經濟部

委辦計畫編號（99-5226904000-05-02）

斷層活動性觀測研究-第二階段

斷層活動性之地球化學觀測與研究

(2/4)

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行單位：國立台灣大學
中華民國九十九年十二月

斷層活動性觀測研究-第二階段
斷層活動性之地球化學觀測與研究
(2/4)

期末報告

計畫主持人：楊燦堯

協同計畫主持人：劉聰桂、郭明錦

研究助理：傅慶州、吳國維、邱俊銘、張薰予、
李治平、林純玉、鄭文菁、蘇建元、
林正浩、陳逸群、王資琦、林意琪、
黃盈穎、游家豪

執行期限：99 年 1 月 1 日至 12 月 31 日

委辦單位：經濟部中央地質調查所

承辦單位：國立台灣大學地質學系
國立成功大學資源工程系

中 華 民 國 九 十 九 年 十二 月

摘 要

選擇位於斷層帶附近的適當位置，設置氣體地球化學與水壓遠端傳輸觀測站，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。

本年度計畫持續紀錄既有氣體觀測站觀測資料，新竹大平地測站對於台灣北部的地震活動較為敏感，尤其是宜蘭地區一帶；雲林古坑、嘉義中崙站則對於台灣西南部及東部地區的地震活動較為敏感；屏東屏科大站對於台灣南部地區的地震活動比較有關聯；台東池上站之土壤氡氣氣體成份則與台東及花蓮南部附近的地震活動有很顯著的關連性；台南二溪站與宜蘭蘇澳站尚無顯著的濃度異常變化出現。此外，降雨量的多寡似乎常會影響觀測站之土壤氣體的逸氣系統。另外，本年度於台灣東部花蓮地區完成土壤逸氣普查探勘，選擇鄰近米崙斷層帶之適當地點設置一座新的土壤氣體觀測站，已完成儀器設置與校正可以正常運作分析資料。

綜觀本年度土壤氣體的觀測結果，有發現到數起規模較大地震的震前異常反應，例如：2009年11月15日南投名間地震（M_L= 6.2），大平地、中崙及池上測站於十日前有偵測到氡氣異常變化；2009年12月19日花蓮市地震（M_L= 6.9），大平地、中崙及池上測站也於1-2週前觀測到氡氣異常變化；2010年3月4日高雄甲仙地震（M_L= 6.4），中崙、古坑、屏科大及池上測站亦於1-2週前發現到異常變化。

本年度分析了 2009 年 12 月至 2010 年 11 月間地下水觀測井內之地下水壓變化，共 11 口觀測井。主要研究結果如下：（1）台北地區觀測井地下水壓的變化與降雨量經分析有顯著正相關，雖然水壓明顯受到雨量的干擾影響，但三站也均觀測到數起台灣東北部及宜蘭外海地震之震前水壓異常變化。（2）新竹地區觀測井，新樂國小站有較佳的震前地下水壓異常反應。本年度之多起震前地下水壓異常，主要反應於新樂國小和瑞峰國小。（3）嘉義地區震前水壓異常反應之地震，震央主要位於北港基盤高區東半外緣與花東及其外海（菲律賓海板塊西緣）。嘉義地區觀測井，沄水站有較佳的震前地下水壓異常反應。沄水站除了反應出花東及其外海地震外，今年度對於高雄甲仙多起地震出現劇烈震前水壓異常反應。

本計畫 99 年度延續 98 年度之監測工作，持續在花東縱谷南段附近安通溫泉安通站監測井定期採集水樣，分析地下水水氡及溶解氣體（甲烷及氮氣）。同時，即時監測地下水溫度及水位。2009 年 12 月至 2010 年 11 月，花東縱谷南段未發生強震 （M_L＞6.0），在這期間，安通溫泉安通站監測井中地下水氡及地下水溶解氣體（氮氣及甲烷）濃度也未觀測到異常之變化。本（99）年度亦新增恆春半島墾丁社頂區域執行地下水水氡及溶解氣體（二氧化碳）之採樣及實驗室分析。

本研究於 2010 年 3 月 4 日發生芮氏地震規模 M_L = 6.4 的高雄甲仙地震前，觀測到地下水水氡及溶解氣體（二氧化碳）異常下降之現象。

整合新竹地區與嘉義地區之地化觀測結果進行對比，比較不同測站對於同一地震的異常反應，進而可劃分新竹網與嘉義網測站的敏感反應範圍，有助於未來進一步推估地震將發生的位置。此外，將連續觀測資料利用統計及時序分析方法進行處理，結果顯示將地下水壓站之雨量作校正後，可以更明確地判別出異常；而不同測站的氣體觀測資料分別利用不同的資料分析方法，如：希爾伯黃轉換（HHT）、經驗模態分解（EMD）或移動平均法處理之後也能有系統及客觀地辨識出與地震活動有關的異常。未來將逐漸歸納不同測站的資料特性，以及與地震活動相關的異常情形，以期能夠有效地將地球化學的資料異常與構造、地震活動作聯結。

Abstract

It has been recognized that long-term monitoring of gas/fluid composition and groundwater-level at appropriate sites at or near fault zones is very helpful to understand the mechanism and process of fault/earthquake activity. Furthermore, it may help us to find out potential earthquake precursors in a specific area.

In this project, we continuously monitor the variations of soil gas composition of the existing stations. We found that many radon anomalies have been observed in soil gas prior to the earthquakes occurred in northern Taiwan, especially in Ilan area, for Tapingti station. Gukeng station and Chunglung station are more sensitive for earthquakes occurred in southwestern Taiwan, nevertheless, Pingtung station is sensitive for those occurred in southern Taiwan. The earthquakes occurred in Taitung and southern Hualien areas are usually associated with the soil radon anomalies of Chihshang station. The data from Ersi staion and Suao station show unclear relation to seismic events. However, the local rainfall seems to affect the degassing-system of soil gas. Meanwhile, we also setup additional soil gas monitoring station in Hualien area in this year to strength the monitoring system as a better network.

The monitoring results show that some pre-seimic anomalies related to big seismic events can be observed. For example, radon anomalies were recorded at Tapingti, Chunglung and Chihshang staions about one to two weeks before Nantou Earthquake (2009/11/15, M_L=6.2) and Haulien Earthquake (2009/12/19, M_L=6.9). In addition, pre-seismic anomalies were observed at Chunglung, Gukeng, Pingtung and Chihshang stations before Chiashien Earthquake (2010/3/4, M_L = 6.4).

We also analyzed the groundwater pressure in 11 monitoring wells during the period of December 2009 to November 2010. The followings are the major results: (1) Several anomalous pre-seismic events have been recorded in the groundwater pressure data from two monitoring wells in Taipei county, although groundwater pressure are obviously afftectd by precipitation. (2) In Hsinchu area, data from Shin-Le monitoring well show clear anomalous pre-seismic variations. Several pre-seismic groudwater anomalies, mostly are

recorded by Shin-Le and Rui-Fong monitoring wells, can be identified in this year. (3) Pre-seismic events are recorded by monitoring wells in Chiayi area, and the epicenters distributed over eastern Peikang Basement High and Hualien-Taitung area and offshore (western margin of Philippine Sea Plate) as well. Yunshui monitoring well showed pre-sismic variations which correlated well with seismic events occurred in Hualien and Taitung and their offshore areas.

In 2010, we continue to monitor groundwater radon and dissolved gases at the Antung station. In addition, we collected water samples from Hengchun station and measure groundwater radon and dissolved gases in the laboratory. During the period from December 2009 to November 2010, neither large earthquakes ($M_L > 6.0$) nor anomalous decreases of groundwater radon and dissolved gases were recorded near the Antung station. On March 4, 2010, an earthquake of magnitude (M_L=6.4) occurred near Chiashien, southern Taiwan. An anomalous decrease in both groundwater radon and carbon dioxide was recorded at the Hengchun station prior to the 2010 Chiashien earthquake.

Comparing the pre-seismic events at different monitoring stations between Hsinchu and Chiayi area, we can further identify the sensitivity zone of each monitoring system and then may be able to predict the epicenter of upcoming earthquake. Statistic and time-series analysis methods were applied to analyze the monitoring data. After extracting the precipitation effect, we can clearly recognize the anomalous variations of growdwater records. Meanwhile, soil gas data of selected monitoring stations were also dealed with different time-series techniques, such as HHT, EMD and moving average. The results seem to be helpful to quantatively identify the anomalies related to seismic activities. We will analysze the monitoring data to define the characteristics for each station, furthermore, to clarify the possible relationship between geochemical parameters with tectonic and seismic activities in one area.

目　錄

摘 要.....I

ABSTRACT.....III

目　錄.....V

表目錄.....IX

圖目錄.....XI

壹、緒論.....1

1-1　本年度之工作項目.....2
1-2　本年度已完成之工作項目.....2

貳、研究原理及方法.....5

2-1　前言.....5
2-2　觀測站分布位置.....8
2-3　文獻探討.....11
2-4　土壤氣體觀測站主要使用儀器.....17
2-4-1　四極桿質譜儀.....17
2-4-2　氡氣偵測儀.....17
2-4-3　地震儀.....17
2-5　地震參數的表示.....18

參、研究區域地質背景.....19

3-1　新設立氣體觀測站之區域地質背景.....19
3-2　地下水壓觀測站基本資料.....20
3-3　水氡觀測站之區域地質背景.....22
3-3-1　池上斷層.....22
3-3-2　玉里地區地質背景.....24
3-3-3　安通溫泉地質背景.....29
3-3-4　安通溫泉區溫泉開發.....30
3-3-5　恆春斷層.....35
3-3-6　墾丁社頂地區地質背景.....36
3-3-7　恆春半島區域歷史地震背景.....38

肆、氣體觀測站觀測結果.....41
4-1 觀測站相關地震選擇依據.....41
4-2 新竹大平地土壤氣體觀測站.....46
4-3 雲林古坑土壤氣體觀測站.....67
4-4 台南二溪土壤氣體觀測站.....91
4-5 屏東屏科大土壤氣體觀測站.....111
4-6 台東池上土壤氣體觀測站.....131
4-7 宜蘭蘇澳土壤氣體觀測站.....151
4-8 嘉義中崙濁水潭土壤氣體觀測站.....171
4-8-1 氡氣偵測儀分析結果.....171
4-8-2 四極桿質譜儀分析結果.....194
4-9 各測站氣體異常與地震之相關性.....209
4-10 人工採樣分析結果.....211
伍、新觀測站設置之評選.....215
5-1 採樣與分析.....215
5-1-1 氦氣偵測儀.....215
5-1-2 攜帶式氣相層析儀.....216
5-2 調查結果.....217
5-3 氣體觀測站位址之選擇與設置.....222
5-4 花蓮美崙氣體觀測站.....224
5-4-1 設站前準備.....224
5-4-2 設站後分析結果.....228
陸、地下水壓觀測結果.....231
6-1 台北地區地下水壓觀測結果.....231
6-2 新竹地區地下水壓觀測結果.....248
6-3 嘉義地區地下水壓觀測結果.....265
6-4 震前地下水壓變化匯整.....283
6-5 雨量影響分析.....298
6-5-1 雨量影響地下水壓變化之特性.....298
6-5-2 地下水壓校正.....298
6-6 中度以上地震之討論.....313
柒、水氡觀測結果.....319
7-1 安通站地下水水氡濃度監測.....319
7-2 安通站地下水溶解氣體（甲烷、氮氣）監測.....321
7-3 安通溫泉區地下水水位監測.....323
7-4 安通站地下水溫度監測.....327

7-5 恆春半島墾丁社頂監測站地下水水氡濃度監測.....328
7-6 恆春半島墾丁社頂監測站地下水溶解氣體（二氧化碳）監測.....331
捌、資料整合及資料處理.....335
8-1 評估觀測結果與地震活動之關聯性.....335
8-1-1 土壤氣體及水壓觀測結果.....335
8-1-2 水氡觀測與地震活動之關聯性.....348
8-2 各測站觀測結果之比較.....351
8-2-1 新竹網.....355
8-2-2 嘉義網.....361
8-2-3 新竹網與嘉義網之比較.....367
8-3 利用時序分析方法處理觀測資料.....369
8-3-1 時序分析方法介紹.....369
8-3-2 中崙觀測站.....375
8-3-3 蘇澳觀測站.....384
8-3-4 池上觀測站.....391
8-3-5 小結.....400
玖、結論與建議.....403
拾、參考文獻.....405
附錄 1 今年期中報告審查委員意見及答覆情形.....415
附錄 2 今年期末報告審查委員意見及答覆情形.....422
附錄 3 水氡監測分析方法.....427
A 地下水水氡量測.....427
A-1 地下水水氡現地採樣方法.....427
A-2 地下水水氡分析原理.....427
A-3 地下水水氡實驗室分析方法.....427
B 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）組成分析.....429
B-1 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）現地採樣方法.....429
B-2 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）分析原理.....429
B-3 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）分析方法.....429
B-4 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）檢量線之製作.....431
B-5 品保與品管(QA/QC).....432
C 地下水水位監測方法.....434
C-1 地下水位監測工作.....434
C-2 抽水試驗分析方法.....434
D 地下水溫度監測方法.....438
D-1 地下水溫度分析原理.....438

D-2　地下水溫度分析方法 438
D-3　地下水溫度量測儀器資訊 438
D-4　溫度計校正 QAQC 438
E　地下水溶解氣體（二氧化碳）分析方法 440
E-1　地下水溶解氣體（二氧化碳）採樣方法 440
E-2　地下水溶解氣體（二氧化碳）滴定法 440
附錄 4 與本計畫相關之研究成果目錄 442

表目錄

表 1-1：預期進度甘梯圖（黑）及實際工作進度（紅）.....3
表 2-1：既有觀測站的座標.....10
表 3-1：觀測井基本資料.....21
表 3-2：安通溫泉區溫泉旅館溫泉井井位.....32
表 3-3：安通溫泉區 4 家溫泉旅館溫泉井水質分析.....34
表 4-1：台灣地震災害統計表（1901～2010）.....41
表 4-2：地震震度分級表.....45
表 4-3：大平地測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30).....65
表 4-4：古坑測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30).....88
表 4-5：二溪測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30).....108
表 4-6：屏科大測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30).....128
表 4-7：池上測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30).....149
表 4-8：蘇澳測站相關地震列表(2009/12/11-2010/11/07).....167
表 4-9：中崙測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30).....188
表 4-10：各氣體觀測站之地震與氡氣異常比較.....210
表 4-11：觀測站人工採樣氣體成份表.....212
表 5-1：美崙地區土壤氣體成份分析結果.....220
表 5-2：美崙測站相關地震列表(2010/09/30-2010/11/01).....230
表 6-1：台北相關地震列表.....285
表 6-2：新竹相關地震列表.....287
表 6-3：嘉義相關地震列表.....288
表 6-4：本年度規模 6 以上之地震影響.....317
表 8-1：地震與多個測站的氡氣異常反應.....337
表 8-2：規模 6 以上之大地震於新竹網與嘉義網測站所觀測到的異常情形比較.....353
表 8-3：規模 5 以上之地震與新竹網測站異常情形比較.....356
表 8-4：規模 5 以上之地震與嘉義網測站異常情形比較.....362
表 8-5：新竹網及嘉義網同時有觀察到前兆反應的地震.....367

表 8-6：各測站資料處理方法 374
表 8-7：圖 8-19 所得之各內部模態函數的特性 378
表 8-8：中崙測站與地震有關的異常利用直覺判斷與 EMD 判斷結果比較 383
表 8-9：圖 8-27 所得之各內部模態函數的特性 387
表 8-10：蘇澳站相關地震列表及異常情形 390
表 8-11：池上站相關地震及震前異常變化情形 395

圖目錄

圖 2-1：台灣東部安通溫泉吉祥水氡濃度監測站之水氡濃度監測 7
圖 2-2：安通溫泉區附近歷年主要地震震央分布圖 8
圖 2-3：既有觀測站的分布位置 9
圖 2-4：地震體積膨脹模式 12
圖 2-5：RN-222 自 U-238 的衰變鏈 14
圖 2-6：在 60℃時不同比例氣體飽和度及安通溫泉吉祥站地下水水氡濃度變化圖 16
圖 3-1：花蓮米崙斷層示意圖 20
圖 3-2：安通地下水水氡及溶解氣體監測站位置圖 23
圖 3-3：玉里安通鄰近地質圖 26
圖 3-4：玉里安通鄰近地質圖 CC’剖面圖 27
圖 3-5：玉里安通鄰近地質圖圖例 28
圖 3-6：安通溫泉飯店地下水水氡及溶解氣體監測井 31
圖 3-7：安通溫泉區 4 家溫泉旅館所擁有之溫泉井相對位置圖 33
圖 3-8：恆春半島地質圖 37
圖 3-9：2006/12/26 恆春地震地震報告 39
圖 4-1：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/10/25-2010/01/31） 48
圖 4-2：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/02/01-2010/07/10） 49
圖 4-3：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/07/10-2010/11/30） 50
圖 4-4：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/10/25-2009/11/30） 51
圖 4-5：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/12/01- 2009/12/31） 52
圖 4-6：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/01/01- 2010/01/31） 53
圖 4-7：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/02/01-2010/02/28） 54
圖 4-8：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/03/01-2010/03/31） 55
圖 4-9：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/04/01-2010/04/30） 56
圖 4-10：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/05/01-2010/05/31） 57
圖 4-11：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/06/01-2010/06/30） 58
圖 4-12：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/07/01-2010/07/31） 59

圖 4-13：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/08/01-2010/08/31）.....60
圖 4-14：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/09/01-2010/09/30）.....61
圖 4-15：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/10/01-2010/10/31）.....62
圖 4-16：新竹大平地觀測站觀測結果（2010/11/01-2010/11/30）.....63
圖 4-17：大平地測站相關地震位置分布圖.....64
圖 4-18：嘉義梅山站體外觀.....69
圖 4-19：嘉義梅山站左後測地基掏空.....69
圖 4-20：嘉義梅山站左後測地基掏空近拍照.....70
圖 4-21：雲林古坑站體外觀.....70
圖 4-22：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/11/01- 2010/01/31）.....71
圖 4-23：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/11/01- 2009/11/30）.....72
圖 4-24：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/12/01-2009/12/31）.....73
圖 4-25：嘉義梅山觀測站觀測結果（2010/01/01-2010/01/31）.....74
圖 4-26：雲林古坑觀測站觀測結果（2010/02/01- 2010/11/30）.....75
圖 4-27：雲林古坑觀測站觀測結果（2010/02/01-2010/02/28）.....76
圖 4-28：雲林古坑觀測站觀測結果（2010/03/01- 2010/03/31）.....77
圖 4-29：雲林古坑觀測站觀測結果（2010/04/01- 2010/04/30）.....78
圖 4-30：雲林古坑觀測站觀測結果（2010/05/01- 2010/05/31）.....79
圖 4-31：雲林古坑觀測站觀測結果（2010/06/01- 2010/06/30）.....80
圖 4-32：雲林古坑觀測站觀測結果（2010/07/01- 2010/07/31）.....81
圖 4-33：雲林古坑觀測站觀測結果（2010/08/01- 2010/08/31）.....82
圖 4-34：雲林古坑觀測站觀測結果（2010/09/01- 2010/09/30）.....83
圖 4-35：雲林古坑觀測站觀測結果（2010/10/01- 2010/10/31）.....84
圖 4-36：雲林古坑觀測站觀測結果（2010/11/01- 2010/11/30）.....85
圖 4-37：雲林古坑站站體呈左傾.....86
圖 4-38：雲林古坑站舖水泥.....86
圖 4-39：古坑測站相關地震位置分布圖.....87
圖 4-40：台南二溪觀測站觀測結果（2009/11/01-2010/11/30）.....93
圖 4-41：台南二溪觀測站觀測結果（2009/11/01-2009/11/30）.....94

圖 4-42：台南二溪觀測站觀測結果（2009/12/01-2009/12/31）.....95
圖 4-43：台南二溪觀測站觀測結果（2010/01/01- 2010/01/31）.....96
圖 4-44：台南二溪觀測站觀測結果（2010/02/01-2010/02/28）.....97
圖 4-45：台南二溪觀測站觀測結果（2010/03/01-2010/03/31）.....98
圖 4-46：台南二溪觀測站觀測結果（2010/04/01-2010/04/30）.....99
圖 4-47：台南二溪觀測站觀測結果（2010/05/01-2010/05/31）.....100
圖 4-48：台南二溪觀測站觀測結果（2010/06/01-2010/06/30）.....101
圖 4-49：台南二溪觀測站觀測結果（2010/07/01-2010/07/31）.....102
圖 4-50：台南二溪觀測站觀測結果（2010/08/01-2010/08/31）.....103
圖 4-51：台南二溪觀測站觀測結果（2010/09/01-2010/09/30）.....104
圖 4-52：台南二溪觀測站觀測結果（2010/10/01-2010/10/31）.....105
圖 4-53：台南二溪觀測站觀測結果（2010/11/01-2010/11/30）.....106
圖 4-54：二溪測站相關地震位置分布圖.....107
圖 4-55：屏東屏科大觀測站觀測結果（2009/11/01- 2010/11/30）.....113
圖 4-56：屏東屏科大觀測站觀測結果（2009/11/01-2009/11/30）.....114
圖 4-57：屏東屏科大觀測站觀測結果（2009/12/01- 2009/12/31）.....115
圖 4-58：屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/01/01- 2010/01/31）.....116
圖 4-59：屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/02/01- 2010/02/28）.....117
圖 4-60：屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/03/01- 2010/03/31）.....118
圖 4-61：屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/04/01- 2010/04/30）.....119
圖 4-62：屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/05/01- 2010/05/31）.....120
圖 4-63：屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/06/01-2010/06/30）.....121
圖 4-64：屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/07/01-2010/07/31）.....122
圖 4-65：屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/08/01-2010/08/31）.....123
圖 4-66：屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/09/01-2010/09/30）.....124
圖 4-67：屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/10/01-2010/10/31）.....125
圖 4-68：屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/11/01-2010/11/30）.....126
圖 4-69：屏科大測站相關地震位置分布圖.....127
圖 4-70：台東池上觀測站觀測結果（2009/10/21-2010/11/30）.....134

圖 4-71：台東池上觀測站觀測結果（2009/10/21-2009/11/30）.....135
圖 4-72：台東池上觀測站觀測結果（2009/12/01-2009/12/31）.....136
圖 4-73：台東池上觀測站觀測結果（2010/01/01-2010/01/31）.....137
圖 4-74：台東池上觀測站觀測結果（2010/02/01-2010/02/28）.....138
圖 4-75：台東池上觀測站觀測結果（2010/03/01-2010/03/31）.....139
圖 4-76：台東池上觀測站觀測結果（2010/04/01-2010/04/30）.....140
圖 4-77：台東池上觀測站觀測結果（2010/05/01-2010/05/31）.....141
圖 4-78：台東池上觀測站觀測結果（2010/06/01-2010/06/30）.....142
圖 4-79：台東池上觀測站觀測結果（2010/07/01-2010/07/31）.....143
圖 4-80：台東池上觀測站觀測結果（2010/08/01-2010/08/31）.....144
圖 4-81：台東池上觀測站觀測結果（2010/09/01-2010/09/30）.....145
圖 4-82：台東池上觀測站觀測結果（2010/10/01-2010/10/31）.....146
圖 4-83：台東池上觀測站觀測結果（2010/11/01-2010/11/30）.....147
圖 4-84：池上測站相關地震位置分布圖.....148
圖 4-85：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2009/12/11- 2010/11/07）.....153
圖 4-86：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2009/12/11- 2009/12/31）.....154
圖 4-87：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2010/01/01- 2010/01/31）.....155
圖 4-88：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2010/02/01- 2010/02/28）.....156
圖 4-89：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2010/03/01- 2010/03/31）.....157
圖 4-90：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2010/04/01- 2010/04/30）.....158
圖 4-91：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2010/05/01- 2010/05/31）.....159
圖 4-92：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2010/06/01- 2010/06/30）.....160
圖 4-93：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2010/07/01- 2010/07/31）.....161
圖 4-94：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2010/08/01- 2010/08/31）.....162
圖 4-95：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2010/09/01- 2010/09/30）.....163
圖 4-96：宜蘭蘇澳觀測站觀測結果（2010/10/01- 2010/11/07）.....164
圖 4-97：蘇澳站正面.....165
圖 4-98：蘇澳站右側.....165
圖 4-99：蘇澳站左側.....165

圖 4-100：蘇澳測站相關地震位置分布圖 166
圖 4-101：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2009/10/25-2010/11/30）...173
圖 4-102：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2009/10/25-2009/11/30）...174
圖 4-103：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2009/12/01-2009/12/31）...175
圖 4-104：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/01/01-2010/01/31）...176
圖 4-105：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/02/01-2010/02/28）...177
圖 4-106：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/03/01-2010/03/31）...178
圖 4-107：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/04/01-2010/04/30）...179
圖 4-108：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/05/01- 2010/05/31）..180
圖 4-109：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/06/01- 2010/06/30）..181
圖 4-110：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/07/01- 2010/07/31）..182
圖 4-111：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/08/01- 2010/08/31）..183
圖 4-112：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/09/01- 2010/09/30）..184
圖 4-113：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/10/01- 2010/10/31）..185
圖 4-114：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/11/01- 2010/11/30）..186
圖 4-115：中崙測站相關地震位置分布圖 187
圖 4-116：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/10/25-2010/11/30）.....195
圖 4-117：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/10/25-2009/11/30）.....196
圖 4-118：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/12/01-2009/12/31）.....197
圖 4-119：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/01/01-2010/01/31）.....198
圖 4-120：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/02/01-2010/02/28）.....199
圖 4-121：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/03/01-2010/03/31）.....200
圖 4-122：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/04/01-2010/04/30）.....201
圖 4-123：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/05/01-2010/05/31）.....202
圖 4-124：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/06/01-2010/06/30）.....203
圖 4-125：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/07/01-2010/07/31）.....204
圖 4-126：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/08/01-2010/08/31）.....205
圖 4-127：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/09/01-2010/09/30）.....206
圖 4-128：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/10/01-2010/10/31）.....207

圖 4-129：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/11/01-2010/11/30）.....208
圖 5-1：花蓮地區採樣點分佈圖 218
圖 5-2：野外採樣的實際情形與採樣示意圖 218
圖 5-3：各剖面之土壤氡氣和氪氣濃度結果 219
圖 5-4：氣體觀測站設置示意圖 223
圖 5-5：臨時連續觀測箱圖 224
圖 5-6：臨時連續觀測結果圖 225
圖 5-7：花蓮美崙氣體觀測站動工 226
圖 5-8：花蓮美崙氣體觀測站外觀 227
圖 5-9 左圖：測站內分析儀器（氡氣分析儀及二氧化碳分析儀）；右圖：測站內電腦及不斷電系統等硬體設備 227
圖 5-10：三個氡氣儀分析結果 228
圖 5-11：主動式氡氣儀分析結果 228
圖 5-12：被動式氡氣儀 NO.1 分析結果 228
圖 5-13：被動式氡氣儀 NO.2 分析結果 228
圖 5-14：美崙測站相關地震位置分布圖 229
圖 6-1：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/12－2010/11）.....233
圖 6-2：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/12－2010/5）.....234
圖 6-3：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/6－2010/11）.....235
圖 6-4：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/12）.....236
圖 6-5：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/1）.....237
圖 6-6：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/2）.....238
圖 6-7：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/3）.....239
圖 6-8：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/4）.....240
圖 6-9：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/5）.....241
圖 6-10：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/6）.....242
圖 6-11：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/7）.....243
圖 6-12：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/8）.....244
圖 6-13：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/9）.....245

圖 6-14：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/10）.....246
圖 6-15：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/11）.....247
圖 6-16：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/12－2010/11）.....250
圖 6-17：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/12－2010/5）.....251
圖 6-18：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/6－2010/11）.....252
圖 6-19：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/12）.....253
圖 6-20：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/1）.....254
圖 6-21：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/2）.....255
圖 6-22：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/3）.....256
圖 6-23：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/4）.....257
圖 6-24：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/5）.....258
圖 6-25：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/6）.....259
圖 6-26：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/7）.....260
圖 6-27：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/8）.....261
圖 6-28：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/9）.....262
圖 6-29：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/10）.....263
圖 6-30：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/11）.....264
圖 6-31：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/12－2010/11）.....268
圖 6-32：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/12－2010/5）.....269
圖 6-33：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/6－2010/11）.....270
圖 6-34：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/12）.....271
圖 6-35：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/1）.....272
圖 6-36：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/2）.....273
圖 6-37：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/3）.....274
圖 6-38：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/4）.....275
圖 6-39：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/5）.....276
圖 6-40：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/6）.....277
圖 6-41：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/7）.....278
圖 6-42：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/8）.....279

圖 6-43：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/9）.....280
圖 6-44：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/10）.....281
圖 6-45：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/11）.....282
圖 6-46:台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及台北地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖（2008/11-2010/10）.....291
圖 6-47:台北地區水壓異常距地震發生天數及地震規模關係圖(2009/12-2010/11）.....292
圖 6-48:台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及新竹地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖（2008/11-2010/10）.....293
圖 6-49：新竹新樂站水壓異常距地震發生天數及地震規模關係圖（2009/12-2010/11）.....294
圖 6-50:台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及嘉義地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖（2008/11-2010/10）.....295
圖 6-51:台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及台北地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖（2008/11-2010/10）.....296
圖 6-52：嘉義沄水站水壓異常距地震發生天數及地震規模關係圖（2009/12-2010/11）.....297
圖 6-53：台北地區明德站單次累積雨量與地下水壓化延遲時間之關係分佈圖（2009－2010/6）.....300
圖 6-54:台北地區明德站單次累積雨量與地下水壓化變化關係之分佈圖(2009－2010/6）.....300
圖 6-55：台北地區錦和站單次累積雨量與地下水壓化延遲時間之關係分佈圖（2009－2010/6）.....301
圖 6-56:台北地區錦和站單次累積雨量與地下水壓化變化關係之分佈圖(2009－2010/6）.....301
圖 6-57：台北地區樹林站單次累積雨量與地下水壓化延遲時間之關係分佈圖（2009－2010/10）.....302
圖 6-58：台北地區樹林站單次累積雨量與地下水壓化延遲時間之關係分佈圖（2009－2010/10）.....302
圖 6-59：台北地區明德站連續累積雨量與地下水壓化變化關係之分佈圖（2010/2/12- 2010/2/19）.....303
圖 6-60：台北地區錦和站連續累積雨量與地下水壓化變化關係之分佈圖（2010/2/12- 2010/2/19）.....303

圖 6-61：新竹地區新樂站連續累積雨量與地下水壓化變化關係之分佈圖（2010/2/12- 2010/2/19）.....304
圖 6-62：新竹地區新樂站地下水壓自然下降量之關係圖（2010/7/19- 2010/8/4）.....304
圖 6-63：新竹地區新樂站水位資料與地震及雨量比對圖（2010/1）.....305
圖 6-64：新竹地區新樂站水位資料與地震及雨量比對圖（2010/2）.....306
圖 6-65：新竹地區新樂站水位資料與地震及雨量比對圖（2010/3）.....307
圖 6-66：新竹地區新樂站水位資料與地震及雨量比對圖（2010/4）.....308
圖 6-67：新竹地區新樂站水位資料與地震及雨量比對圖（2010/5）.....309
圖 6-68：新竹地區新樂站水位資料與地震及雨量比對圖（2010/6）.....310
圖 6-69：新竹地區新樂站水位資料與地震及雨量比對圖（2010/7）.....311
圖 6-70：新竹地區新樂站水位資料與地震及雨量比對圖（2010/8）.....312
圖 6-71:台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及台北地區有前兆反應的中度以上相關地震震央分布圖（2008/11-2010/10）.....314
圖 6-72:台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及新竹地區新樂站有前兆反應的中度以上相關地震震央分布圖（2008/11-2010/10）.....315
圖 6-73:台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及嘉義地區沄水站有前兆反應的中度以上相關地震震央分布圖（2008/11-2010/10）.....316
圖 7-1：安通站地下水水氡濃度變化與環境因子關係圖.....320
圖 7-2：安通站地下水溶解氣體甲烷濃度監測結果與環境因子關係圖.....321
圖 7-3：安通站地下水溶解氣體氦氣濃度監測結果與環境因子關係圖.....322
圖 7-4：吉祥站每日最高地下水位與環境因子關係圖（2009/12-2010/11）.....324
圖 7-5：吉祥站鄰近含水層導水係數 T 與環境因子關係圖.....325
圖 7-6：吉祥站鄰近含水層儲水係數 S 與環境因子關係圖.....326
圖 7-7：安通溫泉飯店地下水氡監測井井頭地下水溫度監測紀錄與環境因子關係圖.....327
圖 7-8：社頂站地下水水氡濃度變化與環境因子關係圖.....329
圖 7-9：社頂站地下水水氡濃度變化與雨量關係圖.....330
圖 7-10：社頂站地下水溶解氣體二氧化碳濃度監測結果與環境因子關係圖.....332
圖 7-11：社頂站地下水溶解氣體二氧化碳濃度監測結果與雨量關係圖.....333
圖 8-1：地球化學觀測站的地震反應區間示意圖.....336

圖 8-2：2009/11/5 南投名間地震與各測站觀測情形 341
圖 8-3：2009/12/19 花蓮地震與各測站觀測情形 342
圖 8-4：2010/1/19 花蓮地震與各測站觀測情形 343
圖 8-5：2010/2/12 南投埔里地震與各測站觀測情形 344
圖 8-6：2010/3/4 高雄甲仙地震與各測站觀測情形 345
圖 8-7：嘉南地區沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖（2010/2/1-2010/3/6） 346
圖 8-8：2010/11/21 花蓮地震與各測站觀測情形 347
圖 8-9：安通溫泉區地下水氡監測井 99 年度全年度觀測資料統整圖 349
圖 8-10：恆春半島墾丁社頂監測站 99 年度全年度觀測資料統整圖 350
圖 8-11：觀測站分布位置 352
圖 8-12：規模 5 以上的地震分布與新竹網有前兆反應的地震分布 360
圖 8-13：規模 5 以上的地震分布與嘉義網有前兆反應的地震分布 366
圖 8-14：新竹網與嘉義網同時有前兆反應的地震分布 368
圖 8-15：為第一個 IMF 的求取過程 371
圖 8-16：各 IMF 分量圖 371
圖 8-17：不同時間區間(TIME LENGTH)之移動平均線 374
圖 8-18：中崙觀測站的氡氣濃度觀測結果（2008/11/1－2009/5/25） 376
圖 8-19：中崙觀測站原始訊號經拆解後的所得到的內部模態函數 377
圖 8-20：中崙觀測站原始氡氣濃度與 IMF_4 至 IMF_7 之總和的比較 378
圖 8-21:中崙觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據(2008/11/1 – 2009/5/25） 379
圖 8-22：中崙觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據（2008/11/1 – 2008/12/31） 380
圖 8-23:中崙觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據(2009/1/1 – 2009/3/31） 381
圖 8-24:中崙觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據(2009/5/1 – 2009/5/25） 382
圖 8-25：中崙測站相關地震與利用 EMD 判釋出異常有關的地震分布 383
圖 8-26：蘇澳測站氡氣觀測結果（2010/6/1-2010/9/28） 385

圖 8-27：蘇澳測站氡氣濃度以經驗模態分解結果 386
圖 8-28：蘇澳測站氡氣濃度與經 HILBERT TRANSFORM 的比較（2010/6/1 – 2010/9/28） 387
圖 8-29：蘇澳測站氡氣濃度與經 HILBERT TRANSFORM 的比較（2010/6/1 – 2010/7/31 ） 388
圖 8-30：蘇澳測站氡氣濃度與經 HILBERT TRANSFORM 的比較（2010/8/1 – 2010/9/28） 389
圖 8-31：蘇澳測站相關地震與利用 HHT 判釋出異常有關的地震分布 390
圖 8-32：池上測站原始氡氣濃度 392
圖 8-33：池上測站原始氡氣濃度與經驗模態分解後訊號的比較 392
圖 8-34：池上測站原始氡氣濃度與利用移動平均法處理後訊號的比較 393
圖 8-35：池上測站原始氡氣濃度、移動平均法與經驗模態分解訊號的比較 ...394
圖 8-36：異常值量化之示意圖 394
圖 8-37：池上測站相關地震(D/R ≥ 2)及有震前異常反應的地震.....398
圖 8-38：池上測站相關地震(D/R ≥ 2)及有震前異常反應的地震.....398
圖 8-39：池上測站相關地震(D/R ≥ 2)及有震前異常反應的地震.....399
圖 8-40：利用 EMD 辨識出的異常，其異常開始至地震發生的時間與地震規模的關係圖 400
圖 A-1：水氡標準溶液液態閃爍計數之典型圖譜 428
圖 A-2：水氡分析實驗室品保品管歷線圖（背景值及校正因子） 428
圖 B-1：甲烷（CH_4）檢量線.....432
圖 B-2：氮（N_2）檢量線 432

壹、緒論

台灣位於歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的交接處,隨著板塊的作用所造成的斷層活動與地震也就特別多，地球化學變化常可以提供明顯的地震前兆，其中氣體成分的變化較為明顯而迅速，這些大部分和熱水作用相關的氣體如氡（Rn）、氦（He）、氫（H_2）、氬（Ar）、氮（N_2）、甲烷（CH_4）和二氧化碳（CO_2）的異常，以及溶於水體的陰、陽離子濃度的劇烈變化，一般歸因於斷層活動造成地下流體（水與氣）循環系統的改變而導致流體的混合。

經過以往有系統的調查觀測結果顯示,土壤與溶解氣體成分之監測有較為敏感的變化，且較容易達到連續自動化分析，及持續維護之目標。配合鄰近水位觀測井與地震儀連續觀測分析，及鄰近地殼變形觀測結果，當可更有效解釋流體地球化學變化與地殼、地震活動之關聯性。

本計畫第一階段之觀測計畫中於四年內（94 年-97 年）逐年於台灣各活動斷層之敏感地區分別設置土壤氣體觀測站及水位觀測井,進行氣體成分與水位之觀測，成為一個初步的觀測網。

本（2010）年度，持續對於新竹大平地、雲林古坑（原嘉義梅山）、嘉義中崙、台南二溪、屏東屏科大、台東池上、及去（2009）年度本計畫於宜蘭蘇澳地區新設置的氣體觀測站，共七座已設置之氣體觀測站，及新竹雙溪國小、嘉義沄水國小水位觀測站與地調所設置之 9 座水位站持續觀測外,亦於花蓮美崙地區進行調查探勘、選擇適當地點之後，新設置一座氣體觀測站，以期能夠建立較完整之觀測網，以利於往後對於分析資料之判讀。

此外除了持續在東部池上斷層附近之安通溫泉定期作地下水氡與溶解氣體採樣分析，亦於南部的恆春半島作定期的地下水氡及溶解氣體採樣與分析，以期於全島能夠完成較為完整之觀測網，利於往後對於分析資料之判讀。

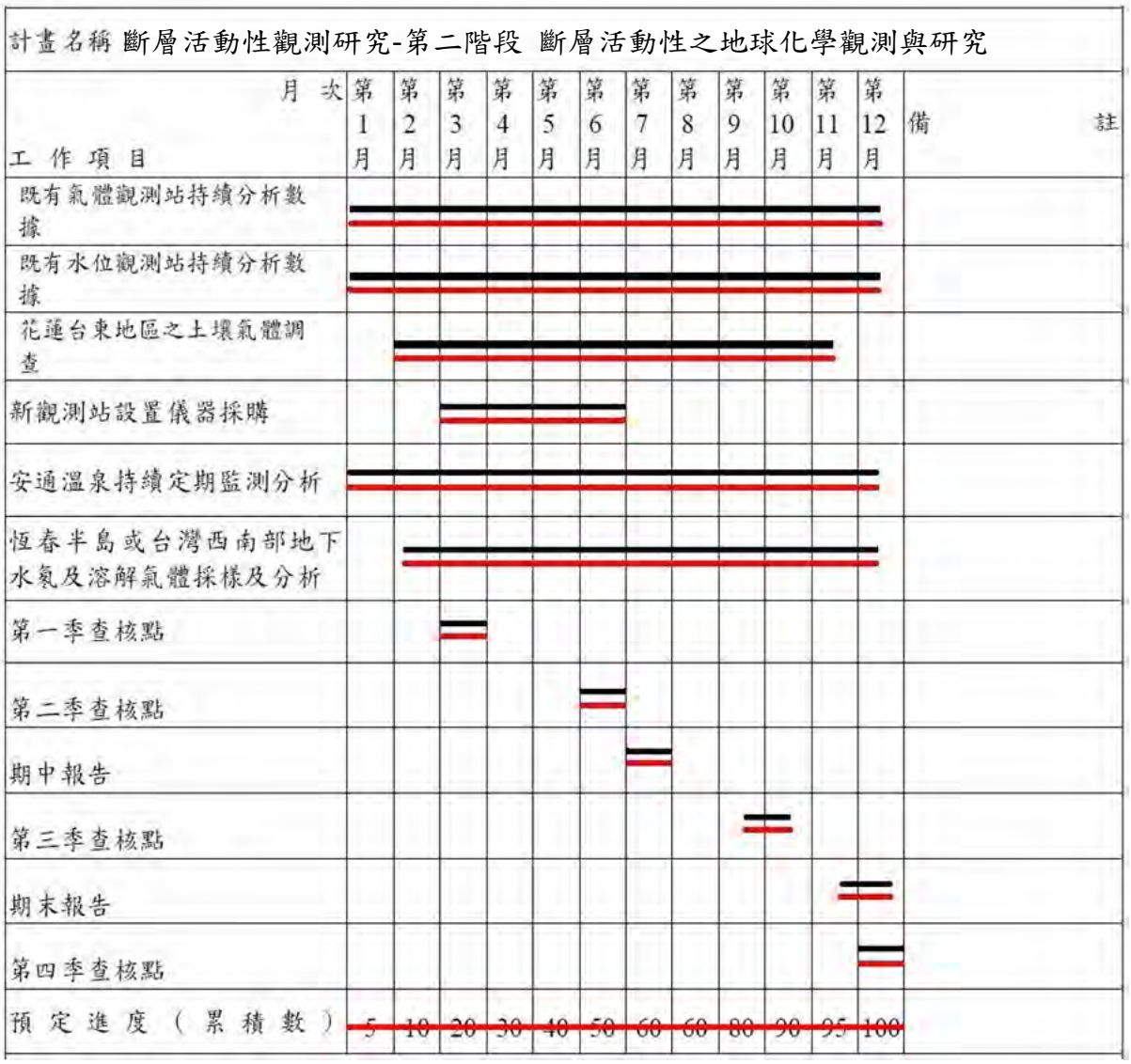
1-1 本年度之工作項目

1. 維護既有7座地球化學土壤氣體觀測站與2座水壓觀測站，使能夠連續運轉接收資料。
2. 分析地調所提供之水壓觀測資料（共9站）
3. 於台東花蓮地區進行土壤氣體調查、評估適合設置連續觀測站位置。
4. 於花東地區設置一座土壤氣體連續觀測站。
5. 持續定期於安通溫泉地區採樣並分析水氡及溶解氣體（甲烷及氮氣）成份。
6. 於恆春半島或台灣西南部地區選擇適當地點進行地下水氡及溶解氣體（二氧化碳）之採樣與分析。
7. 不同觀測站分析結果對地震活動之不同敏感度分析。
8. 收集各觀測站鄰近地殼、地震活動觀測資料，分析觀測站氣體成份、水位變化與鄰近地區斷層與地震活動之關聯性。
9. 繳交依審查意見修正後之研究成果報告書報告書30份；及電子資料檔光碟1份。

1-2 本年度已完成之工作項目

1. 針對已設置之氣體連續觀測站與水位觀測井，持續分析其土壤氣體成分（2009/11/01-2010/11/30）與水位變化（2009/12/01-2010/11/30）。
2. 分析地調所提供之水壓觀測資料（共9站）（2009/12/01-2010/11/30）。
3. 於台東花蓮地區進行土壤氣體調查，並選擇米崙斷層地區進行定期探勘採樣，作為設站之參考。
4. 定期於安通溫泉地區採樣並分析水氡及溶解氣體（甲烷及氮氣）成份（2009/12/01-2010/11/30）。
5. 於社頂地區進行地下水氡及溶解氣體（二氧化碳）之採樣與分析（2009/12/01-2010/11/30）。
6. 不同觀測站分析結果對地震活動之不同敏感度分析。
7. 收集鄰近地殼、地震活動觀測資料，嘗試分析觀測站氣體成分、水位變化與當地斷層、地震活動之關聯性。
8. 進行人工採樣與背景值分析。

表 1-1：預期進度甘梯圖（黑）及實際工作進度（紅）



說明：

(1) 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期，期中報告與期末報告必須明列於本表中。

(2) 預定進度百分比一欄係為配合追蹤考核作業所需，累計百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：1.工作天數2.經費之分配3.工作量之比重4.擬達成目標之具體數字。

貳、研究原理及方法

2-1 前言

地震災害至今仍是吾人無法確實預測並防止其造成重大危害之最重要天然災害。地震發生過程是很複雜的，其中有可預測的、可能可預測的，及不可預測的部分（Bolt, 1999; Moki, 1985）。若能在地震來臨之前有所預測，使國人預作準備，則可望把災害減到最輕。以往國內對此一地質災害之觀測與預測的研究，大都利用地球物理的方法（如全台地震網的設立），甚少利用流體（水和氣）地球化學的方法。然而由於地震在即將發生前，通常都會有一些物理的或化學的前兆 (Barsukov *et al*., 1985a; b; Biagi *et al*., 2000; Healy and Urban, 1985; Igarashi and Wakita, 1995; Igarashi *et al*., 1995; Kawabe, 1985; King, 1986; King *et al*., 1981; Koizumi *et al*., 1985; Kovach *et al*., 1975; Lamar and Merifield, 1979; Li *et al*., 1985; Merifield and Lamar, 1981; Oki and Hiraga, 1979; Roeloffs, 1988; Sano *et al*., 1998; Sugisaki, 1978; 1985; Sugisaki *et al*., 1996; Talwani and Van Nieuwenhuise, 1980; Thomas, 1988; Toutain *et al*., 1997; Tsunogai and Wakita, 1995; 1996; Wakita *et al*., 1980; Wallace and Teng, 1980)，若我們能結合地球物理和地球化學的方法，同時來觀測這種地質災害的前兆，必能收集到更為可靠的資料，作為可能發生災害的預警。

在觀測及預測斷層活動與地震的方法中，流體之地球化學變化常可提供有用的地震前兆訊息。這是因當中度或大地震來臨之前，在破裂帶或是斷層面上因局部應力的改變，使孔隙壓力產生變化，造成地下流體（水與氣）循環系統的改變，而導致混流體混合作用，因此流體地球化學可作為觀察地震前兆的工具（Chyi *et al*., 2005; Hickman *et al*., 1995; Miklavcic *et al*., 2008; Perez *et al*., 2007; Walia *et al*., 2009; Yang *et al*., 2005; Zhang and Sanderson, 1996）。舉例來說，氡氣、氦氣、氫氣與二氧化碳等氣體常被用作斷層活動及地震監測的工具。

此外，根據前人研究（如 Barsukov *et al*., 1985; Biagi *et al*., 2000; Chadha and Pandey, 2003; Esposito *et al*., 2009; Gau *et al*., 2007; Igarashi *et al*., 1992; King *et al*., 2000; Lamar and Merifield, 1979; Merifield and Lamar, 1981; Roeloffs, 1988; Wang, 1985），地下水壓（或水頭）會受區域應力場之改變而變化。因此在斷層活動或地震發生前，地下水壓或水位之改變，可作為斷層活動之徵兆。本計畫觀測十一口地下水觀測井的水壓變化。本報告中，由水壓計記錄之地下水壓變化數值，皆轉換或相對於水壓計所在位置的地下水頭高度來表示。藉由地下水壓變化特性與地震資料之比對，並歸納各測站降雨對地下水壓升降之影響，判識地下水壓變化

之原因及其程度，期望未來能達到以地下水壓變化預知地震活動性之目標。

本計畫國立成功大學研究團隊自 2003 年 7 月起，持續在台灣東部玉里（安通溫泉區）長期觀測地下水水氡濃度異常變化至今，已有初步研究成果（Kuo *et al.*, 2006a; 2006b; 2009; 2010a; 2010b; 2010c）。2003 年 12 月 10 日地震矩規模 M_W 6.8 成功地震來臨前，成功在安通溫泉水氡監測站捕捉到震前地下水氡濃度異常下降之地震前兆。同時又在 2006 年 4 月 1 日及 2008 年 2 月 17 日發生地震矩規模 M_W 6.1 及 M_W 5.4，地震前皆有觀測到地下水氡濃度異常下降之地震前兆（圖 2-1），在同一監測點觀測到地震前兆氡濃度異常之再現性。在安通溫泉吉祥水氡濃度監測站（吉祥站）再現性觀測到的氡濃度異常下降，證明在適當的地質條件下地下水水氡監測為可預警災難性地震的方法。

本研究在台灣東部安通溫泉區進行地下水水氡及地下水溶解氣體監測。安通溫泉區在台灣東部花蓮縣玉里鎮，位於池上斷層東南方約三公里處（圖2-2），池上斷層屬於縱谷斷層之一部分，屬於活斷層，且縱谷斷層及為現今歐亞板塊及菲律賓海板塊之交界處地震頻繁。安通溫泉地質為脆性安山岩外部包圍塑性利吉層，在此地質條件下，地下水氡觀測站能捕捉到發生災害性地震之水氡異常下降前兆。本計畫在安通站（安通溫泉飯店）監測水氡濃度異常變化和地殼活動之關聯性，並探討其物理化學機制。

本年度於恆春半島墾丁公園內，選擇類似地質條件（脆性石灰岩外部包圍塑性墾丁層）作為監測地點，預期也能觀測到地下水氡濃度異常下降之地震前兆。未來二年將在台灣東部花東縱谷南段鄰近安通溫泉區建置地下水氡即時監測站（安通站），並增加地下水溶解氣體（甲烷及氦氣）連續監測，達到捕捉地震前兆及驗證物理化學機制之目標。另外，也將在台灣西南部選擇適當地質條件站址，建立地下水水氡及地下水溶解氣體連續監測站。

本計畫今年度在花蓮台東地區設置一座氣體觀測站，於設站之前，必須針對欲設立觀測站的地區進行前置的初步探勘。本研究利用土壤逸氣調查方法，針對地下氣體的來源及分布情形，用以判斷地表下有無之構造活動或是斷層分佈位置。本研究對於花蓮地區進行調查，找尋敏感及適合的觀測站設置地點。同時與其他地球物理、地質調查的資料互相比較以得到更精確的結果，以更徹底了解花蓮地區的新期構造活動與斷層活動性。

利用地球化學中稀有氣體的特性，可偵測地表下活動斷層的分佈。因為源於地殼深處與近地表處的氣體組成截然不同，在斷層或破裂帶經過的地方，會形成氣體通道，使氡氣、氦氣、氫氣、二氧化碳與甲烷等揮發性氣體沿著此通道向上遷移逸散，而在近地表處顯示異常高濃度值。利用此原理可判斷該處是否有斷層抑或破裂帶通過，也可用來判定斷層的走向和位置（如 Baubron *et al.*, 2002; Etiope

and Lombardi, 1995; Etiope and Martinelli, 2002; Fu *et al.*, 2008; 2009; Walia *et al.*, 2005）明顯關連；這些“敏感”的測站通常沿著活斷層，特別是在二條斷層的交會或彎曲的地方，或一些構造上處於應變(strain)集中之處。

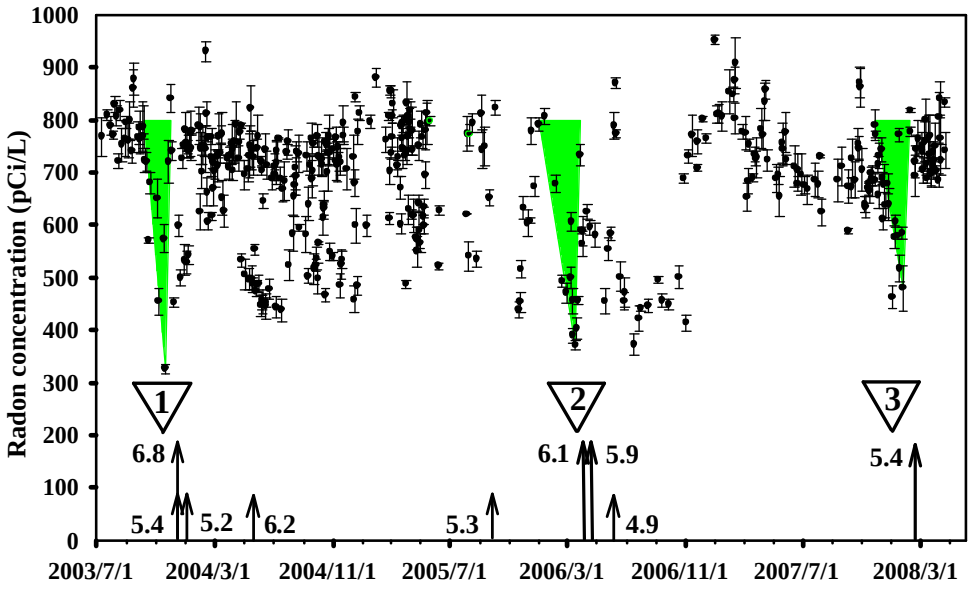


圖 2-1：台灣東部安通溫泉吉祥水氡濃度監測站 2003 年至 2008 年之水氡濃度監測。

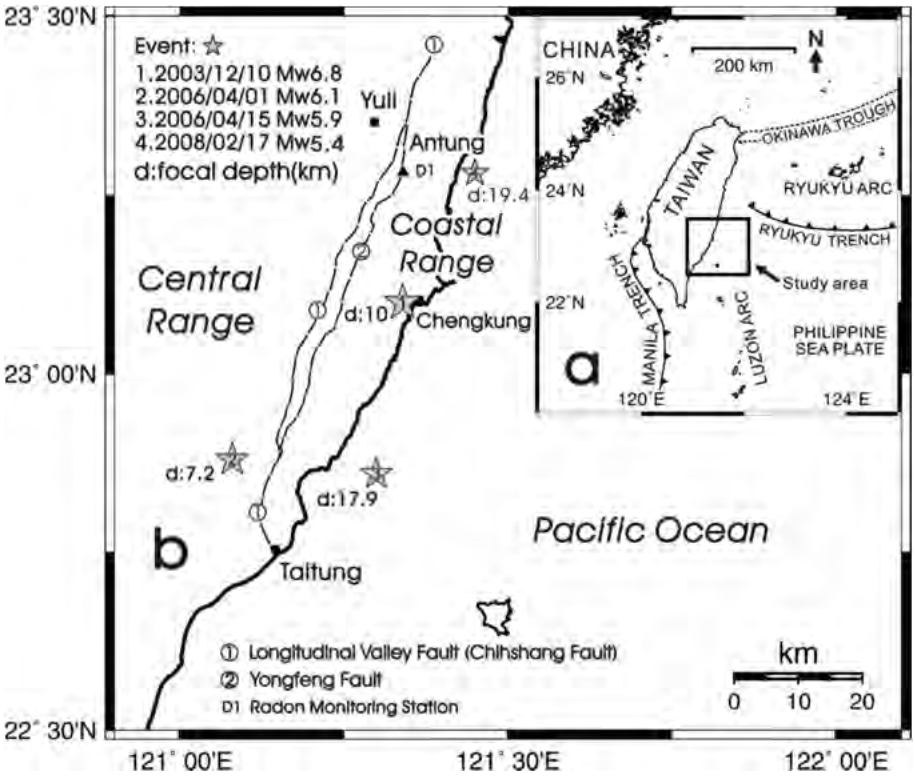


圖 2-2：圖中為安通溫泉區附近 2003 年 12 月 10 日、2006 年 4 月 1 日、2006 年 4 月 15 日及 2008 年 2 月 17 日發生地震矩規模 M_W 6.8、M_W 6.1、M_W 5.9 及 M_W 5.4 震央位置。

2-2 觀測站分布位置

本計畫觀測七座既有的氣體觀測站（大平地、古坑、中崙濁水潭、二溪、屏科大、池上及蘇澳）與一座於本年度設立之氣體觀測站（花蓮美崙站）。另外，本計畫亦觀察十一口地下水觀測井的水壓變化，包括新竹縣雙溪、嘉義縣沄水以及其他九口由中央地質調查所提供之地下水觀測井：台北縣明德、錦和、樹林及新竹縣新樂、梅花、瑞峰，以及嘉義縣太興、中興與達邦。此外，在台灣東部安通溫泉區與南部墾丁社頂地區進行地下水水氡及溶解氣體的監測。各測站之位置如圖 2-3 與表 2-1。

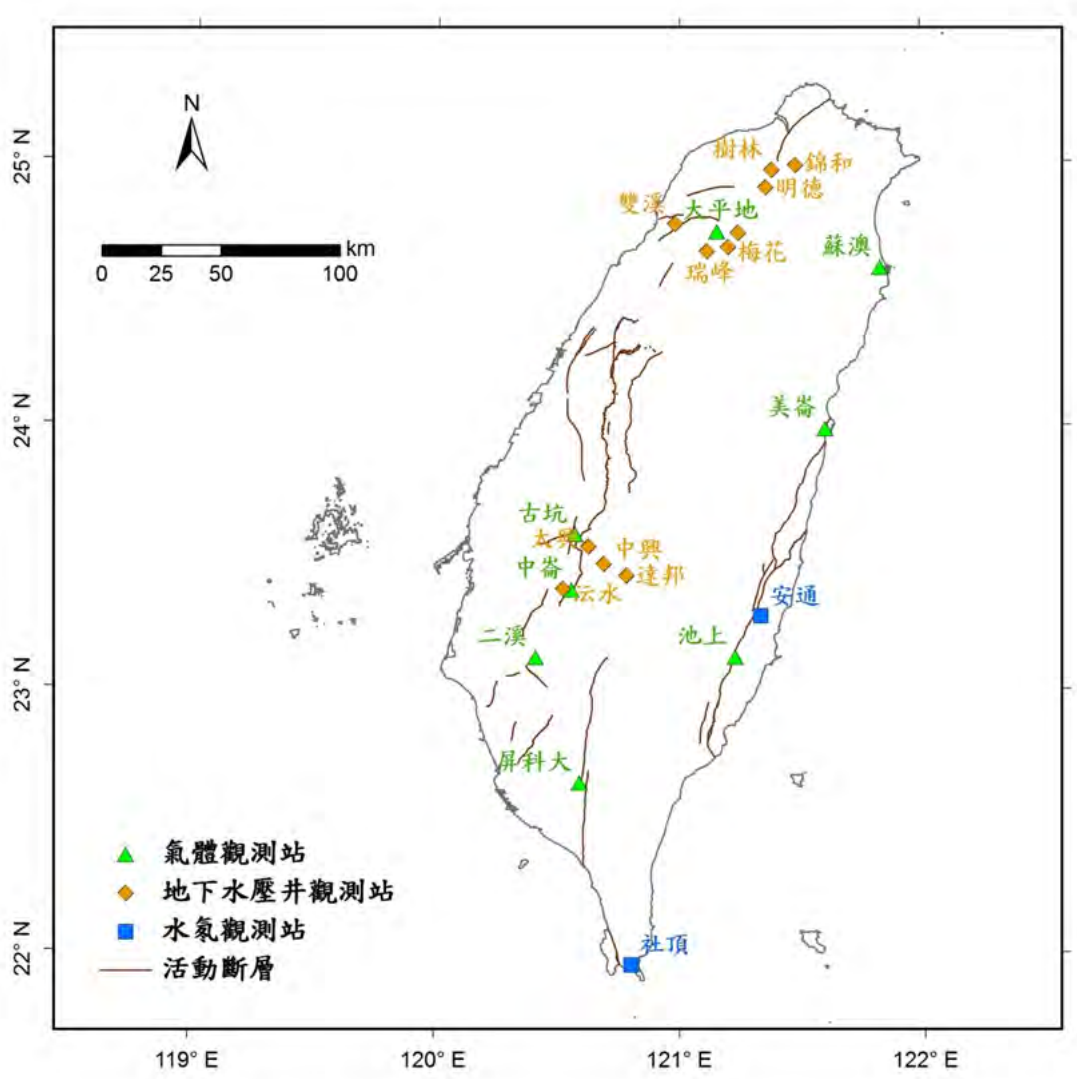


圖 2-3：既有觀測站的分布位置。

表 2-1：既有觀測站的座標。座標系統為 TWD67。

	二度分帶(E)	二度分帶(N)
氣體觀測站		
新竹大平地站(TPT)	265637	2736929
雲林古坑站(GK)	206325	2609740
嘉義中崙濁水潭站(CL)	204643	2586520
台南二溪站(RS)	189642	2558154
屏東屏科大站(PT)	209087	2050689
宜蘭蘇澳站(SA)	334236	2721951
花蓮美崙站(ML)	311240	2654267
台東池上站(CS)	273485	2558221
地下水壓觀測站		
台北明德站(MD)	286119	2755420
台北錦和站(JH)	298573	2764916
台北樹林站(SLN)	288631	2762888
新竹新樂站(SL)	274564	2736304
新竹梅花站(MH)	270303	2730338
新竹雙溪站(SS)	248170	2740081
新竹瑞峰站(RF)	261523	2728572
嘉義太興站(TS)	211814	2604620
嘉義中興站(JS)	218244	2597399
嘉義達邦站(DB)	227706	2592582
嘉義沄水站(YS)	200697	2586171
水氡觀測站		
玉里安通站(AT)	284242	2575601
墾丁社頂站(SD)	229669	2428986

2-3 文獻探討

由 Scholz *et al.*（1973）的體積膨脹模式（圖 2-4）知道，在地震發生前後會有五個階段：(1) 板塊擠壓，地殼累積彈性應變；(2) 地層發生膨脹和發展微裂隙；(3) 斷層帶上有流體侵入和變形；(4) 發生地震；(5) 餘震後地殼應力突然陡降。在前三個階段發生的同時，皆會伴隨著徵兆產生，這些徵兆分為地球物理的前震和地表形變及水文地球化學的變化。根據膨脹與擴散模型，有五個相關參數可當作地震前兆，包括 P 波速度變化、地層升降或傾斜、地下水中氡氣的釋放、岩石介電係數和小地區地震次數的變化等（Scholz *et al.*, 1973）。

在監測斷層與地震活動的方法中，地下水地球化學變化常可提供有用的前兆訊息（楊燦堯等，2004）。地下水可能發生的物理化學性質異常包括：地下水的酸鹼度（pH）、氧化還原勢（Eh）、溫度（T）、導電度（conductivity）和地下水位等。地下水溶解氣體成分的異常包括：氫（H_2）、氦（He）、氮（N_2）、氧（O_2）、氬（Ar）、氡（Rn）、甲烷（CH_4）、硫化氫（H_2S）、和二氧化碳（CO_2）等；地下水離子成份的異常包括有：鈉離子（Na^+）、鉀離子（K^+）、鎂離子（Mg^{2+}）、鈣離子（Ca^{2+}）、二氧化矽（SiO_2）、氟離子（F^-）、氯（Cl^-）、碳酸氫離子（HCO_3^-）、碳酸離子（CO_3^{2-}）及硫酸離子（SO_4^{2-}）等。

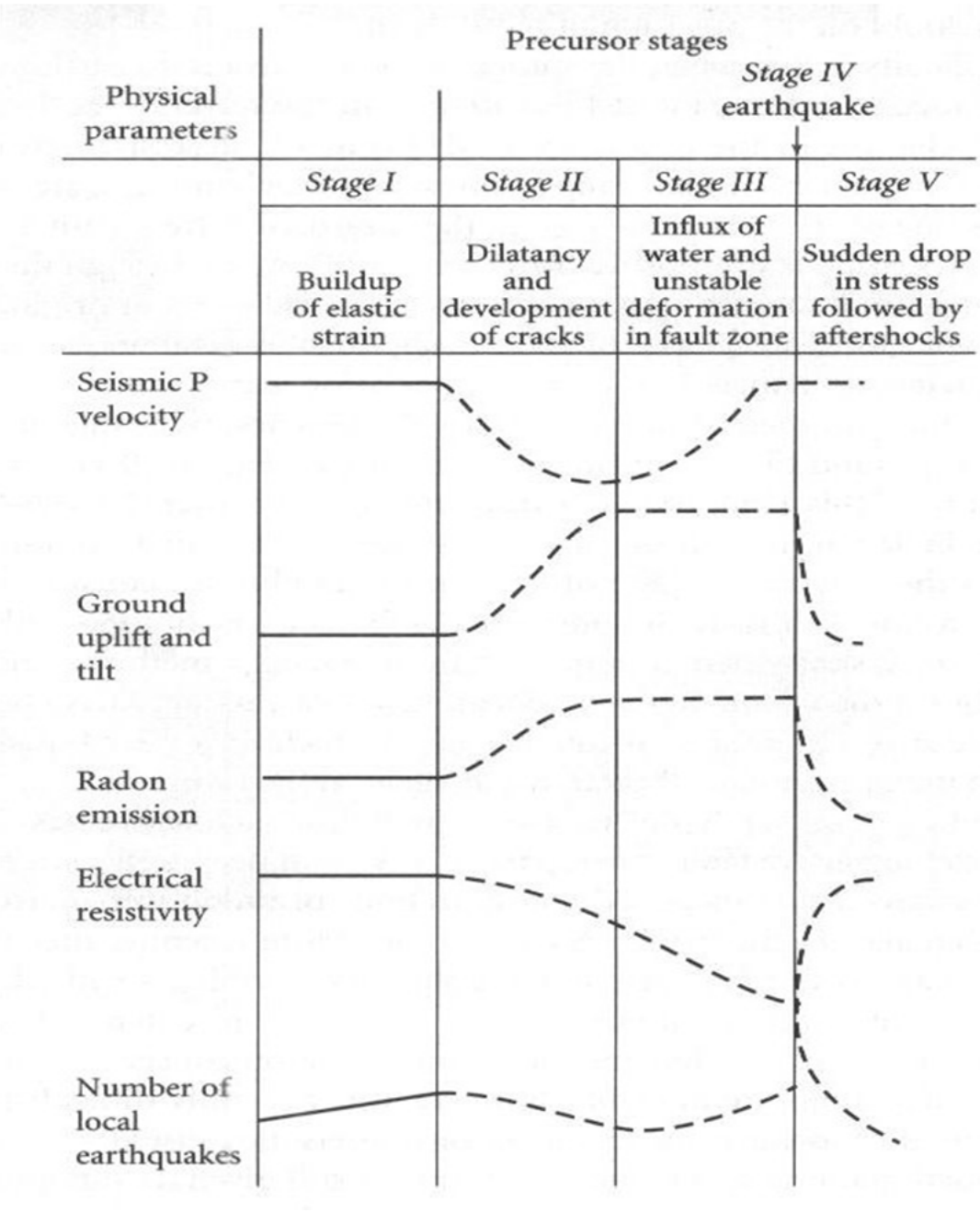


圖 2-4：地震體積膨脹模式（Scholz *et al*., 1973）。

本研究選擇氡（Rn-222）為主要研究對象。氡是無色、無味具放射性的惰性氣體，其主要來自自然界三大原始放射性系列，這三大系列分別是鈾系（U-238）、釷系（Th-232）及錒系（U-235），它們均會不斷地衰變而衍生多種放射性核種。而在衰變過程中，三大系列均會產生一氣態之放射性核種，其中鈾系為 Rn-222、釷系為 Rn-220、錒系為 Rn-219，不過釷系及錒系產生之氡，因其半衰期太短（分別為 55 秒及 4 秒），一般所謂的氡係專指 Rn-222 而言，本研究中地下水水氡濃度監測主要以 Rn-222 為主。Rn-222 是由原始放射性系列 U-238 經四個阿伐（α）及兩個貝他（β）衰變後產生之氣態核種。Rn-222 半衰期為 3.824 天，衰變主要途徑，經三個阿伐（α）及兩個貝他（β）衰變後至固態核種 Pb-210，衰變過程中會放出 5.49 百萬電子伏特（MeV）、6.003 百萬電子伏特（MeV）、7.687 百萬電子伏特（MeV）的 α 射線，圖 2-5 為 Rn-222 自鈾-238 的衰變鏈。

Rn-222 是鈾-238 蛻變系列中的一個放射性核種，為地層中自然存在之放射性示蹤劑，近年來已有相當多研究顯示出地下水氡濃度異常變化可做為捕捉地震前兆示蹤劑（Hauksson,1981; Igaraghi *et al.*, 1993, 1995; Liu *et al.*, 1985; Noguchi and Wakita, 1977; Roeloffs, 1999; Silver and Wakita, 1996; Teng *et al.*, 1980; Wakita *et al.*, 1980, 1991），地殼中所含天然放射性物質（鈾）在衰變過程中會產生放射性核種 Rn-222，氡氣溶解進入地下水。地下水氡濃度異常變化監測可用來做為地震前兆預測方法。長時間監測地下水氡濃度監測，可由地下水氡及其他溶解氣體變化來判斷地殼是否有異常活動產生，預警災害性地震來臨的前兆。

氡為地層自然存在之放射性示蹤劑，近年來已有相當多研究顯示出氡濃度異常變化和地震的發生有某種相關特性，地殼中所含天然放射性物質（鈾）在衰變過程中會產生放射性氣體氡，氡氣易沿地層裂隙或隨地下水遷移至地表後釋放於大氣中。由於一般斷層通過的地方皆有破碎帶形成，有利於氣氡在地層中遷移，近年來應用土壤氣體及地下水氡濃度異常變化作為研判斷層位置及監測地震前兆之研究皆有不錯成果。地震發生前，當區域應力增加，地層中岩體微裂隙產生而導致岩體的表面積增加，而此結果造成地下水中氡濃度的上升（Igarashi *et al.* 1995; Teng, 1980）。

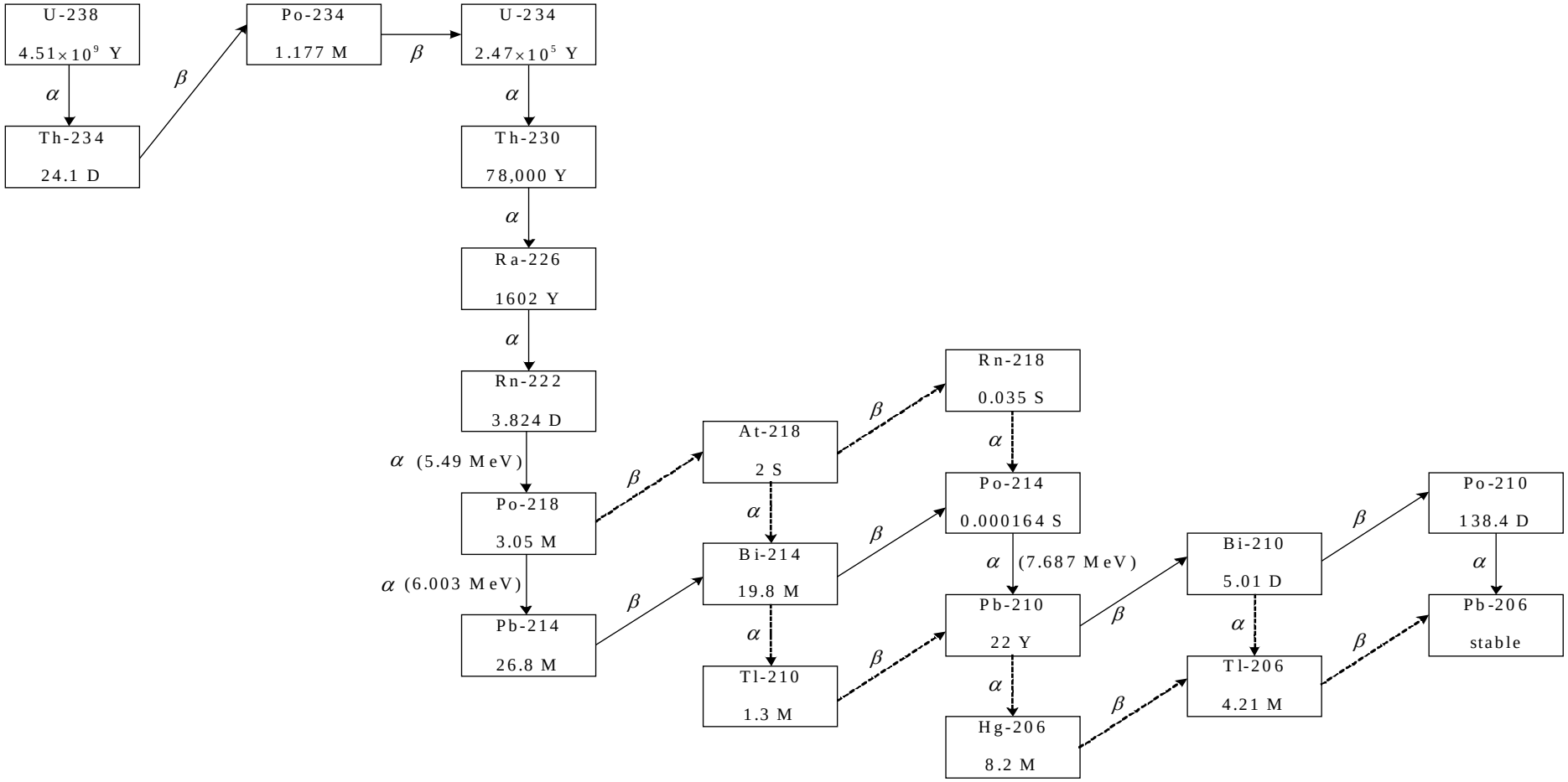


圖 2-5：Rn-222 自 U-238 的衰變鏈（實線指 Rn-222 衰變至 Pb-210 主要途徑）。

氡濃度的異常變化和地震前兆關聯性研究，1970 年至 1980 年代，美國、前蘇聯、中國大陸、日本及冰島等國家，已開始有國家型的研究計劃在進行觀測及研究。而台灣最早是由中央研究院執行相關試驗（Liu *et al*., 1984），中央研究院在 1980 至 1984 年期間以每週定期採水樣方式監測，發現水氡濃度有異常現象後，改以現地連續監測方法進行溫泉水分離氣氡監測試驗（Liu *et al*., 1985）。2006 年國立成功大學郭明錦等人研究（Kuo *et al*., 2006a; 2006b; 2009; 2010a; 2010b; 2010c）也指出，可由地下水水氡濃度數據變化來判斷地殼是否有異常活動產生，作為地震來臨時前兆的一個判斷依據。

Kuo *et al*.（2006a）提出所監測到東台灣2003年成功地震前兆之現象，可由安通溫泉地區地質情況及地下水氡在氣相液相的相行為關係來解釋探討。安通溫泉區地質構造是由脆性的安山岩及砂岩所組成，外部包圍佔優勢的八里灣層泥岩。以Brace *et al*.（1966）的試驗及觀測岩石膨脹現象為基礎，及安通溫泉區所表現出來的強烈易碎地層岩性，假設：「在地震前岩體處於擴張狀態，岩體產生破碎微裂隙或孔隙。微裂隙產生新孔隙的速度快於地下流體補注的速度，進一步產生氣體飽和度（gas saturation），水相的氡氣釋放至氣相」（Kuo *et al*., 2006a）。氡分配到氣相的行為可用來解釋在2003年成功地震來臨前，地下水中氡濃度異常下降的現象。其研究為支持此假設，並且進行了氡於氣液兩相分配試驗，將試驗環境模擬在地下水溫度60℃時的環境情況下，以安通吉祥溫泉監測站溫泉井水樣做氣體飽和度分配比試驗（圖2-6）。

由試驗結果指出氡濃度由 780 pCi/L 到 330 pCi/L 的異常下降現象，是需要氣體飽和度（gas saturation）約 10%的情況下才有機會發生。飽和氣體 10%的增加和地層體積應變所產生的裂隙具有相當的關連性，因此可判斷安通吉祥溫泉監測站看到地下水水氡濃度由 780 pCi/L 到 330 pCi/L 的異常下降現象，是地層增加 10%裂隙之體積應變所造成。此處所提出的假說是相當有趣的，因為觀察氡濃度下降和飽和氣體上升是具有關聯性的，且地層體積應變也提供了破碎孔隙的產生。

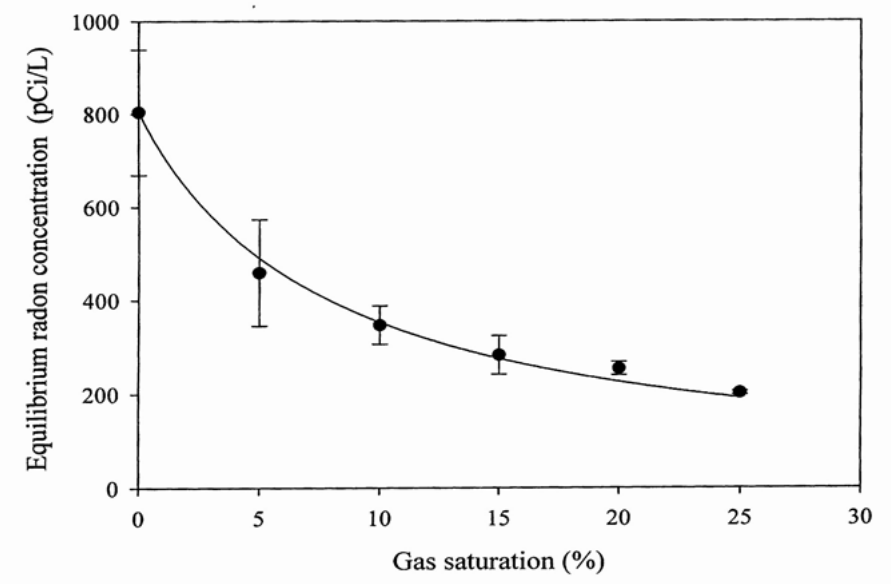


圖 2-6：在 60℃時不同比例氣體飽和度及安通溫泉吉祥站地下水水氡濃度變化圖（Kuo *et al*., 2006a）。

2-4 土壤氣體觀測站主要使用儀器

2-4-1 四極桿質譜儀

本儀器為 Standford Research System (SRS)公司出產的四極桿質譜（QMS-100）做為觀測站分析氣體之儀器，SRS QMS-100 具有體積小、適合野外分析之優點外，並有很大之分析範圍（10^{-5}～10^{-14} torr）、極高之敏感度、與解析（<0.5 amu），能夠快速掃瞄樣本（<10 秒），同時可分析多種氣體成份（包括：氫氣、甲烷、水氣、氮氣、氧氣、氬氣、二氧化碳等）等優點，非常適合用於長期連續觀測氣體成份變化。其分析步驟、原理請參照台灣陸上斷層活動性之環境地球化學調查研究（陳正宏等，2000，2001，2002）。

2-4-2 氡氣偵測儀

本計畫所採用之氡氣偵測儀為德國 SARAD 公司製造、型號為 RTM 2100，主要可分析氡氣的兩個同位素，分別為 ^{222}Rn (Radon)及 ^{220}Rn (Thoron)。由於在觀測站屬於長時間的連續分析，因此我們選擇 Radon (fast) 模式且設定為每 15 分鐘紀錄一筆以期瞭解氡氣持續的變化情形並將其誤差值減至最低。此分析儀有兩個過濾系統會阻止 Rn-222 或 Rn-220 的放射性子核種進入高靈敏度的測量室中，而能分析到原始氡氣濃度。其內部有兩組幫浦抽氣速率的設定：分別為每分鐘3升能夠分析Thoron的高速幫浦及每分鐘0.5升分析Radon的低速幫浦。其內部尚有三種感應器可與氡氣的資料同時紀錄，分別為週遭的氣壓、溫度（± 1℃）及溼度（± 2%）。其分析步驟、原理同樣請參照台灣陸上斷層活動性之環境地球化學調查研究（劉聰桂等，2003）。

2-4-3 地震儀

本儀器為美國 kinemetrics 公司所生產之地動加速度的強震儀，擁有 18-bits 的高解析度，可記錄到正負 2G 範圍的強地動，記錄的信號為三軸向（channel 1~3 分別為垂直向、南北向及東西向），取樣速率為每秒200點(200Hz)。其分析步驟、原理同樣請參照楊燦堯等（2005）報告。

2-5 地震參數的表示

在本研究中，由於希望將測站的異常反應與地震特性做對比，於是將地震的規模與震央到測站的距離做量化。Dobrovolsky *et al*. (1978) 認為在大地應力作用下，即將發生地震的震源區會形成一個震前岩石變形破裂帶。假設此變形帶為一個以震央為中心的圓，其應變半徑（strain radius, D）與地震規模（M_L）呈指數關係：

$$D\ (\text{strain radius}) = 10^{0.43 \times M_L}$$

此應變半徑也是代表地下水（氣）循環系統，會在震前受應力而改變其行為的範圍，即有可能出現前兆反應的範圍。

而我們可以將 D 與震央到測站的距離 (R) 相除，即 D/R 值，來表示測站是位於應變半徑 (strain radius) 的何處。另外 Bella *et al*. (1998) 修改了 Dobrovolsky *et al*. (1978) 的反應式，提出了一個參數 ε，可用來代表該地所受到的應力：

$$\varepsilon = \frac{10^{(1.3M_L - 8.19)}}{R^3}$$

根據 Dobrovolsky *et al*. (1978)的觀察，前兆反應在 $\varepsilon = 1 \times 10^{-8}$ 的地區之外就不會出現，代表前兆反應的最大範圍在於 $\varepsilon = 1 \times 10^{-8}$。

因此，在以下各章中，會針對每個地震的規模（M_L）及震央至測站的距離（R）計算出 D/R 及 ε 兩個值，以便於與地化觀測資料進行對比。

參、研究區域地質背景

3-1 新設立氣體觀測站之區域地質背景

有鑑於今年初國科會針對台灣卅三條斷層中的八條研究報告指出，嘉義的梅山斷層及花蓮的米崙斷層（圖 3-1），五十年內發生規模七以上地震的機率可能超過百分之四十。因此，我們選定米崙斷層本年度之研究目標。在歷史紀錄中，一九五一年花蓮發生規模七點三地震，讓花蓮機場東側抬升五十公分，七星山抬升一百廿公分，七星潭左移約兩公尺，還造成花蓮港水位線下降了六十公分。國科會預估米崙斷層錯動的再現週期約一百廿五年，即從現在起五十年內發生同規模地震的機率有百分之四十一點四。因此今年設站位址即選定花蓮北部米崙斷層進行土壤氣體普查。

米崙斷層，於 1951 年大地震產生地表破裂，由地表破裂分析與地形分析結果，可能有多次活動的跡象。由測量結果顯示米崙斷層為左移斷層兼具逆移分量，約呈南北走向，暫列為第一類活動斷層。以往曾經將斷層向南延伸至木瓜溪附近，而由近期的地形地質與地球物理探勘結果，在吉安鄉就沒有發現斷層存在的證據。米崙斷層由花蓮線七星潭海岸向南延伸至花蓮市美崙山西南側，長約八公里（Hsu，1956）。本斷層又稱花蓮斷層（林朝棨，1962）或美崙斷層（楊貴三，1986）。

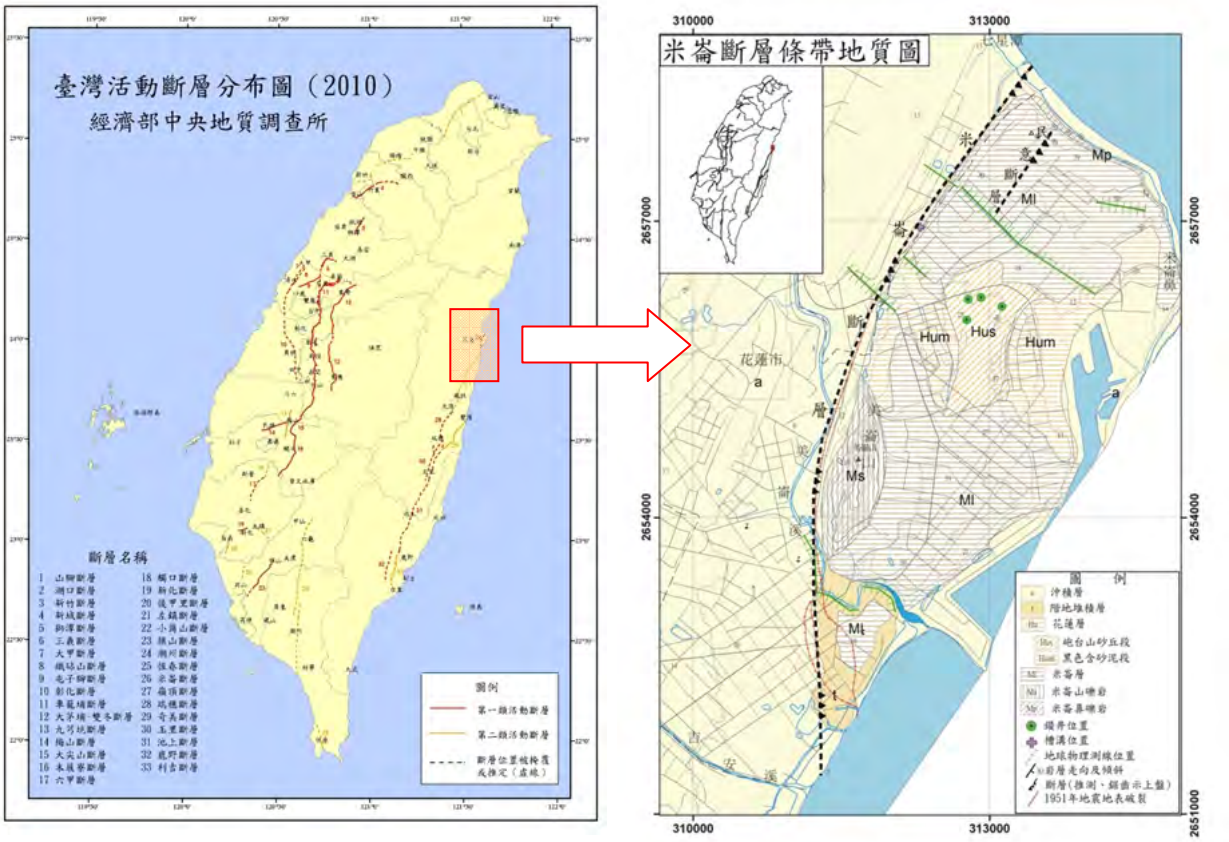


圖 3-1：花蓮米崙斷層示意圖。

3-2　地下水壓觀測站基本資料

本計畫之地下水壓觀測站分布於台北、新竹及嘉義地區，空間分布如圖 2-3 所示，基本資料見表 3-1。

台北縣三峽鎮明德中學觀測井，地表為全新世之台地堆積層，下方為中新世之桂竹林層，以灰色砂岩夾頁岩為主（經濟部中央地質調查所，2007）。中和市錦和國小觀測井，地表為全新世沖積層，下方為中新世之南港層，其中深度54-129公尺以灰色細粒至中粒砂岩偶夾薄層頁岩為主；深度129-200公尺以灰色頁岩偶夾砂岩層為主。錦和國小因靠近中和斷層，層面傾角呈78-88°（經濟部中央地質調查所，2007）。樹林飛灰掩埋場，地表出露地層為沖積層，以黏土、粉砂、砂和礫石組成，疏鬆透水，尚未固結。其下為南港層，以青灰色泥質砂岩、灰色頁岩為主的砂頁互層。

新竹縣尖石鄉新樂國小地表為沖積層，下方為觀音山砂岩，層理近乎水平，有多處破碎帶（經濟部中央地質調查所，2006b）。尖石鄉梅花國小觀測井位於向斜軸部，為觀音山砂岩，附近出露打鹿頁岩以及北寮層。此鑽井12-120公尺深

度為泥岩夾厚層砂岩，或頁岩夾泥岩，深度120-196公尺為灰色砂岩；岩芯中可見多處破裂面及破裂帶（經濟部中央地質調查所，2005）。竹東鎮瑞峰國小觀測井，其下為南莊層，深度20公尺內除白砂岩外，多厚層砂頁岩互層，深度20-130公尺多為薄層砂頁岩互層。寶山鄉雙溪國小地表出露淺灰至深灰色的粉砂質砂岩，間夾粉砂岩或泥岩（楊燦堯等，2005）。

嘉義縣中埔鄉沄水國小地表為礫石層，6-100公尺深度為沄水溪層，岩性為泥質細砂岩夾薄層頁岩（楊燦堯等，2006）。梅山鄉太興國小觀測井為桂竹林層大窩砂岩，淺於125公尺深度以細粒砂岩為主，極破碎；以下則以灰色細粒砂岩間夾灰黑色紋層泥，或灰黑色頁岩與灰色砂岩的薄互層為主（經濟部中央地質調查所，2006a）。竹崎鄉中興國小出露南莊層，深度14.9-107公尺以細至中粒砂岩為主，其中深度69.1-77.7公尺處為灰色頁岩夾砂岩，並有多處剪裂破碎且夾有斷層泥；深於107公尺為細粒砂與頁岩互層，或灰黑色頁岩夾薄砂岩層，偶見剪裂破碎（經濟部中央地質調查所，2006a）。阿里山鄉達邦國小座落於三民頁岩上，深度148.8公尺往上至地表有多處破裂面（經濟部中央地質調查所，2006b）。

表 3-1：觀測井基本資料

觀測井	地點	地表高程	井深	水壓計深度
明德	台北縣三峽鎮明德中學	80 m	75 m	孔口下 68.3 m
錦和	台北縣中和市錦和國小	19 m	75 m	孔口下 59.6 m
樹林	台北縣樹林飛灰掩埋場	36 m	200 m	孔口下 70 m
新樂	新竹縣尖石鄉新樂國小	505 m	75 m	孔口下 75 m
梅花	新竹縣尖石鄉梅花國小	496 m	143 m	孔口下 135 m
雙溪	新竹縣寶山鄉雙溪國小	50 m	160 m	孔口下 50 m
瑞峰	新竹縣竹東鎮瑞峰國小	251 m	200 m	孔口下 135 m
沄水	嘉義縣中埔鄉沄水國小	175 m	100 m	孔口下 20 m
太興	嘉義縣梅山縣太興國小	790 m	165 m	孔口下 165 m
中興	嘉義縣竹崎鄉中興國小	1370 m	155 m	孔口下 155 m
達邦	嘉義縣阿里山鄉達邦國小	952.8 m	150 m	孔口下 150 m

3-3 水氡觀測站之區域地質背景

3-3-1 池上斷層

本研究之研究地點選擇東台灣花蓮縣玉里鎮安通地區為研究區域，安通站位於池上斷層東南方約三公里處（圖 3-2），池上斷層屬於花東縱谷斷層帶之一部分，屬於活斷層。花東縱谷斷層為現今歐亞板塊及菲律賓海板塊之交界處，因此地震頻繁，選擇此區域為本研究研究區域，將能較有效率監測到氡濃度異常變化和地殼活動之關聯性，並加以探討其氡濃度異常變化機制（Kuo *et al*., 2006a; 2006b; 2009；2010a；2010b；2010c）。

池上斷層為縱谷斷層中最活躍的一部分，池上斷層曾於 1951 年期間發生地震規模 M 6.1 及 M 7.3 兩次強烈地震（Hsu, 1962）。且每年由大地測量及 GPS 量測一致指出，在池上斷層監測到穩定速度的活斷層位移量，20 年來平均位移量 2-3 cm/yr（水平加上垂直）（Angelier *et al*., 2000; Lee *et al*., 2003; Yu and Kuo, 2001; Yu *et al*., 1990）。而 2003 年 12 月 10 日早晨 4:38 在台東縣成功地區發生地震矩規模 M_W 6.8 強烈地震，為自從 1951 年以來成功地區最強烈的地震。

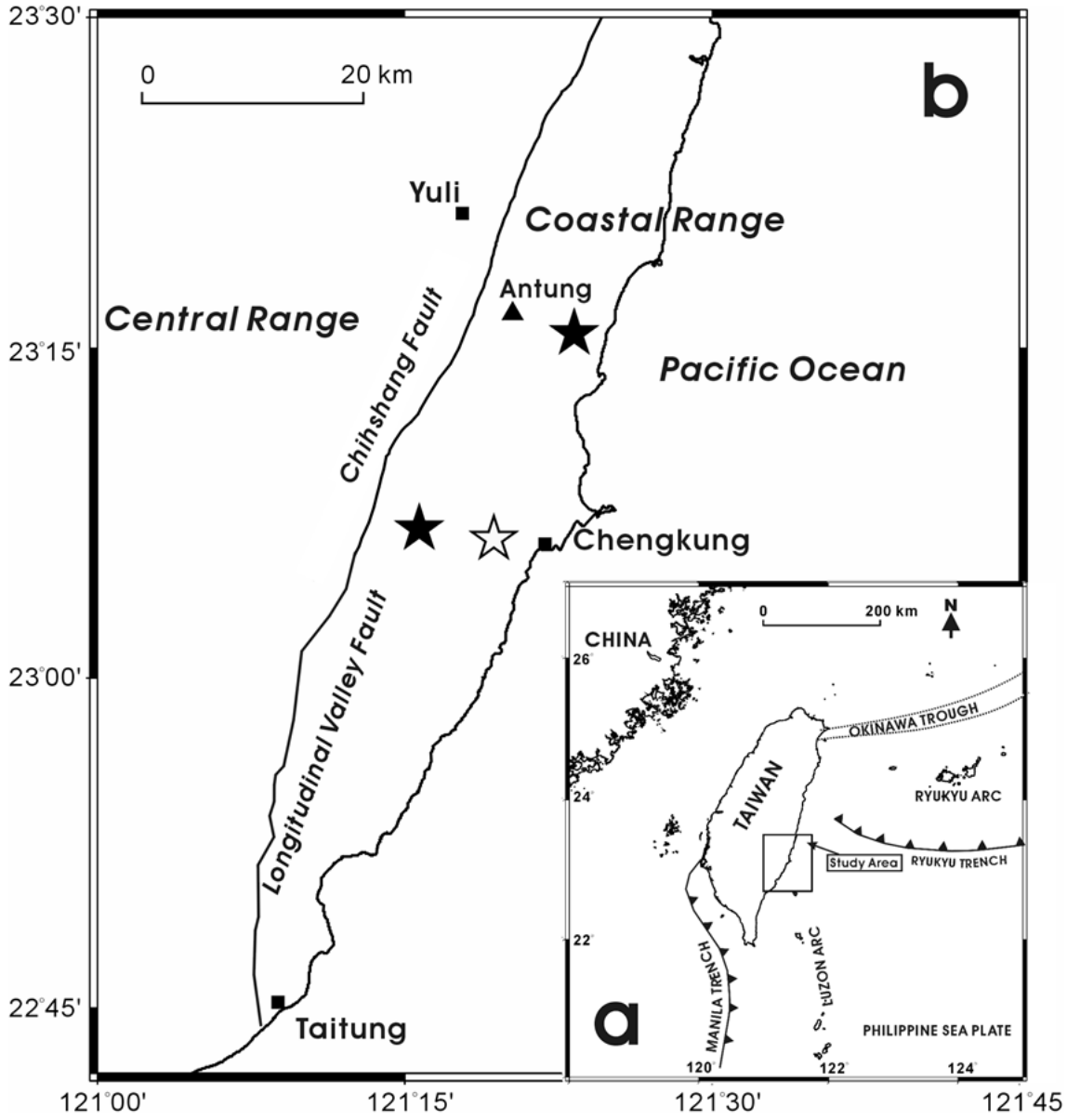


圖 3-2：安通地下水水氡及溶解氣體監測站位置圖（空心星號：為 2003 年主震；實心星號：為 1951 年主震；實心三角形：為安通站）。

3-3-2 玉里地區地質背景

1951 年 11 月 25 日花東縱谷玉里附近發生兩次強震：分別為凌晨兩點四十七分規模 M 6.1 及兩點五十分規模 M 7.3，時間相隔約三分鐘，因為為清晨時段，所以造成重大傷害。凌晨兩點四十七分地震震央位於池上東方（23.100 N，121.225 E）；凌晨兩點五十分地震震央位於玉里附近（23.275 N，121.350 E）。地震斷層線北由光復鄉大富村東方的海岸山脈起，沿海岸山脈山腳沿線往南南西延伸，通過玉里鎮玉里國民學校至池上鄉慶豐村、錦園村止，綿延長達 66 公里（游明聖，1996；中央氣象局），見圖 3-2。造成 17 人死亡，326 人受傷，1,016 間房屋全倒、582 間受損的災害。2003 年 12 月 10 日早晨 4:38 在台東縣成功地區發生地震矩規模 M_W 6.8 強烈地震，為自從 1951 年以來成功地區最強烈的地震。

台灣東部為於歐亞板塊及菲律賓海板塊交界，板塊運動激烈，斷層活動頻繁。其中花東縱谷東半部為海岸山脈，西半部為中央山脈。根據經濟部中央地質調查所出版台灣地質圖說明書圖幅第四十八號(王源、楊昭男、陳文山，1992）描述（見圖 3-3 及 3-4，3-5 為圖例）：

(1) 地形上縱谷西邊為中央山脈區域，且處於正在劇烈隆升中的新期造山帶，河谷陡峭，水系為樹枝狀注入秀姑巒溪；縱谷東邊為海岸山脈區域，地形為介於 1400 公尺與約 500 公尺的北東偏北向山脊以及介於 500 公尺與約 200 公尺的丘陵地，地形特徵主要受地質所控制。縱谷內最大河系是秀姑巒溪，是全海岸山脈中唯一橫貫山脈至太平洋的河流。

(2) 地質上西邊中央山脈地區岩層包括了可能為中生代或古生代之現今已變質之綠色片岩、黑色片岩與許多超基性岩之岩塊，此岩層位於歐亞大陸板塊；東邊海岸山脈區域為晚期新生代之火山岩、石灰岩與深海沉積岩，構成菲律賓海板塊之西緣。

(3) 縱谷西邊中央山脈附近地質構造以變質岩為主體，片岩區與板岩區間的地質構造有明顯的差異：片岩區地質構造特性有劈理、褶皺及斷層。劈理為片岩區最主要次生葉理，劈理都與褶皺有關，且皆為軸面劈理。片岩由於經過三次的變形作用且在變質的環境下進行，因此其褶皺有多種形態。附近斷層都為變質作用後之構造，有瑞西逆掩斷層、瑞穗斷層及加星斷層。

(4) 海岸山脈之主要地質構造有兩種：一為平行於歐亞大陸及菲律賓海板塊之接觸帶即所謂碰撞縫合帶斷層群取北偏 15 度東的一般走向，另一為碰撞後之褶皺逆衝帶，其一般方向為北偏 40 度東略垂直於現今菲律賓海板塊之走動方向，也是現今最大壓力軸 σ_1 之方向。玉里附近海岸

山脈之褶皺由西向東依序為安通向斜及都鑾山背斜；斷層由西向東依序為花東縱谷斷層帶（池上斷層）、永豐斷層、奇美斷層、花東山斷層及大港口斷層，其中花東縱谷斷層就是歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的碰撞縫合斷層帶，應為一些逆斷層之集合，走向大致為北 15 度東，為一寬廣的斷層帶並且歷年來皆有活動的跡象。

(5) 由本研究玉里安通地下水氡濃度監測站（吉祥 A 井）為中心，附近地層，由西邊花東縱谷斷層往東邊到海岸山脈太平洋邊緣依次為：沖積層、沖積層上的花東縱谷斷層（池上斷層）、利吉層、永豐斷層、都鑾山層、蕃薯寮層、八里灣層、安通向斜、八里灣層、花東山斷層、都鑾山背斜、八里灣層、沖積層到達海岸山脈和太平洋交界。

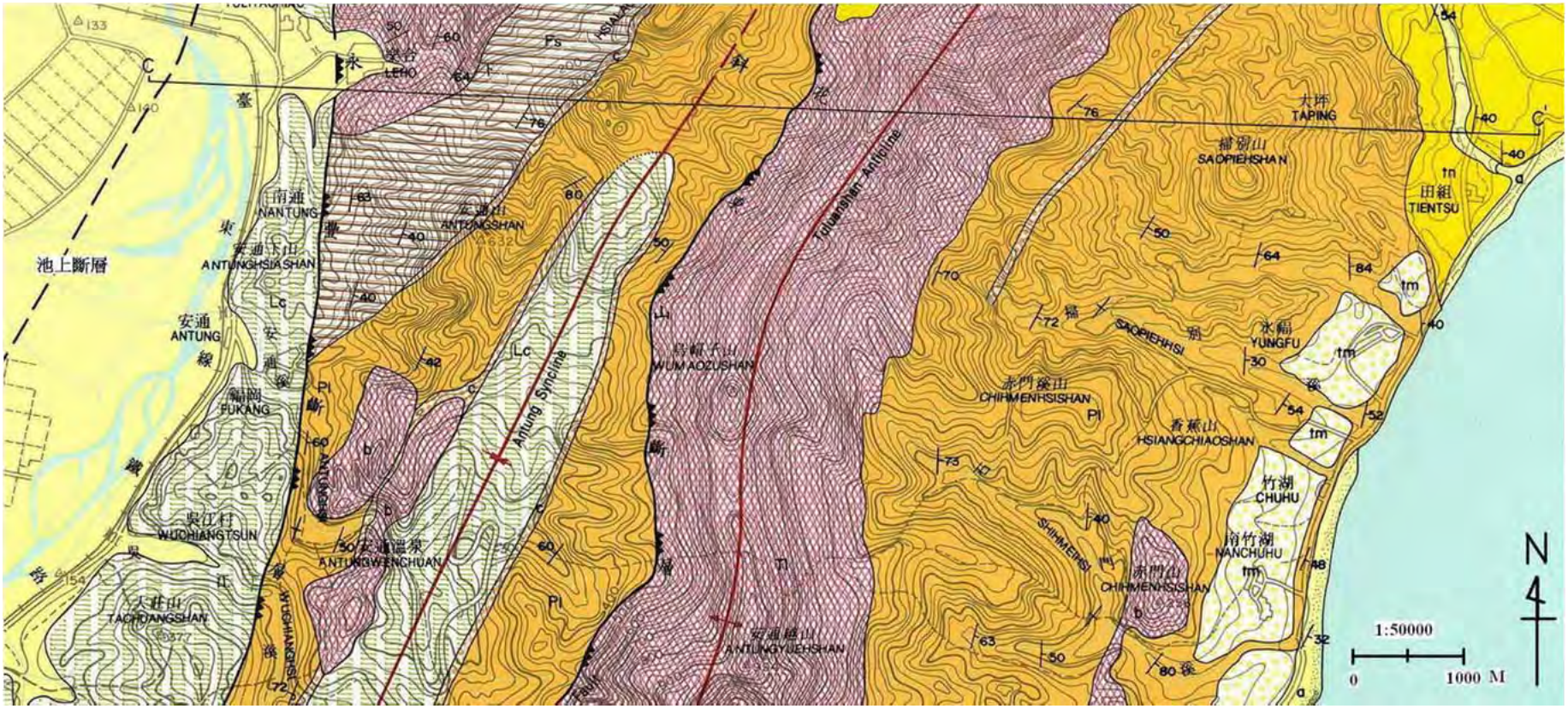


圖 3-3：玉里安通鄰近地質圖，修改自台灣地質圖說明書圖幅第四十八號，玉里圖幅（中央地質調查所，1992）。

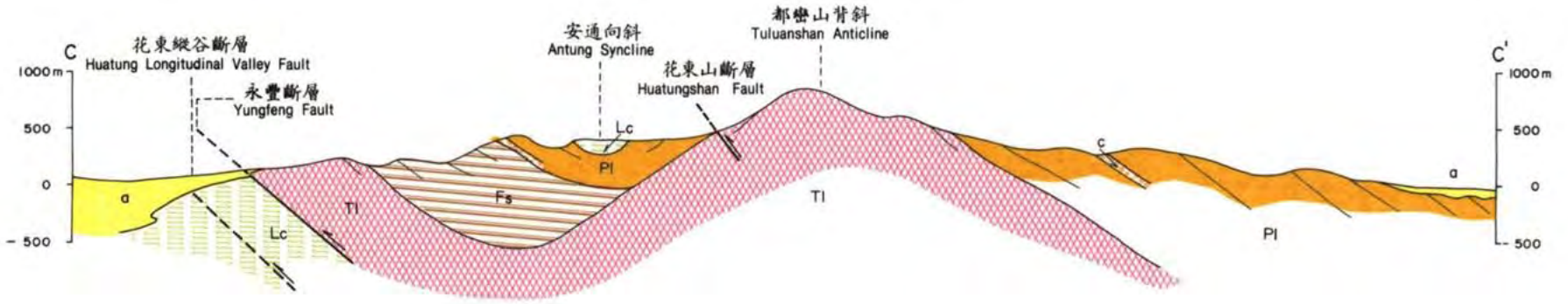


圖 3-4：玉里安通鄰近地質圖 CC'剖面圖（中央地質調查所，1992）。

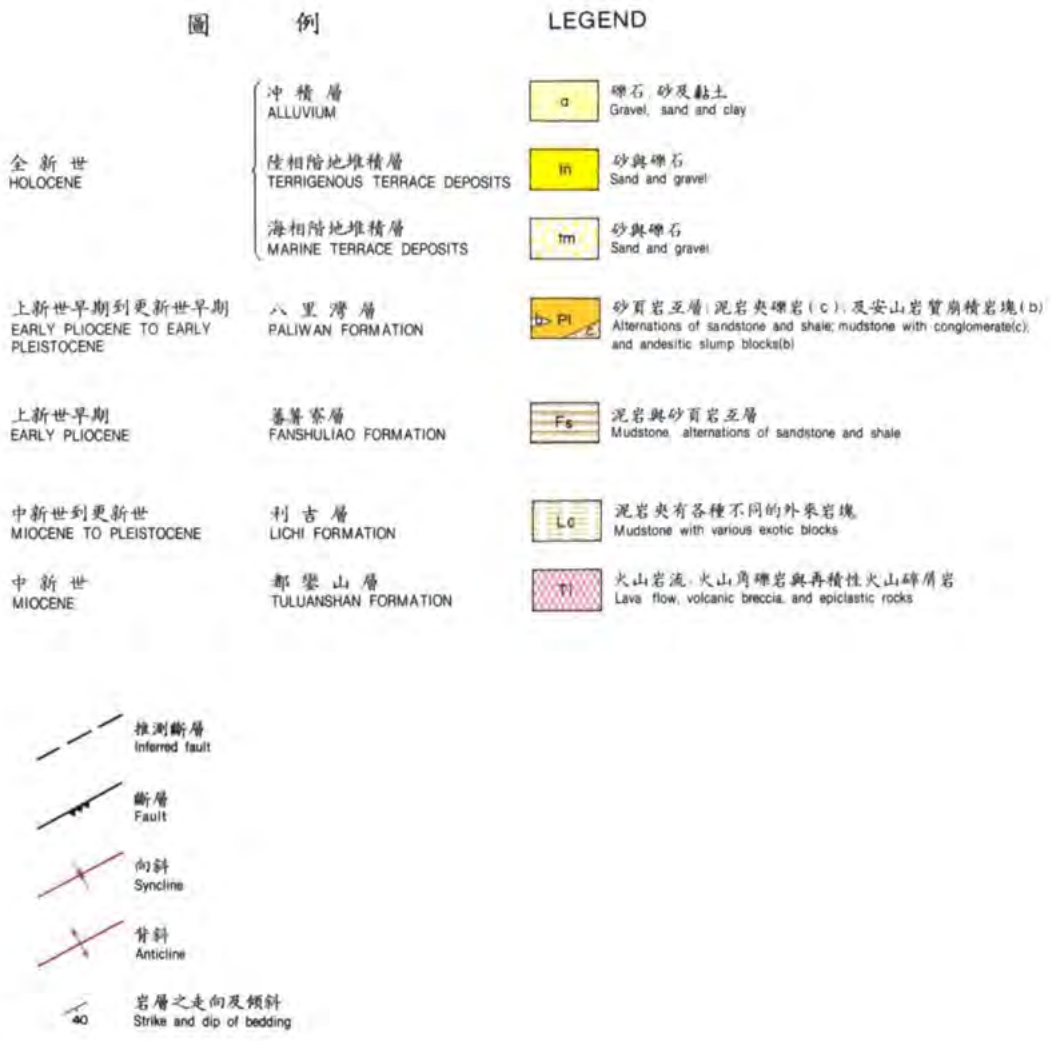


圖 3-5：玉里安通鄰近地質圖圖例（中央地質調查所，1992）。

3-3-3 安通溫泉地質背景

本研究研究區域是在一個獨一的地殼構造上建立監測站，選擇東台灣花蓮縣玉里鎮安通地區為研究區域，安通地下水水氡及溶解氣體監測站（安通站）位於池上斷層東南方約三公里處（圖 3-2），池上斷層屬於花東縱谷斷層帶之一部分，屬於活斷層，其位置正處於歐亞板塊及菲律賓海板塊交界上。海岸山脈已被定義有四種不同地層單位，分別是都鑾山層、蕃薯寮層、八里灣層及利吉層（圖 3-3）。都鑾山層可以被判斷出來的有三種不同的火山島弧地層單位，有熔岩、火山角礫岩及凝灰質砂岩。蕃薯寮層及八里灣層岩相是由砂岩及泥岩有如韻律般的混合層。利吉層特徵是由泥質填充物夾著許多外來岩塊組成（徐鐵良，1976），可在露頭明顯見到透入性的葉理層面。安通溫泉區地質構造是由脆性的凝灰角礫岩及砂岩所組成，外部包圍佔優勢的八里灣層泥岩（Chen and Wang, 1996）。由現勘結果顯示安通溫泉區並未有凝灰角礫岩存在，地質構造應為安山岩及砂岩所組成之外來岩塊。在岩塊裡常見到發育良好的微小錯動及節理，顯示出此地層易碎原因是經過強烈變形活動，此破裂帶可能成因是反映著縱谷斷層及永豐斷層的變形及分裂活動，以地質構造圖為基礎，聯想到此區岩塊展現出的易碎變形現象及發育在易延展變形的泥岩層中，因為安通溫泉區靠近永豐斷層，生產之地熱水是來自斷層帶然後沿著微裂隙擴散進入岩塊。

3-3-4　安通溫泉區溫泉開發

安通溫泉位於花蓮縣玉里鎮安通部落、海岸山脈西側的安通溪畔，距玉里約 7.5 公里。溫泉露頭有兩處，相距約 300 公尺，一處位在永豐斷層帶附近，稱內溫泉；另一處位在溫泉橋之東，稱外溫泉。此處目前有四家溫泉業者，擁有溫泉井井數 9 口，其中包含工研院 500 米探勘井（目前已為中研院擁有），同時也為本研究之安通溫泉飯店地下水水氡及溶解氣體監測井，其地質柱狀圖請參見圖 3-6。表 3-2 為安通溫泉區 4 家溫泉旅館所擁有之溫泉井井位，圖 3-7 為安通溫泉區 4 家溫泉旅館所擁有之溫泉井相對位置圖（公尺）。圖 3-7 中，吉祥 B 井因非自流井且生產天數少，在此選擇作為安通溫泉區之地下水位監測井。

此溫泉區溫泉分布在安通溪中游，溫泉水大致是沿著永豐斷層上升至地表淺處，再經安山岩岩塊的裂隙至地表。其湧出處主要在構造線附近，深部熱水沿斷層破碎帶上升至地表，因此本區溫泉之形成係受斷層構造線所控制。泉水湧出處有白色碳酸鈣沉澱物。泉質無色透明，稍帶硫磺味。泉溫 40~63℃，內溫泉最高溫可達到 63℃，外溫泉最低溫只有 40℃。pH 為 8~9，表 3-3 為安通溫泉區 4 家溫泉旅館所擁有之溫泉井水質分析結果，為本研究室自行送樣分析。

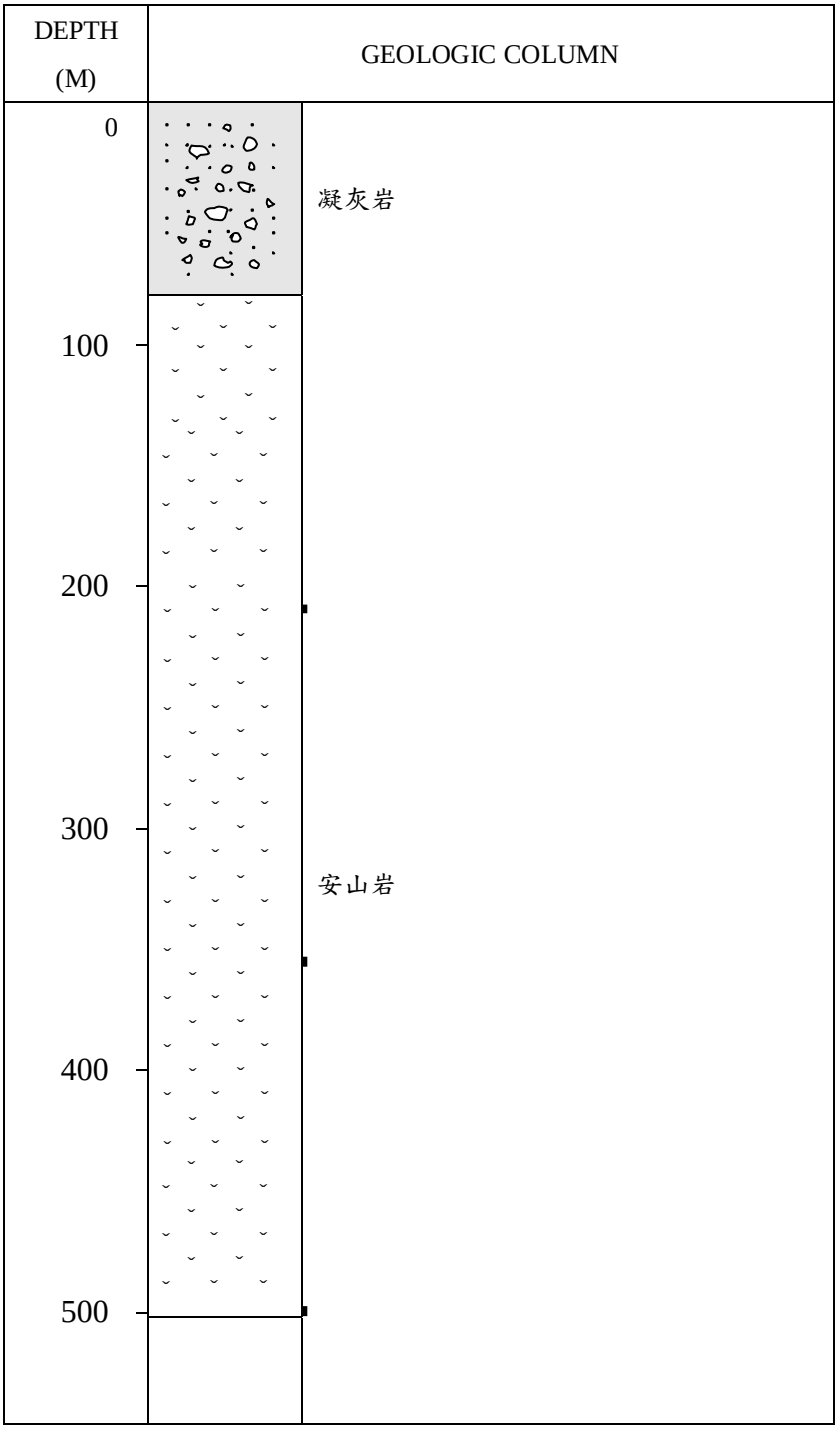


圖 3-6：安通溫泉飯店地下水水氡及溶解氣體監測井（工研院 500 米探勘井）地質柱狀圖（修改自劉康克等人，1986）。

表 3-2：安通溫泉區溫泉旅館溫泉井井位

井號	井深 m	水溫 ℃	N	E
安通溫泉飯店地下水水氡及溶解氣體監測井(中研院)	500	63	23'16"50.1	121'20"34.2
安 1	100	63	23'16"50.1	121'20"33.7
安 2	40	63	23'16"51	121'20"32.8
安 3	275	55	23'16"56.7	121'20"27.6
安 4	245	42	23'16"59	121'20"27.6
吉祥 A	187	61	23'16"57	121'20"26.7
吉祥 B	234	55	23'16"55.3	121'20"26.5
紐澳華	310	40	23'17"0.3	121'20"37
玉溫泉	300	57	23'16"50.9	121'20"26.2



圖 3-7：安通溫泉區 4 家溫泉旅館所擁有之溫泉井相對位置圖（由 Google Earth 修改）。

表 3-3：安通溫泉區 4 家溫泉旅館溫泉井水質分析（濃度 ppm）

井	採樣日期	井深 (m)	馬達深 (m)	水溫 ℃	Rn-222 (pCi/L)	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}
安通溫泉飯店 (中研院)	2009/3/25	500	自噴井	63	101	3.35	493	65.7	<0.2	28.6	ND	699	360
安 1	2008/1/5	100	自噴井	63	157	4.84	559	93.4	0.041	6.1	70.8	904	483
安 2	2008/1/5	40	自噴井	63	52	4.48	561	77.2	0.028	7.3	62.4	910	493
安 3	2008/1/5	275	150	55	634	2.72	364	31.8	0.84	305	ND	389	362
安 4	2008/1/5	245	150	42	320	1.69	312	1.78	0.02	945	144	118	360
吉祥 A	2008/1/5	187	144	61	899	3.88	346	26.6	0.363	259	ND	343	356
吉祥 B	2008/1/5	234	156	55	845	3.24	401	31.2	0.198	178	14.4	530	323
紐澳華	2008/1/5	310	180	40	57	4.66	554	63.3	0.112	122	16.8	870	392
玉溫泉	2008/1/5	300	120-150	57	295	2.99	487	28.8	1.67	805	26.4	491	515
分析方法						IC 法	IC 法	IC 法	IC 法	NIEA W449.00B	NIEA W449.00B	NIEA W415.52B	NIEA W415.52B

NA：未檢測

ND：低於方法偵測極限

IC 法：本測試是以離子層析儀(IC)檢測之。

NIEA W449.00B：行政院環保署環檢所，水中鹼度檢測方法－滴定法，中華民國 92 年 11 月 24 日。

NIEA W415.52B：行政院環保署環檢所，水中陰離子檢測方法－離子層析法，中華民國 94 年 5 月 10 日。

3-3-5　恆春斷層

台灣是一個具有地槽和島弧雙重地質背景的島嶼，在構造上台灣屬於一個活動帶，造山活動非常之活躍。而恆春半島為中央山脈最南部極為狹窄的一個地段，此區域除了有恆春斷層以外，尚有滿州斷層、大梅斷層及楓港斷層分布其上，形成台灣島的最南端。

恆春半島上由西至東的斷層構造包括恆春斷層、大梅斷層與滿州斷層，其中恆春斷層是一向東傾斜的逆移斷層，中新統逆衝於上－更新統之上。後兩者斷層雖亦為逆移斷層，但斷距不大。以往未有文獻記載恆春斷層的地表露頭，但部分露頭似可以說明斷層的可能位置（陳文山等，2004；陳建良等，2005）。

林朝棨（1957）認為恆春斷層向北可能與潮州斷層相連。詹新甫（1974）重新調查恆春半島的地質，認為恆春斷層被沖積層與階地堆積層掩覆，斷層的存在是由兩側的岩層與地形推定，並指出恆春斷層的走向為北 22 度西，為一高角度逆斷層，斷層面向東傾約 70 度，全長約 20 公里。

顏滄波與吳慶餘（1986）由恆春斷層兩側的岩性、地形與抬升速率等資料研判，恆春斷層在更新世以來似乎仍有活動跡象，而恆春西台地北段相對於恆春半島整體的抬升速率大於 10 公厘，顯示恆春西台地的傾斜作用仍持續進行中，而陳于高（1993）從斷層兩側海階沉積物的碳十四定年結果，也認為斷層仍然十分的活躍。

林啟文等人（2009）指出恆春西台地北段相對於恆春半島的抬升速率大於 10 公厘/年，顯示恆春西台地的傾斜作用仍持續中，研判在恆春半島西側海域中應存在一逆移斷層，造成恆春西台地的傾斜，以及恆春谷地的相對下陷。由近期的大地測量資料顯示，恆春斷層兩側位移速率並未有明顯的差異，而近期恆春半島的地表變形則明顯受到 2006 年外海地震的影響。恆春斷層截切晚期更新世的石灰岩層，暫列第二類活動斷層。

3-3-6 墾丁社頂地區地質背景

墾丁地區為台灣著名之旅遊景點,每年皆有上萬名遊客湧入此區參觀遊覽,且核能發電廠第三廠距離恆春斷層之位址不到一公里，以旅遊產業及居民安全性的角度來看，確實有討論之必要性。

墾丁社頂監測站位於恆春斷層東方約五公里處，屬於墾丁公園之範圍，測站位址如圖 3-8 所示。此區主要以恆春石灰岩為底岩，恆春石灰岩是由六角兵吉和牧山鶴彥（1934）提出之名稱，其主要分布位置坐落於恆春半島。恆春石灰岩主要分布在恆春鎮的東南方、鼻子頭東的台地、馬鞍山、龜子角、墾丁公園和鵝鑾鼻等地。此石灰岩向北還可分布至高雄縣的壽山及鳳鼻頭地區。恆春石灰岩以生物岩礁為主，由多種生物的遺骸組成，包括珊瑚、有孔蟲、貝類及石灰藻類等，這些生物遺骸大部分聚集在此石灰岩層之下部（何春蓀，2003）。

在石灰岩發達的地段，其顯現的顏色主要為灰色至乳白色，構造為緻密的塊狀並且佈滿孔隙，石灰岩中也常見許多溶穴。恆春石灰岩的厚度因地而異，一般在數公尺到數十公尺之間，最厚的部分甚至可到達一百公尺。一般認為恆春石灰岩的不整合面在馬鞍山層之上，部分地區的石灰岩之上覆蓋著鵝鑾鼻砂和礫石層。

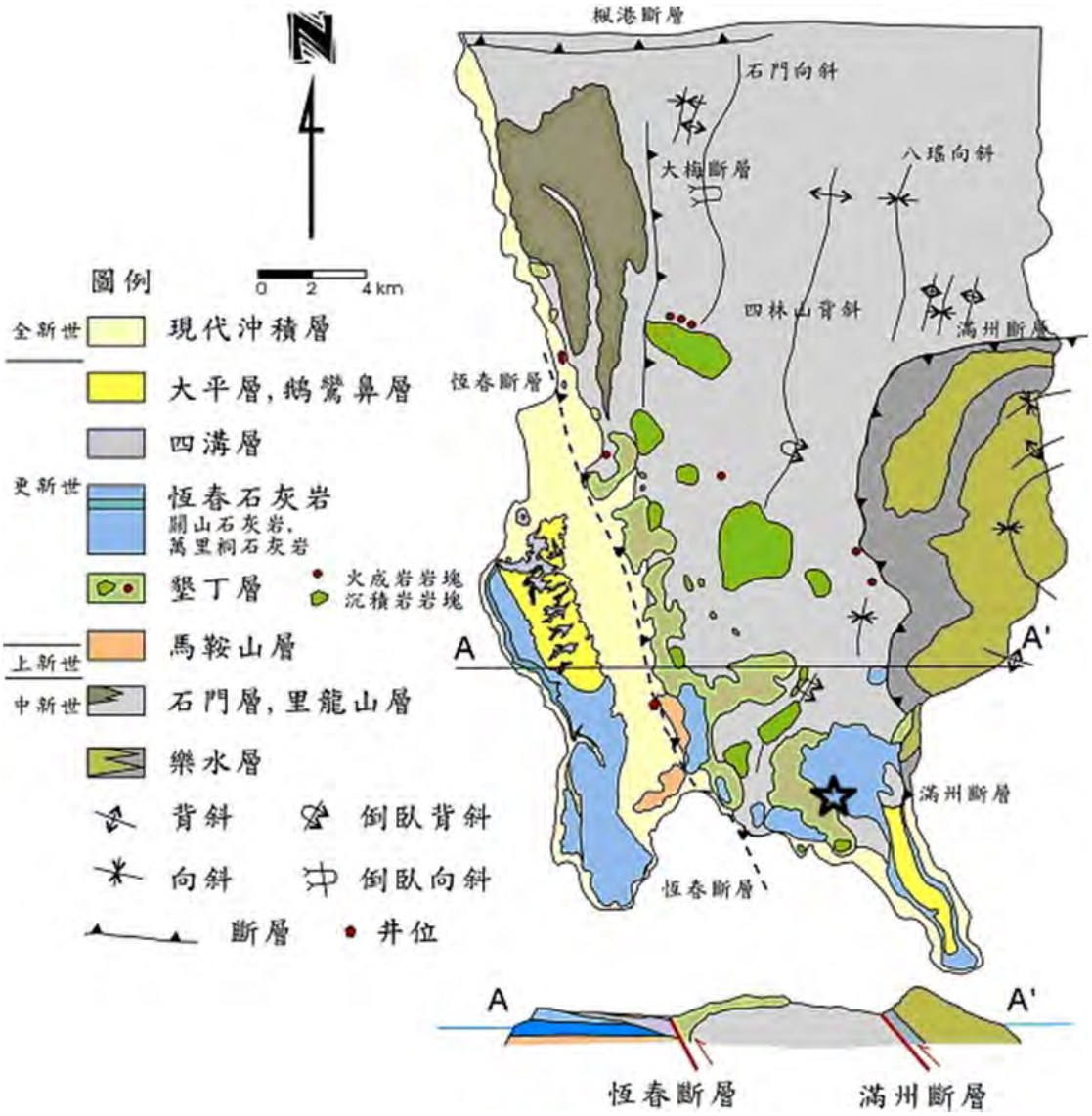


圖 3-8：恆春半島地質圖，圖中星號為墾丁社頂地區水中氡濃度觀測點（修改自陳文山等，1985）。

3-3-7　恆春半島區域歷史地震背景

恆春地區曾於 1959 年期間發生地震規模 7.1 的強烈地震，台灣全島及澎湖均有感，為屏東地區帶來了嚴重的損害，其中又以滿州鄉、恆春鎮、車城鎮及佳冬鄉造成的損害最為嚴重。地震發生之時，山崩、地裂、井水異常、噴砂及噴水等現象皆為人們所觀測到，此次地震造成 17 人死亡、33 人受傷，房屋全倒、半倒共計三千餘棟（鄭世楠等，1999）。

2006 年 12 月 26 日恆春地區在晚上二十點二十六分及二十點三十四分連續發生地震規模 7.0 的恆春地震。晚上二十點二十六分地震震央位於屏東墾丁地震站西南方 38.4 公里（21.69 N，120.56 E），震源深度為 44.1 公里；晚上二十點三十四分地震震央位於屏東恆春地震站西方 33.1 公里（21.97 N，120.42 E），震源深度為 50.2 公里。此次地震共造成數十人傷亡以及數棟房屋的倒塌。圖 3-9 為 2006 年之恆春地震地震報告（中央氣象局）。

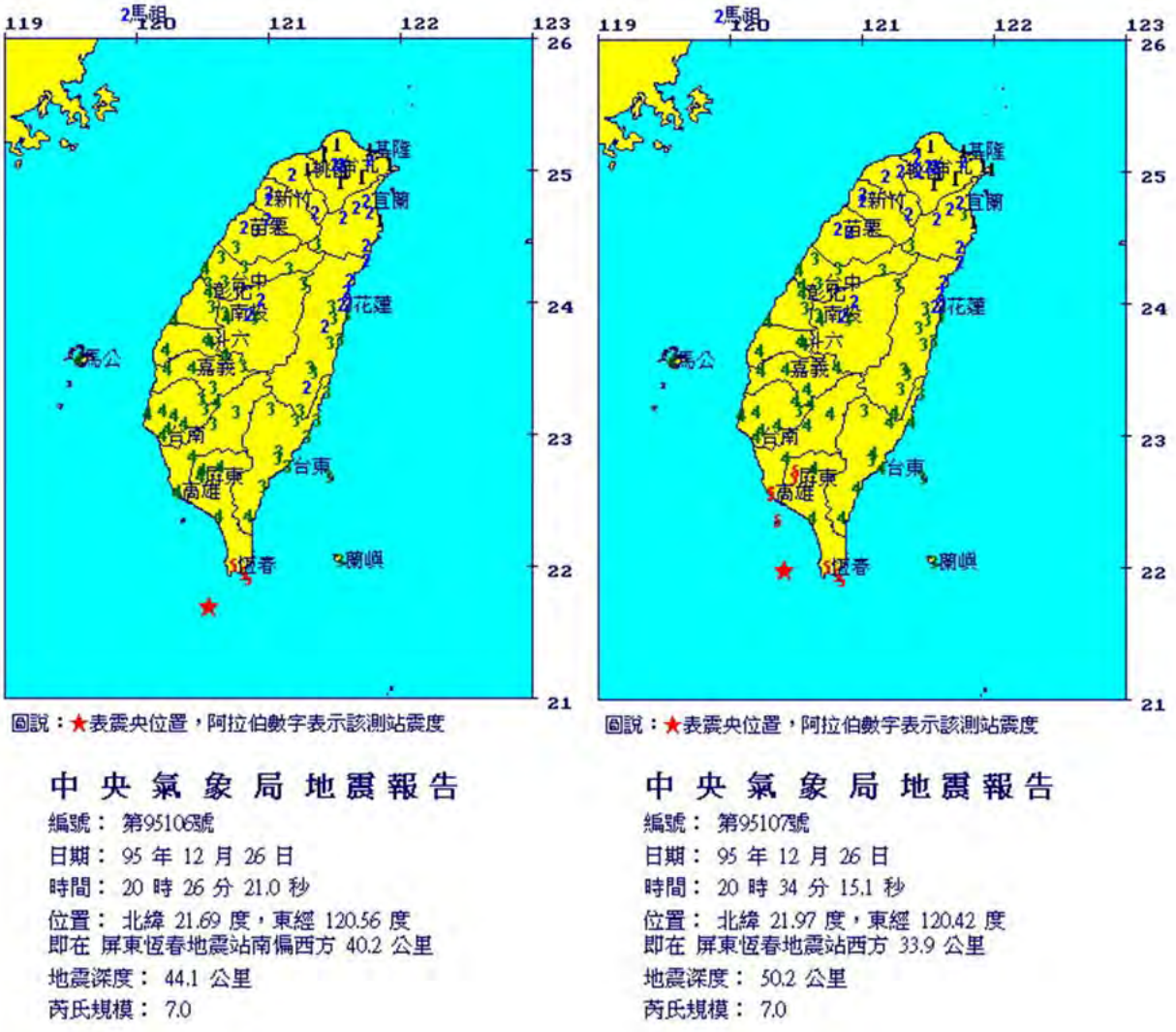


圖 3-9：2006/12/26 恆春地震地震報告（中央氣象局）。

肆、氣體觀測站觀測結果

4-1 觀測站相關地震選擇依據

我國位處環太平洋地震帶上，地震發生的次數相當頻繁，並且經常有強烈的地震發生。依據中央氣象局自 1991 至 2006 年共 16 年的觀測資料顯示，台灣地區平均每年約發生 18,500 次地震，其中約有 1,000 次為有感地震。台灣地區自 1901 至 2010 年曾發生 100 次較大災害之地震。其地震災害情形如下表 4-1。由表中統計結果得知在規模 4.9 以上的地震就有可能釀成災害。

表 4-1：台灣地震災害統計表（1901～2010）（資料來源：中央氣象局）

No	時間	緯度	經度	地點	震源深度 (km)	規模	人口死亡	房屋全毀
1	1901/6/7 08:05	24.7	121.8	宜蘭附近		5.6		1
2	1904/4/24 14:39	23.5	120.3	嘉義附近		6.1	3	66
3	1904/11/6 04:25	23.6	120.3	嘉義附近	7	6.1	145	661
4	1905/8/28 12:22	24.2	121.7	立霧溪附近	5	6		
5	1906/3/17 06:43	23.6	120.5	嘉義縣民雄	6	7.1	1258	6769
6	1906/3/26 11:29	23.7	120.5	雲林斗六地方	5	5	1	29
7	1906/4/4 20:42	23.7	120.5	雲林斗六地方	5	4.9		5
8	1906/4/7 12:52	23.4	120.4	鹽水港		5.3	1	63
9	1906/4/14 03:18	23.4	120.4	鹽水港	20	6.6	15	1794
10	1908/1/11 11:35	23.7	121.4	花蓮萬榮附近	10	7.3	2	3
11	1909/4/15 03:54	25	121.5	台北附近	80	7.3	9	122
12	1909/5/23 18:44	24	120.9	南投埔里附近		5.9		10
13	1909/11/21 15:36	24.4	121.8	大南澳附近	20	7.3		14
14	1910/4/12 08:22	25.1	122.9	基隆東方近海	200	8.3		13
15	1913/1/8 06:50	24	121.6	花蓮附近		6.4		2
16	1916/8/28 15:27	24	121	濁水溪上流	45	6.8	16	614
17	1916/11/15 06:31	24.1	120.9	台中東南約 20km	3	6.2	1	97
18	1917/1/5 00:55	24	121	埔里附近	淺	6.2	54	130
19	1917/1/7 02:08	24	121	埔里附近	淺	5.5		187
20	1918/3/27 11:52	24.6	121.9	蘇澳附近		6.2		

21	1920/6/5 12:21	24	122	花蓮東方近海	20	8.3	5	273
22	1922/9/2 03:16	24.5	122.2	蘇澳近海	20	7.6	5	14
23	1922/9/15 03:31	24.6	122.3	蘇澳近海	20	7.2		24
24	1922/9/17 06:44	23.9	122.5	花蓮東方近海		6		6
25	1922/10/15 07:47	24.6	122.3	蘇澳近海	20	5.9	6	
26	1922/12/2 11:46	24.6	122	蘇澳近海		6	1	1
27	1922/12/13 19:26	24.6	122.1	蘇澳近海		5.5		
28	1923/2/28 18:12	24.6	122	蘇澳近海				1
29	1923/3/5 08:10	24.5	121.8	蘇澳近海				1
30	1923/5/4 18:41	23.3	120.3	台南烏山頭附近		5.7		1
31	1923/9/29 14:51	22.8	121.1	台東附近		5.5		1
32	1925/6/14 13:38	24.1	121.8	立霧河口	20	5.6		
33	1927/8/25 02:09	23.3	120.3	台南新營附近	20	6.5	11	214
34	1930/12/8 16:01	23.3	120.4	台南新營附近	20	6.1	4	49
35	1930/12/22 08:08	23.3	120.4	台南新營附近	10	6.5		121
36	1931/1/24 23:02	23.4	120.1	八掌溪中流	20	5.6		
37	1934/8/11 06:18	24.8	120.8	宜蘭濁水河口	淺	6.5		7
38	1935/4/21 06:02	24.4	120.8	竹縣關刀山附近	5	7.1	3276	17907
39	1935/5/5 07:02	24.5	120.8	後龍溪中流公館附近	10	6		28
40	1935/5/30 03:43	24.1	120.8	大肚溪中流內橫屏山	20	5.6		2
41	1935/6/7 10:51	24.2	120.5	梧棲附近	20	5.7		5
42	1935/7/17 00:19	24.6	120.7	後龍溪河口	30	6.2	44	1734
43	1935/9/4 09:38	22.5	121.5	台東東南 50 公里綠島附近	20	7.2		
44	1936/8/22 14:51	22	121.2	恆春東方 50 公里	30	7.1		
45	1939/11/7 11:53	24.4	120.8	竹縣卓蘭附近	10	5.8		4
46	1941/12/17 03:19	23.4	120.5	嘉義市東南 10 公里中埔附近	12	7.1	358	4520
47	1943/10/23 00:01	23.8	121.5	花蓮西南 15 公里	5	6.2	1	1
48	1943/11/3 00:51	24	121.8	花蓮東方 10 公里		5		
49	1943/11/24 05:51	24	121.7	花蓮東方 5 公里	0	5.7		
50	1943/12/2 13:09	22.5	121.5	綠島南方 20 公里	40	6.1	3	139
51	1944/2/6 01:20	23.8	121.4	花蓮鳳林附近	5	6.4		2
52	1946/12/5 06:47	23.1	120.3	台南新化附近	5	6.1	74	1954

53	1951/10/22 05:34	23.9	121.7	花蓮東南東 15km	4	7.3	68	
54	1951/10/22 11:29	24.1	121.7	花蓮東北東 30km	1	7.1		
	1951/10/22 13:43	23.9	122		18	7.1		
55	1951/11/25 02:47	23.1	121.2		16	6.1		
	1951/11/25 02:50	23.3	121.4	台東北方 30km	36	7.3	17	1016
56	1955/4/4 19:11	21.8	120.9	恆春	5	6.8		22
57	1957/2/24 04:26	23.8	121.8	花蓮	30	7.3	11	44
58	1957/10/20 02:28	23.7	121.5	花蓮	10	6.6	4	
59	1959/4/27 04:41	24.1	123	與那國	150	7.7	1	9
60	1959/8/15 16:57	21.7	121.3	恆春	20	7.1	16*	1214*
61	1959/8/17 16:25	22.3	121.2	大武東偏南 35 公里	40	5.6		3
62	1959/8/18 08:34	22.1	121.7	恆春東 98 公里	15	6.1		32
63	1959/9/25 10:37	22.1	121.2	恆春東 50 公里	10	6.5		3
64	1963/2/13 16:50	24.4	122.1	宜蘭東南方 50 公里	47	7.3	3*	6*
65	1963/3/4 21:38	24.6	121.1	宜蘭東南偏南 16 公里	5	6.4	1	
66	1963/3/10 10:53	24.5	121.9	宜蘭東南偏南 19 公里	5	6.1		
67	1964/1/18 20:04	23.2	120.6	台南東北東 43 公里	18	6.3	106*	10924*
68	1964/2/17 13:50	23.2	120.6	台南東北 50 公里	10	5.9		422
69	1965/5/18 01:19	22.5	120.8	大武西北偏北 26 公里	21	6.5		21
70	1966/3/13 00:31	24.2	122.7	花蓮外海	42	7.8	4*	24*
71	1967/10/25 08:59	24.4	122.1	宜蘭東南 58 公里	20	6.1	2*	21*
72	1972/1/25 10:07	22.5	122.3	台東東偏南	33	7.3	1*	5*
73	1972/4/24 17:57	23.5	121.4	花蓮瑞穗東北東 4 公里	15	6.9	5	50
74	1978/12/23 19:23	23.3	122.1	成功東偏北 81 公里	4	6.8	2	
75	1982/1/23 22:11	24	121.6	花蓮東南 12 公里	3	6.5	1	
76	1986/5/20 13:25	24.1	121.6	花蓮北偏西 15 公里	16	6.2	1*	
77	1986/11/15 05:20	24	121.8	花蓮東偏南 10 公里	15	6.8	13*	37*
78	1990/12/13 11:01	23.9	121.5	花蓮南方 10 公里	3	6.5	2*	3*
79	1990/12/14 03:49	23.9	121.8	花蓮東南方 30 公里	1	6.7		
80	1991/3/12 14:04	23.2	120.1	台南佳里附近	12.3	5.9		
81	1992/4/20 02:32	23.8	121.6	花蓮南偏西 15.1 公里	8.1	5.6		
82	1992/5/29 07:19	23.1	121.4	成功北方 5.0 公里	13.7	5.4		

83	1993/12/16 05:49	23.2	120.5	大埔西南西 10.0 公里	12.5	5.7		
84	1994/6/5 09:09	24.4	121.8	宜蘭南方 34.8 公里	5.3	6.5	1*	1*
85	1995/2/23 13:19	24.2	121.7	花蓮秀林地震站東北方 16.6 公里	21.7	5.8	2*	
86	1995/6/25 14:59	24.61	121.7	宜蘭牛鬥地震站東偏南方 11.1 公里	39.9	6.5	1*	6*
87	1998/7/17 12:51	23.5	120.7	嘉義阿里山地震站西方 14.6 公里	2.8	6.2	5*	18*
88	1999/9/21 01:47	23.85	120.8	南投魚池地震站西南方 7.0 公里	8	7.3	2415*	51711*
89	1999/10/22 10:19	23.52	120.4	嘉義市地震站北方 2.2 公里	16.6	6.4		7*
90	2000/5/17 11:25	24.19	121.1	台中德基地震站西南方 8.6 公里	9.7	5.3	3*	
91	2000/6/11 02:23	23.9	121.1	南投日月潭地震站東方 21.4 公里	16.2	6.7	2*	
92	2002/3/31 14:52	24.14	122.2	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 55.8 公里	13.8	6.8	5*	6*
93	2002/5/15 11:46	24.65	121.9	宜蘭蘇澳地震站北偏東方 5.2 公里	8.5	6.2	1*	
94	2003/12/10 12:38	23.07	121.5	台東成功地震站東南方 4.9 公里	17.7	6.4		
95	2004/5/1 15:56	24.08	121.5	花蓮秀林地震站西方 6.9 公里	21.6	5.3	2*	
96	2006/4/1 18:02	22.88	121.1	台東卑南地震站北方 7.0 公里	7.2	6.2		14*
97	2006/12/26 20:26	21.69	120.6	屏東墾丁地震站西南方 38.4 公里	44.1	7	2*	3*
	2006/12/26 20:34	21.97	120.4	屏東恆春地震站西方 33.1 公里	50.2	7	2*	3*
98	2009/11/5 17:32	23.79	120.7	南投名間地震站南偏東方 10.1 公里	24.1	6.2		
99	2009/12/19 21:02	23.79	121.7	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里	43.8	6.9		
100	2010/3/4 08:18	22.97	120.7	高雄甲仙地震站東南方 17.1 公里	22.6	6.4		

*災情資料由消防署提供

另一方面由氣象局所訂立之地震震度分級表亦可以看出在震度 4 以上會有輕微的災害產生。如下表 4-2。

表 4-2：地震震度分級表（資料來源：中央氣象局）

震度分級		地動加速度 (cm/s^2, gal)	人的感受	屋內情形	屋外情形
0	無感	0.8 以下	人無感覺。		
1	微震	0.8~2.5	人靜止時可感覺微小搖晃。		
2	輕震	2.5~8.0	大多數的人可感到搖晃,睡眠中的人有部分會醒來。	電燈等懸掛物有小搖晃。	靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短。
3	弱震	8~25	幾乎所有的人都感覺搖晃,有的人會有恐懼感。	房屋震動，碗盤門窗發出聲音，懸掛物搖擺。	靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃。
4	中震	25~80	有相當程度的恐懼感,部分的人會尋求躲避的地方,睡眠中的人幾乎都會驚醒。	房屋搖動甚烈，底座不穩物品傾倒,較重傢俱移動，可能有輕微災害。	汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也感到搖晃。
5	強震	80~250	大多數人會感到驚嚇恐慌。	部分牆壁產生裂痕，重傢俱可能翻倒。	汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊煙囪傾倒。
6	烈震	250~400	搖晃劇烈以致站立困難。	部分建築物受損，重傢俱翻倒，門窗扭曲變形。	汽車駕駛人開車困難，出現噴沙噴泥現象。
7	劇震	400 以上	搖晃劇烈以致無法依意志行動。	部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面。	山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破壞。

由於地震數量相當多，不易解析地震與氣體的相關性，因此我們依據地震規模、震度及對當地災害的有無來篩選與各觀測站有關的地震，再從這些背景地震中找出與測站氡氣異常具有相關聯的地震來討論。篩選的原則是只選地震規模大於 5（不論震度大小）或是震度大於 4（但規模小於 5）的地震與所觀測到的氣體作討論。(花蓮美崙站因剛啟用，因此無作地震的篩選)。於是篩選的結果：新竹大平地站有 22 個，雲林古坑站有 21 個，嘉義中崙站有 31 個，台南二溪站有 19 個，屏東屏科大站有 13 個，臺東池上站有 19 個，宜蘭蘇澳站有 27 個。

4-2 新竹大平地土壤氣體觀測站

圖 4-1 至圖 4-16 為新竹大平地觀測站 2009 年 11 月至 2010 年 11 月的連續觀測結果。圖 4-1（2009 年 11 月至 2010 年 1 月，使用 RTM No.164）、圖 4-2（2010 年 2 月至 2010 年 7 月 10 日，使用迴圈裝置及 probe No.124）及圖 4-3（2010 年 7 月 10 日至 2010 年 11 月，使用 RTM No.155），是依照分析儀器的不同所劃分的三張總圖表。圖 4-4 至圖 4-16 是分月圖表。其中 11 月 27 日至 12 月 1 日，12 月 22 日至 2 月 3 日，3 月 30 日至 4 月 1 日等三個期間，氡氣分析儀無法啟動影響運作，加上送至德國檢修校正的儀器尚未送回，無備用儀器可以替換運作，因此這段時間皆沒有氡氣紀錄。6 月 8 日至 6 月 9 日則是因當地停電造成數據遺失。2009 年 11 月至 2010 年 1 月使用編號 164 的氡氣分析儀（屬主動分析，有抽氣幫浦）。2010 年 2 月至 2010 年 7 月 10 日使用編號 124 的氡氣分析儀（屬於被動分析，無主動抽氣幫浦）。2010 年 7 月 10 日至 2010 年 11 月 7 日使用編號 155 的氡氣分析儀（屬主動分析，有抽氣幫浦）。更換儀器的原因有三，一是原來的儀器送檢修，二是配合當地潮濕環境使用迴圈裝置（迴圈前面加裝一具電動幫浦），如此可以避免儀器直接抽到水而影響儀器運轉壽命。三是備用儀器於七月初送回，隨即於 7 月 10 日至現地更換並撤掉迴圈裝置。但是用來作為氡氣來源的儲氣槽亦因二月中及五月底的大雨，造成儲氣槽積水嚴重，無順暢的逸氣來源，因此從 2 月 13 日至 2 月 23 日，5 月 24 日至 5 月 25 日及 5 月 29 日至 6 月 30 日皆無有效氡氣數據。另外一方面由於加裝電動幫浦於迴圈裝置之前，有時因電動幫浦因停電而無法運轉，有時亦因電動幫浦連續運作致使馬達過熱停機，造成氡氣分析儀所分析的氡氣值呈現緩慢下降，如 3 月 20 日至 3 月 30 日，4 月 4 日至 4 月 15 日、7 月 6 日至 7 月 10 日皆是如此情形（圖上藍框所示）。

圖 4-4 為 2009 年 11 月的觀測結果。這段期間雖有零星降雨但不影響氡氣分析儀的運作（溫溼度皆在控制內），對於測站的任何動作也僅止於數據的下載，因此可以排除水氣及其他人為因素影響。由圖上可看出在 10 月 26 日至 11 月 3 日氡氣有明顯異常變化，從 10,000 Bq/m^3 上升至高點 20,000 Bq/m^3，之後下降至 7,000 Bq/m^3，這段氡氣異常變化區間可以視為 11 月 5 日於南投名間發生的地震（規模 6.2，震度 2 級，深度 24.1 km）的前兆反應時間。11 月 3 日至 11 月 23 日氡氣也呈現異常變化，從 7,000 Bq/m^3 上升至 11 月 11 日的高點 20,000 Bq/m^3，之後呈階梯式下降，下降過程中有三個區段氡氣反彈上升，上升幅度並不大，長期來看還是往下降的。在這長達 20 天的異常反應區間，有兩起地震在氡氣下降時發生，一是 11 月 15 日發生於基隆市外海（規模 5.5，震度 1 級，深度 125.4 km），另一是 11 月 22 日發生於花蓮秀林的地震（規模 5，震度 1 級，深度 66.9 km）。我們可以初步認定這氡氣異常反應區間為這兩起地震的前兆反應時間。

圖 4-5 為 2009 年 12 月的觀測結果。可知在 12 月 6 日至 12 月 19 日氡氣呈現異常變化，從 11,000 Bq/m^3 上升至高點 18,000 Bq/m^3，這段氡氣異常變化時間可以視為 12 月 19 日於花蓮市發生的地震（規模 6.9，震度 4 級，深度 43.8 km）的前兆反應時間。圖 4-6 為 1 月的觀測結果，由於分析儀器的頻譜圖呈現異常，因此這段時間的氡氣數據並非有效數據，無法使用。

圖 4-7 為 2 月的觀測結果。我們在 2 月 3 日改變以往由氡氣分析儀直接抽氣分析的裝置，管線於儲氣槽出來後先接上電子式氣體乾燥器，之後靠著電動幫浦將氣抽到一個迴圈裝置內，氡氣分析儀就在迴圈裝置內循環分析氡氣，此外於迴圈頂部設置一個單向閥出口，當迴圈裡的氣體壓力過大時，氣體會從單向閥出來，藉此保持迴圈裡壓力的平衡。在此新設裝置下，我們由圖看出在 2 月 5 日至 2 月 11 日氡氣呈現異常變化，從 15,000 Bq/m^3 上升至高點 25,000 Bq/m^3，這段氡氣異常變化時間可以視為是 2 月 12 日於南投埔里發生的地震（規模 5.2，震度 1 級，深度 14 km）的前兆反應時間。

圖 4-8 為 3 月的觀測結果。觀察 2 月 23 日至 3 月 8 日這段時間的氡氣雖呈現日夜變化，但從圖上的氡氣連續趨勢線可以看出這段時間的氡氣呈現明顯的異常，從 2 月 23 日的低點上升至 3 月 4 日的高點，之後於 3 月 8 日下降至低點，這段時間內無降雨及人為操作的影響，由於異常高點與 3 月 4 日發生於高雄甲仙的地震（規模 6.4，震度 2 級，深度 22.6 km）在時間上有所重疊，是否為同震反應，在考慮與測站的距離後（195 km），先持保留討論的空間。

圖 4-9 至圖 4-16 為 4 月至 11 月的觀測結果。這段時間資料保持連續紀錄不中斷，但是由於電動幫浦故障影響抽氣或是降雨導致逸氣來源阻塞，雖有多起地震發生，仍無法將之與氡氣反應作一明顯的關聯。自 7 月 18 日以後，氡氣濃度反應呈現明顯的日夜變化，其中於 9 月 17 日及 9 月 24 日兩個明顯的異常高點應是逸氣來源遭阻塞後突然暢通所引起的氡氣突然升高所致。比較例外的情形發生於 9 月 26 日至 9 月 30 日，氡氣從 2,000 Bq/m^3 緩慢上升至 4,000 Bq/m^3，雖有日夜變化但大趨勢是往上升的，於 10 月 1 日下降至 2,000 Bq/m^3，10 月 1 日（規模 5.1，震度 1 級，深度 102.1 km）與 10 月 3 日（規模 5，震度 2 級，深度 19.1 km）分別有一起地震發生，考慮地震的各項參數後，這段異常區間應可視為是 10 月 3 日地震的前兆反應時間。

圖 4-17 為大平地測站相關地震位置分布圖。表 4-3 為大平地測站相關地震列表。自 2009 年 11 月 1 日至 2010 年 11 月 30 日共有 47 起地震被偵測到，由圖可看出與大平地測站相關的地震分布位置多集中在東北部宜蘭及東部花蓮外海等處。本年度觀測到數起與地震有關的氡氣異常，不過由於資料偶有中斷且有時降雨影響逸氣來源，不易與地震事件比對。因此有待進一步資料的累積，以利我

們釐清大平地觀測站氡氣濃度與地震事件的相關性。

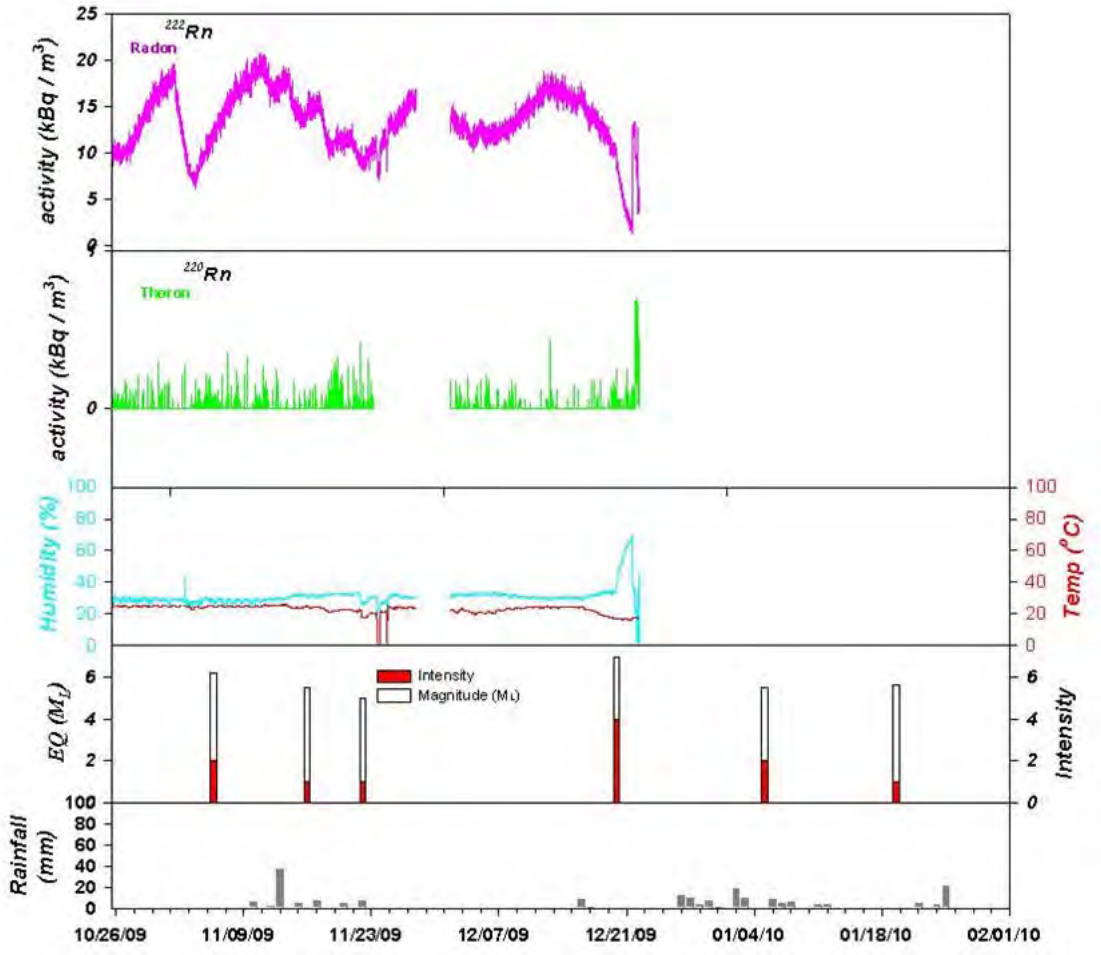


圖 4-1：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度。使用儀器：RTM No.164（2009/10/25-2010/01/31）。

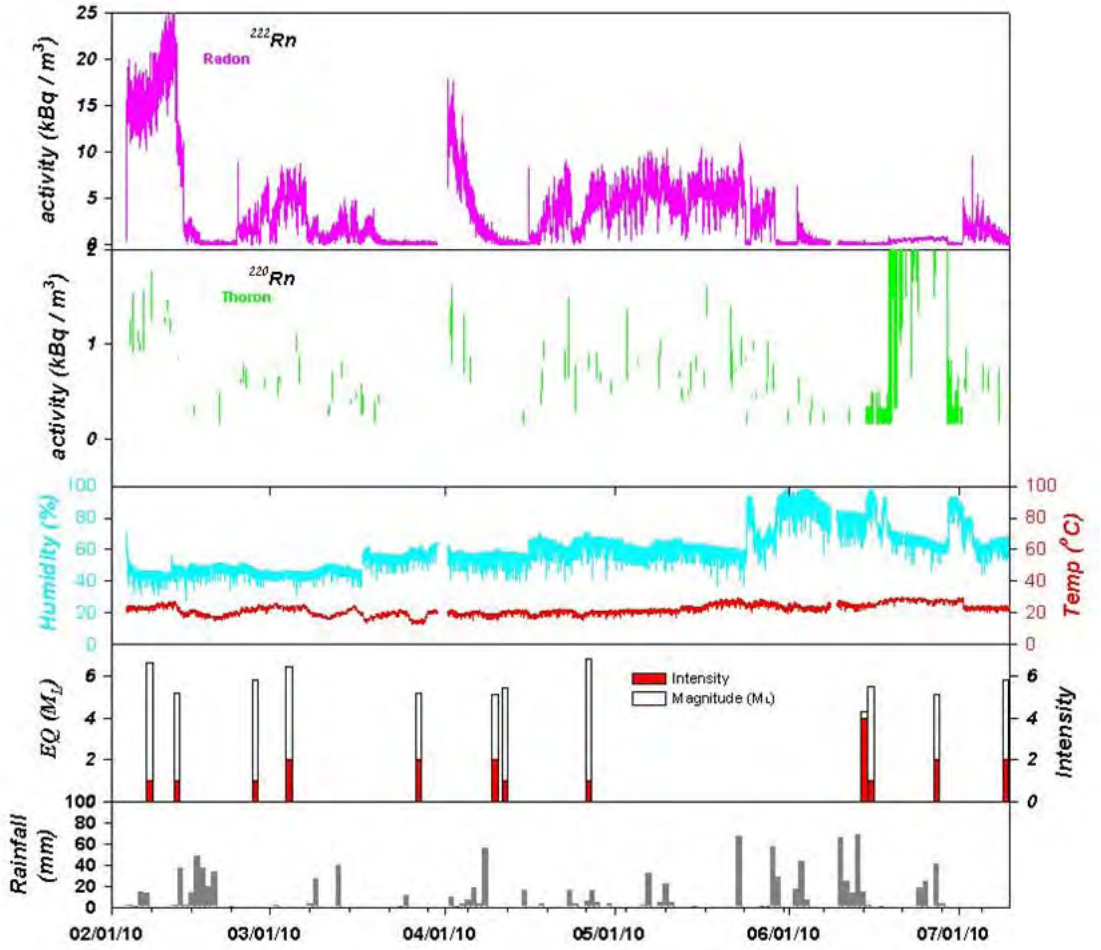


圖 4-2：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度。使用儀器：Probe No.124（2010/02/01-2010/07/10）。

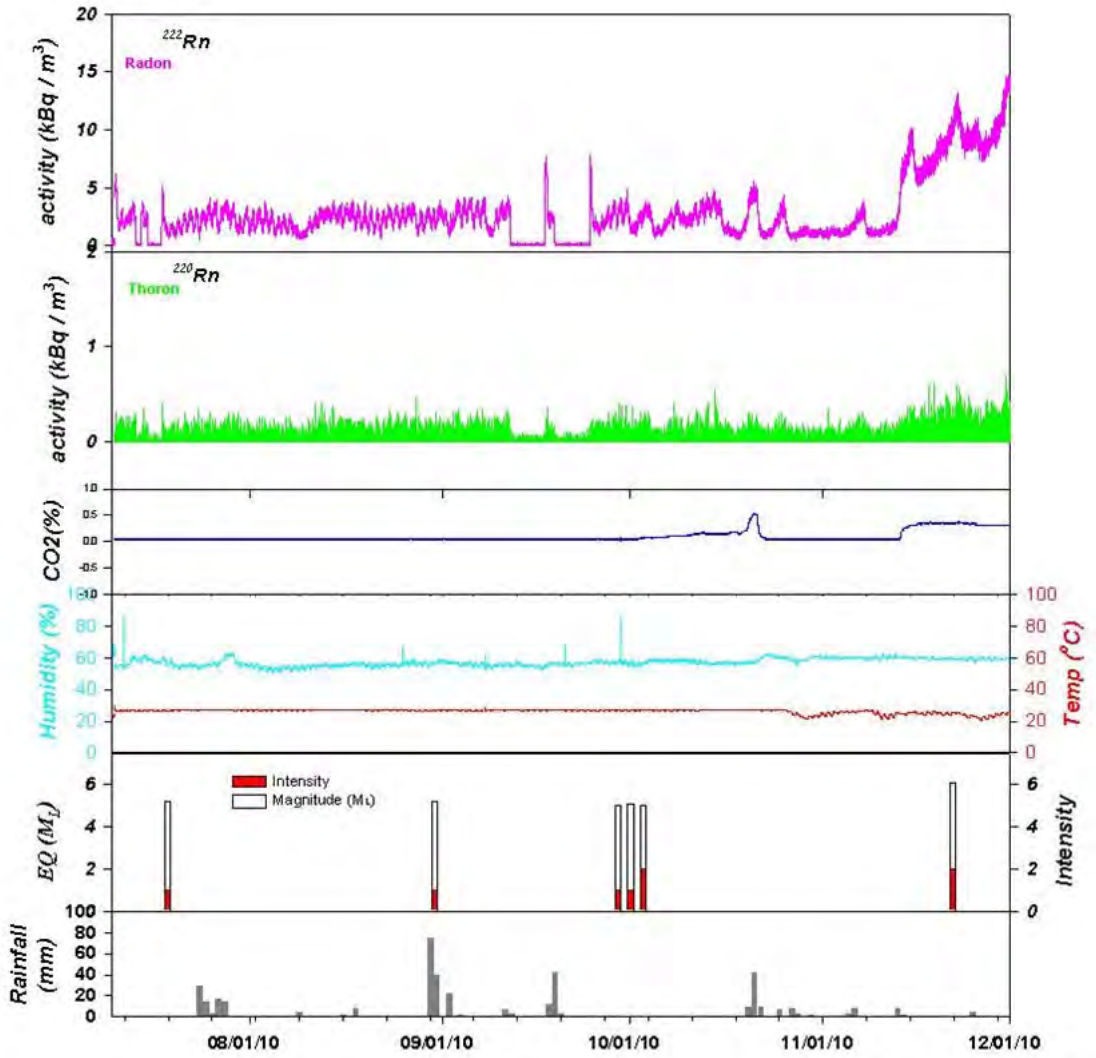


圖 4-3：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度。使用儀器：RTM No.155（2010/07/10-2010/11/30）。

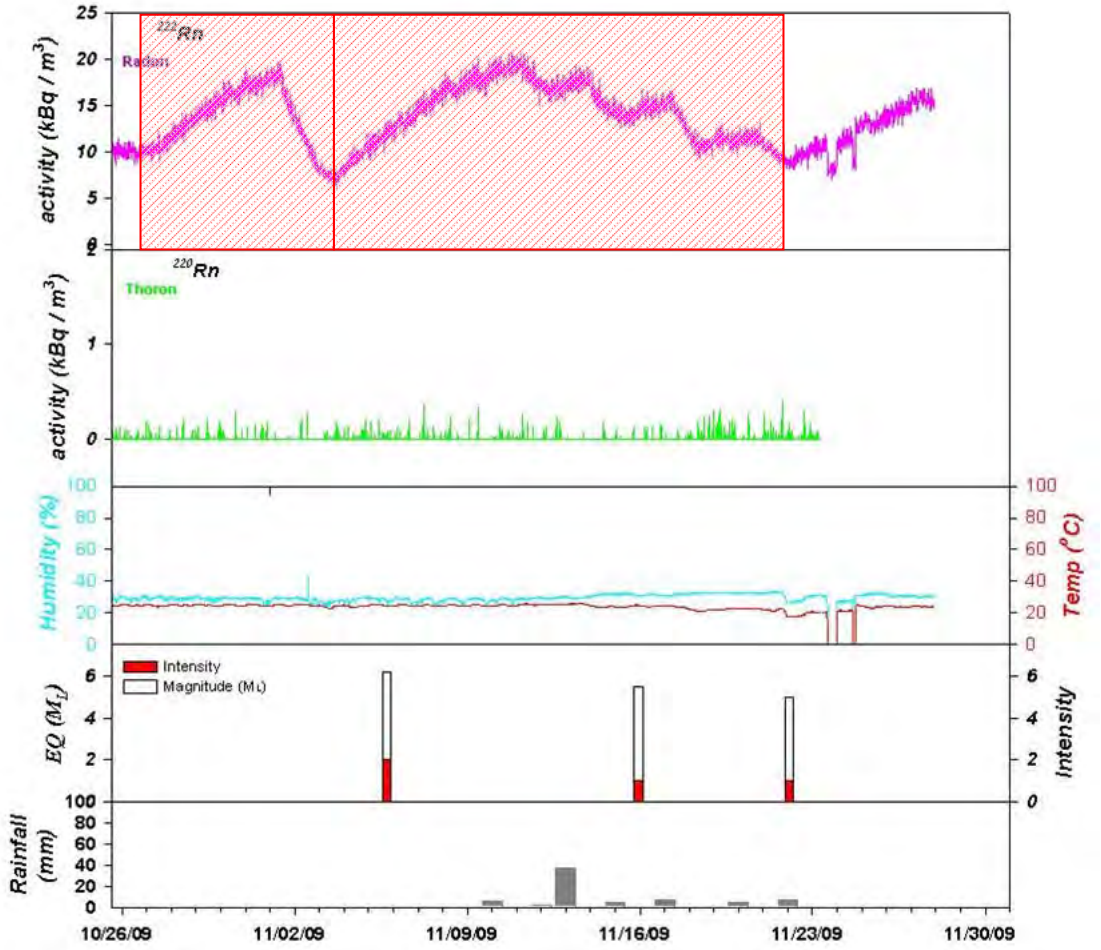
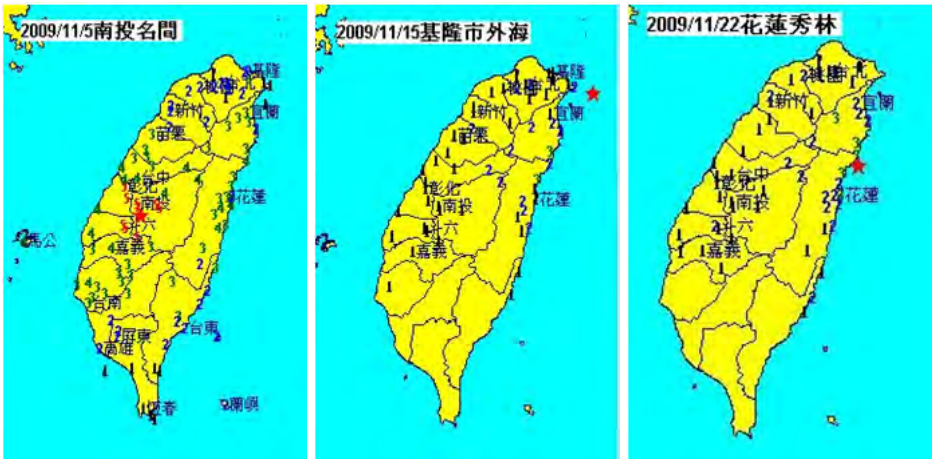


圖 4-4：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間（2009/10/25-2009/11/30）。



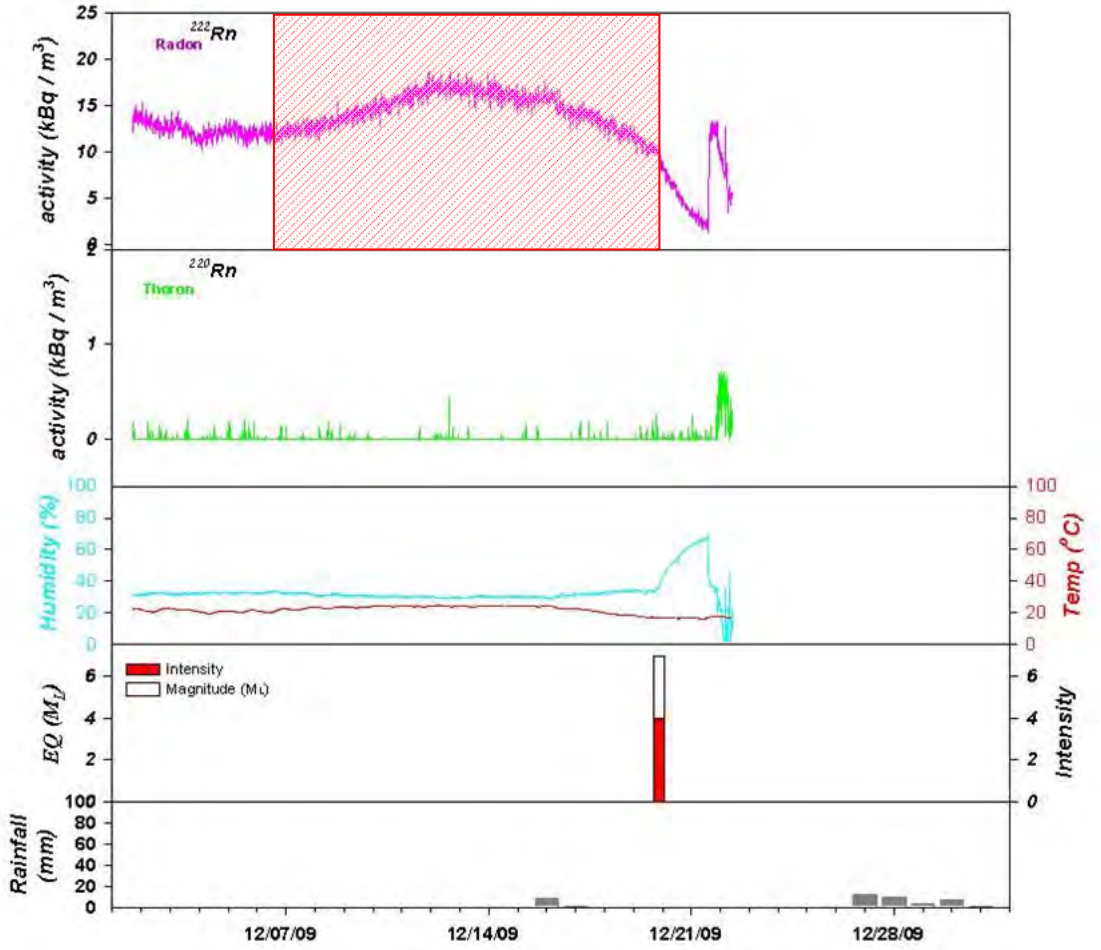


圖 4-5：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間（2009/12/01- 2009/12/31）。



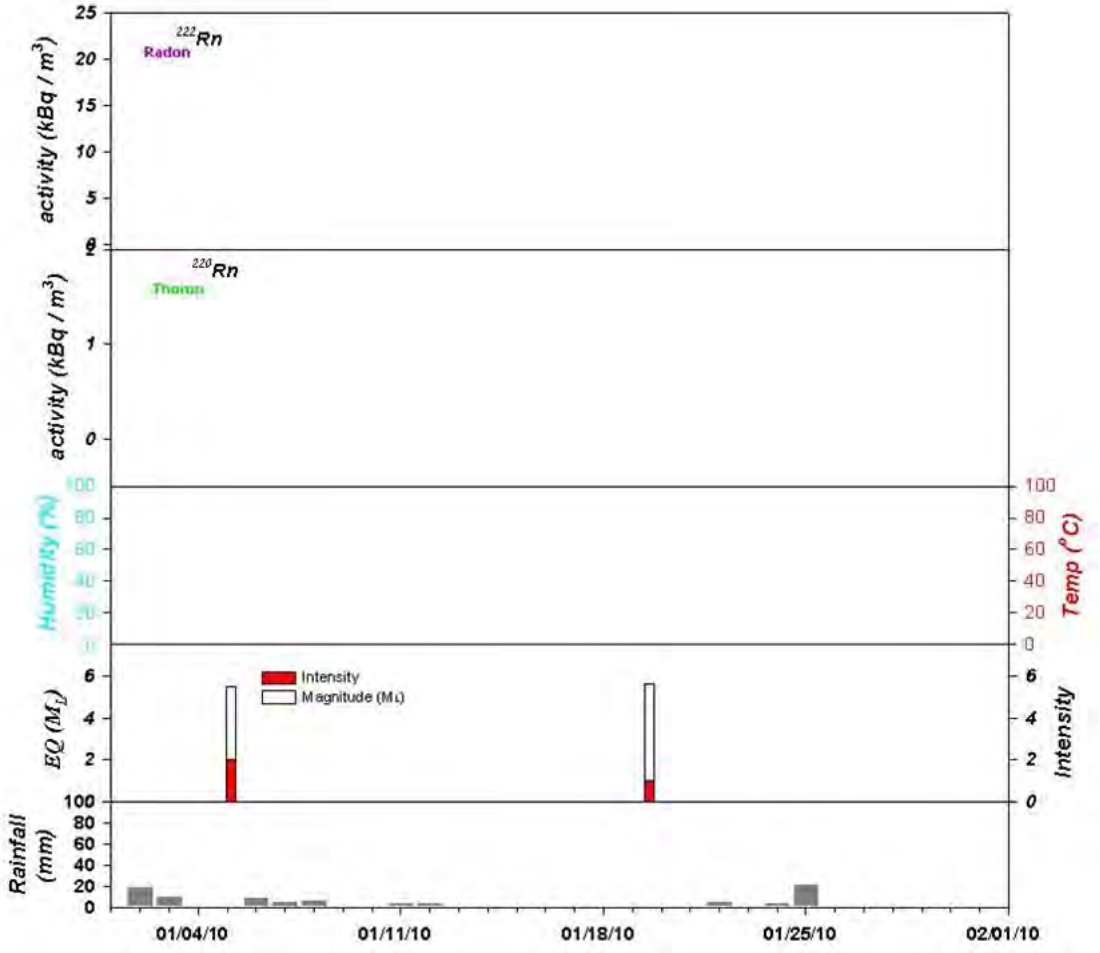
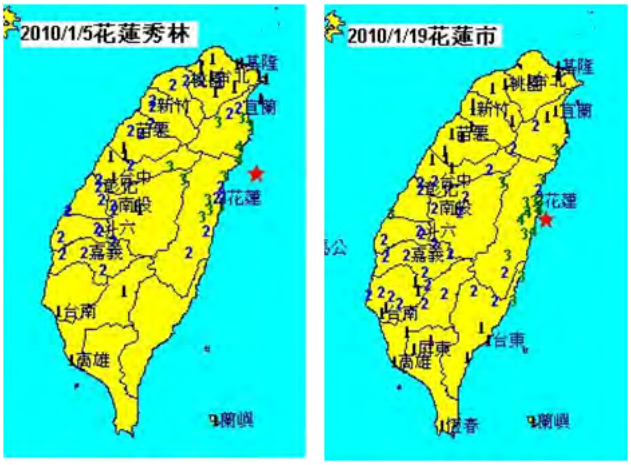


圖 4-6：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/01/01- 2010/01/31）。



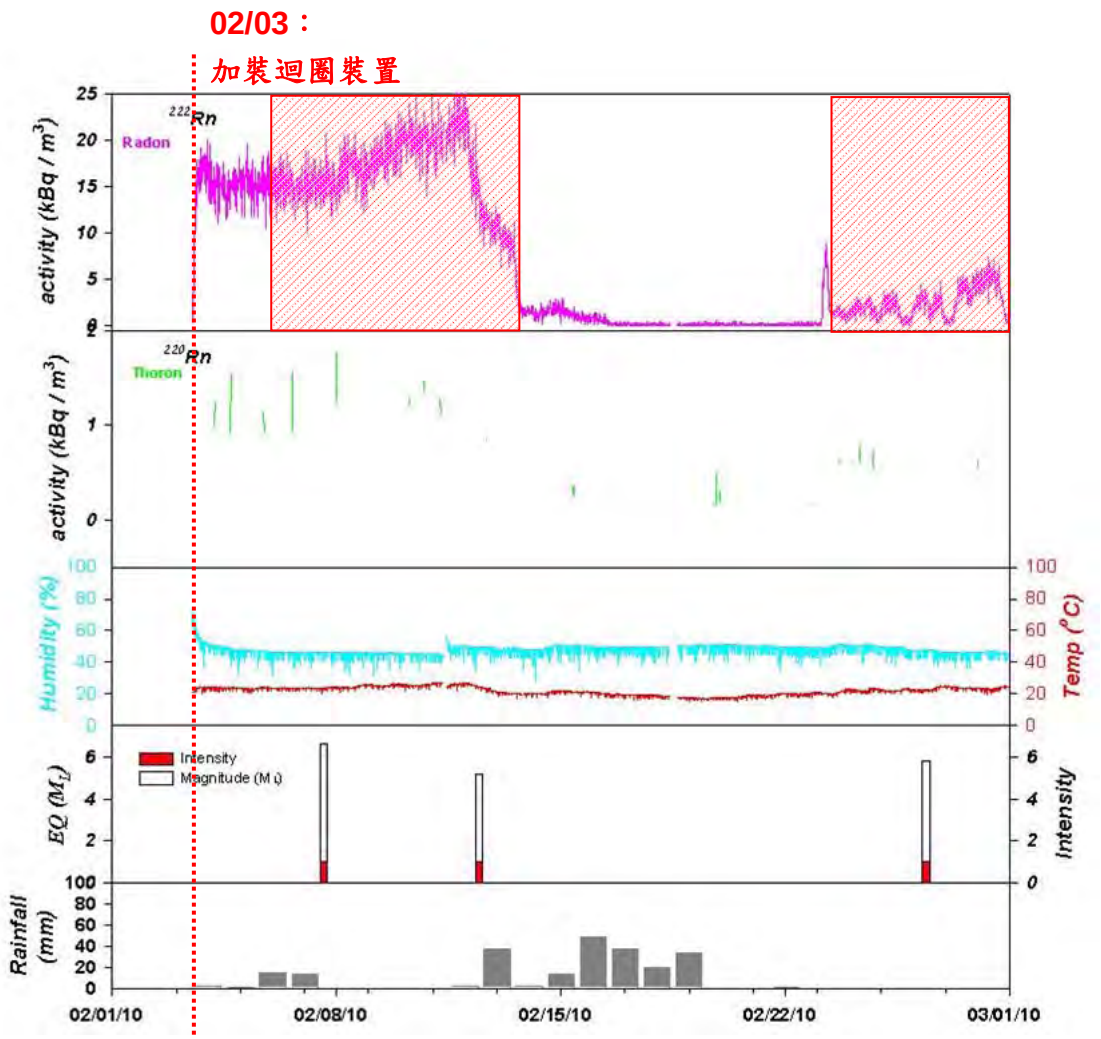
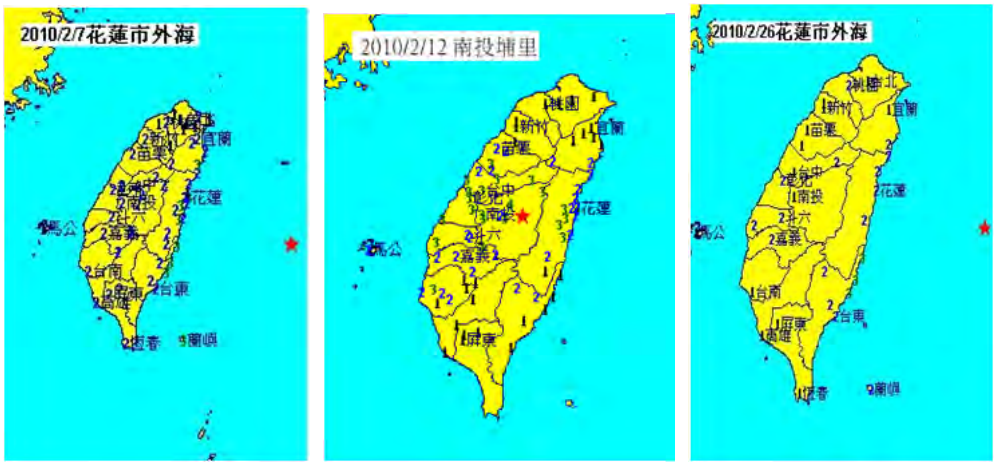


圖 4-7：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間（2010/02/01-2010/02/28）。



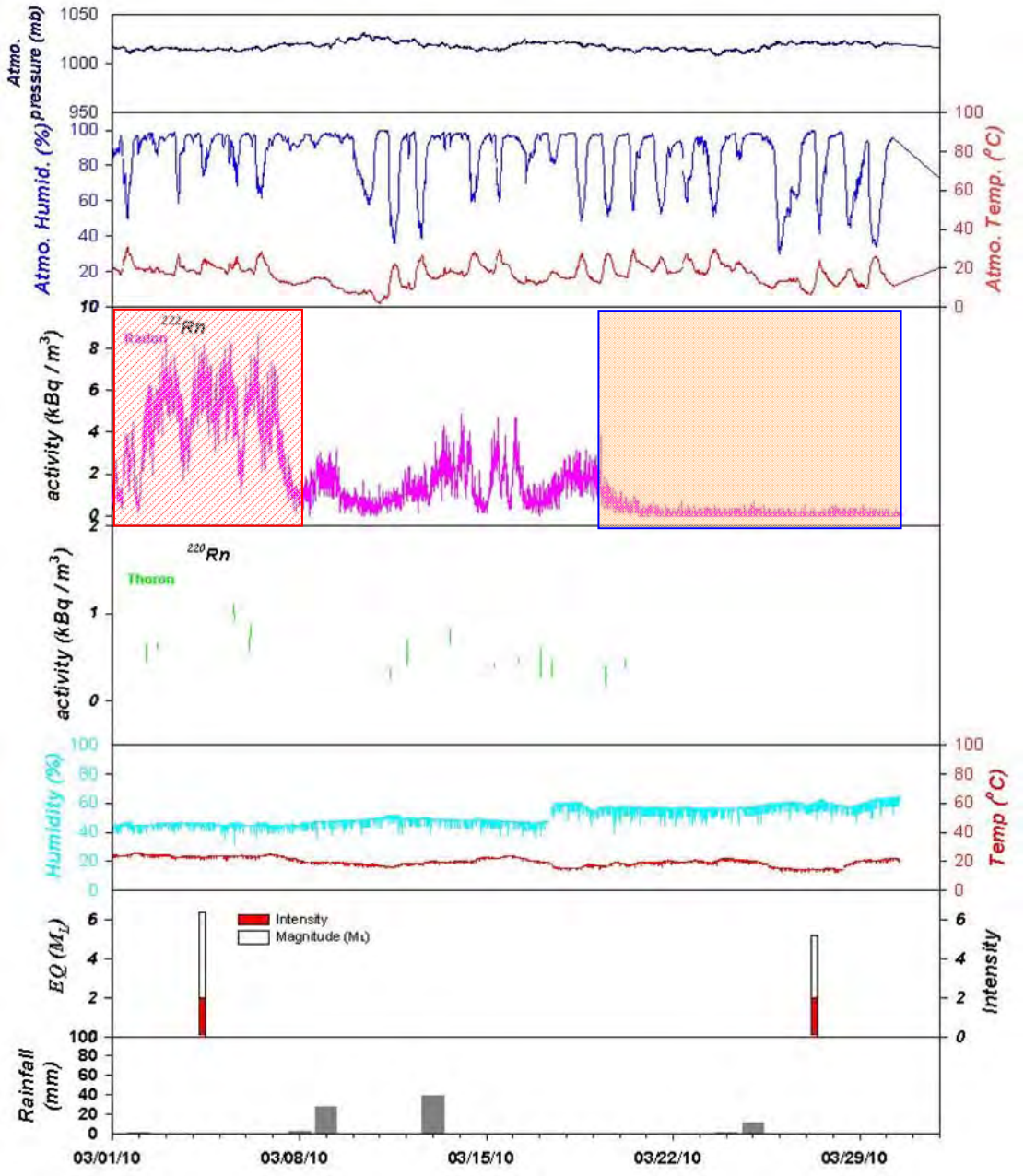
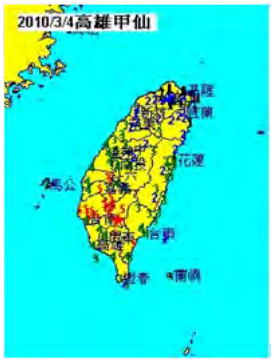


圖 4-8：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間；藍框為電動幫浦故障區間（2010/03/01-2010/03/31）。





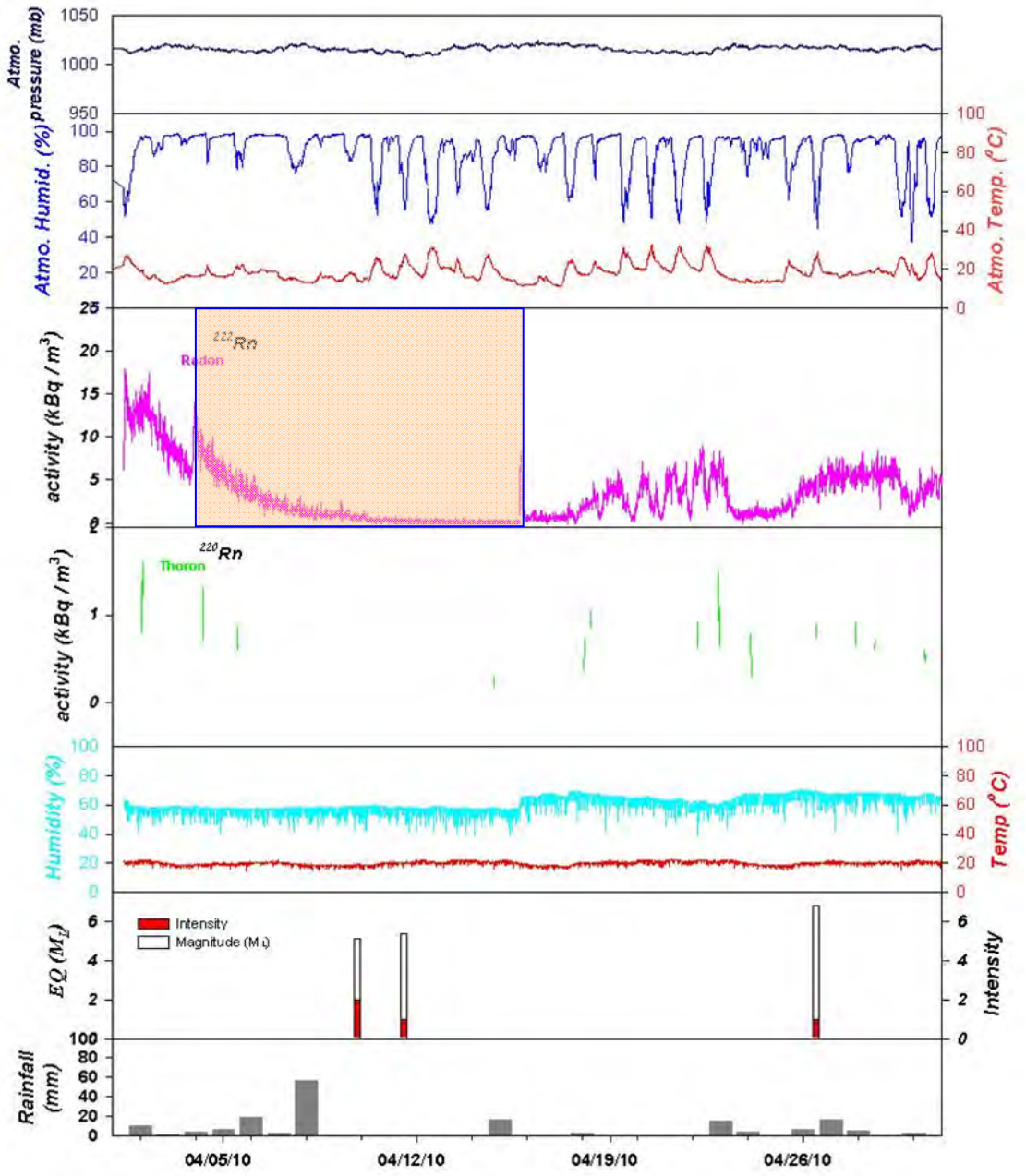


圖 4-9：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；藍框為電動幫浦故障區間（2010/04/01-2010/04/30）。



