

20130602 南投地震地質調查報告

經濟部中央地質調查所

中華民國 102 年 8 月 30 日

目錄

| | |
|----------------------------|----|
| 摘要..... | 1 |
| 壹、引言..... | 3 |
| 貳、區域概況..... | 4 |
| 一、區域地質..... | 4 |
| 二、地震資料..... | 6 |
| 參、地表地質調查..... | 7 |
| 肆、地表變形觀測..... | 8 |
| 伍、地球化學觀測..... | 9 |
| 陸、井下應變儀觀測..... | 9 |
| 柒、0327 地震與 0602 地震之比較..... | 10 |
| 捌、結論與建議..... | 11 |
| 一、結論..... | 12 |
| 二、建議..... | 12 |

摘要

民國 102 年 6 月 2 日下午 13 時 43 分在台灣中部發生芮氏規模 6.5 的地震，本次地震係由一條位於深部的逆斷層活動所引起，雖然斷層在深部的錯移並未直接延伸至地表，但在局部地區還是產生一些災情，本所乃動員構造與地震地質組人力針對南投地區進行野外調查與測量工作，地表地質調查重點集中在南投集集、雙冬、國姓及水里等地，地表變形觀測範圍則涵蓋震央附近向西至跨越車籠埔斷層。

本所分析餘震震央分布及主震斷層面解的資料，研判引發地震的斷層係一個呈現近南北走向且低角度向東傾斜的深部構造，與鄰近區域已知的雙冬斷層、車籠埔斷層等地表淺部之活動斷層無直接相關。在地表地質調查方面，皆並未發現與斷層錯動相關的地表破裂現象。

在地表變形觀測資料部分，初步分析 GPS 追蹤站及移動式的觀測資料，顯示本次地震的主要變形位置多位在震央西側 20 公里範圍內，最大水平位移出現於南投縣水里鄉新興國小。

檢視本所地球化學觀測站紀錄，發現在雲林古坑站及台東池上站在地震前幾天出現氣體訊號的異常變化，其他的新竹大平地、花蓮東華、屏東屏科大等營運中之測站則未出現顯著的土壤氣體成分及地下水水位的異常變化。

在井下應變儀觀測部分，雖然此次地震震央位置距離觀測站皆超過 50 公里以上，但是仍可從嘉義測網的達邦觀測站約在地震前一周看到一些可能的震前異常訊號，但在其他測站均未發現相似異常現象。

此次地震由於引發地震的斷層並未出露地表，因此所造成的災情較為單純，多數破壞係地震波的強烈搖動所致。而針對類似深藏在地底深處的孕震構造，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。

壹、引言

根據中央氣象局之地震測報，民國 102 年 6 月 2 日下午 13 時 43 分 3.2 秒在臺灣中部發生芮氏規模 6.5 的地震，震央位在北緯 23.86 度，東經 120.97 度，即在南投縣政府東方 32.0 公里，也就是在南投縣仁愛鄉的山區之中，震源深度為 14.5 公里。一般媒體都將此次地震稱為南投地震，但本次地震與本年度 3 月 27 日發生之「20130327 南投地震」位置相當接近，故本報告暫以「20130602 南投地震」稱呼此次地震，或分別簡稱兩者 0327 地震與 0602 地震。

本次地震為南投地區 921 集集地震、2000 年 6 月 11 日地震及 2009 年 11 月 5 日地震，與本年度 3 月 27 日地震後，南投地區再度發生規模超過 6 的地震，南投、彰化、嘉義、台南及台中部分地區的震度超過 5 級，雲林縣草嶺附近的震度更高達 6 級。因此造成許多建物的破壞與山崩的現象，又因本次地震主要影響區域包含許多國內知名旅遊區，故而造成較多的遊客受困與傷亡。根據國家災害防救中心之統計資料，本次地震估計受強震影響人數約有 9 萬 3 千人，計有 4 人死亡近 80 人輕重傷，並造成高鐵停駛與堰塞湖形成等各式情況。

由震源機制及餘震分布來看，此次地震乃是一條位於深部呈現近南北走向，以低角度向西逆衝的斷層所引起。本次地震由於在時間、規模與位置，均與 0327 南投地震相當接近，故引起國內地球科學學界對於本次地震與 0327 南投地震之發震斷層、發震機制進行討論，並引申探討該區域地下構造形貌，因而此 2 次地震受到各界重視，也需要藉由更多的調查分析資料來釐清上述的疑問。

本次地表地質調查重點主要在南投與雲林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中部地區較大範圍的移

動式 GPS 測量工作，並透過與 0327 南投地震測量結果之比較，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、0327 地震與 0602 地震比較，以及結論與建議等分別加以描述。

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。

由於碰撞造山的壓力來自東南方，因此西部地區地殼為適應此種應力的作用開始產生褶曲，並進而發生斷裂並產生逆斷層，大部分的褶曲軸線和逆斷層均作近南北方向的延伸，且逆斷層的斷層面

均傾向東方，使東側較老的地層逆衝於西側較年輕地層之上，這些斷層多半是呈南北延展有相當距離的低角度逆斷層，因此地表淺部分布一連串斷面向東或東南傾斜的覆瓦狀斷層系統。在這些褶曲和斷塊中，所見的岩層都是屬於第三紀的碎屑岩，卻未見基盤出露，顯示西部麓山帶的逆衝斷層與褶皺作用大部發育在地表的淺處。

本次地震之影響範圍依據何春蓀（1986）之分類，主要位於中央山脈西翼地質區（第三紀亞變質岩，IV），地震震央則位於雪山山脈帶（IVa）及脊樑山脈帶（IVb）地質分區之交界位置；中部地區地層出露之地質年代由西向東則由更新世、上新世、中新世至古第三紀再至中新世，近南、北向平行分布斷層由西往東呈覆瓦狀形式排列；變形與變質程度則是由西而東漸增，從未變質與輕微變形一直到強烈變形與低度變質；地形上由西而東漸次上升，從丘陵地向東漸增再到海拔2000公尺以上的高山（圖一）。

一般認為，台灣西部數條覆瓦狀排列分布之斷層，由地表延伸到地下後是共用地底下深處同一個滑脫面來進行運動的，又稱為基盤滑脫面，在該滑脫面以下的岩盤並未受到斷層作用的擾動，而稱為基盤。滑脫面斷層構造（detachment fault）是指斷層在滑動時，常沿著一個主要的地層邊界進行滑動，而非直接切穿岩層的斷層構造。此外，每個淺部的斷層在地下深處都會有屬於它的滑脫面，甚至可以多條斷層在地下深處匯集後，共用同一個滑脫面。因此當深部的滑脫面斷層構造活動的時候，不一定能準確對應到地表任一斷層的活動，而可能只是滑脫面斷層的活動。依據學者的研究，台灣中部地區此一基盤滑脫面緩向東傾，約位在地下深10-12公里處，滑脫面上的斷層由西向東分別為彰化斷層、車籠埔斷層、雙冬斷層、

