

# 20131031 瑞穗地震地質調查報告

經濟部中央地質調查所

中華民國 103 年 2 月 10 日

## 目錄

摘要 .....	1
壹、 引言 .....	2
貳、 區域概況 .....	5
一、 區域地質 .....	5
二、 地震資料 .....	6
參、 地表地質調查 .....	12
肆、 地表變形觀測 .....	18
伍、 地球化學與水位觀測 .....	23
陸、 井下應變儀觀測 .....	30
柒、 結論與建議 .....	31
一、 結論 .....	31
二、 建議 .....	32
捌、 參考文獻 .....	33

## 圖目錄

圖 1、編號第 102121 號地震報告。(資料來源：中央氣象局) .....	3
圖 2、等震度圖，星號為震央。(資料來源：中央氣象局) .....	4
圖 3、1031 地震震央鄰近地區現有已完成調查確認之活動斷層分布與所有觀測點位分布圖。 .....	7
圖 4、1031 地震後一周內主餘震分布情形(資料來源: 蒲新杰, 中央氣象局)...8	
圖 5、中央氣象局計算之斷層機制解(資料來源: 蒲新杰, 中央氣象局)。 .....	9
圖 6、中央研究院地球科學所即時地震矩張量監測系統(Real-Time Moment Tensor Monitoring System, RMT)計算之震源機制解(資料來源:李憲忠, 中央研究院)。 .....	10
圖 7、1031 地震破裂滑移模擬結果(資料來源:李憲忠, 中央研究院).....	11
圖 8、20131031 瑞穗地震主餘震分佈 (10/31~11/6, 規模 3 以上) 與破壞點位位置。(地震分布資料來源：中央氣象局) .....	13
圖 9、點位 1 照片，193 縣道，接近自強外役監獄附近。 .....	14
圖 10、點位 2 照片，193 縣道，接近自強外役監獄附近。 .....	14
圖 11、點位 3 照片，193 縣道西側鶴岡附近。 .....	15
圖 12、點位 4 照片，花蓮瑞穗紅葉國小圍牆。 .....	15
圖 13、點位 5 照片，瑞港公路。 .....	16
圖 14、點位 6 照片，馬太鞍溪旁堤防。 .....	16
圖 15、點位 7 照片，馬太鞍溪溪床。 .....	17
圖 16、利用 GPS 連續站(Continuous)及移動站(Campaign mode)資料解得之同震水平位移分布圖。 .....	19
圖 17、利用 GPS 連續站(Continuous)解得之同震高程位移分布圖。 .....	20
圖 18、光復至豐濱水準測線所得之同震高程變動圖。 .....	21
圖 19、紅葉至靜浦水準測線所得之同震高程變動圖。 .....	21
圖 20、二條精密水準測線的觀測結果。 .....	22

圖 21、既有地球化學觀測站的分佈位置。 .....	23
圖 22、新竹大平地土壤氬氣成份連續變化與地震及時雨量之相關性。 .....	25
圖 23、花蓮東華土壤氬氣成份連續變化)與地震及時雨量之相關性。 .....	26
圖 24、臺東池上土壤氬氣成份連續變化與地震及時雨量之相關性。 .....	27
圖 25、地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖。 .....	28
圖 26、社頂站地下水水氬濃度變化，及地下水水氬濃度異常下降之可能地震前兆。 .....	29
圖 27、嘉義網達邦測站(DARB)與太興站(TAIS)應變資料。 .....	30

## 摘要

民國 102 年 10 月 31 日下午 20 時 2 分在花蓮縣瑞穗鄉發生芮氏規模 6.4 大地震，震央位於北緯 23.57 度、東經 121.35 度，深度 15.0 公里，震央位置位於花蓮縣萬榮鄉，依據交通部中央氣象局地震報告資料顯示，最大震度區域為花蓮縣西林震度達 7 級，後續造成的有感餘震一週內達到 57 次。本次地表地質調查重點主要在花蓮地區已知的活動斷層及構造線附近。此外，也在地震後進行花蓮地區較大範圍的移動式 GPS 與水準量測工作，瞭解地表同震變形的分布情形。活動斷層觀測資料分析部分，也進行 GPS 追蹤站、地球化學、水位與井下應變儀等觀測資料的檢視與分析。

根據中央氣象局與中央研究院地球科學所解算出的斷層面解結果來看，引發地震的斷層為北北東走向西傾斜約  $45^{\circ}$ - $59^{\circ}$ ，帶有左移分量的逆斷層，其位態與鄰近地區現階段已調查的活動斷層位態皆不相符，可能屬於一未出露地表且未被觀察到的掩覆斷層。地震後針對主餘震分布區域進行地表變形調查，並未發現明顯與 1031 地震有關之地表破裂。由於破壞現象極少極輕微，分布位置亦無關係，應與縱谷內現已知構造無明確關聯。

蒐集震區附近 GPS 連續追蹤站震前及震後的觀測資料，觀測結果顯示最大水平與垂直位移量皆在光復鄉大興村、大豐村一帶，水平位移量約 6.2 公分，方向朝西偏南。水準測量整體結果指示，震央北側地區抬升量較南側地區大，西側地區的抬升量較東側地區大的現象。

在斷層活動性觀測土壤氣體觀測結果，此次花蓮 1031 地震震央，大致上位在大平地、東華站和池上觀測站的敏感偵測區之交集位置，故此三座觀測站皆有偵測到地震前的可能異常變化，然而所有水位觀測站則皆未出現顯著異常。另外，嘉義測網的井下應變儀資料在扣除氣壓影響與地潮影響之後，於 9/18~9/23 之間應變的趨勢明顯有轉折，轉變為相對伸張，初步排除地下水效應的影響，可能為 10/31 花蓮地震相關的應變異常。

由於引發 1031 地震的斷層並未出露地表，因此所造成的災情多係地震的強烈搖晃所致，花蓮地區的地震活動本就相當頻繁，且位於板塊碰撞邊界，仍有可能發生更大規模之地震，惟有加強建築物安全設計標準與多進行教育民眾相關地震疏散之宣導，方能減少地震發生可能帶來的損失與傷害。針對類似深藏在海底深處孕震構造，應該要加強地震地質調查工作與活動斷層觀測網的觀測與分析能力，並配合區域尺度的微震觀測進行構造解釋。

## 壹、 引言

民國 102 年 10 月 31 日下午 20 時 2 分在花蓮縣瑞穗鄉發生芮氏規模 6.4 大地震，震央位於北緯 23.57 度、東經 121.35 度，深度 15.0 公里，震央位置位於花蓮縣萬榮鄉(圖 1)，依據交通部中央氣象局地震報告資料顯示，最大震度區域為花蓮縣西林震度達 7 級，震度 5 級區域包含花蓮縣花蓮市、南投縣合歡山、以及宜蘭縣南山等(圖 2)；最大地表加速度值出現在西林站(NS 431.28gal, EW 427.03gal)，後續造成的有感餘震一週內達到 57 次。這起地震造成部分地區停電，且大台北地區捷運與高鐵為避免發生意外，也採取迴避性的停駛，根據國家災害防救中心之統計資料，本次地震僅發生零星災情，包括民眾受困電梯、傢俱物品傾倒及民眾受傷，全臺學校校舍有 72 間校舍輕微受損等。根據氣象局的地震速報，其震央位置於花蓮縣政府南偏西方 52.9 公里，於花蓮縣瑞穗鄉內，後收集更多的測站資料後現修正震央位置在花蓮縣政府南偏西方 54.6 公里，位於花蓮縣萬榮鄉內，氣象局已將其編列為 102 年編號第 121 號地震，而為便於區分各地震時間順序，本報告中乃循前列，本報告中將以地震發震日「20131031 地震」或「1031 地震」稱呼此次地震事件。

本次地表地質調查重點主要在花蓮地區已知的活動斷層及構造線附近。此外，也在地震後緊急進行花蓮地區較大範圍的移動式 GPS 與水準量測工作，瞭解地表同震變形的分布情形。活動斷層觀測資料分析部分，也進行 GPS 追蹤站、地球化學等觀測資料的檢視與分析。以下分別就區域概況、地表地質調查、地表變形觀測、地球化學觀測、井下應變儀觀測，以及結論與建議等分別加以描述。

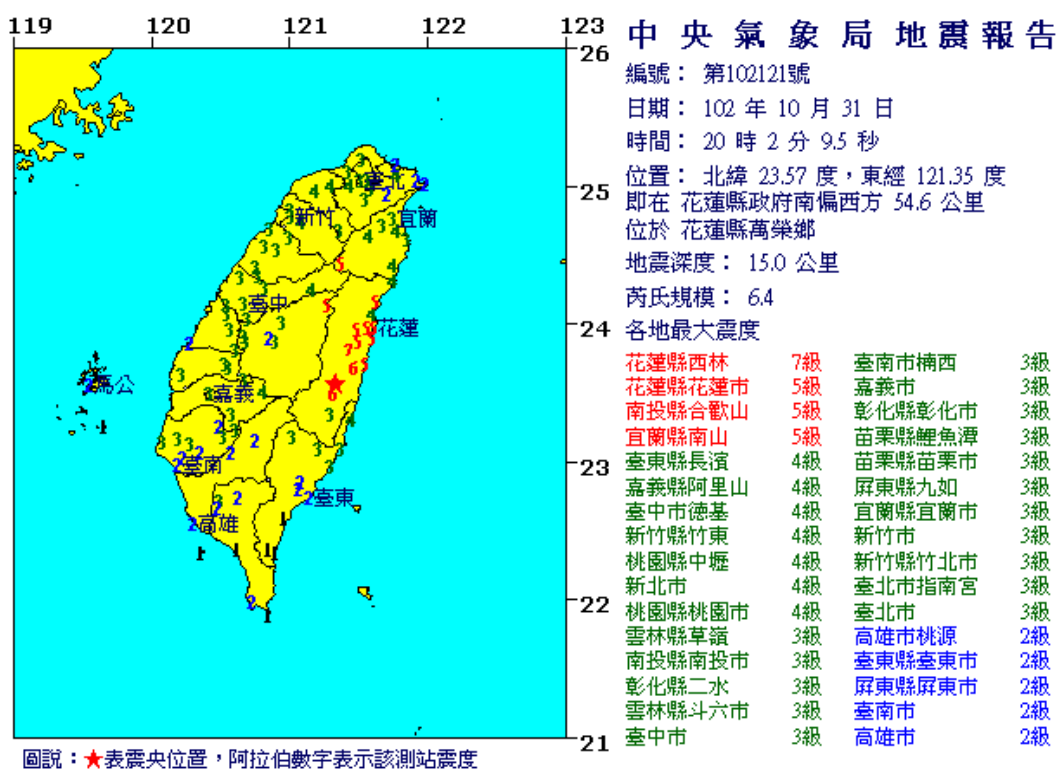


圖 1、編號第 102121 號地震報告。(資料來源：中央氣象局)