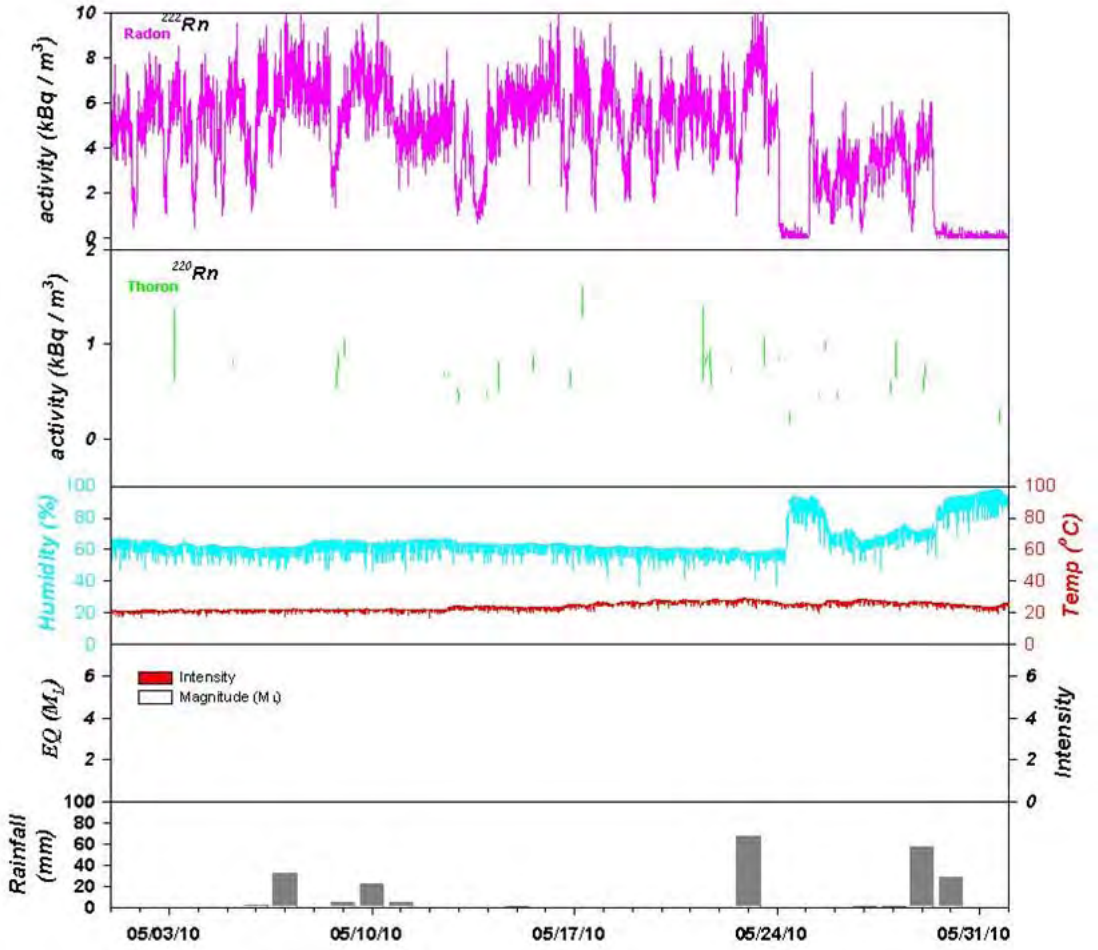


圖 4-10：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/05/01-2010/05/31）。

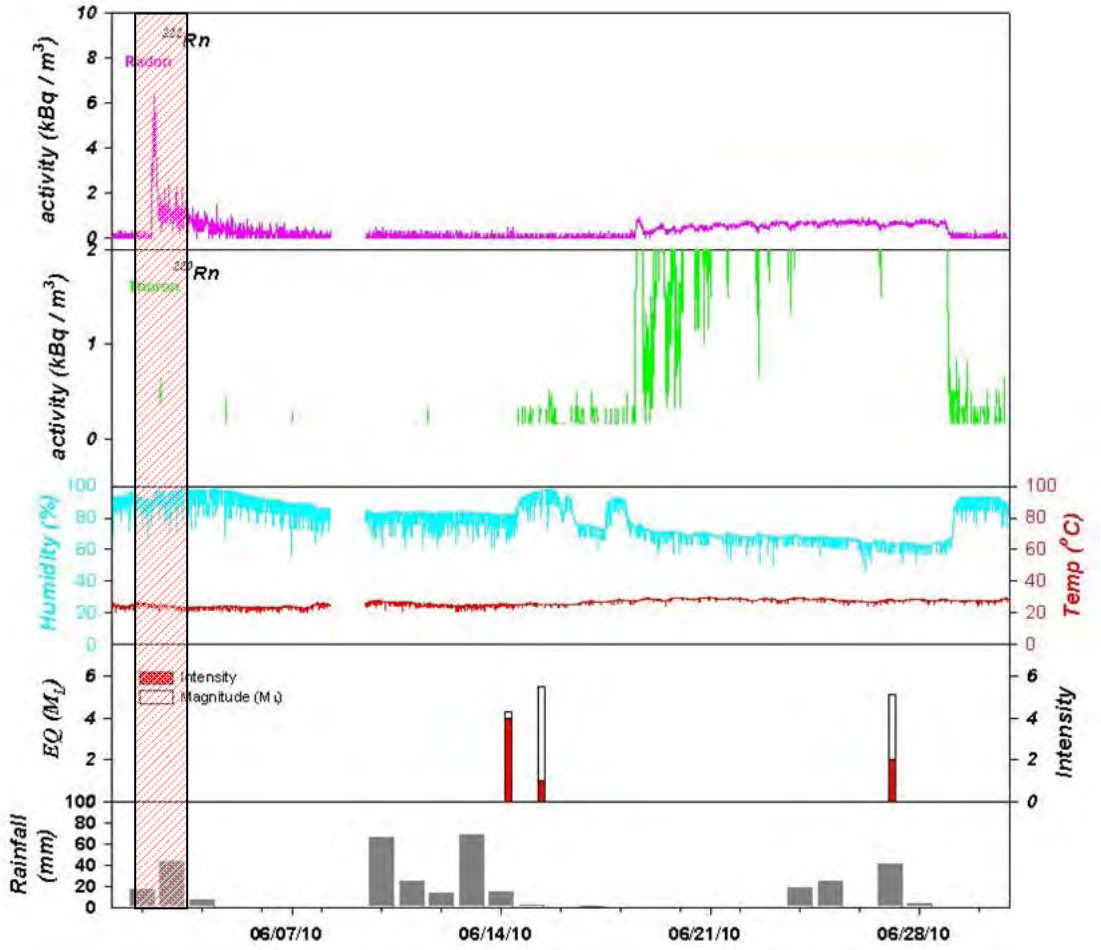
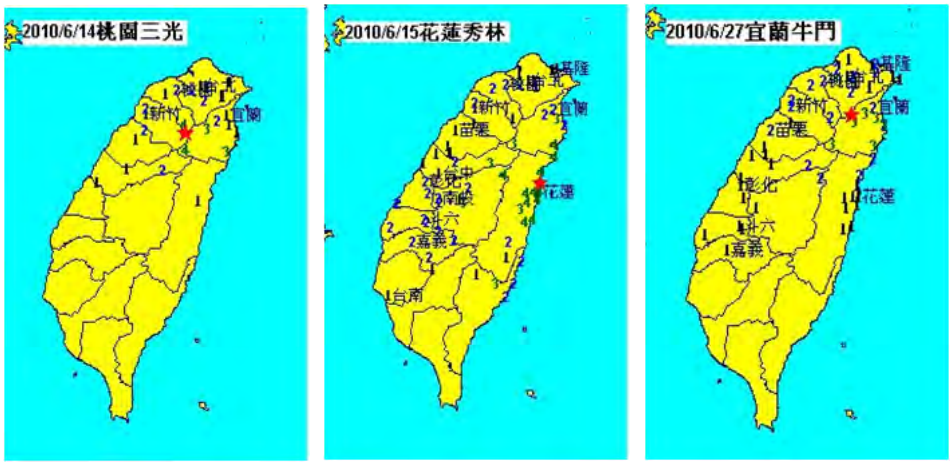


圖 4-11：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；黑斜線框表示降雨影響異常區間（2010/06/01-2010/06/30）。



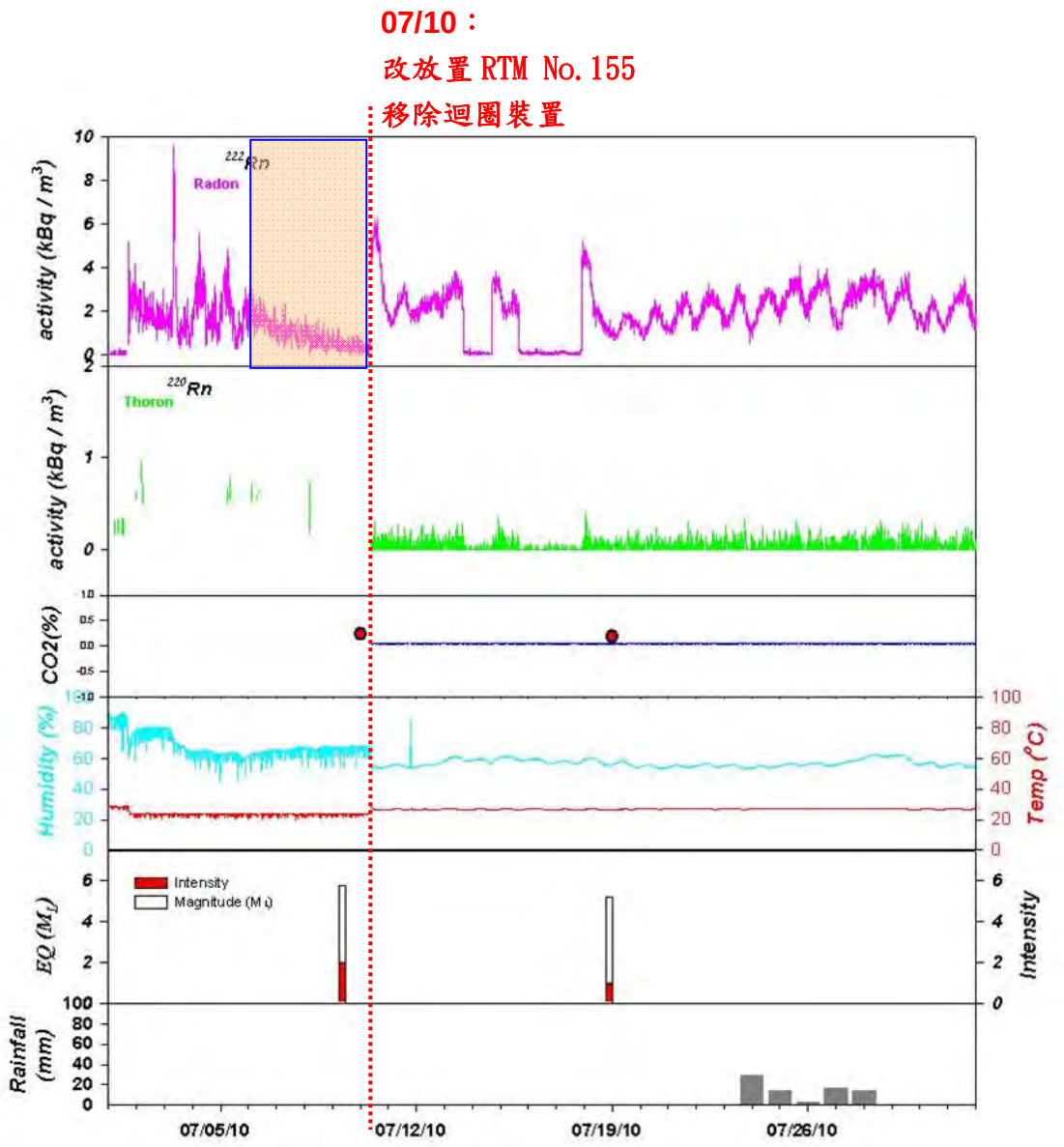
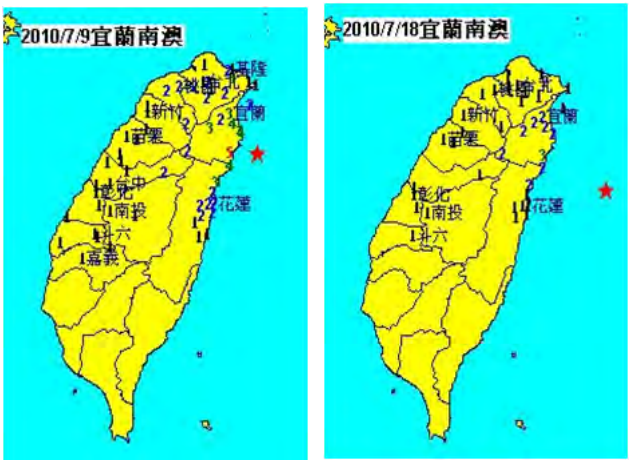


圖 4-12：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；藍框為電動幫浦故障區間；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2010/07/01-2010/07/31）。



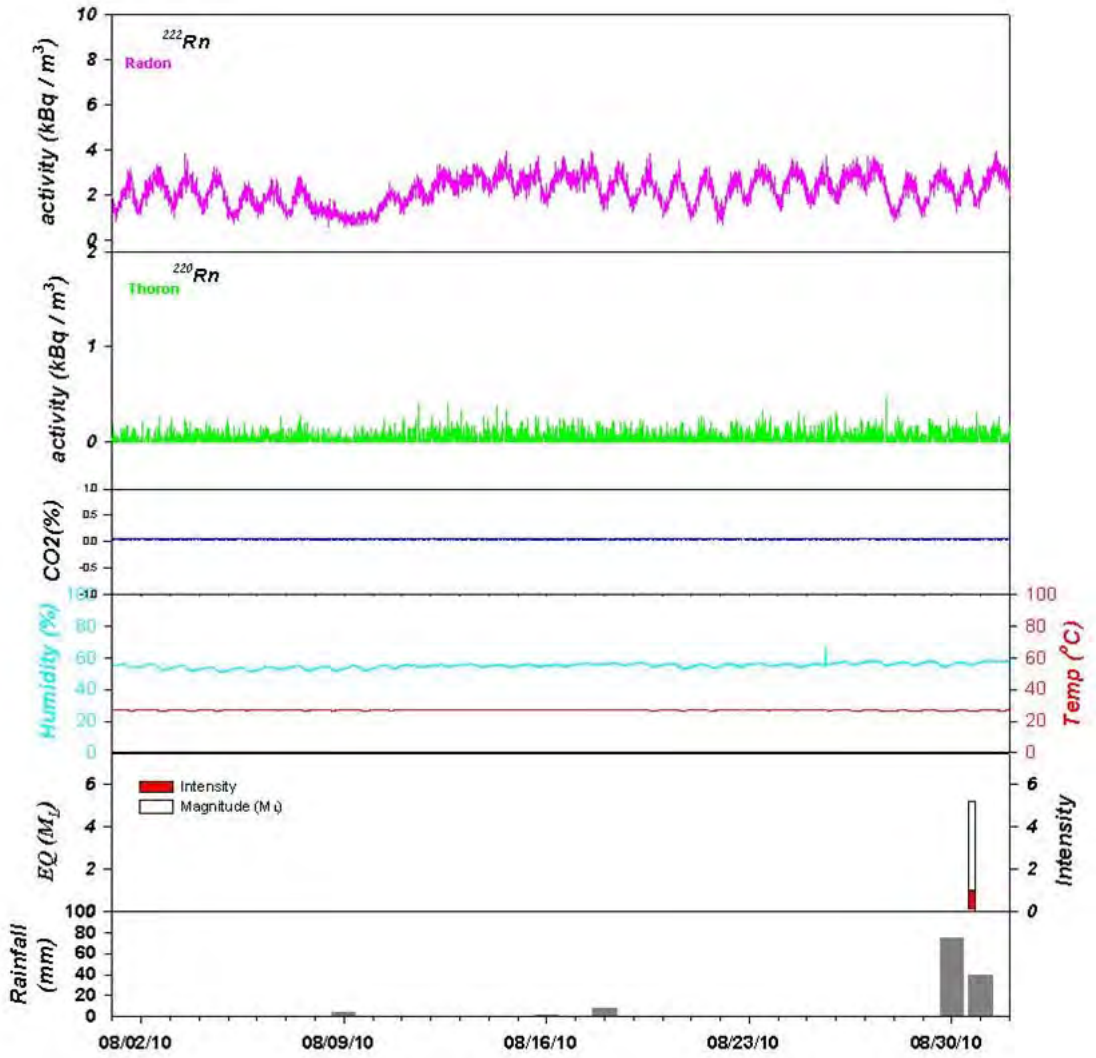


圖 4-13：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/08/01-2010/08/31）。



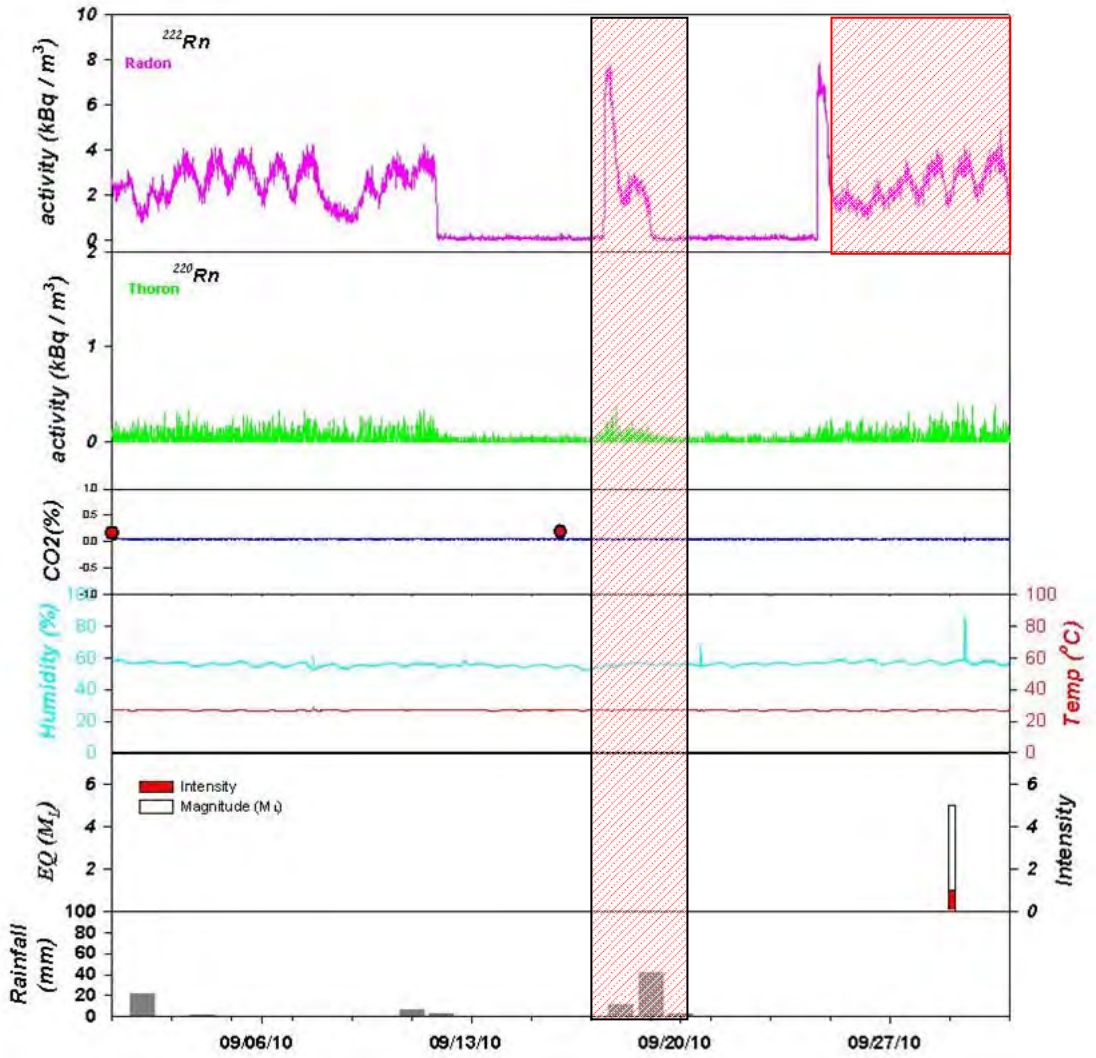


圖 4-14：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間；黑斜線框表示降雨影響異常區間；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2010/09/01-2010/09/30）。



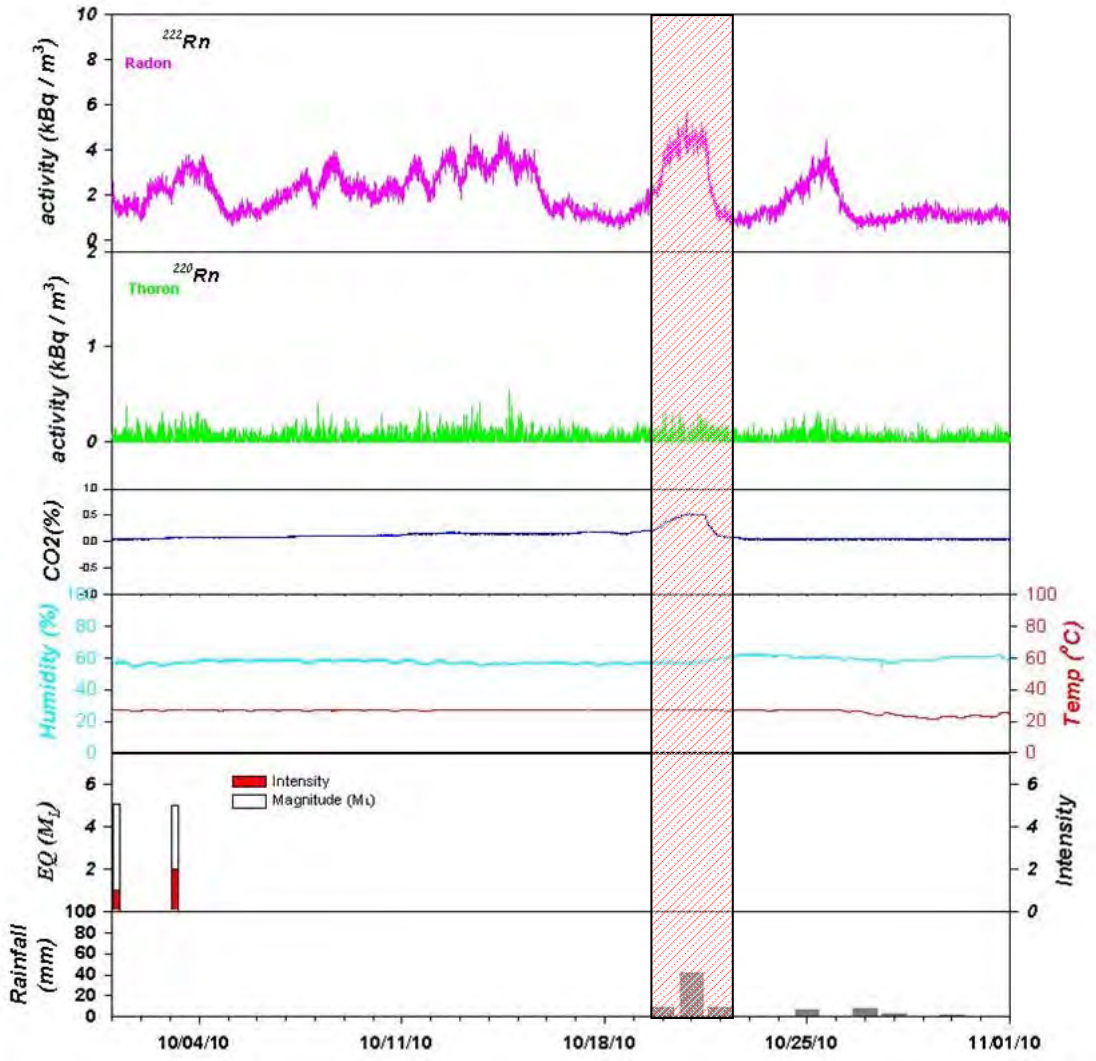
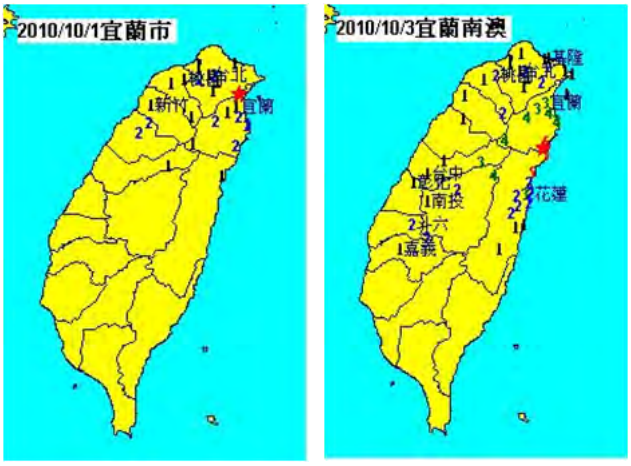


圖 4-15：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；黑斜線框表示降雨影響異常區間（2010/10/01-2010/10/31）。



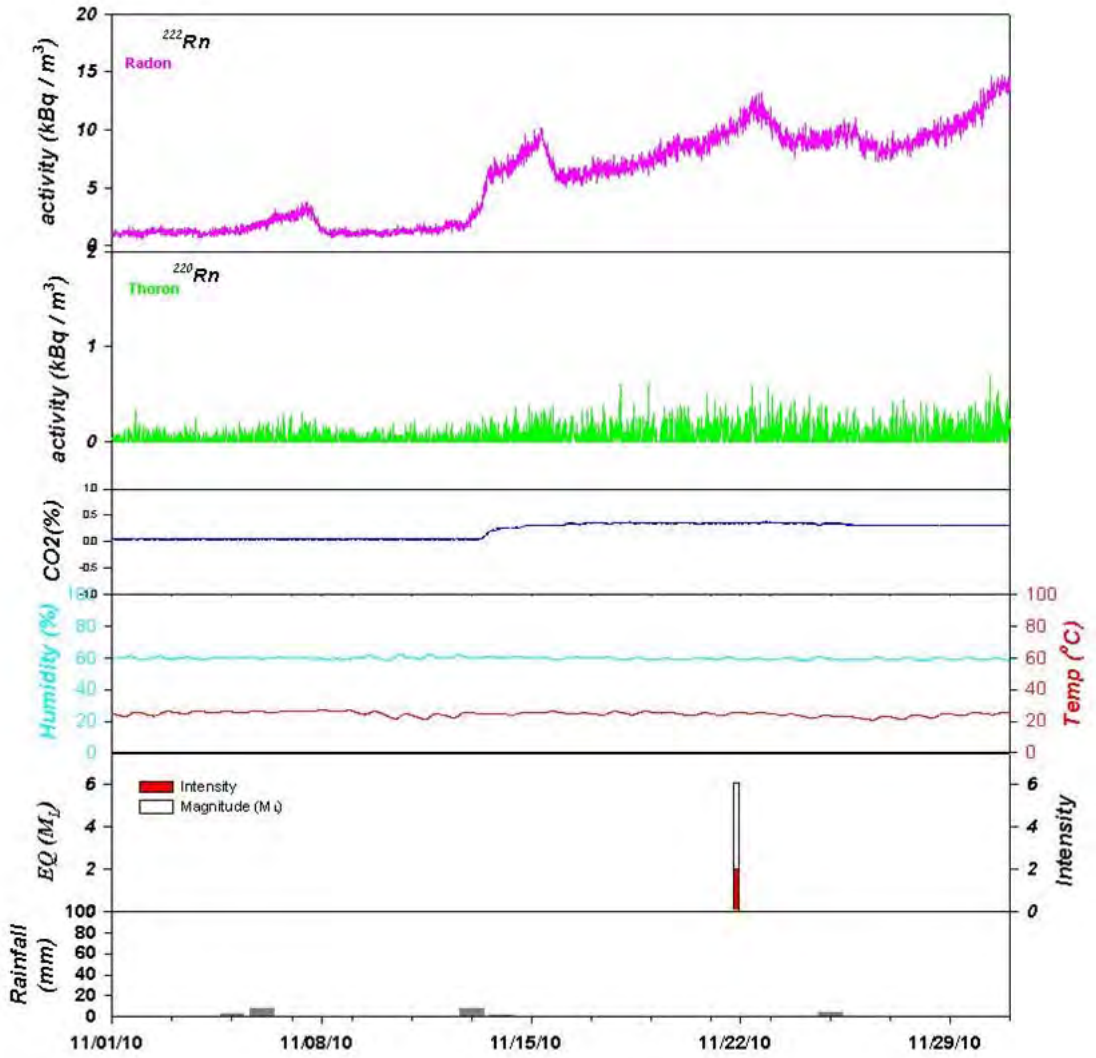
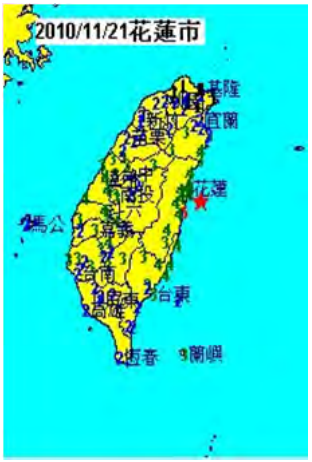


圖 4-16：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/11/01-2010/11/30）。



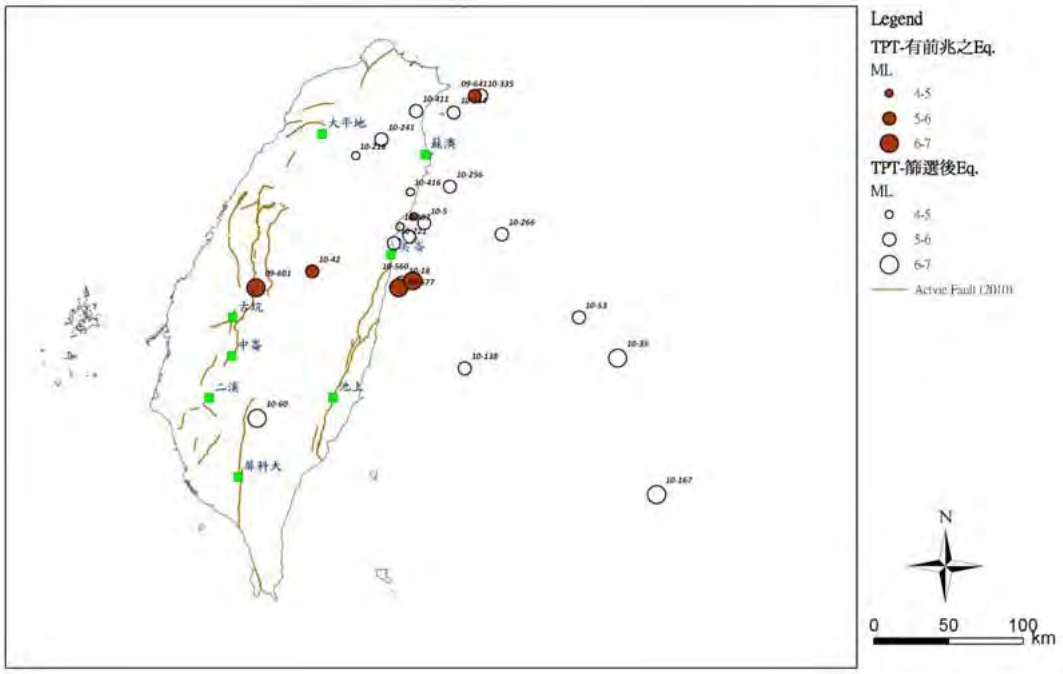


圖 4-17：大平地測站相關地震位置分布圖。

表 4-3：大平地測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30)

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
09-601	2009/11/5 17:32	6.2	24.1	南投名間地震站南偏東方 10.1 公里	2	6.22	112.12	震前反應
09-604	2009/11/5 19:34	5.7	24	南投名間地震站南偏東方 13.6 公里	2	3.29	112.63	
09-639	2009/11/14 17:06	3.9	44.1	宜蘭牛鬥地震站東南方 8.1 公里	1	x	50.61	
09-641	2009/11/15 22:47	5.5	125.4	基隆市地震站東偏南方 46.3 公里	1	1.26	105.08	震前反應
09-648	2009/11/22 01:27	5	66.9	花蓮秀林地震站東北方 22.4 公里	1	1.79	82.15	震前反應
09-651	2009/11/23 05:46	4.8	65.1	宜蘭南澳地震站北方 7.8 公里	2	3.23	65.80	
09-663	2009/12/5 12:02	4.2	35.4	宜蘭南澳地震站西偏北方 5.0 公里	1	x	63.14	
09-669	2009/12/8 00:57	3.6	9.5	宜蘭蘇澳地震站西方 13.4 公里	1	x	58.47	
09-677	2009/12/19 21:02	6.9	43.8	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里	4	29.43	114.68	震前反應
09-734	2009/12/25 21:00	4.4	14	宜蘭南澳地震站東偏南方 7.8 公里	2	3.89	75.06	
09-744	2009/12/27 21:57	4.8	71.7	宜蘭蘇澳地震站東北方 25.8 公里	1	1.44	86.21	
09-748	2009/12/29 05:10	4.9	98.3	宜蘭蘇澳地震站東偏北方 52.8 公里	1	0.84	121.26	
10-2	2010/1/2 01:34	4.9	33.7	花蓮西林地震站東方 19.2 公里	1	x	114.37	
10-5	2010/1/5 03:27	5.5	46.1	花蓮秀林地震站東偏北方 25.8 公里	2	x	90.39	無資料
10-18	2010/1/19 14:09	5.6	41	花蓮市地震站南偏東方 18.2 公里	1	1.38	112.64	無資料
10-20	2010/1/27 03:53	3.8	9.4	桃園三光地震站南偏西方 8.4 公里	3	x	23.35	
10-35	2010/2/7 14:10	6.6	15.5	花蓮市地震站東偏南方 165.7 公里	1	1.97	247.77	無異常
10-42	2010/2/12 10:42	5.2	14	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里	1	x	92.08	震前反應
10-53	2010/2/26 09:07	5.8	31.1	花蓮市地震站東偏南方 131.7 公里	1	x	210.74	無異常
10-60	2010/3/4 08:18	6.4	22.6	高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里	2	x	195.19	不確定
10-102	2010/3/18 17:01	4.7	31.5	宜蘭蘇澳地震站東南方 26.3 公里	1	1.32	92.16	
10-121	2010/3/27 07:07	5.2	55	花蓮秀林地震站東方 13.2 公里	2	3.71	89.64	幫浦故障
10-134	2010/4/9 19:49	5.1	102.8	宜蘭市地震站東偏北方 29.7 公里	2	2.51	89.03	幫浦故障
10-138	2010/4/11 12:57	5.4	10	台東成功地震站東偏北方 76.5 公里	1	x	183.28	幫浦故障
10-163	2010/4/24 19:43	3.8	67	宜蘭蘇澳地震站西偏南 9.4 公里	1	x	63.58	
10-167	2010/4/26 10:59	6.8	20	台東蘭嶼地震站東偏北方 190.4 公里	1	x	328.76	無異常
10-218	2010/6/14 05:11	4.3	16.9	桃園三光地震站南方 9.3 公里	4	27.93	26.48	受雨影響
10-221	2010/6/15 08:31	5.5	18.9	花蓮秀林地震站東南方 3.7 公里	1	2.39	87.15	受雨影響
10-241	2010/6/27 02:05	5.1	64.9	宜蘭牛鬥地震站北偏西方 6.2 公里	2	4.25	39.55	受雨影響
10-253	2010/7/7 10:10	4	60	宜蘭牛鬥地震站西南方 9.8 公里	1	x	39.08	
10-256	2010/7/9 03:43	5.3	17.9	宜蘭南澳地震站東方 25.9 公里	2	2.87	92.06	幫浦故障
10-257	2010/7/9 08:41	5.8	109.5	宜蘭蘇澳地震站東方 81.5 公里	2	4.43	151.74	
10-266	2010/7/18 21:03	5.2	15.4	宜蘭南澳地震站東偏南方 69.2 公里	1	1.14	137.24	無異常
10-319	2010/8/22 02:39	4.7	5.8	宜蘭市地震站東方 19.5 公里	1	1.85	80.17	
10-320	2010/8/22 02:47	4.8	6.6	宜蘭市地震站東偏北方 19.0 公里	2	2.99	79.41	

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-335	2010/8/30 16:45	5.2	15	基隆市地震站東偏南方 48.8 公里	1	1.62	109.00	無異常
10-355	2010/9/9 21:30	4.5	23.3	宜蘭南澳地震站東偏北方 11.7 公里	1	1.62	76.42	
10-359	2010/9/12 06:41	4.8	58.5	宜蘭南澳地震站東南方 2.6 公里	1	2.15	70.59	
10-387	2010/9/29 01:33	5	19.2	花蓮秀林地震站東北方 11.3 公里	1	2.15	80.64	無異常
10-411	2010/10/1 03:56	5.1	102.1	宜蘭市地震站北方 11.4 公里	1	0.96	64.49	無異常
10-416	2010/10/3 03:23	5	19.1	宜蘭南澳地震站南偏西方 6.9 公里	2	6.76	70.30	無異常
10-423	2010/10/4 08:13	4.4	69.2	宜蘭蘇澳地震站東北方 23.8 公里	1	x	87.05	
10-448	2010/10/12 22:23	4	16.8	宜蘭南澳地震站北偏東方 6.0 公里	1	x	67.16	
10-488	2010/10/29 23:30	4.2	17.8	宜蘭南澳地震站南方 19.6 公里	1	1.02	77.66	
10-519	2010/11/10 02:30	4.1	9.8	宜蘭蘇澳地震站西南方 7.6 公里	2	2.81	69.33	
10-560	2010/11/21 20:31	6.1	40.7	花蓮市地震站東南方 21.6 公里	2	4.79	115.19	震前反應
10-571	2010/11/26 23:13	4.5	16.8	宜蘭南澳地震站南方 21.4 公里	1	1.5	79.91	

4-3 雲林古坑土壤氣體觀測站

首先說明原嘉義梅山站由於站體地基遭雨侵蝕致土壤流失（圖 4-18 至圖 4-20），氡氣分析品質不佳，於去年（98 年）在原觀測站北方的古坑地區，仍是在九芎坑斷層帶上尋找適合做為連續觀測的替代位址，並於今年（99 年 2 月）完成遷站啟用（圖 4-21）。圖 4-22 至圖 4-25 為嘉義梅山觀測站 2009 年 11 月至 2010 年 1 月的連續觀測結果。圖 4-22 是總圖表（2009 年 11 月至 2010 年 1 月），圖 4-23 至圖 4-25 是分月圖表。圖 4-26 至圖 4-36 為遷站後的雲林古坑站 2010 年 2 月至 2010 年 11 月的連續觀測結果。圖 4-26 是總圖表（2010 年 2 月至 2010 年 11 月），圖 4-27 至圖 4-36 是分月圖表。

圖 4-23 至圖 4-25 是 2009 年 11 月至 2010 年 1 月梅山站的觀測結果。梅山站使用的是編號 169 的氡氣分析儀。大氣方面的數據由於電腦當機或是停電緣故，以致於有部分時間沒有數據紀錄。氣體分析部分，仍受到電力不穩的影響，致使 12 月 18 日至 12 月 23 日無氡氣數據紀錄。

雲林古坑站於今年（99 年）2 月正式啟用，但是由於原梅山站的氡氣分析儀電力供應異常，送回原廠檢修，因此 2 月則使用編號 112 的被動式氡氣分析儀進行氣體分析。古坑站附近區域常發生雷擊事件致使當地較常發生跳電事件，致使大氣因子方面或是氡氣儀器運作上有部分時間無法運作因此沒有數據紀錄。

圖 4-27 及圖 4-29 為 2 月至 4 月的觀測結果。二月氡氣有兩個異常區間。2 月 1 日至 2 月 11 日為一氡氣異常區間，雖然變化幅度較小（上下僅 3,000 Bq/m^3），不過仍可視為是 2 月 12 日發生於南投埔里的地震（規模 5.3，震度 2 級，深度 14 km，距離測站 62.5 km）的前兆反應時間。2 月 11 日至 2 月 26 日為另一氡氣異常區間，從 1,500 Bq/m^3 上升至高點 9,500 Bq/m^3，這段異常變化時間維持 15 天，在異常時間內有一短期下降，隨即又往上升，這可以視為是整體異常變化的一部分；2 月 26 日至 3 月 4 日氡氣維持 6 天的平穩，直到 3 月 4 日上午七點卅分古坑站停電導致儀器無法運作，八點十八分即發生高雄甲仙地震（規模 6.4，震度 4 級，深度 22.6 km，距離測站 67.26 km）。從 2 月 11 日至 3 月 4 日，氡氣歷經從低點上升、下降、再次上升至高點、再下降至近於空氣值，之後維持平穩，這長達 21 天的反應時間，看似與高雄甲仙地震有高度的相關聯，但是由於本站剛啟用不久，尚無大量紀錄資料以資佐證，此筆異常是否確實與甲仙地震有所關聯仍有討論的空間。

3 月 11 日之前由於電力不穩造成儀器分析斷斷續續，大氣因子硬體也受影響，數據闕如。本月 11 日開始本站同時有兩台氡氣分析儀進行運作，17 日開始加裝與大平地站一樣的迴圈裝置，不同的是本站還加入了主動抽氣的氡氣分析儀（編號 170），因此分析出來的氡氣值，可以明顯的看出儀器主動抽氣分析與被

動分析氡氣值的差別，長期來看差距約在 10,000 Bq/m^3。3 月 15 日至 3 月 24 日有一明顯的氡氣異常區間，在未加裝迴圈裝置前，氡氣已經處於上升階段，觀察此時期的氡氣值（藍色線條）由 10,000 Bq/m^3 上升至高點 40,000 Bq/m^3，可能與 3 月 27 日發生於花蓮秀林的地震有關（規模 5.2，震度 2 級，深度 55 km，距離測站 134 km）。

另外觀察到有兩個氡氣異常區間，分別是 3 月 24 日至 4 月 1 日及 4 月 1 日至 4 月 6 日，在這兩個異常區間裡並無任何地震發生（以氣象局公佈地震網站為主要資訊來源），或許需要其他資料作整合才能解釋這氡氣異常變化的情形。觀察圖 4-24，4 月 6 日至 4 月 11 日有一氡氣異常區間，尤其在 4 月 10 日至 4 月 11 日氡氣急速下降，差距在 20,000 Bq/m^3，這期間並無人為因素的干擾，雨量也似乎對氡氣沒有影響，若不考慮震央到測站距離的因素，應與 4 月 11 日發生於台東成功外海的地震有關（規模 5.4，震度 2 級，深度 10 km，距離測站 158 km）。4 月 13 日至 4 月 19 日肇因於廠商維修冷氣切斷電源，維修完畢後沒有啟動儀器，以致於這段時間氡氣分析儀沒有數據紀錄。

圖 4-30 及圖 4-36 為 5 月至 11 月的觀測結果。其中 5 月 19 日至 5 月 24 日及 5 月 27 日至 6 月 7 日皆肇因於電力中斷，導致氡氣分析儀無法連續有效的運作。之後六月中的降雨影響，用於逸氣來源的儲氣槽內積水，加上站體附近土質因雨鬆軟，使得站體有向左傾斜現象（圖 4-37）。為防止站體繼續傾斜，於站體四周土石上先作了清理並於表土上覆蓋大量水泥（圖 4-38），用以防止雨水直接下到土石上進而滲透至地底下，惟儲氣槽積水未退，無法提供主動式分析儀有效的運作。由於儲氣槽積水，7 月 19 日拿掉迴圈裝置，將被動式氡氣分析儀直接放入另一 PVC 管內（深 50 公分），此管深度相較用於儲氣槽的 PVC 管（深 250 公分）深度為淺，因此沒有積水問題，從 9 月 1 日起開始為有效的運作，目前觀察的結果是呈現每日變化。8 月 13 日於站體外面打一兩公尺深的鐵桿用以暫時替代逸氣來源，惟分析出來的數據還是會有外部因素的干擾而不是有效的氡氣值。因此建議未來在附近區域的斷層帶上，另尋一合適的地點進行遷站。

圖 4-39 為古坑測站相關地震位置分布圖。表 4-4 為古坑測站相關地震列表。自 2009 年 11 月 01 日至 2010 年 11 月 30 日共有 88 起地震被偵測到，由圖可看出與古坑測站相關的地震分布位置多集中在中南部及東部花蓮外海等處。



圖 4-18：嘉義梅山站體外觀。



圖 4-19：嘉義梅山站左後側地基掏空。



圖 4-20：嘉義梅山站左後側地基掏空近拍照。



圖 4-21：雲林古坑站體外觀。

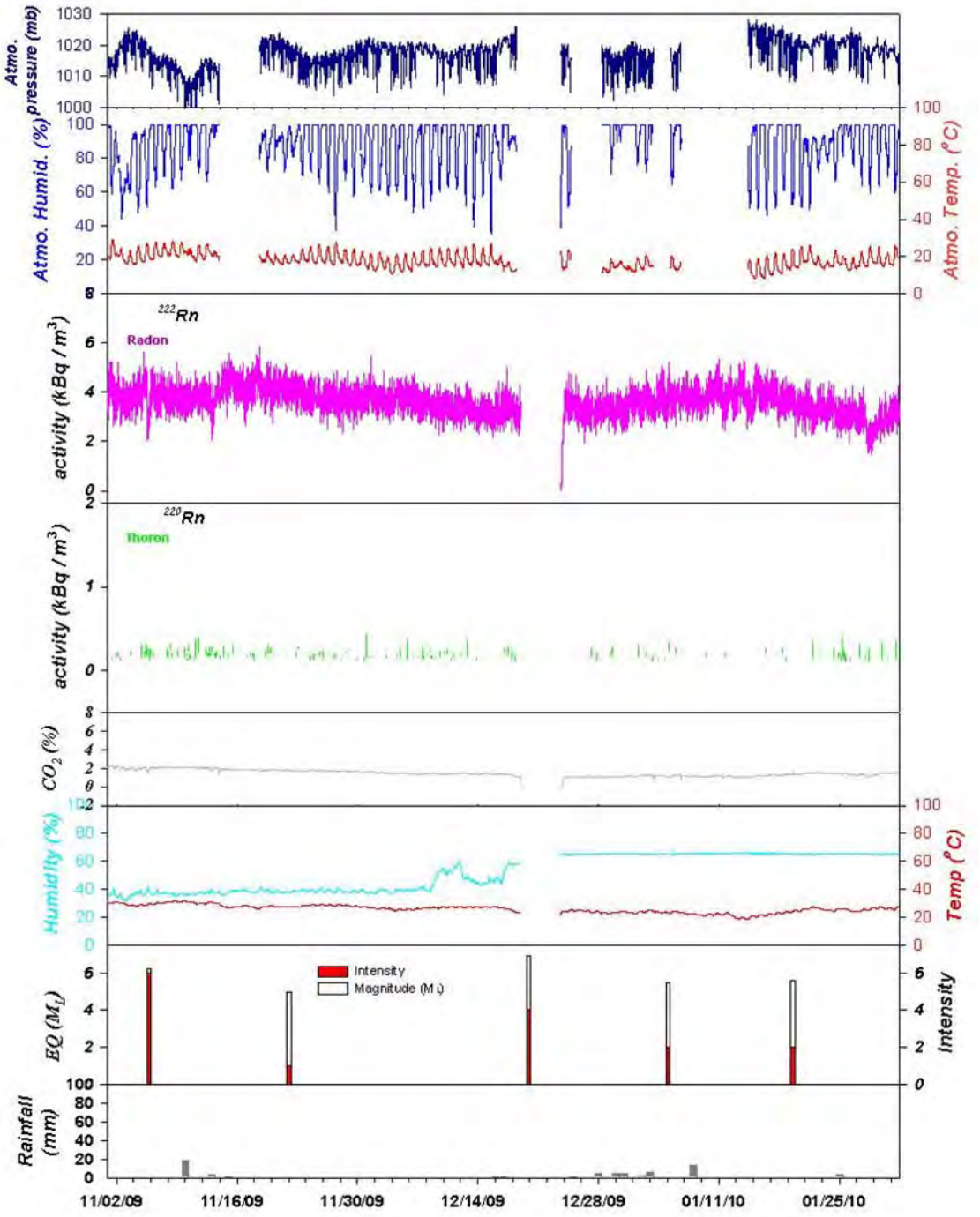


圖 4-22：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2009/11/01- 2010/01/31）。

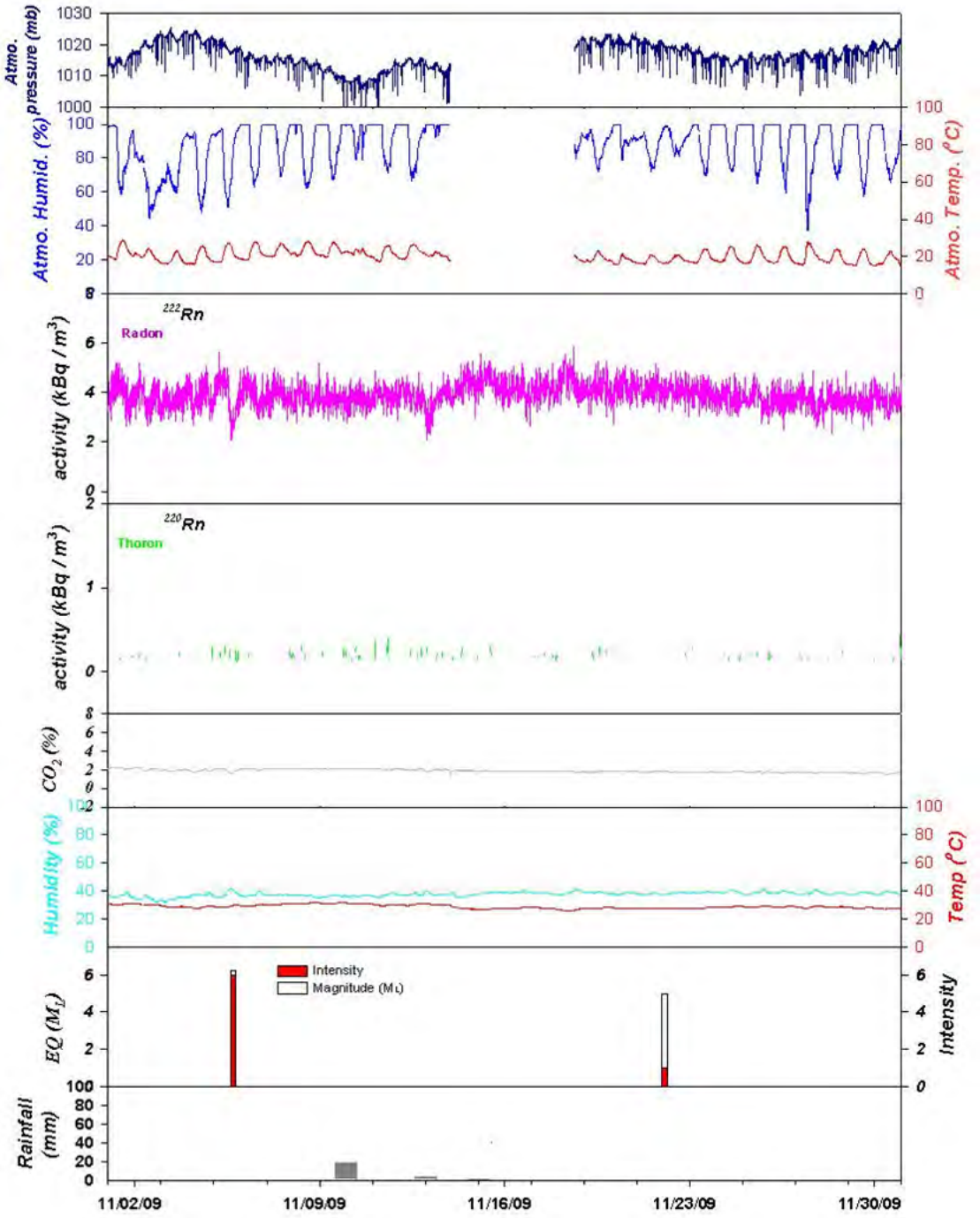


圖 4-23：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2009/11/01- 2009/11/30）。





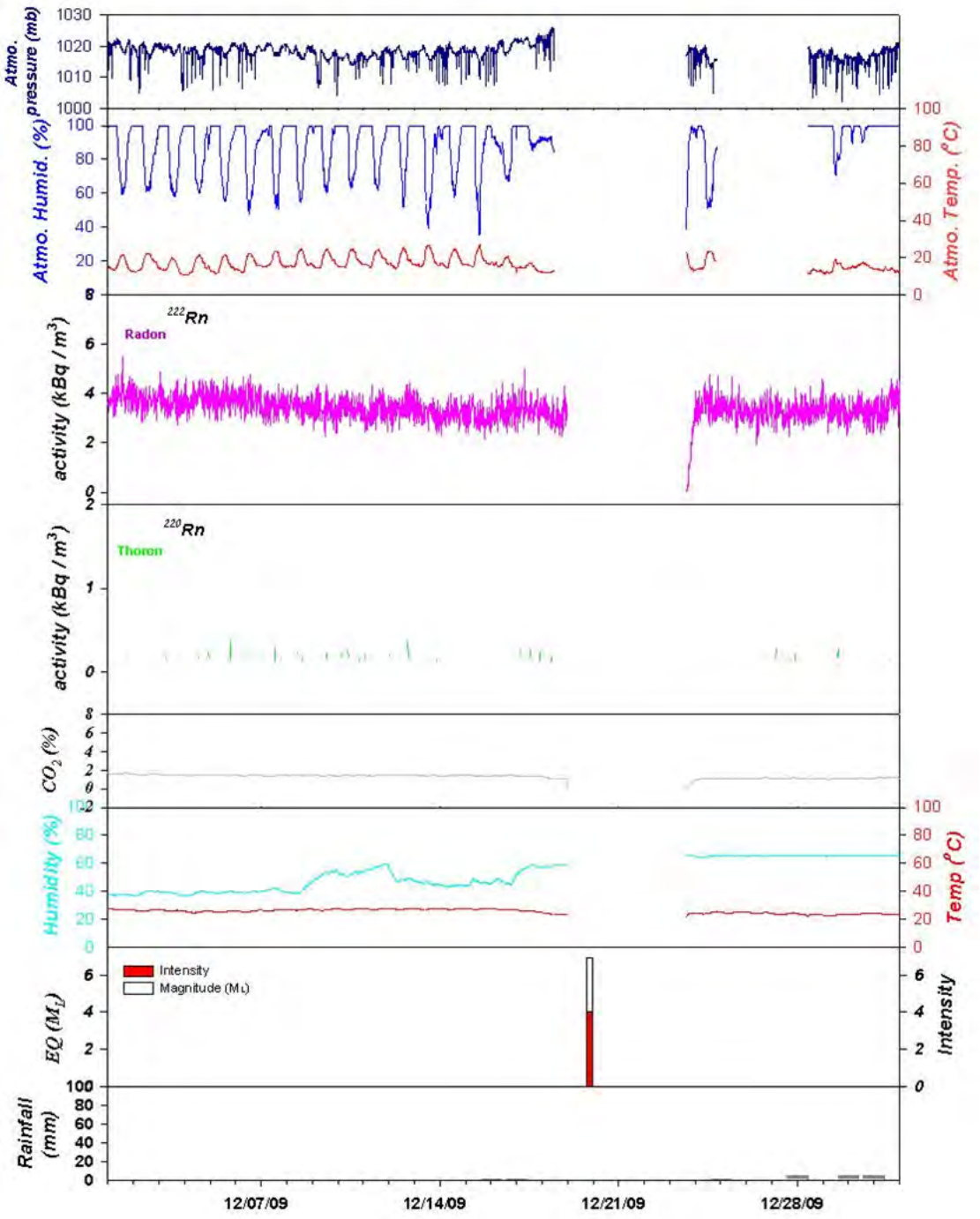


圖 4-24：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2009/12/01-2009/12/31）。



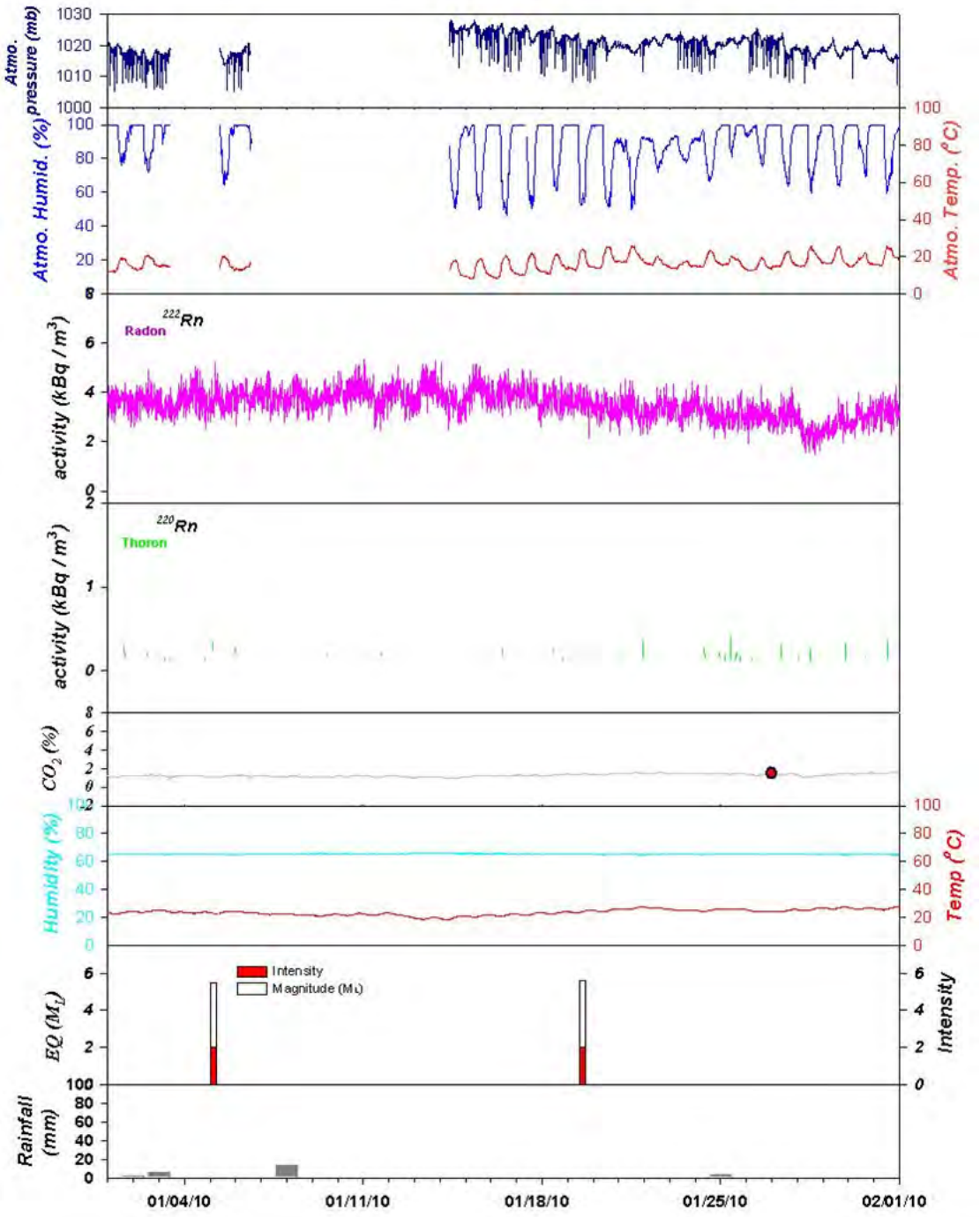


圖 4-25：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2010/01/01-2010/01/31）。





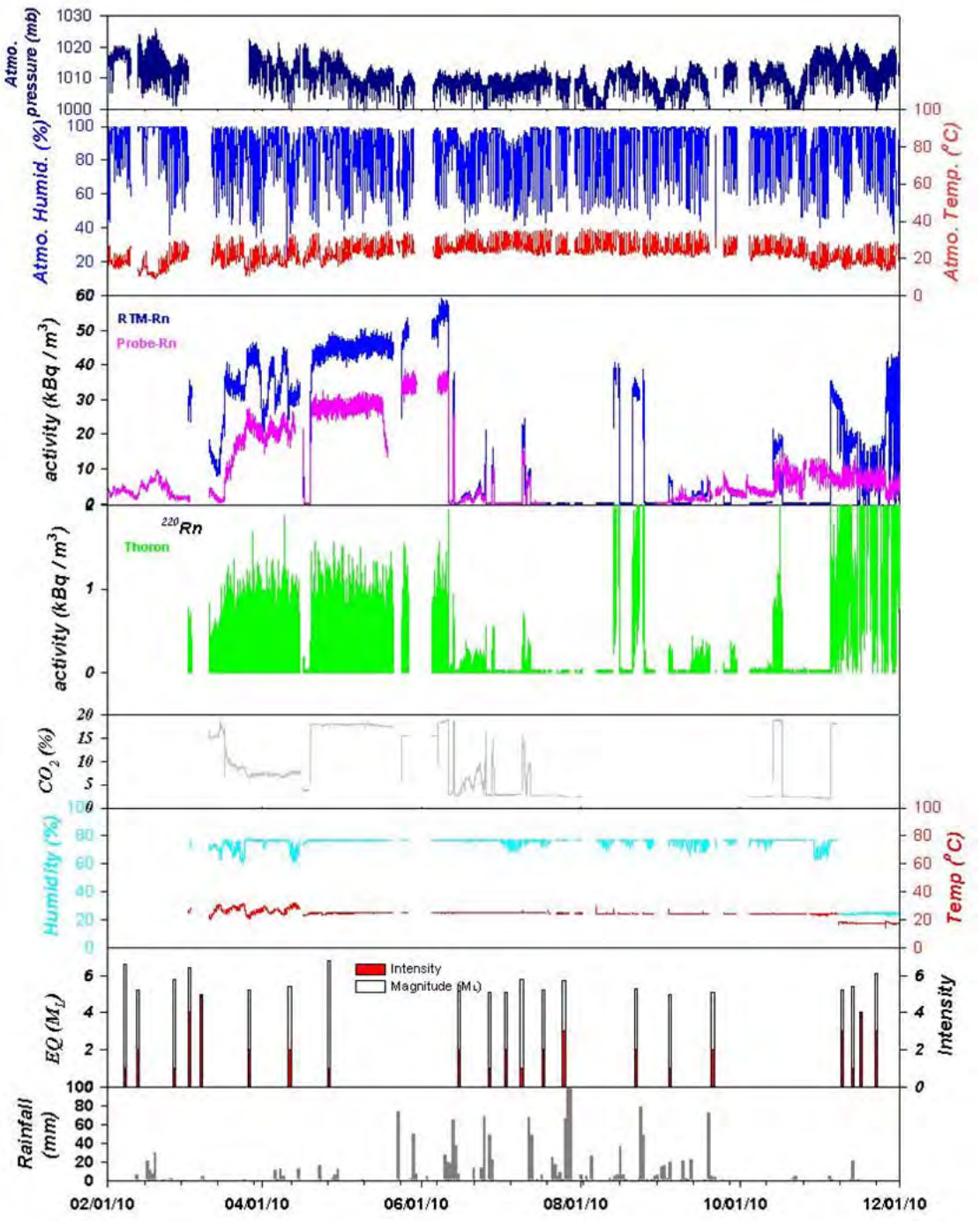


圖 4-26：雲林古坑土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/02/01- 2010/11/30）。

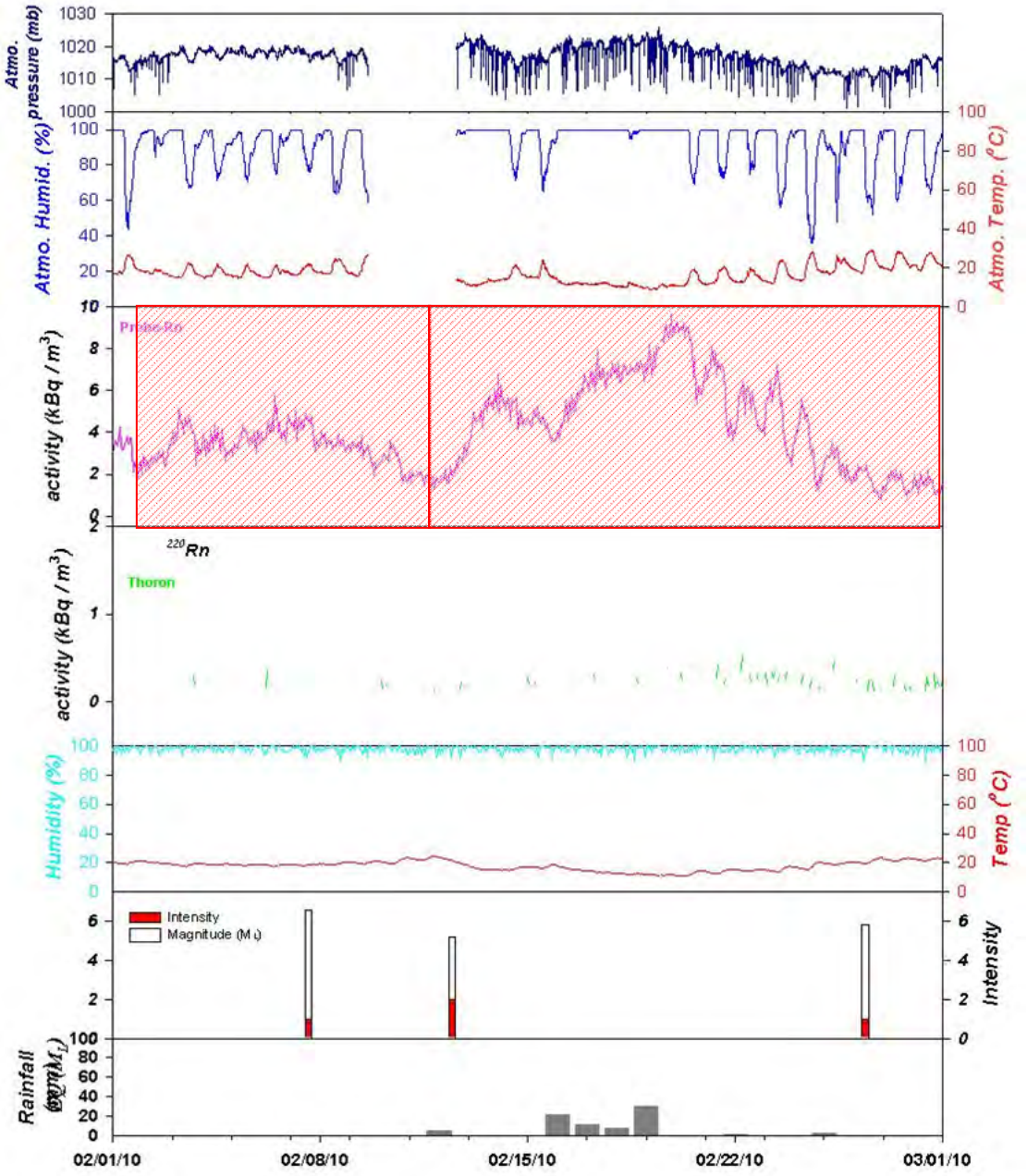
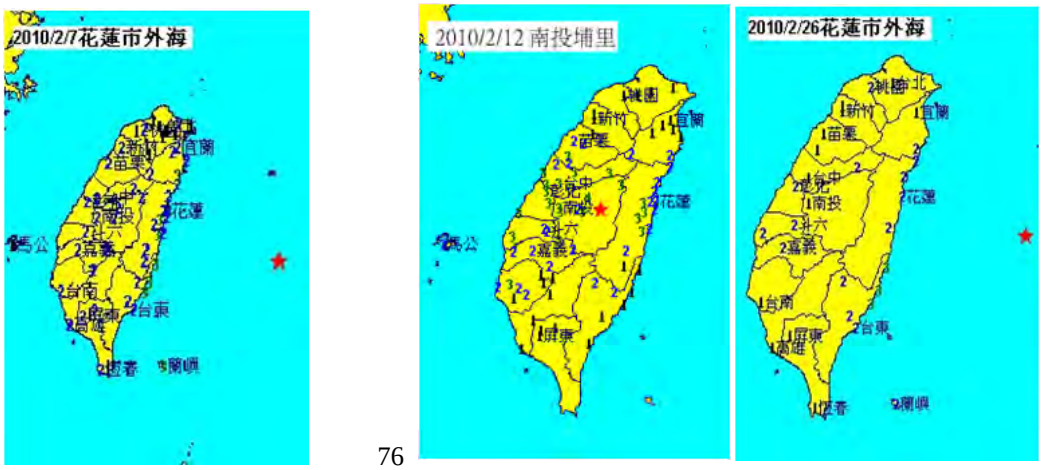


圖 4-27：雲林古坑土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間（2010/02/01-2010/02/28）。



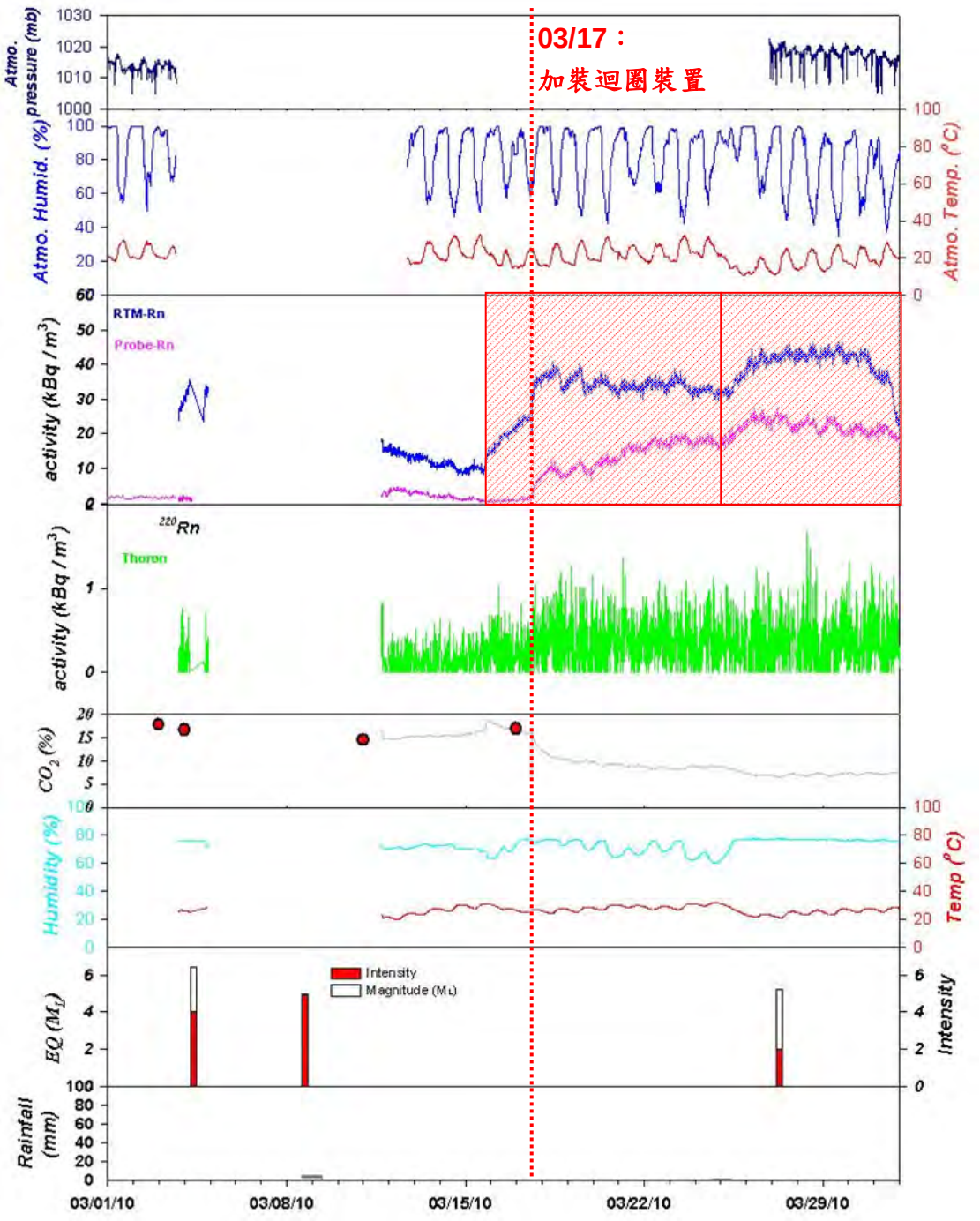
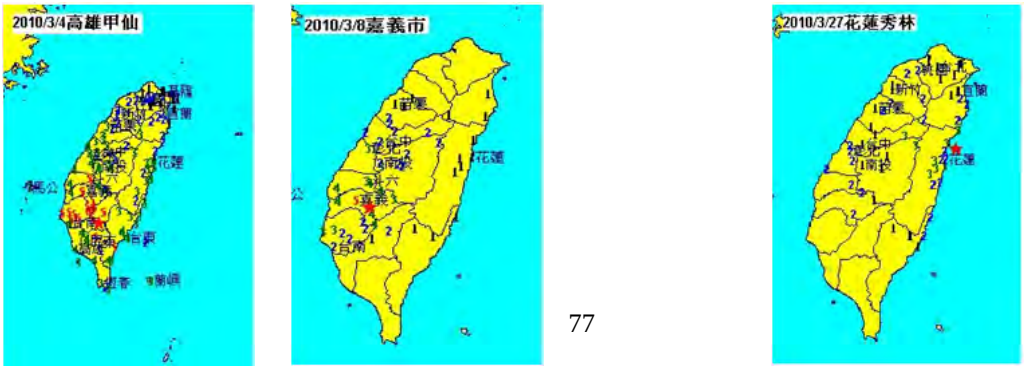


圖 4-28：雲林古坑土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅斜線框表示氡氣異常區間（2010/03/01- 2010/03/31）。



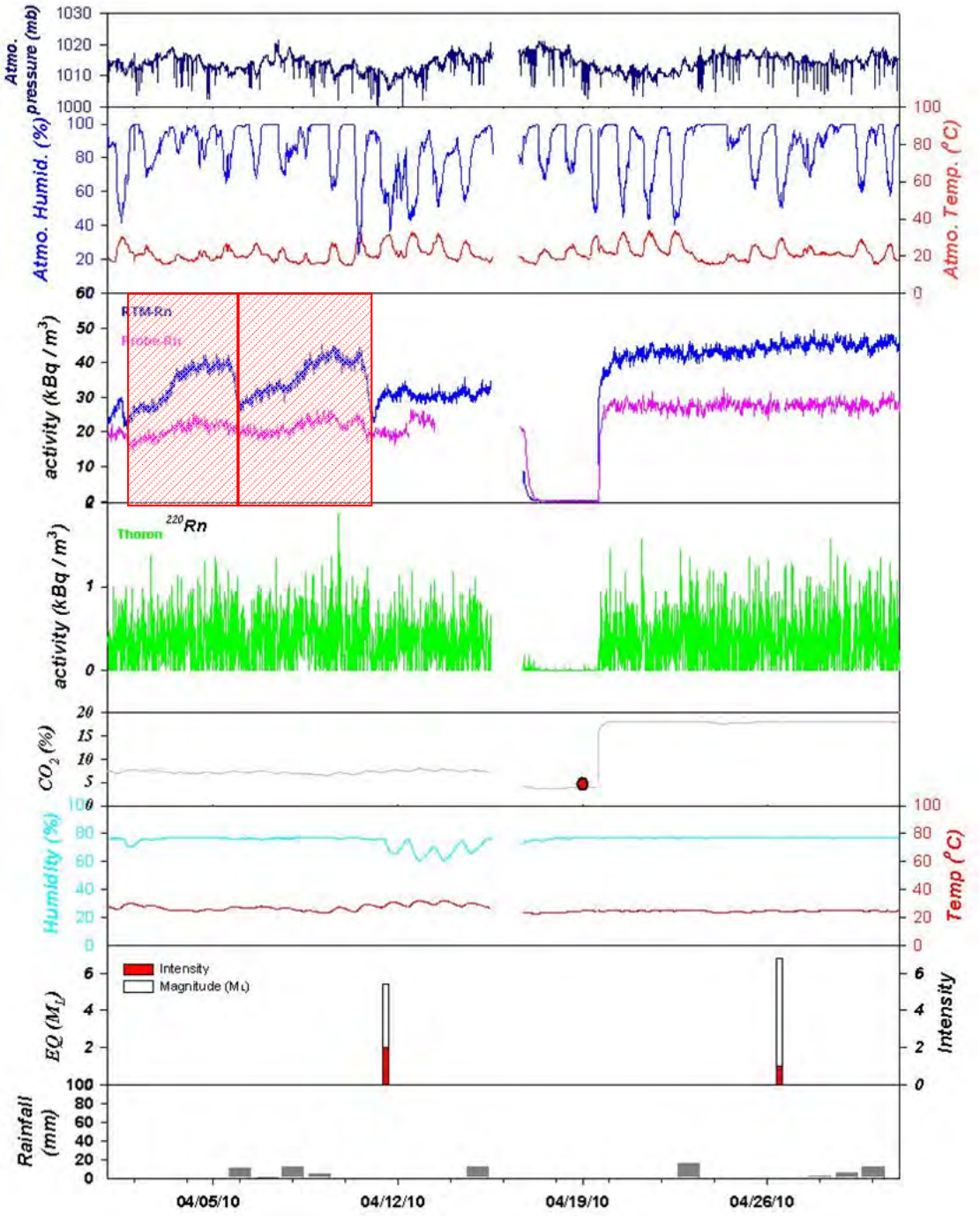


圖 4-29：雲林古坑土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅斜線框表示氡氣異常區間（2010/04/01- 2010/04/30）。





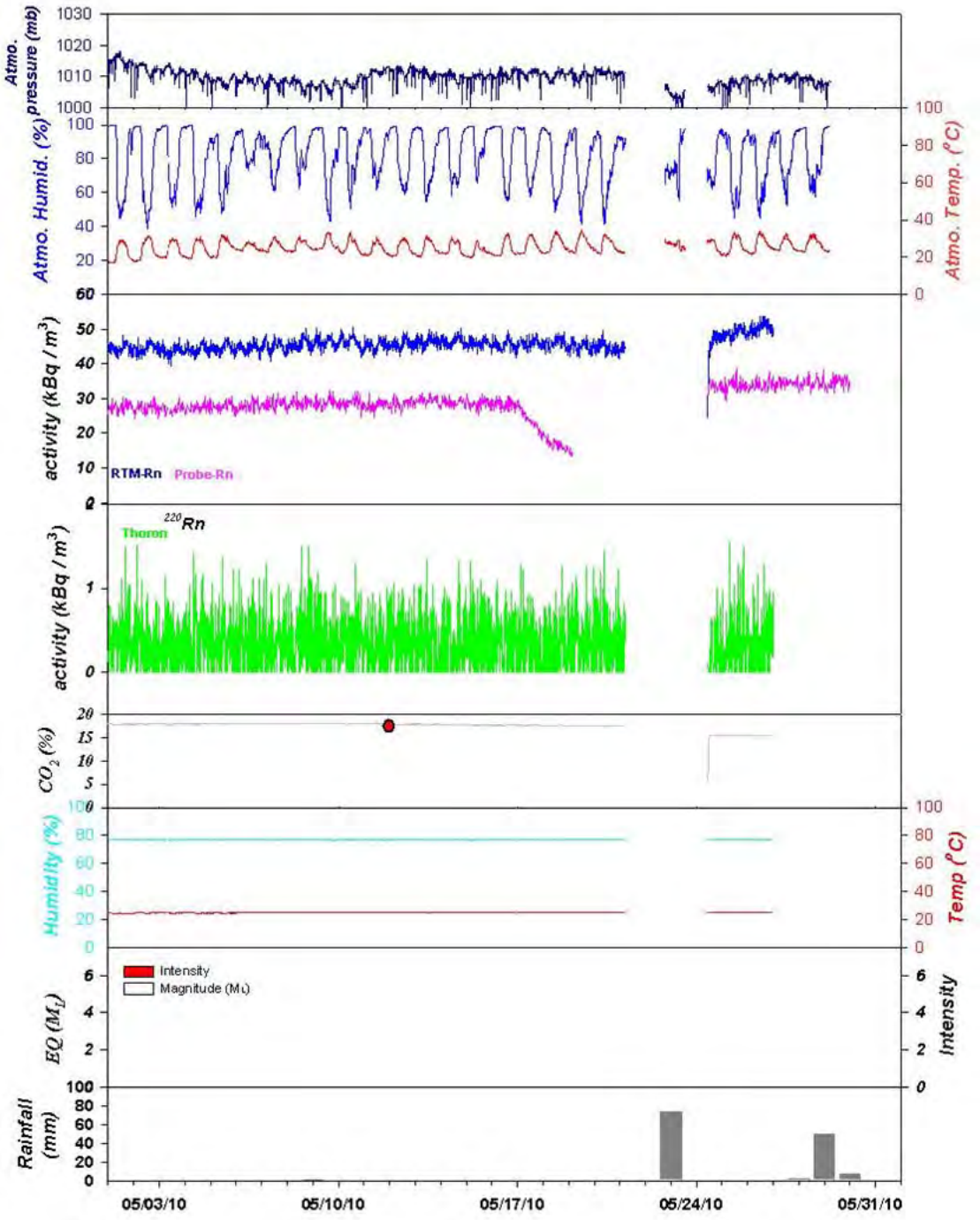


圖 4-30：雲林古坑土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2010/05/01- 2010/05/31）。

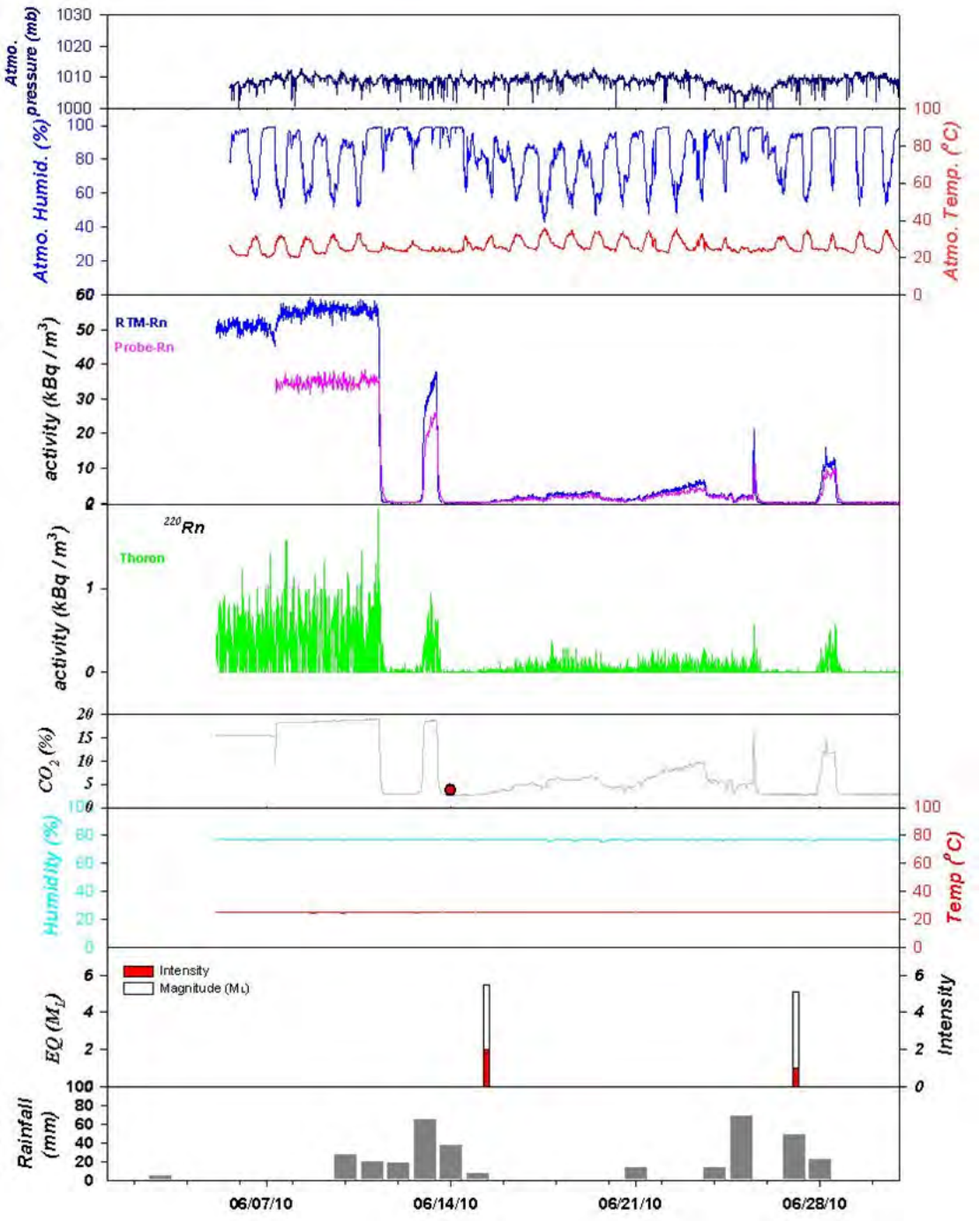
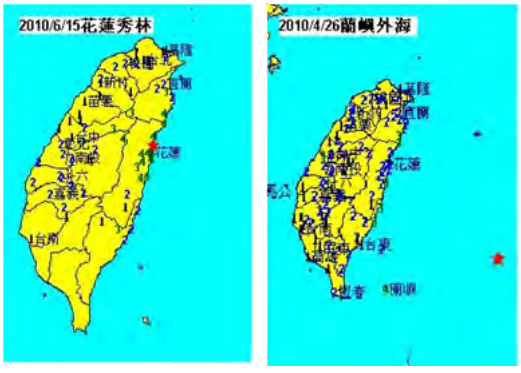


圖 4-31：雲林古坑土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2010/06/01- 2010/06/30）。



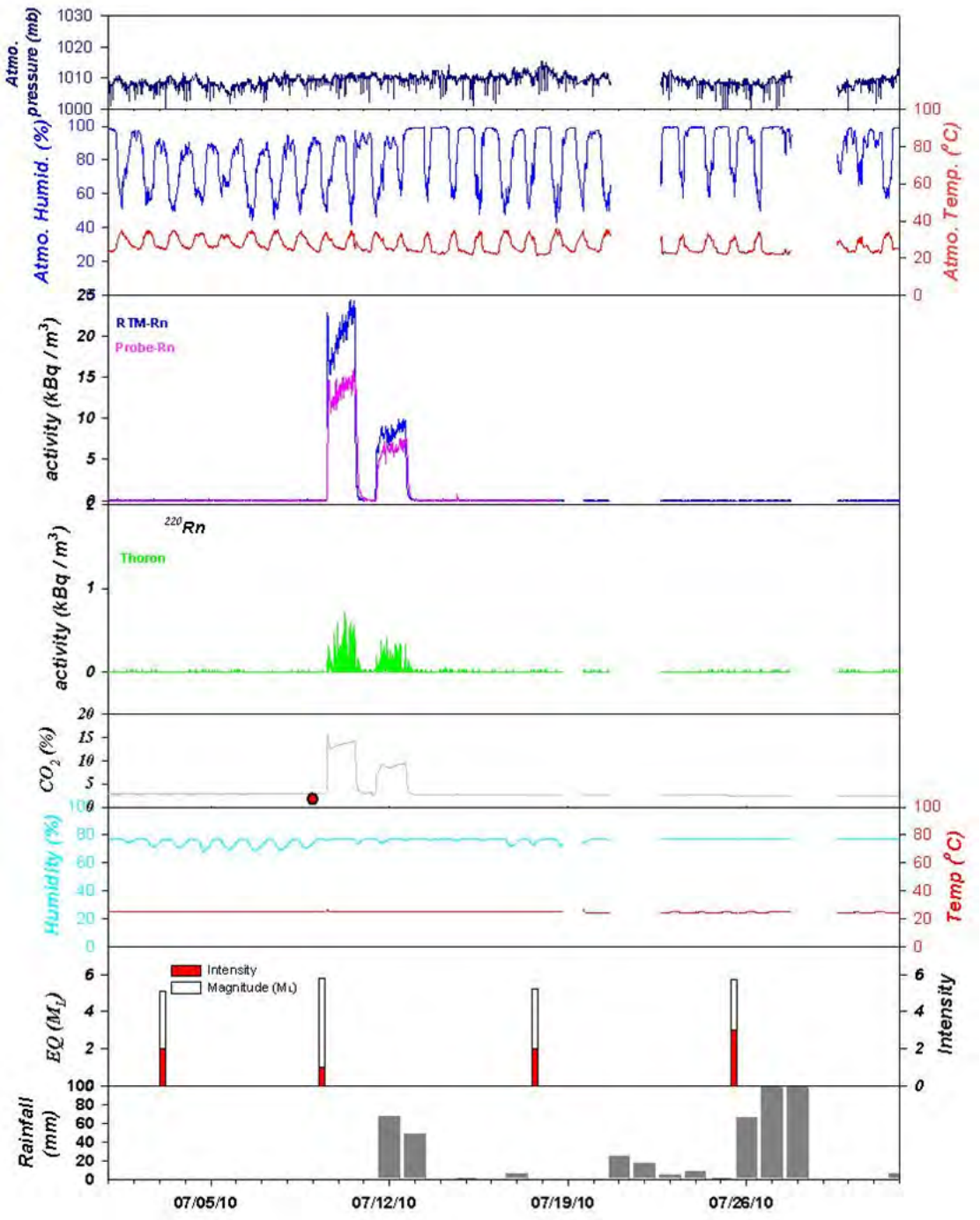
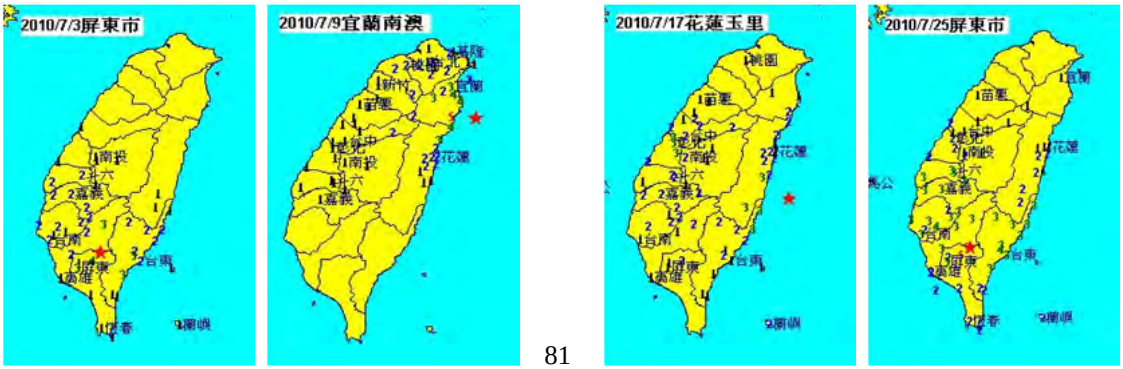


圖 4-32：雲林古坑土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2010/07/01- 2010/07/31）。



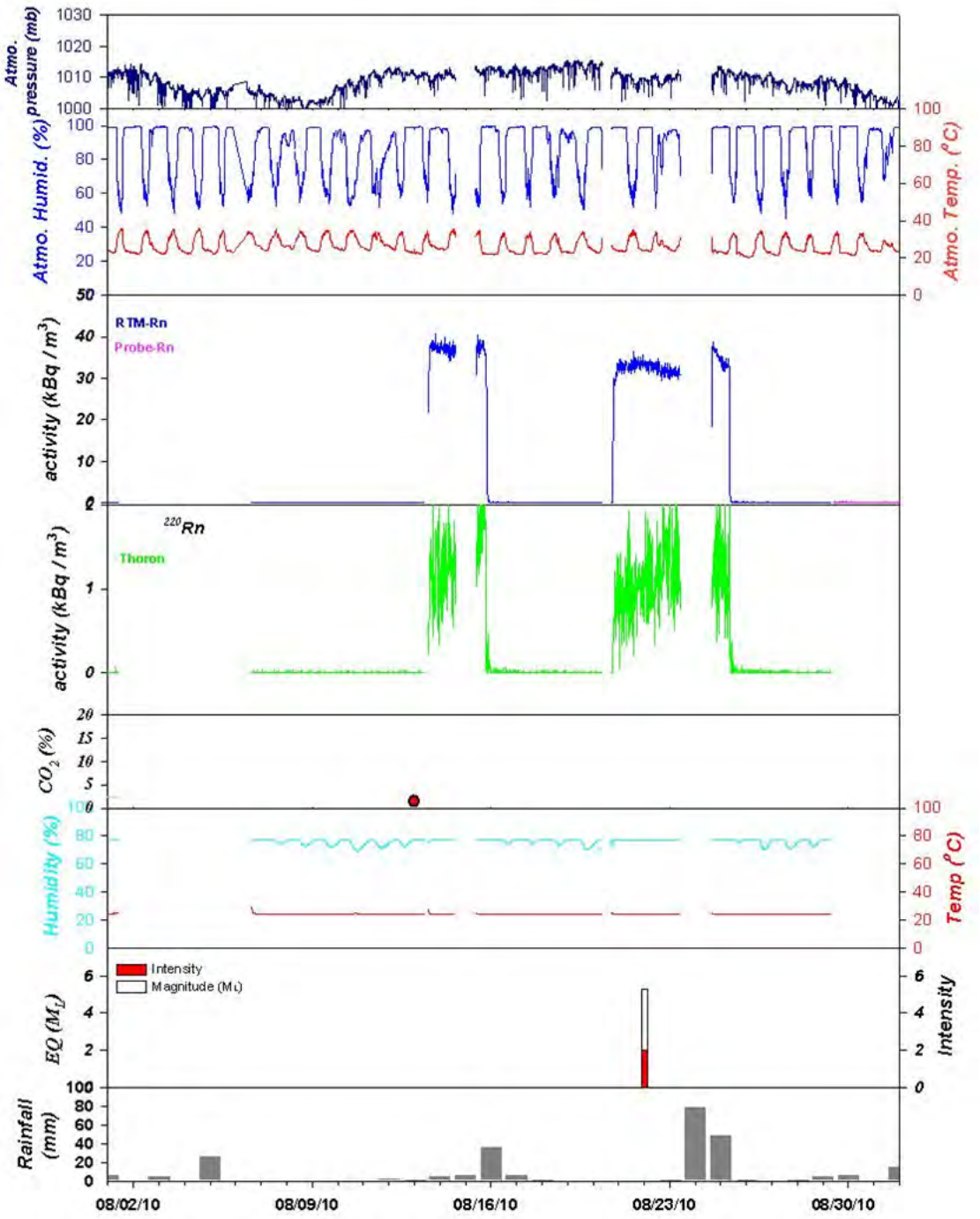


圖 4-33：雲林古坑土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2010/08/01- 2010/08/31）。



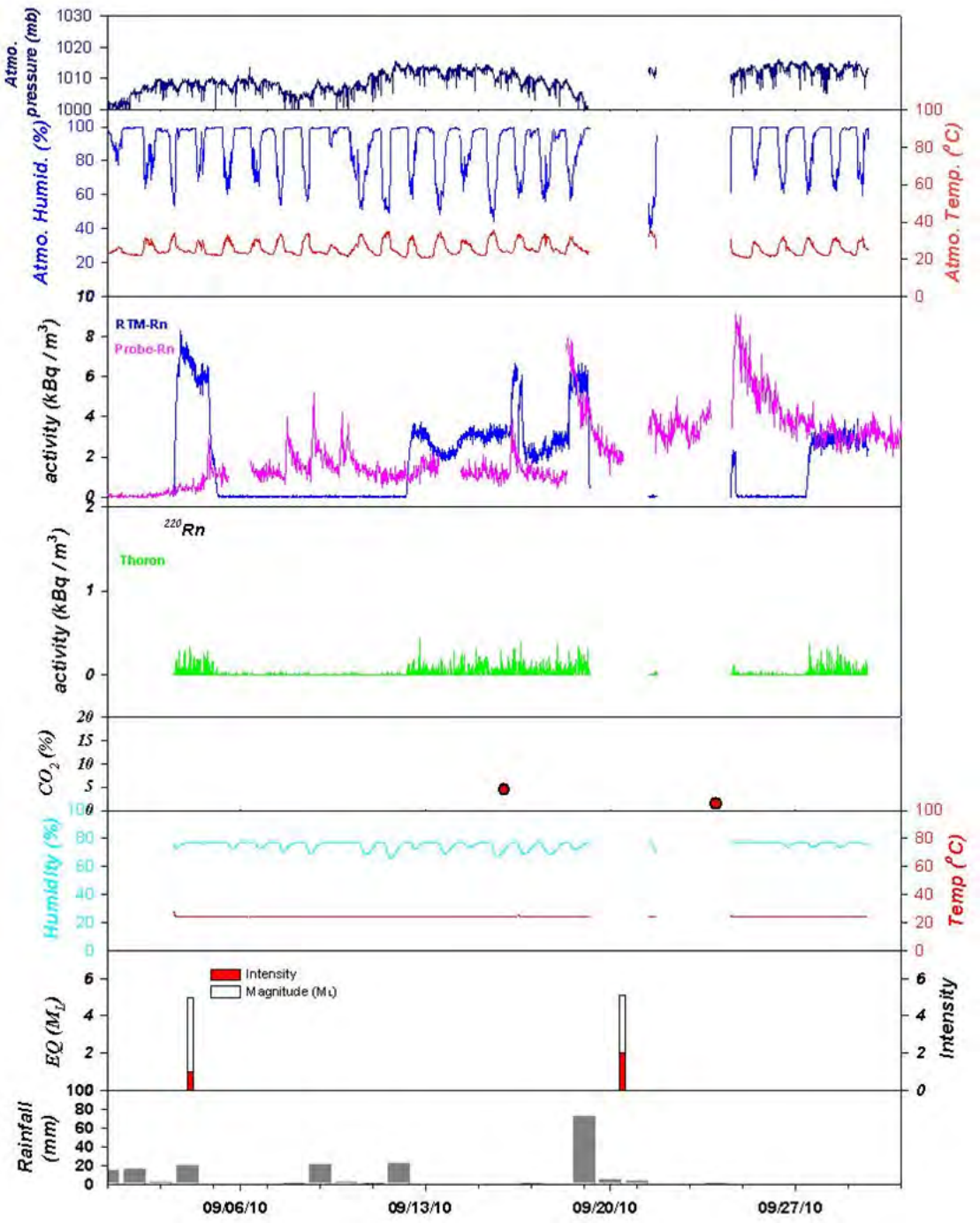
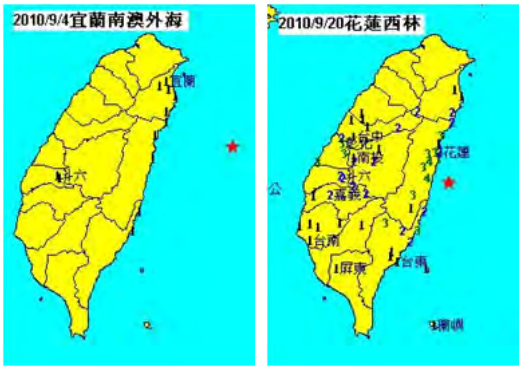


圖 4-34：雲林古坑土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2010/09/01- 2010/09/30）。



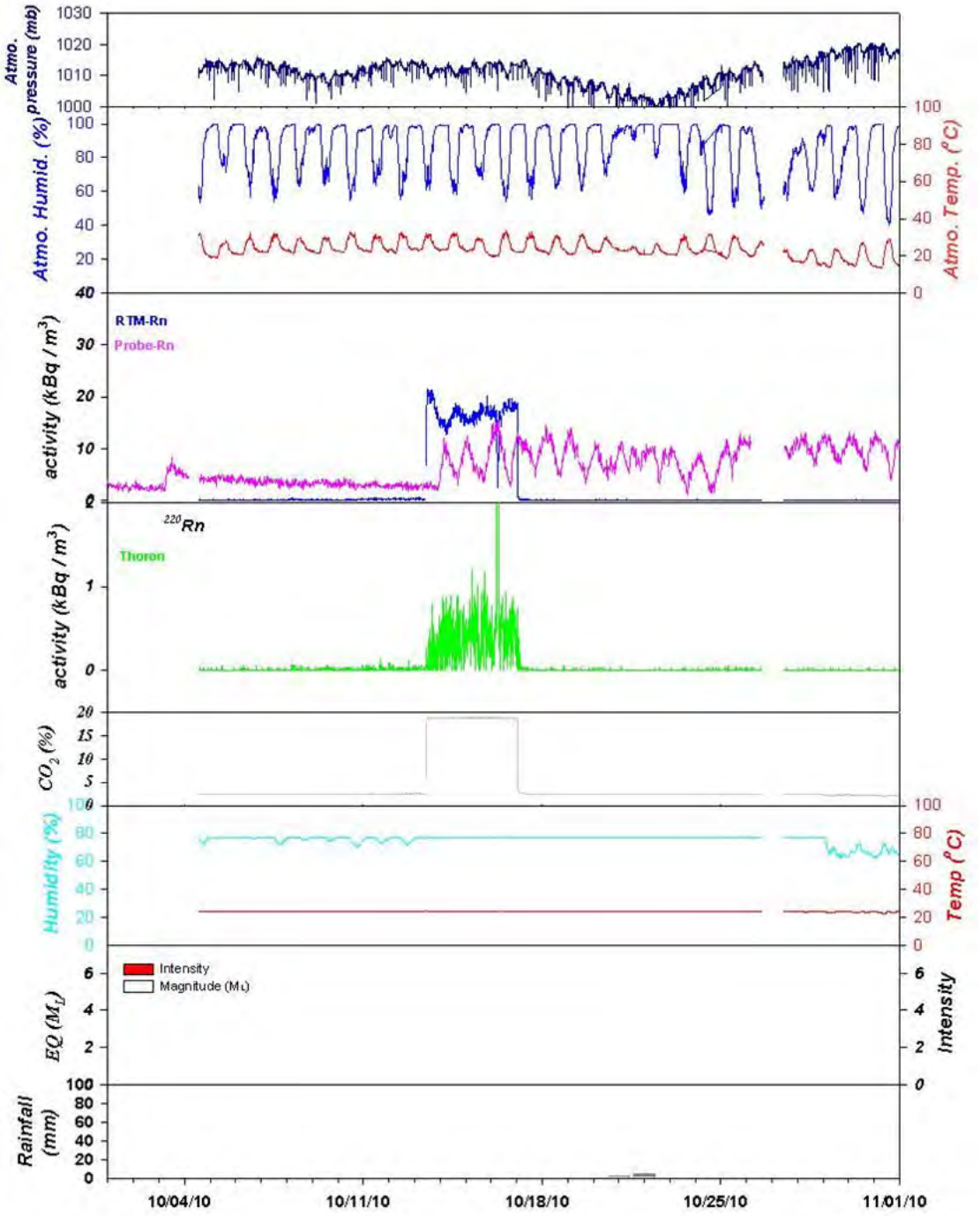


圖 4-35：雲林古坑土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/10/01- 2010/10/31）。

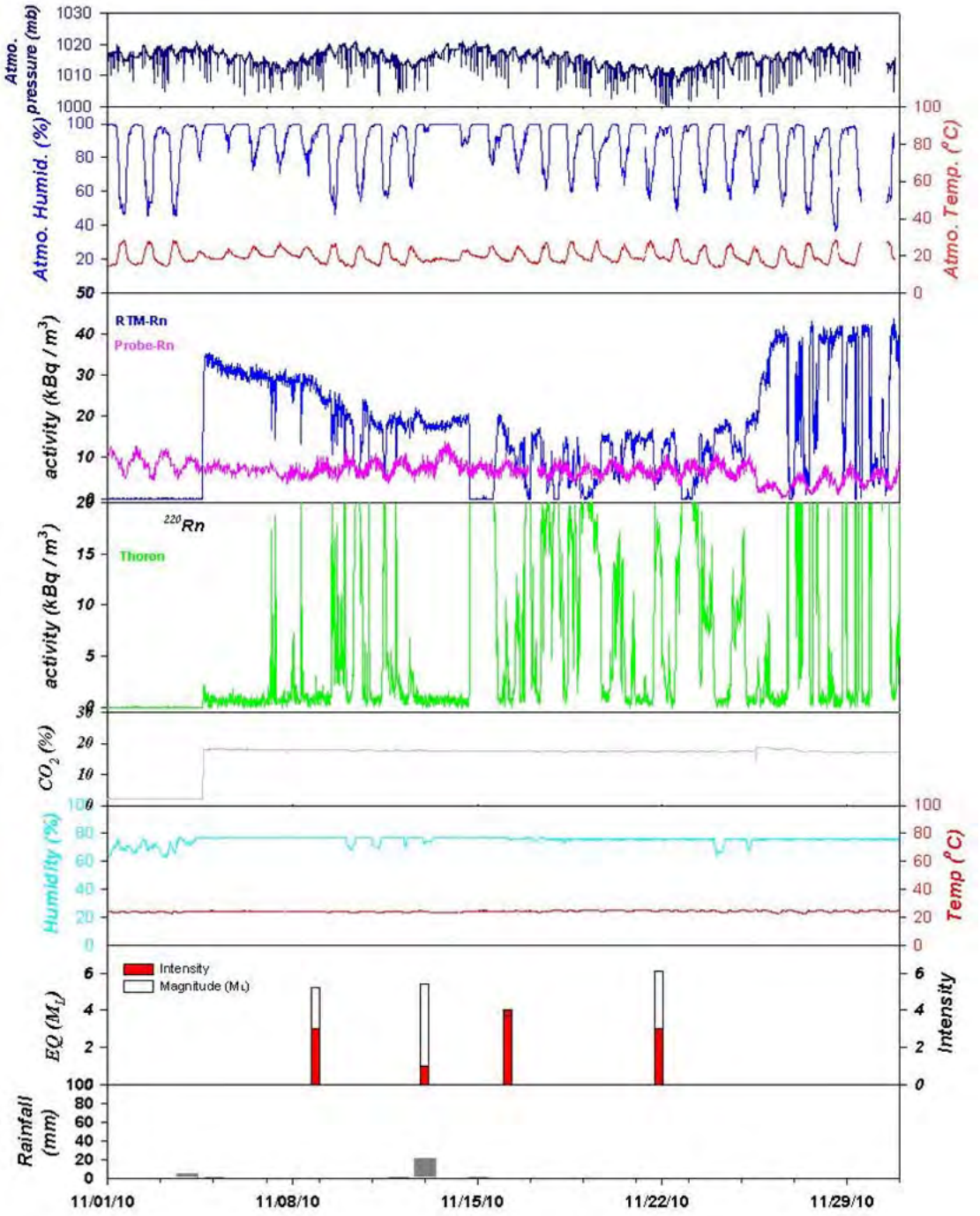


圖 4-36：雲林古坑土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；（2010/11/01- 2010/11/30）。

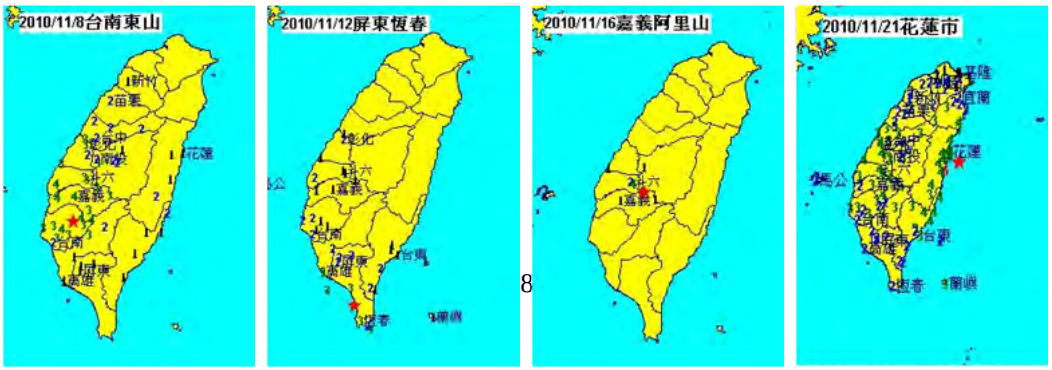




圖 4-37：雲林古坑站站體呈左傾。



圖 4-38：雲林古坑站鋪水泥。

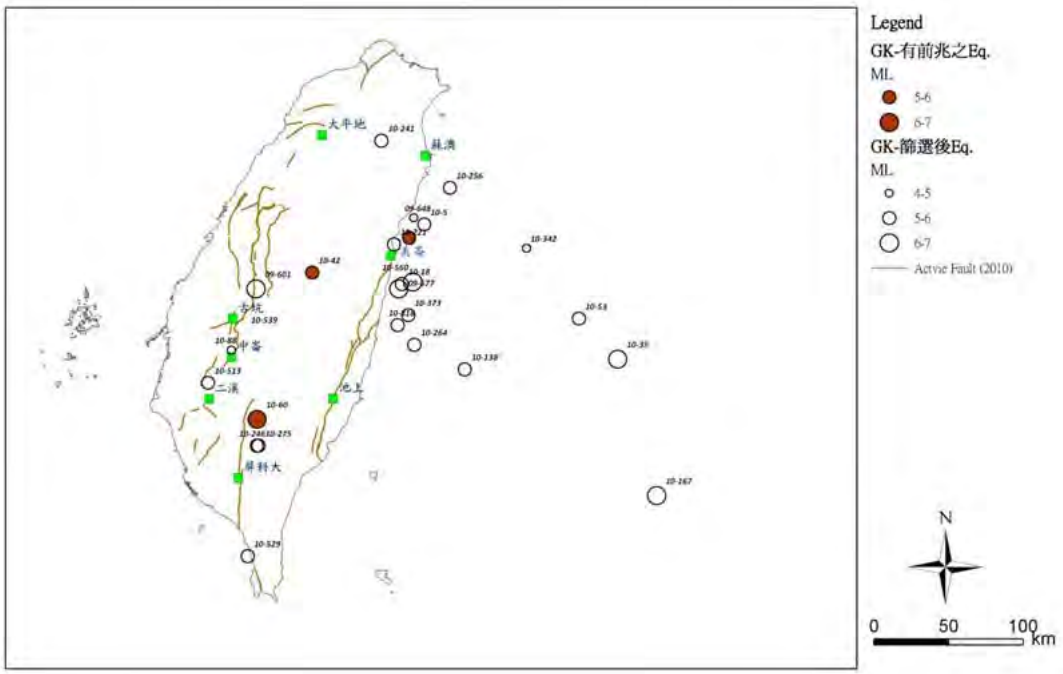


圖 4-39：古坑測站相關地震位置分布圖。

表 4-4：古坑測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30) 。

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
09-601	2009/11/5 17:32	6.2	24.1	南投名間地震站南偏東方 10.1 公里	5	99.2	26.88	無異常
09-602	2009/11/5 17:38	4.6	24.5	南投名間地震站南偏東方 9.7 公里	2	5.92	26.32	
09-604	2009/11/5 19:34	5.7	24	南投名間地震站南偏東方 13.6 公里	4	36.22	27.76	
09-605	2009/11/5 19:39	3.1	22.6	南投名間地震站南偏東方 10.8 公里	1	x	28.09	
09-606	2009/11/5 20:04	2.9	22.3	南投名間地震站南偏東方 10.4 公里	1	x	27.47	
09-608	2009/11/5 21:13	3.2	22.5	南投名間地震站南偏東方 12.9 公里	1	x	27.06	
09-611	2009/11/5 23:35	3.5	22.8	南投名間地震站南偏東方 14.7 公里	1	x	26.98	
09-612	2009/11/6 00:44	2.6	21.9	南投名間地震站南偏東方 11.4 公里	1	x	26.59	
09-613	2009/11/6 01:05	3.3	22.6	南投名間地震站南偏東方 14.2 公里	1	x	26.98	
09-614	2009/11/6 01:08	3	23.1	南投名間地震站南偏東方 14.8 公里	1	x	26.98	
09-615	2009/11/6 01:34	3.6	22.8	南投名間地震站南偏東方 12.4 公里	2	3.47	27.89	
09-616	2009/11/6 01:52	3.4	22.4	南投名間地震站南偏東方 13.8 公里	2	x	27.76	
09-618	2009/11/6 08:55	3.6	23.6	南投名間地震站南偏東方 11.2 公里	2	2.93	25.98	
09-619	2009/11/6 11:23	3.6	22.3	南投名間地震站南偏東方 14.3 公里	2	4.97	26.98	
09-620	2009/11/6 14:54	3	22.8	南投名間地震站南偏東方 15.5 公里	1	x	26.98	
09-622	2009/11/8 00:45	3.7	23.7	南投名間地震站南偏東方 12.6 公里	2	2.93	27.89	
09-626	2009/11/8 19:09	4.7	43.5	花蓮市地震站東偏南方 8.4 公里	1	1.91	120.75	
09-634	2009/11/12 14:05	2.8	16.3	斗六市地震站東偏南方 19.0 公里	2	x	12.67	
09-635	2009/11/12 14:19	3.3	24.8	南投名間地震站南偏東方 9.7 公里	2	3.42	26.88	
09-644	2009/11/17 01:49	4	10.4	嘉義市地震站東南方 11.6 公里	2	3.5	19.77	
09-648	2009/11/22 01:27	5	66.9	花蓮秀林地震站東北方 22.4 公里	1	2.33	139.63	無異常
09-653	2009/11/24 18:56	3	22.6	南投名間地震站東南方 22.6 公里	1	x	31.04	
09-672	2009/12/12 04:46	4.6	10.5	斗六市地震站東南方 28.7 公里	2	3.42	17.67	
09-677	2009/12/19 21:02	6.9	43.8	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里	4	65.9	113.20	無資料
09-679	2009/12/19 21:15	4.6	36.3	花蓮西林地震站東方 17.7 公里	1	0.96	108.21	
09-688	2009/12/19 22:13	4.8	40.6	花蓮市地震站南偏東方 18.4 公里	2	2.87	113.88	
09-710	2009/12/20 10:12	4.7	38.6	花蓮市地震站南偏東方 17.9 公里	1	1.74	113.88	
09-720	2009/12/20 20:06	4.2	38.7	花蓮市地震站南偏東方 15.8 公里	1	1.44	113.40	
09-752	2009/12/31 13:38	4.6	33.3	花蓮西林地震站東方 18.4 公里	1	0.84	108.99	
10-2	2010/1/2 01:34	4.9	33.7	花蓮西林地震站東方 19.2 公里	1	1.62	109.99	
10-4	2010/1/4 22:21	3.5	9.6	嘉義市地震站東方 21.4 公里	2	5.25	9.74	
10-5	2010/1/5 03:27	5.5	46.1	花蓮秀林地震站東偏北方 25.8 公里	2	3.16	143.79	無異常
10-7	2010/1/8 09:23	3.6	28.5	花蓮西林地震站西方 36.5 公里	2	2.57	57.83	
10-8	2010/1/9 07:40	4.4	34.2	屏東市地震站東南方 11.0 公里	1	1.2	108.37	
10-18	2010/1/19 14:09	5.6	41	花蓮市地震站南偏東方 18.2 公里	2	2.83	115.86	無異常

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-35	2010/2/7 14:10	6.6	15.5	花蓮市地震站東偏南方 165.7 公里	1	1.82	258.45	距離過遠
10-36	2010/2/8 11:25	4.7	24.1	花蓮西林地震站東方 18.7 公里	2	3.05	109.43	
10-42	2010/2/12 10:42	5.2	14	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里	2	4.56	62.48	震前反應
10-45	2010/2/15 08:52	3.6	27.2	台中德基地震站西南方 27.4 公里	2	x	67.51	
10-53	2010/2/26 09:07	5.8	31.1	花蓮市地震站東偏南方 131.7 公里	1	x	231.36	距離過遠
10-60	2010/3/4 08:18	6.4	22.6	高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里	4	36.01	67.26	震前反應
10-61	2010/3/4 08:24	4.7	20.2	高雄甲仙地震站南偏東方 10.6 公里	2	3.05	65.64	
10-78	2010/3/4 16:07	4.4	21.6	高雄甲仙地震站東南方 11.8 公里	1	2.03	65.89	
10-79	2010/3/4 16:16	5.7	16.6	高雄甲仙地震站東南方 17.1 公里	2	5.05	70.74	
10-80	2010/3/4 16:27	4.3	18.9	高雄甲仙地震站東南方 16.6 公里	1	1.2	69.84	
10-81	2010/3/4 17:47	4.3	20.5	高雄甲仙地震站南偏東方 14.1 公里	1	1.38	69.05	
10-84	2010/3/5 00:05	4	20	高雄甲仙地震站東南方 6.7 公里	1	0.96	62.23	
10-88	2010/3/8 17:26	4.9	14.3	嘉義市地震站東偏南方 15.9 公里	5	87.69	18.83	無資料
10-92	2010/3/9 13:52	4.4	10.7	台中德基地震站南偏西方 35.7 公里	1	1.2	62.24	
10-98	2010/3/13 17:15	3.7	25.5	高雄桃源地震站南偏西方 12.9 公里	2	x	61.65	
10-121	2010/3/27 07:07	5.2	55	花蓮秀林地震站東方 13.2 公里	2	3.41	130.79	震前反應
10-138	2010/4/11 12:57	5.4	10	台東成功地震站東偏北方 76.5 公里	2	3.77	158.37	距離過遠
10-141	2010/4/13 22:29	4.6	5	台東成功地震站西北方 9.8 公里	1	1.85	88.40	
10-147	2010/4/14 04:49	4.9	10	台東成功地震站西北方 5.4 公里	1	1.26	92.78	
10-152	2010/4/15 10:39	2.7	25.5	南投名間地震站南偏東方 8.3 公里	1	x	28.73	
10-167	2010/4/26 10:59	6.8	20	台東蘭嶼地震站東偏北方 190.4 公里	1	2.05	306.21	無異常
10-173	2010/4/30 11:21	4.2	21.9	台東成功地震站北偏東方 11.6 公里	1	1.91	95.98	
10-200	2010/5/27 03:16	4.6	49	花蓮市地震站南偏東方 13.2 公里	1	1.79	117.18	
10-204	2010/5/31 01:18	2.6	9.1	斗六市地震站東偏南方 13.1 公里	3	x	9.74	
10-212	2010/6/8 18:43	2.8	10.6	嘉義市地震站東北方 3.1 公里	1	x	14.28	
10-215	2010/6/10 22:47	4.4	23.9	南投日月潭地震站東南方 20.2 公里	2	4.55	54.68	
10-221	2010/6/15 08:31	5.5	18.9	花蓮秀林地震站東南方 3.7 公里	2	3.65	119.72	受雨影響
10-236	2010/6/21 16:58	2.8	24.2	南投名間地震站東偏北方 2.3 公里	1	x	36.11	
10-241	2010/6/27 02:05	5.1	64.9	宜蘭牛鬥地震站北偏西方 6.2 公里	1	2.39	157.15	受雨影響
10-243	2010/6/29 16:12	3.2	23.3	南投日月潭地震站東方 1.4 公里	1	x	47.94	
10-246	2010/7/3 03:11	5.1	16.3	屏東市地震站東北方 30.0 公里	2	3.24	84.53	受雨影響
10-256	2010/7/9 03:43	5.3	17.9	宜蘭南澳地震站東方 25.9 公里	1	1.08	170.70	受雨影響
10-257	2010/7/9 08:41	5.8	109.5	宜蘭蘇澳地震站東方 81.5 公里	1	1.32	242.92	
10-264	2010/7/17 17:04	5.2	42	花蓮玉里地震站東偏北方 47.3 公里	2	4.01	122.34	受雨影響
10-269	2010/7/21 17:17	3.3	23.5	彰化市地震站南偏東方 11.3 公里	1	x	44.34	
10-275	2010/7/25 11:52	5.7	19.5	屏東市地震站東偏北方 30.6 公里	3	11.31	84.74	受雨影響

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-288	2010/7/31 22:49	4.7	15.8	高雄甲仙地震站南偏東方 15.5 公里	2	3.35	71.04	
10-299	2010/8/9 15:19	2.7	20.4	嘉義市地震站北偏東方 13.3 公里	1	x	7.22	
10-318	2010/8/22 00:37	5.3	27	花蓮西林地震站東南方 34.7 公里	2	6.34	110.11	無異常
10-327	2010/8/27 10:52	2.7	1.7	斗六市地震站東方 16.8 公里	3	x	17.98	
10-339	2010/9/2 21:21	2.5	7.5	嘉義阿里山地震站西方 16.1 公里	1	x	11.32	
10-342	2010/9/4 03:06	5	77.6	宜蘭南澳地震站東偏南方 87.4 公里	1	x	202.32	受雨影響
10-366	2010/9/15 16:47	4.4	5.6	台東成功地震站北偏西方 10.5 公里	1	0.96	91.08	
10-373	2010/9/20 11:17	5.1	31.9	花蓮西林地震站東偏南方 34.7 公里	2	4.31	117.28	受雨影響
10-466	2010/10/22 02:10	3.6	7.8	嘉義市地震站東偏南方 18.5 公里	1	x	16.87	
10-503	2010/10/30 21:05	3.9	10.3	嘉義市地震站西偏南 16.4 公里	1	x	33.98	
10-509	2010/11/5 09:11	3.6	23.3	南投名間地震站東南方 14.9 公里	1	x	29.22	
10-513	2010/11/8 21:01	5.2	19.9	台南東山地震站西偏南 10.1 公里	3	22.73	44.06	無異常
10-529	2010/11/12 23:39	5.4	43.4	屏東恆春地震站北偏西方 20.0 公里	1	1.56	157.35	無異常
10-539	2010/11/16 03:39	3.7	7.4	嘉義阿里山地震站西北方 15.4 公里	4	44.5	12.23	無異常
10-554	2010/11/19 09:21	3.5	31	斗六市地震站西偏北方 5.8 公里	1	x	18.48	
10-555	2010/11/19 09:43	3.7	31.5	斗六市地震站西偏北方 7.0 公里	1	x	19.93	
10-560	2010/11/21 20:31	6.1	40.7	花蓮市地震站東南方 21.6 公里	3	19.74	123.06	無異常

4-4 台南二溪土壤氣體觀測站

圖 4-40 至圖 4-52 為台南二溪觀測站 2009 年 11 月至 2010 年 11 月的連續觀測結果。這段時間使用的是編號 1688-2 的氡氣分析儀，此儀器無氣體的溫溼度紀錄，因此以下的圖表無氣體溫溼度的項目。圖 4-40 是總圖表（2009 年 11 月至 2010 年 11 月 7 日）。圖 4-41 至圖 4-52 是分月圖表。

圖 4-41 至圖 4-43 是 2009 年 11 月至 2010 年 1 月的觀測結果。觀察土壤氡氣部分，發現這 3 個月的土壤氣體濃度大致呈現平穩的趨勢，氡氣值在 4,000 Bq/m^3 左右。觀察 11 月 4 日氡氣與釷氣（Thoron）有些微的異常變化（如圖上紅斜線框所示），由於變化幅度不大，其後於 11 月 5 日南投名間發生一起地震（規模 6.2，震度 3 級，深度 24.1 km，距離測站 80.2 km）。

圖 4-44 及圖 4-45 是 2 月及 3 月的觀測結果。2 月開始，氡氣出現較大的突波，突波紀錄最高達 25,000 Bq/m^3，這些突波可能是儀器對電力或是其它因子的不正常反應，吾人在觀察本站氡氣圖表時可以將之忽略。不過氡氣值大致上仍維持在 4,000 Bq/m^3 上下。3 月 4 日上午八點十八分，高雄甲仙發生地震（規模 6.4，震度 6 級，深度 22.6 km，距離測站 34.4 km），由圖上觀察到氡氣與釷氣同步有異常突波現象（如圖上紅斜線框所示），在查看過數據後發現地震前，兩者即已有升高，至當日上午 08：30 升至最高點，之後迅速降回原來的背景值。但是由於圖上突波過多所致，吾人尚無法歸納哪些是真實的氡氣異常反應，哪些又是儀器的不正常突波反應。另外 3 月時氡氣有多次降至空氣值的現象，以致於氡氣分析無法有效連續的運作。現地勘查後發現用作逸氣來源的儲氣槽被阻塞，以手動幫浦抽氣亦無法有效將氣自儲氣槽內抽出；然而，此時此地無風無雨，所以亦可將氣候因素排除，因此阻塞原因目前尚不明確，

圖 4-46 至圖 4-49 是 4 月至 7 月的觀測結果。4 月 2 日之後本站改以迴圈裝置來分析氡氣濃度，方法與前述幾站相同。觀察圖 4-46 四月的圖示發現從 4 月 1 日至 4 月 21 日有一緩慢的氡氣異常變化區間，變化幅度較小，約在 1,000 Bq/m^3 左右，但是否與 4 月 26 日發生於台東蘭嶼外海的地震（規模 6.8，震度 2 級，深度 20 km，距離測站 306 km）有關，考量氡氣濃度異常變化大小及距離因素後，尚需其他資料佐證才能確認其關聯性。另外除了儲氣槽無逸氣之外，又受到電動幫浦不穩定的影響，造成分析儀多段時間無法正常運作（圖上橘色區塊所示），以致於 5 至 7 三個月的氡氣值呈現數據短缺或是空氣值狀態。對於據以解釋與地震的關聯性影響甚大。

圖 4-50 至圖 4-53 是 8 月至 11 月的觀測結果。8 月 15 日至 8 月 27 日因當地電力出現問題，以致於這段時間內儀器無法運作。9 月、10 月各有一次氡氣受到降雨影響，而有明顯的異常變化區間（圖上黑斜線框所示）。9 月份的降雨影響

區間(9 月 18 日至 9 月 24 日),恰好在 9 月 20 日(由圖示可知氡氣處於下降中)於花蓮西林發生一起地震(規模 5.1,震度 1 級,深度 31.9 km,距離測站 144 km),目前尚無法排除降雨因素的干擾,因此無法將地震與此異常區間作一明顯的關聯。

二溪測站大部分反應台灣西南部地區之地震,測站裝置的地震儀亦可與氣象局地震資料同步呈現,然氡氣尚無較大明顯的地震前後異常變化。綜觀這一年氡氣與地震的關聯性,建議於原址重新開挖,以擴大加深儲氣槽,希望能有較良好的氣體反應。

圖 4-54 為二溪測站相關地震位置分布圖。表 4-5 為二溪測站相關地震列表。自 2009 年 11 月 01 日至 2010 年 11 月 30 日共有 87 起地震被偵測到,由圖可看出與二溪測站相關的地震分布位置多在南部及東部花蓮外海。

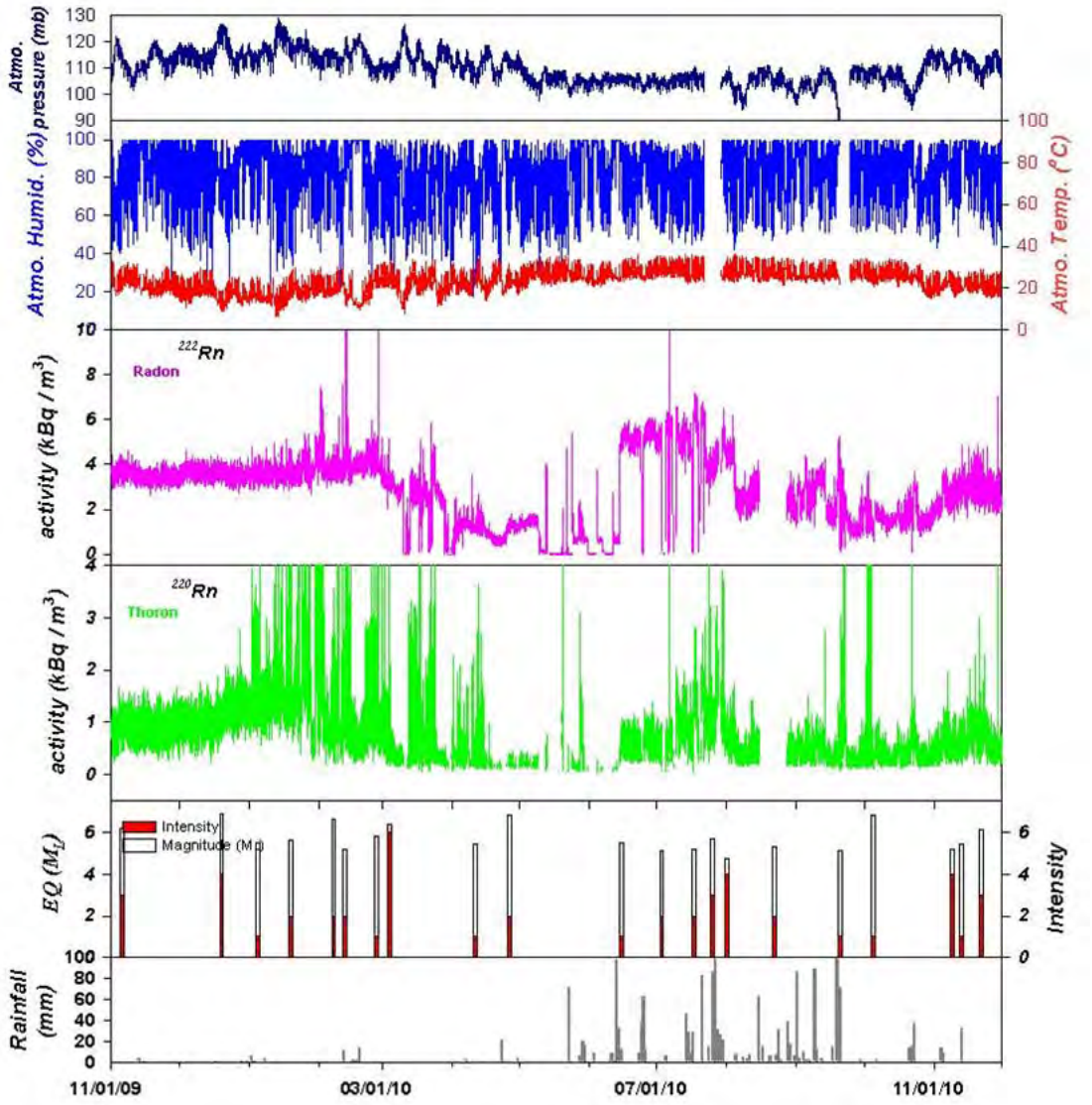


圖 4-40：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2009/11/01-2010/11/30）。

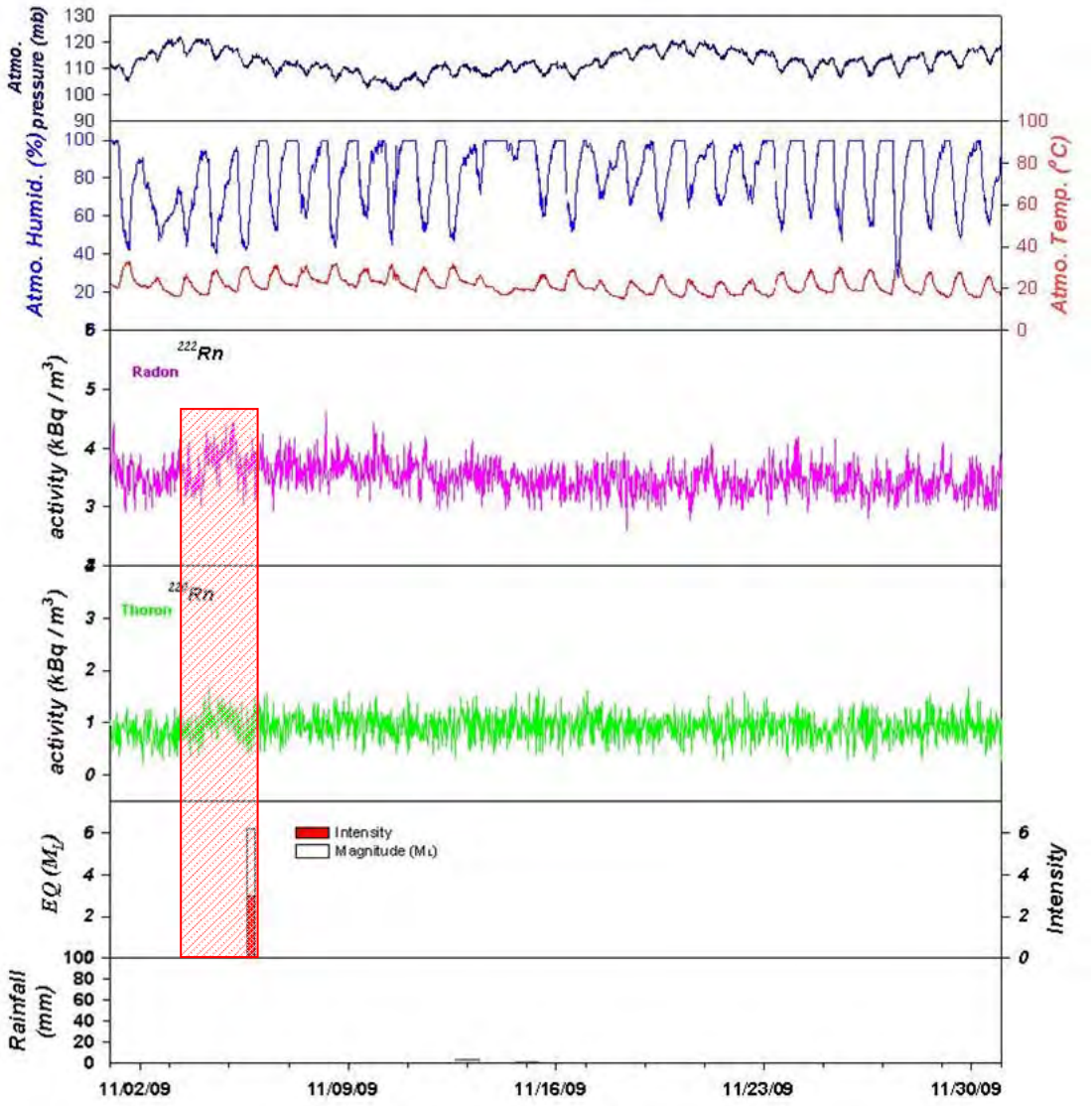


圖 4-41：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間（2009/11/01-2009/11/30）。



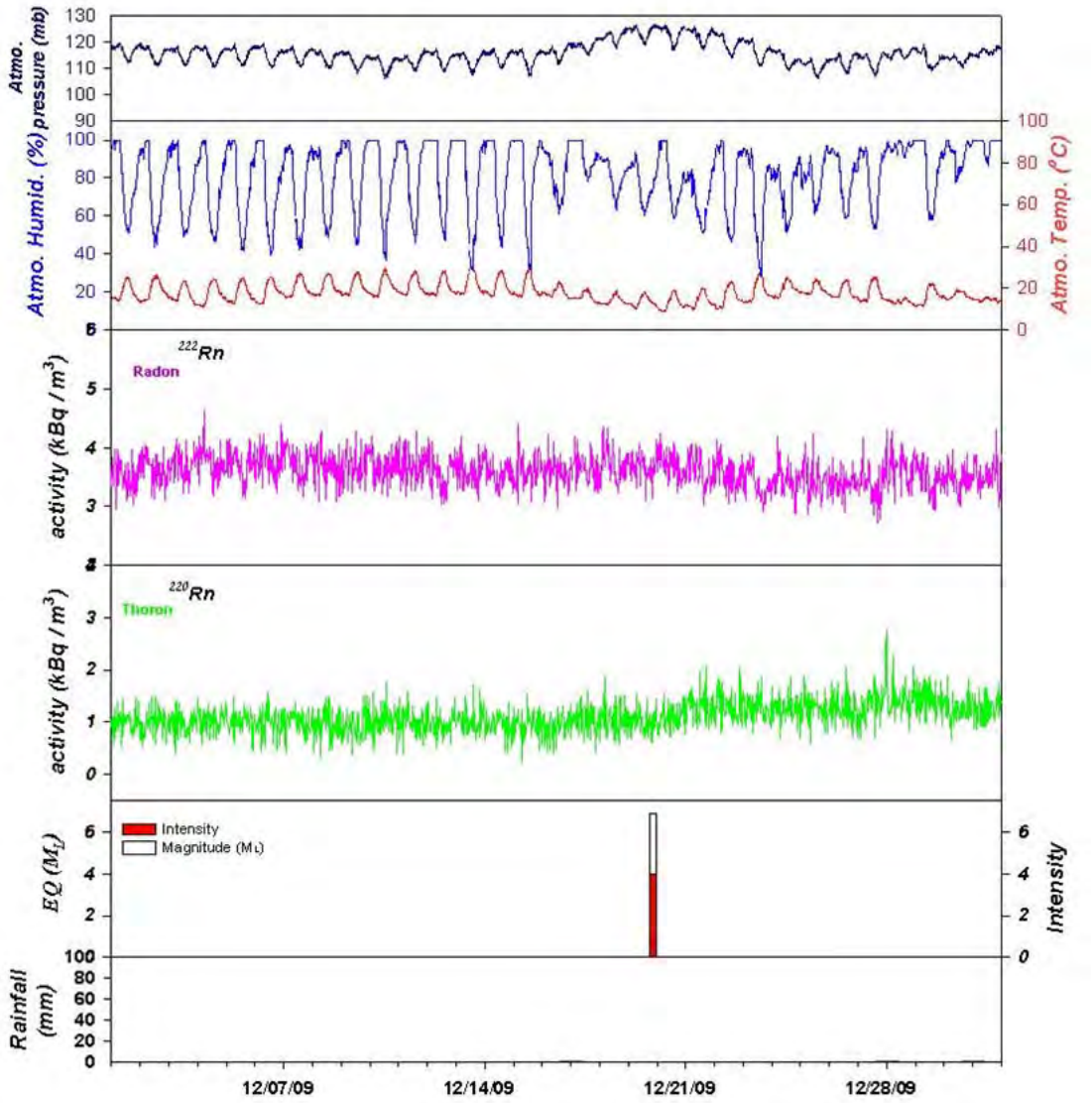


圖 4-42：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2009/12/01-2009/12/31）。



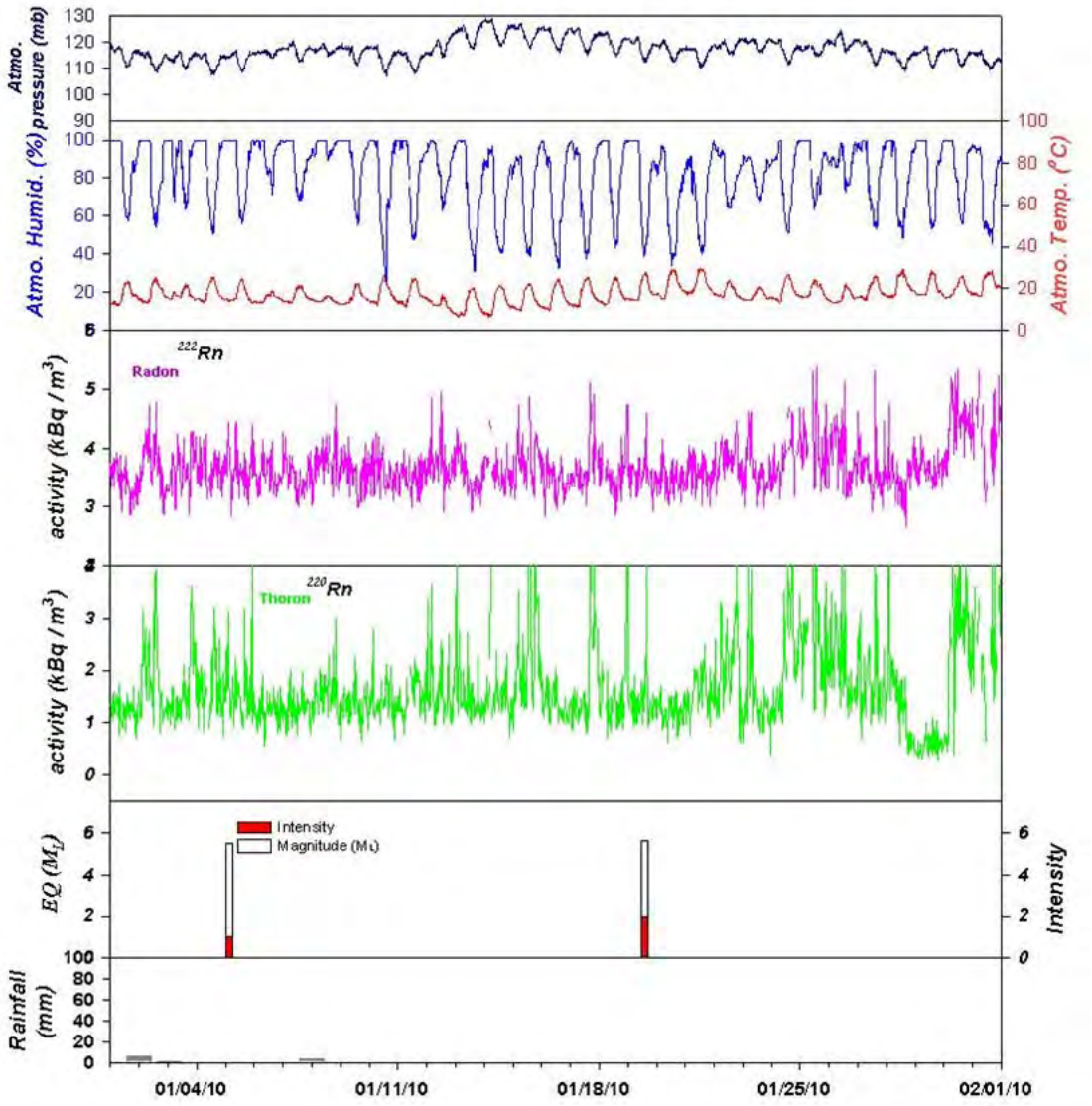


圖 4-43：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/01/01-2010/01/31）。





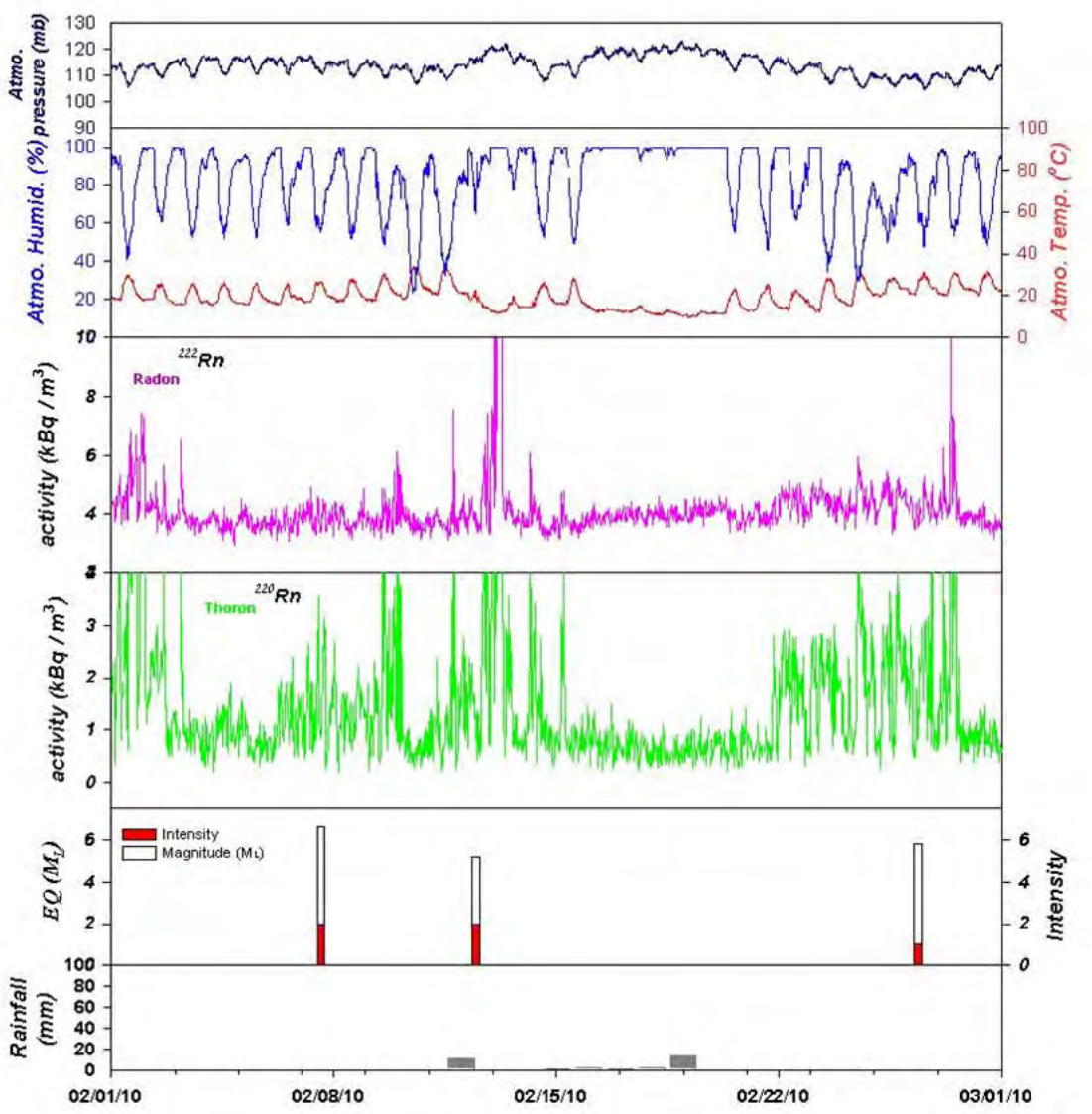
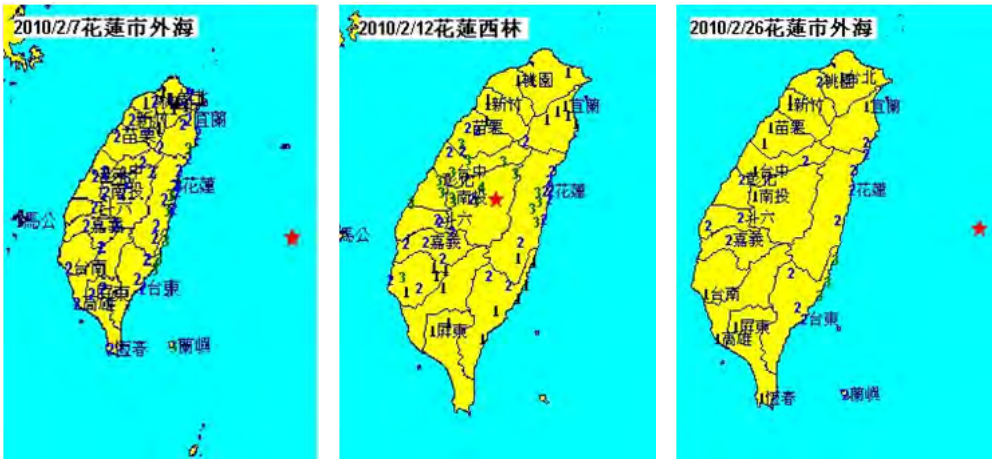


圖 4-44：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/02/01-2010/02/28）。



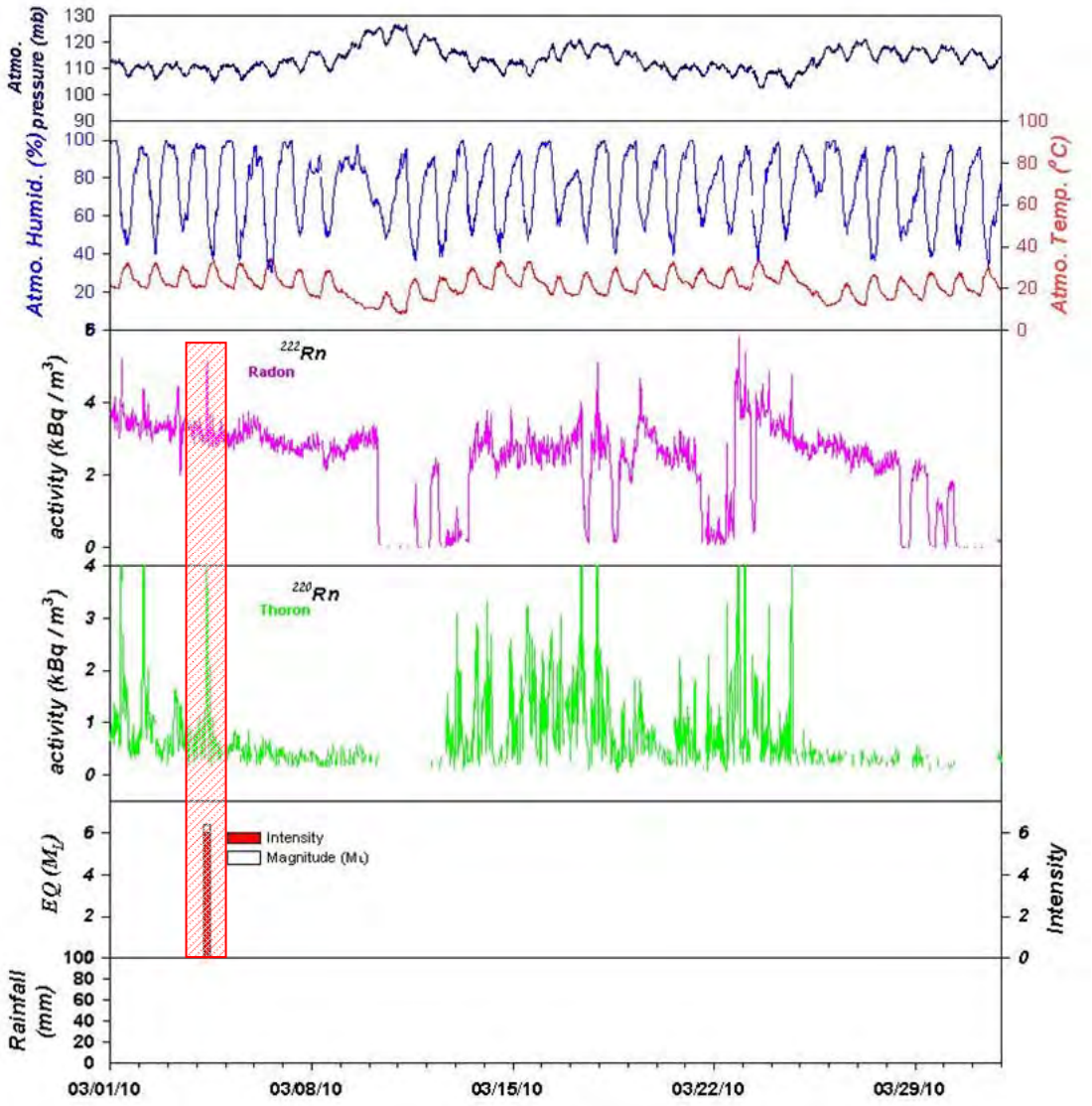


圖 4-45：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間（2010/03/01-2010/03/31）。



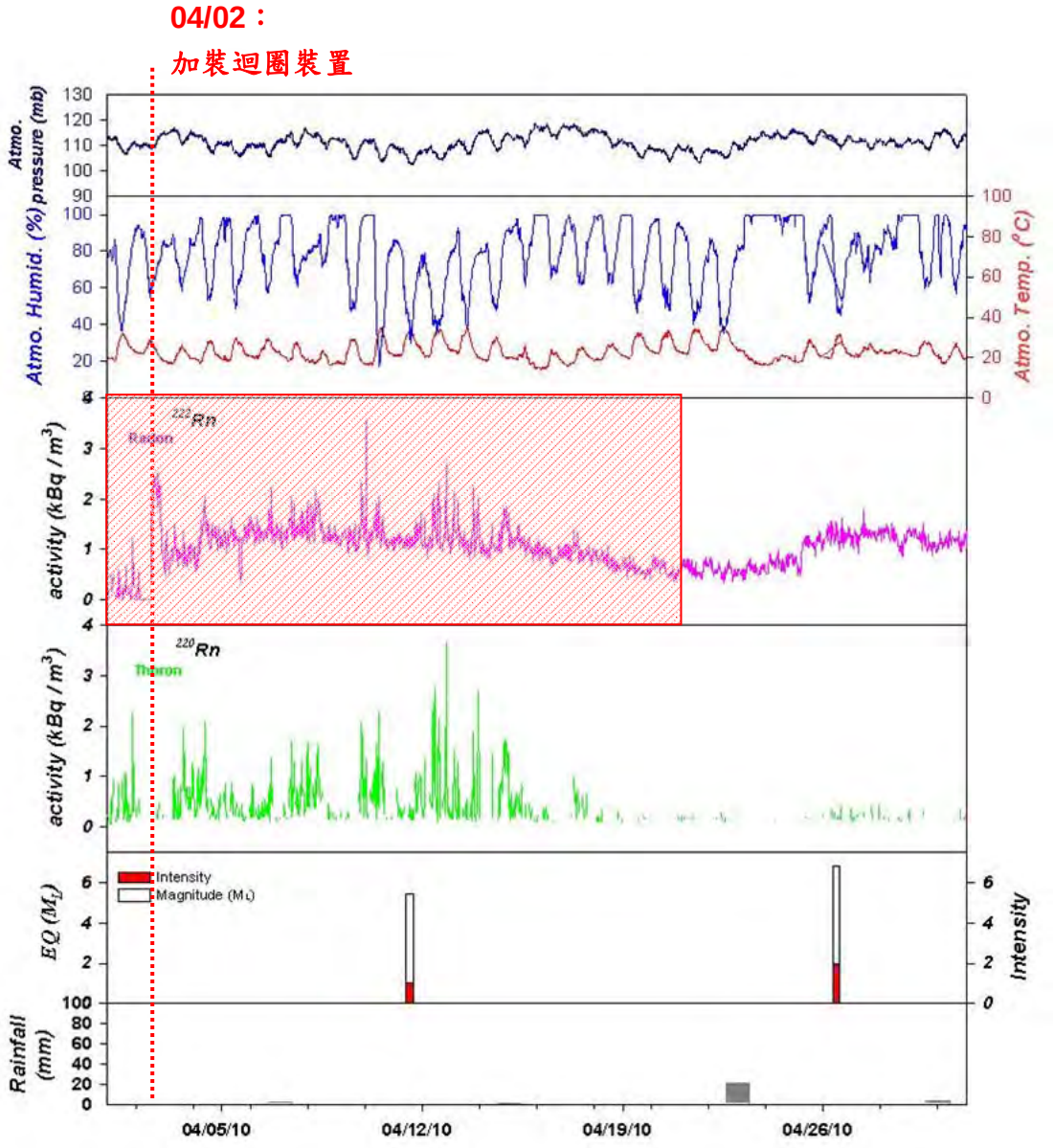


圖 4-46：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/04/01-2010/04/30）。

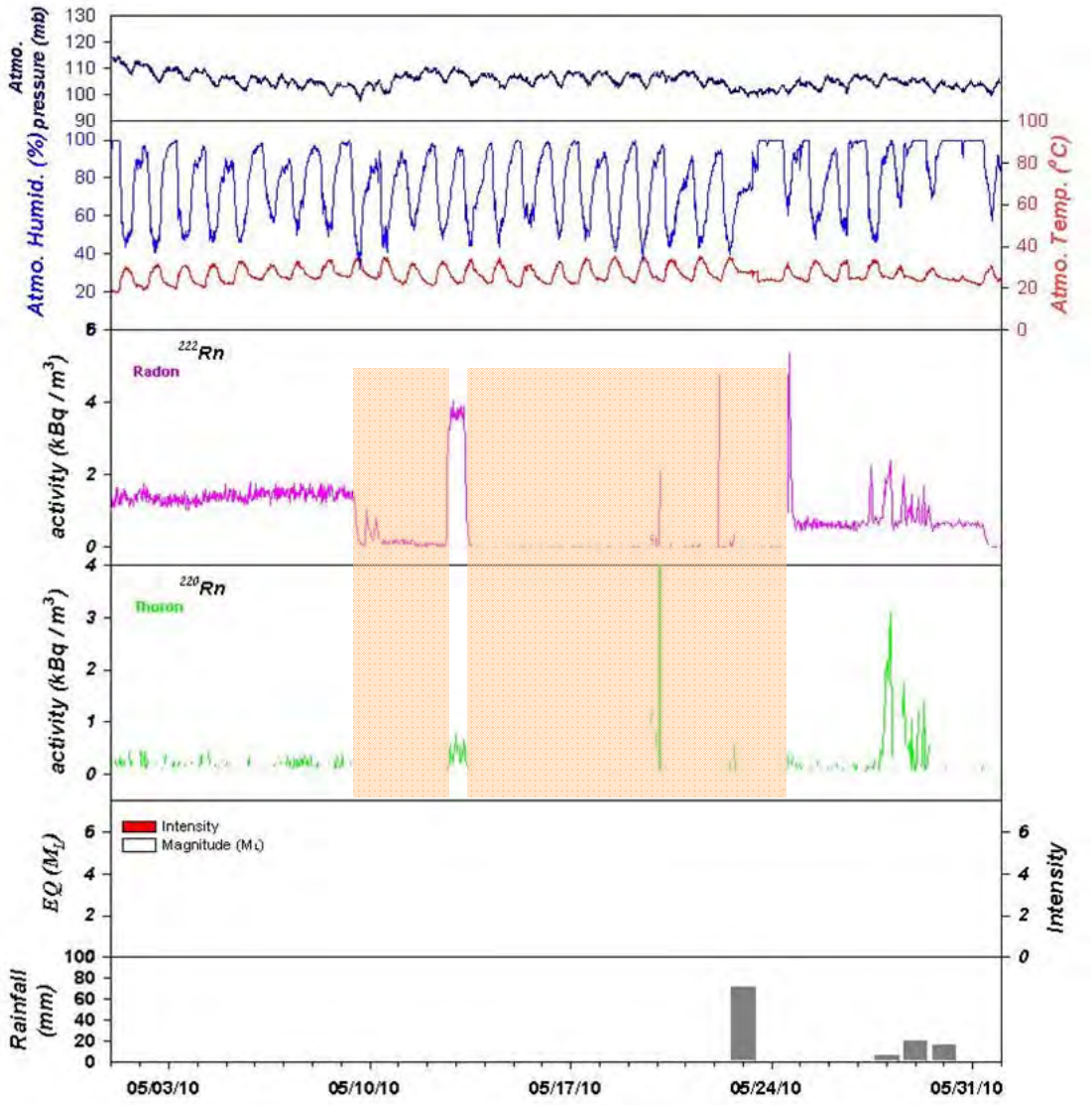


圖 4-47：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；橘色區塊為電動幫浦故障區間（2010/05/01-2010/05/31）。

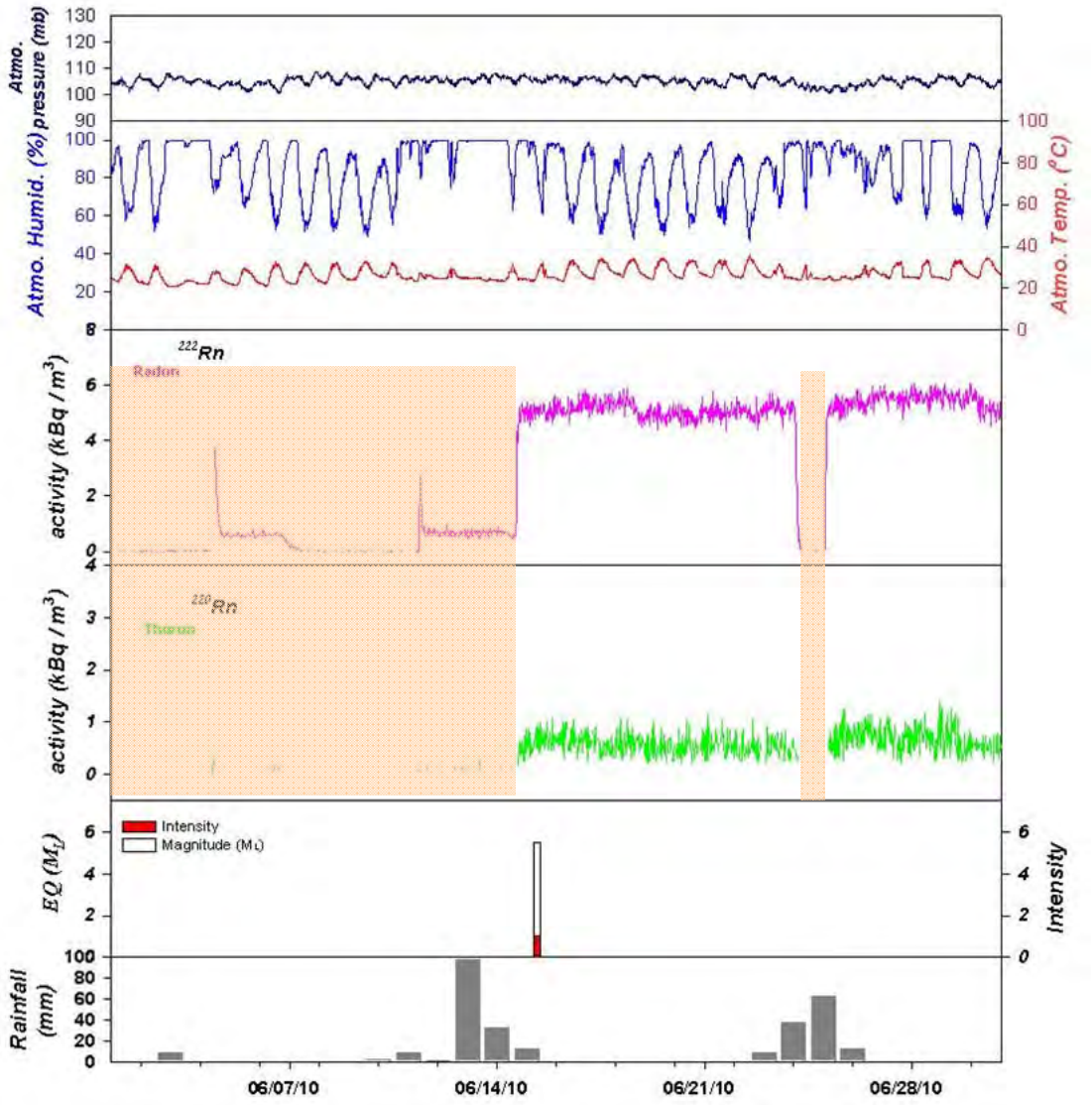


圖 4-48：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；橘色區塊為電動幫浦故障區間（2010/06/01-2010/06/30）。



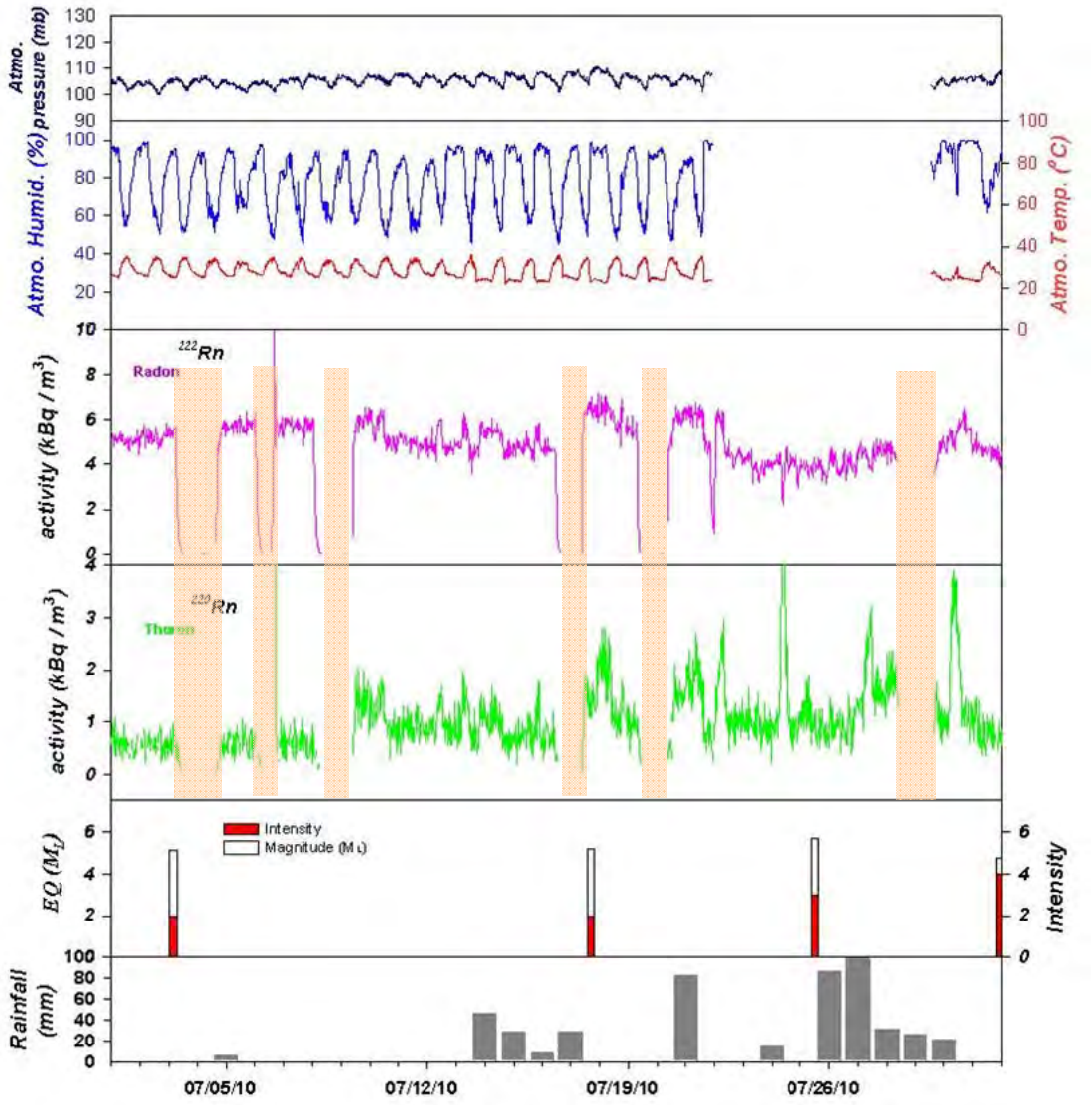
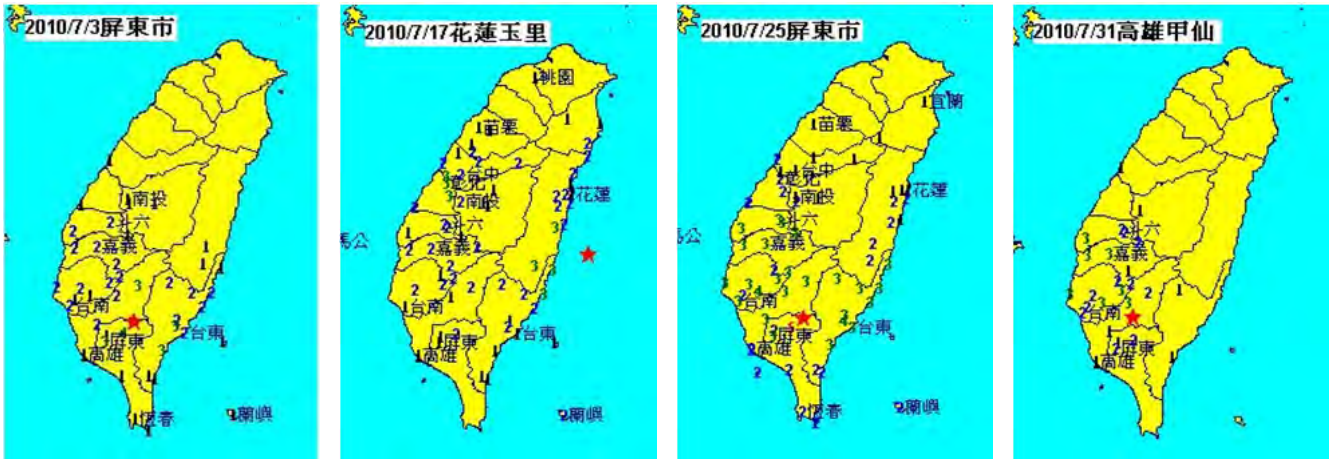


圖 4-49：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；橘色區塊為電動幫浦故障區間（2010/07/01-2010/07/31）。



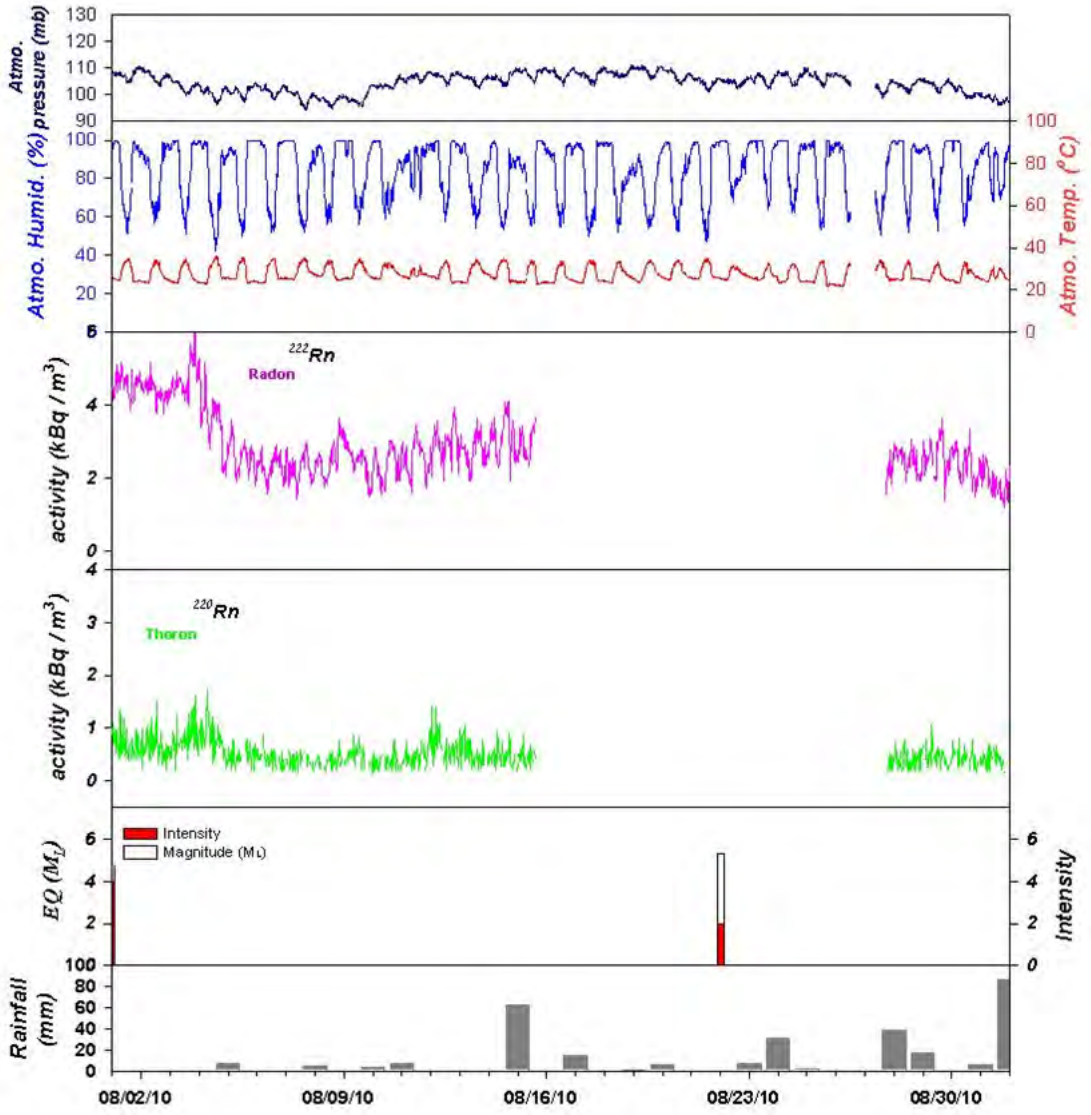


圖 4-50：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/08/01-2010/08/31）。



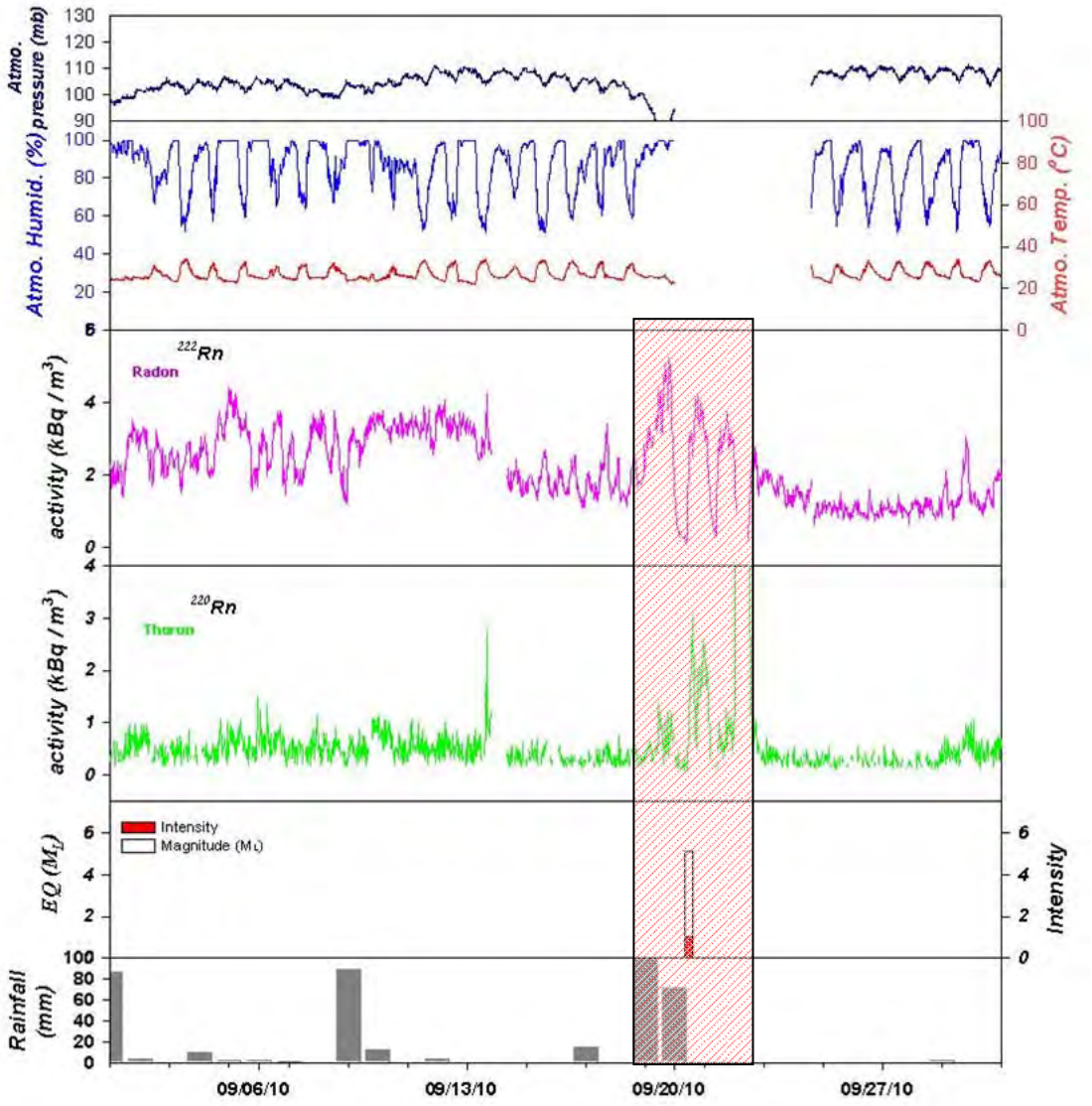


圖 4-51：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；黑斜線框表示降雨影響異常區間（2010/09/01-2010/09/30）。



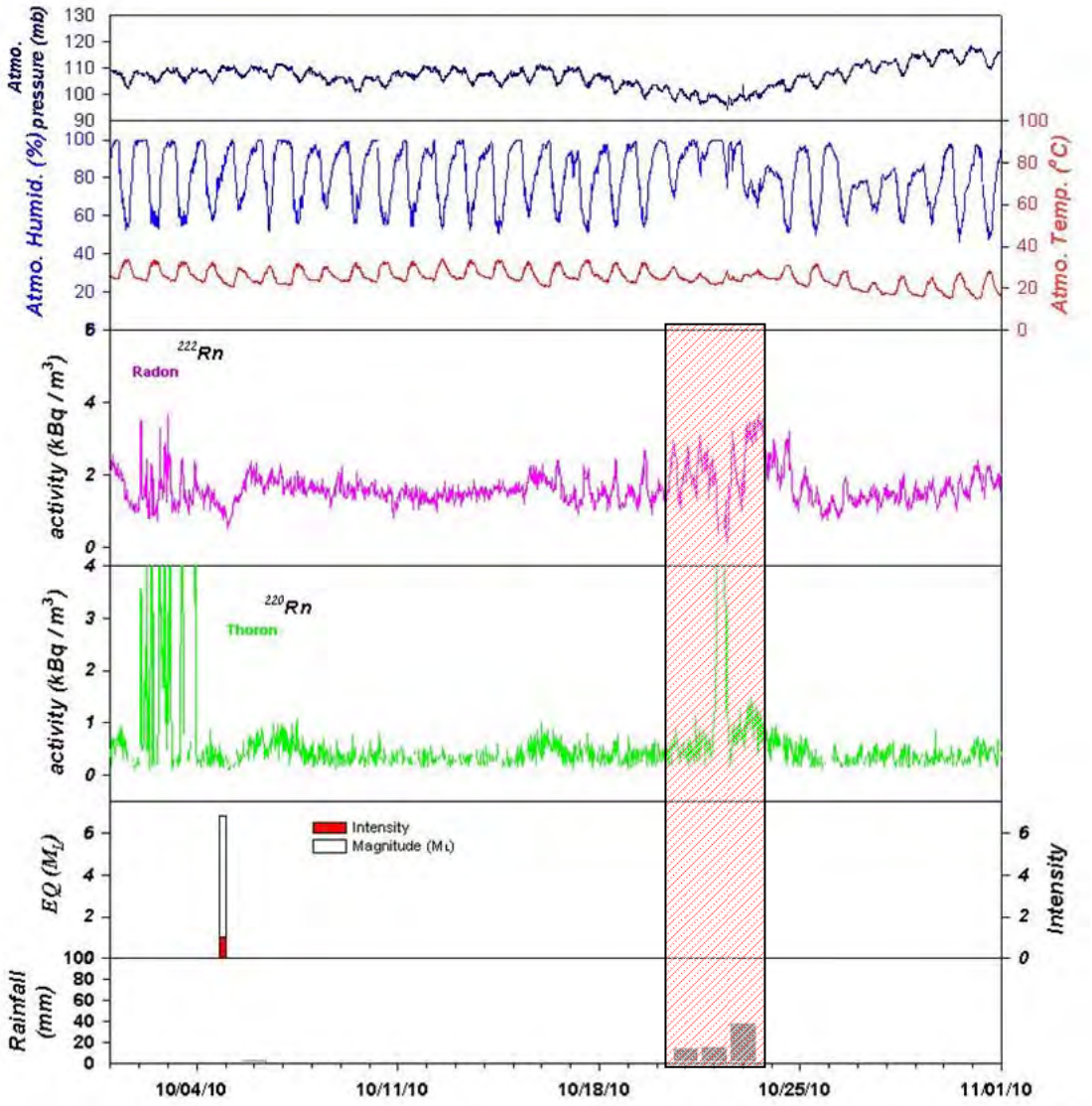


圖 4-52：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；黑斜線框表示降雨影響異常區間（2010/10/01-2010/10/31）。



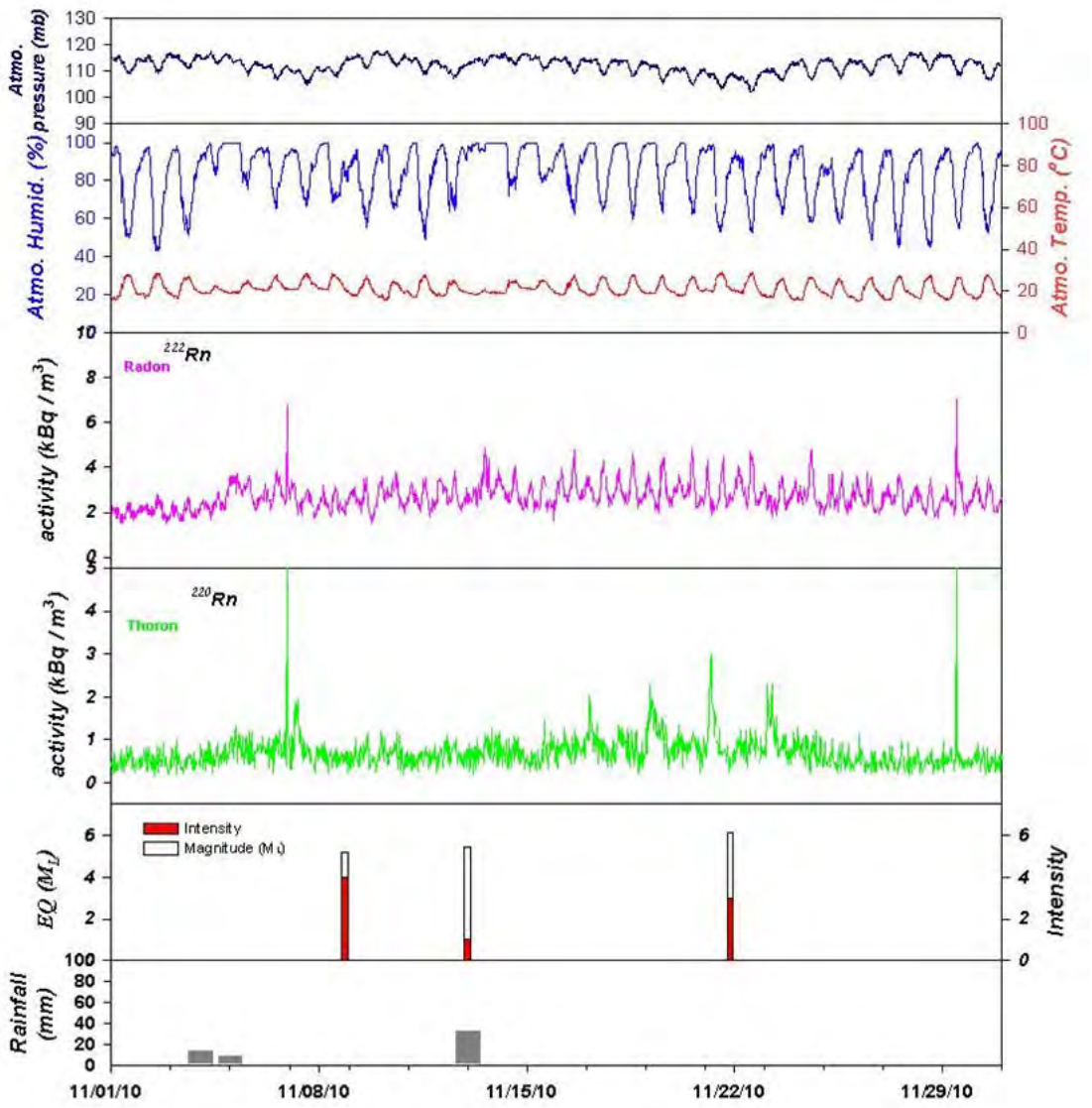
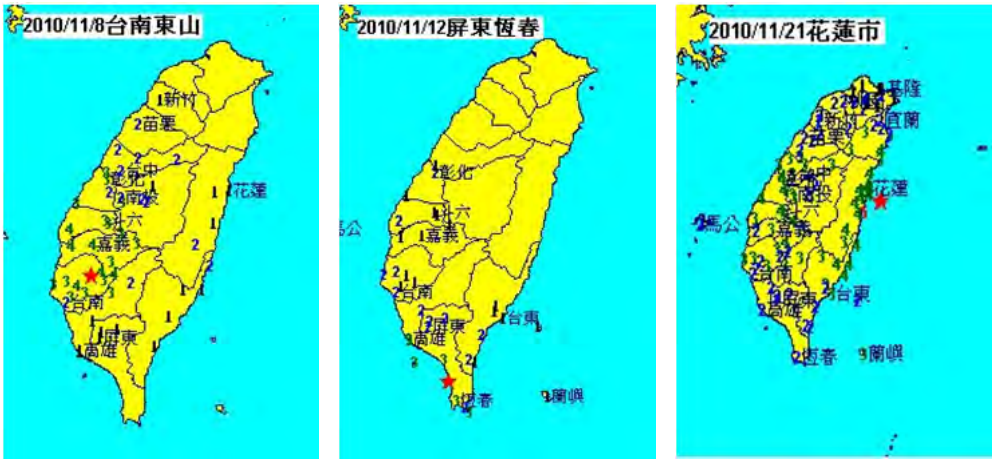


圖 4-53：台南二溪土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/11/01-2010/11/30）。



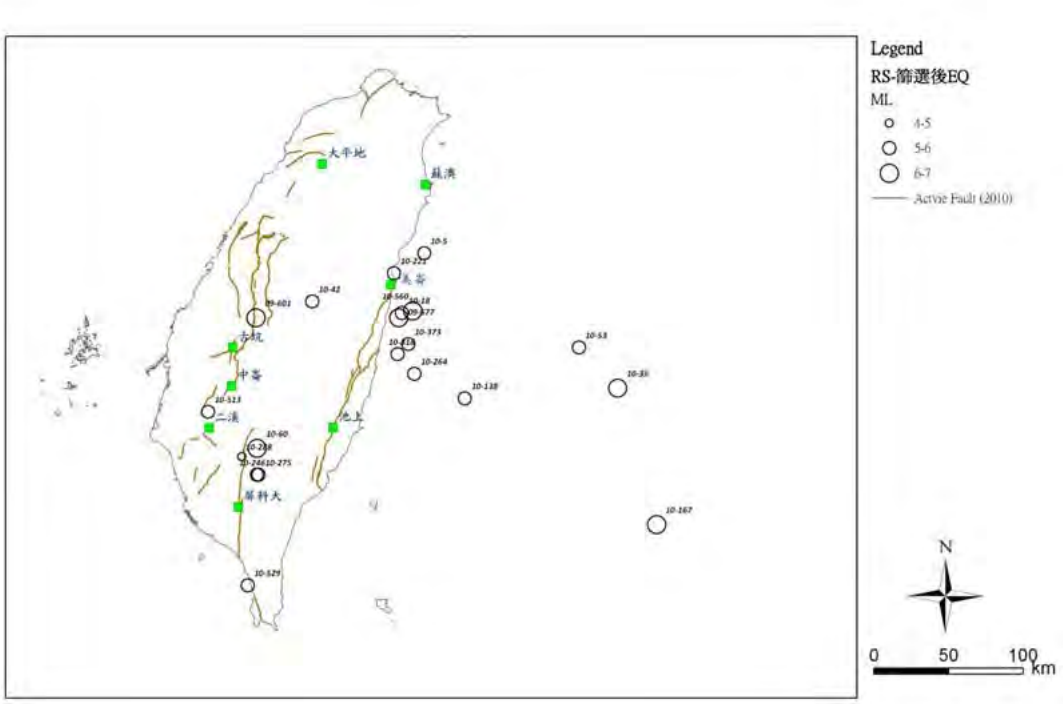


圖 4-54：二溪測站相關地震位置分布圖。

表 4-5：二溪測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30)。

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
09-601	2009/11/5 17:32	6.2	24.1	南投名間地震站南偏東方 10.1 公里	3	21.18	80.17	震前反應
09-602	2009/11/5 17:38	4.6	24.5	南投名間地震站南偏東方 9.7 公里	2	3.5	79.78	
09-604	2009/11/5 19:34	5.7	24	南投名間地震站南偏東方 13.6 公里	3	16.19	79.82	
09-644	2009/11/17 01:49	4	10.4	嘉義市地震站東南方 11.6 公里	1	2.05	34.43	
09-650	2009/11/23 02:56	3.8	17.7	高雄旗山地震站東偏北方 23.9 公里	1	1.32	36.99	
09-672	2009/12/12 04:46	4.6	10.5	斗六市地震站東南方 28.7 公里	1	2.37	52.90	
09-677	2009/12/19 21:02	6.9	43.8	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里	4	63.86	146.61	無異常
09-688	2009/12/19 22:13	4.8	40.6	花蓮市地震站南偏東方 18.4 公里	0	0.74	148.31	
09-747	2009/12/28 21:55	3.4	11.7	台南佳里地震站北偏東方 11.3 公里	1	0.99	24.77	
10-5	2010/1/5 03:27	5.5	46.1	花蓮秀林地震站東偏北方 25.8 公里	1	1.13	185.41	無異常
10-8	2010/1/9 07:40	4.4	34.2	屏東市地震站東南方 11.0 公里	2	4.27	58.73	
10-9	2010/1/10 11:24	4.5	85.2	台東市地震站南偏東方 36.4 公里	2	2.53	116.84	
10-12	2010/1/14 05:13	3.4	10.5	台南東山地震站西偏南 9.9 公里	3	16.54	9.95	
10-18	2010/1/19 14:09	5.6	41	花蓮市地震站南偏東方 18.2 公里	2	2.85	150.05	無異常
10-35	2010/2/7 14:10	6.6	15.5	花蓮市地震站東偏南方 165.7 公里	2	3.75	274.04	無異常
10-42	2010/2/12 10:42	5.2	14	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里	2	5.98	109.18	無異常
10-48	2010/2/18 10:04	3.3	20.4	台南東山地震站南偏西方 17.9 公里	3	10.72	1.02	
10-49	2010/2/18 10:09	3.4	18.3	台南東山地震站西南方 15.5 公里	3	24.88	3.47	
10-53	2010/2/26 09:07	5.8	31.1	花蓮市地震站東偏南方 131.7 公里	1	2.47	252.72	無異常
10-60	2010/3/4 08:18	6.4	22.6	高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里	6	312.2	34.39	不確定
10-61	2010/3/4 08:24	4.7	20.2	高雄甲仙地震站南偏東方 10.6 公里	3	20.7	26.13	
10-62	2010/3/4 08:43	3.7	10.1	高雄甲仙地震站東南方 17.8 公里	2	2.86	34.27	
10-66	2010/3/4 09:03	3.3	11	高雄甲仙地震站東南方 13.1 公里	1	1.25	30.24	
10-67	2010/3/4 09:57	3.6	15.3	高雄甲仙地震站南偏東方 16.0 公里	1	1.82	31.11	
10-68	2010/3/4 10:01	3.8	17.1	高雄甲仙地震站東南方 14.2 公里	2	3.45	30.24	
10-69	2010/3/4 10:18	3.5	22.5	高雄甲仙地震站南方 14.7 公里	2	4.31	24.93	
10-70	2010/3/4 10:30	3.8	18.6	高雄甲仙地震站東南方 10.9 公里	1	1.66	27.91	
10-71	2010/3/4 10:32	3.9	27.3	高雄桃源地震站南方 19.2 公里	2	3.10	37.65	
10-72	2010/3/4 10:34	3.7	11.9	高雄甲仙地震站東南方 18.9 公里	1	1.56	35.13	
10-73	2010/3/4 10:43	3.7	18	高雄甲仙地震站東南方 16.2 公里	2	3.39	33.11	
10-74	2010/3/4 10:48	3.9	25.2	高雄甲仙地震站東南方 18.1 公里	2	5.63	34.90	
10-75	2010/3/4 12:01	3.8	23	高雄甲仙地震站東南方 14.1 公里	1	1.99	30.78	
10-76	2010/3/4 13:24	3.8	14.1	高雄甲仙地震站南偏東方 9.4 公里	1	2.01	25.59	
10-78	2010/3/4 16:07	4.4	21.6	高雄甲仙地震站東南方 11.8 公里	3	8.46	27.91	
10-79	2010/3/4 16:16	5.7	16.6	高雄甲仙地震站東南方 17.1 公里	4	25.87	32.81	

