委辦計畫編號（100-5226904000-03-02）

斷層活動性觀測研究-第二階段

斷層活動性之地球化學觀測與研究

(3/4)

期末報告

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行單位：國立台灣大學
中華民國一〇〇年十二月

斷層活動性觀測研究-第二階段
斷層活動性之地球化學觀測與研究
(3/4)

期末報告

計畫主持人：楊燦堯

協同計畫主持人：劉聰桂、郭明錦

研究助理：傅慶州、吳國維、邱俊銘、張薰予、
林純玉、蘇建元、陳逸群、林正浩、
黃盈穎、游家豪、梁卉昀、林雨璇、
王信堯

執行期限：100 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 一〇〇 年 十二 月

摘要

選擇位於斷層帶附近的適當位置，設置氣體地球化學與水壓遠端傳輸觀測站，配合鄰近地區之地殼活動觀測資料，將有助於吾人瞭解該地區之斷層、地震活動與觀測結果之關聯，並進一步觀測其活動可能之前兆訊息與可能機制。

本計畫持續觀測已有的氣體觀測站，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；臺東池上站之土壤氡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。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。

本年度分析了2010年12月至2011年11月間地下水觀測井內之地下水壓變化，共9口觀測井。主要研究結果如下：（1）台北觀測站對於發生於台灣東北部的地震特別敏感，今年度錦和站與明德站出現較多次的震前水壓異常反應。但這兩個觀測站水壓的變化與降雨量關係也十分密切。（2）新竹地區觀測井，新樂國小站有較佳的震前地下水壓異常反應。今年度除了反應鄰近地區地震之外，也反應數起台灣東北部之地震。（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及東部外海。嘉義地區觀測井，沄水站有較佳的震前地下水壓異常反應。沄水站則是所有觀測站中唯一不受雨量影響的觀測站，此特性利於觀測地震之前兆。

另外，安通站在 2008 年 2 月 17 日 M_W 5.4 安通地震前，有捕捉到地下水水氡異常下降之地震前兆。社頂站在 2010 年 3 月 4 日 M_L 6.4 的高雄甲仙地震、2010 年 11 月 12 日 M_L 5.3 的屏東枋寮地震及 2011 年 8 月 31 日 M_L 4.8 的屏東鵝鑾鼻地震來臨前，皆有觀測到地下水水氡異常下降之現象。安通安山岩及璽丁石灰岩之地質條件（延展性地層包圍脆性含水層）適合觀測地下水水氡濃度異常下降之地震前兆。今年度已完成連續監測站之建置；持續長時間監測安通站及社頂站地下水水氡濃度，預期能捕捉下次在花東縱谷南段及恆春半島附近發生災害性地震之前兆（大約 $M_W > 6.0$）。

綜觀本年度地球化學觀測結果，有發現到數起規模中大地震的震前異常反應，例如：2010年12月6日花蓮西林地震（M_L = 5.2），大平地、中崙及池上測站於十日前有偵測到氡氣異常變化，明德、錦和及沄水站也記錄到地下水位的震前變化；2011年3月20日台東外海地震（M_L = 5.8），中崙、屏科大及池上測站也於1-2周前觀測到氡氣異常變化，沄水及達邦觀測井也發現到地下水位之震前異常反應。整合不同測站對於同一地震的異常反應，進而可劃分地球化學觀測站的敏感反應範圍，有助於未來進一步推估地震將發生的位置。

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. Besides, the local rainfall seems to affect the degassing-system of soil gas.

The groundwater pressure in 9 monitoring wells from December 2010 to June 2011 was analyzed. The followings are the major results: (1) The monitoring stations in Taipei are sensitive to the earthquakes which occur in north-east Taiwan. Several anomalous pre-seismic events have been recorded in the groundwater pressure data from the monitoring wells, especially Mingde station and Jinhe station, although groundwater pressure are obviously affected by precipitation. (2) In Hsinchu area, groundwater data from Shin-Le monitoring well show clear anomalous pre-seismic variations. We observed several pre-seismic groundwater anomalies which are related to the earthquakes occured in Hsinchu area and northeastern Taiwan. (3) Pre-seismic events recorded by monitoring wells in Chiayi area correlated with the earthquakes in central and southern Taiwan and offshore (western margin of Philippine Sea Plate). Yunshui monitoring well showed more possible precursors and was rarely affected by precipitation. These character are conductive to observing earthquake precursors.

Radon anomalous declines were recorded at Antung station prior to February 17, 2008 M_W 5.4 Antung earthquake; at Sheding station prior to

March 4, 2010 M_L 6.4 Chiahsien earthquake, November 12, 2010 M_L 5.3 Fangliao earthquake, and August 31, 2011 M_L 4.8 Oluanpi earthquake. Both Antung andesite and Kenting limestone are situated in suitable geological conditions (a brittle fractured aquifer surrounded by ductile formation) to catch radon precursory declines. Continuous monitoring systems were set up at both stations in 2011. Both Antung and Sheding station are capable to catch radon anomalous declines precursory to local disastrous earthquakes ($M_W >$ 6.0) in the southern segment of longitudinal valley of eastern Taiwan and in the Hengchun peninsula of southern Taiwan, respectively.

The monitoring results show that some pre-seimic anomalies related to moderate to large seismic events can be observed in several monitoring stations. For example, radon anomalies were recorded at Tapingti, Chunglung and Chihshang staions about 10 days before Haulien Earthquake (2010/12/6, M_L=5.2), groundwater data from Mingde, Jinhe and Yunshui also show show pre-seismic variations related to this earthquake. In addition, pre-seismic radon anomalies were observed at Chunglung, Pingtung and Chihshang stations and anomalous groundwater variations at Yuishui and Dabang monitoring wells before Taitung Earthquake (2011/3/20, M_L = 5.8). Thus, comparing the pre-seismic events at different monitoring stations, we can further identify the sensitivity zone of each monitoring system and then may be able to predict the epicenter of upcoming earthquake.

Soil gas data of selected monitoring stations were also dealed with different time-series techniques, such as Ierative 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 quantatively identify the anomalies related to seismic activities. We will analysze the monitoring data to define the characteristics for each station, furthermore, to clarify the possible relationship between geochemical parameters with tectonic and seismic activities in one area.

目錄

摘要.....I
ABSTRACT.....III
目錄.....V
圖目錄.....IX
表目錄.....XVIII
第壹章　緒論.....1
1.1　本年度之工作項目.....2
1.2　目前工作進度.....2
第貳章　研究原理及方法.....5
2.1　前言及研究目的.....5
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.....16
2.4.1　四極桿質譜儀.....16
2.4.2　氡氣偵測儀.....16
2.4.3　地震儀.....16
2.5　地震參數的表示.....17
第參章　研究區域地質背景.....18
3.1　古坑氣體觀測站替代點探勘.....18
3.2　地下水壓觀測站基本資料.....20

3.3 水氡觀測站之區域地質背景 22
3.3.1 池上斷層 22
3.3.2 玉里地區地質背景 24
3.3.3 安通溫泉地質背景 29
3.3.4 安通溫泉區溫泉開發 30
3.3.5 恆春斷層 35
3.3.6 墾丁社頂地區地質背景 36
3.3.7 恆春半島區域歷史地震背景 38
第肆章 氣體觀測站觀測結果 40
4.1 觀測站相關地震選擇依據 40
4.2 新竹大平地土壤氣體觀測站 42
4.3 雲林古坑土壤氣體觀測站 58
4.3.1 土壤氣體連續觀測結果 58
4.3.2 雲林古坑觀測站替代點探勘 74
4.4 屏東屏科大土壤氣體觀測站 81
4.5 花蓮美崙土壤氣體觀測站 97
4.6 臺東池上土壤氣體觀測站 117
4.7 嘉義中崙濁水潭土壤氣體觀測站 134
4.7.1 氡氣偵測儀分析結果 134

4.7.2 四極桿質譜儀分析結果 152

第伍章 新觀測站設置之評選 165

5.1 前言 165

5.2 三義斷層 165

5.3 採樣與分析 165

5.4 研究成果 166

第陸章 地下水壓觀測結果 172

6.1 台北地區地下水壓觀測結果 172

6.2 新竹地區地下水壓觀測結果 199

6.3 嘉義地區地下水壓觀測結果 222

6.4 震前地下水壓變化資料整合 262

6.5 年度較大地震討論 271

第柒章 水氡觀測結果 275

7.1 安通站地下水水氡濃度監測 275

7.2 安通站地下水溶解氣體（甲烷、氮氣）監測 277

7.3 安通溫泉區地下水水位監測 279

7.4 安通站地下水溫度監測 282

7.5 恆春半島墾丁社頂監測站地下水水氡濃度監測 283

7.6 恆春半島墾丁社頂監測站地下水溶解氣體（二氧化碳）監測 288

7.7 建置地下水水氡即時連續監測站（安通站）.....291

7.8 建置地下水水氡及二氧化碳即時連續監測站（社頂站）.....298

第捌章 資料整合及資料處理.....305

8.1 評估觀測結果與地震活動之關聯性.....305

8.1.1 土壤氣體及水壓觀測結果.....305

8.1.2 水氡觀測與地震活動之關聯性.....316

8.2 利用時序分析方法處理觀測資料.....320

8.2.1 時序分析方法介紹.....320

8.2.2 美崙氣體觀測站時序分析結果.....325

8.2.3 池上氣體觀測站時序分析結果.....331

第玖章 結論與建議.....337

參考文獻.....339

附錄一 今年期中報告審查委員意見及答覆情形.....349

附錄二 今年期中報告審查委員意見及答覆情形.....353

附錄三 2011 台灣活動斷層與地震災害研討會.....359

附錄四 梅山-古坑地區土壤氣體成分分析結果.....361

附錄五 水氡監測分析方法.....365

附錄六 與本計畫相關之研究成果目錄.....380

圖目錄

圖 2-1 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 7
圖 2-2 東部安通溫泉區附近歷年主要地震震央分佈圖 7
圖 2-3 既有觀測站的分布位置 8
圖 2-4 體積膨脹模式 11
圖 2-5 Rn-222 自 U-238 的衰變鏈 13
圖 2-6 在 60℃時不同比例氣體飽和度及安通溫泉吉祥站地下水水氡濃度變化圖 15
圖 3-1 嘉義梅山斷層位置及其區域地質圖 19
圖 3-2 安通地下水水氡及溶解氣體監測站位置圖 23
圖 3-3 玉里安通鄰近地質圖 26
圖 3-4 玉里安通鄰近地質圖 CC'剖面圖 27
圖 3-5 玉里安通鄰近地質圖圖例 28
圖 3-6 安通溫泉飯店地下水水氡及溶解氣體監測井 31
圖 3-7 安通溫泉區 4 家溫泉旅館所擁有之溫泉井相對位置圖 33
圖 3-8 恆春半島地質圖 37
圖 3-9 2006/12/26 恆春地震地震報告 39
圖 4-1 氣體異常與地震發生的時間關係圖 41
圖 4-2 新竹大平地觀測站觀測結果（2010/12/01-2011/11/14） 44
圖 4-3 新竹大平地觀測站觀測結果（2010/12/01-2010/12/31） 45
圖 4-4 新竹大平地觀測站觀測結果（2011/01/01- 2011/01/31） 46
圖 4-5 新竹大平地觀測站觀測結果（2011/02/01- 2011/02/28） 47
圖 4-6 新竹大平地觀測站觀測結果（2011/03/01-2011/03/31） 48
圖 4-7 新竹大平地觀測站觀測結果（2011/04/01-2011/04/30） 49
圖 4-8 新竹大平地觀測站觀測結果（2011/05/01- 2011/05/31） 50
圖 4-9 新竹大平地觀測站觀測結果（2011/06/01- 2011/06/30） 51
圖 4-10 新竹大平地觀測站觀測結果（2011/07/01- 2011/07/31） 52
圖 4-11 新竹大平地觀測站觀測結果（2011/08/01- 2011/08/31） 53

圖 4-12 新竹大平地觀測站觀測結果（2011/09/01- 2011/09/30）.....54
圖 4-13 新竹大平地觀測站觀測結果（2011/10/01- 2011/11/14）.....55
圖 4-14 新竹大平地測站相關地震位置分布圖（2010/12-2011/11）.....56
圖 4-15 雲林古坑觀測站觀測結果（2010/12/01-2011/10/31）.....59
圖 4-16 雲林古坑觀測站觀測結果（2010/12/01-2010/12/31）.....60
圖 4-17 雲林古坑觀測站觀測結果（2011/01/01- 2011/01/31）.....61
圖 4-18 雲林古坑觀測站觀測結果（2011/02/01- 2011/02/28）.....62
圖 4-19 雲林古坑觀測站觀測結果（2011/03/01-2011/03/31）.....63
圖 4-20 雲林古坑觀測站觀測結果（2011/04/01-2011/04/30）.....64
圖 4-21 雲林古坑觀測站觀測結果（2011/05/01- 2011/05/31）.....65
圖 4-22 雲林古坑觀測站觀測結果（2011/06/01- 2011/06/30）.....66
圖 4-23 雲林古坑觀測站觀測結果（2011/07/01- 2011/07/31）.....67
圖 4-24 雲林古坑觀測站觀測結果（2011/08/01- 2011/08/31）.....68
圖 4-25 雲林古坑觀測站觀測結果（2011/09/01- 2011/09/30）.....69
圖 4-26 雲林古坑觀測站觀測結果（2011/10/01- 2011/10/31）.....70
圖 4-27 雲林古坑測站相關地震位置分布圖（2010/12-2011/10）.....72
圖 4-28 雲林古坑站站體左傾.....73
圖 4-29 雲林古坑站舖水泥.....73
圖 4-30 土壤氣採樣點分布圖.....75
圖 4-31a 編號 19 採樣點，南華大學校門口警衛室旁.....77
圖 4-31b 編號 21 採樣點，南華大學校內.....77
圖 4-32 古坑新舊站相對位置.....78
圖 4-33 新觀測站設置情形.....79
圖 4-34 新觀測站初步測試結果.....80
圖 4-35 屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/12/01-2011/11/14）.....83
圖 4-36 屏東屏科大觀測站觀測結果（2010/12/01-2010/12/31）.....84
圖 4-37 屏東屏科大觀測站觀測結果（2011/01/01- 2011/01/31）.....85
圖 4-38 屏東屏科大觀測站觀測結果（2011/02/01- 2011/02/28）.....86
圖 4-39 屏東屏科大觀測站觀測結果（2011/03/01-2011/03/31）.....87

圖 4-40 屏東屏科大觀測站觀測結果（2011/04/01-2011/04/30）.....88
圖 4-41 屏東屏科大觀測站觀測結果（2011/05/01- 2011/05/31）.....89
圖 4-42 屏東屏科大觀測站觀測結果（2011/06/01- 2011/06/30）.....90
圖 4-43 屏東屏科大觀測站觀測結果（2011/07/01- 2011/07/31）.....91
圖 4-44 屏東屏科大觀測站觀測結果（2011/08/01- 2011/08/31）.....92
圖 4-45 屏東屏科大觀測站觀測結果（2011/09/01- 2011/09/30）.....93
圖 4-46 屏東屏科大觀測站觀測結果（2011/10/01- 2011/11/14）.....94
圖 4-47 屏東屏科大測站相關地震位置分布圖（2010/12-2011/11）.....96
圖 4-48 花蓮美崙觀測站觀測結果（2010/12/01-2011/11/14）.....99
圖 4-49 花蓮美崙觀測站觀測結果（2010/12/01-2010/12/31）.....100
圖 4-50 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/01/01- 2011/01/31）.....101
圖 4-51 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/01/01- 2011/01/31）.....102
圖 4-52 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/02/01- 2011/02/28）.....103
圖 4-53 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/02/01- 2011/02/28）.....104
圖 4-54 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/03/01-2011/03/31）.....105
圖 4-55 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/03/01-2011/03/31）.....106
圖 4-56 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/04/01-2011/04/30）.....107
圖 4-57 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/05/01- 2011/05/31）.....108
圖 4-58 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/06/01- 2011/06/30）.....109
圖 4-59 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/07/01- 2011/07/31）.....110
圖 4-60 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/08/01- 2011/08/31）.....111
圖 4-61 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/09/01- 2011/09/30）.....112
圖 4-62 花蓮美崙觀測站觀測結果（2011/10/01- 2011/11/14）.....113
圖 4-63 花蓮美崙測站相關地震位置分布圖（2010/12-2011/11）.....116
圖 4-64 台東池上觀測站觀測結果（2010/12/01-2011/11/14）.....119
圖 4-65 台東池上觀測站觀測結果（2010/12/01-2010/12/31）.....120
圖 4-66 台東池上觀測站觀測結果（2011/01/01- 2011/01/31）.....121
圖 4-67 台東池上觀測站觀測結果（2011/02/01- 2011/02/28）.....122
圖 4-68 台東池上觀測站觀測結果（2011/03/01-2011/03/31）.....123

圖 4-69 台東池上觀測站觀測結果（2011/04/01-2011/04/30）.....124
圖 4-70 台東池上觀測站觀測結果（2011/05/01- 2011/05/31）.....125
圖 4-71 台東池上觀測站觀測結果（2011/06/01- 2011/06/30）.....126
圖 4-72 台東池上觀測站觀測結果（2011/07/01- 2011/07/31）.....127
圖 4-73 台東池上觀測站觀測結果（2011/08/01- 2011/08/31）.....128
圖 4-74 台東池上觀測站觀測結果（2011/09/01- 2011/09/30）.....129
圖 4-75 台東池上觀測站觀測結果（2011/10/01- 2011/11/14）.....130
圖 4-76 台東池上測站相關地震位置分布圖（2010/12-2011/11）.....133
圖 4-77 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/12/01-2011/11/14）.....136
圖 4-78 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2010/11/30-2010/12/31）.....137
圖 4-79 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2011/01/01- 2011/01/31）.....138
圖 4-80 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2011/02/01- 2011/02/28）.....139
圖 4-81 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2011/03/01-2011/03/31）.....140
圖 4-82 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2011/04/01-2011/04/30）.....141
圖 4-83 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2011/05/01- 2011/05/31）.....142
圖 4-84 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2011/06/01- 2011/06/30）.....143
圖 4-85 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2011/07/01- 2011/07/31）.....144
圖 4-86 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2011/08/01- 2011/08/31）.....145
圖 4-87 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2011/09/01- 2011/09/30）.....146
圖 4-88 嘉義中崙中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2011/10/01- 2011/11/14）.....147

圖 4-89 嘉義中崙測站相關地震位置分布圖（2010/12-2011/11）.....151
圖 4-90 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/11/30-2011/11/14）...153
圖 4-91 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2010/11/30-2010/12/31）...154
圖 4-92 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/01/01- 2011/01/31）..155
圖 4-93 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/02/01- 2011/02/28）..156
圖 4-94 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/03/01-2011/03/31）...157
圖 4-95 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/04/01-2011/04/30）...158
圖 4-96 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/05/01- 2011/05/31）..159
圖 4-97 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/06/01- 2011/06/30）..160
圖 4-98 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/07/01- 2011/07/31）..161
圖 4-99 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/08/01- 2011/08/31）..162
圖 4-100 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/09/01- 2011/09/30） 163
圖 4-101 嘉義中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2011/10/01- 2011/11/14） 164
圖 5-1 三義斷層兩萬五千分一條帶地質圖 167
圖 5-2 苗栗台中地區土壤氣體採樣點分布圖 168
圖 5-3 土壤氣體野外採樣的實際情形與採樣示意圖 168
圖 5-4 苗栗三義地區土壤氣異常分布圖 169
圖 6-1 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/12-2011/11）.....184
圖 6-2 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/12-2011/5）.....185
圖 6-3 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/6-2011/11）.....186
圖 6-4 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/12）.....187
圖 6-5 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/1）.....188
圖 6-6 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/2）.....189
圖 6-7 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/3）.....190
圖 6-8 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/4）.....191
圖 6-9 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/5）.....192
圖 6-10 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/6）.....193
圖 6-11 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/7）.....194
圖 6-12 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/8）.....195

圖 6-13 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/9）.....196
圖 6-14 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/10）.....197
圖 6-15 台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/11）.....198
圖 6-16 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/12-2011/11）.....207
圖 6-17 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/12-2011/5）.....208
圖 6-18 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/6-2011/11）.....209
圖 6-19 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/12）.....210
圖 6-20 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/1）.....211
圖 6-21 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/2）.....212
圖 6-22 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/3）.....213
圖 6-23 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/4）.....214
圖 6-24 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/5）.....215
圖 6-25 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/6）.....216
圖 6-26 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/7）.....217
圖 6-27 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/8）.....218
圖 6-28 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/9）.....219
圖 6-29 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/10）.....220
圖 6-30 新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/11）.....221
圖 6-31 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/12-2011/11）.....236
圖 6-32 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/12-2011/5）.....237
圖 6-33 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/6-2011/11）.....238
圖 6-34 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2010/12）.....239
圖 6-35 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/1）.....240
圖 6-36 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/2）.....242
圖 6-37 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/3）.....243
圖 6-38 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/4）.....245
圖 6-39 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/5）.....247
圖 6-40 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/6）.....249
圖 6-41 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/7）.....250

圖 6-42 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/8）.....253
圖 6-43 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/9）.....256
圖 6-44 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/10）.....259
圖 6-45 嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2011/11）.....260
圖 6-46 嘉義地區沄水觀測井之雨水壓觀測值結果.....261
圖 6-47 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及台北地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖（2008/11-2011/11）.....265
圖 6-48 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及新竹地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖（2008/11-2011/11）.....266
圖 6-49 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及嘉義地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖（2008/11-2011/11）.....267
圖 6-50 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及台北地區未符合篩選條件但震前出現水位異常反應的地震震央分布圖（2008/11-2011/11）.....268
圖 6-51 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及新竹地區未符合篩選條件但震前出現水位異常反應的地震震央分布圖（2008/11-2011/11）.....269
圖 6-52 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及嘉義地區未符合篩選條件但震前出現水位異常反應的地震震央分布圖（2008/11-2011/11）.....270
圖 7-1 安通站地下水水氡濃度與環境因子關係圖(2010/12-2011/11).....276
圖 7-2 安通站地下水溶解氣體甲烷濃度與環境因子關係圖(2010/12-2011/11)..277
圖 7-3 安通站地下水溶解氣體氮氣濃度與環境因子關係圖(2010/12-2011/11)..278
圖 7-4 吉祥站每月每日最高地下水位與環境因子關係圖(2010/12-2011/11).....279
圖 7-5 吉祥站鄰近含水層導水係數與環境因子關係圖(2010/12-2011/11).....280
圖 7-6 吉祥站鄰近含水層儲水係數與環境因子關係圖(2010/12-2011/11).....281
圖 7-7 安通溫泉飯店水氡監測井分離器地下水溫度監測紀錄(2010/12-2011/11).....282
圖 7-8 社頂站地下水水氡濃度變化與環境因子關係圖(2010/12-2011/11).....284
圖 7-9 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.....285
圖 7-10 2010 年 3 月 4 日高雄甲仙地震、2010 年 11 月 12 日屏東枋寮地震及 2011 年 8 月 31 日屏東鵝鑾鼻地震資料.....286
圖 7-11 社頂站地下水水氡濃度變化與雨量關係圖.....287

圖 7-12 社頂站地下水溶解氣體二氧化碳濃度監測結果(2010/12-2011/11).....289
圖 7-13 社頂站地下水溶解氣體二氧化碳濃度監測結果與雨量關係圖 290
圖 7-14 安通站 500 米自流井及監測站外觀 292
圖 7-15 安通站 500 米自流井 293
圖 7-16 安通站內部配置 294
圖 7-17 安通站氣水分離器(RAD Aqua).....295
圖 7-18 2011 年 1 月底至 2011 年 4 月初期間，安通站以 SARAD 連續監測氣相氡濃度獲得之數據 296
圖 7-19 2011 年 9 月中至 2011 年 10 月中期間，安通站以 SARAD 連續監測氣相氡濃度獲得之數據 296
圖 7-20 2011 年 1 月底至 2011 年 4 月初期間，安通站 SARAD 量測之氣相氡濃度及實驗室液態閃爍計數儀(LSC)量測之地下水水氡濃度比較圖 297
圖 7-21 2011 年 9 月中至 2011 年 10 月中期間，安通站 SARAD 量測之氣相氡濃度及實驗室液態閃爍計數儀(LSC)量測之地下水水氡濃度比較圖 297
圖 7-22 社頂站站牌及監測站外觀 299
圖 7-23 社頂站天然湧泉的蓄水槽及液體管線 299
圖 7-24 社頂站天然湧泉的蓄水槽及抽水馬達 300
圖 7-25 社頂站氣水分離器及液體管線 300
圖 7-26 社頂站建築物內部配置 301
圖 7-27 社頂站建築物內部配置 301
圖 7-28 社頂站以 SARAD 連續監測氣相氡濃度及實驗室 LSC 地下水水氡濃度之數據 302
圖 7-29 社頂站連續監測地下水中二氧化碳之數據 302
圖 7-30 墾丁社頂站放置自動水位紀錄儀之水井 303
圖 7-31 墾丁社頂站放置自動水位紀錄儀之水井內部圖 303
圖 7-32 2011 年 11 月 2 日至 2011 年 11 月 26 日期間，社頂站以自動水位紀錄儀連續監測之地下水水位數據 304
圖 8-1 地球化學觀測站的地震反應區間示意圖 307
圖 8-2 2010/12/6 花蓮西林地震與各測站觀測情形 311
圖 8-3 2011/2/1 花蓮近海地震與各測站觀測情形 312

圖 8-4 2011/3/16 屏東三地門地震與各測站觀測情形 313
圖 8-5 2011/3/20 台東外海地震與各測站觀測情形 314
圖 8-6 2011/3/30 花蓮壽豐地震與各測站觀測情形 315
圖 8-7 安通站地下水水氡濃度監測與地震活動之關係圖 316
圖 8-8 2008 年 2 月 18 日安通地震及 2011 年 7 月 12 日花蓮地震之地震資料 317
圖 8-9 社頂站地下水水氡與二氧化碳濃度監測與地震活動之關係圖 319
圖 8-10 Ierative Gussin Filter 示意圖 320
圖 8-11 為第一個 IMF 的求取過程 323
圖 8-12 各 IMF 分量圖 323
圖 8-13 美崙氣體觀測站氡氣觀測結果（2010/12/1－2011/6/10） 327
圖 8-14 美崙站氡氣濃度經快速傅立葉轉換結果 328
圖 8-15 美崙站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 328
圖 8-16 美崙觀測站原始氡氣濃度與經 IGAUSSING FILTER 及 EMD 處理後的數據比較（2010/12/1-2011/2/10） 329
圖 8-17 美崙觀測站原始氡氣濃度與經 IGAUSSING FILTER 及 EMD 處理後的數據比較（2011/3/1-2011/6/10） 330
圖 8-18 池上氣體觀測站觀測結果（2010/12/1-2011/6/10） 332
圖 8-19 池上氣體觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據之比較 332
圖 8-20 池上觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據（2010/11/25–2011/1/10） 333
圖 8-21 池上觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據（2011/1/20–2011/3/28） 334
圖 8-22 池上觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據（2011/3/28–2011/6/12） 335
圖 A-1 水氡標準溶液液態閃爍之典型圖譜 366
圖 A-2 水氡分析實驗室品保品管歷線圖 366
圖 B-1 甲烷檢量線 370
圖 B-2 氮檢量線 370

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.....21
表 3-2 安通溫泉區溫泉旅館溫泉井井位.....32
表 3-3 安通溫泉區 4 家溫泉旅館溫泉井水質分析（濃度 PPM）.....34
表 4-1 大平地觀測站篩選後的相關地震及與測站氡氣異常有反應的地震列表.56
表 4-2 古坑觀測站篩選後的相關地震及與測站氡氣異常有反應的地震列表.....71
表 4-3 梅山斷層地區土壤氣體成分分析.....76
表 4-4 梅山斷層地區固定採樣點土壤氣體成分分析結果.....77
表 4-5 梅山斷層中正大學旁土壤氣體成分分析結果.....78
表 4-6 屏科大觀測站篩選後的相關地震及與測站氡氣異常有反應的地震列表.95
表 4-7 美崙觀測站篩選後的相關地震列表.....114
表 4-8 池上觀測站篩選後的相關地震及與測站氡氣異常有反應的地震列表...131
表 4-9 中崙觀測站篩選後的相關地震及與測站氡氣異常有反應的地震列表...148
表 5-1 苗栗台中地區土壤氣體成份分析結果.....170
表 6-1 台北篩選地震列表.....174
表 6-2 新竹篩選地震列表.....201
表 6-3 嘉義篩選地震列表.....224
表 6-4 本年度跨兩個地區(台北、新竹、嘉義)以上有前兆反應之地震列表....264
表 6-5 99 年度規模 6 以上之地震影響.....273
表 6-6 100 年度規模 5.5 以上之地震影響.....274
表 8-1 地震與多個土壤氣體測站的氡氣異常反應.....308
表 8-2 2010 年 12 月至 2011 年 6 月間的地震於不同觀測站所觀察到的異常之比較.....309
表 8-3 池上測站與地震有關的異常利用直覺判斷與 EMD 判斷結果比較.....336
表 9-1 本年度各觀測站成功捕捉前兆訊息之統計結果.....337

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（H_2）、氬（Ar）、氮（N_2）、甲烷（CH_4）和二氧化碳（CO_2）的異常，以及溶於水體的陰、陽離子濃度的劇烈變化，一般歸因於斷層活動造成地下流體（水與氣）循環系統的改變而導致流體的混合。

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

本計畫第一階段之觀測計畫中於四年內（94 年-97 年）逐年於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（2011）年度，對於新竹大平地、雲林古坑（原嘉義梅山）、嘉義中崙、屏東屏科大、臺東池上、及去（2010）年度本計畫於花蓮美崙地區新設置的氣體觀測站，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 7 座水位站持續進行觀測外，亦於梅山斷層附近進行古坑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，此地區今年已完成一座地下水氡連續觀測站。亦於南部的恆春半島作定期的地下水氡及溶解氣體採樣與分析，完成一座地下水氡及水中溶解氣體（二氧化碳）連續觀測站，以期於全島能夠完成較為完整之觀測網，利於往後對於分析資料之判讀。

1.1 本年度之工作項目

1. 維護既有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. 分析地調所提供之水壓觀測資料（共七站）。
3. 於苗栗、臺中地區進行土壤氣體調查。
4. 於梅山斷層或九芎坑斷層土壤氣體調查，評估適合古坑站遷站設置連續觀測站位置。
5. 持續定期於安通溫泉地區採樣並分析水氡及溶解氣體（甲烷及氮氣）成份，並於今年完成一座地下水氡連續觀測站。
6. 於墾丁社頂進行地下水氡及溶解氣體（二氧化碳）之採樣與分析，並於今年完成一座地下水氡及溶解氣體（二氧化碳）連續觀測站。
7. 不同觀測站分析結果對地震活動之不同敏感度分析。
8. 收集各觀測站鄰近地殼、地震活動觀測資料，分析觀測站氣體成份、水位變化與鄰近地區斷層與地震活動之關聯性。
9. 籌辦「斷層活動性」學術研討會。
10. 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，持續分析其土壤氣體成分與水位變化。
2. 分析地調所提供之水壓觀測資料（共七站）。
3. 完成苗栗、臺中地區土壤氣體調查。
4. 完成古坑站遷站。
5. 持續定期於安通溫泉地區採樣並分析水氡及溶解氣體（甲烷及氮氣）成份，並於安通溫泉設立地下水氡連續觀測站。
6. 於墾丁社頂進行地下水氡及溶解氣體（二氧化碳）之採樣與分析，並於墾丁社頂設立地下水氡及溶解氣體（二氧化碳）連續觀測站。
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。
9. 於 2011/9/20 舉辦「斷層活動性」學術研討會。

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(3/4)**													
月 次 工 作 項 目	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													
苗栗台中地區之土壤氣體調查													
古坑站遷站													
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													
觀測站設置儀器採購													
建置地下水水氡及溶解氣體即時連續監測站(安通站及社頂站)													
籌辦「斷層活動性」學術研討會													
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	

說明：
(1)工作項目請視計畫性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期，期中報告與期末報告必須明列於本表中。
(2)預定進度百分比一欄係為配合追蹤考核作業所需，累計百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：1.工作天數 2.經費之分配 3.工作量之比重 4.擬達成目標之具體數字。
(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。

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，氡氣、氦氣、氫氣與二氧化碳等氣體常被用作斷層活動及地震監測的工具。

此外，根據前人研究（如 Lamar and Merifield, 1979; Merifield and Lamar, 1981; Barsukov *et al.,* 1985; Wang, 1985; Roeloffs, 1988; Igarashi *et al.,* 1992; Biagi *et al.,* 2000; King *et al.,* 2000; Chadha and Pandey, 2003; Gau *et al.,* 2007; Esposito *et al.,* 2009），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。本計畫觀測九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，判識地下水壓變化之原因及其程度，期望未來能達到以地下水壓變化預知地

震活動性之目標。

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）長期觀測地下水水氡濃度異常變化至今，已有初步研究成果（Kuo et al., 2006a; 2006b; 2009；2010a；2010b；2010c；2011）。2003 年 12 月 10 日地震矩規模 M_W 6.8 成功地震來臨前，成功在安通溫泉水氡監測站捕捉到震前地下水水氡濃度異常下降之地震前兆。同時又在 2006 年 4 月 1 日及 2008 年 2 月 17 日發生地震矩規模 M_W 6.1 及 M_W 5.4，地震前皆有觀測到地下水水氡濃度異常下降之地震前兆（圖 2-1），在同一監測點觀測到地震前兆氡濃度異常之再現性。在安通溫泉吉祥水氡濃度監測站（吉祥站）再現性觀測到的氡濃度異常下降，證明在適當的地質條件下地下水水氡監測為可預警災難性地震的方法。

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

本研究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，執行地下水水氡及溶解氣體（二氧化碳）之採樣及實驗室分析。本研究於2010年3月4日發生芮氏地震規模M_L = 6.4的高雄甲仙地震前，有觀測到地下水水氡及溶解氣體（二氧化碳）異常下降之現象。驗證在適當地質條件下，能觀測到地下水水氡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氡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，由於雲林古坑站因站體傾斜致使積水不退，故本計畫在今年度將古坑站遷移至附近合適的位址。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。本研究對於嘉義梅山地區進行調查，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，以更徹底了解梅山地區的新期構造活動與斷層活動性。

利用地球化學中稀有氣體的特性，可偵測地表下活動斷層的分佈。因為源於

地殼深處與近地表處的氣體組成截然不同，在斷層或破裂帶經過的地方，會形成氣體通道，使氡氣、氦氣、氫氣、二氧化碳與甲烷等揮發性氣體沿著此通道向上遷移逸散，而在近地表處顯示異常高濃度值。利用此原理可判斷該處是否有斷層抑或破裂帶通過，也可用來判定斷層的走向和位置（如 Baubron *et al.,* 2002; Etiope and Lombardi, 1995; Etiope and Martinelli, 2002; Fu *et al.,* 2008; 2009; Walia *et al.,* 2005）明顯關連；這些"敏感"的測站通常沿著活斷層，特別是在二條斷層的交會或彎曲的地方，或一些構造上處於應變(strain)集中之處。

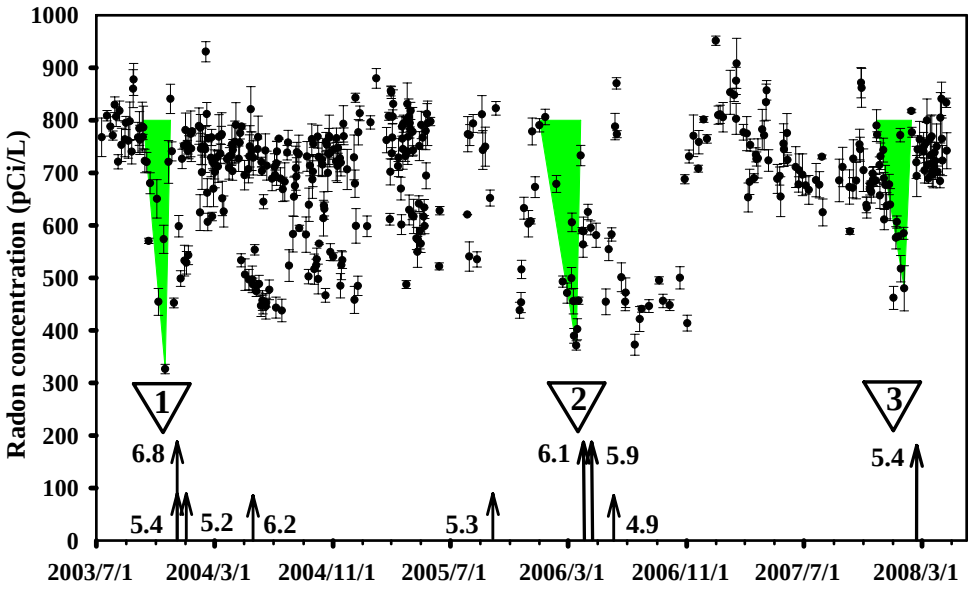


圖 2-1 台灣東部安通溫泉吉祥水氡濃度監測站 2003 年至 2008 年之水氡濃度監測。

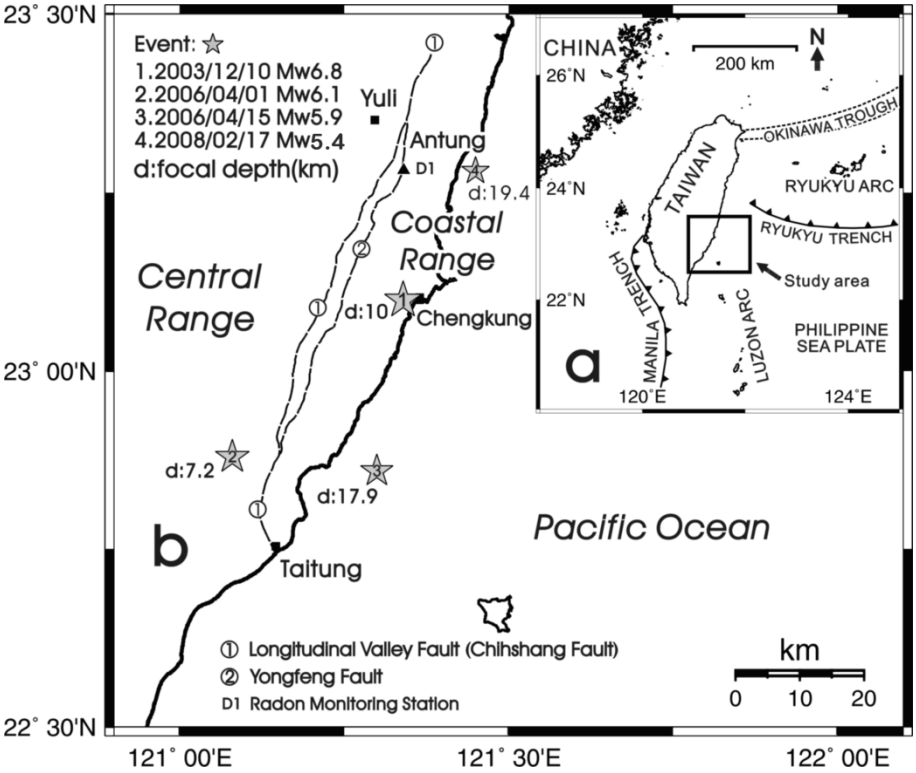


圖 2-2 圖中為安通溫泉區附近 2003 年 12 月 10 日、2006 年 4 月 1 日、2006 年 4 月 15 日及 2008 年 2 月 17 日發生地震矩規模 M_W 6.8、M_W 6.1、M_W 5.9 及 M_W 5.4 震央位置。

2.2 觀測站分布位置

本計畫觀測六座既有的氣體觀測站（大平地、古坑、中崙、屏科大、池上及美崙），古坑站將於今年遷移至合適地點。另外，本計畫亦觀察九口地下水觀測井的水壓變化，包括新竹縣雙溪、嘉義縣沄水以及其他七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，以及嘉義縣太興與達邦。此外，在台灣東部安通溫泉區與南部墾丁社頂地區進行地下水水氡及溶解氣體的監測。各測站之位置如圖 2-3 與表 2-1。

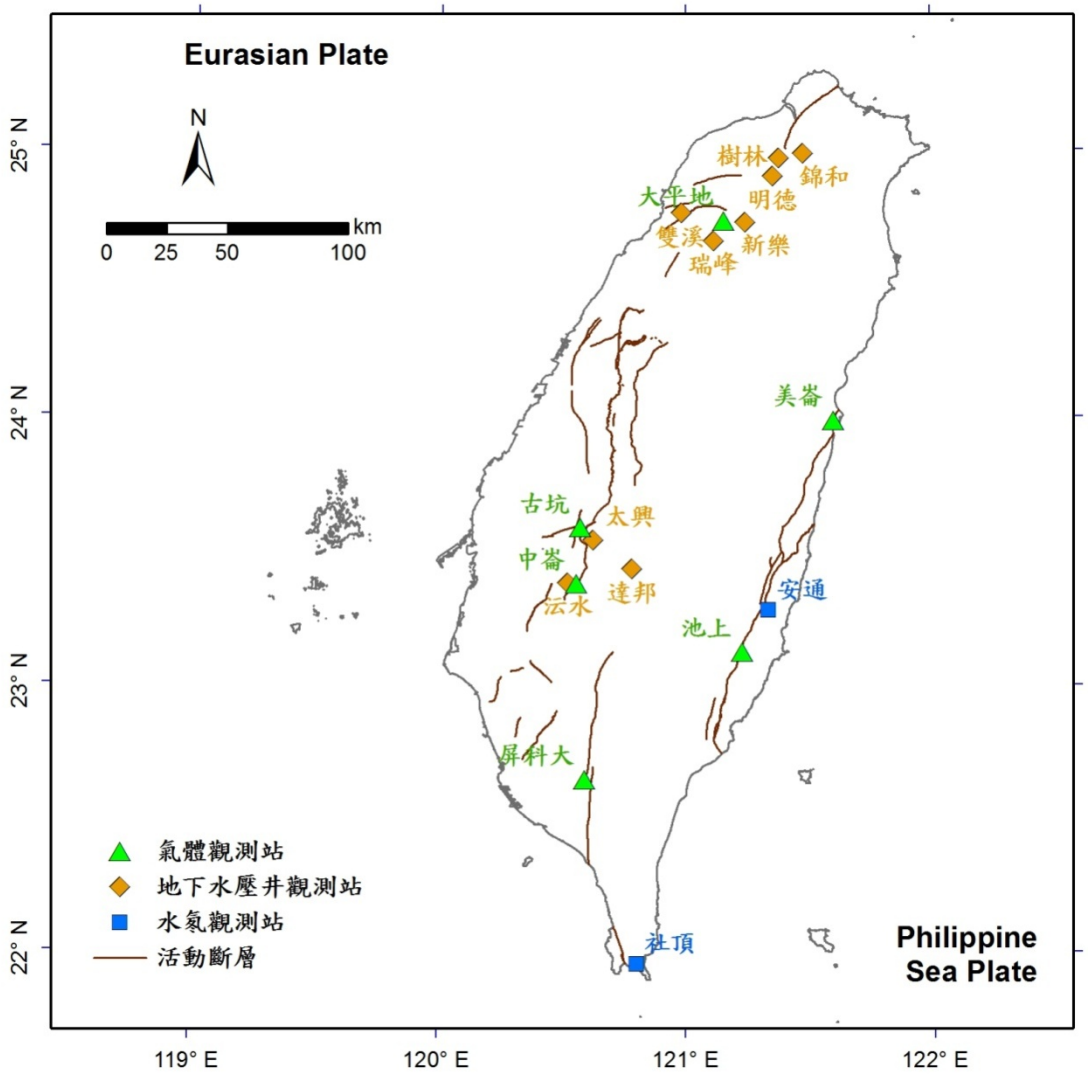


圖 2-3 既有觀測站的分布位置。

表 2-1 既有觀測站的座標。座標系統為 TWD67。

	二度分帶(E)	二度分帶(N)
氣體觀測站		
新竹大平地站(TPT)	265637	2736929
雲林古坑站(GK)	206325	2609740
嘉義中崙濁水潭站(CL)	204643	2586520
屏東屏科大站(PT)	209017	2505203
花蓮美崙站(ML)	311240	2654267
台東池上站(CS)	273485	2558221
地下水壓觀測站		
台北明德站(MD)	286119	2755420
台北錦和站(JH)	298573	2764916
台北樹林站(SLN)	288631	2762888
新竹新樂站(SL)	274564	2736304
新竹雙溪站(SS)	248170	2740081
新竹瑞峰站(RF)	261523	2728572
嘉義太興(TS)	211814	2604620
嘉義達邦(DB)	227706	2592582
嘉義沄水水位站(YS)	200697	2586171
水氡觀測站		
玉里安通水氡站(AT)	284243	2575601
墾丁社頂水氡站(SD)	229668	2428983

2.3 文獻探討

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

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

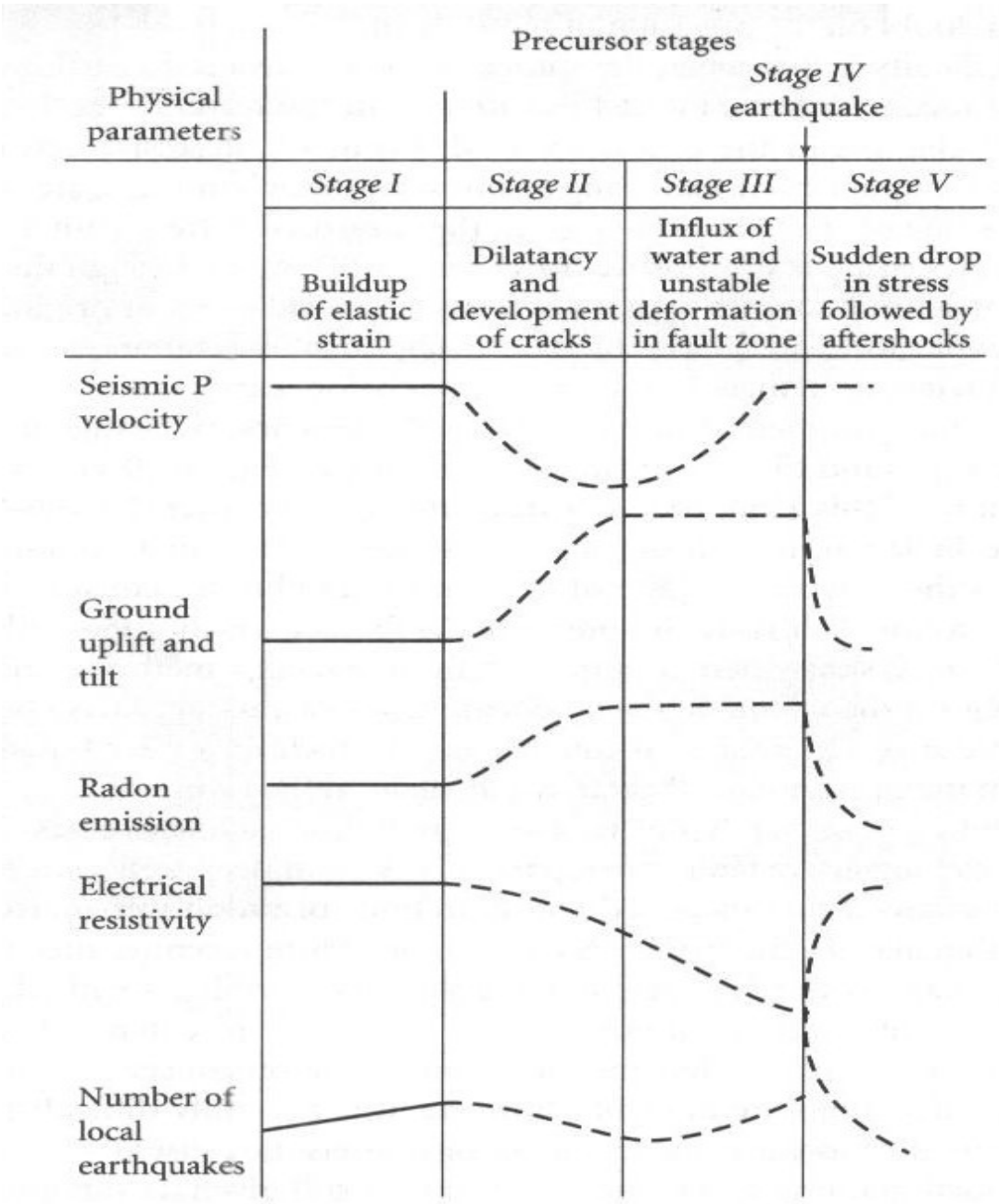


圖 2-4 體積膨脹模式（Scholz *et al.*, 1973）。

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; Igaraghi et al., 1993, 1995; Liu et al., 1985; Noguchi and Wakita, 1977; Roeloffs, 1999; Silver and Wakita, 1996; Teng et al., 1980; Wakita et al., 1980, 1991），地殼中所含天然放射性物質(鈾)在衰變過程中會產生放射性核種 Rn-222，氡氣溶解進入地下水。地下水水氡濃度異常變化監測可用來做為地震前兆預測方法。長時間監測地下水氡濃度監測，可由地下水氡及其他溶解氣體變化來判斷地殼是否有異常活動產生，預警災害性地震來臨的前兆。

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

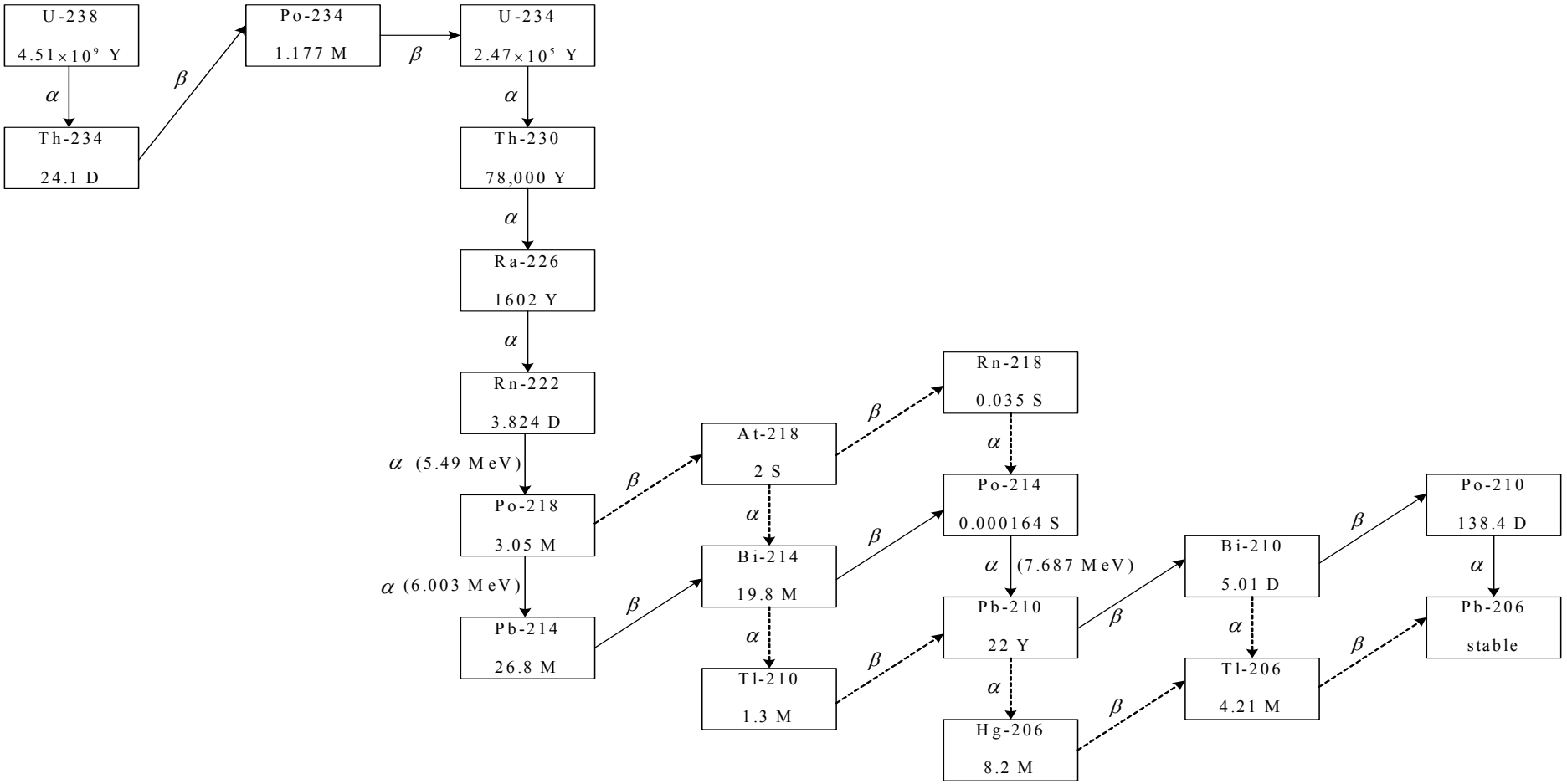


圖 2-5 Rn-222 自 U-238 的衰變鏈（實線指 Rn-222 衰變至 Pb-210 主要途徑）。

氡濃度的異常變化和地震前兆關聯性研究，1970 年至 1980 年代，美國、前蘇聯、中國大陸、日本及冰島等國家，已開始有國家型的研究計劃在進行觀測及研究。而台灣最早是由中央研究院執行相關試驗（Liu et al., 1984），中央研究院在 1980 至 1984 年期間以每週定期採水樣方式監測，發現水氡濃度有異常現象後，改以現地連續監測方法進行溫泉水分離氣氡監測試驗（Liu et al., 1985）。2006 年國立成功大學郭明錦等人研究（Kuo et al., 2006a; 2006b; 2009；2010a；2010b；2010c；2011）也指出，可由地下水水氡濃度數據變化來判斷地殼是否有異常活動產生，作為地震來臨時前兆的一個判斷依據。

