



計畫編號：101-5226904000-01-02

經濟部中央地質調查所
101年度委託專業服務計畫執行期末報告書

「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(4/4)」
(第四年度)

全程計畫：自98年5月至101年12月止

本年度計畫：自101年1月至101年12月止



委託機關：經濟部中央地質調查所

執行單位：國立臺灣大學

中華民國 101 年 12 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(4/4)」
(第四年度)

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、莊松棧、吳承穎、
林純玉、蘇建元、陳逸群、許逸惠、
王文良、鄭羽辰、梁卉昀、林雨璇、
王信堯

執行期限：101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

中華民國一〇一年十二月

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，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。

本計畫持續觀測既有的氣體觀測站，新竹大平地測站對於臺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、嘉義中崙站則對於臺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；臺東池上站之土壤氬氣氣體成份則與臺東及花蓮南部附近的地震活動有很顯著的關連性；花蓮美崙站因雨影響尚無顯著的濃度異常變化出現，現已遷新站至東華站繼續觀測。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。

本年度分析 2011 年 12 至 2012 年 11 月間地下水觀測井內之地下水壓變化，主要研究結果如下：(1) 台北觀測站對於東部與北部地震較為敏感，然而今年水位資料狀況較差，觀察出的異常反應也較往年減少。(2) 新竹地區觀測井，新樂站有較佳的地下水壓震前異常反應，震央大多分布於新竹地區、台灣東部地區以及一起台灣南部之地震（霧台地震）。(3) 嘉義地區震前水壓異常反應之地震，震央主要分布在台灣中南部以及東部外海。嘉義地區之觀測井中，目前僅沄水站順利運作，其他站點之水位計都已故障。(4) 兩種水位異常之自動判釋方法已開始運用於多數站點，對於受降雨影響者使用斜率法，未受降雨影響者使用 EMD 法分析。

2009 年 3 月至 2012 年 11 月計畫執行期間，花東縱谷南段未發生強震 ($M_w > 6.0$)，安通站監測井中地下水水氬及地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）濃度未觀測到異常之變化。墾丁公園社頂站在 2010 年 3 月 4 日 $M_L = 6.4$ 高雄甲仙地震、2012 年 2 月 26 日 $M_L = 6.4$ 屏東霧台地震及 2012 年 10 月 25 日 $M_L = 5.5$ 高雄地震來臨前，皆觀測到地下水水氬及地下水溶解氣體（二氧化碳）異常下降之現象。安通站及社頂站之地質條件（脆性含水層被延展性地層包圍）適合觀測地下水水氬濃度異常下降之地震前兆。持續在安通站及社頂站監測地下水水氬濃度，捕捉災害性地震之前兆。

將連續觀測資料利用不同的時序分析方法進行處理，如：經驗模態分解（EMD）或疊代式高斯平滑法（Iterative Gaussian Smoothing）處理之後，能夠初步濾除掉每日的週期性變化，進而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 Meilun station was affected significantly by rainfall and show unclear relation to seismic events. And Donghwa station has replaced Meilun station now. Besides, the local rainfall seems to affect the degassing-system of soil gas.

The groundwater pressure data from December 2011 to November 2012 was analyzed. The followings are the major results: (1) The monitoring stations in Taipei are sensitive to the earthquakes which occur in north and east Taiwan. However, because of some instrument problems, the data were not good enough to make full analysis. (2) In Hsinchu area, groundwater data from Shin-Le (SL) monitoring well show better anomalous pre-seismic variations. Those anomalies are related to the earthquakes which occur in Hsinchu area, eastern Taiwan and southern Taiwan (the Wu-tai earthquake). (3) Pre-seismic events recorded by monitoring wells in Chiayi area correlated with the earthquakes in central and southern Taiwan and offshore. Yunshui (YS) monitoring station was the only one station which working properly in Chiayi area. (4) Two water-level anomaly identifying method were applied to most water-level monitoring data. The one is called "slope method" which is suitable for the serious rainfall influenced stations. The other is "EMD method" which applied to the non-rainfall influenced stations.

During the period from March 2009 to November 2012, neither large earthquakes ($M_W > 6.0$) nor anomalous decreases of groundwater radon and dissolved gases (methane and nitrogen) were recorded near the Antung station. Anomalous declines in groundwater radon and dissolved gas (CO_2) were recorded at the Kenting station prior to March 4, 2010 $M_L = 6.4$ Chiahsien, February 26, 2012 $M_L = 6.4$ Wutai, and October 25, 2012 $M_L = 5.5$ Kaohsiung earthquakes. Both the Antung and Kenting sites situated in favorable geological conditions (a brittle fractured aquifer surrounded by ductile formation) were selected to catch radon precursory declines.

Soil gas data of selected monitoring stations were also dealt with different time-series techniques, such as Iterative Gaussian Smoothing and Empirical Mode Decomposition. After extracting the daily atmospheric temperature effect, we can clearly recognize the anomalous variations of radon concentrations. The results seem to be helpful to quantitatively identify the anomalies related to seismic activities. We will analyze 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.....	II
圖目錄	VIII
表目錄	XIV
壹、緒論	1
1.1 本年度之工作項目	2
1.2 目前工作進度	2
貳、研究原理及方法	4
2.1 前言及研究目的	4
2.2 觀測站分布位置	8
2.3 文獻探討	10
2.4 土壤氣體觀測站主要使用儀器	15
2.4.1 四極桿質譜儀	15
2.4.2 氦氣偵測儀	15
2.4.3 地震儀	15
2.5 地震參數的表示	16
參、研究區域地質背景	17
3.1 地下水壓觀測站基本資料	17
3.2 水氣觀測站之區域地質背景	19
3.2.1 池上斷層	19
3.2.2 玉里地區地質背景	20
3.2.3 安通溫泉地質背景	25
3.2.4 安通溫泉區溫泉開發	26
3.2.5 恆春斷層	31
3.2.6 墾丁社頂地區地質背景	32
3.2.7 恆春半島區域歷史地震背景	33
肆、氣體觀測站觀測結果	34
4.1 觀測站相關地震選擇依據	34
4.2 利用時序分析方法處理觀測資料	36
4.2.1 時序分析方法介紹	36
4.3 新竹大平地土壤氣體觀測站	42
4.4 雲林古坑土壤氣體觀測站	50
4.4.1 被動式氦氣分析儀 2011/12/22—2012/2/20.....	52
4.4.2 主動式氦氣分析儀 2012/3/23—2012/11/15.....	54
4.5 嘉義中崙濁水潭土壤氣體觀測站	58
4.6 屏東屏科大土壤氣體觀測站	63
4.7 花蓮土壤氣體觀測站	68

4.7.1	花蓮美崙土壤氣體觀測站	68
4.7.2	花蓮東華土壤氣體觀測站	73
4.8	臺東池上土壤氣體觀測站	74
4.9	花蓮美崙土壤氣體觀測站替代點探勘及遷站	79
4.9.1	花蓮美崙土壤氣體觀測站替代點探勘	79
4.9.2	花蓮氣體觀測站遷站	83
4.9.3	花蓮米崙斷層美崙山公園簡易氣體觀測站	86
伍、	新觀測站設置之評選	87
5.1	前言	87
5.2	研究區域	87
5.2.1	三義斷層	87
5.2.2	車籠埔斷層	89
5.3	採樣與分析	90
5.4	研究成果	91
陸、	地下水壓觀測結果	95
6.1	台北地區地下水壓觀測	95
6.2	新竹地區地下水壓觀測	119
6.3	嘉義地區地下水壓觀測	142
柒、	水氬觀測結果	172
7.1	安通站地下水水氬濃度監測	172
7.2	安通站地下水溶解氣體（甲烷、氮氣）監測	175
7.3	安通溫泉區地下水水位監測	177
7.4	安通站地下水溫度監測	180
7.5	恆春半島墾丁公園社頂監測站地下水水氬濃度監測	181
7.6	恆春半島墾丁公園社頂監測站地下水溶解氣體（二氧化碳）監測	185
7.7	建置地下水水氬即時連續監測站（安通站）	187
7.8	建置地下水水氬及二氧化碳即時連續監測站（社頂站）	192
捌、	資料整合及資料處理	202
8.1	土壤氣體觀測結果	202
8.1.1	數個氣體觀測站對單一地震的異常變化	202
8.1.2	每週土壤氣氬異常與地震關係誤報率	213
8.1.3	土壤氣體資料整合	216
8.2	地下水壓觀測結果	223
8.2.1	震央分布統計結果	223
8.2.2	水位異常之自動判釋	227
8.2.2.1	水位異常型態分類	227
8.2.2.2	水位異常自動判釋	228
8.3	地下水氬及地下水溶解氣觀測結果	237

8.3.1	安通觀測站 與地震活動之關聯性	237
8.3.2	社頂觀測站 與地震活動之關聯性	237
8.4	綜合觀測結果	237
8.4.1	2010 年 4 月 4 日高雄甲仙地震活動之關聯性	238
8.4.2	2012 年 2 月 26 日屏東霧台地震活動之關聯性	239
玖、	結論與建議	240
	參考文獻	242
附錄一	今年期中報告審查委員意見及答覆情形	252
附錄二	今年期末報告審查委員意見及答覆情形	256
附錄三	土壤氣體觀測站每月連續觀測圖	259
A.1	新竹大平地觀測站	261
A.2	雲林古坑觀測站	271
A.3	嘉義中崙濁水潭觀測站	283
A.3.1	氬氣分析儀	283
A.3.2	四極桿質譜儀	290
A.4	屏東屏科大觀測站	302
A.5	花蓮美崙觀測站	314
A.6	台東池上觀測站	320
附錄四	水氣監測分析方法	332
B	地下水水氣量測	332
B-1	地下水水氣現地採樣方法	332
B-2	地下水水氣分析原理	332
B-3	地下水水氣實驗室分析方法	332
C	地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）組成分析	334
C-1	地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）現地採樣方法	334
C-2	地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）分析原理	334
C-3	地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）分析方法	334
C-4	地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）檢量線之製作	336
C-5	品保與品管(QA/QC)	337
D	地下水水位監測方法	339
D-1	地下水位監測工作	339
D-2	抽水試驗分析方法	339
E	地下水溫度監測方法	343
E-1	地下水溫度分析原理	343
E-2	地下水溫度分析方法	343
E-3	地下水溫度量測儀器資訊	343
E-4	溫度計校正QAQC	343
F	地下水溶解氣體（二氧化碳）分析方法	345

F-1	地下水溶解氣體（二氧化碳）採樣方法	345
F-2	地下水溶解氣體（二氧化碳）滴定法	345
附錄五	與本計畫相關之研究成果目錄	347
附錄六	本年度土壤氣體連續觀察結果	請見電子資料光碟
附錄七	本年度地下水壓連續觀察結果	請見電子資料光碟
附錄八	本年度地下水氬及地下水溶解氣連續觀察結果	請見電子資料光碟

圖目錄

圖 2-1	台灣東部安通溫泉吉祥水氬濃度監測站 2003 年至 2008 年之水氬濃度監測	7
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 MW 6.8、MW 6.1、MW 5.9 及 MW 5.4 震央位置	7
圖 2-3	既有觀測站的分布位置。	8
圖 2-4	體積膨脹模式	10
圖 2-5	Rn-222 自 U-238 的衰變鏈	12
圖 2-6	在 60°C 時不同比例氣體飽和度及安通溫泉吉祥站地下水水氬濃度變化圖	14
圖 3-1	安通地下水水氬及溶解氣體監測站位置圖	19
圖 3-2	玉里安通鄰近地質圖	22
圖 3-3	玉里安通鄰近地質圖 CC 剖面圖	23
圖 3-4	玉里安通鄰近地質圖圖例	24
圖 3-5	安通溫泉飯店地下水水氬及溶解氣體監測井(工研院 500 米探勘井)地質柱狀圖	27
圖 3-6	安通溫泉區 4 家溫泉旅館所擁有之溫泉井相對位置圖	29
圖 3-7	恆春半島地質圖	32
圖 3-8	2006/12/26 恆春地震地震報告	33
圖 4-1	氣體異常與地震發生的時間關係圖	35
圖 4-2	Iterative Gussin Filter 示意圖	36
圖 4-3	為第一個 IMF 的求取過程	39
圖 4-4	各 IMF 分量圖	39
圖 4-5	新竹大平地觀測站氬氣與地震、雨量相關圖 2011/11/29-2012/11/6	42
圖 4-6	氬氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果	44
圖 4-7	氬氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果	47
圖 4-8	大平地觀測站相關地震位置分布圖	49
圖 4-9	雲林古坑觀測站氬氣與地震、雨量相關圖 2011/12/22-2012/2/29 ..	50
圖 4-10	雲林古坑觀測站氬氣與地震、雨量相關圖 2012/3/23-2012/11/5 ..	51
圖 4-11	氬氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果	53
圖 4-12	氬氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果	55
圖 4-13	古坑觀測站相關地震位置分布圖	57
圖 4-14	嘉義中崙觀測站氬氣與地震、雨量相關圖 2011/11/29-2012/11/5 ..	58
圖 4-15	氬氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果	60
圖 4-16	中崙觀測站相關地震位置分布圖	62

圖 4-17	屏東屏科大觀測站氬氣與地震、雨量相關圖 2011/11/28-2012/11/6	63
圖 4-18	氬氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果	65
圖 4-19	屏科大觀測站相關地震位置分布圖	67
圖 4-20	花蓮美崙觀測站氬氣與地震、雨量相關圖 2011/11/28-2012/9/12	68
圖 4-21	氬氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果	70
圖 4-22	美崙觀測站相關地震位置分布圖	72
圖 4-23	花蓮東華觀測站氬氣與地震、雨量相關圖 2012/10/15-2012/11/7	73
圖 4-24	台東池上觀測站氬氣與地震、雨量相關圖 2011/11/23-2012/10/28	74
圖 4-25	氬氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果	76
圖 4-26	池上觀測站相關地震位置分布圖	78
圖 4-27	花蓮米崙斷層示意圖。	79
圖 4-28	花蓮測站替代點位位置分布圖	81
圖 4-29	花蓮測站替代點野外照片	82
圖 4-30	花蓮東華土壤氣體觀測站位置示意圖	83
圖 4-31	花蓮東華土壤氣體觀測站施工圖	84
圖 4-32	花蓮東華土壤氣體觀測站室內設備圖	85
圖 4-33	花蓮美崙簡易型土壤氣體觀測站位置示意圖	86
圖 5-1	三義斷層兩萬五千分之一條帶地質圖	88
圖 5-2	車籠埔斷層兩萬五千分之一條帶地質圖	89
圖 5-3	苗栗台中地區土壤氣體採樣點分佈圖（三義斷層）	90
圖 5-4	苗栗台中地區土壤氣體採樣點分佈圖（車籠埔斷層）	90
圖 5-5	三義斷層土壤氣異常點分布圖	91
圖 5-6	車籠埔斷層豐原以北段土壤氣異常點分布圖	92
圖 6-1	台北地區 2011 年 12 月至 2012 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	106
圖 6-2	台北地區 2011 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	107
圖 6-3	台北地區 2012 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	108
圖 6-4	台北地區 2012 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	109
圖 6-5	台北地區 2012 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	110
圖 6-6	台北地區 2012 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	111
圖 6-7	台北地區 2012 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	112

圖 6-8 台北地區 2012 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	113
圖 6-9 台北地區 2012 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	115
圖 6-10 台北地區 2012 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	116
圖 6-11 台北地區 2012 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	117
圖 6-12 台北地區 2012 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	118
圖 6-13 新竹地區 2011 年 12 月至 2012 年 10 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	128
圖 6-14 新竹地區 2011 年 12 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	129
圖 6-15 新竹地區 2012 年 1 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	130
圖 6-16 新竹地區 2012 年 2 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	131
圖 6-17 新竹地區 2012 年 3 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	132
圖 6-18 新竹地區 2012 年 4 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	133
圖 6-19 新竹地區 2012 年 5 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	134
圖 6-20 新竹地區 2012 年 6 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨中和之對比圖	135
圖 6-21 新竹地區 2012 年 7 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨中和之對比圖	138
圖 6-22 新竹地區 2012 年 8 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨中和之對比圖	139
圖 6-23 新竹地區 2012 年 9 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨中和之對比圖	140
圖 6-24 新竹地區 2012 年 10 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨中和之對比圖	141
圖 6-25 嘉義地區 2011 年 12 月至 2012 年 10 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	157
圖 6-26 嘉義地區 2011 年 12 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	158

圖 6-27 嘉義地區 2012 年 1 月云水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	159
圖 6-28 嘉義地區 2012 年 2 月云水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	160
圖 6-29 嘉義地區 2012 年 3 月云水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	161
圖 6-30 嘉義地區 2012 年 4 月云水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	162
圖 6-31 嘉義地區 2012 年 5 月云水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	164
圖 6-32 嘉義地區 2012 年 6 月云水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	166
圖 6-33 嘉義地區 2012 年 7 月云水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	168
圖 6-34 嘉義地區 2012 年 8 月云水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	169
圖 6-35 嘉義地區 2012 年 9 月云水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	170
圖 6-36 嘉義地區 2012 年 10 月云水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖	171
圖 7-1 安通站地下水水氬濃度變化與環境因子關係圖	172
圖 7-2 利用四分位數統計分析安通站地下水水氬濃度	174
圖 7-3 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)	175
圖 7-4 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)	176
圖 7-5 吉祥站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)	177
圖 7-6 吉祥站鄰近含水層導水係數與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)	178
圖 7-7 吉祥站鄰近含水層儲水係數與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)	179
圖 7-8 安通溫泉飯店地下水水氬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)	180
圖 7-9 社頂站地下水水氬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)	181
圖 7-10 社頂站地下水水氬濃度變化，及監測到地下水水氬濃度異常下降前兆之地震	182

圖 7-11 2010 年 3 月 4 日 $M_L = 6.4$ 高雄甲仙地震、2012 年 2 月 26 日 $M_L = 6.4$ 的屏東霧台地震及 2012 年 10 月 25 日 $M_L = 5.5$ 的高雄地震資料 (資料來源：中央氣象局)	183
圖 7-12 墾丁公園社頂水氬監測站在 2010 甲仙、2012 霧台地震及 2012 高雄地震前水氬異常下降之三階段圖。階段 1 彈性應變，階段 2 裂隙發展，階段 3 地下水流入.....	184
圖 7-13 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).....	185
圖 7-14 社頂站地下水二氧化碳濃度變化，及監測到二氧化碳濃度異常下降前兆之地震	186
圖 7-15 安通站地下水水氬連續監測系統示意圖.....	187
圖 7-16 安通站 500 米自流井及監測站外觀	188
圖 7-17 安通站 500 米自流井 (樣本採樣口與 PT100 溫度計放置處)	188
圖 7-18 安通站內部配置 (①：井水溫度記錄器，CR-800；②：氬氣分析儀，SARAD；③：氣體冷凝裝置)	189
圖 7-19 安通站氣水分離器 (RAD Aqua)	190
圖 7-20 安通站以 SARAD 連續監測氣相氬濃度之數據.....	191
圖 7-21 安通站 SARAD 量測之氣相氬濃度及實驗室液態閃爍計數儀 (LSC) 量測之地下水水氬濃度比較圖	191
圖 7-22 墾丁公園社頂站地下水水氬連續監測系統示意圖.....	193
圖 7-23 社頂站站牌及監測站外觀圖	194
圖 7-24 社頂站建築物內部配置 (①：氣水分離器，RAD Aqua；②：氣體管線；③：氣體冷凝裝置)	194
圖 7-25 社頂站建築物內部配置 (①：氣體冷凝裝置；②：氣體管線；③：氬氣分析儀，SARAD)	195
圖 7-26 墾丁公園社頂站放置自動水位紀錄儀之水井.....	196
圖 7-27 墾丁公園社頂站放置自動水位紀錄儀之水井內部圖	196
圖 7-28 社頂站連續監測系統液體管線內部碳酸鈣堵塞情形	197
圖 7-29 碳酸鈣沈澱現象改善前，社頂站以 SARAD 連續監測氣相二氧化碳濃度之數據	198
圖 7-30 碳酸鈣沈澱現象改善後，社頂站以 SARAD 連續監測氣相二氧化碳濃度之數據	198
圖 7-31 碳酸鈣沈澱現象改善前，社頂站以 SARAD 連續監測氣相氬濃度之數據	199
圖 7-32 碳酸鈣沈澱現象改善後，社頂站以 SARAD 連續監測氣相氬濃度之數據	199
圖 7-33 社頂站 SARAD 量測之氣相氬濃度及實驗室液態閃爍計數儀 (LSC) 量測之地下水水氬濃度比較圖	200

圖 7-34	2012 年 10 月 25 日高雄地震資料 (資料來源：中央氣象局)	200
圖 7-35	社頂站以SARAD連續監測數據與地下水水位及雨量之比較圖	201
圖 8-1	地球化學觀測站的地震反應區間示意圖	202
圖 8-2	2012/2/26 屏東霧台地震與各測站觀測情形	204
圖 8-3	2012/3/22 臺東外海地震與各測站觀測情形	205
圖 8-4	2012/4/19 花蓮近海地震與各測站觀測情形	206
圖 8-5	2012/4/27 花蓮外海地震與各測站觀測情形	207
圖 8-6	2012/6/6 臺東外海地震與各測站觀測情形	208
圖 8-7	2012/8/14 花蓮秀林地地震與各測站觀測情形	209
圖 8-8	2012/8/18 花蓮外海地震與各測站觀測情形	210
圖 8-9	2012/9/5 花蓮外海地震與各測站觀測情形	211
圖 8-10	2012/10/25 高雄近海地震與各測站觀測情形	212
圖 8-11	新竹大平地站有前兆反應的地震震央分布圖	217
圖 8-12	雲林古坑站有前兆反應的地震震央分布圖	218
圖 8-13	嘉義中崙濁水潭站有前兆反應的地震震央分布圖	219
圖 8-14	屏東屏科大站有前兆反應的地震震央分布圖	220
圖 8-15	花蓮美崙站有前兆反應的地震震央分布圖	221
圖 8-16	台東池上站有前兆反應的地震震央分布圖	222
圖 8-17	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	224
圖 8-18	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	225
圖 8-19	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	226
圖 8-20	明德站 2012 年 3 月份水位資料原目視法判釋之異常與斜率法判斷水位異常之比較	229
圖 8-21	明德站 2012 年 4 月份水位資料原目視法判釋之異常與斜率法判斷水位異常之比較	229
圖 8-22	明德站 2012 年 5 月份水位資料原目視法判釋之異常與斜率法判斷水位異常之比較	230
圖 8-23	明德站 2012 年 6 月份水位資料原目視法判釋之異常與斜率法判斷水位異常之比較	230
圖 8-24	明德站 2012 年 7 月份水位資料原目視法判釋之異常與斜率法判斷水位異常之比較	231
圖 8-25	2009 年 6 月至 12 月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖	232
圖 8-26	2010 年 1 月至 6 月水位資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖	233
圖 8-27	2010 年 7 月至 12 月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖	233

圖 8-28	2011 年 1 月至 6 月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖	234
圖 8-29	2011 年 7 月至 12 月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖	235
圖 8-30	2012 年 1 月至 6 月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖	235
圖 8-31	2012 年 7 月至 12 月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖	236
圖 8-32	2010/3/4 高雄甲仙與各觀測站之綜合觀測結果	238
圖 8-33	2012/2/26 屏東霧台地震與各觀測站之綜合觀測結果	239

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	9
表 3-1	地下水觀測井基本資料	18
表 3-2	安通溫泉區溫泉旅館溫泉井井位	28
表 3-3	安通溫泉區 4 家溫泉旅館溫泉井水質分析（濃度ppm）	30
表 4-1	經驗模態分解IMF列表 2011/11/29—2012/11/6	43
表 4-2	低時段經驗模態分解IMF列表 2011/11/29—2012/10/15	45
表 4-3	新竹大平地觀測站相關地震列表（2011/11/29—2012/11/6）	48
表 4-4	經驗模態分解IMF列表 2011/12/22—2012/2/20	52
表 4-5	經驗模態分解IMF列表 2012/3/23—2012/11/5	54
表 4-6	雲林古坑觀測站相關地震列表（2011/12/22—2012/11/5）	66
表 4-7	經驗模態分解IMF列表 2011/11/29—2012/11/5	59
表 4-8	嘉義中崙觀測站相關地震列表（2011/11/29—2012/11/5）	61
表 4-9	經驗模態分解IMF列表 2011/11/28—2012/11/6	64
表 4-10	屏東屏科大觀測站相關地震列表（2011/11/28—2012/11/6）	66
表 4-11	經驗模態分解IMF列表 2011/11/28—2012/9/12	69
表 4-12	花蓮美崙觀測站相關地震列表（2011/11/28—2012/9/12）	71
表 4-13	經驗模態分解IMF列表 2011/11/23—2012/10/28	75
表 4-14	台東池上觀測站相關地震列表（2011/11/23—2012/10/28）	77
表 4-15	花蓮美崙測站替代點位之土壤氣體採樣分析結果	81
表 5-1	異常點位土壤氣體成份分析結果	93
表 6-1	符合台北三個觀測井篩選條件的地震	96
表 6-2	符合新竹三個觀測井篩選條件的地震	120
表 6-3	符合嘉義三個觀測井篩選條件的地震	143
表 8-1	地震與多個土壤氣體觀測站的氬氣異常反應	203
表 8-2	每週土壤氣體觀測站氣體異常與地震的關係簡報檔列表	214
表 8-3	四年度(2008-2012)各觀測站成功捕捉前兆訊息之統計結果	216
表 8-4	2008 年 12 月至 2012 年 10 月，明德、錦和、樹林、新樂四站水位資料斜率法判定與原目視法判定之水位異常事件數量比較表	231

壹、緒論

臺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（H₂）、氬（Ar）、氮（N₂）、甲烷（CH₄）和二氧化碳（CO₂）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以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）逐年於臺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（2012）年度，對於新竹大平地、雲林古坑、嘉義中崙濁水潭、屏東屏科大、臺東池上、花蓮美崙地區，共六座已設置之氣體觀測站，以及新竹雙溪國小、嘉義沄水國小水位觀測站與地調所設置之六座水位觀測井持續進行觀測外，亦於米崙斷層附近進行花蓮美崙站遷站前的採樣調查，以及於苗栗臺中地區進行土壤氣體的調查探勘。

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，此地區已完成一座地下水氡連續觀測站。亦於去年在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，並完成一座地下水氡及水中溶解氣體（二氧化碳）連續觀測站，以期於全島能夠以較為完整之觀測網，利於往後對於分析資料之判讀。

本年度將彙整歷年來各土壤氣體、水位、地下水氡觀測站之觀測結果，討論與鄰近地區地震活動之關連性，歸納出各站位對於地震活動的敏感範圍帶，以進一步建立流體地球化學所相對應的地震活動模型。

1.1 本年度之工作項目

1. 維護既有六座地球化學土壤氣體觀測站與兩座水壓觀測站，使能夠連續運轉接收資料。
2. 維護既有水位站（雙溪、沄水站，共兩站）使能夠連續運轉接收資料
3. 分析地調所提供之水壓觀測資料（錦和、樹林、明德、新樂、瑞峰、達邦站，共六站）。
4. 維護既有水氣觀測站（安通、社頂站，共兩站）使能夠連續運轉接收資料。
5. 於苗栗台中地區持續進行土壤氣體調查，作為未來土壤氣體觀測站的設站參考。
6. 進行花蓮美崙氣體觀測站之遷站。
7. 定期於安通溫泉（安通站）採樣地下水樣品、分析水氣、及溶解甲烷及氮氣成分。
8. 定期於墾丁公園（社頂站）採集地下水樣品、分析水氣、及溶解二氧化碳成分。
9. 不同觀測站分析結果對地震活動之不同敏感度分析。
10. 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。
11. 彙整第二期四年觀測結果之總結報告及建議項目。
12. 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 目前工作進度

1. 針對已設置之氣體連續觀測站與水位觀測井及水氣觀測站，持續分析其土壤氣體成分與水位變化及水氣變化。
2. 分析地調所提供之水壓觀測資料（共六站）。
3. 持續於苗栗、臺中地區進行土壤氣體調查。
4. 完成花蓮美崙氣體觀測站遷站於東華大學壽豐校區。
5. 持續定期於安通溫泉地區採樣並分析水氣及溶解氣體（甲烷及氮氣）成份。
6. 持續於墾丁社頂進行地下水氣及溶解氣體（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. 持續收集鄰近地殼、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。

表 1-1：預期進度甘梯圖（黑）及實際工作進度（紅）

計畫名稱：斷層活動性觀測研究-第二階段 斷層活動性地球化學觀測與研究(4/4)													
月次	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	第 10 月	第 11 月	第 12 月	備註
既有氣體觀測站持續分析數據													
既有水位觀測站持續分析數據													
既有水氫觀測站持續分析數據													
苗栗台中地區土壤氣體調查結果及未來設站地點之評估													
美崙站遷站													
安通溫泉持續定期監測分析													
墾丁公園地下水持續定期監測分析													
四年分析結果匯整分析													
第一季查核點													
第二季查核點													
期中報告													
第三季查核點													
期末報告													
第四季查核點													
預定進度（累積數）	5	10	20	30	40	50	60	60	80	90	95	100	
<p>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。</p> <p>（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。</p> <p>（3）計畫進度控制若有分項協同計畫請分別列出整體計畫執行與各分項計畫執行之甘梯圖與預期進度查核點。</p>													

貳、研究原理及方法

2.1 前言及研究目的

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; Mogi, 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，氦氣、氬氣、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 Biagi *et al.*, 2000; Chadha and Pandey, 2003; Esposito *et al.*, 2009; Gau *et al.*, 2007; Igarashi *et al.*, 1992; King *et al.*, 2000; 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。本計畫觀測八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壓變化量來表示。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，辨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。

國立成功大學郭明錦教授自 2003 年 7 月起，持續在台灣東部玉里（安通溫泉區）長期觀測地下水水氣濃度異常變化至今，已有初步研究成果（Kuo *et al.*, 2006a; 2006b; 2009; 2010a; 2010b; 2010c; 2011）。2003 年 12 月 10 日地震矩規模 M_w 6.8 成功地震來臨前，成功在安通溫泉水氣監測站捕捉到震前地下水水氣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水氣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氣濃度異常之再現性。在安通溫泉吉祥水氣濃度監測站（吉祥站）再現性觀測到的氣濃度異常下降，證明在適當的地質條件下地下水水氣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氣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，地下水水氣觀測站能捕捉到發生災害性地震之水氣異常下降前兆，故選擇安通溫泉區安通站（安通溫泉飯店）為本計畫在台灣東部之監測站址，2011 年在台灣東部花東縱谷南段鄰近安通溫泉區建置地下水水氣即時連續監測站（安通站），能有效監測到氣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。

本研究 2010 年亦在恆春半島墾丁公園內，選擇相同地質條件（脆性石灰岩外部包圍塑性墾丁層）作為監測地點，執行地下水水氣及溶解氣體（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，有觀測到地下水水氣及溶解氣體（二氧化碳）異常下降之現象。驗證在適當地質條件下，能觀測到地下水水氣濃度異常下降之前兆。2011 年也在恆春半島墾丁公園內建置地下水水氣及二氧化碳即時連續監測站（社頂站），預期能達到捕捉地震前兆再現性及驗證物理化學機制之目標。

另外，由於花蓮美崙站因降雨致使測站附近積水，嚴重影響觀測品質，故本計畫在今年度將花蓮美崙站遷移至合適的位址。在此之前，需針對欲將觀測站遷往的地區進行前置地初步探勘。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，以更徹底了解美崙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，使氦氣、氬氣、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.*, 2006; 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。

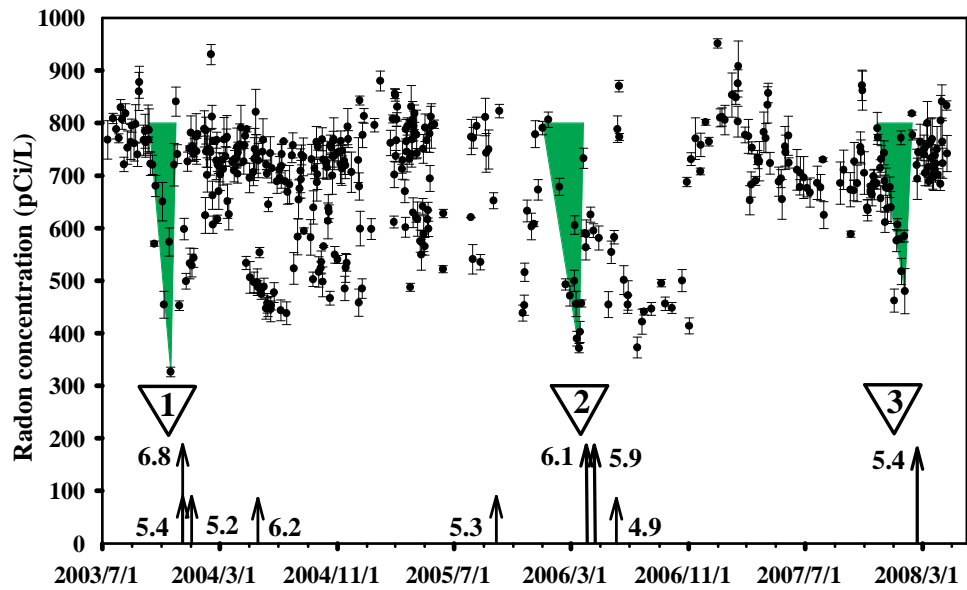


圖 2-1：台灣東部安通溫泉吉祥水氡濃度監測站 2003 年至 2008 年之水氡濃度監測。

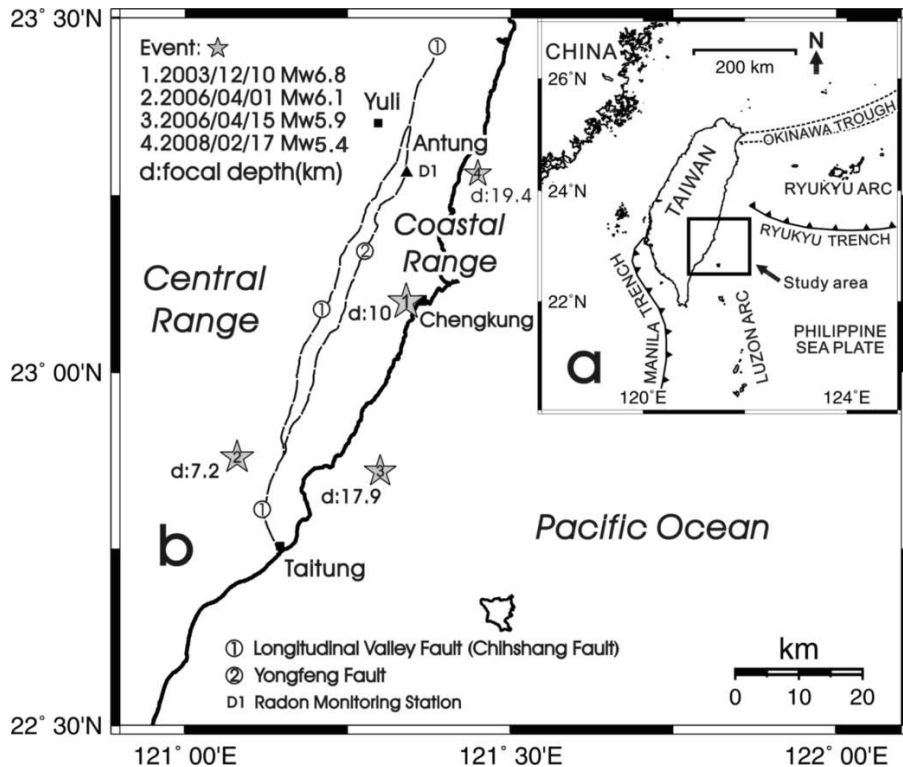


圖 2-2：圖中為安通溫泉區附近 2003 年 12 月 10 日、2006 年 4 月 1 日、2006 年 4 月 15 日及 2008 年 2 月 17 日發生地震矩規模 M_w 6.8、 M_w 6.1、 M_w 5.9 及 M_w 5.4 震央位置。

2.2 觀測站分布位置

本計畫分別有六座既有的土壤氣體觀測站（新竹大平地、雲林古坑、嘉義中崙、屏東屏科大、臺東池上及花蓮美崙），花蓮美崙站已於今年 10 月遷移至東華大學壽豐校區（簡稱花蓮東華站）。另外，本計畫亦觀察八口地下水觀測井的水壓變化，包括新竹縣雙溪、嘉義縣云水以及其他六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、樹林及新竹縣新樂與瑞峰，以及嘉義縣達邦。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氣及溶解氣體的監測。各測站之位置如圖 2-3 與表 2-1。

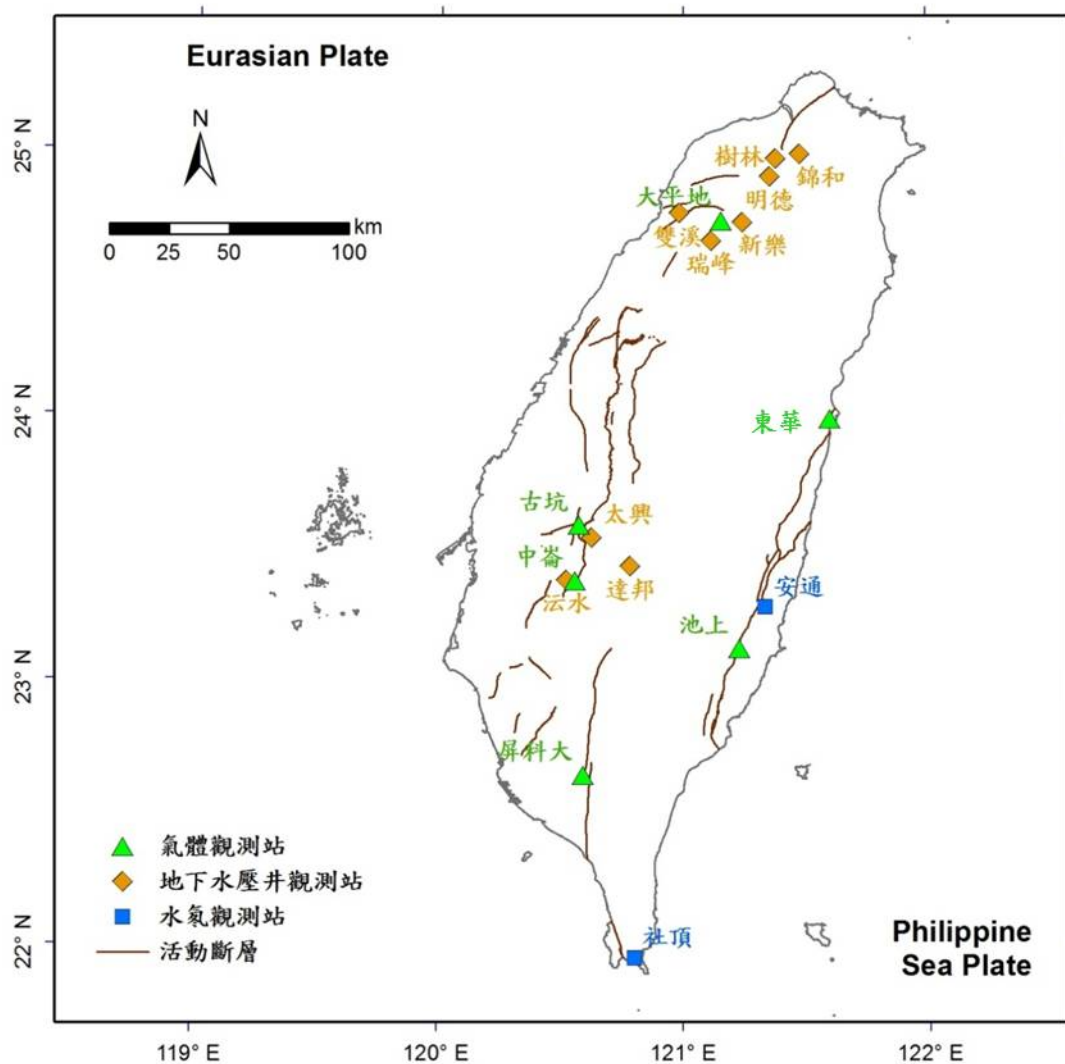


圖 2-3：既有觀測站的分布位置。

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)
土壤氣體觀測站		
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
屏東屏科大站(PT)	209017	2505203
花蓮美崙站(ML)	311240	2654267
花蓮東華站(DH)	279244	2604334
臺東池上站(CS)	273485	2558221
地下水壓觀測站		
臺北明德站(MD)	286119	2755420
臺北錦和站(JH)	298573	2764916
臺北樹林站(SLN)	288631	2762888
新竹新樂站(SL)	274564	2736304
新竹雙溪站(SS)	248170	2740081
新竹瑞峰站(RF)	261523	2728572
嘉義達邦站(DB)	227706	2592582
嘉義沄水站(YS)	200697	2586171
地下水氬觀測站		
玉里安通站(AT)	284243	2575601
墾丁社頂站(ST)	229668	2428983

註：本年度花蓮美崙站已遷移至花蓮東華站

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)、氫 (Ar)、氙 (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^-)、氯離子 (Cl^-)、碳酸氫離子 (HCO_3^-)、碳酸離子 (CO_3^{2-}) 及硫酸離子 (SO_4^{2-}) 等。

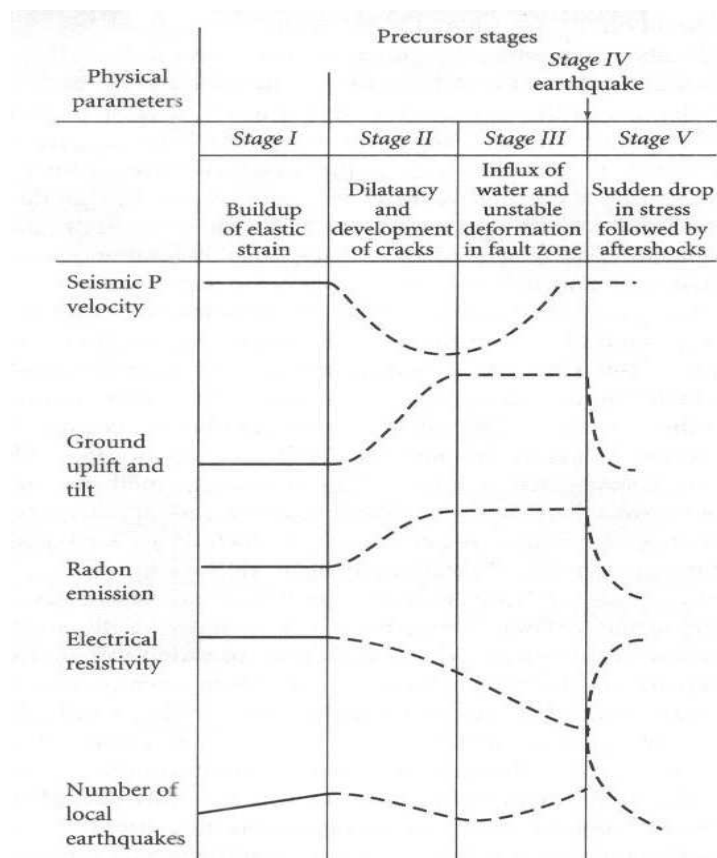


圖 2-4: 體積膨脹模式 (Scholz *et al.*, 1973)。

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水氡濃度異常變化可做為捕捉地震前兆示蹤劑 (Hauksson, 1981; Igarashi *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，有利於氡氣在地層中遷移，近年來應用土壤氣體及地下水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)。

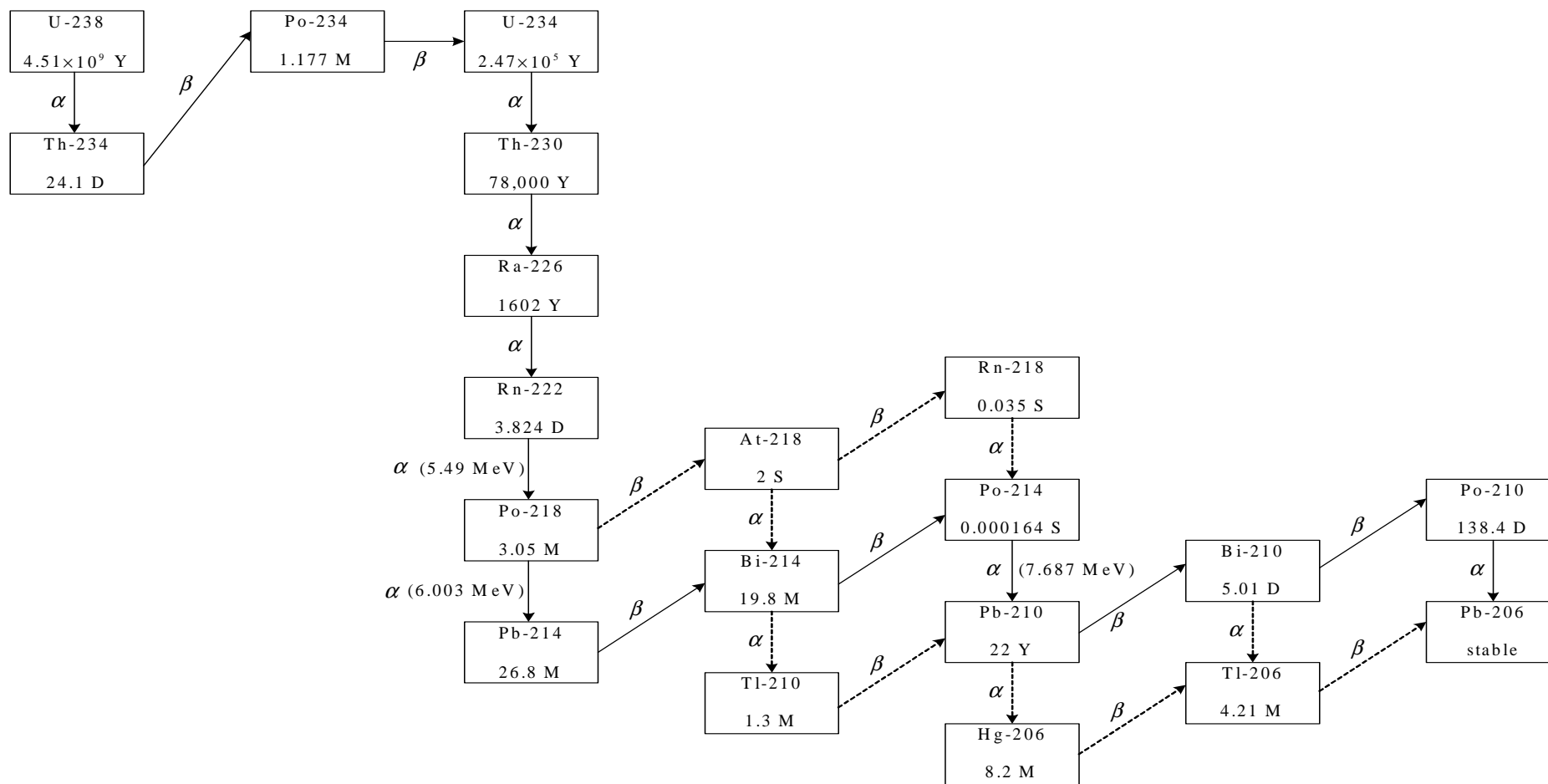


圖 2-5：Rn-222 自 U-238 的衰變鏈（實線指 Rn-222 衰變至 Pb-210 主要途徑）。

氬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，發現水氬濃度有異常現象後，改以現地連續監測方法進行溫泉水分離氬氣監測試驗 (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; 2011) 也指出，可由地下水水氬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。

根據世界性的調查研究顯示 (Hauksson, 1981; Toutain and Baubron, 1999) 在地震來臨前，大於 80 % 的研究觀測到的地下水水氬異常變化之前兆現象為上升，極少數研究指出地下水水氬濃度之異常變化是呈現下降的趨勢。例如 Wakita *et al.* (1980) 在 1978 年日本伊豆地震 (Izu-Oshima-kinkai earthquake) 規模 M 7.0 的強震前，觀測到明顯的地下水水氬含量異常下降現象。可惜的是，1978 年所觀測到的地下水水氬濃度異常下降現象，缺少物理機制來解釋。

Kuo *et al.* (2006a) 研究指出於 2003 年 12 月 10 日發生在台灣東部地震矩規模 M_w 6.8 的成功地震來臨前，觀察到震前地下水水氬濃度異常下降。並且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水氬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)，水相的氬氣釋放至氣相」 (Kuo *et al.*, 2006a)。氬分配到氣相的行為可用來解釋在 2003 年成功地震來臨前，地下水中氬濃度異常下降的現象。其研究為支持此假設，並且進行了氬於氣液兩相分配試驗，將試驗環境模擬在地下水溫度 60 °C 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)。

由試驗結果指出氬濃度由 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氬濃度由 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，因為觀察氬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。

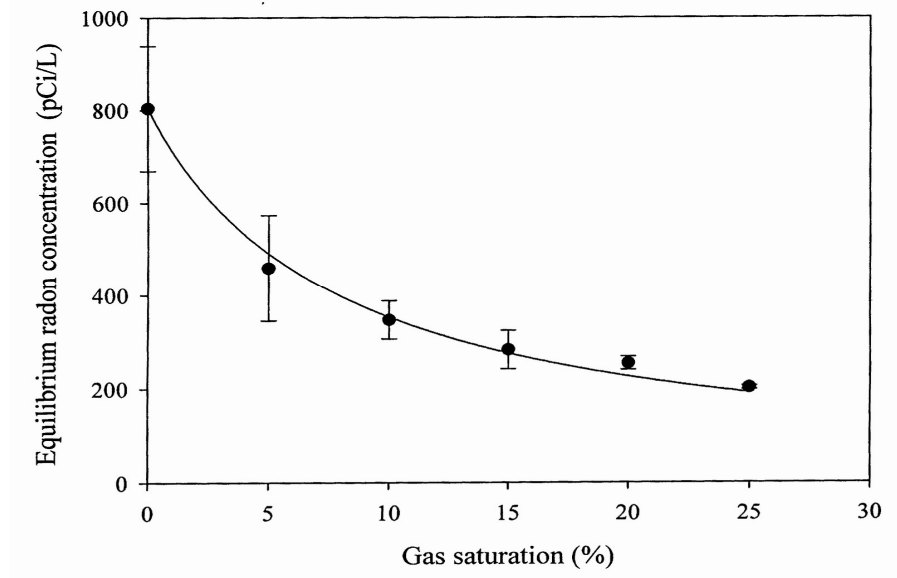


圖 2-6: 在 60°C 時不同比例氣體飽和度及安通溫泉吉祥站地下水水氡濃度變化圖 (Kuo *et al.*, 2006a)。

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 Stanford 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 ($10^{-5} \sim 10^{-14}$ torr)、極高之敏感度、與解析 (<0.5 amu)，能夠快速掃描樣本 (<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、氫氣、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 ($\pm 1^\circ\text{C}$) 及溼度 ($\pm 2\%$)。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 kinematics 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、原理同樣請參照斷層活動性之地球化學觀測與研究 (1/4) (楊燦堯等，2005)。

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。

而我們可以將應變半徑 (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：

$$\epsilon = \frac{10^{(1.3M_L - 0.19)}}{R^3}$$

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

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 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）。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）。

嘉義縣中埔鄉沱水國小地表為礫石層，6-100 公尺深度為沱水溪層，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）。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：地下水觀測井基本資料

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
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
沅水	嘉義縣中埔鄉沅水國小	175 m	100 m	孔口下 20 m
達邦	嘉義縣阿里山鄉達邦國小	952.8 m	150 m	孔口下 150 m

3.2 水氣觀測站之區域地質背景

3.2.1 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 3-1）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氬濃度異常變化和地殼活動之關聯性，並加以探討其氬濃度異常變化機制（Kuo *et al.*, 2006a; 2006b; 2009; 2010a; 2010b; 2010c; 2011）。

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 *et al.*, 1990, Yu and Kuo, 2001）而 2003 年 12 月 10 日早晨四點三十八分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。

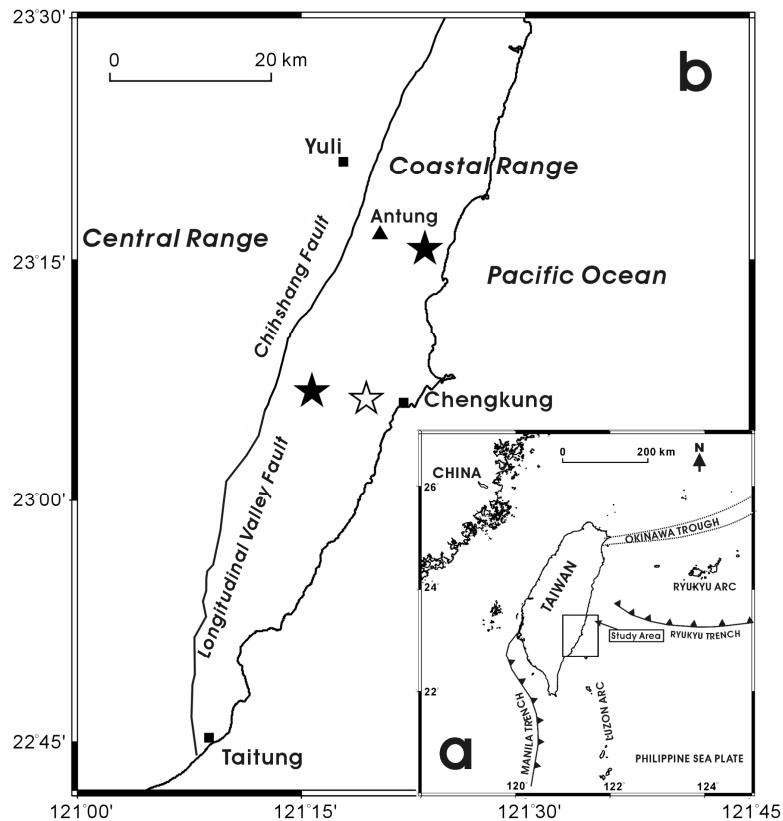


圖 3-1：安通地下水水氣及溶解氣體監測站位置圖（空心星號：為 2003 年主震；實心星號：為 1951 年主震；實心三角形：為安通站）。

3.2.2 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 3-1。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 日早晨四點三十八分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（王源等，1992）描述（見圖 3-2 及 3-3，3-4 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水氬濃度監測站（吉祥 A 井）為中心，附近地層及構造，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。

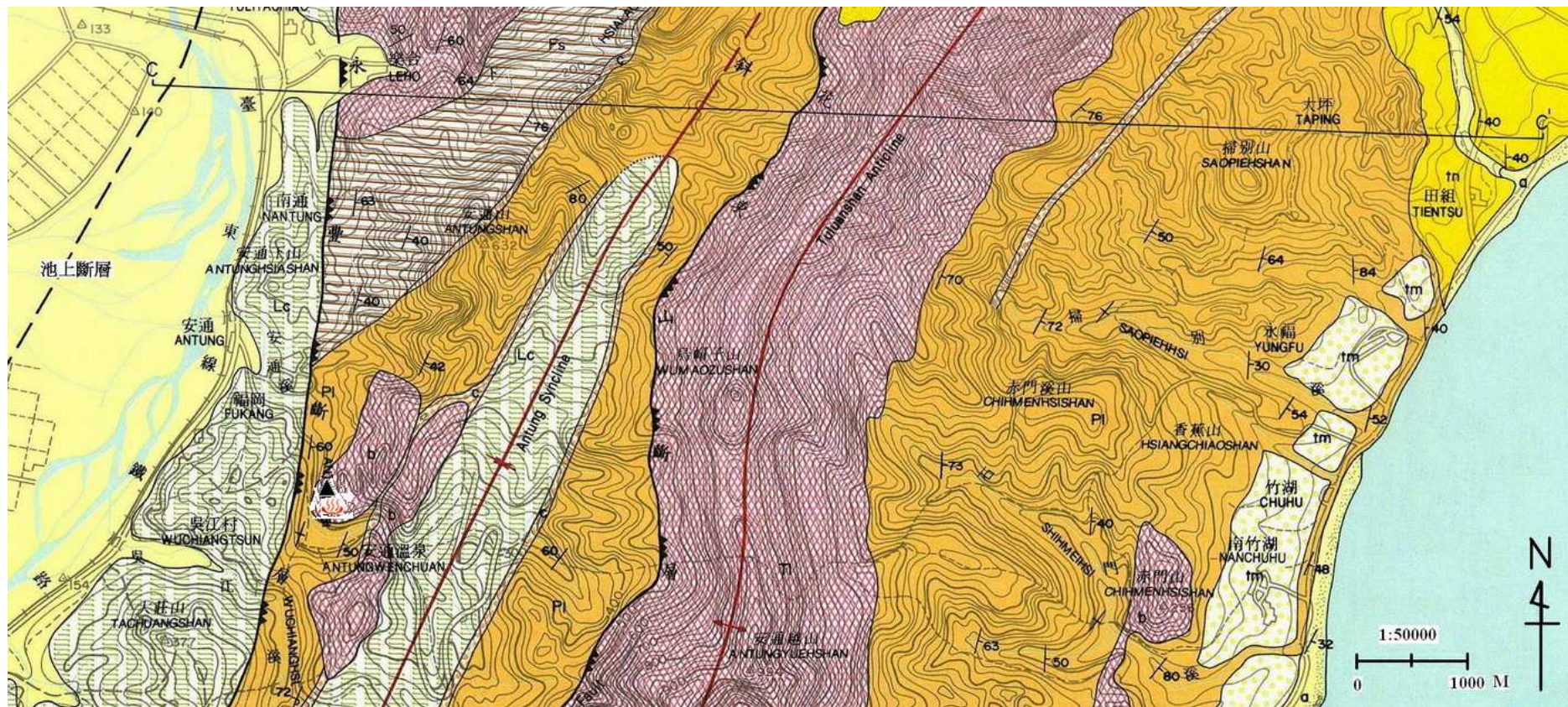


圖 3-2：玉里安通鄰近地質圖，修改自台灣地質圖說明書圖幅第四十八號，玉里圖幅（王源等，1992）。

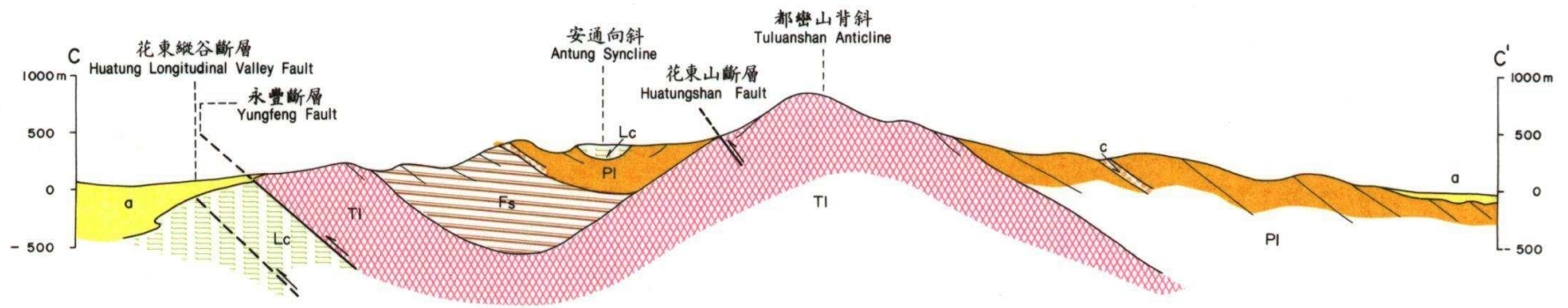


圖 3-3：玉里安通鄰近地質圖 CC'剖面圖（王源等，1992）。



圖 3-4：玉里安通鄰近地質圖圖例（王源等，1992）。

3.2.3 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，安通地下水水氬及溶解氣體監測站（安通站）位於池上斷層東南方約三公里處（圖 3-1）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 3-2）。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。安通溫泉附近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地質構造應為安山岩之外來岩塊。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。

3.2.4 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氣及溶解氣體監測井，其地質柱狀圖請參見圖 3-5。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 3-6 為安通溫泉區 4 家溫泉旅館所擁有之溫泉井相對位置圖。圖 3-6 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 °C，內溫泉最高溫可達到 63 °C，外溫泉最低溫只有 40 °C。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。

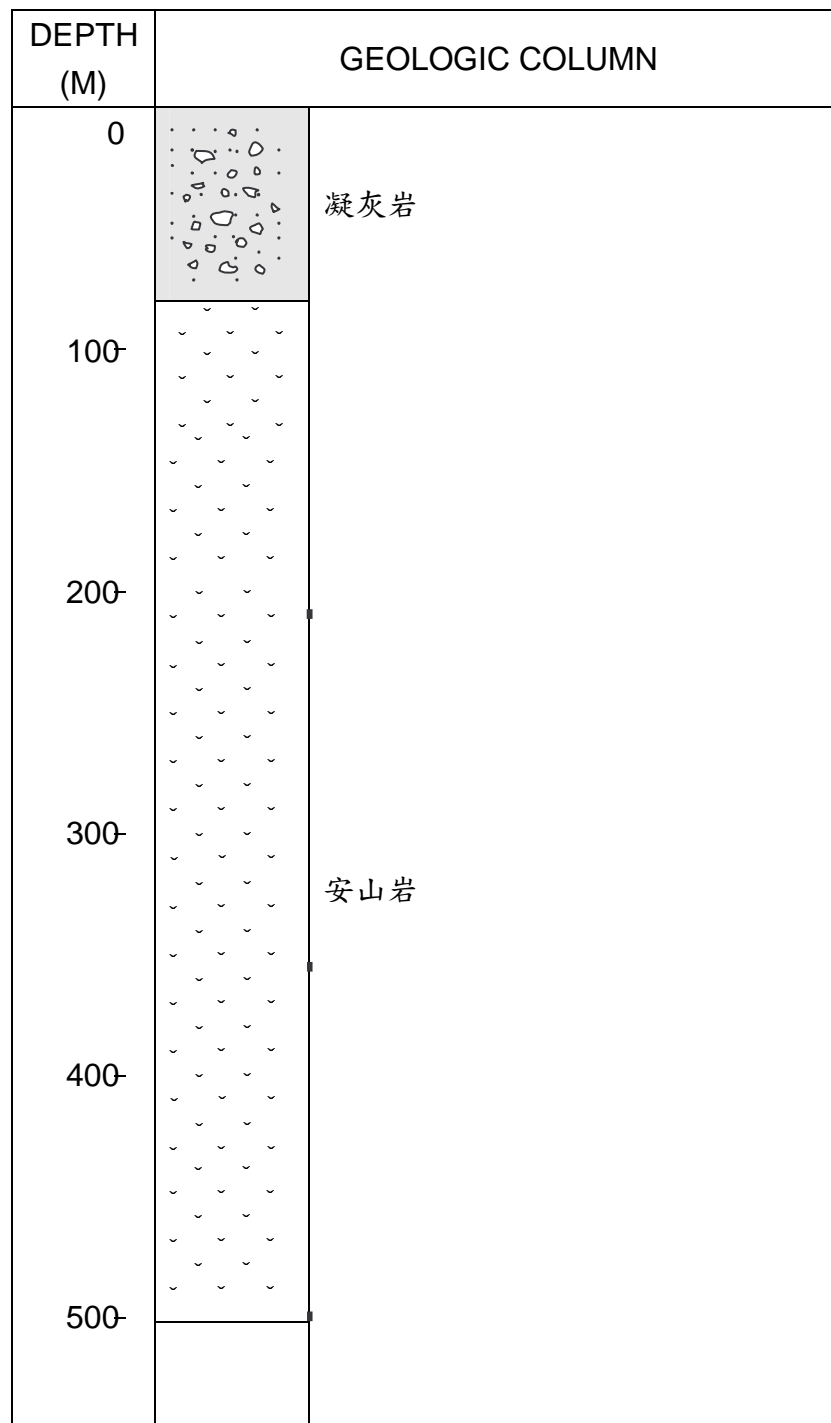


圖 3-5: 安通溫泉飯店地下水水氦及溶解氣體監測井(工研院 500 米探勘井) 地質柱狀圖 (修改自劉康克等人, 1986, 圖 17)。

表 3-2：安通溫泉區溫泉旅館溫泉井井位

井號	井深 m	水溫 °C	N	E
安通溫泉飯店地下水水氣 及溶解氣體監測井(中研 院)	500	63	284243	2575601
安 1	100	63	284229	2575601
安 2	40	63	284203	2575629
安 3	275	55	284055	2575804
安 4	245	42	284055	2575874
吉祥 A	187	61	284030	2575813
吉祥 B	234	55	284024	2575761
紐澳華	310	40	284322	2575915
玉溫泉	300	57	284016	2575625



圖 3-6：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 °C	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

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。

3.2.5 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，中新統逆衝於上一更新統之上。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）。

林朝榮（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。

3.2.6 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 3-7 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。

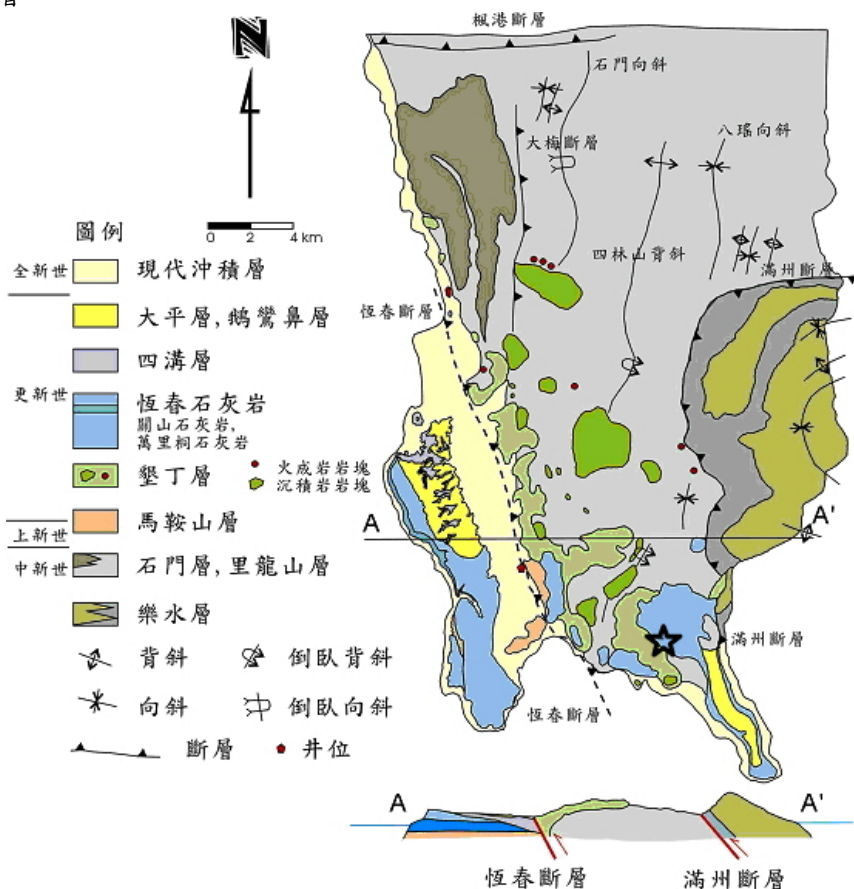
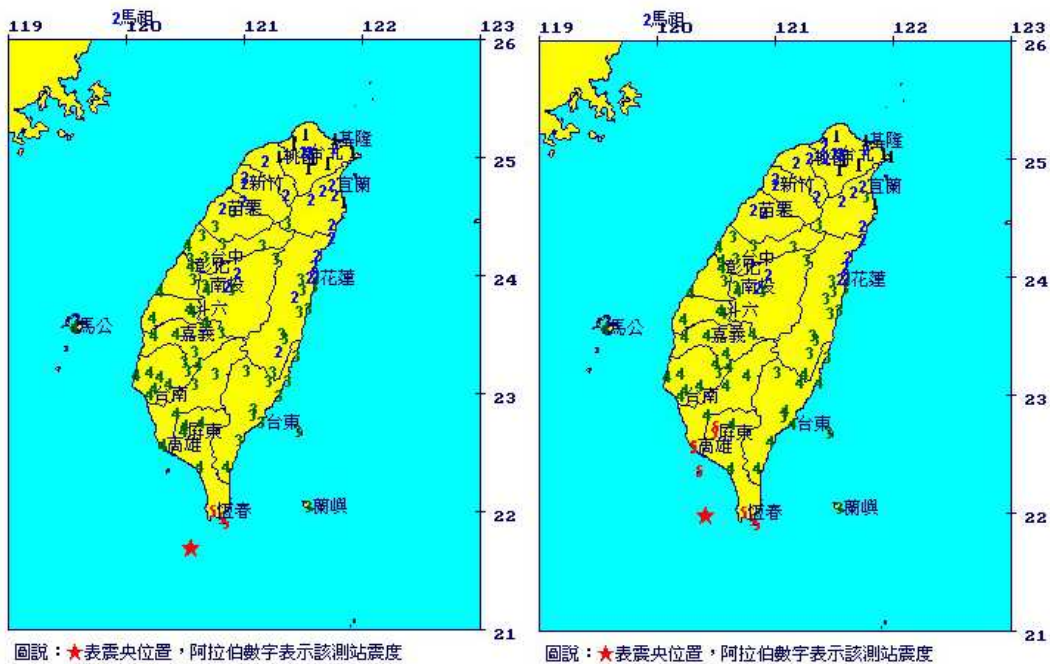


圖 3-7：恆春半島地質圖，圖中星號為墾丁社頂地區水中氬濃度觀測點（修改自陳文山等，1985）。

3.2.7 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 M 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，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 M 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 3-8 為 2006 年之恆春地震地震報告（中央氣象局）。



中央氣象局地震報告

編號：第95106號
 日期：95年12月26日
 時間：20時26分21.0秒
 位置：北緯21.69度，東經120.56度
 即在屏東恆春地震站南偏西方40.2公里
 地震深度：44.1公里
 芮氏規模：7.0

中央氣象局地震報告

編號：第95107號
 日期：95年12月26日
 時間：20時34分15.1秒
 位置：北緯21.97度，東經120.42度
 即在屏東恆春地震站西方33.9公里
 地震深度：50.2公里
 芮氏規模：7.0

圖 3-8：2006/12/26 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

臺灣位於歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的交接處，由於兩板塊的相互作用，使得臺灣地區的地殼活動特別活躍，斷層活動所引發的地震也特別多，並且經常有強烈的地震發生。依據中央氣象局自 1991 至 2006 年 16 年的觀測資料顯示，臺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。在眾多地震中如何篩選出可與觀測資料對比的地震是重要的課題，也因此隨著觀測結果不斷累積，本研究也持續對地震的篩選標準漸進修正。

據 Dobrovolsky *et al.* (1979) 之研究，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 (D) 與地震規模的關係為：

$$D = 10^{0.43M_L} \text{ km}$$

由此估算，一個規模 $M_L = 5$ 的地震，其應變半徑可達約 140 公里；規模 $M_L = 6$ 的地震，其應變半徑約 380 公里；規模 $M_L = 7$ 的地震，更可達 630 公里以上。因此在有較深循環的地下流體系統的特定地區，常可有機會反應出地震前兆。而地震前兆出現的時間，一般與測站距震源的距離成反比關係。

因此，本研究對於所有測站的地震一般篩選原則，納入地震規模 (M_L)、測站當地地震震度 (Int.)、測站與震央的距離 (R)，及應變半徑 (D) 與測站距震源的距離的比值 (D/R) 等四項參數，其次再依據各測站所在地區之地質構造特性 (有的測站只對區域地震有反應，有的測站反應範圍較廣) 來篩選出地震。

地震學者經過長期的觀察研究，歸納得知地震發生的可能五個步驟為：(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 (Bolt, 1999)。如圖 2-4。

一般而言，在前三個步驟的地震孕育期中，地殼或多或少可能會有一些徵兆發生。若能對這些前兆的發生有所了解及掌握，則對於地震的即將發生，可能會有所知曉。這些徵兆包括地球物理的前震和地形變化，以及水文地球化學的變化。

依據以上所述，可以將地震發生與氣體異常的時間關係分成四個類型 (圖 4-1)：(1) 地震發生在氣體異常高點；(2) 地震發生在氣體異常高點下降途中；(3) 地震發生在氣體異常高點後之最低點；(4) 地震發生在氣體異常高點後之最低點後升高途中。本章地震列表中，亦同時列出異常類型屬於上述四項之何者，俾利深入觀察異常與地震的關聯性。

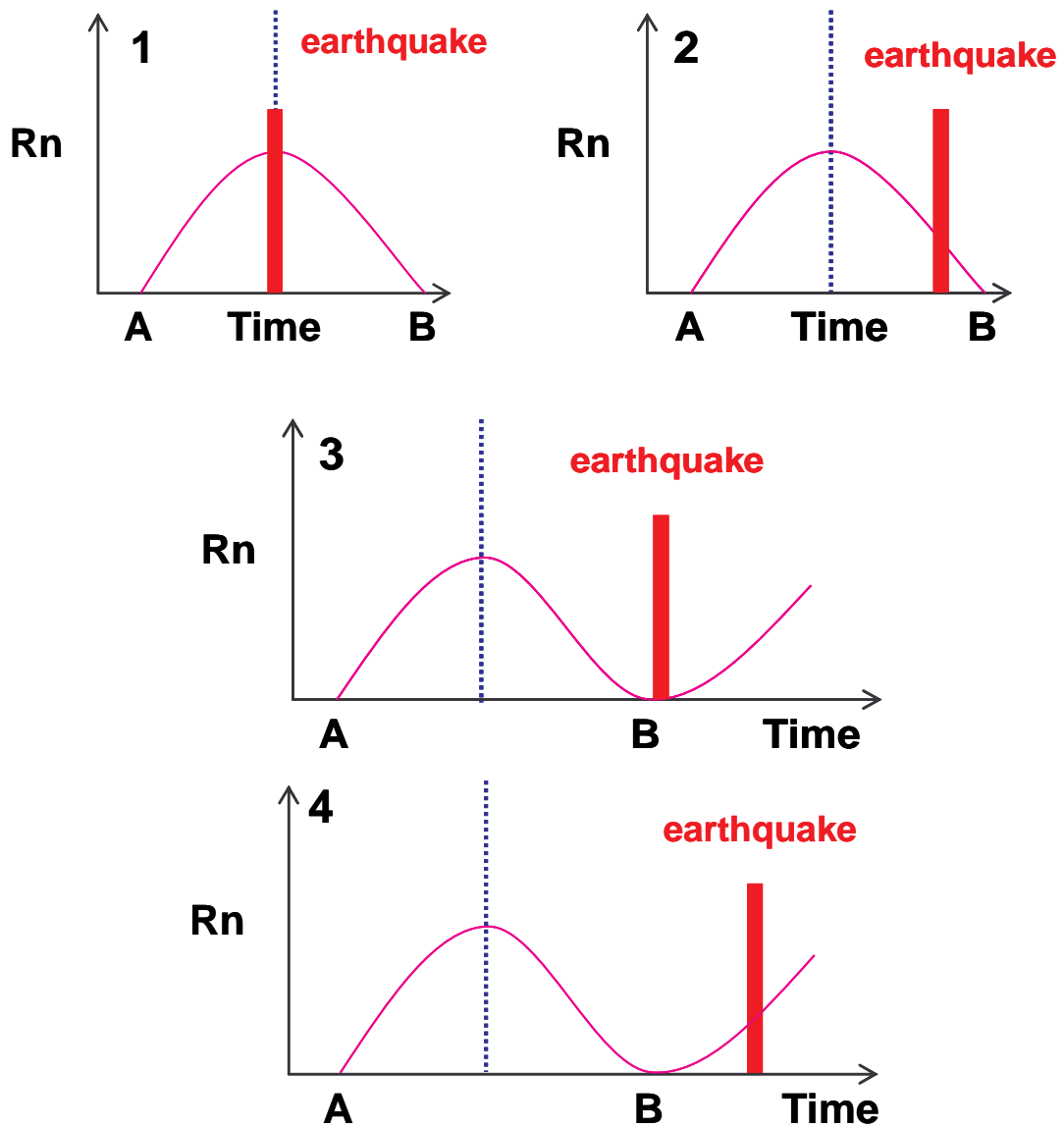


圖 4-1：氣體異常與地震發生的時間關係圖。A 至 B 代表一個完整氣體異常變化區間；垂直虛線為異常出現最高值的時間。①地震發生在氣體異常高點；②地震發生在氣體異常高點下降途中；③地震發生在氣體異常高點後之最低點；④地震發生在氣體異常高點後之最低點後升高途中。(Fu et al., 2009)。

4.2 利用時序分析方法處理觀測資料

由於有些觀測站所記錄到的數據常受到其它環境因子影響，造成判斷異常值與探討其與地震活動的困難。此外，各觀測站所定義的異常往往是主觀認定，故有時會存在認定之標準的問題。本節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。

4.2.1 時序分析方法介紹

在本節中使用兩種方法，分別是疊代式高斯平滑法（Iterative Gaussian Smoothing）與希爾博-黃轉換（Hilbert-Huang Transform）來處理不同測站的資料，以下分別介紹。本研究利用 AnCAD 公司所開發的軟體 Visual Signal 進行數據的處理。

(1) 疊代式高斯平滑法（Iterative Gaussian Smoothing）

各種訊號大部分可視為一周期性訊號加上非週期性訊號。透過 Iterative Gaussian Filter (Smoothing) 得到其周期性部分或非周期性部分的訊號。

對訊號 $\{y_j\}$ 每一點而言，其高斯平均（Guassian Average）：

$$y_i = \frac{1}{L} \sum_{j=-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(t_i-t_j)^2}{2\sigma^2}}$$

此數學式 $\overline{y_j}$ 說明點的值乃由其鄰近的點的平均值來代表，離 j 點越遠其權重越小。

$\overline{y_j}$ 所組成的新訊號較 $\{y_j\}$ 平滑，也就是其高頻部分 $\{y_j^1\} = \{y_j - \overline{y_j}\}$ 被平滑化後消失了。再將 y_j^1 做高斯平均，疊代（反覆此步驟）若干次後 y_j^m 得到的（ m 為疊代次數）其總和即為周期性訊號趨勢訊號。原訊號減去周期性訊號即為其較低頻的趨勢訊號。數學上可證明 Gaussian Filter 相當於如圖 4-2 的濾波器。

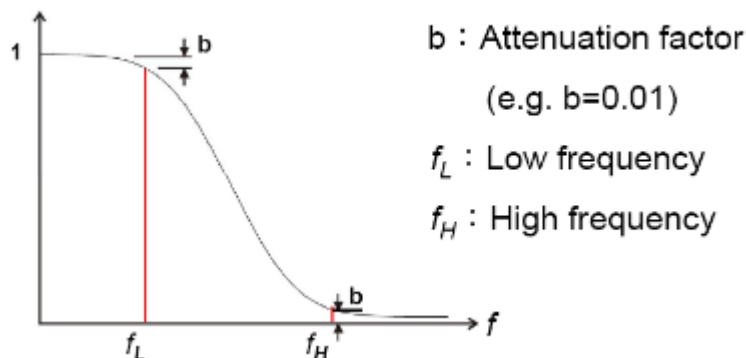


圖 4-2：Iterative Gussin Filter 示意圖。

以趨勢訊號 (low pass filter) 為例, Gaussian Filter 會將小於 F_L 的部分完全通過, 而濾除 (絕大部分) 大於 F_H 而中間的部分則為高斯分布。疊代次數 m 與參數可由 F_L 、 F_H 以及 b (Attenuation Factor) 求得。 b 為很小的值, 較常用的值為 0.01 或 0.001, 可選定為 2 至 10。

(2) 希爾博-黃轉換 (Hilbert-Huang Transform (HHT))

Hilbert-Huang Transform (HHT) 分析方法是 Huang 提出的數學理論, 做為分析非穩定或非線性的訊號 (Huang et al., 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 (Intrinsic 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 (sifting), 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 4-3);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。而篩選過程停下來後的收斂條件為,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 IMF₁ 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 4-4。

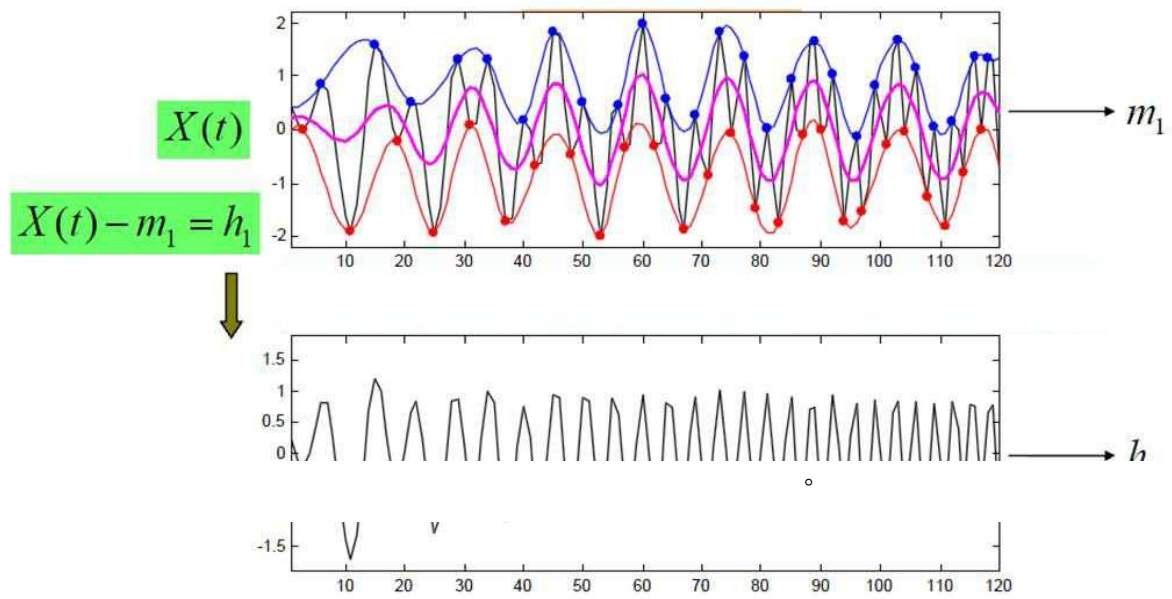


圖 4-3：為第一個 IMF 的求取過程。

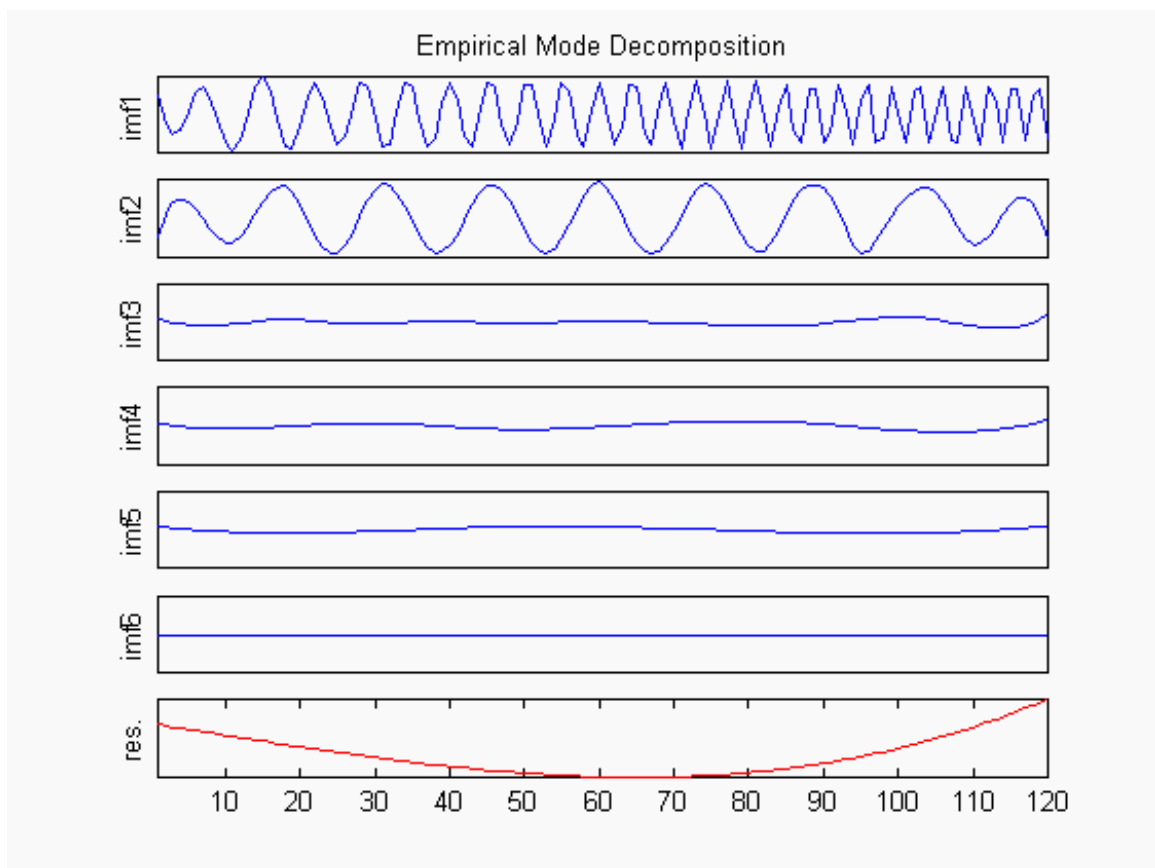


圖 4-4：各 IMF 分量圖。

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

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

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

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

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 ：

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

本章節先就今年度（100/12—101/11）所觀測的數據作分析討論，其後再對於四年度（97/12—101/11）的觀測數據作綜合討論。各節依照觀測站由北往南，由西至東的方式分別作圖說明。各站若有因外來因素，譬如降雨影響致使觀測品質不佳，或是人為更換儀器、管線、乾燥器（劑）導致數據無法連貫，會先行將其刪除，保留可堪用的數據，再分別以疊代式高斯平滑法（Iterative Gaussian Smoothing）及希爾博—黃轉換 Hilbert-Huang Transform（HHT）之經驗模態分解（Empirical Mode Decomposition, EMD）兩個方法，再次去除掉日夜之週期性變化並探討濾波後的訊號與地震活動的關聯。

每個測站利用時序分析方法將有資料短缺或品質不佳遭刪除的時段，補齊數據並做出其標準差，我們給各站所定義的異常門檻會因測站的敏感度不同而有差異（負標準差在本研究暫不做討論），我們將以超出此異常門檻時段與後續發生的地震做討論與說明。在地震的選擇上，我們則以地震規模較大的地震為主，因此只選規模 ≥ 5 且深度 $< 100\text{KM}$ 且震央距離測站 $\leq 150\text{KM}$ ，此外震度 ≥ 1 或 $D/R \geq 1$ 的地震亦皆選入。我們所用的時序分析方法會隨著資料的增加（由於氬氣濃度於不同時間可能會有高低變化）標準差也會不同，因此期中報告氬氣有異常的時段，至期末可能會因後續資料的變化而有所變動，對於與地震的相關性也會有所差異。

氬氣的半衰期是 3.8 天，我們以十倍的氬氣半衰期 38 天作為時序分析方法裡對於 IMF 的選擇依據，只選大於 1.5 天以上的 IMF 內部模態函數和小於或等於 38 天的 IMF 內部模態函數相加，進而得到去除雜訊及去除趨勢的訊號，再將此訊號作統計分析，得到標準差，各測站會因對氬氣的敏感度差異而有不同的標準差作為辨識氣體的異常門檻。

4.3 新竹大平地土壤氣體觀測站

圖 4-5 是新竹大平地觀測站 2011/11/29-2012/12/3 氡氣觀測與地震、雨量的相關圖。詳細每月的分月圖表請參考附錄（圖 A-1 至圖 A-12） 圖中雨量數據是採用中央氣象局自動氣象站（距離測站較近的新竹橫山氣象站）的時雨量資料，加入時雨量資料能幫助我們觀察氣體的即時變化與雨量的關係。

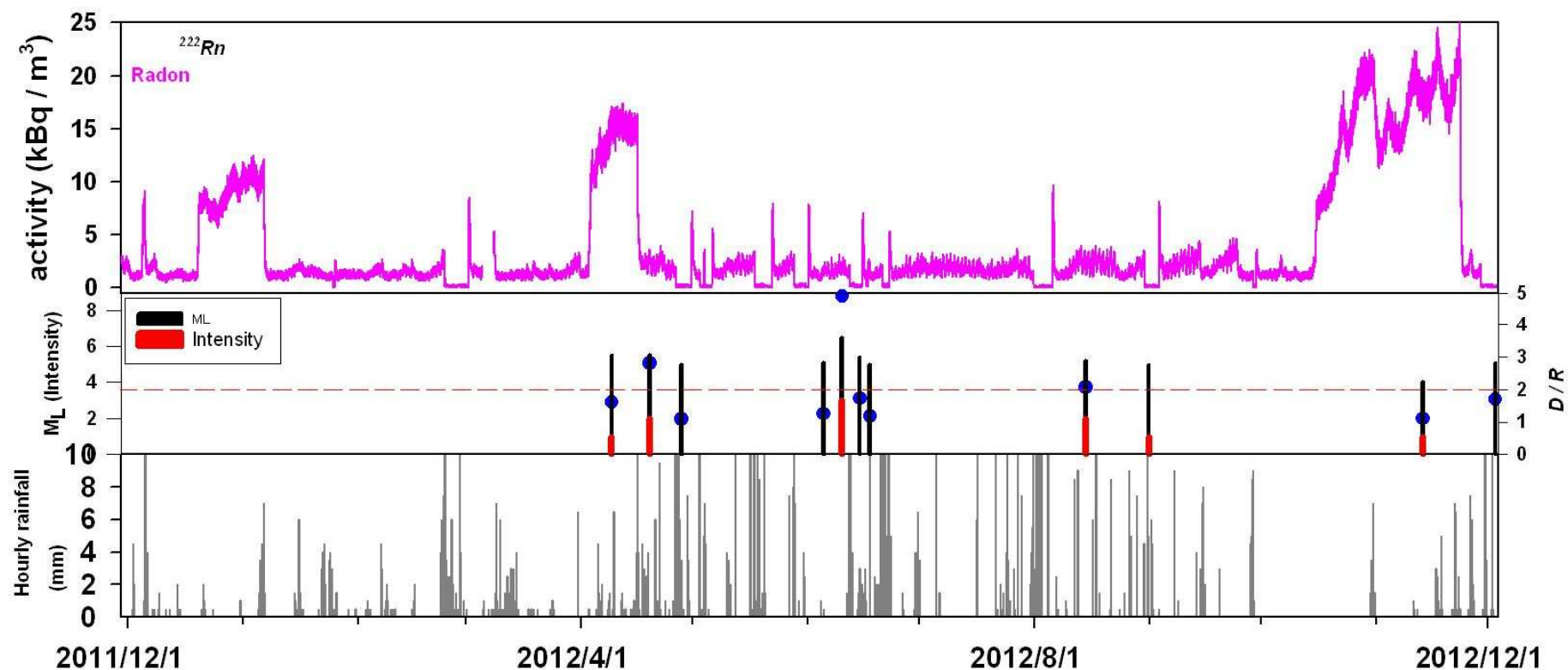


圖 4-5：新竹大平地觀測站氡氣與地震、雨量相關圖 2011/11/29-2012/12/3

利用人工辨識方法來判讀氣體異常與地震的關聯性，除非是很明顯的異常區間，否則可能會因個人主觀判識而對於氣體異常與地震的關聯產生無一致性，因此，我們目前選擇利用時序分析方法，針對原始數據作整理分析，期望能以此較為客觀的方法，去除掉人為判識的疑慮，使能更清楚了解氣體異常與地震的關聯。

圖 4-6 是以時頻分析軟體所做的大平地站氬氣與雨量、地震的關係圖。圖上 A、B、C 分別代表氬氣原始數據、疊代式高斯平滑法 IGaussian 及經驗模態分解 EMD 的結果曲線圖。可以看出原始數據經過濾波後 (B) 一些毛燥的雜訊已經濾除，整體來看氬氣的變化趨勢較 A 更平滑更容易看出變化。

接著我們利用 EMD 拆解原始訊號，拆解後得到 13 個內部模態函數 (IMF) 如表 4-1。我們選擇周期在 1.5 至 38 天的 IMF₆ (周期為 2.5 天) 至 IMF₁₀ (周期為 38 天) 等五個內部模態函數 (表 4-1 粗框所示) 將五個 IMF 相加後，得到去雜訊及去趨勢的訊號，再將此訊號作統計分析，以 1.5 個標準差作為異常門檻，高於此門檻即視為異常 (圖 4-6 C 所示) (負異常在此暫不討論，以下各站亦同)。

表 4-1：經驗模態分解 IMF 列表 2011/11/29—2012/11/6

Channel	Zero Crossings	Extrema Counts	Mean Freq. [cycles/day]	Mean Period [day]	Power (%)
IMF_h1	3136	1791	4.59	0.22	0.00
IMF_h2	2281	1284	3.34	0.30	0.00
IMF_h3	1476	811	2.16	0.46	0.00
IMF_h4	920	488	1.35	0.74	0.00
IMF_h5	526	275	0.77	1.30	0.00
IMF_h6	277	144	0.41	2.46	0.00
IMF_h7	152	76	0.22	4.47	0.00
IMF_h8	80	41	0.12	8.44	0.07
IMF_h9	40	20	0.06	16.68	8.54
IMF_h10	17	9	0.03	38.00	31.55
IMF_h11	11	5	0.02	57.00	11.99
IMF_h12	6	3	0.01	97.72	22.15
IMF_h13	3	1	0.01	171.01	25.70
IMF_residual	0	0	0.00	684.04	

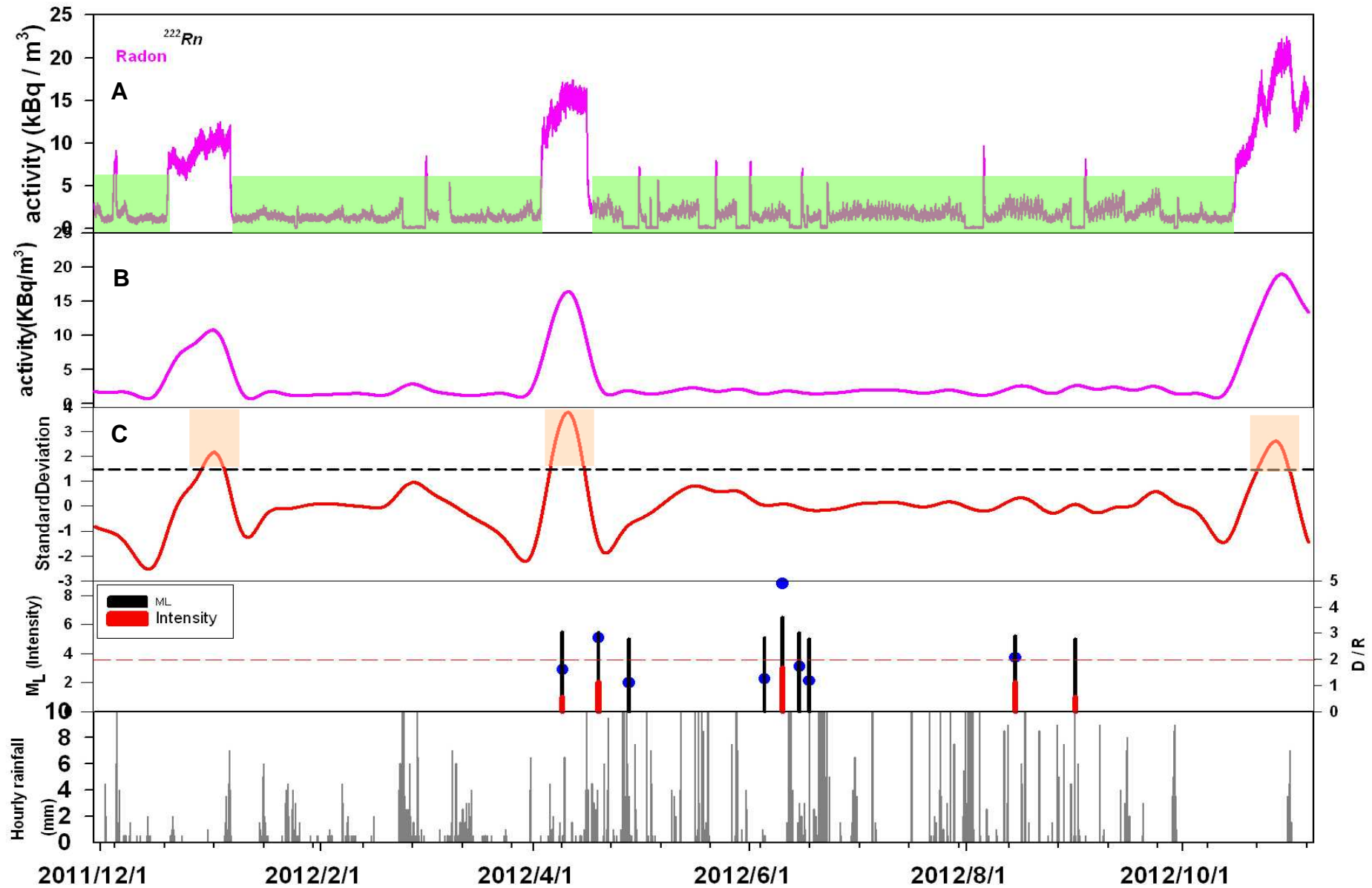


圖 4-6：氡氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果 (A) 為原始數據；(B) 為疊代式高斯平滑法的結果；(C) 為經驗模態分解 (IMF₆-IMF₁₀)，經程式處理後以 1.5 個標準差來表示其異常門檻；粉色框為氡氣異常時段；綠色框為低反應時段。

觀察圖上 C 很明顯有 3 個超出氬氣異常門檻以粉色框表示的異常時段。由於我們已經先將降雨時期影響的數據刪除，因此這 3 個氬氣異常時段應可視為是真實的氬氣異常反應。觀察這三個異常時段，只有中間的異常時段可與地震做相關連結，所對應的地震是 4 月 19 日發生於花蓮近海，規模 5.5。其他兩個異常時段，沒有可與之解釋的地震，這方面仍需其他資料來解釋氬氣的異常反應。此外，利用 EMD 時，這三個大異常時段會壓縮了其他低反應時段的能見度（圖上 A 綠色框所示），因此我們將原始資料裡大異常時段的數據拿掉，保留低反應時段的資料，再利用 EMD 拆解訊號，如此得到一低反應時段的內部模態函數(IMF) 如表 4-2。

表 4-2：低時段經驗模態分解 IMF 列表 2011/11/29—2012/10/15。

Channel	Zero Crossings	Extrema Counts	Mean Freq. [cycles/day]	Mean Period [day]	Power (%)
IMF_h1	3544	2038	5.52	0.18	0.00
IMF_h2	2532	1411	3.95	0.25	0.00
IMF_h3	1619	878	2.52	0.40	0.00
IMF_h4	942	495	1.47	0.68	0.00
IMF_h5	544	281	0.85	1.18	0.00
IMF_h6	274	139	0.43	2.33	0.00
IMF_h7	156	79	0.24	4.09	0.01
IMF_h8	68	34	0.11	9.30	0.42
IMF_h9	41	21	0.07	15.28	29.83
IMF_h10	19	9	0.03	32.09	43.43
IMF_h11	11	5	0.02	53.48	11.98
IMF_h12	4	2	0.01	128.35	14.32
IMF_residual	0	1	0.00	641.77	

我們選擇周期在 1.5 至 38 天的 IMF₆(周期為 2.3 天)至 IMF₁₀(周期為 32.1 天)等五個內部模態函數(表 4-2 粗框所示) 將五個 IMF 相加後，得到去雜訊及去趨勢的訊號，再將此訊號作統計分析，以 1.5 個標準差作為氬氣異常門檻，高於此門檻即視為異常(圖 4-7 C 紅色框所示)。

經過處理後，我們發現低反應時段的氬氣也有異常反應時段(圖 4-7, C, 6 個粉色框所示) 觀察編號 1、3、5、6 異常時段的原始數據，可以發現都是先

氬氣緩慢上升，接著因為降雨影響，導致逸氣來源受阻，氬氣值降至 0（降雨影響的數據已先刪除），再經過 EMD 處理後，皆超過我們所定義的 1.5 個標準差的異常門檻（因為全時段的異常門檻也是 1.5 個標準差），再觀察這 4 個異常時段的相關地震，只有編號 5 異常時段有相對應的地震，即是 8 月 31 日發生於苗栗頭份，規模 5 的地震。編號 2 的異常時段，這與全時段的異常時段相同，這表示不管是全時段還是低反應時段，這個異常反應都是確定的，相關地震也是 4 月 19 日發生於花蓮近海，規模 5.5。編號 4 的異常時段，由原始數據來看（圖 4-7，A，黃色框所示），可明顯看出有一上升下降的完整異常反應，此時期的相關地震為 8 月 14 日發生於花蓮秀林，規模 5.2。大平地觀測站相關地震列表如表 4-3。地震分布圖及測站敏感反應範圍如圖 4-8。

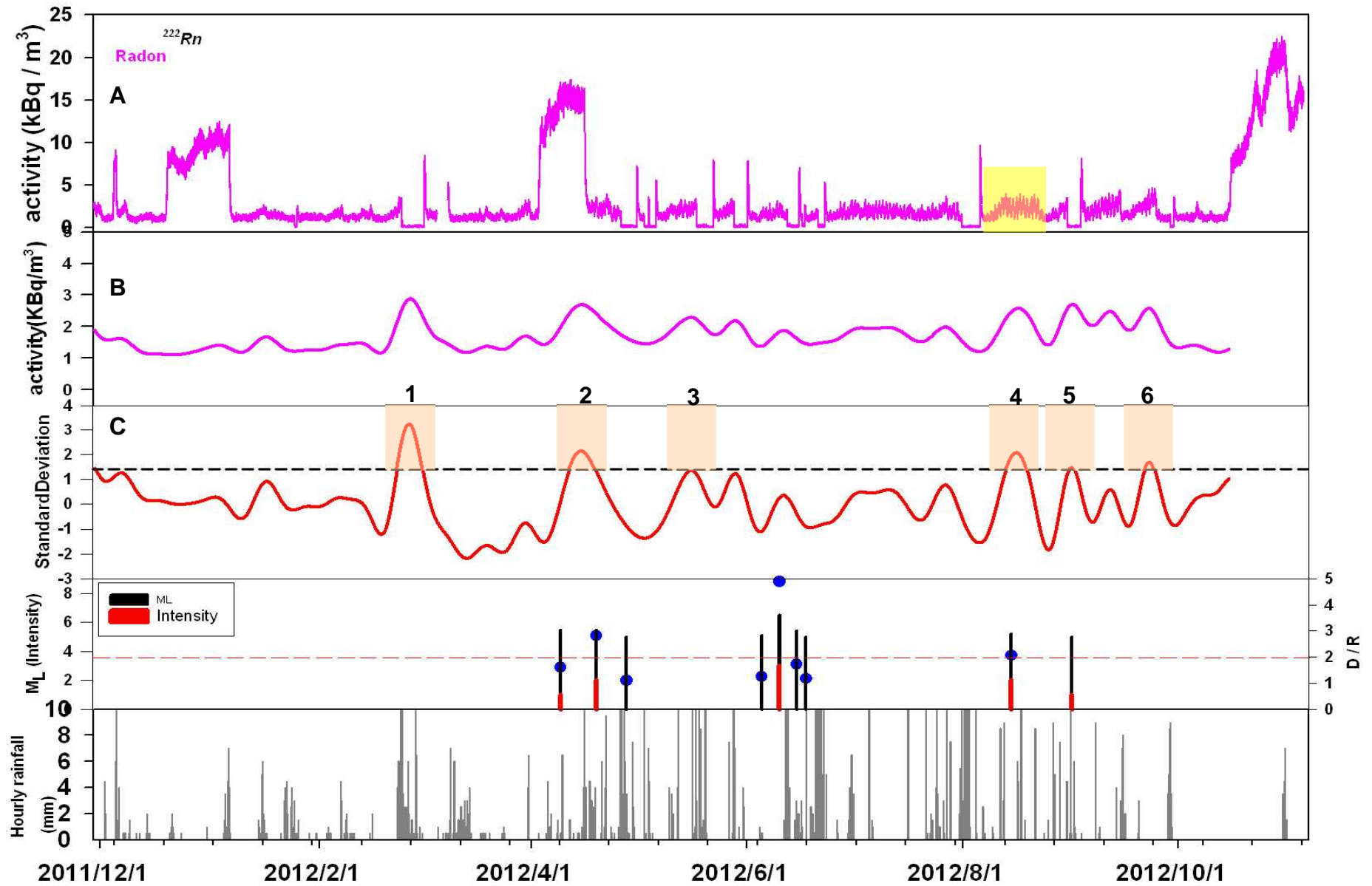
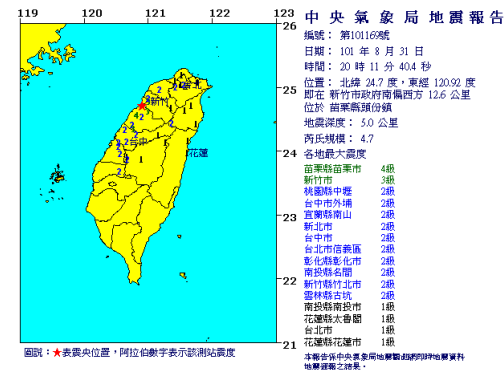
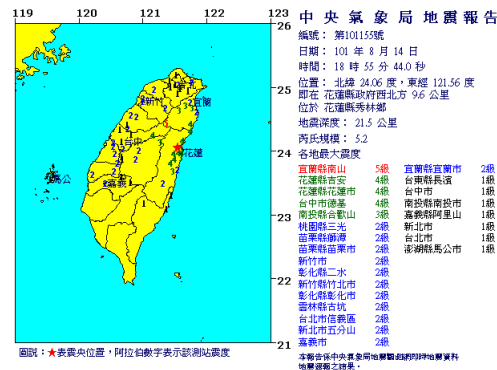
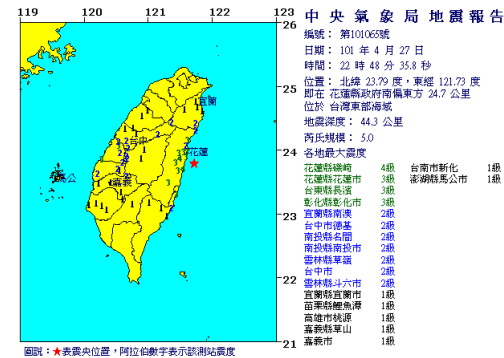
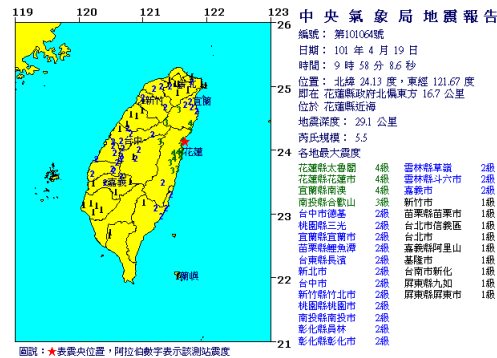


圖 4-7：氡氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果 (A) 為原始數據； (B) 為疊代式高斯平滑法的結果； (C) 為經驗模態分解 (IMF₆-IMF₁₀) 經程式處理後以 1.5 個標準差來表示其異常門檻；粉色框為氡氣異常時段；黃色框為完整異常時段。

表 4-3：新竹大平地觀測站相關地震列表（2011/11/29—2012/11/6）√表示氣體異常與地震有相關性。△表示該地震可能也與氣體異常有關，放置表內以供參考。下列地震報告圖為與表 4-3 相關。

No	西元時間	規模	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
12-251	2012/4/9 05:43	5.7	122.35	24	10	花蓮縣政府東方 73.8 公里 (位於台灣東部海域)		1	0.96	144.50	1.60
12-261	2012/4/19 09:58	5.5	121.67	24.14	29.1	花蓮縣政府北偏東方 16.9 公里 (位於花蓮縣近海)	√	2	2.93	82.36	2.81
12-268	2012/4/27 22:48	5	121.87	23.75	44.3	花蓮縣政府東南方 36.7 公里 (位於台灣東部海域)	△			129.21	1.09
12-336	2012/6/5 04:38	5.1	122.22	24.14	28.8	花蓮縣政府東偏北方 62.9 公里 (位於台灣東部海域)				125.05	1.25
12-350	2012/6/10 05:00	6.6	122.39	24.47	61.9	宜蘭縣政府東偏南方 70.2 公里 (位於台灣東部海域)		3	15.37	127.44	4.89
12-370	2012/6/15 00:15	5.4	121.64	23.71	10	花蓮縣政府南方 31.5 公里 (位於台灣東部海域)				121.86	1.72
12-429	2012/6/17 17:01	5	121.53	23.69	6.5	花蓮縣政府南偏西方 34.6 公里 (位於花蓮縣豐濱鄉)				119.94	1.18
12-550	2012/8/14 18:55	5.2	121.56	24.06	21.5	花蓮縣政府西北方 9.6 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)	√	2	7.54	83.49	2.06
12-589	2012/8/31 20:11	5	120.92	24.7	10	新竹市政府南偏西方 12.6 公里 (位於苗栗縣頭份鎮)	√	1	1.26	24.35	5.80



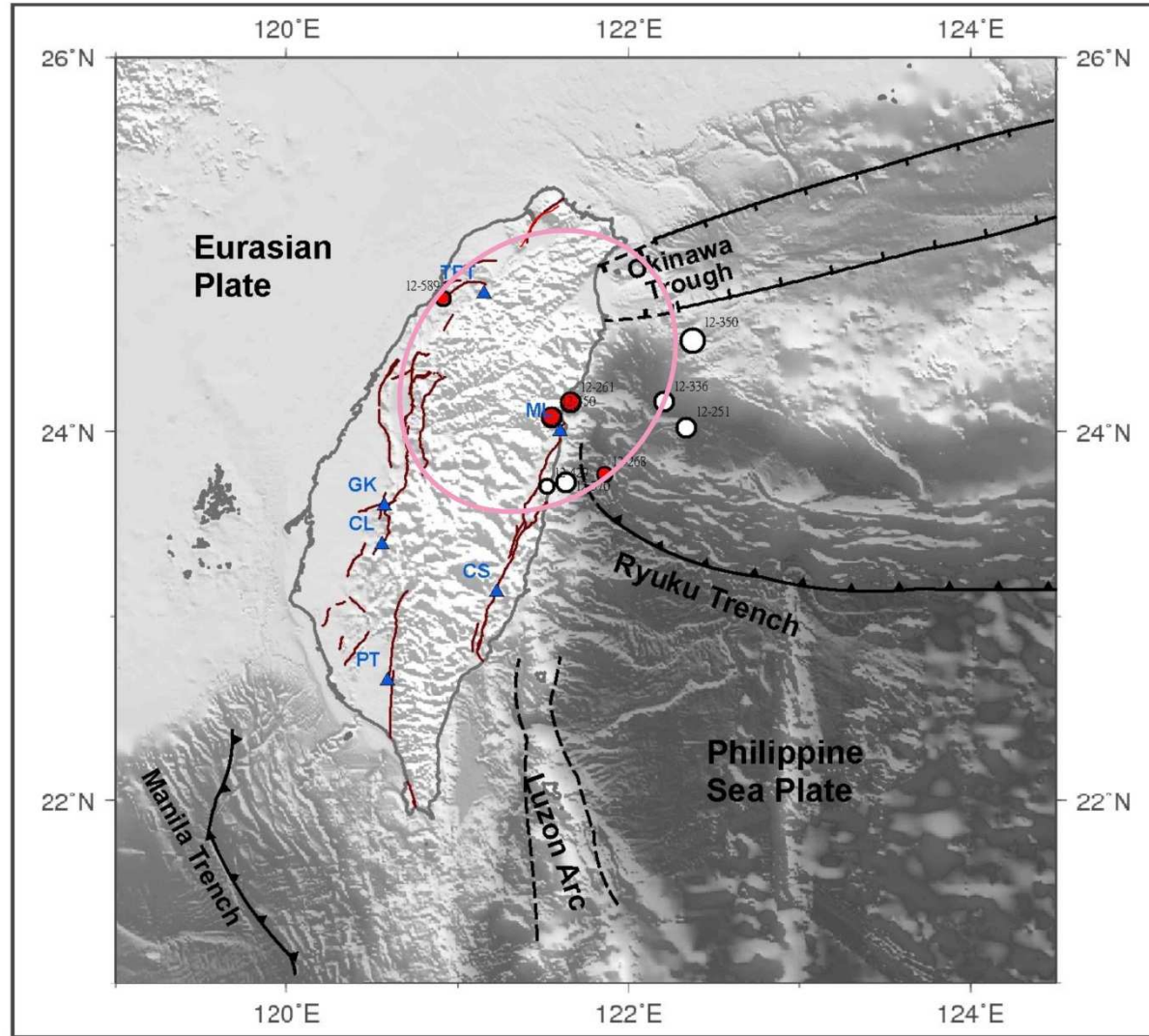


圖 4-8：大平地觀測站相關地震位置分布圖，圖上粉色圈框為測站敏感偵測區間範圍。

4.4 雲林古坑土壤氣體觀測站

古坑站因儀器使用的不同分成兩部分來進行分析。圖 4-9 是 2011/12/22-2012/2/20 氡氣觀測（使用被動式氡氣分析儀）與地震、雨量的相關圖。圖 4-10 則是 2012/3/23-2012/11/27 氡氣觀測（使用主動式氡氣分析儀）與地震、雨量的相關圖，我們也是選擇降雨前資料品質較佳的區段並將很明顯因雨導致氡氣濃度突然下降的部分刪除（圖上粉色框及 X 所示）詳細每月的分月圖表請參考附錄（圖 A-13 至圖 A-26）。其中雨量數據是採用中央氣象局自動氣象站（距離測站較近的雲林山豬湖氣象站）的時雨量資料。

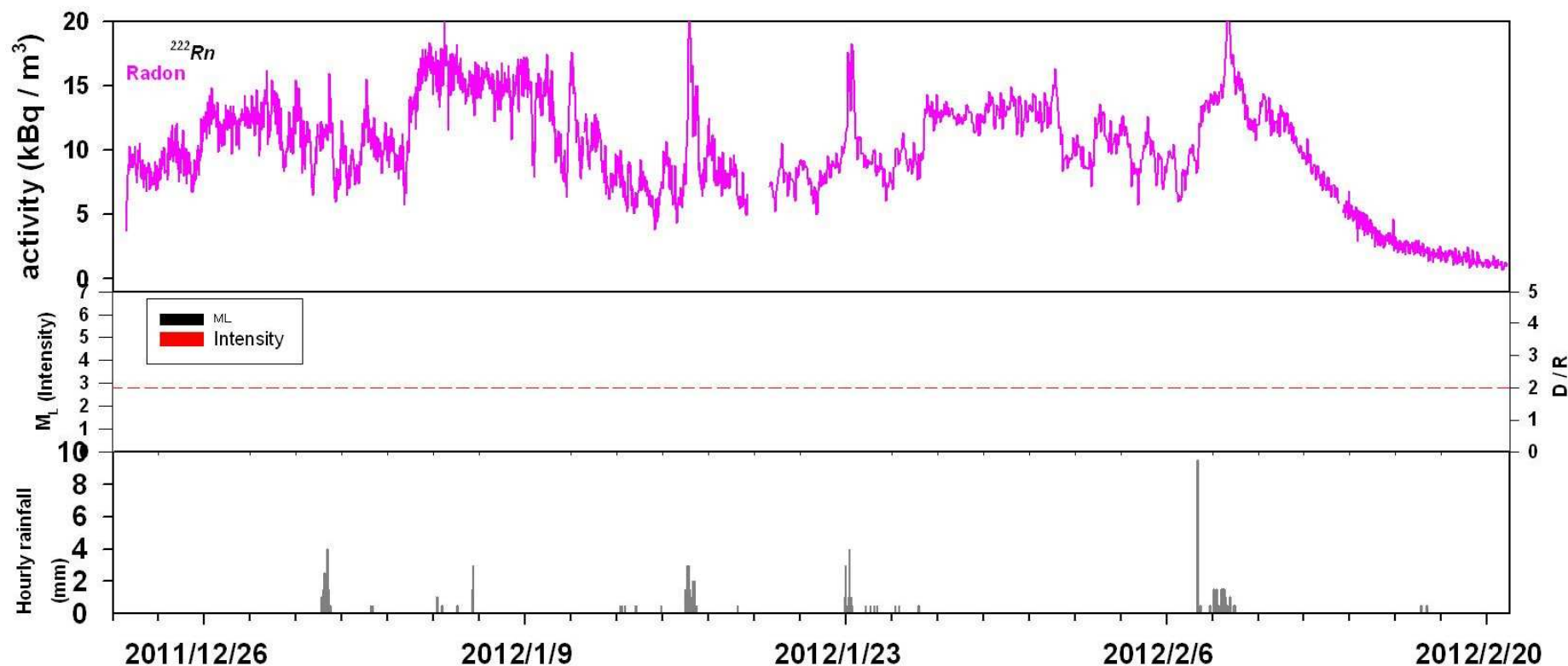


圖 4-9：雲林古坑觀測站氡氣與地震、雨量相關圖 2011/12/22-2012/2/29。

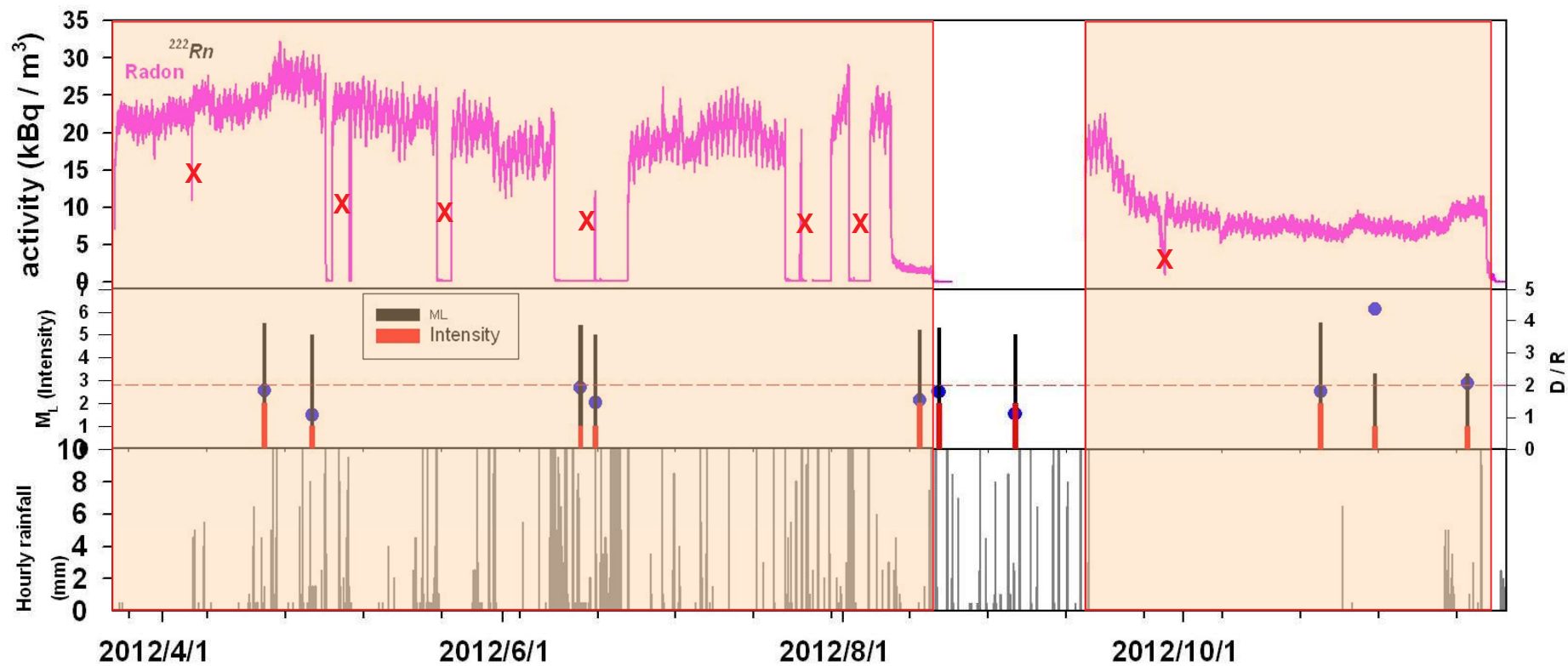


圖 4-10：雲林古坑觀測站氡氣與地震、雨量相關圖 2012/3/23-2012/11/27

4.4.1 被動式氬氣分析儀 2011/12/22 – 2012/2/20

此時期氬氣濃度在未受到降雨影響前在 5KBq/m^3 至 15KBq/m^3 中變化。但自 2 月 8 日後，氬氣漸漸下降至空氣值狀態，值到 2 月 29 日仍是空氣值狀態，這期間沒有可以影響逸氣來源的較大雨勢，研判可能是分析儀故障所致。因此於 2 月 29 日回收此台分析儀，另更換一台。對於此時期的氬氣濃度我們選擇 2011/12/22 至 2012/2/20 這段時間來作 EMD 拆解訊號，得到八個內部模態函數 (IMF) 如表 4-4。選擇周期在 1.5 至 38 天的 IMF₄ (周期為 1.6 天) 至 IMF₈ (周期為 24.1 天) 等五個內部模態函數作統計分析 (表 4-4 粗框所示) 我們以 1.5 個標準差作為氬氣異常門檻，高於此門檻即視為異常，如圖 4-11。

觀察圖上 C 有 2 個超過異常門檻的時段，第一個異常時段可排除降雨的影響，觀察這時期沒有可與此異常反應做連結的地震。第二個異常時段，由於氬氣在上升時同時也伴隨著降雨的發生，因此不易解釋這個異常是否是氬氣真實的異常反應還是受到降雨所致。同樣的此時期也無符合我們篩選條件的地震發生。

表 4-4：經驗模態分解 IMF 列表 2011/12/22 – 2012/2/20。

Channel	Zero Crossings	Extrema Counts	Mean Freq. [cycles/day]	Mean Period [day]	Power (%)
IMF_h1	401	221	3.34	0.30	0.00
IMF_h2	227	123	1.89	0.53	0.00
IMF_h3	130	67	1.09	0.92	0.00
IMF_h4	75	38	0.63	1.59	0.09
IMF_h5	37	19	0.32	3.17	5.77
IMF_h6	22	11	0.19	5.24	19.19
IMF_h7	10	5	0.09	10.95	29.82
IMF_h8	4	2	0.04	24.10	45.13
IMF_residual	0	1	0.01	120.50	

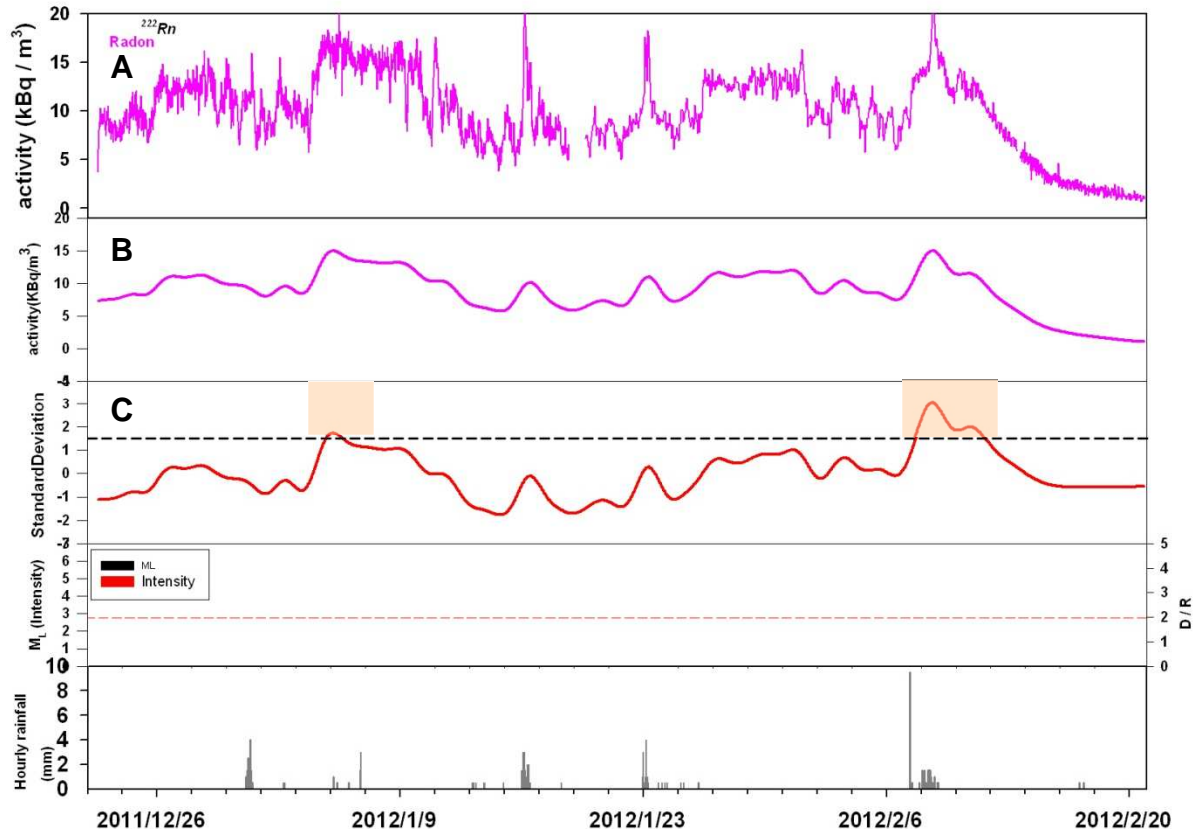


圖 4-11：氡氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果 (A) 為原始數據；(B) 為疊代式高斯平滑法的結果；(C) 為經驗模態分解 (IMF₄-IMF₈) 經程式處理後以 1.5 個標準差來表示其異常門檻；粉色框為氡氣異常時段。

4.4.2 主動式氬氣分析儀 2012/3/23—2012/11/5

主動式氬氣分析儀因為有內建的幫浦輔助抽氣，相對於被動式分析儀，氬氣濃度值呈現較高背景值的趨勢。由圖上 A 原始資料可以看出此時期有很明顯的降雨影響。當降雨量大時，阻塞逸氣來源，氬氣即降至 0，當逸氣來源順暢時，氬氣濃度迅即回復到原來高背景值狀態。我們將明顯受到降雨影響而導致氬氣降至 0 的時段刪除，並利用 EMD 拆解此段時間的訊號，得到 12 個內部模態函數 (IMF) 如表 4-5。選擇周期在 1.5 至 38 天的 IMF₆ (周期為 2.3 天) 至 IMF₁₀ (周期為 34.9 天) 等五個內部模態函數作統計分析 (表 4-5 粗框所示) 以 1.5 個標準差作為氬氣異常門檻，高於此門檻即視為異常，如圖 4-12。

表 4-5：經驗模態分解 IMF 列表 2012/3/23—2012/11/5。

Channel	Zero Crossings	Extrema Counts	Mean Freq. [cycles/day]	Mean Period [day]	Power (%)
IMF_h1	2178	1238	4.80	0.21	0.00
IMF_h2	1528	838	3.37	0.30	0.00
IMF_h3	1044	564	2.30	0.43	0.00
IMF_h4	622	340	1.37	0.73	0.00
IMF_h5	358	188	0.79	1.26	0.00
IMF_h6	200	103	0.44	2.26	0.00
IMF_h7	98	52	0.22	4.58	0.00
IMF_h8	45	22	0.10	9.86	1.62
IMF_h9	23	11	0.05	18.90	7.93
IMF_h10	12	5	0.03	34.89	5.53
IMF_h11	5	2	0.01	75.59	20.15
IMF_h12	3	2	0.01	113.38	64.77
IMF_residual	0	1	0.00	453.52	

圖上 C 有五個超過異常門檻的時段，觀察編號 1、3 異常時段的原始數據有完整的氣體異常反應，但是只有編號 1 有相關地震發生 (4 月 27 日發生於花蓮外海，規模 5)。編號 2 異常時段稍微超過門檻值，同樣的也無符合我們篩選條件的地震可與之對照。編號 4 異常時段，藉由 EMD 將原始數據受到降雨影響刪除的資料補上，此異常時段的相關地震有兩起，分別是 8 月 14 日發生於花蓮秀林附近，規模 5.2 及 8 月 18 日發生於花蓮外海，規模 5.2，編號 5 的異常時段，由於是重新開始啟動儀器，因此不列入我們討論的異常中。

古坑觀測站相關地震列表如表 4-6，地震分布圖及測站敏感反應範圍如圖 4-13。

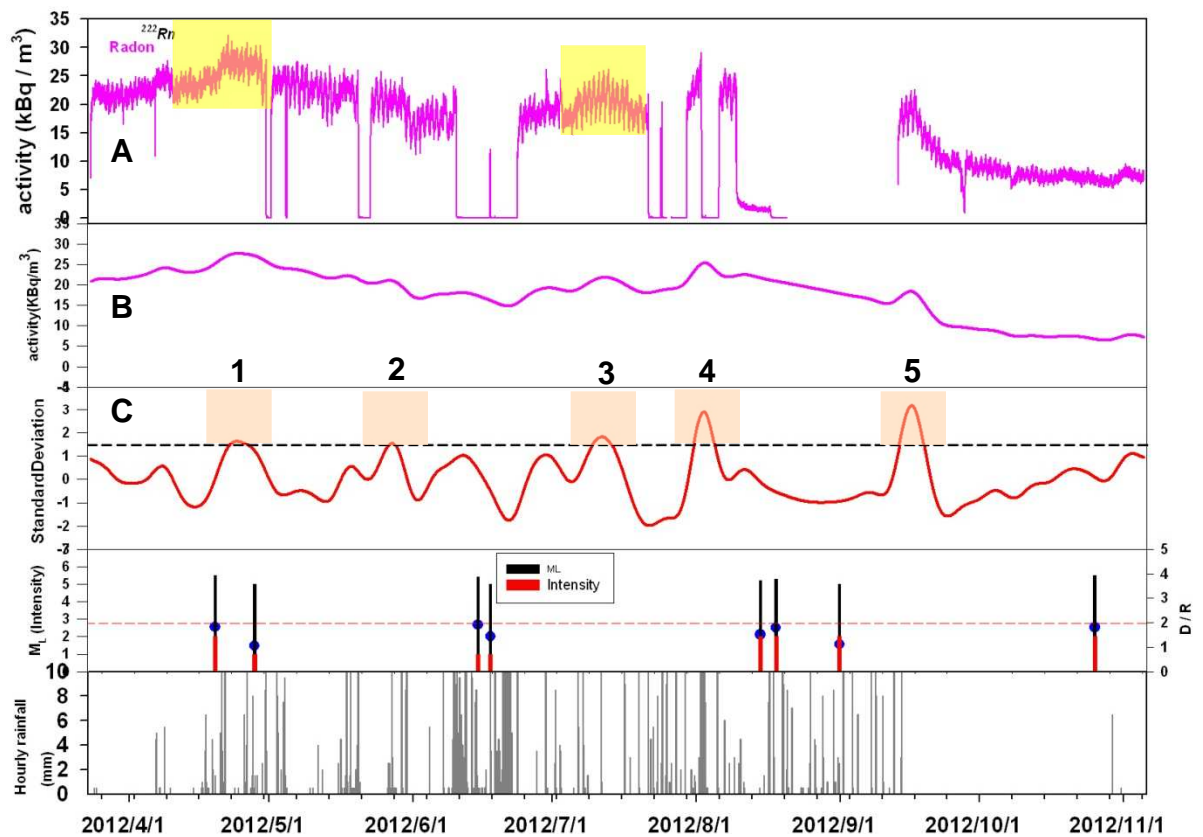
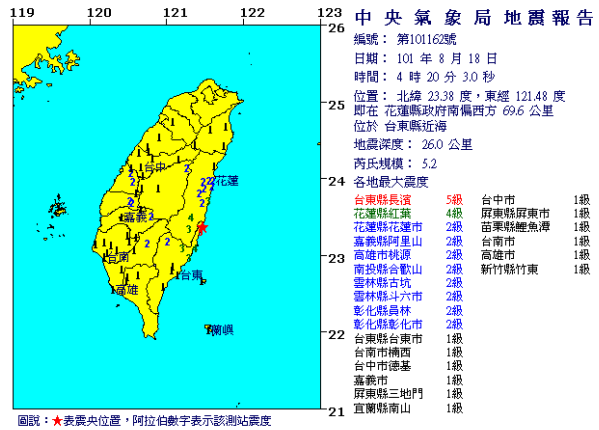
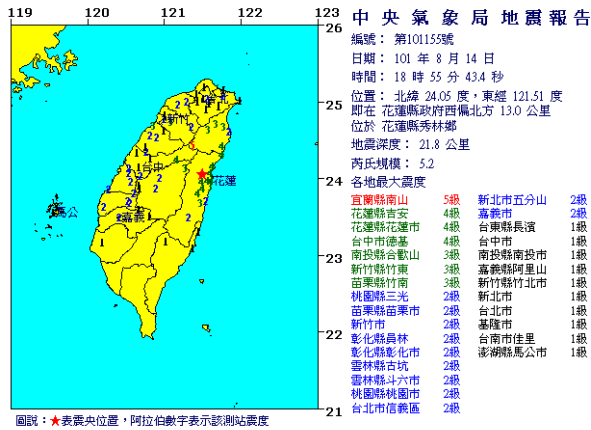
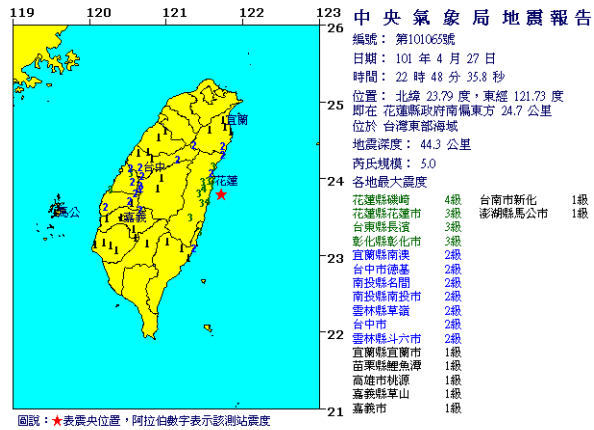


圖 4-12：氡氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果 (A) 為原始數據；(B) 為疊代式高斯平滑法的結果；(C) 為經驗模態分解 (IMF₆-IMF₁₀) 經程式處理後以 1.5 個標準差來表示其異常門檻；粉色框為氡氣異常時段；黃色框為完整異常時段。

表 4-6：雲林古坑觀測站相關地震列表（2011/12/22－2012/11/5）√表示氣體異常與地震有相關性。下列地震報告圖為與表 4-6 相關。

No	西元時間	規模	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
12-157	2012/2/26 10:35	6.4	120.78	22.74	26.3	屏東縣政府東偏北方 30.4 公里 (位於屏東縣霧台鄉)		4	26.26	96.42	5.86
12-212	2012/3/22 07:44	5	121.75	23.21	27.5	台東縣政府東北方 79.4 公里 (位於台灣東部海域)		2	3.05	127.56	1.22
12-261	2012/4/19 09:58	5.5	121.67	24.14	29.1	花蓮縣政府北偏東方 16.9 公里 (位於花蓮縣近海)		2	3.53	127.35	1.82
12-268	2012/4/27 22:48	5	121.87	23.75	44.3	花蓮縣政府東南方 36.7 公里 (位於台灣東部海域)	√	1	x	133.60	1.06
12-370	2012/6/15 00:15	5.3	121.64	23.71	6.5	花蓮縣政府南方 31.5 公里 (位於台灣東部海域)		1	2.09	109.82	1.73
12-428	2012/6/17 17:01	5	121.53	23.69	6.5	花蓮縣政府南偏西方 34.6 公里 (位於花蓮縣豐濱鄉)		1	1.62	98.43	1.44
12-550	2012/8/14 18:55	5.2	121.56	24.06	21.8	花蓮縣政府西北方 9.6 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)	√	2	3.17	113.35	1.52
12-568	2012/8/18 04:20	5.2	121.58	23.35	26	花蓮縣政府南方 71.2 公里 (位於台灣東部海域)	√	2	3.47	106.40	1.62
12-589	2012/8/31 20:11	5	120.92	24.7	10	新竹市政府南偏西方 12.6 公里(位於苗栗縣頭份鎮)		2	2.69	127.80	1.11
12-662	2012/10/25 18:31	5.5	120.4	22.44	33	高雄市政府南偏東方 22.1 公里(位於屏東縣近海)		2	3.77	128.35	1.81



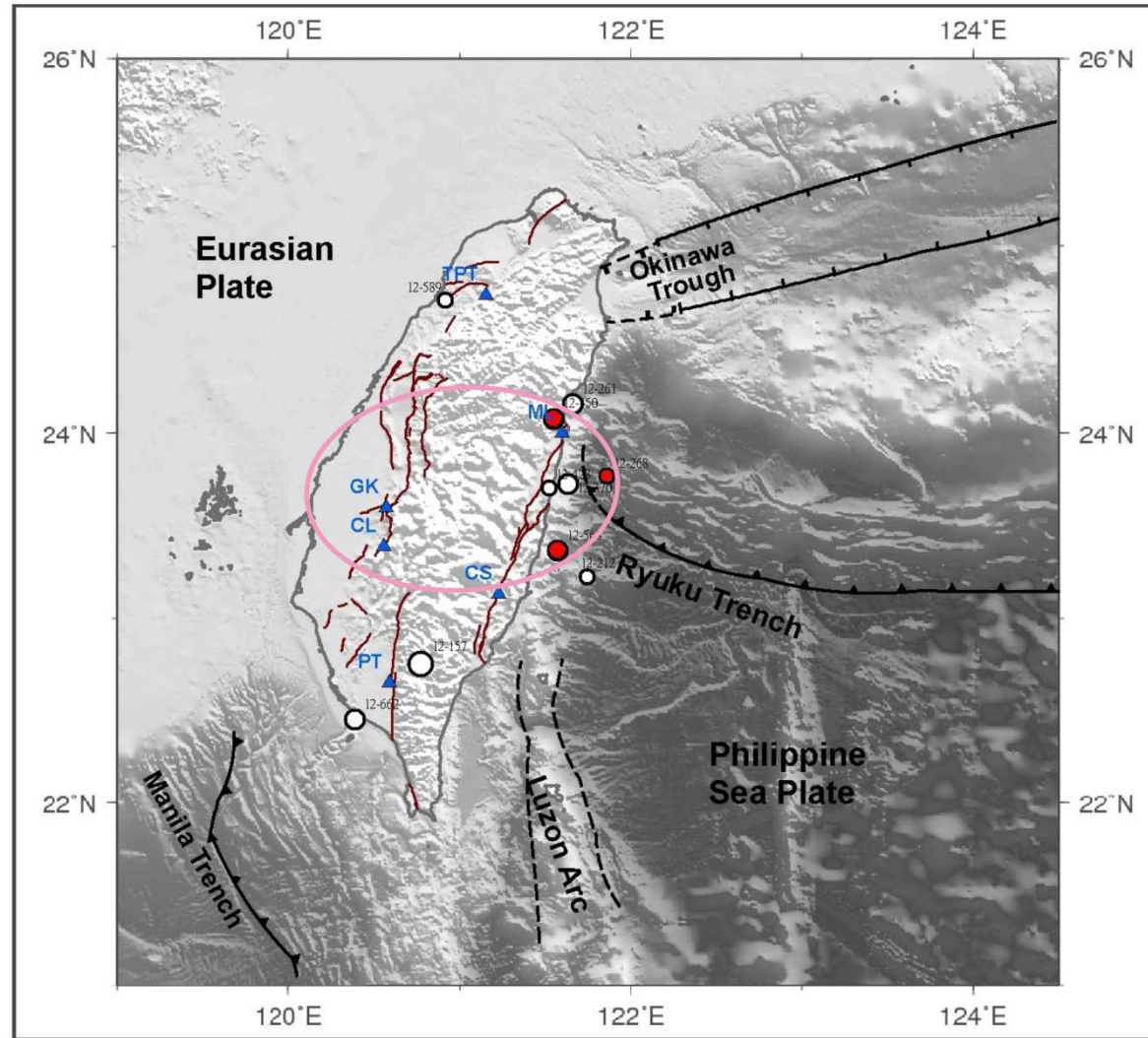


圖 4-13：古坑觀測站相關地震位置分布圖，圖上粉色圈框為測站敏感偵測區間範圍。

4.5 嘉義中崙土壤氣體觀測站

圖 4-14 是 2011/11/29-2012/12/3 氡氣觀測與地震、雨量的相關圖。詳細每月的分月圖表請參考附錄（圖 A-27 至圖 A-50）。其中雨量數據是採用中央氣象局自動氣象站（距離測站較近的嘉義小公田氣象站）的時雨量資料。