水里坑斷層及地利斷層（圖二），其中彰化斷層、雙冬斷層與車籠埔斷層被認為是活動斷層。

二、地震資料

依據中央氣象局地震報告，本次地震震央位在南投縣仁愛鄉，地震深度約14.5公里，震度以雲林縣草嶺最大，達到6級，南投、彰化、嘉義、台南及台中部分地區的震度超過5級。

本次地震主震（氣象局本年度編號075號地震）發生於6月2日13點43分，地震規模6.5（ M_L ， M_w 6.2），震央位置位於北緯23.86度，東經120.97度，即位於南投縣政府東方32.0公里，於仁愛鄉濁水溪上游的武界一帶；主震之後至6月4日止，總計在該區發生約550起規模5以下之地震，可能為0602南投地震之餘震（圖三）。

本次地震中央氣象局（圖四、圖五）與中央研究院地球科學所（圖六）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，分別為北北東走向低角度向東傾，與近南北走向高角度向西傾。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，分別為近南北走向低角度向東傾，以及北北東走向高角度向西傾。而由本次地震之主餘震大致呈現低角度朝東傾斜之分布狀況，較符合其中近南北走向且低角度向東緩傾的斷層面。

比對本區域現有之「五十萬分之一台灣地質圖」與「十萬分之一集水區地形及地質調查成果—流域地質圖」等地質資料（圖一，網址：<http://gwh.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-2/sys9/>），本地震發生於中央山脈西翼地質區內，該區域符合近南北走向且低角度向東傾之淺部斷層構造有地利斷層、水里坑斷層、雙冬斷層與車籠埔斷

層，以及較深部的基盤滑脫面斷層構造；地下淺部未發現符合北北東走向，高角度朝西傾之地質構造。

參、地表地質調查

本次地震與0327地震之主震震央位置雖相當接近，但兩者在餘震的分布（圖一）與災情的分布卻有所不同，0327地震之主要餘震及災情多發生於主震之西北或西北西側，本次地震之餘震及災情則多發生於主震之西南或南南西側。因此本次地震之調查亦與前次調查範圍略有差異，主要範圍位在南投縣集集、水里、名間、鹿谷、竹山一帶。

本次地表地質調查成果，發現於前述地利斷層、水里坑斷層、雙冬斷層與車籠埔斷層等斷層構造沿線之集集、水里、草屯、竹山等聚落，野外調查均未發現地表破裂之跡象。又經詢問當地居民與警局及收集報載資料顯示，本次地震之震災主要為劇烈搖晃導致之人造結構物傾倒或位移，以及山崩、地滑及邊坡滑動導致的地面開裂為主（圖七至十四）並未發現斷層活動之錯動現象，其餘地區亦未發現與斷層活動有關之地質現象。其中又以南投縣鹿谷鄉鹿谷國中較受各界的關注，該校因局部建物為921地震後所重建，本次地震又有鐘樓傾斜、地面開裂等現象，受損情形較為嚴重，經調查後亦研判該校之受損之情況與地震劇烈搖晃及邊坡滑動有關，非活動斷層直接錯移導致。

肆、地表變形觀測

在全球定位系統之觀測方面，本所分析地震後台灣地區追蹤站之同震時期水平位移分布（圖十五）與同震時期應變率分布，並於地震發生後進行本區的移動式（campaign）的地表變形觀測，測量範圍則涵蓋震央附近向西至跨越車籠埔斷層，總計共40個觀測點。

分析GPS連續站觀測資料，因為近震央區域觀測站數量不多，顯示僅日月潭測站水平位移量較大，超過4公分，其餘站大多小於1公分。若觀察鄰近震央區的GPS移動式觀測結果，則顯示近震央的區域之水平位移可達3公分以上，水平位移量逐漸由震央區向外減少，水平位移方向則由震央北側區域朝向北方至西北方，至震央附近為朝向西北方，至震央南側區域則朝向西方至西南方，整體而言，水平位移方向呈現由震央向西放射的形式，同時可觀察到在車籠埔斷層以西的許多測點出現一系列向東位移的情形，但因觀測到的位移量較小，仍在測量誤差範圍內，其代表的意義仍須審慎評估。

透過GPS移動站及連續站資料可發現本次地震的主要變形位置多位在震央西側20公里範圍內，即南投一帶的山區之中，最大水平位移出現於水里鄉新興國小（49.8mm）。

值得注意的是，本次觀測結果因0327地震造成的位移量較小，加上移動站施測時本身的誤差，因此，本次移動式（campaign）的地表變形觀測同震值實為0327地震及0602地震這兩次地震造成地表位移的總和，且因施測區域位於山區，局部地區因山崩、地滑及資料品質所影響，部分觀測站具有較大之誤差存在。

伍、地球化學觀測

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，當有異常變化測站的反應圈出現重疊之區域，則地震可能將發生在這個區域，本所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範圍（圖十六）。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。本次0602南投地震震央落在古坑和池上觀測站的敏感偵測區之重疊位置。

池上觀測站的結果顯示（圖十七），這段時間土壤氣體濃度似乎呈現規律的變化情形，無顯著降雨影響。其中值得注意的是5月初，氣體濃度上升趨勢程度增加，其標準化數值也呈現這段時間高於1倍標準差值，其異常訊號可能與0602南投地震有關。

古坑觀測站的結果顯示（圖十八），於5月11日氣體濃度開始上升並持續至5月17日，之後濃度開始下降，同時，標準化數值也呈現這段時間高於1倍標準差值，不過，這段時間同時有降雨的影響，而該測站過去的觀測結果顯示，降雨可能會造成土壤氣濃度些微上升，因此無法判斷該時段濃度上升的變化是否與0602地震有關。

陸、井下應變儀觀測

本所在臺灣西部地區設置有11站應變儀觀測站（圖十九），在地震前是否能夠觀測到足夠明顯的地震異常訊號，是應變觀測研究的重點，雖然此次地震震央位置距離觀測站皆超過50公里以上，但是仍可從部分測站資料中看到一些可能的震前異常訊號。

從去除地潮與氣壓影響的觀測資料中，由於5月16日至5月25日間之應變現象與降雨有相當大的關係。因此現僅能就僅討論5月1日至5月15日與5月28日至6月2日地震前這兩段時間在觀測資料上所看到的一些異同處。其中在5月1日至5月15日的時間段中（圖二十），觀測到的應變變化趨勢穩定，週期性訊號變動不明顯，似乎未見到震前的異常訊號反應。但在5月28日至6月2日的觀測紀錄中，可發現兩個可能的震前異常的訊號反應，其一為週期性的訊號在地震前3-4天有減弱的現象（圖二十一，左圖），其二為地震前的應變率在地震發生前的4的小時，由原先的上升趨勢改變為下降趨勢（圖二十一，右圖）。但是在其他測站均未發現相似異常現象。

柒、0327地震與0602地震之比較

本次地震由於在時間、規模與位置，均與 0327 地震相當接近，故引起國內地球科學學界對於本次地震與 0327 地震之發震斷層、發震機制進行討論，以下針對這二個地震做一簡要的比較。