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氡異常變化之前兆現象為上升，極少數研究指出地下水水氡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氡含量異常下降現象。可惜的是，1978 年所觀測到的地下水水氡濃度異常下降現象，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氡濃度異常下降。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氡在氣相液相的相行為關係來解釋探討。安通溫泉區地質構造是由脆性的安山岩及砂岩所組成，外部包圍佔優勢的八里灣層泥岩。以 Brace et al.（1966）的試驗及觀測岩石膨脹現象為基礎，及安通溫泉區所表現出來的強烈易碎地層岩性，假設：「在地震前岩體處於擴張狀態，岩體產生破碎微裂隙或孔隙。微裂隙產生新孔隙的速度快於地下流體補注的速度，進一步產生氣體飽和度（gas saturation），水相的氡氣釋放至氣相」（Kuo et al., 2006a）。氡分配到氣相的行為可用來解釋在2003年成功地震來臨前，地下水中氡濃度異常下降的現象。其研究為支持此假設，並且進行了氡於氣液兩相分配試驗，將試驗環境模擬在地下水溫度60℃時的環境情況下，以安通吉祥溫泉監測站溫泉井水樣做氣體飽和度分配比試驗（圖2-6）。

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

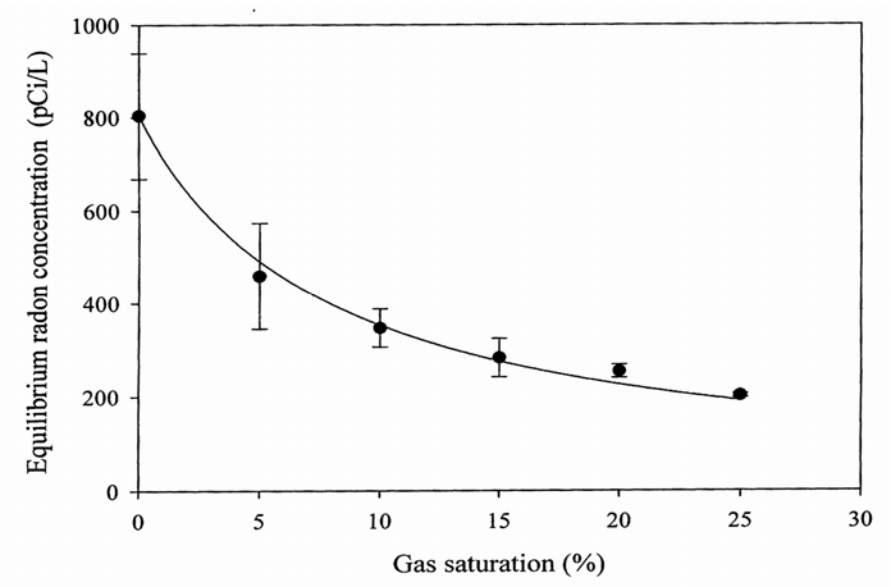


圖 2-6 在 60℃時不同比例氣體飽和度及安通溫泉吉祥站地下水水氡濃度變化圖（Kuo *et al.*, 2006a）。

2.4 土壤氣體觀測站主要使用儀器

2.4.1 四極桿質譜儀

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

2.4.2 氡氣偵測儀

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

2.4.3 地震儀

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

$$\varepsilon = \frac{10^{(1.2M_L - 0.19)}}{R^3}$$

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

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

參、研究區域地質背景

3.1 古坑氣體觀測站替代點探勘

古坑站地基因雨導致測站傾斜不利於後續的土壤氣體連續觀測，加上嘉南區域有可能發生災害性地震，故有繼續設置土壤氣體連續觀測站觀測氣體之必要性，以其於地震來前能先得知相關地底下氣體異常之訊息。經過評估之後，去年底（2010）於期末報告中提出古坑站遷站的計畫。本研究規畫今年在梅山斷層或是九芎坑斷層進行土壤氣的採樣調查，但由於九芎坑斷層於前年度為因應梅山觀測站遷站到古坑時才進行過區域性地調查，當時發現可以作為觀測站的合適地點不多，因此這次古坑站遷站的區域選擇在梅山斷層附近地區。

梅山地震是臺灣最早有正式地質調查紀錄的災害地震。地震發生於 1906 年 3 月 17 日，規模 7.1，震央位於嘉義縣梅山鄉，震源深度 6 公里。當時造成嚴重的災情。梅山地震造成最明顯的地變為梅山斷層，為右移斷層，主斷層以北偏東 75 度方向，由梅山西北側向西南延伸經三美莊、開元后，至山子腳（今中正大學）南方與東西走向之陳厝寮斷層相接，再延伸至民雄附近後消失。民雄和新港之間，地表並沒有明顯的錯動現象，僅有大量的噴砂、噴水現象，推測此斷層在西側可能潛伏在地下。地表錯動長度為 13 公里，最大水平位移為 2.4 公尺，最大垂直位移為 1.8 公尺（Omori, 1907a, b）。梅山斷層在開元后以東，斷層之北側為升側，在開元后以西至民雄之間，斷層升側轉為南側。梅山斷層之地表破裂，向東到達梅山東北方即停止，此因東方有南北向之九芎坑逆衝斷層加以阻擋，終止斷層向東延伸。

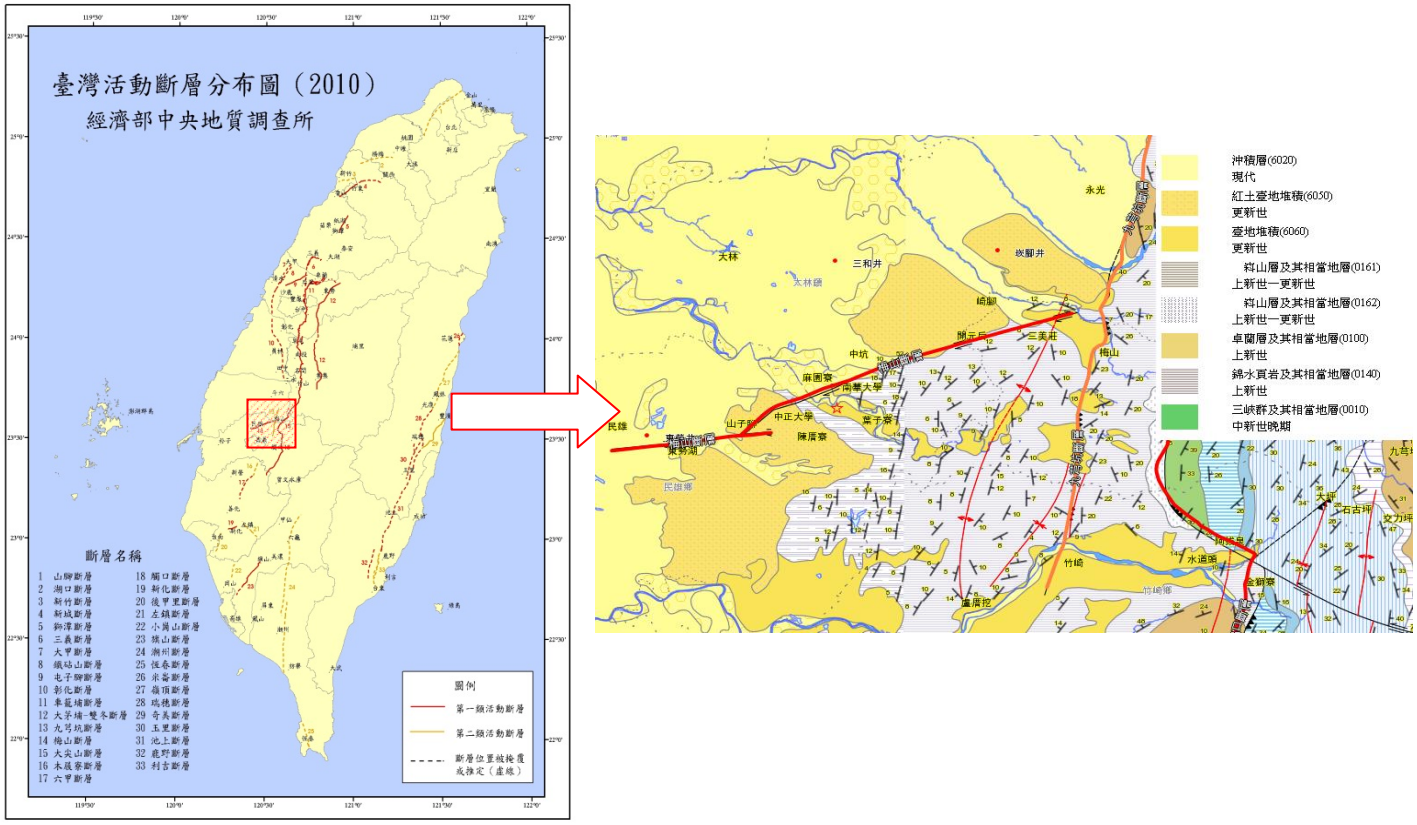


圖 3-1 嘉義梅山斷層位置及其區域地質圖（林啟文等，2008）

。

3.2 地下水壓觀測站基本資料

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

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）。

嘉義縣中埔鄉沄水國小地表為礫石層，6-100 公尺深度為沄水溪層，岩性為泥質細砂岩夾薄層頁岩（楊燦堯等，2006）。梅山鄉太興國小觀測井為桂竹林層大窩砂岩，淺於 125 公尺深度以細粒砂岩為主，極破碎；以下則以灰色細粒砂岩間夾灰黑色紋層泥，或灰黑色頁岩與灰色砂岩的薄互層為主（經濟部中央地質調查所，2006a）。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
沄水	嘉義縣中埔鄉沄水國小	175 m	100 m	孔口下 20 m
太興	嘉義縣梅山鄉太興國小	790 m	165 m	孔口下 165 m
達邦	嘉義縣阿里山鄉達邦國小	952.8 m	150 m	孔口下 150 m

3.3 水氡觀測站之區域地質背景

3.3.1 池上斷層

本研究之研究地點選擇東台灣花蓮縣玉里鎮安通地區為研究區域，安通站位於池上斷層東南方約三公里處（圖 3-2），池上斷層屬於花東縱谷斷層帶之一部分，屬於活斷層。花東縱谷斷層為現今歐亞板塊及菲律賓海板塊之交界處，因此地震頻繁，選擇此區域為本研究研究區域，將能較有效率監測到氡濃度異常變化和地殼活動之關聯性，並加以探討其氡濃度異常變化機制（Kuo et al., 2006a; 2006b; 2009；2010a；2010b；2010c；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; Yu et al., 1990, Yu and Kuo, 2001; Lee et al., 2003）。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。

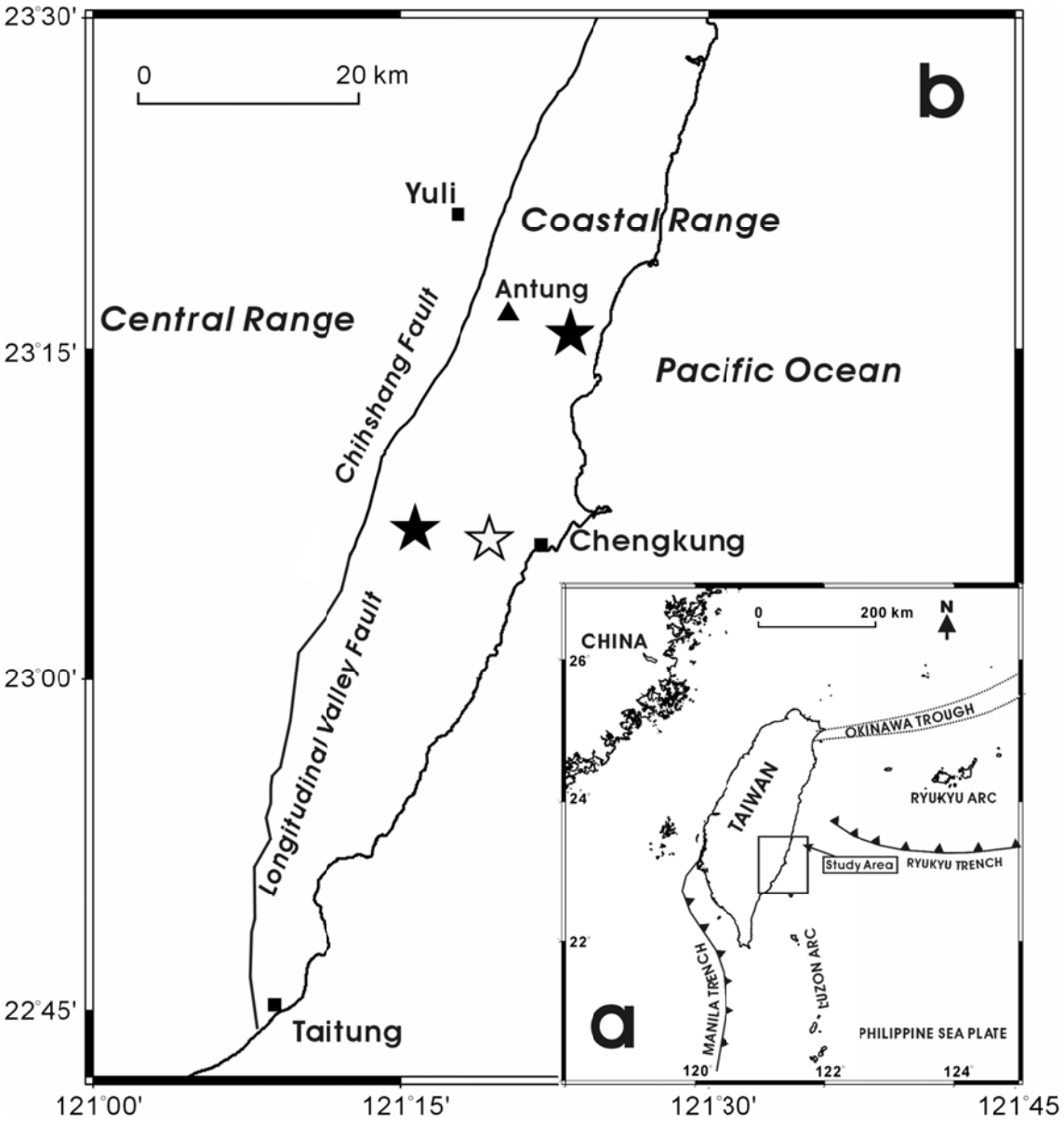


圖 3-2 安通地下水水氡及溶解氣體監測站位置圖（空心星號：為 2003 年主震；實心星號: 為 1951 年主震；實心三角形: 為安通站）。

3.3.2 玉里地區地質背景

1951 年 11 月 25 日花東縱谷玉里附近發生兩次強震：分別為凌晨兩點四十七分規模 M 6.1 及兩點五十分規模 M 7.3，時間相隔約三分鐘，因為為清晨時段，所以造成重大傷害。凌晨兩點四十七分地震震央位於池上東方（23.100 N，121.225 E）；凌晨兩點五十分地震震央位於玉里附近（23.275 N，121.350 E）。地震斷層線北由光復鄉大富村東方的海岸山脈起，沿海岸山脈山腳沿線往南南西延伸，通過玉里鎮玉里國民學校至池上鄉慶豐村、錦園村止，綿延長達 66 公里（游明聖，1996；中央氣象局），見圖 3-2。造成 17 人死亡，326 人受傷，1,016 間房屋全倒、582 間受損的災害。 2003 年 12 月 10 日早晨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、楊昭男、陳文山，1992）描述（見圖 3-3 及 3-4，3-5 為圖例）：

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

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

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

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

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

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

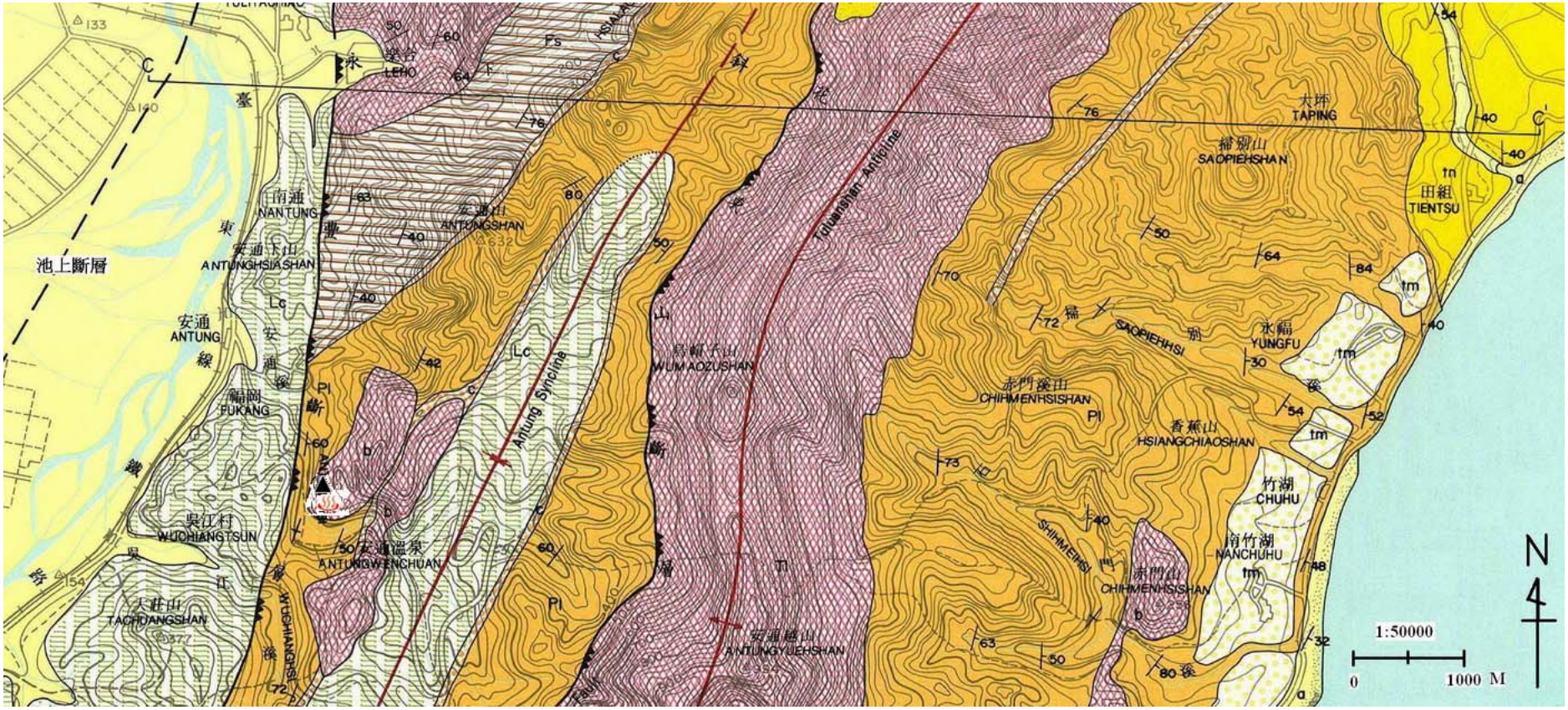


圖 3-3 玉里安通鄰近地質圖，修改自台灣地質圖說明書圖幅第四十八號，玉里圖幅（中央地質調查所，1992）。

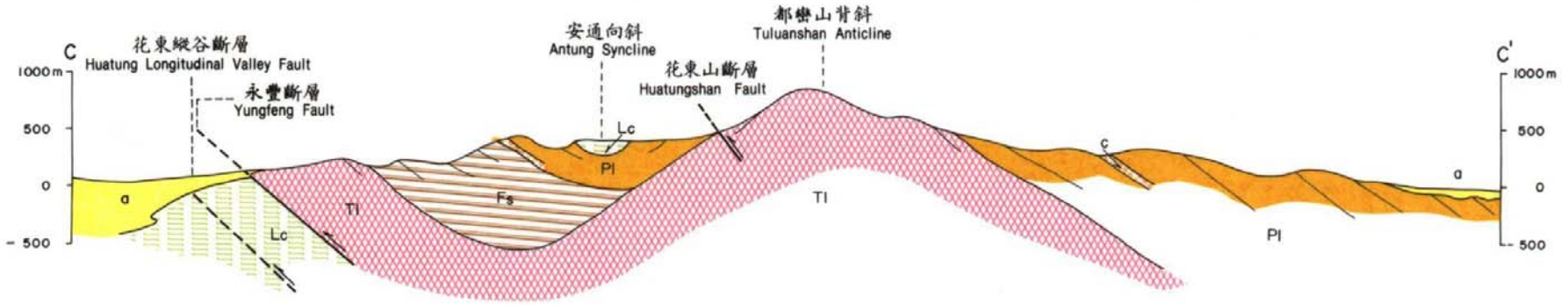


圖 3-4 玉里安通鄰近地質圖 CC'剖面圖（中央地質調查所，1992）。

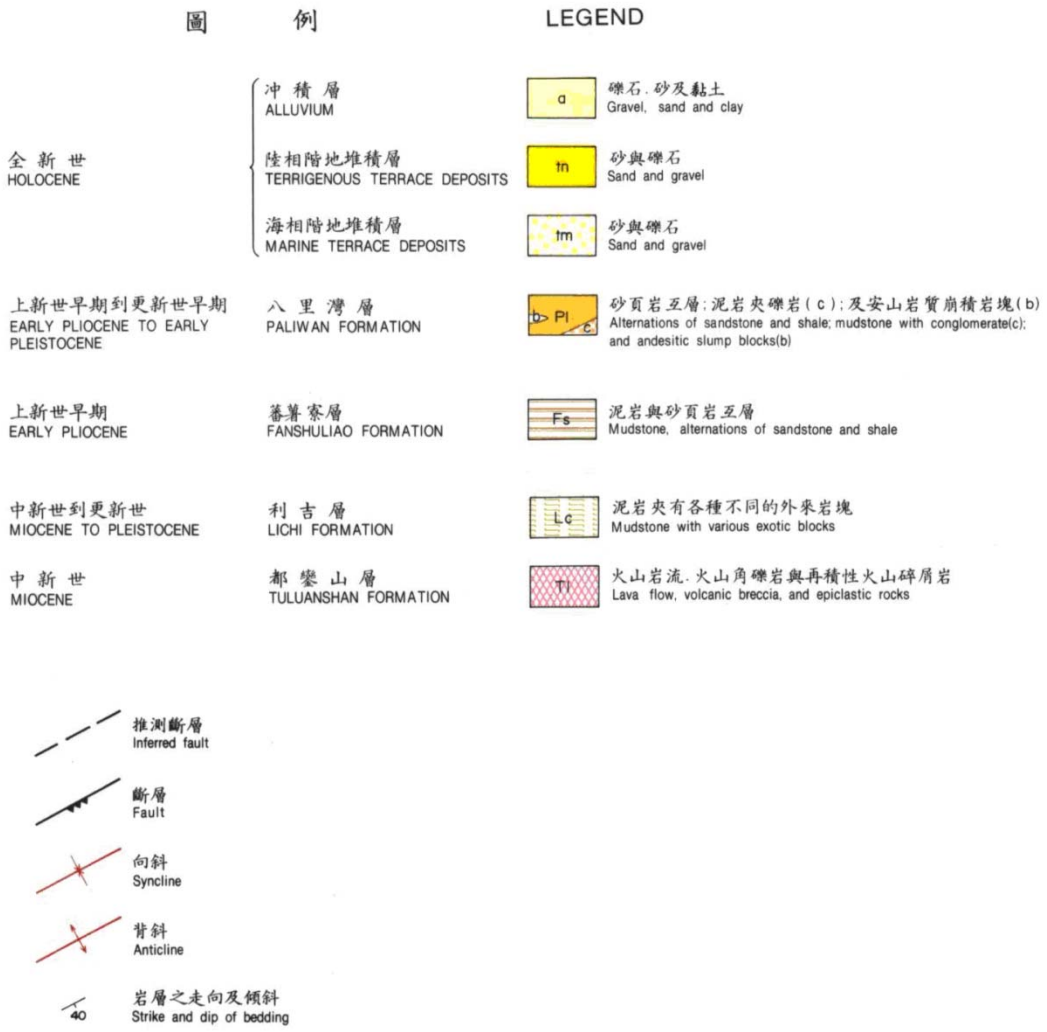


圖 3-5 玉里安通鄰近地質圖圖例（中央地質調查所，1992）。

3.3.3 安通溫泉地質背景

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

3.3.4 安通溫泉區溫泉開發

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

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

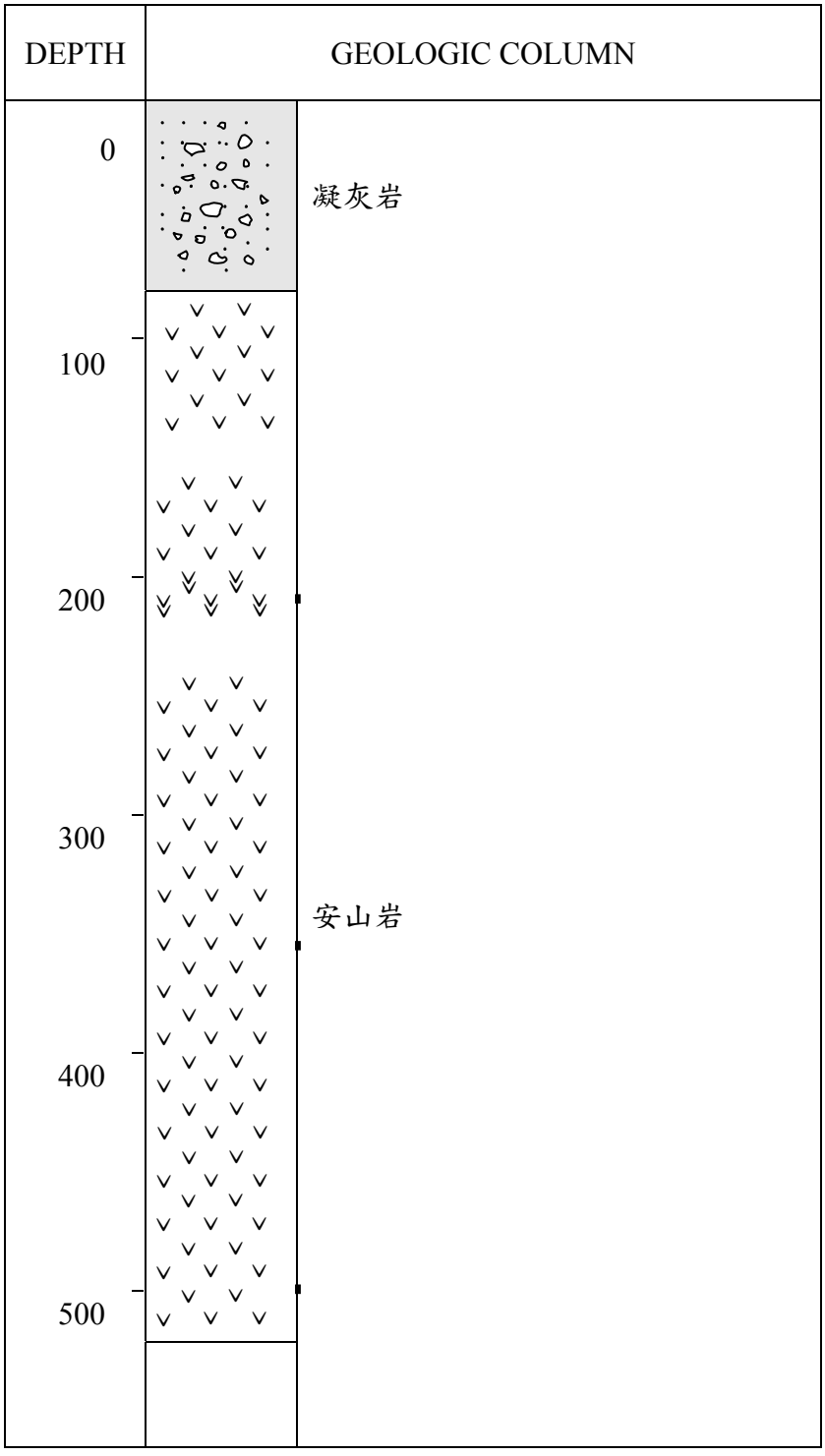


圖 3-6 安通溫泉飯店地下水水氡及溶解氣體監測井(工研院 500 米探勘井) 地質柱狀圖（修改自劉康克等人，1986，圖 17)。

表 3-2 安通溫泉區溫泉旅館溫泉井井位

井號	井深 m	水溫 ℃	N	E
安通溫泉飯店地下水水氡及溶解氣體監測井(中研院)	500	63	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 3-7 安通溫泉區 4 家溫泉旅館所擁有之溫泉井相對位置圖（由 Google Earth 修改）。

表 3-3 安通溫泉區 4 家溫泉旅館溫泉井水質分析（濃度 ppm）

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

ND：低於方法偵測極限

IC 法：本測試是以離子層析儀(IC)檢測之。

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

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

3.3.5 恆春斷層

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

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

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

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

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

3.3.6 墾丁社頂地區地質背景

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

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

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

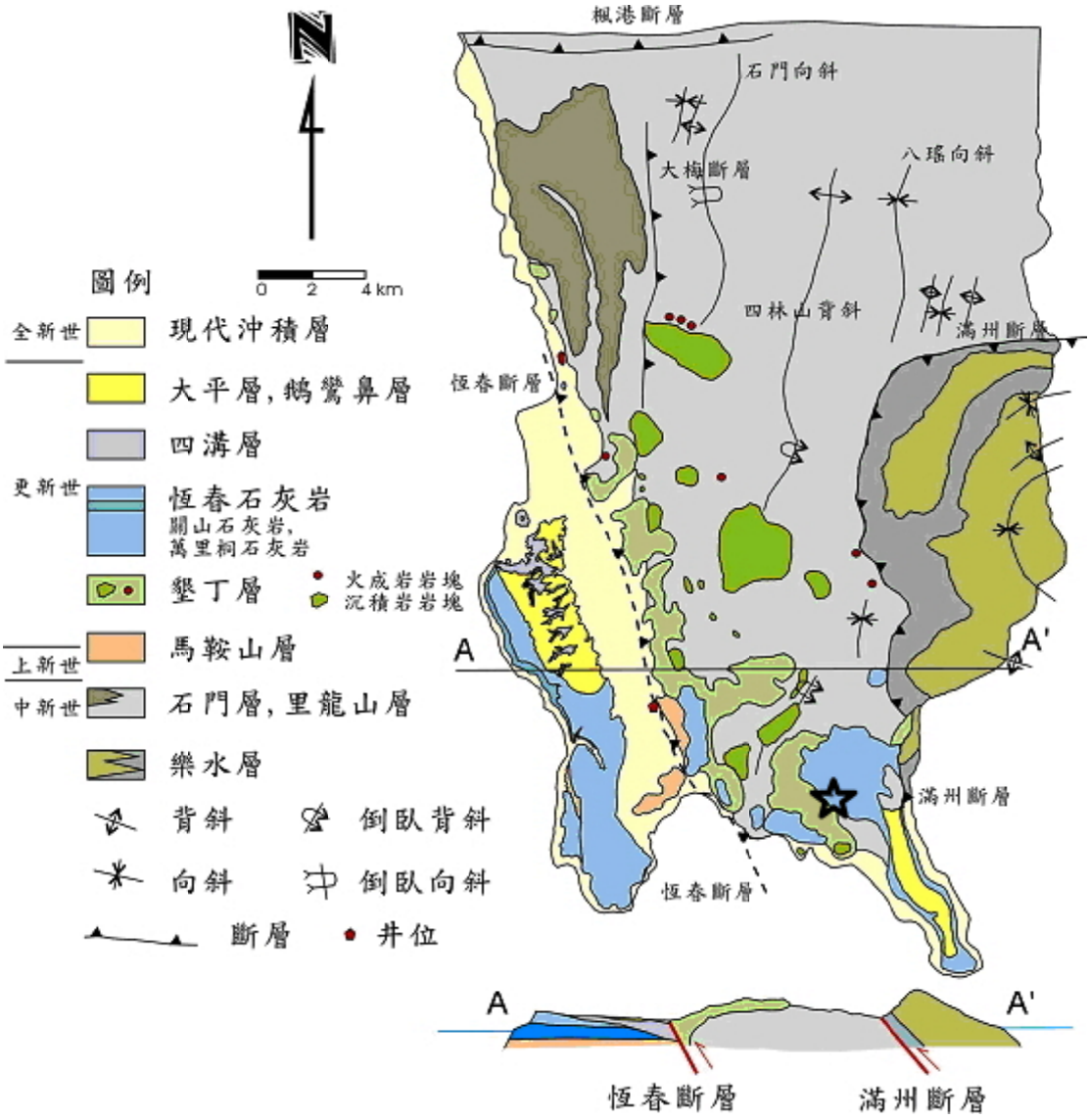


圖 3-8 恆春半島地質圖，圖中星號為墾丁社頂地區水中氡濃度觀測點（修改自陳文山等，1985）。

3.3.7 恆春半島區域歷史地震背景

恆春地區曾於 1959 年期間發生地震規模 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 3-9 為 2006 年之恆春地震地震報告（中央氣象局）。

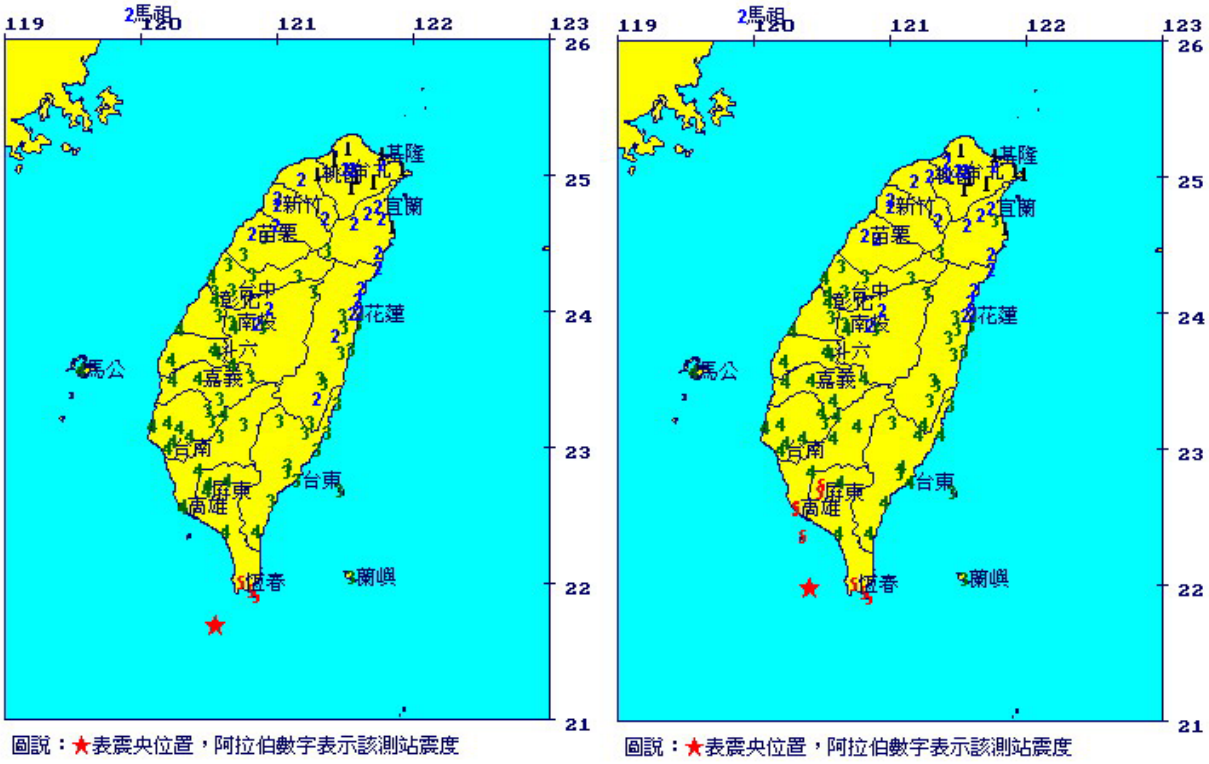


圖 3-9 2006/12/26 恆春地震地震報告（中央氣象局）。

肆、氣體觀測站觀測結果

4.1 觀測站相關地震選擇依據

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：

$D = 10^{0.43M_L}$ 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。

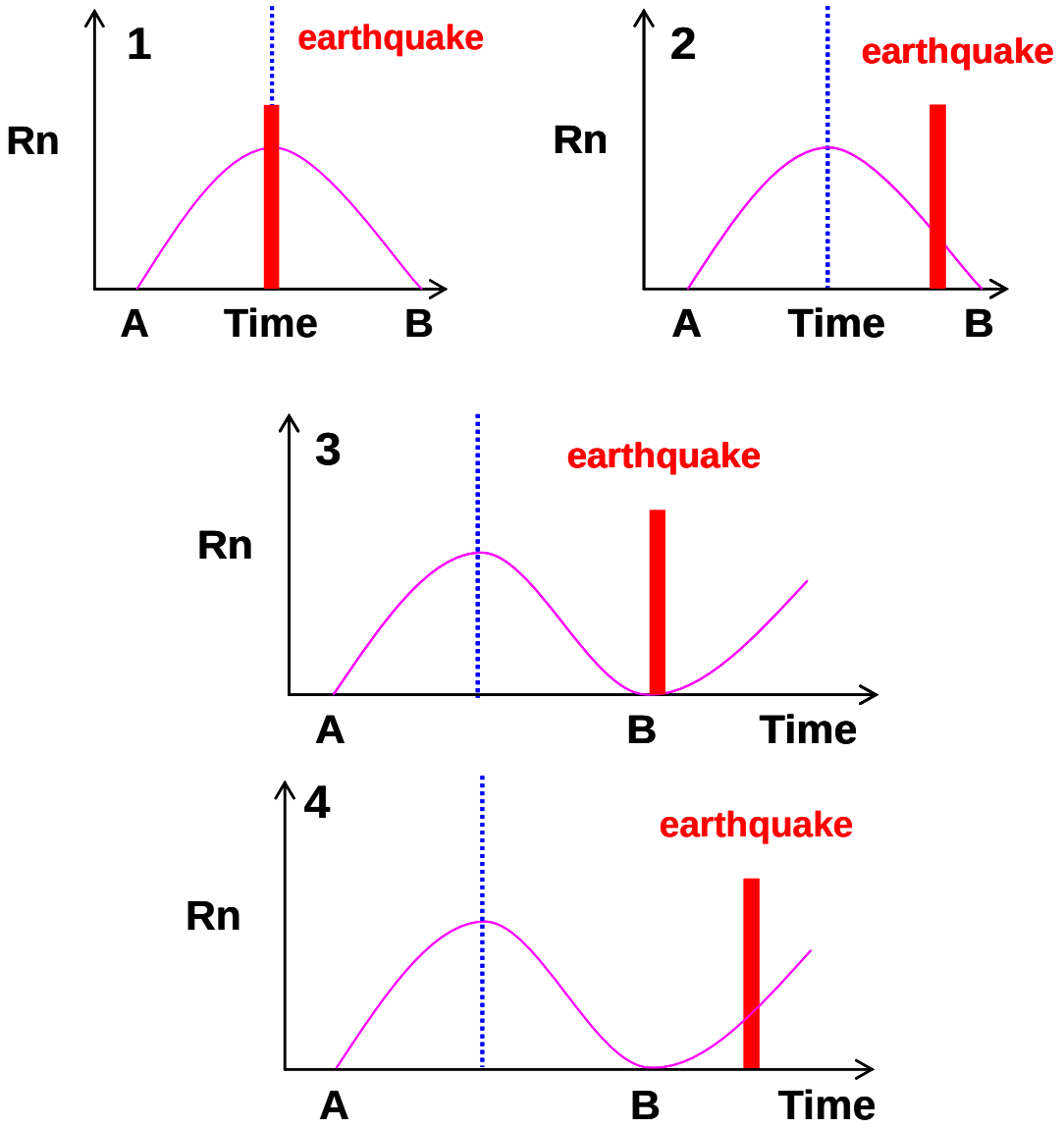


圖 4-1 氣體異常與地震發生的時間關係圖。A 至 B 代表一個完整氣體異常變化區間；垂直虛線為異常出現最高值的時間。(1)地震發生在氣體異常高點；(2) 地震發生在氣體異常高點下降途中；(3) 地震發生在氣體異常高點後之最低點；(4)地震發生在氣體異常高點後之最低點後升高途中。(Fu et al., 2009)

4.2 新竹大平地土壤氣體觀測站

圖 4-2 至圖 4-13 為新竹大平地觀測站 2010 年 12 月至 2011 年 11 月的連續觀測結果。圖 4-2 為 2010 年 12 月至 2011 年 11 月的總圖表。圖 4-3 至圖 4-13 是分月圖表。其中設置於測站屋頂用來測量大氣因子的三項數據（壓力、溫度、溼度）在 2010 年 12 月 15 日至 2011 年 1 月 6 日由於電腦故障，導致資料無法紀錄儲存。在 5 月 30 日至 9 月 26 日長達 4 個月之間，氡氣濃度僅呈現日夜變化，大都在背景值範圍內。直到 9 月 26 日之後氡氣才再有明顯的異常變化。

各月圖示有關雨量資料是根據中央氣象局新竹氣象站的雨量資料而得，是屬於日雨量，日雨量是一日雨量的累積，對於測站氣體濃度的影響不若時雨量（一小時累積的雨量）來的明顯，因此為求能更精確解釋圖示部分氣體濃度降至空氣值的原因，本研究採用大平地測站附近氣象局所設置之橫山雨量站的時雨量資料來輔助觀察大平地測站雨量對氣體濃度變化的影響。（根據中央氣象局的定義，日雨量達 50mm 以上且有一小時時雨量達 15mm 以上即視為大雨）。但是由於橫山雨量站的時雨量資料取得需等待一段時間，本研究僅初步將 2010 年 12 月至 2011 年 5 月其新竹站日雨量資料及橫山站時雨量資料供參考。

圖 4-3 為 2010 年 12 月的連續觀測結果。由圖上可看出在 12 月 1 日至 12 月 4 日氡氣有明顯異常變化，這段氡氣異常變化區間可以視為 12 月 6 日於花蓮西林發生的地震(規模 5.2，深度 25.3㎞，D/R 1.4)的前兆反應時間。

圖 4-4 至圖 4-6 為 2011 年 1 月至 3 月的連續觀測結果。於 1 月 10 日起大平地地區連續下了一個星期的雨，雨水阻塞逸氣來源，造成氡氣濃度在 1 月 12 日至 1 月 23 日長達 11 天受到影響（圖上藍色斜線框所示）。同樣狀況亦發生在 3 月底及 5 月，連續多日的降雨會造成逸氣來源阻塞，氣體濃度會有多日受到影響。但是在降雨只有一兩日的狀況下，由於雨水降到土壤後有時間往兩旁宣洩因此並不會對逸氣來源造成干擾，這由 12 月 16 日、12 月 26 日、2 月 14 日、2 月 20 日、3 月 7 日、4 月 18 日、4 月 23 日、5 月 5 日等皆有降雨卻沒有對測站氣體濃度造成影響中看出。至於 7 月底至 8 月有四個綠色斜線框所示（影響時間在 1 日至 2 日）氣體濃度呈現空氣值狀態，這部份原因尚待釐清。

1 月 24 日至 1 月 31 日為一氡氣異常變化區間，相對應的地震則是 2 月 1 日發生於花蓮外海的地震(規模 5.5，震度 2 級，深度 17.6km，D/R 2.8)。3 月 4 日至 3 月 8 日為一氡氣異常變化區間，可視為是 3 月 10 日發生於新竹的地震(規模 3.1，深度 7.4km，D/R 2.5)的前兆反應時間。

圖 4-7 及圖 4-8 為 4 月及 5 月的連續觀測結果。4 月 12 日至 4 月 21 日為一氡氣異常變化區間，可視為是 4 月 16 日發生於宜蘭的地震(規模 3.9，深度 7.5km，D/R 0.7)的前兆反應時間。4 月 21 日至 4 月 30 日為一氡氣異常變化區間，可視

為是 4 月 30 日發生於宜蘭的地震(規模 5.8，深度 75km，震度 3，D/R 4.7)的前兆反應時間。另外 5 月 7 日發生於宜蘭外海的地震(規模 4.6，深度 7.4km，震度 2，D/R 1.2)，與 5 月 6 日至 5 月 7 日的氡氣異常區間有關。

圖 4-12 及圖 4-13 為 9 月至 11 月的連續觀測結果。9 月 26 日至 10 月 5 日為一氡氣異常變化區間，可視為是 10 月 5 日發生於新竹的地震(規模 3.7，深度 5.1km，震度 2，D/R 3.4)的前兆反應時間，但亦可能為 10 月 12 日發生於桃園的地震(規模 3.8，深度 8.5km，震度 3，D/R 2.7)的前兆反應時間。10 月 19 日至 10 月 31 日為一氡氣異常變化區間，可視為是 10 月 31 日發生於宜蘭的地震(規模 5，深度 97.5km，震度 1，D/R 1.7)的前兆反應時間

與大平地氡氣異常相關地震篩選原則為 $M_L \geqq 5$ 或 Int.≧2 或 D/R≧2 及震央距測站＜200㎞ 皆選入，參考中央氣象局網站三光地震站測得的大平地站全部背景地震有 53 起，經過以上原則篩選後的相關地震有 14 起，與測站氡氣異常相關的地震有 9 起。

表 4-1 為大平地觀測站經過篩選後的相關地震列表。

圖 4-14 為大平地觀測站經過篩選後的相關地震分布圖。白色圈圈為篩選後的地震，紅色圈圈為與測站氡氣異常有關的地震。由圖可看出與大平地測站相關的地震分布位置多集中在東部宜蘭以及花蓮外海等處。

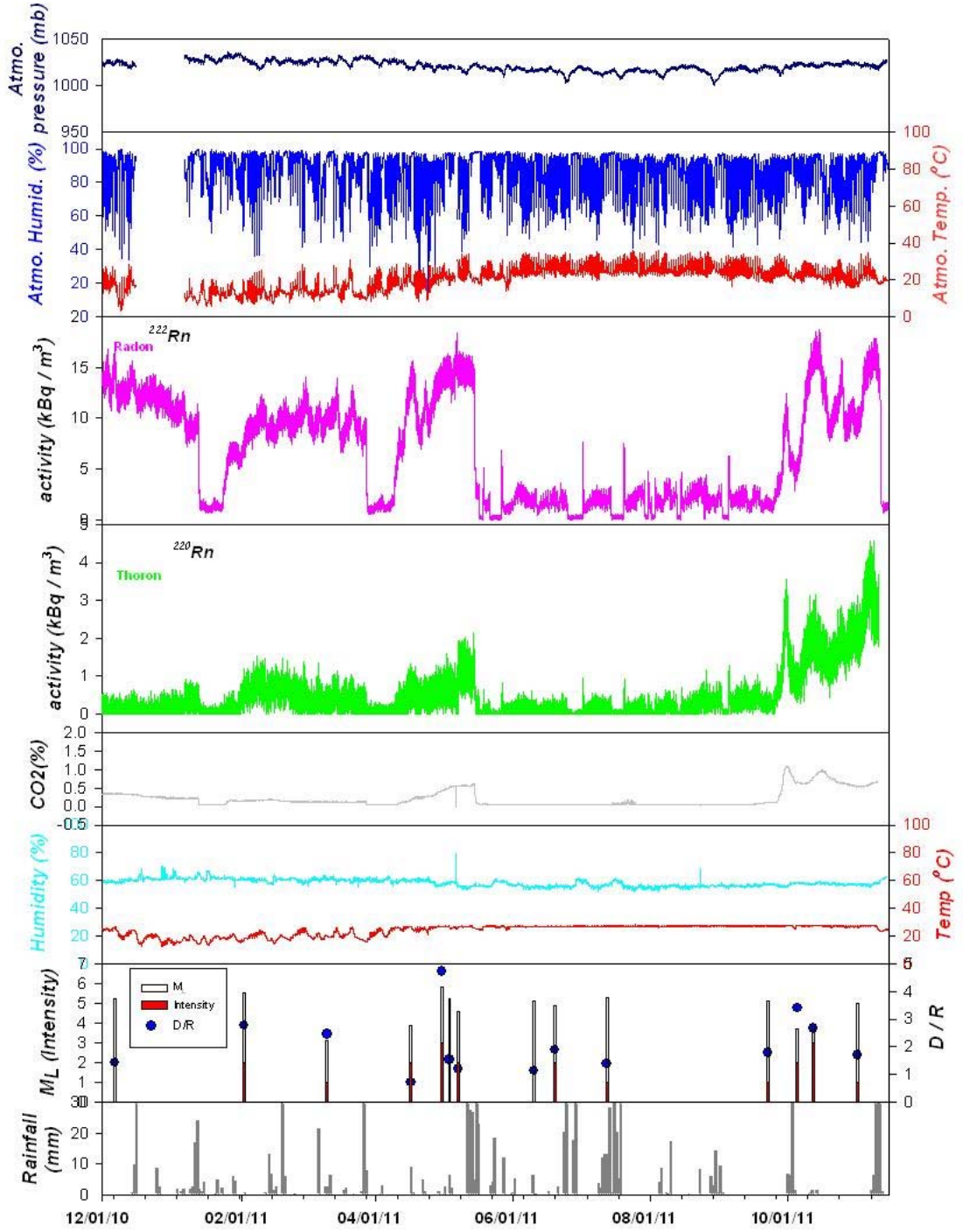


圖 4-2 新竹大平地（2010/12/01-2011/11/14）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

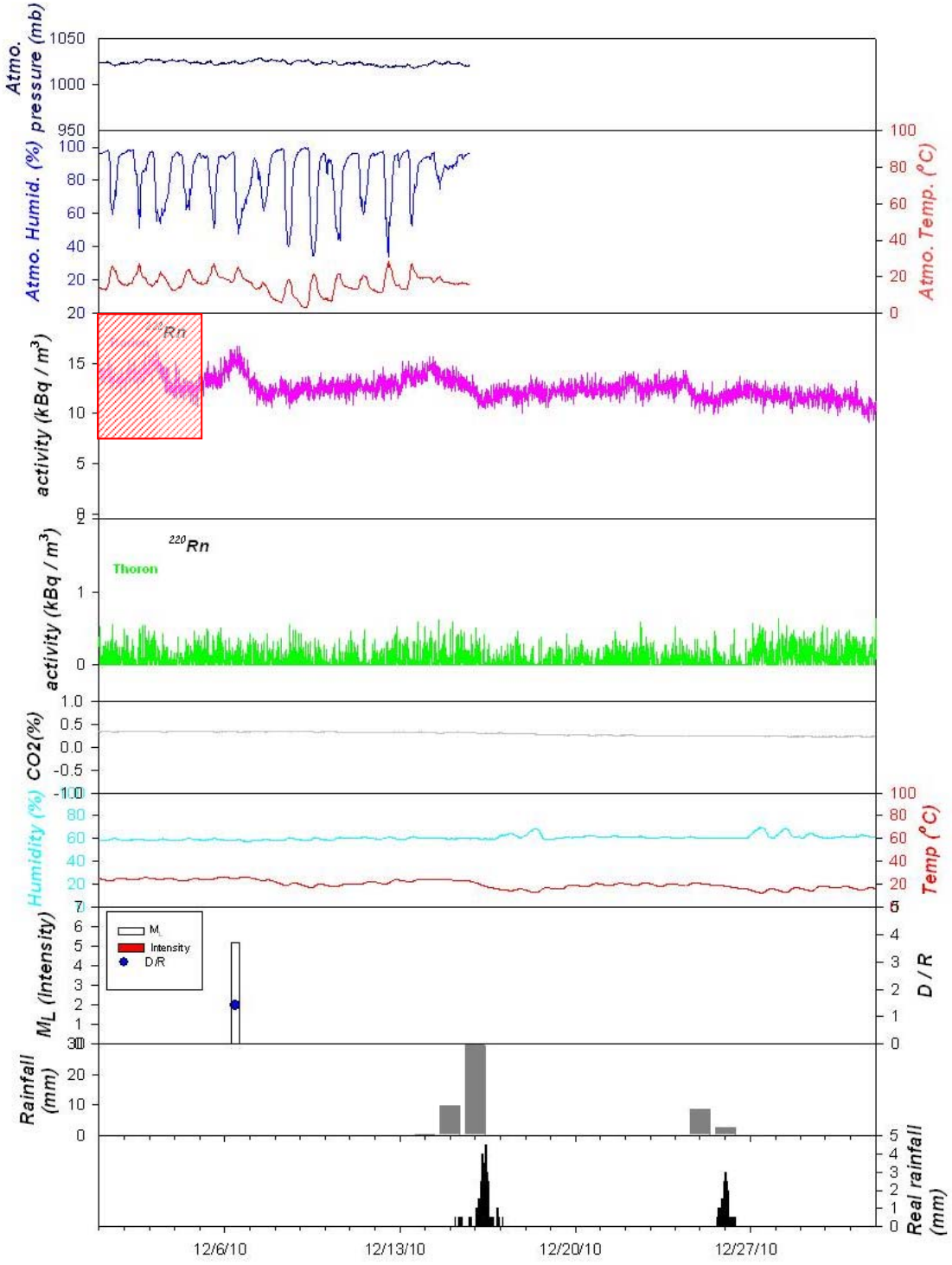
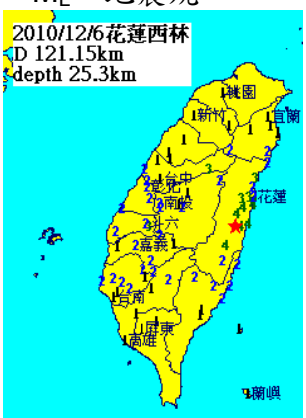


圖 4-3 新竹大平地（2010/12/01-2010/12/31）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間。