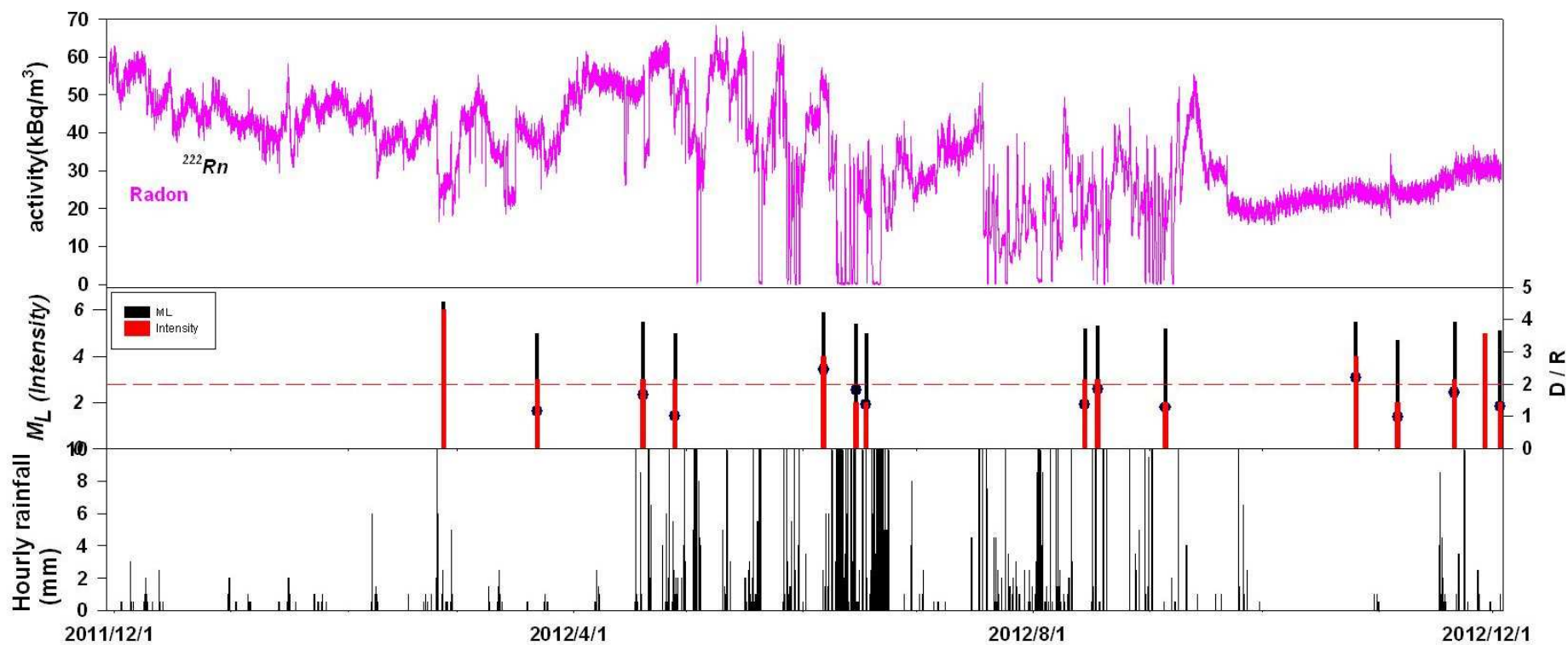


圖 4-14：嘉義中崙觀測站氡氣與地震、雨量相關圖 2011/11/29-2012/12/3。

中崙站在利用 EMD 之前先將受到降雨影響觀測品質不佳的資料去除。然後再針對這段時期的訊號做拆解，得到 12 個內部模態函數 (IMF) 如表 4-7。選擇周期在 1.5 至 38 天的 IMF₆ (周期為 2.5 天) 至 IMF₁₀ (周期為 29.7) 等五個內部模態函數 (表 4-7 粗框所示) 作統計分析，以 1 個標準差作為氬氣異常門檻，高於此門檻即視為異常，如圖 4-15。

表 4-7：經驗模態分解 IMF 列表 2011/11/29–2012/11/5。

Channel	Zero Crossings	Extrema Counts	Mean Freq. [cycles/day]	Mean Period [day]	Power (%)
IMF_h1	2596	1460	3.80	0.26	0.00
IMF_h2	1865	1033	2.73	0.37	0.00
IMF_h3	1335	722	1.95	0.51	0.00
IMF_h4	839	454	1.23	0.81	0.00
IMF_h5	494	267	0.72	1.38	0.00
IMF_h6	276	146	0.41	2.47	0.00
IMF_h7	152	81	0.22	4.47	0.00
IMF_h8	69	35	0.10	9.76	0.05
IMF_h9	42	21	0.06	15.90	6.25
IMF_h10	22	10	0.03	29.72	12.71
IMF_h11	11	5	0.02	56.96	14.05
IMF_h12	3	1	0.01	170.88	66.94
IMF_residual	0	1	0.00	683.52	

觀察圖上 C 有八個超過異常門檻的時段。其中編號 1、5、7 異常時段，只有氣體異常，後續沒有相關地震發生。其餘氣體異常時段隨後皆有相對應地震發生，其與地震的相關性以表 4-8 做說明。此外編號 2、3、4 異常時段的原始數據是完整的氣體異常反應 (圖上 A 黃色框所示) 這也說明在原始數據若有完整的氣體異常反應，在 EMD 時亦可能會有相同的氣體異常時段。

中崙觀測站相關地震列表如表 4-8，地震分布圖及測站敏感反應範圍如圖 4-16。

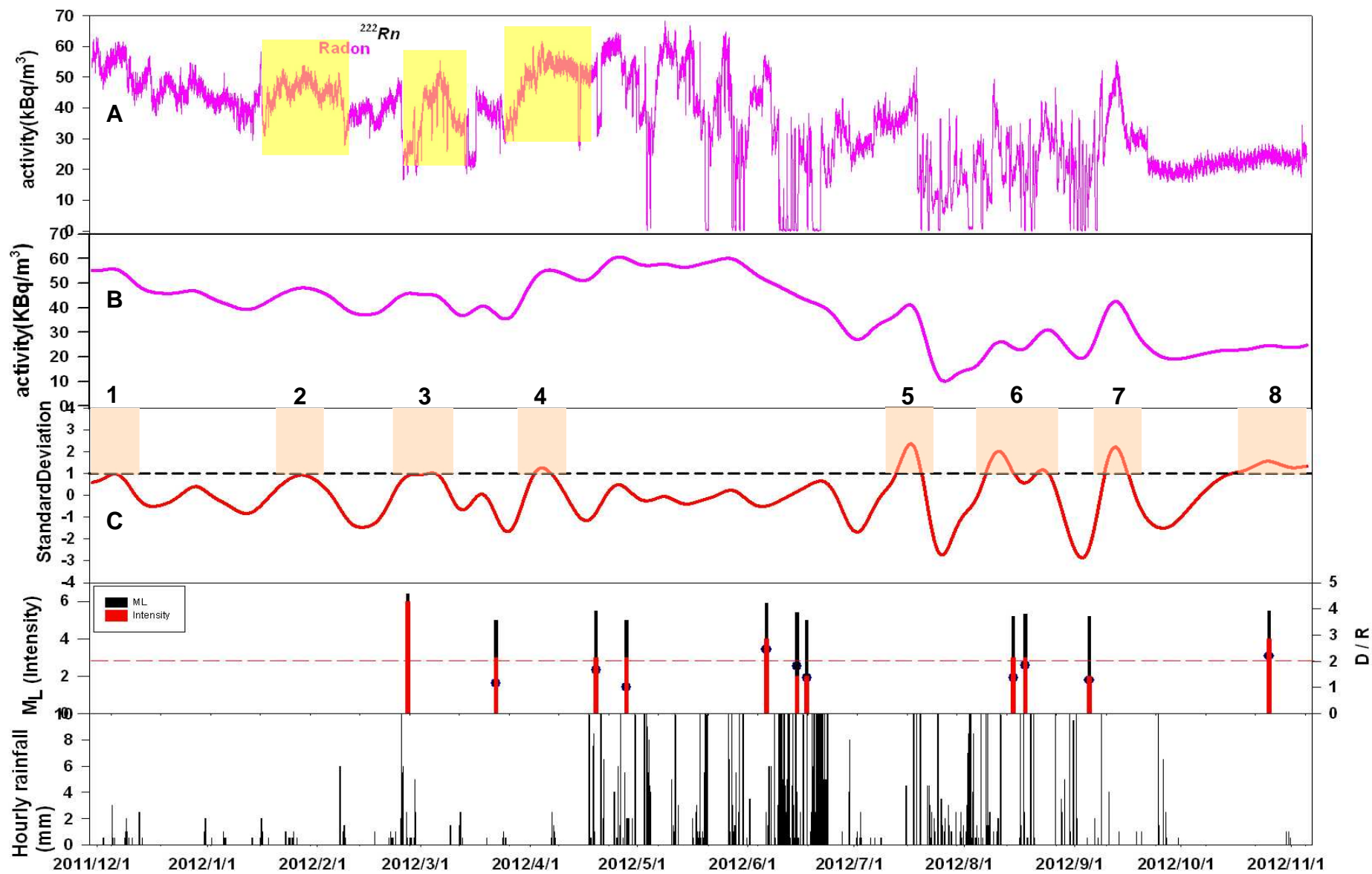
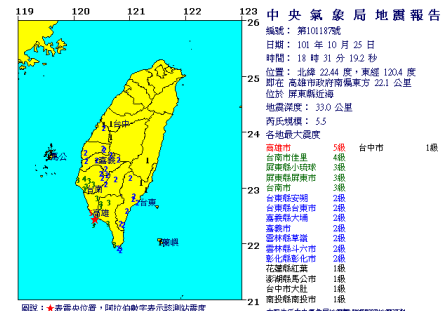
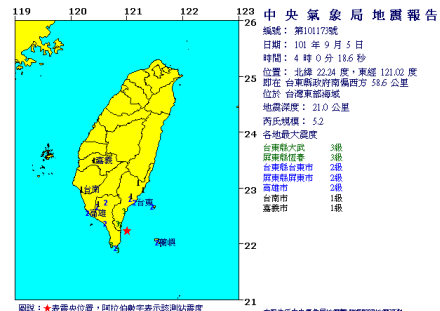
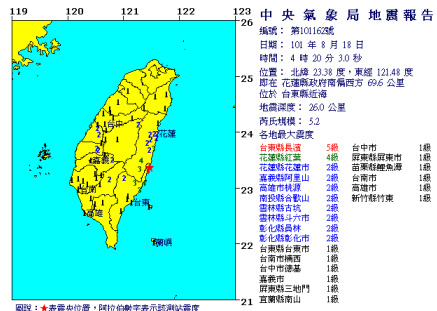
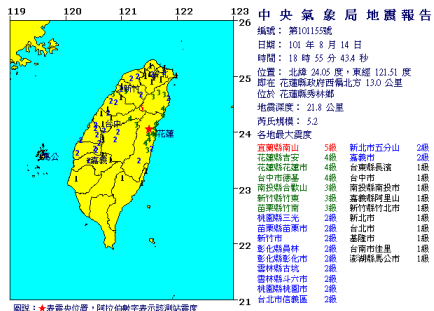
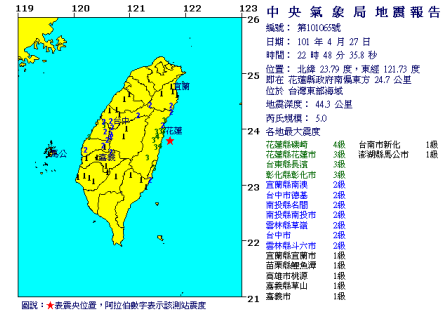
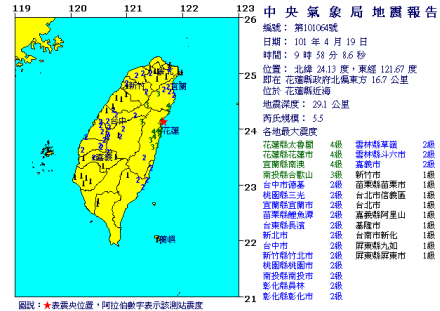
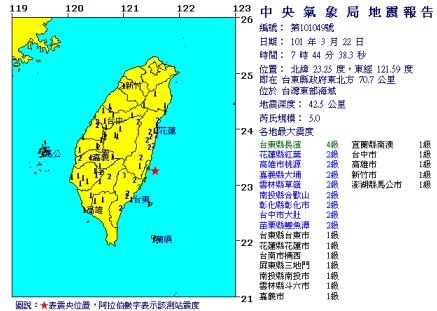
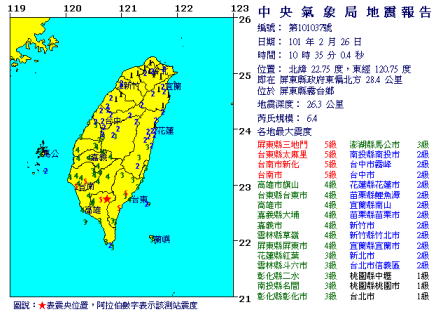


圖 4-15：氡氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果 (A) 為原始數據； (B) 為疊代式高斯平滑法的結果； (C) 為經驗模態分解 (IMF₆-IMF₁₀) 經程式處理後以 1 個標準差來表示其異常門檻；粉色框為氡氣異常時段；黃色框為完整異常時段。

表 4-8：嘉義中崙觀測站相關地震列表（2011/11/29—2012/11/5） \sphericalangle 表示氣體異常與地震有相關性。 Δ 表示該地震可能也與氣體異常有關，放置表內以供參考。下列地震報告圖為與表 4-8 相關。

No	西元時間	規模	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
12-157	2012/2/26 10:35	6.4	120.78	22.74	26.3	屏東縣政府東偏北方 30.4 公里 (位於屏東縣霧台鄉)	V	6	346.1	73.96	7.64
12-212	2012/3/22 07:44	5	121.75	23.21	42.5	台東縣政府東北方 79.4 公里 (位於台灣東部海域)	V	3	11.74	121.99	1.16
12-261	2012/4/19 09:58	5.5	121.67	24.14	29.1	花蓮縣政府北偏東方 16.9 公里 (位於花蓮縣近海)	V	3	8.85	140.01	1.66
12-268	2012/4/27 22:48	5	121.87	23.75	44.3	花蓮縣政府東南方 36.7 公里 (位於台灣東部海域)	Δ	3	9.32	138.70	1.02
12-338	2012/6/6 09:08	5.9	121.43	22.39	18.4	台東縣政府東南方 49.9 公里 (位於台灣東部海域)		4	25.92	140.53	2.45
12-370	2012/6/15 00:15	5.3	121.64	23.71	6.5	花蓮縣政府南方 31.5 公里 (位於台灣東部海域)		2	6.04	115.04	1.65
12-428	2012/6/17 17:01	5	121.53	23.69	6.5	花蓮縣政府南偏西方 34.6 公里 (位於花蓮縣豐濱鄉)		2	4.17	103.72	1.36
12-550	2012/8/14 18:55	5.2	121.56	24.06	21.8	花蓮縣政府西北方 9.6 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)	V	3	11.04	125.77	1.37
12-568	2012/8/18 04:20	5.2	121.58	23.35	26	花蓮縣政府南方 71.2 公里 (位於台灣東部海域)	V	3	17.49	103.17	1.67
12-597	2012/9/5 04:00	5.2	121.02	22.24	21	台東縣政府南偏西方 58.6 公里(位於台灣東部海域)	V	2	6.49	134.23	1.28
12-662	2012/10/25 18:31	5.5	120.4	22.44	33	高雄市政府南偏東方 22.1 公里(位於屏東縣近海)	V	4	33.99	105.39	2.20



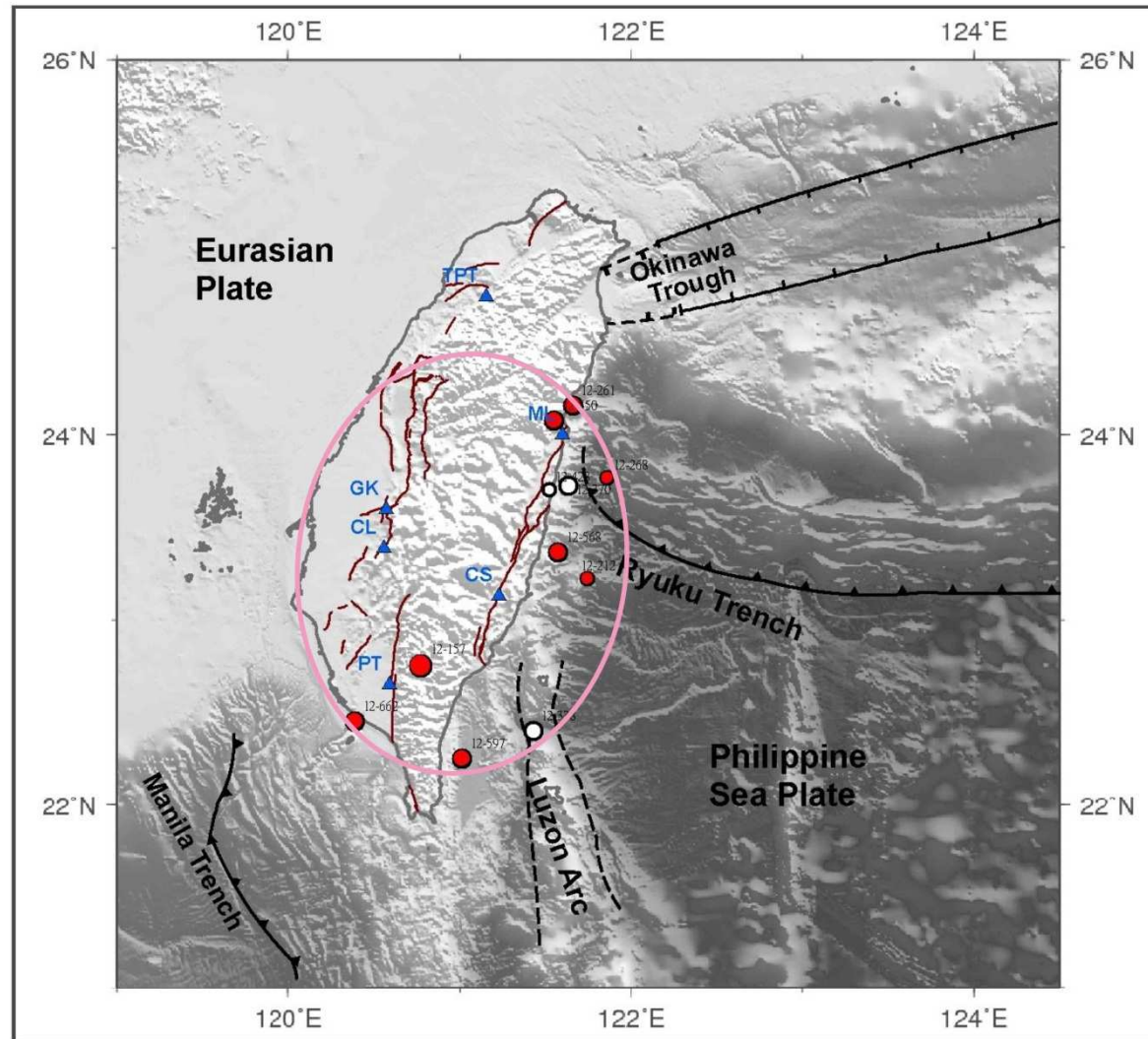


圖 4-16：中崙觀測站相關地震位置分布圖，圖上粉色圈框為測站敏感偵測區間範圍。

4.6 屏東屏科大土壤氣體觀測站

圖 4-17 是 2011/11/28-2012/12/3 氬氣觀測與地震、雨量的相關圖。詳細每月的分月圖表請參考附錄（圖 A-51 至圖 A-62）。其中雨量數據是採用中央氣象局自動氣象站（距離測站較近的屏東三地門氣象站）的時雨量資料。此站於 6 月 8 日開始的豪雨，造成測站附近嚴重積水，原理在土壤裡的電線亦被水沖刷上來並遭樹枝壓斷，導致電力中斷，直到 6 月 30 日修復且恢復供電，因此自 6 月 14 日之後的數據佚失。

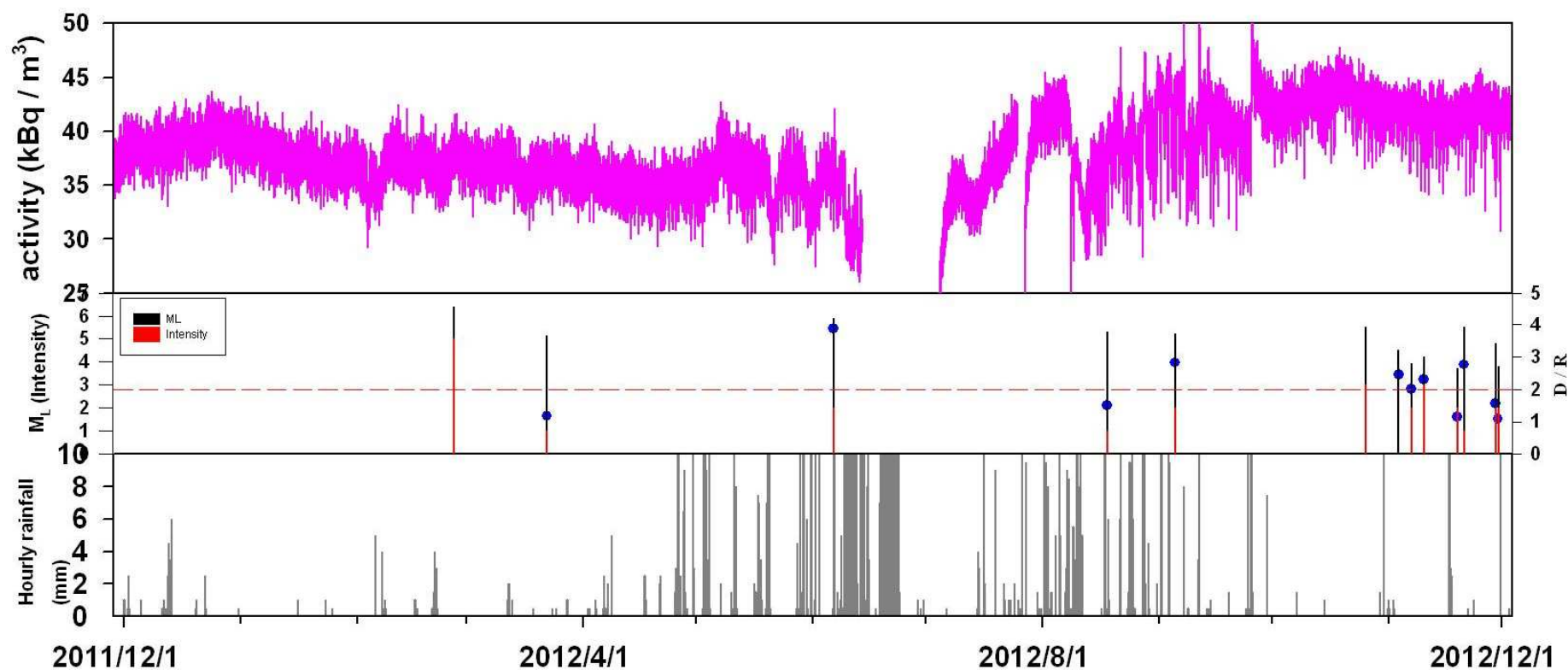


圖 4-17：屏東屏科大觀測站氬氣與地震、雨量相關圖 2011/11/28-2012/12/3。

屏科大站長期以來氬氣濃度皆維持在高背景值狀態，濃度值介於 30KBq/m 至 45KBq/m³ 之間。我們將此時期觀測到的原始數據利用 EMD 方法將訊號做拆解，得到 12 個內部模態函數 (IMF) 如表 4-9。選擇周期在 1.5 至 38 天的 IMF₆ (周期為 2.4 天) 至 IMF₁₀ (周期為 31.3 天) 等五個內部模態函數作統計分析 (表 4-9 粗框所示)，以 1 個標準差作為氬氣異常門檻，高於此門檻即視為異常，如圖 4-18。

表 4-9：經驗模態分解 IMF 列表 2011/11/28—2012/11/6。

Channel	Zero Crossings	Extrema Counts	Mean Freq. [cycles/day]	Mean Period [day]	Power (%)
IMF_h1	3326	1893	4.84	0.21	0.00
IMF_h2	2425	1337	3.53	0.28	0.00
IMF_h3	1580	855	2.30	0.43	0.00
IMF_h4	971	515	1.41	0.71	0.00
IMF_h5	547	290	0.80	1.25	0.00
IMF_h6	292	151	0.43	2.35	0.00
IMF_h7	184	92	0.27	3.72	0.00
IMF_h8	64	33	0.09	10.58	0.05
IMF_h9	46	23	0.07	14.63	4.68
IMF_h10	21	11	0.03	31.25	10.35
IMF_h11	9	5	0.01	68.76	38.37
IMF_h12	4	2	0.01	137.52	46.55
IMF_residual	0	0	0.00	687.58	

觀察圖上 C 有八個超過異常門檻的時段。其中編號 4 異常時段，由於受到豪雨影響，造成資料短缺，然而 EMD 會自動內插短缺的數據，再與前面的數據進行運算，因此形成沒有原始數據卻有超過異常門檻的異常反應時段，這部分我們捨棄不用。編號 5 異常時段則是儀器剛開始運作，沒有之前的相關數據，所以此異常反應時段，我們也是捨棄。編號 2、3 異常時段，由於氣體異常反應是在豪雨前開始，加上豪雨時儀器未受影響尚能持續接收分析，因此這兩段異常反應時段，在此將其視為是一起的異常時段，其所對應的地震是 6 月 6 日發生於台東外海，規模 5.9。其餘氣體異常時段皆有相對應的地震發生，其與地震的相關性以表 4-10 做說明。

屏科大觀測站相關地震列表如表 4-10，地震分布圖及測站敏感反應範圍如圖 4-19。

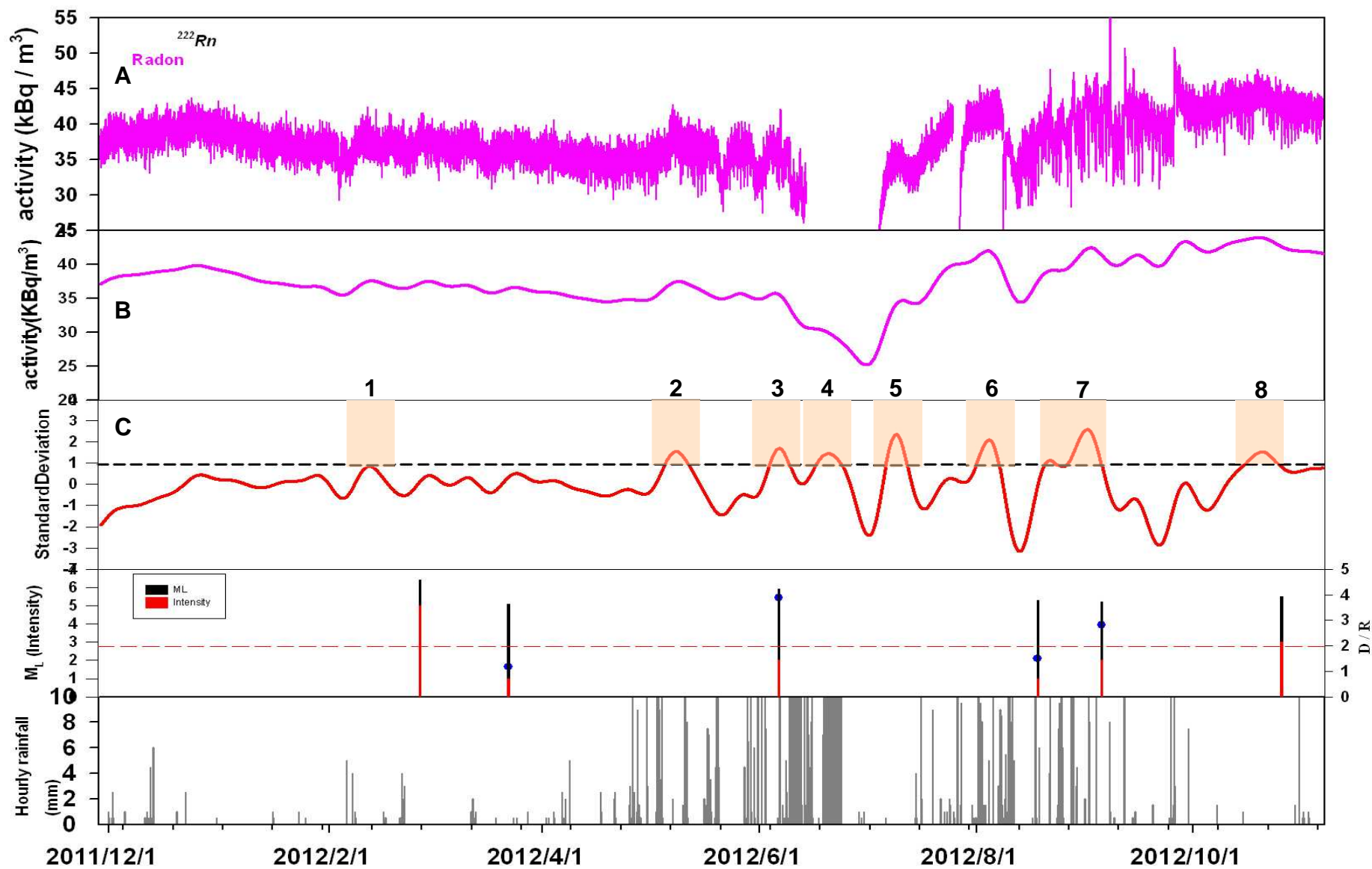
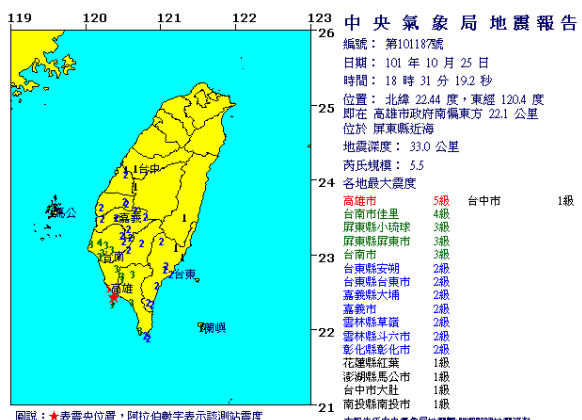
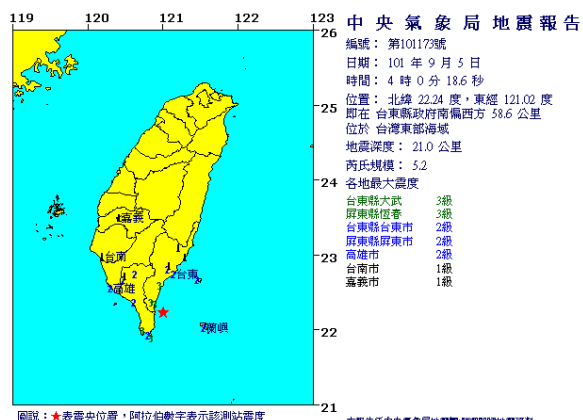
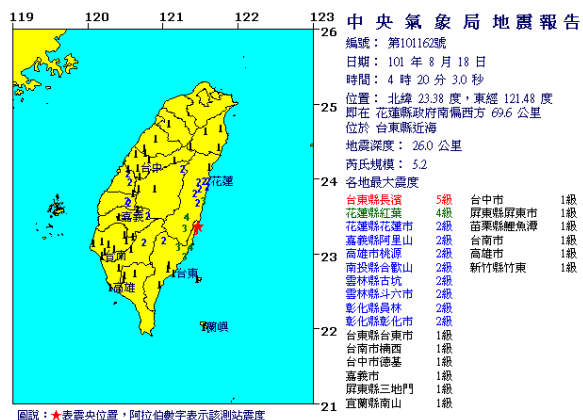
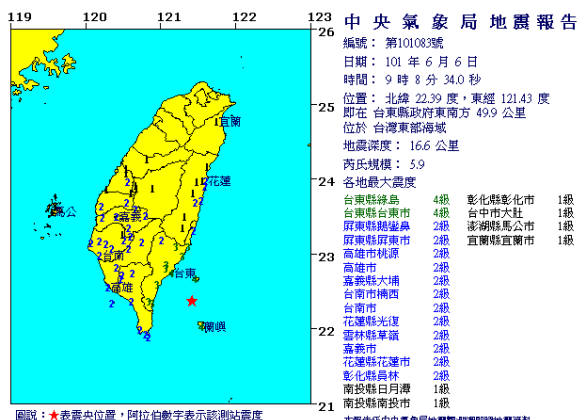
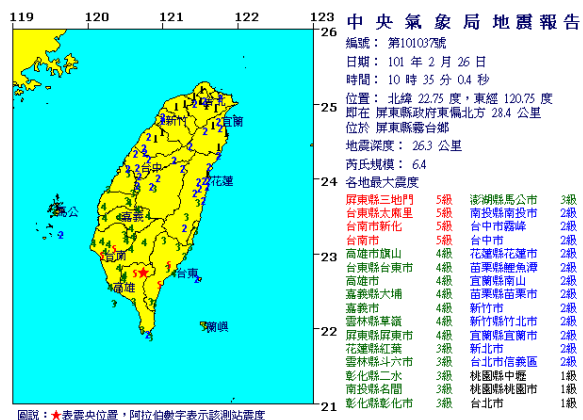


圖 4-18：氡氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果 (A) 為原始數據； (B) 為疊代式高斯平滑法的結果； (C) 為經驗模態分解 (IMF₆-IMF₁₀) 經程式處理後以 1 個標準差來表示其異常門檻；粉色框為氡氣異常時段。

表 4-10：屏東屏科大觀測站相關地震列表（2011/11/28—2012/11/6）∨表示氣體異常與地震有相關性。下列地震報告圖為與表 4-10 相關。

No	西元時間	規模	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
12-157	2012/2/26 10:35	6.4	120.78	22.74	26.3	屏東縣政府東偏北方 30.4 公里 (位於屏東縣霧台鄉)	∨	5	173.4	20.65	27.36
12-212	2012/3/22 07:44	5	121.75	23.21	27.5	台東縣政府東北方 79.4 公里 (位於台灣東部海域)		1	1.44	132.69	1.18
12-338	2012/6/6 09:08	5.9	121.43	22.39	16.6	台東縣政府東南方 49.9 公里 (位於台灣東部海域)	∨	2	4.25	88.66	3.88
12-568	2012/8/18 04:20	5.2	121.58	23.35	26	花蓮縣政府南方 71.2 公里 (位於台灣東部海域)	∨	1	1.26	126.59	1.36
12-597	2012/9/5 04:00	5.2	121.02	22.24	21	台東縣政府南偏西方 58.6 公里(位於台灣東部海域)	∨	2	3.41	61.09	2.82
12-662	2012/10/25 18:31	5.5	120.4	22.44	33	高雄市政府南偏東方 22.1 公里(位於屏東縣近海)	∨	3	23.03	30.89	7.50



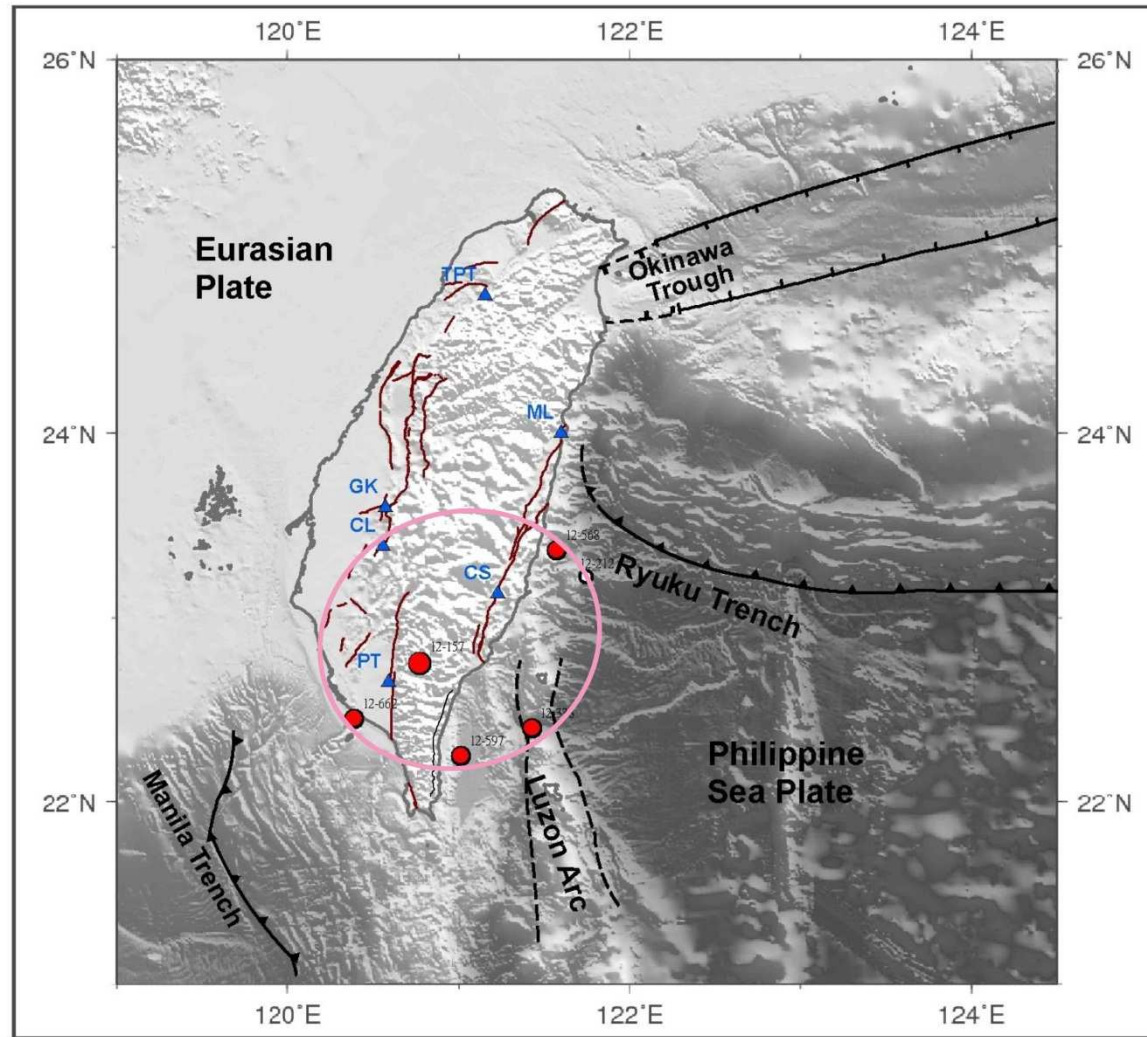


圖 4-19：屏科大觀測站相關地震位置分布圖，圖上粉色圈框為測站敏感偵測區間範圍。

4.7 花蓮土壤氣體觀測站

此站由於遷站的緣故，分為花蓮美崙土壤氣體觀測站及花蓮東華土壤氣體觀測站兩個小節說明。

4.7.1 花蓮美崙土壤氣體觀測站（舊站，已於10月29日拆除）

圖 4-20 是花蓮美崙觀測站 2011/11/28-2012/9/12 氬氣觀測與地震、雨量的相關圖。9月12日之後因為儀器故障，導致資料品質不佳，故捨棄不用。詳細每月的分月圖表請參考附錄（圖 A-63 至圖 A-73）。其中雨量數據是採用中央氣象局自動氣象站（距離測站較近的花蓮氣象站）的時雨量資料。

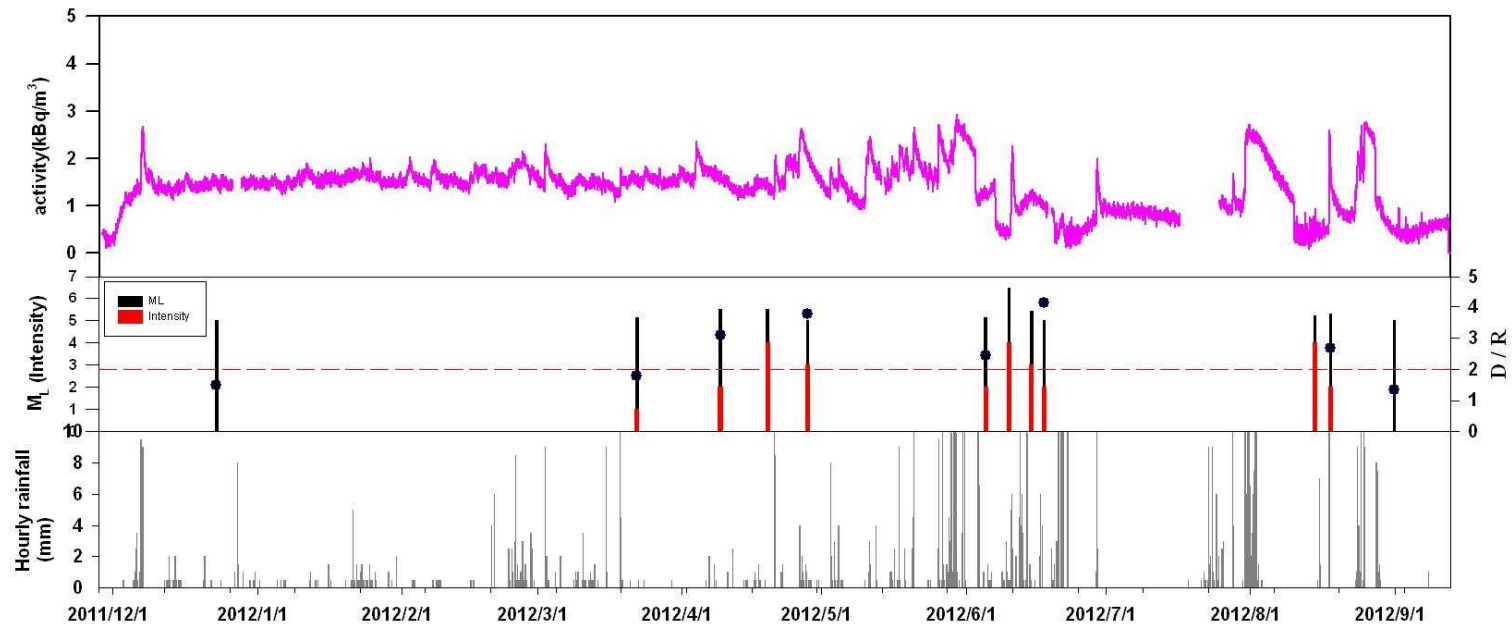


圖 4-20：花蓮美崙觀測站氬氣與地震、雨量相關圖 2011/11/28-2012/9/12

花蓮美崙觀測站氬氣濃度值不高，長期以來低於 4KBq/m。在利用 EMD 時，是以全部時期的訊號做拆解，得到 10 個內部模態函數 (IMF) 如表 4-11。選擇周期在 1.5 至 38 天的 IMF₄ (周期為 1.7 天) 至 IMF₈ (周期為 25.1 天) 等五個內部模態函數作統計分析(表 4-11 粗框所示) 以 1 個標準差作為氬氣異常門檻，高於此門檻即視為異常，如圖 4-21。

表 4-11：經驗模態分解 IMF 列表 2011/11/28—2012/9/12。

Channel	Zero Crossings	Extrema Counts	Mean Freq. [cycles/day]	Mean Period [day]	Power (%)
IMF_h1	1547	900	2.68	0.37	0.00
IMF_h2	1005	552	1.74	0.57	0.00
IMF_h3	613	319	1.06	0.94	0.00
IMF_h4	337	174	0.59	1.71	0.00
IMF_h5	171	91	0.30	3.36	0.00
IMF_h6	83	42	0.15	6.88	0.03
IMF_h7	45	23	0.08	12.56	12.81
IMF_h8	22	11	0.04	25.11	50.04
IMF_h9	12	6	0.02	44.43	18.29
IMF_h10	4	3	0.01	115.53	18.82
IMF_residual	0	1	0.00	577.63	

圖上 C 有七個超過異常門檻的時段。其中編號 1、4、5、6、7 異常時段，觀察其與雨量的關係，發現氬氣濃度升高都與降雨呈現高度相關，深受降雨影響。雖然有些異常時段後面有相關地震發生，但是在未能將降雨因素排除下，我們不易解釋這些氣體的異常是否與地震有關。編號 2、3 異常時段，沒有受到降雨的影響，與之相對應的地震分別是 4 月 9 日發生於花蓮外海，規模 5.5；4 月 19 日發生於花蓮近海，規模 5.5；4 月 27 日發生於花蓮外海，規模 5 等三起地震。其與地震的相關性以表 4-12 做說明。

美崙觀測站相關地震列表如表 4-12，地震分布圖及測站敏感反應範圍如圖 4-22。

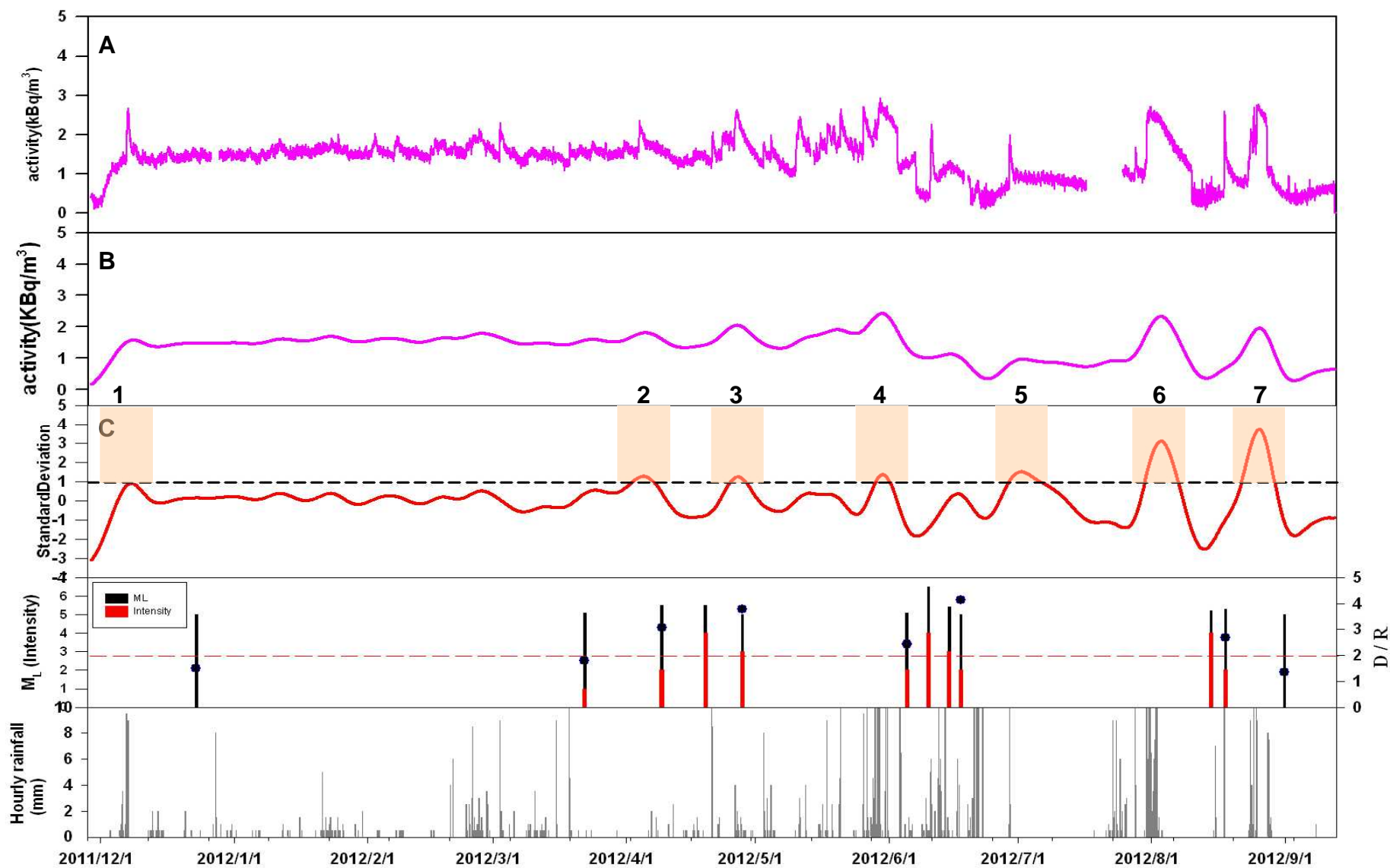
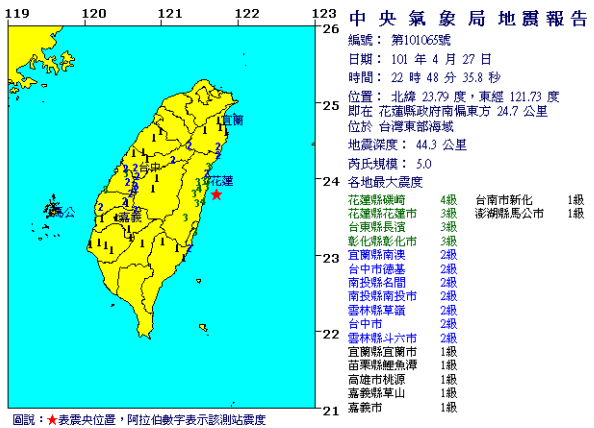
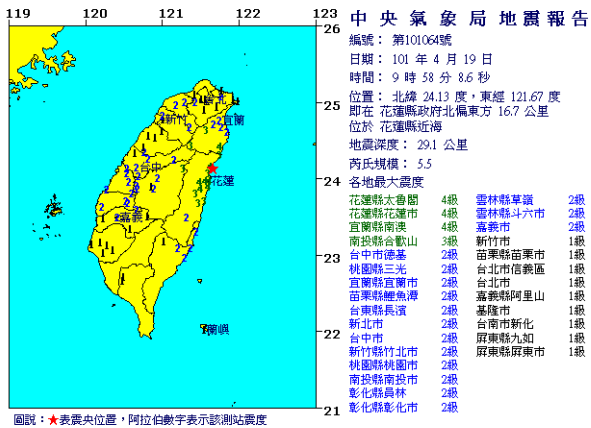
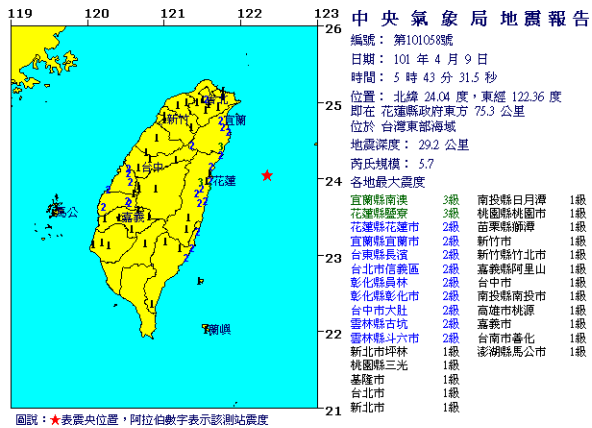


圖 4-21：氡氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果 (A) 為原始數據； (B) 為疊代式高斯平滑法的結果； (C) 為經驗模態分解 (IMF₄-IMF₈) 經程式處理後以 1 個標準差來表示其異常門檻；粉色框為氡氣異常時段。

表 4-12：花蓮美崙觀測站相關地震列表（2011/11/28—2012/9/12）√表示氣體異常與地震有相關性。下列地震報告圖為與表 4-12 相關。

No	西元時間	規模	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
11-659	2011/12/23 03:39	5.2	122.55	23.9	9.2	花蓮縣政府東方 95.6 公里 (位於台灣東部海域)				96.07	1.8
12-212	2012/3/22 07:44	5	121.75	23.21	42.5	台東縣政府東北方 79.4 公里 (位於台灣東部海域)		1	2.09	87.43	1.78
12-251	2012/4/9 05:43	5.7	122.35	24	29.2	花蓮縣政府東方 73.8 公里 (位於台灣東部海域)	√	2	3.29	75.20	3.08
12-261	2012/4/19 09:58	5.5	121.67	24.14	29.1	花蓮縣政府北偏東方 16.9 公里 (位於花蓮縣近海)	√	4	35.17	17.67	13.11
12-268	2012/4/27 22:48	5	121.87	23.75	44.3	花蓮縣政府東南方 36.7 公里 (位於台灣東部海域)	√	3	9.21	37.47	3.77
12-336	2012/6/5 04:38	5.1	122.22	24.14	28.8	花蓮縣政府東偏北方 62.9 公里 (位於台灣東部海域)		2	x	64.13	2.43
12-350	2012/6/10 05:00	6.6	122.39	24.47	69.9	宜蘭縣政府東偏南方 70.2 公里 (位於台灣東部海域)		4	37.27	95.27	7.23
12-370	2012/6/15 00:15	5.3	121.64	23.71	6.5	花蓮縣政府南方 31.5 公里 (位於台灣東部海域)		3	21.89	31.12	6.11
12-428	2012/6/17 17:01	5	121.53	23.69	6.5	花蓮縣政府南偏西方 34.6 公里 (位於花蓮縣濱濱鄉)		2	4.97	34.16	4.13
12-550	2012/8/14 18:55	5.2	121.56	24.06	21.5	花蓮縣政府西北方 9.6 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)		4	76.63	9.26	18.60
12-568	2012/8/18 04:20	5.3	121.58	23.35	22	花蓮縣政府南方 71.2 公里 (位於台灣東部海域)		2	3.35	70.84	2.68
12-589	2012/8/31 20:11	5	120.92	24.7	10	新竹市政府南偏西方 12.6 公里(位於苗栗縣頭份鎮)				105.15	1.34



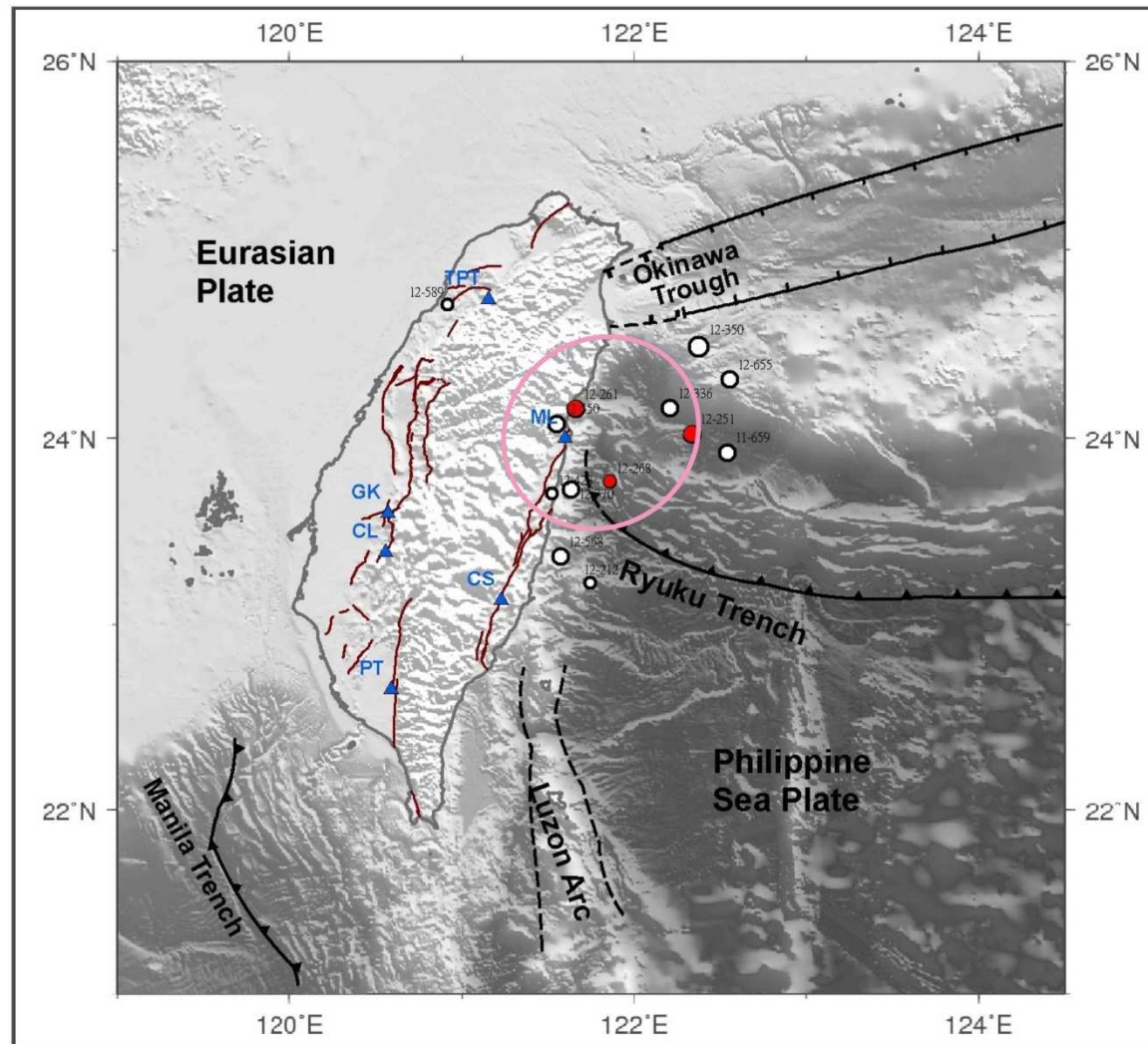


圖 4-22：美崙觀測站相關地震位置分布圖，圖上粉色圈框為測站敏感偵測區間範圍。

4.7.2 花蓮東華土壤氣體觀測站（新站，已於 10 月 15 日啟用）

東華站，目前我們使用迴圈裝置，將土壤氣體以幫浦抽上來，先經過錐形瓶以避免有水進入儀器中，接著經過除濕器，以確保進入迴圈裝置內的氣體是乾燥的，之後一端給主動式氬氣分析儀 (RTM2200) 分析，另一端給被動式氬氣分析儀 (Probe) 分析，從 10 月 15 日開始運作，至 11 月 7 日為止所收集到的土壤氣資料與地震、雨量的關係如圖 4-23 所示。由於開始運作時電力尚未接妥，因此圖中粉色框所示的時段是電池電力耗盡後，儀器沒有運作的時期。前半部由於剛開始進行抽氣，短時間內氣被大量抽上來，形成氬氣濃度從一開始的高點隨著時間及迴圈裝置的作用，氬氣濃度值便呈現平穩的趨勢，此時期是否是屬於低背景值狀態，有待未來持續收集資料以進一步觀察。

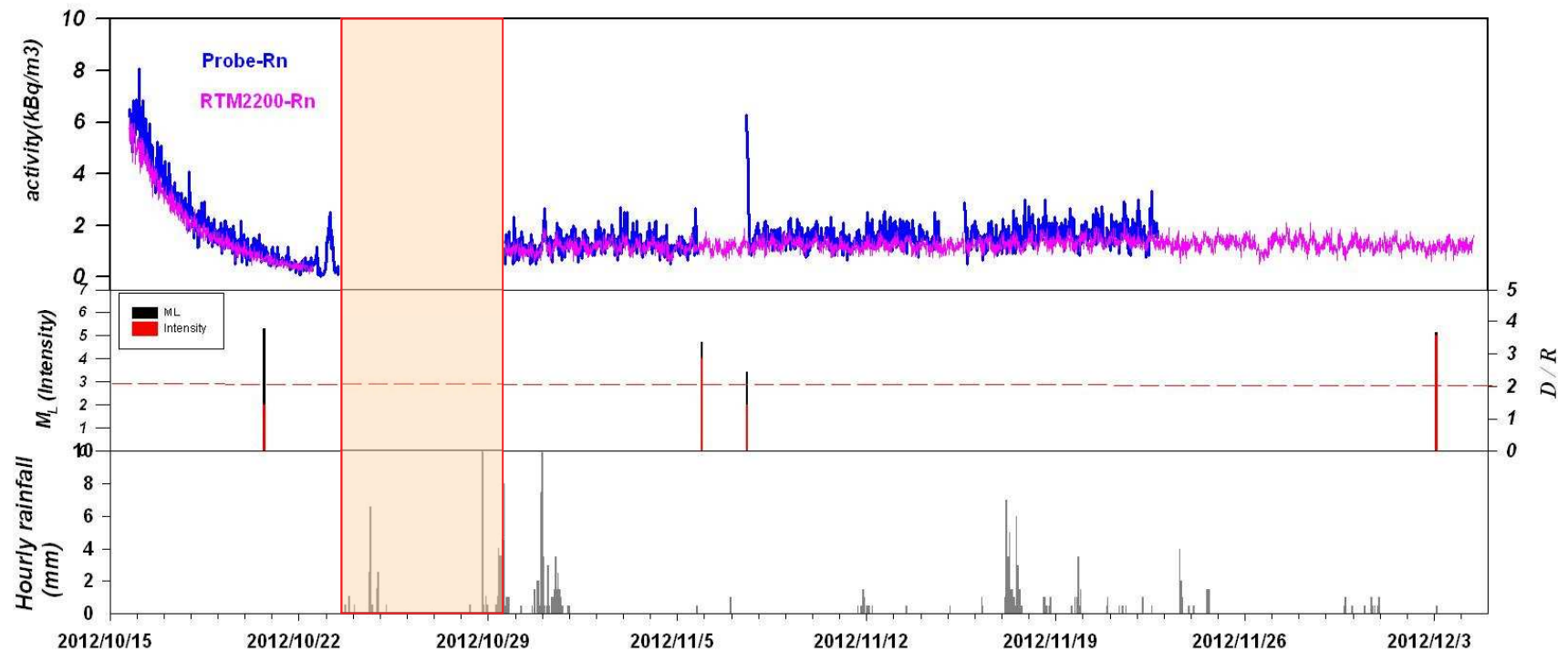


圖 4-23：花蓮東華觀測站氬氣與地震、雨量相關圖 2012/10/15-2012/12/4。

4.8 臺東池上土壤氣體觀測站

圖 4-24 是 2011/11/23-2012/12/3 氡氣觀測與地震、雨量的相關圖。詳細每月的分月圖表請參考附錄（圖 A-74 至圖 A-85）。其中雨量數據是採用中央氣象局自動氣象站（距離測站較近的臺東池上氣象站）的時雨量資料。

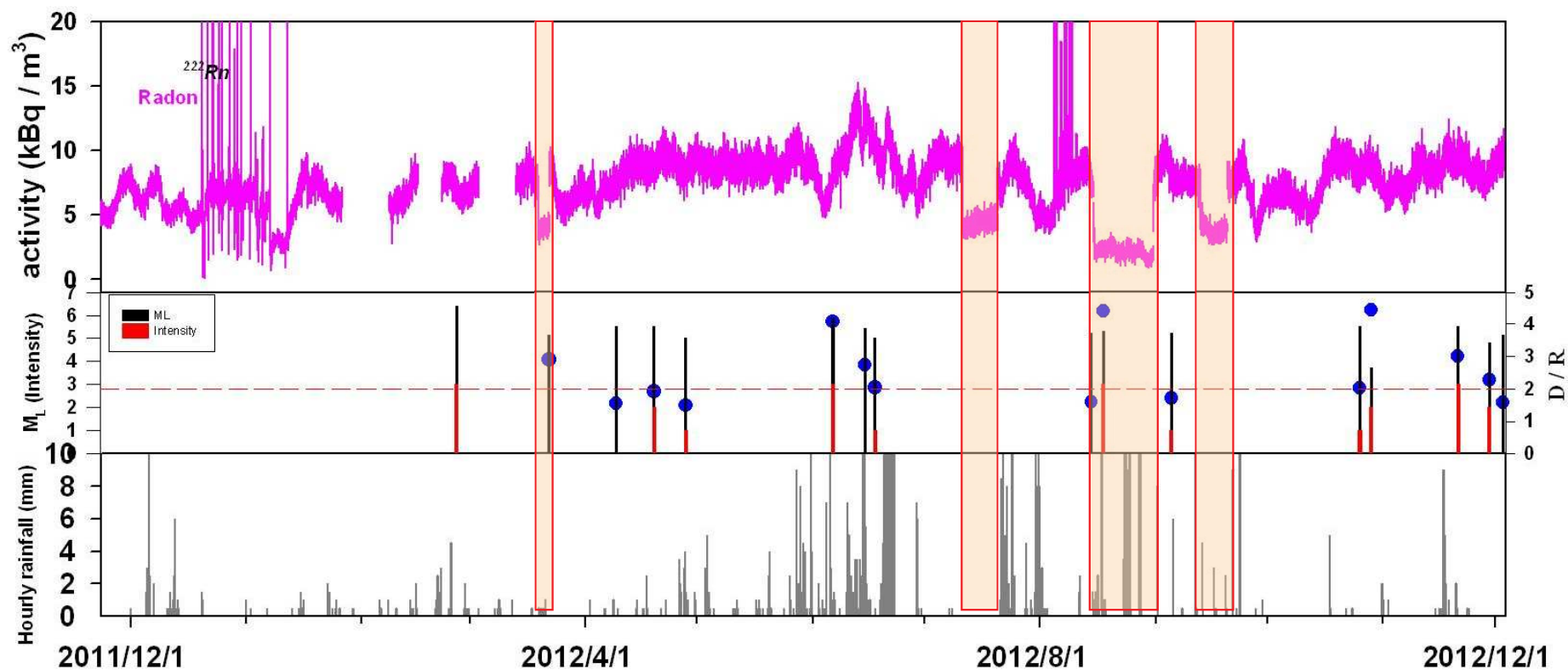


圖 4-24：臺東池上觀測站氡氣與地震、雨量相關圖 2011/11/23-2012/12/3，圖上粉色框為人為更換乾燥劑影響。

池上站在 3 月 13 日前時期，儀器因非人為因素而停機，導致部分資料缺失；3 月 19 日至 3 月 22 日由於人為更換乾燥劑的影響（圖 4-24 所示），導致氬氣濃度值下降，我們利用 EMD 分析時須先將此段資料去掉，之後可將這段時期的訊號拆解成 12 個內部模態函數 (IMF) 如表 4-13，選擇周期在 1.5 至 38 天的 IMF₆ (周期為 2.3 天) 至 IMF₁₀ (周期為 26.2 天) 等五個內部模態函數 (表 4-13 粗框所示) 作統計分析，以 1 個標準差作為氬氣異常門檻，高於此門檻即視為異常，如圖 4-25。

表 4-13：經驗模態分解 IMF 列表 2011/11/23—2012/10/28。

Channel	Zero Crossings	Extrema Counts	Mean Freq. [cycles/day]	Mean Period [day]	Power (%)
IMF_h1	3413	1945	5.01	0.20	0.00
IMF_h2	2537	1398	3.73	0.27	0.00
IMF_h3	1661	893	2.44	0.41	0.00
IMF_h4	959	520	1.41	0.71	0.00
IMF_h5	537	282	0.79	1.27	0.00
IMF_h6	299	155	0.44	2.27	0.00
IMF_h7	159	85	0.23	4.26	0.00
IMF_h8	75	40	0.11	8.96	0.19
IMF_h9	46	23	0.07	14.50	41.19
IMF_h10	25	13	0.04	26.21	21.51
IMF_h11	10	5	0.02	61.94	24.36
IMF_h12	4	1	0.01	136.27	12.73
IMF_residual	0	1	0.00	681.33	

圖 4-25 中，C 的結果有 11 個超過異常門檻的時段。編號 1、2、3、7、10 異常時段，經查與降雨無關，亦無相關地震發生，有可能是斷層本身活動所造成的氣體異常。編號 4 的異常時段，由於前後資料的短缺與無法採用，縱然之後有相對應的地震發生 (3 月 22 日發生於台東外海，規模 5.5)，我們暫忽略不去討論，有待未來與其他研究資料進行比對。編號 5、9、11 的異常時段，比對當時期前後的降雨量，土壤氬氣尚未受到影響而變化，應是真實的氣體異常反應，與之相對應的地震分別是 6 月 6 日於台東外海，規模 5.9；8 月 14 日於花蓮秀林，規模 5.2；8 月 18 日於花蓮外海，規模 5.2；10 月 25 日發生於屏東近海，規模 5.5 等四起地震。編號 6、8 異常時段，顯示土壤氬氣在變化時恰巧碰到降雨，現階段並不排除是受到降雨的影響，因此對於此後發生的地震，我們暫時以 Δ 表示不確定。池上觀測站相關地震列表，如表 4-14 所示，地震分布圖及測站敏感反應範圍如圖 4-26。

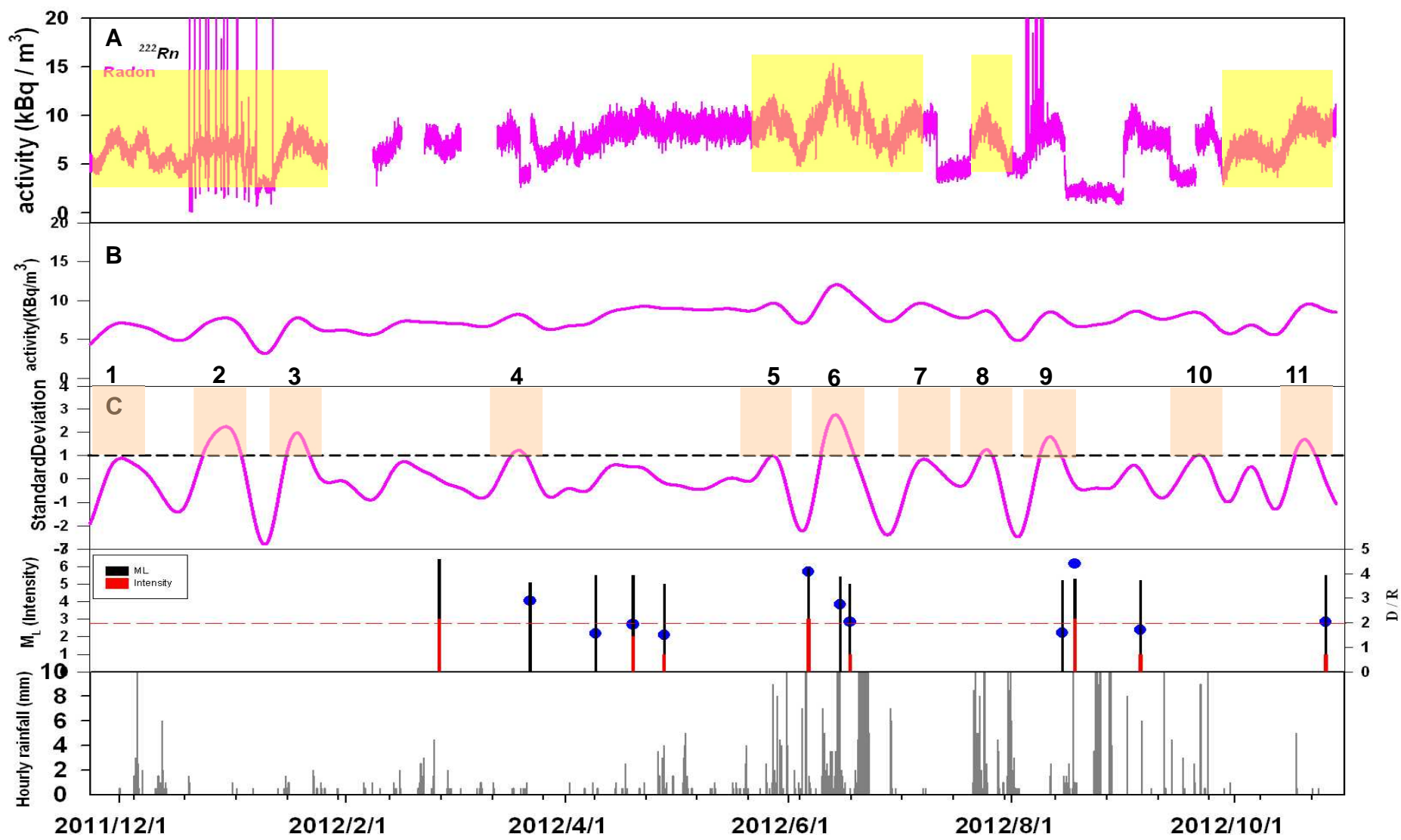
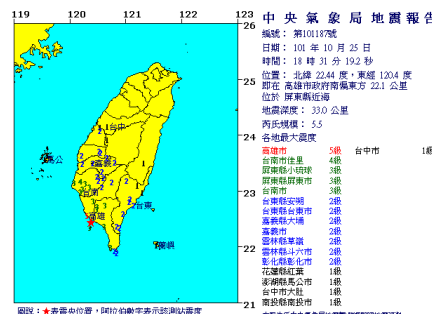
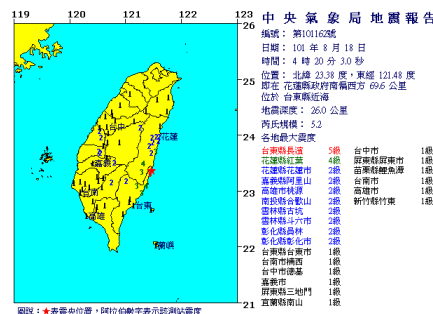
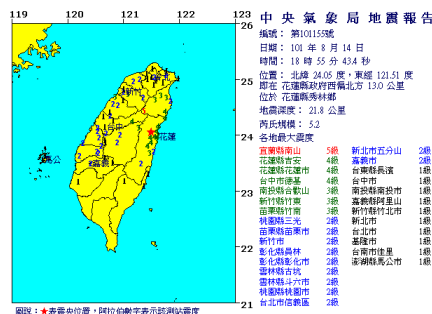
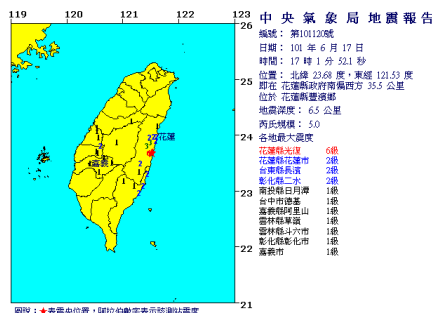
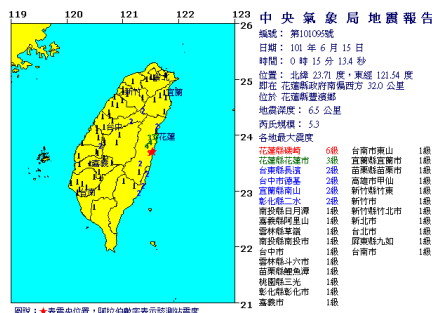
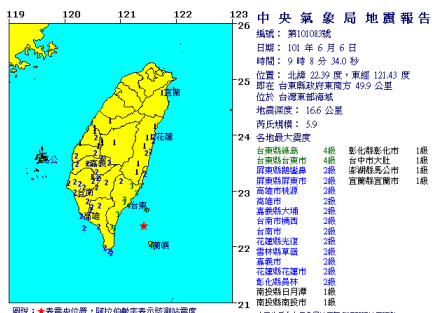
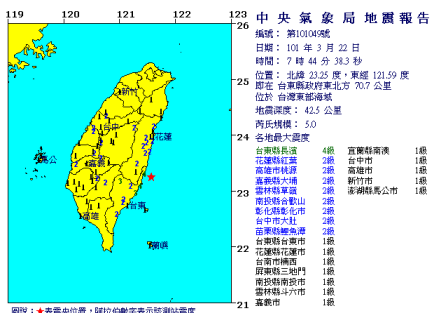


圖 4-25：氡氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果 (A) 為原始數據； (B) 為疊代式高斯平滑法的結果； (C) 為經驗模態分解 (IMF₆-IMF₁₀) 經程式處理後以 1 個標準差來表示其異常門檻；粉色框為氡氣異常時段；黃色框為完整異常時段。

表 4-14：台東海上觀測站相關地震列表（2011/11/23—2012/10/28）√表示氣體異常與地震有相關性。△表示該地震可能也與氣體異常有關，放置表內以供參考。下列地震報告圖為與表 4-14 相關。

No	西元時間	規模	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
12-157	2012/2/26 10:35	6.4	120.78	22.74	26.3	屏東縣政府東偏北方 30.4 公里 (位於屏東縣霧台鄉)		3	24.53	63.12	8.95
12-212	2012/3/22 07:44	5	121.75	23.21	27.5	台東縣政府東北方 79.4 公里 (位於台灣東部海域)	△			53.90	2.89
12-251	2012/4/9 05:43	5.7	122.35	24	10	花蓮縣政府東方 73.8 公里 (位於台灣東部海域)				149.31	1.55
12-261	2012/4/19 09:58	5.5	121.67	24.14	29.1	花蓮縣政府北偏東方 16.9 公里 (位於花蓮縣近海)		2	2.51	120.36	1.93
12-268	2012/4/27 22:48	5	121.87	23.75	44.3	花蓮縣政府東南方 36.7 公里 (位於台灣東部海域)		1	0.9	94.69	1.49
12-338	2012/6/6 09:08	5.9	121.43	22.39	16.6	台東縣政府東南方 49.9 公里 (位於台灣東部海域)	√	3	21.06	84.36	4.08
12-370	2012/6/15 00:15	5.3	121.64	23.71	6.5	花蓮縣政府南方 31.5 公里 (位於台灣東部海域)	△			76.58	2.48
12-428	2012/6/17 17:01	5	121.53	23.69	6.5	花蓮縣政府南偏西方 34.6 公里 (位於花蓮縣豐濱鄉)	△	1	1.38	69.08	2.04
12-550	2012/8/14 18:55	5.2	121.56	24.06	21.5	花蓮縣政府西北方 9.6 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)	√			108.21	1.59
12-568	2012/8/18 04:20	5.2	121.58	23.35	26	花蓮縣政府南方 71.2 公里 (位於台灣東部海域)	√	3	8.55	43.26	3.98
12-597	2012/9/5 04:00	5.2	121.02	22.24	21	台東縣政府南偏西方 58.6 公里(位於台灣東部海域)		1	0.9	100.74	1.71
12-662	2012/10/25 18:31	5.5	120.4	22.44	33	高雄市政府南偏東方 22.1 公里(位於屏東縣近海)	√	1	1.97	114.30	2.03



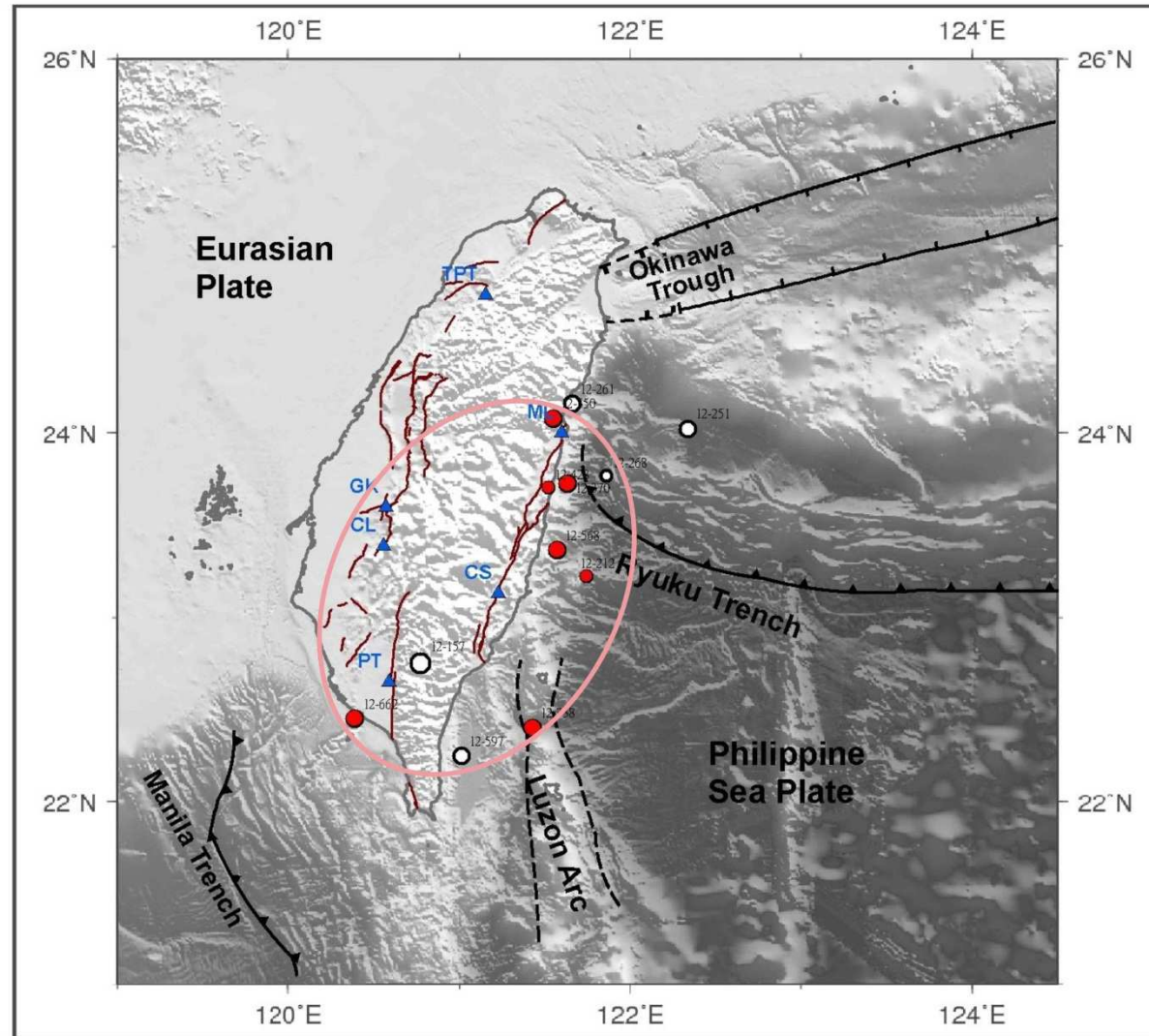


圖 4-26：池上觀測站相關地震位置分布圖，圖上粉色圈框為測站敏感偵測區間範圍。

4.9 花蓮美崙土壤氣體觀測站替代點探勘及遷站

4.9.1 花蓮美崙土壤氣體觀測站替代點探勘

2010 年於花蓮設置一座土壤氣體連續觀測站，用以觀測此區域土壤氣體和地震活動的關聯性，設站前曾在花蓮北部七星潭的民意斷層及鄰近美崙山的米崙斷層進行土壤氣體的採樣工作。如圖 4-27 所示。

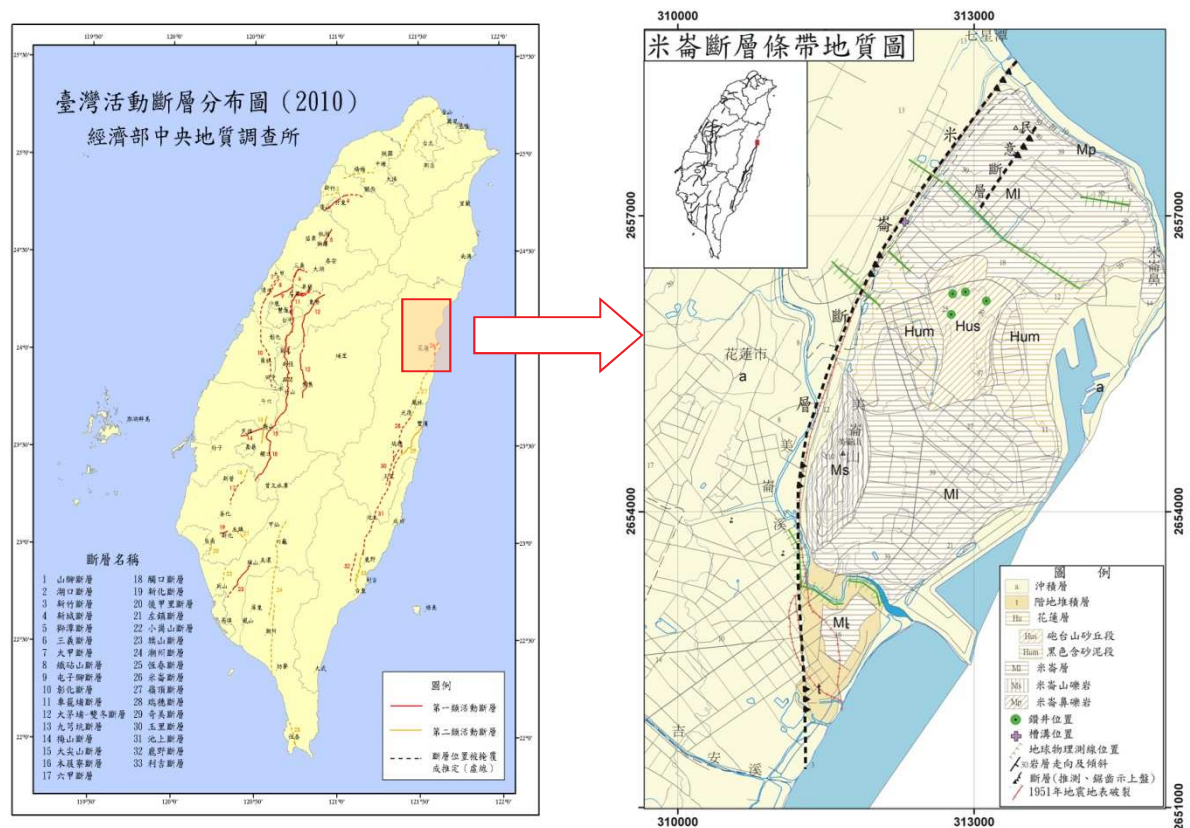


圖 4-27：花蓮米崙斷層示意圖。

根據當時土壤氣體採樣分析的結果，選擇在米崙斷層通過的美崙山附近設置一座土壤氣體連續觀測站。由於是在秋季（乾季）設站，剛開始觀測站儀器尚能正常運作收集數據，不過並不了解豪雨及颱風等多雨時期對此地區的影響，隨後發現每當此區域於降雨時，土壤內的積水常不易散去，才知此站深受降雨影響甚鉅。

本年度於花蓮觀測站附近米崙斷層及其以南的區域進行土壤氣體採樣調查，由於必須在九月底前完成遷站，採樣調查時間短，所以不以大規模的區域密集採樣而是以能設站為前提，因此所找的點位較少，所以篩選出六個固定採樣的位置，其土壤氣體採樣數據如表 4-15，其位置分布如圖 4-28 所示。圖 4-29 為六個點的野外照片。

針對這六個替代點一共採集了三次，根據這三次的採樣結果進行設站的評估。其中，第三次採集的所有點位，其土壤氬氣值都較前兩次來的高，可能與採樣數天前的降雨有關。由表 4-15 可以發現在氬氣及二氧化碳（CO₂）都以 H3 的濃度值最高，H3 是位在鯉魚潭附近公路邊的空地上，但是若要在此設站會有一個很大的問題，可能會因鯉魚潭的水位升降而影響到土壤氬氣濃度值的變化，進而增加一項不確定的環境因子，而干擾我們判斷氣體異常與地震的關係。因此初步排除在此設測站。

固定點最南端，在東華大學壽豐校區內採集了編號 H5 及 H6 相鄰的兩個點位，土壤氬氣濃度值多在 10K Bq/m³ 上下，也較去年在花蓮市採集米崙斷層時的各點都要來的高，惟二氧化碳（CO₂）值偏低，觀察這個地方已經有中央氣象局的地殼形變觀測站（圖上綠色 FRP 箱所示）及中央大學的磁力站（圖上貨櫃屋所示）在此，這對於土壤氣體異常與地震活動的關係，有機會提供近一步的佐證，又由於此地位在校園內，測站的維護與安全都可兼顧，因此我們選擇在此作為花蓮土壤氣體觀測站的遷站地點。

另外我們也希望能在斷層帶通過之處適當地點設立氣體觀測站，才能確實掌握斷層活動與氬氣及其他氣體的關係，因此米崙斷層通過的美崙山公園也是我們未來設簡易氣體觀測站的地點（已向花蓮縣政府申請並核准設置），預計十二月中應可展開建置工作。

設站位置的選擇還需考慮

- (1) 確認觀測站地底下之氣體來源
- (2) 選擇鄰近斷層帶的地點設站
- (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
- (5) 多因子同步觀測
- (6) 盡量避免有腐蝕性的環境
- (7) 選擇外人不易到達、但具有通訊與電源供應設備的地點

表 4-15：花蓮美崙測站替代點位之土壤氣體採樣分析結果。

Date	No.	X67	Y67	He (ppm)	Rn(Bq/m ³)	Major Gas			
						N ₂ (%)	O ₂ +Ar (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)
2012/5/2	H1	312339.4	2658132.7	5.24	2616	no data			
2012/5/2	H2	299834.39	2650847.58	5.24	4300				
2012/5/2	H3	299789.29	2647181.57	5.24	24584	84.64%	14.70%	0.66%	0.00%
2012/5/2	H4	304662.33	2644622.36	5.24	14054	79.38%	20.54%	0.08%	0.00%
2012/5/2	H5	304416.66	2644166.23	5.24	10274	69.71%	29.94%	0.36%	0.00%
2012/5/2	H6	304441.06	2644176.29	5.24	9758	83.44%	15.94%	0.62%	0.00%
2012/5/8	H1	312339.4	2658132.7	5.24	3033	78.47%	21.49%	0.04%	0.00%
2012/5/8	H2	299834.39	2650847.58	5.24	4205	80.19%	19.53%	0.28%	0.00%
2012/5/8	H3	299789.29	2647181.57	5.24	32504	86.92%	12.38%	0.70%	0.00%
2012/5/8	H5	304416.66	2644166.23	5.24	9950	81.15%	18.42%	0.43%	0.00%
2012/5/8	H6	304441.06	2644176.29	5.24	4269	81.72%	17.90%	0.38%	0.00%
2012/6/1	H1	312339.4	2658132.7	5.24	2119	78.32%	21.63%	0.05%	0.00%
2012/6/1	H2	299834.39	2650847.58	5.24	10275	80.89%	18.20%	0.91%	0.00%
2012/6/1	H3	299789.29	2647181.57	5.24	46361	87.59%	10.86%	1.55%	0.00%
2012/6/1	H4	304662.33	2644622.36	5.24	14243	81.07%	18.79%	0.13%	0.00%
2012/6/1	H5	304416.66	2644166.23	5.24	15655	81.31%	18.06%	0.64%	0.00%
2012/6/1	H6	304441.06	2644176.29	5.24	14156	85.51%	13.26%	1.22%	0.00%

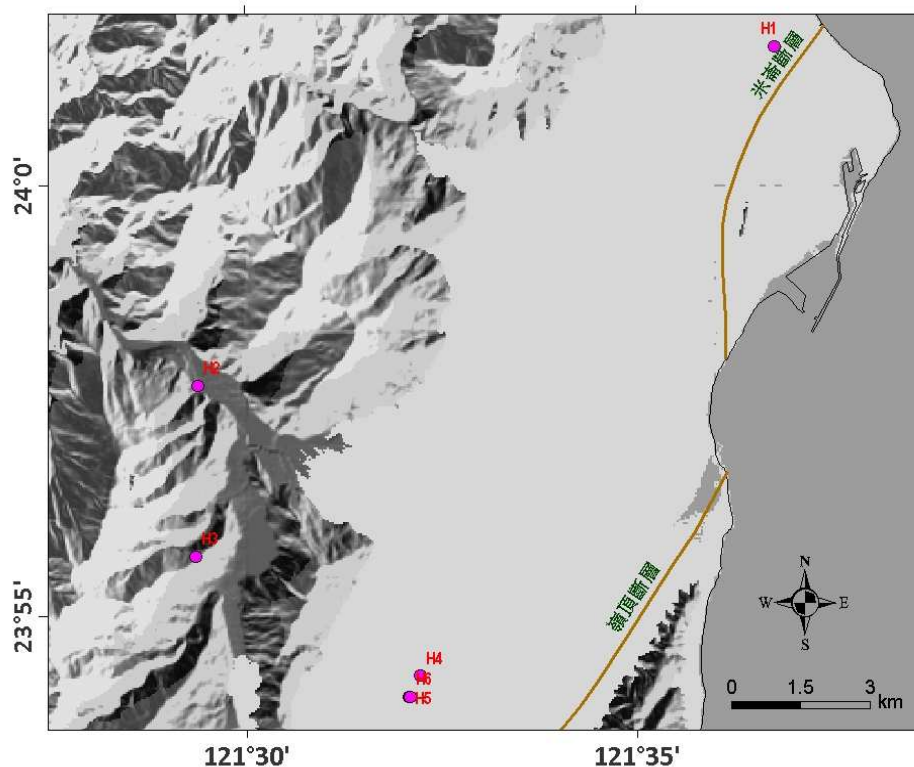


圖 4-28：花蓮觀測站替代點位位置分布圖。



圖 4-29：花蓮觀測站替代點野外照片。

4.9.2 花蓮美崙氣體觀測站遷站

遷站後的花蓮東華土壤氣體觀測站(代號為 DongHwa, 簡稱 DH, 如圖 4-28 之座標點 H6 所示) 位在東華大學壽豐校區環境學院後方空地上, 如圖 4-30 所示。



圖 4-30：花蓮東華土壤氣體觀測站位置示意圖(東華大學壽豐校區導覽圖)。

在向校方說明遷站設站緣由, 經由校方支持下順利申請設站, 並於 9 月 25 日下午施工, 圖 4-31 為當時施工照片。此站開挖深度約為三米深, 除上方約 20 公分是黏土層外, 以下均是礫石層, 這有助於未來若降雨, 可以快速地經由礫石將雨水排除出去。我們選用兩大一小 PVC 管作為土壤氣逸氣來源的儀器媒介, 兩大管為不同深度, 之後可以分析不同深度的氬氣濃度。此外可將被動式氬氣分析儀的感應頭放入, 直接做氬氣濃度分析; 小管則是藉由電動幫浦(可抽氣及除去水氣)將氣體抽上來, 並先經由錐形瓶除水, 接著導入到迴圈系統內, 主動式氬氣分析儀則是分析迴圈系統內的氬氣濃度及二氧化碳, 目前是採用此種方法分析。10 月 15 日完成所有儀器設備遷站。並於 10 月 29 日完成電力設置並正式啟用(如圖 4-32 所示測站內儀器設備照片)。



圖 4-31：花蓮東華土壤氣體觀測站施工圖。



圖 4-32：花蓮東華土壤氣體觀測站室內設備圖。

4.9.3 花蓮米崙斷層美崙山公園簡易氣體觀測站

由於東華氣體觀測站位在米崙斷層以南，土壤氣濃度變化可能無法如斷層帶附近來的明顯，因此我們在米崙斷層通過之美崙山生態公園內也預計設置一座簡易型土壤氣體觀測站（代號為 MeiLeun，簡稱 ML），期望未來能與東華氣體觀測站配合，以能更強化解釋此地區的氣體異常與地震的關係。位置如圖 4-33 所示。

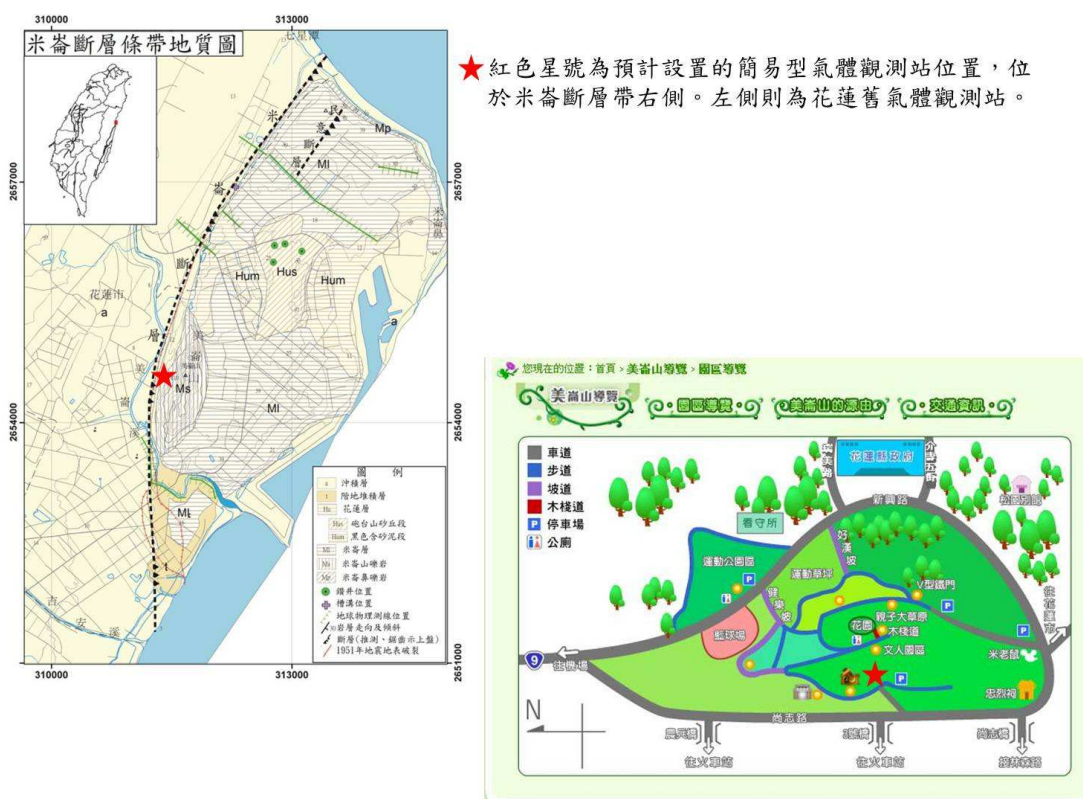


圖 4-33：花蓮美崙簡易型土壤氣體觀測站位置示意圖（美崙山生態公園導覽圖，花蓮縣政府美崙山生態公園網站）。

伍、新觀測站設置之評選

5.1 前言

本研究在於對觀測站的設置進行前置的初步探勘，首先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布位置。本研究對於苗栗台中地區附近進行調查，找尋敏感及適合的觀測站設置地點。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布。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，使氧氣、氮氣、氫氣、二氧化碳與甲烷等揮發性氣體沿著此通道向上遷移擴散，而在近地表處顯示異常高濃度值(傅慶州等，2004)。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。位於構造活動上的某些地區，在氣體成份的變化上，經常與地震活動有明顯關聯，因此可扮演推手的角色。

5.2 研究區域

5.2.1 三義斷層

三義斷層(圖 5-1)，為逆移斷層，在此分為 2 段加以說明：北段略呈東西走向，由苗栗縣大湖鄉大窩，向西延伸經雙連潭、重河至三義，長約 8 公里；南段呈南北走向，由三義向南延伸經鯉魚口、中城至大甲溪(丹桂之助，1936；張麗旭，1951；Meng, 1963)，向南可能延伸至豐原潭子地區，長約 25 公里。三義斷層北段，三義至大湖之間尚未發現斷層截切更新世晚期地層的證據。

三義斷層南段，在三義鄉上湖西南方，三義斷層的斷層破損帶寬度可能超過 400 公尺，上盤並有分支斷層；大甲溪北岸斷層帶寬約 30 公尺，斷層破損帶寬約 500 公尺，上盤出露數條分支斷層；其中分支斷層 SF5 錯移低位河階面及一層灰黑色土壤層，造成約 50 公分的垂直移距。由鑽探結果位於車籠埔斷層下盤的斷層帶，可能是桂竹林層或更老的地層逆衝至頭嵙山層之上，此斷層可能是三義斷層的向南延伸，因此三義斷層有可能向南延伸至豐原潭子地區。由近期的大地測量結果顯示，跨三義斷層並沒有明顯的高程差變化量。三義斷層，截切低位的河階礫石層與河床上的土壤層，研判斷層在全新世曾經活動，改列第一類活動斷層

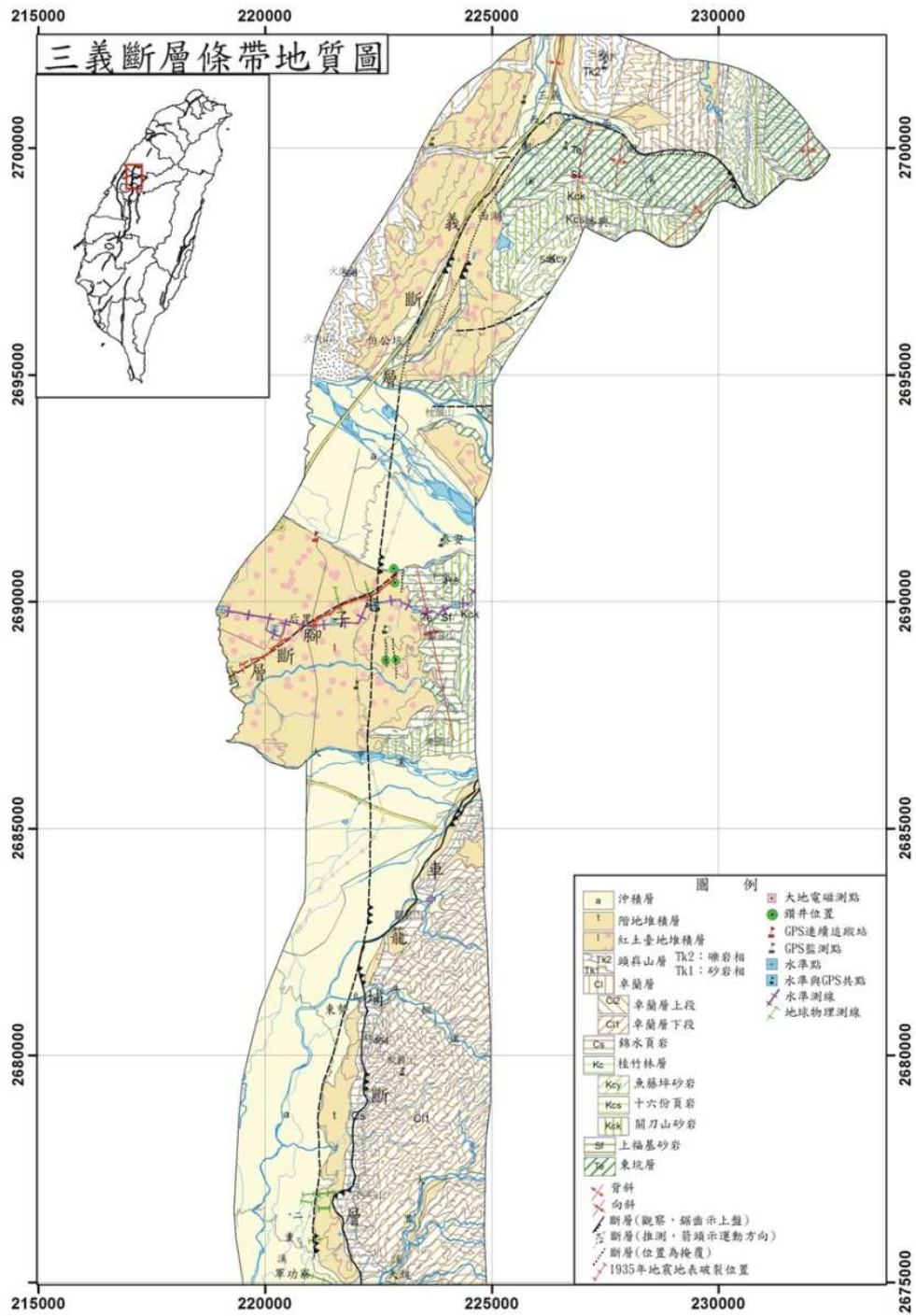


圖 5-1：三義斷層兩萬五千分之一條帶地質圖（林啟文等，2008）。

5.2.2 車籠埔斷層

車籠埔斷層，為逆移斷層，以烏溪為界分為兩部份：北段約呈南北走向，由台中豐原北陽里向南延伸至霧峰鄉，長約 38 公里，在 1999 年集集地震時，石岡以東至苗栗縣卓蘭鎮也形成地表破裂與地面隆起，長約 16 公里（圖 5-2；李元希等，2000）；車籠埔斷層南段約呈南北走向，由南投草屯向南延伸至竹山嶺腳附近，長約 38 公里（林啟文等，2000）。在豐原以北，斷層可能連接三義斷層；竹山以南，斷層連接鹿寮斷層與大尖山斷層（林啟文等，2000）。

由車籠埔斷層的古地震研究結果，過去 3000 年以來共有七次地震事件造成地表破裂，最後 6 次地震之間的發生時距最小約 200 年，最長約 700 年。最早的 2 次古地震的時距相距約 1200 年，可能還有許多次的古地震事件未被發現。車籠埔斷層的長期滑移速率為每年 6.94 公厘，發震模式屬於時間可預測的再發性模式，以長期的滑移速率來推估車籠埔斷層下次可能的地震時間，約西元 2340±95 年，車籠埔斷層列為第一類活動斷層。

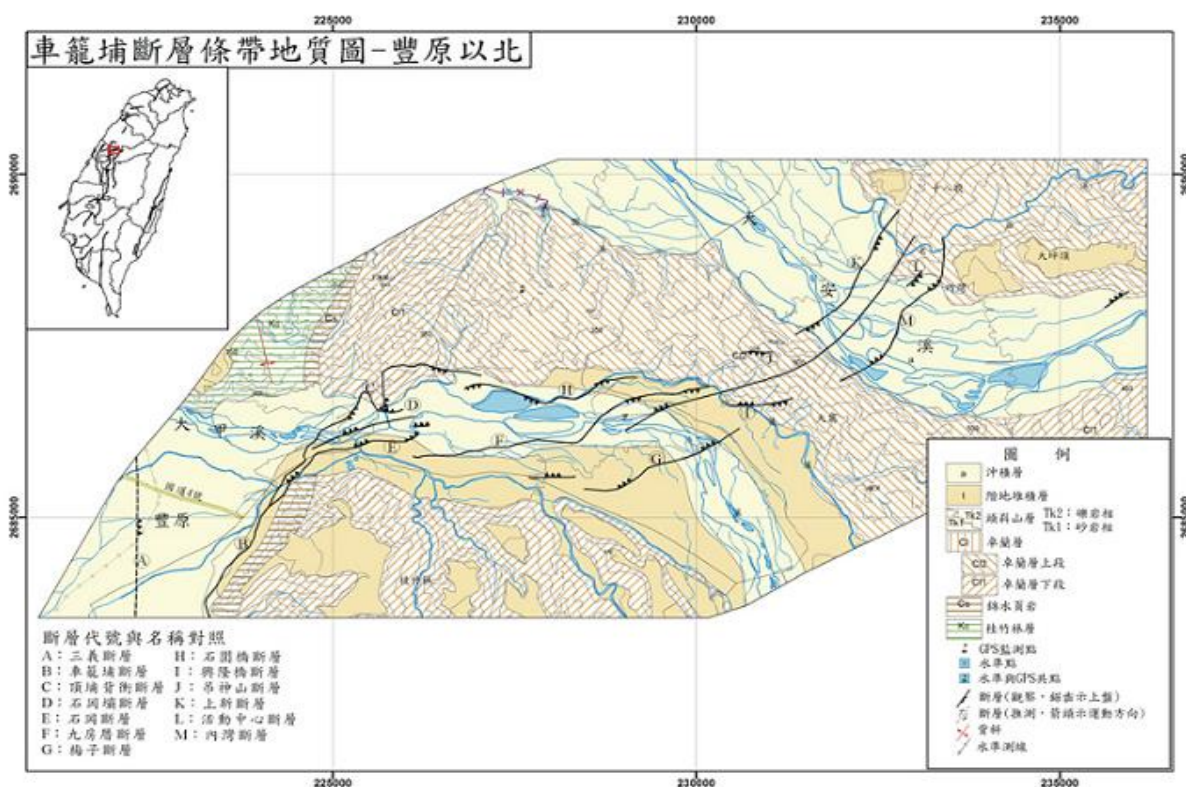


圖 5-2: 車籠埔斷層兩萬五千分之一條帶地質圖，豐原以北段(李元希等，2000)。

5.3 採樣與分析

在 100 年 10 月開始於三義斷層利用土壤氣體地球化學方法調查，加上今年上半年於車籠埔斷層豐原以北段進行採樣，採集了共 97 個樣本進行分析(圖 5-3、圖 5-4)。

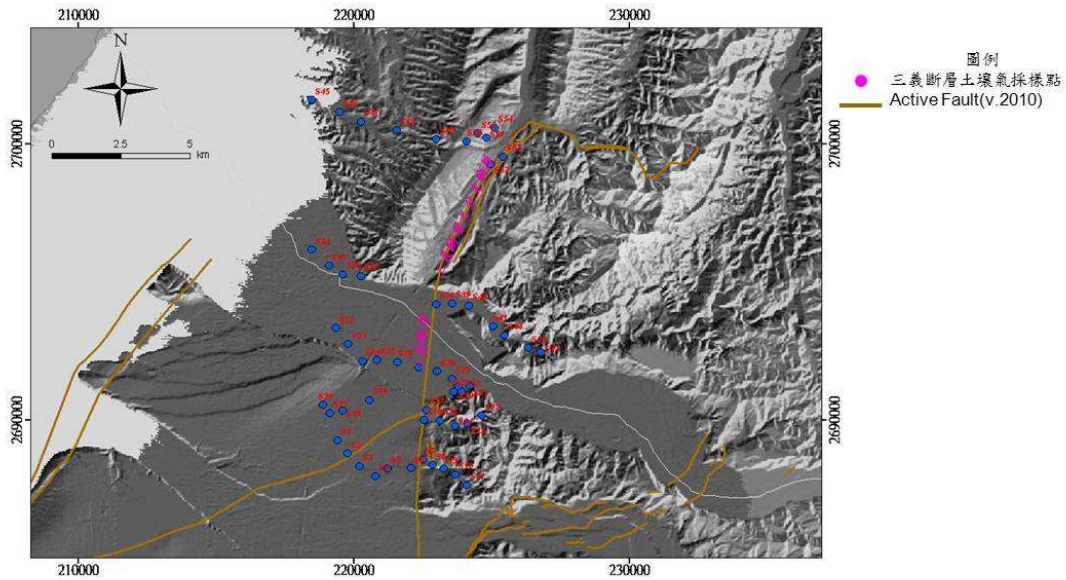


圖 5-3：苗栗台中地區土壤氣體採樣點分佈圖，共 67 個（三義斷層）。

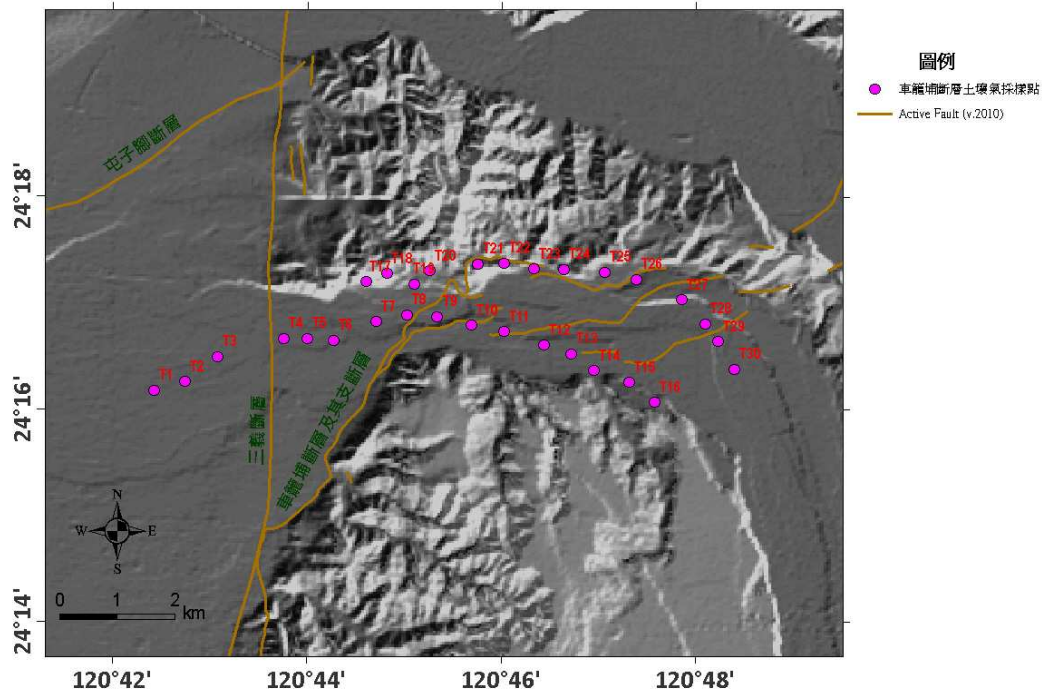


圖 5-4：苗栗台中地區土壤氣體採樣點分佈圖，共 30 個（車籠埔斷層豐原以北段）。

5.4 研究成果

各採樣點的氣體成份差異很大，在特定區域可看出明顯的高濃度值(圖 5-5、圖 5-6)。今年下半年則是針對上述採樣點氣體異常的點位(共 25 個，含氦氣異常、氬氣異常、二氧化碳異常等)作一固定點位設置及採樣，分析結果如表 5-1(紅色部分為各氣體異常高點)以做為將來定期採樣的依據。並期望能於未來在此地區敏感點位設置土壤氣體觀測站的參考。

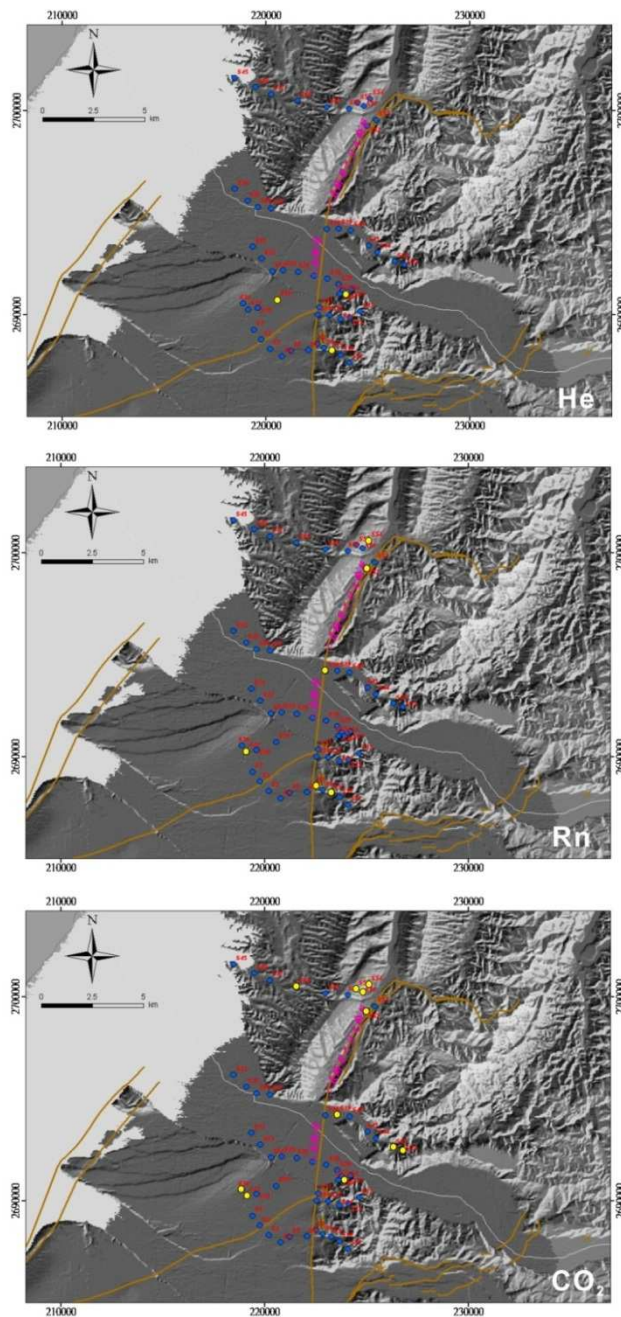


圖 5-5：三義斷層土壤氣異常點分布圖，黃點為異常點位，由上到下依序為土壤氦氣、氬氣和二氧化碳。

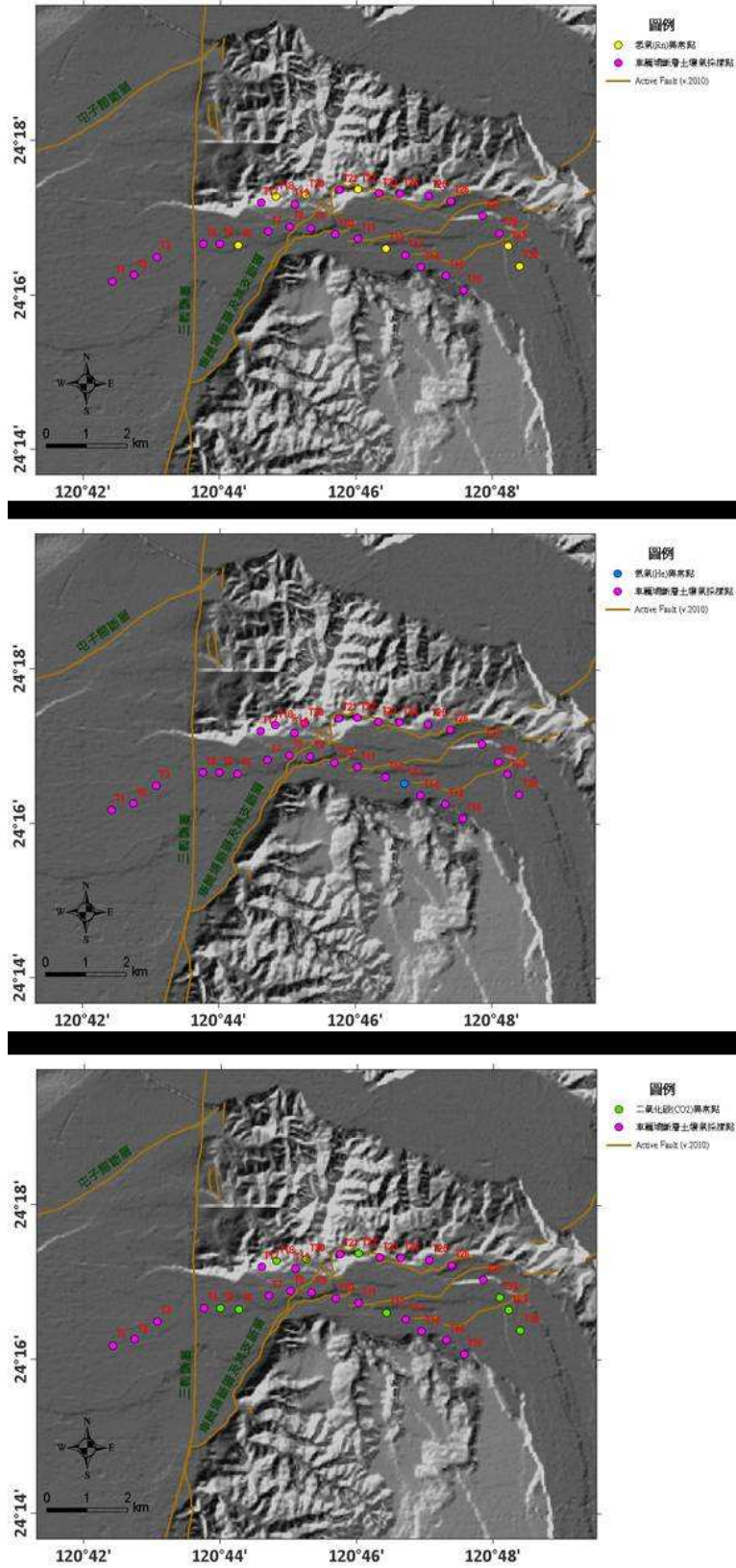


圖 5-6: 車籠埔斷層豐原以北段土壤氣異常點分布圖, 由上到下依序為土壤氮氣、氮氣和二氧化碳。

表 5-1：異常點位土壤氣體成份分析結果。

sample No.	Date	X67	Y67	longitude	latitude	He (ppm)	Rn(Bq/m3)	Major gas				
								O2+Ar (%)	N2 (%)	CO2 (%)	CH4 (%)	C2H6 (%)
S1	2011/10/27	2689920	217960	120.69	24.31	5.24	27479	81.55%	13.51%	4.94%	0.00%	0.00%
	2012/9/14					x	29437	82.90%	15.98%	1.12%	0.00%	0.00%
S18	2011/10/28	2689965	223078	120.74	24.31	5.28	27158	81.81%	16.41%	1.78%	0.00%	0.00%
	2012/9/14					x	26990	77.50%	22.38%	0.12%	0.00%	0.00%
S21	2011/10/28	2690710	220521	120.72	24.32	5.24	76883	81.30%	15.87%	2.83%	0.00%	0.00%
	2012/9/14					x	26185	81.76%	17.37%	0.87%	0.00%	0.00%
S30	2011/11/3	2691889	222304	120.74	24.33	5.24	36200	82.15%	14.22%	3.63%	0.00%	0.00%
	2012/9/14					x	18002	81.95%	17.11%	0.94%	0.00%	0.00%
S31	2011/11/3	2691750	222961	120.74	24.33	5.38	14992	86.33%	12.55%	1.11%	0.00%	0.00%
	2012/9/14					5.36	10648	80.29%	19.16%	0.55%	0.00%	0.00%
S42	2011/11/4	2694206	223520	120.75	24.35	5.24	25876	84.45%	12.09%	3.45%	0.00%	0.00%
	2012/10/5					5.27	13139	77.30%	21.78%	0.92%	0.00%	0.00%
S43	2011/11/4	2694134	224125	120.75	24.35	5.24	26199	82.81%	13.96%	3.22%	0.00%	0.00%
	2012/10/5					5.24	17963	76.17%	19.96%	3.87%	0.00%	0.00%
S48	2011/11/21	2701383	219267	120.70	24.42	5.24	25916	86.85%	10.21%	2.94%	0.00%	0.00%
	2012/10/12					5.24	8928	76.89%	21.36%	1.74%	0.00%	0.00%
S51	2011/11/21	2700273	222351	120.73	24.41	5.24	35457	87.00%	8.72%	4.29%	0.00%	0.00%
	2012/10/12					5.24	25914	77.27%	19.45%	3.28%	0.00%	0.00%
S52	2011/11/21	2699957	223776	120.74	24.41	5.24	48338	85.94%	5.19%	8.87%	0.00%	0.00%
	2012/10/12					5.24	11893	77.83%	19.28%	2.89%	0.00%	0.00%
S54	2011/11/21	2700017	225601	120.76	24.41	5.24	44115	86.87%	8.83%	4.30%	0.00%	0.00%
	2012/10/12					5.24	30667	76.89%	22.41%	0.70%	0.00%	0.00%
S55	2011/11/21	2699044	225778	120.76	24.40	5.24	32011	78.81%	14.65%	6.54%	0.00%	0.00%
	2012/10/12					5.24	31858	76.79%	21.16%	2.05%	0.00%	0.00%
S56	2011/11/21	2699326	226210	120.77	24.40	5.24	38861	86.25%	8.89%	4.86%	0.00%	0.00%
	2012/10/5					5.40	20354	77.75%	19.69%	2.55%	0.00%	0.00%
S58	2011/11/21	2700165	225311	120.76	24.41	5.24	26799	85.77%	8.79%	5.45%	0.00%	0.00%
	2012/10/5					5.24	17974	75.26%	22.27%	2.48%	0.00%	0.00%
S59	2011/11/25	2701713	226178	120.77	24.42	5.24	49184	x	x	x	x	x
	2012/10/5					5.24	25914	76.89%	20.04%	3.07%	0.00%	0.00%
S61	2011/11/25	2699296	224878	120.75	24.40	5.24	54019	x	x	x	x	x
	2012/10/5					5.24	39394	77.68%	18.98%	3.34%	0.00%	0.00%
S64	2011/11/25	2697907	224667	120.75	24.39	5.24	64748	x	x	x	x	x
	2012/10/5					5.24	36223	77.31%	22.13%	0.56%	0.00%	0.00%

sample No.	Date	X67	Y67	longitude	latitude	He (ppm)	Rn(Bq/m3)	Major gas				
								O2+Ar (%)	N2 (%)	CO2 (%)	CH4 (%)	C2H6 (%)
S66	2011/11/25	2696143	224724	120.75	24.37	5.31	35996	x	x	x	x	x
	2012/10/5					5.25	30744	88.69%	1.08%	10.24%	0.00%	0.00%
T6	2012/5/24	223382	2685809	120.75	24.28	5.24	20917	89.10%	9.25%	1.65%	0.00%	0.00%
	2012/9/13					x	13991	79.31%	20.44%	0.25%	0.00%	0.00%
T12	2012/5/25	227041	2685721	120.78	24.28	5.24	23186	80.64%	18.13%	1.24%	0.00%	0.00%
	2012/9/13					x	4631	68.67%	31.31%	0.02%	0.00%	0.00%
T13	2012/5/25	227512	2685570	120.79	24.27	5.85	x	77.63%	22.36%	0.01%	0.00%	0.00%
	2012/9/13					x	24943	81.67%	17.82%	0.51%	0.00%	0.00%
T18	2012/5/30	224314	2686970	120.76	24.29	5.24	56683	83.85%	15.06%	1.09%	0.00%	0.00%
	2012/9/14					x	56353	77.80%	21.82%	0.38%	0.00%	0.00%
T22	2012/5/31	226351	2687146	120.78	24.29	5.24	50857	85.49%	13.45%	1.06%	0.00%	0.00%
	2012/9/14					x	43008	77.46%	22.08%	0.46%	0.00%	0.00%
T29	2012/5/31	230065	2685784	120.81	24.28	5.24	66755	87.83%	10.77%	1.39%	0.00%	0.00%
	2012/9/13					x	29784	51.24%	13.30%	35.46%	0.00%	0.00%
T30	2012/5/31	230357	2685305	120.81	24.27	5.24	43711	86.48%	12.47%	1.05%	0.00%	0.00%
	2012/9/13					x	55172	81.33%	18.21%	0.46%	0.00%	0.00%

註：x 表示無該筆資料。粗字灰底表示各異常氣體部分。

陸、地下水壓觀測

地下水壓或水位之異常升降可能為斷層活動之前兆，故將地下水壓異常定義為：

- (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。

研判為地下水壓異常之時段，與中央氣象局發布之地震事件發生時間比對篩選，進一步研判是否為同震或震前地下水壓變化。各測站篩選地震條件為：

規模 ≥ 5 或測站附近震度 ≥ 2 或 $D/R \geq 2$ ，其中 D 為應變半徑，以 $D = 10^{0.43 * M_L}$ 計算之， R 為測站與震央之距離。

6-1 台北地區地下水壓觀測

將2011年12月至2012年11月底台北地區明德中學、錦和國小及樹林飛灰掩埋場等三個觀測井之地下水壓資料，以及中央氣象局台北站雨量及篩選出的地震（表6-1）繪圖於圖6-1至圖6-12，經詳細判釋，可得下述主要結果。

台北地區三個觀測井水位變動之同步性高，受降雨的影響顯著，對發生於台灣東北部的地震較敏感，。由於今年度後期錦和站與明德站水位錄缺失較多，觀察到的震前異常水位明顯較往年少。

2011年12月至2012年11月底止，共發生31起符合篩選條件地震（不包括離測站200公里以上的四起遠震）；僅四起地震有前兆水位變化(表6-1)，依發生時間順序分別為4月9日台灣東部海域規模5.7(圖6-6)、5月11日宜蘭近海規模3.6(圖6-7)、7月20日新北市三峽規模3.0(圖6-9)、以及8月14日花蓮秀林規模5.2(圖6-10)的地震，四起地震之震源深度都小於21.5公里。另有三起不符合篩選條件但有水位前兆之地震，分別為2012年1月4日花蓮市規模4.7之地震(圖6-3)、7月1日宜蘭南澳規模3.6之地震(圖6-9)、以及8月17日花蓮秀林規模4.7(圖6-10)之地震；此三地震之震源深度都小於22公里。

表 6-1：符合台北三個觀測井篩選條件的地震
 (灰色標是之地震為不符篩選條件，但地下水位出現異常的地震)

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度 (km)	震央	錦和井前兆	地下水壓異常程度	距震央 (km)	D/R	D/R >2	樹林井前兆	地下水壓異常程度	距震央 (km)	D/R	D/R >2	明德井前兆	地下水壓異常程度	距震央 (km)	D/R	D/R >2	備註	
1	2008/12/2 11:16	5.7	2	121.49	23.34	31.7	花蓮玉里地震站東方 18.5 公里			183	1.55				181	1.56				174	1.63			
2	2008/12/8 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	yes			149	2.31	yes			144	2.39	yes		
3	2008/12/30 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				101	1.55		有		101	1.54			
4	2009/2/4 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			
5	2009/4/17 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	1.58				120	1.58				114	1.67			
6	2009/7/14 02:05	6	3	122.22	24.02	18.1	花蓮市地震站東方 61.9 公里			130	2.91	yes			135	2.82	yes			131	2.91	yes		
7	2009/7/26 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			154	1.37				149	1.41				141	1.49			
8	2009/8/17 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	yes			309	2.72	yes			307	2.73	yes		>200km
9	2009/10/4 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			149	2.82	yes			148	2.84	yes			141	2.99	yes		
10	2009/10/20 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			
11	2009/10/20 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			
12	2009/10/20 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			
13	2009/11/5 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	yes			147	3.14	yes	有		140	3.32	yes		
14	2009/11/5 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	1.83				148	1.91		有		140	2.02	yes		
15	2009/11/15 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	yes			79	2.94	yes			81	2.85	yes		
16	2009/11/23 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	2009/11/28 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				76	1.14				73	1.18			
18	2009/12/19 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	6.92	yes		同震，上升 15cm	134	6.93	yes			127	7.30	yes		
19	2009/12/25 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	1.31		有	1 日前上升 3cm	76	1.25		有	1 日前上升 5cm	71	1.33			
20	2010/1/2 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	1.22			
21	2010/1/5 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	2.41	yes			98	2.36	yes			93	2.49	yes		
22	2010/1/19 14:00	5.7	2	121.68	23.82	41	花蓮市地震站南偏東方 18.2 公里			131	2.16	yes			131	2.16	yes			124	2.27	yes		
23	2010/2/7 14:10	6.6	2	123.77	23.33	88	花蓮市地震站東偏南方 230.9 公里			296	2.33	yes			303	2.28	yes			300	2.29	yes		>200km
24	2010/2/12 10:42	5.2	1	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	128	1.35		有	1 日前上升 7cm	123	1.40		有	1 日前上升 7cm	115	1.50			
25	2010/2/22 13:21	5.6	1	122.97	24.05	35.6	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 128.5 公里			183	1.40				190	1.35				188	1.36			
26	2010/2/26 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				207	1.51				203	1.53			>200km
27	2010/3/4 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	yes			228	2.47	yes			221	2.56	yes		>200km

28	2010/3/18 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	改變波形 & 3 日前上升 10cm	82	1.72		有	3 日前上升 4cm	88	1.61		有	3 日前上升 10cm	84	1.67			
29	2010/3/27 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			
30	2010/4/9 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	yes			66	2.14	yes				67	2.10	yes	
31	2010/4/11 12:57	5.4	1	122.1	23.27	30.3	台東成功地震站東偏北方 76.7 公里			200	1.05				202	1.04					196	1.07		>200km
32	2010/4/16 17:18	3.7	1	122.02	24.79	79.2	宜蘭蘇澳地震站東北方 25.9 公里	有	2 日前上升 15cm	58	0.67		有	2 日前上升 10cm	67	0.58		有	2 日前上升 20cm	67	0.58			
33	2010/4/23 09:49	5	1	122.33	24.46	85	宜蘭蘇澳地震站東方 47.6 公里		9 日前上升 15cm	103	1.37			9 日前上升 10cm	111	1.28			9 日前上升 20cm	109	1.29			疑
34	2010/4/25 23:16	4.3	1	122.28	25	12.1	基隆市地震站東偏南方 54.2 公里	有	3 日前上升 19cm	80	0.88		有	3 日前上升 17cm	90	0.79		有	3 日前上升 15cm	93	0.76			疑
35	2010/4/26 10:59	6.8	2	123.74	22.15	73.4	台東蘭嶼地震站東方 225.9 公里	有	4 日前上升 19cm	390	2.15	yes	有	4 日前上升 17cm	394	2.13	yes	有	4 日前上升 15cm	390	2.15	yes		疑 >200km
36	2010/6/14 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	1.51					35	1.84		
37	2010/6/15 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	2.46	yes			104	2.46	yes				97	2.63	yes	
38	2010/6/25 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				94	1.12					91	1.15		
39	2010/6/27 02:05	5.2	2	121.55	24.69	64.9	宜蘭牛鬥地震站北偏西方 6.2 公里			34	5.10	yes	有	4~5 日前 下降 60cm 再回升	35	4.91	yes	有	2 日前上升 4cm	30	5.71	yes		
40	2010/6/28 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	先降後升 1 日前上升 33cm	104	1.24			
41	2010/7/9 03:43	5.3	2	122	24.4	19.3	宜蘭南澳地震站東方 25.9 公里			83	2.28	yes			88	2.15	yes				85	2.23	yes	
42	2010/7/9 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	yes			133	2.35	yes				134	2.33	yes	
43	2010/7/17 17:04	5.2	0	121.76	23.45	40	花蓮玉里地震站東偏北方 45.6 公里			173	1.00				173	1.00					166	1.04		
44	2010/7/18 21:03	5.2	3	122.44	24	24.3	花蓮市地震站東方 84.5 公里			146	1.18				151	1.14					148	1.16		
45	2010/7/25 11:52	5.7	1	120.74	22.84	19.6	高雄旗山地震站東偏北方 27 公里			250	1.13				245	1.15					237	1.19		>200km
46	2010/7/27 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		
47	2010/8/22 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	2.19	yes			56	1.86					57	1.84		
48	2010/8/22 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	2.42	yes			56	2.06	yes				57	2.03	yes	
49	2010/8/22 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		
50	2010/8/30 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	2.36	yes			83	2.08	yes				85	2.02	yes	
51	2010/9/12 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	1.61				74	1.56		有	1 日前上升 49cm	70	1.67			

52	2010/9/17 04:02	3.5	0	121.71	24.11	11.3	花蓮秀林地震站東偏北方 11.3 公里	有	9/18 先降 10cm 後 升 26cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 10 起小 規模地震	100	0.32	有	9/18 降 17cm 後升 36cm ps.9/17~28 宜蘭南澳 附近陸續 發生 10 起 小規模地 震	101	0.32	有	9/19 前上 升 45cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 10 起小規模 地震	95	0.34	疑 1
53	2010/9/17 08:45	3.6	0	122.11	24.67	13.5	宜蘭蘇澳地震站東偏北方 26.0 公里	有	9/18 先降 10cm 後 升 26cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 11 起小 規模地震	72	0.49	有	9/18 降 17cm 後升 36cm ps.9/17~28 宜蘭南澳 附近陸續 發生 11 起 小規模地 震	80	0.44	有	9/19 前上 升 45cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 11 起小規模 地震	80	0.44	疑 2
54	2010/9/19 13:24	4.5	1	121.96	24.33	35.2	宜蘭南澳地震站東偏南方 23.7 公里	有	9/18 先降 10cm 後 升 26cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 12 起小 規模地震	87	0.99	有	9/18 降 17cm 後升 36cm ps.9/17~28 宜蘭南澳 附近陸續 發生 12 起 小規模地 震	91	0.94		88	0.98		
55	2010/9/19 23:02	2.9	0	121.78	24.41	13.7	宜蘭南澳地震站東偏南方 3.1 公里	有	9/18 先降 10cm 後 升 26cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 13 起小 規模地震	71	0.25	有	9/18 降 17cm 後升 36cm ps.9/17~28 宜蘭南澳 附近陸續 發生 13 起 小規模地 震	74	0.24	有	9/19 前上 升 45cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 13 起小規模 地震	69	0.26	疑 4
56	2010/9/20 11:17	5.1	1	121.62	23.68	36.2	花蓮西林地震站東南方 23.2 公里	有	9/18 先降	146	1.07	有	9/18 降	145	1.08	有	9/19 前上	138	1.13	疑 5

									10cm 後 升 26cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 14 起小 規模地震					17cm 後升 36cm ps.9/17~28 宜蘭南澳 附近陸續 發生 14 起 小規模地 震					升 45cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 14 起小規模 地震				
57	2010/9/23 00:12	3.5	0	122.01	24.4	21.3	宜蘭南澳地震站東方 26.5 公里	有	9/18 先降 10cm 後 升 26cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 15 起小 規模地震	84	0.38		有	9/18 降 17cm 後升 36cm ps.9/17~28 宜蘭南澳 附近陸續 發生 15 起 小規模地 震	89	0.36		有	9/19 前上 升 45cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 15 起小規模 地震	86	0.37		疑 6
58	2010/9/23 13:26	3.9	1	121.95	24.76	84.3	宜蘭蘇澳地震站北偏東方 19.2 公里	有	9/18 先降 10cm 後 升 26cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 16 起小 規模地震	53	0.90		有	9/18 降 17cm 後升 36cm ps.9/17~28 宜蘭南澳 附近陸續 發生 16 起 小規模地 震	61	0.78		有	9/19 前上 升 45cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 16 起小規模 地震	61	0.78		疑 7
59	2010/9/25 02:34	3.8	1	121.98	24.9	110.5	宜蘭市地震站東偏北方 27.2 公里	有	9/18 先降 10cm 後 升 26cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 17 起小 規模地震	51	0.85		有	9/18 降 17cm 後升 36cm ps.9/17~28 宜蘭南澳 附近陸續 發生 17 起 小規模地 震	60	0.72		有	9/19 前上 升 45cm ps.9/17~2 8 宜蘭南 澳附近陸 續發生 17 起小規模 地震	62	0.69		疑 8
60	2010/9/25 16:16	2.7	0	121.45	24.4	6.6	宜蘭牛鬥地震站南偏西方 29.2 公里	有	9/18 先降 10cm 後	65	0.22		有	9/18 降 17cm 後升	64	0.23		有	9/19 前上 升 45cm	56	0.26		疑 9

