEI	121.3714	23.5316	105.17	-133.81	-12.44	1.7	1.5	7.9
FONB	121.5220	23.5982	55.15	24.74	-6.39	1.4	1.3	5.9
FENP	121.5194	23.5985	35.39	18.51	4.05	39.8	17.0	90.4
WANS	120.8852	23.6075	48.80	-60.55	5.72	1.7	1.4	6.9
DSIN	121.3980	23.6312	-25.01	-53.31	-18.81	26.4	11.3	48.9
DNFU	121.4823	23.6851	26.78	-11.28	-17.89	4.0	2.6	15.9
FKD2	120.8620	23.6884	40.82	-52.58	5.26	1.8	1.5	7.8
SINY	120.8532	23.6965	38.26	-51.49	2.80	1.6	1.4	6.8
FLNM	121.4534	23.7463	16.85	-26.24	-3.62	1.5	1.4	6.7
CHTS	121.2300	23.7500	28.21	-77.05	4.04	1.2	1.2	5.1
DNDA	121.1400	23.7500	32.89	-79.39	4.42	1.2	1.2	5.1
SHUL	121.5627	23.7876	15.63	-5.26	1.18	2.7	2.2	12.7

表 3：二次地震前後之 GNSS 移動站同震位移資料表

點號	經度 (°E)	緯度 (°N)	經度方 向位移 量 (mm)	緯度方 向位移 量 (mm)	垂直方 向位移 量 (mm)	經度方 向標準 差 (mm)	緯度方 向標準 差 (mm)	垂直方 向標準 差 (mm)
0308	121.1608	22.9422	-184.55	-43.24	-23.64	2.1	1.4	3.0
0943	121.1383	22.7793	-16.50	5.17	5.21	2.1	1.4	3.0
9115	121.4774	23.8232	26.37	-17.32	-27.53	3.1	2.0	4.6
9117	121.4495	23.8078	31.12	-22.21	-36.06	3.1	2.1	4.5
9157	121.2422	23.1658	-311.77	-834.05	516.27	3.2	2.0	4.3
9160	121.2128	23.1212	-288.03	-934.24	221.35	2.2	1.5	3.5
9172	121.1452	22.9318	-140.14	-58.98	9.61	2.2	1.4	3.1
9176	121.1000	22.8997	-134.05	-146.47	21.37	3.2	2.0	4.4
9194	121.0397	22.7042	-35.70	-22.57	-9.04	2.8	1.8	4.1
A011	121.5686	23.7959	13.02	3.67	16.74	3.9	2.4	5.1
A019	121.5485	23.7026	50.67	1.36	7.00	3.0	1.9	4.1
A029	121.5093	23.5466	69.64	61.91	15.50	3.6	2.3	5.1
A032	121.5045	23.4999	102.33	61.52	-0.24	4.2	2.8	5.8
A041	121.4800	23.4011	-24.56	86.58	-76.15	2.9	2.2	5.3
A047	121.4419	23.3043	-237.96	247.23	-58.63	3.4	2.3	5.0
A056	121.4019	23.1722	-197.06	276.60	-103.58	3.6	2.1	4.3
A063	121.3539	23.0815	-200.13	332.60	-46.86	3.2	2.0	4.5
A068	121.3237	23.0117	-169.16	262.59	-15.90	3.2	2.1	4.4
A081	121.1985	22.8573	-89.63	123.47	-17.27	3.3	2.1	4.6
A086	121.1934	22.7938	-29.89	82.87	-28.83	3.3	1.9	4.1
E012	121.4164	23.1251	-190.48	229.59	-47.09	2.3	1.5	3.4
E062	120.9525	22.6431	-44.48	-25.51	9.33	3.0	1.8	3.8
E084	121.1421	22.7534	-38.04	14.52	4.74	2.8	1.8	3.8
E306	121.1093	22.8099	-41.10	-22.72	-16.93	2.1	1.4	2.9
E315	121.5869	23.8877	-15.87	-0.62	2.03	3.0	1.9	4.2
E322	121.1227	22.7752	-16.59	15.28	-3.08	2.9	1.8	3.7