本次地震與 0327 南投地震位置相當接近，此次地震震央位於 0327 南投地震震央西南方約 6 公里處。就地震規模而言，本次地震規模為 6.5 較 0327 南投地震之 6.24 要略大。就地震深度而言，則是 0327 南投地震之地震深度（約 20 公里）較本次地震（約 14.5 公里）略深。就餘震的分布，0327 南投地震之餘震多分布於主震之西北方，本次地震之餘震則多分布於主震之西南方，兩者之間似有空間上的區隔。就震源機制而言，解算出的二個斷層面也相當近似，若配合餘震分布，研判其中近南北走向、向東緩傾的斷層面為可能的發震構造。在地表水平位移的觀測部分，0327 南投地震之位移量較小，多數測站之位移量小於 1 公分，受限於同震位移量小於或相

當接近移動式 GPS 測量的誤差，因此地震後的移動式 GPS 測量無法輔助 GPS 固定站進行更細微的分析；本次地震之地表位移量較為明顯，最大水平位移量超過 4 公分，較大的變形量出現在震央西側約 20 公里的範圍內。就震後的地表地質調查而言，二次地震的災害皆與地震劇烈搖晃有關，並未發現與已知活動斷層相關的破壞。

前次地震調查結果認為 0327 南投地震發生的深度較深（約 20 公里），未有證據顯示與震央鄰近區域地表淺部的雙冬斷層與車籠埔斷層等活動斷層直接相關，研判可能為地下深處之斷層構造所引致，且由於斷層在深部的錯移並未直接延伸至地表，且與地表已知斷層的關係並不明確。

0602 地震與 0327 地震在規模、位置及斷層機制上相似，但是，0327 地震之深度約 20 公里，但 0602 之地震深度則為 14.5 公里，0602 地震的震源深度相對較淺，有學者認為引發這二次地震之發震斷層，可能與基盤滑脫面上之滑脫面斷層構造（detachment fault）有關。經檢視中部地區滑脫面深度（參考 Yue, *et. al.*, 2005，較深者約 10-12 公里）與此 2 次地震深度後，發現這 2 次地震深度都較滑脫面所在深度為深。且由震源機制及餘震分布來看，0327 及 0602 地震斷層面傾斜約 20-30 度，與傾角低於 10 度之滑脫面有差異，因此是否能以滑脫面斷層合理解釋這兩次地震的機制，可能尚須進一步探討。因此，以現階段的資料而言，本次地震與已知的地表及地下構造關係尚不明確，屬於一個地下孕震構造所造成的破裂。

捌、結論與建議

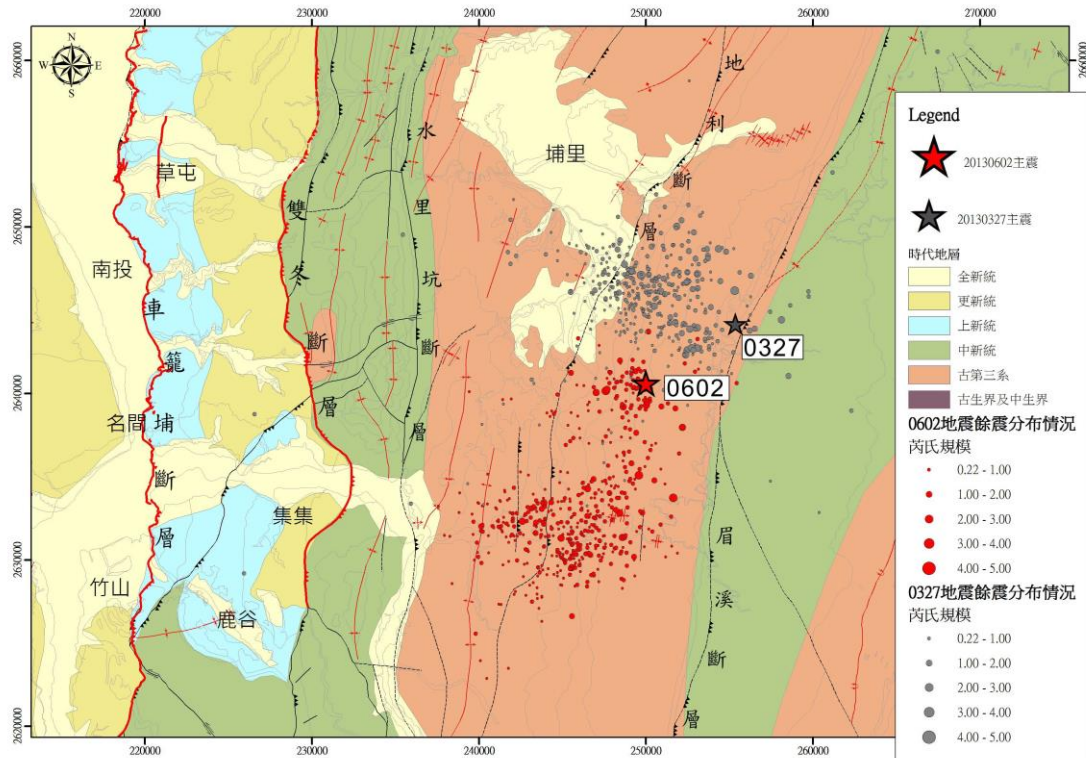
一、結論

- 1.0602南投地震發生的震源深度約14.5公里深，未有證據顯示與地表淺部的雙冬斷層與車籠埔斷層等活動斷層直接相關，研判可能為地下深處之斷層構造或滑脫面斷層構造活動所引致。在中、南部地區所引致的災情係受到震波搖動所造成。
- 2.GPS觀測資料顯示，本次地震的主要變形位置多位在震央西側20公里範圍內，最大水平位移出現於水里鄉新興國小，可達近5公分。
- 3.地球化學觀測站紀錄，雲林古坑站及台東池上站在地震前幾天出現氣體訊號的異常變化，其他的相關測站則未出現顯著的土壤氣體成分的異常變化。
- 4.井下應變儀觀測紀錄資料顯示，嘉義達邦觀測站在地震前一周的觀測紀錄中，發現可能的震前異常訊號反應，但在其他測站均未發現相似異常現象。