									升 26cm ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 18 起小規模地震					36cm ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 18 起小規模地震					ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 18 起小規模地震				
61	2010/9/25 19:23	2.7	0	121.77	24.33	7.3	宜蘭南澳地震站南偏東方 10.5 公里	有	9/18 先降 10cm 後升 26cm ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 19 起小規模地震	78	0.18		有	9/18 降 17cm 後升 36cm ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 19 起小規模地震	81	0.18		有	9/19 前上升 45cm ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 19 起小規模地震	76	0.19		疑 10
62	2010/10/1 03:56	5.1	2	121.78	24.86	102.1	宜蘭市地震站北方 11.4 公里	有	9/18 先降 10cm 後升 26cm ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 10 起小規模地震	33	4.77	yes	有	9/18 降 17cm 後升 36cm ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 10 起小規模地震	41	3.78	yes	有	9/19 前上升 45cm ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 10 起小規模地震	42	3.70	yes	疑 11
63	2010/10/3 03:23	5.1	2	121.74	24.37	19.4	宜蘭南澳地震站南偏西方 6.9 公里			73	2.13	yes			75	2.07	yes			70	2.22	yes	
64	2010/10/4 8:13	3.9	1	121.94	24.71	69.3	宜蘭蘇澳地震站東北方 14.0 公里	有	改變波形 1 日前上升 3cm	55	0.86		有	1 日前上升 1cm	63	0.76		有	1 日前上升 6cm	62	0.77		
65	2010/10/4 21:28	6.6	1	125.51	23.97	35	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 377.7 公里	有	改變波形 1 日前上升 3cm	423	1.63		有	1 日前上升 1cm	432	1.59		有	1 日前上升 6cm	433	1.59		疑
66	2010/10/12 00:47	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	1.17		
67	2010/10/12 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		
68	2010/11/10 21:08	4.1	2	121.82	24.55	9.8	宜蘭蘇澳地震站西南方 7.6 公里			59	0.98				64	0.91				60	0.96		
69	2010/11/12 21:08	5.2	1	122.43	24.05	18.8	宜蘭南澳地震站東偏南方 80.8 公里			141	1.22				147	1.17				143	1.20		
70	2010/11/19 02:14	4.6	2	121.84	24.54	9.5	宜蘭蘇澳地震站南偏西方 7.9 公里			61	1.56				66	1.44				63	1.52		

71	2010/11/21 20:31	6.1	2	121.75	23.83	46.9	花蓮市地震站東南方 21.6 公里	有	先降後升 2 日前下 降 5cm 再 升 6cm	131	3.20	yes			132	3.19	yes	疑似	2 日前上 升 6cm	125	3.35	yes	
72	2010/11/26 23:13	4.8	2	121.8	24.2	13.5	花蓮秀林地震站東偏北方 23.8 公里			93	1.25				95	1.22		有	1 日前上 升 60cm, 但受雨量 干擾	90	1.29		
73	2010/12/6 10:14	5.2	1	121.43	23.68	24.8	花蓮西林地震站南偏東方 16.5 公里	有	4 日前上 升 4cm	145	1.19				143	1.20		有	5 日前上 升 5cm	136	1.27		
74	2010/12/8 15:53	4.2	0	121.8	24.2	16.6	花蓮秀林地震站東偏北方 24.0 公里	有	2 日前上 升 4cm	93	0.69				95	0.67		有	3 日前上 升 4cm	90	0.71		
75	2010/12/10 4:42	5.2	0	122.14	21.33	167.1	台東蘭嶼地震站東南方 98.9 公里			411	0.42				410	0.42				404	0.43		>200km
76	2010/12/15 02:03	3.7	0	121.82	24.26	20.7	宜蘭南澳地震站南偏東方 19.8 公里	有	2 日前上 升 9cm	87	0.45		有	2 日前上 升 4cm	90	0.43		有	2 日前上 升 6cm	85	0.46		
77	2011/1/2 07:34	4	0	121.84	24.46	16.6	宜蘭縣政府南偏東方 31.1 公里外海	有	改變波形 3 日前上 升 6cm	69	0.77		有	先小降後 升 3 日前上 升 2.6cm	73	0.72		?	先小降後 持平 3 日前上 升 2cm	69	0.76		疑
78	2011/1/6 06:42	4	0	121.82	24.6	73.9	宜蘭縣政府南偏東方 11.2 公里	有	先降後升 2 日前上 升 9cm	55	0.96		有	先降後升 2 日前上 升 7cm	60	0.88		有	先降後升 2 日前上 升 10cm	57	0.92		疑
79	2011/1/10 08:37	3.9	1	121.76	24.35	18.7	宜蘭縣政府南方 42.0 公里	有	3 日前上 升 10cm	76	0.63		有	3 日前上 升 10cm	78	0.61		有	先降後升 3 日前上 升 10cm	73	0.65		疑
80	2011/1/11 06:41	4.4	1	121.97	24.56	13.3	宜蘭縣政府東南方 27.9 公里外海	有	1 日前上 升 5cm	68	1.15		有	1 日前上 升 5cm	74	1.05				72	1.08		疑
81	2011/1/15 04:19	3.4	0	121.46	24.38	6.4	宜蘭縣政府西南方 48.9 公里			68	0.43				66	0.44		有	1/14 上升 16cm	59	0.49		疑
82	2011/1/16 17:01	3.9	0	121.99	24.43	21	宜蘭縣政府東南方 40.5 公里外海			80	0.59				85	0.56		有	1/14 上升 16cm	82	0.58		疑
83	2011/1/17 14:32	3.3	0	121.92	24.49	14.8	宜蘭縣政府南偏東方 31.3 公里外海			70	0.37				76	0.35		有	1/14 上升 16cm	72	0.36		疑
84	2011/1/25 04:05	3.7	0	121.88	24.44	18.1	宜蘭縣政府南偏東方 34.2 公里外海	有	2 日前上 升 5cm	73	0.54				77	0.51		有	2 日前上 升 10cm	73	0.53		
85	2011/1/29 15:43	3.7	2	122.01	24.93	7.9	宜蘭縣政府東北方 32.9 公里外海			53	0.74				63	0.62				65	0.60		
86	2011/1/29 15:46	3.7	3	121.99	24.93	6.3	宜蘭縣政府東北方 31.3 公里外海			51	0.76				61	0.64				63	0.62		

87	2011/2/1 16:16	5.5	2	121.8	24.24	17.6	花蓮縣政府東北方 33.0 公里外海	有	1 日前下降 12cm 後升	89	2.61	yes	有	1 日前下降 9cm	91	2.55	yes			86	2.70	yes	
88	2011/2/14 12:20	3.8	2	122.01	24.93	7.5	宜蘭縣政府東北方 33.6 公里外海			53	0.81				63	0.69		有	4 日前上升 5cm	65	0.66		
89	2011/2/15 15:18	5.5	0	121.2	21.18	71.2	台東縣政府南方 174.1 公里外海			423	0.55				420	0.55				413	0.56		>200km
90	2011/3/2 6:06	3.9	1	121.8	24.83	113.5	新北市政府東偏南方 39.6 公里	有	2 天前波形改變	36	1.32				44	1.08		有	先降後升 2 日前上升 7cm	45	1.06		
91	2011/3/5 21:01	4.8	1	121.89	24.91	114.8	宜蘭縣政府東北方 24.2 公里外海			41	2.80	yes			51	2.28	yes			53	2.19	yes	
92	2011/3/11 13:46	9		142.6	38.1	24.4	東日本大地震			2468	3.00	yes			2477	2.99	yes			2484	2.98	yes	>200km
93	2011/3/19 5:56	4.3	1	121.89	24.49	16.3	宜蘭縣政府南偏東方 29.6 公里外海	有	5 日前上升 11cm 波形改變	69	1.03		有	5 日前上升 11cm	73	0.96			缺水位資料	70	1.01		
94	2011/3/20 16:00	5.8	1	121.38	22.44	27.5	台東縣政府東南方 41.9 公里外海		6 日前上升 11cm 波形改變且 10 小時前水位下降	283	1.10		疑似	6 日前上升 11cm 且 10 小時前水位下降	280	1.11			10 小時前水位下降	273	1.14		疑 >200km
95	2011/3/26 15:19	4.7	2	121.92	24.82	92.3	宜蘭縣政府東北方 19.4 公里外海	有	5 日前上升 15cm 波形改變	47	2.22	yes	有	5 日前上升 8cm	56	1.87		有	5 日前上升 8cm	57	1.85		
96	2011/4/11 20:13	3.3	2	121.44	24.79	6.7	新北市政府南方 24.4 公里	有	1 日前波形改變	23	1.16		有	0.5 日上升 1cm	21	1.27		有	3 日前上升 11cm	15	1.79		
97	2011/4/29 21:12	5.9	0	122.07	21.35	178.1	台東縣政府南偏東方 182.5 公里外海			407	0.85				407	0.85				400	0.86		>200km
98	2011/4/30 16:35	5.8	3	121.81	24.65	75	宜蘭縣政府南偏東方 10.1 公里	有	3 天前上升 12cm	50	6.28	yes			55	5.63	yes	有	3 日前上升 3cm	53	5.88	yes	
99	2011/5/3 23:52	5.3	2	121.71	23.93	41.2	花蓮縣政府東偏南方 20.3 公里外海			119	1.59				120	1.59				113	1.68		
100	2011/5/7 16:35	4.5	2	121.89	24.47	7.4	宜蘭縣政府南偏東方 31.0 公里外海			70	1.22				75	1.15				72	1.20		
101	2011/5/22 9:34	5	1	121.76	24.12	6.1	花蓮縣政府東北方 20.3 公里外海			100	1.41				101	1.39		有	1 日前上升 10cm	96	1.48		
102	2011/5/24 3:51	4.3	2	121.89	24.74	88.7	宜蘭縣政府東方 13.3 公里外海			49	1.44				57	1.25		有	3 日前上升 10cm	56	1.26		疑
103	2011/6/3 1:07	5.2	0	121.34	22.26	22.2	台東縣政府南偏東方 63.4 公里外海			303	0.57				300	0.57				293	0.59		>200km
104	2011/6/10 9:25	5.2	0	121.68	23.57	28	花蓮縣政府南方 46.8 公里外海			158	1.09				158	1.09				151	1.14		

105	2011/6/16 23:32	4.2	2	121.8	24.77	15.3	宜蘭縣政府東北方 5.7 公里 (位於宜蘭縣壯圍鄉)			40	1.61				47	1.36				46	1.38		
106	2011/6/19 18:18	4.9	2	121.83	24.72	80	宜蘭縣政府東偏南方 6.7 公里 (位於宜蘭縣近海)			46	2.81	yes			52	2.44	yes			51	2.50	yes	
107	2011/6/26 21:19	5.1	0	121.02	23.84	9.4	南投縣政府東方 34.3 公里 (位於南投縣仁愛鄉)			136	1.15				131	1.19				123	1.27		
108	2011/7/3 20:30	5	2	121.93	24.72	70	宜蘭縣政府東方 16.8 公里 (位於台灣東部海域)			54	2.63	yes			61	2.31	yes			61	2.33	yes	
109	2011/7/3 23:19	4.5	2	121.91	24.7	70.3	宜蘭縣政府東偏南方 15.7 公里 (位於宜蘭縣近海)			53	1.62				60	1.42				59	1.45		
110	2011/7/12 19:17	5.3	1	121.53	23.53	20.7	花蓮縣政府南方 52.3 公里 (位於花蓮縣近海)			162	1.18				160	1.19				153	1.24		
111	2011/7/13 15:19	5.4	0	123.8	24.91	120.8	宜蘭縣政府東方 206.8 公里 (位於台灣東部海域)			234	0.90				243	0.86				246	0.85		>200km
112	2011/7/18 22:48	5.1	1	122.29	23.52	27.1	花蓮縣政府東南方 86.1 公里 (位於台灣東部海域)			182	0.86				185	0.84				180	0.87		
113	2011/7/20 14:12	4.8	1	122.29	24.1	47.9	花蓮縣政府東方 64.8 公里 (位於台灣東部海域)			135	0.86				139	0.83				135	0.86		疑
114	2011/7/27 3:48	3.4	2	122.03	24.91	7.8	宜蘭縣政府東北方 33.4 公里 (位於台灣東部海域)			55	0.52				65	0.45				67	0.43		
115	2011/9/7 12:23	4.5	1	121.87	24.89	112.4	宜蘭縣政府北偏東方 20.9 公里 (位於宜蘭縣近海)			40	2.15	yes			49	1.75				51	1.69		
116	2011/9/9 11:26	5	0	120.99	22.31	10.4	台東縣政府南偏西方 52.4 公里 (位於台灣東部海域)			301	0.47				298	0.47				290	0.49		>200km
117	2011/9/12 13:15	5.3	0	122.79	23.63	41	花蓮縣政府東偏南方 125.3 公里 (位於台灣東部海域)			200	0.95	疑似	3 日前上升 2cm		206	0.92				202	0.94		疑 >200km
118	2011/9/22 6:18	5.2	1	121.69	24.09	20.1	花蓮縣政府北偏東方 13.2 公里 (位於花蓮縣近海)	有	4 日前潮汐現象減弱	102	1.69	疑似	7 日前上升 1.5cm		102	1.68	疑似	7 日前上升 4cm		96	1.79		
119	2011/9/25 16:05	3.9	2	122.02	24.92	11.7	宜蘭縣政府東北方 33.1 公里 (位於台灣東部海域)			54	0.88				64	0.75				66	0.72		
120	2011/10/1 16:55	4.4	2	121.67	24.8	57.9	宜蘭縣政府西北方 11.7 公里 (位於宜蘭縣礁溪鄉)			28	2.80	yes			34	2.29	yes			33	2.37	yes	疑
121	2011/10/12 10:14	4.1	2	121.32	24.71	8.5	桃園縣政府南方 31.4 公里 (位於桃園縣復興鄉)			35	1.64				30	1.94				22	2.64	yes	
122	2011/10/30 11:23	6.3	2	123.16	25.31	215.8	基隆市政府東方 143.6 公里 (位於		10/24~27	172	2.97	yes	疑似	6 日前上升	182	2.81	yes		6 日前上	186	2.74	yes	疑

							台灣東北部海域)			潮汐現象 減弱					4cm					升 6cm				
123	2011/10/31 23:17	5	2	121.94	24.84	92.1	宜蘭縣政府東偏北方 21.7 公里 (位於台灣東部海域)	有	10/24~27 潮汐現象 減弱	50	2.81	yes	有	7 日前上升 4cm	60	2.37	yes	有	7 日前上 升 6cm	61	2.31	yes		
124	2011/11/12 9:38	5.1	0	122.28	24.09	30	花蓮縣政府東方 67.9 公里 (位於台灣東部海域)			128	1.22				133	1.17				129	1.21			
125	2011/12/2 23:25	4.5	2	121.97	24.83	96.9	宜蘭縣政府東偏北方 23.7 公里 (位於台灣東部海域)			52	1.67				61	1.42				62	1.40			
126	2011/12/4 18:13	4.8	3	122.07	24.69	61.1	宜蘭縣政府東方 31.7 公里 (位於台灣東部海域)			67	1.72				75	1.54				75	1.54			
127	2011/12/8 6:07	4.4	2	121.51	24.58	65.1	宜蘭縣政府西偏南方 30.4 公里 (位於宜蘭縣大同鄉)			45	1.72				45	1.73				39	2.01	yes		
129	2012/1/4 14:59	4.7	1	121.6	23.99	9.2	花蓮縣政府西方 2.3 公里	有		111	0.94		有		111	0.95		有		104	1.01			
130	2012/1/25 16:36	5	1	122.24	24.86	124.9	宜蘭縣政府東偏北方 50 公里			77	1.83				87	1.63				88	1.60			
131	2012/1/29 16:07	5.6	1	122.37	25.32	264.7	基隆市政府東偏北方 66.4 公里			96	2.66	yes			106	2.41	yes			111	2.30	yes		
132	2012/2/4 10:54	5.4	1	122.71	24.61	96.3	宜蘭縣政府東方 90.9 公里 (位於台灣東部海域)			130	1.61				139	1.51				140	1.50			
133	2012/2/26 10:35	6.4	2	120.75	22.75	26.3	屏東縣政府東偏北方 28.4 公里			259	2.18	yes			255	2.22	yes			247	2.29	yes	>200km	
134	2012/3/22 07:44	5	0	121.75	23.21	27.7	台東縣政府東北方 79.4 公里 (位於台灣東部海域)			199	0.71				198	0.71				192	0.74			
135	2012/4/9 05:43	5.7	2	122.35	24	10	花蓮縣政府東方 73.8 公里 (位於台灣東部海域)	有	4/2~3 地 潮減弱	140	2.02	yes			145	1.95		有	7 日前上 升 2cm	141	2.00			
136	2012/4/11 16:38	8.7		93.072	2.348	22.9	印尼蘇門答臘地震			3955	1.39				3946	1.40				3940	1.40		>200km	
137	2012/4/11 18:43	8.2		92.452	0.773	16.4	印尼蘇門答臘地震			4125	0.81				4115	0.82				4109	0.82		>200km	
138	2012/4/19 09:58	5.4	2	121.67	24.14	23	花蓮縣政府北偏東方 16.9 公里 (位於花蓮縣近海)			96	2.19	yes			96	2.18	yes			90	2.33	yes		
139	2012/4/27 22:48	5.1	1	121.87	23.75	33.8	花蓮縣政府東南方 36.7 公里 (位於台灣東部海域)			143	1.09				144	1.08				138	1.13			
140	2012/5/11 04:04	3.6	2	121.98	24.89	5	宜蘭縣政府東北方 28.4 公里 (位於台灣東部海域)	疑	3 日前上 升 4cm	51	0.70				60	0.59		有	3 日前先 降後升 7cm	62	0.57			
141	2012/6/5 04:38	5.1	1	122.22	24.14	28.8	花蓮縣政府東偏北方 62.9 公里 (位於台灣東部海域)			120	1.30				125	1.25				121	1.29			
142	2012/6/5 17:56	5	1	122.24	24.23	19.6	花蓮縣政府東偏北方 68.2 公里 (位於台灣東部海域)			113	1.25				119	1.19				116	1.22			

143	2012/6/10 05:00	6.5	4	122.39	24.47	61.9	宜蘭縣政府東偏南方 70.2 公里 (位於台灣東部海域)		同震上升 1cm	108	5.79	yes		同震上升 11cm	115	5.41	yes			114	5.46	yes	
144	2012/6/10 05:54	5.1	0	122.25	24.47	71.6	宜蘭縣政府東偏南方 56.6 公里 (位於台灣東部海域)			96	1.62				103	1.51				102	1.54		
145	2012/6/11 02:33	4	0	121.28	24.75	13.8	桃園縣政府南方 27.4 公里 (位於新竹縣尖石鄉)			34	1.55				27	1.95				19	2.74	yes	
146	2012/6/13 16:22	4.9	2	121.27	24.75	6.7	桃園縣政府南方 27.0 公里 (位於新竹縣尖石鄉)			35	3.70	yes			27	4.67	yes			20	6.52	yes	
147	2012/6/13 22:41	4.4	2	121.29	24.74	5	桃園縣政府南方 28.0 公里 (位於新竹縣尖石鄉)			34	2.28	yes			28	2.83	yes			20	3.95	yes	
148	2012/6/15 00:15	5.4	1	121.64	23.71	10	花蓮縣政府南方 31.5 公里 (位於台灣東部海域)			143	1.47				142	1.48				135	1.55		
149	2012/7/1 17:32	3.6	0	121.49	24.41	12.3	宜蘭縣政府西南方 48.3 公里			64	0.55				63	0.56		有	4 天前降 5cm 後回升	56	0.63		
150	2012/7/5 11:06	3.3	0	121.48	24.4	9	宜蘭縣政府西南方 46.2 公里			64	0.41				63	0.42				56	0.47		
151	2012/7/20 8:37	3	2	121.4	24.94	11.9	新北市政府西南方 10.7 公里 (位於新北市三峽區)	有	5 天前趨勢改變，上升 5cm	11	1.85				4	5.40	yes	有	5 天前趨勢改變，上升 5cm	5	3.70	yes	
152	2012/7/31 9:51	3.5	1	121.31	24.73	9.9	桃園縣政府南方 29.3 公里 (位於桃源復興鄉)			34	0.94				28	1.14				20	1.59		
153	2012/8/14 10:06	5.2	0	122.29	23.91	98.1	花蓮縣政府東方 68.4 公里 (位於台灣東部海域)			145	1.19				149	1.16				145	1.19		
154	2012/8/14 18:55	5.2	1	121.56	24.06	21.5	花蓮縣政府西北方 9.6 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)	有	6 天前上升 10cm	103	1.67				102	1.68		有	6 天前上升 10cm	96	1.80		
155	2012/8/17 1:41	4.5	1	121.53	24.07	22	花蓮縣政府西北方 12.4 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)	有	1 天前上升 10cm	102	0.84				101	0.85		疑似	1 天前上升 10cm	94	0.92		
156	2012/8/18 04:20	5.3	0	121.58	23.35	22	花蓮縣政府南方 71.2 公里 (位於台灣東部海域)			182	1.05				181	1.05				173	1.10		
157	2012/8/31 20:11	4.7	2	120.92	24.7	5	新竹市政府南偏西方 12.6 公里 (位於苗栗頭份鎮)			66	1.59				56	1.86				50	2.08		
158	2012/8/31 20:23	4.6	2	120.89	24.73	6.9	新竹市政府西南方 11.6 公里 (位於苗栗竹南鎮)			67	1.42				57	1.66				52	1.83		
159	2012/10/13 6:38	4.1	1	121.63	24.94	87.2	台北市政府南偏東方 12.5 公里 (位於新北市石碇區)			15	3.81				24	2.37	yes			27	2.15	yes	
160	2012/10/20 16:49	5.1	1	122.57	24.29	46.1	宜蘭縣政府東偏南方 95.5 公里			134	1.16				141	1.10				140	1.12		
161	2012/10/25 18:31	5.5	0	120.4	22.44	33	高雄市政府南偏東方 22.1 公里			303	0.76				298	0.78				290	0.80		>200km

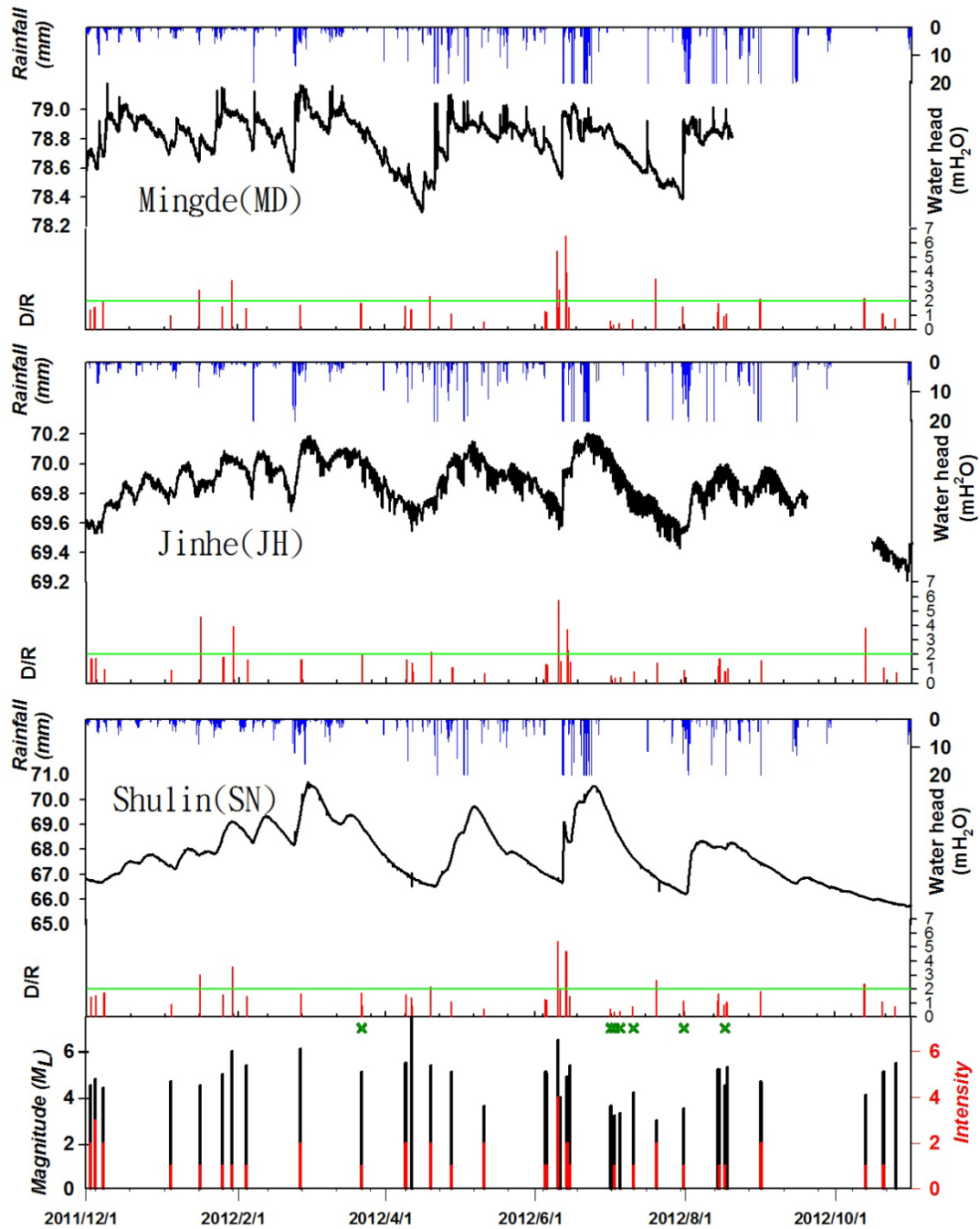


圖 6-1：台北地區 2011 年 12 月至 2012 年 10 月，明德、錦和與樹林三個觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。圖中紅線表示地震，藍色線條表示降雨量。X 標記表示不符篩選條件，但疑似有地下水位前兆之地震。三站之水位趨勢大致相同，而異常的判定主要選擇無降雨時期之水位上升為主。

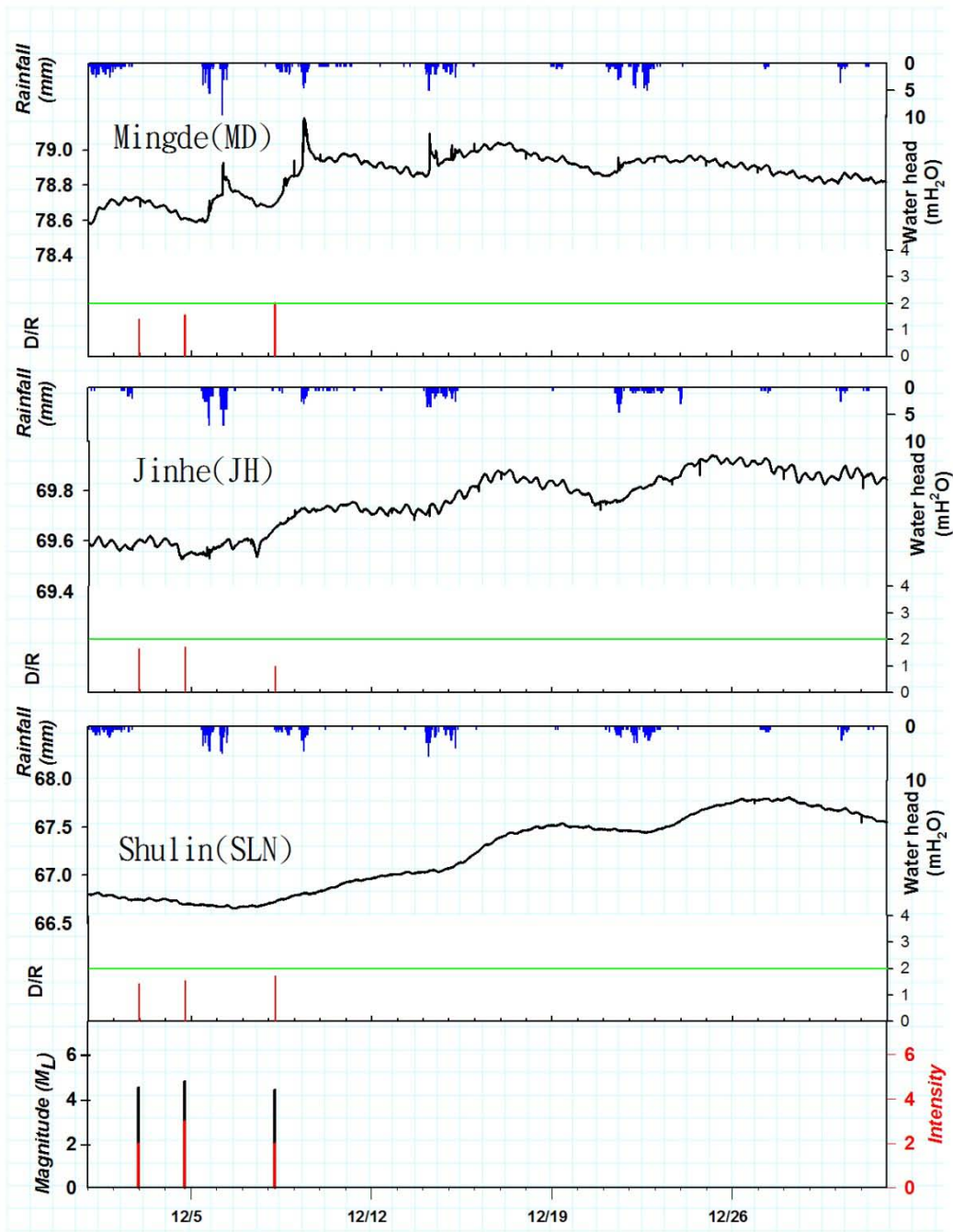


圖 6-2：台北地區 2011 年 12 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



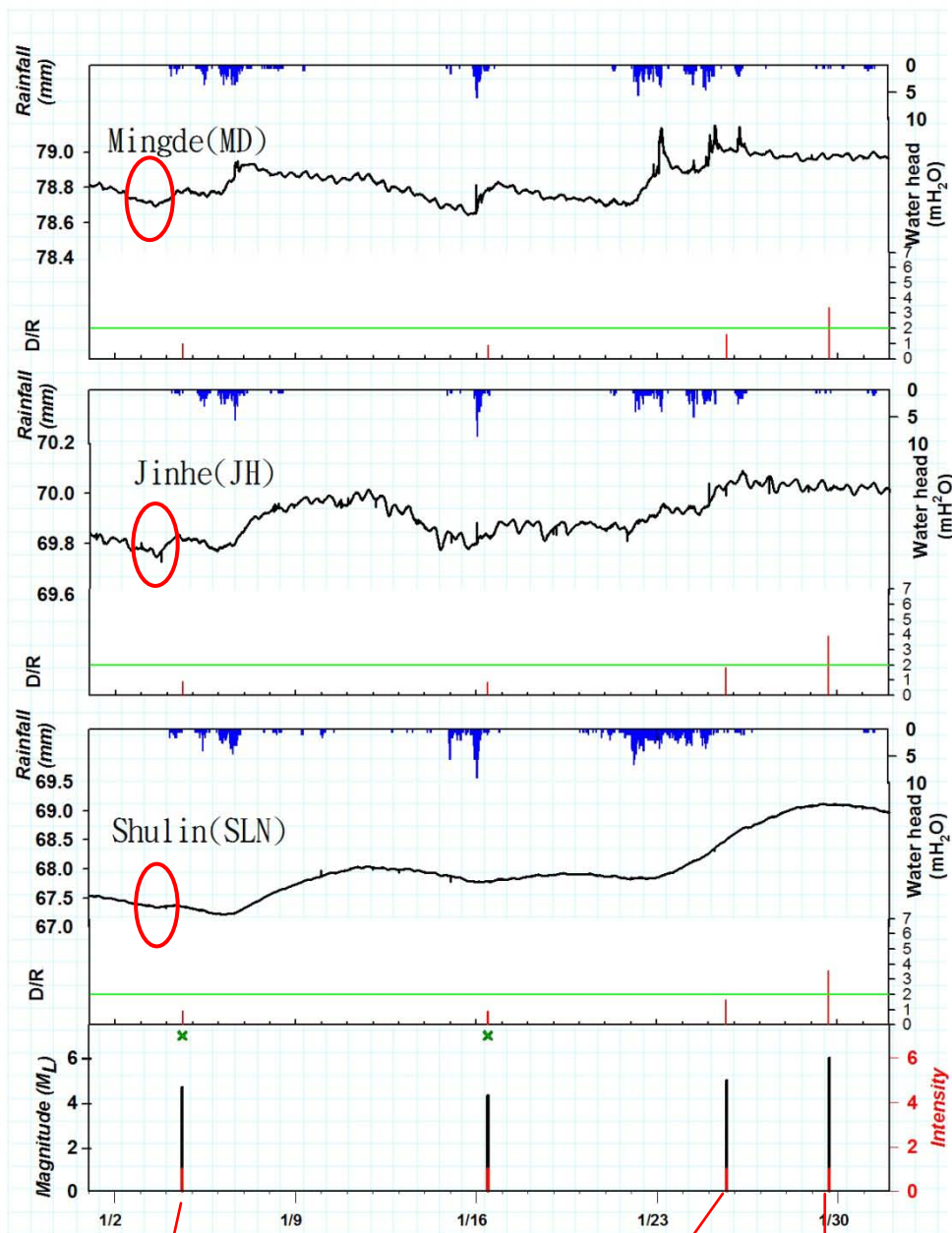


圖 6-3：台北地區 2012 年 1 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖，1 月 3 日之水位異常可對應到 1 月 4 日的地震。



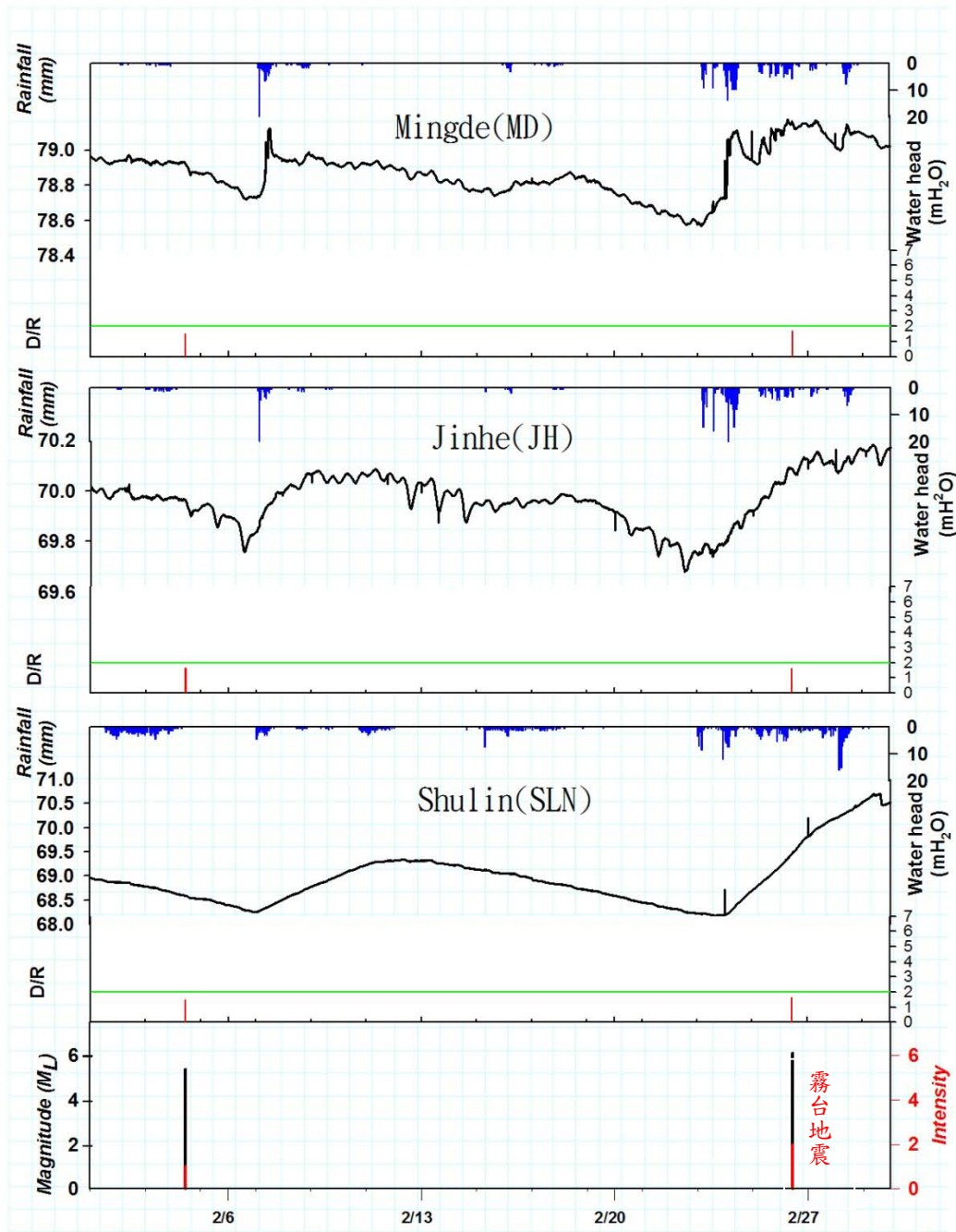
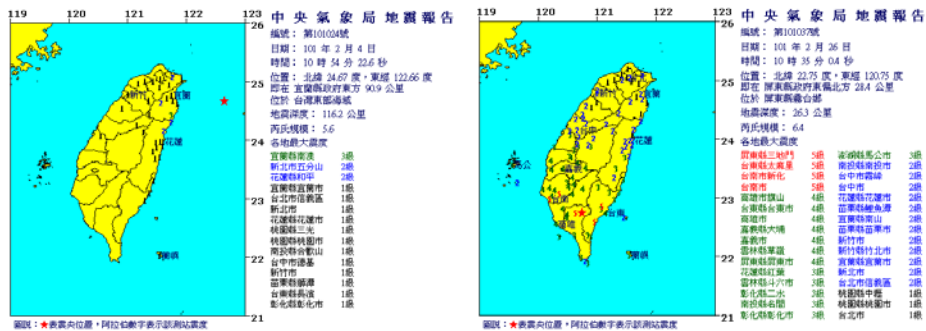


圖 6-4：台北地區 2012 年 2 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



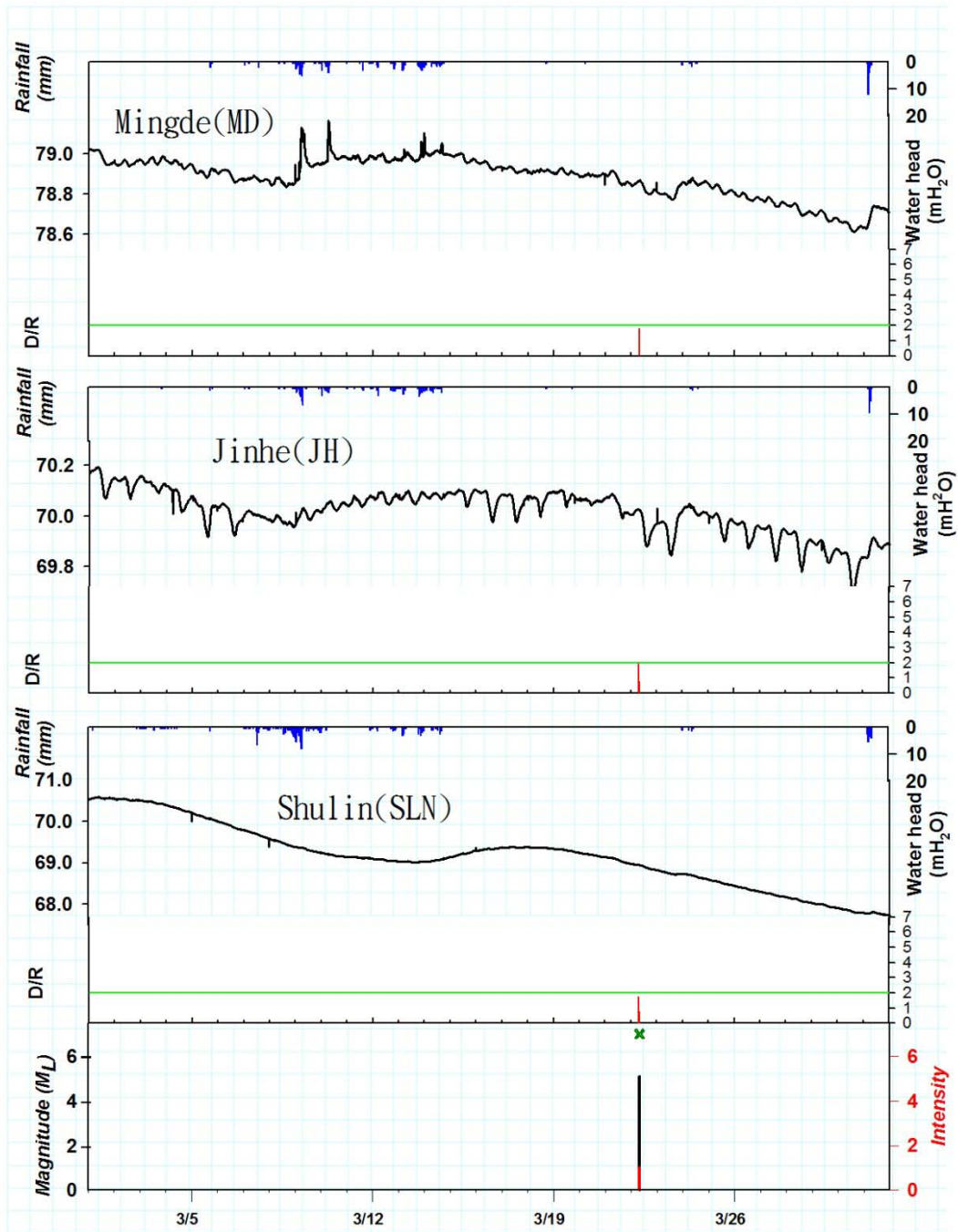
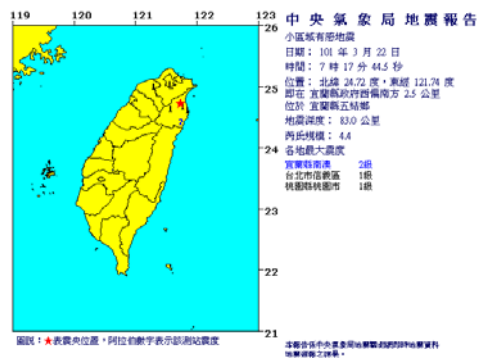


圖 6-5：台北地區 2012 年 3 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



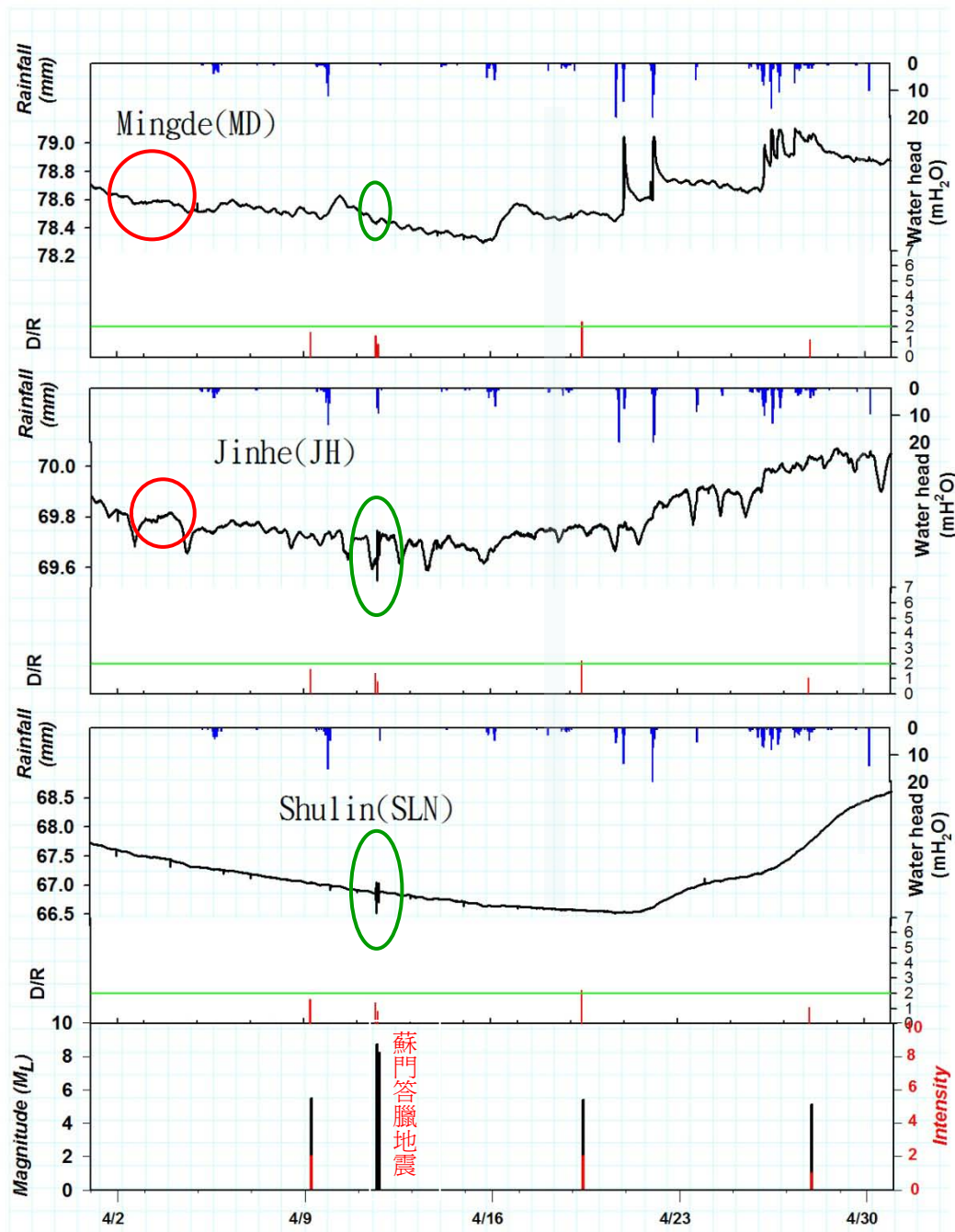


圖 6-6：台北地區 2012 年 4 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖，4 月 3 日之水位異常可對應 4 月 9 日的地震。錦和與樹林對蘇門答臘地震有同震水位變化。



$M_L=5.5$

$M_L=8.7$

$M_L=5.4$

$M_L=5.1$

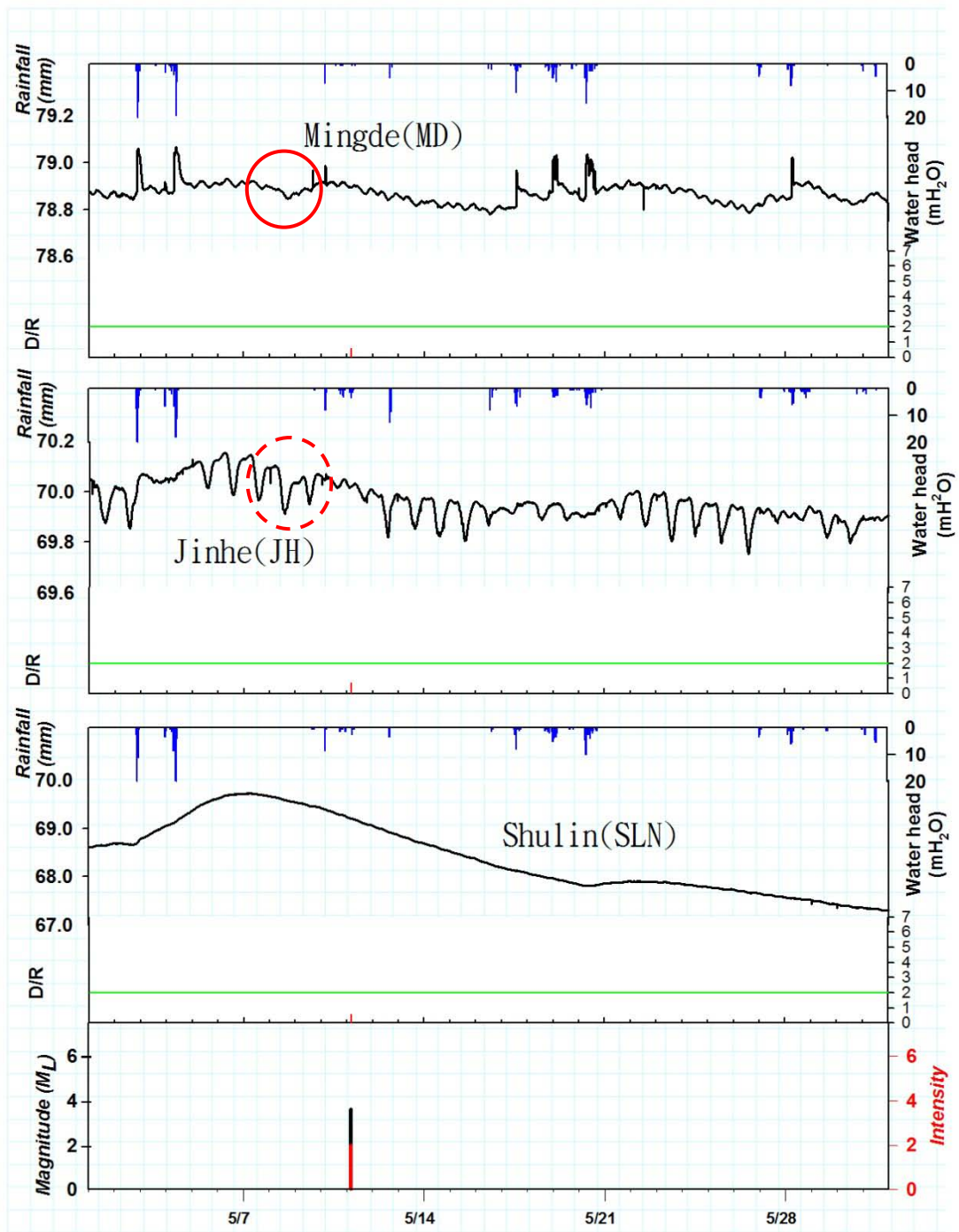
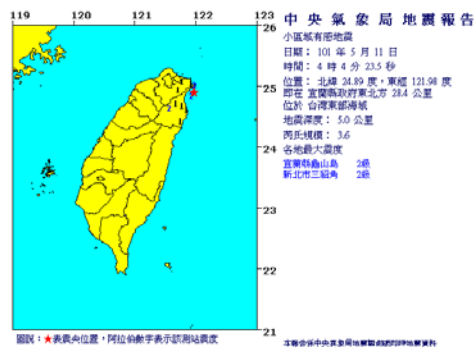


圖 6-7：台北地區 2012 年 5 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖，5 月 8 日的水位異常可對應 5 月 11 日之地震。



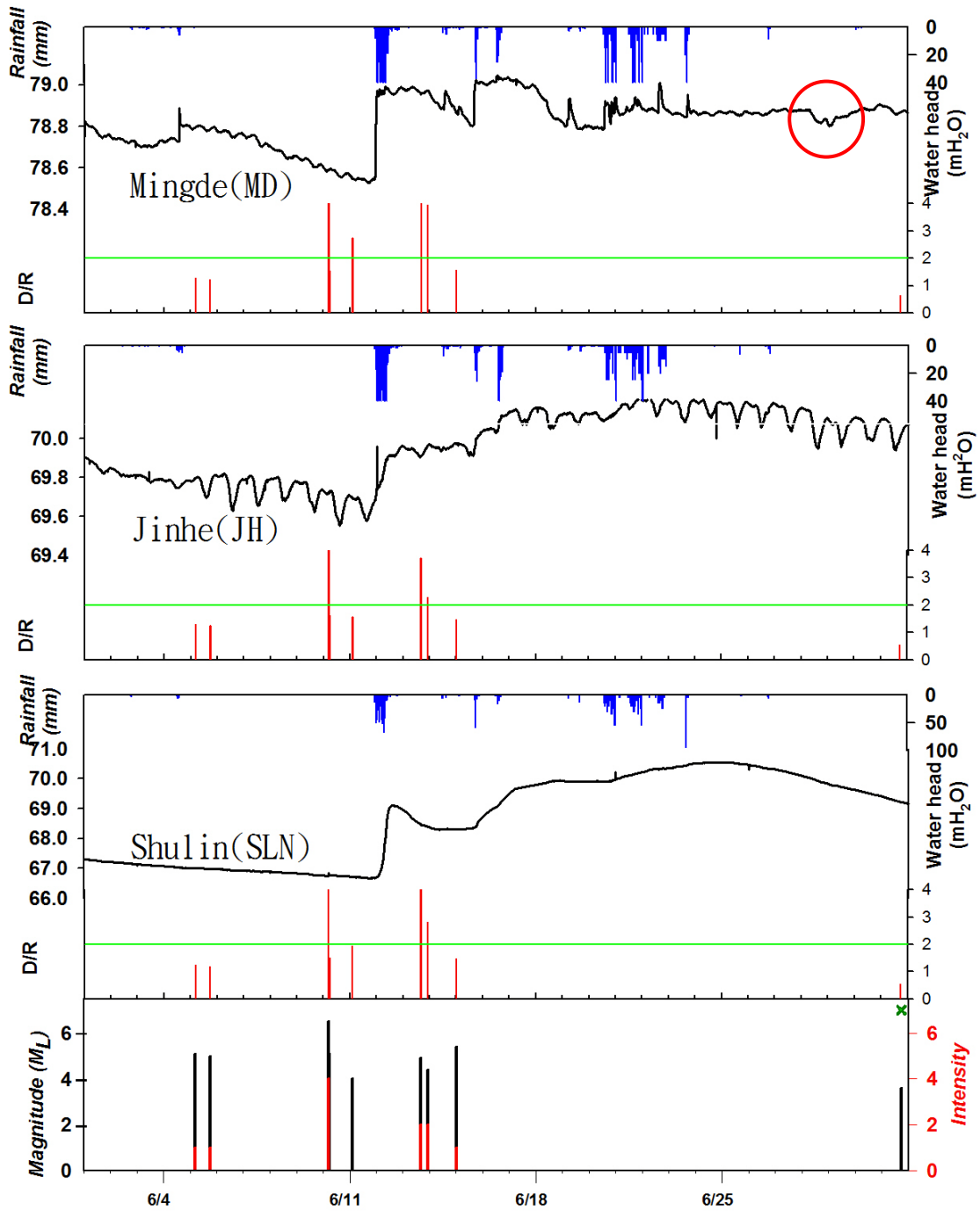
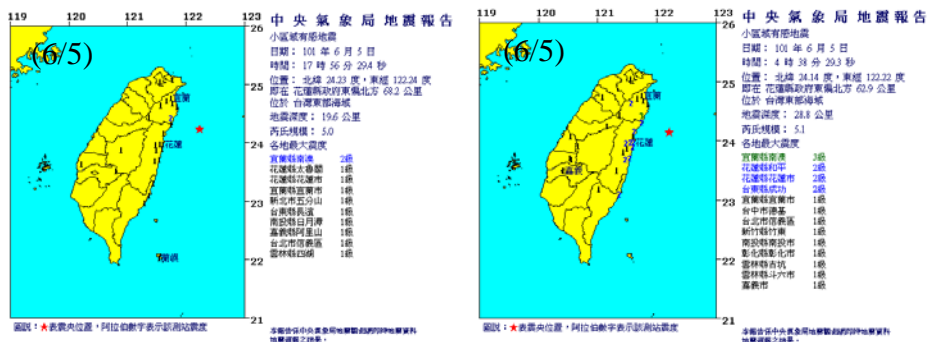
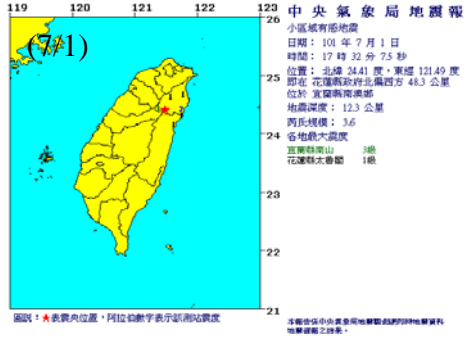
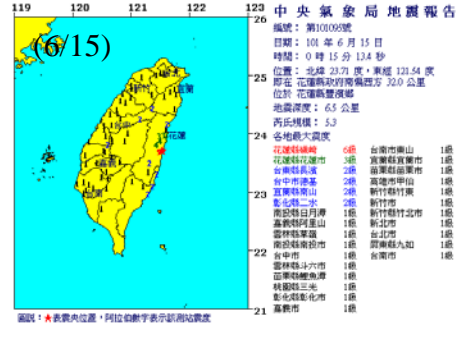
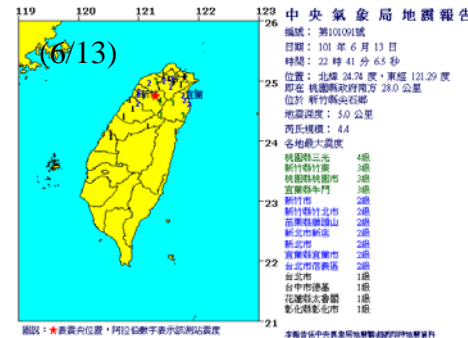
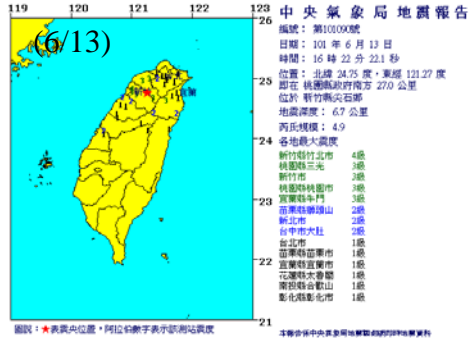
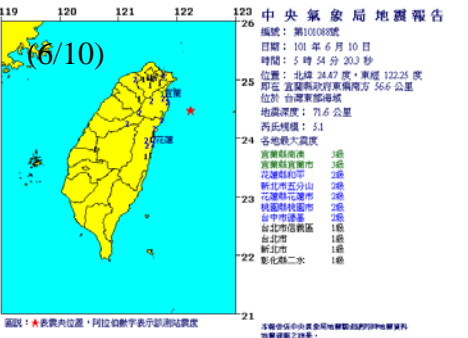
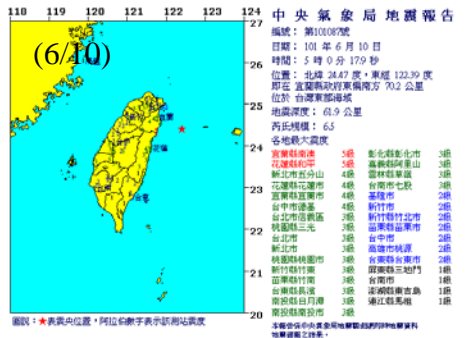


圖 6-8：台北地區 2012 年 6 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖，6 月 28 日之水位異常可對應 7 月 1 日的地震。





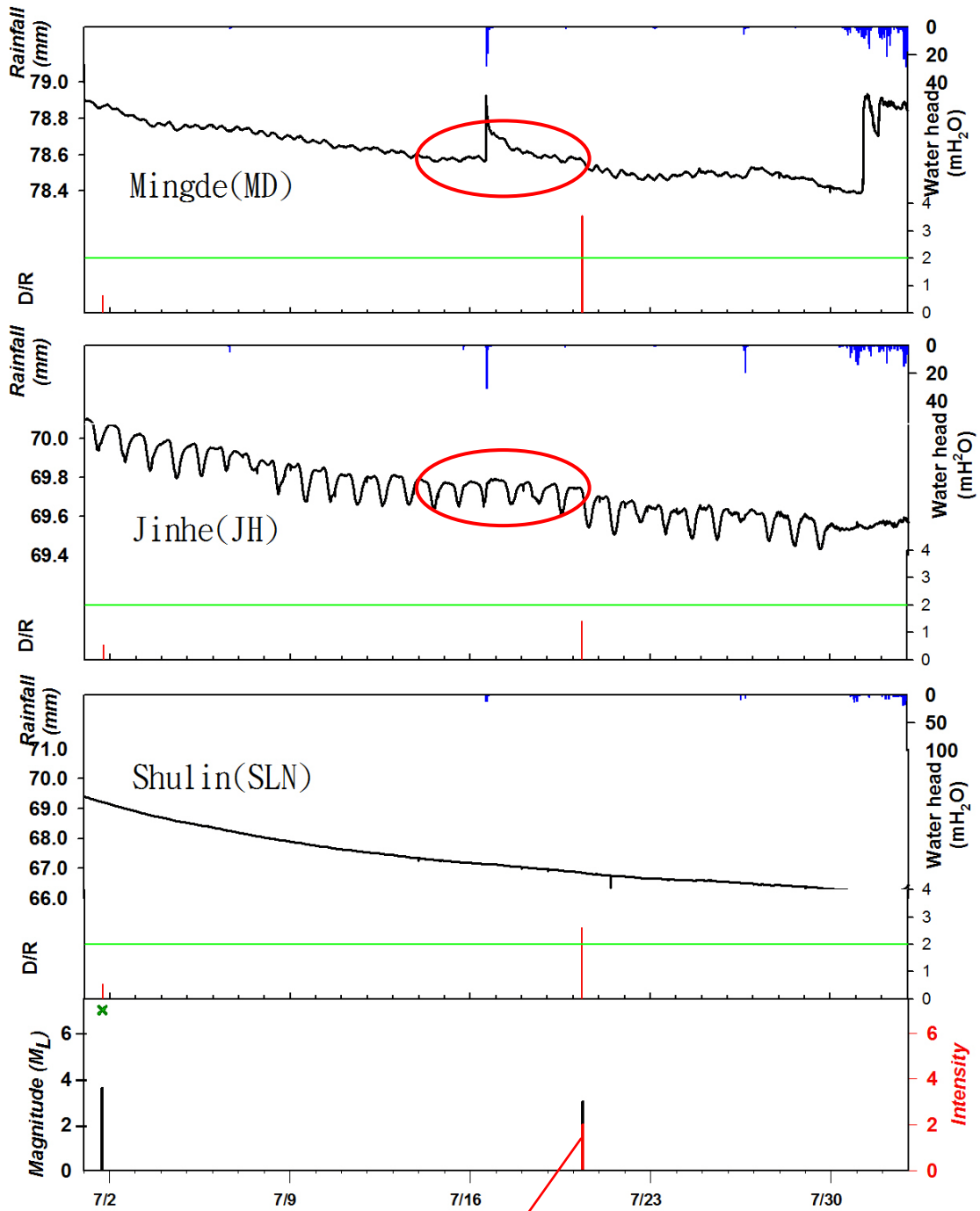
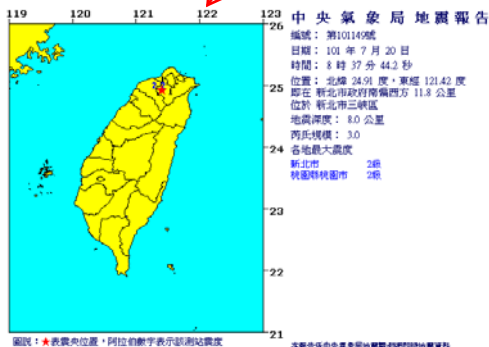


圖 6-9：台北地區 2012 年 7 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖，7 月 15 日之水位異常可對應 7 月 20 日的地震。



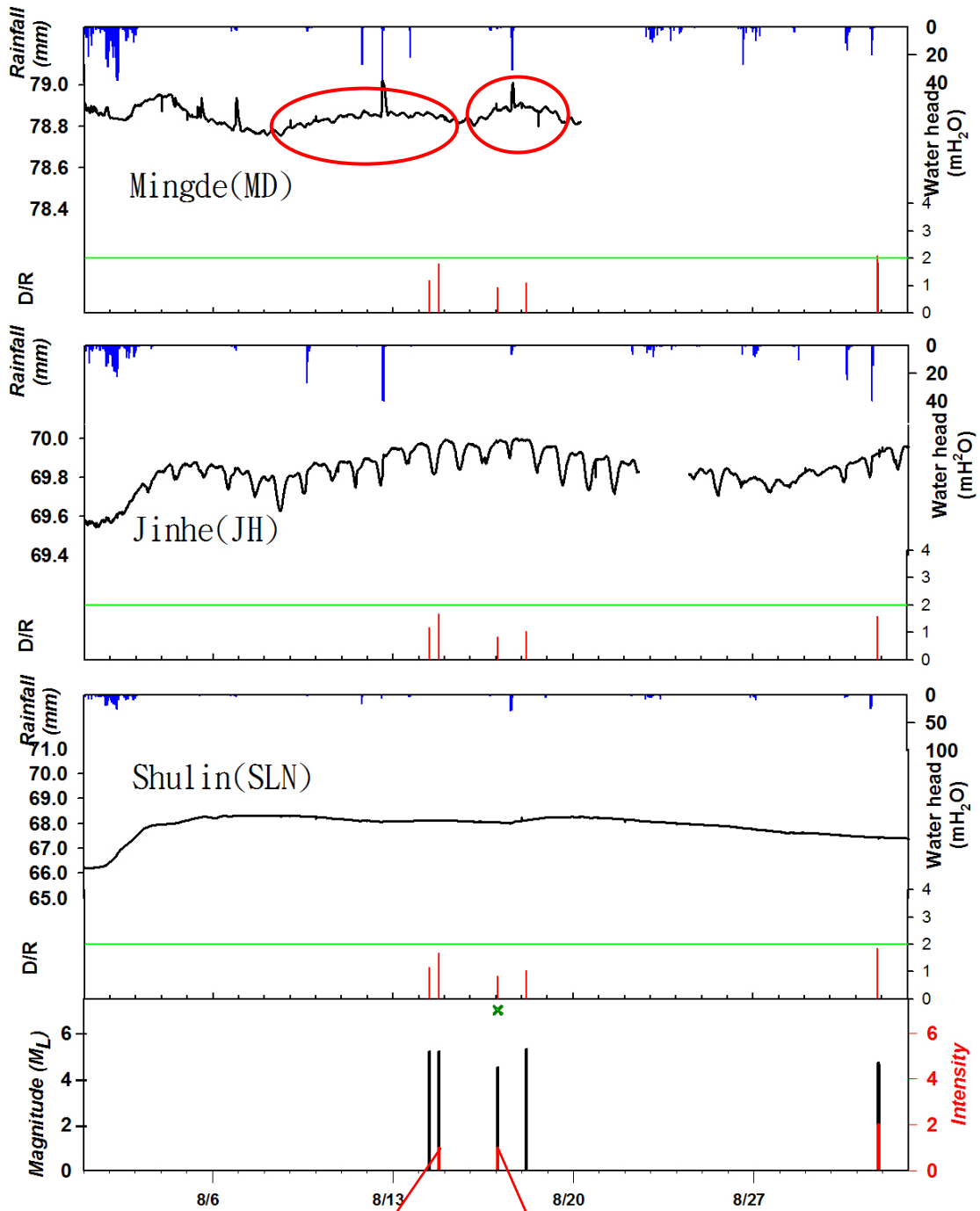
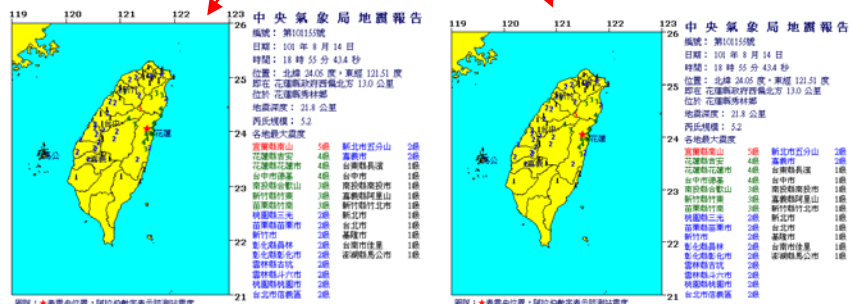


圖 6-10：台北地區 2012 年 8 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖，8 月 8 日之水位異常可對應 8 月 14 日的地震、8 月 16 日之水位異常可對應 8 月 17 日的地震而 8 月 18 日之地震為疑似。



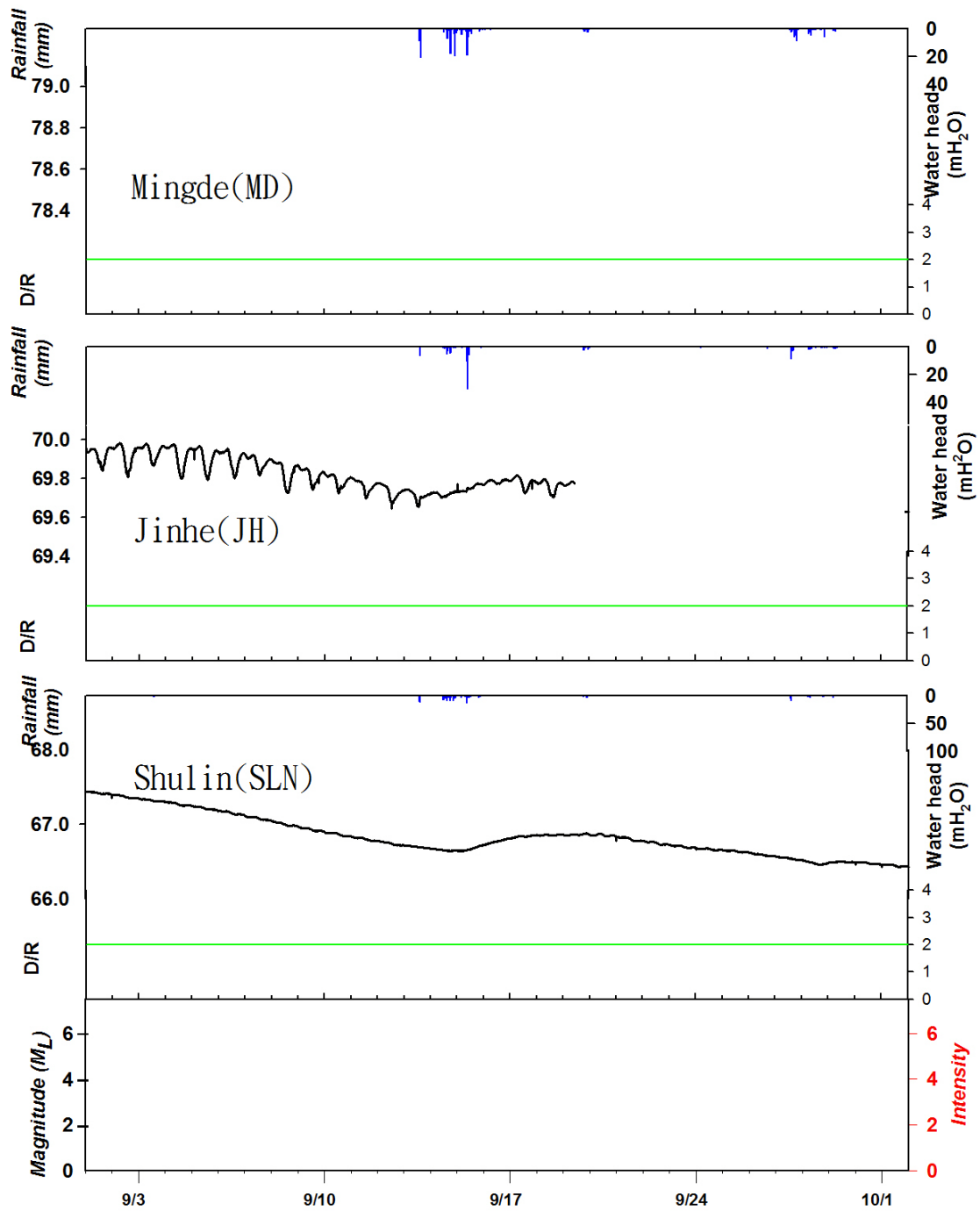


圖 6-11：台北地區 2012 年 9 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。明德因儀器故障而無資料、錦和站於 9 月 20 日後也開始缺資料。

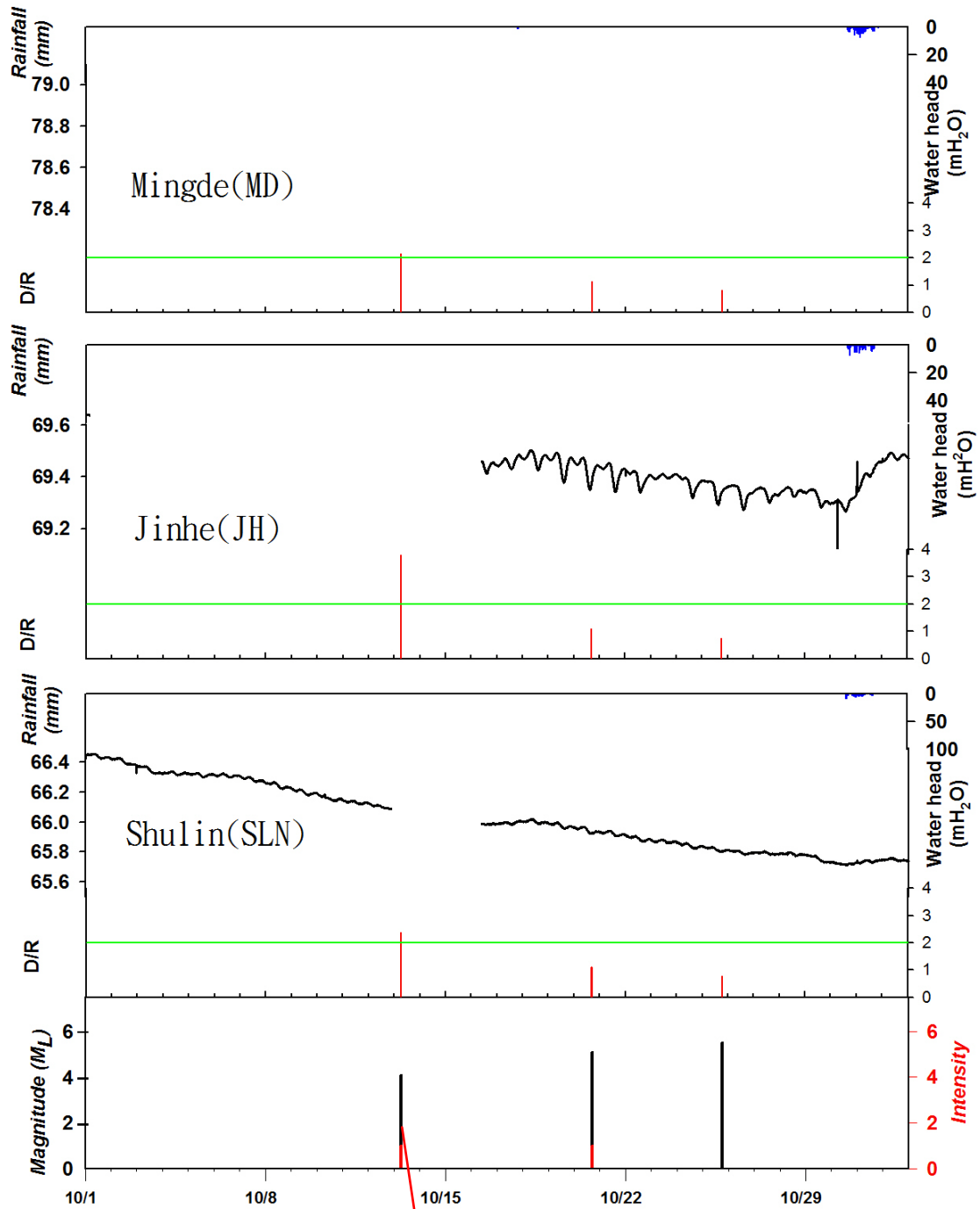
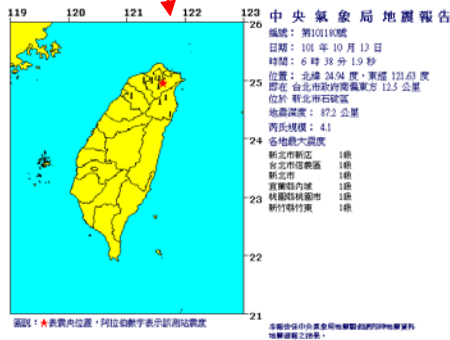


圖 6-12：台北地區 2012 年 10 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。明德無資料、錦和於 10 月前半個月無資料。



6-2 新竹地區地下水壓觀測

2011年12月至2012年10月底，新竹地區之觀測站運作狀況不佳：瑞峰觀測站在2012年4月以後水壓計故障，資料缺漏；新樂觀測站在今年8月起，出現多次為期數天至數十天的資料缺失。而雙溪觀測站的情況較為特殊，今年7月因地界重新確認，雙溪站座落的位置為私人所有地、而非寶山國小校地，建商將在今年底動工整地，雙溪觀測站將無法保留，故9月之後雙溪站已無資料。

依目前資料顯示，新竹地區的三个觀測站水壓變化趨勢一致性低，雖然新樂與雙溪之水位皆受雨量顯著影響，但影響型態不同：新樂站水位受雨量影響明顯，雙溪站在降雨期間地下水位之每日地潮升降幅度減弱。此三站地下水壓的觀測，得到下述主要結果：

2011年12月至2012年10月間，共有34起符合篩選條件的地震(圖6-13至圖6-24)，而其中在新竹測站出現震前水位異常反應的僅有四起，依序為2月26日規模6.4的霧台地震(圖6-16)，4月9日規模5.7花蓮外海的地震(圖6-18)，6月1日規模3.8的新竹尖石鄉地震(圖6-20)，以及10月10日規模3.1的苗栗頭份地震(圖6-24)。今年度6、7、8月，在新竹地區都出現符合篩選條件且相當接近測站的中度地震(圖6-20、圖6-21、圖6-22)，可惜都因降雨影響與儀器故障等因素而無法觀察。

另外，2012年1月4日新樂觀測站在降雨期間地下水位仍然呈現下降15公分之異常(圖6-15)，水位異常發生之後兩周內並沒有符合篩選條件之地震發生。但1月4日花蓮吉安發生數起小地震，其中規模最大為4.7，但其對新竹地區影響的震度在2級以下，D/R也在2以下，深度9.2公里，1月9日也在同樣位置發生數起小地震，其中最大規模為4.4，深度11公里。上述顯著水位異常推測與這些地區小地震有關。

表 6-2：符合新竹三個觀測井篩選條件的地震
 (灰色標是之地震為不符篩選條件，但地下水位出現異常的地震)

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度 (km)	震央	雙溪井前兆	地下水壓異常程度	距震央 (km)	D/R	D/R >2	新樂井前兆	地下水壓異常程度	距震央 (km)	D/R	D/R >2	瑞峰井前兆	地下水壓異常程度	距震央 (km)	D/R	D/R >2	備註	
1	2008/12/2 11:16	5.7	2	121.49	23.34	31.7	花蓮玉里地震站東方 18.5 公里			166	1.70		有		156	1.81				151	1.87			
2	2008/12/8 5:18	5.9	3	122.2	23.85	35.1	花蓮市地震站東偏南方 60.9 公里			159	2.16	yes	有		137	2.51	yes			142	2.43	yes		
3	2008/12/30 9:31	5.1	1	122.34	24.7	95.4	宜蘭蘇澳地震站東方 49.9 公里			137	1.14		有		110	1.41				123	1.26			
4	2009/2/25 2:37	3.5	1	121.19	24.66	6.9	桃園三光地震站西方 17.5 公里			23	1.37		有		10	3.18	yes			7	4.65	yes		
5	2009/7/14 2:05	6	3	122.22	24.02	18.1	花蓮市地震站東方 61.9 公里			150	2.54	yes	有		126	3.02	yes			132	2.88	yes		
6	2009/8/17 8:05	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	yes			307	2.73	yes			315	2.66	yes	>200km	
7	2009/10/4 1:36	6.1	3	121.58	23.65	29.2	花蓮西林地震站東南方 23.0 公里			137	3.06	yes	有		124	3.37	yes			121	3.46	yes		
8	2009/11/5 17:32	6.2	2	120.72	23.79	24.1	南投名間地震站南偏東方 10.1 公里			112	4.16	yes	有		117	3.95	yes			105	4.42	yes		
9	2009/11/5 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			113	2.51	yes	有		118	2.40	yes			105	2.68	yes		
10	2009/11/22 1:27	5	2	121.76	24.22	66.9	花蓮秀林地震站東北方 22.4 公里			99	1.43		有		77	1.84				81	1.74			
11	2009/12/19 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	有	2 日前地潮現象變弱	128	7.26	yes		同震，上升 90cm	112	8.26	yes			111	8.35	yes		
12	2009/12/27 21:57	5	2	122.01	24.79	71.7	宜蘭蘇澳地震站東北方 25.8 公里			103	1.37				77	1.83				91	1.55			
13	2010/1/2 1:34	5.1	2	121.63	23.78	33.7	花蓮西林地震站東方 19.2 公里			127	1.23				112	1.39				110	1.41			
14	2010/1/5 3:27	5.5	2	121.83	24.18	46.1	花蓮秀林地震站東偏北方 25.8 公里			107	2.16	yes			85	2.73	yes			89	2.59	yes		
15	2010/1/19 14:09	5.7	2	121.68	23.82	41	花蓮市地震站南偏東方 18.2 公里			126	2.24	yes			110	2.57	yes			109	2.59	yes		
16	2010/2/7 14:10	6.6	2	123.77	23.33	88	花蓮市地震站東偏南方 230.9 公里			324	2.12	yes			300	2.30	yes			307	2.24	yes	>200km	
17	2010/2/12 10:42	5.2	1	121.09	23.89	14	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里			98	1.77				95	1.82				86	2.01	yes		
18	2010/2/22 13:21	5.6	0	122.97	24.05	35.6	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 128.5 公里			216	1.18				190	1.35				199	1.28			
19	2010/2/26 9:07	5.8	1	122.87	23.69	52.1	花蓮市地震站東偏南方 131.9 公里			225	1.39				201	1.55				208	1.50		>200km	
20	2010/3/4 8:18	6.4	2	120.73	23	22.6	高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里			197	2.86	yes		5 天前上升 4cm 同震，上升 20cm	199	2.84	yes			188	3.00	yes		
21	2010/3/8 17:26	5.1	2	120.56	23.42	14.3	嘉義市地震站東偏南方 15.9 公里			155	1.00				161	0.97				149	1.05			
22	2010/3/18 17:01	4.7	1	121.96	24.39	31.5	宜蘭蘇澳地震站東南方 26.3 公里			107	0.98		有	2 日前上升 5cm	81	1.29				90	1.16			
23	2010/3/27 7:07	5.2	1	121.68	24.1	58.9	花蓮秀林地震站東方 13.2 公里			102	1.69		疑似	3 日前上升 6cm，但受	82	2.09	yes			84	2.05	yes	疑	

													122cm, 受山區雨量干擾					升 55cm								
39	2010/8/30 16:45	5.2	2	122.21	24.95	15	基隆市地震站東偏南方 48.8 公里			125	1.38		有	2 日前上升 8cm	100	1.72										
40	2010/10/4 21:28	6.6	1	125.51	23.97	35	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 377.7 公里			467	1.47				441	1.56										>200km
41	2010/10/20 1:20	3.6	1	120.87	24.78	5.5	新竹竹北地震站西偏南 15.8 公里			12	2.88	yes	有	11 日前上升 2cm	39	0.91										疑
42	2010/11/4 7:49	2.6	2	121	24.76	16.6	新竹竹北地震站南偏西方 7.4 公里			1	10.89	yes			26	0.51										
43	2010/11/18 9:16	3.4	1	121.12	24.61	1.5	新竹竹北地震站南偏東方 26.3 公里			22	1.33				19	1.53									yes	
44	2010/11/21 20:31	6.1	2	121.75	23.83	46.9	花蓮市地震站東南方 21.6 公里			129	3.25	yes	有	14hrs 前上升 6cm, 同震上升 23cm	112	3.75	yes								yes	
45	2010/12/6 10:14	5.2	1	121.43	23.68	24.8	花蓮西林地震站南偏東方 16.5 公里			128	1.34				118	1.46										*12/1~12/27 新樂缺資料
46	2010/12/10 4:42	5.2	0	122.14	21.33	167.1	台東蘭嶼地震站東南方 98.9 公里			398	0.43				388	0.44										>200km
47	2010/12/17 7:45	2.8	3	121.01	24.75	1.8	新竹竹北地震站南方 9.7 公里			3	5.96	yes			24	0.65										*12/1~12/30 新樂缺資料 12/13~12/20 雙溪缺資料
48	2010/12/19 10:12	2.1	1	120.98	24.75	9.6	新竹竹北地震站南方 12.5 公里			2	3.90	yes			27	0.29										*12/1~12/30 新樂缺資料 12/13~12/20 雙溪缺資料
49	2011/2/1 16:16	5.5	2	121.8	24.24	17.6	花蓮縣政府東北方 33.0 公里外海			101	2.30	yes	有	1 日前下降 7cm, 同震上升 5cm	78	2.98	yes								yes	*1/30~2/10 雙溪缺資料
50	2011/2/8 20:21	2.3	3	121	24.74	11.1	新竹縣政府南方 9.9 公里			3	3.19	yes			25	0.38										*1/30~2/11 雙溪缺資料

51	2011/2/15 15:18	5.5	0	121.2	21.18	71.2	台東縣政府南方 174.1 公里外海			398	0.58				393	0.59				388	0.57		>200km
52	2011/3/3 13:32	2.8	3	121.02	24.77	4.3	新竹市政府東南方 7.0 公里	有	3 日前地潮現象變弱	3	5.23	yes	有	3 日前波形改變, 1 日前下降 4cm	24	0.67				16	1.01		
53	2011/3/3 14:46	2.2	2	121.01	24.77	5.1	新竹市政府東南方 6.2 公里	有	3 日前地潮現象變弱	2	4.29	yes	有	3 日前波形改變, 1 日前下降 4cm	25	0.36				16	0.54		
54	2011/3/10 13:34	3.1	1	121.2	24.66	6.5	新竹縣政府東南方 26.2 公里			24	0.89		疑似	7 日前上升 3cm	9	2.27	yes			8	2.73	yes	疑
55	2011/3/11 13:46	9		142.6	38.1	24.4	東日本大地震			2522	2.94	yes		3/11 13:58 水位異常跳動	2505	2.96	yes			2520	2.94	yes	>200km
56	2011/3/20 16:00	5.8	0	121.38	22.44	27.5	台東縣政府東南方 41.9 公里外海	疑似	5 日前地潮現象變弱	261	1.20		疑似	5 日前上升 4cm	254	1.23				247	1.26		疑 >200km
57	2011/3/26 15:19	4.7	1	121.92	24.84	92.6	宜蘭縣政府東北方 19.4 公里外海	有	4 日前地潮現象變弱	94	1.11		有	5 日前上升 9cm	69	1.53				83	1.26		
58	2011/4/29 21:12	5.9	0	122.07	21.35	178.1	台東縣政府南偏東方 182.5 公里外海			394	0.87				384	0.90				379	0.91		>200km
59	2011/4/30 16:35	5.8	2	121.81	24.65	75	宜蘭縣政府南偏東方 10.1 公里	疑似	1 日前地潮現象變弱	84	3.72	yes	有	4 日前上升 4cm	57	5.44	yes			70	4.48	yes	
60	2011/5/3 23:52	5.3	2	121.71	23.93	41.2	花蓮縣政府東偏南方 20.3 公里外海			118	1.61				100	1.90				101	1.89		
61	2011/5/22 9:34	5	0	121.76	24.12	6.1	花蓮縣政府東北方 20.3 公里外海			106	1.33				85	1.66				88	1.60		
62	2011/6/3 1:07	5.2	0	121.34	22.26	22.2	台東縣政府南偏東方 63.4 公里外海			280	0.62				274	0.63				267	0.65		>200km
63	2011/6/7 22:07	3.2	1	120.98	24.8	12.6	新竹縣政府西南方 4.0 公里			4	6.10	yes			28	0.84				21	1.13		
64	2011/6/10 9:25	5.2	0	121.68	23.57	28	花蓮縣政府南方 46.8 公里外海			150	1.15				136	1.27				134	1.29		
65	2011/6/19 18:18	4.9	1	121.83	24.72	80	宜蘭縣政府東偏南方 6.7 公里 (位於宜蘭縣近海)			85	1.50		有	4 小時前上升 23cm	59	2.18	yes			72	1.78		
66	2011/6/26 21:19	5.1	1	121.02	23.84	9.4	南投縣政府東方 34.3 公里 (位於南投縣仁愛鄉)			103	1.52				102	1.54				92	1.70		
67	2011/7/3 20:30	5	1	121.93	24.72	70	宜蘭縣政府東方 16.8 公里 (位於台灣東部海域)			95	1.48				69	2.06	yes			82	1.72		
68	2011/7/12 19:17	5.4	1	121.53	23.53	20.7	花蓮縣政府南方 52.3 公里 (位於花		同震, 下	147	1.42				136	1.54				132	1.59		

						蓮縣近海)			降 2cm															
69	2011/7/13 15:19	5.4	0	123.8	24.91	120.8	宜蘭縣政府東方 206.8 公里 (位於台灣東部海域)																	
70	2011/7/16 9:16	3.5	1	121.24	24.79	5.9	桃園縣政府南偏西方 23.6 公里 (位於新竹縣關西鎮)		25	1.26	有	半日前水位下降(持續降雨情況下)	7	4.88	yes					19	1.73			
71	2011/7/18 22:48	5.1	1	122.29	23.52	27.1	花蓮縣政府東南方 86.1 公里 (位於台灣東部海域)		191	0.82				171	0.91					174	0.90		疑	
72	2011/7/20 14:12	5.2	1	122.26	24	47.9	花蓮縣政府東方 64.8 公里 (位於台灣東部海域)		154	1.12				131	1.32					137	1.26		疑	
73	2011/9/9 11:26	5	0	120.99	22.31	10.4	台東縣政府南偏西方 52.4 公里 (位於台灣東部海域)		272	0.52				270	0.52									
74	2011/9/12 13:15	5.3	0	122.79	23.63	41	花蓮縣政府東偏南方 125.3 公里 (位於台灣東部海域)		222	0.86	有	4日前上升 2cm	198	0.96							204	0.93		>200km
75	2011/9/22 6:18	5.2	1	121.69	24.09	20.1	花蓮縣政府北偏東方 13.2 公里 (位於花蓮縣近海)	有	2日前潮汐現象變弱	103	1.67	有	5日前上升 3cm	84	2.05	yes					86	2.01	yes	
76	2011/10/5 6:54	3.9	2	121.19	24.62	5.1	新竹縣政府東南方 29.2 公里 (位於新竹縣五峰鄉)		26	1.84	有	7日前上升 7cm	14	3.44	yes						8	5.72	yes	
77	2011/10/12 10:14	4.1	1	121.32	24.71	8.5	桃園縣政府南方 31.4 公里 (位於桃園縣復興鄉)		34	1.71				7	7.85	yes					21	2.80	yes	
78	2011/10/30 11:23	6.3	1	123.16	25.31	215.8	基隆市政府東方 143.6 公里 (位於台灣東北部海域)	有	10/21, 25~26日分別出現潮汐現象變弱	227	2.25	yes	6日前上升 3.5cm	203	2.52	yes					218	2.35	yes	疑 >200km
79	2011/10/31 23:17	5	1	121.94	24.84	92.1	宜蘭縣政府東偏北方 21.7 公里 (位於台灣東部海域)	有	10/21, 25~26日分別出現潮汐現象變弱	100	1.42	有	6日前上升 3.5cm	74	1.90						89	1.59		
80	2011/12/4 18:13	4.8	2	122.07	24.69	61.1	宜蘭縣政府東方 31.7 公里 (位於台灣東部海域)			110	1.06			83	1.40						96	1.21		
81	2012/1/4 14:59	4.7	1	121.6	23.99	9.2	花蓮縣政府西方 2.3 公里			106	0.99	有	6小時前開始下降, 降幅 15cm	89	1.17						89	1.18		

82	2012/1/9 12:26	4.4	1	121.61	24.01	11	花蓮縣政府北偏西方 2.1 公里			105	0.74		疑似 (同 1/4)	5 日前開始 下降 15cm	88	0.89				88	0.89		
83	2012/1/25 16:36	5	1	122.24	24.86	124.9	宜蘭縣政府東偏北方 50 公里			127	1.11				101	1.40				115	1.23		
84	2012/1/29 16:07	5.6	1	122.37	25.32	264.7	基隆市政府東偏北方 66.4 公里			152	1.68				130	1.96				146	1.76		
85	2012/2/4 10:54	5.4	1	122.71	24.61	96.3	宜蘭縣政府東方 96.3 公里			175	1.20				148	1.42				161	1.30		
86	2012/2/26 10:35	6.4	2	120.75	22.75	26.3	屏東縣政府東偏北方 28.4 公里			225	2.52	yes	有	7 日前下降 40cm,3 日 前回升, 且 1cm 同 震反應	225	2.51	yes			215	2.63	yes	>200km
87	2012/3/22 07:44	5.1	1	121.75	23.21	27.75	台東縣政府東北方 79.4 公里 (位於 台灣東部海域)			189	0.83				176	0.89				173	0.90		
88	2012/3/22 16:48	3.3	1	121.18	24.73	4	新竹縣政府東偏南方 19.8 公里 (位 於新竹縣橫山鄉)			20	1.34				7	3.65	yes			10	2.75	yes	
89	2012/4/9 05:43	5.7	1	122.35	24	10	花蓮縣政府東方 73.8 公里 (位於台 灣東部海域)			162	1.74		有	7 日前上升 2cm	138	2.05	yes			145	1.95		
90	2012/4/11 16:38	8.7		93.072	2.348	22.9	印尼蘇門答臘地震			3900	1.41			4/11 16:58 前後水位 異常跳動	3919	1.41				3904	1.41		>200km
91	2012/4/11 18:43	8.2		92.452	0.773	16.4	印尼蘇門答臘地震			4069	0.83			4/11 19:06 前後水位 異常跳動	4088	0.82				4073	0.82		>200km
92	2012/4/19 09:58	5.4	2	121.67	24.14	23	花蓮縣政府北偏東方 16.9 公里 (位 於花蓮縣近海)			98	2.15	yes			78	2.69	yes			80	2.62	yes	
93	2012/4/27 22:48	5.1	1	121.87	23.75	33.8	花蓮縣政府東南方 36.7 公里 (位於 台灣東部海域)			144	1.09				126	1.24				126	1.23		
94	2012/6/1 16:00	3.8	2	121.27	24.73	5.2	新竹縣政府東偏南方 27.7 公里 (位 於新竹縣尖石鄉)	有	5/31~6/4 潮汐現象 減弱	29	1.51				2	22.30	yes			17	2.57	yes	
95	2012/6/5 04:38	5.1	1	122.22	24.14	28.8	花蓮縣政府東偏北方 62.9 公里 (位 於台灣東部海域)	疑似	5/31~6/4 潮汐現象 減弱	143	1.09				118	1.32				125	1.24		
96	2012/6/5 17:56	5	0	122.24	24.23	19.6	花蓮縣政府東偏北方 68.2 公里 (位 於台灣東部海域)			140	1.01				115	1.23				123	1.15		
97	2012/6/6 10:56	3.4	2	121.08	24.59	4.7	苗栗縣政府東方 25.9 公里 (位於新 竹縣五峰鄉)			22	1.35				23	1.24				9	3.20	yes	

98	2012/6/10 05:00	6.5	3	122.39	24.47	61.9	宜蘭縣政府東偏南方 70.2 公里 (位於台灣東部海域)		同震升降 4cm	145	4.29	yes		同震上升 37cm	119	5.24	yes			130	4.79	yes	
99	2012/6/10 05:54	5.1	0	122.25	24.47	71.6	宜蘭縣政府東偏南方 56.6 公里 (位於台灣東部海域)			132	1.18				105	1.48				116	1.34		
100	2012/6/11 02:33	4	2	121.28	24.75	13.8	桃園縣政府南方 27.4 公里 (位於新竹縣尖石鄉)			29	1.79				4	14.73	yes			19	2.80	yes	
101	2012/6/11 17:18	3.9	2	121.22	24.67	5	新竹縣政府東南方 27.3 公里 (位於新竹縣尖石鄉)			26	1.86				8	6.32	yes			10	4.77	yes	
102	2012/6/12 06:06	3.5	2	121.29	24.76	10.3	桃園縣政府南方 26.2 公里 (位於新竹縣尖石鄉)			30	1.05				5	6.35	yes			20	1.59		
103	2012/6/13 16:22	4.9	4	121.27	24.75	6.7	桃園縣政府南方 27.0 公里 (位於新竹縣尖石鄉)			28	4.51	yes			3	45.85	yes			18	7.16	yes	
104	2012/6/13 22:41	4.4	3	121.29	24.74	5	桃園縣政府南方 28.0 公里 (位於新竹縣尖石鄉)			30	2.56	yes			4	19.26	yes			19	4.09	yes	
105	2012/6/14 05:07	3.7	2	121.25	24.76	5.8	新竹縣政府東偏南方 25.6 公里 (位於新竹縣關西鎮)			26	1.48				3	12.44	yes			17	2.31	yes	
106	2012/6/15 00:15	5.4	1	121.64	23.71	10	花蓮縣政府南方 31.5 公里 (位於台灣東部海域)			134	1.56				120	1.75				115	1.82		
107	2012/6/15 20:51	3.3	1	121.27	24.75	8.1	新竹縣政府東偏南方 27.1 公里 (位於新竹縣尖石鄉)			28	0.93				3	9.40	yes			10	2.67	yes	
108	2012/6/22 21:03	3.1	1	121.27	24.76	11.9	桃園縣政府南方 26.4 公里 (位於新竹縣尖石鄉)			28	0.76				4	5.86	yes			11	2.00		
109	2012/7/25 16:29	3.9	3	121.22	24.63	4.8	新竹縣政府東南方 30.2 公里 (位於新竹縣尖石鄉)			28	1.71				12	4.06	yes			5	9.37	yes	
110	2012/8/14 10:06	5.2	0	122.29	23.91	98.1	花蓮縣政府東方 68.4 公里 (位於台灣東部海域)			162	1.06				139	1.24				138	1.25		
111	2012/8/14 18:55	5.2	2	121.56	24.06	21.5	花蓮縣政府西北方 9.6 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)			97	1.77				81	2.13	yes			77	2.25	yes	
112	2012/8/17 1:41	4.5	2	121.53	24.07	22	花蓮縣政府西北方 12.4 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)			95	0.91				79	1.10				74	1.16		
113	2012/8/18 04:20	5.3	0	121.58	23.35	22	花蓮縣政府南方 71.2 公里 (位於台灣東部海域)			168	1.13				157	1.21				151	1.26		
114	2012/8/31 20:11	4.7	2	120.92	24.7	5	新竹市政府南偏西方 12.6 公里 (位於苗栗頭份鎮)			10	10.30	yes			34	3.12	yes			30	3.48	yes	
115	2012/8/31 20:23	4.6	2	120.89	24.73	6.9	新竹市政府西南方 11.6 公里 (位於苗栗竹南鎮)			11	8.73	yes			37	2.60	yes			34	2.83	yes	

116	2012/10/10 10:06	3.1	2	120.95	24.71	6.6	新竹市政府南偏西方 10.9 公里 (位於苗栗頭份鎮)			7	2.90	yes	有	半日前水壓上升 10cm	31	0.70				27	0.79		
117	2012/10/20 16:49	5.1	1	122.57	24.29	46.1	花蓮縣政府東偏南方 95.5 公里 (位於台灣東部海域)			169	0.93				142	1.10				144	1.09		
118	2012/10/25 18:31	5.5	0	120.4	22.44	33	高雄市政府南偏東方 22.1 公里 (位於屏東近海)			265	0.88				268	0.86				261	0.89		>200km

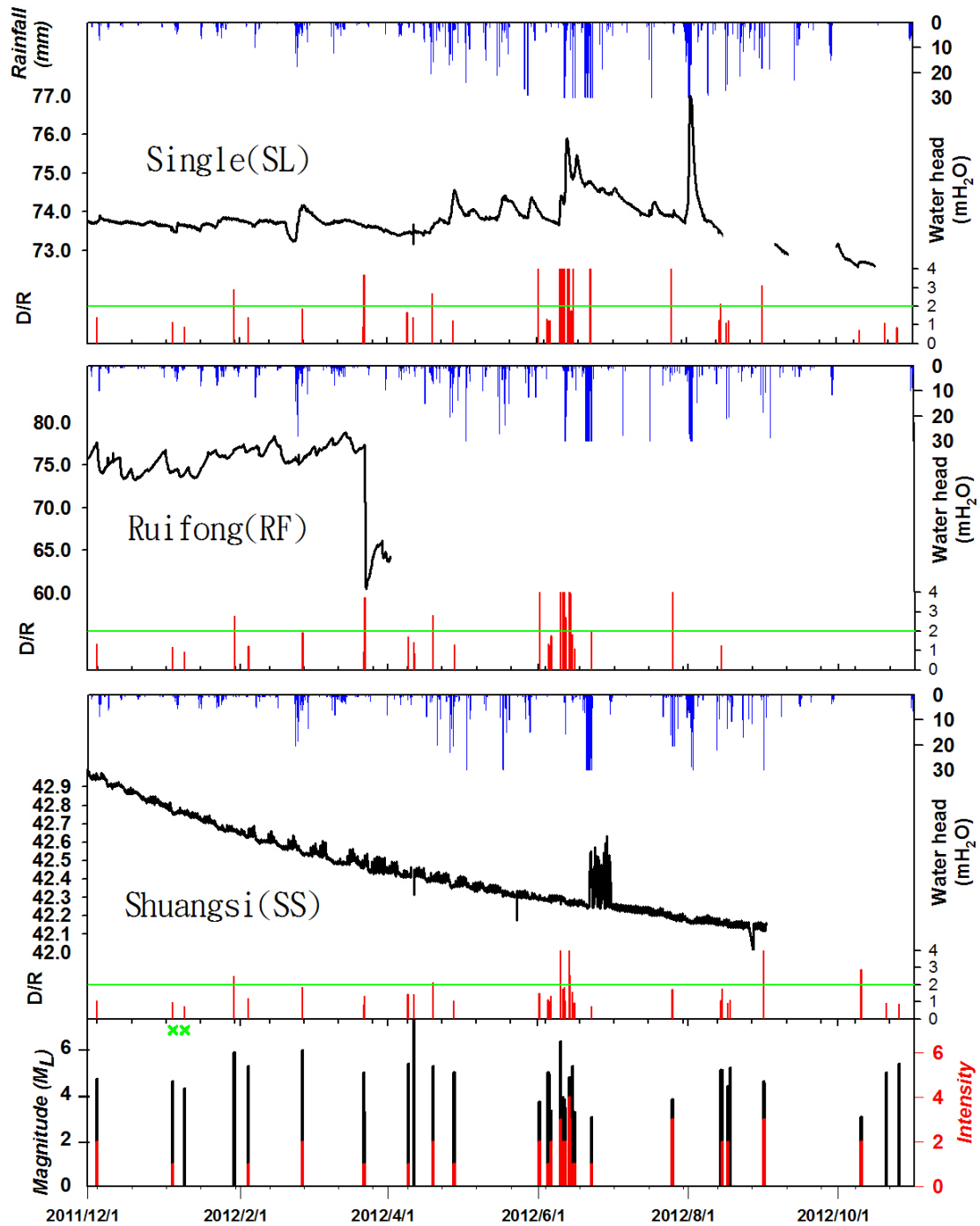


圖 6-13：新竹地區 2011 年 12 月至 2012 年 10 月，新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨對比圖。圖中紅線表示地震，藍色線條表示降雨量。X 標記表示不符篩選條件，但疑似有地下水位前兆之地震。今年度主要之水位異常反應仍以新樂站為最多數、雙溪站次之，瑞峰站則無法觀察出異常反應。

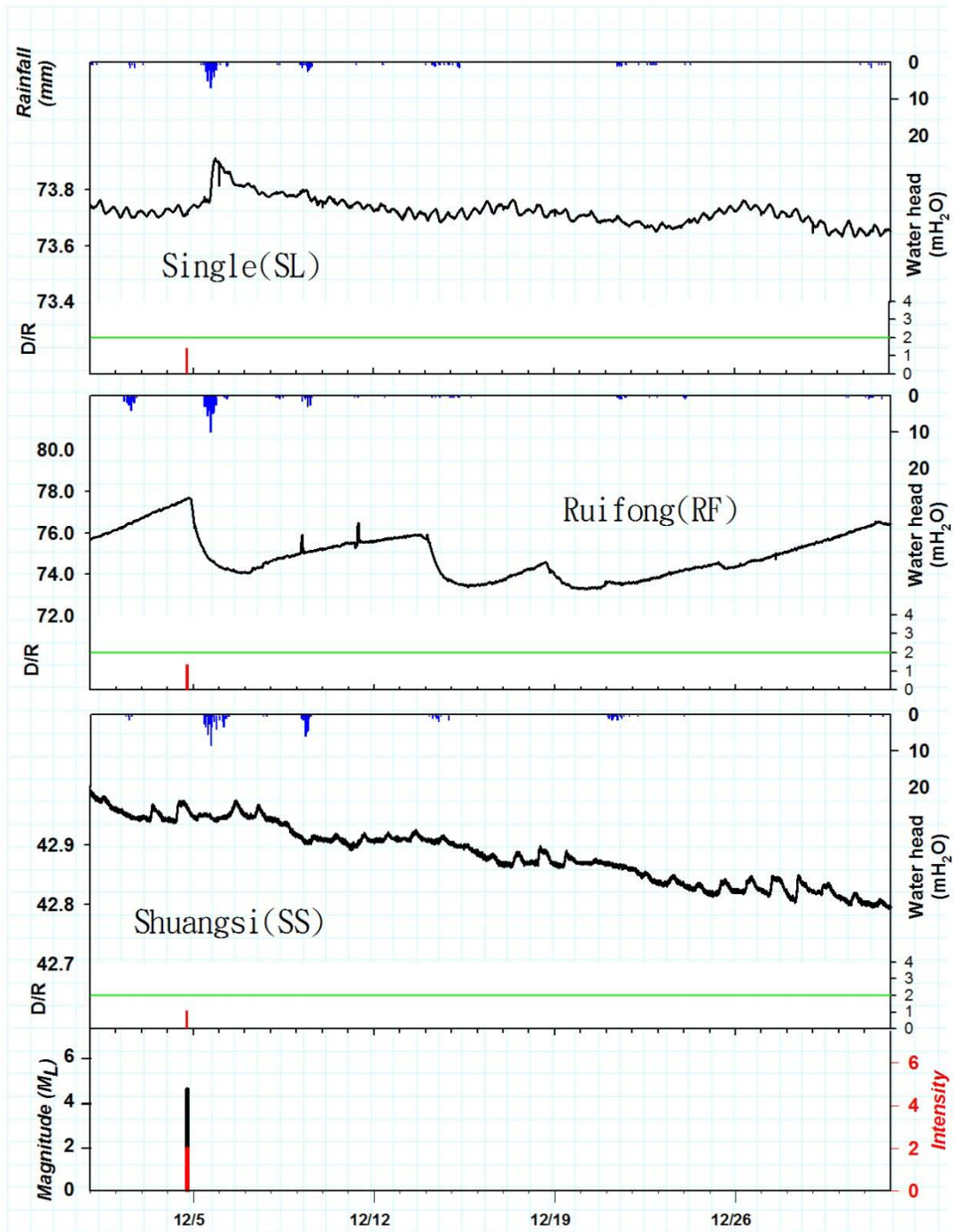
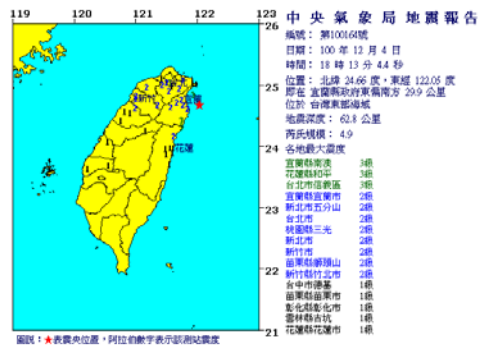


圖 6-14：新竹地區 2011 年 12 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨對比圖。



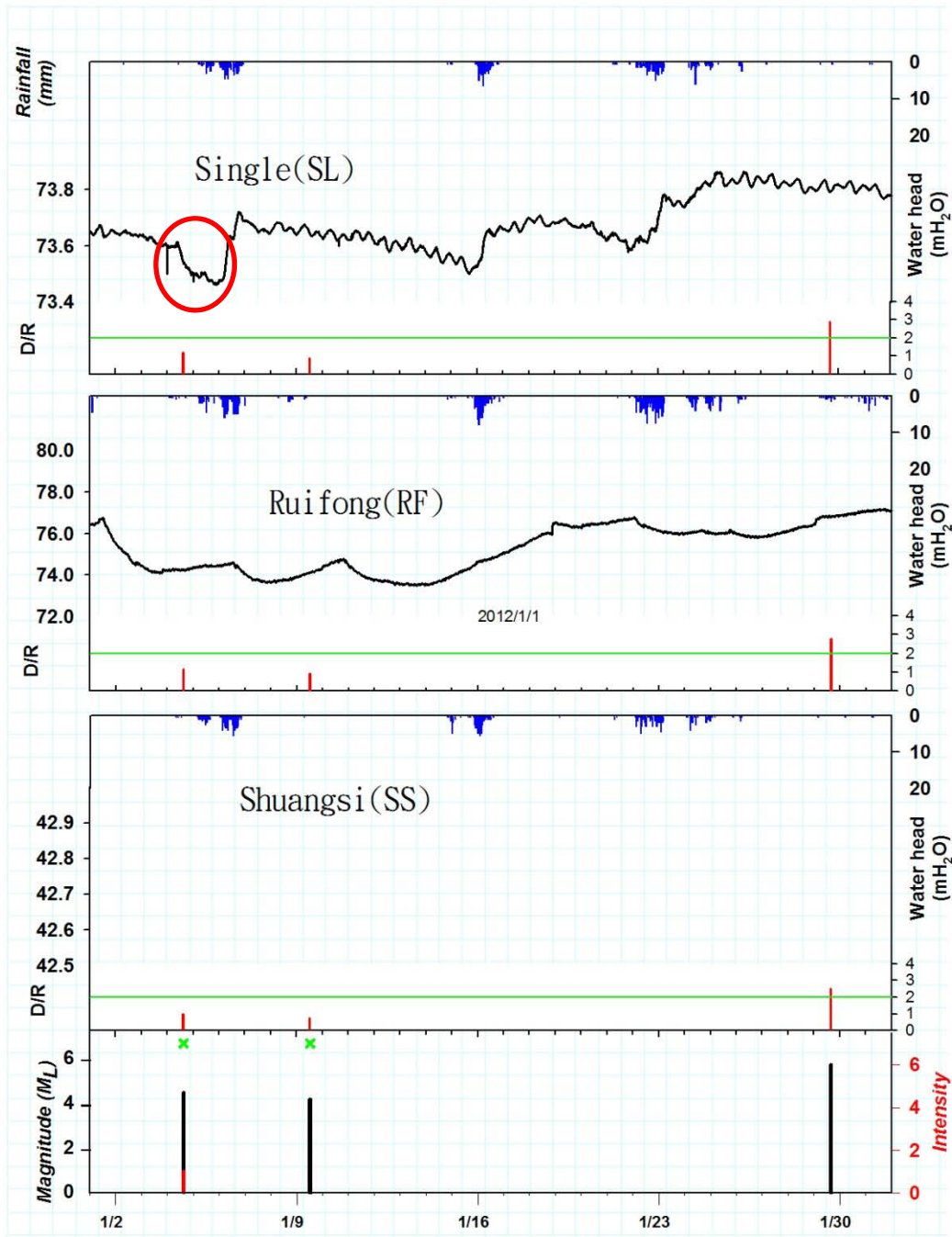
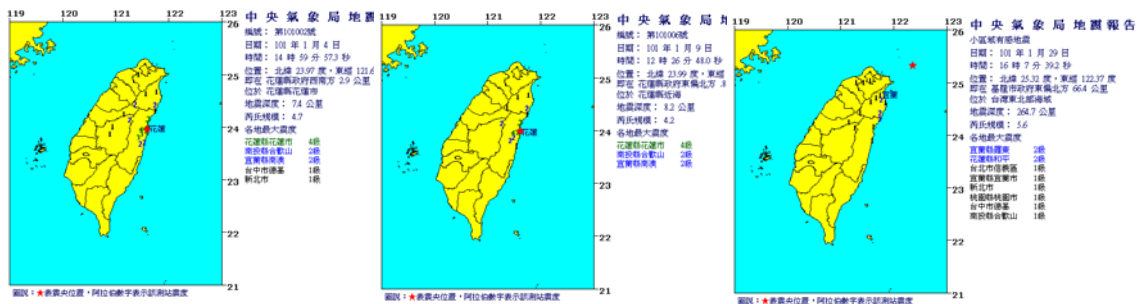


圖 6-15：新竹地區 2012 年 1 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨對比圖。1 月 4 日之水位異常可對應 1 月 4 日的地震。



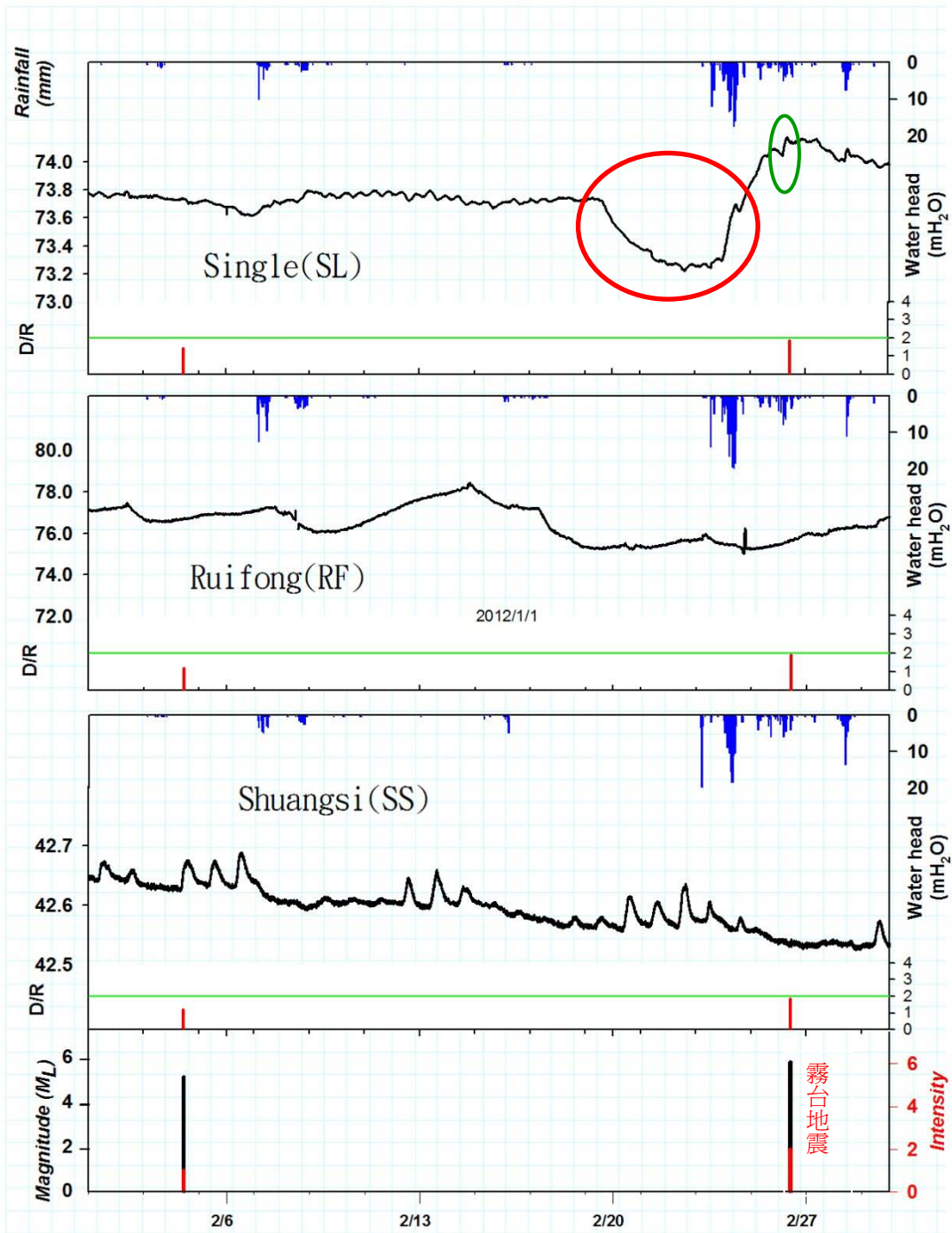
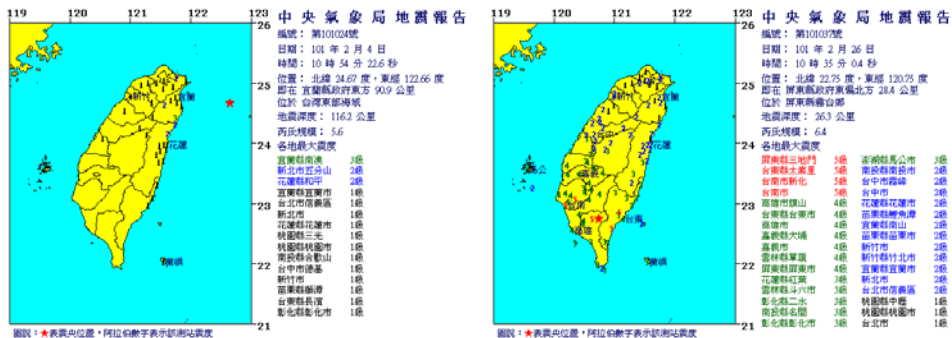


圖 6-16：新竹地區 2012 年 2 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨對比圖。2 月 19 日之水位異常可對應 2 月 26 日之地震。



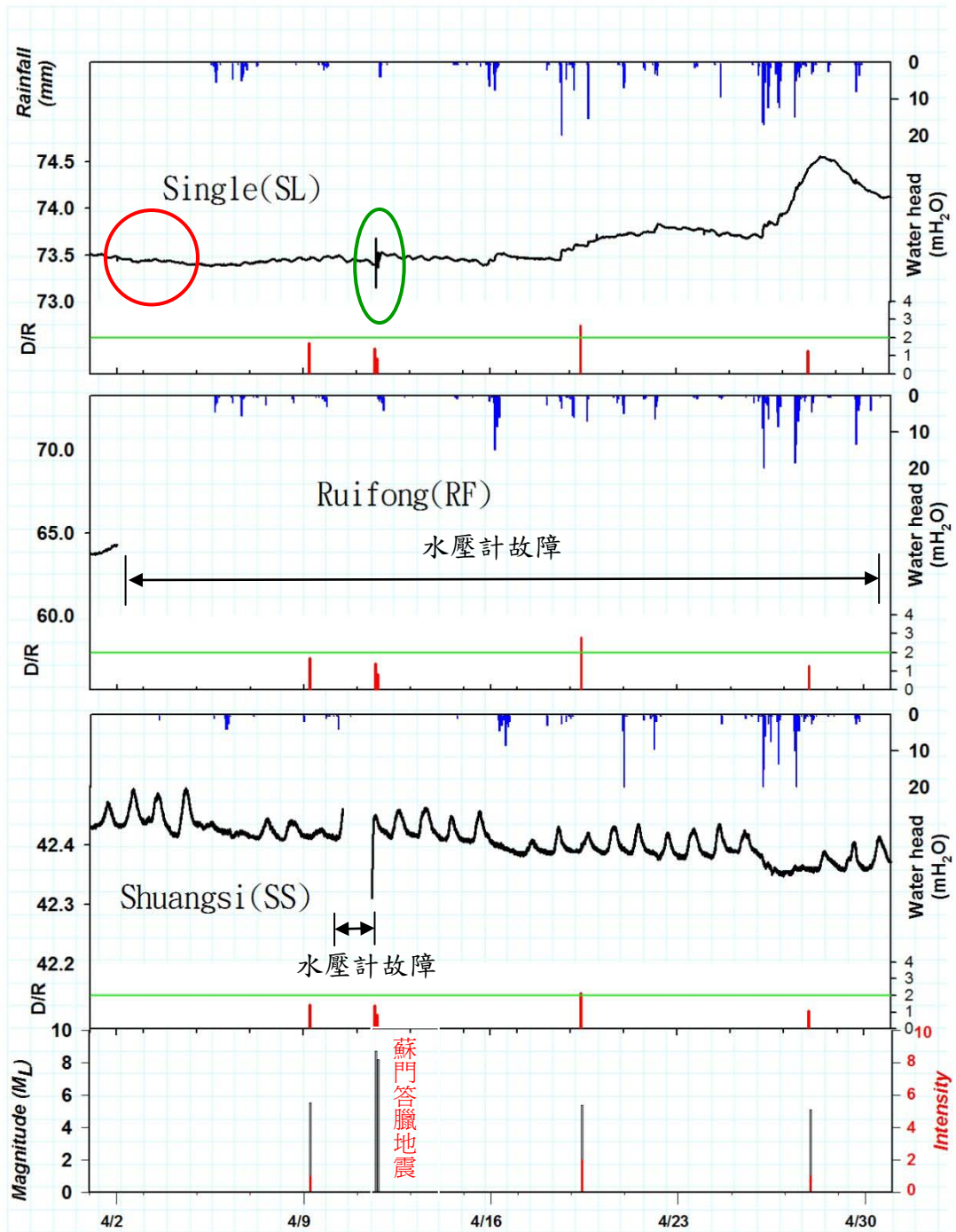
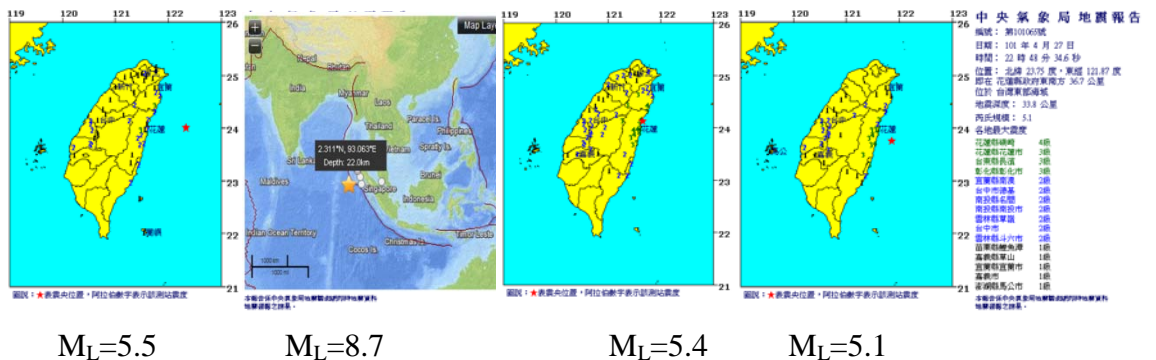


圖 6-18：新竹地區 2012 年 4 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨對比圖。4 月 3 日之水位異常可對應 4 月 9 日的地震。



$M_L=5.5$

$M_L=8.7$

$M_L=5.4$

$M_L=5.1$

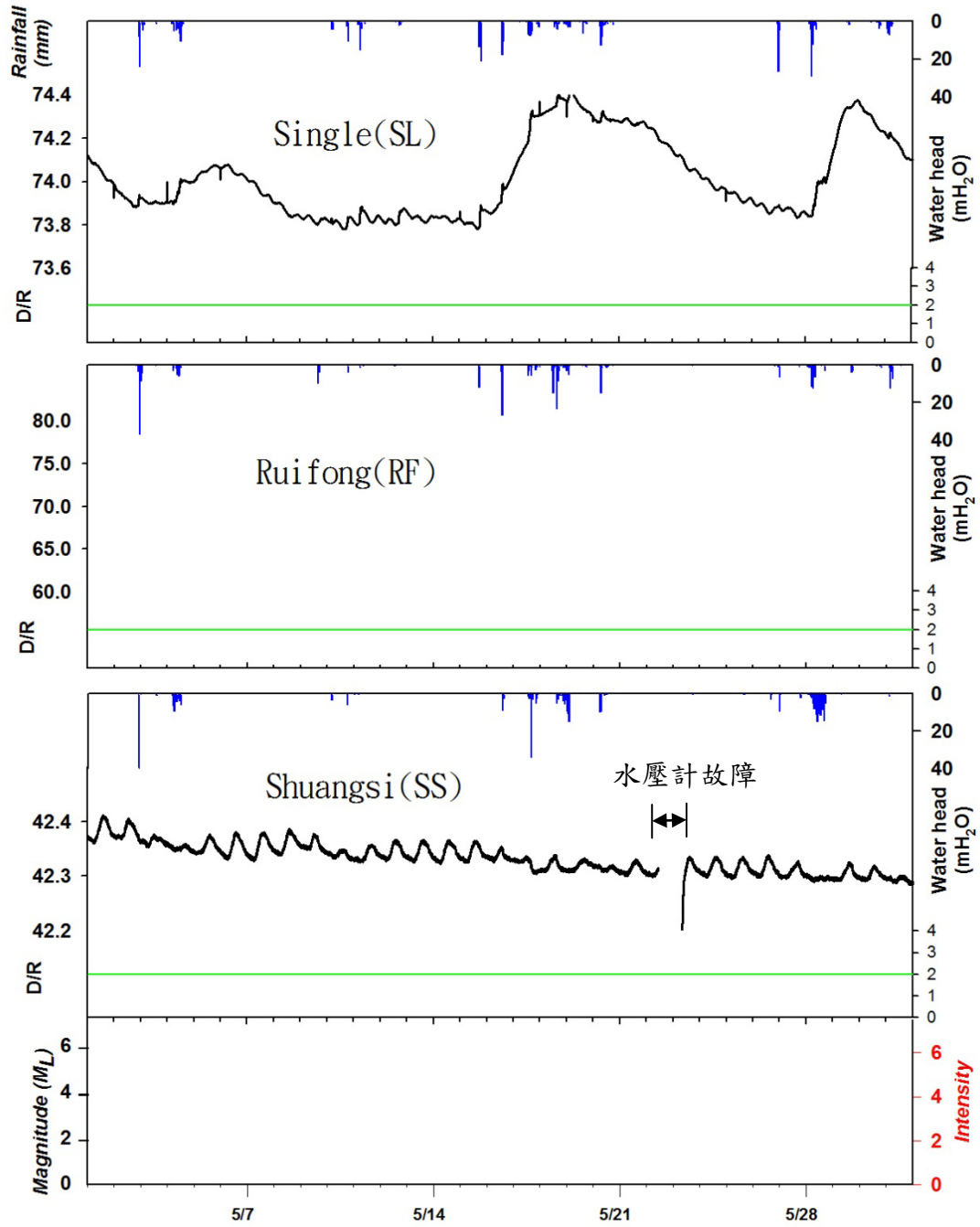


圖 6-19：新竹地區 2012 年 5 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨對比圖。

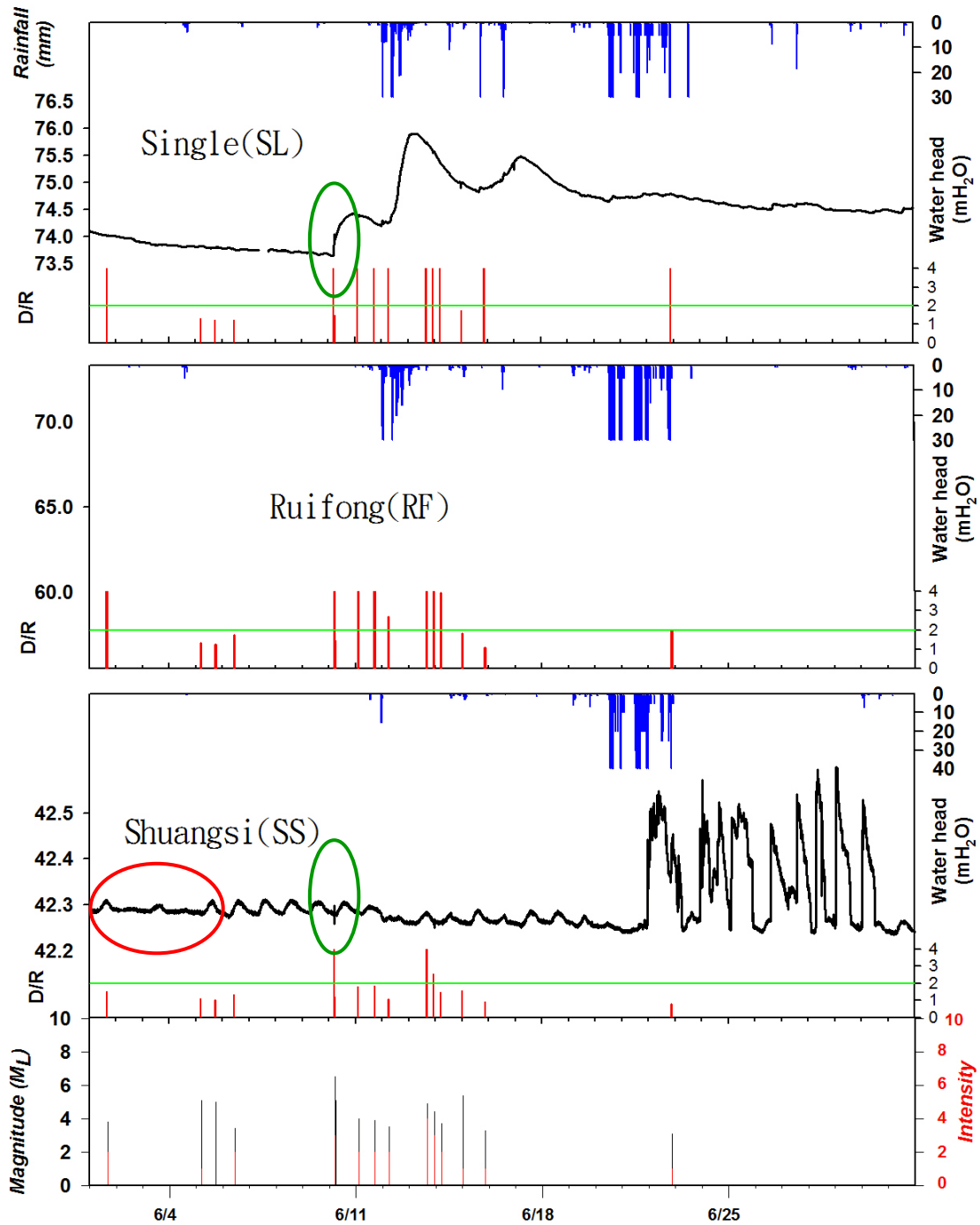
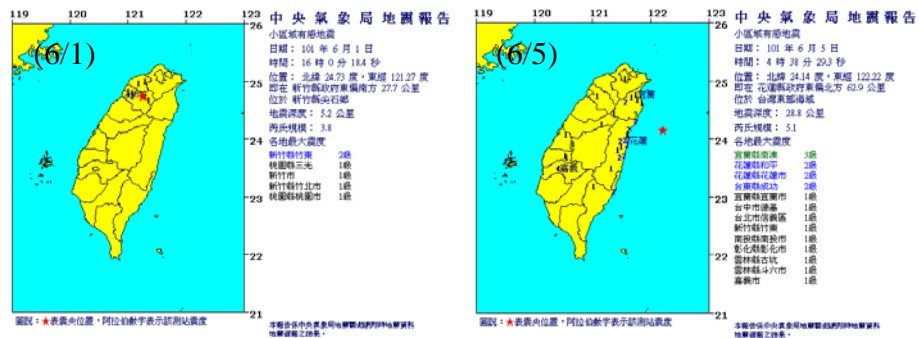
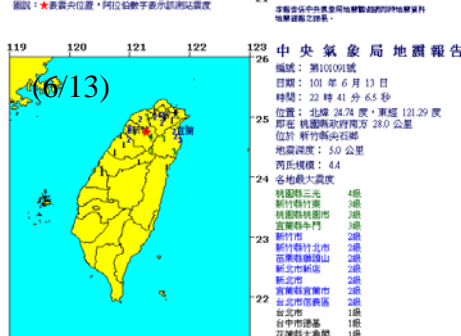
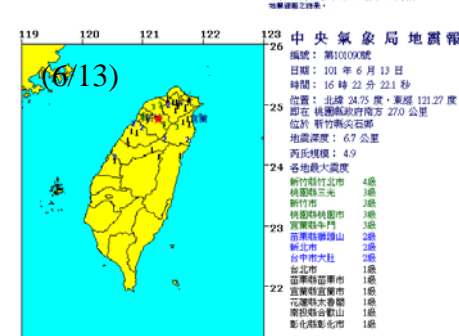
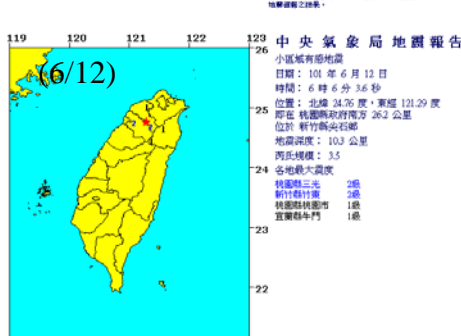
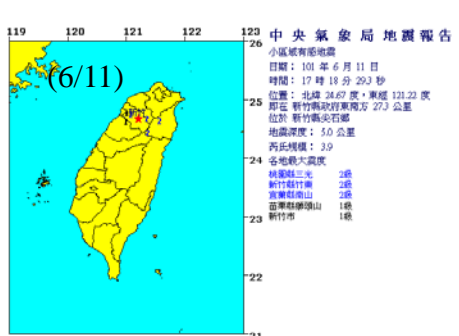
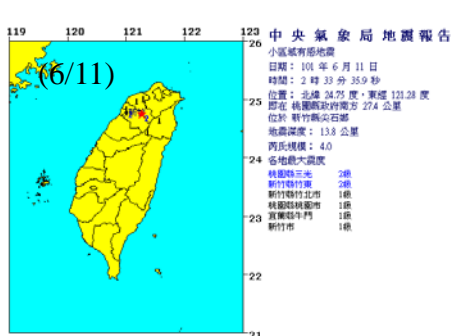
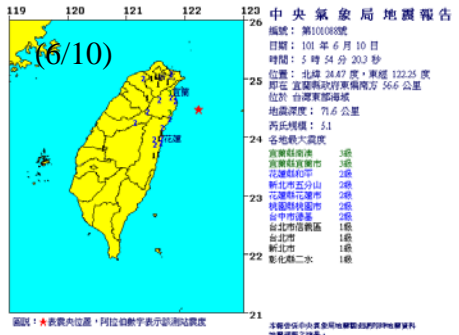
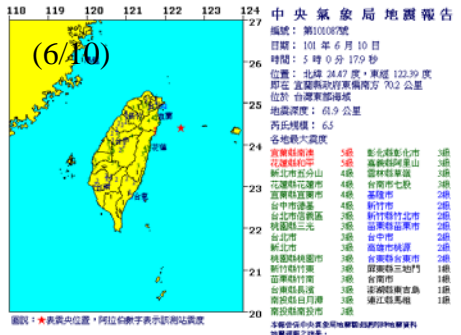
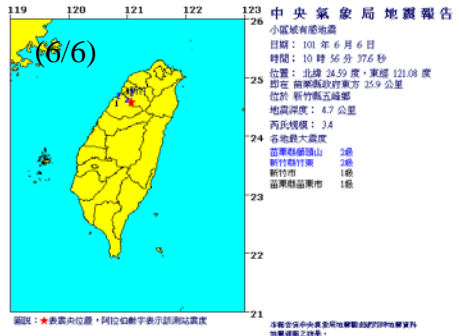
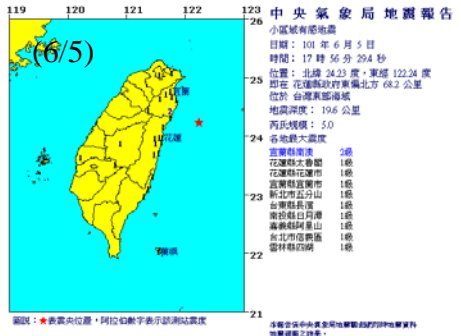
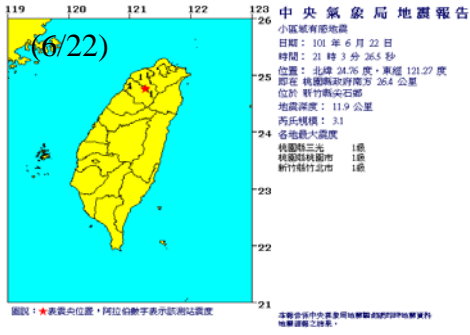
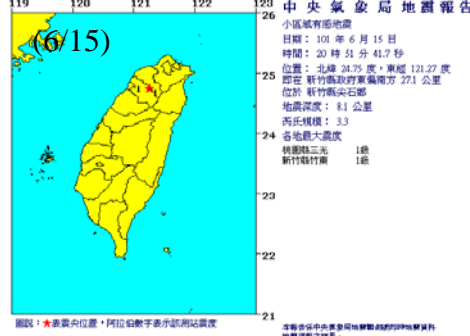
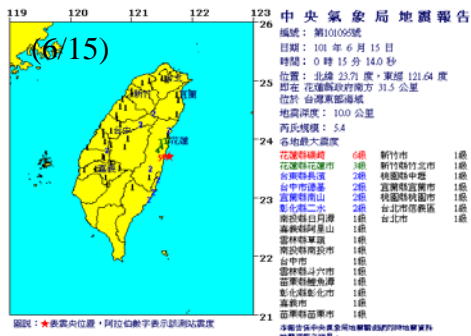


圖 6-20：新竹地區 2012 年 6 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨對比圖。6 月 1 日之水位異常可對應 6 月 1 日的地震。