點號	經度 (°E)	緯度 (°N)	經度方 向位移 量 (mm)	緯度方 向位移 量 (mm)	垂直方 向位移 量 (mm)	經度方 向標準 差 (mm)	緯度方 向標準 差 (mm)	垂直方 向標準 差 (mm)
E333	121.2799	23.1030	-267.92	422.93	-126.19	2.1	1.4	3.0
E341	121.3550	23.3040	-341.78	486.67	-225.97	2.3	1.6	3.2
E349	121.3248	23.3146	-108.34	500.70	-206.85	2.0	1.4	2.9
E356	121.1985	23.0369	-292.68	-263.66	139.31	2.1	1.4	2.9
E373	121.2880	23.2397	-309.66	-78.88	301.01	2.2	1.6	3.3
E407	121.1475	22.8178	-46.78	29.34	-148.82	3.8	2.1	5.4
E430	121.2225	23.0968	-208.84	-472.08	312.84	2.8	1.8	3.8
E549	121.5406	23.8867	3.18	0.15	11.86	3.7	2.7	6.0
E801	121.3184	23.3416	-220.09	-699.24	882.78	2.2	1.5	3.6
E906	121.2654	22.9108	-127.78	173.96	-30.43	3.0	1.9	4.1
G999	121.4597	23.6557	-32.99	-38.50	-9.75	4.5	3.2	6.6
GA03	121.4371	23.6616	16.93	-36.21	13.91	3.1	2.1	4.7
GA04	121.4326	23.6623	20.38	-37.49	12.83	3.1	2.1	4.7
GA05	121.4954	23.4621	72.05	56.90	17.65	2.6	1.7	3.7
GA11	121.4695	23.4877	156.89	52.35	-64.84	3.5	2.5	6.7
GA22	121.4291	23.4969	98.52	80.73	11.90	4.2	3.1	7.5
GA26	121.4004	23.4995	133.36	-11.90	79.21	3.1	2.3	5.6
GA28	121.3910	23.5070	143.56	-62.06	77.16	3.8	2.7	5.4
GA32	121.3736	23.4975	177.07	-100.48	58.55	3.9	2.9	5.8
GA34	121.3562	23.4942	214.75	-186.52	71.85	3.1	2.3	4.8
GA35	121.3264	23.4914	151.87	-256.28	107.08	3.0	2.3	5.4
GA41	121.5921	23.8442	6.61	-10.73	48.09	3.9	2.6	6.1
GA43	121.5197	23.8843	-40.83	-4.90	37.32	3.1	2.1	4.5
GC29	121.3394	23.3213	-372.91	652.44	-207.00	3.3	2.0	4.6
GC30	121.3166	23.3246	81.77	275.40	246.62	3.3	2.2	4.9
GC31	121.2484	23.1235	-153.36	478.64	-57.98	2.7	2.0	4.4
GC33	121.4290	23.2855	-194.89	216.40	-35.31	2.7	1.6	3.9
GC34	121.2927	23.0392	-205.04	324.18	-37.26	3.6	2.2	4.8
GC35	121.2148	23.1248	-292.08	-940.41	245.84	2.1	1.4	3.1

點號	經度 (°E)	緯度 (°N)	經度方 向位 移 量 (mm)	緯度方 向位 移 量 (mm)	垂直方 向位 移 量 (mm)	經度方 向標 準 差 (mm)	緯度方 向標 準 差 (mm)	垂直方 向標 準 差 (mm)
GE02	121.3566	23.3947	-391.79	871.96	-327.67	2.9	2.1	4.5
GE08	121.4448	23.7300	52.35	-61.72	-23.86	2.9	2.0	4.5
GE42	121.0828	22.8357	-59.04	-68.82	-25.44	3.5	2.1	5.0
GE43	121.0914	22.8606	-59.55	-85.04	31.49	3.7	2.1	4.6
GE52	121.2770	23.2019	-353.34	617.64	-205.56	3.3	1.9	4.1
GE53	121.2653	23.2192	-492.12	-841.50	969.67	2.3	1.6	3.4
GE55	121.4110	23.7157	30.42	-54.00	-6.70	3.0	2.0	4.3
GE56	121.4984	23.7267	46.45	-18.73	12.98	2.9	1.9	4.3
GE57	121.4676	23.7544	20.45	-37.12	-9.04	3.0	2.1	4.3
I130	121.1588	22.7919	-18.48	48.38	-22.84	2.3	1.5	3.4
S044	121.0224	22.6778	-35.19	-27.06	14.85	2.1	1.5	3.1
S078	121.0452	23.1670	-213.47	-202.55	33.26	3.1	1.8	3.7
S214	121.2405	22.9630	-157.57	210.45	-89.11	2.3	1.5	3.4
S220	121.3045	22.9712	-157.63	217.47	7.54	2.6	1.7	3.8
S232	121.2171	22.9430	-155.92	182.65	-95.94	3.3	2.0	4.8
S233	121.1599	23.0442	-329.09	-461.82	220.56	2.2	1.5	3.3
S245	121.1373	22.9790	-197.48	-290.08	116.77	2.2	1.5	3.3
S264	121.1552	22.7602	-35.69	21.08	7.94	2.5	1.8	3.6
S273	121.0628	22.7653	-38.82	-38.73	-1.40	2.3	1.5	3.4
S280	121.0534	22.7907	-31.91	-4.13	-6.20	2.3	1.5	3.0
S291	121.5603	23.7503	58.15	5.77	1.03	2.6	1.7	3.8
U086	121.5096	23.8347	3.09	-8.77	-22.88	2.8	1.9	4.0
V205	121.1181	22.7162	-29.75	5.14	-0.27	2.9	1.9	3.8
W036	121.4116	23.4988	103.25	57.13	48.31	3.2	2.2	5.1
W048	121.1538	22.9013	-139.86	7.88	8.69	4.4	2.6	6.1