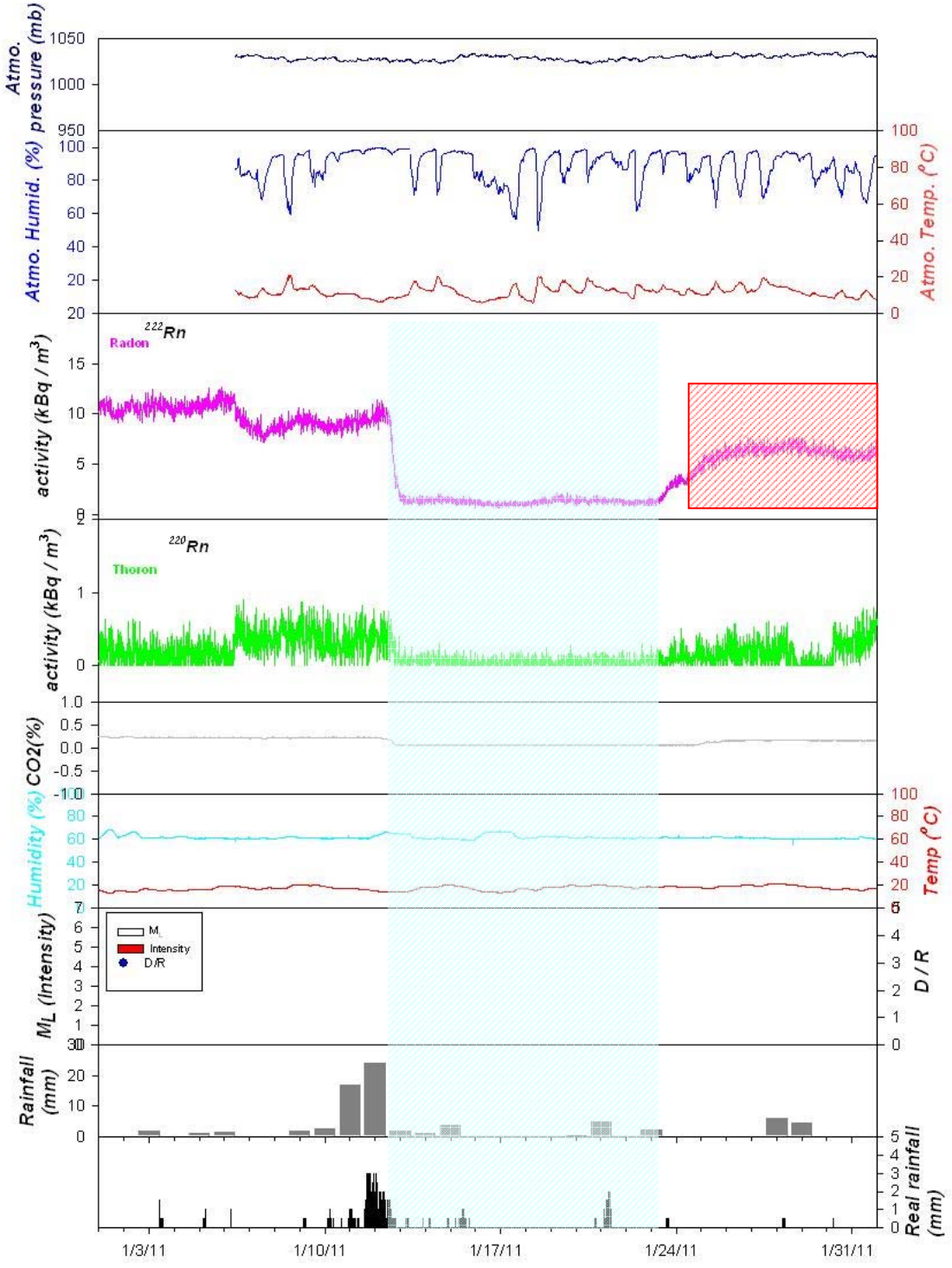


圖 4-4 新竹大平地（2011/01/01- 2011/01/31）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；藍色斜線框為受雨影響區間。

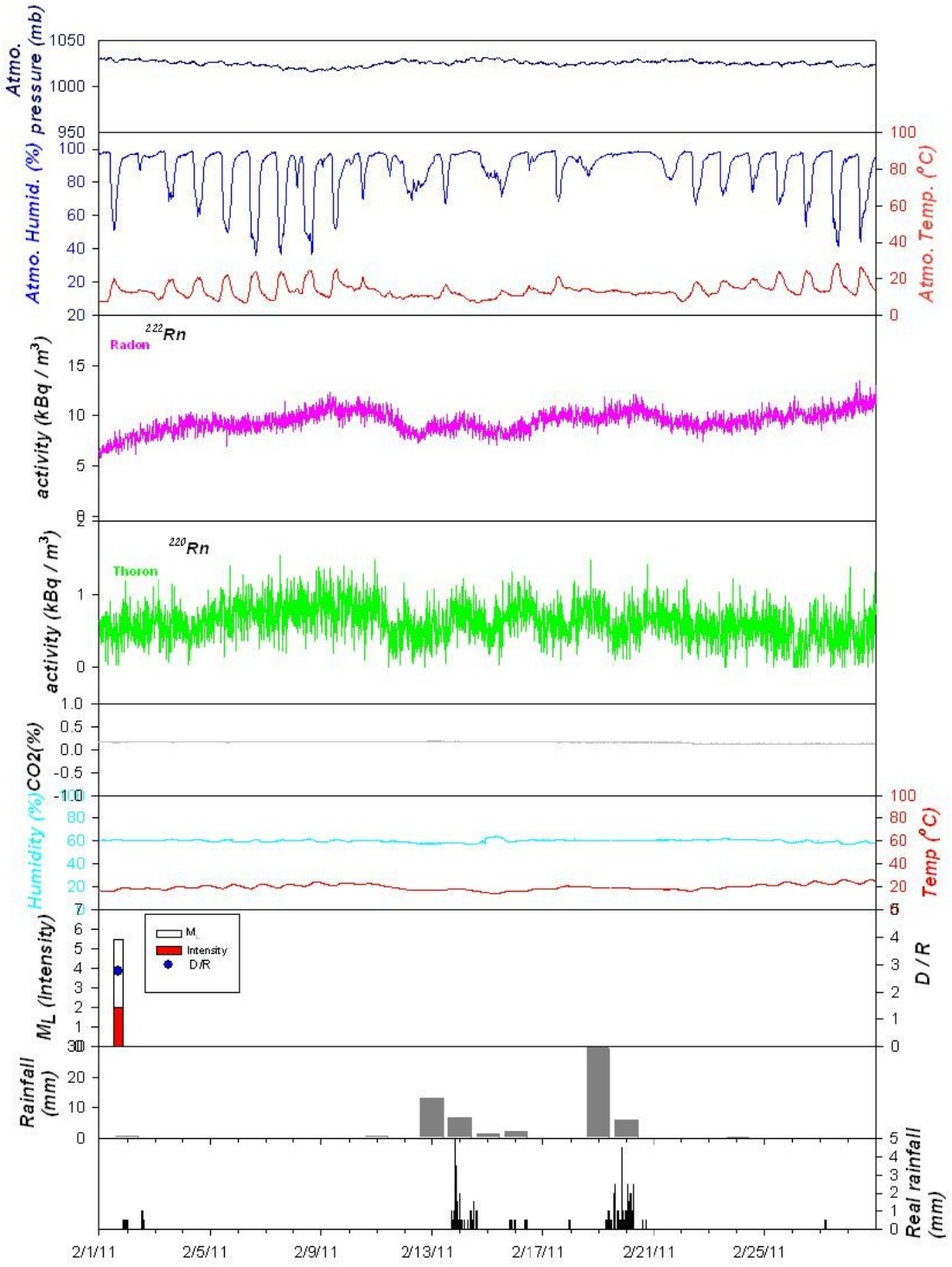
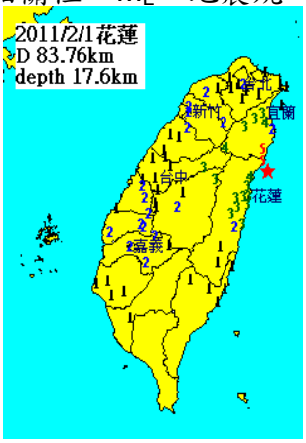
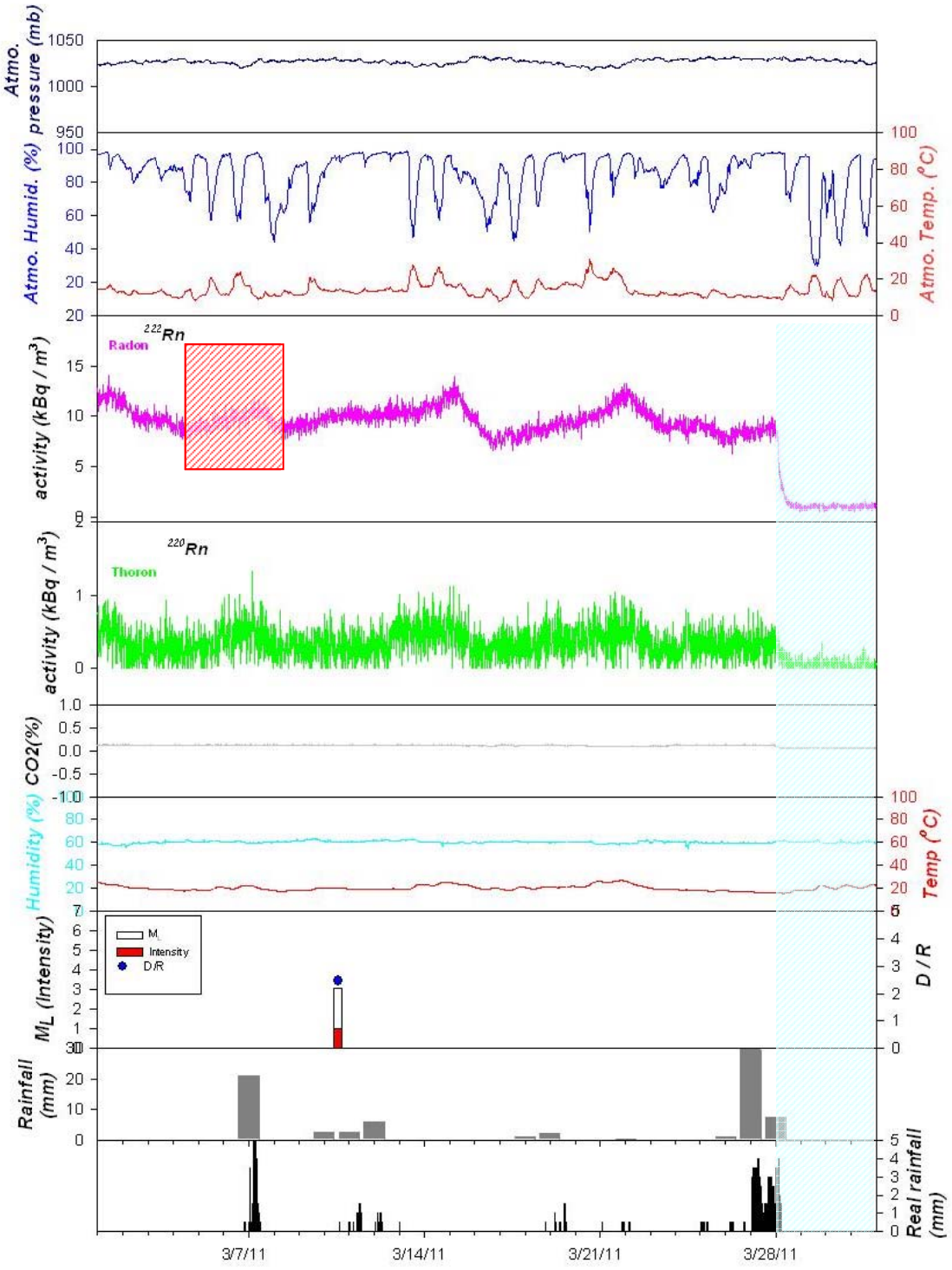


圖 4-5 新竹大平地（2011/02/01- 2011/02/28）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。





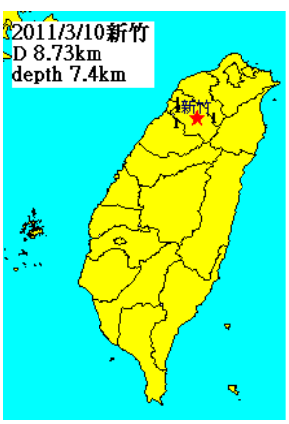


圖 4-6 新竹大平地（2011/03/01-2011/03/31）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；藍色斜線框為受雨影響區間。

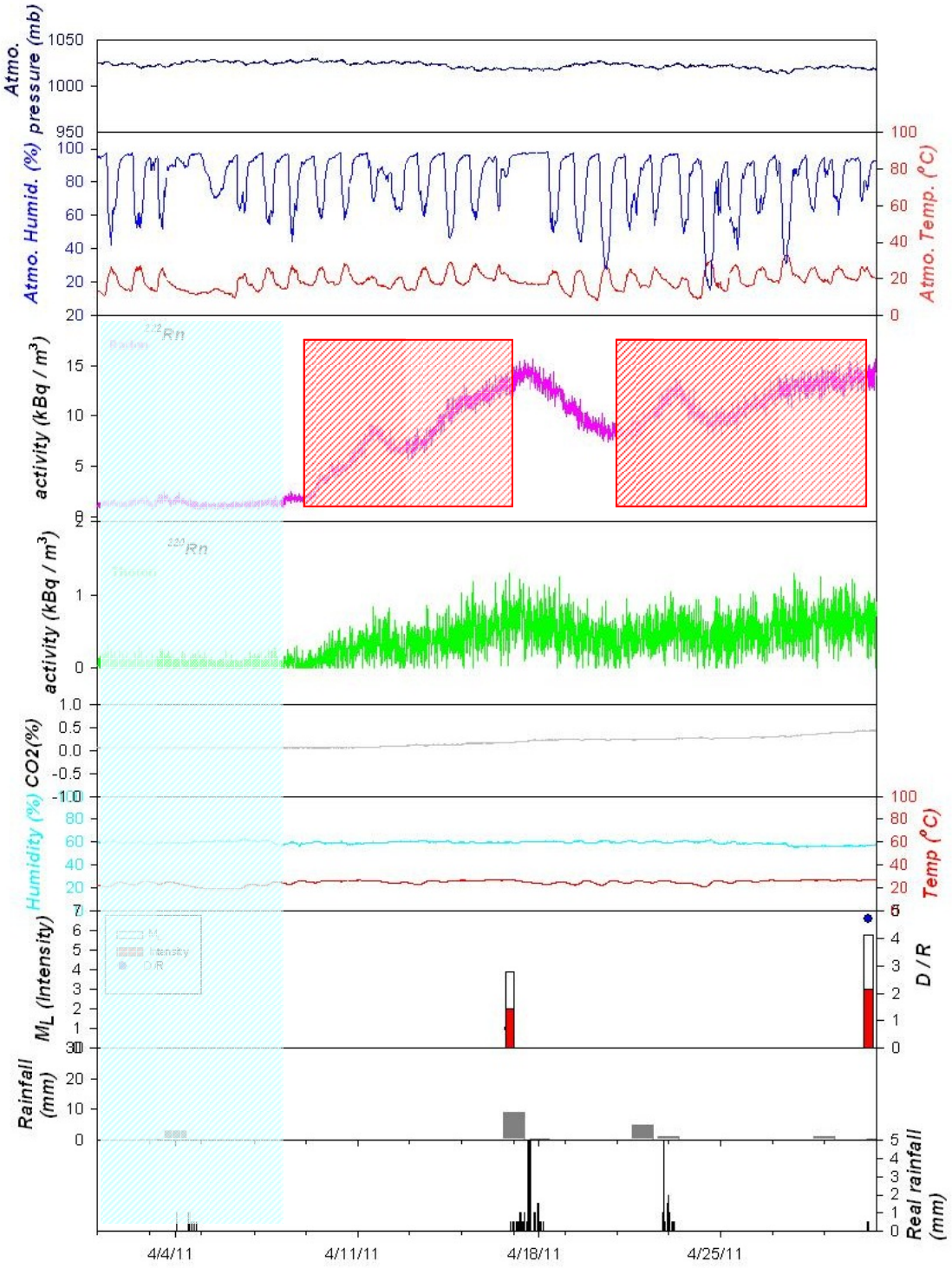
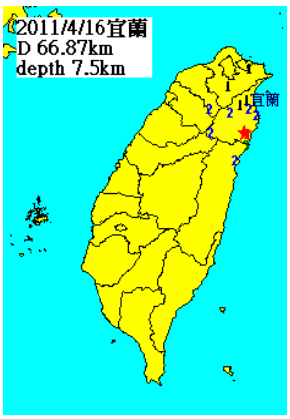
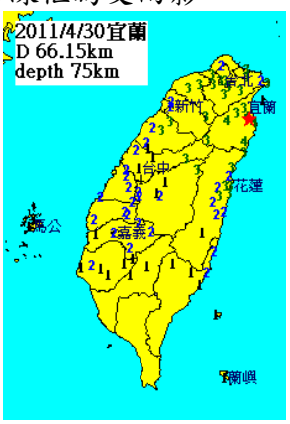


圖 4-7 新竹大平地（2011/04/01-2011/04/30）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；藍色斜線框為受雨影響區間。





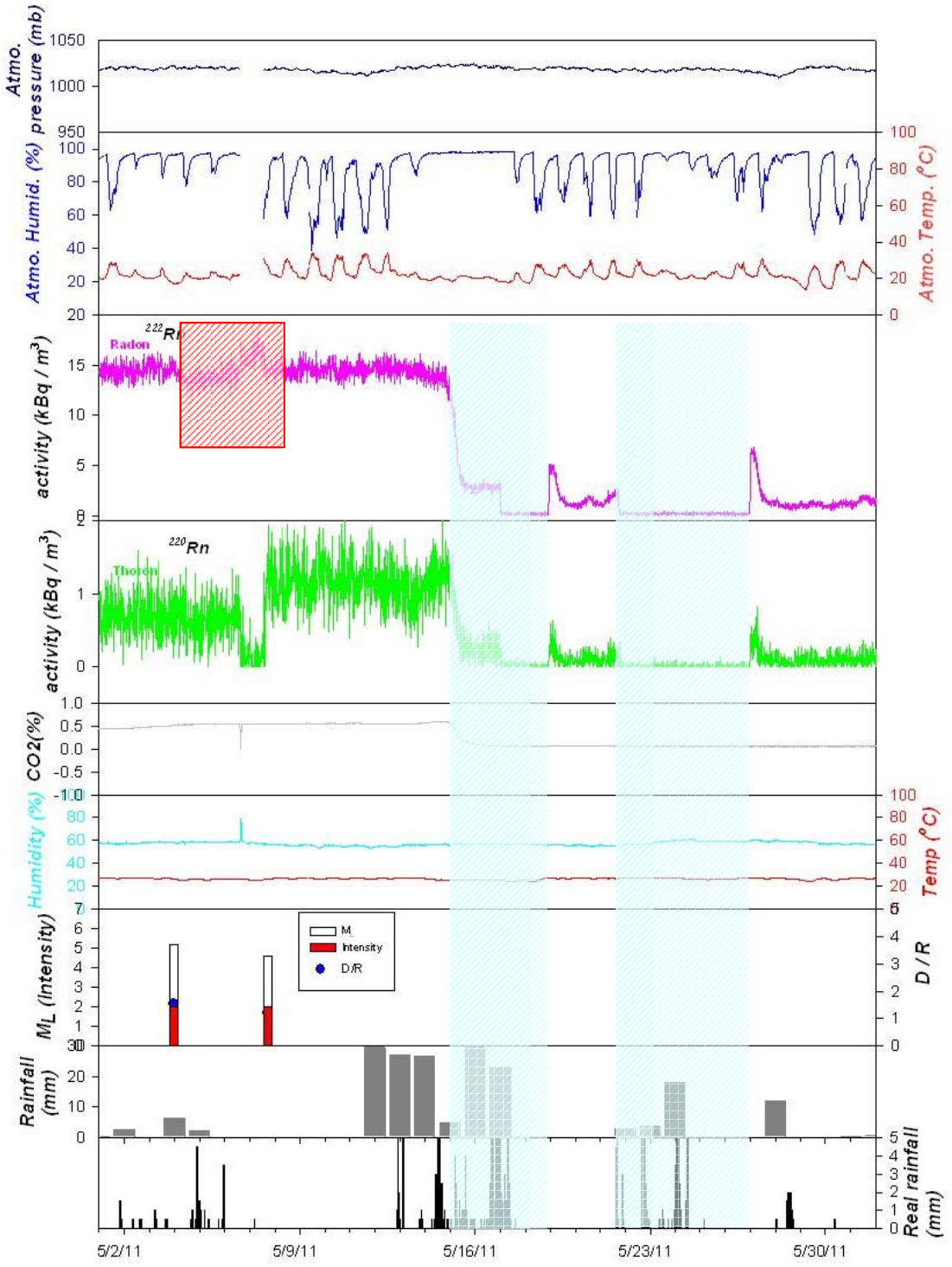
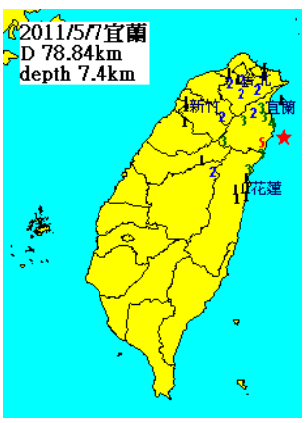


圖 4-8 新竹大平地（2011/05/01- 2011/05/31）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；藍色斜線框為受雨影響區間。



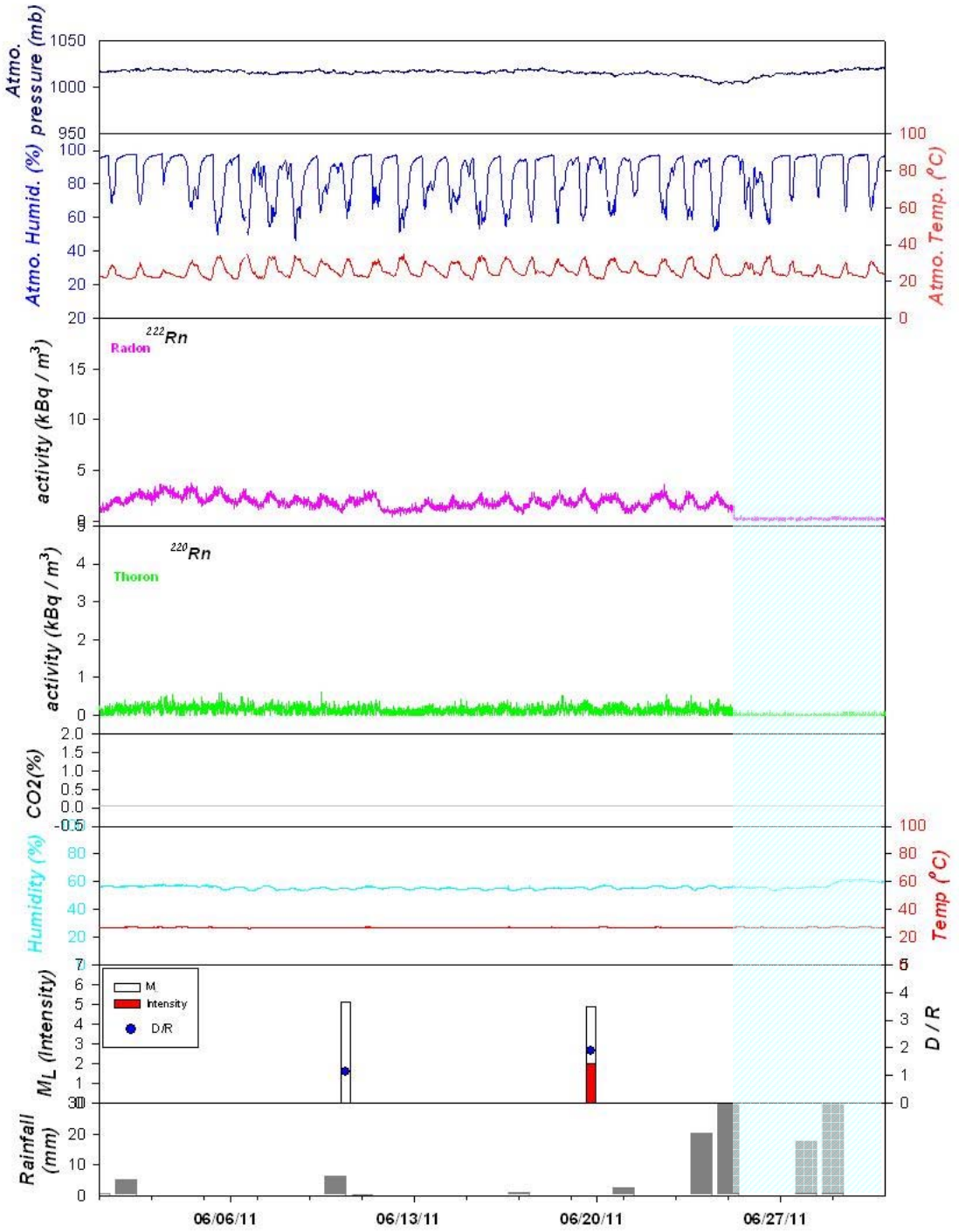


圖 4-9 新竹大平地（2011/06/01- 2011/06/30）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受雨影響區間。

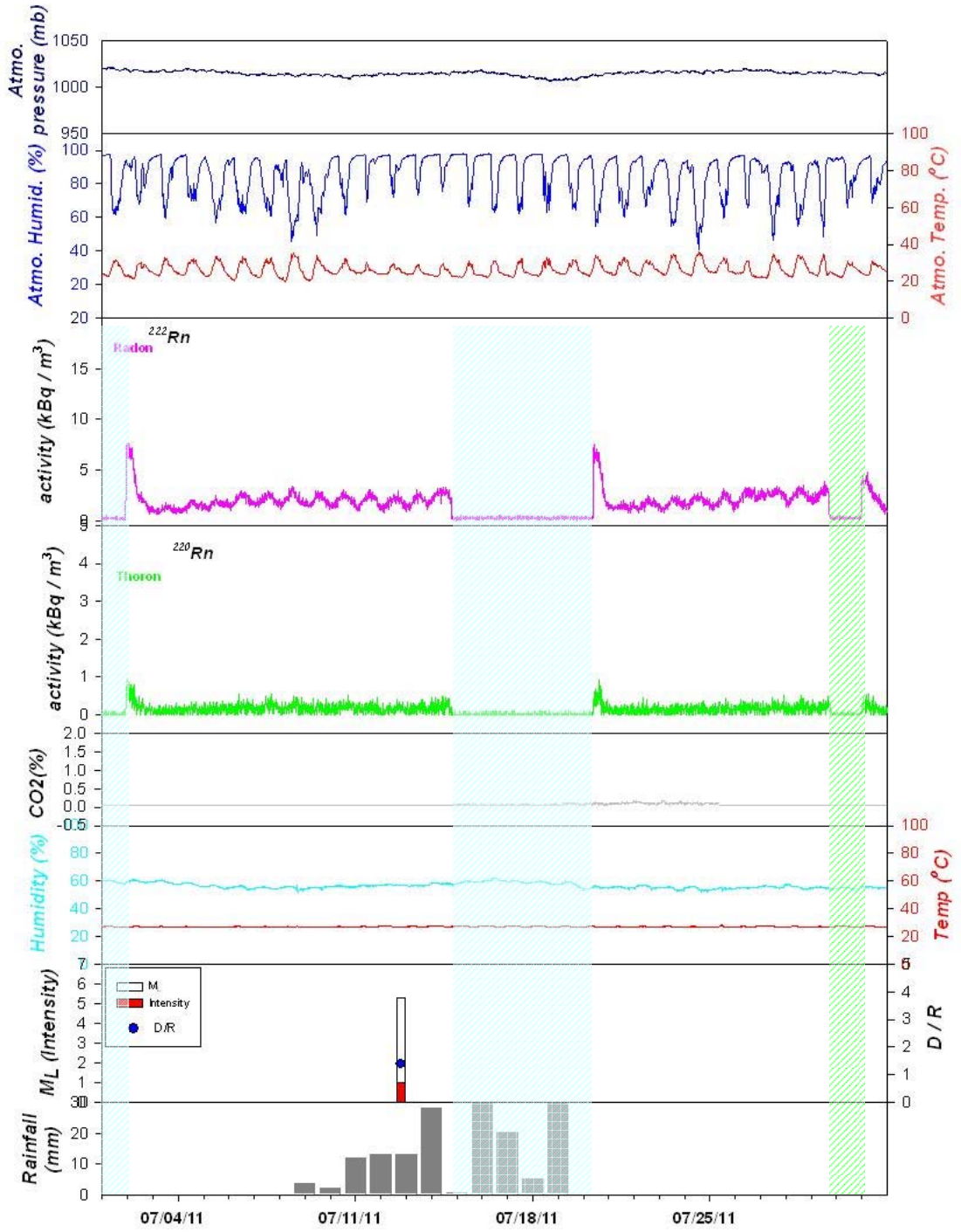


圖 4-10 新竹大平地（2011/07/01- 2011/07/31）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受雨影響區間；綠色斜線框為不明原因造成逸氣阻塞。

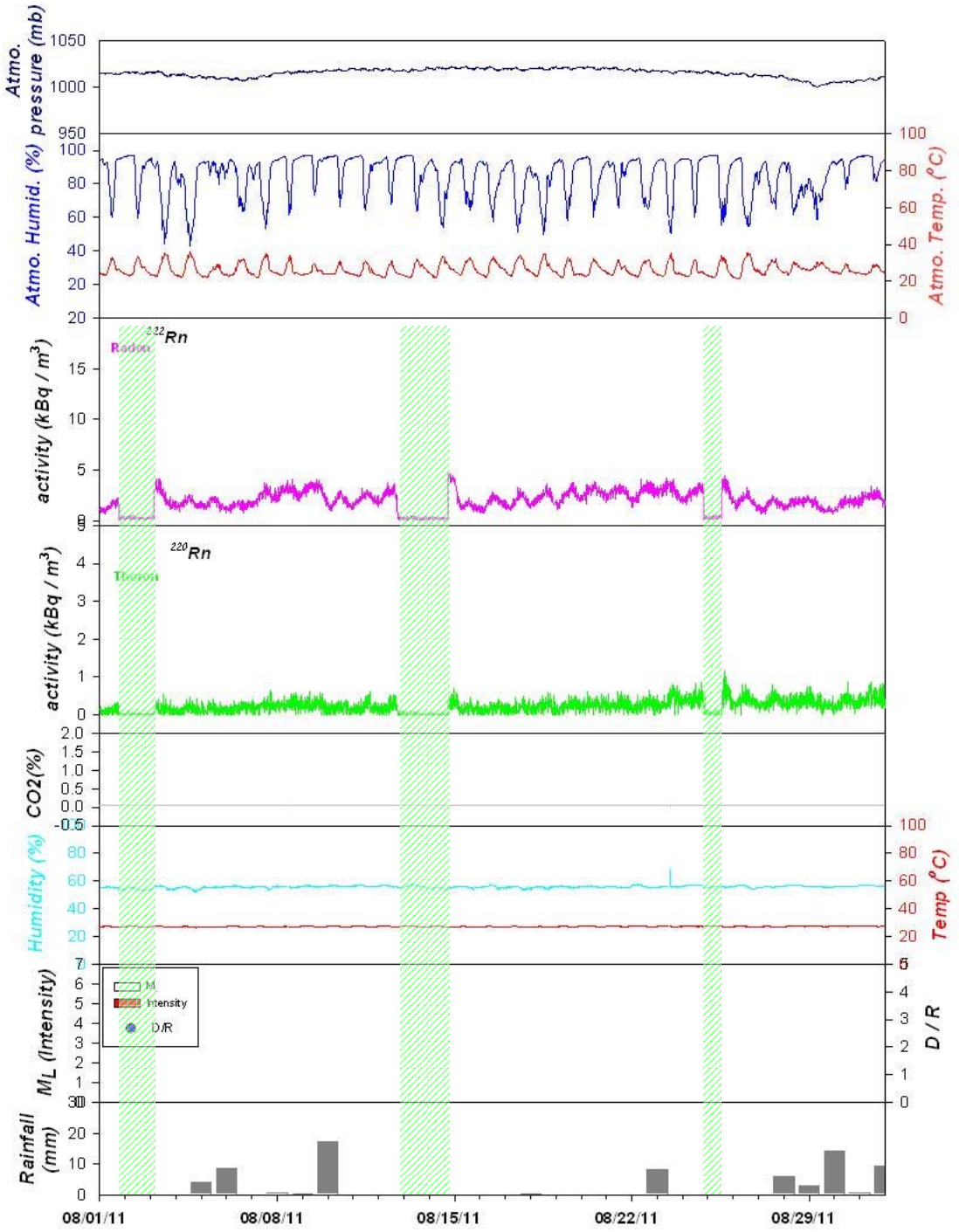


圖 4-11 新竹大平地（2011/08/01- 2011/08/31）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；綠色斜線框為不明原因造成逸氣阻塞。

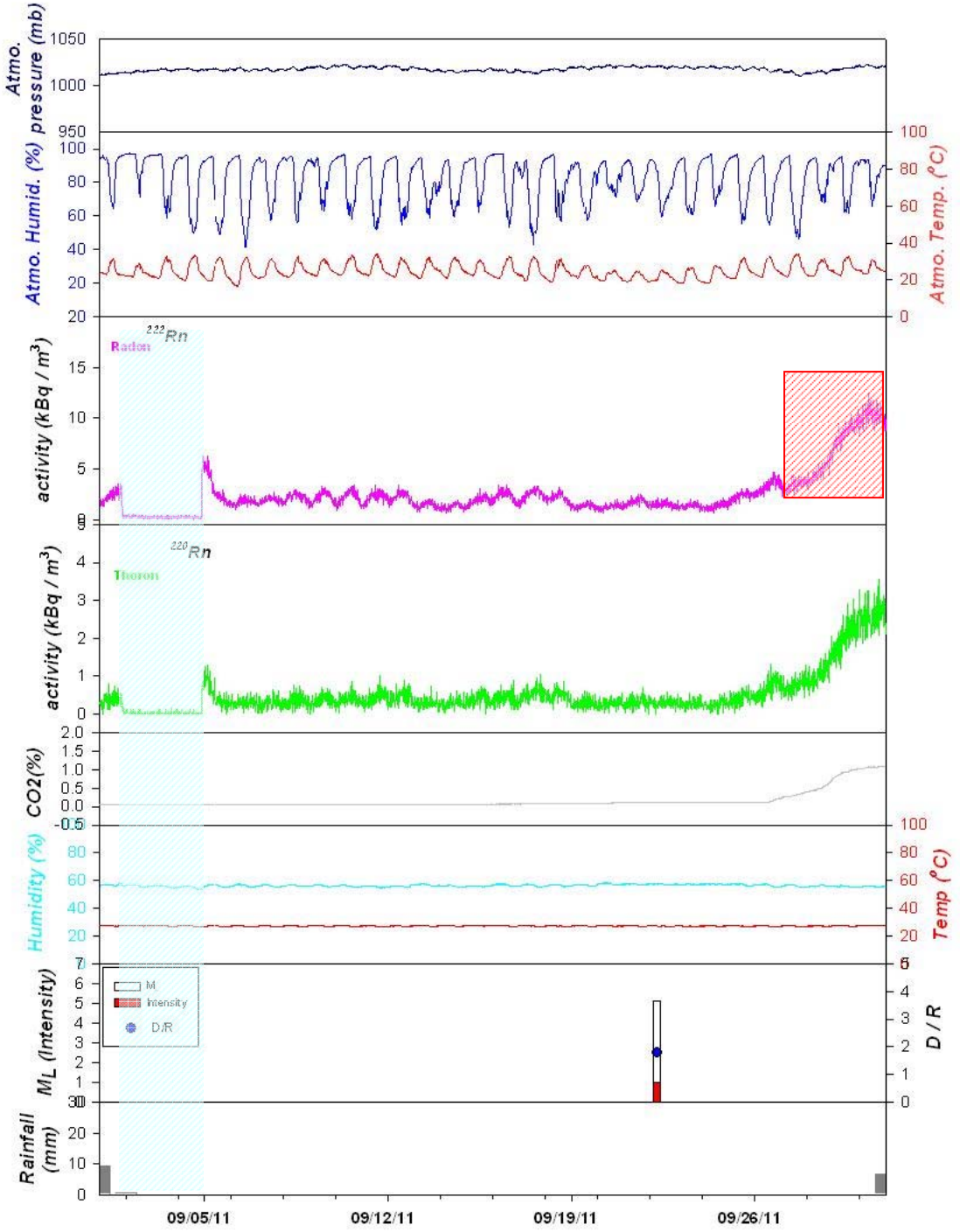


圖 4-12 新竹大平地（2011/09/01- 2011/09/30）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；藍色斜線框為受雨影響區間。

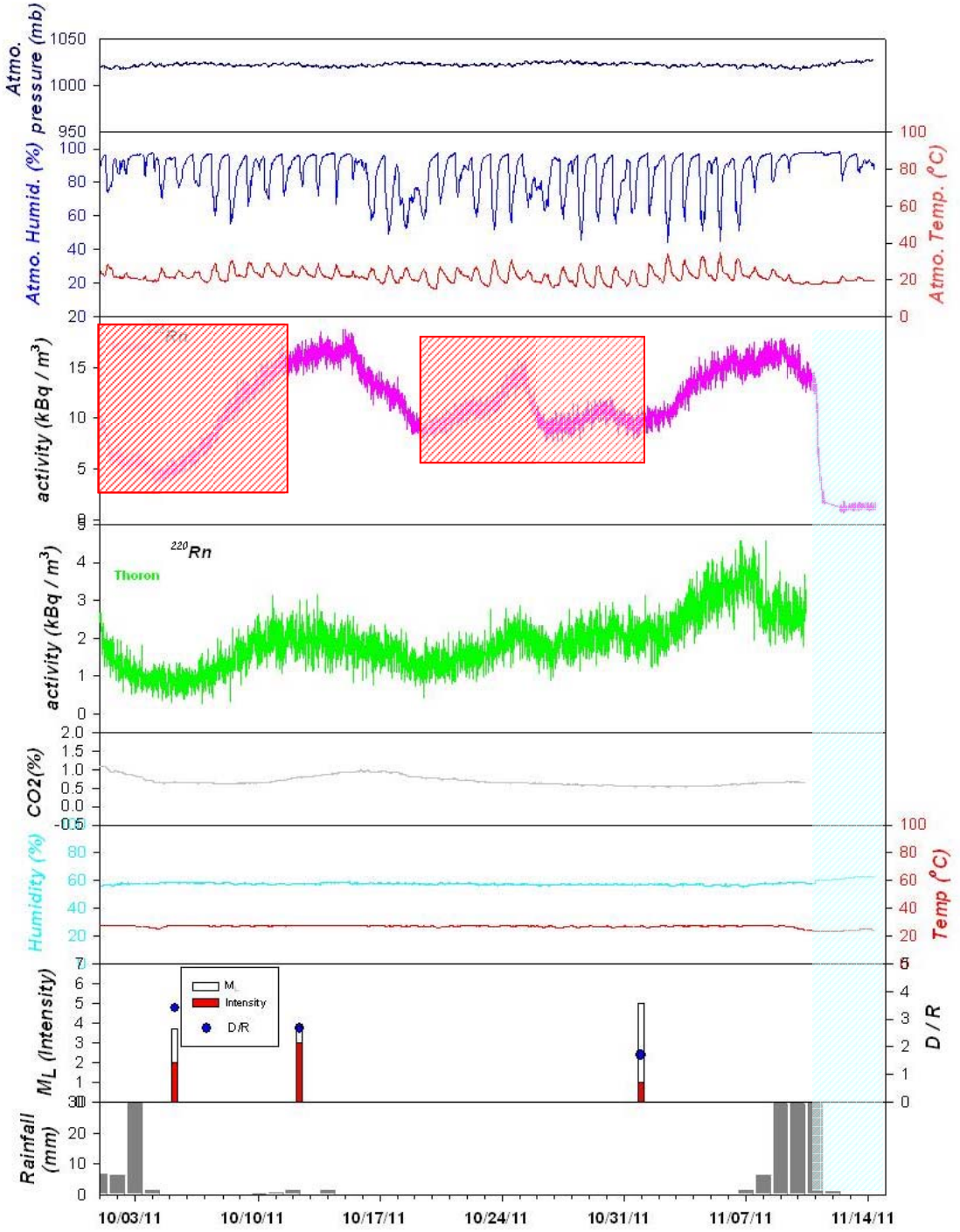
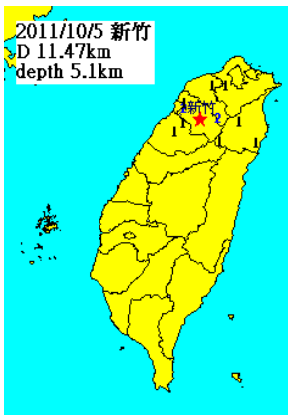


圖 4-13 新竹大平地（2011/10/01- 2011/11/14）土壤氣氡氣成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；藍色斜線框為受雨影響區間。





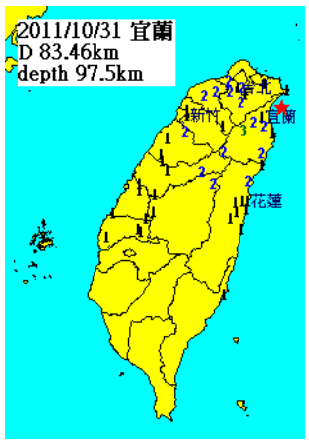


表 4-1 新竹大平地觀測站經過篩選後的相關地震及與氡氣異常有反應的地震列表

121.16 24.72	新竹大平地(三光地震站)			M_L≧5 或 Int.≧2 或 D/R≧2，距離<200km								
No	西元時間	規模	D=10^(0.43*M)	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
10-581	2010/12/6 10:14	5.2	172.19	121.5	23.67	25.3	花蓮西林地震站南偏東方 16.5 公里	v			121.15	1.4
11-43	2011/2/1 16:16	5.5	231.74	121.8	24.24	17.6	花蓮縣政府東北方 33.0 公里外海	v	2	4.43	83.76	2.8
11-126	2011/3/10 13:34	3.1	21.53	121.2	24.65	7.4	新竹縣政府東南方 27.7 公里	v	1	x	8.73	2.5
11-201	2011/4/16 20:48	3.9	47.53	121.74	24.43	7.5	宜蘭縣政府南方 32.9 公里	v	2	3.53	66.87	0.7
11-220	2011/4/30 16:35	5.8	311.89	121.81	24.65	75	宜蘭縣政府南偏東方 10.1 公里	v	3	11.9	66.15	4.7
11-224	2011/5/3 23:52	5.2	172.19	121.8	23.9	34.2	花蓮縣政府東偏南方 20.3 公里外海		2	3.23	111.51	1.5
*11-254	2011/5/22 09:34	5	141.25	121.72	24.15	8	花蓮縣政府北偏東方 20.8 公里外海		1	1.26	84.80	1.7
11-235	2011/5/7 16:35	4.6	95.06	121.89	24.47	7.4	宜蘭縣政府南偏東方 31.0 公里外海	v	2	4.37	78.84	1.2
11-290	2011/6/10 09:25	5.1	155.96	121.68	23.57	28	花蓮縣政府南方 46.8 公里外海				137.71	1.1
11-308	2011/6/19 18:18	4.9	127.94	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)		2	2.93	67.70	1.9
*11-317	2011/6/26 21:19	5	141.25	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)				98.36	1.4
11-381	2011/7/12 19:17	5.3	190.11	121.53	23.53	20.7	花蓮縣政府南方 52.3 公里 (位於花蓮縣近海)		1	1.26	136.87	1.4
*11-393	2011/7/16 09:16	3.8	43.05	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)		2	4.85	11.19	3.8
11-502	2011/9/22 06:18	5.1	155.96	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)		1	1.56	87.96	1.8
11-521	2011/10/5 06:54	3.7	38.99	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)	v	2	2.99	11.47	3.4
11-532	2011/10/12 10:14	3.8	43.05	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)	v	3	20.88	16.20	2.7
11-565	2011/10/31 23:17	5	141.25	121.97	24.87	97.5	宜蘭縣政府東北方 26.3 公里 (位於台灣東部海域)	v	1	2.27	83.46	1.7
*11-586	2011/11/12 09:38	5.1	155.96	122.28	24.09	30	花蓮縣政府東方 67.9 公里 (位於台灣東部海域)				133.13	1.2

*表示受到降雨影響、距測站太遠（≧150km）、震源太深（≧50km）的地震，不列入氣體異常的分母地震

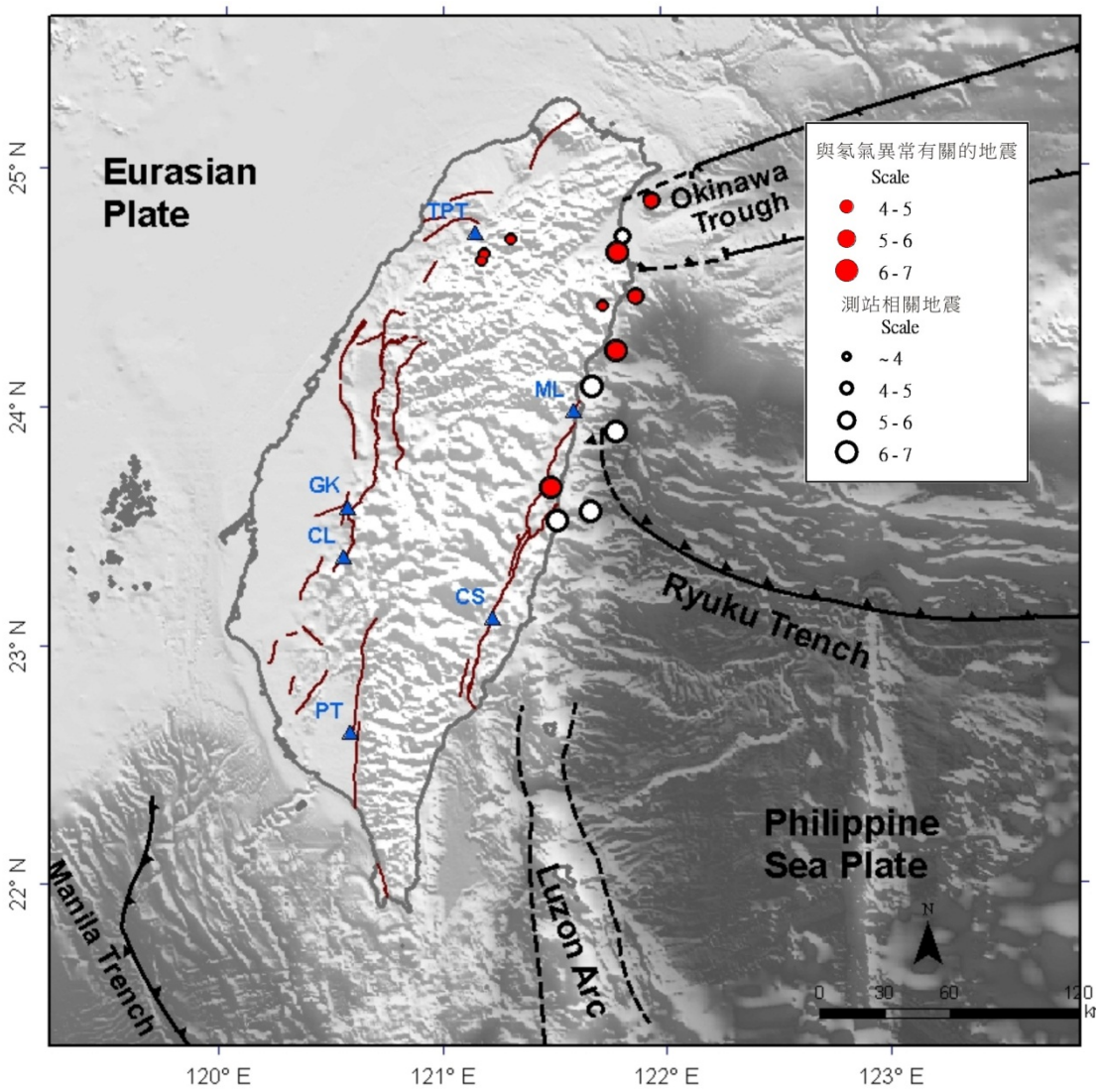


圖 4-14 大平地觀測站經過篩選後的相關地震分布圖（2010/12-2011/11）。

4.3 雲林古坑土壤氣體觀測站

4.3.1 土壤氣體連續觀測結果

圖 4-15 至圖 4-26 為雲林古坑站 2010 年 12 月至 2011 年 10 月的連續觀測結果。圖 4-15 是總圖表，圖 4-16 至圖 4-26 是分月圖表。各分月圖中缺數據的部分為電力中斷導致儀器無法紀錄所致。

圖 4-19 為 2011 年 3 月的連續觀測結果，其中在 3 月 12 日至 3 月 20 日有一異常變化區間，雖是以日夜變化形式呈現，但長期來看則是有一完整的異常變化區間(紅色斜線框所示)，與之相對應的地震為 3 月 20 日發生於雲林的地震(規模 3.1，震度 2 級，深度 15.1km，D/R 5.3)。

本站在去年 6 月受到大雨影響，用於逸氣來源的儲氣槽內積水，加上站體附近土質因雨鬆軟，使得站體有向左傾斜現象。為防止站體繼續傾斜，於站體四周土石上先作了清理並於表土上覆蓋大量水泥，用以防止雨水直接下到土石上進而滲透至地底下。惟這樣的處裡只是治標，這半年的觀測結果，降雨仍是深深影響儀器的分析結果。在無雨量干擾下，氡氣是呈現日夜變化；若有降雨，氡氣則是呈現突降突升的現象（分月圖上藍色斜線框所示）。因此無法做長期穩定有品質的數據分析。

有鑑於此，去年度期末報告中已向地調所提出古坑站遷站計畫，計畫今年於梅山斷層或九芎坑斷層帶附近找尋合適設站地點用以代替古坑站。詳見下一節。

與古坑站氡氣異常相關地震篩選原則為 $M_L \geqq 5$ 或 Int.$\geqq 2$ 或 D/R$\geqq 2$ 及震央距測站＜200㎞ 皆選入，同樣的也考量當氡氣受到雨量干擾時若有地震發生即無可供解釋的資料，因此也將氡氣變化因雨影響的地震剔除。參考中央氣象局網站古坑地震站測得的古坑站全部背景地震有 64 起，經過以上原則篩選後的相關地震有 19 起，與測站氡氣異常相關的地震有 1 起。

表 4-2 為古坑觀測站經過篩選後的相關地震列表。

圖 4-27 為古坑觀測站經過篩選後的相關地震分布圖。白色圈圈為篩選後的地震，紅色圈圈為與測站氡氣異常有關的地震。由圖可看出本年度與古坑測站相關的地震分布位置僅在測站周遭。

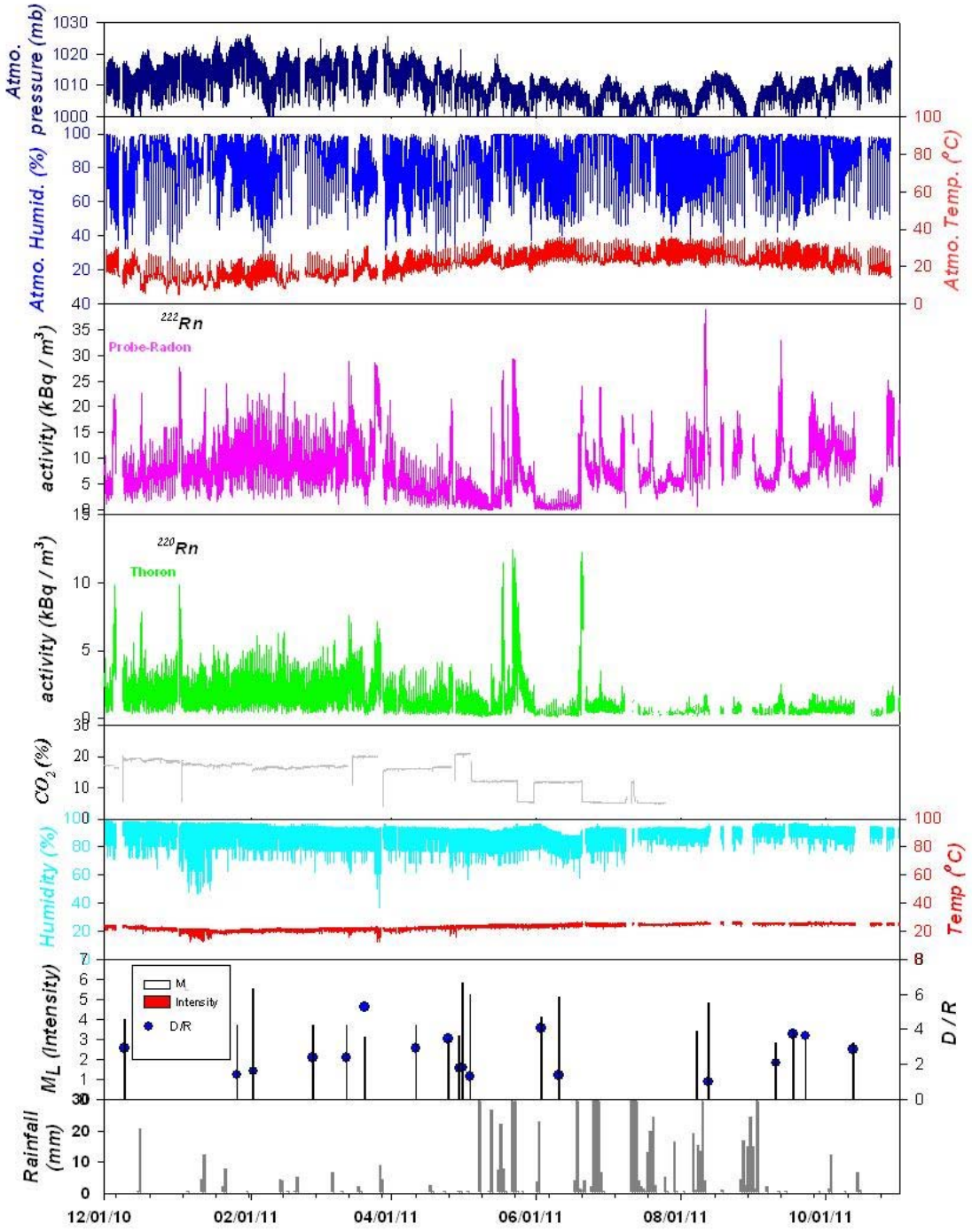


圖 4-15 雲林古坑（2010/12/01- 2011/10/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