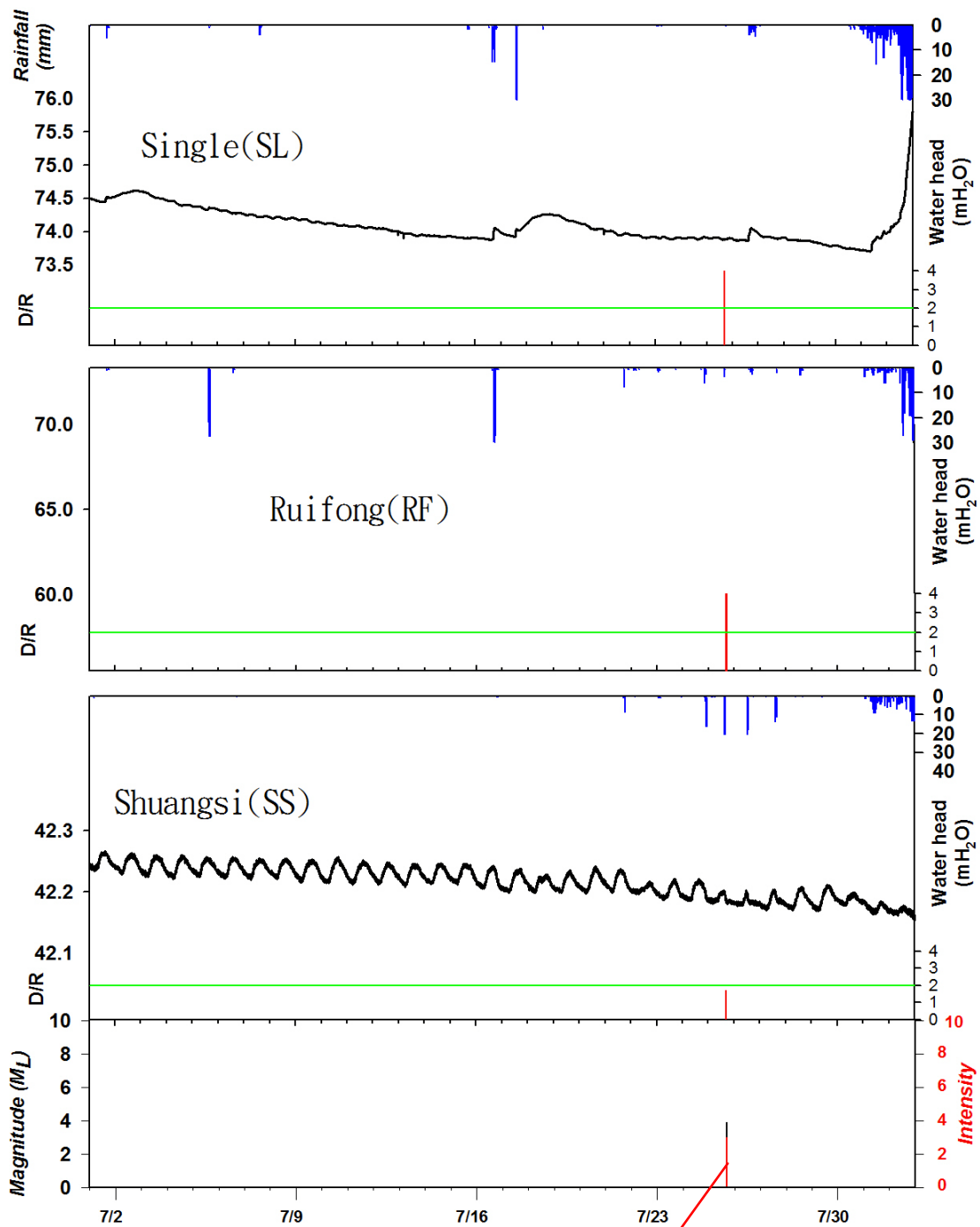
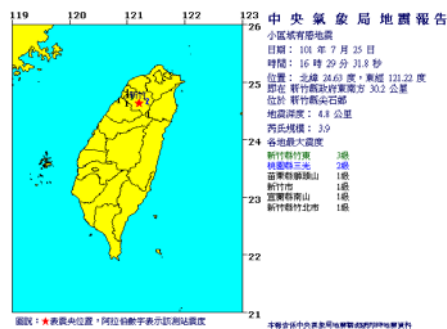


圖 6-21：新竹地區 2012 年 7 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨對比圖。



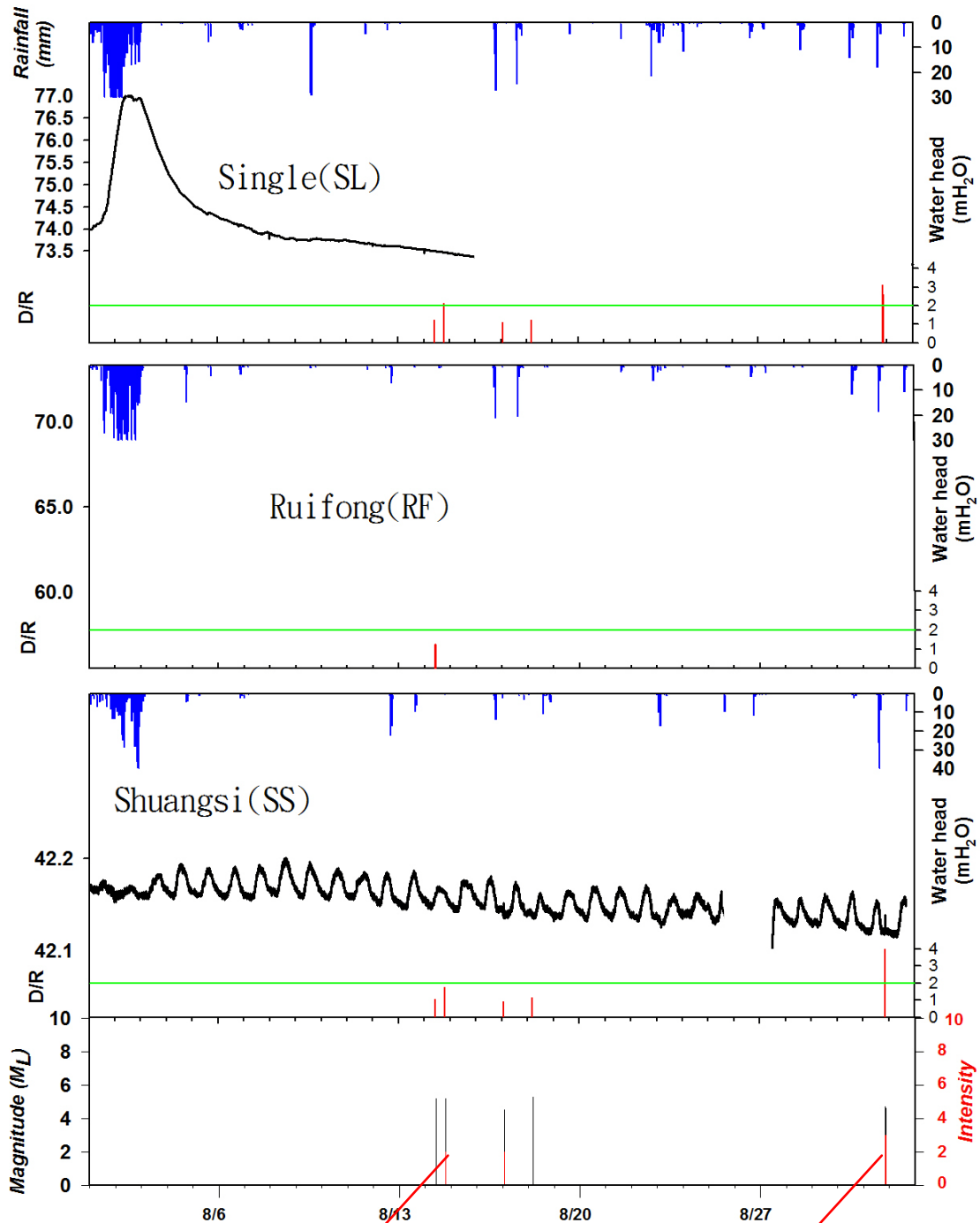
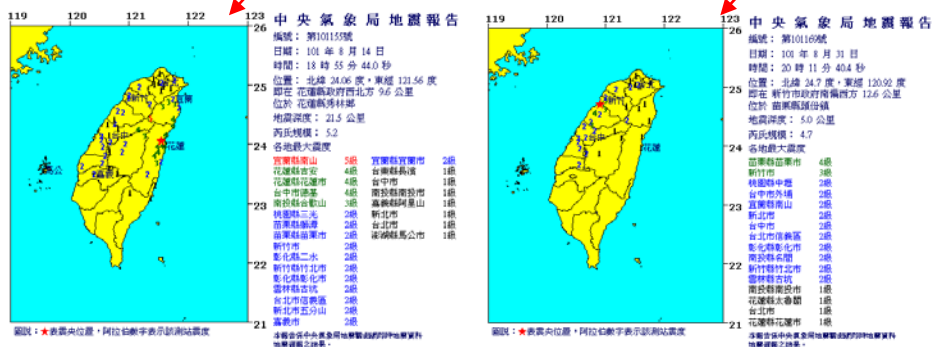


圖 6-22：新竹地區 2012 年 8 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨對比圖。



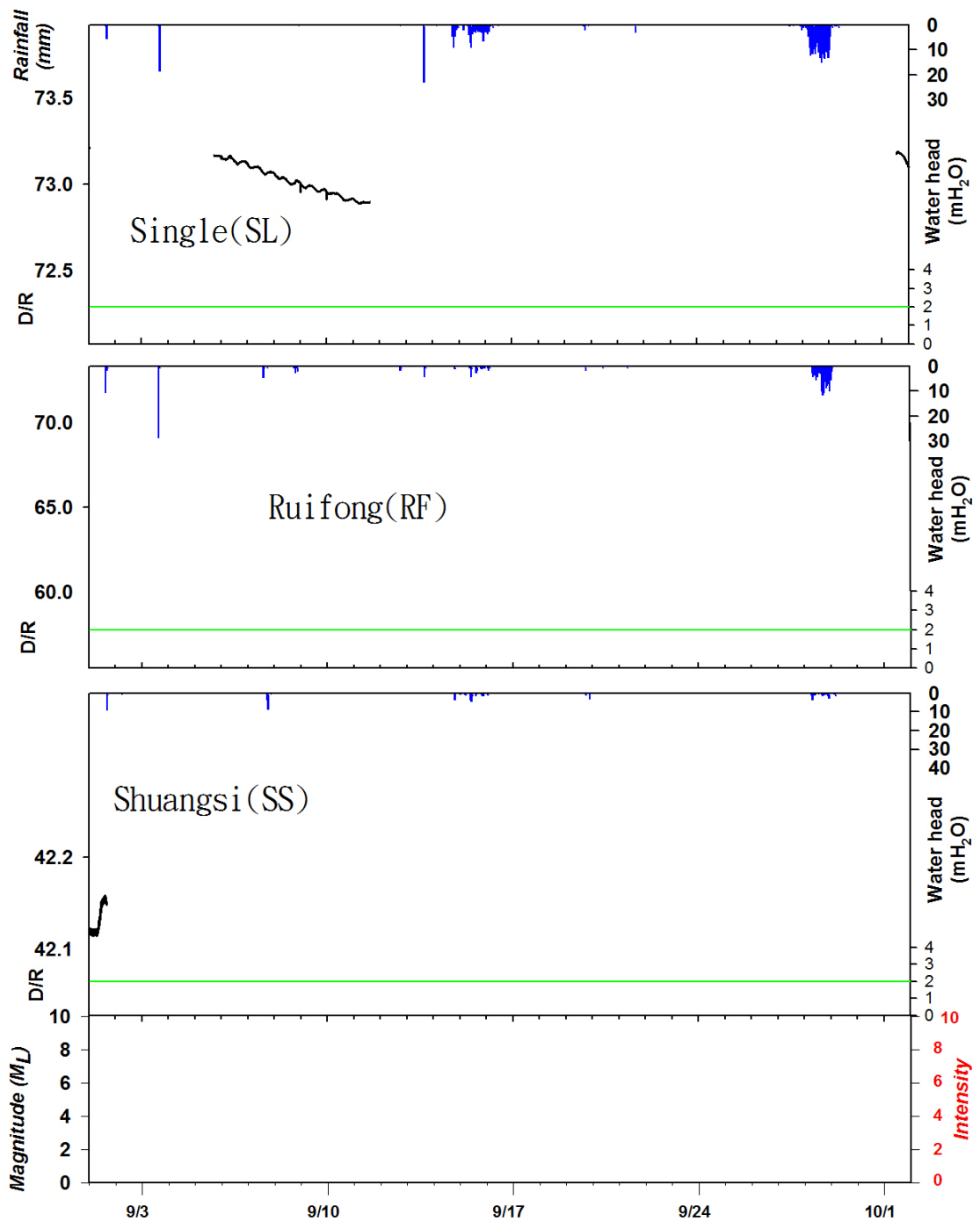


圖 6-23：新竹地區 2012 年 9 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨對比圖。本月份資料缺失嚴重。

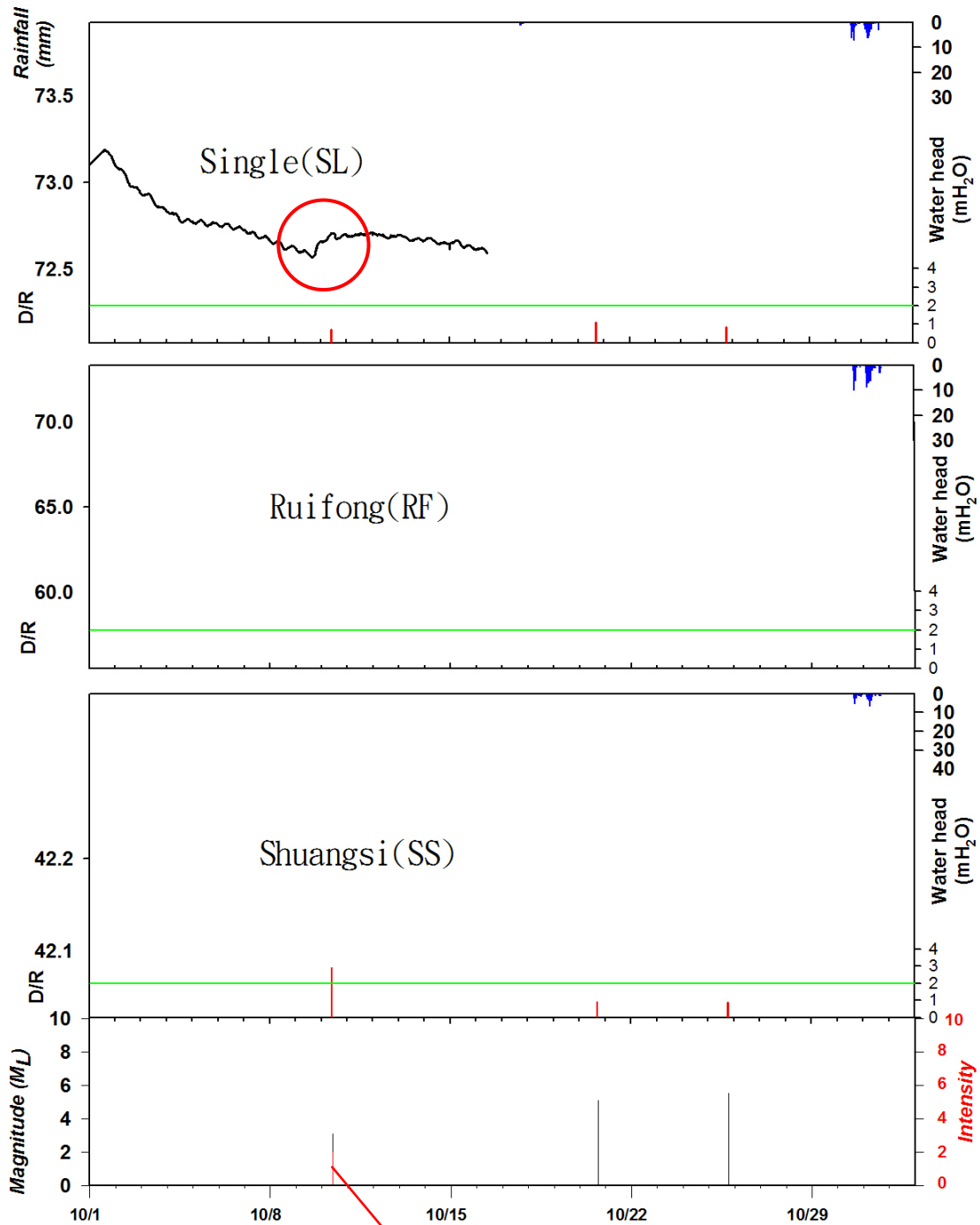
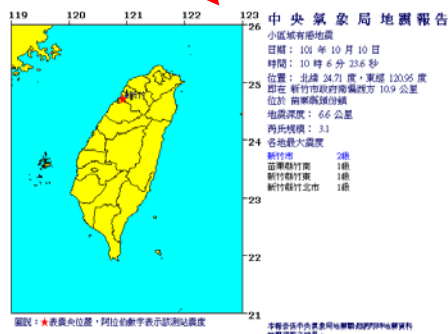


圖 6-24：新竹地區 2012 年 10 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨對比圖。10 月 9 日之水位異常可對應 10 月 10 日的地震。



6-3 嘉義地區地下水壓觀測

自2011年12月至2012年10月底嘉義地區沄水國小、太興國小與達邦國小觀測井之地下水壓資料，中央氣象局中埔站、樟腦寮、阿里山等鄰近雨量站時降雨資料，再配合地震資料繪製成圖6-25至圖6-36。主要結果如下：

太興站水位計本年度仍處於故障狀態，無法接收資料分析，而達邦站也因水位計故障而缺失許多資料，且在5月之後完全無資料，因此今年度嘉義觀測站僅沄水站有持續運作。

因沄水站屬於受壓含水層，水頭高於地表7公尺，且水井本身會產氣，擔心受壓氣體在井內累積影響水壓觀測，故在今年度2月進行洩氣工作，並在7月將井內水頭導出與空氣接觸，而沄水站之水壓也在7月後趨於穩定。

沄水觀測站本年度符合篩選地震有42起(表6-3)，此數字不包含震央距大於200公里之地震。震前出現水位異常反應有13起，前兆時間為數小時至13天不等。有4次震前水位異常反應所對應到的是未達篩選條件之地震(不包含在前述的地震數目之中)，其規模雖在4以下，震央距離皆在70公里以內，且深度在30公里以內之淺源地震。

2011年11月30日至12月2日沄水觀測站地下水位下降約50公分(圖6-26)，推測與之後發生於12月2日台東近海規模4.8地震有關，12月5日、6日台東縣也分別發生規模4.5、3.7之地震。同年12月16日至18日也下降約20公分後回升，推測與12月24日嘉義區域小地震有關，地震規模僅3，嘉義震度2級。2012年2月26日霧台地震(圖6-28)發生前1日，沄水觀測站水位異常下降10公分，推測為霧台地震之前兆反應。同年3月24日嘉義地區地震(圖6-29)發生前數小時，沄水站地下水位異常下降15公分，但因此地震後水位仍持續下降，有可能也受到3月26日南投地震影響。同年4月12日嘉義地區發生數起區域地震(圖6-30)，但沄水站並沒有觀察到水位異常。同年4月20至25日沄水站出現地下水位異常升降，且於23日發生了大幅度的驟降，推測這段期間異常可能受4月25日嘉義地區地震、4月27日花蓮近海地震及28日的高雄地震影響。同年5月2日高雄又發生一起規模3.8地震(圖6-31)，震前2日沄水站水位驟降91公分。

7月起沄水站水壓轉穩，並於7月30日、8月23日、9月27日出現三處水壓異常，7月30日對應地震為8月5日規模3.6之嘉義地震(圖6-34)，8月23日之異常對應到9月5日台東外海規模5.2之地震(圖6-34)，但是9月27日出現之水位異常無對應至任何地震(圖6-35)，估計僅有地下應力變化，而未出現地層破裂與震動之現象。

表 6-3：符合嘉義三個觀測井篩選條件的地震
 (灰色標是之地震為不符篩選條件，但地下水位出現異常的地震)

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度 (km)	震央	太興井前兆	地下水壓異常程度	距震央 (km)	D/R	D/R >2	達邦井前兆	地下水壓異常程度	距震央 (km)	D/R	D/R >2	汙水井前兆	地下水壓異常程度	距震央 (km)	D/R	D/R >2	備註
1	2008/11/18 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	9.87	yes			19	1.90				20	1.77		
2	2008/11/29 3:17	3	2	120.4	23.54	5.8	嘉義市地震站西北方 5.7 公里			24	0.82				37	0.53				22	0.88		
3	2008/12/1 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				24	0.89				18	1.23		
4	2008/12/2 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	yes			77	3.68	yes			98	2.88	yes	
5	2008/12/5 7:56	3	2	120.39	23.54	5.6	嘉義市地震站西北方 6.4 公里			25	0.78				38	0.51				23	0.86		
6	2008/12/7 3:55	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				34	1.25				23	1.86		
7	2008/12/7 5:34	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	0.94				23	1.37		
8	2008/12/7 7:06	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				29	0.50				7	2.09	yes	
9	2008/12/8 5:18	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	yes			154	2.23	yes			178	1.93		
10	2008/12/23 8:04	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	2.87	yes			59	3.20	yes			48	3.97	yes	
11	2009/1/4 6:04	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				126	1.24				149	1.05		
12	2009/2/19 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				34	0.52				18	0.99		
13	2009/3/16 6:33	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				34	1.05				10	3.57	yes	
14	2009/4/7 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	0.95				11	1.84		
15	2009/4/17 20:37	5.3	2	121.68	23.92	43.4	花蓮市地震站東南方 9.5 公里			115	1.66				108	1.76				132	1.45		
16	2009/6/2 0:47	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	yes			12	3.50	yes			12	3.51	yes	
17	2009/6/18 1:17	4.4	5	120.65	23.44	12.7	嘉義大埔地震站北方 21.8 公里			11	6.80	yes			10	7.62	yes	有		14	5.64	yes	
18	2009/6/19 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	yes			16	3.35	yes			8	6.33	yes	
19	2009/6/22 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	yes			34	2.54	yes	有		12	7.13	yes	
20	2009/6/28 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				130	1.46		有		153	1.25		
21	2009/6/30 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				35	0.50				20	0.90		
22	2009/7/11 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				34	0.70		有		12	1.97		
23	2009/7/14 2:05	6	2	122.22	24.02	18.1	花蓮市地震站東方 61.9 公里			170	2.24	yes			163	2.34	yes			186	2.04	yes	
24	2009/7/19 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	0.89				74	0.71		有		66	0.80		
25	2009/7/20 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				76	0.56		有		68	0.64		
26	2009/7/26 9:00	5.4	2	120.96	23.69	14.3	南投名間地震站東南方 34.3 公里			37	5.66	yes			34	6.19	yes			56	3.78	yes	
27	2009/7/26 14:10	5.4	3	121.32	23.43	12.5	花蓮玉里地震站北方 8.8 公里	有	3 小時前 上升 5cm	71	2.95	yes			58	3.60	yes			81	2.60	yes	
28	2009/7/30 0:53	5.8	2	120.48	22.05	41.3	屏東恆春地震站西方 27.8 公里			166	1.88				158	1.98				148	2.11	yes	
29	2009/8/1 9:41	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				37	0.79				16	1.84		

30	2009/8/1 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					37	0.65				16	1.51		
31	2009/8/2 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	yes				51	2.26	yes			72	1.61		
32	2009/8/17 8:05	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	yes				320	2.62	yes	有		343	2.45	yes	>200km
33	2009/8/17 18:10	5.9	1	123.67	23.32	31.6	花蓮市地震站東偏南方 221.6 公里					311	1.11					299	1.15		有		321	1.07		>200km
34	2009/9/14 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					46	0.63				27	1.06		
35	2009/9/19 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	yes				2	31.70	yes			24	2.38	yes	
36	2009/9/22 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					69	0.46				46	0.69		
37	2009/9/30 6:56	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					40	0.89				16	2.20	yes	
38	2009/10/4 1:36	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	yes				88	4.79	yes			111	3.77	yes	
39	2009/10/22 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					34	2.33	yes				39	2.01	yes	有		15	5.17	yes	
40	2009/10/23 7:05	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					114	1.37		有		125	1.25		
41	2009/11/5 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	16.10	yes	有			37	12.38	yes	有		49	9.42	yes	
42	2009/11/5 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	yes	有			38	2.53	yes	有		49	1.95		
43	2009/11/5 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	9.99	yes	有			35	8.05	yes	有		49	5.77	yes	
44	2009/11/17 1:49	4	3	120.51	23.42	10.4	嘉義市地震站東南方 11.6 公里					19	2.83	yes	有			25	2.12	yes			5	11.05	yes	
45	2009/11/22 1:27	5	1	121.76	24.22	66.9	花蓮秀林地地震站東北方 22.4 公里					137	1.03		有	4 日前上升 4cm		133	1.06		有	先降後升 1 日前上升 15cm	156	0.91		疑
46	2009/11/23 2:56	3.8	1	120.66	22.87	17.7	高雄旗山地震站東偏北方 23.9 公里					75	0.58		有	5 日前上升 4cm		65	0.66		有	先降後升 2 日前上升 15cm	58	0.74		疑
47	2009/11/23 5:46	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		有	5 日前上升 4cm		154	0.75		有	先降後升 2 日前上升 15cm	175	0.66		疑
48	2009/12/12 4:46	4.6	2	120.72	23.51	10.5	斗六市地震站東南方 28.7 公里					9	10.03	yes				7	13.65	yes			24	3.96	yes	
49	2009/12/19 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	8.57	yes		同震，下降 25cm 馬上回升		100	9.25	yes	有	2 日前下降 25cm 後回升	124	7.48	yes		
50	2010/1/2 1:34	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					97	1.61				121	1.29		
51	2010/1/5 3:27	5.5	2	121.83	24.18	46.1	花蓮秀林地地震站東偏北方 25.8 公里					141	1.65					136	1.70				159	1.46		
52	2010/1/19 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	2.54	yes	有	8 日前上升 7cm		103	2.73	yes	有	8 日前下降 20cm 後回升	127	2.22	yes	
53	2010/2/7 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	2.14	yes				309	2.23	yes			331	2.08	yes	>200km

54	2010/2/12 10:42	5.2	2	121.09	23.89	14	花蓮西林地震站西偏北方 37.1 公里			60	2.85	yes			60	2.89	yes	有	2 日前下降 25cm 後回升	80	2.15	yes	
55	2010/2/22 13:21	5.6	1	122.97	24.05	35.6	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 128.5 公里			245	1.05				236	1.08				260	0.99		>200km
56	2010/2/26 9:07	5.8	2	122.87	23.69	52.1	花蓮市地震站東偏南方 131.9 公里			229	1.36				218	1.43				241	1.29		>200km
57	2010/3/4 8:18	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	9.28	yes		同震，上升 7cm	50	11.2 5	yes		同震，上升 38cm	47	12.04	yes	
58	2010/3/4 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	4.36	yes			55	5.14	yes			49	5.71	yes	
59	2010/3/8 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	10.0 4	yes			20	7.93	yes			5	29.87	yes	
60	2010/3/9 1:54	4.5	2	120.57	22.94	26.2	高雄甲仙地震站南方 15.6 公里			67	1.28				60	1.44				49	1.76		
61	2010/3/12 17:53	3.4	3	120.56	23.2	15.8	嘉義大埔地震站西偏南 7.7 公里			39	0.75				34	0.85		有	4 日前下降 30cm 後回升	20	1.43		
62	2010/3/13 17:15	3.7	2	120.62	22.99	17.8	高雄甲仙地震站南偏東方 10.4 公里			61	0.64				53	0.74		有	5 日前下降 30cm 後回升	44	0.88		
63	2010/3/18 17:01	4.7	1	121.96	24.39	31	宜蘭南澳地震站東方 22.1 公里			164	0.64		有	2 日前上升 2cm	161	0.65		有	3 日前下降 26cm 後回升	183	0.57		疑
64	2010/3/20 21:51	2.9	0	120.59	23.1	5.1	高雄甲仙地震站北方 1.7 公里			49	0.36		有	4 日前上升 2cm	42	0.42		有	5 日前下降 26cm 後回升	32	0.56		疑
65	2010/3/27 7:07	5.2	2	121.73	24.1	55	花蓮秀林地震站東方 13.2 公里			128	1.35				123	1.40		有	2 日前下降 27cm 後回升	146	1.18		
66	2010/4/11 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	1.37				140	1.50				161	1.30		
67	2010/4/13 22:29	4.6	2	121.3	23.15	8.9	台東成功地震站西北方 9.8 公里			81	1.18				66	1.45				83	1.15		
68	2010/4/26 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	yes			339	2.47	yes	有	4 日前下降 20cm	357	2.35	yes	>200km
69	2010/5/3 2:00	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	1.62				47	2.04	yes	
70	2010/5/23 2:38	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				44	0.73				23	1.38		
71	2010/5/25 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				57	1.24				52	1.35		
72	2010/6/2 4:58	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				36	0.67				19	1.25		
73	2010/6/6 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	1.01				40	1.09				23	1.91		
74	2010/6/8 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				30	0.53				17	0.94		
75	2010/6/10 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				48	1.47				70	1.01		
76	2010/6/15 8:31	5.6	2	121.63	24.06	18.9	花蓮秀林地震站東南方 3.7 公里			117	2.20	yes			112	2.28	yes			135	1.90		

77	2010/6/16 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				61	0.94			56	1.03		
78	2010/6/22 12:08	3.6	2	120.76	23.12	11.2	高雄桃源地震站南方 4.5 公里			49	0.73				37	0.96			37	0.95		
79	2010/7/3 3:11	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	11 日前先降後升	68	2.30	yes	有	11 日前驟降 120cm，兩日後回升	63	2.46	yes	
80	2010/7/9 03:43	5.3	1	122	24.4	19.3	宜蘭南澳地震站東方 25.9 公里			168	1.13			165	1.15				187	1.01		
81	2010/7/9 8:41	5.8	1	122.61	24.7	113.6	宜蘭蘇澳地震站東方 76.9 公里			238	1.31			234	1.33				257	1.21		>200km
82	2010/7/12 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			37	0.32				19	0.63		
83	2010/7/17 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			103	1.67				126	1.37		
84	2010/7/18 21:03	5.2	1	122.44	24	24.3	宜蘭南澳地震站東偏南方 69.2 公里			191	0.90			183	0.94				206	0.83		>200km
85	2010/7/25 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			79	3.60	yes		68	4.16	yes	有	5 日前下降 40cm	64	4.44	yes	
86	2010/7/31 22:49	4.7	3	120.61	22.94	17.1	高雄甲仙地震站南偏東方 15.5 公里			67	1.57			59	1.79		有	1 日前下降 33cm	50	2.12	yes	
87	2010/8/16 7:21	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			46	0.26				24	0.49		
88	2010/8/16 7:31	2.9	3	120.3	23.44	7	嘉義市地震站西偏南 14.5 公里			36	0.49			46	0.38				24	0.72		
89	2010/8/22 0:38	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			87	2.18	yes			110	1.72		
90	2010/8/29 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			65	0.40		有	7 日前驟降 170cm	58	0.45		
91	2010/8/30 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			48	0.73		有	8 日前驟降 170cm	56	0.63		
92	2010/9/14 15:14	3	2	120.56	23.18	16.1	嘉義大埔地震站西南方 9.8 公里			41	0.48			36	0.54				23	0.87		
93	2010/9/20 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	有	2 日前上升 36cm	92	1.86		有	2~3 日前驟降 100cm	116	1.48		
94	2010/10/4 21:28	6.6	1	125.51	23.97	35	宜蘭蘇澳地震站東偏南方 377.7 公里			500	1.38			489	1.41				512	1.34		>200km
95	2010/10/8 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			29	1.66				11	4.21	yes	
96	2010/10/20 6:32	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	有	10 日前下降 4cm 後回升	39	1.33				56	0.94		
97	2010/10/30 21:05	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	有	8 日前上升 8cm	46	1.03				24	2.00		
98	2010/11/8 21:01	5.2	4	120.41	23.22	19.9	台南東山地震站西偏南 10.1 公里		同震，上升 6cm	42	4.06	yes		43	3.98	yes	有	1 日前驟降 90cm	22	7.93	yes	
99	2010/11/12 23:39	5.3	1	120.61	22.19	43.4	屏東恆春地震站北偏西方 20.0 公里			150	1.27			141	1.35				132	1.44		
100	2010/11/16 3:39	3.7	1	120.69	23.59	7.4	嘉義阿里山地震站西北方 15.4 公里			8	5.02	yes		16	2.39	yes			28	1.38		
101	2010/11/18 4:16	3.8	2	120.42	23.2	24.7	台南東山地震站西南方 11.1 公里			44	0.98			44	0.98				23	1.87		

102	2010/11/20 1:45	4.0	2	120.31	23.52	16.7	嘉義市地震站西方 13.1 公里			33	1.58				45	1.15				27	1.93		
103	2010/11/21 20:31	6.1	4	121.75	23.83	46.9	花蓮市地震站東南方 21.6 公里	同震，上升 48cm		118	3.55	yes		同震，上升 8cm	110	3.81	yes	有	4 日前驟降 60cm	134	3.13	yes	
104	2010/11/30 19:44	2.9	2	120.35	23.47	9.3	嘉義市地震站西偏南 8.5 公里			30	0.59				41	0.43				21	0.85		
105	2010/12/6 10:14	5.2	2	121.43	23.68	24.8	花蓮西林地震站南偏東方 16.5 公里			83	2.08	yes			74	2.33	yes	有	12 日前驟降 67cm	98	1.76		
106	2010/12/7 10:46	5.1	2	121.46	22.92	30.1	台東成功地震站南偏東方 21.3 公里			109	1.43				94	1.66		有	13 日前驟降 67cm	108	1.44		疑
107	2010/12/9 13:20	4	2	120.69	23.51	7.8	嘉義阿里山地震站西方 10.5 公里			7	7.78	yes			9	6.01	yes	有	2 日前驟降兩次，依序為 55cm、93cm	22	2.43	yes	
108	2010/12/10 4:42	5.2	0	122.14	21.33	167.1	台東蘭嶼地震站東南方 98.9 公里			290	0.59				275	0.63				281	0.61		>200km
109	2010/12/25 15:48	3.8	0	120.72	22.7	22.6	屏東縣政府東方 24.4 公里			94	0.46				83	0.52		有	5 日前驟降 73cm	78	0.55		
110	2010/12/27 17:01	3.6	2	120.58	23.19	17.1	台南市政府東偏北方 46.1 公里			39	0.90				34	1.04		有	1 日前驟降 150cm	22	1.62		
111	2011/1/1 2:19	2.9	2	120.7	23.24	8.5	高雄市政府北偏東方 79.1 公里			34	0.52				24	0.73		有	1 日前驟降 90cm	23	0.76		
112	2011/1/6 16:47	3.7	0	120.67	22.68	20.8	屏東縣政府東方 19.2 公里			96	0.41				86	0.45		有	2 日前驟降 100cm	79	0.49		
113	2011/1/7 16:42	3.2	2	120.46	23.2	17.9	台南市政府東北方 36.7 公里			42	0.57				41	0.58		有	1 日前驟降 71cm	21	1.11		
114	2011/1/13 4:05	3.9	0	120.93	22.95	9.4	台東縣政府西北方 31.0 公里			72	0.66				59	0.81		有	1 日前驟降 58cm	63	0.76		
115	2011/1/21 9:48	3.3	0	120.92	22.97	8.2	台東縣政府西北方 33.4 公里			70	0.38		有	6 日前上升 2cm	56	0.47		有	2 日前驟降 62cm	61	0.43		
116	2011/1/25 20:44	3.7	2	120.81	23.52	20.5	嘉義縣政府東方 53.3 公里			18	2.15	yes			10	4.03	yes	有	1 日前驟降 100cm	32	1.20		
117	2011/1/28 10:52	4.4	2	120.63	22.9	5	高雄市政府東北方 45.4 公里			71	1.10				62	1.25		有	2 日前驟降 63cm	54	1.44		
118	2011/2/1 16:16	5.5	2	121.8	24.24	17.6	花蓮縣政府東北方 33.0 公里外海			142	1.64				138	1.68				161	1.44		汛水 1/28~2/3 缺資料
119	2011/2/15 15:18	5.5	0	121.2	21.18	71.2	台東縣政府南方 174.1 公里外海			268	0.86				256	0.91		有	1 日前驟降 110cm or 4 日前驟降	253	0.91		>200km

150	2011/5/23 5:07	4.6	1	121.08	23.89	16.8	南投縣政府東方 39.7 公里							60	1.60					59	1.61		有	分別於 2 日前與 1 日前驟降 60cm	79	1.20		
151	2011/6/3 1:07	5.2	2	121.34	22.26	22.2	台東縣政府南偏東方 63.4 公里外海							159	1.08		疑似	6 日前下降 4cm		145	1.18				149	1.15		疑
152	2011/6/3 2:08	4.1	2	120.71	23.6	21.2	雲林縣政府東偏南方 21.9 公里							10	5.78	yes	有	6 日前下降 4cm		17	3.46	yes	疑		30	1.91		
153	2011/6/10 9:25	5.2	2	121.68	23.57	28	花蓮縣政府南方 46.8 公里外海							107	1.61					96	1.79				119	1.44		
154	2011/6/26 21:19	5.1	3	121.02	23.84	9.4	南投縣政府東方 34.3 公里 (位於南投縣仁愛鄉)							51	3.04	yes	有	3 日前下降 4cm		51	3.06	yes	有	5 日前潮汐現象變弱，4 小時前下降 112cm	71	2.19	yes	
155	2011/6/30 10:38	3.9	1	120.72	22.95	9	屏東縣政府東北方 37.8 公里 (位於高雄市茂林區)							66	0.72					56	0.85		有	1 日前驟降 132cm	52	0.92		
156	2011/7/8 16:19	3.3	1	120.59	23.47	16.3	嘉義市政府東方 17.3 公里 (位於嘉義縣番路鄉)							9	2.85	yes				16	1.60				12	2.28	yes	
157	2011/7/12 19:17	5.3	2	121.53	23.53	20.7	花蓮縣政府南方 52.3 公里 (位於花蓮縣近海)							91	2.08	yes				80	2.37	yes			103	1.84		
158	2011/7/13 15:19	5.4	0	123.8	24.91	120.8	宜蘭縣政府東方 206.8 公里 (位於台灣東部海域)							356	0.59					350	0.60				373	0.56		>200km
159	2011/7/18 20:40	2.7	1	120.76	23.16	6.1	嘉義市政府東南方 46.8 公里 (位於高雄市桃源區)							44	0.33					32	0.45		有	5 小時前驟降 120cm	34	0.43		
160	2011/7/18 22:48	5.1	1	122.37	23.59	29.8	花蓮縣政府東南方 86.1 公里 (位於台灣東部海域)							169	0.92					158	0.99		有	7 小時前驟降 120cm	180	0.86		疑
161	2011/7/19 0:30	2.6	0	120.77	23.16	5.8	嘉義市政府東南方 48.0 公里 (位於高雄市桃源區)							45	0.29					33	0.40		有	7/18 驟降 120cm	35	0.38		疑
162	2011/7/19 1:29	2.5	1	120.77	23.17	5.9	嘉義市政府東南方 47.6 公里 (位於高雄市桃源區)							44	0.27					31	0.38		有	7/18 驟降 120cm	34	0.35		疑
163	2011/7/19 19:16	3.2	1	120.77	23.15	5.8	嘉義市政府東南方 48.7 公里 (位於高雄市桃源區)							46	0.52					34	0.71		有	7/18 驟降 120cm	35	0.67		疑
164	2011/7/19 23:36	2	0	120.75	23.13	3.1	嘉義市政府東南方 48.6 公里 (位於高雄市桃源區)							47	0.15					36	0.20		有	7/18 驟降 120cm	36	0.20		疑
165	2011/7/19 23:37	3	0	120.76	23.15	6.5	嘉義市政府東南方 46.9 公里 (位於高雄市桃源區)							45	0.43					34	0.58		有	7/18 驟降 120cm	35	0.56		疑
166	2011/7/20 15:21	3	1	120.77	23.15	6.5	嘉義市政府東南方 48.8 公里 (位於高雄市桃源區)							46	0.43					34	0.58		有	7/18 驟降 120cm	35	0.55		疑

167	2011/7/23 16:53	3.5	2	120.93	23.37	7.1	嘉義市政府東偏南方 50.2 公里 (位於高雄市桃源區)			36	0.89				21	1.55	有	7/18 驟降 120cm	41	0.78		疑
168	2011/8/1 10:09	3.1	0	120.6	24.02	23.3	彰化縣政府東南方 8.2 公里 (位於彰化縣芬園鄉)			53	0.41				65	0.33	有	2 日前驟降 126cm	71	0.30		疑
169	2011/8/6 0:22	3	0	120.63	23.81	22.2	南投縣政府南偏西方 11.4 公里 (位於彰化縣二水鄉)			30	0.66				41	0.47	有	2 日前驟降 130cm	49	0.40		疑
170	2011/8/7 9:08	3.4	1	120.57	23.6	9.8	雲林縣政府南偏東方 12.3 公里 (位於雲林縣古坑鄉)			9	3.17	yes			24	1.18	有	2 日前驟降 130cm	25	1.18		
171	2011/8/7 22:30	3.6	1	120.67	23.96	23.9	南投縣政府北偏西方 7.9 公里 (位於南投縣草屯鎮)			46	0.76				57	0.62	有	9 小時前驟降 165cm	66	0.54		疑
172	2011/8/11 3:25	4.5	1	121.72	23.39	27	花蓮縣政府南方 67.7 公里 (位於台灣東部海域)			112	0.77				99	0.87	有	4 日前驟降 165cm	122	0.71		疑
173	2011/8/12 6:07	4.8	1	121.62	23.8	32.4	花蓮縣政府南偏東方 21.1 公里 (位於台灣東部海域)			105	1.11				97	1.20	有	5 日前驟降 165cm	120	0.96		疑
174	2011/8/16 2:07	2.4	2	120.7	23.2	8.3	嘉義市政府東南方 40.0 公里 (位於高雄市那瑪夏區)			39	0.28				28	0.38	有	1 日前驟降 92cm	27	0.41		
175	2011/8/16 17:56	2.8	1	120.61	23.51	8.5	嘉義市政府東方 17.5 公里 (位於嘉義縣番路鄉)			4	3.67	yes			16	1.03	有	1 日前驟降 92cm	16	0.98		疑
176	2011/8/25 17:35	4.9	0	121.91	23.13	25.2	台東縣政府東偏北方 88.5 公里 (位於台灣東部海域)			138	0.93				124	1.03			144	0.89		疑
177	2011/8/31 19:22	4.8	0	120.98	21.78	29.5	台東縣政府南方 109.8 公里 (位於台灣南部海域)			198	0.58				187	0.62			183	0.63		疑
178	2011/9/2 9:17	3.3	2	120.49	23.43	8.5	嘉義市政府東南方 6.0 公里 (位於嘉義縣中埔鄉)			19	1.36				27	0.99			7	3.87	yes	
179	2011/9/6 19:17	2.7	2	120.48	23.54	9.9	嘉義市政府北偏東方 6.4 公里 (位於嘉義縣民雄鄉)			16	0.92				29	0.50			18	0.79		
180	2011/9/9 11:26	5	1	120.99	22.31	10.4	台東縣政府南偏西方 52.4 公里 (位於台灣東部海域)			141	1.00				129	1.10			128	1.11		
181	2011/9/9 20:43	2.8	2	120.56	23.53	9.7	嘉義市政府東偏北方 11.8 公里 (位於嘉義縣竹崎鄉)			8	2.08	yes			21	0.76			17	0.96		
182	2011/9/12 13:15	5.1	0	122.84	23.7	41	花蓮縣政府東偏南方 128.2 公里 (位於台灣東部海域)			226	0.69				215	0.72			238	0.65		>200km
183	2011/9/13 10:11	3.6	3	120.66	23.45	8.4	嘉義市政府東南方 31.6 公里 (位於高雄市那瑪夏區)			11	3.34	yes			9	3.87	yes		15	2.32	yes	
184	2011/9/13 18:44	3.4	2	120.6	23.47	7.6	嘉義市政府東方 21.2 公里 (位於嘉義縣番路鄉)			9	3.31	yes			15	1.89			12	2.39	yes	

185	2011/9/16 23:24	3.4	3	120.57	23.52	9.9	嘉義市政府東偏北方 11.7 公里 (位於嘉義縣竹崎鄉)			7	4.14	yes				20	1.47				16	1.83			
186	2011/9/18 12:59	2.4	2	120.4	23.49	9	嘉義市政府西偏北方 5.7 公里 (位於嘉義市西區)			25	0.44					36	0.30				18	0.60			
187	2011/9/19 22:13	2.9	2	120.45	23.5	8.5	嘉義市政府北方 2.5 公里 (位於嘉義市東區)			19	0.91					31	0.57				15	1.14			
188	2011/9/22 6:18	5.1	1	121.67	24.09	17.2	花蓮縣政府北偏東方 11.9 公里 (位於花蓮縣近海)			122	1.28					117	1.33				140	1.11		*DB 9/20~9/27 缺資料	
189	2011/10/12 11:45	3.7	1	120.58	23.54	11.9	嘉義市政府東偏北方 13.9 公里 (位於嘉義縣竹崎鄉)			6	7.05	yes				20	1.97	疑	5 日前先下降再上升 5cm		18	2.13	yes	疑	
190	2011/10/22 3:48	3.3	2	120.57	23.18	6.9	台南市政府東偏北方 44.5 公里 (位於台南市南化區)			41	0.65					35	0.74	疑	4 日前先下降再上升 8cm		23	1.16		疑	
191	2011/10/27 3:11	4.2	0	120.32	23.29	14.4	嘉義縣政府南方 19.0 公里 (位於台南市柳營區)			43	1.50					47	1.35				24	2.69	yes		
192	2011/10/28 15:58	4	1	120.32	23.25	21.2	嘉義縣政府南方 23.3 公里 (位於台南市六甲區)			46	1.15					49	1.06				26	2.02	yes		
193	2011/10/30 11:23	6.3	1	123.16	25.31	215.8	基隆市政府東方 143.6 公里 (位於台灣東北部海域)			322	1.59					320	1.60				342	1.50		>200km	
194	2011/10/31 4:09	3.7	1	120.65	23.55	10.6	嘉義市政府東偏北方 20.8 公里 (位於嘉義縣梅山鄉)			2	21.37	yes				15	2.64	yes			22	1.75			
195	2011/10/31 23:17	5	0	121.94	24.84	92.1	宜蘭縣政府東偏北方 21.7 公里 (位於台灣東部海域)			200	0.71					200	0.71				220	0.64		>200km	
196	2011/11/6 17:36	4.2	1	120.33	23.24	6.2	嘉義縣政府南方 24.1 公里 (位於台南市六甲區)			46	1.40					49	1.31				26	2.48	yes		
197	2011/11/10 7:59	3.4	1	120.58	23.51	14.4	嘉義市政府東偏北方 13.6 公里 (位於嘉義縣竹崎鄉)			7	4.40	yes				18	1.58	疑	3 日前上升 6cm		15	1.92		疑	
198	2011/11/19 17:20	3.5	4	120.57	23.28	6.1	嘉義市政府南偏東方 24.8 公里 (位於嘉義縣大埔鄉)			30	1.07					27	1.21	有	11/9~11/19 緩降 17cm 再回升		12	2.68	yes		
199	2011/11/21 17:41	3.5	1	120.62	23.49	19.6	嘉義市政府東方 16.8 公里 (位於嘉義縣番路鄉)			6	5.34	yes				14	2.32	yes	有	11/19~11/21 下降 32cm		15	2.12	yes	
200	2011/11/22 13:57	3.7	2	120.6	23.08	22.2	台南市政府東偏北方 43.6 公里 (位於高雄市甲仙區)			51	0.76					44	0.89	疑	11/19~11/21 下降 32cm		34	1.14		疑	
201	2011/12/2 8:55	4.8	2	121.33	23.01	16.4	台東縣政府東北方 31.7 公里 (位於			92	1.25					77	1.50	有	11/30~12/2 下		92	1.27			

						台東縣近海)												降 50cm						
202	2011/12/5 20:30	4.5	1	121.36	23.36	20	台東縣政府北偏東方 70.0 公里 (位於花蓮縣玉里鎮)			77	1.12				63	1.36	疑	11/30~12/2 下降 50cm	85	1.01		疑		
203	2011/12/6 15:53	3.7	1	120.92	23.06	4.6	台東縣政府西北方 41.4 公里 (位於台東縣海端鄉)			61	0.64				47	0.83	疑	11/30~12/2 下降 50cm	53	0.73		疑		
204	2011/12/12 7:21	3.1	2	120.53	23.23	6.7	嘉義市政府南偏東方 28.5 公里 (位於台南市楠西區)			36	0.59				33	0.65				17	1.28			
205	2011/12/24 3:51	3	2	120.64	23.26	7.9	嘉義市政府東南方 31.1 公里			31	0.62				24	0.81	有	12/16 開始下降，到 12/18 後開始回升，共下降 20 公分。	18	1.11				
206	2012/1/5 10:30	3.5	2	120.66	23.52	18.9	嘉義市政府東方 21.2 公里			4	8.79	yes			12	2.73	yes			20	1.58			
207	2012/1/12 21:22	3.3	1	120.59	23.36	16.2	嘉義市政府東偏南方 32.3 公里			23	1.15				21	1.28				8	3.44	yes		
208	2012/1/18 14:57	4.1	2	120.65	23.51	6.6	嘉義市政府東方 20.7 公里			4	14.6 5	yes			12	4.86	yes				19	3.09	yes	
209	2012/1/25 16:36	5	0	122.24	24.86	124.9	宜蘭縣政府東偏北方 50 公里			219	0.65				217	0.65					239	0.59		>200km
210	2012/1/29 16:07	5.6	1	122.37	25.32	264.7	基隆市政府東偏北方 66.4 公里			264	0.97				264	0.97					284	0.90		>200km
211	2012/2/20 16:36	3	1	120.42	23.28	7	嘉義市政府南方 19.4 公里			36	0.54				39	0.50	有	4 天前水壓下降 25cm, 第 4 天水壓回升後發生地震	16	1.22				
212	2012/2/26 10:35	6.4	4	120.75	22.75	26.3	屏東縣政府東偏北方 28.4 公里			89	6.38	yes			78	7.26	yes	有	1 天前水壓下降 10cm	73	7.69	yes		
213	2012/3/1 09:41	5	0	121.54	22.17	102.1	台東縣政府南偏東方 76.5 公里 (位於台灣東部海域)			178	0.79				164	0.86					170	0.83		
214	2012/3/22 07:44	5.1	1	121.75	23.21	27.75	台東縣政府東北方 79.4 公里 (位於台灣東部海域)			120	1.30				106	1.47					126	1.24		
215	2012/3/24 00:04	3.6	2	120.59	23.13	15.7	嘉義市政府南偏東方 41.5 公里 (位於高雄市甲仙區)			46	0.77				39	0.90	有	5hrs 前水位下降 15cm	29	1.24				
216	2012/3/25 10:42	3.9	0	120.93	23.7	27.8	南投縣政府東南方 33.5 公里 (位於南投縣信義鄉)			35	1.36				33	1.44	疑	1 日前水位下降 15cm	54	0.88			疑	
217	2012/4/9 05:43	5.5	1	122.35	24	10	花蓮縣政府東方 73.8 公里 (位於台灣東部海域)			182	1.27				174	1.33					198	1.17		
218	2012/4/11 16:38	8.7		93.072	2.348	22.9	印尼蘇門答臘地震			3792	1.45		4/11 16:58 前後水位	3796 .219	1.45						3773	1.46		>200km

251	2012/8/18 04:20	5.3	1	121.58	23.35	22	花蓮縣政府南方 71.2 公里			99	1.92				86	2.22				107	1.77		
252	2012/9/5 04:00	5.2	1	121.02	22.24	21	台東縣政府南偏西方 58.6 公里 (位於台灣東部海域)			150	1.15				137	1.26	有	13 天前 9 天前 各上升 15cm	136	1.27			
253	2012/9/8 18:56	3.7	1	120.35	23.41	15.4	嘉義縣政府東南方 7.7 公里(嘉義水上鄉)			33	1.20				41	0.95				19	2.08	yes	
254	2012/10/20 16:49	5.1	1	122.57	24.29	46.1	花蓮縣政府東偏南方 95.5 公里 (位於台灣東部海域)			214	0.73				207	0.75				231	0.68		
255	2012/10/25 18:31	5.5	2	120.4	22.44	33	高雄市政府南偏東方 22.1 公里 (位於屏東近海)			124	1.86				118	1.97				119	1.76		

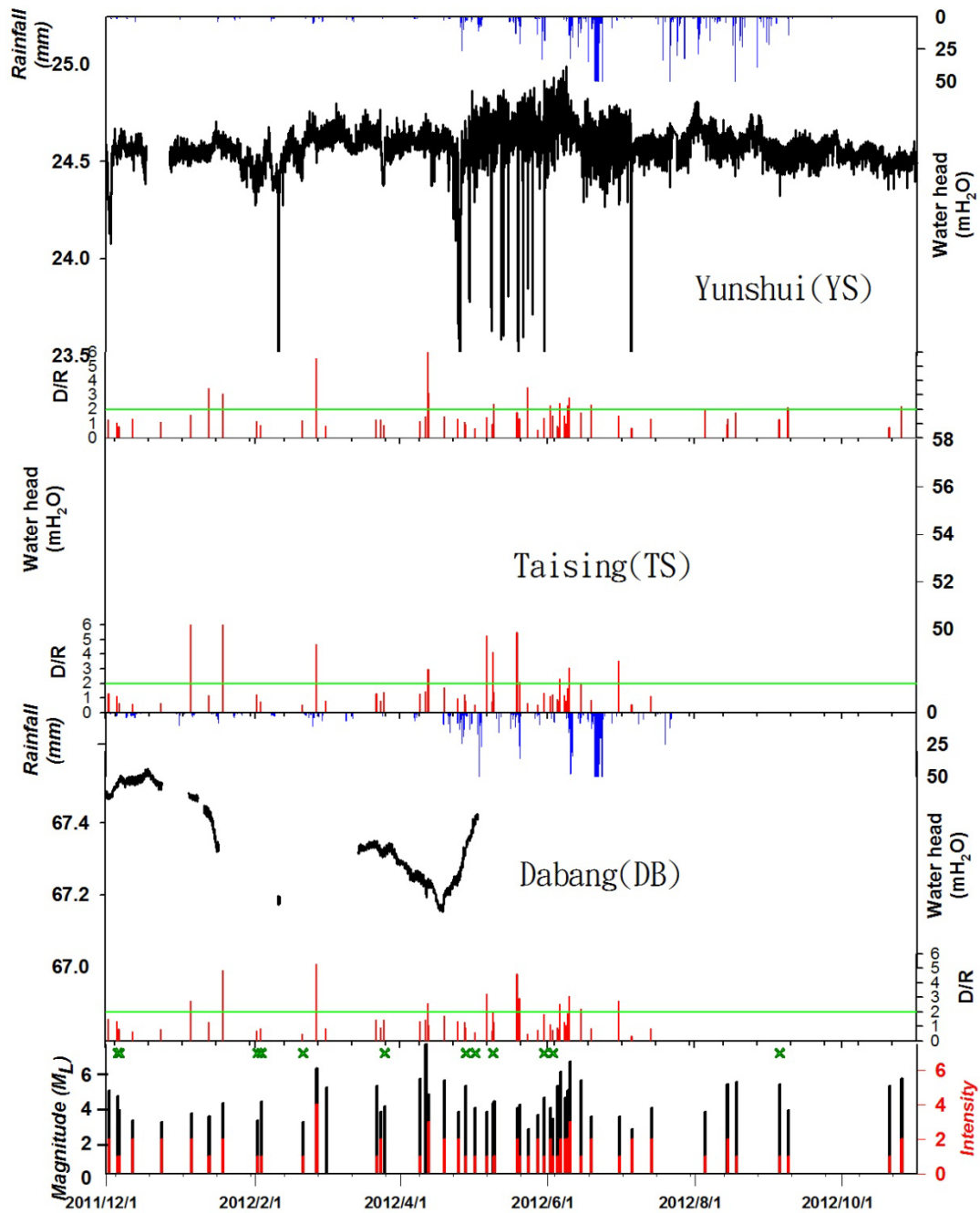


圖 6-25：嘉義地區 2011 年 12 月至 2012 年 10 月，沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。圖中紅線表示地震，藍色線條表示降雨量。X 標記表示不符篩選條件，但疑似有地下水位前兆之地震。本年度 5、6 月間沄水站水位不穩定，同時期嘉義地區也出現密集的小規模地震。

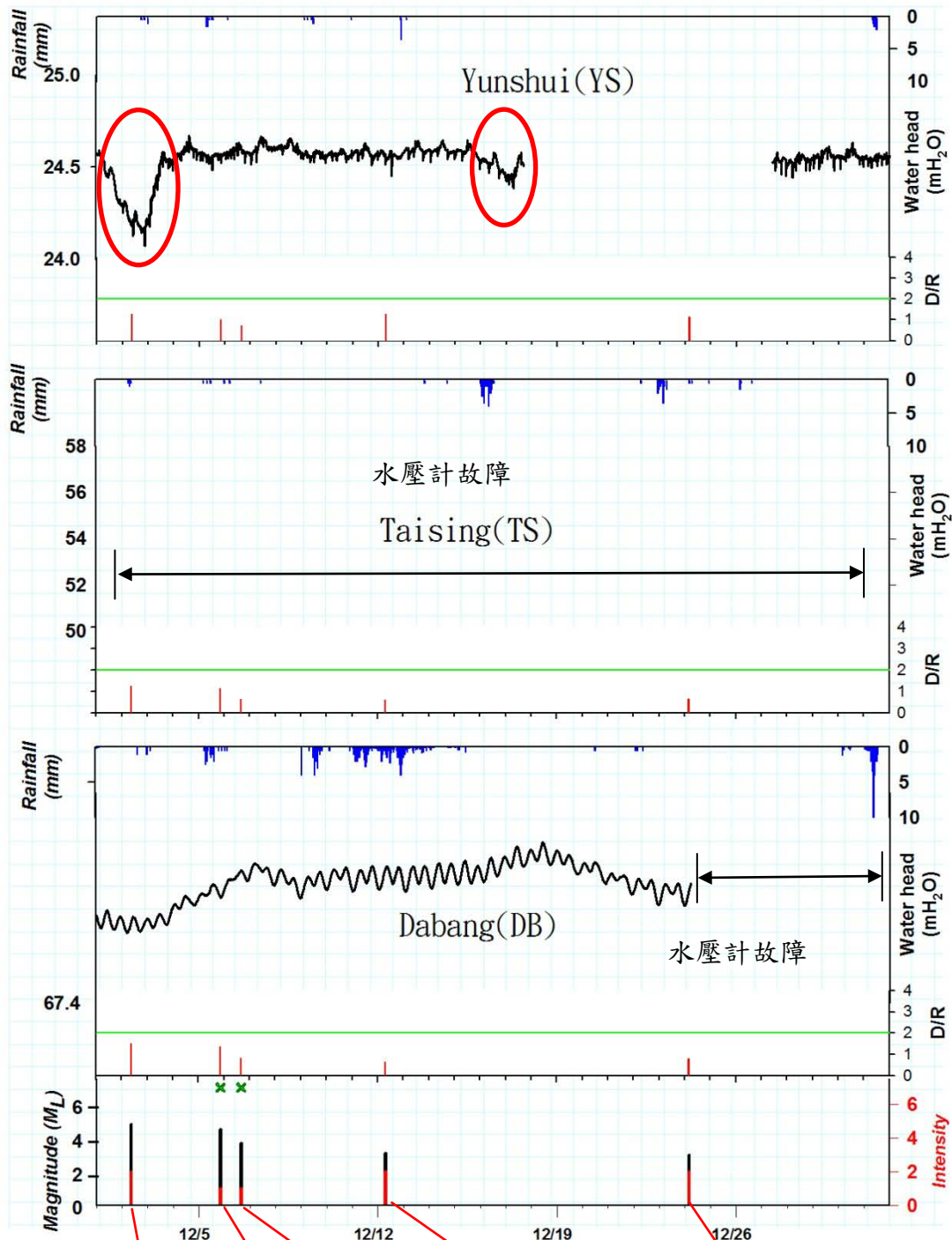
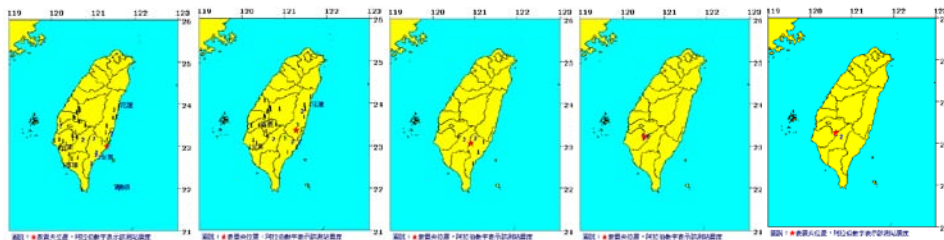


圖 6-26：嘉義地區 2011 年 12 月，沄水、大興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。12 月 1 日之水位異常可對應 12 月 2 日之地震，12 月 16 日之水位異常可對應 12 月 24 日之地震。



M_L=4.8

M_L=4.5

M_L=3.7

M_L=3.1

M_L=3

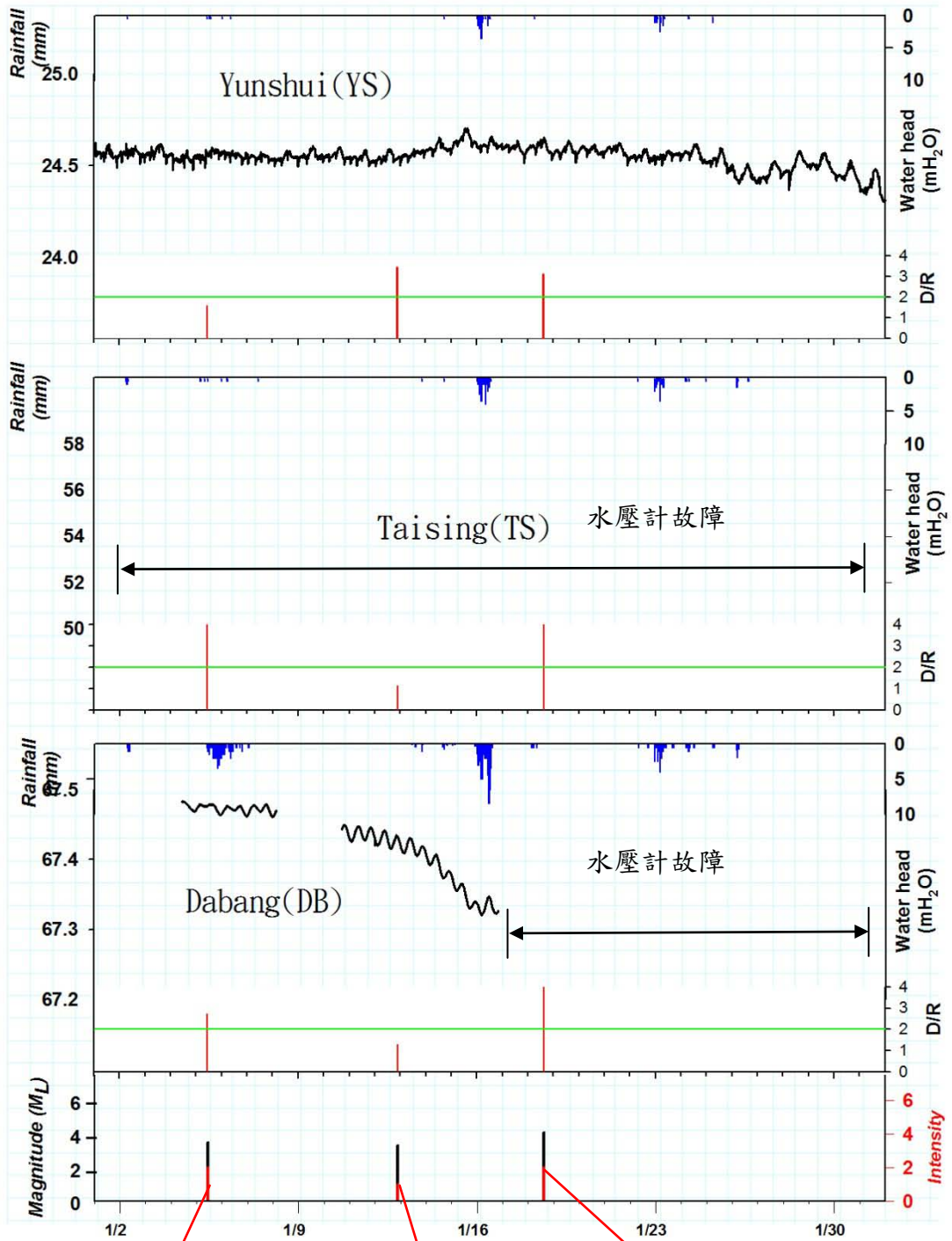


圖 6-27：嘉義地區 2012 年 1 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



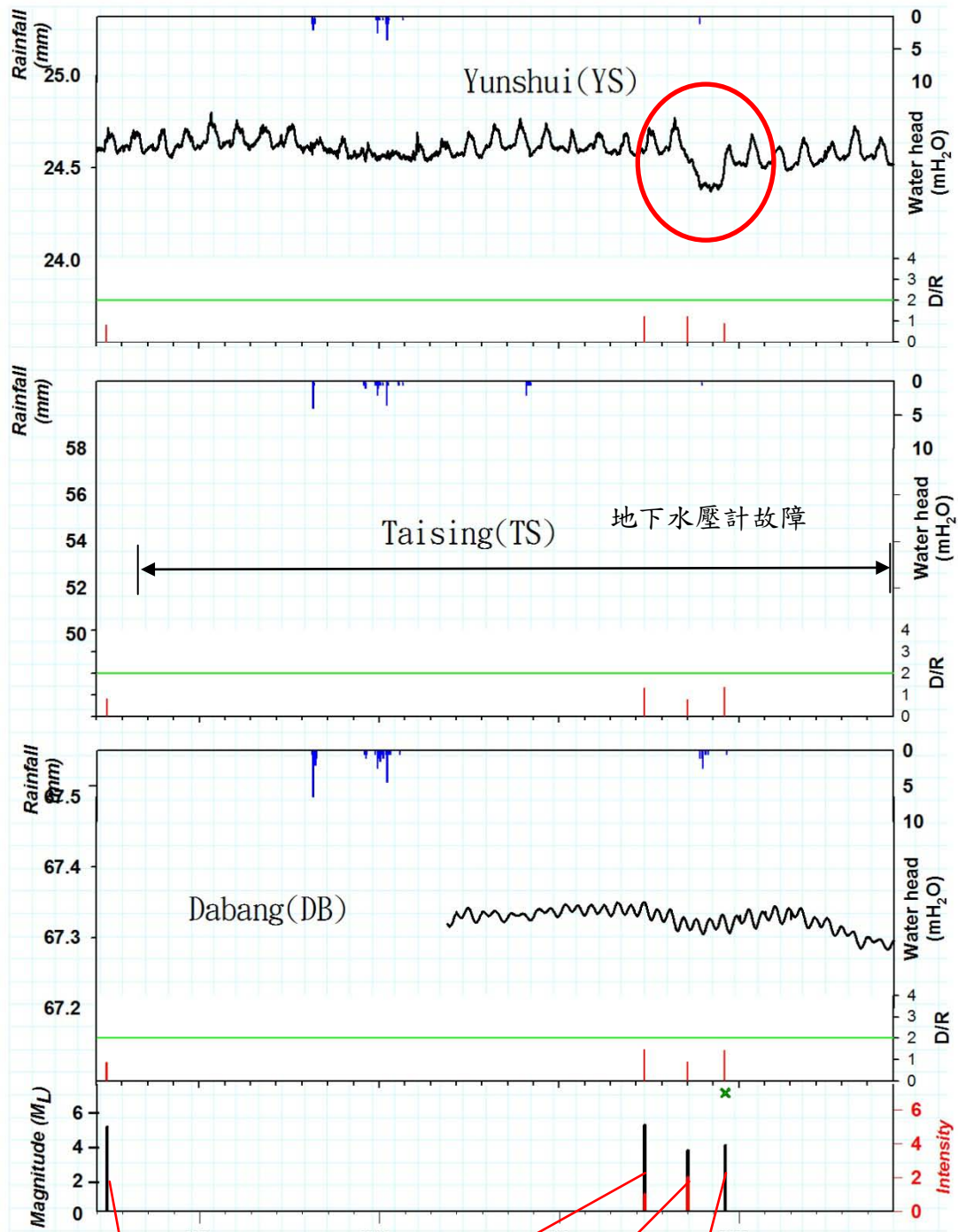
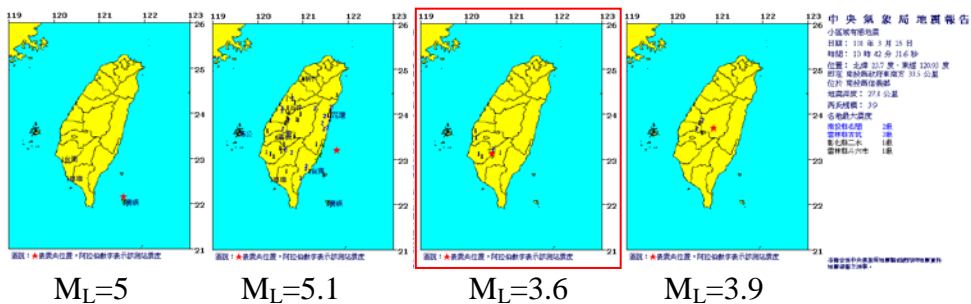


圖 6-29：嘉義地區 2012 年 3 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。3 月 23 日之水位異常可對應 3 月 24 日之地震。



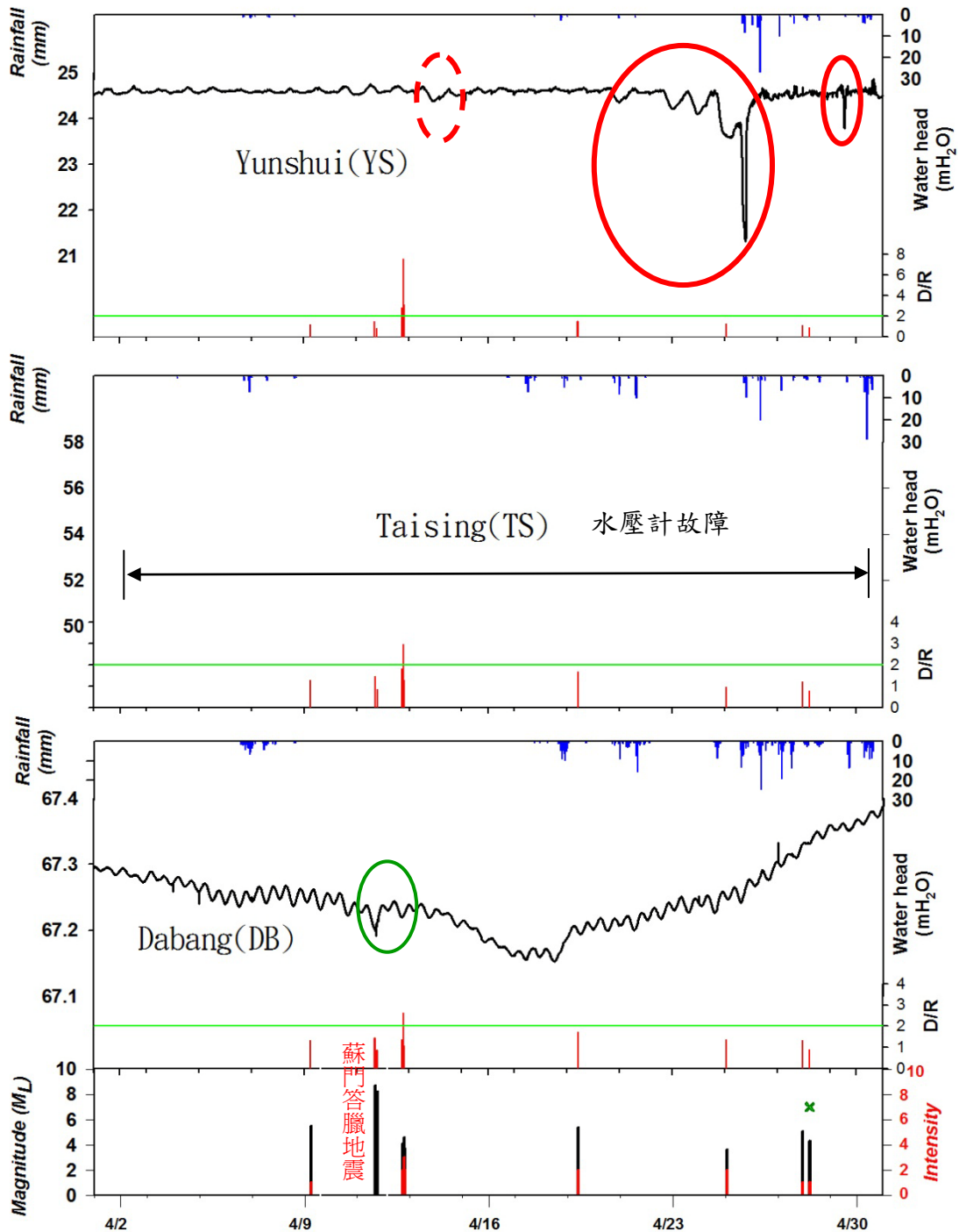
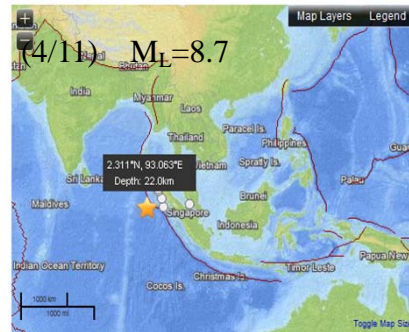
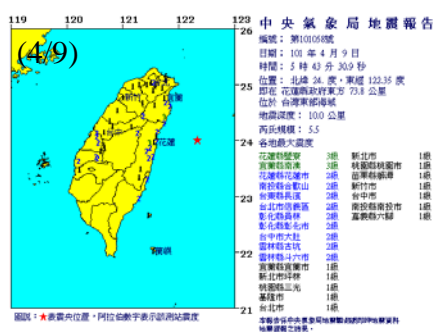


圖 6-30：嘉義地區 2012 年 4 月沱水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



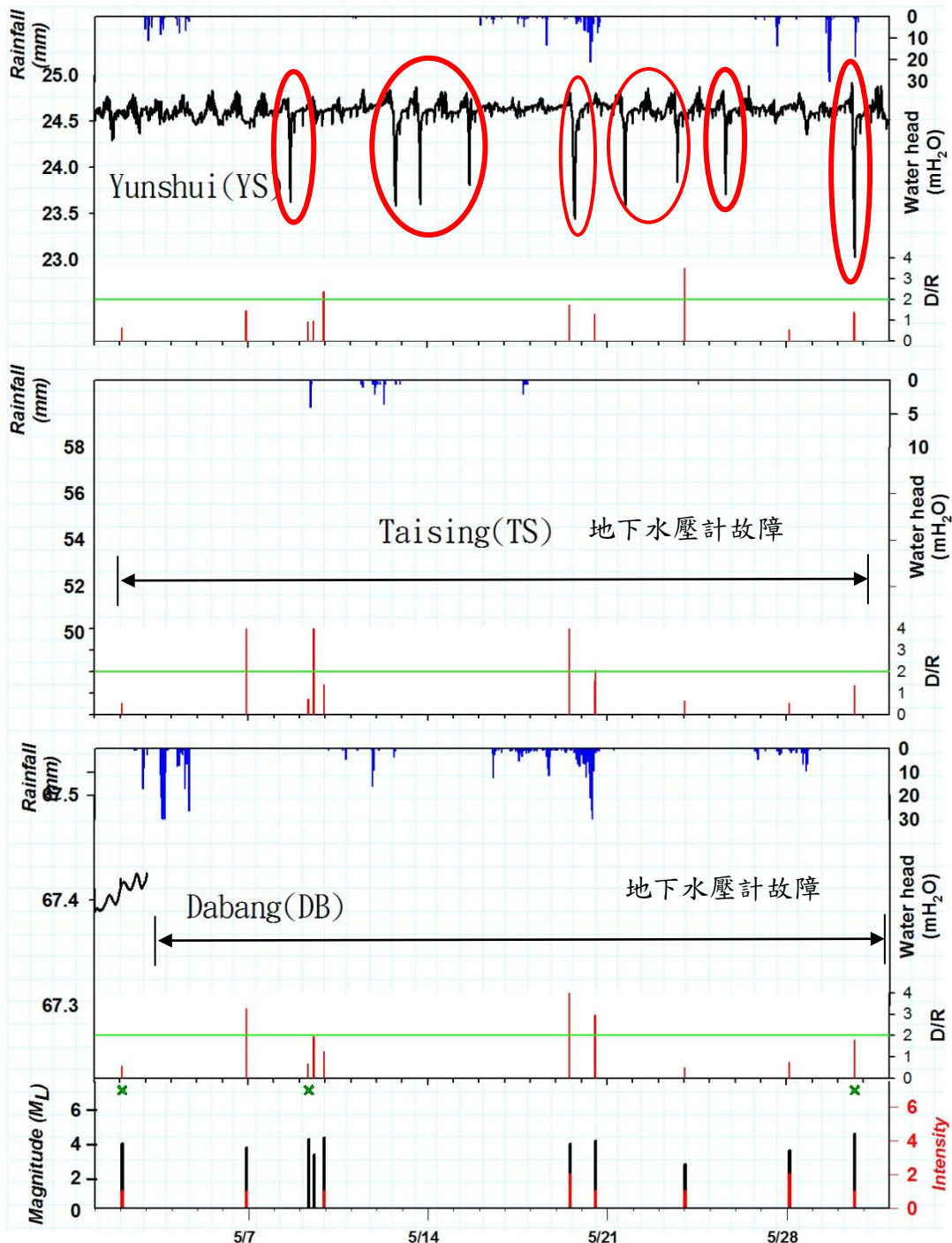
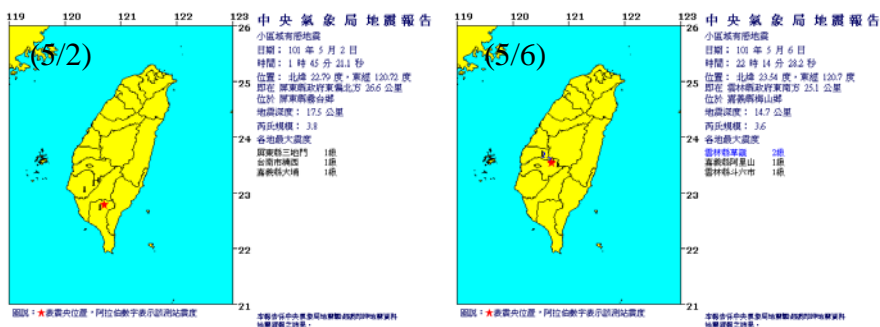
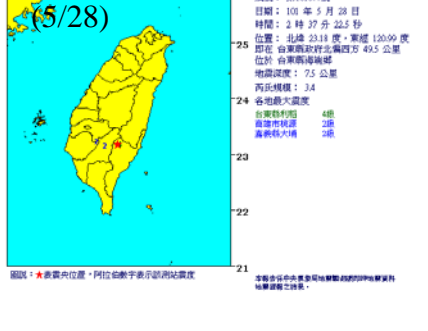
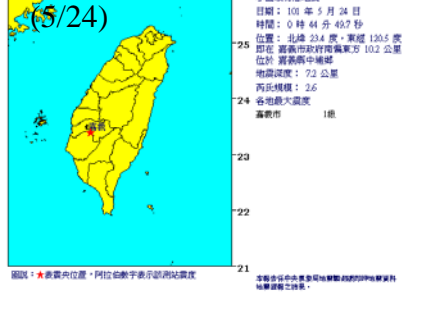
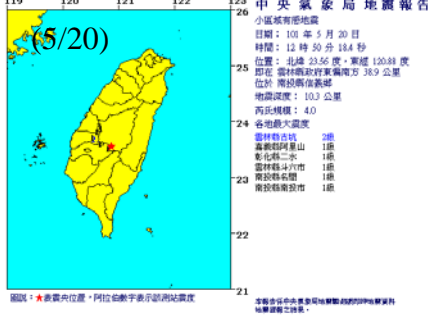
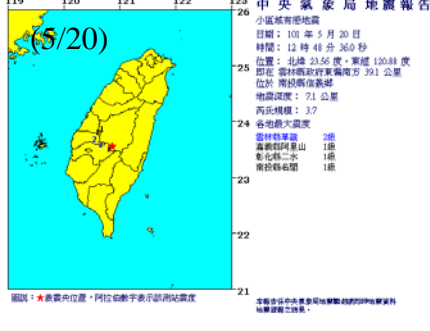
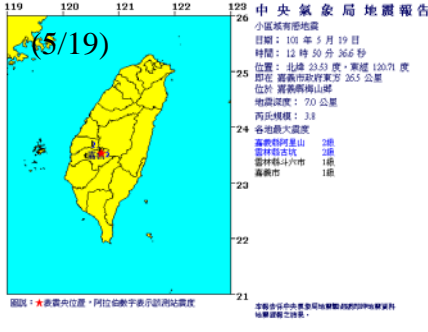
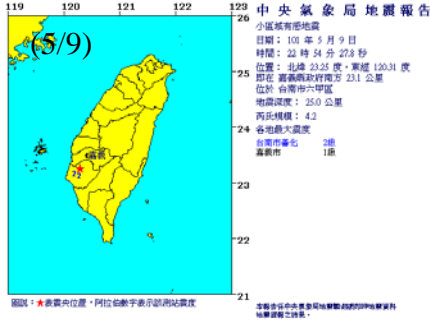
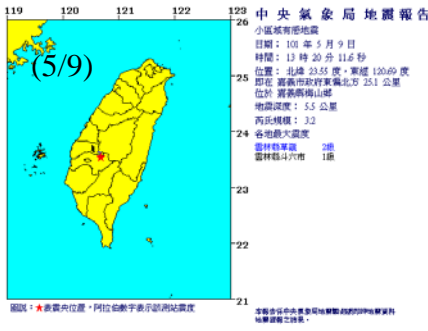
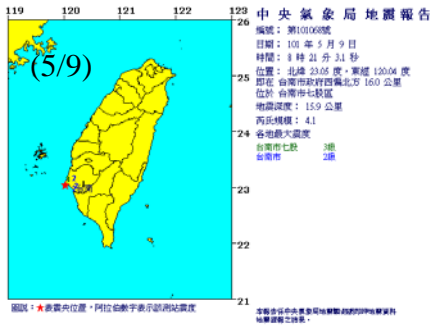


圖 6-31：嘉義地區 2012 年 5 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。本月份沄水水位出現多處大幅度快速下降後回升，並且於本月份發生多起嘉義附近之小規模地震。





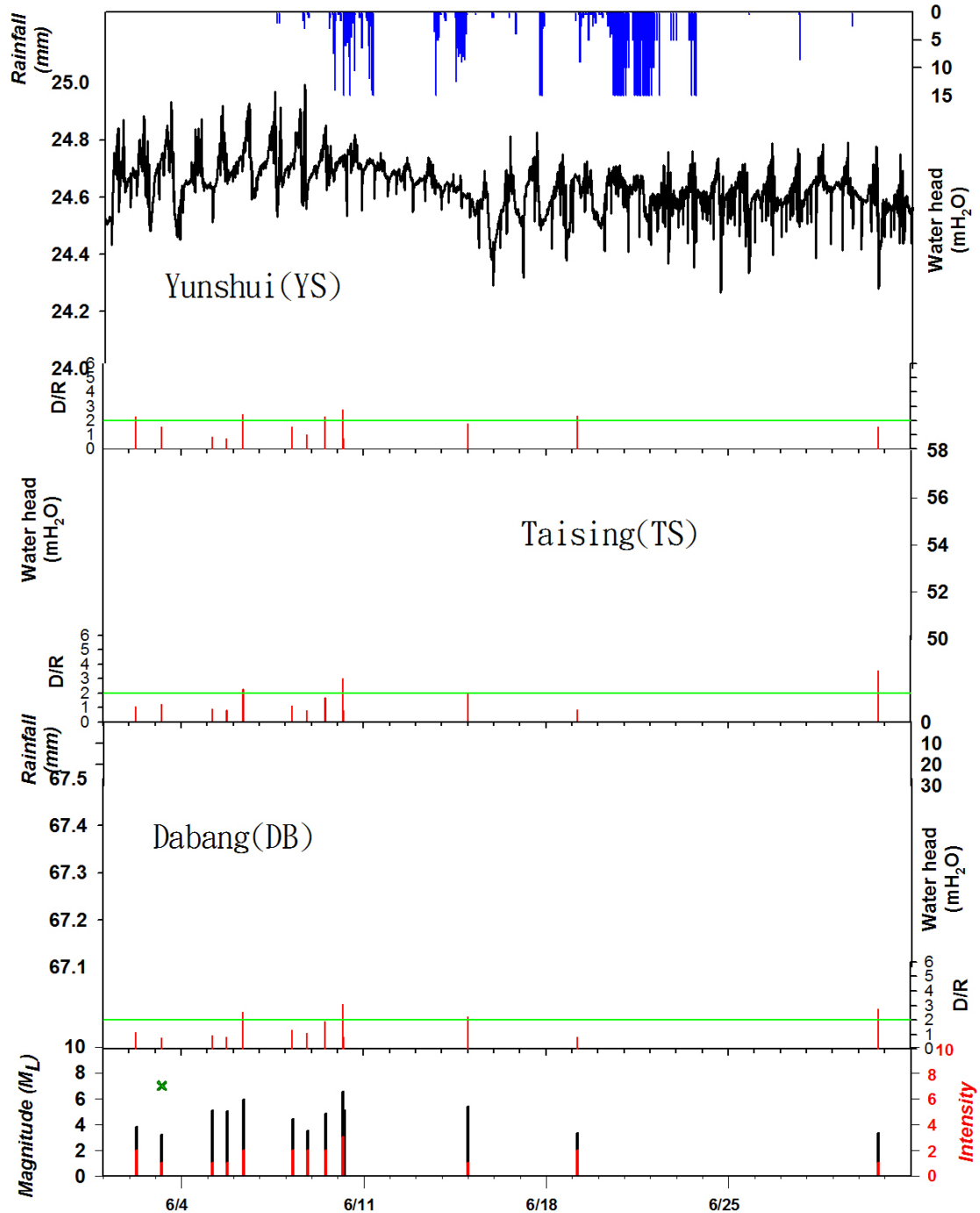
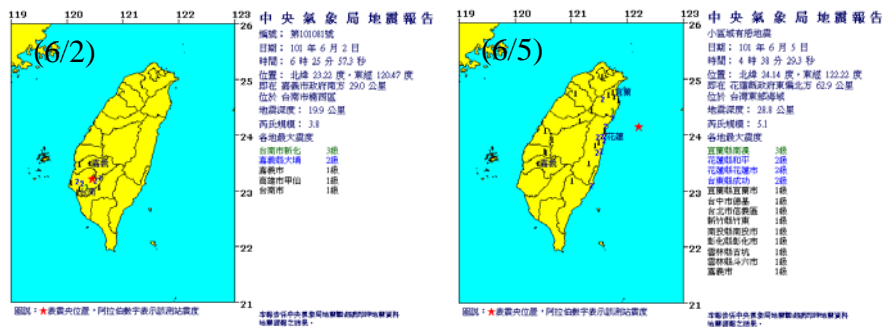
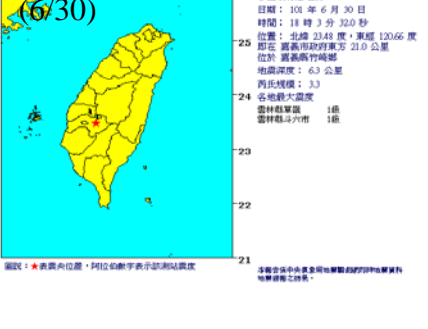
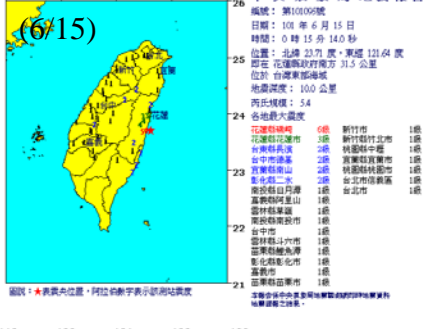
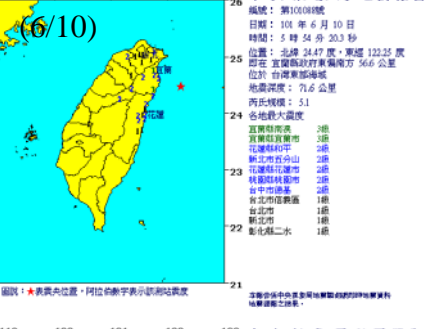
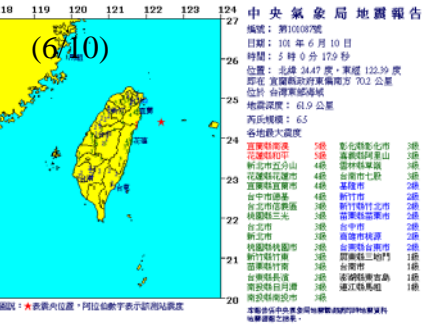
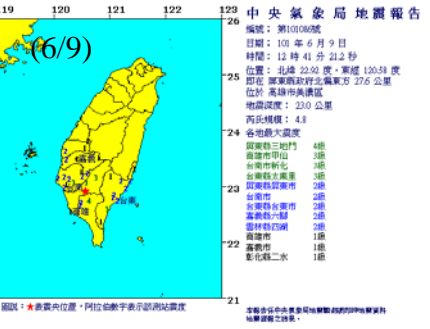
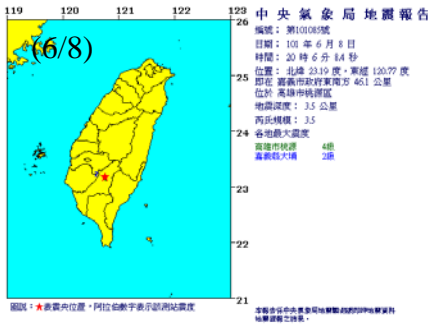
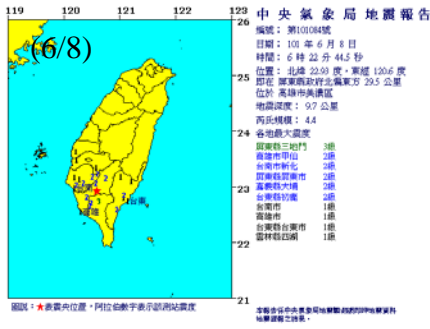
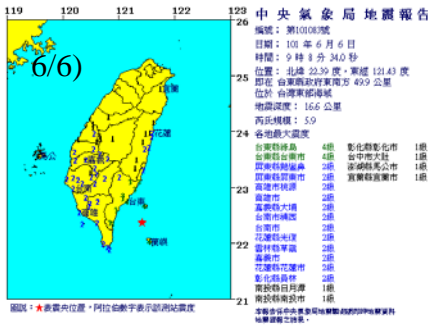
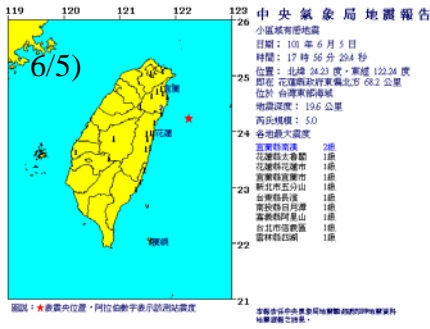


圖 6-32：嘉義地區 2012 年 6 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。





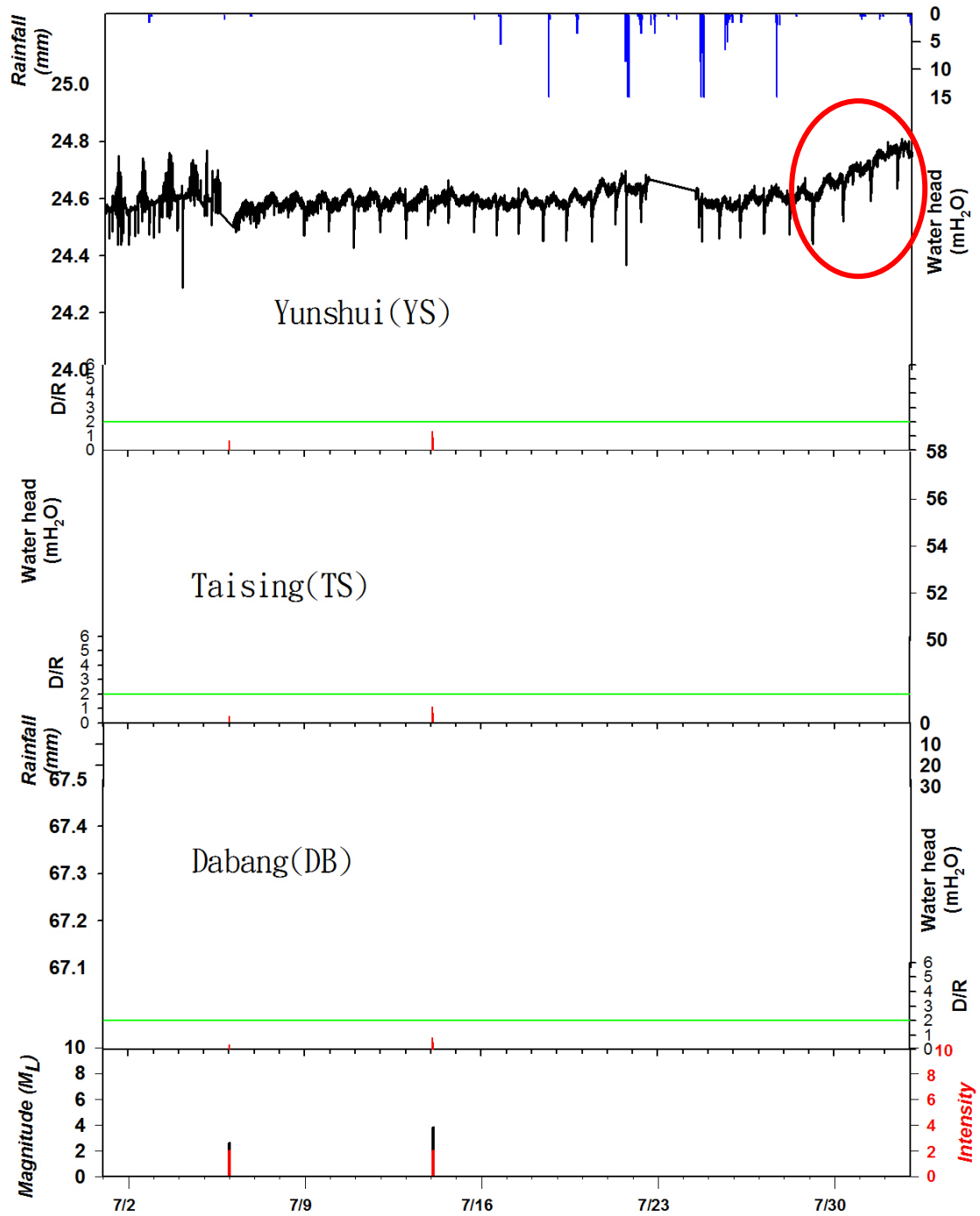


圖 6-33：嘉義地區 2012 年 7 月云水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

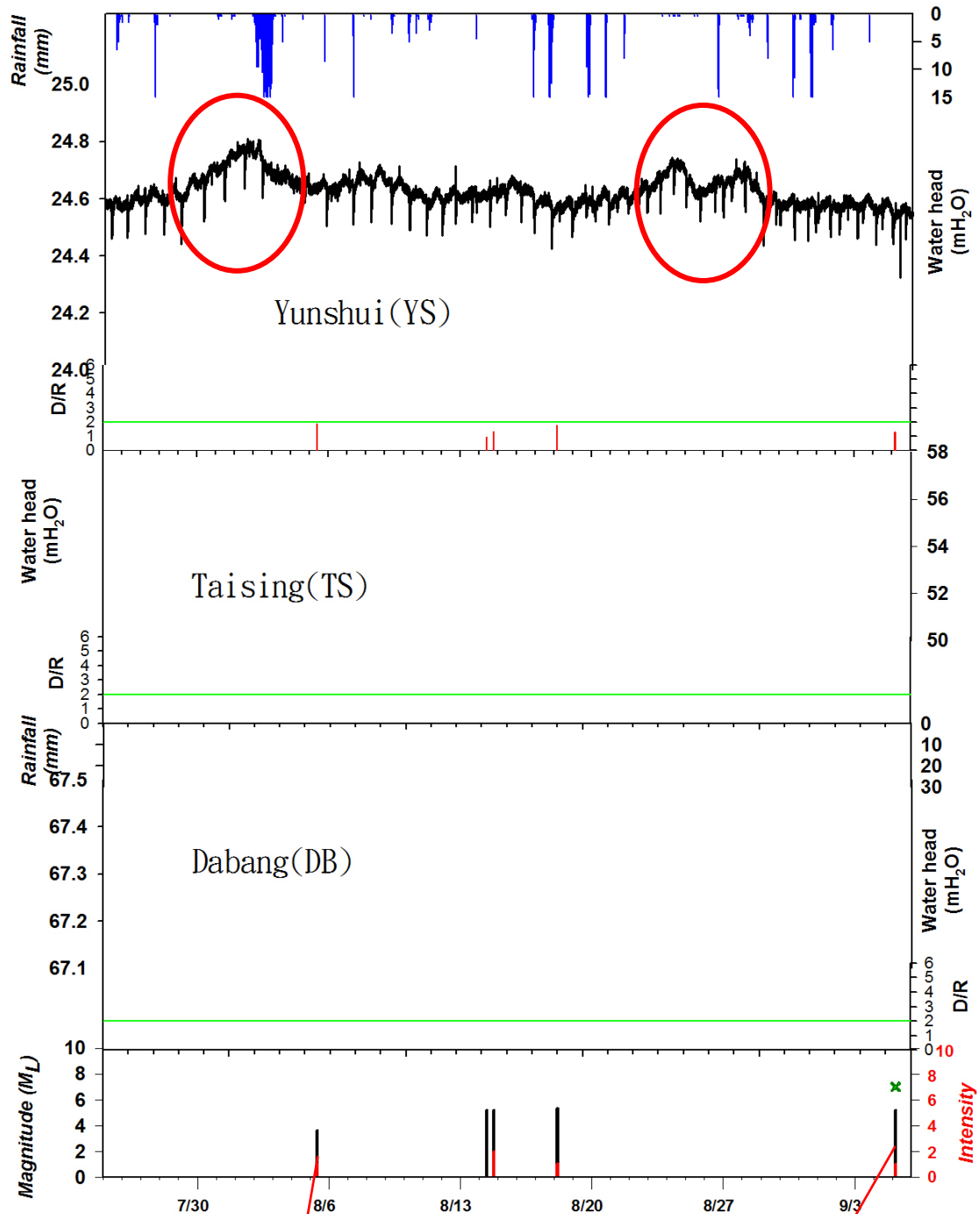
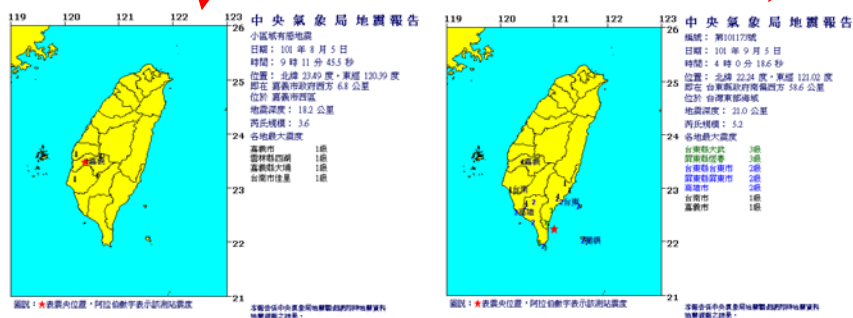


圖 6-34：嘉義地區 2012 年 7 月 25 日至 9 月 5 日，沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。7 月 30 日之水位異常可對應 8 月 5 日之地震，8 月 24 日之水位異常可對應 9 月 5 日之地震。



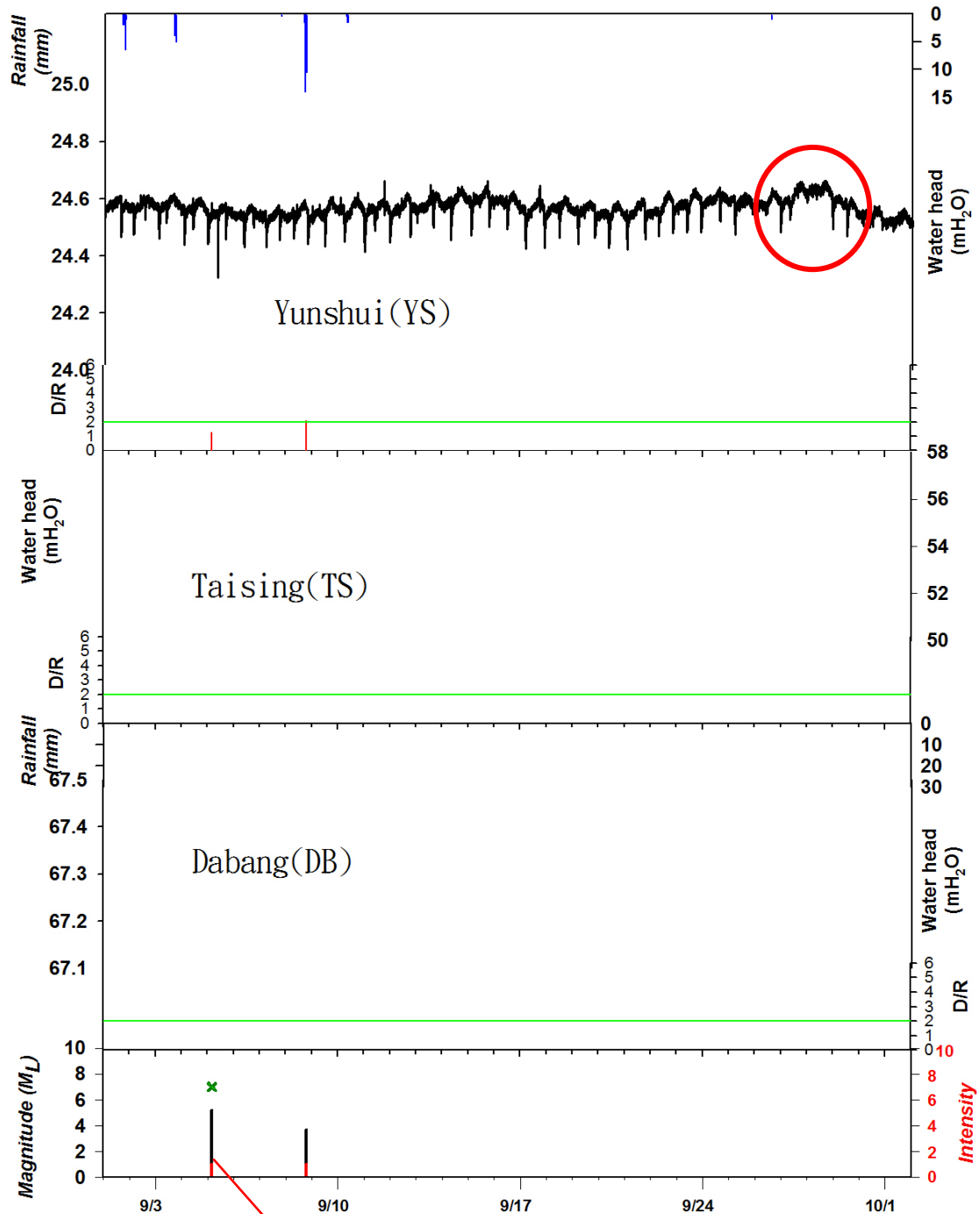
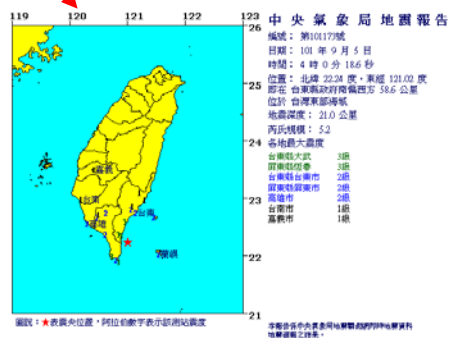


圖 6-35：嘉義地區 2012 年 9 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



中央氣象局地震報告
 編號：第10117號
 日期：101年9月5日
 時間：4時0分18.6秒
 位置：北緯 23.24 度，東經 121.03 度
 距正 中央氣象局標準震元 59.6 公里
 位於 台灣東部海域
 地震深度：21.0 公里
 芮氏規模：5.2
 各地最大震度
 宜蘭縣宜蘭 3級
 苗栗縣苗栗 3級
 台東縣台東市 2級
 屏東縣屏東市 2級
 高雄市 2級
 台南市 1級
 嘉義市 1級

圖說：★ 震源位置，× 紅十字表示觀測站位置
 本報告內容與震度均以觀測站即時地震資料
 地震震動之結果。

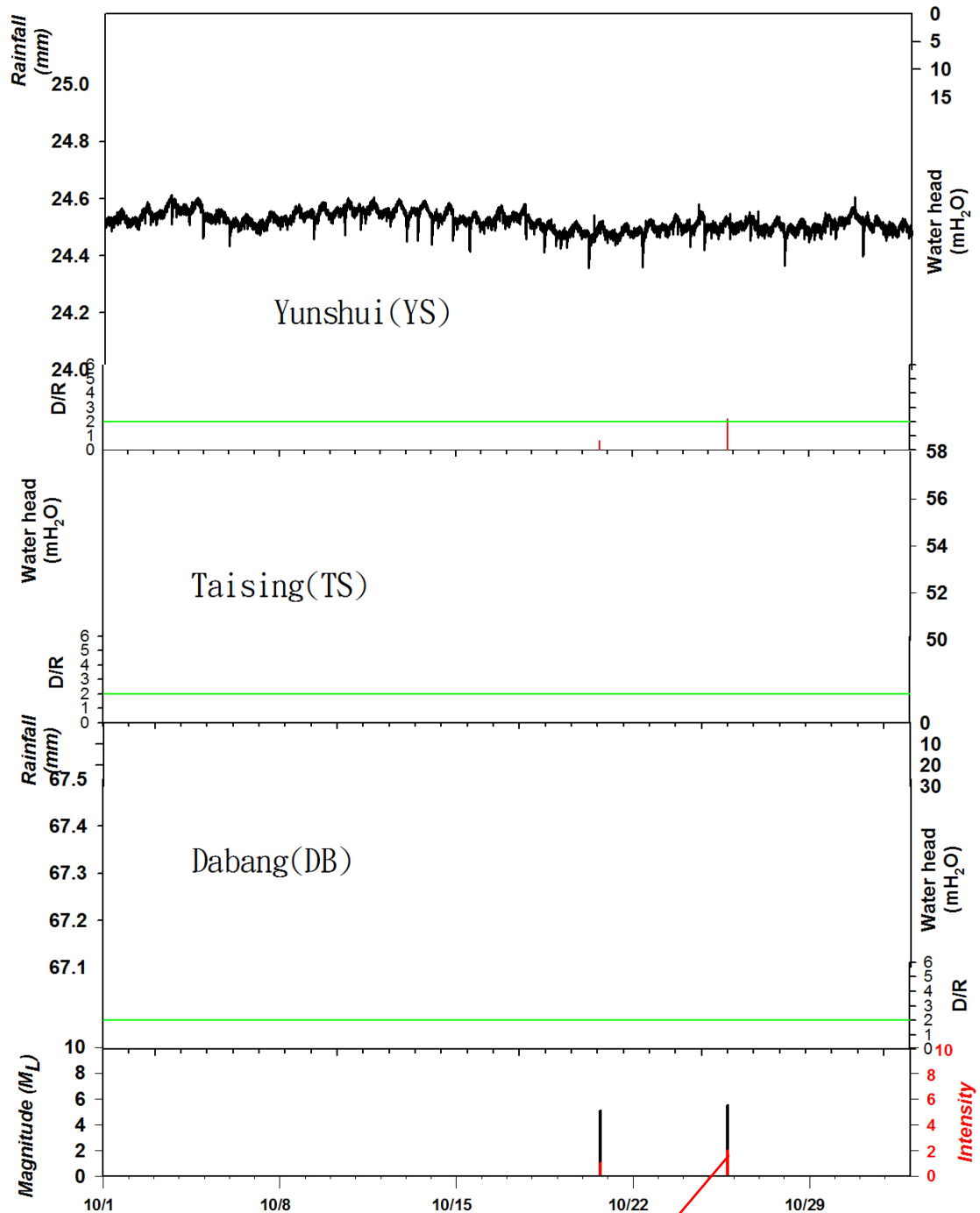
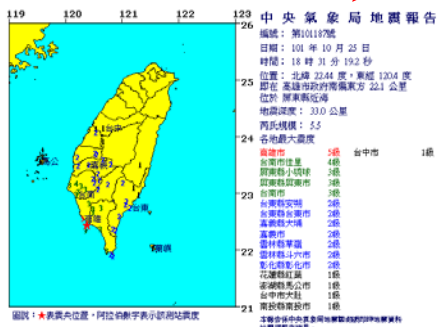


圖 6-36：嘉義地區 2012 年 10 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



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台灣東部安通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 11 月至 2012 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 11 月至 2012 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水氡濃度並未受到影響。本年度觀測數據顯示安通站地下水水氡監測井水氡背景濃度平均值為 97 ± 8 pCi/L。

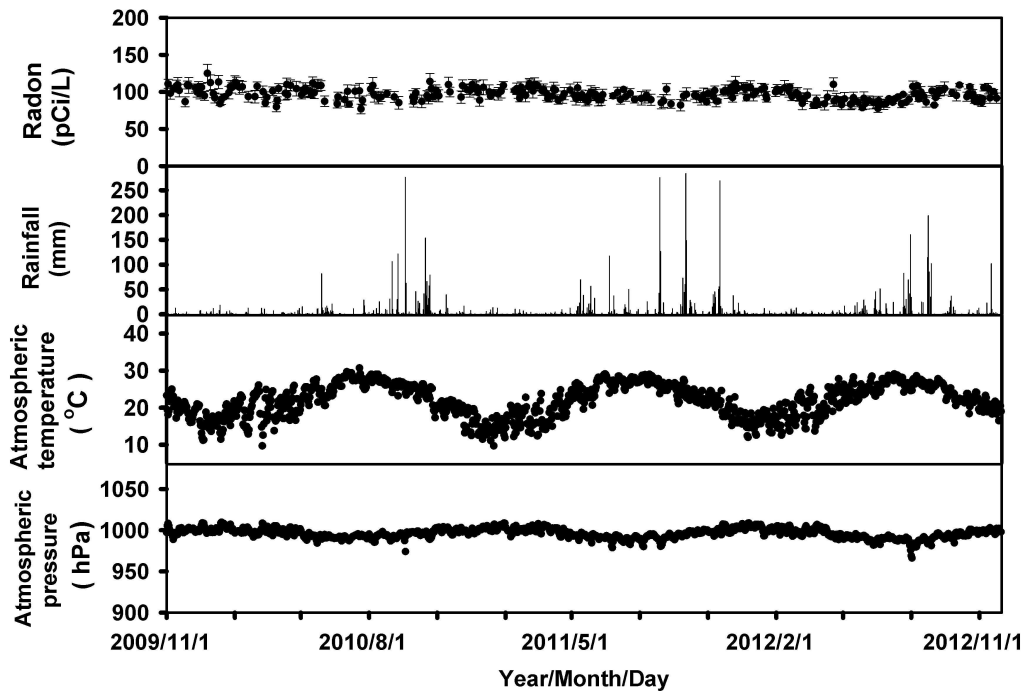


圖 7-1：安通站地下水水氡濃度變化與環境因子關係圖（環境因子紀錄資料來源：中央氣象局）。

四分位數(Quartile)是統計學中的一種分析方法，將所有數值由小到大排列並分成四等份，四個等分點上的數值，由小到大依次為：

第一四分位數(lower quartile, Q1)：

等於該樣本中所有數值由小到大排列後第 25 %的數字，約有四分之一的資料小於它，四分之三的資料大於它。

第二四分位數(median, Q2)：

等於該樣本中所有數值由小到大排列後第 50 %的數字，約有一半的資料小於它，另一半則大於它。

第三四分位數(upper quartile, Q3)：

等於該樣本中所有數值由小到大排列後第 75 %的數字，約有四分之三的資料小於它，四分之一的資料大於它。

其中，Q3 與 Q1 的差距又稱四分位距 (InterQuartile Range, IQR) 從 Q3 及 Q1 分別往外延伸 1.5 倍的 IQR，決定異常值之邊界。

圖 7-2 為利用四分位數統計分析安通站 2009 年 11 月至 2010 年 11 月、2010 年 12 月至 2011 年 11 月、2011 年 12 月至 2012 年 11 月及 2009 年 11 月至 2012 年 11 月地下水水氣濃度之結果。依統計分析結果，安通站地下水水氣濃度皆無超出異常值邊界，趨勢穩定，並無異常下降之地震前兆。

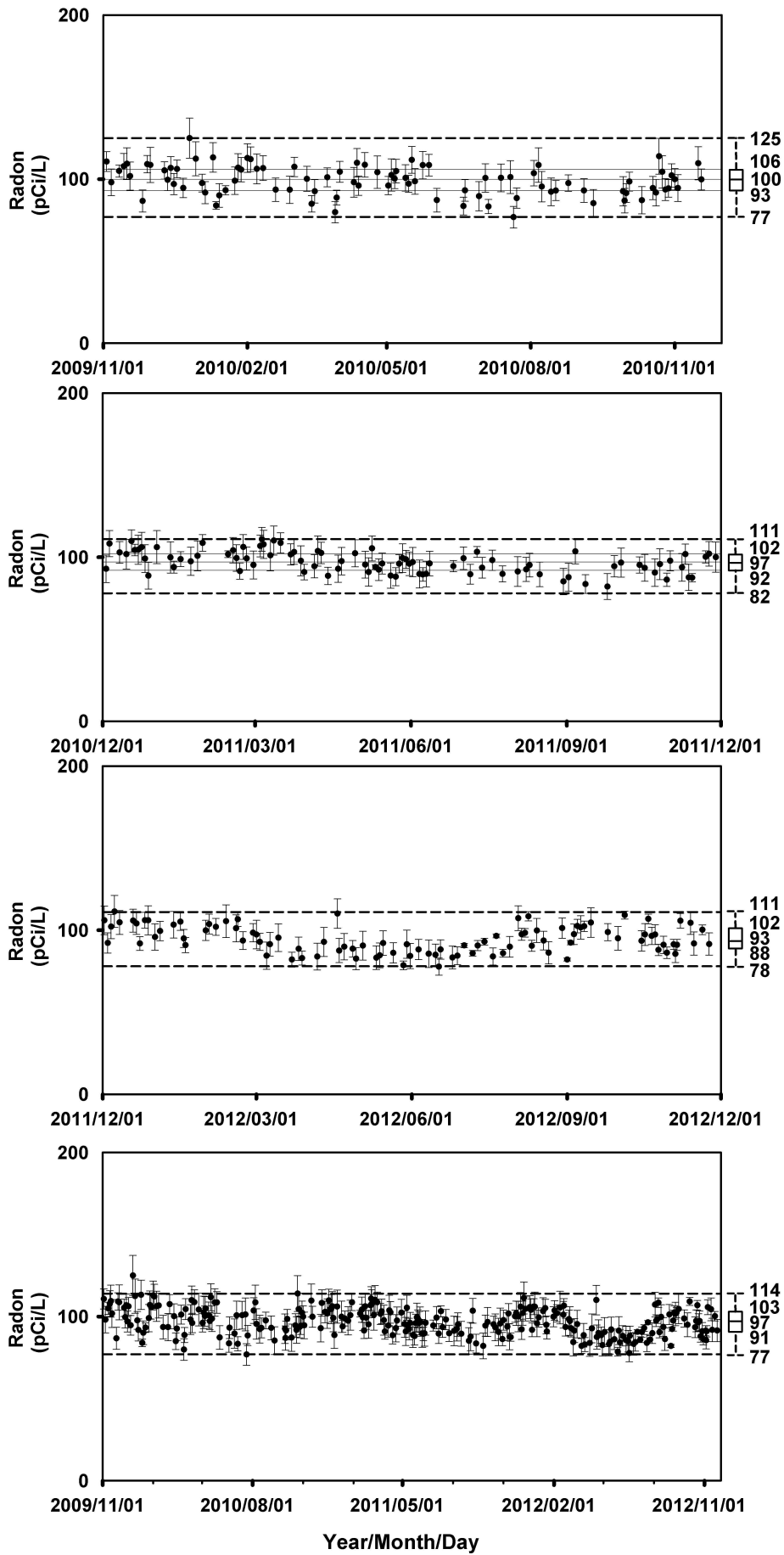


圖 7-2：利用四分位數統計分析安通站地下水水氡濃度。

7.2 安通站地下水溶解氣體（甲烷、氮氣）監測

圖 7-3 及圖 7-4 為 2009 年 11 月至 2012 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濃度穩定，地下水甲烷濃度平均值為 11.3 ± 1.4 mg/L，地下水氮氣濃度平均值為 21.9 ± 3.3 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。

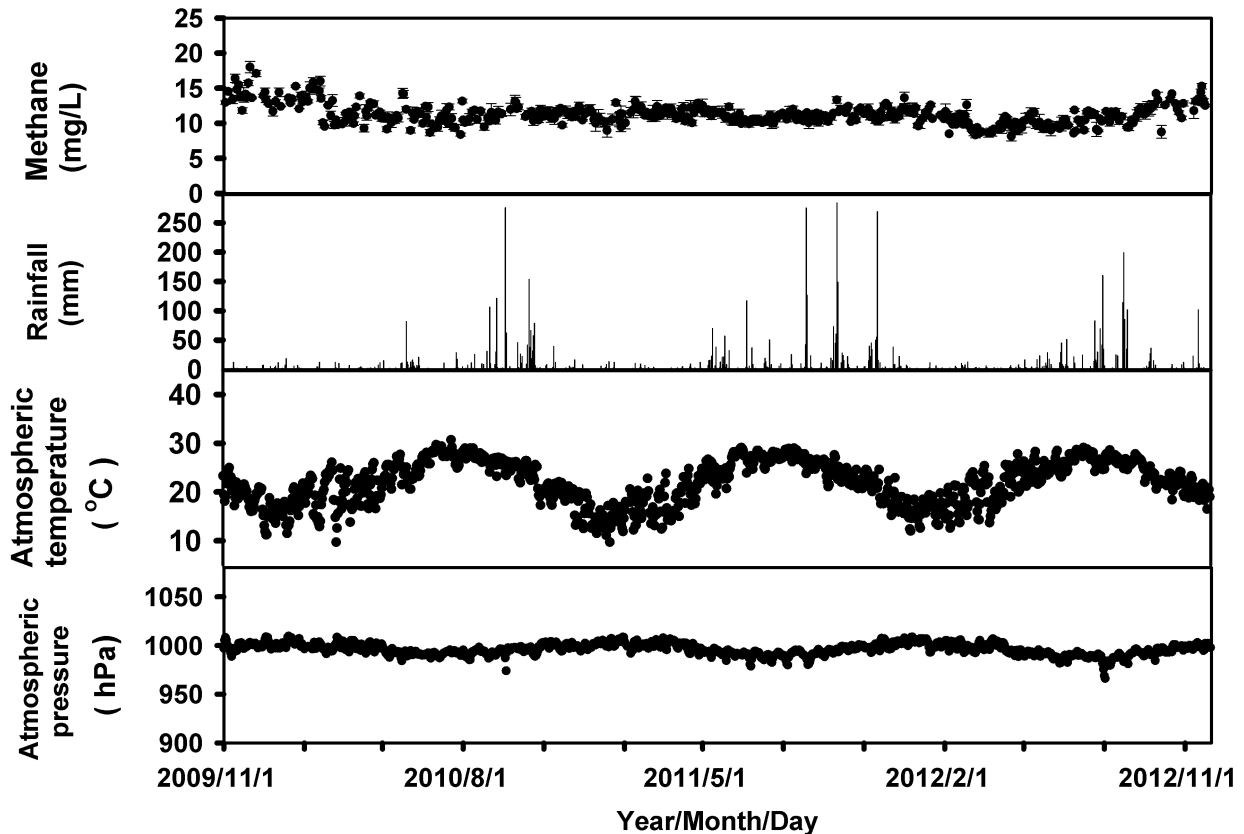


圖 7-3：安通站地下水溶解氣體甲烷濃度監測結果與環境因子關係圖（環境因子紀錄資料來源：中央氣象局）。

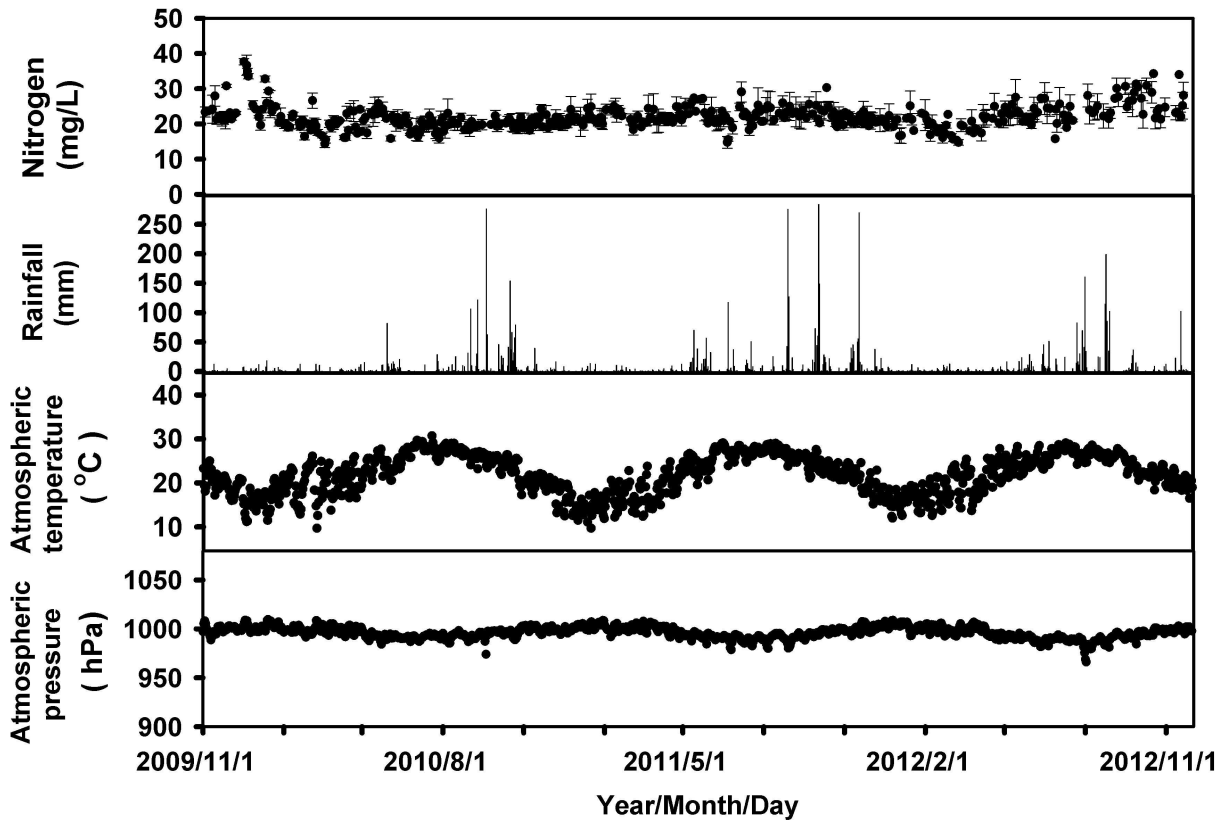


圖 7-4：安通站地下水溶解氣體氮氣濃度監測結果與環境因子關係圖（環境因子紀錄資料來源：中央氣象局）。

7.3 安通溫泉區地下水水位監測

安通站地下水水質監測井為自流井，因此選擇吉祥站監測安通溫泉區地下水水位，每個月固定收取一次數據，圖 7-5 為吉祥站 2009 年 1 月至 2012 年 6 月底每日最高地下水水位與各項環境因子之關係圖。2012 年 6 月 28 日發現儀器損壞，但因纜線卡於井內，無法將儀器取出更換及維修，目前正與業者協調溝通拉井之作業與時間。每年 2 月至 3 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，造成地下水水位偏低。隨著當地業者抽水量之減少，地下水水位逐漸回升。整體而言，地下水水位變化介於井下 0 至 61.25 米之間。

導水係數及儲水係數為以吉祥站 B 井作為地下水水位觀測井，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 7-6 和圖 7-7 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，結果顯示儲水係數會隨著豐枯水季有季節性之變化。導水係數平均值為 $0.042 \pm 0.007 \text{ m}^2/\text{min}$ ；儲水係數平均值為 0.000027 ± 0.000012 。

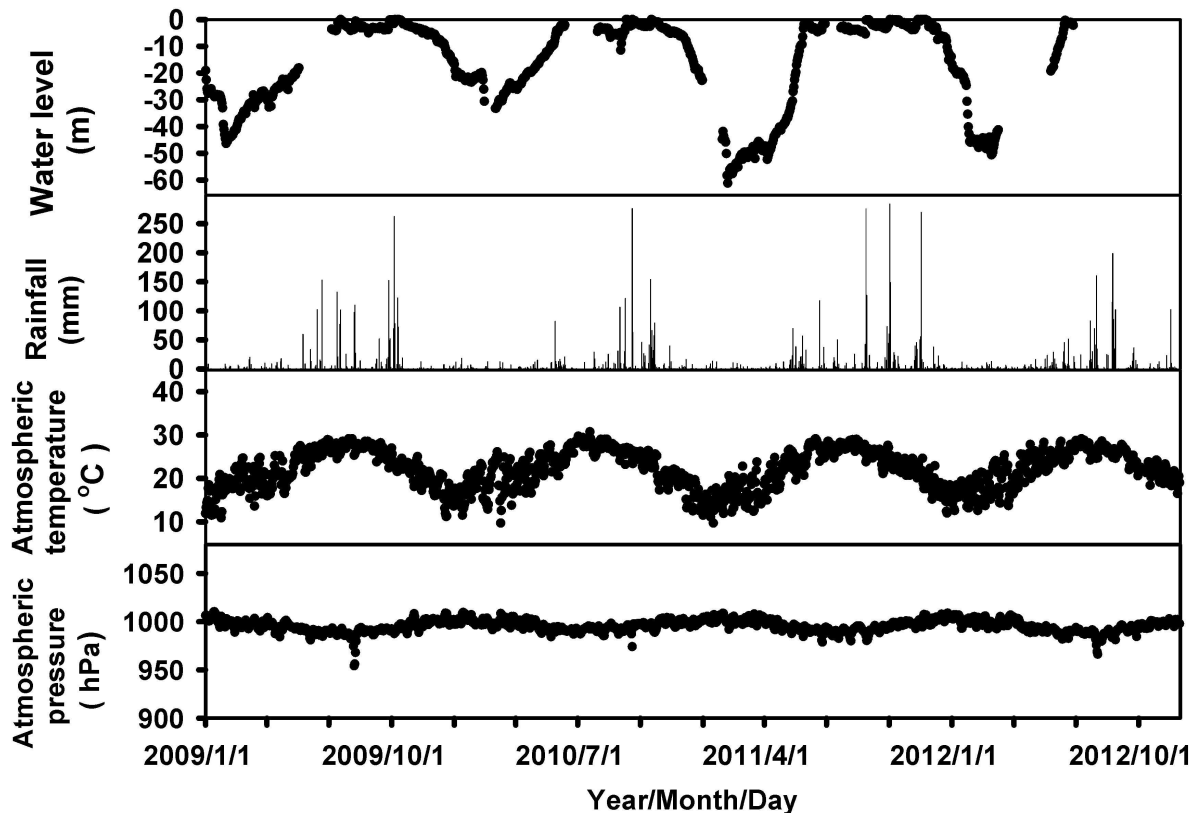


圖 7-5：吉祥站每日最高地下水水位與環境因子關係圖（環境因子紀錄資料來源：中央氣象局）。

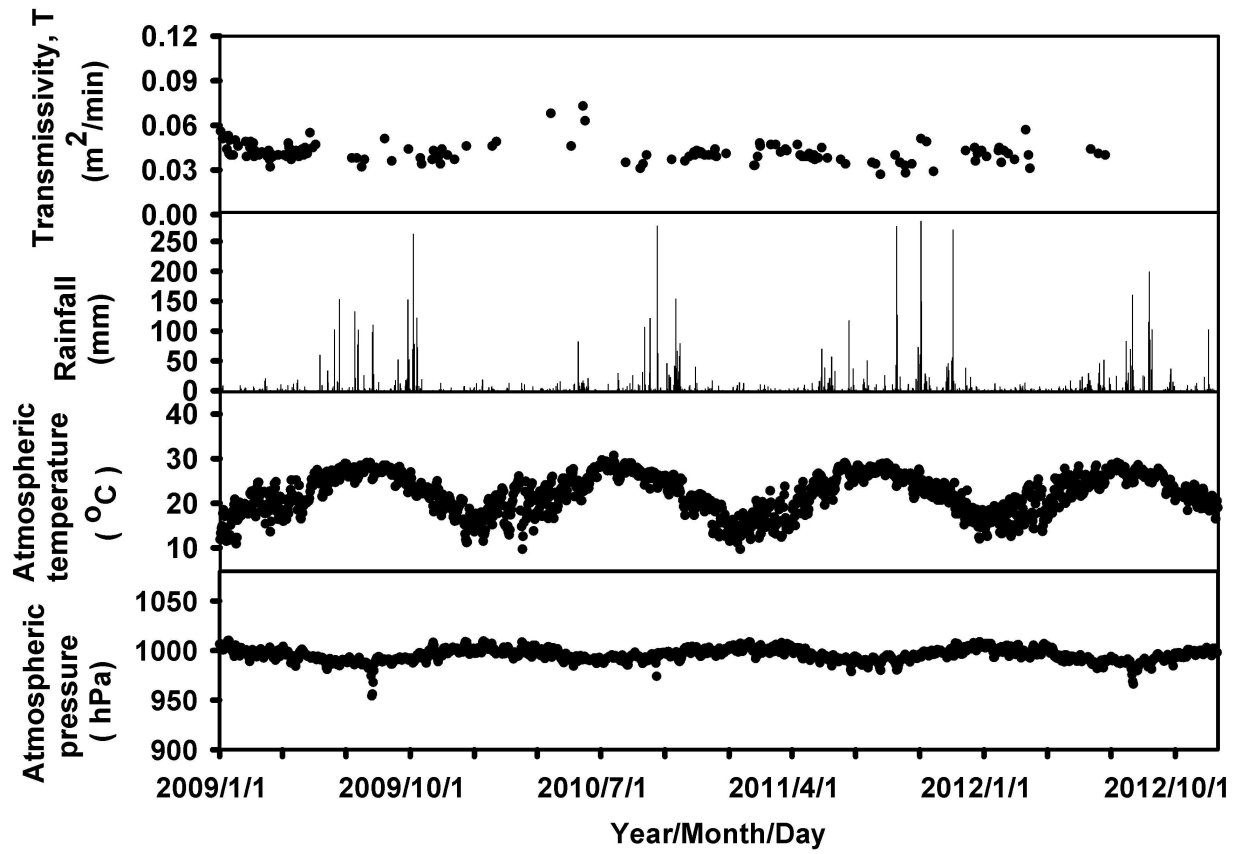


圖 7-6：吉祥站鄰近含水層導水係數與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

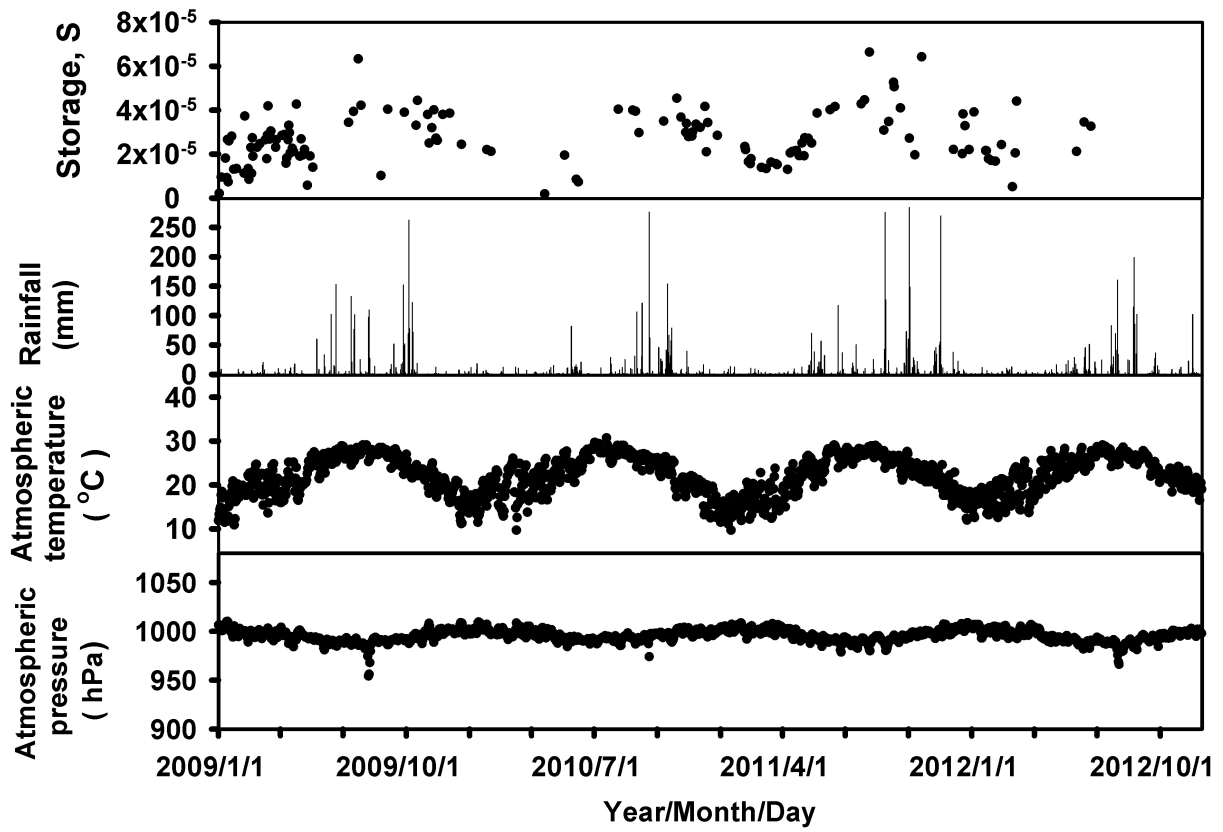


圖 7-7：吉祥站鄰近含水層儲水係數與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

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水氬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 7-8 為安通站地下水水氬監測井 2009 年 10 月至 2012 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 $63.17 \pm 0.17^\circ\text{C}$ 。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。

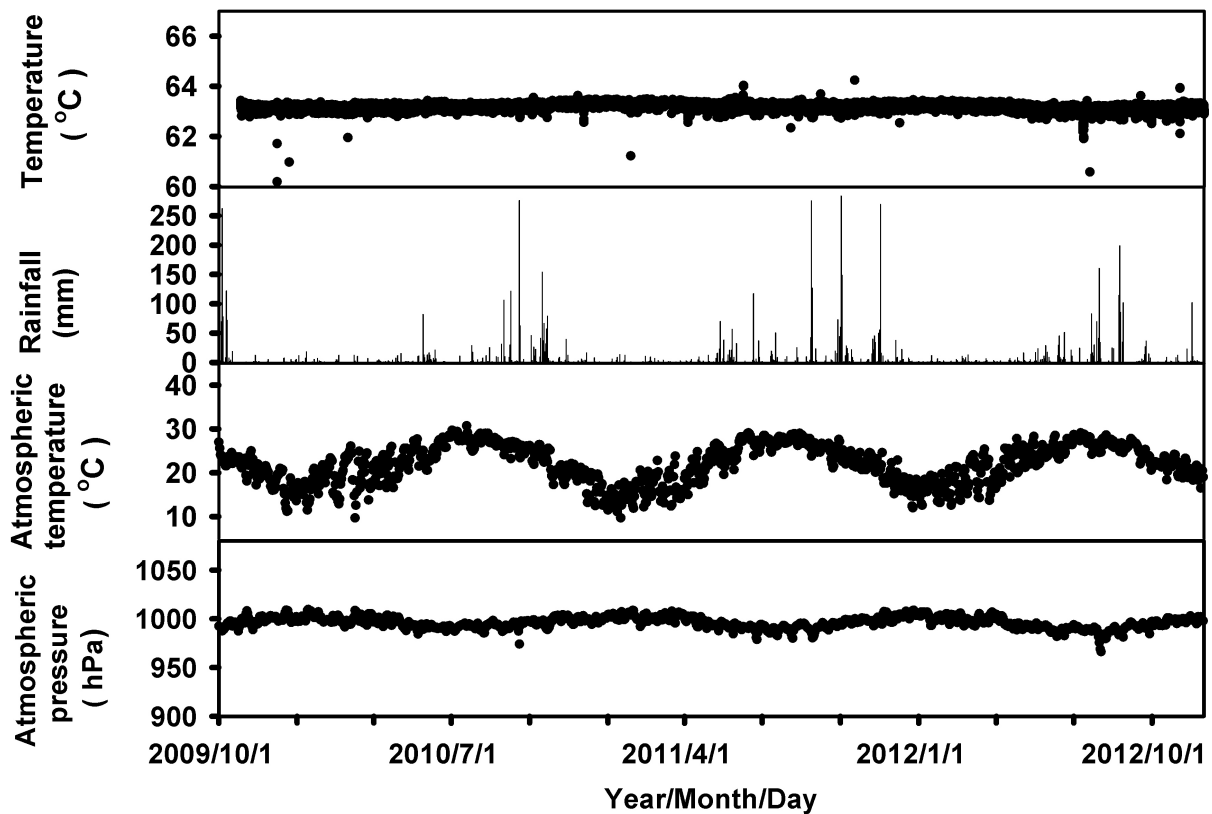


圖 7-8：安通溫泉飯店地下水水氬監測井井頭地下水溫度監測紀錄與環境因子關係圖（環境因子紀錄資料來源：中央氣象局）。

7.5 恆春半島墾丁公園社頂監測站地下水水氡濃度監測

墾丁公園社頂區域自 2009 年 9 月開始進行地下水水氡濃度監測，墾丁公園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 7-9 為 2009 年 9 月至 2012 年 11 月之墾丁公園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。從 3 年的觀測資料中，證實地下水水氡濃度變化與豐水季及枯水季有關聯，為一週期性行為。

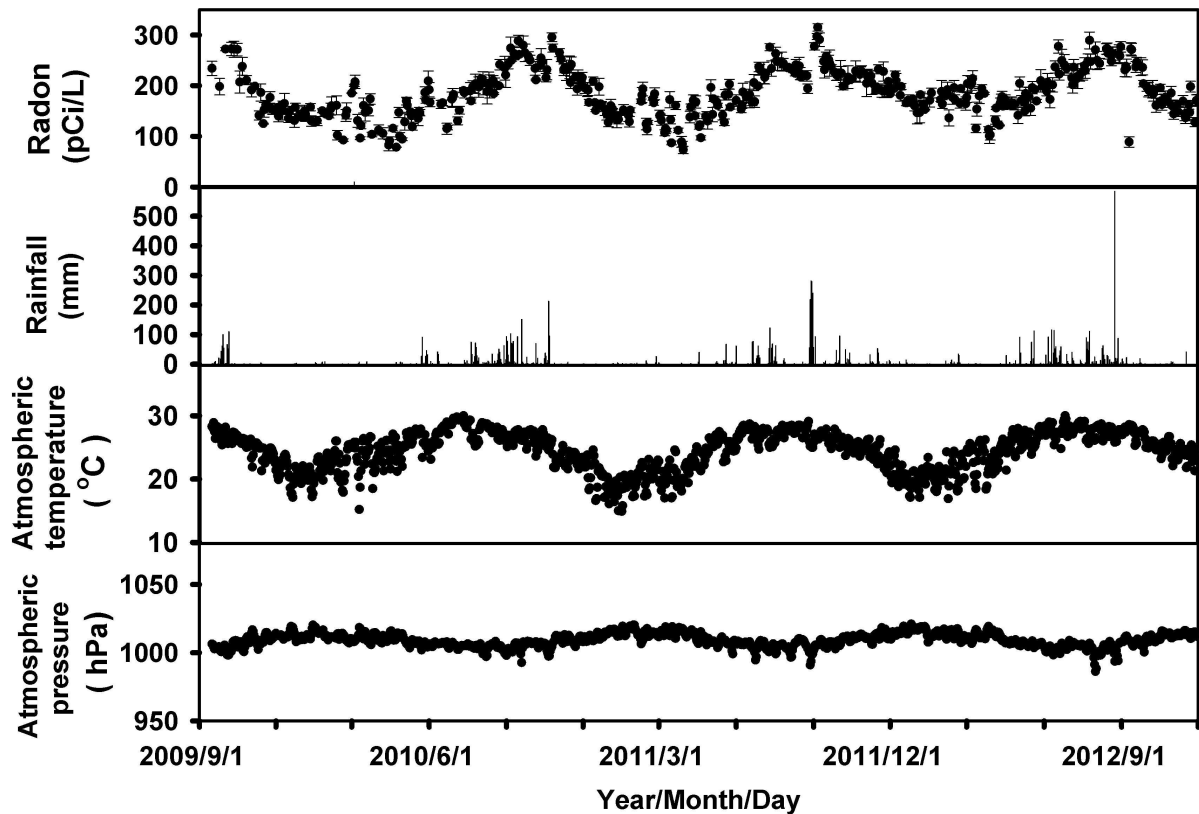


圖 7-9：社頂站地下水水氡濃度變化與環境因子關係圖（環境因子紀錄資料來源：中央氣象局）。

圖 7-10 為 2009 年 9 月至 2012 年 11 月之墾丁公園社頂監測站地下水水氡濃度監測數據，圖中虛線為監測到地下水水氡濃度異常下降前兆之地震。3 次地震資料如圖 7-11 所示。