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-80	2010/3/4 16:27	4.3	18.9	高雄甲仙地震站東南方 16.6 公里	2	5.02	33.11	
10-81	2010/3/4 17:47	4.3	20.5	高雄甲仙地震站南偏東方 14.1 公里	3	10.76	28.80	
10-83	2010/3/4 20:09	3.7	10.1	高雄甲仙地震站東南方 22.1 公里	1	1.82	38.06	
10-84	2010/3/5 00:05	4	20	高雄甲仙地震站東南方 6.7 公里	3	13.07	23.68	
10-88	2010/3/8 17:26	4.9	14.3	嘉義市地震站東偏南方 15.9 公里	2	6.26	36.13	
10-90	2019/3/9 01:54	4.2	26.2	高雄甲仙地震站南方 15.6 公里	3	10.88	25.14	
10-91	2010/3/9 13:31	4.1	20.9	高雄甲仙地震站東南方 17.0 公里	2	4.94	33.90	
10-93	2010/3/10 04:14	4.1	17.4	高雄甲仙地震站南偏東方 11.0 公里	2	2.82	26.71	
10-94	2010/3/10 04:17	3.5	14.6	高雄甲仙地震站南偏東方 9.5 公里	2	3.92	25.26	
10-96	2010/3/12 17:53	3.4	14.7	嘉義大埔地震站西南方 6.1 公里	1	2.38	18.60	
10-97	2010/3/12 18:51	3	17.3	嘉義大埔地震站西偏南 7.4 公里	1	2.03	17.43	
10-98	2010/3/13 17:15	3.7	25.5	高雄桃源地震站南偏西方 12.9 公里	1	2.11	31.65	
10-114	2010/3/23 06:26	4	12.8	高雄甲仙地震站東南方 23.2 公里	1	1.8	40.09	
10-121	2010/3/27 07:07	5.2	55	花蓮秀林地震站東方 13.2 公里	1	0.94	171.95	
10-122	2010/3/27 20:16	4	21.7	高雄甲仙地震站南偏東方 9.4 公里	2	6.14	24.39	
10-123	2010/3/28 15:22	3.2	14.5	台南東山地震站西方 5.5 公里	1	1.86	15.78	
10-138	2010/4/11 12:57	5.4	10	台東成功地震站東偏北方 76.5 公里	1	2.45	171.85	無異常
10-141	2010/4/13 22:29	4.6	5	台東成功地震站西北方 9.8 公里	1	1.02	90.10	
10-147	2010/4/14 04:49	4.9	10	台東成功地震站西北方 5.4 公里	1	1.16	93.08	
10-162	2010/4/24 01:03	3.3	8.1	高雄甲仙地震站東方 1.8 公里	1	1.63	19.93	
10-167	2010/4/26 10:59	6.8	20	台東蘭嶼地震站東偏北方 190.4 公里	2	3.38	305.58	不確定
10-172	2010/4/30 00:01	3.5	7.5	台南東山地震站西偏南 7.6 公里	2	2.86	14.41	
10-176	2010/5/3 02:00	4.6	19.2	高雄甲仙地震站南偏西方 12.7 公里	3	17.94	21.92	
10-194	2010/5/23 18:20	4.3	27	屏東市地震站東偏北方 30.3 公里	1	2.01	45.85	
10-198	2010/5/25 12:01	3.7	19	高雄甲仙地震站東南方 19.9 公里	2	3.06	35.74	
10-205	2010/6/2 04:58	3	10.5	台南東山地震站南偏東方 6.2 公里	2	3.9	14.27	
10-211	2010/6/6 23:29	3.9	21.2	台南東山地震站南方 9.3 公里	3	22.85	10.53	
10-215	2010/6/10 22:47	4.4	23.9	南投日月潭地震站東南方 20.2 公里	1	1.12	97.80	
10-221	2010/6/15 08:31	5.5	18.9	花蓮秀林地震站東南方 3.7 公里	1	1.3	161.30	無異常
10-224	2010/6/16 14:23	4.2	7.1	高雄甲仙地震站南偏東方 22.5 公里	2	3.42	37.59	
10-235	2010/6/20 23:34	3.2	15.2	台南佳里地震站東方 15.4 公里	2	3.72	11.38	
10-246	2010/7/3 03:11	5.1	16.3	屏東市地震站東北方 30.0 公里	2	5.21	44.34	無異常
10-264	2010/7/17 17:04	5.2	42	花蓮玉里地震站東偏北方 47.3 公里	2	2.86	141.67	受雨影響
10-275	2010/7/25 11:52	5.7	19.5	屏東市地震站東偏北方 30.6 公里	3	13.15	45.08	無異常
10-288	2010/7/31 22:49	4.7	15.8	高雄甲仙地震站南偏東方 15.5 公里	4	28.19	28.55	受雨影響
10-318	2010/8/22 00:37	5.3	27	花蓮西林地震站東南方 34.7 公里	2	2.54	135.10	無資料

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-362	2010/9/12 22:02	3.2	8	台南市地震站西南方 10.9 公里	1	x	36.89	
10-363	2010/9/12 22:03	3.1	10.4	台南市地震站南偏西方 9.9 公里	1	x	34.56	
10-364	2010/9/13 01:40	3.1	10.7	台南市地震站西南方 11.2 公里	1	x	36.89	
10-365	2010/9/14 15:14	3	17.7	嘉義大埔地震站西南方 9.3 公里	1	2.34	15.38	
10-373	2010/9/20 11:17	5.1	31.9	花蓮西林地震站東偏南方 34.7 公里	1	2.27	144.20	受雨影響
10-376	2010/9/24 08:39	4.1	29.8	屏東枋寮地震站西南方 8.7 公里	1	1.05	90.88	
10-424	2010/10/4 21:28	6.8	60	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 362.5 公里	1	1.67	502.80	距離過遠
10-432	2010/10/8 23:52	3.9	1.6	台南東山地震站東偏北方 4.4 公里	2	2.84	21.53	
10-456	2010/10/16 14:45	3.9	19	台南東山地震站西南方 17.4 公里	3	9.09	3.01	
10-462	2010/10/20 06:32	4	8.6	台東利稻地震站東北方 5.2 公里	1	0.95	65.55	
10-479	2010/10/25 15:12	3.8	11.8	台南東山地震站西南方 10.1 公里	2	5.99	8.01	
10-513	2010/11/8 21:01	5.2	19.9	台南東山地震站西偏南 10.1 公里	4	79.08	11.11	無異常
10-515	2010/11/9 05:21	3.2	22.5	台南東山地震站西南方 9.8 公里	2	7.66	10.00	
10-529	2010/11/12 23:39	5.4	43.4	屏東恆春地震站北偏西方 20.0 公里	1	1.69	108.13	無異常
10-544	2010/11/18 04:16	3.8	24.7	台南東山地震站西南方 11.1 公里	3	16.84	8.85	
10-560	2010/11/21 20:31	6.1	40.7	花蓮市地震站東南方 21.6 公里	3	8.08	156.76	無異常

4-5 屏東屏科大土壤氣體觀測站

圖 4-55 至圖 4-68 為位於屏東科技大學的觀測站，由 2009 年 11 月至 2010 年 11 月的連續觀測結果。圖 4-55 是總圖表（2009 年 11 月至 2010 年 11 月）。圖 4-55 至圖 4-68 是分月圖表。圖 4-56 至圖 4-58 是 2009 年 11 月至 2010 年 1 月的觀測結果，這段時間由於氡氣分析儀不明原因，造成儀器自動停止運作，以致於多段時間無氡氣數據紀錄，吾人持續找出儀器問題所在，經過多方測試後發現是電池及變壓器的問題，在更換機體電池及變壓器後，氡氣分析儀已恢復正常運作。另外有三次（11 月有兩次，1 月有一次）氡氣值下降至近於 0（如圖上黑斜線框所示），這是因為電子式氣體乾燥器結冰所致，經過約一小時退冰後恢復正常運作。此外由 98 年 9 月以來觀察本站氡氣數據得知，目前所使用的主動式氡氣分析儀所分析出來的氡氣濃度值呈現平穩的趨勢，與氣象局地震資料時間相比對，發現規模大，離測站近的地震竟無明顯的異常反應，因此有必要對測站內的儀器設置做些修改，於是在 1 月 28 日加裝一具被動式氡氣分析儀（編號 116）於另一個備用的儲氣槽（PVC 管，與主動式氡氣分析儀相同深度）內，期與原來的氡氣分析儀作一同步的氡氣濃度比對。（圖上粉紅線為原來已設置的主動式氡氣分析儀，藍色線為新加入的被動式氡氣分析儀）。大氣因子方面大多因為突然停電造成短時間內無資料記錄;較長時間的資料闕如是在 10 月 3 日至 10 月 27 日，因為硬體故障導致，惟目前已經修復恢復運作。

圖 4-59 及圖 4-60 是 2 月及 3 月的觀測結果。由圖觀察主動式氡氣分析儀分析的氡氣濃度值維持在 40,000 Bq/m^3 上下，並無明顯的異常變化。再觀察被動式氡氣分析儀即可看出明顯的氡氣濃度異常變化，其中在 2 月 12 日，氡氣由低點 10,000 Bq/m^3 往上升，之後短暫下降，再緩慢升至高點 30,000 Bq/m^3，之後於 2 月 26 日下降至 10,000 Bq/m^3，回到背景值，當日即有一起發生於花蓮外海的地震（規模 5.8，震度 1 級，深度 31.1 km，距離 252 km），但是由於距離因素，暫不將其與氡氣異常作連結。氡氣於下降至背景值平穩後 6 天，於 3 月 4 日高雄甲仙發生地震（規模 6.4，震度 5 級，深度 22.6 km，距離測站 41.7 km）。綜觀從 2 月 12 日開始氡氣濃度呈現緩慢上升，略微下降再上升至高點後再下降至背景值，之後維持 6 天平穩，並於 3 月 4 日發生一起地震，這段上升、下降、上升、下降、平穩的氡氣異常變化區間應可視為是甲仙地震的前兆反應。

圖 4-61 至圖 4-68 為 4 至 11 月的觀測結果。其中 3 月 17 日至 4 月 2 日被動式氡氣分析儀進行校正檢測，因此無數據紀錄。4 月 8 日至 4 月 14 日則是因為變壓器故障以致於儀器沒有運作。7 月 14 日至 8 月 13 日則是儀器發生故障，無法紀錄，並於 8 月 13 日更換一具被動式氡氣分析儀（編號 113）。觀察這 7 個月的氡氣濃度，在 4、5 月間主動式氡氣分析儀仍是持續維持在 40,000 Bq/m^3 上下

沒有明顯的異常變化;而被動式氡氣分析儀所分析的氡氣濃度則是較之前低並有趨近於空氣值的現象，尤其在乾燥時期更明顯，由圖示可以發現在降雨時被動式氡氣分析儀會受到影響，氡氣濃度會有突然升高的趨勢（圖上黑斜線框所示）。這是由於降雨後地底下的氣體被地下水抬升造成氡氣濃度出現異常的升高現象，降雨過後地下水位下降，氡氣回復到背景值約 5,000 Bq/m^3。再觀察主動式氡氣分析儀亦發現也會受到降雨的影響，降雨後氡氣濃度會稍微下降之後緩慢回升至原來的背景值 40,000 Bq/m^3。

圖 4-69 為屏科大測站相關地震位置分布圖。表 4-6 為屏科大測站相關地震列表。自 2009 年 11 月 01 日至 2010 年 11 月 30 日共有 68 起地震被偵測到，由圖可看出與屏科大測站相關的地震分布位置多集中在南部及東部花蓮外海。

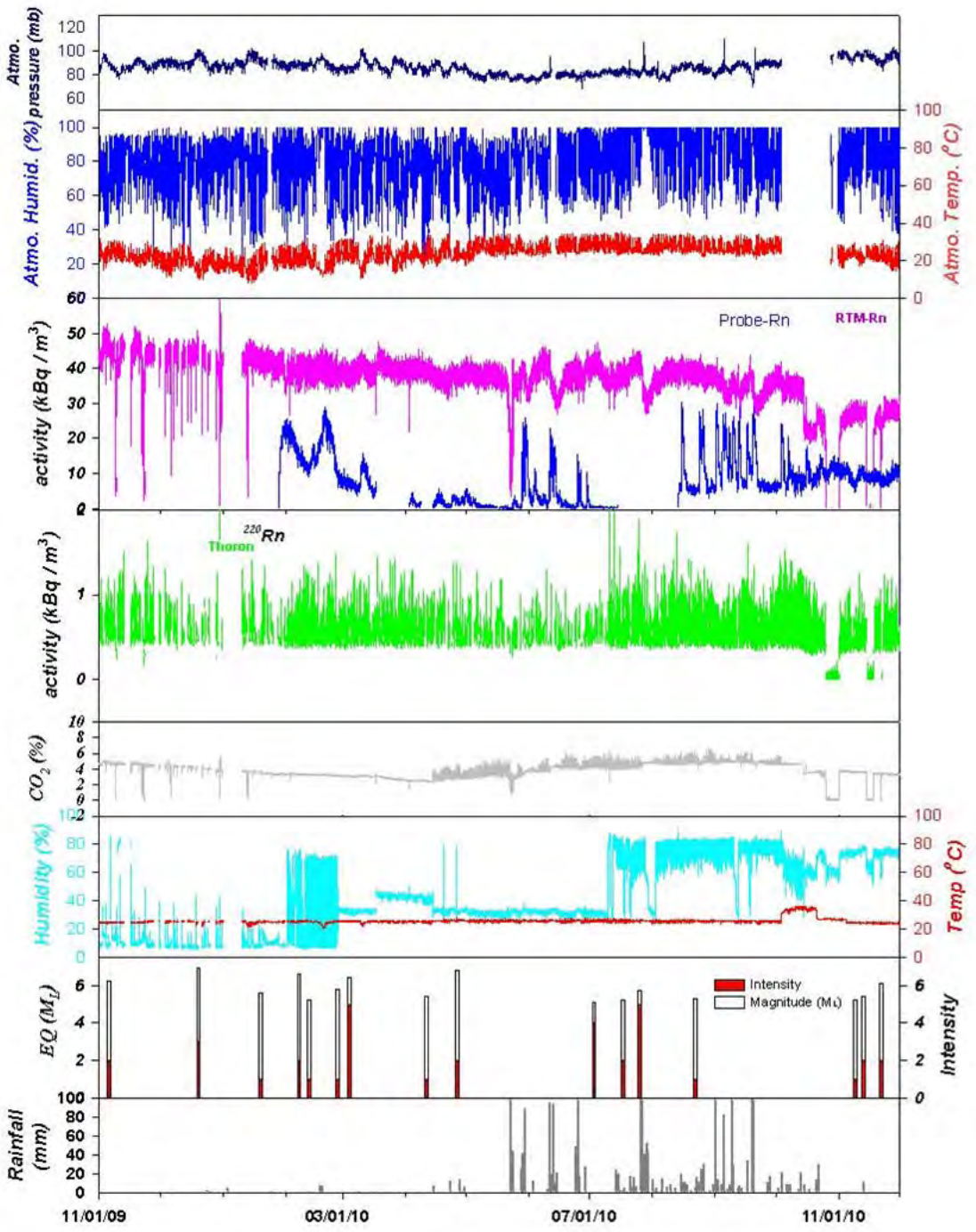


圖 4-55：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2009/11/01- 2010/11/30）。

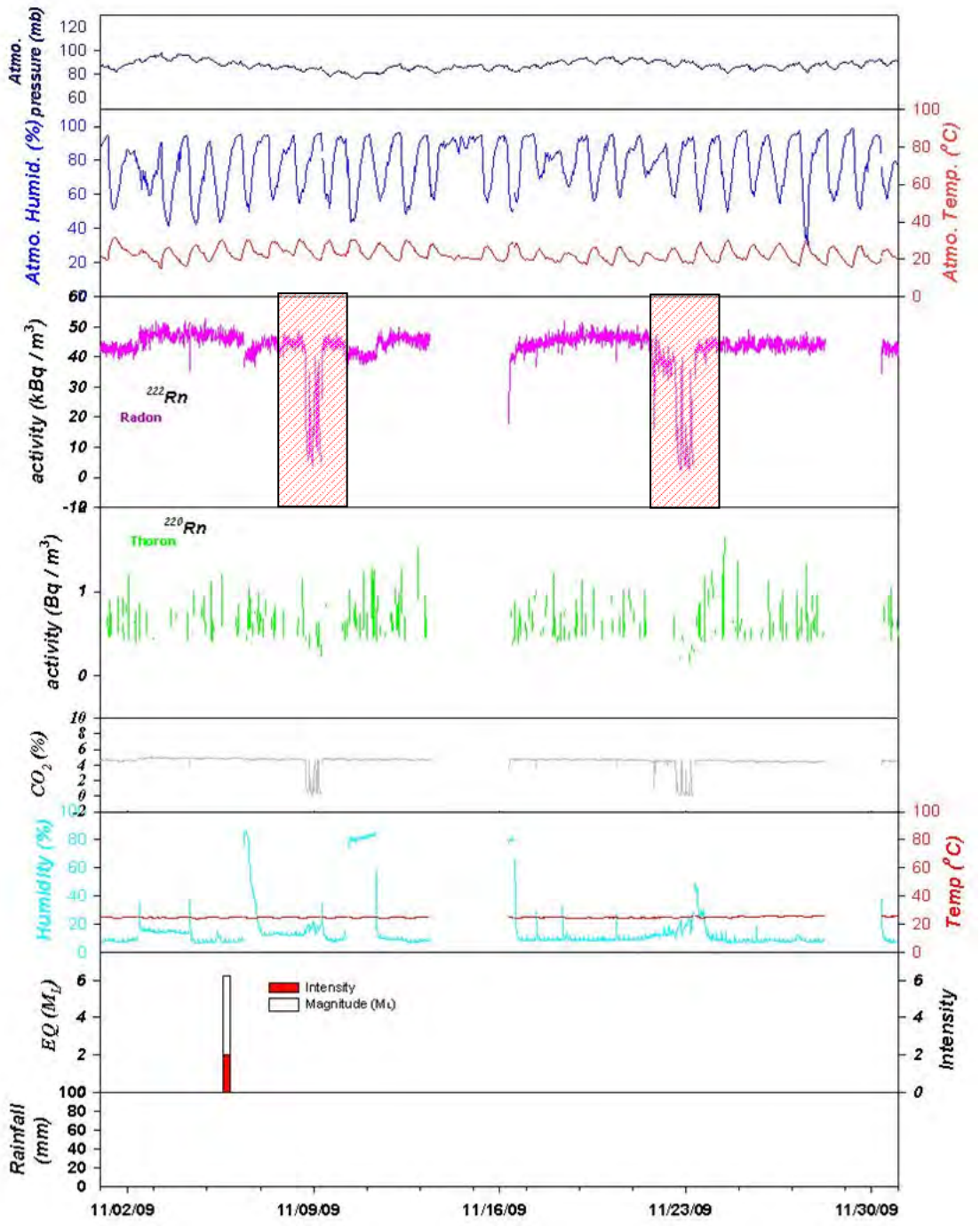


圖 4-56：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；黑斜線框表示電子式乾燥器結冰致氡氣下降（2009/11/01-2009/11/30）。



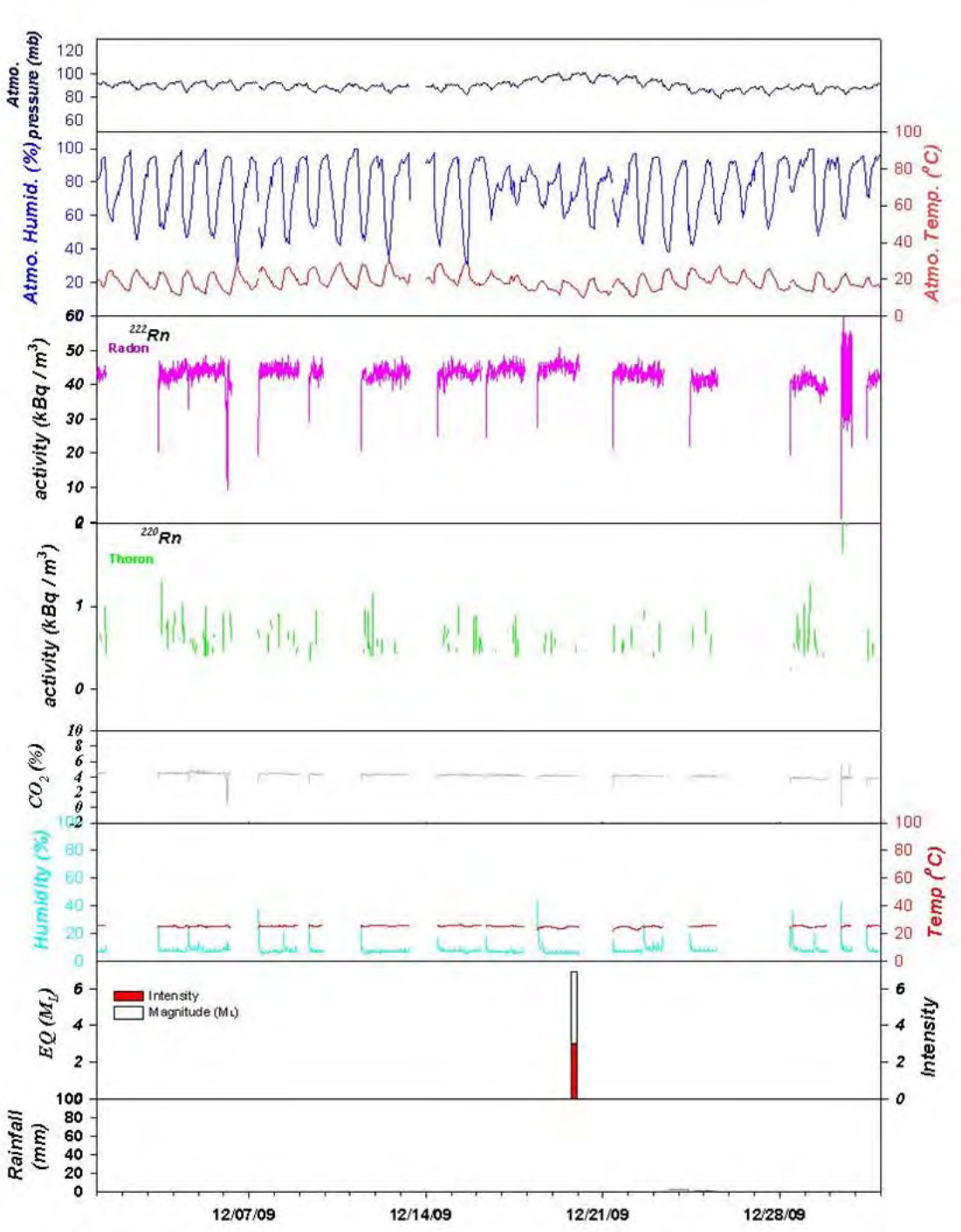


圖 4-57：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2009/12/01- 2009/12/31）。



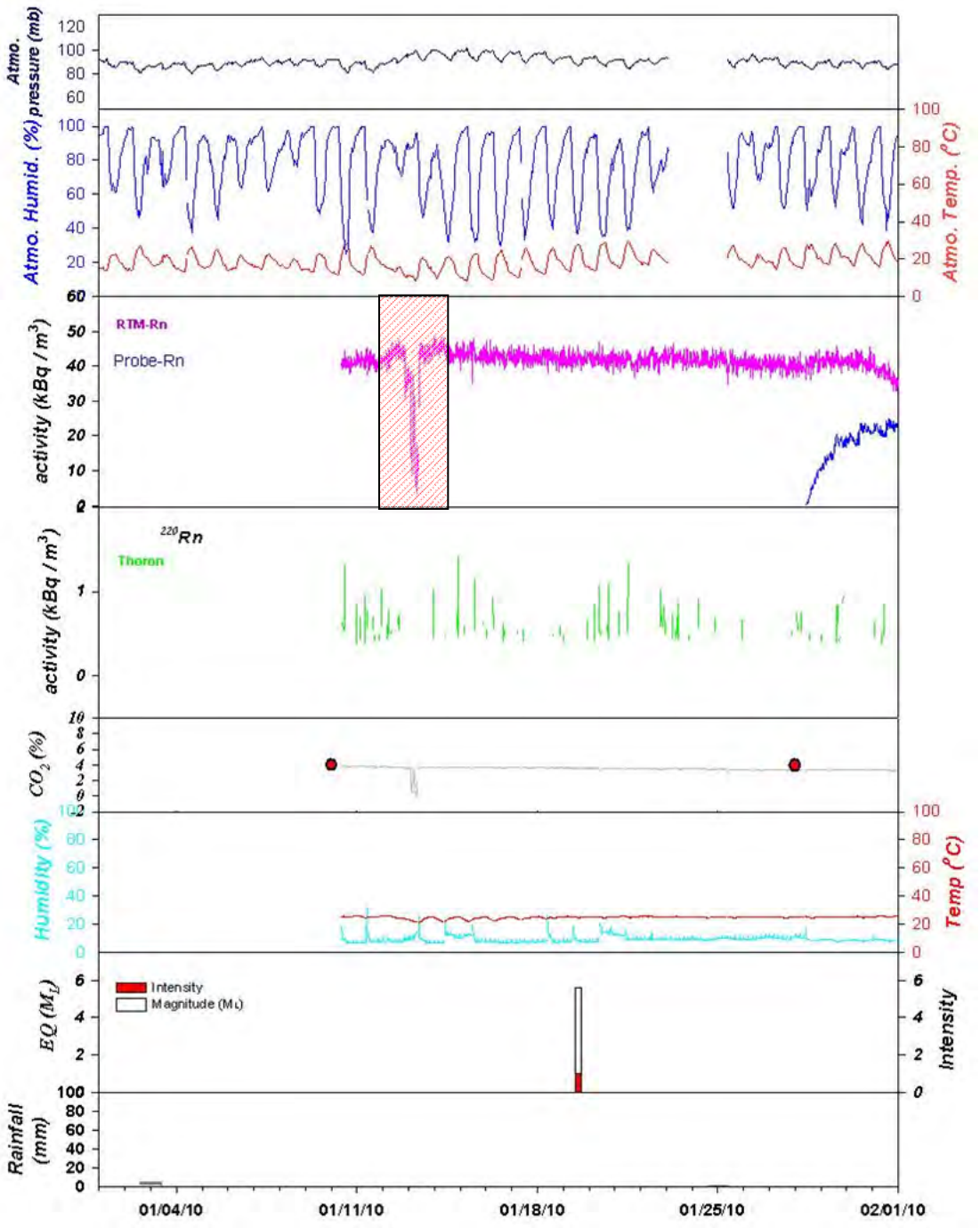


圖 4-58：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；黑斜線框表示電子式乾燥器結冰致氡氣下降（2010/01/01- 2010/01/31）。



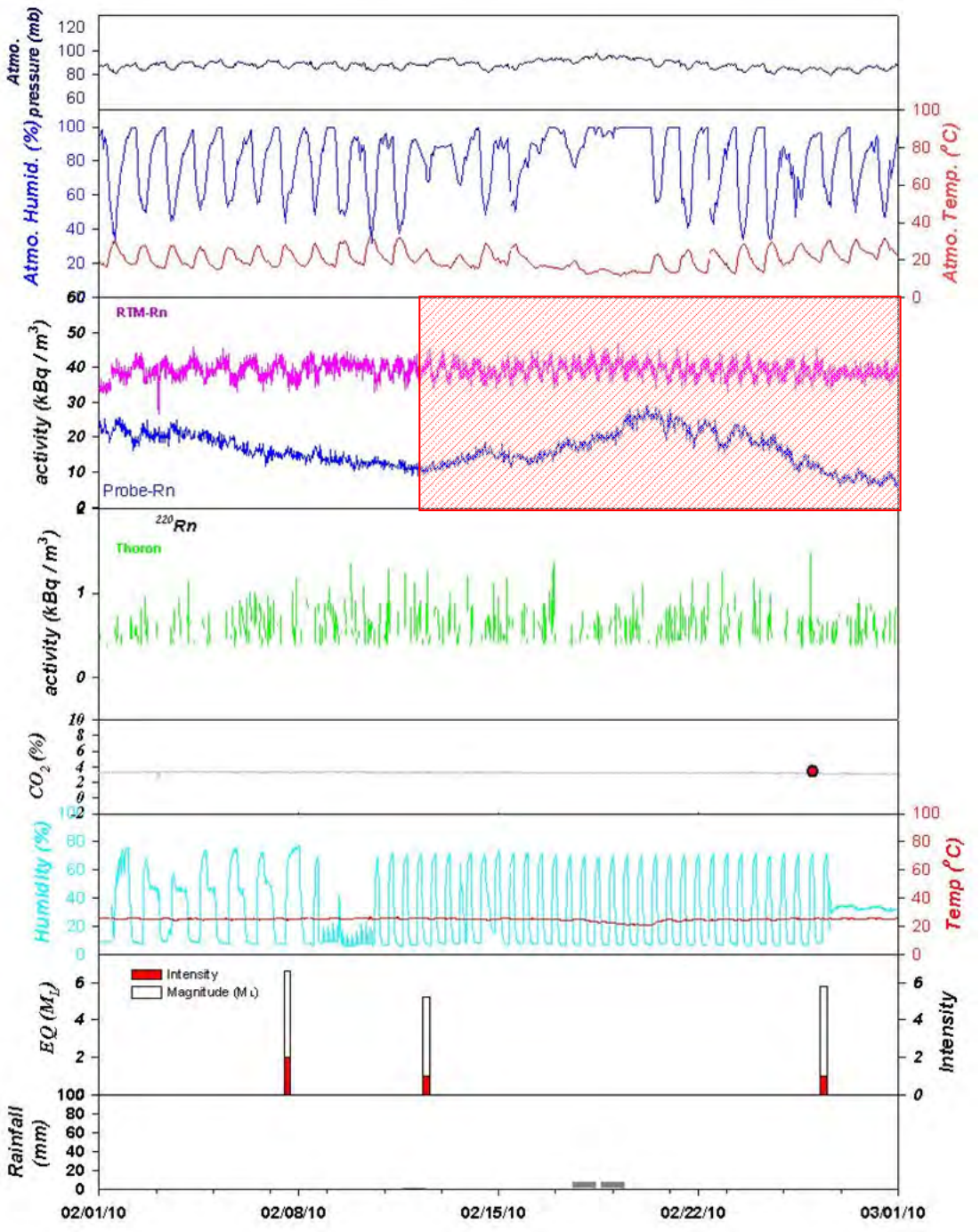
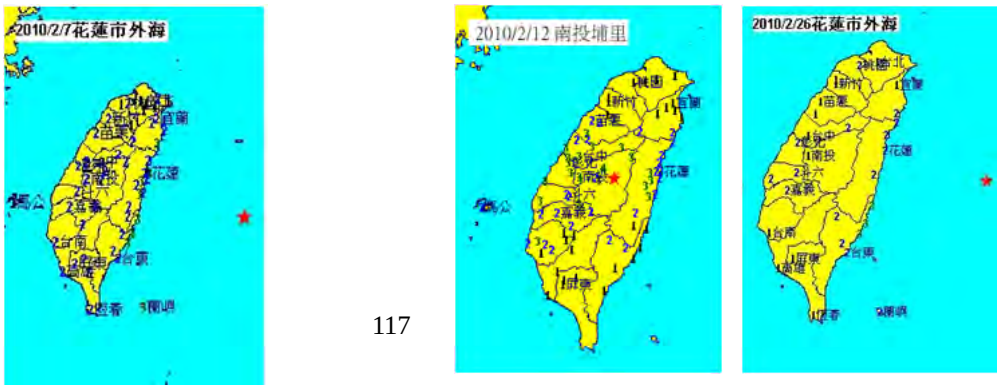


圖 4-59：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅斜線框表示氡氣異常區間（2010/02/01- 2010/02/28）。



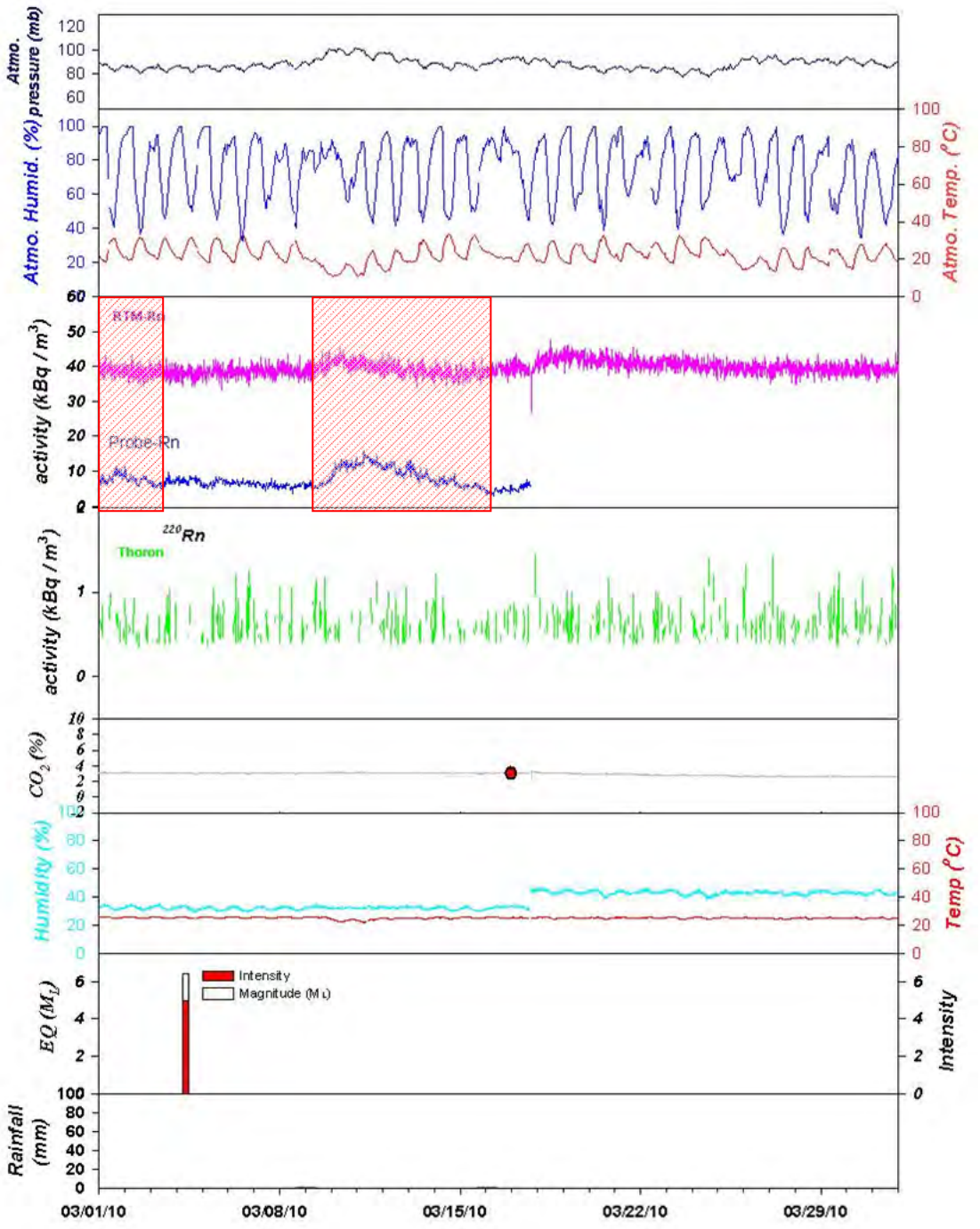


圖 4-60：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅斜線框表示氡氣異常區間（2010/03/01- 2010/03/31）。



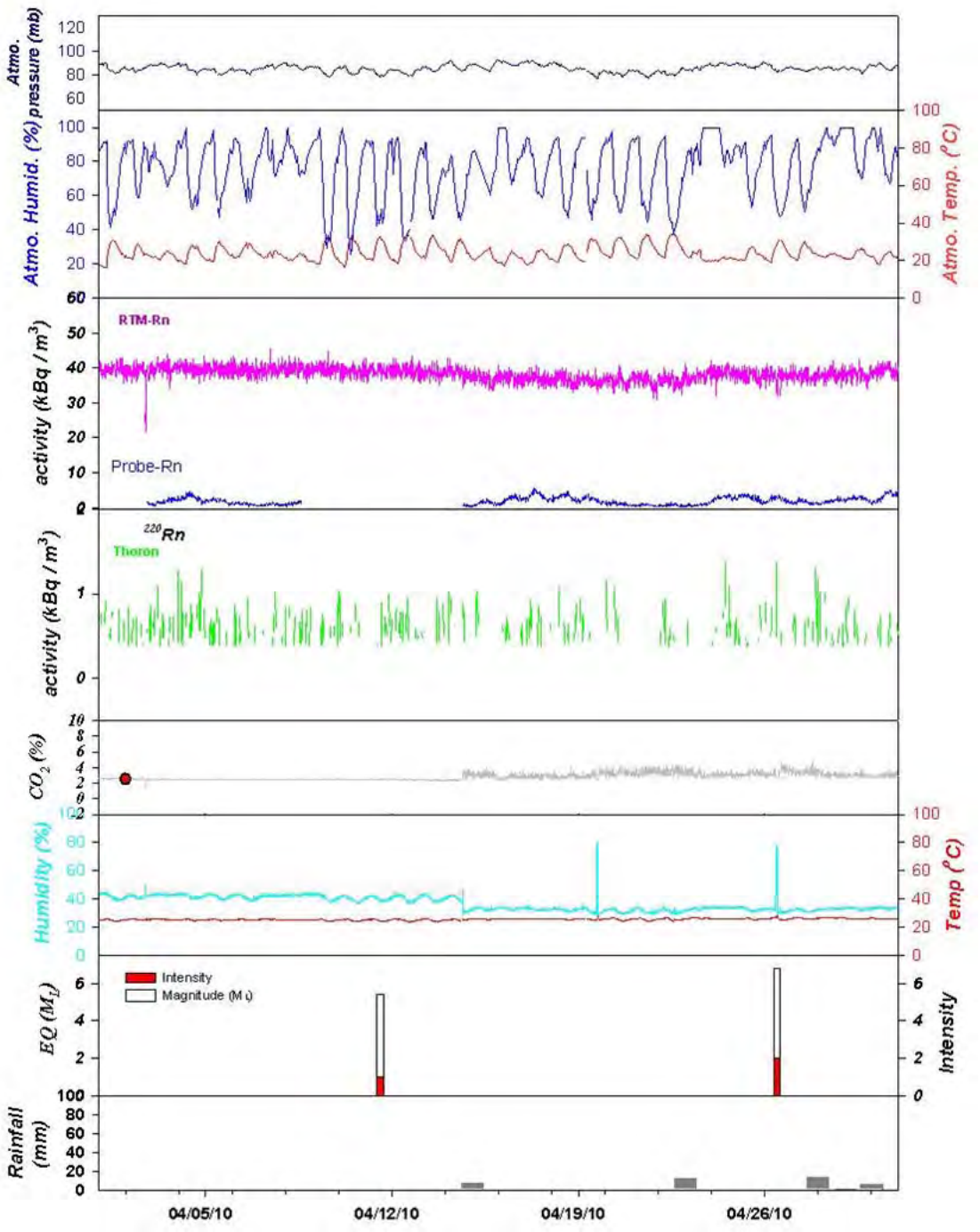
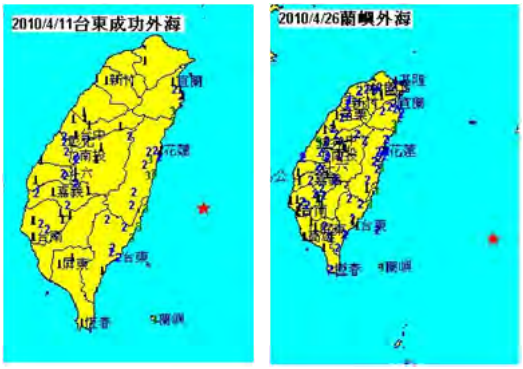


圖 4-61：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2010/04/01-2010/04/30）。



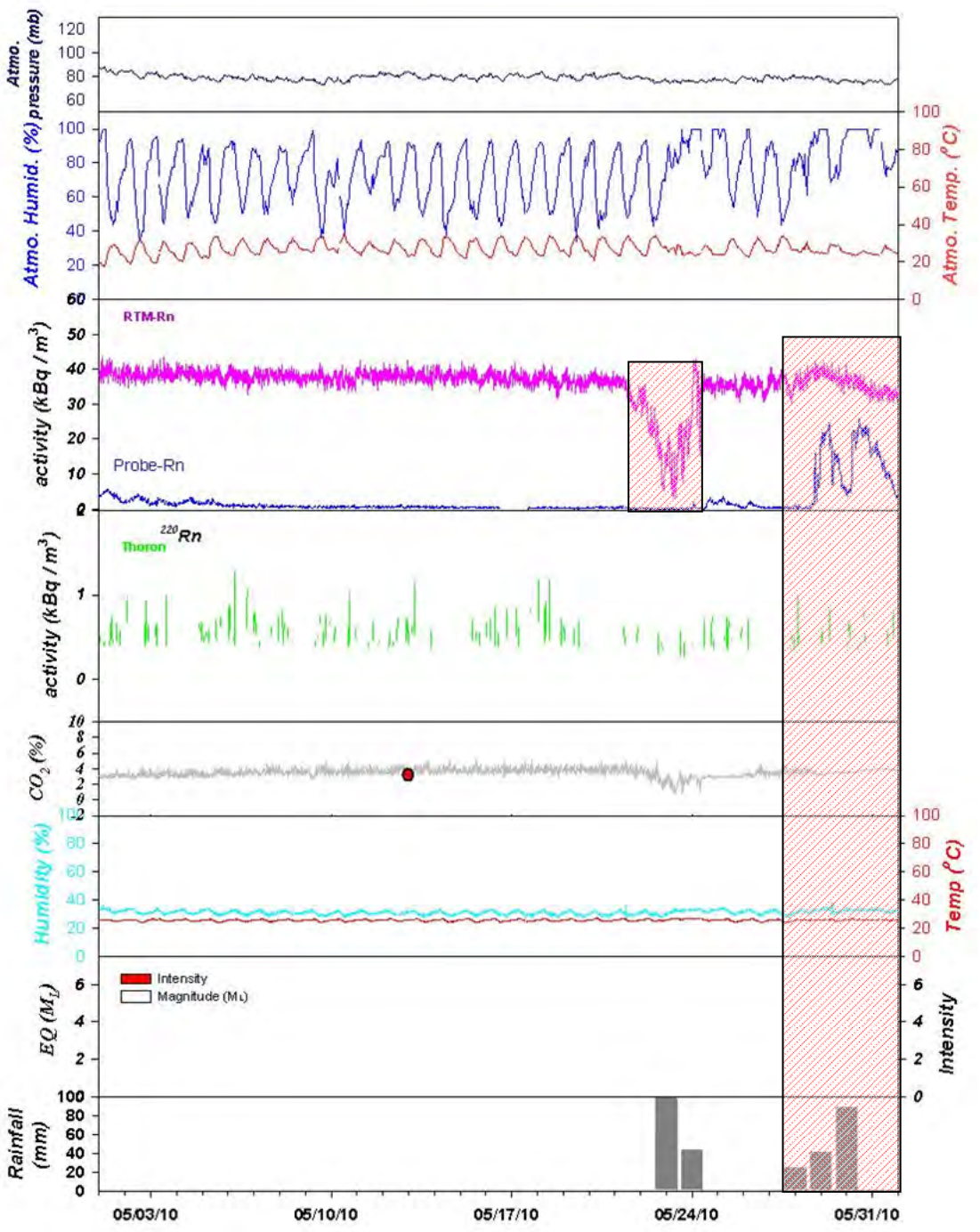


圖 4-62：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；黑斜線框表示降雨影響區間（2010/05/01- 2010/05/31）。

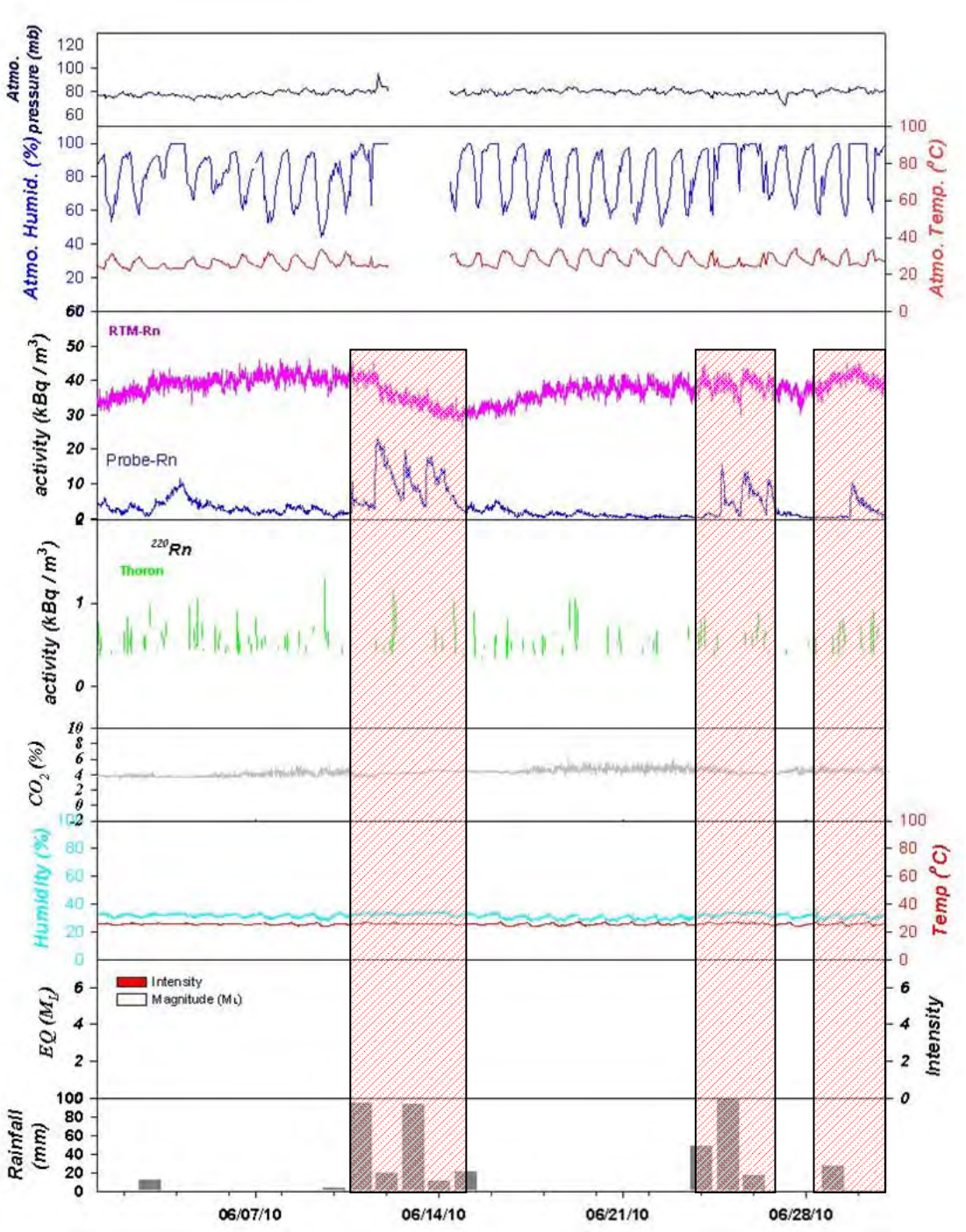


圖 4-63：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；黑斜線框表示降雨影響區間（2010/06/01-2010/06/30）。

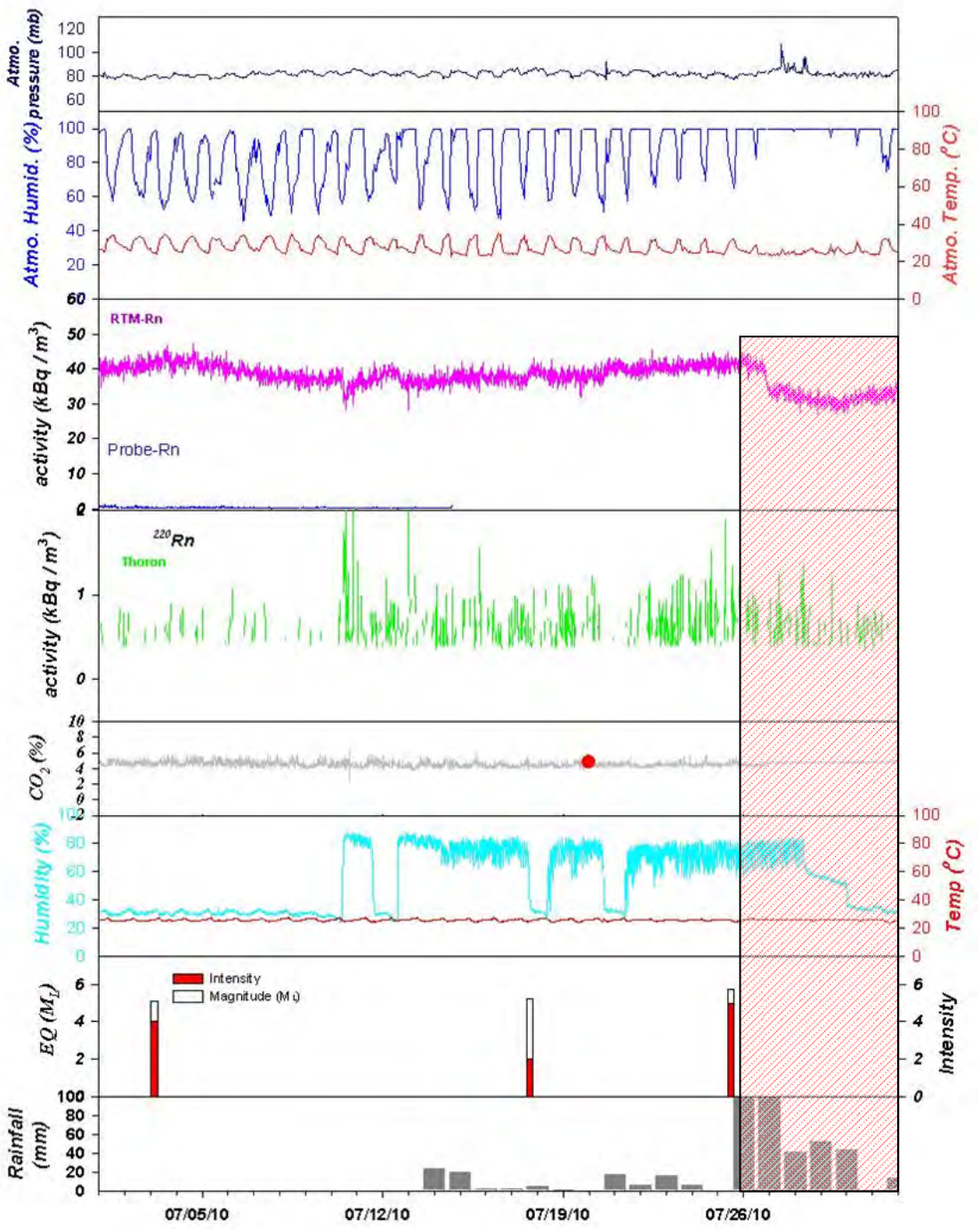


圖 4-64：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；黑斜線框表示降雨影響區間（2010/07/01-2010/07/31）。







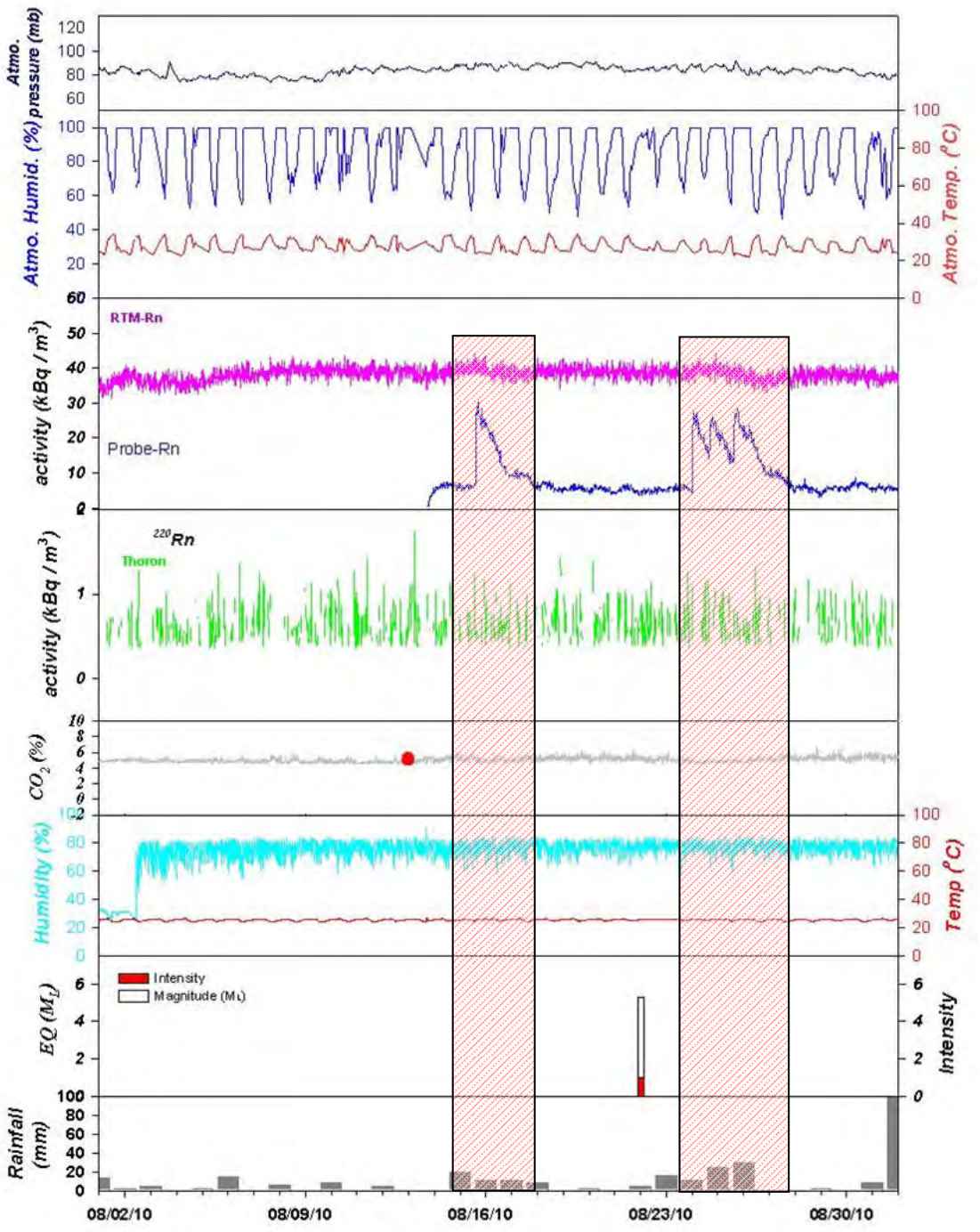


圖 4-65：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；黑斜線框表示降雨影響區間（2010/08/01-2010/08/31）。



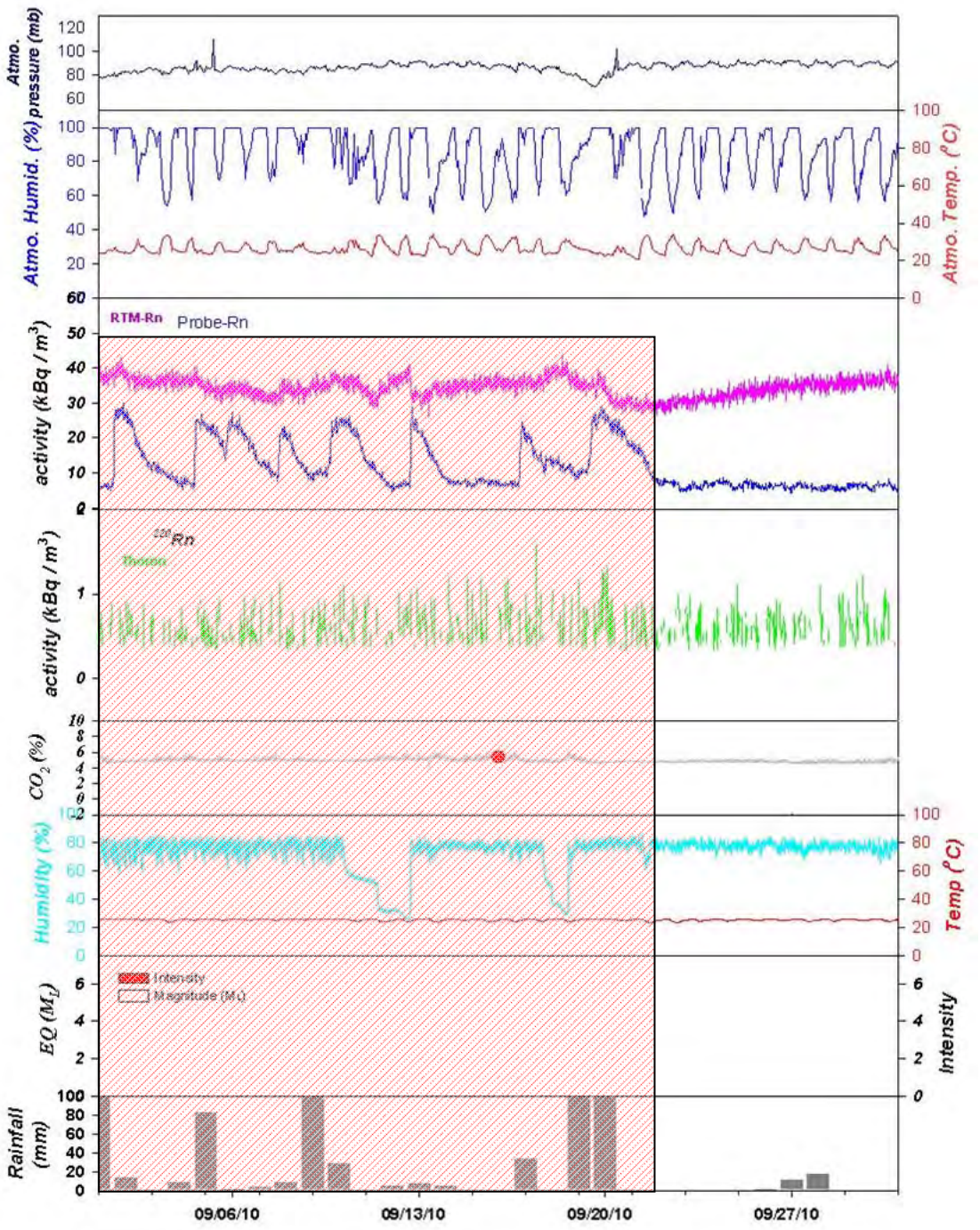


圖 4-66：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；黑斜線框表示降雨影響區間（2010/09/01-2010/09/30）。

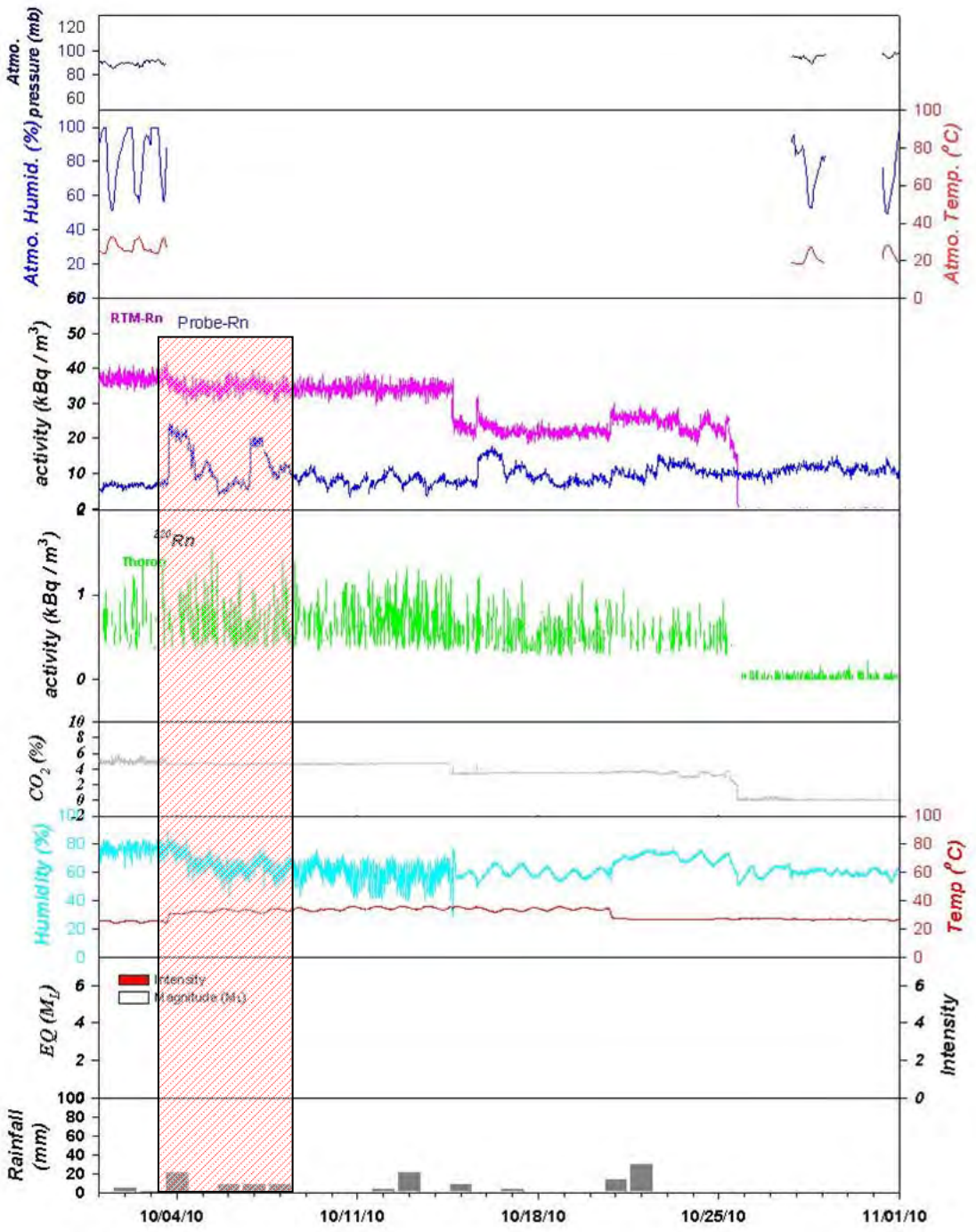


圖 4-67：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；黑斜線框表示降雨影響區間（2010/10/01-2010/10/31）。

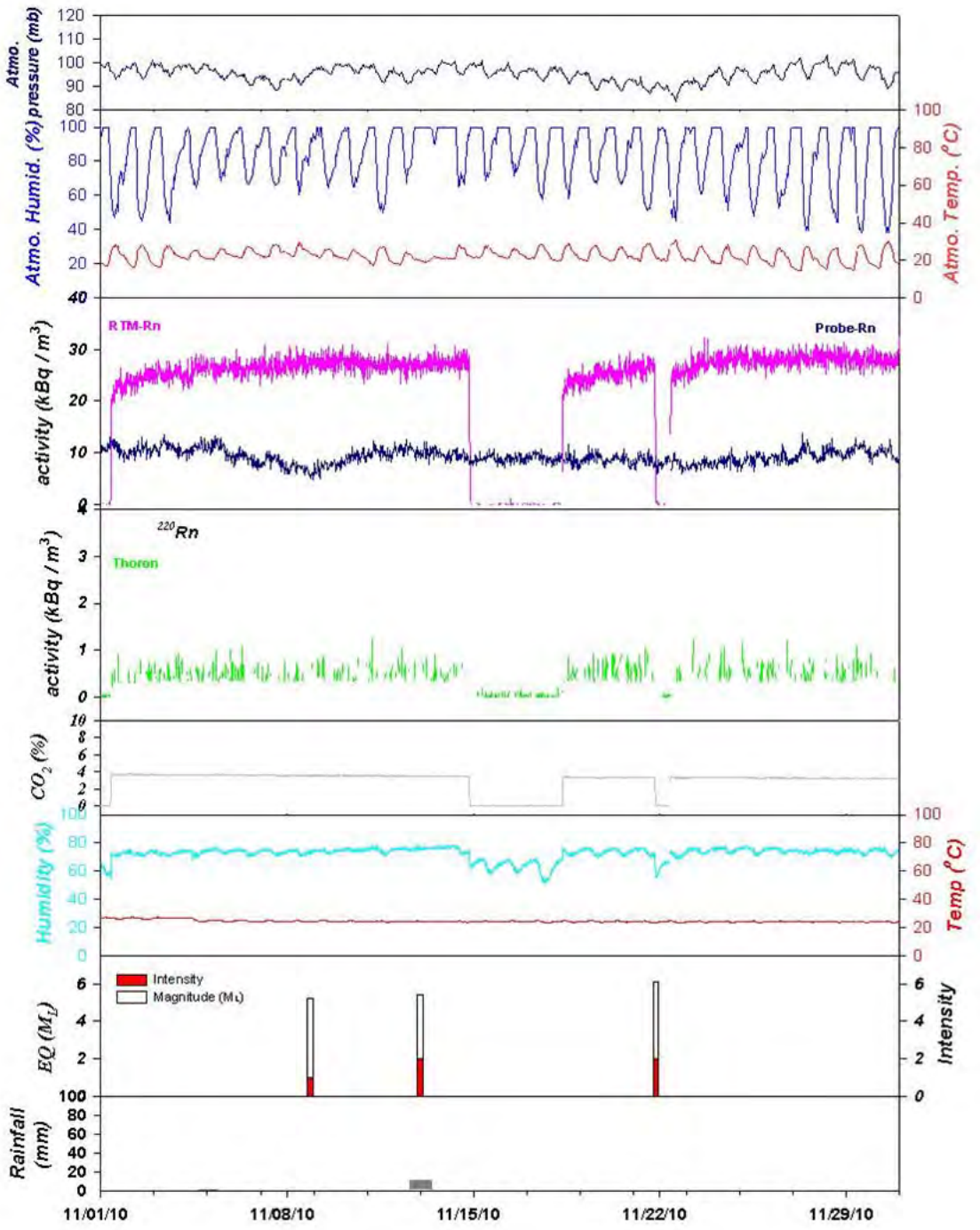
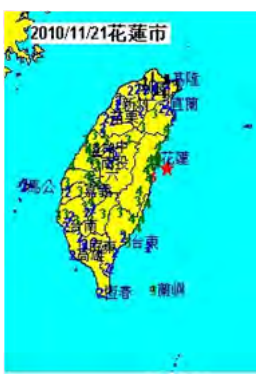


圖 4-68：屏東屏科大土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/11/01-2010/11/30）。







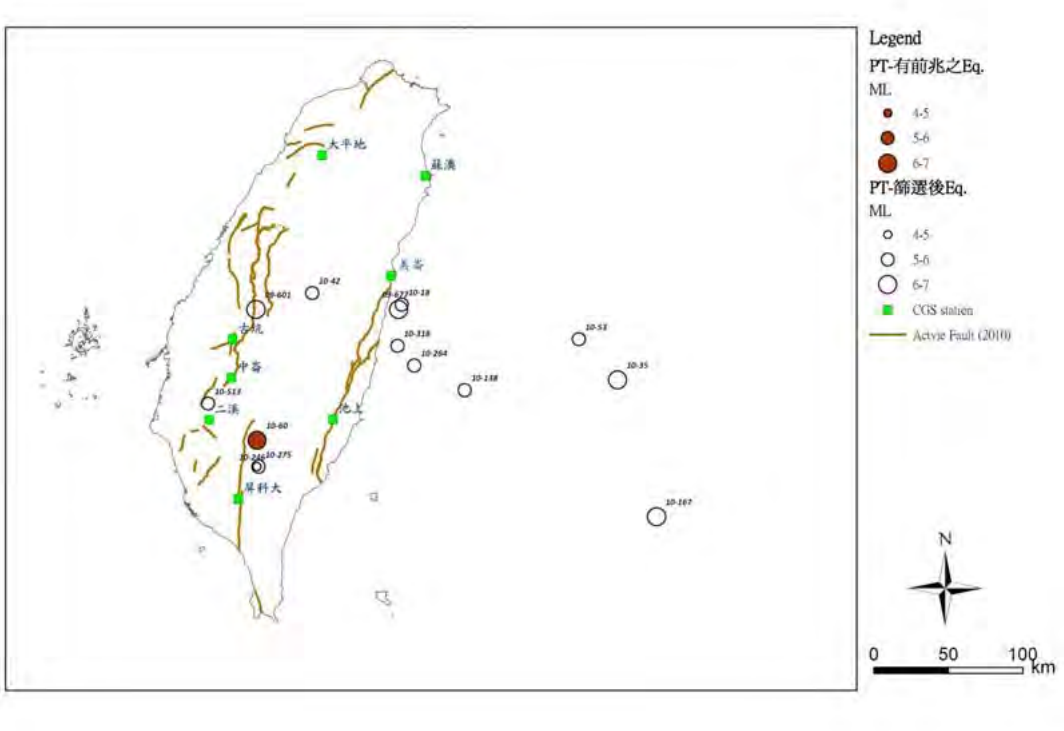


圖 4-69：屏科大測站相關地震位置分布圖。

表 4-6：屏科大測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30)。

No	西元時間	規模	深度(km)	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
09-601	2009/11/5 17:32	6.2	24.1	南投名間地震站南偏東方 10.1 公里	2	x	127.67	無異常
09-604	2009/11/5 19:34	5.7	24	南投名間地震站南偏東方 13.6 公里	1	x	125.90	
09-677	2009/12/19 21:02	6.9	43.8	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里	3	19.32	166.40	無異常
09-728	2009/12/23 23:20	4	10.9	台東大武地震站東方 12.0 公里	1	x	51.00	
10-8	2010/1/9 07:40	4.4	34.2	屏東市地震站東南方 11.0 公里	3	23.39	4.53	
10-9	2010/1/10 11:24	4.5	85.2	台東市地震站南偏東方 36.4 公里	1	x	74.60	
10-15	2010/1/17 09:49	3.9	51	台東市地震站西方 32.1 公里	1	1.91	26.17	
10-18	2010/1/19 14:09	5.6	41	花蓮市地震站南偏東方 18.2 公里	1	2.09	170.25	無異常
10-35	2010/2/7 14:10	6.6	15.5	花蓮市地震站東偏南方 165.7 公里	2	2.81	265.75	無異常
10-42	2010/2/12 10:42	5.2	14	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里	1	1.14	146.67	無異常
10-53	2010/2/26 09:07	5.8	31.1	花蓮市地震站東偏南方 131.7 公里	1	x	251.58	無異常
10-60	2010/3/4 08:18	6.4	22.6	高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里	5	99.53	41.66	前震反應
10-61	2010/3/4 08:24	4.7	20.2	高雄甲仙地震站南偏東方 10.6 公里	2	7.9	39.93	
10-62	2010/3/4 08:43	3.7	10.1	高雄甲仙地震站東南方 17.8 公里	1	x	35.50	
10-63	2010/3/4 08:54	3.4	13.3	高雄甲仙地震站東南方 19.7 公里	2	x	36.42	
10-64	2010/3/4 08:54	3.7	10.9	高雄甲仙地震站東南方 17.3 公里	2	x	35.25	
10-67	2010/3/4 09:57	3.6	15.3	高雄甲仙地震站南偏東方 16.0 公里	2	x	35.91	
10-68	2010/3/4 10:01	3.8	17.1	高雄甲仙地震站東南方 14.2 公里	2	2.87	39.36	
10-70	2010/3/4 10:30	3.8	18.6	高雄甲仙地震站東南方 10.9 公里	3	x	40.14	
10-71	2010/3/4 10:32	3.9	27.3	高雄桃源地震站南方 19.2 公里	2	3.23	41.64	
10-72	2010/3/4 10:34	3.7	11.9	高雄甲仙地震站東南方 18.9 公里	1	x	35.78	
10-73	2010/3/4 10:43	3.7	18	高雄甲仙地震站東南方 16.2 公里	1	x	37.64	
10-74	2010/3/4 10:48	3.9	25.2	高雄甲仙地震站東南方 18.1 公里	1	1.68	38.19	
10-75	2010/3/4 12:01	3.8	23	高雄甲仙地震站東南方 14.1 公里	2	x	38.27	
10-76	2010/3/4 13:24	3.8	14.1	高雄甲仙地震站南偏東方 9.4 公里	1	x	41.03	
10-78	2010/3/4 16:07	4.4	21.6	高雄甲仙地震站東南方 11.8 公里	2	4.97	40.14	
10-79	2010/3/4 16:16	5.7	16.6	高雄甲仙地震站東南方 17.1 公里	4	48.57	36.32	
10-80	2010/3/4 16:27	4.3	18.9	高雄甲仙地震站東南方 16.6 公里	2	6.46	37.64	
10-81	2010/3/4 17:47	4.3	20.5	高雄甲仙地震站南偏東方 14.1 公里	2	7.66	36.72	
10-82	2010/3/4 18:31	3.7	15.1	高雄甲仙地震站東南方 16.7 公里	2	x	36.32	
10-83	2010/3/4 20:09	3.7	10.1	高雄甲仙地震站東南方 22.1 公里	2	x	34.35	
10-84	2010/3/5 00:05	4	20	高雄甲仙地震站東南方 6.7 公里	1	1.14	43.17	
10-90	2019/3/9 01:54	4.2	26.2	高雄甲仙地震站南方 15.6 公里	1	x	33.43	

No	西元時間	規模	深度(km)	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-91	2010/3/9 13:31	4.1	20.9	高雄甲仙地震站東南方 17.0 公里	3	x	40.31	
10-93	2010/3/10 04:14	4.1	17.4	高雄甲仙地震站南偏東方 11.0 公里	3	x	38.82	
10-98	2010/3/13 17:15	3.7	25.5	高雄桃源地震站南偏西方 12.9 公里	1	x	46.72	
10-114	2010/3/23 06:26	4	12.8	高雄甲仙地震站東南方 23.2 公里	2	x	36.56	
10-122	2010/3/27 20:16	4	21.7	高雄甲仙地震站南偏東方 9.4 公里	2	x	39.82	
10-138	2010/4/11 12:57	5.4	10	台東成功地震站東偏北方 76.5 公里	1	1.91	168.20	無異常
10-167	2010/4/26 10:59	6.8	20	台東蘭嶼地震站東偏北方 190.4 公里	2	3.53	279.61	無異常
10-176	2010/5/3 02:00	4.6	19.2	高雄甲仙地震站南偏西方 12.7 公里	2	7.06	36.85	
10-194	2010/5/23 18:20	4.3	27	屏東市地震站東偏北方 30.3 公里	3	16.15	24.88	
10-196	2010/5/24 04:22	2.8	9.2	台東大武地震站北偏西方 33.1 公里	2	x	22.61	
10-198	2010/5/25 12:01	3.7	19	高雄甲仙地震站東南方 19.9 公里	1	x	34.72	
10-203	2010/5/29 12:57	3.1	18.2	高雄旗山地震站東偏北方 18.1 公里	3	x	25.45	
10-208	2010/6/6 03:35	4.3	39.9	台東市地震站東方 15.4 公里	1	x	72.84	
10-224	2010/6/16 14:23	4.2	7.1	高雄甲仙地震站南偏東方 22.5 公里	3	10.41	30.19	
10-229	2010/6/17 23:14	3.1	4.6	台東大武地震站北偏西方 33.5 公里	2	x	22.61	
10-237	2010/6/21 19:50	4	14.8	台東大武地震站北偏東方 8.6 公里	1	1.5	40.24	
10-244	2010/7/2 03:48	3.2	7.6	台東市地震站西方 25.6 公里	2	x	35.50	
10-246	2010/7/3 03:11	5.1	16.3	屏東市地震站東北方 30.0 公里	4	45.82	25.31	無異常
10-264	2010/7/17 17:04	5.2	42	花蓮玉里地震站東偏北方 47.3 公里	2	2.87	147.90	無異常
10-275	2010/7/25 11:52	5.7	19.5	屏東市地震站東偏北方 30.6 公里	5	120.71	25.82	無異常
10-276	2010/7/25 11:53	3.8	22.4	屏東市地震站東北方 18.9 公里	2	x	17.72	
10-277	2010/7/25 11:55	3.1	17.9	屏東市地震站東北方 24.0 公里	2	x	20.12	
10-278	2010/7/25 12:38	2.4	9.2	屏東市地震站東偏北方 31.2 公里	1	x	25.45	
10-279	2010/7/26 07:32	3.5	5.8	屏東市地震站東偏北方 30.3 公里	2	x	24.88	
10-288	2010/7/31 22:49	4.7	15.8	高雄甲仙地震站南偏東方 15.5 公里	2	3.53	34.34	
10-318	2010/8/22 00:37	5.3	27	花蓮西林地震站東南方 34.7 公里	1	1.38	147.97	無異常
10-332	2010/8/29 22:20	3.3	17.1	高雄旗山地震站東偏北方 23.6 公里	3	x	25.76	
10-356	2010/9/10 10:36	2.9	6	台東市地震站西偏南 21.2 公里	1	x	36.34	
10-381	2010/9/27 11:12	3	4.5	台東市地震站西方 18.1 公里	1	x	39.25	
10-404	2010/9/30 02:05	3.6	5.3	台東市地震站西方 17.4 公里	2	x	40.53	
10-413	2010/10/1 12:53	3.2	6.2	台東市地震站西方 14.8 公里	1	x	42.23	
10-460	2010/10/19 15:19	3.9	5.2	台東市地震站西偏南 23.9 公里	2	4.49	35.92	
10-513	2010/11/8 21:01	5.2	19.9	台南東山地震站西偏南 10.1 公里	1	1.02	67.33	無異常
10-529	2010/11/12 23:39	5.4	43.4	屏東恆春地震站北偏西方 20.0 公里	2	4.91	52.33	無異常

No	西元時間	規模	深度(km)	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-560	2010/11/21 20:31	6.1	40.7	花蓮市地震站東南方 21.6 公里	2	6.7	175.75	儀器故障

4-6 台東池上土壤氣體觀測站

圖 4-70 至圖 4-83 為台東池上觀測站 2009 年 10 月 21 日至 2010 年 11 月的連續觀測結果。圖 4-70 是總圖表（2009 年 10 月 21 日至 2010 年 11 月）。圖 4-71 至圖 4-83 是分月圖表。其中測站同步觀測的環境影響因子（溫溼度、雨量、大氣壓力），4 月 26 日至 4 月 28 日及 10 月 3 日至 10 月 10 日因停電造成數據遺失;7 月 23 日至 8 月 26 日則是溫溼度感應器故障致無資料記錄。土壤氡氣部分，原編號 198 氡氣分析儀於去年 10 月 1 日送回原廠檢修，所以 10 月 1 日至 1 月 9 日是使用編號 110 的氡氣分析儀。1 月 9 日至今使用的是原廠檢修送回的編號 198 氡氣分析儀。由圖上觀察可知兩台氡氣分析儀分析的氡氣濃度值對比後無顯著的差異。

圖 4-71 至圖 4-73 是 11 月至 1 月的觀測結果。觀察此段時間有 3 段氡氣異常變化區間與地震的發生有密切的關聯性；也有多段氡氣異常區間無法與同樣時間內發生的地震作相關的連結。分述如下:10 月 26 日至 11 月 3 日為一氡氣異常變化區間，氡氣濃度在 2,000 Bq/m^3 至 8,000 Bq/m^3 之間，可以視為是 11 月 5 日發生於南投名間的地震（規模 6.2，震度 2 級，深度 24.1 km，距離測站 89.6 km）的前兆反應時間。12 月 3 日至 12 月 19 日為一氡氣異常變化區間，氡氣濃度持續異常時間為 16 天，應可視為是 12 月 19 日發生於花蓮市的地震（規模 6.9，震度 4 級，深度 43.8 km，距離測站 85.2 km)的前兆反應時間。1 月 14 日至 1 月 18 日為一氡氣異常變化區間，氡氣濃度在 6,000 Bq/m^3 至 9,000 Bq/m^3 之間，可以視為是 1 月 19 日發生於花蓮市的地震（規模 5.6，震度 2 級，深度 41 km，距離測站 89.1 km）的前兆反應時間。

圖 4-74 及圖 4-75 是 2 月及 3 月的觀測結果。3 月 8 日至 3 月 9 日因停電造成氡氣無數據紀錄。此時期仍有多段氡氣異常變化區間與地震有密切的關聯，亦有只是氡氣異常變化卻與地震無任何關係。分述如下：1 月 23 日至 2 月 2 日為一氡氣異常變化區間，氡氣濃度在 6,000 Bq/m^3 至 10,000 Bq/m^3 之間，可以視為是 2 月 7 日發生於花蓮市的地震（規模 6.6，震度 2 級，深度 15.5 km，距離測站 192 km）的前兆反應時間。2 月 3 日至 2 月 13 日為一氡氣異常變化區間，氡氣濃度在 6,000 Bq/m^3 至 11,000 Bq/m^3 之間，可視為是 2 月 12 日發生於南投埔里的地震（規模 5.2，震度 2 級，深度 14 km，距離測站 85.3 km）的前兆反應時間。2 月 13 日至 2 月 16 日為一氡氣異常變化區間，由於變化幅度較小（約 2,000 Bq/m^3 變化量），距離遠，因此是否可以視為是 2 月 22 日發生於宜蘭蘇澳外海的地震（規模 5.6，震度 1 級，深度 28.1 km，距離測站 221 km）的前兆反應時間，仍待討論。2 月 18 日至 3 月 3 日為一氡氣異常變化區間，持續時間長達 13 天，氡氣濃度在 6,000 Bq/m^3 至 11,000 Bq/m^3 之

間,可以視為是 3 月 4 日發生於高雄甲仙的地震(規模 6.4,震度 4 級,深度 22.6 km,距離測站 53.1 km)的前兆反應時間。3 月 21 日至 3 月 27 日為一氡氣異常變化區間,氡氣濃度在 5,000 Bq/m^3 至 10,000 Bq/m^3 之間,可以視為是 3 月 27 日發生於花蓮秀林的地震(規模 5.2,震度 1 級,深度 55 km,距離測站 119 km)的前兆反應時間。

圖 4-76 是 4 月的觀測結果。4 月 3 日至 4 月 7 日為一氡氣異常變化區間,可以視為是 4 月 11 日發生於台東成功的地震(規模 5.4,震度 2 級,深度 10 km,距離測站 89.9 km)的前兆反應時間。4 月 7 日至 4 月 14 日為一氡氣異常變化區間,氡氣濃度在 4,000 Bq/m^3 至 10,000 Bq/m^3 之間,可以視為是 4 月 14 日發生於台東成功的地震(規模 4.9,震度 4 級,深度 10 km,距離測站 10.2 km)的前兆反應時間。4 月 14 日至 4 月 24 日為一氡氣異常變化區間,氡氣濃度在 4,000 Bq/m^3 至 10,000 Bq/m^3 之間,觀察此異常區間持續 10 天之久,給予氡氣較長的時間反應,雖然測站與 4 月 26 日發生於蘭嶼外海的地震(規模 6.8,震度 2 級,深度 20 km,距離測站 226 km)距離可能過遠,不過仍可視為是其前兆反應時間。

圖 4-77 及圖 4-78 是 5 月及 6 月的觀測結果。5 月份雖有氡氣異常變化區間,卻無可以與之相對應的地震。6 月 8 日至 6 月 21 日為一氡氣異常變化區間,氡氣濃度在 6,000 Bq/m^3 至 9,000 Bq/m^3 之間,可以視為是 6 月 15 日發生於花蓮秀林的地震(規模 5.5,震度 3 級,深度 18.9 km,距離測站 111 km)的前兆反應時間。

圖 4-79 至及圖 4-80 是 7 月及 8 月的觀測結果。6 月 21 日至 7 月 9 日有一長達 18 天的氡氣異常變化區間,變化幅度較少(2,000 Bq/m^3 上下),這段異常時間內有兩起地震發生,一是 7 月 3 日發生於屏東市的地震(規模 5.1,震度 2 級,深度 16.3 km,距離測站 60.4 km),另一是 7 月 9 日發生於宜蘭蘇澳外海的地震(規模 5.8,震度 1 級,深度 109.5 km,距離測站 223 km),考量兩起地震的各項參數後,此段異常變化區間應與 7 月 3 日的地震有較大的關聯。8 月 7 日至 8 月 22 日為一氡氣異常變化區間,氡氣濃度在 4,000 Bq/m^3 至 9,000 Bq/m^3 之間,可以視為是 8 月 22 日發生於花蓮西林的地震(規模 5.3,震度 3 級,深度 27 km,距離測站 64.9 km)的前兆反應時間。

圖 4-81 及圖 4-83 是 9 月至 11 月的觀測結果。這段時間有多段氡氣異常變化區間與之發生的地震相關,但是如圖所示,此時期的異常變化與降雨有高度的相關性(圖上黑斜線框所示),因此無法確定 9 月 20 日發生於花蓮西林的地震(規模 5.1,震度 2 級,深度 31.9 km,距離測站 74.6 km)是否有相關性。另外一起 10 月 4 日發生於宜蘭蘇澳外海的地震(規模 6.8,震度 1 級,深度 60 km,距離測站 421 km),是否與 9 月 18 日至 10 月 2 日的氡氣異常變化有關(圖上紅斜線框所示),考量地震

與測站間的距離及震源深度，應可排除掉兩者的相關性。

大致上，本測站的土壤氡氣濃度反應可與台灣東部發生的地震較有密切關係，由數次氡氣濃度異常變化的反應發現,在氣體濃度異常上升下降之後常有地震發生，另外，過去的研究也發現，氣體濃度也會受到斷層本身的活動影響，因此部分觀測結果顯示有異常濃度值而無地震事件發生者。則需要經由潛變儀或井下應變儀進行驗證。

圖 4-84 為池上站相關地震位置分布圖。表 4-7 為池上站相關地震列表。

自 2009 年 11 月 01 日至 2010 年 11 月 30 日共有 71 起地震被偵測到,由圖可看出與池上測站相關的地震分布位置多集中在南部及東部花蓮外海。

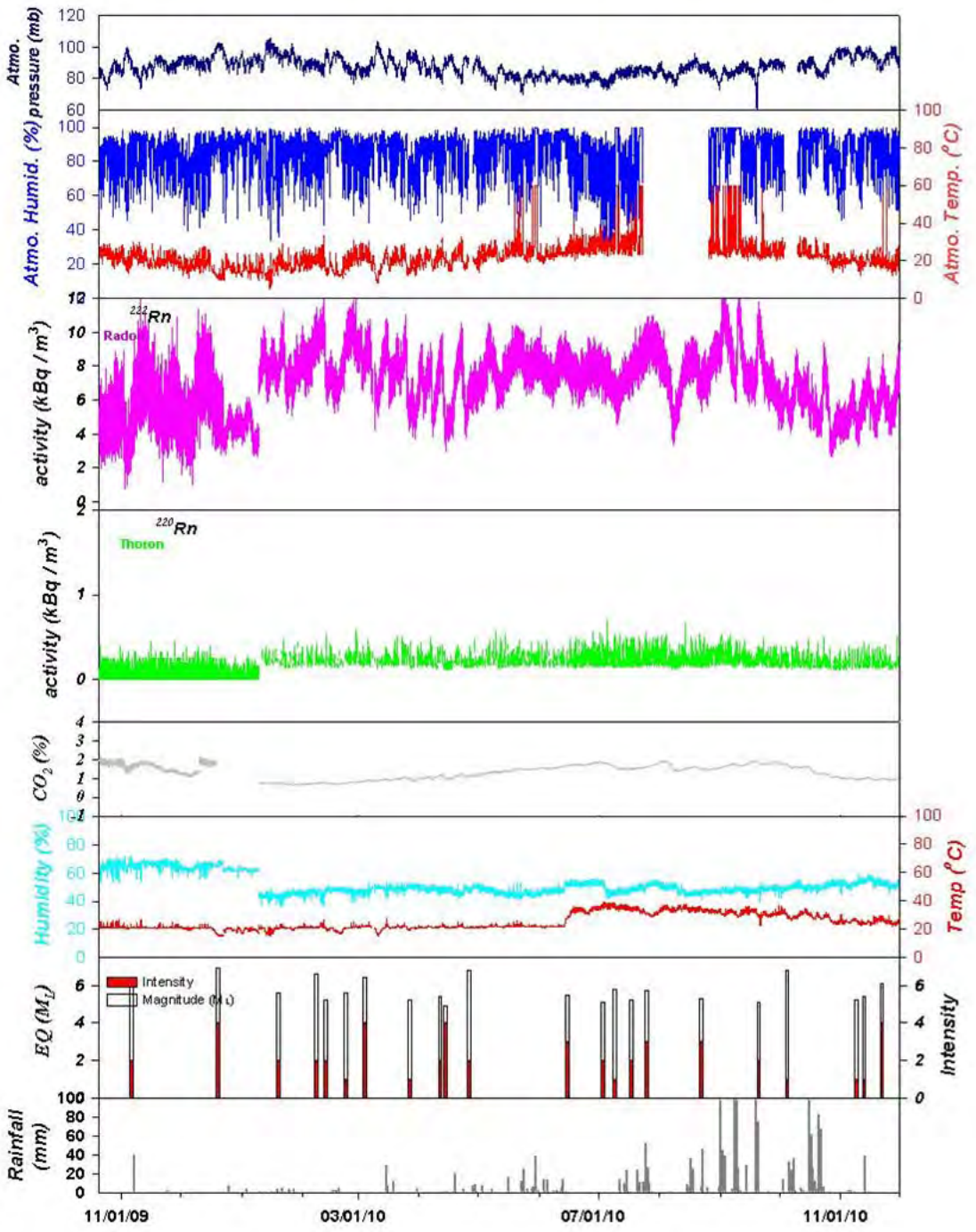


圖 4-70：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2009/10/21-2010/11/30）。

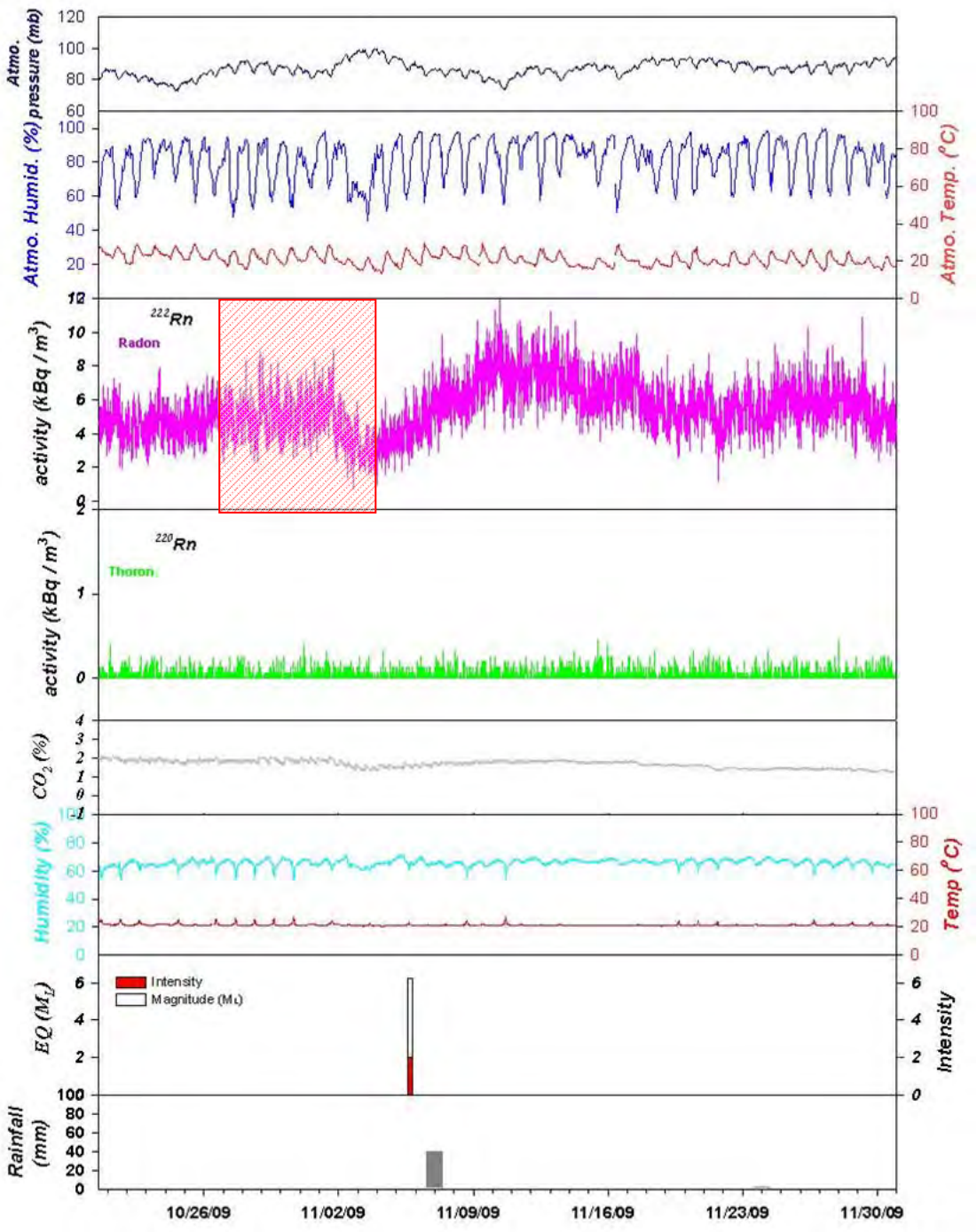


圖 4-71：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間（2009/10/21-2009/11/30）。



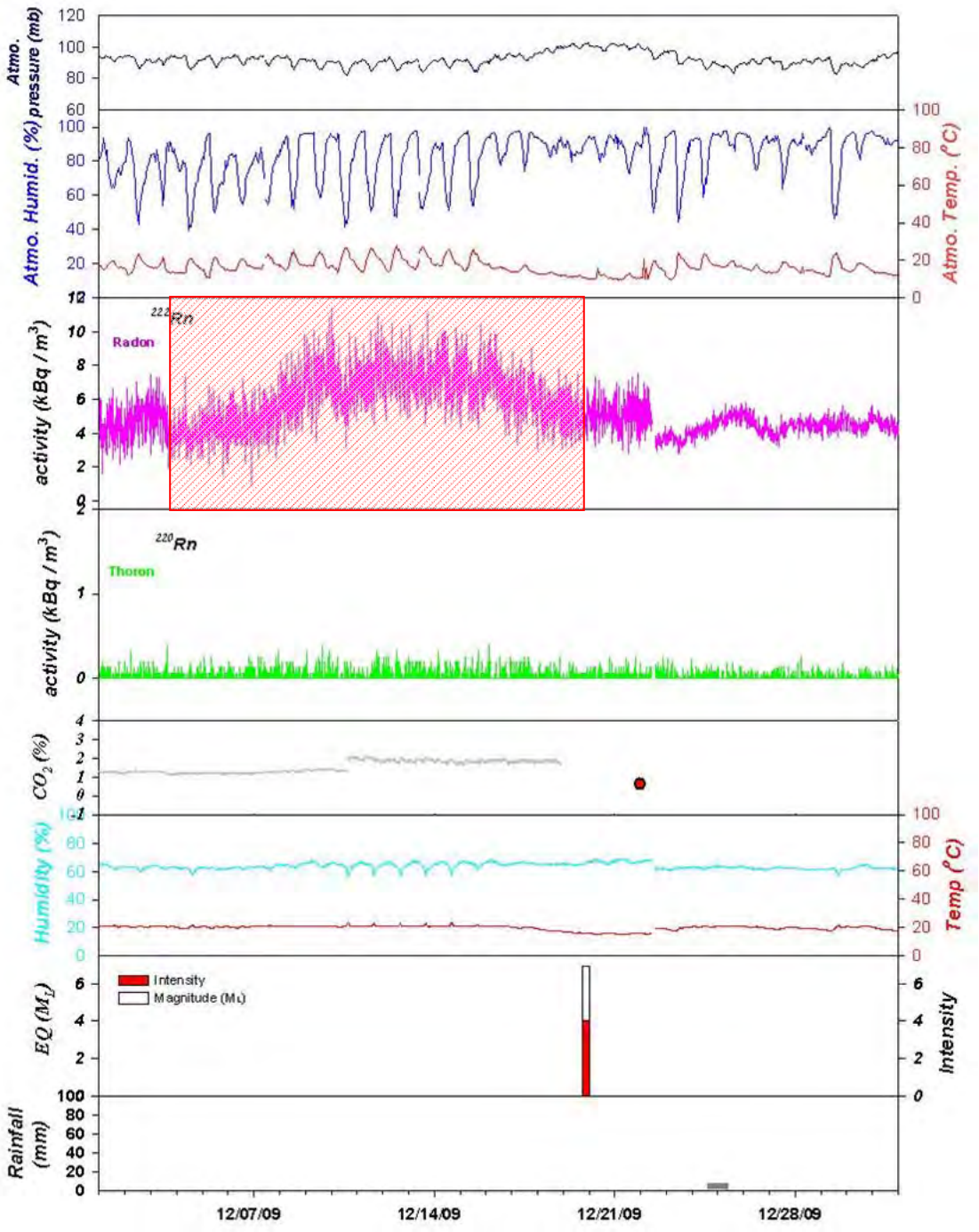


圖 4-72：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果;紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間（2009/12/01-2009/12/31）。



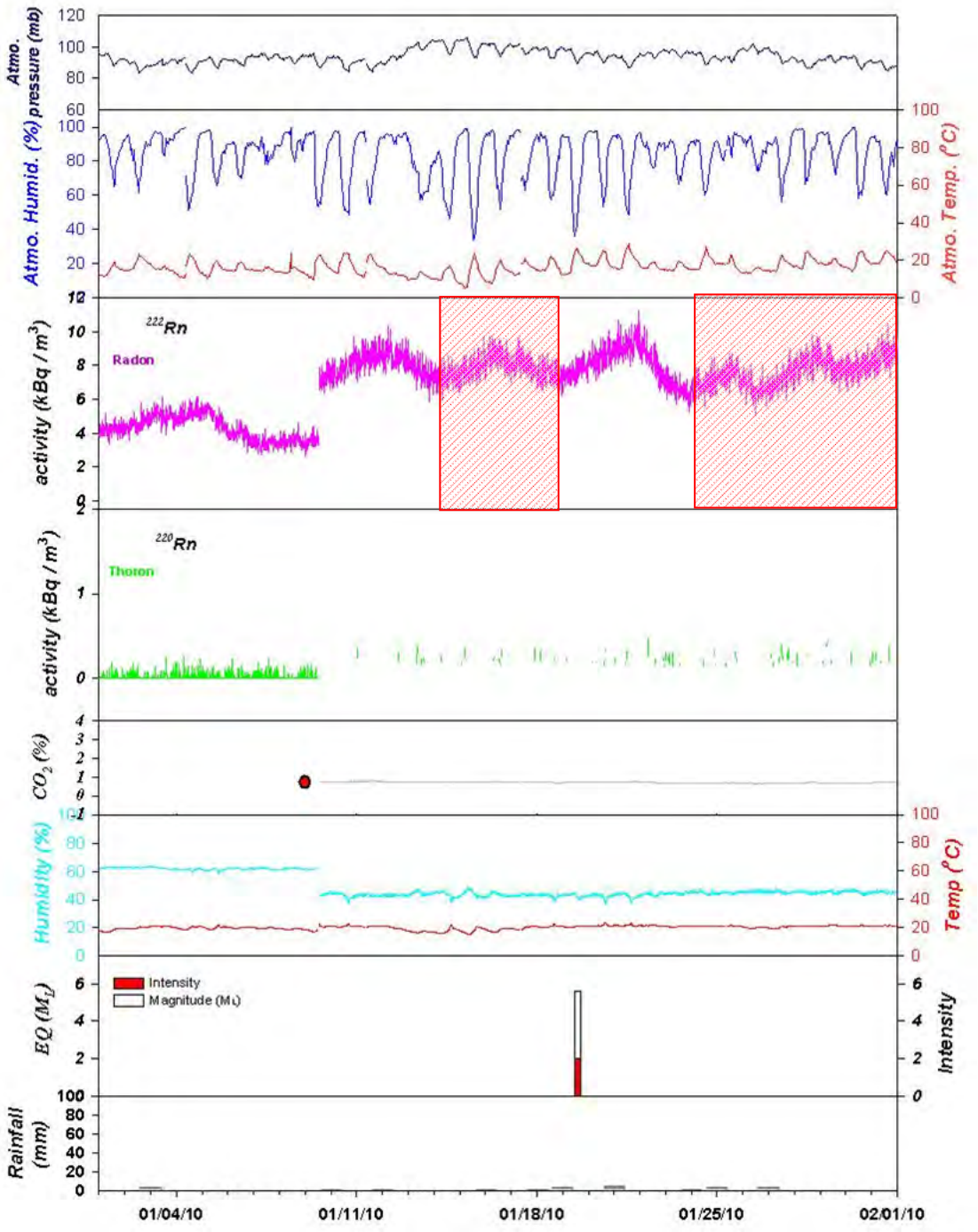


圖 4-73：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果;紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間（2010/01/01-2010/01/31）。



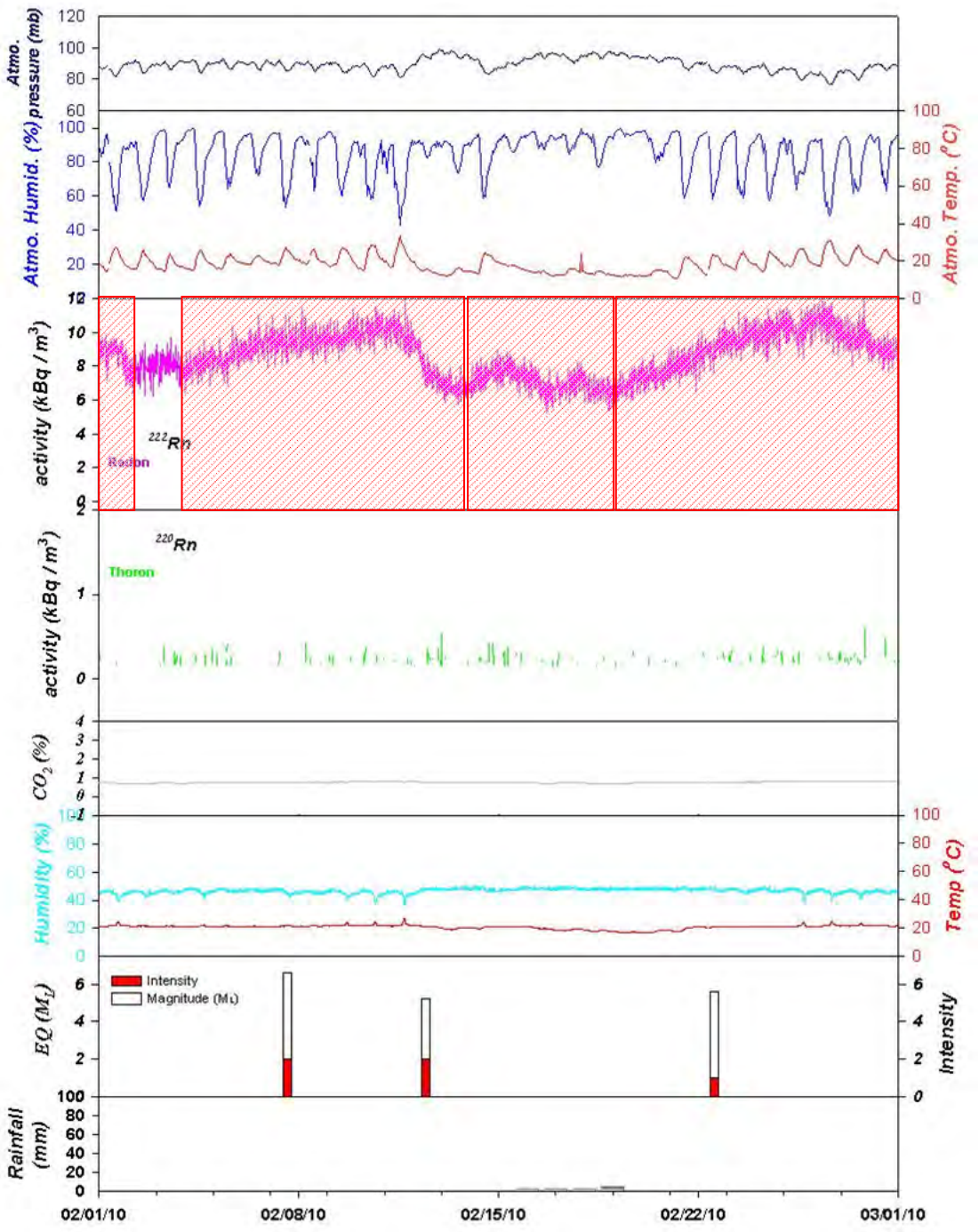


圖 4-74：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間（2010/02/01-2010/02/28）。







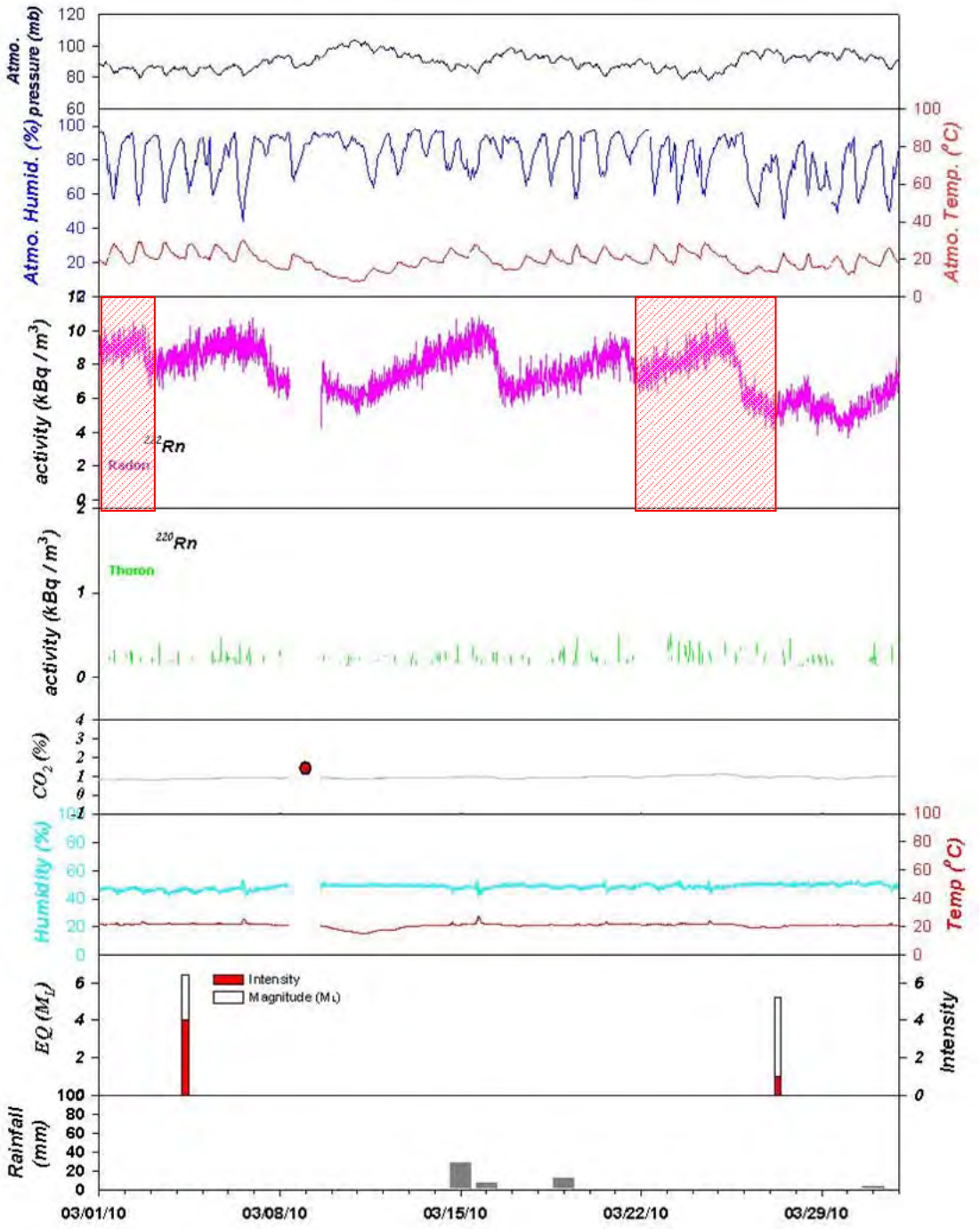


圖 4-75：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間（2010/03/01-2010/03/31）。





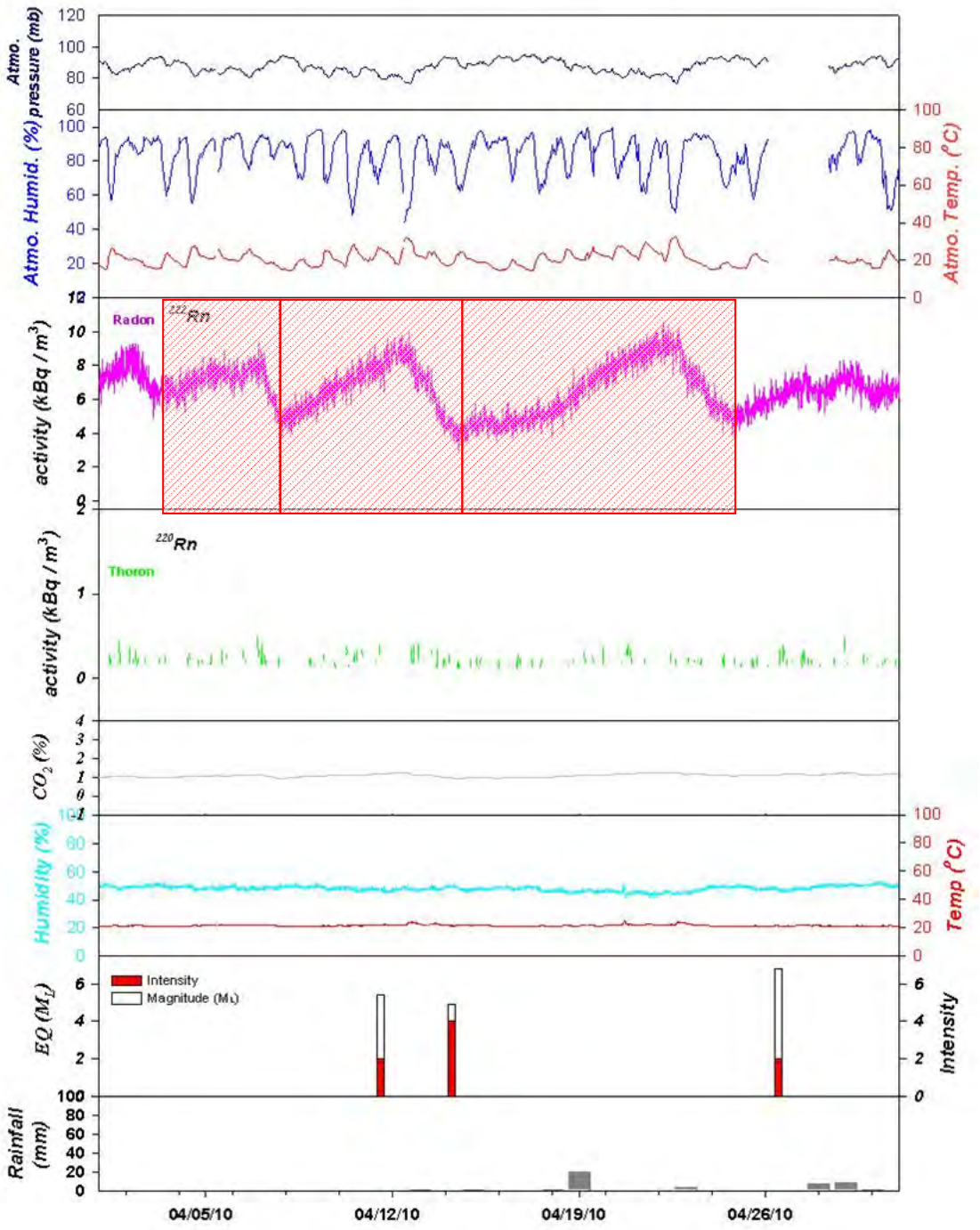
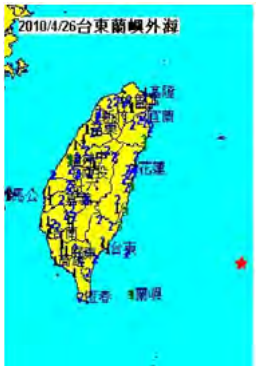


圖 4-76：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間（2010/04/01-2010/04/30）。







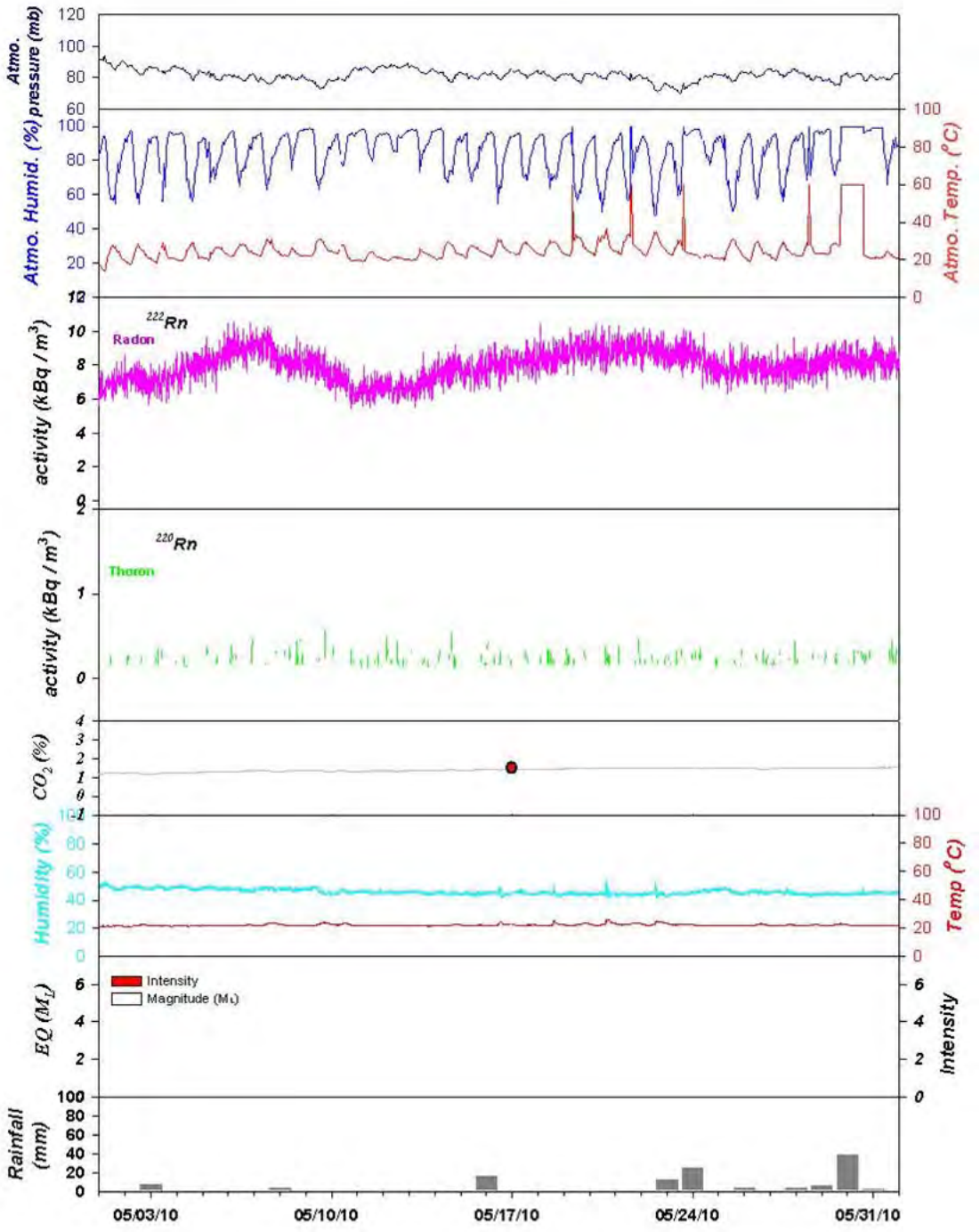


圖 4-77：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2010/05/01-2010/05/31）。

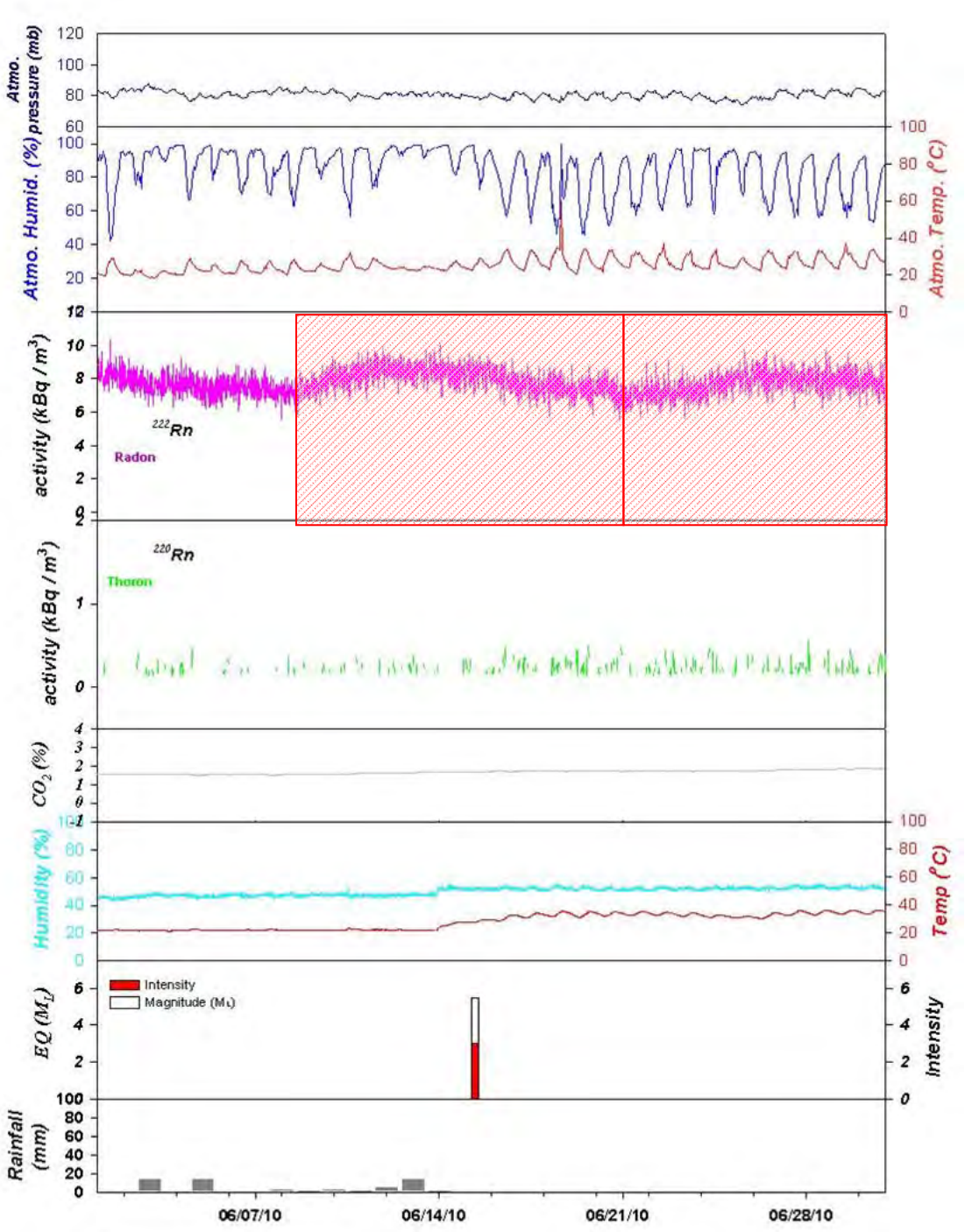


圖 4-78：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（ML）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間（2010/06/01-2010/06/30）。



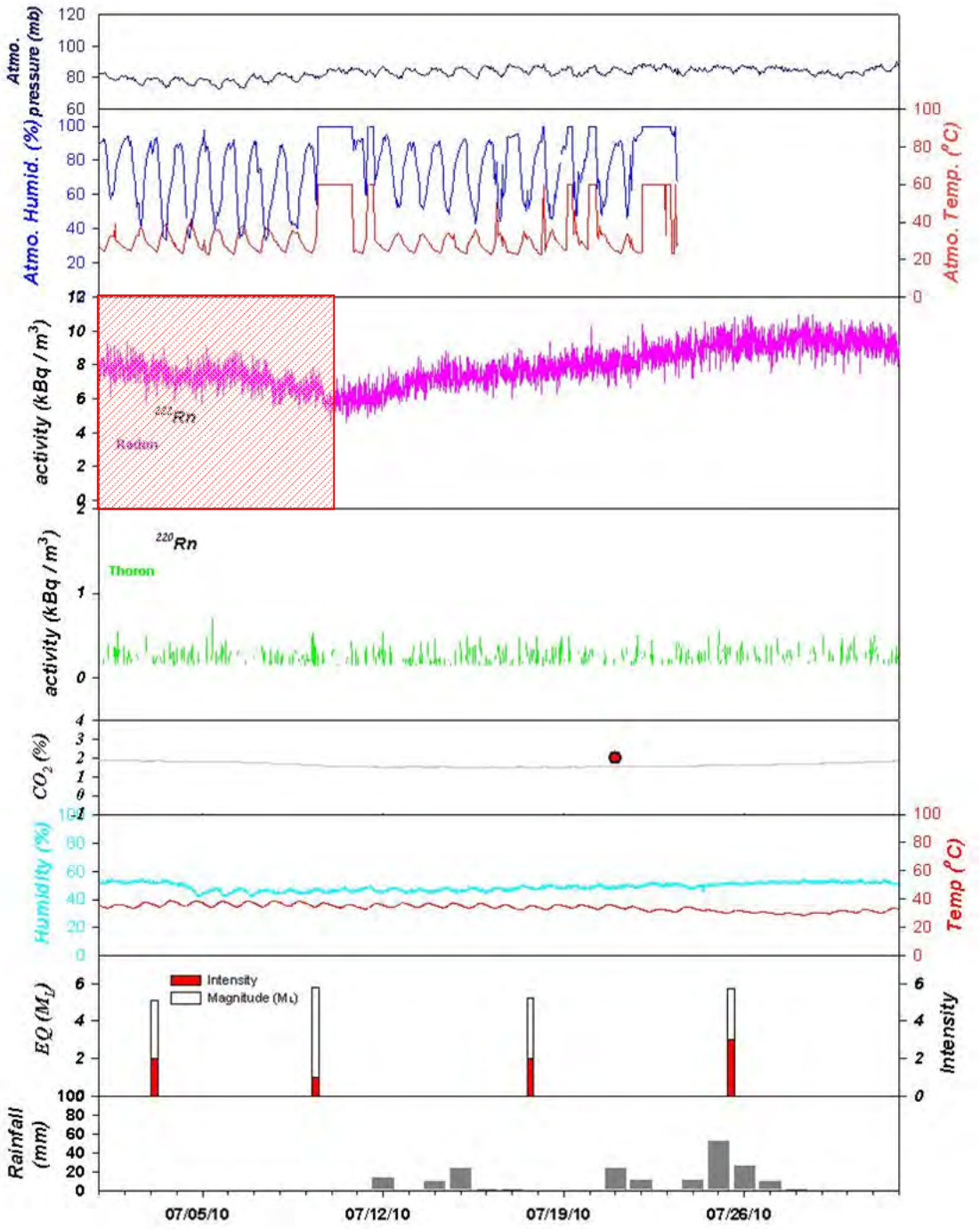
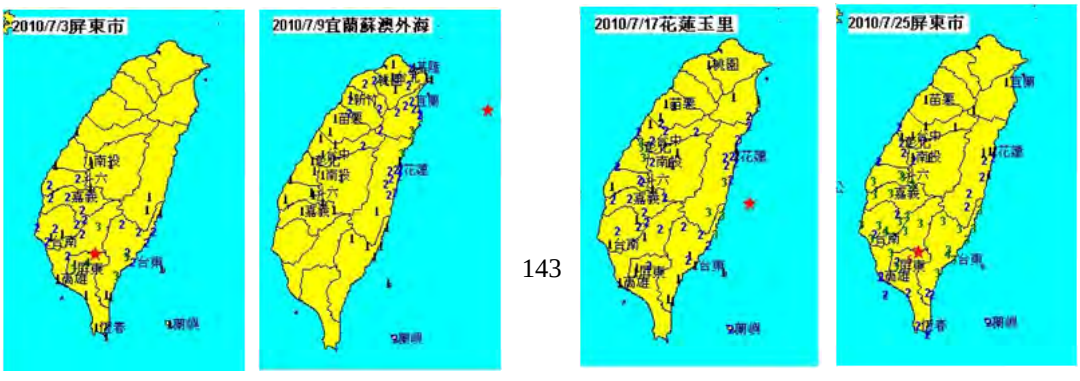


圖 4-79：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間（2010/07/01-2010/07/31）。



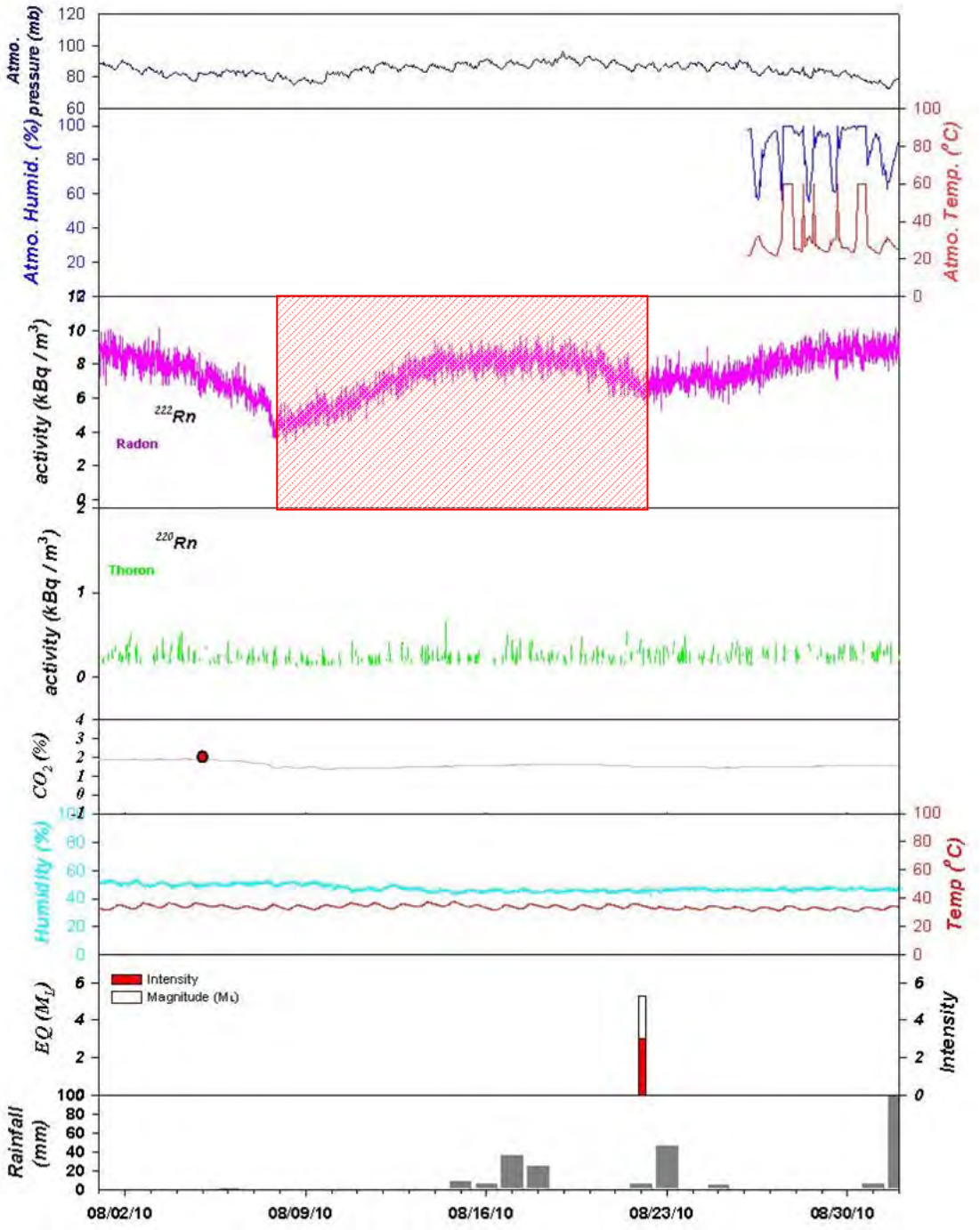


圖 4-80：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間（2010/08/01-2010/08/31）。



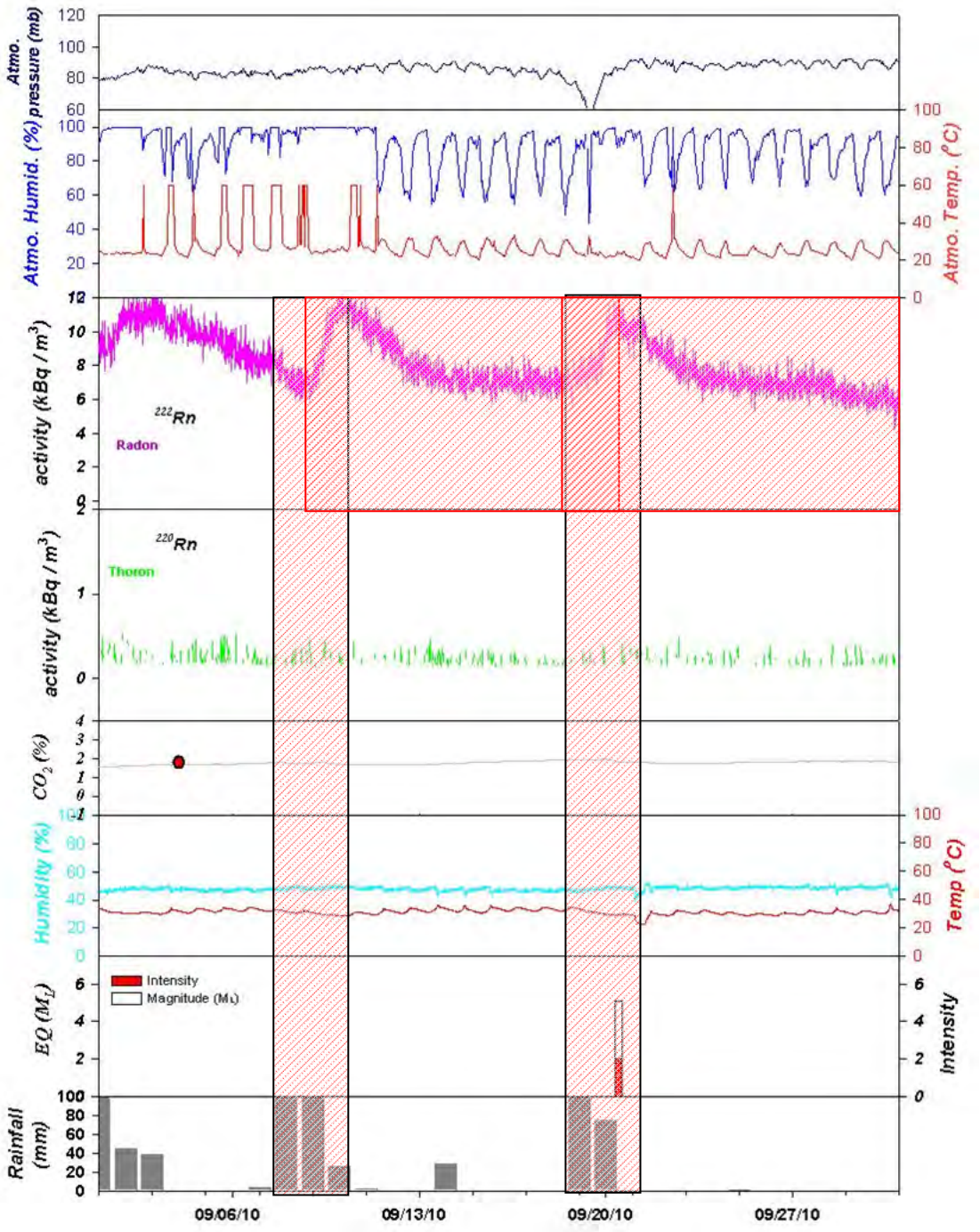


圖 4-81：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間；黑斜線框表示降雨影響區間（2010/09/01-2010/09/30）。



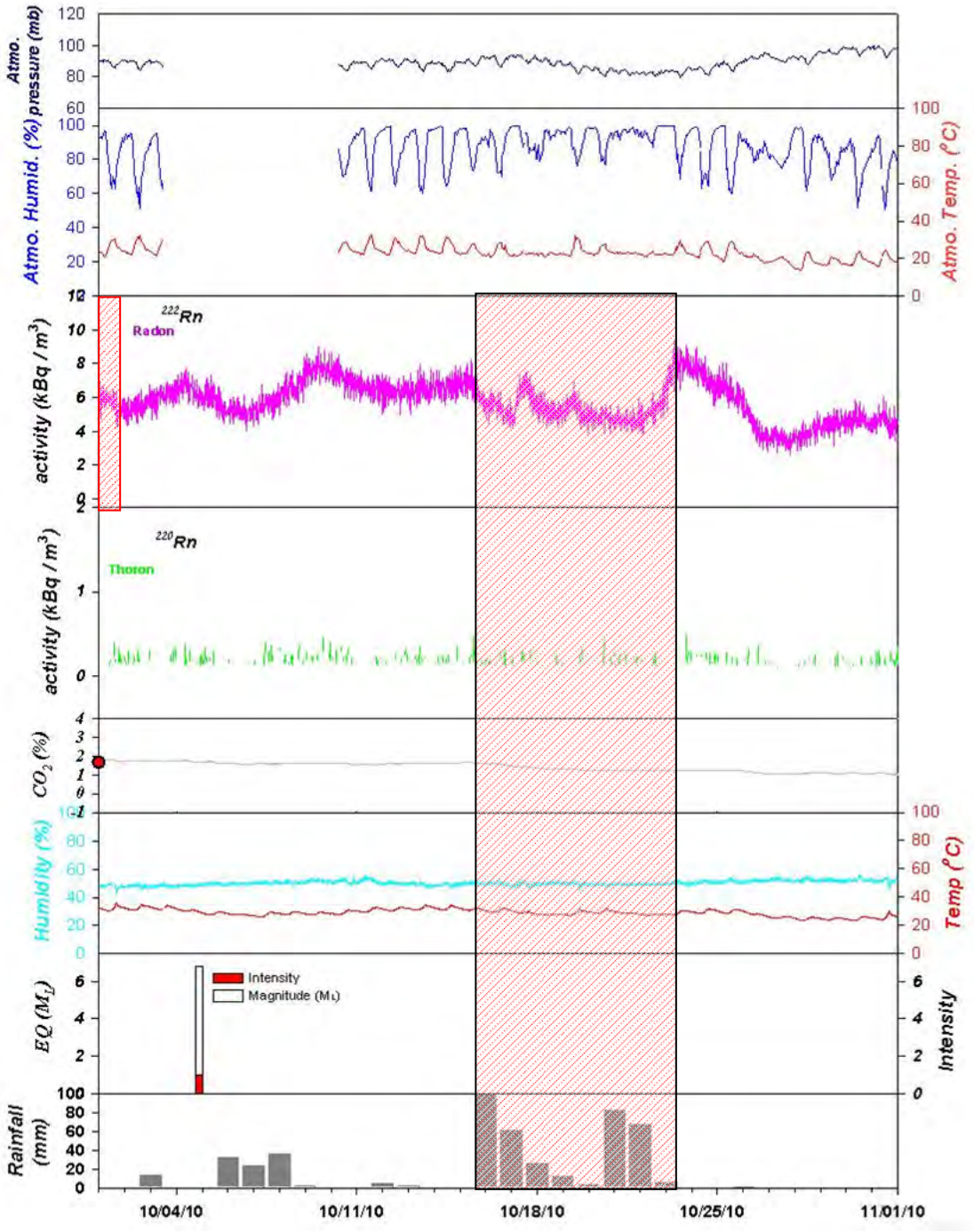
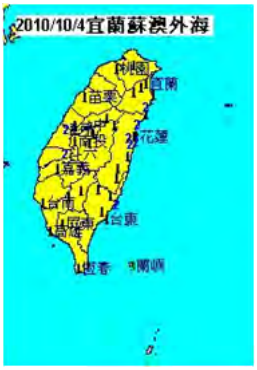


圖 4-82：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間；黑斜線框表示降雨影響區間（2010/10/01-2010/10/31）。



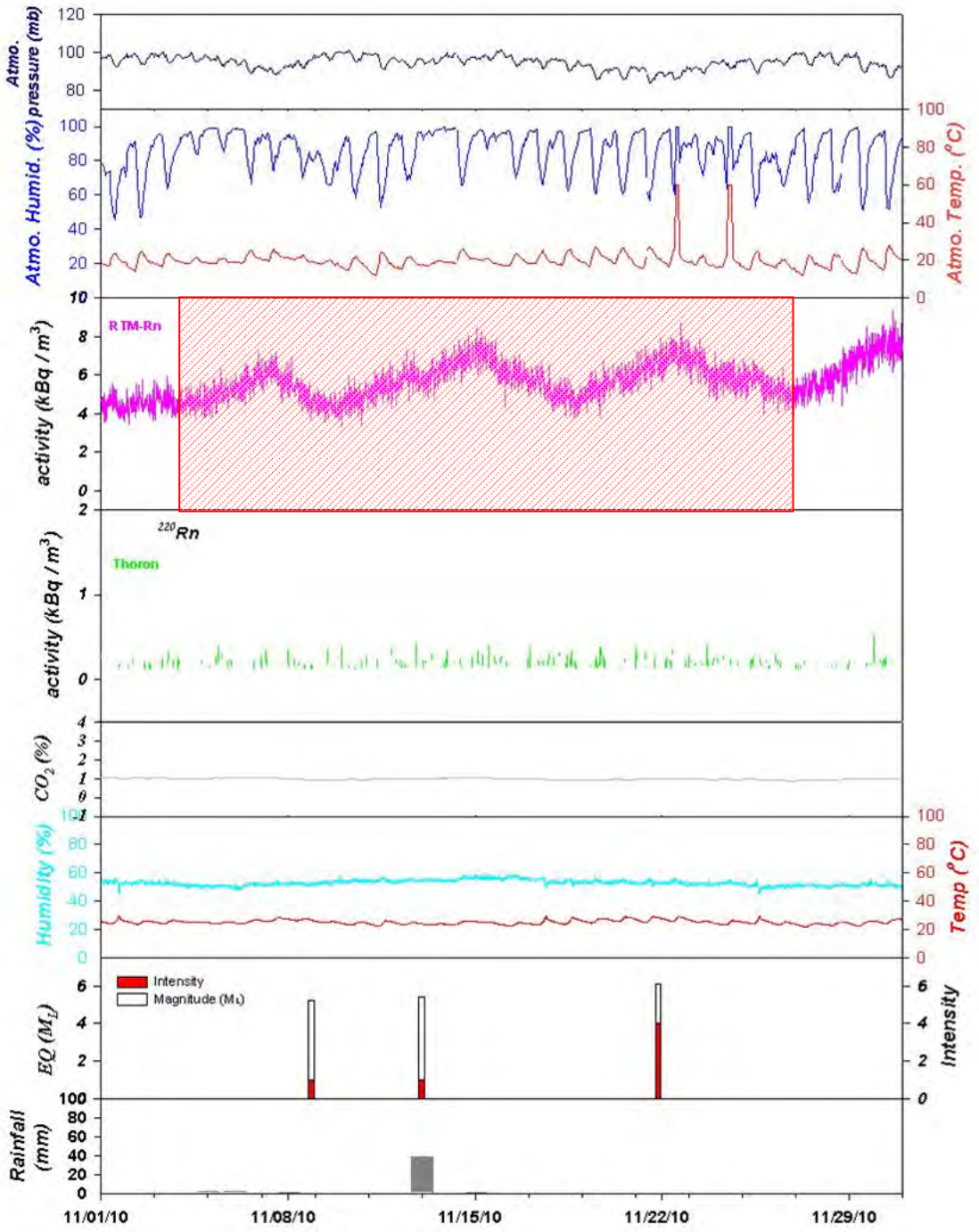


圖 4-83：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅斜線框表示與地震相關之氡氣異常區間（2010/11/01-2010/11/30）。







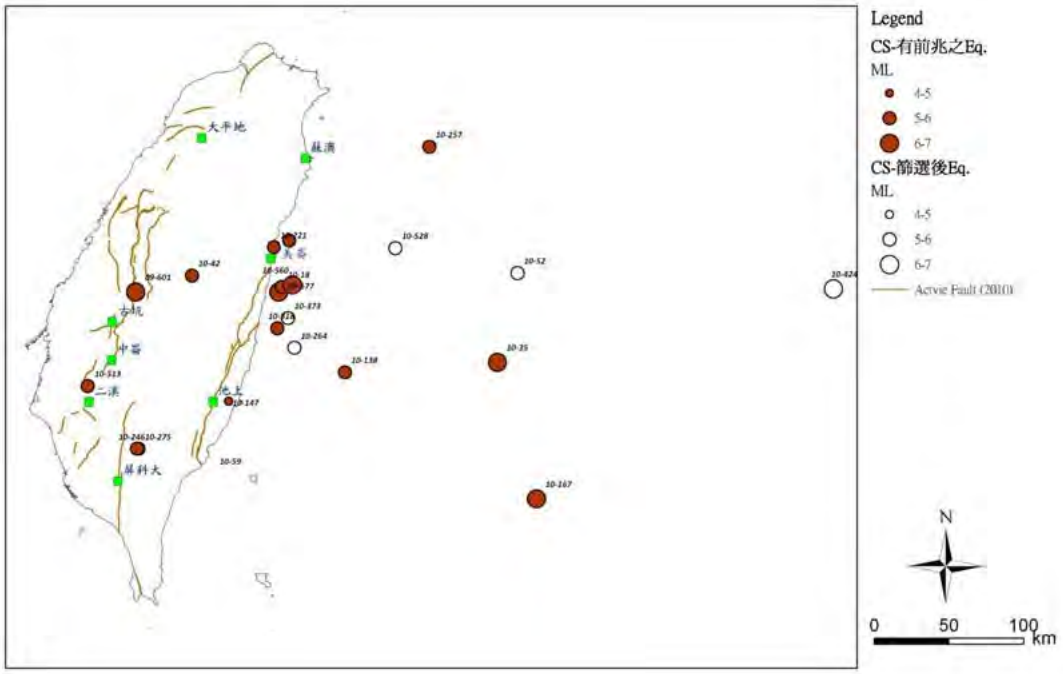


圖 4-84：池上測站相關地震位置分布圖。

表 4-7：池上測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30)。

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
09-601	2009/11/5 17:32	6.2	24.1	南投名間地震站南偏東方 10.1 公里	2	x	89.64	震前反應
09-604	2009/11/5 19:34	5.7	24	南投名間地震站南偏東方 13.6 公里	2	x	85.49	
09-637	2009/11/13 04:06	3.4	14.8	台東市地震站北偏西方 12.3 公里	1	x	31.56	
09-677	2009/12/19 21:02	6.9	43.8	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里	4	x	85.16	震前反應
09-679	2009/12/19 21:15	4.6	36.3	花蓮西林地震站東方 17.7 公里	1	x	82.65	
09-749	2009/12/29 12:47	3.7	40.1	花蓮玉里地震站東偏北方 14.6 公里	1	x	37.49	
10-13	2010/1/14 13:12	4	36.7	台東成功地震站南偏西方 18.0 公里	2	x	21.15	
10-18	2010/1/19 14:09	5.6	41	花蓮市地震站南偏東方 18.2 公里	2	5.02	89.05	震前反應
10-25	2010/1/31 12:20	3.3	9.8	台東利稻地震站東方 18.2 公里	2	x	5.38	
10-32	2010/2/6 07:15	3.9	37.8	台東成功地震站北偏東方 6.8 公里	1	x	18.54	
10-35	2010/2/7 14:10	6.6	15.5	花蓮市地震站東偏南方 165.7 公里	2	5.08	191.63	震前反應
10-36	2010/2/8 11:25	4.7	24.1	花蓮西林地震站東方 18.7 公里	1	0.9	84.10	
10-42	2010/2/12 10:42	5.2	14	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里	2	2.87	85.25	震前反應
10-52	2010/2/22 13:21	5.6	28.1	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 160.0 公里	1	0.84	220.61	距離
10-59	2010/3/4 07:13	3.7	40	台東市地震站東方 11.6 公里	1	x	44.42	震前反應
10-60	2010/3/4 08:18	6.4	22.6	高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里	4	x	53.14	
10-61	2010/3/4 08:24	4.7	20.2	高雄甲仙地震站南偏東方 10.6 公里	1	1.32	62.06	
10-77	2010/3/4 15:07	5.1	20.2	台東成功地震站東偏南方 62.5 公里	1	x	77.76	
10-78	2010/3/4 16:07	4.4	21.6	高雄甲仙地震站東南方 11.8 公里	1	1.14	60.07	
10-79	2010/3/4 16:16	5.7	16.6	高雄甲仙地震站東南方 17.1 公里	2	x	58.37	
10-80	2010/3/4 16:27	4.3	18.9	高雄甲仙地震站東南方 16.6 公里	1	1.2	57.05	
10-88	2010/3/8 17:26	4.9	14.3	嘉義市地震站東偏南方 15.9 公里	1	0.9	75.59	
10-115	2010/3/24 15:40	3.2	16.7	台東成功地震站西北方 12.1 公里	2	x	7.56	
10-116	2010/3/24 17:07	4.1	28.2	花蓮玉里地震站東偏南方 16.1 公里	1	1.5	29.31	
10-121	2010/3/27 07:07	5.2	55	花蓮秀林地震站東方 13.2 公里	1	1.56	118.76	震前反應
10-135	2010/4/10 10:30	3.7	9.8	台東利稻地震站南偏西方 13.1 公里	1	x	24.45	
10-138	2010/4/11 12:57	5.4	10	台東成功地震站東偏北方 76.5 公里	2	7.78	89.89	震前反應
10-139	2010/4/13 06:52	3.2	14.4	台東成功地震站西北方 8.1 公里	2	x	9.47	
10-140	2010/4/13 22:26	3.1	19.4	台東成功地震站西偏北方 5.2 公里	1	x	10.29	
10-141	2010/4/13 22:29	4.6	5	台東成功地震站西北方 9.8 公里	3	24.82	7.89	
10-144	2010/4/13 23:55	2.9	18.4	台東成功地震站西偏北方 5.5 公里	1	x	9.27	
10-145	2010/4/14 01:26	3	18.1	台東成功地震站西偏北方 6.9 公里	1	x	8.18	
10-146	2010/4/14 02:18	2.7	17.6	台東成功地震站西偏北方 7.6 公里	1	x	7.24	
10-147	2010/4/14 04:49	4.9	10	台東成功地震站西北方 5.4 公里	4	71.96	10.23	震前反應
10-148	2010/4/14 04:54	3.3	15.1	台東成功地震站西北方 9.0 公里	2	x	7.49	

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-149	2010/4/14 04:55	4.1	9.8	台東成功地震站西偏北方 5.5 公里	3	15.01	9.47	
10-150	2010/4/14 05:00	3.3	16.1	台東成功地震站西北方 7.4 公里	1	x	9.27	
10-151	2010/4/14 06:45	2.9	14.8	台東成功地震站西偏北方 7.5 公里	1	x	8.18	
10-159	2010/4/22 00:39	3.4	16.3	台東成功地震站西南方 14.1 公里	1	x	17.06	
10-167	2010/4/26 10:59	6.8	20	台東蘭嶼地震站東偏北方 190.4 公里	2	7.12	225.58	震前反應
10-168	2010/4/27 04:53	3.6	13.7	台東成功地震站東方 11.8 公里	1	x	26.62	
10-173	2010/4/30 11:21	4.2	21.9	台東成功地震站北偏東方 11.6 公里	2	3.71	19.97	
10-200	2010/5/27 03:16	4.6	49	花蓮市地震站南偏東方 13.2 公里	1	1.08	93.83	
10-207	2010/6/4 19:31	4.3	27	台東成功地震站東偏北方 28.1 公里	1	1.56	42.06	
10-208	2010/6/6 03:35	4.3	39.9	台東市地震站東方 15.4 公里	2	x	42.81	
10-221	2010/6/15 08:31	5.5	18.9	花蓮秀林地震站東南方 3.7 公里	3	8.55	110.63	震前反應
10-246	2010/7/3 03:11	5.1	16.3	屏東市地震站東北方 30.0 公里	2	6.58	60.41	震前反應
10-254	2010/7/7 23:15	4.5	22.5	台東蘭嶼地震站東北方 49.8 公里	1	0.9	100.62	
10-255	2010/7/8 17:36	3.4	25.1	台東市地震站東方 13.2 公里	1	x	40.14	
10-257	2010/7/9 08:41	5.8	109.5	宜蘭蘇澳地震站東方 81.5 公里	1	1.38	223.11	震前反應
10-264	2010/7/17 17:04	5.2	42	花蓮玉里地震站東偏北方 47.3 公里	2	4.67	64.68	無異常
10-267	2010/7/19 15:54	3.6	7.1	台東利稻地震站南偏西方 15.8 公里	2	x	27.70	
10-275	2010/7/25 11:52	5.7	19.5	屏東市地震站東偏北方 30.6 公里	3	17.65	59.54	無異常
10-289	2010/8/1 10:40	3.4	23.5	台東市地震站東偏北方 13.0 公里	1	x	35.52	
10-304	2010/8/14 03:12	3	16.2	台東成功地震站南方 14.1 公里	1	x	22.77	
10-318	2010/8/22 00:37	5.3	27	花蓮西林地震站東南方 34.7 公里	3	8.37	64.86	震前反應
10-333	2010/8/30 14:49	3.6	5.2	台東利稻地震站南偏西方 16.1 公里	1	x	29.67	
10-334	2010/8/30 14:50	3.4	6.1	台東利稻地震站南偏西方 16.2 公里	1	x	29.67	
10-366	2010/9/15 16:47	4.4	5.6	台東成功地震站北偏西方 10.5 公里	3	9.81	13.95	
10-373	2010/9/20 11:17	5.1	31.9	花蓮西林地震站東偏南方 34.7 公里	2	3.05	74.56	受雨影響
10-424	2010/10/4 21:28	6.8	60	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 362.5 公里	1	2.21	420.91	距離
10-441	2010/10/10 12:49	4.3	29.1	台東成功地震站東偏北方 38.9 公里	1	x	50.48	
10-462	2010/10/20 06:32	4	8.6	台東利稻地震站東北方 5.2 公里	2	4.49	21.47	
10-477	2010/10/24 22:10	4	24.9	台東成功地震站東偏北方 18.7 公里	1	x	31.88	
10-513	2010/11/8 21:01	5.2	19.9	台南東山地震站西偏南 10.1 公里	1	2.27	84.43	震前反應
10-523	2010/11/10 17:36	4.3	29	台東市地震站東北方 16.7 公里	2	x	28.91	
10-528	2010/11/12 21:08	5.4	18.8	宜蘭南澳地震站東偏南方 80.8 公里	1	1.56	159.09	距離
10-532	2010/11/14 04:59	3.9	24	台東成功地震站西南方 9.2 公里	2	x	14.39	
10-540	2010/11/16 11:00	4.3	15.3	花蓮秀林地震站東北方 7.8 公里	2	2.81	118.95	
10-560	2010/11/21 20:31	6.1	40.7	花蓮市地震站東南方 21.6 公里	4	28.11	93.84	震前反應
10-575	2010/11/29 01:35	4.1	23.1	台東成功地震站北偏東方 13.9 公里	2	5.32	20.92	

4-7 宜蘭蘇澳土壤氣體觀測站

去（98）年針對宜蘭地區作全面性的斷層帶氣體普查，經過半年對於氣體異常有反應的固定點，定期作人工採樣，於多個選擇位址中，剔除地勢低窪下雨容易積水的宜蘭平原中間的武淵、羅東等地，選擇蘇澳地區做為設站位址的參考。之後考慮設站時程及用地取得的難易程度，最後選定蘇澳國小為設置氣體觀測站的位址。經過一段時間的測試後，本氣體觀測站於 2009 年 12 月 11 日正式運作，因此以下所列圖示數據皆從 12 月 11 日開始紀錄。

圖 4-85 至圖 4-96 為宜蘭蘇澳國小觀測站 2009 年 12 月 11 日至 2010 年 11 月 7 日的連續觀測結果。圖 4-85 是總圖表（2009 年 12 月 11 日月至 2010 年 11 月 7 日）。圖 4-86 至圖 4-96 是分月圖表。觀察圖 4-85 發現，此站電力堪稱平穩，各項儀器紀錄多能連續運作不中斷，氣體溫濕度除受到降雨影響會有短期的異常外，數據尚在可接受範圍內。唯蘇澳地區降雨豐沛，儘管測站地底開挖至近 3 米深，仍未有水溢出，但是由圖觀之，用作逸氣來源的儲氣槽受到降雨影響，氡氣反應時升時降，對於觀測品質來說並不是很好的紀錄。另外由於本站剛開始運作，每個測站對於氣體反應與地震的關聯亦不相同，有必要作長期觀測以找出兩者間的關聯性，因此在觀測初期基本上尚未能明確指出氣體與地震的任何相關性。

圖 4-86 是 12 月的觀測結果。觀測初期即遇大雨，因此氡氣、氣體溫溼度、二氧化碳等皆呈現不穩定的狀態。12 月 17 日至 12 月 22 日氡氣分析儀攜回研究室作校正，因此沒有數據紀錄；二氧化碳分析儀則是有水氣進入，故從 12 月 17 日至 12 月 29 日停機並更換另一具二氧化碳分析儀。大氣環境因子硬體的壓力計故障，導致 4 月 26 日至 8 月 26 日無大氣壓力的資料。

圖 4-87 至圖 4-96 是 1 月至 11 月的觀測結果。4 月 26 日以前是由氡氣分析儀主動抽取儲氣槽內的逸氣直接作氣體濃度分析，因此受到儲氣槽內氣體是否充足補充的困擾，由圖 4-86 至圖 4-90 可觀察到氡氣常有突降突升的情形發生，這可能是受到地底下逸氣來源是否被阻塞所致。4 月 26 日之後吾人於儲氣槽外加裝一個迴圈裝置，以電動幫浦將儲氣槽內的氣體抽至迴圈內，氡氣分析儀則設於迴圈裝置後面以分析迴圈內的氣體，如此即無前述氡氣突降突升的問題。5 月 14 日至 5 月 18 日、6 月 28 日至 6 月 30 日、7 月 20 日至 7 月 22 日則是受到電動幫浦故障所致(圖上藍框所示)，因此氡氣濃度呈現下降。

綜觀所有每月的觀測結果圖，可以發現此站受到降雨影響極大，圖上有多次突升高點並不是地震的關係，而是受到前日或當日降雨的影響，如 1 月 7 日、1 月 23 日、1 月 30 日、3 月 1 日、4 月 14 日、4 月 22 日、5 月 29 日、6 月 10 日、6 月 23 日、6 月 27 日、8 月 7 日、8 月 31 日、9 月 1 日、9 月 19 日、9 月 24 日、

10 月 3 日、10 月 16 日。之後測站因為受到颱風降雨影響，蘇澳當地淹水、地下水位上升，測站內用作迴圈裝置的壓克力塑膠箱進水，連帶使得接於迴圈裝置上的管線及儀器亦有水侵入，目前儀器已委請代理商送回原廠修理；另外測站外面地基亦因水流過大將旁邊大樹沖倒，導致測站附近地基裸露，目前評估仍等待維修。由於以上因素，所以目前測站內暫時無任何儀器進行運作(圖 4-97 至圖 4-99)。未來等待地基修復完成後，再將儀器放回站內進行一段時間的測試，以評估此站繼續運作的可能性。

圖 4-100 為蘇澳測站相關地震位置分布圖。表 4-8 為蘇澳測站相關地震列表。自 2009 年 12 月 11 日至 2010 年 11 月 7 日共有 113 起地震被偵測到，由圖可看出與蘇澳測站相關的地震分布位置多集中在東北部及東部外海。

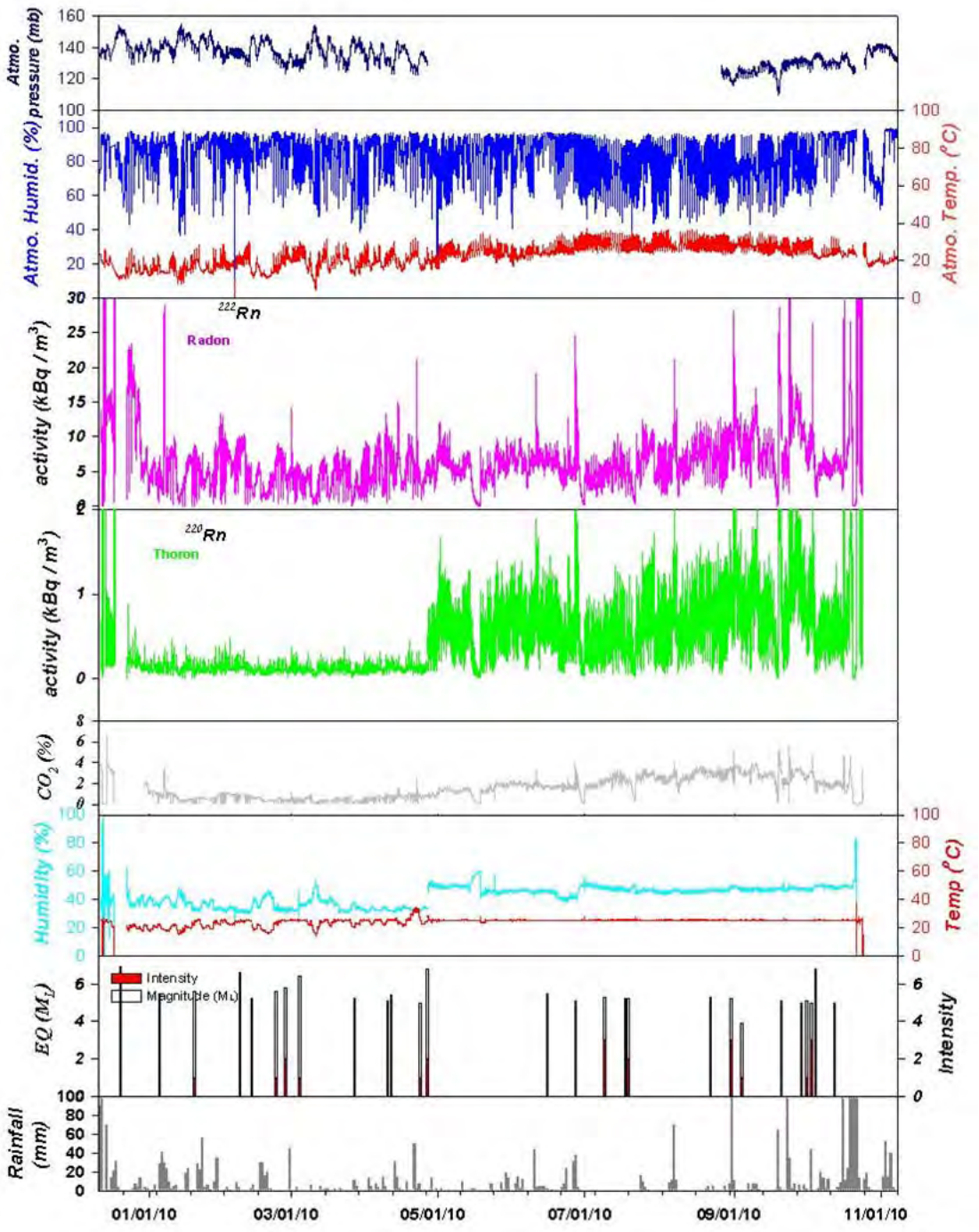


圖 4-85：蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2009/12/11- 2010/11/07）。

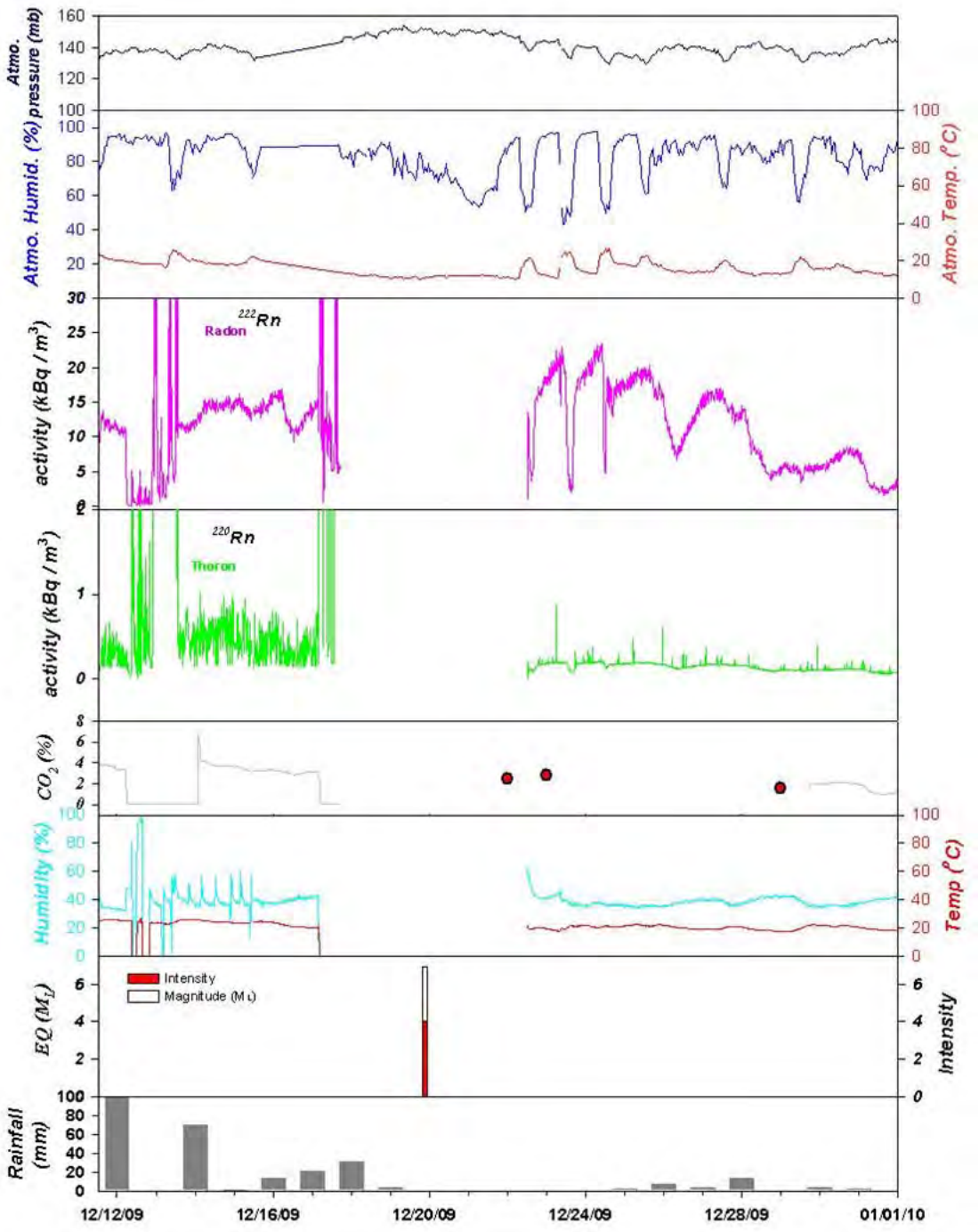


圖 4-86：蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2009/12/11- 2009/12/31）。



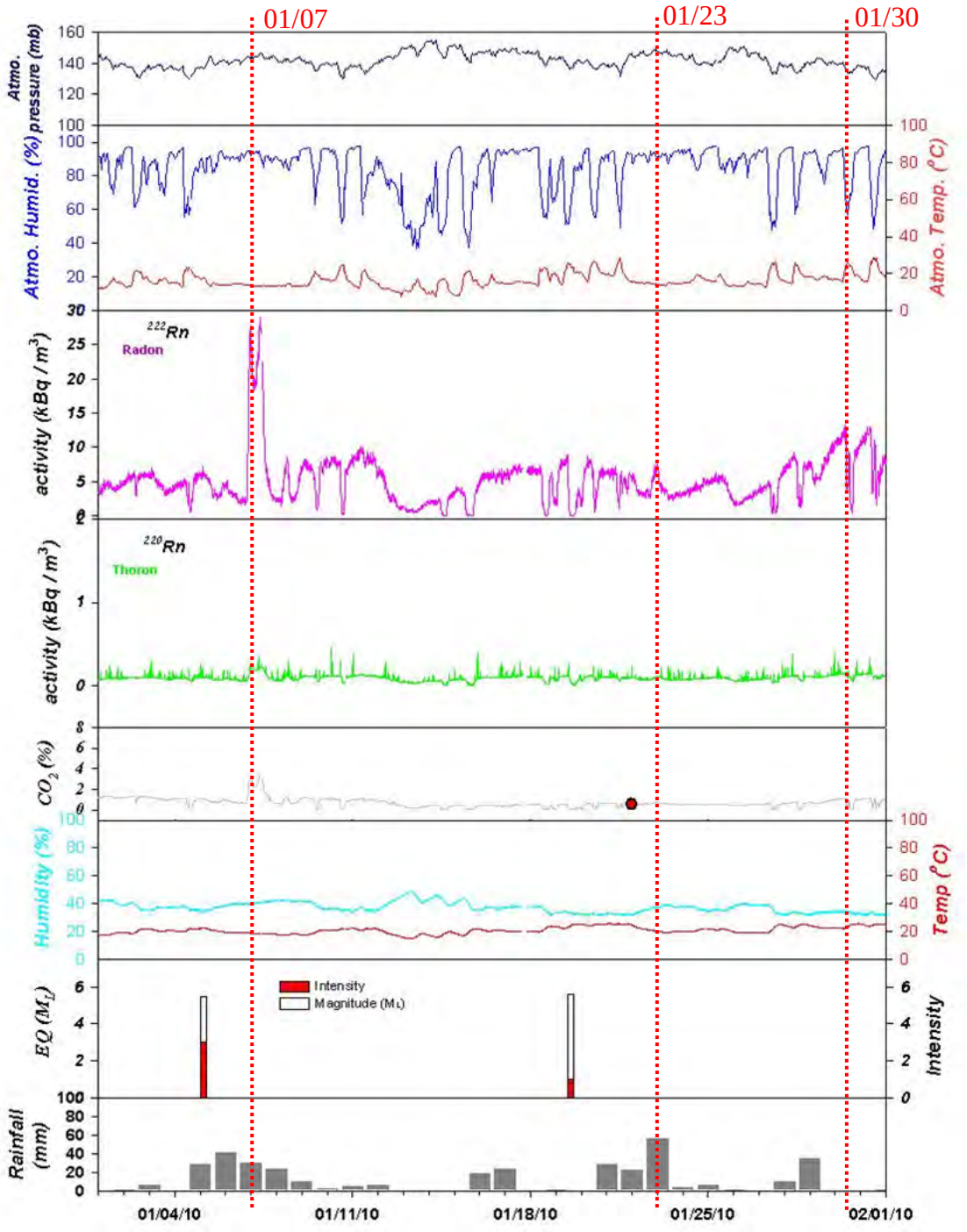


圖 4-87：蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅色虛線為受到降雨影響的氡氣突升時間；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2010/01/01- 2010/01/31）。





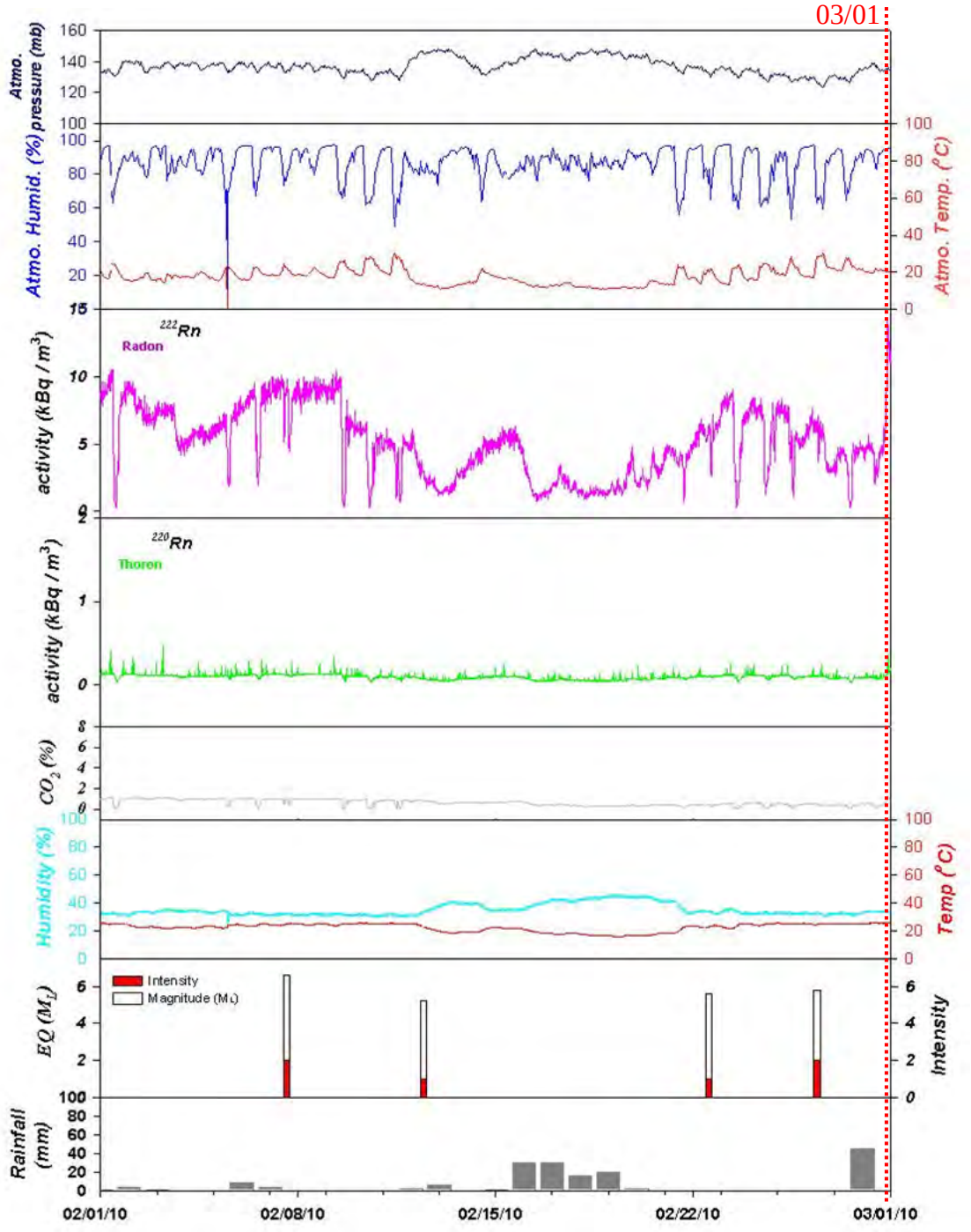
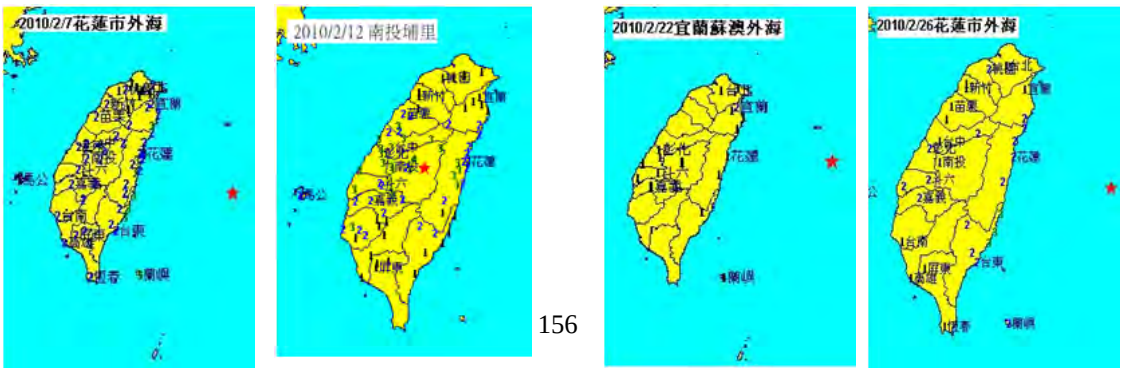


圖 4-88：蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅色虛線為受到降雨影響的氡氣突升時間（2010/02/01-2010/02/28）。



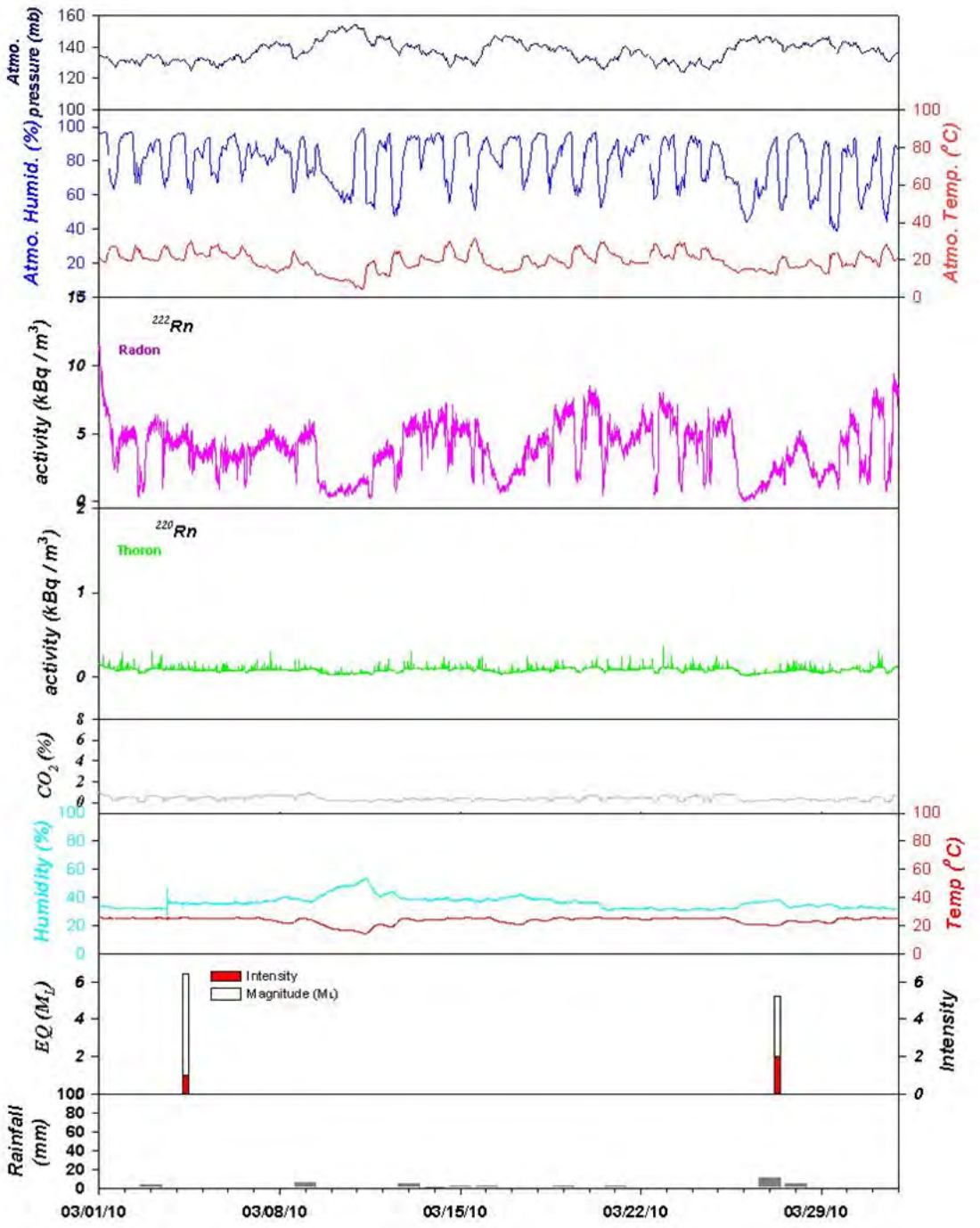
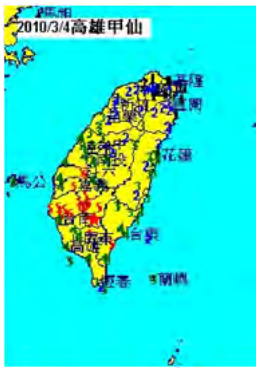


圖 4-89：蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/03/01- 2010/03/31）。





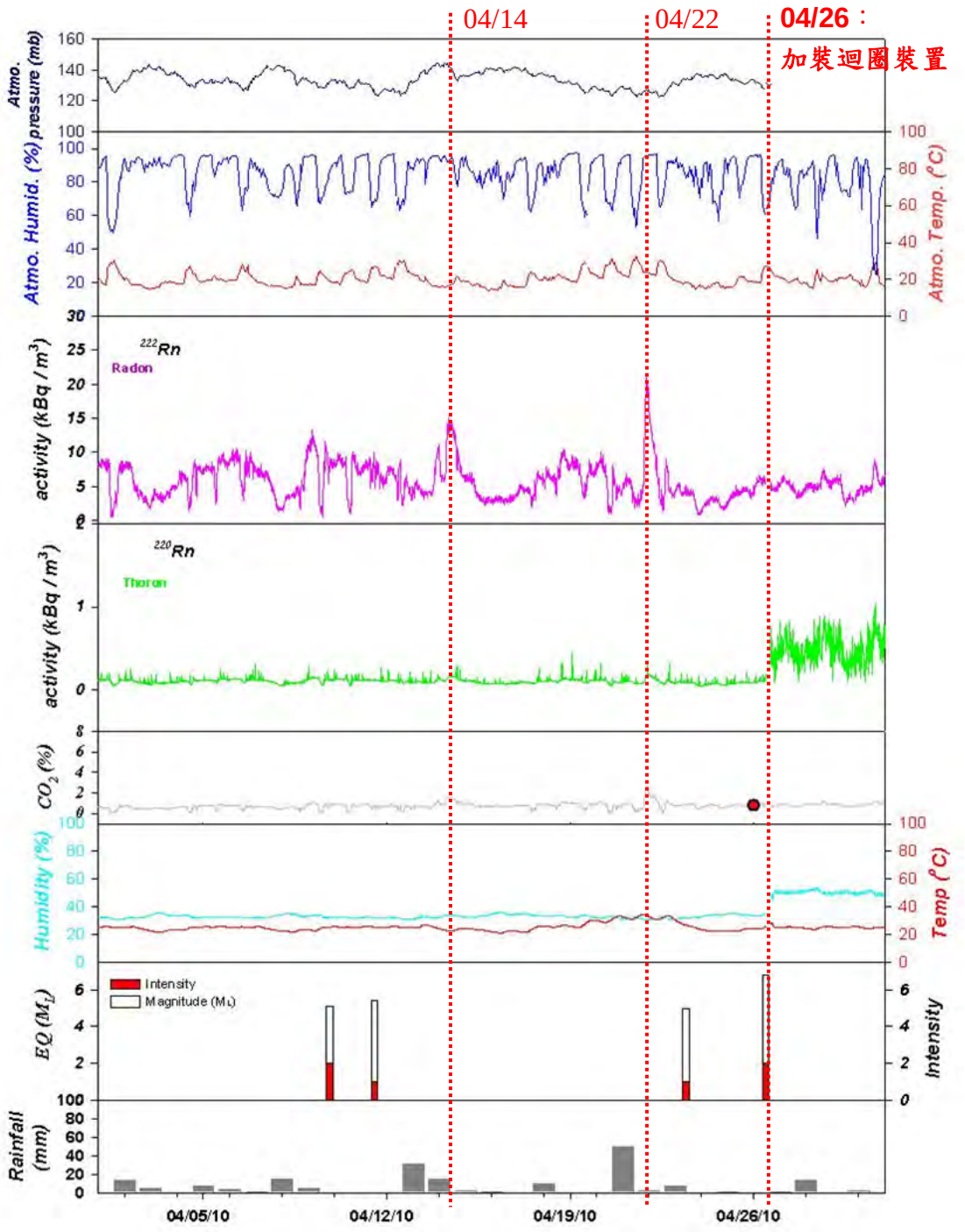
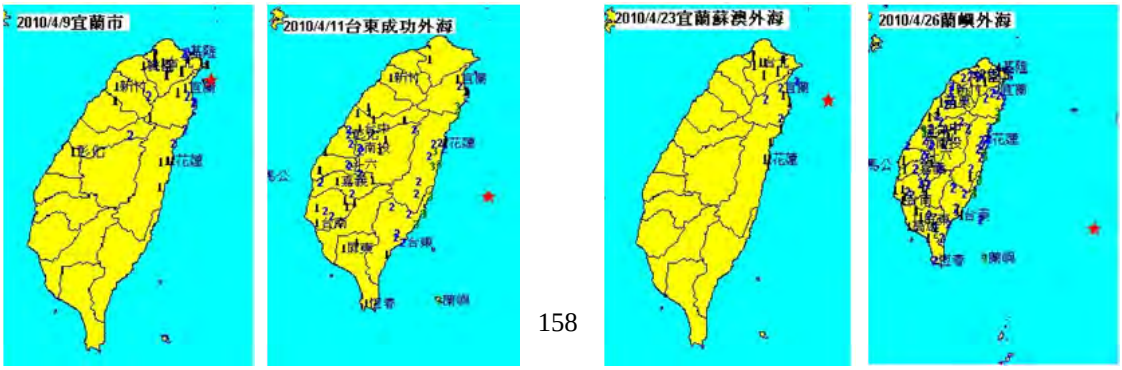


圖 4-90：蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅色虛線為受到降雨影響的氡氣突升時間（2010/04/01- 2010/04/30）。



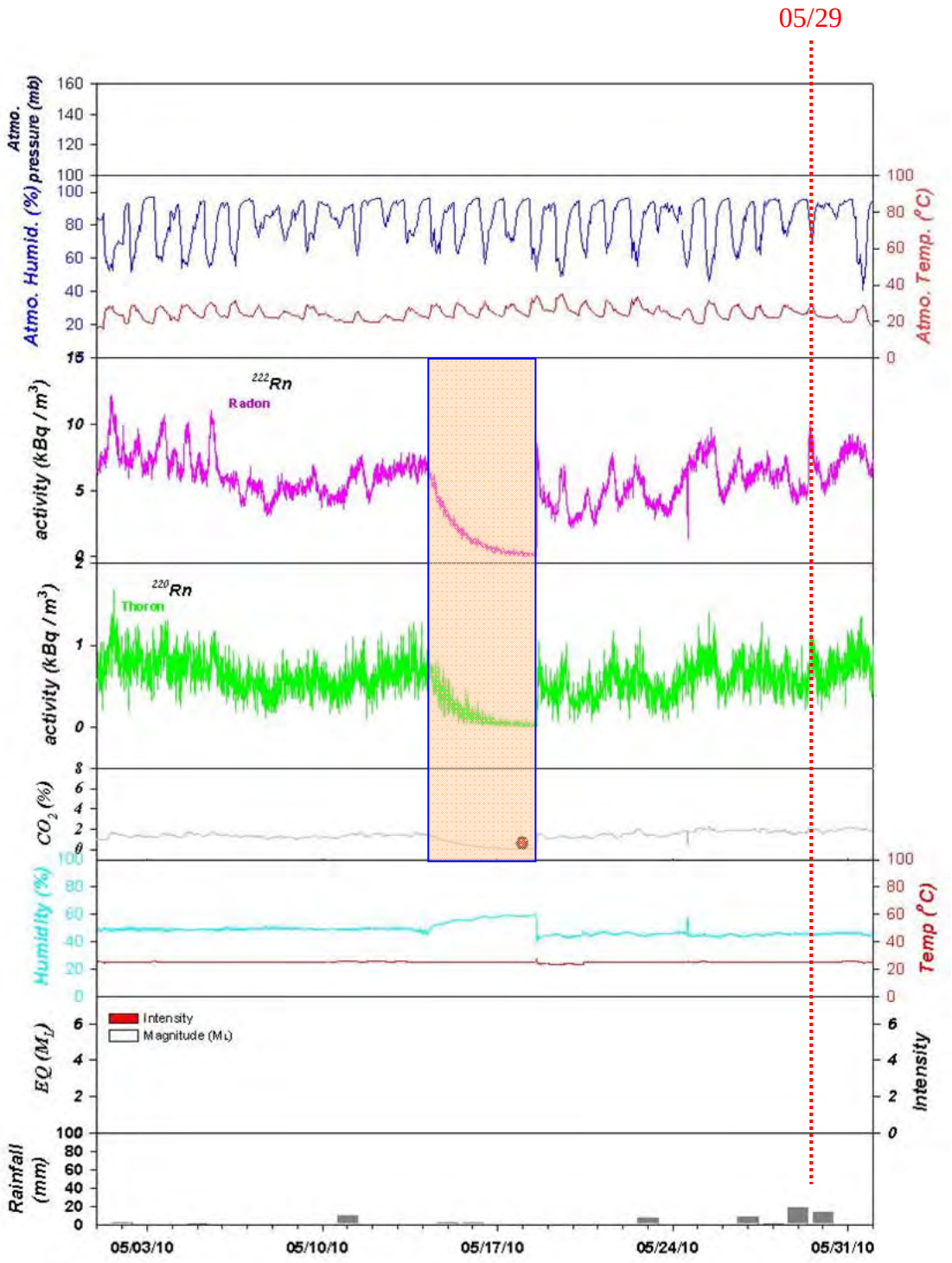


圖 4-91：蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅色虛線為受到降雨影響的氡氣突升時間；藍框為電動幫浦故障區間（2010/05/01- 2010/05/31）。

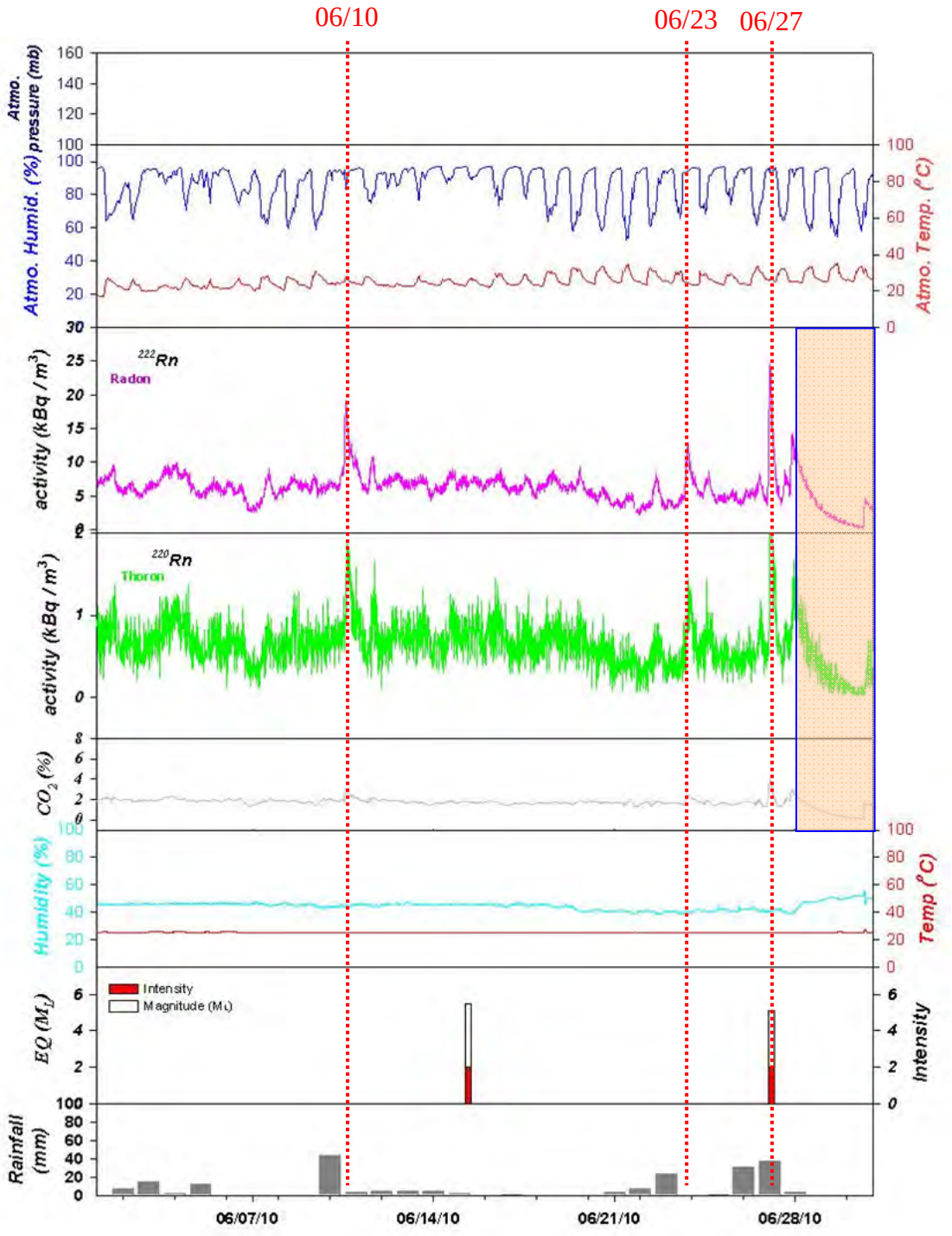
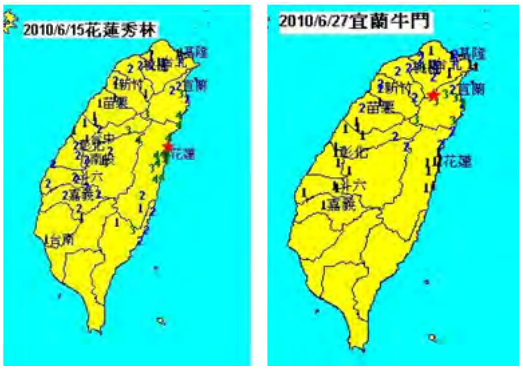


圖 4-92：蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅色虛線為受到降雨影響的氡氣突升時間；藍框為電動幫浦故障區間（2010/06/01- 2010/06/30）。