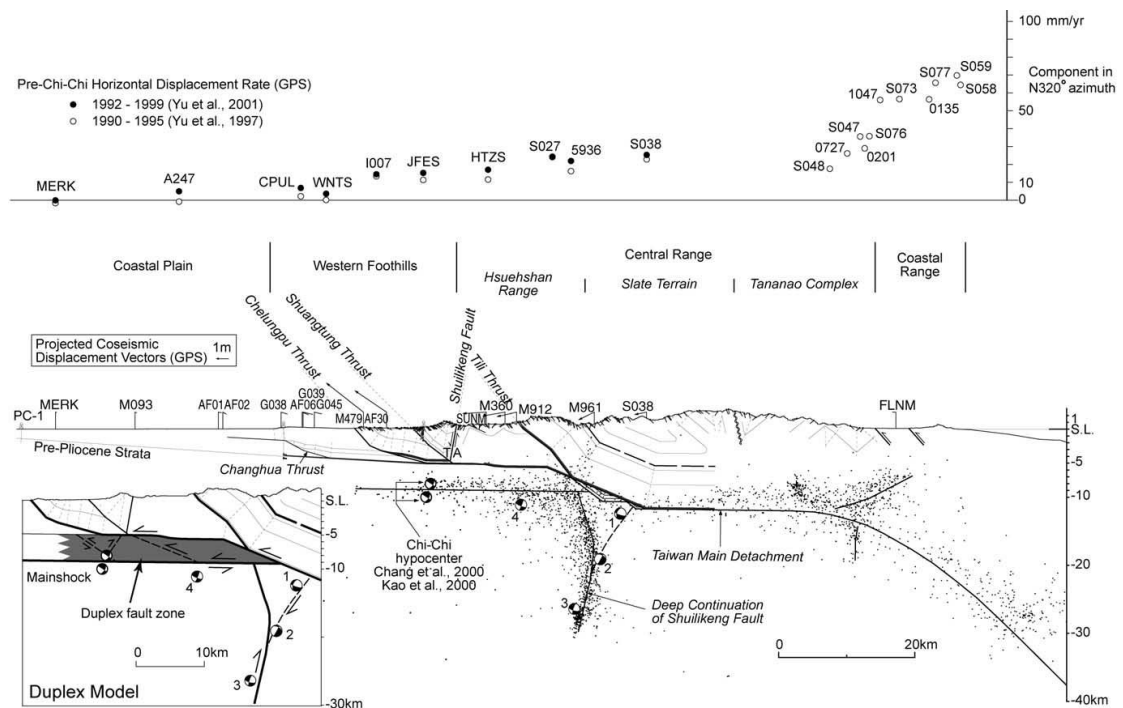
二、建議

- 1.由於引發南投地震的斷層並未出露地表，因此所造成的災情係地震表面波的強烈搖動所致，雖然地震發生在過去地震活動較少的中部地區，但今年度已發生2次規模超過6的地震，顯示此地區未來不排除再度發生類似規模的地震，建議位於附近的重要設施須重新檢討安全設計係數，並視需要進行補強提高耐震能力。
- 2.針對類似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。

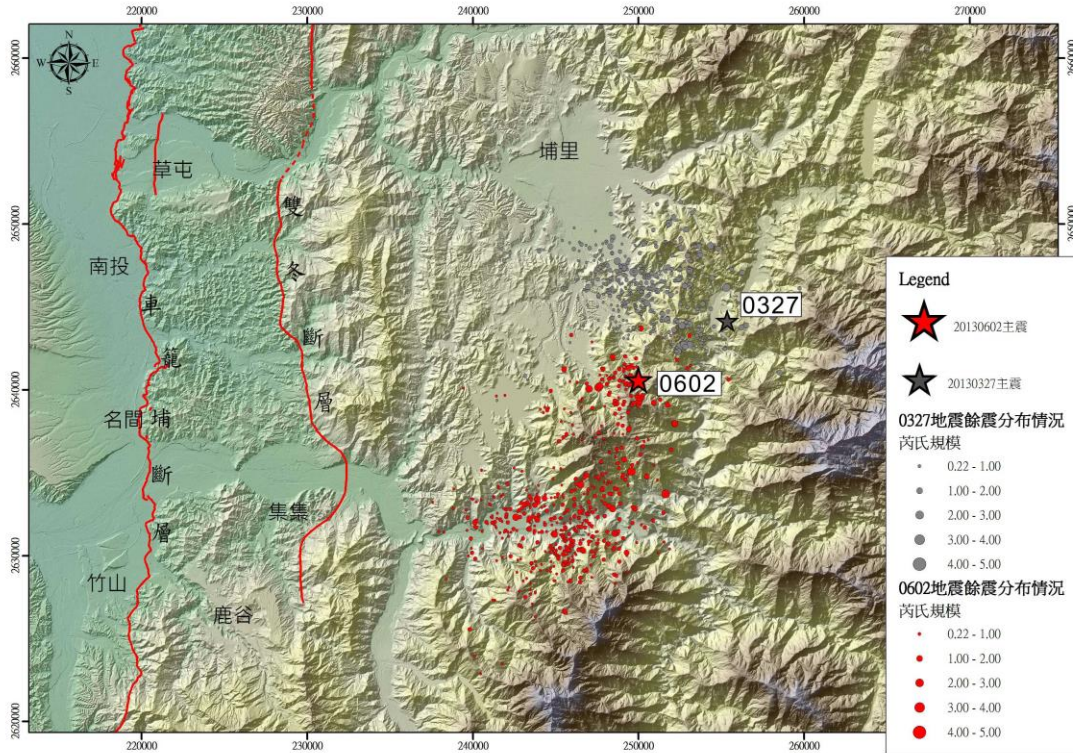
3.本所的活動斷層觀測網的觀測成果顯示，地殼不穩定性可藉由長期觀測瞭解其變動趨勢並評估其安全性。此項工作需充分的人力與經費配合，並且長期持續進行方能竟其功。希望決策部門能持續支持本所針對全國活動斷層及地殼變動敏感地區進行長期觀測。一旦發現異狀，即可適時提供預警，作為災害防治與應變之參考。



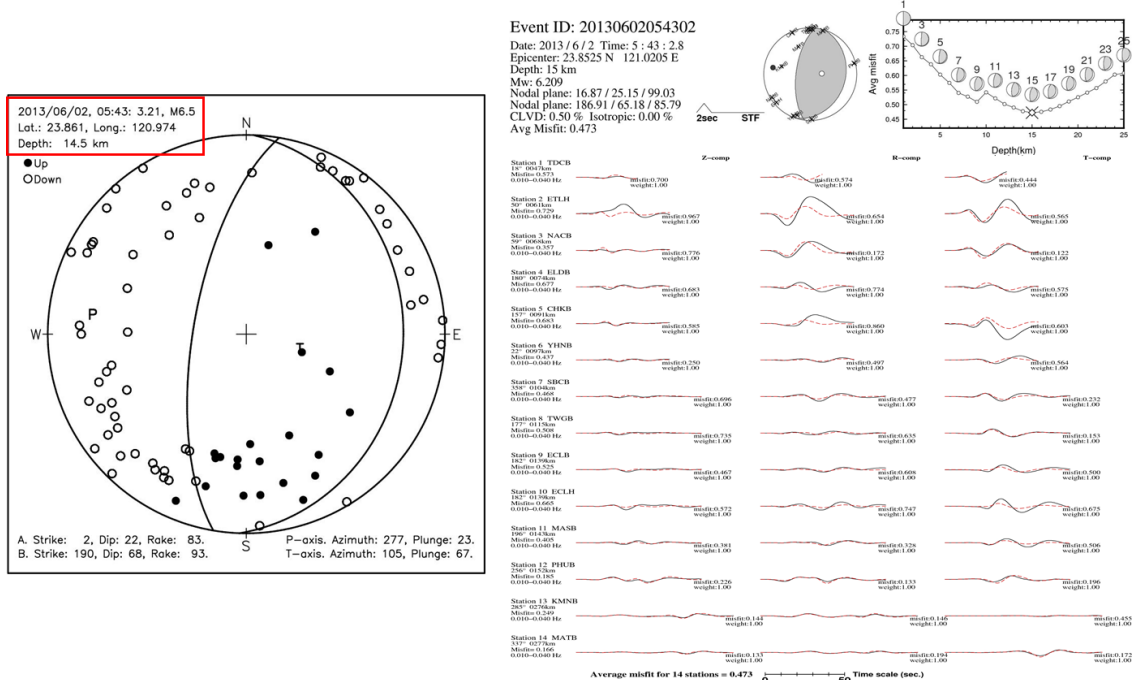
圖一 本區域之地質圖及 0327 地震及 0602 地震之主震及餘震震央分布圖。