在墾丁及安通破裂含水層的地質條件下，假設在地震前岩體處於擴張狀態，岩體膨脹而產生破碎微裂隙或孔隙，微裂隙發展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)，水相的氡釋放至氣相，導致地下水水氡濃度下降。以上述理論為基礎，可利用三階段圖判斷地下水水氡異常下降之地震前兆。

第一階段：地下水水氡濃度平穩，地殼應變以及區域應力緩慢平穩的累積及增加。

第二階段：當區域應力超過岩石強度，脆性岩體膨脹破碎，當產生微裂隙的速度快於地下流體補注至新產生的岩體微裂隙的速度時，岩體微裂隙中會產生氣體飽和度，氣液兩相形成，地下水水氡揮發逸散至氣相中，因此地下水水氡濃度下降。

第三階段：開始於地下水水氡濃度最低值，裂隙中水相飽和度開始再次上升，地下水水氡濃度增加，在主震前逐漸回復到先前的背景值。

圖 7-12 為 2010 年 3 月 4 日 $M_L = 6.4$ 高雄甲仙地震、2012 年 2 月 26 日 $M_L = 6.4$ 屏東霧台地震及 2012 年 10 月 25 日 $M_L = 5.5$ 高雄地震前之水氡異常下降三階段圖。第一階段水氡濃度分別穩定維持在 143.8 ± 10.6 、 170.2 ± 13.8 及 252.2 ± 18.4 pCi/L，第二階段水氡濃度分別在 2010 年 2 月 19 日、2012 年 2 月 9 日及 2012 年 9 月 10 日下降至最低點 92.4 ± 2.5 、 136.3 ± 16.0 及 88.9 ± 10.3 pCi/L，第三階段水氡濃度在地震前回到穩定濃度。此結果顯示，墾丁公園社頂監測站及安通溫泉之地質條件（延展性地層包圍脆性地層）確實可觀測到地下水水氡濃度異常下降之地震前兆，為適合連續監測之地點。

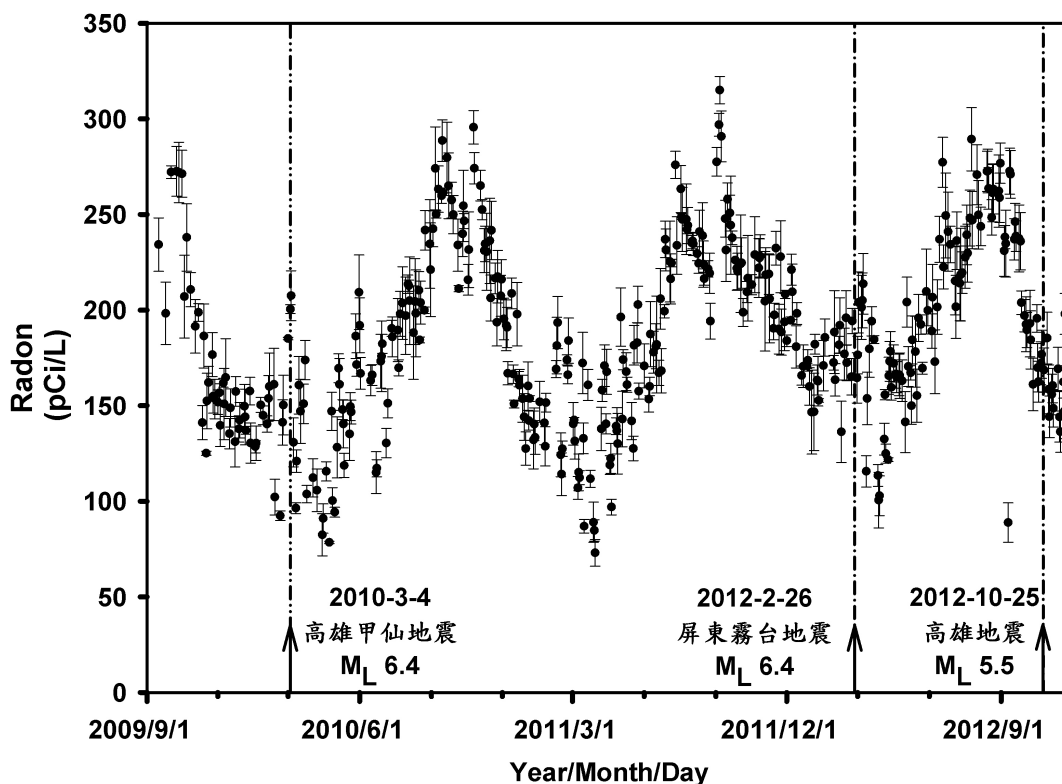


圖 7-10：社頂站地下水水氡濃度變化，及監測到地下水水氡濃度異常下降前兆之地震。

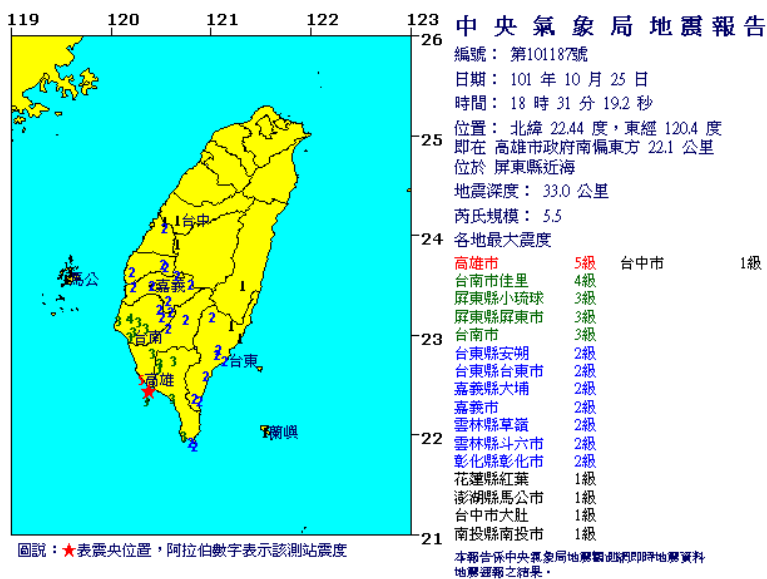
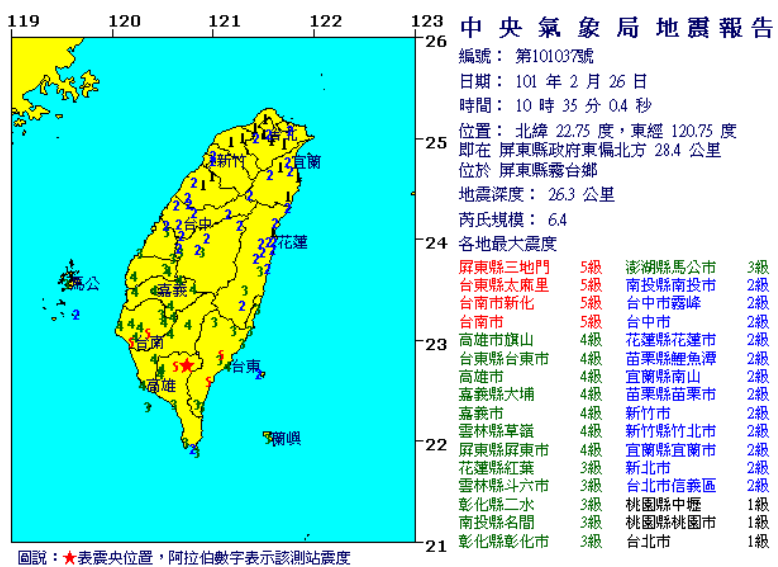
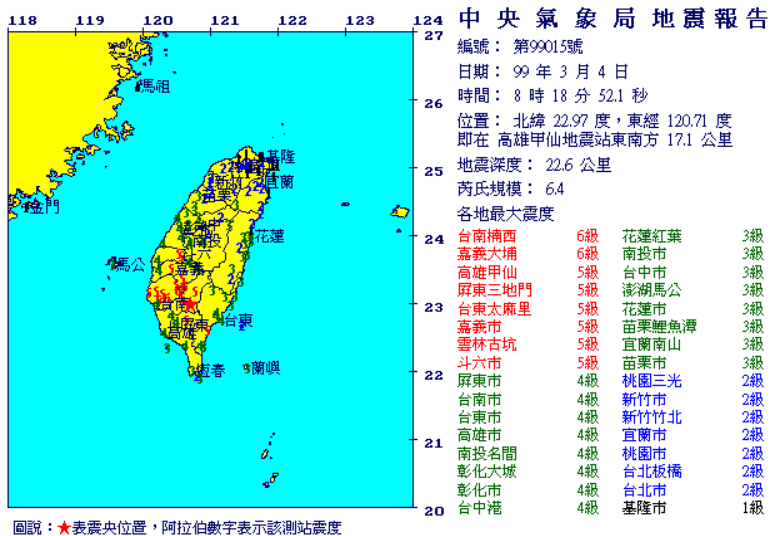


圖 7-11：2010年3月4日 $M_L = 6.4$ 高雄甲仙地震、2012年2月26日 $M_L = 6.4$ 的屏東霧台地震及2012年10月25日 $M_L = 5.5$ 的高雄地震資料(資料來源：中央氣象局)。

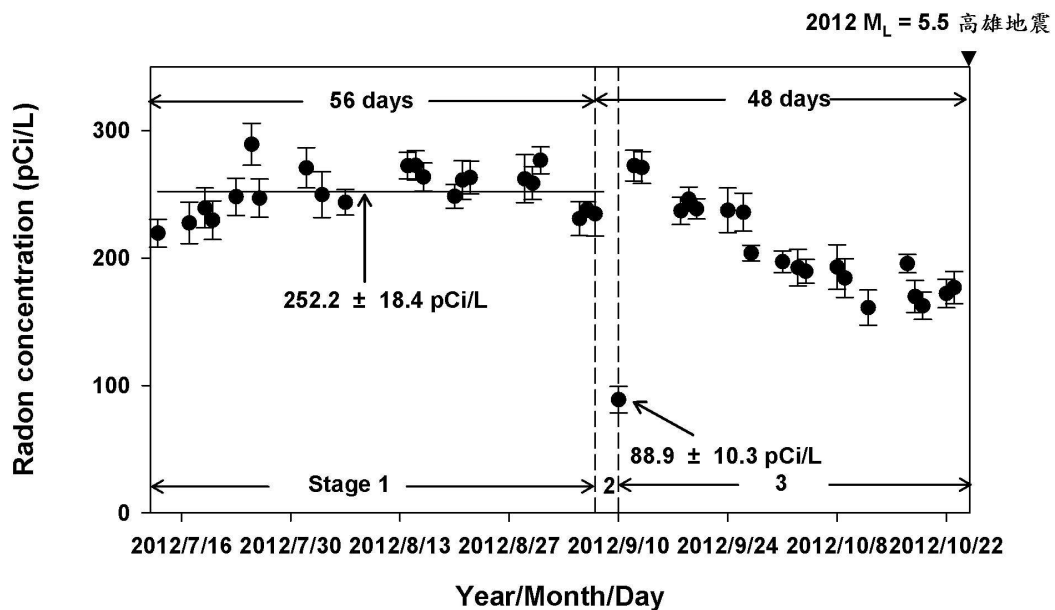
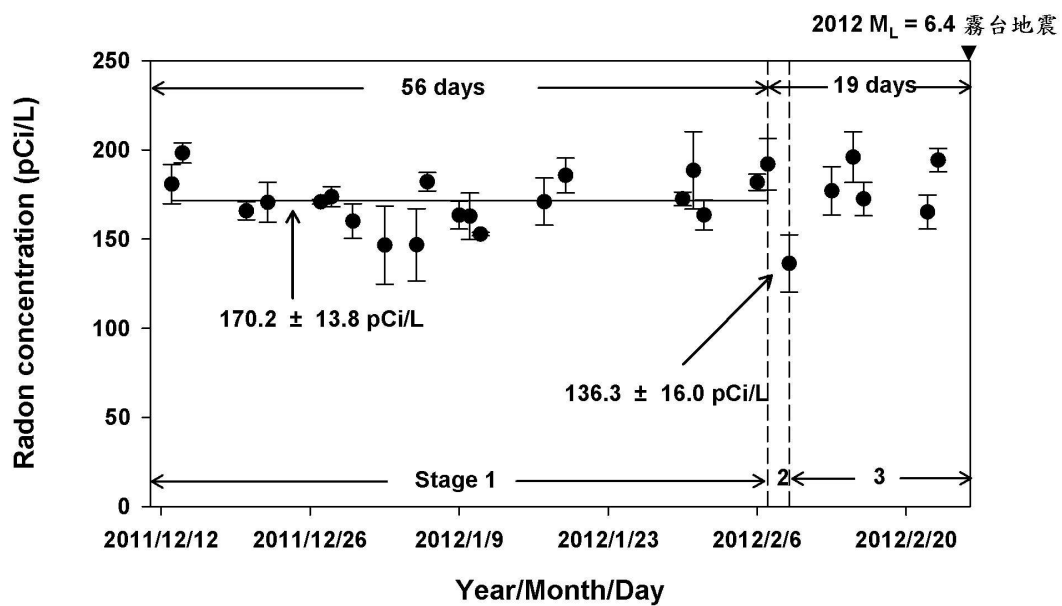
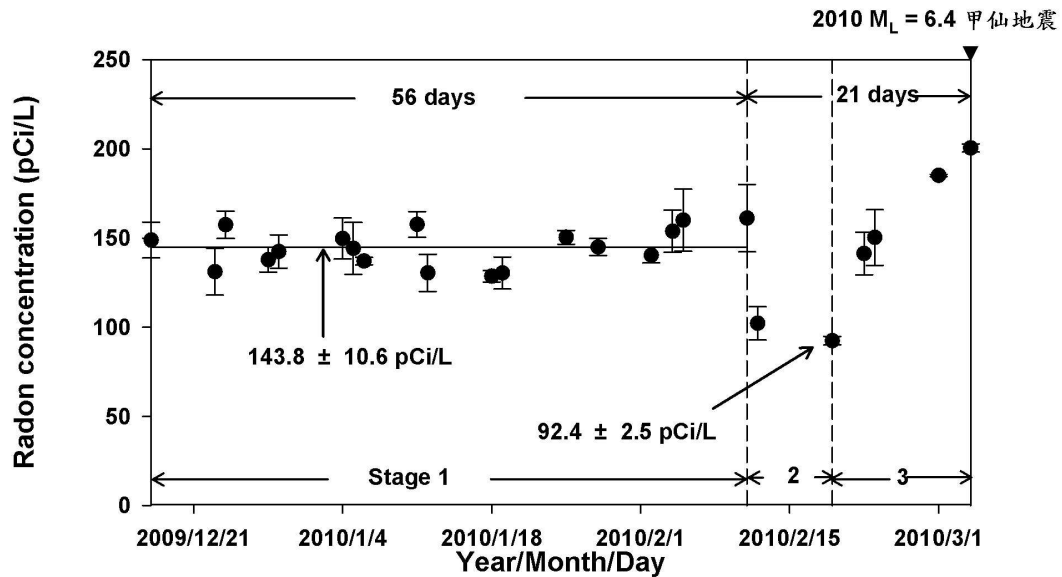


圖 7-12：墾丁公園社頂水氡監測站在 2010 甲仙、2012 霧台地震及 2012 高雄地震前水氡異常下降之三階段圖。階段 1 彈性應變，階段 2 裂隙發展，階段 3 地下水流入。

7.6 恆春半島墾丁公園社頂監測站地下水溶解氣體（二氧化碳）監測

墾丁公園社頂區域自 2009 年 12 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 7-13 為 2009 年 12 月至 2012 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，從接近 3 年的觀測資料中，證實地下水二氧化碳濃度變化與豐水季及枯水季有關聯，為一週期性行為。

在 2010 年 3 月 4 日 $M_L = 6.4$ 高雄甲仙地震、2012 年 2 月 26 日 $M_L = 6.4$ 屏東霧台地震及 2012 年 10 月 25 日 $M_L = 5.5$ 高雄地震前，墾丁公園社頂監測站地下水二氧化碳濃度分別於 2010 年 2 月 19 日、2012 年 2 月 9 日及 2012 年 9 月 10 日降至最低點，有監測到地下水二氧化碳濃度異常下降之地震前兆。比較地下水水氫及二氧化碳的濃度（圖 7-10 及圖 7-14）可發現兩者濃度在 2010 年 3 月 4 日 $M_L = 6.4$ 高雄甲仙地震、2012 年 2 月 26 日 $M_L = 6.4$ 屏東霧台地震及 2012 年 10 月 25 日 $M_L = 5.5$ 高雄地震前，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氫逸散機制（Kuo *et al.*, 2006a; 2006b; 2009; 2010a; 2010b; 2010c; 2011）。

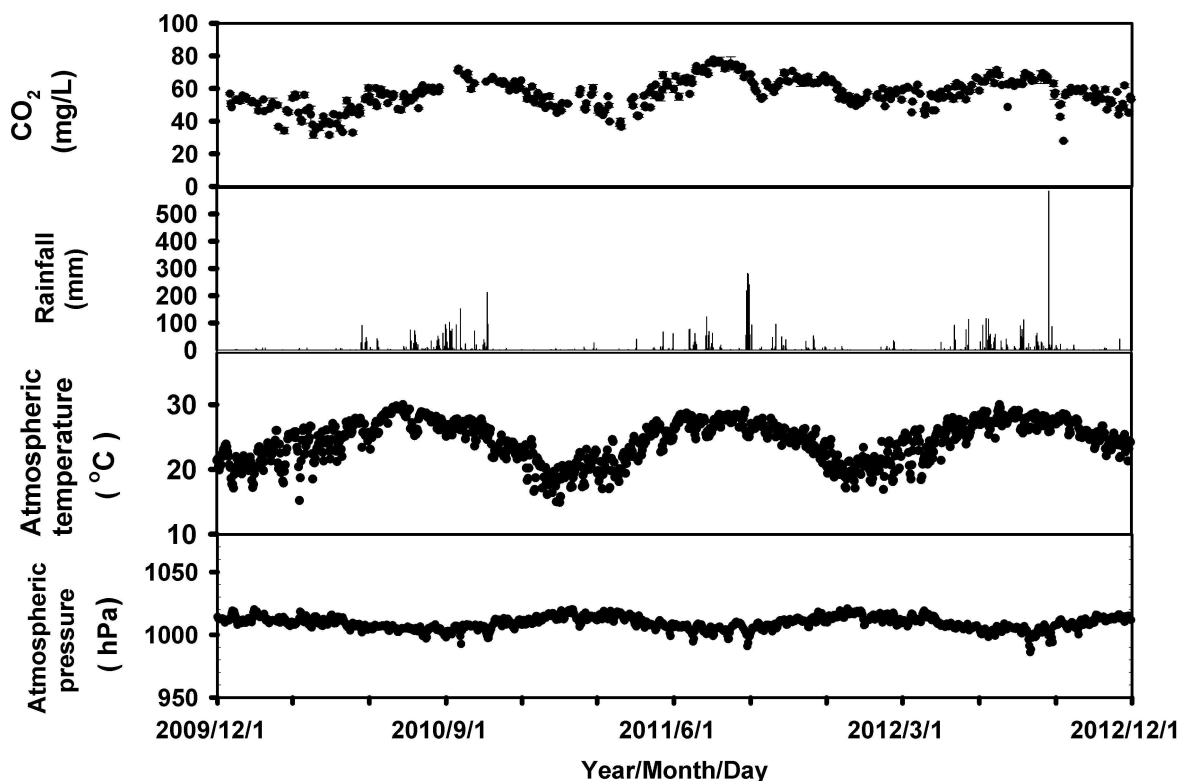


圖 7-13：社頂站地下水溶解氣體二氧化碳濃度監測結果與環境因子關係圖（環境因子紀錄資料來源：中央氣象局）。

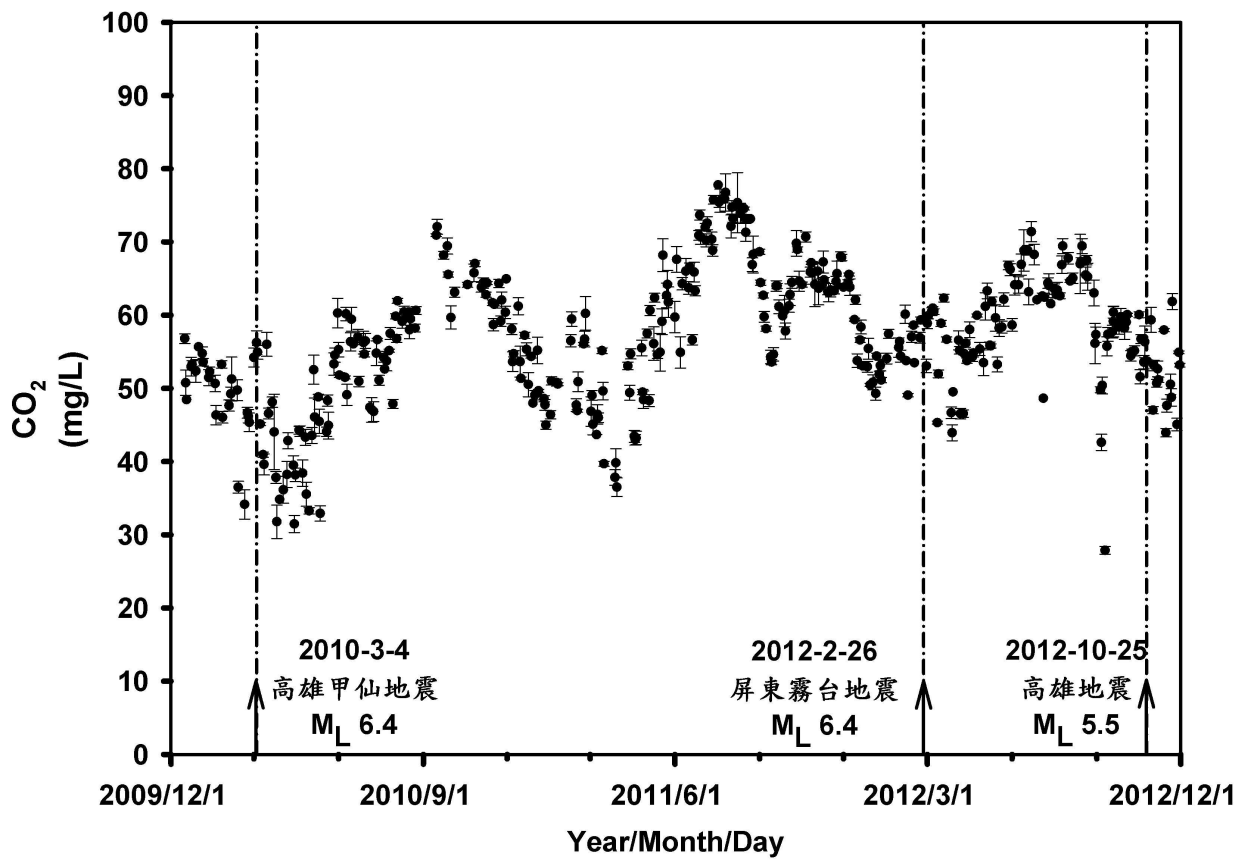


圖 7-14：社頂站地下水二氧化碳濃度變化，及監測到二氧化碳濃度異常下降前兆之地震。

7.7 建置地下水水氣即時連續監測站（安通站）

圖 7-15 至 7-19 為安通站地下水水氣連續監測系統的示意圖及照片，包含連續監測系統示意圖、500 米自流井、監測站外觀、井水溫度記錄器、氣水分離器、氣體冷凝裝置、SARAD、防潮箱等設備。由於安通 500 米自流井地下水溫度過高，常導致原廠氣水分離器發生龜裂，影響監測品質，已用可耐高溫之 PVC 材料解決此問題。

圖 7-20 為 2011 年 9 月至 2012 年 11 月初期間，安通站以 SARAD 連續監測氣相氬濃度獲得之數據。SARAD 所量測到的氣相氬濃度使用 Fritz Weigel 方程式 (Weigel, 1978) 及分離器係數計算地下水水氣濃度。計算方程式如下：

$$\frac{C_w}{AC_g} = \alpha = 0.105 + 0.405e^{-0.0502T}$$

其中此處 C_w 為地下水水氣濃度，pCi/L； C_g 為 SARAD 量測之氣相氬濃度，pCi/L； α 為分配係數，無因次； T 為平衡溫度， $^{\circ}\text{C}$ ； A 為分離器係數 (5.6 ± 1.0)，無因次。圖 7-21 比較安通站 SARAD 量測之氣相氬濃度及實驗室液態閃爍計數儀 (LSC) 量測之地下水水氣濃度，結果顯示 SARAD 量測相當穩定。

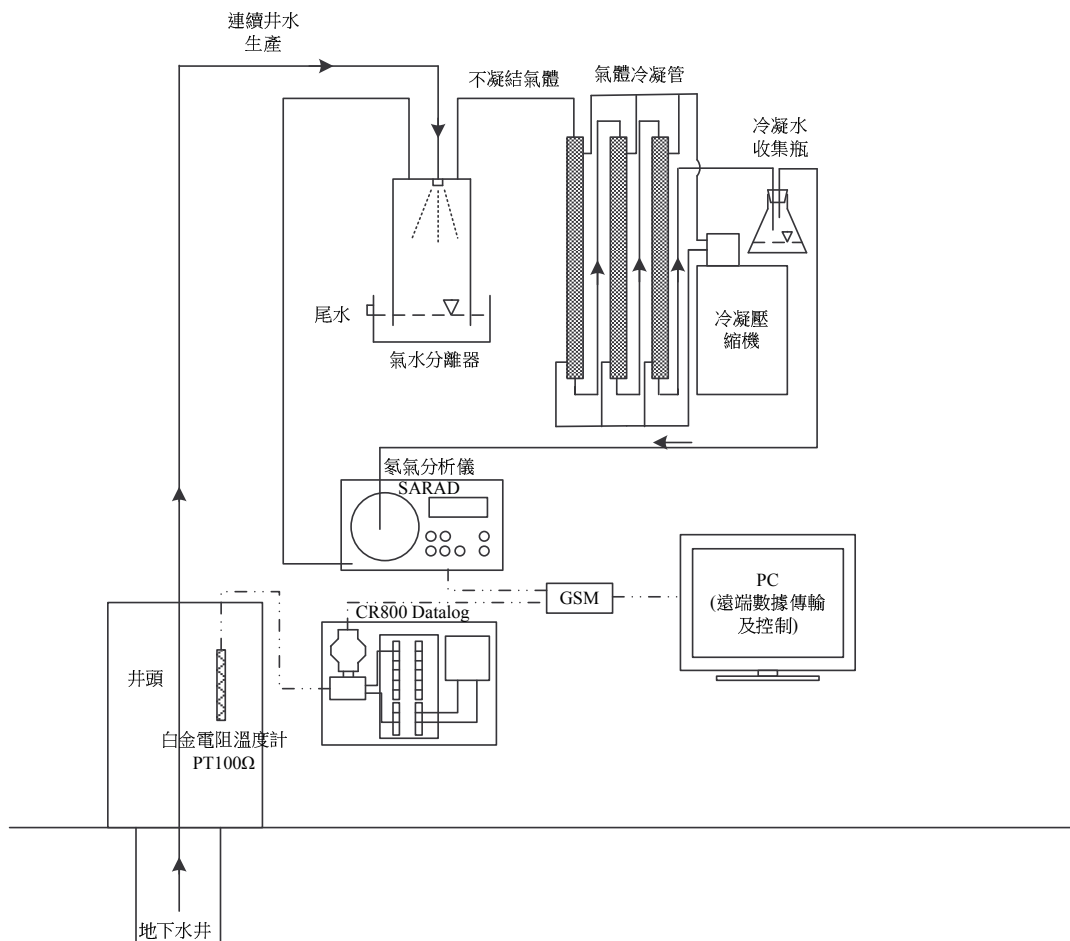


圖 7-15：安通站地下水水氣連續監測系統示意圖。



圖 7-16：安通站 500 米自流井及監測站外觀。



圖 7-17：安通站 500 米自流井（樣本採樣口與 PT100 溫度計放置處）。



圖 7-18：安通站內部配置（①：井水溫度記錄器，CR-800；②：氬氣分析儀，SARAD；③：氣體冷凝裝置）。



圖 7-19：安通站氣水分離器（RAD Aqua）。

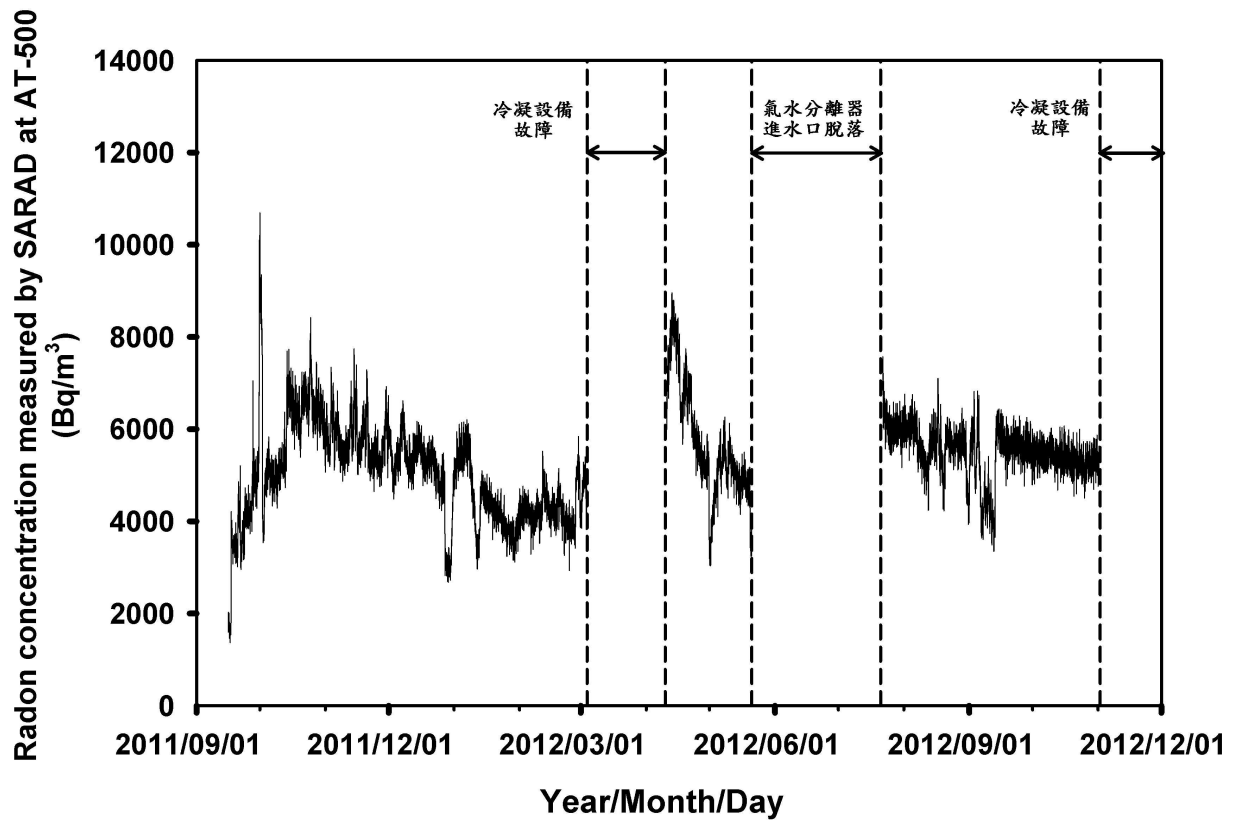


圖 7-20：安通站以 SARAD 連續監測氣相氡濃度之數據。

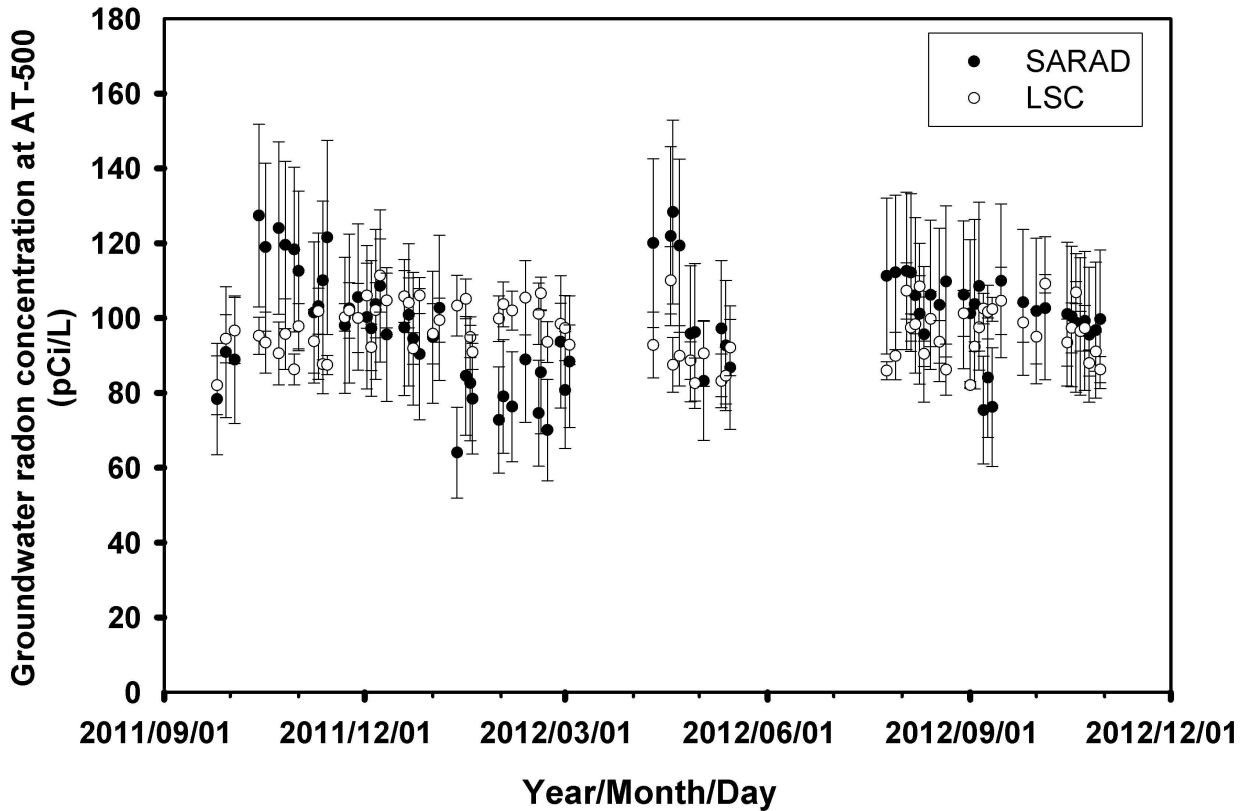


圖 7-21：安通站 SARAD 量測之氣相氡濃度及實驗室液態閃爍計數儀（LSC）量測之地下水氡濃度比較圖。

7.8 建置地下水水氣及二氧化碳即時連續監測站（社頂站）

圖 7-22 至 7-27 為墾丁公園社頂站地下水水氣及二氧化碳連續監測站的示意圖及照片，包含連續監測系統示意圖、監測站外觀、站牌、氣水分離器、氣體管線、氣體冷凝裝置、SARAD、防潮箱、放置水位紀錄儀之水井外觀及水井內部圖等。

由於墾丁公園社頂地區地下水中的碳酸鈣含量高，抽水馬達及液體管線內部容易有碳酸鈣沈澱，造成抽水馬達損壞及液體管線堵塞(見圖 7-28)，導致液體流量不穩定，影響監測結果。圖 7-29 及圖 7-30 分別為 2011 年 12 月至 2012 年 7 月及 2012 年 8 月至 2012 年 11 月社頂站以 SARAD 連續監測二氧化碳濃度之數據，兩者濃度顯示已成功抑制地下水中二氧化碳逸散，解決碳酸鈣結垢之問題。圖 7-31 及圖 7-32 分別為 2011 年 12 月至 2012 年 7 月及 2012 年 8 月至 2012 年 11 月社頂站以 SARAD 連續監測氣相氬濃度之數據，連續監測數據相當穩定，並與實驗室 LSC 結果一致。

SARAD 所量測到的氣相氬濃度可使用 Fritz Weigel 方程式 (Weigel, 1978) 及分離器係數計算地下水水氣濃度。計算方程式如下：

$$\frac{C_w}{AC_g} = \alpha = 0.105 + 0.405e^{-0.0502T}$$

其中此處 C_w 為地下水水氣濃度，pCi/L； C_g 為 SARAD 量測之氣相氬濃度，pCi/L； α 為分配係數，無因次； T 為平衡溫度， $^{\circ}\text{C}$ ； A 為分離器係數 (1.2 ± 0.2)，無因次。

圖 7-33 比較社頂站 SARAD 量測之氣相氬濃度及實驗室液態閃爍計數儀 (LSC) 量測之地下水水氣濃度，結果顯示 SARAD 及 LSC 量測結果一致。圖 7-33 中虛線為 2012 年 10 月 25 日高雄地震，SARAD 及 LSC 皆有監測到地下水水氣濃度異常下降前兆之地震，地震資料如圖 7-34 所示。

圖 7-35 為社頂站以 SARAD 連續監測數據與地下水水位及雨量之比較圖。目前地下水水位數據剛滿一年，結果顯示墾丁公園社頂地區的降雨會迅速反應在地下水水位上，地下水水位對於地下水水氣有直接的影響。持續監測地下水水位獲取更多數據，將有助於墾丁公園社頂監測站對於地震前兆之判斷。

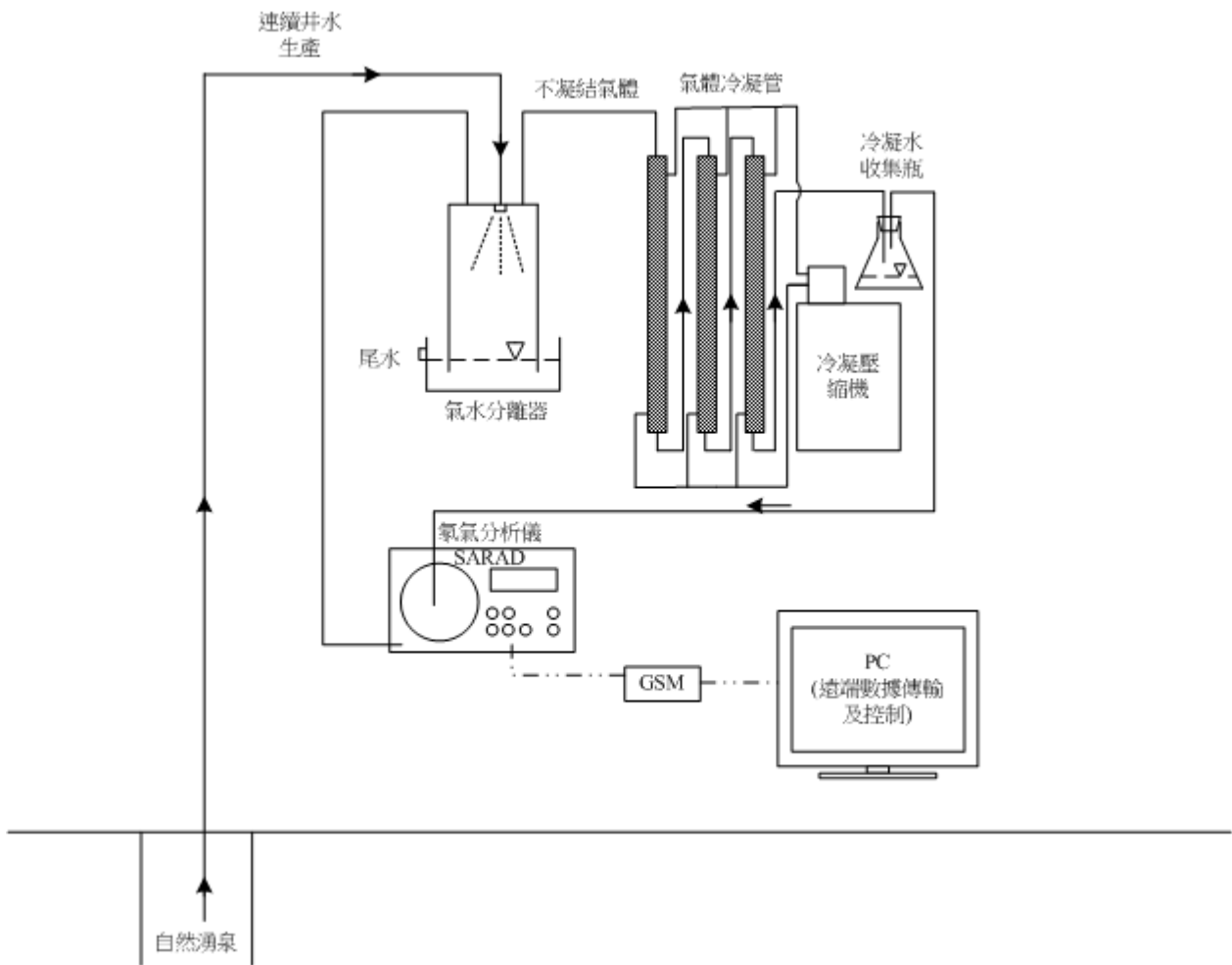


圖 7-22：墾丁公園社頂站地下水水氣連續監測系統示意圖。



圖 7-23：社頂站站牌及監測站外觀。



圖 7-24：社頂站建築物內部配置（①：氣水分離器，RAD Aqua；②：氣體管線；③：氣體冷凝裝置）。

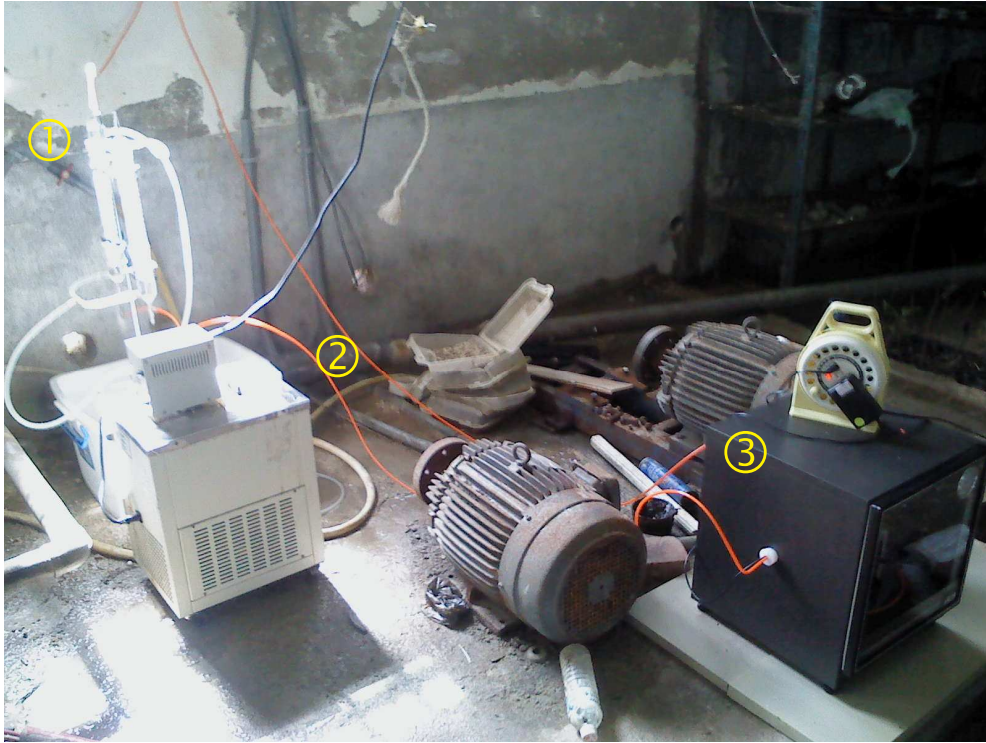


圖 7-25:社頂站建築物內部配置(①:氣體冷凝裝置;②:氣體管線;③:氮氣分析儀,SARAD)。



圖 7-26：墾丁公園社頂站放置自動水位紀錄儀之水井。



圖 7-27：墾丁公園社頂站放置自動水位紀錄儀之水井內部圖。

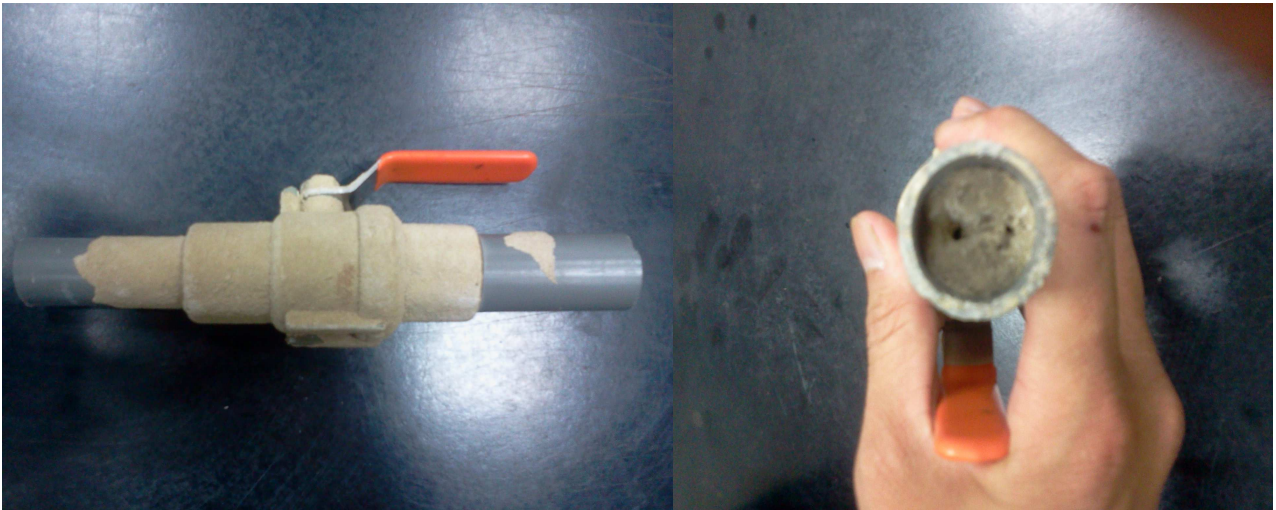


圖 7-28：社頂站連續監測系統液體管線內部碳酸鈣堵塞情形。

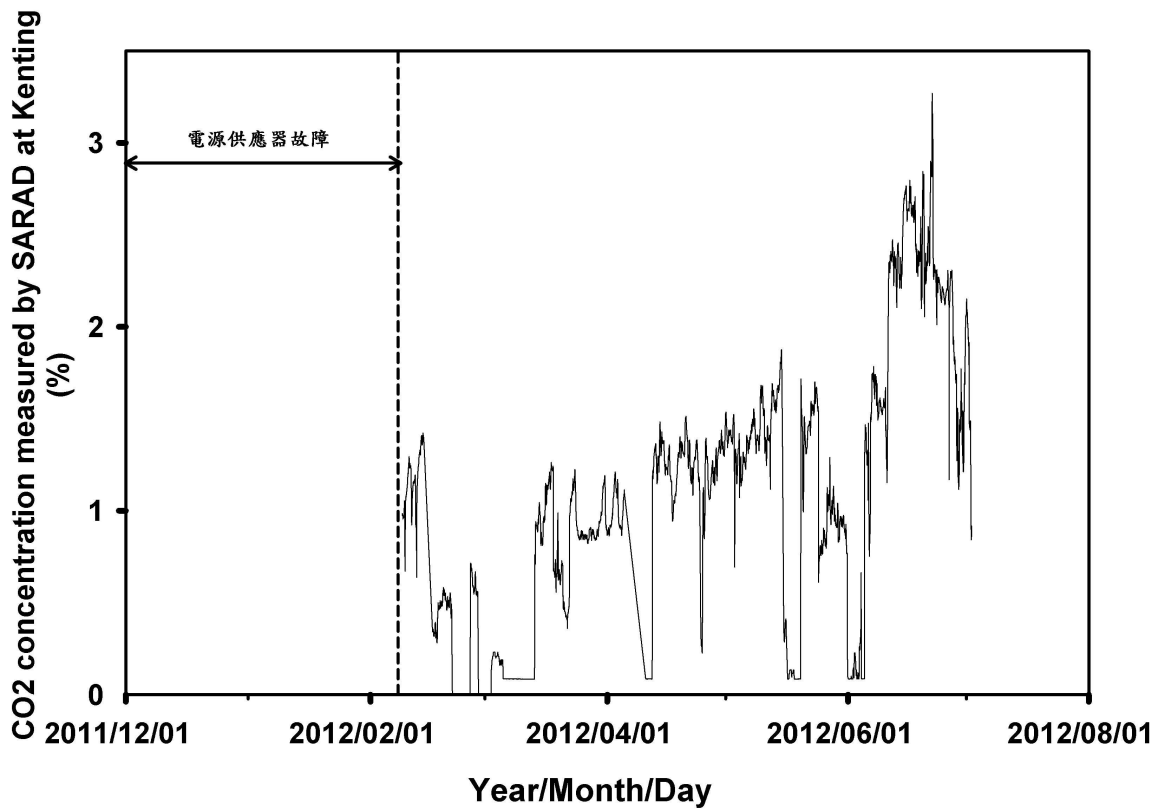


圖 7-29：碳酸鈣沈澱現象改善前，社頂站以 SARAD 連續監測氣相二氧化碳濃度之數據。

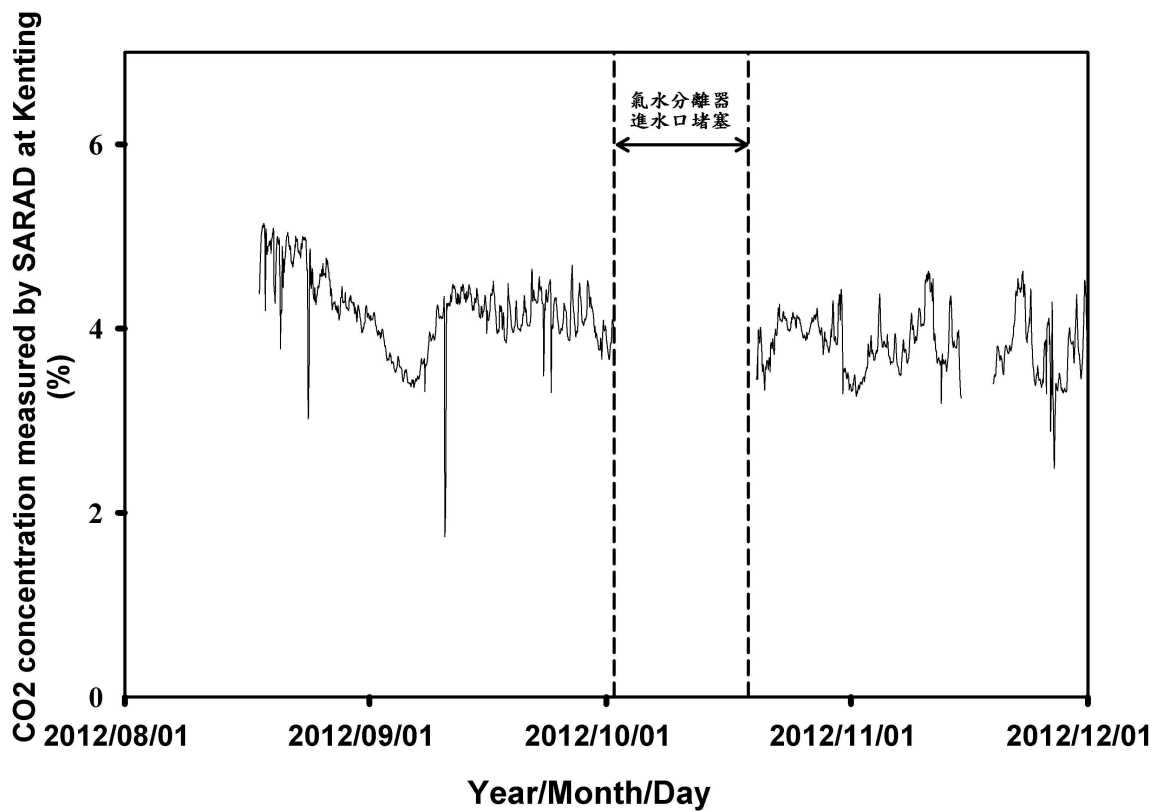


圖 7-30：碳酸鈣沈澱現象改善後，社頂站以 SARAD 連續監測氣相二氧化碳濃度之數據。

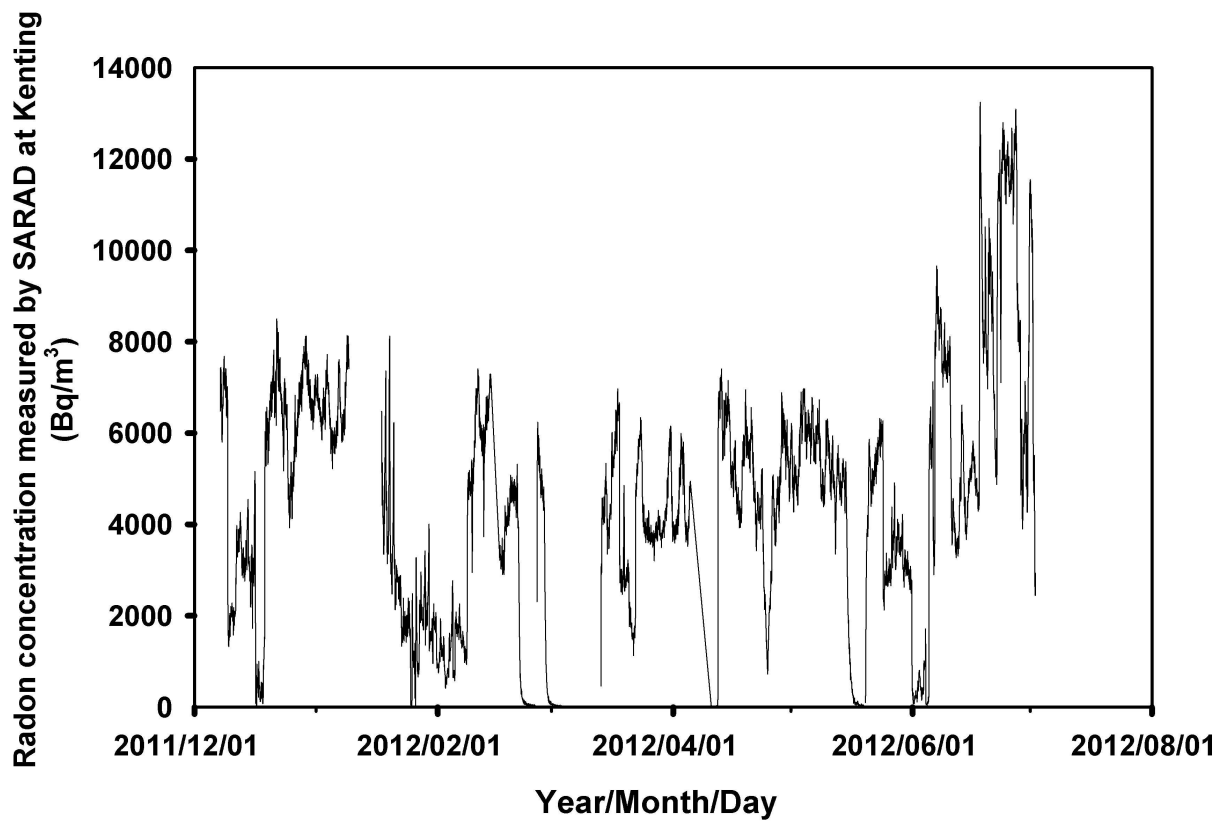


圖 7-31：碳酸鈣沈澱現象改善前，社頂站以 SARAD 連續監測氣相氡濃度之數據。

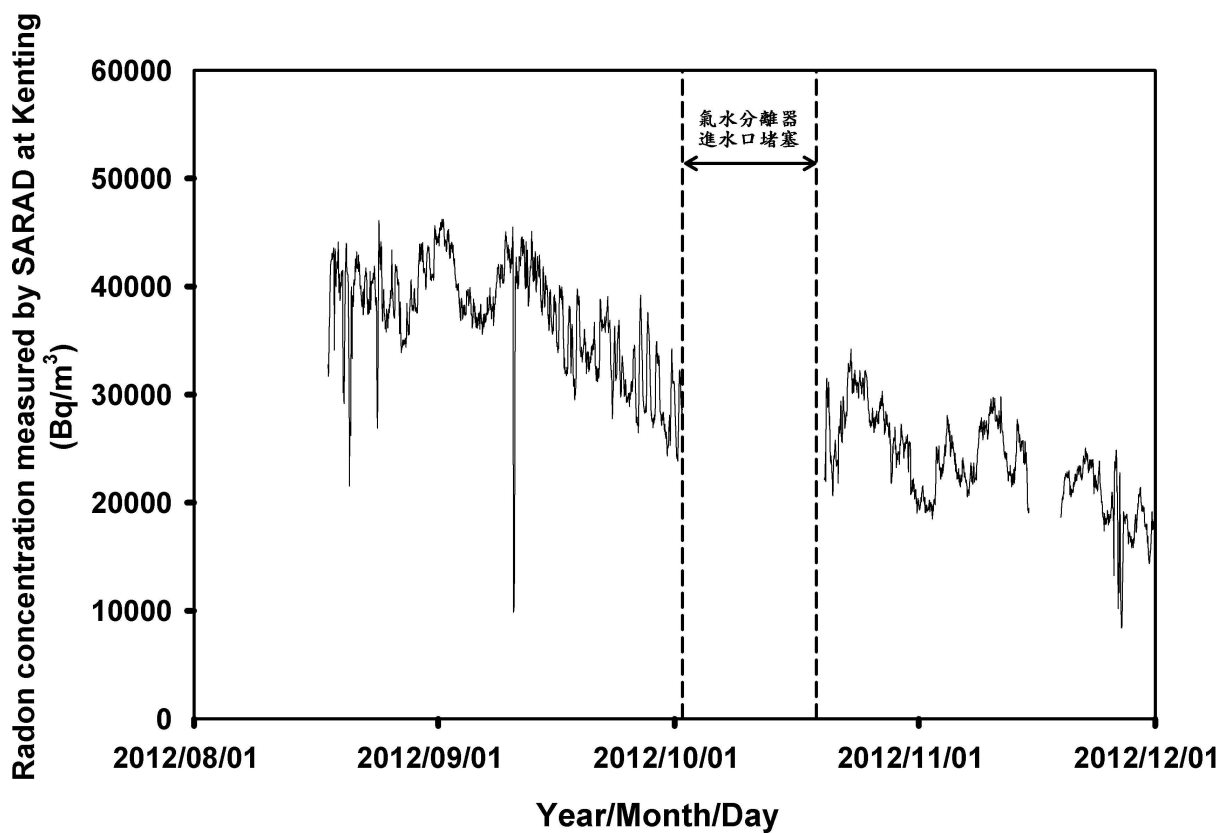


圖 7-32：碳酸鈣沈澱現象改善後，社頂站以 SARAD 連續監測氣相氡濃度之數據。

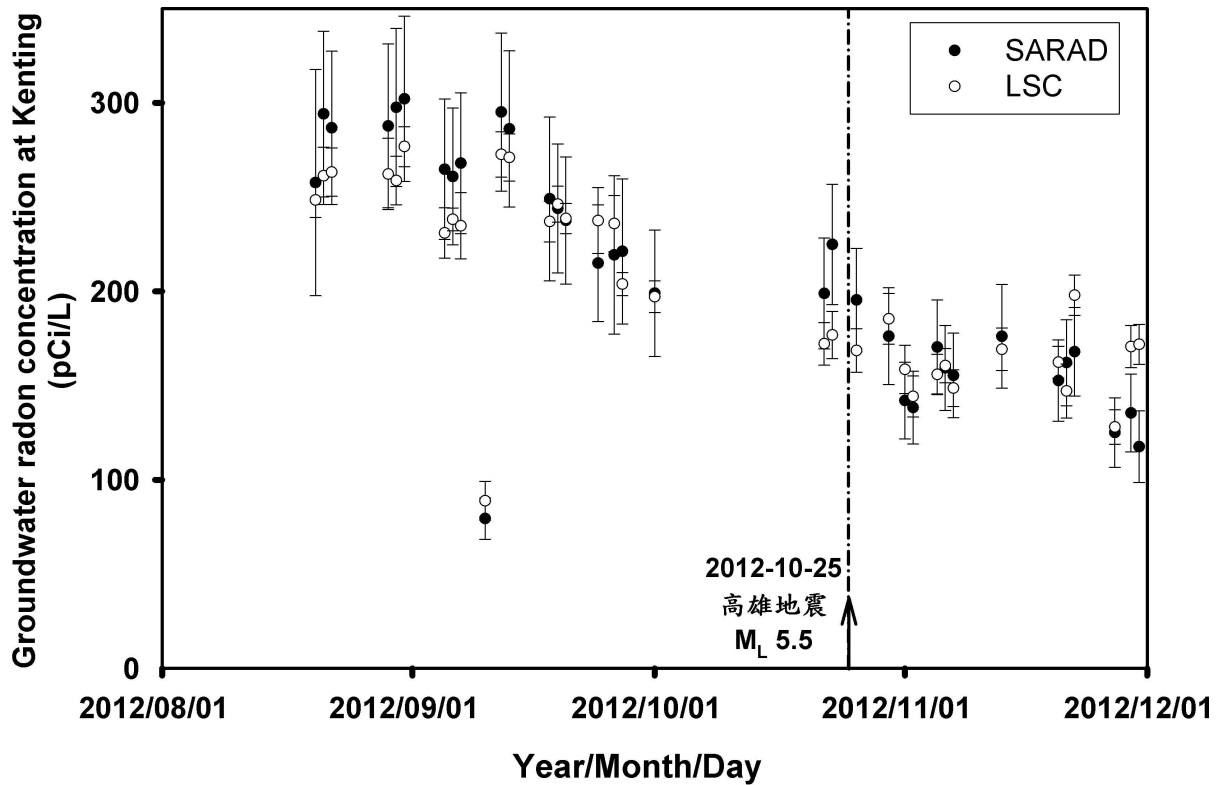


圖 7-33：社頂站 SARAD 量測之氣相氡濃度及實驗室液態閃爍計數儀（LSC）量測之地下水水氡濃度比較圖。

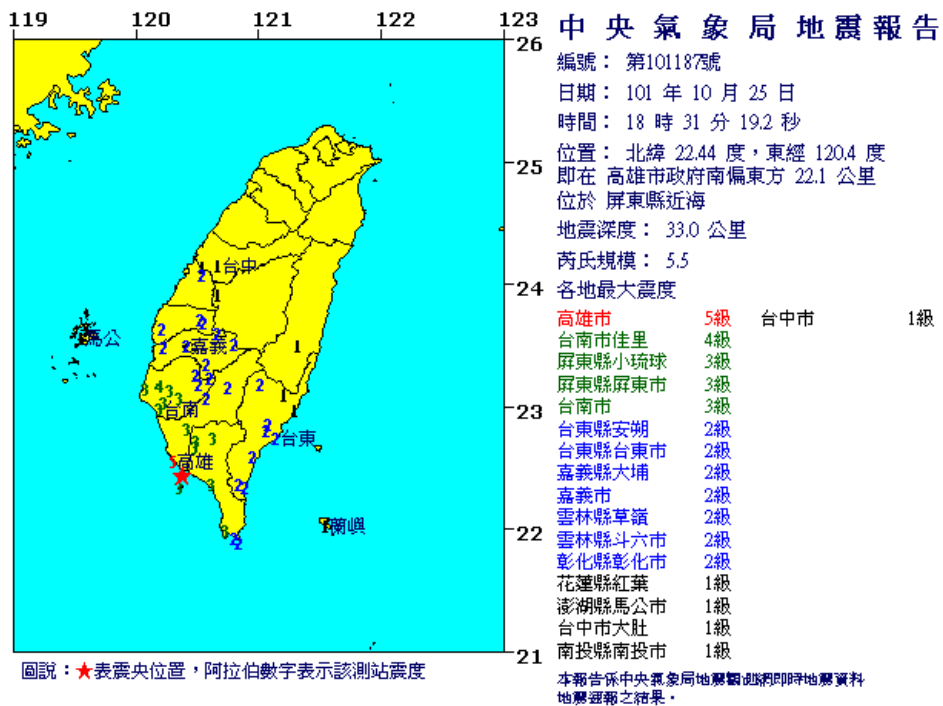


圖 7-34：2012 年 10 月 25 日高雄地震資料（資料來源：中央氣象局）。

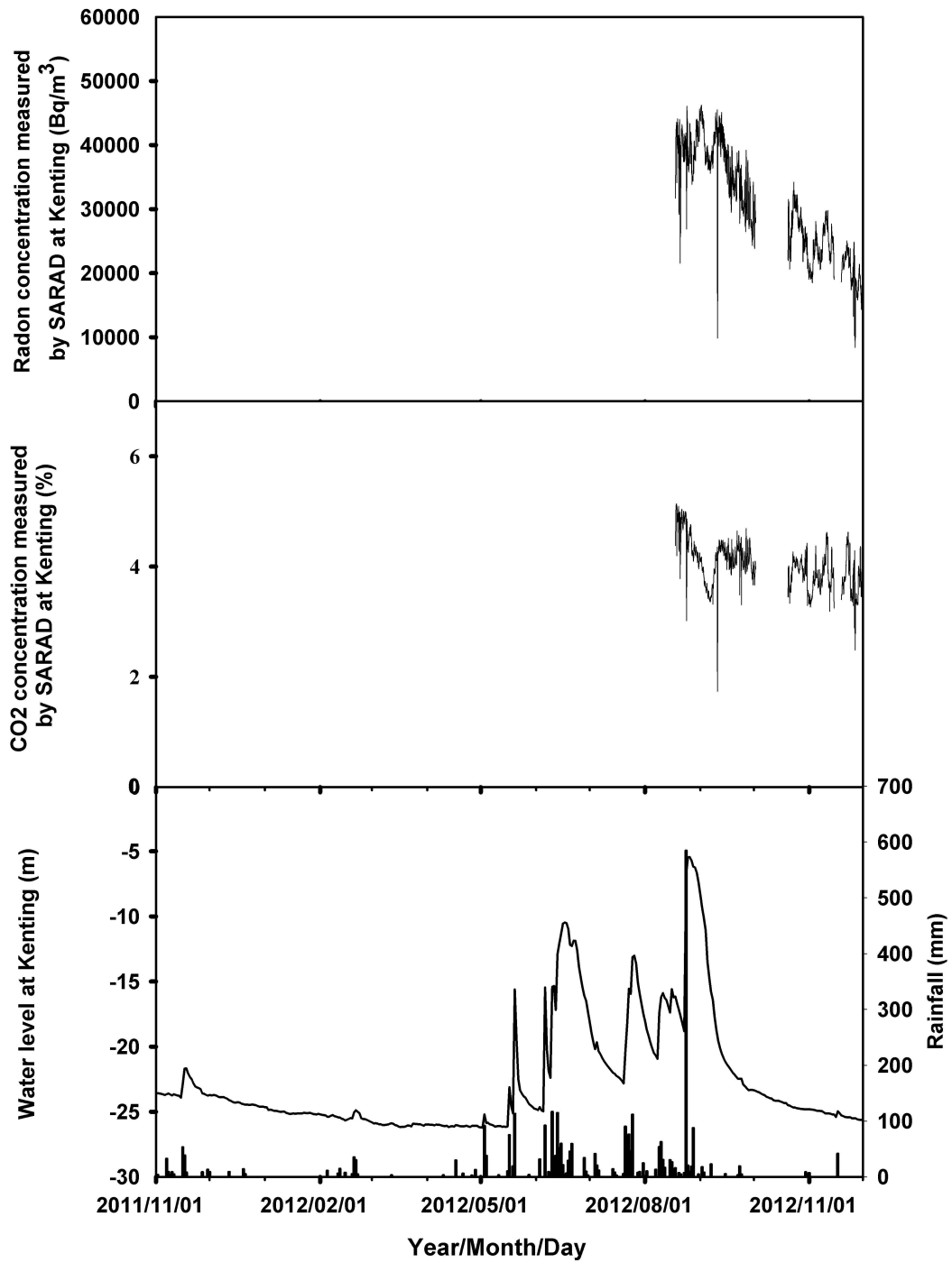


圖 7-35：社頂站以 SARAD 連續監測數據與地下水水位及雨量之比較圖。

捌、資料整合及資料處理

8.1 土壤氣體觀測結果

8.1.1 數個氣體觀測站對單一地震的異常變化

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。

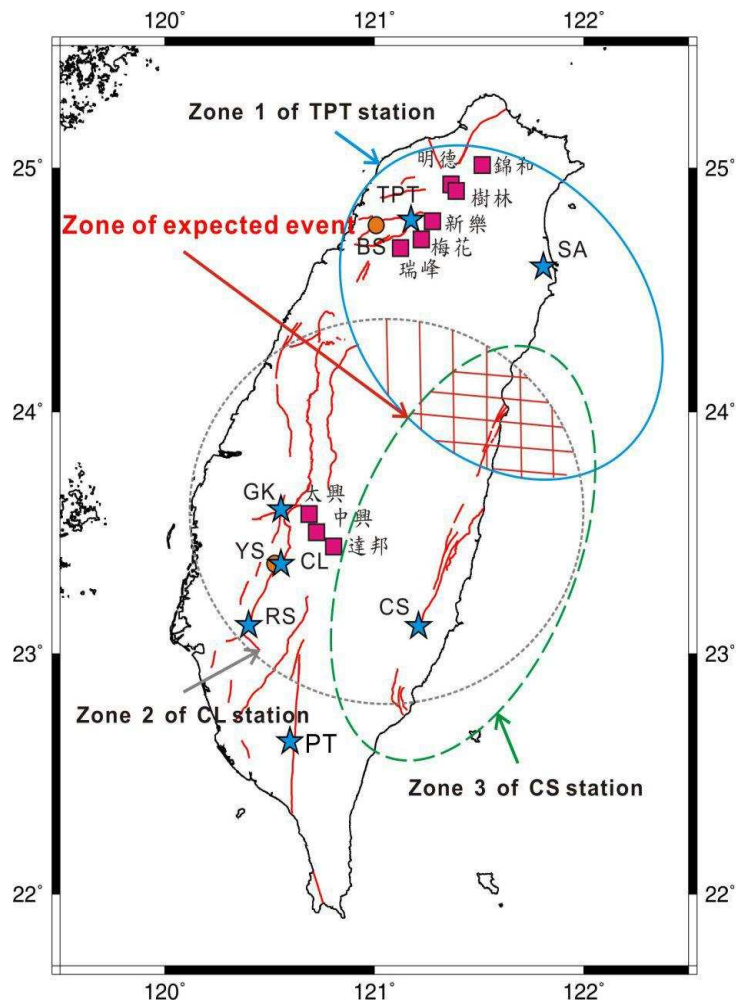


圖 8-1：地球化學觀測站的地震反應區間示意圖。藍圈、灰圈和綠圈分別代表大平地測站、中崙測站和池上測站的可能地震反應區間範圍，其交集處代表地震可能發生地點。

綜合以上各節所討論的各單一測站土壤氣體異常變化與地震的關係，本節要討論多個土壤氣體觀測站對單一地震的異常變化。2011年12月至2012年10月間各觀測站所觀測到的氦氣異常共有9起地震有兩個（含）以上的測站氦氣產生前兆反應現象。如表8-1。以下分別說明。

表 8-1：地震與多個土壤氣體觀測站的氦氣異常反應。

NO.	西元時間	規模	深度 km	震央位置	大平地(TPT)			古坑(GK)			中崙(CL)			屏科大(PT)			池上(CS)			花蓮(HL)		
					Int.	gal	D/R	Int.	gal	D/R	Int.	gal	D/R	Int.	gal	D/R	Int.	gal	D/R	Int.	gal	D/R
1	2012/2/26 10:35	6.4	26.3	屏東霧台							6	346.1	7.6	5	173.4	27.4						
2	2012/3/22 07:44	5	42.5	台東外海							3	11.7	1.2						2.9			
3	2012/4/19 09:58	5.5	29.1	花蓮近海	2	2.9	2.8				3	8.9	1.7							4	35.2	13.1
4	2012/4/27 22:48	5	44.3	花蓮外海			1.1	1		1.1	3	9.3	1.0							3	9.2	3.8
5	2012/6/6 09:08	5.9	16.6	台東外海										2	4.3	3.9	3	21.1	4.1			
6	2012/8/14 18:55	5.2	21.5	花蓮秀林	2	7.5	2.1	2	3.2	1.5	3	11.0	1.4						1.6			
7	2012/8/18 04:20	5.2	26	花蓮外海				2	3.5	1.6	3	17.5	1.7	1	1.3	1.4	3	8.6	4.0			
8	2012/9/5 04:00	5.2	21	台東外海							2	6.5	1.3	2	3.4	2.8						
9	2012/10/25 18:31	5.5	33	屏東近海							4	34.0	2.2	3	23.0	7.5	1	2.0	2.0			

(1) 2012/2/26 屏東霧台地震 ($M_L=6.4$)

如圖 8-2 所示，中崙站在 13 天前，屏科大站是從 22 天前即有氣體異常反應，前兆反應時間都很長，但仍在我們預期的時間區間內。從整體趨勢來看，仍是屬於氣體異常反應。這兩站由相對濃度來看是在異常門檻值邊緣。廣義來看中崙站及屏科大站同時對這起地震有前兆氣體異常反應，這起地震震央落在圖上兩個反應區範圍交集處（圖 8-2 (B) 黃色星號）。

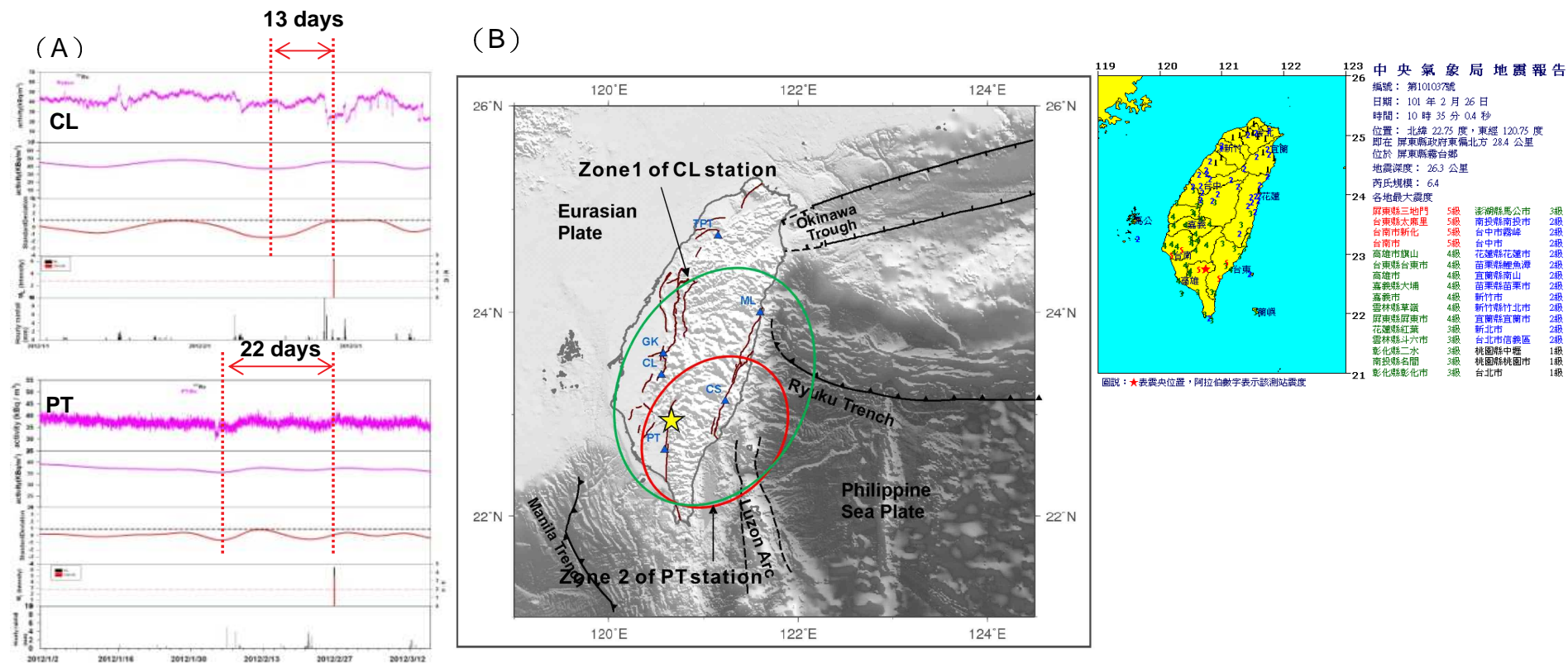


圖 8-2：2012/2/26 屏東霧台地震與各測站觀測情形

(A) 中崙站 (CL) 屏科大站 (PT) 土壤氣體觀測結果 (2012/2/15-2012/4/15) (B) 臺灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各測站的敏感偵測區間範圍，交集處代表地震可能發生的地點。黃色星號表示屏東霧台地震的震央位置。

(2) 2012/3/22 臺東外海地震 ($M_L=5$)

如圖 8-3 所示，屏科大站在 6 天前，池上站則是從 4 天前即有氣體異常反應，前兆反應時間都很短，但仍在我們預期的時間區間內。從整體趨勢來看，仍是屬於氣體異常反應。屏科大站則是對異常反應並不是很敏感，由相對濃度來看也是在異常門檻值邊緣。廣義來看屏科大站及池上站同時對這起地震有前兆氣體異常反應，這起地震震央落在圖上兩個反應區範圍交集處（圖 8-3 (B) 黃色星號）。

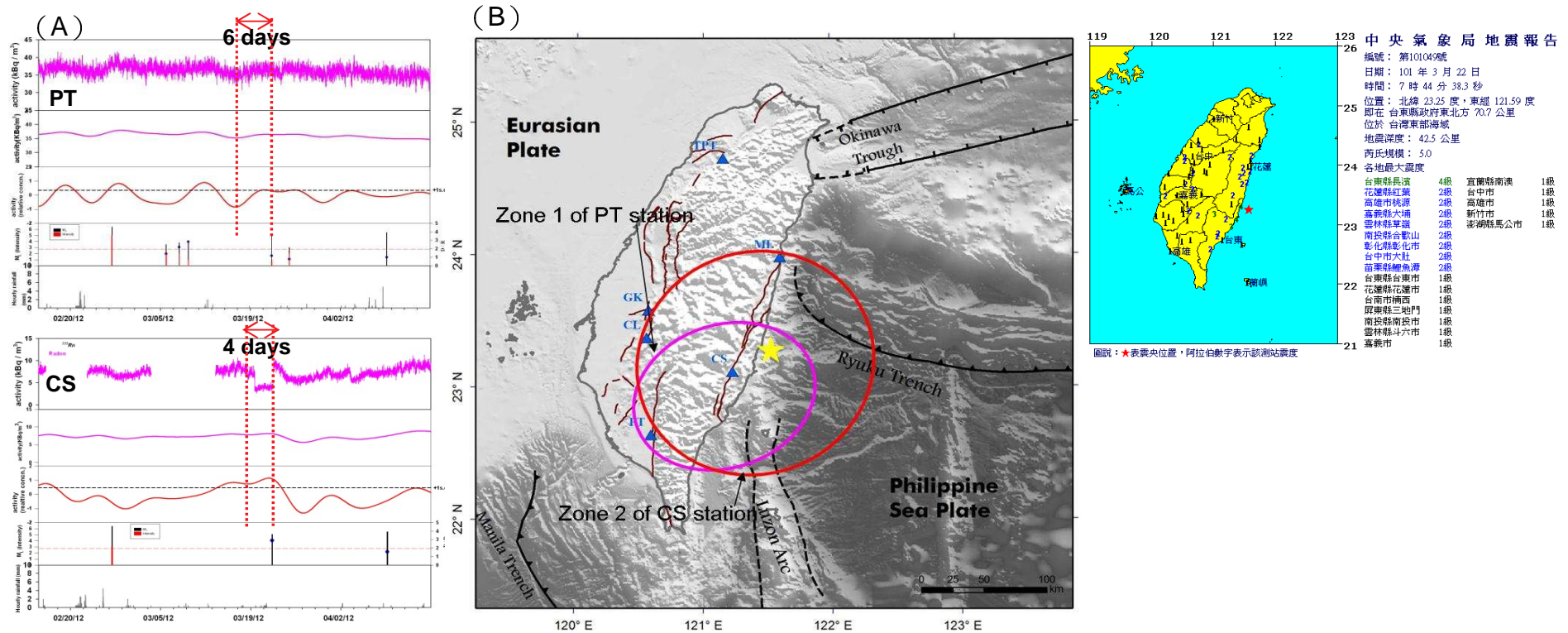


圖 8-3：2012/3/22 臺東外海地震與各測站觀測情形

(A) 屏科大站 (PT) 池上站 (CS) 土壤氣體觀測結果 (2012/2/15-2012/4/15) (B) 臺灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各測站的敏感偵測區間範圍，交集處代表地震可能發生的地點。黃色星號表示臺東外海地震的震央位置。

(3) 2012/4/19 花蓮近海地震 ($M_L=5.5$)

如圖 8-4 所示，大平地站在 10 天前，中崙站是 25 天前有氣體異常反應。這兩站的氦氣相對濃度皆超過異常門檻值，是很明顯的異常反應。這起地震震央落在圖上兩個反應區範圍交集處（圖 8-4 (B) 黃色星號）。

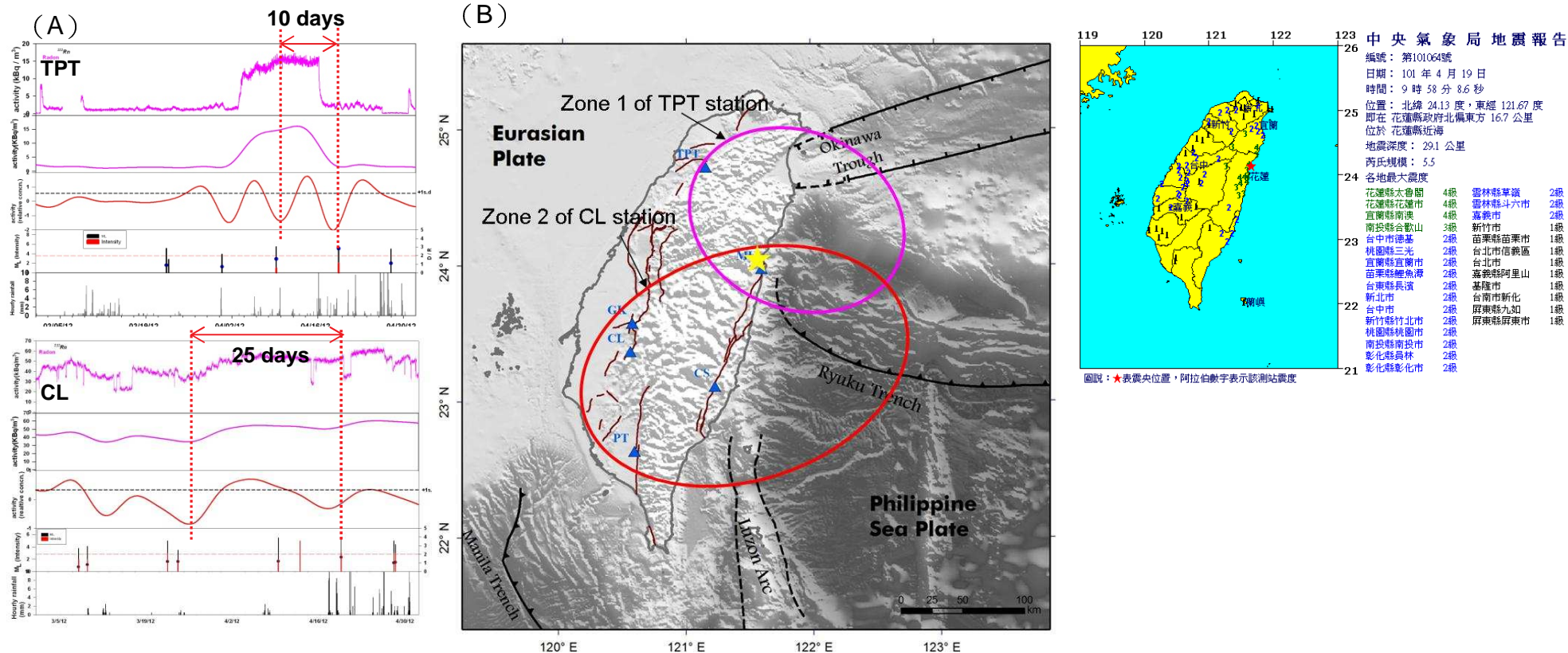


圖 8-4：2012/4/19 花蓮近海地震與各測站觀測情形

(A) 大平地站 (TPT)、中崙站 (CL) 土壤氣體觀測結果 (2012/3/1-2012/5/1) (B) 臺灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各測站的敏感偵測區間範圍，交集處代表地震可能發生的地點。黃色星號表示花蓮近海地震的震央位置。

(4) 2012/4/27 花蓮外海地震 ($M_L=5$)

如圖 8-5 所示，古坑站在 13 天前，中崙站是 12 天前有氣體異常反應。古坑站的氬氣相對濃度超過異常門檻值，是很明顯的異常反應。中崙站則是稍微切過異常門檻值。這起地震震央落在圖上兩個反應區範圍交集處（圖 8-5 (B) 黃色星號）。

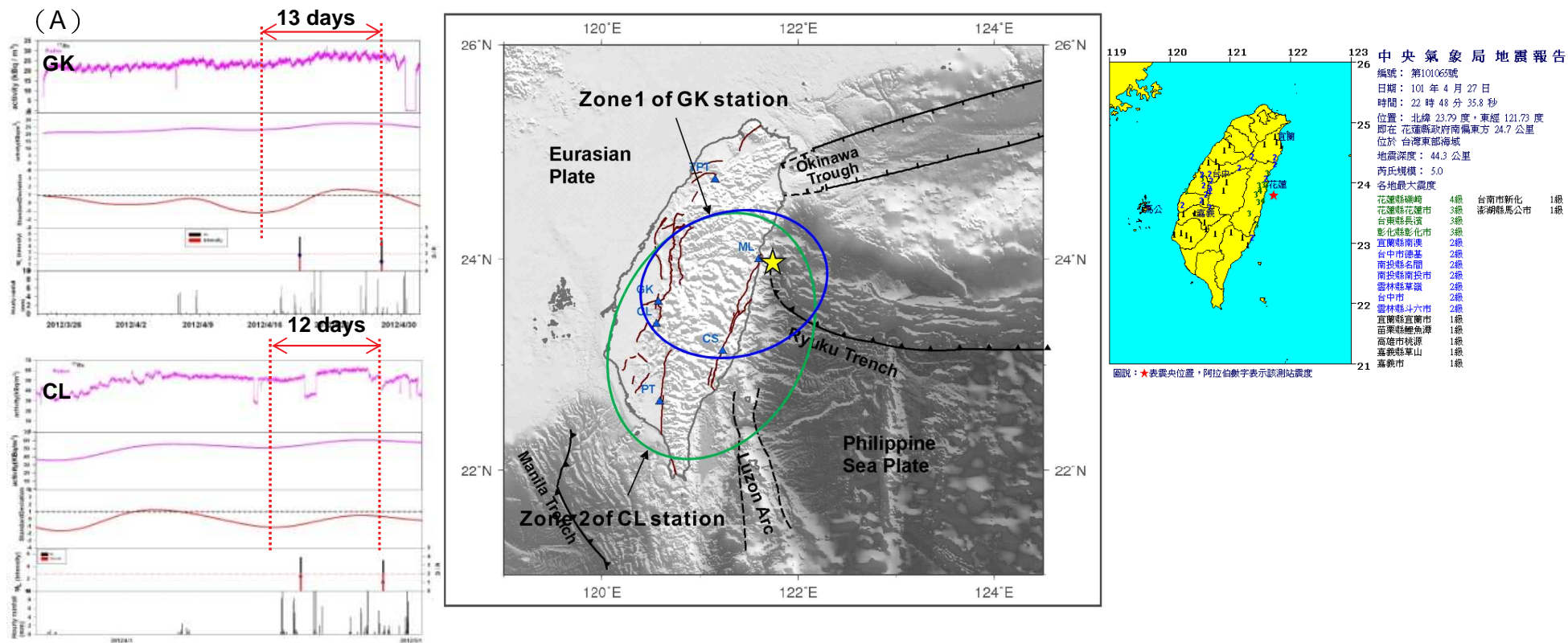


圖 8-5：2012/4/27 花蓮外海地震與各測站觀測情形

(A) 中崙站 (CL)、屏科大站 (PT) 土壤氣體觀測結果 (2012/3/23-2012/5/1) (B) 臺灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各測站的敏感偵測區間範圍，交集處代表地震可能發生的地點。黃色星號表示花蓮外海地震的震央位置。

(5) 2012/6/6 台東外海地震 ($M_L=5.9$)

如圖 8-6 所示，屏科大站及池上站皆是 17 天前有氣體異常反應。屏科大站的氬氣相對濃度是在上升時超過異常門檻值，是很明顯的異常反應。池上站則是較屏科大早切過異常門檻值。這起地震震央落在圖上兩個反應區範圍交集處（圖 8-6 (B) 黃色星號）。

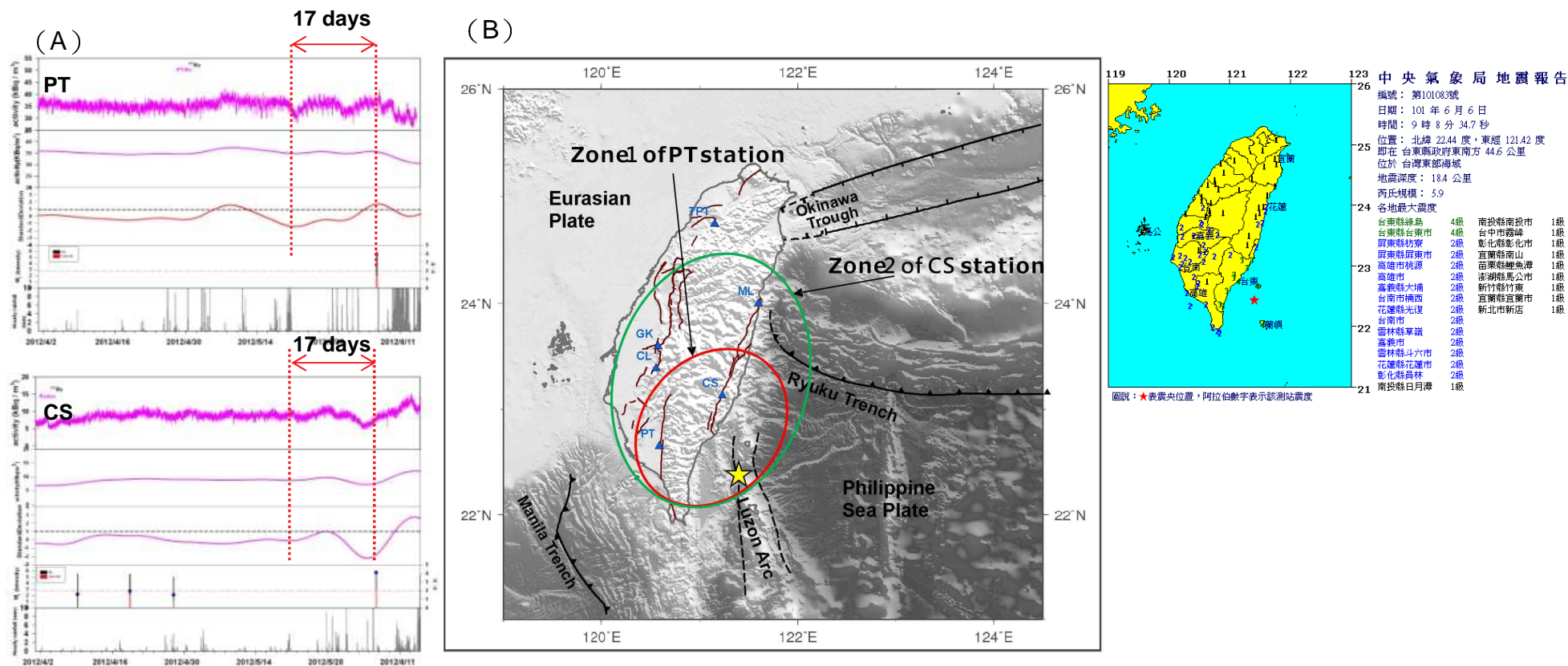
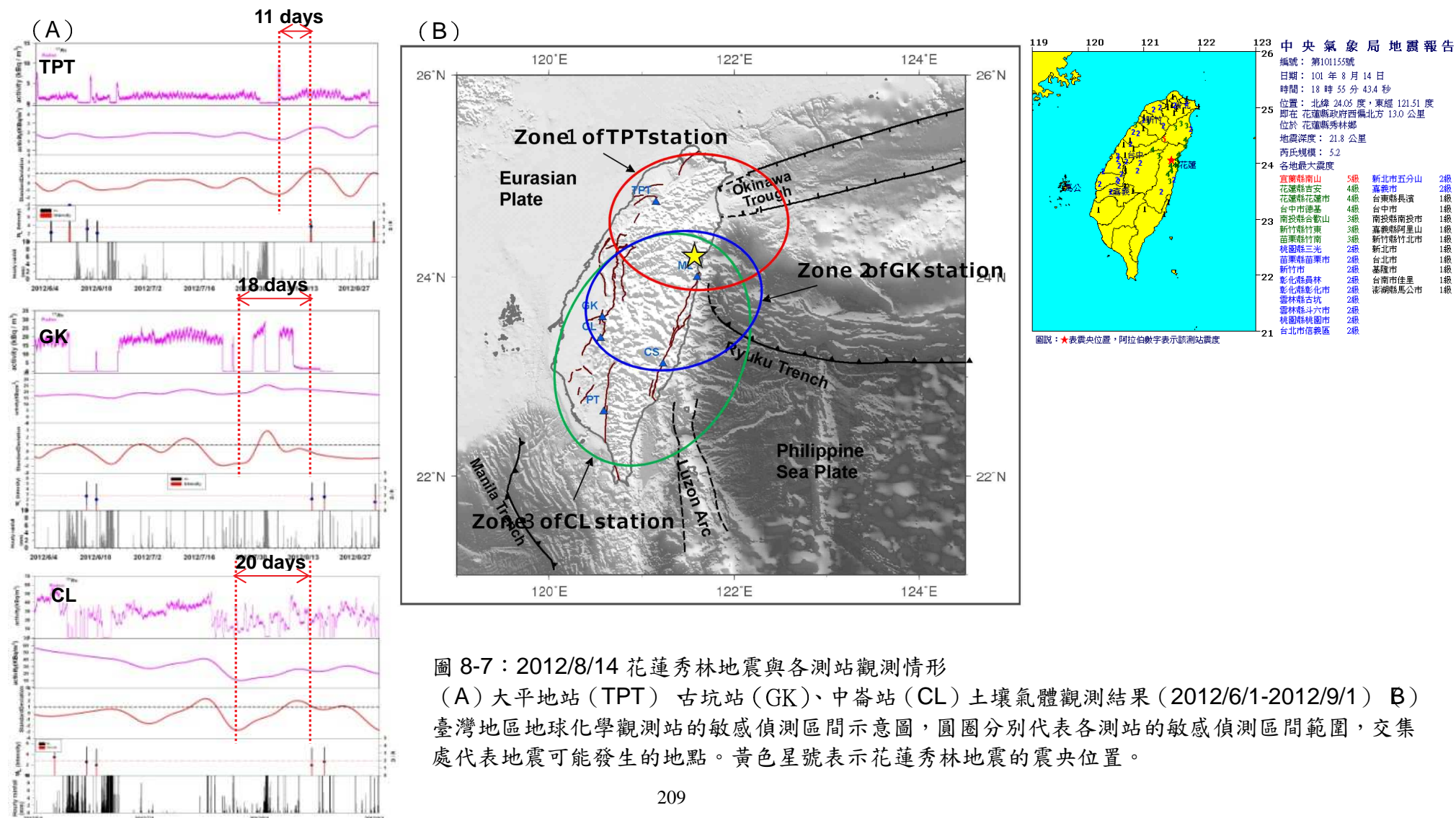


圖 8-6：2012/6/6 台東外海地震與各測站觀測情形

(A) 中崙站 (CL)、屏科大站 (PT) 土壤氣體觀測結果 (2012/4/1-2012/6/14) (B) 臺灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各測站的敏感偵測區間範圍，交集處代表地震可能發生的地點。黃色星號表示臺東外海地震的震央位置。

(6) 2012/8/14 花蓮秀林地震 ($M_L=5.2$)

如圖 8-7 所示，大平地站在 11 天前有氣體異常反應，古坑站在 18 天前有氣體異常反應，中崙站在 20 天前有氣體異常反應。其中大平地站是在上升時發生地震，古坑站及中崙站則是在氬氣上升下降後發生地震。這起地震震央落在圖上兩個反應區範圍交集處(圖 8-7(B) 黃色星號)。



(7) 2012/8/18 花蓮外海地震 ($M_L=5.2$)

如圖 8-8 所示，此地震從廣義上來看測站的氬氣反應，有四站氬氣呈現異常變化，古坑站在 29 天前，中崙站在 24 天前，屏科大站在 35 天前，池上站則是從 17 天前氬氣開始上升。其中古坑站及中崙站因為降雨影響導致逸氣來源受阻，數據呈現劇烈變化，我們將此段資料去除並以 EMD 補上；屏科大站氬氣上升中間雖因停電而有資料短缺，但是儀器恢復運轉後，仍能與前面的氬氣異常上升做連結，因此可視為是連續性的上升。這起地震震央落在圖上四個反應區範圍交集處（圖 8-8 (B) 黃色星號）

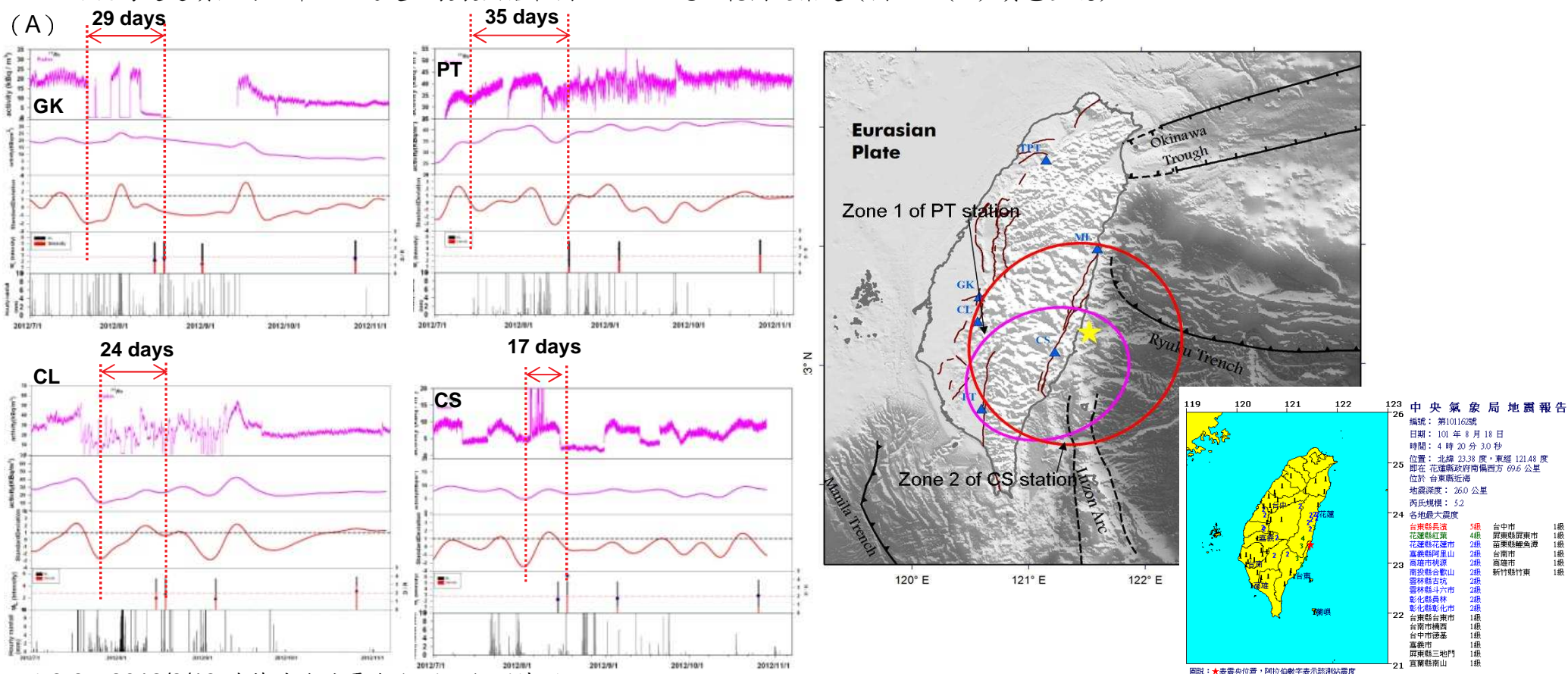


圖 8-8：2012/8/18 花蓮外海地震與各測站觀測情形

(A) 古坑站 (GK)、中崙站 (CL)、屏科大站 (PT)、池上站 (CS) 土壤氣體觀測結果 (2012/7/1-2012/11/6) (B) 臺灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各測站的敏感偵測區間範圍，交集處代表地震可能發生的地點。黃色星號表示花蓮外海地震的震央位置。

(8) 2012/9/5 台東外海地震 ($M_L=5.2$)

如圖 8-9 所示，此地震從廣義上來看測站的氬氣反應，有兩站氬氣呈現異常變化，中崙站在 19 天前，屏科大站在 14 天前氬氣開始上升。其中中崙站因為降雨影響導致逸氣來源受阻，數據呈現劇烈變化，我們將此段資料去除並以 EMD 補上；屏科大站原始數據雖有毛躁現象，但在經過 EMD 程式將毛躁資料去除後，呈現出平滑曲線。此次兩站對於地震的前兆反應時間都很長，這符合我們所定義的 38 天 (IMF 標準差選擇依據) 時間區間內，且越靠近震央的屏科大站反應時間越短。這起地震震央落在圖上兩個反應區範圍交集處 (圖 8-9 (B) 黃色星號)

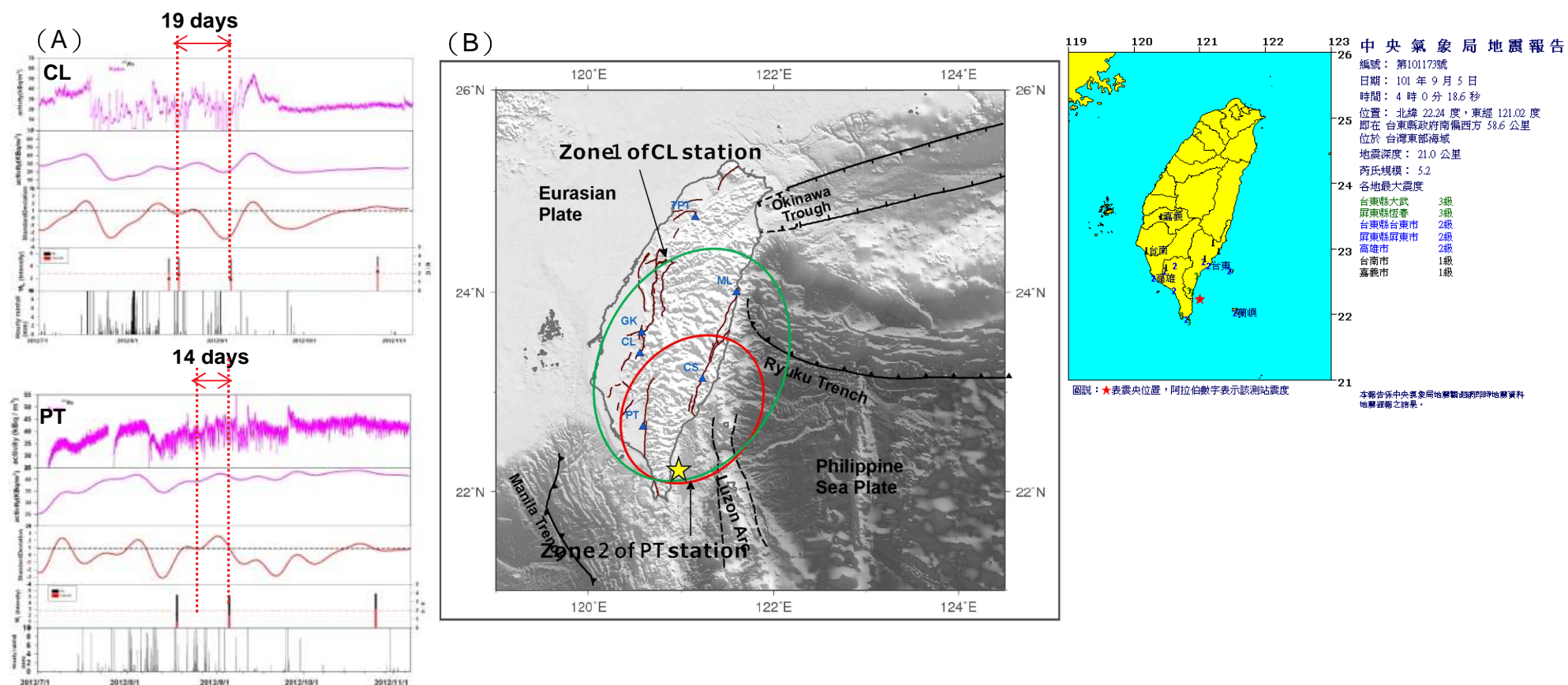


圖 8-9：2012/9/5 台東外海地震與各測站觀測情形

(A) 中崙站 (CL) 屏科大站 (PT) 土壤氣體觀測結果 (2012/7/1-2012/11/6) (B) 臺灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各測站的敏感偵測區間範圍，交集處代表地震可能發生的地點。黃色星號表示花蓮外海地震的震央位置。

(9) 2012/10/25 高雄近海地震 ($M_L=5.4$)

如圖 8-10 所示，中崙站在 30 天前有氣體異常反應，屏科大站在 21 天前有氣體異常反應，池上站在 14 天前有氣體異常反應。其中中崙站是在上升時發生地震。屏科大站及池上站則是在氬氣下降時發生地震。這起地震震央落在圖上兩個反應區範圍交集處（圖 8-10 (B) 黃色星號）。

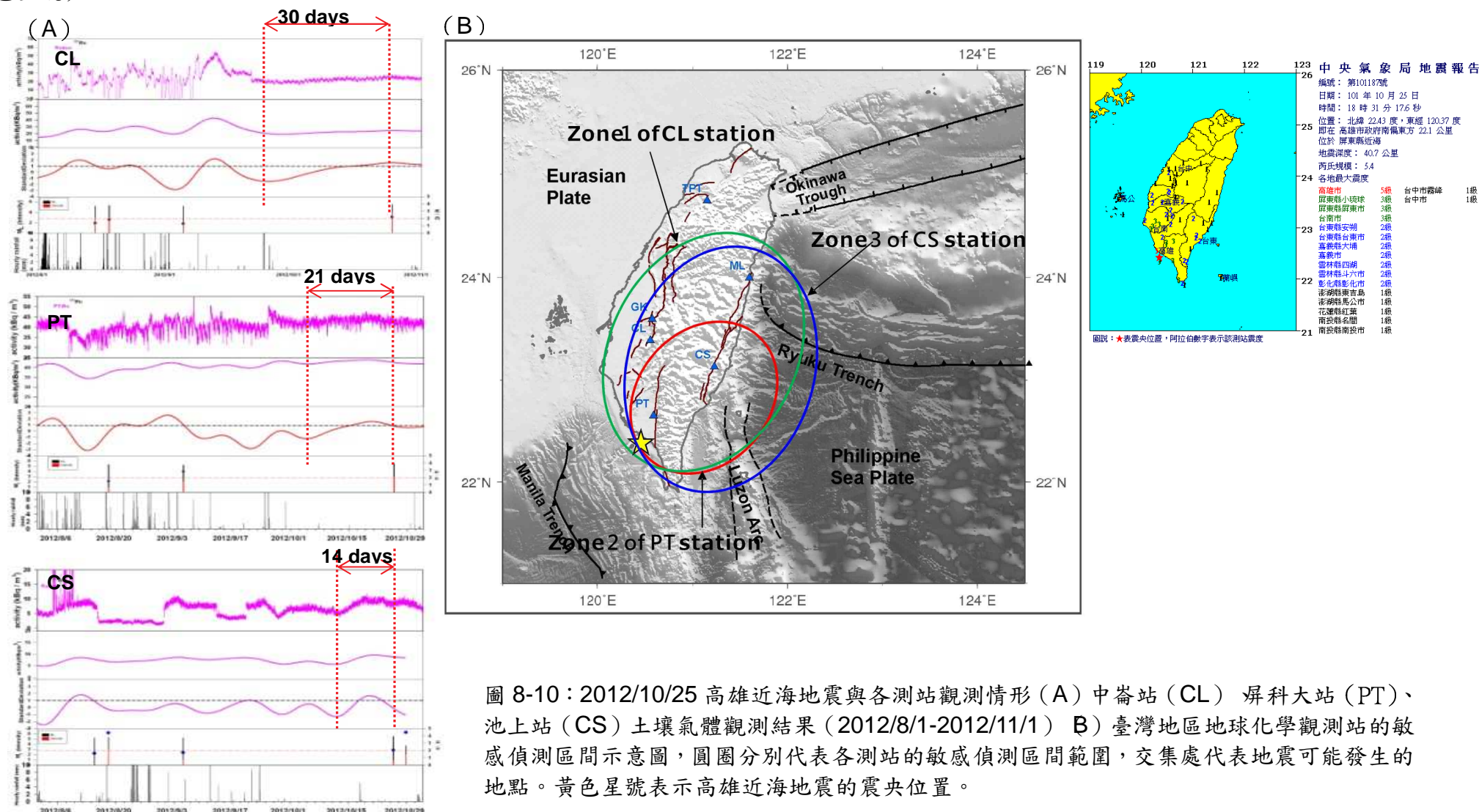


圖 8-10：2012/10/25 高雄近海地震與各測站觀測情形 (A) 中崙站 (CL) 屏科大站 (PT)、池上站 (CS) 土壤氣體觀測結果 (2012/8/1-2012/11/1) (B) 臺灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各測站的敏感偵測區間範圍，交集處代表地震可能發生的地點。黃色星號表示高雄近海地震的震央位置。

8.1.2 每週土壤氣體觀測站氣體異常與地震關係誤報率

為能夠確實掌握各土壤氣體觀測站的氬氣觀測結果與地震的關係，以往給地調所長官及委員的簡報檔只有各觀測站的每週土壤氣觀測結果，我們於今年開始在每週的土壤氣觀測簡報中新增加一項依據各測站所觀測的原始資料，目前採用人工辨識的方法來推估將來是否有地震發生。由於此項作業流程還在初步測試階段，僅能以先排除降雨因素的干擾，再將土壤氣體的觀測數據，藉由軟體的應用分析進而獲得較客觀的土壤氬氣變化曲線，再經由觀察曲線是否符合所定義的異常門檻，來推估未來是否有地震的發生。

目前我們能夠推估的僅僅是異常之後是否有地震發生，如果同時有兩個以上的測站觀察到有異常，則可提供可能性較大的敏感範圍區間，並說明地震可能發生的時間範圍與規模大小（兩個測站以上有異常的規模多在 5 以上）。此外，若是僅只有一站有異常，那也只能推估可能是當地的小地震（規模多在 3 左右）。

去年底至今年 10 月共有 40 次寄發的土壤氬氣體觀測簡報檔。如下表 4-16 所示。其中有 13 次觀測到氬氣有異常反應，但是後續時日卻無地震發生，這有可能是受到降雨因素的影響，或是有偵測到異常但是又被一個更大的異常所包覆，導致地震是在更大的氬氣異常之後發生，也有可能是區域斷層緩慢潛移所造成。此外，有 4 次是氬氣出現異常後，接續發生的地震不在我們測站原來預期所能偵測到的敏感反應範圍內，這也可讓我們檢視測站的敏感反應圈是否需要做修正與調整。另外有 3 次是沒有發布氣體異常，後續卻有與測站相關地震發生。總計 2011 年 12 月至 2012 年 10 月的土壤氬氣體異常變化與後續地震發生的誤報率為 37.5%，其計算如下式：

$$\frac{12 \text{ (氣體有異常反應卻無相關地震發生)} + 3 \text{ (無發布異常卻有相關地震發生)}}{40 \text{ (發布氣體觀測次數)}} * 100\% = 37.5\%$$

表 8-2：每週土壤氣體觀測站氣體異常與地震的關係簡報檔列表。

NO	預報日期	氬氣有異常的測站	氬氣異常狀況	地震
1	2011/12/20	中崙站	12/17 開始連續 3 天上升	2011/12/23 03:39 花蓮外海 規模 5
2	2011/12/27	中崙站	12/26 開始連續 2 天上升	2011/12/29 18:07 嘉義阿里山 規模 3.1
3	2012/1/3	大平地站	12/31 開始連續 2 天上升	2012/1/4 14:59 花蓮市 規模 4.7
4	2012/1/10	未發布		無地震
5	2012/1/18	池上站	1/12 開始上升至 1/17 到高點下降	*2012/1/29 16:07 基隆外海 規模 5.6
6	2012/2/1	中崙站	1/25 開始上升，至 2/1 仍在上升中	2012/1/5 10:30 嘉義梅山 規模 3.3
7	2012/2/7	中崙站	2/5 開始連續 2 天上升	無地震
8	2012/2/15	大平地站	2/11 上升，2/13 高點後下降	無地震
		池上站	2/8 開始連續 6 天上升	無地震
9	2012/2/21	中崙站	2/17 開始連續 3 天上升	2012/2/26 10:35 屏東霧台 規模 6.4
10	2012/2/29	未發布		無地震
11	2012/3/6	未發布		無地震
12	2012/3/13	池上站	3/4 開始上升，3/9 下降	無地震
13	2012/3/20	池上站	3/13 開始連續 3 天上升	2012/3/22 07:44 台東外海 規模 5.1
14	2012/4/2	中崙站	3/25 開始上升，3/31 下降	2012/4/9 05:43 花蓮外海 規模 5.5
		池上站	3/26 開始上升，3/31 下降	2012/4/9 05:43 花蓮外海 規模 5.5
15	2012/4/10	中崙站	3/25 開始上升，目前仍在高點	2012/4/12 18:39 台南白河 規模 4.6
		大平地站	4/7 開始連續 2 天上升	無地震
16	2012/4/17	未發布		無地震
17	2012/4/24	中崙站	4/13 開始上升，4/23 高點下降	2012/4/27 22:48 花蓮外海 規模 5
18	2012/5/1	未發布		無地震
19	2012/5/8	中崙站	5/4 開始上升	2012/5/9 22:54 台南六甲 規模 3.4
20	2012/5/14	中崙站	5/12 開始上升	2012/5/19 24:50 嘉義梅山 規模 3.2
		屏科大站	5/6 開始上升，目前是下降	無地震
21	2012/6/5	屏科大站	5/30 開始上升	2012/6/6 09:08 台東外海 規模 5.9
22	2012/6/12	池上站	6/5 開始上升	2012/6/15 00:15 花蓮外海 規模 5.3
23	2012/7/3	池上站	6/29 開始上升	2012/7/7 20:38 台東海端 規模 3.6
24	2012/7/10	大平地站	7/9 相對濃度異常升高	無地震
		中崙站	7/9 相對濃度異常升高	無地震
25	2012/7/17	中崙站	7/15 相對濃度異常升高	無地震
26	2012/7/24	池上站	7/22 相對濃度異常升高	2012/7/28 00:21 台東東河 規模 3.8
27	2012/7/31	屏科大站	7/15 開始連續 8 天上升	2012/8/4 06:43 屏東霧台 規模 4.3
28	2012/8/7	池上站	8/4 開始連續 2 天上升	2012/8/12 04:23 台東海端 規模 4.2
29	2012/8/14	未發布		2012/8/14 18:55 花蓮秀林 規模 5.2
30	2012/8/22	中崙站	相對濃度異常升高	無地震
31	2012/8/28	中崙站	相對濃度超過異常門檻值	*2012/8/29 22:24 台東近海 規模 4.2
		屏科大站	相對濃度超過異常門檻值	*2012/8/31 01:24 台東外海 規模 4.3
32	2012/9/4	屏科大站	相對濃度仍持續上升	2012/9/5 04:00 台東近海 規模 5.2
33	2012/9/11	中崙站	相對濃度仍持續上升	無地震
34	2012/9/17	中崙站	相對濃度超過異常門檻值	無地震
35	2012/9/25	池上站	相對濃度仍持續上升	無地震
36	2012/10/2	未發布		2012/10/7 08:11 台東卑南 規模 3.6
37	2012/10/8	未發布		2012/10/6 10:30 花蓮玉里 規模 3.6

NO	預報日期	氬氣有異常的測站	氬氣異常狀況	地震
38	2012/10/16	古坑站	相對濃度仍持續上升	無地震
		中崙站	相對濃度仍持續上升	* 2012/10/20 16:49 宜蘭外海規模 5.1
		屏科大站	相對濃度仍持續上升	無地震
39	2012/10/23	大平地站	相對濃度仍持續上升	無地震
		古坑站	相對濃度超過異常門檻值, 平穩中	無地震
		中崙站	相對濃度仍持續上升	無地震
		屏科大站	相對濃度切過異常門檻值	2012/10/25 18:31 屏東近海 規模 5.5
		池上站	相對濃度仍持續上升	2012/10/25 18:31 屏東近海 規模 5.5
40	2012/10/30	大平地站	相對濃度上升後平穩	2012/11/5 21:40 花蓮鳳林 規模 4.7
		中崙站	相對濃度超過異常門檻值	2012/11/5 21:40 花蓮鳳林 規模 4.7

註：*表示有發布氣體異常，但地震卻不在相關測站敏感反應範圍圈內。

8.1.3 土壤氣體資料整合

綜合 2008 年 12 月至 2012 年 11 月各土壤氣體觀測站有前兆反應之地震，其空間分布如圖 8-11 到圖 8-16 所示。這些地震皆符合本研究所設定的篩選條件，(規模 ≥ 5 且深度 $< 100\text{KM}$ 且震央距離測站 $\leq 150\text{KM}$ ，此外震度 ≥ 1 或 $D/R \geq 1$ 的地震)。此外，各觀測站成功捕捉前兆訊息之統計結果於表 8-3 所示，其中新竹大平地站和台東池上站有較高的成功率。然而過去對於地震反應敏感的嘉義中崙站，僅有約 26%的成功率，這可能歸因於符合篩選的地震數量過多且密集，在一次的氣體異常時段卻出現數起符合篩選因子的地震事件，使得分母增大卻降低成功率。

新竹大平地站共篩選出 56 起地震，有前兆之地震 26 起，多分布在台灣北部及東部一帶，有數起則位於於中部地區，其空間分布圖如圖 8-11 所示。而這些有前兆訊息的地震分布情形，也代表該觀測站的敏感反應區間。

雲林古坑站篩選出 59 起地震，有前兆之地震共 7 起，多分布在台灣中南部及東部一帶，其空間分布圖及該觀測站的敏感反應區間如圖 8-12 所示。

嘉義中崙濁水潭站篩選出 86 起地震，有前兆之地震共 22 起，同樣多分布在台灣中南部及東部一帶，不過範圍較廣，意味該測站的對於地震的反應較為敏感，其空間分布圖及測站的敏感反應區間如圖 8-13 所示。

屏東屏科大站篩選出 34 起地震，有前兆之地震共 11 起，多分布在台灣南部地區，其空間分布圖及該觀測站的敏感反應區間如圖 8-14 所示。

花蓮美崙站篩選出 41 起地震，有前兆之地震共 9 起，多分布在觀測站周遭數十公里的範圍內，代表該測站對於地震反應不太敏感或是僅能反應小區域的地震活動，其空間分布圖及該觀測站的敏感反應區間如圖 8-15 所示。

台東池上站篩選出 64 起地震，有前兆之地震共 30 起，多分布在台灣東部及東南部一帶，少數發生在西部地區且規模較大的地震也有反應，其空間分布圖及該觀測站的敏感反應區間如圖 8-16 所示。

表 8-3：四年度(2008-2012)各觀測站成功捕捉前兆訊息之統計結果。

	TPT	GK	CL	PT	ML	CS
符合篩選之地震	56	59	86	34	41	64
與氬氣有關之地震	26	7	22	11	9	30
百分比	46%	5%	26%	32%	22%	47%

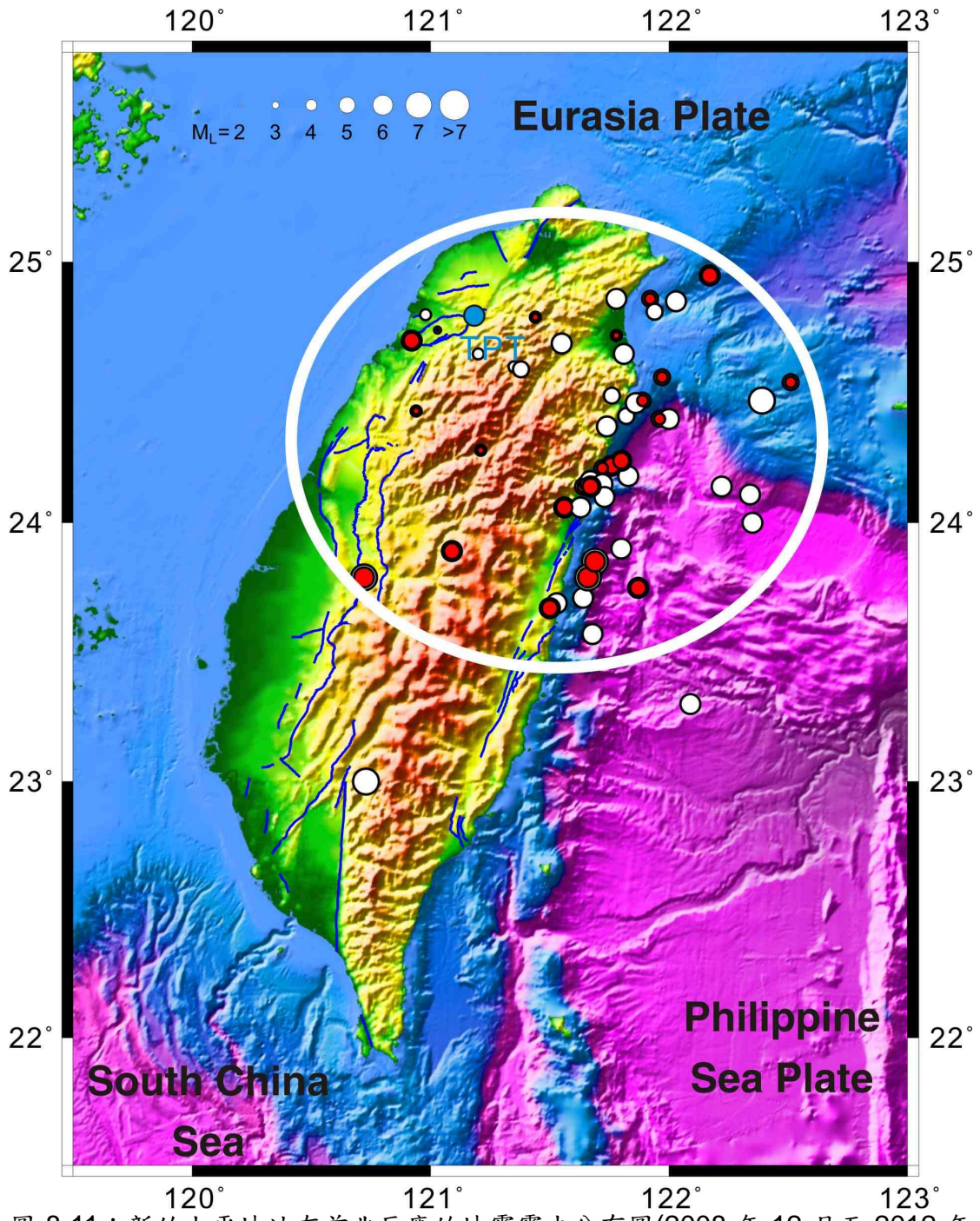


圖 8-11：新竹大平地站有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 12 月至 2012 年 11 月)，圓點代表符合篩選之地震；紅點代表有氣體前兆之地震，圈選區域為該測站敏感反應範圍。

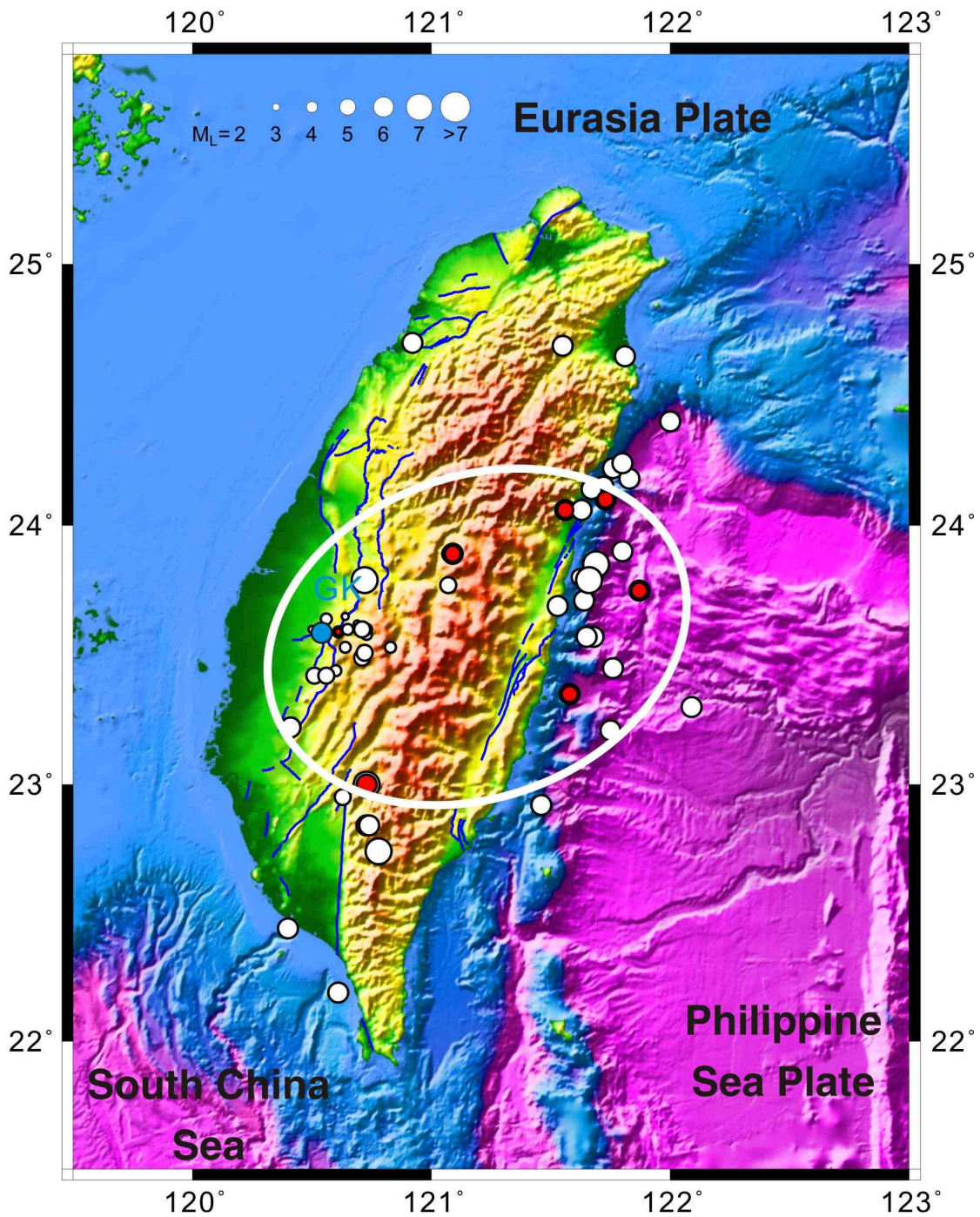


圖 8-12：雲林古坑站有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 12 月至 2012 年 11 月)，圓點代表符合篩選之地震；紅點代表有氣體前兆之地震，圈選區域為該測站敏感反應範圍。

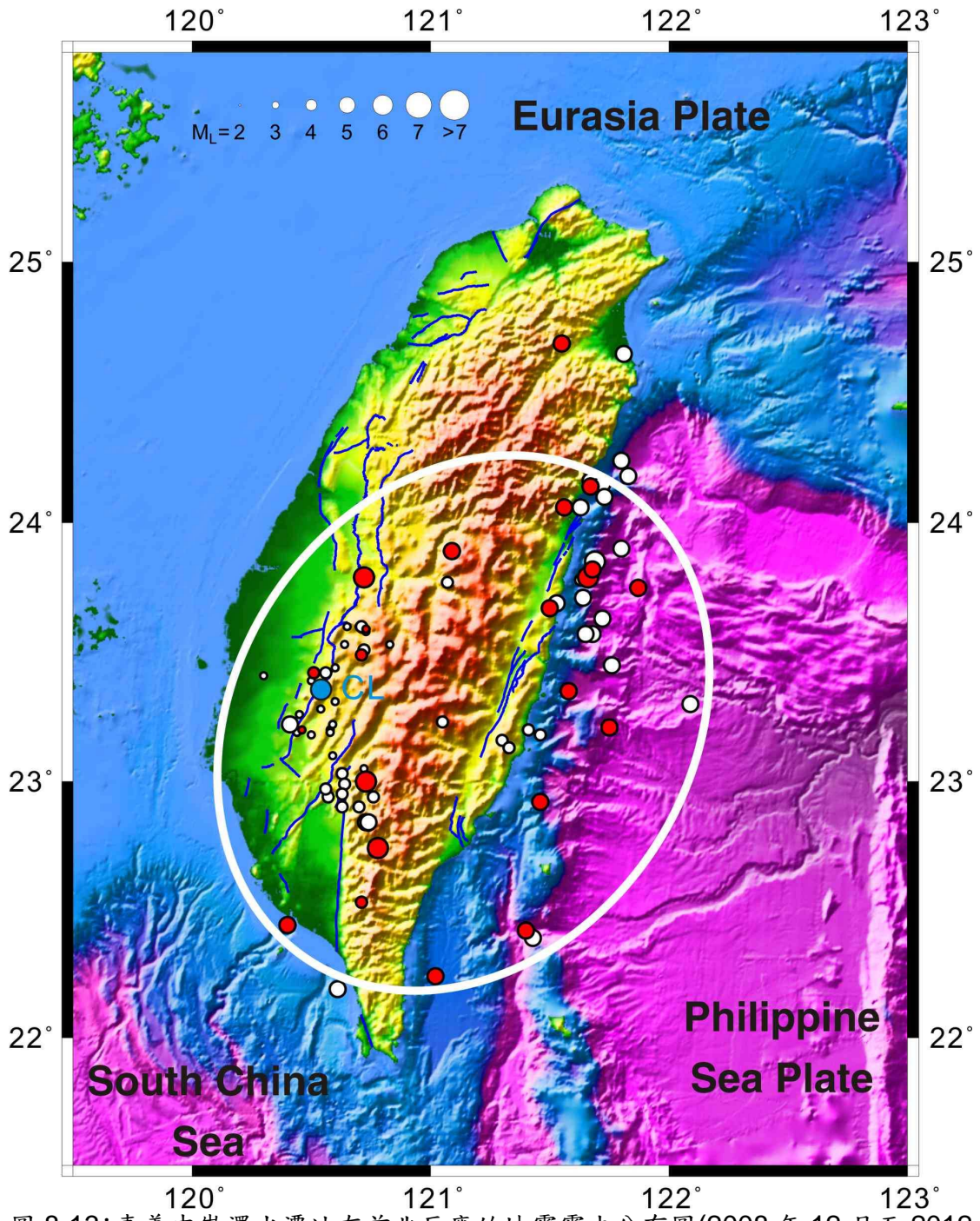


圖 8-13: 嘉義中崙濁水潭站有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 12 月至 2012 年 11 月), 圓點代表符合篩選之地震; 紅點代表有氣體前兆之地震, 圈選區域為該測站敏感反應範圍。

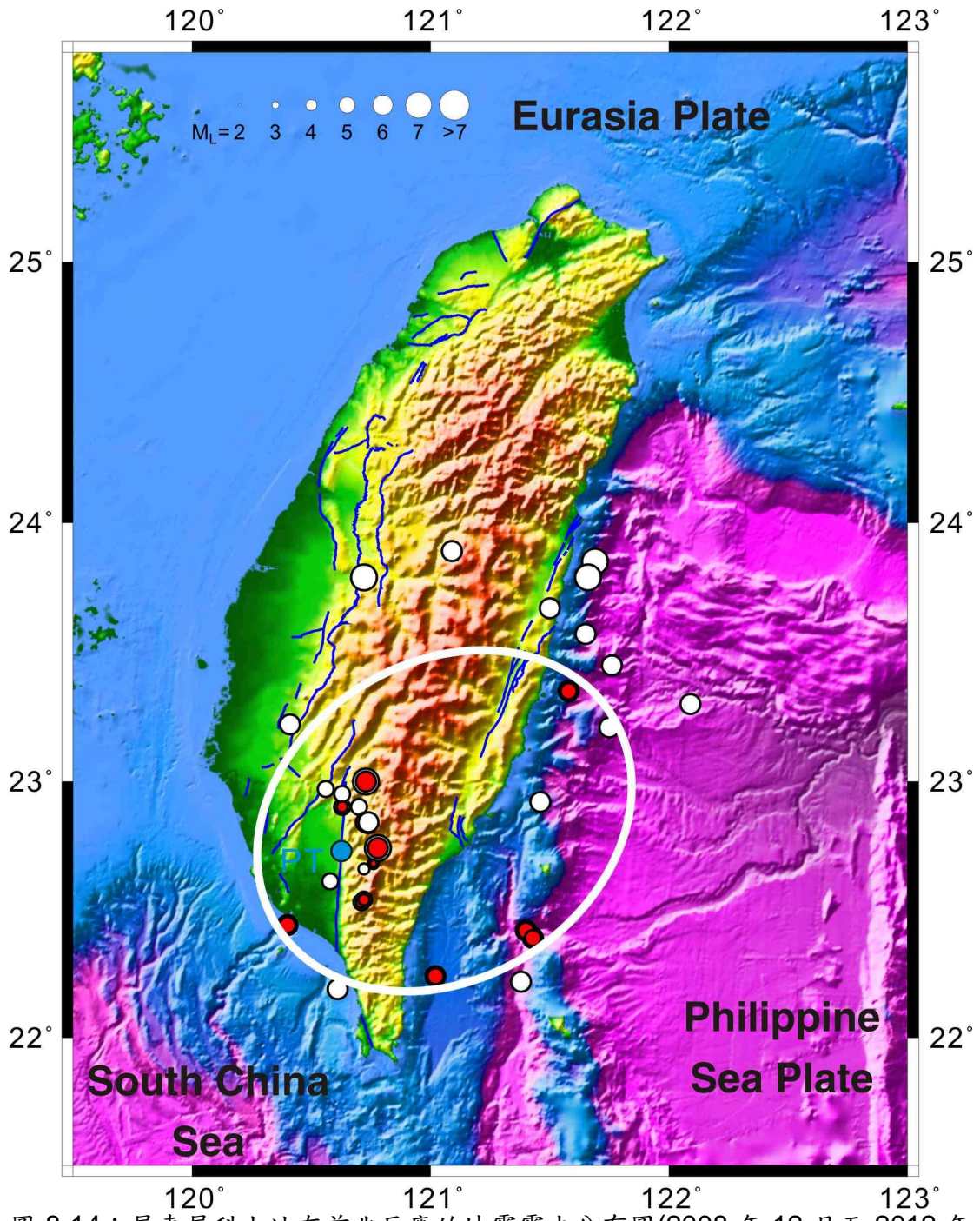


圖 8-14：屏東屏科大站有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 12 月至 2012 年 11 月)，圓點代表符合篩選之地震；紅點代表有氣體前兆之地震，圈選區域為該測站敏感反應範圍。