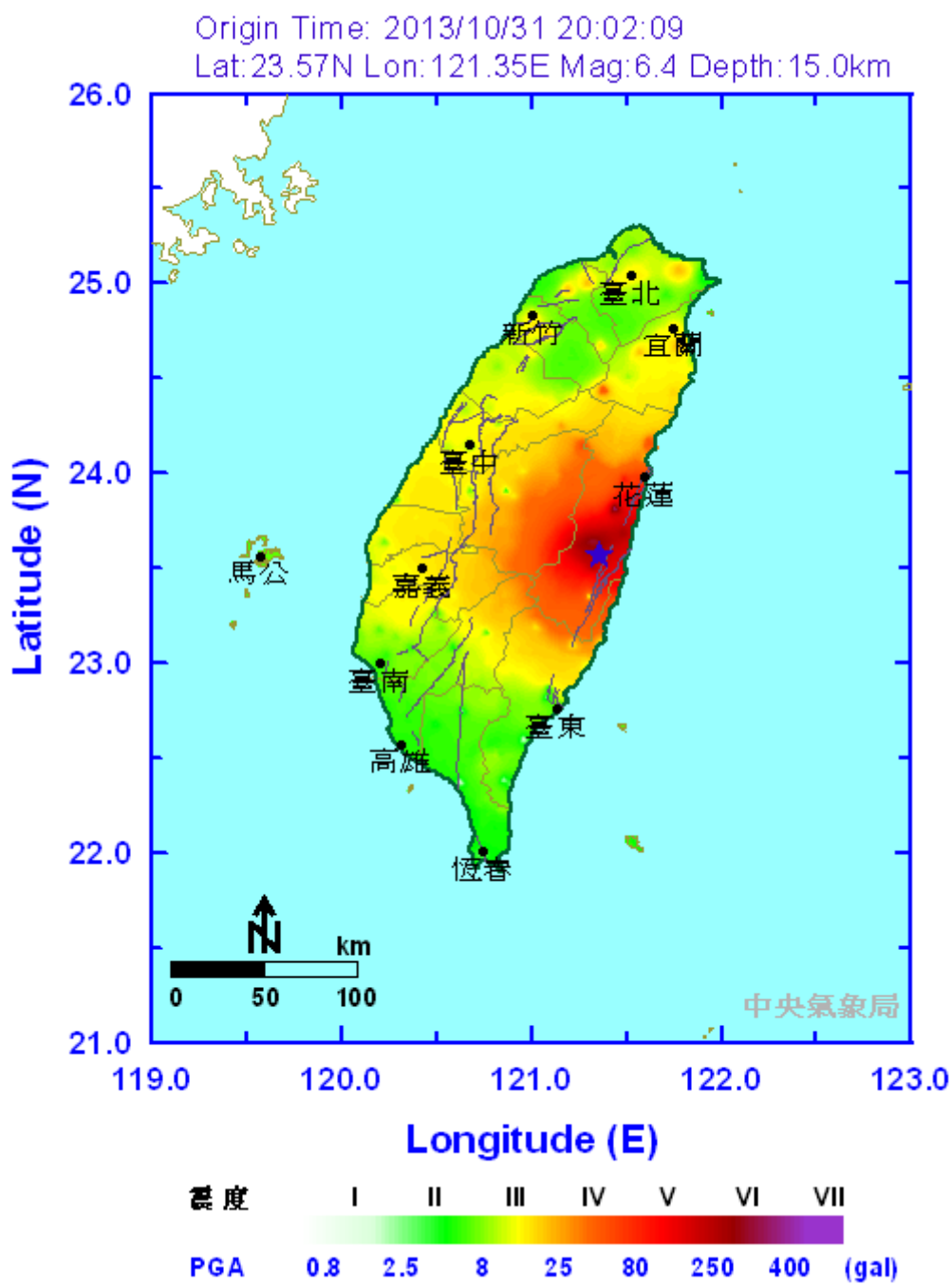


圖 2、等震度圖，星號為震央。(資料來源：中央氣象局)

## 貳、 區域概況

### 一、 區域地質

臺灣位於歐亞板塊和菲律賓海板塊的交界處，歐亞板塊主要是一個大陸型板塊，除了在南中國海區域有少許的海洋地殼外，整個中國大陸及其東南緣的淺海地帶，都是以大陸地殼為基底；菲律賓海板塊是一個海洋型板塊，每年大約以 7-8 公分的速度，朝西北方向移動。在臺灣的東北方，菲律賓海板塊沿著琉球海溝，向東北隱沒到歐亞板塊之下；在臺灣的南方，屬歐亞板塊的南中國海床則沿著馬尼拉海溝，向東南隱沒到菲律賓海板塊之下。兩板塊間相互的隱沒作用，使得臺灣東北方的歐亞板塊上，產生了琉球島弧；在臺灣東南方的菲律賓海板塊西緣，生成了呂宋島弧，而臺灣正位於兩個島弧系統之間的碰撞造山帶。兩大板塊正以花東縱谷為擠壓縫合線碰撞中，由於海岸山脈與中央山脈的碰撞擠壓，臺灣島自上新世以來逐漸隆起，也就是臺灣造山運動的開始，此造山運動從 5 百萬年以來持續至今，致使山脈不斷上升，也由東往西逐漸擴展。臺灣東部的臺東縱谷是歐亞板塊與菲律賓海板塊聚合的縫合帶。1960 年代末期板塊構造學說興起，畢慶昌(Biq, 1965)首先提出臺東縱谷是一個裂谷，由 2 條背向傾斜的高角度逆衝斷層所構成，西側為向西傾斜的中央山脈斷層，而東側分隔縱谷與海岸山脈者稱為海岸山脈斷層。徐明同(Hsu, 1971)利用 1963-1969 年規模大於 4 的地震資料，提出臺灣與鄰近地區的地體架構，及臺灣南部向東隱沒至菲律賓海板塊之下，而在臺灣東部菲律賓海板塊則向北隱沒致歐亞板塊之下。臺灣東部的活動斷層都位於這個縫合帶兩側，顯示此區域新期構造的活動特性(林啟文等，2009)。

根據幾個跨越縱谷三邊測量網及水準的研究得到之結果 (Yu and Liu, 1989) 顯示，花蓮地區之地殼變形主要集中在米崙斷層並呈現一年兩公分的左移潛移；而玉里及池上段則以逆衝縮短為主，集中在玉里及池上斷層帶，呈現每年兩公分之潛移；臺東段地表變形分為兩個斷層帶在卑南山兩側，西側之鹿野斷層以逆衝為主，東側之利吉斷層則有明顯的左移分量。大區域尺度的 GPS 的資料，提供了整個縫合帶區域的地殼變形大致型態：縱谷吸收了每年約 3 公分的壓縮，佔了板塊聚合每年 8 公分的 37% (Yu et al., 1997; Yu and Kuo, 2001)；縱谷斷層從北到南可以分成 4-5 條不同活動行為的斷層區段，除最北端之花蓮段為快速潛移外，在瑞穗以北之北段大致是鎖定，而南段則大致是以快速潛移為主(李建成，2008)。

臺灣東部的臺東縱谷是歐亞板塊與菲律賓海板塊聚合的縫合帶(suture zone)，延著縱谷分布相當多的活動斷層，從北至南分別有米崙、嶺頂、瑞穗、奇美、玉里、池上、鹿野與利吉斷層延互整條縱谷(圖 3)，此次地震的震央位置位於瑞穗



與奇美斷層西側，而瑞穗與奇美斷層皆屬於南北走向、向東傾斜的逆斷層，因此 1031 地震之發震機制應與這兩條活動斷層無關。

## 二、 地震資料

依據中央氣象局地震報告，本次地震主震（氣象局本年度編號 121 號地震）發生於 102 年 10 月 31 日 20 點 2 分 9 秒，地震芮氏規模為 6.4，震央位置位於北緯 23.57 度，東經 121.35 度，即位於花蓮縣政府南偏西方 54.6 公里，於花蓮縣萬榮鄉一帶，地震深度約 15 公里，最大震度區域為花蓮縣西林地區震度達 7 級，震度 5 級區域包含花蓮縣花蓮市、南投縣合歡山、以及宜蘭縣南山等；最大地表加速度值出現在西林站(NS 431.28gal, EW 427.03gal)，後續造成的有感餘震一週內達到 57 次，從餘震分布來與斷層機制結果來看，造成此次地震的破裂面應為一高角度向西傾斜且帶有左移分量之逆衝斷層(圖 4)。

此次地震中央氣象局(圖 5)與中央研究院地球科學所(圖 6)分別進行地震資料收集與震源機制之解算，兩者解算成果相近，氣象局震源機制解算成果的 2 個解釋斷層面，其中一個面為近東西走向向南傾(86°/47°/136°)，另一個面為北北東-南南西走向、向西北高角度傾斜(209°/59°/51°)。中央研究院地科所的震源機制解算成果的 2 個解釋斷層面，分別為近南北走向、向西傾(183°/45°/40°)，以及東北東西南西走向、高角度向東南方向傾(62°/62°/127°)，兩者的斷層機制解算結果顯示，此次地震是為一帶有左移分量之逆移斷層所引起。根據中央研究院李憲忠研究員計算(圖 7)，在氣象局計算之斷層面解中，配合 GPS 的觀測資料進行模式反演與餘震分布情形，以北北東-南南西走向(209°/59°/51°)較為接近斷層真實錯動的平面，斷層面向西傾向約 45°-59°，據左移走滑分量，初始破裂約在 15 公里深處，主破裂發生後，仍有零星破裂於淺處發展，破裂持續時間約 18 秒，並演算出平面上最大錯移為 0.71m，然而該地區尚無發現明確的南北向、向西傾斜之活動斷層，因此 1031 地震是否為現有已知之活動斷層有關，其破裂面的位態與該區域地下構造形貌的差異，仍需要藉由更多的調查分析資料來釐清。

比對本區域現有之「五萬分之一臺灣地質圖-光復圖幅」(衣德成等, 2012)、「臺灣東部與南部的活動斷層」(林啟文等, 2009)與「十萬分之一海岸山脈地質圖」(陳文山等, 1996)等地質資料，本地震發生於海岸山脈地質區內，該區域符合近東北西南走向之淺部斷層構造有瑞穗斷層、奇美斷層與嶺頂斷層，這些斷層皆為近南北走向，此地區無近東西向走向之斷層分布，然而南北向之斷層傾向皆為向東傾斜，與斷層機制解中南北向斷層面解傾向有所差異，是否為前述調查已知之斷層錯移造成之地震，仍有待進一步的結果與討論才能確定。