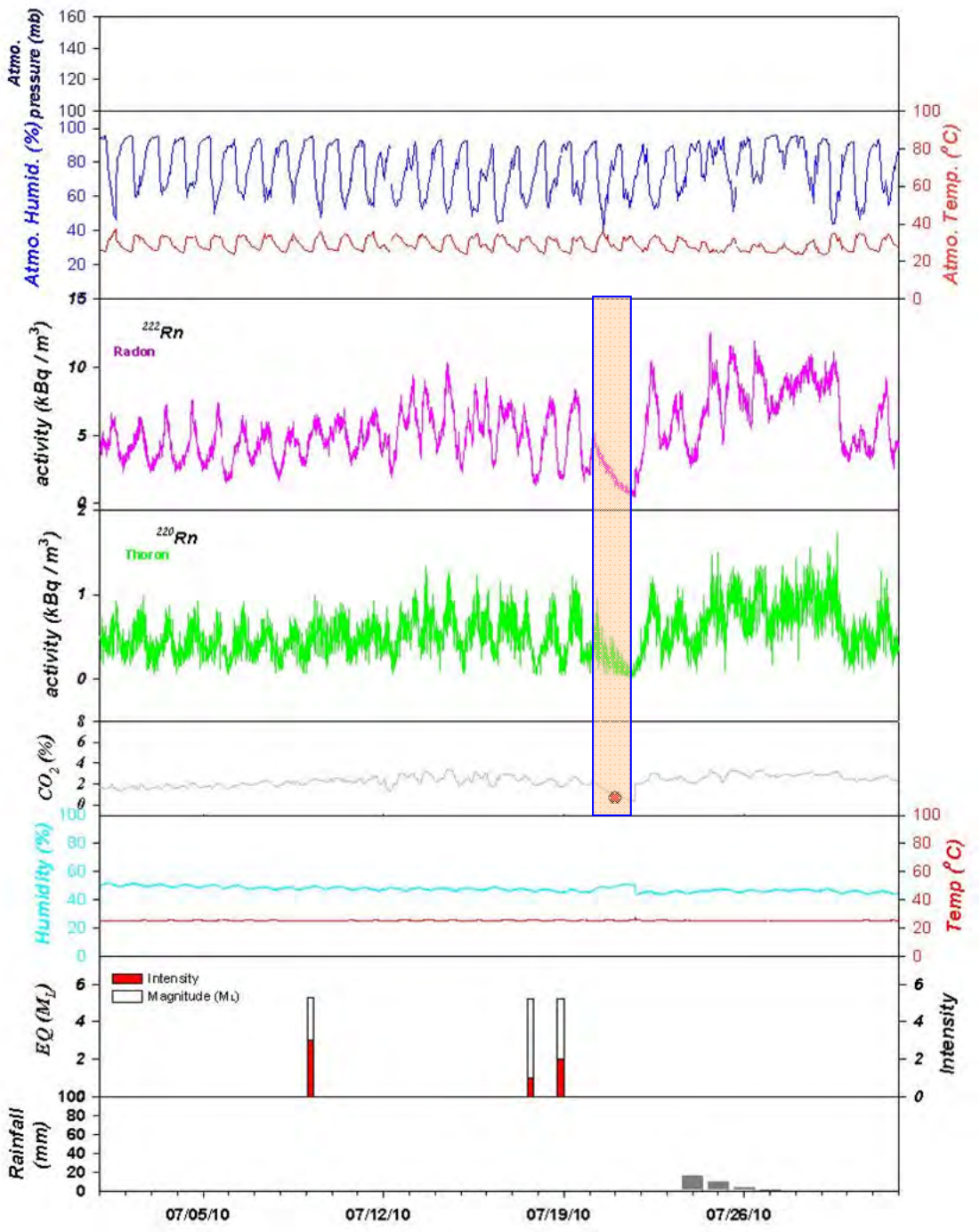


圖 4-93：蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；藍框為電動幫浦故障區間（2010/07/01- 2010/07/31）。







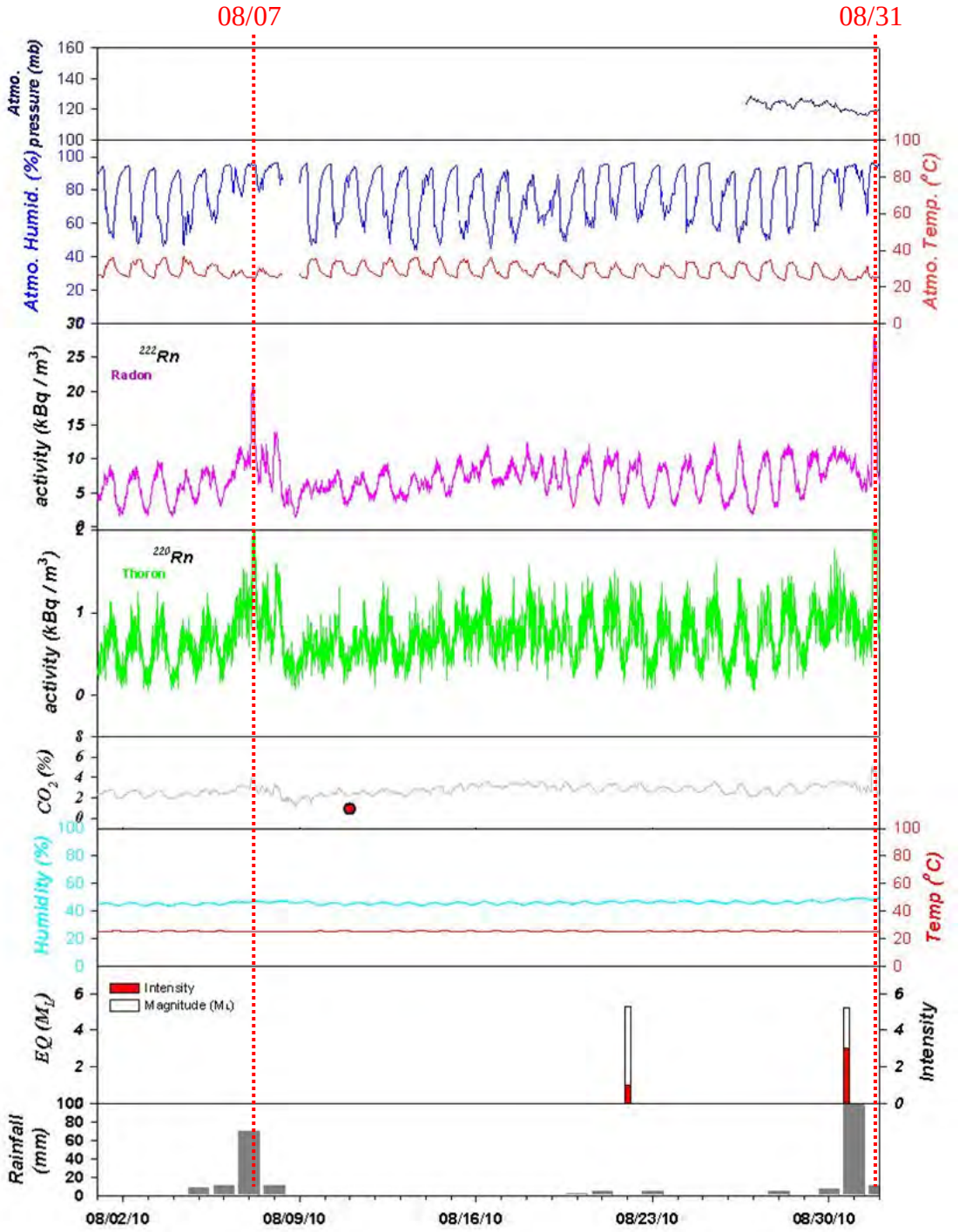
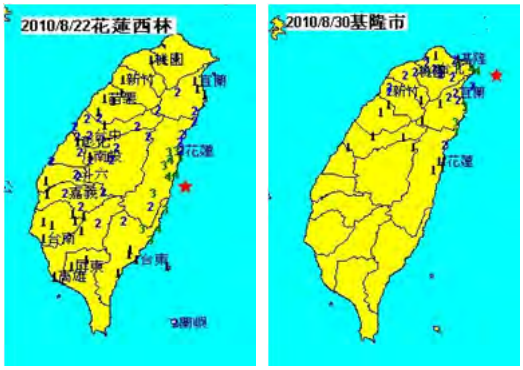


圖 4-94: 蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（ML）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅色虛線為受到降雨影響的氡氣突升時間（2010/08/01- 2010/08/31）。



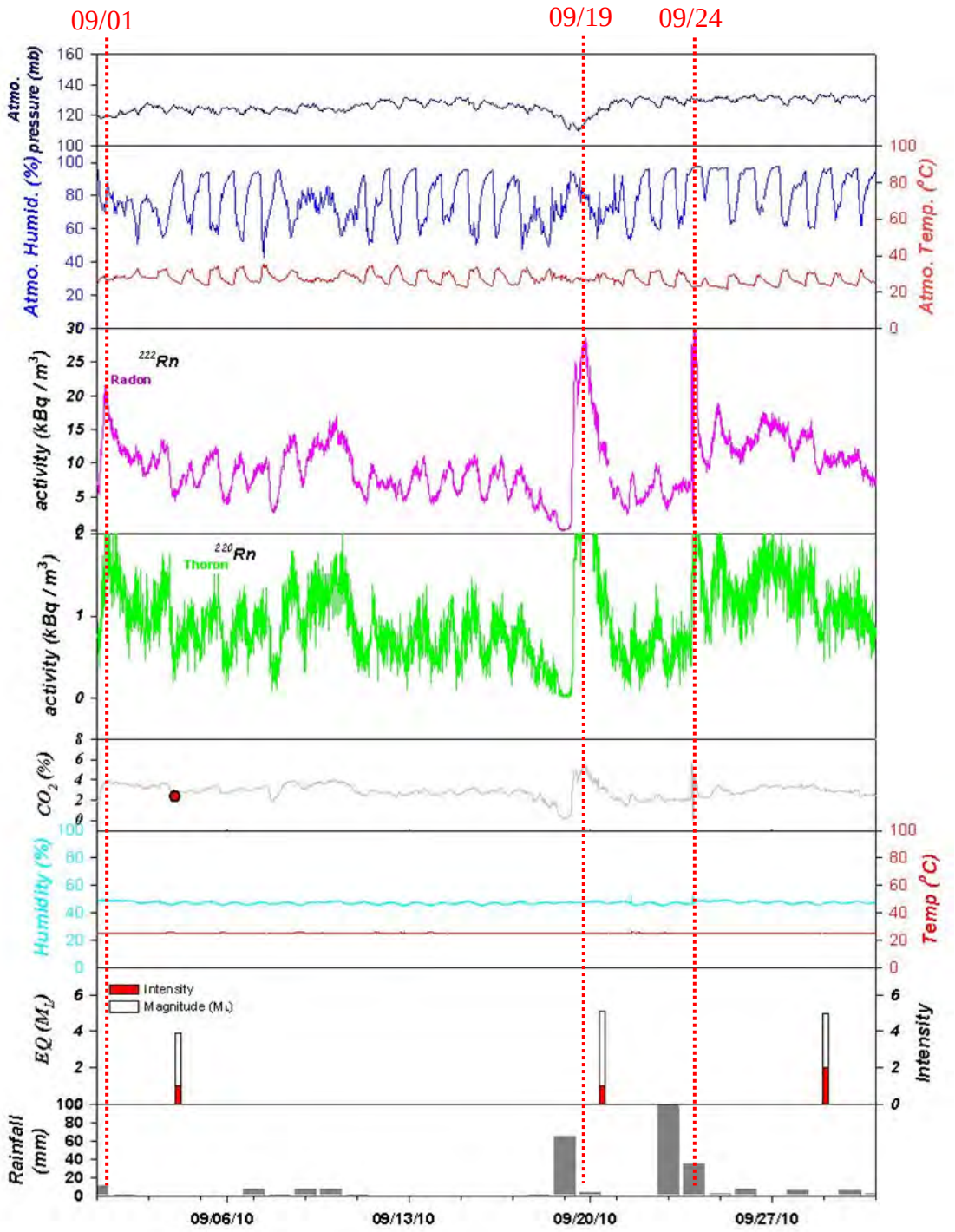


圖 4-95：蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（ML）：地震規模；Intensity：震度；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅色虛線為受到降雨影響的氡氣突升時間（2010/09/01- 2010/09/30）。







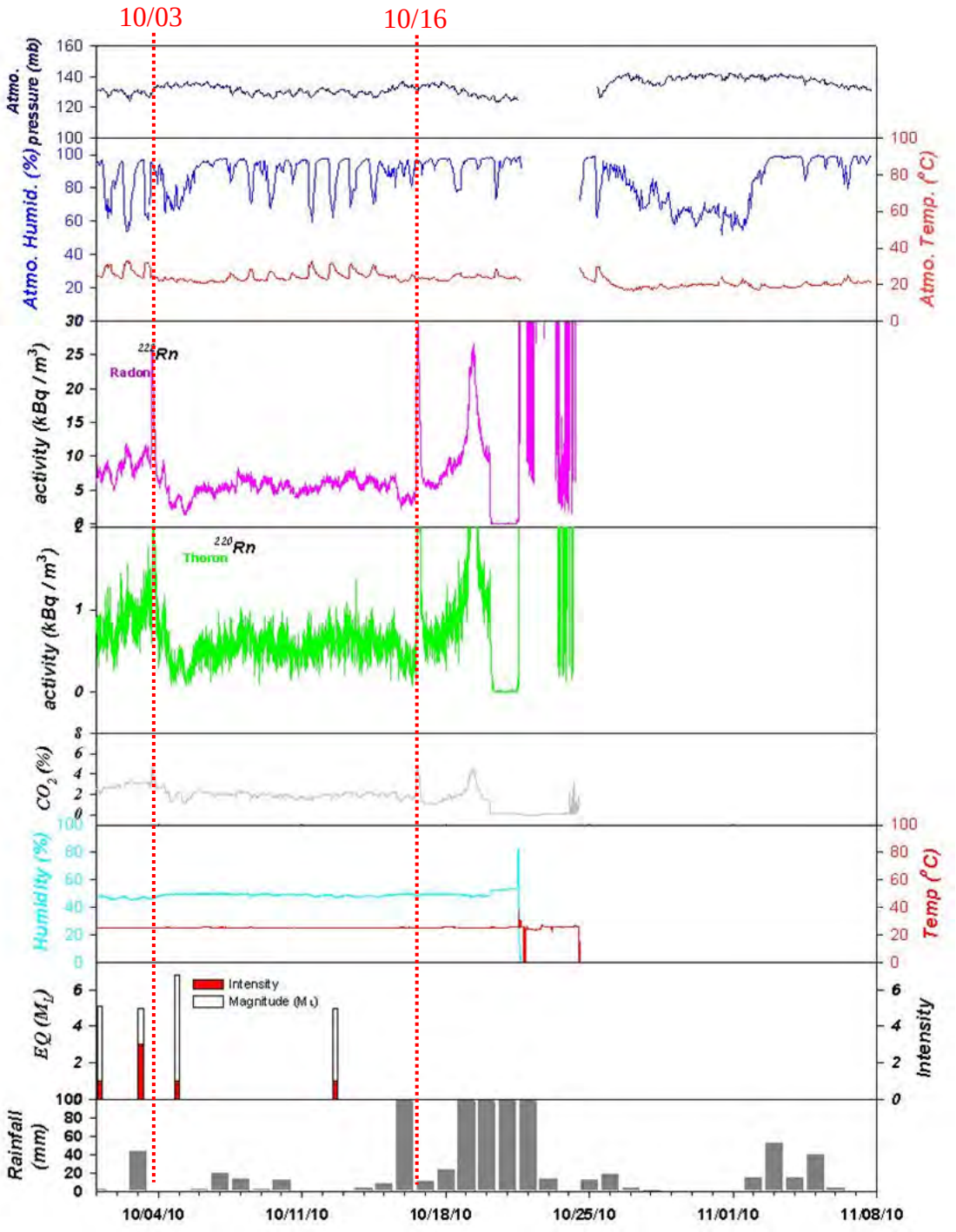


圖 4-96：蘇澳國小土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅色虛線為受到降雨影響的氡氣突升時間（2010/10/01-2010/11/07）。

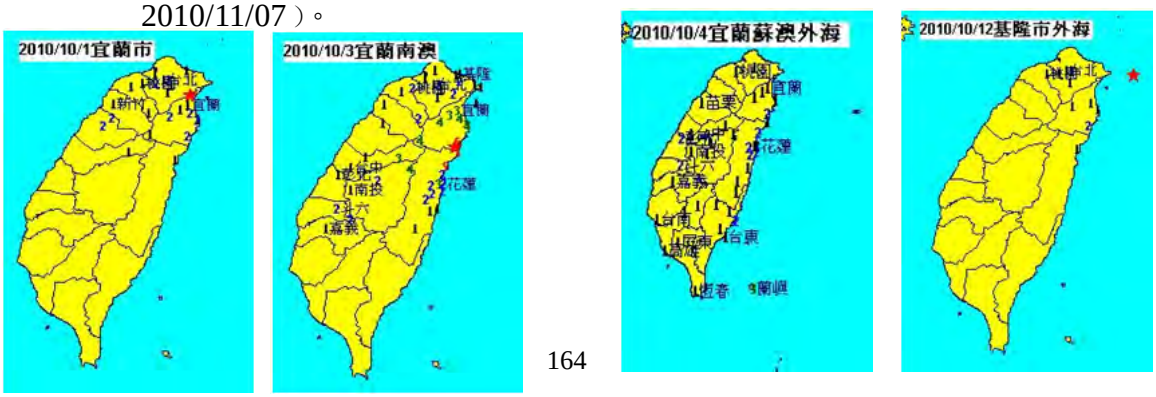




圖 4-97：蘇澳站正面



圖 4-98：蘇澳站右側



圖 4-99：蘇澳站左側

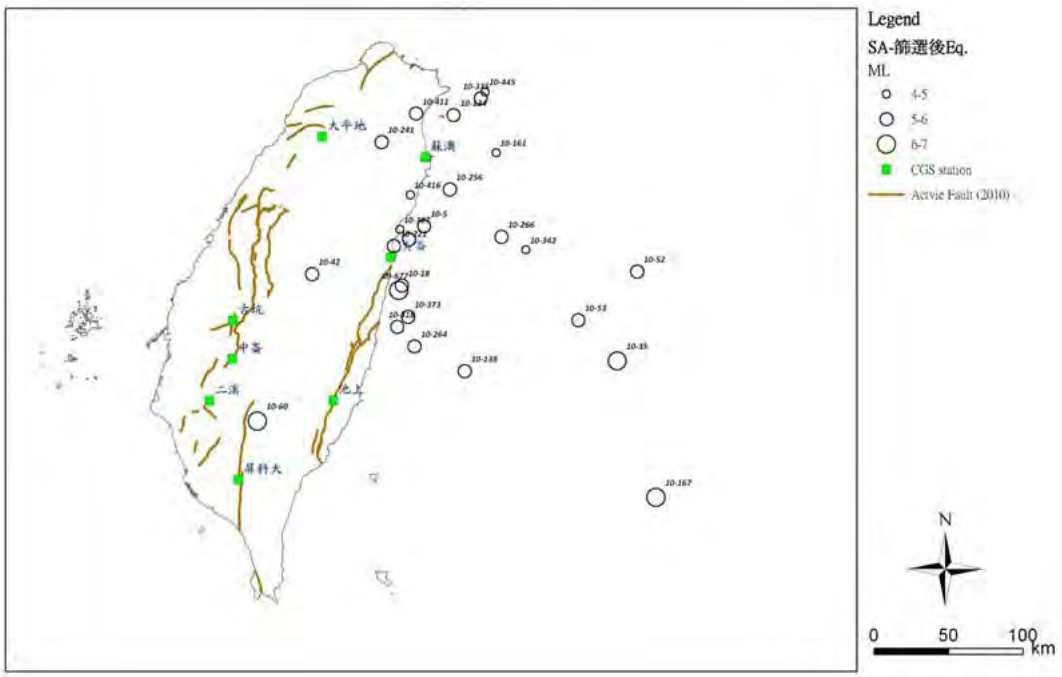


圖 4-100：蘇澳測站相關地震位置分布圖。

表 4-8：蘇澳測站相關地震列表(2009/12/11-2010/11/07)。

No	西元時間	規模	深度(km)	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
09-673	2009/12/13 16:13	4.6	18.8	花蓮西林地震站東北方 3.1 公里	1	0.9	93.48	
09-675	2009/12/15 10:09	3.9	13.8	宜蘭南澳地震站南偏東方 16.5 公里	1	1.14	33.20	
09-677	2009/12/19 21:02	6.9	43.8	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里	4	34.33	91.43	
09-734	2009/12/25 21:00	4.4	14	宜蘭南澳地震站東偏南方 7.8 公里	3	8.55	21.11	
09-738	2009/12/26 06:18	3.2	25.7	宜蘭南澳地震站西南方 18.0 公里	1	x	38.75	
09-744	2009/12/27 21:57	4.8	71.7	宜蘭蘇澳地震站東北方 25.8 公里	1	1.44	27.14	
09-748	2009/12/29 05:10	4.9	98.3	宜蘭蘇澳地震站東偏北方 52.8 公里	2	2.57	54.79	
09-752	2009/12/31 13:38	4.6	33.3	花蓮西林地震站東方 18.4 公里	1	0.96	93.40	
10-2	2010/1/2 01:34	4.9	33.7	花蓮西林地震站東方 19.2 公里	1	1.74	93.16	
10-5	2010/1/5 03:27	5.5	46.1	花蓮秀林地震站東偏北方 25.8 公里	3	11.37	46.47	
10-6	2010/1/8 01:31	4.2	17.8	宜蘭蘇澳地震站東偏北方 52.2 公里	1	x	54.26	
10-11	2010/1/13 18:14	4.4	19.6	花蓮秀林地震站西偏南 7.0 公里	1	2.33	67.02	
10-18	2010/1/19 14:09	5.6	41	花蓮市地震站南偏東方 18.2 公里	1	2.15	87.78	
10-19	2010/1/19 14:29	2.8	14.1	宜蘭南澳地震站東方 7.8 公里	1	x	19.94	
10-27	2010/2/1 07:45	3.2	13.2	宜蘭南澳地震站東偏南方 11.6 公里	1	x	22.21	
10-35	2010/2/7 14:10	6.6	15.5	花蓮市地震站東偏南方 165.7 公里	2	7.36	187.75	
10-36	2010/2/8 11:25	4.7	24.1	花蓮西林地震站東方 18.7 公里	1	x	91.25	
10-42	2010/2/12 10:42	5.2	14	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里	1	2.15	109.33	
10-46	2010/2/16 11:11	4.5	5.4	宜蘭南澳地震站東偏南方 54.8 公里	1	x	58.30	
10-52	2010/2/22 13:21	5.6	28.1	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 160.0 公里	1	1.2	161.36	
10-53	2010/2/26 09:07	5.8	31.1	花蓮市地震站東偏南方 131.7 公里	1	x	150.13	
10-60	2010/3/4 08:18	6.4	22.6	高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里	1	x	209.93	
10-89	2010/3/9 00:30	3.6	32.7	宜蘭南澳地震站西南方 7.6 公里	1	x	29.12	
10-102	2010/3/18 17:01	4.7	31.5	宜蘭蘇澳地震站東南方 26.3 公里	3	13.88	26.31	
10-103	2010/3/19 00:53	4.6	25.2	宜蘭南澳地震站東方 29.1 公里	2	5.68	29.31	
10-104	2010/3/19 01:23	4.1	5.3	宜蘭蘇澳地震站東方 62.2 公里	1	x	63.70	
10-121	2010/3/27 07:07	5.2	55	花蓮秀林地震站東方 13.2 公里	2	3.41	56.41	
10-125	2010/3/31 19:29	4.2	4.9	宜蘭市地震站東偏北方 22.3 公里	2	4.97	26.69	
10-127	2010/4/2 20:12	4.3	11.4	花蓮秀林地震站東偏北方 18.2 公里	1	x	48.25	
10-133	2010/4/9 11:53	4.3	84.9	宜蘭市地震站東北方 9.6 公里	1	2.27	26.72	
10-134	2010/4/9 19:49	5.1	102.8	宜蘭市地震站東偏北方 29.7 公里	2	3.59	33.66	
10-138	2010/4/11 12:57	5.4	10	台東成功地震站東偏北方 76.5 公里	1	1.74	146.00	
10-156	2010/4/16 17:18	3.7	69.4	宜蘭蘇澳地震站東偏北方 35.4 公里	1	x	37.12	
10-157	2010/4/18 02:07	4.1	65	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 38.9 公里	1	x	40.33	
10-161	2010/4/23 09:49	5	86.3	宜蘭蘇澳地震站東方 45.3 公里	1	1.14	47.58	

No	西元時間	規模	深度(km)	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-163	2010/4/24 19:43	3.8	67	宜蘭蘇澳地震站西偏南 9.4 公里	1	x	7.42	
10-166	2010/4/25 23:16	4.3	6.4	宜蘭市地震站東偏北方 48.3 公里	1	0.9	50.75	
10-167	2010/4/26 10:59	6.8	20	台東蘭嶼地震站東偏北方 190.4 公里	2	2.99	275.65	
10-182	2010/5/7 17:36	3.5	6.6	宜蘭蘇澳地震站東北方 21.8 公里	1	x	23.97	
10-191	2010/5/21 11:01	4.2	55	宜蘭南澳地震站南偏西方 14.3 公里	1	x	35.07	
10-206	2010/6/4 05:47	2.9	12.5	宜蘭南澳地震站東偏南方 11.3 公里	1	x	22.21	
10-218	2010/6/14 05:11	4.3	16.9	桃園三光地震站南方 9.3 公里	1	1.62	46.54	
10-221	2010/6/15 08:31	5.5	18.9	花蓮秀林地震站東南方 3.7 公里	2	4.01	63.41	
10-230	2010/6/18 09:08	4.7	5	花蓮秀林地震站東北方 12.4 公里	1	1.85	50.25	
10-239	2010/6/25 12:28	4.7	57.9	宜蘭蘇澳地震站東南方 32.1 公里	2	3.77	33.17	
10-240	2010/6/26 22:58	3.8	29	宜蘭南澳地震站東偏南方 25.6 公里	1	x	35.34	
10-241	2010/6/27 02:05	5.1	64.9	宜蘭牛鬥地震站北偏西方 6.2 公里	2	4.13	30.96	
10-242	2010/6/28 04:33	4.9	15.5	基隆市地震站東偏南方 57.0 公里	1	2.27	61.19	
10-249	2010/7/5 02:21	4.3	15.3	基隆市地震站東偏南方 48.6 公里	1	x	56.91	
10-256	2010/7/9 03:43	5.3	17.9	宜蘭南澳地震站東方 25.9 公里	3	20.04	27.42	
10-257	2010/7/9 08:41	5.8	109.5	宜蘭蘇澳地震站東方 81.5 公里	2	5.08	83.18	
10-258	2010/7/10 00:12	3.9	37.7	宜蘭南澳地震站東偏南方 8.1 公里	2	x	22.14	
10-260	2010/7/13 13:19	3.4	18.2	宜蘭南澳地震站東方 22.6 公里	1	x	26.70	
10-261	2010/7/14 18:29	3.6	22.8	宜蘭南澳地震站南偏西方 18.5 公里	1	x	39.84	
10-264	2010/7/17 17:04	5.2	42	花蓮玉里地震站東偏北方 47.3 公里	1	1.2	127.45	
10-266	2010/7/18 21:03	5.2	15.4	宜蘭南澳地震站東偏南方 69.2 公里	2	3.11	74.19	
10-273	2010/7/25 07:41	3.6	24.2	宜蘭南澳地震站西南方 20.0 公里	1	1.02	40.89	
10-280	2010/7/27 08:55	4.4	5	基隆市地震站東偏南方 51.1 公里	1	1.38	54.46	
10-282	2010/7/28 03:09	3.1	14.4	宜蘭南澳地震站東偏南方 15.7 公里	2	x	24.01	
10-287	2010/7/31 16:13	4.6	41.6	花蓮秀林地震站東方 16.6 公里	1	1.38	57.95	
10-297	2010/8/5 20:41	4.4	3.7	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 53.4 公里	1	x	55.24	
10-301	2010/8/11 05:43	4.8	23.9	宜蘭南澳地震站東偏南方 64.2 公里	1	x	70.18	
10-303	2010/8/11 21:36	3.3	20.8	宜蘭南澳地震站南偏東方 5.0 公里	1	1.02	25.65	
10-318	2010/8/22 00:37	5.3	27	花蓮西林地震站東南方 34.7 公里	1	1.14	115.54	
10-319	2010/8/22 02:39	4.7	5.8	宜蘭市地震站東方 19.5 公里	2	6.16	23.78	
10-320	2010/8/22 02:47	4.8	6.6	宜蘭市地震站東偏北方 19.0 公里	3	13.94	25.33	
10-321	2010/8/22 02:50	3.6	7.2	宜蘭市地震站東方 15.2 公里	1	x	21.13	
10-322	2010/8/22 03:19	3.3	10.7	宜蘭市地震站東方 15.6 公里	2	x	21.13	
10-323	2010/8/22 09:56	3.5	10.8	宜蘭市地震站東偏北方 16.4 公里	1	x	23.23	
10-331	2010/8/28 22:01	3.6	18.6	宜蘭南澳地震站東偏北方 4.7 公里	2	3.05	18.41	
10-335	2010/8/30 16:45	5.2	15	基隆市地震站東偏南方 48.8 公里	3	12.74	53.81	

No	西元時間	規模	深度(km)	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-337	2010/9/1 13:30	4.1	6.8	基隆市地震站東偏南方 56.5 公里	1	x	59.70	
10-340	2010/9/4 02:21	3.9	10	宜蘭市地震站東方 25.4 公里	1	x	28.30	
10-341	2010/9/4 02:44	3.9	8.8	宜蘭市地震站東偏北方 27.3 公里	1	x	31.62	
10-342	2010/9/4 03:06	5	77.6	宜蘭南澳地震站東偏南方 87.4 公里	1	x	91.92	
10-343	2010/9/5 12:55	4.1	8	宜蘭市地震站東偏北方 32.2 公里	1	x	35.48	
10-344	2010/9/5 13:25	3.8	10	宜蘭市地震站東偏北方 24.9 公里	1	x	32.63	
10-353	2010/9/8 14:28	4.2	72.1	宜蘭市地震站東偏北方 24.8 公里	1	x	31.06	
10-355	2010/9/9 21:30	4.5	23.3	宜蘭南澳地震站東偏北方 11.7 公里	3	9.69	15.62	
10-359	2010/9/12 06:41	4.8	58.5	宜蘭南澳地震站東南方 2.6 公里	2	6.76	22.18	
10-370	2010/9/17 08:45	3.6	15.1	宜蘭蘇澳地震站東偏北方 24.8 公里	1	x	27.40	
10-371	2010/9/19 13:24	4.5	22.5	宜蘭南澳地震站東偏南方 30.3 公里	1	2.03	36.89	
10-372	2010/9/19 23:02	2.9	14.6	宜蘭南澳地震站東方 2.2 公里	1	x	20.09	
10-373	2010/9/20 11:17	5.1	31.9	花蓮西林地震站東偏南方 34.7 公里	1	1.97	107.97	
10-374	2010/9/23 00:12	3.5	18.5	宜蘭南澳地震站東方 22.0 公里	2	x	24.79	
10-385	2010/9/28 08:41	2.9	14.9	宜蘭南澳地震站北偏東方 11.1 公里	1	x	9.73	
10-387	2010/9/29 01:33	5	19.2	花蓮秀林地震站東北方 11.3 公里	2	7.66	51.62	
10-411	2010/10/1 03:56	5.1	102.1	宜蘭市地震站北方 11.4 公里	1	1.74	29.39	
10-416	2010/10/3 03:23	5	19.1	宜蘭南澳地震站南偏西方 6.9 公里	3	20.64	27.38	
10-423	2010/10/4 08:13	4.4	69.2	宜蘭蘇澳地震站東北方 23.8 公里	1	x	26.16	
10-424	2010/10/4 21:28	6.8	60	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 362.5 公里	1	1.32	363.44	
10-431	2010/10/8 15:23	3.3	18.5	宜蘭南澳地震站南偏東方 6.2 公里	1	x	26.41	
10-433	2010/10/9 01:16	3.3	16.7	宜蘭南澳地震站東方 14.9 公里	1	x	20.81	
10-434	2010/10/9 04:42	4	63.9	宜蘭市地震站東偏南方 7.8 公里	1	x	15.52	
10-438	2010/10/9 17:02	3.5	23.9	宜蘭南澳地震站南偏西方 4.8 公里	1	x	26.21	
10-442	2010/10/11 23:03	3.7	13	宜蘭市地震站東偏北方 26.1 公里	1	x	28.89	
10-443	2010/10/11 23:04	3.5	12.7	宜蘭蘇澳地震站北偏東方 14.1 公里	1	x	16.03	
10-444	2010/10/12 00:47	4.7	13.3	宜蘭市地震站東偏北方 53.5 公里	1	x	55.20	
10-445	2010/10/12 14:43	5	113.2	基隆市地震站東偏南方 50.5 公里	1	1.26	59.10	
10-446	2010/10/12 16:25	3.8	16.3	宜蘭市地震站東方 12.1 公里	2	x	19.05	
10-447	2010/10/12 16:28	3.9	9.2	宜蘭市地震站東方 15.3 公里	2	2.69	22.18	
10-448	2010/10/12 22:23	4	16.8	宜蘭南澳地震站北偏東方 6.0 公里	3	9.15	15.04	
10-453	2010/10/15 04:20	4.1	16.3	宜蘭南澳地震站東偏北方 11.3 公里	2	x	15.62	
10-454	2010/10/16 12:30	3.5	21.7	宜蘭蘇澳地震站南方 8.6 公里	1	x	7.81	
10-455	2010/10/16 14:03	4	25.1	宜蘭蘇澳地震站南偏西方 9.8 公里	1	x	8.00	
10-463	2010/10/21 01:53	3.7	26	宜蘭南澳地震站西偏北方 9.1 公里	1	x	21.65	
10-464	2010/10/21 18:18	3.4	5.4	宜蘭蘇澳地震站南偏西方 6.3 公里	2	x	5.53	

No	西元時間	規模	深度(km)	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-481	2010/10/27 17:06	4.3	69.2	宜蘭蘇澳地震站東方 8.9 公里	1	x	11.12	
10-482	2010/10/27 20:06	2.8	7.2	宜蘭蘇澳地震站南方 5.6 公里	2	x	4.87	
10-485	2010/10/29 22:56	3.6	15.5	花蓮秀林地震站北偏東方 18.0 公里	1	x	44.02	
10-487	2010/10/29 23:27	4.4	21.6	宜蘭南澳地震站南方 19.4 公里	2	2.57	40.57	
10-488	2010/10/29 23:30	4.2	17.8	宜蘭南澳地震站南方 19.6 公里	1	1.74	40.28	
10-494	2010/10/29 23:53	4	22.9	宜蘭南澳地震站南方 19.3 公里	1	1.44	40.28	

4-8 嘉義中崙濁水潭土壤氣體觀測站

4-8-1 氡氣偵測儀分析結果

圖 4-101 至圖 4-114 為嘉義中崙濁水潭觀測站 2009 年 11 月至 2010 年 11 月的連續觀測結果。圖 4-101 是總圖表，圖 4-102 至圖 4-114 是分月圖表。本測站內現有兩台氡氣分析儀進行土壤氣體的濃度分析並據以交叉比對，在 2 月 25 日之前是由電動幫浦抽氣給氡氣分析儀以串聯方式的運作，之後則是在電動幫浦後多加裝一個迴圈裝置，兩台氡氣分析儀並聯於迴圈裝置之後進行運作，觀察迴圈設置前後氡氣濃度值相差有 40,000 Bq/m^3，但是兩台的相對變化則相當一致，兩台同時觀測的結果有助於確認氡氣濃度變化的可信度。至於迴圈裝置是否會影響氡氣濃度與地震的相關性，則是需要長期觀察後才能進一步確定。

圖 4-102 至圖 4-105 為 11 月至 2 月的觀測結果。這段時間有多個氡氣濃度異常區間並可與隨後發生之地震作相關的連結，分述如下：10 月 27 日至 11 月 3 日為一氡氣異常區間，氡氣濃度值介於 25,000 Bq/m^3 至 55,000 Bq/m^3 之間，這可視為 11 月 5 日發生於南投名間的地震（規模 6.2，震度 5 級，深度 24.1 km，距離測站 47.9 km）的前兆反應時間。11 月 4 日至 11 月 15 日為一氡氣異常區間，氡氣濃度值介於 25,000 Bq/m^3 至 50,000 Bq/m^3 之間，在這異常區間中有一起發生於 11 月 15 日基隆市外海的地震（規模 5.5，震度 2 級，深度 125.4 km，距離測站 238 km），吾人可以忽略這起深度深且距離測站遠的地震，只須注意 11 月 17 日發生於嘉義市的地震（規模 4，震度 5 級，深度 10.4 km，距離測站 7.5 km）。11 月 18 日至 2 月 12 日氡氣呈現日夜變化，除了幾個明顯的異常變化區間外，大致上維持平穩的趨勢。12 月 13 日至 12 月 17 日氡氣的異常變化與 12 月 19 日發生於花蓮市的地震有關（規模 6.9，震度 5 級，深度 43.8 km，距離測站 120 km）。1 月 9 日至 1 月 17 日氡氣的異常變化則是可能與 1 月 19 日發生於花蓮市的地震（規模 5.6，震度 3 級，深度 41 km，距離測站 123 km）有密切的關係。2 月 5 日至 2 月 12 日為一氡氣異常變化區間，變化幅度介於 45,000 Bq/m^3 至 60,000 Bq/m^3 間，氡氣變化是屬於長時間緩慢上升，之後迅速下降，其與 2 月 12 日發生於南投埔里的地震（規模 5.2，震度 4 級，深度 14 km，距離測站 77.4 km）有密切的相關。

圖 4-106 及圖 4-107 是 3 月及 4 月的觀測結果。回頭再觀察 2 月 17 日至 2 月 25 日間的氡氣變化呈現往上升的趨勢，濃度值從 45,000 Bq/m^3 上升至 65,000 Bq/m^3，這中間的變化幅度很大。不過在 2 月 25 日吾人現地更改儀器配置，如前述加裝一個迴圈裝置，之後氡氣濃度呈現緩慢下降的趨勢，趨近於平衡，直到 4 月 11 日電動幫浦故障為止（4 月 11 日至 4 月 19 日，6 月 12 日至 6 月 15 日，電

動幫浦故障，圖上藍框所示)。吾人也無法料到這一轉換裝置過程中，竟會干擾了原先氡氣分析儀持續運作的過程,這中間在 3 月 4 日發生於高雄甲仙震撼全台的大地震（規模 6.4，震度 6 級，深度 22.6 km，距離測站 45.1 km)，如無更換裝置的影響，則自 2 月 17 日持續多日的氡氣異常變化來解釋的話，應可視為是高雄甲仙地震的前兆反應。3 月 4 日至 3 月 9 日為一氡氣異常變化區間，氡氣濃度介於 25,000 Bq/m^3 至 35,000 Bq/m^3 間,這段時間可以視為是 3 月 8 日發生於嘉義市的地震（規模 4.9，震度 5 級，深度 14.3 km，距離測站 4.5 km）的前兆反應時間。3 月 11 日至 3 月 26 日為一氡氣異常變化區間，氡氣濃度介於 22,000 Bq/m^3 至 32,000 Bq/m^3 間，並呈現緩慢變化，可以視為是 3 月 27 日發生於花蓮秀林的地震（規模 5.2，震度 3 級，深度 55 km，距離測站 142 km）的前兆反應時間。

圖 4-108 及圖 4-109 是 5 月及 6 月的觀測結果。大致維持平穩的趨勢，5 月 23 日之後有多個時期氡氣濃度受降雨的影響，有異常升高的現象，圖上可以明顯的看出氡氣變化與降雨呈現正相關。6 月 16 日至 6 月 24 日為一氡氣異常變化區間，圖上可看出可以排除降雨因素的影響，應是一次可確認發生於 6 月 27 日宜蘭牛鬥的地震（規模 5.1，震度 2 級，深度 64.9 km，距離測站 176 km）的前兆反應時間。

圖 4-110 至圖 4-114 是 7 月至 11 月的觀測結果。這五個月深受降雨影響，氡氣濃度呈現不穩定的狀態，逸氣來源時暢通時阻塞，分析出來的資料無法看出是否有異常變化區間，因此對於多起地震無法作有效的判定其相關性。

圖 4-115 為中崙站相關地震位置分布圖。表 4-9 為中崙測站相關地震列表。自 2009 年 11 月 01 日至 2010 年 11 月 30 日共有 209 起地震被偵測到,由圖可看出與中崙測站相關的地震分布位置多集中在中南部及東部花蓮外海。

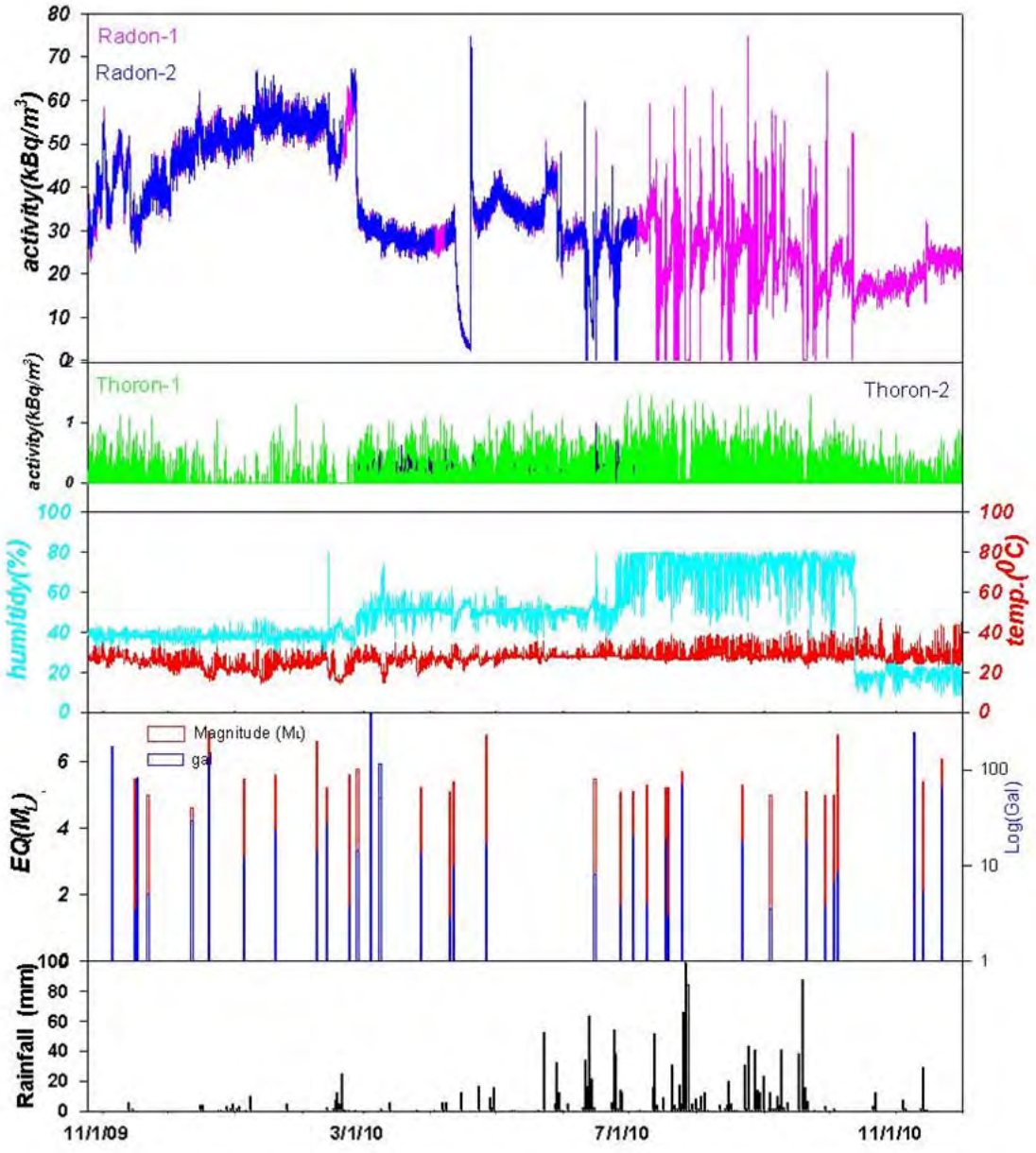


圖 4-101：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2009/10/25-2010/11/30）。

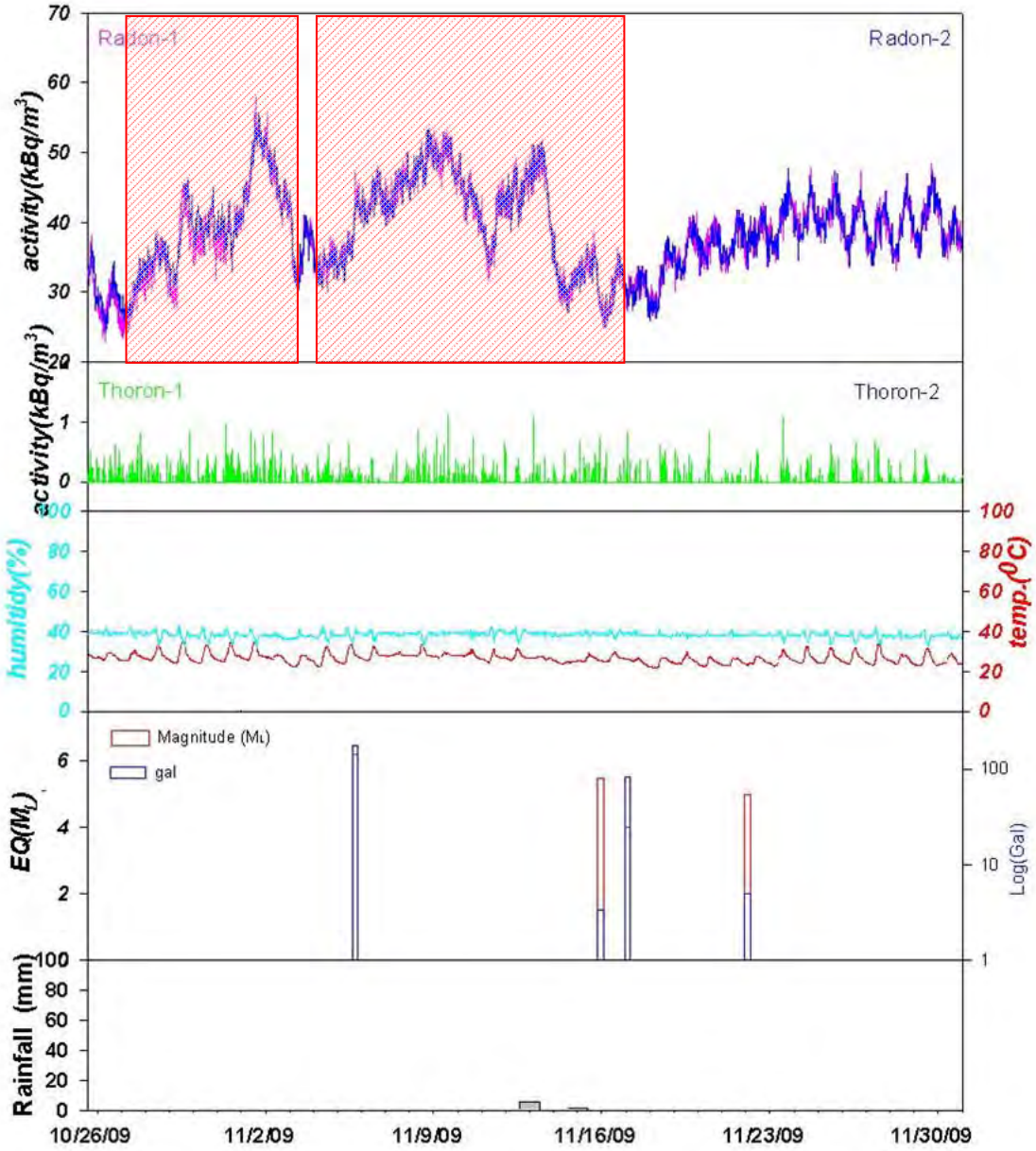
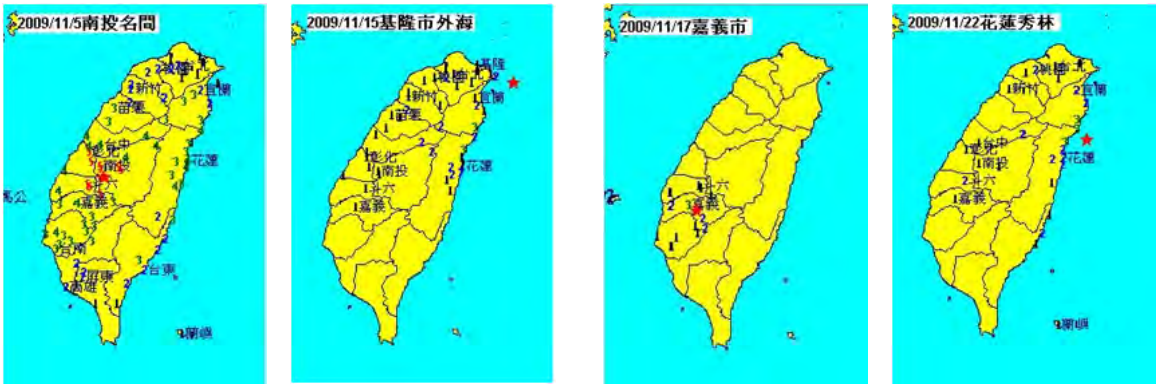


圖 4-102：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間（2009/10/25-2009/11/30）。



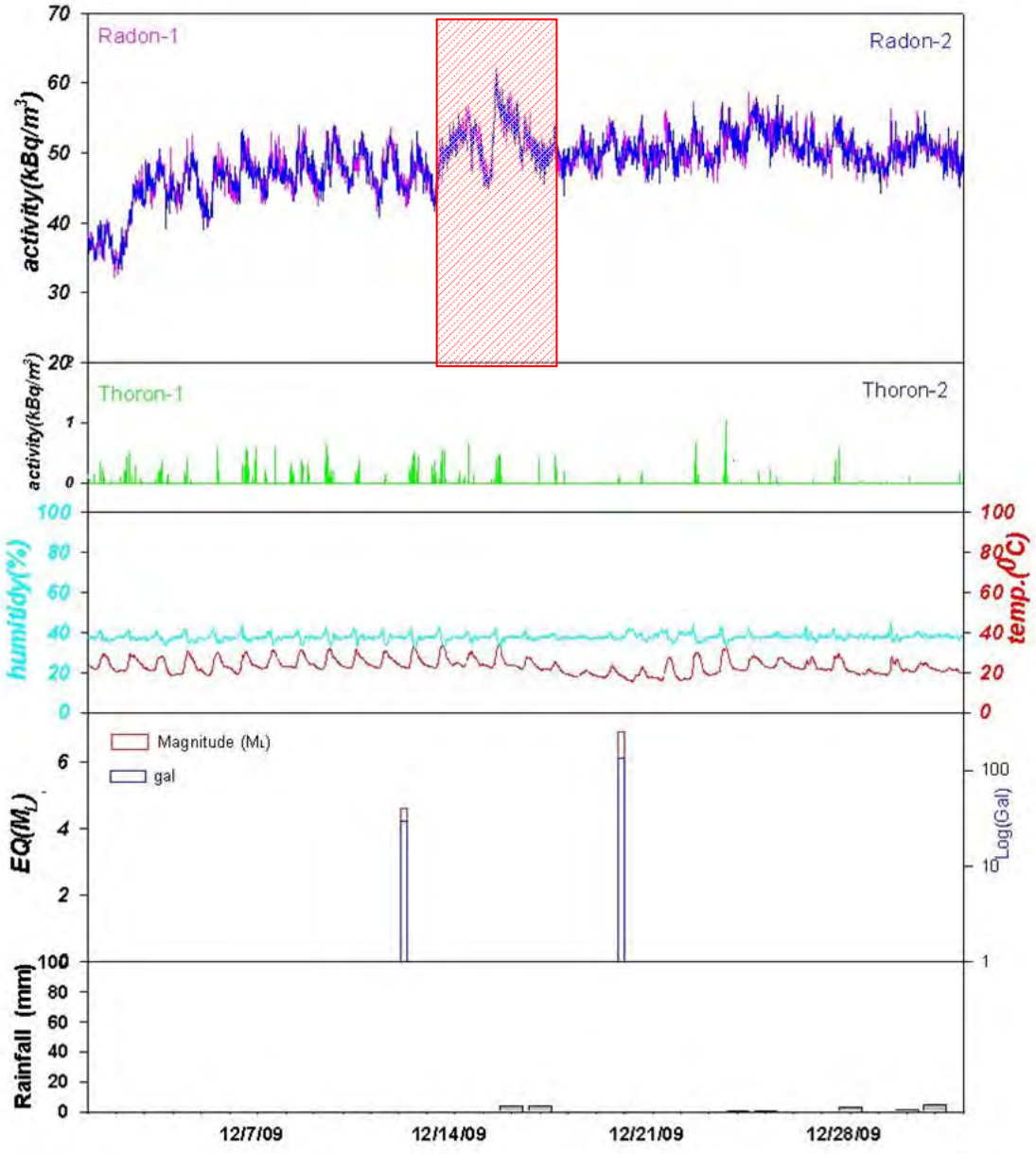
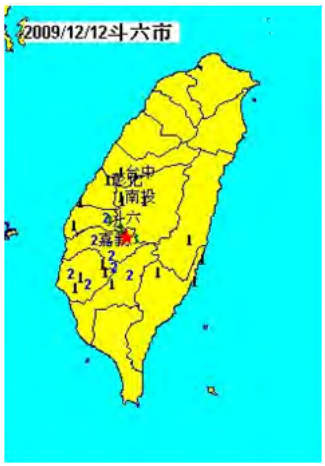


圖 4-103：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間（2009/12/01-2009/12/31）。





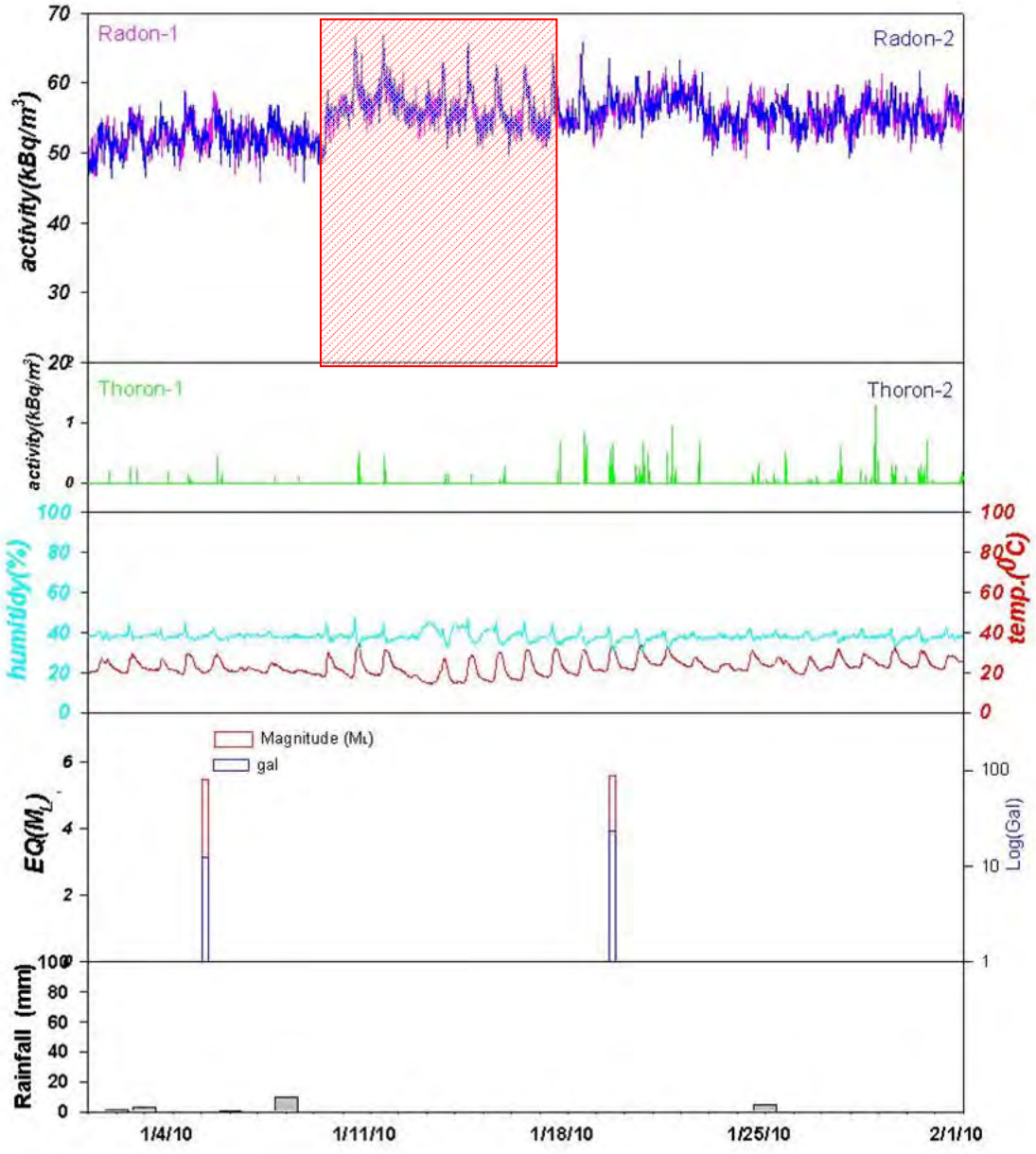


圖 4-104：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間（2010/01/01-2010/01/31）。





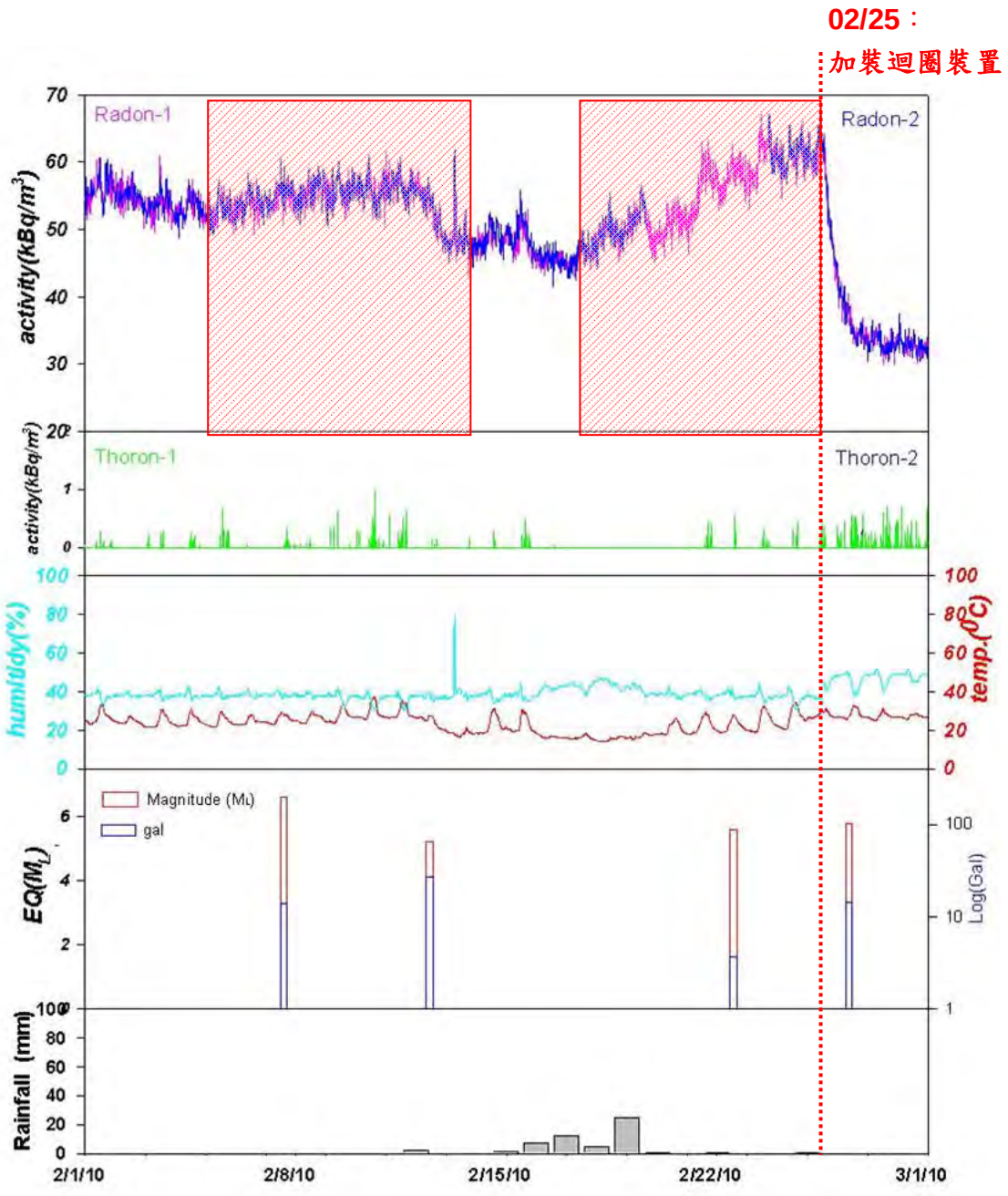
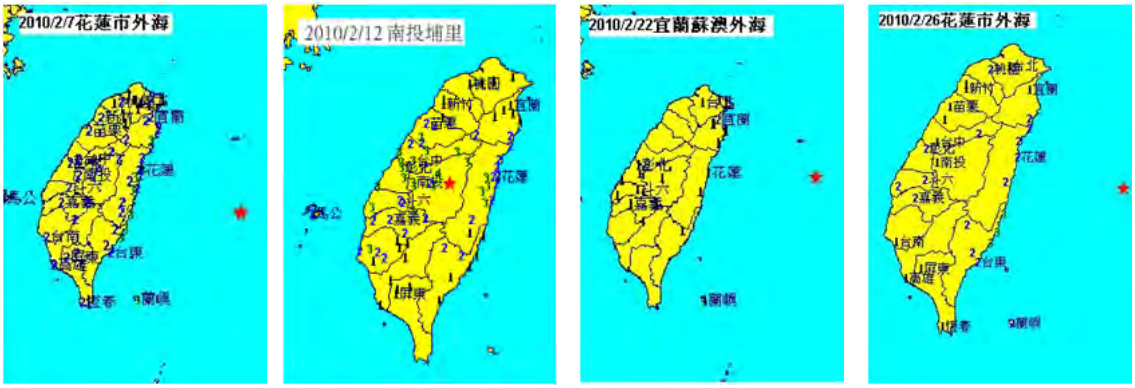


圖 4-105：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間（2010/02/01-2010/02/28）。



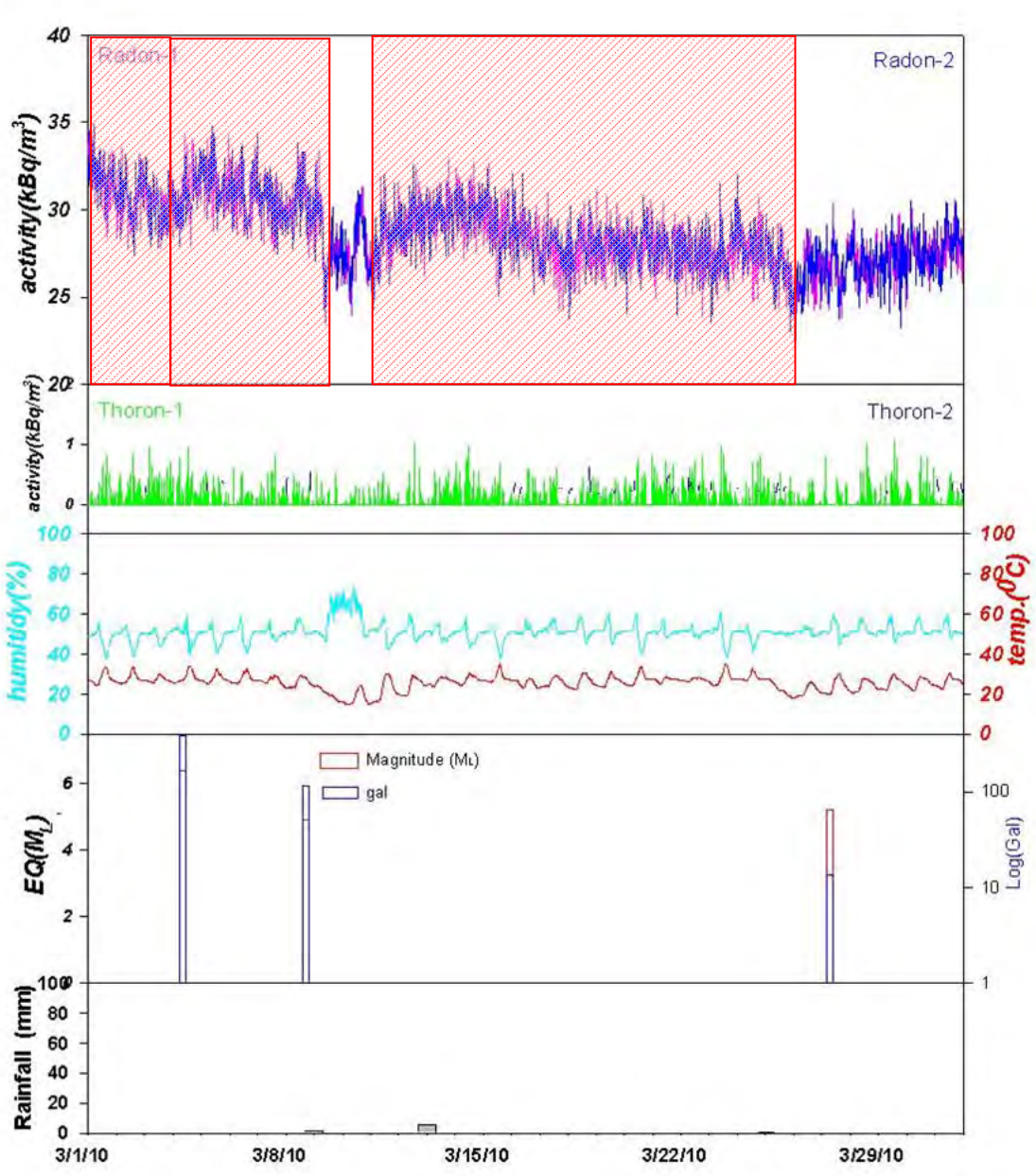
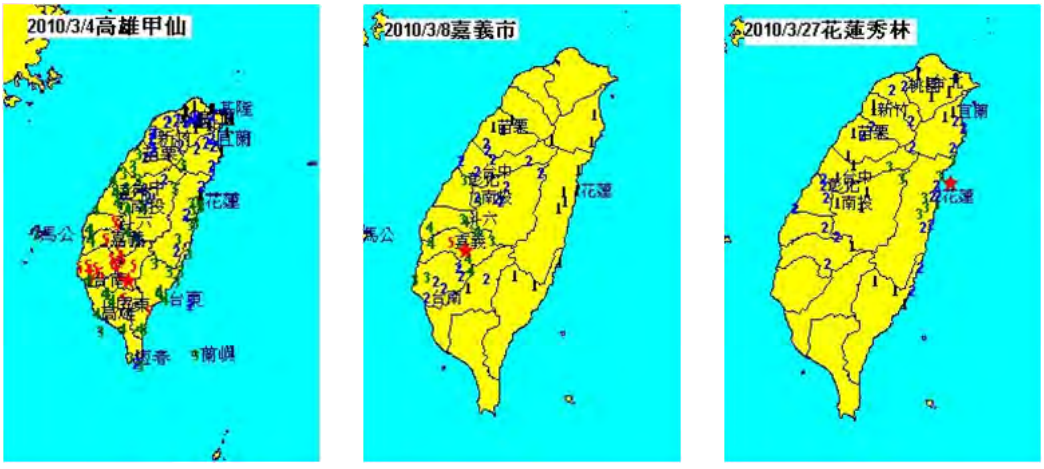


圖 4-106：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；紅斜線框表示氡氣異常區間（2010/03/01-2010/03/31）。



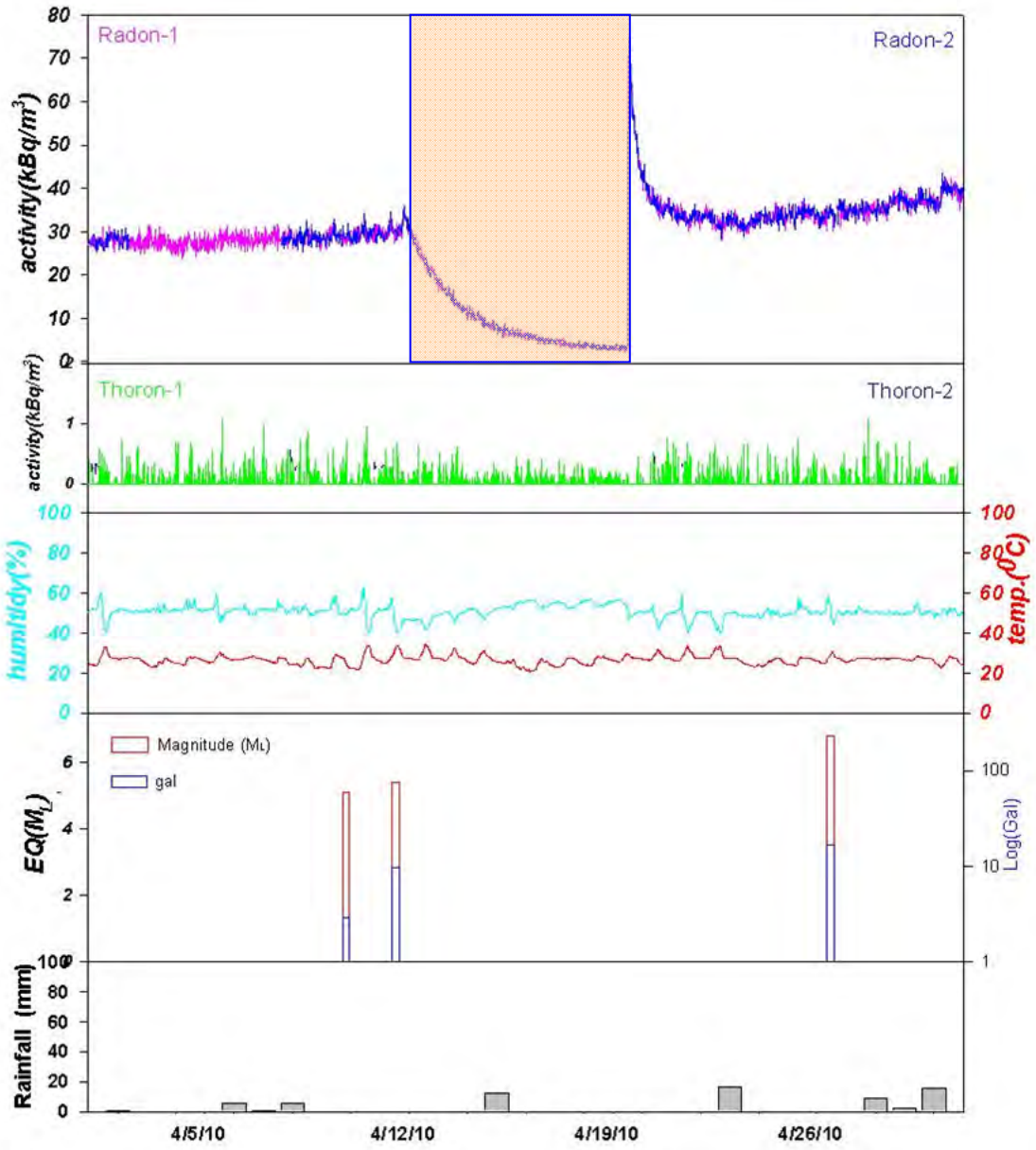
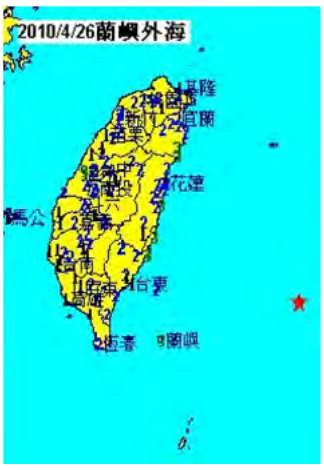


圖 4-107：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；藍框為電動幫浦故障區間（2010/04/01-2010/04/30）。







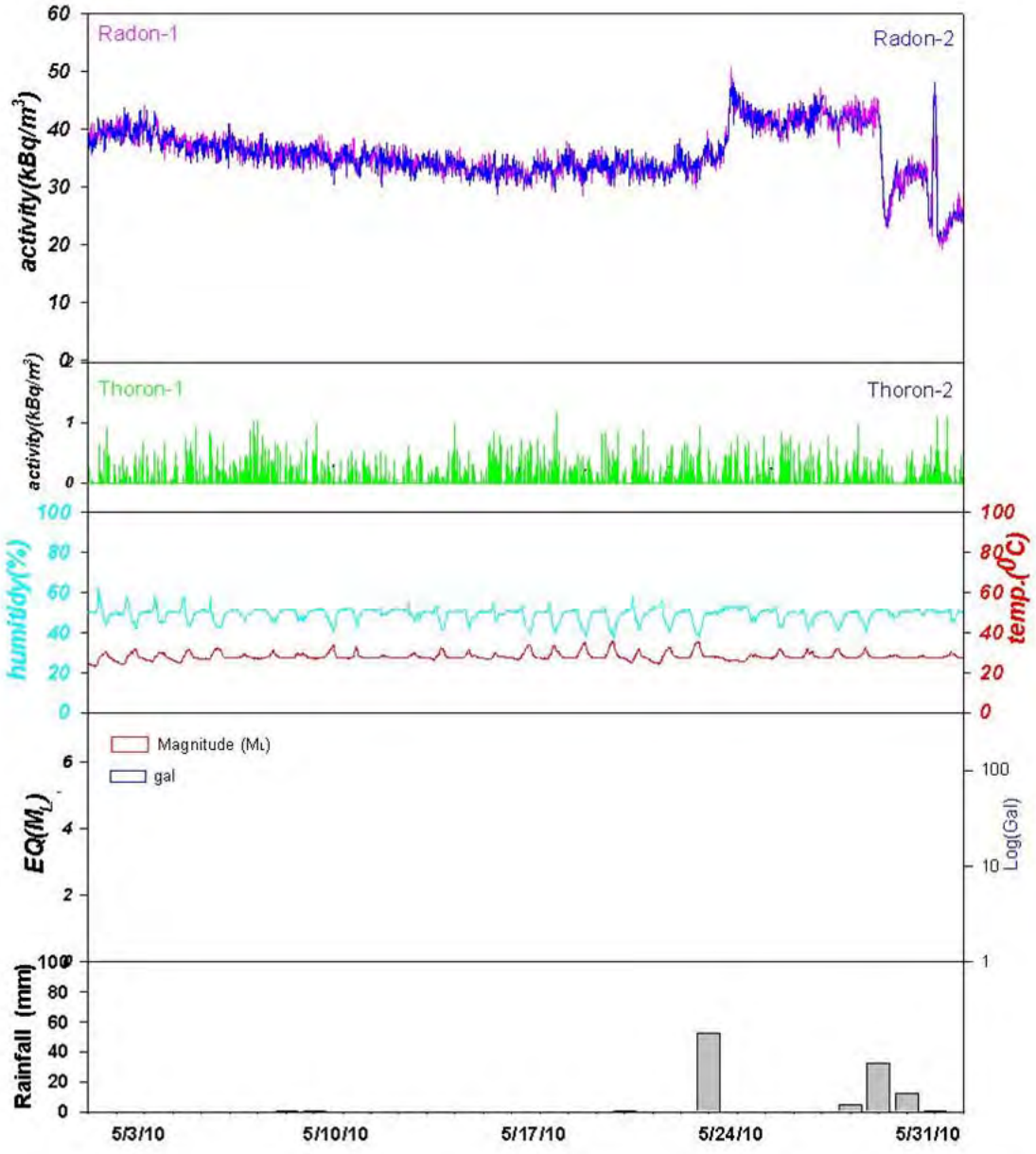


圖 4-108：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/05/01- 2010/05/31）。

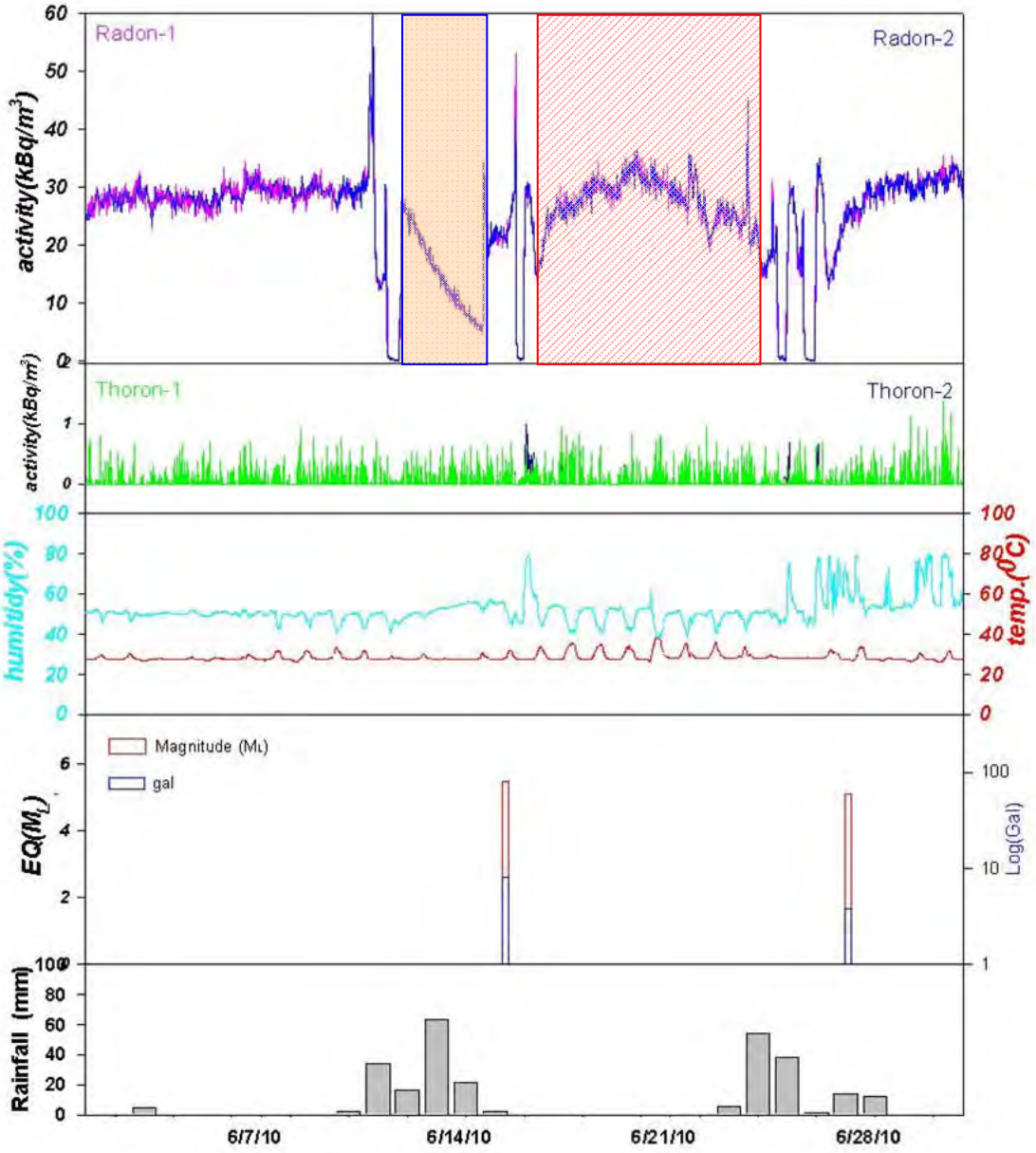
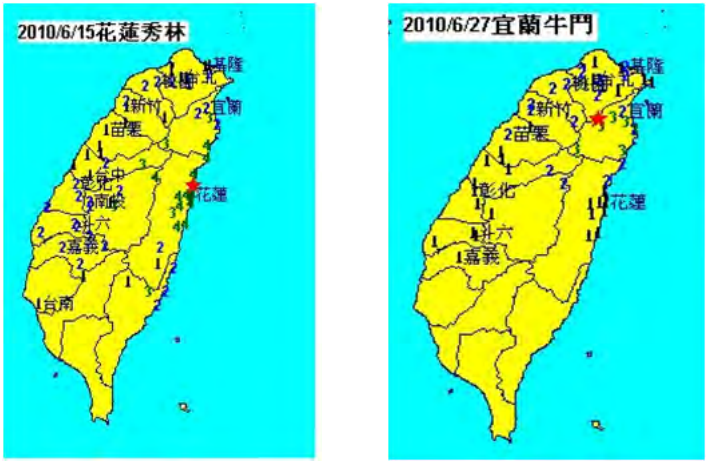


圖 4-109：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度；藍框為電動幫浦故障區間；紅斜線框表示氡氣異常區間（2010/06/01- 2010/06/30）。



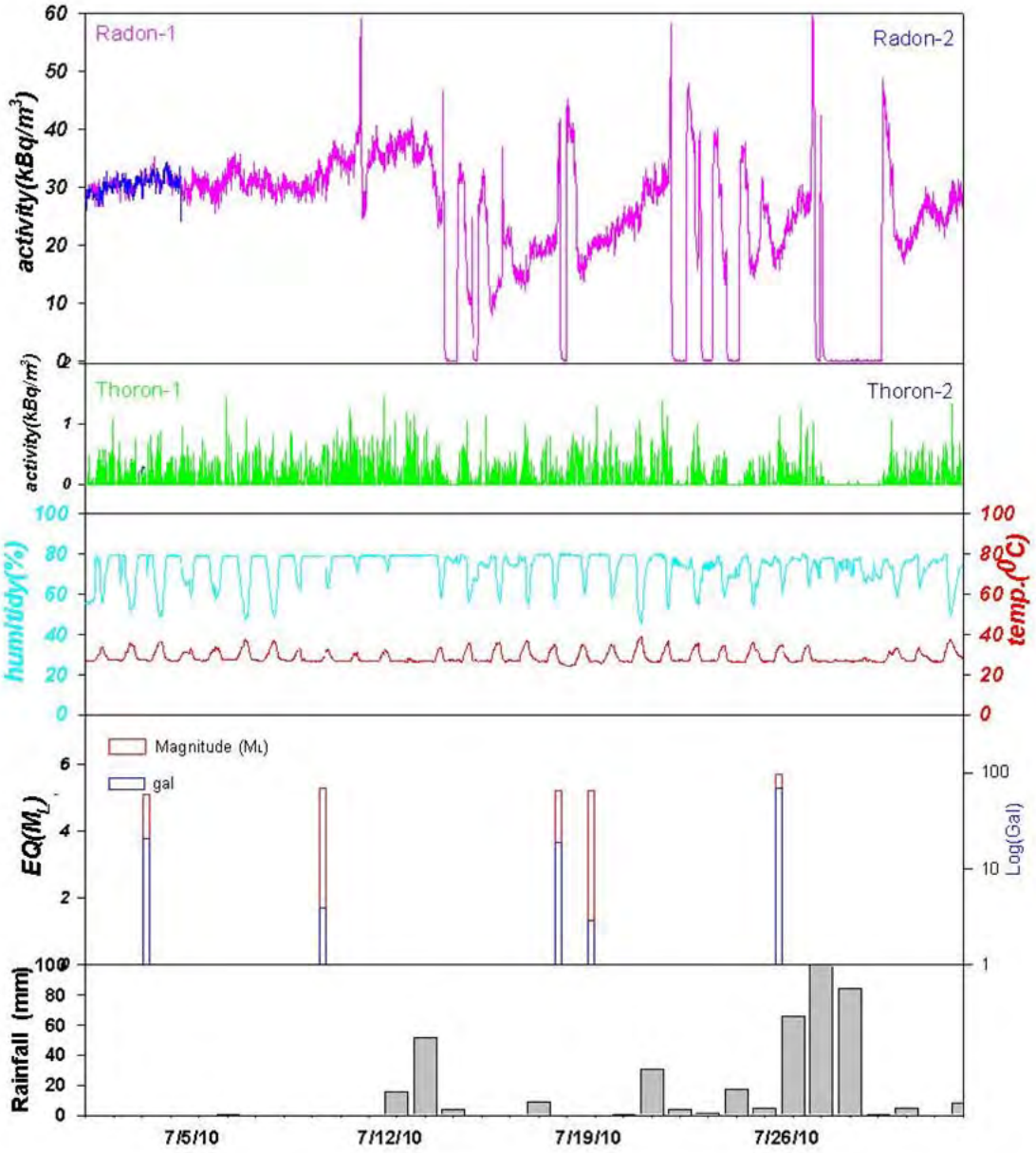
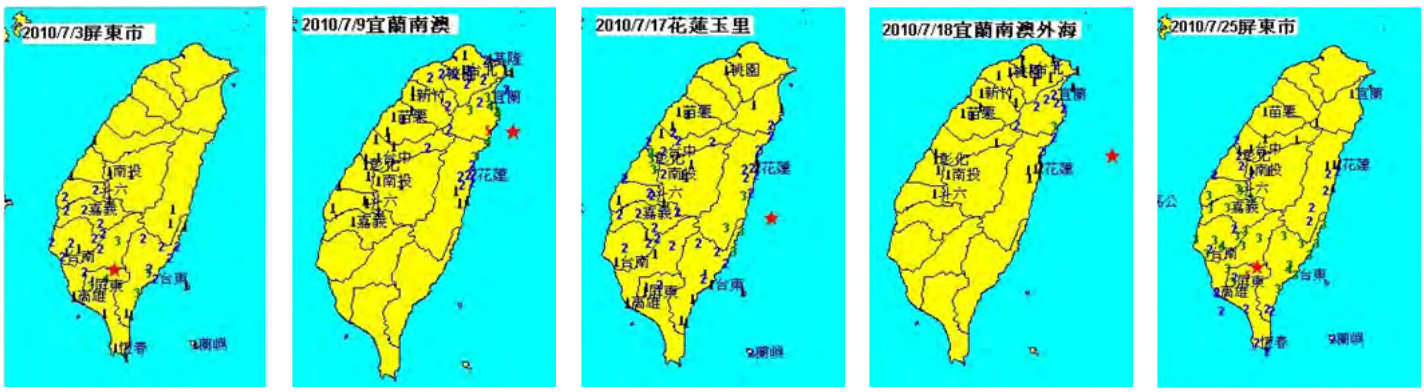


圖 4-110：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/07/01- 2010/07/31）。



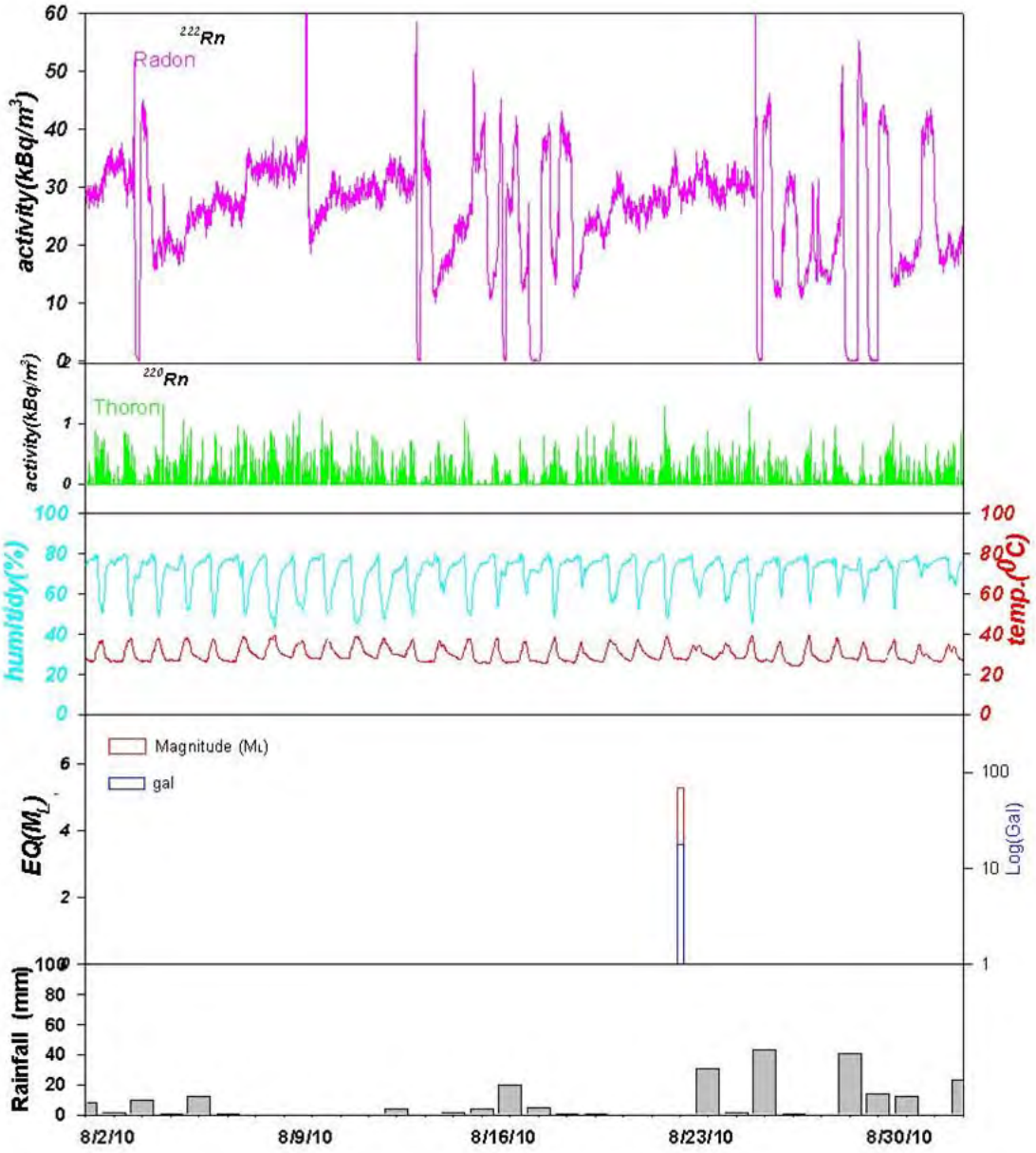


圖 4-111：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/08/01- 2010/08/31）。



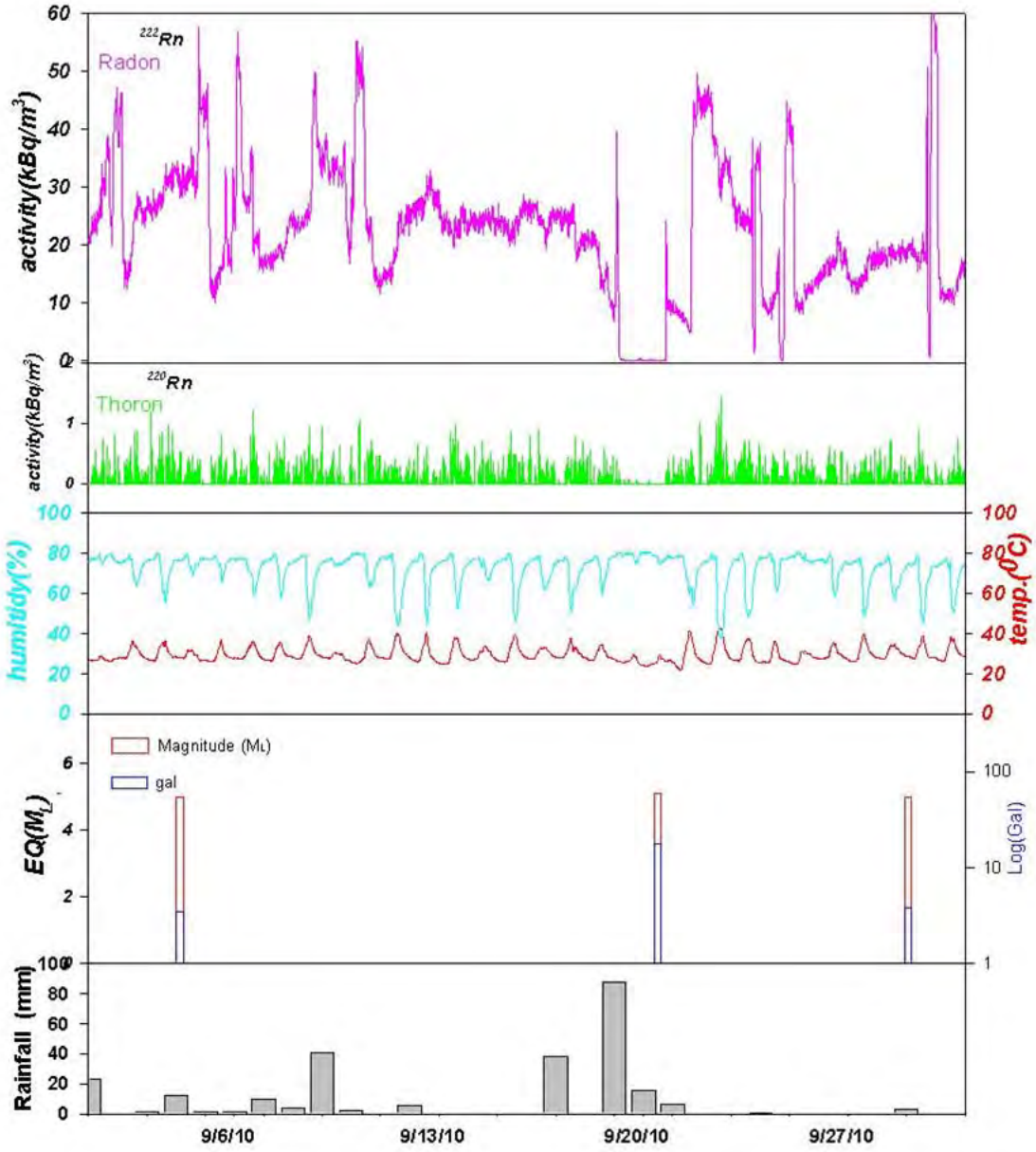
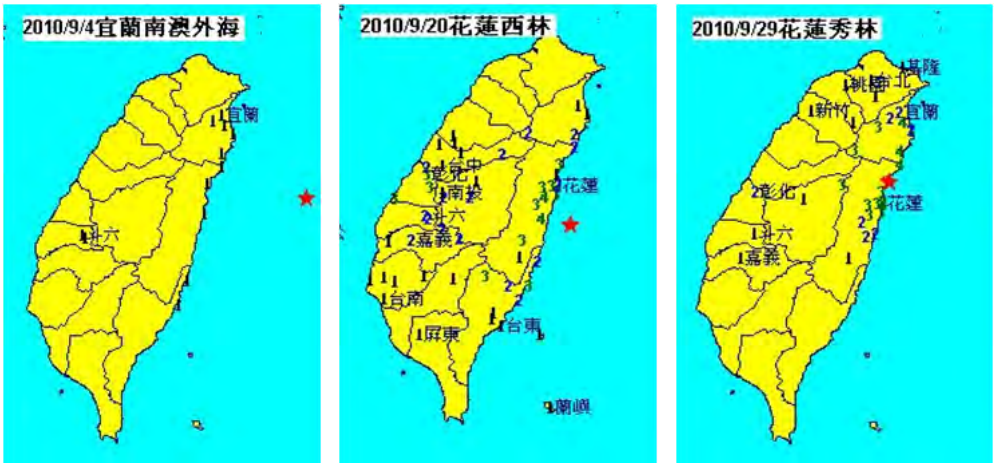


圖 4-112：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/09/01- 2010/09/30）。



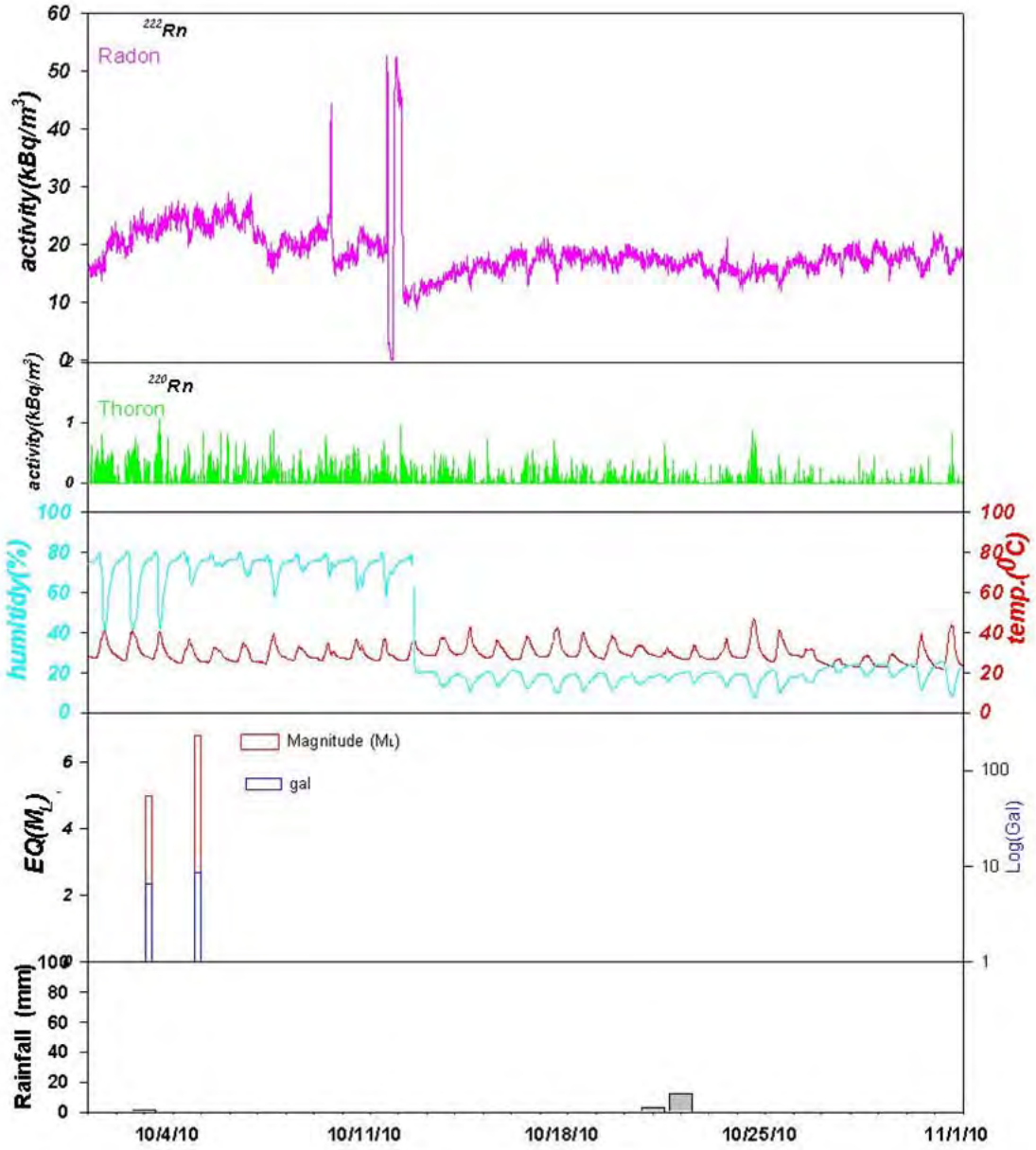
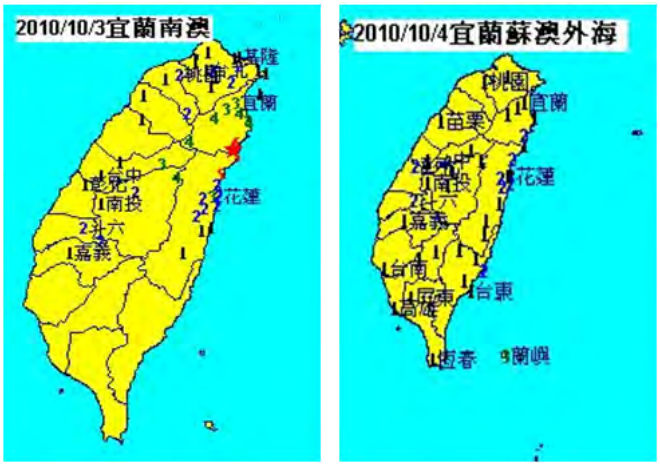


圖 4-113：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/10/01- 2010/10/31）。



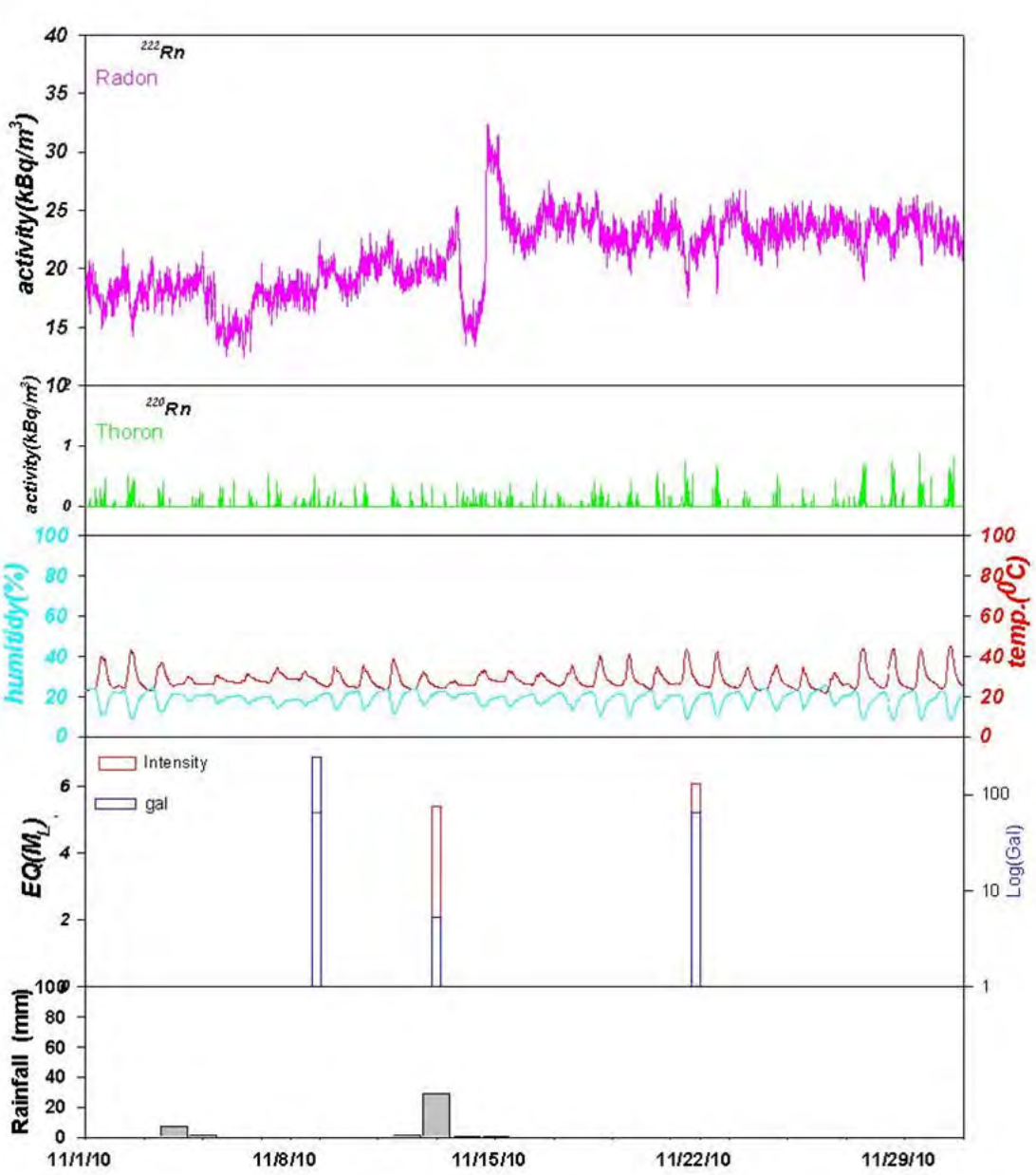
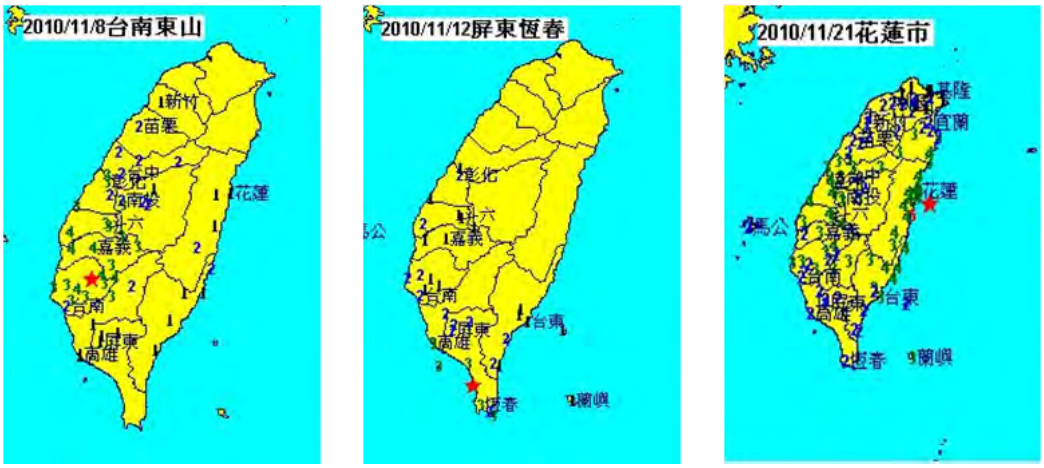


圖 4-114：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Intensity：震度（2010/11/01-2010/11/30）。



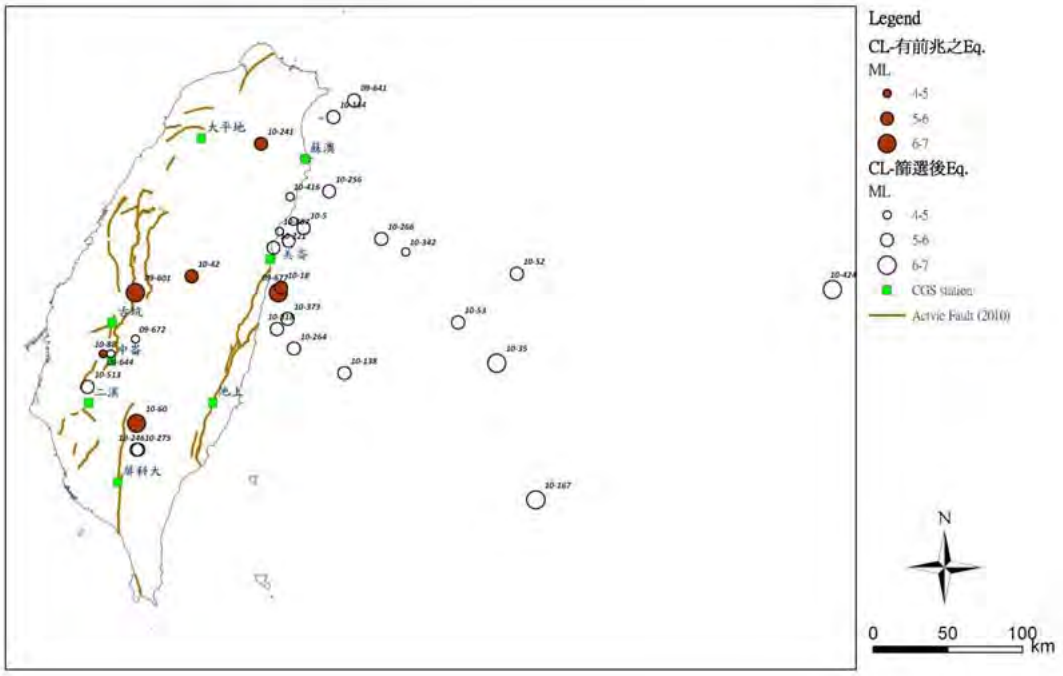


圖 4-115：中崙測站相關地震位置分布圖。

表 4-9：中崙測站相關地震列表(2009/11/01-2010/11/30)。

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
09-601	2009/11/5 17:32	6.2	24.1	南投名間地震站南偏東方 10.1 公里	5	175.8	47.85	震前反應
09-602	2009/11/5 17:38	4.6	24.5	南投名間地震站南偏東方 9.7 公里	4	25.09	47.53	
09-604	2009/11/5 19:34	5.7	24	南投名間地震站南偏東方 13.6 公里	5	118.75	47.28	
09-611	2009/11/5 23:35	3.5	22.8	南投名間地震站南偏東方 14.7 公里	1	1.75	46.27	
09-613	2009/11/6 01:05	3.3	22.6	南投名間地震站南偏東方 14.2 公里	1	1.68	46.27	
09-615	2009/11/6 01:34	3.6	22.8	南投名間地震站南偏東方 12.4 公里	2	2.71	47.89	
09-616	2009/11/6 01:52	3.4	22.4	南投名間地震站南偏東方 13.8 公里	1	1.77	47.28	
09-618	2009/11/6 08:55	3.6	23.6	南投名間地震站南偏東方 11.2 公里	2	2.58	46.80	
09-619	2009/11/6 11:23	3.6	22.3	南投名間地震站南偏東方 14.3 公里	1	2.29	46.27	
09-622	2009/11/8 00:45	3.7	23.7	南投名間地震站南偏東方 12.6 公里	1	2.47	47.89	
09-626	2009/11/8 19:09	4.7	43.5	花蓮市地震站東偏南方 8.4 公里	2	2.53	130.35	
09-638	2009/11/13 06:40	4.6	37.3	花蓮市地震站東南方 40.9 公里	1	2.21	136.92	
09-641	2009/11/15 22:47	5.5	125.4	基隆市地震站東偏南方 46.3 公里	2	3.35	237.72	距離
09-644	2009/11/17 01:49	4	10.4	嘉義市地震站東南方 11.6 公里	5	82.08	7.55	震前反應
09-648	2009/11/22 01:27	5	66.9	花蓮秀林地震站東北方 22.4 公里	2	5.03	152.63	無異常
09-650	2009/11/23 02:56	3.8	17.7	高雄旗山地震站東偏北方 23.9 公里	2	2.8	57.14	
09-651	2009/11/23 05:46	4.8	65.1	宜蘭南澳地震站北方 7.8 公里	1	2.49	172.35	
09-656	2009/11/28 11:04	4.5	64.1	宜蘭蘇澳地震站東南方 13.1 公里	1	1.49	190.10	
09-672	2009/12/12 04:46	4.6	10.5	斗六市地震站東南方 28.7 公里	4	29.72	21.00	無異常
09-673	2009/12/13 16:13	4.6	18.8	花蓮西林地震站東北方 3.1 公里	1	2.45	103.46	
09-677	2009/12/19 21:02	6.9	43.8	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里	5	131.45	120.00	震前反應
09-678	2009/12/19 21:09	4.1	45	花蓮西林地震站東偏南方 26.7 公里	2	2.5	119.25	
09-679	2009/12/19 21:15	4.6	36.3	花蓮西林地震站東方 17.7 公里	2	3.97	115.30	
09-683	2009/12/19 21:38	3.9	41.6	花蓮市地震站南偏東方 20.4 公里	1	2.13	120.42	
09-686	2009/12/19 22:09	4.4	34.4	花蓮市地震站南偏東方 19.0 公里	2	4.28	126.39	
09-688	2009/12/19 22:13	4.8	40.6	花蓮市地震站南偏東方 18.4 公里	2	5.64	121.28	
09-692	2009/12/19 23:12	4.5	36	花蓮西林地震站東偏南方 29.3 公里	2	4.17	118.93	
09-694	2009/12/19 23:35	3.9	39.6	花蓮市地震站南偏東方 15.7 公里	2	2.58	121.25	
09-695	2009/12/19 23:41	4.3	40.2	花蓮市地震站南偏東方 17.5 公里	2	2.79	121.28	
09-698	2009/12/20 00:43	4.4	39.3	花蓮市地震站南偏東方 15.7 公里	1	2.26	121.25	
09-705	2009/12/20 04:33	4.2	41.7	花蓮市地震站南偏東方 25.8 公里	2	2.63	121.29	
09-710	2009/12/20 10:12	4.7	38.6	花蓮市地震站南偏東方 17.9 公里	2	4.34	121.28	
09-711	2009/12/20 11:11	3.9	27.6	花蓮西林地震站東偏南方 14.8 公里	1	2.11	111.21	
09-713	2009/12/20 14:16	4	39.9	花蓮市地震站南偏東方 16.7 公里	1	2.21	120.79	
09-720	2009/12/20 20:06	4.2	38.7	花蓮市地震站南偏東方 15.8 公里	2	3.63	121.25	

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
09-729	2009/12/24 00:51	4.3	23.5	花蓮市地震站南方 8.8 公里	2	3.44	119.67	
09-730	2009/12/24 13:33	4.2	28.8	花蓮西林地震站東方 16.1 公里	1	2.18	113.93	
09-733	2009/12/25 11:56	4.6	20.8	花蓮市地震站東方 65.2 公里	1	1.84	183.53	
09-734	2009/12/25 21:00	4.4	14	宜蘭南澳地震站東偏南方 7.8 公里	1	1.87	170.68	
09-744	2009/12/27 21:57	4.8	71.7	宜蘭蘇澳地震站東北方 25.8 公里	1	2.16	213.77	
09-747	2009/12/28 21:55	3.4	11.7	台南佳里地震站北偏東方 11.3 公里	2	3	35.83	
09-748	2009/12/29 05:10	4.9	98.3	宜蘭蘇澳地震站東偏北方 52.8 公里	1	2.25	235.95	
09-749	2009/12/29 12:47	3.7	40.1	花蓮玉里地震站東偏北方 14.6 公里	1	2.13	86.87	
09-752	2009/12/31 13:38	4.6	33.3	花蓮西林地震站東方 18.4 公里	2	3.14	115.81	
10-1	2010/1/1 19:01	4.6	49.3	宜蘭南澳地震站東偏南方 54.2 公里	2	2.8	192.26	
10-2	2010/1/2 01:34	4.9	33.7	花蓮西林地震站東方 19.2 公里	2	6.39	116.75	
10-4	2010/1/4 22:21	3.5	9.6	嘉義市地震站東方 21.4 公里	3	13.28	18.06	
10-5	2010/1/5 03:27	5.5	46.1	花蓮秀林地震站東偏北方 25.8 公里	3	12.2	155.80	無異常
10-8	2010/1/9 07:40	4.4	34.2	屏東市地震站東南方 11.0 公里	3	8.3	85.15	
10-9	2010/1/10 11:24	4.5	85.2	台東市地震站南偏東方 36.4 公里	2	3.04	126.87	
10-11	2010/1/13 18:14	4.4	19.6	花蓮秀林地震站西偏南 7.0 公里	2	2.66	124.14	
10-12	2010/1/14 05:13	3.4	10.5	台南東山地震站西偏南 9.9 公里	2	4.66	24.25	
10-13	2010/1/14 13:12	4	36.7	台東成功地震站南偏西方 18.0 公里	1	2.17	88.50	
10-15	2010/1/17 09:49	3.9	51	台東市地震站西方 32.1 公里	2	3.07	78.41	
10-17	2010/1/18 01:42	2.6	7.2	嘉義市地震站東偏北方 5.6 公里	1	2.44	17.06	
10-18	2010/1/19 14:09	5.6	41	花蓮市地震站南偏東方 18.2 公里	3	22.51	123.15	震前反應
10-26	2010/1/31 23:07	3.4	5.4	高雄桃源地震站東南方 19.1 公里	1	1.79	50.39	
10-35	2010/2/7 14:10	6.6	15.5	花蓮市地震站東偏南方 165.7 公里	3	13.67	257.30	無異常
10-36	2010/2/8 11:25	4.7	24.1	花蓮西林地震站東方 18.7 公里	2	6.08	116.67	
10-37	2010/2/9 13:02	5.4	23.3	台東蘭嶼地震站南方 118.1 公里	1	1.65	276.79	
10-38	2010/2/9 20:55	3.9	17.4	花蓮秀林地震站北偏西方 11.8 公里	1	1.8	135.63	
10-42	2010/2/12 10:42	5.2	14	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里	4	27.2	77.38	震前反應
10-48	2010/2/18 10:04	3.3	20.4	台南東山地震站南偏西方 17.9 公里	1	2.26	33.08	
10-49	2010/2/18 10:09	3.4	18.3	台南東山地震站西南方 15.5 公里	1	2.3	30.23	
10-52	2010/2/22 13:21	5.6	28.1	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 160.0 公里	2	3.65	276.83	無異常
10-53	2010/2/26 09:07	5.8	31.1	花蓮市地震站東偏南方 131.7 公里	3	14.3	232.82	無異常
10-55	2010/2/26 13:38	5	30.1	花蓮市地震站東偏南方 127.9 公里	1	2.48	228.76	
10-56	2010/2/28 08:39	4.2	32.1	花蓮市地震站東方 13.3 公里	1	1.97	136.94	
10-58	2010/3/3 14:28	3	13.7	嘉義大埔地震站南偏東方 7.5 公里	1	1.88	23.58	
10-60	2010/3/4 08:18	6.4	22.6	高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里	6	377.53	45.09	震前反應
10-61	2010/3/4 08:24	4.7	20.2	高雄甲仙地震站南偏東方 10.6 公里	4	29.09	42.63	

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-62	2010/3/4 08:43	3.7	10.1	高雄甲仙地震站東南方 17.8 公里	1	2.35	49.37	
10-66	2010/3/4 09:03	3.3	11	高雄甲仙地震站東南方 13.1 公里	1	2.21	44.57	
10-67	2010/3/4 09:57	3.6	15.3	高雄甲仙地震站南偏東方 16.0 公里	2	2.77	47.56	
10-68	2010/3/4 10:01	3.8	17.1	高雄甲仙地震站東南方 14.2 公里	2	5.71	44.57	
10-69	2010/3/4 10:18	3.5	22.5	高雄甲仙地震站南方 14.7 公里	1	2.31	47.56	
10-70	2010/3/4 10:30	3.8	18.6	高雄甲仙地震站東南方 10.9 公里	2	3.8	43.02	
10-71	2010/3/4 10:32	3.9	27.3	高雄桃源地震站南方 19.2 公里	2	5.35	47.30	
10-72	2010/3/4 10:34	3.7	11.9	高雄甲仙地震站東南方 18.9 公里	2	3.41	49.66	
10-73	2010/3/4 10:43	3.7	18	高雄甲仙地震站東南方 16.2 公里	2	6.91	47.25	
10-74	2010/3/4 10:48	3.9	25.2	高雄甲仙地震站東南方 18.1 公里	2	6.65	47.86	
10-75	2010/3/4 12:01	3.8	23	高雄甲仙地震站東南方 14.1 公里	2	2.82	45.64	
10-76	2010/3/4 13:24	3.8	14.1	高雄甲仙地震站南偏東方 9.4 公里	2	4.46	41.54	
10-77	2010/3/4 15:07	5.1	20.2	台東成功地震站東偏南方 62.5 公里	2	3.34	150.63	
10-78	2010/3/4 16:07	4.4	21.6	高雄甲仙地震站東南方 11.8 公里	4	34.63	43.02	
10-79	2010/3/4 16:16	5.7	16.6	高雄甲仙地震站東南方 17.1 公里	4	47.6	48.04	
10-80	2010/3/4 16:27	4.3	18.9	高雄甲仙地震站東南方 16.6 公里	3	10.08	47.25	
10-81	2010/3/4 17:47	4.3	20.5	高雄甲仙地震站南偏東方 14.1 公里	3	19.24	46.07	
10-82	2010/3/4 18:31	3.7	15.1	高雄甲仙地震站東南方 16.7 公里	2	3.42	48.04	
10-83	2010/3/4 20:09	3.7	10.1	高雄甲仙地震站東南方 22.1 公里	2	3.57	52.38	
10-84	2010/3/5 00:05	4	20	高雄甲仙地震站東南方 6.7 公里	3	11.48	39.19	
10-87	2010/3/7 17:00	3.5	8.3	高雄甲仙地震站北方 1.7 公里	2	3.4	31.03	
10-88	2010/3/8 17:26	4.9	14.3	嘉義市地震站東偏南方 15.9 公里	5	115.37	4.54	無異常
10-90	2019/3/9 01:54	4.2	26.2	高雄甲仙地震站南方 15.6 公里	2	5.71	48.66	
10-91	2010/3/9 13:31	4.1	20.9	高雄甲仙地震站東南方 17.0 公里	2	5.39	45.77	
10-92	2010/3/9 13:52	4.4	10.7	台中德基地震站南偏西方 35.7 公里	2	4.27	79.16	
10-93	2010/3/10 04:14	4.1	17.4	高雄甲仙地震站南偏東方 11.0 公里	2	4.61	43.72	
10-94	2010/3/10 04:17	3.5	14.6	高雄甲仙地震站南偏東方 9.5 公里	2	2.57	42.47	
10-96	2010/3/12 17:53	3.4	14.7	嘉義大埔地震站西南方 6.1 公里	2	5.81	19.93	
10-97	2010/3/12 18:51	3	17.3	嘉義大埔地震站西偏南 7.4 公里	1	1.95	18.83	
10-98	2010/3/13 17:15	3.7	25.5	高雄桃源地震站南偏西方 12.9 公里	2	4.35	39.58	
10-102	2010/3/18 17:01	4.7	31.5	宜蘭蘇澳地震站東南方 26.3 公里	2	2.7	186.20	
10-103	2010/3/19 00:53	4.6	25.2	宜蘭南澳地震站東方 29.1 公里	1	1.86	186.46	
10-114	2010/3/23 06:26	4	12.8	高雄甲仙地震站東南方 23.2 公里	2	4.22	52.39	
10-116	2010/3/24 17:07	4.1	28.2	花蓮玉里地震站東偏南方 16.1 公里	1	1.85	90.30	
10-117	2010/3/24 18:13	4.3	48.1	花蓮市地震站南偏西方 8.0 公里	1	2.45	119.31	
10-121	2010/3/27 07:07	5.2	55	花蓮秀林地震站東方 13.2 公里	3	13.67	142.43	無異常

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-122	2010/3/27 20:16	4	21.7	高雄甲仙地震站南偏東方 9.4 公里	2	3.41	42.33	
10-123	2010/3/28 15:22	3.2	14.5	台南東山地震站西方 5.5 公里	2	3.97	18.06	
10-134	2010/4/9 19:49	5.1	102.8	宜蘭市地震站東偏北方 29.7 公里	2	2.9	220.00	無異常
10-135	2010/4/10 10:30	3.7	9.8	台東利稻地震站南偏西方 13.1 公里	1	1.97	55.74	
10-138	2010/4/11 12:57	5.4	10	台東成功地震站東偏北方 76.5 公里	3	9.66	155.47	無異常
10-141	2010/4/13 22:29	4.6	5	台東成功地震站西北方 9.8 公里	2	7.46	78.45	
10-147	2010/4/14 04:49	4.9	10	台東成功地震站西北方 5.4 公里	2	7.77	82.43	
10-149	2010/4/14 04:55	4.1	9.8	台東成功地震站西偏北方 5.5 公里	2	2.51	82.25	
10-160	2010/4/23 07:48	3.4	23.3	南投名間地震站南偏東方 11.5 公里	1	1.57	46.80	
10-162	2010/4/24 01:03	3.3	8.1	高雄甲仙地震站東方 1.8 公里	1	2.29	33.43	
10-165	2010/4/25 19:14	4.9	7.6	台東蘭嶼地震站西偏北方 20.9 公里	1	2.29	161.26	
10-167	2010/4/26 10:59	6.8	20	台東蘭嶼地震站東偏北方 190.4 公里	3	16.68	298.21	無異常
10-172	2010/4/30 00:01	3.5	7.5	台南東山地震站西偏南 7.6 公里	3	10.34	20.28	
10-173	2010/4/30 11:21	4.2	21.9	台東成功地震站北偏東方 11.6 公里	2	3.88	88.09	
10-176	2010/5/3 02:00	4.6	19.2	高雄甲仙地震站南偏西方 12.7 公里	3	12.1	45.35	
10-177	2010/5/3 21:38	5.1	28.2	花蓮市地震站東偏南方 203.5 公里	1	1.84	291.90	
10-192	2010/5/23 02:38	3	13.3	嘉義市地震站西偏南 12.1 公里	1	1.78	27.00	
10-194	2010/5/23 18:20	4.3	27	屏東市地震站東偏北方 30.3 公里	2	5.94	63.26	
10-198	2010/5/25 12:01	3.7	19	高雄甲仙地震站東南方 19.9 公里	2	3.49	50.72	
10-200	2010/5/27 03:16	4.6	49	花蓮市地震站南偏東方 13.2 公里	2	3.32	125.42	
10-205	2010/6/2 04:58	3	10.5	台南東山地震站南偏東方 6.2 公里	1	1.59	19.48	
10-207	2010/6/4 19:31	4.3	27	台東成功地震站東偏北方 28.1 公里	1	2.04	112.00	
10-208	2010/6/6 03:35	4.3	39.9	台東市地震站東方 15.4 公里	2	4.3	102.89	
10-211	2010/6/6 23:29	3.9	21.2	台南東山地震站南方 9.3 公里	2	7.73	23.24	
10-212	2010/6/8 18:43	2.8	10.6	嘉義市地震站東北方 3.1 公里	2	3.25	18.24	
10-213	2010/6/8 18:52	2.8	9.7	嘉義市地震站東北方 3.8 公里	2	2.65	19.12	
10-215	2010/6/10 22:47	4.4	23.9	南投日月潭地震站東南方 20.2 公里	3	9	66.77	
10-218	2010/6/14 05:11	4.3	16.9	桃園三光地震站南方 9.3 公里	1	1.26	157.11	
10-220	2010/6/15 01:17	4.8	19.5	花蓮秀林地震站東南方 1.0 公里	2	3.33	130.52	
10-221	2010/6/15 08:31	5.5	18.9	花蓮秀林地震站東南方 3.7 公里	3	8.06	131.55	受雨影響
10-224	2010/6/16 14:23	4.2	7.1	高雄甲仙地震站南偏東方 22.5 公里	2	5.45	54.72	
10-230	2010/6/18 09:08	4.7	5	花蓮秀林地震站東北方 12.4 公里	1	1.74	142.82	
10-235	2010/6/20 23:34	3.2	15.2	台南佳里地震站東方 15.4 公里	1	1.94	30.02	
10-237	2010/6/21 19:50	4	14.8	台東大武地震站北偏東方 8.6 公里	1	1.67	111.33	
10-238	2010/6/22 12:08	3.2	11.2	高雄桃源地震站南方 4.5 公里	1	2.39	34.69	
10-239	2010/6/25 12:28	4.7	57.9	宜蘭蘇澳地震站東南方 32.1 公里	1	1.89	194.95	

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-241	2010/6/27 02:05	5.1	64.9	宜蘭牛鬥地震站北偏西方 6.2 公里	2	3.8	175.79	震前反應
10-246	2010/7/3 03:11	5.1	16.3	屏東市地震站東北方 30.0 公里	3	20.77	61.92	無異常
10-254	2010/7/7 23:15	4.5	22.5	台東蘭嶼地震站東北方 49.8 公里	1	2.02	167.83	
10-256	2010/7/9 03:43	5.3	17.9	宜蘭南澳地震站東方 25.9 公里	2	3.69	184.04	無異常
10-257	2010/7/9 08:41	5.8	109.5	宜蘭蘇澳地震站東方 81.5 公里	2	3.92	255.19	
10-264	2010/7/17 17:04	5.2	42	花蓮玉里地震站東偏北方 47.3 公里	3	18.96	121.70	受雨影響
10-266	2010/7/18 21:03	5.2	15.4	宜蘭南澳地震站東偏南方 69.2 公里	2	2.87	197.45	受雨影響
10-275	2010/7/25 11:52	5.7	19.5	屏東市地震站東偏北方 30.6 公里	4	67.77	62.19	受雨影響
10-279	2010/7/26 07:32	3.5	5.8	屏東市地震站東偏北方 30.3 公里	1	2.18	63.26	
10-287	2010/7/31 16:13	4.6	41.6	花蓮秀林地震站東方 16.6 公里	2	3.76	144.64	
10-288	2010/7/31 22:49	4.7	15.8	高雄甲仙地震站南偏東方 15.5 公里	3	24.31	47.94	
10-299	2010/8/9 15:19	2.7	20.4	嘉義市地震站北偏東方 13.3 公里	1	1.43	25.36	
10-301	2010/8/11 05:43	4.8	23.9	宜蘭南澳地震站東偏南方 64.2 公里	1	2	191.89	
10-318	2010/8/22 00:37	5.3	27	花蓮西林地震站東南方 34.7 公里	3	17.45	112.16	受雨影響
10-320	2010/8/22 02:47	4.8	6.6	宜蘭市地震站東偏北方 19.0 公里	2	2.58	210.62	
10-327	2010/8/27 10:52	2.7	1.7	斗六市地震站東方 16.8 公里	1	1.45	37.79	
10-332	2010/8/29 22:20	3.3	17.1	高雄旗山地震站東偏北方 23.6 公里	1	1.41	56.99	
10-333	2010/8/30 14:49	3.6	5.2	台東利稻地震站南偏西方 16.1 公里	1	1.35	52.54	
10-335	2010/8/30 16:45	5.2	15	基隆市地震站東偏南方 48.8 公里	1	2.06	240.51	
10-339	2010/9/2 21:21	2.5	7.5	嘉義阿里山地震站西方 16.1 公里	1	1.37	18.96	
10-342	2010/9/4 03:06	5	77.6	宜蘭南澳地震站東偏南方 87.4 公里	2	3.52	209.28	受雨影響
10-355	2010/9/9 21:30	4.5	23.3	宜蘭南澳地震站東偏北方 11.7 公里	1	1.33	177.39	
10-359	2010/9/12 06:41	4.8	58.5	宜蘭南澳地震站東南方 2.6 公里	1	2.2	166.93	
10-360	2010/9/12 08:20	2.6	12.3	嘉義市地震站東南方 11.3 公里	2	4.27	8.40	
10-365	2010/9/14 15:14	3	17.7	嘉義大埔地震站西南方 9.3 公里	1	1.19	21.11	
10-366	2010/9/15 16:47	4.4	5.6	台東成功地震站北偏西方 10.5 公里	2	4.21	82.41	
10-371	2010/9/19 13:24	4.5	22.5	宜蘭南澳地震站東偏南方 30.3 公里	1	2.14	179.82	
10-373	2010/9/20 11:17	5.1	31.9	花蓮西林地震站東偏南方 34.7 公里	3	17.69	120.50	受雨影響
10-376	2010/9/24 08:39	4.1	29.8	屏東枋寮地震站西南方 8.7 公里	1	2.4	118.32	
10-377	2010/9/25 01:56	4.7	15.4	花蓮市地震站東偏南方 86.6 公里	1	2.15	179.42	
10-387	2010/9/29 01:33	5	19.2	花蓮秀林地震站東北方 11.3 公里	2	3.85	141.34	無異常
10-411	2010/10/1 03:56	5.1	102.1	宜蘭市地震站北方 11.4 公里	1	1.65	204.65	
10-414	2010/10/2 00:49	3.4	11	嘉義大埔地震站西偏南 4.5 公里	2	2.64	17.81	
10-416	2010/10/3 03:23	5	19.1	宜蘭南澳地震站南偏西方 6.9 公里	2	6.63	161.70	無異常
10-424	2010/10/4 21:28	6.8	60	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 362.5 公里	3	8.7	483.91	無異常
10-432	2010/10/8 23:52	3.9	1.6	台南東山地震站東偏北方 4.4 公里	3	18.66	11.48	

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-441	2010/10/10 12:49	4.3	29.1	台東成功地震站東偏北方 38.9 公里	2	2.53	116.04	
10-456	2010/10/16 14:45	3.9	19	台南東山地震站西南方 17.4 公里	1	2.45	31.72	
10-460	2010/10/19 15:19	3.9	5.2	台東市地震站西偏南 23.9 公里	1	2.11	91.05	
10-462	2010/10/20 06:32	4	8.6	台東利稻地震站東北方 5.2 公里	2	6.09	51.76	
10-466	2010/10/22 02:10	3.6	7.8	嘉義市地震站東偏南方 18.5 公里	3	17.18	7.31	
10-471	2010/10/22 15:39	4.5	22.5	台東市地震站東南方 28.6 公里	1	1.65	120.33	
10-472	2010/10/22 21:34	4	37.3	花蓮西林地震站南方 16.1 公里	1	1.99	92.42	
10-478	2010/10/25 10:27	2.4	5	嘉義市地震站東偏北方 .9 公里	1	1.52	18.76	
10-479	2010/10/25 15:12	3.8	11.8	台南東山地震站西南方 10.1 公里	2	2.9	24.86	
10-480	2010/10/25 22:09	3.9	43.4	花蓮西林地震站東偏北方 9.3 公里	1	1.52	110.27	
10-487	2010/10/29 23:27	4.4	21.6	宜蘭南澳地震站南方 19.4 公里	1	1.32	151.49	
10-488	2010/10/29 23:30	4.2	17.8	宜蘭南澳地震站南方 19.6 公里	1	1.48	152.28	
10-503	2010/10/30 21:05	3.9	10.3	嘉義市地震站西偏南 16.4 公里	2	4.46	27.76	
10-506	2010/11/4 03:16	3.4	10.8	嘉義市地震站東北方 3.4 公里	1	2.09	19.12	
10-509	2010/11/5 09:11	3.6	23.3	南投名間地震站東南方 14.9 公里	1	1.6	48.15	
10-513	2010/11/8 21:01	5.2	19.9	台南東山地震站西偏南 10.1 公里	5	245.14	24.09	無異常
10-515	2010/11/9 05:21	3.2	22.5	台南東山地震站西南方 9.8 公里	2	2.92	23.62	
10-523	2010/11/10 17:36	4.3	29	台東市地震站東北方 16.7 公里	2	2.55	90.34	
10-528	2010/11/12 21:08	5.4	18.8	宜蘭南澳地震站東偏南方 80.8 公里	2	5.17	203.38	
10-529	2010/11/12 23:39	5.4	43.4	屏東恆春地震站北偏西方 20.0 公里	2	5.36	134.19	受雨影響
10-532	2010/11/14 04:59	3.9	24	台東成功地震站西南方 9.2 公里	2	3.57	85.88	
10-539	2010/11/16 03:39	3.7	7.4	嘉義阿里山地震站西北方 15.4 公里	3	9.5	26.25	
10-540	2010/11/16 11:00	4.3	15.3	花蓮秀林地震站東北方 7.8 公里	1	1.48	138.53	
10-541	2010/11/16 18:57	4	37.9	花蓮西林地震站南偏東方 17.7 公里	1	2.05	100.74	
10-544	2010/11/18 04:16	3.8	24.7	台南東山地震站西南方 11.1 公里	2	5.19	25.12	
10-557	2010/11/20 01:45	4	16.7	嘉義市地震站西方 13.1 公里	2	2.95	30.72	
10-560	2010/11/21 20:31	6.1	40.7	花蓮市地震站東南方 21.6 公里	4	64.05	130.15	無異常
10-571	2010/11/26 23:13	4.5	16.8	宜蘭南澳地震站南方 21.4 公里	1	2.03	151.69	
10-575	2010/11/29 01:35	4.1	23.1	台東成功地震站北偏東方 13.9 公里	1	1.85	87.61	
10-577	2010/11/30 19:44	3.7	12.2	嘉義市地震站西南方 13.5 公里	1	1.56	21.47	

4-8-2 四極桿質譜儀分析結果

圖 4-116 至圖 4-129 為中崙濁水潭土壤氣體成份 2009 年 11 月至 2010 年 11 月的連續分析結果，圖由上而下分別為土壤氣體成份的分壓、體積百分比和比值的連續分析結果。圖 4-116 為總圖表。圖 4-117 至圖 4-129 為分月圖表。其中多段無資料記錄處仍是肇因於電力問題。

圖 4-117 至圖 4-120 是 11 月至 2 月的觀測結果。觀察這四個月的二氧化碳濃度變化則是呈現平穩的趨勢，沒有明顯的起伏變化，再參考氡氣 11 月的圖表（圖 4-102），發現氡氣濃度在月初有明顯的異常變化，且可與 11 月 5 日於南投名間發生的地震作對應的連結，這顯然與二氧化碳的反應不盡然相同。另外比較有變化的是甲烷，12 月 18 日至 12 月 23 日、1 月 12 日至 1 月 16 日這兩個時期甲烷有明顯的異常變化。其中 12 月甲烷的異常變化，可能與 12 月 19 日發生於花蓮市的地震有關，參考氡氣 12 月的圖表（圖 4-103），也發現這段時間氡氣亦是有明顯的異常升高;至於 1 月甲烷的異常變化，則更是與 1 月 14 日發生於台南東山的地震有關，參考氡氣 1 月的圖表（圖 4-104），亦可發現這段時間氡氣也有明顯的異常升高。以上綜合氡氣與甲烷的觀測結果，應可確認這兩起地震的發生與特定氣體濃度的變化是有密切關係存在的。

圖 4-121 及圖 4-122 是 3 月及 4 月的觀測結果。發現 3 月的甲烷在 2 月 23 日重新啟動四極桿質譜儀進行運作後，到 3 月 23 日為止，呈現的是與之前截然不同的數值，相差近乎 200 倍。這期間當地幾乎沒有降雨，人為因素也只限於下載資料，唯一有的是在 2 月 25 日加裝一個迴圈裝置，但是在加裝迴圈裝置前，2 月 23 日甲烷即已升高，因此可以排除掉迴圈裝置的影響。如此看來這持續一個月的甲烷濃度升高（3 月 9 日至 3 月 12 日亦有異常的下降，但未回到原來的背景值），這應與 3 月 4 日的高雄甲仙地震有關，在地震之前的 9 天地底先釋放大量含有甲烷的氣體（抑或是旁邊濁水潭的甲烷濃度升高），到 3 月 23 日整個氣體已然釋放完畢，因此甲烷降回背景值甚至小於背景值的狀態。4 月 11 日至 4 月 19 日二氧化碳濃度值下降是因為電動幫浦故障所致，已於土壤氡氣篇幅中有說明。

圖 4-123 及圖 4-129 是 5 月至 11 月的觀測結果。6 月及 7 月仍因降雨影響，各項氣體濃度呈現不穩定的狀態，加上又受到降雨時電力不穩的影響，因此這時間的數據不完整甚至可能是錯誤的。四極桿質譜儀由於因電力不穩時的連續當機，已無法開機運作，因此於 7 月 19 日更換一台四極桿質譜儀。更換後發現所有氣體濃度皆有明顯的變化，不過從總圖表來觀察的，長期的大趨勢是一致的，回復到背景值狀態。8 月至 11 月直到資料截止時間為止，各項氣體濃度的數據明顯地呈現日夜變化的趨勢。

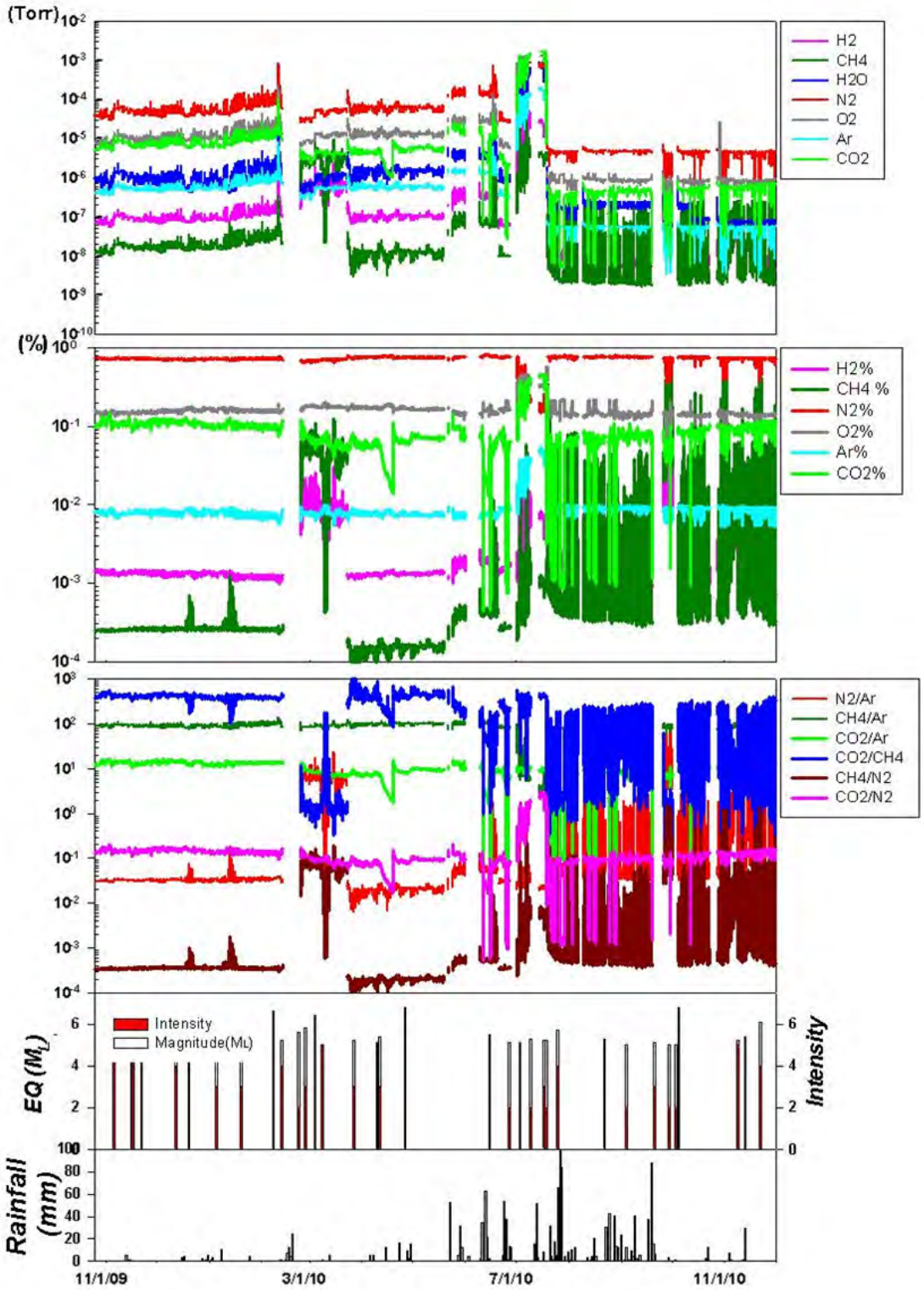


圖 4-116：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/10/25-2010/11/30）。

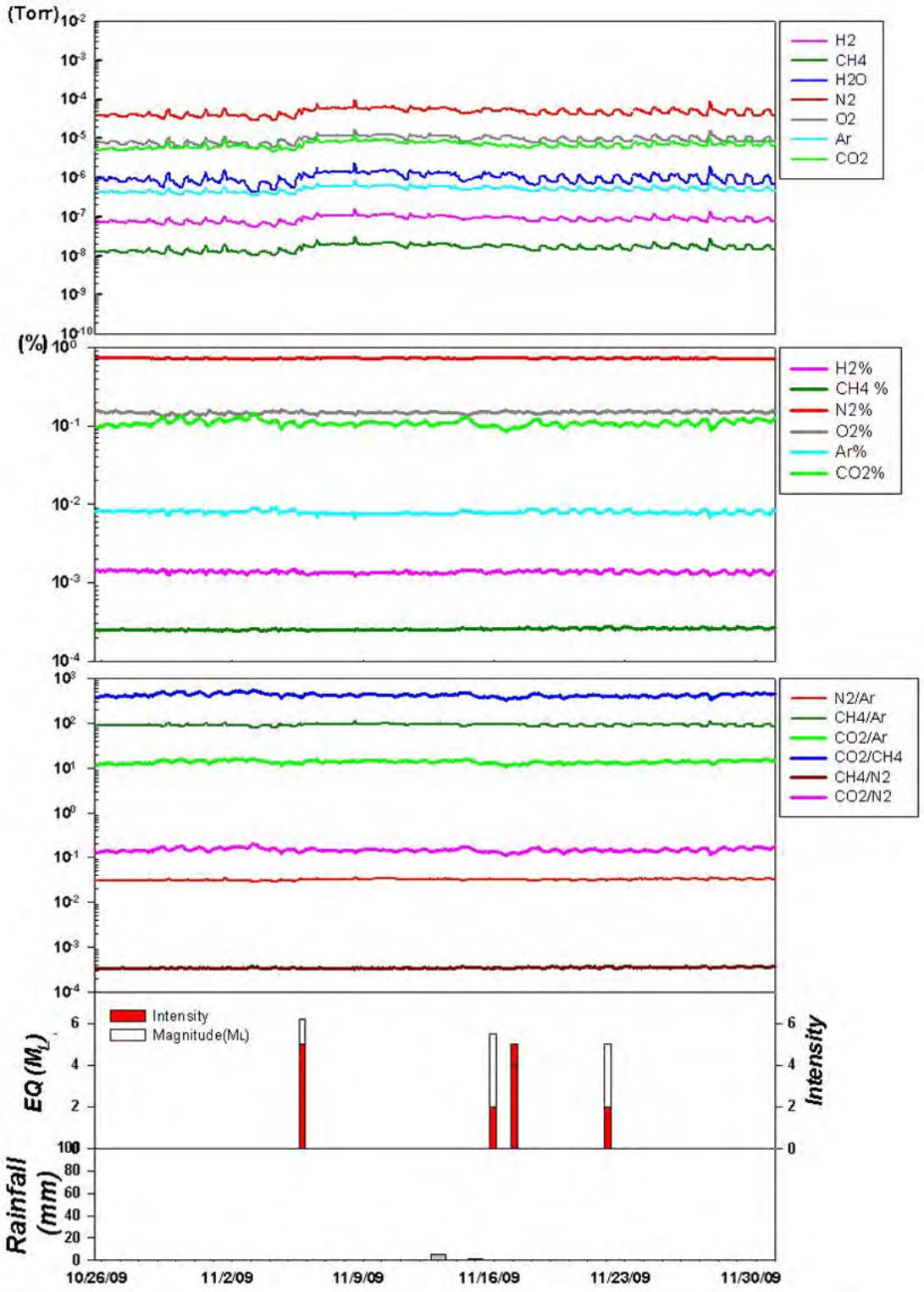
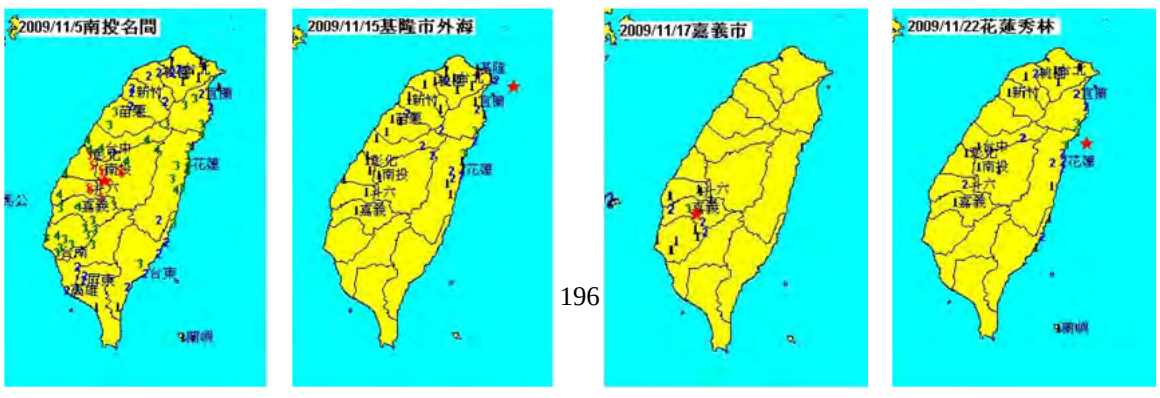


圖 4-117：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/10/25-2009/11/30）。



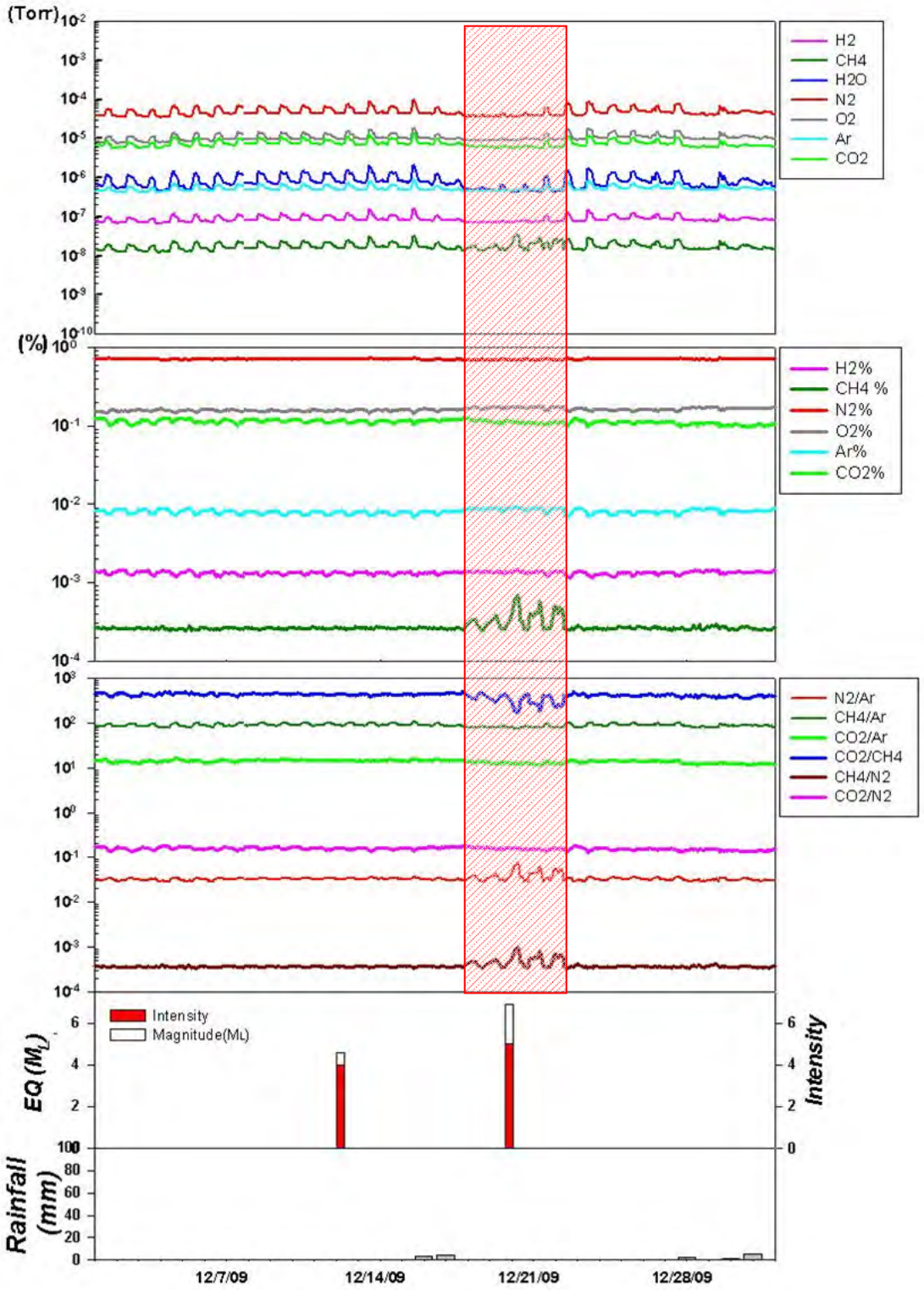


圖 4-118：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅斜線框表示異常區間（2009/12/01-2009/12/31）。





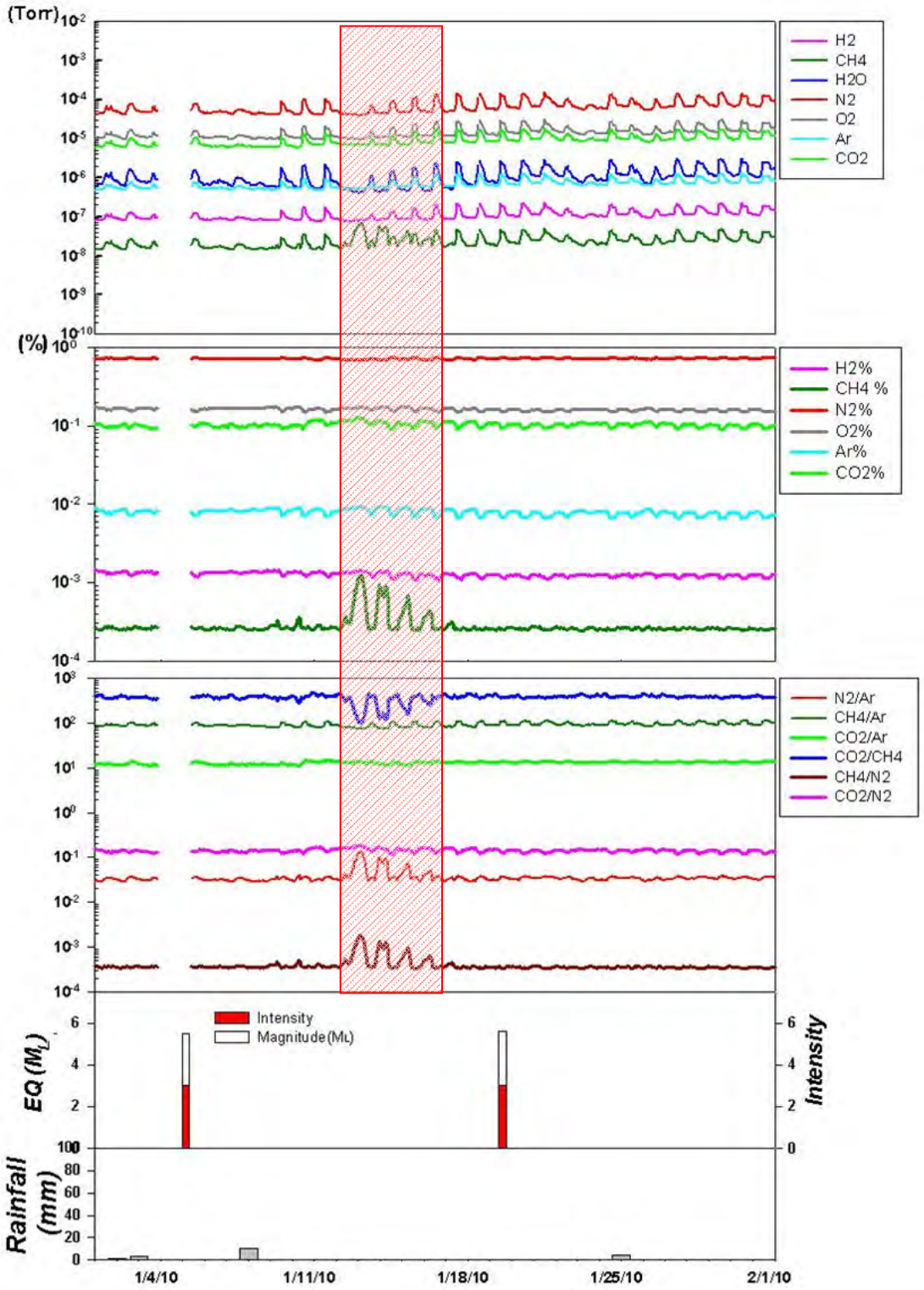


圖 4-119：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅斜線框表示異常區間（2010/01/01-2010/01/31）。





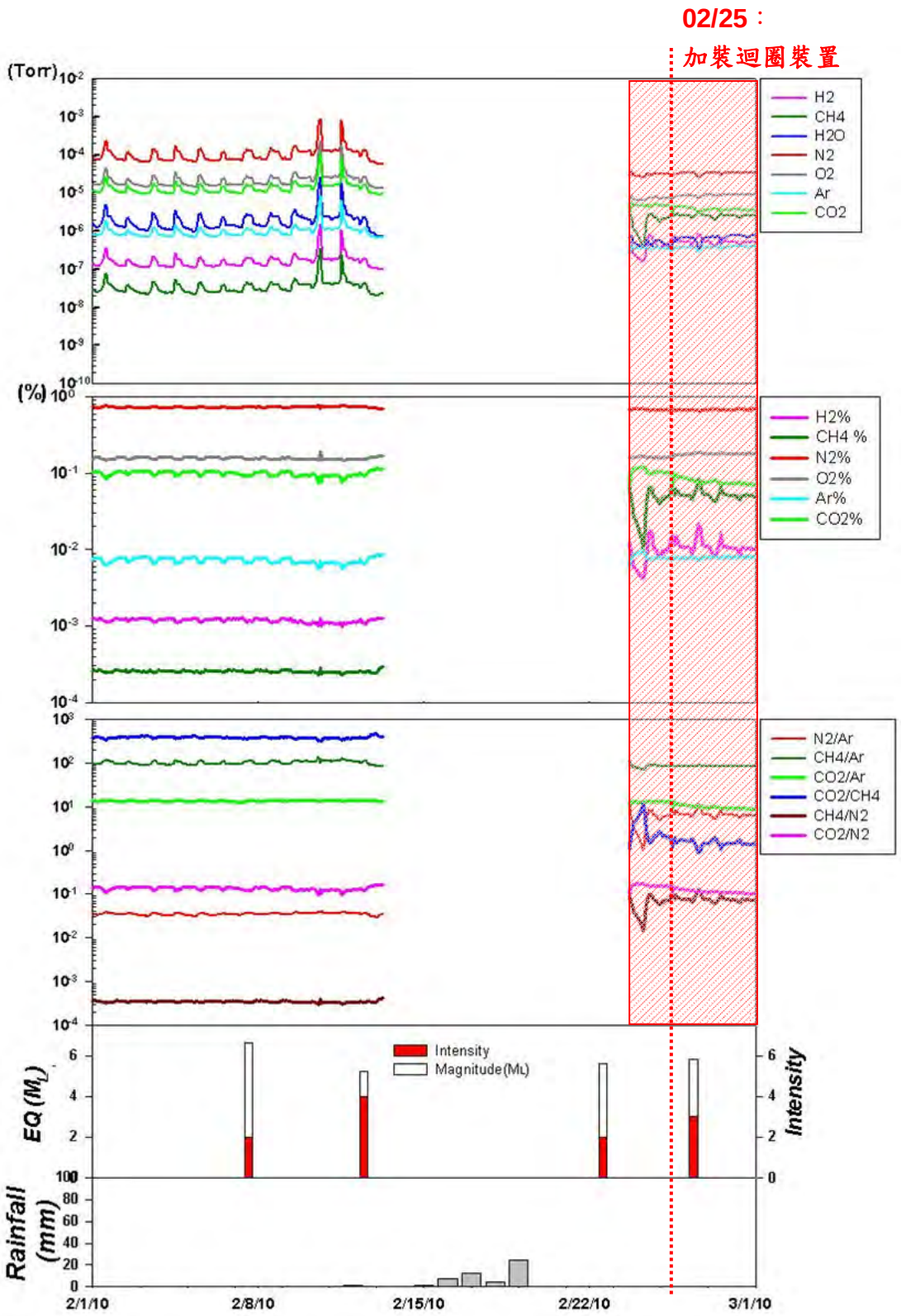


圖 4-120：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅斜線框表示異常區間（2010/02/01-2010/02/28）。









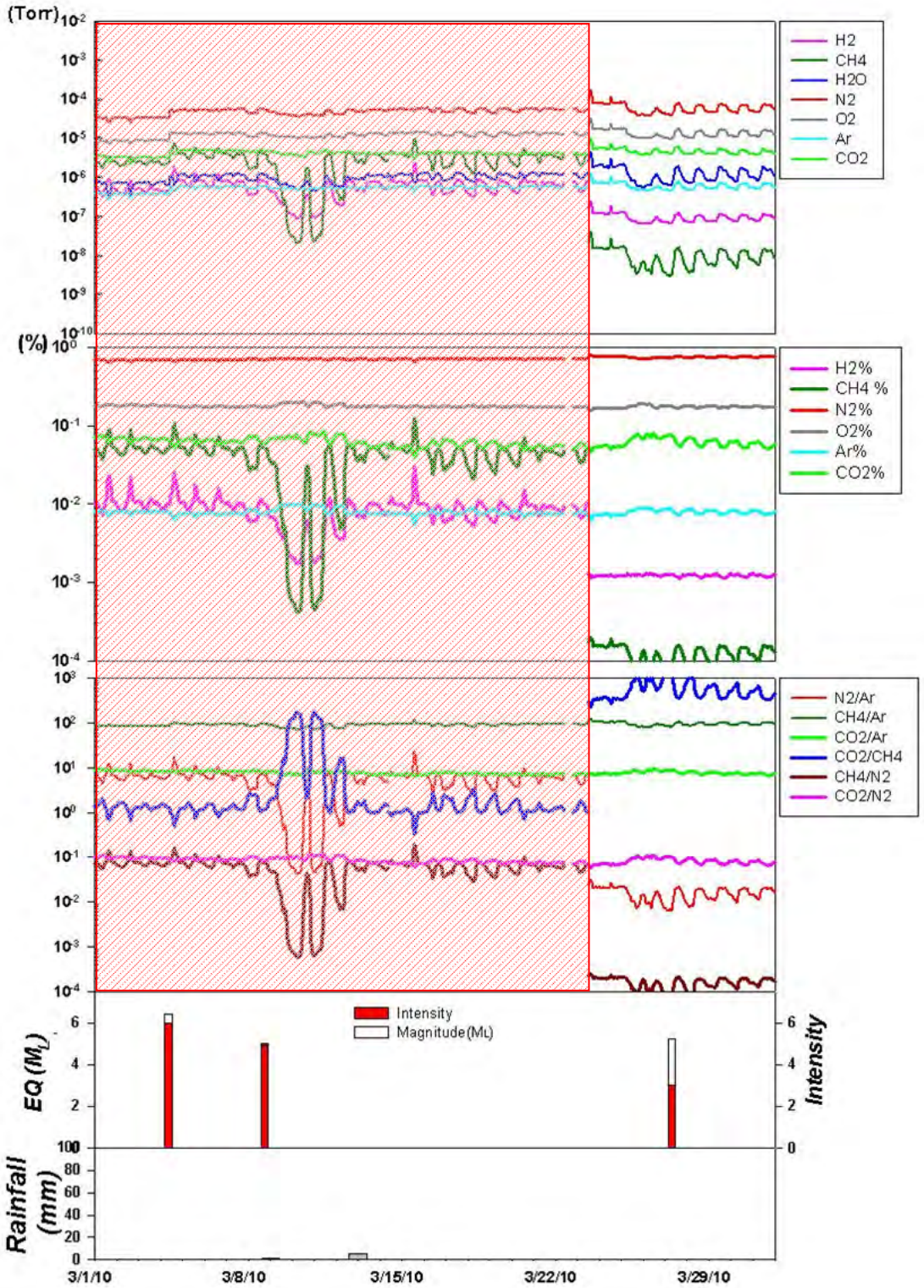
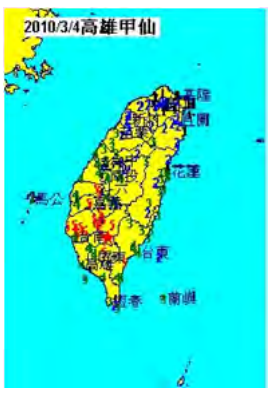


圖 4-121：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅斜線框表示異常區間（2010/03/01-2010/03/31）。







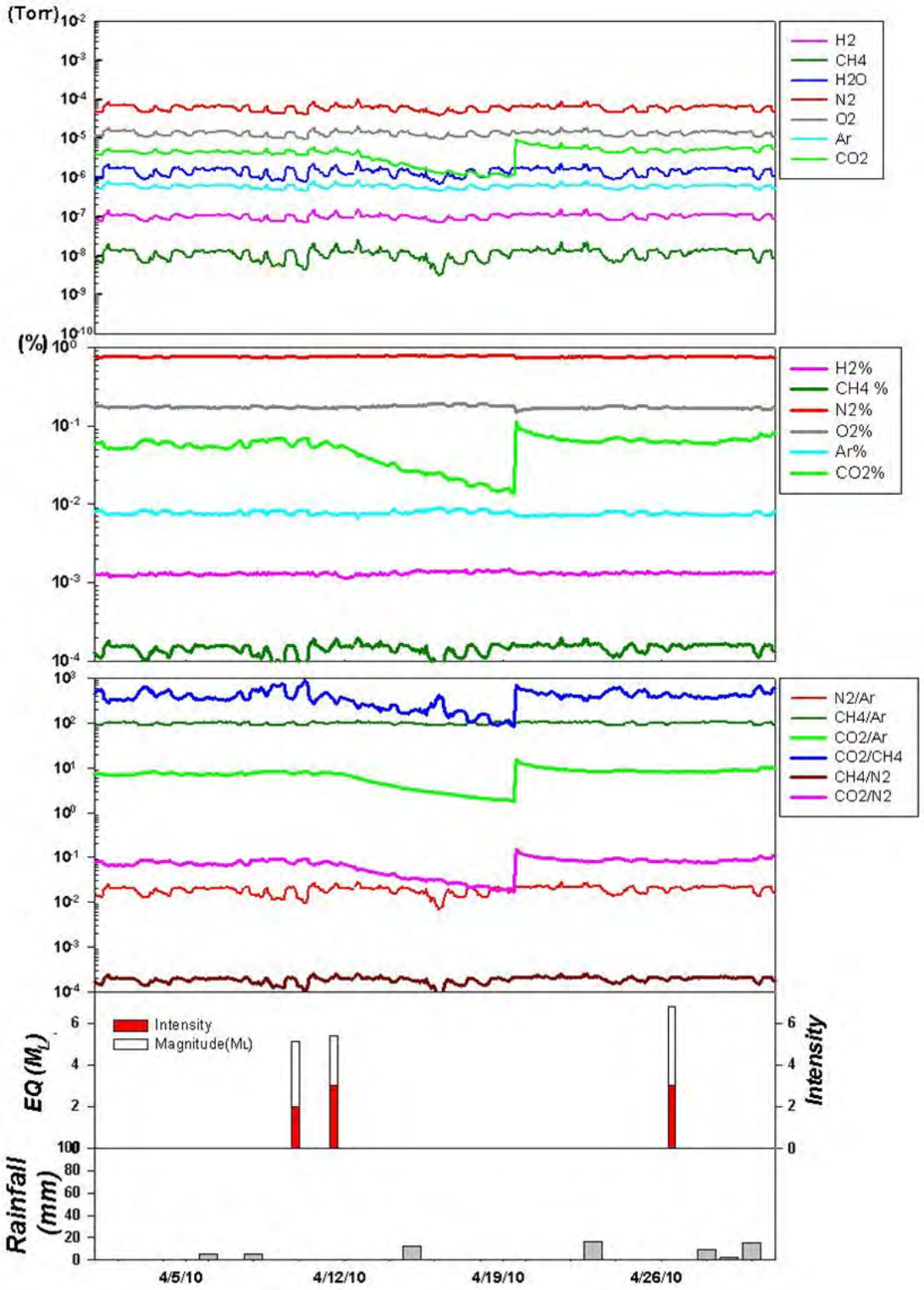
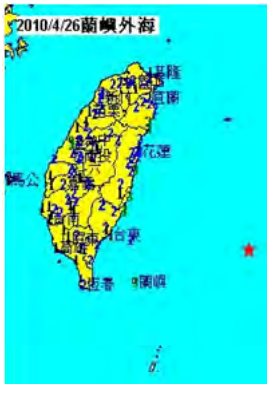


圖 4-122：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/04/01-2010/04/30）。







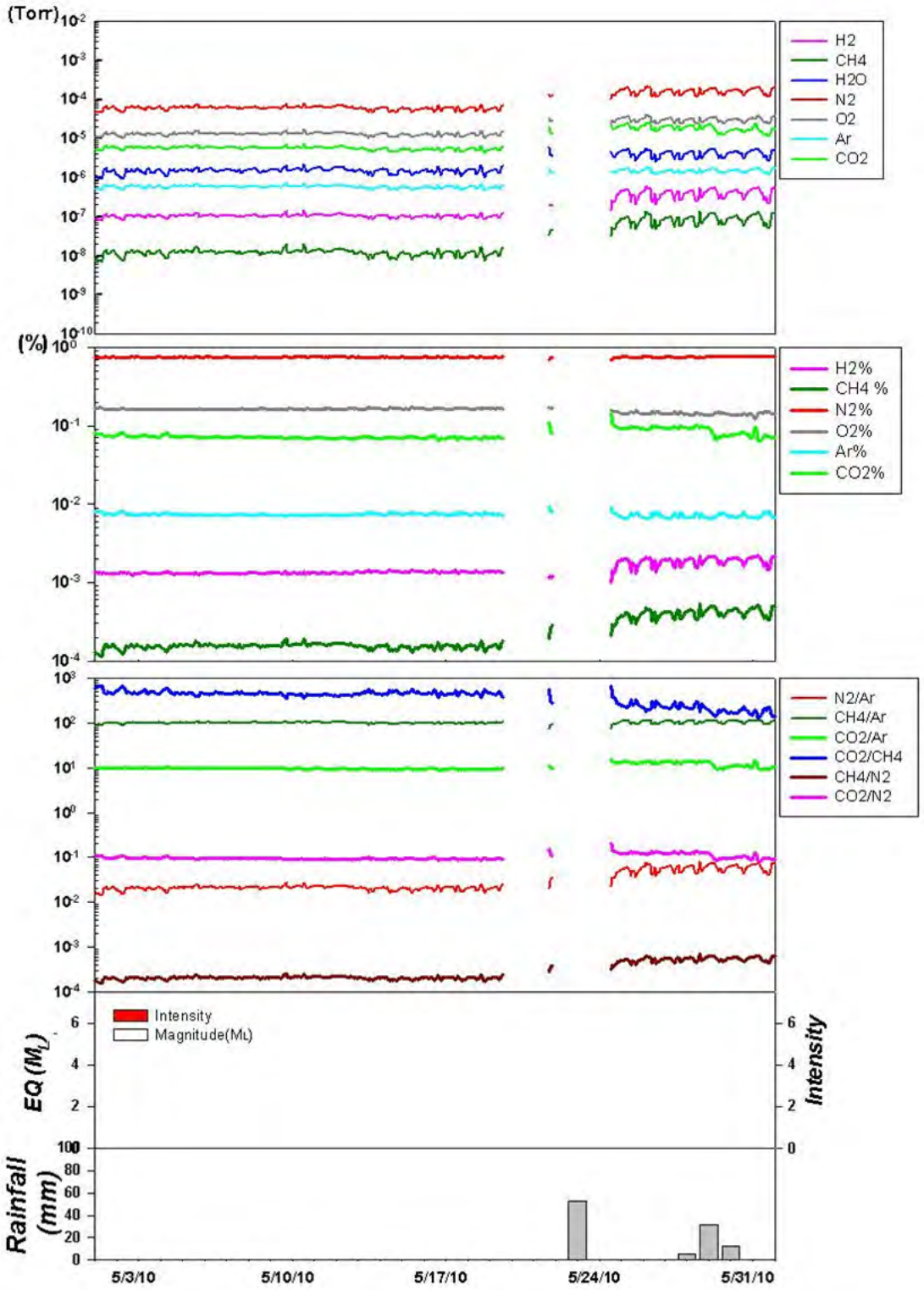


圖 4-123：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/05/01-2010/05/31）。

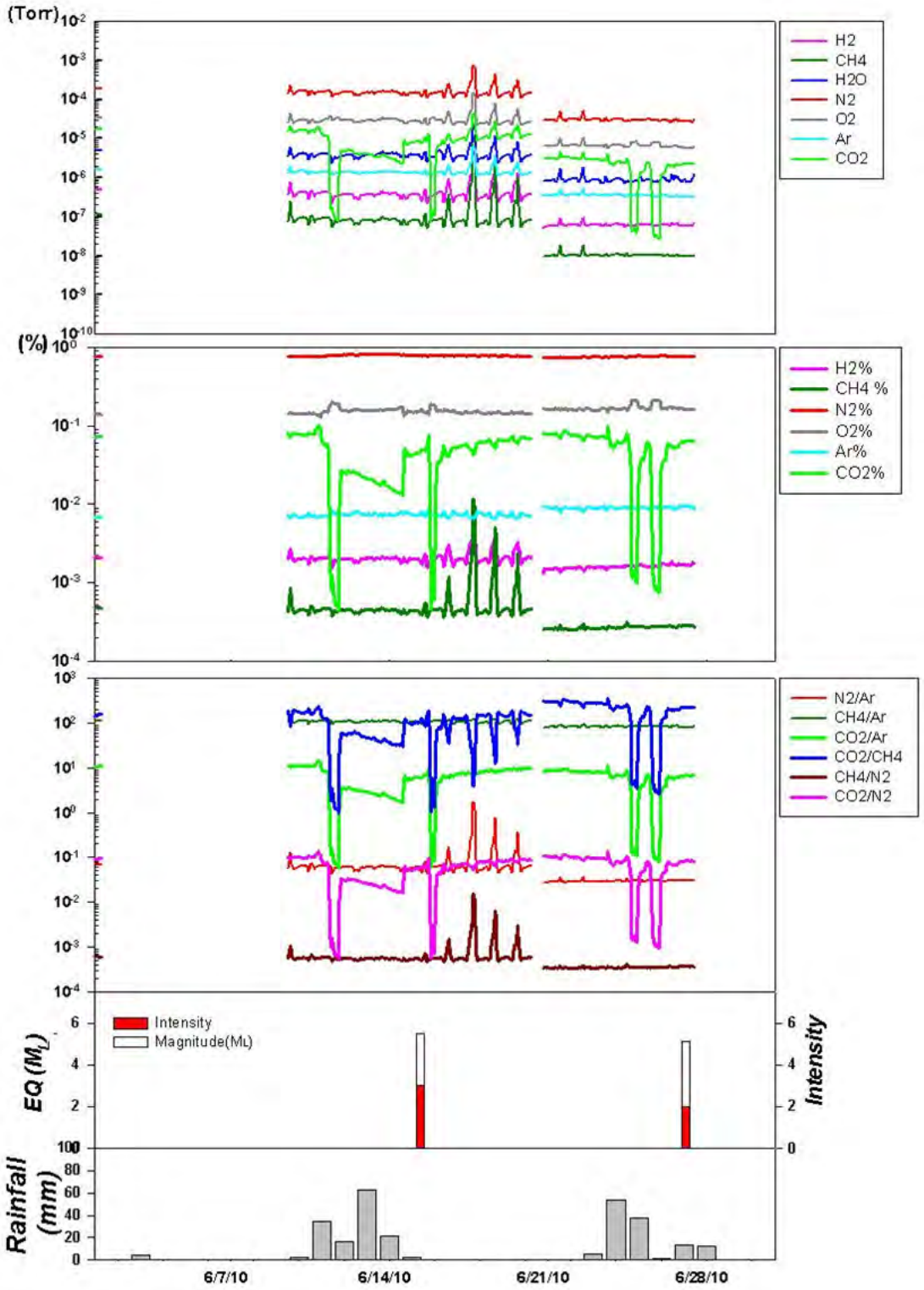


圖 4-124：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/06/01-2010/06/30）。





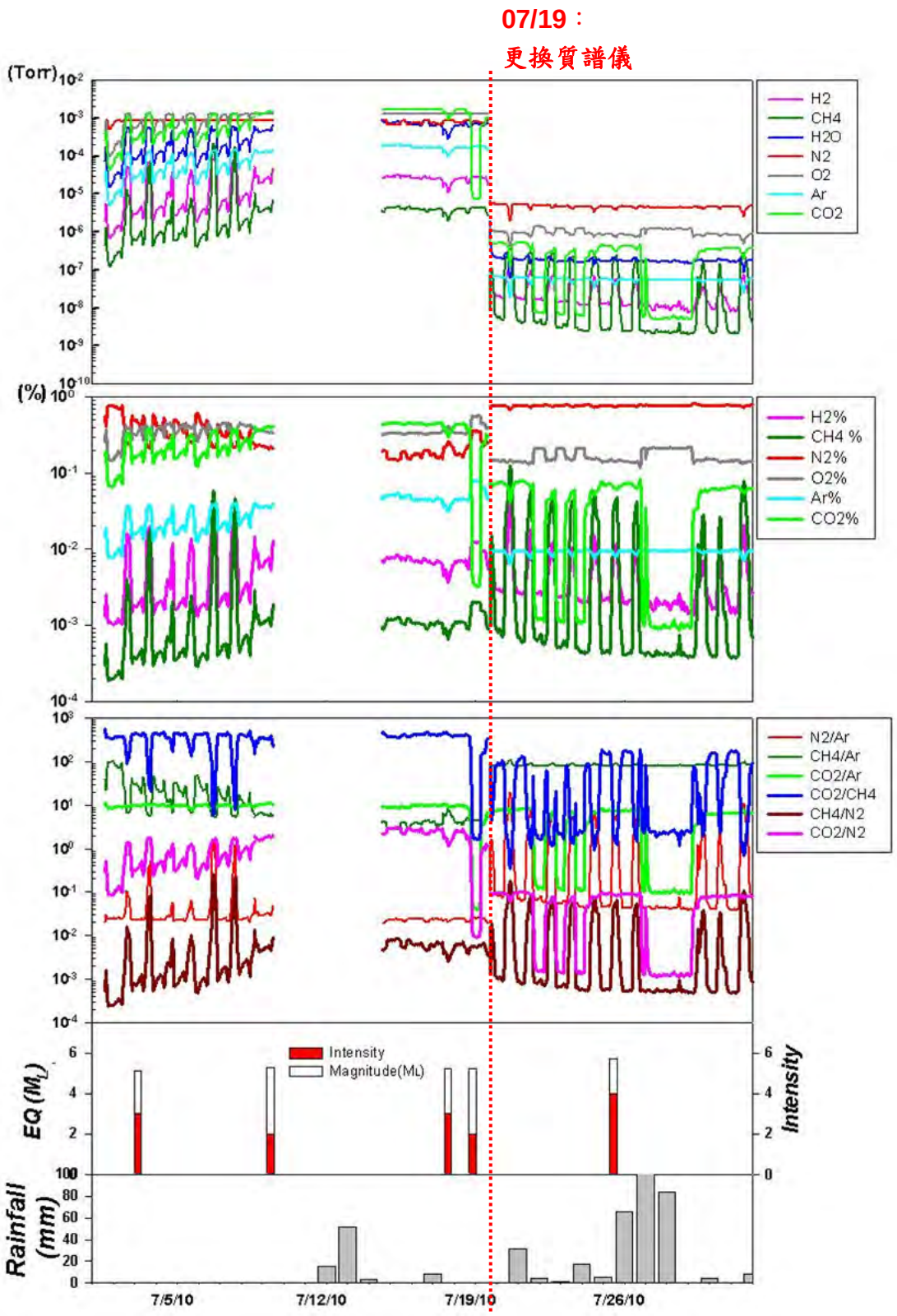
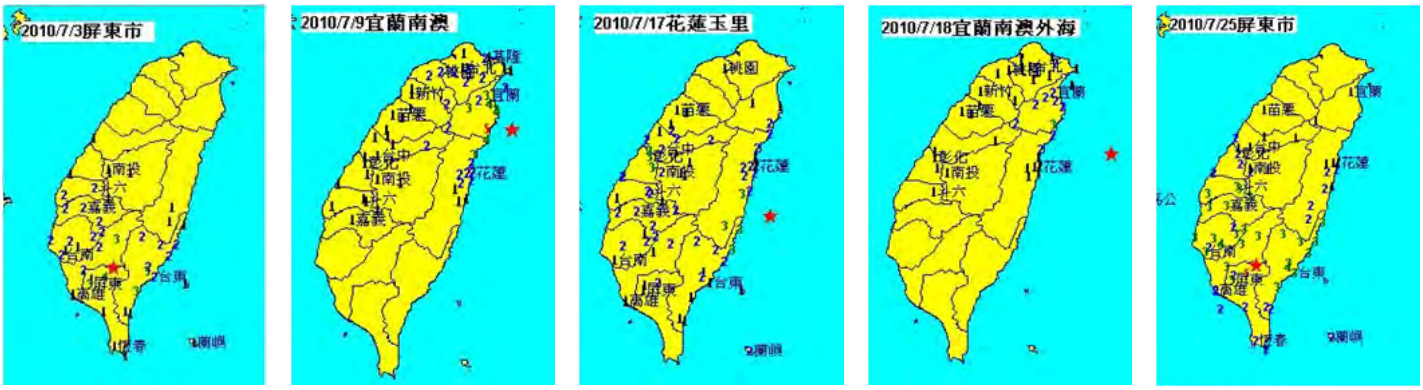


圖 4-125：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/07/01-2010/07/31）。



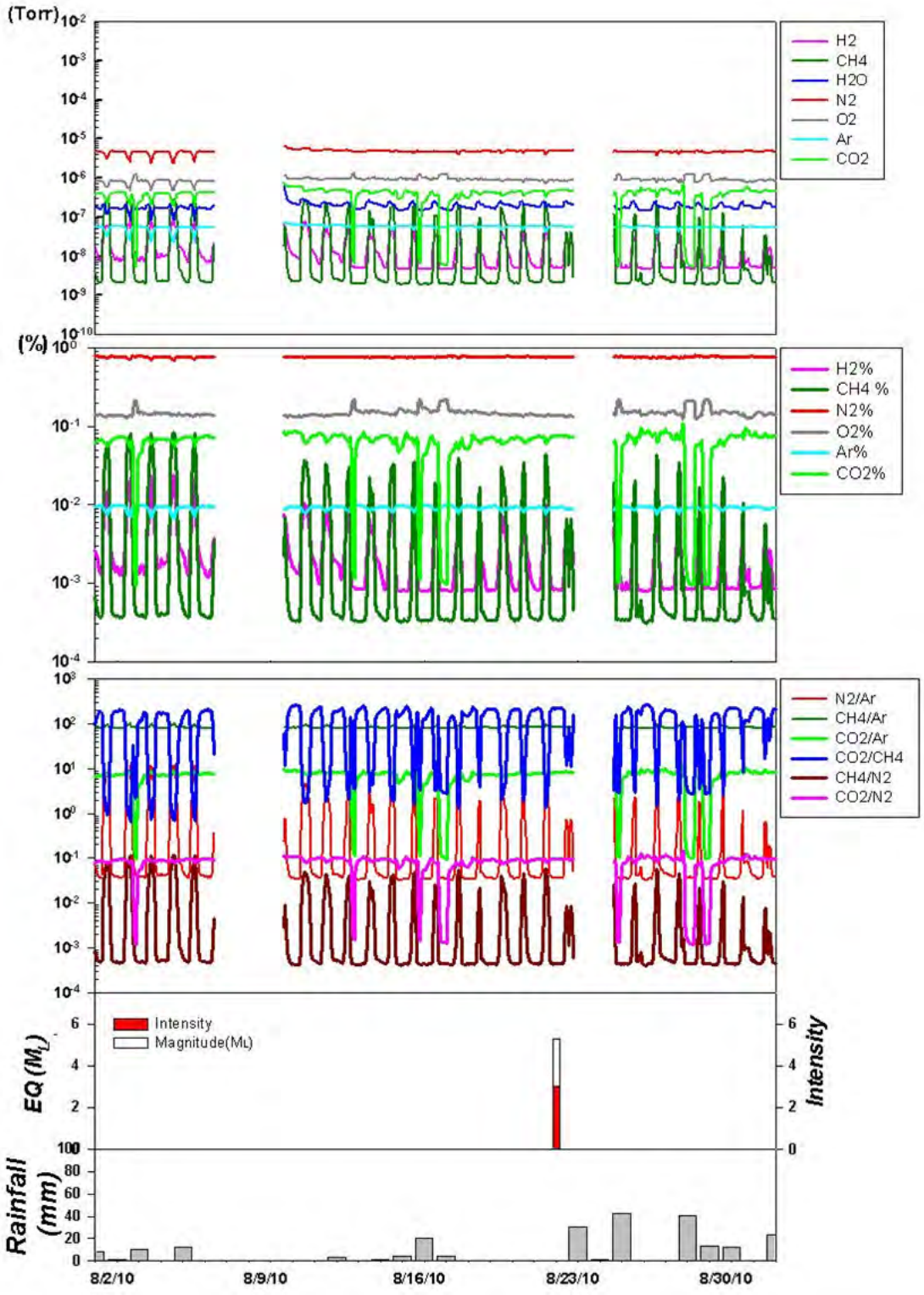


圖 4-126：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/08/01-2010/08/31）。



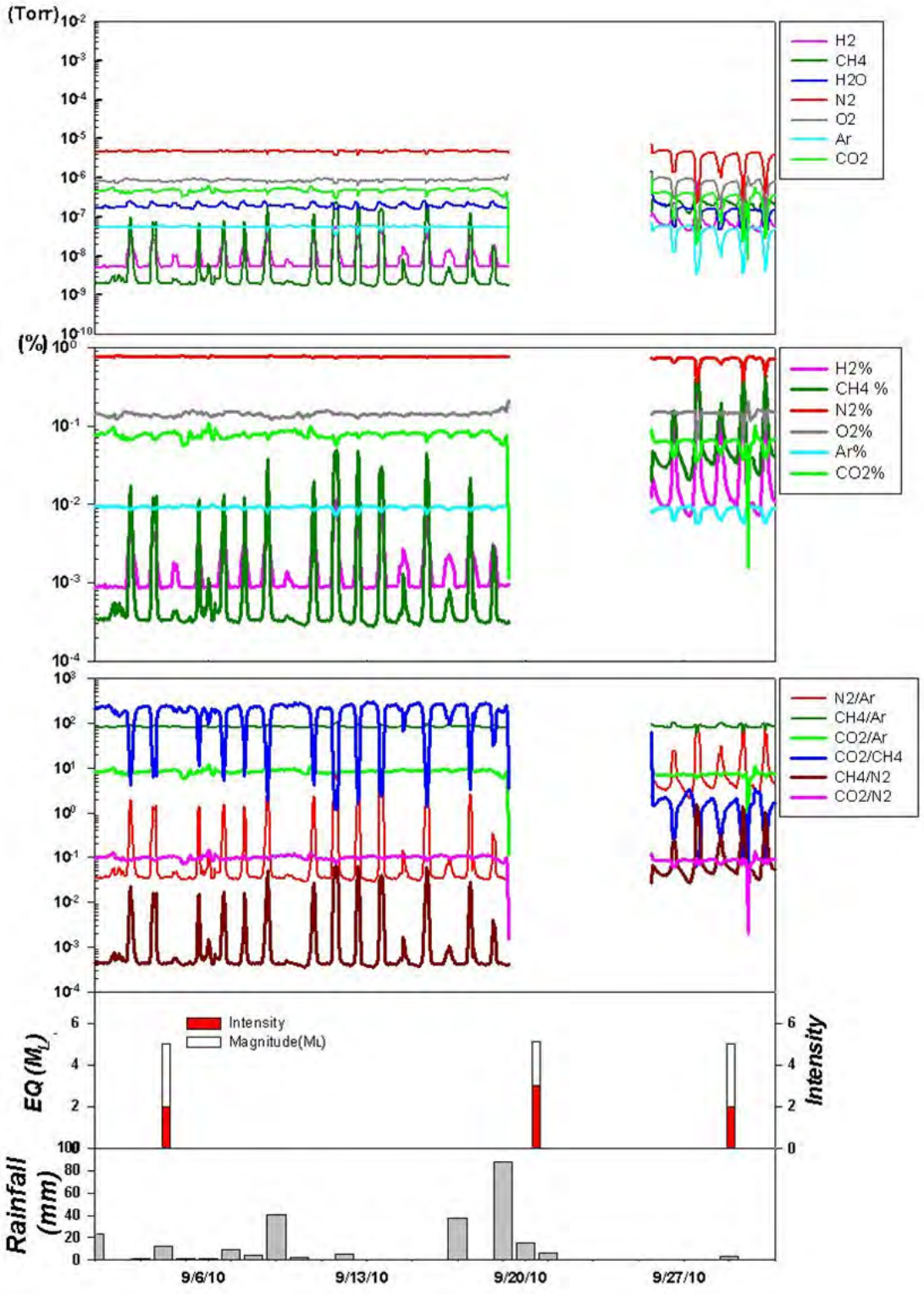


圖 4-127：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/09/01-2010/09/30）。







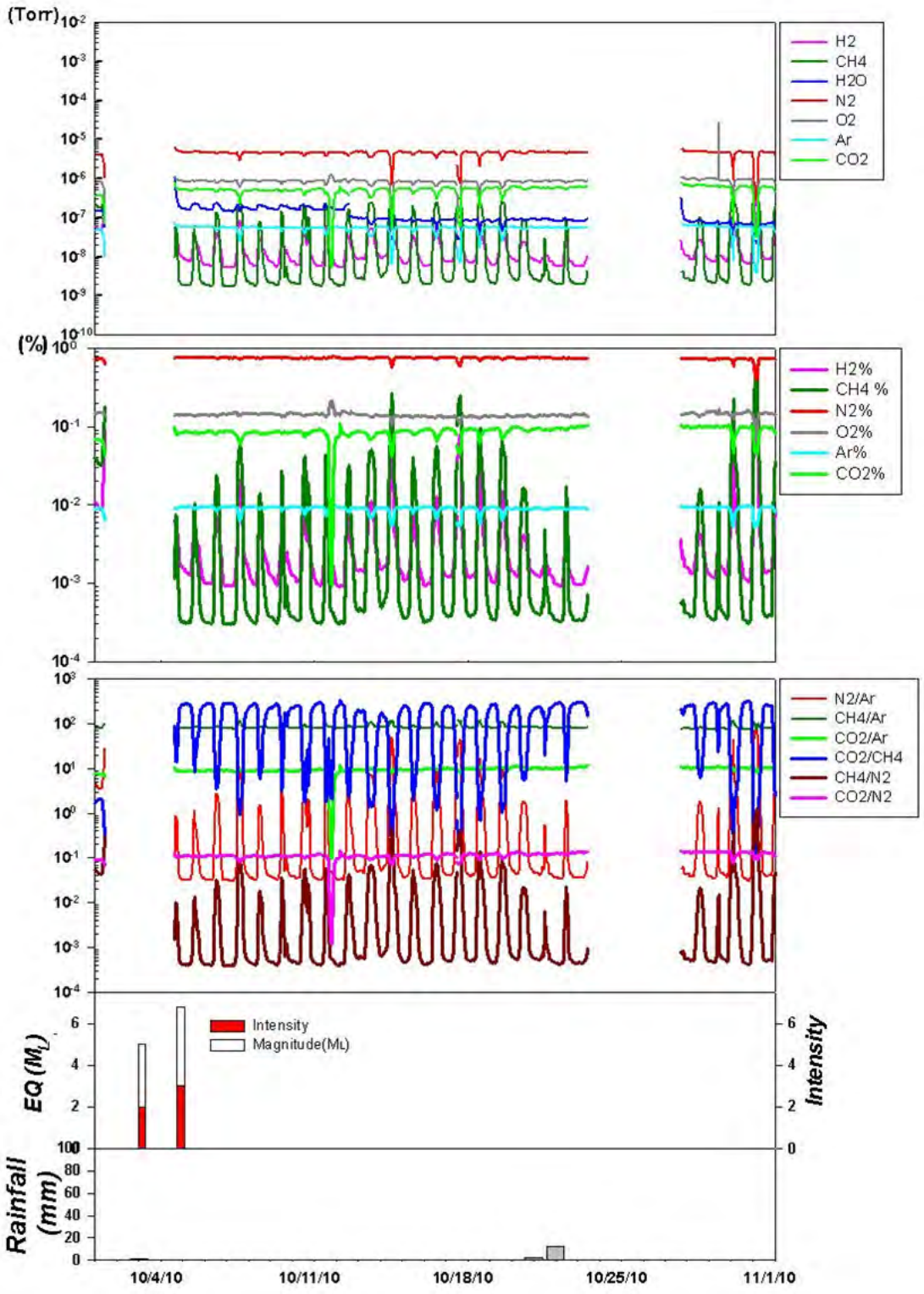


圖 4-128：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/10/01-2010/10/31）。





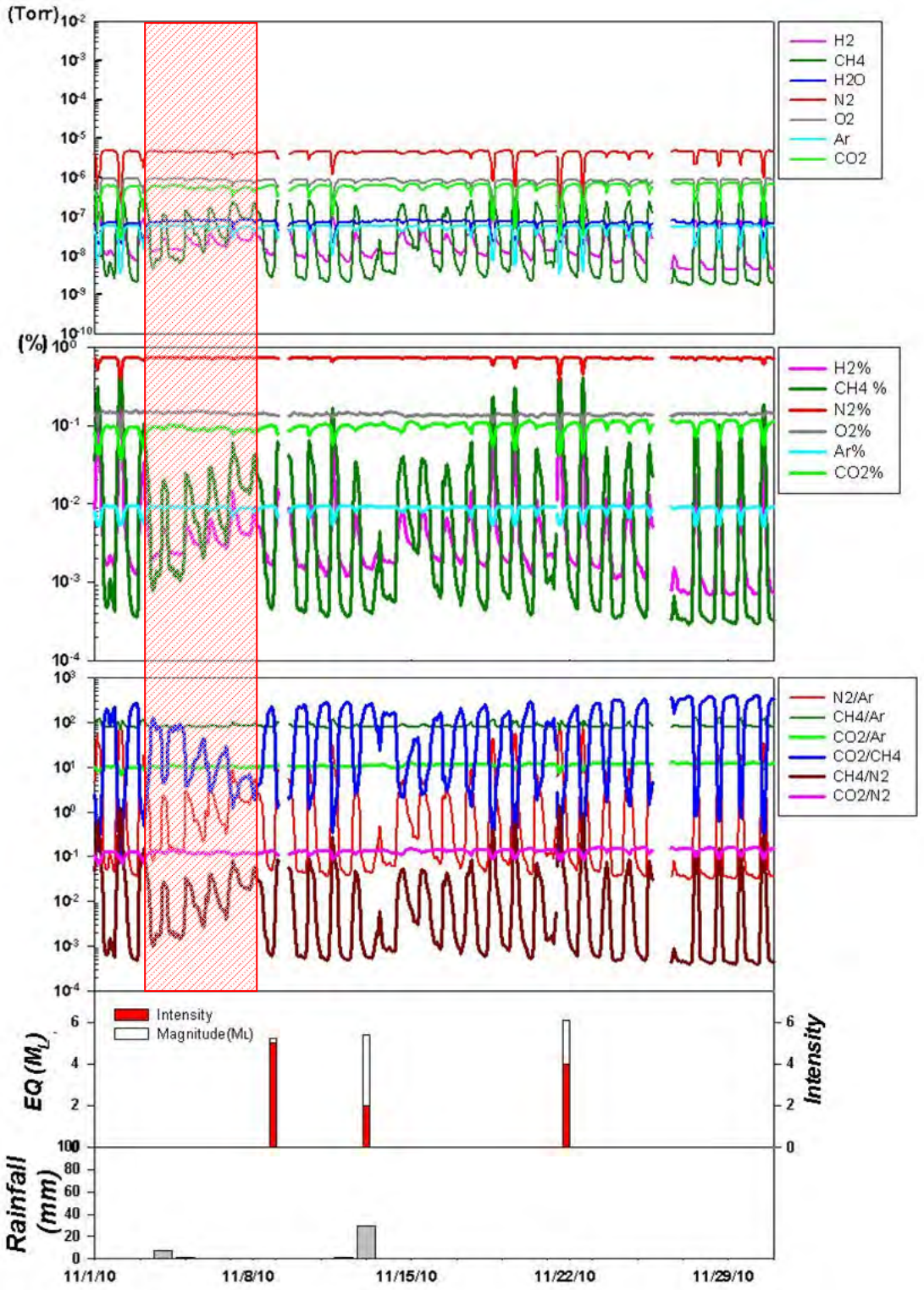


圖 4-129：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅斜線框表示異常區間（2010/11/01-2010/11/30）。