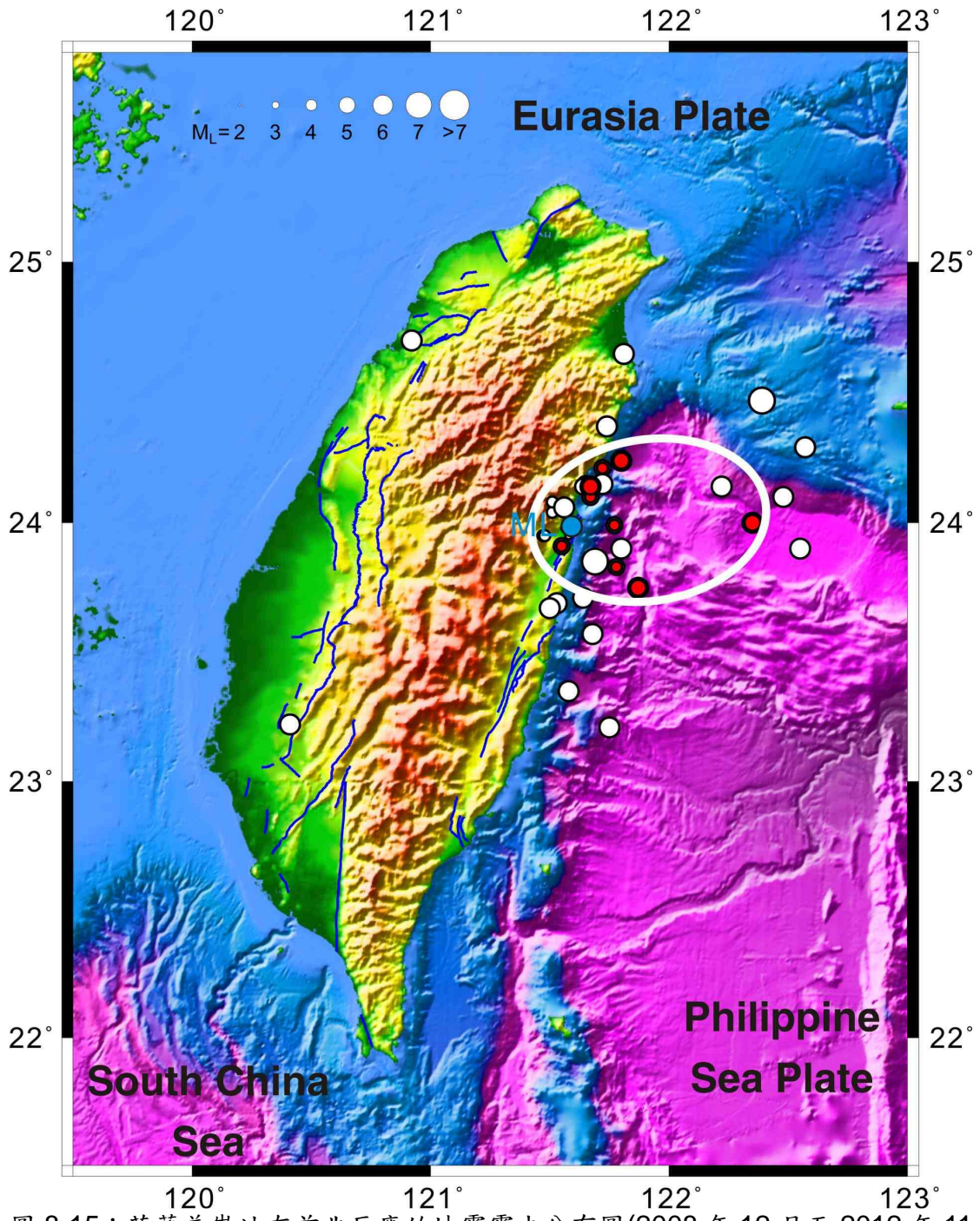


圖 8-15：花蓮美崙站有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 12 月至 2012 年 11 月)，圓點代表符合篩選之地震；紅點代表有氣體前兆之地震，圈選區域為該測站敏感反應範圍。

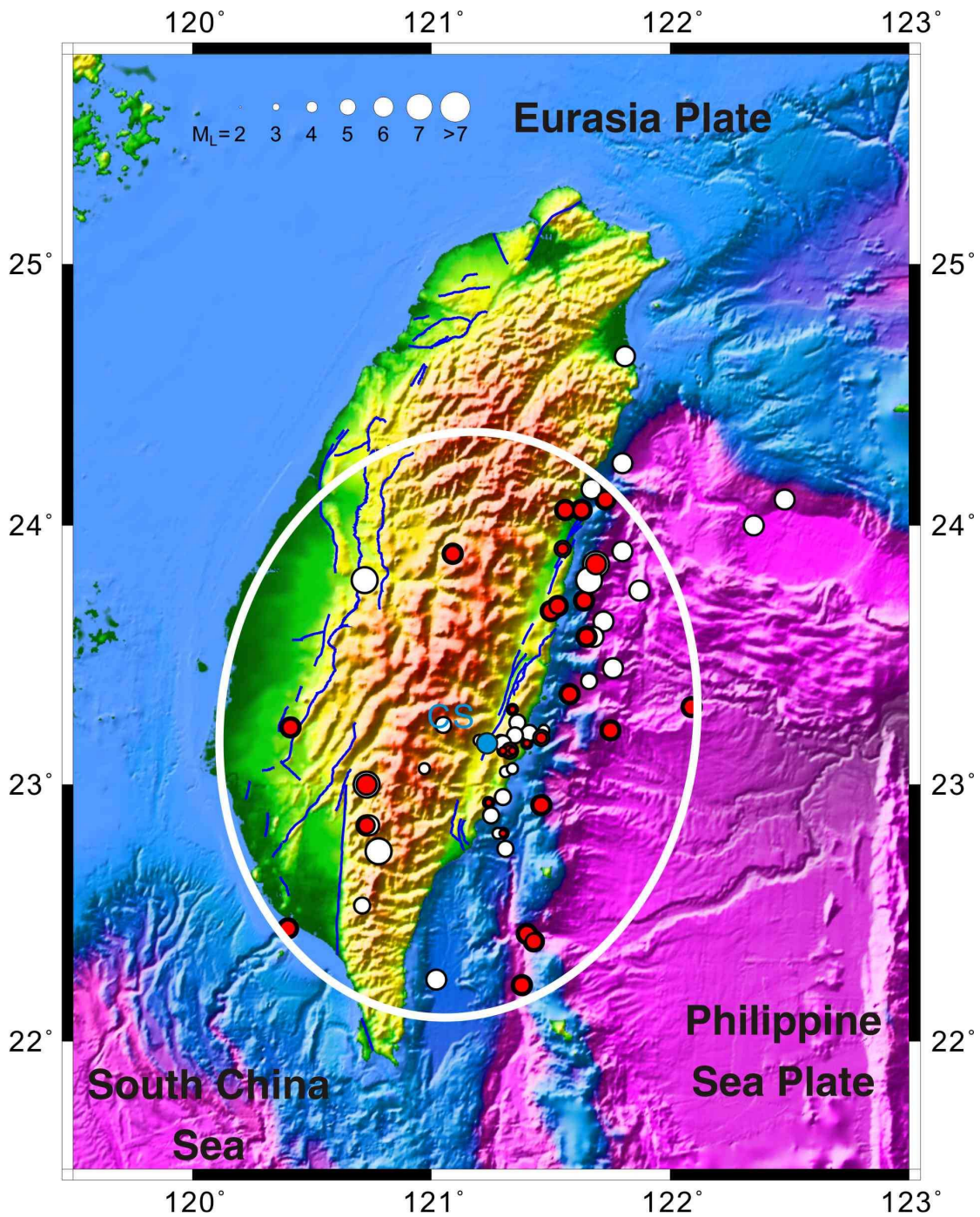


圖 8-16：台東池上站有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 12 月至 2012 年 11 月)，圓點代表符合篩選之地震；紅點代表有氣體前兆之地震，圈選區域為該測站敏感反應範圍。

8.2 地下水壓觀測結果

8.2.1 震央分布統計結果

統計自 2008 年 12 月至 2012 年 10 月有前兆地下水位反應之地震及反應之地震，列於表 6-1 至表 6-3，並將其空間分布繪於圖 8-17、圖 8-18 及圖 8-19。

台北地區共篩選出 161 起地震（表 6-1），有前兆之地震 39 起，多分布在台灣東北部及外海，島弧邊界（圖 8-17 中虛線部分）以東、花東縱谷北段的部分，少位在於灣中部地區。有數起具有水位前兆的地震不符篩選條件，這些地震多位於台灣東北部沿海一帶。

新竹地區共篩選出 118 地震，其中有水位前兆之地震共有 36 起（表 6-2）。有水位前兆之地震除了數起新竹境內小規模地震外，多分布在台灣東北部及花蓮近海（圖 8-18）。有兩起具前兆之地震位於台灣中南部。2010 年 3 月 4 日甲仙地震與 2012 年 2 月 26 日霧台地震，規模都是 6.4，這兩起地震造成台北、新竹、嘉義 2~6 級震度，新竹、嘉義之觀測井有前兆反應。另一起台東外海規模 6.8 的地震，發生於 2010 年 4 月 26 日，震央距觀測站將近 400 公里，台北、新竹、嘉義觀測站皆有震前水位異常現象。有三起地震出現地下水位異常反應但不符篩選條件，這些地震位於台灣東北部沿岸附近。

嘉義地區共有篩選出 255 起地震（表 6-2）其中具前兆水位反應者有 103 起，多位於台灣中南部及東部外海（圖 8-19）。有多起不符篩選條件的地震，有地下水位異常前兆，多是觀測井鄰近地區-嘉南地區-發生的地震。嘉義地區規模小於 4 有前兆反應的地震，其震央距觀測站皆在 80 公里以內。150 公里以外具有水位前兆反應的地震，規模皆大於 5。

本年度（自 2011 年 12 月至 2012 年 10 月）地震規模 5 以上且跨兩個觀測群以上有震前水位異常之地震，包括：**2012 年 2 月 26 日規模 6.4 的霧台地震**、**2012 年 4 月 9 日規模 5.7 的台灣東部海域地震**，此二地震震源深度皆小於 30 公里。2 月 26 日霧台地震，新竹新樂站與嘉義云水站地下水位有明顯震前水位異常，雙溪站則因為受到降雨干擾，無法判別。4 月 9 日台灣東部海域地震，台北地區錦和站與明德站以及新竹地區的新樂站皆有震前異常。

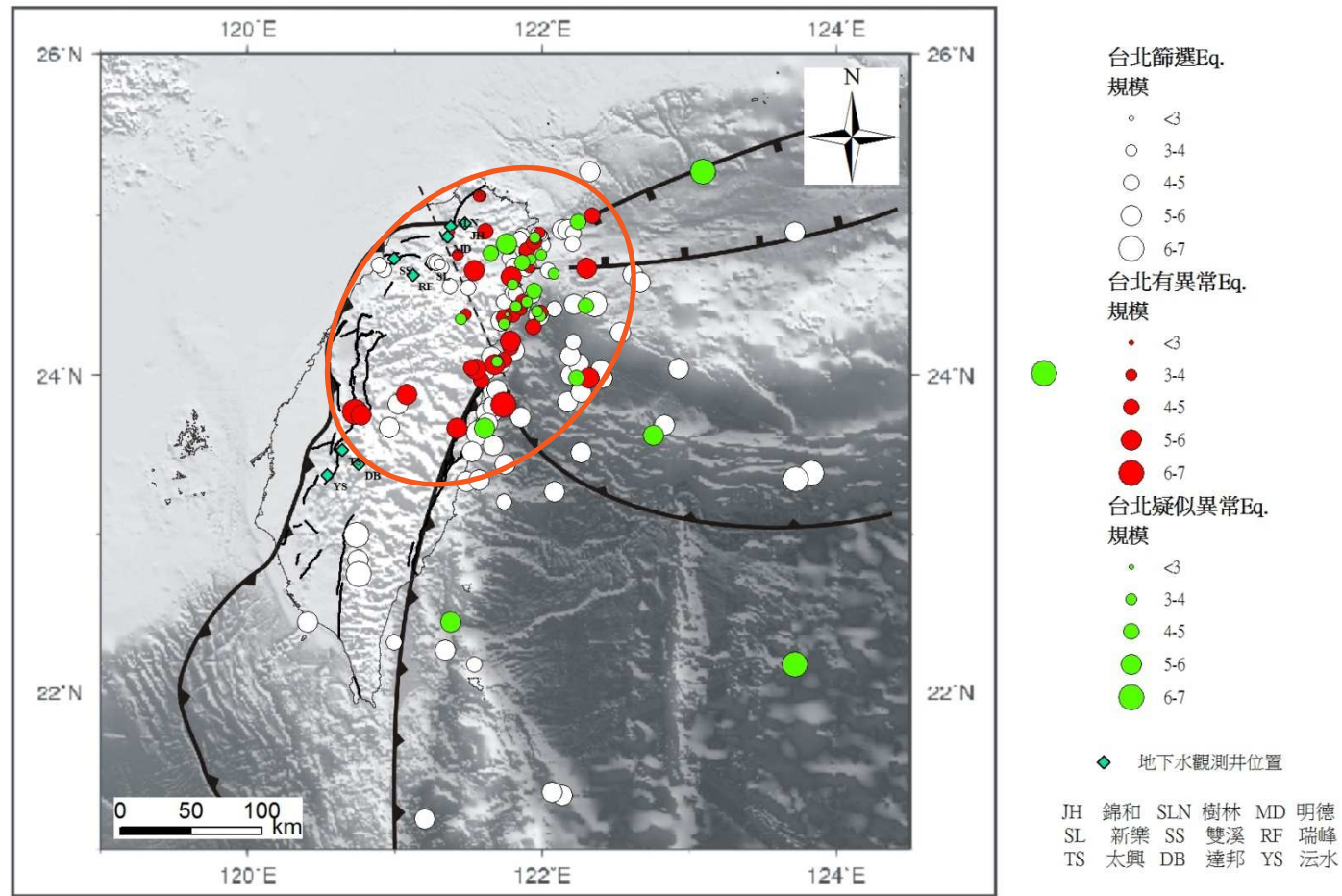


圖 8-17：台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及台北地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 11 月至 2012 年 10 月)。圈選區域為台北觀測站敏感反應範圍。

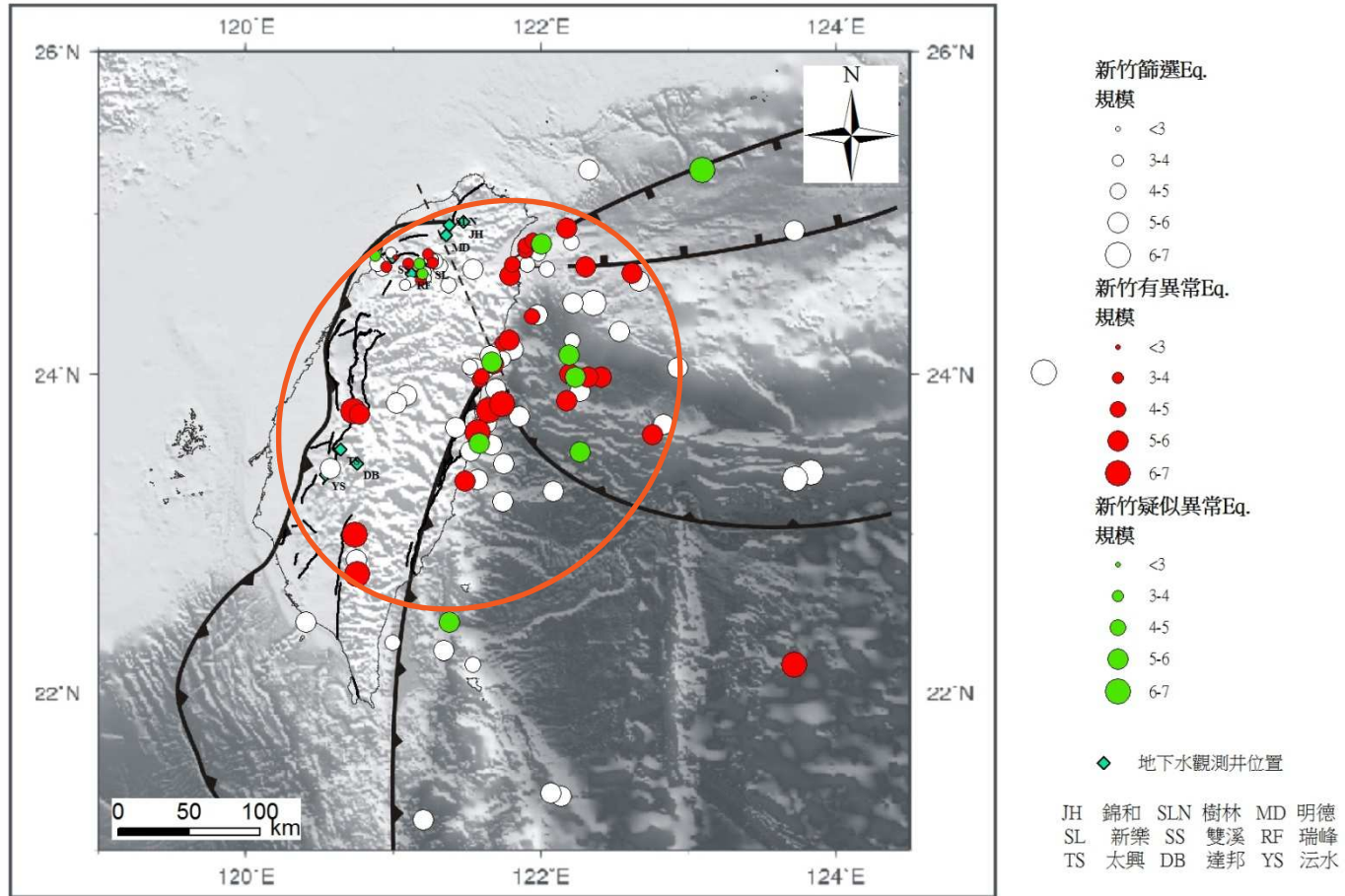


圖 8-18：台灣島與鄰近地區的板塊構造架構，以及新竹地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 11 月至 2012 年 10 月)。圈選區域為新竹觀測站敏感反應範圍。

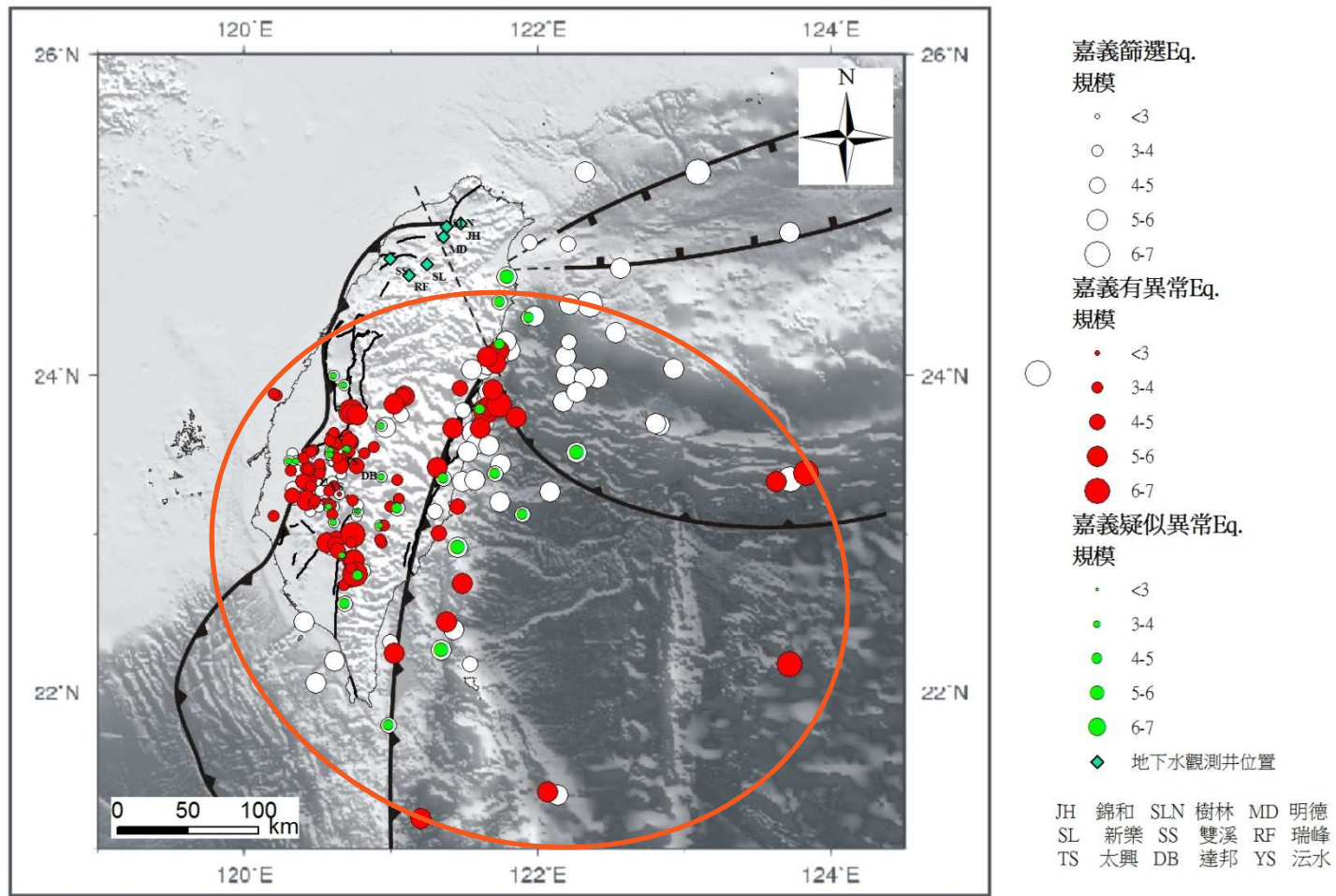


圖 8-19：台灣島與鄰近地區的板塊構造架構，以及嘉義地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 11 月至 2012 年 10 月)。圈選區域為嘉義觀測站敏感反應範圍。

8.2.2 水位異常之自動判釋

8.2.2.1 水位異常型態分類

地下水井之水位變化型態，取決於當地地層的水文與地質特性，故位於不同地質構造之地下水井，呈現出的震前水位異常形式也有不同。經本計畫期間之觀測，已將各水井地下水位變化之型態分成以下四類：

1. 受雨量影響程度大，降雨所造成的水位變動幅度超過與地震相關的水位異常的幅度。

此類水井在降雨期間之水位資料難以作為地質水位研究之用。若欲以時頻分析方法解析長期水位變化，則絕大多數的異常訊號會被降雨所造成的水位升降所掩蓋。截至目前觀察資料統計結果，發現降雨量與水位上升幅度之間仍無明確之線性關係，不易以數學方法將之去除。此外，降雨時間也無規律性，無法用時序分析方式將降雨影響去除。此類水井多分布於北部，以台北站群中的**明德**、**錦和**、**樹林**以及新竹站群中的**新樂**等四口水井為代表。

2. 受降雨影響程度小，多數降雨所造成的水位變動幅度不及水位異常的幅度。

平時的降雨對此類水井水位的影響輕微，僅在豪大雨時期才會出現水位明顯上升的情況。目前可使用時序分析方式，解析長期資料並進行水位異常自動判視，但必須將明顯受到降雨影響之時段去除，才可有較好的判定結果。此類水井多位於嘉義地區，以**中興**、**太興**與**達邦**三口水井為代表。另外，新竹站群的**雙溪**站也屬於此類水井。此站的情況較為特殊，前兆水位異常與降雨都會造成該站的地潮水位反應減弱，而對長期趨勢則是無影響。

3. 受雨量影響不顯著。

由目前為止所觀測的資料得知，僅嘉義站群的**沄水**站幾乎不受降雨影響，使用時序分析方法應可有良好的結果。但沄水站之水位異常型態在本計畫的四年觀察期內有數次變化。2009年至2010年間，水位異常主要是為期數日、先降後升，地震於異常水位回升時發生；在2010年末至2011年，水位異常形式突然轉為頻繁而且快速的水位大幅驟降。於2011年末回到較穩定的型式，且在2012年的四到六月間又再度出現驟降的型式，在2012年7月將井口蓄積的氣體釋放後，水位異常型態又改為先升後降。

4. 至目前為止尚未觀察出規律者：

水位變化無規律或水位變化於地震前無顯著反應者，在本計畫四年的觀察中屬於不良或不敏感的水位井，該類水井有**梅花**、**瑞峰**等二口。

8.2.2.2 水位異常自動判釋

於上述之三種水位變化型態，本研究利用以下數學或統計方法客觀判釋水位異常事件。

A. 水位變化之曲線斜率變化判定法（簡稱斜率法）：

此方法主要用於受降雨影響顯著的水井：明德、錦和、樹林、新樂；將目前目視判定（簡稱目視法）水位異常的依據，改以數學計算量化，找出非受降雨影響之異常水位升降，其方法如下：

1. 取判斷點前24小時資料（目前記錄頻率為每分鐘一筆，故為1440筆水位數據）繪製趨勢線，得趨勢線斜率A；取判斷點後24小時資料繪製趨勢線，得趨勢線斜率B。
2. 比較A與B斜率值，若出現由負轉正且 $\tan^{-1} | (A-B) | > 15^\circ$ 者則視為異常點，由正轉負者則不視為異常。
3. 當A與B同符號時，增加比較A與B之值，若 $\tan^{-1} | (A-B) | > 30^\circ$ 以上者也視為異常點。
4. 每小時判斷一次，一日有24個判斷點，但僅允許每日的第一個正負號轉換定義為異常點。
5. 若該異常點的前24小時與後1小時有降雨情況，則該異常點取消。

由以上五個步驟所盼視之水位異常，基本上與絕大部分之目視判定結果一致；不過仍可觀察少數之前因無地震而漏判之水位異常點。目前步驟2與3所使用的 15° 與 30° 標準，是由數次試算所得之經驗數值。

將上述標準統一套用至2008年12月至2012年10月之水位資料，與原目視判定的水位異常次數有些許差異，於此計畫書中使用明德站2012年3至7月的資料為例（圖8-20至圖8-24）。明德站3月份資料中，3月1日至3月2日期間水位由下降轉上升（圖8-20），且附近皆無降雨，應可視為無地震事件的水壓異常狀況。4月、5月、6月、7月等四個月份的資料中，各出現了一個水位異常時間點，與原本目視研判吻合，故在此五個月期間，斜率判斷法所得到的水位異常點與目視法吻合度達80%。

明德、錦和、樹林、新樂四站水位異常數量差異的統計列於表8-4。整體而言，目視的水位異常判斷數量與斜率計算判斷法所決定之水位異常個數十分接近，時間點完全吻合的比率約在70%左右。最主要造成差異的原因應為雨量資料的更新，以及之前因為無地震事件發生而未察覺的水位異常。

目前本方法仍在試用階段，斜率判斷基準仍可進一步累積更多實例後加以調整，對於台北與新竹站群受雨量影響較大的井站水位異常判定相當有幫助。

明德

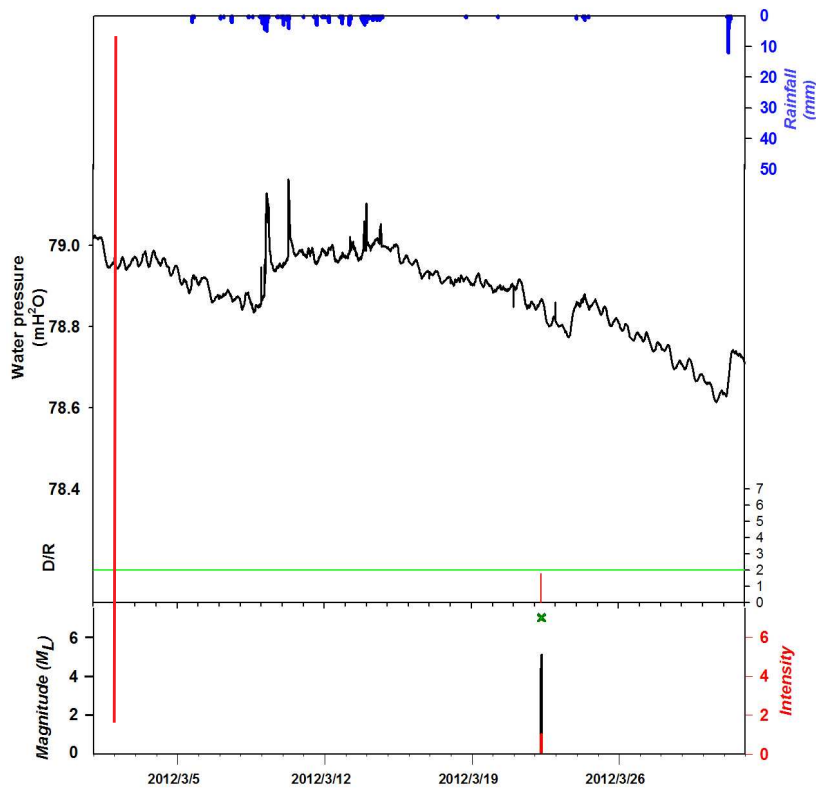


圖8-20：
明德站 2012年3月份水位資料原目視法判釋之異常與斜率法判斷水位異常之比較，圖中直線為斜率法判釋之異常點。本月份斜率法判斷之水位異常為1處，原目視法判斷則為0處。

明德

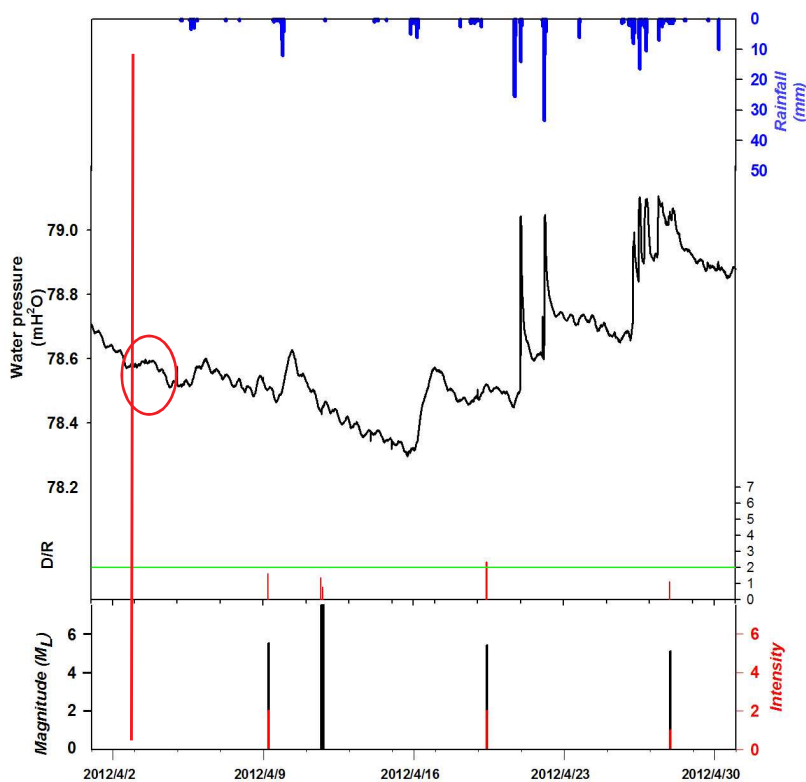


圖8-21：
明德站 2012年4月份水位資料原目視法判釋之異常與斜率法判斷水位異常之比較，圖中直線為斜率法判釋之異常點，圓圈為以往目視法判定之異常點。本月份斜率法判斷之水位異常為1處，原目視法判斷則為1處，位置吻合。

明德

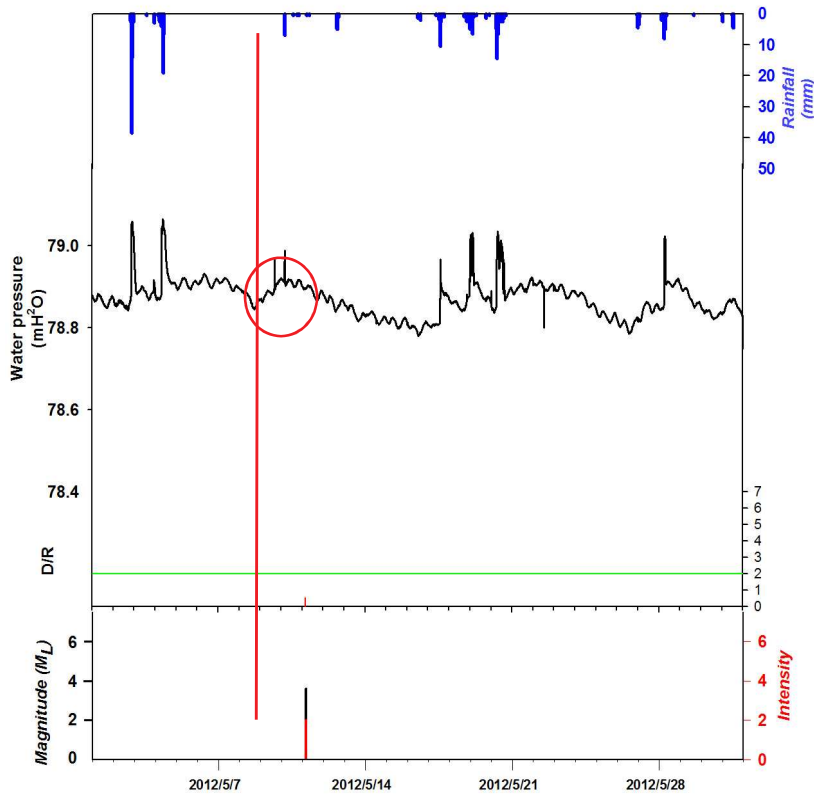


圖8-22：
明德站 2012年5月份水位資料原目視法判釋之異常與斜率法判斷水位異常之比較，圖中直線為斜率法判釋之異常點，圓圈為以往目視法判定之異常點。本月份斜率法判斷之水位異常為1處，原目視法判斷則為1處，位置吻合。

明德

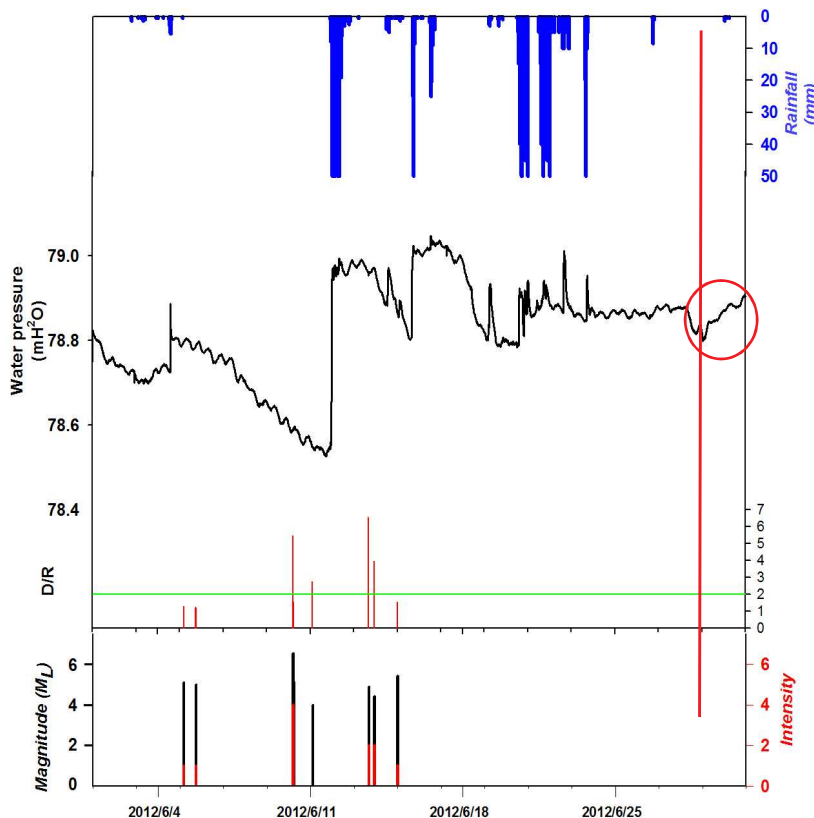


圖8-23
明德站 2012年6月份水位資料原目視法判釋之異常與斜率法判斷水位異常之比較，圖中直線為斜率法判釋之異常點，圓圈為以往目視法判定之異常點。本月份斜率法判斷之水位異常為1處，原目視法判斷則為1處，位置吻合。

明德

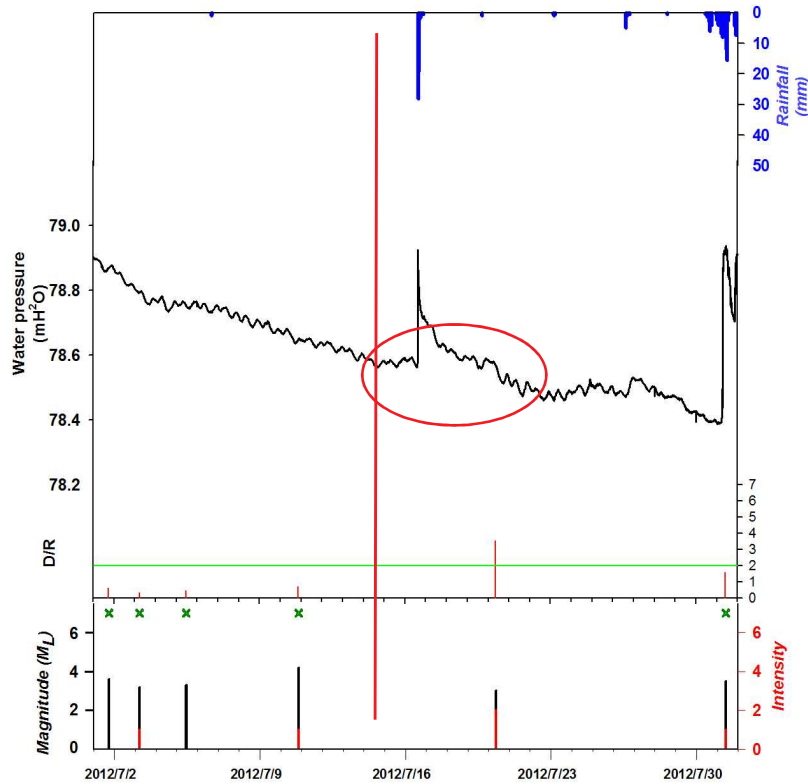


圖8-24：
明德站 2012年7月份水位資料原目視法判釋之異常與斜率法判斷水位異常之比較，圖中直線為斜率法判釋之異常點，圓圈為以往目視法判定之異常點。本月份斜率法判斷之水位異常為1處，原目視法判斷則為1處，位置吻合。

表8-4：2008年12月至2012年10月，明德、錦和、樹林、新樂四站水位資料斜率法判定與原目視法判定之水位異常事件數量比較表

站名	目視法判釋	斜率法判釋	兩者水位異常時間 點吻合數
	異常數	異常數	
明德	28	31	20
錦和	22	20	15
樹林	14	15	10
新樂	29	27	20

B. EMD時序分析判定法：

經驗模式分解法EMD (empirical mode decomposition)，是目前對於週期波資料進行時序分析的主流方法之一，簡單的原理先以EMD法將所要分析的資料拆解成10至15個不同週期的波形，再選擇自己所需要的週期區段來進行波的和成，藉此可以濾除我們不需要的週期，例如水位資料則會濾除週期小於一或二日的短週期波，保留長週期波來觀察地震對水位變化的影響。

基本上受雨量影響越少的資料越適合EMD法，目前先對沅水站進行試驗性分析，選取2天以上、20天以下之週期波組合，分析結果如下：

a. 2009年6至12月

沅水站從2009年5月起開始觀測，早期水位相當不穩定，故先將6月份之前的資料刪除，結果如圖8-25所示。上圖為原始水位資料，圈圈處為未使用EMD法前以目視法判定的水位異常點，下圖為經EMD分析後之圖譜，已將Y軸座標轉換為變異數 σ 值倍數，在此設定為數值超過1.5倍 σ 則視為異常並圈選之。

此時段中，原目視法判定水位異常有10處，而EMD法判定之水位異常也是10處。2009年6月初期水壓波動超過1.5倍 σ ，但目視法因初期水壓不穩且附近無明顯符合篩選條件之地震而未將該時間點視為水位異常，反之，在2009年7月5日日視法觀察有一水位異常，但水位會下降未達1.5倍 σ 而以EMD法不算異常。

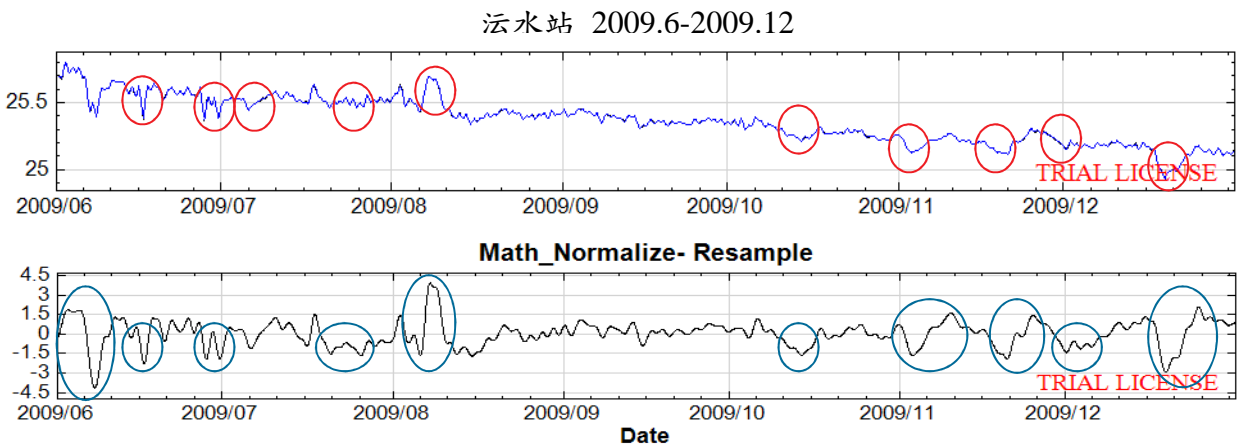


圖8-25：2009年6月至12月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖。

b. 2010年1至6月

同樣以EMD法設定，超過1.5倍 σ 值者認定為水位異常（圖8-26）。6月底出現一處幅度相當大的水壓異常（ $>3\sigma$ ），若將之併入變異值的計算，會使變異值過度提高而掩蓋過其他異常點，故在計算變異值時將此段負異常去除，但仍在該時間點標為水位異常。

此時段中，原目視法判定水位異常有6處，而EMD法判定之水位異常則有5處。差別在於4月26日的遠距離地震，原目視法判定4月21日左右有一先降後升的水位異常，但實際上並未超過1.5倍 σ 的門檻值，故EMD法不將其判定為水位異常。

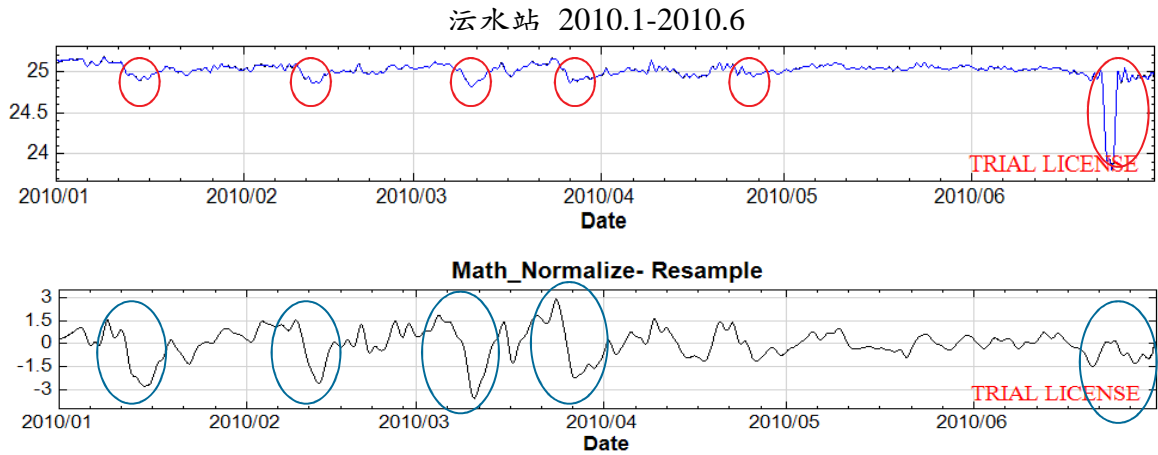


圖8-26：2010年1月至6月水位資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖。

c. 2010年7至12月

2010年10月份後，沅水站的水位異常型態改變，從原本維持數天的先降後升型態，轉變成頻繁而且快速、大幅度的洩降。

在這6個月之中出現四次會對 σ 值計算造成極大影響的負異常（首次計算 σ 值後， $\sigma > 3$ 者），分別為8月21日、11月17日、11月22日、12月8日四個時間點，將此四段降幅之數值去除後再計算 σ 值，並在此四點標記已確認的水位異常。

此段時間中，原目視法判定水位異常有12處，而EMD法判定之水位異常則為13處。差別點在於10月27日左右的水位下降，之前是因附近無相關地震而未察覺為水位異常，但實際上已超過1.5倍 σ 的門檻值，故EMD法將其判定為異常。

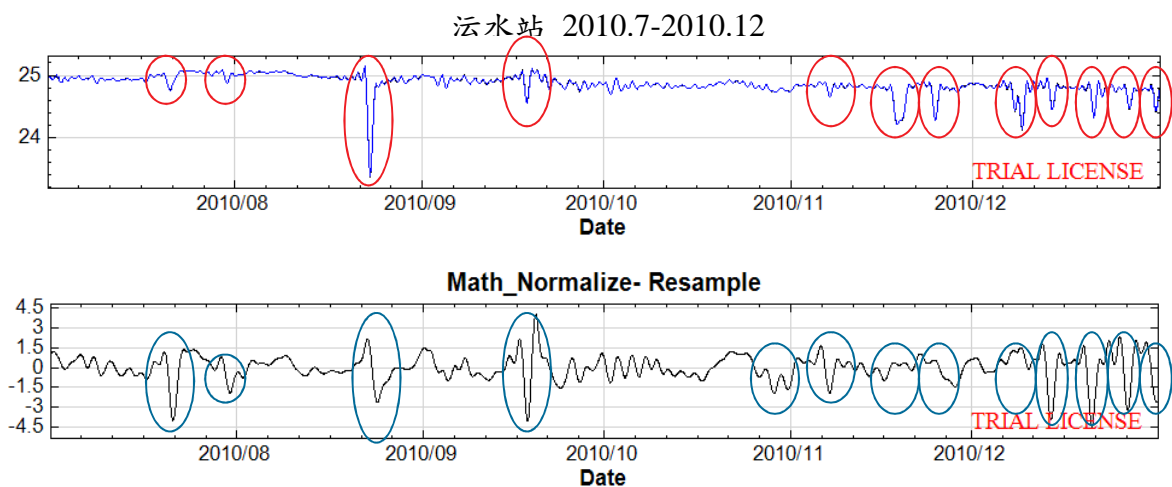


圖8-27：2010年7月至12月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖。

d. 2011年1至6月

此六個月間水位驟降的情況相當多，過多與過密集的異常會造成EMD方法判斷上的困難，故此段時間EMD法與目視法判斷結果不吻合的情況較多。

在這6個月之中出現四次會對 σ 值計算造成極大影響的負異常（首次計算 σ 值超過3者），分別為2月11日、2月27日、3月26日、4月4日四個時間點。將此四段降幅之數值刪除後再次計算 σ 值，並在此四點標記為已確認的水位異常。

此時段中，目視法判定水位異常有25處，而EMD法判定之水位異常為23處。雖然數字上相近，但時間點吻合者不多，如第一個月中的7處目視異常，與EMD法判斷的7處水位異常多在不同時間點，5月初原目視判定有兩處水位異常，但也都因不足1.5倍 σ 而被EMD法剔除，5月底的水位異常位置也有些許差異。

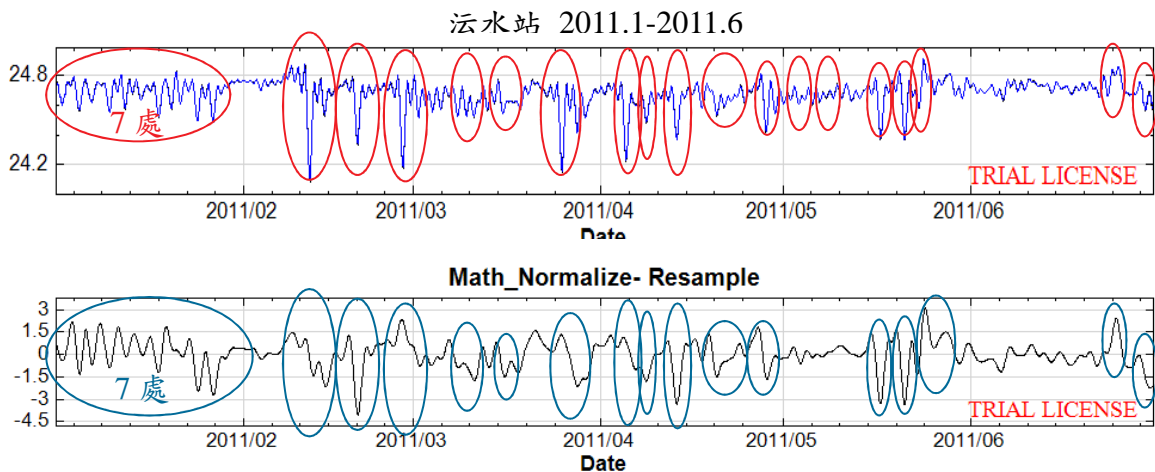


圖8-28：2011年1月至6月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖。

e. 2011年7至12月

此時期目視法判別與EMD法判別之水位異常差別很大，原因在於快速發生的驟降事件會因EMD的拆解法而被融合甚至忽略，且因波型連續震盪，使EMD合成波形時常以假訊號加以彌補，故原始訊號與EMD訊號外型差異大。

在這6個月之中出現三次會對 σ 值計算造成極大影響的負異常（首次計算 σ 值後， $\sigma > 3$ 者），分別為8月29日、11月25日、12月2日三個時間點，將此三段數值刪除後再次計算 σ 值，並在此三點標記已確認的水位異常。

此時段中，原目視法判定水位異常有15處，而EMD法判定之水位異常則為12處，且多數位於不同的位置。

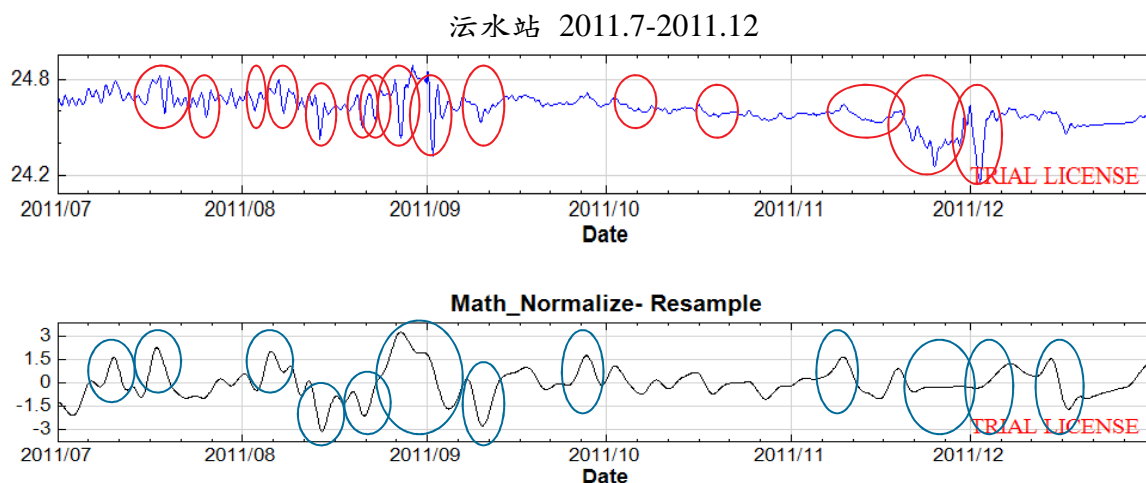


圖8-29：2011年7月至12月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖。

e. 2012年1至6月

與上一時期相同，快速的水壓洩降造成原目視法判斷結果與EMD法判釋結果相去甚遠，故2011年後半年與2012年前半年可說是云水水位相當不穩定的時期，但細查快速洩降的時段，常可發現嘉義地區附近的小地震活動頻繁，是否特殊的水位變化與此相關，仍需其他觀察資料佐證。

在這6個月中出現一次會對 σ 值計算造成極大影響的負異常（首次計算 σ 值後， $\sigma > 3$ 者），時間點在4月25日，將此段數值刪除後再次計算 σ 值，並在4月25日標記上已確認的水位異常。

此時段中，原目視法判定水位異常有13處，EMD法判定之水位異常則為11處，僅有6處時間相近，其他多數都是原先未判斷的異常點或是已判斷但經EMD分析後因不足門檻值而刪除，尤其5月的連續洩降更加明顯。

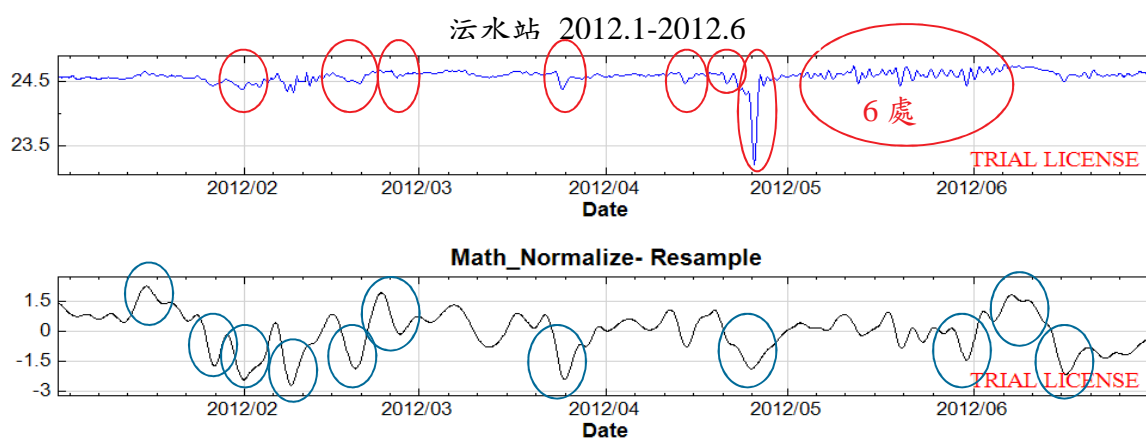


圖8-30：2012年1月至6月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖。

f. 2012年7至10月

在2012年7月6日，進行了沅水井口洩氣的小工程，將沅水井的水位導至地面以上，井口不再蓄積氣體，水位的異常型態也開始趨於穩定。

在這段期間內，8月1日的異常值太大，將超過3倍 σ 的部分數值去除後再進行一次 σ 值運算；原目視法判定的水位異常個數為3個，而EMD法判定之水位異常則為7處，此結果是因為EMD的原點對應特性，當出現一個較大的波峰值（或波谷值）時，EMD會回饋性地在隨後增加一個較大的波谷值（或波峰值）來補償，若單看這段時間的正值的異常，是完全符合的。

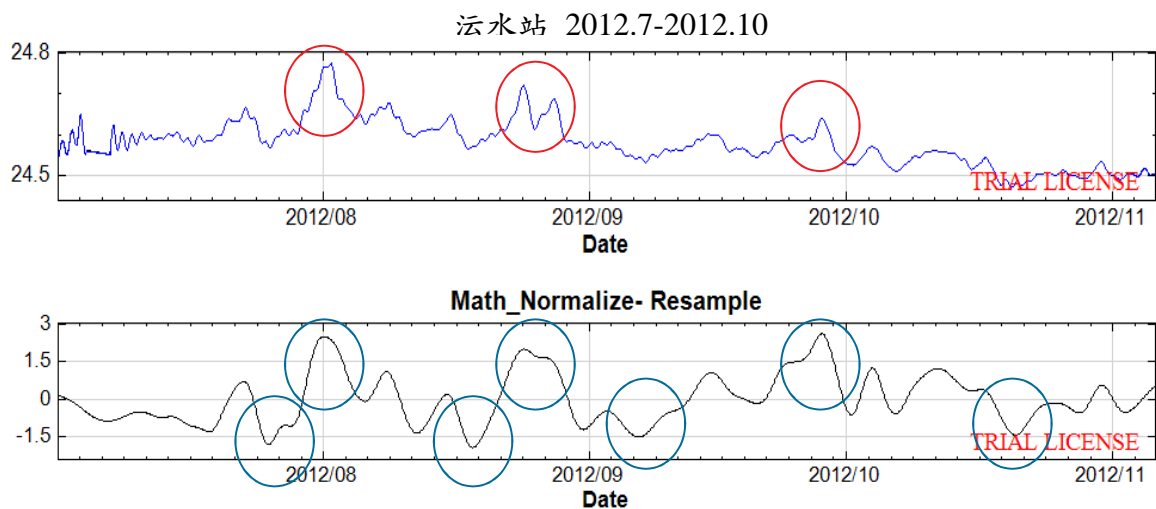


圖8-31：2012年7月至10月資料，原目視法與EMD法判釋結果比較圖。

比較目前所有井的水位資料，沅水仍是最適合使用EMD分析法的站，其水位不受雨量影響，且無年週期、四季週期的變化的特性，使得資料相對穩定。雖然仍有些不穩定的時期出現，但EMD法與目視法判定的吻合度已是所有站中最高的。

目前適合沅水站的EMD參數為：

1. IMF週期選用2至20天。
2. 以1.5倍 σ 為判斷異常標準，但超過3倍 σ 的數值則需將其去除後再重新計算一次 σ 值。
3. 每期的時間長度以6個月較為合適，倘若不需觀察同震效應，水位計每10分鐘記錄一筆資料已足夠分析之用。

8.3 地下水氬及地下水溶解氣觀測結果

8.3.1 安通觀測站與地震活動之關聯性

本計畫2009年3月至2012年11月初期間，持續在花東縱谷南段安通溫泉安通站監測井定期採集水樣，分析地下水水氬及溶解氣體（甲烷及氮氣）。執行本計畫期間，花東縱谷南段未發生強震（ $M_w > 6.0$ ），安通溫泉安通站監測井中地下水水氬及地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）濃度也未觀測到異常之變化（圖7-2至7-4）。安通站SARAD及LSC量測之地下水水氬濃度比較後（圖7-21），結果顯示SARAD量測相當穩定。安通溫泉具適當地質條件，建議持續長時間監測安通站地下水水氬濃度，捕捉下次在花東縱谷南段發生災害性地震之前兆。

8.3.2 社頂觀測站與地震活動之關聯性

恆春半島墾丁公園社頂站分別於2009年9月及12月開始進行地下水水氬及溶解氣體（二氧化碳）之採樣及實驗室分析。本研究於2010年3月4日 $M_L = 6.4$ 高雄甲仙地震、2012年2月26日 $M_L = 6.4$ 屏東霧台地震及2012年10月25日 $M_L = 5.5$ 高雄地震來臨前，在墾丁公園社頂站地下水水氬及二氧化碳皆有觀測到異常下降之現象（圖7-10及7-14）因此可確定兩者之間對於墾丁公園社頂地區地層的應變有一定的反應。社頂站SARAD及LSC量測之地下水水氬濃度比較後（圖7-33），兩者皆在2012年10月25日 $M_L = 5.5$ 高雄地震來臨前，監測到地下水水氬濃度異常下降之地震前兆。

8.4 綜合觀測結果

綜觀在目前的觀察結果，可以發現到在某些較大的地震發生前，有兩個或兩個以上的土壤氣體觀測站或地下水壓觀測站可以發現到異常變化，同時地下水氬亦出現相對應的異常變化，尤其是規模較大的地震，其異常的前兆反應通常更是較為顯著。以下分別針對2010年3月4日高雄甲仙地震和2012年2月26日屏東霧台地震，數個地球化學測站異常變化情形來進行說明。

8.4.1 2010年3月4日高雄甲仙地震活動之關聯性

高雄甲仙地震發生前，土壤氡氣觀測站於雲林古坑站、嘉義中崙站、屏東屏科大站和台東池上站出現顯著異常；地下水壓觀測井於嘉義的太興站數天前出現異常；而地下水氡觀測於墾丁社頂站亦出現異常下降的現象，這些的異常變化應為甲仙地震的前兆訊息，如圖8-32所示。

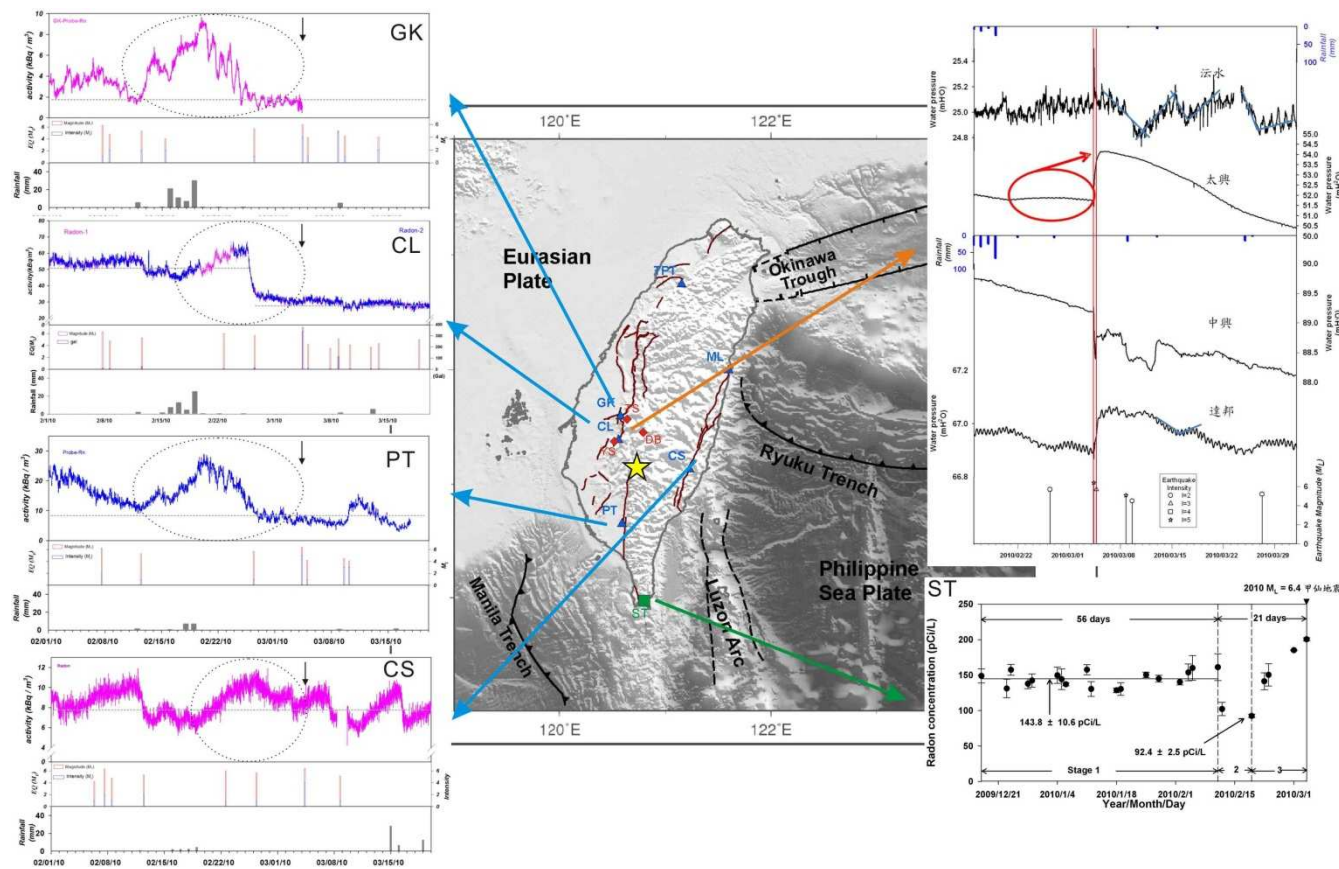


圖 8-32 2010/3/4 高雄甲仙地震與各觀測站之綜合觀測結果。分別為古坑站 (GK)、中崙站 (CL)、屏東站 (PT) 及池上站 (CS) 土壤氡氣成份觀測結果 (2010/2/1-2010/3/20)；嘉義地區太興 (TS)、中興 (CS)、達邦 (BD) 及沱水 (YS) 觀測井水壓變化 (2010/2/16-2010/3/31)；墾丁社頂站 (ST) 水氡觀測結果 (2009/12/15-2010/3/4)；D) 黃色星號代表地震的震央位置。

8.4.2 2012年2月26日屏東霧台地震活動之關聯性

屏東霧台地震發生前，土壤氡氣觀測站於嘉義中崙站及屏東屏科大站約兩星期前出現顯著異常；地下水壓觀測井於新竹新樂站和嘉義沄水站數天前出現異常；而地下水氡觀測於墾丁社頂站亦出現異常下降的現象，這些的異常變化應為霧台地震的前兆訊息，如圖8-33所示。

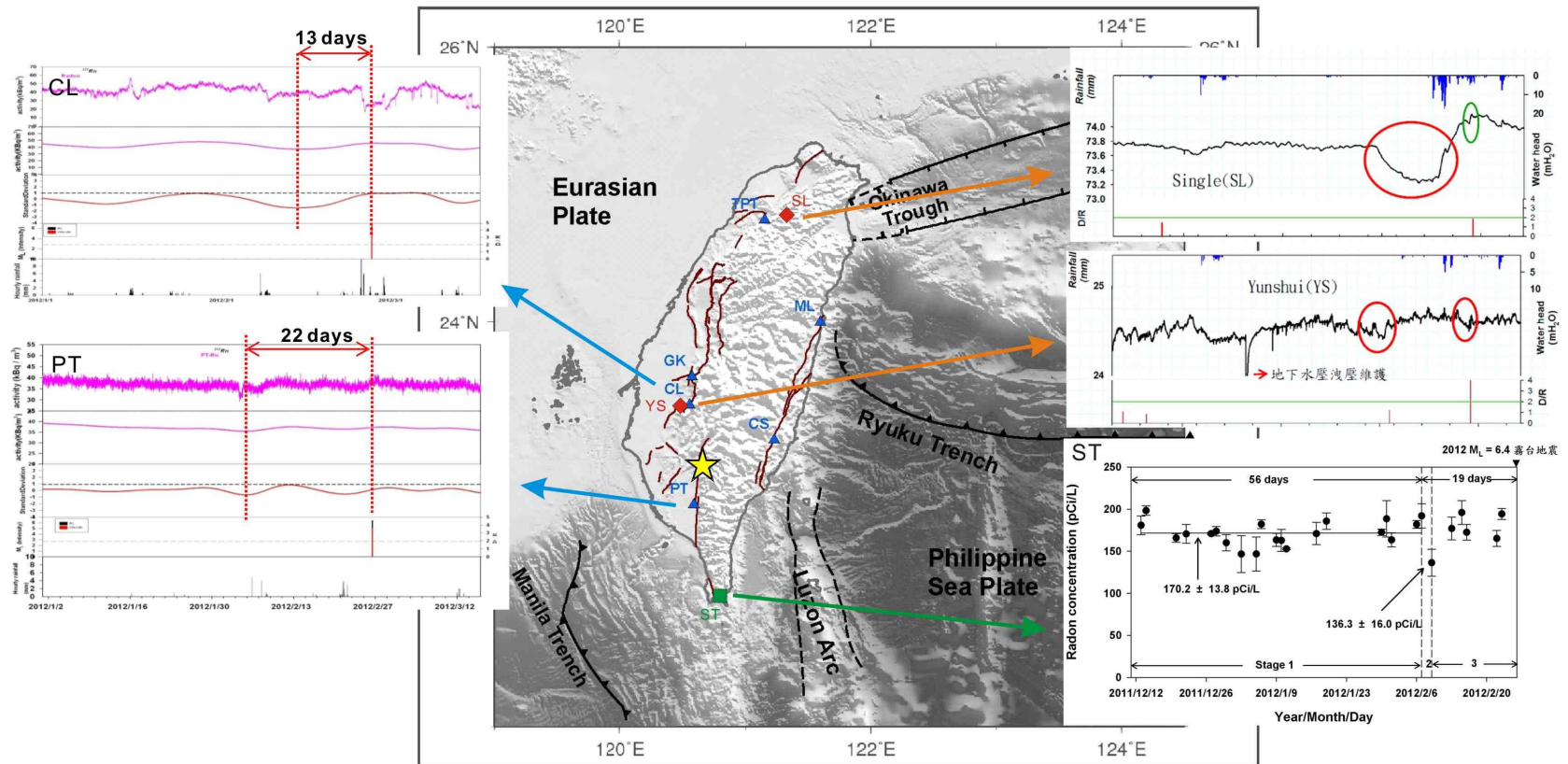


圖 8-33 2012/2/26 屏東霧台地震與各觀測站之綜合觀測結果。分別為中崙站 (CL) 及屏東站 (PT) 土壤氡氣成份觀測結果 (2012/1/1-2012/3/15)；新竹地區新樂 (SL) 觀測井及嘉義地區沄水 (YS) 觀測井水壓變化 (2012/2/1-2012/3/1)；墾丁社頂站 (ST) 水氡觀測結果 (2011/12/10-2012/2/26)；D) 黃色星號代表地震的震央位置。

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，氬氣濃度皆呈現異常的變化情形，在排除氣象因子及人為因素影響後，這些的異常值出現很可能的就是該次地震發生前的地震前兆訊息。截至目前為止以新竹大平地、嘉義中崙、屏東屏科大和台東池上觀測站的觀測成果較為顯著，在數個中至大規模以上的地震案例中，各測站同步出現明顯的濃度異常的變化，得以成功地捕捉到可能的前兆訊息，表 8-3 為 2008 年 12 月至 2012 年 11 月各觀測站成功捕捉前兆訊息之統計結果。其中，大平地站的成功捕捉率為 46%、古坑站的成功捕捉率為 5%、中崙濁水潭站的成功捕捉率為 26%、屏科大站的成功捕捉率為 32%、美崙站的成功捕捉率為 22% 以及池上站的成功捕捉率為 47%。
2. 本研究利用時序分析方法，如疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理不同觀測站的數據，初步結果顯示能夠濾除掉大氣溫度變化造成的氬氣濃度日夜震盪，也可辨識出與地震前兆的異常反應；然而尚無法有效地移除掉雨量對氣體的影響。此外 EMD 的標準差也會因為測站的特性及所選的時間區間而有不同的選擇依據，目前各測站分別以 1 倍和 1.5 倍標準差為異常門檻值。未來須累積更多資料，並藉由不斷地測試修改，找出更適合各觀測站的分析方法。
3. 統計自 2008 年 12 月至 2012 年 10 月資料，臺北站群符合篩選條件之地震共計 161 起，當中出現水位異常前兆者有 39 起，比率約為 24%，這些有前兆反應之地震主要分布在台灣東北部；臺北站群之水位站中以明德、錦和兩站較為敏感，樹林站次之，而三站大致之趨勢相近，其原因是受降雨所影響。新竹站群符合篩選條件之地震共計 118 起，當中出現水位異常前兆者有 36 起，比率約為 31%，多分布在台灣東北部及花蓮近海，有兩起具前兆之地震位於台灣中南部；新竹站群之前兆主要來自新樂站，少數來自雙溪站，瑞峰站至今仍未確認出與地震相關的水位異常前兆。嘉義站群符合篩選條件之地震共計 255 起，其中出現水位異常前兆者有 103 起，比率約為 40%，這些具水位異常前兆之地震多位於台灣中南部及東部外海；在嘉義站群之中，絕大多數之異常反應來自於沕水站，而太興、達邦站也會在較大地震前出現水位異常現象。
4. 水位異常自動判釋方面，目前已採用斜率法針對受降雨影響較大的站點作異常判斷輔助，以及 EMD 法（經驗模態分解法）對不受降雨影響的站點作時序分析；此二方法已能順利運作於多數站點，異常判釋之符合度在七成以上，往

後之水位異常則可改為此二方法為主、目視法為輔之自動判釋。

5. 因目前地下水壓觀測站均集中於北部以級嘉義地區，而地震好發帶花蓮地區則無地下水壓觀測站，若經費允許，建議增設花蓮之地下水壓觀測站點，預期將可得到更多來自於地震之水位資訊。
6. 地下水水氣即時連續監測站(安通站)地下水溫度過高，已用可耐高溫之 PVC 材料解決原廠氣水分離器發生龜裂之情形。
7. 地下水水氣即時連續監測站(社頂站)地下水中的碳酸鈣含量高，已成功抑制地下水中二氧化碳逸散，解決碳酸鈣結垢之問題，連續監測數據相當穩定，並與實驗室分析結果一致。
8. 墾丁公園社頂站在 2010 年 3 月 4 日 $M_L = 6.4$ 高雄甲仙地震、2012 年 2 月 26 日 $M_L = 6.4$ 屏東霧台地震及 2012 年 10 月 25 日 $M_L = 5.5$ 高雄地震來臨前，地下水水氣及二氧化碳皆有觀測到異常下降之現象。建議繼續監測墾丁公園社頂站地下水水氣及溶解氣體(二氧化碳)濃度變化，預期能捕捉甲仙及霧台附近發生災害性地震之前兆。
9. 安通溫泉及墾丁公園社頂之地質條件(脆性含水層被延展性地層包圍)適合觀測地下水水氣濃度異常下降之地震前兆。
10. 同時檢視土壤氣體、地下水壓及水氣等地球化學觀測站，發現在特定大地震來臨前，數個觀測站能在數天至數周前觀察到異常的變化。例如在 2010 年 3 月 4 日甲仙地震前 ($M_L=6.4$)，古坑、中崙、屏科大及池上氣體觀測站之氦氣濃度呈明顯的異常變化，太興地下水壓井之水位亦出現震前反應，以及社頂水氣站也記錄到前兆反應；2012 年 2 月 26 日屏東霧台地震 ($M_L=6.4$)，中崙與平科大土壤氣體觀測站之土壤氦氣數天前即呈現顯著前兆異常，新樂、汙水等水位站及社頂水氣站都有明顯的震前異常變化

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。
- 丹桂之助 (1936) 有關三叉逆衝斷層及附近之地質構造，台灣地學記事，第 7 卷，第 1-3 號。
- 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。
- 林朝繁 (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。
- 林啟文、盧詩丁、石同生、林偉雄、劉彥求、陳柏村 (2008) 台灣中部的活動斷層：二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書，經濟部中央地質調查所特刊，第二十一號，共 148 頁。
- 林啟文、陳文山、劉彥求、陳柏村 (2009) 台灣東部與南部的活動斷層，二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第二十三號，共 178 頁。
- 李元希、吳維毓、石同生、盧詩丁、謝孟龍、張徽正 (2000) 九二一集集地震地表變形特性—埤豐橋以東，經濟部中央地質調查所特刊，第十二號，第 19 至 40 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、李寄嶠（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、李寄嶠（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、李寄嶠（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(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。
- 張麗旭（1951）三叉衝上斷層及其附近之地質構造，台灣省地質調查所彙刊，第 3 號，23-34 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) 連續水氫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，第 33 頁。
- 劉聰桂、陳正宏、宋聖榮、楊燦堯、李寄嶼 (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) Some experience 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 Planetary Science Letter*, 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, no. 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., & 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.
- Etiopo, 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.
- Etiopo, 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 (9-10):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.

- Hauksson, E. (1981) Radon content of groundwater as an earthquake precursor: Evaluation of worldwide data and physical basis. *Journal of Geophysical Research*, 86, no. 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. (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, no. 5220, 60-61.
- Igarashi, G., Tohjima, Y. and Wakita, H. (1993) Time-variable response characteristics of groundwater radon to earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 20, no. 17, 1807-1810.
- Igarashi, G.; Wakita, H. and Sato, T. (1992) Precursory and coseismic anomalies in well water levels observed for the February 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
- 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, no. 5, 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, no. 1, 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, no. 3, 295-299.
- Kuo, T., Lin, C., Chang, G., Fan, K., Cheng, W. and Lewis, C. (2010a) Estimation of aseismic 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, no. 2, 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*, Vol. 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.
- Kuo, T., Lin, C., Su, C., Liu, C., Lin, C.H., Chang, C. and Chiang, C. (2011)

- Correlating recurrent radon precursors with local earthquake magnitude and crust strain near the Chihshang fault of eastern Taiwan. *Natural Hazards*, 59, 861-869.
- 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, no. 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, Proceedings of the ROC-JAPAN Joint Seminar on Multiple Hazards Mitigation, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC, March.
- Meng, C.Y. (1963) San-I overthrust. *Petro. Geol. Taiwan*, 2, 1-20.
- 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., Radolic, V., Vukovic, B., Poje, M., Varga, M., Stanic, D., *et al.* (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, no. 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., Hernandez, P. A., Padron, E., Melian, G., Marrero, R., Padilla, G., *et al.* (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, no. 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 N₂/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, no. 4102, 803-810.
- Silver, P.G. and Wakita, H. (1996) A search for earthquake precursors. *Science*, 273, no. 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, p.1035.
- Toutain, J.P., Munoz, M., Poitrasson, F. and Lienard, A.C. (1997) Springwater chloride ion anomaly prior to a ML=5.2 Pyrenean earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 149, 113-119.
- Teng, T.L. (1980) Some recent studies on groundwater radon content as an earthquake precursor. *Journal of Geophysical Research*, 85, no. B6, 3089-3099.

- 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.
- Thomas D. (1988) Geochemical Precursors to Seismic Activity. *Pageoph* 126, no. 2-4, 241-266.
- Toutain, J.P. and Baubron, J.C. (1999) Gas geochemistry and seismotectonics: A review. *Tectonophysics*, 304, 1-24.
- 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, no. 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, no. 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., *et al.* (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.
- Weigel, F. (1978) Radon. *Chemiker Zeitung*, 102, 287-299.
- 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.

附錄一 今年期中報告審查委員意見及答覆情形

意見	回覆
1. 本報告將一些重要但須用到的資料，置於附錄方式值得讚許。	答：感謝指導。
2. 本計畫工作團隊多年執行本計畫，由先期的嘗試與繁雜瑣碎工作成果中，逐年彙整至今已具相當規模，以及豐碩成果。	答：感謝指導，會繼續努力。
3. P.1 最後一行『建立可能之地震預測模型』在計畫執行期間達成的困難度過高，建議改採較為中性保守的文字敘述。	答：遵照辦理，已修正。
4. 時序分析方法，除了應用在氣體觀測站資料，是否也應應用在地下水壓觀測站及水氬觀測站資料，若不適合，也應說明。	答：地下水觀測站方面，目前已可使用斜率法與 EMD 法兩種方式輔助判釋水位異常，詳細內容請參閱期末報告 6-5 結中，自動判定方法之內容。以時序分析方法分析水氬觀測站資料，濾除豐枯水季週期之影響後，對於協助判識地震前兆並無效果，目前正積極尋找適合的分析方法協助判識地震前兆。
5. P.39 $D=10^{0.43M_L}$ km，則 $M_L=7$ 的地震 D 可達 1000km，為何要用 630 公里以上的數值？請說明。	答：由於台灣由北到南最大範圍約 630 公里左右，使用此數值代表 D 已包含整個台灣。
6. P.77 表 4-16 備註欄以「V」表示確認地震與氬氣異常有高度相關，「V」有大小寫分別，是否代表不同意義？若無，建議統一。	答：遵照辦理，已修正。
7. P.109 表 5-1，紅色數字代表甚麼？若為異常值則 Rn 異常值共 7 處，但 T2、T4、T14 也很高，為何不是異常。	答：已修正。
8. P.227 之第 9 點，花蓮土壤站，目前是否有確切遷站位址？	答：已完成遷站。
9. 水壓計電腦判讀異常，是否與逸氣相同或相異，試討論其原因？	答：目前沄水水位站所遭遇的特殊狀況，經研判應非水壓計判讀異常，而為井內氣體累積所造成的結果。原因推測為：當井內氣體累積至某一臨界條件時，氣體將順著地層的微裂隙散逸出，造成快速降壓的情況，又因沄水井之地層為受壓含水層，當逸氣停止後壓力快速補回，而造成目前如此快降快升之情形，推測在沄水井產氣的高峰期會發生此狀況。目前已將沄水井口與大氣接通，持續觀察是否能以此更動改善水位不穩的狀況。
10. 利用地下水位進行地震前兆之觀測結果，目前仍保留在主觀性之歷線分析，因此以地下水位異常變化做為地震前兆分析，目前之成果仍以同震訊號為判斷之依據，若能利用數值方法分析方能使前兆預測進入自動化功能。而其辨認之根據與異常值之判斷依據應予以具體化。	答：地下水之前兆觀測方面，目前已朝向自動化發展，採用斜率法與 EMD 法輔助判定異常，並將在方法成熟後全面改為自動判定，詳情請參閱期末報告書 6-5 章節內容。
11. 新竹地區地下水壓觀測井，只有新樂可觀測較好結果，往年也如此嗎？是否考慮其他兩井不繼續觀測？	答：新竹地區在往年的觀測結果中，絕大部分的異常來自新樂站，而瑞峰站因無法歸納出規

	律，至今仍為從該站的水位中判定出任何與地震相關的異常，而雙溪站也因今年底之土地所有權問題而無法繼續運作，故在經費允許之下，建議新竹區僅保留新樂站，並增加新的站點。
12. P.181~P.186 圖 6-31 至圖 6-36，如何釐清臺北、新竹、嘉義三地區地下水觀測井有地震前兆反應，但符合篩選條件及未符合篩選條件之原因？是否有未考慮到的篩選條件？	答：定義地震篩選條件的原意，主要是為了減少需要分析的地震數量，並將焦點放在較大或較有影響力的地震之上。目前所使用的篩選條件並非完美，但已能有效率地濾除較不相關的地震。
13. P.187 提及幾千公里外之日本地震（2011.3.11）及蘇門答臘地震（2012.4.11）地下水無前兆異常反應，卻有同震現象，是否該說明二者之控制因素為何？	答：地下水為的同震現象，是受地震發生後所產生的震波所影響，而地下水位異常前兆，則是因地下應力累積後所導致地層性質（如孔隙率、導水係數等）變化所產生，兩者的控制因素不同；故單純討論地震前兆時，同震現象不會納入考慮。
14. 分析社頂站水化學，建議嘗試用壓力-溫度-離子濃度控制 CaCO_3 下降以改善流量不穩定狀態。	答：謝謝委員建議。已成功抑制地下水中二氧化碳逸散，解決碳酸鈣結垢之問題。
15. P.198 及 P.204 提及地下水氬濃度及二氧化碳濃度和豐水季、枯水季有週期影響，如何排除與地震前兆變化的影響？又社頂站地下水氬地震前兆之逸散機制為何？	答：1. 社頂站地下水氬濃度以時序分析方法濾除豐枯水季週期之影響後，對於協助判識地震前兆並無效果，目前正積極尋找適合的分析方法協助判識地震前兆。 2. 社頂站地下水氬地震前兆之逸散機制為在地震前岩體處於擴張狀態，岩體膨脹而產生破碎微裂隙或孔隙，微裂隙發展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)，水相的氬釋放至氣相，導致地下水水氬濃度下降。
16. 連續水氬與 CO_2 監測相關性，要更嚴謹。	答：連續監測地下水水氬與 CO_2 監測相關性於報告內已加強說明。圖 7-29 及圖 7-31 分別為解決碳酸鈣結垢問題前，地下水水氬與 CO_2 之監測結果。圖 7-30 及圖 7-32 分別為碳酸鈣結垢問題解決後，地下水水氬與 CO_2 之監測結果。地下水 CO_2 之監測濃度明顯上升，證實地下水中二氧化碳並無逸散，地下水水氬連續監測數據相當穩定，並與實驗室 LSC 結果一致。
17. 水氬觀測結果，尤其新設之墾丁(社頂)站，業已獲得相當成	答：社頂站地下水氬濃度以時序分析方法濾除

<p>果，若能結合 IGS 分析與 EMD/IMF 之分析，應可進一步分析討論地震的前兆反應，爰子相關分析工作方法、分析方法、與成果討論應予以加強說明。</p>	<p>豐枯水季週期之影響後，對於協助判識地震前兆並無效果，目前正積極尋找適合的分析方法協助判識地震前兆。</p>
<p>18. 建議水氣濃度數據也利用時序分析建立一統計曲線，並做降雨校正，進行客觀分析。</p>	<p>答：社頂站地下水氣濃度以時序分析方法濾除豐枯水季週期之影響後，對於協助判識地震前兆並無效果，目前正積極尋找適合的分析方法協助判識地震前兆。</p>
<p>19. P.28 安通溫泉地質背景，提及無凝灰角礫岩存在，為安山岩及砂岩所組成之”外來岩塊”，與都鑿山層之地質不符，也與 P. 30 圖 3-6 監測井柱狀圖有凝灰岩不符。</p>	<p>答：已修正。</p>
<p>20. P.227 之第 8 點水氣前兆情形如何應加註</p>	<p>答：對於 2010 年 3 月 4 日 $M_L = 6.4$ 高雄甲仙地震、2012 年 2 月 26 日 $M_L = 6.4$ 的屏東霧台地震及 2012 年 10 月 25 日 $M_L = 5.5$ 的高雄地震前兆情形，在報告內已用水氣異常下降三階段圖(圖 7-12)加強說明。在上述地震發生前，第一階段水氣濃度分別穩定維持在 143.8 ± 10.6、170.2 ± 13.8 及 252.2 ± 18.4 pCi/L，第二階段水氣濃度分別在 2010 年 2 月 19 日、2012 年 2 月 9 日及 2012 年 9 月 10 日下降至最低點 92.4 ± 2.5、136.3 ± 16.0 及 88.9 ± 10.3 pCi/L，第三階段水氣濃度在地震前回到穩定濃度。</p>
<p>21. 安通水氣連續站，2011 年 9 月始紀錄，2012 年 3~4 月故障，5 月異常，氣水分離器龜裂問題，何時能解決？如何解決？</p>	<p>答：已用可耐高溫之 PVC 材料解決原廠氣水分離器發生龜裂之問題。</p>
<p>22. 社頂站地下水碳酸鈣沈積之問題，何時能解決？如何解決？</p>	<p>答：已成功抑制地下水中二氧化碳逸散，解決碳酸鈣結垢之問題。</p>
<p>23. 異常值的判斷經過這些年來的嘗試分析結果，EMD/IMF，及利用 IGS 之做法，似乎可以達到預期之成果。後續時間應可針對異常值與影響區域進行敏感性分析，以界定相關之影響範圍與未來觀測之重點。</p>	<p>答：謝謝指教，會持續朝這個方向努力。</p>
<p>24. 建議檢討比對由直覺式判識與 EMD 辨識的差異並討論可能原因。</p>	<p>答：EMD 可能會因為缺值或時間尺度的差異造成異常值產生不同，詳細說明請見內文。</p>
<p>25. 報告編輯上可再加強，如 P.20-P.38，有些圖太小(引用中央氣象局地震報告)，另如 P.124-125 建議重點以符號表示，或至少應達到 P.67 之大小較易閱讀。</p>	<p>答：遵照辦理。</p>
<p>26. 計畫已達四年之最後一年，一些須完成之遷站和設站之建議請提早完成，總報告之彙整也請加強三個團隊的溝通提早進行。</p>	<p>答：遵照辦理。</p>
<p>27. 其它文字與編輯修正處：</p>	<p>答：已修正。</p>

- (1) P.1-P.10 有關花蓮美崙站，部分描述用「花蓮站」，有時用「美崙站」，建議統一。
- (2) P.5 倒數第 4 行，“九”口地下觀測井，應修正為“八”口。
- (3) P.6 倒數第 2 段倒數第 2 行「了解梅山地區的新期構造」應為「美崙地區」，請修正。
- (4) P.13 第 3 段第 4 行「有利於氣氛在地層中遷移」應為「氣氛」，請修正。
- (5) P.23 第 8 行提及圖 3-2，但找不到此圖，應補。
- (6) P.24 第 2 段第 1 行「附近地層，…」應後續文字說明除地層外尚包含斷層構造，建議修正為「附近地層及構造」。
- (7) P.25 圖 3-3，圖中之實心三角形，及紅色標誌應在圖 3-5 之圖例中補齊。
- (8) P.29 第 8 行，…”(公尺)”…，是何意思？
- (9) 圖 4-7、圖 4-12、圖 4-15、圖 4-18、圖 4-26 圖例中標示「池上測站相關地震」，但該圖分別係大平地、古坑、屏科大、花蓮、中崙觀測站之相關地震，請修正。
- (10) P.93 圖 4-27 請附圖例。
- (11) P.1 第 4 段第 4 行，P.101 第 2 行、第 2 段、第 3 段及圖 4-32，P.102 第 1 段「美崙斷層」應為「米崙地區」，請修正。
- (12) P.105 文獻林啟文等 2000b，及圖 5-1 文獻李元希等 2000 在參考文獻中未列，須對全報告所有文獻作一檢查，補足未列者。
- (13) P.110 倒數第 3 行「8.2 級地震」應為「規模 8.2 地震」，請修正。
- (14) P.110 最後一段提及台北地區錦和、樹林有水位異常跳動，共有 3 個數值，應修正。
- (15) P.173 接續圖“6-38”，應改為 6-28。
- (16) P.178 第 3 段第 3 行「2 月 26 霧台地震」應為「2 月 26 日」。
- (17) P.200 圖 7-9，屏東霧台地震時間及標示位置錯誤，應修正。
- (18) P.219 圖 7-30 及圖 7-31，應調整為橫軸之日期位置一致，以便比對此兩者資料是否異同。
- (19) P.225 圖 7-37，霧台地震之年代應為 2012 年，非 2010 年，須修正。

附錄二 今年期末報告審查委員意見及答覆情形

意見	回覆
1. 比較圖 4-44 與圖 4-41，或與圖 4-40 池上站有反應的西部地震反而沒有出現在西部的古坑站和中崙站記錄，請說明可能原因。	答：由於該地震發生期間西部觀測站的資料受降雨影響，造成欠缺良好結果進行資料分析，未來會持續改善觀測資料的品質。
2. 氣體無異常而地震發生，無法解釋的因素，是否可能改善？宜多考量降雨或其他外在因素？	答：可能與目前的異常門檻值有關，未來會持續發展其他分析方式來交互比對；同時會試著和地震網與應變儀的結果進行確認。
3. 地下水壓觀測的資料分析宜參照氣體觀測站之資料分析的干係，即先以 EMD 解析數據後再和地震的發生進行比對。	答：地下水觀測目前根據不同測站的特性，使用不同的資料分析處理，未來會在使用 EMD 的測站先進行解析後再與地震比對。
4. 時序分析法應用在安通、社頂水氬觀測之可行性如何？或其他統計方法對異常之判別法如何？	答：安通站水氬濃度不受環境因子影響，時序分析法不適用，本報告以四分位統計方法決定水氬異常值邊界。社頂站水氬濃度以時序分析方法濾除豐枯水季週期之影響後，對於協助判識地震前兆並無效果，目前正積極尋找適合的分析方法協助判識地震前兆。
5. 水氬異常與地震關聯在空間上如何定位？	答：安通站水氬異常與發生在海岸山脈南段地震相關；社頂站水氬異常與發生在台灣西南部地震相關。社頂站在 2010 甲仙、2012 霧台及 2012 高雄地震前，皆有觀測到水氬異常下降之地震前兆。
6. 水氬氣實地量測與實驗室之間差異如何解釋？	答：現地與實驗室之差異以分離器係數來表示。利用 Fritz Weigel 方程式分別計算每點數據之分離器係數，求取其平均及標準差再代回到每點數據。安通站及社頂站的分離器係數皆維持穩定，分別為 5.6 ± 1.0 及 1.2 ± 0.2 。
7. P223 利用社頂站及安通站提出之三階段水氬變化模式（1 平穩—2 下降—3 上升恢復—地震，是否檢視在未發生地震時是否也有類似變化曲線產生？以驗證此一變化模式的實用性。	答：水氬異常下降主要應用在捕捉 $M > 6$ 之地震前兆。社頂站在 2010 甲仙、2012 霧台地震發生前皆有三階段水氬變化模式，未發生地震時沒有此種變化發生。安通站在執行計劃期間尚未有 $M > 6$ 地震發生。
8. 圖 7-35 地下水水位與雨量與水氬、二氧化碳之影響地震前兆判斷之影響如何，是否應結合些資料在濃度變化圖上？	答：圖 7-35 已修正為社頂站以 SARAD 連續監測數據與地下水水位及雨量之比較圖。目前地下水水位數據剛滿一年，結果顯示墾丁公園社頂地區的降雨會迅速反應在地下水水位上，地下水水位對於地下水氬氣有直接的影響。持續監測地下水水位獲取更多數據，將有

	助於墾丁公園社頂監測站對於地震前兆之判斷。
9. P252 結論與建議第 10 點已提及土壤氣體、地下水壓及水氣等觀測可能針對個別地震都出現異常反應，建議加強此區塊工作之綜合分析，在有多樣觀測資料都出現異常反應時，發出預警通知。	答：遵照辦理。
10 今年度為 4 年計畫之最後一年，建議整理 4 年之計畫成果撰寫總報告，並提出後續下一階段計畫之調查建議。	答：遵照辦理。
11. P7 圖 2-2 說明中地震矩規模「MW」應為「M _w 」，請修正。	答：已修正。
12. P8 花蓮美崙觀測站遷址至東華大學壽豐校區，是否更名為「東華站」，請加強文字描述。	答：已修正。
13. P8 太興站之地下水觀測站是否已未分析？圖 2-3 尚有標示，若已不分析建議移除太興站之標示或加註說明。	答：由於該測站故障中造成目前無資料可供分析，已建議地調所進行維修。
14. P8-P9 圖 2-3 及表 2-1，若為配合本報告除 2012 年觀測結果外，還有 2008-2012 之整理討論，應標示所有測站位置。	答：已修正。
15. 標點符號很多誤打為半形英文標點符號，如 P12，需全部檢視改善。	答：已修正。
16. 報告之編輯在頁數和空間上可再節省，如 P18-19，P20-21 可各編輯成一頁，其他章節很多可再加強。	答：已修正。
17. 表之說明宜統一放置於表頭，目前並不一致，如表 4-18，表 4-2。	答：已修正。
18. 本報告未全程採用彩色圖，許多文中所示顏色區塊，並未顯示。須改用彩色圖，如表 4-9 無紅色框，表 5-1 無紅色字體表示異常氣體，表 6-1 至表 6-3 無黃色標示等。	答：已修正。
19. P92 美崙觀測站遷站共篩選出 6 個固定採樣點，但圖 4-33 僅標示出 4 個位置，缺 H2、H3，請修正。	答：已修正。
20. P96 圖 4-35 藍色與紅色星號分別代表中央大學磁力站與本所東華氣體觀測站，但本圖以黑白呈現，難以區分二者差別，建議以彩色呈現或用不同符號標示。建議增列 1 張東華氣體觀測站位置圖，顯示站址所在之地理位置。	答：已修正。
21. P101-106 圖 4-39 至圖 4-44 似乎有被拉長變形，請確認。另外圖中紅點表示什麼(圖 4-39 至圖 4-44)，與 P197-199，圖 6-38 至圖 6-40 之紅白綠點有何不同，應說明。	答：已修正並補充說明，白點為符合篩選之地震事件；紅點為有前兆之地震事件。
22. P113 表 5-1 註說明紅色字體表示氣體異常部分，但未見紅色字體，請修正。	答：已修正。

<p>23. P116 表 6-1、P141 表 6-2、P164 表 6-3 皆說明有黃色標示部分，但因表格係以黑白呈現，較難以區分黃色與灰色欄位，請修正。</p>	<p>答：已修正。</p>
<p>24. P194 第 2 段第 3 行「後期中興、達邦等站...」應為「太興」，請修正。</p>	<p>答：已修正。</p>
<p>25. P201,P202,P203 的表 6-4,6-5,6-6 的圖應獨立出來各以圖例說明之。</p>	<p>答：已移除該圖。</p>
<p>26. P209-213 圖 6-46 至 6-52 之圖說應標示汙水站。</p>	<p>答：已修正。</p>
<p>27. P209 第 3 段最後一行「但水會下降」應為「水位」請修正。</p>	<p>答：已修正。</p>
<p>28. P209 第九行"2009 年後"6 至 12 月應去"後"。</p>	<p>答：已修正。</p>
<p>29. P214 第 7-1 節未列出安通站較細微的水氣變化曲線，請增列。</p>	<p>答：已在圖 7-2 增列。</p>
<p>30. 重複出現圖，P235 圖 7-21 與 P247 圖 7-37；P244Fig7-10 與 P249 圖 7-38；P229 圖 7-14 與 P249 圖 7-39；P244 圖 7-33 與 P250 圖 7-40，應改善只出現一次圖。</p>	<p>答：已修正。</p>

附錄三 土壤氣體觀測站每月連續觀測圖

A.1 新竹大平地觀測站

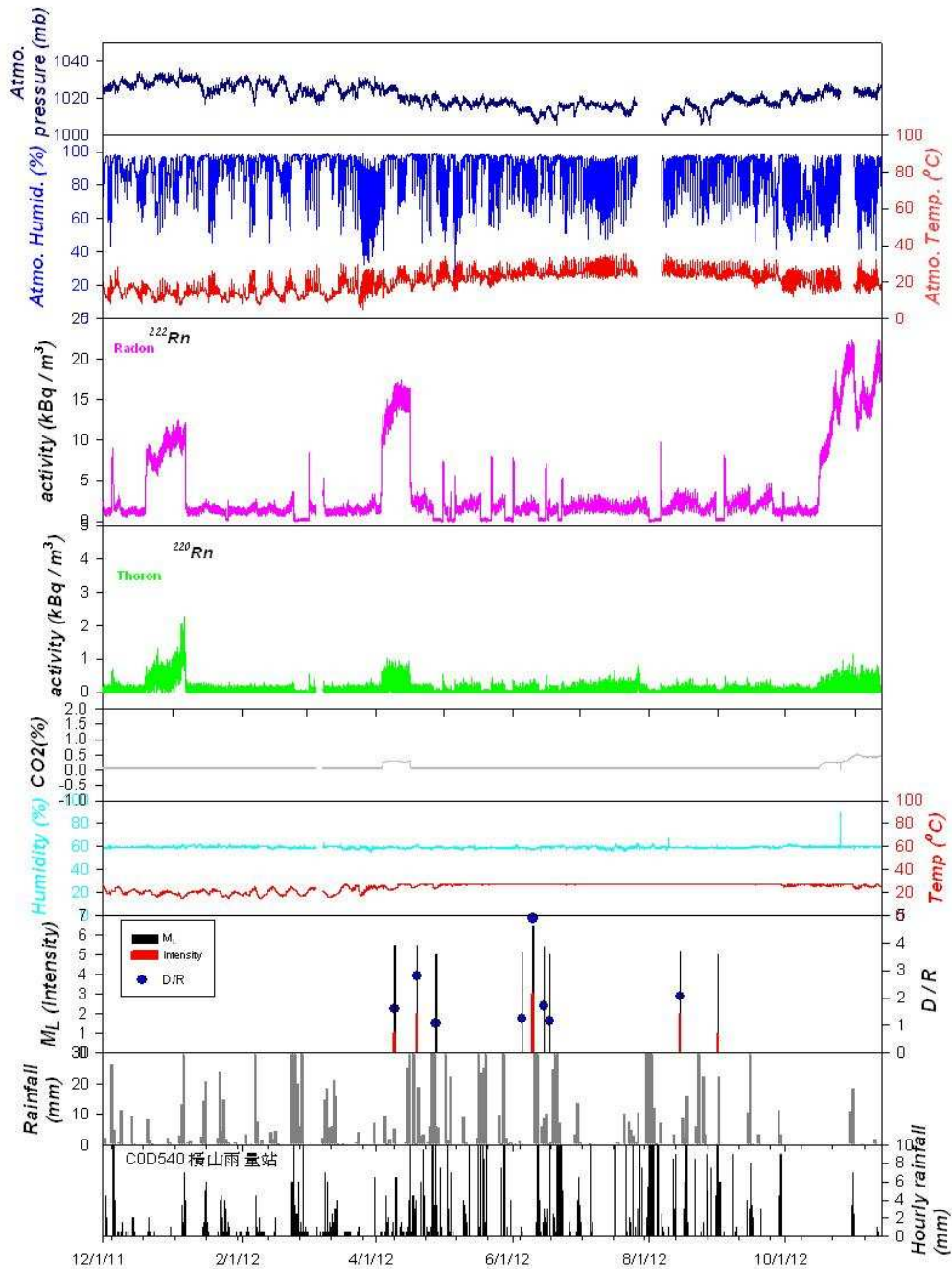


圖 A-1：新竹大平地土壤氣氬氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2011/11/29-2012/11/12）。

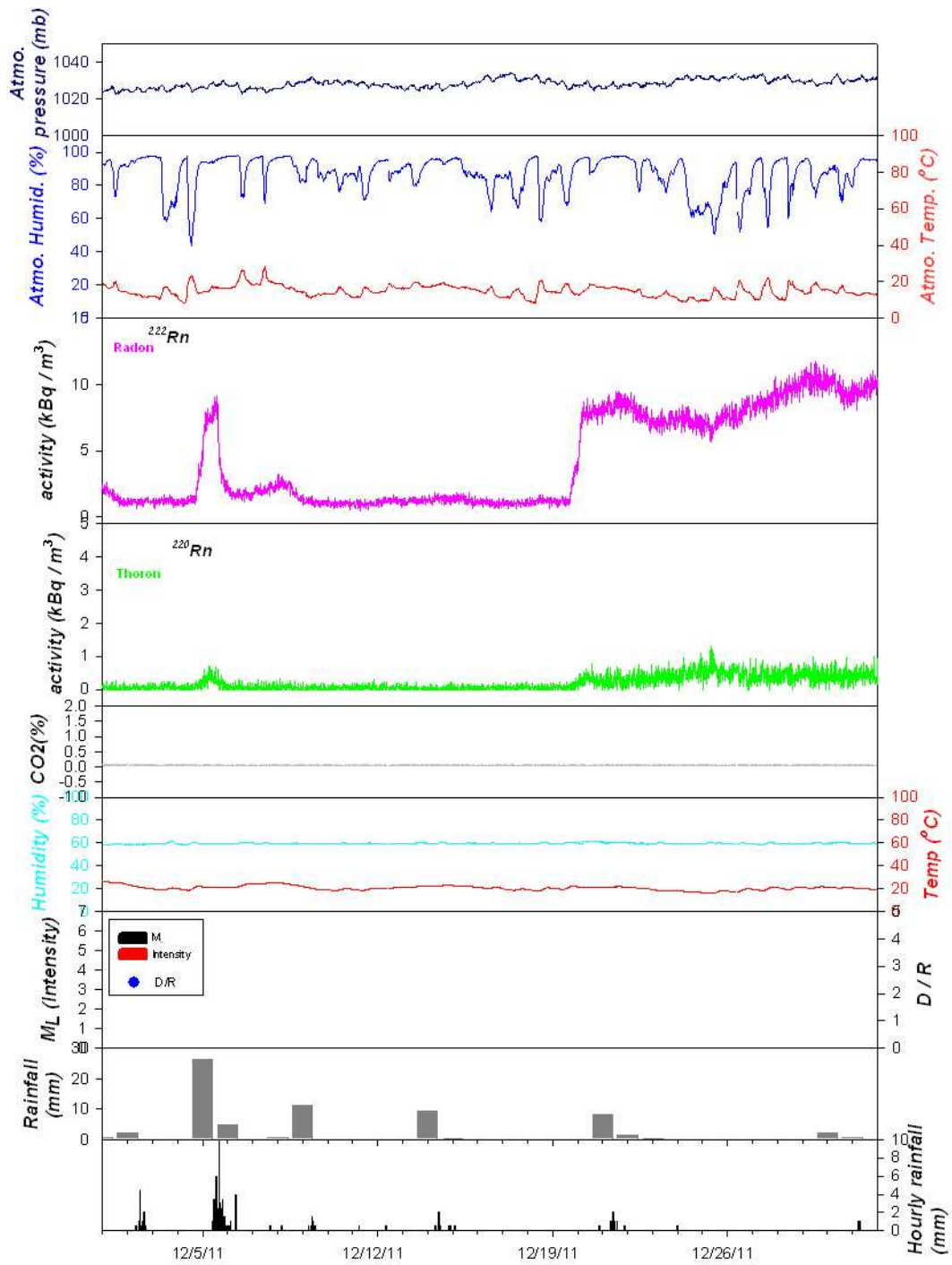


圖 A-2：新竹大平地土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2011/12/1-2011/12/31）。

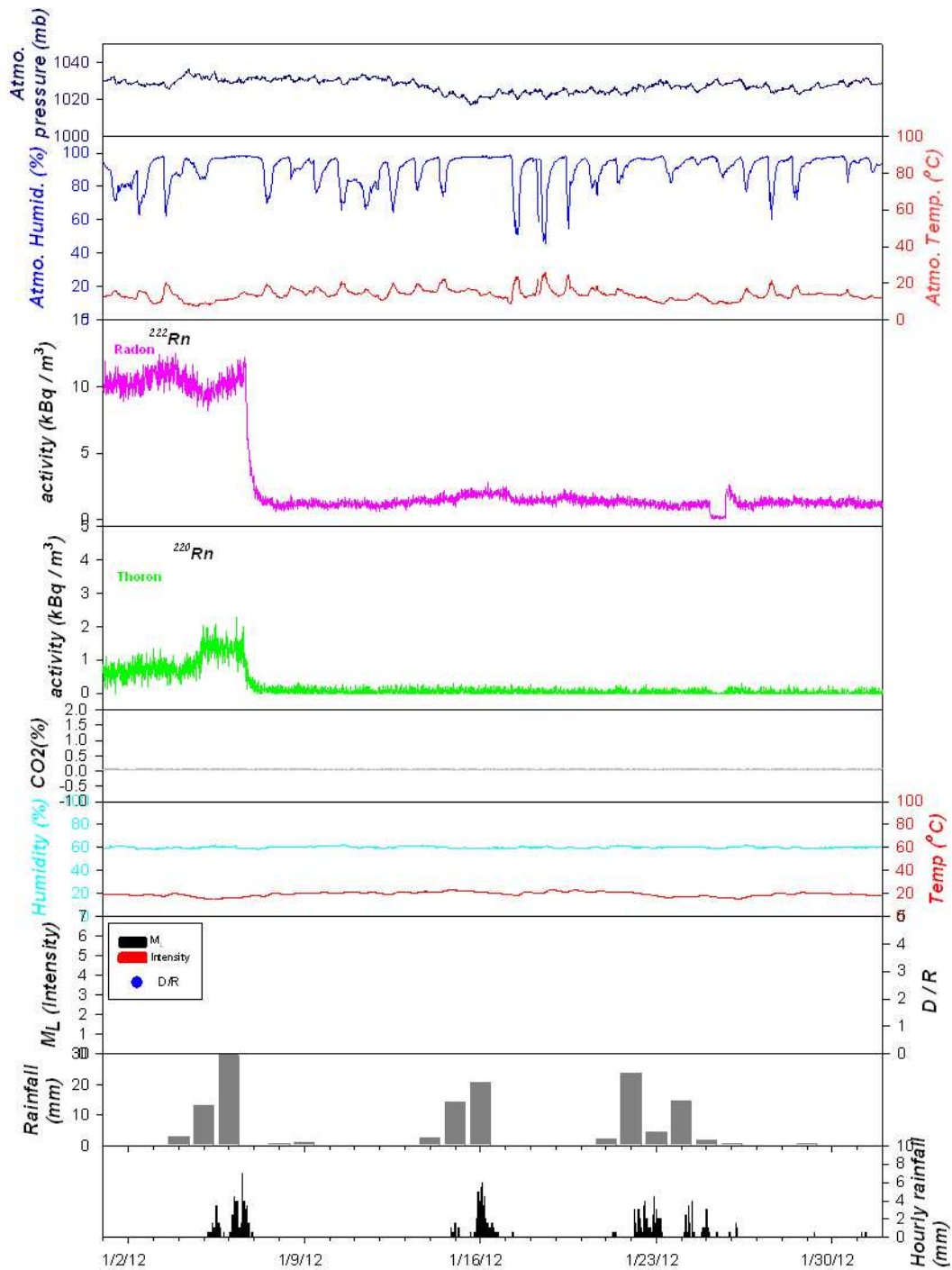


圖 A-3：新竹大平地土壤氦氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/1/1-2012/1/31）。

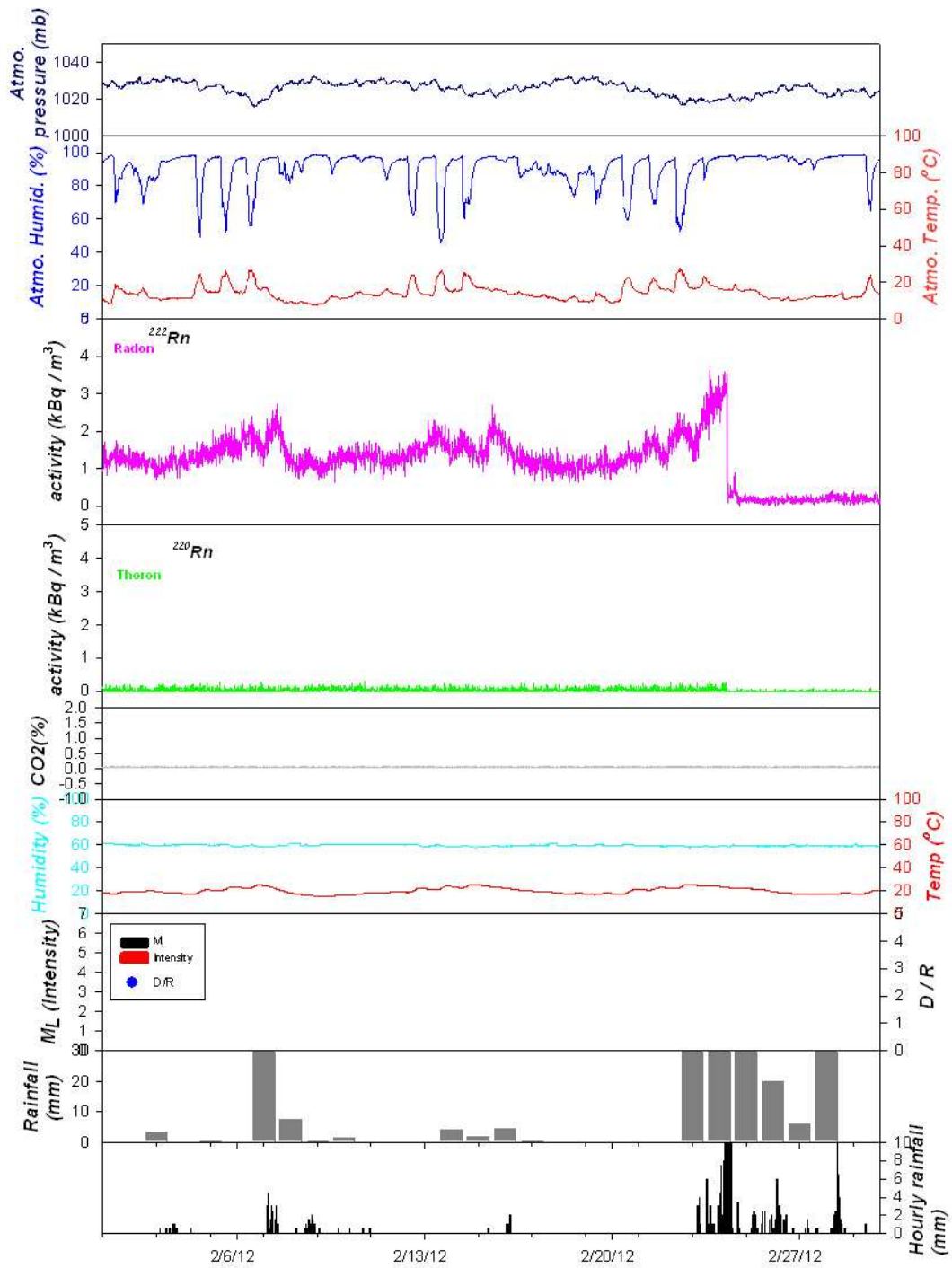


圖 A-4：新竹大平地土壤氦氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/2/1-2012/2/29）。

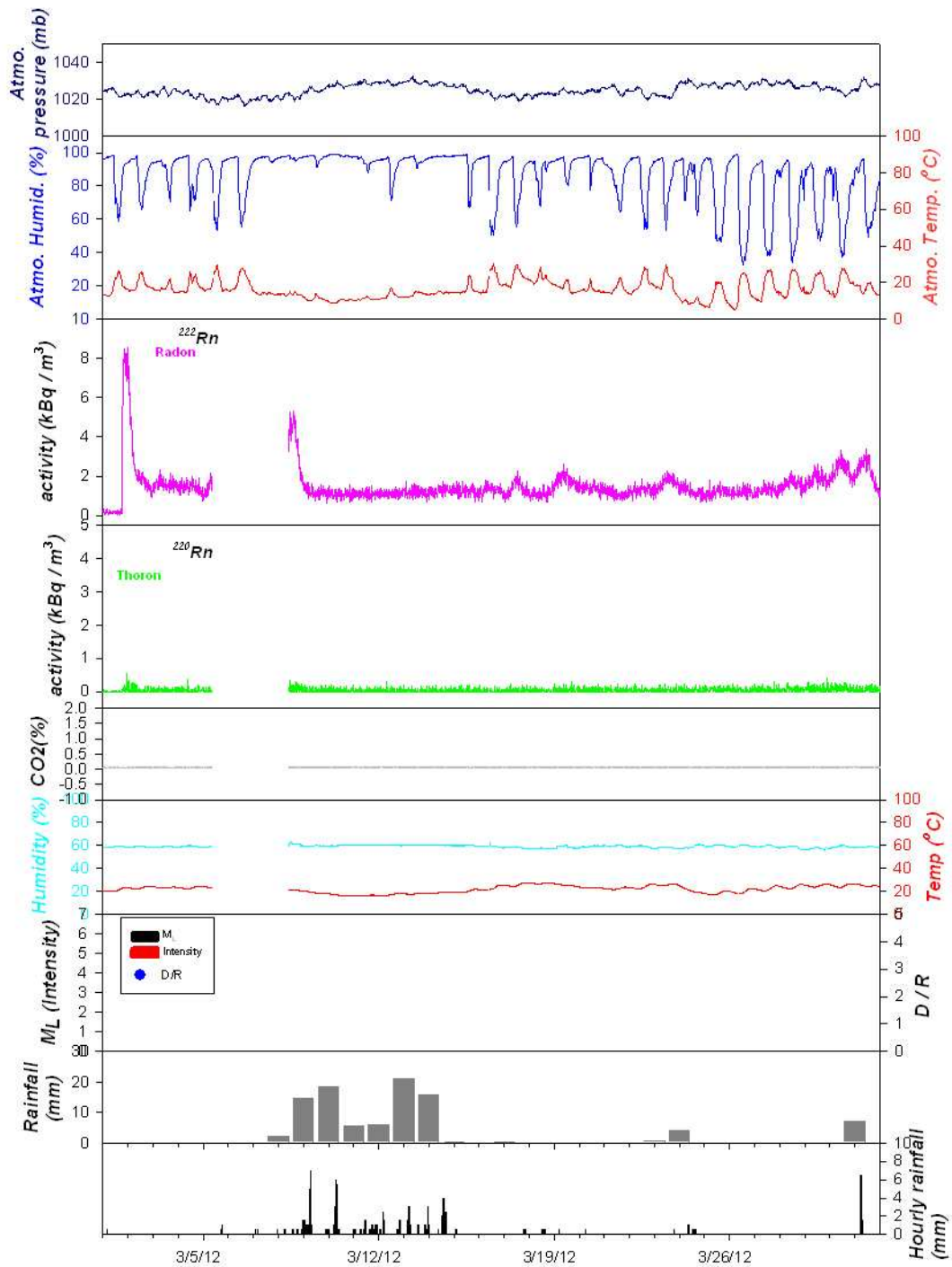


圖 A-5：新竹大平地土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/3/1-2012/3/31）。

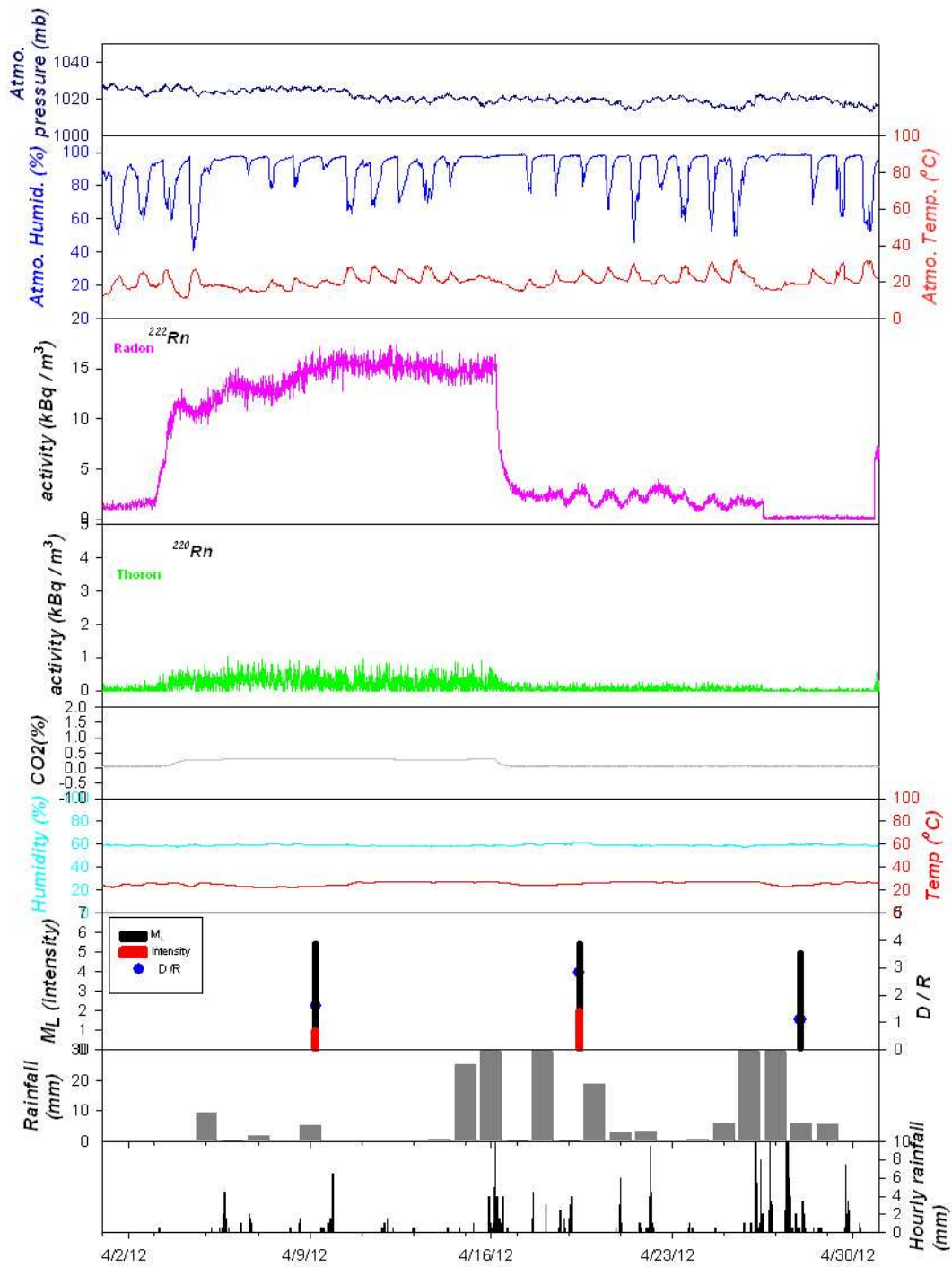


圖 A-6：新竹大平地土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/4/1-2012/4/30）。

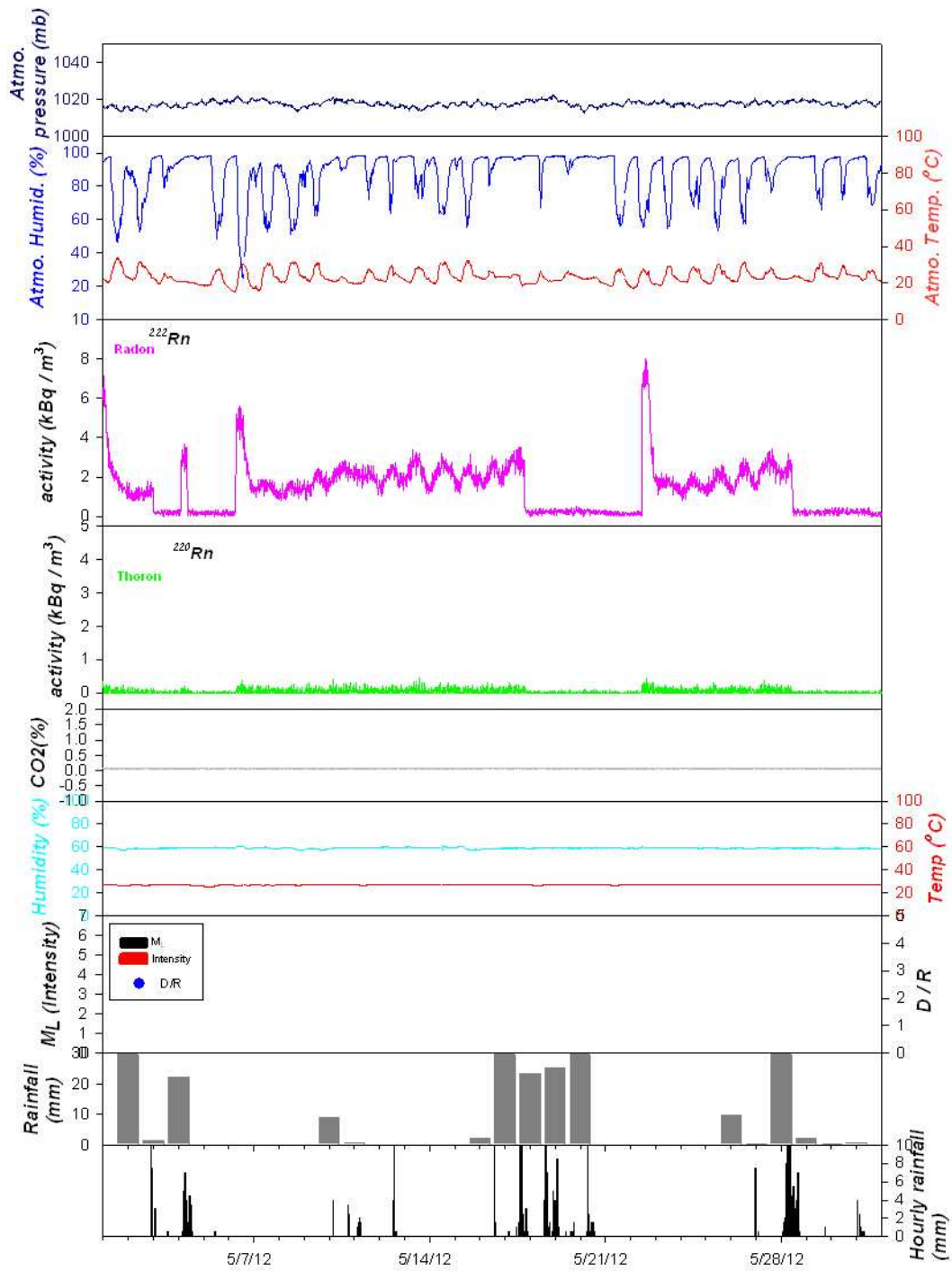


圖 A-7：新竹大平地土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/5/1-2012/5/31）。

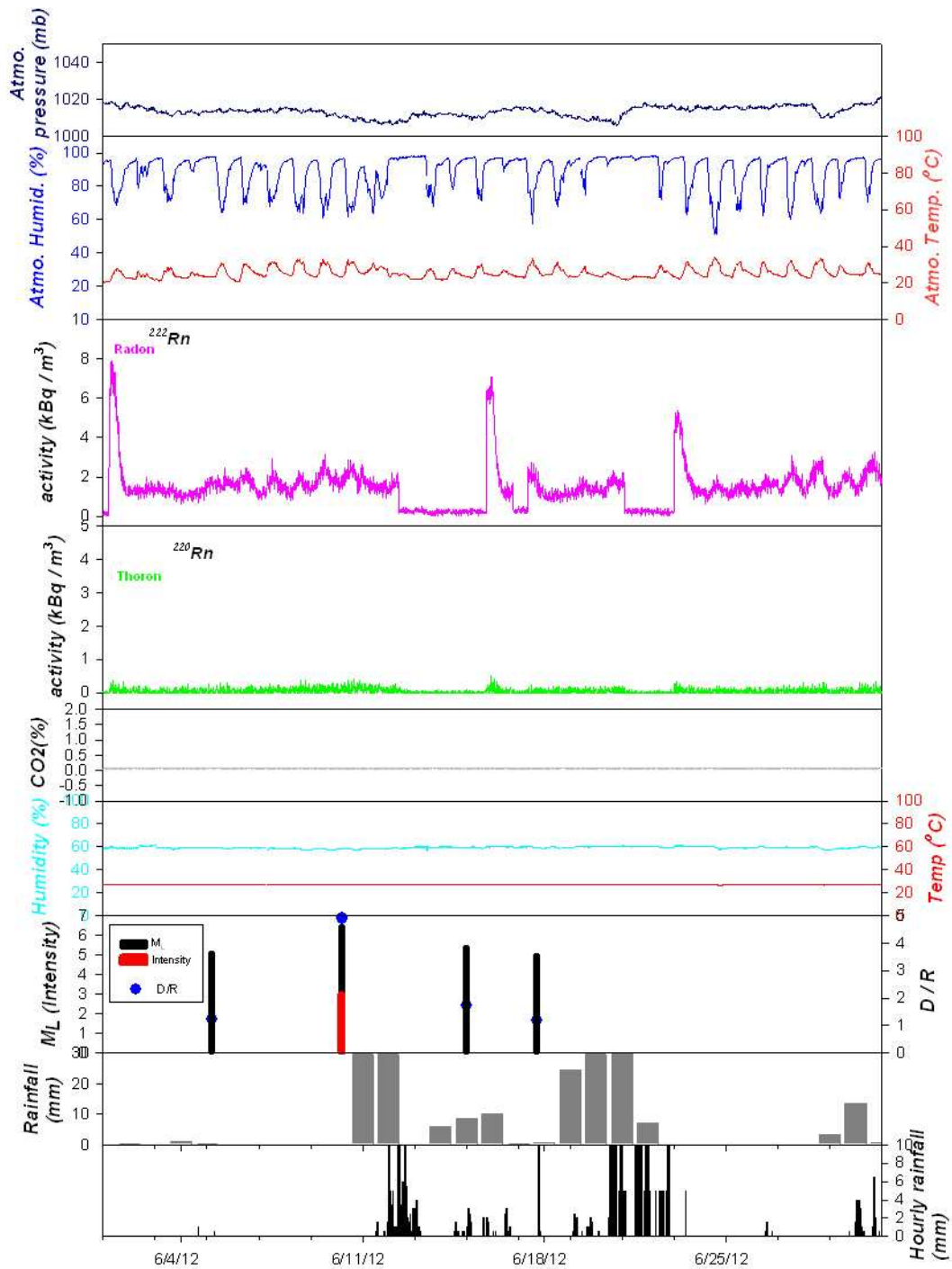


圖 A-8：新竹大平地土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/6/1-2012/6/30）。

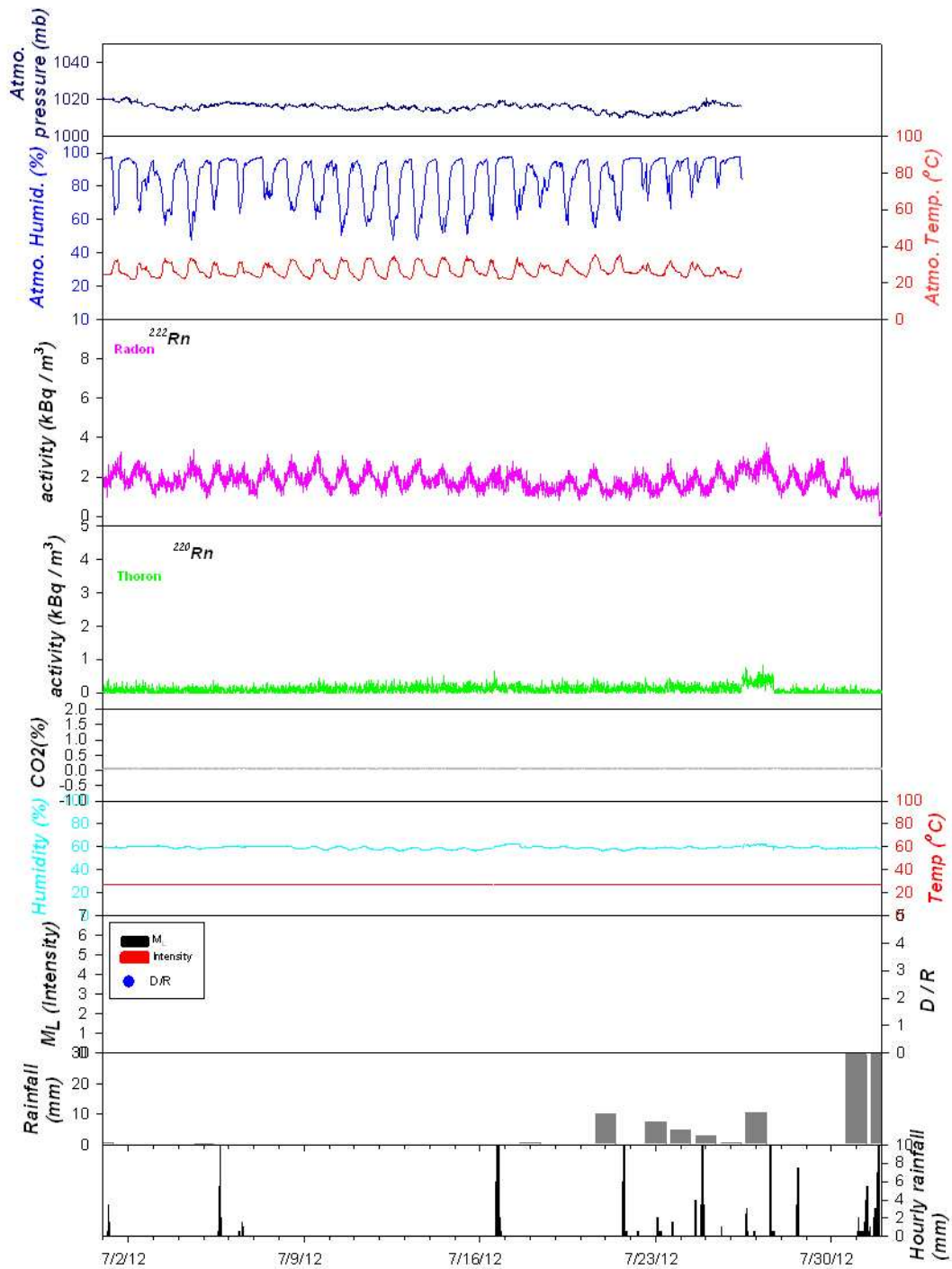


圖 A-9：新竹大平地土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/7/1-2012/7/31）。

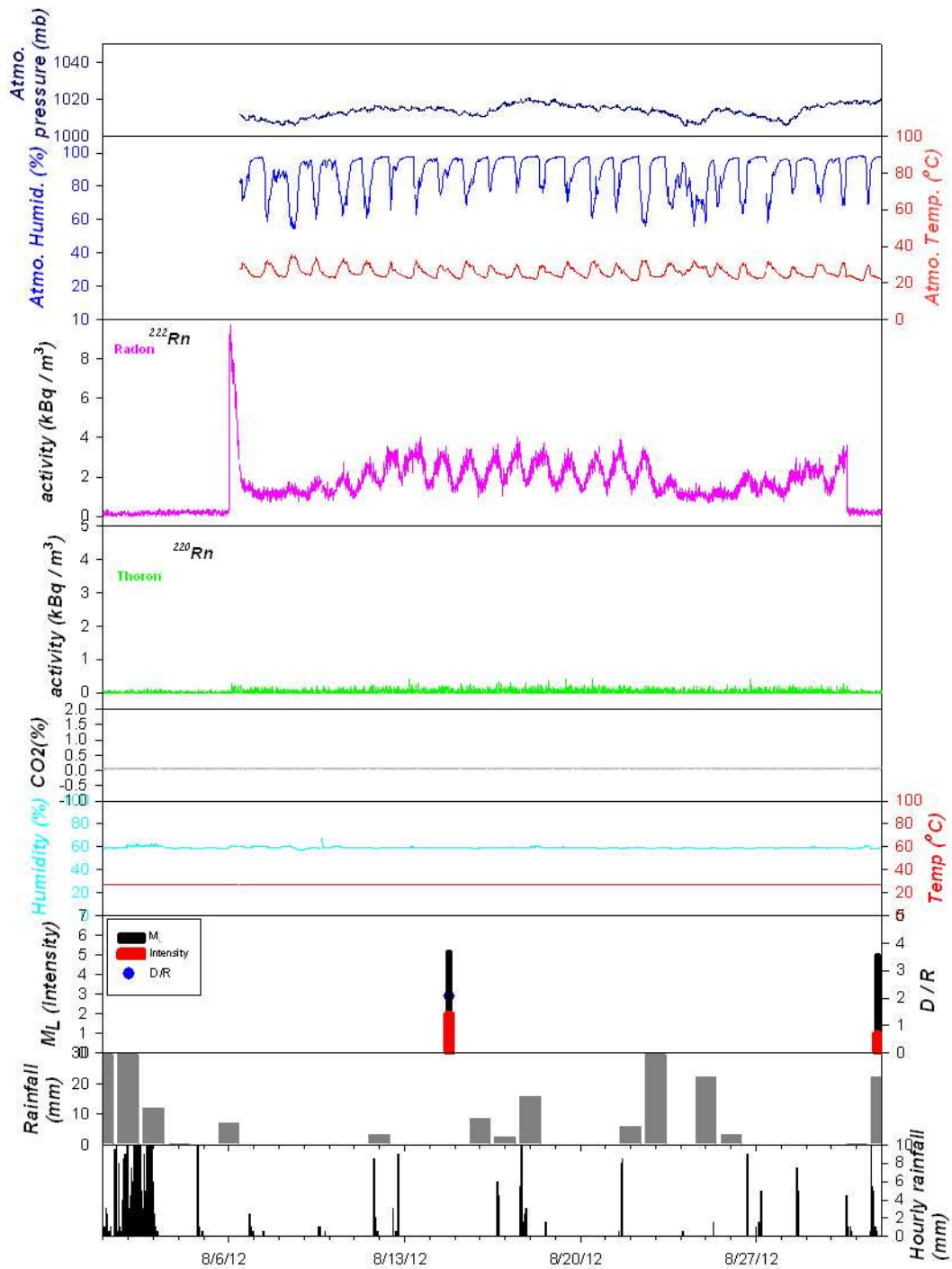


圖 A-10：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.） 溼度（A.H.） 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/8/1-2012/8/31）。

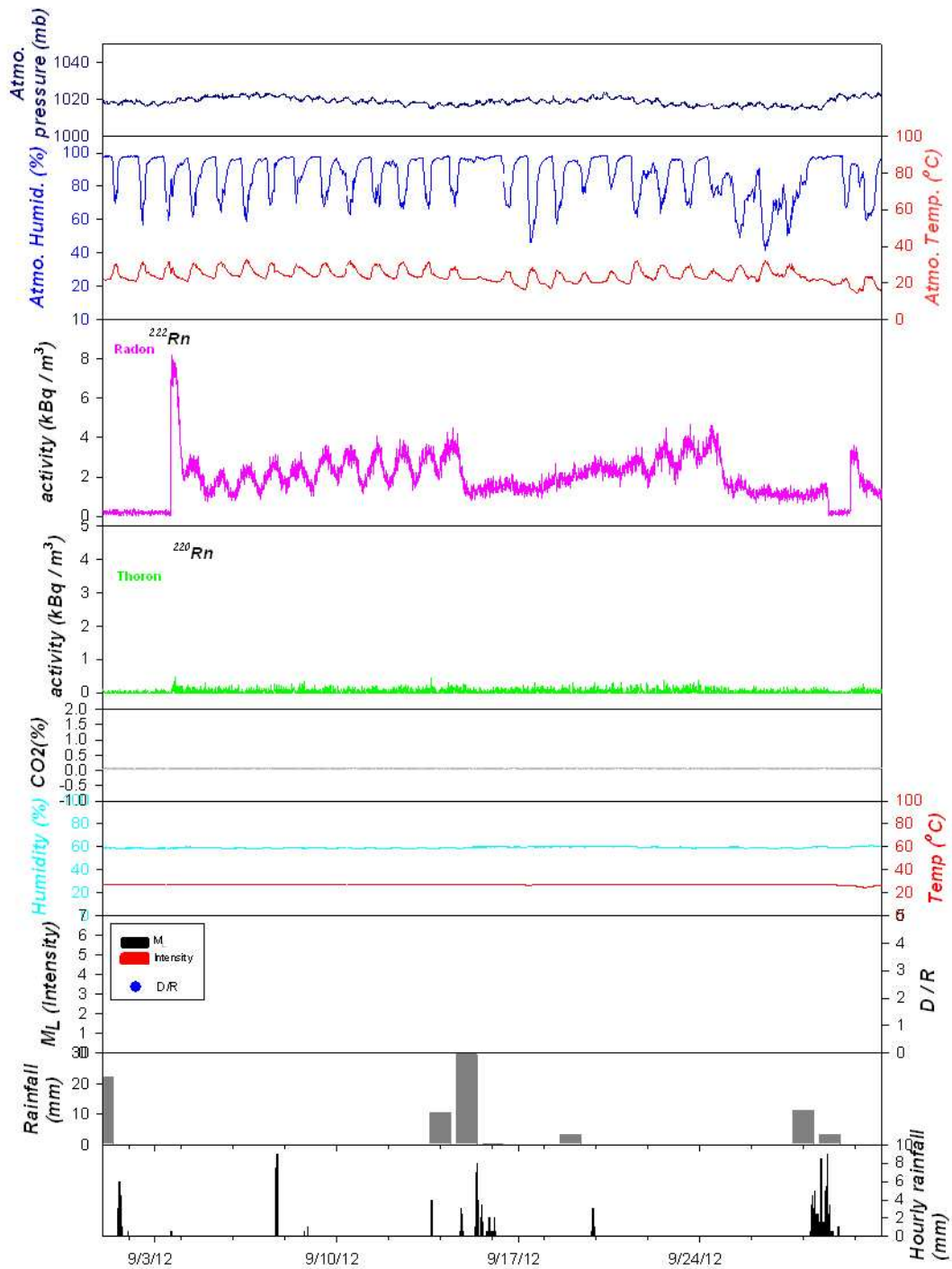


圖 A-11：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.） 溼度（A.H.） 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/9/1-2012/9/30）。