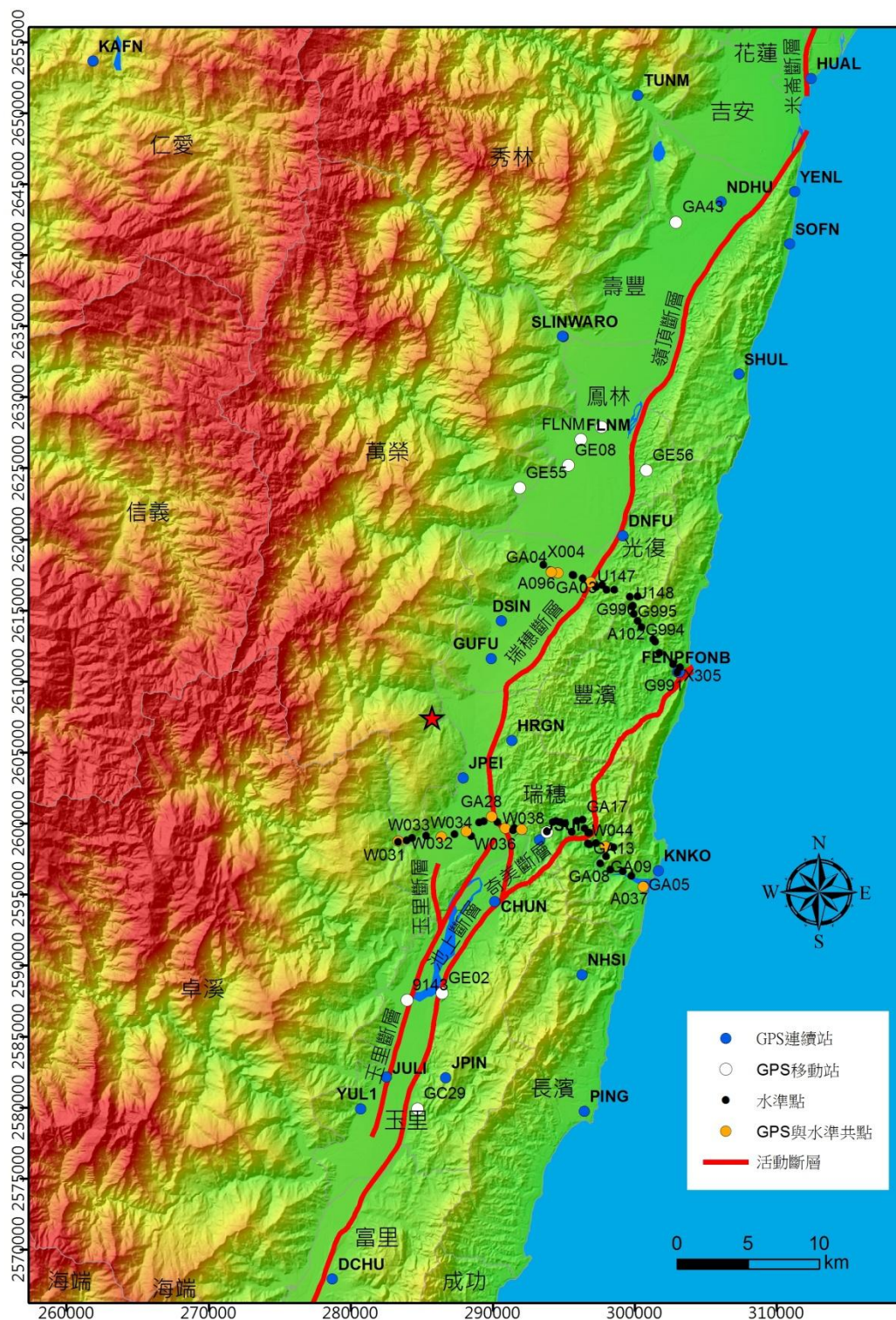


圖 3-1031 地震震央鄰近地區現有已完成調查確認之活動斷層分布與所有觀測點位分布圖，包含 GPS 連續觀測站、GPS 移動站及水準點，紅色星號為震央位置，觀測站型式如圖例所示。

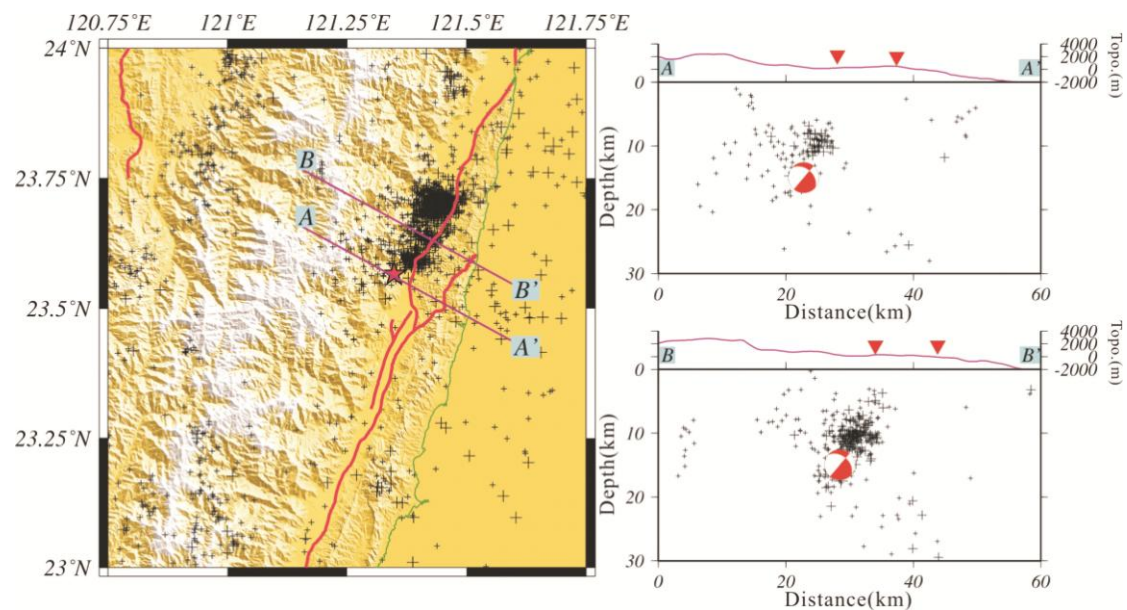


圖 4、1031 地震後一周內主餘震分布情形(資料來源: 蒲新杰, 中央氣象局)

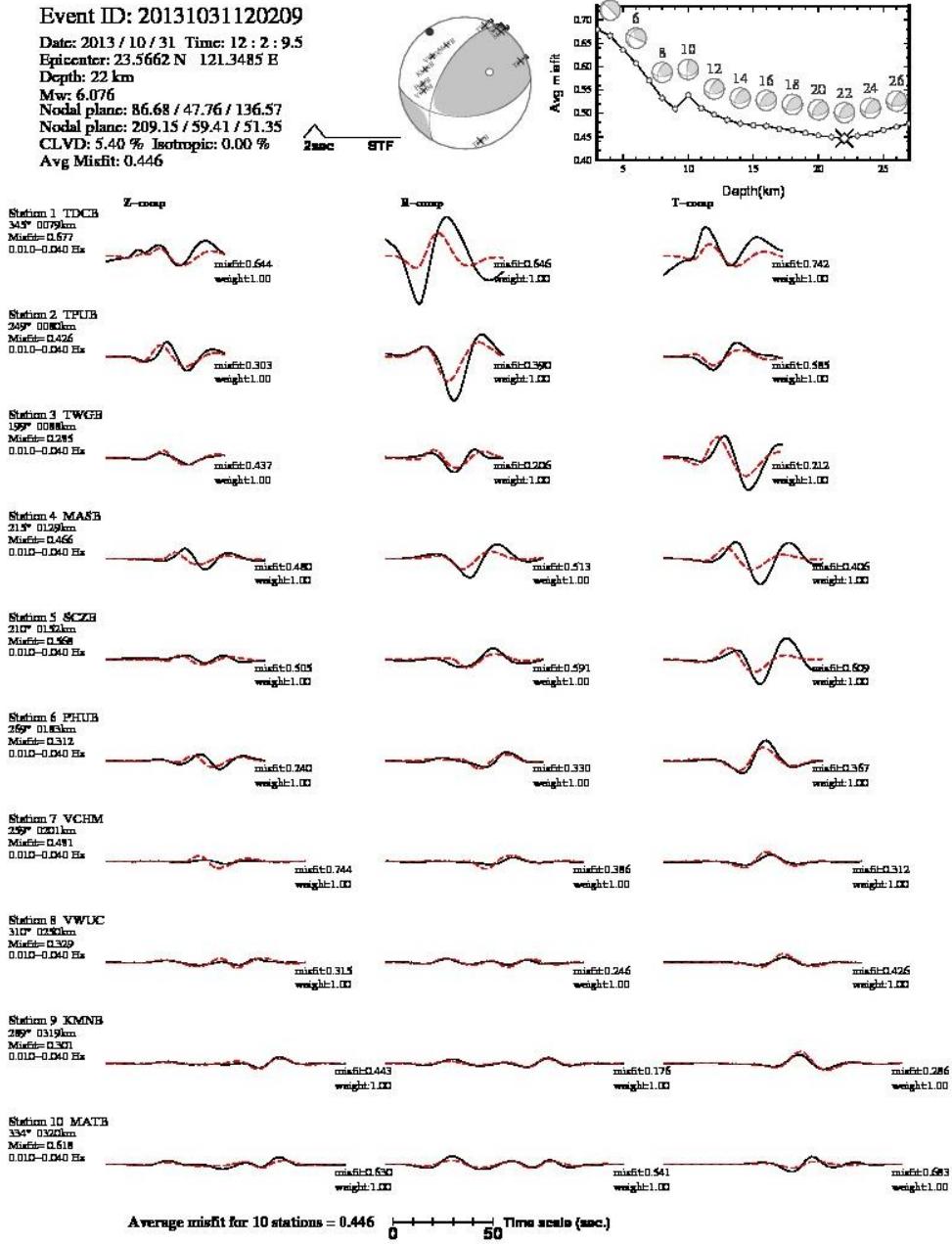


圖 5、中央氣象局計算之斷層機制解(資料來源: 蒲新杰, 中央氣象局)。

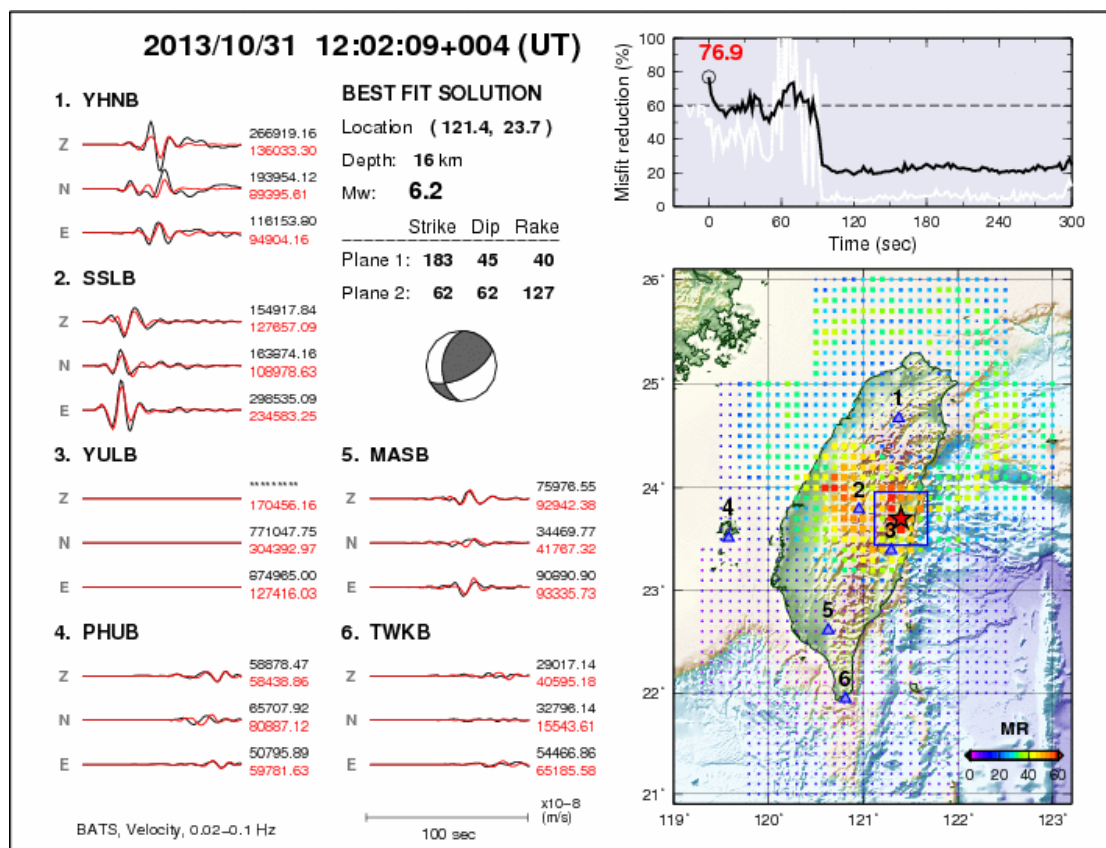


圖 6、中央研究院地球科學所即時地震矩張量監測系統(Real-Time Moment Tensor Monitoring System, RMT)計算之震源機制解(資料來源:李憲忠, 中央研究院)。