4-9 各測站氣體異常與地震之相關性

表 4-10 為各氣體觀測站於本（2010）年度的觀測結果與地震數目之整理。其中，全部地震數為觀測站當地地區有感的地震數目，但由於地震數目過多，我們必須要地震進行有系統的篩選，篩選過程如節 4-1 所述。篩選出地震之後，再扣掉儀器故障及受降雨影響的區間內所發生的地震。之後，觀察各測站的資料，找出氡氣有異常反應的地震,便可算出氡氣異常反應的地震占篩選後的地震比率（表 4-10）：大平地站 35 %、古坑站 18 %、中崙站 41 %、屏科大站 7 %及池上站 76 %，可以看出大平地站、中崙站及池上站對於地震活動的反應相當敏感，非常適合長期的連續觀測。然而，二溪站對於地震活動似乎較不敏感，今年未觀察到明顯與地震活動有關的異常。另外，蘇澳站受雨影響甚大也常有日夜震盪變化，目前仍不易判斷出異常。而新設立的花蓮美崙站還須累積更長期的觀測資料才能進一步辨識出氣體變化與地震活動的關聯性。

表 4-10 所統計之數據是基於直覺辨識的結果，本研究嘗試利用不同的統計及時序分析方法，希望客觀及有系統地建立出異常定義的標準，並與直覺辨識的結果比較，詳細討論請見節 8-3。

表 4-10：各氣體觀測站之地震與氡氣異常比較

觀測站名稱	全部地震數	篩選後的地震數 (含扣除儀器故障及降雨影響)	氡氣有異常的地震數	氡氣異常反應的地震占篩選後的地震比率
新竹大平地站 (TPT)	47	17	6	35 %
雲林古坑站 (GK)	88	18	3	18 %
嘉義中崙站 (CL)	209	26	7	41 %
台南二溪站 (RS)	87	18		
屏東屏科大站 (PT)	68	15	1	7 %
臺東池上站 (CS)	71	21	16	76 %
宜蘭蘇澳站 (SA)	146	31		
花蓮美崙站 (ML)	22	5		

4-10　人工採樣分析結果

除了測站內進行的土壤氡氣及二氧化碳濃度等氣體作連續觀測外，亦於現地作測站維護時，以人工採樣方式，電動幫浦為主，手動幫浦為輔，分別在大平地觀測站、古坑觀測站、二溪觀測站、中崙濁水潭觀測站、屏科大觀測站、池上觀測站及蘇澳觀測站，採集一小袋（1 Liter）氣袋進行主要氣體成份分析，以對照人工採樣土壤氣體組成成份與連續觀測站觀測的分析結果。有時受限於交通或是氣候狀況，所以並不是每個測站的人工採樣時間及數量是一樣。另外本次缺少各觀測站的氡氣人工採樣分析結果，因為無備用氡氣分析儀可供採樣氣袋分析。

如表4-11（各觀測站人工採樣氣體成份表）與參考各觀測站連續觀測的分析結果（詳各觀測站連續觀測圖，圖4-1至圖4-129），顯示各觀測站的人工採樣分析結果與各觀測站的氣體連續觀測結果大致相似，意味著觀測站呈現正常運作的狀態。從表4-11也發現各地測站的地質構造環境、流體與氣體來源成份不同，因此測站的主要氣體成份或背景值濃度也不盡然會相同，所以無法用單一相同因子適用於所有地區。所以在進行某一地區的觀測工作時，首先一定要釐清當地的構造環境，找出當地可能之流體端成份來，然後才能瞭解流體成份變化的控制變因。

表 4-11：觀測站人工採樣氣體成份表

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total
091220TPT	79.65%	18.56%	1.80%	0.00%	0.00%	100%
091230TPT	82.23%	16.17%	1.60%	0.00%	0.00%	100%
100112TPT	80.43%	19.26%	0.31%	0.00%	0.00%	100%
100119TPT	79.61%	18.80%	1.60%	0.00%	0.00%	100%
100121TPT	80.56%	19.28%	1.60%	0.00%	0.00%	100%
100225TPT	79.63%	19.59%	0.78%	0.00%	0.00%	100%
100317TPT	80.41%	19.51%	0.08%	0.00%	0.00%	100%
100402TPT	81.98%	17.94%	0.08%	0.00%	0.00%	100%
100424TPT	79.97%	19.91%	0.12%	0.00%	0.00%	100%
100518TPT	80.32%	19.62%	0.06%	0.00%	0.00%	100%
100614TPT	78.64%	20.60%	0.76%	0.00%	0.00%	100%
100710TPT	70.01%	29.75%	0.24%	0.00%	0.00%	100%
100719TPT	80.25%	19.56%	0.19%	0.00%	0.00%	100%
100901TPT	79.34%	20.51%	0.15%	0.00%	0.00%	100%
100916TPT	80.57%	19.25%	0.18%	0.00%	0.00%	100%

TPT：新竹大平地觀測站

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total
100127GK	84.17%	14.38%	1.45%	0.00%	0.00%	100%
100225GK	84.80%	3.31%	11.89%	0.00%	0.00%	100%
100303GK	58.13%	24.22%	17.65%	0.00%	0.00%	100%
100304GK	69.97%	13.43%	16.60%	0.00%	0.00%	100%
100311GK	77.36%	8.24%	14.40%	0.00%	0.00%	100%
100317GK	74.23%	8.90%	16.87%	0.00%	0.00%	100%
100419GK	77.83%	17.67%	4.50%	0.00%	0.00%	100%
100512GK	58.34%	24.32%	17.34%	0.00%	0.00%	100%
100614GK	78.65%	17.79%	3.56%	0.00%	0.00%	100%
100709GK	79.14%	19.30%	1.56%	0.00%	0.00%	100%
100813GK	78.36%	20.20%	1.44%	0.00%	0.00%	100%
100916GK	77.83%	17.73%	4.44%	0.00%	0.00%	100%
100924GK	79.11%	19.58%	1.31%	0.00%	0.00%	100%

GK：雲林古坑觀測站

表 4-11(續)：觀測站人工採樣氣體成份表

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total
100128CL	78.54%	8.46%	13.00%	0.00%	0.00%	100%
100225CL	79.03%	8.97%	12.00%	0.00%	0.00%	100%
100304CL	78.19%	14.01%	7.80%	0.00%	0.00%	100%
100311CL	78.34%	13.66%	8.00%	0.00%	0.00%	100%
100402CL	80.80%	14.20%	5.00%	0.00%	0.00%	100%
100419CL	42.96%	55.64%	1.40%	0.00%	0.00%	100%
100512CL	77.65%	14.35%	8.00%	0.00%	0.00%	100%
100708CL	62.23%	29.78%	7.99%	0.00%	0.00%	100%
100719CL	80.98%	15.70%	3.32%	0.00%	0.00%	100%
100813CL	81.33%	12.90%	5.77%	0.00%	0.00%	100%
100903CL	78.75%	1.57%	19.68%	0.00%	0.00%	100%
100917CL	76.51%	0.03%	23.47%	0.00%	0.00%	100%

CL：嘉義中崙濁水潭觀測

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total
100128RS	79.55%	17.16%	3.29%	0.00%	0.00%	100%
100226RS	78.61%	18.61%	2.78%	0.00%	0.00%	100%
100402RS	81.47%	17.04%	1.49%	0.00%	0.00%	100%
100512RS	80.25%	17.69%	2.07%	0.00%	0.00%	100%
100709RS	80.87%	16.90%	2.22%	0.00%	0.00%	100%
100720RS	80.85%	19.00%	0.15%	0.00%	0.00%	100%
100924RS	69.61%	0.03%	30.37%	0.00%	0.00%	100%

RS：台南二溪觀測站

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total
100110PT	80.02%	15.98%	4.00%	0.00%	0.00%	100%
100128PT	77.69%	18.43%	3.88%	0.00%	0.00%	100%
100226PT	77.54%	19.16%	3.30%	0.00%	0.00%	100%
100317PT	79.33%	17.71%	2.96%	0.00%	0.00%	100%
100402PT	79.42%	18.08%	2.50%	0.00%	0.00%	100%
100513PT	78.35%	15.53%	3.12%	0.00%	0.00%	100%
100720PT	79.11%	16.09%	4.80%	0.00%	0.00%	100%
100813PT	78.56%	16.34%	5.10%	0.00%	0.00%	100%
100916PT	79.33%	15.37%	5.30%	0.00%	0.00%	100%

PT：屏東屏科大觀測站

表 4-11(續)：觀測站人工採樣氣體成份表

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total
091222CS	80.00%	19.39%	0.60%	0.00%	0.00%	100%
100109CS	79.84%	19.46%	0.70%	0.00%	0.00%	100%
100309CS	79.77%	18.84%	1.39%	0.00%	0.00%	100%
100517CS	78.76%	19.74%	1.50%	0.00%	0.00%	100%
100721CS	79.32%	18.67%	2.01%	0.00%	0.00%	100%
100805CS	78.68%	19.33%	1.99%	0.00%	0.00%	100%
100904CS	79.47%	18.77%	1.76%	0.00%	0.00%	100%
101001CS	79.53%	18.83%	1.64%	0.00%	0.00%	100%

CS：台東池上觀測站

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total
091222SA	78.70%	18.84%	2.46%	0.00%	0.00%	100%
091223SA	78.88%	18.33%	2.79%	0.00%	0.00%	100%
091229SA	78.69%	19.81%	1.51%	0.00%	0.00%	100%
100122SA	79.61%	19.89%	0.50%	0.00%	0.00%	100%
100426SA	80.36%	18.88%	0.76%	0.00%	0.00%	100%
100518SA	80.22%	19.21%	0.57%	0.00%	0.00%	100%
100721SA	80.43%	18.93%	0.64%	0.00%	0.00%	100%
100811SA	79.65%	19.49%	0.86%	0.00%	0.00%	100%
100904SA	78.21%	19.48%	2.31%	0.00%	0.00%	100%
101008SA	82.03%	16.36%	1.61%	0.00%	0.00%	100%

SA：宜蘭蘇澳國小觀測站

伍、新觀測站設置之評選

5-1 採樣與分析

本研究於本年度 4 月至 5 月間於花蓮北部米崙斷層，利用土壤氣體地球化學方法調查（傅慶州等，2004），採集了共 48 個樣本並進行分析（圖 5-1，表 5-1）。採樣前，首先將採樣袋抽至真空狀態，以確保無空氣殘留其中。採樣的方法則是將一枝長約 130 cm 半徑約 3 cm 中空的不鏽鋼管，其前端插入一尖錐鋼頭（為了能較順利鑽進土壤中同時避免土壤阻塞不鏽鋼管造成氣體無法流通），利用鐵鎚將鋼管敲入土壤中約 1 公尺左右，接著用一根較細的實心鋼條插入此中空的鋼管中將其最前端的尖錐物敲入土中使其與鋼管脫離，以利土壤中的氣體順利進入不鏽鋼管（圖 5-2）。再將鋼管套入已設計好的管線再利用手動幫浦讓管線經過土壤氣體的沖刷約 30 秒，以避免空氣或前次採樣時的殘留氣體造成污染；倘若土壤氣量過小，則先將管線抽氣呈真空狀態之後，等待土壤氣充滿整個管線之中，再進行採樣的工作（管線中有裝置兩個過濾器，一為過濾塵土；另一則是為了擋住水氣的進入）。最後，用手動幫浦將土壤氣樣抽入採樣袋中即完成採樣工作（圖 5-2）。

將採集的氣樣帶回實驗室後，利用攜帶式氣相層析儀（Gas Chromatography）、與氦氣偵測儀（Helium detector）來進行分析。在氣體地球化學與地質構造的關係研究中，主要是討論 He、CO_2、CH_4、N_2、Ar、O_2 等各種氣體相對含量的變化情形，並探討其中所代表的意義（Fu *et al*., 2006; Giammanco *et al*., 1997; Gregory and Durrance, 1985; Guerra and Lombardi, 2000）。其中，我們將會以氦氣的含量來探討地底下是否有斷層與裂隙存在。因為氦氣在大氣中的含量頗為固定（5.24 ppm），所以如果有偵測到高於這個量的氦氣，便表示可能有更深部的氦氣來源。本研究將之氣體濃度異常值門檻定義為：去除濃度明顯過高的分析值後，將所有分析結果取平均值加上兩倍標準偏差（達 95 %的可信度），當分析值高於此門檻者，可視為異常值。而氡氣的分析使用氡氣偵測儀（Radon detector），其分析步驟、原理同樣請參照陳正宏等（2002）報告。

5-1-1 氦氣偵測儀

氦氣偵測儀（Helium detector）為 ALCTEL 所生產的 ASM 100 HDS 型，為一種簡易型的質譜儀。當氣體分子進入內部的鎢絲加熱使得電子光速碰撞而轉換出大量的離子，而由於電場加快了這些離子活動使得進入磁場後能將特定的質荷比給分離出來（氦離子 m/e = 4）而求得 ^4He 的濃度。操作的步驟為：

1、開機後，三用電表接上後將儀器校正歸零

2、將進樣的管線連接上儀器主體後，靜待儀器與空氣達成平衡穩定

3、穩定後，將數值微調至 1.719 ± 0.001 即可進行分析，所得電壓值 V 帶入下列公式即可得氦氣濃度（ppm）

$0.1 \times EXP(2.3026 \times V)$ ……（1）

備註：1.三用電表可達小數點後三位

2.空氣中氦氣濃度約為 5.24 ppm

3.儀器誤差小於 0.3%

5-1-2 攜帶式氣相層析儀

攜帶式氣相層析儀（Micro Gas Chromatography）為 VARIAN 公司的 CP-4900 型，簡稱為 Micro GC。目前由一個偵測器配合兩組分離柱組成，利用氦氣當作攜行氣體將樣本帶入分離柱的層析原理，則可分析出樣品中所有氣體的成份。以下分成兩個部分來說明：

Channel A：利用 He 當攜行氣體，通過 Molecular Sieve 5A（MS-5A）的分離柱（為一種依氣體分子大小篩濾的分離柱，體積過大的氣體分子，如 CO_2 則會被濾掉），進入熱傳導偵檢器可以分析到 Ar、O_2、N_2、CH_4。熱傳導偵檢器（Thermal Conductivity Detector，簡稱 TCD）是利用氣體的熱傳導值不同來偵測，為一種廣泛使用的偵檢器。

Channel B：利用 He 當攜行氣體，通過（PPQ）的分離柱（為一種針對烷類所設計的分離柱，可在短時間之內迅速分離出來），進入熱傳導偵檢器可以分析到 N_2、CH_4、CO_2、C_2H_6、CO。

5-2 調查結果

花蓮北部地區米崙斷層的初步分析結果顯示（表 5-1），氡氣濃度無明顯較高異常值的點位。靠近海岸的七星潭及民意斷層地區的土壤氡氣濃度值偏低，多在 2,000 Bq/m^3 上下。在美崙山則是有較高的氡氣濃度值，但與西部大約 30,000 Bq/m^3 的氡氣含量背景值相較之下，仍是相當低。另外，其他氣體成分分析結果顯示，二氧化碳濃度亦是以市區內的美崙山點位較高。

本研究將各別氣體濃度異常值門檻定義為：去除濃度明顯過高的分析值後，將所有分析結果取平均值加上兩倍標準偏差（達 95%的可信度），當分析值高於此門檻者可視為異常值，表 5-1 標記斜體的部分則代表為異常值。圖 5-3 為圖 5-1 中五條橫切過斷層之剖面的土壤氡氣和氡氣濃度結果，發現 D 和 E 兩剖面在特定位置有顯著氡氣異常值出現，不過同點的氡氣濃度值並不高，這與地調所 2000 年出版之活動斷層圖相符合；而 2010 的版本米崙斷層向南有靠海延伸的趨勢出現，在土壤氣的結果中並未觀察到這種趨勢。

本研究再進一步針對有氣體異常或處於敏感地帶上的點位進行定期採樣並觀測，以作為設站的參考。日前已從這些候選位置，擇一最合適之地點來設置新的土壤氣體觀測站，站址位置如圖 2-3 及表 2-1。

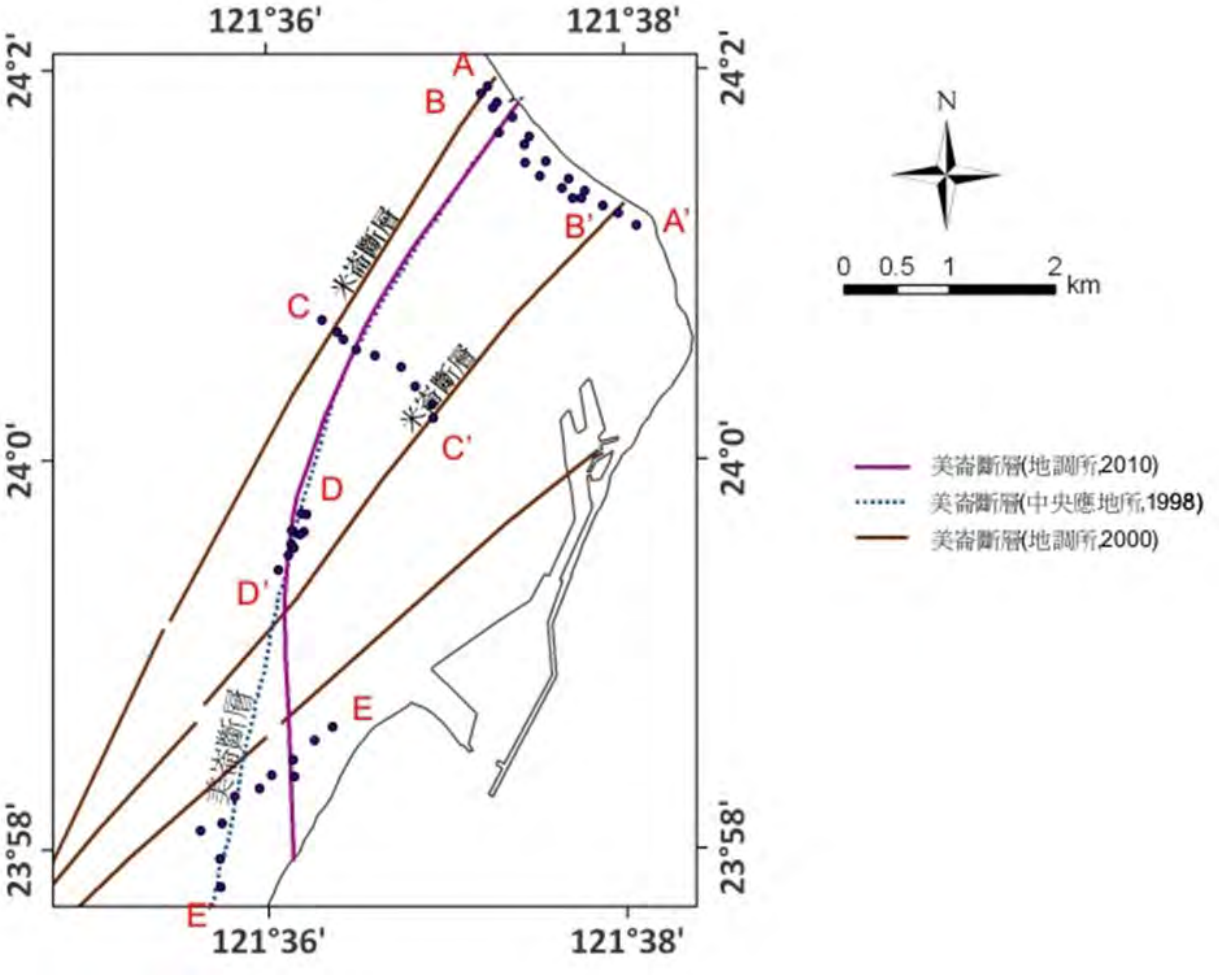


圖 5-1：採樣點分佈圖。

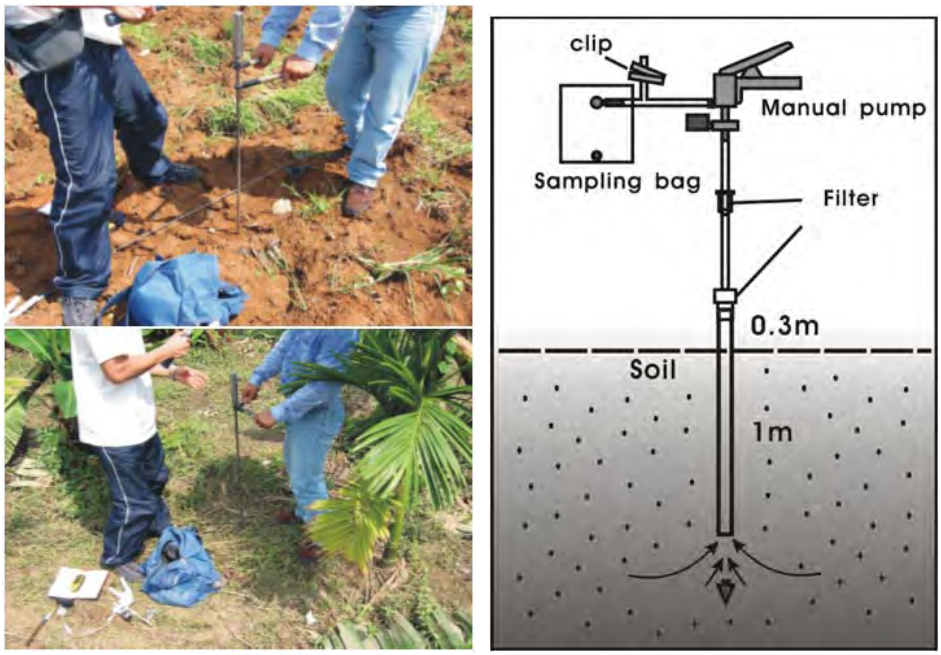


圖 5-2：野外採樣的實際情形與採樣示意圖。

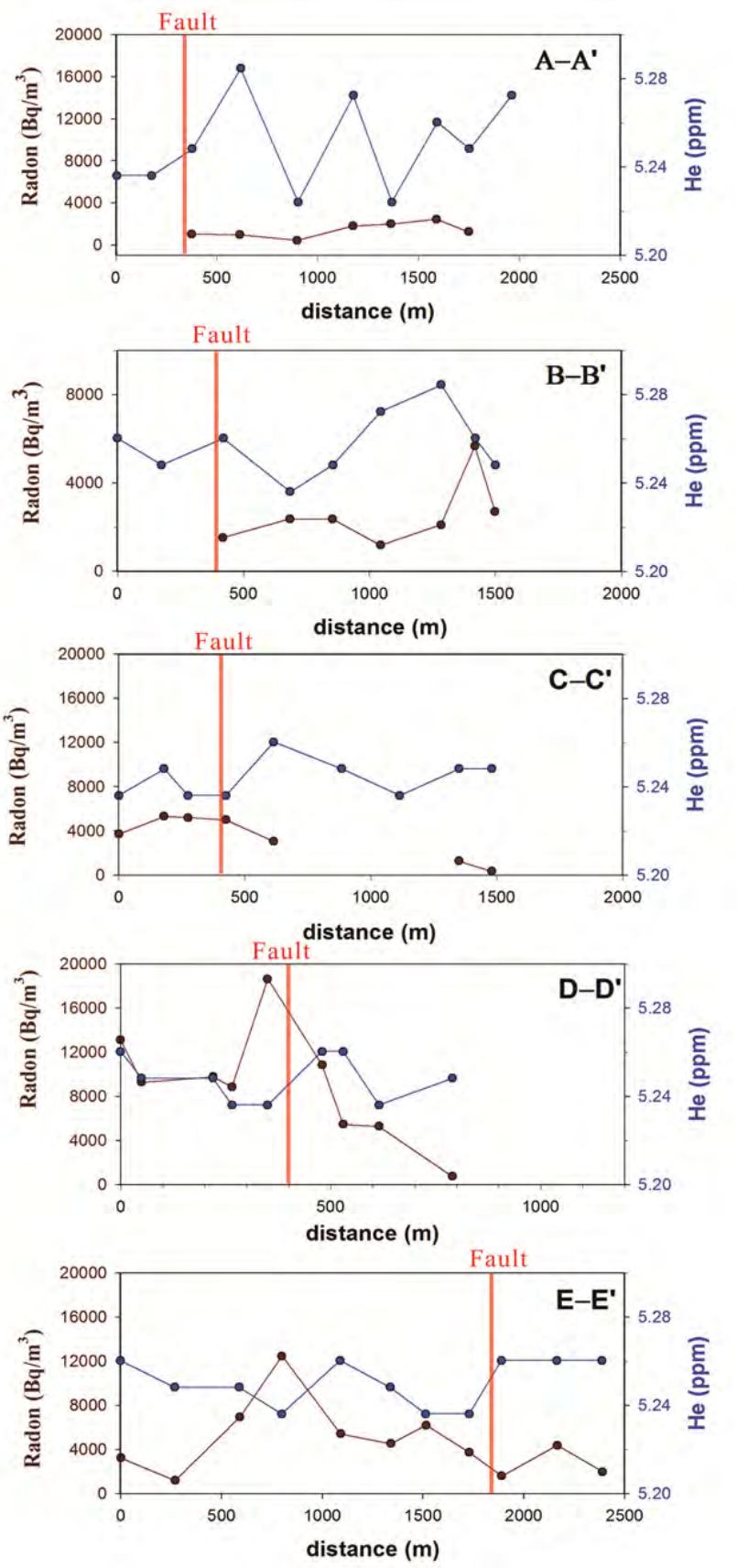


圖 5-3：各剖面之土壤氡氣和氦氣濃度結果。紅線為米崙斷層位置（中央地質調查所，2010）。

表 5-1：美崙地區土壤氣體成份分析結果。

No.	距離 (m)	CO_2 Flux ($g/m^2/day$)	Rn (Bq/m^3)	He (ppm)	Micro GC			
					N_2 (%)	O_2+Ar (%)	CO_2 (%)	CH_4 (%)
A-A'剖面								
4	0	x	lost	5.24	78.51	21.21	0.28	0.00
3	175	x	lost	5.24	79.43	20.43	0.14	0.00
5	375	x	1,056	5.25	78.13	21.52	0.34	0.00
6	615	x	982	5.28	55.44	40.75	3.81	0.00
8	900	x	458	5.22	64.79	34.82	0.38	0.00
9	1,175	x	1,839	5.27	79.57	19.85	0.58	0.00
10	1,365	x	2,020	5.22	58.15	41.47	0.39	0.00
17	1,590	x	2,458	5.26	80.40	18.32	1.28	0.00
18	1,750	x	1,258	5.25	64.69	35.15	0.16	0.00
19	1,960	x	lost	5.27	80.97	18.55	0.48	0.00
B-B'剖面								
1	0	x	lost	5.26	77.91	21.78	0.31	0.00
2	175	x	lost	5.25	69.98	29.59	0.43	0.00
11	420	x	1,528	5.26	80.52	18.87	0.62	0.00
7	685	x	2,374	5.24	79.88	19.71	0.41	0.00
12	855	x	2,354	5.25	79.79	19.74	0.48	0.00
13	1,045	x	1,184	5.27	74.23	24.36	1.41	0.00
14	1,285	x	2,108	5.28	77.38	21.12	1.50	0.00
15	1,420	x	5,670	5.26	65.11	33.78	1.11	0.00
16	1,500	x	2,694	5.25	80.01	19.25	0.75	0.00
C-C'剖面								
20	0	18.1	3,716	5.24	79.39	20.04	0.56	0.00
21	180	13.95	5,319	5.25	79.35	20.16	0.48	0.00
22	275	14.75	5,208	5.24	78.65	20.21	1.15	0.00
23	425	30.41	4,993	5.24	79.91	17.95	2.13	0.00
24	615	19.26	3,047	5.26	64.13	33.21	2.66	0.00
25	885	15	lost	5.25	79.61	19.70	0.69	0.00
26	1,115	21.61	lost	5.24	79.92	19.26	0.82	0.00
27	1,350	23.62	1,264	5.25	79.06	20.21	0.73	0.00
28	1,480	28.59	333	5.25	75.60	24.31	0.08	0.00
D-D'剖面								
40	0	20.4	***13,101***	5.26	66.58	30.67	2.75	0.00
41	50	26.18	9,286	5.25	79.21	18.00	2.79	0.00
43	220	13.52	9,766	5.25	75.66	22.64	1.70	0.00
42	265	20.84	8,864	5.24	79.58	15.84	***4.58***	0.00
44	350	5.28	***18,634***	5.24	80.23	8.61	***11.17***	0.00

表 5-1：美崙地區土壤氣體成份分析結果(續)。

No.	距離 (m)	CO2 Flux ($g/m^2/day$)	Rn (Bq/m^3)	He (ppm)	Micro GC			
					N_2 (%)	O_2+Ar (%)	CO_2 (%)	CH_4 (%)
45	480	19.29	***10,846***	5.26	79.72	18.57	1.71	0.00
46	530	39.48	5,458	5.26	78.95	19.73	1.31	0.00
47	615	36.58	5,286	5.24	79.63	19.44	0.93	0.00
48	790	16.99	758	5.25	63.06	36.81	0.13	0.00
E-E'剖面								
39	0	41.19	3,266	5.26	76.80	21.08	2.12	0.00
38	270	36.34	1,214	5.25	72.99	26.65	0.35	0.00
37	590	31.15	6,932	5.25	78.70	16.61	***4.69***	0.00
36	800	16.56	***12,469***	5.24	79.56	14.08	***6.35***	0.00
35	1,090	0	5,431	5.26	79.32	16.02	***4.66***	0.00
34	1,340	23.84	4,531	5.25	78.53	19.40	2.06	0.00
33	1,515	18.66	6,207	5.24	82.07	15.91	2.02	0.00
32	1,730	13.76	3,733	5.24	53.34	40.27	***6.39***	0.00
31	1,890	29.18	1,615	5.26	76.05	21.01	2.94	0.00
30	2,165	30.79	4,396	5.26	76.78	14.92	***8.30***	0.00
29	2,390	12.44	1,977	5.26	75.36	23.23	1.41	0.00

5-3 氣體觀測站位址之選擇與設置

（1）確認觀測站地底下之氣體來源

這對於氣體觀測站之設置最為重要，牽涉到觀測站要以何種方式、及何種分析儀器來進行觀測。過去幾年來本計畫有系統的分析調查發現，台灣西部地底下不同深處具有不同成份來源的儲氣層，此一特徵使得位於具有多種逸氣來源的地點（如中崙、關子嶺），對於地殼活動非常敏感，而有非常明顯的成份變化，有利於偵測有效地震前兆；此類地點適合設置具有能夠同時觀測多種氣體成份的觀測站。反之，若是地底下僅有單一之逸氣來源，則其成份變化對於地震活動則不敏感（如西南部的泥火山地區），僅適合利用「通量」的量測來進行觀測，且最好是有兩種以上之氣體成份同時觀測（如甲烷氣與氡氣）。

（2）選擇鄰近斷層帶的地點設站

雖然氣體相對於流體有較佳的遷移速率，對於地殼活動也相對較為敏感，可是在斷層帶的天然逸氣，明顯要比非斷層帶的逸氣量要高，且較容易攜帶深處不同成份與來源的氣體逸散至地表，而有明顯的成份變化。故而選擇斷層帶附近作為觀測地點，將可達事半功倍之效。

（3）考量地震活動對當地的影響程度

（4）選擇地下水位較低或地形較高的地點

地下水位對於氣體逸氣量有很大的影響，觀測站之選擇與設計，要盡量避免地下水與天水之影響。設站時要盡量考量「防水」設施。

（5）多因子同步觀測

除了主要之觀測項目以外，在經費許可下，觀測站通常都會設計有環境影響因子（如雨量、溫濕度、大氣壓力等）之同步觀測，以利往後分析資料之判讀與解釋。

（6）盡量避免有腐蝕性的環境

觀測站之設置通常要能夠長期運作，若是觀測環境不佳（如有腐蝕性氣體：硫化氫等氣體），對於觀測儀器是一大致命傷，也會影響分析資料之品質。若非得以，則要考慮有防腐蝕之措施。

（7）選擇外人不易到達、但具有通訊與電源供應設備的地點

除了前述自然地質背景與地形考量外，設站地點應盡量避免外人的干擾，但有通訊與電源供應又是設置觀測站重要的一項考量，而觀測站的設置如圖5-4所示。

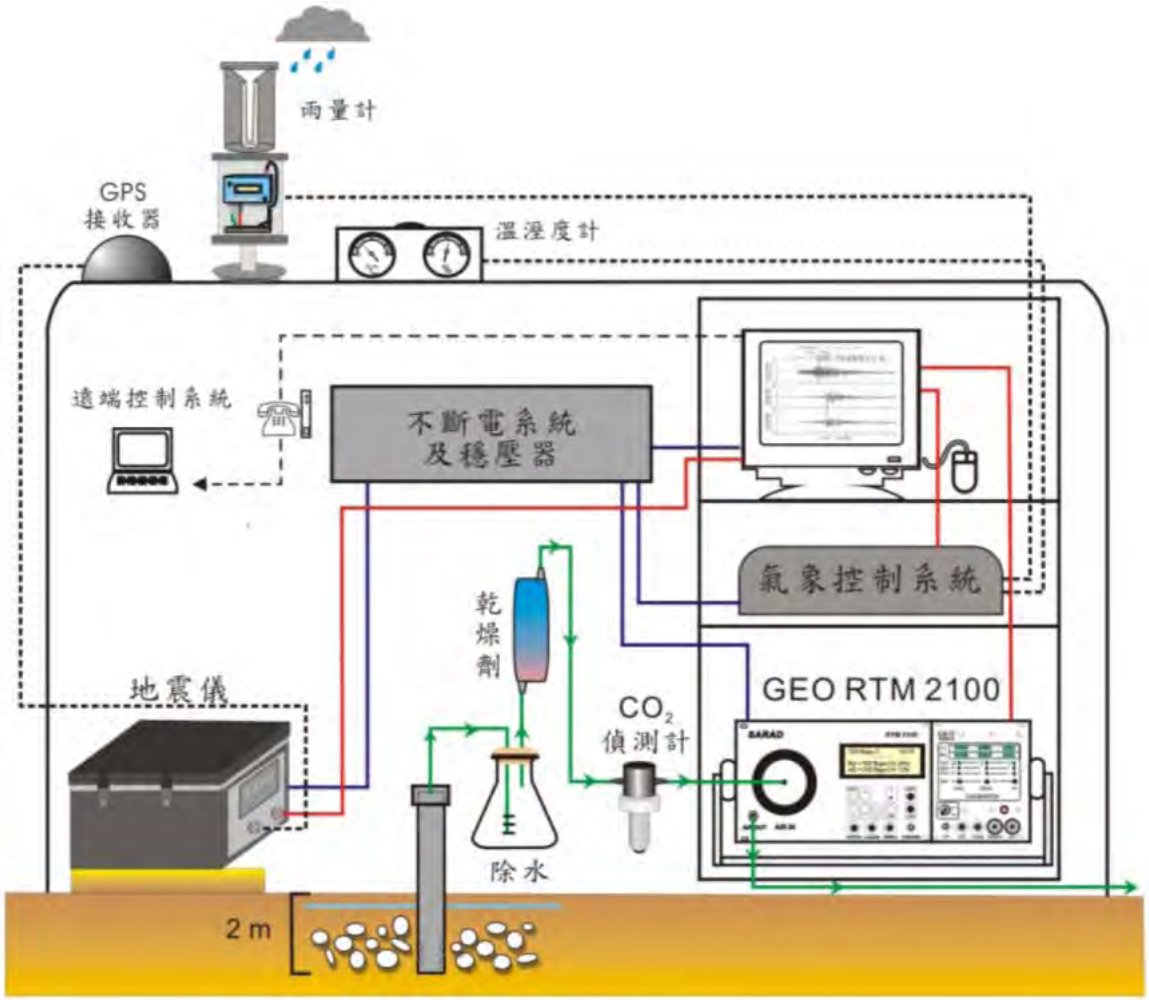


圖 5-4：氣體觀測站設置示意圖。

5-4　花蓮美崙氣體觀測站

5-4-1　設站前準備

根據前述及由表中得知編號44採樣點（位於美崙山米崙斷層右測）在分析氣體氡氣濃度及二氧化碳濃度後發現其值均較其它採樣點高，尤其是二氧化碳濃度值更是唯一超過10 %以上之點位，對此我們將編號44列為定期採樣點。為初步了解這個採樣點是否可在將來連續分析上會有好的氣體連續觀測品質，及是否會受到其他大氣因素的影響，於是在8月18日至8月22日我們在編號44點上打入一根深約一公尺的鐵桿，接上電瓶（充作臨時用電）及錐形瓶（瓶內裝除濕劑，及避免抽到水直接進入機體），並放置一台主動式氡氣分析儀於現地作連續分析（圖5-5），觀測結果如圖5-6所示。

由圖5-6我們觀察到，氡氣濃度維持在20,000 Bq/m^3至25,000 Bq/m^3之間，並且觀察到氡氣濃度值的變化與氣體的溼度呈現明顯的正向關係，這顯示此區的氣體分析可能會受到溼度的影響，進而影響到分析的結果，對於其與地震關係的詮釋上就較難以肯定的說明。但是如果我們將影響氣體濕度的因素用儀器控制在可接受的範圍內（如溼度50 %以下），或是我們亦可以將當地氣體濃度隨濕度高低而有影響當作背景值，如有異於此背景值者就可當作是異常反應，如此我們在解釋氣體濃度的變化與地震的關係上才有依據。



圖 5-5：臨時連續觀測箱圖。

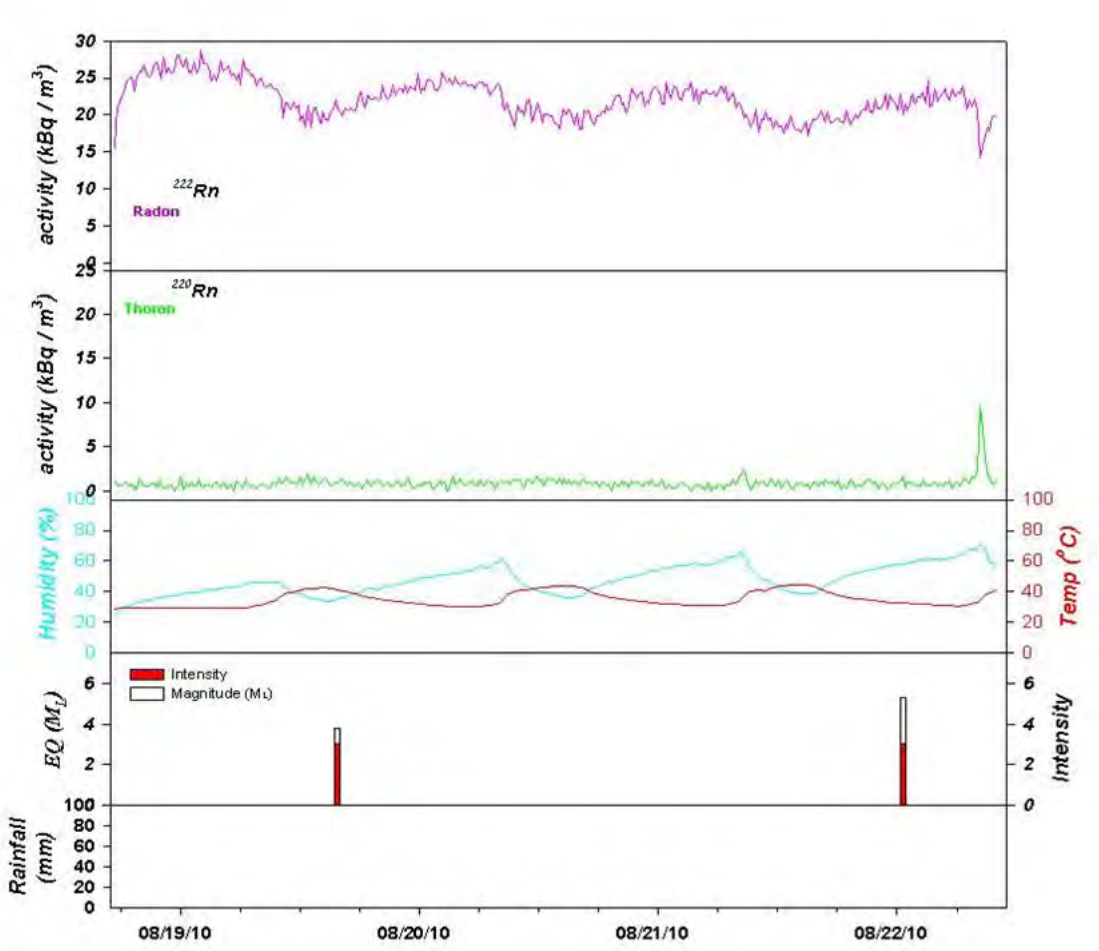


圖 5-6：臨時連續觀測結果圖。





經過長期花蓮北部地區米崙斷層、民意斷層及七星潭等地的土壤氣體採樣調查後，三個地區的氡氣分析無明顯的異常高點；此外，我們捨棄氡氣濃度值及二氧化碳值皆偏低的民意斷層及七星潭地區，審慎考慮米崙斷層附近可適合設站位址後，由於米崙斷層經過花蓮市區，市區難以找到適合開挖設站的地點，因此決定在編號44（美崙山米崙斷層右側的空地上）進行設置地球化學氣體觀測站。經過與地主的協調簽約後，在2010年9月4日動工（圖5-7），並於2010年9月30日完工啟用（圖5-8及圖5-9）。



圖 5-7：花蓮美崙氣體觀測站動工



圖 5-8：花蓮美崙氣體觀測站外觀。



圖 5-9 左圖：測站內分析儀器（氡氣分析儀及二氧化碳分析儀）；右圖：測站內電腦及不斷電系統等硬體設備。

5-4-2　設站後分析結果

花蓮美崙觀測站設站後分析結果如圖5-10至圖5-13所示（2010年9月30日至11月7日的觀測結果）。

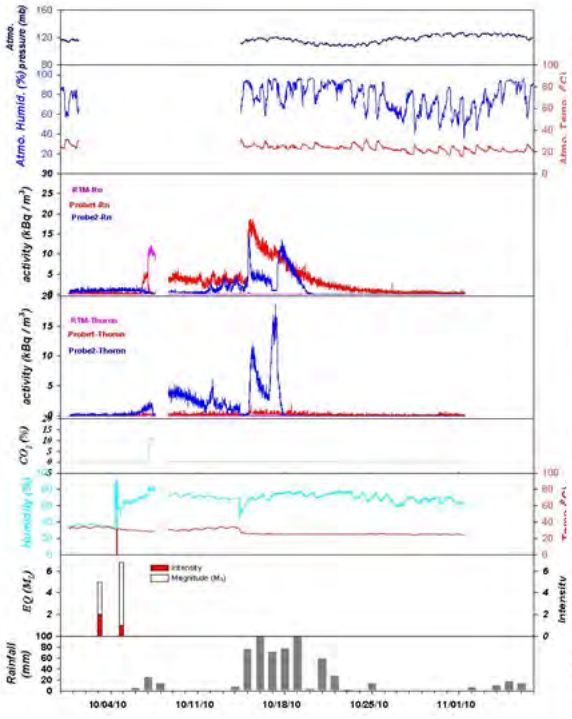


圖 5-10：三個氡氣儀分析結果。

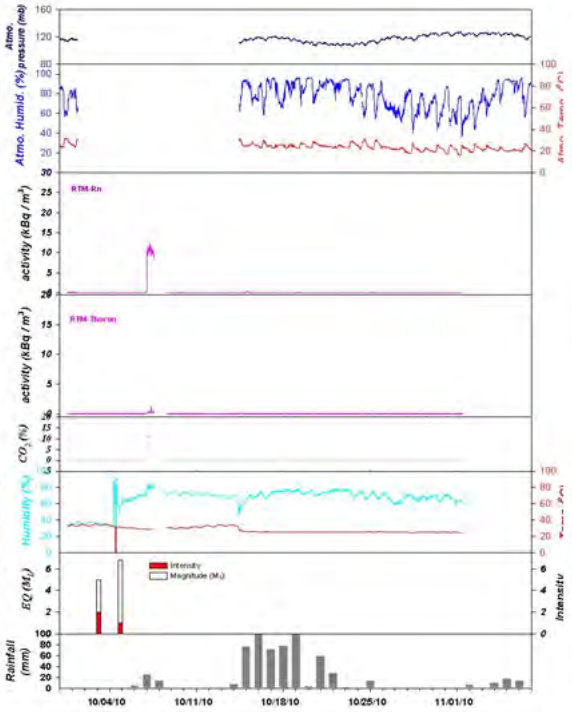


圖 5-11：主動式氡氣儀分析結果。

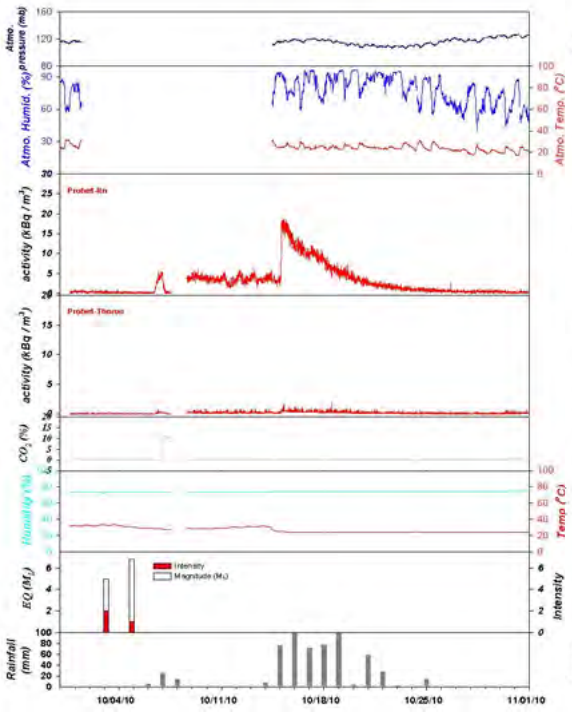


圖 5-12：被動式氡氣儀 NO.1 分析結果。

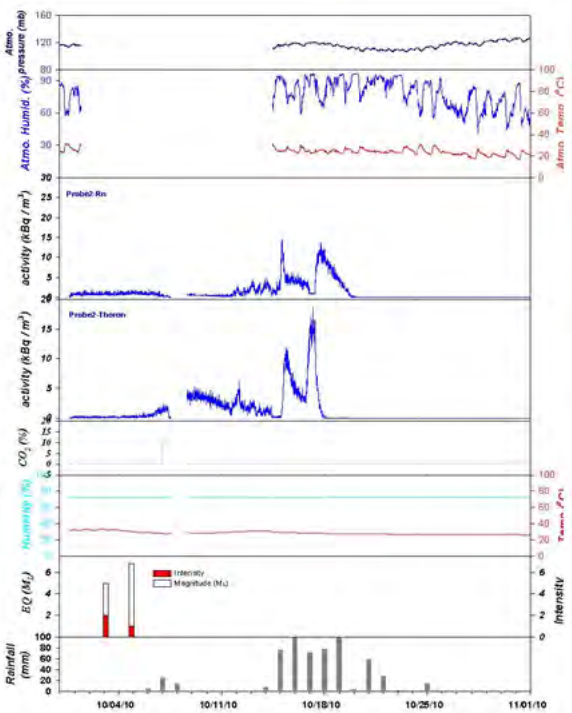


圖 5-13：被動式氡氣儀 NO.2 分析結果。

其中大氣因子方面的數據，由於開始運作初期，電力尚未安裝，僅以不斷電系統支持，因此當電腦當機後即關閉程式致使資料無法儲存於電腦內，因此造成資料遺失。氡氣及二氧化碳分析結果由圖示可以明顯的看出，受到溼度的影響，氡氣濃度值先是急速上升，之後下降至空氣值狀態。目前已在規劃購買強效型氣體除濕乾燥器，以期能將溼度的影響降到最低。目前本站尚待長時間運作以求得較多數據資料來分析其與地震的關係。

圖5-14為花蓮美崙測站相關地震位置分布圖。表5-2為美崙測站相關地震列表。自2010年09月30日至2010年11月1日共有12起地震被偵測到，由圖可看出與美崙測站相關的地震分布位置多集中在花蓮地區。

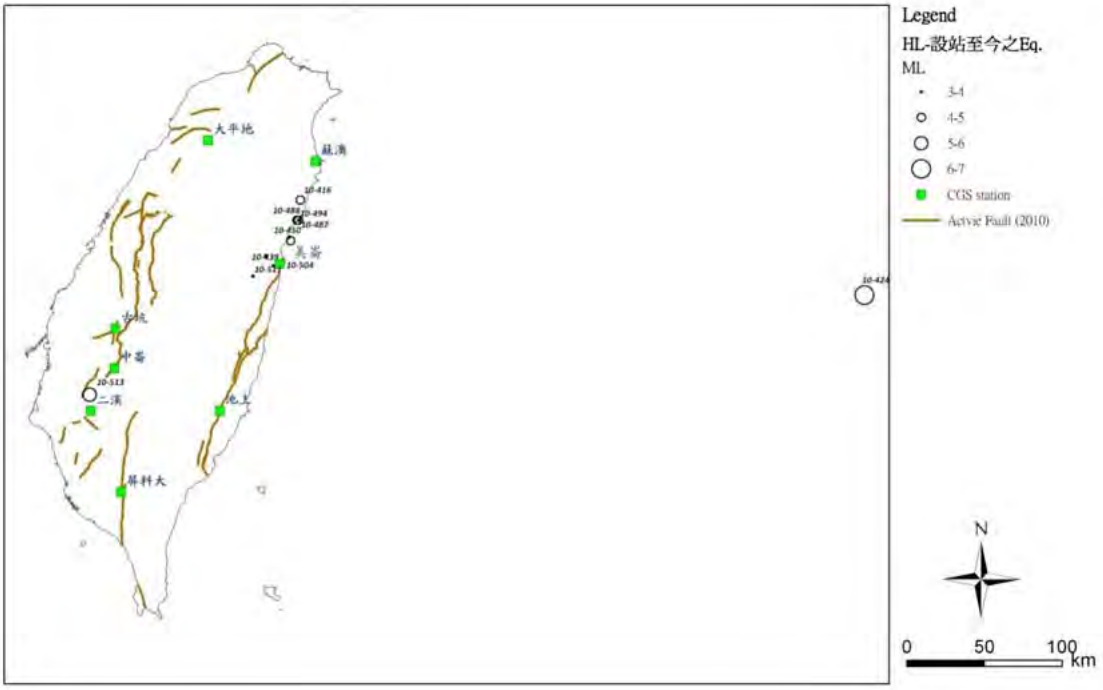


圖 5-14：美崙測站相關地震位置分布圖。

表 5-2：美崙測站相關地震列表(2010/09/30-2010/11/01)

No	西元時間	規模	深度(km)	詳細資料	震度	gal	距測站(km)	備註
10-408	2010/9/30 18:12	2.9	12.8	花蓮秀林地震站東北方 8.5 公里	2	x	17.35	
10-412	2010/10/1 08:33	3.8	25.6	花蓮市地震站西方 5.0 公里	2	x	4.21	
10-416	2010/10/3 03:23	5	19.1	宜蘭南澳地震站南偏西方 6.9 公里	2	5.62	44.05	
10-424	2010/10/4 21:28	6.8	60	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 362.5 公里	1	x	376.23	
10-425	2010/10/5 12:03	4.1	13.1	花蓮秀林地震站東北方 9.5 公里	1	1.97	17.04	
10-430	2010/10/8 13:05	3.9	23.8	花蓮秀林地震站西偏南 9.8 公里	1	x	10.69	
10-439	2010/10/9 18:54	3.4	15.4	花蓮市地震站西方 19.4 公里	1	x	18.32	
10-450	2010/10/14 14:00	3.6	8.7	花蓮秀林地震站東北方 10.2 公里	1	1.08	18.72	
10-470	2010/10/22 13:21	3.5	18.6	花蓮市地震站西方 15.1 公里	2	x	14.90	
10-487	2010/10/29 23:27	4.4	21.6	宜蘭南澳地震站南方 19.4 公里	2	3.71	30.85	
10-488	2010/10/29 23:30	4.2	17.8	宜蘭南澳地震站南方 19.6 公里	2	2.63	31.23	
10-494	2010/10/29 23:53	4	22.9	宜蘭南澳地震站南方 19.3 公里	1	2.03	31.23	

陸、地下水壓觀測結果

地下水壓之異常升降可能為斷層活動之前兆，故將地下水壓異常變化定義為：

（1） 在無降雨干擾之時期，地下水壓出現異於前階段之長期（三日以上）水壓變化趨勢或日均變化量三倍以上。

（2） 在降雨時期，地下水壓出現超出由長期統計而得之預期趨勢與變化量。

研判之地下水壓異常時段，經比對中央氣象局發布之地震事件時間，進一步研判是否為同震或震前地下水壓變化。

6-1 台北地區地下水壓觀測結果

2009年12月至2010年11月台北地區明德中學、錦和國小及樹林飛灰掩埋場觀測井之地下水壓資料，比對中央氣象局台北站降雨量及觀測井附近震度2級或規模6以上之相關地震資料繪圖（圖6-1至圖6-14）。研究結果如下：

整體而言，台北地區觀測井水壓的變化與降雨量關係十分密切。2009年12月到2010年11月，三站的水壓與降雨量有明顯的正相關（圖6-1）。2009年12月19日，花蓮外海發生一起規模6.8的地震（圖6-4），影響範圍擴及全台，台北地區的震度有4級。雖然台北地區三測站之地下水壓在4日前開始上升，但受降雨干擾，無法判別該水壓變化是否為震前反應；該地震也造成樹林站水壓同震上升約10公分。2009年12月25日台北三測站地下水壓均出現無降雨而水壓小幅上升的狀況。緊接著12月25日於宜蘭南澳發生規模4.6的地震。2010年1月（圖6-5），此時段有發生四次較大的地震，台北地區的震度為1到2級，未觀測到震前及同震水壓變化，水壓升降仍主控於雨量。2010年2月（圖6-6）11日，三站均在非降雨期出現水壓上升，緊接著發生2月12日震央於南投、規模5.3的地震，推測為前兆反應。同樣狀況也發生於3月16日（圖6-7）。同年4月12日（圖6-8），在非降雨期間三站水壓同時異常上升，然而，雖然在水壓上升後14日台東外海發生了一起規模6.6，台北影響震度2級的地震，但最接近的地震則是發生在水壓上升前1天，因此，此次水壓異常無法確定是否為大地震的前兆，或僅是受到4月11日台東外海規模5.5，台北震度1級地震的影響。明德站在2010年5月3日後雖然處非降雨期，但地下水壓不但停止下降反而出現微升之異常現象（圖6-9）；同樣狀況也發生於5月14日（圖6-9）。同年6月21日明德與樹林站同時出現在降雨期地下水壓反降的異常狀況，且同時又於6月27日快速上升（圖6-10），之後在6月25日宜蘭外海發生一起

規模4.7的地震，台北地區的影響震度為2級；緊接著6月27日宜蘭縣又發生一起規模5.2，台北影響震度為3級的地震；28日基隆外海又發生規模5.1之地震，此次兩站水壓異常推測為地震的前兆。明德站在9月11日中午地下水位驟升約49公分高，判斷為9月12日發生於宜蘭南澳規模4.8地震之前兆（圖6-13）。9月11日錦和站與樹林站同時出現降與其地下水位反降10至20公分後再回升之異常現象（圖6-13），應為10月1日發生於宜蘭規模5.1之前兆反應（圖6-14）。11月19日錦和站地下水壓出現異常下降5公分再回升，應為11月21日花蓮近海發生一起規模6.1之地震，台北影響震度為2級（圖6-15）。

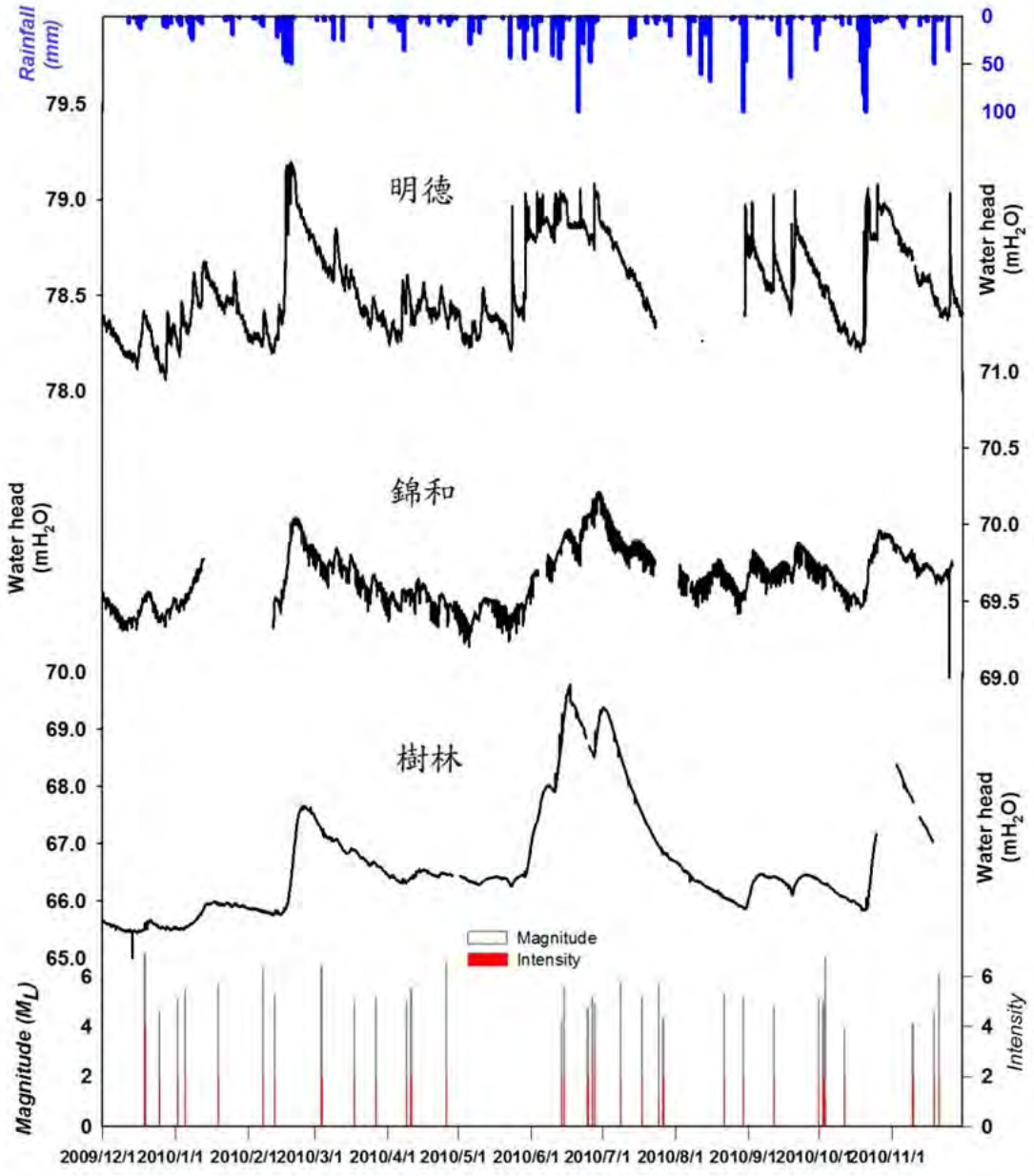


圖 6-1：台北地區 2009 年 12 月至 2010 年 11 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。圖中紅線為地震活動對比之標示。

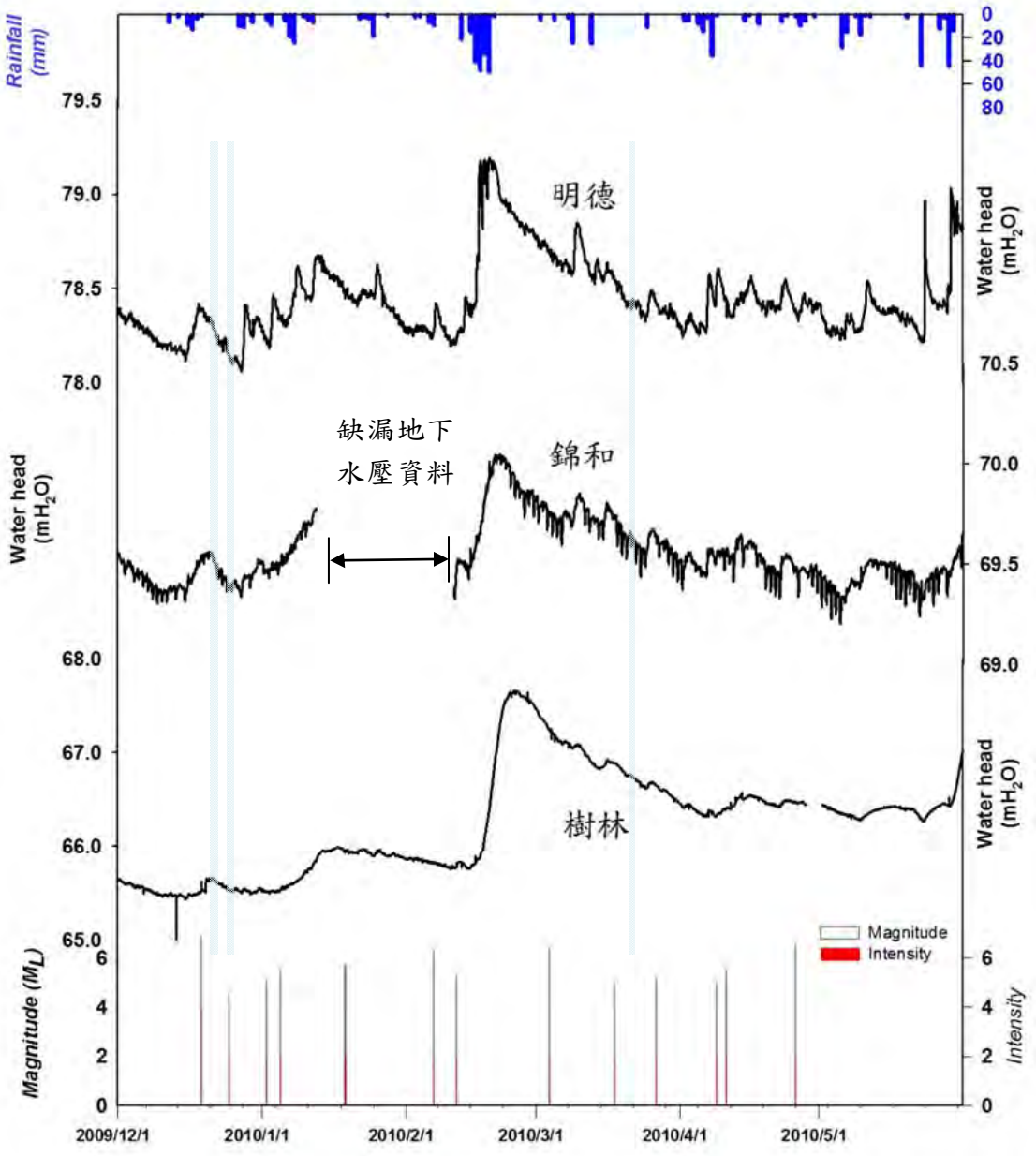


圖 6-2：台北地區 2009 年 12 月至 2010 年 5 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

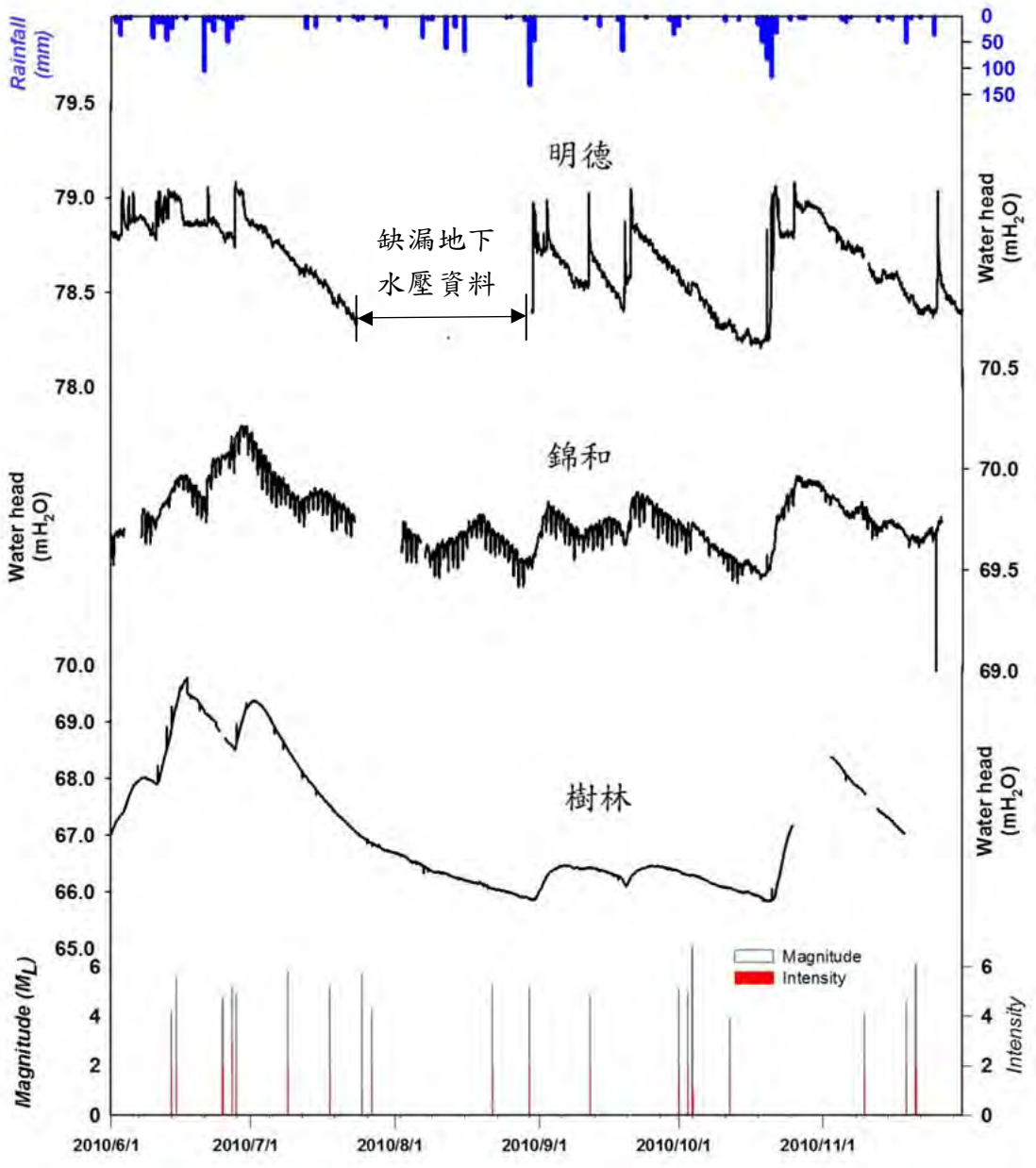


圖 6-3：台北地區 2010 年 6 月至 2010 年 11 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

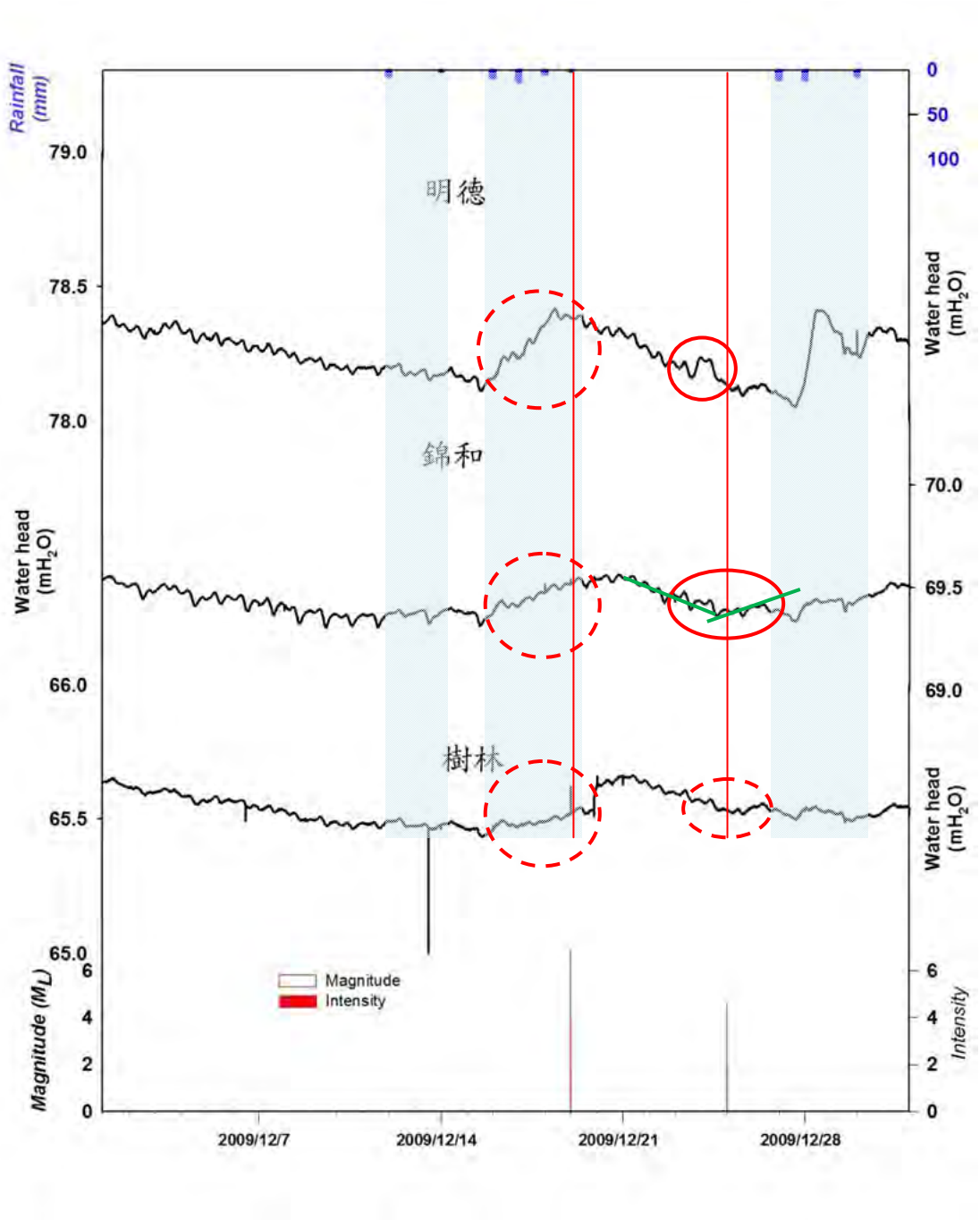
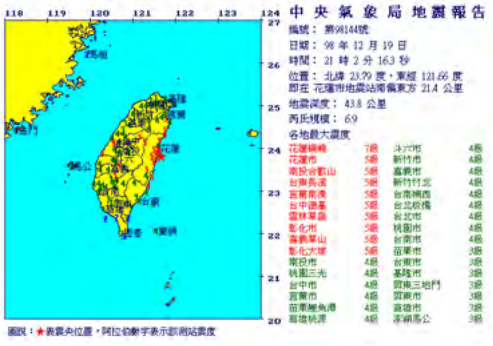
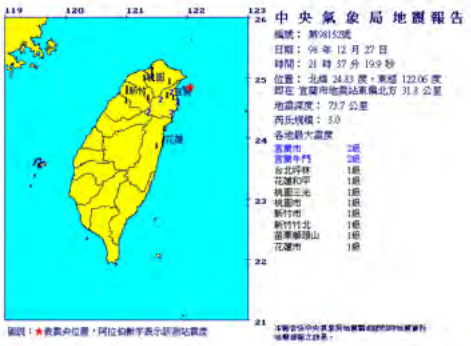


圖 6-4：台北地區 2009 年 12 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖，淺藍色陰影處表示降雨發生之時段。





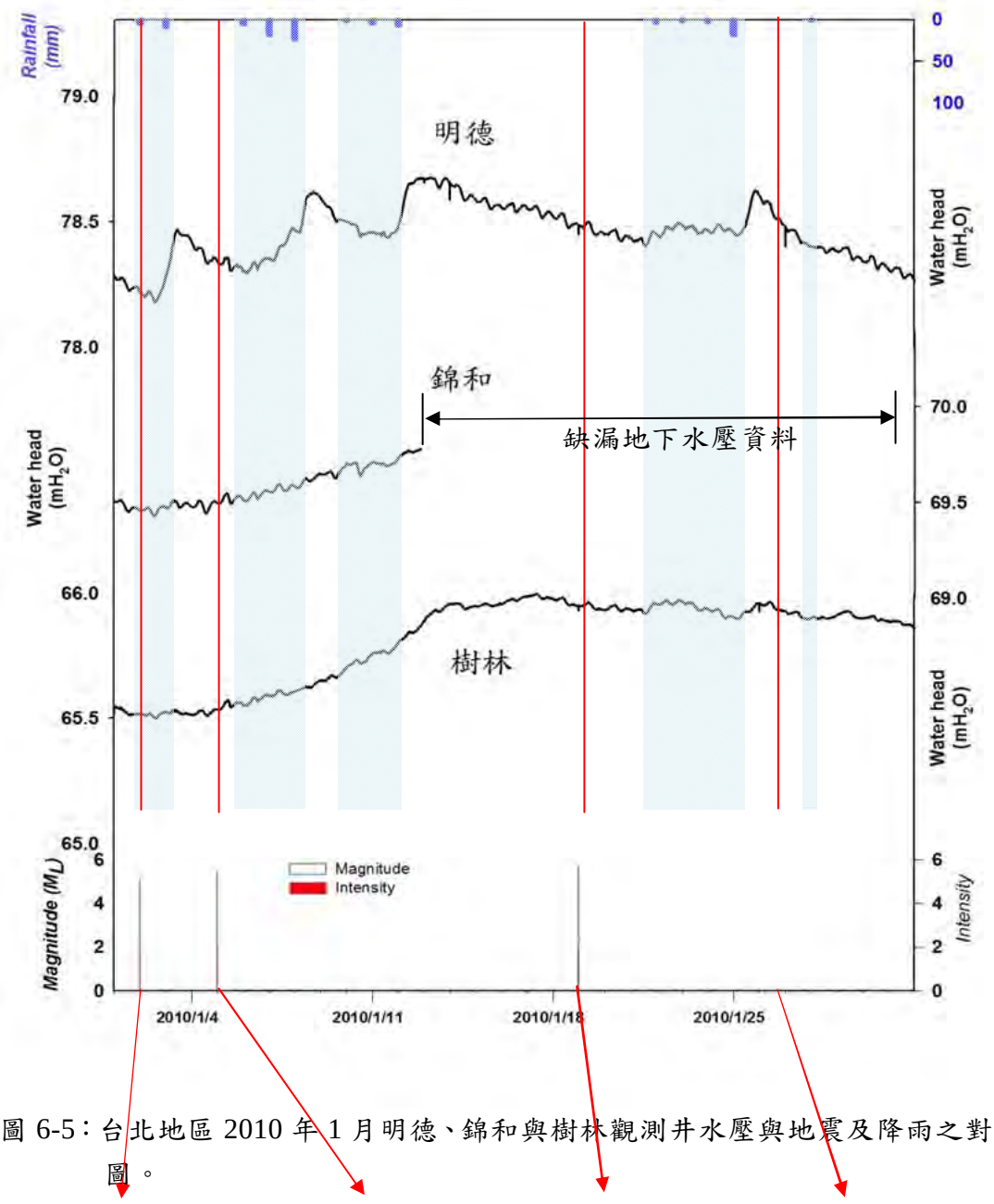
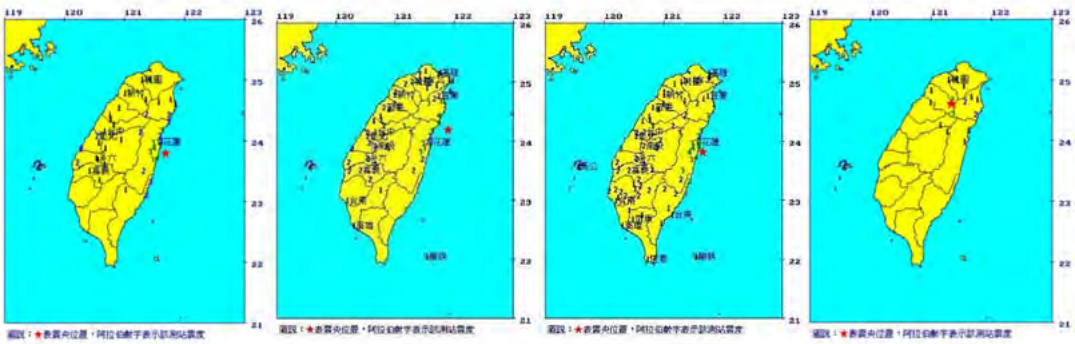


圖 6-5：台北地區 2010 年 1 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=5.1　　M_L=5.5　　M_L=5.6　　M_L=4.0

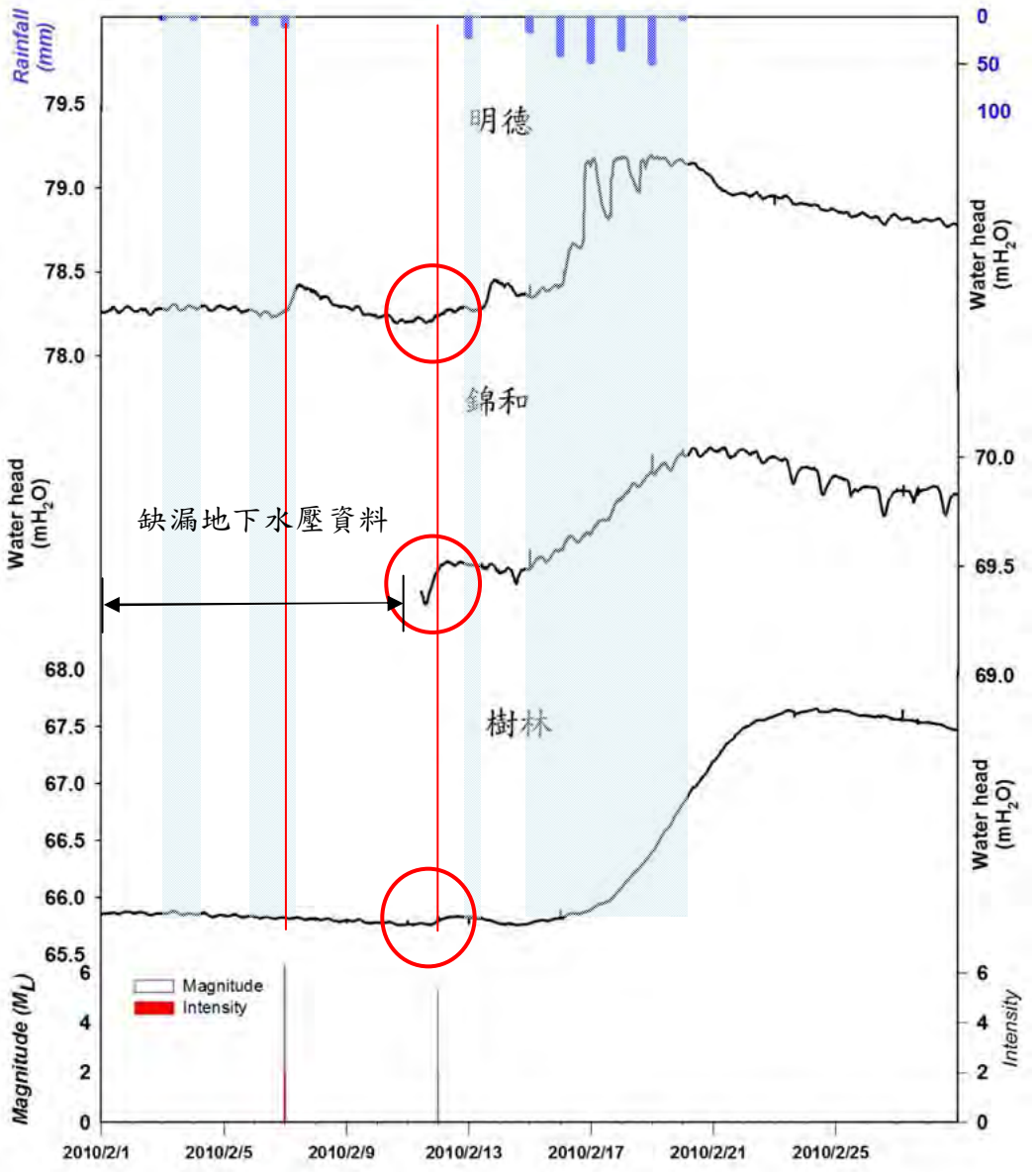
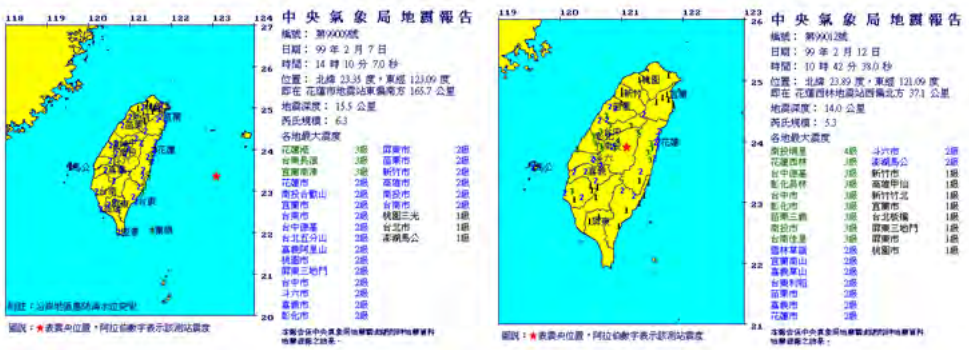


圖 6-6：台北地區 2010 年 2 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



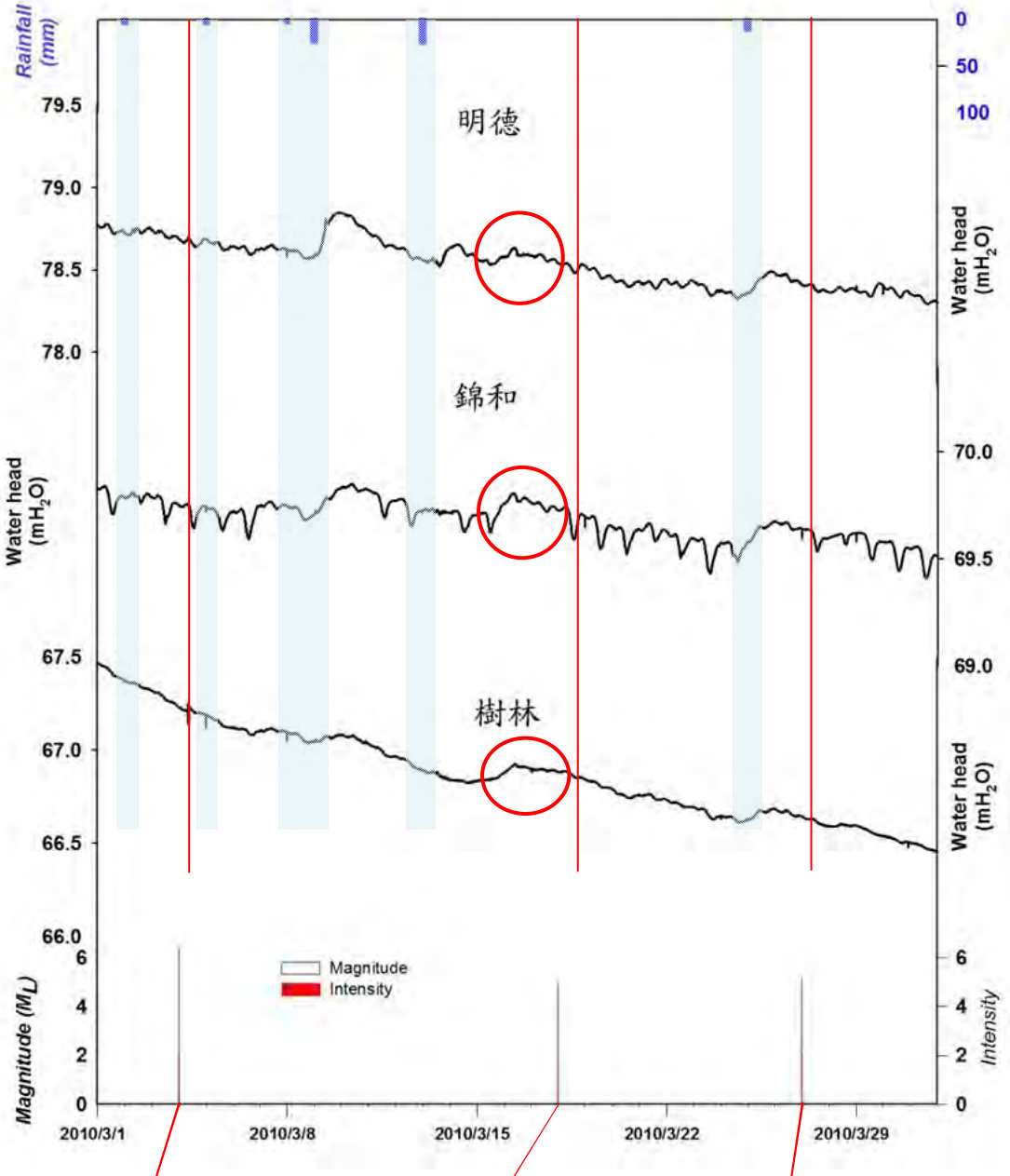
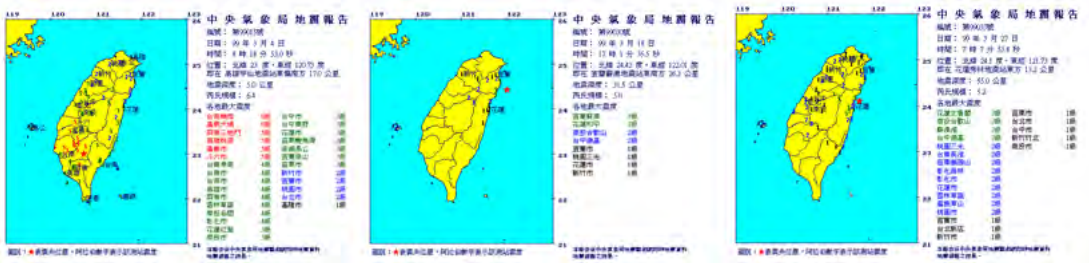


圖 6-7：台北地區 2010 年 3 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



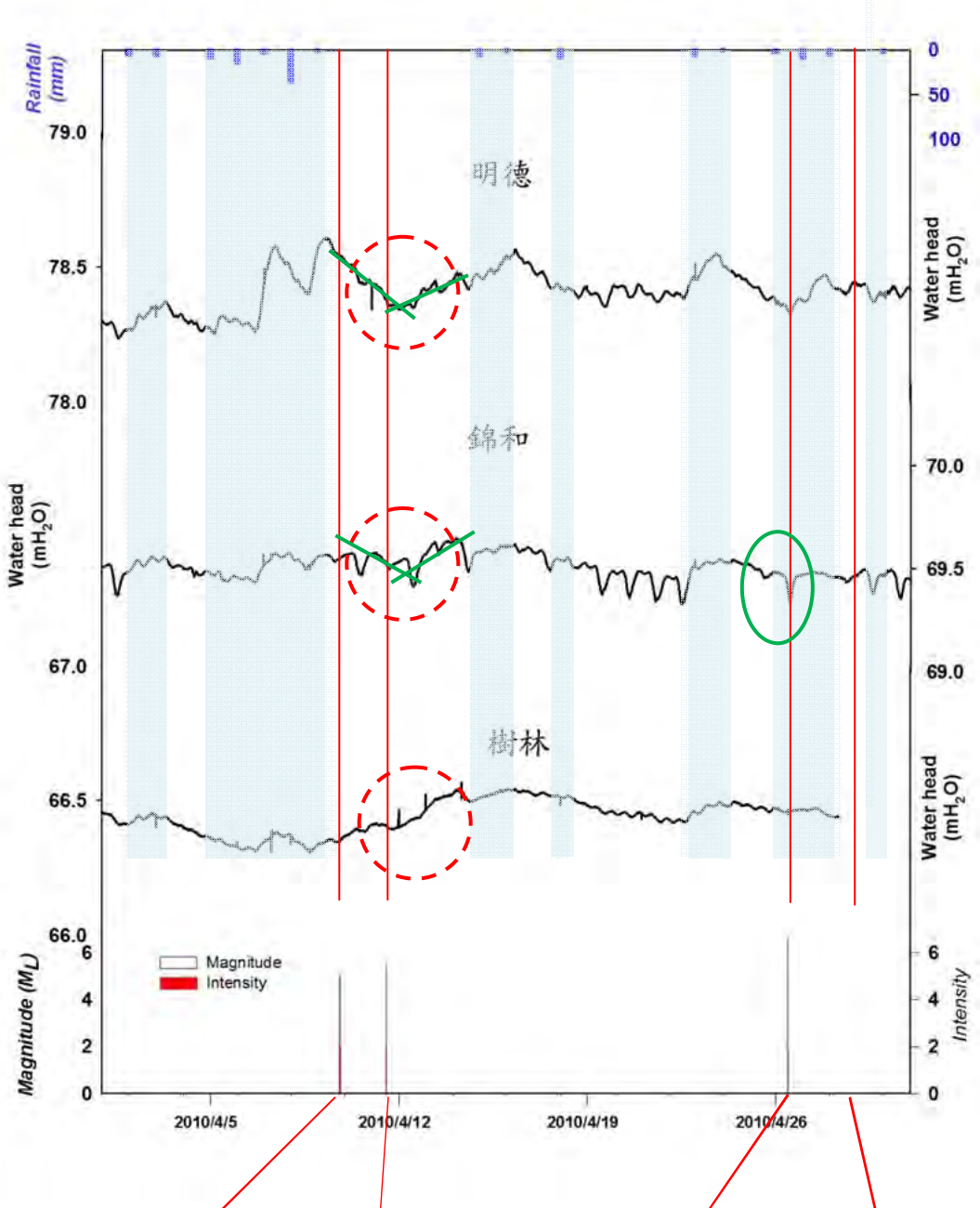
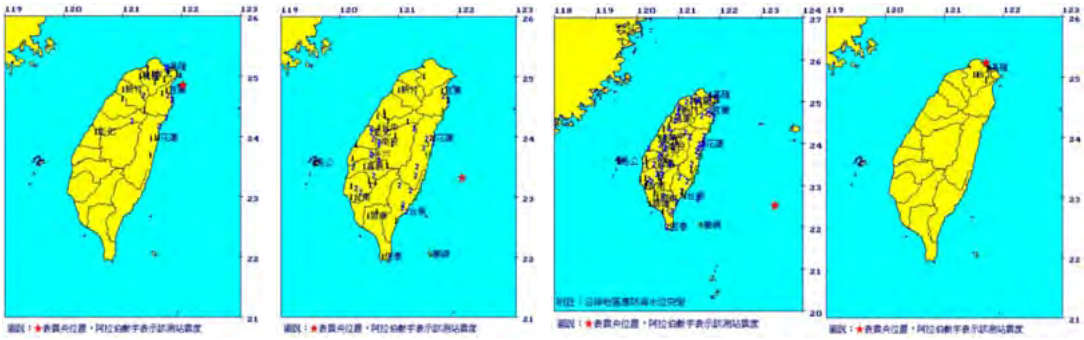


圖 6-8：台北地區 2010 年 4 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=5.0　　M_L=5.5　　M_L=6.6　　M_L=3.6

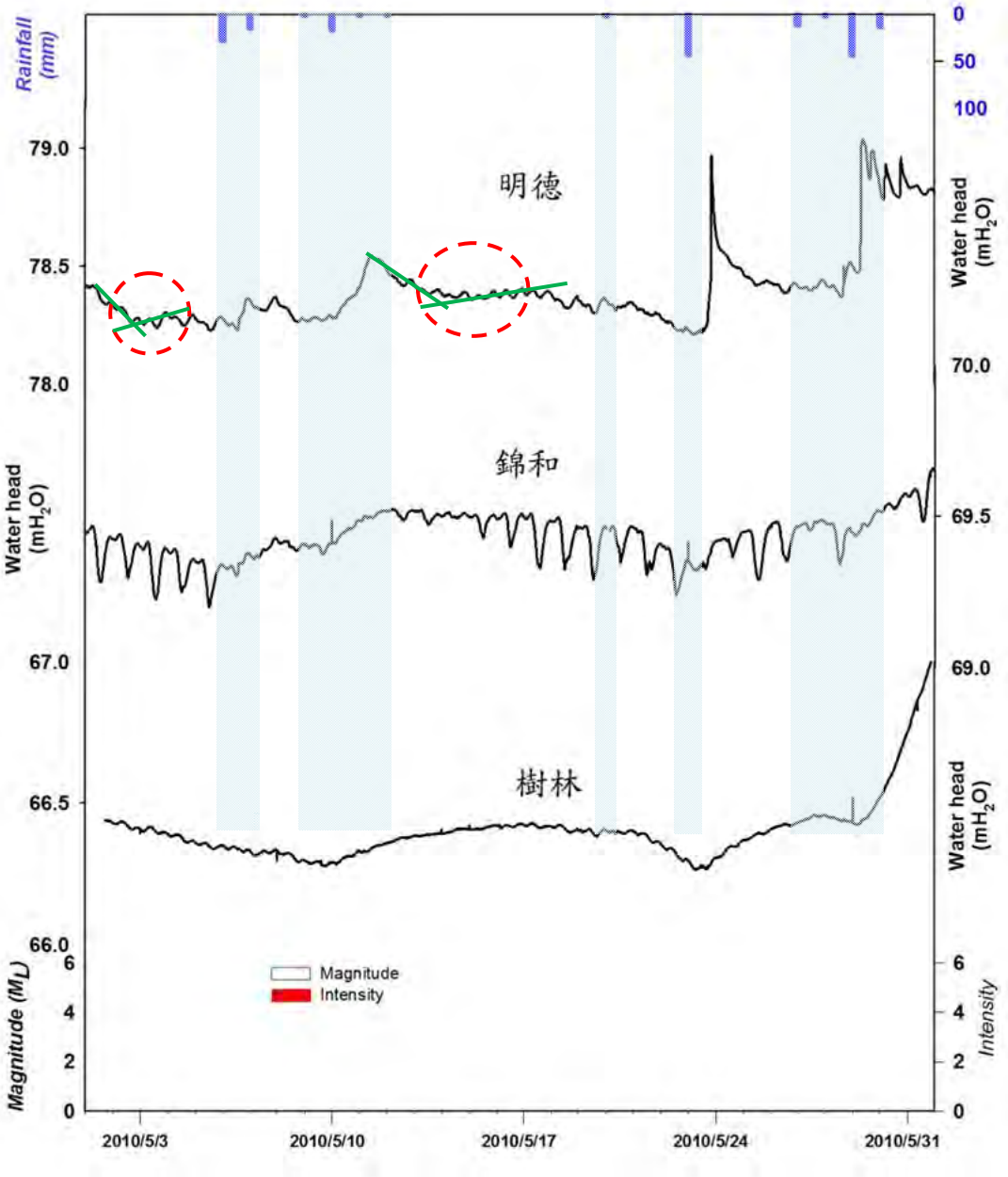


圖 6-9：台北地區 2010 年 5 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

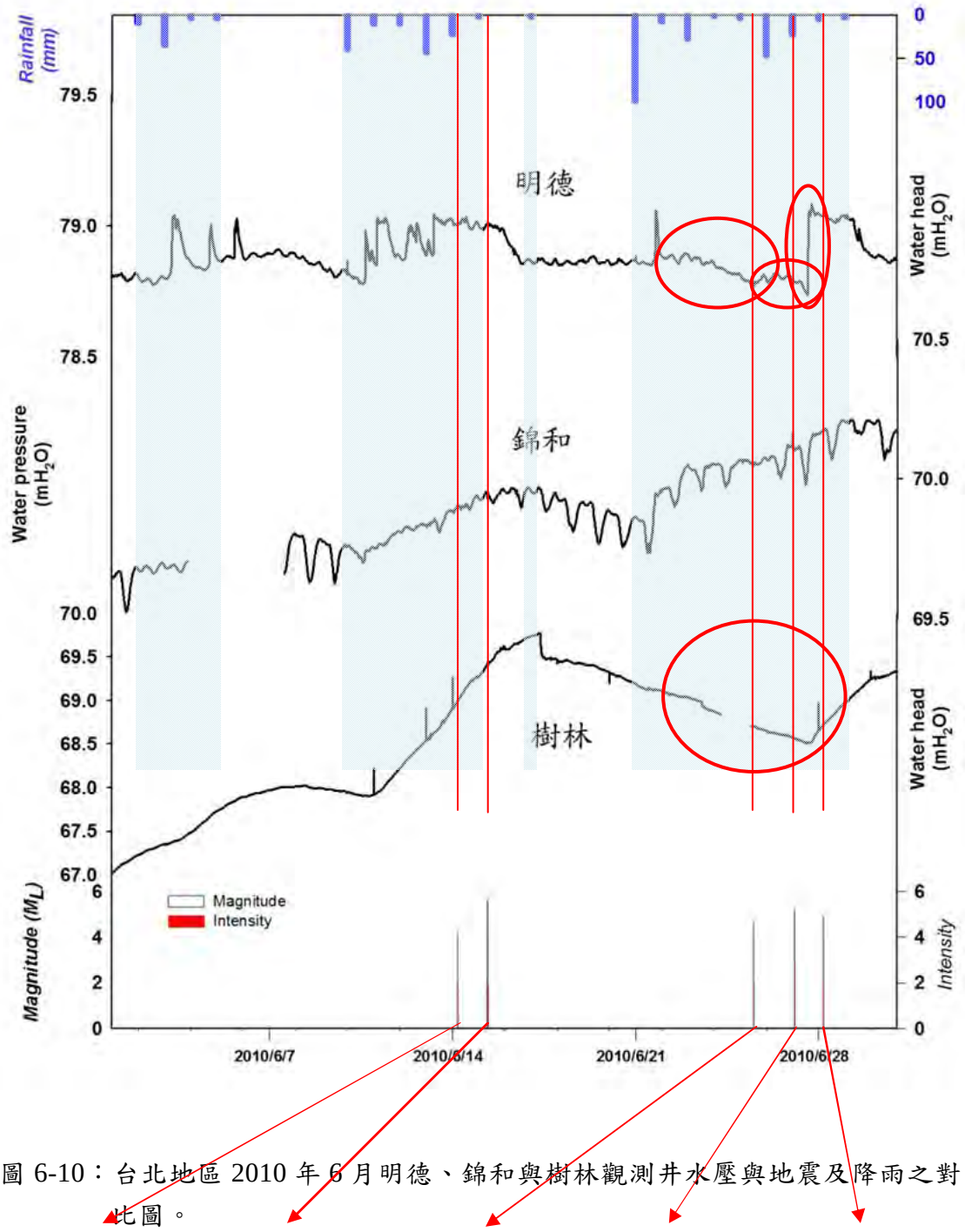
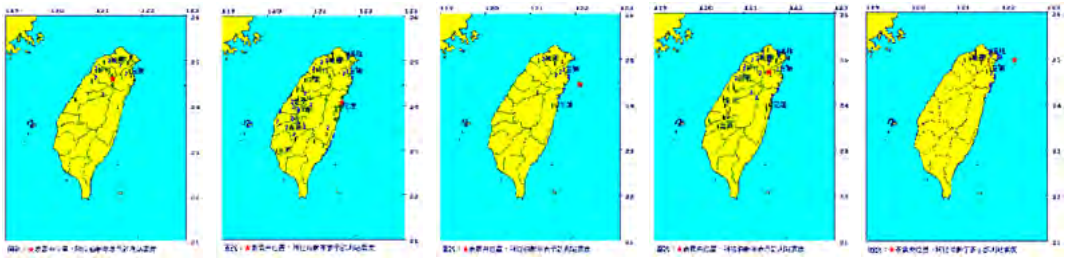


圖 6-10：台北地區 2010 年 6 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=4.2　　M_L=5.6　　M_L=4.7　　M_L=5.2　　M_L=5.1

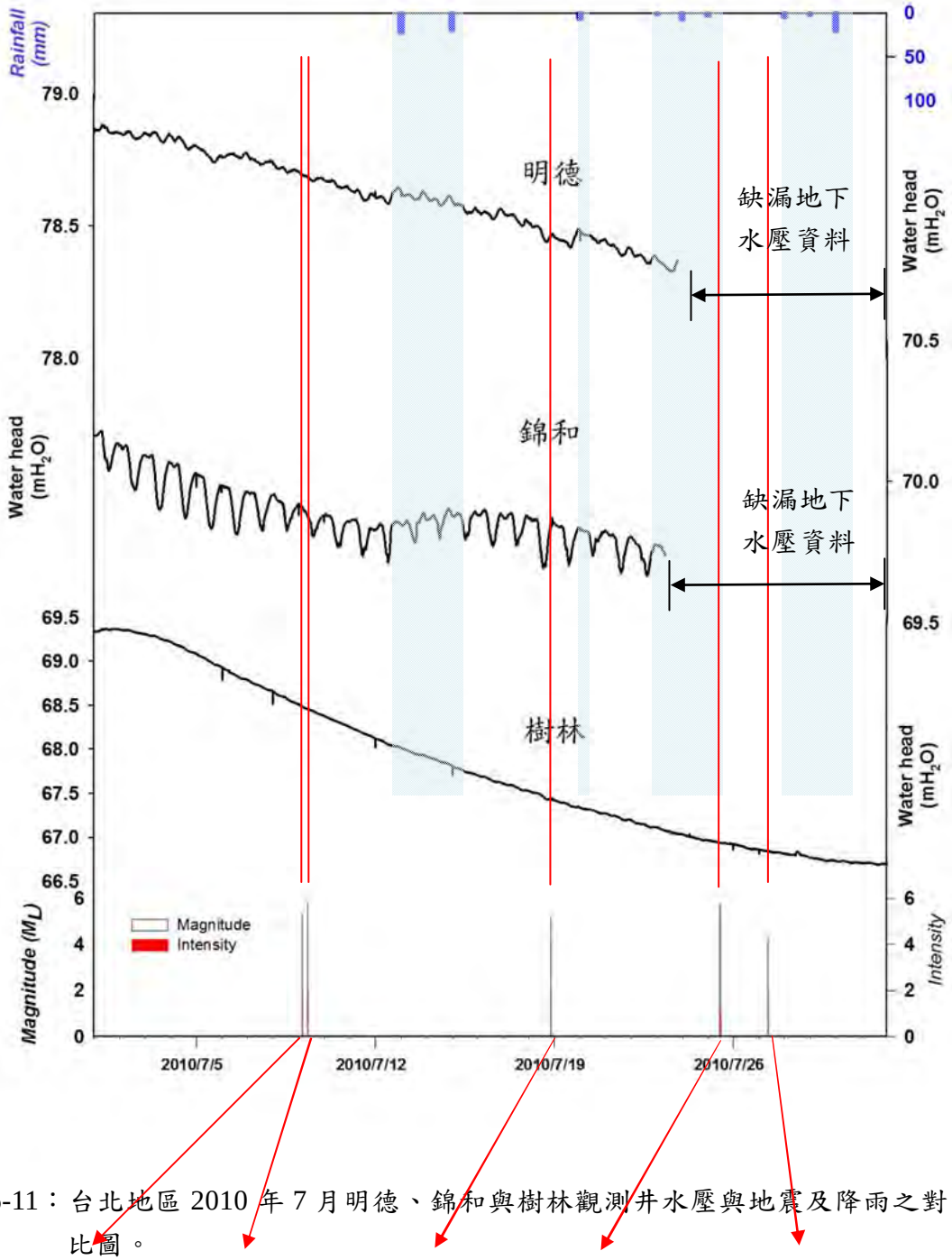
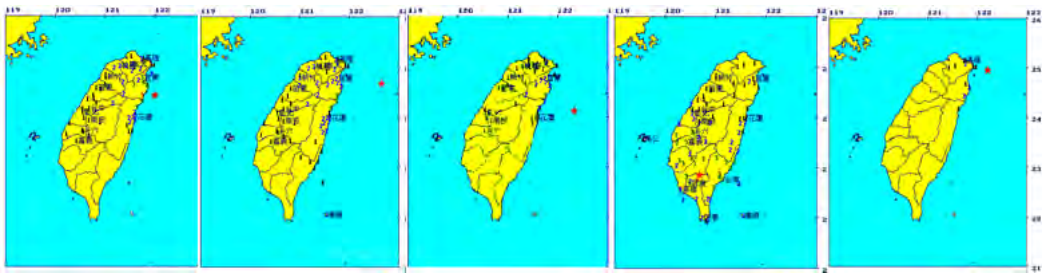


圖 6-11：台北地區 2010 年 7 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=5.4　　M_L=5.8　　M_L=5.3　　M_L=5.7　　M_L=4.3

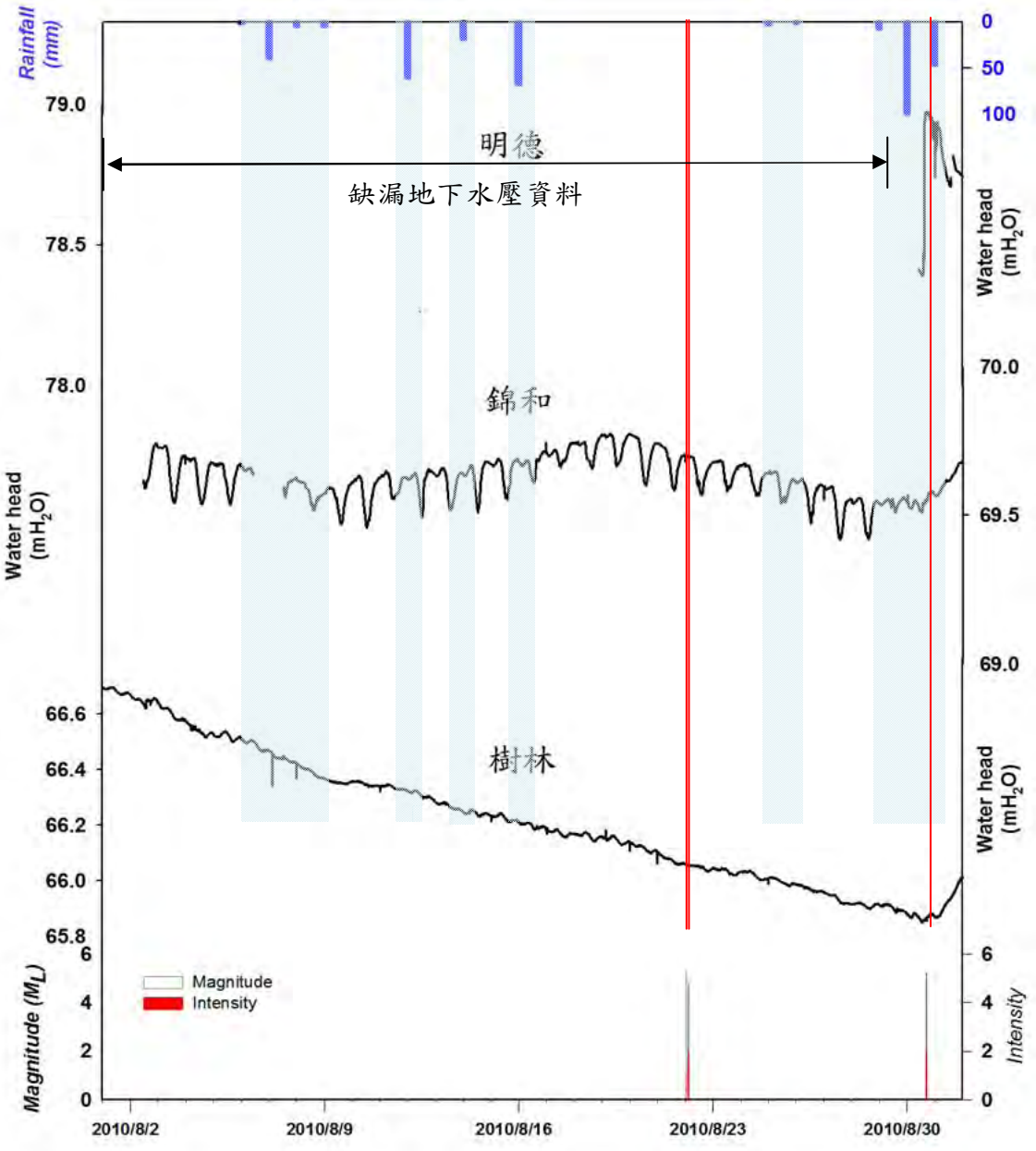
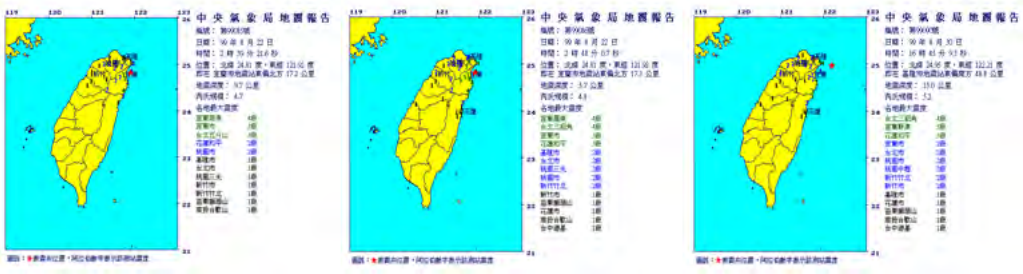


圖 6-12：台北地區 2010 年 8 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



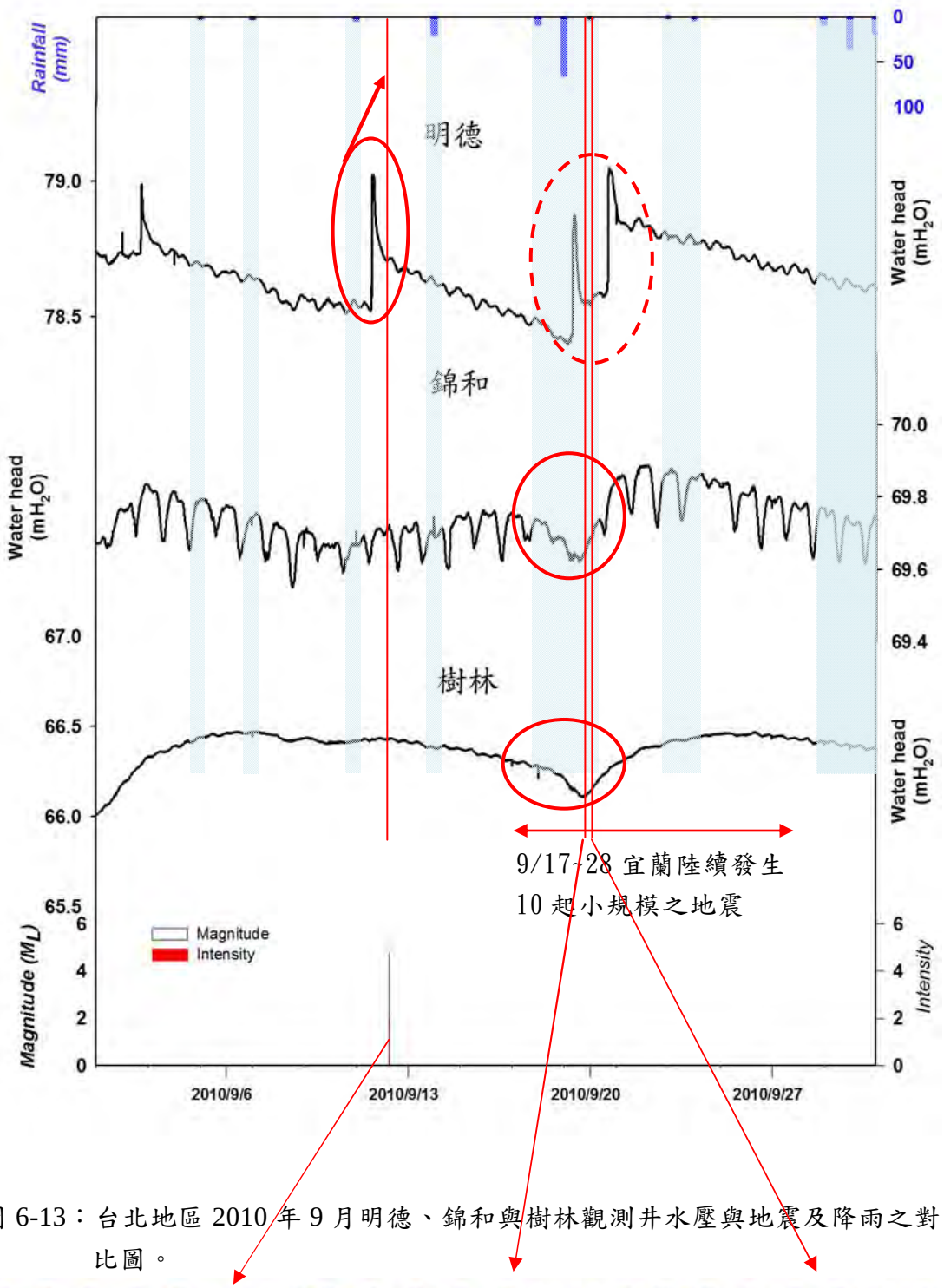
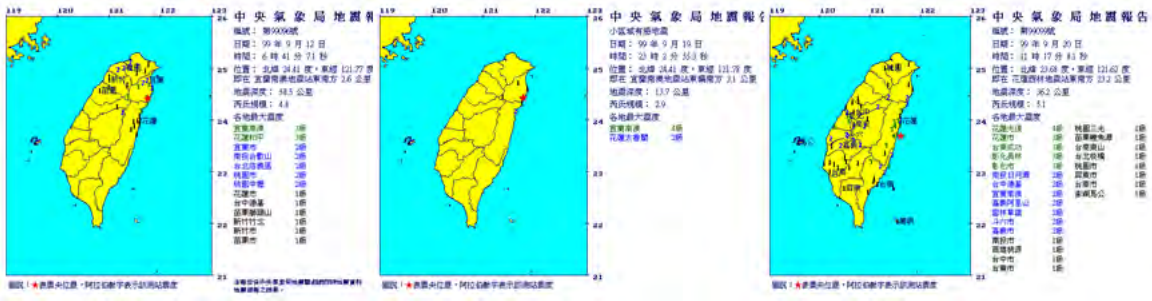


圖 6-13：台北地區 2010 年 9 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



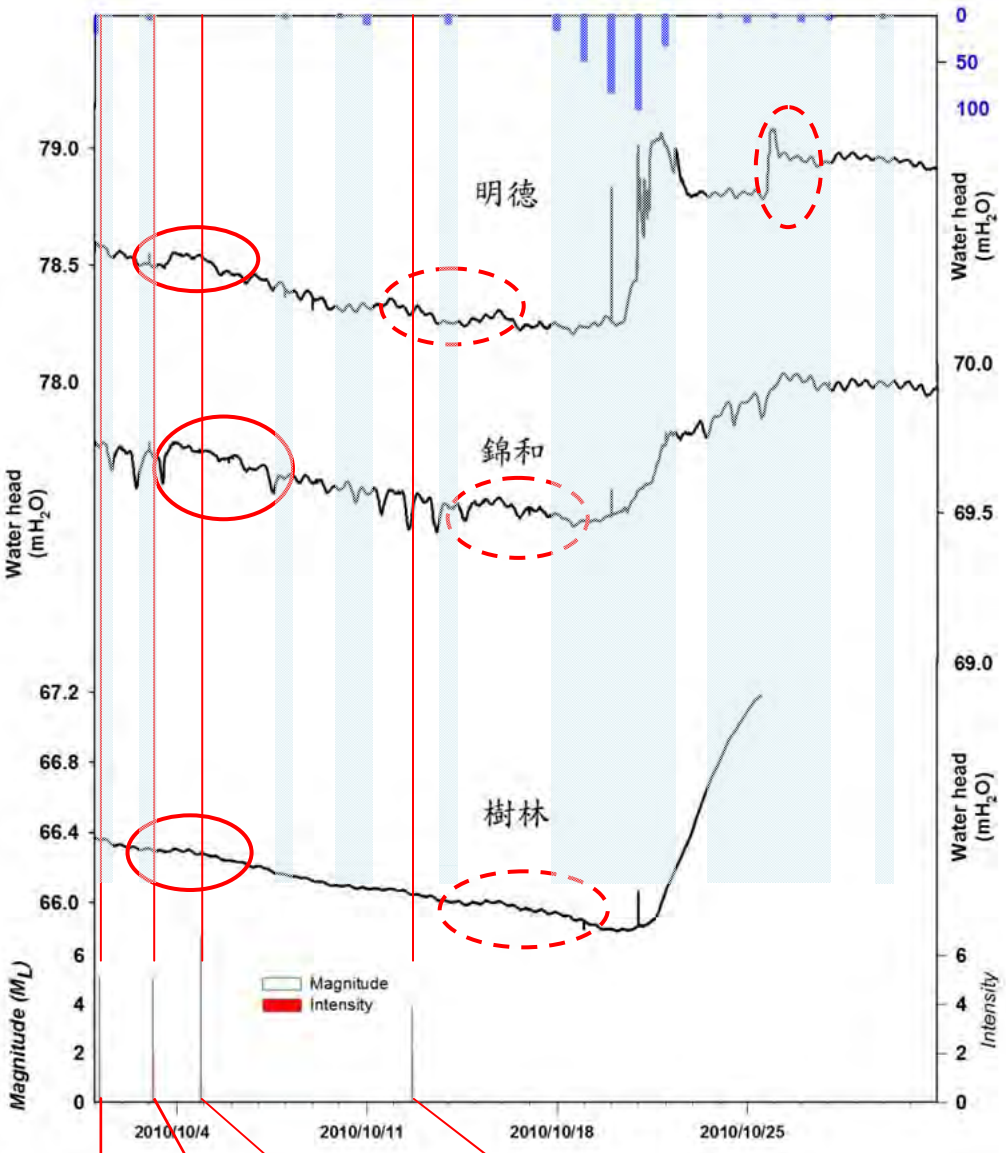
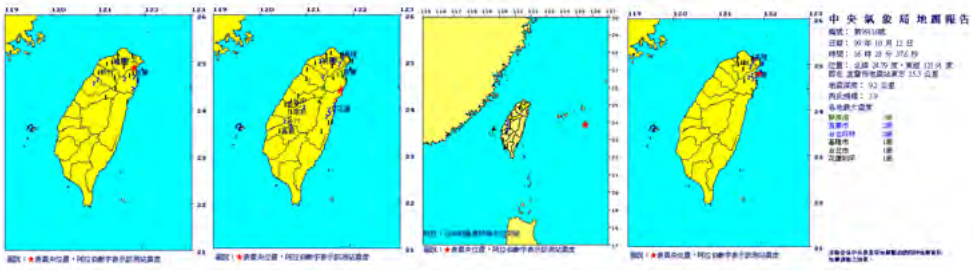


圖 6-14：台北地區 2010 年 10 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=5.1　　M_L=5.0　　M_L=6.8　　M_L=3.9

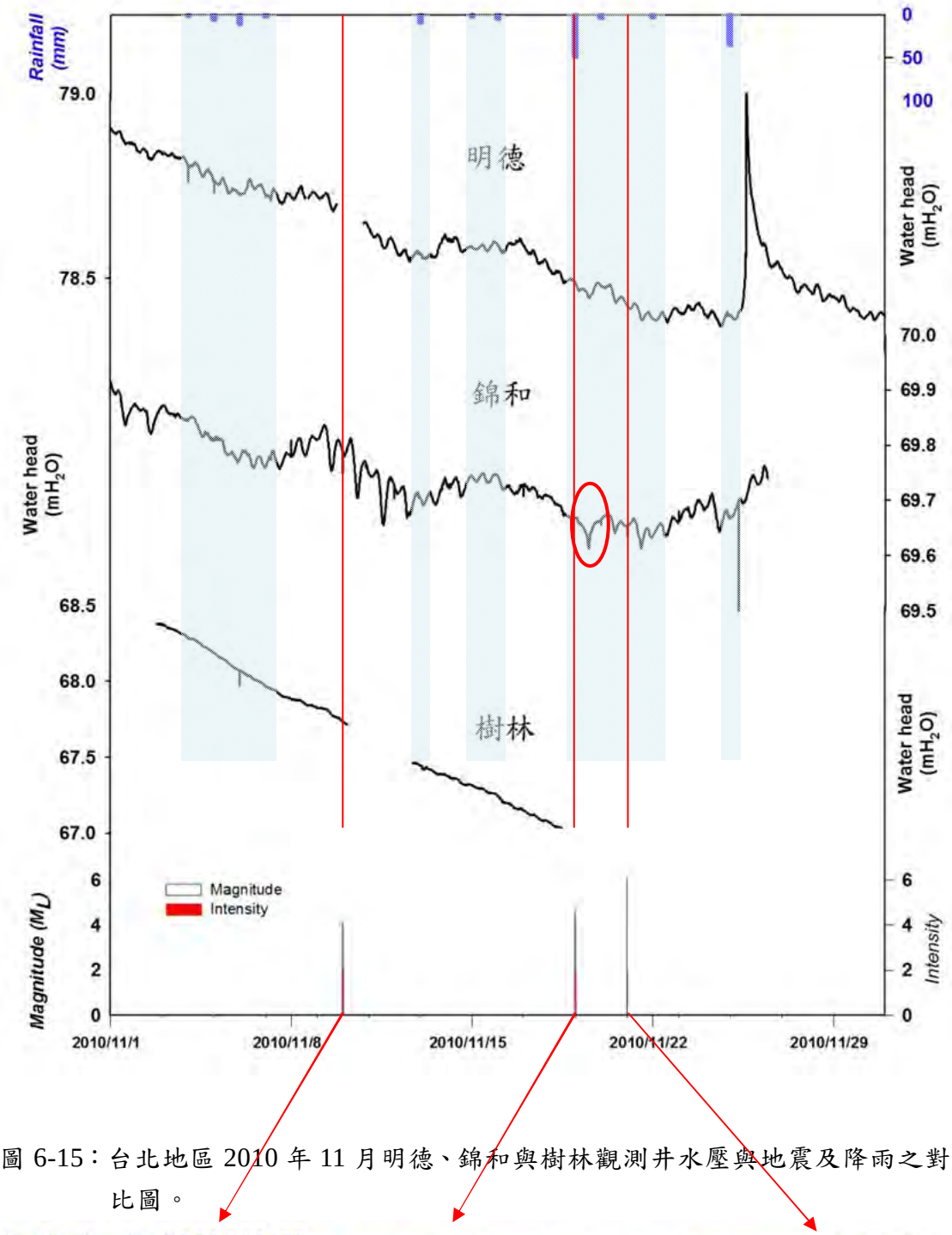
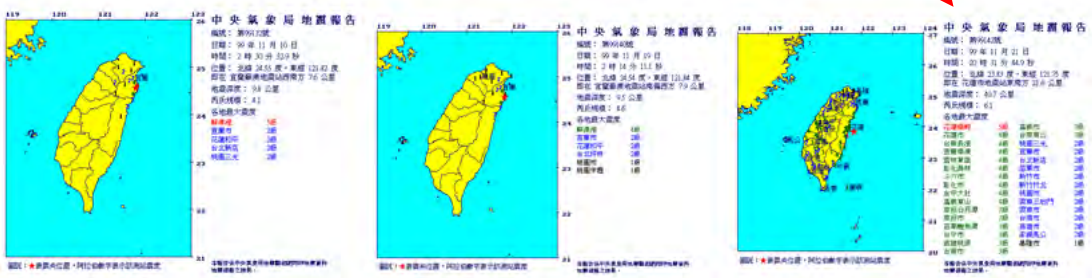


圖 6-15：台北地區 2010 年 11 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



6-2 新竹地區地下水壓觀測結果

2009年12月至2010年11月新竹地區新樂國小、梅花國小、瑞峰國小與雙溪國小觀測井之地下水壓資料，比對中央氣象局新竹站降雨量及觀測井附近震度2級或規模6以上之相關地震資料繪圖（圖6-16至圖6-30）。這段期間梅花、瑞峰以及雙溪的水壓資料部分缺漏，梅花站在2月以後才開始有數據；雙溪站在3月底觀測井發生故障，五月修復。資料顯示(圖6-16)，新竹地區的四個觀測站中水壓變化趨勢一致性較低，僅前半年新樂站與梅花站水壓趨勢較相近。各站地下水壓的觀測結果如下：

新樂站：此站出現多次同震反應，2009年12月19日（圖6-19）的地震規模6.8，此站出現水壓跳升約90公分的同震反應；而2010年3月4日的甲仙地震規模6.4，新樂站也出現水壓上升20公分的同震反應（圖6-22）；同年6月14日桃園發生一起規模4.2，新竹影響震度為2級的地震，新樂站出現水壓上升20公分之同震反應（圖6-25）。2010年1月25日地下水壓上升17公分，但在2月13日也發生類似情況，地下水壓上升38公分，兩者判斷可能單純為雨量影響（圖6-20、圖6-21）。2010年4月9日發生於宜蘭外海，規模5.0的地震，新樂站於數小時前出現水壓上升（圖6-23），推測是前兆反應。4月26日台東外海發生一起規模6.6的地震，震前一日新樂站於降雨期出現地下水壓反降，地震後回升，推測是前兆反應。2010年5月19日在非降雨期，卻出現地下水壓微升之異常變化（圖6-24），疑是震前反應。同年6月23日在非降雨期出現地下水壓上升9公分，而6月24日在降雨時期反降之異常變化，推測為6月27日之震前反應。6月28日也出現地下水壓下降10公分再上升30公分的異常現象（圖6-25）。7月6日新樂站在震前三天出現地下水壓緩升3公分，震後三天下降3公分之異常，推測為7月9日宜蘭外海規模5.8地震之前兆反應。其後在七月中旬也出現非降雨期地下水壓異常上升20公分（圖6-26），應為7月25日發生於高雄規模5.7地震前兆現象。8月16日出現地下水壓快速上升約122公分高（圖6-27），8月22日花蓮發生一起規模5.3，新竹震度2之地震；同日宜蘭近海也發生規模4.8，新竹震度2之地震。除此數次異常外，新樂大致的水壓走勢隨降雨而升降。11月21日花蓮近海發生一起規模6.1，新竹震度2級地震，新樂站發生水壓上升23公分之同震反應，但在震前2小時前也出現水壓下降6公分之前兆反應（圖6-30）。

梅花站：在2010年2月開始接收到梅花站的資料以來，其地下水壓與雨量以及地震目前沒有觀察到明顯相對應的關係。

瑞峰站：2009年12月前期瑞峰站水壓較不穩定，在2010年1月後趨於平穩，2010年1月23日（圖6-20）水壓突然在一天內下降10公尺，此一類似的巨幅水壓下降同見於2010年4月19日，水壓下降18公尺（圖6-23），於該二次驟降現象其

後數天（分別是4天與7天），分別於桃園和台東外海發生地震（規模各為4.0和6.6）。但這兩起地震幾乎沒有相同點，故推論這水壓驟降應與地震無關；在2010年3月期間（圖6-22），瑞峰站連續出現了五次疑似震前的異常水壓升降，持續觀察之後，發現瑞峰站約3天即出現一次類似的地下水壓躍動，因此排除為前兆反應。2010年5月10日之水壓異常升降，但又同時受降雨影響，無法確定是否與5月15日震央於新竹地區的地震有關（圖6-24）。同年6月27日瑞峰地下水壓異常下降，並在28日與新樂站地下水壓出現同步異常上升現象，可能是受到6月28日基隆外海發生一起規模4.9，新竹震度1級之地震同震影響（圖6-25）。7月7日起出現地下水壓異常緩升約70公分，7月16日開始回降，此次升降現象為期約18天，其後7月25日高雄旗山發生一起規模5.7之淺源地震，推測為前兆反應（圖6-26）。8月14日出現地下水壓異常上升約55公分（圖6-27），之後，8月22日花蓮發生一起規模5.3，新竹震度2之地震；同日宜蘭近海也發生規模4.8，新竹震度2之地震。

雙溪站：在12月19日地震震前2日到震後2日期間（圖6-19），地潮反應變化幅度減小，之後雙溪站也有在地震期間出現類似的反應，但均伴隨降雨干擾，唯有在12月19日這次地震前後四天是沒有降雨的狀況下發生的。2月24日與3月7日發生不明原因的水位躍動，目前不知是否與地震前兆有關（圖6-24、圖6-22）。三月下旬後，因雙溪站觀測設備的損壞而無法取得正確資料。於2010年4月23日安排洗井，並於2010年5月12日重新安裝水壓計，目前地下水壓仍處穩定回復的過程中。

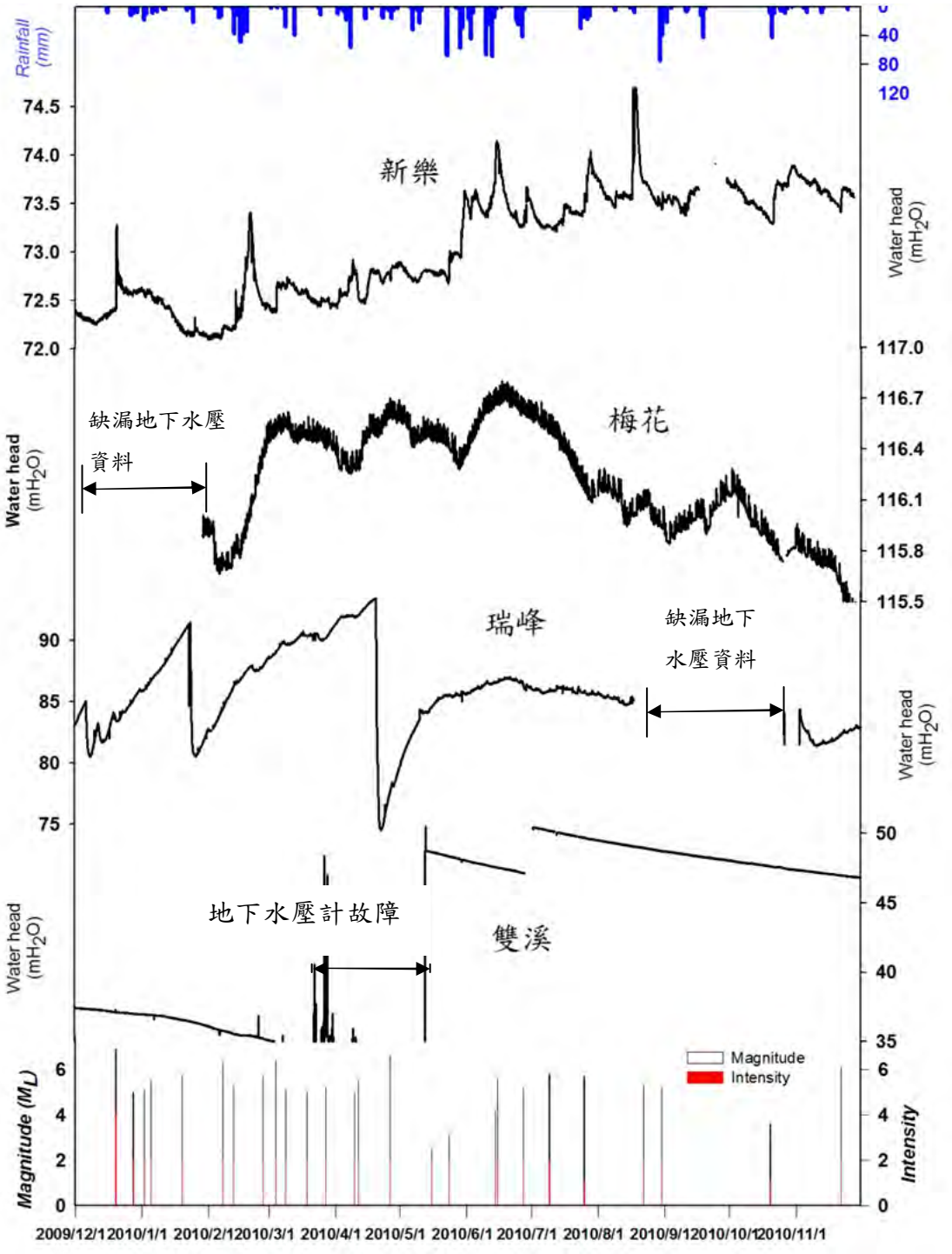


圖 6-16：新竹地區 2009 年 12 月至 2010 年 11 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。圖中紅線為地震活動對比之標示。

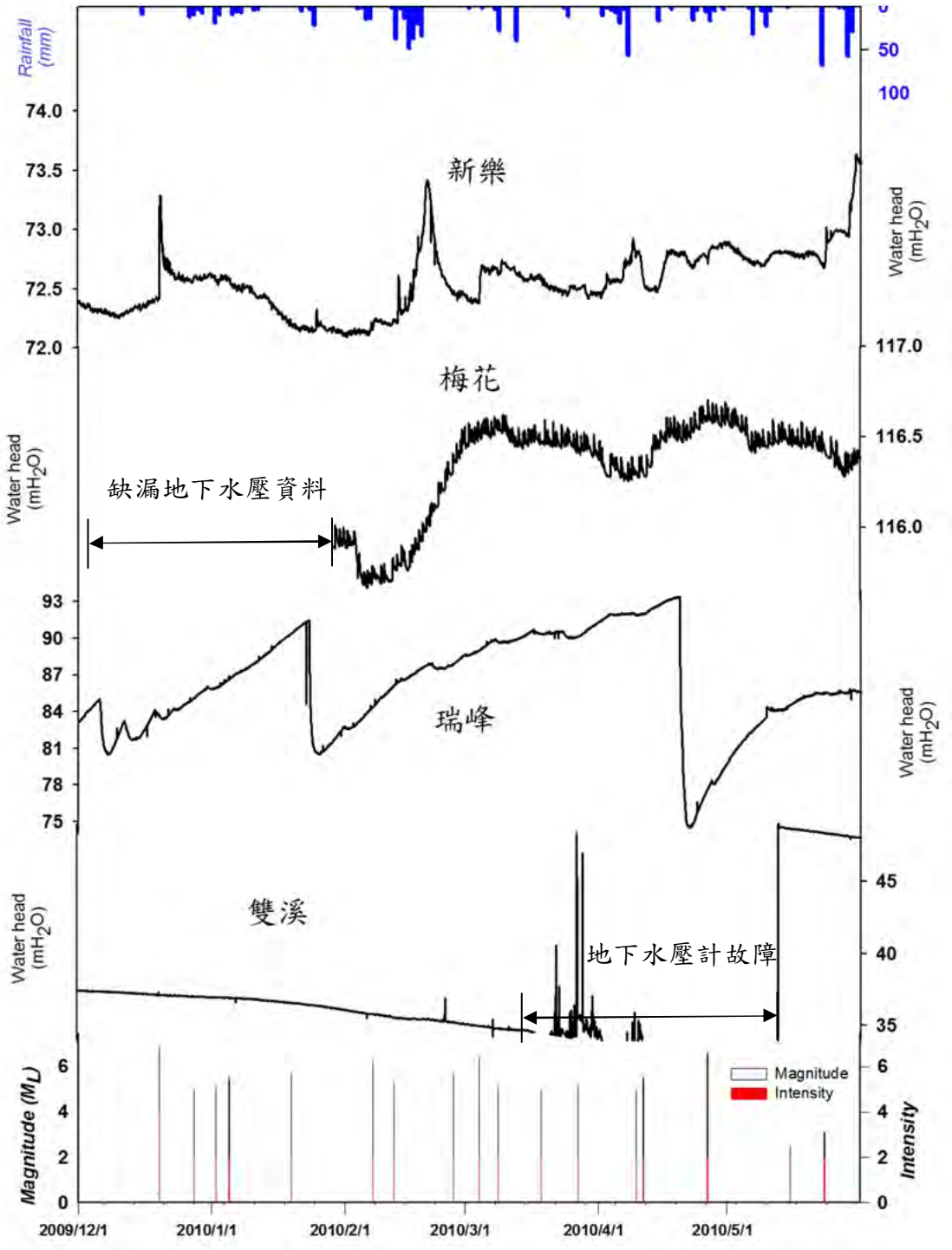


圖 6-17：新竹地區 2009 年 12 月至 2010 年 5 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

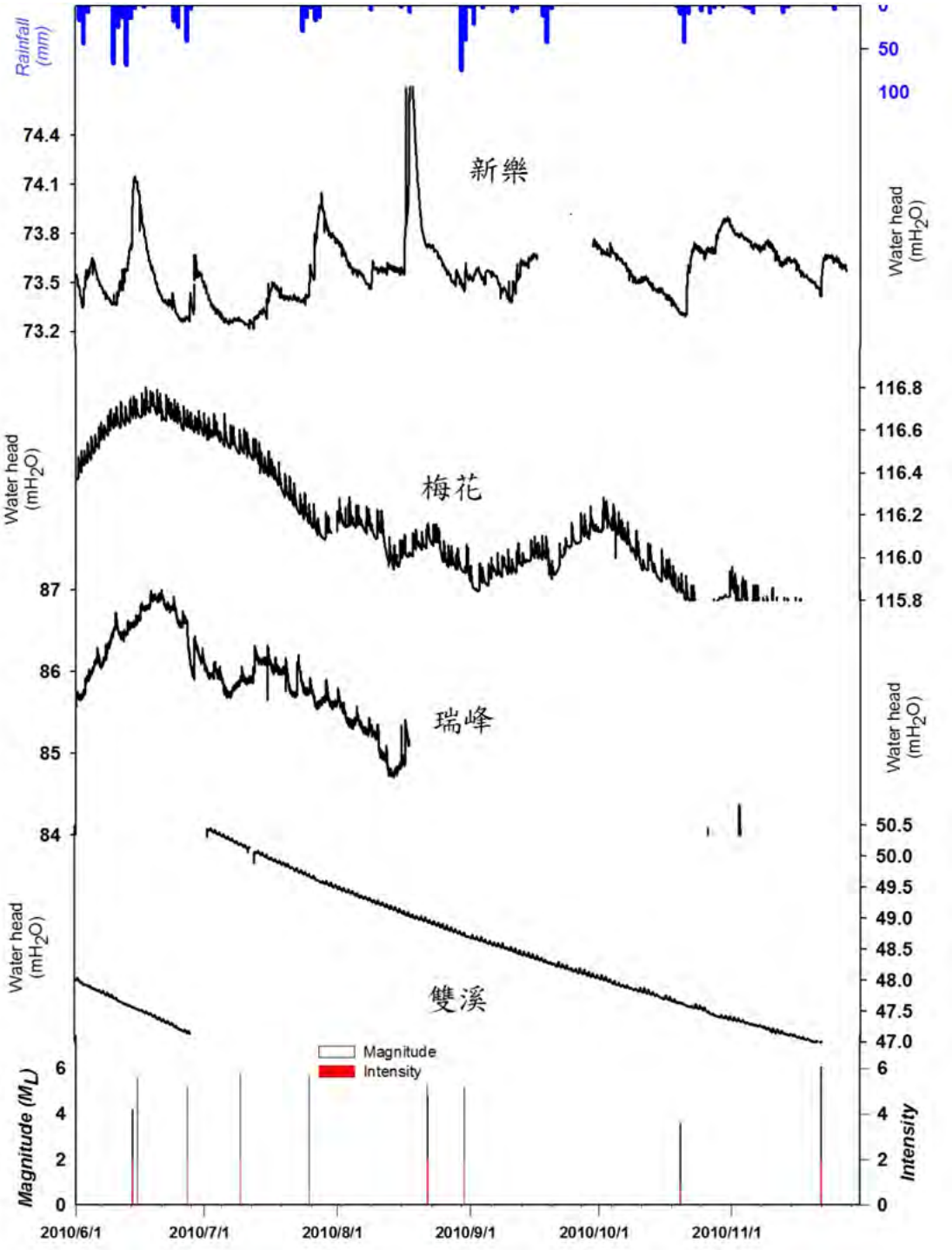


圖 6-18：新竹地區 2010 年 6 月至 2010 年 11 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

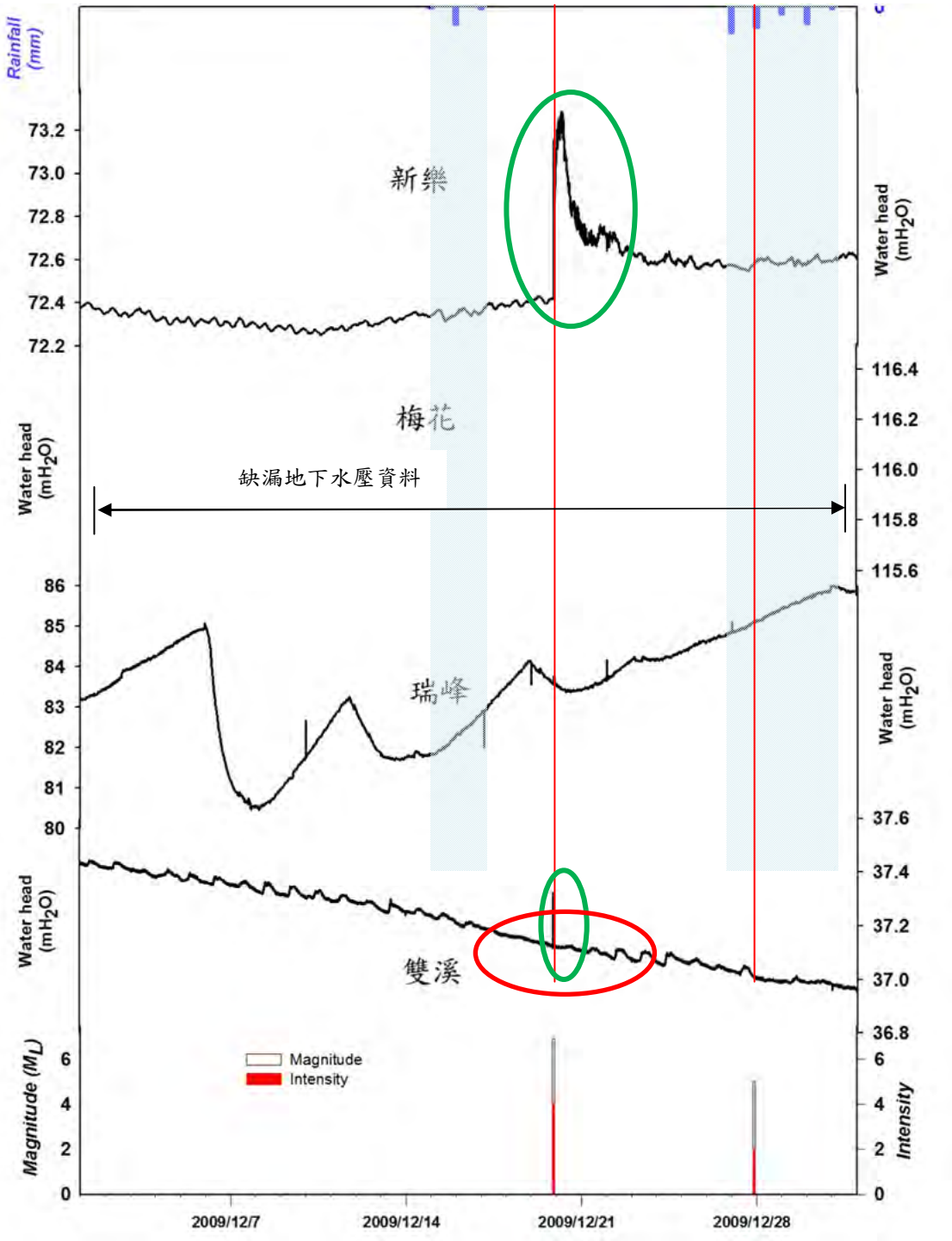
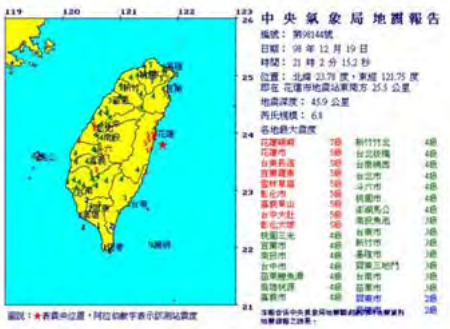
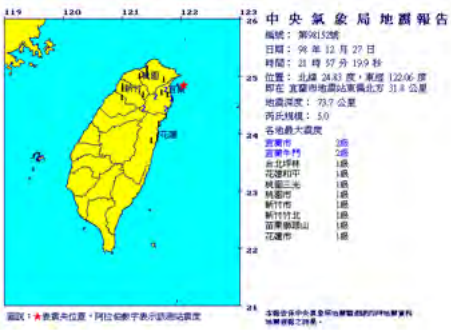


圖 6-19：新竹地區 2009 年 12 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。





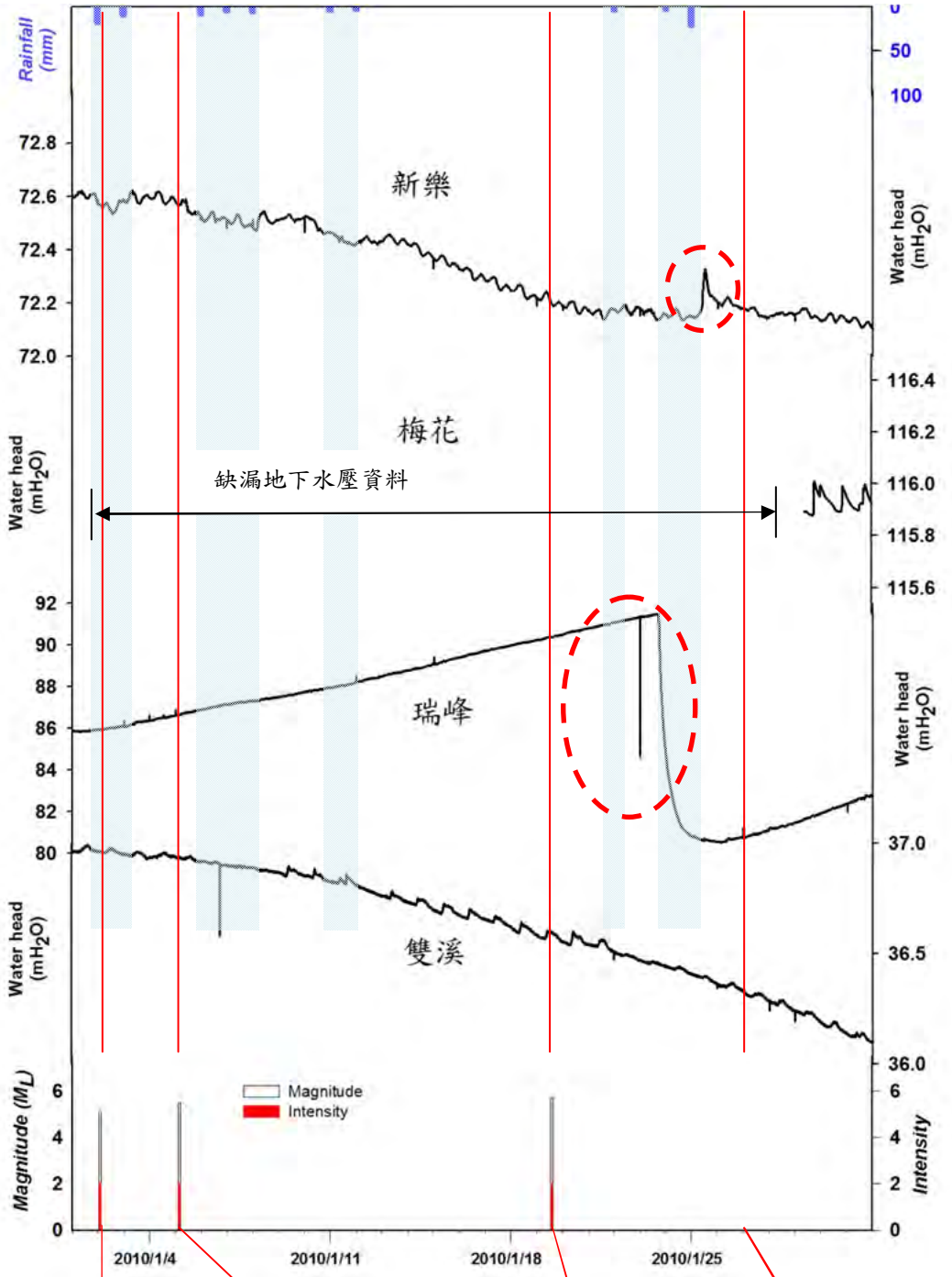
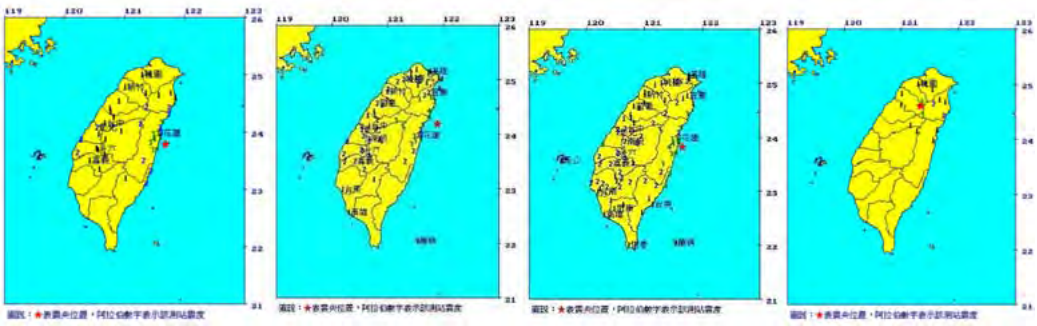


圖 6-20：新竹地區 2010 年 1 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=5.1　　M_L=5.5　　M_L=5.6　　M_L=4.0

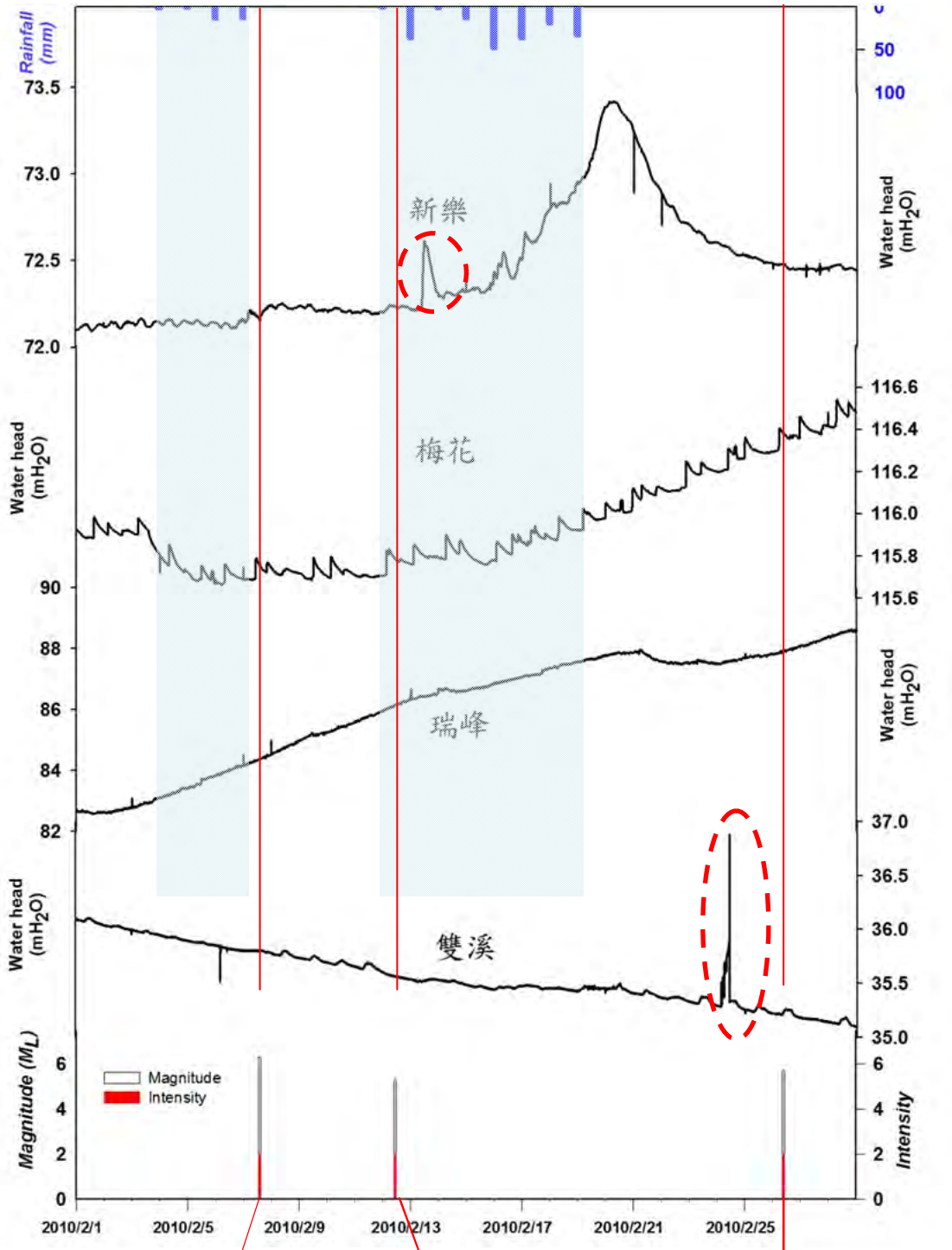


圖 6-21：新竹地區 2010 年 2 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



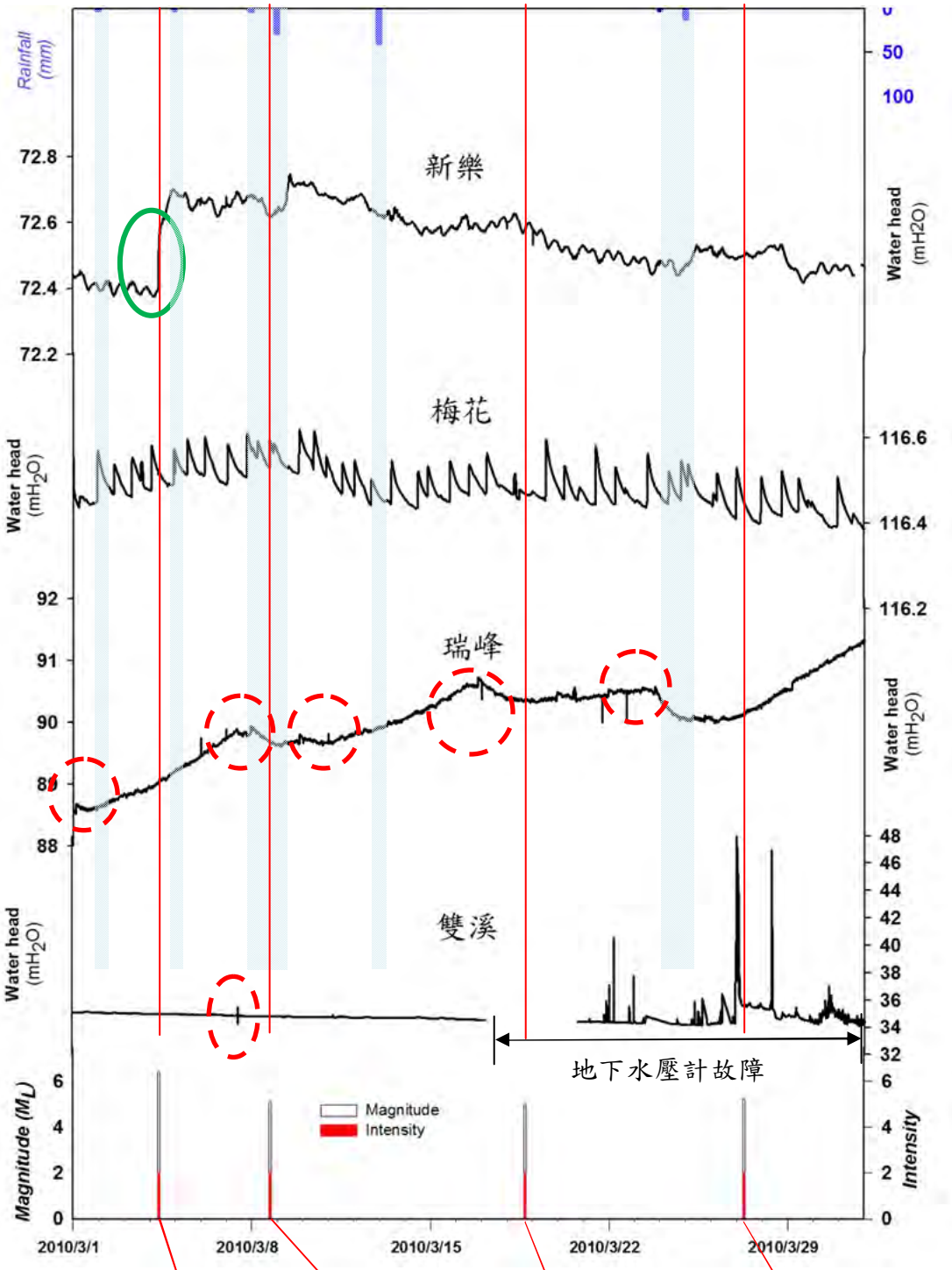
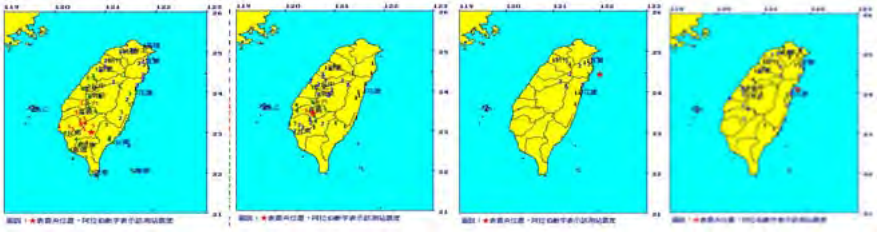


圖 6-22：新竹地區 2010 年 3 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=6.4　　M_L=5.1　　M_L=5.0　　M_L=5.2

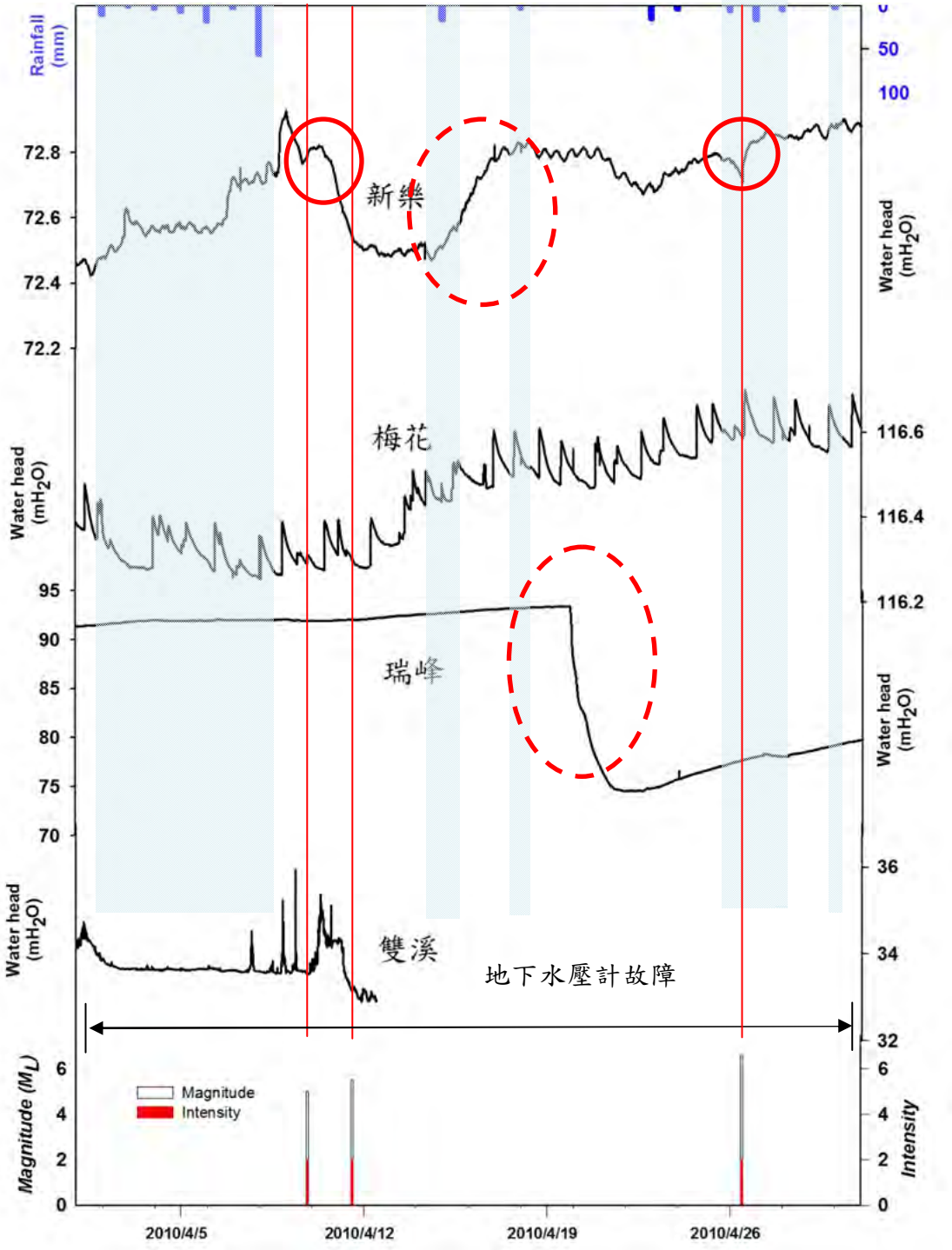
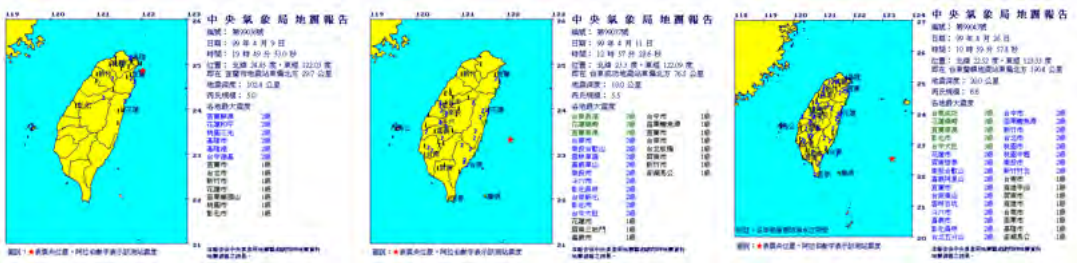


圖 6-23：新竹地區 2010 年 4 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



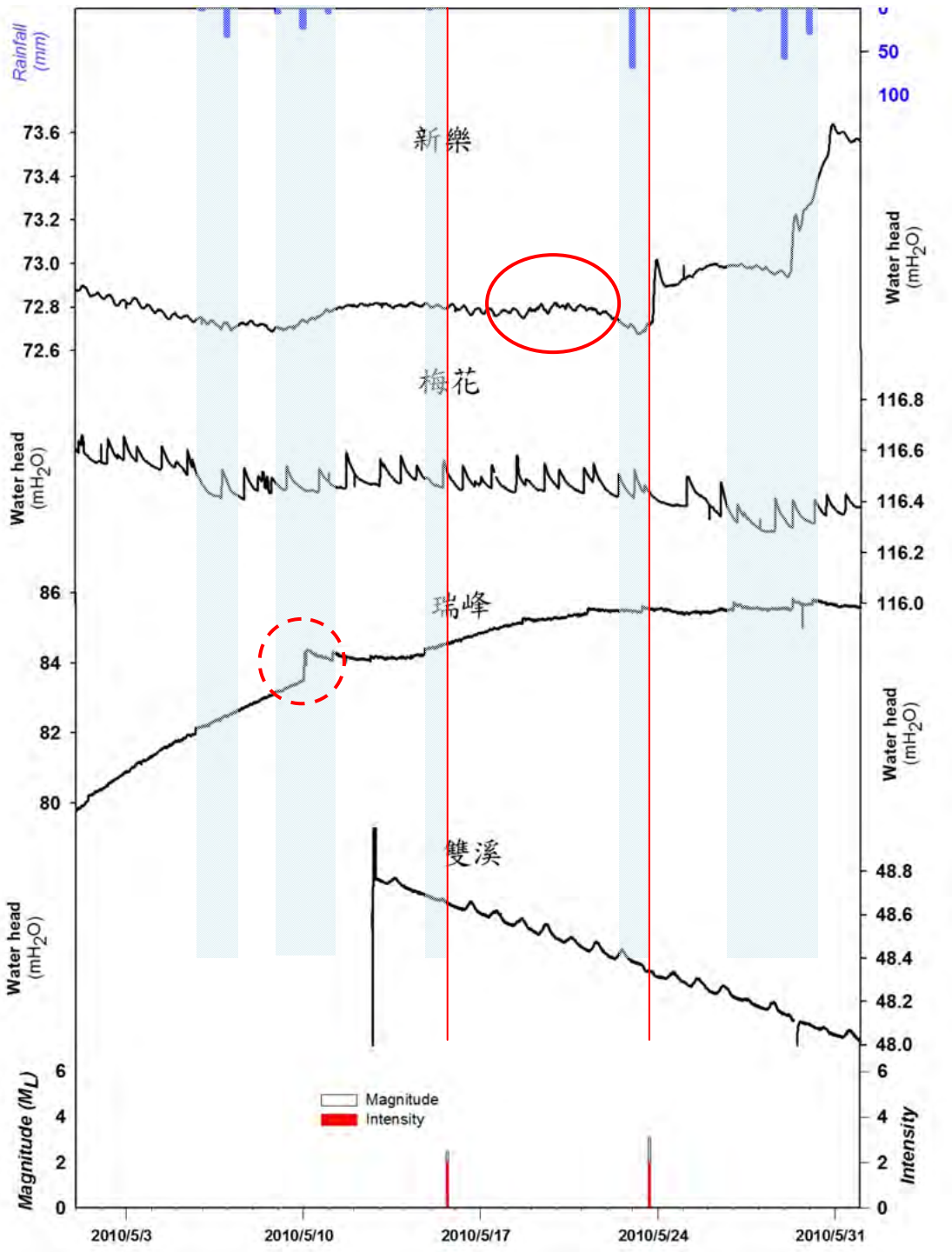


圖 6-24：新竹地區 2010 年 5 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



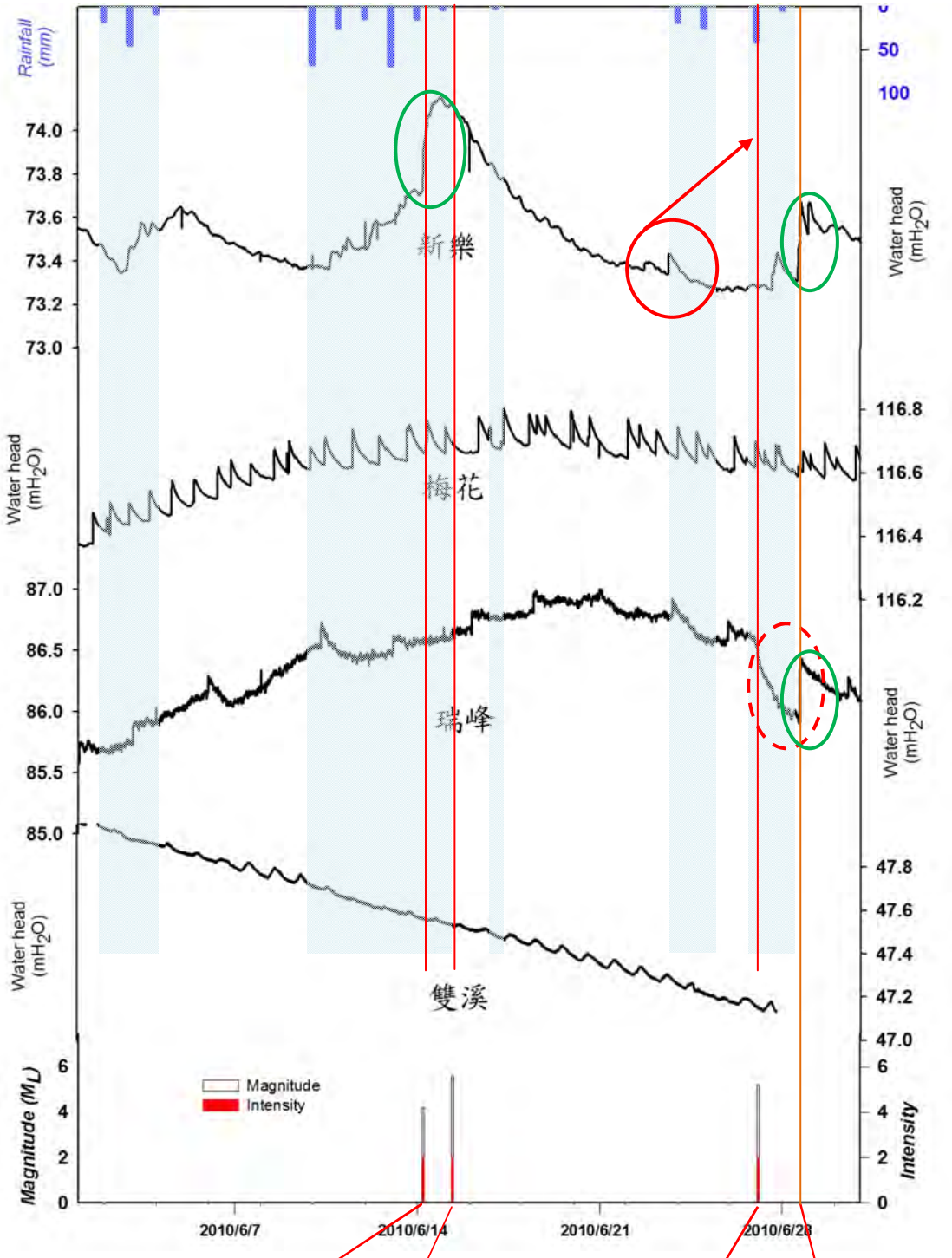
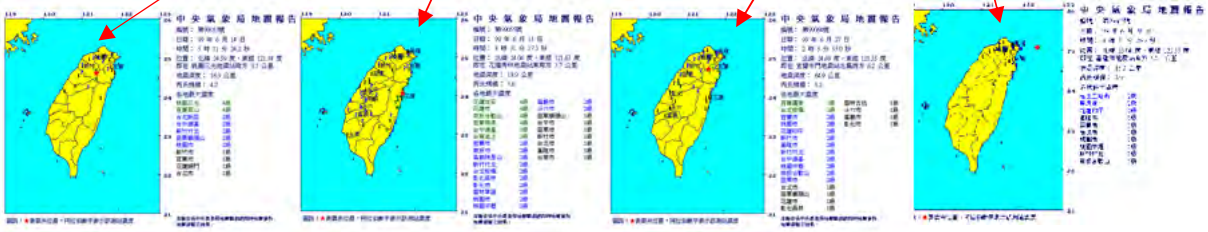


圖 6-25：新竹地區 2010 年 6 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨中和之對比圖。



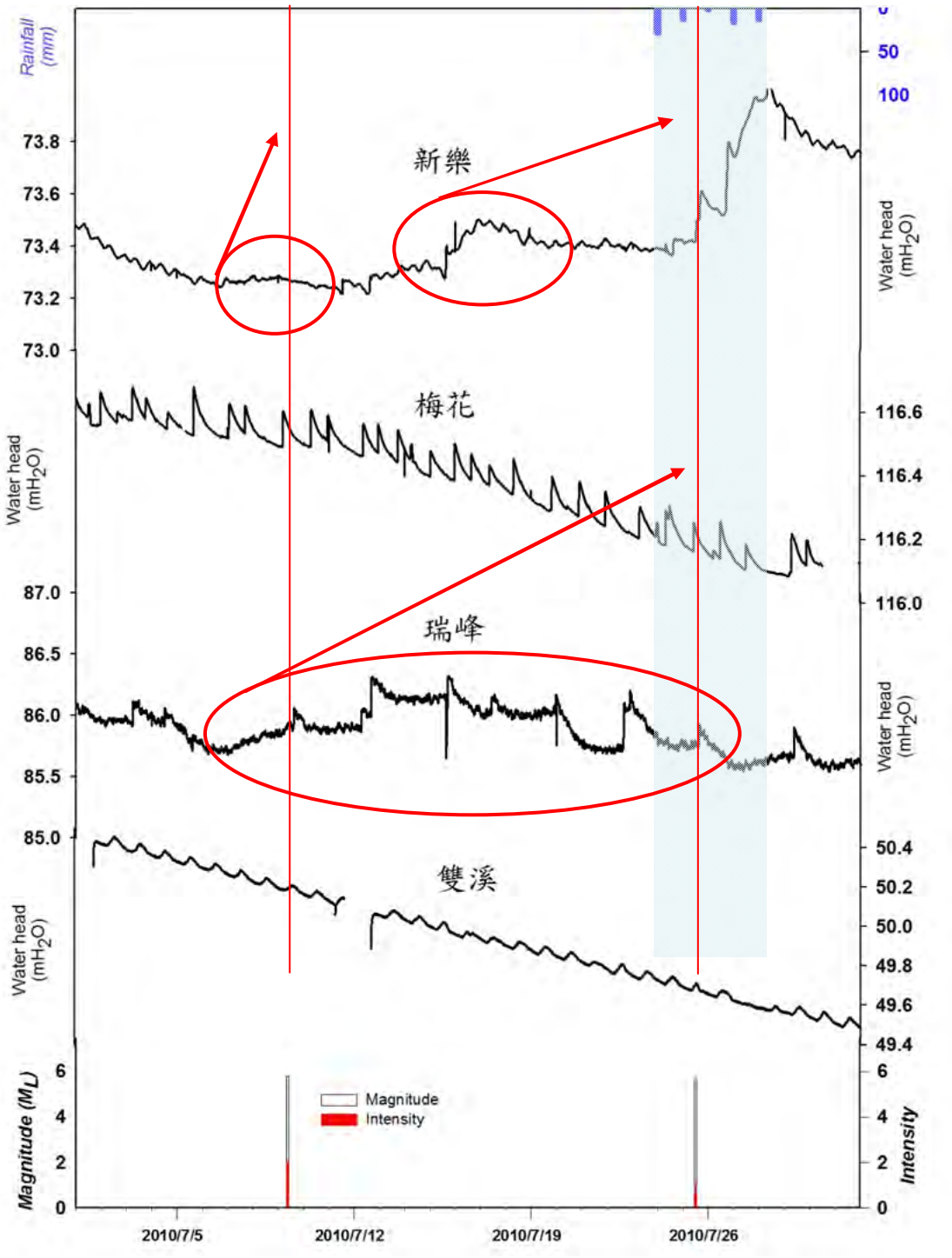
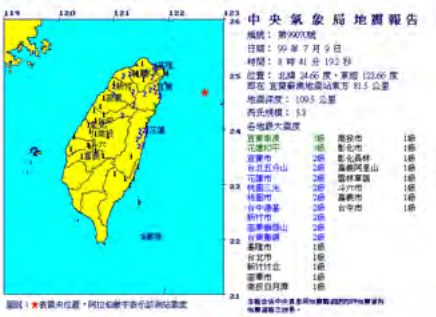
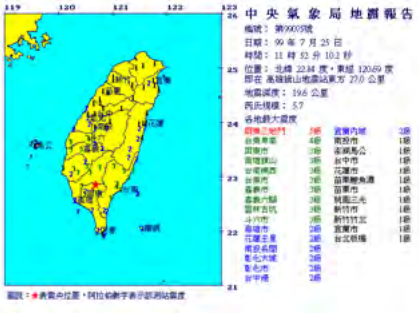


圖 6-26：新竹地區 2010 年 7 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨中和之對比圖。





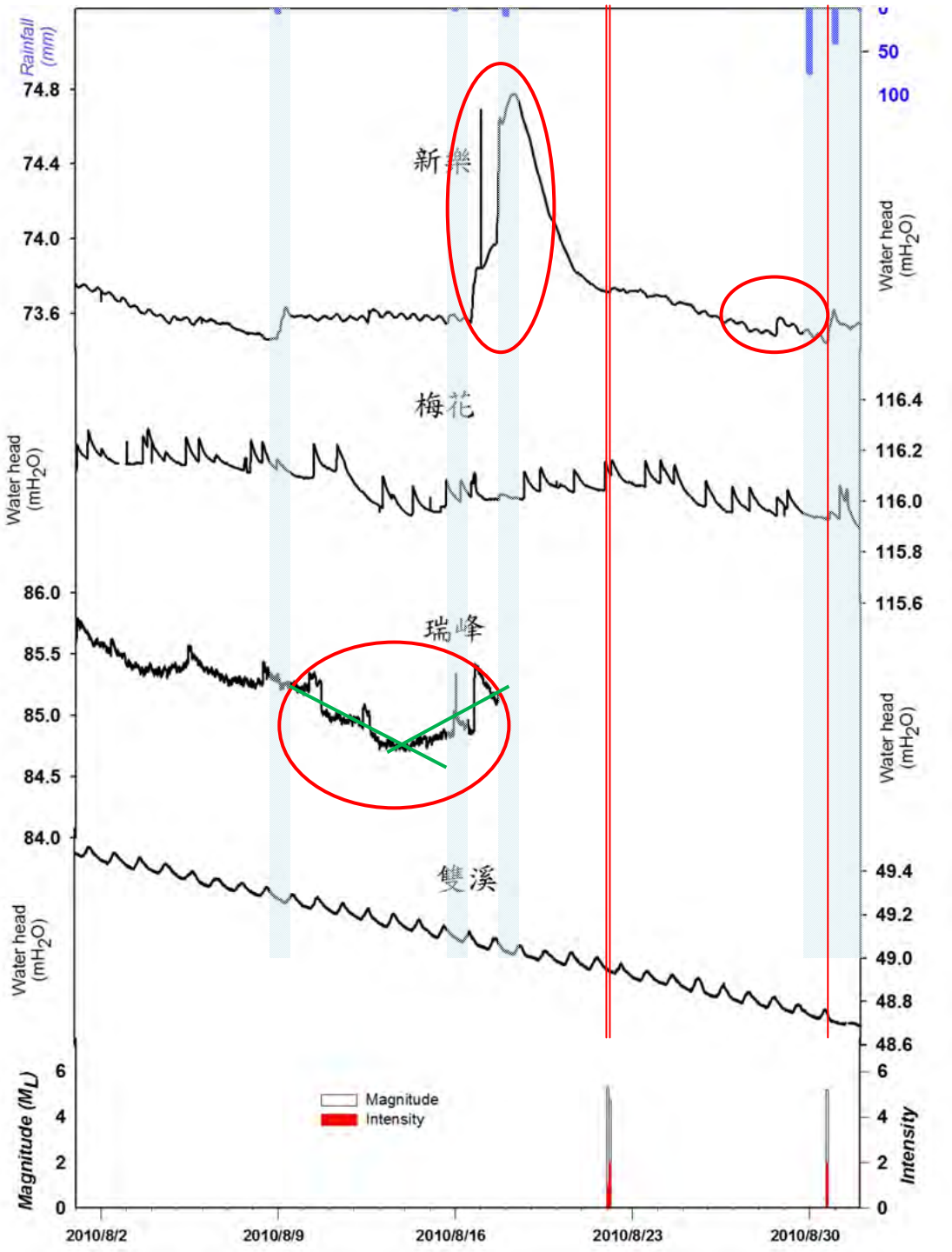
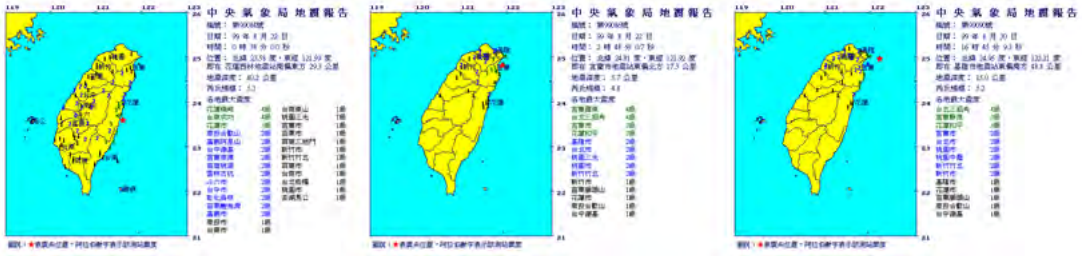


圖 6-27：新竹地區 2010 年 8 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



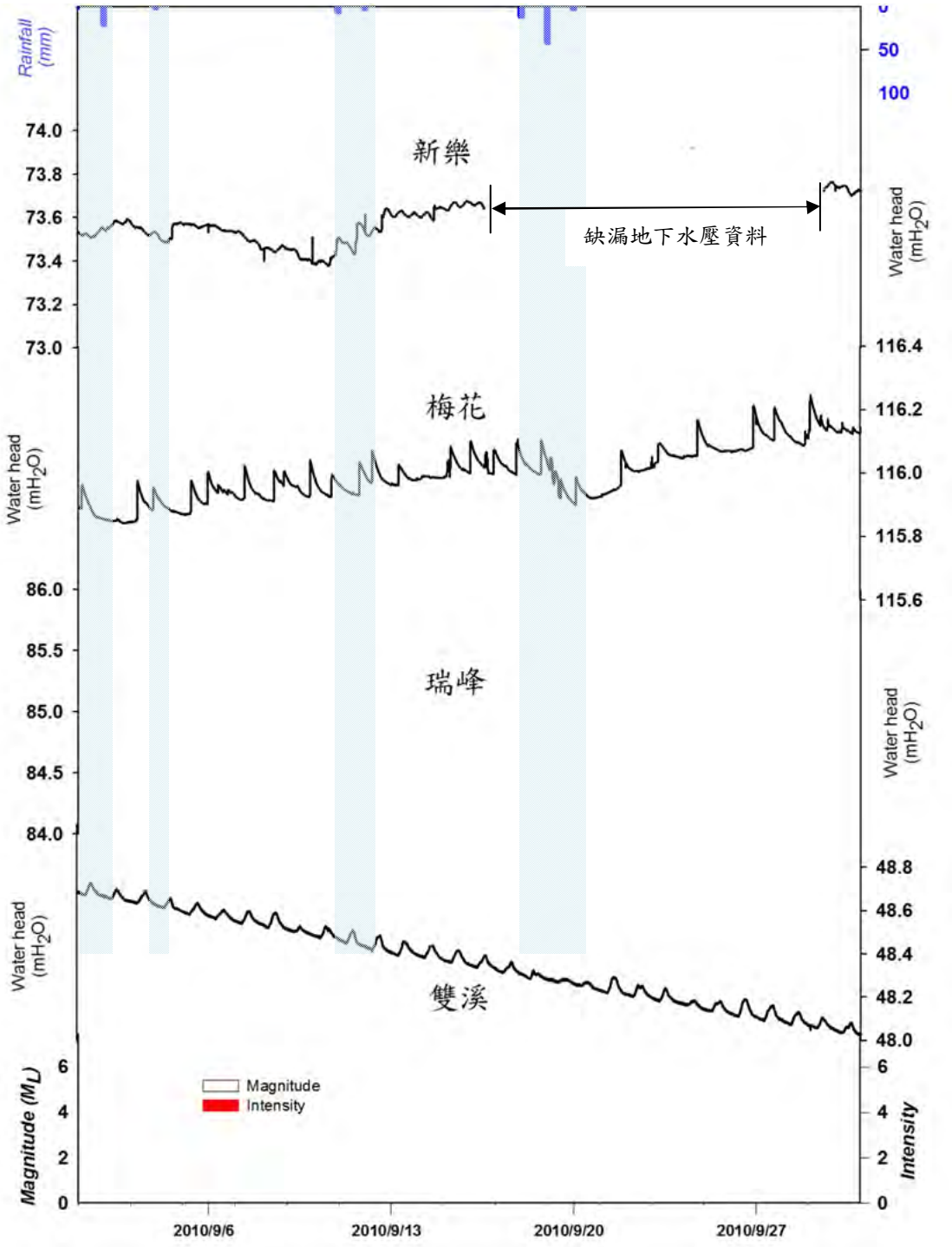


圖 6-28：新竹地區 2010 年 9 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

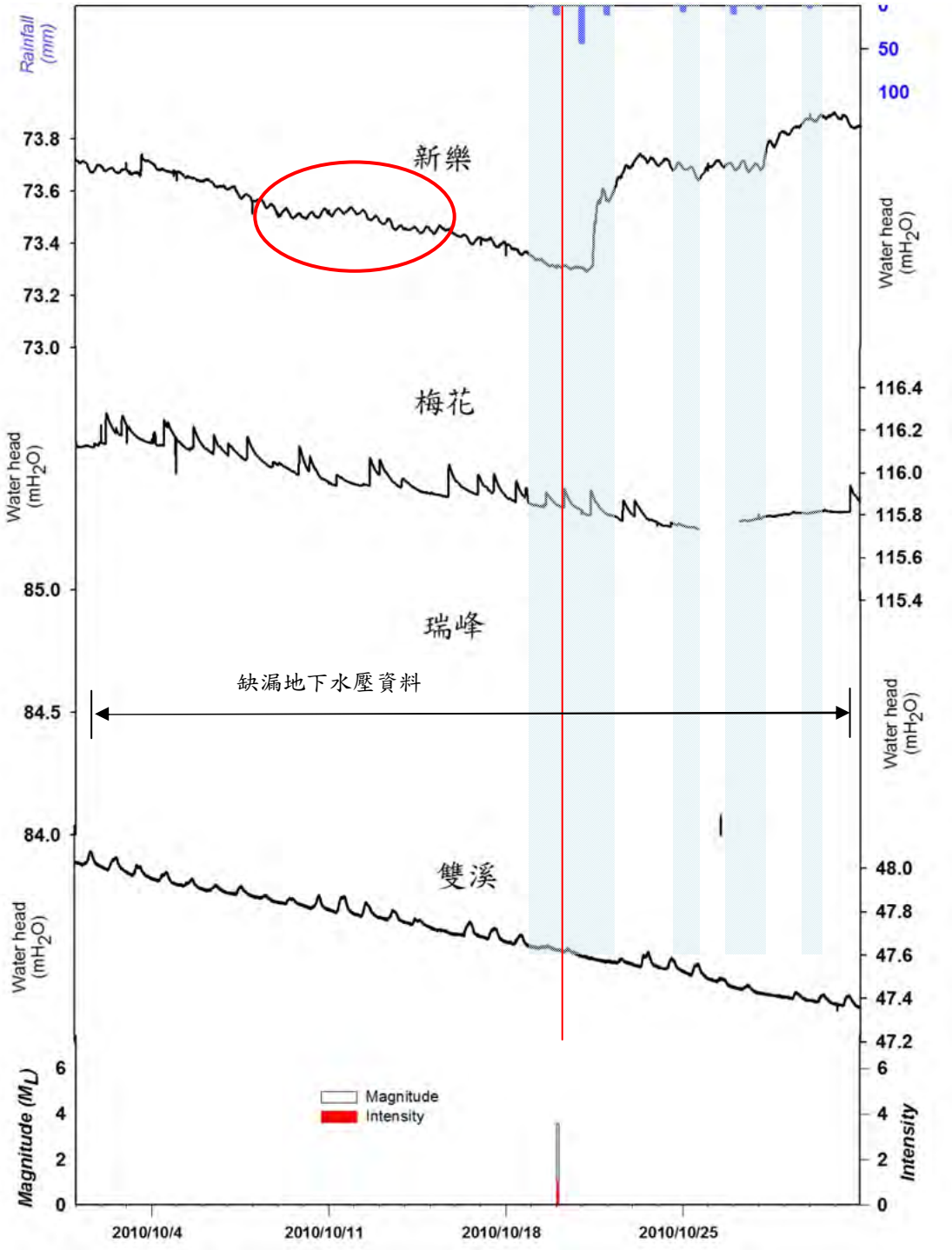
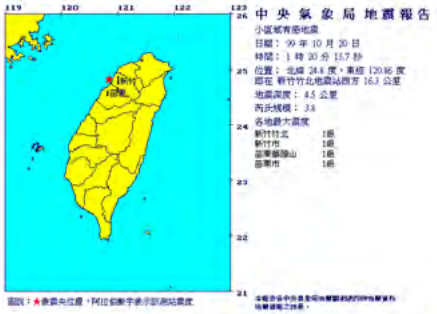