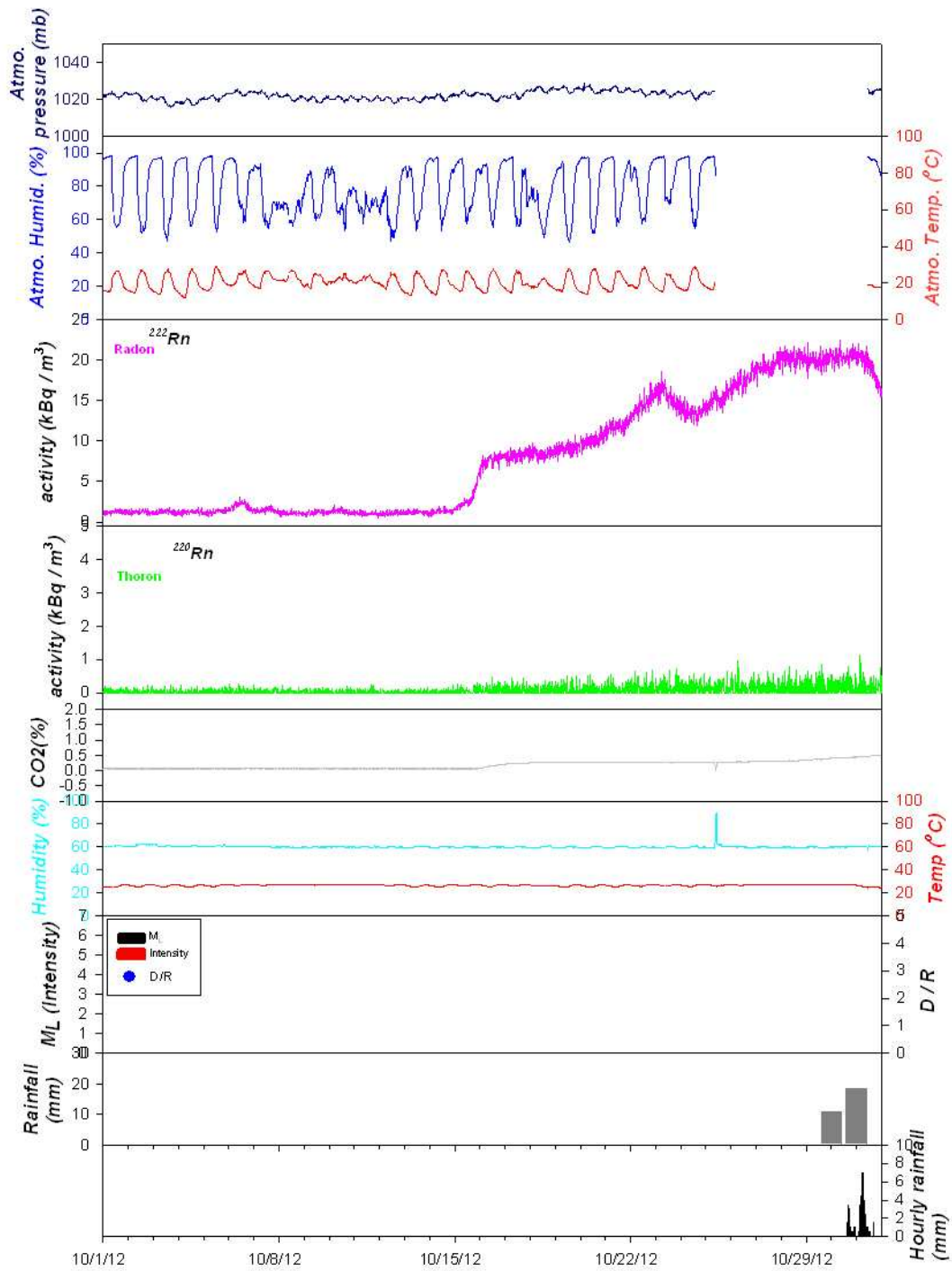


圖 A-12：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/10/1-2012/10/31）。

A.2 雲林古坑觀測站

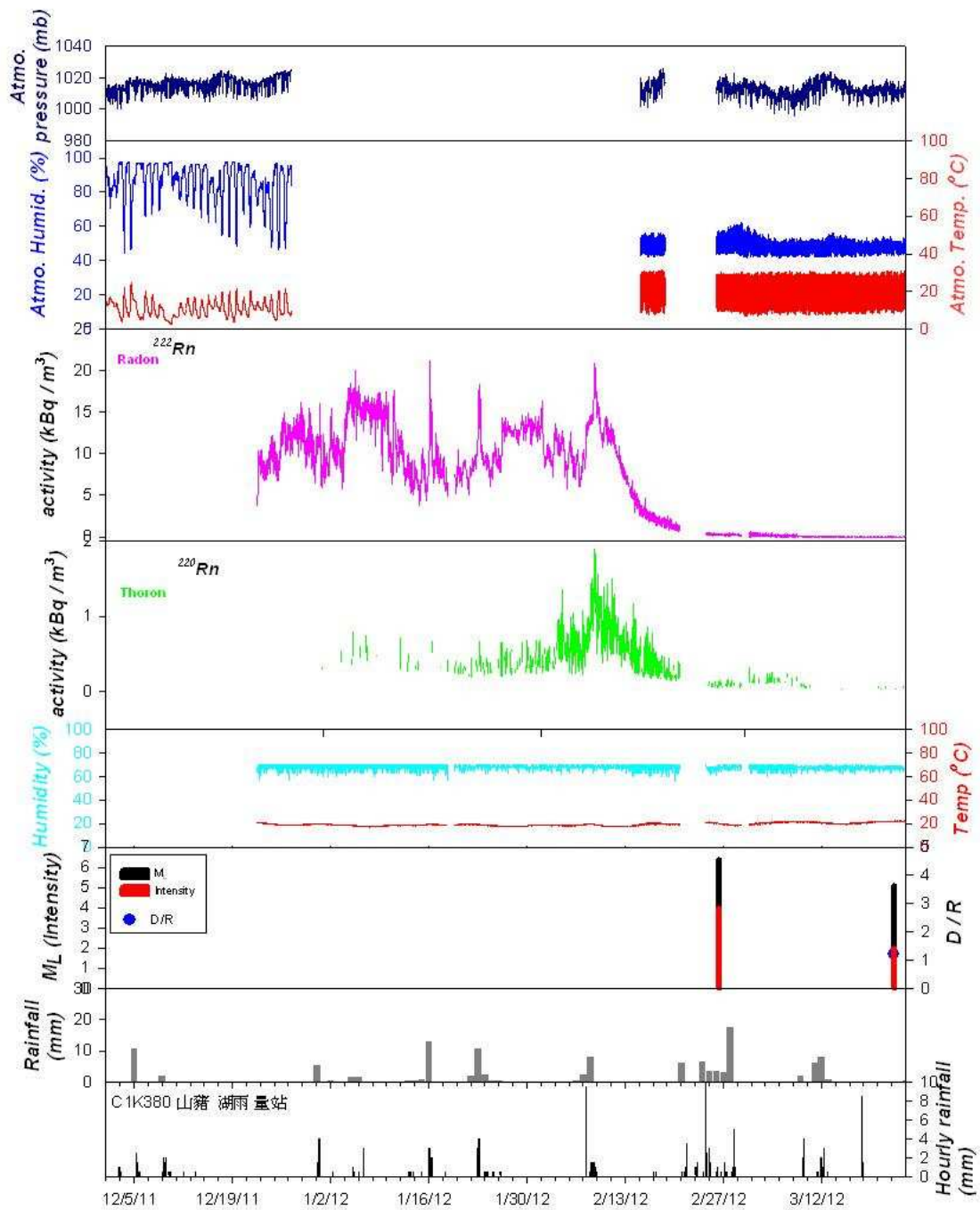


圖 A-13: 雲林古坑土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2011/12/22-2012/3/23) (Probe)。

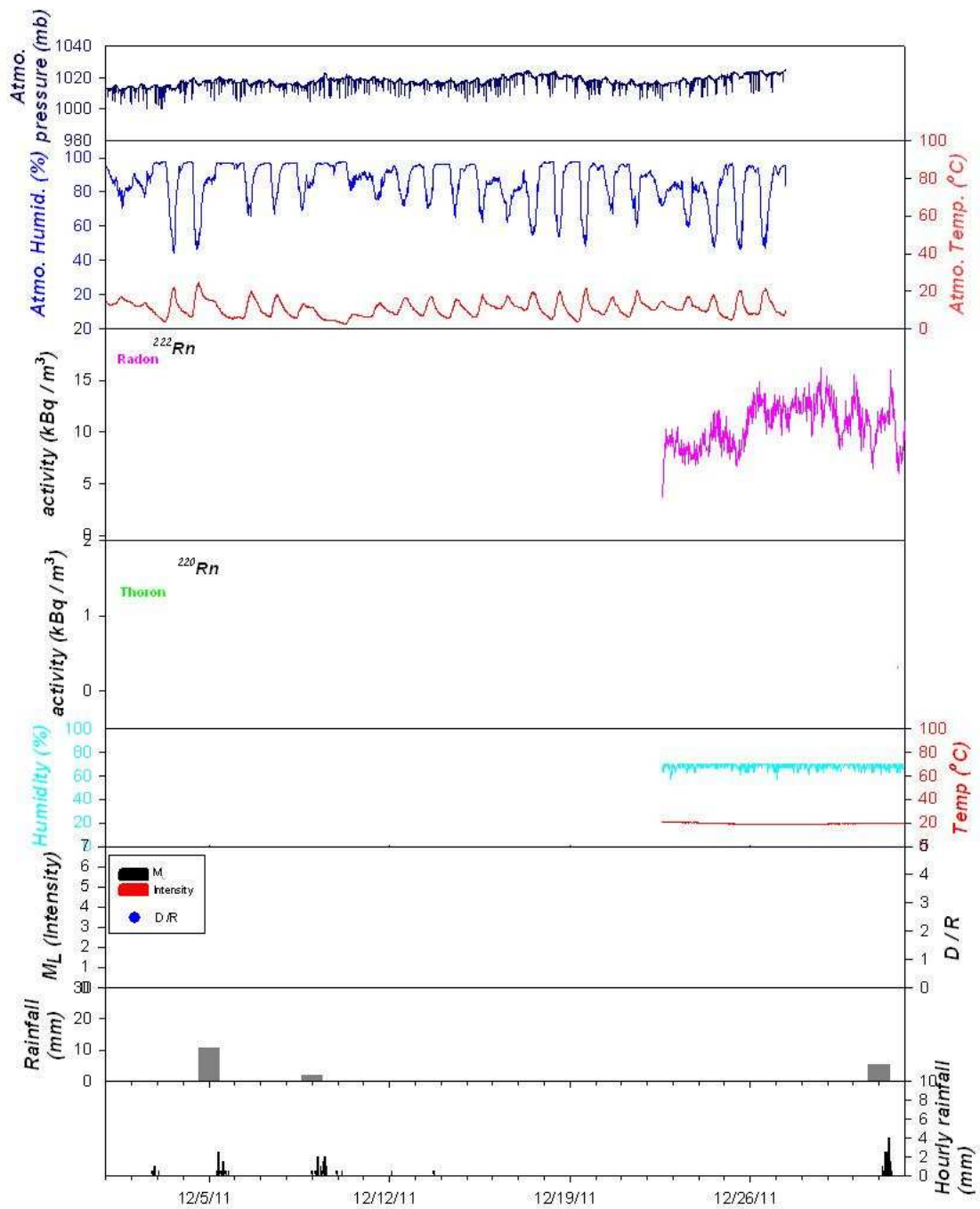


圖 A-14: 雲林古坑土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2011/12/1-2011/12/31) (Probe)。

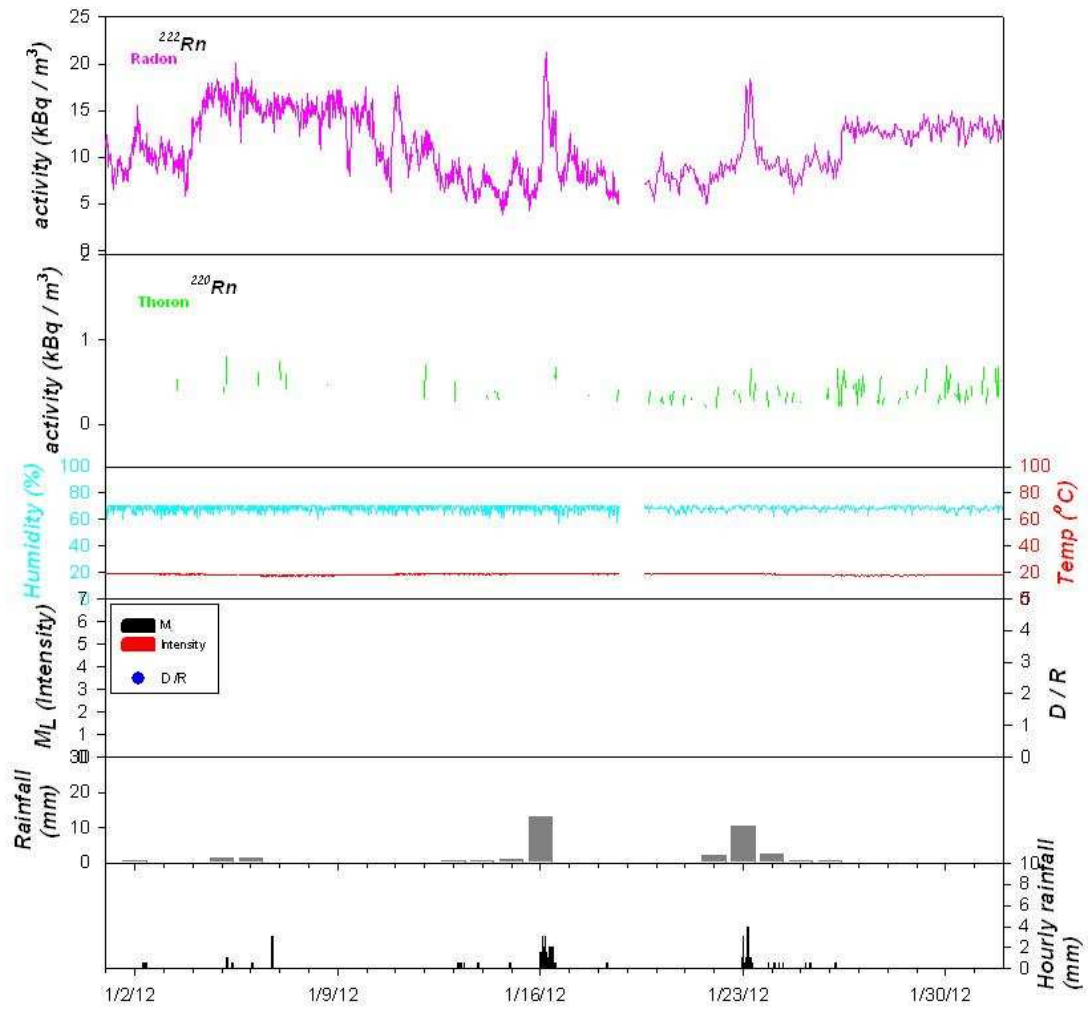


圖 A-15：雲林古坑土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/1/1-2012/1/31）(Probe)。

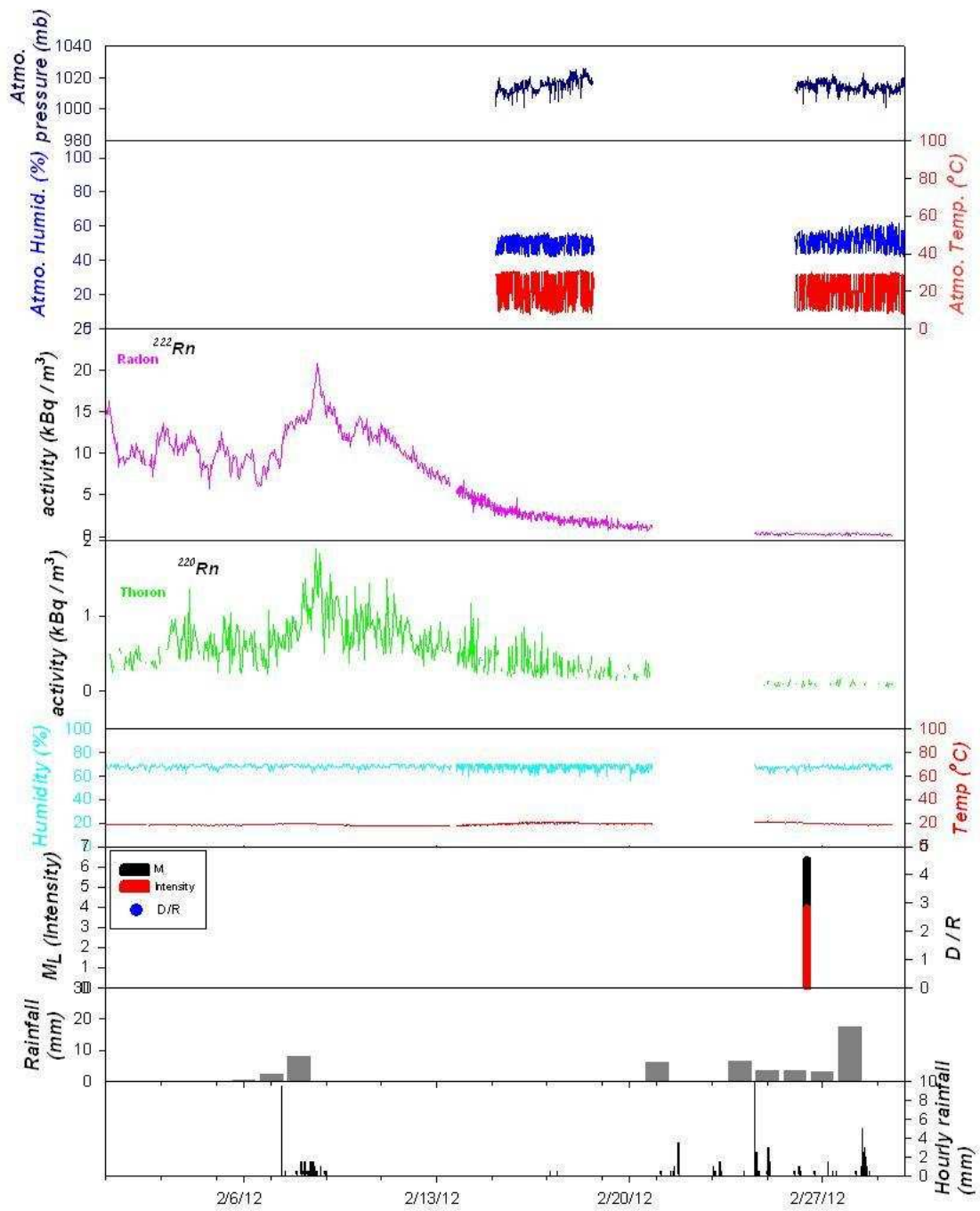


圖 A-16: 雲林古坑土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/2/1-2012/2/29) (Probe)。

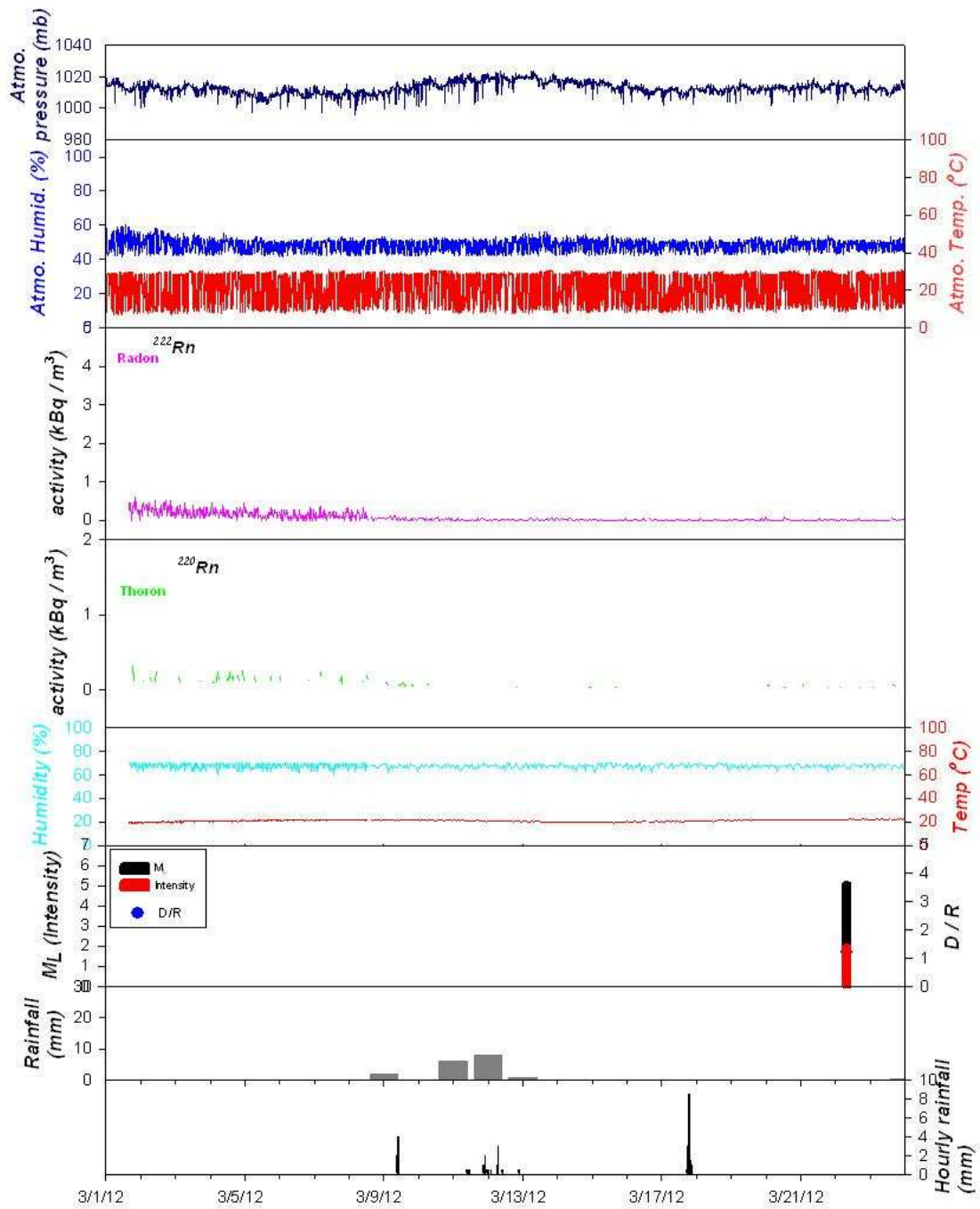


圖 A-17: 雲林古坑土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2012/3/1-2012/3/23) (Probe)。

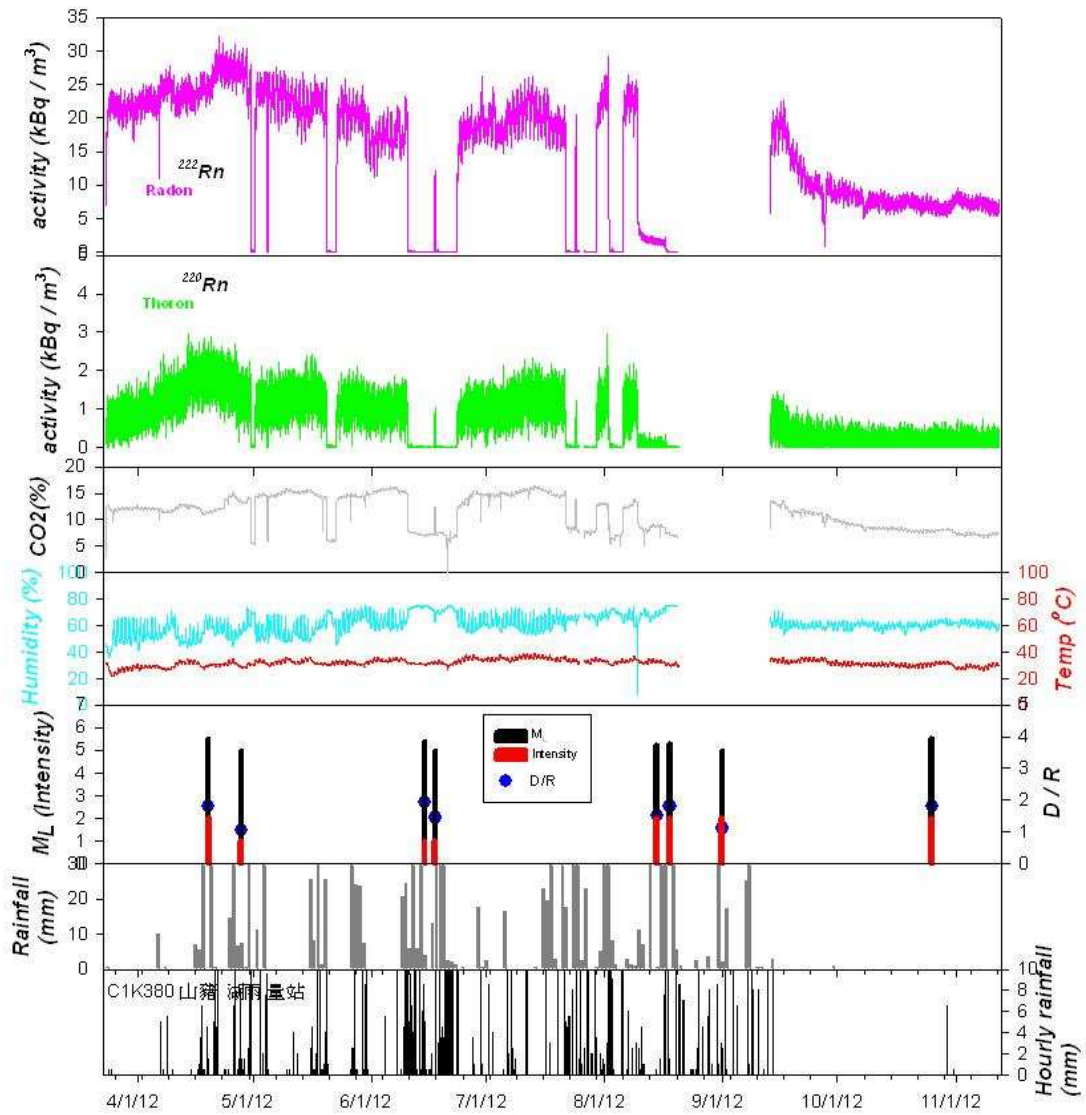


圖 A-18：雲林古坑土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/3/23-2012/11/12）(RTM)。

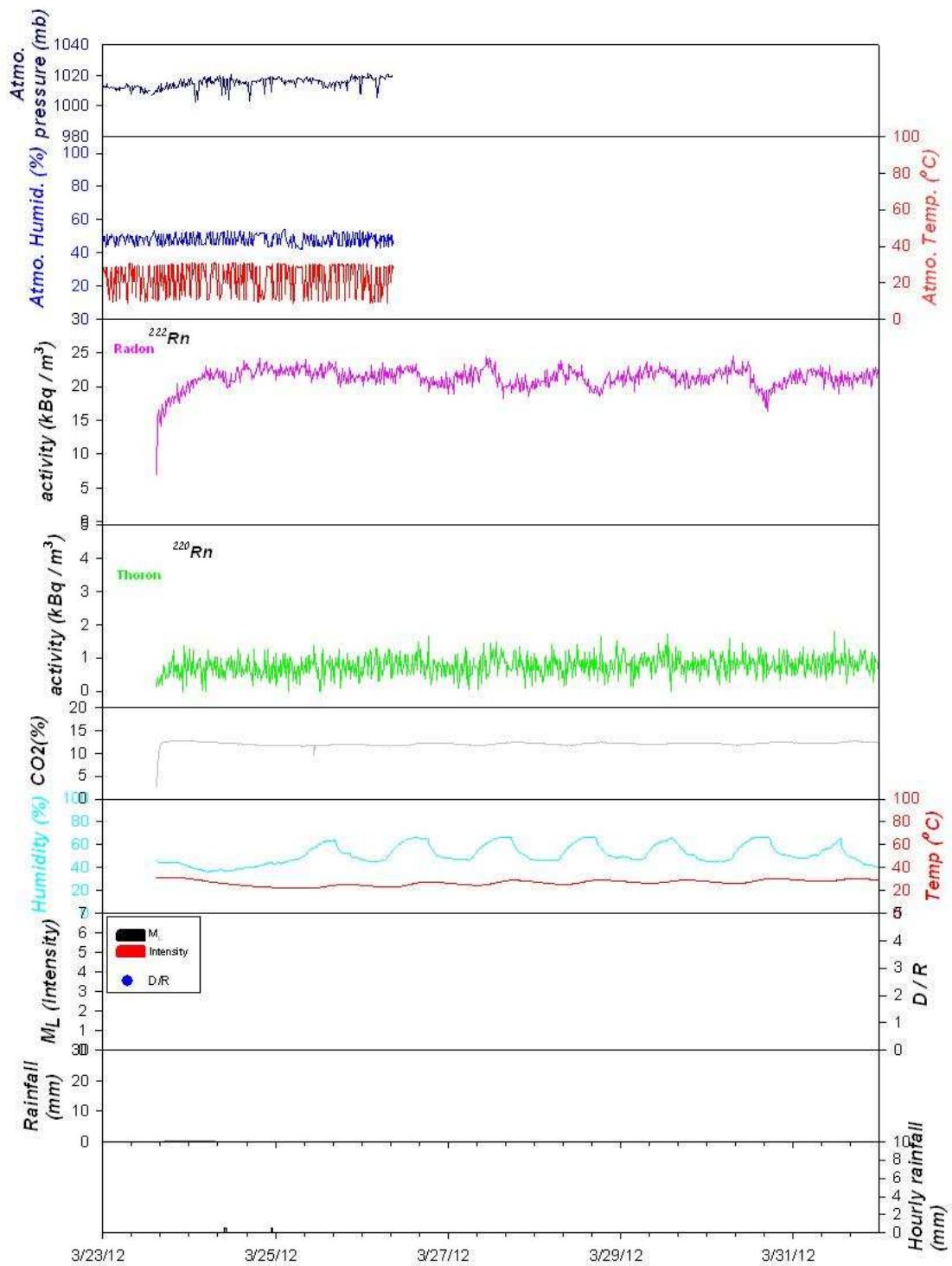


圖 A-19: 雲林古坑土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/3/23-2012/3/31) (RTM)。

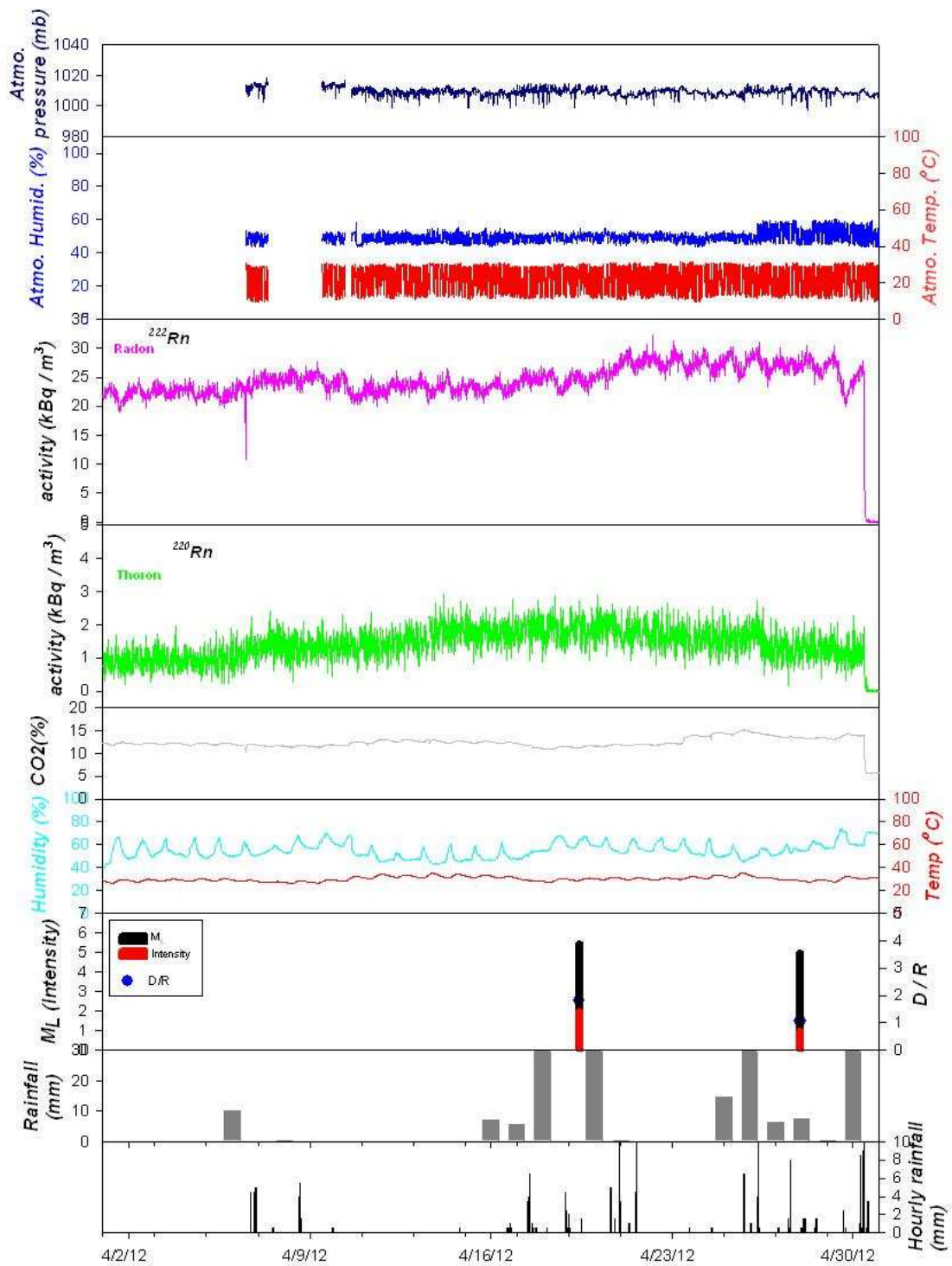


圖 A-20: 雲林古坑土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/4/1-2012/4/30) (RTM)。

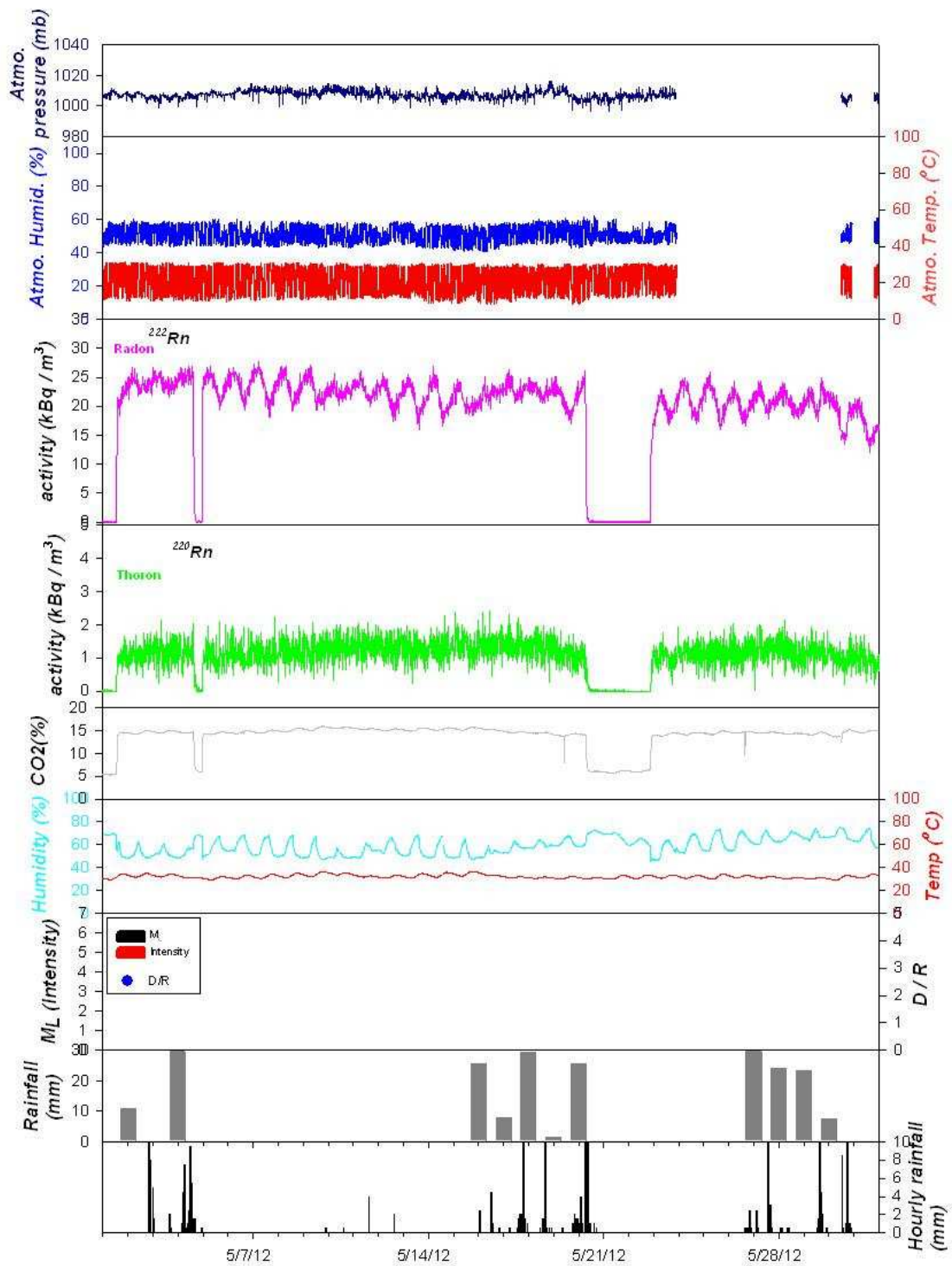


圖 A-21: 雲林古坑土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/5/1-2012/5/31) (RTM)。

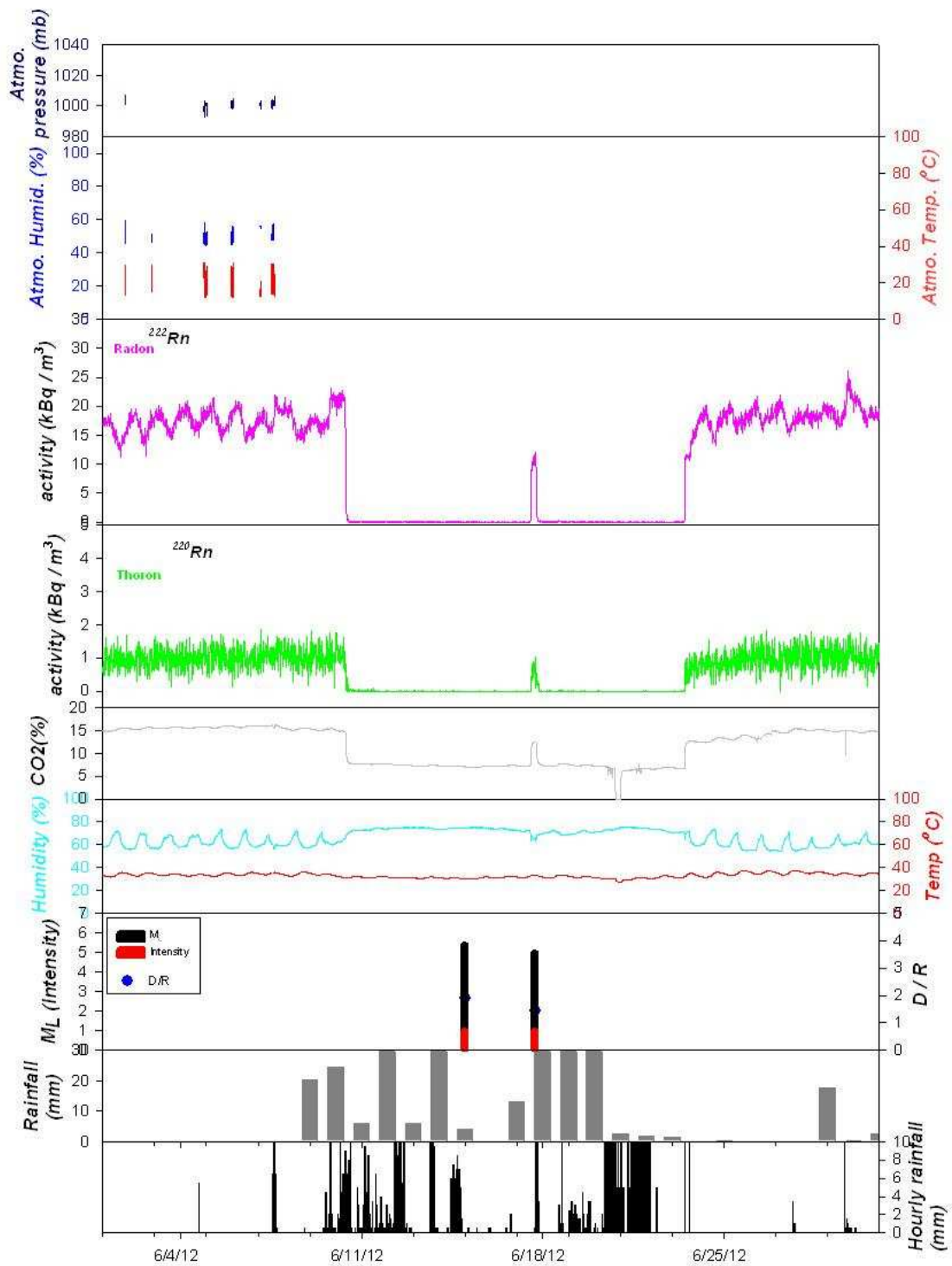


圖 A-22: 雲林古坑土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/6/1-2012/6/30) (RTM)。

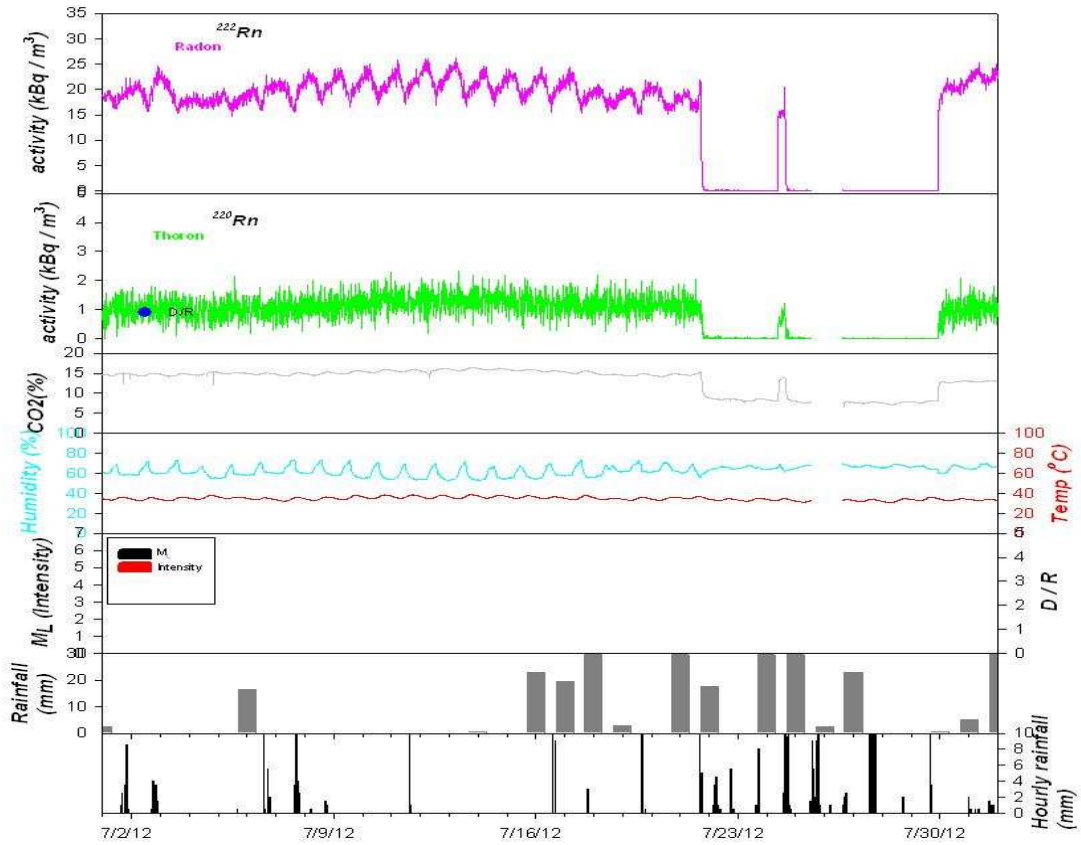


圖 A-23：雲林古坑土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/7/1-2012/7/31）（RTM）。

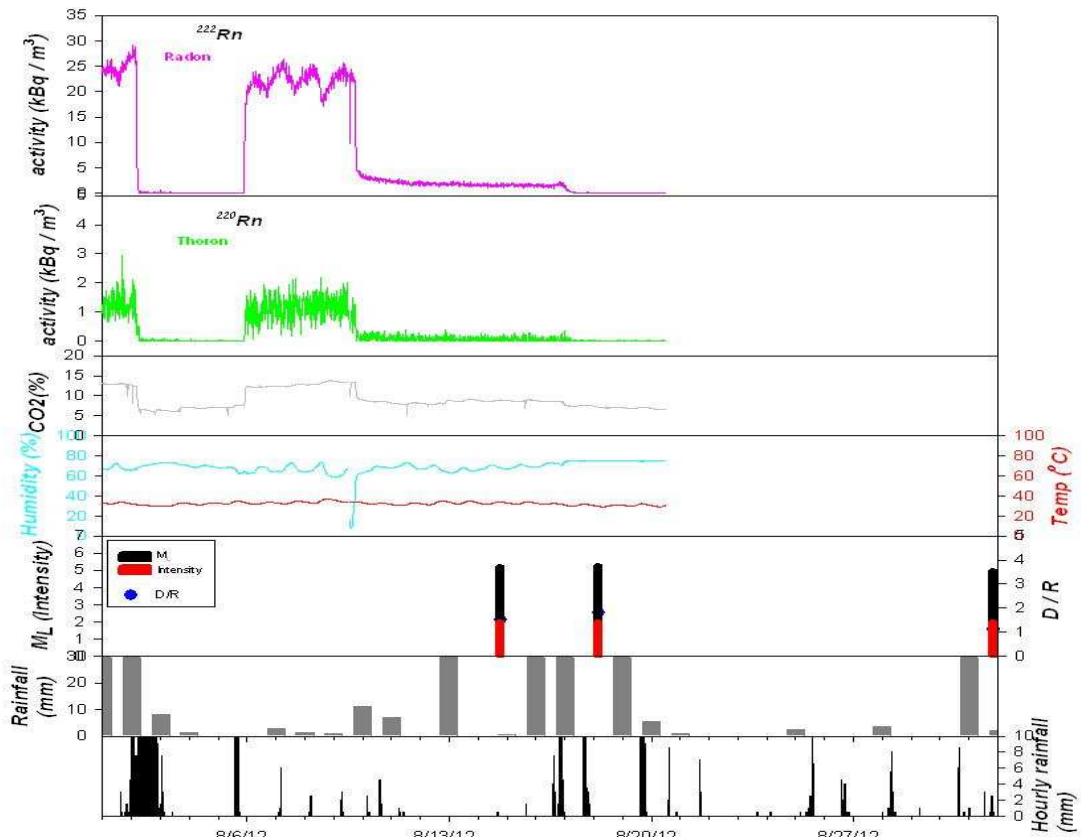


圖 A-24：雲林古坑土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/8/1-2012/8/31）（RTM）。

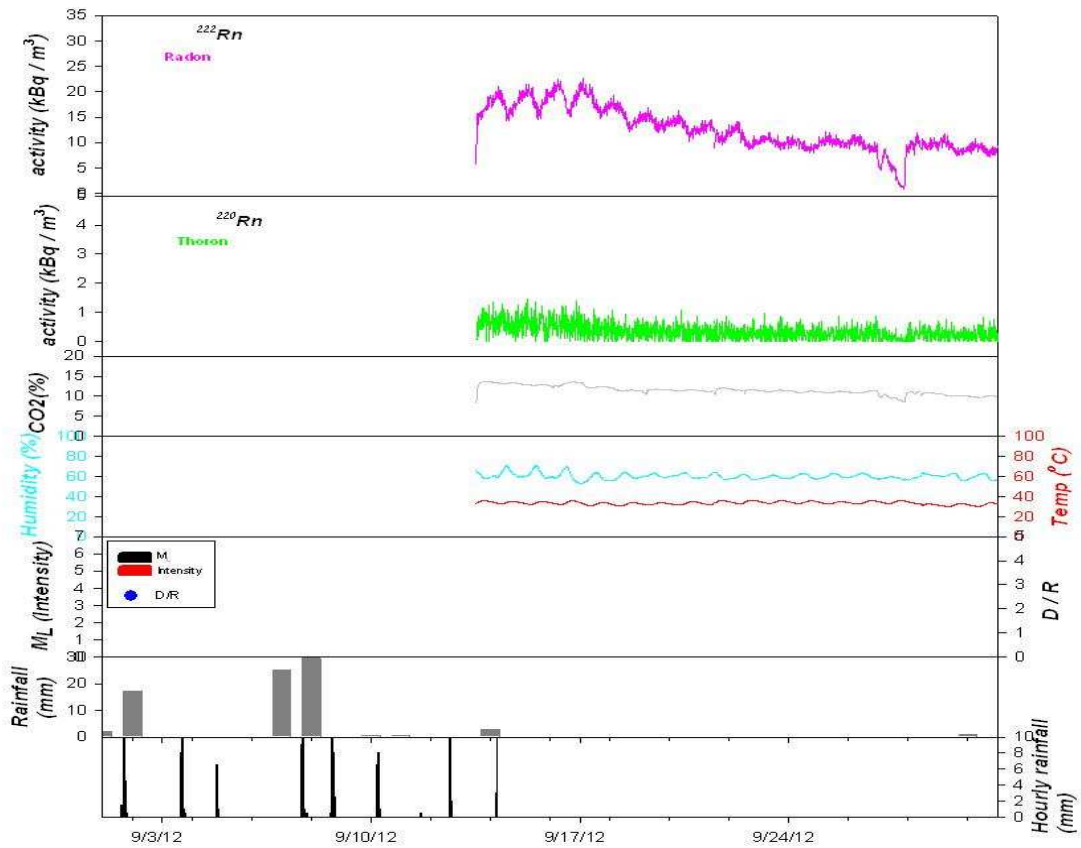


圖 A-25：雲林古坑土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/9/1-2012/9/30）（RTM）。

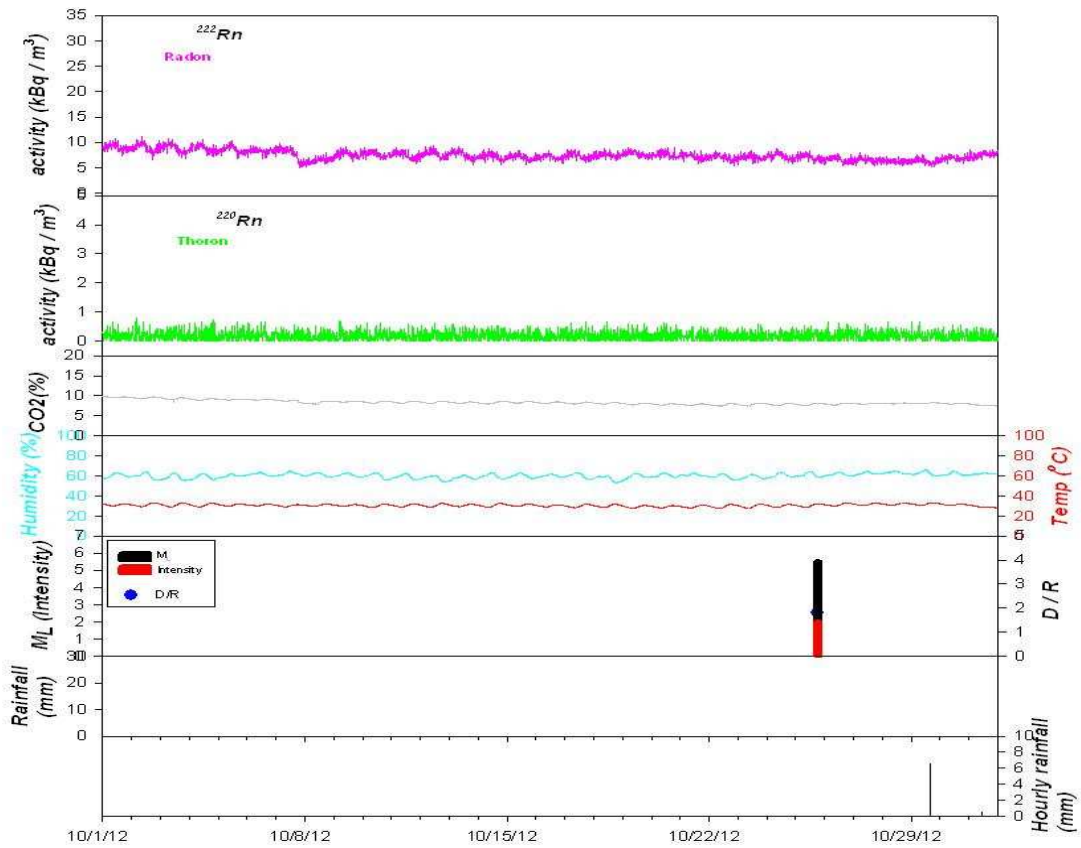


圖 A-26：雲林古坑土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/10/1-2012/10/31）（RTM）。

A.3 嘉義中崙濁水潭觀測站

A.3.1 氡氣分析儀

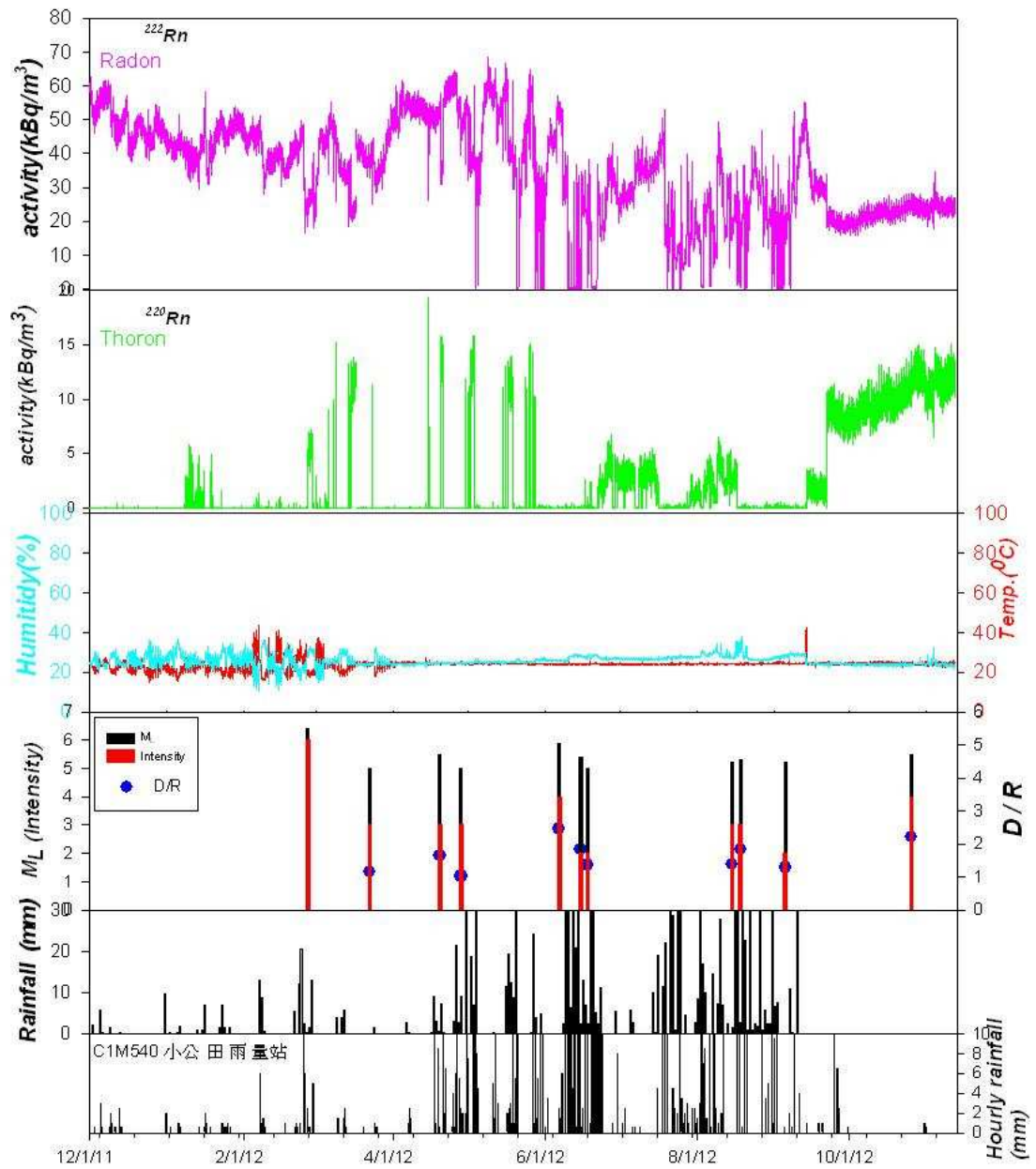


圖 A-27: 嘉義中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML : 地震規模 ; Intensity : 震度 (2011/12/1-2012/11/12) 。

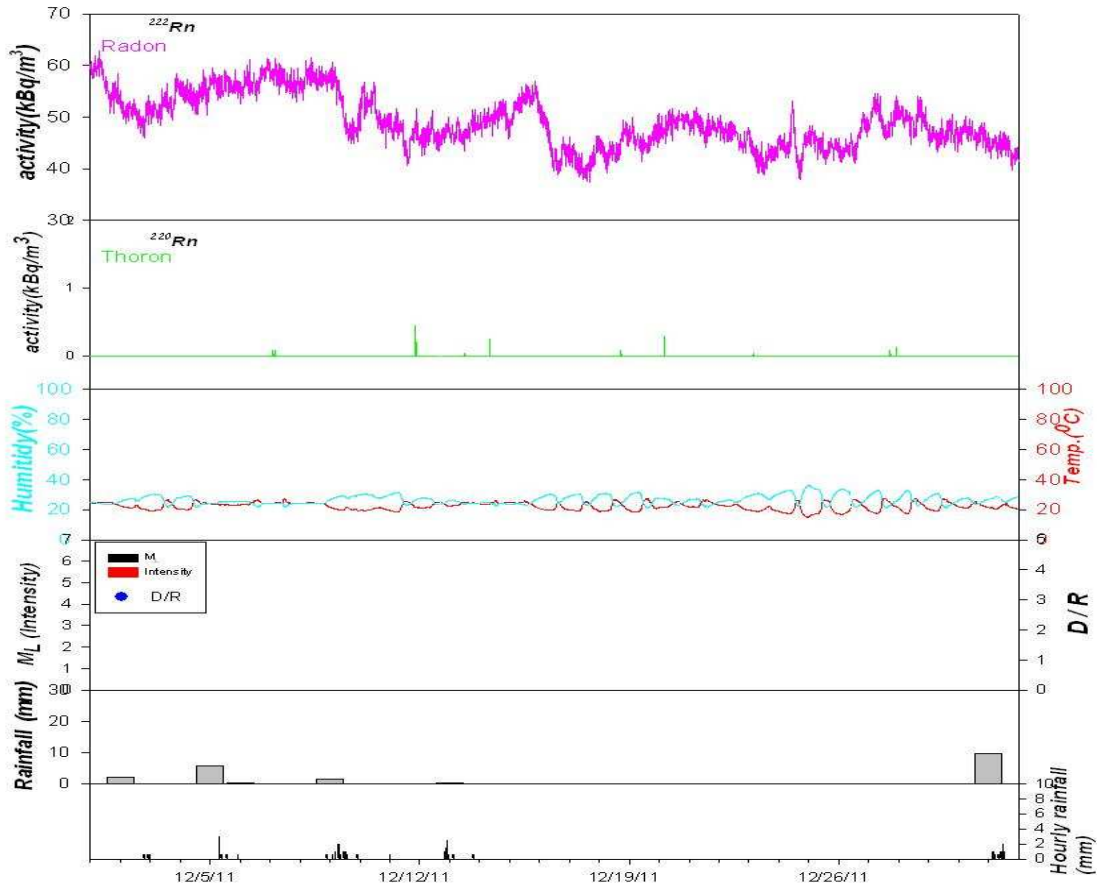


圖 A-28: 嘉義中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2011/12/1-2011/12/31）。

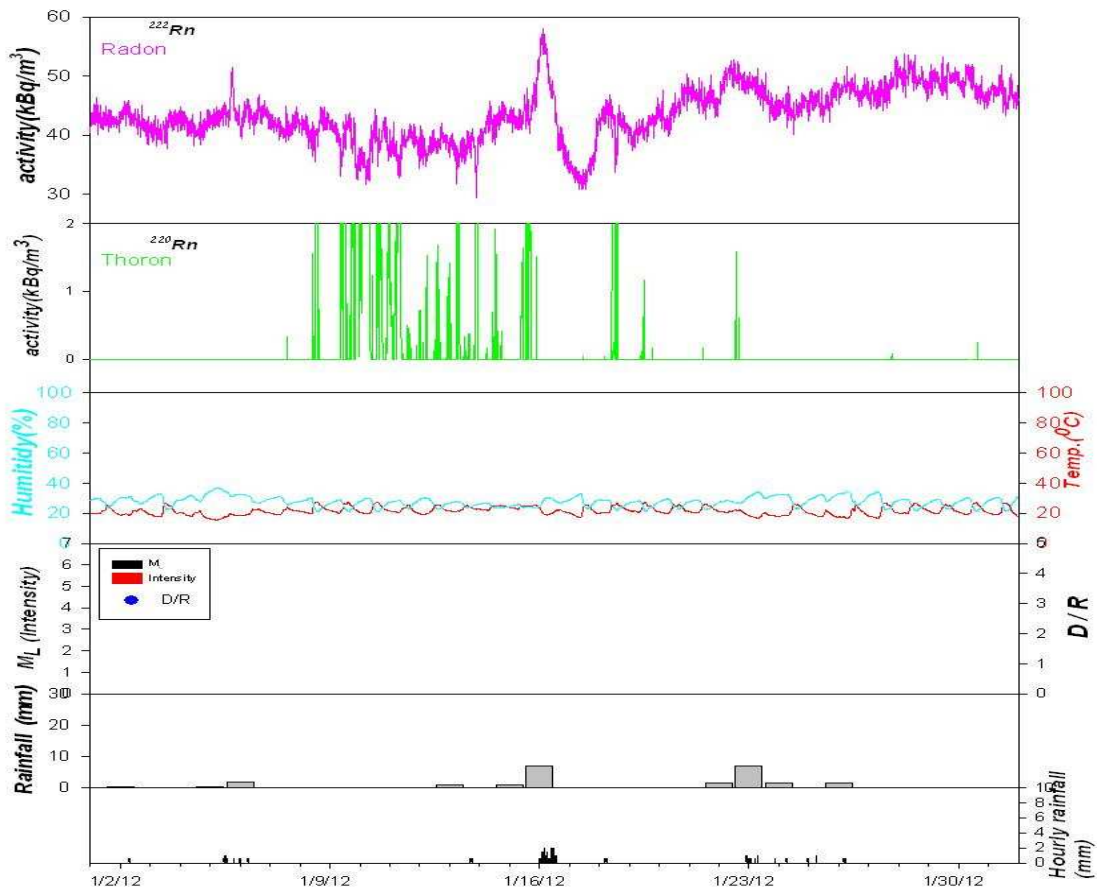


圖 A-29: 嘉義中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/1/1-2012/1/31）。

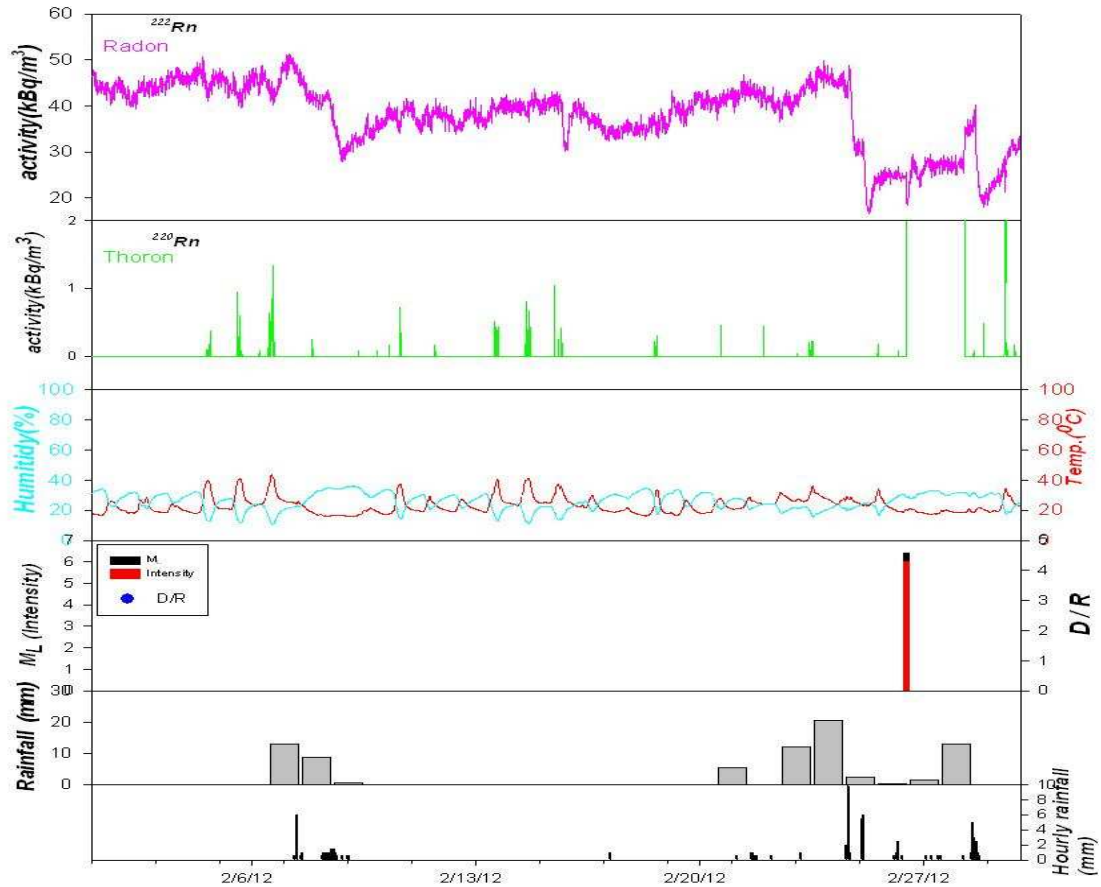


圖 A-30: 嘉義中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/2/1-2012/2/29)。

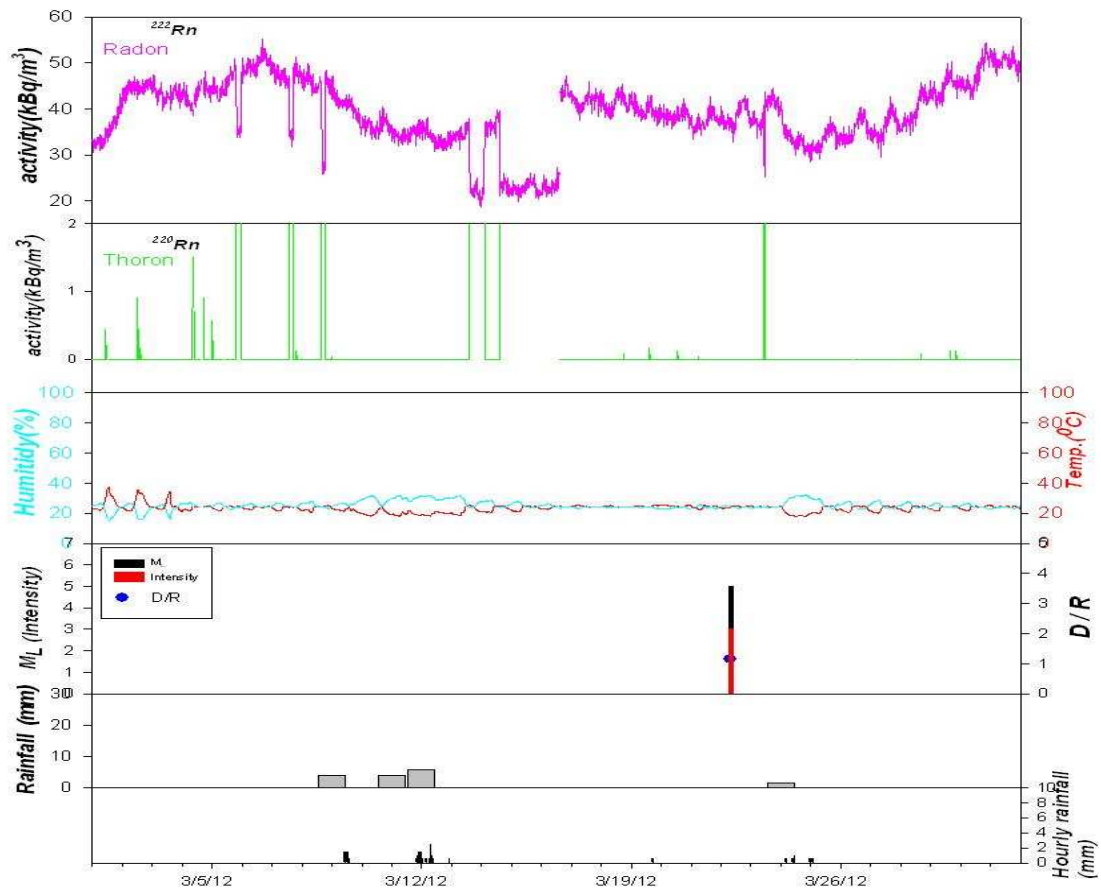


圖 A-31: 嘉義中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/3/1-2012/3/31)。

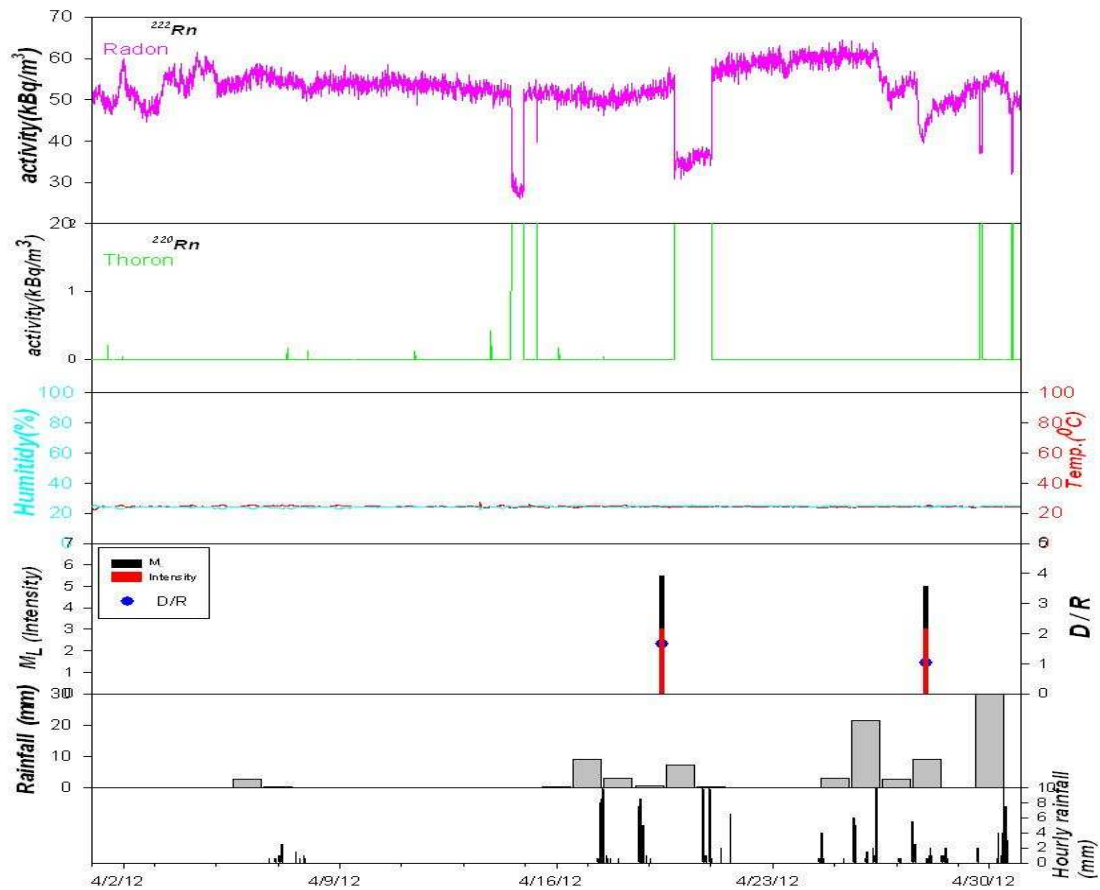


圖 A-32: 嘉義中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/4/1-2012/4/30）。

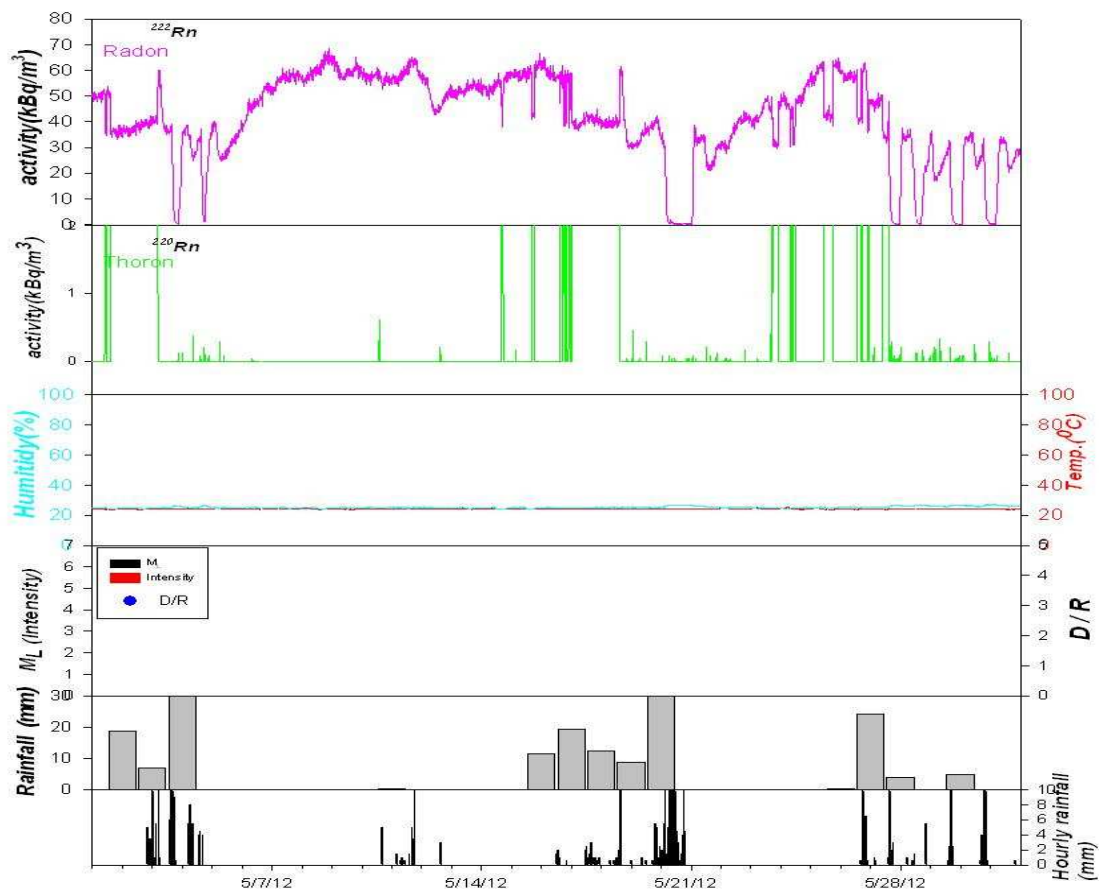


圖 A-33: 嘉義中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/5/1-2012/5/31）。

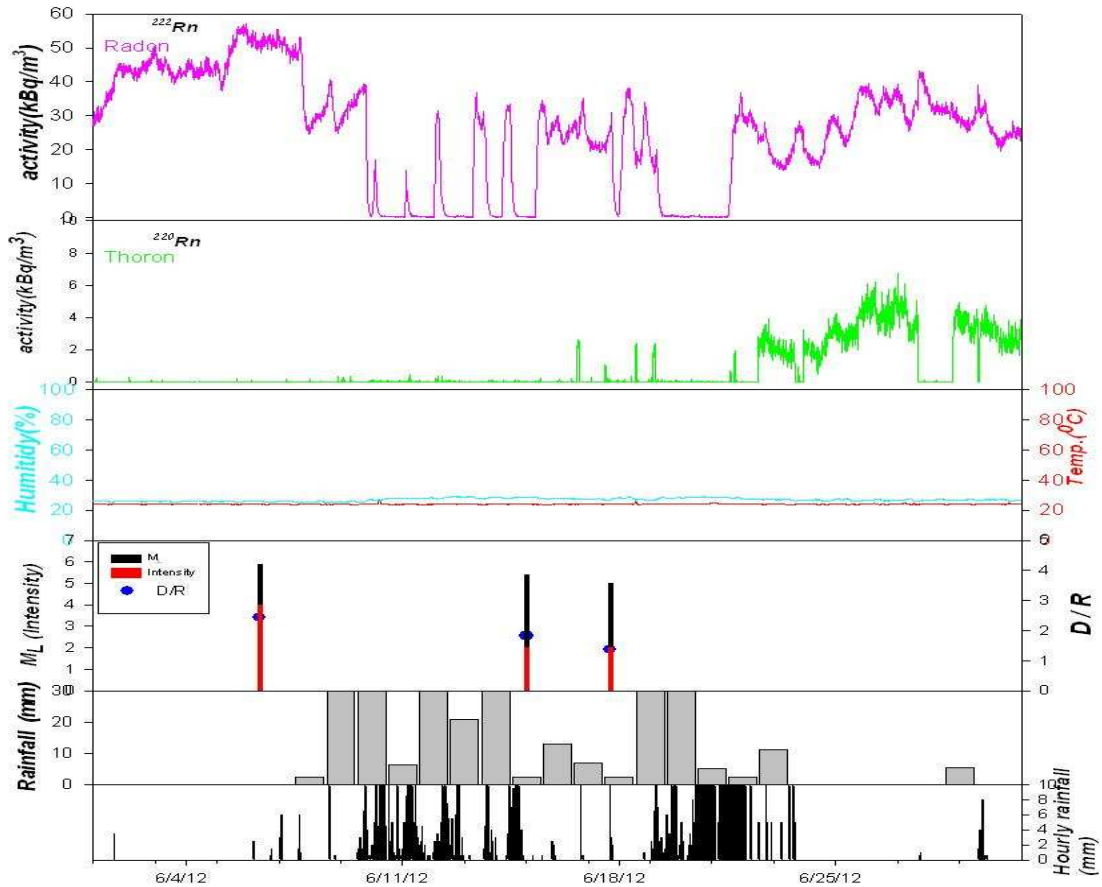


圖 A-34: 嘉義中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/6/1-2012/6/30)。

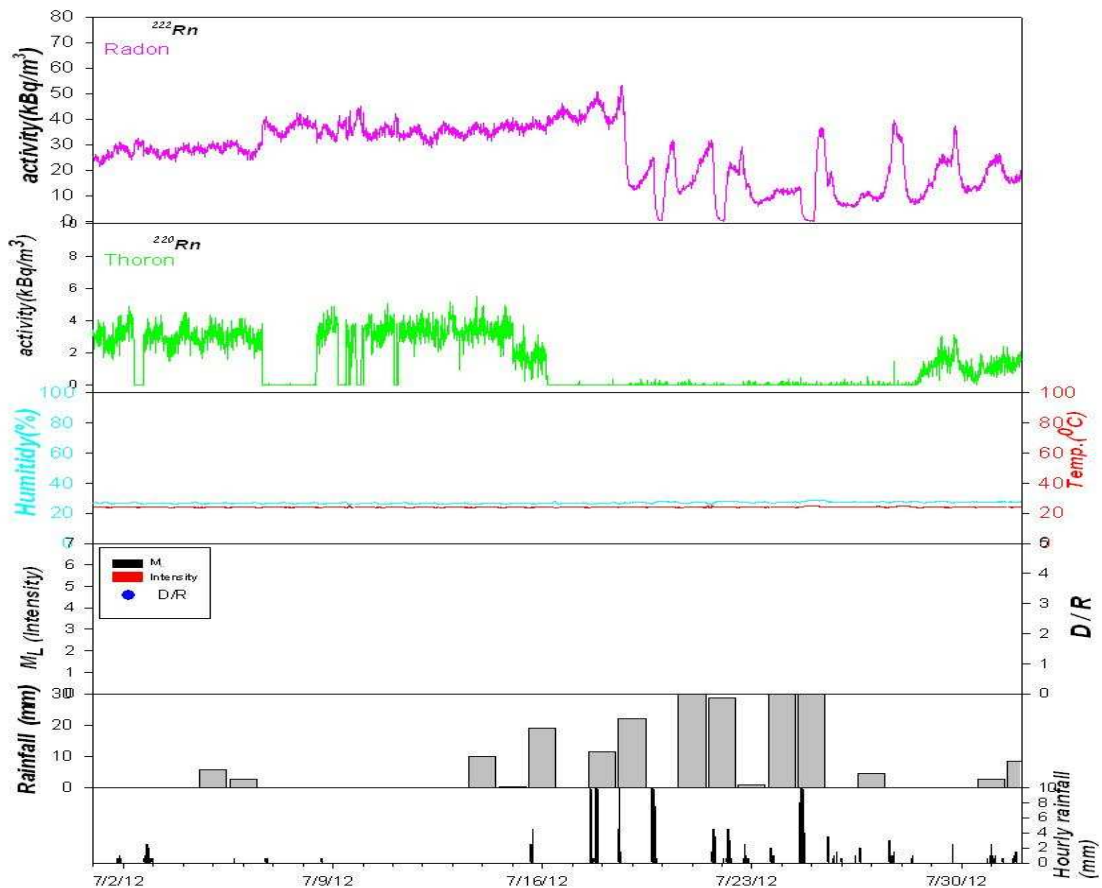


圖 A-35: 嘉義中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/7/1-2012/7/31)。

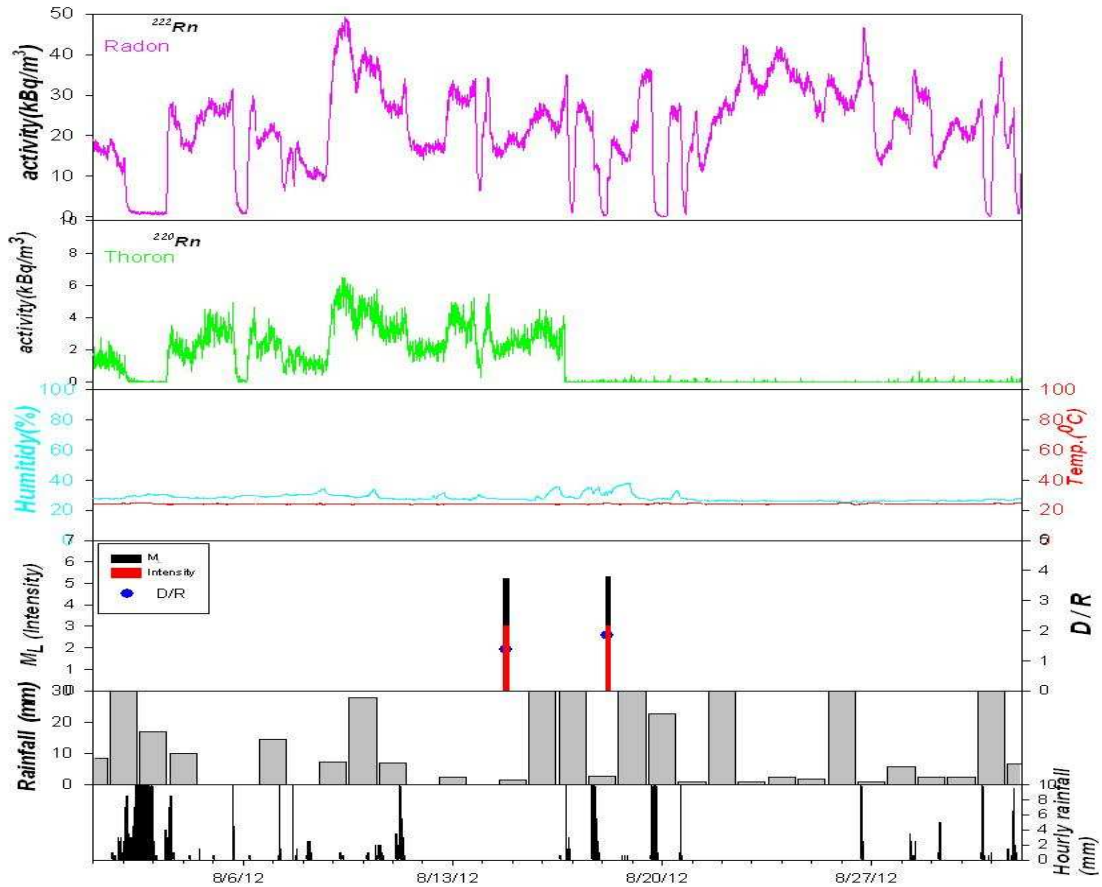


圖 A-36: 嘉義中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/8/1-2012/8/31)。

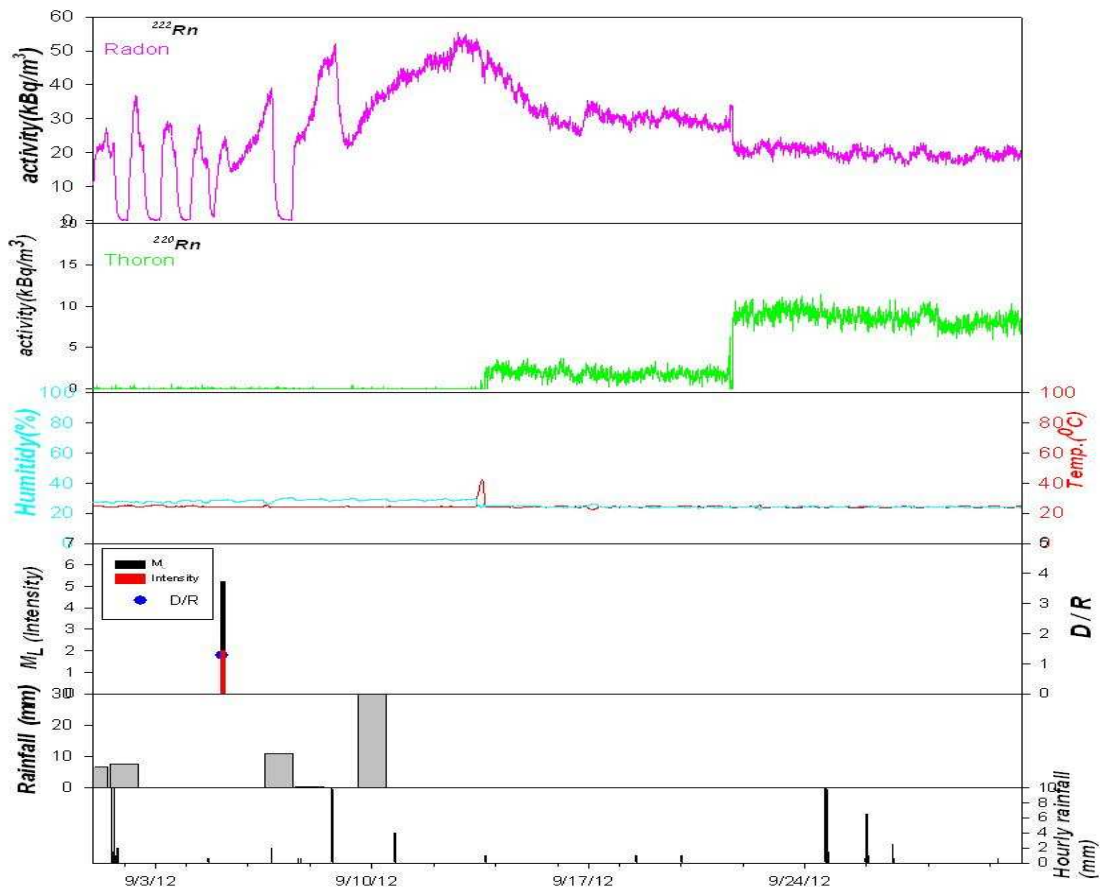


圖 A-37: 嘉義中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/9/1-2012/9/30)。

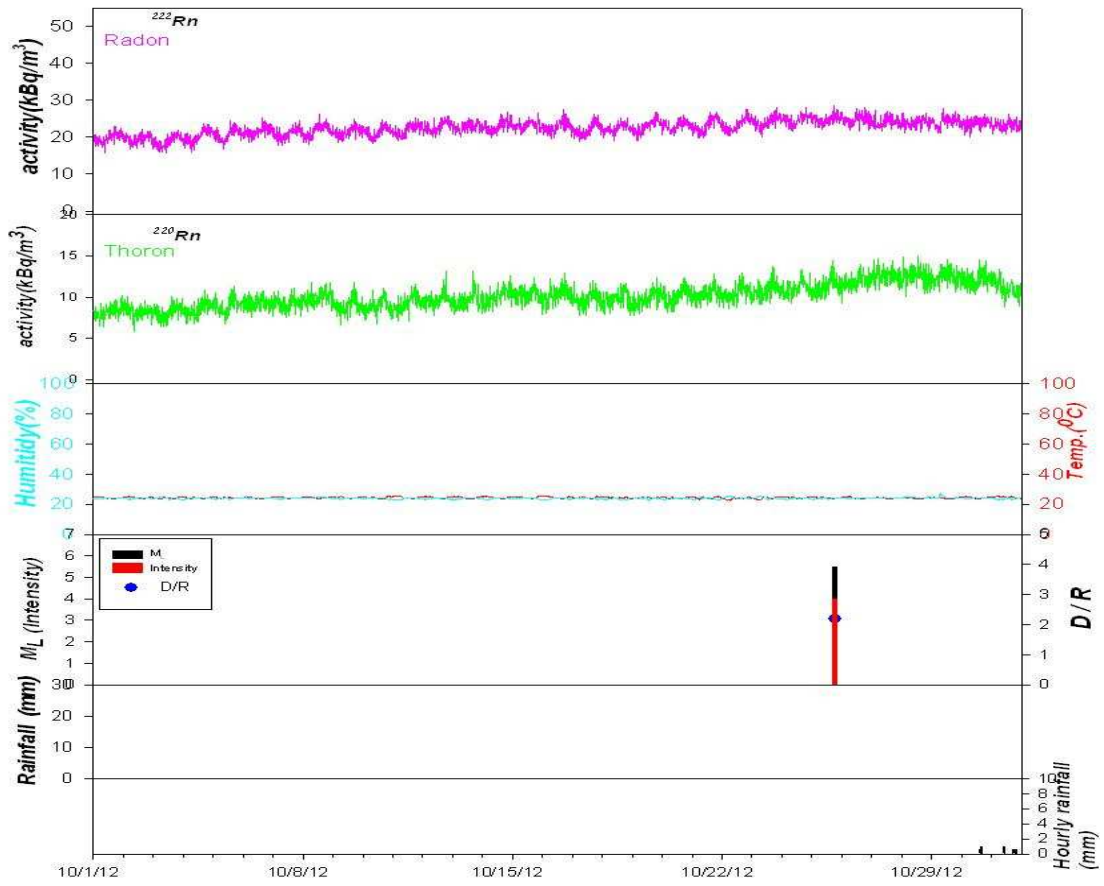


圖 A-38: 嘉義中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化與雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/10/1-2012/10/31)。

A.3.2 四極桿質譜儀

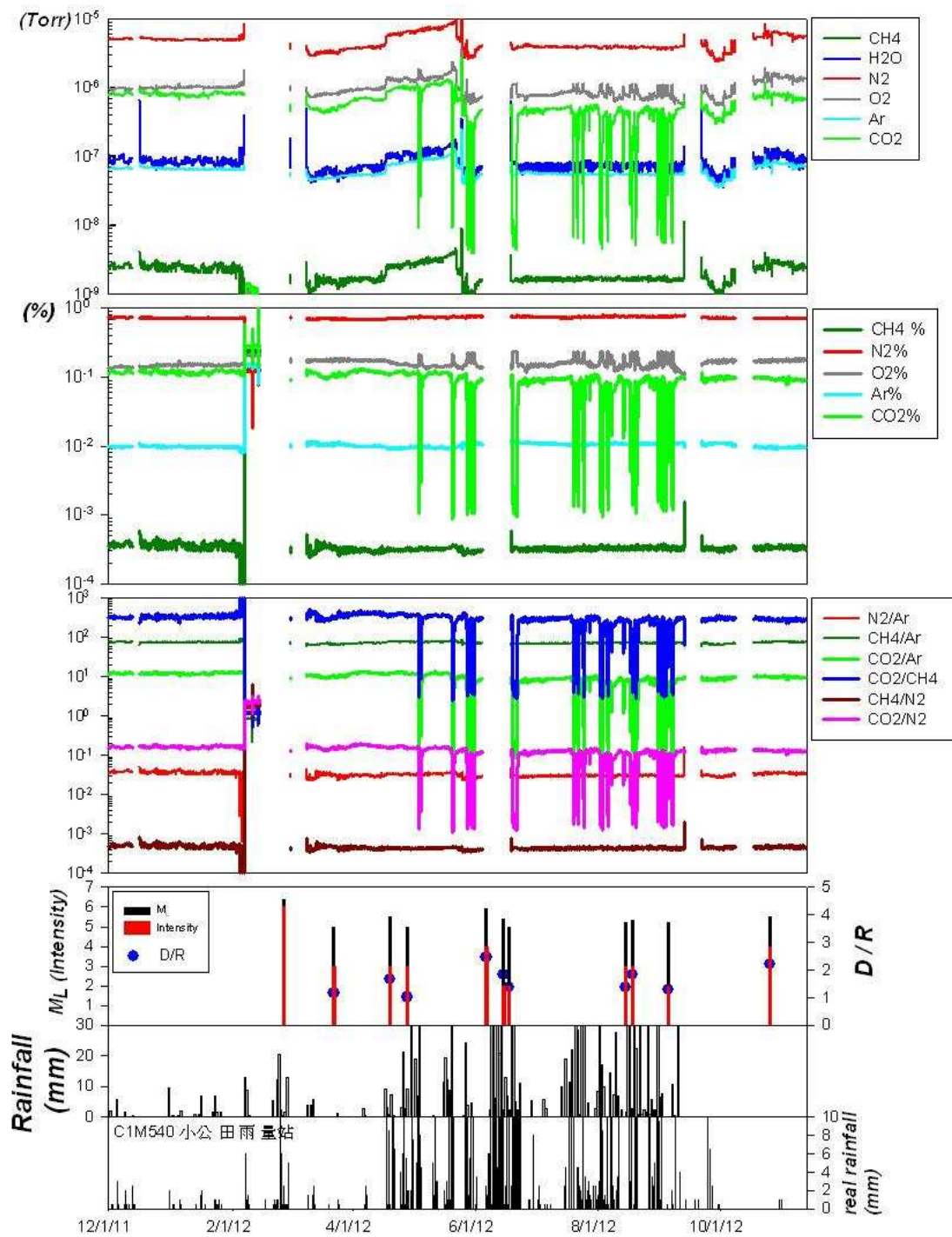


圖 A-39：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/12/1-2012/11/12）。

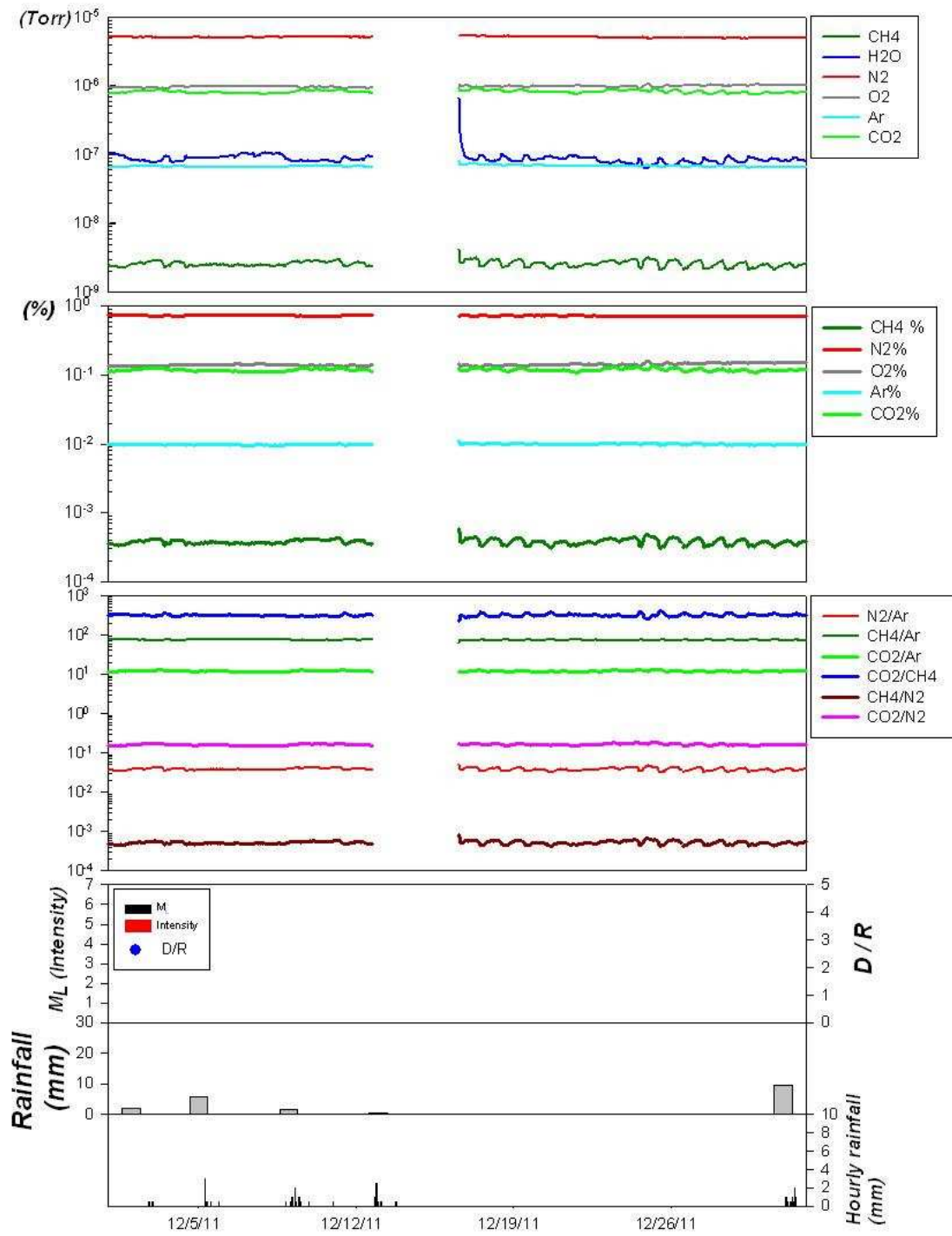


圖 A-40：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/12/1-2011/12/31）。

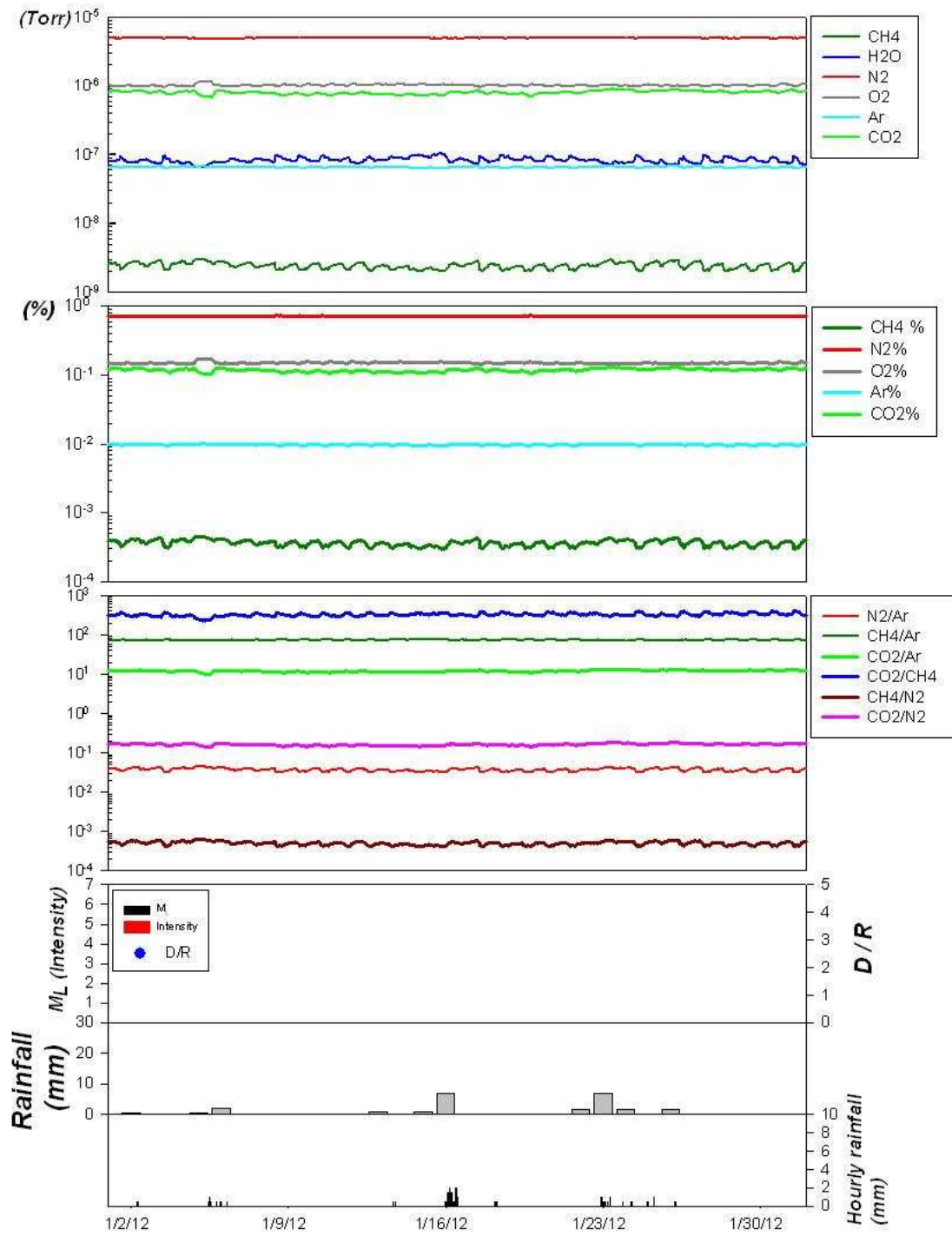


圖 A-41：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2012/1/1-2012/1/31）。

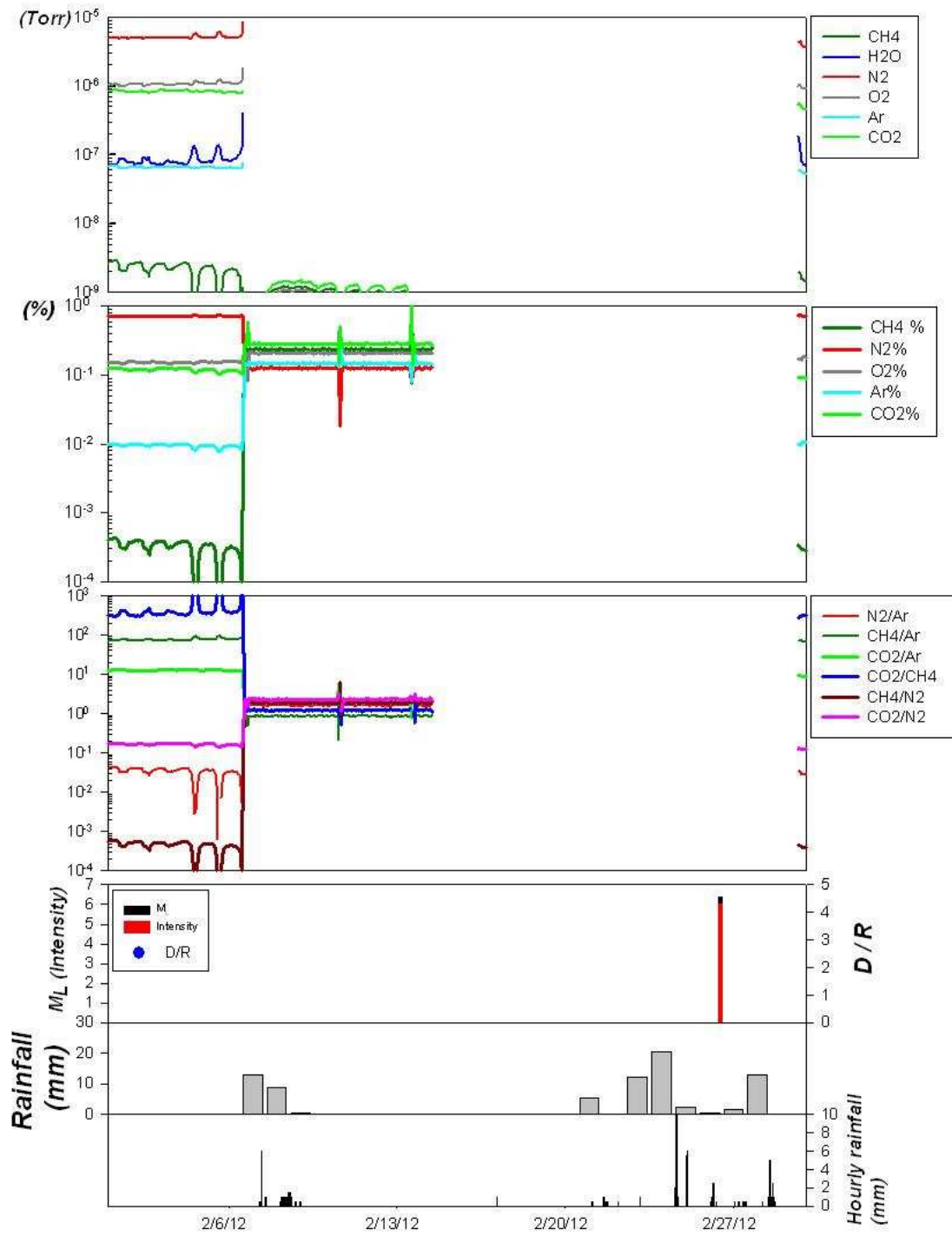


圖 A-42：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2012/2/1-2012/2/29）。

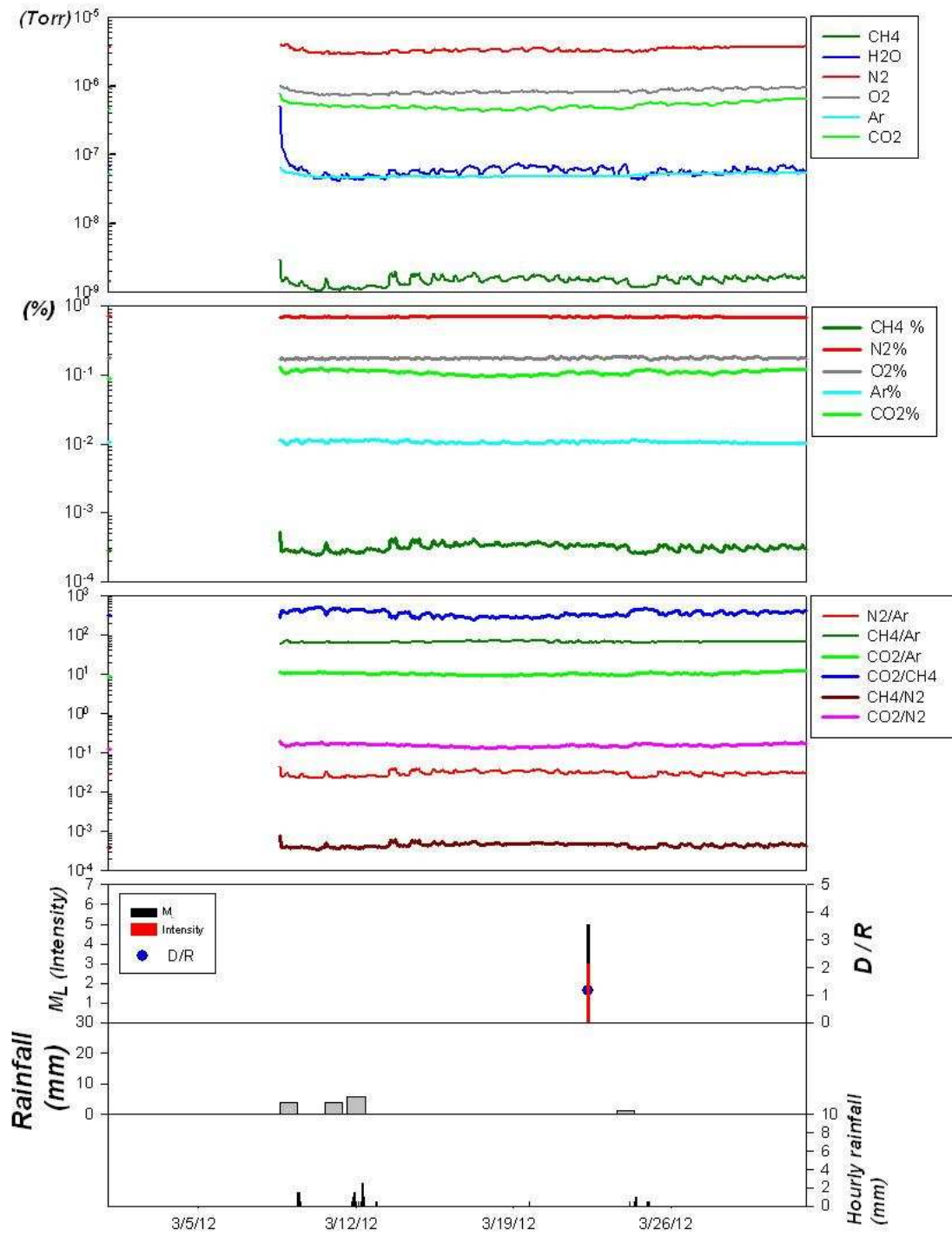


圖 A-43：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2012/3/1-2012/3/31）。

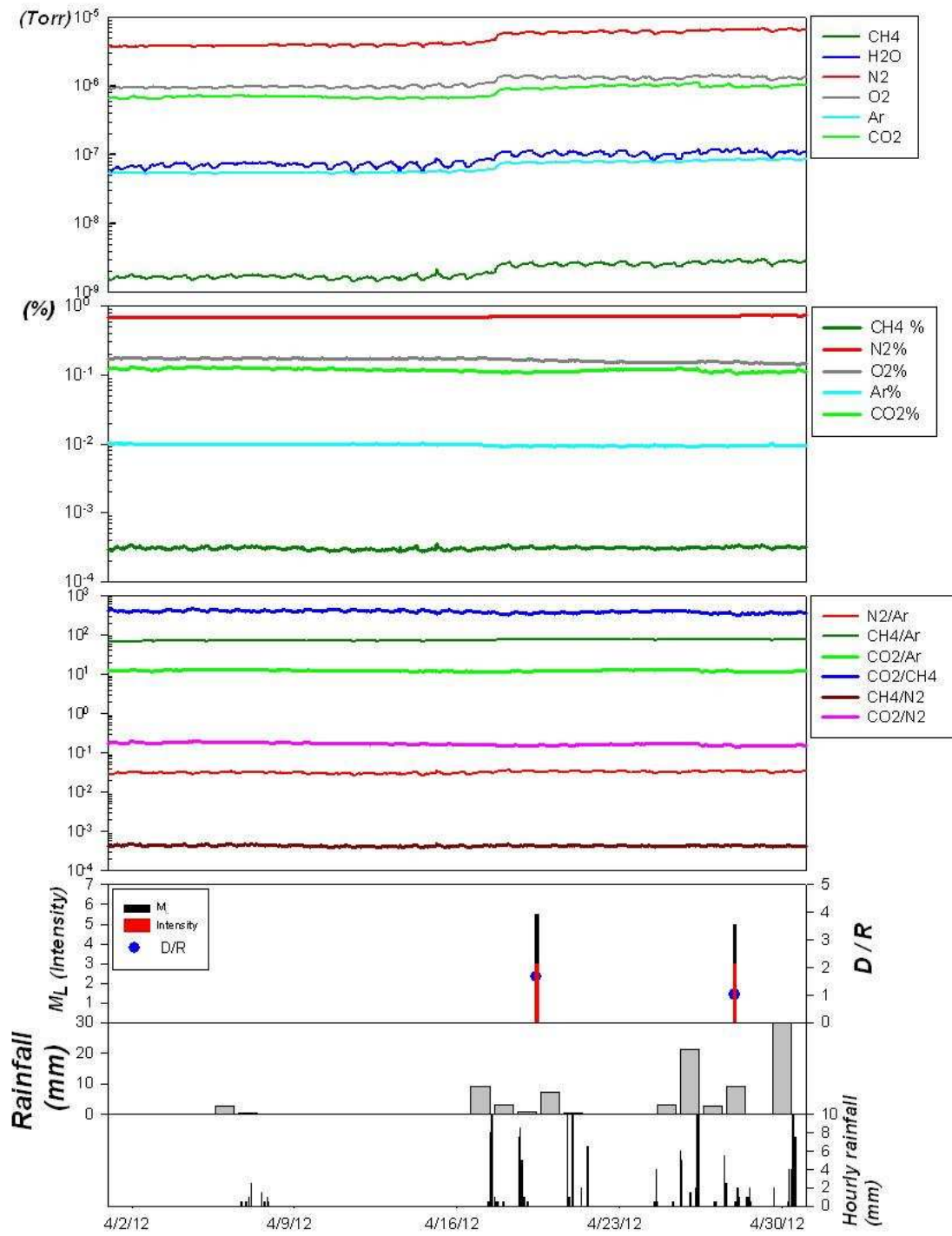


圖 A-44：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2012/4/1-2012/4/30）。

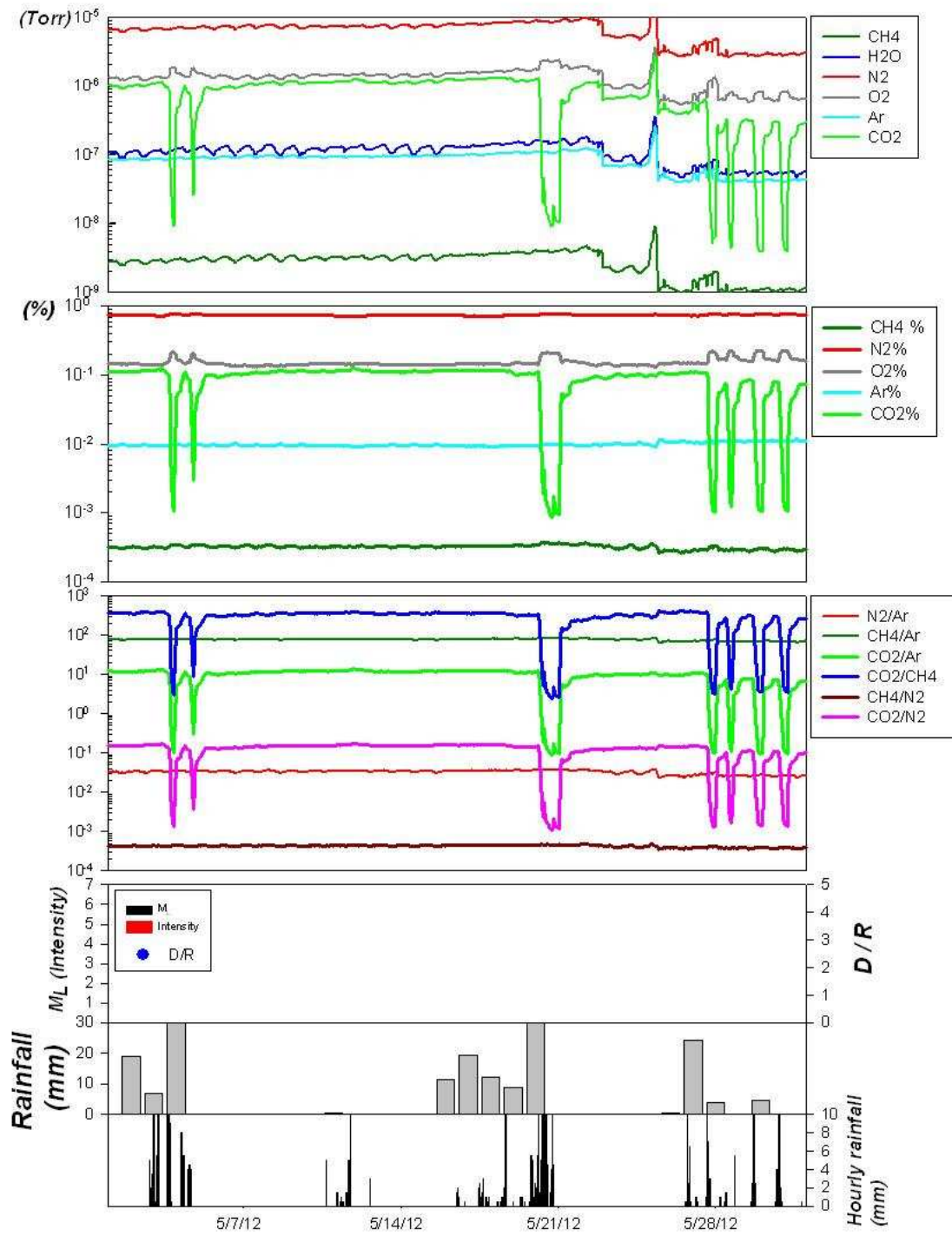


圖 A-45：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2012/5/1-2012/5/31）。

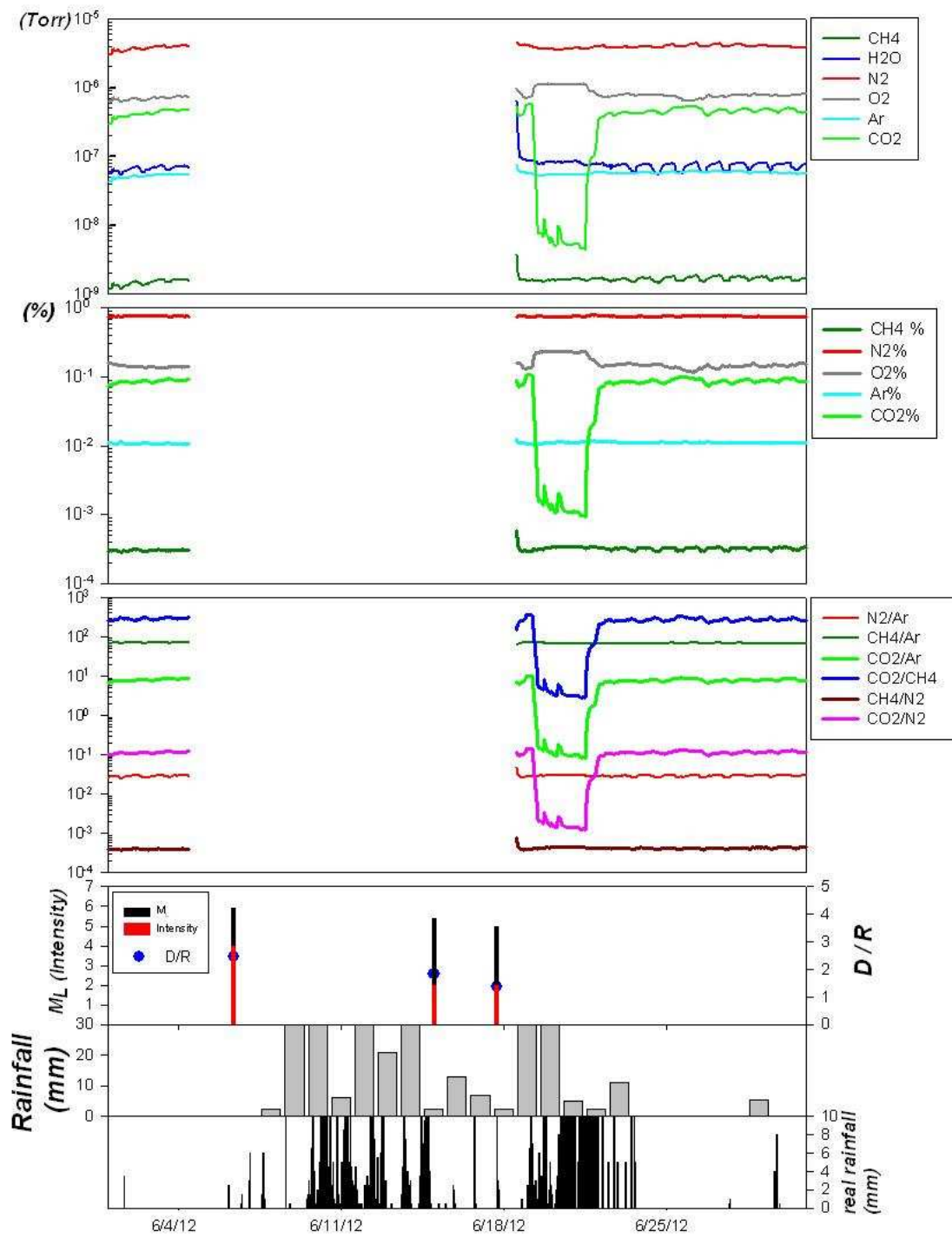


圖 A-46：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2012/6/1-2012/6/30）。

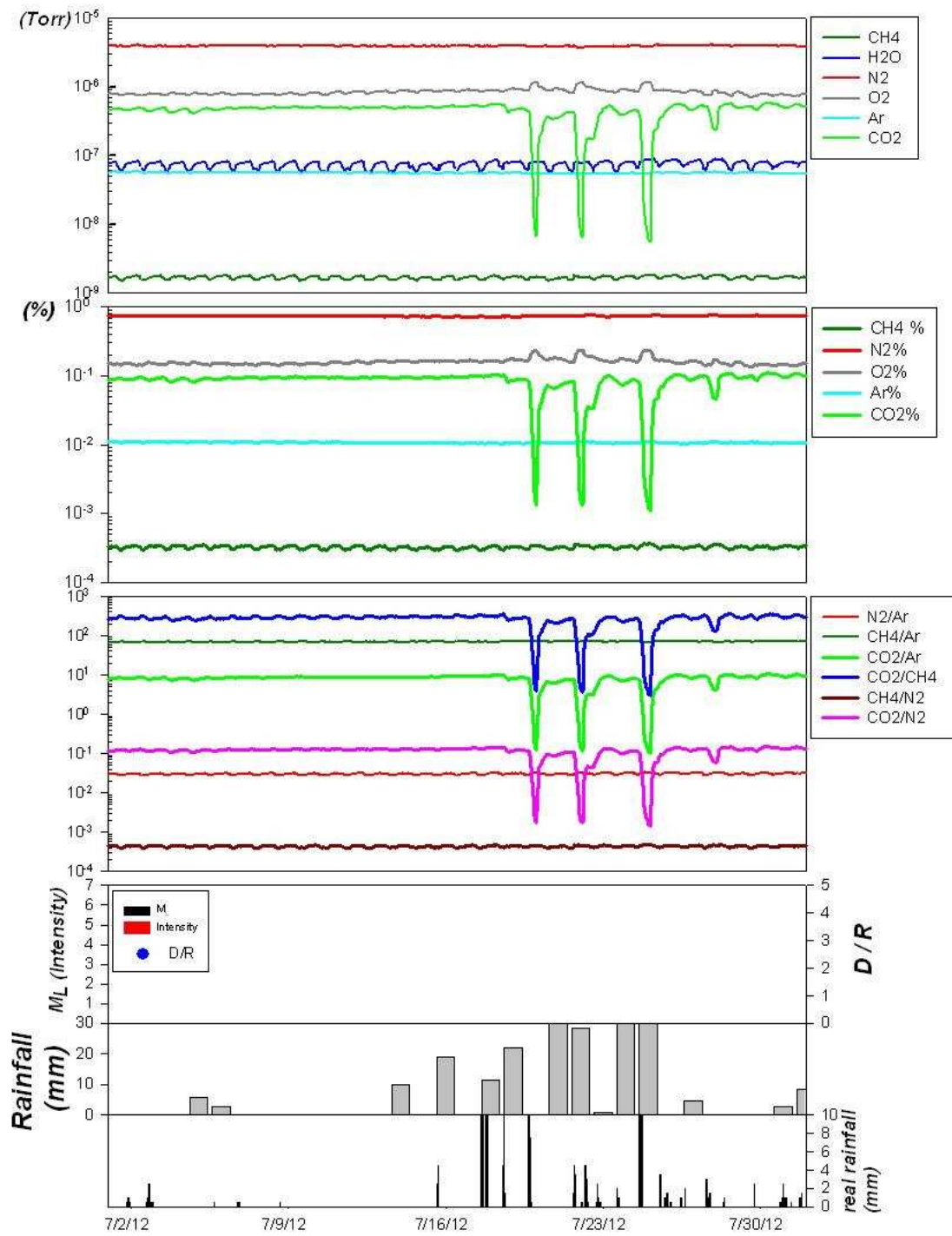


圖 A-47：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2012/7/1-2012/7/31）。

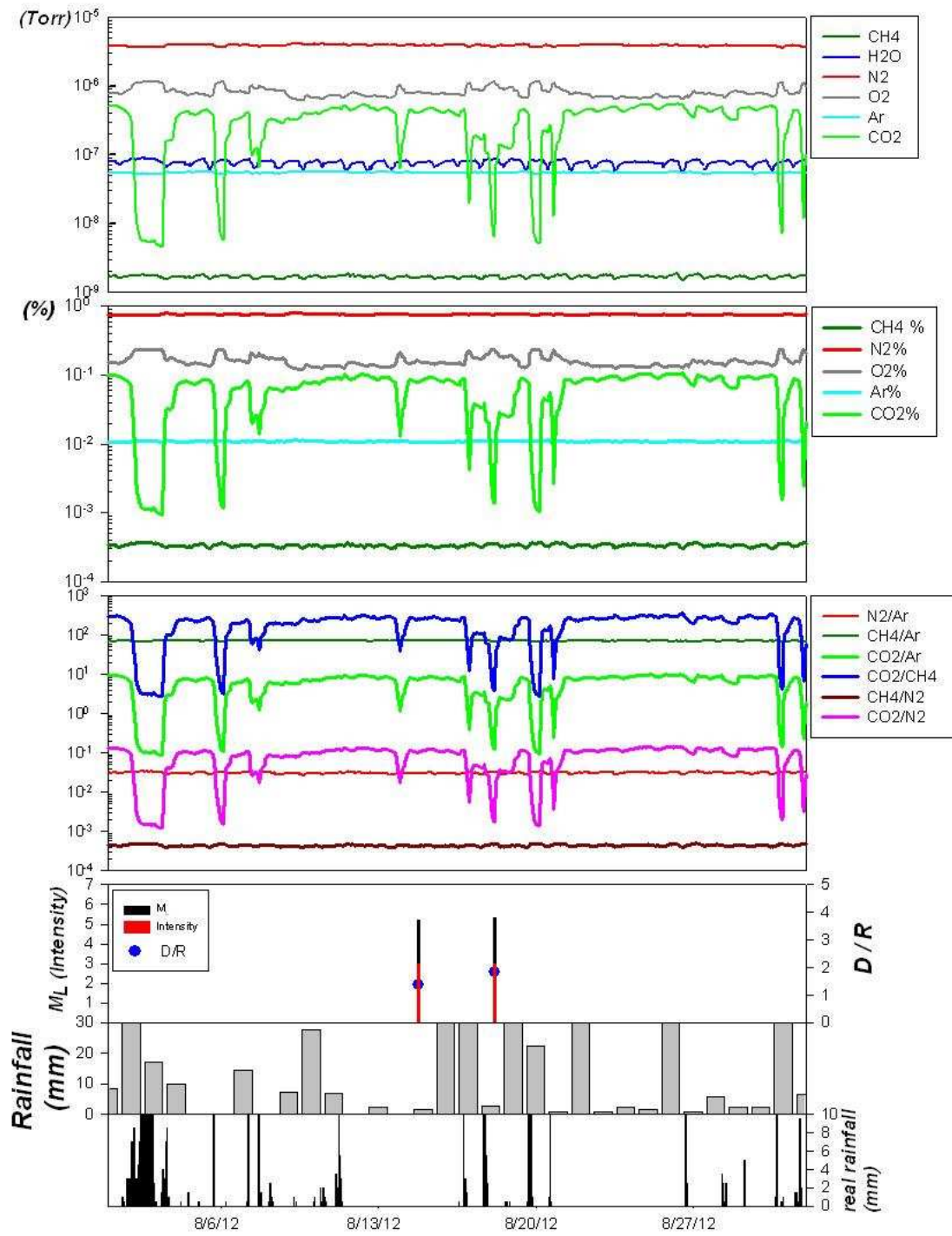


圖 A-48：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2012/8/1-2012/8/31）。

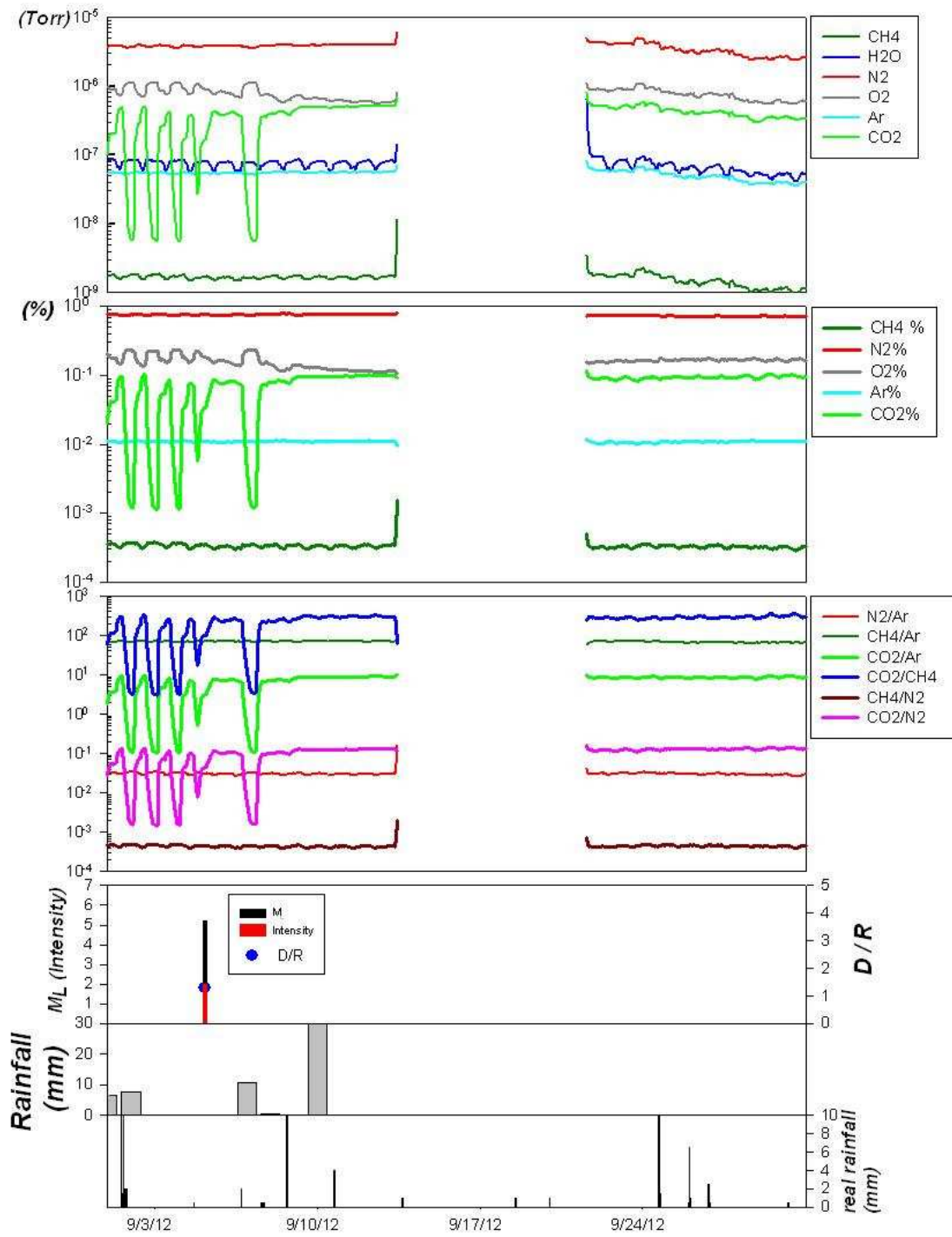


圖 A-49：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2012/9/1-2012/9/30）。

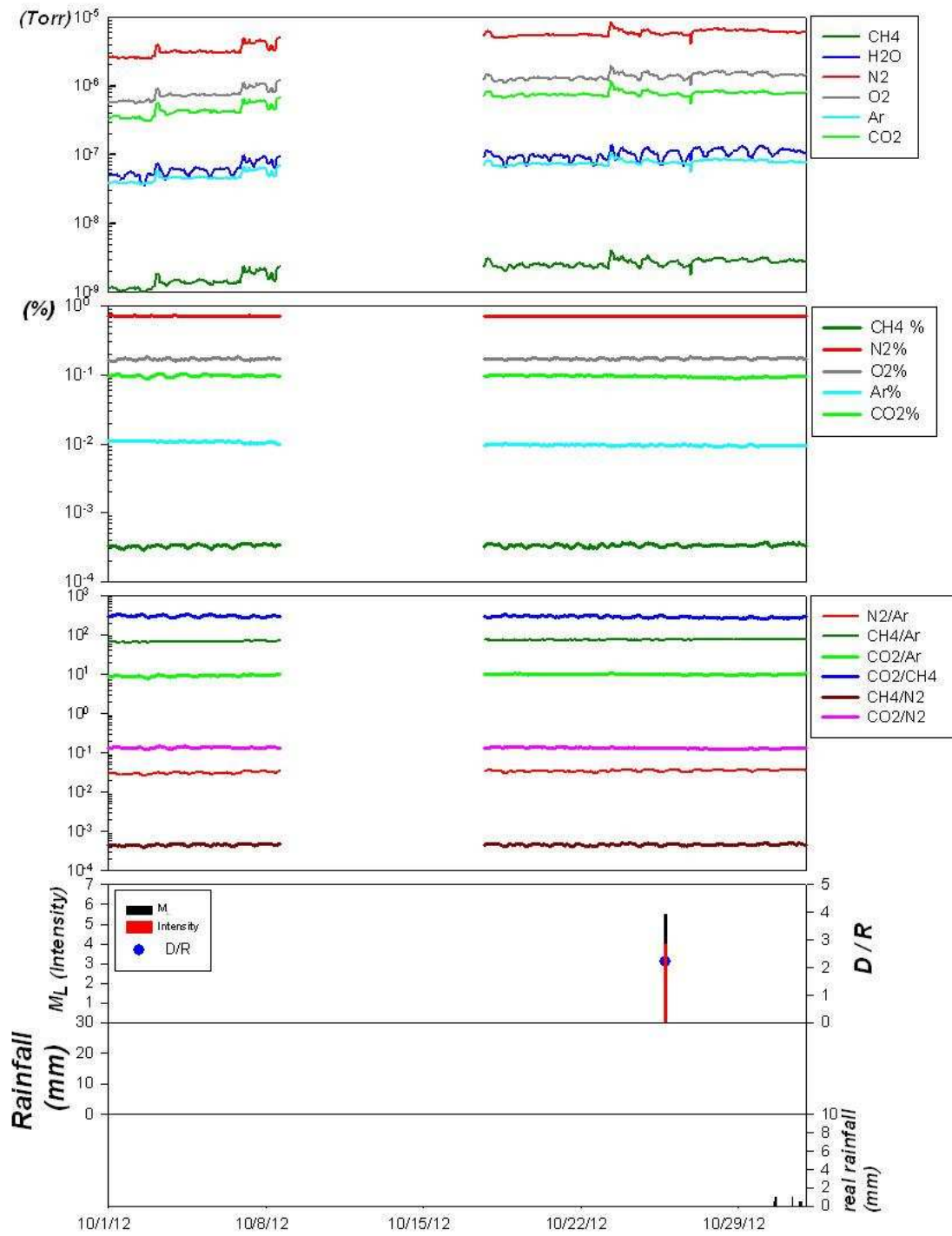


圖 A-50：嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2012/10/1-2012/10/31）。

A.4 屏東屏科大觀測站

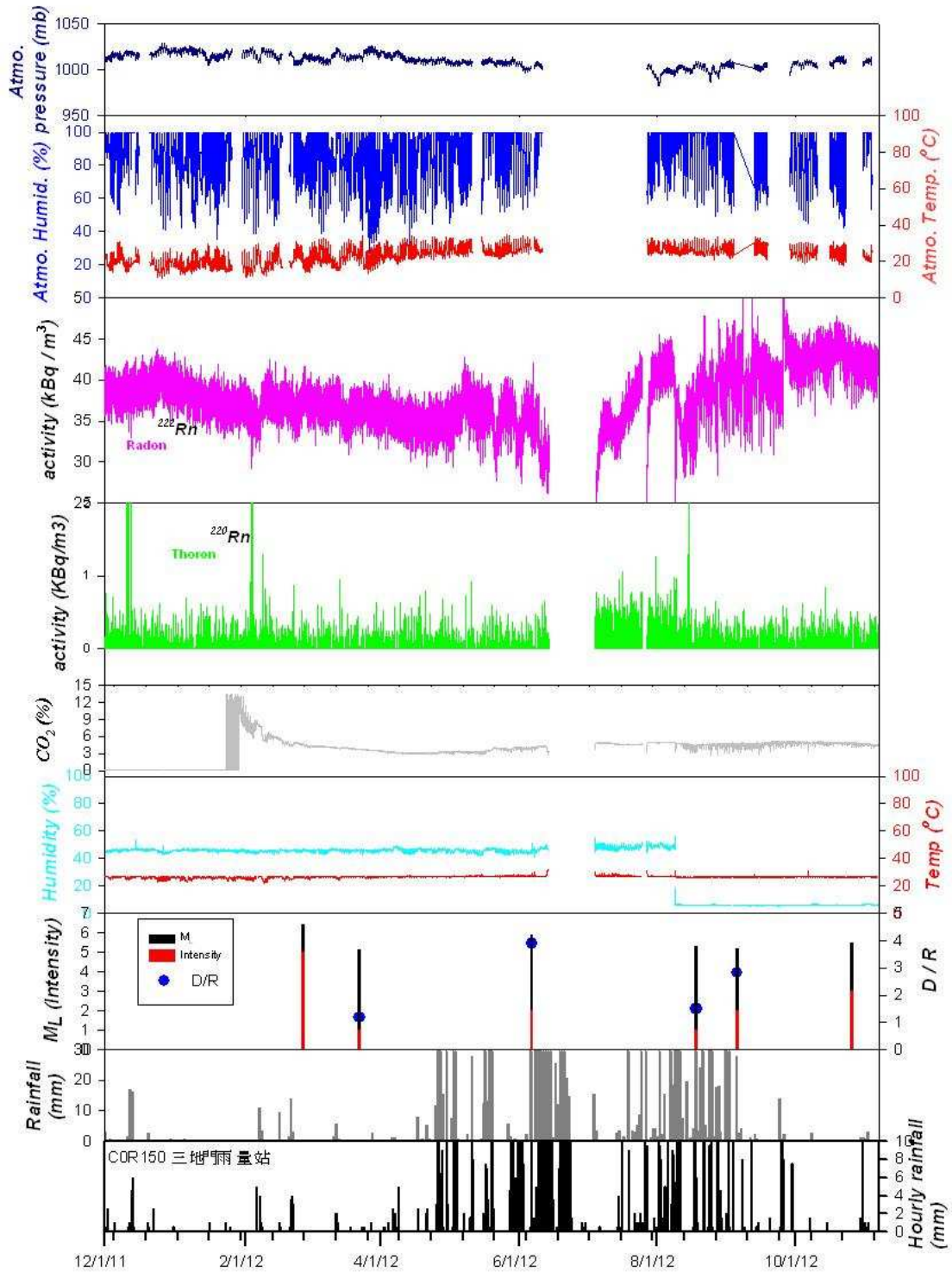


圖 A-51：屏東屏科大土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2011/11/28-2012/11/6）。