# Slip distribution

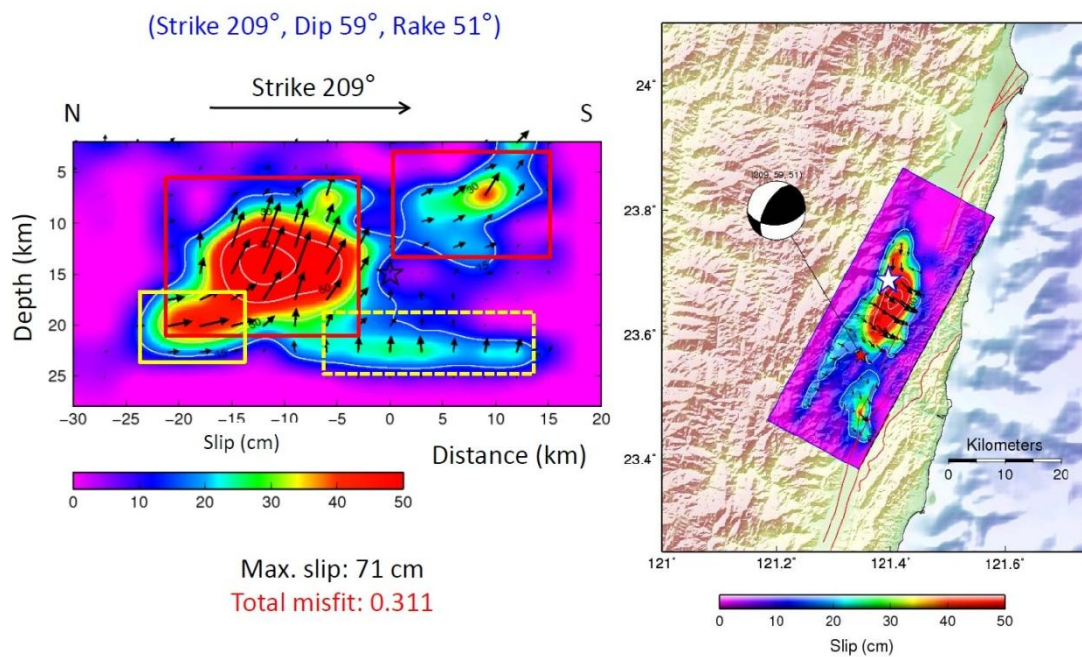


圖 7、1031 地震破裂滑移模擬結果(資料來源:李憲忠, 中央研究院)

## 參、 地表地質調查

花蓮 1031 地震後，本所針對主餘震分布區域(圖 8)進行地表變形調查，調查範圍北起鳳林，南至瑞穗、春日，東至大港口、西至中央山脈東麓，主要沿 193 公路、瑞港公路、縱谷內道路、堤防等等作數條東西及南北向剖面，並特意調查瑞穗斷層、玉里斷層及已變形抬升的瑞良、光復東階地進行調查，確認是否有地表變形、噴砂液化與人工結構物破壞，及是否有線性分布關係。目前調查結果顯示僅有極少數的人工結構物破壞，在 193 縣道，接近自強外役監獄附近，未灌漿之砌石駁坎部分塌下(圖 9，圖 8 點位 1)、水溝基底水泥部分翹起，為舊有破裂稍擴大(圖 10，圖 8 點位 2)，193 縣道西側，接近鶴岡，小河溝之駁坎舊有破裂稍擴大。另外，此駁坎之舊有破壞似受逆衝型式之潛移所致，並位於瑞穗斷層之線形崖附近，未來將於南北側與線形崖延伸位置上確認有無相應之潛移破壞。(圖 11，圖 8 點位 3)；花蓮瑞穗紅葉國小之圍牆舊有裂隙開張，並造成磁磚掉落(圖 12，圖 8 點位 4)等等，其他調查瑞港公路部分路段原本就容易發生落石，該路段於地震前即有落石發生(圖 13，圖 8 點位 5)及馬太鞍溪北岸堤防舊有裂隙無明顯擴大現象(圖 14，圖 8 點位 6)、河床(圖 15，圖 8 點位 7)上並未發現明顯與 1031 地震有關之地表破裂，沿河川進行巡視，目前尚未發現明顯噴砂或液化現象，但也可能已受大雨或暴漲溪水沖刷消失。由於破壞現象極少極輕微，分布位置亦無關係，也與縱谷內現已知構造無明確關聯。

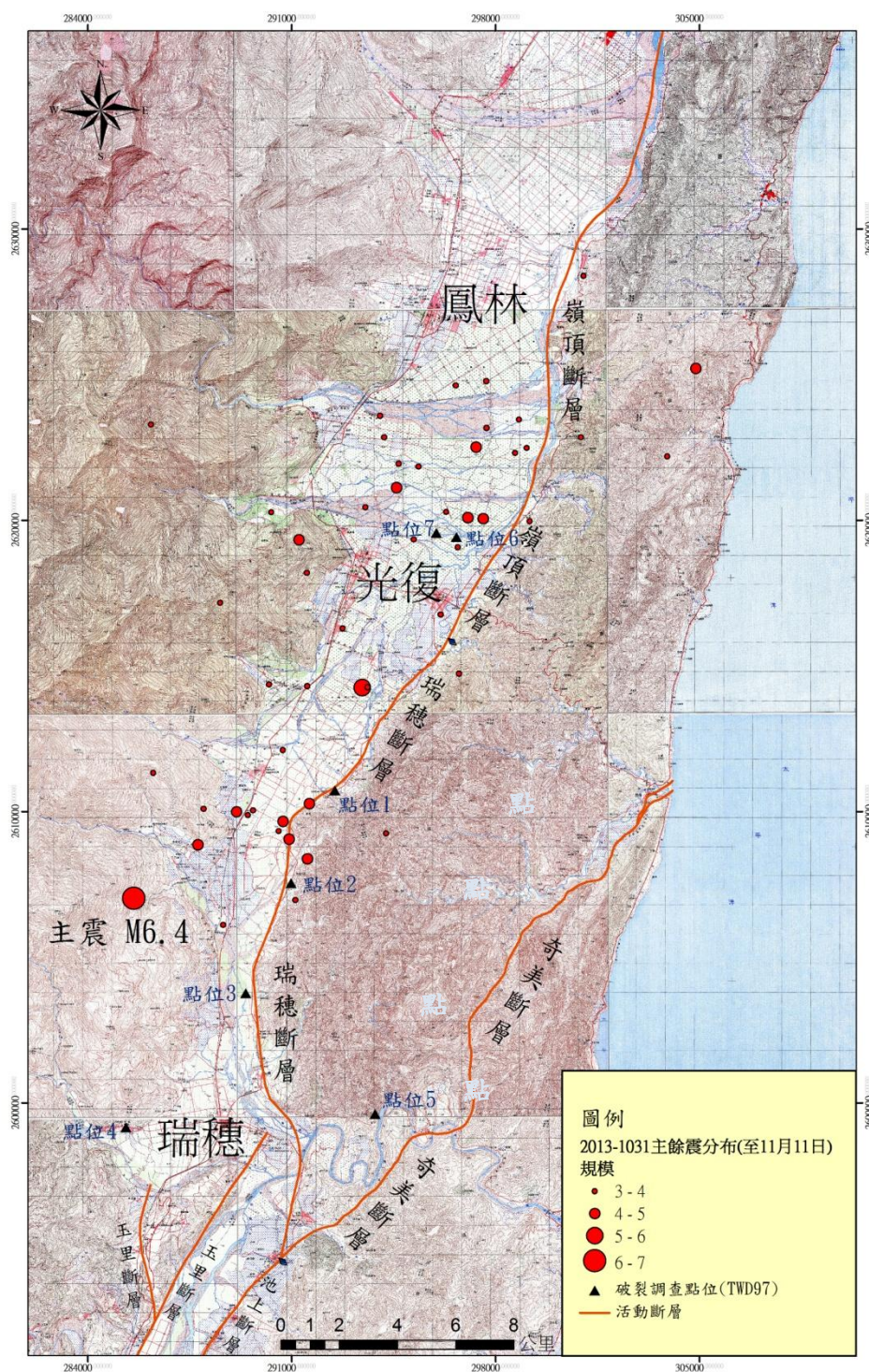


圖 8、20131031 瑞穗地震主餘震分佈 (10/31~11/6，規模 3 以上) 與破壞點位位置。(地震分布資料來源：中央氣象局)





圖 9、點位 1 照片，193 縣道，接近自強外役監獄附近。



圖 10、點位 2 照片，193 縣道，接近自強外役監獄附近。



圖 11、點位 3 照片，193 縣道西側鶴岡附近。



圖 12、點位 4 照片，花蓮瑞穗紅葉國小圍牆。



圖 13、點位 5 照片，瑞港公路。



圖 14、點位 6 照片，馬太鞍溪旁堤防。



圖 15、點位 7 照片，馬太鞍溪溪床。

## 肆、 地表變形觀測

蒐集震區附近 GPS 連續追蹤站震前及震後的觀測資料，資料來源包含中央研究院(IES)及中央氣象局(CWB)設置之 GPS 追蹤站，獲得初步的變形資訊後，本所規劃並進行了大區域的 GPS 移動站測量(21 個測站，連續同步觀測 6 小時以上)與二條精密水準測量(光復-豐濱測線與紅葉-靜浦測線，圖 3，中興測量，2013)，整合所有資料後解得同震水平位移(圖 16)與垂直位移場(圖 17)，觀測結果顯示較大的變形集中在震央附近地區，最大水平位移為震央東北方靠近光復鄉大興村、大豐村一帶，水平位移量約 6.2 公分，方向朝南偏西；震央南側紅葉-靜浦測線的 GPS 共點顯示有約 2 至 3 公分的水平位移，但是位移方向由東往西有呈現以逆時針方向旋轉的型態。垂直變動方面，GPS 的成果顯示較大的垂直位移同樣出現在震央西北方靠近光復鄉大興村、大豐村一帶，抬升量可達約 14 公分。

受限於 GPS 測量在垂直方向的觀測精度較差，利用精密水準測量的成果可以得到較準確的垂直變形資訊，由地震前後的二次觀測結果顯示，震央北側的光復-豐濱測線整段均呈現抬升的情形，並且愈往西方向抬升量愈大(圖 18)，靠近馬太鞍橋一帶抬升量已達約 12 公分；震央南側的紅葉-靜浦測線亦顯示整段均抬升的現象，整體抬升量較北側測線小(圖 19)，但是同樣呈現愈往西方向抬升量愈大的型態，測線在通過瑞穗斷層附近有一較大的抬升量差異，最大抬升量在紅葉內溫泉附近，約抬升 3 公分。水準測量整體結果指示(圖 20)，震央北側地區抬升量較南側地區大，西側地區的抬升量較東側地區大的現象。