圖 6-29：新竹地區 2010 年 10 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



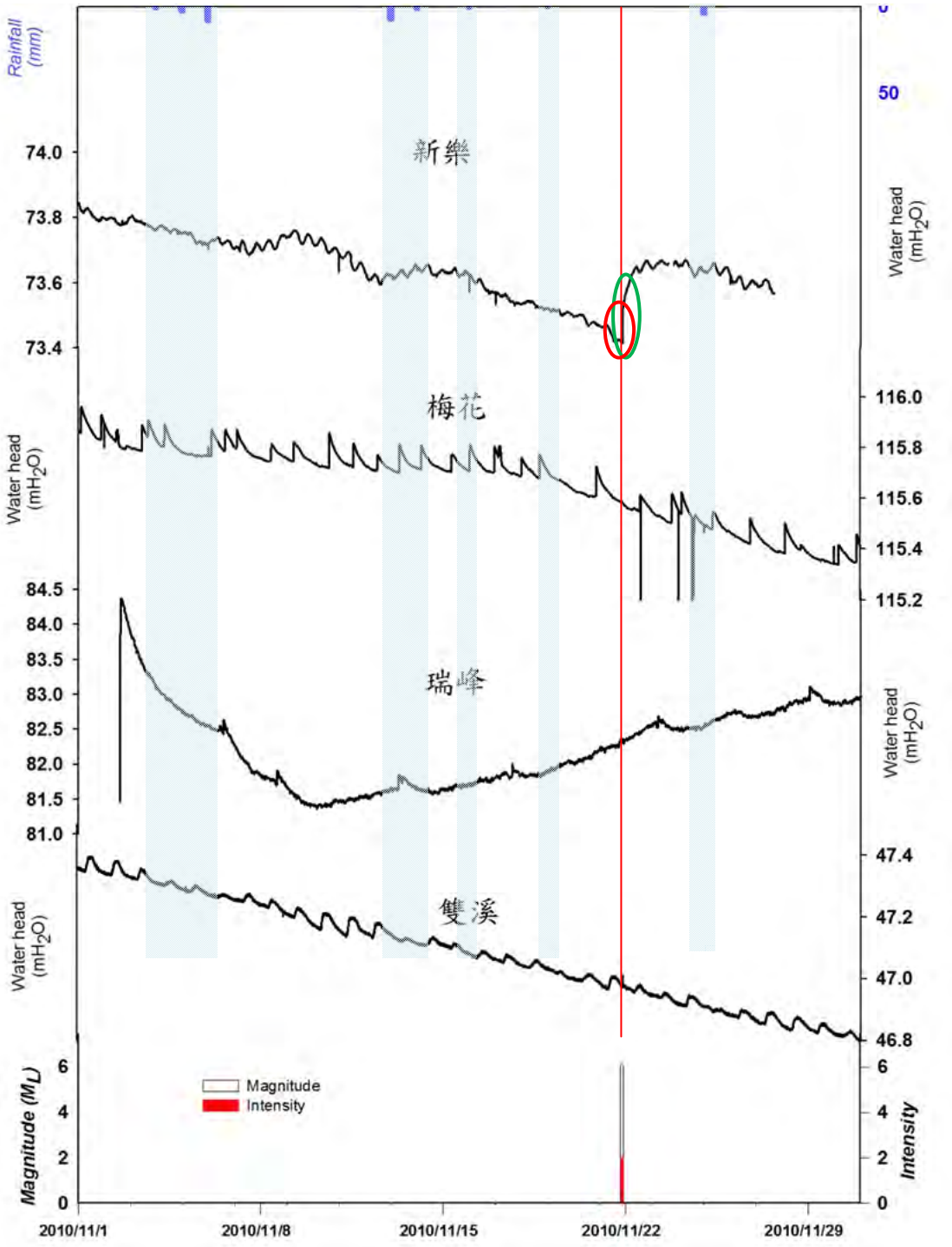


圖 6-30：新竹地區 2010 年 11 月新樂、梅花、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

6-3 嘉義地區地下水壓觀測結果

由2009年12月至2010年11月嘉義地區沄水國小、太興國小、中興國小與達邦國小觀測井之地下水壓資料，中央氣象局嘉義站降雨資料（用作沄水與太興觀測站地下水壓之對比）與阿里山站降雨資料（用作中興與達邦觀測站地下水壓之對比），再配合嘉義震度2級或規模6以上之相關地震資料繪圖（圖6-31至圖6-45），各站點研判分析之結果如下：

沄水站：此站在 2009 年 12 月至 2010 年 11 月期間，出現多次震前反應。前半年其預兆特性為震前約 2 至 10 天水壓先下降約 20-30 公分，在水壓開始回升的期間出現地震，符合此條件的地震如下：2009 年 12 月 19 日於花蓮近海規模 6.8 的地震（圖 6-34）、2010 年 1 月 19 於花蓮近海規模 5.6 的地震（圖 6-35）、2010 年 2 月 12 日發生於南投規模 5.3 的地震（圖 6-36）、2010 年 3 月 27 發生於花蓮近海規模 5.2 的地震（圖 6-37）、以及 2010 年 4 月 26 發生於花東外海規模 6.6 的地震（圖 6-38），共計有 5 筆地震資料，多半發生在東部外海，規模 5.2 到 6.8 之間；而 3 月 4 日的甲仙地震沄水只有同震反應出現，但在此地震之後的三月期間，沄水水壓上下起伏的頻率相當高，推測可能的原因有二，一是甲仙地震所引起連續地震所導致，二則是甲仙地震造成沄水站地下含水層有所變動。同年 6 月 22 日沄水站出現水壓異常，下降約 150 cm，兩天後又回升正常；晚約一日中興也出現水壓異常下降十餘公分，兩天後回升（圖 6-40），其後 7 月 3 日屏東發生規模 5.1 的地震，地震震央鄰近 3 月 4 日（M_L = 6.4）（圖 6-37）、5 月 25 日（M_L = 4.3）（圖 6-39）及 6 月 16 日（M_L = 4.1）（圖 6-40）等陸續發生於高雄甲仙的地震震央，雖然這三次地震沄水的地下水壓並未出現前兆反應，但連續的數起地震可能已造成應變累積，使岩層之力學性質改變，依此推測這次沄水地下水位的驟降，為 7 月 3 日地震之前兆。7 月 25 日幾乎同位置又發生一起規模 5.7，嘉義震度 3 級的地震，此次沄水站在五天前亦出現地下水壓在一天內下降約 50 公分之前兆反應；7 月 31 日相近地點高雄甲仙發生規模 4.6，嘉義震度 3 級地震，沄水站在一日前出現地下水壓異常下降 25 公分之震前反應（圖 6-41）。沄水站在 8 月 22 日地下水壓驟降達 170 公分（圖 6-42），但之後近兩周內嘉義並沒有震度 2 級以上的地震發生，8 月 29 日高雄發生一起與 7 月 25 日位置相近之地震，規模 3.3，嘉義震度在 1 以下，推測此次水位異常下降為 8 月 29 日之地震前兆，但產生如此大的異常影響，是否如先前的應變累積或是緊接著又受到 8 月 30 日台東利稻發生規模 3.6 之淺源地震的加成影響，目前還無法斷定。同年 9 月 18 日在震前兩日出現地下水壓驟降 100 公分又回升，推測為 9 月 20 日發生於花蓮規模 5.2 地震之前兆反應，對於此地震，太興與達邦同樣在兩日前出現地下水壓異常反應。11 月 7 日沄水站地下水壓又驟降 90 公分又回升(圖 6-45)，應為

11 月 8 日台南規模 5.2，嘉義震度達 4 級之地震前兆。11 月 21 日花蓮近海發生一起規模 6.1 地震，嘉義震度達 4 級，沄水站在四日前也出現水壓驟降 60 公分的前兆反應。此地震對於太興、達邦觀測站也造成同震現象發生。

太興站：本年度太興站共出現兩次同震與三次震前水壓變化；同震反應包括 2009 年 12 月 19 日花蓮近海規模 6.8（圖 6-34）以及 2010 年 3 月 4 日甲仙規模 6.4（圖 6-37）的兩次大地震，其中甲仙地震還造成為期 14 天的震前水壓異常，此異常期前階段水壓上升 10 公分、後半階段下降 10 公分之後，接著發生水壓上升 270 公分的同震反應。同年 9 月 18 日與沄水、達邦地下水壓同時出現異常下降再上升，太興站的上升量達 80 公分，推測為 9 月 20 日花蓮近海規模 5.2 之地震前兆。10 月 11 日水壓異常上升 13 公分，推測為 10 月 20 日台東利稻地震之前兆。

中興站：此站的地下水壓前半年整體趨勢都是緩降的型態，主要的水壓變化為同震下降，較明顯的除了與太興站相同的 2 次地震的同震反應：2009 年 12 月 19 日花蓮近海，規模 6.8 的地震（圖 6-34）與 2010 年 3 月 4 日甲仙，規模 6.4（圖 6-37）的地震。同年 3 月 8 日還有一起震央於嘉義、規模 5.1 的地震使得中興站產生水壓下降之同震反應。其中 3 月 4 日甲仙地震後中興站水壓狀況變得較不穩定（圖 6-37），推測應為甲仙地震後引發的一連串餘震造成；2009 年 12 月 12 日，水壓驟降 50 公分再上升 30 公分（圖 6-34），可能為同年 12 月 19 日之地震前兆反應。該站水壓時常出現小幅升降，包括 2010 年 1 月 7 日與 26 日（圖 6-35）、2010 年 2 月 1 日（圖 6-36）、3 月 25 日（圖 6-37）、4 月 25 日（圖 6-38）、6 月 10 日、6 月 17 日、6 月 23 日（圖 6-40）多處，其中 2010 年 4 月 25 日的異常較大，且沄水與達邦兩觀測站同時也出現異常，其後緊接著 4 月 26 日花蓮外海發生規模 6.6 地震，為震前反應。類似狀況，6 月 23 日之水壓異常，應為 7 月 3 日地震之前兆。

達邦站：2009 年 12 月 16 日（圖 6-34），地下水壓驟降約 60 公分，可能由於水壓計異常所導致。達邦站目前出現兩次同震水壓上升，時間點和中興、太興站都相同。 2010 年 1 月 13 日（圖 6-35）地下水壓上升，極有可能是與 1 月 19 日的地震有關。同年 3 月 17 日在非降雨期間呈小幅上升（圖 6-37），推測是 3 月 27 日地震之前兆。6 月 23 日以後出現在降雨期水壓異常下降反應（圖 6-40），疑是 7 月 3 日發生於屏東之地震前兆（圖 6-41）。9 月 18 日水壓與沄水、太興同步異常下降再上升（圖 6-43），為 9 月 20 日於花蓮規模 5.2 地震之前兆。在 10 月份也反應出 10 月 20 日台東利稻及 10 月 30 日嘉義等規模 4 左右，但震度達 2 級到 3 級之地震（圖 6-44）。

嘉義地區此四觀測站以往的地下水壓變動大多與雨量無太大相關性，但在 2010 年 5 月 23 日出現豪大雨（嘉義當日降雨量 52.5 mm；阿里山當日降雨量達

305 mm），太興、中興和達邦三觀測站之地下水壓皆受雨量明顯影響，而同步快速上升。其後陸續的幾場豪大雨也明顯同步地影響此三觀測站水壓異動，達邦尤其對於超過 200 mm 的豪大雨有同步驟升的現象（圖 6-31）。

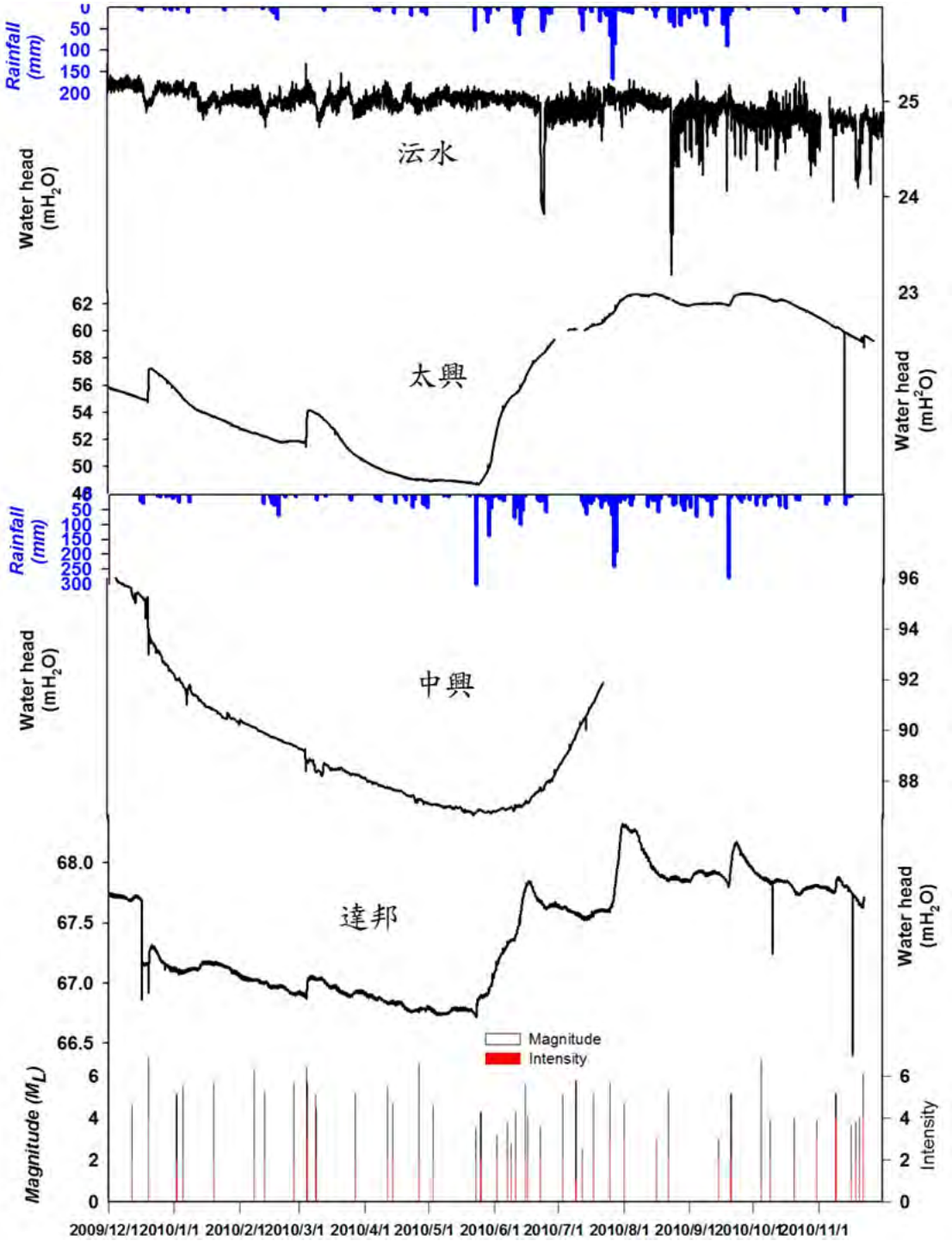


圖 6-31：嘉義地區 2009 年 12 月至 2010 年 11 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。圖中紅線為地震活動對比之標示，淺藍色陰影處表示降雨發生之時段。

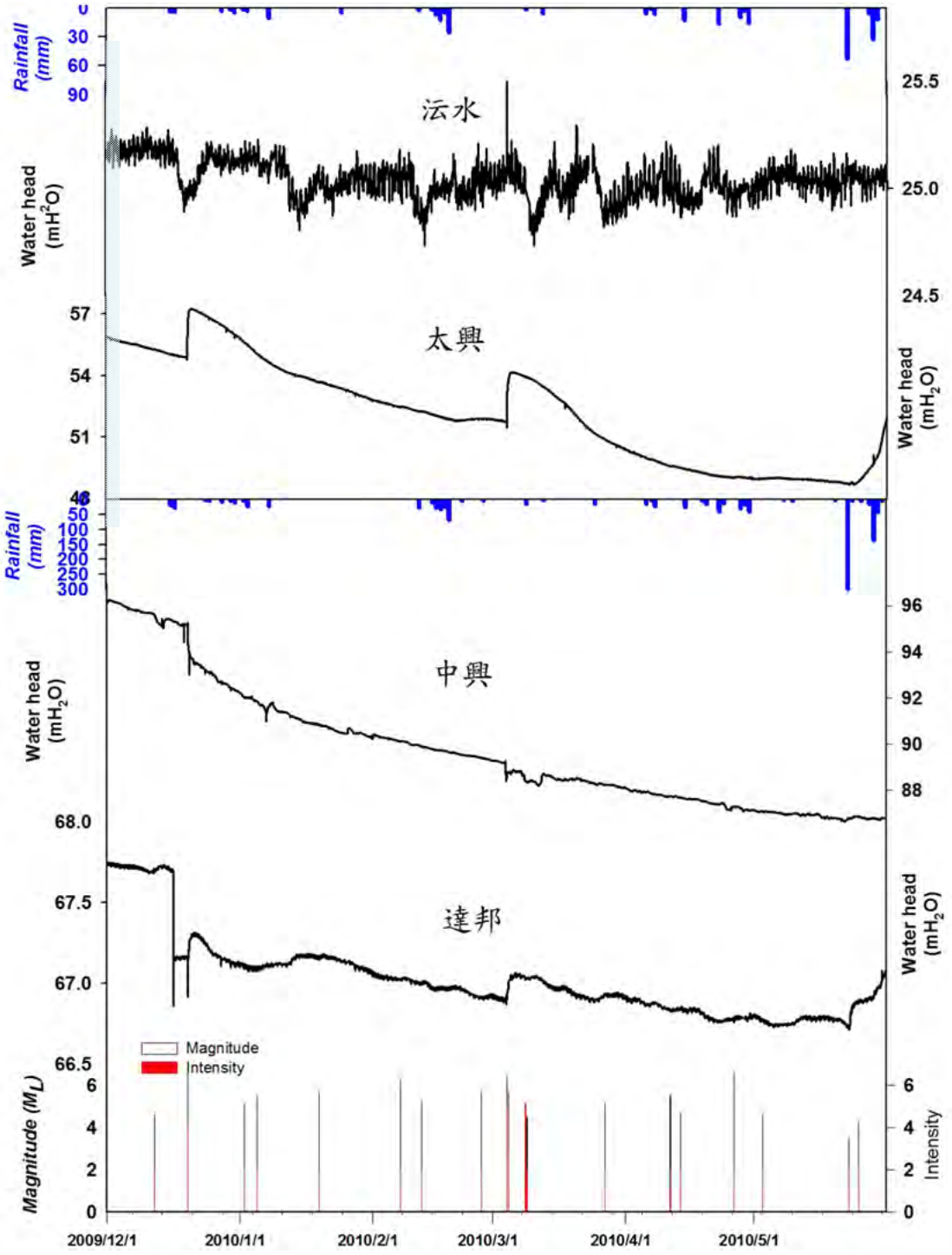


圖 6-32：嘉義地區 2009 年 12 月至 2010 年 5 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

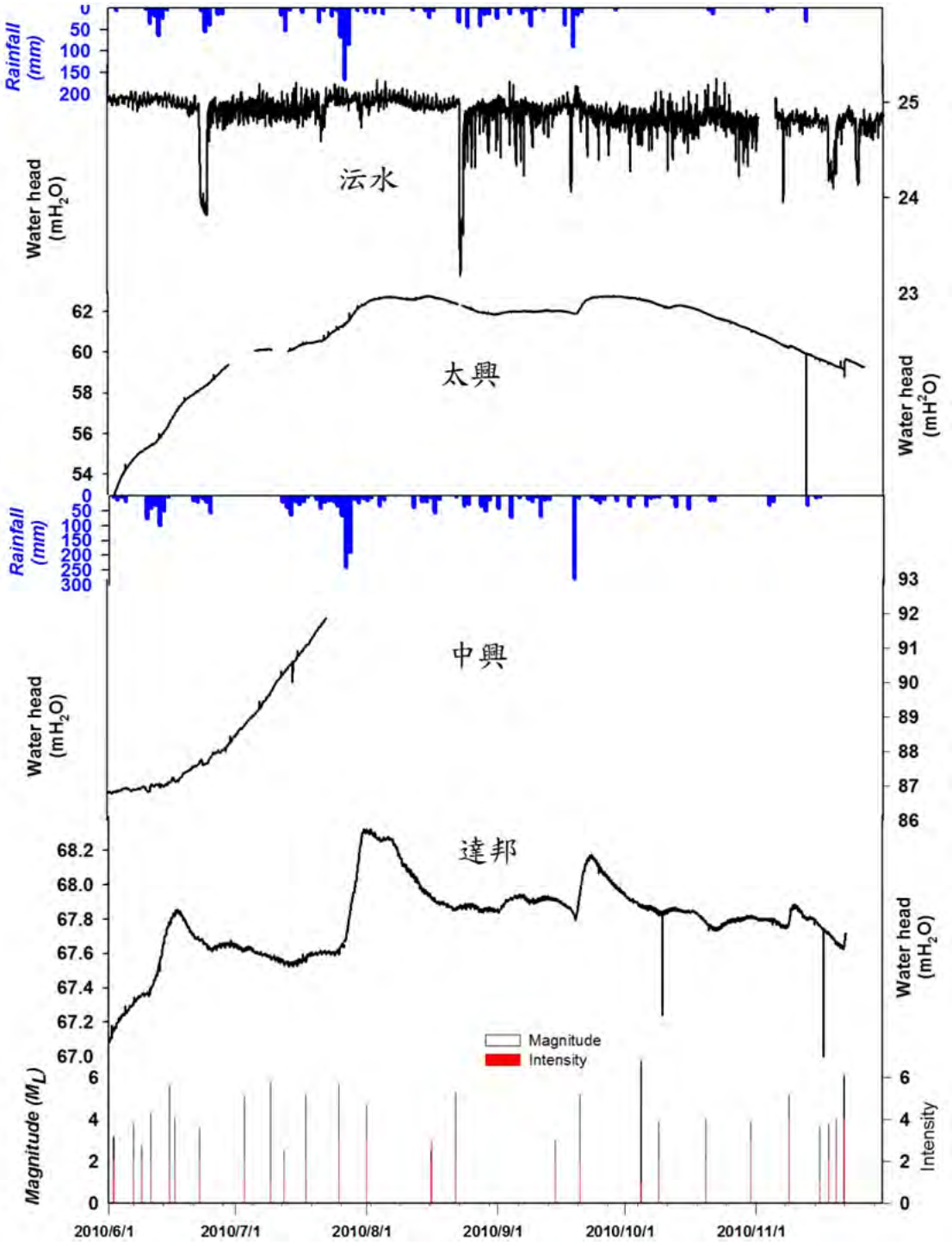


圖 6-33：嘉義地區 2010 年 6 月至 2010 年 11 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

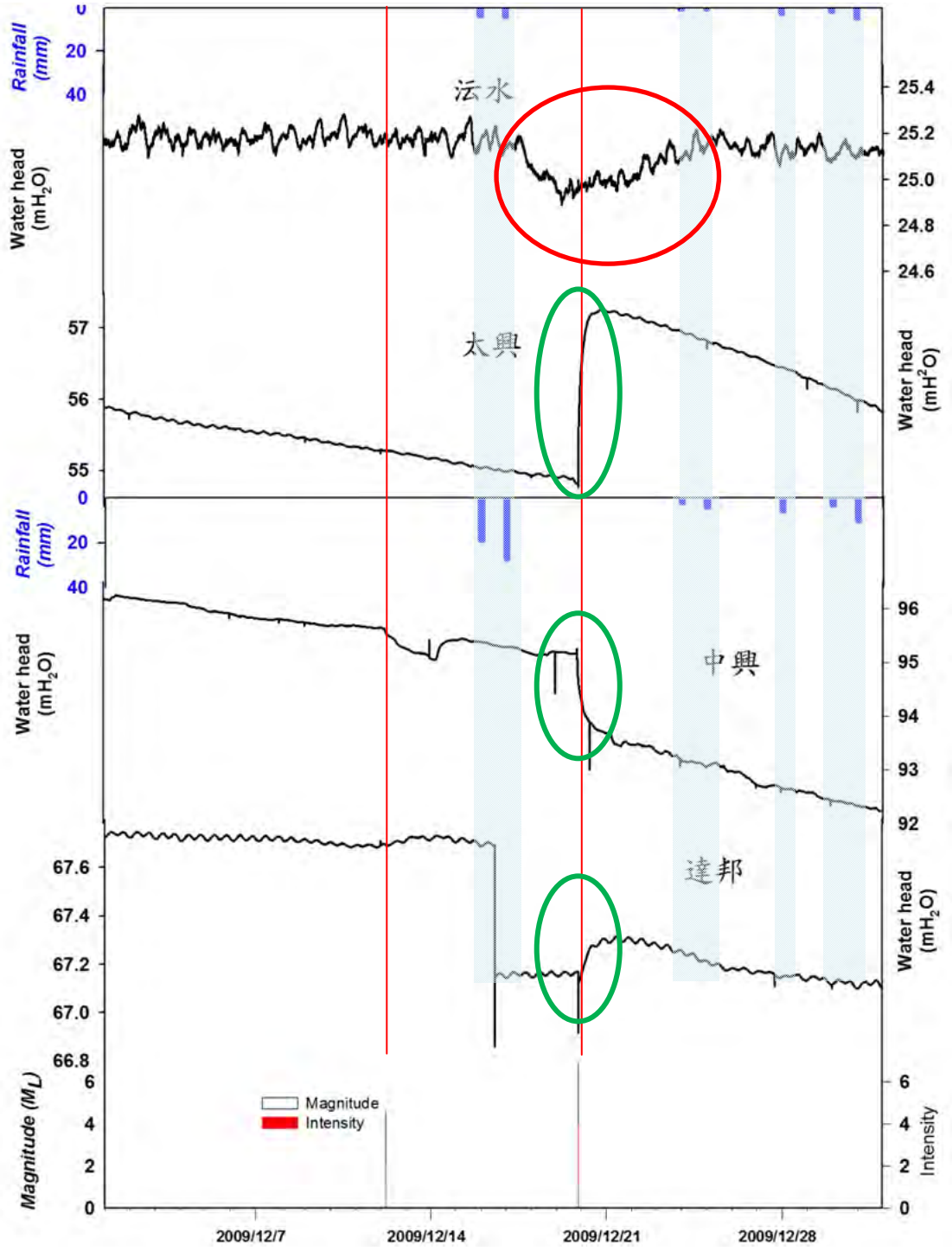
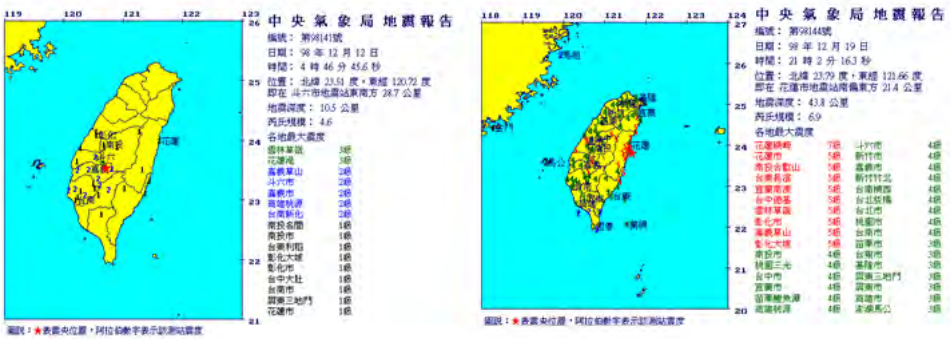


圖 6-34：嘉義地區 2009 年 12 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



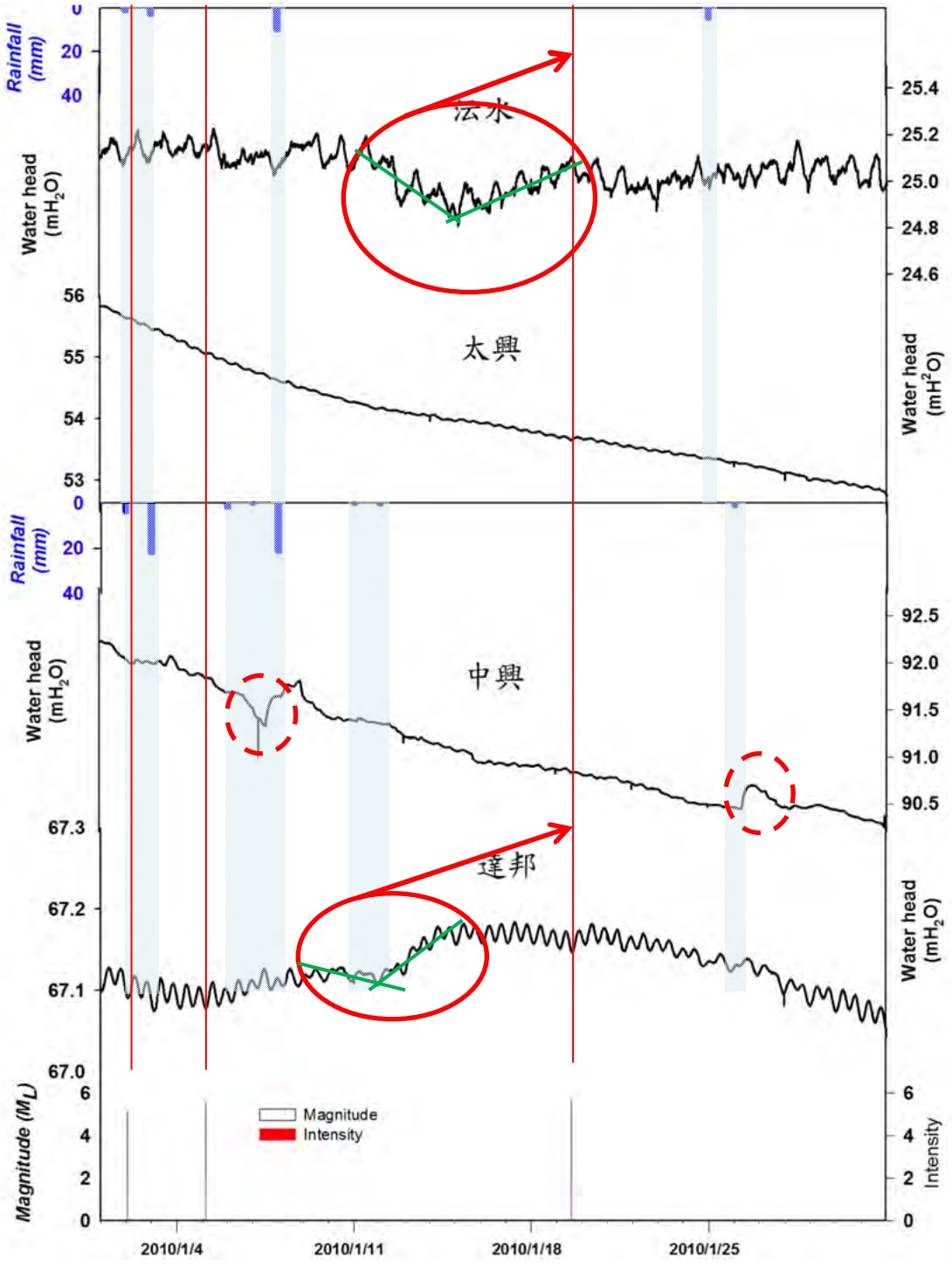
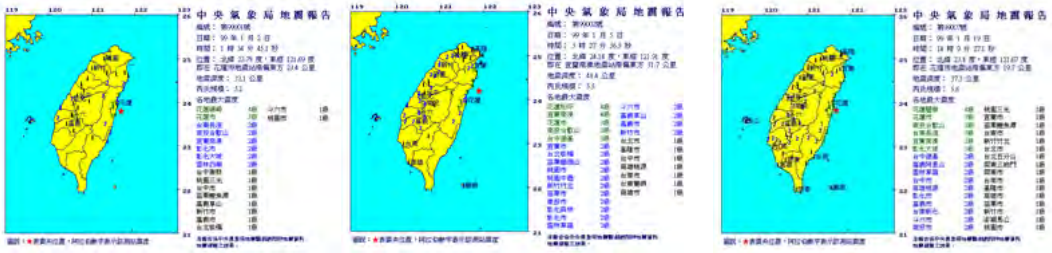


圖 6-35：嘉義地區 2010 年 1 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



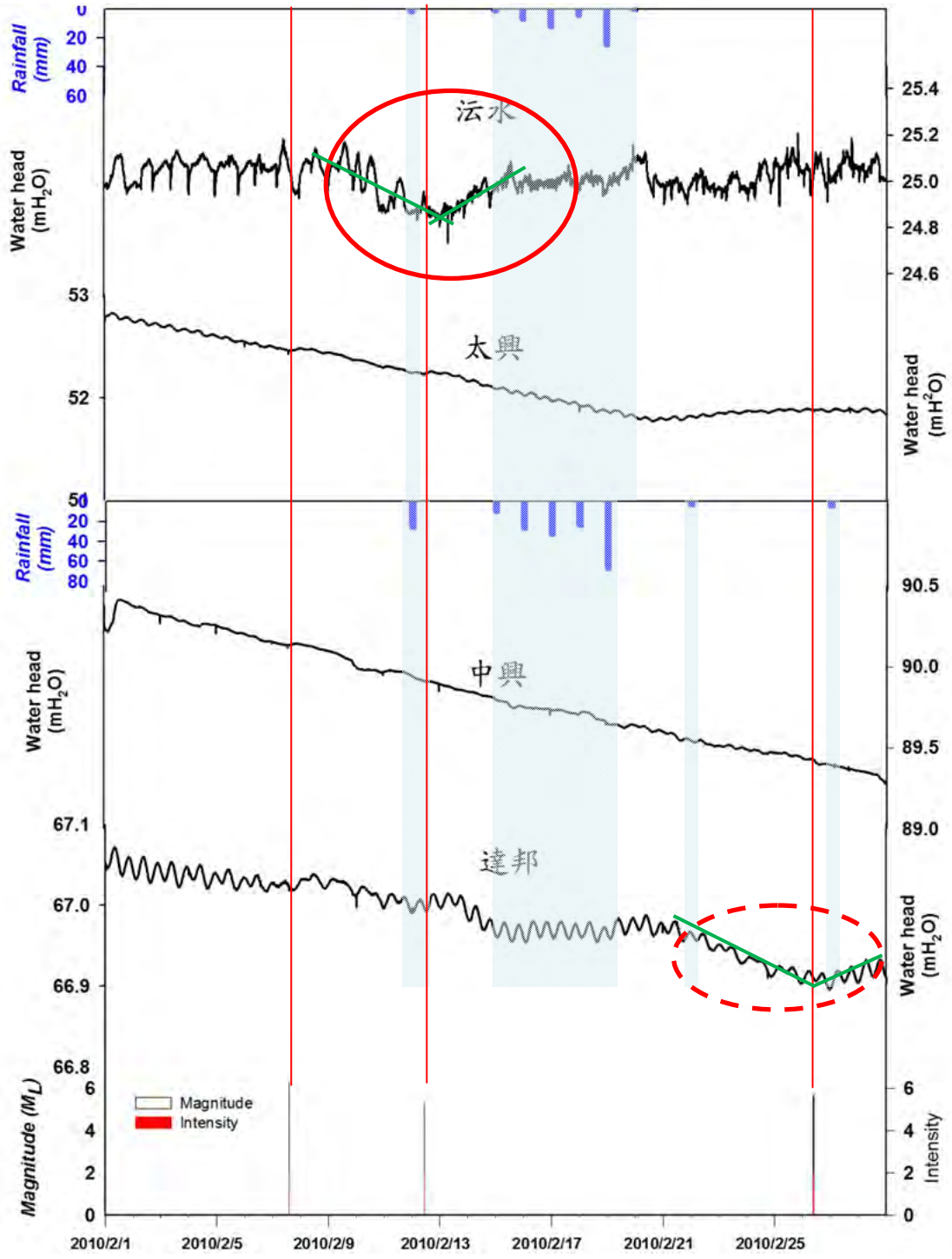
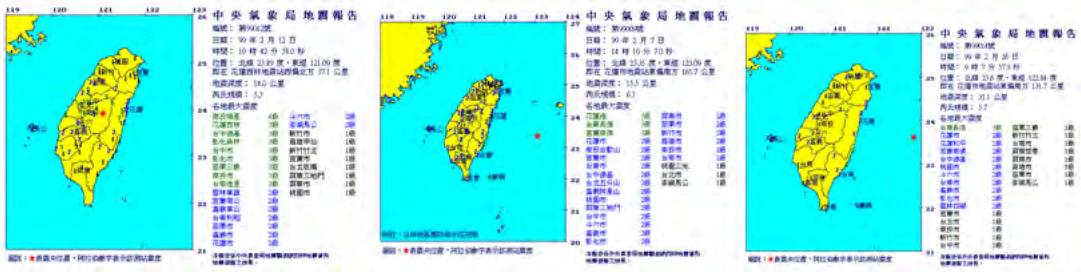


圖 6-36：嘉義地區 2010 年 2 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



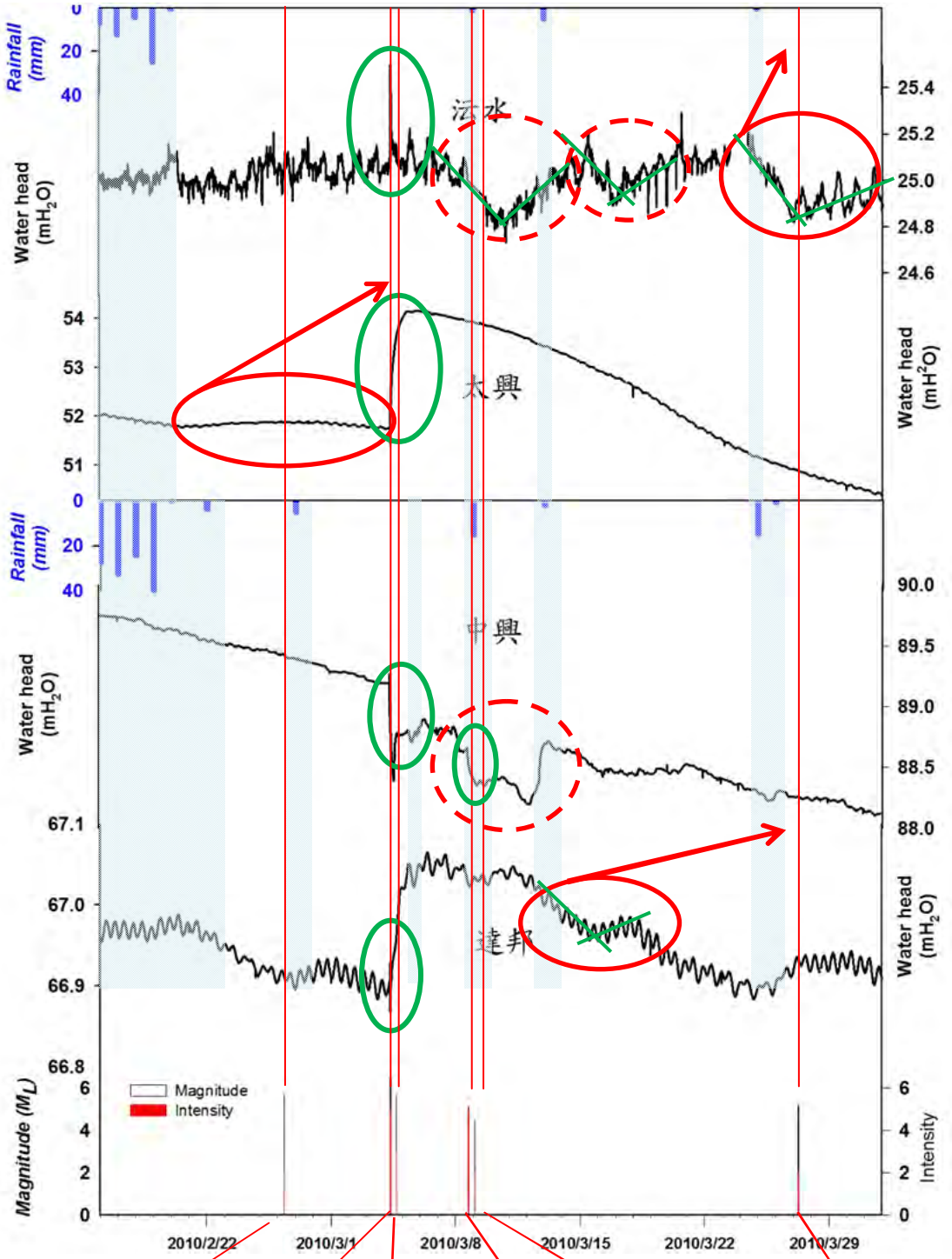
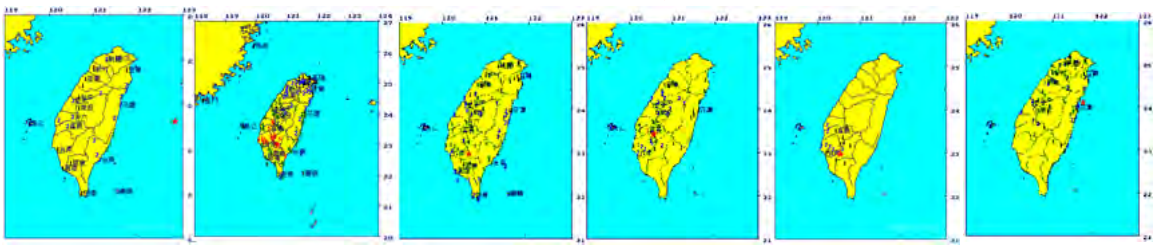


圖 6-37：嘉義地區 2010 年 2 月下旬至 3 月沄水、大興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=5.7　M_L=6.4　M_L=5.7　M_L=5.1　M_L=4.2　M_L=5.2

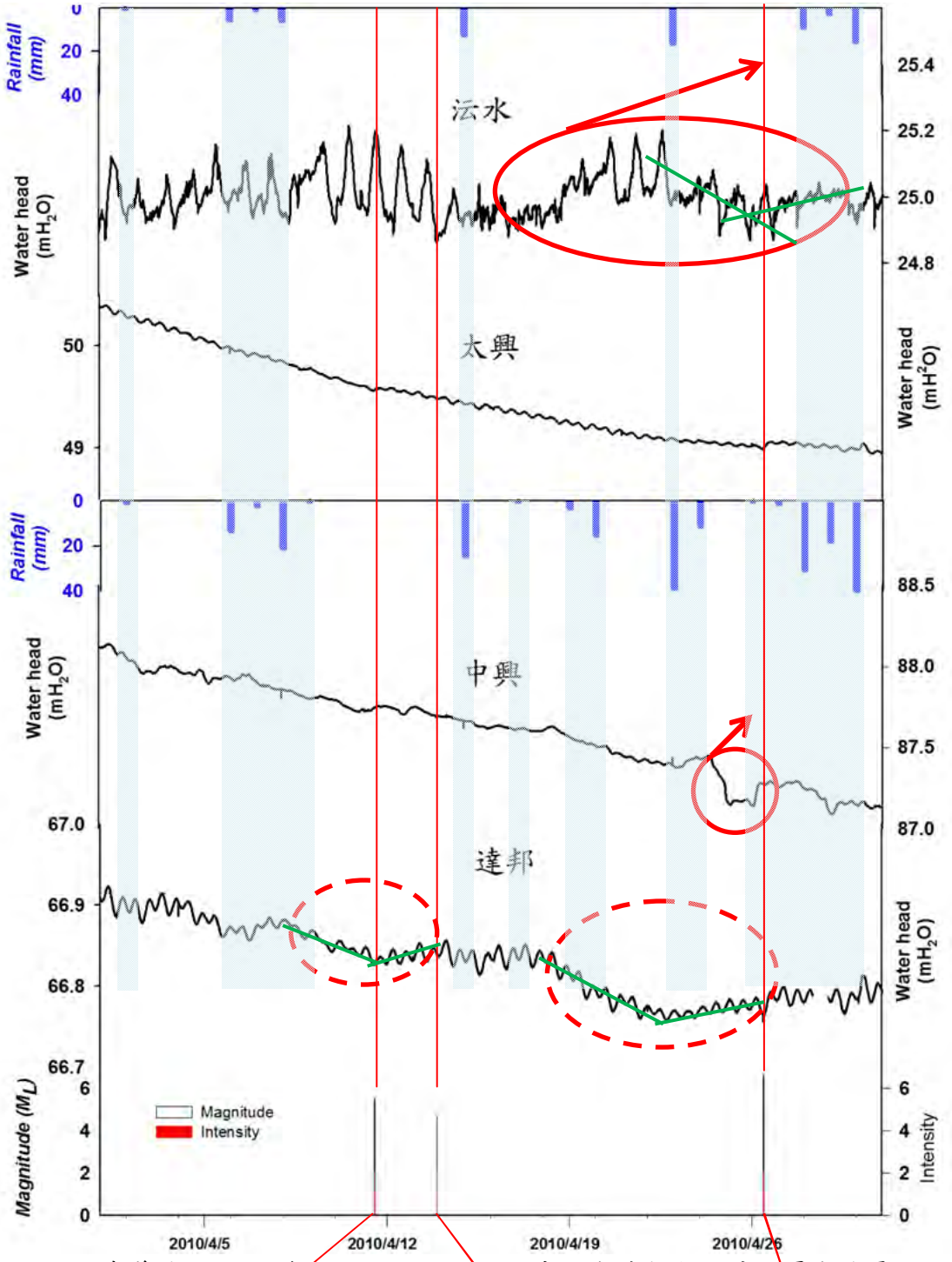
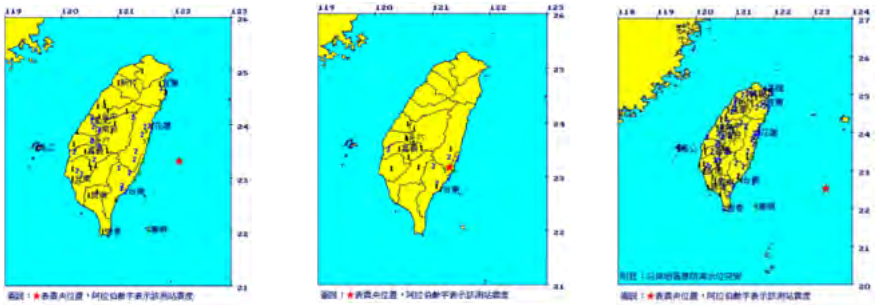


圖 6-38：嘉義地區 2010 年 4 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=5.4　　M_L=4.6　　M_L=6.8

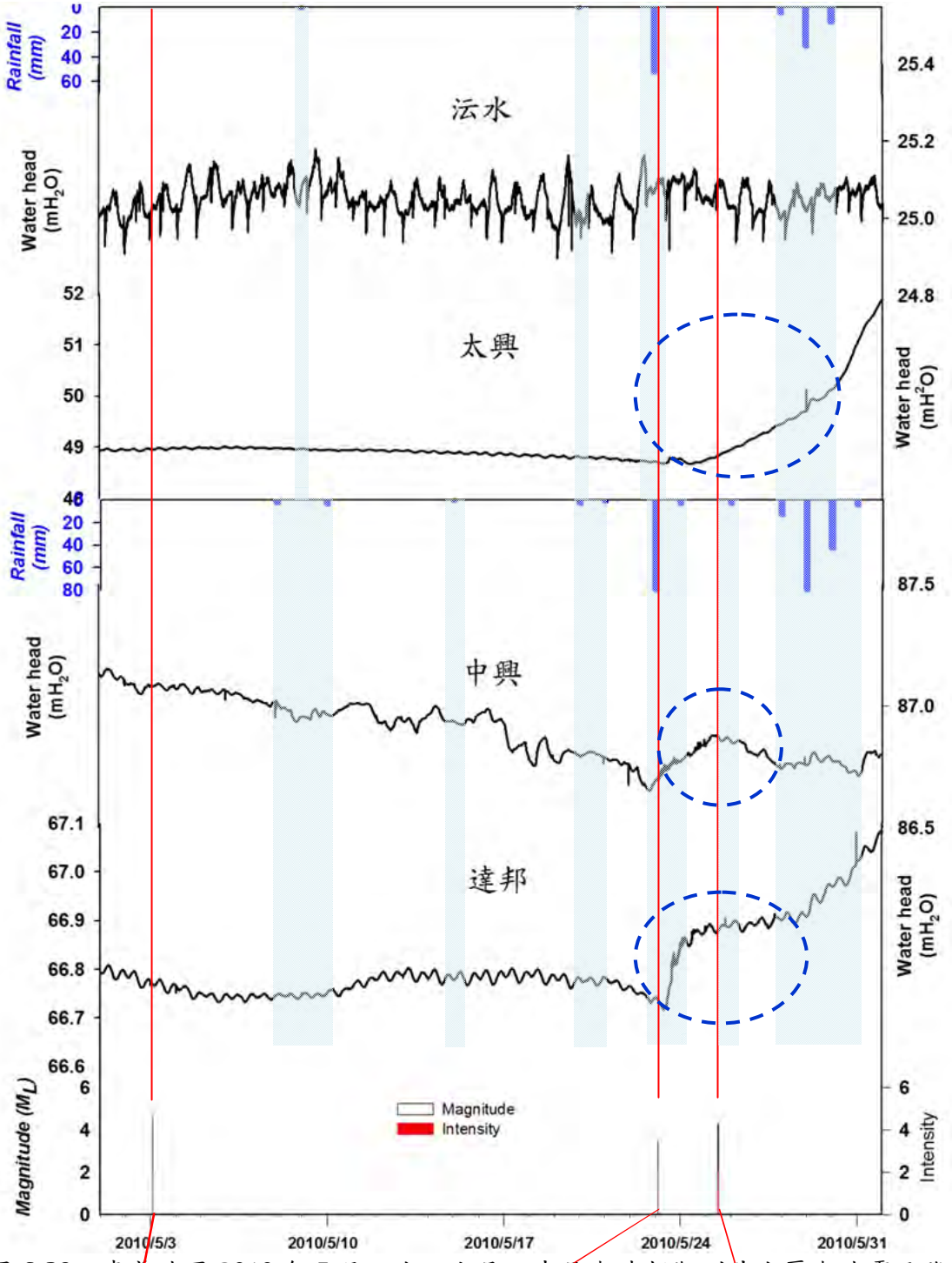
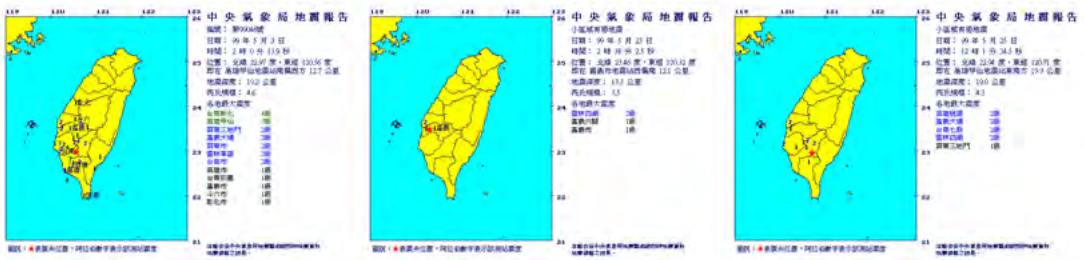


圖 6-39：嘉義地區 2010 年 5 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



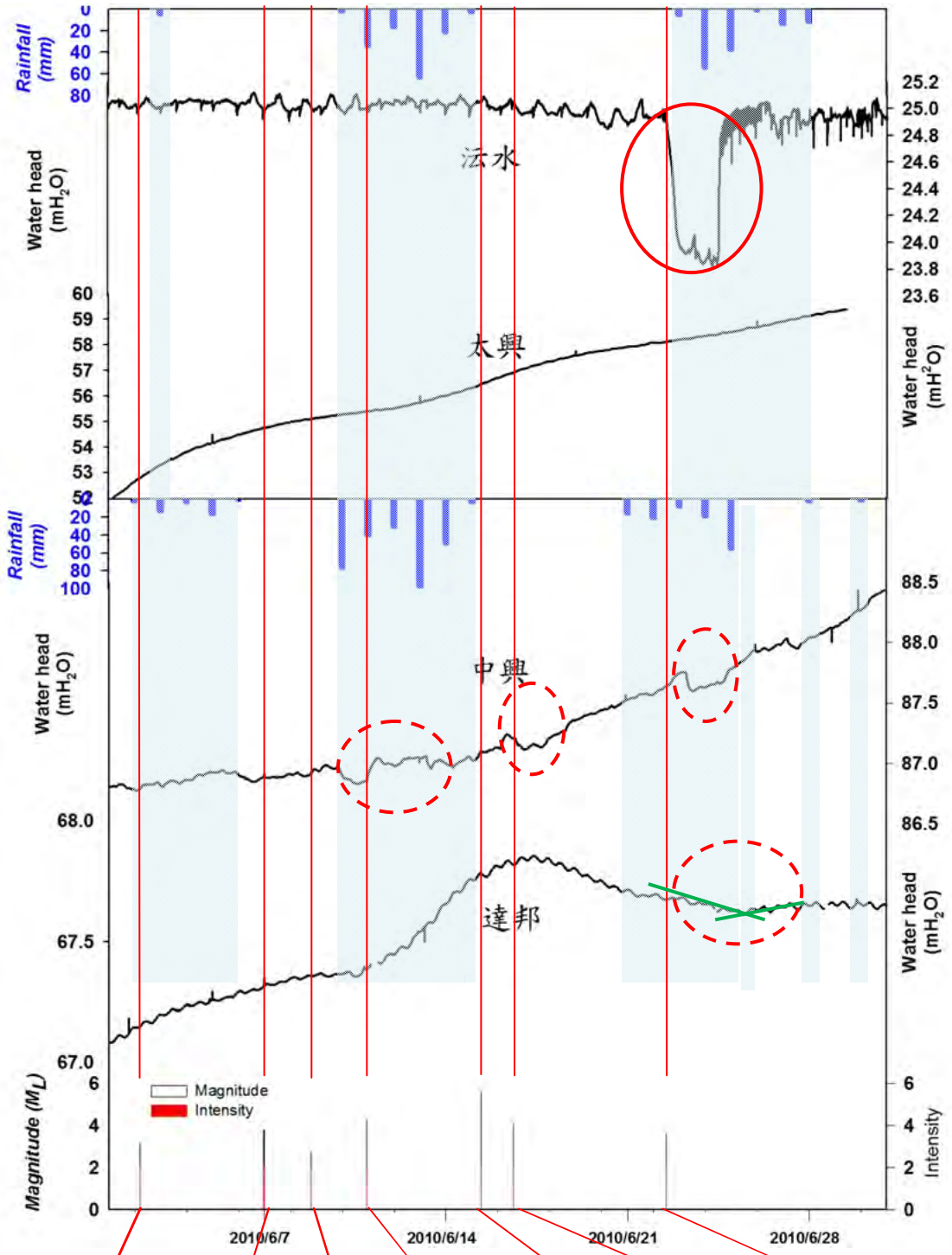
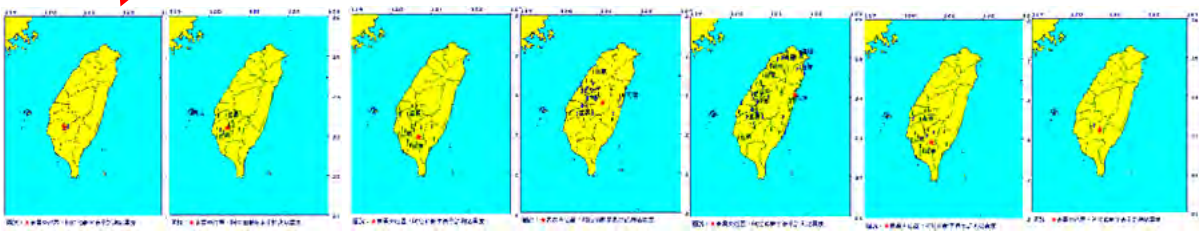


圖 6-40：嘉義地區 2010 年 6 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=3.2　M_L=3.8　M_L=2.8　M_L=4.3　M_L=5.6　M_L=4.1　M_L=3.6

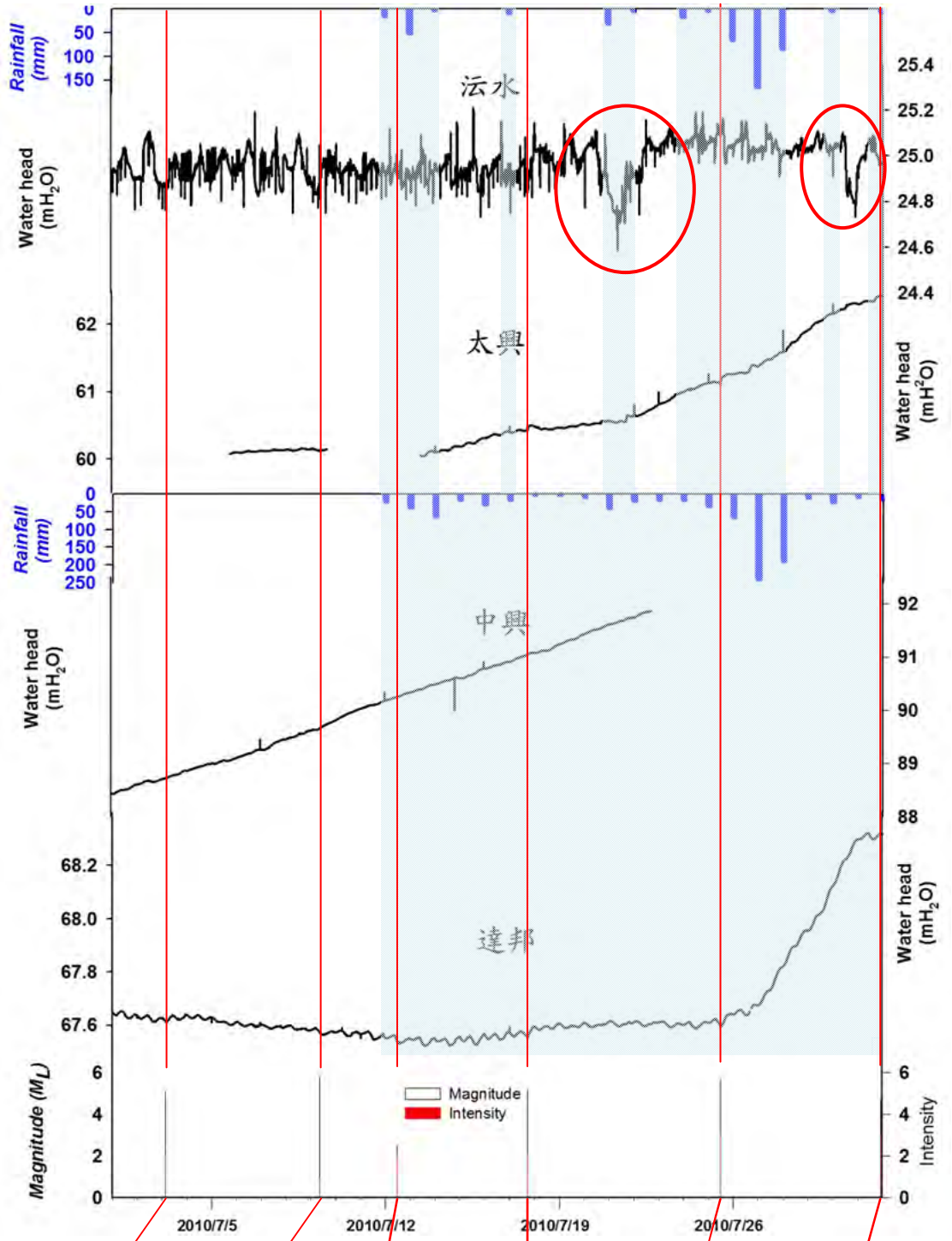
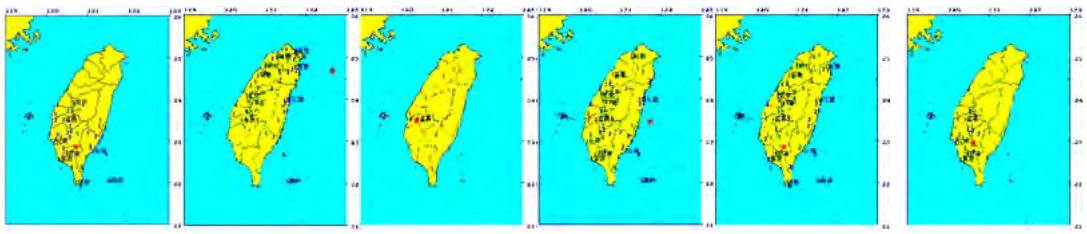


圖 6-41：嘉義地區 2010 年 7 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=5.1　M_L=5.8　M_L=3.1　M_L=5.4　M_L=5.7　M_L=4.6

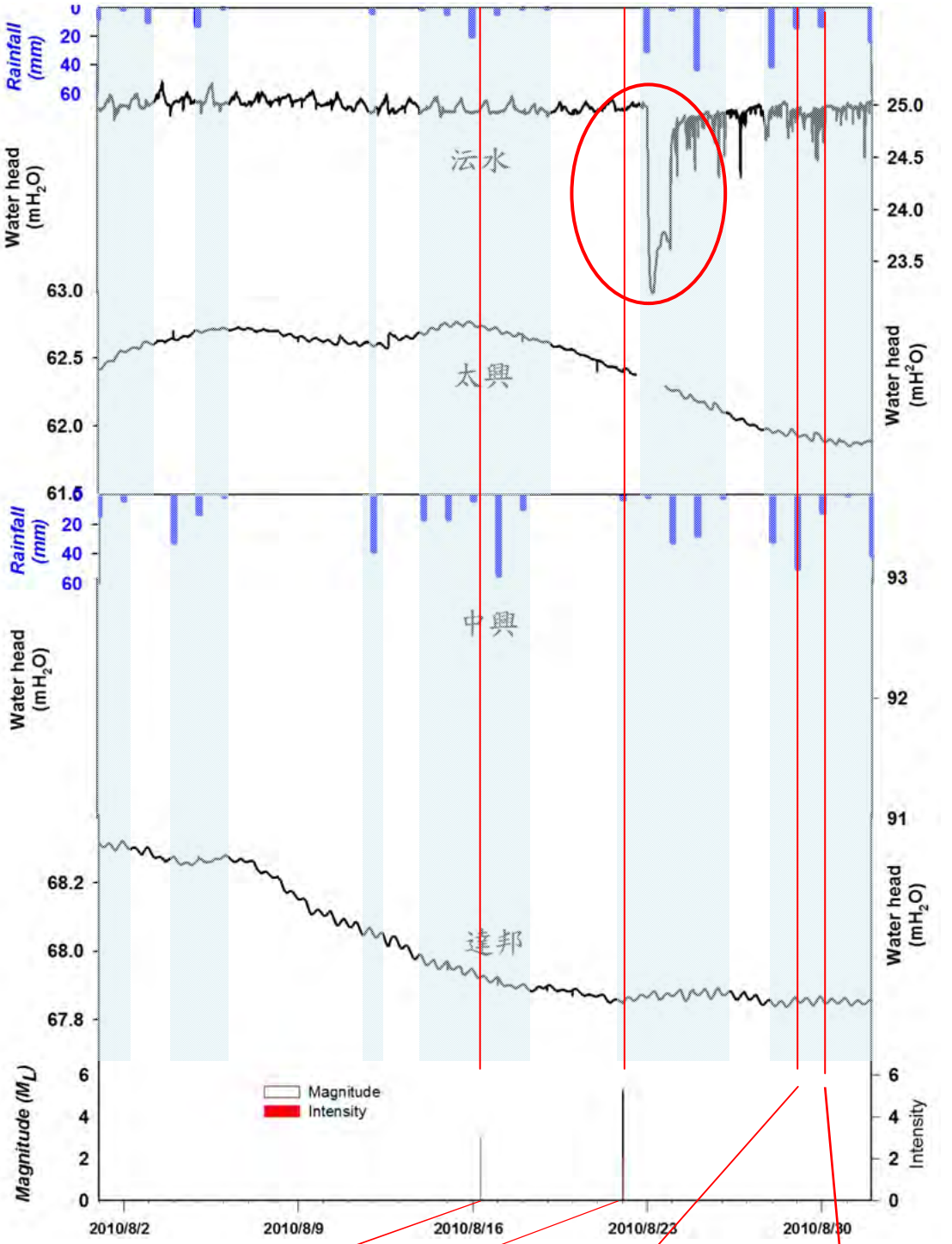


圖 6-42：嘉義地區 2010 年 8 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



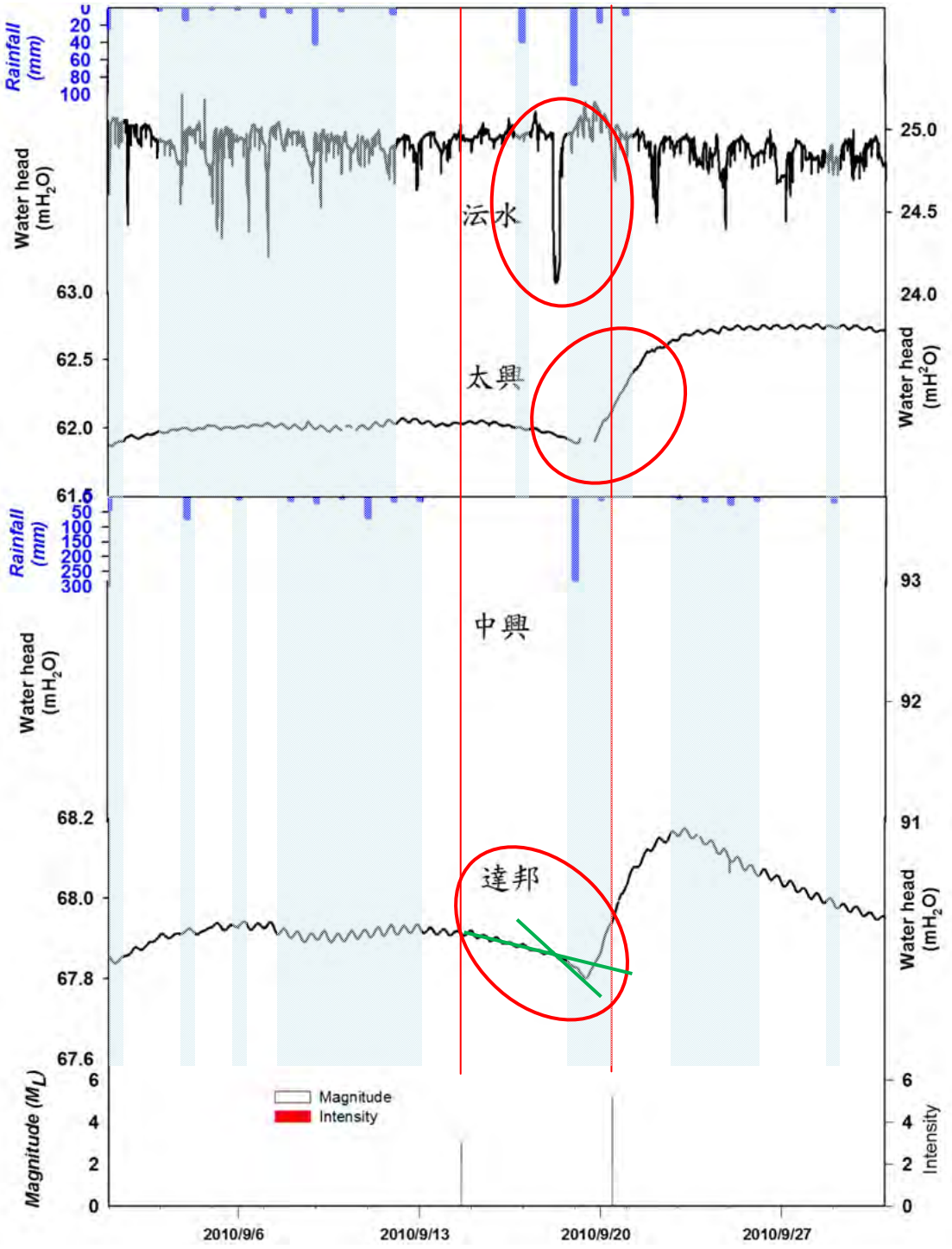
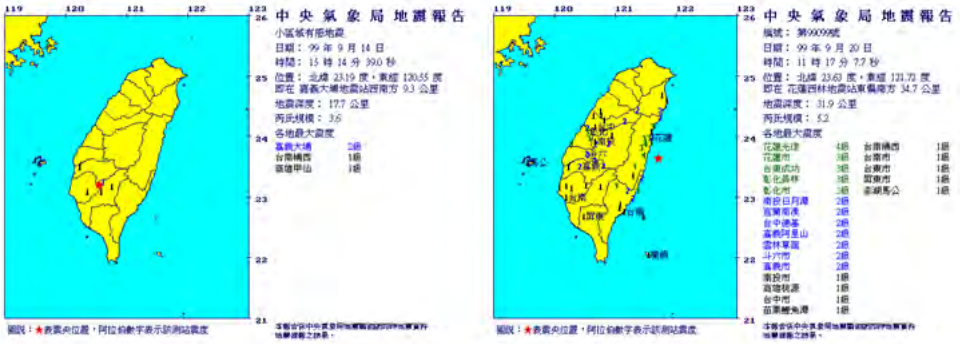


圖 6-43：嘉義地區 2010 年 9 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



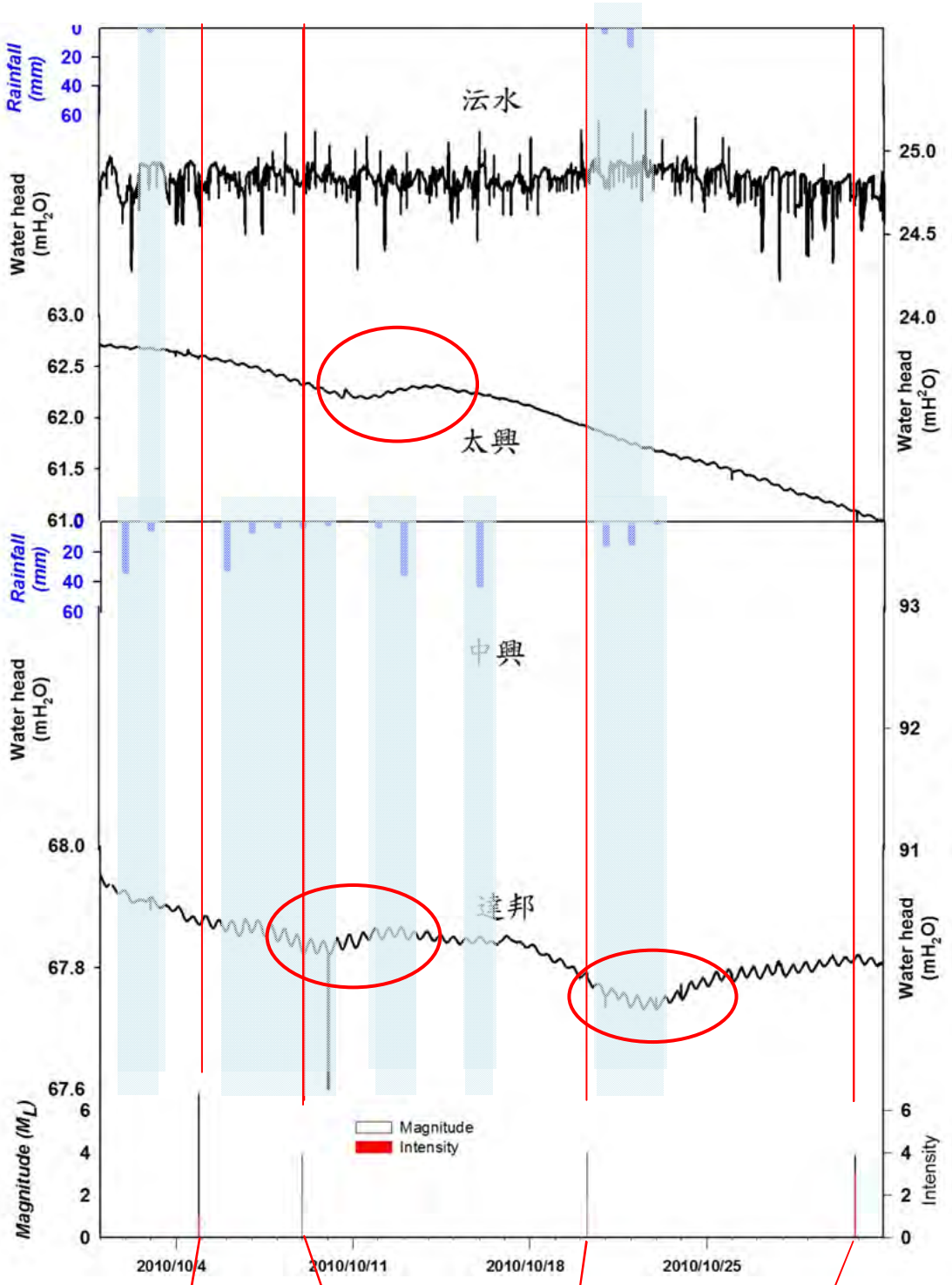
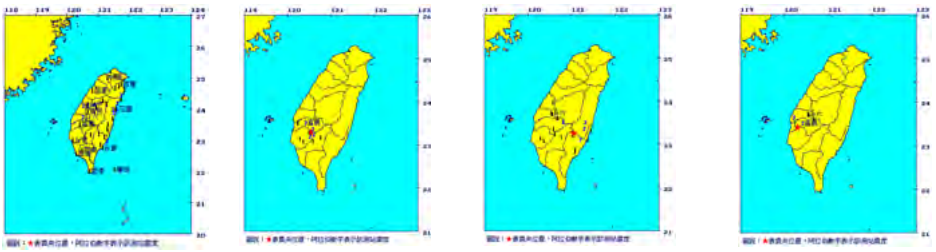


圖 6-44：嘉義地區 2010 年 10 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



M_L=6.8　　M_L=3.9　　M_L=4.3　　M_L=3.9

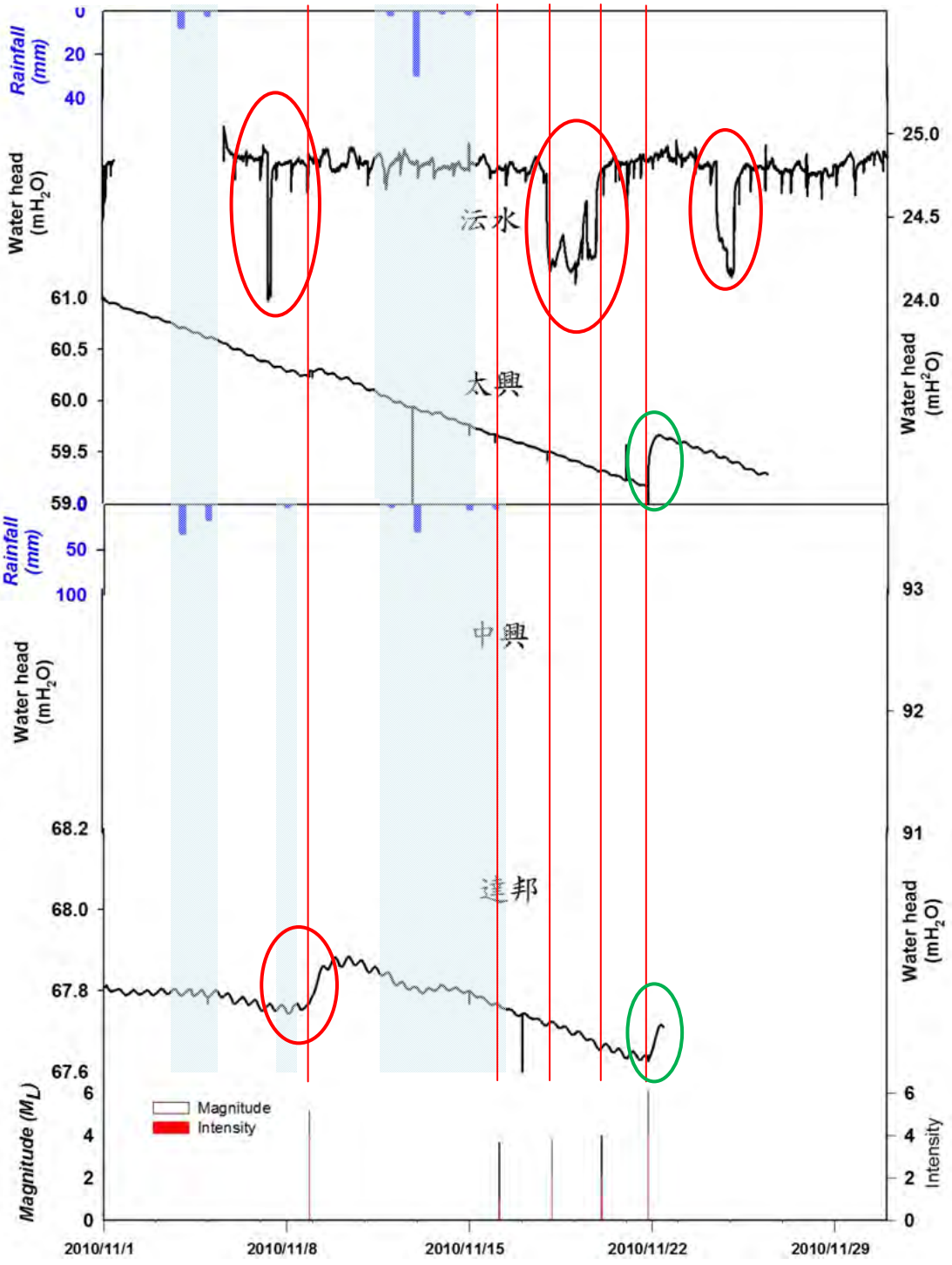
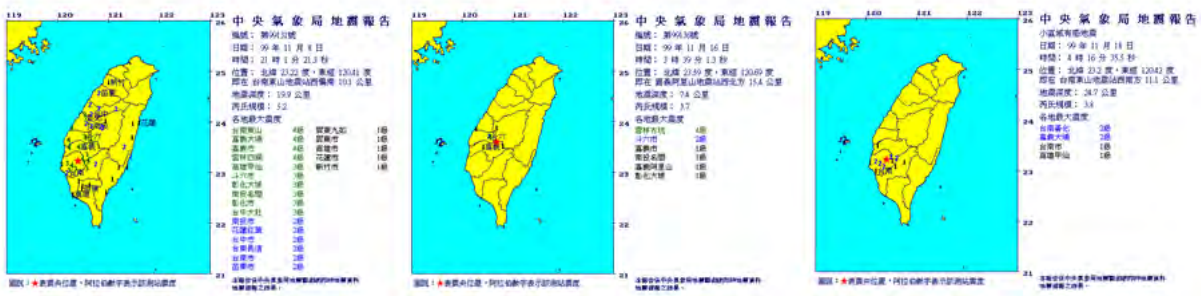


圖 6-45：嘉義地區 2010 年 11 月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



6-4 震前地下水壓變化匯整

2009 年 12 月至 2010 年 11 月，台北、新竹及嘉義地區之地下水壓觀測井記錄到多次地震前兆反應（表 6-1、表 6-2、表 6-3）。將自計畫執行以來觀測到震前水壓異常變化之震央分佈繪製於圖 6-46、圖 6-48、圖 6-50 及圖 6-51。

台北地區三站觀測井記錄了 2009 年 12 月 25 日、2 月 12 日、3 月 18 日、10 月 1 日以及 10 月 4 日之地震前兆反應（表 6-1）。明德與樹林地下水壓觀測井於 2010 年 6 月 23 日以後均記錄到在降雨期水壓異常下降，應為接下來數起地震（6 月 25 日宜蘭外海規模 4.7，6 月 27 日宜蘭縣規模 5.2 以及 6 月 28 日基隆外海規模 5.1 等三起地震）之前兆反應。另外，明德站也反應 9 月 12 日宜蘭南澳之地震。台北地區觀測站在過去也出現數次之震前反應，將 2008 年 12 月至 2010 年 11 月有震前地下水壓異常升降之地震震央空間分佈圖繪製於圖 6-46。對於台北觀測井群，有前兆反應的地震震央，大多數分布在菲律賓海板塊隱沒帶上方的弧後拉張區（包括台灣北部地區）。與台北群相距大於 100 公里且具有前兆反應的地震規模皆大於 5。

統計自今年度台北地區水壓異常前兆天數及地震規模關係（圖 6-47），雖看不出兩者有良好之線性關係，但其前兆天數皆在地震發生前六日內，除了其中一起地震前兆為 11 日，如圖虛線所圈。此特例其水壓異常發生於 9 月 20 日（圖 6-13），之後宜蘭南澳陸陸續續發生數起小規模，對於台北地區震度雖皆未達 2 級，但宜蘭地區震度達 2-4 級之地震，直到 10 月 1 日宜蘭市發生一起影響台北震度 2 級的地震，而前兆天數 11 日是根據此地震做統計。

新竹地區以新樂站的前兆反應較佳（表 6-2）。新樂地下水壓觀測井在 2010 年 4 月 9 日宜蘭外海地震前五小時出現水壓異常外，也記錄了同年 4 月 26 日台東外海規模 6.6 地震之前兆反應。5 月 23 日發生於新竹之小規模地震，也在新樂站出現前兆反應。新樂站在下半年的前兆表現較為優異，6 月 14 日及 15 日之震前水位躍動由於受到雨量的影響，無法判定是否有震前的水壓變動影響之外，其餘新竹有震度影響 2 級以上之地震皆有前兆反應記錄。雙溪站則在 2010 年 12 月 19 日這起大地震發生前後兩日出現地下水壓地潮反應變化幅度減小之現象。由目前的地震震央分布圖來看（圖 6-48），新樂國小站有較佳的震前地下水壓異常反應。有前兆反應且離觀測站距離大於 100 公里的地震規模皆大於 5，且大多數位於北港基盤高區東突端（雲林）以北的台灣本島以及菲律賓海板塊西緣的海岸山脈北段與琉球弧後隱沒帶上方。

統計自今年度新竹地樂站水壓異常前兆天數及地震規模關係（圖 6-49），前兆發生天數與地震規模並沒有關係，但前兆天數皆在地震發生前十日內。其中一起規模僅 3.1 的地震，由於地點鄰近新樂觀測站，因此在五天前也出現水壓異常

前兆反應。

嘉義地區今年度出現多起震前反應(表 6-3)：中興與沄水觀測井記錄了 2009 年 12 月 19 日花蓮近海規模 6.8 及 2010 年 4 月 26 日台東外海規模 6.6 之地震。太興觀測井在 2010 年 3 月 4 日高雄甲仙規模 6.4 的地震前 14 日出現水壓異常之前兆反應，嘉義四個觀測站也同時對此地震產生同震現象；同年 7 月 3 日發生一起震央鄰近高雄甲仙的地震，中興、達邦和沄水則在震前 10 至 11 天出現地下水壓異常。之後七月及八月份，多次鄰近高雄甲仙的地震，沄水站都出現明顯的震前水壓異常反應。此外，達邦及太興也同時反應 9 月 20 日花蓮近海地震及 10 月 20 日台東利稻地震。嘉義觀測井水壓出現前兆反應的地震，大多數位於距觀測井 60 公里範圍內。有前兆反應且距離 60 公里之外的地震，規模皆在 4 以上，主要位於菲律賓海板塊西緣（圖 6-50 及圖 6-51）。

統計自今年度嘉義沄水站水壓異常前兆天數及地震規模關係（圖 6-52），規模 6 以上的地震，其前兆天數皆在四日以內，其餘地震前兆天數皆在地震發生前十二日內。其中兩起小規模地震，在地震發生一周前即出現水壓異常前兆反應，這兩起地震震央距離甲仙地震不遠。

表 6-1：台北相關地震列表（震度 2 級以上或規模 6 以上，D/R > 2 之地震，D/R 篩選說明請參考節 6-6）

no	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	錦和前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	樹林前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	明德前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	前兆站
1	2/12/2008 11:16	5.7	2	121.49	23.34	31.7	花蓮玉里地震站東方 18.5 公里			182	1.55			181	1.56			173	1.63	
2	8/12/2008 05:18	5.9	2	122.2	23.85	35.1	花蓮市地震站東偏南方 60.9 公里			145	2.37			149	2.32			144	2.39	
3	30/12/2008 09:31	5.1	2	122.34	24.7	95.4	宜蘭蘇澳地震站東方 49.9 公里			92	1.70			100	1.55	有		101	1.55	C
4	4/2/2009 08:31	2.8	2	121.57	24.88	7.5	台北市地震站南偏東方 18.8 公里			15	1.10			21	0.77	有		21	0.77	C
5	17/4/2009 20:37	5.3	2	121.68	23.92	43.4	花蓮市地震站東南方 9.5 公里			120	1.59			120	1.59			113	1.68	
6	14/7/2009 02:05	6	3	122.22	24.02	18.1	花蓮市地震站東方 61.9 公里			130	2.92			135	2.82			131	2.91	
7	26/7/2009 09:00	5.4	2	120.96	23.69	14.3	南投名間地震站東南方 34.3 公里			153	1.37			148	1.42			140	1.49	
8	17/8/2009 08:05	6.8	2	123.88	23.37	43.3	花蓮市地震站東偏南方 240.4 公里			302	2.78			308	2.72			306	2.74	
9	4/10/2009 01:36	6.1	3	121.58	23.65	29.2	花蓮西林地震站東南方 23.0 公里			148	2.83			147	2.85			140	2.99	
10	20/10/2009 13:40	3.2	2	121.6	25.17	6.7	台北市地震站北偏東方 17.0 公里	有		23	1.04			30	0.78	有		38	0.63	A, C
11	20/10/2009 13:55	3.1	2	121.59	25.17	7.5	台北市地震站北偏東方 17.1 公里	有		22	0.96			30	0.72	有		37	0.58	A, C
12	20/10/2009 14:32	3	2	121.59	25.18	6.7	台北市地震站北偏東方 16.9 公里	有		23	0.83			31	0.64	有		38	0.51	A, C
13	5/11/2009 17:32	6.2	3	120.72	23.79	24.1	南投名間地震站南偏東方 10.1 公里	有		154	3.01			147	3.15	有		140	3.32	A, C
14	5/11/2009 19:34	5.7	2	120.76	23.77	24	南投名間地震站南偏東方 13.6 公里	有		154	1.84			147	1.92	有		140	2.02	A, C
15	15/11/2009 22:47	5.5	2	122.17	24.95	125.4	基隆市地震站東偏南方 46.3 公里			69	3.37			79	2.95			81	2.85	
16	23/11/2009 05:46	4.8	3	121.76	24.49	65.1	宜蘭南澳地震站北方 7.8 公里			62	1.88			65	1.78			61	1.91	
17	28/11/2009 11:04	4.5	2	121.96	24.53	64.1	宜蘭蘇澳地震站東南方 13.1 公里			70	1.24			75	1.14			73	1.18	
18	19/12/2009 21:02	6.9	4	121.66	23.79	43.8	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里			134	6.93		同震，上升15cm	133	6.94			127	7.31	
19	25/12/2009 21:00	4.6	2	121.82	24.41	14	宜蘭南澳地震站東偏南方 7.8 公里	有	1日前上升2cm	72	1.32	有	1日前上升3cm	76	1.25	有	1日前上升5cm	71	1.33	A, B, C
20	2/1/2010 01:34	5.1	2	121.63	23.78	33.7	花蓮西林地震站東方 19.2 公里			135	1.16			134	1.16			127	1.23	
21	5/1/2010 03:27	5.5	2	121.83	24.18	46.1	花蓮秀林地震站東偏北方 25.8 公里			96	2.42			98	2.36			93	2.50	
22	7/2/2010 14:10	6.6	2	123.77	23.33	88	花蓮市地震站東偏南方 230.9 公里			295	2.33			302	2.28			300	2.30	
23	12/2/2010 10:42	5.3	2	121.08	23.9	18.4	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里	有	1日前上升19cm	127	1.49	有	1日前上升7cm	123	1.55	有	1日前上升7cm	115	1.66	A, B, C
24	26/2/2010 09:07	5.8	2	122.87	23.69	52.1	花蓮市地震站東偏南方 131.9 公里			201	1.55			206	1.51			203	1.53	
25	4/3/2010 08:18	6.4	2	120.73	23	22.6	高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里			233	2.42			228	2.48			220	2.56	
26	18/3/2010 17:01	5	2	122.01	24.42	31.5	宜蘭蘇澳地震站東南方 26.3 公里	有	3日前上升10cm	82	1.72	有	3日前上升4cm	87	1.62	有	3日前上升10cm	84	1.68	A, B, C
27	27/3/2010 07:07	5.2	2	121.73	24.1	55	花蓮秀林地震站東方 13.2 公里			101	1.70			102	1.68			96	1.79	
28	9/4/2010 19:49	5	2	122.03	24.85	102.8	宜蘭市地震站東偏北方 29.7 公里			57	2.49			66	2.14			67	2.10	
29	26/4/2010 10:59	6.8	2	123.74	22.15	73.4	台東蘭嶼地震站東方 225.9 公里			389	2.16			393	2.13			389	2.16	
30	14/6/2010 05:11	4.2	2	121.38	24.59	16.9	桃園三光地震站南方 9.3 公里			46	1.40			42	1.52			35	1.84	
31	15/6/2010 08:31	5.6	2	121.63	24.06	18.9	花蓮秀林地震站東南方 3.7 公里			104	2.47			104	2.47			97	2.63	
32	25/6/2010 12:28	4.7	2	122.11	24.44	62.2	宜蘭蘇澳地震站東南方 31.4 公里			87	1.20			93	1.12	有	2日前下降11cm	91	1.15	C
33	27/6/2010 02:05	5.2	2	121.55	24.69	64.9	宜蘭牛門地震站北偏西方 6.2 公里			34	5.11	有	4~5日前下降60cm再回升	35	4.92	有	2日前上升4cm再下降6cm	30	5.72	B, C

表 6-1（續）：台北相關地震列表（震度 2 級以上或規模 6 以上，D/R > 2 之地震，D/R 篩選說明請參考節 6-6）

34	28/6/2010 04:33	4.9	2	122.38	25.04	15.2	基隆市地震站東方 62.3 公里			90	1.42	有	5-6日前下降60cm再回升	100	1.28	有	1日前上升33cm	103	1.24	B,C
35	9/7/2010 03:43	5.3	2	122	24.4	19.3	宜蘭南澳地震站東方 25.9 公里			83	2.29			88	2.15			85	2.24	
36	9/7/2010 08:41	5.8	2	122.66	24.66	113.6	宜蘭蘇澳地震站東方 81.5 公里			124	2.52			133	2.35			133	2.34	
37	18/7/2010 21:03	5.2	2	122.44	24	24.3	宜蘭南澳地震站東偏南方 69.2 公里			146	1.18			151	1.14			148	1.17	
38	27/7/2010 08:55	4.3	2	122.23	24.94	11.6	基隆市地震站東偏南方 51.1 公里			75	0.94			85	0.83			87	0.81	
39	22/8/2010 02:39	4.7	3	121.92	24.81	9.7	宜蘭市地震站東偏北方 17.2 公里			48	2.20			56	1.86			57	1.84	
40	22/8/2010 02:48	4.8	3	121.92	24.81	5.7	宜蘭市地震站東偏北方 17.3 公里			48	2.43			56	2.06			57	2.04	
41	22/8/2010 02:50	3.6	2	121.92	24.82	9.9	宜蘭市地震站東偏北方 17.3 公里			47	0.75			56	0.63			57	0.62	
42	30/8/2010 16:45	5.2	2	122.21	24.95	15	基隆市地震站東偏南方 48.8 公里			73	2.37			83	2.08			85	2.02	
43	12/9/2010 06:41	4.8	2	121.76	24.39	59.7	宜蘭南澳地震站南方 3.7 公里			72	1.62			74	1.56	有	1日前上升49cm	69	1.67	C
44	1/10/2010 03:56	5.1	2	121.78	24.86	102.1	宜蘭市地震站北方 11.4 公里	有	11日前先降10cm後升26cm	33	4.78	有	11日前先降17cm後升36cm	41	3.79	有	11日前上升45cm	42	3.71	A,B,C
45	3/10/2010 03:23	5	2	121.74	24.37	19.1	宜蘭南澳地震站南偏西方 6.9 公里			73	1.93			75	1.88			70	2.01	
46	4/10/2010 21:28	6.8	1	125.3	23.75	60	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 362.5 公里	有	1日前上升3cm	410	2.05	有	1日前上升1cm	418	2.01	有	1日前上升6cm	419	2.01	A,B,C
47	12/10/2010 0:47	4.7	2	122.25	24.93	13.3	宜蘭市地震站東偏北方 53.5 公里			77	1.36			87	1.21			89	1.18	
48	12/10/2010 16:28	3.9	2	121.91	24.79	9.2	宜蘭市地震站東方 15.3 公里			48	0.99			56	0.85			56	0.84	

表 6-2：新竹相關地震列表（震度 2 級以上或規模 6 以上，D/R>2 之地震，D/R 篩選說明請參考節 6-6）。

no	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	雙溪前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	新樂前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	梅花前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	瑞峰前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	前兆站
1	2/12/2008 11:1	5.7	2	121.5	23.3	31.7	花蓮玉里地震站東方 18.5 公里			166	1.70	有		156	1.81			151	1.87448			151	1.87	E
2	8/12/2008 05:1	5.9	3	122.2	23.9	35.1	花蓮市地震站東偏南方 60.9 公里			159	2.17	有		137	2.51			136	2.53265			141	2.43	E
3	30/12/2008 09:	5.1	1	122.3	24.7	95.4	宜蘭蘇澳地震站東方 49.9 公里			137	1.14	有		110	1.42			114	1.36387			123	1.27	E
4	25/2/2009 2:37	3.5	1	121.2	24.7	6.9	桃園三光地震站西方 17.5 公里			23	1.39	有		10	3.18			3	11.6574			7	4.65	E
5	14/7/2009 02:0	6	3	122.2	24	18.1	花蓮市地震站東方 61.9 公里			149	2.55	有		126	3.02			126	3.02515			132	2.88	E
6	17/8/2009 08:0	6.8	2	123.9	23.4	43.3	花蓮市地震站東偏南方 240.4 公里			332	2.53			307	2.74			307	2.72996			315	2.67	
7	4/10/2009 01:3	6.1	3	121.6	23.7	29.2	花蓮西林地震站東南方 23.0 公里			137	3.06	有		124	3.38			120	3.50485			121	3.46	E
8	5/11/2009 17:3	6.2	2	120.7	23.8	24.1	南投名間地震站南偏東方 10.1 公里			111	4.18	有		117	3.95			110	4.21285			105	4.43	E
9	5/11/2009 19:3	5.7	2	120.8	23.8	24	南投名間地震站南偏東方 13.6 公里			113	2.50	有		117	2.41			110	2.56219			105	2.68	E
10	22/11/2009 01:	5	2	121.8	24.2	66.9	花蓮秀林地震站東北方 22.4 公里			99	1.43	有		77	1.85			75	1.87424			81	1.74	E
11	19/12/2009 21:(	6.9	4	121.7	23.8	43.8	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里	有	地潮現象消失	128	7.24		同震，上升	112	8.27			108	8.55458			111	8.36	D
12	27/12/2009 21:	5	2	122	24.8	71.7	宜蘭蘇澳地震站東北方 25.8 公里			103	1.37			77	1.84			82	1.72499			91	1.56	
13	2/1/2010 01:34	5.1	2	121.6	23.8	33.7	花蓮西林地震站東方 19.2 公里			127	1.23			112	1.39			108	1.44258			110	1.41	
14	5/1/2010 03:27	5.5	2	121.8	24.2	46.1	花蓮秀林地震站東偏北方 25.8 公里			107	2.17			85	2.74			84	2.77173			89	2.59	
15	19/1/2010 14:0	5.7	2	121.7	23.8	41	花蓮市地震站南偏東方 18.2 公里			126	2.24			110	2.57			106	2.65898			109	2.59	
16	7/2/2010 14:10	6.6	2	123.8	23.3	88	花蓮市地震站東偏南方 230.9 公里			324	2.13			299	2.30			300	2.29633			307	2.25	
17	12/2/2010 10:4	5.3	2	121.1	23.9	14	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里			97	1.96			95	2.01			88	2.16097			85	2.22	
18	4/3/2010 08:18	6.4	2	120.7	23	22.6	高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里			197	2.87		同震，上升	199	2.84			192	2.94463			188	3.00	D
19	8/3/2010 17:26	5.1	2	120.6	23.4	14.3	嘉義市地震站東偏南方 15.9 公里			155	1.01			161	0.97			154	1.01309			149	1.05	
20	18/3/2010 17:0	5	2	122	24.4	31.5	宜蘭蘇澳地震站東南方 26.3 公里			110	1.28			84	1.68			86	1.64375			94	1.51	
21	27/3/2010 07:0	5.2	2	121.7	24.1	55	花蓮秀林地震站東方 13.2 公里			105	1.64			85	2.02			83	2.07691			88	1.97	
22	9/4/2010 19:49	5	2	122	24.9	103	宜蘭市地震站東偏北方 29.7 公里			105	1.35	有	5小時前上升	80	1.77			85	1.65987			94	1.50	E
23	26/4/2010 10:5	6.8	2	123.7	22.2	73.4	台東蘭嶼地震站東方 225.9 公里			403	2.08	有	1日前下降	382	2.20			381	2.20553			385	2.18	E
24	15/5/2010 16:1	2.5	2	121	24.7	3.7	新竹竹北地震站南偏東方 10.5 公里			6	1.98			21	0.56			18	0.64636			12	0.99	
25	23/5/2010 15:5	3.1	2	121.1	24.7	9.1	新竹竹北地震站東南方 14.0 公里			12	1.79	有	5日前先上升5cm再下降	15	1.41			12	1.73427			8	2.75	E
26	14/6/2010 05:1	4.2	2	121.4	24.6	16.9	桃園三光地震站南方 9.3 公里			44	1.45		同震，上升	20	3.14			20	3.22237			27	2.35	
27	15/6/2010 08:3	5.6	2	121.6	24.1	18.9	花蓮秀林地震站東南方 3.7 公里			101	2.53			84	3.06			81	3.17552			84	3.04	
28	27/6/2010 02:0	5.2	2	121.6	24.7	64.9	宜蘭冬山地震站北偏西方 6.2 公里			57	3.02	有	4日前上升	31	5.63			35	4.98946			43	3.97	E
29	9/7/2010 08:41	5.8	2	122.7	24.7	114	宜蘭蘇澳地震站東方 81.5 公里			169	1.85	有	3日前先上升再回降(4cm)	143	2.19			147	2.12606			155	2.01	E
30	25/7/2010 11:5	5.7	1	120.7	22.8	19.6	高雄雞山地震站東偏北方 27 公里			215	1.31	有	10日前上升	216	1.31			209	1.353	有	19日前上升70cm	205	1.38	E,G
31	22/8/2010 00:3	5.3	1	121.6	23.6	40.2	花蓮西林地震站南偏東方 29.3 公里			145	1.31	有	6日前上升	132	1.44			127	1.49169	有	8日前上升55cm	129	1.48	E,G
32	22/8/2010 02:4	4.8	2	121.9	24.8	5.7	宜蘭市地震站東偏北方 17.3 公里			94	1.23	有	6日前上升	68	1.70			73	1.58055	有	8日前上升55cm	82	1.41	E,G
33	30/8/2010 16:4	5.2	2	122.2	25	15	基隆市地震站東偏南方 48.8 公里			125	1.38	有	2日前上升	100	1.73			105	1.63259			114	1.51	E

表 6-3：嘉義相關地震列表（震度 2 級以上或規模 6 以上，D/R>2 之地震，D/R 篩選說明請參考節 6-6）

no	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太錸前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	中錸前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	連邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	沃永前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	前兆站
1	18/11/2008 10:25	3.6	3	120.6	23.55	10	嘉義市地震站東偏北方 18.0 公里			4	9.88	有		13	2.77			19	1.90			20	1.77	1
2	29/11/2008 03:17	3	2	120.4	23.54	5.8	嘉義市地震站西北方 5.7 公里			24	0.82	有		31	0.63			37	0.53			22	0.89	1
3	1/12/2008 17:52	3.1	2	120.64	23.26	8.4	嘉義大埔地震站東北方 2.6 公里			31	0.69			25	0.87			24	0.89			17	1.23	
4	2/12/2008 11:16	5.7	2	121.49	23.34	31.7	花蓮玉里地震站東方 18.5 公里			90	3.13			82	3.43			77	3.69			98	2.88	
5	5/12/2008 07:56	3	2	120.39	23.54	5.6	嘉義市地震站西北方 6.4 公里			25	0.78			32	0.61			38	0.51			23	0.86	
6	7/12/2008 03:55	3.8	3	120.59	23.18	9.3	嘉義大埔地震站南偏西方 7.7 公里			40	1.07			35	1.24			34	1.25			23	1.86	
7	7/12/2008 05:34	3.5	2	120.6	23.18	9	嘉義大埔地震站南偏西方 7.9 公里			40	0.79			34	0.93			34	0.95			23	1.37	
8	7/12/2008 07:06	2.7	2	120.47	23.41	9.4	嘉義市地震站南偏東方 9.9 公里			22	0.65			24	0.59			29	0.50			7	2.09	
9	8/12/2008 05:18	5.9	2	122.2	23.85	35.1	花蓮市地震站東偏南方 60.9 公里			163	2.11			159	2.17			154	2.23			178	1.94	
10	23/12/2008 08:04	5.3	3	120.55	22.95	17.1	高雄甲仙地震站南偏西方 15.5 公里			66	2.88	有		60	3.16			59	3.21			48	3.98	I
11	4/1/2009 06:04	5.1	2	121.73	24.15	7.5	花蓮秀林地震站東偏北方 16.2 公里			130	1.20	有		129	1.21			126	1.24			149	1.05	I
12	19/2/2009 12:32	2.9	2	120.53	23.22	7.4	台南東山地震站東南方 5.3 公里	有		37	0.47	有		33	0.53			34	0.52			18	0.99	H, I
13	16/3/2009 06:33	3.6	2	120.44	23.35	12.1	台南東山地震站西北方 11.7 公里	有		29	1.21	有		30	1.19			34	1.05			10	3.58	H, I
14	7/4/2009 10:53	3	2	120.61	23.32	6.5	嘉義大埔地震站北方 8.5 公里	有		25	0.79			20	1.00			20	0.95			11	1.84	H
15	17/4/2009 20:37	5.3	2	121.68	23.92	43.4	花蓮市地震站東南方 9.5 公里			114	1.66			111	1.71			108	1.76			131	1.45	
16	2/6/2009 00:47	3.8	3	120.65	23.39	11.9	嘉義大埔地震站北方 16.7 公里			17	2.54			11	3.99			12	3.50			12	3.52	
17	18/6/2009 01:17	4.4	5	120.65	23.44	12.7	嘉義大埔地震站北方 21.8 公里			11	6.81			6	12.29			10	7.62	有		14	5.65	K
18	19/6/2009 14:30	4	2	120.6	23.42	11.8	嘉義大埔地震站北方 16.7 公里			14	3.75			12	4.46			16	3.35			8	6.34	
19	22/6/2009 18:48	4.5	5	120.42	23.42	8.6	嘉義市地震站南方 8.5 公里			26	3.35	有		29	2.97			34	2.55	有		12	7.14	I, K
20	28/6/2009 17:34	5.3	2	121.75	24.18	12.9	花蓮秀林地震站東北方 18.8 公里			134	1.42			132	1.44			130	1.47	有		152	1.25	K
21	30/6/2009 23:06	2.9	2	120.41	23.52	8.4	嘉義市地震站西北方 3.4 公里			23	0.77			30	0.60			35	0.50			20	0.90	
22	11/7/2009 10:11	3.2	2	120.42	23.42	8.6	嘉義市地震站南方 8.6 公里			26	0.92			29	0.82			34	0.70	有		12	1.97	K
23	14/7/2009 02:05	6	2	122.22	24.02	18.1	花蓮市地震站東方 61.9 公里			170	2.24			166	2.29			162	2.34			186	2.04	
24	19/7/2009 17:27	4	2	120.2	23.89	19.9	彰化大城地震站西偏北方 9.9 公里			59	0.90			68	0.77			74	0.71	有		60	0.80	K
25	20/7/2009 16:46	3.8	2	120.18	23.9	21.3	彰化大城地震站西偏北方 11.4 公里			61	0.71			70	0.61			76	0.57	有		68	0.64	K
26	26/7/2009 09:00	5.4	2	120.96	23.69	14.3	南投名間地震站東南方 34.3 公里			37	5.67			36	5.89			34	6.20			56	3.78	
27	26/7/2009 14:10	5.4	3	121.32	23.43	12.5	花蓮玉里地震站北方 8.8 公里			71	2.95			64	3.29			58	3.60			81	2.60	
28	30/7/2009 00:53	5.8	2	120.48	22.05	41.3	屏東恆春地震站西方 27.8 公里			186	1.88			159	1.96			158	1.98			147	2.12	
29	1/8/2009 09:41	3.4	3	120.39	23.44	10.2	嘉義市地震站西南方 8.0 公里			27	1.06			32	0.92			37	0.79			16	1.84	
30	1/8/2009 19:49	3.2	2	120.39	23.44	10	嘉義市地震站西南方 7.7 公里			27	0.87			32	0.75			37	0.65			16	1.51	
31	2/8/2009 19:34	4.8	2	121.04	23.83	22.8	南投名間地震站東方 35.4 公里			52	2.22			52	2.21			51	2.27			72	1.61	
32	17/8/2009 08:05	6.8	2	123.88	23.37	43.3	花蓮市地震站東偏南方 240.4 公里			332	2.53			325	2.58			320	2.63	有		342	2.45	K
33	17/8/2009 18:10	5.9	1	123.67	23.32	31.9	花蓮市地震站東偏南方 221.6 公里			311	1.11			304	1.18			299	1.15	有		321	1.07	K
34	14/9/2009 15:59	3.4	3	120.44	23.15	11	台南東山地震站南偏西方 14.1 公里			48	0.61			45	0.65			46	0.63			27	1.06	
35	19/9/2009 17:57	4.1	3	120.76	23.44	10.1	嘉義大埔地震站東北方 25.6 公里			17	3.38	有		8	7.60			2	31.78			24	2.38	I

表 6-3（續）：嘉義相關地震列表（震度 2 級以上或規模 6 以上，D/R > 2 之地震，D/R 篩選說明請參考節 6-6）

36	22/9/2009 13:27	3.5	2	120.18	23.12	13.8	台南佳里地震站南偏西方 6.4 公里			66	0.49	有		66	0.48			69	0.46			46	0.69	I
37	30/9/2009 06:56	3.6	2	120.38	23.34	13.7	台南東山地震站西偏北方 14.8 公里			34	1.03	有		36	0.99			40	0.89			16	2.20	I
38	4/10/2009 01:36	6.1	3	121.58	23.65	29.2	花蓮西林地震站東南方 23.0 公里			97	4.32			92	4.56			87	4.80			111	3.78		
39	22/10/2009 11:36	4.4	3	120.39	23.34	16.9	台南東山地震站西北方 13.8 公里			33	2.33			35	2.24			39	2.01	有		15	5.18	K
40	23/10/2009 07:05	5.1	2	121.49	22.69	104	台東市地震站東偏南方 35.1 公里			129	1.21			119	1.31			113	1.37	有		124	1.25	K
41	5/11/2009 17:32	6.2	4	120.72	23.79	24.1	南投名間地震站南偏東方 10.1 公里			29	16.13	有		35	13.38	有		37	12.40	有		49	9.43	I, J, K
42	5/11/2009 17:38	4.6	2	120.71	23.79	24.5	南投名間地震站南偏東方 9.7 公里			28	3.34	有		35	2.75	有		37	2.54	有		49	1.95	I, J, K
43	5/11/2009 19:34	5.7	4	120.76	23.77	24	南投名間地震站南偏東方 13.6 公里			28	10.00	有		33	8.56	有		35	8.06	有		49	5.77	I, J, K
44	17/11/2009 01:49	4	3	120.51	23.42	10.4	嘉義市地震站東南方 11.6 公里			19	2.83	有		20	2.61	有		25	2.13			5	11.06	I, J
45	22/11/2009 01:27	5	1	121.76	24.22	66.9	花蓮秀林地震站東北方 22.4 公里			137	1.03			136	1.04	有		133	1.06	有		156	0.91	J, K
46	23/11/2009 05:46	4.8	2	121.76	24.49	65.1	宜蘭南澳地震站北方 7.8 公里			155	0.75			156	0.74	有		154	0.75	有		175	0.66	J, K
47	12/12/2009 04:46	4.6	2	120.72	23.51	10.5	斗六市地震站東南方 28.7 公里			9	10.04			4	22.16			7	13.67			24	3.96		
48	19/12/2009 21:02	6.9	4	121.66	23.79	43.8	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里		同震，上升230cm	108	8.58	有	6日前先降60cm後回升；亦有同震	104	8.91		同震，下降25cm馬上回升，再續升15cm	100	9.27	有	2日前下降25cm後回升	124	7.49	I, K
49	2/1/2010 01:34	5.1	2	121.63	23.78	33.7	花蓮西林地震站東方 19.2 公里			105	1.49			101	1.55			97	1.61			120	1.30		
50	5/1/2010 03:27	5.5	2	121.83	24.18	46.1	花蓮秀林地震站東偏北方 25.8 公里			141	1.65			139	1.67			136	1.70			159	1.46		
51	19/1/2010 14:09	5.7	2	121.68	23.82	41	花蓮市地震站南偏東方 18.2 公里			111	2.55			107	2.64	有	8日前上升7cm	103	2.74	有	8日前下降20cm後回升	127	2.23	J, K
52	7/2/2010 14:10	6.6	2	123.77	23.33	88	花蓮市地震站東偏南方 230.9 公里			321	2.15			314	2.19			309	2.23			331	2.08		
53	12/2/2010 10:42	5.3	2	121.09	23.89	14	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里			60	3.15			61	3.13			59	3.20	有	2日前下降25cm後回升	80	2.37	K
54	26/2/2010 09:07	5.8	2	122.87	23.69	52.1	花蓮市地震站東偏南方 131.9 公里			228	1.37			223	1.40			218	1.43			241	1.29		
55	4/3/2010 08:18	6.4	5	120.73	23	22.6	高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里	有	14日前先升後降(10cm)；亦發生同震上升240cm	61	9.29		同震，下降77cm	53	10.68		同震，下降4cm馬上回升，再續升11cm	50	11.26		同震，上升38cm	47	12.06	H
56	4/3/2010 16:16	5.7	3	120.69	22.96	16.6	高雄甲仙地震站東南方 17.1 公里			65	4.37			57	4.94			55	5.15			49	5.72		
57	8/3/2010 17:26	5.1	5	120.56	23.42	14.3	嘉義市地震站東偏南方 15.9 公里			16	10.05		同震，下降約20cm	15	10.15			20	7.93			5	29.91		
58	9/3/2010 01:54	4.5	2	120.57	22.94	26.2	高雄甲仙地震站南方 15.6 公里			67	1.29			61	1.42			60	1.44			49	1.76		
59	27/3/2010 07:07	5.2	2	121.73	24.1	55	花蓮秀林地震站東方 13.2 公里			127	1.35			126	1.37	有	11日前上升2cm	123	1.40	有	2日前下降27cm後回升	146	1.18	J, K
60	11/4/2010 12:57	5.4	2	122.1	23.27	10	台東成功地震站東偏北方 76.5 公里			153	1.38			145	1.45			139	1.51			161	1.31		
61	13/4/2010 22:29	4.7	2	121.3	23.16	5	台東成功地震站西北方 9.8 公里			80	1.31			71	1.48			65	1.62			82	1.27		
62	26/4/2010 10:59	6.8	2	123.74	22.15	73.4	台東蘭嶼地震站東方 225.9 公里			354	2.37	有	2日前先降30cm後升13cm	345	2.44			339	2.48	有	4日前下降20cm	356	2.36	I, K
63	3/5/2010 02:00	4.6	2	120.54	22.96	18.4	高雄甲仙地震站南偏西方 14.3 公里			65	1.46			59	1.60			59	1.62			47	2.04		
64	23/5/2010 02:38	3.5	2	120.32	23.46	13.3	嘉義市地震站西偏南 12.1 公里			33	0.96			39	0.83			44	0.73			23	1.38		
65	25/5/2010 12:01	4.3	2	120.71	22.94	19	高雄甲仙地震站東南方 19.9 公里			67	1.05			59	1.19			57	1.24			52	1.35		
66	2/6/2010 04:58	3.2	2	120.52	23.21	10.5	台南東山地震站南偏東方 6.2 公里			39	0.62			35	0.69			36	0.67			19	1.25		
67	6/6/2010 23:29	3.8	2	120.5	23.18	21.2	台南東山地震站南方 9.3 公里			42	1.02			39	1.12			40	1.09			22	1.91		
68	8/6/2010 18:52	2.8	2	120.46	23.52	9.7	嘉義市地震站東北方 3.8 公里			18	0.89			25	0.65			30	0.53			17	0.95		
69	10/6/2010 22:47	4.3	2	121.07	23.77	23.9	南投日月潭地震站東南方 20.2 公里			51	1.38			50	1.42			48	1.47			70	1.01		
70	15/6/2010 08:31	5.6	2	121.63	24.06	18.9	花蓮秀林地震站東南方 3.7 公里			116	2.20			115	2.23			112	2.28			135	1.90		
71	16/6/2010 14:23	4.1	2	120.7	22.9	7.1	高雄甲仙地震站南偏東方 22.5 公里			71	0.81			64	0.91			61	0.94			56	1.03		

表 6-3（續）：嘉義相關地震列表（震度 2 級以上或規模 6 以上，D/R > 2 之地震，D/R 篩選說明請參考節 6-6）

72	22/6/2010 12:08	3.6	2	120.76	23.12	11.2	高雄桃源地震站南方 4.5 公里			48	0.73			40	0.88			37	0.96			37	0.95	
73	3/7/2010 03:11	5.1	2	120.73	22.84	17.8	屏東市地震站東北方 30.0 公里			78	1.99	有	10日前先降後升(15cm)	71	2.21	有	11日前先降後升	68	2.30	有	11日前驟降120cm，兩日後回升	63	2.47	I, J, K
74	12/7/2010 11:30	2.5	2	120.39	23.49	10.6	嘉義市地震站西方 4.4 公里			26	0.46			31	0.38			37	0.32			19	0.64	
75	17/7/2010 17:04	5.2	2	121.76	23.45	40	花蓮玉里地震站東偏北方 47.3 公里			115	1.49			108	1.59			103	1.67			126	1.37	
76	25/7/2010 11:52	5.7	3	120.74	22.84	19.6	高雄旗山地震站東偏北方 27 公里			78	3.60			71	4.00			68	4.17	有	5日前下降45cm後回升	64	4.44	K
77	31/7/2010 22:49	4.7	3	121.77	24.08	17.1	高雄甲仙地震站南偏東方 15.5 公里			130	0.81			128	0.82			125	0.84	有	1日前下降30cm後回升	148	0.71	K
78	16/8/2010 07:21	2.5	2	120.3	23.44	6.5	嘉義市地震站西偏南 14.9 公里			36	0.33			41	0.29			46	0.26			24	0.49	
79	16/8/2010 07:31	2.9	3	120.3	23.44	7	嘉義市地震站西偏南 14.5 公里			36	0.49			41	0.43			46	0.39			24	0.72	
80	22/8/2010 00:38	5.3	2	121.59	23.58	40.2	花蓮西林地震站南偏東方 29.3 公里			98	1.95			92	2.07			87	2.19			110	1.72	
81	29/8/2010 22:20	3.3	0	120.65	22.87	17.1	高雄旗山地震站東偏北方 23.6 公里			74	0.35			67	0.39			65	0.40	有	7日前驟降170cm後回升	58	0.45	K
82	30/8/2010 14:49	3.6	0	120.95	23.06	5.2	台東利稻地震站南偏西方 16.1 公里			62	0.57			53	0.67			48	0.73	有	8日前驟降170cm後回升	56	0.63	K
83	14/9/2010 15:14	3	2	120.56	23.18	16.1	嘉義大埔地震站西南方 0.8 公里			41	0.48			36	0.55			36	0.54			22	0.87	
84	20/9/2010 11:17	5.2	2	121.62	23.68	36.2	花蓮西林地震站東南方 23.2 公里	有	2日前上升80cm	102	1.69			97	1.78	有	2日前上升36cm	92	1.87	有	2-3日前驟降100cm後回升	116	1.49	H, J, K
85	4/10/2010 21:28	6.8	1	125.3	23.75	60	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 362.5 公里			476	1.76			470	1.79			465	1.81			488	1.72	
86	8/10/2010 23:52	3.9	2	120.54	23.28	1.6	台南東山地震站東偏北方 4.4 公里			31	1.55			27	1.75			29	1.66			11	4.22	
87	20/10/2010 06:32	4	2	121.05	23.23	8.6	台東利稻地震站東北方 5.2 公里	有	9日前上升13cm	55	0.96			45	1.16	有	10日前下降4cm後回升	39	1.33			56	0.94	H, J
88	30/10/2010 21:5	3.9	3	120.3	23.41	10.3	嘉義市地震站西偏南 16.4 公里			37	1.28			41	1.15	有	8日前上升8cm	46	1.03			24	2.00	J
89	08/11/2010 21:1	5.2	4	120.41	23.22	19.9	台南東山地震站西偏南 10.1 公里			42	4.06			41	4.21			43	3.99	有	1日前驟降90cm	22	7.94	K

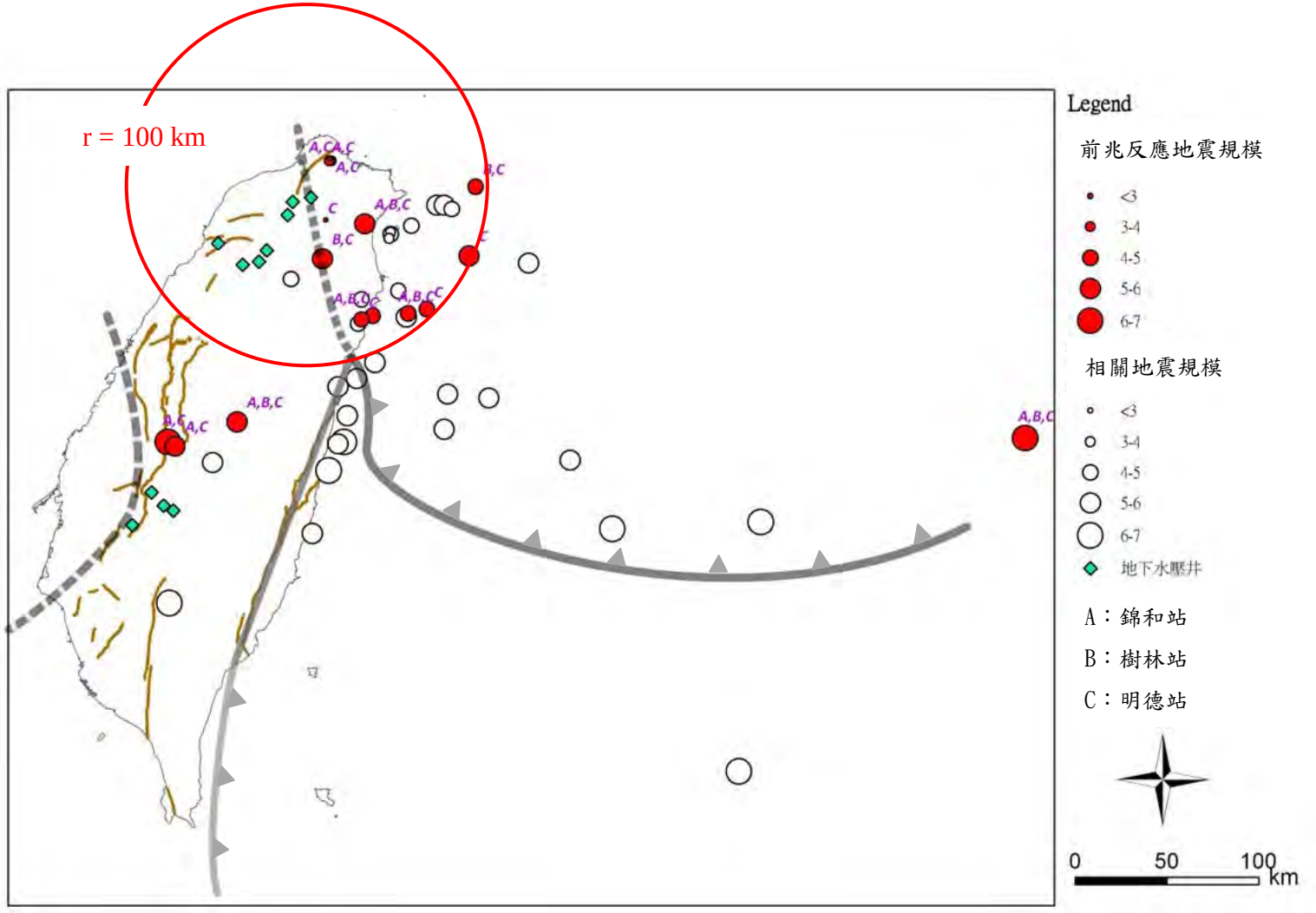


圖 6-46：台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及台北地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖（2008 年 11 月至 2010 年 10 月）。

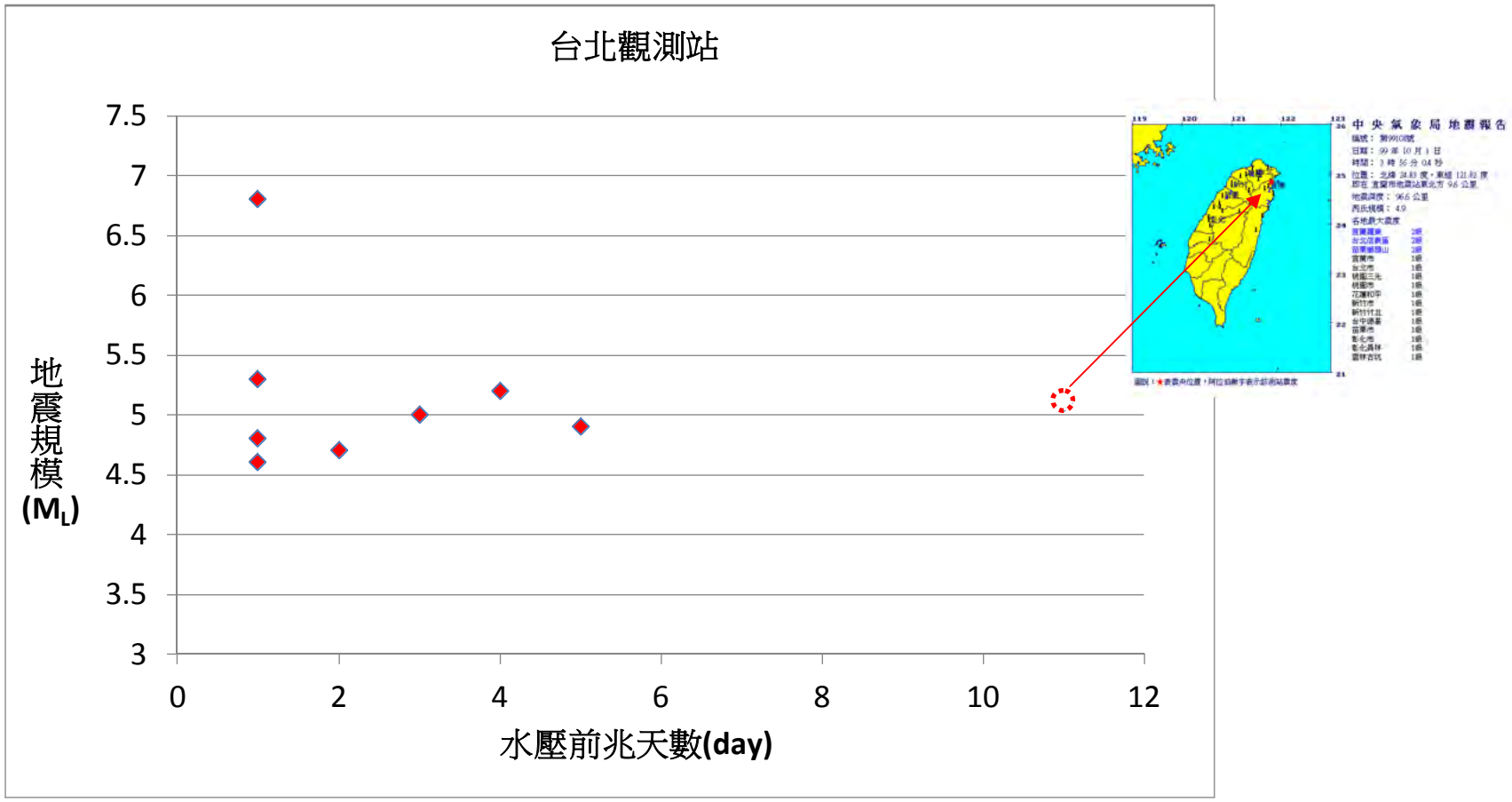


圖 6-47：台北地區水壓異常距地震發生天數及地震規模關係圖（2009/12~2010/11）。

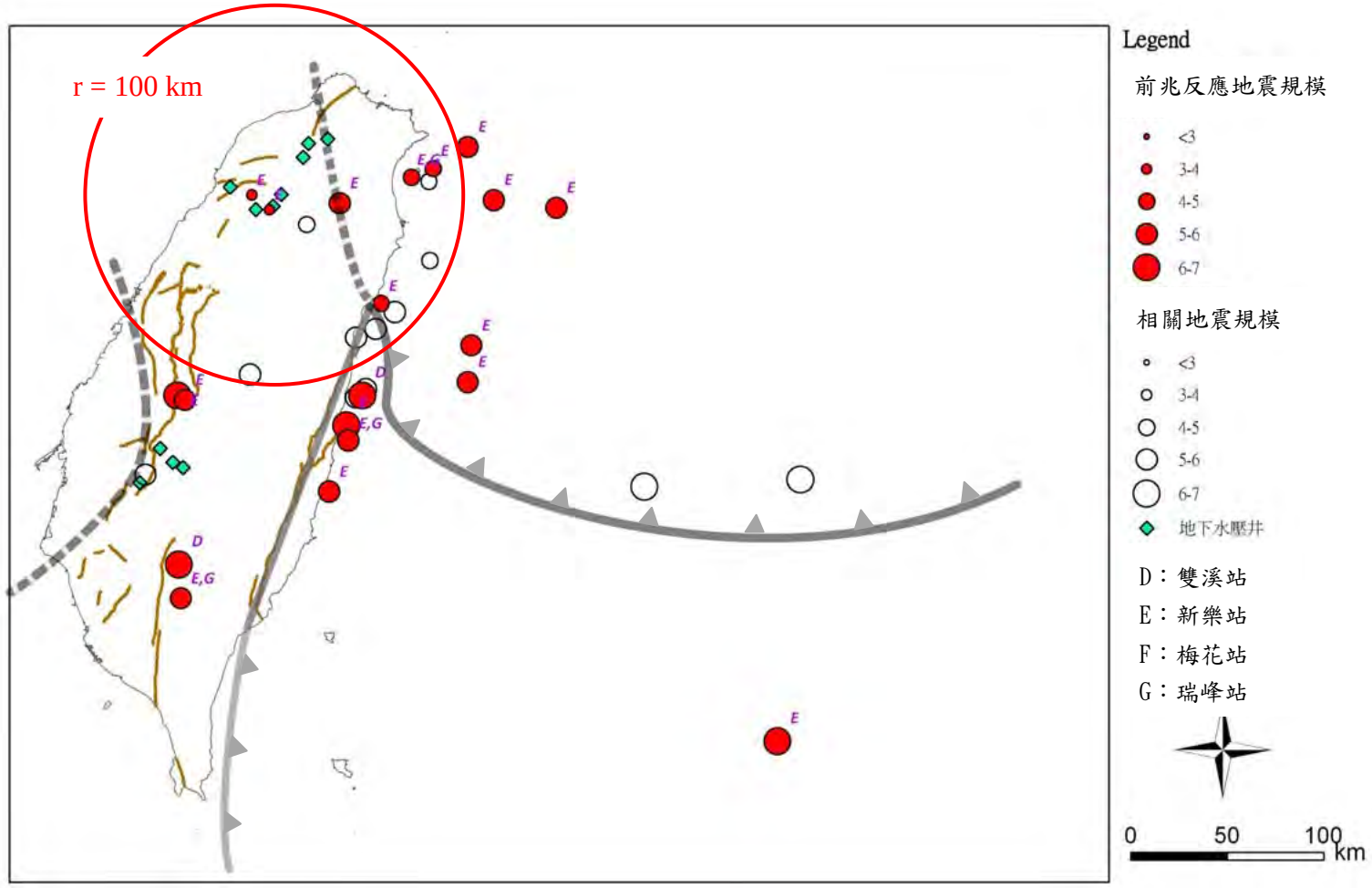


圖 6-48：台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及新竹地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖（2008 年 11 月至 2010 年 10 月）。

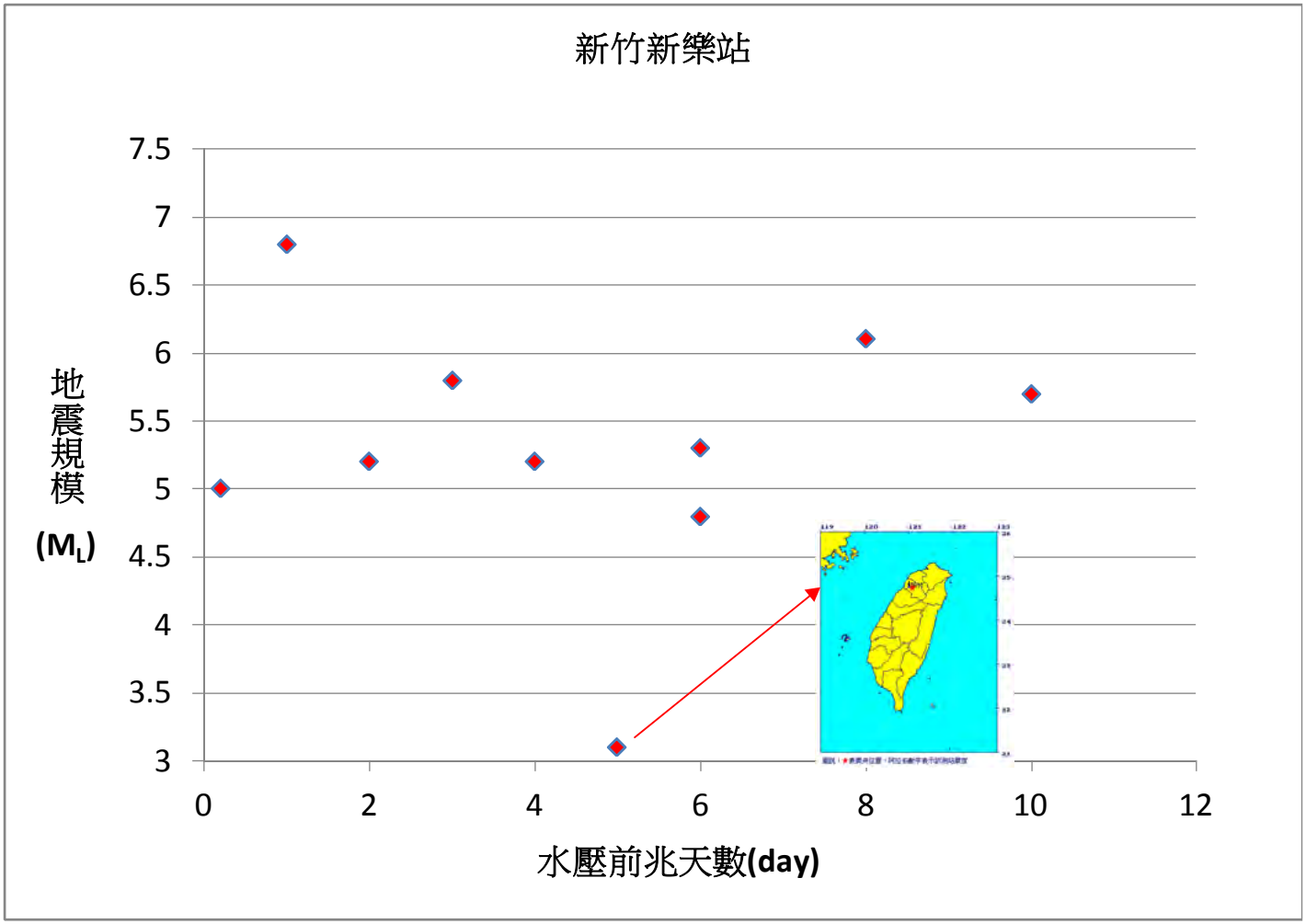


圖 6-49：新竹新樂站水壓異常距地震發生天數及地震規模關係圖（2009/12~2010/11）。

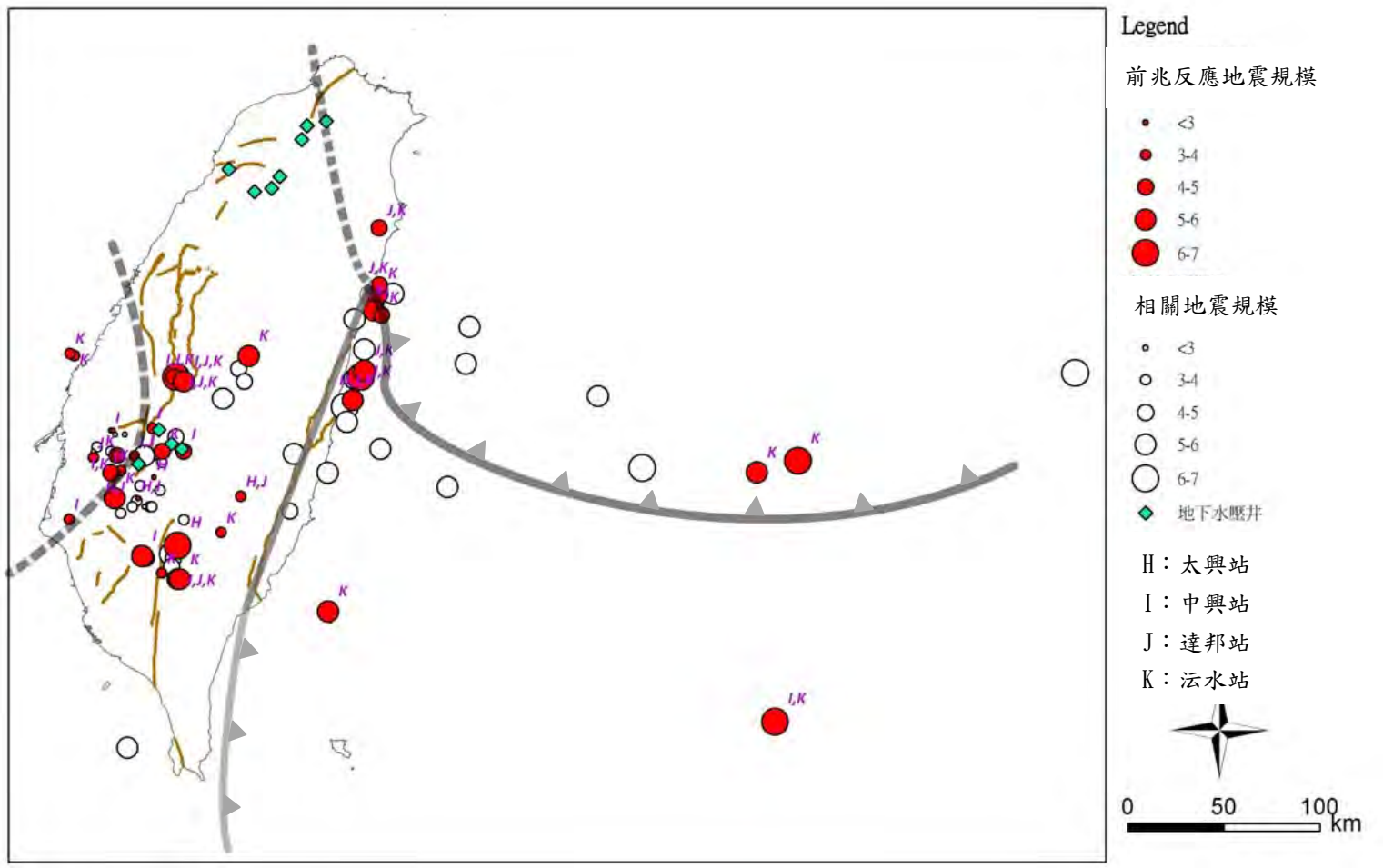


圖 6-50：台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及嘉義地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖（2008 年 11 月至 2010 年 10 月）。

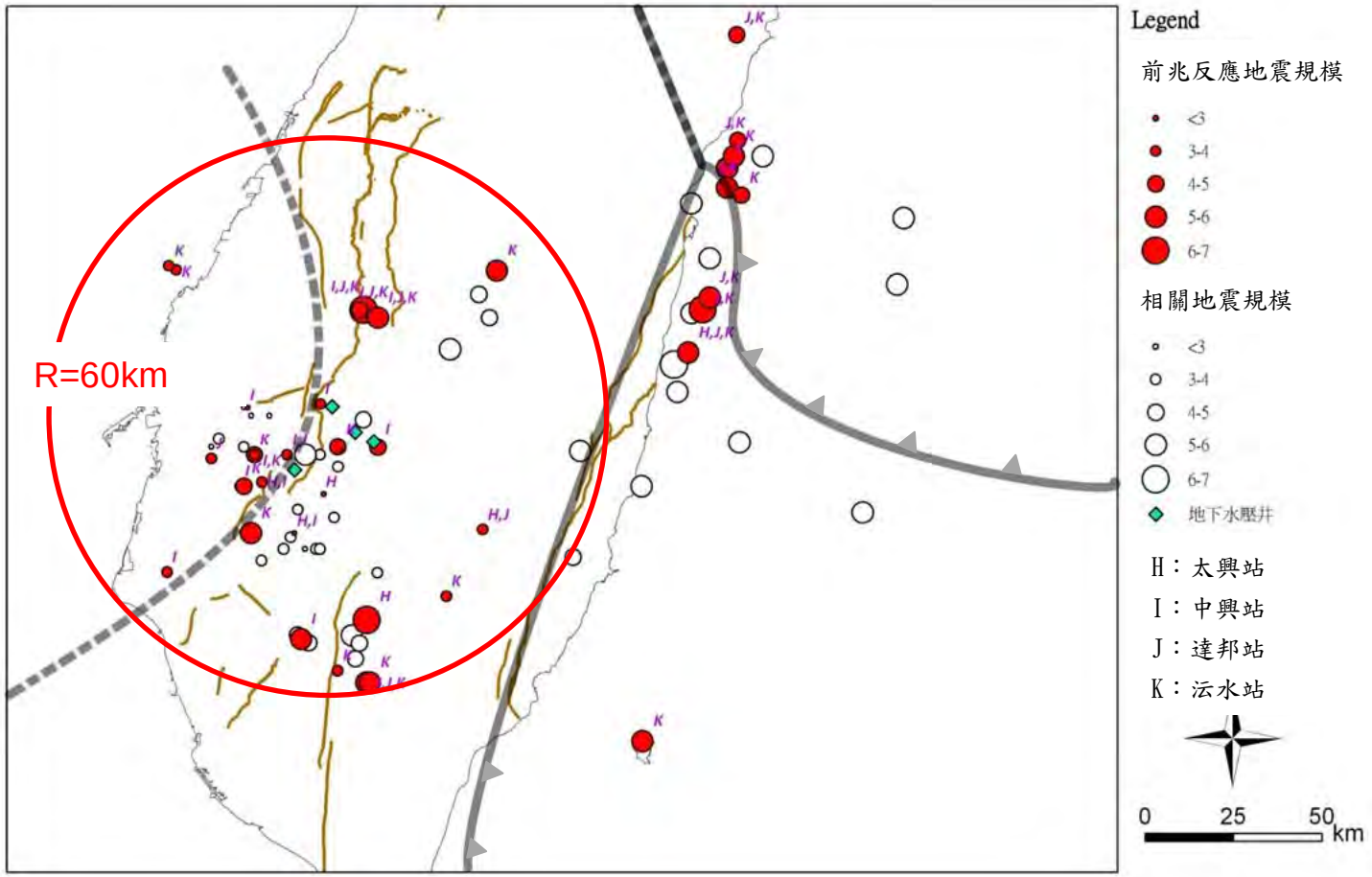


圖 6-51：台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及台北地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖（2008 年 11 月至 2010 年 10 月）。

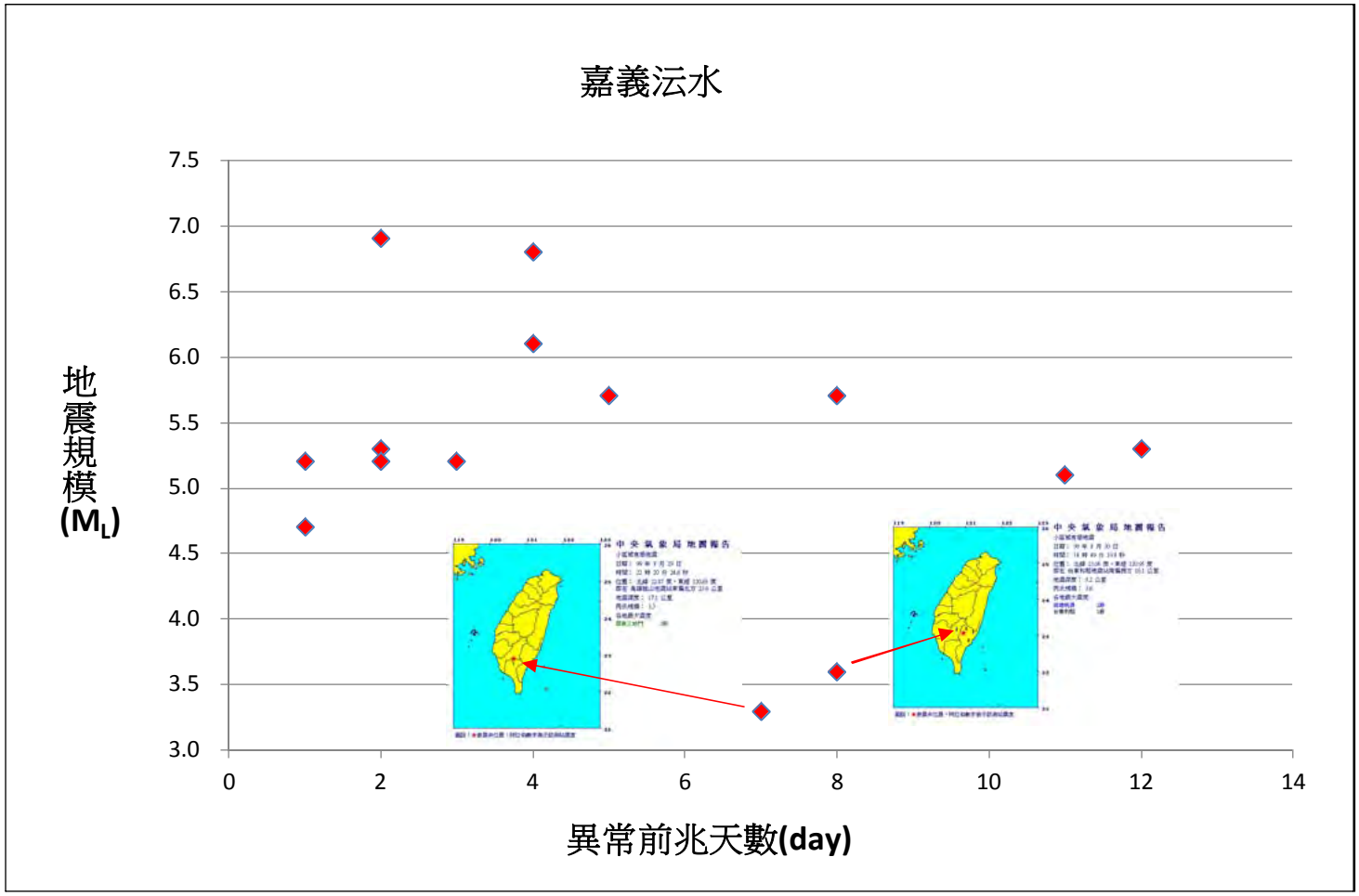


圖 6-52：嘉義沄水站水壓異常距地震發生天數及地震規模關係圖（2009/12~2010/11）。

6-5 雨量影響分析

台北地區測站（明德、錦和、樹林）以及新竹的新樂測站，由地下水壓時間序列和日雨量圖比對來看（圖6-1及圖6-16），其地下水壓變化受雨量明顯影響，為了解測站地下水壓變化之特性，以利地震前兆判斷，分別對各測站作雨量影響分析。

6-5-1 雨量影響地下水壓變化之特性

台北地區觀測井自2009年至2010年的單次雨量（豪大雨之累積雨量）與地下水壓變化資料顯示，明德站水壓變化較降雨的延遲時間並不受單次累積雨量大小影響（圖6-53），但地下水壓變化量與單次累積雨量呈良好的對數線性關係（圖6-54）。錦和站水壓變化的延遲時間亦不受單次累積雨量大小影響（圖6-55），而地下水壓變化與單次累積雨量仍呈良好的線性關係（圖6-56）。樹林站為新觀測站，統計資料自本年度開始（圖6-57），由於2010年7月至8月其地下水壓不受雨量影響持續下降，若將此二月份之數據去除，亦與雨量呈現線性關係（圖6-58）。

2010年2月12日至2月19日連續降雨且無地震影響的期間，累積雨量與地下水壓的相關分析顯示（圖6-59及圖6-60），明德與錦和之地下水壓變化與累積降雨量有明顯的正相關。

另外，自 2010 年 3 月以來，錦和站於降雨期與非降雨期地下水壓的變化曲線（圖 6-2），有明顯差異。在非降雨期，錦和每日的地下水壓變化受地潮影響而呈規律的升降變化，但降雨期時，則無此規律，此現象也可說明錦和站地下水壓明顯受雨量影響。

6-5-2 地下水壓校正

地下水壓受雨量顯著影響的測站，在地震前出現地下水壓異常，若同時有降雨干擾則影響前兆反應之判斷，期望將控制地下水壓變化之雨量變因去除，以提升更準確的地震前兆預測。

欲去除雨量因子，必須作雨量影響地下水壓上升量的相關分析以及在非降雨期之水位自然下降量的計算。由於新竹新樂站本年度前半年多次在震前出現地下水壓異常現象時，同時也受降雨的干擾影響判斷。因此，以新樂站為例，比較原始地下水壓值和地下水壓校正值，看是否有助提高地震前兆的辨識度。

找出一段連續降雨且無地震影響的期間，算出雨量對地下水壓上升之影響值

（圖6-61）；另一段是利用連續無降雨且無地震影響的期間，計算出地下水壓自然下降量（圖6-62）。由此關係式，我們可以進而去除雨量因子，校正地下水壓值。計算方法如下：

GW_{cav}：去除雨量因子之地下水壓日均值

GW_F ：前十日地下水壓趨勢線所預測之當日水位

σ：前五日地下水壓之標準差

當｜GW_{cav}- GW_F｜> 3σ 則定義為地下水壓異常

經此校正後的地下水壓值是否提升地震前兆訊息?

運算結果如圖6-63至圖6-70。圖中（A）為原始每分鐘一筆之地下水壓值記錄。（B）為去除雨量影響之地下水壓日平均值與前十日地下水壓趨勢預測值之差（GW_{cav}- GW_F）。（C）則是校正水壓之變異（GW_{cav} - GW_F）與前五日地下水壓標準差的三倍值比較圖。

如圖所示（圖6-63至圖6-70），地下水壓校正及水壓異常運算，明顯提升地下水壓異常之辨識度。紅色圈選部分為地下水壓異常大於前五日之三倍標準差，紅色箭頭所指則為異常出現的始點。統計自2010年1月中旬至2010年8月，新竹之相關地震共22起，地下水壓原始值發現震前地下水壓異常的地震有9起（表6-2），經校正並透過程式運算判斷異常值所標示出震前水壓異常則有18起地震（圖6-64至圖6-70）。前兆反應比率由41 %提升至82 %。初步測試結果，經校正後的地下水壓可提升地震前兆之判別。

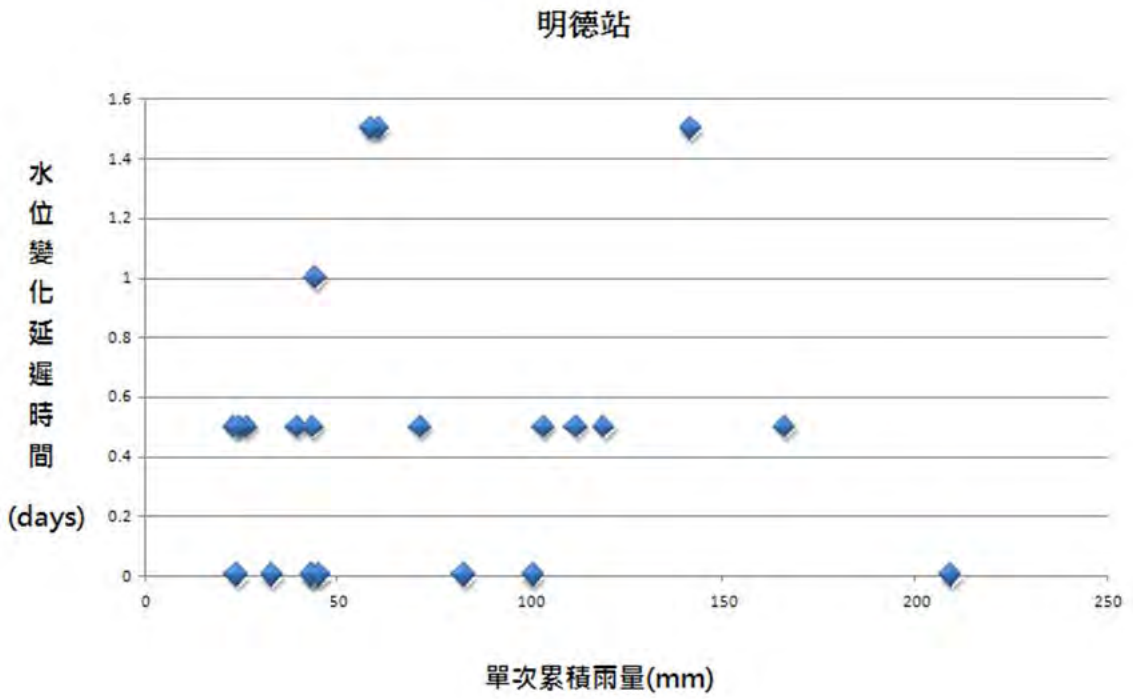


圖 6-53：台北地區明德站 2009 年至 2010 年 6 月單次累積雨量與地下水壓化延遲時間之關係分佈圖。

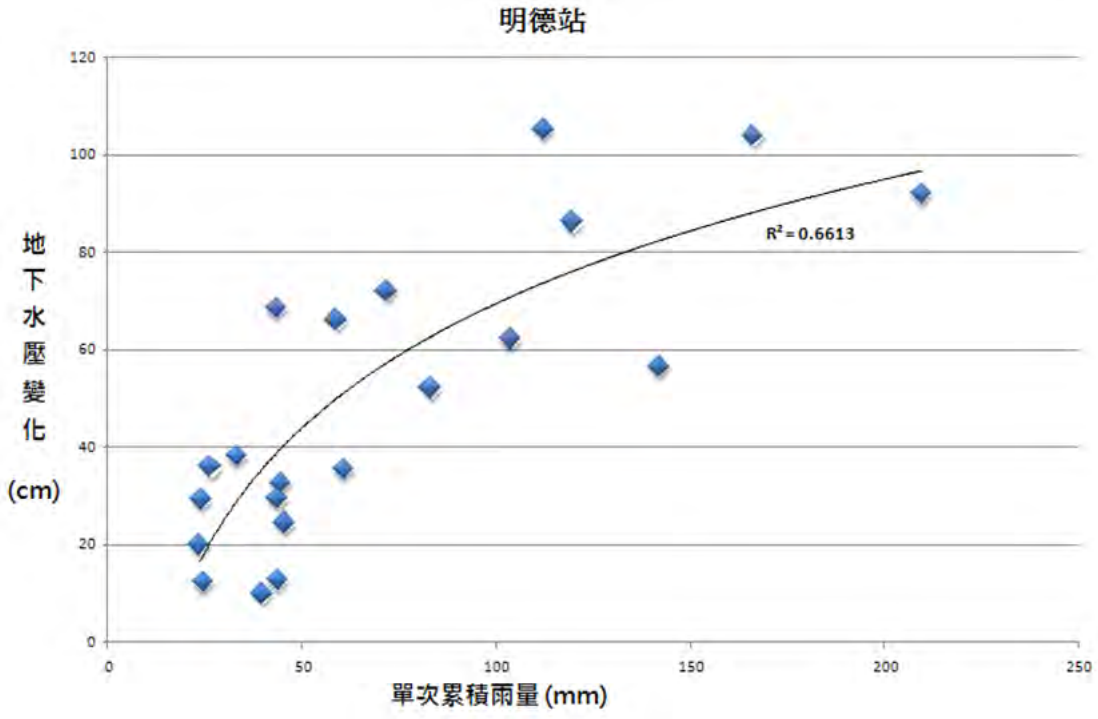


圖 6-54：台北地區明德站 2009 年至 2010 年 6 月單次累積雨量與地下水壓化變化關係之分佈圖。

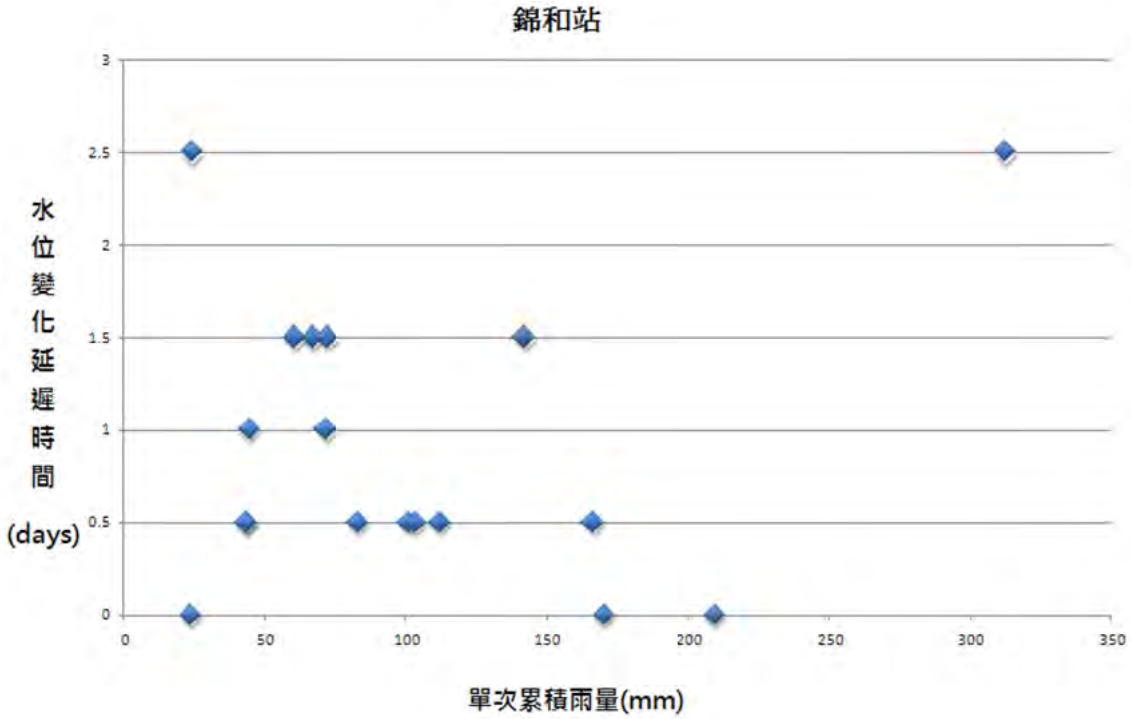


圖 6-55：台北地區錦和站 2009 年至 2010 年 6 月單次累積雨量與地下水壓化延遲時間之關係分佈圖。

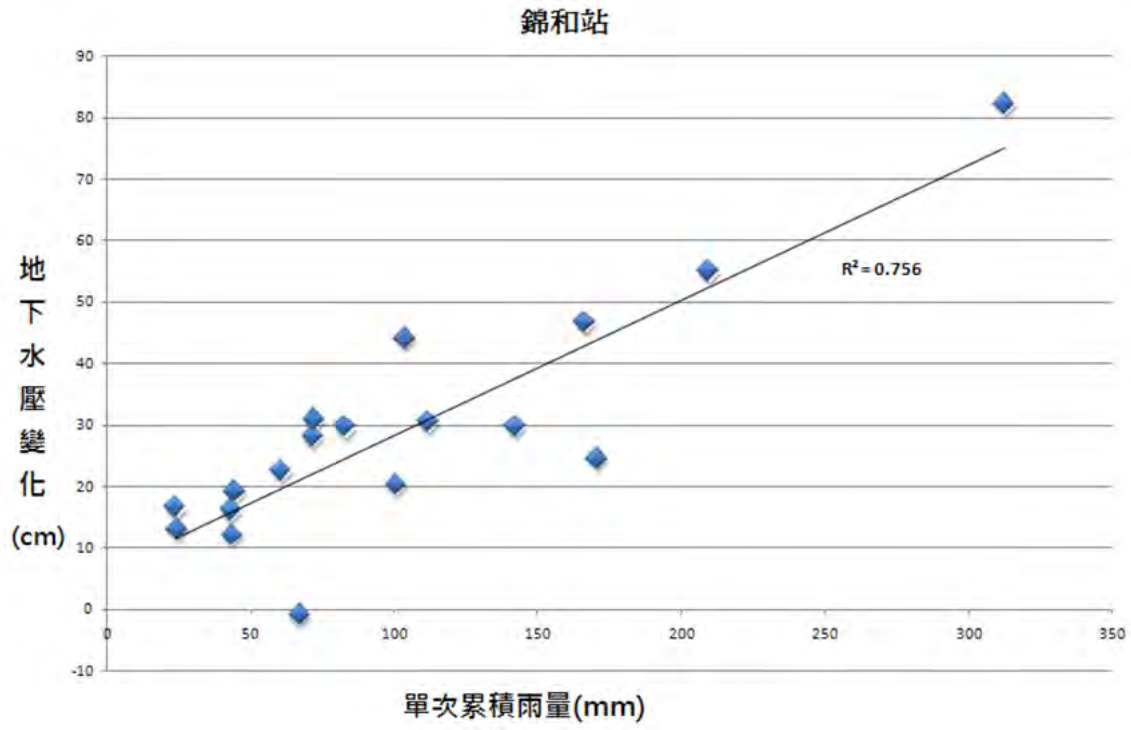


圖 6-56：台北地區錦和站 2009 年至 2010 年 6 月單次累積雨量與地下水壓化變化關係之分佈圖。

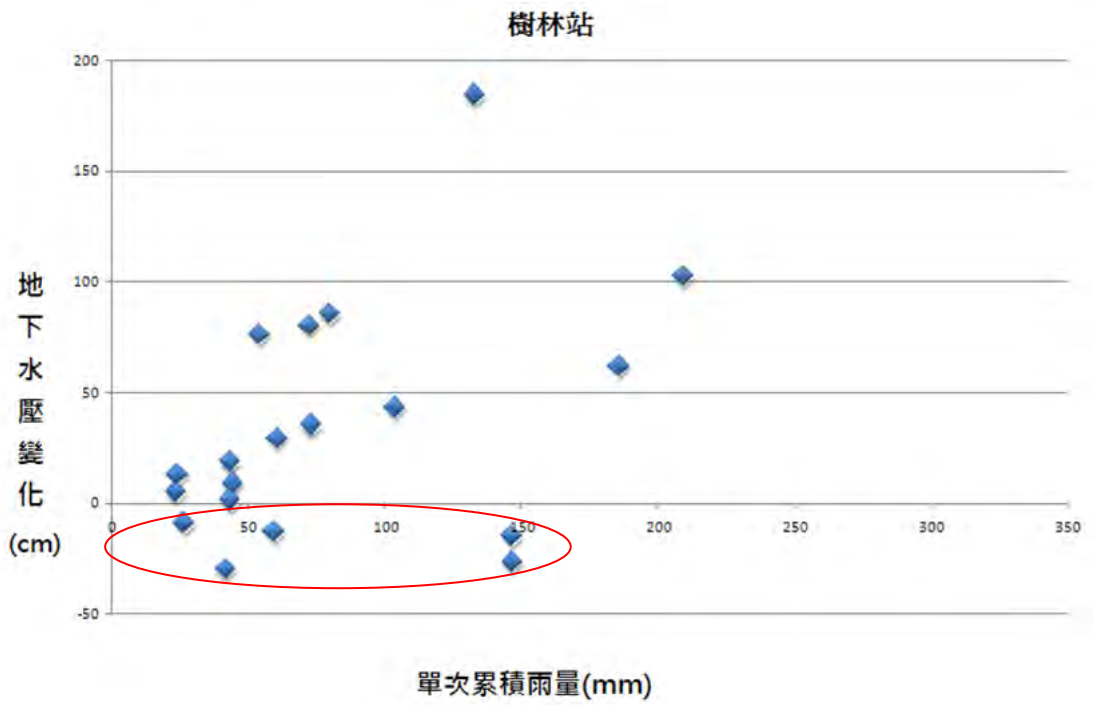


圖 6-57：台北地區樹林站 2009 年至 2010 年 10 月單次累積雨量與地下水壓化延遲時間之關係分佈圖。

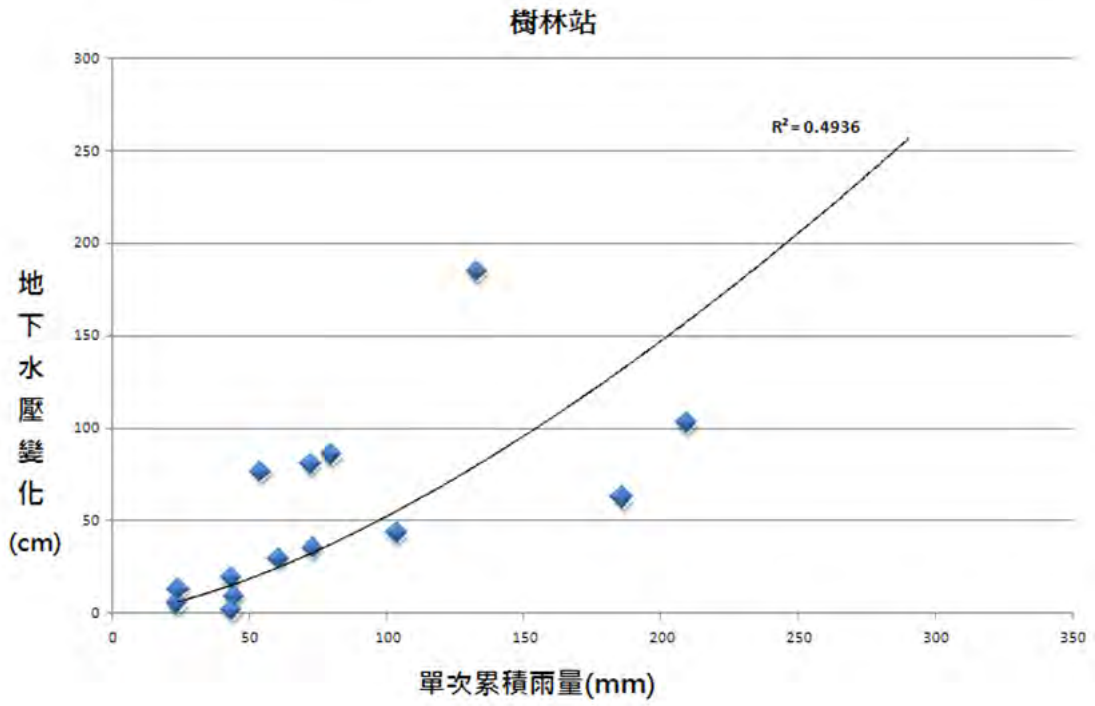


圖 6-58：台北地區樹林站 2009 年至 2010 年 10 月單次累積雨量與地下水壓化延遲時間之關係分佈圖。

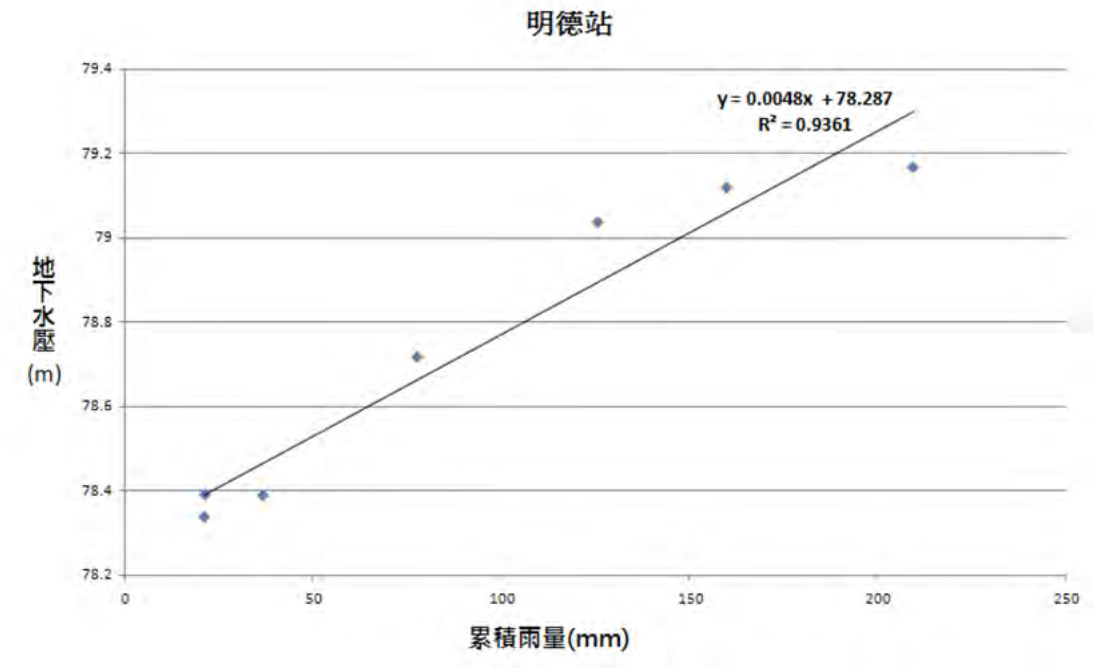


圖 6-59：台北地區明德站 2010 年 2 月 12 日至 2 月 19 日連續累積雨量與地下水壓化變化關係之分佈圖。

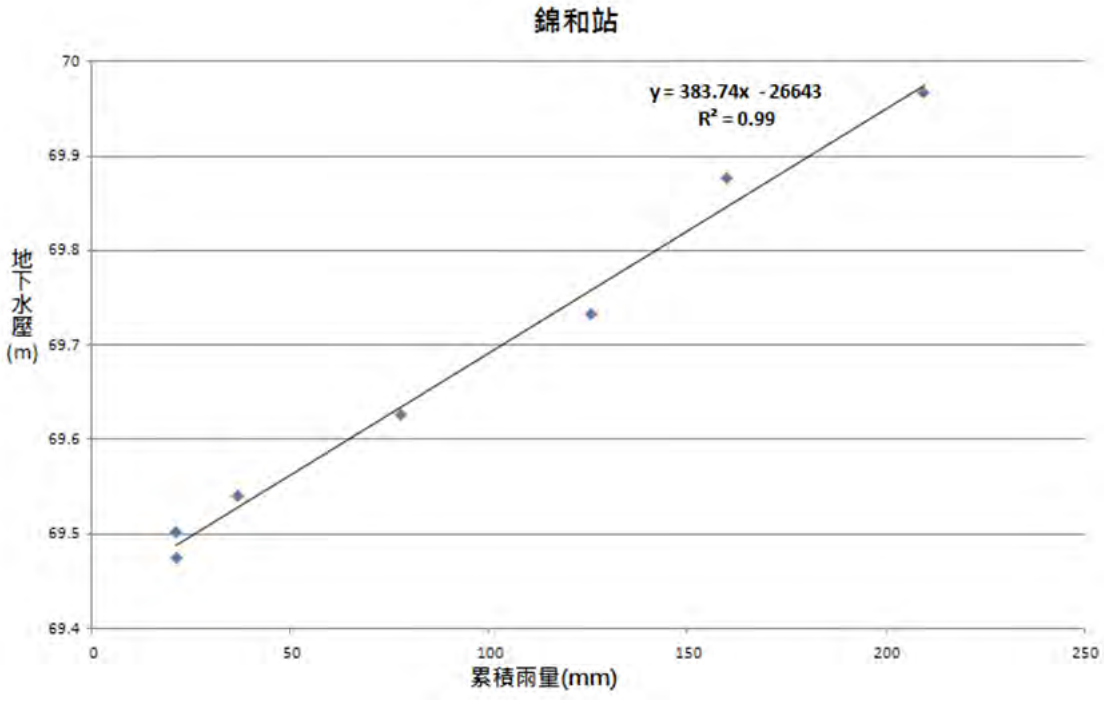


圖 6-60：台北地區錦和站 2010 年 2 月 12 日至 2 月 19 日連續累積雨量與地下水壓化變化關係之分佈圖。

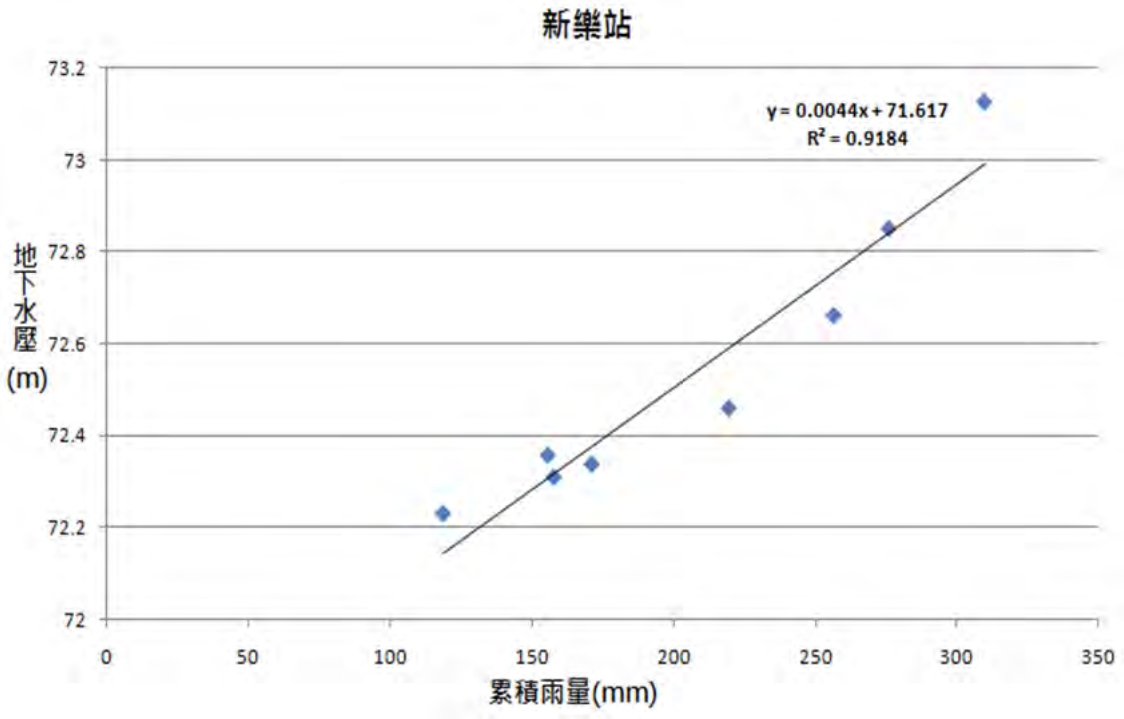


圖 6-61：新竹地區新樂站 2010 年 2 月 12 日至 2 月 19 日連續累積雨量與地下水壓化變化關係之分佈圖。

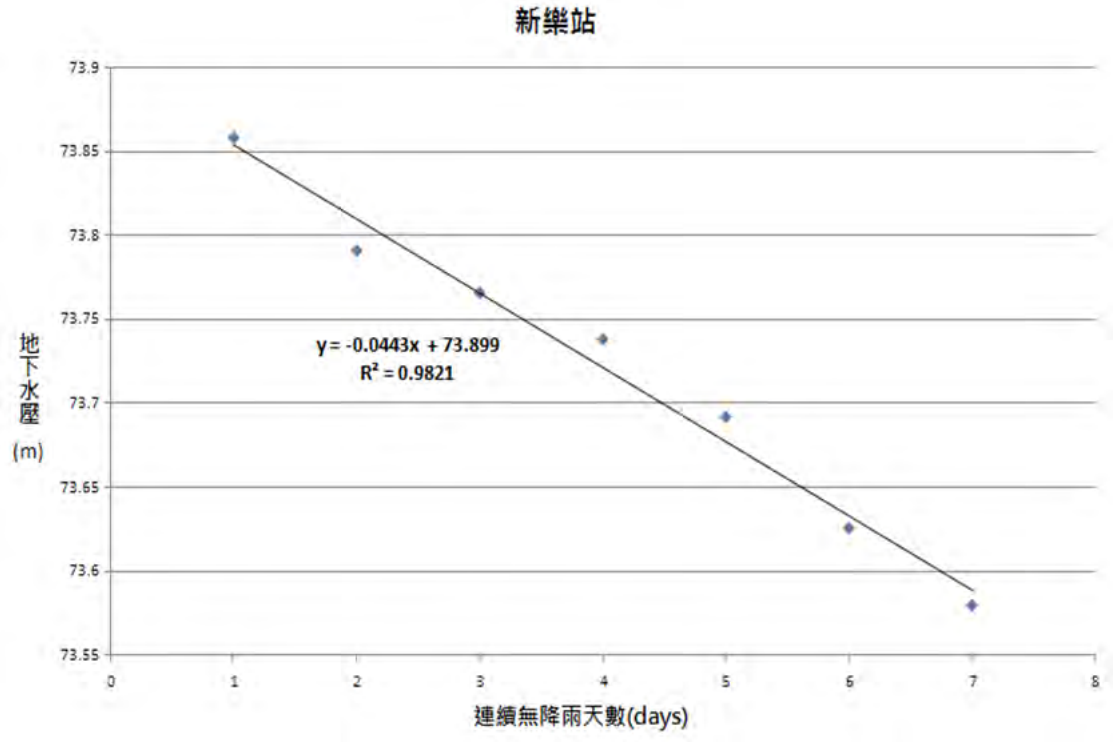


圖 6-62：新竹地區新樂站 2010 年 7 月 29 日至 8 月 4 日地下水壓自然下降量之關係圖。

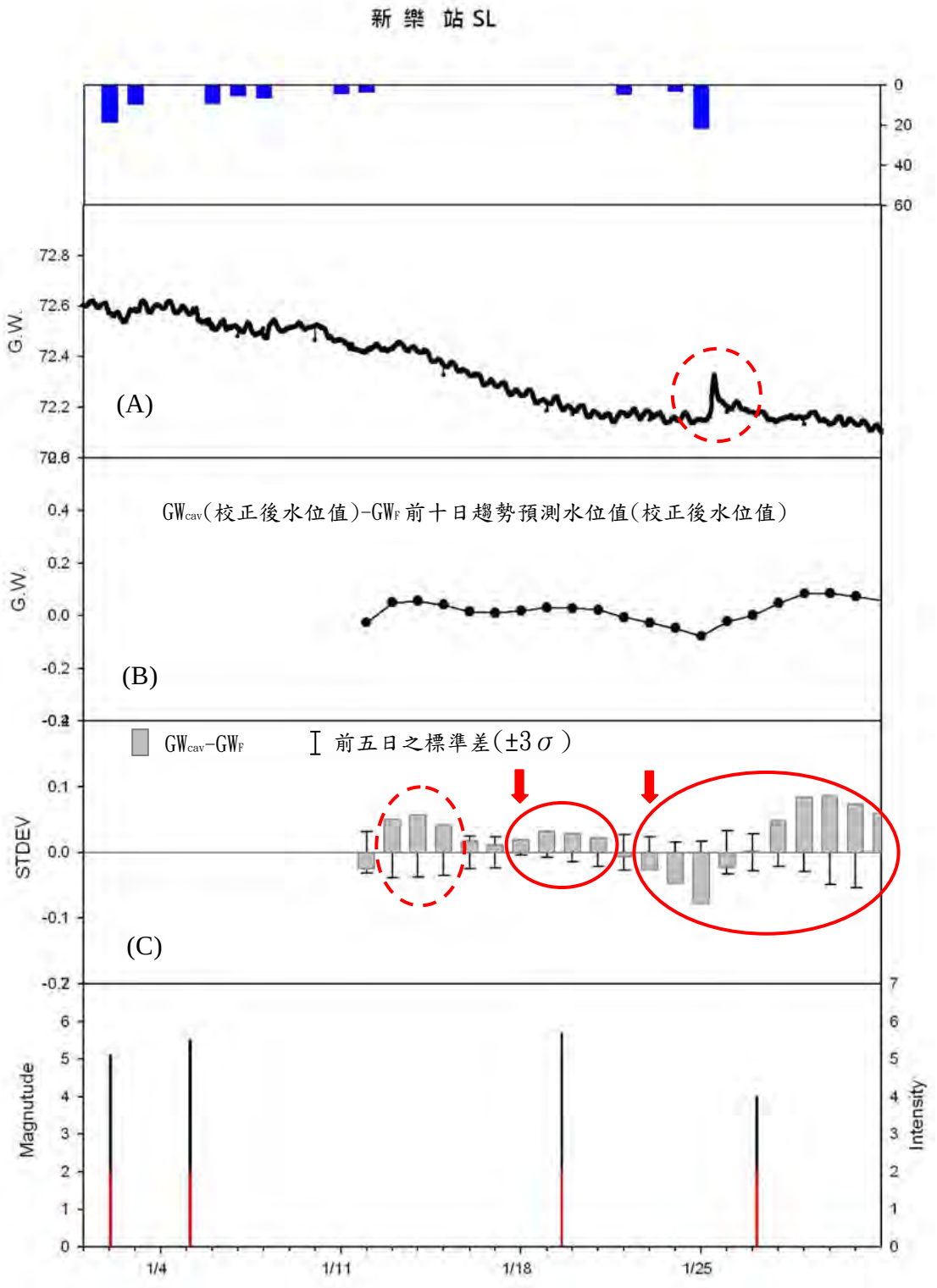


圖 6-63：新竹地區新樂站 2010 年 1 月水位資料與地震及雨量比對圖。
（A）地下水壓原始值。紅色實線推測為地震前兆，虛線為疑似震前水壓異常。
（B）當日地下水壓校正值與前十日趨勢預測值之差值（GW_{cav} - GW_F）。
（C）地下水壓變異值與前五日標準差（±3σ）之比較。紅色圈選部分為地下水壓變動大於前五日三倍標準差，也就是定義為地下水壓異常。實線部分為兩者差值較大，虛線部分兩者差值較小。

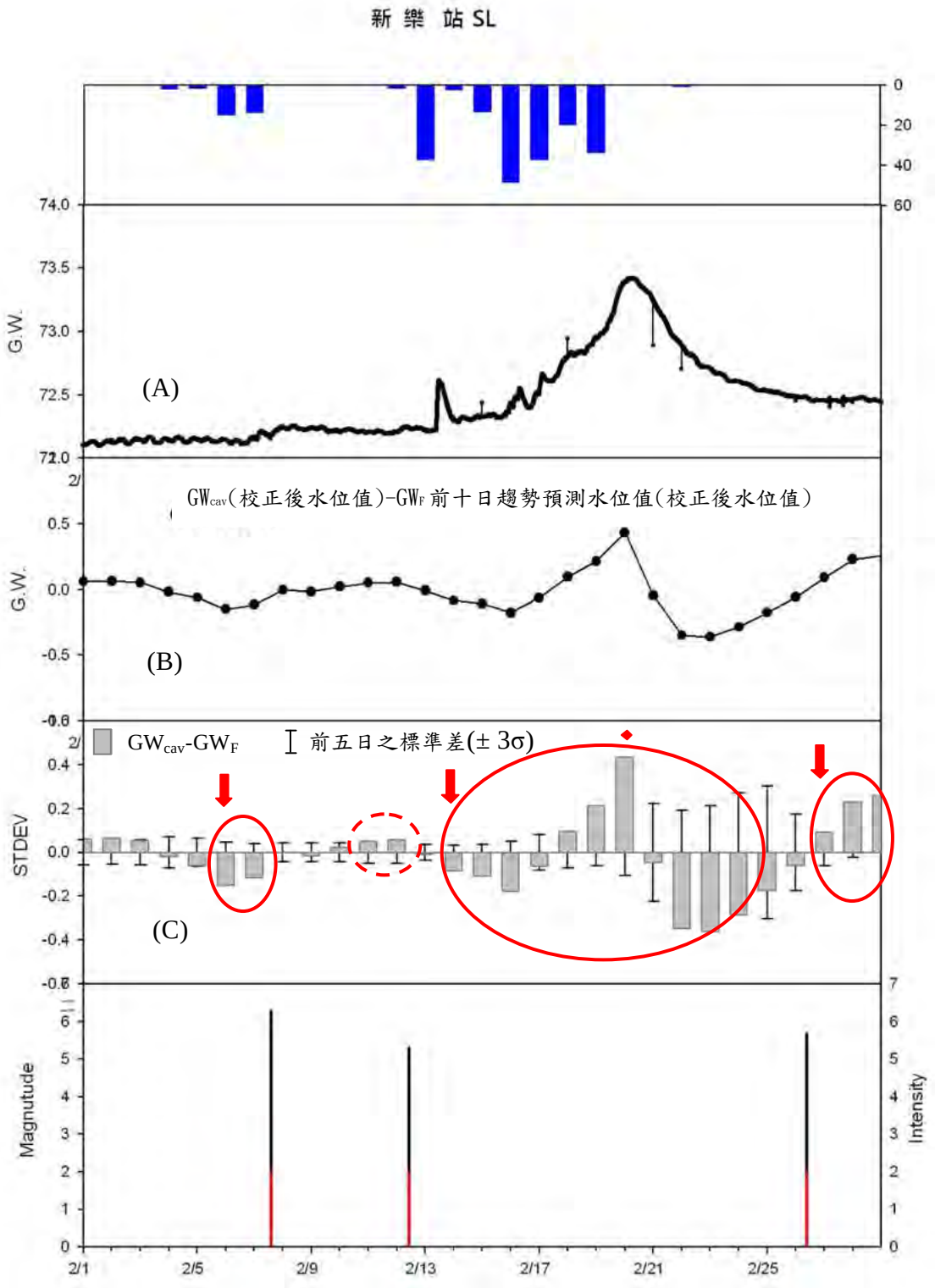


圖 6-64：新竹地區新樂站 2010 年 2 月水位資料與地震及雨量比對圖。

（A）地下水壓原始值。紅色實線推測為地震前兆，虛線為疑似震前水壓異常。

（B）當日地下水壓校正值與前十日趨勢預測值之差值（GW_{cav} - GW_F）。

（C）地下水壓變異值與前五日標準差（±3σ）之比較。紅色圈選部分為地下水壓變動大於前五日三倍標準差，也就是定義為地下水壓異常。實線部分為兩者差值較大，虛線部分兩者差值較小。

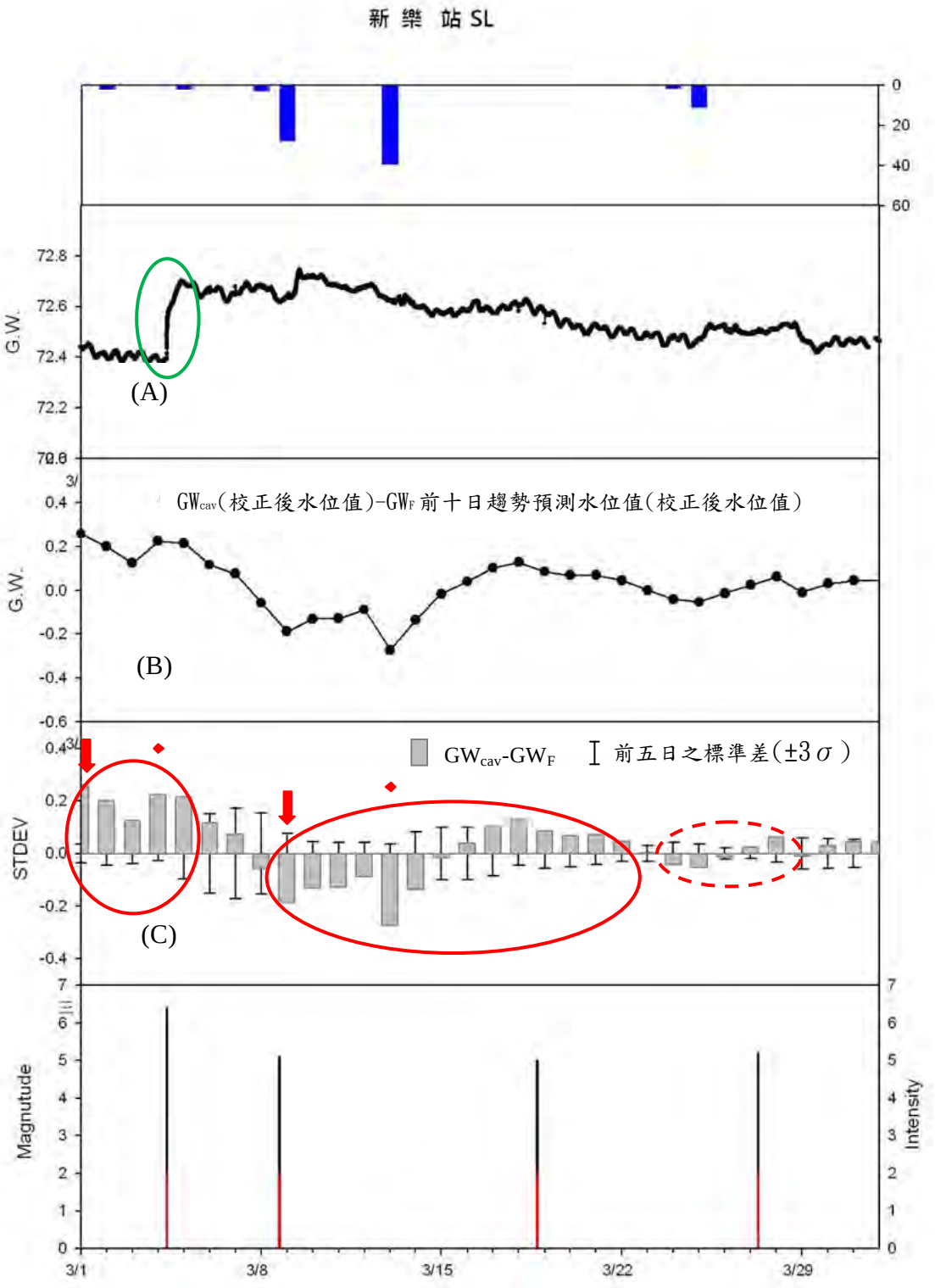


圖 6-65：新竹地區新樂站 2010 年 3 月水位資料與地震及雨量比對圖。

（A）地下水壓原始值。綠色為同震現象。

（B）當日地下水壓校正值與前十日趨勢預測值之差值（GW_{cav}-GW_F）。

（C）地下水壓變異值與前五日標準差（±3σ）之比較。紅色圈選部分為地下水壓變動大於前五日三倍標準差，也就是定義為地下水壓異常。實線部分為兩者差值較大，虛線部分兩者差值較小。