表 4：二次地震前後之精密水準測量同震位移資料表

點號	經度 (°E)	緯度 (°N)	垂直方向位移量 (mm)
9135	121.3760	23.4993	-10.21
A036	121.4874	23.4690	-12.95
A037	121.4965	23.4629	-19.23
GA05	121.4954	23.4621	-19.40
GA06	121.4814	23.4720	-9.55
GA07	121.4728	23.4730	-8.80
GA08	121.4660	23.4770	-6.35
GA09	121.4700	23.4814	-3.49
GA10	121.4749	23.4871	-3.67
GA11	121.4695	23.4877	3.27
GA12	121.4629	23.4898	2.61
GA13	121.4584	23.4892	19.91
GA14	121.4585	23.4966	29.68
GA15	121.4575	23.4963	29.22
GA16	121.4553	23.4993	37.82
GA17	121.4539	23.5047	35.95
GA18	121.4499	23.5040	39.54
GA19	121.4419	23.5026	31.20
GA20	121.4386	23.5033	44.60
GA21	121.4356	23.5042	45.22
GA22	121.4291	23.4969	48.91
GA25	121.4068	23.4998	24.36
GA26	121.4004	23.4995	9.93
GA27	121.3951	23.5034	-4.73
GA28	121.3910	23.5071	-18.81
GA29	121.3855	23.5040	-24.53
GA30	121.3825	23.5032	-24.43
GA32	121.3736	23.4976	-2.85

點號	經度 (°E)	緯度 (°N)	垂直方向位移量 (mm)
GA33	121.3655	23.4958	10.95
GA34	121.3562	23.4942	27.55
GA35	121.3264	23.4914	76.22
GI20	121.4161	23.4989	36.18
GI21	121.4198	23.4977	39.27
GI22	121.4244	23.4967	37.05
GI23	121.4300	23.4992	49.65
GI24	121.4335	23.5031	50.14
GI25	121.4468	23.5003	39.76
GI26	121.4579	23.4932	21.89
P026A	121.4291	23.4969	48.90
S121	121.4463	23.4972	46.05
U028	121.3361	23.4933	55.39
W031	121.3264	23.4909	81.30
W032	121.3324	23.4920	69.85
W034	121.3459	23.4949	43.45
W035	121.4056	23.4983	32.58
W036	121.4116	23.4988	24.73
W044	121.4572	23.4896	-19.95
205R2	121.1649	22.7800	-20.12
9181	121.0936	22.8310	-12.79
A086	121.1934	22.7938	-16.39
A087A	121.1832	22.7885	-1.25
A088	121.1750	22.7768	-19.25
GE42	121.0828	22.8357	-14.37
GF75	121.0686	22.8359	4.53
GF76	121.0762	22.8368	3.05
GF77	121.0873	22.8315	-18.17
GF78	121.0984	22.8277	24.45
GF79	121.1023	22.8219	-3.06

點號	經度 (°E)	緯度 (°N)	垂直方向位移量 (mm)
GF80	121.1093	22.8232	-6.92
GF83	121.1336	22.8055	-8.48
GF85	121.1456	22.7926	-19.81
GF86	121.1529	22.7915	-7.49
GF87	121.1579	22.7871	-20.37
S265	121.1252	22.8048	-8.61