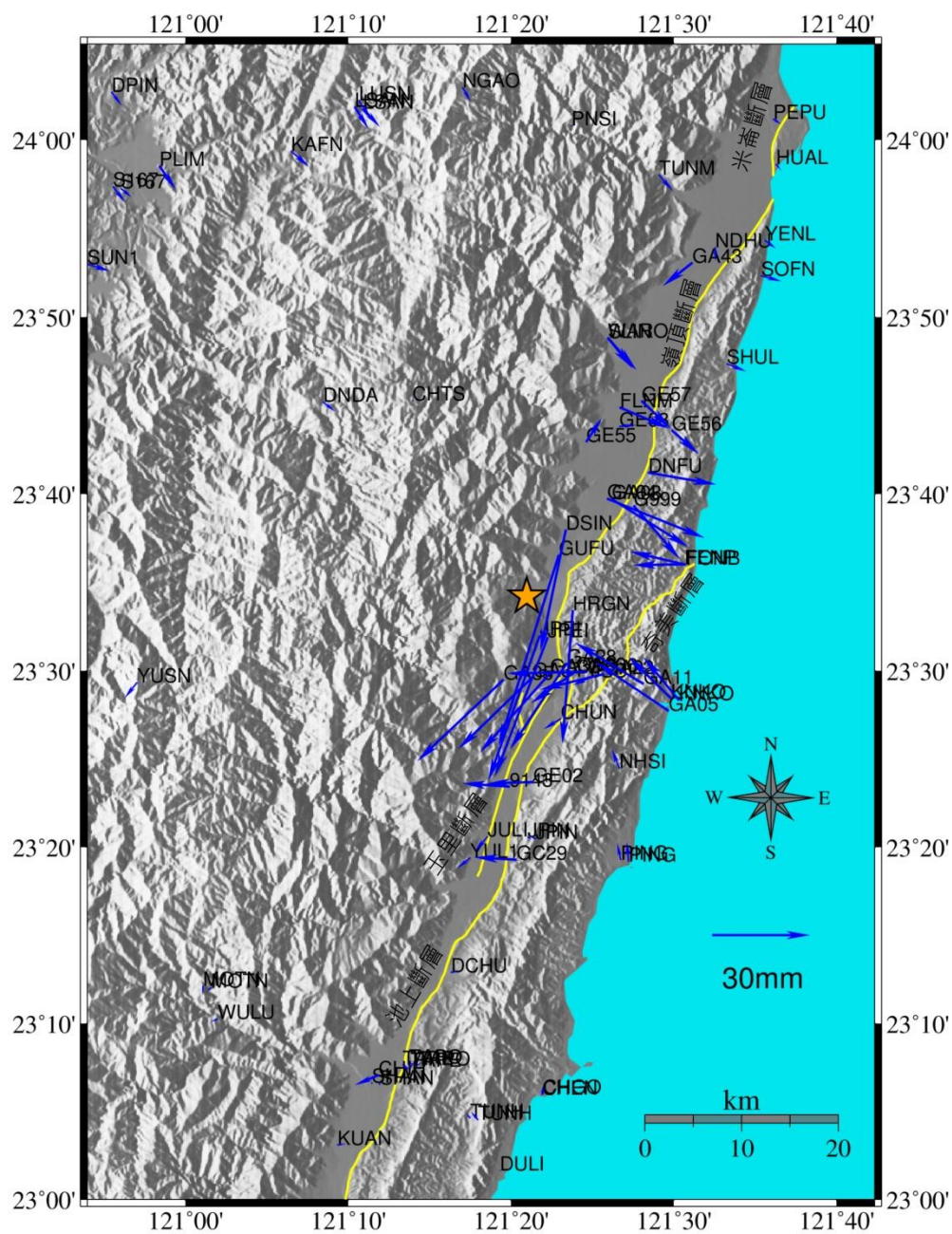


圖 16、利用 GPS 連續站(Continuous)及移動站(Campaign mode)資料解得之同震水平位移分布圖，參考點為澎湖白沙站(S01R)，橘色星號為震央位置，黃色實線為活動斷層，藍色箭頭代表各站位移方向及其大小(可參考圖例之比例尺)。

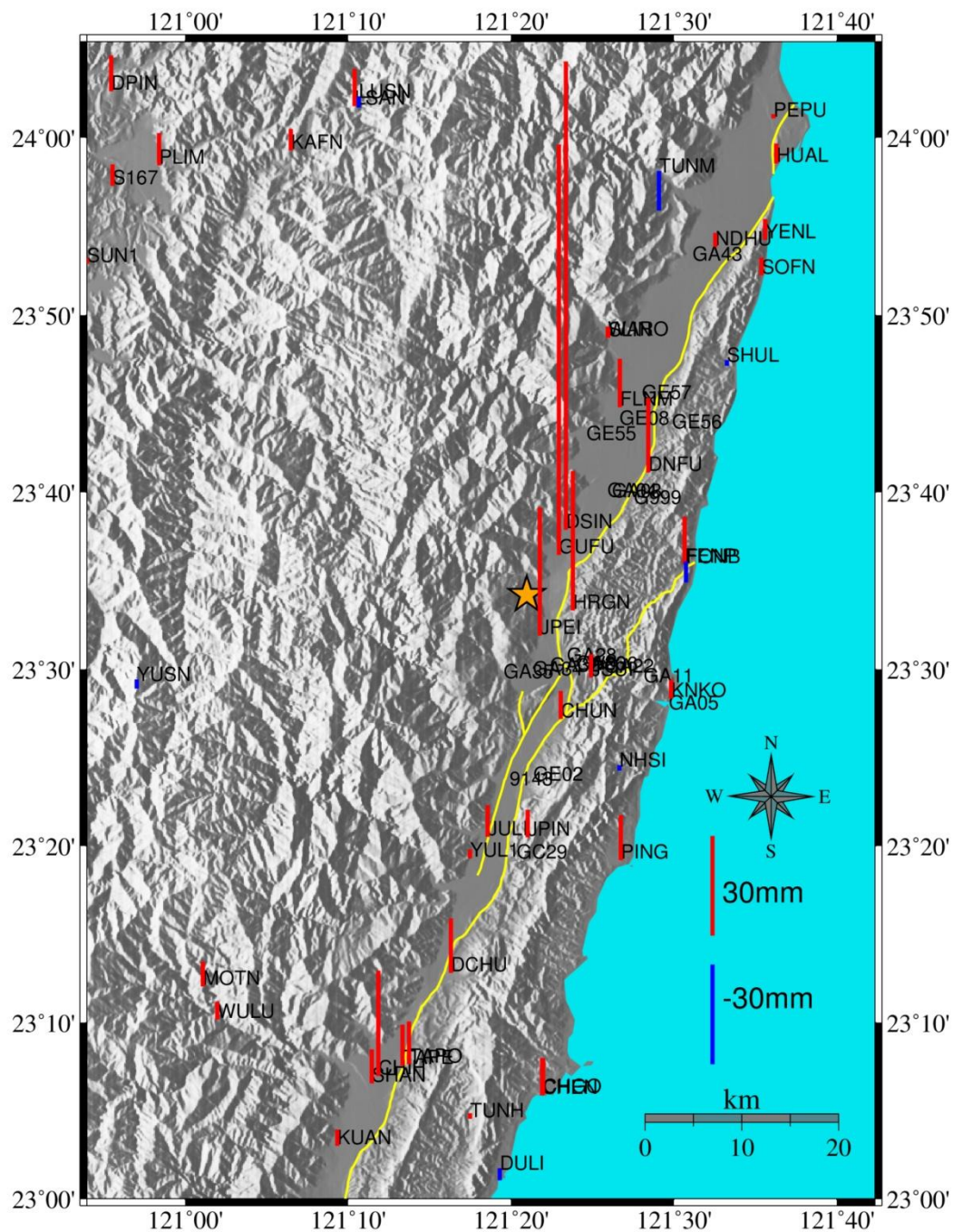


圖 17、利用 GPS 連續站(Continuous)解得之同震高程位移分布圖，參考點為澎湖白沙站(S01R)，橘色星號為震央位置，黃色實線為活動斷層，紅色及藍色線段分別代表各站高程抬升或下陷程度(量值可參考圖例之比例尺)。

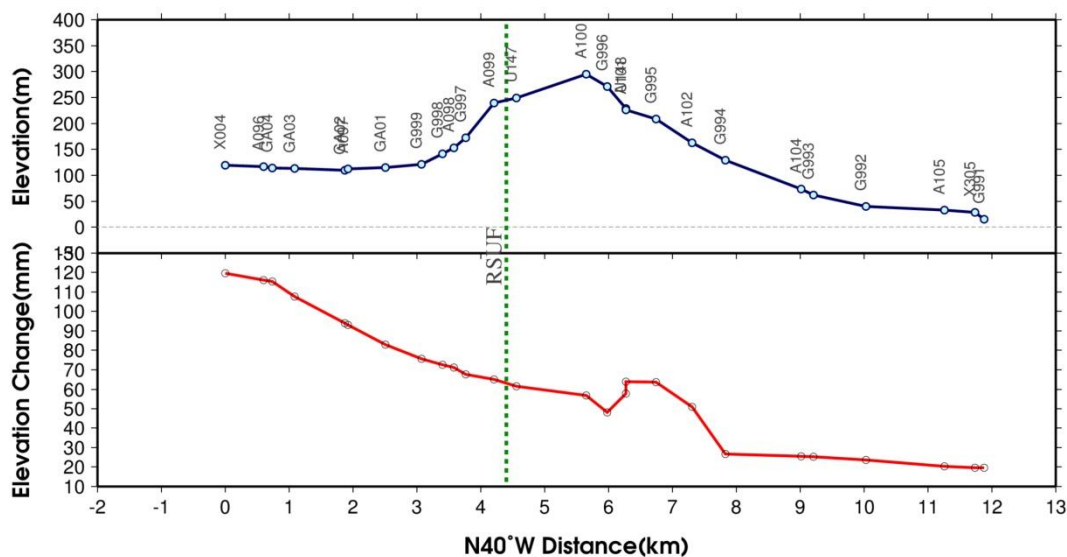


圖 18、光復至豐濱水準測線所得之同震高程變動圖，觀測時間為 102 年 10 月、11 月，剖面方向為北偏西 40 度，上方藍色實線代表地形，下方紅色實線為地震前後的高程變動值，高程變動參考值來自於 GA03(點名：馬太鞍橋)，該點於地震前後均進行過 GPS 測量，綠色虛線為瑞穗斷層(RSUF)位置。

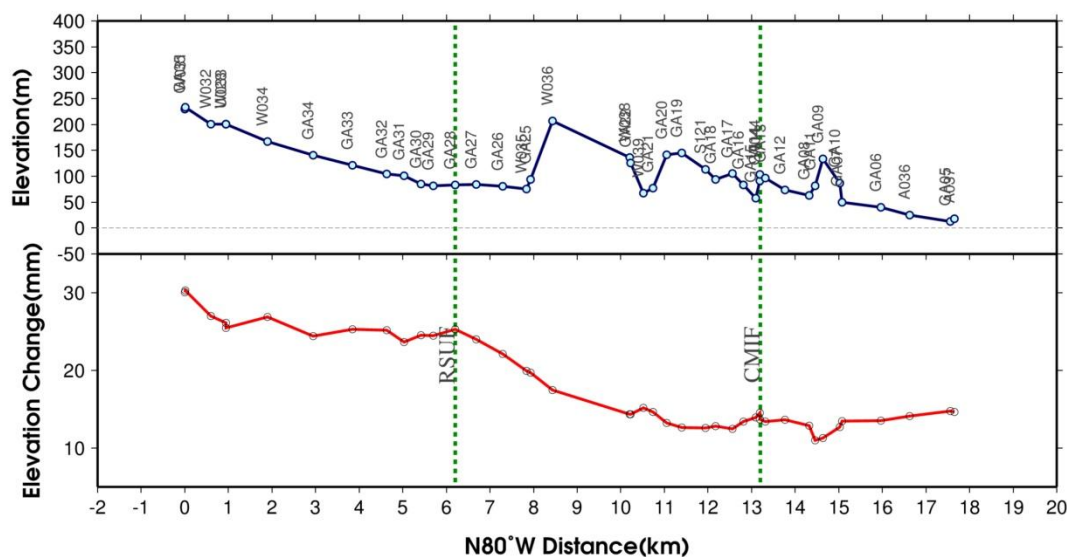


圖 19、紅葉至靜浦水準測線所得之同震高程變動圖，觀測時間為 102 年 10 月、11 月，剖面方向為北偏西 80 度，上方藍色實線代表地形，下方紅色實線為地震前後的高程變動值，高程變動參考值來自於 GA35(點名：紅葉內溫泉)，該點於地震前後均進行過 GPS 測量，綠色虛線為瑞穗斷層(RSUF)及奇美斷層(CMIF)位置。