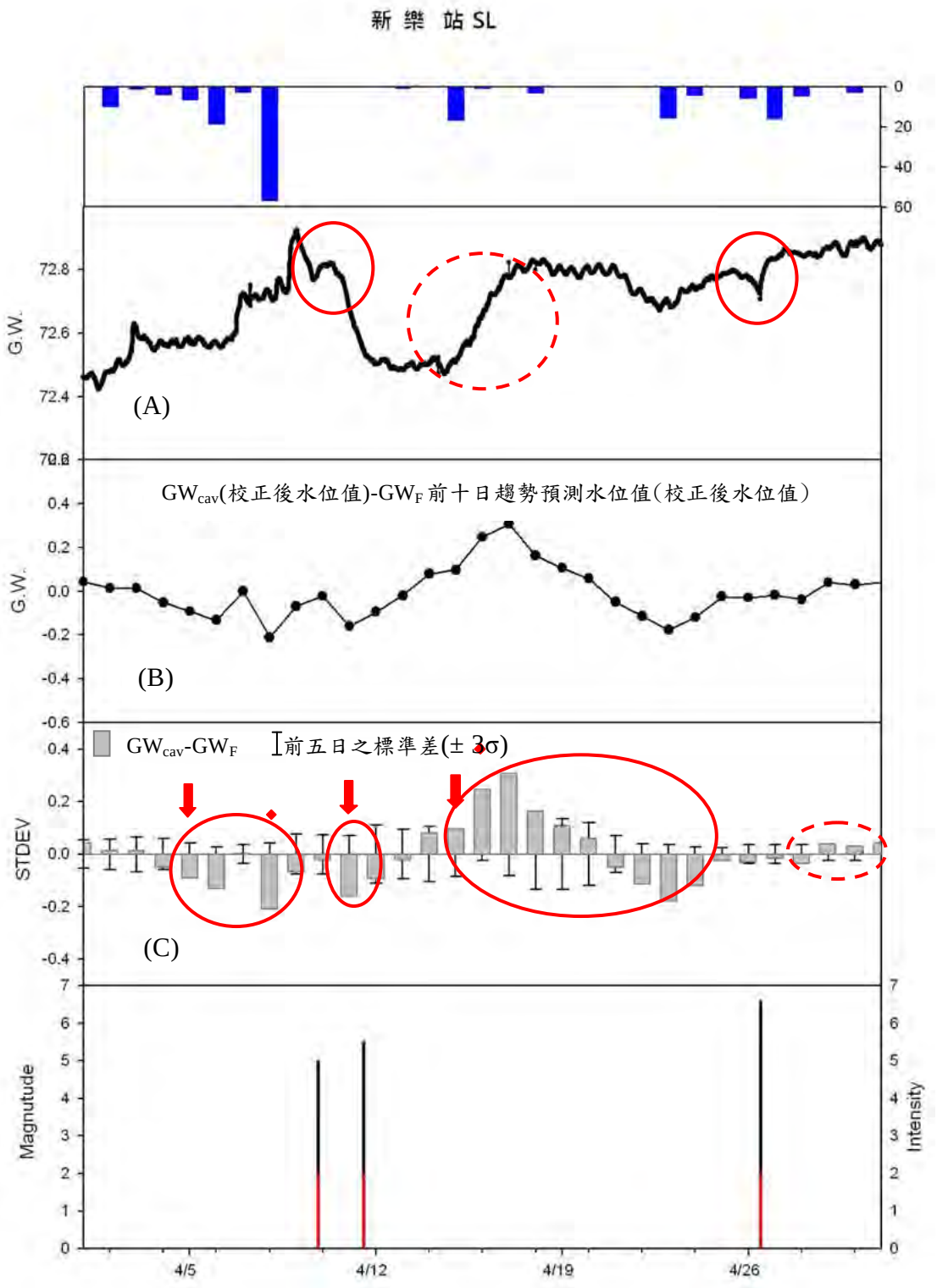


圖 6-66：新竹地區新樂站 2010 年 4 月水位資料與地震及雨量比對圖。
（A）地下水壓原始值。紅色實線推測為地震前兆，虛線為疑似震前水壓異常。
（B）當日地下水壓校正值與前十日趨勢預測值之差值（GW_{cav}-GW_F）。
（C）地下水壓變異值與前五日標準差（±3σ）之比較。紅色圈選部分為地下水壓變動大於前五日三倍標準差，也就是定義為地下水壓異常。實線部分為兩者差值較大，虛線部分兩者差值較小。

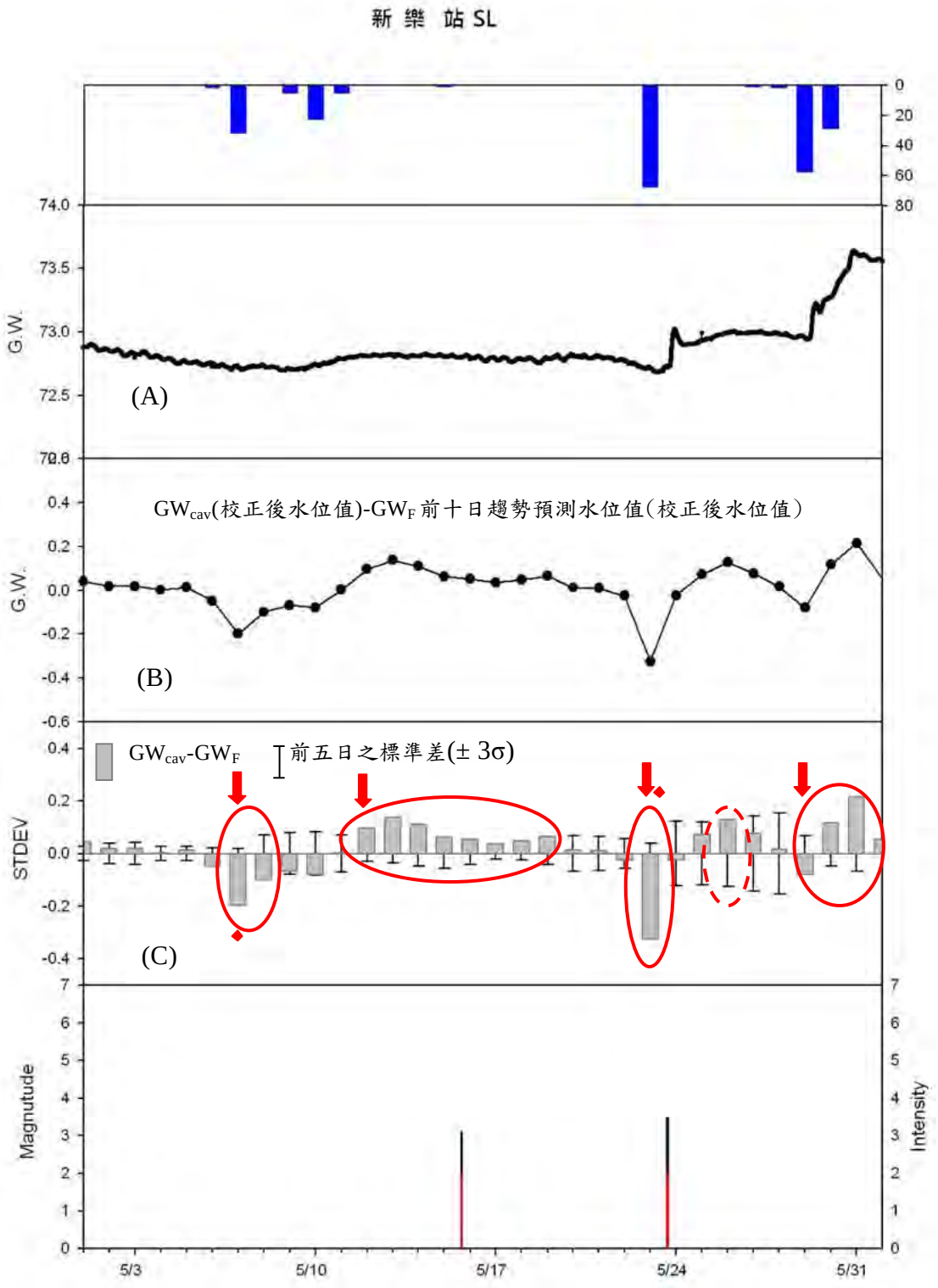


圖 6-67：新竹地區新樂站 2010 年 5 月水位資料與地震及雨量比對圖。

（A）地下水壓原始值。

（B）當日地下水壓校正值與前十日趨勢預測值之差值（GW_{cav} - GW_F）。

（C）地下水壓變異值與前五日標準差（±3σ）之比較。紅色圈選部分為地下水壓變動大於前五日三倍標準差，也就是定義為地下水壓異常。實線部分為兩者差值較大，虛線部分兩者差值較小。

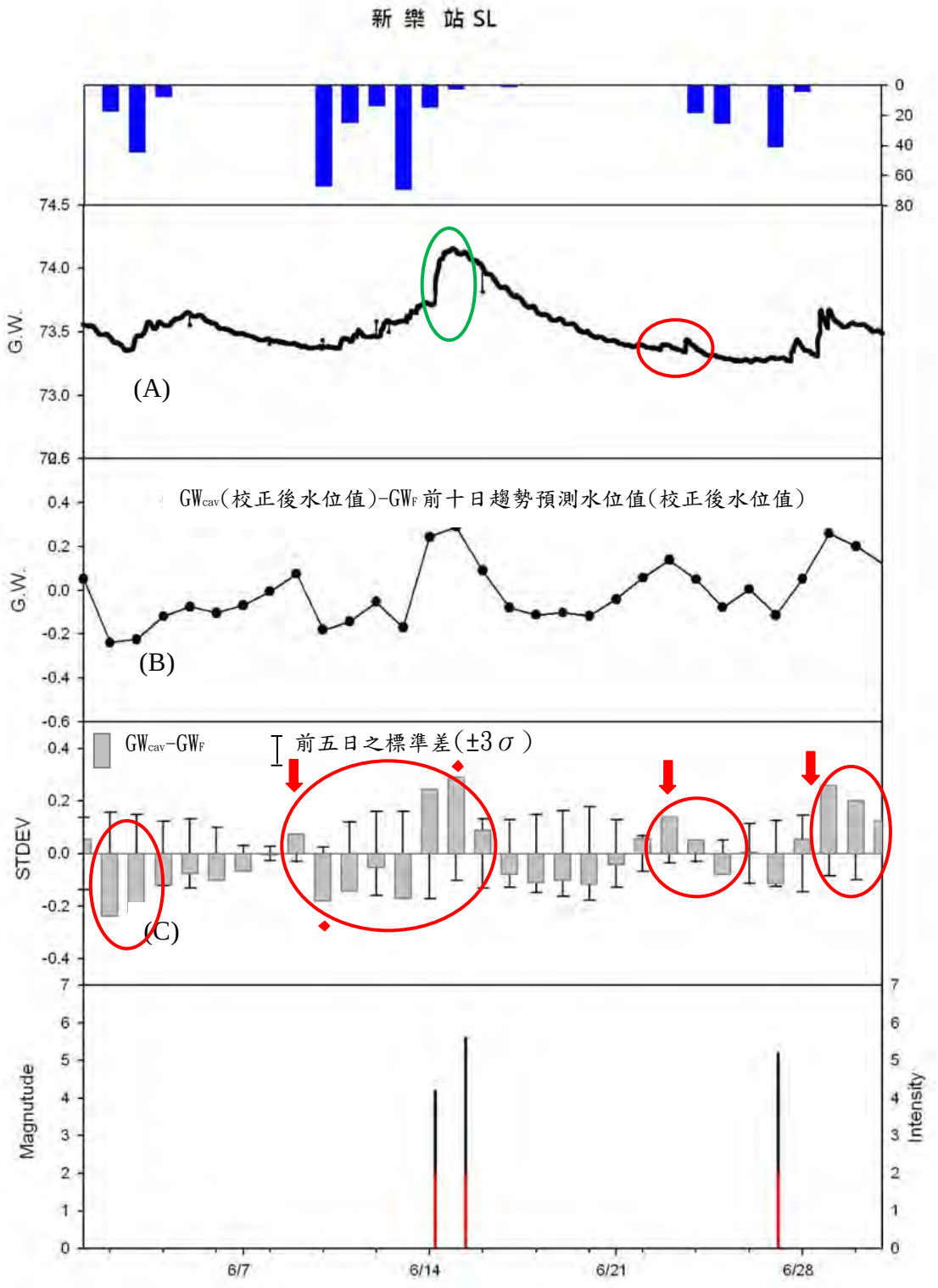


圖 6-68：新竹地區新樂站 2010 年 6 月水位資料與地震及雨量比對圖。

（A）地下水壓原始值。紅色實線推測為地震前兆，綠色為同震。

（B）當日地下水壓校正值與前十日趨勢預測值之差值（GW_{cav} - GW_F）。

（C）地下水壓變異值與前五日標準差（±3σ）之比較。紅色圈選部分為地下水壓變動大於前五日三倍標準差，也就是定義為地下水壓異常。實線部分為兩者差值較大，虛線部分兩者差值較小。

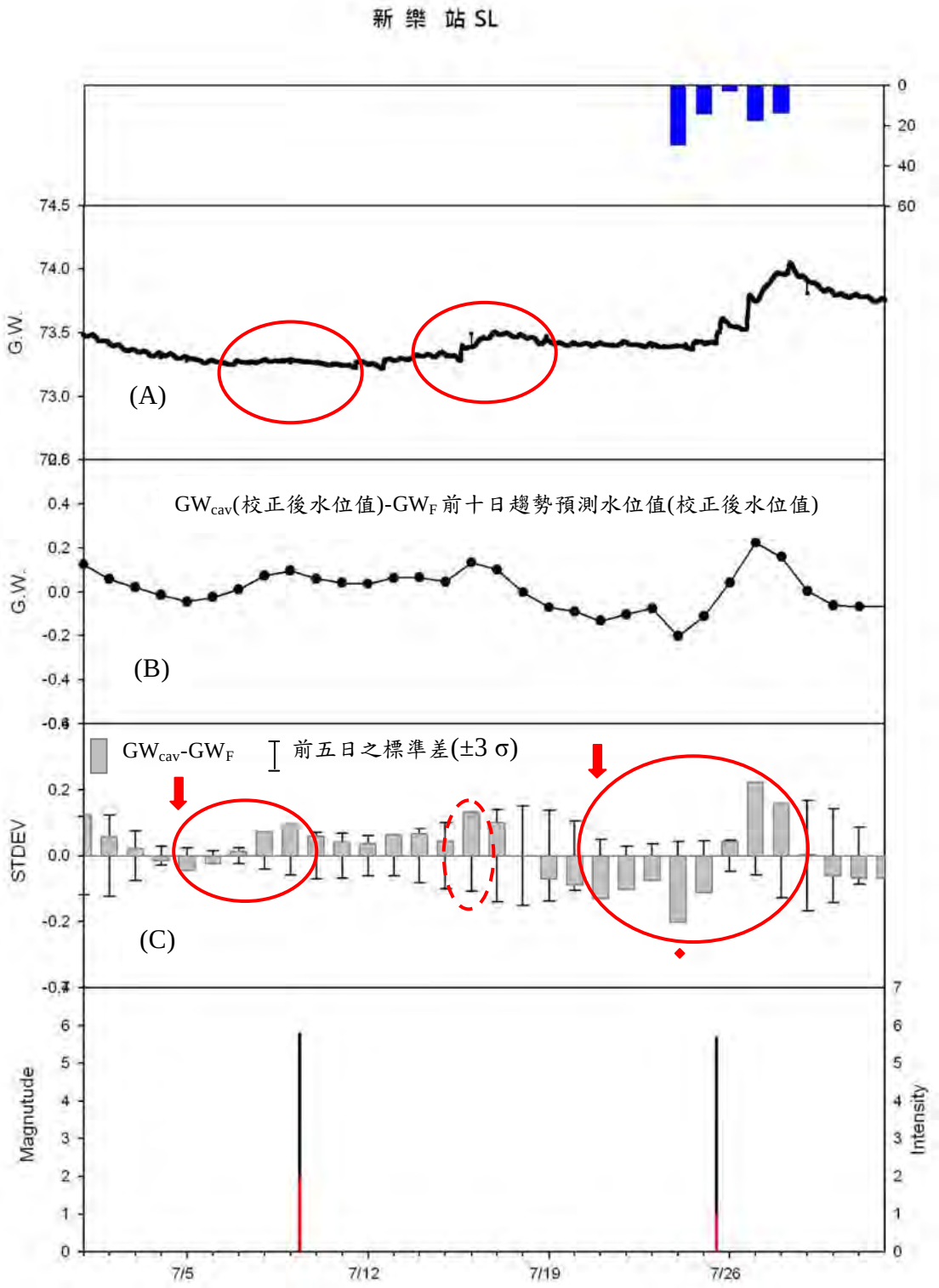


圖 6-69：新竹地區新樂站 2010 年 7 月水位資料與地震及雨量比對圖。

（A）地下水壓原始值。紅色實線推測為地震前兆。

（B）當日地下水壓校正值與前十日趨勢預測值之差值（GW_{cav} - GW_F）。

（C）地下水壓變異值與前五日標準差（±3σ）之比較。紅色圈選部分為地下水壓變動大於前五日三倍標準差，也就是定義為地下水壓異常。實線部分為兩者差值較大，虛線部分兩者差值較小。

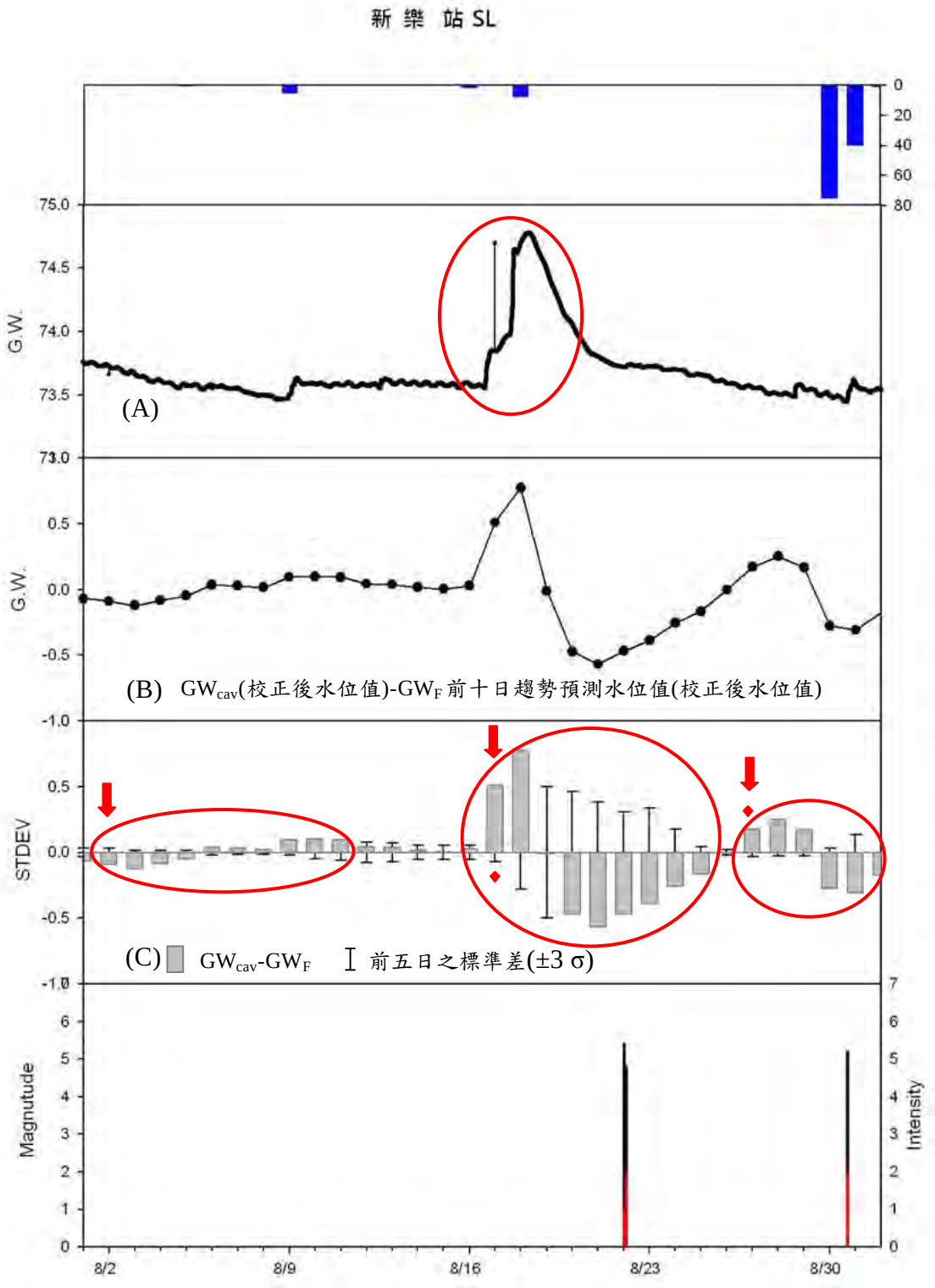


圖 6-70：新竹地區新樂站 2010 年 8 月水位資料與地震及雨量比對圖。

（A）地下水壓原始值。紅色實線推測為地震前兆。

（B）當日地下水壓校正值與前十日趨勢預測值之差值（GW_{cav} - GW_F）。

（C）地下水壓變異值與前五日標準差（± 3σ）之比較。紅色圈選部分為地下水壓變動大於前五日三倍標準差，也就是定義為地下水壓異常。實線部分為兩者差值較大，虛線部分兩者差值較小。

6-6　中度以上地震之討論

觀察各測站地下水壓變化對中度以上相關地震之反應。

中度以上相關地震的篩選條件為：

$M_L > 5$　&　$D/R > 2$

其中，D及R的詳細定義及其相關文獻探討請參考節2-5。

D/R篩選值，目前初步選擇應變影響直徑大於震央距（D/R>2），作為較具影響力之地震篩選。符合此條件之相關地震，台北地區有23起，震前出現地下水壓異常有5起（圖6-71），預測比率為22 %；新竹地區有17起，震前出現地下水壓異常有8起（圖6-72），預測比率為47 %；嘉義地區有21起，震前出現地下水壓異常有10起（圖6-73），預測比率為48 %。台灣中北部較大地震多反應於台北及新竹測站，而台灣中南部發生較大地震之前兆反應多出現在嘉義測站。

今年度所發生規模大於6的地震（表6-4），除了3月4日發生於高雄甲仙之地震外，大多位於台灣東部外海。其中，落在台北前出現異常之中度以上相關地震範圍（圖6-71），有2009年12月19日以及2010年10月4日地震兩起地震。2009年12月19日規模6.9這起地震在震前,台北三個測站地下水壓雖然都出現異常上升，但也同時有降雨的干擾，無法判斷是否地震影響之震前異常反應（圖6-4），但可以確定的是，樹林站出現地下水壓上升15公分之同震效應。2010年10月4日地震雖然距離台北逾四百公里，但因規模大，D/R值大於2，台北地區三個測站也同時出現水壓異常上升。

規模大於6且落於新竹中度以上相關地震震前異常反應之範圍（圖6-72），有2009年12月19日、2010年2月7日及2010年10月4日等三起。2010年2月7日的地震，對於台北、新竹、嘉義測站D/R值皆大於2，但無前兆反應。但10月4日地震對於新竹地區的D/R值小於2，不列入背景相關地震，也無前兆異常反應。新竹觀測站對於2009年12月19日地震以及2010年4月26日之地震有出現震前地下水壓異常反應，而2010年3月4日高雄甲仙地震，新樂站出現水壓上升20公分的同震效應。

新樂站經過雨量校正後的地下水壓，期間（圖6-64至圖6-70）所發生的大地震，震前都有明顯的地下水壓異常現象。2月7日花蓮外海發生規模6.6地震前出現地下水壓異常(圖6-64)，3月4日高雄甲仙大地震前有地下水壓異常(圖6-65)，4月26日高雄甲仙大地震前也出現地下水壓異常（圖6-66）。

嘉義測站則對於2010年2月7日及2010年10月4日兩起地震無前兆反應，2月7日地震對於嘉義測站之D/R值介於2.5和3之間，而10月4日地震對於嘉義之D/R值則小於2。

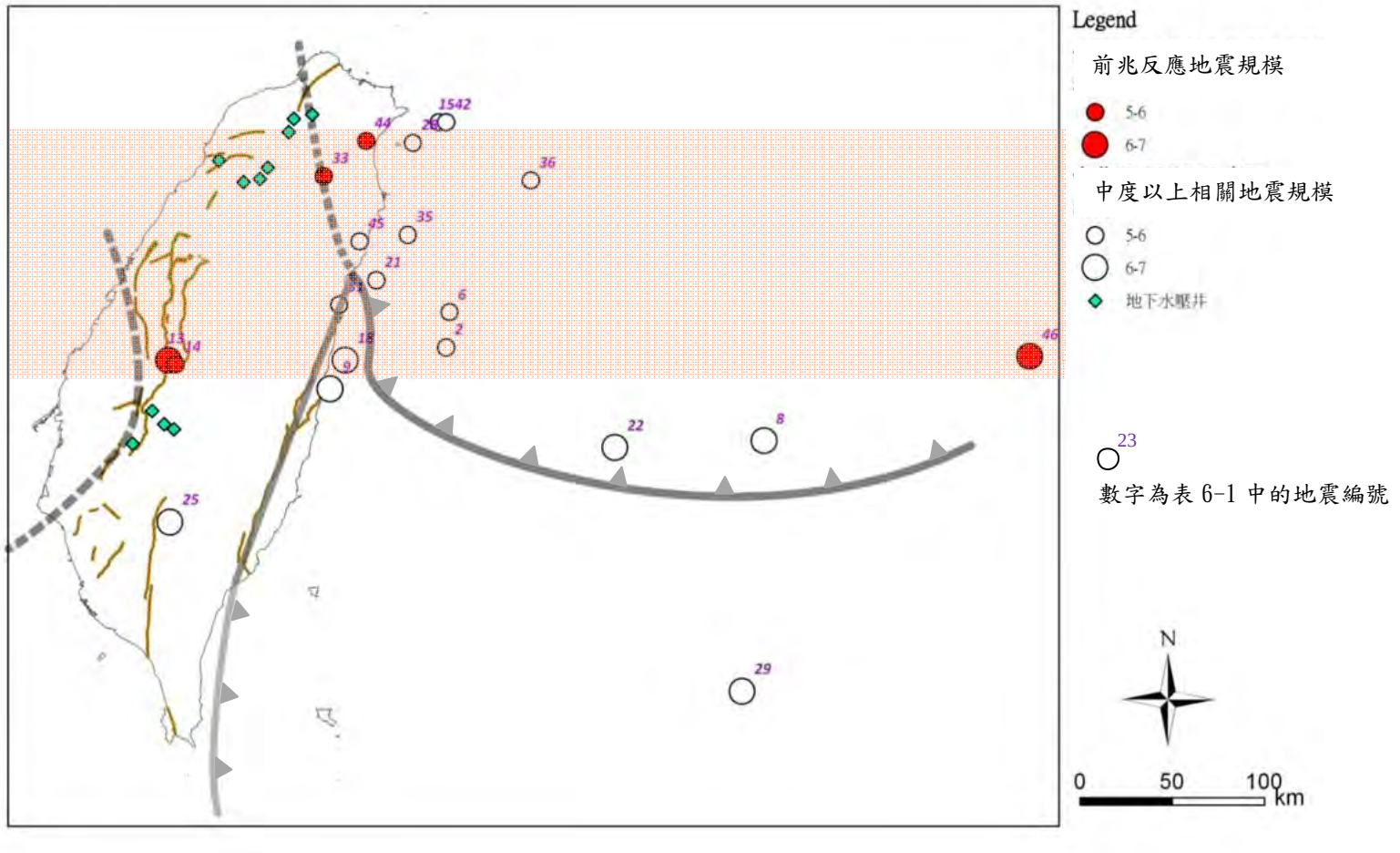


圖 6-71：台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及台北地區有前兆反應的中度以上相關地震震央分布圖（2008 年 11 月至 2010 年 10 月）。

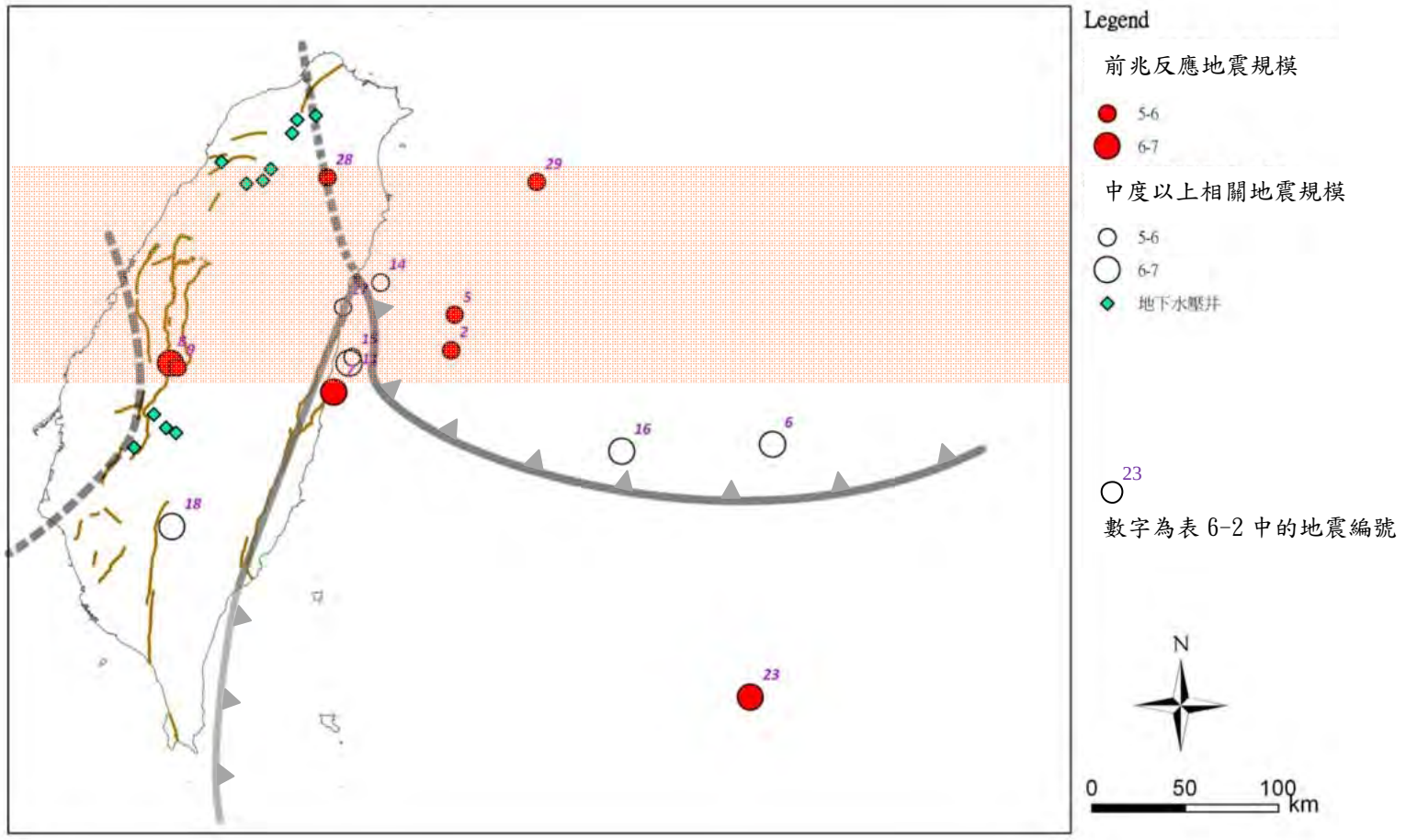


圖 6-72：台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及新竹地區新樂站有前兆反應的中度以上相關地震震央分布圖（2008 年 11 月至 2010 年 10 月）。

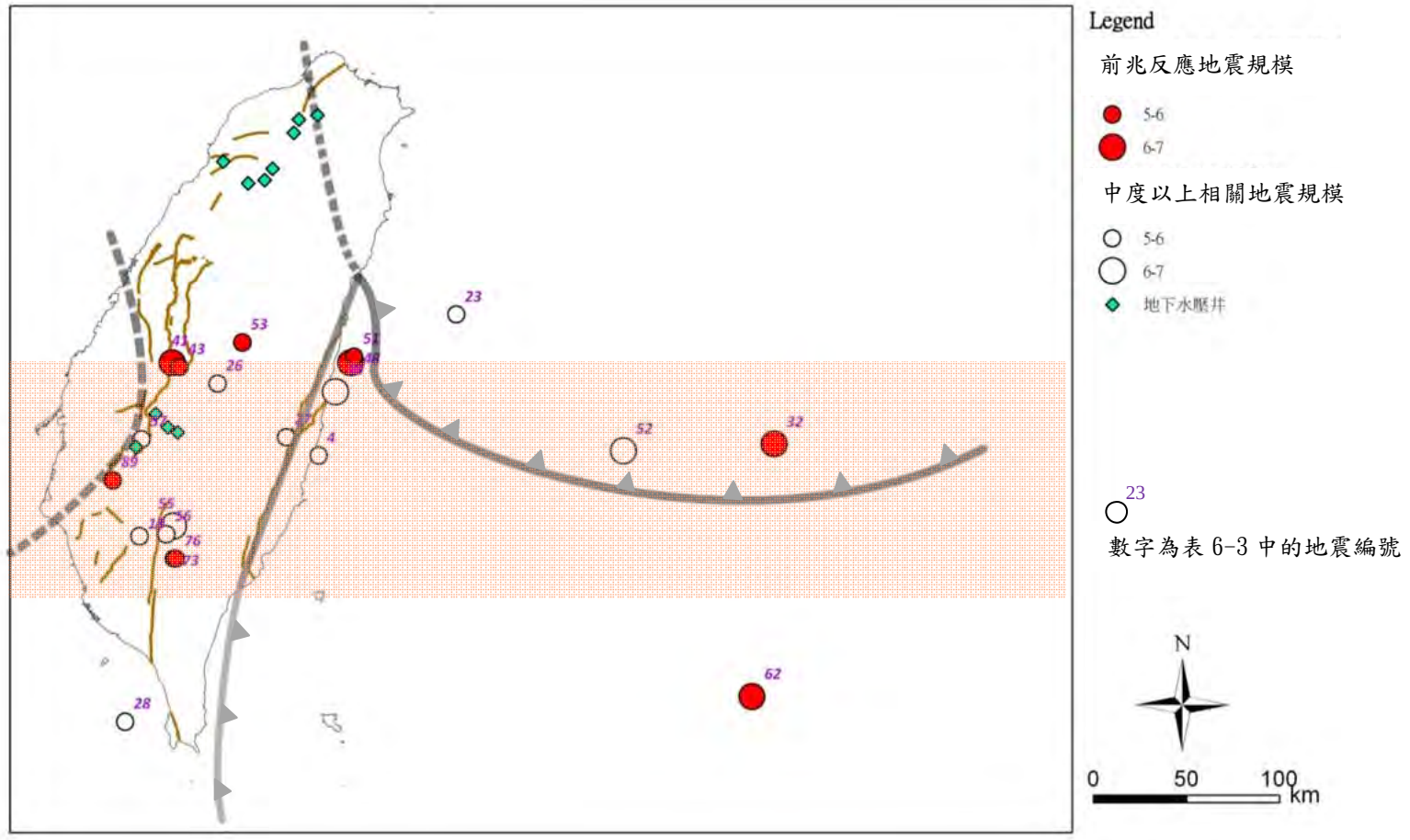
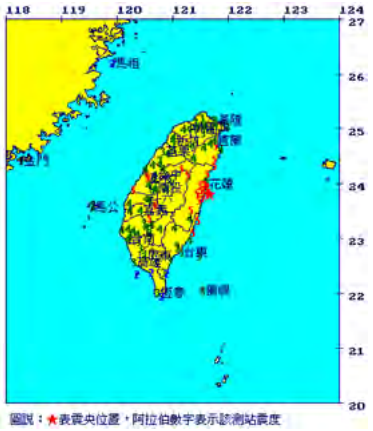


圖 6-73：台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及嘉義地區沄水站有前兆反應的中度以上相關地震震央分布圖（2008 年 11 月至 2010 年 10 月）。

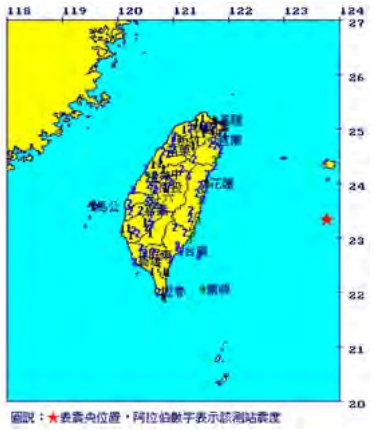
表 6-4：本年度規模 6 以上之地震影響

西元時間	規模	震度	深度 (km)	位置	水壓異常反應測站(D/R 值)	同震反應測站(D/R 值)
19/12/2009 21:02	6.9	4(台北、新竹、嘉義)	43.8	如下圖(A)	雙溪(7.24)、沄水(7.49)、中興(8.91)	樹林(6.94)、新樂(8.27)、太興(8.58)、中興(8.91)、達邦(9.27)
07/02/2010 14:10	6.6	2(台北、新竹、嘉義)	88	如下圖(B)	附註：台北、新竹、嘉義 2.5 < D/R < 3	
04/03/2010 08:18	6.4	5(嘉義) 2(台北、新竹)	22.6	如下圖(C)	太興(9.29)	新樂(2.84)、沄水(12.06)、太興(9.29)、中興(10.68)、達邦(11.26)
26/04/2010 10:59	6.8	2(台北、新竹、嘉義)	73.4	如下圖(D)	新樂(2.2)、沄水(2.36)、中興(2.44)	
04/10/2010 21:28	6.8	1(台北、嘉義)	60	如下圖(E)	錦和(2.05)、樹林(2.01)、明德(2.01) 附註：新竹、嘉義 D/R<2	

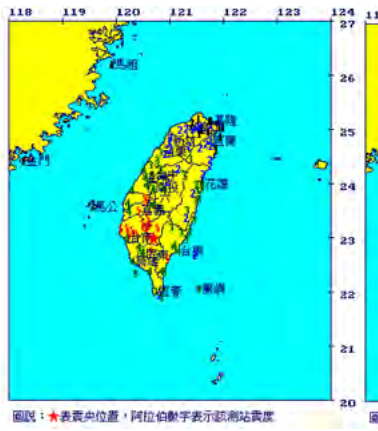
圖(A)



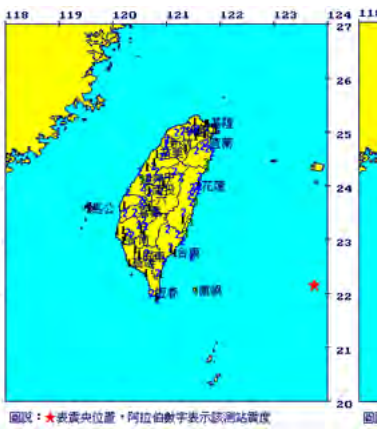
圖(B)



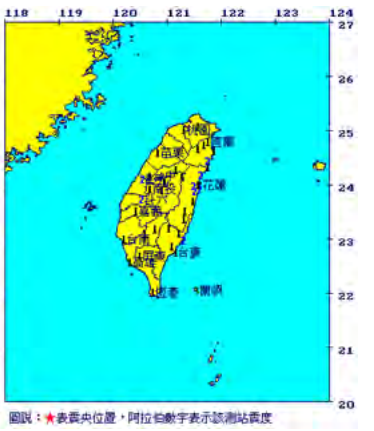
圖(C)



圖(D)



圖(E)



柒、水氡觀測結果

7-1 安通站地下水水氡濃度監測

本研究自 2009 年 4 月起應用實驗室所建立之水氡分析技術在花蓮玉里安通吉祥溫泉區作定點持續長期監測溫泉水中水氡含量,監測台灣東部地震前兆及斷層活動。圖 7-1 為安通站於 2009 年 12 月至 2010 年 11 月之地下水水氡濃度監測數據與各項環境因子之關係圖。環境因子資料分別為玉里地區 2009 年 12 月至 2010 年 11 月雨量、大氣溫度及大氣壓力之紀錄；由雨量紀錄資料顯示，當玉里地區有明顯降雨時，安通站所監測之地下水氡濃度並未受到影響。監測期間，由於分析儀器液態閃爍計數器（Liquid Scintillation Counter） 控制電流訊號轉換的主機板發生故障，導致 2010 年 6 月 4 日至 2010 年 6 月 15 日數據資料損失。地下水氡濃度監測日期至目前為止共 19 個月(2009 年 4 月至 2010 年 11 月)，數據顯示安通站地下水氡監測井水氡背景濃度平均值為 99 ± 10 pCi/L。

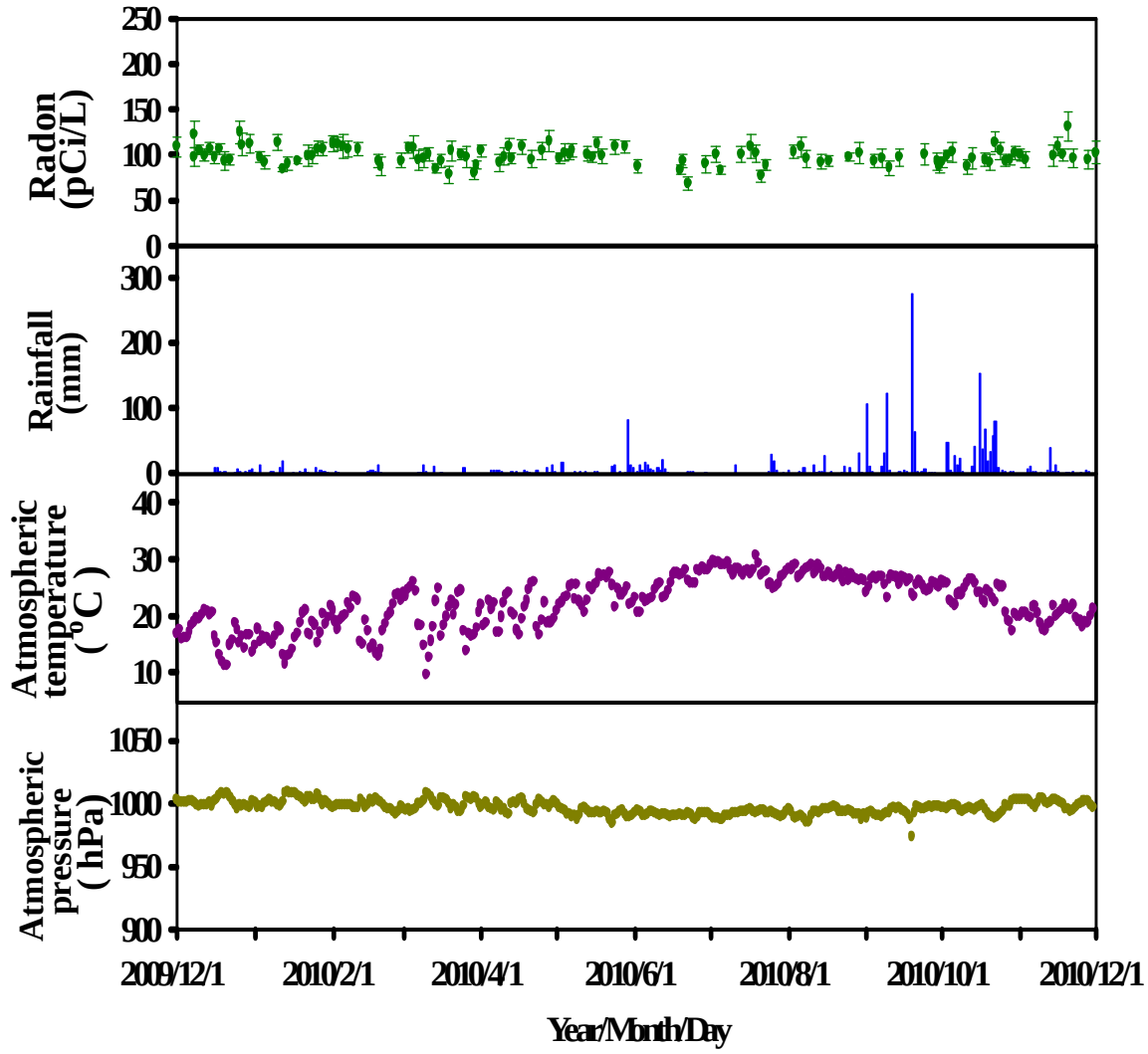


圖 7-1：安通站地下水水氡濃度變化與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

7-2　安通站地下水溶解氣體（甲烷、氮氣）監測

圖 7-2 及圖 7-3 為 2009 年 12 月至 2010 年 11 月之地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）監測數據與各項環境因子之關係圖。數據顯示安通站地下水監測井地下水溶解氣體背景濃度，甲烷濃度平均值為 11.9 ± 1.8 mg/L，氮氣濃度平均值為 21.2 ± 3.7 mg/L。將環境因子紀錄資料與地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）監測結果互相比較，並未發現觀測結果有受到環境因子之影響。

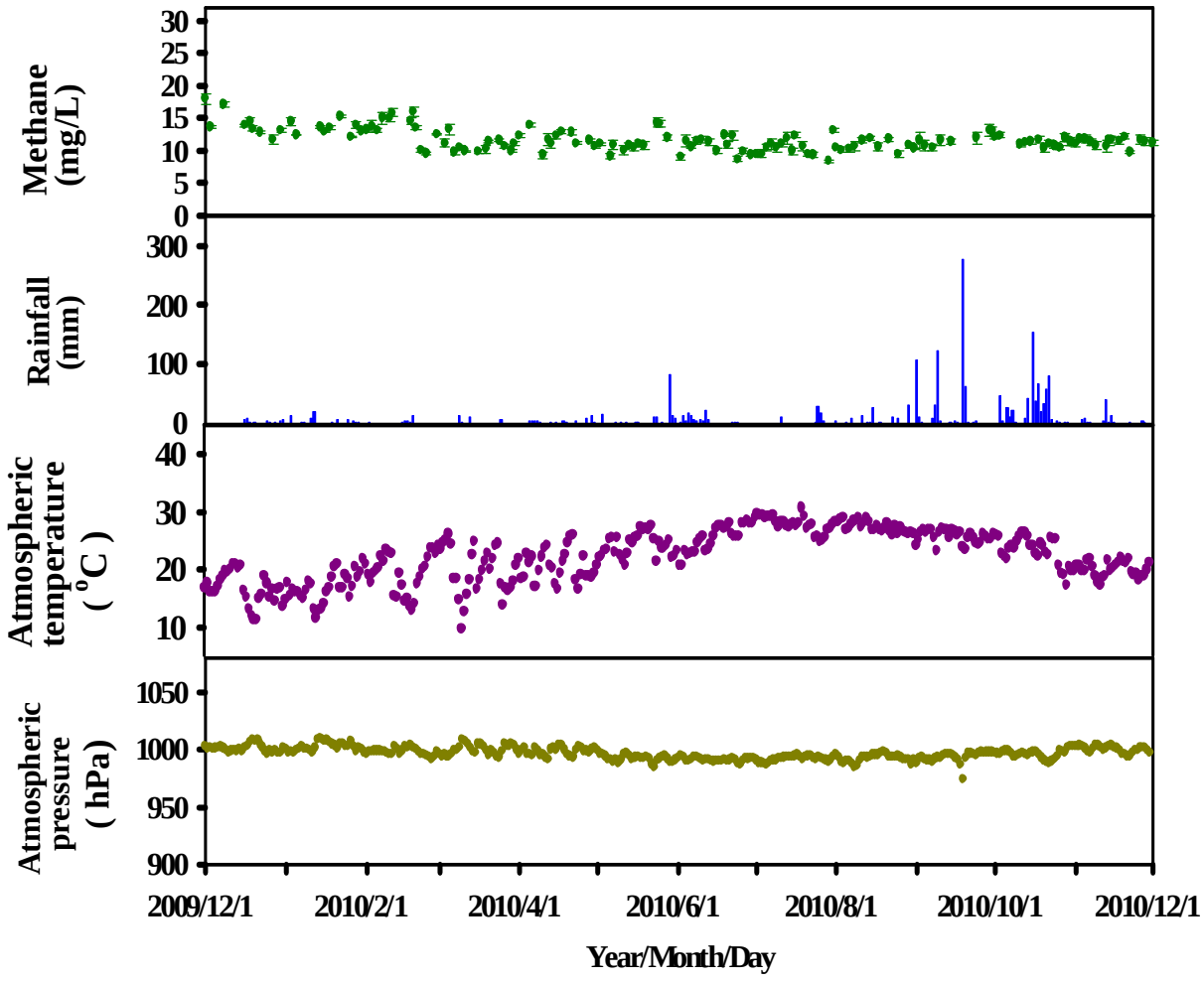


圖 7-2: 安通站地下水溶解氣體甲烷濃度監測結果與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

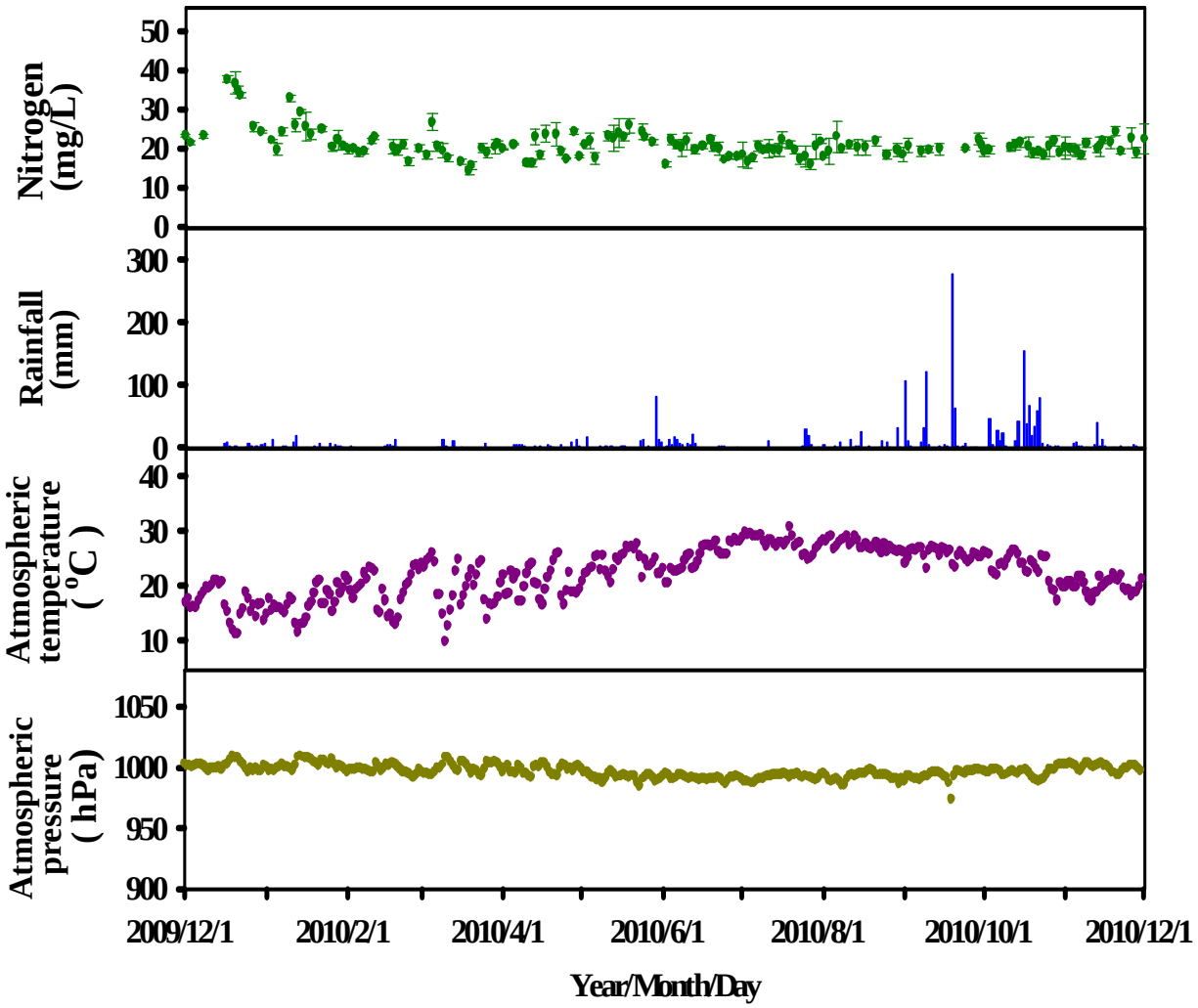


圖 7-3: 安通站地下水溶解氣體氮氣濃度監測結果與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

7-3 安通溫泉區地下水水位監測

安通站地下水氡監測井為自流井，因此選擇吉祥站監測安通溫泉區地下水位，每個月固定收取一次數據，圖 7-4 為吉祥站 2009 年 12 月至 2010 年 11 月每日最高地下水位與各項環境因子之關係圖。2010 年 2 月至 2010 年 4 月期間，適逢年節節慶活動旺季，當地業者頻繁且延長抽取溫泉水的時間，加上冬季雨量補注較少，造成地下水位偏低。2010 年 4 月以後，隨著當地業者抽水量之減少，地下水位逐漸回升。整體而言，地下水位變化介於地表下 0.09 米至 46.39 米間。

導水係數及儲水係數為以吉祥站 B 井作為地下水位觀測井同時以吉祥站 A 井作為生產井，進行抽水試驗後以 Jacob 直線法計算求得，目的為監測含水層中地下水參數和地殼活動之關聯性。圖 7-5 和圖 7-6 為吉祥 B 井鄰近含水層導水係數值和儲水係數值與環境因子之關係圖。導水係數背景平均值為 0.043 ± 0.007 m2/min；儲水係數背景平均值為 0.0000259 ± 0.0000115。

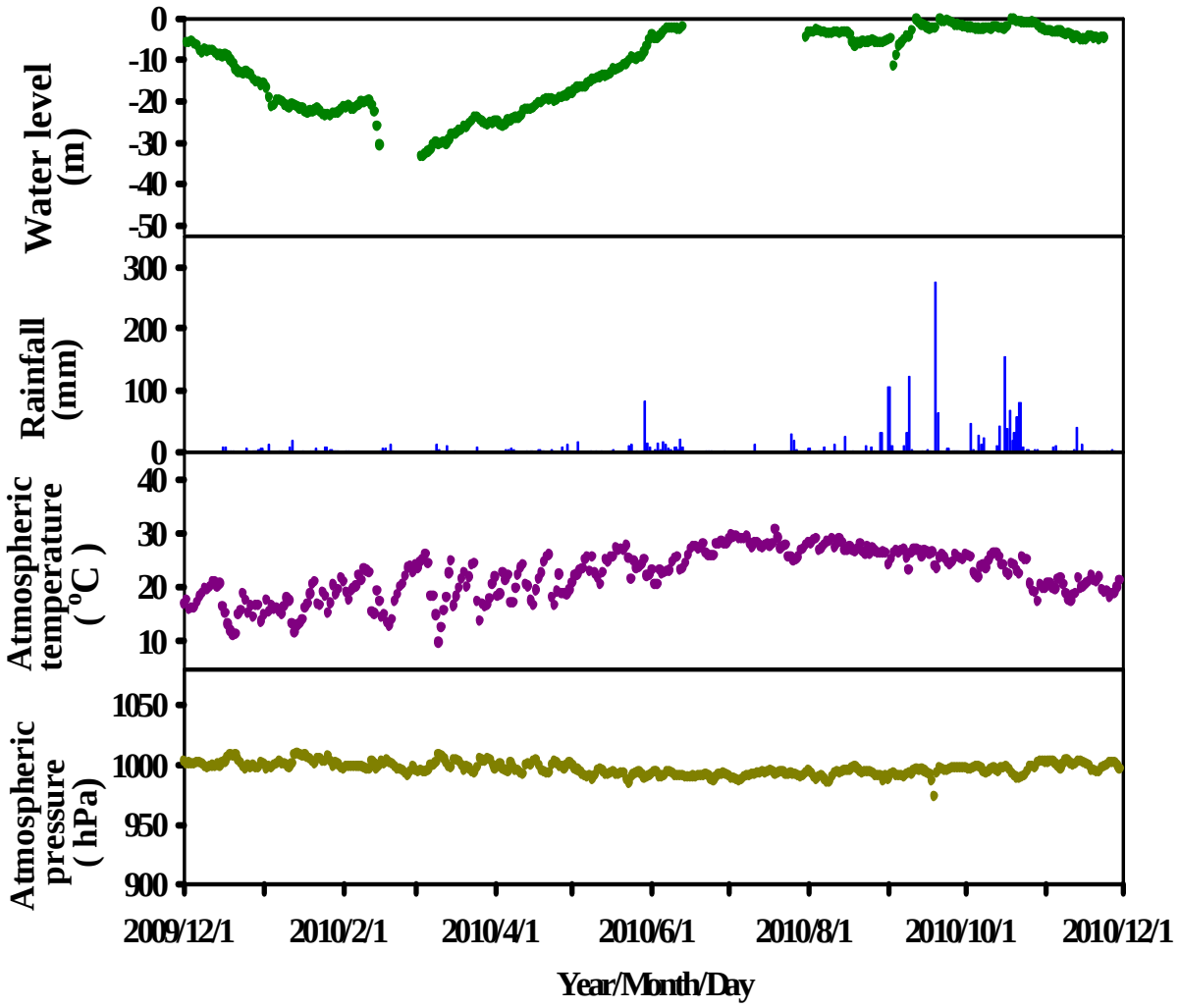


圖 7-4：吉祥站 2009 年 12 月至 2010 年 11 月每日最高地下水位與環境因子關係圖（環境因子紀錄資料來源：中央氣象局）。

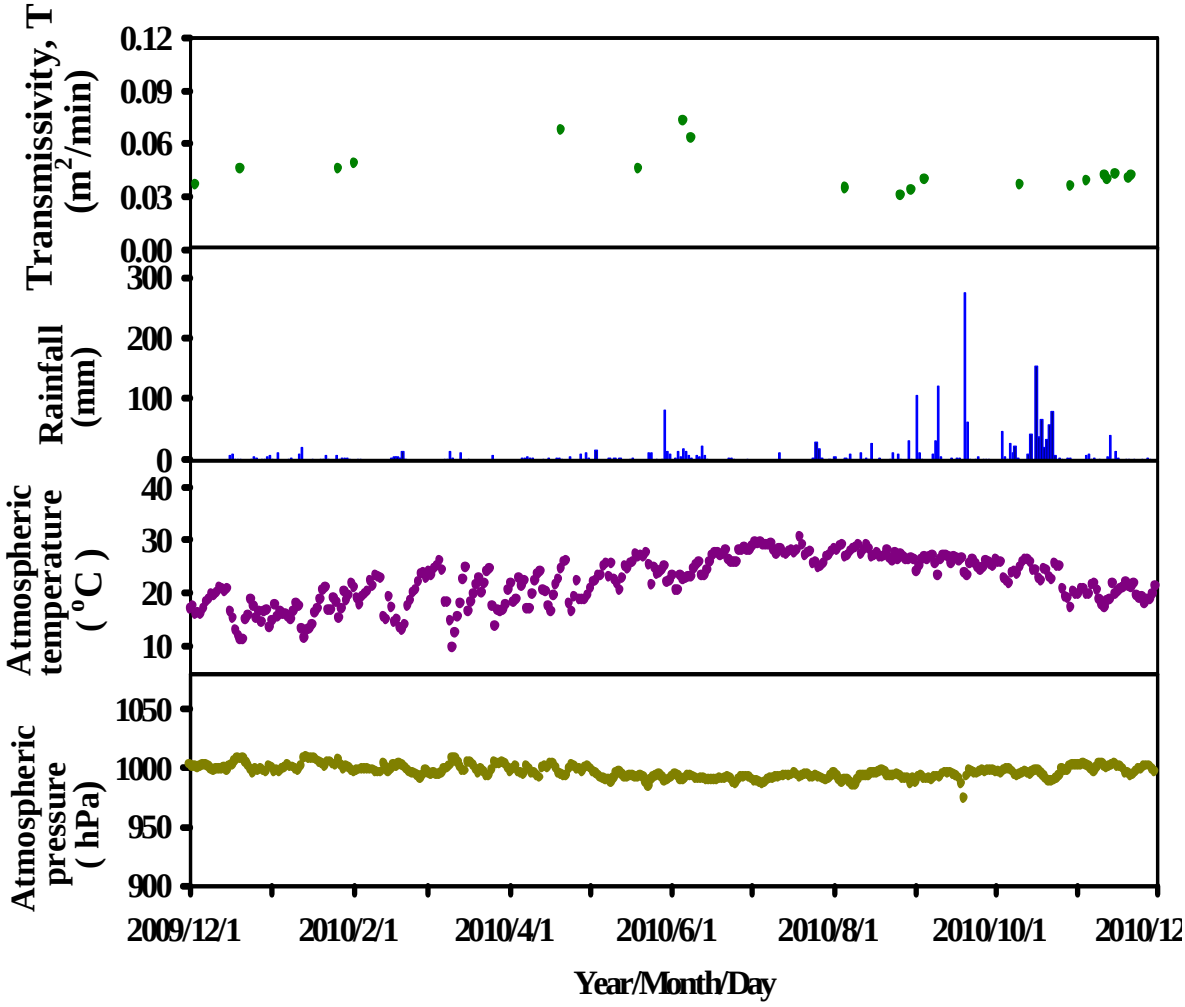


圖 7-5：吉祥站鄰近含水層導水係數 T 與環境因子關係圖（環境因子紀錄資料來源：中央氣象局）。

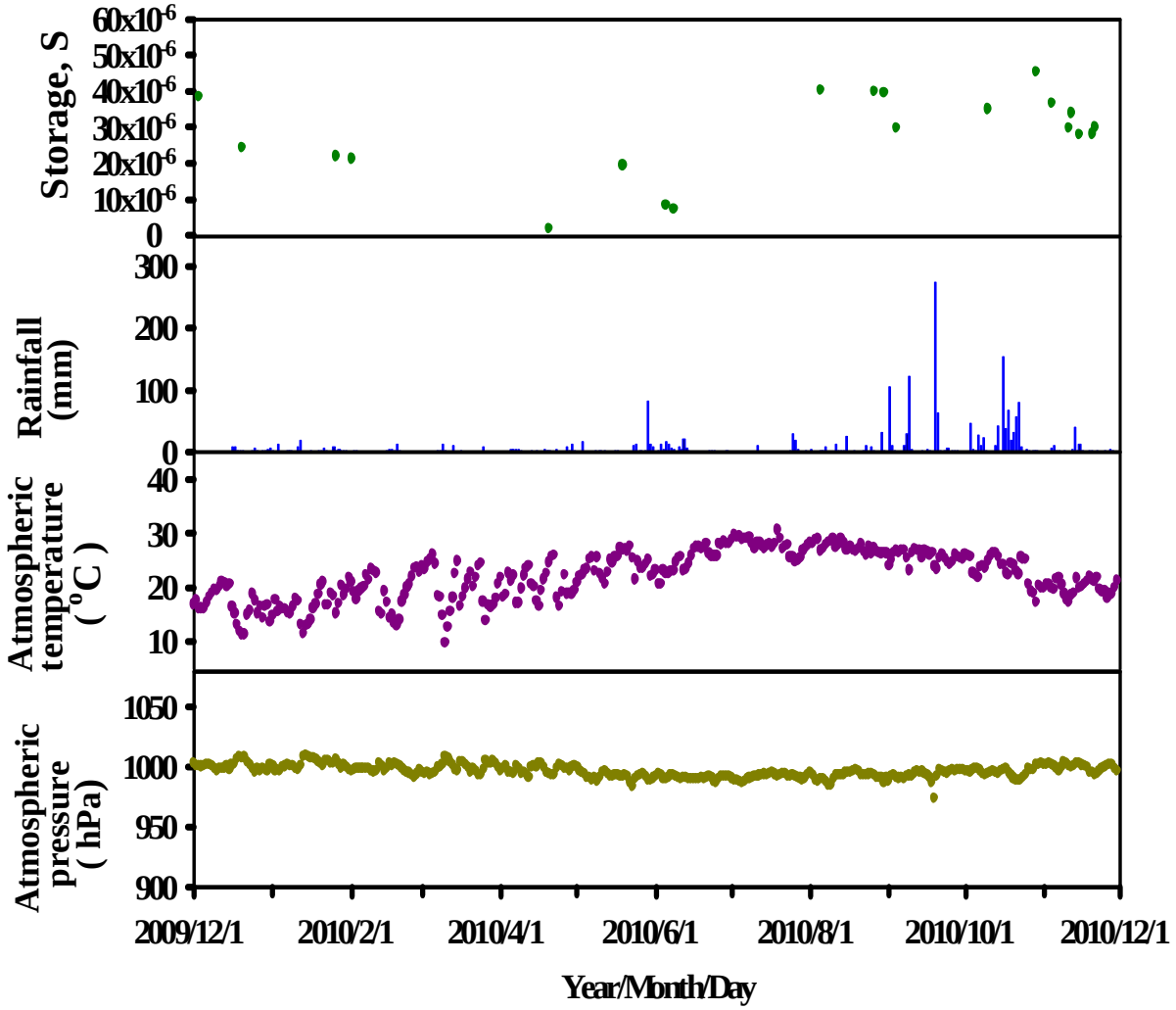


圖 7-6：吉祥站鄰近含水層儲水係數 S 與環境因子關係圖（環境因子紀錄資料來源：中央氣象局）。

7-4　安通站地下水溫度監測

本研究在計畫執行期間開始在安通溫泉飯店地下水氡監測井井頭設置電阻式溫度計紀錄地下水溫度變化，每十分鐘平均一次。安通站地下水溫度監測地殼活動及地震前兆研究，是利用電阻式溫度計監測地下水溫度變化，期待有效應用溫度監測地殼活動。圖 7-7 為安通站地下水氡監測井 2009 年 12 月至 2010 年 11 月之地下水溫度紀錄。研究期間，地下水生產溫度達一穩定值，背景值平均為 63.15 ± 0.24 ℃。將地下水生產溫度監測結果與環境因子紀錄資料互相比較，並未發現觀測結果有受到環境因子之影響。

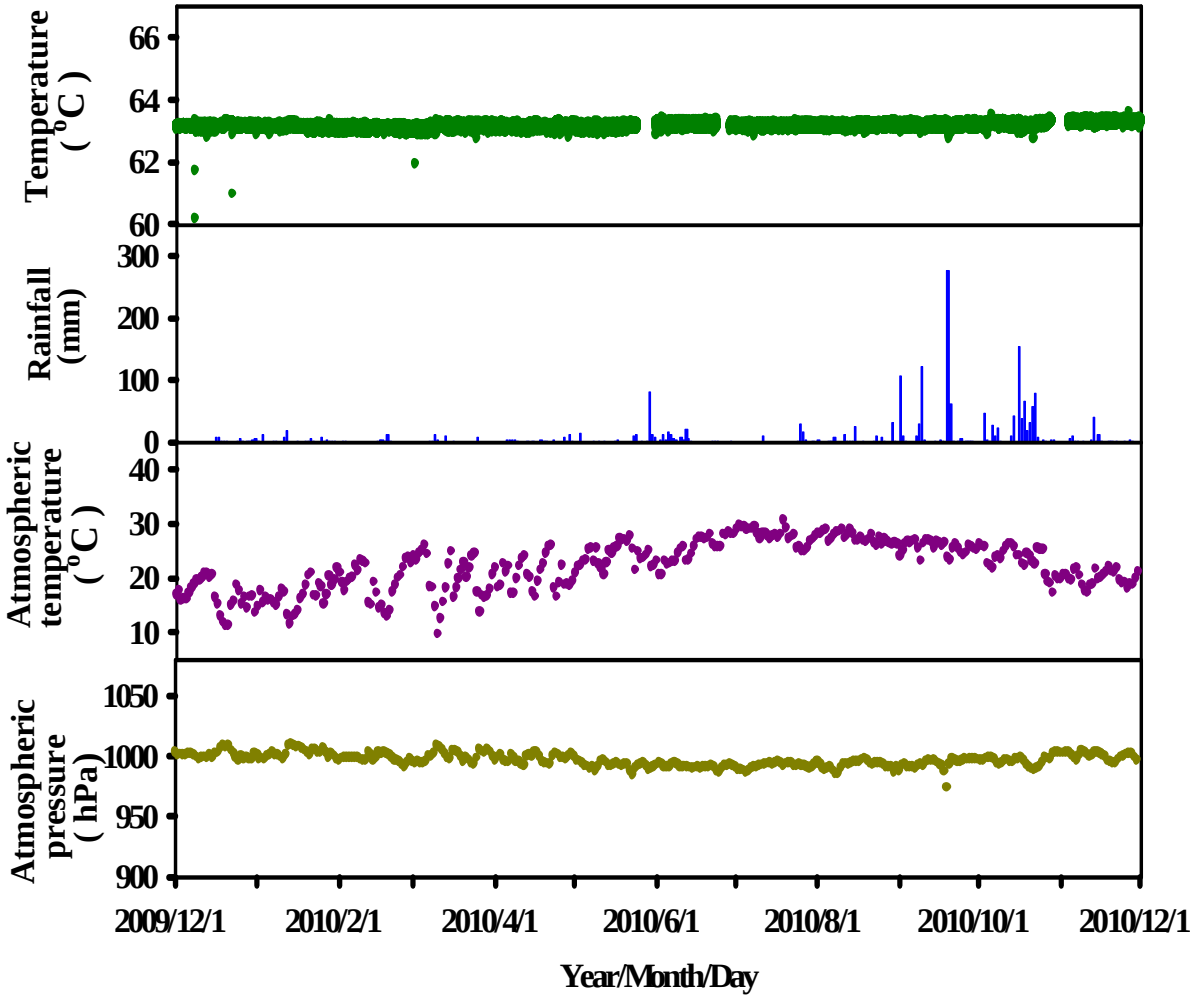


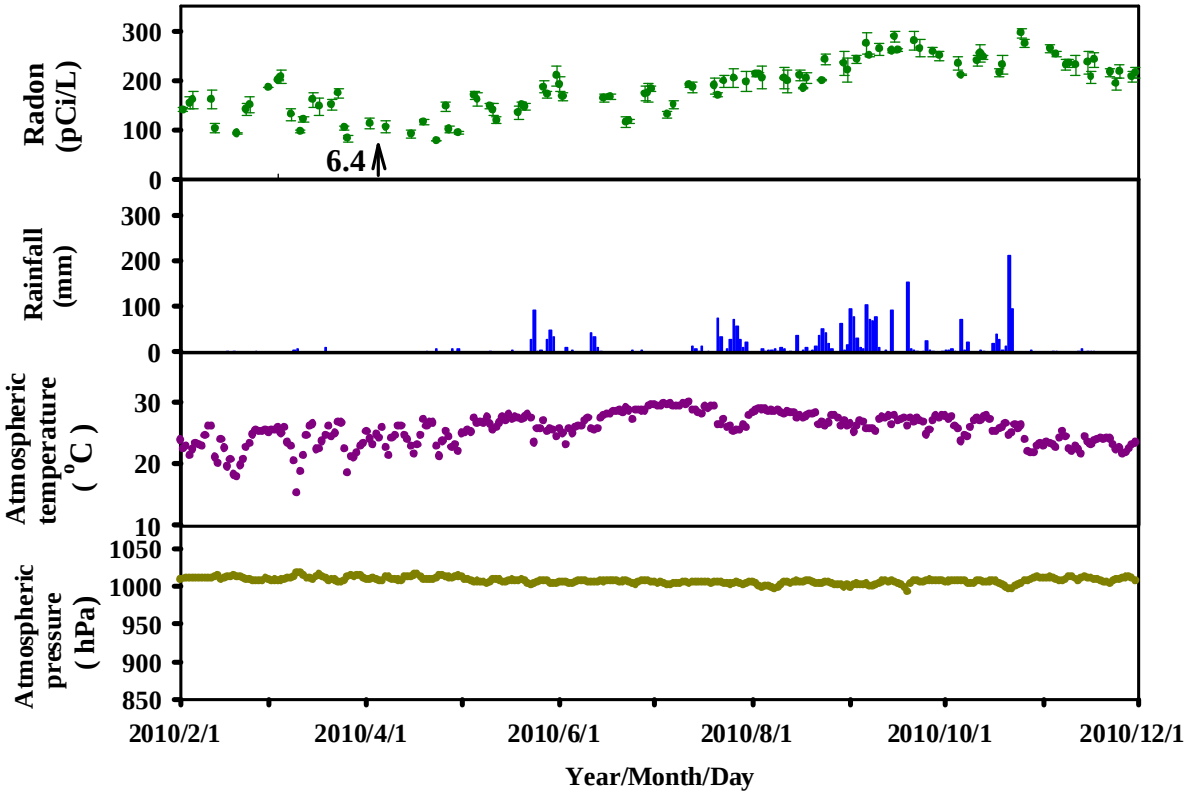
圖 7-7：安通溫泉飯店地下水氡監測井井頭地下水溫度監測紀錄與環境因子關係圖（環境因子紀錄資料來源：中央氣象局）。

7-5 恆春半島墾丁社頂監測站地下水水氡濃度監測

墾丁社頂區域自 2010 年 2 月開始進行地下水水氡濃度監測，墾丁社頂地下水水氡濃度監測站（社頂站）為一連續湧水之泉水，採樣頻率為每週三次，每次樣本皆進行三重覆分析。圖 7-8 為 2010 年 2 月至 2010 年 11 月之墾丁社頂監測站地下水水氡濃度監測數據與各項環境因子之關係圖。

在 2010 年 3 月 4 日發生芮氏地震規模 M_L = 6.4 的高雄甲仙地震前，墾丁社頂監測站監測到地下水水氡濃度有異常下降之行為。在 2010 年 2 月初地下水水氡背景平均濃度為 154 ± 10 pCi/L，2010 年 3 月 4 日地震來臨前 20 天地下水水氡平均濃度開始下降，於地震前 13 天，2010 年 2 月 19 日地下水水氡濃度達到最低點 92 ± 3 pCi/L，於 2010 年 3 月 4 日地震發生前地下水水氡濃度回升超過背景濃度。

圖 7-9 為 2009 年 9 月至 2010 年 11 月之墾丁社頂監測站地下水水氡濃度監測數據與降雨量之關係圖。從一年的觀測資料中，發現地下水水氡濃度和豐水季及枯水季有週期性的行為。同時也觀察到在地下水水氡濃度受降雨量影響之週期行為中，地震前地下水水氡濃度異常下降之前兆行為可明顯被辨別出來。



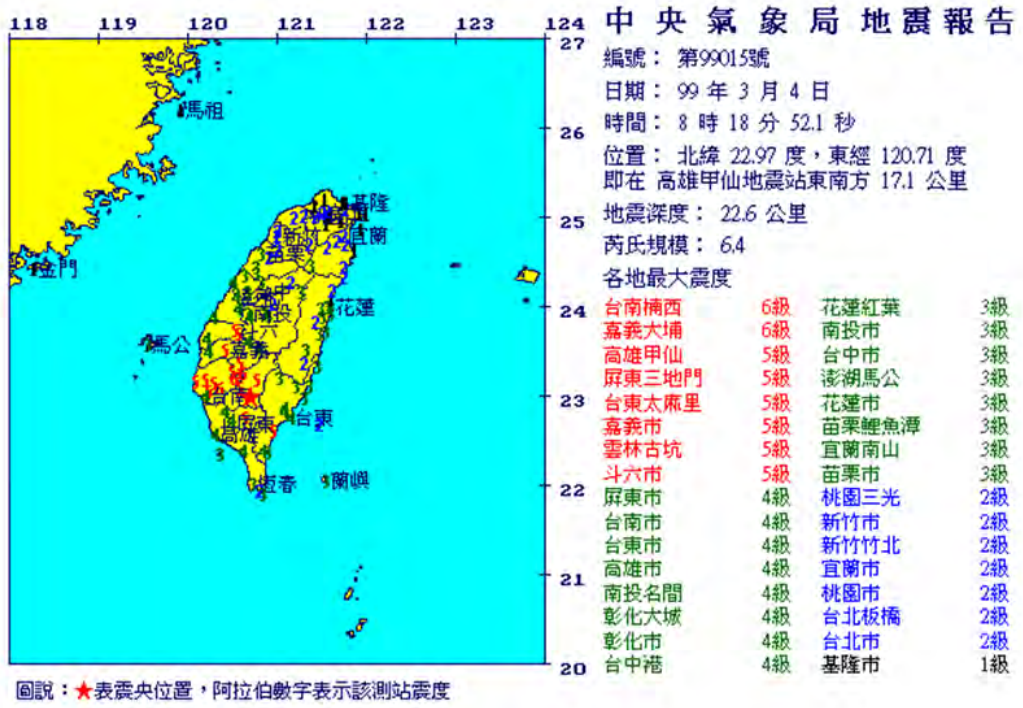


圖 7-8：社頂站地下水水氡濃度變化與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

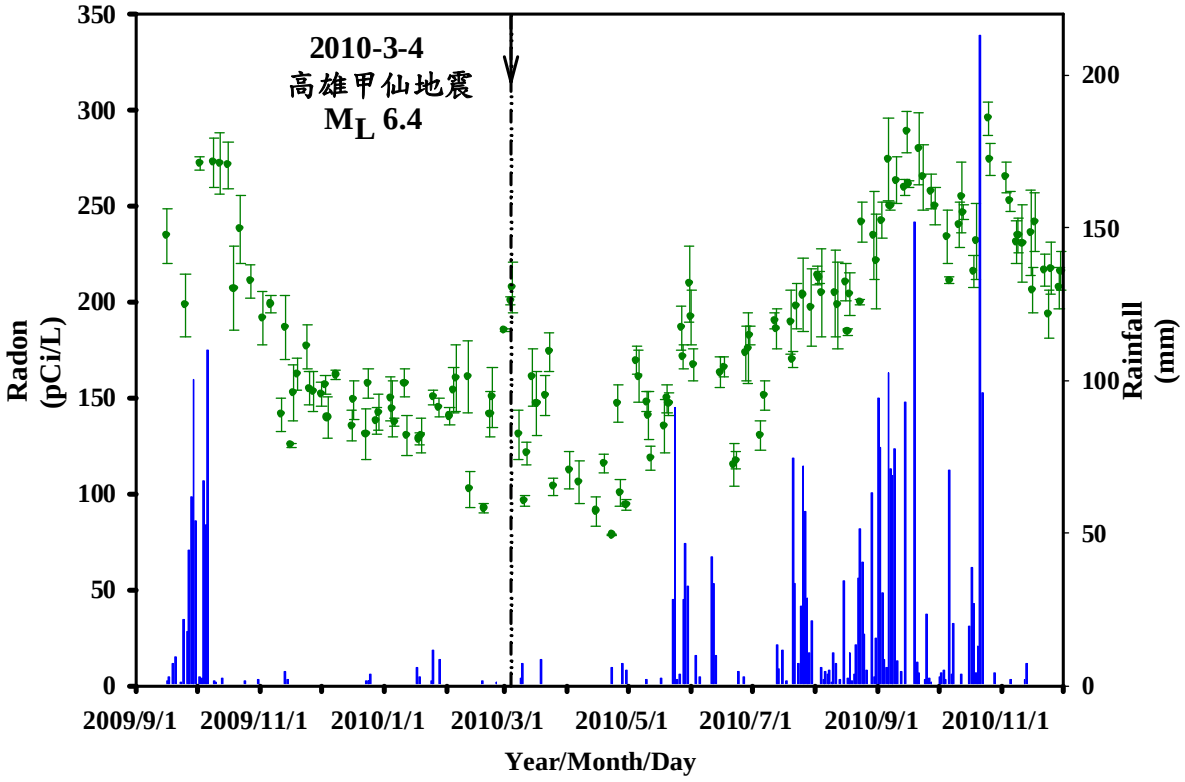


圖 7-9：社頂站地下水水氡濃度變化與雨量關係圖 (雨量資料來源：中央氣象局)。

7-6 恆春半島墾丁社頂監測站地下水溶解氣體（二氧化碳）監測

墾丁社頂區域自 2010 年 2 月開始進行地下水二氧化碳濃度監測，採樣頻率為每週三次，圖 7-10 為 2010 年 2 月至 2010 年 11 月之地下水二氧化碳濃度監測數據與各項環境因子之關係圖。

在 2010 年 3 月 4 日發生芮氏地震規模 M_L = 6.4 的高雄甲仙地震前，墾丁社頂監測站監測到地下水二氧化碳濃度有異常下降之行為。在 2010 年 2 月初地下水二氧化碳平均濃度為 49 ± 2 mg/L，2010 年 3 月 4 日地震來臨前 20 天地下水二氧化碳濃度開始下降，於地震前 13 天，2010 年 2 月 19 日地下水二氧化碳濃度達到最低點 34 ± 2 mg/L，於 2010 年 3 月 4 日地震發生前地下水二氧化碳濃度回升超過背景濃度。

圖 7-11 為 2009 年 12 月至 2010 年 11 月之墾丁社頂監測站地下水二氧化碳濃度監測數據與降雨量之關係圖，可觀察到地下水二氧化碳濃度也同時和豐水季及枯水季有週期性的行為，在地下水二氧化碳濃度受降雨量影響之週期行為中，地震前地下水二氧化碳濃度異常下降之前兆行為也可明顯被辨別出來。

比較地下水水氡及二氧化碳的濃度(圖 7-9 及圖 7-11)，可發現兩者濃度在 2010 年 3 月 4 日發生芮氏地震規模 M_L = 6.4 的高雄甲仙地震前，皆同時有明顯異常下降之前兆行為，此結果支持安通溫泉地震前兆地下水水氡逸散機制（Kuo *et al.*, 2006a; 2006b; 2009；2010a；2010b；2010c）。墾丁公園社頂監測站之地質條件（脆性石灰岩外部包圍塑性墾丁層）為適合連續監測之地點。

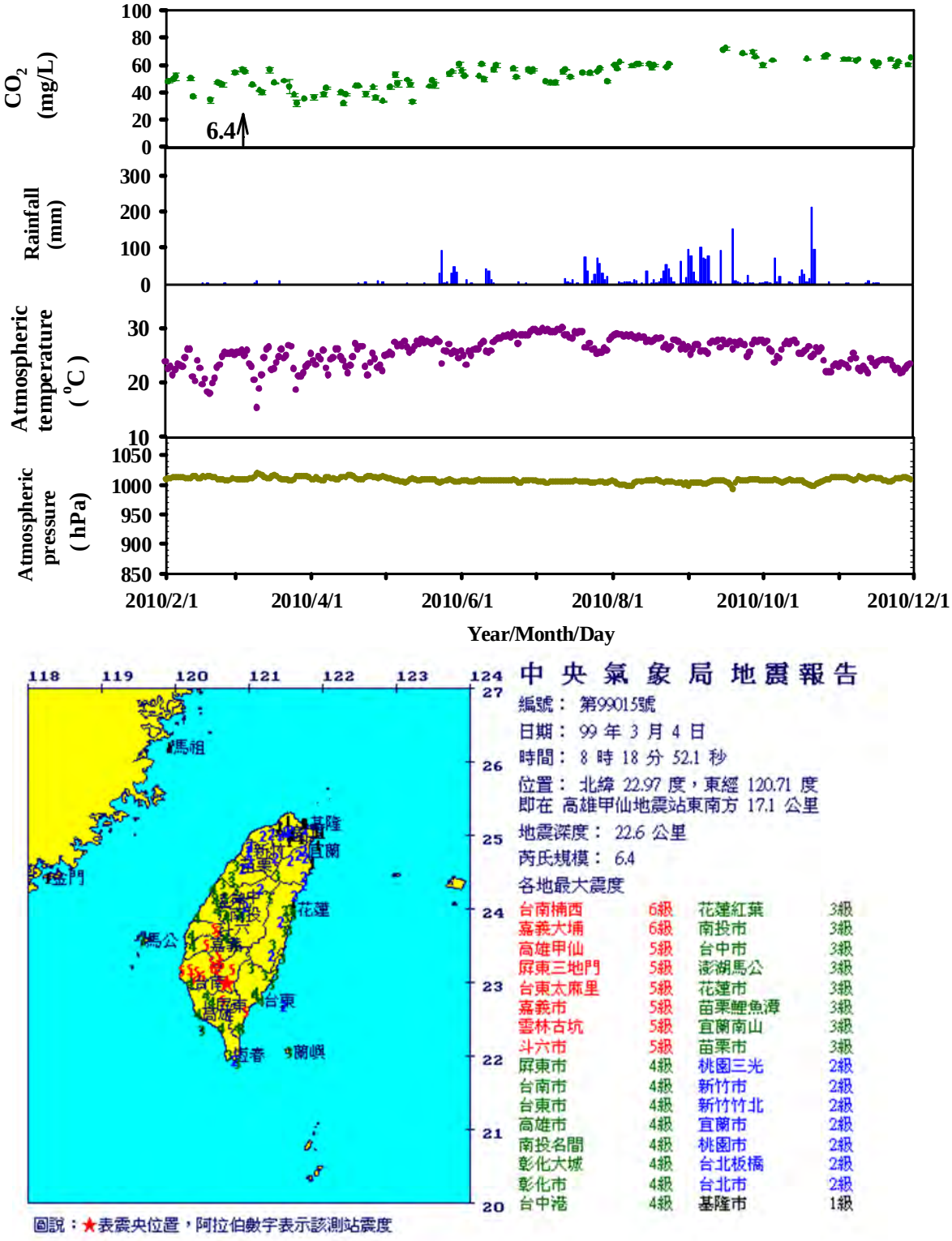


圖 7-10：社頂站地下水溶解氣體二氧化碳濃度監測結果與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

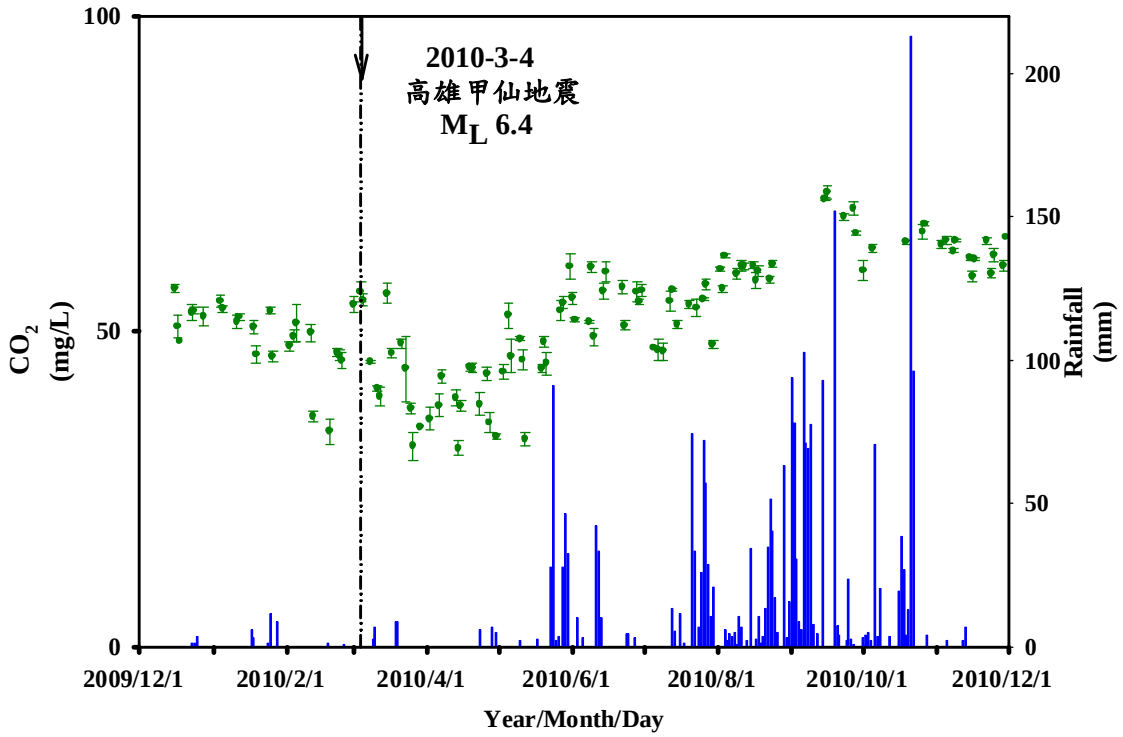


圖 7-11：社頂站地下水溶解氣體二氧化碳濃度監測結果與雨量關係圖 (雨量資料來源：中央氣象局)。

捌、資料整合及資料處理

8-1 評估觀測結果與地震活動之關聯性

8-1-1 土壤氣體及水壓觀測結果

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。例如：當北部的大平地觀測站出現異常且嘉義的中崙測站也出現異常變化時，此時兩個測站的反應區間交集處則可能為地震即將發生的位置；如果東部的池上觀測站也出現異常變化，那則可更提高準確度，如圖 8-1 所示。

以下以 2009 年底至 2010 年所發生較大的地震為例來說明（表 8-1）：

1. 2009/11/05 南投名間地震，M_L = 6.2，氡氣異常測站有：大平地、中崙、池上。
2. 2009/12/19 花蓮市地震，M_L = 6.9，氡氣異常測站有：大平地、中崙、池上。
3. 2010/1/19 花蓮市地震，M_L = 5.6，氡氣異常測站有：中崙、池上。
4. 2010/2/12 南投埔里地震，M_L = 5.2 ，氡氣異常測站有：大平地、古坑、中崙、池上。
5. 2010/03/04 高雄甲仙地震，M_L = 6.4 ，氡氣異常測站有：古坑、中崙、屏科大、池上。
6. 2010/11/21 花蓮市地震，M_L = 6.1 ，氡氣異常測站有：大平地、池上。

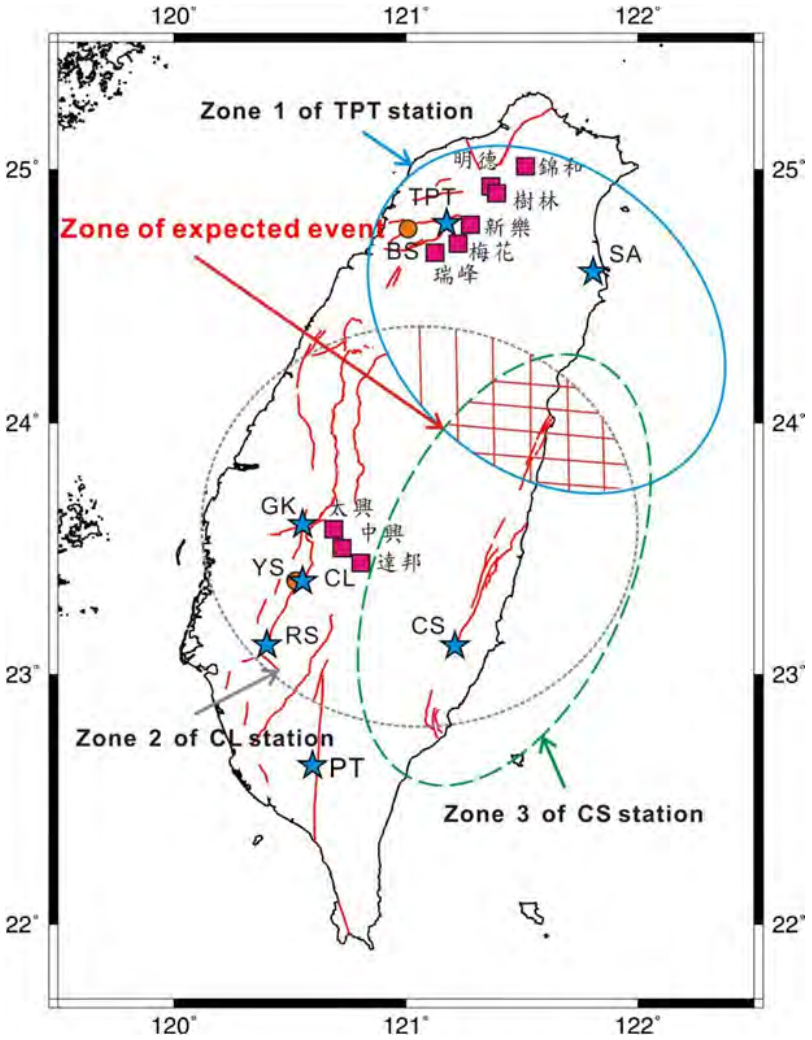


圖 8-1：地球化學觀測站的地震反應區間示意圖，藍圈、灰圈和綠圈分別代表大平地測站、中崙測站和池上測站的可能地震反應區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點。

表 8-1：地震與多個測站的氡氣異常反應

地震資料				大平地站			古坑站			中崙站			屏科大站			池上站		
西元時間	規模	深度 (km)	震央位置	震度	gal	氡氣異常	震度	gal	氡氣異常	震度	gal	氡氣異常	震度	gal	氡氣異常	震度	gal	氡氣異常
2009/11/5 17:32	6.2	24.1	南投名間	2	6.2	●				5	175.8	●				2		●
2009/12/19 21:02	6.9	43.8	花蓮市	4	29.4	●				5	131.5	●				4		●
2010/1/19 14:09	5.6	41	花蓮市							3	22.5	●				2	5.0	●
2010/2/12 10:41	5.2	14	南投埔里	1	1.0	●	2	4.6	●	4	27.2	●				2	2.9	●
2010/3/4 08:18	6.4	22.6	高雄甲仙				4	36.0	●	6	377.5	●	5	99.5	●	4		●
2010/11/21 20:31	6.1	40.7	花蓮市	2	4.8	●										4	28.1	●

● 表氡氣濃度有震前異常

1. 2009/11/05 南投名間地震（M_L = 6.2）

如圖 8-2 所示，大平地站之氡氣濃度於 10 月 26 日開始上升，並於 11 月 1 日達到最高點開始下降，之後便發生 11 月 5 日南投名間地震；而中崙站之氡氣濃度於 10 月 27 日開始上升，並在 11 月 2 日達到高點後下降，此異常變化反應了 11 月 5 日地震；另外，池上站在 10 月 26 日至 11 月 3 日有氡氣異常區間，可視為 11 月 5 日發生於南投名間地震的前兆反應。若同時對照前述所提之地球化學反應區間，可觀察到 2009 年 11 月 5 日南投名間地震震央落在大平地、中崙及池上站的反應區範圍交集處（圖 8-2），故此三個測站都能在地震前 9 至 10 天發現到震前異常變化。

2. 2009/12/19 花蓮市地震（M_L = 6.9）

如圖 8-3 所示，大平地站之氡氣濃度於 12 月 6 日至 12 月 19 日呈現異常地先升後降變化，可以視為 12 月 19 日於花蓮發生的地震之前兆反應；中崙站之氡氣濃度 12 月 13 日至 12 月 17 日氡氣的異常變化亦與 12 月 19 日發生於花蓮的地震有關；另外，池上站亦於 12 月 7 呈現氡氣異常，此異常維持了 13 天，之後便發生了 12 月 19 日地震。對照前述所提之地球化學反應區間，可觀察到 2009 年 12 月 19 日花蓮地震震央落在大平地、中崙及池上站的反應區範圍交集處（圖 8-3），故此三個測站都能在地震前 1 至 2 週發現到震前異常變化。

3. 2010/1/19 花蓮市地震（M_L = 5.6）

綜觀 2010 年 1 月 19 日花蓮地震之各觀測站前兆反應有（圖 8-4）：中崙站於 1 月 9 日至 1 月 17 日發現氡氣異常，以及池上站在 1 月 14 日至 1 月 18 日有氡氣異常變化區間，亦可視為 1 月 19 日花蓮地震之前兆反應。同樣地，可以觀察到 2010 年 1 月 19 日花蓮地震的震央落於中崙站與池上站的反應範圍之交集處（圖 8-4），故在此二測站於地震前 6 至 10 天能觀察到震前異常變化。

4. 2010/2/12 南投埔里地震（M_L = 5.2 ）

如圖 8-5 所示，大平地站之氡氣濃度於 2 月 7 日開始明顯地上升，在 2 月 11 日達到最高點後下降，之後 2 月 12 日發生南投埔里地震；古坑站亦記錄到 2 月 5 日至 2 月 12 日的氡氣異常；中崙站也在地震前觀察到異常變化，氡氣濃度於 2 月 5 日開始緩慢上升，之後快速下降；池上站於 2 月 3 日至 2 月 13 日也有氡氣異常。這些異常都與 2010 年 2 月 12 日南投埔里地震有關。對照前述所提之地球化學反應區間，可觀察到此地震震央落在大平地、古坑、中崙及池上站的反應區範圍交集處（圖 8-5），故此四個測站都能在地震前 5 至 10 天發現到震前異常變化。

5. 2010/03/04 高雄甲仙地震（M_L = 6.4）

圖 8-6 為各觀測站 2010 年 2 月 1 日至 2010 年 3 月 29 日的觀測結果。圖 8-6（A）古坑觀測站的結果顯示，2 月 15 日濃度開始上升至 20 日達到最高值，之後開始濃度開始下降，從過去的觀測結果我們發現當濃度開始下降時，地震通常將會在數天後發生，於 26 日時濃度已回復至背景值，6 天之後發生了甲仙地震，而 2 月 15 日前的濃度變化也與鄰近的地震有關，不過在這裡不作進一步的說明。

圖 8-6（B）則為中崙觀測站的結果，在 2 月 17 日時氣體濃度開始升高並持續至 25 日達到高點，隨後在 26 日下降至背景濃度，同樣在 6 天之後發生甲仙地震。不過由於在 2 月 25 日剛好在中崙觀測站進行一些測試，所以濃度的下降也許有受到這些測試的影響，但比對鄰近另一個氡氣觀測站（約距中崙觀測站 300 公尺左右），同樣呈現濃度上升後再下降的的情形，因此證明中崙觀測站的濃度變化是可信的。圖 8-6（C）為屏科大觀測站的結果，在 2 月 16 日時氣體濃度也同樣呈現升高的趨勢並持續至 20 日達到高點，隨後在 27 日下降至背景濃度值，直至 5 天後發生了甲仙地震。

圖 8-6（D）池上觀測站的觀測資料顯示，2 月 18 日時氣體濃度開始升高並持續至 26 日達到最高值，隨後濃度開始下降，6 天之後發生甲仙地震，而 2 月 28 日至 3 月 3 日也出現了濃度上升之後再下降的變化，這可能與 3 月 4 日在台東地區當地發生的地震有關。

圖 8-7 則是嘉南地區水位觀測站的觀測結果，發現甲仙地震對於這些水位觀測站都造成了同震變化，沄水、太興兩站皆有明顯水位上升的同震變化；而中興站有明顯水位下降的同震變化；達邦站則只有略升的同震水位變化。此外，太興站除了明顯的同震水位變化以外，在地震發生前 14 天出現異常水位變化趨勢，是否為地震前兆變化，仍需進一步觀察。

綜合以上觀測資料我們可歸納出，雲林古坑、嘉義中崙、屏東屏科大、台東池上站等四個觀測站之土壤氣體成份於地震前有異常變化，可能為前兆；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數天皆已釋放完畢。此外，北部的大平地觀測站並未發生顯著的土壤氣體成分變化，也有助於進一步推估地震應發生在台灣南部地區。

依照過去幾年來的觀測經驗可進一步粗略地繪製出這四個觀測站的敏感反應區，如圖 8-6（E），此次甲仙地震震央剛好落在四個觀測站的敏感偵測區的交集處，故而四個觀測站皆能於 1-2 週前偵測到異常變化。

6. 2010/11/21 花蓮市地震（M_L = 6.1）

2010 年 11 月 21 日花蓮地震之各觀測站前兆反應有（圖 8-8）：大平地站氡氣濃度於 11 月 13 日開始上升，於 15 日達到高點後略微下降，之後在 11 月 16 日繼續上升，此異常情形可能與 11 月 21 日花蓮地震有關。另外，池上站氡氣濃度在 11 月 9 日上升，於 15 日達到最高點後下降，此氡氣異常變化區間亦可視為 11 月 21 日花蓮地震之前兆反應。同樣地，可以觀察到 2010 年 11 月 21 日花蓮地震的震央落於大平地站與池上站的反應範圍之交集處（圖 8-8），故在此二測站於地震前 10 至 13 天能觀察到震前異常變化。

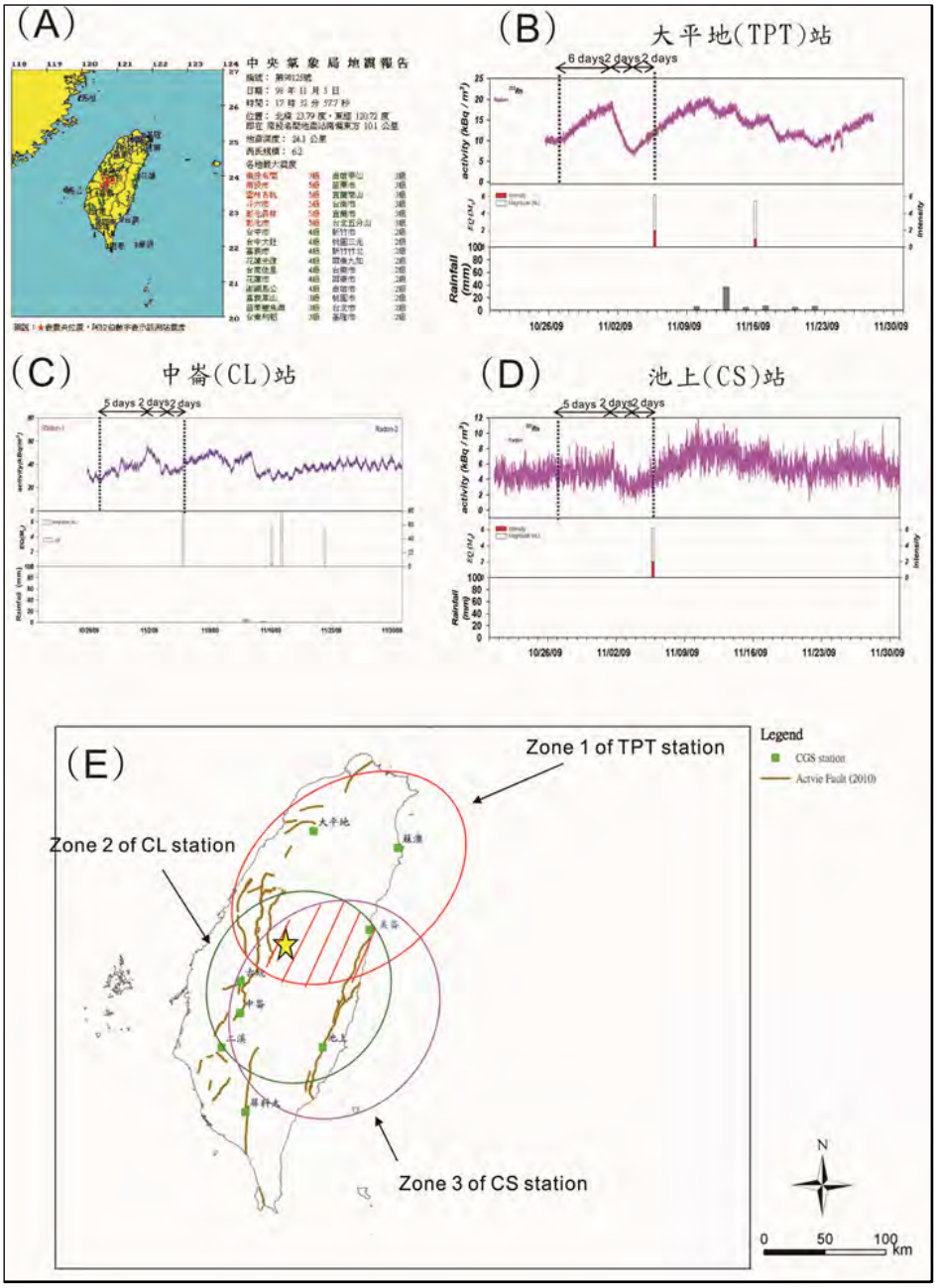


圖 8-2：2009/11/5 南投名間地震與各測站觀測情形。（A）地震報告（資料來源：中央氣象局）；（B）新竹大平地站土壤氣氡氣成份觀測結果（2009/10/20-2009/12/01）；（C）嘉義中崙站土壤氣氡氣成份觀測結果（2009/10/20-2009/12/01）；（D）台東池上站土壤氣氡氣成份觀測結果（2009/10/20-2009/12/01）；（E）台灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點（圖上斜線所示）。黃色星號代表南投地震的震央位置。

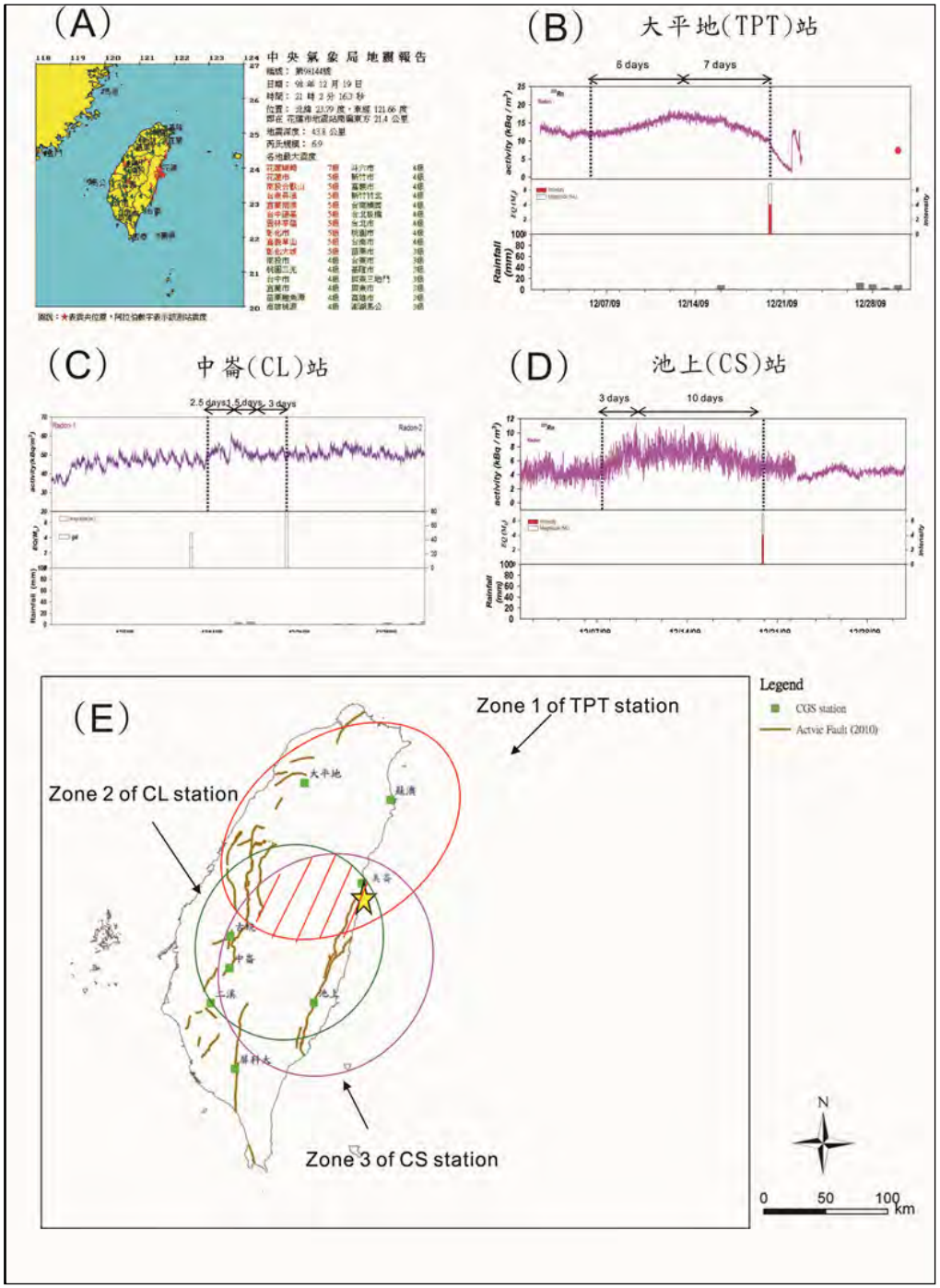


圖 8-3：2009/12/19 花蓮地震與各測站觀測情形。（A）地震報告（資料來源：中央氣象局）；（B）新竹大平地站土壤氣氡氣成份觀測結果（2009/12/01-2009/12/31）；（C）嘉義中崙站土壤氣氡氣成份觀測結果（2009/12/01-2009/12/31）；（D）台東池上站土壤氣氡氣成份觀測結果（2009/12/01-2009/12/31）；(E）台灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點（圖上斜線所示）。黃色星號代表花蓮地震的震央位置。

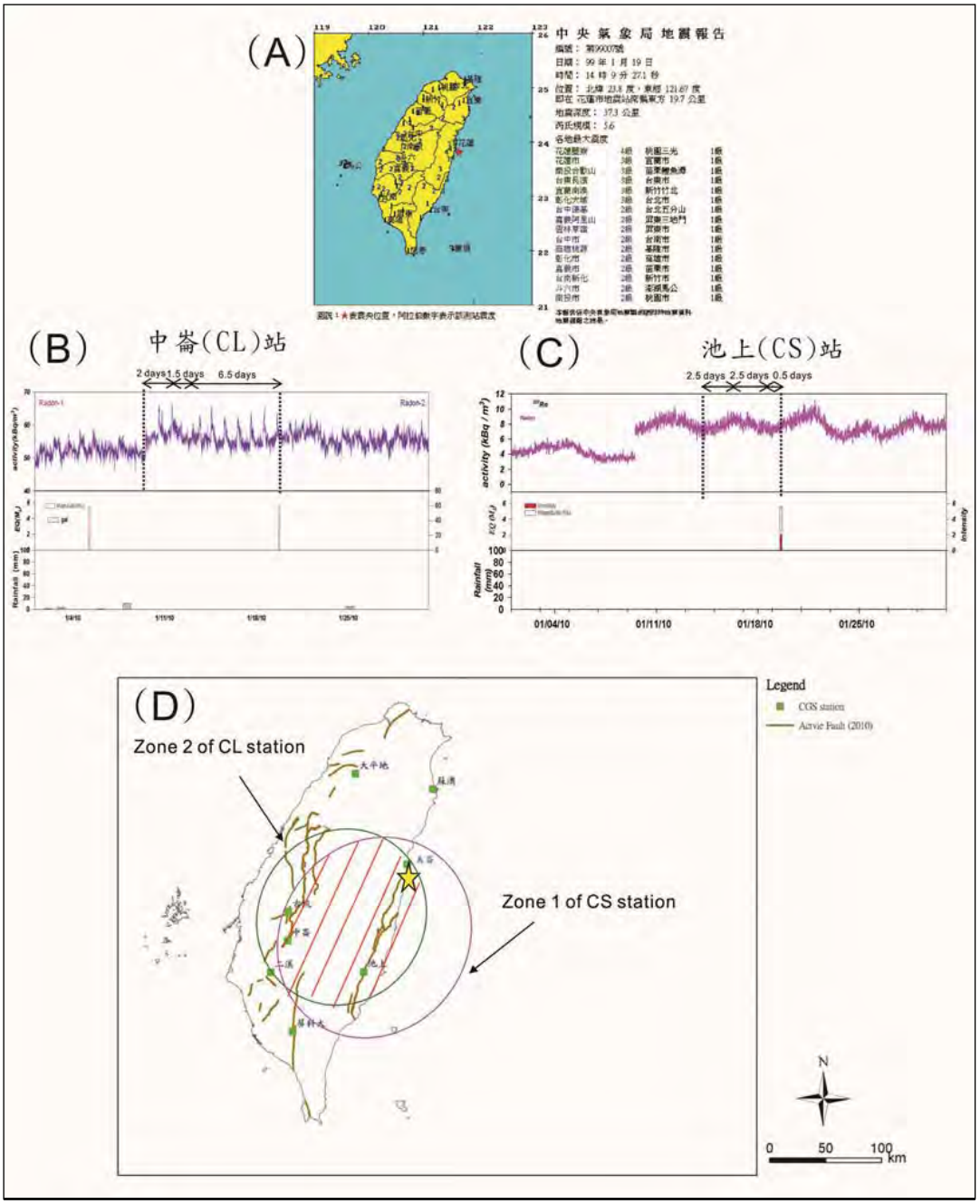


圖 8-4：2010/1/19 花蓮地震與各測站觀測情形。（A）地震報告（資料來源：中央氣象局）;（B）嘉義中崙站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/1/1-2010/1/31）;（C）台東池上站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/1/1-2010/1/31）;（D）台灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點（圖上斜線所示）。黃色星號代表花蓮地震的震央位置。

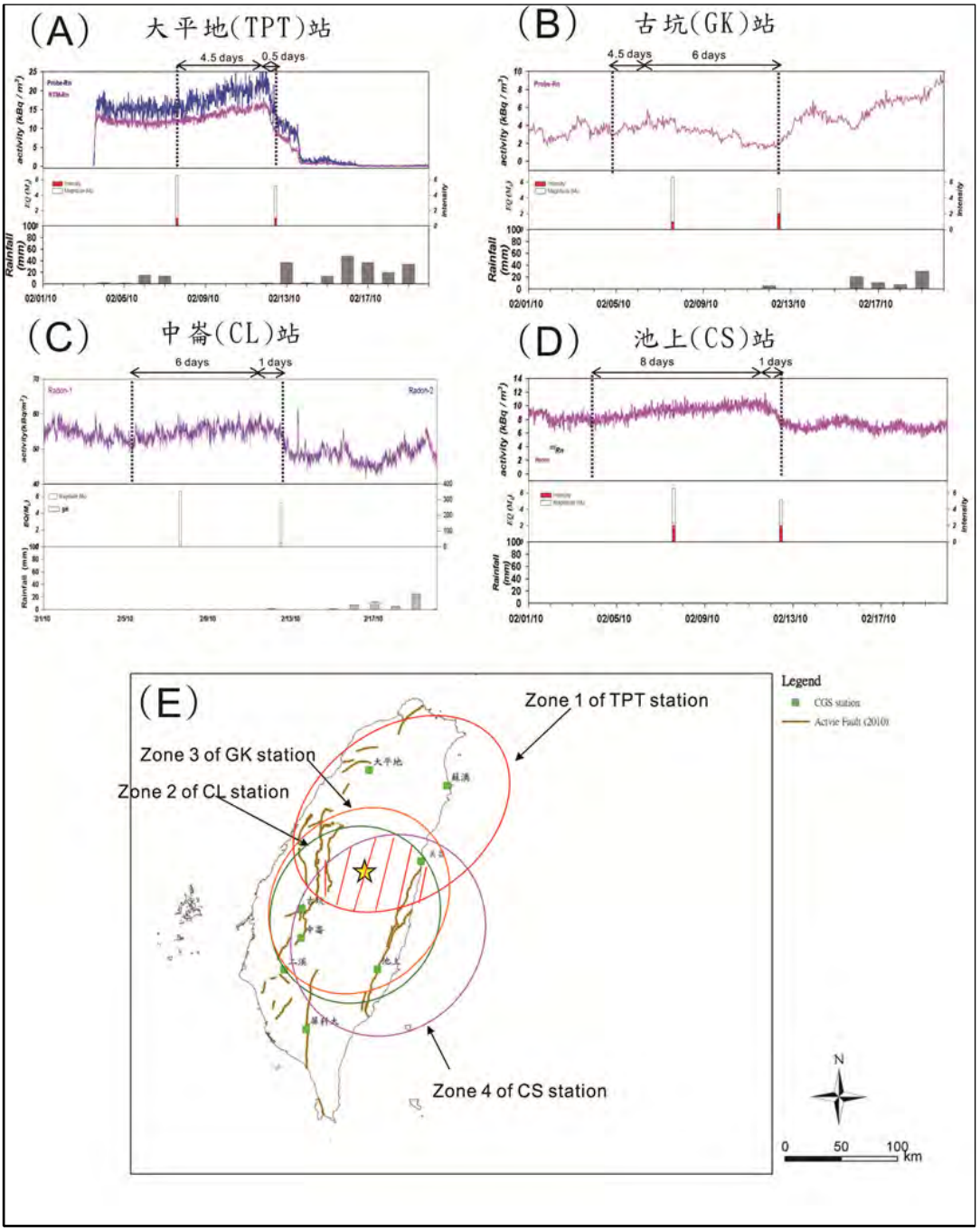


圖 8-5：2010/2/12 南投埔里地震與各測站觀測情形。(A) 新竹大平地站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/2/1-2010/2/20）；(B) 雲林古坑站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/2/1-2010/2/20）；(C) 嘉義中崙站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/2/1-2010/2/20）；(D) 台東池上站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/2/1-2010/2/20）；(E) 台灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點（圖上斜線所示）。黃色星號代表南投埔里地震的震央位置。

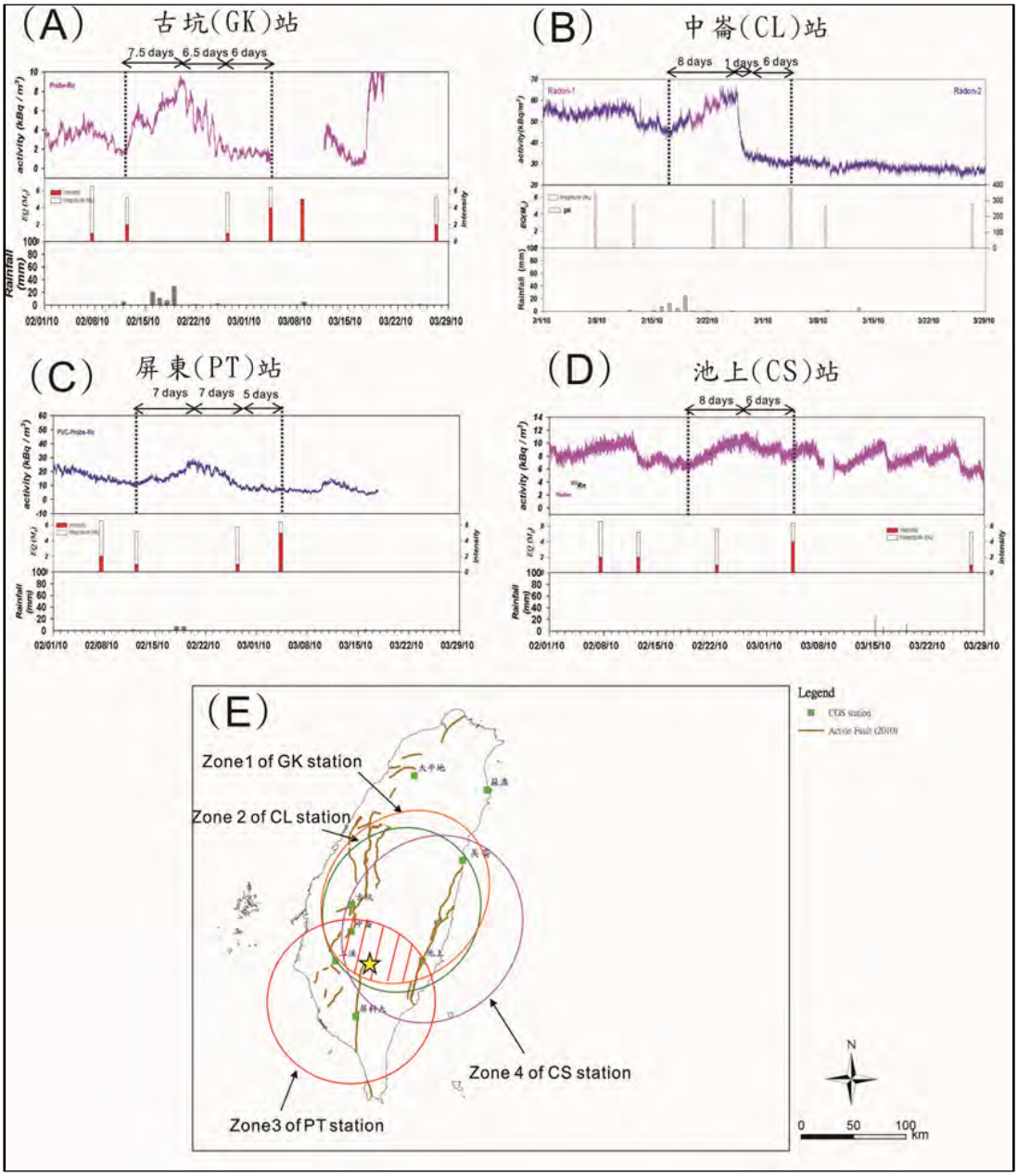


圖 8-6：2010/3/4 高雄甲仙地震與各測站觀測情形。（A）雲林古坑站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/2/1-2010/3/29）；（B）嘉義中崙站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/2/1-2010/3/29）；（C）屏東屏科大站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/2/1-2010/3/29）；（D）台東池上站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/2/1-2010/3/29）；（E）台灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點（圖上斜線所示）。黃色星號代表高雄甲仙地震的震央位置。

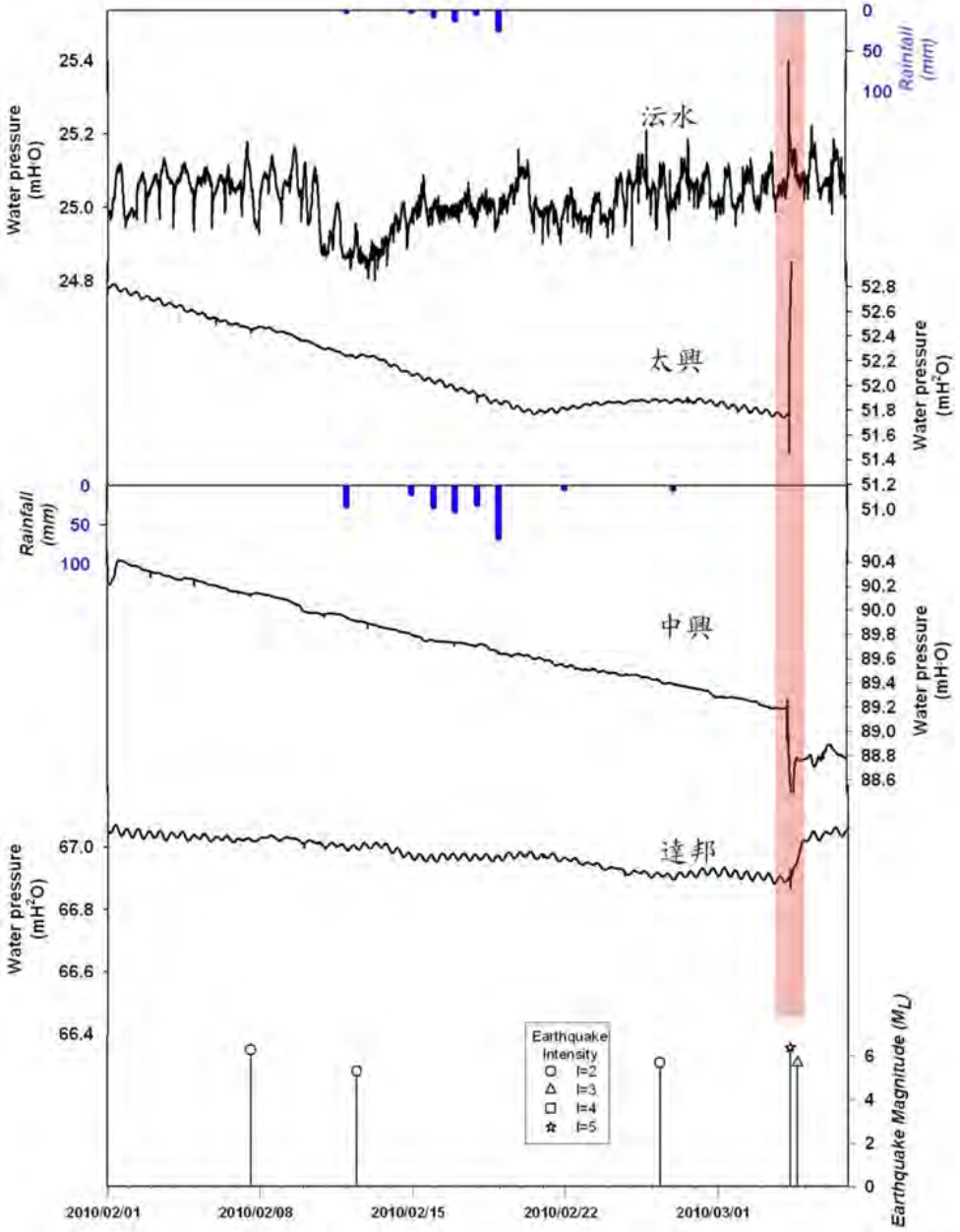


圖 8-7：嘉南地區沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖（2010/2/1-2010/3/6）。

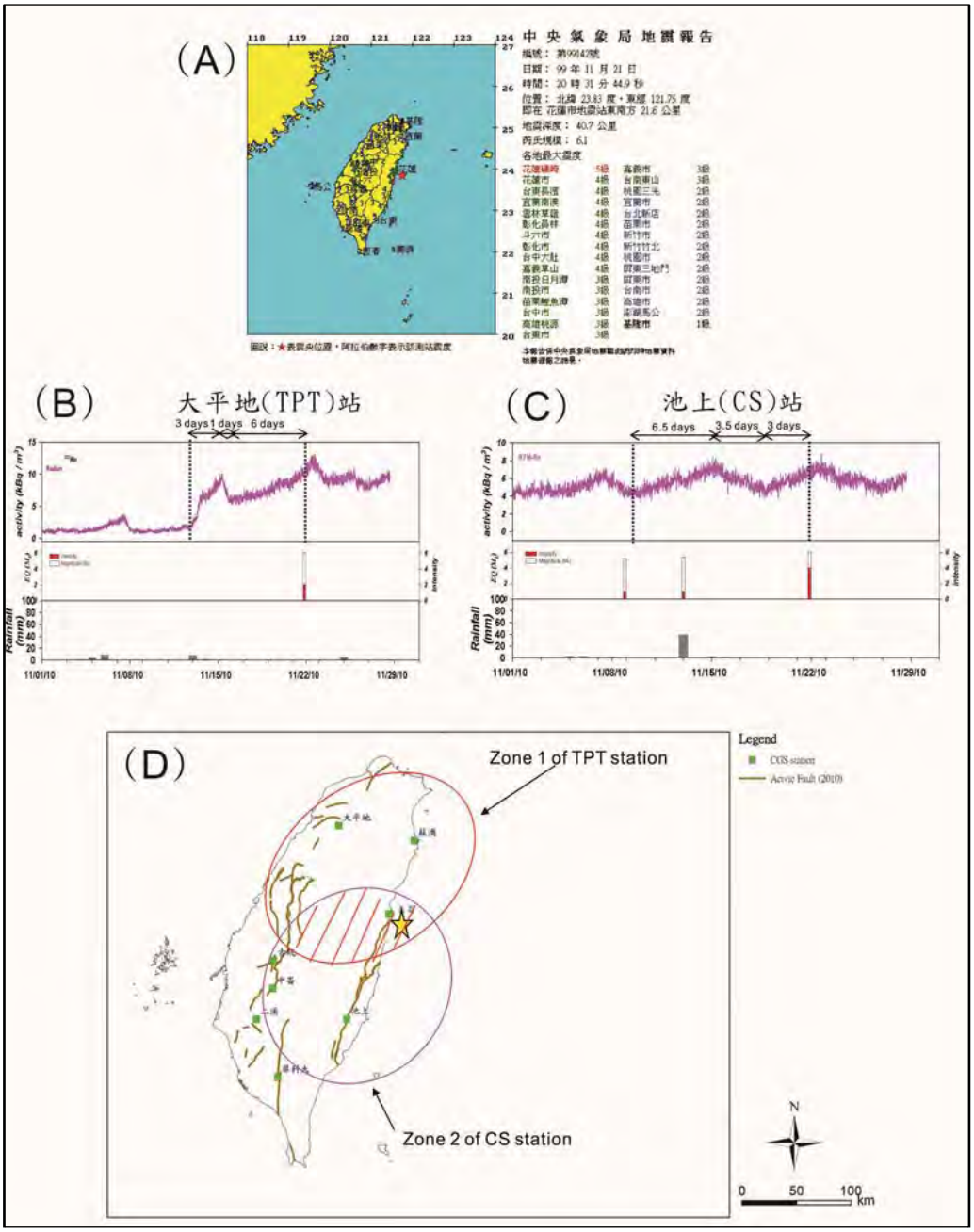


圖 8-8：2010/11/21 花蓮地震與各測站觀測情形。（A）地震報告（資料來源：中央氣象局）；（B）新竹大平地站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/11/1-2010/11/28）；（C）台東池上站土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/11/1-2010/11/28）；（D）台灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點（圖上斜線所示）。黃色星號代表花蓮地震的震央位置。

8-1-2 水氡觀測與地震活動之關聯性

本計畫99年度延續98年度之監測工作，持續在花東縱谷南段附近安通溫泉安通站監測井定期採集水樣，分析地下水水氡及溶解氣體（甲烷及氮氣）。同時，即時監測地下水溫度及水位。圖8-9為安通溫泉區地下水氡監測井99年度全年度觀測資料統整圖。2009年12月至2010年11月，花東縱谷南段未發生強震（M_W＞6.0），在這期間，吉祥水氡濃度監測站（吉祥站）與安通溫泉飯店監測井（安通站）中地下水氡及地下水溶解氣體(氮氣及甲烷)濃度亦未觀測到異常之變化。雖然在執行本研究期間（2009年3月至2010年11月）安通溫泉安通站未發現地下水氡異常下降之變化，但吉祥站與安通站在2008年2月17日發生地震矩規模M_W 5.4台東地震前，皆有捕捉到地下水氡異常下降之地震前兆，顯示安通溫泉具適當地質條件成為理想地下水氡地震前兆觀測站，建議持續長時間監測安通站地下水氡濃度，預期捕捉下次在花東縱谷南段發生災害性地震（大約M_W＞6.0）之前兆。

本（99）年度亦新增恆春半島墾丁社頂區域執行地下水水氡及溶解氣體（二氧化碳）之採樣及實驗室分析。本研究於2010年3月4日發生芮氏地震規模M_L = 6.4的高雄甲仙地震前，有觀測到地下水水氡及溶解氣體（二氧化碳）異常下降之現象。圖8-10為恆春半島墾丁社頂監測站99年度全年度觀測資料統整圖。由圖中可發現兩項監測項目在地震來臨前皆有明顯的濃度變化，且趨勢一致，因此可確定兩者之間對於墾丁社頂地區地層的應變有一定的反應。墾丁公園社頂站已有近一年觀測資料，發現地下水水氡及二氧化碳濃度同時和豐水季及枯水季有週期性的行為，建議繼續監測墾丁公園社頂站地下水水氡及溶解氣體（二氧化碳）濃度變化，並持續蒐集墾丁地區之雨量資料，預期明年度觀測能驗證地下水氡及二氧化碳濃度變化和豐枯水季的週期性。

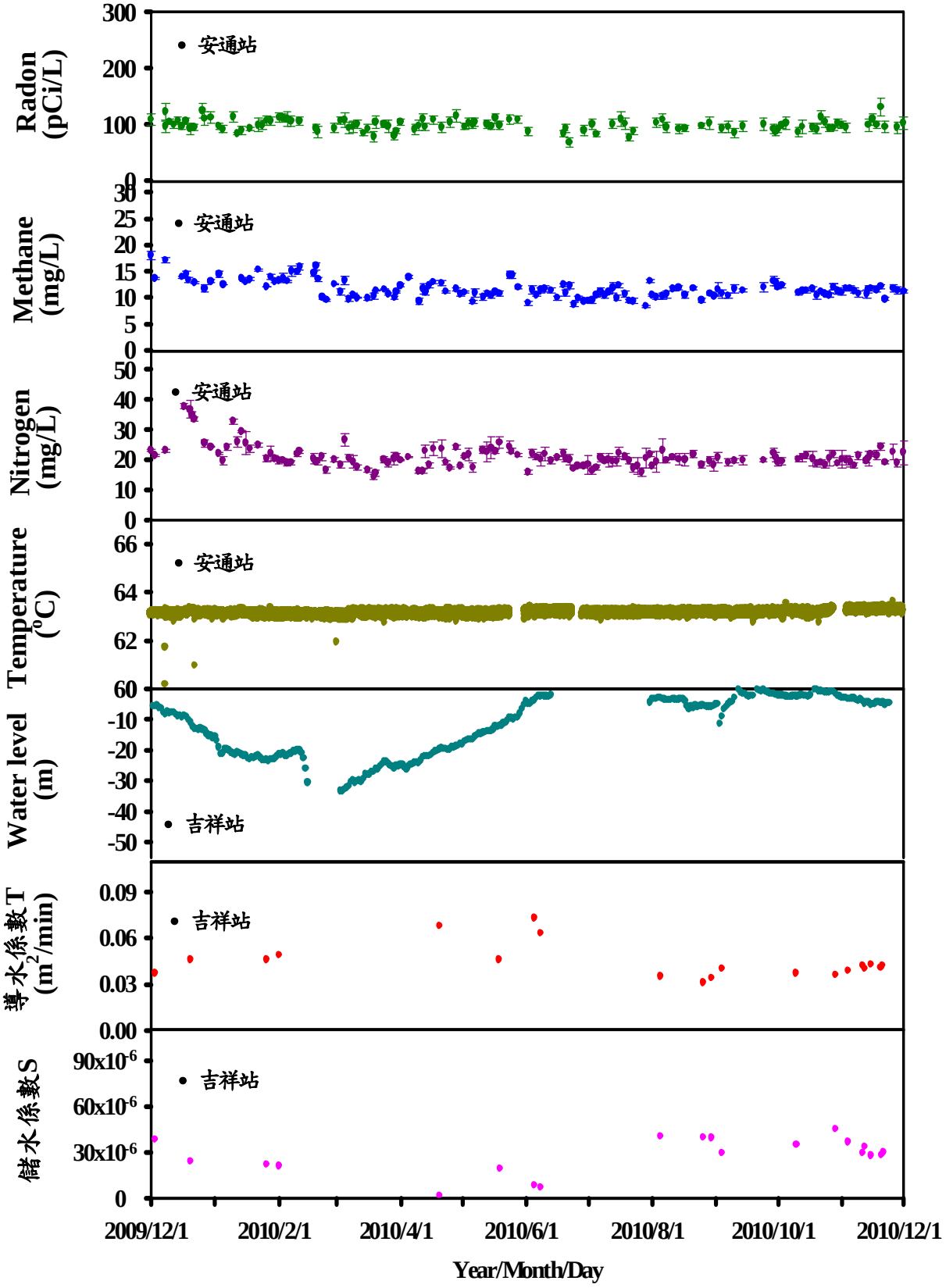


圖 8-9：安通溫泉區地下水氡監測井 99 年度全年度觀測資料統整圖。

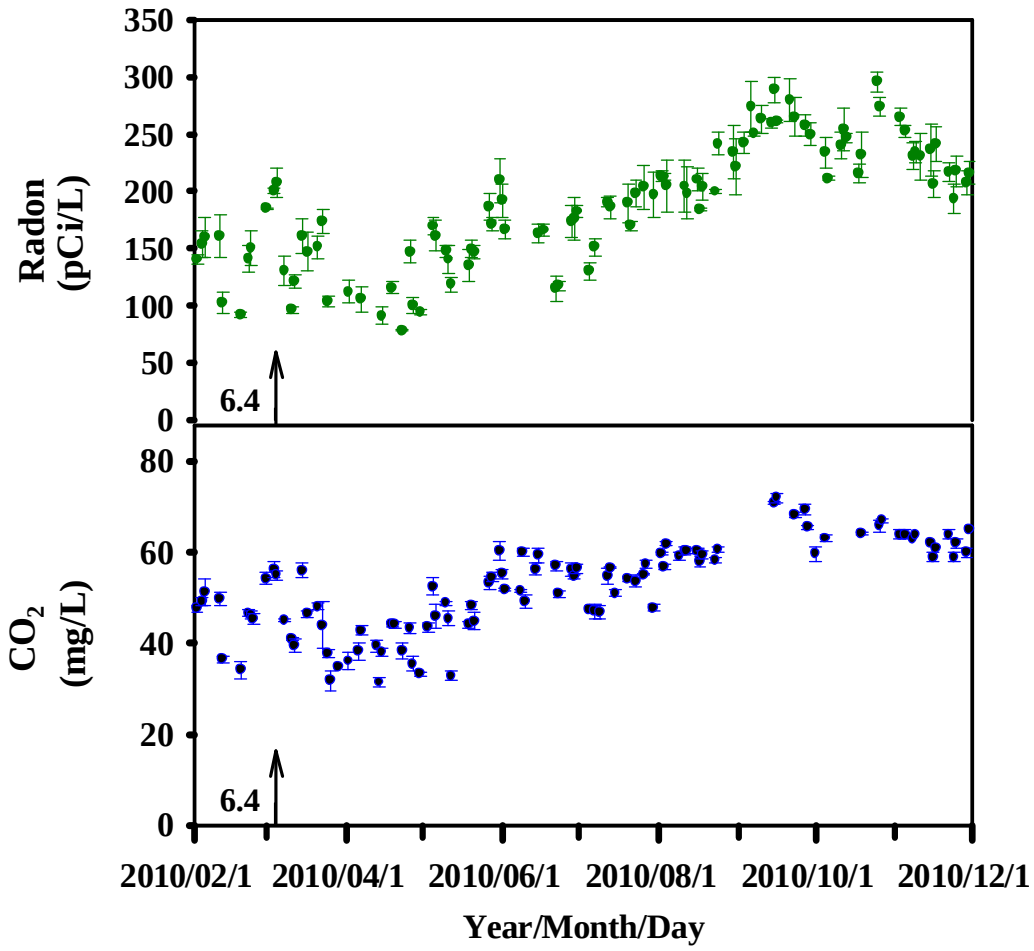


圖 8-10：恆春半島墾丁社頂監測站 99 年度全年度觀測資料統整圖。

8-2 各測站觀測結果之比較

比較本計畫之氣體觀測站、地下水壓觀測站及水氡觀測站與地調所之井下應變儀測站進行整合資料的分析，如圖 8-11 所示，新竹與嘉義地區有較密集的觀測站，因此本研究選擇新竹網與嘉義網分別討論，北部的新竹網，選擇大平地氣體觀測站及雙溪、新樂、梅花、瑞峰等地下水壓觀測站；而南部的嘉義網，則是包括中崙濁水潭氣體觀測站及太興、中興、達邦、沄水等地下水壓觀測站。由於古坑氣體觀測站為新設立且目前有儲氣槽積水等問題，故在此暫不將古坑站併入嘉義網一起討論。

首先針對規模 6 以上的大地震進行討論，如表 8-2，可觀察到數起氡氣與水壓的震前異常，同時也有地下水壓的同震變化。

在新竹網發現到震前異常的地震有：

2009/7/14 花蓮外海地震：新樂水壓測站有前兆變化。

2009/10/4 花蓮西林地震：大平地氣體觀測站與新樂水壓測站有前兆變化。

2009/11/5 南投名間地震：大平地氣體觀測站與新樂水壓測站有前兆變化。

2009/12/19 花蓮地震：大平地氣體觀測站與雙溪水壓測站有前兆變化。

2010/4/26 台東外海地震：新樂水壓測站有前兆變化。

可以發現新竹網的觀測站中，水壓觀測站比氣體觀測站所觀察到的前兆反應較多。若再參考 D/R 值，可以歸納出地下水壓測站有震前反應的地震，其 D/R 值皆大於 2.5；另外，氣體觀測站有震前反應的地震，其 D/R 值皆大於 3.3。

在嘉義網發現到震前異常的地震有：

2009/8/17 花蓮外海地震：沄水水壓測站有前兆變化。

2009/11/5 南投名間地震：中崙氣體觀測站及沄水、中興、達邦水壓測站有前兆變化。

2009/12/19 花蓮地震：中崙氣體觀測站及沄水、中興水壓測站有前兆變化。

2010/3/4 高雄甲仙地震：中崙氣體觀測站及太興水壓測站有前兆變化。

2010/4/26 台東外海地震：沄水及中興水壓測站有前兆變化。

可以發現嘉義網的觀測站中，水壓觀測站比氣體觀測站所觀察到的前兆反應較多。若再參考 D/R 值，可以歸納出地下水壓測站有震前反應的地震，其 D/R 值皆在 2.5 以上；另外，氣體觀測站有震前反應的地震，其 D/R 值皆在 7.7 以上。然而，目前樣本數目不夠，因此仍不能確定氣體觀測站是否只對 D/R 值 7 以上的地震才會有震前異常反應，未來須慢慢累積資料才能進一步釐清。

若比較新竹網與嘉義網，可以發現兩地區的測站對於地震的反應不盡相同，有些地震在新竹網才有反應，有些則是嘉義網才觀測到異常，這可能與地震的震

央位置及規模有關。同時在新竹網與嘉義網的氣體及地下水壓觀測站都有震前反應的地震是 2009/11/5 南投名間地震與 2009/12/19 花蓮地震，也許是此兩地震在新竹網與地震網的 D/R 值(或 ε)都相當的大，故能在兩地區皆能看到異常。

本研究更進一步針對發生在規模 5 以上之地震（2009 年 1 月至 2010 年 10 月），並且將有觀察到異常變化的測站分成新竹網與嘉義網進行整理比較，如表 8-3 及表 8-4。

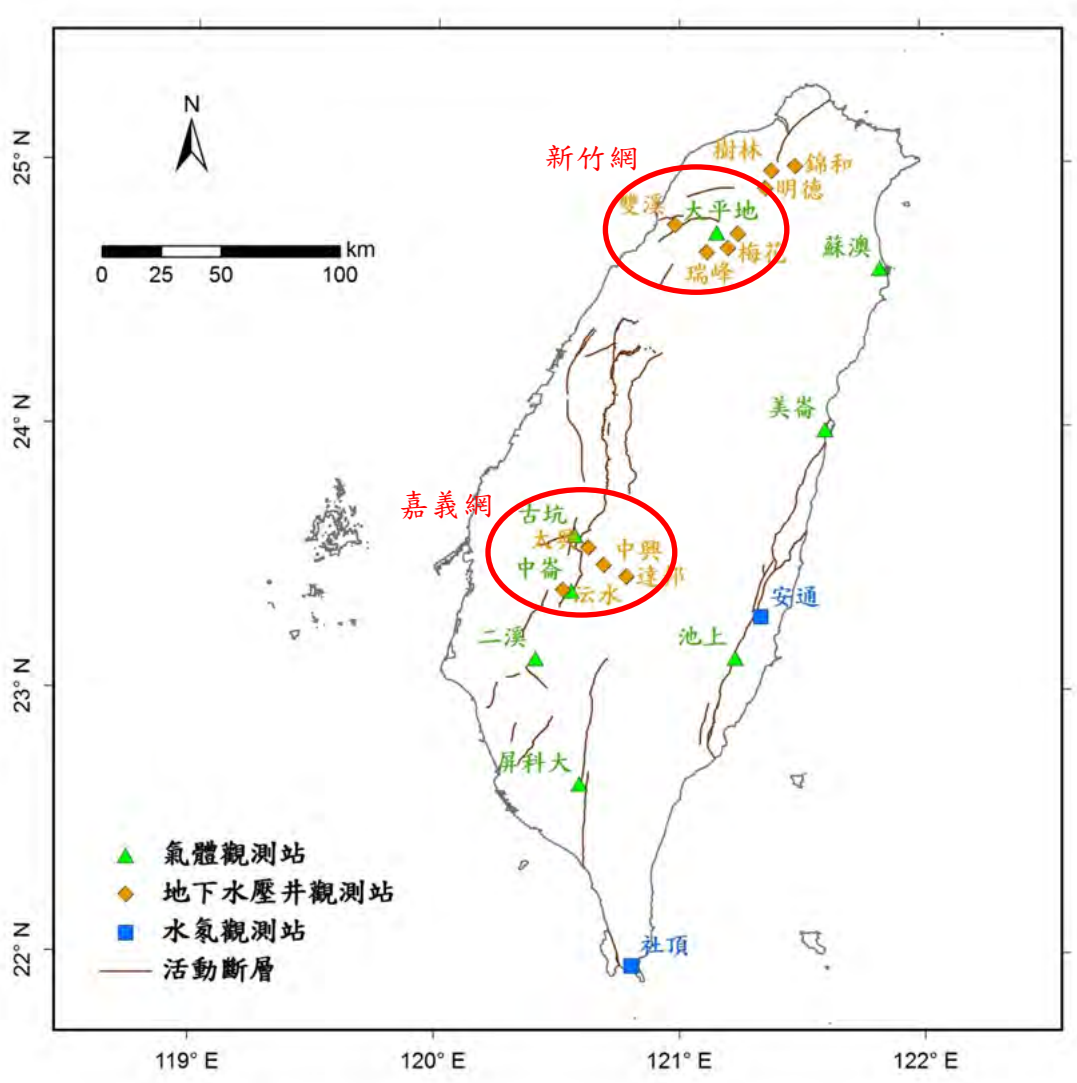


圖 8-11：觀測站分布位置。紅圈表示新竹網與嘉義網。

表 8-2：2009 年 1 月至 2010 年 10 月規模 6 以上之大地震於新竹網與嘉義網測站所觀測到的異常情形比較。

地震			新竹網								嘉義網									
Time	M_L	位置	D/R	ε (×10^{-7})	大平地氣體觀測站	新樂水壓觀測站	梅花水壓觀測站	雙溪水壓觀測站	異常行為	井下應變儀	D/R	ε (×10^{-7})	中崙氣體觀測站	沄水水壓觀測站	太興水壓觀測站	中興水壓觀測站	達邦水壓觀測站	異常行為	井下應變儀	其他測站
2009/7/14 2:05	6	花蓮外海	2.9	1.7	不確定	**前兆**			大平地 2 日前開始上升，地震後不降；新樂水壓 4 日前斜率改變	異常	2.1	0.7	受降雨影響							
2009/8/17 8:05	6.8	花蓮外海	2.7	1.4							2.5	1.1	資料中斷	**前兆**						
2009/10/4 1:36	6.1	花蓮西林	3.3	2.6	**前兆**	**前兆**			大平地 29 日前開始上升		3.9	4.3								屏科大氣體測站亦有前兆反應
2009/11/5 17:32	6.2	南投名間	4.1	5.0	**前兆**	**前兆**			大平地 10 日前先上升後下降		9.6	65.8	**前兆**	**前兆**		**前兆**	**前兆**	中崙 9 日前先上升後下降		池上、屏科大氣體測站亦有前兆反應
2009/12/19 21:02	6.9	花蓮	8.0	38.3	**前兆**	同震		**前兆**	大平地 14 前上升,8 日前開始下降；雙溪 3 日前地潮現象消失		7.7	34.0	**前兆**	**前兆**	同震	**前兆**& 同震	同震	中崙 5 日前上升後降；沄水 2 日前下降 25cm; 中興 6 日前先降 60cm	異常	池上氣體測站亦有前兆反應
2010/2/7 14:10	6.6	花蓮外海	2.8	1.6							2.7	1.4								

地震			新竹網								嘉義網										
Time	M_L	位置	D/R	ε (× 10^{-7})	大平地氣體觀測站	新樂水壓觀測站	梅花水壓觀測站	雙溪水壓觀測站	異常行為	井下應變儀	D/R	ε (× 10^{-7})	中崙氣體觀測站	沄水水壓觀測站	太興水壓觀測站	中興水壓觀測站	達邦水壓觀測站	異常行為	井下應變儀	其他測站
2010/3/4 8:18	6.4	高雄甲仙	2.9	1.8		同震					12.5	144.4	**前兆**	同震	**前兆**&同震	同震	同震	中崙 15 日前開始上升，6 日前開始下降；太興 14 日前先升後降	異常	古坑、屏科大、池上氣體測站及社頂水氡測站亦有前兆反應
2010/4/26 10:59	6.8	台東外海	2.5	1.2		**前兆**			新樂 1 日前下降 7cm		2.8	1.7		**前兆**		**前兆**		沄水 4 日前下降 20cm; 中興 2 日前先降 30cm 後升 13cm		
2010/10/4 21:28	6.8	宜花外海	1.9	0.5							1.7	0.4								

8-2-1 新竹網

由表 8-3 可知，在 2009 年 1 月至 2010 年 10 月間全台發生規模 5 以上之地震共有 60 起，其中新竹地區震度 1 以上的共有 32 起。在新竹網測站中，大平地氣體觀測站觀察到震前異常變化的地震共計 6 起;而地下水壓井中以新樂站較為敏感，共計觀察到 11 起震前異常水壓變化，梅花站並沒觀察到地下水壓與地震的變化，雙溪站在 2009/12/19 花蓮地震前觀察到異常變化，瑞峰站觀察到 2 起震前異常變化。

由圖 8-12 可知，與新竹網測站相關的地震大都分布在台灣中北部與宜蘭花蓮外海，然而，氣體測站與地下水壓測站對地震活動的反應相當不同，大平地測站對 D/R 值 1.7 以上的地震有前兆反應的機會較大，而地下水壓站對 D/R 值 1.3 以上的地震有震前異常變化（表 8-3）。另外，大平地測站與任一地下水壓站同時有前兆變化的地震共有 4 起，如 2009/10/4（規模 6.1）、2009/11/5（規模 6.2）、2009/11/22（規模 5）、2009/12/19（規模 6.9），這四起地震皆位在台灣的中間位置（南投及花蓮地區），也顯示似乎要規模較大的地震才會同時造成氣體與地下水壓站的震前異常變化，但因樣本數較少，仍須累積更長的觀測結果，才能釐清何種類型的地震會同時造成氣體與地下水壓站的異常變化。

表 8-3：2009 年 1 月至 2010 年 10 月規模 5 以上之地震與新竹網測站異常情形比較。

NO.	西元時間	規模	深度 (km)	距離 (km)	震度	D/R	ε (× 10^{-7})	大平地氣體觀測站	新樂水壓觀測站	梅花水壓觀測站	雙溪水壓觀測站	瑞峰水壓觀測站	新竹地區井下應變儀	其它有異常的測站
09-1	2009/1/2 09:39	5.1	65	365		0.43	0.01							
09-3	2009/1/4 06:04	5.1	8	87	1	1.80	0.4							
09-39	2009/1/23 20:38	5.3	52	408		0.47	0.01							
09-137	2009/4/17 20:37	5.3	43	105	2	1.82	0.4	不確定						池上氣體觀測站
09-173	2009/5/27 06:27	5.7	55	370		0.76	0.03							
09-212	2009/6/20 11:44	5.4	49	151	1	1.39	0.2							
09-214	2009/6/25 05:09	5	22	138		1.02	0.08							
09-227	2009/6/28 17:34	5.3	13	86	2	2.22	0.8							
09-354	2009/7/14 02:05	6	18	133	2	2.85	1.7	不確定	前兆				異常	
09-369	2009/7/16 18:48	5.4	21	139	1	1.51	0.3							
09-370	2009/7/17 02:42	5.1	21	140		1.11	0.10							
09-399	2009/7/26 09:00	5.4	14	118	1	1.78	0.4							
09-401	2009/7/26 14:10	5.4	13	146		1.44	0.2							
09-440	2009/7/30 00:53	5.8	41	305		1.02	0.08							
09-485	2009/8/17 08:05	6.8	43	315	2	2.67	1.4							
09-494	2009/8/20 22:18	5.5	61	278		0.83	0.04							
09-496	2009/8/22 04:57	5.1	24	273		0.57	0.01							

NO.	西元時間	規模	深度 (km)	距離 (km)	震度	D/R	ε (× 10^{-7})	大平地氣體觀測站	新樂水壓觀測站	梅花水壓觀測站	雙溪水壓觀測站	瑞峰水壓觀測站	新竹地區井下應變儀	其它有異常的測站
09-519	2009/9/12 20:05	5.1	25	159		0.98	0.07							
09-539	2009/10/4 01:36	6.1	29	128	2	3.29	2.6	前兆	前兆					屏科大氣體觀測站
09-566	2009/10/11 14:42	5	42	315		0.45	0.01							
09-580	2009/10/23 07:05	5.1	104	229		0.68	0.02							
09-601	2009/11/5 17:32	6.2	24	114	2	4.06	5.0	前兆	前兆					二溪、屏科大、池上氣體觀測站
09-641	2009/11/15 22:47	5.5	125	104	1	2.22	0.8	前兆						
09-648	2009/11/22 01:27	5	67	83	1	1.70	0.4	前兆	前兆					
09-677	2009/12/19 21:02	6.9	44	116	4	7.97	38.3	前兆			前兆			池上氣體觀測站
10-5	2010/1/5 03:27	5.5	46	91	2	2.53	1.2							
10-18	2010/1/19 14:09	5.6	41	114	1	2.24	0.8							池上氣體觀測站
10-35	2010/2/7 14:10	6.6	88	249	1	2.77	1.6							池上氣體觀測站
10-37	2010/2/9 13:02	5.4	23	415		0.51	0.01							
10-42	2010/2/12 10:42	5.2	14	94	1	1.83	0.4	前兆						古坑、池上氣體觀測站
10-52	2010/2/22 13:21	5.6	28	230		1.11	0.1							
10-53	2010/2/26 09:07	5.8	31	212	1	1.47	0.2							

NO.	西元時間	規模	深度 (km)	距離 (km)	震度	D/R	ε (× 10^{-7})	大平地氣體觀測站	新樂水壓觀測站	梅花水壓觀測站	雙溪水壓觀測站	瑞峰水壓觀測站	新竹地區井下應變儀	其它有異常的測站
10-60	2010/3/4 08:18	6.4	23	197	2	2.86	1.8	不確定						古坑、屏科大、池上氣體觀測站及社頂水氡觀測站
10-77	2010/3/4 15:07	5.1	20	220		0.71	0.03							
10-95	2010/3/10 14:27	5.1	24	249		0.63	0.02							
10-121	2010/3/27 07:07	5.2	55	91	2	1.89	0.5							古坑、池上氣體觀測站
10-134	2010/4/9 19:49	5.1	103	88	2	1.76	0.4		前兆					
10-138	2010/4/11 12:57	5.4	10	185	1	1.14	0.1							古坑、池上氣體觀測站
10-161	2010/4/23 09:49	5	86	117		1.21	0.1							
10-167	2010/4/26 10:59	6.8	73	330	1	2.54	1.2		前兆					池上氣體觀測站
10-177	2010/5/3 21:38	5.1	28	286		0.54	0.01							
10-221	2010/6/15 08:31	5.5	19	89	1	2.61	1.3							池上氣體觀測站
10-241	2010/6/27 02:05	5.1	65	39	2	3.95	4.5		前兆					
10-246	2010/7/3 03:11	5.1	16	214		0.73	0.03							池上氣體觀測站
10-256	2010/7/9 03:43	5.3	18	93	2	2.05	0.6							
10-257	2010/7/9 08:41	5.8	110	152	2	2.06	0.6		前兆					池上氣體觀測站
10-264	2010/7/17 17:04	5.2	42	155		1.11	0.1							

NO.	西元時間	規模	深度 (km)	距離 (km)	震度	D/R	ε (× 10^{-7})	大平地氣體觀測站	新樂水壓觀測站	梅花水壓觀測站	雙溪水壓觀測站	瑞峰水壓觀測站	新竹地區井下應變儀	其它有異常的測站
10-266	2010/7/18 21:03	5.2	15	138	1	1.25	0.1							
10-275	2010/7/25 11:52	5.7	20	214		1.32	0.2		前兆			前兆		
10-318	2010/8/22 00:37	5.3	27	138		1.37	0.2		前兆			前兆		池上氣體觀測站
10-335	2010/8/30 16:45	5.2	15	108	1	1.59	0.3		前兆					
10-342	2010/9/4 03:06	5	78	156		0.90	0.05							
10-373	2010/9/20 11:17	5.1	32	135		1.16	0.1							
10-387	2010/9/29 01:33	5	19	82	1	1.72	0.4							
10-411	2010/10/1 03:56	5.1	102	64	1	2.45	1.1							
10-416	2010/10/3 03:23	5	19	71	2	1.98	0.6							
10-424	2010/10/4 21:28	6.8	60	434		1.94	0.5							
10-445	2010/10/12 14:43	5	113	112		1.26	0.1							
10-451	2010/10/14 14:06	5	14	343		0.41	0.01							

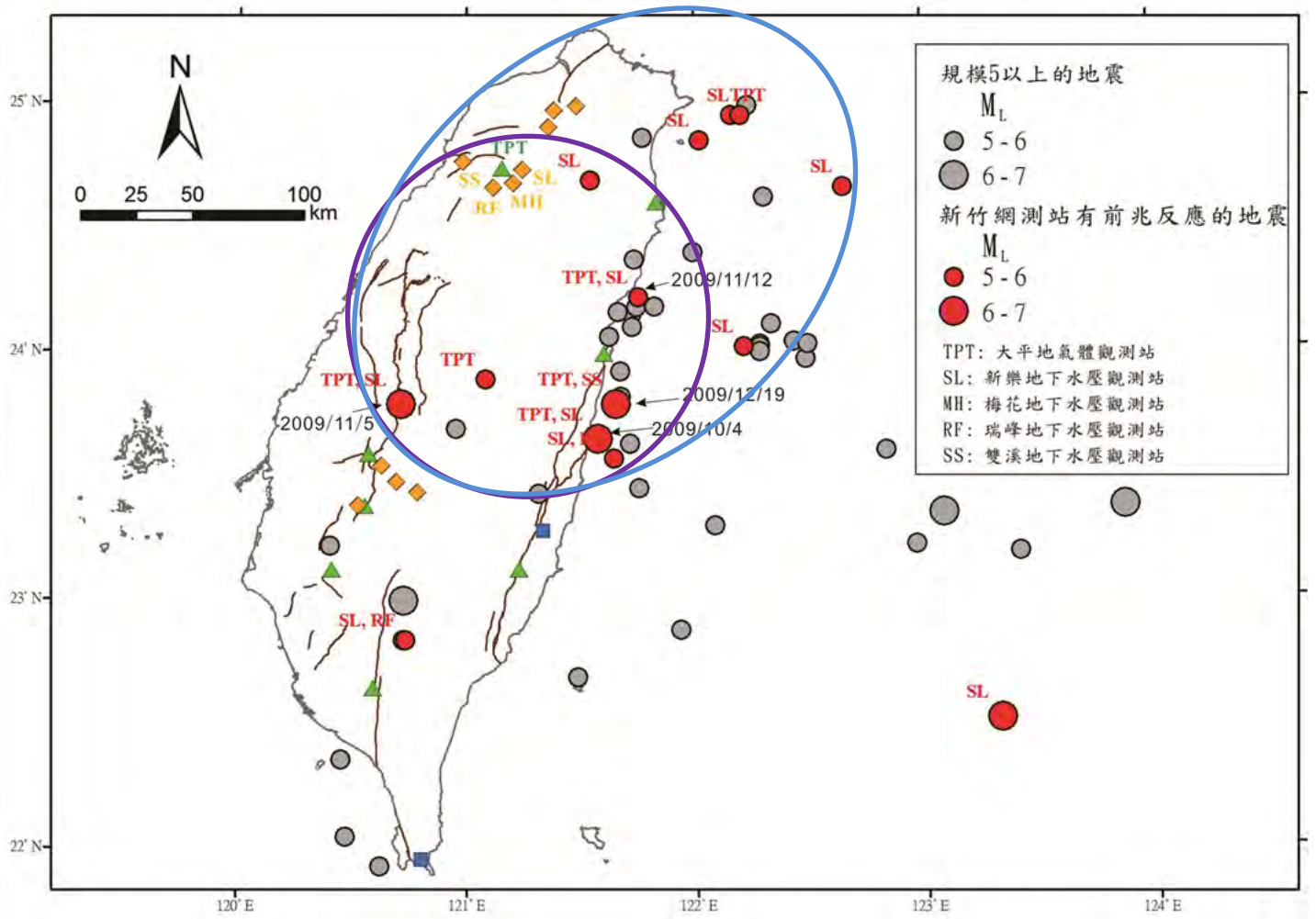


圖 8-12：規模 5 以上的地震分布與新竹網有前兆反應的地震分布。紅點代表有震前異常反應的地震，紅色標記表示有觀察到前兆反應的測站。藍色圓圈代表新竹網的偵測區間範圍，而紫色圓圈代表大平地氣體觀測站與地下水壓觀測站共同的敏感偵測區間範圍，箭頭指示大平地氣體觀測站與地下水壓觀測站皆有前兆反應的地震。

8-2-2 嘉義網

由表 8-4 可知，在 2009 年 1 月至 2010 年 10 月間台灣地區發生規模 5 以上之地震共有 60 起，其中嘉義地區震度 1 以上的共有 54 起。在嘉義網測站中，中崙濁水潭氣體觀測站觀察到震前異常變化的地震共計 7 起；而地下水壓井中以沄水站較為敏感，共計觀察到 13 起震前異常水壓變化，太興、中興、達邦測站分別觀察到 2 起、5 起及 6 起地下水壓震前異常反應。

圖 8-13 顯示，嘉義網測站出現地震前兆反應的地震大都分布在台灣中部與南部以及花蓮外海地區。歸納表 8-4，對於中崙測站有前兆反應的地震其 D/R 值皆大於 1.8，對於地下水壓站有前兆反應的地震其 D/R 值皆大於 1。中崙氣體觀測站與任一地下水壓站皆觀測到震前異常反應的地震共有 5 起，其 D/R 值皆大於 2，分別是 2009/11/5 南投名間地震（規模 6.2）、2009/12/19 花蓮地震（規模 6.9）、2010/1/19 花蓮地震（規模 5.6）、2010/2/12 南投埔里（規模 5.2）、2010/3/4 甲仙地震（規模 6.4）。

表 8-4：2009 年 1 月至 2010 年 10 月規模 5 以上之地震與嘉義網測站異常情形比較。

NO	西元時間	規模	深度 (km)	距離 (km)	震度	D/R	ε ($\times 10^{-7}$)	中崙氣體觀測站	沄水水壓觀測站	太興水壓觀測站	中興水壓觀測站	達邦水壓觀測站	嘉義地區井下應變儀	其它有異常的測站
09-1	2009/1/2 09:39	5.1	65	203	4	0.77	0.03							
09-3	2009/1/4 06:04	5.1	8	146	4	1.06	0.09				前兆			
09-39	2009/1/23 20:38	5.3	52	266		0.72	0.03							
09-137	2009/4/17 20:37	5.3	43	129	3	1.48	0.2	前兆					異常	池上氣體觀測站
09-173	2009/5/27 06:27	5.7	55	208	3	1.36	0.2	不確定						
09-212	2009/6/20 11:44	5.4	49	205	2	1.02	0.08							
09-214	2009/6/25 05:09	5	22	190	2	0.74	0.03							
09-227	2009/6/28 17:34	5.3	13	150	2	1.27	0.1		前兆					
09-354	2009/7/14 02:05	6	18	183	3	2.07	0.7							
09-369	2009/7/16 18:48	5.4	21	190	2	1.11	0.10							
09-370	2009/7/17 02:42	5.1	21	189	2	0.82	0.04							
09-399	2009/7/26 09:00	5.4	14	53	4	3.93	4.5							
09-401	2009/7/26 14:10	5.4	13	78	4	2.70	1.4							
09-440	2009/7/30 00:53	5.8	41	147		2.12	0.7							
09-485	2009/8/17 08:05	6.8	43	339	2	2.48	1.1		前兆					
09-494	2009/8/20 22:18	5.5	61	308	1	0.75	0.03							
09-496	2009/8/22 04:57	5.1	24	113	3	1.38	0.2							
09-519	2009/9/12 20:05	5.1	25	207	2	0.75	0.03							
09-539	2009/10/4 01:36	6.1	29	108	4	3.88	4.3							屏科大氣體觀測站

NO	西元時間	規模	深度 (km)	距離 (km)	震度	D/R	ε ($\times 10^{-7}$)	中崙氣體觀測站	沄水水壓觀測站	太興水壓觀測站	中興水壓觀測站	達邦水壓觀測站	嘉義地區井下應變儀	其它有異常的測站
09-566	2009/10/11 14:42	5	42	160	2	0.88	0.05							
09-580	2009/10/23 07:05	5.1	104	122	2	1.28	0.2		前兆					
09-601	2009/11/5 17:32	6.2	24	48	5	9.60	65.8	前兆	前兆		前兆	前兆		二溪、屏科大、池上氣體觀測站
09-641	2009/11/15 22:47	5.5	125	238	2	0.97	0.07							
09-648	2009/11/22 01:27	5	67	154	2	0.92	0.06		前兆			前兆		
09-677	2009/12/19 21:02	6.9	44	121	5	7.66	34.0	前兆	前兆		前兆		異常	池上氣體觀測站
10-5	2010/1/5 03:27	5.5	46	157	3	1.48	0.2							
10-18	2010/1/19 14:09	5.6	41	124	3	2.06	0.6	前兆	前兆			前兆		池上氣體觀測站
10-35	2010/2/7 14:10	6.6	88	258	2	2.67	1.4							池上氣體觀測站
10-37	2010/2/9 13:02	5.4	23	277	1	0.76	0.03							
10-42	2010/2/12 10:42	5.2	14	78	4	2.20	0.8	前兆	前兆					古坑、池上氣體觀測站
10-52	2010/2/22 13:21	5.6	28	278	2	0.92	0.06							
10-53	2010/2/26 09:07	5.8	31	234	3	1.33	0.2							
10-60	2010/3/4 08:18	6.4	23	45	6	12.5	144.4	前兆		前兆			異常	古坑、屏科大、池上氣體觀測站及社頂水氡觀測站
10-77	2010/3/4 15:07	5.1	20	152	2	1.03	0.08							

NO	西元時間	規模	深度 (km)	距離 (km)	震度	D/R	ε ($\times 10^{-7}$)	中崙氣體觀測站	沄水水壓觀測站	太興水壓觀測站	中興水壓觀測站	達邦水壓觀測站	嘉義地區井下應變儀	其它有異常的測站
10-95	2010/3/10 14:27	5.1	24	247		0.63	0.02							
10-121	2010/3/27 07:07	5.2	55	143	3	1.20	0.1		前兆			前兆		古坑、池上氣體觀測站
10-134	2010/4/9 19:49	5.1	103	221	2	0.71	0.03							
10-138	2010/4/11 12:57	5.4	10	156	3	1.34	0.2							古坑、池上氣體觀測站
10-161	2010/4/23 09:49	5	86	225		0.63	0.02							
10-167	2010/4/26 10:59	6.8	73	299	3	2.81	1.7		前兆		前兆			池上氣體觀測站
10-177	2010/5/3 21:38	5.1	28	293	1	0.53	0.01							
10-221	2010/6/15 08:31	5.5	19	132	3	1.75	0.4							池上氣體觀測站
10-241	2010/6/27 02:05	5.1	65	176	2	0.88	0.05	前兆						
10-246	2010/7/3 03:11	5.1	16	62	3	2.51	1.2		前兆		前兆	前兆		池上氣體觀測站
10-256	2010/7/9 03:43	5.3	18	185	2	1.03	0.08							
10-257	2010/7/9 08:41	5.8	110	256	2	1.22	0.1							池上氣體觀測站
10-264	2010/7/17 17:04	5.2	42	123	3	1.40	0.2							
10-266	2010/7/18 21:03	5.2	15	198	2	0.87	0.05							
10-275	2010/7/25 11:52	5.7	20	62	4	4.53	6.8		前兆					
10-318	2010/8/22 00:37	5.3	27	113	3	1.68	0.3							池上氣體觀測站
10-335	2010/8/30 16:45	5.2	15	241	1	0.71	0.03							
10-342	2010/9/4 03:06	5	78	210	2	0.67	0.02							
10-373	2010/9/20 11:17	5.1	32	122	3	1.28	0.2		前兆	前兆		前兆		

NO	西元時間	規模	深度 (km)	距離 (km)	震度	D/R	ε ($\times 10^{-7}$)	中崙氣體觀測站	沄水水壓觀測站	太興水壓觀測站	中興水壓觀測站	達邦水壓觀測站	嘉義地區井下應變儀	其它有異常的測站
10-387	2010/9/29 01:33	5	19	142	2	0.99	0.07							
10-411	2010/10/1 03:56	5.1	102	205	1	0.76	0.03							
10-416	2010/10/3 03:23	5	19	163	2	0.87	0.05							
10-424	2010/10/4 21:28	6.8	60	485	3	1.73	0.4							
10-445	2010/10/12 14:43	5	113	247		0.57	0.01							
10-451	2010/10/14 14:06	5	14	199		0.71	0.03							

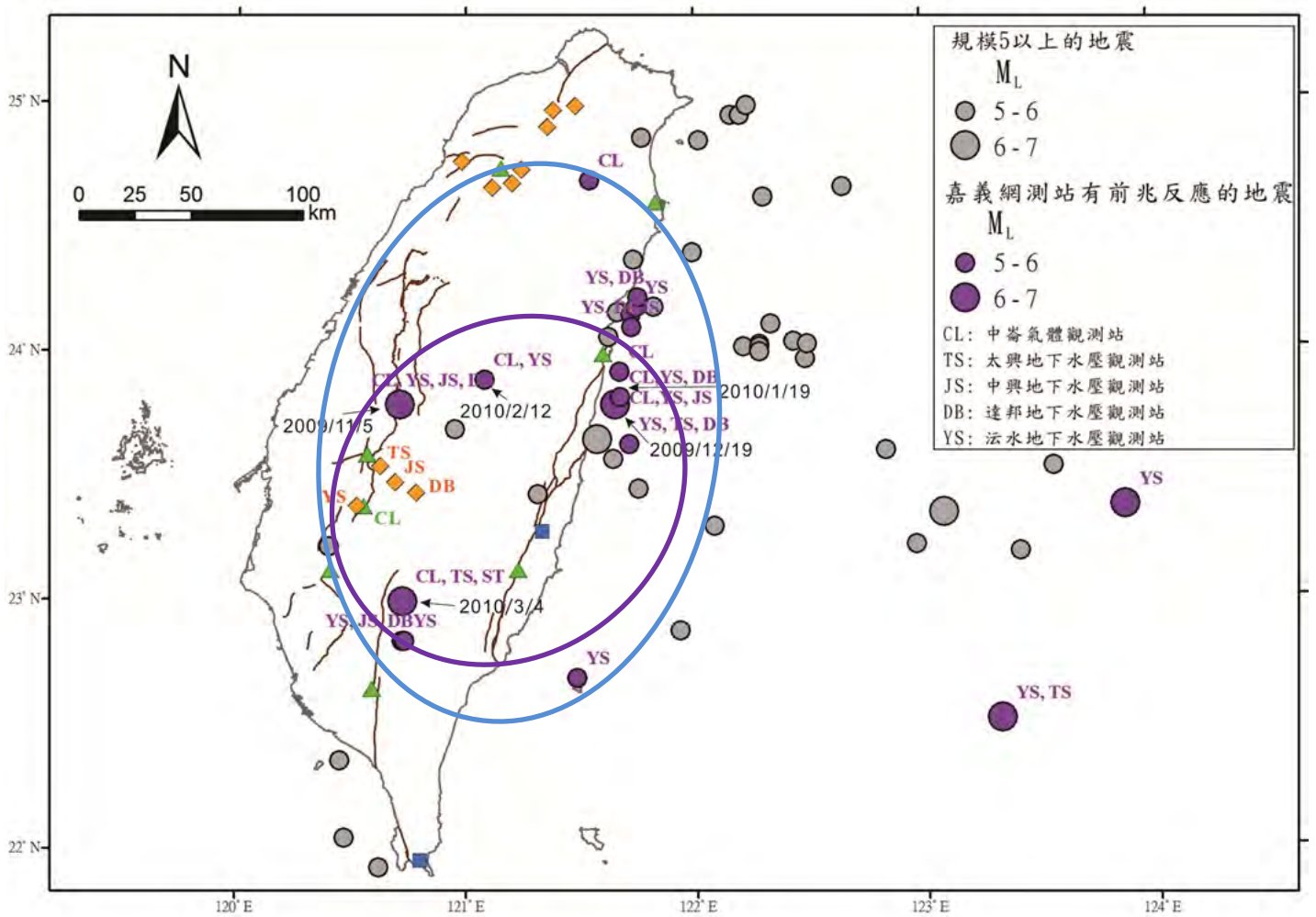


圖 8-13：規模 5 以上的地震分布與嘉義網有前兆反應的地震分布。紫色點代表有震前異常反應的地震，紫色標記表示有觀察到前兆反應的測站。藍色圓圈代表嘉義網的偵測區間範圍，而紫色圓圈代表中崙氣體觀測站與地下水壓觀測站共同的敏感偵測區間範圍，箭頭指示大平地氣體觀測站與地下水壓觀測站皆有前兆反應的地震。

8-2-3 新竹網與嘉義網之比較

圖 8-14 與表 8-5 顯示在新竹地區一個以上的測站與嘉義地區一個以上的測站同時出現震前異常反應的地震，共計有 7 起，大都分布在台灣中部及花蓮外海。

若利用圖 8-12 與圖 8-13 所劃定出的氣體觀測站與地下水壓觀測站共同的敏感偵測區間範圍，即是北部新竹網與南部嘉義網的兩個反應區間，則此兩區間的交集處便是新竹網及嘉義網的的共同反應區間，如圖 8-14。換句話說，若有地震發生在此交集處，則北部新竹網的氣體觀測站及任一地下水壓觀測站會有前兆反應，同時南部嘉義網的氣體觀測站及任一地下水壓觀測站也會有前兆反應。

因此，可進一步檢視表 8-5，新竹網的氣體與地下水壓測站有觀察到前兆反應，且嘉義網的氣體與地下水壓測站有觀察到前兆反應的地震有兩起，分別是 2009/11/5 南投地震與 2009/12/19 花蓮地震。此兩起地震皆落在前段所述之交集處內（圖 8-14），故此交集處可幫助我們對於未來地震發生位置的判斷，若在新竹網與嘉義網的氣體與地下水壓觀測站皆有出現異常變化時，那地震可能發生的位置即是在反應區間的交集處。

表 8-5：新竹網及嘉義網同時有觀察到前兆反應的地震。

NO.	氣象局地震編號	西元時間	規模	深度 (km)	新竹網有觀察到異常的測站*	嘉義網有觀察到異常的測站*
09-601	第 125 號	2009/11/5 17:32	6.2	24	TPT, SL	CL, YS, JS, DB
09-648	第 138 號	2009/11/22 01:27	5	67	TPT, SL	YS, DB
09-677	第 144 號	2009/12/19 21:02	6.9	44	TPT, SS	CL, YS, JS
10-42	第 012 號	2010/2/12 10:42	5.2	14	TPT	CL, YS
10-167	第 043 號	2010/4/26 10:59	6.8	73	SL	YS, TS
10-241	第 064 號	2010/6/27 02:05	5.1	65	SL	CL
10-275	第 075 號	2010/7/25 11:52	5.7	20	SL, RF	YS

*觀測站代號說明請見圖 8-14

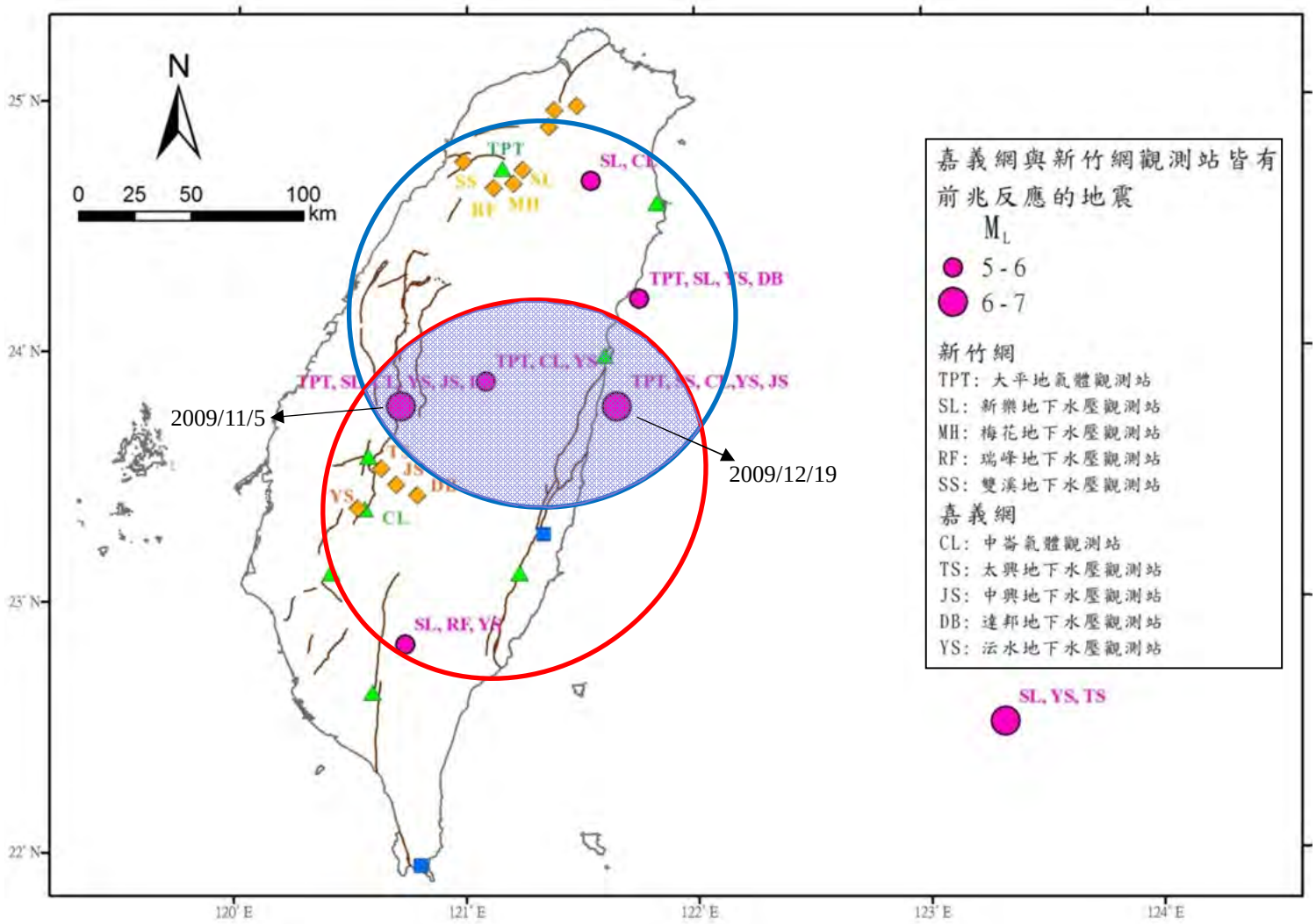


圖 8-14：新竹網與嘉義網同時有前兆反應的地震分布。紫色標記表示有觀察到前兆反應的測站。藍色圓圈代表新竹網氣體觀測站與地下水壓觀測站共同的敏感反應區間；紅色圓圈代表嘉義網氣體觀測站與地下水壓觀測站共同的敏感反應區間。藍色陰影處為新竹網及嘉義網的反應區間之交集處。

8-3 利用時序分析方法處理觀測資料

由於針對各觀測站所定義的異常往往是主觀認定，故有時會存在標準的問題。本章將利用一些統計及數學方法，以較有系統的方式來連續觀測分析結果。

8-3-1 時序分析方法介紹

在本節中使用兩種方法，分別是 Hilbert-Huang Transform 與移動平均法(moving average)來處理不同測站的資料。

(1) **Hilbert-Huang Transform (HHT)**

Hilbert-Huang Transform 分析方法是由 Huang 提出的數學理論，做為分析非穩定或非線性的訊號(Huang, 1998)，以彌補傳統傅立葉轉換之不足。HHT 的應用範圍很廣，例如用來辨識物種發出的聲音，也用在橋樑檢測、結構物之破壞檢測等。在地球科學上的應用也很廣，如解析潮汐、波浪場的訊號特性，以及辨別地下水位與地震的關聯性(Chen *et al*., 2010)。

HHT 包含兩部分，一為經驗模態分解（Empirical Mode Decomposition, EMD），將原始訊號拆解成，得到數個內部模態函數（Instrinsic Mode Functions, IMF）。其二為 Hilbert Transform（HT），它是將一個實數的時間訊號轉換成一個複數平面上的解析訊號。

經驗模態分解（Empirical Mode Decomposition, EMD）是根據經驗來利用訊號中特徵時間尺度來定義其資料模態，然後依據它來分解訊號。這種解析出 IMF 的方法稱為篩選過程（stifting），其分解方式如下：

步驟一：求取上包絡線

將原始之時間序列找出其局部極大值所在點，再以立方包絡線（cubic spline）將所有局部極大值相連，即可得到此訊號的上包絡線。

步驟二：求取下包絡線

使用與上包絡線相同的方法，找出原始訊號的局部極小值所在點，並以立方包絡線將所有局部極小值相連，即可得到原訊號的下包絡線。

步驟三：求取均值包絡線

計算上包絡線和下包絡線的平均值，可得其均值平均線，且將此平均線命為 $m_1(t)$。

步驟四：第一個 IMF 與餘數求取

將原訊號和平均線相減，而相減後所得的第一個新訊號為 $h_1(t)$；且

$h_1(t) = c_1$ 即為 IMF，故可將此過程表示為：

$h_1(t) = x(t) - m_1(t) = c_1$

將原始訊號減去 IMF_1 即為此原始訊號的第一個殘餘訊號，即可表示為：

$r_1(t) = x(t) - h_1(t)$

以上的四個步驟，即為經驗模態分解 EMD，且經由每一次的 EMD 可以得到一個 IMF（圖 8-15)；但通常僅經過一次 EMD 後的 IMF 仍會具有許多通過零點的局部極值，且具有某些固定的振幅和頻率，因此並不符合 IMF 的終止準則。所以必須做第二次的 EMD 過程，其與第一次 EMD 的差異在於使用的原始資料，第二次的 EMD 直接採用 $r_1(t)$ 做為新的資料來源，依此類推，並重複多次的 EMD 過程，得到若干個 IMF，直到 IMF 符合其終止準則為止。

若第 1 次所得到之 IMF 未達終止準則，則第 2~n 次 EMD 過程如下：

$h_2(t) = r_1(t) - m_2(t) = c_2$

$r_2(t) = r_1(t) - h_2(t)$

$h_n(t) = r_{n-1}(t) - m_n(t) = c_n$

$r_n(t) = r_{n-1}(t) - h_n(t)$

經過多次的篩檢過程，主要包含了兩個目的如下：

1. 可消除載波
2. 使得波形更對稱

篩選過程必須重複進行多次才能達成以上兩目的。而篩選過程停下來的收斂條件為，跨零點數要和局部極值總數，即局部極大值數目加上局部極小值數目相等，此時即可停止篩選過程。

由於 IMF_1 並不符合 IMF 的終止準則，故必須再經由數次的 EMD 篩選，達到終止準則後可以得到最後一個 IMF 及餘數 r，其各 IMF 分量如圖 8-16。

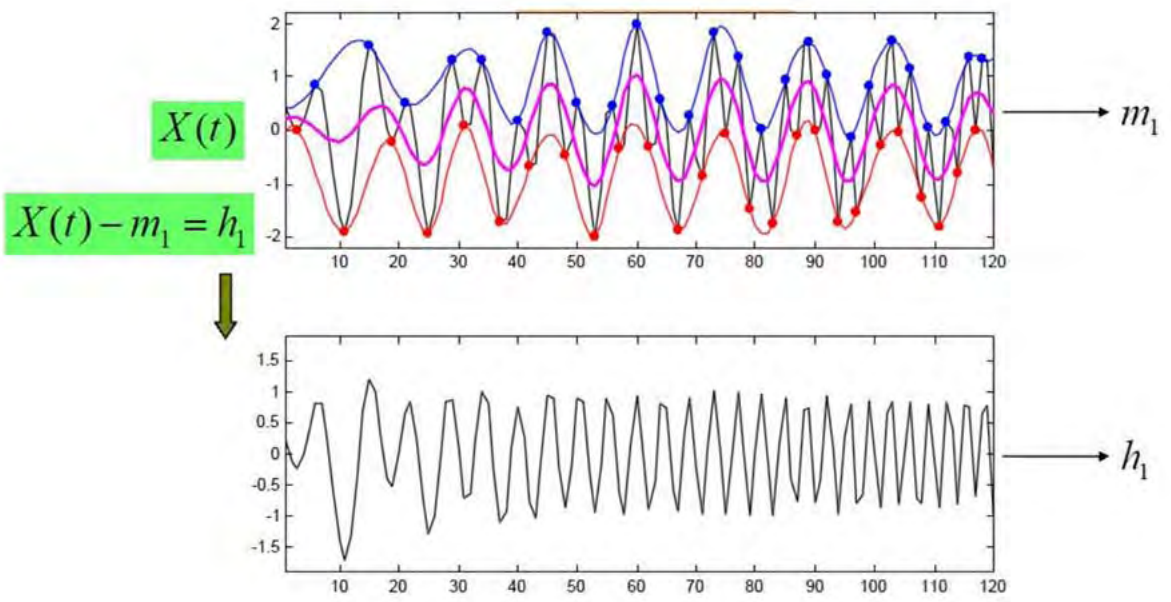


圖 8-15：為第一個 IMF 的求取過程。

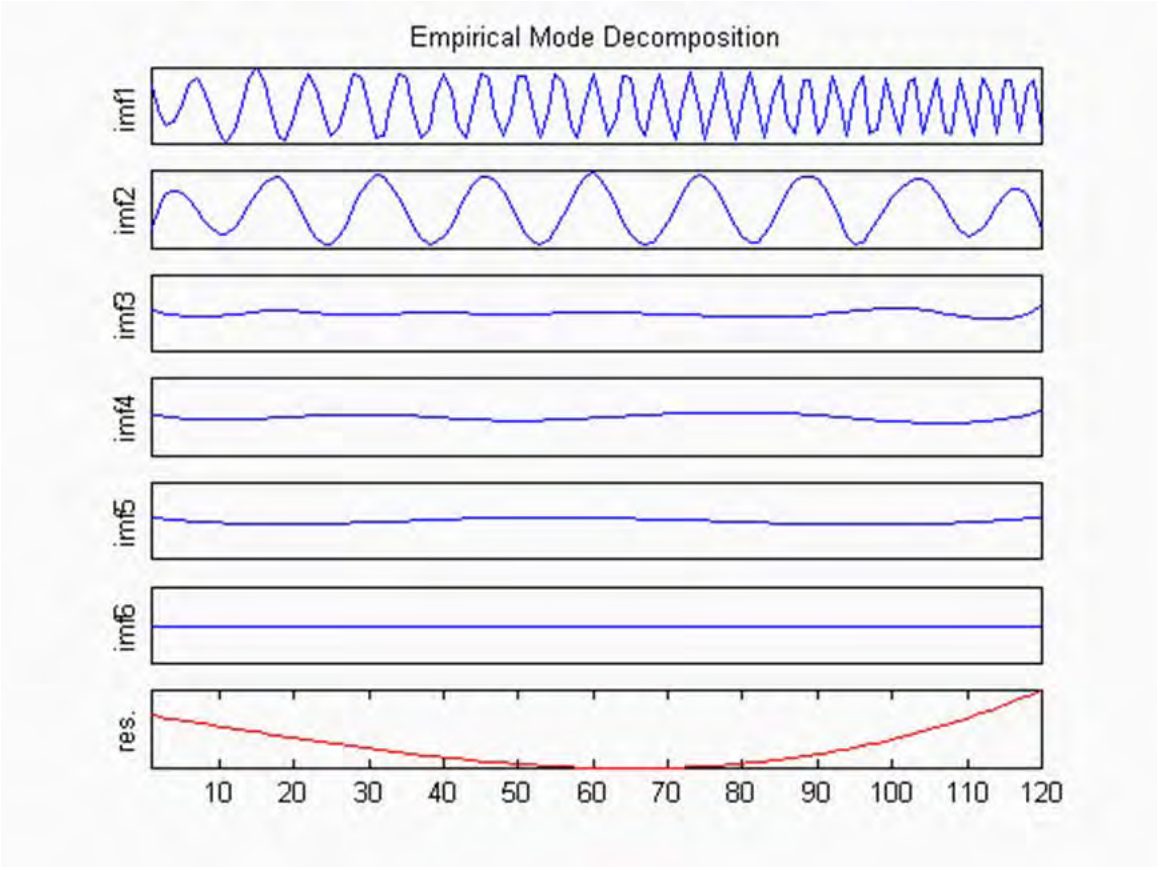


圖 8-16：各 IMF 分量圖。

原始訊號資料在 EMD 的篩選後被拆解成數個 IMF，而每個 IMF(c_1)由餘數 r_1、r_2 所組成，其中 c_1 代表的是原訊號週期尺度最短的訊號，相對的 r_1 包含了原訊號中週期尺度次長的訊號，其關係如下列三式:

$x(t) - h(t) = r_1(t)$

$r_1(t) - h_2(t) = r_2(t)$

…

$r_{n-1}(t) - h_n(t) = r_n(t)$

當餘數為單調函數而無法再分解出 IMF 即達終止標準，而最後一個餘數 R 即為原始訊號的趨勢項。反之，將所有的 IMF 與 r 相加則可以的得到原始訊號資料 x(t)，其公式如下：

$$x(t) = \sum_{i=1}^{n} h_i(t) + r_n(t)$$

EMD 的特色在於,不需要任何的均值或零值參考軸,只需要知道局部極值的位置，零均值參考軸即會自動產生，因此不需要去主觀定義原始資料的特性，EMD 會將資料分解成不同時間尺度的分量，故 EMD 是非常方便且實用的訊號分解工具。