表 5：精密水準測線長度資料表

測線名稱	測線長度	
	山區(km)	平地(km)
紅葉-靜浦測線	16	17
東成-富岡測線	10	14
總計	26	31

致謝

本報告為中央地質調查所於918池上地震後，進行現地調查及彙整許多資料撰寫而成，相關經費由本所「斷層活動性觀測研究第五階段」支持與提供，調查及撰寫期間承蒙下列單位及專家學者提供資料與協助。

感謝交通部中央氣象局於本次地震後迅速提供地震報告及相關震源機制資料。衛星導航系統連續測站資料由中央研究院地球科學研究所、交通部中央氣象局、內政部地政司、內政部國土測繪中心、經濟部水利署，以及花蓮縣政府等單位提供；GNSS移動站與精密水準測量由本所委託中興測量有限公司施測。

地表變形資料解算與斷層模擬分析由成功大學景國恩教授、中央大學張午龍教授、臺灣大學莊昀叡教授、中興工程顧問社李易叡先生等團隊提供協助；永久散射體雷達干涉觀測由東華大學顏君毅教授團隊提供協助，本所敬致謝忱。

參考文獻

- 內政部（2014）一等水準測量作業規範。內政部編印，共 52 頁，2014 年 7 月。
- 張中白（2005）大地彩虹-合成孔徑雷達。科學發展月刊。第 390 期，第 18-23 頁。
- 梁勝雄、張中白、陳建良、盧詩丁（2016）從天空看 0206 美濃地震地表變形。科學研習，第 55 卷，第 6 期，第 42-52 頁。
- 梁勝雄與陳建良（2019）從地面到太空—全方位觀測地表變形。地質。第 38 卷，第 3 期，第 35-39 頁。
- 景國恩、李易叡、張午龍、莊昀叡、顏銀桐、莊怡蓉、邵國士（2021）重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估（1/2）。經濟部中央地質調查所 110 年度委託專業服務期末

報告書，共 412 頁。

- Angelier, J., Chu, H.T., and Lee, J.C. (1997). Shear concentration in a collision zone: kinematics of the Chihshang Fault as revealed by outcrop-scale quantification of active faulting, Longitudinal Valley, eastern Taiwan. *Tectonophysics* 274, 117-143.
- Bonilla, M.G. (1975). A review of recently active faults in Taiwan. Open file report 75-41, U.S. Geological Survey, Menlo park, 58pp.
- Bonilla, M.G. (1977). Summary of quaternary faulting and elevation changes in Taiwan. *Memoir of the Geological Society of China* 2, 43-55.
- Chen, H. Y., J. C. Lee, H. Tung, C. L. Chen and H. K. Lee (2021) Variable vertical movements and their deformation behaviors at convergent plate suture: 14-year-long (2004-2018) repeated measurements of precise leveling around middle Longitudinal Valley in eastern Taiwan *Journal of Asian Earth Sciences* 218, doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104865.
- Cheng, S.N., and Yeh, Y.T. (1989). Catalog of the earthquakes in Taiwan from 1604 to 1988. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, 255pp.
- Lee, J.C., Angelier, J., Chu, H.T., Hu, J.C., and Jeng, F.S. (2001). Continuous monitoring of an active fault in a plate suture zone: a Creepmeter study of the Chihshang Fault, eastern Taiwan. *Tectonophysics* 333, 219-240.
- Okada, Y.(1985). Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America* 75, 1135-1154.
- Okada, Y. (1992). Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America* 82, 1018-1040.
- Yen, J.-Y., Lu, C.-H., Dorsey, R. J., Kuo-Chen, H., Chang, C.-P., Wang, C.-C., Chuang, R. Y., Kuo, Y.-T., Chiu, C.-Y., Chang, Y.-H., Bovenga, F., & Chang, W.-Y. (2018). Insights into Seismogenic Deformation during the 2018 Hualien, Taiwan, Earthquake Sequence from InSAR, GPS, and Modeling. *Seismological Research Letters*, 90, doi: 10.1785/0220180228.
- Yu, S.B., Chen, H.Y., and Kuo, L.C. (1997). Velocity field of GPS stations in the Taiwan area. *Tectonophysics* 274, 41-59.