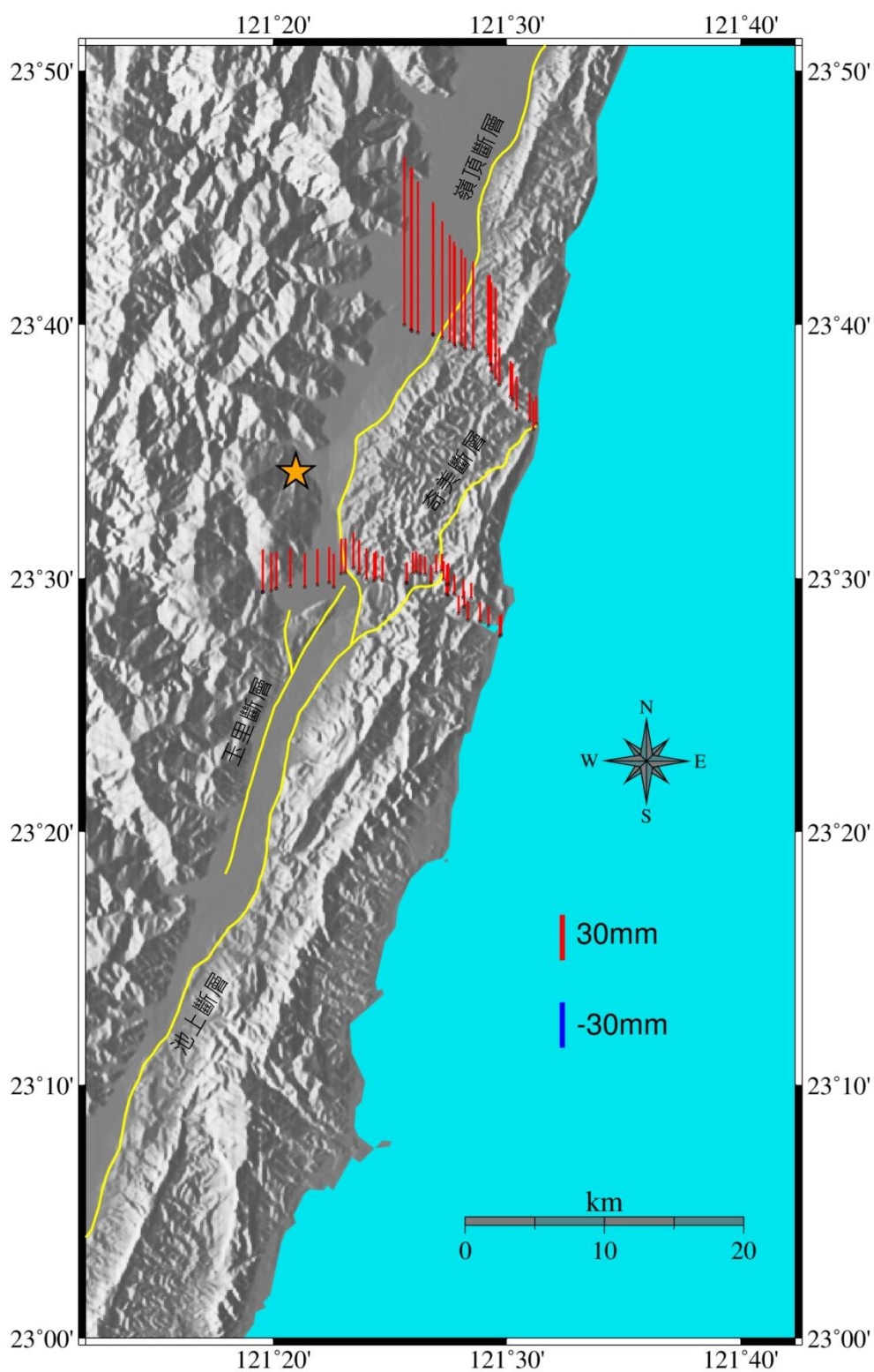


圖 20、二條精密水準測線的觀測結果。橘色星號為震央位置，黃色實線為活動斷層，紅色線段代表各水準點地震前後的高程抬升程度(量值可參考圖例之比例尺)。

## 伍、 地球化學與水位觀測

選擇位於斷層帶附近的適當位置，設置氣體與水氣地球化學與水位遠端傳輸觀測站，配合鄰近地區之地殼活動觀測資料，將有助於吾人瞭解該地區之斷層、地震活動與觀測結果之關聯，並進一步觀測其活動可能之前兆訊息與可能機制。圖 21 為地球化學與水位觀測站的分佈情形，根據過去的觀測結果我們可經由地震活動所造成的異常變化而初步劃分出各觀測站的異常反應範圍，當各測站的反應區間出現交集處，則地震可能將發生在這個區域(胡植慶等，2013)。

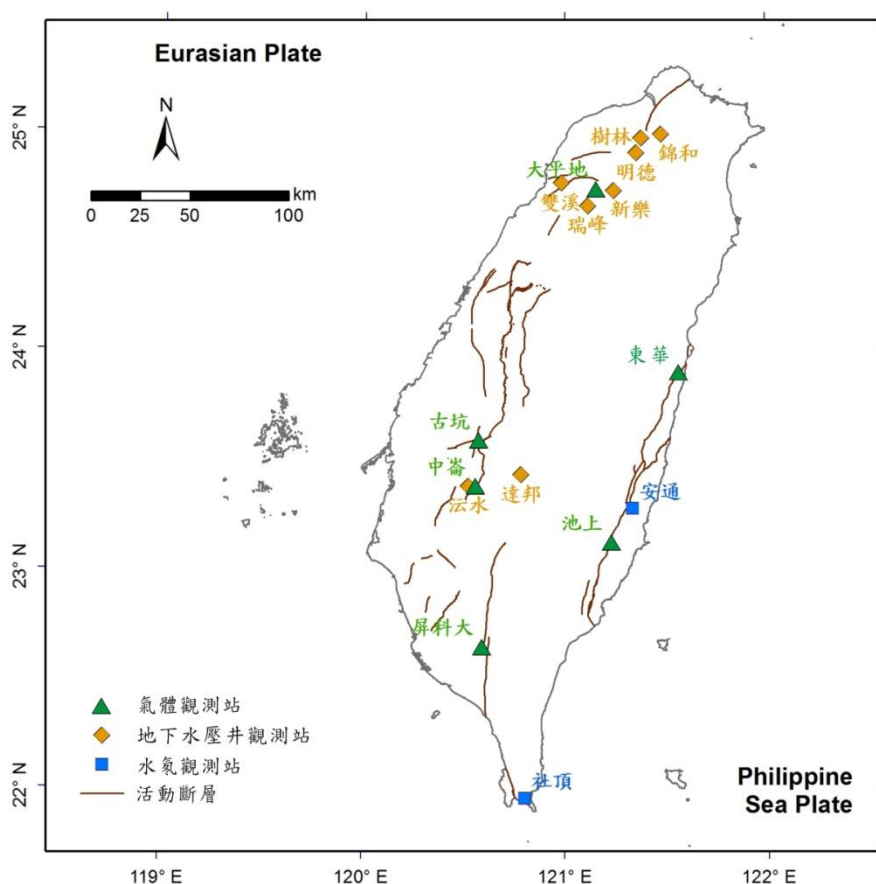


圖 21、既有地球化學觀測站的分佈位置。

過去，各觀測站所定義的異常可能過於主觀認定或因邊界效應的緣而造成異常的誤判，故有時會存在認定之異常標準的問題。本研究分別利用疊代式高斯平滑法 (Iterative Gaussian Smoothing) 和 14 天的滾動平均值(Rolling Average)，兩方法相減後將數值標準化(Normalize)，而大於 1 倍標準差則定義為異常。

綜合觀測資料我們發現，新竹大平地站(圖 22)的結果顯示這段時間有兩段顯著地異常升高區間(如圖紅虛框所示)，分別為 9 月 26 日至 10 月 5 日和 10 月 20 日至 10 月 31 日的濃度異常。其中在第一段的異常可能與 10 月 11 日在台北汐止附近發生規模 5.2 的地震有關。第二段的異常持續了約 12 天之後，標準化數值也達到 1 倍標準差的門檻值(如圖藍虛框所示)。花蓮東華站(圖 23)的結果顯示結果顯示 8 月 25 日起氬氣濃度開始上升(如圖紅虛框所示)，約 9 日後於測站附近 37 公里處發生規模 3.9 的地震；兩天後又開始出現濃度升高的趨勢(如圖紅虛框所示)，接著在 10 天後，於測站附近 28 公里處發生規模 4.2 的地震，其中，標準化數值皆高於 1.5 倍標準差值(如圖藍虛框所示)，推測這段時間的濃度異常變化應該與 1031 地震有關。臺東池上站(圖 24) 結果顯示在 10 月 22 日開始氬氣濃度開始增加(如圖紅虛框所示)，9 天後發生了 1031 花蓮瑞穗地震，其標準化數值也呈現這段時間高於 1 倍標準差值(如圖藍虛框所示)。此外，10 月 14 日發生於測站南邊 14 公里的地震(規模 3.5)，在其發生的 6 天前，氬氣也偵測到異常。

前述三座觀測站之土壤氣體成份於地震前出現可能為前兆之異常變化；而這些站位皆未有同震的成份變化；代表該站位之氣體成份，受到應力擠壓於主震發生前皆已釋放完畢。此外，雲林古坑與中崙觀測站的結果並未觀測到顯著的濃度變化。屏科大觀測站在 1031 花蓮瑞穗地震發生前氬氣濃度並未出現顯著地變化，有助於進一步推估地震應發生在臺灣東部地區為主。依照過去幾年來的觀測經驗，已建立了各觀測站對於地震的敏感反應區間，而這段觀測時間中，僅在土壤氣體大平地站、東華站及池上站出現異常，因此可推斷該地震應有很大的機率會出現在這些觀測站的敏感偵測區的交集處(如圖 25)。

在地下水觀測方面，除臺北站群中的樹林站對 1031 地震有同震而無震前反應反應外，其他各站震前水位皆無觀測到異常現象。同樣地，新竹站群與嘉義站群亦無發現有震前水位異常反應。圖 26 為 2009 年 1 月至 2013 年 10 月之墾丁公園社頂監測站地下水水氣濃度監測數據，其中 2013 年 8 月 29 日及 2013 年 10 月 22 日分別監測到地下水水氣濃度異常下降之現象，但不確定是否與 1031 的花蓮瑞穗地震有關。

綜觀在目前的觀察結果，可以發現到在某些較大的地震發生前，有兩個或兩個以上的土壤氣體觀測站或地下水壓觀測站可以發現到異常變化，尤其是規模較大的地震，其異常的前兆反應通常更是較為顯著。

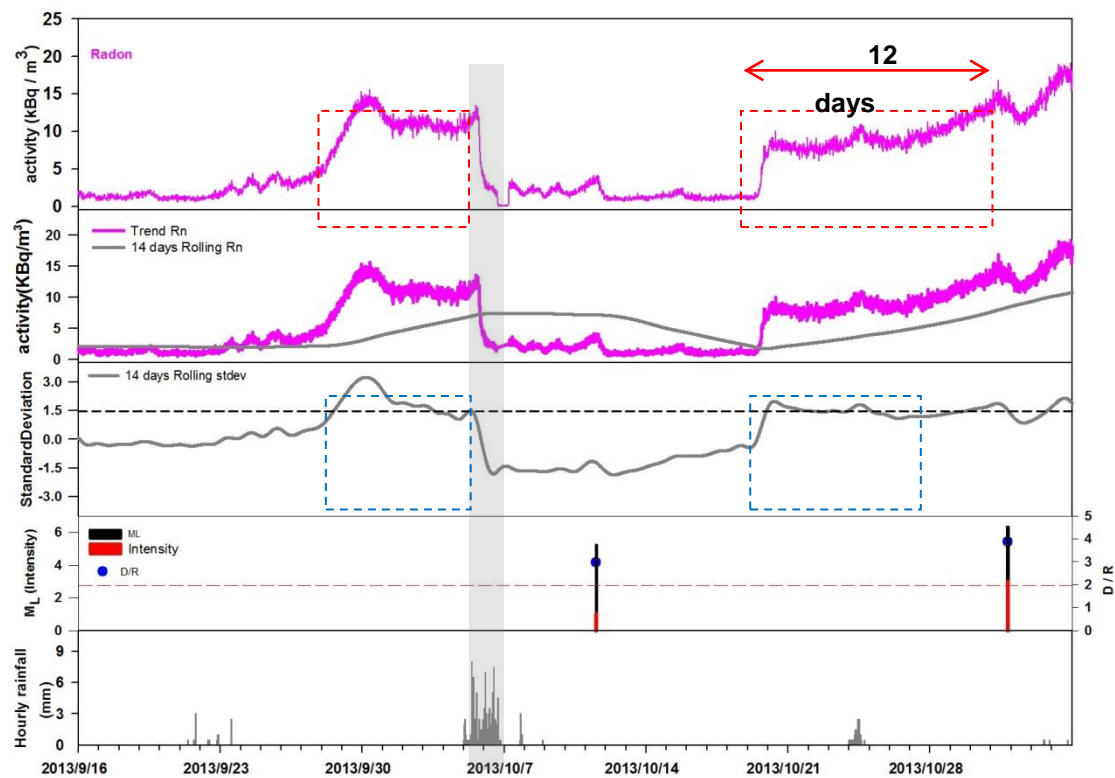


圖 22、新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、14 天滾動平均值、標準化數值(1 個標準差來表示其異常門檻)與地震及時雨量之相關性。灰色陰影部分代表受降雨影響時段；EQ ( $M_L$ )：地震規模； $M_I$ ：地震震度 (2013/9/16-2013/11/4)。