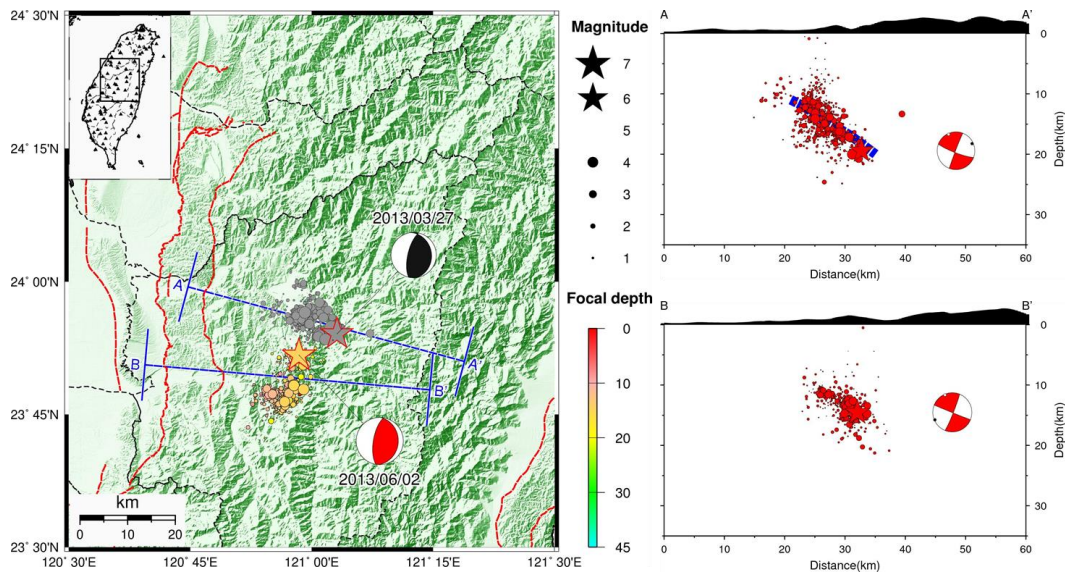
圖二 中部地區主要的基盤滑脫面與斷層構造概況 (Yue, et al., 2005)。



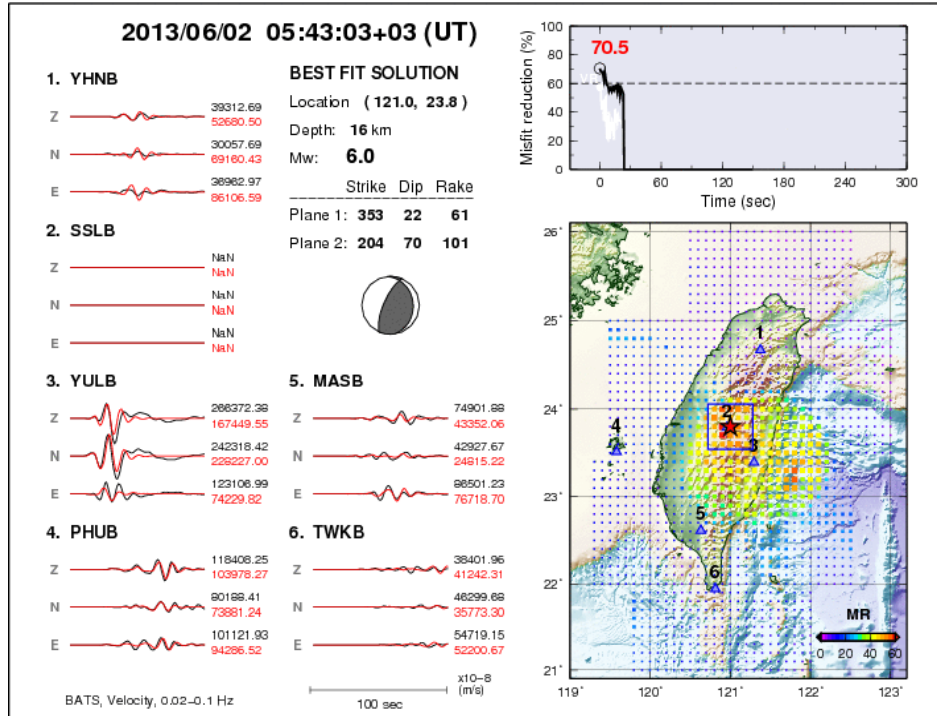
圖三 本次地震與 0327 地震之主餘震地震分布情況及本區之數值地形圖（地震資料由氣象局提供）。



圖四 中央氣象局寬頻 CMT 所解算之震源機制成果。



圖五 本次地震與 0327 地震序列分析。左圖為地震分布圖，本次地震之主、餘震（標示為彩色點，詳圖例）與 0327 南投地震（標示為灰色點）。右圖為地震分布剖面圖，由剖面資料可看出 2 次地震之主餘震大致呈現低角度朝東傾斜之分布。（資料引用自中央氣象局）