經過 EMD 拆解後的 IMF，可再經過 Hilbert Transform，與傳統傅立葉轉換不同的是，Hilbert Transform 對非穩態訊號能夠提供較好的分析結果。

若 x(t)代表原始輸入訊號，則它的 Hilbert Transform 定義為：

$$y(t) = \frac{1}{\pi} P.V \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau$$

其中，P.V 為柯西主值。經由轉換後的實部與虛部可以結合為一解析函數 Z(t)，其方程式表示如下

$$Z(t) = x(t) + iy(t) = \alpha(t)e^{i\theta(t)}$$

$$\alpha(t) = [x^2(t) + y^2(t)]^{1/2}$$

$$\theta(t) = tan^{-1}\left[\frac{y(t)}{x(t)}\right]$$

其中，$\alpha(t)$為原始訊號的包絡線，及振幅，$\theta(t)$為相位角；定義瞬時頻率ω：

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt}$$

(2) **移動平均線(moving average)**

移動平均線能將原始的數據曲線變得更平滑，代表的是訊號的趨勢。移動平均法採用的是過去的數據，因此在反應時會有時間上的滯後。移動平均值的計算方式是：取某變數之前 N 個數值作算術平均，例如有個每日一筆的時間序列，則

N 日移動平均線＝N 日值之和/ N

一個新的數值加入，同時一個舊數值剔出，再取平均值。當我們將每日不同大小的移動平均數標於圖表上，連接起來，便得到一條上下起伏的曲線，這便是移動平均線。

移動平均線還有各種的應用方式，在節 8-4-3 中，採用兩條移動平均線，當短期移動平均線從下向上突破長期移動平均線，代表原始數據正在上漲。當短期移動平均線向下跌破長期移動平均線時，意味著原始數據正在下跌（圖 8-17）。

因此，在本研究中，選取中崙、蘇澳及池上氣體觀測站中觀測結果較為連續及品質較佳的資料，分別利用不同方法來處理，如表 8-6。

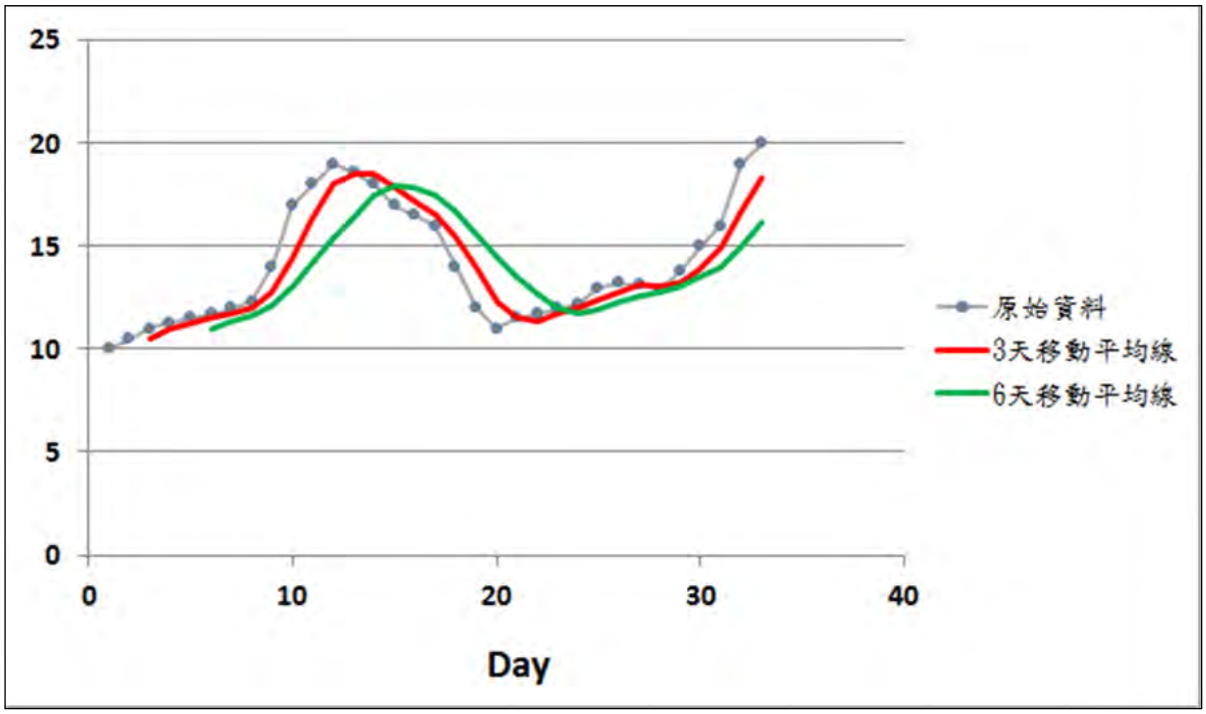


圖 8-17：不同時間區間(time length)之移動平均線。

表 8-6：各測站資料處理方法。

觀測站	資料選取時間	資料處理處理方法
中崙氣體觀測站	2008/11/1 - 2009/5/30	經驗模態分解 (Empirical Mode Decomposition，EMD)
蘇澳氣體觀測站	2010/6/1 - 2010/10/4	希爾伯黃轉換 (Hilbert-Huang Transform，HHT)
池上氣體觀測站	2009/11/1 – 2010/10/4	經驗模態分解 (Empirical Mode Decomposition) 與移動平均法(moving average)

8-3-2 中崙觀測站

選取中崙觀測站 2008 年 11 月 1 日至 2009 年 5 月 25 日的觀測結果（圖 8-18），可以看到氣體濃度的趨勢漸漸往上升，且短期間也有上上下下的變化，若用直覺去判斷異常較為困難。因此，本研究採用經驗模態分解（Empirical Mode Decomposition, EMD) 方法來處理這段數據。

圖 8-19 是經驗模態分解結果，共有九個內部模態函數（Instrinsic Mode Functions, IMF_1 至 IMF_9）及一個餘數（residual, 亦是 IMF_{10}），可以看到 IMF_1 到 IMF_{10} 是由高頻到低頻，其中高頻的部分是雜訊，可能是機器本身產生的一些微小的跳動值，而經過持續的篩選(stifing)，最後產生低頻的訊號，其所代表的意涵為訊號的長期趨勢。此外，將這些內部模態函數與氣候因子（溫度、濕度、壓力、雨量等）作交互相關之後，可以推測出不同的內部模態函數所代表的意義，如表 8-7。根據過往的觀測結果，中崙站對於地震的前兆反應時間大約在地震前的數天至十來天，且氡氣異常的持續時間也是數天至十幾天，因此本研究選取週期介於 1 天至 20 天的內部模態函數，並將之加總，即選取 IMF_4、IMF_5、IMF_6、IMF_7 四個內部模態函數來加總。加總結果如圖 8-20，可發現與原始訊號相較，經 EMD 處理後的訊號較沒有雜訊，也沒有長期緩緩升高的趨勢了，這使資料更能讓人容易判讀。

接下來將這段處理後的資料作統計分析，本研究取平均值加上兩倍標準差作為異常值的門檻，高過此門檻值即視為異常，圖 8-21 為 2008/11/1 至 2009/5/25 中崙測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理的比較，可以看到有數段區間 EMD 處理後的數據有異常。圖 8-22 至圖 8-24 是分月圖表。

圖 8-22 是 2008 年 11 月至 12 月的比較圖。11 月 17 日直覺上可看到氡氣濃度開始上升，EMD 處理後的數據亦出現異常，因此這段異常可能與 11 月 18 日嘉義地震有關（規模 4.0，震度 3 級，深度 17 km，距測站 17 km）。在此之後至 12 月底，雖然也發生數起地震，但是並無異常出現。

圖 8-23 是 2009 年 1 月至 2009 年 3 月的比較圖。原始氡氣濃度方面，可看到 1 月 16 日至 1 月 20 日與 1 月 25 日至 1 月 28 日原始氡氣濃度皆上升，而 EMD 處理後的數據也看到 1 月 28 日有異常，不過皆無可對應的地震。不過在 3 月 11 日至 3 月 13 日，在原始氡氣濃度與 EMD 處理後的數據皆可以看到異常，隨後 3 月 16 日在台南東山發生一起地震（規模 3.6，震度 3 級，深度 12 km，距測站 11 km），可視為一起前兆反應。

圖 8-24 是 2009 年 4 月至 2009 年 5 月的比較圖，觀看原始氡氣濃度，吾人會直覺地認為 4 月 3 日至 4 月 5 日氡氣濃度異常上升，可能與 4 月 7 日的地震有關；不過 EMD 處理後的訊號在這段時間並沒有超過異常值門檻。4 月 19 日至 4 月 20 日，原始氡氣濃

度與處理後的數據皆出現異常值，這可能與數日來的降雨有關。另外，原始氡氣濃度可看到 4 月 27 日濃度開始增加，一直到 5 月 2 日到達最高點後開始下降，可能是 5 月 5 日台南東山地震 (規模 3.3，震度 2 級，深度 3 km，距測站 15 km) 的震前反應，經 EMD 處理後的數據也顯示 5 月 1 日開始有異常出現，意味的確是此地震的前兆反應。

表 8-8 為中崙測站與地震有關的異常利用直覺判斷與 EMD 判斷結果的比較，在 2008/11/1 至 2009/5/25 之間 D/R 值 2 以上的地震共有 9 起，直觀判斷的異常共有 4 筆，而利用 EMD 判識的異常共有 3 起，這 3 起地震皆是中崙測站附近的小規模地震（圖 8-25）。

利用 EMD 分析中崙測站的數據，結果顯示氡氣震前反應的地震佔篩選後的地震比率 33 % (= 3/9)，而由於觀測時間不夠長，且資料偶有中斷，目前還無法確定 EMD 的方法是否適用於中崙測站，須累積更多觀測資料且測試並改良分析方法。

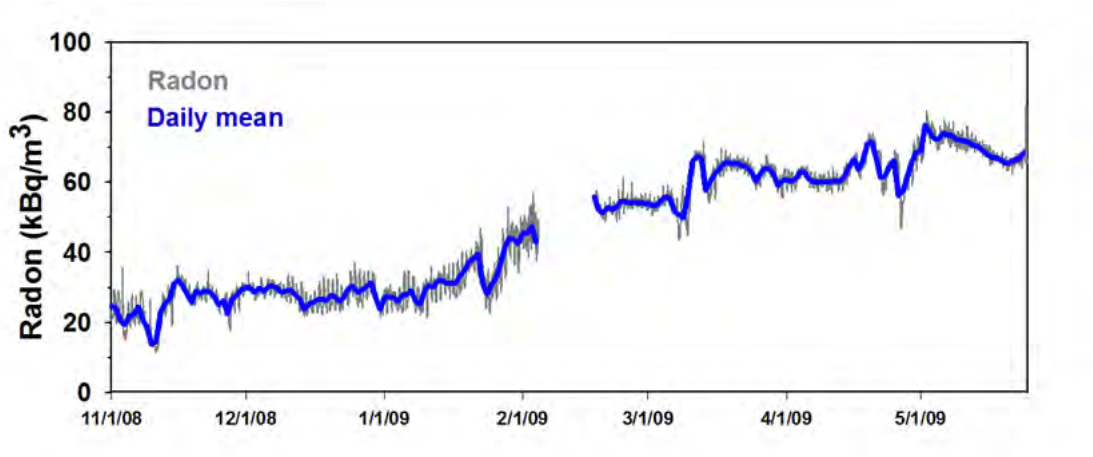


圖 8-18：中崙觀測站 2008/11/1 至 2009/5/25 的氡氣濃度觀測結果。

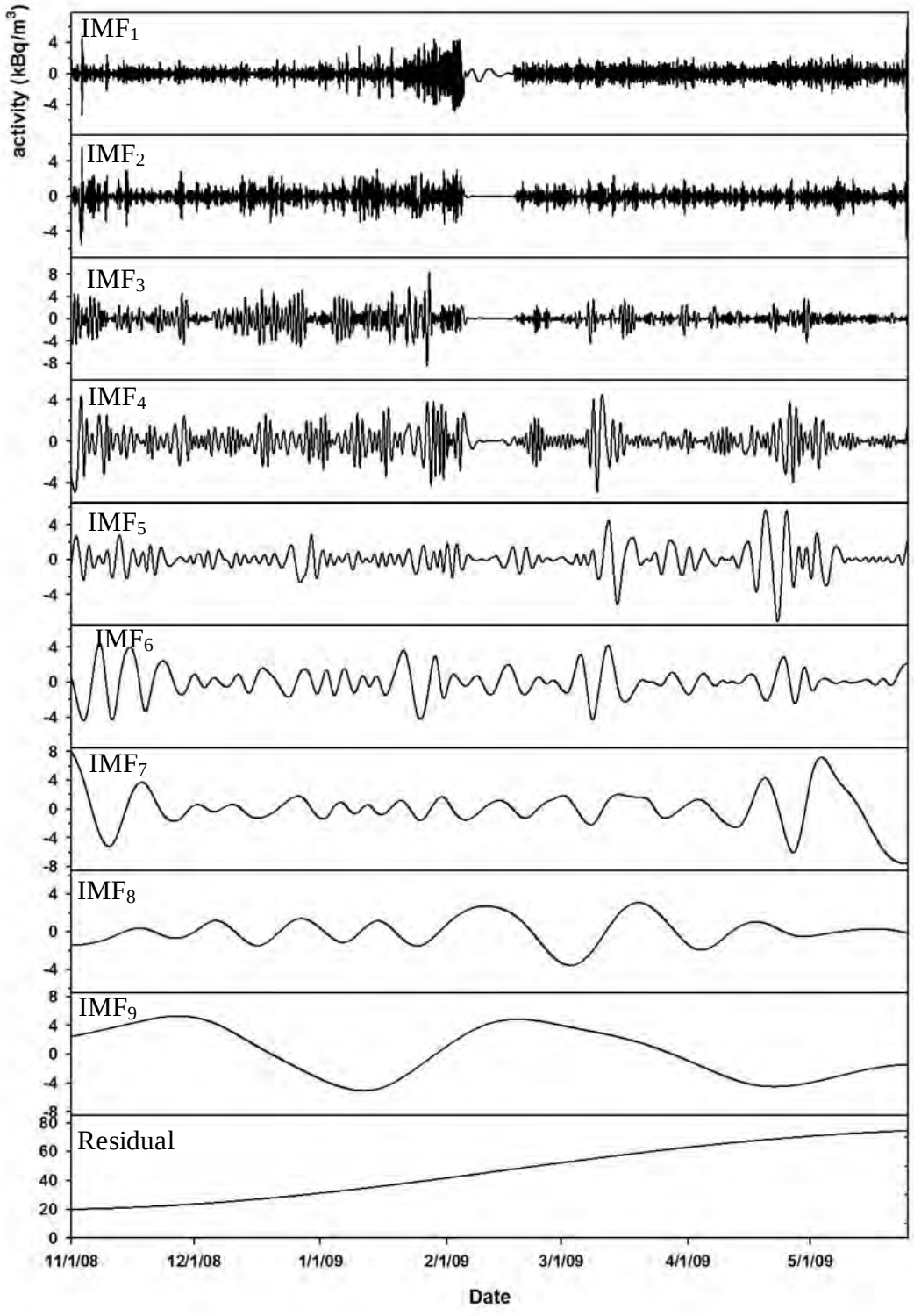


圖 8-19：中崙觀測站原始訊號經拆解後的所得到的內部模態函數。

表 8-7：圖 8-19 所得之各內部模態函數的特性。

IMFs	Median period (days)	Signal
IMF_1	0.13	Noise
IMF_2	0.29	Noise + rainfall + EQ
IMF_3	0.68	Weak Noise + temperature + rainfall + EQ
IMF_4	1.3	Weak Noise + rainfall + EQ
IMF_5	2.8	Rainfall + bar. Pressure + EQ
IMF_6	5.8	Temp. + bar. Pressure + EQ
IMF_7	13.7	
IMF_8	24.1	
IMF_9	102	Humidity + flow
IMF_{10}	410	Trend

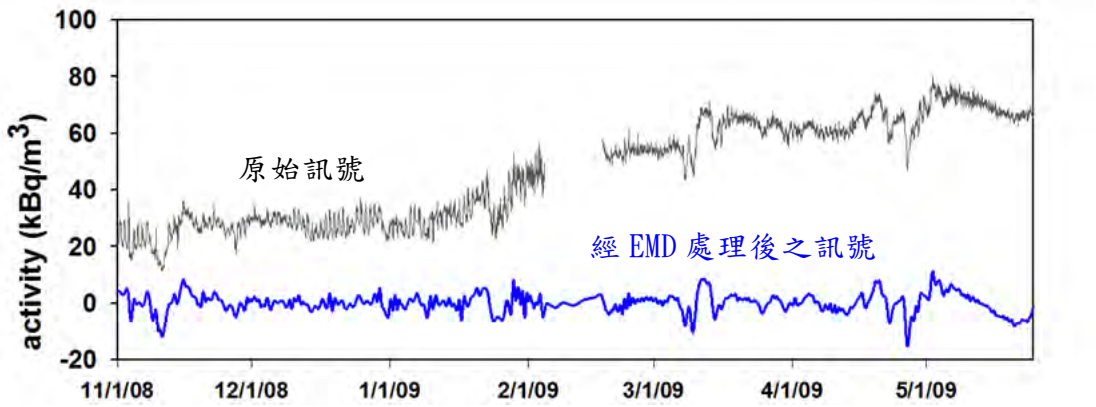


圖 8-20：中崙觀測站原始氡氣濃度與 IMF_4 至 IMF_7 之總和的比較。

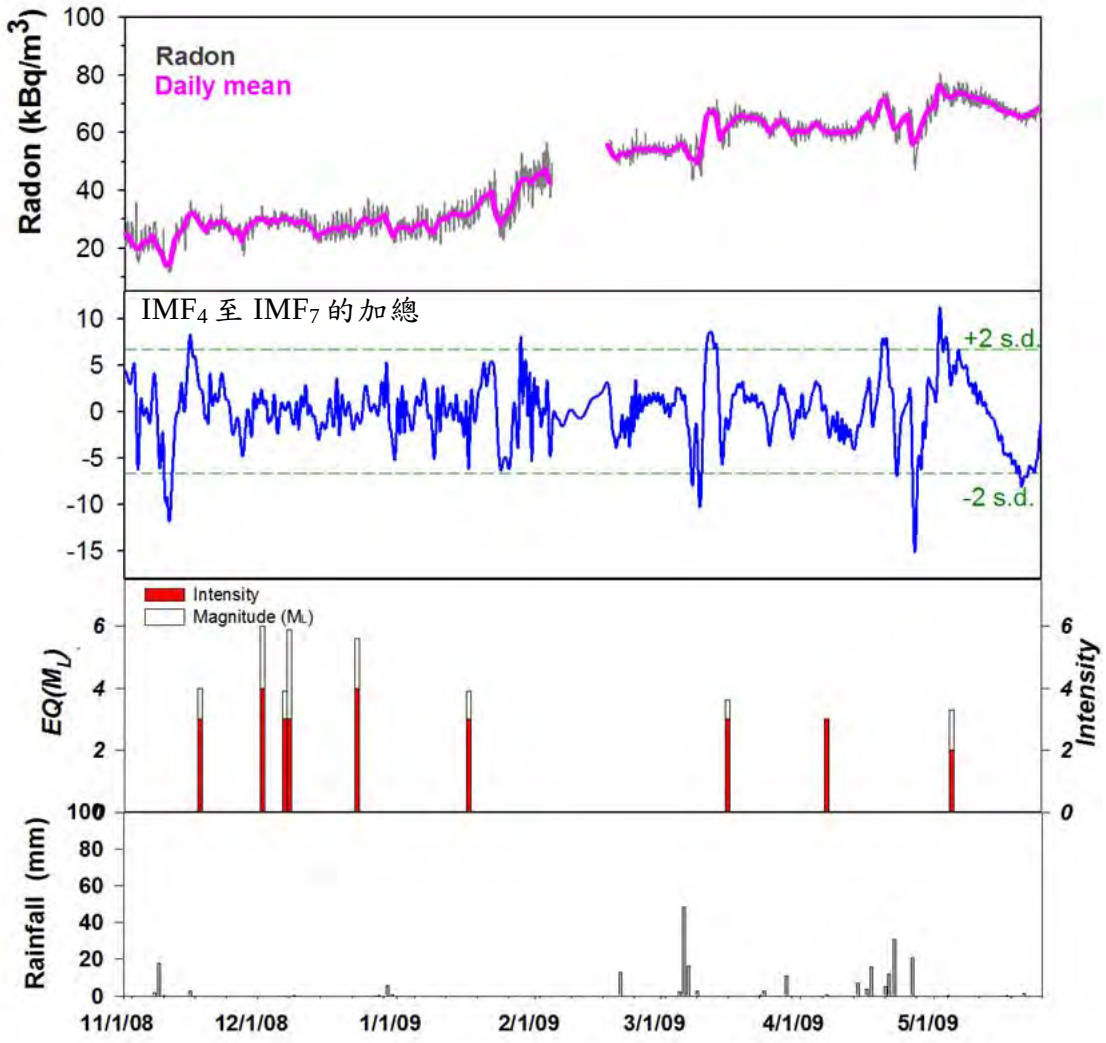


圖 8-21：中崙觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據，同時與地震及雨量作相關性比對。(2008/11/1 – 2009/5/25)。

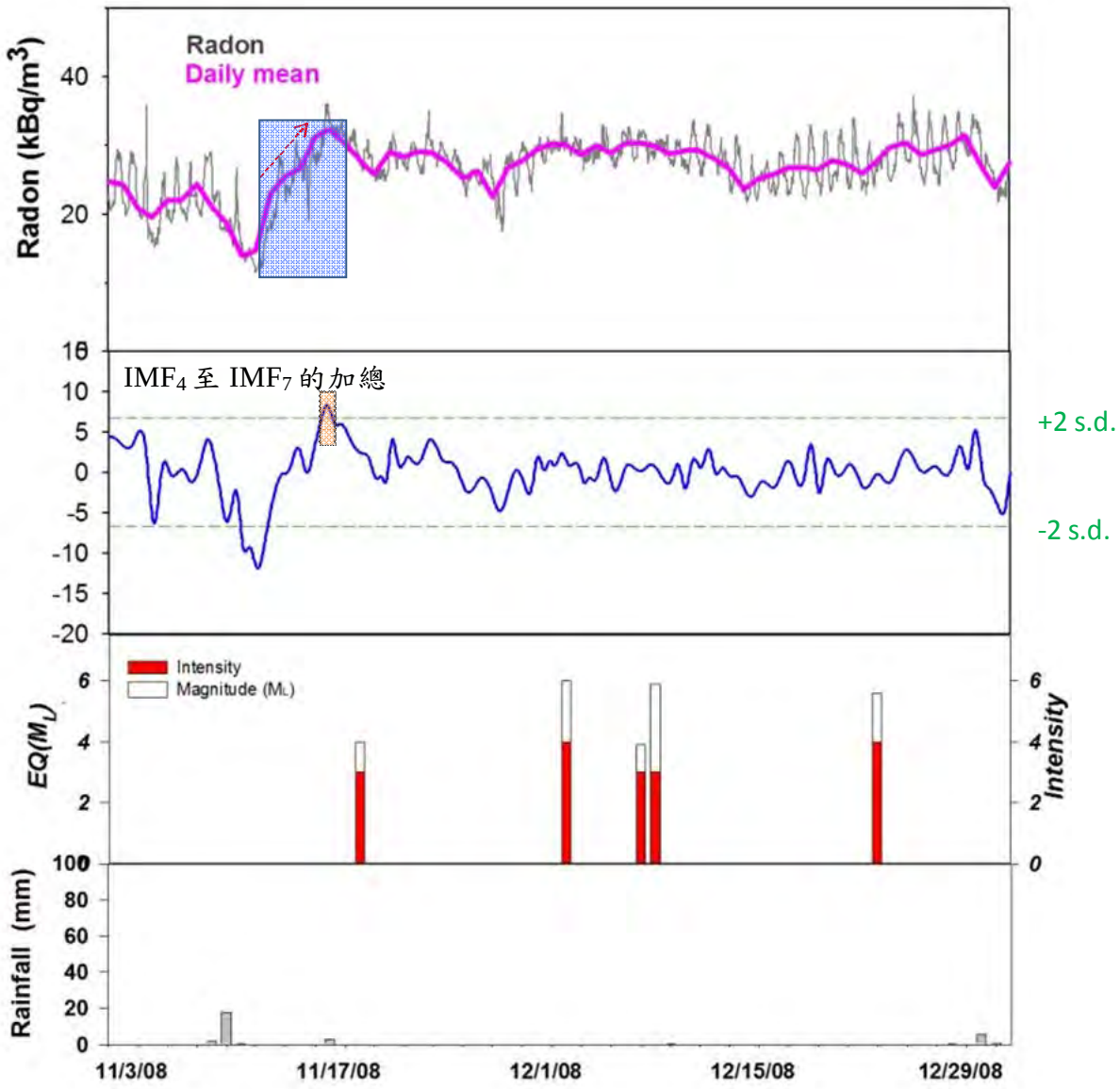


圖 8-22：中崙觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據，同時與地震及雨量作相關性比對。藍色區塊處代表直覺觀察原始氡氣濃度而定的異常區間；橘色區塊代表 EMD 處理後的數據之異常區間（2008/11/1 – 2008/12/31）。



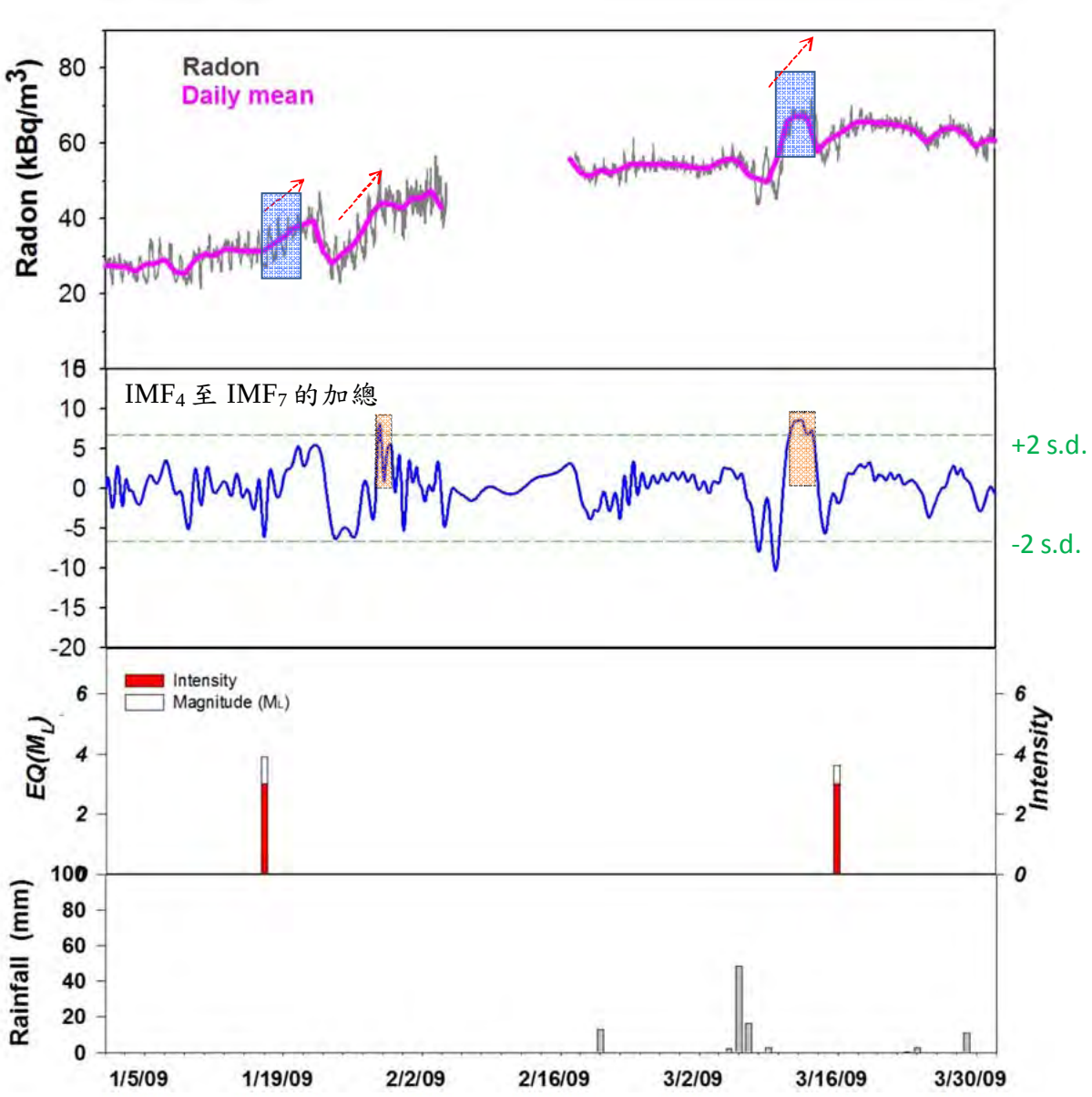


圖 8-23：中崙觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據，同時與地震及雨量作相關性比對。藍色區塊處代表直覺觀察原始氡氣濃度而定的異常區間；橘色區塊代表 EMD 處理後的數據之異常區間（2009/1/1 – 2009/3/31）。



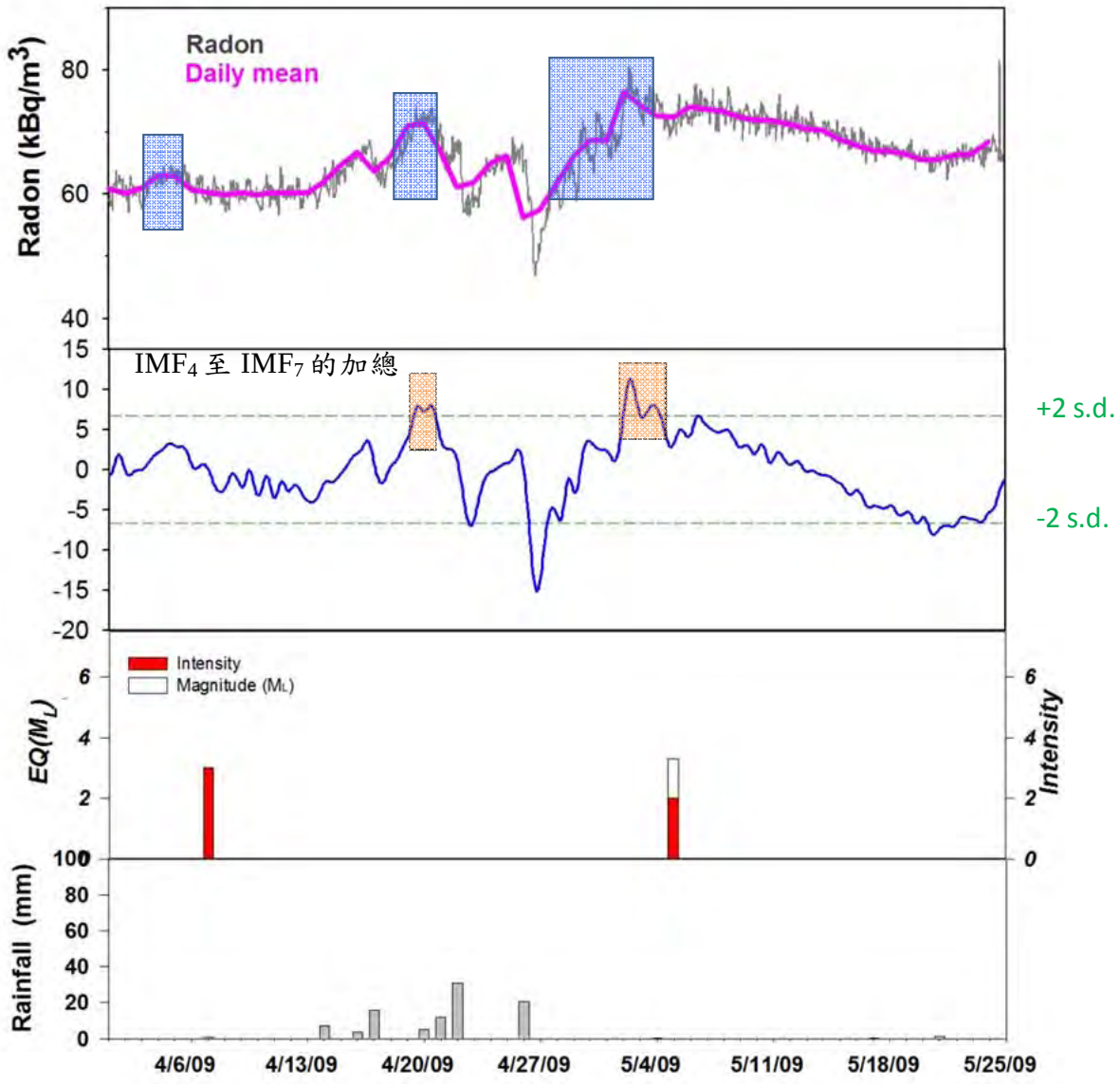


圖 8-24：中崙觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據，同時與地震及雨量作相關性比對。藍色區塊處代表直覺觀察原始氡氣濃度而定的異常區間；橘色區塊代表 EMD 處理後的數據之異常區間（2009/5/1 – 2009/5/25）。



表 8-8：中崙測站與地震有關的異常利用直覺判斷與 EMD 判斷結果比較。

編號	time	M_L	depth (km)	震度	Distance (km)	D/R	ε ($\times 10^{-7}$)	直覺判識原始氡氣濃度有無異常	EMD 辨識有無異常
第 089 號	2008/11/18 10:25	4.0	17.0	3	16.8	3.1	2.2	有	有
第 094 號	2008/12/2 11:16	6.0	29.8	4	106	3.6	3.4		
小區域	2008/12/7 5:34	3.9	6.2	3	21.2	2.2	0.8		
第 096 號	2008/12/8 5:18	5.9	12.5	3	171	2.0	0.6		
第 100 號	2008/12/23 8:04	5.6	10.8	4	47.4	5.4	11.5		
小區域	2009/1/17 0:48	3.9	12.2	3	27.4	1.7	0.4		
小區域	2009/3/16 6:33	3.6	12.1	3	11.1	3.2	2.2	有	有
小區域	2009/4/7 10:53	3	6.5	3	9.5	2.1	0.6	有	
小區域	2009/5/5 21:58	3.3	3.3	2	14.9	1.8	0.4	有	有

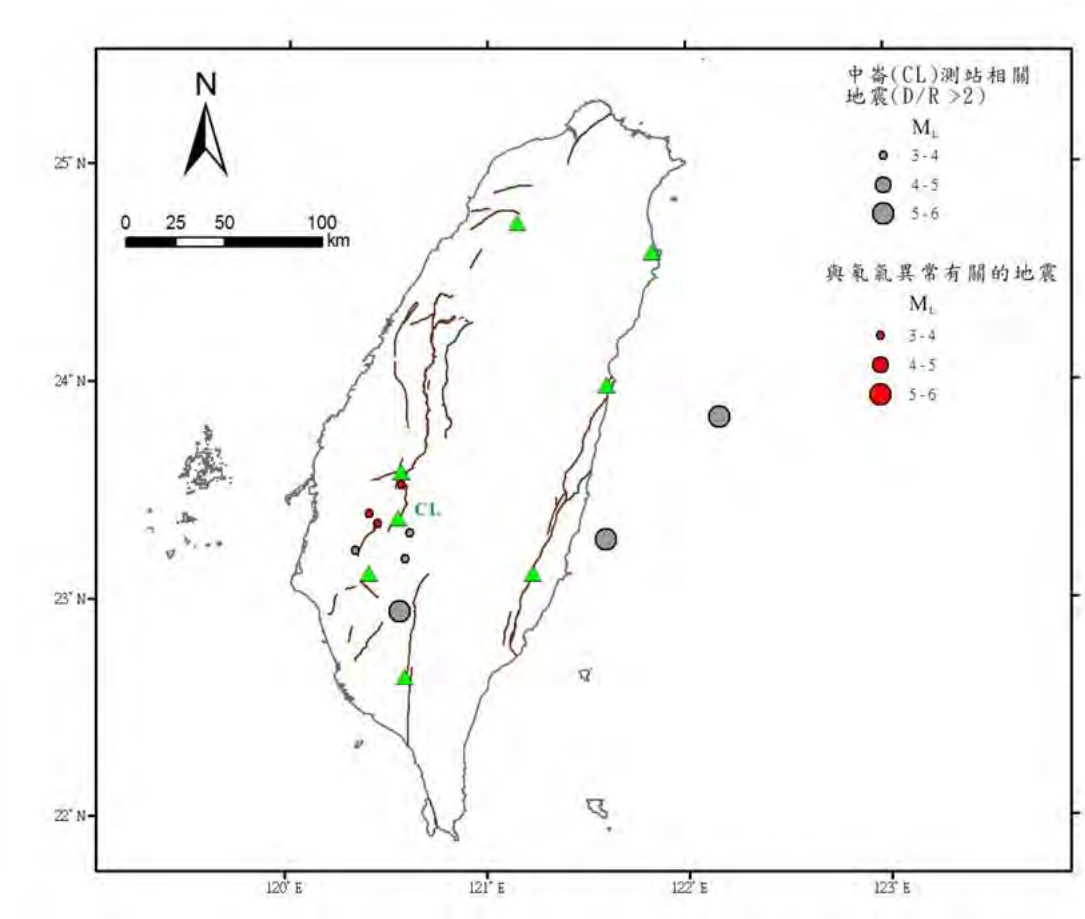


圖 8-25：中崙（CL）測站相關地震與利用 EMD 判釋出異常有關的地震分布，氡氣觀測時間為 2008/11/1 至 2009/5/25。

8-3-3 蘇澳觀測站

由於蘇澳氣體觀測站之氡氣濃度易受大氣溫度變化影響，而呈現日夜震盪變化，如圖 8-26，造成不易判別與地震活動有關的異常。此外，此站也易受雨量影響，當單日降雨過大或連續數日降雨時，氡氣濃度會異常升高。因此，本研究嘗試用 HHT 來去除掉日夜之週期性變化與雨量影響。

因此，選取蘇澳測站 2010/6/1 至 2010/9/28 的觀測結果進行資料處理。首先進行經驗模態分解，圖 8-27 為原始氡氣濃度以經驗模態分解後所得到的內部模態函數。表 8-9 為各內部模態函數的特性，可看到 IMF_3 的週期約略為 1 天，代表是一天一次的日夜變化。本研究選取與地震活動有關的 IMF_2 再作 Hilbert Transform。

將 IMF_2 經 Hilbert Transform 後的結果如圖 8-28，將特別高的峰值去掉後，取平均值加一倍標準差做為異常值門檻，並與原始氡氣資料比較。圖 8-29 為 6 月 1 日至 9 月 28 日的的比較，可看到 3 起 Hilbert Transform 異常的地方。6 月 10 日與 6 月 27 日 Hilbert Transform 超過異常值門檻，顯然是和雨量有關；7 月 17 至 7 月 19 出現異常，幾乎與 7 月 18 日的地震同時發生，這段異常是否和此地震有關仍不確定。

圖 8-30 是 8 月 1 日至 9 月 28 日比較結果。8 月 7 日、8 月 31 日與 9 月 19 日的 Hilbert Transform 異常，明顯是受雨量影響。8 月 3 日有異常，但宜蘭蘇澳地區附近沒有發生地震。8 月 19 日有異常，可能是 8 月 22 日宜蘭外海地震（規模 4.8，震度 3 級，深度 5.7 km，距測站 25 km）的震前反應；8 月 25 日至 8 月 28 日出現異常，應與 8 月 30 日宜蘭東北外海地震（規模 5.2，震度 3 級，深度 15 km，距測站 54 km）有關。另外，9 月 5 日有出現異常，可能是 9 月 9 日地震（規模 4.5，震度 3 級，深度 30 km，距測站 16 km）的前兆反應。

表 8-10 為蘇澳站 2010/6/1 至 2010/9/28 發生的地震，且 ε 大於 1×10^{-7} 的地震，利用 HHT 共辨識出 3 起與地震活動有關的異常，其分布位置都接近蘇澳測站（圖 8-31）。

總結分析結果，利用 HHT 能辨識出與地震活動有關的訊號，氡氣有前兆反應的地震佔篩選後的地震比率 50 %（= 3/6），然而此方法仍無法有效排除降雨影響，造成有時資料判讀的困難。

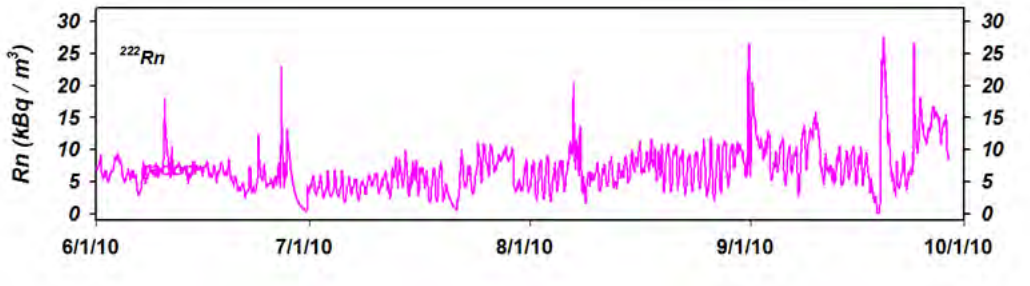


圖 8-26：蘇澳測站 2010/6/1 至 2010/9/28 氡氣觀測結果。

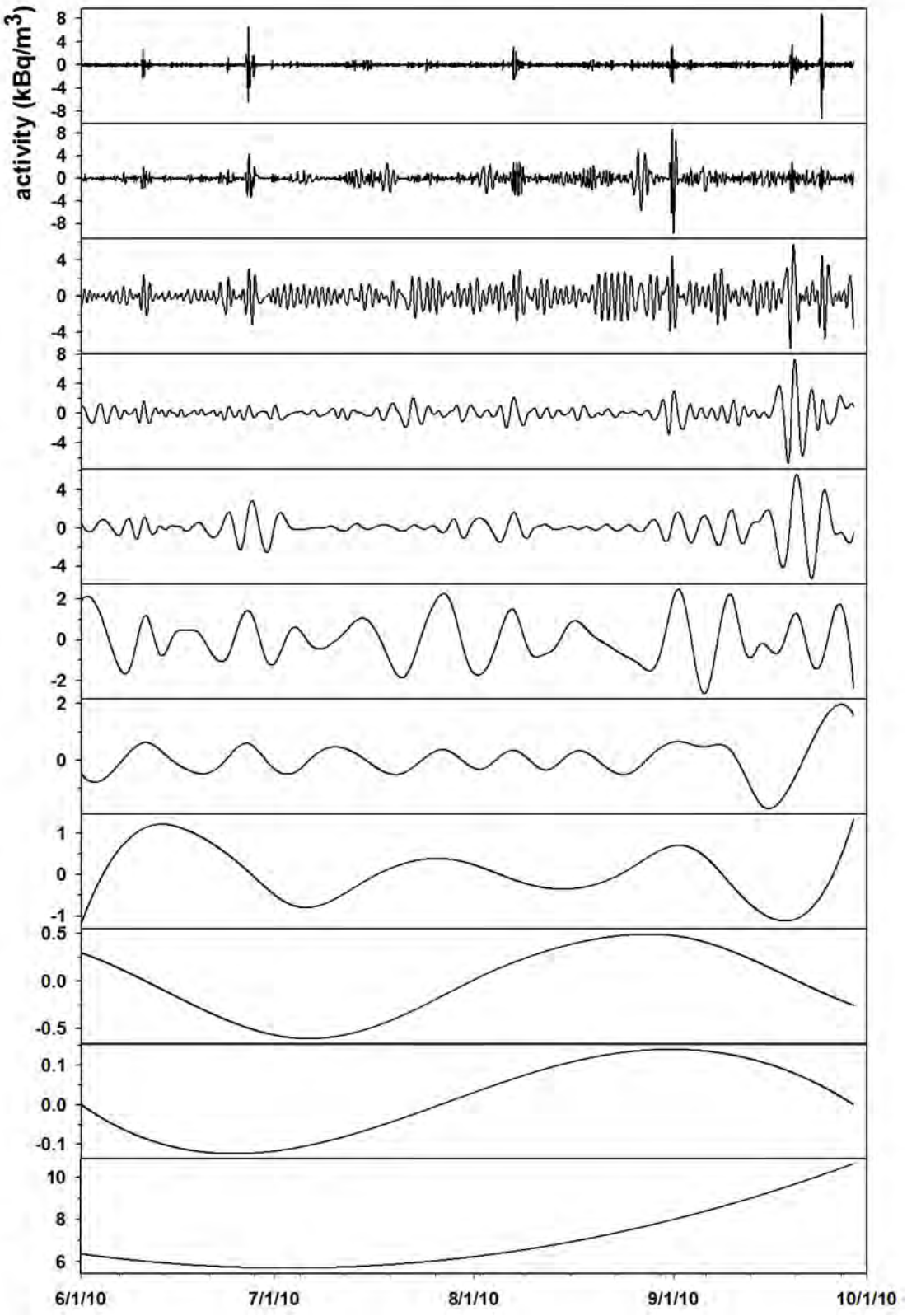


圖 8-27：蘇澳測站氡氣濃度以經驗模態分解結果，由上至下是 IMF_1 至 IMF_{11}。

表 8-9：圖 8-27 所得之各內部模態函數的特性。

IMF	Period (day)	signal
IMF_1	0.15	noise
IMF_2	0.48	Noise + EQ + rainfall
IMF_3	0.98	Humidity + Temperture + EQ + rainfall
IMF_4	2.03	
IMF_5	3.94	
IMF_6	9.26	Air pressure
IMF_7	15	Air pressure
IMF_8	30	Humidity + Air temperture + pressure
IMF_9	80	
IMF_{10}	80	
IMF_{11}	240	Trend

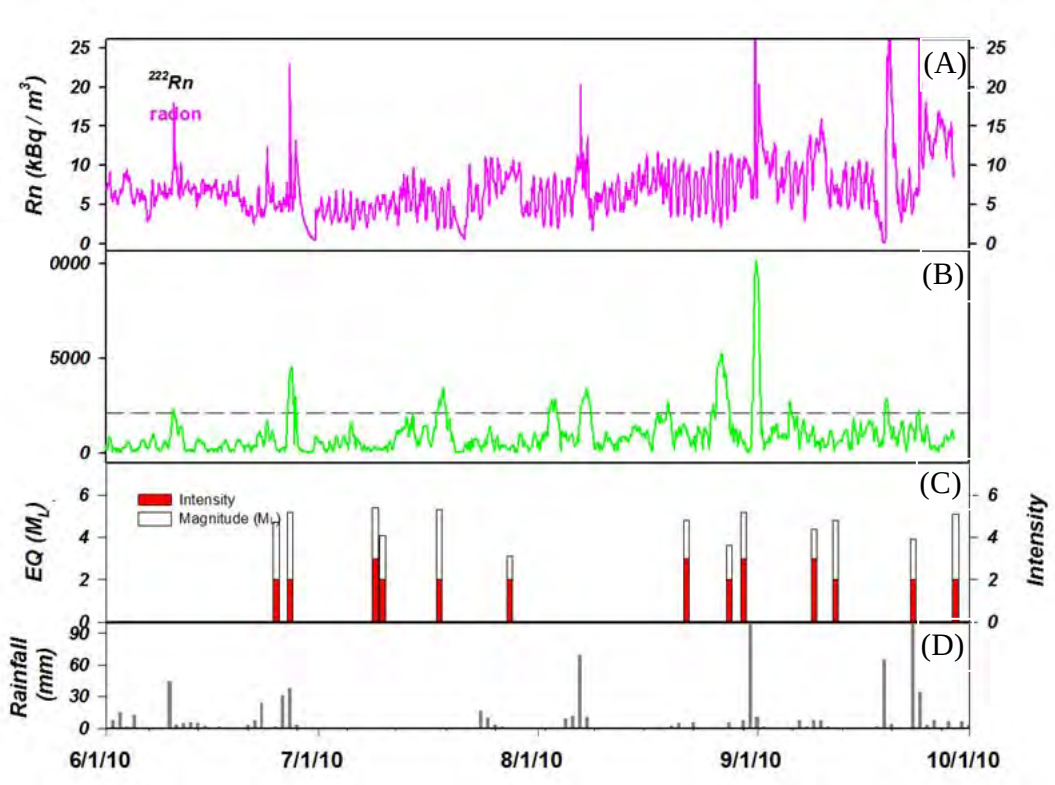


圖 8-28：蘇澳測站氡氣濃度與經 Hilbert Transform 的比較（2010/6/1 – 2010/9/28）（A）原始氡氣濃度（B）IMF_2 經 Hilbert Transform 的結果，橫線為異常值門檻(平均值加一倍標準差)（C）地震活動（D）雨量。

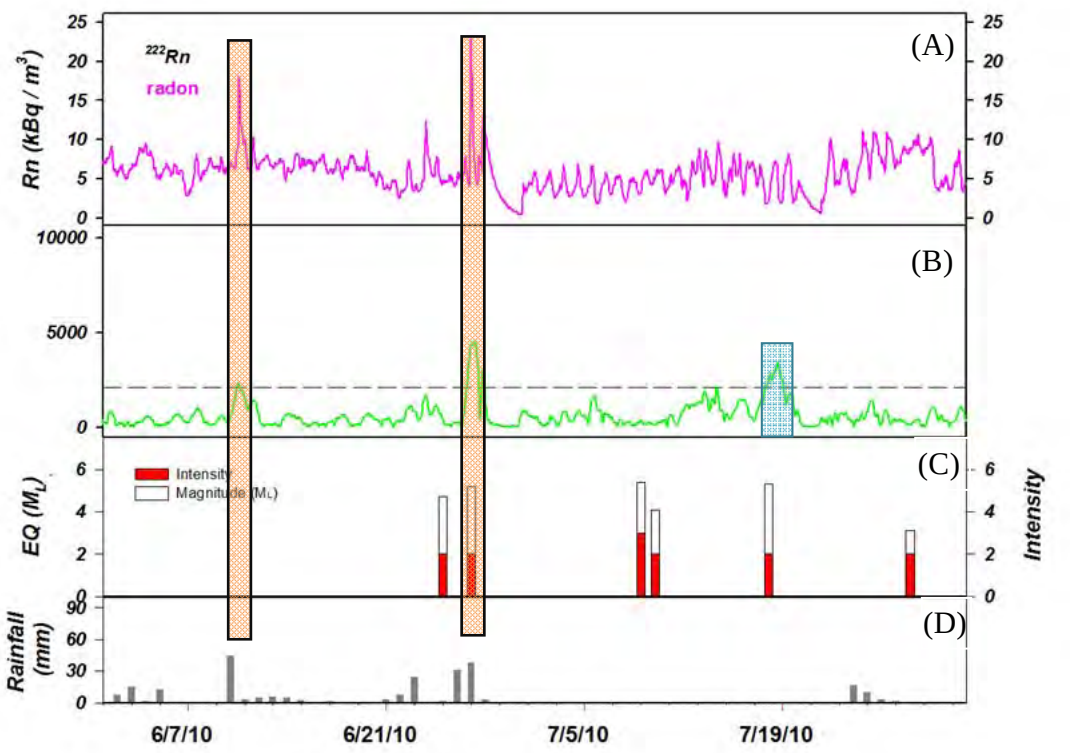


圖 8-29：蘇澳測站氡氣濃度與經 Hilbert Transform 的比較（2010/6/1 – 2010/7/31）（A）原始氡氣濃度（B）IMF_2 經 Hilbert Transform 的結果，橫線為異常值門檻(平均值加一倍標準差)（C）地震活動（D）雨量。橘色區塊為受雨量影響區間；藍色區塊為排除雨量影響的異常反應。

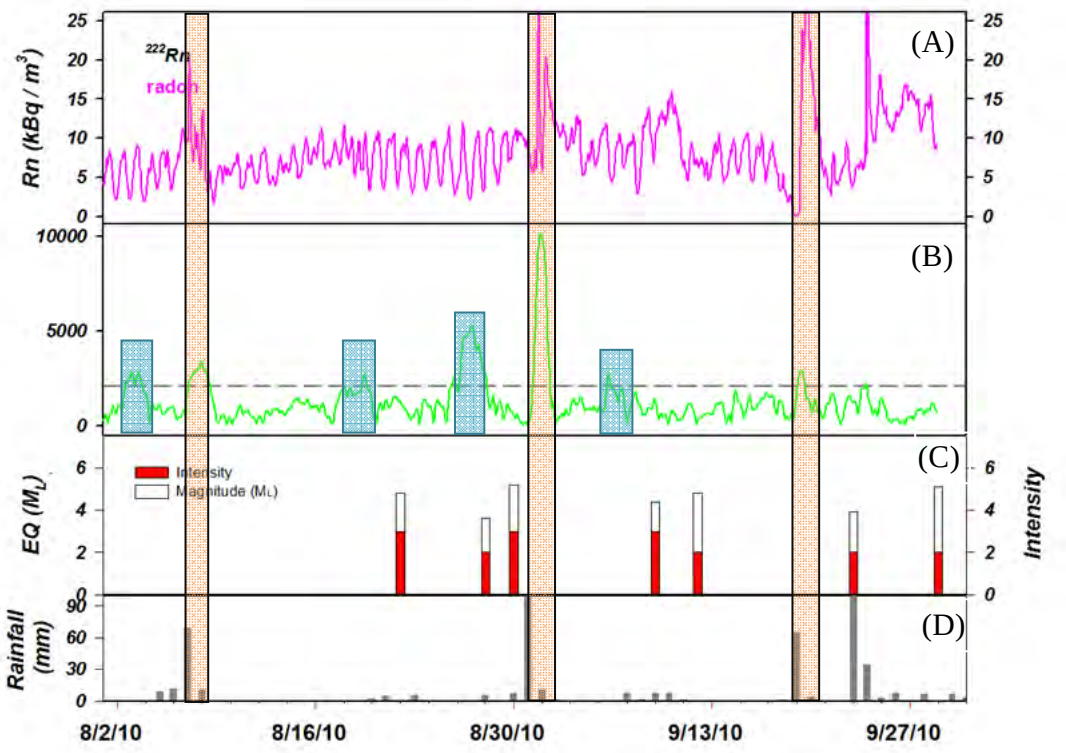


圖 8-30：蘇澳測站氡氣濃度與經 Hilbert Transform 的比較（2010/8/1 – 2010/9/28）（A）原始氡氣濃度（B）IMF_2 經 Hilbert Transform 的結果，橫線為異常值門檻(平均值加一倍標準差)（C）地震活動（D）雨量。橘色區塊為受雨量影響區間；藍色區塊為排除雨量影響的異常反應，有些可能與地震活動有關。

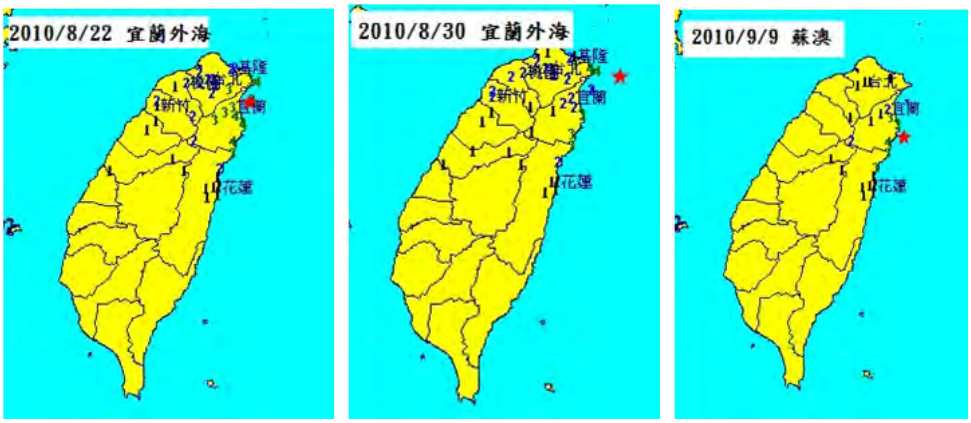


表 8-10：蘇澳站相關地震列表及異常情形。

No.	Time	M_L	Depth (km)	Intensity	Distance (km)	D/R	ε (× 10^{-7})	利用 HHT 識別結果有無異常
43	2010/6/15 08:31	5.5	18.9	2	63.41	3.7	3.1	
50	2010/7/9 03:43	5.3	17.9	3	27.42	6.9	14.3	
66	2010/8/22 02:47	4.8	6.6	3	25.33	4.6	6.3	有
71	2010/8/30 16:45	5.2	15	3	53.81	3.2	2.1	有
79	2010/9/9 21:30	4.5	23.3	3	15.62	5.5	2.1	有
87	2010/9/29 01:33	5	19.2	2	51.62	2.7	1.2	

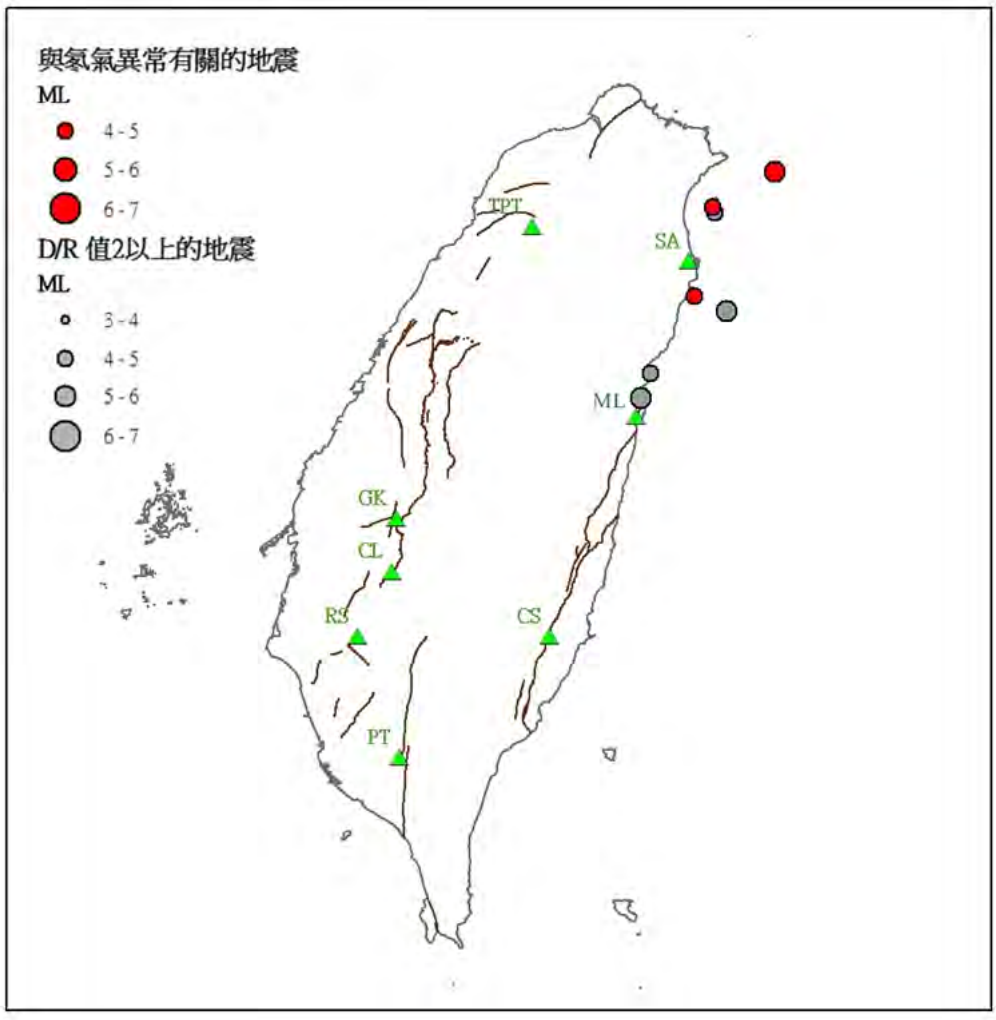


圖 8-31：蘇澳（S）測站相關地震與利用 HHT 判釋出異常有關的地震分布，氡氣觀測時間為 2010/6/1 至 2010/9/28。

8-3-4 池上觀測站

池上觀測站的氡氣變化常有上下起伏震盪，有些的氡氣變化可能與地震活動有關，而有些可能與斷層本身的活動有關。圖 8-32 為池上觀測站 2009/11/1 至 2010/9/20 的觀測結果，本研究用兩種方法：移動平均法(Moving average)與經驗模態分解（EMD）來處理這筆數據。

(1) 經驗模態分解（EMD）

EMD 方法如前節所述，選取週期介於 1 天至 20 天的 IMF（IMF_4 至 IMF_7）並加總，再將此訊號作統計分析，以平均值加一倍標準差作為平均值門檻（圖 8-33），高於此門檻即視為異常。

(2) 移動平均法

本研究使用 3 天及 7 天的移動平均分別代表短期與長期的變化趨勢。當 3 天的移動平均值高於 7 天之移動平均值時，代表整體氡氣濃度是向上增加的；反之，當 3 天的移動平均值低於 7 天之移動平均值時，代表氡氣濃度趨勢是降低的。因此，將 3 天之移動平均值減去 7 天之移動平均值，以 0 當作基準值，若差值大於零即為趨勢是向上升的，若差值小於零則為向下降的。3 天之移動平均值減去 7 天之移動平均值的結果如圖 8-34。

圖 8-35 為利用移動平均與經驗模態分解方法的比較，可看到兩者的趨勢差不多，然而，利用 EMD 拆解的訊號在 6 月至 7 月初沒有異常（超過 1 倍標準差），而移動平均值的方法在這段時間有一些異常。

為了將異常情形與地震比較，本研究將異常表現進行量化，如圖 8-36，我們用三個參數來表示：(1)當訊號超過異常值門檻時，即出現異常時到地震發生的時間間隔；(2)異常持續時間；(3)訊號高於異常值門檻的面積。

表 8-11 為池上測站在 2009/11/1 至 2010/9/28 間發生的地震，並整理用直覺判識的異常與用移動平均法和經驗模態分解的比較。將地震篩選後，選取 D/R 值 2 以上的地震，共計有 22 起。若用直覺主觀的辨識與有震前異常反應的地震共 12 起，用移動平均值方法共辨識出 16 起異常，其震前異常反應的地震佔篩選後的地震比率 72 %（=16/22）；另外，用 EMD 解析後的訊號共可分辨出 9 起異常，其震前異常反應的地震佔篩選後的地震比率為 41%（＝9/22）。

圖 8-37 至圖 8-39 為利用不同方法辨識震前異常的地震分布，可以看到用移動平

均值（圖 8-37）、經驗模態分解（圖 8-38）的方式與直覺辨認（圖 8-39）前兆反應的地震分布差不多，地震大都分布在台灣南部、東部及花東外海地區。

此外，觀察地震特性與氡氣異常的特性，發現在利用 EMD 辨識出的異常，其異常開始至地震發生的時間間隔與地震規模似乎有某種程度的正比關係（圖 8-40），可能意味著在規模越大的地震發生前，應力會越早開始累積，使測站附近地殼產生微破裂或形變，造成地底下岩石或礦物表面的氡氣釋放出來，讓地表上的觀測站能夠在十數天前發現到氡氣異常。

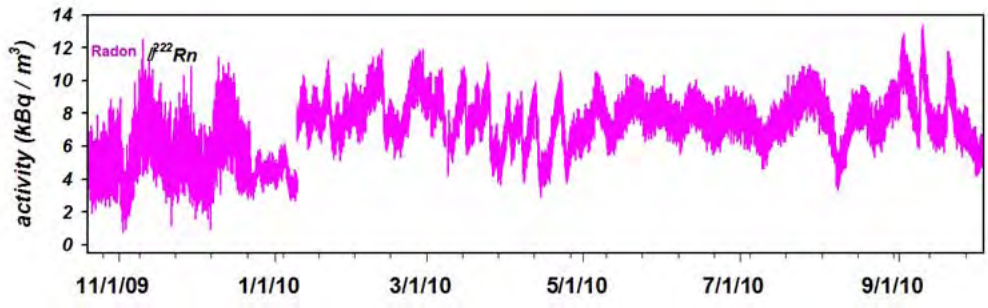


圖 8-32：池上測站原始氡氣濃度。

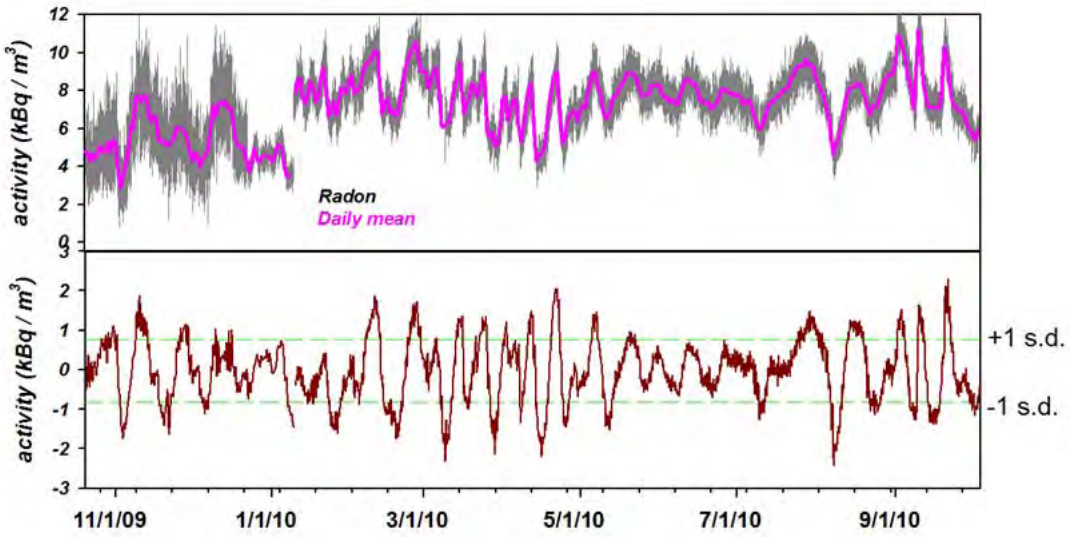


圖 8-33：池上測站原始氡氣濃度與經驗模態分解後訊號的比較。

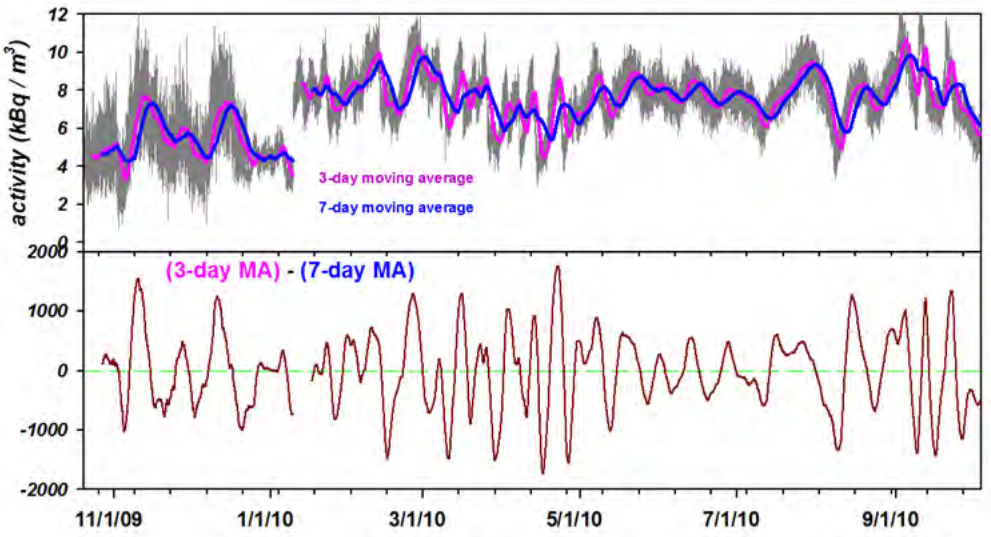


圖 8-34：池上測站原始氡氣濃度與利用移動平均法處理後訊號的比較。

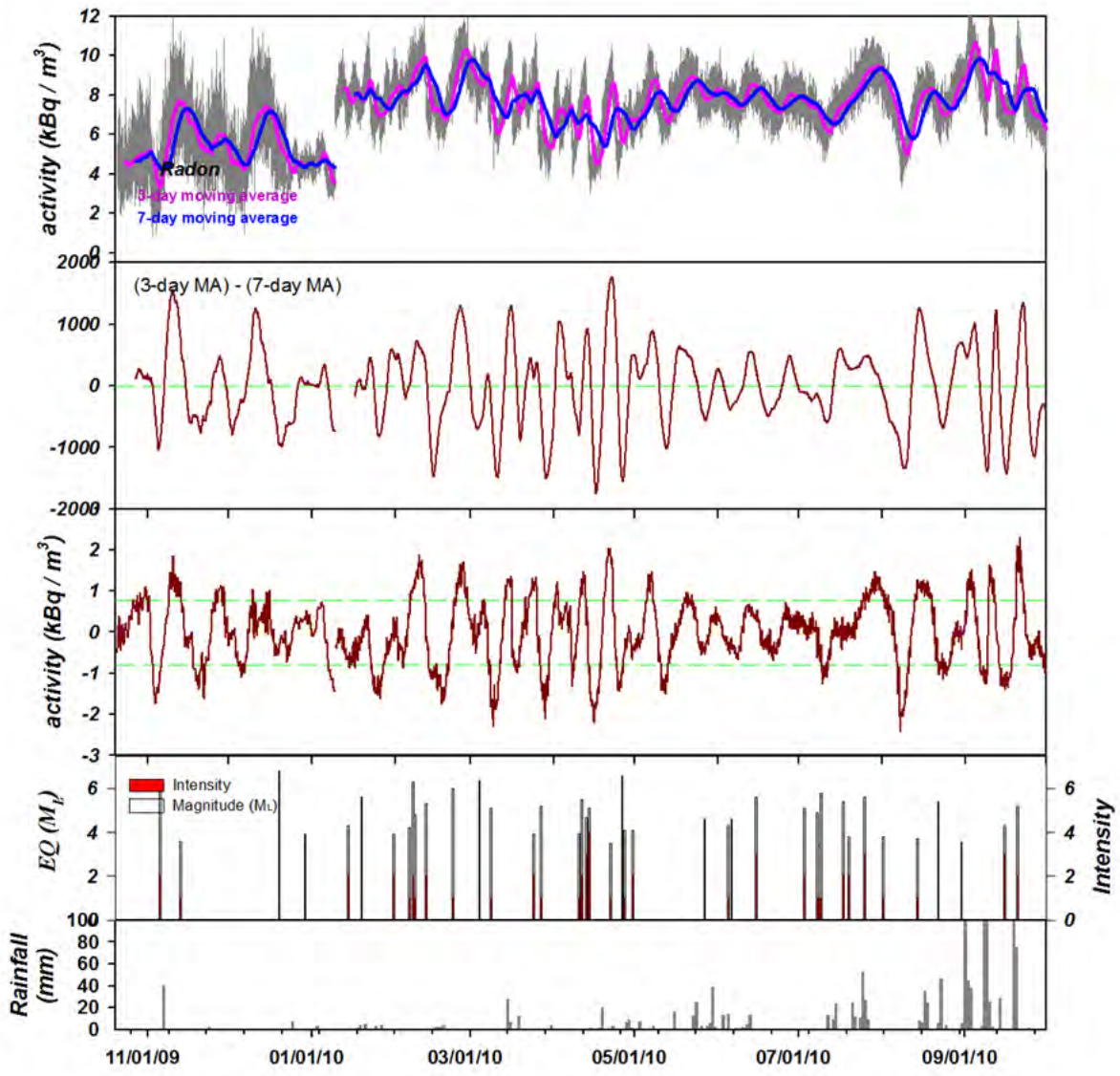


圖 8-35：池上測站原始氡氣濃度、移動平均法與經驗模態分解訊號的比較。

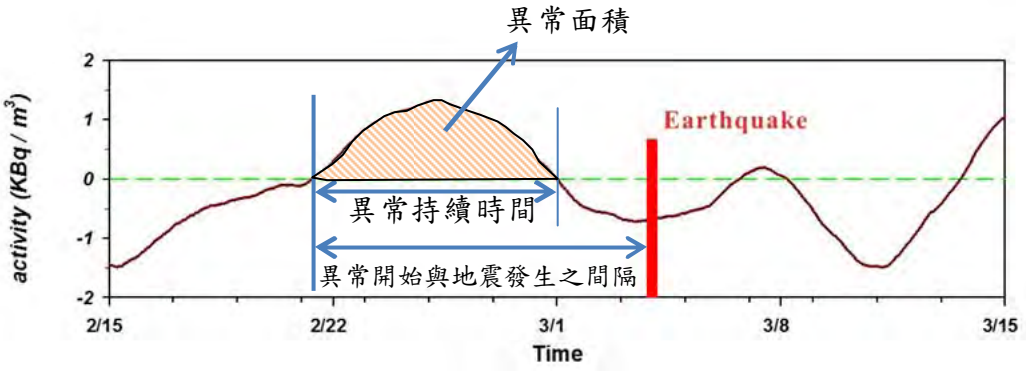


圖 8-36：異常值量化之示意圖。

表 8-11：池上站相關地震及震前異常變化情形。

No	Time	Depth (km)	Intensity	Distance (km)	D/R	ε ($\times 10^{-7}$)	直覺判識原始氡氣濃度有無異常	Moving Average			EMD		
								start before EQ (days)	duration (day)	surface area ($kBq/m^3 \times day$)	leading time before EQ (days)	duration (day)	surface area ($kBq/m^3 \times day$)
1	2009/11/5	24.1	2	90	5.2	10.3	震前異常				9.4	5.5	0.80
3	2009/11/13	14.8	1	32	0.9	0.1		6.2	8.0	6.00	4.5	5.0	2.75
4	2009/12/19	43.8	4	85	10.9	97.6	震前異常	12.5	9.0	5.63	12.5	3.0	0.23
6	2009/12/29	40.1	1	37	1.0	0.1		3.4	3.0	0.21			
7	2010/1/14	36.7	2	21	2.5	1.1							
8	2010/1/19	41	2	89	2.9	1.7	震前異常	2.0	2.0	0.10			
9	2010/1/31	9.8	2	5	4.9	8.1		10.5	3.0	0.71			
10	2010/2/6	37.8	1	19	2.6	1.2							
11	2010/2/7	15.5	2	192	3.6	3.5	震前異常	8.8	4.3	0.81			
12	2010/2/8	24.1	1	84	1.2	0.1							
13	2010/2/12	14	2	85	2.0	0.6	震前異常	6.0	6.4	3.13	6.0	5.3	2.86
14	2010/2/22	28.1	1	221	1.2	0.1							
16	2010/3/4	22.6	4	53	10.6	89.9	震前異常	11.4	8.0	5.20	9.6	5.0	2.25
22	2010/3/8	14.3	1	76	1.7	0.4		2.3	1.5	0.14			
23	2010/3/24	16.7	2	8	3.1	2.2		11.2	4.5	2.93	11.0	2.8	0.85
25	2010/3/27	55	1	119	1.4	0.2	震前異常	6.0	5.2	1.15	4.8	3.2	1.25
26	2010/4/10	9.8	1	24	1.6	0.3							
27	2010/4/11	10	2	90	2.3	0.9	震前異常	10.2	6.4	4.80	10.0	1.4	0.28

No	Time	Depth (km)	Intensity	Distance (km)	D/R	ε ($\times 10^{-7}$)	直覺判識原始氡氣濃度有無異常	Moving Average			EMD		
								start before EQ (days)	duration (day)	surface area ($kBq/m^3 \times day$)	leading time before EQ (days)	duration (day)	surface area ($kBq/m^3 \times day$)
30	2010/4/13	5	3	8	12.0	125.5							
34	2010/4/14	10	4	10	12.5	141.5	震前異常	2.8	3.4	1.52	3.8	2.3	0.70
39	2010/4/22	16.3	1	17	1.7	0.3							
40	2010/4/26	20	2	226	3.7	3.9	震前異常	7.2	5.5	4.81	7.0	3.3	1.98
41	2010/4/27	13.7	1	27	1.3	0.2							
42	2010/4/30	21.9	2	20	3.2	2.3		2.1	3.7	1.20			
43	2010/5/27	49	1	94	1.0	0.1		12.0	9.2	2.73	8.3	3.0	0.17
44	2010/6/4	27	1	42	1.7	0.3		5.8	3.9	0.54			
45	2010/6/6	39.9	2	43	1.6	0.3							
46	2010/6/15	18.9	3	111	2.1	0.7	震前異常	5.3	6.0	2.06			
47	2010/7/3	16.3	2	60	2.6	1.2	震前異常	8.6	6.0	1.45			
48	2010/7/7	22.5	1	101	0.9	0.0							
49	2010/7/8	25.1	1	40	0.7	0.0							
50	2010/7/9	109.5	1	223	1.4	0.2	震前異常						
51	2010/7/17	42	2	65	2.7	1.4							
52	2010/7/19	7.1	2	28	1.3	0.1							
53	2010/7/25	19.5	3	60	4.7	7.9		12.0	17.8	4.52			
54	2010/8/1	23.5	1	36	0.8	0.0					8.1	7.8	1.65
55	2010/8/14	16.2	1	23	0.9	0.0							

No	Time	Depth (km)	Intensity	Distance (km)	D/R	ε ($\times 10^{-7}$)	直覺判識原始氡氣濃度有無異常	Moving Average			EMD		
								start before EQ (days)	duration (day)	surface area ($kBq/m^3 \times day$)	leading time before EQ (days)	duration (day)	surface area ($kBq/m^3 \times day$)
56	2010/8/22	27	3	65	2.9	1.8	震前異常	10.0	9.6	6.00			
57	2010/8/30	5.2	1	30	1.2	0.1							
59	2010/9/15	5.6	3	14	5.6	12.5		5.0	3.0	1.85	6.0	1.6	0.63
60	2010/9/20	31.9	2	75	2.1	0.7							

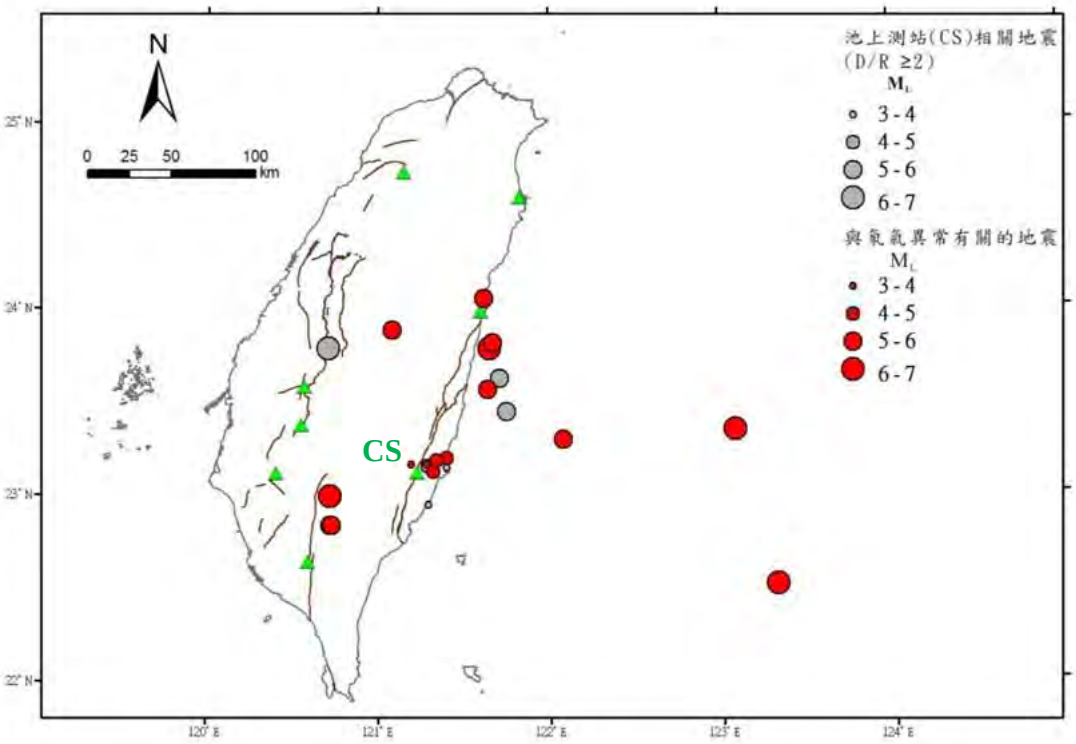


圖 8-37：池上測站相關地震(D/R ≥ 2)及有震前異常反應的地震。紅色圓圈表示利用 moving average 辨識出震前氡氣異常的地震。

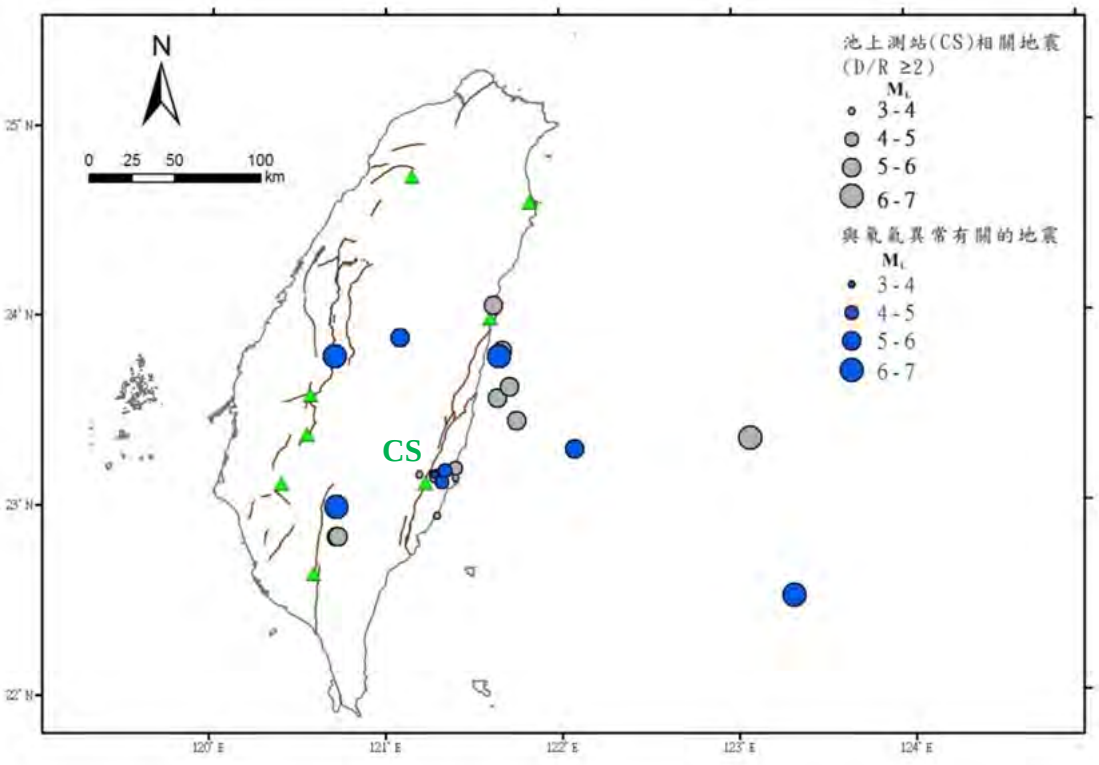


圖 8-38：池上測站相關地震(D/R ≥ 2)及有震前異常反應的地震。藍色圓圈表示利用 EMD 辨識出震前氡氣異常的地震。

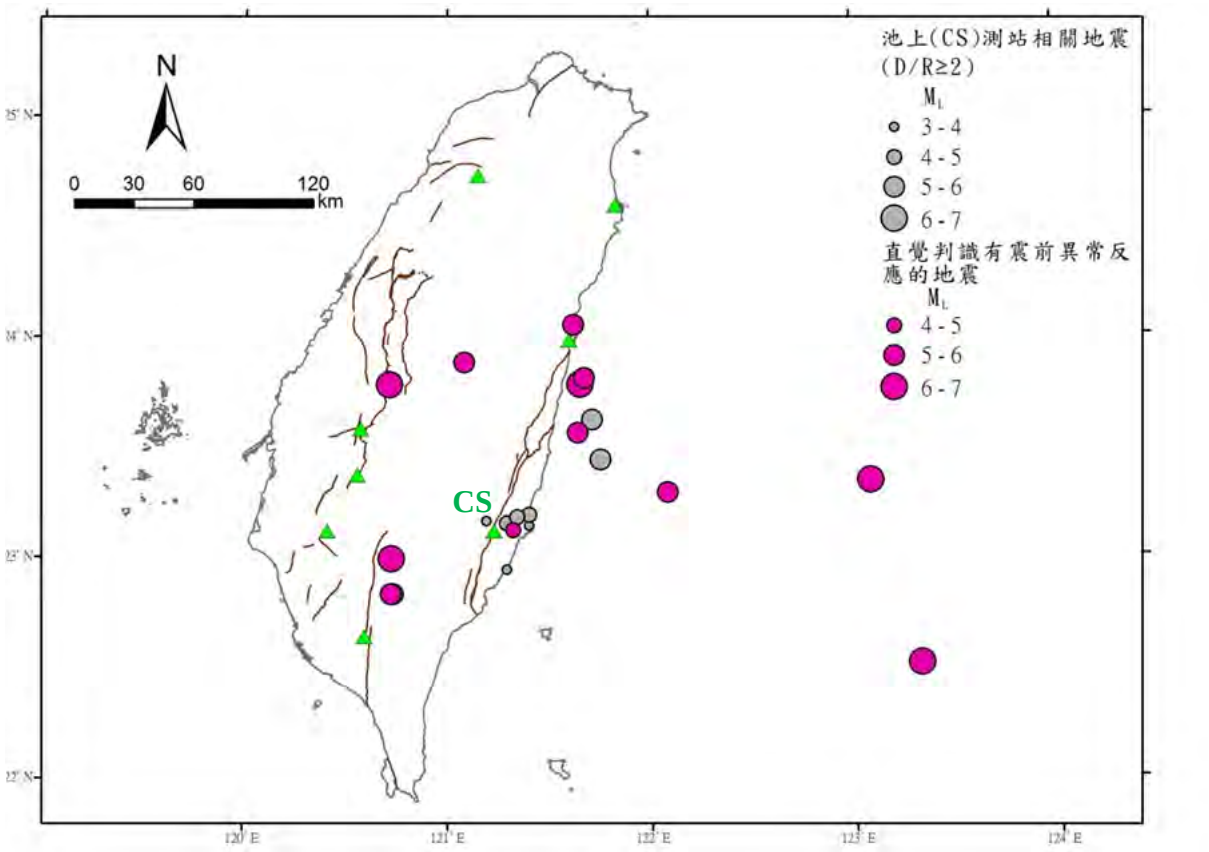


圖 8-39：池上測站相關地震(D/R ≥ 2)及有震前異常反應的地震。紫色圓圈表示直覺判識有震前異常反應的地震。

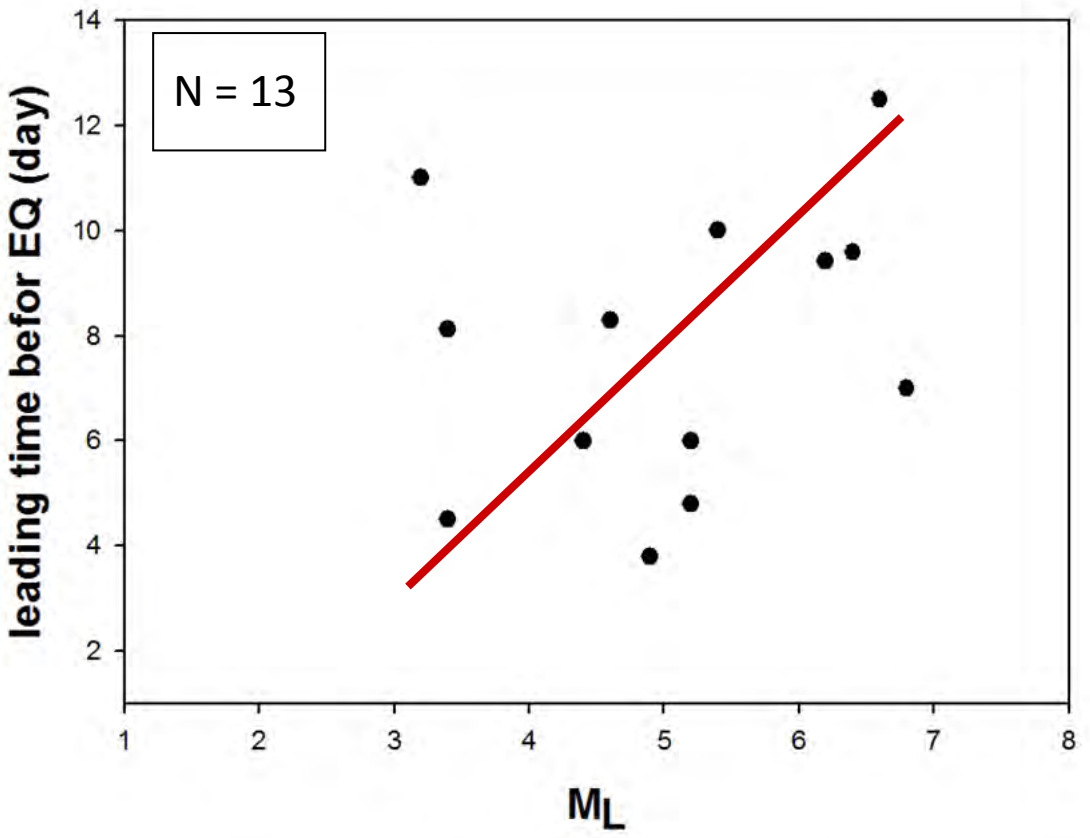


圖 8-40：利用 EMD 辨識出的異常，其異常開始至地震發生的時間與地震規模的關係圖。

8-3-5 小結

綜合以上各節利用不同的時序分析方法處理不同測站的觀測結果：

(1) 中崙觀測站：利用 EMD 拆解原訊號，將原始訊號去除雜訊（de-noise）與去除趨勢(de-trend)，結果顯示可辨識出 3 起震前異常，唯目前資料累積不夠多，未來須更進一步確定此方法的合適性。

(2) 蘇澳觀測站：原始數據有日夜變化且受雨量影響甚鉅，利用 HHT 處理數據可辨識出 3 起震前異常，然而仍無法有效地去除雨量影響，造成判讀其它地震活動反應的困難。

(3) 池上觀測站：分別用 EMD 與 moving average 處理數據，發現利用 EMD 與 moving average 皆可解析出與地震活動有關的訊號，moving average 辨識出的異常較多。另外，由 EMD 辨識出的異常情形，發現異常開始至地震發生的時間差與地震規模呈正比。

由於不同的觀測站之所代表的地體構造、岩性、斷層系統皆不同，造成各站之氣體變化行為有很大的差異，因此必須用不同的分析方法來處理不同測站的觀測數據，才能有效地辨識出有地震活動有關的異常。然而，資料的分析處理需建立在長期的觀測結果與良好的數據品質上，因此，未來隨著資料的逐漸累積，同時也要保持數據的完整及連續性，以期能夠有系統並客觀地釐清氣體異常變化與地震活動的關係。

玖、結論與建議

1. 台灣地區以土壤氣體異常變化之方法來評估斷層活動性或地震活動之發生。各氣體觀測站的觀測結果顯示，發現地震若發生距觀測站不遠的地方，通常在數天至數小時前，氡氣濃度皆呈現異常升高的變化情形，在排除氣象因子及人為因素影響後，這些的異常值出現很明顯的就是該次地震發生前的地震前兆訊息，本年度以嘉義中崙、屏東屏科大和台東池上觀測站的觀測成果最為顯著，尤其在2010年3月4日的甲仙地震發生前約兩星期左右，各測站同步出現明顯的濃度異常的變化，視為一成功的前兆訊息。其它測站存有硬體問題，如蘇澳觀測站之地基受水沖刷且儀器損壞，仍待進一步的維修處理，待維修完成後觀察運作情形，以評估是否遷站；古坑觀測站傾斜積水，日前雖已填補水泥處理，但地底儲氣槽仍易受水影響，建議未來於附近斷層帶上另尋適合替代點。二溪觀測站的氣體變化對於地震反應較不敏感，建議於原址重新開挖。

2. 台北地下水壓觀測站觀察到數起地震前兆反應，其震央多分佈在台灣東北部。新竹地區地下水壓觀測站有較佳反應的為新樂站，除了反應鄰近地區地震之外，對於宜蘭及花東外海多起地震亦有震前水壓異常反應。嘉義地區地下水壓觀測站亦有觀察到震前水壓異常反應，其震央主要位於北港基盤高區東半外緣及菲律賓海板塊西緣；另外，下半年度沄水站對於高雄甲仙多起地震，出現劇烈震前水壓驟降反應。

3. 將地下水壓變化與地震參數整理比對後發現，針對中度以上相關地震（$M_L > 5$ & $D/R > 2$），台北地區三座地下水壓觀測站前兆反應比率為 22 %，新竹新樂站為 47 %，而嘉義沄水站為 48 %。此外，針對常受降雨干擾的地下水壓站進行統計處理，可將雨量因子去除，校正雨量因素後之水壓再透過異常判斷之運算更能有助提升前兆反應之識別。

4. 本計畫今(99)年在花東縱谷南段附近安通溫泉安通站監測井持續進行地下水水氡及溶解氣體監測工作。2009 年 3 月至 2010 年 11 月，花東縱谷南段未發生強震（M_L ＞6.0），在這期間，吉祥水氡濃度監測站（吉祥站）與安通溫泉飯店監測井（安通站）中地下水氡及地下水溶解氣體（氮氣及甲烷）濃度亦未觀測到異常之變化。此外，本年度亦新增恆春半島墾丁社頂監測站執行地下水水氡及溶解氣體(二氧化碳）之採樣及實驗室分析。本研究於 2010 年 3 月 4 日發生芮氏地震規模 M_L = 6.4 的高雄甲仙地震前，有觀測到社頂站地下水水氡及溶解氣體（二氧化碳）異常下降之現象。

5. 吉祥站與安通站在 2008 年 2 月 17 日發生地震矩規模 M_W 5.4 台東地震前，皆有捕捉到地下水氡異常下降之地震前兆,顯示安通溫泉具適當地質條件成為理想地下水氡地震前兆觀測站，建議持續長時間監測安通站地下水氡濃度，預期捕捉下次在花東縱谷南段發生災害性地震（大約 M_W＞6.0）之前兆。另外，墾丁公園社頂站已有近一年觀測資料,發現地下水水氡及二氧化碳濃度同時和豐水季及枯水季有週期性的行為，建議繼續監測墾丁公園社頂站地下水水氡及溶解氣體（二氧化碳）濃度變化，並持續蒐集墾丁地區之雨量資料，預期明年度觀測能驗證地下水氡及二氧化碳濃度變化和豐枯水季的週期性。

6. 整合新竹地區與嘉義地區之氣體觀測站與地下水壓觀測站的資料進行對比整理,可觀察到各測站的異常反應範圍。再分別劃分新竹網與嘉義網測站的敏感反應區，便可更進一步推估地震發生的位置。

7. 本研究利用時序分析方法，如 HHT、EMD、移動平均法處理不同觀測站的數據，初步結果顯示能夠辨識出與地震前兆的異常反應。未來須累積更多資料，並藉由不斷地測試修改，找出適合各觀測站的分析方法。

拾、參考文獻

王源、楊昭男、陳文山（1992）台灣地質圖說明書圖幅第四十八號，玉里圖幅。經濟部中央地質調查所，共 81 頁。

六角兵吉、牧山鶴彥（1934）高雄州恆春油田調查報告。台灣總督府殖產局出版，第 660 號，共 43 頁。

何春蓀（2003）台灣地質概論台灣地質圖說明書。經濟部中央地質調查所，130-134。

林朝棨（1957）臺灣地形，臺灣通志稿卷一，土地誌，地理篇。臺灣省文獻委員會，第一冊，共 424 頁。

林朝棨（1962）花蓮地方的第四系－臺灣之第四紀研究（三）。國家長期發展科學委員會研究報告，共 42 頁。

林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正（2000）台灣活動斷層概論第二版，五十萬分之一台灣活動斷層分佈圖說明。經濟部中央地質調查所特刊，第十三號，共 117 頁。

徐鐵良（1976）台灣海岸山脈的利吉混同層。台灣省地質調查所彙刊，第二十五號，87-96。

陳于高（1993）晚更新世以來南臺灣地區海水面變化與新構造運動研究。國立臺灣大學地質學研究所博士論文，共 158 頁。

陳文山、鄭穎敏、黃奇瑜（1985）台灣南部恆春半島之地質。地質，6 卷 2 期，21-38。

陳文山、黃能偉、顏一勤、楊志成、楊小青（2004）恆春斷層條帶地質圖說明書。經濟部中央地質調查所地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－槽溝開挖與古地震研究計畫（3/5），共 38 頁。

陳建良、林啟文、陳文山（2005）台灣南部恆春半島地殼變形初步研究。經濟部中央地質調查所特刊，第十六號，55-73。

陳正宏、劉聰桂、宋聖榮、楊燦堯、李寄嵎 (2000) 台灣陸上斷層活動性之環境地球化學調查研究（1/5）─嘉南地區。經濟部中央地質調查所報告 89-3 號，共 215 頁。

陳正宏、劉聰桂、宋聖榮、楊燦堯、李寄嵎 (2001) 台灣陸上斷層活動性之環境地球化學調查研究（2/5）─西部地區。經濟部中央地質調查所報告 90-5 號，共 258 頁。

陳正宏、劉聰桂、宋聖榮、楊燦堯、李寄嵎 (2002) 台灣陸上斷層活動性之環境地球化學調查研究（3/5）─西部地區。經濟部中央地質調查所報告 91-5 號，共 300 頁。

傅慶州、楊燦堯、陳正宏（2004）利用土壤逸氣調查掩覆斷層及破裂帶可能分佈：以潮州斷層為例。經濟部中央地質調查所特刊，第十五號，147-160 頁。

經濟部中央地質調查所 (2005)　九十三年度「斷層活動性觀測站設置─竹東地區」完工報告書。經濟部中央地質調查所，共 162 頁。

經濟部中央地質調查所 (2006a) 九十四年度「斷層活動性井下應變儀觀測站設置(1/4)」完工報告書。經濟部中央地質調查所，共 224 頁。

經濟部中央地質調查所 (2006b) 斷層活動性觀測研究第一階段：斷層活動性井下應變儀觀測站設置（2/4)。中央地質調查所報告第 95-14 號，共 119 頁。

經濟部中央地質調查所 (2007) 斷層活動性觀測研究第一階段：斷層活動性井下應變儀觀測站設置（3/4)。中央地質調查所報告第 96-08 號，共 123 頁。

楊貴三（1986）臺灣活斷層的地形學研究-特論活斷層與地形面的關係。私立中國文化大學地學研究所博士論文，共 178 頁。

楊燦堯、宋聖榮、傅慶州、蘇春旭、劉聰桂、陳正宏（2004）活動斷層地球化學監測現況與成果。2004 年台灣活動斷層與地震災害研討會論文集， 120-137，國立成功大學。

楊燦堯、劉聰桂、陳正宏、吳逸民（2005）斷層活動性之地球化學觀測與研究(1/4)。經濟部中央地質調查所報告第 94-15 號，共 506 頁。

楊燦堯、劉聰桂、陳正宏、吳逸民（2006） 斷層活動性之地球化學觀測與研究（2/4)。中央地質調查所報告第 95-15 號，共 147 頁。

游明聖（1996）斷層活動所造成之災害-以民國四十年花蓮、台東地震為例。台灣博物，第十五卷，第二期，16-25。

詹新甫（1974）恆春半島之地層與構造並申論中新世傾瀉層。台灣省地質調查所彙刊，第 24 號，99-108。

張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁（1998）台灣活動斷層概論，五十萬分之一台灣活動斷層分布圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第十號，共 103 頁。

鄭世楠、葉永田、徐明同、辛在勤（1999）台灣十大災害地震圖集。交通部中央氣象局地震測報中心，210-211。

顏滄波、吳慶餘(1986)恆春半島南部之上新世及上覆地層。地質，第 7 卷，1 期，1-10。

劉康克、陳欽溢、侯財源、林慶仁 (1986) 連續水氡監測方法及數據處理。中央研究院地球科學研究所研究報告，共 33 頁。

劉聰桂、陳正宏、宋聖榮、楊燦堯、李寄嵎 (2003) 台灣陸上斷層活動性之環境地球化學調查研究（4/5）─北部地區。經濟部中央地質調查所報告 92-04 號，共 256 頁。

Angelier, J., Chu, H.T. Lee, J.C. and Hu, J.C. (2000) Active faulting and earthquake hazard: The case study of the Chihshang fault, Taiwan. *Journal of Geodynamics*, 29, 151-185.

Barsukov, V.L., Serebrennikov, V.S., Belyaev, A.A, Bakaldin, Y.A. and Aresnyeva, R.V. (1985a) Someexperience in unraveling geochemical earthquake precursors. *Pure and Applied Geophysics*, 122, 157-163

Barsukov, V. L., Varshal, G. M. and Zamokina, N. S. (1985b) Recent results of hydrogeochemical studies for earthquake prediction in the USSR. *Pure and Applied Geophysics*, 122, 143-156.

Baubron, J.-C., Rigo, A. and Toutain, J.-P. (2002) Soil gas profiles as a tool to characterize active tectonic areas: the Jaut Pass example (Pyrenees, France). *Earth and Planetary Science Letters*, 196, 69-81.

Bella, F., P. F. Biagi, M. Caputo, E. Cozzi, G. Della Monica, A. Ermini, E. I. Gordeez, Y. M. Khatkevich, G. Martinelli, W. Plastino, R. Scandone, V. Sgrigna, and D. Zilpimiani. 1998. Hydrogeochemical anomalies in Kamchatka (Russia). *Physics and Chemistry of The Earth*, 23, 921-925.

Biagi, P. F., Kingsley, S. P. and Vallianatos, F. (2000) Earthquake precursors, *Special issue of Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 25, 225-328.

Bolt, B.A. (1999) *Earthquake*, 4th edition, W.H. Freeman and Company, New York, 366pp.

Brace, W.F., Paulding, B.W.Jr. and Scholz, C. (1966) Dilatancy in the fracture of crystalline rocks. *Journal of Geophysical Research*, 71(16), 3939-3953.

Chadha, R. K. and Pandey, A. P. (2003) Search for earthquake precursors in well water levels in a localized seismically active area of Reservoir Triggered Earthquakes in India. *Geophysical Research Letters*, 30, 1416-1420.

Chen, W.S., and Wang, Y. (1996) Geology of the Coastal Range, eastern Taiwan. Geology of Taiwan 7.

Chen, C.H., Wang, C.H., Liu, J.Y., Liu, C., Liang, W.T., Yen, H.Y., Yeh, Y.H., Chia, Y.P., and Wang, Y. (2010) Identification of earthquake signals from groundwater level records using the HHT method. *Geophysical Journal International*, 180, 1231-1241.

Chyi, L. L., Quick, T. J., Yang, T. F. and Chen, C. H. (2005) Soil gas radon spectra and earthquakes. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 16(4), 763-774.

Cooper, H.H. and Jacob, C.E. (1946) A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. *American Geophysical Union Transactions*, 27, 526-534.

Dobrovolsky, P., Zubkov, S.I. and Miachkin, V.I. (1979) Estimation of the size of earthquake preparation zones. *Pure and Applied Geophysics*, 117, 1025-1144.

Esposito, E., Pece, R., Porfido, S. and Tranfaglia, G. (2009) Ground effects and

hydrological changes in the Southern Apennines (Italy) in response to the 23 July 1930 earthquake (M_S = 6.7). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 539-550.

Etiope, G. and Lombardi, S. (1995) Soil gases as fault tracers in clay basin: a case history in the Siena basin (Central Italy). *Gas Geochemistry.* Science Reviews, Northwood, 19-29.

Etiope, G. and Martinelli, G. (2002) Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 129, 185-204.

Fu, C.C., Yang, T.F., Walia, V. and Chen, C-H. (2006) Reconnaissance of soil gas composition over the buried fault and fracture zone in southern Taiwan. *Geochemical Journal*, 39, 427-439.

Fu, C.C., Yang, T.F., Du, J., Walia, V., Chen, Y.G., Liu, T.K. and Chen, C-H. (2008) Variations of helium and radon concentrations in soil gases from an active fault zone in southern Taiwan. *Radiation Measurements*, 43, 348-352.

Fu, C.C., Yang, T.F., Walia, V., Liu, T.K., Lin, S.J., Chen, C-H. and Hou, C.S. (2009) Variations of soil-gas composition around the active Chihshang Fault in a plate suture zone, eastern Taiwan. *Radiation Measurements,* 44, 940-944.

Gau, H.-S., Chen, T.-C., Chen, J.-S. and Liu, C.-W. (2007) Time series decomposition of groundwater level changes in wells due to the Chi-Chi earthquake in Taiwan: a possible hydrological precursor to earthquakes. *Hydrological Processes*, 21, 510-524.

Guerra, M. and Lombardi, S. (2000) Soil-gas method for tracing neotectonic faults in clay basins: the Pisticci field (Southern Italy). *Tectonophysics*, 339, 512-522.

Giammanco, S. and Gurrieri, S. (1997) Soil CO_2 degassing along tectonic structures of Mount Etna (Sicily): the Pernicana fault. *Applied Geochemistry*, 12, 429-436.

Gregory, R. G. and Durrance, E. M. (1985) Helium, carbon dioxide and oxygen soil gases: small-scale variation over fractured ground. *Journal of Geochemical Exploration*, 24, 29-49.

Hauksson, E. (1981) Radon content of groundwater as an earthquake precursor: Evaluation of worldwide data and physical basis. *Journal of Geophysical Research,* 86(B10), 9397-9410.

Healy, J.H. and Urban, T.C. (1985) In situ fluid pressure measurements for earthquake prediction: An example from a deep well at Hi Vista, California. *Pure*

and Applied Geophysics, 122, 255-279.

Hickman, S., Sibson, R., & Bruhn, R. (1995) Introduction to special section: Mechanical involvement of fluids in faulting. *Journal of Geophysical Research*, 100(B7), 12831-12840.

Hsu, T.L.（1956）Geology of the Coastal Range, eastern Taiwan. *Bulletin of the Geological Survey of Taiwan*, no.8, 39-64.

Hsu, T.L. (1962) Recent faulting in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan. *Memoir of the Geological Society of China,* 1, 95-102.

Huang, N. E., Z. Shen, S. R. Long, M. L. C. Wu, H. H. Shih, Q. N. Zheng, N. C. Yen, C. C. Tung, and H. H. Liu (1998) The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 454(1971), 903-995.

Igarashi, G. and Wakita, H. (1995) Geochemical and hydrological observations for earthquake prediction in Japan. *Journal of physics of the earth*, 43, 585-598.

Igarashi, G., Saeki, S., Takahata, N., Sumikawa, K., Tasaka, S., Sasaki, Y., Takahashi, M. and Sano, Y. (1995) Ground-water radon anomaly before the Kobe earthquake in Japan. *Science*, 269(5220), 60-61.

Igarashi, G., Tohjima, Y. and Wakita, H. (1993) Time-variable response characteristics of groundwater radon to earthquakes. *Geophysical Research Letters,* 20(17), 1807-1810.

Igarashi, G.; Wakita, H. and Sato, T. (1992) Precursory and coseismic anomalies in well water levels observed for the Februaru 2, 1992 Tokyo Bay earthquake. *Geophysical Research Letters,* 19, 1583-1586.

Jacob, C. E. (1963) Correction of drawdown caused by a pumped well tapping less than the full thickness of aquifer, in : Bentall, R. (Editor): Method of Determining Permeability, Transmissibility and Drawdown, U.S.G.S., Water-Supply Paper 1536-I, 272-282.

King, C.Y., Azuma, S., Ohno, M., Asai, Y., He, P., Kitagawa, Y., Igarashi, R. and Wakita, H. (2000) In search of earthquake precursors in the water-level data of 16 closely clustered well at Tono, Japan. *Geophysical Journal International*, 143, 469-477.

Kawabe, I. (1985) Anomalous changes of CH4/Ar ratio in subsurface gas bubbles as seismo-geochemical precursors at Matsuyama, Japan. *Pure and Applied*

Geophysics, 122, 194-214.

King, C.Y. (1986) Gas geochemistry applied to earthquake prediction: an overview. *Journal of Geophysical Research*, 91, 12269-12281.

King, C.Y., Evans, W.C., Presser, T. and Husk, R. (1981) Anomalous chemical changes in well water and possible relation to earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 8, 425-428.

Koizumi, N., Yoshioka, R. and Kishimoto, Y. (1985) Earthquake prediction by means of change of chemical composition in mineral spring water. *Geophysical Research Letters*, 12, 510-513.

Kovach, R.L., Nur, A., Wesson, R.L. and Robinson, R. (1975) Water-level fluctuations and earthquakes on the San Andreas fault zone. *Geology,* 3,437-440.

Kuo, M.C.T., Fan, K., Kuochen, H. and Chen, W. (2006a) A mechanism for anomalous decline in radon precursory to an earthquake. *Ground Water*, 44, 642-647.

Kuo, T., Fan, K., Kuochen, H., Han, Y., Chu, H. and Lee, Y. (2006b) Anomalous decrease in groundwater radon before the Taiwan M6.8 Chengkung Earthquake. *Journal of Environmental Radioactivity,* 88, 101-106.

Kuo, T., Lin, C., Fan, K., Chang, G., Lewis, C., Han, Y., Wu, Y., Chen, W. and Tsai, C. (2009) Radon anomalies precursory to the 2003 Mw=6.8 Chengkung and 2006 Mw=6.1 Taitung earthquakes in Taiwan. *Radiation Measurements,* 44, 295-299.

Kuo, T., Lin, C., Chang, G., Fan, K., Cheng, W. and Lewis, C. (2010a) Estimation of aseimic crustal-strain using radon Repetitive radon precursors of the 2003 M 6.8, 2006 M 6.1, and 2008 M 5.0 earthquakes in eastern Taiwan. *Natural Hazards*, 53, 219-228.

Kuo, T., Cheng, W., Lin, C., Fan, K., Chang, G. and Yang, T. (2010b) Simultaneous declines in radon and methane precursory to 2008 Mw 5.0 Antung earthquake: corroboration of in-situ volatilization. *Natural Hazards*, 54, 367-372.

Kuo, T., Su, C., Chang, C., Lin, C., Cheng, W., Liang, H., Lewis, C. and Chiang, C. (2010c) Application of recurrent radon precursors for forecasting large earthquakes (Mw > 6.0) near Antung, Taiwan. *Radiation Measurements*, 45, 1049-1054.

Lamar, D. L. and Merifield, P. M. (1979) Water-level monitoring along the San Andreas and San Jacinto faults, southern California, during fiscal year 1979. Lamar-Merifield Tech. Report 79-5, Final Report, U.S. Geological Survey

Contract 14-08-0002-17680, 65pp.

Lee, J.C., Angelier, J., Chu, H.T., Hu, J.C., Jeng, F.S. and Rau, R.J. (2003) Active fault creep variations at Chihshang, Taiwan, revealed by creep meter monitoring, 1998-2001. *Journal of Geophysical Research*, 108(B11), 2528-2548.

Li, G., Jiang, F., Wang, J. and Zhang, P. (1985) Preliminary results of seismo-geochemical research in China. *Pure and Applied Geophysics*, 122, 218-230.

Liu, K.K., Yui, T.F., Yeh, Y.H., Tsai, Y.B. and Teng, T.L. (1984/85) Variations of radon content in groundwaters and possible correlation with seismic activities in northern Taiwan. *Pure and Applied Geophysics,* 122, 231-244.

Liu, K.K., Teng, T.L., Hou, T.Y., Yeh, Y.H. and Tsai, Y.B. (1985) Continuous monitoring of radon emanation as an earthquake precursor at two hot springs in northern Taiwan, Preceedings of the ROC-JAPAN Joint Seminar on Mutiple Hazards Mitigation, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC, March.

Merifield, P. M. and Lamar, D. L. (1981) Water-level monitoring along the San Andreas and San Jacinto faults, southern California, during fiscal year 1981. Lamar-Merifield Tech. Report 82-3, Final Report, U. S. Geological Survey Contract 14-08-0002-19253, 78pp.

Miklavcic, I., V. Radolic, B. Vukovic, M. Poje, M. Varga, D. Stanic, and J. Planinic. (2008) Radon anomaly in soil gas as an earthquake precursor. *Applied Radiation and Isotopes*, 66(10), 1459-1466.

Mogi, K. (1985) *Earthquake Prediction*. Academic Press, New York, 355pp.

Noguchi, M. and Wakita, H. (1977) A method for continuous measurement of radon in groundwater for earthquake prediction. *Journal of Geophysical Research*, 82(8), 1353-1357.

Oki, Y. and Hiraga, S. (1979) Water level anomalies prior to the Izu-Oshima earthquake, January 14, 1978. Translated from the Japanese by E. Silberman, in Technical Report 79-2, Lamar-Merifield Geologists, Special Technical Report for the U. S. Geological Survey.

Perez, N. M., P. A. Hernandez, E. Padron, G. Melian, R. Marrero, G. Padilla, J. Barrancos, and D. Nolasco. (2007) Precursory subsurface Rn-222 and Rn-220 degassing signatures of the 2004 seismic crisis at Tenerife, Canary Islands. *Pure and Applied Geophysics*, 164(12), 2431-2448.

Roeloffs, E. A. (1988) Hydrologic precursors to earthquakes: A review. *Pure and*

Applied Geophysics, 126, 177-209

Roeloffs, E. A. (1998) Persistent water level changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquakes. *Journal of Geophysical Research,* 103, 869-889.

Roeloffs, E. (1999) Radon and rock deformation. *Nature,* 399(6732), 104-105.

Sano, Y., Takahata, N., Igarashi, G., Koizumi, N. and Sturchio, N.C. (1998) Helium degassing related to the Kobe earthquake. *Chemical Geology,* 150, 171-179.

Sugisaki, R. (1978) Changing He/Ar and N_2/Ar ratios of fault air may be earthquake precursors. *Nature*, 275, 209-211.

Sugisaki, R. (1985) Relation between hydrogen emission and seismic activities. *Pure and Applied Geophysics*, 122, 175-184.

Sugisaki, R., Ito, T., Nagamine, K. and Kawabe, I. (1996) Gas geochemical changes at mineral springs associated with the 1995 southern Hyogo earthquakes (M=7.2), Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, 139, 239-249.

Sawyer, C.N., McCarty, P.L., and Parklin, G.F. (1994) *Chemistry for Environmental Engineering*. McGraw-Hill, Inc., New York, USA.

Scholz, C.H., Sykes, L.R. and Aggarwal, Y.P. (1973) Earthquake prediction: A physical basis. *Science*, 181(4102), 803-810.

Silver, P.G. and Wakita, H. (1996) A search for earthquake precursors. *Science*, 273, (5271), 77-78.

Talwani, P. and Van Nieuwenhuise, R.E. (1980) Water level and geochemical anomalies at Lake Jocassee, South Carolina, EOS. *American Geophysical Union Transactions*, 61, 1035.

Toutain, J.P., Munoz, M., Poitrasson, F. and Lienard, A.C. (1997) Springwater chloride ion anomaly prior to a M_L=5.2 Pyrenean earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 149, 113-119.

Theis, C. V. (1935) The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of well using ground-water storage. *American Geophysical Union Transactions*, 16, 519-524.

Teng, T.L. (1980) Some recent studies on groundwater radon content as an earthquake precursor. *Journal of Geophysical Research*, 85(B6), 3089-3099.

Thomas D. (1988) Geochemical precursors to seismic activity. *Pure and Applied Geophysics*, 126(2-4), 241-266.

Tsunogai, U. and Wakita, H. (1995) Precursory chemical changes in ground water:

Kobe earthquake, Japan. *Science*, 269, 61-63.

Tsunogai, U. and Wakita, H. (1996) Anomalous change in groundwater chemistry – possible precursors of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, Japan: *Journal of Physics of the Earth,* 44, 381-390.

Wakita, H., Nakamura, Y., Notsu, K., Noguchi, M. and Asada, T. (1980) Radon anomaly: A possible precursor of the 1978 Izu-Oshima-kinkai earthquake. *Science*, 207(4433), 882-883.

Wakita, H., Igarashi, G. and Notsu, K. (1991) An anomalous radon decrease in groundwater prior to an M6.0 earthquake: A possible precursor? *Geophysical Research Letters,* 18(4), 629-632.

Walia, V., Su, T. C., Fu, C. C. and Yang, T. F. (2005) Spatial variations of radon and helium concentrations in soil gas across Shan-Chaio fault, Northern Taiwan. *Radiation Measurements*, 40, 513–516.

Walia, V., Yang, T. F., Hong, W.L., Lin, S.J., Fu, C.C., Wen, K.L., Chen, C.H. (2009) Geochemical variation of soil-gas composition for fault trace and earthquake precursory studies along the Hsincheng fault in NW Taiwan. *Applied Radiation and Isotopes,* 67(10), 1855-1863.

Wallace, R.E. and Teng, T.-L. (1980) Prediction of the Sungpan-Pingwu earthquakes, August 1976. *Bulletin of the Seismological Society of America,* 70, 1199-1223.

Wang, C. (1985) Ground-water studies for earthquake prediction in China. *Pure and Applied Geophysics*, 122, 215-217.

Yang, T.F., Walia, V., Chyi, L.L., Fu, C.C., Chen, C.H., Liu, T.K., Song, S.R., Lee, C.Y. and Lee, M. (2005) Variations of soil radon and thoron concentrations in a fault zone and prospective earthquakes in SW Taiwan. *Radiation Measurements*, 40, 496-502.

Yu, S.B., Jackson, D.D., Yu, G.K. and Liu, C.C. (1990) Dislocation model for crustal deformation in the Longitudinal Valley area, eastern Taiwan. *Tectonophysics*, 183, 97-109.

Yu, S.B. and Kuo, L.C. (2001) Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan. *Tectonophysics*, 333, 199-217.

Zhang, X., & Sanderson, D. J. (1996) Numerical modelling of the effects of fault slip on fluid flow around extensional faults. *Journal of Structural Geology,* 18(1), 109-119.

附錄 1 今年期中報告審查委員意見及答覆情形

意見	回覆
藍晶瑩委員	
1. P.3 甘梯圖，預定進度(黑色)應置於上方，實際進度(紅色)應置於下方，但大多數未如此配置，應修正為一致。	答：已修正。
2. P.5 圖 2-1，RS 與 CC 兩站，與其他相關圖，如圖 2-12、圖 2-23、圖 2-33、圖 2-43、圖 2-53、圖 2-62、圖 2-72、圖 6-1、圖 6-8 等不一致，應改為一致。此兩站在表 2-1 為 RS 及 PT，在其他圖為 ES 及 PT，皆不一致。	答：已修正。
3. P.6 倒數第 5 行「圖 2-4」應為圖 2-5 之誤，因圖 2-4 為 11 月紀錄，不是本行討論之 12 月紀錄結果。	答：已修正。
4. P.6 最後一行：「雖有整月氪氣分析數據」，但實際圖 2-6，根本沒有數據，應修正。	答：已修正。
5. P.7 第 2 段，倒數第 2 行「...可以視為 2 月 12 日於花蓮西林（實際發生於南投埔里）...」，應修正為實際發生於南投埔里，而不應用測站名，其他類似情形發生於圖 2-6，桃園三光；圖 2-7，花蓮西林，圖 2-8，花蓮秀林，圖 2-9 宜蘭市，圖 2-11；圖 2-18，圖 2-19 等等，請仔細比對，並做內文之修正。	答：已修正。
6. P.8 圖 2-2 至圖 2-11 圖說中，「T.H 表示土壤溫溼度變化」，但圖中並未有此 2 字，需刪除。	答：已修正。
7. P.54 最後一行，須加「表」於「2-5」之前。	答：已修正。
8. P.90，圖 2-59，加裝迴圈裝置日期，應修正為「04/26」非「04/22」。	答：已修正。
9. P.108，圖 2-72，圖說「中崙震...」應改為「中崙測站」。	答：已修正。
10. P.140，表 4-1，錦和國小為新店市，第 4-1.1 節，第 2 段第 2 行，錦和國小為中和市，到底何者正確，請修正。	答：已修正。
11. P.165，圖不完整，且缺圖說，須修正。	答：已修正。
12. P.207，圖 5-7，圖說「修改至...」，應改為「修改自...」。	答：已修正。
13. P.209，圖 5-9，圖例內，應只要所示圖 5-7 及圖 5-8 有的才顯示，請刪除未示部分圖例。	答：已修正。
14. P.212，圖 5-10，深度 100 至 400 m 若性質相同，為何要重覆相同岩性之標示，灰綠與淺綠岩性在何處	答：已修正。

分界？	
15. P.215，表 5-2，請說明 IC 法，NIEA，W449.00B，W415.52B 之意義。	答：已修正。
16. P.222~P.232，及 P.241 之環境因子資料，源自中央氣象局，但未記錄完全，需補齊至 6 月底。	答：已補齊資料至 11 月初。
17. P.228，圖 5-32，溫度異常 b 之時間，不應與儀器損壞 a 之時間相同，需修改。	答：已修正。
18. P.240，第一段應刪除，內容屬 2003 年至 2006 年資料，不在本計劃 2009~2010 年限內。	答：已修正。
19. P.241，圖 6-9，安通站溫度數據異常時間之期間，應與 P.228 者，同時修改。	答：已修正。
20.對水氡觀測，應增加一個表，明示安通監測站及墾丁社頂監測站之 GPS 站址，及增加一個圖，以台灣為底，標示兩個站址。	答:安通監測站及社頂監測站有 GPS 座標，請參見表 2-1 及圖 2-3。
21. P.70，對潛變儀資料，是否可以在期末報告提供。	答：因為潛變資料分析費時，無法即時取得本年度分析資料相比對，故無法於期末報告中比較結果。
22. P.135，表 3-1，圖 3-4 之間關係，請說明。	答：表 5-1 為米崙斷層地區採樣分析結果，將採樣點繪製於切過斷層的剖面上，表示如圖 5-3。
23. P.226，導水係數及儲水係數之原理，與觀測之關係，須說明。	答:導水係數定義為含水層之水力傳導係數乘上含水層厚度，代表含水層的輸水能力。儲水係數定義為當水頭下降(或上昇)一個單位時，由於水與介質的變形，含水層單位體積所釋放(或儲存)的水的體積。Kuo *et al.* (2006a) 假設在地震前岩體處於擴張狀態，岩體會產生破碎微裂隙或孔隙。故藉由監測導水係數與儲水係數，觀測地震前因地層體積應變所產生的裂隙造成導水係數與儲水係數異常變化的情形。
24. P.239，圖 6-8，為地化觀測站敏感偵測區，安通站，也在此敏感區內，為何未偵測到變化，請說明。	答:安通溫泉地下水水氡濃度監測捕捉地震前兆的有效範圍涵蓋花東縱谷南段長 70 公里、寬 15 公里區域(大約 $M_W \geqq 6.0$) (Radiation Measurements, 45, 1049-1054, 2010)。

吳銘志委員	
1.執行團隊這一年多來，已能將工作項目，工作內容具體掌握，尤其對報告編撰之結構與內容展現等，皆已大幅改進，執行團隊的努力值得肯定。	答：感謝委員之肯定。
2. P.234 所提方圓 60 公里，與 P.182 所列之距離關係，是否有其關聯性，也就是說 60 公里是如何求得的。	答：累積過去的觀測經驗，可以推估各測站對於地震的敏感反應區，當然並非非常精確，仍有討論的空間，未來隨著資料的累積，此反應範圍可漸漸作修正。
3.迫至目前為止無論是以氡濃度或是水位異常變化，為判識標的其皆趨向定性之說明，也就是說主觀性的判定，能否根據這一年多來的資料，利用統計或任何數理分析方法，定義出所謂「異常」值之定義。	答:目前正嘗試定量化觀測結果之異常變化，初步結果請參考節 6-5 及 8-4。
4. P.201，異常活動之定義，由試驗結果提出，氡濃度由 780pci/l～330pci/l，其需氣體飽和度 10%之定義其所推定之，10%裂隙體積如何關連？	答:本研究進行了氡於氣液兩相分配試驗，以安通監測站溫泉井水針對五組不同氣體飽和度做探討，試驗結果如圖 5-6 所示。氣體飽和度 10%的增加和地層體積應變所產生的裂隙具有相當的關連性，因此可判斷當氡濃度由 780 pCi/L 到 330 pCi/L 的異常下降現象，是地層增加 10%裂隙之體積應變所造成 (Ground Water 44, 642-647, 2006)。
5.有關預定進度之達成率，請主辦單位自行控管。	答：遵照辦理。
6. P.207 地質圖，請附圖例。	答：請參見圖 3-5。
7.新設置氣體觀測站之選址，雖目前以來為斷層標的，然其應該放在何處，尚請明確說明。	答：首選考量是斷層通過的地方，經過土壤逸氣調查後，選出幾個氣體濃度較高的候選區，並進行定期的採樣觀察。之後，再從候選區中，選出較敏感的點位，並評估環境因素後（用地取得、是否易受地下水影響等），選取最合適之位置設置氣體觀測站。
8. P.243（1）電源問題及訊號運輸問題應有替代方案，可請教水利署的觀測站之建置。	答：遵照辦理。
楊耿明委員	
1.報告撰寫應將不同的工作者所撰寫之報告作統一整合的編排。	答：遵照辦理。

2.期末報告應將上一年度之成果併入一起討論分析。	答：遵照辦理。
3.請討論某一氣體觀測站和氡氣異常、地下水位變化相關和不相關且發生在同一地區的地震之間的差異。	答：遵照辦理，請參考節 8-3。
4.請明確說明包涵與某一氣體觀測站相關之地震分布範圍距離的準則。	答：累積過去的觀測經驗，可以推估各測站對於地震的敏感反應區，當然並非非常精確，仍有討論的空間，未來隨著資料的累積，此反應範圍可漸漸作修正。
陳中華委員	
1.報告整體製作，有明顯進步，唯不同子計劃，所呈現的 format 有些差距，宜能統一有一慣性。	答：遵照辦理。
2.圖 4-38→圖 4-45，黃色同心圓可能再考量其意義。	答：遵照辦理。
3.社頂站水氡的解釋，可以更開放，不需一定要有對應。	答：社頂站因觀測資料只有 10 個月，建議持續觀測地下水氡及二氧化碳濃度異常變化，須至少再一年的觀測，預期能驗證出地下水氡及二氧化碳受豐水季及枯水季影響之再現性。
4.測站相關地震列表中，觀察異常與地震的關連，其中如果與震度的 gal，或許可以為一標準來談異常的相關性，比如二溪站表現就不理想，中崙站就比較好，但還是有些不清楚的原因與反應，可還要再努力。	答：本年度之報告中，已嘗試新增一些新的地震參數（D/R 值與 ε），希望用此當標準進而探討與地化異常的關聯性。
林朝宗委員	
1.土壤氣體觀測的異常值與地震震央的距離，規模震度之關係如何？是否可能建立關係？	答：目前正朝著建立異常現象與地震特性的關係此方向努力，目前發現異常開始至地震發生的時間差與地震規模似乎呈正比關係，請參考節 8-4-4。
2.地下水壓異常與地震對應的比例相多，但有部分為同震異常而非前兆，其中有多少是明確的前兆。	答：將地下水壓的前兆變化現象整理於表 6-1 與表 6-3。
3.本計劃三個部份的報告缺乏一致性，請在期末報告時統一。	答：遵照辦理。

謝凱旋委員	
1.不同的觀測方法有些地震有反應有些則沒反應，但整體來講有反應的比例較多，對沒有反應的地震事件是否有何特性，可更進一步分析。	答:有些沒有反應的地震可能是規模太小或是距離測站太遠,或是地震深度太深。亦有可能是發震特性較不一樣,使地底的孔隙或地下流體沒有較顯著的變化。
2.地下水變化在同震時表現有些是水位下降有些則是上升，此方面有何解釋，可進一步說明。	答：因各觀測井的地質背景（岩性、含水層、儲水係數、導水係數等）皆不同，因此對於同震會有不同的反應，請參考表 6-1 至 6-3。
盧詩丁委員	
1.摘要倒數第二行，「2010 年 3 月 4 日發生地震矩規模 Mw＝6.4…」，在 p229 第 2 段第 1 行、p231 第 2 段第 1 行、p244 第 9 行也有相同描述，但氣象局的地震報告是芮氏地震規模 M_L＝6.4，請確認相關文字或說明報告中地震矩規模的資料來源。	答：已修正為芮氏地震規模 M_L＝6.4。
2.缺英文摘要。	答：已修正。
3. p5 圖 2-1 及相關圖件有關之斷層分佈請改用 2010 版之分佈。	答：遵照辦理。
4. p6 有關大平地站於 2009 年 11 月至 2010 年 6 月間曾更換儀器及作儀器的調校，是否有評估對於觀測品質與數據的影響？近半年許多站都出現儀器問題，如何能維持儀器觀測的穩定性是長期觀測的重點，是否有改善或因應對策？倒數第 6 行「因為這些地震深度較深，或是規模不足以造成長時間的氡氣異常變化…」，是否有例如深度超過多深，規模小於多少等客觀的評判依據。	答：由於當地環境及氣候因素，有時我們會作儀器的更換及調整,希望能夠觀測到品質較佳的數據。我們正積極尋找能夠穩定運作的儀器及周邊設備,以期能維持觀測的完整性及可信度。依照過去經驗，地震規模 5 以下或是當地震度 4 級以下,氡氣的反應較不明顯,而深度若在 100 公里以上，也較不易造成明顯的震前異常。
5. p7 倒數第 4 行「畫一半徑 114km 的圓形」，所代表的意義為何？是否顯示在此範圍為地化測站的偵測範圍？	答:此範圍代表測站對於地震的敏感反應範圍,由於大平地站需要累積更多資料才能確定反應範圍,故目前暫不劃定此反應區間。
6. p21 原嘉義梅山站因分析品質不佳因而遷站，但在報告中描述還是可分析出 11 月的 2 次地震前兆，是否妥適？	答：已修正。
7. p22 第 3 段研判古坑站 4 月初的變化與 4 月 11 日的台	答：由於排除雨量及人為因素影響，

東成功外海地震有關，該地震距測站 158.37 公里，且震度僅為 2，請再考量。	4 月初的異常可能與 4 月 11 日成功外海地震有關，不過仍需未來更多遠震的資料以驗證之。
8. p24 圖 2-14 中的氡氣變化數值集中於 2-6 間，但顯示的區間為 0-10，導致訊號變化不明顯，建議局部放大以凸顯訊號變化。	答：已修正。
9. p38 認為二溪站不適合繼續觀測，建議另尋適當地點設站，但在圖 2-33 尚畫出可能偵測範圍，是否妥適？	答：二溪站對於地震反應較不敏感，尚不確定反應偵測範圍，已修正。
10. p64 圖 2-43 屏東站、p80 圖 2-43 池上站、p108 中崙站的可偵測範圍多大？能否以數字表示？	答:可偵測範圍係以有前兆反應的地震分布所劃定,有時並不是規則的幾何圖形，並不易用文字表示。
11. p130 有關研究區域之描述有關梅山斷層及米崙斷層未來的活動機率超過 40% 係引自地調所的報告或評估，事實上該資訊並非來自地調所，建議修正相關文字。	答：已修正。
12. p135 圖 3-4 左圖中綠色點之代表意義為何？請說明。	答：已修正。
13. p142 表 4-1 觀測井基本資料中部分井缺少井深的資料，請補充。	答：已修正。
14. p165 圖 4-21 圖說被地震報告圖遮住，請修正。	答：已修正。
15.有關水氡觀測部分，p201、p206、p210 提到的「八裏灣層」應為「八里灣層」，請修正。	答：已修正。
16. p216 在本所刊 23 號「臺灣東部與南部的活動斷層」中已將恆春斷層改為第二類活動斷層，請增補修正相關描述。	答：已修正。
17. p219 有關恆春地震之描述（規模 6.7、震央位於恆春半島西南 22 公里、深度 21.9 公里）與氣象局地震報告（規模 7.0、震央位於墾丁地震站西南 38.4 公里、深度 44.1 公里）不一致，請確認修正。有關文字描述中等震度圖之引用，2006 的地震應是引自氣象局的報告，請修正。	答：已修正。
18. p222 第 1 行、p240 第 1 行「本研究室...」用字不合適，建議修改為「本研究」、「本研究團隊」或「本計畫」。	答：已修正。
19. p229 第 2 行「每次分析三重覆」代表何意義？請確認修正。	答：已修正。
20. p233 圖 6-1 有關大平地、中崙及池上地化測站之反應區並非以測站為中心的圓形，並與 p18、p80、p108	答：已修正。

所顯示的範圍不同，請說明。	
21. p234 第 4 段第 3 行最後「中興站除了明顯的同震水位變化」，應是「太興站」，請修正。第 6 段及圖 6-8 都顯示觀測站對於方圓 60 公里內規模大於 5 的地震都有敏感反應，此一結論與圖 6-1 有出入，請說明。	答：已修正。
22. p240 最後一段及 p244 結論與建議中提及「甲仙地震後異常變化有可能是另一個強震的前兆」，此異常是否指的是 4 月份的異常？是否已發生？	答：已修正。

附錄 2 今年期末報告審查委員意見及答覆情形

意見	回覆
藍晶瑩委員	
1. 圖 2-2(p6)圖說只提三個地震，但圖本身却顯示四個地震，二者應修正為一致!	答：已修正。
2. p8 表 2-1，水氪觀測站玉里安通與墾丁社頂之座標，二度分帶 E 及 N 明顯有出入，應訂正。	答：已修正。
3. p16 第四行，strain radis 應為 strain radius 之誤。地震規模在第五行用 M 表示，在倒數第二行用 M_L 表示，應改為一致並參考 p295 第五行，公式寫法應一致。	答：已修正。
4. p220 始，圖 6-1 至圖 6-45，圖中紅色長方形代表 Intensity，誤寫為 Indensity，須全部修正。	答：遵照辦理。
5. p295 倒數第六行，圖 6-68 應修正為圖 6-6F	答：已修正。
6. p296 圖 Legend 最後一行，表 4-2 編號錯誤，應修正! 相同情形 p297 圖 6-69 及 p298 圖 6-70，Legend 中的表 4-3 及表 4-4 皆錯誤，應修正。	答：已修正。
7. p340 第九行"中止準則"恐為"終止準則"之誤，應修正。	答：已修正。
8. p345 倒數第十二行"2008 年 8 年 12 月"明顯錯誤，應修正。	答：已修正。
9. p350 圖 8-22 之圖說，並無橘色區塊，應修正。	答：已修正。
10. p353 圖 8-25 及 p360 圖 8-31 應說明觀測 data 的期間。	答：遵照辦理。
11.參考文獻 p376 至 p382 對雜誌名稱有些用全銜有些用縮寫，應改善為一致!	答：已修正。
12. p376 在 Bella 及 Chen, C.H.之後皆出現 etal.若有其他作者應列出，而不能以 etal 代過。須修正。	答：已修正。
13. p376 Biagi 缺頁數，須修正。	答：已修正。
14. p379 兩第 Kuo.T 之文章,頁數之前皆加 pp 明顯與其他文敵格式不同，須修正。	答：已修正。
15. p406-407 雜誌名稱有用縮寫者，須改為全銜，使格式一致!	答：已修正。
16. p405 Chyi 仍為 2009 年且為 accepted，現已 2010 年末，似乎須訂正吧!	答：已修正。
17. p220 圖 6-1 圖說指出"淺藍色陰影處"但實際上圖中並未顯示，須修正。	答：已修正。

18. p281 須水壓校正，前兆反應比率由 41%提升至 82%,有關資料請列表說明,又倒數第四行第一個字”鄉”應刪除。	答：比率由 41%提升至 82%，如 p294 最後一段提及之個數所計算而得,後有補充個數統計所根據之圖表來源。
19. 須增加今日口頭報告在原報告中缺乏之資料。	答：遵照辦理。
吳銘志委員	
1. 章節的排版方式建議將章的第一頁放置於正面頁。	答：遵照辦理。
2. 內文內容是否討論分析結果為主,而將記錄資料與記錄過程置於附錄。	答：遵照辦理，將於明（2010）年度之報告中改進。
3. 水壓(位)與氣體濃度等之異常值的篩選門檻值分別取 2 倍及 3 倍標準差，宜請說明採用的理由與意義。	答:由於氣體和地下水對於地震的反應機制有所不同,宜分別定義其異常值門檻來進行討論。目前氣體與地下水壓的篩選門檻分別取 2 倍及 3 倍標準差，此為初步的測試結果。舉例來說，若地下水壓取 2 倍標準差，則異常會顯現太多,初步暫定選擇 3 倍做為門檻值來做計算。未來將一步步測試並修正調整異常值門檻,期能更準確地觀察地化異常與地震的關係。
4. 水壓或水位宜請加以明確說明水位 Water Head 與水壓 Water Pressure 之單位不同，宜釐清。	答：遵照辦理。
5. 執行團隊所監測記錄之資料與分析成果相當豐碩,執行團隊之努力值得肯定。	答：感謝委員之肯定。
6. 本計畫之主題仍在探討「斷層活動性」，而本計畫的成因集中在討論地震的發生與水壓(位),地球化學(土壤氣體與水氡)之變化，如何將斷層活動性加以討論；請予以加強。	答:本計畫主要之觀測站皆設於斷層帶附近，本計畫往後將加強討論發生於斷層帶附近的地震活動與觀測數據變化關係，來瞭解該斷層帶之活動性。
7. 簡報資料之說明內容較報告內容詳實,討論內容深度亦較明確，應請加入報告內。	答：遵照辦理。
陳中華委員	
1. 水壓反應圈與氣體敏感偵測區是否有共同點或相異點?	答:水壓反應圈與氣體敏感偵測區有所不同。本研究統計資料顯示，地下水壓記錄到的地震前兆反應較多,反應範圍較大；相對地，氣體所觀測到的震前反應較少,反應範圍也相對較小。

2. 水氡的異常與地震的關連，所選取地震發生的條件是否有更寬廣。	答：因為地下水水氡濃度背景雜訊較高，本研究專注在災害性地震前兆。大地震(約 $M_W \geqq 6.0$)地下水水氡濃度異常下降的信號可明顯與背景雜訊區分開。
謝凱旋委員	
1. 墾丁社頂石灰岩步整合在泥質馬鞍山層之上，安通溫泉區則是泥質岩層覆蓋在安山岩之上，兩者地層條件並不相同，選址時請再評估。	答：社頂石灰岩及安通溫泉安山岩皆為脆性岩石，此地質非常可能為捕捉地震前兆－地下水水氡濃度異常下降的主要有利條件。選址時將再進一步評估泥質岩層與脆性岩石之間應力應變的行為。
2. p.27 及 p.28 安通溫泉地質背景提及地質為玄武岩，但地調所地質圖和圖 3-6 則標示為安山岩，請修正後或進一步說明。	答：已修正為安山岩。
盧詩丁委員	
1. p8 表 2-1 測站座標請註明是 67 系統或 97 系統，另 2 個水氡測站的座標值似乎有問題？請確認。	答：已修正。
2. p17 第 5 行「地調所預估其再現週期約一百二十五年，…機率有百分之四十一點四」，此段描述的內容並非出自地調所而是國科會，建議修正。	答：已修正。
3. p21 圖 3-2 及 p22 第 3、4 行有關 1951 年 2 次地震的位置描述與標示間有出入，舉例來說二者描述都位於東經 121.25 度，但在圖上卻不在同一條線上，位置描述也與氣象局資料（23.10/121.225 及 23.275/121.350）不同，請確認後修正。	答：已修正。
4. p23 倒數第 2 行「都巒山層」應為「鑾」、「番薯寮層」應為「蕃薯寮層」，請修正。	答：已修正。
5. p24 圖 3-3 圖說「修改至臺灣地質圖」應為「自」，請修正。	答：已修正。
6. p27 第 5 行「都巒山層」應為「鑾」;「利吉混合層」在地質上並無「利吉混合層」之名詞，有學者用「利吉混同層」，但引用的地質圖用「利吉層」，因此建議改用「利吉層」。	答：已修正。
7. p43 第 2 段描述 2009 年 11 月的訊號變化，提及 2 段	答：根據長期觀察結果，大平地站的

氡氣異常的變化，第一段 10/26-11/3，地震發生在 11/5；第 2 段 11/3-11/23，地震發生在 11/15 及 11/22，訊號變化的特徵與地震發生的時間點有差異，究竟是訊號下降至最低穩定後地震才會發生？還是訊號下降過程中地震也可能發生？	氡氣震前反應是：氡氣上升再下降至最低點後發生地震，也有可能在氡氣濃度下降過程中發生地震。
8. p63 文字中敘述先提到圖 4-32 至圖 4-35，後提到圖 4-17 至圖 4-31，圖號排列建議依照先後排列。P143 也有類似圖號編排問題。	答：遵照辦理。
9. p64 雲林古坑站在 6 月降雨後產生傾斜，已覆蓋水泥處理，站體是否已穩定？另 p143 蘇澳站也因淹水問題導致地基裸露，後續是否可持續運作？若影響觀測工作，則必須及早尋覓適當站址。	答：本年度有些測站有些硬體問題而影響觀測結果，已將其評估與處理建議事項列於報告之結論與建議中。
10. p204 本年度在米崙地區的已設立新的觀測站，最後一行「近期將從這些候選位置，擇一最合適之地點來設置新的土壤氣體觀測站」，請修正相關敘述。	答：已修正。
11. p252「ML」應為「M_L」，請修正。	答：已修正。
12. p273-p275 表 6-2 與表 6-3 中 D/R＞2 之意義在 P295 才說明，請在表中加以簡單說明或附註參見哪一段說明文字，以利閱讀。	答：遵照辦理。
13. P295 列出應變影響半徑的關係式，此關係式是如何得到？選取 D/R＞2 當作篩選條件又是如何決定的？建議加以說明。	答：應變影響半徑的關係式來源及說明，於 2-5 章節有詳細說明。D/R>2 之篩選說明遵照辦理加於報告中。
14. p299 表 6-4 列出本年度受地震影響的的地下水位觀測，其中有一欄為震度，因震度會隨觀測站不同而改變，此處之震度是指何處觀測之震度？	答：已修正。
15. p309 第 6 行「此後開始以大約 9 pCi/L 的速率上升」，但 9pCi/L 是濃度單位而非速率單位，是否須加入單位時間來表示？p311 有關二氧化碳濃度變化速率描述亦有相同問題，請一併修正。	答：已修正。
16. p315 第 4 段第 3 行「中興站除了明顯水位下降的同震變化以外，在地震發生前 13 天出現異常水位變化趨勢」，應為「太興站」，請修正。	答：已修正
17. p324 第 8-3 節討論個觀測站之比較，8-3-1 新竹網列出 4 起較大地震同時造成氣體與地下水壓的變化，8-3-2 嘉義網列出 5 起較大地震，建議在圖 8-12 及圖 8-13 標示出這幾起地震。	答：遵照辦理。
18. 目前每週皆會傳送初步分析研判，是否能計算一下發現相關異常反應與實際發生地震事件間的比率如	答：遵照辦理。異常反應與地震事件比率的討論詳見節 4-9。

何？	

附錄 3 水氡監測分析方法

A 地下水水氡量測

A-1 地下水水氡現地採樣方法

地下水水氡採樣時應避免氡氣在採樣過程中自地下水中逸散,造成分析濃度偏低的誤差。地下水水氡標準採樣步驟如下：

(A) 以抽水馬達洗井，抽出水體積高於三倍井體積，再將地下水裝入 40 mL 的採樣瓶中。

(B) 將裝滿地下水樣的採樣瓶以鐵氟龍瓶蓋封好。

(C) 上下翻動採樣瓶，確保採樣瓶內沒有氣泡。

(D) 若有氣泡產生，則須重新採樣。

(E) 確實記錄採樣日期及時間（供核衰變校正用）。

(F) 採樣後，在 4 天內運送回實驗室並完成分析。

A-2 地下水水氡分析原理

氡的分析使用液態閃爍計數器（Liquid Scintillation Counter）。液態閃爍計數法是現今被廣泛運用於量測及定量放射性程度的一種靈敏技術。其應用之基本原理為：用液體的化學介質將核子放射性的動能，轉變為光子的分析技術。當放射性粒子或高頻率光子撞擊閃爍物（Scintillators）時，一束螢光立即閃出。若將此閃光導至光電倍增管（Photomultiplier Tubes, PMT）之陰極面上，則每一粒子或光子的撞擊，在液態閃爍計數器上可記錄得一道脈衝。

A-3 地下水水氡實驗室分析方法

圖 A-1 為實驗室配製之水氡標準溶液於液態閃爍計數器中計數得到之水氡標準溶液典型圖譜。本研究室氡含量實驗室分析技術已達到美國環保署規範之品質保證及品質管制。品質保證及品質管制之標準為水氡背景計數率需小於 6 cpm,校正因子(CF)需大於等於 6 cpm/pCi。每一次進行氡分析計數時，必須同時計數水氡背景及水氡標準溶液各兩瓶。將其計數率取平均值，計算校正因子，做為該批地下水樣分析結果是否落在實驗室建立的品質保證及品質管制指標內。若計數出之水氡背景計數率及校正因子不在規定範圍內，則該批地下水樣之分析結果為無效。圖 A-2 為實驗室水氡背景計數率及校正因子自 92 年 2 月 18 日起之品保品管歷線圖,歷線圖顯示實驗室地下水樣的分析均符合品保品管要求。

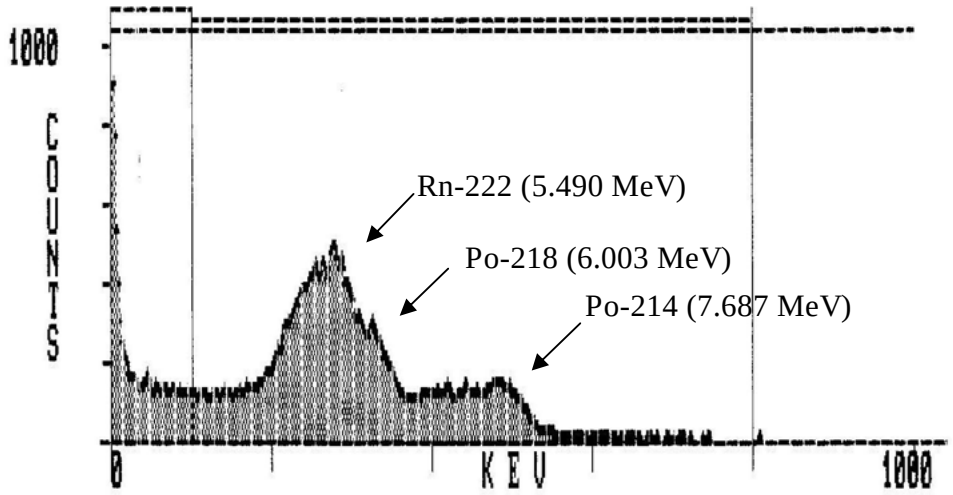


圖 A-1：水氡標準溶液液態閃爍計數之典型圖譜。

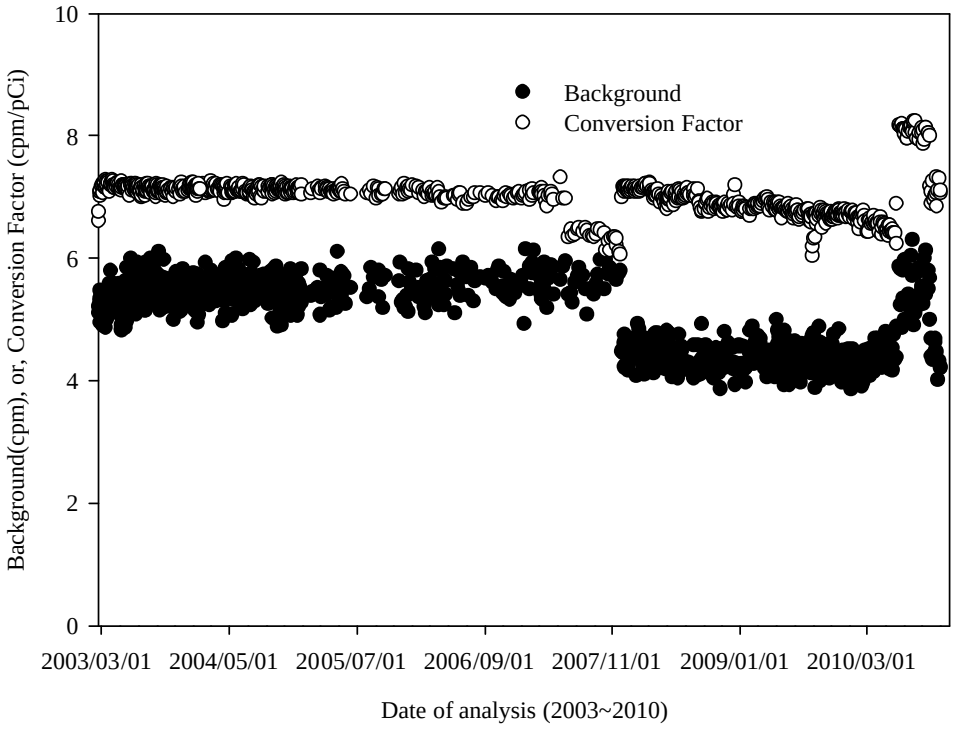


圖 A-2：水氡分析實驗室品保品管歷線圖（背景值及校正因子）。

B 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）組成分析

B-1 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）現地採樣方法

使用使用 GC-FID 及 GC-TCD，分析地下水中溶解氣體氮及甲烷等氣體，水樣採樣方法與水氡採樣方法相同。配合水氡濃度量測，執行地下水溶解氣體成分採樣分析，作為地殼活動更有利之佐證，探討地殼活動和水氡濃度異常變化之機制。方法如下：

(A) 現場以 40 ml 玻璃採樣瓶，裝滿樣本不留頂空，以鐵氟龍墊片為內襯蓋子鎖緊並倒置。

(B) 將樣本保持倒置並以 4 ºC 溫度保存，送回實驗室。

(C) 樣本回實驗室後，注入 5 ml 空氣，同時抽出 5 ml 樣本，製造採樣瓶中 5 ml 頂空。

(D) 將含有 5 ml 頂空樣本保持倒置，至於 27 ºC 振盪器中，30 分。

(E) 以氣密針由頂空氣體中抽取 0.5 ml 樣本，使用 GC-FID 及 GC-TCD 分析甲烷及氮氣。

期望能配合水氡濃度量測，執行地下水溶解氣體成分採樣分析，作為地殼活動更有利之佐證，探討地殼活動和水氡濃度異常變化之機制。

B-2 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）分析原理

利用氣體可分離的特性，分離液相中的氣體，使用氣相層析儀熱傳導偵測器(gas chromatography thermal conductivity detector，GC/TCD)分析樣本中成分，在不互溶的固定相與流動相間，依物種的極性、吸附能力、分配係數或差異，所造成的不同滯留時間或不同流速作為分離的依據，由層析管柱之間滯留時間不同而進行分離，進行氣體監測。

B-3 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）分析方法

(1) 氣相層析儀：熱傳導偵測器（ GC-TCD ）

(A) 儀器設備：

(a) 氣相層析儀：Shimadzu GC-14B

(b) 偵測器：中國層析China Chromatography thermal conductivity detector , TCD。

(c) 分離管柱（column）：packing column , molecular sieve 5A trap, 50μm Film,

30 m Length , 0.53 mm ID 。

(d) 積分儀（integrator）：Scientific Information Service Corporation Inc.3.1 integrator。

(e) 載氣：氦氣（ He）, 99.99 %。

(B) 測定物種：CH_4、N_2。

(C) 操作條件：

(a) 載氣：He , 40 mL/min for column，

(b) 爐體溫度（oven temperature）：313 K (40 ℃) 恆溫，

(c) 注射口溫度：313 K (40 ℃)，

(d) 偵測器溫度（detector temperature）：40 (40 ℃)，

(e) 熱阻絲電流值：60 mA，

(f) 樣品注射量：250 μL。

(D) 操作步驟：

開機前：

(a) 將TCD 之Current、Oven 開關設定在off。

(b) 調整或檢查carrier gas 的鋼瓶筒外壓為60 psi。

(c) 以測漏液（liquid leak detector）檢查columns 是否有漏氣。

(d) 打開Oven，設定溫度：Inj. 313 K (40 ℃) , Oven 313 K (40 ℃) , Det. 313 K (40 ℃)。

(e) 待溫度達設定溫度後，調整或檢查carrier gas流量均為40 mL/min。

開機後：

(a) 打開TCD 之Current 開關，電流調至60 mA。

(b) 待基準線（baseline）達穩定後即可注射樣品。

調理（conditioning）：

(c) 關TCD 之Current 開關，更換墊片（septum）（視需要而定）。

(d) 設定溫度：Inj. 313 K (40 ℃) , Oven 313 K (40 ℃) , Det. 313 K (40 ℃)。

(2) 氣相層析儀：火焰離子偵測器（GC-FID）

(A) 儀器設備：

(a) 氣相層析儀：Shimadzu GC-14B。

(b) 偵測器：flame ionization detector , FID。

(c) 分離管柱：packing column, DB5 ,25μm Film, 30 m Length , 0.53 mm ID。

(d) 積分儀：Scientific Information Service Corporation Inc.3.1 integrator。

(e) 使用氣體：

氮氣（N_2）：高純度氮氣99.99 %。

氫氣（H_2）：99.9 %。

空氣（air）：壓縮空氣。

(B) 測定物種：CH_4

(C) 操作條件：

(a) 載氣：N_2 , 25 mL/min。

(b) 輔助氣體（make-up gas）：N_2 , 25 mL/min。

(c) 爐體溫度：373 K (100 ℃) 恆溫。

(d) 注射口溫度：493 K (220 ℃)。

(e) 偵測器溫度：523 K (250 ℃)。

(f) 樣品注射量：500 μL。

(D) 操作步驟

(a) 調整或檢查載氣的鋼瓶筒外壓為60 psi，空氣的鋼瓶筒外壓為2.5kg/cm^2，氫氣的鋼瓶筒外壓為1.5 kg/ cm^2。

(b) 以測漏液檢查column 是否漏氣。

(c) 設定溫度：Inj. 493 K (220 ℃)，Oven 溫度373 K (100 ℃)，Det. 523 K (250 ℃)。

(d) 調整或檢查載氣的流量為25 mL/min，輔助氣體的流量為25mL/min。

(e) 依序開啟空氣、氫氣的旋鈕，點火。

(f) 待訊號值達一穩定狀態後即可注射樣品。

調理（conditioning）:

(g) 依序關氫氣、空氣旋鈕開關及鋼瓶開關。

(h) 更換墊片（ 視需要而定 ）。

(i) 設定溫度：Inj. 493 K (220 ℃)，Oven 373 K (100 ℃)，Det. 523 K (250 ℃)。

B-4 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）檢量線之製作

(1) 氣體標準品

(A) 氮氣 N_2：氮氣65 %。

(B) 甲烷 CH_4：35 %。

(2) 以氣針抽取適量之不同體積的氣體標準品，進行GC 分析，可得一注入體積對積分面積之關係圖。利用最小平方法，可求得注入體積對積分面積之直線方程式。

(3) 當待測樣品以一定注射量V'（μL）注射入GC 分析後，經積分儀可得待測波峰之積分面積。將此面積值帶入上述檢量線中，可求得比對之注射量V（μL）。

則待測樣品濃度值C 可以下式求得： $C = (V / V') \times Cs$

B-5 品保與品管(QA/QC)

(1) 檢量線

檢量線由6 個不同濃度值所建立，各待測化合物之檢量線相關係數(R平方值)均須大於0.995 以上，本實驗皆符合此標準，如圖B-1及圖B-2所示分別為N_2 及CH_4的各化合物檢量線。

(2) 空白分析

空白分析是以不含待測物之氦氣，依照完整分析步驟來進行檢測，空白分析之要求在每一批次或每10 個樣品進行分析一次，且空白值須低於方法偵測極限之二倍。

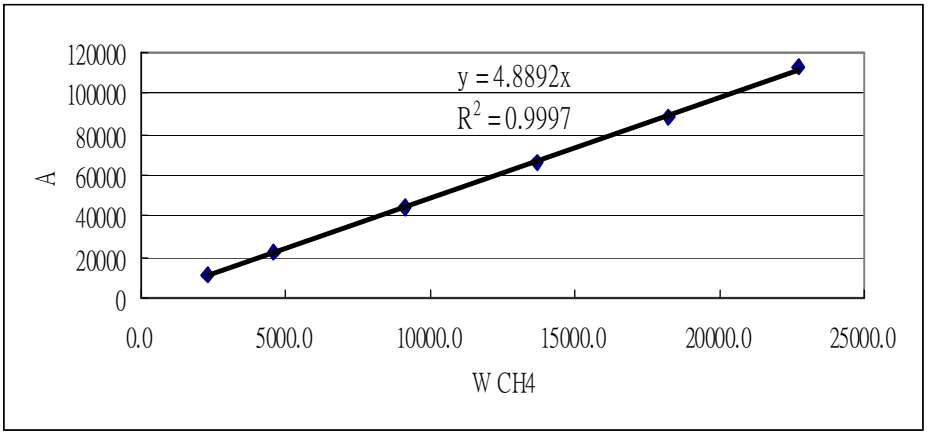


圖 B-1：甲烷（CH_4）檢量線。

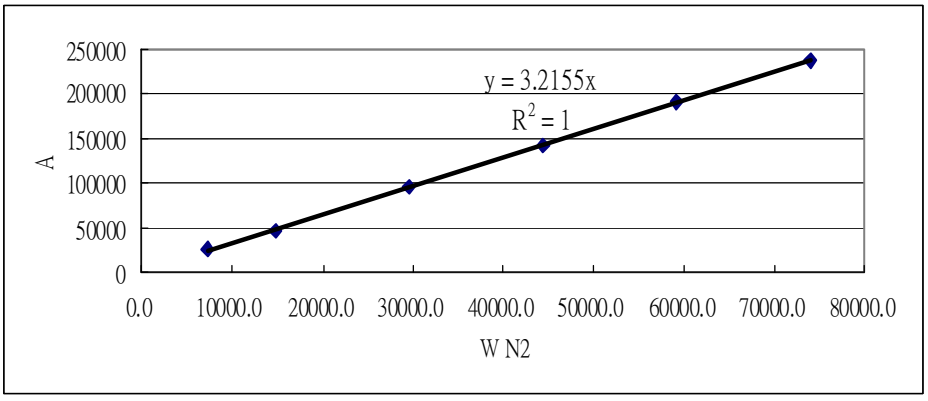


圖 B-2：氮（N_2）檢量線。

(3) 重複分析

重複分析是針對同樣之樣品，以同樣之分析步驟進行三次以上之檢測，藉以瞭解實驗過程之誤差大小，本實驗要求在每一批次或每10 個樣品進行分析一次，且相對誤差須控制在± 20 %以內，實驗結果皆符合此要求。

(4) 樣品

(A) 氮氣：每一組樣品進行三重複分析，所得三重複數據平均並得到標準差，僅取標準差值小於20 %之數據。

(B) 甲烷：每一組樣品進行三重複分析，所得三重複數據平均並得到標準差，僅取標準差值小於12 %之數據。

C 地下水水位監測方法

C-1 地下水位監測工作

使用 Level Troll 自動水位記錄儀，在安通溫泉區增加地下水水位變化監測，同時因安通溫泉區每日皆有溫泉井進行抽水生產工作，挑選適當資料點並以 Jacob 直線法分析抽水試驗監測結果，探討地殼應變與水位變化及含水層水力參數（導水係數及儲水係數）之相關性。安通站地下水水氡及溶解氣體監測井為自流井，不適合執行地下水位監測，因此選擇吉祥站監測地下水位。

C-2 抽水試驗分析方法

本研究是假設安通溫泉區地下含水層為均質及等向含水層，通常執行抽水試驗分析時可採用 Theis 標準曲線比對法（Theis, 1935）及 Jacob 直線法（Cooper and Jacob, 1946 ; Jacob, 1963）。本研究考慮數據龐大，在此選擇 Jacob 直線法，Jacob 直線法處理較為便利。

抽水試驗分析中，等向含水層之水位分佈狀況可由下式 C-1 表示（Theis, 1935）：

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial s}{\partial r} = \frac{S}{T}\frac{\partial s}{\partial t} \qquad \text{C-1}$$

其中：

s：地下水水位下降量(m)

r：抽水井至觀測點之距離(m)

T：導水係數(m^2/min)

S：儲水係數

t：抽水延時(min)

Theis 在 1935 年發展出未穩定狀態之解為：

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \qquad \text{C-2}$$

其中：

s：地下水水位下降量(m)

Q：抽水率(m^3/min)

T：導水係數(m^2/min)

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \qquad \text{C-3}$$

其中：

r：抽水井至觀測點之距離(m)

S：儲水係數

t：抽水延時(min)

其中：

$W(u)=\int_u^{\infty} \frac{e^{-y}\, dy}{y}$ ，稱為井函數(Well Function)。

由 C-2 及 C-3 式知道，W(u)及 1/u 在雙對樹座標做圖所得曲線之形狀必定與 s 及 t 在相同大小之雙對數座標圖所得曲線之形狀相同。由此二曲線疊合良好的圖上，可以訂出疊合點（W(u), s）及（1/u, t）。由疊合點 W(u)及 s 的值，可藉 C-2 式求出 T 值；再由疊合點 1/u 及 t 之值，可藉由 C-3 式求出 S 值。

Theis 公式有許多假設，分述如下：

（1） 含水層為均質（Homogenous）及等向性（Isotropic）。

（2） 含水層為挾限（Confined），且含水層等厚。

（3） 含水層的流動為未穩定流（Unsteady State）。

（4） 含水層水位若下降，則地層儲存之水立即釋出，出水反應瞬間完成。

（5） 抽水井之井徑很小，亦即抽水井井內所儲存之水量可以忽略。

（6） 地下水水平流向抽水井。

（7） 含水層為水平（Horizontal）並寬廣無邊界（Infinite Areal Extent）。

在抽水試驗中，挾限（Confined）含水層保持充滿水，飽和含水層厚度不變。而在未挾限含水層（Unconfined Aquifer）若觀測景水位下降量(s)小於原來飽和厚度(m)之 25%，可以使用水位下降的校正式 $s' = s - \frac{s^2}{2m}$（Jacob, 1963），然後再使用 Theis 的標準曲線法來估算地下含水層的 T 及 S 值。此即為 Thies 標準曲線比對法。Cooper 和 Jacob 發現當抽水時間（t）很長或是觀測井與抽水井之距離（r）很短，在 u 值小於 0.01 時，Theis 解 C-2 式可以和下式 C-4 相似（Cooper and Jacob, 1946）：

$$s = \frac{Q}{4\pi T}\left(-0.5772 - \ln u\right) \qquad \text{C-4}$$

C-4 式又可以改寫成

$$s = \frac{2.30\,Q}{4\,\pi\,T}\log\frac{2.25\,T\,t}{r^2\,S} \qquad \text{C-5}$$

其中：

s：地下水水位下降量(m)

r：抽水井至觀測點之距離(m)

T：導水係數(m^2/min)

S：儲水係數

t：抽水延時(min)

Q：抽水率(m^3/min)

由 C-4 式可知，若使用 log t 與 s 做圖，則可以得到一條直線。將此直線外插至 s = 0，在時間軸可得到一個截距 t_0。由 t_0 及此直線之斜率可以求出函水層之儲水係數 S 及導水係數 T。此即為 Jacob 直線法（Cooper and Jacob, 1946）。相同的 Jacob 直線法的基本假設除了 u 必須小於 0.01 外，於其餘均與 Thies 標準曲線比對法之假設相同。

所得吉祥 B 井內安置之 Level Troll 500 型自動水位紀錄器紀錄資料執行 Jacob 直線分析，由方程式 C-5 可做出 X 軸對應 Y 軸之平面座標圖，X 軸為 log t，其中 t 是指吉祥 A 井抽水時間（分鐘），Y 軸是吉祥 B 井水位隨時間變化洩降 s（米 m）深度。即 log t 與 s 做圖，可得一直線：

$$s = a * (\log t) + b \qquad \text{C-6}$$

其中 a 是直線斜率，b 是截距。

假設 s = 0，由方程式 C-6 可得：

$$\log t = -(b/a) \qquad \text{C-7}$$

可修改成：

$$t = 10^{-(b/a)} \qquad \text{C-8}$$

此時所得到之 t 視為 t_0。

同時由方程式 C-6 得直線斜率 a 帶入方程式 C-5 可得：

$$a = \frac{2.30\,Q}{4\,\pi\,T} \qquad \text{C-9}$$

由已知的抽水流量 Q 可求得導水係數 T。

又 s = 0 時，方程式 C-5 中可得：

$$\log \frac{2.25\,T\,t}{r^2\,S} = 0 \qquad \text{C-10}$$

可修改成：

$$\frac{2.25\,T\,t_0}{r^2\,S} = 1 \qquad \text{C-11}$$

帶入已知的井距 r 及所求得的 t_0 和導水係數 T，可求得儲水係數 S。

Cooper 和 Jacob 發現當抽水時間(t)很長或是觀測井與抽水井之距離(r)很短，在 u 值小於 0.01 時，Theis 解 C-2 式可以和 C-4 相似（Cooper and Jacob, 1946），因此由 C-3 式可得到一針對抽水試驗所需時間之判別式 C-12：

$$t_i = \frac{r^2\,S}{4T\,u} \qquad \text{C-12}$$

由方程式 C-12 可求得抽水延時 t_i，即所得數據再做圖時，所使用分析數據時間點須大於 t_i。在此可先由 Jacob 直線分析法求得適當之導水係數 T 及儲水係數 S，再帶入抽水延時 t_i 判別式後，由所得結果至 Jacob 直線圖，適當調整所使用分析數據時間點。

D 地下水溫度監測方法

地下水溫度變化式使用 PT100Ω 為電阻式溫度計，原理為白金金屬導體的電阻隨溫度的升高而增加；隨溫度之降低而減少，測量此金屬導體之電阻值，即能間接求得其溫度。並使用 CR800 量測與控制資料儲存裝置(Measurement and control datalogger)，連接 PT100Ω 可長期記錄溫度變化並記憶在 CR800 記憶體中，紀錄完成後利用電腦直接將資料下載或者利用 GSM 傳輸器進行遠端傳輸。

D-1 地下水溫度分析原理

利用電阻溫度計搭配資料處理裝置以及井頭改良裝置，將電阻溫度計置入井內，並利用遠端傳輸裝置將溫度資料傳送回研究室。電阻溫度計原理是電阻隨溫度變化產生改變，利用已知電壓通過即可推算出對應溫度。每筆溫度資料點為溫度計每 10 秒鐘掃描 1 點，累積至 10 分鐘 (共 60 筆) 之溫度資料點平均後記錄。

D-2 地下水溫度分析方法

原始資料判讀分析後，進行三個階段的溫度資料點整理：

(1) 擷取抽水動作持續超過 2 小時的連續資料點。
(2) 將資料點平均，並取資料標準差。
(3) 以日為單位，取單日平均後的最高溫度點。

D-3 地下水溫度量測儀器資訊

(1) 白金電阻溫度計量測範圍 0-100℃，校正後誤差為 0.1℃。
(2) 資料處理器 CR-800，資料容量 4MB，輸入電壓 12V。
(3) 電源供應以及變壓器，輸入 110V AC，輸出 12V AC。
(3) 訊號轉換裝置 TR-3，輸出電流 4-20 mA。
(4) 井頭改良裝置為 S-306 不繡鋼打造。。
(5) 井內溫度量測管柱為不鏽鋼管串接。

D-4 溫度計校正 QAQC

利用工研院校正後的白金電阻溫度計作為研究室標準，於研究室內校正其餘未校正之白金電阻溫度計。研究室校正方法如下：

(1) 將標準電阻溫度計與待校正電阻溫度計置入恆溫震盪槽內，並將槽的溫度設定為 60℃。

(2) 放置 4 小時，並接收數據進行整理。

(3) 將數據做比對，進行參數調整。

(4) 放置一天，並關掉恆溫震盪儀之加熱，使水溫回到室溫。

(5) 觀察溫度變化圖。

(6) 校正完成並紀錄參數。

E 地下水溶解氣體（二氧化碳）分析方法

E-1 地下水溶解氣體（二氧化碳）採樣方法

本實驗所觀測之樣品是從墾丁社頂的自湧泉採集而得。因水體表面常因氣體分壓的改變而吸收或放出二氧化碳以便與大氣保持平衡（Sawyer *et al*., 1994），故採取水樣時，須將 PE 瓶沈入採集處之水面以下，並使容器內水滿溢以除去與空氣接觸過的水。取樣後在水中將蓋子鎖緊，避免產生氣泡，再以低溫宅急便寄出。

樣品曝露於空氣中樣品可能會產生微生物作用，失去或得到 CO_2 或其他氣體，故樣品之分析應儘可能在一日內完成，絕不可超過 48 小時。若有生物性作用影響的疑慮時，應在 6 小時內分析。同時應避免樣品攪動、搖動及在空氣中曝露過長。

E-2 地下水溶解氣體（二氧化碳）滴定法

本方法參考 Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater 2310B. Titration Method 所公布之水中二氧化碳滴定法進行本實驗，此方法之各項操作流程分述如下：

(1) 實驗器材

(A) 酸鹼值測定儀(pH meter)：使用玻璃電極可讀至 0.05 pH 單位之 pH meter執行校正及量測。特別注意溫度補償及電極之維護。如果未附溫度自動補償者，則滴定溫度須控制在 25 ± 5 ℃ 。

(B) 電磁攪拌器。

(C) 定量球形吸管：250 mL。

(D) 純水製造機。

(E) 定量瓶：200 mL及1000 mL。

(F) 錐型瓶：大小及型式應依據所使用電極及樣品量之大小，保持樣品以上的空間愈小愈好，但其空間須允許滴定操作及電極感測部分可全部浸入。本實驗使用之錐型瓶容量為250 mL。

(G) 移液管。

(H) 玻璃pipet：25 mL。

(I) 分析天平：可精秤至0.1 mg。

(J) 聚乙烯瓶：1 L。

(2) 實驗試劑

(A) 試劑水：不含二氧化碳的去離子蒸餾水（經煮沸 15 分鐘且已冷卻至室溫），

其最終之 pH 值應大於或等於 6.0 且其導電度應在 2 μmhos /cm 以下。用以製備空白樣品、儲備或標準溶液、標定及所有稀釋之用水。

(B) potassium hydrogen phthalate solution（鄰苯二甲酸氫鉀溶液），0.05 N用於標定氫氧化鈉。

(C) standard sodium hydroxide titrant (標準氫氧化鈉溶液)：0.1 N

(D) standard sodium hydroxide titrant (標準氫氧化鈉溶液)：0.02 N

(E) pH 8.3 指示劑溶液：酚酞

(3) 實驗流程

準備樣品及 pH meter,並選擇適當的樣品量及適當的當量濃度標準氫氧化鈉溶液。對於樣品的酸鹼度值小於 1000 mg $CaCO_3$ / L，選擇一體積小於 50 mg $CaCO_3$ 當量鹼度及 0.02 N 標準硫酸或鹽酸滴定液。

(A) 本實驗使用之 pH meter可自動補償溫度，故無需將樣品回溫至室溫。

(B) 使用球形吸管吸取250 mL的水樣置入250 mL之三角錐型瓶內(吸管尖端靠近瓶底再排出樣品)。

(C) 滴定步驟：加入0.2 mL的酚酞指示劑至250 mL的錐型瓶內，用玻璃pipet吸取0.02 N之氫氧化鈉溶液滴定瓶內水樣直到pH meter顯示讀值為8.3，持續30秒不變即為終點，記錄所消耗的氫氧化鈉毫升數(A)。

(D) 在每一次的添加之後以磁性攪拌子緩和攪拌使溶液完全混合，避免濺起。

(4) 結果處理

二氧化碳濃度計算－

$$CO_2\ (mg/L) = \frac{A \times N \times 44000}{V}$$

A：滴定使用之標準氫氧化鈉體積(mL)

N：標準氫氧化鈉的當量濃度(N)

V：樣品體積(mL)

附錄 4 與本計畫相關之研究成果目錄

期刊論文

(1) Chang, P.Y., Yang, T.F., Chyi, L.L. and Hong, W.L. (2010) An observation of the electrical resistivity variation before and after the Pingtung Earthqauke in the Wushanting mud volcano area in southwestern Taiwan. Journal of *Environmental and Engineering Geophysics*, 15, 219-213. (SCI)

(2) Chyi, L.L., Quick, T.J., Yang, T.F. and Chen, C-H. (2010) The origin and detection of spike-like anomalies in soil gas radon time series. *Geochemical Journa*l (in press). (SCI)

(3) Chyi, L.L., Quick, T.J., Yang, T.F. and Chen, C-H. (2010) The experimental investigation of soil gas radon migration mechanisms and its implication in earthquake forecast. *Geofluids*,10, 556-563.

(4) Hong, W.L., Yang, T.F., Walia, V., Lin, S.J., Fu, C.C., Chen, Y.G., Sano, Y., Chen, C-H. and Wen, K.L. (2010) Nitrogen as the carrier gas for helium emission along an active fault in NW Taiwan. *Applied Geochemistry*, 25, 593-601. (SCI)

(5) Kuo, T., Cheng, W., Lin, C., Fan, K., Chang, G. and Yang, T. (2010) Simultaneous declines in radon and methane precursory to 2008 Mw 5.0 Antung earthquake: corroboration of in-situ volatilization. *Natural Hazards*, 54, 367-372.

(6) Kuo, T., Lin, C., Chang, C., Fan, K., Cheng, W. and Lewis, C. (2010) Estimation of aseismic crustal-strain using radon precursors of the 2003 M 6.8, 2006 M 6.1, and 2008 M 5.0 earthquakes in eastern Taiwan. *Natural Hazards*, 53, 219-228.

(7) Kuo, T., Su, C., Chang, C., Lin, C., Cheng, W., Liang, H., Lewis, C. and Chiang, C. (2010) Application of recurrent radon precursors for forecasting large earthquakes (Mw > 6.0) near Antung, Taiwan. *Radiation Measurements*, 45, 1049-1054. (SCI)

(8) Walia, V., Lin, S.J., Fu, C.C., Yang, T.F., Wen, K.L. and Chen, C-H. (2010) Soil-gas monitoring: A tool for fault delineation studies along Hsinhua Fault (Tainan), Southern Taiwan. *Applied Geochemistry*, 25, 602-607. (SCI)

(9) Fu, C.C., Yang, T.F., Walia, V., Liu, T.K., Lin, S.J., Chen, C-H. and Hou, C.S. (2009) Variations of soil-gas composition around the active Chihshang Fault in a plate suture zone, eastern Taiwan. *Radiation Measurements*, 44, 940-944. (SCI)

(10) Kuo, T., Lin, C., Fan, K., Chang, G., Lewis, C., Han,Y., Wu, Y., Chen, W. and Tsai, C. (2009) Radon anomalies precursory to the 2003 Mw=6.8 Chengkung and 2006 Mw=6.1 Taitung earthquakes in Taiwan. *Radiation Measurements*, 44, 295-299. (SCI)

(11) Walia, V., Yang, T.F., Hong, W.L., Lin, S.J., Fu, C.C., Wen, K.L. and Chen, C-H. (2009) Geochemical variation of soil-gas composition for fault trace and earthquake precursory studies along the Hsincheng Fault in NW Taiwan. *Applied Radiation and Isotopes*, 67, 1855-1863. (SCI)

(12) Walia, V., Lin, S.J., Hong, W.L., Fu, C.C., Yang, T.F., Wen, K.L. and Chen, C-H. (2009) Continuous temporal soil-gas composition variations for earthquake precursory studies along Hsincheng and Hsinhua faults in Taiwan. *Radiation Measurements*, 44, 934-939. (SCI)

(13) Fu, C.C., Yang, T.F., Du, J., Walia, V., Chen, Y.G., Liu, T.K. and Chen, C-H. (2008) Variations of helium and radon concentrations in soil gases from an active fault zone in southern Taiwan. *Radiation Measurements,* 43, S348-S352. (SCI)

(14) Yang, T.F. (2008) Recent progress in the application of gas geochemistry: examples from Taiwan and the 9th International Gas Geochemistry Conference. *Geofluids*, 8, 219-229. (SCI)

(15) Kuochen, H., Wu, Y.M., Chen, Y.G. and Chen, R.Y. (2007) Mw6.8 Chengkung earthquake and its associated seismogenic structures. *Journal of Asian Earth Sciences, 31, 332–339.* (SCI)

(16) Kuo, M.C.T., Fan, K., Kuochen, H. and Chen, W. (2006) A mechanism for anomalous decline in radon precursory to an earthquake. *Ground Water*, 44, 642–647. (SCI)

(17) Kuo, T., Fan, K., Kuochen, H., Han, Y., Chu, H. and Lee, Y. (2006) Anomalous decrease in groundwater radon before the Taiwan M6.8 Chengkung earthquake. *Journal of Environmental Radioactivity*, 88, 101-106. (SCI)

(18) Song, S.R., Ku, W.Y., Chen, Y.L., Liu, C.M., Chan, P.S., Chen, Y.G., Yang, T.F., Chen, C-H., Liu, T.K. and Lee, M. (2006) Hydrogeochemical anomalies in the springs of the Chiayi area in west-central Taiwan as likely precursors to earthquakes. *Pure and Applied Geophysics*, 163(4), 675-691. (SCI)

(19) Chyi, L.L., Quick, T.J., Yang, T.F. and Chen, C-H. (2005) Soil gas radon spectra and earthquakes. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 16(4), 763-774. (SCI)

(20) Fu, C.C., Yang, T.F., Walia, V. and Chen, C-H. (2005) Reconnaissance of soil gas composition over the buried fault and fracture zone in southern Taiwan. *Geochemical Journal*, 39, 427-439. (SCI)

(21) Song, S.R., Chen, Y.L., Liu, C.M., Ku, W.Y., Chen, H.F., Liu, Y.J., Kuo, L.W., Yang, T.F., Chen, C-H., Liu, T.K. and Lee, M. (2005) Hydrochemical changes in spring waters in Taiwan: Implications for evaluating sites for earthquake precursory monitoring. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 16(4), 745-762. (SCI)

(22) Walia, V., Su, T.C., Fu, C.C. and Yang, T.F. (2005) Spatial variations of radon and helium concentrations in soil gas across the Shan-Chiao fault, Northern Taiwan. *Radiation Measurements,* 40, 513-516. (SCI)

(23) Yang, T.F., Walia, V., Chyi, L.L., Fu, C.C., Chen, C-H., Liu, T.K., Song, S.R., Lee, C.Y. and Lee, M. (2005) Variations of soil radon and thoron concentrations in a fault zone and prospective earthquakes in SW Taiwan. *Radiation Measurements*, 40, 496-502. (SCI)

(24) Chen, C-H., Yang, T.F., Song, S.R., Liu, T.K. and Lee, C.Y. (2004) Environmental geochemistry with respect to the fault activities during

2000-2002 in Chiayi-Tainan and Hsinchu-Miaoli areas, western Taiwan. *Bulletin of the Central Geological Survey*, 17, 129-174. (in Chinese)

(25) Fu, C.C., Yang, T.F. and Chen, C-H. (2004) Recognition of buried fault and/or fracture by soil gas investigations: A case study on the Chao-chou Fault. *Special publication of the Central Geological Survey*, 15, 147-160. (in Chinese)

(26) Song, S.R., Ku, W.Y., Chen, Y.L., Lin, Y.C., Liu, C.M, Kuo, L.W., Yang, T.F. and Lo, H.J. (2003) Groundwater chemical anomaly before and after the Chi-Chi earthquake in Taiwan. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences,* 14(3), 311-320. (SCI)

(27) Yang, T.F., Chou, C.Y., Chen, C-H., Chyi, L.L. and Jiang, J.H. (2003) Exhalation of radon and its carrier gases in SW Taiwan. *Radiation Measurements*, 36, 425-429. (SCI)

(28) Chyi, L.L., Chou, C.Y., Yang, T.F. and Chen, C-H. (2002) Automated radon monitoring of seismicity in a fault zone. *Geofisica Internacional*, 41(4), 507-511.

(29) Chyi, L.L., Chou, C.Y., Yang, T.F. and Chen, C-H. (2001) Continuous radon measurements in faults and earthquake precursor pattern recognition. *Western Pacific Earth Sciences*, 1(2), 227-246.

專書論文

(1) Yang, T.F., Hilton, D.R., Italiano, F. and Heinicke, J. (2010) Applications of fluid and gas geochemistry on geohazards investigation. *Applied Geochemistry*, 25.

(2) Chyi, L.L., Quick, T.J., Yang, F.T., and Chen, C-H. (2007) Soil radon time series and earthquake forecast. In: Sen, P. and Das, N.K. (eds.) *Geochemical precursors for earthquakes*. Macmillan India Ltd., p. 38-51.

(3) Yang, T.F., Chen, C-H. and Liu, T.K. (2005) Special issue on Geochemical Investigations on the Geohazards. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 16(4). (SCI)

(4) 陳正宏、楊燦堯、宋聖榮、劉聰桂（2005）地震化學。九二一集集大地震（王錦華等編），行政院國家科學委員會，548-569頁。

學術報告

(1) 楊燦堯、劉聰桂、郭明錦（2009）斷層活動性觀測研究-第二階段斷層活動性之地球化學觀測與研究(1/4)。經濟部中央地質調查所報告第98-08號，共291頁。

(2) 楊燦堯、劉聰桂、陳正宏、吳逸民（2008）斷層活動性之地球化學觀測與研究(4/4)。經濟部中央地質調查所報告第97-07號，共263頁。

(3) 楊燦堯、劉聰桂、陳正宏、吳逸民（2007）斷層活動性之地球化學觀測與研究(3/4)。經濟部中央地質調查所報告第96-15號，共161頁。

(4) 林世榮、瓦里亞、楊燦堯、傅慶州（2006）地震前兆研究（地球化學觀測）。國研科技，第10期，46-52頁。

(5) 楊燦堯、劉聰桂、陳正宏、吳逸民(2006)斷層活動性之地球化學觀測與研究(2/4)。經濟部中央地質調查所報告第95-15號，共147頁。

(6) 楊燦堯、劉聰桂、陳正宏、吳逸民(2005)斷層活動性之地球化學觀測與研究(1/4)。經濟部中央地質調查所報告第94-15號，共506頁。

學術會議發表

(1) Chiu, C.M., Yang, T.F., Lin, S.J., Fu, C.C. and Walia, V. (2010) Soil gas survey in the Ilan Plain, NE Taiwan and its tectonic implications. Abstract for the General Assembly 2010 of European Geosciences Union, Vienna, Austria, May 2-7.

(2) Fu, C.C., Yang, T.F., Chen, C.H., Wu, Y.M., Walia, V., Liu, T.K. and Hou, C.S. (2010) Soil gas anomalies in northern Taiwan and tectonic implications. Abstract for the the Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taiwan, June 22-25.

(3) Heinicke, J., Yang, T.F., Fu, C.C., Walia, V. and Liu, T.K. (2010) Indications of anomalous fluid emissions before seismic events at Chun-Lun (SW Taiwan). Abstract for the the Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taiwan, June 22-25.

(4) Lin, S.J., Walia, V., Yang, T.F. and Wen, K.L. (2010) Monitoring of Nanhua mud pool for tectonic activities in Tainan area of Taiwan. Abstract for the the Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taiwan, June 22-25.

(5) Walia, V., Yang, T.F., Fu, C.C., Lin, S.J., Wen, K.L. and Chen, C.H. (2010) Continuous soil-gas monitoring for earthquake surveillance and its tectonic implications in Taiwan. Abstract for the General Assembly 2010 of European Geosciences Union, Vienna, Austria, May 2-7.

(6) Yang, T.F., Chen, C.H., Fu, C.C., Liu, T.K., Walia, V and Hou, C.S. (2010) Identification of multiple gas components in SW Taiwan and its application for earthquake surveillance. Abstract for the the Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taiwan, June 22-25.

(7) Yang, T.F., Heinicke, Jens, Liu, T.K., Fu, C.C., Walia, V. and Hou, C.S. (2010) Precursory variations of gas flux and water level from an active mud volcano in SW Taiwan. Abstract for the General Assembly 2010 of European Geosciences Union, Vienna, Austria, May 2-7.

(8) Walia, V., Yang, T.F., Lin, S.J., Hong, W.L., Fu, C.C., Wen, K.L. and Chen, C-H. (2009) Geochemical variations of soil-gases as an investigating tool for the study of some fault traces in Taiwan. Abstract for the General Assembly 2009 of European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 19-24.

(9) Yang, T.F. (2009) Anomalous variations of gas compositions and helium isotopic rtios of gas samples before and after the 1999 Chi-Chi earthquake in SW Taiwan. Abstract for the workshop of Developments In Noble Gas Understanding and Expertise, Nancy, France, June 19-20.

(10) Yang, T.F. (2009) Recent monitoring results of gas compositions of fumarolic samples from Tatun volcanic area, northern Taiwan. Abstract for the APRU 5th

Research Symposium on Multi-Hazards around the Pacific Rim, Taipei, Taiwan, August 17-18.

(11) Yang, T.F., Walia, V., Liu, T.K., Wen, K.L., Chen, C-H. and Hou, C.S. (2009) Recent progress of the geochemical monitoring on the active faults in Taiwan since Chi-Chi earthquake. Extended abstract for the International Conference in Commemoration of 10th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake. Taipei, Taiwan, September 17-19.

(12) Yang, T.F., Liu, T.K. and Chen, C-H. (2009) Helium isotopic variations of gases in NW Taiwan and its correlation with earthquakes in 2000-2002. Abstract for the 10th International Conference on Gas Geochemistry. Cluj-Napoca, Romania, Sep. 14-21.

(13) Fu, C.C., Yang, T.F., Lee, J.C., Dong, J.J., Walia, V., Liu, T.K., Chen, C-H. and Hou, C.S. (2008) Variations of soil gases on the active Chihshang Fault in a plate suture zone, Eastern Taiwan. Abstract for the 24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Bologna, Italy, September 1-5.

(14) Walia, V., Lin, S.J., Hong, W.L., Fu, C.C., Yang, T.F., Wen, K.L. and Chen, C-H. (2008) Continuous temporal soil-gas composition variations for earthquake precursory studies along Hsincheng and Hsinhua faults in Taiwan. Abstract for the 24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Bologna, Italy, September 1-5.

(15) Yang, T.F., Fu, C.C., Wen, H.Y., Hong, W.L., Lin, S.J. and Walia, V. (2008) Soil radon flux in hydrothermal area of the Tatun Volcano Group, Northern Taiwan and its continuous monitoring results. Abstract for the 24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Bologna, Italy, September 1-5.

(16) Fu, C.C., Yang, T.F., Lee, J.C., Dong, J.J., Walia, V., Liu, T.K., Chen, C-H. and Hou, C.S. (2008) Variations of soil gases on the active Chihshang Fault in a plate suture zone, eastern Taiwan. Eos Trans. AGU, 89(53), Fall Meet. Suppl., Abstract T53D-1978.

(17) Hong, W.L., Yang, T.F., Fu, C.C., Chen, C-H., Walia, V., Lin, S.J. and Wen, K.L. (2007) Evidences support nitrogen as carrier gas of helium along Hsincheng Fault, NW Taiwan. Program Proceeding of the 9th International Conference on Gas Geochemistry, Taipei, October 1-8, p. 136-138.

(18) Walia, V., Lin, S.J., Wen, K.L., Yang, T.F., Fu, C.C. and Chen, C-H. (2007) Soil-gas monitoring: a tool for fault delineation studies along Hsinhua Fault (Tainan), southern Taiwan. Program Proceeding of the 9th International Conference on Gas Geochemistry, Taipei, October 1-8, p. 14.

(19) Yang, T.F., Song, S.R., Chen, Y.G., Chen, C-H. and Liu, T.K. (2006) Geochemical precursors of fluid samples before and after 1999 earthquakes swarms in SW Taiwan. Extended abstract for 100th Memorial Conference on the 1906 Meishan Earthquake, Chia-yi, Taiwan, March 16-18.

(20) Fu, C.C., Yang, T.F., Liu, T.K., Wu, Y.M., Chen, C-H., Kao, M.C. and Lee, M. (2006) Soil gas investigation on the Tapingdi Fault in northern Taiwan and monitoring results. Abstract for the Annual Meeting of Geol. Soc. China, May 18-20.

(21) Fu, C.C., Yang, T.F., Du, J., Walia, V., Liu, T.K. and Chen, C-H. (2006) Variations of helium and radon concentrations in soil gases from an active fault zone of NPUST campus in southern Taiwan. Abstract for the 23rd International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Beijing, China, September 11-15.

(22) Walia, V., Yang, T.F., Lin, S.J., Hong, W.L., Fu, C.C., Wen, K.L., and Chen, C-H. (2006) Geochemical variation of soil-gas composition for fault and earthquake precursory studies along Hsincheng fault in NW Taiwan. Abstract for the 23rd International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Beijing, China, September 11-15.

(23) Fu, C.C., Yang, T.F., Liu, T.K., Chen, C-H. and Lee, M. (2006) Soil gas investigation on the Tapingdi Fault in northern Taiwan and monitoring results. Abstract for the AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, Dec. 11-15.

(24) Fu, C.C., Yang, T.F., Walia, V. and Chen, C-H. (2005) Recognition of buried fault and/or fracture by soil gas method: an example in southern Taiwan. Abstract for the European Geosciences Union General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 24-29.

(25) Hong, W.L., Lin, S.J., Walia, V., Fu, C.C. and Yang, T.F. (2005) Soil gas variations across a neotectonic fault in Northern Taiwan. Abstract for the European Geosciences Union General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 24-29.

(26) Yang, T.F., Fu, C.C., Walia, V., Chen, C-H., Liu, T.K., Chyi, L.L., Song, S.R., Lee, C.Y. and Lee, M. (2005) Identification of multiple gas components in SW Taiwan and its application for earthquake surveillance. Abstract for the European Geosciences Union General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 24-29.

(27) Walia, V., Hong, W.L., Lin, S.J., Fu, C.C. and Yang, T.F. (2005) Soil gas variations: a tool for investigating a neotectonic fault in Hsinchu area, North Taiwan. Abstract for the 8th International Conference on Gas Geochemistry, Palermo & Milazzo, Sicily, Italy, October 2-8.