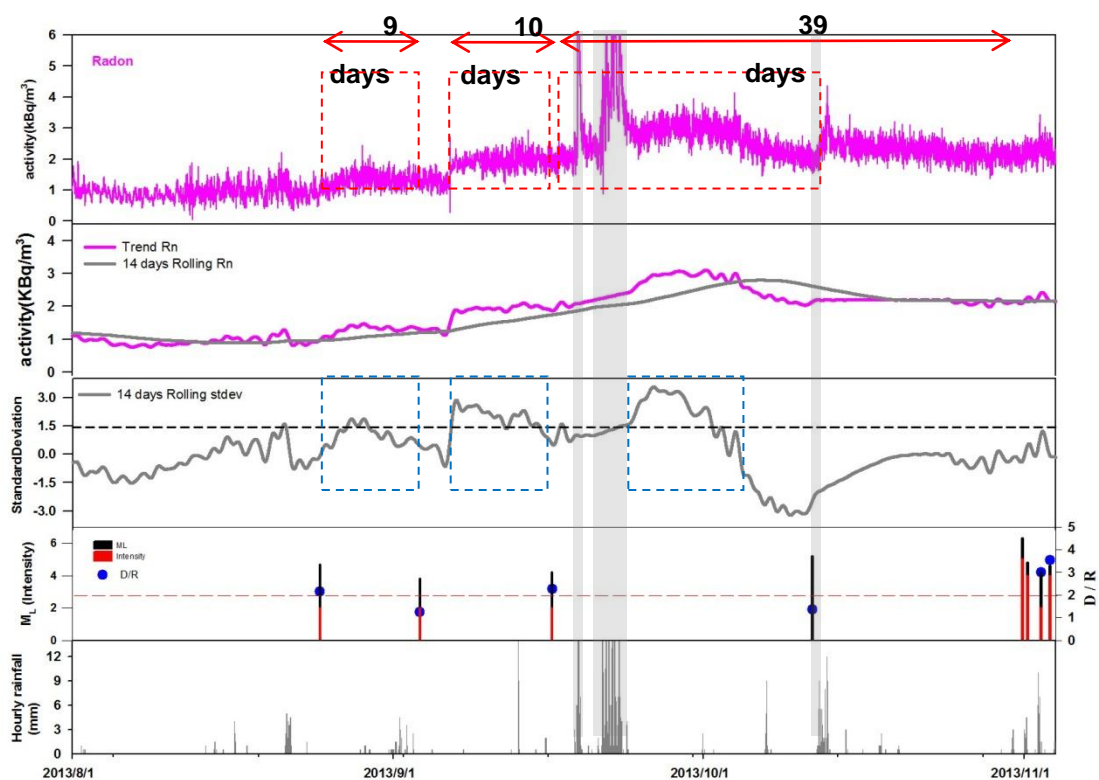


圖 23、花蓮東華土壤氣氡氣成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、14 天滾動平均值、標準化數值(1 個標準差來表示其異常門檻)與地震及時雨量之相關性。灰色陰影部分代表受降雨影響時段；EQ ( $M_L$ )：地震規模； $M_I$ ：地震震度 (2013/8/1-2013/11/4)。

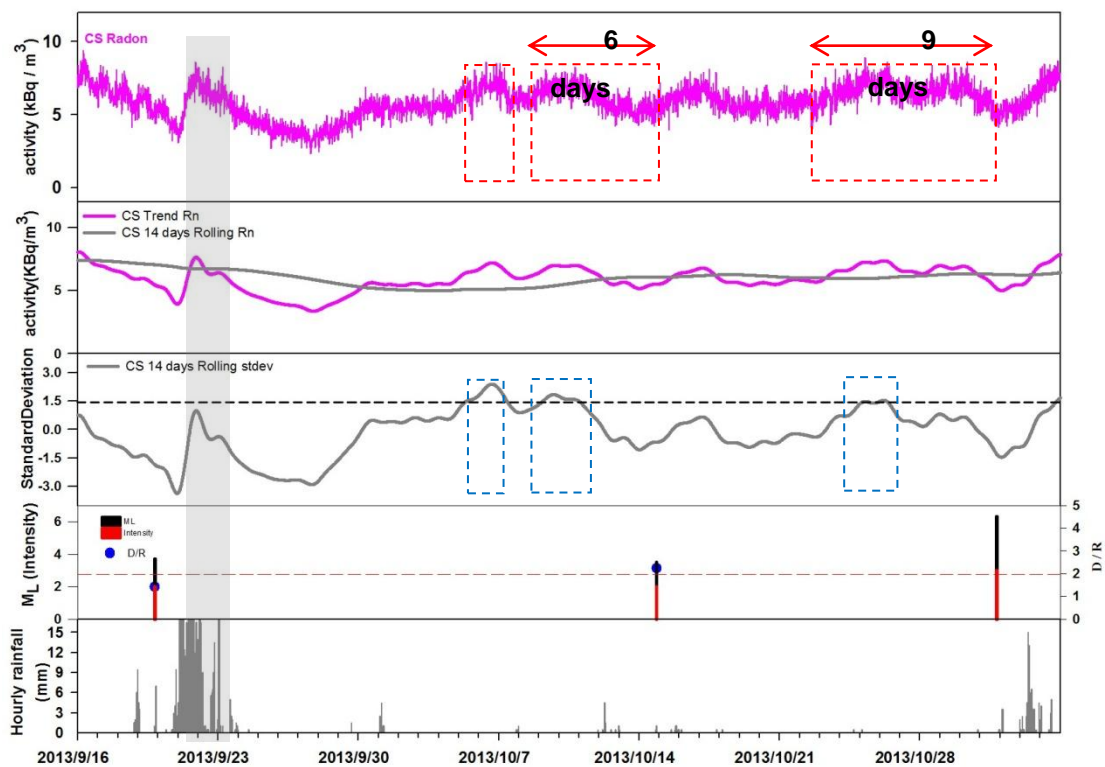


圖 24、臺東池上與錦園土壤氣氡氣成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、14 天滾動平均值、標準化數值(1 個標準差來表示其異常門檻)與地震及時雨量之相關性。灰色陰影部分代表受降雨影響時段；EQ (ML)：地震規模；MI：地震震度 (2013/9/16-2013/11/4)。

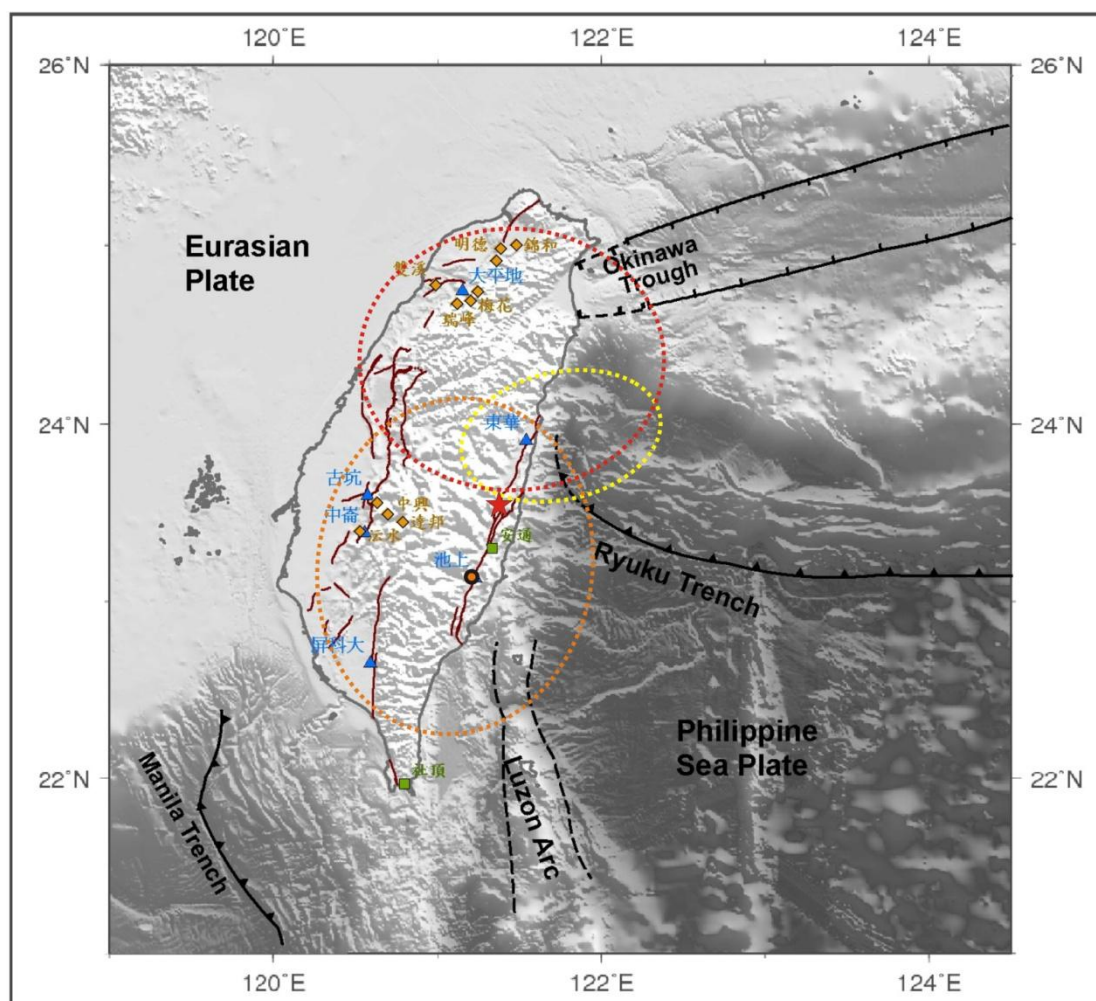


圖 25、地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍(紅圈:大平地測站；黃圈:東華測站；橘圈:池上測站)，其交集處代表地震可能發生的地點。紅色星號代表 1031 花蓮瑞穗的震央位置。