圖六 中央研究院地球科學所 RMT 所解算之震源機制成果。



圖七 鹿谷國中的鐘樓在本次地震傾斜，並與主結構體脫離。（攝於102年6月4日）



圖八 調查結果顯示鐘樓傾斜之主因應為其附近地基滑動，鐘樓下方的擋土牆已產生位移。（攝於102年6月4日）



圖九 鹿谷國中的正門口為一陡坡，鹿谷國中位於一小丘之上，周圍設有擋土牆，本次地震該擋土牆有多處受損。（攝於 102 年 6 月 4 日）



圖十 鹿谷鄉公墓的金爐在本次地震倒塌，此類型之災情屬於地震劇烈搖晃所導致。（攝於 102 年 6 月 4 日）



圖十一 鹿谷鄉公墓的主結構體與四周的地基連接處均可見開裂現象，四周地基均為相對下陷側。（攝於 102 年 6 月 4 日）



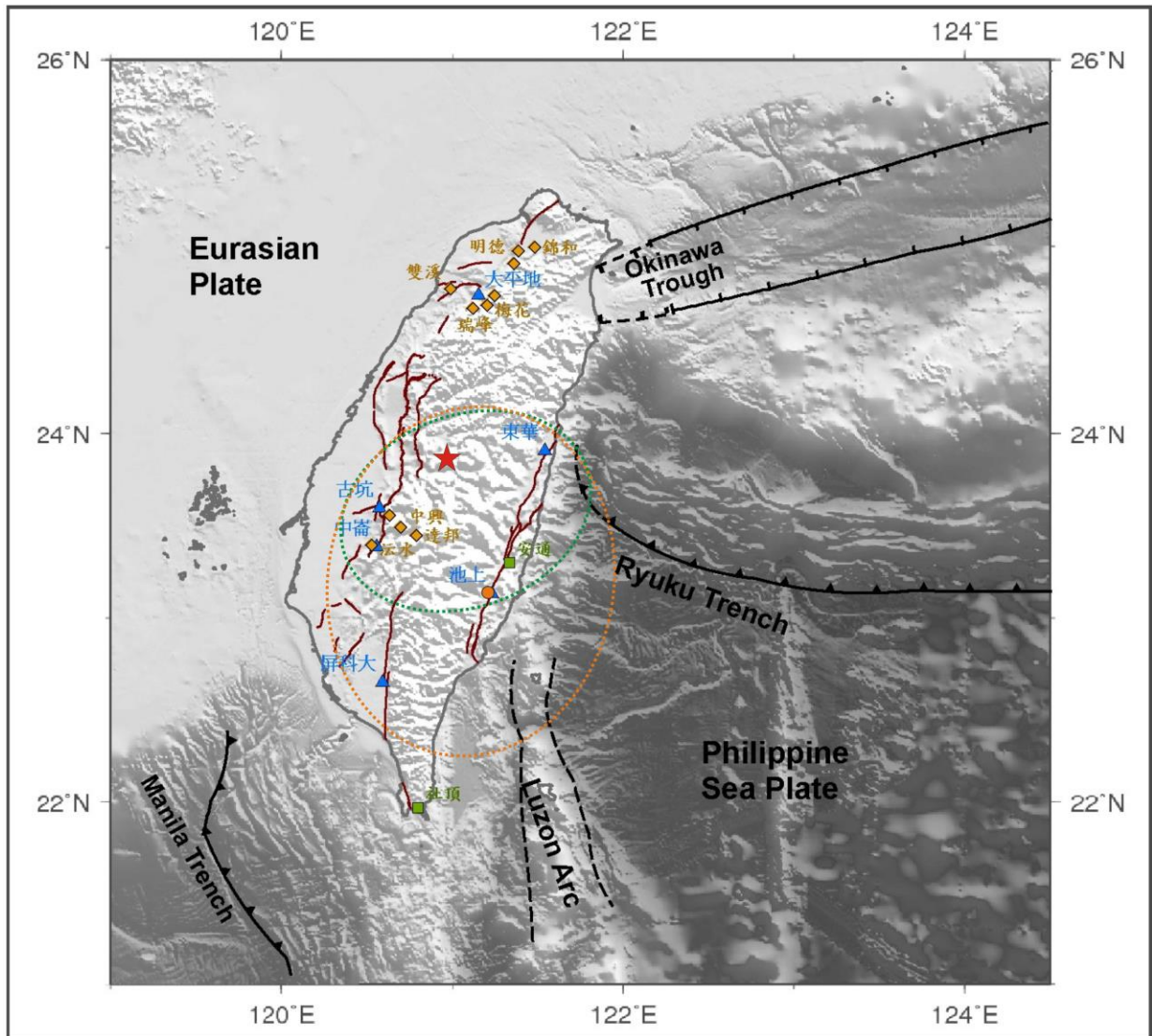
圖十二 鹿谷鄉公墓停車場下方之邊坡已滑動，並阻擋道路，範圍約 10 公尺寬。（攝於 102 年 6 月 4 日）



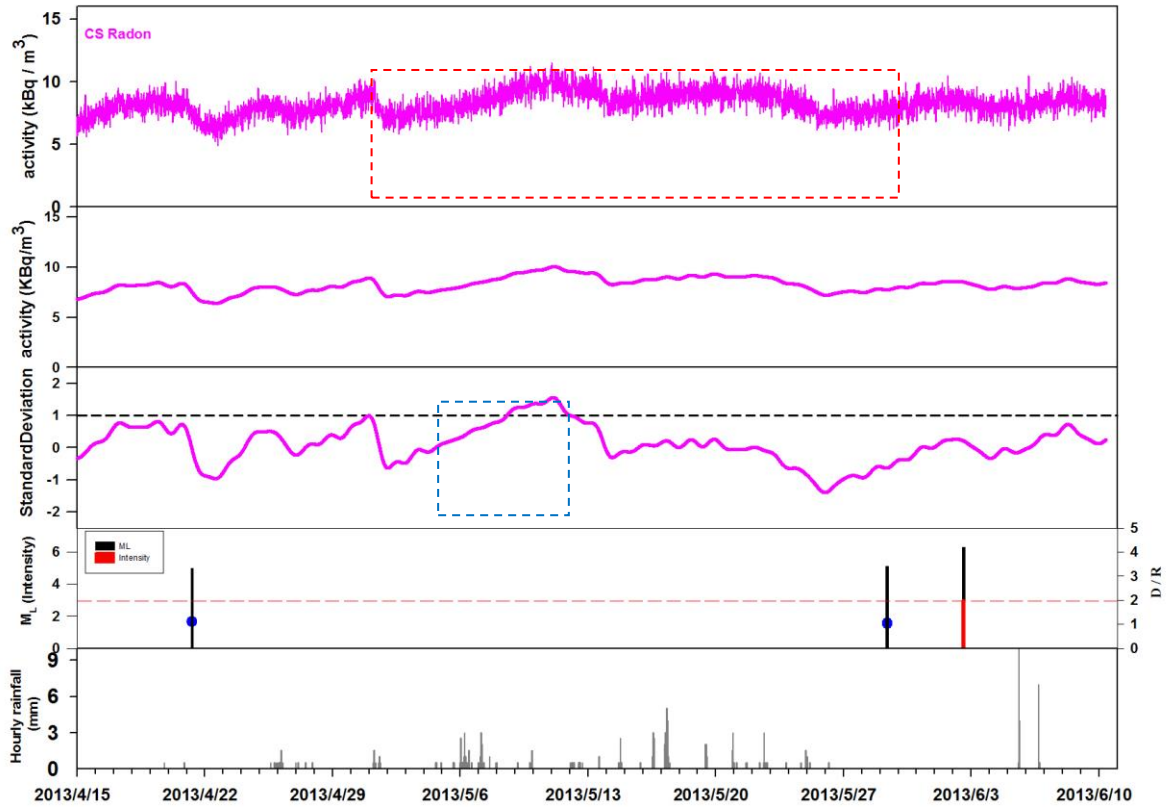
圖十三 鳳凰谷鳥園旁之道路已有明顯路基滑動現象。（攝於 102 年 6 月 4 日）