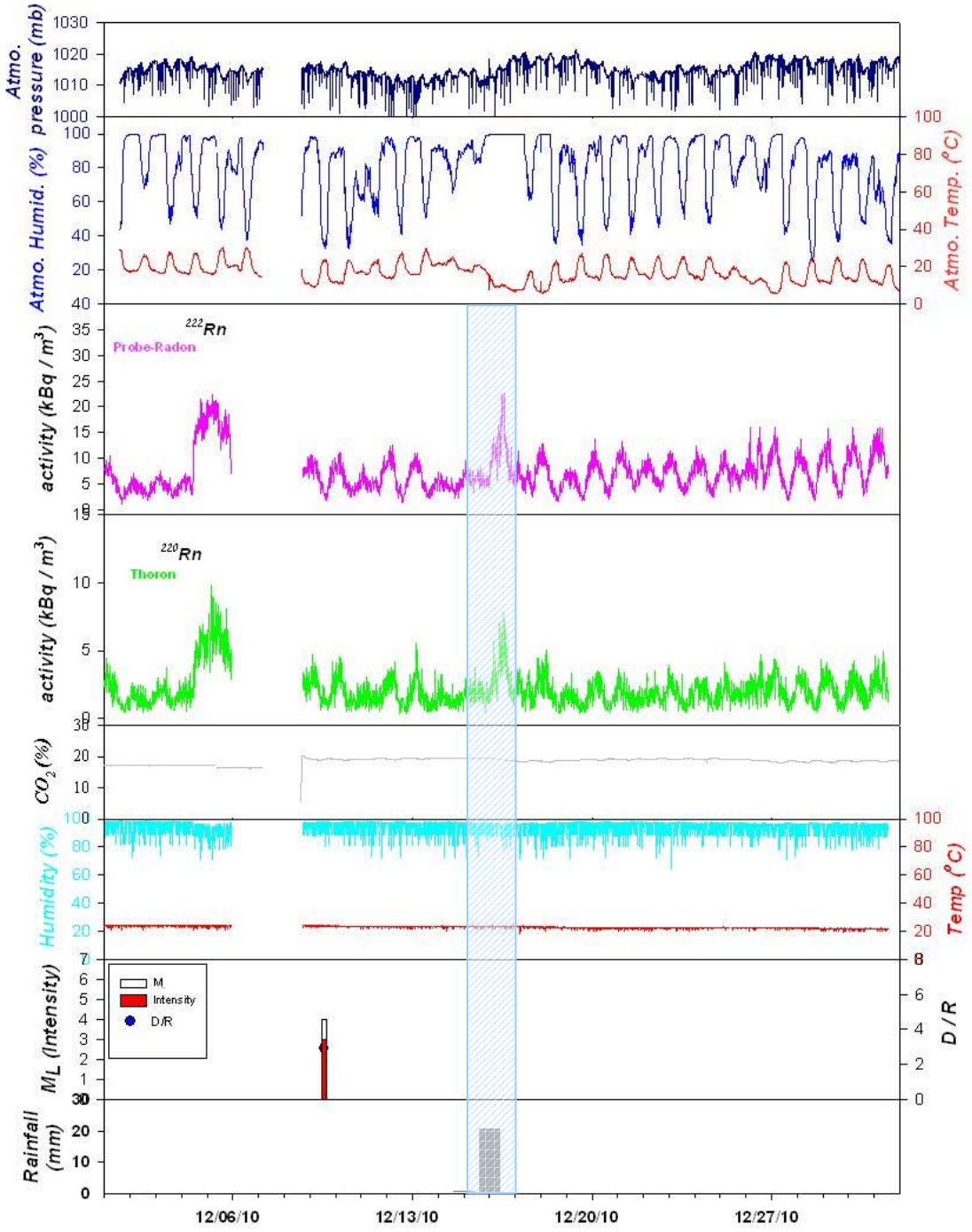


圖 4-16 雲林古坑（2010/12/01- 2010/12/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

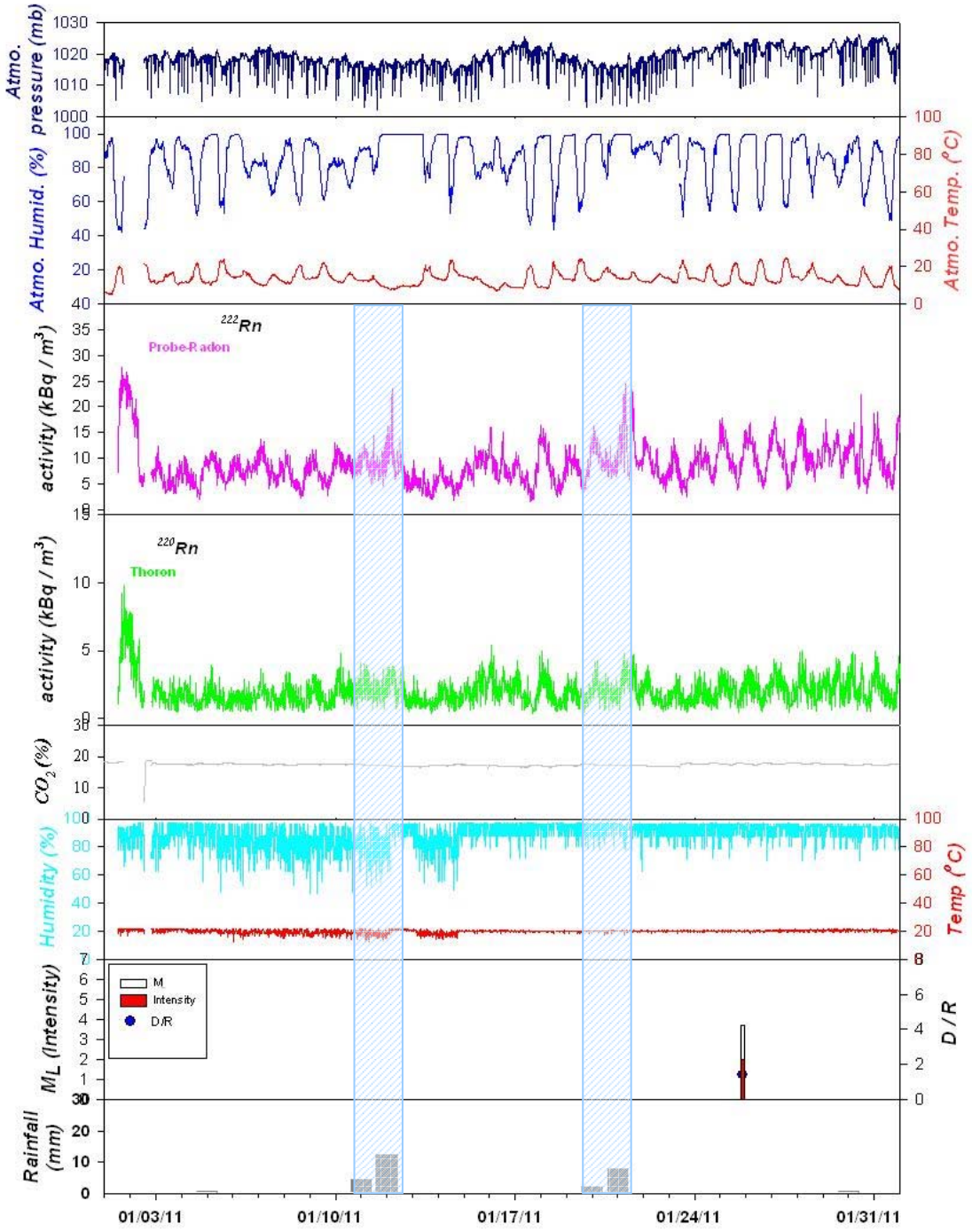


圖 4-17 雲林古坑（2011/01/01-2011/01/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

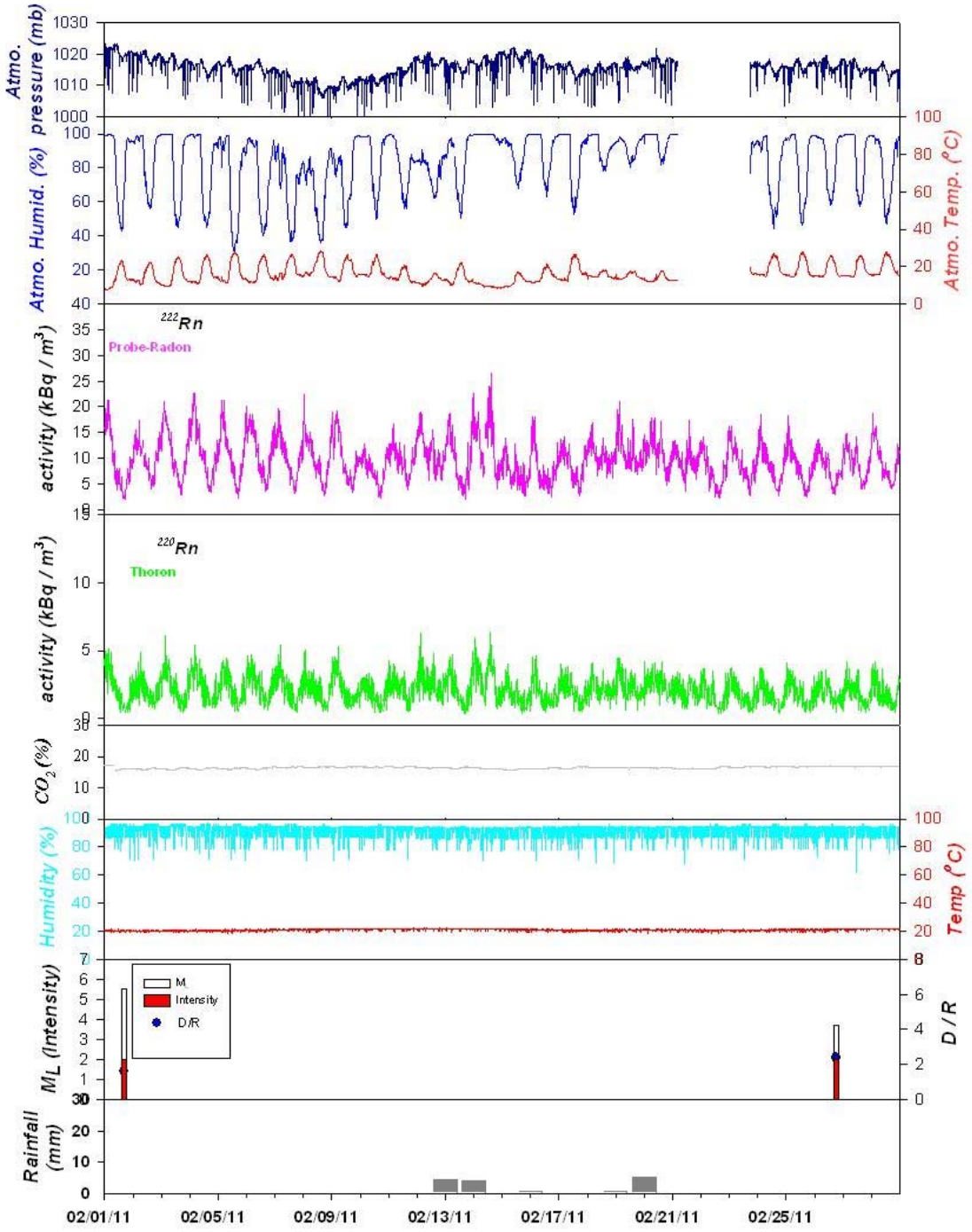


圖 4-18 雲林古坑（2011/02/01-2011/02/28）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

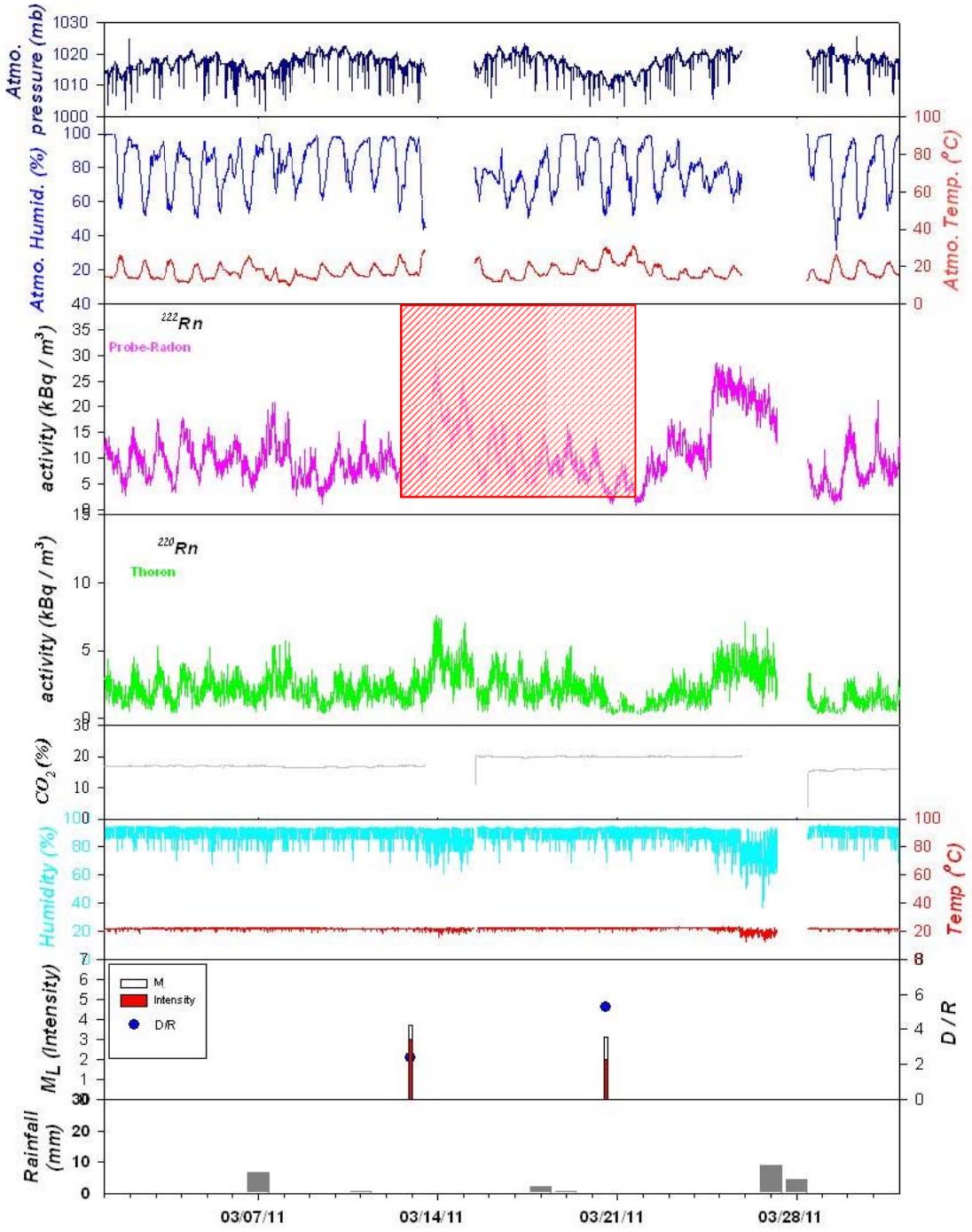
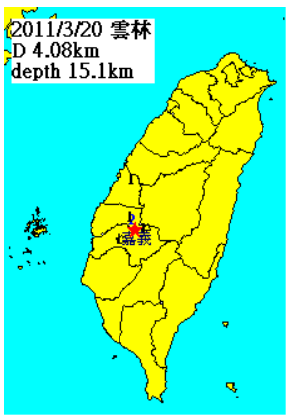


圖 4-19 雲林古坑（2011/03/01- 2011/03/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間。



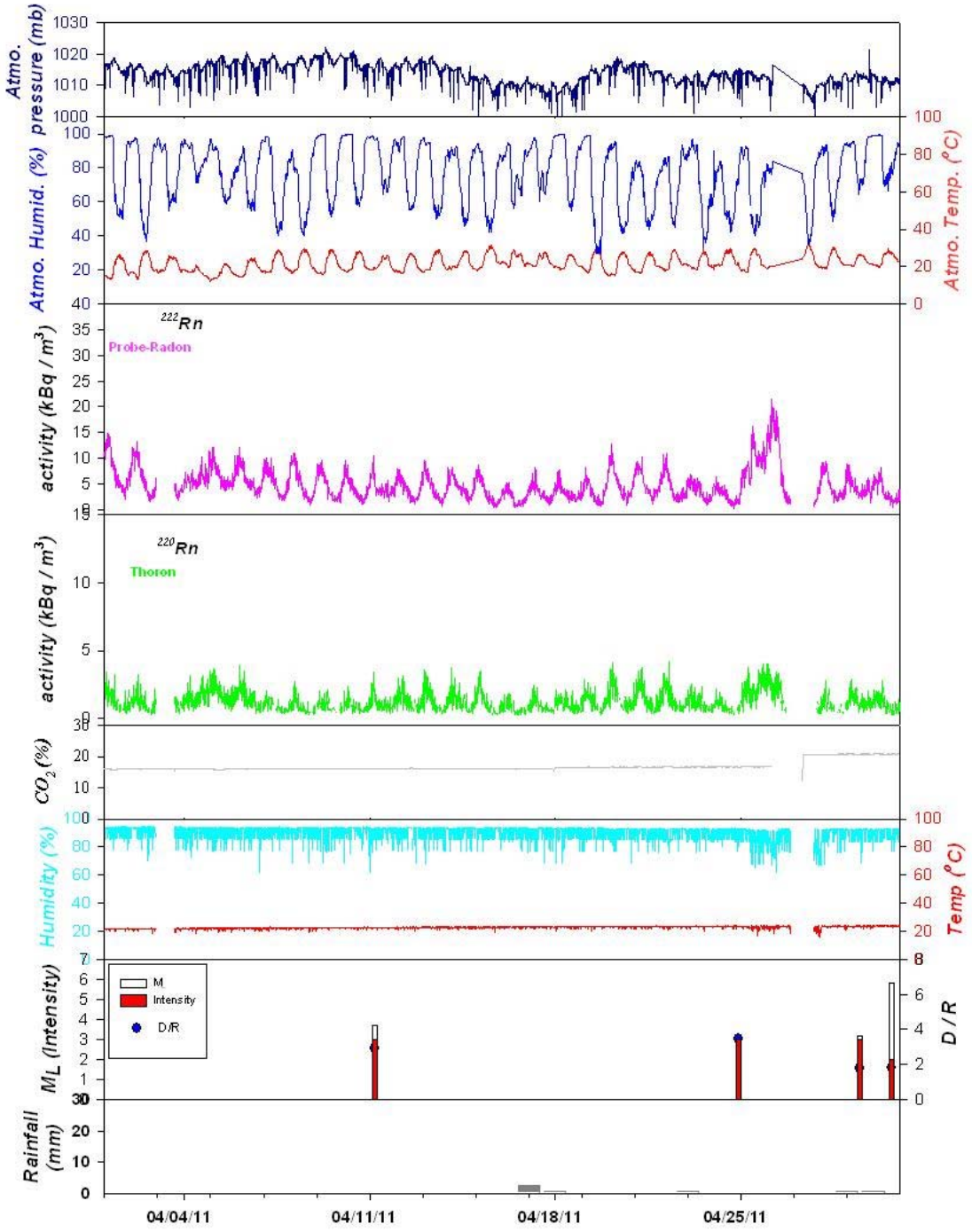


圖 4-20 雲林古坑（2011/04/01-2011/04/30）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

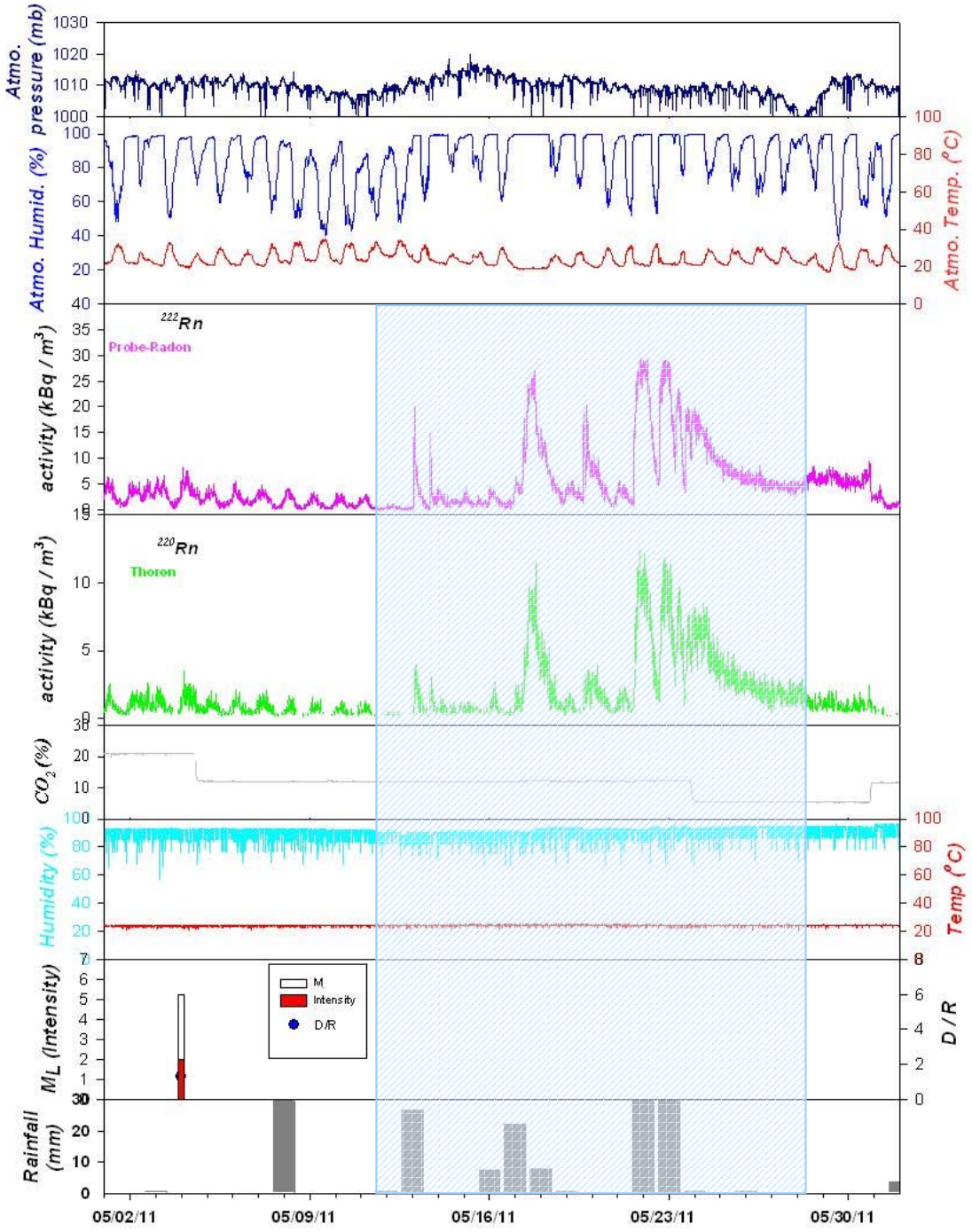


圖 4-21 雲林古坑（2011/05/01- 2011/05/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

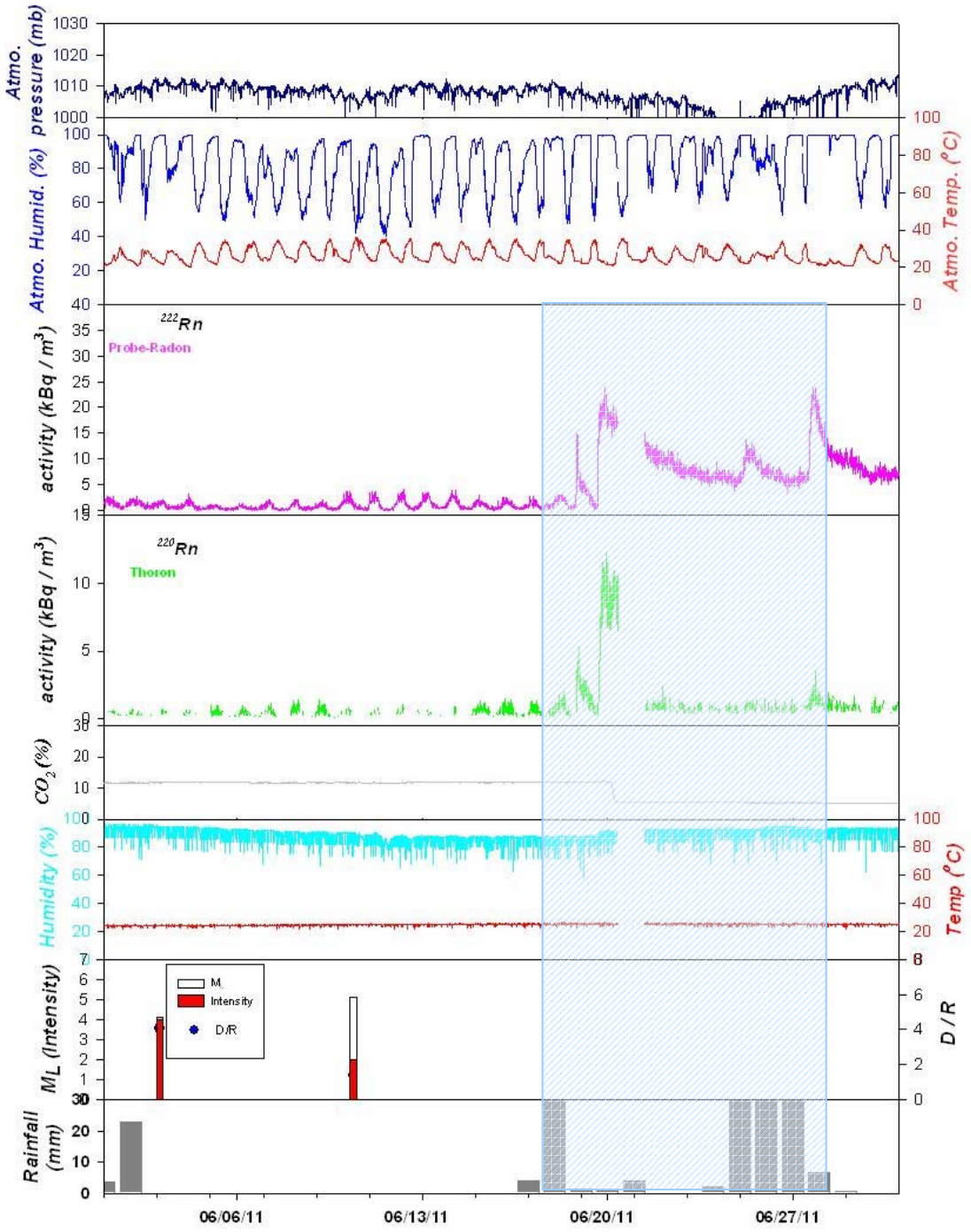


圖 4-22 雲林古坑（2011/06/01- 2011/06/30）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

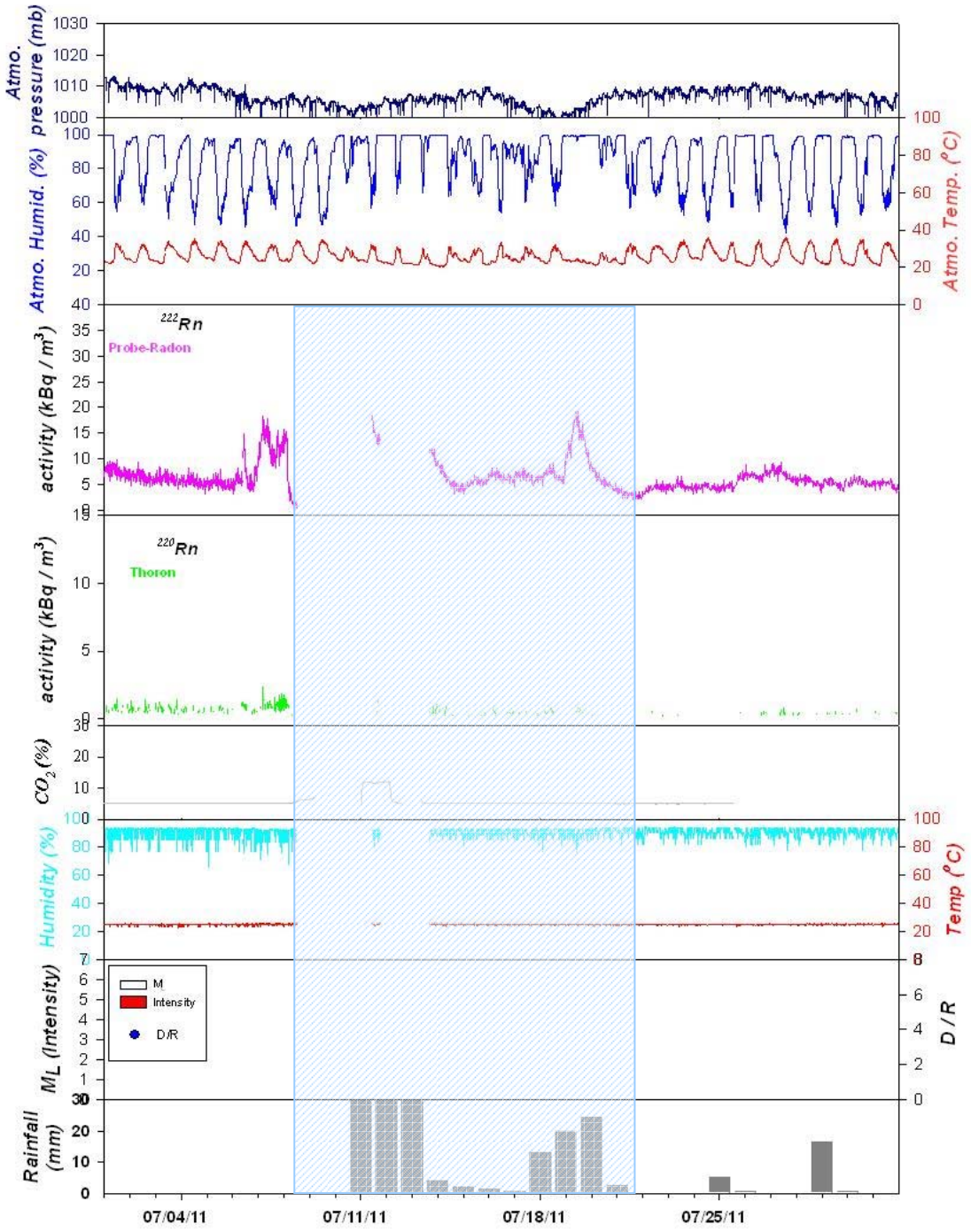


圖 4-23 雲林古坑（2011/07/01- 2011/07/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

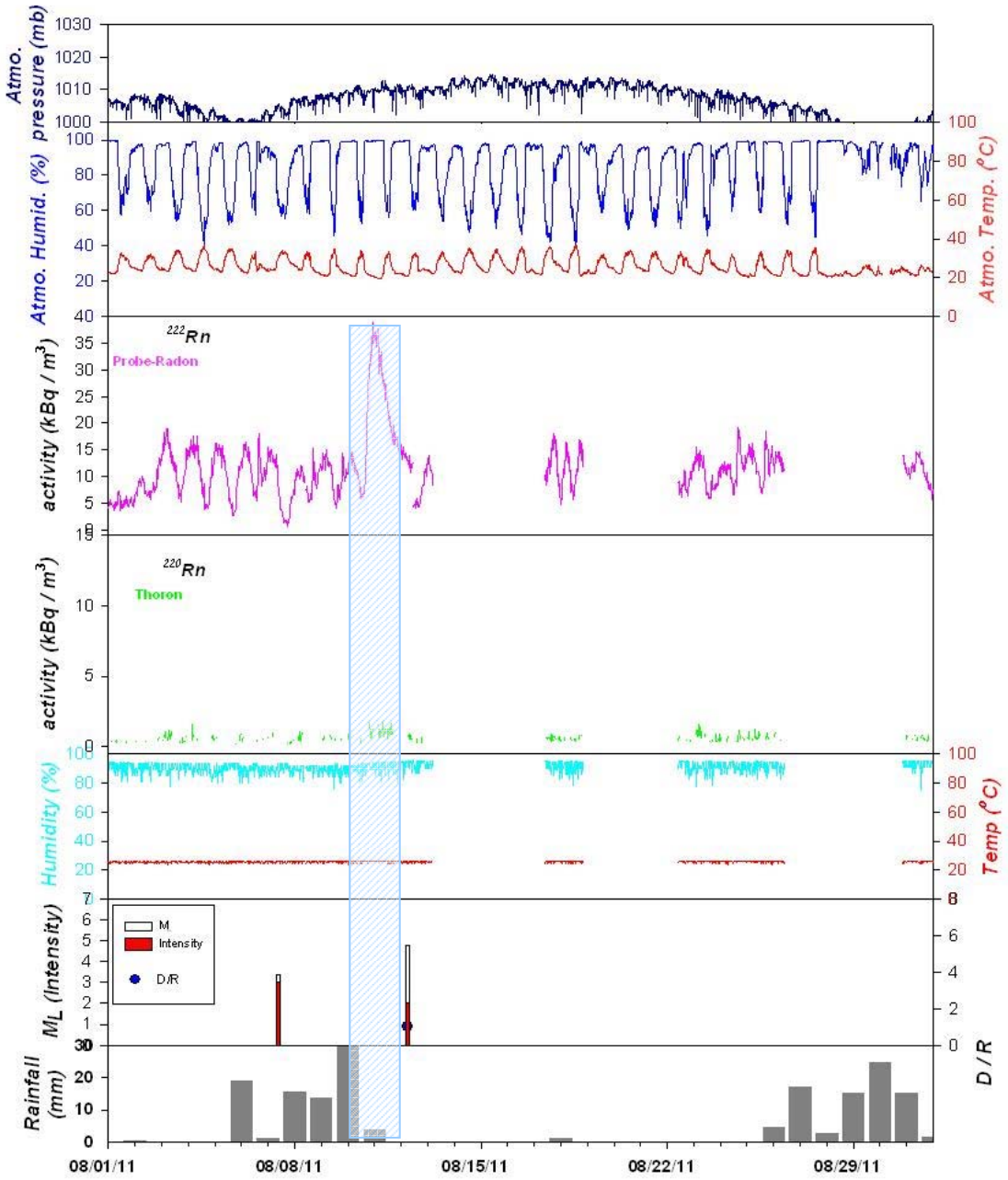


圖 4-24 雲林古坑（2011/08/01- 2011/08/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

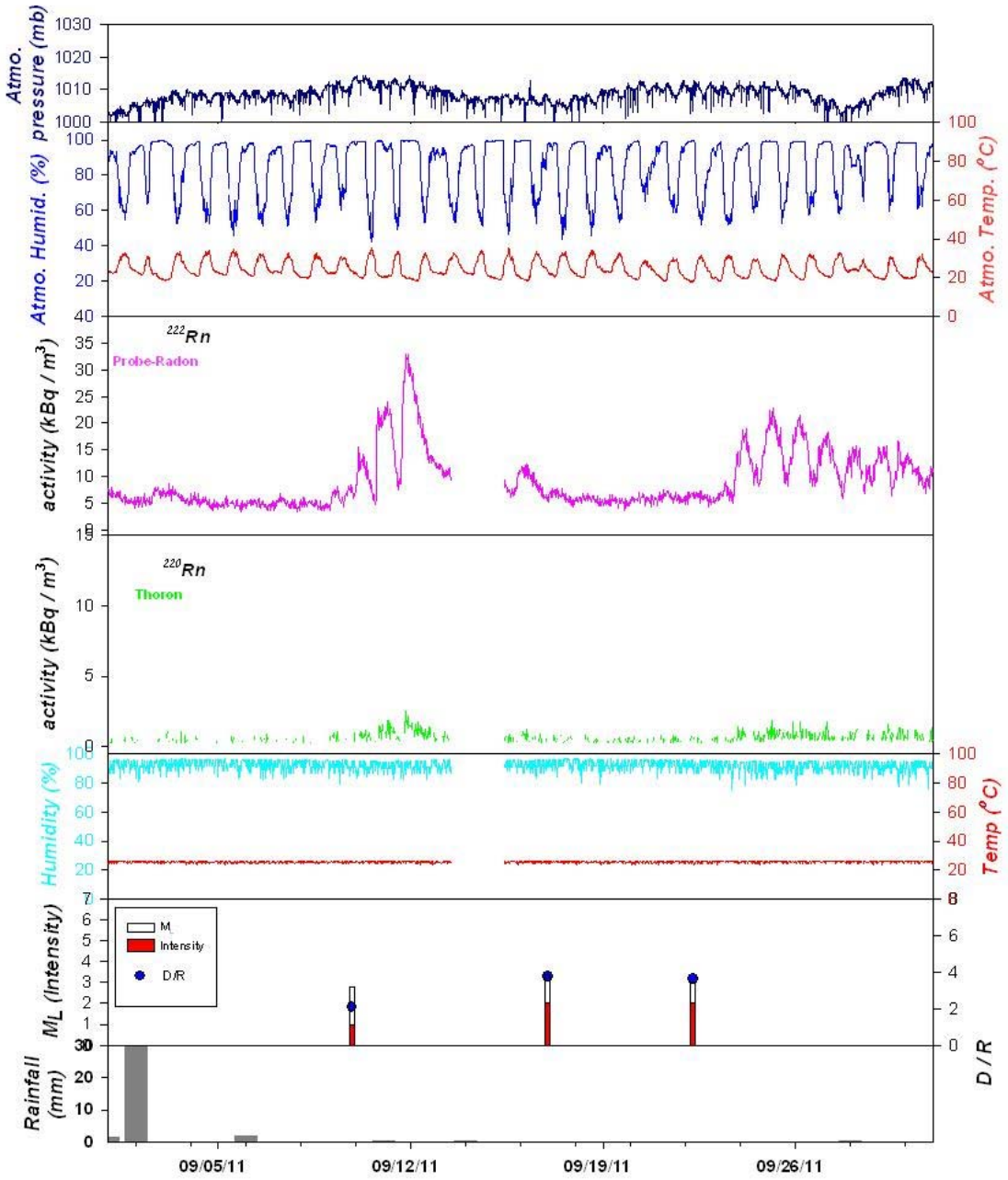


圖 4-25 雲林古坑（2011/09/01- 2011/09/30）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

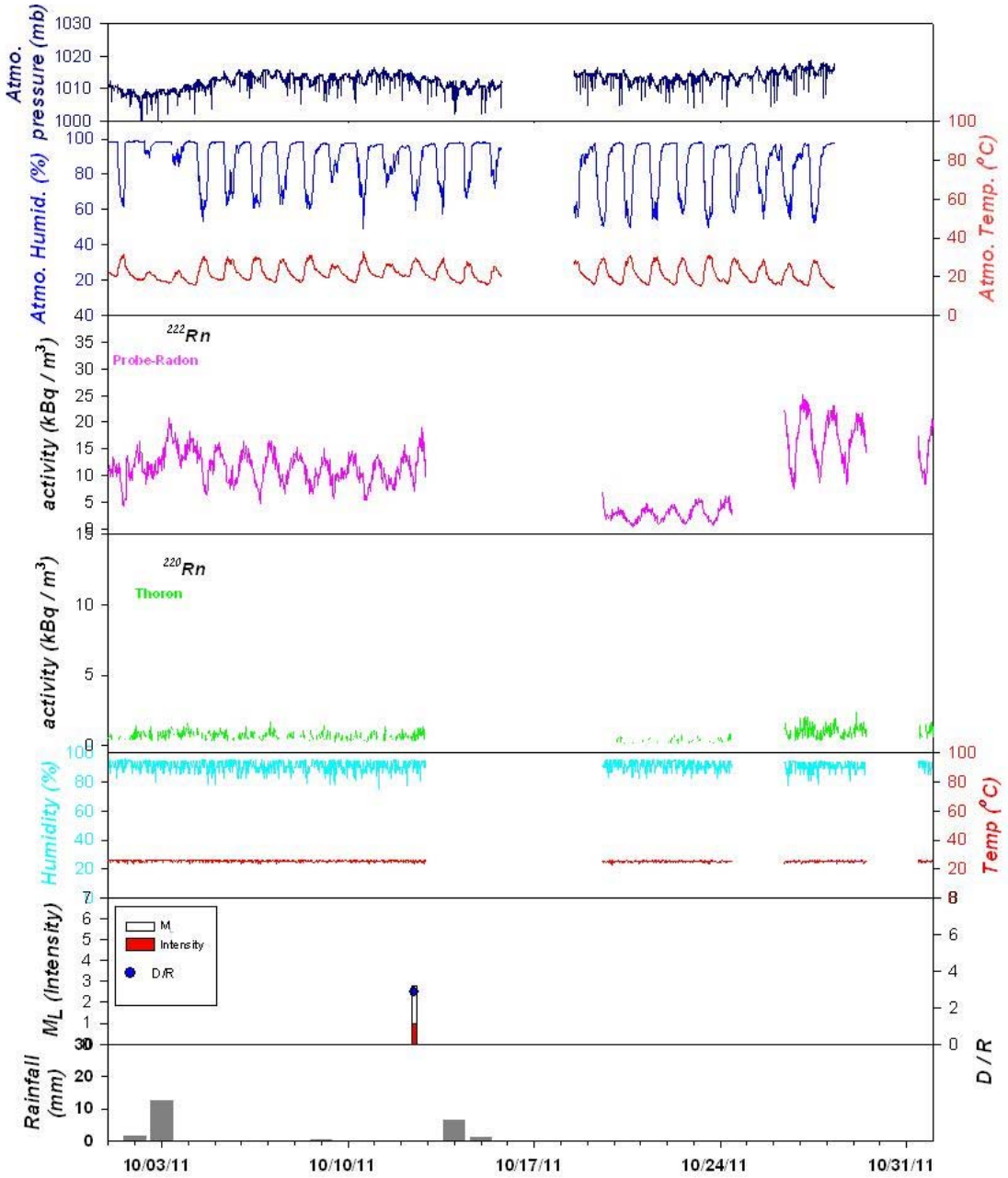


圖 4-26 雲林古坑（2011/10/01- 2011/10/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

表 4-2 雲林古坑觀測站經過篩選後的相關地震及與氡氣異常有反應的地震列表

120.57 23.59	雲林古坑(古坑地震站)			M_L≧5 或 Int.≧2 或 D/R≧2，距離<200km								
No	西元時間	規模	D=10^(0.43*M)	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站 (km)	D/R
10-587	2010/12/9 13:20	4	52.48	120.71	23.49	9.4	嘉義阿里山地震站西方 10.5 公里		3	10.83	18.06	2.9
11-30	2011/1/25 20:44	3.7	38.99	120.83	23.53	20.4	南投縣政府南偏東方 43.8 公里		2	4.91	27.32	1.4
11-43	2011/2/1 16:16	5.5	231.74	121.8	24.24	17.6	花蓮縣政府東北方 33.0 公里外海		2	3.05	144.25	1.6
11-96	2011/2/26 18:23	3.7	38.99	120.73	23.58	20.2	嘉義縣政府東偏北方 46.6 公里		2	3.47	16.35	2.4
11-130	2011/3/12 22:20	3.7	38.99	120.73	23.59	20.2	嘉義縣政府東偏北方 46.6 公里		3	13.94	16.31	2.4
11-145	2011/3/20 13:19	3.1	21.53	120.61	23.59	15.1	雲林縣政府東南方 15.1 公里	v	2	x	4.08	5.3
11-190	2011/4/11 04:44	3.7	38.99	120.7	23.6	14.8	雲林縣政府東偏南方 21.3 公里		3	20.22	13.30	2.9
11-209	2011/4/24 21:42	3	19.50	120.56	23.64	5.4	雲林縣政府南偏東方 7.6 公里		3	x	5.62	3.5
11-217	2011/4/29 11:38	3.2	23.77	120.69	23.64	14.7	南投縣政府南方 29.1 公里		3	x	13.42	1.8
11-220	2011/4/30 16:35	5.8	311.89	121.81	24.65	75	宜蘭縣政府南偏東方 10.1 公里		2	4.19	172.01	1.8
11-224	2011/5/3 23:52	5.2	172.19	121.8	23.9	34.2	花蓮縣政府東偏南方 20.3 公里外海		2	2.81	129.83	1.3
11-279	2011/6/3 02:08	4.1	57.94	120.71	23.6	21.2	雲林縣政府東偏南方 21.9 公里		4	31.94	14.31	4.0
11-290	2011/6/10 09:25	5.1	155.96	121.68	23.57	28	花蓮縣政府南方 46.8 公里外海		2	5.5	113.17	1.4
11-433	2011/8/7 09:08	3.4	28.97	120.58	23.6	13.9	雲林縣政府南偏東方 12.3 公里 (位於雲林縣古坑鄉)		3	14	1.50	19.3
11-439	2011/8/12 06:07	4.8	115.88	121.67	23.78	26.9	花蓮縣政府南偏東方 24.2 公里 (位於台灣東部海域)		2	2.57	113.99	1.0
11-483	2011/9/9 20:43	2.8	16.00	120.57	23.52	11.8	嘉義市政府東偏北方 13.1 公里 (位於嘉義縣竹崎鄉)		1	x	7.74	2.1
11-493	2011/9/16 23:24	3.4	28.97	120.57	23.52	17	嘉義市政府東偏北方 12.6 公里 (位於嘉義縣竹崎鄉)		2	6.56	7.74	3.7
11-501	2011/9/22 06:13	3	19.50	120.54	23.63	11.9	雲林縣政府南偏東方 7.8 公里 (位於雲林縣古坑鄉)		2	x	5.38	3.6
11-533	2011/10/12 11:45	2.8	16.00	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)		1	x	5.62	2.8

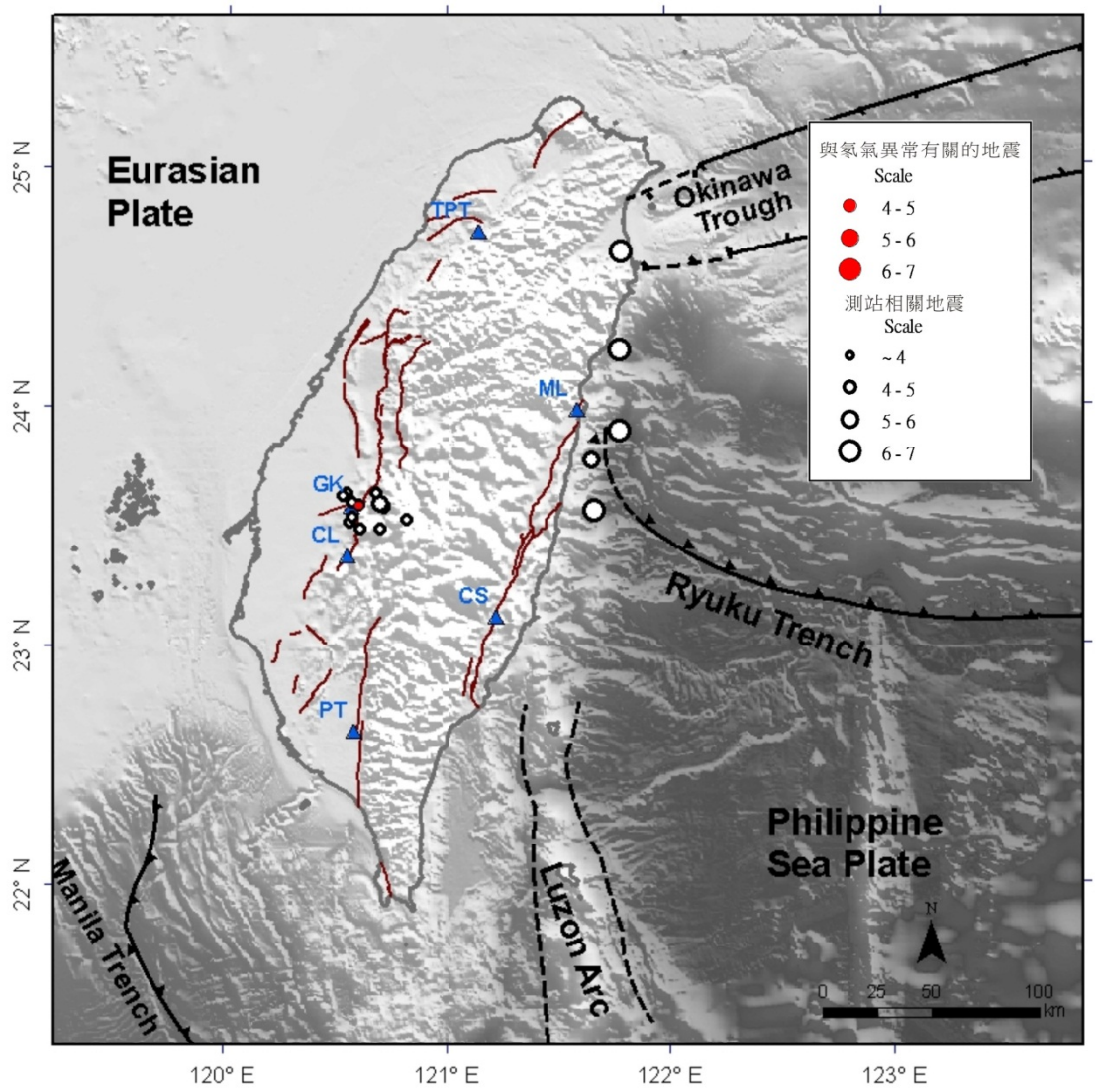


圖 4-27 古坑觀測站經過篩選後的相關地震分布圖（2010/12-2011/10）。



圖 4-28 雲林古坑站站體左頃



圖 4-29 雲林古坑站鋪水泥

4.3.2 雲林古坑觀測站替代點探勘

在 2006 年時，地調所規畫在雲林嘉義地區設置一座土壤氣體連續觀測站，用以觀測此區域的地震活動。設站前曾於此區域進行大規模的土壤氣體採樣調查，根據這些調查數據評估之後設置了梅山氣體連續觀測站，附錄三為當時採樣的土壤氣體各項分析數據。此次於梅山斷層進行土壤氣體採樣調查，偏重於斷層帶西側，即開元后以西至中正大學。由於必須在九月底前遷站完成，採樣調查的時間短，所以不以大規模的區域密集採樣而以較有效率的採樣方式，從一開始的選擇剖面（5 至 6 條）到選擇可能作為設置觀測站的地點採樣，中間穿插幾個用來當作背景值的點位，於是至 6 月初為止，利用土壤氣體地球化學方法調查(傅慶州等，2004)，計採樣有 5 條剖面共計 29 個採樣點（圖 4-30，圖上虛線即為梅山斷層）。在考量各項氣體成份濃度（表 4-3，4-4），及適合設站的位置後（斜坡或空曠排水良好地），我們篩選出 5 個點位設置固定桿，後續以定期採樣的方式持續分析。

各項數據及點位顯示編號 19（圖 4-31，位於南華大學校門口警衛室旁），編號 21（圖 4-32，位於南華大學校內），是兩個將來有可能設站的位置。當然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

在期中報告後，除了在南華大學持續定期採樣外，我們亦在梅山斷層南側即中正大學校外體育場旁及校內進行土壤氣採樣調查，俾增加採樣點位藉此判斷氣體是否隨斷層分布而有異常變化。如圖 4-30 所示，採樣結果如表 4-5。

根據以上所做的調查結果，編號 30-1 在梅山斷層通過之左側，附近有大學及民宅林立，地震活動對當地影響頗深；地底下逸氣來源充足；雖容易引人注目覬覦但是可委由附近學生或是果農就近監看，此外附近已有電源供應設施，設站條件相當適合。不過，多次跟地主交涉後最終地主仍不同意設站。

經由多番考量，最後決定回到原古坑站附近另尋地點做為遷站位置(如圖 3-33 所示)，目前觀測站的已完成建置，圖 3-34 和圖 3-35 分別為新測站建置情形以及初步測試結果。