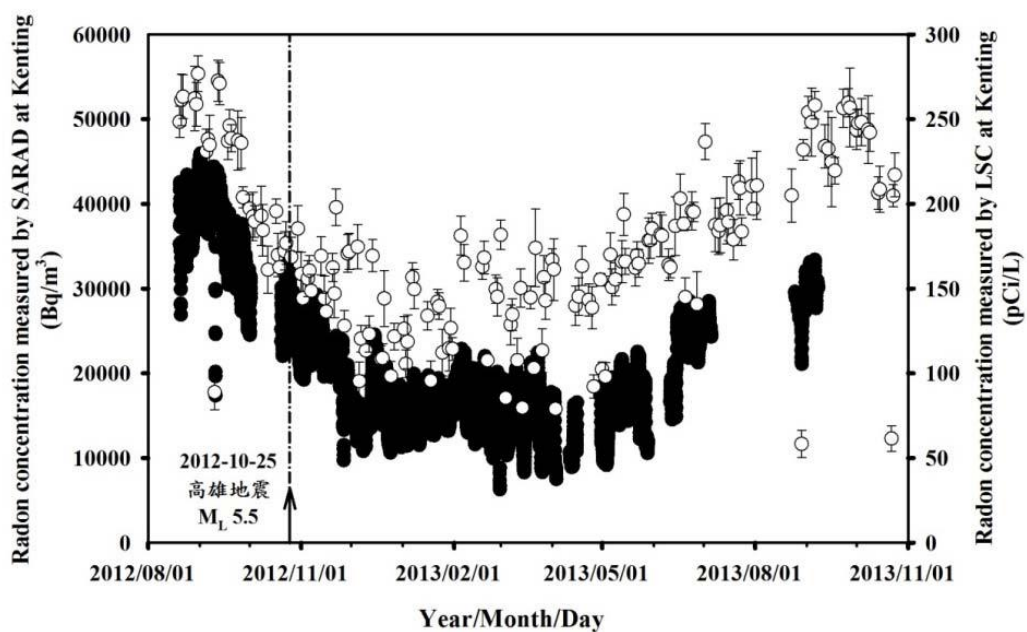


圖 26、社頂站地下水水氡濃度變化，及地下水水氡濃度異常下降之可能地震前兆。



## 陸、 井下應變儀觀測

嘉義測網達邦站(DARB)與太興站(TAIS)的資料在扣除氣壓影響與地潮影響之後，於9/18~9/23 之間應變的趨勢明顯有轉折，轉變為相對伸張；此外，在 10/6 左右也有輕微的應變異常發生，在嘉義測網這個現象通常與降雨與地下水位的變化相關，但這段期間沒有明顯降雨，且根據 10 月份地下水資料變化趨勢維持持續下降，沒有明顯降雨所造成的地下水位上升，因此這些應變異常基本上可排除受到地下水的影響，可能為 10/31 花蓮地震相關的應變異常(胡植慶等，2013，圖 27)。

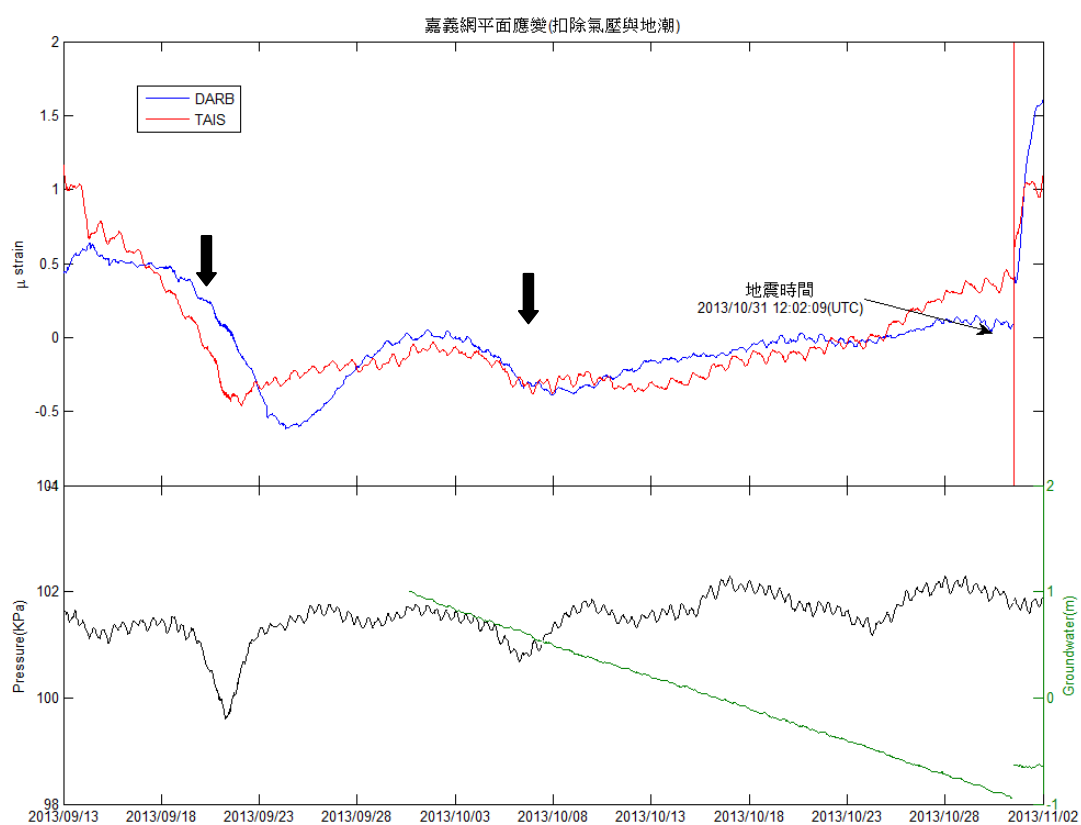


圖 27、嘉義測網達邦測站(DARB)與太興站(TAIS)應變資料。上圖為扣除氣壓與地潮的平面應變資料；下圖則是該時間段內的太興站的氣壓資料與地下水資料，箭頭表示發生應變異常的時間。

## 柒、 結論與建議

### 一、 結論

1. 1031 地震震央深度經修正後為 15 公里深，位置位於目前已知之瑞穗斷層西側，根據中央氣象局與中央研究院地球科學所解算出的斷層面解結果來看，引發地震的斷層為北北東走向、向西傾斜約  $45^{\circ}$ - $59^{\circ}$ ，帶有左移分量的逆斷層，其位態與鄰近地區現階段已調查的活動斷層位態皆不相符，可能屬於一未出露地表且未被觀察到的掩覆斷層，其破裂面的位態與該區域地下構造形貌的差異，仍需要藉由更多的調查分析資料來釐清。
2. 地震後針對主餘震分布區域進行地表變形調查，調查範圍北起鳳林，南至瑞穗、春日，東至大港口、西至中央山脈東麓，並針對瑞穗斷層、玉里斷層及已變形抬升的瑞良、光復東階地進行調查，除少數地區可能因土石搖晃造成一些人工結構物的破損外，並未發現明顯與 1031 地震有關之地表破裂。由於破壞現象極少極輕微，分布位置亦無關係，應與縱谷內現已知構造無明確關聯。
3. 蒐集震區附近 GPS 連續追蹤站震前及震後的觀測資料，整合所有資料後解得同震水平位移與垂直位移場，觀測結果顯示最大水平位移為震央東北方靠近光復鄉大興村、大豐村一帶，水平位移量約 6.2 公分，方向朝南偏西。垂直變動方面，GPS 的成果顯示較大的垂直位移同樣出現在光復鄉大興村、大豐村一帶。水準測量整體結果指示，震央北側地區抬升量較南側地區大，西側地區的抬升量較東側地區大的現象。
4. 此次花蓮 1031 地震震央，大致上位在大平地、東華站和池上觀測站的敏感偵測區之交集位置，故此三座觀測站皆能偵測到地震前的異常變化。所有水位觀測站皆未出現顯著異常。此外，安通站地下水水氣濃度變化趨勢穩定，並未觀測到顯著的異常變化；社頂地下水水氣濃度有變化，但不確定是否與 1031 花蓮瑞穗地震有關。
5. 嘉義測網的資料在扣除氣壓影響與地潮影響之後，於 9/18~9/23 之間應變的趨勢明顯有轉折，轉變為相對伸張，初步排除地下水效應的影響，可能為 10/31 花蓮地震相關的應變異常。

## 二、 建議

1. 由於引發 1031 地震的斷層並未出露地表，因此所造成的災情多係地震的強烈搖晃所致，花蓮地區的地震活動本就相當頻繁，且位於塊碰撞邊界，仍有可能發生更大規模之地震，惟有加強建築物安全設計標準與多進行宣導教育民眾有關地震避難之知識，方能減少地震發生可能帶來的損失與傷害。
2. 針對深藏在地底深處孕震構造，應該要加強地震地質調查工作與活動斷層觀測網的觀測與分析能力，並配合區域尺度的微震觀測進行構造解釋。
3. 本所的活動斷層觀測網的觀測成果顯示，地殼不穩定性可藉由長期觀測瞭解其變動趨勢並評估其安全性。此項工作需充分的人力與經費配合，並且長期持續進行方能竟其功。希望決策部門能持續支持本所針對全國活動斷層及地殼變動敏感地區進行長期觀測。一旦發現異狀，即可適時提供預警，作為災害防治與應變之參考。

## 捌、 參考資料

1. Biq, C. ,1965, The east Taiwan rift. Petrol. Geol. Taiwan, no.4, p.93-106.
2. Hsu, M.T. ,1971,Seismicity of Taiwan and some related problems. Bulletin of International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, no.8, p.41-160.
3. Yu, S.B. and Kuo, L.C., 2001. Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan. Tectonophysics 333, 199-217.
4. Yu, S.B. and Liu, C.C., 1989. Fault creep on the central segment of the longitudinal valley fault, Eastern Taiwan. Proc. Geol. Soc. China 32 (3), 209-231.
5. Yu, S.B., Chen, H.Y. and Kuo, L.C., 1997. Velocity field of GPS stations in the Taiwan area. Tectonophysics 274, 41-59.
6. 中央氣象局，2013，氣象局地震活動彙整，[http://www.cwb.gov.tw/V7/earthquake/rtd\\_eq.htm](http://www.cwb.gov.tw/V7/earthquake/rtd_eq.htm)
7. 中興測量有限公司，2013，活動斷層帶地表變形測量(3/4)，經濟部中央地質調查所 102 年度委託技術服務計畫總報告。
8. 行政院中央災害防救委員會，2013，1021106 行政院災防週報，中央災害防救會報，[http://www.cdprc.gov.tw/News\\_Content.aspx?n=E37DC88642C4922D&s=269F297931925736](http://www.cdprc.gov.tw/News_Content.aspx?n=E37DC88642C4922D&s=269F297931925736)
9. 衣德成、陳治宇、林慶偉，2012，五萬分之一臺灣地質圖-光復圖幅，圖幅第 41 號，經濟部中央地質調查所。
10. 李建成，2008，簡述臺灣東部花東縱谷板塊縫合帶地體構造研究，2008 臺灣地體構造研討會。
11. 李憲忠，2013，瑞穗地震震源破裂過程初步分析結果，20131031 瑞穗地震學術研討會
12. 林啟文、陳文山、劉彥求、陳柏村，2009，臺灣東部與南部的活動斷層，經濟部中央地質調查所特刊第 23 號。
13. 胡植慶、劉啟清、楊燦堯、景國恩、鄭錦桐，2013，斷層整合性觀測與潛勢分析(1/4)，經濟部中央地質調查所 102 年度委託專業服務計畫執行期末報告書。

14. 陳文山、王源，1996，十萬分之一海岸山脈地質圖，經濟部中央地質調查所。
15. 臺灣地震科學中心，2013，20131031 瑞穗地震學術研討會，[http://tec.earth.sinica.edu.tw/news/center\\_news/center\\_news\\_content.php?center\\_news=20131107](http://tec.earth.sinica.edu.tw/news/center_news/center_news_content.php?center_news=20131107)
16. 蒲新杰，2013，20131031 Ruisui Earthquake Background seismicity and earthquake parameters，20131031 瑞穗地震學術研討會