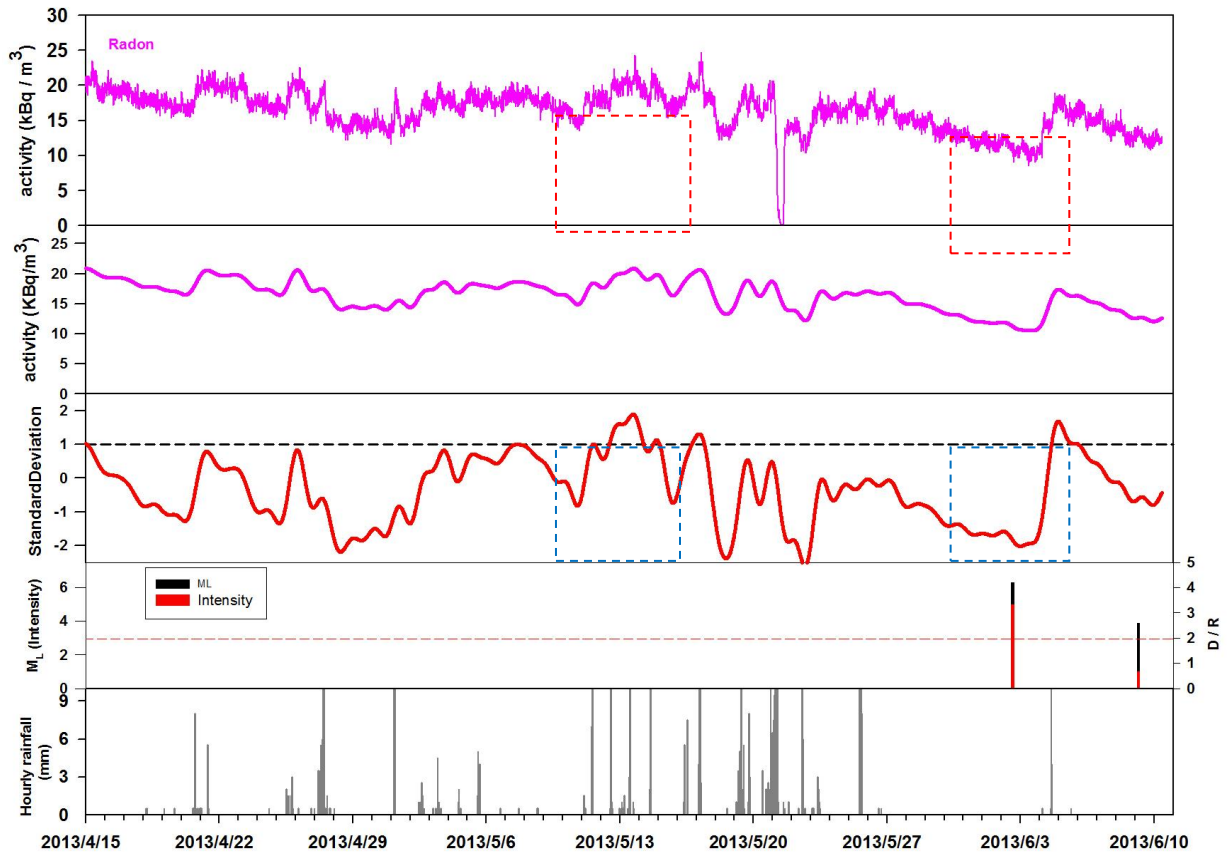
圖十四 本次地震在雲林縣、南投縣及嘉義縣山區均有多處山崩及路基滑動導致交通中斷的災情傳出，本照片為投 131 縣道。（攝於 102 年 6 月 4 日）



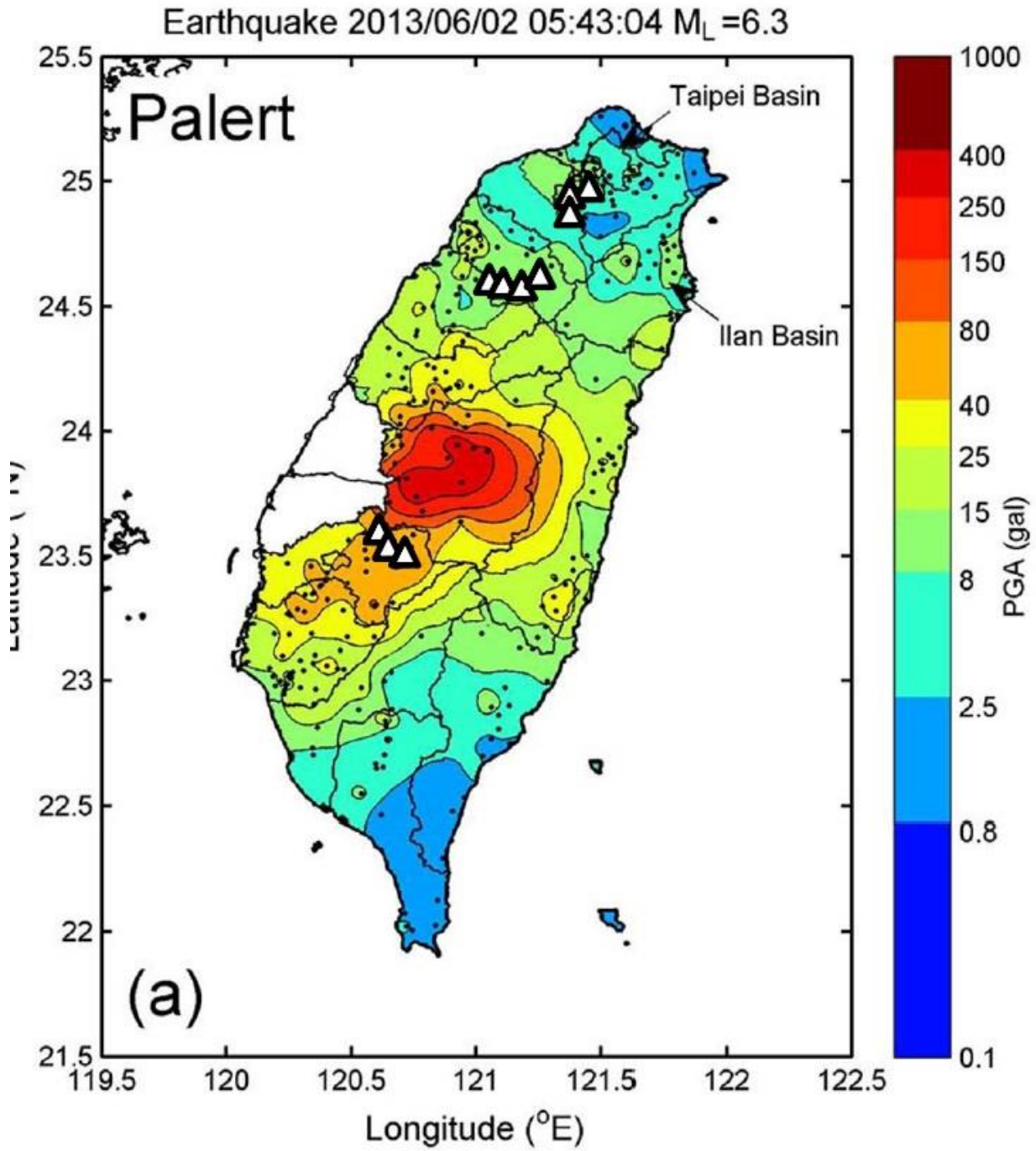
圖十六 地球化學觀測站位置分布與地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表不同觀測站的敏感偵測區間範圍（綠圈:古坑測站；橘圈:池上測站），其重疊處代表地震可能發生的地點。紅色星號代表 0602 南投地震的震央位置。