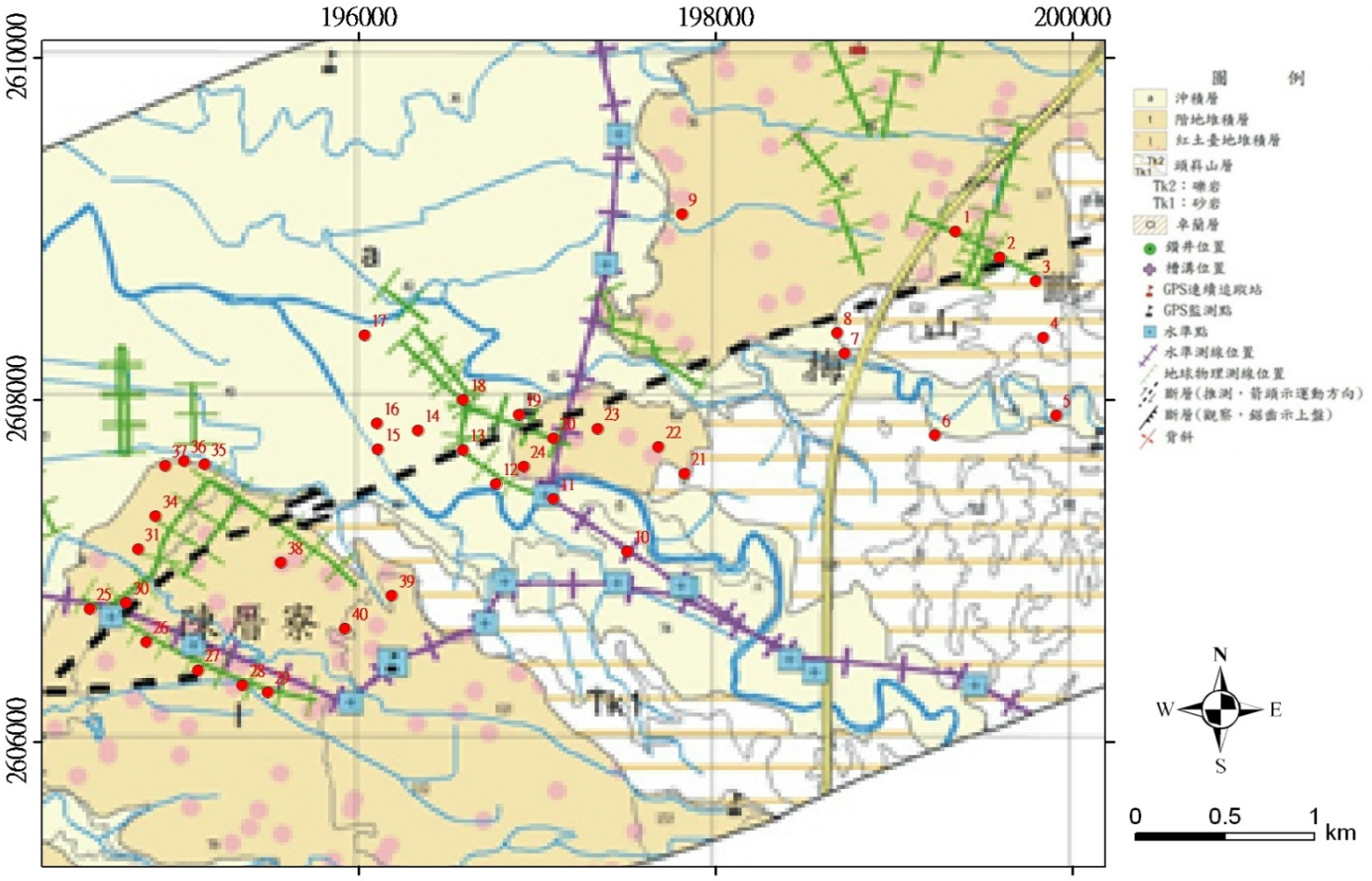


圖 4-30 土壤氣採樣點分布圖，綠線為地球物理測縣；紫線為水準側線；黑線為梅山斷層位置。

sample date.	no	X67	Y67	longitude	latitude	He (Ev)	He (ppm)	CO2 flux	Rn(Bq/m3)	N2 (%)	O2+Ar (%)	CO2 (%)	CH4 (%)	Total (%)
0510-1	1	199348	2608982	120.51	23.58	1.716	5.20	5.06	37048	77.36	16.90	5.74	0	100
0510-2	2	199596	2608831	120.51	23.58	1.717	5.21	13.84	6587	79.11	20.18	0.71	0	100
0510-3	3	199796	2608693	120.52	23.58	1.718	5.22	5.16	20510	78.72	20.31	0.97	0	100
0510-4	4	199839	2608364	120.52	23.58	1.717	5.21	8.80	20522	78.95	18.46	2.59	0	100
0510-5	5	199912	2607910	120.52	23.57	1.718	5.22	4.26	15285	78.33	18.66	3.01	0	100
0510-6	6	199233	2607791	120.51	23.57	1.716	5.20	12.11	16694	78.63	19.43	1.94	0	100
0510-7	7	198725	2608272	120.51	23.58	1.720	5.25	12.27	4106	79.04	20.57	0.39	0	100
0510-8	8	198685	2608392	120.51	23.58	1.714	5.18	9.89	9165	78.68	18.89	2.43	0	100
0510-9	9	197816	2609084	120.50	23.58	1.718	5.22	11.58	11943	77.91	17.86	4.23	0	100
0511-10	10	197508	2607114	120.49	23.56	1.719	5.24	3.20	6891	79.10	20.66	0.24	0	100
0511-11	11	197093	2607419	120.49	23.57	1.719	5.24	14.02	3253	79.00	20.56	0.44	0	100
0511-12	12	196773	2607508	120.49	23.57	1.720	5.25	7.46	8739	78.02	21.15	0.83	0	100
0511-13	13	196590	2607704	120.49	23.57	1.718	5.22	5.19	4394	78.03	19.54	2.43	0	100
0511-14	14	196337	2607821	120.48	23.57	1.719	5.24	9.49	8999	77.79	20.48	1.73	0	100
0511-15	15	196113	2607712	120.48	23.57	1.716	5.20	12.47	6177	78.46	19.91	1.63	0	100
0511-16	16	196107	2607862	120.48	23.57	1.720	5.25	2.12	5656	78.56	21.07	0.36	0	100
0511-17	17	196037	2608377	120.48	23.58	1.720	5.25	5.12	17992	77.46	18.33	4.21	0	100
0511-18	18	196591	2607999	120.49	23.57	1.720	5.25	10.05	9222	78.37	20.41	1.22	0	100
0511-19	19	196902	2607913	120.49	23.57	1.718	5.22	19.61	13383	78.58	19.11	2.31	0	100
0511-20	20	197095	2607777	120.49	23.57	1.719	5.24	2.10	16195	78.03	16.80	5.17	0	100
0511-21	21	197830	2607567	120.50	23.57	1.713	5.16	14.32	12030	76.38	15.93	7.69	0	100
0511-22	22	197685	2607723	120.50	23.57	1.713	5.16	6.06	8034	78.57	20.93	0.50	0	100
0511-23	23	197343	2607828	120.49	23.57	1.717	5.21	2.15	9384	78.45	19.99	1.56	0	100
0511-24	24	196928	2607608	120.49	23.57	1.716	5.20	8.31	20185	76.78	14.18	9.03	0	100
0609-25	25	194498	2606777	120.46	23.56	1.719	5.24	8.46	34213	79.65	17.33	3.02	0	100
0609-26	26	194816	2606584	120.47	23.56	1.720	5.25	12.76	19914	79.46	19.98	0.56	0	100
0609-27	27	195105	2606418	120.47	23.56	1.721	5.26	29.16	27171	80.90	16.15	2.95	0	100
0609-28	28	195355	2606333	120.47	23.56	1.719	5.24	11.53	12826	79.70	16.40	3.90	0	100
0609-29	29	195494	2606291	120.47	23.56	1.720	5.25	52.07	11572	76.67	17.06	6.27	0	100

表 4-3 梅山斷層地區土壤氣體成分分析

no	sample date.	He (ppm)	Rn(Bq/m3)	N2 (%)	O2+Ar (%)	CO2 (%)	CH4 (%)	Total (%)
1	2011/5/30	5.37	50724	84.54	6.56	8.90	0	100
	2011/6/9	5.24	54276	79.73	19.01	1.26	0	100
9	2011/5/30	5.24	13183	78.07	15.06	6.87	0	100
	2011/6/9	5.24	16481	77.36	15.02	7.62	0	100
17	2011/6/9	5.25	29068	69.16	16.77	14.07	0	100
19	2011/5/30	5.25	31416	79.94	13.26	6.80	0	100
	2011/6/9	5.24	28088	-	-	-	-	-
21	2011/5/30	5.28	56265	84.92	5.01	10.06	0	100
	2011/6/9	5.24	57337	75.91	9.31	14.78	0	100

表 4-4 梅山斷層地區固定桿土壤氣體成分分析結果



圖 4-31a 編號 19 採樣點，南華大學校門口警衛室旁



圖 4-31b 編號 21 採樣點，南華大學校內

表 4-5 梅山斷層中正大學旁土壤氣體成分分析結果

samplign date.	He (ppm)	Rn(Bq/m3)	N2 (%)	O2+Ar (%)	CO2 (%)	CH4 (%)	Total (%)
0929-30	5.27	12816	81.66	16.71	1.64	0	100
0929-31	5.24	25399	81.08	14.45	4.46	0	100
0929-34	5.24	35617	80.30	14.65	5.05	0	100
0929-35	5.24	26009	81.38	16.07	2.55	0	100
0929-36	5.24	20656	81.63	17.19	1.18	0	100
0929-37	5.24	30259	82.31	16.92	0.77	0	100
0929-38	5.24	6984	82.45	17.43	0.13	0	100
1006-30	5.24	18522	81.94	16.02	2.05	0	100
1006-30-1	5.24	29091	81.91	14.63	3.46	0	100
1006-31	5.24	17538	81.57	15.18	3.25	0	100
1006-34	5.24	15076	81.94	15.83	2.23	0	100
1006-35	5.24	21052	82.52	17.27	0.21	0	100
1006-36	5.24	23133	80.72	16.66	2.62	0	100
1020-30	5.24	12069	82.37	17.19	0.44	0	100
1020-30-1	5.24	18261	82.26	17.15	0.60	0	100
1020-39	5.24	31677	80.26	15.36	4.38	0	100
1020-40	5.24	18373	79.50	12.05	8.45	0	100



圖 4-32 古坑新舊站相對位置。

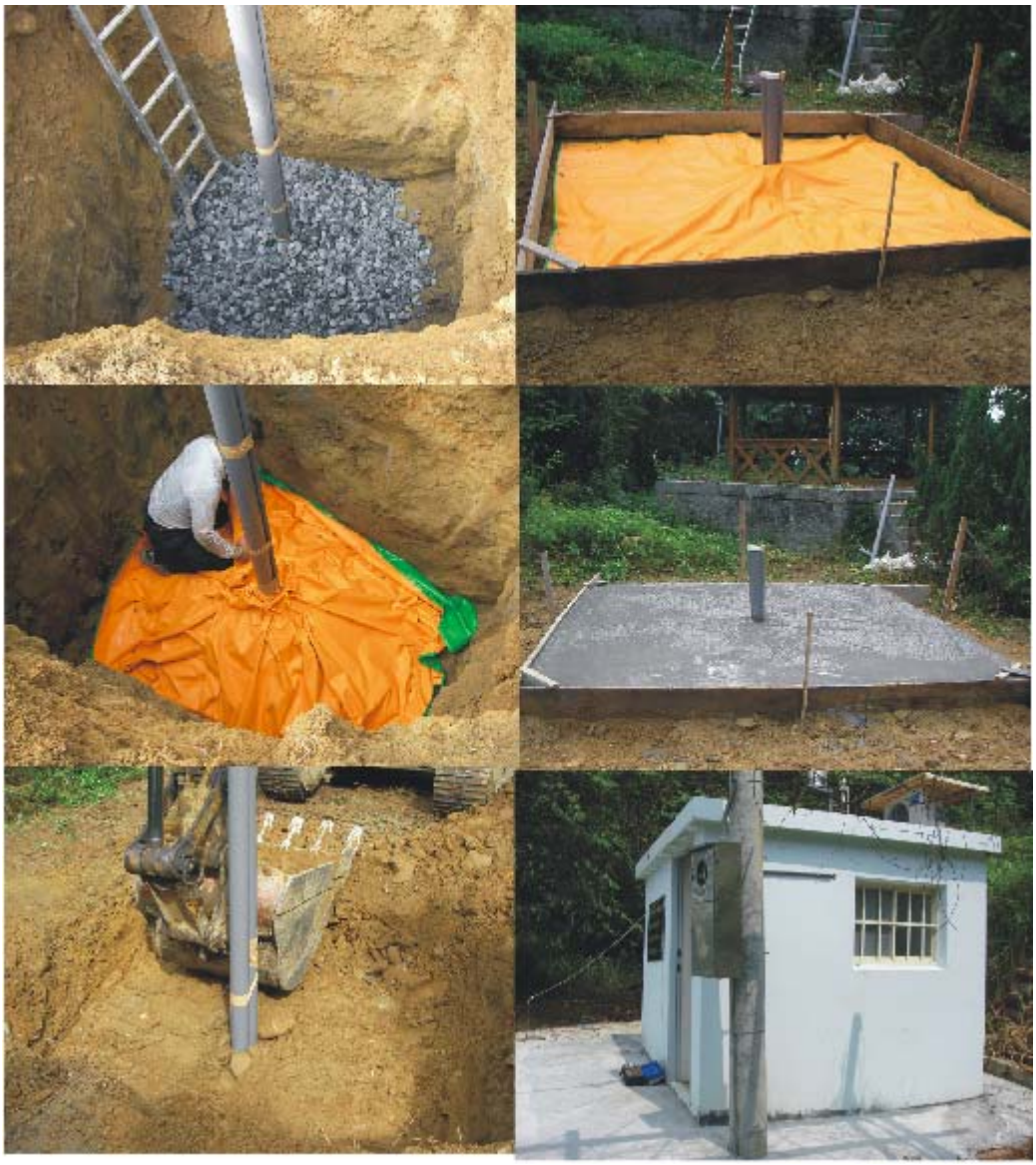


圖 4-33 新觀測站設置情形

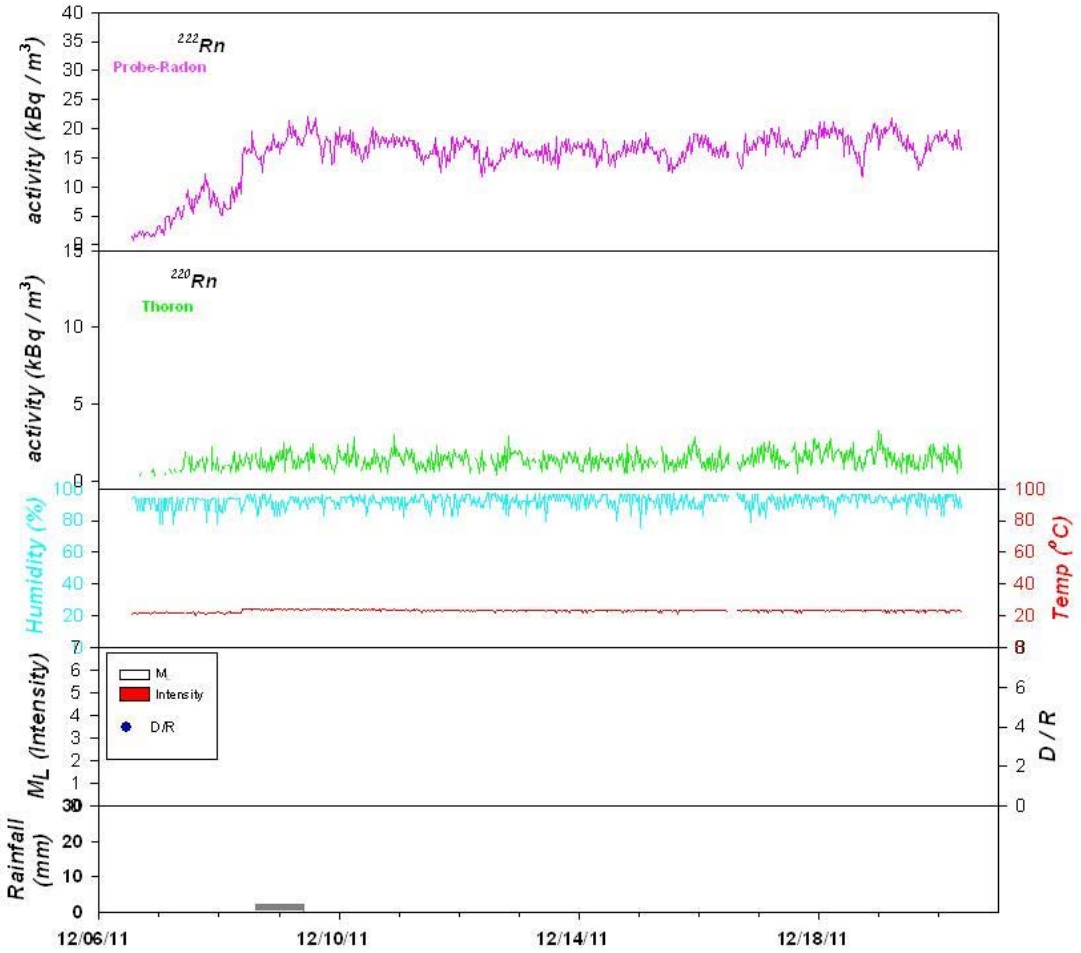


圖 4-34 古坑新測站初步測試結果(2011/12/6-2011/12/18)。

4.4. 屏東屏科大土壤氣體觀測站

圖 4-35 至圖 4-36 為屏科大觀測站 2010 年 12 月至 2011 年 11 月的連續觀測結果。圖 4-35 是總圖表。圖 4-36 至圖 4-46 是分月圖表。首先說明圖示各項參數曲線不連貫是因電腦當機導致數據不齊全。12 月至 7 月使用的是被動式氡氣分析儀，數據結果以粉色曲線表示，7 月底至 11 月加裝一具主動式幫浦氡氣分析儀，數據結果以藍色曲線表示。本站對於降雨有著高度敏感，尤其是在被動式氡氣分析儀所分析的數據上可以明顯的看出，在 5 月中以後，只要降雨就會影響到氣體變化，氡氣變化常在降雨後明顯有升高反應（圖上藍色斜線框所示），雨停之後，由於底下積水尚未排除，逸氣來源未通暢，因此會有段時間儀器分析氡氣濃度會呈現空氣值。而藍色曲線的主動式幫浦氡氣分析儀，受降雨影響較小，但是變化程度卻不若被動式氡氣分析儀來的明顯，因此很難根據單一氡氣濃度變化判斷是否與地震有關。

目前屏科大站使用的是中央氣象局屏東市氣象站的日雨量資料，同樣的屏東市距離測站仍有段距離，且測站較靠近山邊，因此我們選擇測站附近的三地門雨量站的時雨量資料，輔助解釋氣體濃度與雨量的關係，同樣的亦是只有到 2011 年 5 月的資料。比較這六個月的時雨量與日雨量，除了 5 月份的連續降雨對測站氣體濃度有影響外，其他月份降雨多只有一天時間，對測站則無顯著的影響。

本站亦觀察到氣體有異常，且異常時間有的長達 7 天，氣體濃度變化相差達 15000（Bq/m^3）（由 12、1、2、3 月圖上粉色斜線框所示），但是卻無相對應的地震發生，初步已排除是降雨的影響，至於為何會有氣體異常卻無地震發生，這部份仍需其他資料來輔助說明。

圖 4-36 為 2010 年 12 月的連續觀測結果。此月份有兩個明顯的氡氣異常，一是 12 月 7 日至 12 月 14 日，但是觀察此段時間內並無相對應的地震發生。另一個氡氣異常區間是在 12 月 17 日至 12 月 23 日，可以視為是 12 月 25 日於屏東發生的地震(規模 3.8，震度 3 級，深度 12.1km，D/R 2.7)的前兆反應時間。

圖 4-37 為 2011 年 1 月的連續觀測結果。同樣的也是有兩個氡氣異常變化區間，雖是有鋸齒狀的日夜變化，但是長期趨勢來看，還是可以看出其變化。一是 1 月 15 日至 1 月 21 日，同樣的此段時間內並無相對應的地震發生。另一是 1 月 21 日至 1 月 28 日，可以視為是 1 月 28 日於高雄發生的地震(規模 4.2，震度 3 級，深度 5km，D/R 2.2)的前兆反應時間。

圖 4-38 為 2 月的連續觀測結果。2 月 10 日至 2 月 18 日為氡氣異常變化區間，但是觀察這段時間並無相對應的地震發生。圖 4-39 為 3 月的連續觀測結果。全月份可以分成四個氡氣異常變化區間，說明如後。第一個異常區間是 3 月 1 日至 3 月 7 日及第四個異常區間是 3 月 22 日至 4 月 1 日，但是觀察這兩段時間

內，皆無相對應的地震發生。第二個異常區間是 3 月 7 日至 3 月 15 日，可以視為是 3 月 16 日於屏東發生的地震(規模 4.7，震度 3 級，深度 37.9km，D/R 6.6)的前兆反應時間。第三個異常區間是 3 月 15 日至 3 月 22 日，由於這段異常區間內有兩個地震發生（一是發生於 3 月 20 日臺東外海的地震，規模 5.8，震度 2 級，深度 16.3km，D/R 3.7；另一是發生於 3 月 24 日屏東的地震，規模 4.1，震度 2 級，深度 34km，D/R 3.7），且都符合我們的地震篩選原則，因此暫將這段氡氣異常區間視為是這兩個地震的前兆反應時間。

與屏科大站氡氣異常相關地震篩選原則為 $M_L \geqq 5$ 或 Int.≧2 或 D/R≧2 及震央距測站＜200㎞ 皆選入。因此屏科大全部背景地震有 21 起，經過以上原則篩選後的相關地震有 11 起，與測站氡氣異常相關的地震有 5 起。

表 4-6 為屏科大觀測站經過篩選後的相關地震與測站氡氣異常有關的地震列表。

圖 4-47 為屏科大觀測站經過篩選後的相關地震分布圖。白色圈圈為篩選後的地震，紅色圈圈為與測站氡氣異常有關的地震。由圖可看出屏科大測站相關的地震分布位置多集中在台灣南部及東部臺東外海。

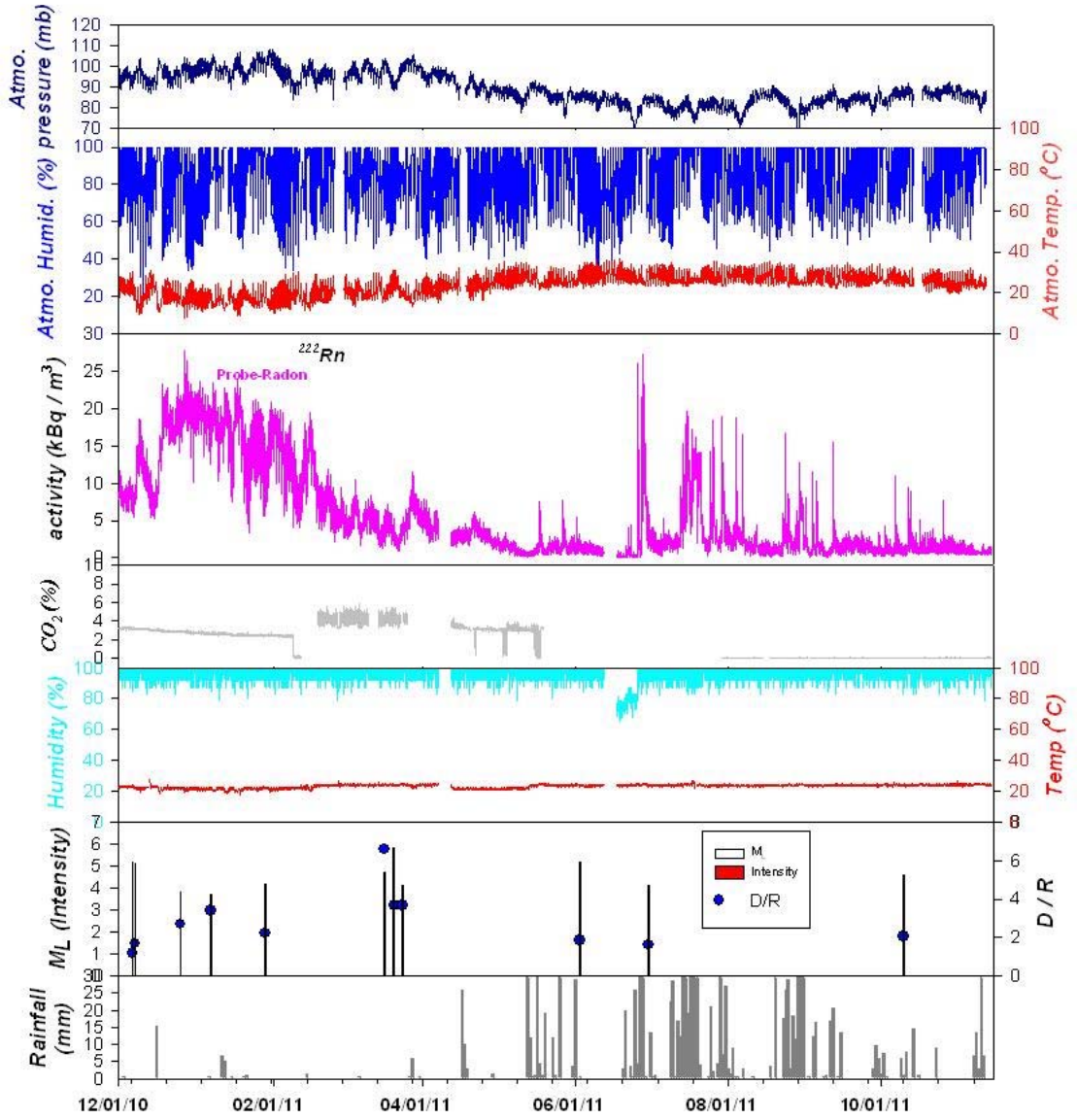


圖 4-35 屏東屏科大（2010/12/01- 2011/11/14）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

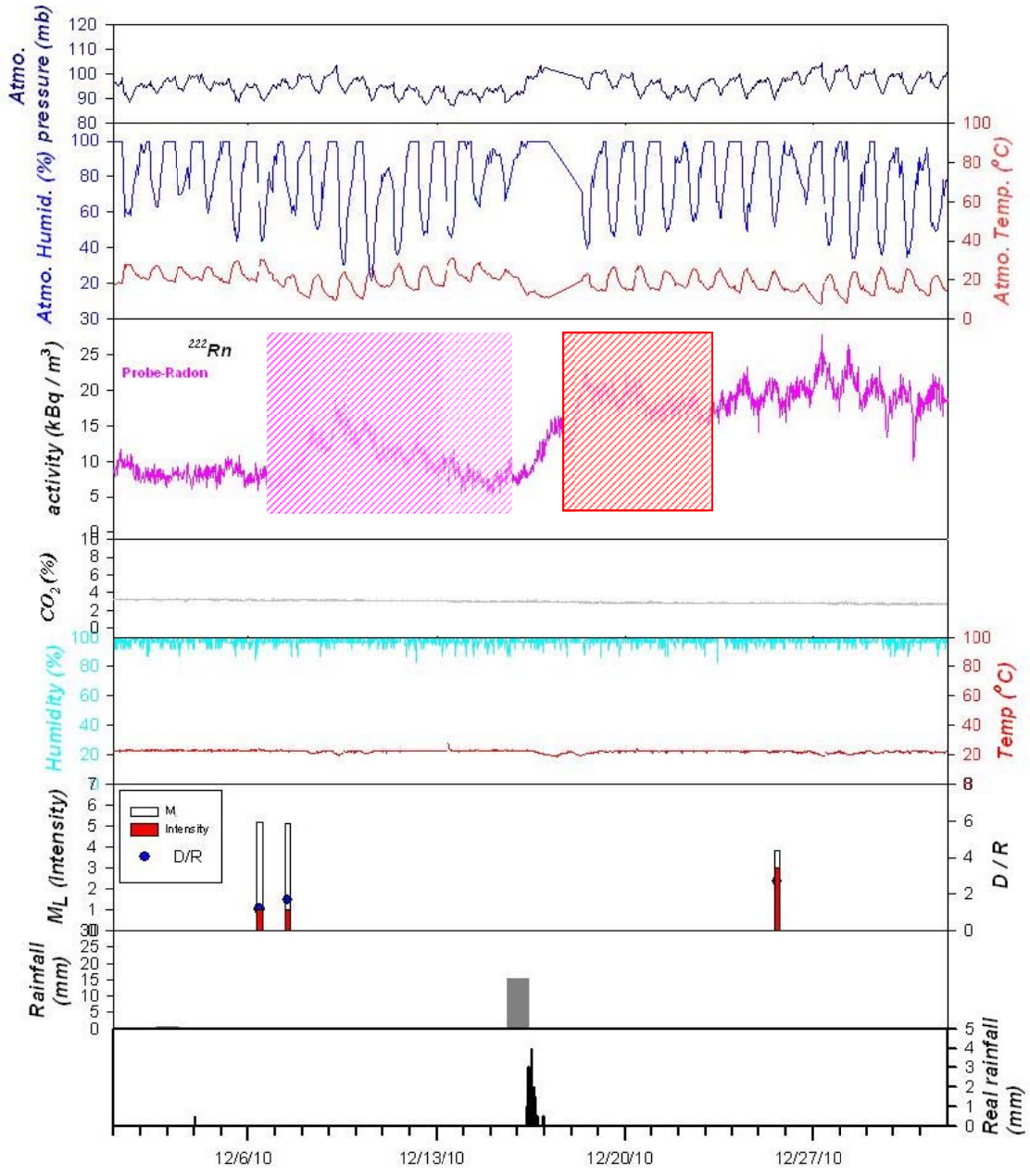
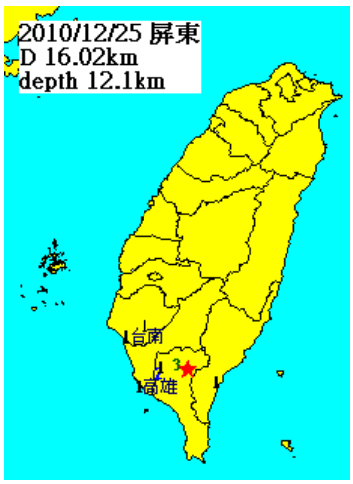


圖 4-36 屏東屏科大（2010/12/01- 2010/12/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；粉色斜線框為有氣體異常但無相對應地震。



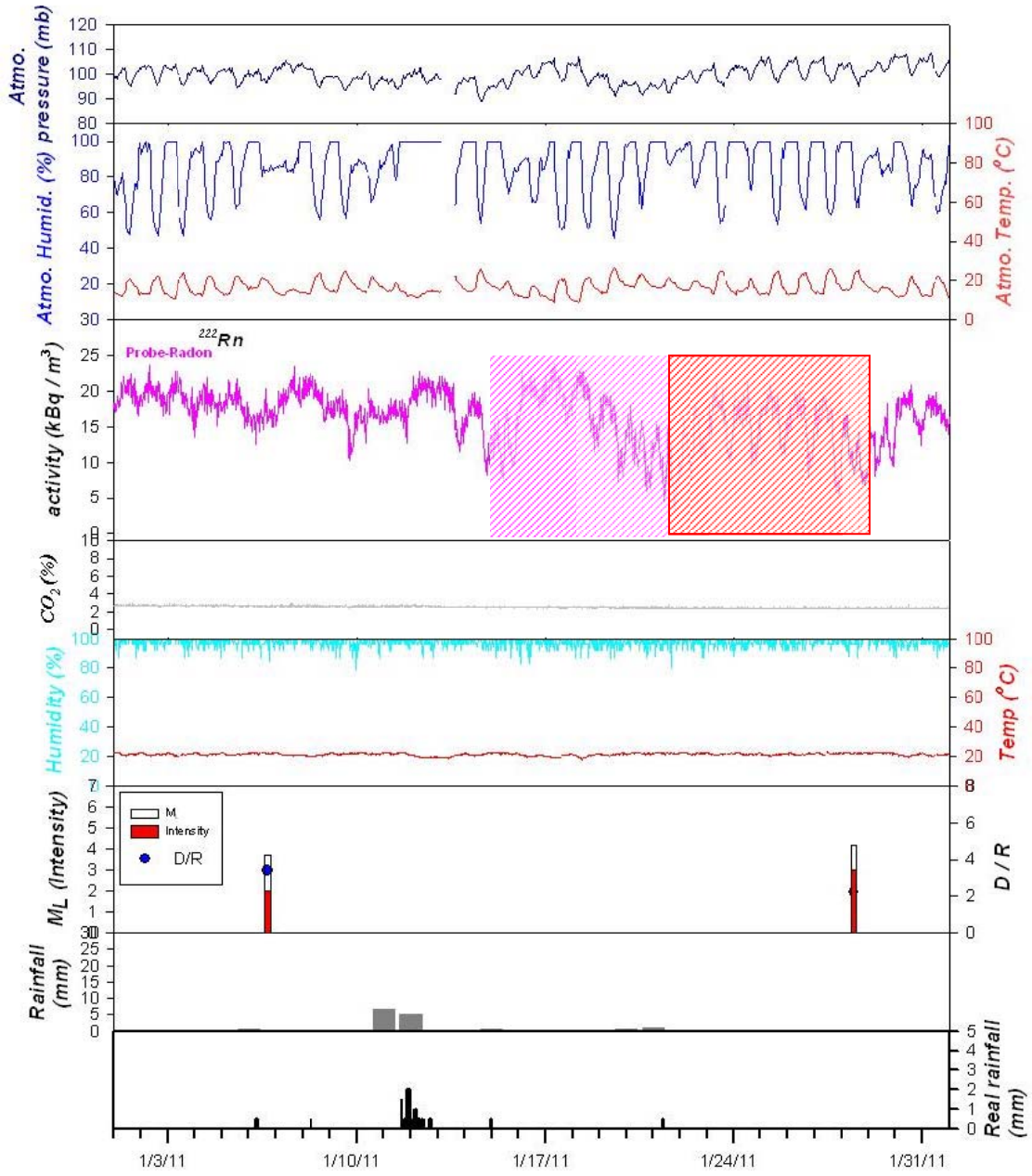
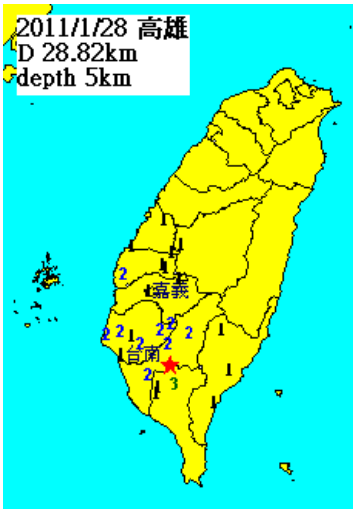


圖 4-37 屏東屏科大（2011/01/01- 2011/01/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；粉色斜線框為有氣體異常但無相對應地震。



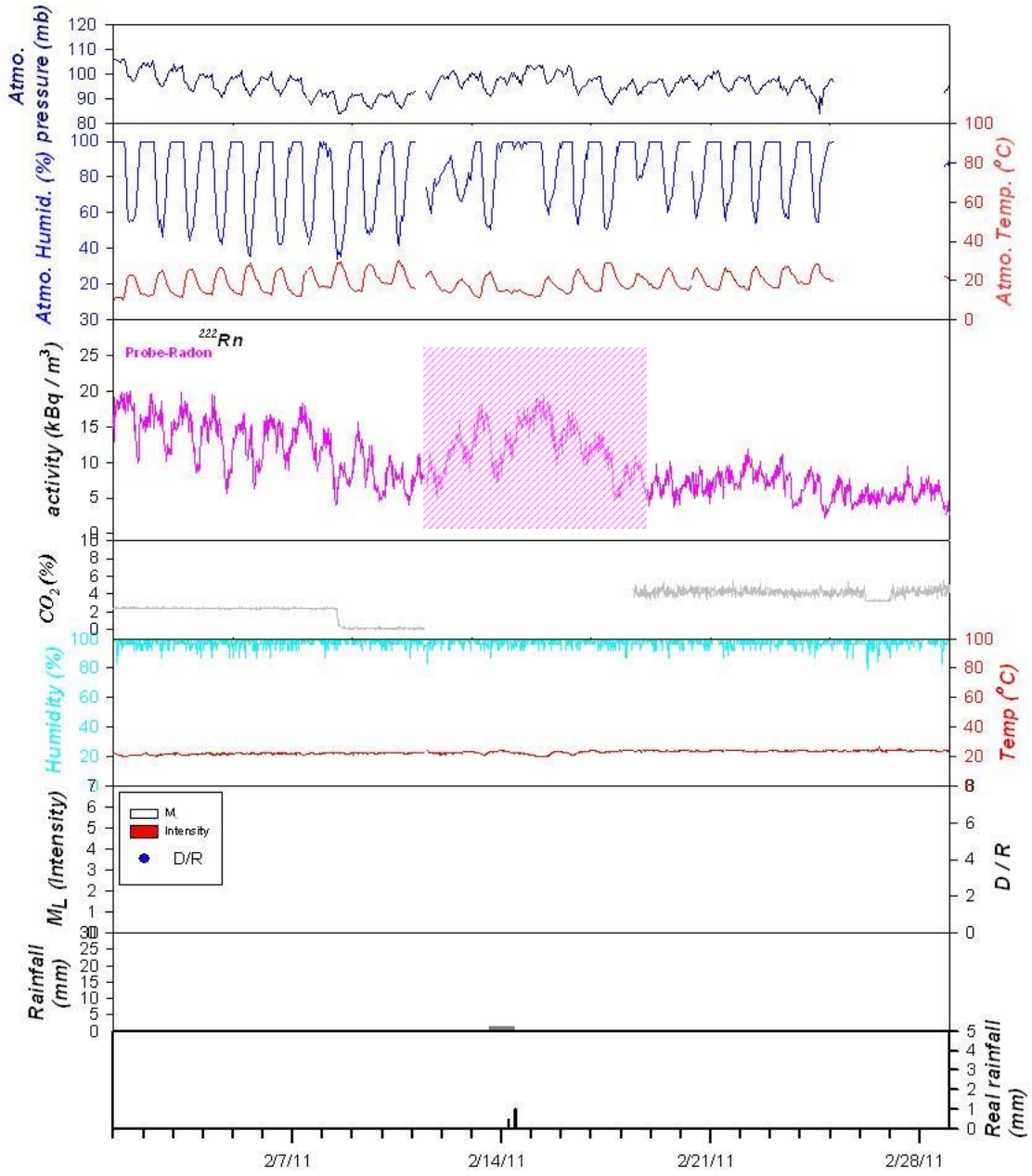


圖 4-38 屏東屏科大（2011/02/01- 2011/02/28）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；粉色斜線框為有氣體異常但無相對應地震。

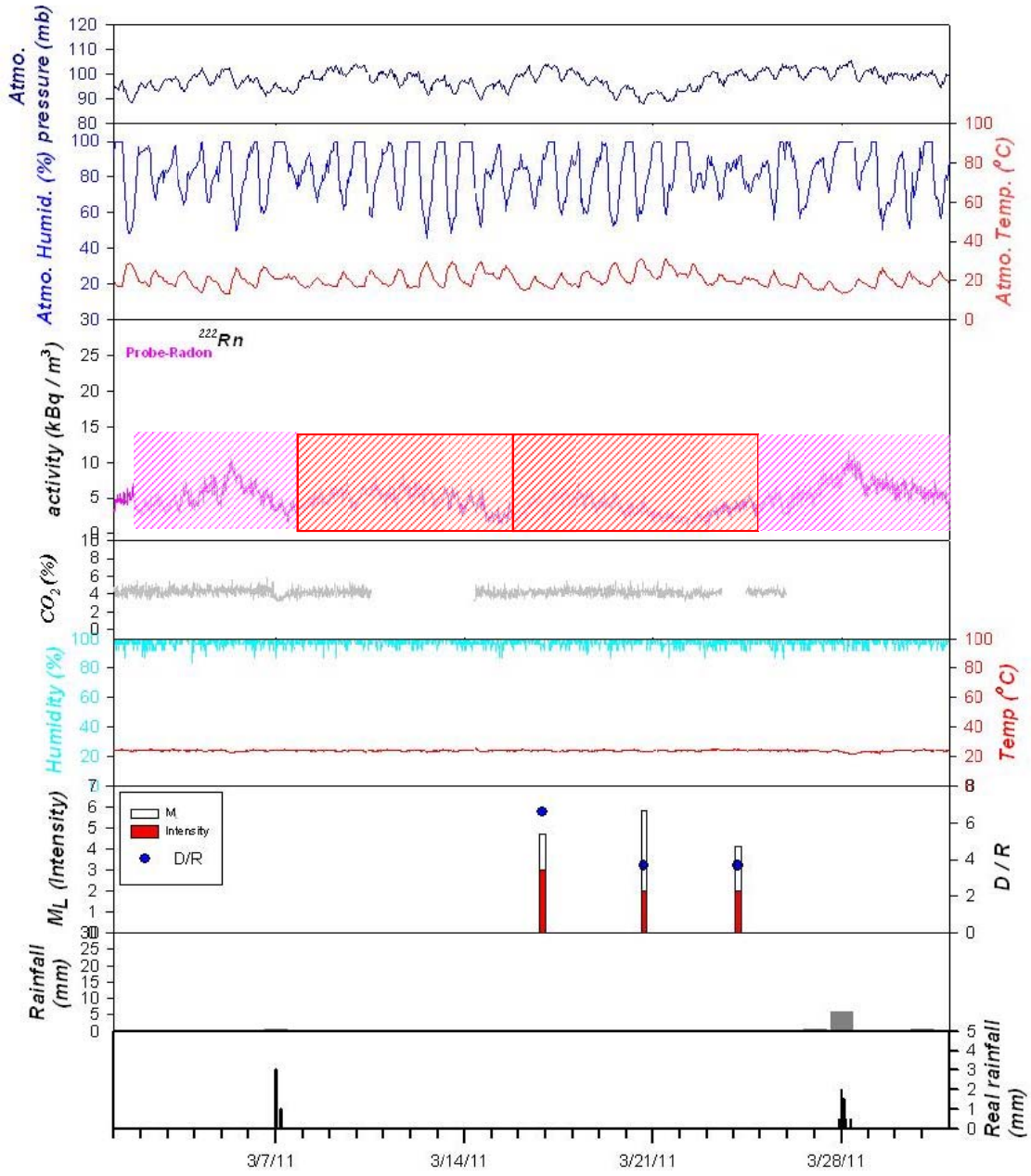
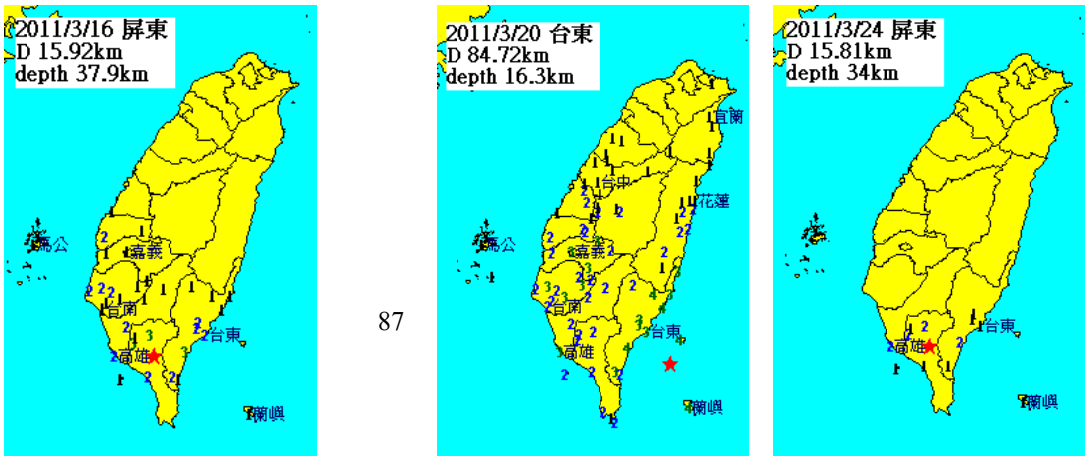


圖 4-39 屏東屏科大（2011/03/01- 2011/03/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；粉色斜線框為有氣體異常但無相對應地震。



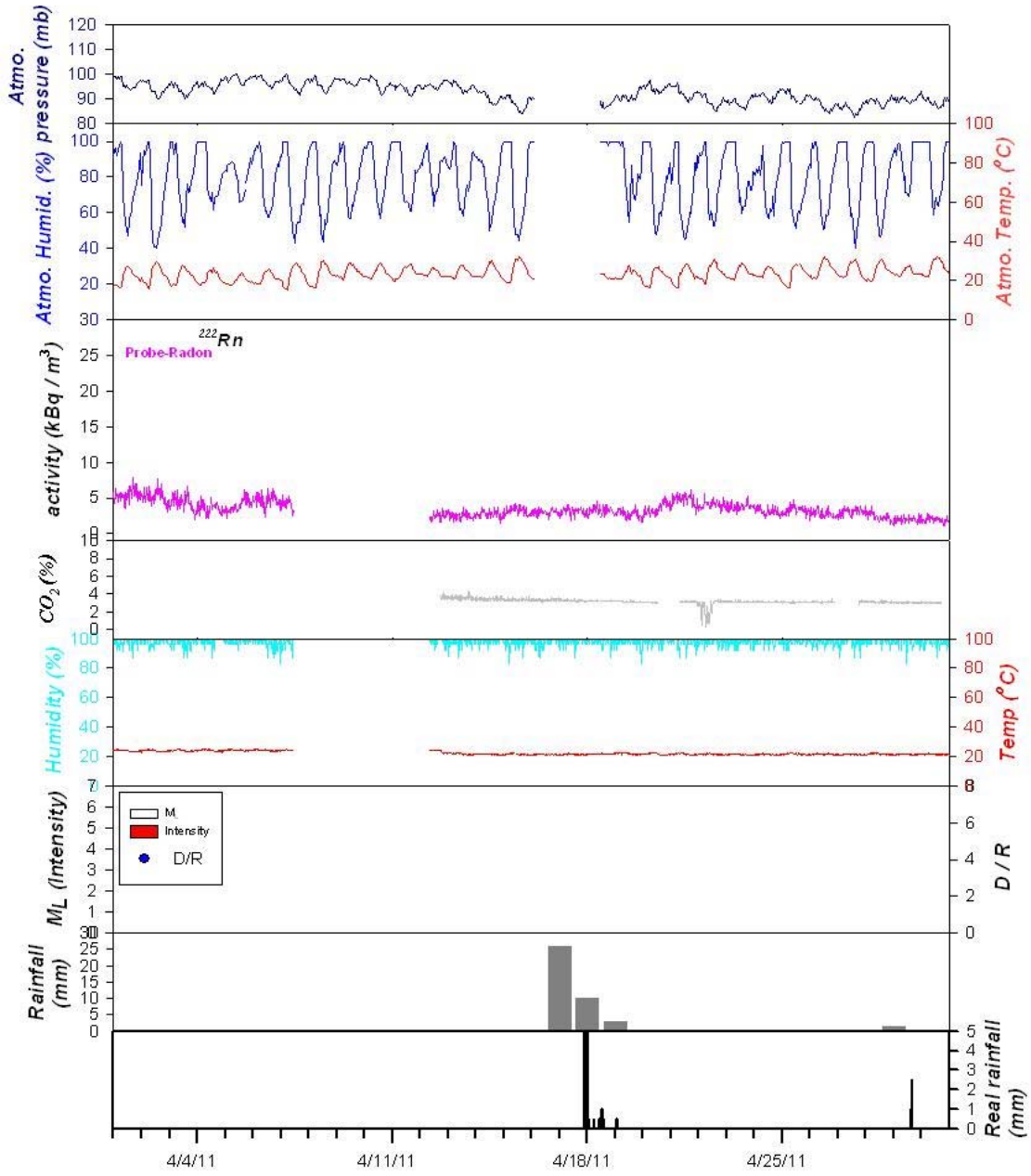


圖 4-40 屏東屏科大（2011/04/01- 2011/04/30）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

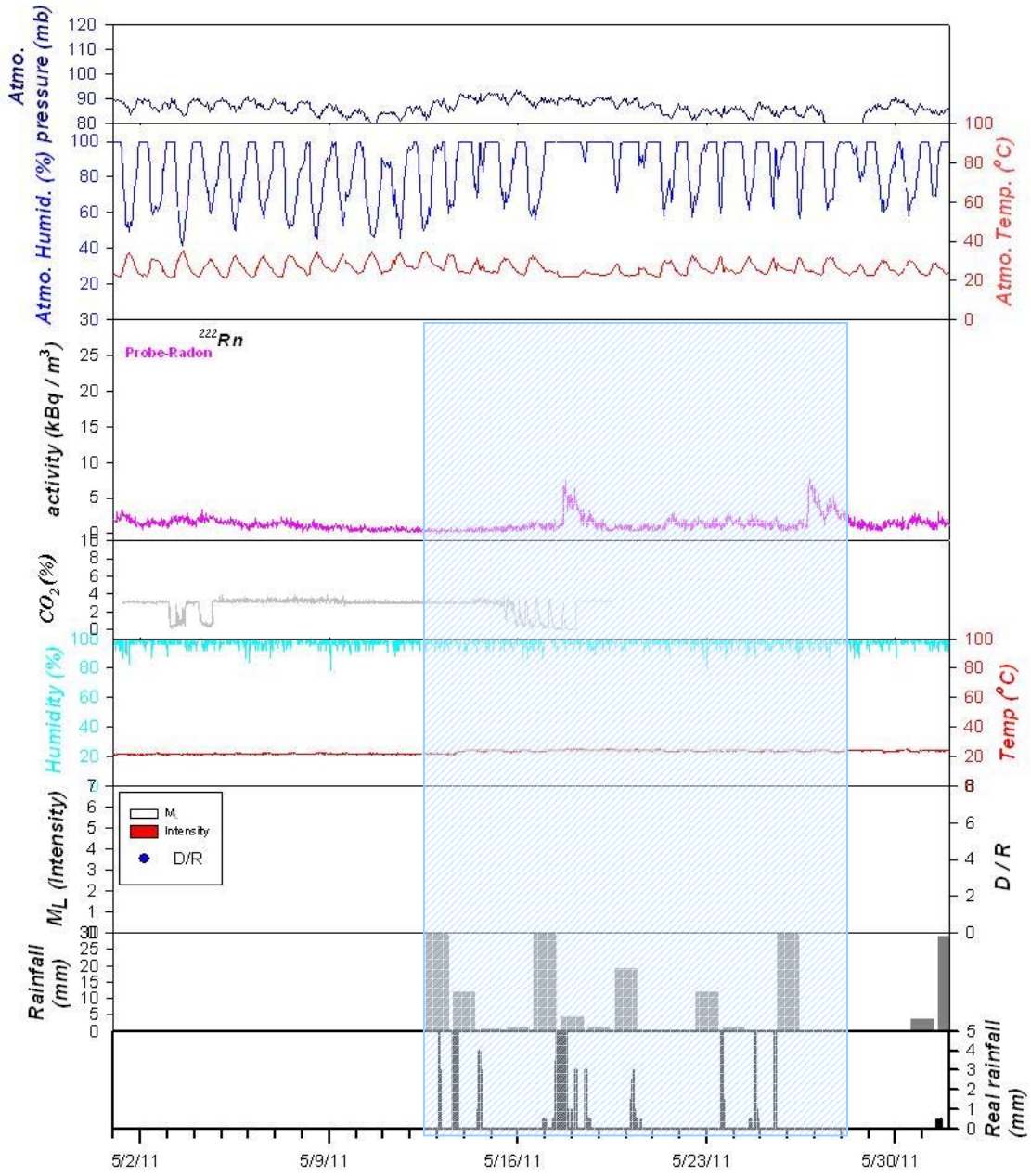


圖 4-41 屏東屏科大（2011/05/01- 2011/05/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

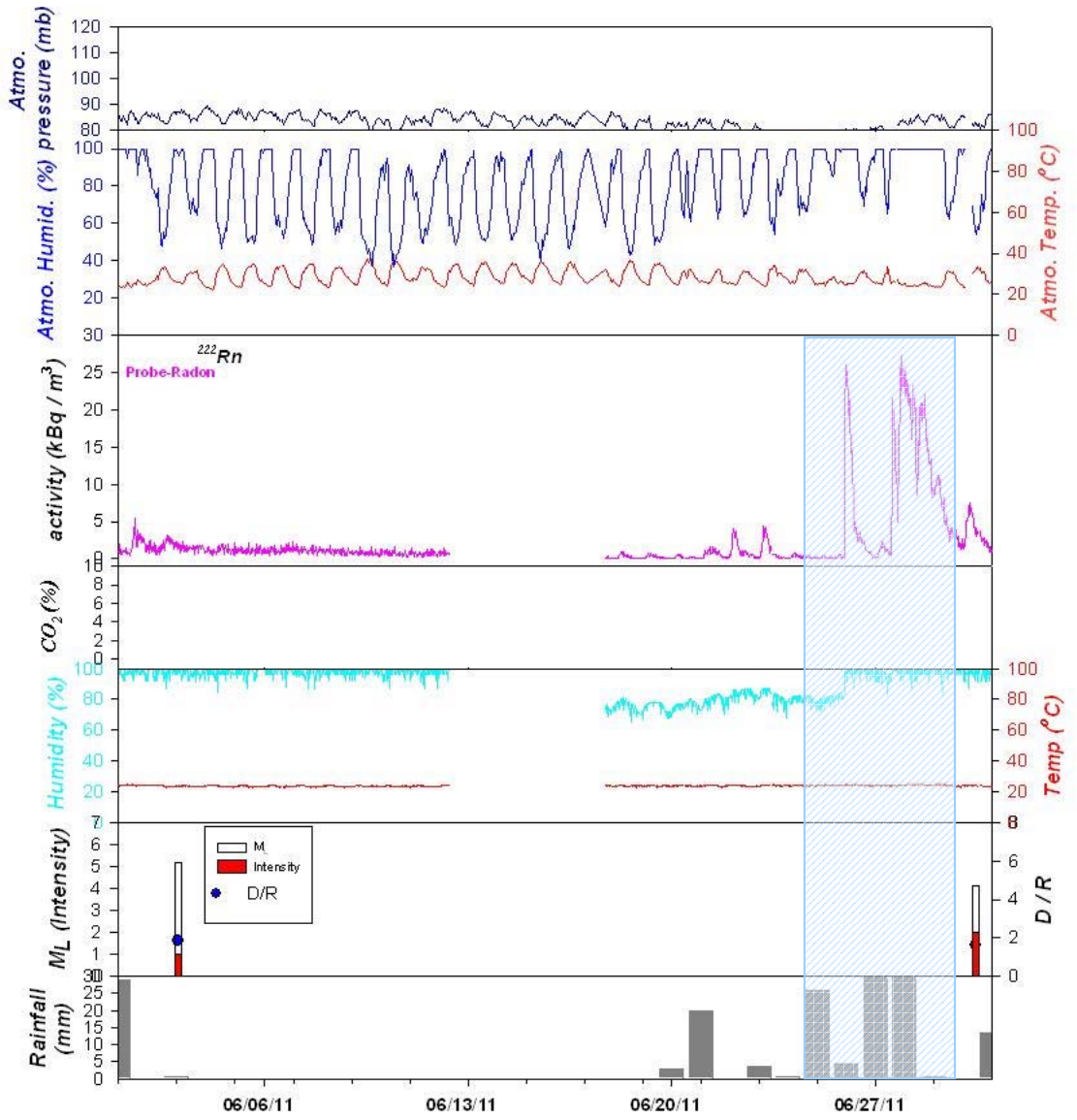


圖 4-42 屏東屏科大（2011/06/01- 2011/06/30）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