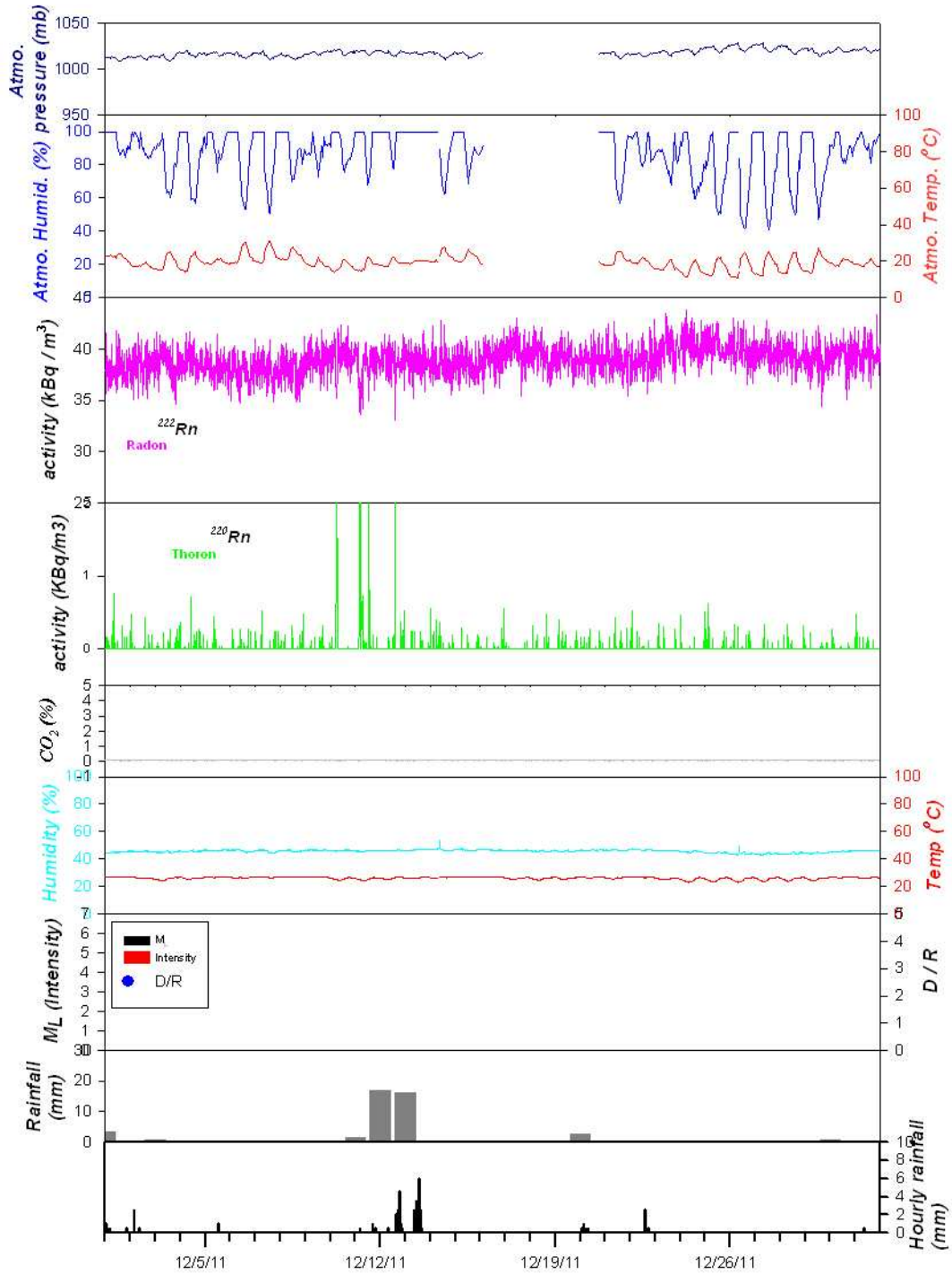


圖 A-52：屏東屏科大土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度 (A.T.) 溼度 (A.H.) 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2011/12/1-2011/12/31)。

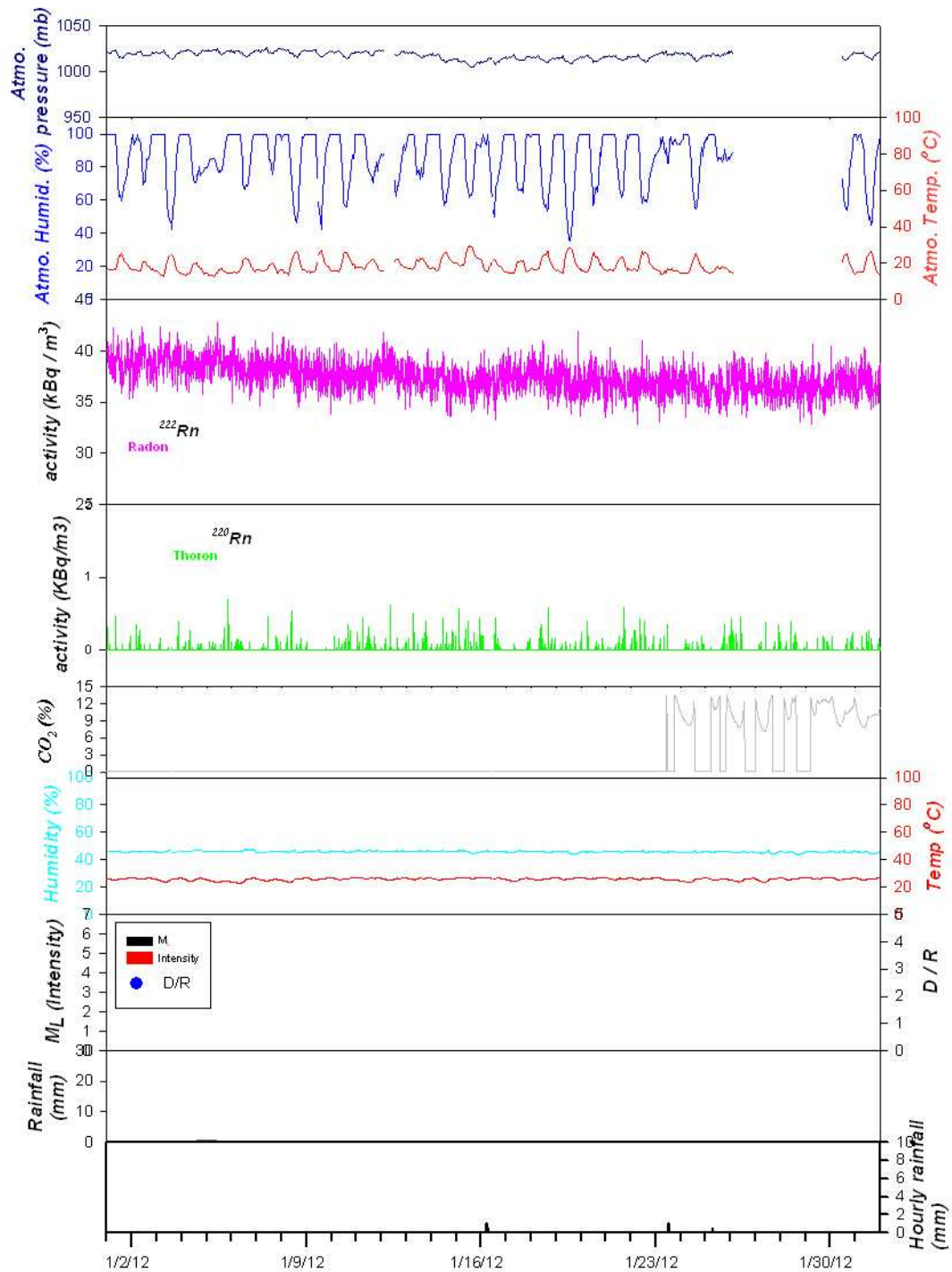


圖 A-53：屏東屏科大土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/1/1-2012/1/31）。

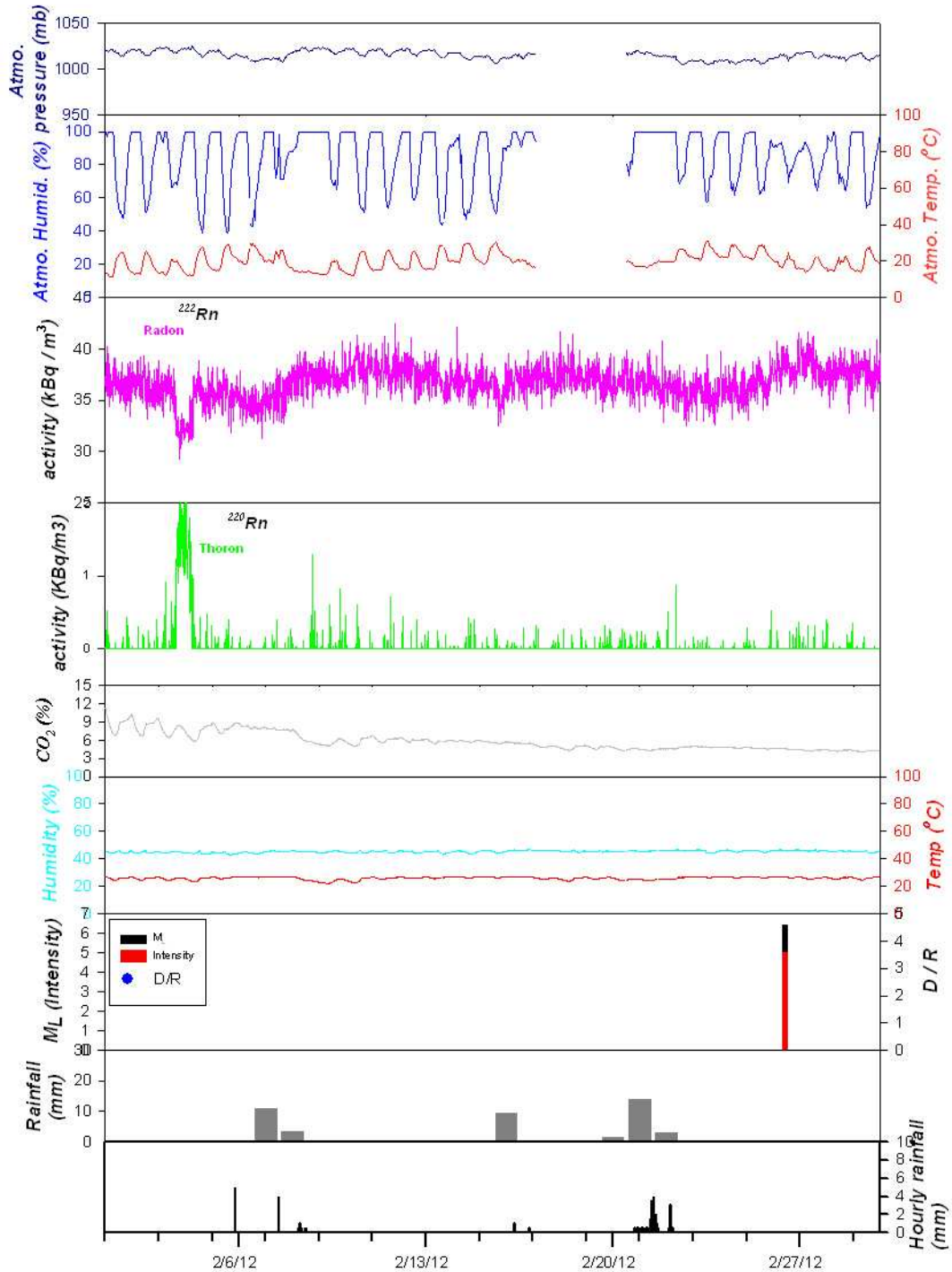


圖 A-54：屏東屏科大土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度 (A.T.) 溼度 (A.H.) 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2012/2/1-2012/2/29)。

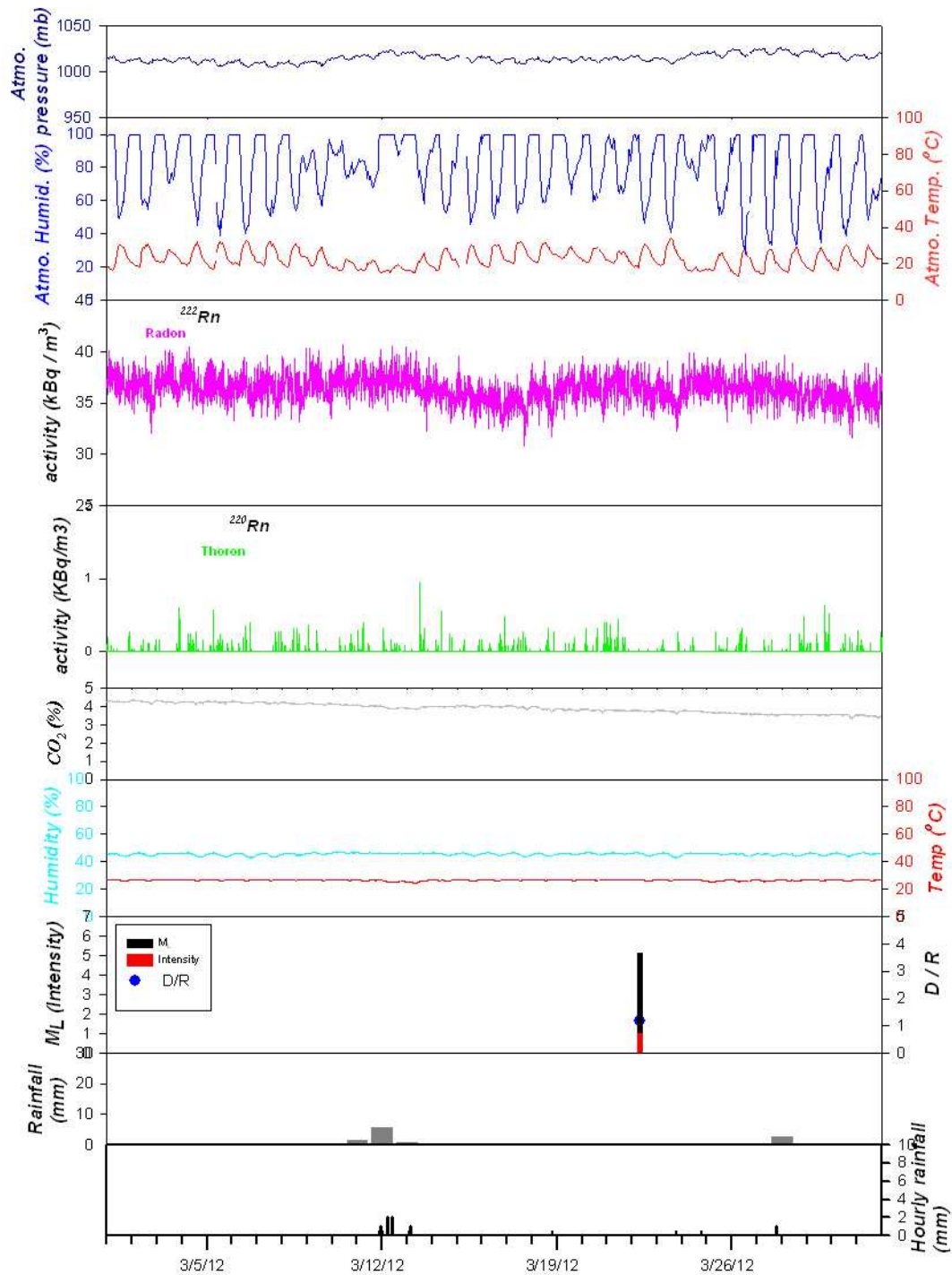


圖 A-55：屏東屏科大土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度 (A.T.)、溼度 (A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2012/3/1-2012/3/31)。

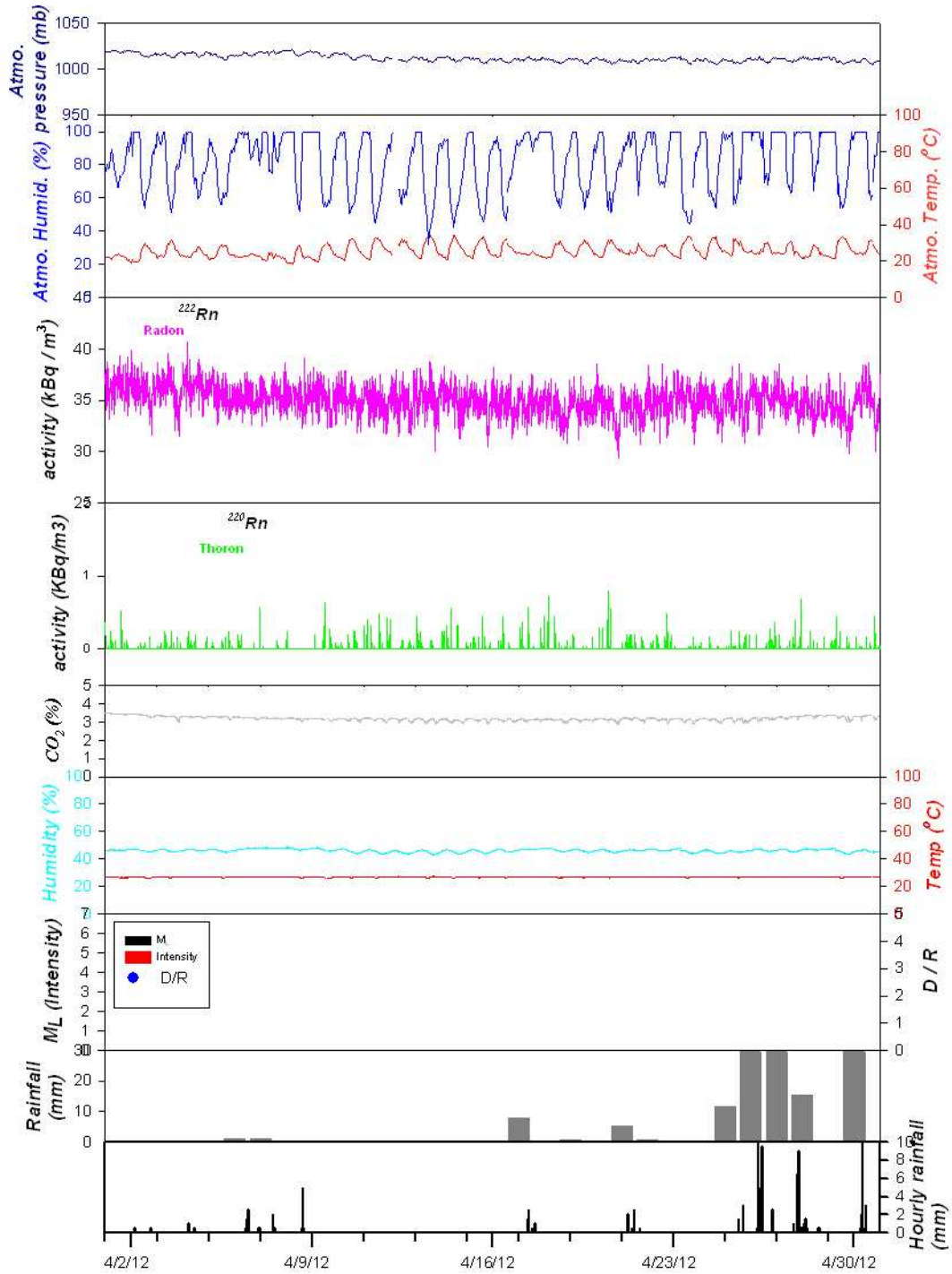


圖 A-56：屏東屏科大土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度 (A.T.)、溼度 (A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2012/4/1-2012/4/30)。

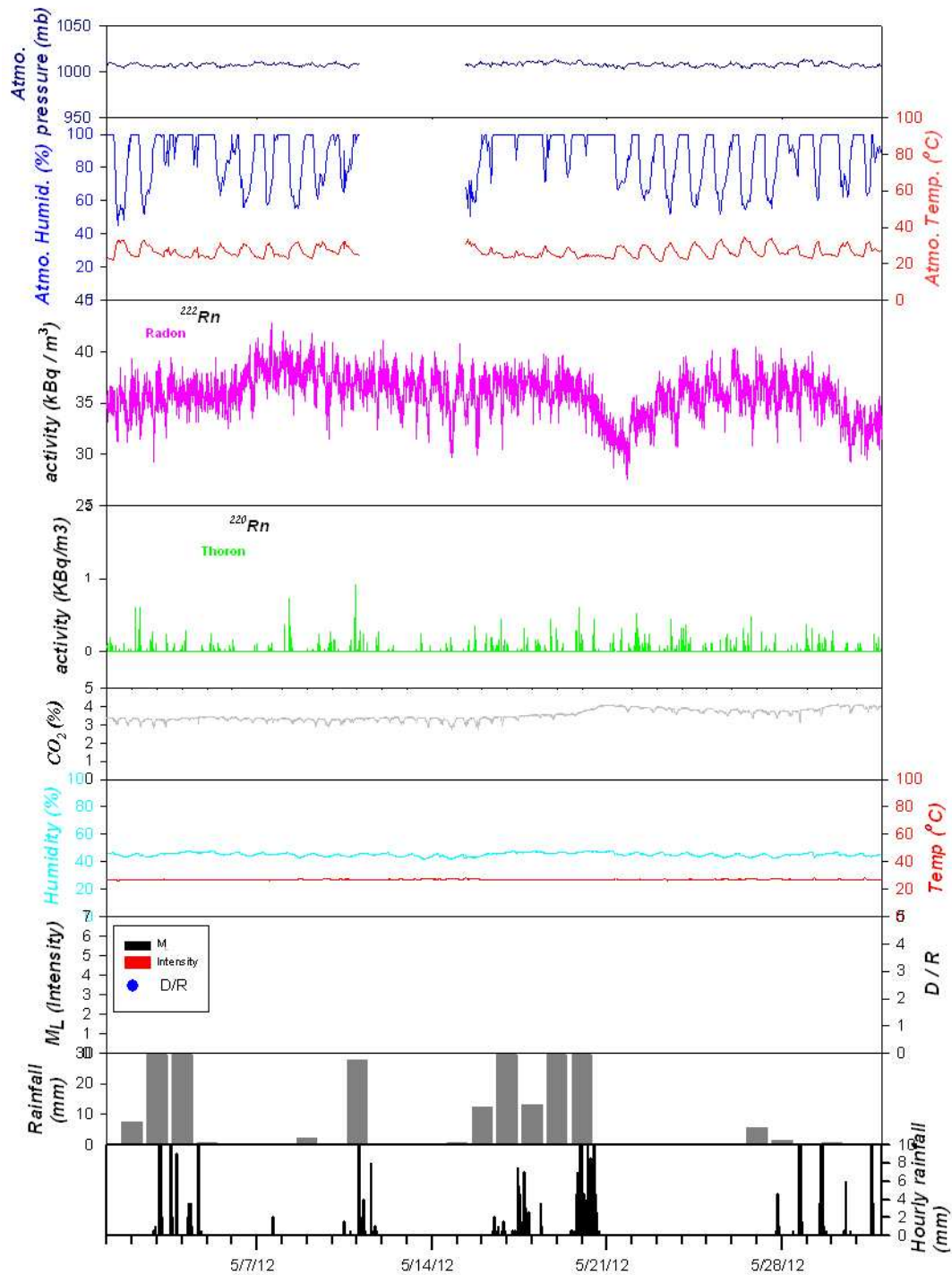


圖 A-57：屏東屏科大土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度 (A.T.)、溼度 (A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2012/5/1-2012/5/31)。

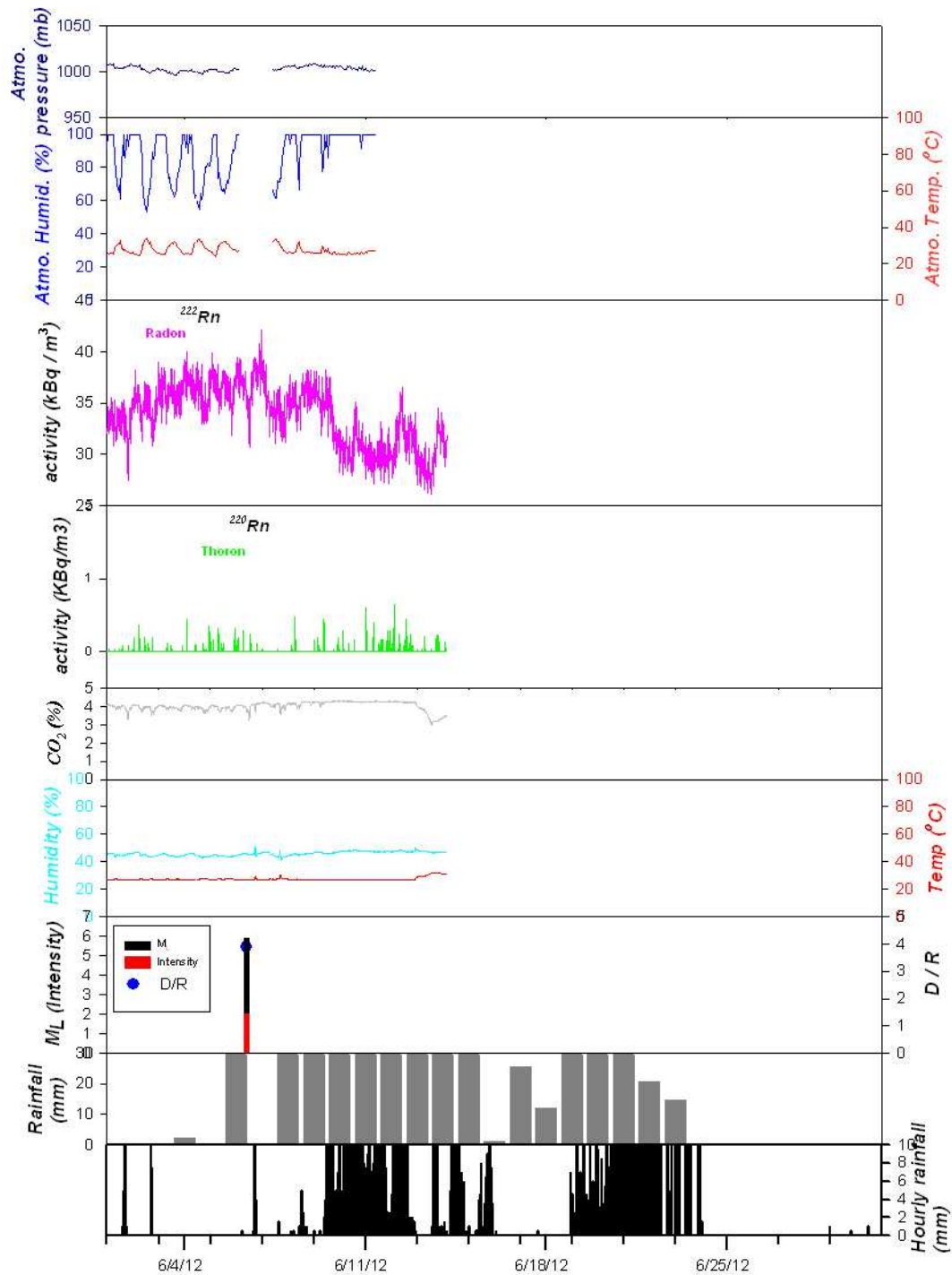


圖 A-58：屏東屏科大土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度 (A.T.)、溼度 (A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2012/6/1-2012/6/30)。

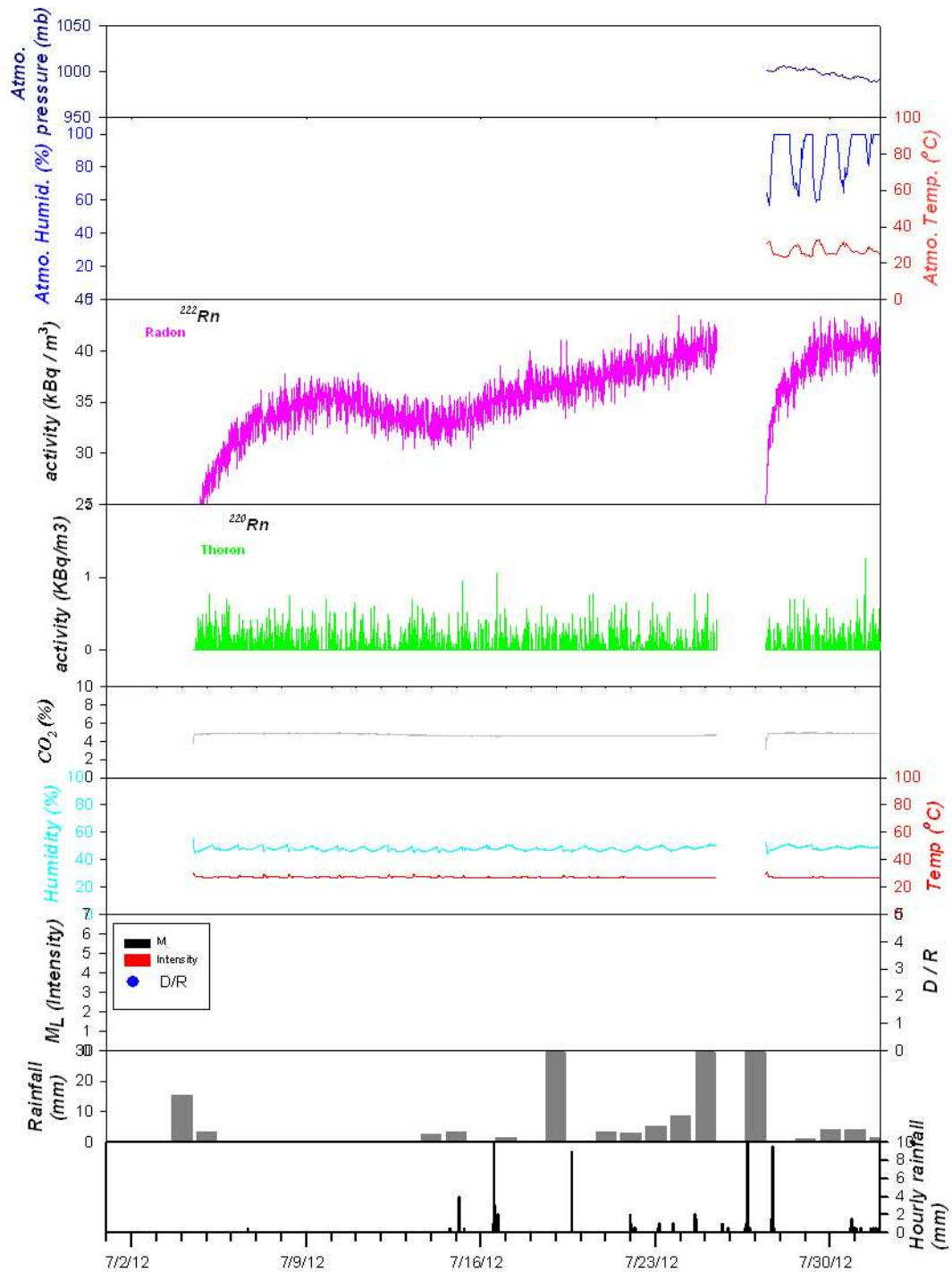


圖 A-59：屏東屏科大土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度 (A.T.)、溼度 (A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2012/7/1-2012/7/31)。

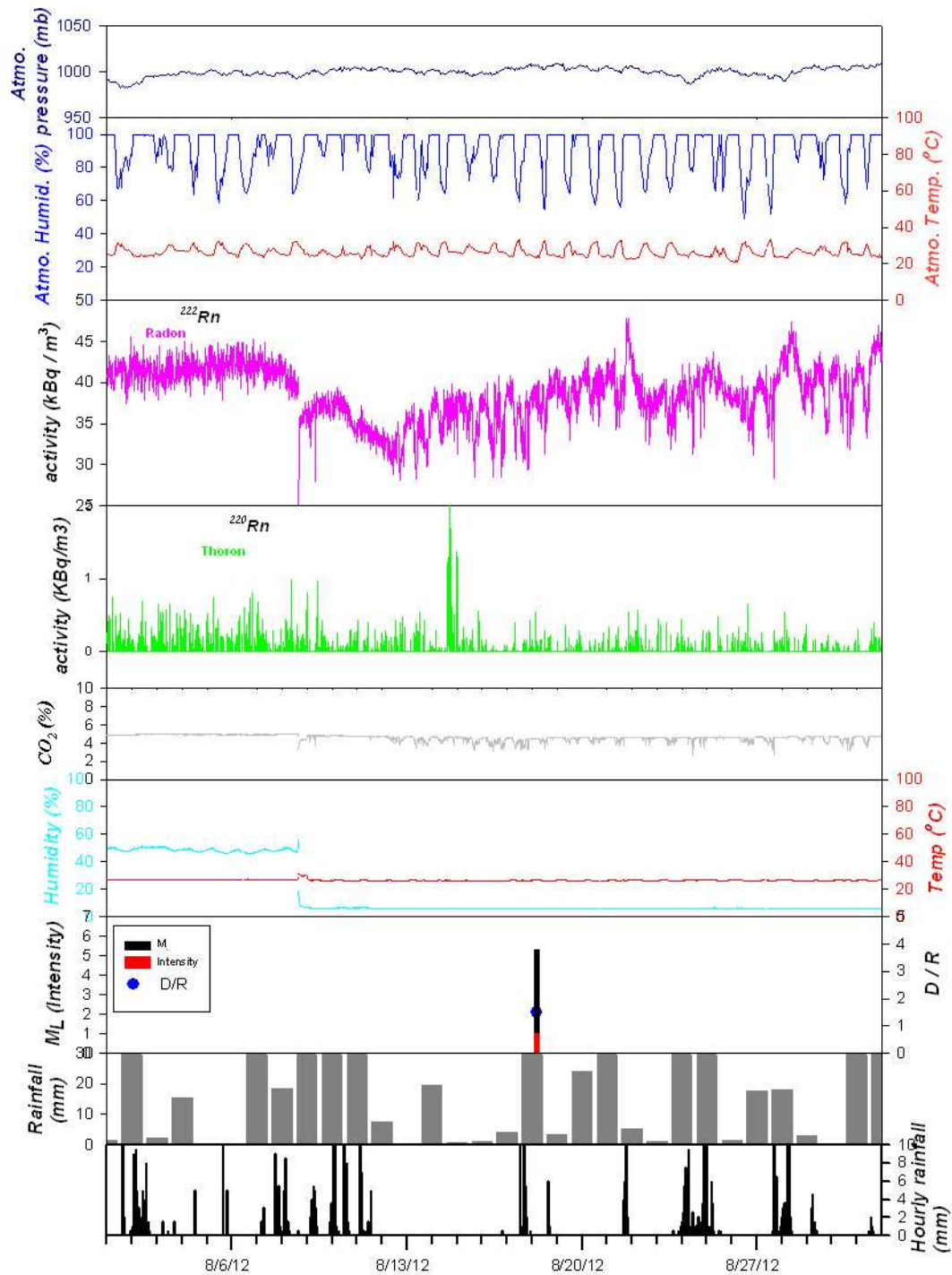


圖 A-60：屏東屏科大土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度 (A.T.)、溼度 (A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2012/8/1-2012/8/31)。

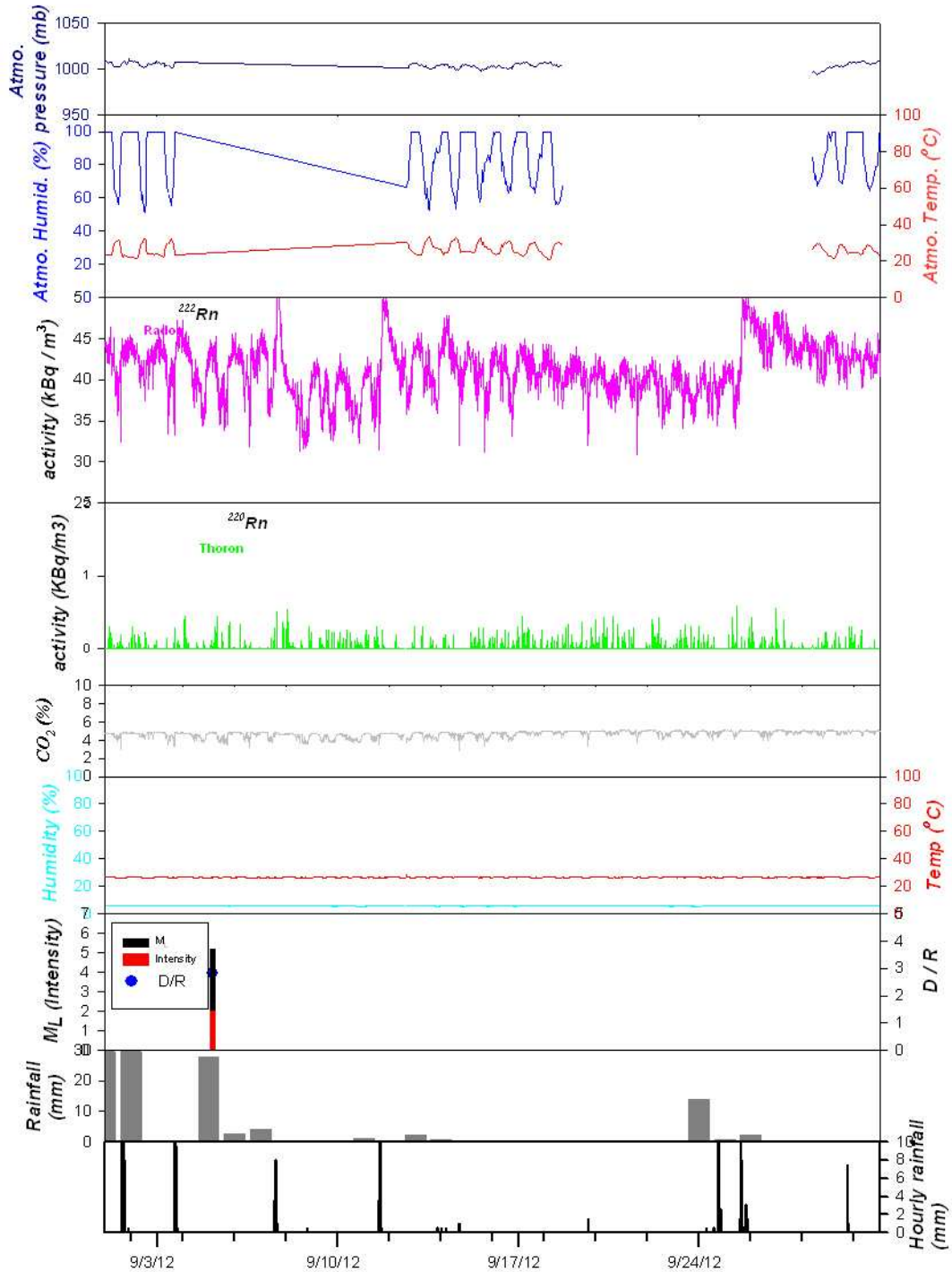


圖 A-61：屏東屏科大土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度 (A.T.) 溼度 (A.H.) 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2012/9/1-2012/9/30)。

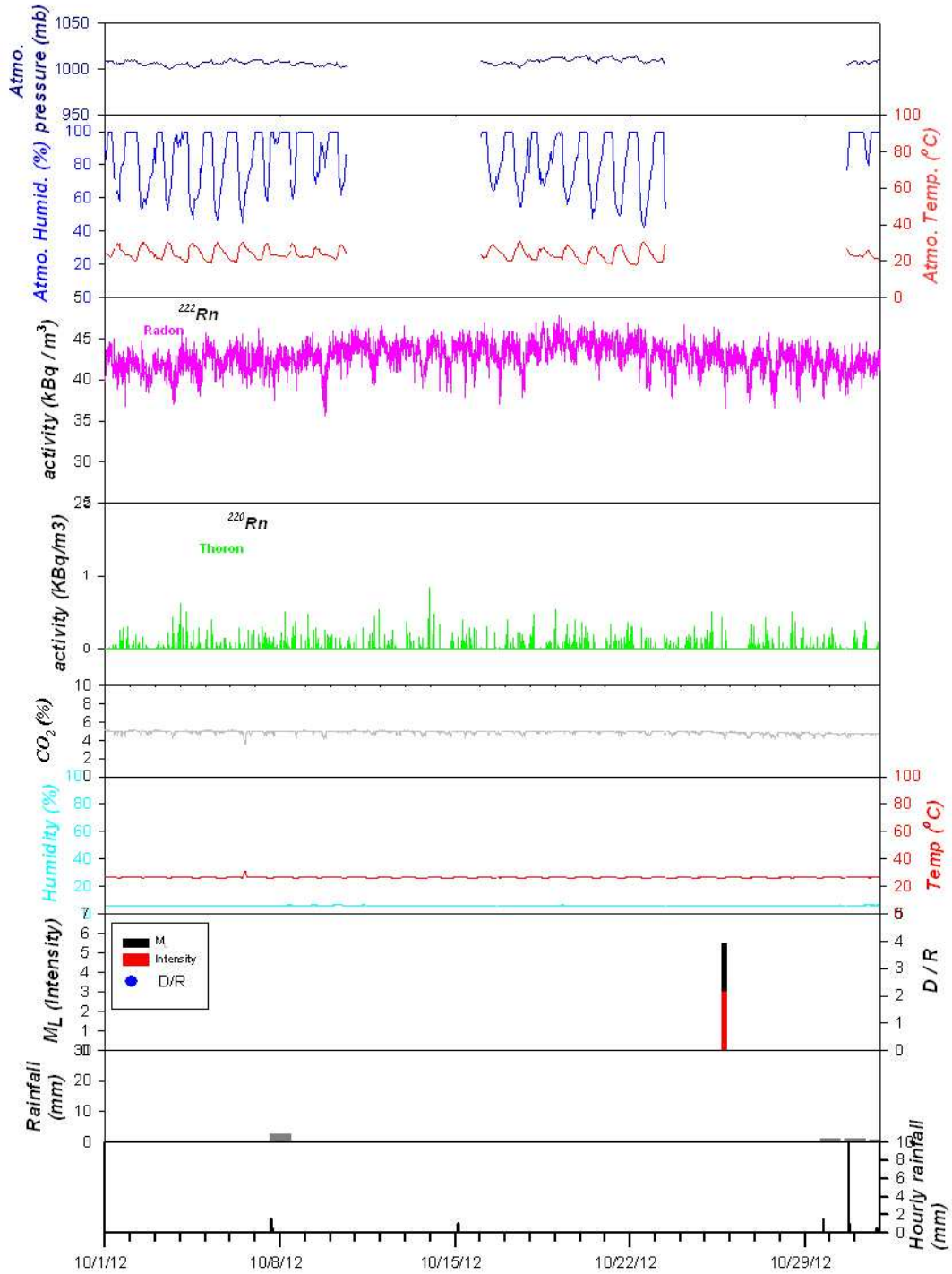


圖 A-62：屏東屏科大土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度 (A.T.)、溼度 (A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2012/10/1-2012/10/31)。

A.5 花蓮美崙觀測站

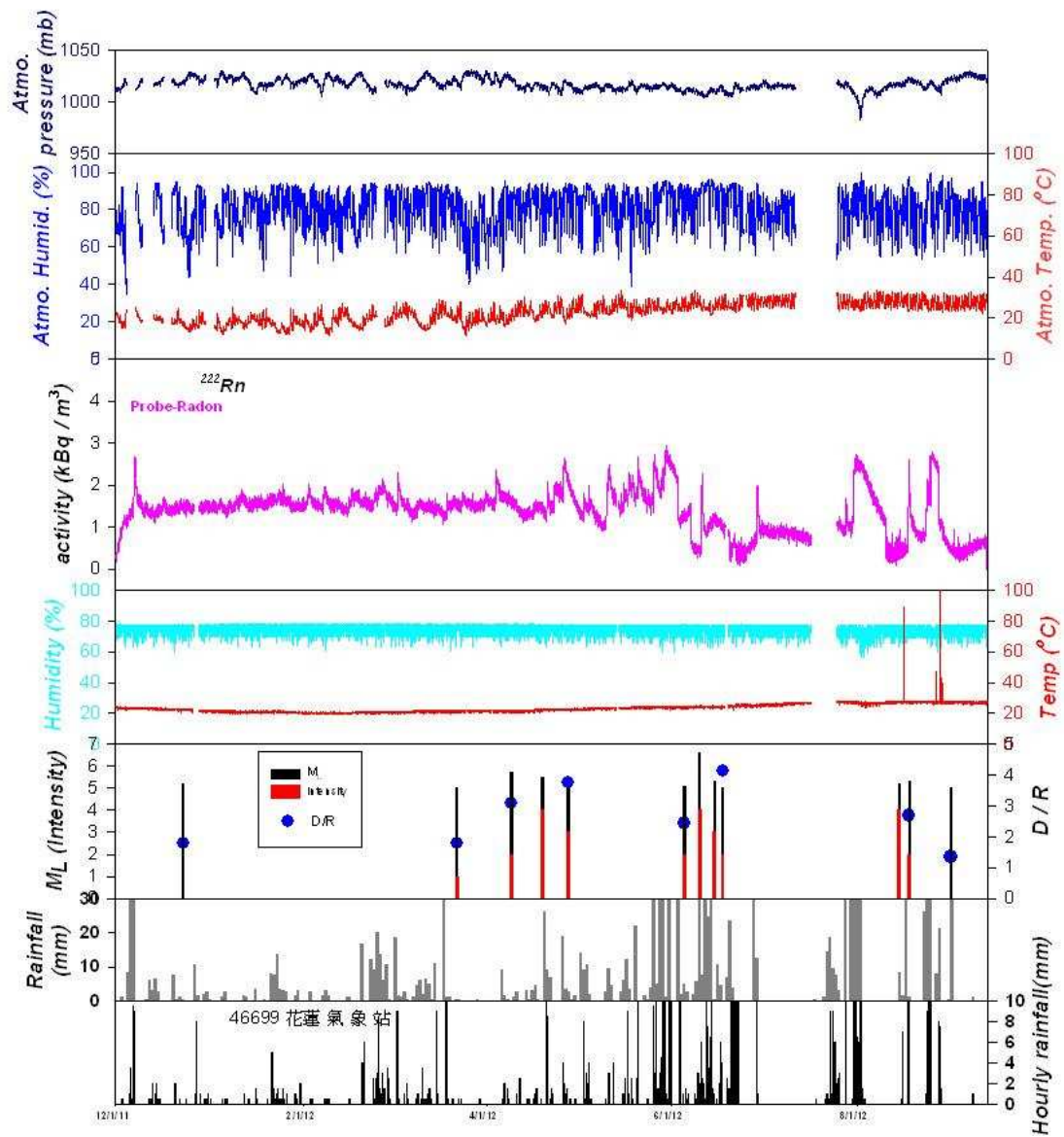


圖 A-63: 花蓮美崙土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2011/11/28-2012/9/12)。

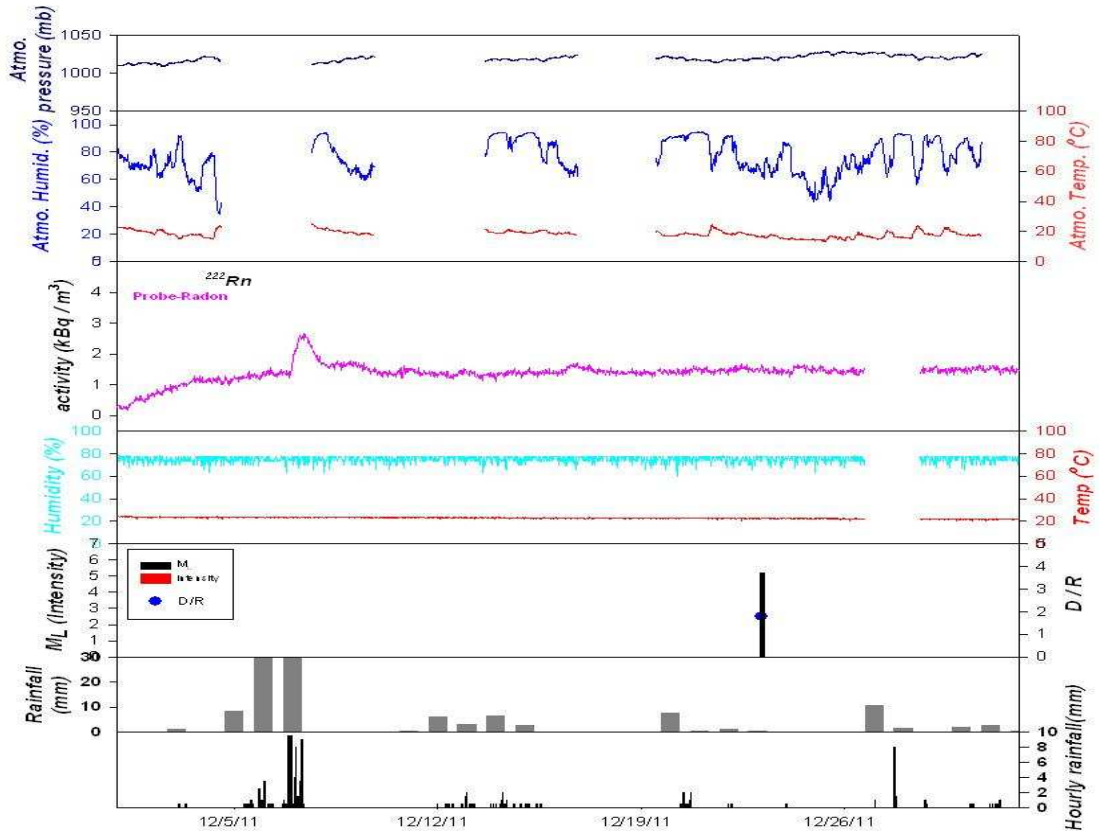


圖 A-64：花蓮美崙土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2011/12/1-2011/12/31)。

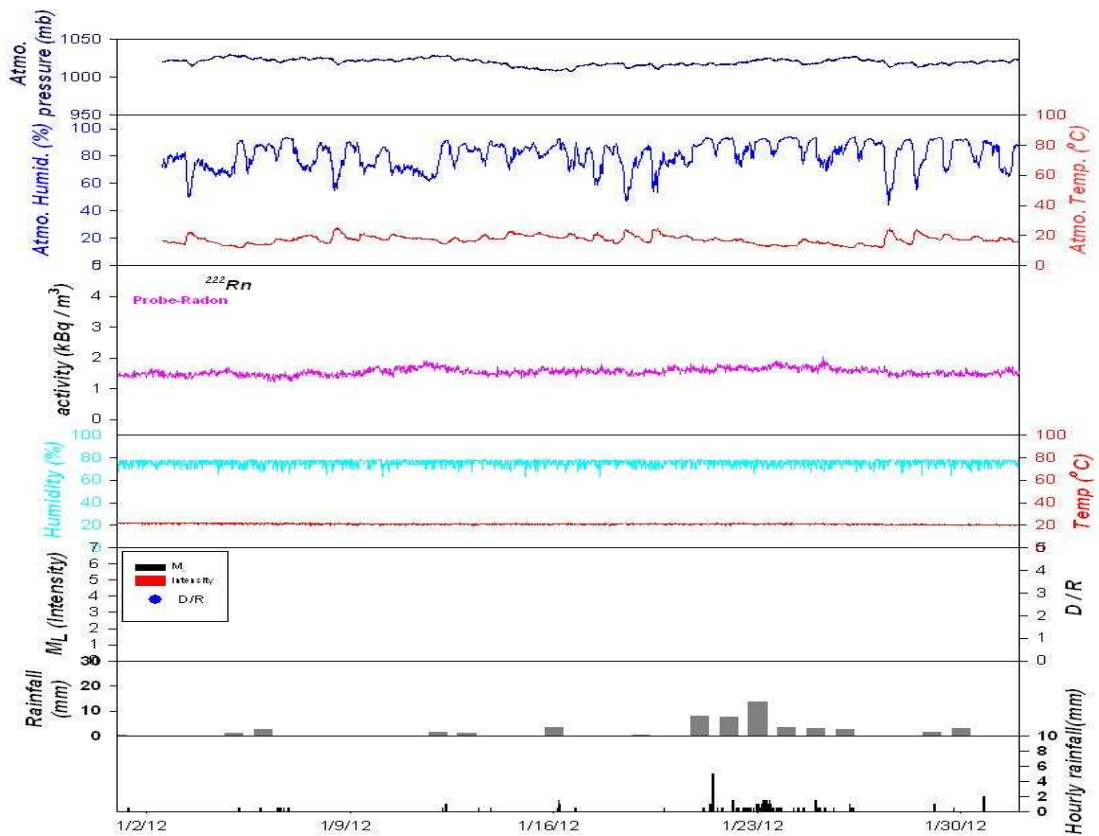


圖 A-65：花蓮美崙土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度 (2012/1/1-2012/1/31)。

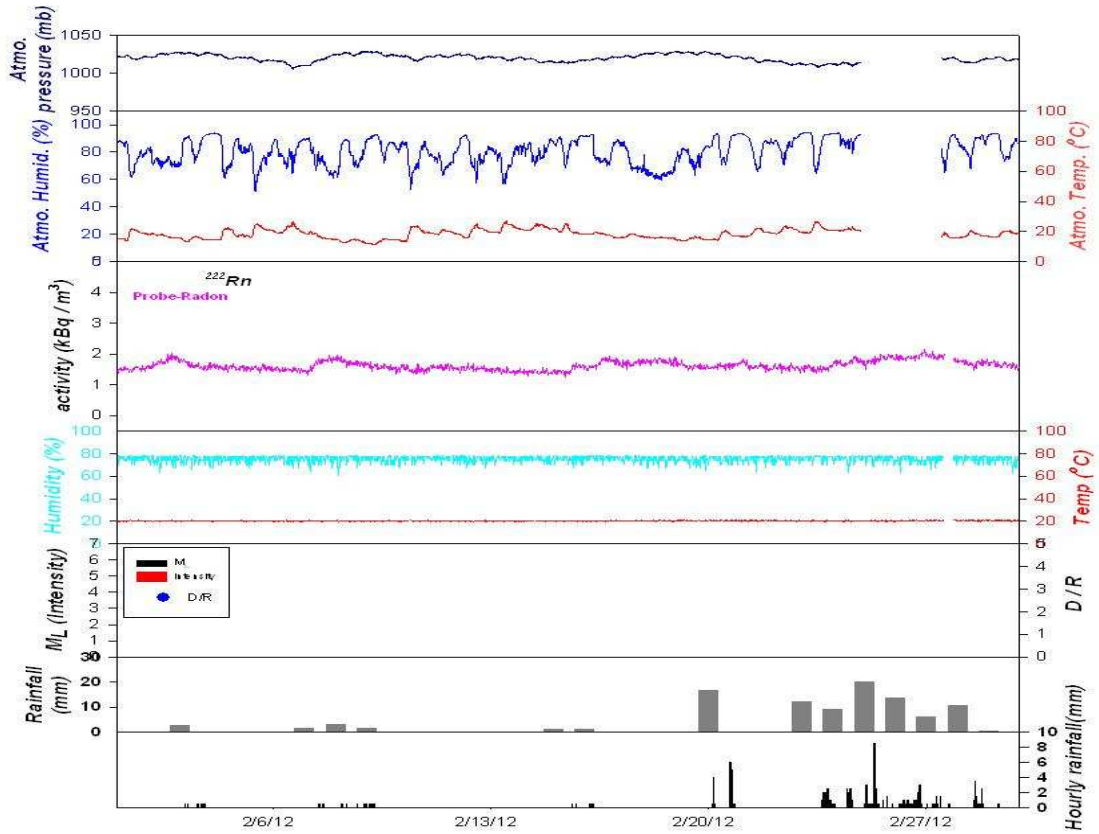


圖 A-66：花蓮美崙土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.) 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度(2012/2/1-2012/2/29)。

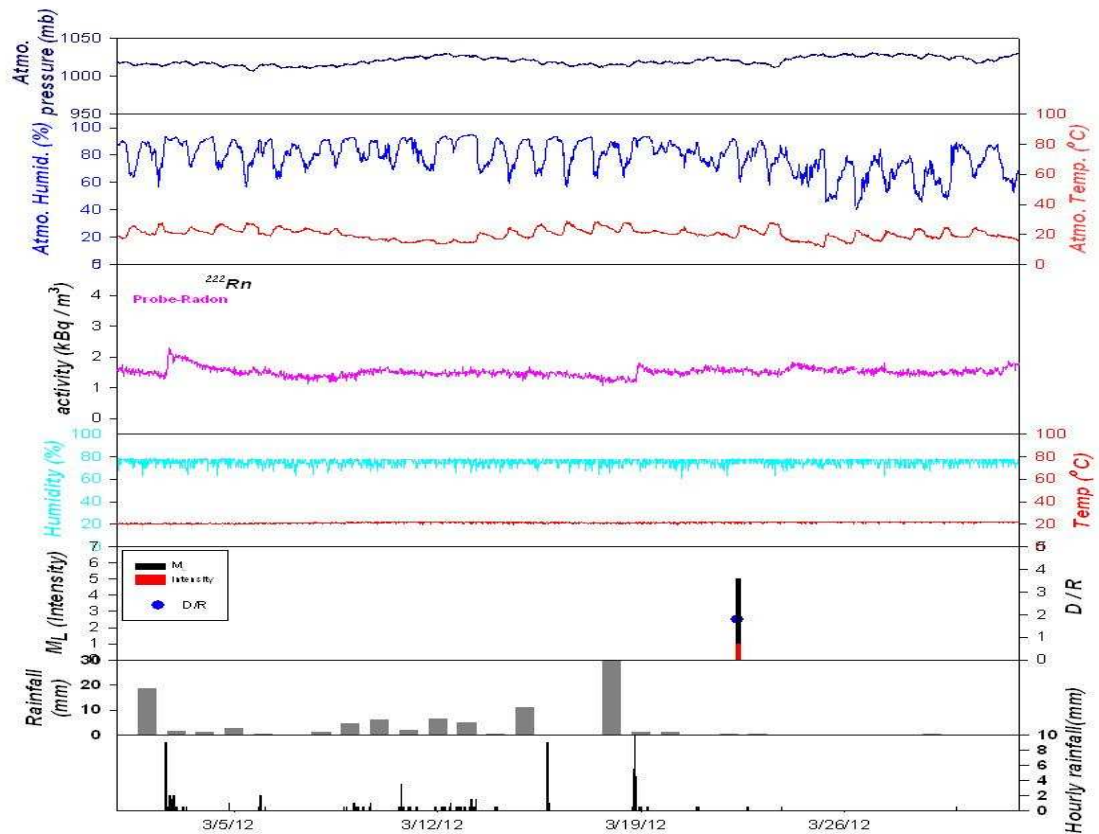


圖 A-67：花蓮美崙土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.) 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度(2012/3/1-2012/3/31)。

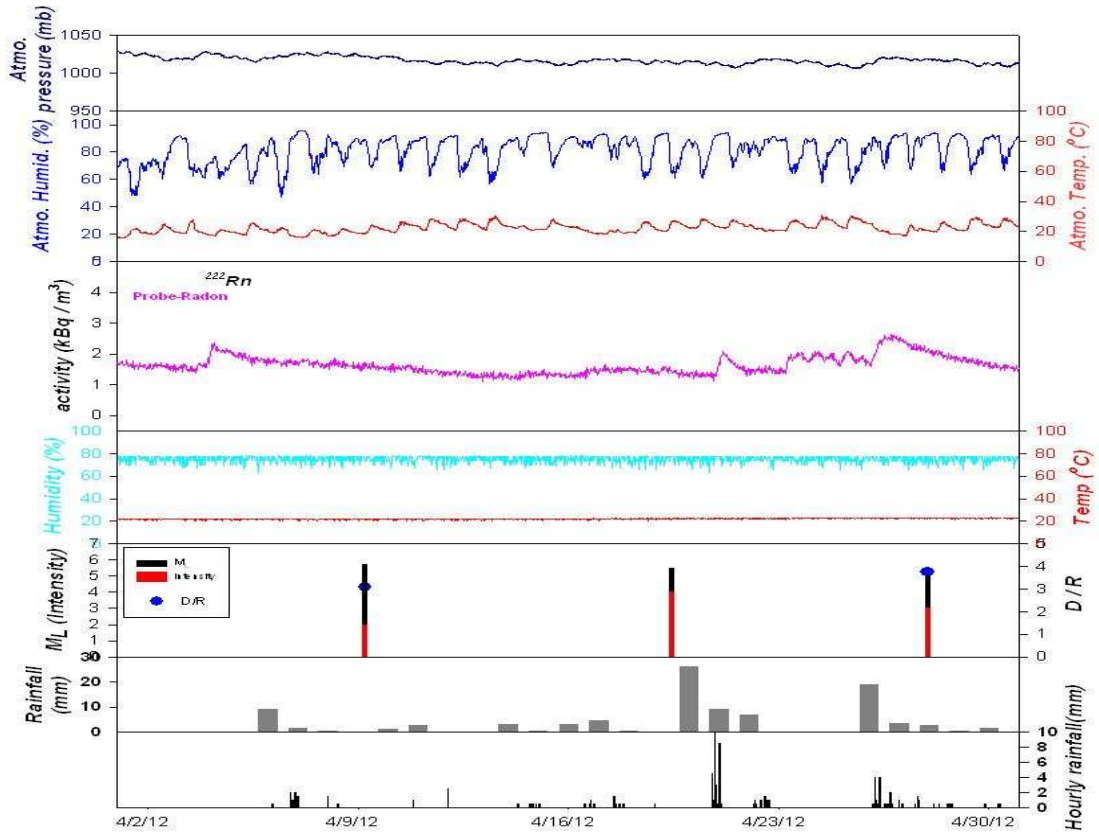


圖 A-68：花蓮美崙土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.) 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度(2012/4/1-2012/4/30)。

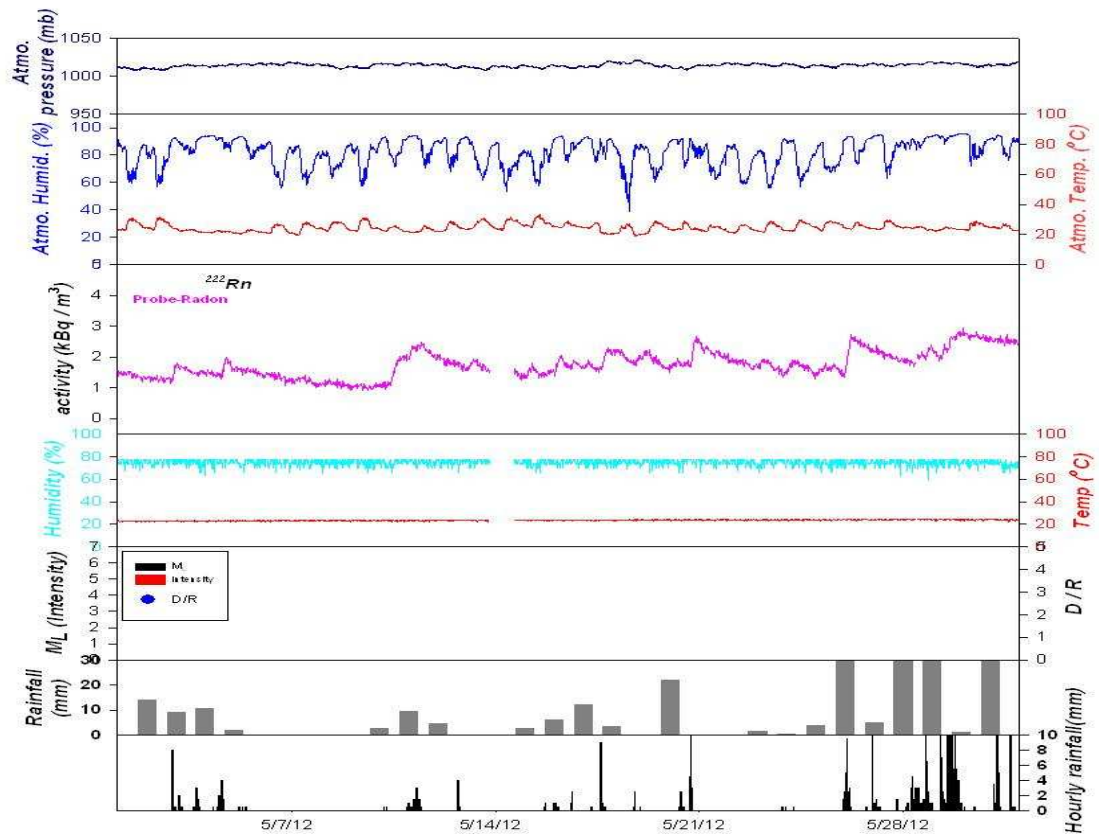


圖 A-69：花蓮美崙土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.) 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度(2012/5/1-2012/5/31)。

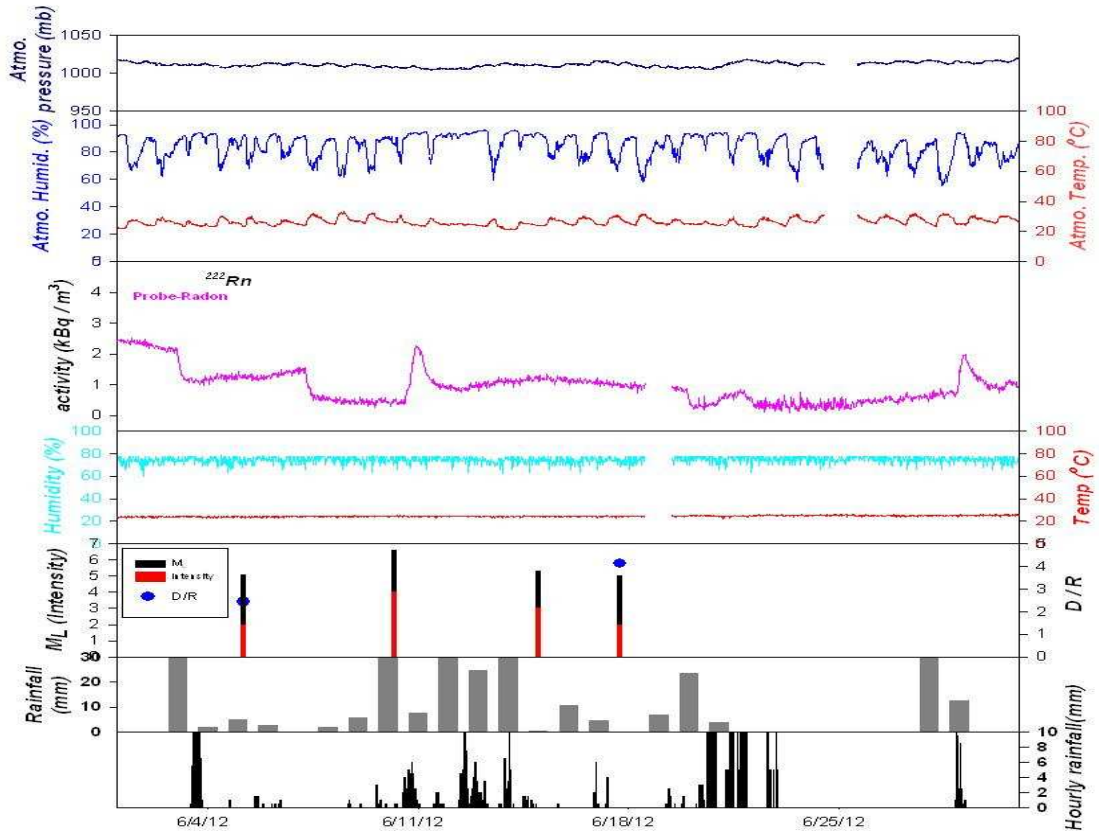


圖 A-70：花蓮美崙土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H. 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度(2012/6/1-2012/6/30)。

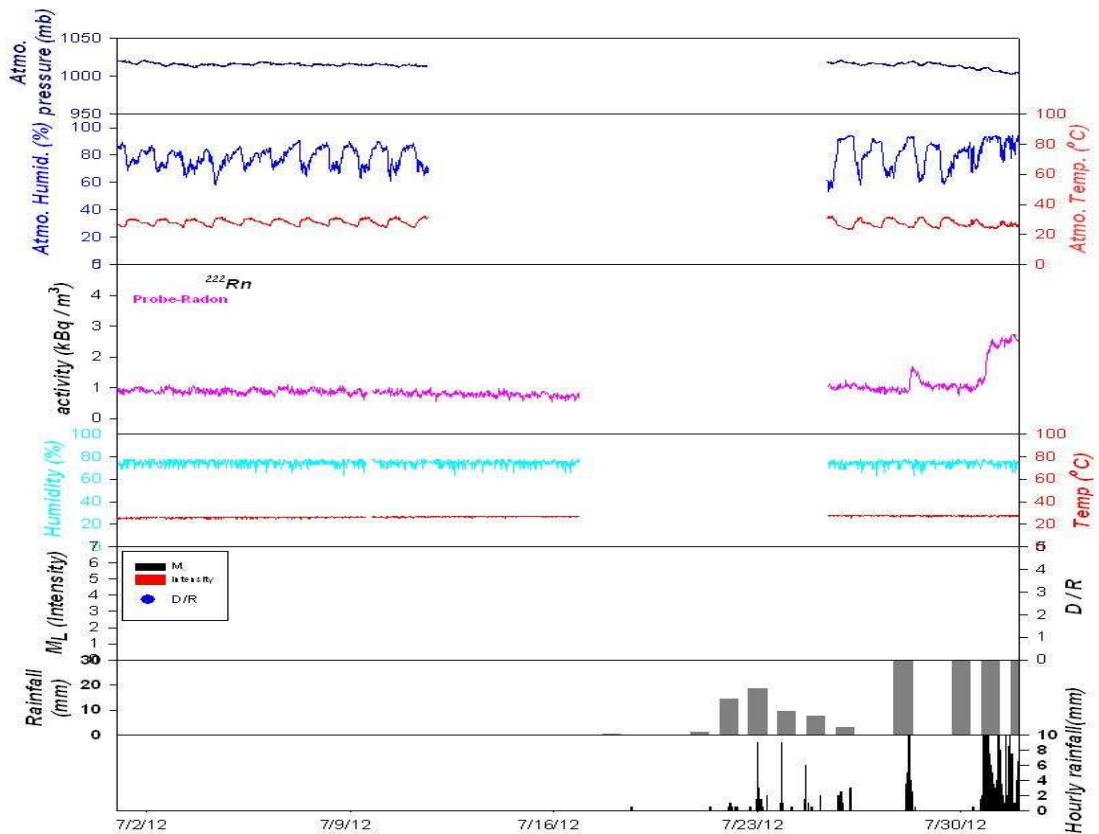


圖 A-71：花蓮美崙土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H. 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度(2012/7/1-2012/7/31)。

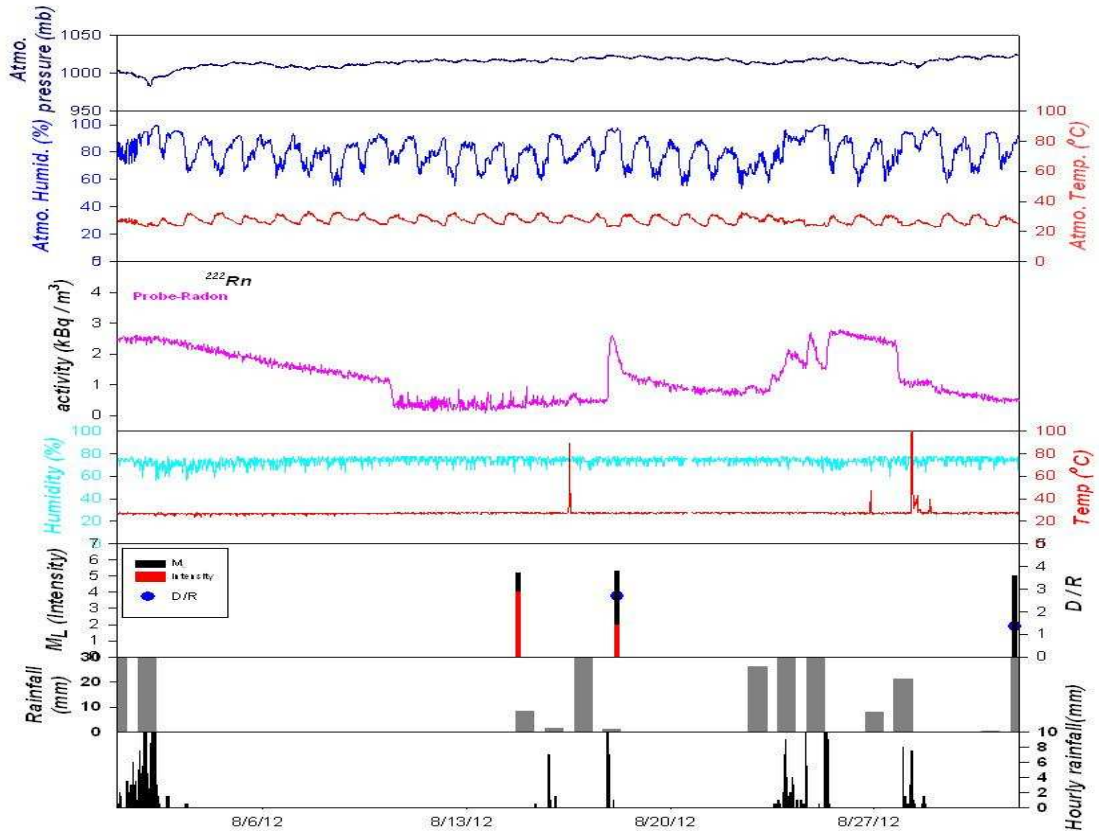


圖 A-72：花蓮美崙土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H. 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度(2012/8/1-2012/8/31)。

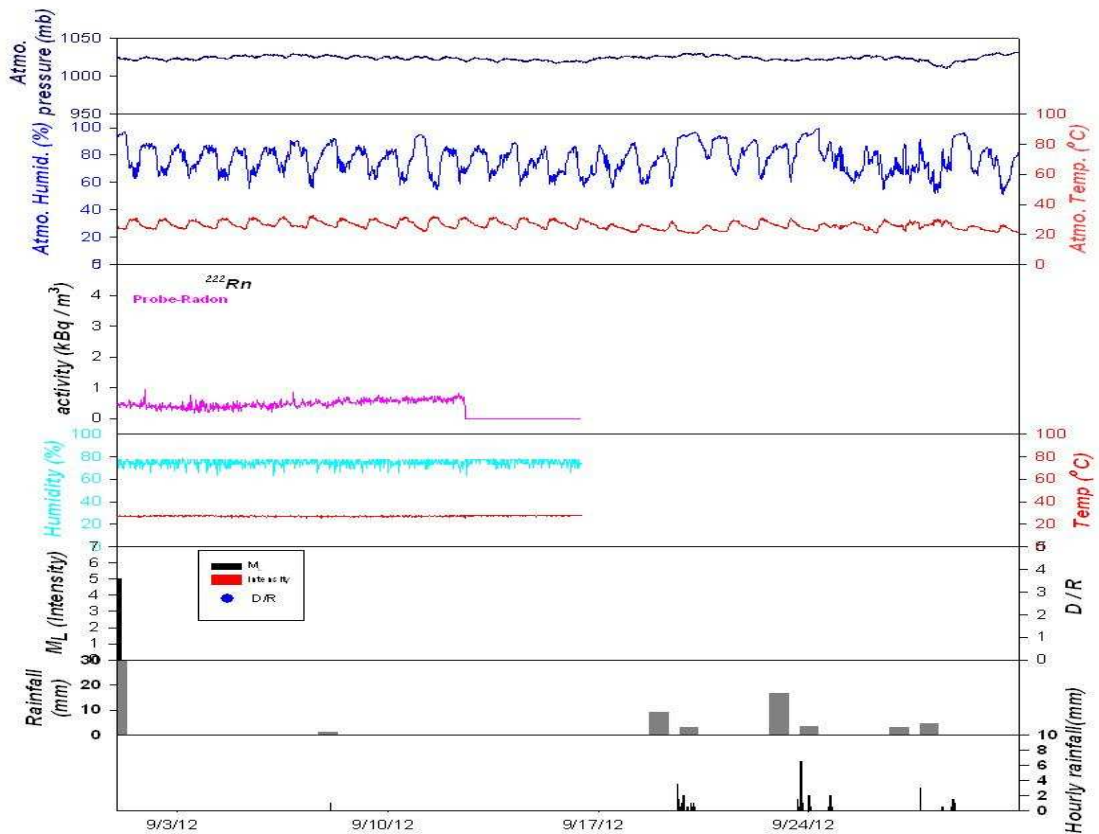


圖 A-73：花蓮美崙土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H. 雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度(2012/9/1-2012/9/30)。

A.6 台東池上觀測站

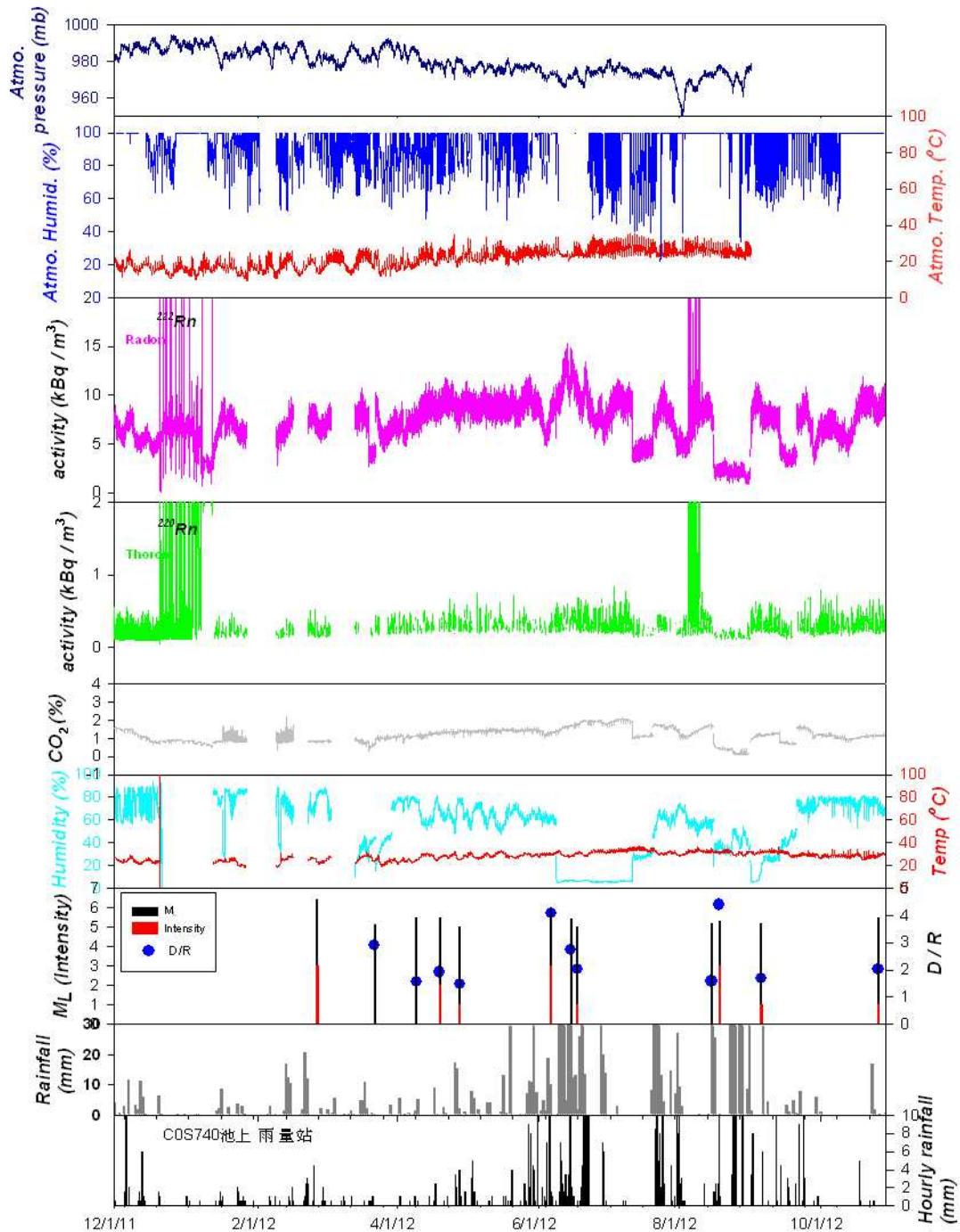


圖 A-74: 臺東池上土壤氬氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2011/11/23-2012/10/28)。

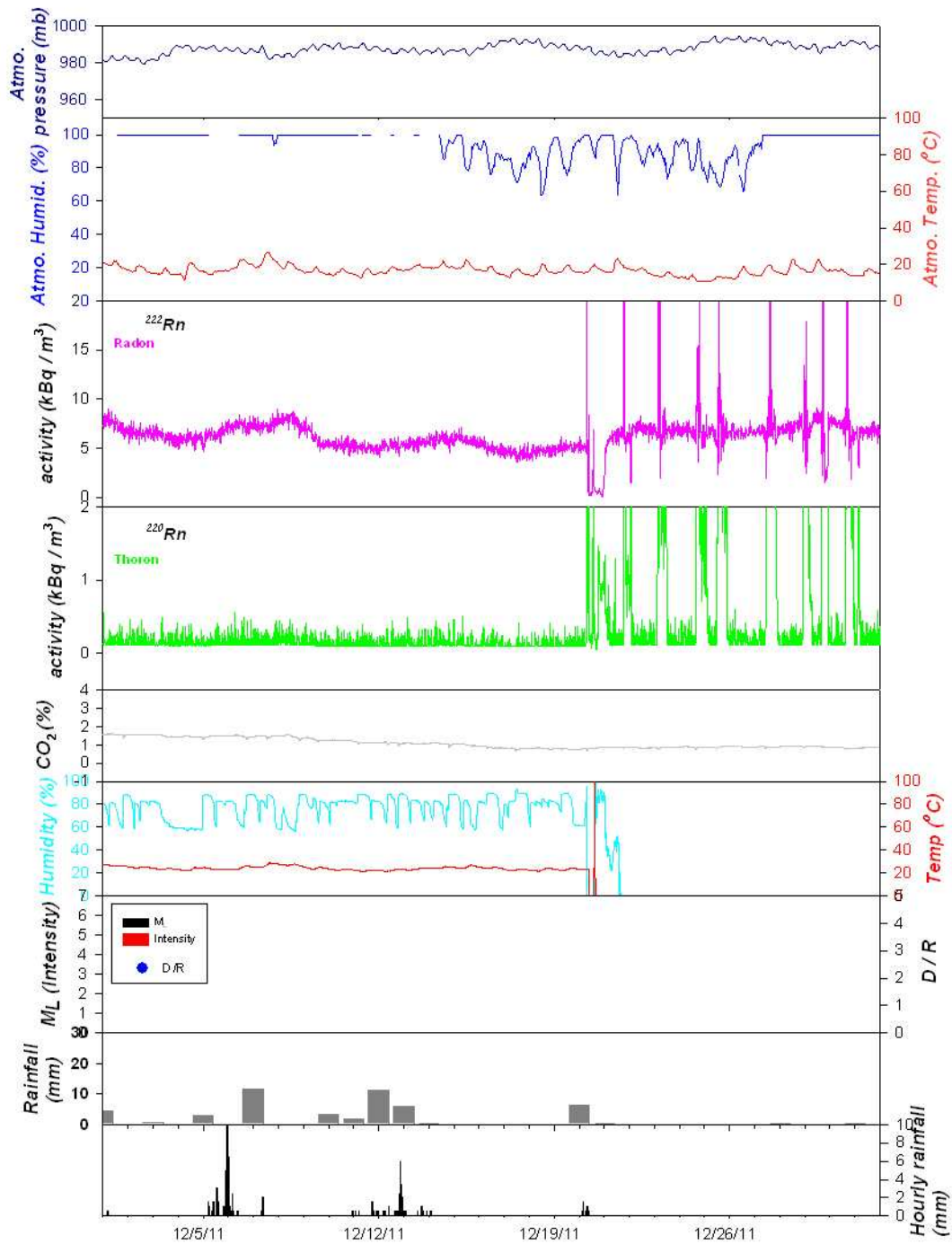


圖 A-75: 臺東池上土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2011/12/1-2011/12/31)。

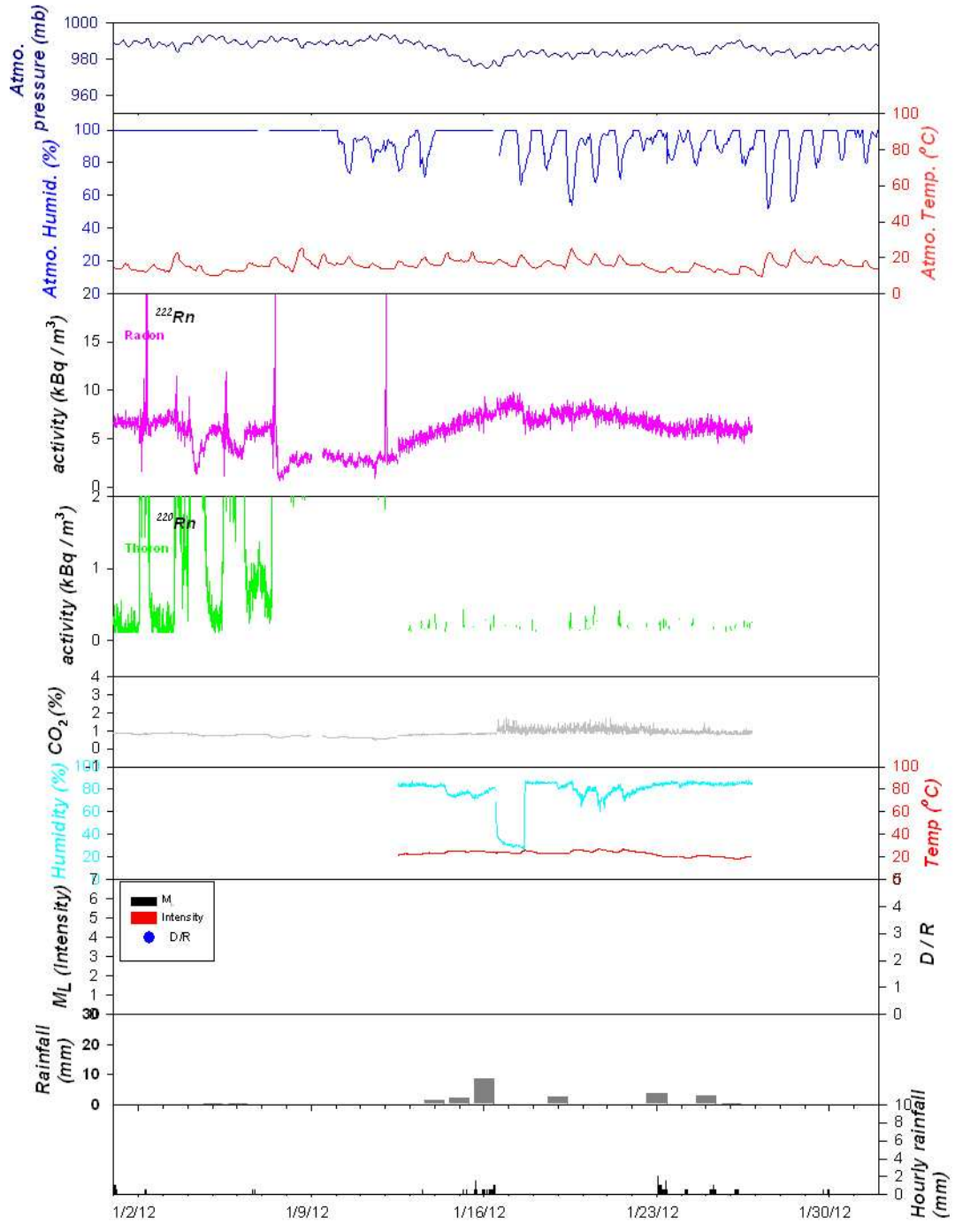


圖 A-76: 臺東池上土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/1/1-2012/1/31)。

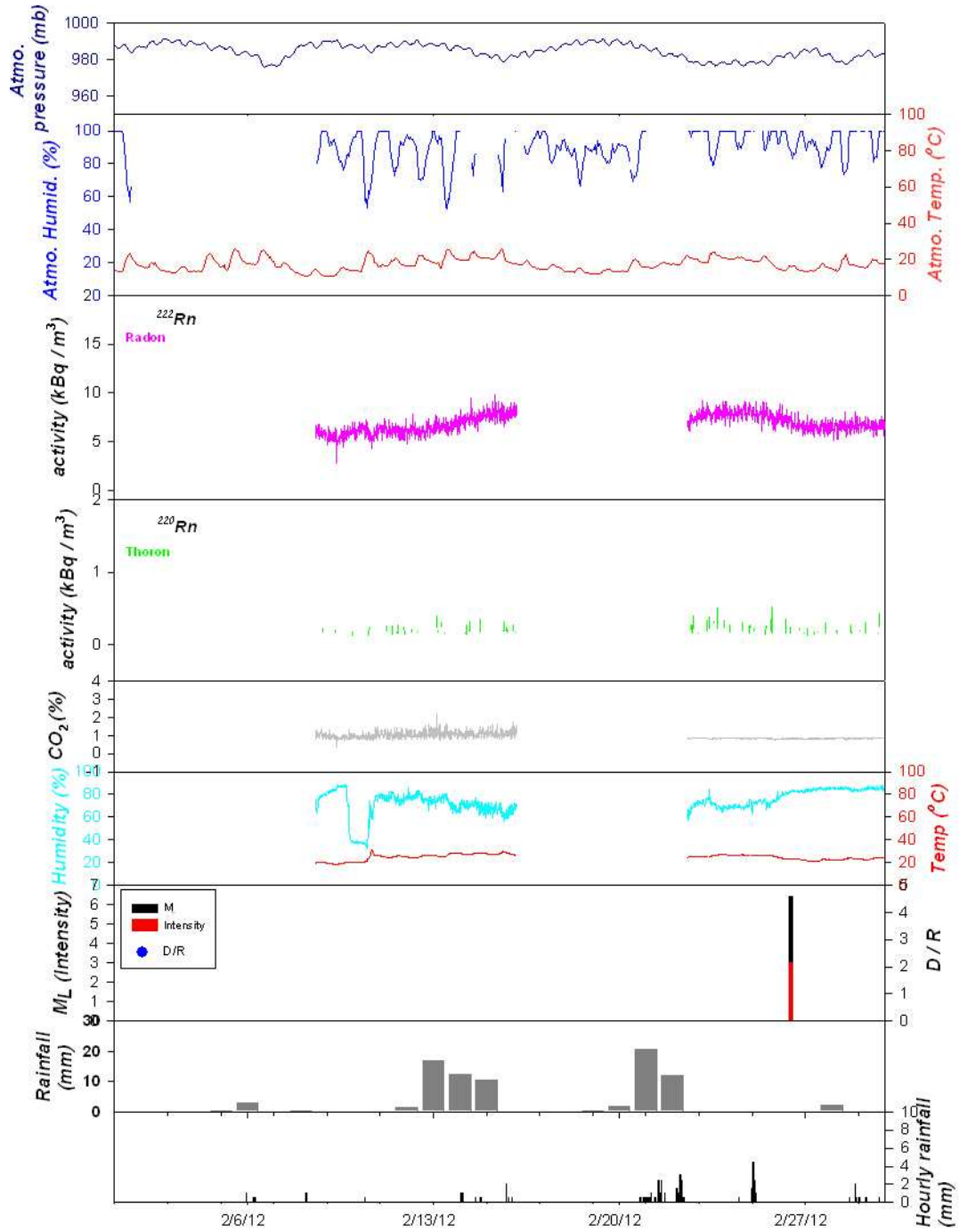


圖 A-77: 臺東池上土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/2/1-2012/2/29)。

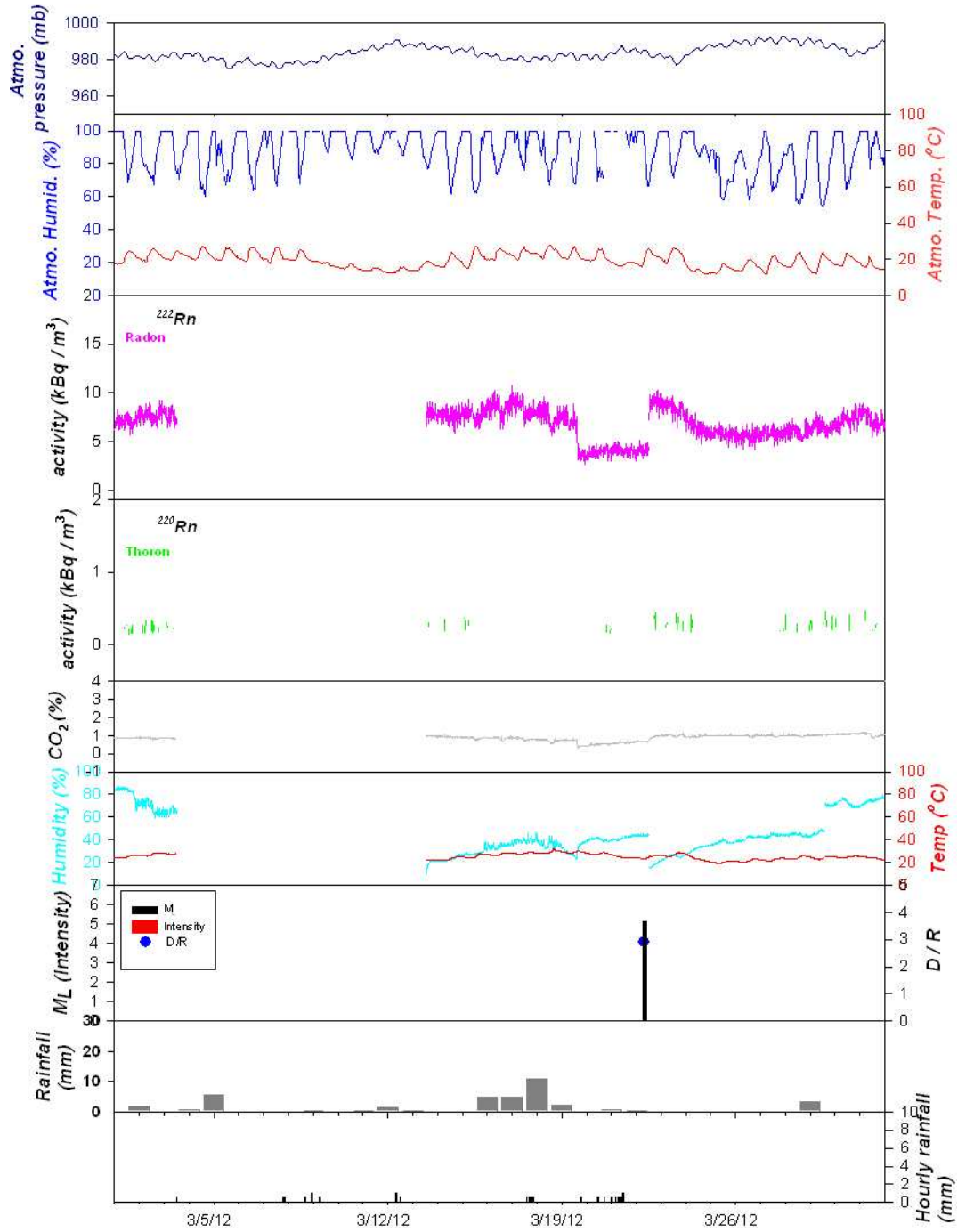


圖 A-78: 臺東池上土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/3/1-2012/3/31)。

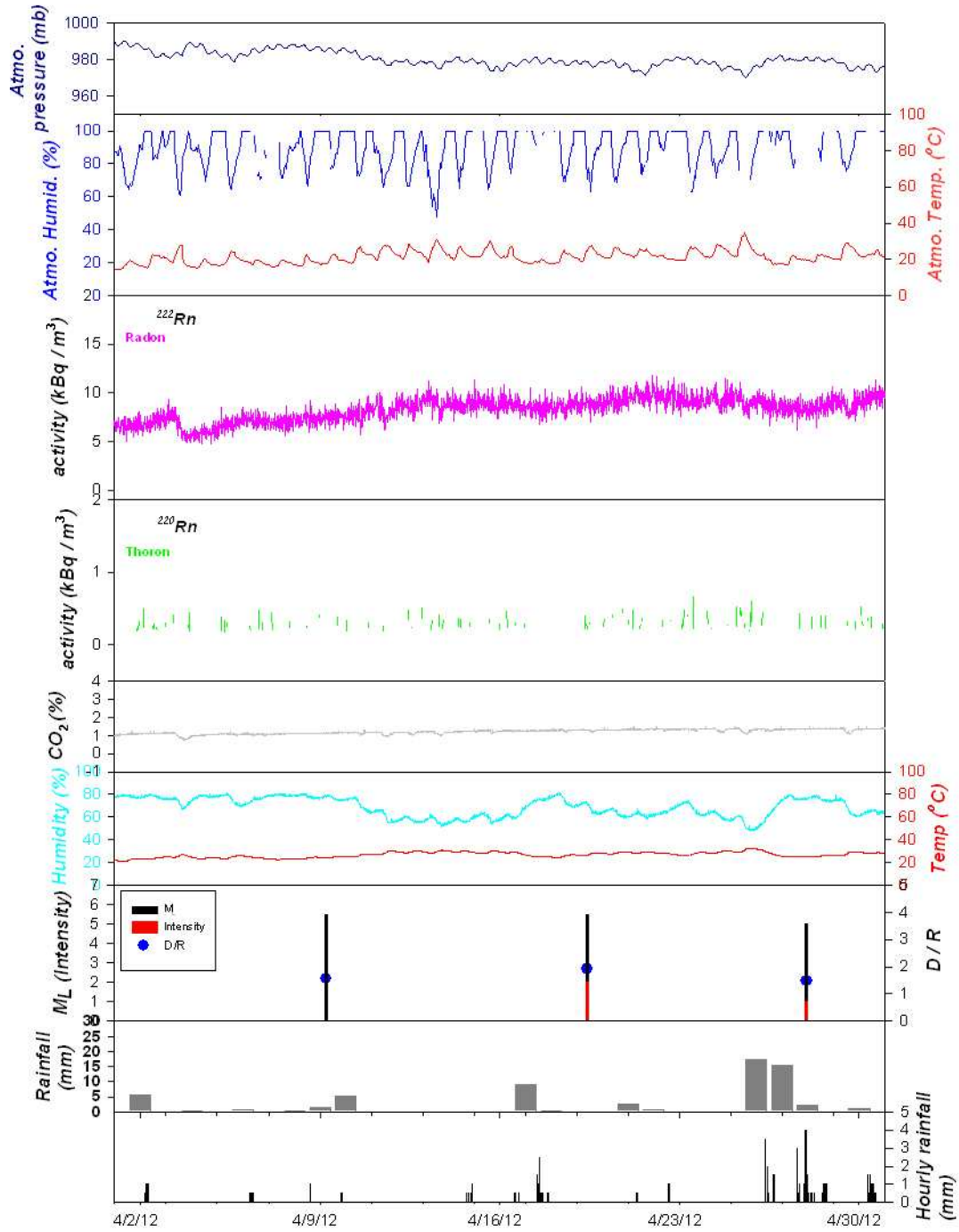


圖 A-79: 臺東池上土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/4/1-2012/4/30)。

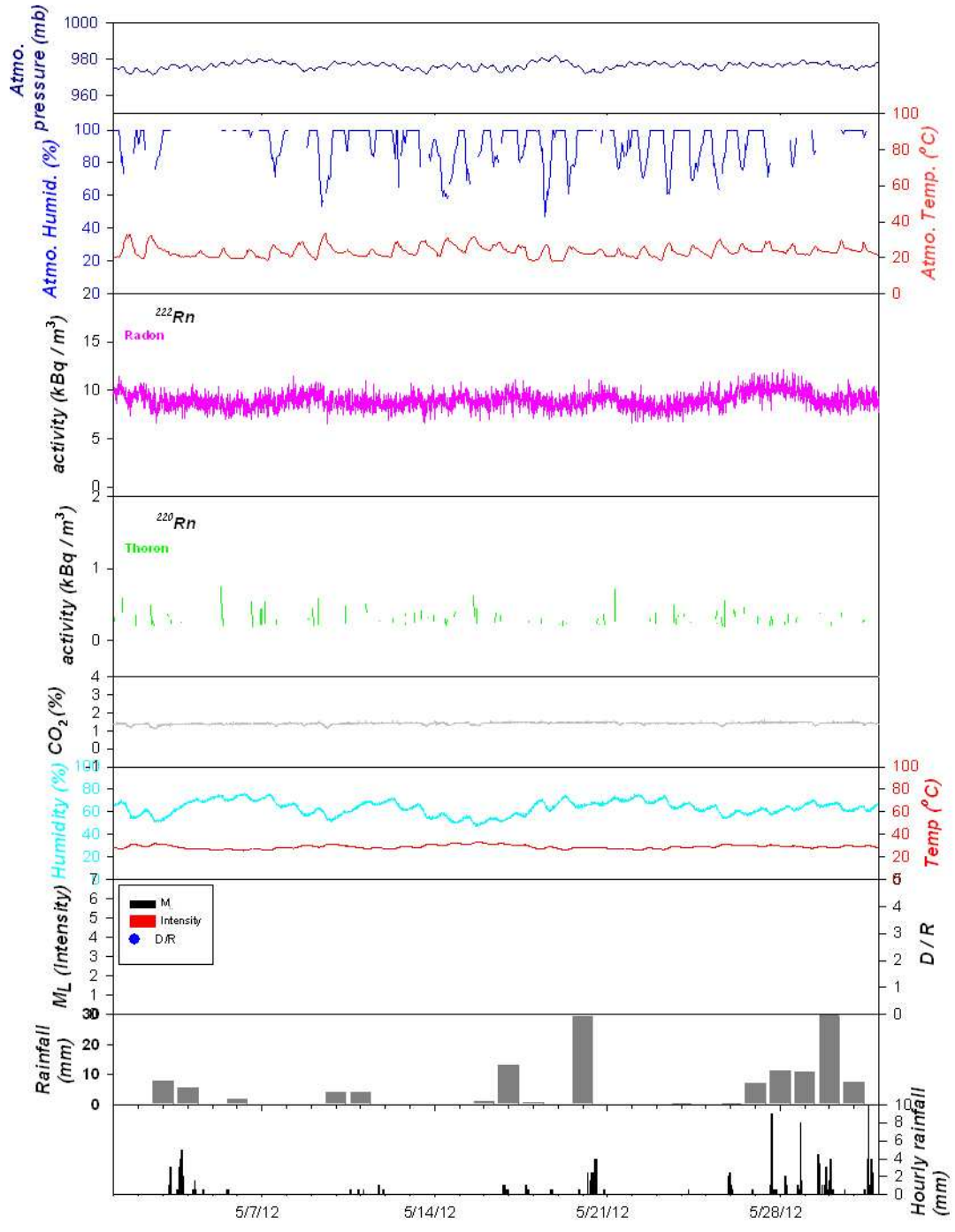


圖 A-80: 臺東池上土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/5/1-2012/5/31)。

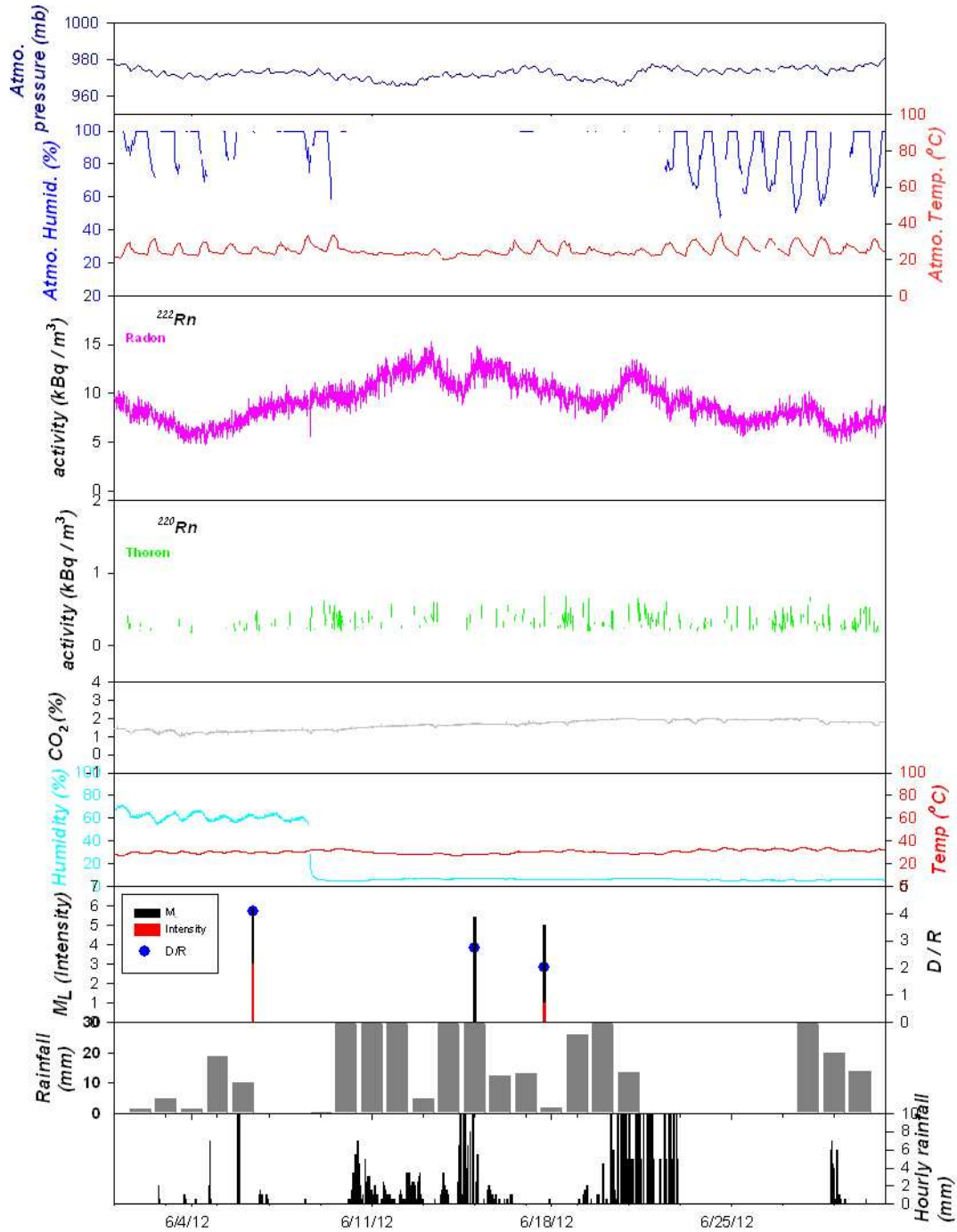


圖 A-81：臺東池上土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/6/1-2012/6/30）。

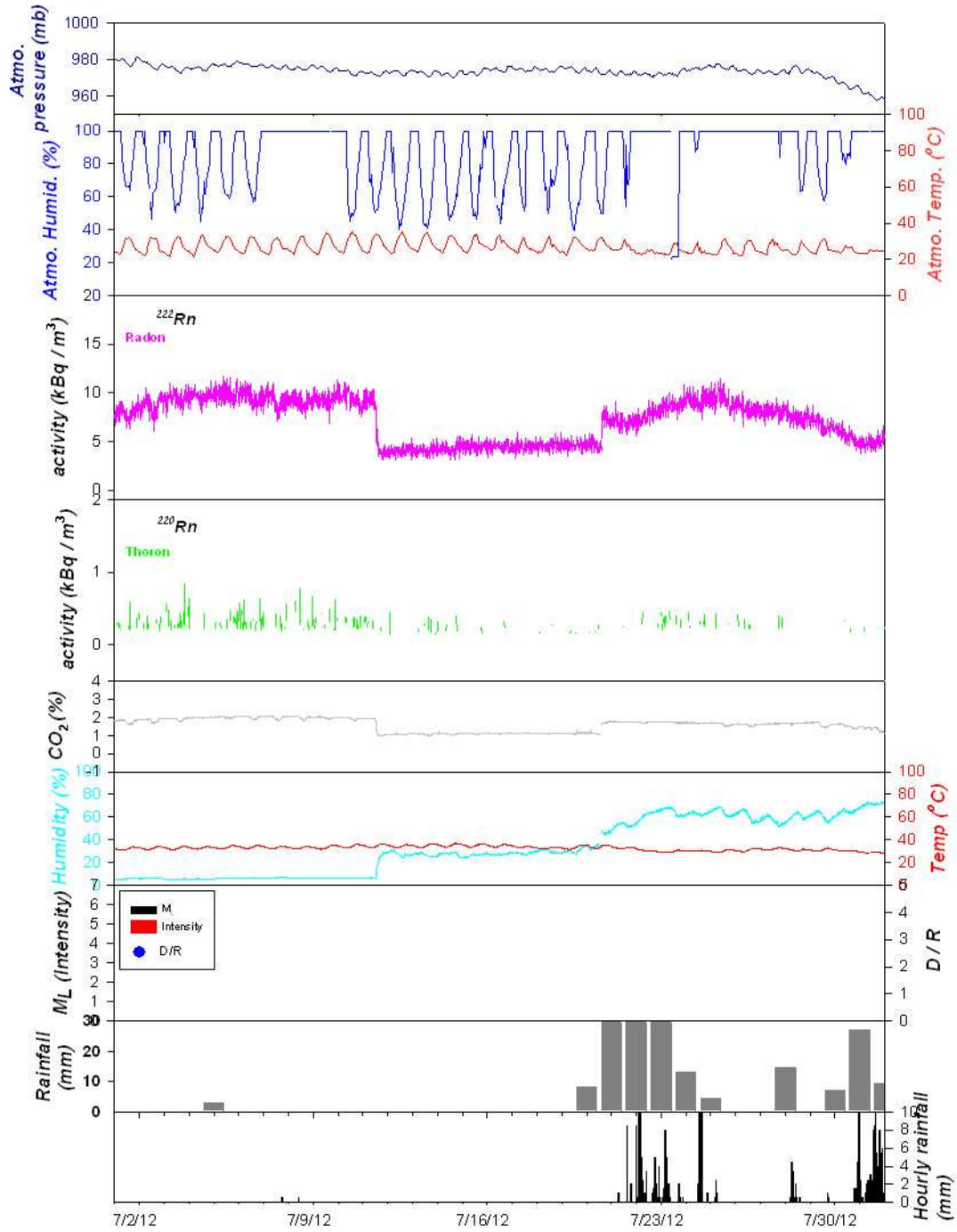


圖 A-82：臺東池上土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML：地震規模；Intensity：震度（2012/7/1-2012/7/31）。

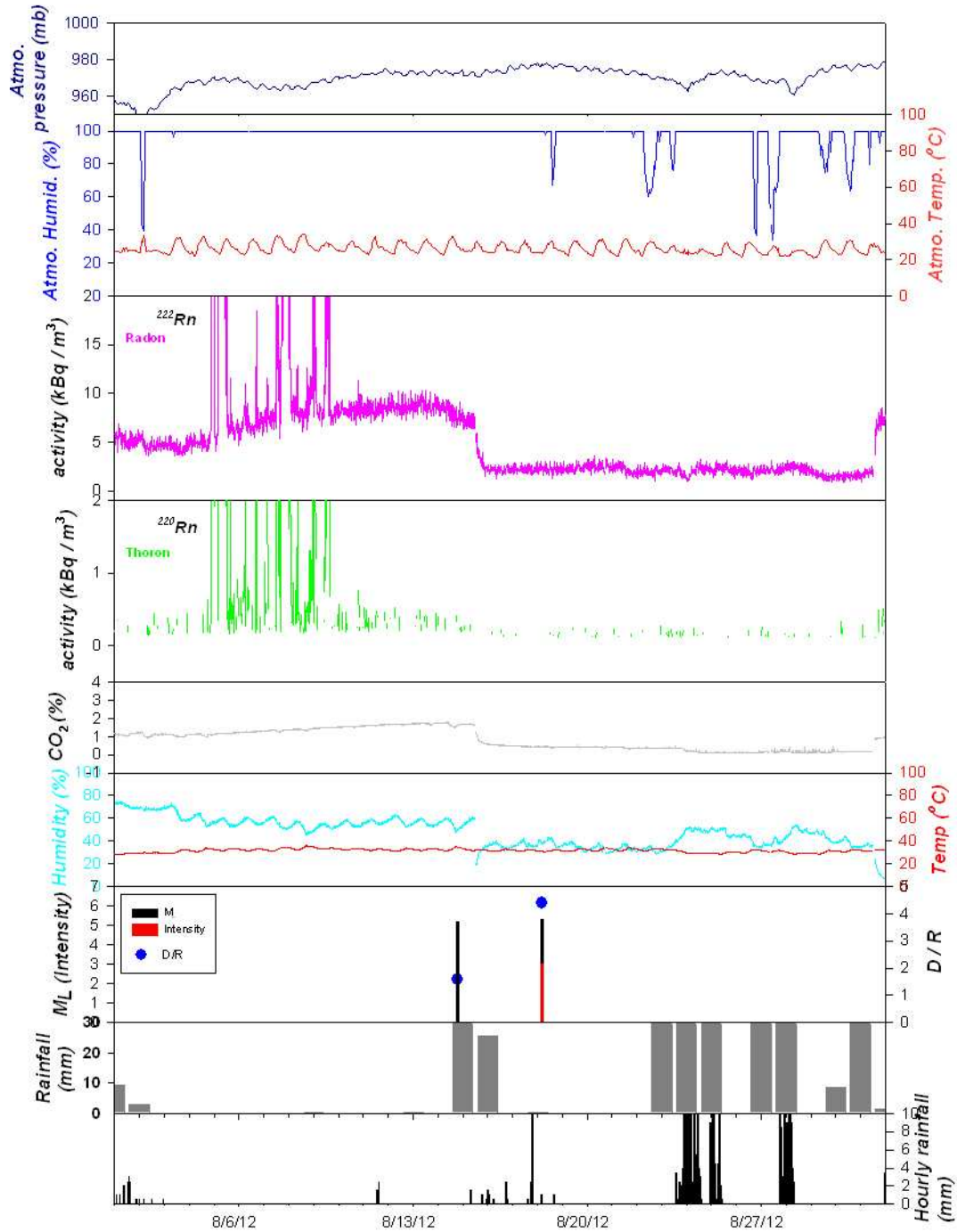


圖 A-83: 臺東池上土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/8/1-2012/8/31)。

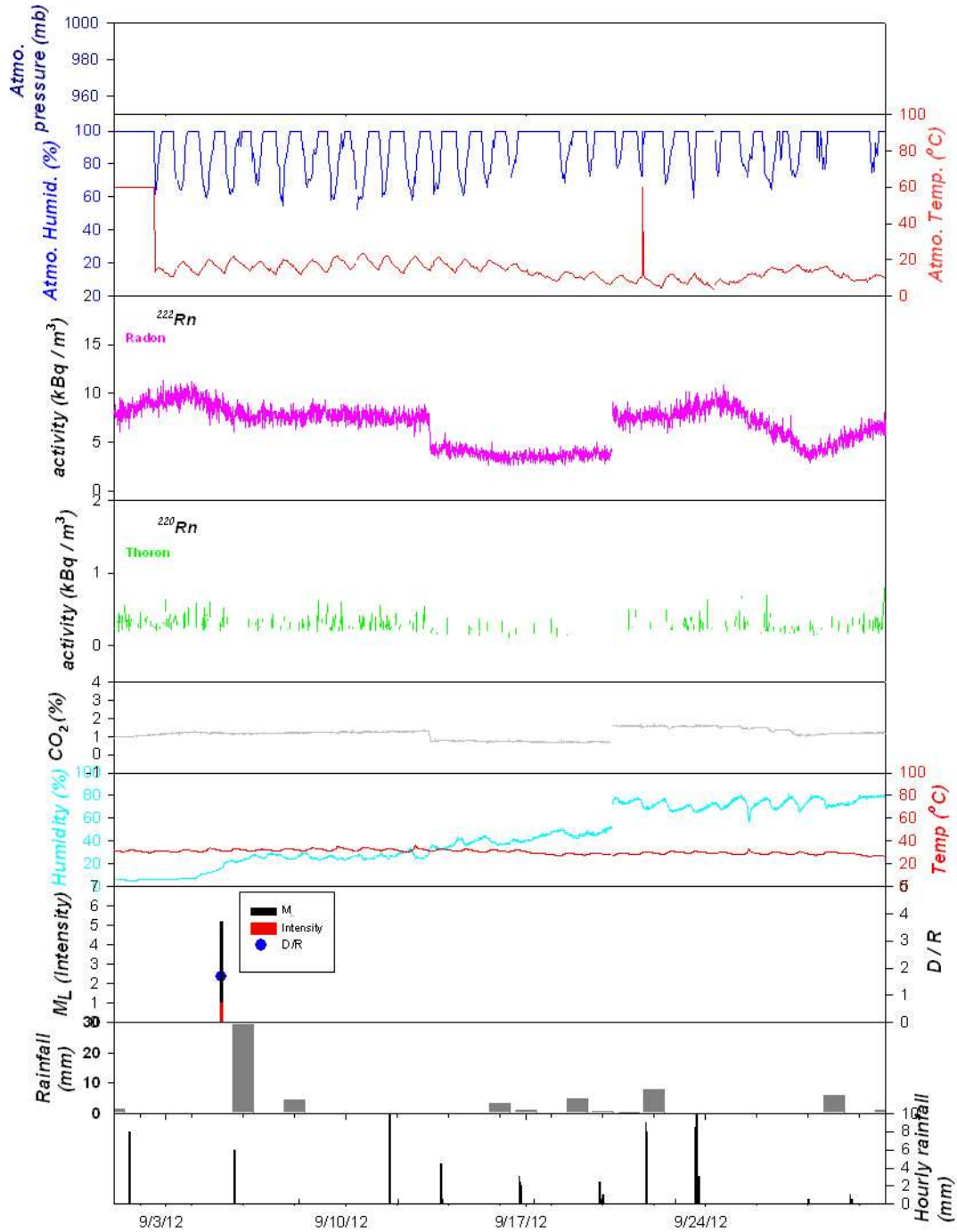


圖 A-84: 臺東池上土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/9/1-2012/9/30)。

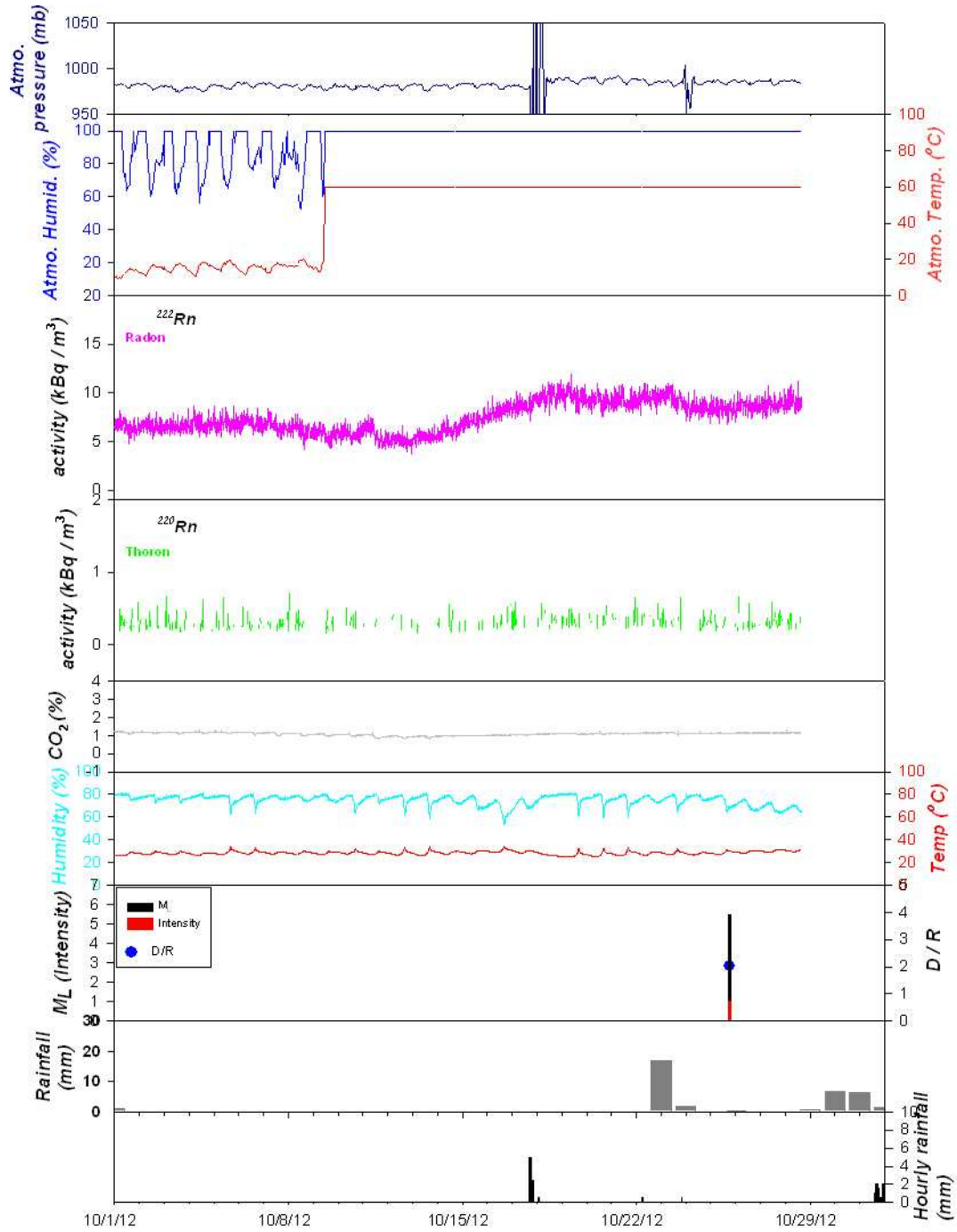


圖 A-85: 臺東池上土壤氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.) 溼度(A.H.)、雨量及地震之相關性。ML: 地震規模; Intensity: 震度 (2012/10/1-2012/10/31)。

附錄四 水氫監測分析方法

B 地下水水氫量測

B-1 地下水水氫現地採樣方法

地下水水氫採樣時應避免氫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。地下水水氫標準採樣步驟如下：

- (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。

B-2 地下水水氫分析原理

氫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。

B-3 地下水水氫實驗室分析方法

圖 B-1 為實驗室配製之水氫標準溶液於液態閃爍計數器中計數得到之水氫標準溶液典型圖譜。本研究室氫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氫背景計數率需小於 6 cpm，校正因子 (CF) 需大於等於 6 cpm/pCi。每一次進行氫分析計數時，必須同時計數水氫背景及水氫標準溶液各兩瓶。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。若計數出之水氫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 B-2 為實驗室水氫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。

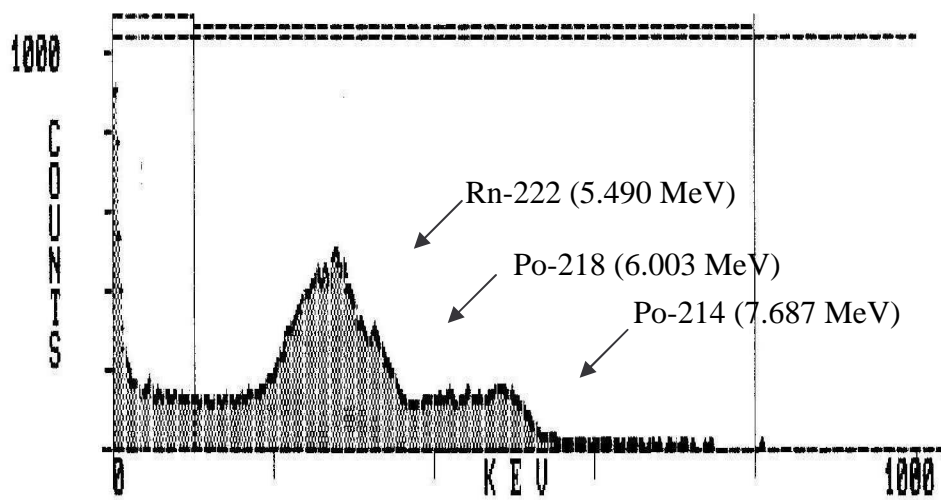


圖 B-1：水氫標準溶液液態閃爍計數之典型圖譜。

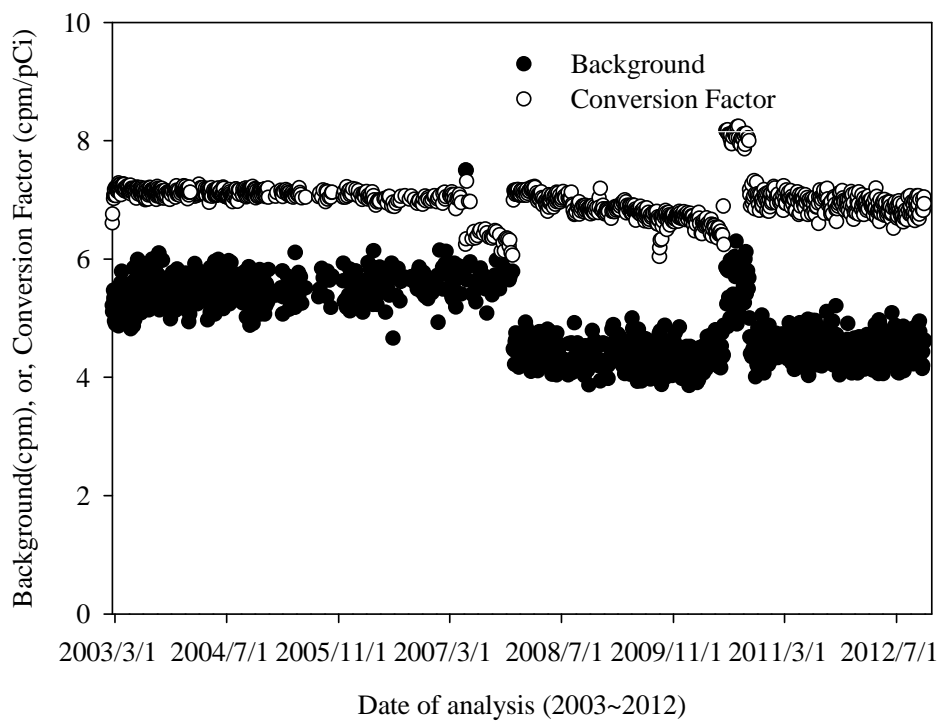


圖 B-2：水氫分析實驗室品保品管歷線圖（背景值及校正因子）。

C 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）組成分析

C-1 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）現地採樣方法

使用 GC-FID 及 GC-TCD，分析地下水中溶解氣體甲烷及氮氣等氣體，水樣採樣方法與水氬採樣方法相同。配合水氬濃度量測，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，探討地殼活動和水氬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 °C 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 °C 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。

期望能配合水氬濃度量測，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，探討地殼活動和水氬濃度異常變化之機制。

C-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。

C-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：CH₄、N₂。

(C) 操作條件：

(a) 載氣：He , 40 mL/min for column ,

(b) 爐體溫度 (oven temperature) : 313 K (40 °C) 恆溫 ,

(c) 注射口溫度 : 313 K (40 °C) ,

(d) 偵測器溫度 (detector temperature) : 40 (40 °C) ,

(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 °C) , Oven 313 K (40 °C) , Det. 313 K (40 °C) 。

(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 °C) , Oven 313 K (40 °C) , Det. 313 K (40 °C) 。

(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 (N₂) : 高純度氮氣99.99 %。

氫氣 (H₂) : 99.9 %。

空氣 (air) : 壓縮空氣。

(B) 測定物種 : CH₄

(C) 操作條件 :

- (a) 載氣 : N₂ , 25 mL/min 。
- (b) 輔助氣體 (make-up gas) : N₂ , 25 mL/min 。
- (c) 爐體溫度 : 373 K (100 °C) 恆溫 。
- (d) 注射口溫度 : 493 K (220 °C) 。
- (e) 偵測器溫度 : 523 K (250 °C) 。
- (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/cm²，氫氣的鋼瓶筒外壓為1.5 kg/ cm² 。
- (b) 以測漏液檢查column 是否漏氣 。
- (c) 設定溫度 : Inj. 493 K (220 °C) , Oven 溫度373 K (100 °C) , Det. 523 K (250 °C) 。
- (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 °C) , Oven 373 K (100 °C) , Det. 523 K (250 °C) 。

C-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 N₂ : 氮氣65 % 。
- (B) 甲烷 CH₄ : 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： $C = (V / V') \times C_s$

C-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C-1及圖C-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氮氣，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。

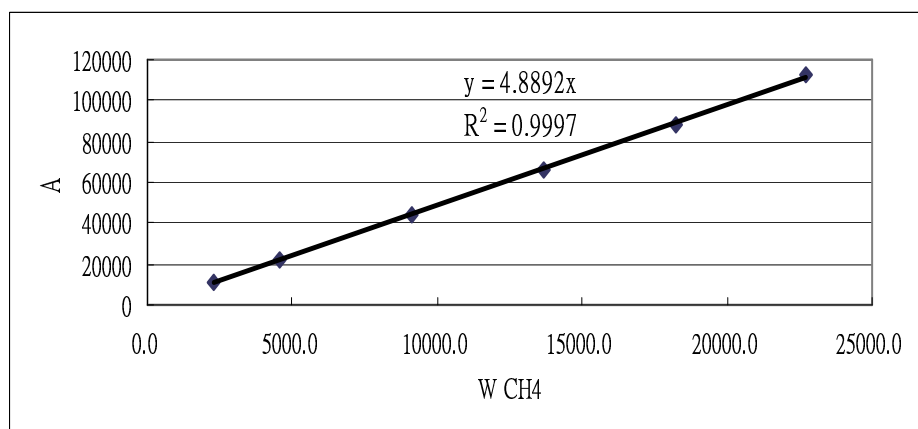


圖 C-1：甲烷 (CH_4) 檢量線。

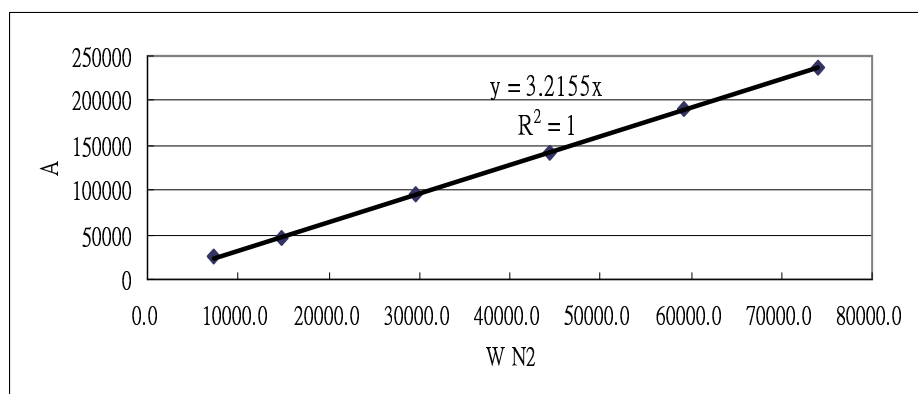


圖 C-2：氮 (N_2) 檢量線。

(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 $\pm 20\%$ 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。

D 地下水水位監測方法

D-1 地下水水位監測工作

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。安通站地下水水氬及溶解氣體監測井為自流井，不適合執行地下水水位監測，因此選擇吉祥站監測地下水水位。

D-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 D-1 表示 (Theis,

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial s}{\partial t} \quad \text{D-1}$$

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(m²/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：

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad \text{D-2}$$

其中：

s：地下水水位下降量(m)

Q：抽水率(m³/min)

T：導水係數(m²/min)

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad \text{D-3}$$

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：

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy, \text{ 稱為井函數(Well Function)。}$$

由 D-2 及 D-3 式知道， $W(u)$ 及 $1/u$ 在雙對數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 D-2 式求出 T 值；再由疊合點 $1/u$ 及 t 之值，可藉由 D-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) 含水層為局限 (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，局限 (Confined) 含水層保持充滿水，飽和含水層厚度不變。而在未局限含水層 (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 Theis 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 D-2 式可以和下式 D-4 相似 (Cooper and Jacob, 1946)：

$$s = \frac{Q}{4\pi T} (-0.5772 - \ln u) \quad \text{D-4}$$

D4 式又可以改寫成

$$s = \frac{2.30 Q}{4 \pi T} \log \frac{2.25 T t}{r^2 S} \quad \text{D-5}$$

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(m³/min)

由 D-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 t₀。由 t₀ 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 D-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：

$$s = a * (\log t) + b \quad \text{D-6}$$

其中 a 是直線斜率，b 是截距。

假設 s = 0，由方程式 D-6 可得：

$$\log t = - (b/a) \quad \text{D-7}$$

可修改成：

$$t = 10^{-(b/a)} \quad \text{D-8}$$

此時所得到之 t 視為 t₀。

同時由方程式 D-6 得直線斜率 a 帶入方程式 D-5 可得：

$$a = \frac{2.30 Q}{4 \pi T} \quad \text{D-9}$$

由已知的抽水流量 Q 可求得導水係數 T。

又 s = 0 時，方程式 D-5 中可得：

$$\log \frac{2.25 T t}{r^2 S} = 0 \quad \text{D-10}$$

可修改成：

$$\frac{2.25 T t_0}{r^2 S} = 1 \quad \text{D-11}$$

帶入已知的井距 r 及所求得的 t₀ 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 D-2 式可以和 D-4 相似 (Cooper and Jacob,

1946) 因此由 D-3 式可得到一針對抽水試驗所需時間之判別式 D-12：

$$t_i = \frac{r^2 S}{4T u} \quad \text{D-12}$$

由方程式 D-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。

E 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。

E-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。

E-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。

E-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°C，校正後誤差為 0.1°C。
- (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 不鏽鋼打造。
- (5) 井內溫度量測管柱為不鏽鋼管串接。

E-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°C。

- (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。

F 地下水溶解氣體（二氧化碳）分析方法

F-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 CO₂ 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。

F-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 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 。
- (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 $\mu\text{mhos/cm}$ 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。

(3) 結果處理

二氧化碳濃度計算—

$$\text{CO}_2 \text{ (mg/L)} = \frac{A \times N \times 44000}{V}$$

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)

附錄五 與本計畫相關之研究成果目錄

期刊論文

- (1) Walia, V., Yang, T.F., Lin, S.-J., Kumar, A., Fu, C.-C., Chiu, J.-M., Wen, K.-L. and Chen, C-H. (2012) Temporal variation of soil gas compositions for earthquake surveillance in Taiwan. *Radiation Measurements*, doi: 10.1016/j.radmeas.2012.11.007. (SCI)
- (2) Chyi, L.L., Quick, T.J., Yang, T.F. and Chen, C-H. (2011) The origin and detection of spike-like anomalies in soil gas radon time series. *Geochemical Journal*, 45, 431-438. (SCI)
- (3) Kuo, T., Lin, C., Su, C., Liu, C., Lin, C.H., Chang, C. and Chiang, C. (2011) Correlating recurrent radon precursors with local earthquake magnitude and crust strain near the Chihshang fault of eastern Taiwan. *Natural Hazards*, 59, 861-869. (SCI)
- (4) 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 Earthquake in the Wushanting mud volcano area in southwestern Taiwan. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 15, 219-213. (SCI)
- (5) 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.
- (6) 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)
- (7) 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.
- (8) 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.
- (9) 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, pp. 1049-1054. (SCI)
- (10) 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)
- (11) 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)
- (12) 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)
- (13) 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)
- (14) 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)
- (15) 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)
- (16) 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)
- (17) 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)
- (18) 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)
- (19) 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)
- (20) 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)
- (21) 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)
- (22) 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)
- (23) 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)
- (24) 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)
- (25) 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)
- (26) 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)
- (27) 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)
- (28) 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)
- (29) 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)
- (30) 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.
- (31) 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) Chyi, L.L., Quick, T.J., Yang, T.F. and Chen, C.H. (2012) Radon and earthquake forecasting. In Li, Z. and Feng, C. (eds.): Handbook of Radon: Properties, Applications, and Health. Nova Publishers (in print).
- (2) Yang, T.F., Chyi, L. and Singh, S. (2011) Special issue on Applications of Radioactive Geochemistry in Earth Sciences. *Geochemical Journal*, 46(6).
- (3) Yang, T.F., Hilton, D.R., Italiano, F. and Heinicke, J. (2010) Applications of fluid and gas Geochemistry on geohazards investigation. *Applied Geochemistry*, 25.

- (4) 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.
- (5) 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)
- (6) 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 (2011) 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 (3/4)。經濟部中央地質調查所報告 (99-5226904000-05-02) ,共385頁。
- (2) 楊燦堯、劉聰桂、郭明錦 (2010) 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)。經濟部中央地質調查所報告第 99-08號，共447頁。
- (3) 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。
- (4) 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。
- (5) 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。
- (6) 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。
- (7) 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。
- (8) 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) Yang, T.F., Heinicke, J., Fu, C.-C., Liu, T.-K., Walia, V. and Lai, T.-H. (2012) Precursory variations of gas flux and water level from an active mud volcano for some big earthquakes in southern Taiwan. Abstract for 2012 AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly, Singapore, Aug. 13-17.
- (2) Ouzounov, D., Hattori, K., Pulinets, S., Liu, J.Y., Parrot, M., Kafatos, M., Yang, T.F., Jhuang, H., Taylor, P., Ohyama, K., Kon, S. and Fisher, S. (2011) Integrated sensing, analysis and validation of atmospheric signals

- associated with major earthquakes. Abstract for the General Assembly 2010 of European Geosciences Union, Vienna, Austria, May 3-8.
- (3) Walia, V., Yang, T.F., Fu, C.-C., Liu, S.-J., Chiu, J.-M., Wen, K.-L. and Chen, C.-H. (2011) Temporal variation of soil gas compositions for earthquake surveillance in Taiwan. Abstract for 25th International Conference on Nuclear traces in Solids, Puebla, Mexico, Sep. 4-9.
 - (4) Chyi, L.L., Quick, T.J., Yang, T.F. and Chen, C.H. (2011) Radon migration in supra-layer soil and earthquake energy cycle. Abstract for International Conference on Gas Geochemistry 2011, LaJolla, USA. Nov. 28- Dec. 2.
 - (5) Fu, C.-C., Yang, T.F., Wu, Y.-M., Liu, T.-K., Chen, C.-H., Walia, V. and Hou, C.-S. (2011) Radon anomalies in soil gas as a precursor related to the 2010 Jiasian earthquake in southwestern Taiwan. Abstract for International Conference on Gas Geochemistry 2011, LaJolla, USA. Nov. 28- Dec. 2.
 - (6) Heinicke, J., Yang, T.F., Fu, C.-C., Chiu, C.-M., Lin, S.-J., Walia, V. and Liu, T.-K. (2011) Anomalous fluid emissions at Chung-lun mud pool (SW Taiwan) in relation to local seismogenic processes. Abstract for International Conference on Gas Geochemistry 2011, LaJolla, USA. Nov. 28- Dec. 2.
 - (7) 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.
 - (8) 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.
 - (9) 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.
 - (10) 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.
 - (11) 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.
 - (12) 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.
 - (13) 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.
- (14) 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.
 - (15) Yang, T.F. (2009) Anomalous variations of gas compositions and helium isotopic ratios 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.
 - (16) 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.
 - (17) 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.
 - (18) 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.
 - (19) 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.
 - (20) 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.
 - (21) 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.
 - (22) 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.
 - (23) 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.
- (24) 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.
 - (25) 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.
 - (26) 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.
 - (27) 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.
 - (28) 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.
 - (29) 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.
 - (30) 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.
 - (31) 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.
 - (32) 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.
 - (33) 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.