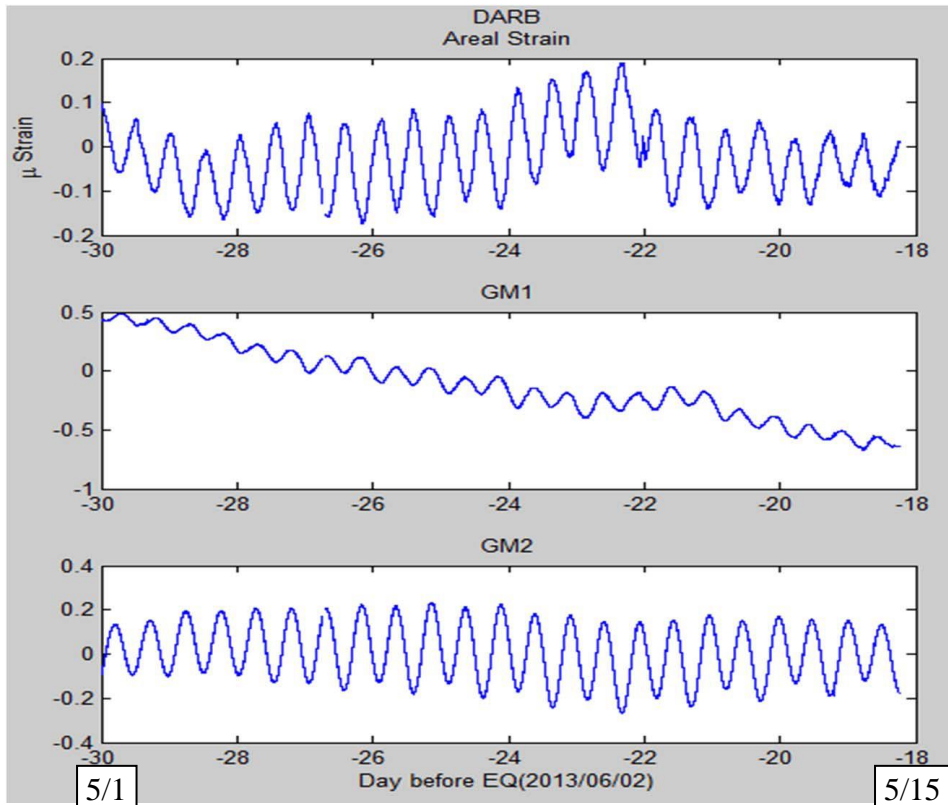
圖十七 台東池上土壤氣氡氣成份連續變化之觀測成果與地震及時雨量之相關性，5月初，氣體濃度上升趨勢程度增加，其標準化數值也呈現這段時間高於1倍標準差值，其異常訊號可能與0602南投地震有關。EQ (M_L)：地震規模；MI：地震震度（觀測區間為2013/4/15-2013/6/10）。



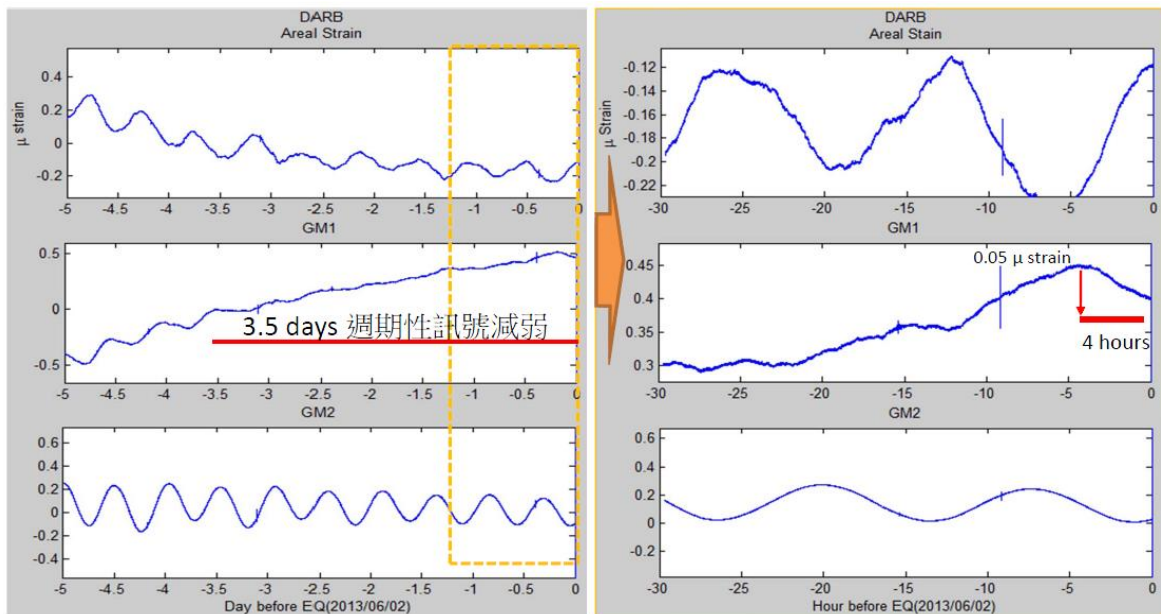
圖十八 雲林古坑土壤氣氡氣成份連續變化之觀測成果與地震及時雨量之相關性，5月11氣體濃度持續上升至5月17日，之後下降，其標準化數值也呈現這段時間高於1倍標準差值，不過同時間也受到降雨的影響。EQ (M_L)：地震規模；MI：地震震度（觀測區間為2013/4/15-2013/6/10）。



圖十九 0602 南投地震之地震加速度變化情況與應變儀觀測站分布位置圖，三角型符號為應變儀測站位置。



圖二十 嘉義達邦應變儀觀測站 (DARB) 在 0602 地震 (102 年 6 月 2 日) 日前 30 日至 18 日之 (5 月 1 日至 5 月 15 日) 觀測紀錄。橫軸為時間軸，代表地震發生前之天數。



圖二十一 達邦觀測站 (DARB) 可能的地震前應變異常訊號。左圖為地震前 5 天之觀測情況，剪應變在震前 3.5 天發現周期性的訊號強度有減弱的現象；右圖為地震前 30 小時之觀測情況，在地震發生約 4 個小時亦出現應變率的改變。