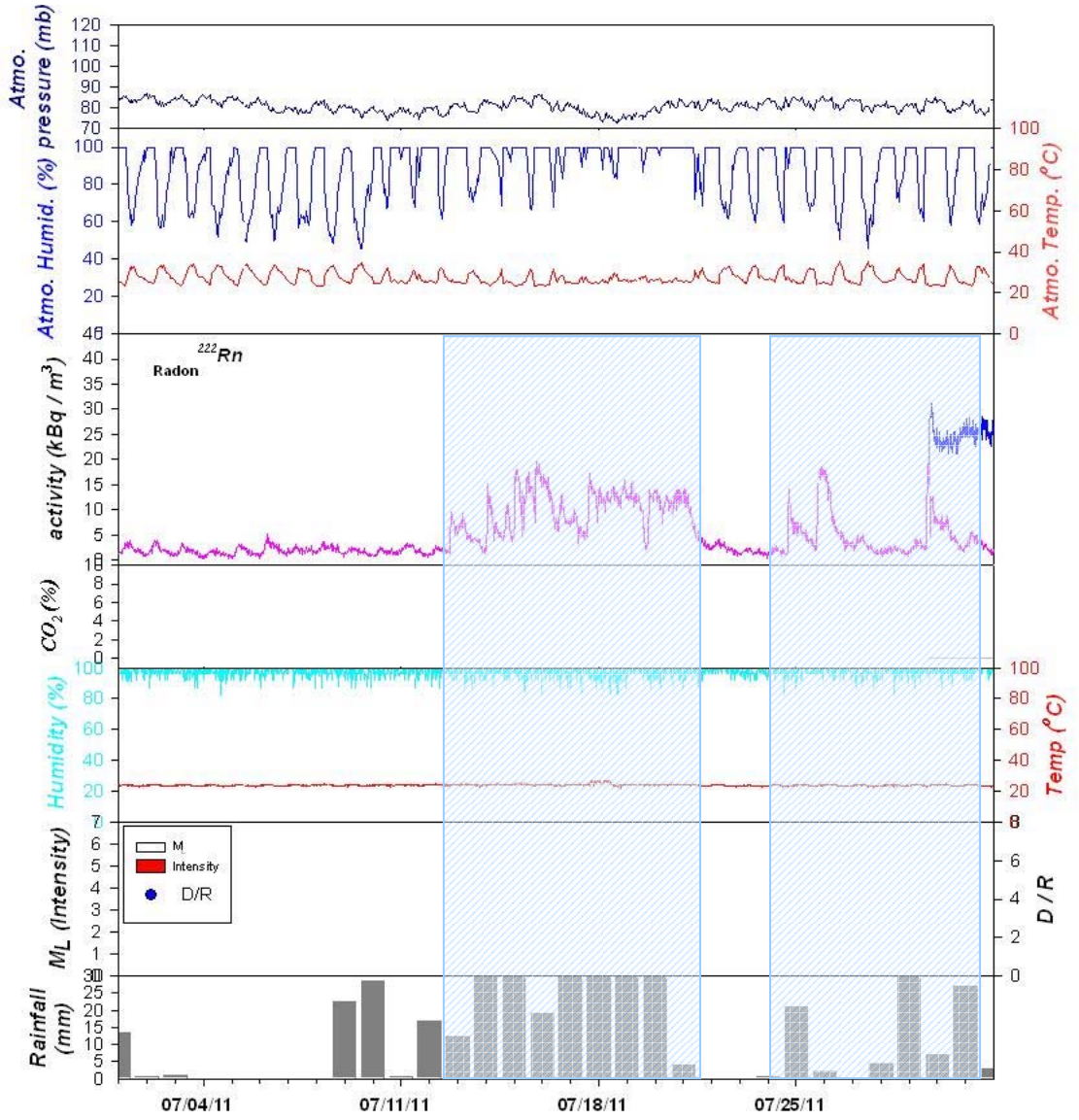


圖 4-43 屏東屏科大（2011/07/01- 2011/07/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

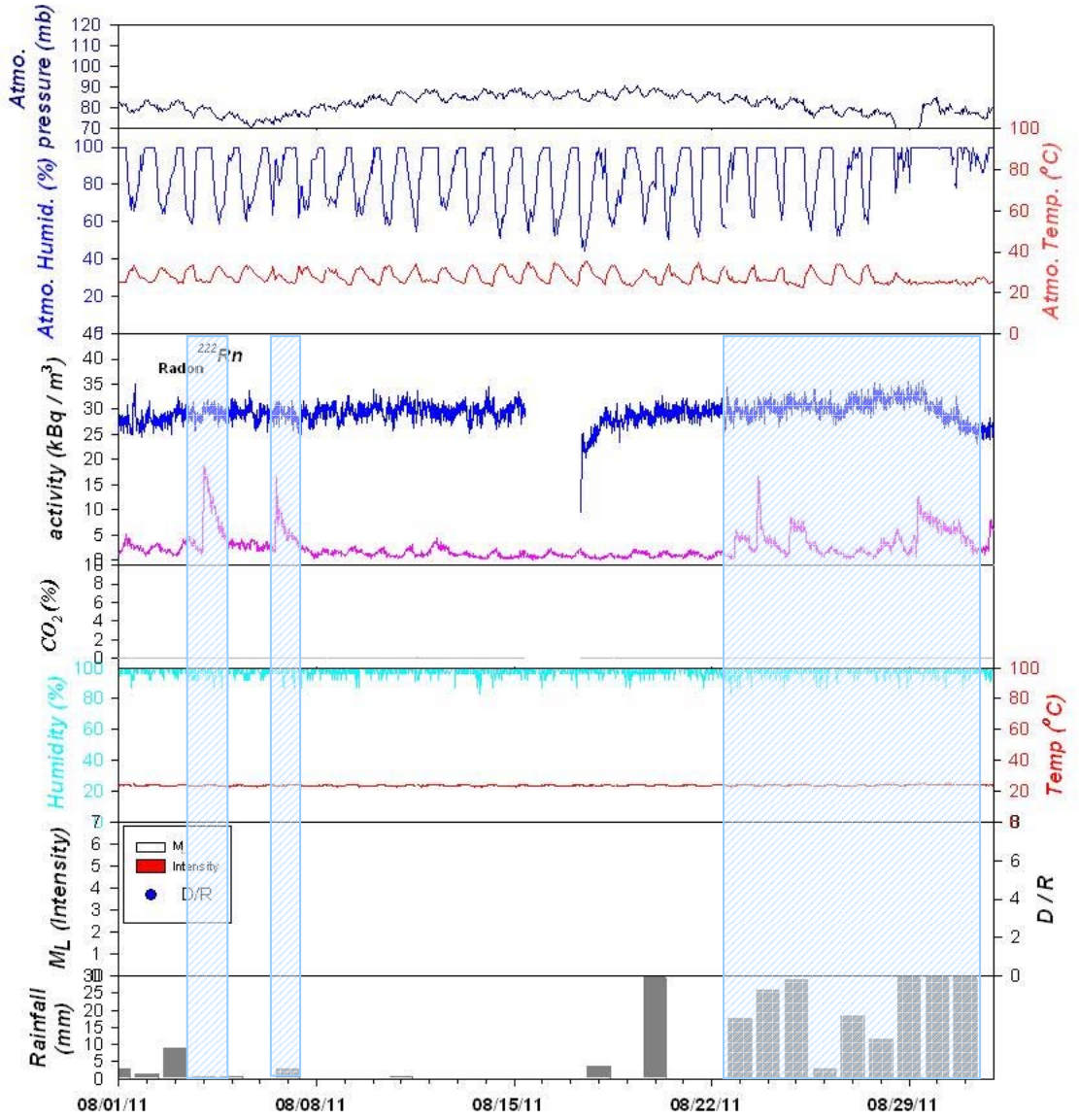


圖 4-44 屏東屏科大（2011/08/01- 2011/08/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

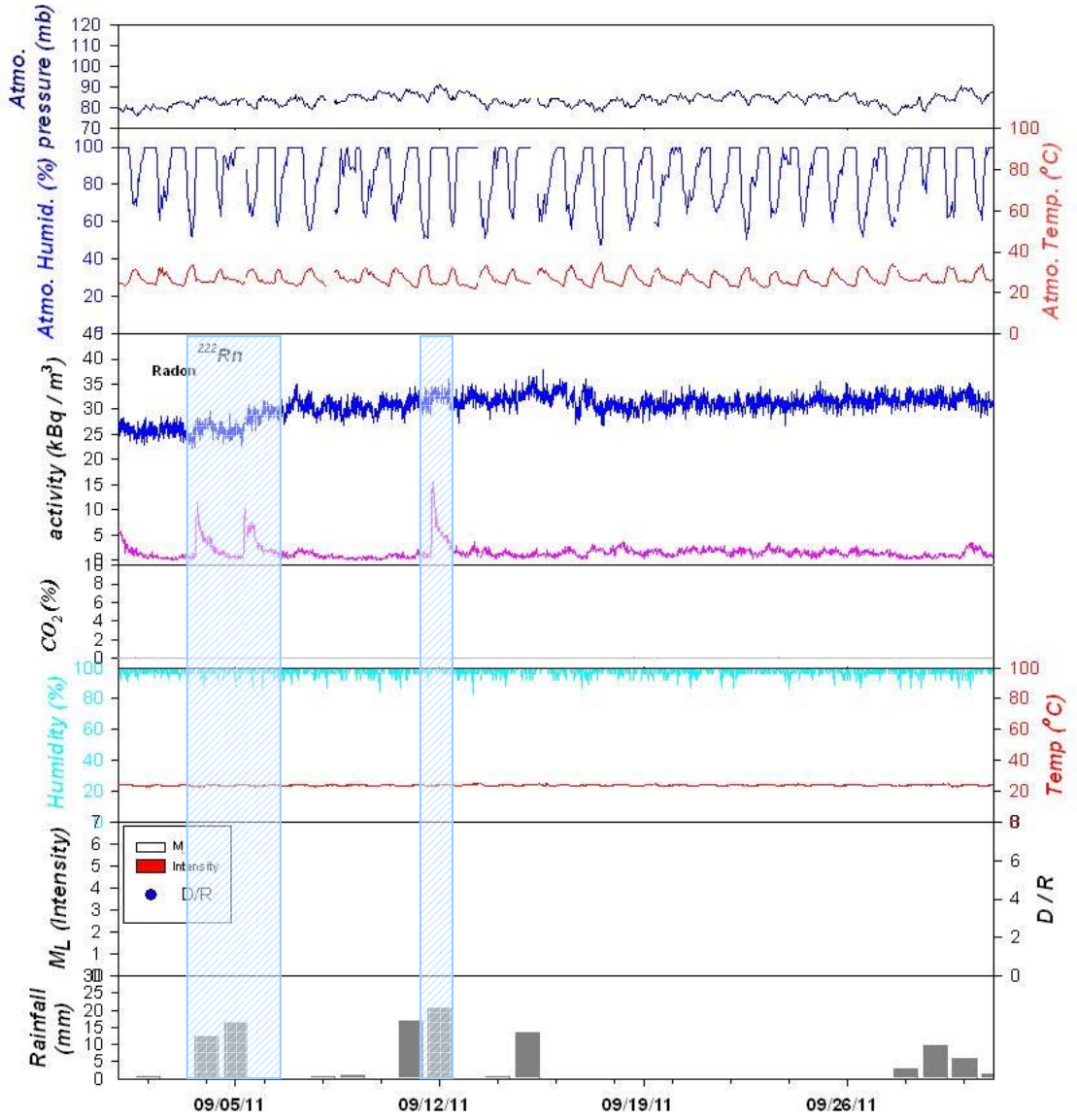


圖 4-45 屏東屏科大（2011/09/01- 2011/09/30）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

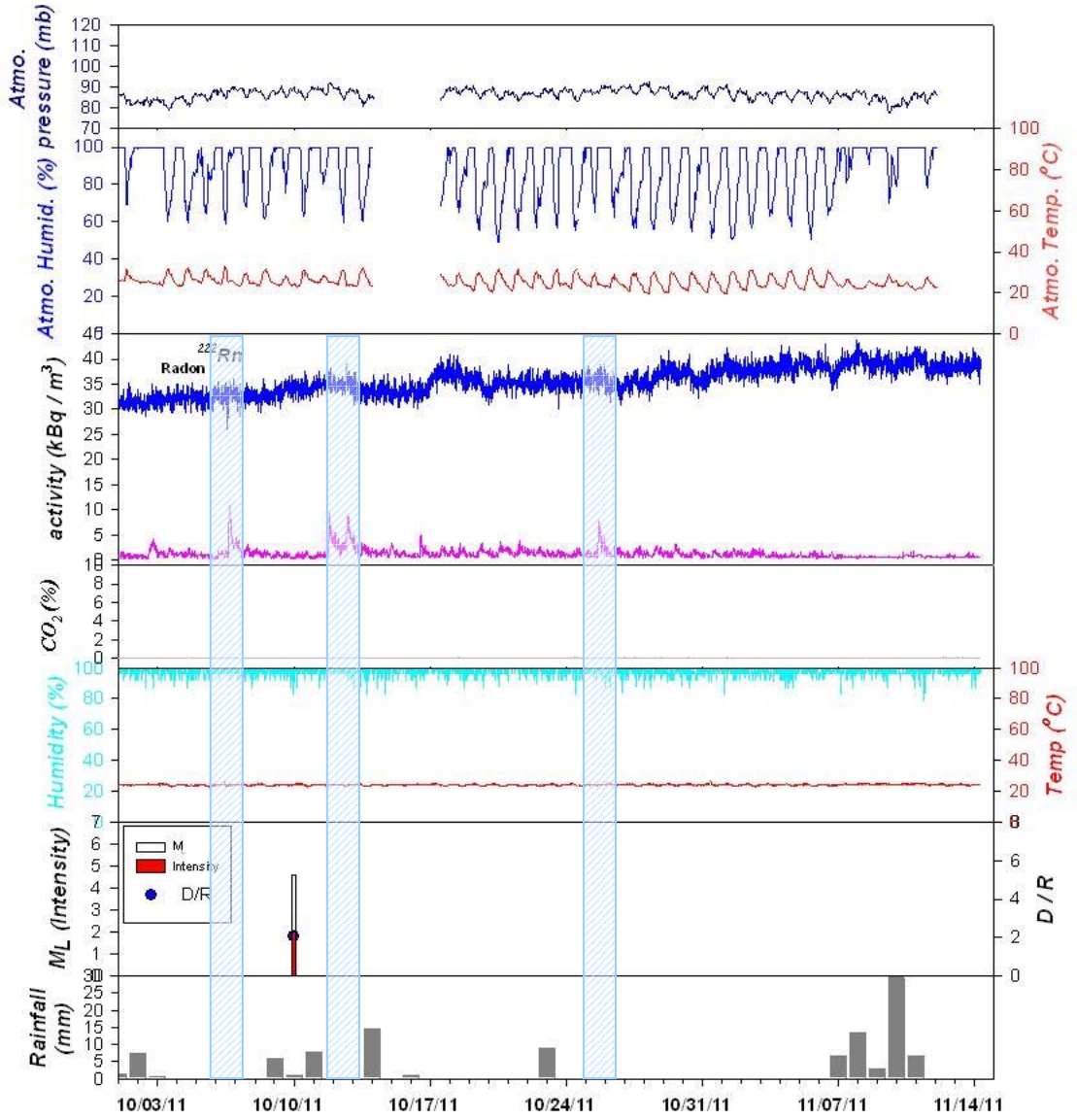


圖 4-46 屏東屏科大（2011/10/01- 2011/11/14）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

120.61 22.64	屏東(三地門地震站)			Mʟ≧5 或 Int.≧2 或 D/R≧2，距離<200km								
No	西元時間	規模	D=10^(0.43*M)	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
10-581	2010/12/6 10:14	5.2	172.19	121.5	23.67	25.3	花蓮西林地震站南偏東方 16.5 公里		1	1.74	145.79	1.2
10-583	2010/12/7 10:46	5.1	155.96	121.46	22.92	30.1	台東成功地震站南偏東方 21.3 公里		1	1.91	92.49	1.7
10-613	2010/12/25 15:48	3.8	43.05	120.76	22.68	12.1	屏東縣政府東方 28.0 公里	v	3	12.38	16.02	2.7
11-6	2011/1/6 16:47	3.7	38.99	120.72	22.66	7.5	屏東縣政府東方 23.9 公里		2	x	11.50	3.4
11-32	2011/1/28 10:52	4.2	63.97	120.63	22.9	5	高雄市政府東北方 45.4 公里	v	3	18.66	28.82	2.2
*11-43	2011/2/1 16:16	5.5	231.74	121.8	24.24	17.6	花蓮縣政府東北方 33.0 公里外海				214.59	1.1
*11-90	2011/2/15 15:18	5.5	231.74	121.3	21.18	35.4	台東縣政府南方 175.0 公里外海				176.42	1.3
11-137	2011/3/16 21:12	4.7	104.95	120.71	22.53	37.9	屏東縣政府東南方 28.3 公里	v	3	19.38	15.92	6.6
11-146	2011/3/20 16:00	5.8	311.89	121.4	22.42	16.3	台東縣政府東南方 45.3 公里外海	v	2	5.38	84.72	3.7
11-153	2011/3/24 04:27	4.1	57.94	120.72	22.54	34	屏東縣政府東偏南方 28.8 公里	v	2	5.38	15.81	3.7
*11-219	2011/4/29 21:12	5.9	344.35	122.07	21.35	178.1	台東縣政府南偏東方 182.5 公里外海		2	2.63	207.37	1.7
*11-220	2011/4/30 16:35	5.8	311.89	121.81	24.65	75	宜蘭縣政府南偏東方 10.1 公里				253.69	1.2
11-278	2011/6/3 01:07	5.2	172.19	121.38	22.22	19.1	台東縣政府南偏東方 63.4 公里外海		1	1.62	91.77	1.9
*11-290	2011/6/10 09:25	5.1	155.96	121.68	23.57	28	花蓮縣政府南方 46.8 公里外海				150.19	1.0
*11-314	2011/6/24 13:43	3.6	35.32	121.05	22.82	6.1	台東縣政府西偏北方 12.6 公里 (位於台東縣卑南鄉)		2	2.63	49.33	0.7
*11-317	2011/6/26 21:19	5	141.25	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)				139.16	1.0
11-322	2011/6/30 10:38	4.1	57.94	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)		2	3.11	36.09	1.6
*11-381	2011/7/12 19:17	5.3	190.11	121.53	23.53	20.7	花蓮縣政府南方 52.3 公里 (位於花蓮縣近海)				136.18	1.4
*11-476	2011/9/9 11:26	5	141.25	120.99	22.33	9.4	台東縣政府南偏西方 50.1 公里 (位於台灣東部海域)				51.96	2.7
11-524	2011/10/9 23:54	4.6	95.06	121.03	22.5	21.4	台東縣政府南偏西方 30.7 公里 (位於台東縣近海)		2	4.31	45.82	2.1
*11-562	2011/10/30 11:23	6.3	511.68	123.14	25.29	221.4	基隆市政府東方 141.4 公里 (位於台灣東北部海域)				389.87	1.3

表 4-6 屏東屏科大觀測站經過篩選後的相關地震及與氡氣異常有反應的地震列表

*表示受到降雨影響、距測站太遠（≧150km）、震源太深（≧50km）的地震，不列入測站氣體異常的分母地震

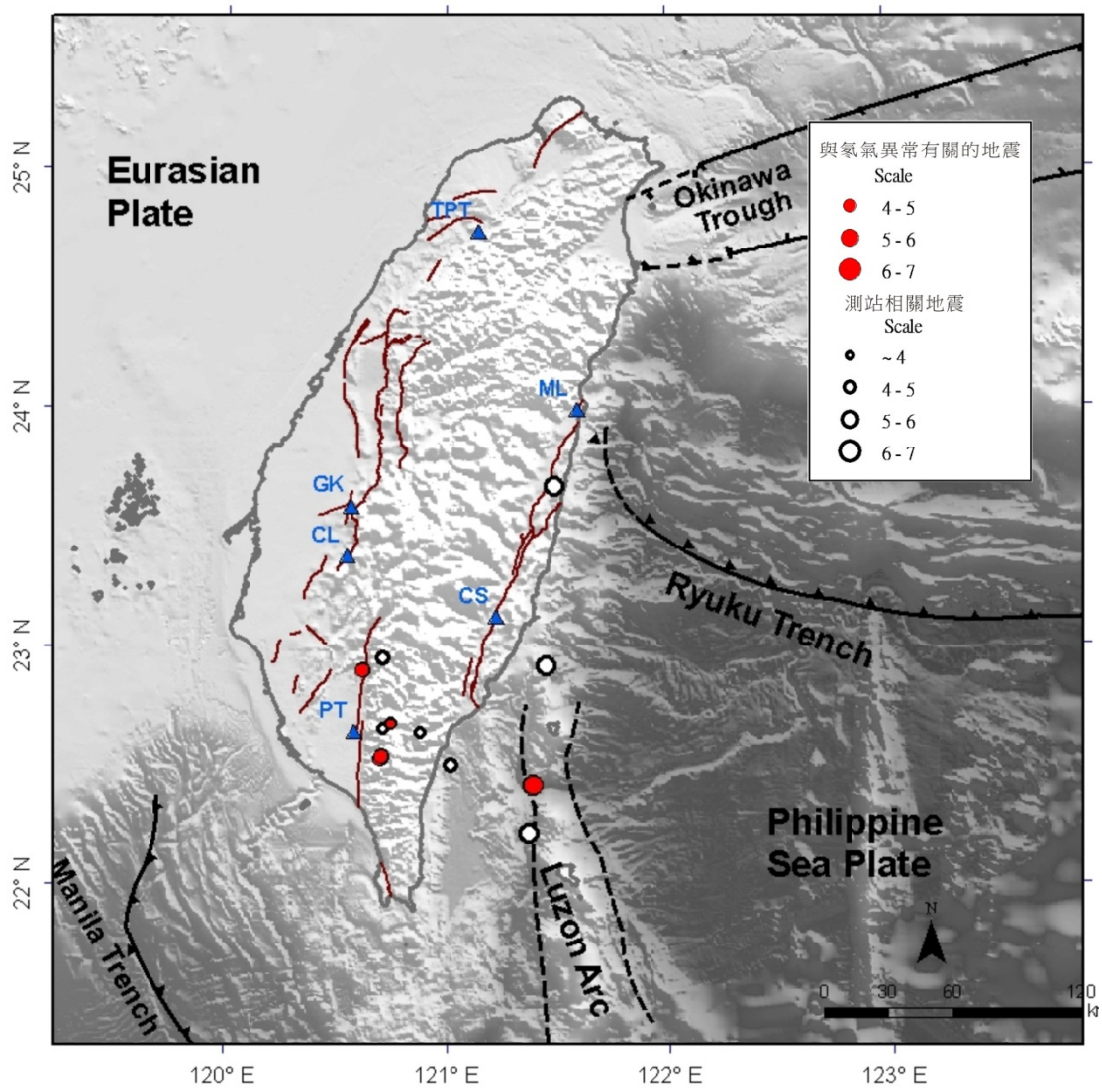


圖 4-47 屏東觀測站經過篩選後的相關地震分布圖（2010/12-2011/11）。

4.5 花蓮美崙土壤氣體觀測站

圖 4-48 至圖 4-62 為美崙觀測站 2010 年 12 月至 2011 年 11 月的連續觀測結果。圖 4-48 是總圖表。圖 4-49 至圖 4-62 是分月圖表。

此站於去年九月底建置完成啟用，隨後卻遇上十月份的豪大雨，造成儀器設備受潮，開挖地底下用以當做逸氣來源的儲氣槽積水，之後更換儀器，以下為更換儀器後所收集的數據分析（其中在 2011 年 1 月至 3 月的圖示部份，由於有兩種儀器同步量測，為求客觀分析氣體異常與地震的關係，遂將兩種儀器的分析結果一併放入。probe 部分為被動式無幫浦氡氣分析儀；RTM 部分為主動式有幫浦氡氣分析儀）。在經過一段時間讓地底下儲氣槽積水退去後，圖 4-49 為 2010 年 12 月的連續觀測結果。此月份有一個明顯且完整的氡氣異常區間，是在 12 月 13 日至 12 月 19 日，可以視為是 12 月 22 日於花蓮秀林發生的地震(規模 4.2，震度 2 級，深度 33.9km，D/R 4.7)的前兆反應時間。

圖 4-50 至圖 4-55 為 2011 年 1 月至 3 月的連續觀測結果。由於 probe 分析部份容易受到降雨的影響（圖上藍色斜線框所示），因此再輔助以 RTM 分析來觀察，扣除掉 probe 分析受到降雨影響的時間區塊外，由兩張三月份的圖示可以看出，不管是 probe（有兩個異常變化區間，另一個疑似有受到降雨影響）或是 RTM（有三個氡氣異常變化區間）皆有明顯氡氣異常反應。說明如後。第一個異常區間是 3 月 1 日至 3 月 7 日，可以視為是 3 月 8 日於花蓮外海發生的地震(規模 4.5，震度 2 級，深度 50.4km，D/R 5.3)的前兆反應時間。第二個異常區間是 3 月 14 日至 3 月 21 日，可以視為是 3 月 18 日於花蓮外海發生的地震(規模 4.4，震度 1 級，深度 5.5km，D/R 2.9)的前兆反應時間。第三個異常區間是 3 月 21 日至 3 月 29 日，可以視為是發生於 3 月 30 日花蓮的地震(規模 4.7，震度 4 級，深度 23.2km，D/R 9.8）的前兆反應時間。

之後由於主動式氡氣分析儀進水故障送修，此站只由被動式氡氣分析儀進行氣體濃度分析，又由於受到降雨影響，氡氣分析值變化劇烈，直到資料收取截止，仍無法呈現有效有品質的資料進行解釋。有鑒於此，希冀能於明年計畫將此站做妥適的搬遷至附近較不易積水地區（附近即為美崙斷層通過地帶），繼續進行觀察，

與美崙站氡氣異常相關地震篩選原則為 $M_L \geqq 5$ 或 Int.≧2 或 D/R≧2 及震央距測站＜200㎞ 皆選入，另外根據此站只反應東部地震特性來看（尤其是在花蓮北部內陸及近海），此站篩選原則也考量當氡氣受到雨量干擾時若有地震發生即無可供解釋的資料，因此也將氡氣變化因雨影響的地震剔除。因此美崙站全部背景地震有 124 起，經過以上原則篩選後的相關地震有 30 起，與測站氡氣異常相關的地震有 4 起。

表 4-8 為美崙觀測站經過篩選後的相關地震與測站氡氣異常有關的地震列表。

圖 4-63 為美崙觀測站經過篩選後的相關地震分布圖。白色圈圈為篩選後的地震，紅色圈圈為與測站氡氣異常有關的地震。由圖可看出美崙測站相關的地震分布位置多集中在台灣東部及測站鄰近處（花蓮北部地區附近）。

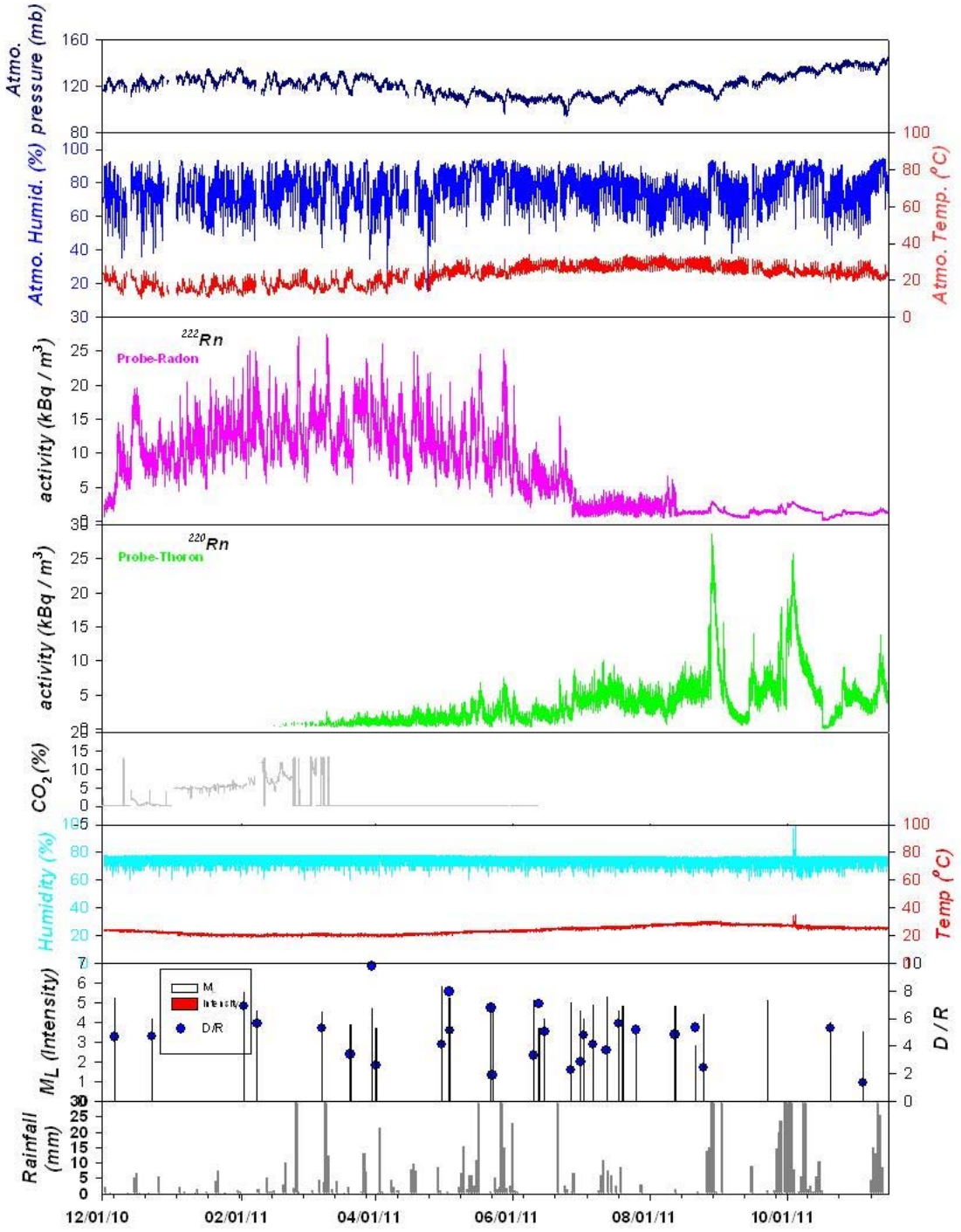


圖 4-48 花蓮美崙（2010/12/01- 2011/11/14）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

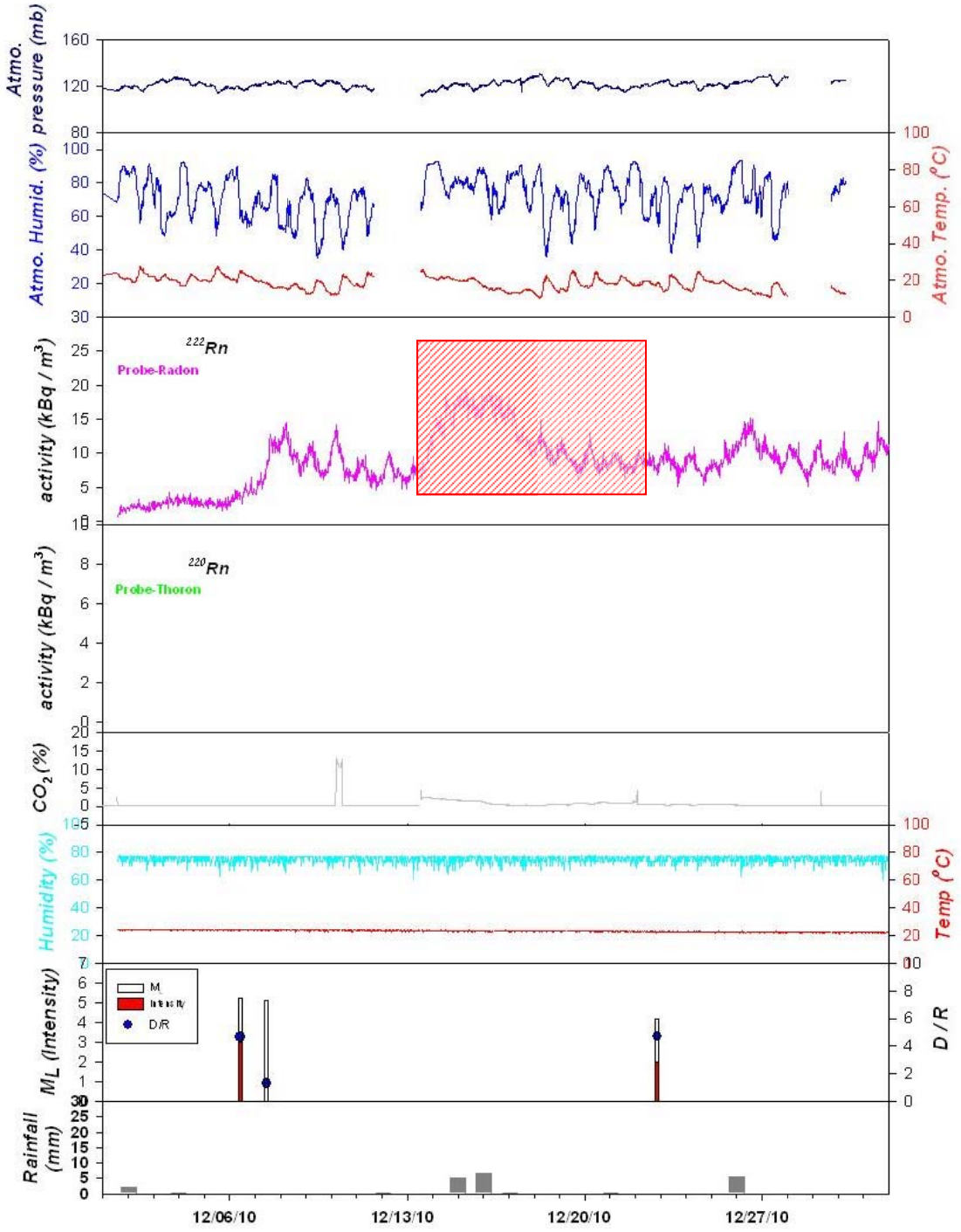
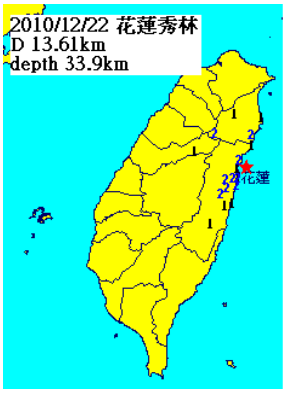


圖 4-49 花蓮美崙（2010/12/01- 2010/12/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間。



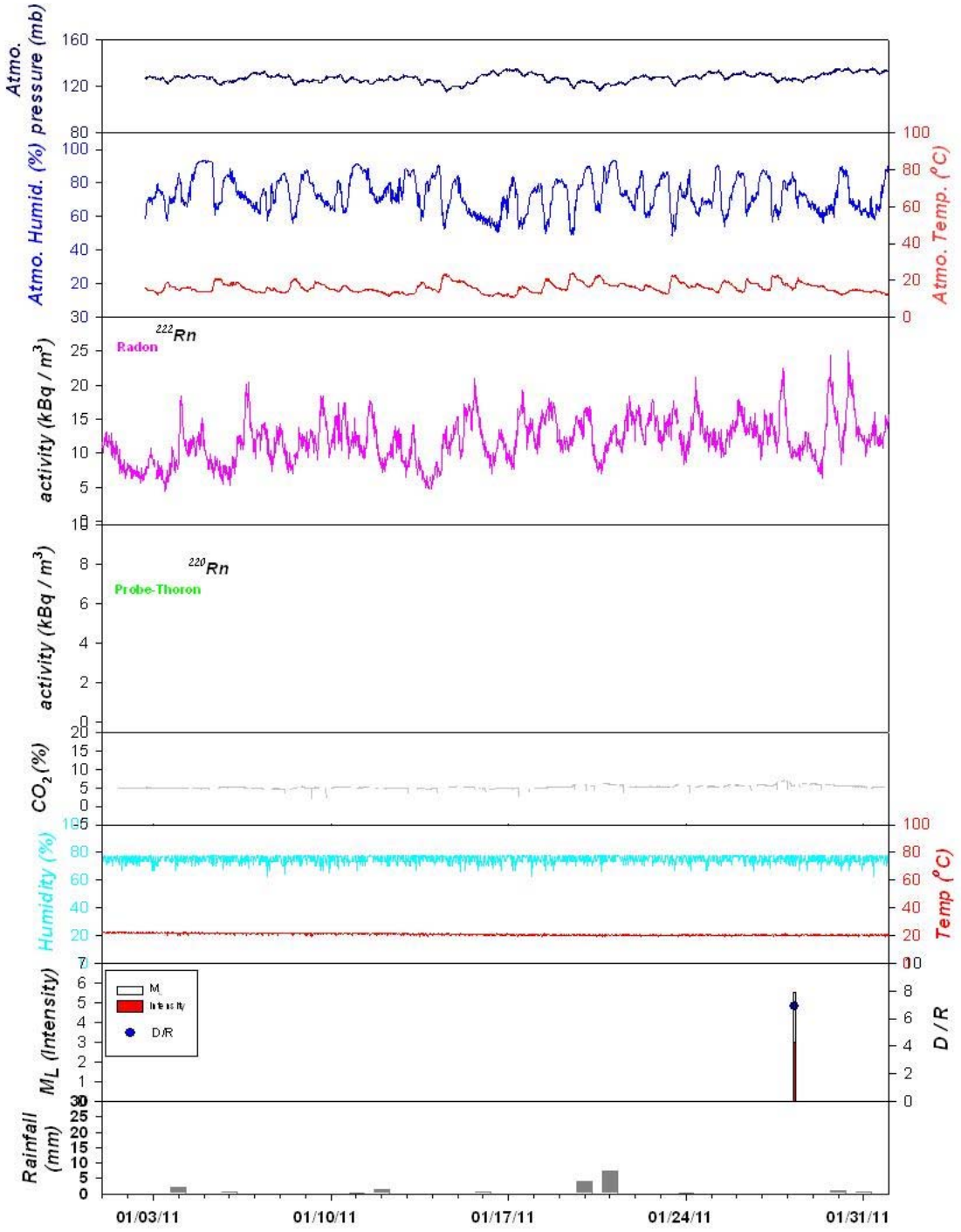


圖 4-50 花蓮美崙（2011/01/01- 2011/01/31）土壤氣氡氣（使用儀器為 probe）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

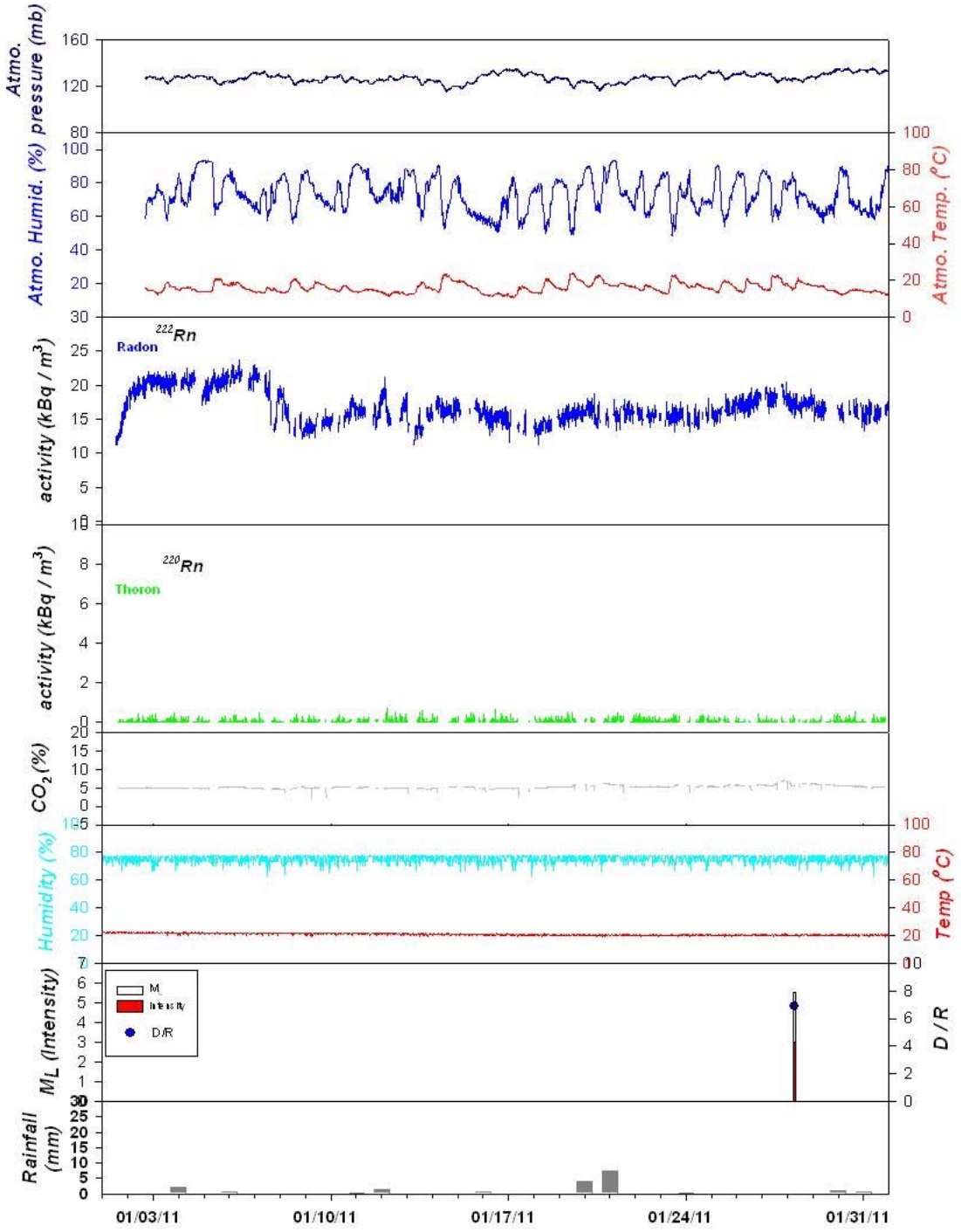


圖 4-51 花蓮美崙（2011/01/01- 2011/01/31）土壤氣氡氣（使用儀器為 RTM）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

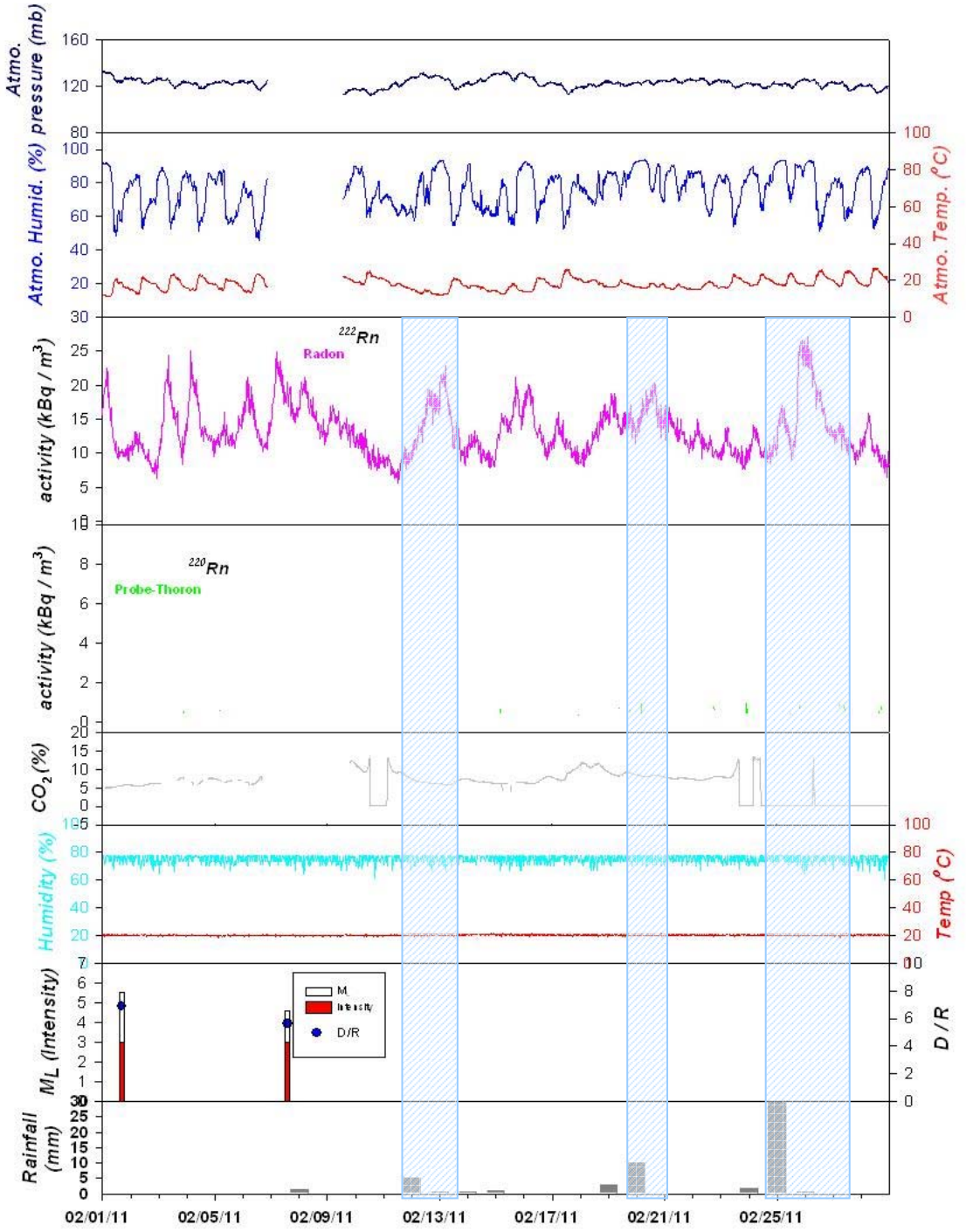


圖 4-52 花蓮美崙（2011/02/01- 2011/02/28）土壤氣氡氣（使用儀器為 probe）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

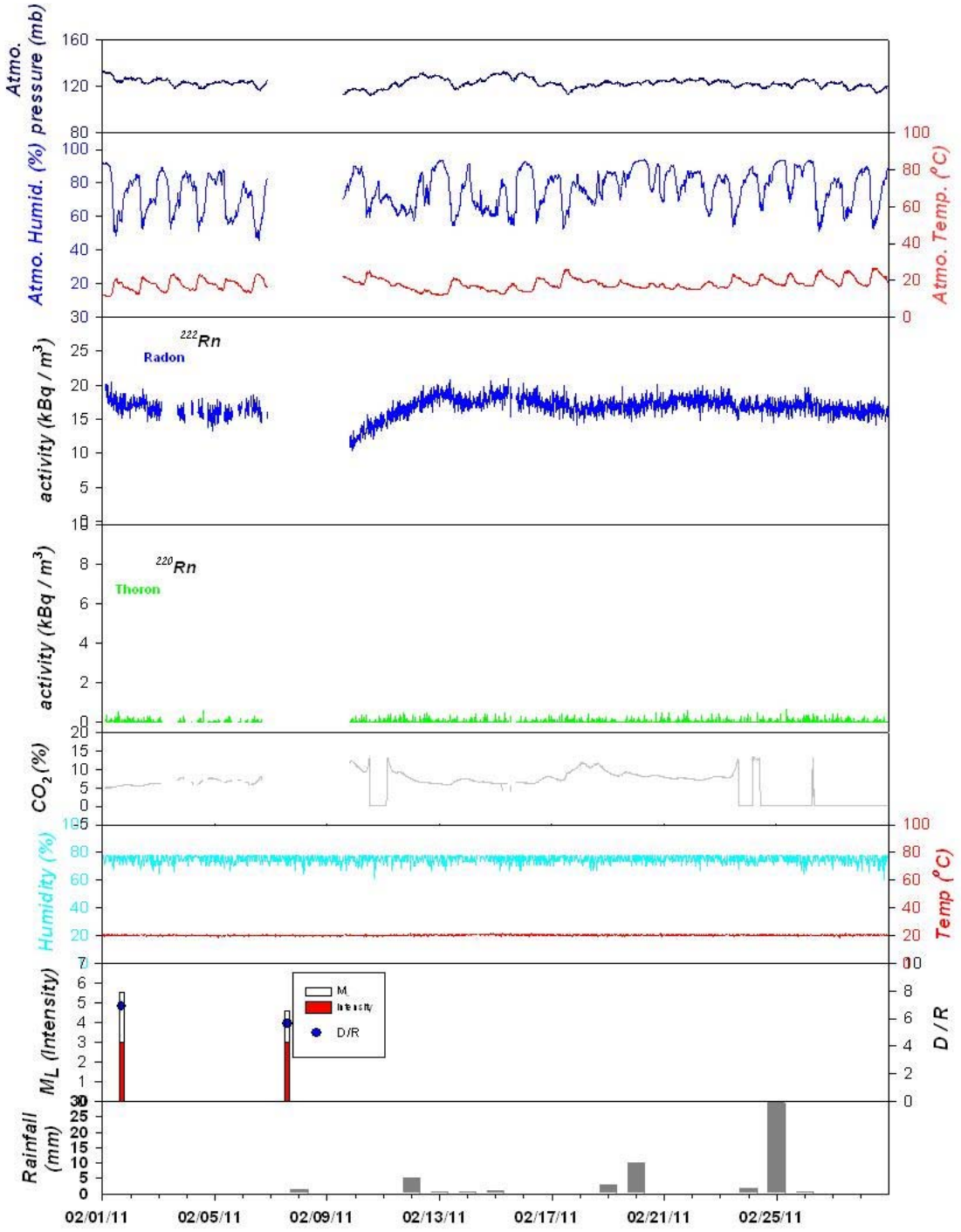


圖 4-53 花蓮美崙（2011/02/01- 2011/02/28）土壤氣氡氣（使用儀器為 RTM）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

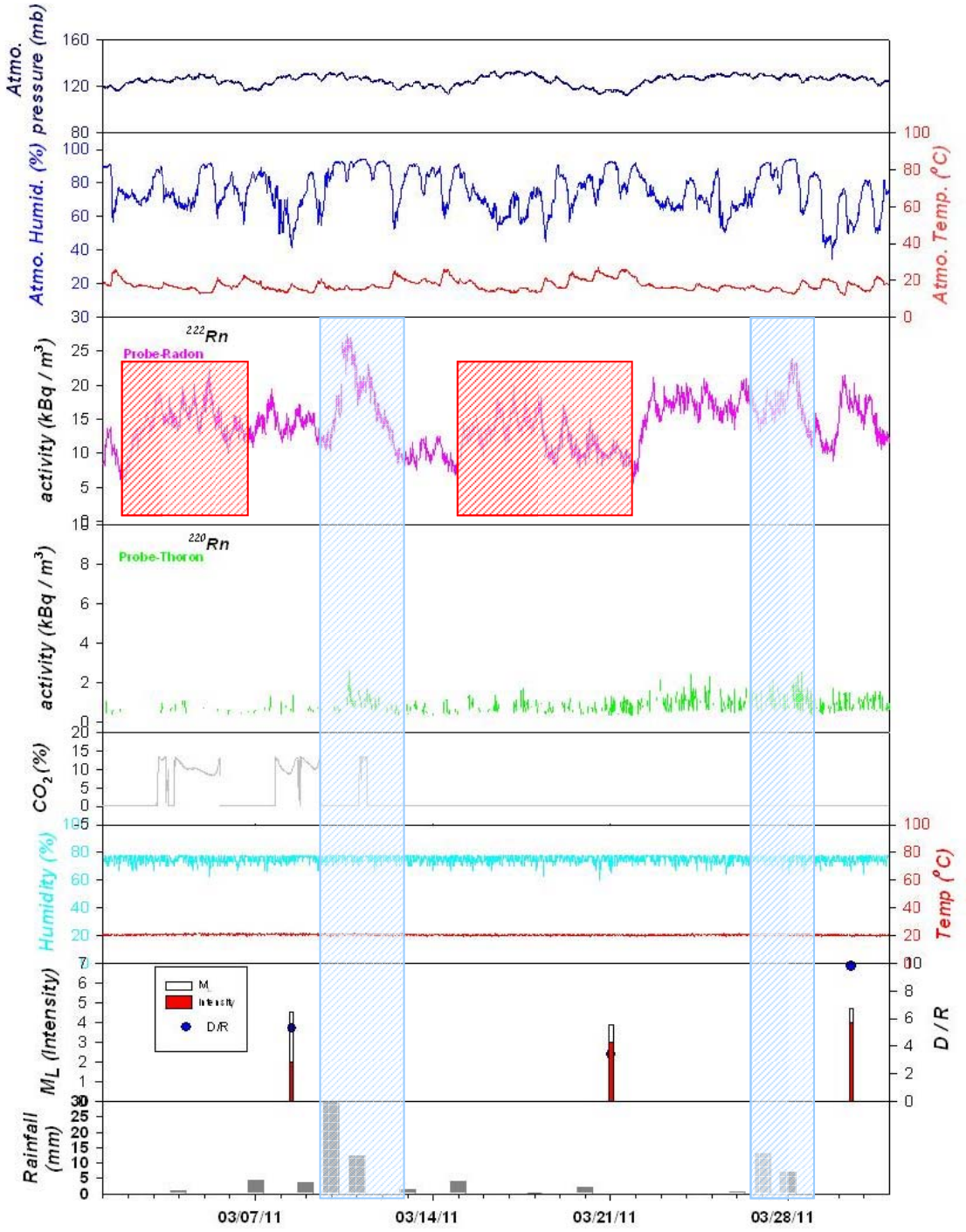
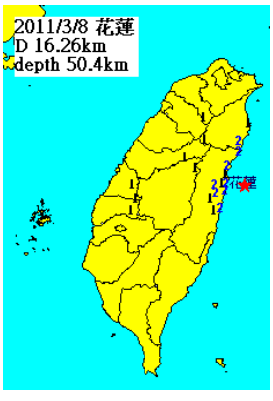
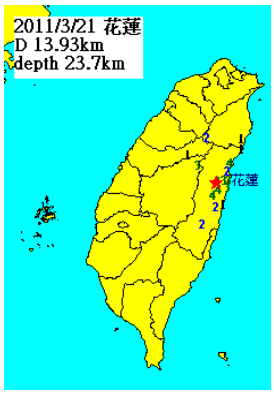


圖 4-54 花蓮美崙（2011/03/01- 2011/03/31）土壤氣氡氣（使用儀器為 probe）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；藍色斜線框為受降雨影響區間。





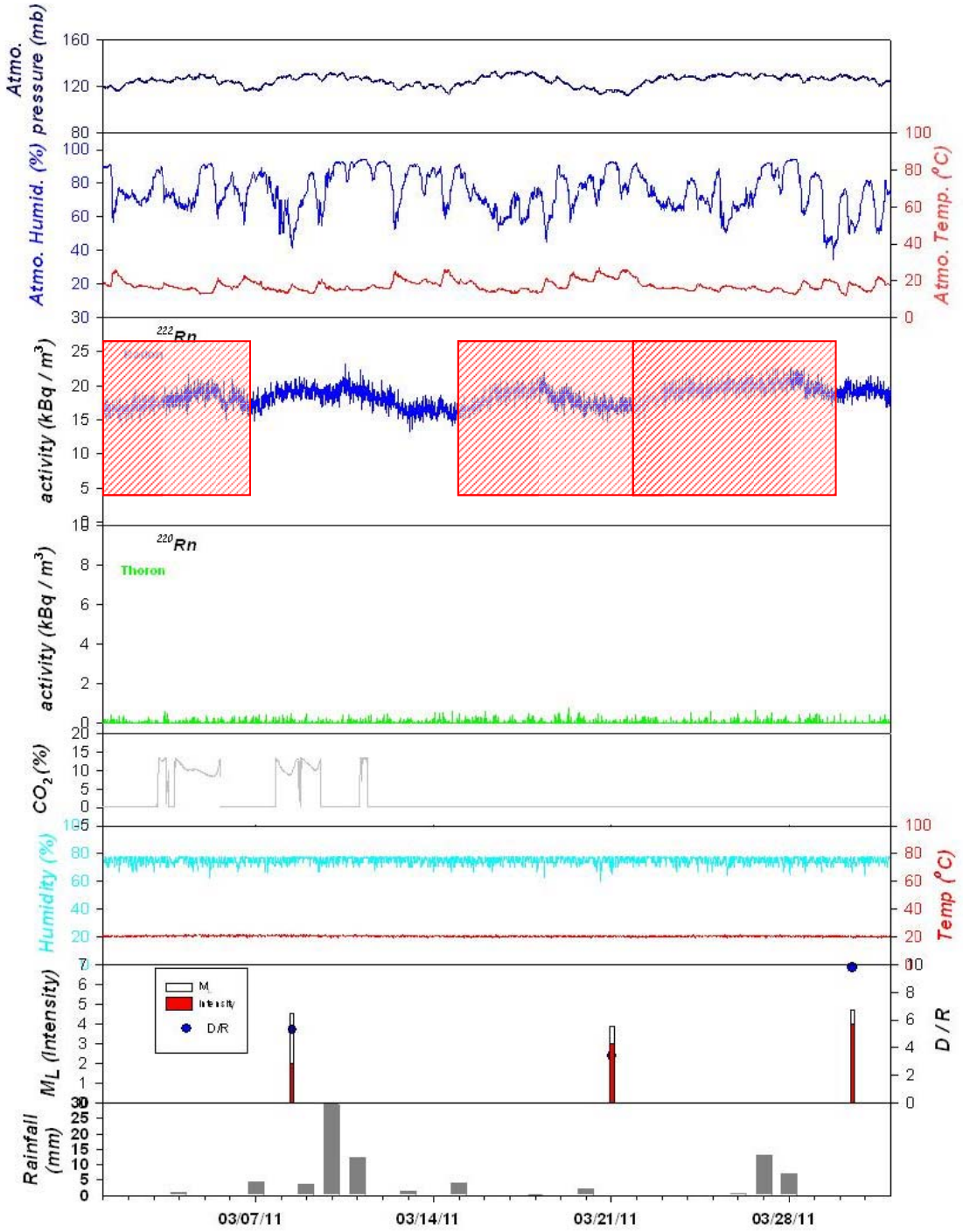
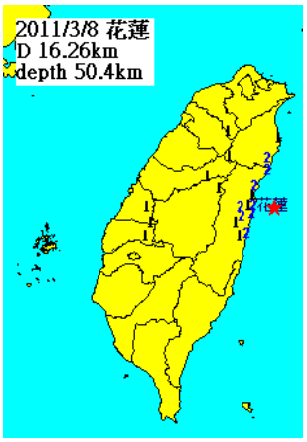
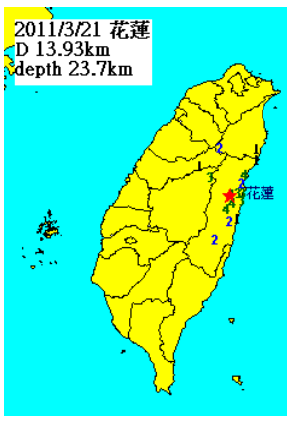
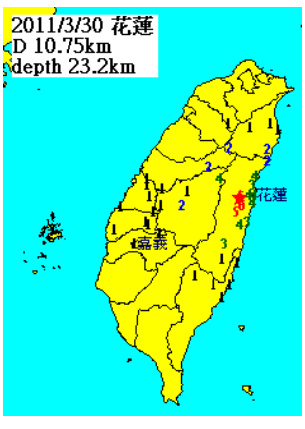


圖 4-55 花蓮美崙（2011/03/01- 2011/03/31）土壤氣氡氣（使用儀器為 RTM）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間。







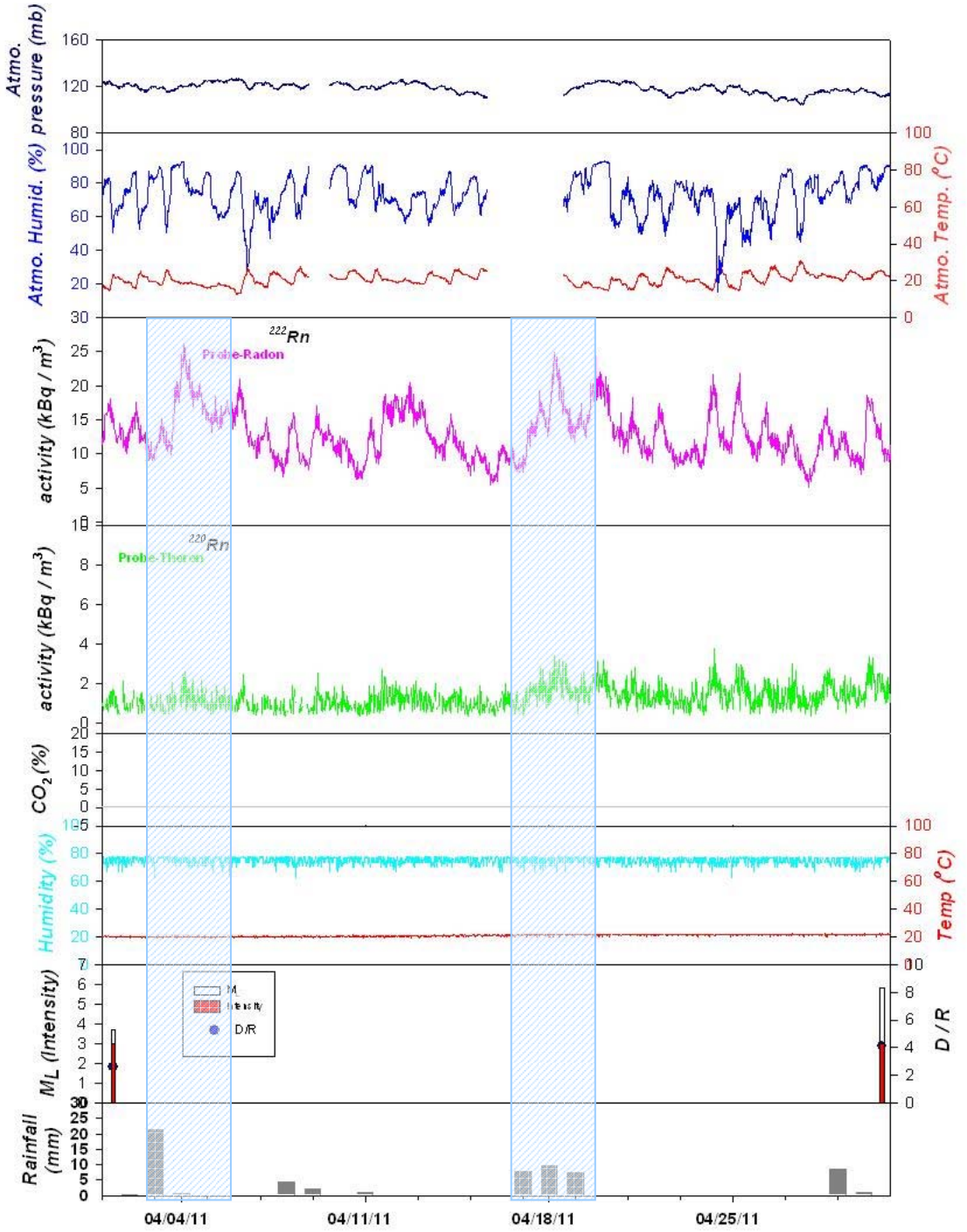


圖 4-56 花蓮美崙（2011/04/01- 2011/04/30）土壤氣氡氣（使用儀器為 probe）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

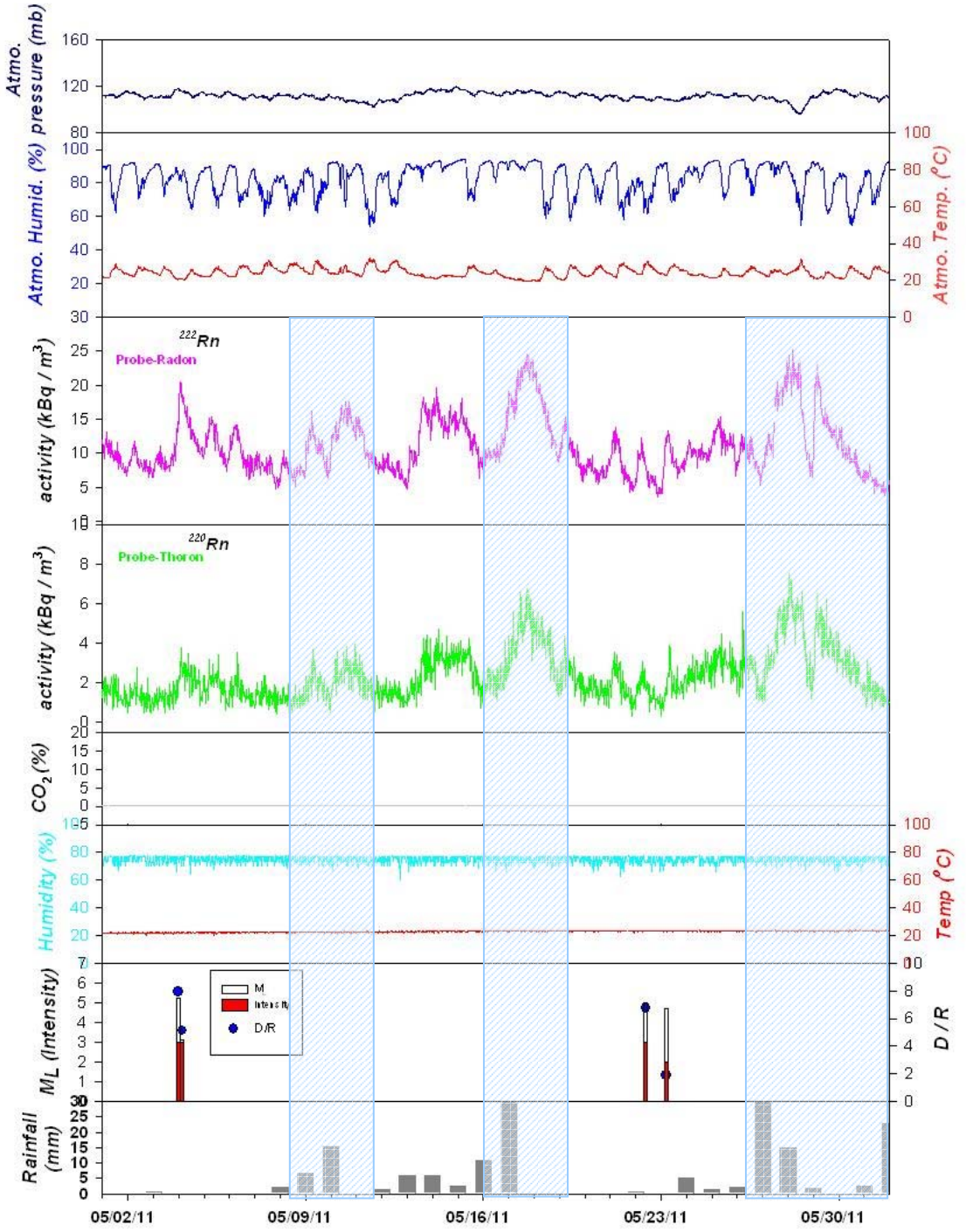


圖 4-57 花蓮美崙（2011/05/01- 2011/05/31）土壤氣氡氣（使用儀器為 probe）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

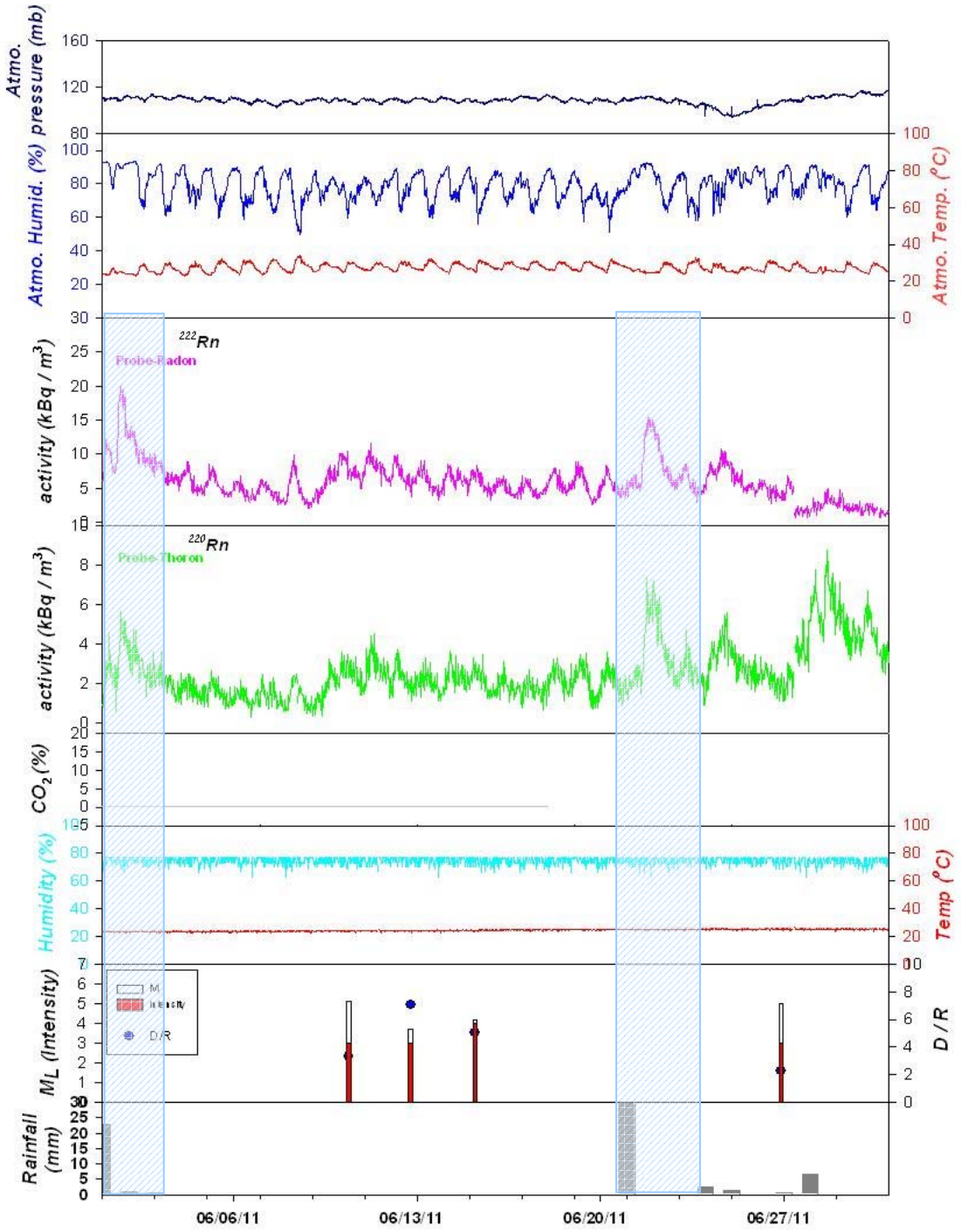


圖 4-58 花蓮美崙（2011/06/01- 2011/06/30）土壤氣氡氣（使用儀器為 probe）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

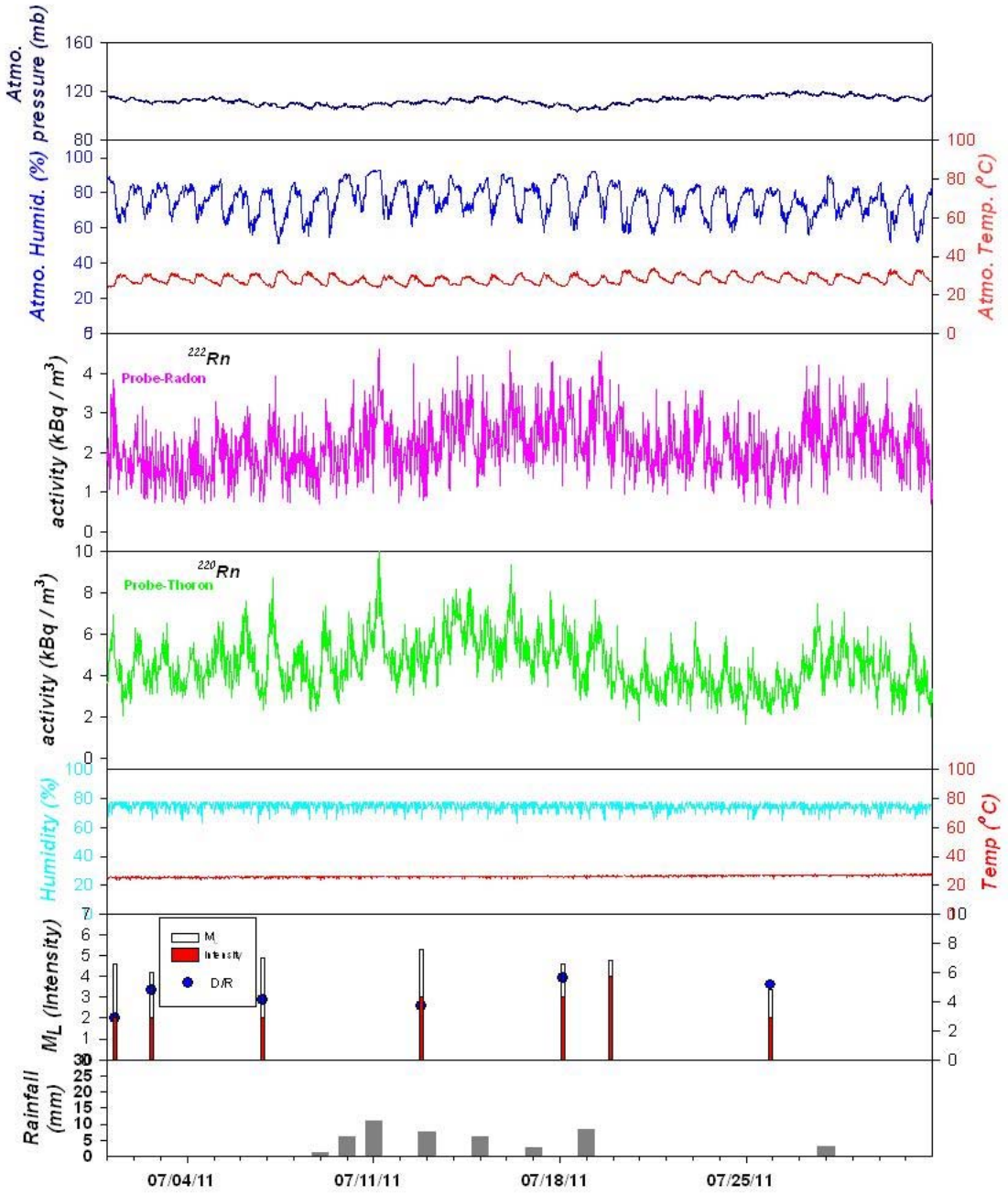


圖 4-59 花蓮美崙（2011/07/01- 2011/07/31）土壤氣氡氣（使用儀器為 probe）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

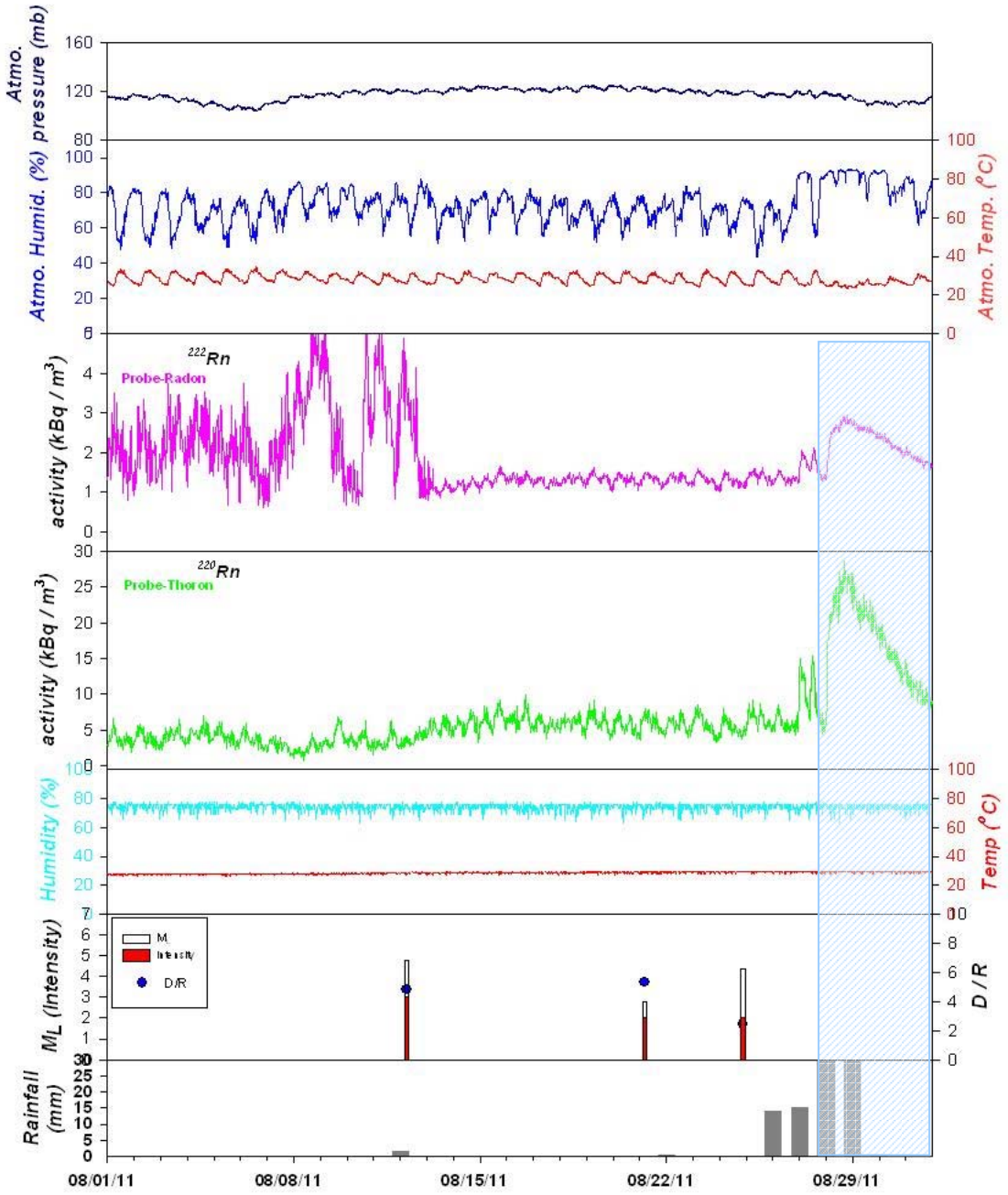


圖 4-60 花蓮美崙（2011/08/01- 2011/08/31）土壤氣氡氣（使用儀器為 probe）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

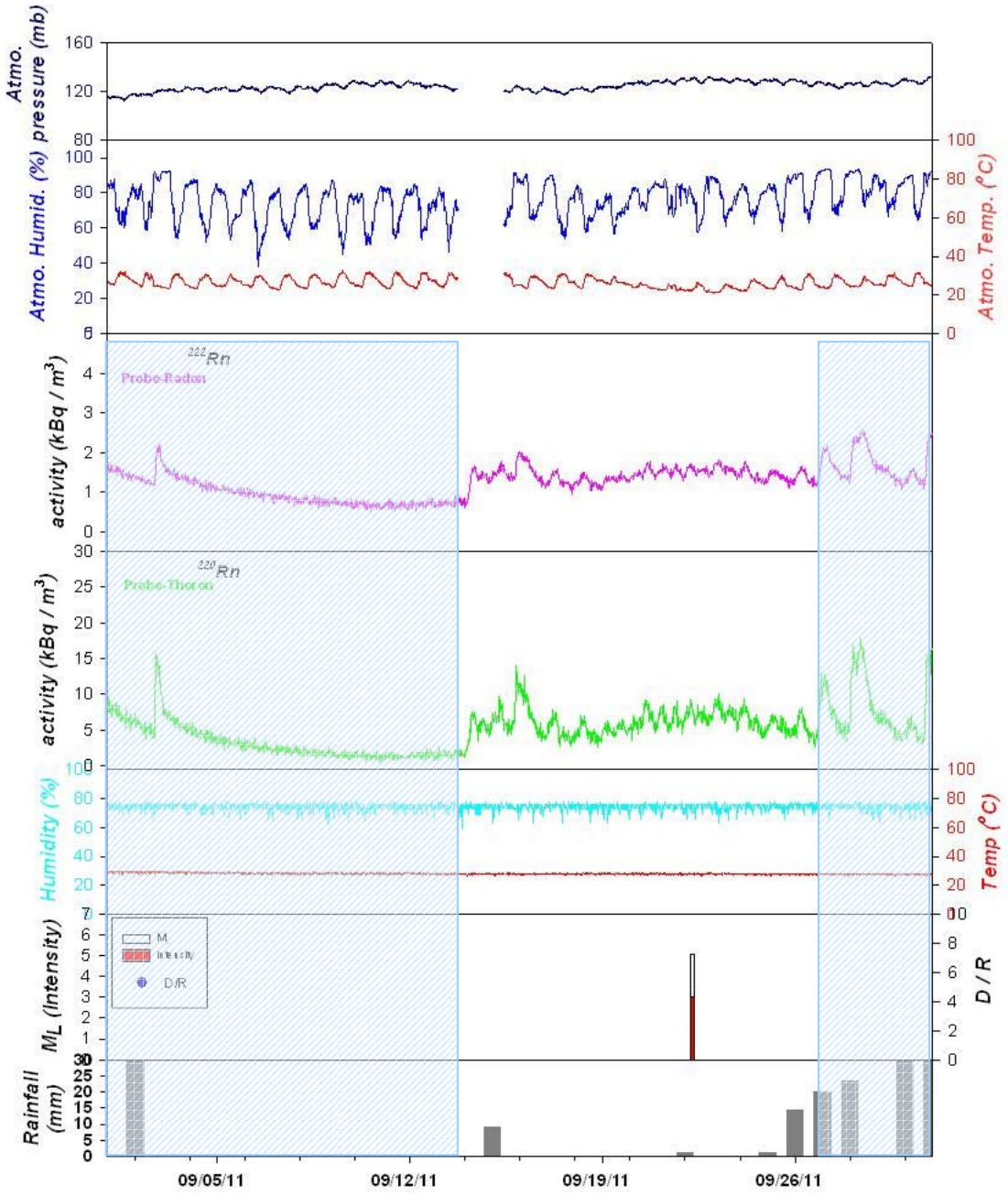


圖 4-61 花蓮美崙（2011/09/01- 2011/09/30）土壤氣氡氣（使用儀器為 probe）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

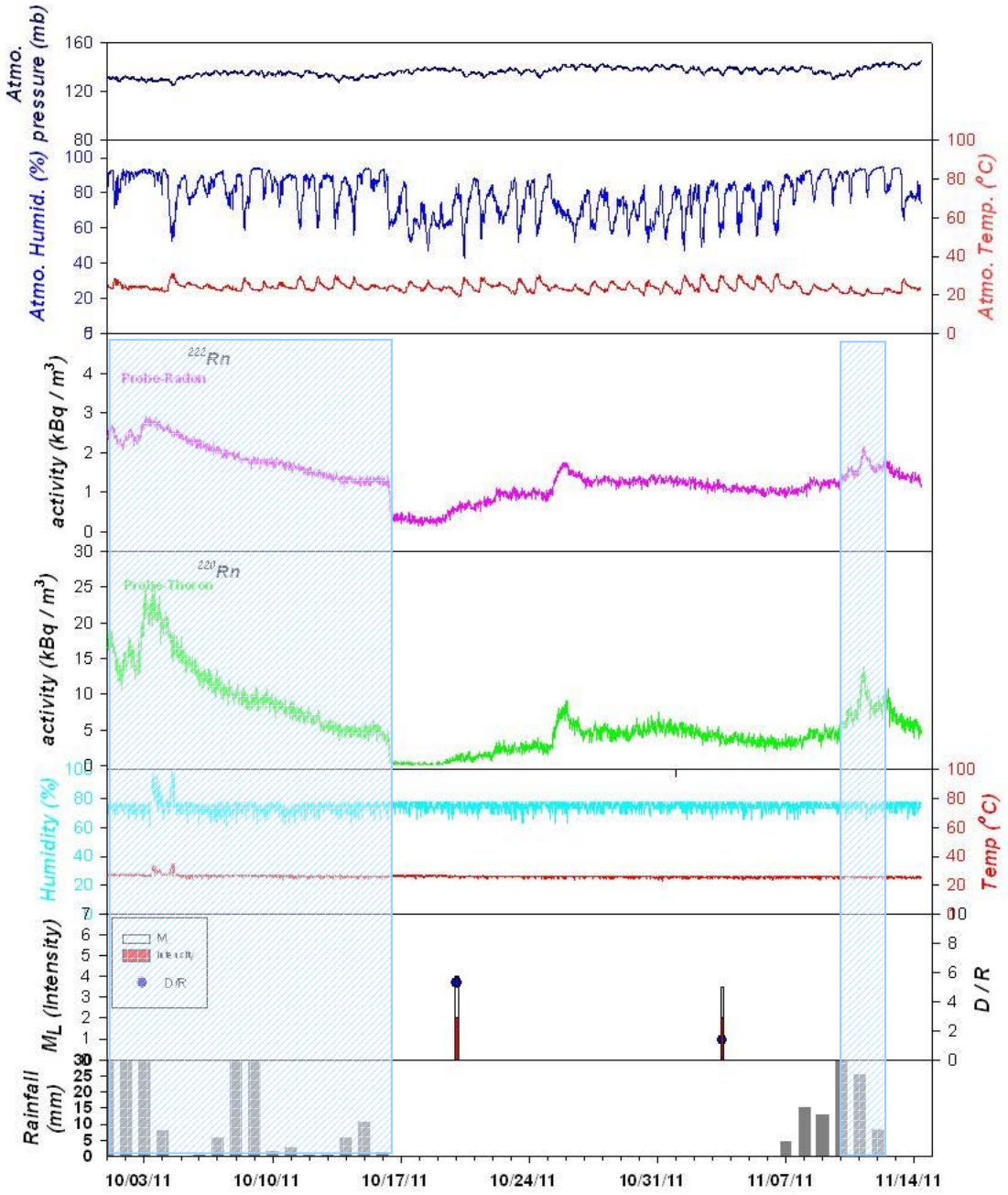


圖 4-62 花蓮美崙（2011/10/01- 2011/11/14）土壤氣氡氣（使用儀器為 probe）與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

表 4-7 花蓮美崙觀測站經過篩選後的相關地震及與氡氣異常有反應的地震列表

121.61 23.99	花蓮美崙(花蓮地震站)2010/9/30 啓用			Mʟ≧5 或 Int.≧2 或 D/R≧2，距離<200km								
No	西元時間	規模	D=10^(0.43*M)	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
10-581	2010/12/6 10:14	5.2	172.19	121.5	23.67	25.3	花蓮西林地震站南偏東方 16.5 公里		3	21.95	37.12	4.6
10-607	2010/12/22 20:33	4.2	63.97	121.67	24.1	33.9	花蓮秀林地震站東偏北方 7.1 公里	v	2	x	13.61	4.7
11-43	2011/2/1 16:16	5.5	231.74	121.8	24.24	17.6	花蓮縣政府東北方 33.0 公里外海		3	20.1	33.71	6.9
11-74	2011/2/7 13:55	4.6	95.06	121.64	24.14	15.9	花蓮縣政府北方 16.5 公里		3	20.04	16.87	5.6
11-120	2011/3/8 10:46	4.5	86.10	121.77	23.99	50.4	花蓮縣政府東方 15.5 公里外海	v	2	4.91	16.26	5.3
11-149	2011/3/21 00:49	3.9	47.53	121.48	23.95	23.7	花蓮縣政府西偏南方 15.4 公里	v	3	23.27	13.93	3.4
11-161	2011/3/30 12:22	4.7	104.95	121.55	23.91	23.2	花蓮縣政府西南方 11.2 公里	v	4	34.22	10.75	9.8
11-171	2011/4/1 09:28	3.7	38.99	121.47	23.95	19.2	花蓮縣政府西偏南方 15.6 公里		3	8.14	14.90	2.6
11-220	2011/4/30 16:35	5.8	311.89	121.81	24.65	75	宜蘭縣政府南偏東方 10.1 公里		3	9.45	75.76	4.1
11-224	2011/5/3 23:52	5.2	172.19	121.8	23.9	34.2	花蓮縣政府東偏南方 20.3 公里外海		3	16.21	21.73	7.9
11-225	2011/5/4 03:20	3.1	21.53	121.57	23.98	16.2	花蓮縣政府西偏南方 5.1 公里		3	11.49	4.21	5.1
11-254	2011/5/22 09:34	5	141.25	121.72	24.15	8	花蓮縣政府北偏東方 20.8 公里外海		3	22.31	20.93	6.7
11-257	2011/5/23 05:07	4.7	104.95	121.08	23.89	16.8	南投縣政府東方 39.7 公里		2	6.04	55.00	1.9
11-290	2011/6/10 09:25	5.1	155.96	121.68	23.57	28	花蓮縣政府南方 46.8 公里外海		3	15.01	46.99	3.3
11-293	2011/6/12 18:04	3.7	38.99	121.56	23.97	16.7	花蓮縣政府西偏南方 5.9 公里		3	15.67	5.54	7.0
11-296	2011/6/15 05:17	4.2	63.97	121.52	24.07	22.3	花蓮縣政府西北方 13.2 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)		4	26.98	12.72	5.0
11-317	2011/6/26 21:19	5	141.25	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)		3	12.02	62.24	2.3
11-325	2011/7/1 06:47	4.6	95.06	121.9	23.85	40.5	花蓮縣政府東偏南方 32.3 公里 (位於台灣東部海域)		2	7.12	33.30	2.9
11-330	2011/7/2 15:22	4.2	63.97	121.48	24.01	24.1	花蓮縣政府西方 14.1 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)		2	4.85	13.39	4.8
11-346	2011/7/6 19:58	4.9	127.94	121.75	24.24	16.2	花蓮縣政府北偏東方 30.5 公里 (位於花蓮縣近海)		2	5.74	31.09	4.1
11-381	2011/7/12 19:17	5.3	190.11	121.53	23.53	20.7	花蓮縣政府南方 52.3 公里 (位於花蓮縣近海)		3	14.12	51.52	3.7
11-397	2011/7/18 02:45	4.6	95.06	121.58	23.84	23.7	花蓮縣政府南偏西方 17.4 公里 (位於花蓮縣壽豐鄉)		3	8.43	16.87	5.6
11-405	2011/7/19 22:01	4.8	115.88	121.62	24.02	17.9	花蓮縣政府北方 3.3 公里 (位於花蓮縣花蓮市)		4	56.65	3.47	33.4
11-414	2011/7/25 21:48	3.4	28.97	121.62	24.04	7.7	花蓮縣政府北方 5.4 公里 (位於花蓮縣近海)		2	x	5.62	5.2
11-439	2011/8/12 06:07	4.8	115.88	121.67	23.78	26.9	花蓮縣政府南偏東方 24.2 公里 (位於台灣東部海域)		3	8.97	24.01	4.8

11-450	2011/8/21 04:29	2.8	16.00	121.59	23.97	11.9	花蓮縣政府西偏南方 4.2 公里 (位於花蓮縣吉安鄉)		2	x	3.00	5.3
11-454	2011/8/24 21:15	4.4	77.98	121.89	23.86	20	花蓮縣政府東偏南方 30.9 公里 (位於台灣東部海域)		2	x	31.89	2.4
11-502	2011/9/22 06:18	5.1	155.96	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)		3	18.18	13.72	11.4
11-544	2011/10/20 01:22	4	52.48	121.61	23.9	11.4	花蓮縣政府南方 9.7 公里 (位於花蓮縣近海)		2	x	9.95	5.3
11-570	2011/11/3 12:36	3.5	31.99	121.4	24.09	19	花蓮縣政府西偏北方 24.8 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)		2	x	24.03	1.3

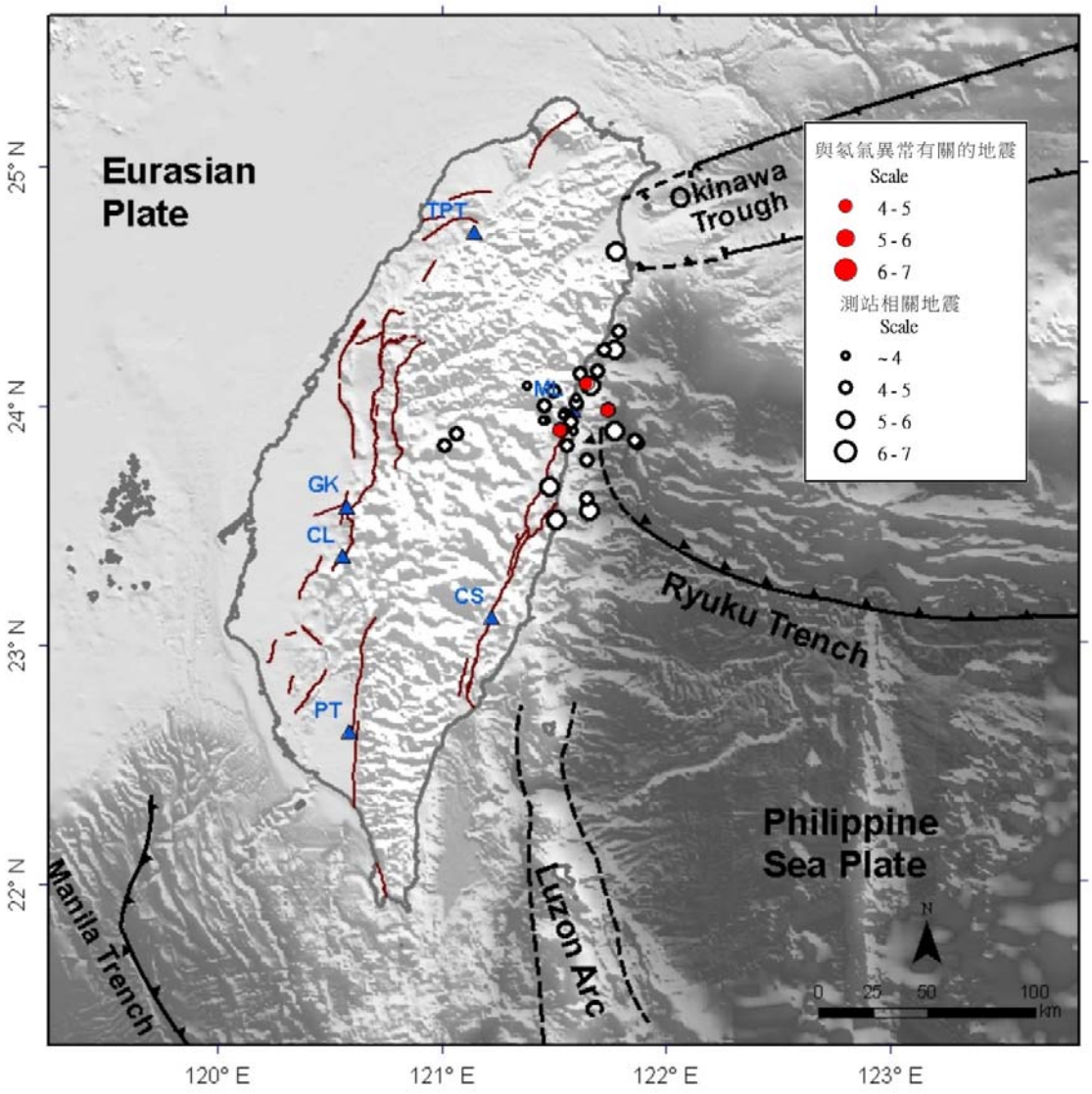


圖 4-63 花蓮美崙測站相關地震位置分布圖（2010/12-2011/11）。

4.6 臺東池上土壤氣體觀測站

圖 4-64 至圖 4-75 為臺東池上觀測站 2010 年 11 月 25 日至 2011 年 11 月的連續觀測結果。圖 4-64 是總圖表。由總圖表可以得知，記載大氣因子的儀器（壓力、溫度、溼度），可能發生故障，呈現與之前不協調的數值曲線（圖上黃色框所示）。這部份會於明年度計畫進行維修。圖 4-65 至圖 4-75 是分月圖表。分析氡氣的儀器有時會因電力不穩或是過熱而當機停止運轉，造成資料短缺。由於池上站過去的觀測結果，常發生有氡氣異常卻沒有地震（由 1、3、4、9、10 月圖上粉色斜線框所示），曾懷疑是否為儀器故障，為此我們在距離池上觀測站約 2km 遠的錦園村（邱宅附近）另外安置一具氡氣分析儀，與池上站同步觀測，期望有更多的分析數據來幫助釐清池上這個地區的地底下斷層活動狀況。由圖 4-64 可看出兩具不同地點的氡氣分析儀所分析的結果（粉紅色部份為池上站的分析結果，藍色部分為錦園站的分析結果），大致上是趨於一致的，因此當池上站的氡氣分析數據因故短缺時，我們可以援引另一站氡氣分析儀的數據來輔助說明。

目前池上站使用的是中央氣象局臺東氣象站的日雨量資料，但是臺東市距池上約 50km 遠，會有地區雨量差異的問題，因此我們找到距離測站最近的池上雨量站，引用該站的時雨量資料，希以輔助說明氣體濃度是否受到當地降雨的影響。時雨量的資料無法立即取得，因此池上站的時雨量資料只到 5 月止。由圖 4-65 至圖 4-70（2010 年 12 月至 2011 年 5 月）可以看出臺東市的日雨量與池上的時雨量間的差異，這段時間氣體濃度尚未受到降雨的影響，即使是在多雨的 5 月，氣體仍維持在相當平穩的趨勢，沒有突升突降的情形發生。

圖 4-65 至圖 4-66 是 2010 年 11 月 25 日至 2011 年 1 月的觀測結果。11 月 26 日至 12 月 16 日為一氡氣異常變化區間，這段氡氣異常區間之後有四起地震發生，分別是 12 月 6 日發生於花蓮西林的地震(規模 5.2，震度 2 級，深度 25.3km，D/R 2.6)；12 月 7 日發生於臺東的地震(規模 5.1，震度 2 級，深度 30.1km，D/R 4.7)；12 月 10 發生於臺東成功的地震(規模 3.7，震度 2 級，深度 15.5km，D/R 5.4)；12 月 12 發生於臺東市的地震(規模 3.8，震度 2 級，深度 24km，D/R 1.2)。若以時間順序及地震規模來看，應是 12 月 6 日的地震與之有關，但若以 D/R 值來看，則是以 12 月 10 日的地震有較大的 D/R 值，在此暫將這四起地震都歸入與氣體異常有關，如何將地震與氣體異常區間做一適當的連結，是未來工作重點。

圖 4-67 至圖 4-70 是 2 月至 5 月的連續觀測結果。3 月 10 日至 3 月 17 日為一氡氣異常變化區間，可視為是 3 月 20 日發生於臺東外海的地震(規模 5.8，震度 4

級，深度 16.3km，D/R 3.9)的前兆反應時間。4 月 12 日至 4 月 21 日為一氡氣異常變化區間，可以視為是 4 月 17 日發生於臺東地區的地震(規模 3.4，震度 2 級，深度 13.3km，D/R 2.6)的前兆反應時間。4 月 24 日至 5 月 5 日為一氡氣異常變化區間，可視為是 5 月 3 日發生於花蓮外海的地震(規模 5.2，震度 1 級，深度 34.2km，D/R 1.7)前兆反應時間。

圖 4-73 至圖 4-75 是 8 月至 10 月的連續觀測結果。8 月及 10 月圖示氡氣濃度雖有明顯的異常變化，但是觀察同時期降雨量分布，這明顯的異常變化應與降雨有關（藍色斜線框所示）。9 月的圖示上有一明顯的氡氣異常變化區間，可以視為是 9 月 22 日發生於花蓮近海的地震(規模 5.1，深度 20.1km，D/R 1.3)的前兆反應時間。

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

與池上站氡氣異常相關地震篩選原則為 $M_L \geqq 5$ 或 Int.≧2 或 D/R≧2 及震央距測站＜200km 皆選入，因此池上站全部背景地震有 68 起，經過以上原則篩選後的相關地震有 23 起，與測站氡氣異常相關的地震有 8 起。

表 4-8 為池上觀測站經過篩選後的相關地震與測站氡氣異常有關的地震列表。

圖 4-76 為池上站相關地震位置分布圖。由圖可看出與池上測站相關的地震分布位置多集中在東部花蓮臺東一帶。

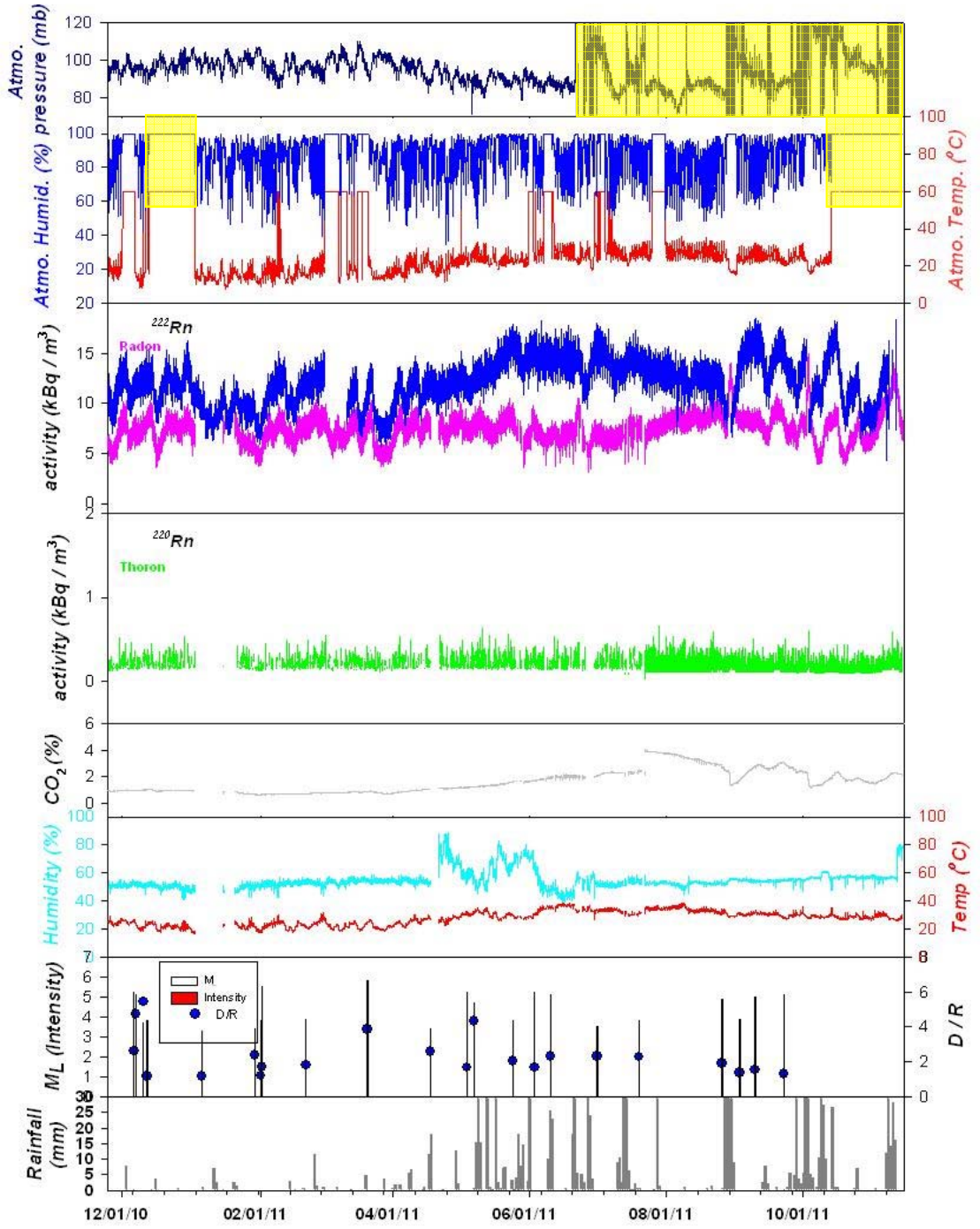


圖 4-64 臺東池上（2010/11/25-2011/11/14）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

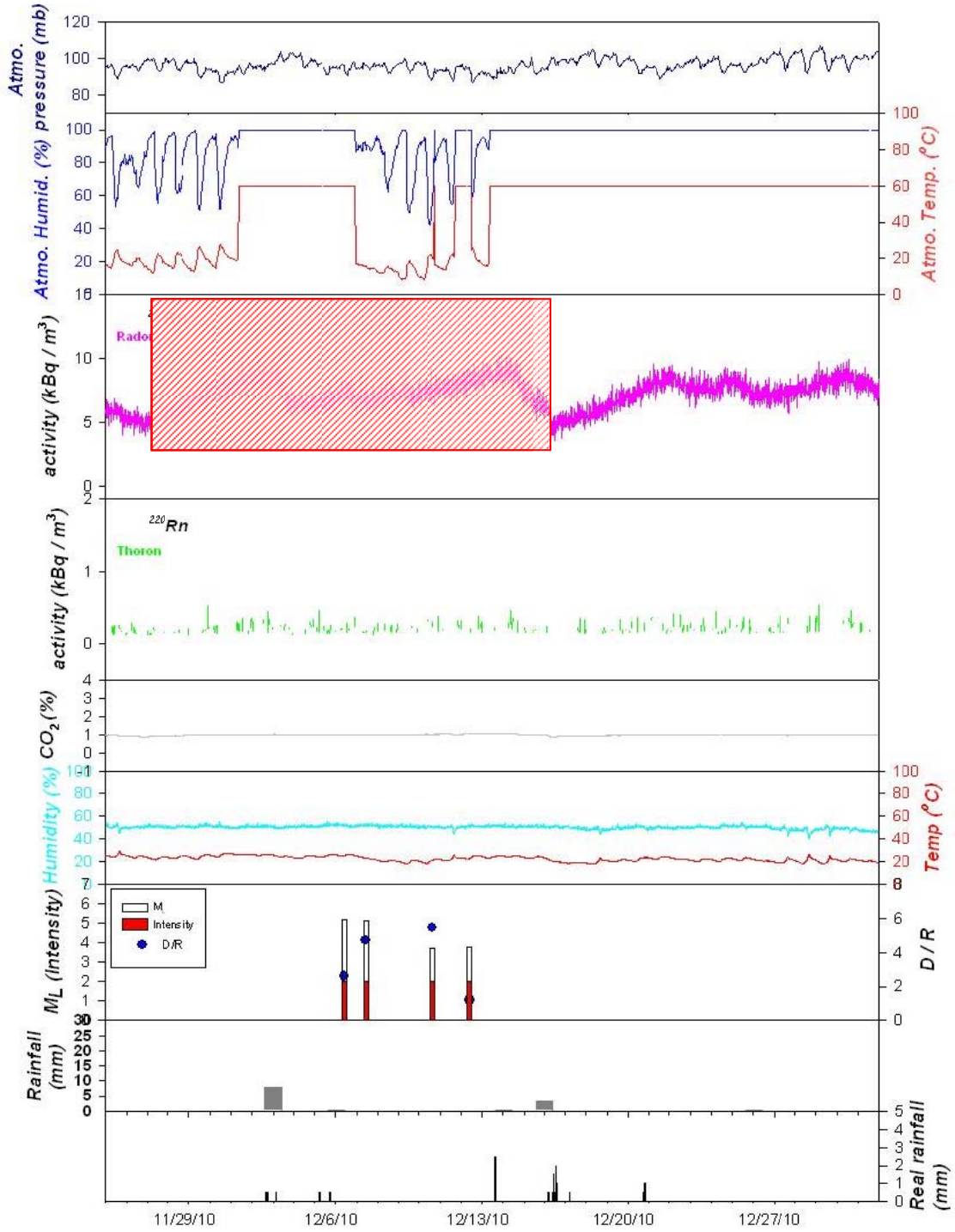
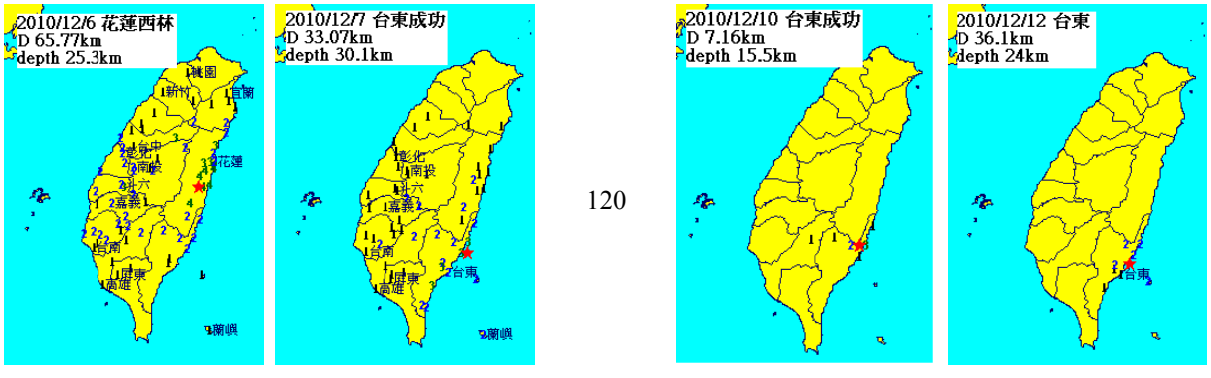


圖 4-65 臺東池上（2010/11/25-2010/12/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間。



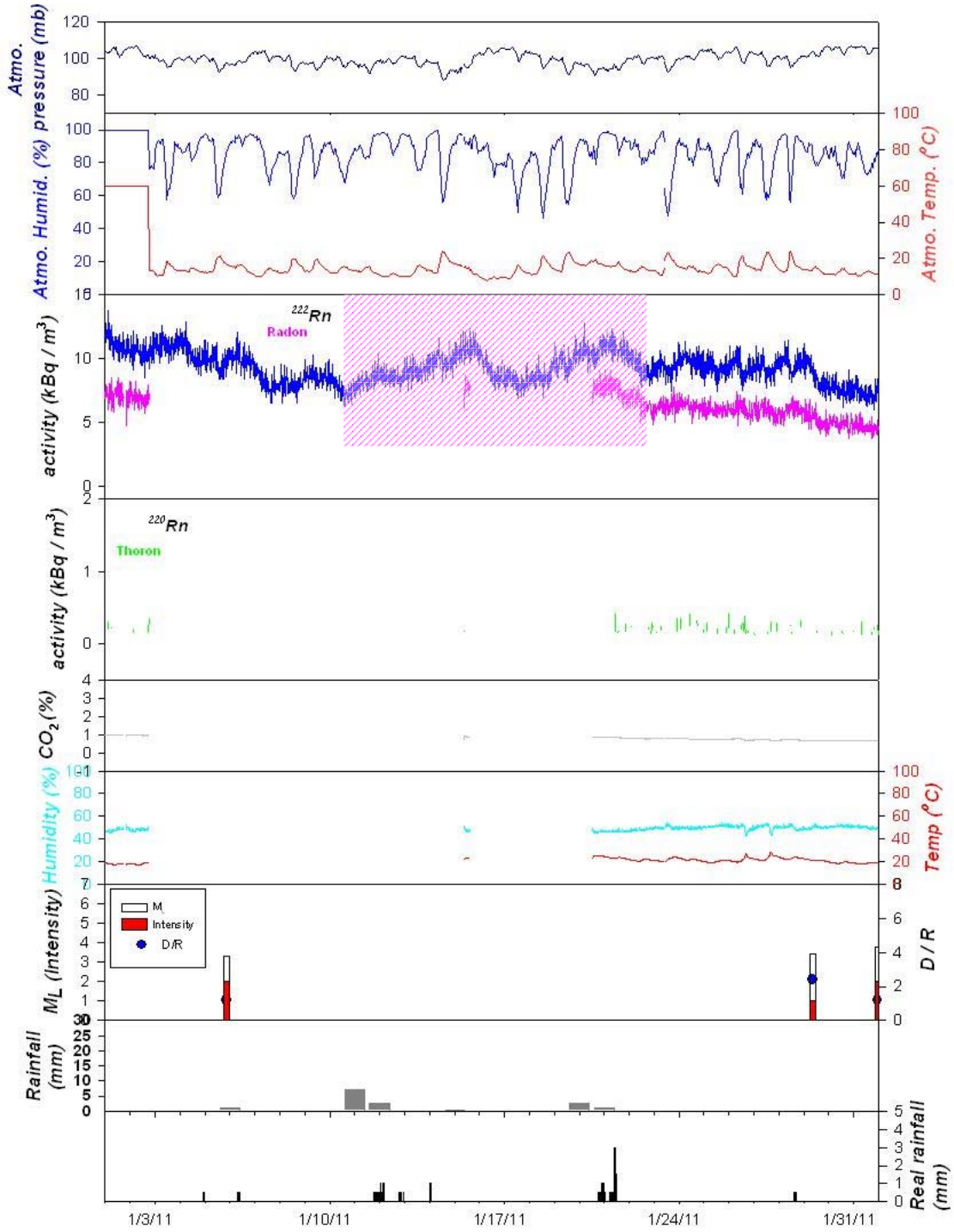


圖 4-66 臺東池上（2011/01/01-2011/01/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；粉色斜線框為有氣體異常但無相對應地震。

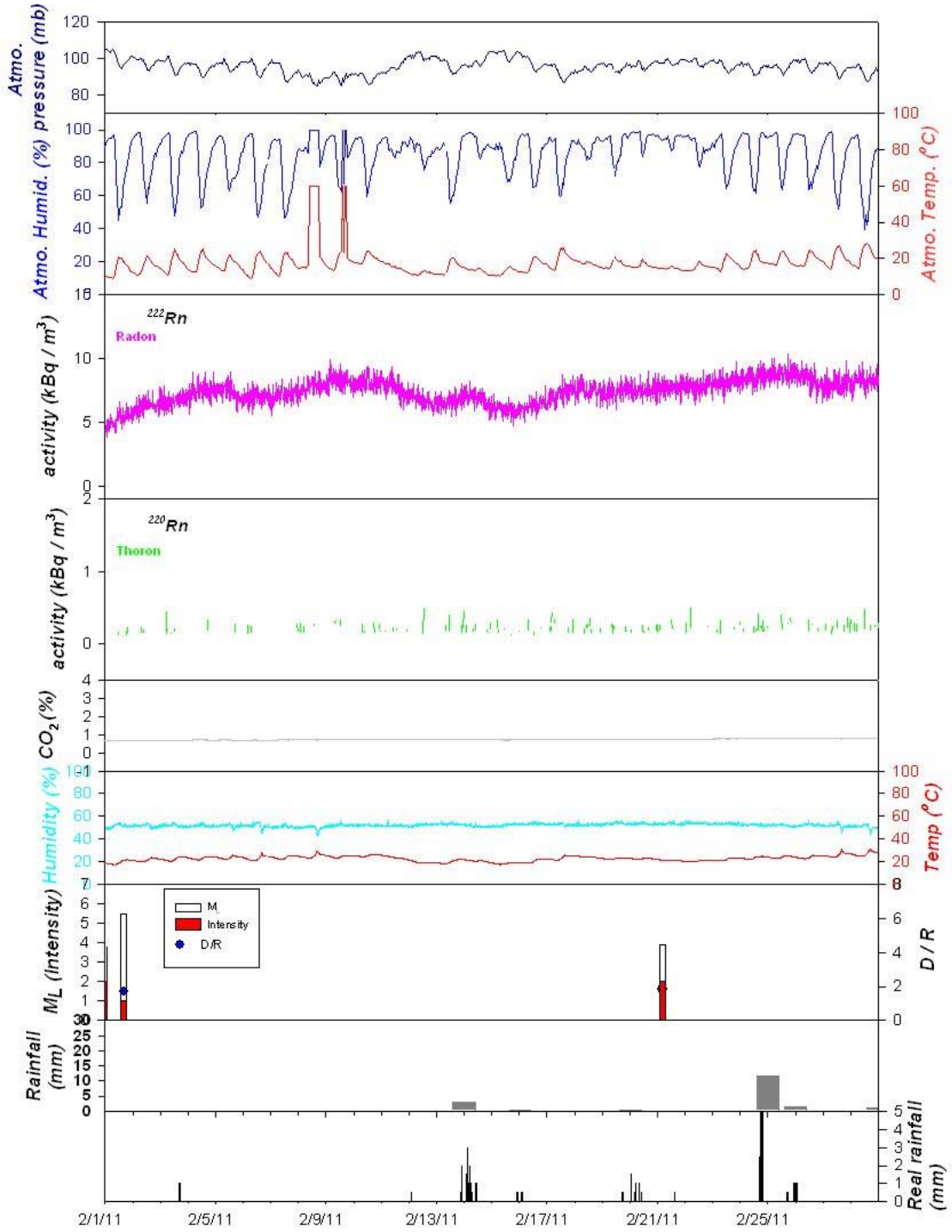


圖 4-67 臺東池上（2011/02/01-2011/02/28）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

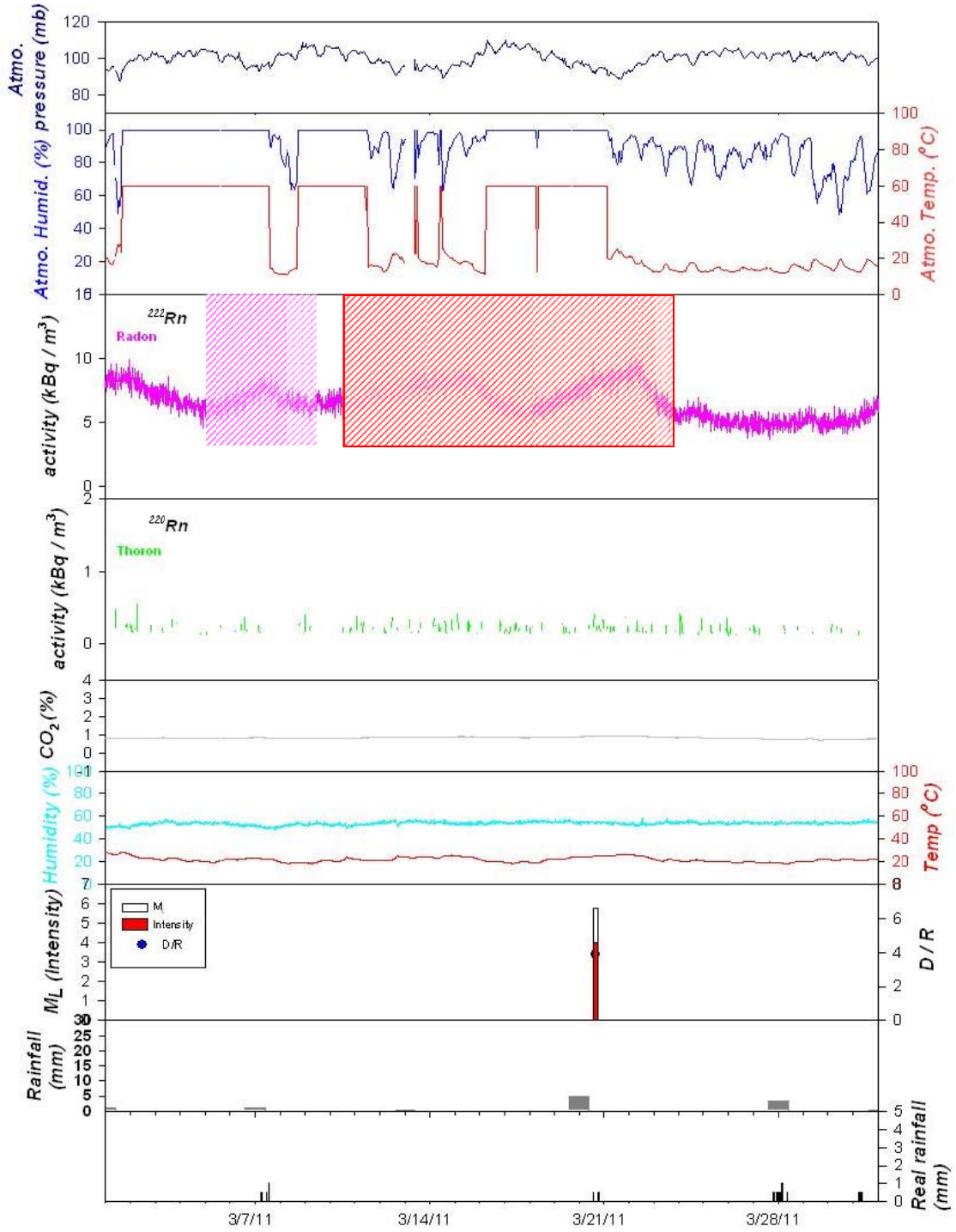
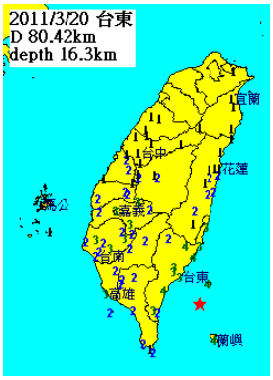


圖 4-68 臺東池上（2011/03/01-2011/03/31）土壤氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；粉色斜線框為有氣體異常但無相對應地震。



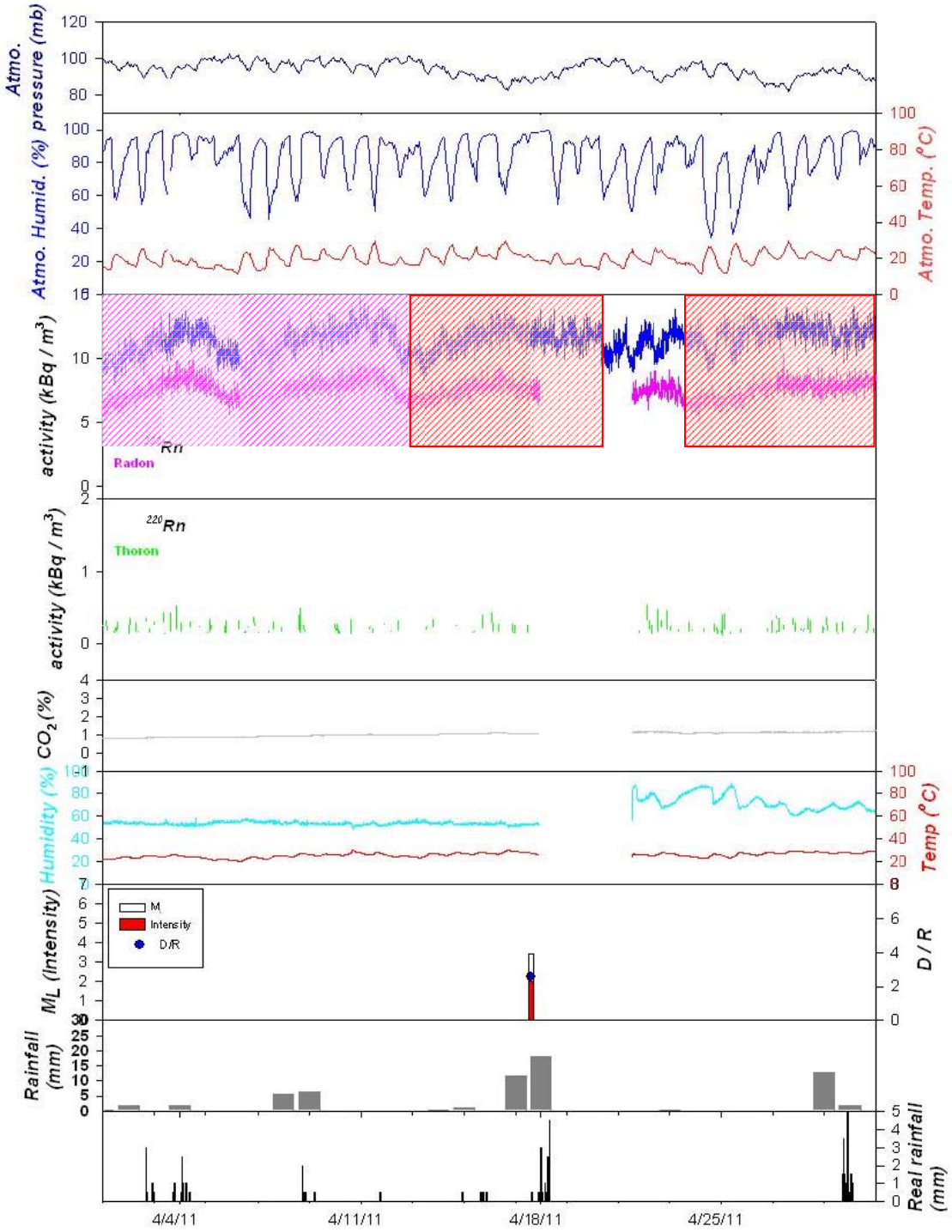
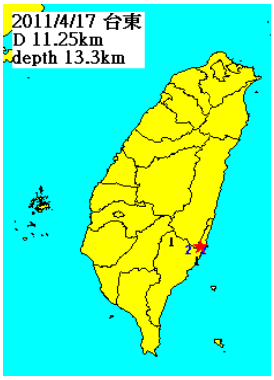


圖 4-69 臺東池上（2011/04/01-2011/04/30）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；粉色斜線框為有氣體異常但無相對應地震。



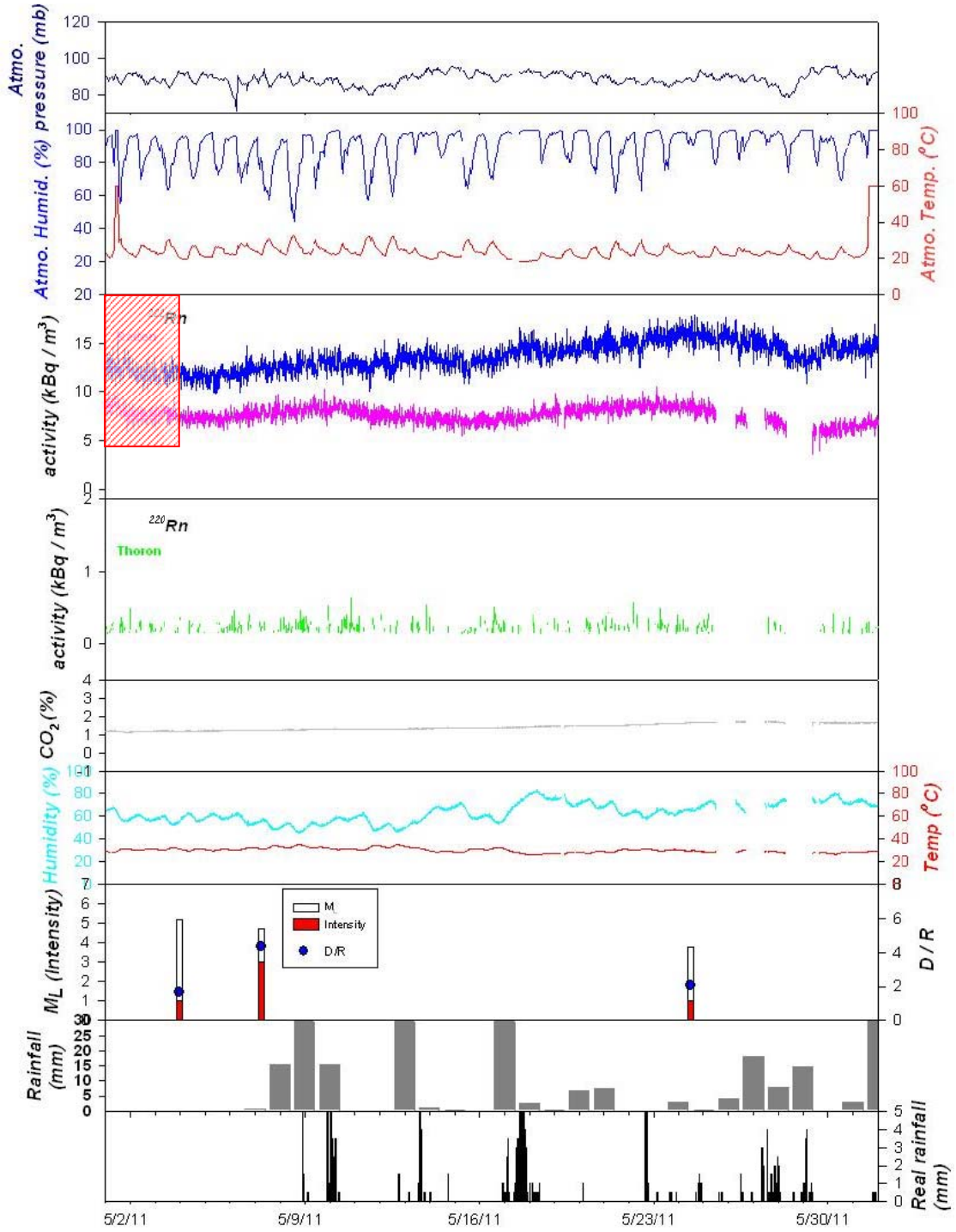
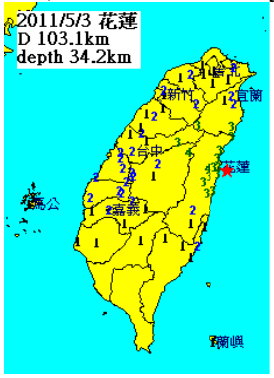


圖 4-70 臺東池上（2011/05/01-2011/05/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間。



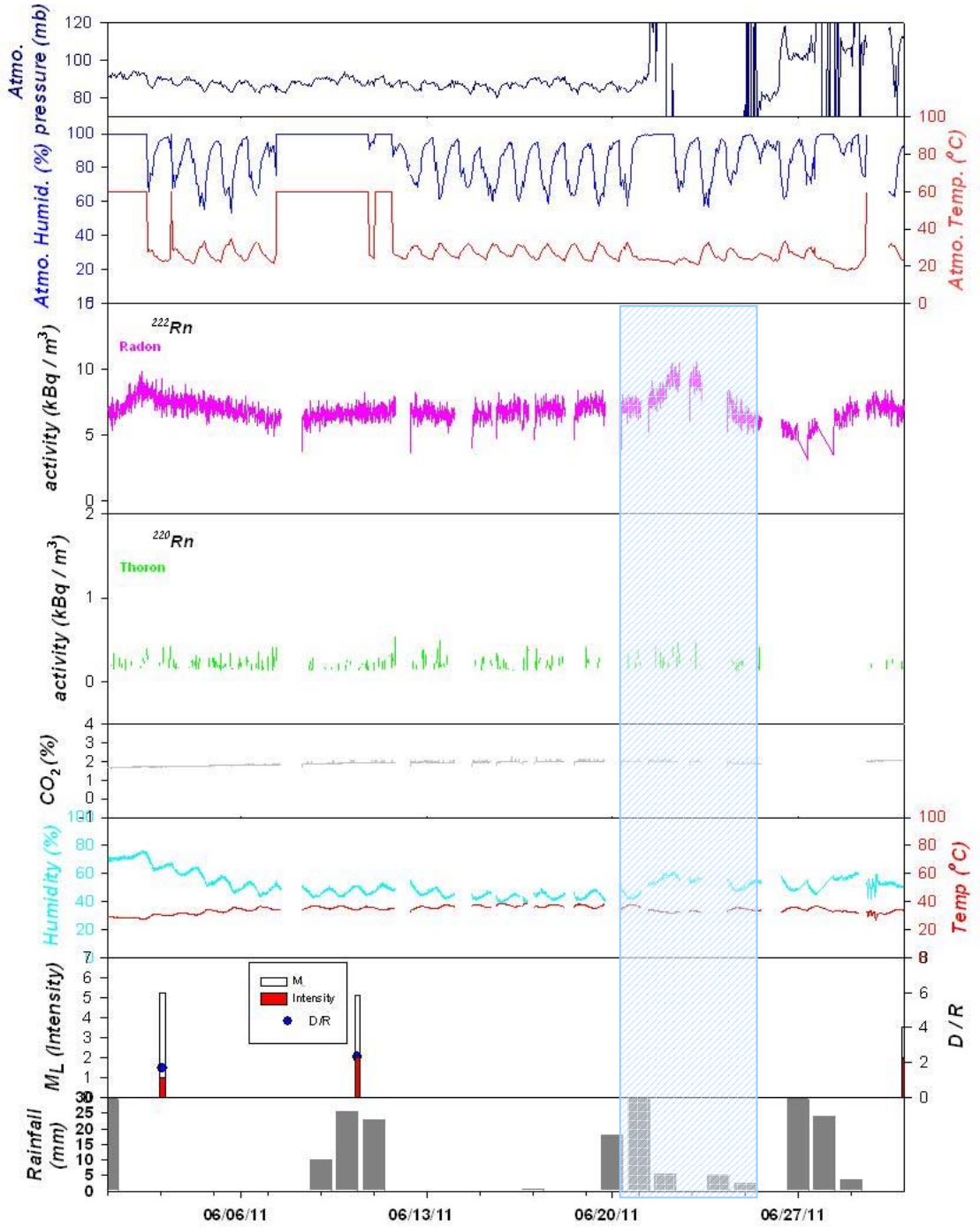


圖 4-71 臺東池上（2011/06/01-2011/06/30）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

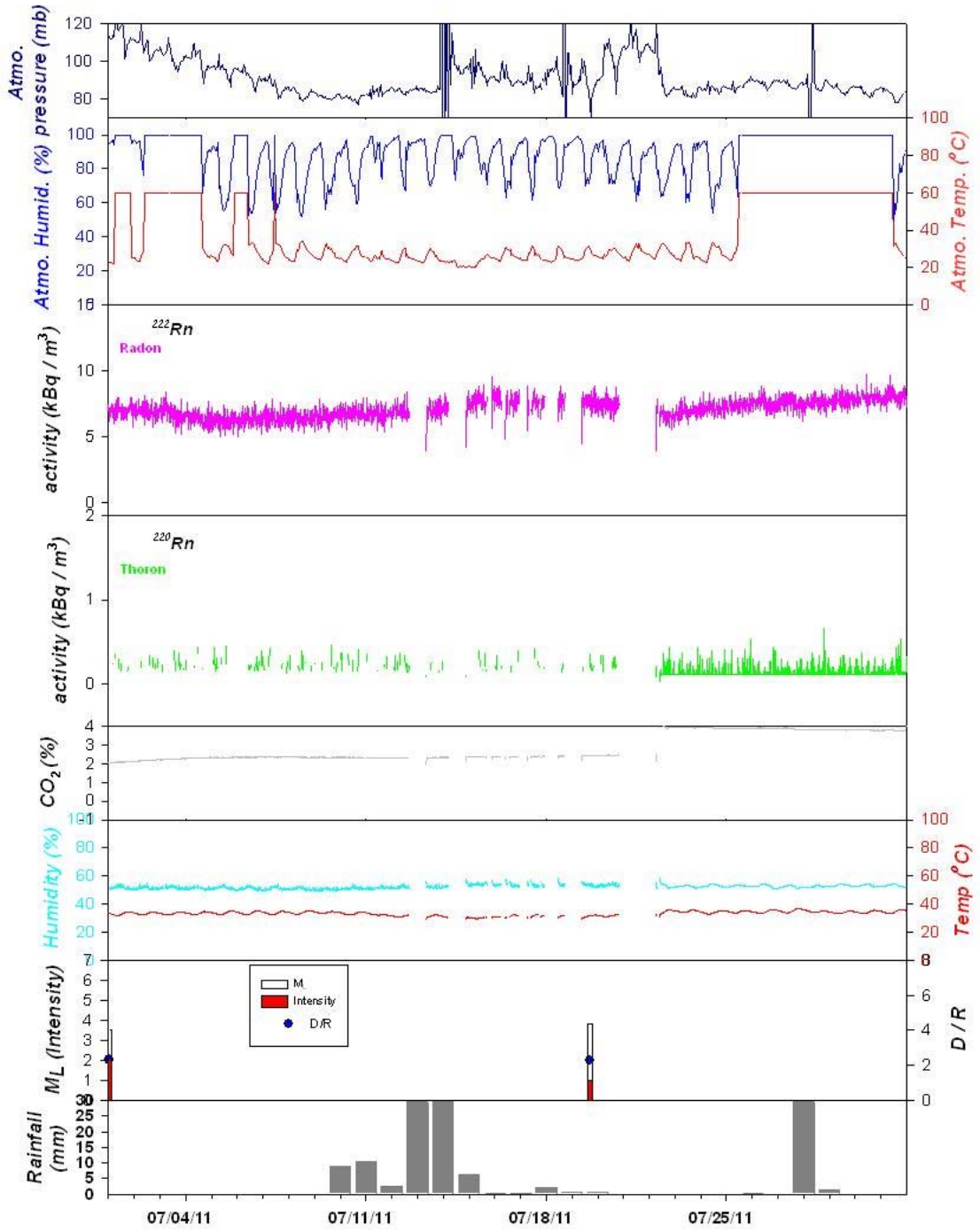


圖 4-72 臺東池上（2011/07/01-2011/07/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

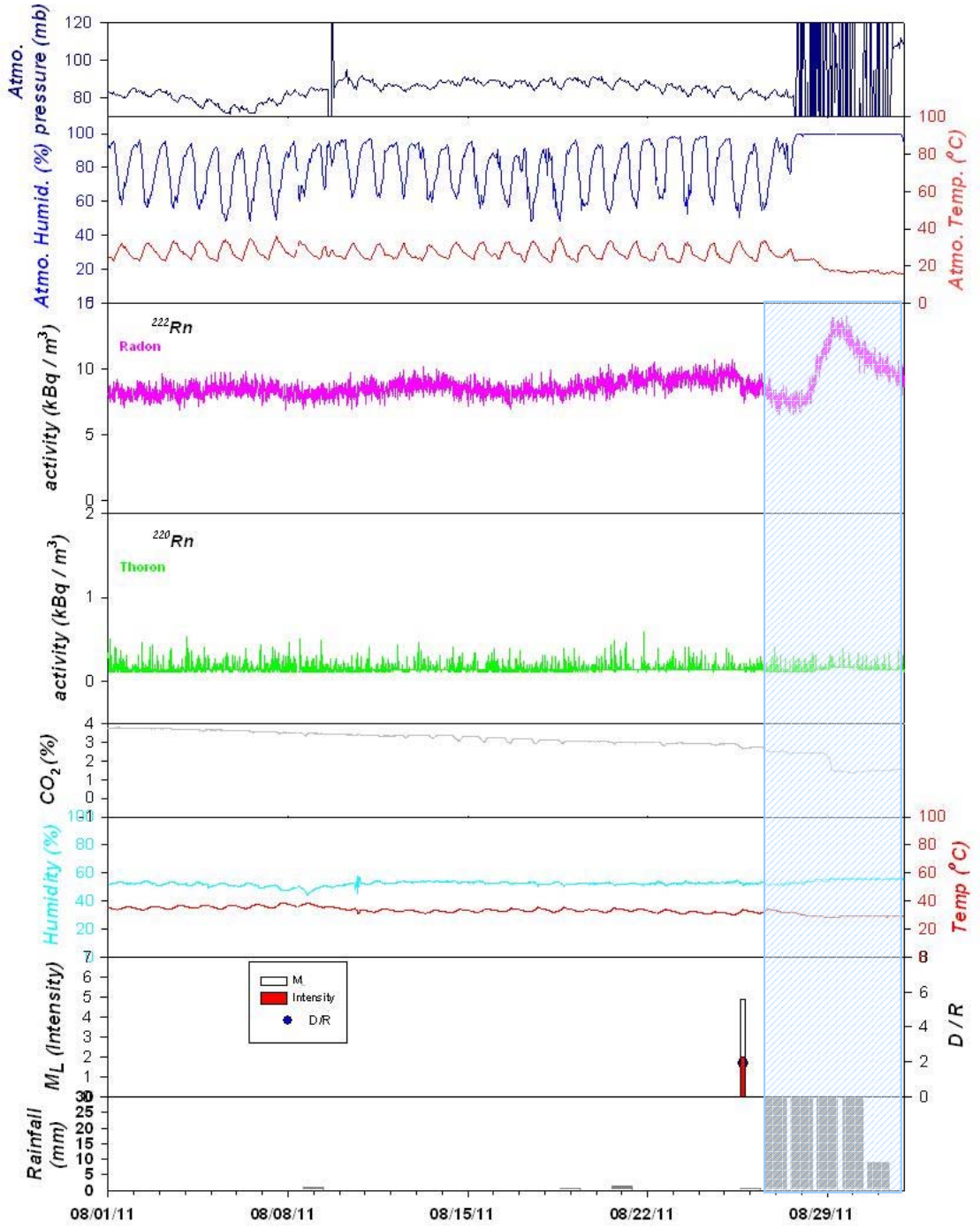


圖 4-73 臺東池上（2011/08/01-2011/08/31）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

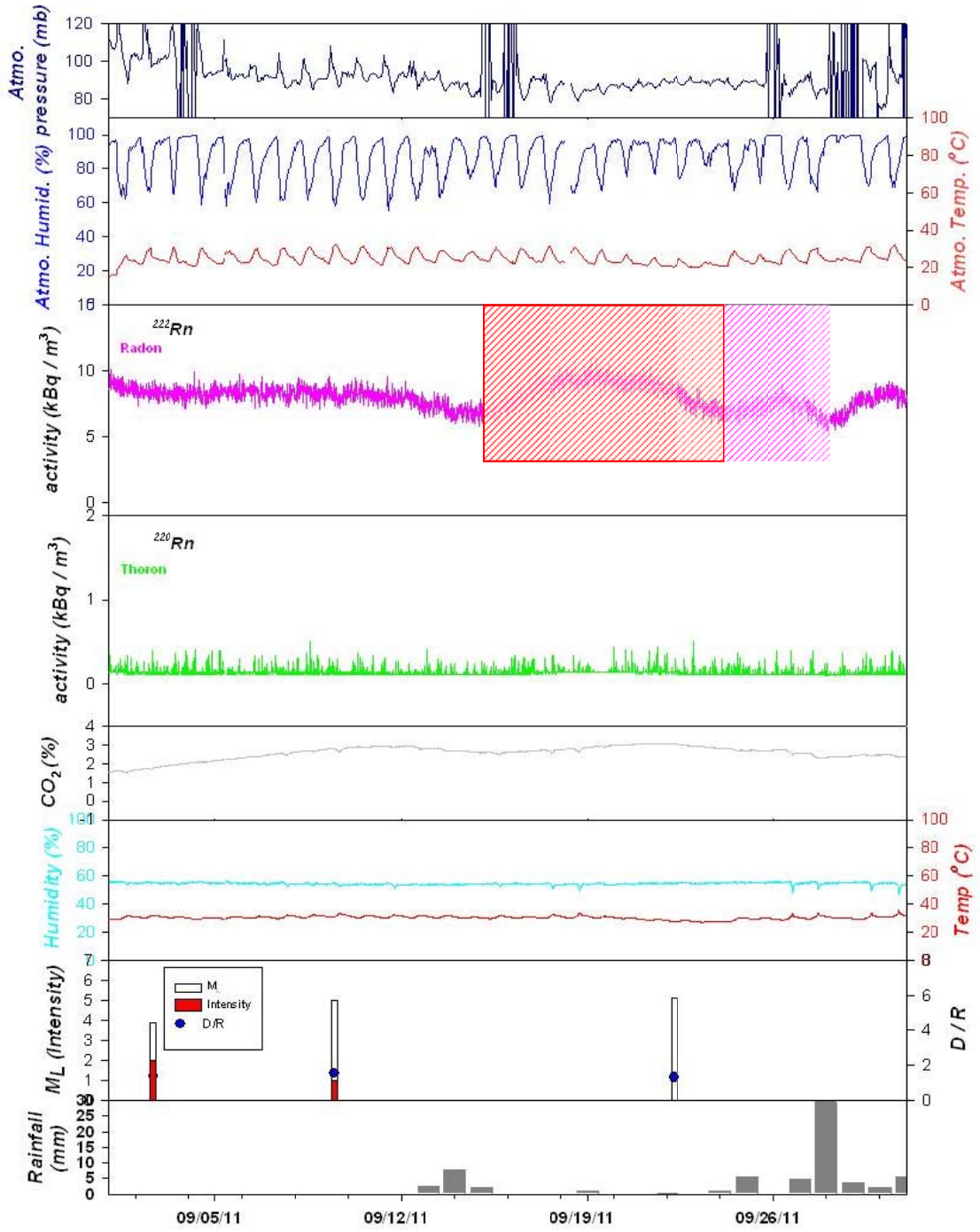
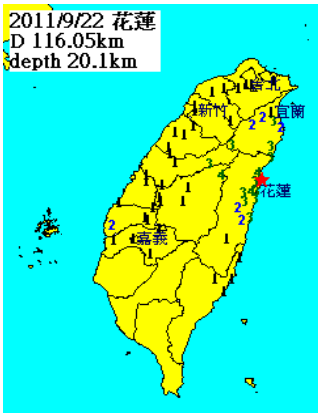


圖 4-74 臺東池上（2011/09/01-2011/09/30）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；粉色斜線框為有氣體異常但無相對應地震。



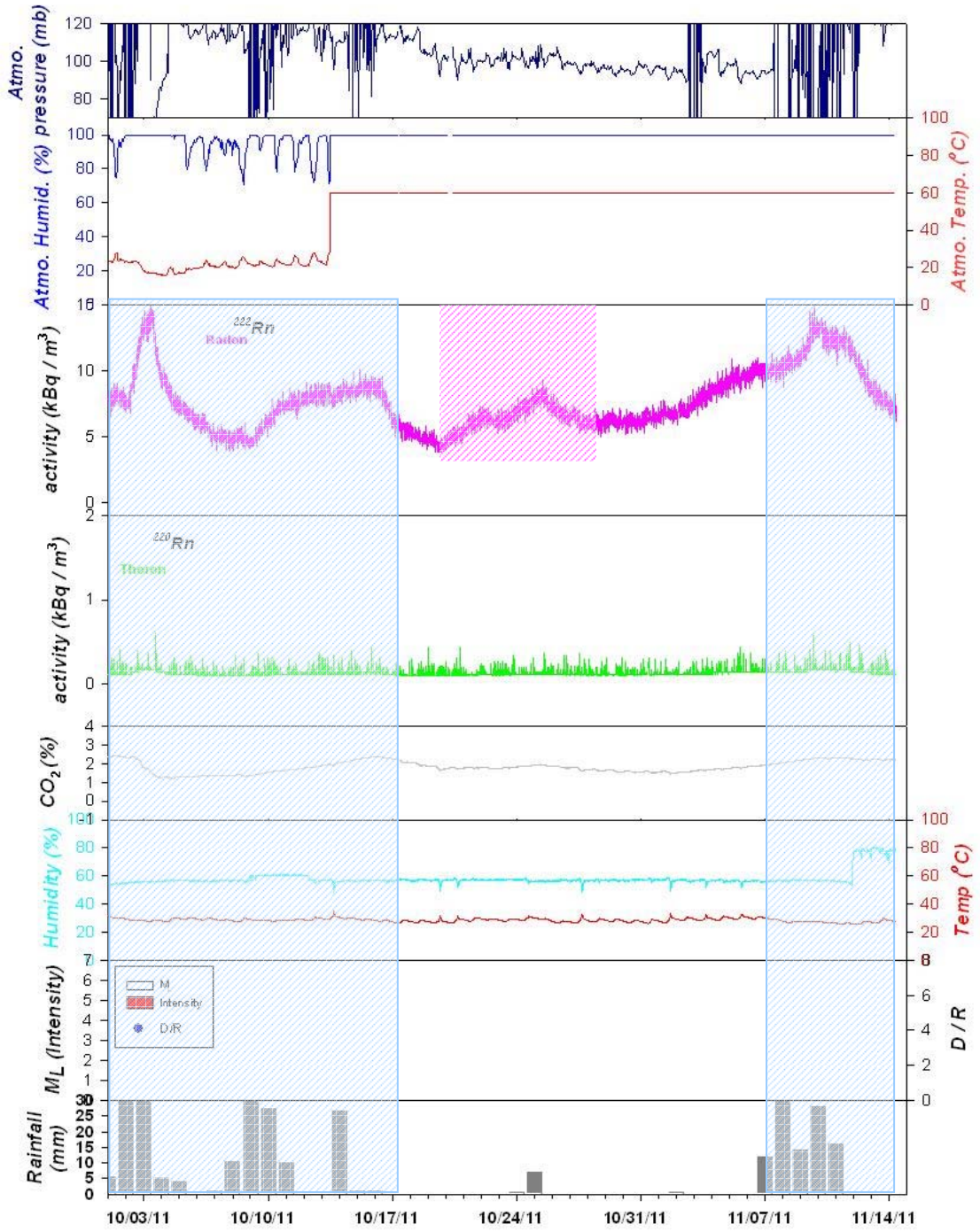


圖 4-75 臺東池上（2011/10/01-2011/11/14）土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；粉色斜線框為有氣體異常但無相對應地震；藍色斜線框為受降雨影響區間。

表 4-8 台東池上觀測站經過篩選後的相關地震及與氡氣異常有反應的地震列表

121.23 23.13	台東池上(池上地震站)			M_L≧5 或 Int.≧2 或 D/R≧2，距離<200km								
No	西元時間	規模	D=10^(0.43*M)	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
10-581	2010/12/6 10:14	5.2	172.19	121.5	23.67	25.3	花蓮西林地震站南偏東方 16.5 公里	v	2	3.35	65.77	2.6
10-583	2010/12/7 10:46	5.1	155.96	121.46	22.92	30.1	台東成功地震站南偏東方 21.3 公里	v	2	6.28	33.07	4.7
10-589	2010/12/10 15:04	3.7	38.99	121.3	23.13	15.5	台東成功地震站西偏北方 8.7 公里	v	2	x	7.16	5.4
10-591	2010/12/12 09:54	3.8	43.05	121.3	22.81	24	台東市地震站東偏北方 16.2 公里	v	2	x	36.10	1.2
11-3	2011/1/5 20:38	3.3	26.24	121.24	22.93	33.2	台東縣政府北偏東方 21.4 公里		2	x	22.14	1.2
11-34	2011/1/29 08:19	3.4	28.97	121.31	23.05	31.9	台東縣政府北偏東方 36.9 公里		1	x	12.05	2.4
11-38	2011/1/31 22:58	3.8	43.05	121.28	22.81	25.7	台東縣政府東偏北方 14.5 公里外海		2	x	35.75	1.2
11-43	2011/2/1 16:16	5.5	231.74	121.8	24.24	17.6	花蓮縣政府東北方 33.0 公里外海		1	1.32	135.79	1.7
11-94	2011/2/21 04:15	3.9	47.53	121.47	23.21	23.8	台東縣政府東北方 60.1 公里外海		2	x	26.08	1.8
11-146	2011/3/20 16:00	5.8	311.89	121.4	22.42	16.3	台東縣政府東南方 45.3 公里外海	v	4	35.8	80.42	3.9
11-204	2011/4/17 14:45	3.4	28.97	121.34	23.13	13.3	台東縣政府北偏東方 45.4 公里	v	2	x	11.25	2.6
11-220	2011/4/30 16:35	5.8	311.89	121.81	24.65	75	宜蘭縣政府南偏東方 10.1 公里		1	1.91	178.15	1.8
11-224	2011/5/3 23:52	5.2	172.19	121.8	23.9	34.2	花蓮縣政府東偏南方 20.3 公里外海	v	1	0.96	103.10	1.7
11-233	2011/5/7 05:31	4.7	104.95	121.46	23.18	22.8	台東縣政府東北方 57.2 公里外海		3	20.8	24.16	4.3
11-261	2011/5/24 12:00	3.8	43.05	121.34	23.29	20.6	花蓮縣政府南偏西方 82.4 公里		1	x	20.96	2.1
11-278	2011/6/3 01:07	5.2	172.19	121.38	22.22	19.1	台東縣政府南偏東方 63.4 公里外海		1	1.62	101.79	1.7
11-290	2011/6/10 09:25	5.1	155.96	121.68	23.57	28	花蓮縣政府南方 46.8 公里外海		2	4.31	66.92	2.3
*11-317	2011/6/26 21:19	5	141.25	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)				81.39	1.7
11-324	2011/7/1 00:38	3.5	31.99	121.36	23.1	22.2	台東縣政府北偏東方 44.0 公里 (位於台東縣成功鎮)		2	x	13.70	2.3

121.23 23.13	台東池上(池上地震站)			M_L≧5 或 Int.≧2 或 D/R≧2，距離<200km								
No	西元時間	規模	D=10^(0.43*M)	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
*11-381	2011/7/12 19:17	5.3	190.11	121.53	23.53	20.7	花蓮縣政府南方 52.3 公里 (位於花蓮縣近海)		2	4.85	53.81	3.5
*11-399	2011/7/18 22:48	5.1	155.96	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)				116.53	1.3
11-403	2011/7/19 16:58	3.8	43.05	121.41	23.17	24.7	台東縣政府北偏東方 53.4 公里 (位於台東縣近海)		1	x	18.93	2.3
11-456	2011/8/25 17:35	4.9	127.94	121.88	23.13	18.1	台東縣政府東偏北方 85.0 公里 (位於台灣東部海域)		2	4.07	66.48	1.9
11-469	2011/9/2 16:00	3.9	47.53	121.28	22.82	30.3	台東縣政府東偏北方 15.0 公里 (位於台東縣近海)		2	x	34.66	1.4
11-476	2011/9/9 11:26	5	141.25	120.99	22.33	9.4	台東縣政府南偏西方 50.1 公里 (位於台灣東部海域)		1	1.5	91.82	1.5
11-502	2011/9/22 06:18	5.1	155.96	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)	v			116.06	1.3
*11-535	2011/10/12 15:40	3.6	35.32	121.07	23.07	5.5	台東縣政府北偏西方 35.6 公里 (位於台東縣海端鄉)		2	x	17.66	2.0
*11-562	2011/10/30 11:23	6.3	511.68	123.14	25.29	221.4	基隆市政府東方 141.4 公里 (位於台灣東北部海域)				307.58	1.7
*11-565	2011/10/31 23:17	5	141.25	121.97	24.87	97.5	宜蘭縣政府東北方 26.3 公里 (位於台灣東部海域)				206.61	0.7

*表示受到降雨影響、距測站太遠（≧150km）、震源太深（≧50km）的地震，不列入測站氣體異常的分母地震

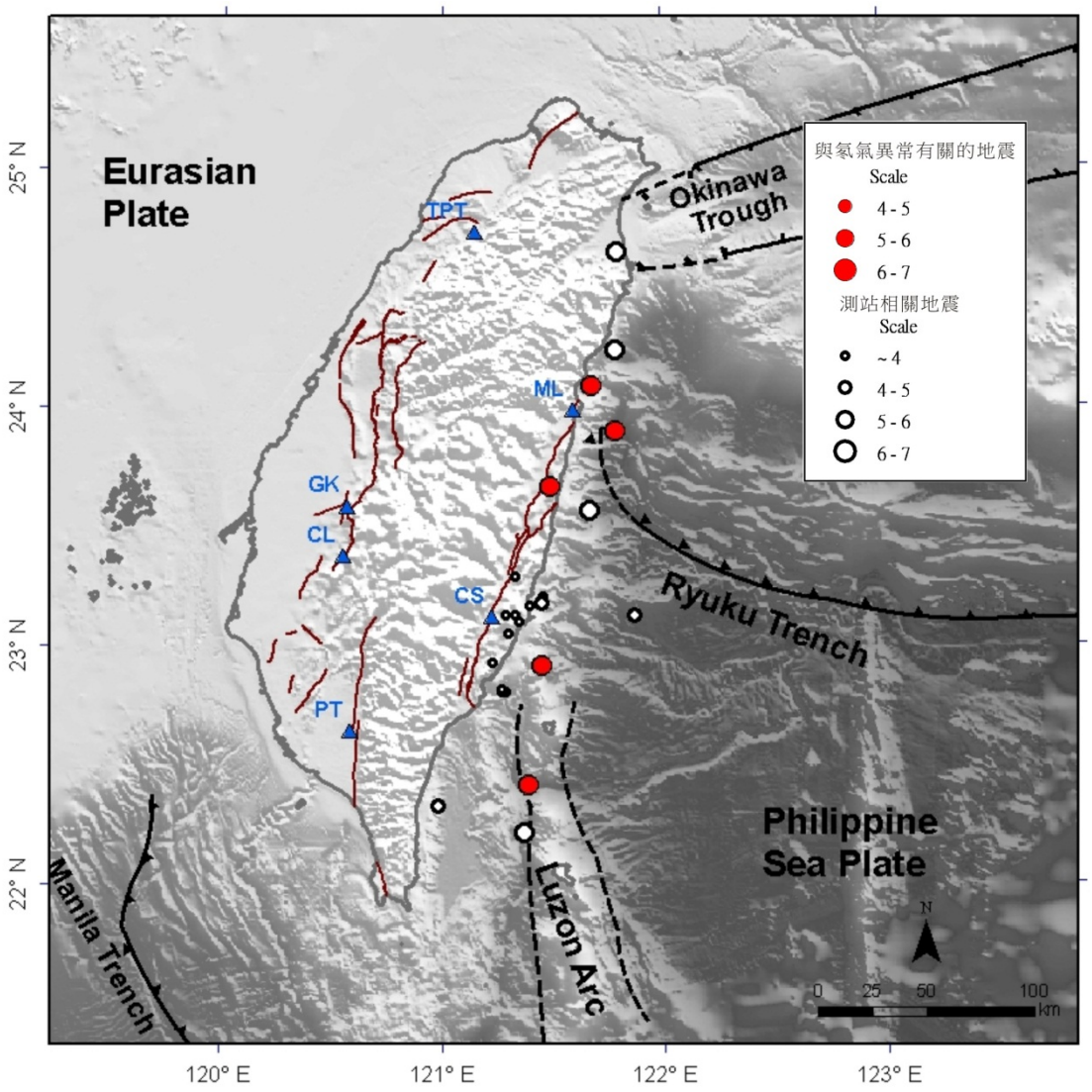


圖 4-76 臺東池上測站相關地震位置分布圖（2010/12-2011/11）。

4.7 嘉義中崙濁水潭土壤氣體觀測站

4.7.1 氡氣偵測儀分析結果

圖 4-77 至圖 4-88 為嘉義中崙濁水潭觀測站 2010 年 12 月至 2011 年 11 月的連續觀測結果。圖 4-77 是總圖表，圖 4-78 至圖 4-88 是分月圖表。首先說明目前量測方法，因逸氣來源的地方是在測站外面，因此以電動幫浦強力抽氣至室內，先經過錐形瓶去除可能抽到的水，再經由電子式氣體乾燥器將氣體氣、水分離，最後導入迴圈裝置，氡氣分析儀及四極桿質譜儀分別接在迴圈裝置上，氡氣分析儀以循環方式分析迴圈裝置內的氣體，四極桿質譜儀則是分析氣體後排出，迴圈內的氣體則是在迴圈裝置外側置放一個單向閥，當回圈裝置內的氣體壓力過大時，氣體會經由單向閥排出。

在本年度的運作中，發現電動幫浦疑似於 1 月 21 日抽氣速度減緩，至 1 月 29 日抽氣速率降到低點，這由圖 4-79 可以看出，自此至 5 月 5 日調整電動幫浦流速後才又回復到正常抽氣速度。在這段時間內，電動幫浦無法正常抽氣，只依靠氡氣分析儀內置的幫浦抽氣，因此氣體濃度分析結果較有電動幫浦輔助抽氣的氣體濃度值，降低了約 75%。在 6 月初電動幫浦又發生狀況，於是在 6 月 8 日更換電動幫浦，直到 9/8 電動幫浦再次因流速減緩，導致分析值下降，雖然中間一度可堪使用，但是仍然影響後續的氣體抽取分析，因此在 10 月 20 日再度更換電動幫浦。

中崙站使用的是中央氣象局嘉義市氣象站的日雨量資料，但是中崙站在山區，山區雨量通常較平地來的多，因此我們找到距離測站最近的小公田雨量站，引用該站的時雨量資料，希以輔助說明氣體濃度是否受到當地降雨的影響。時雨量的資料無法立即取得，因此中崙站的時雨量資料只到 5 月止。由圖 4-78 至圖 4-83（2010 年 12 月至 2011 年 5 月）可以看出嘉義市的日雨量與小公田的時雨量間的差異，明顯的可以看出，氣體會受到降雨的影響而有突升突降的情形發生。但是這也可以輔助解釋 3 月份的三個氣體異常變化，實與雨量無關，應是與之後發生的地震有密切的關連。

中崙濁水潭觀測站，因降雨導致附近泥土沖刷入潭水中，加大潭水面積，雨勢較大時則會有小土石流發生，潭水範圍漸漸往測站方向延伸，測站後面的地基距離潭水僅剩不到 2 公尺距離，假以時日測站可能會有後傾之虞。且中崙站近年來時常受到降雨影響導致氣體濃度突升突降，初步懷疑可能與地底下潭水水位上升有關，在有水的情形下，氣體濃度常會受到影響，分月圖上藍色斜線框即是受到降雨影響的區間。

圖 4-78 為 2010 年 12 月的連續觀測結果。其中從 12 月 1 日至 12 月 7 日

為一氡氣異常變化區間，之後發生的三起地震在經過篩選後，都符合我們所要求的原則，在無其他資料輔助下暫將這段異常變化區間視為是這三起地震的前兆反應時間。這三起地震分別是 12 月 6 日發生於花蓮西林的地震(規模 5.2，震度 4 級，深度 25.3km，D/R 1.7)；12 月 7 日發生於臺東成功的地震(規模 5.1，震度 3 級，深度 30.1km，D/R 1.5)；12 月 9 日發生於嘉義阿里山的地震(規模 4，震度 3 級，深度 9.4km，D/R 2.8)。另外一個反應較大的氡氣異常變化區間是在 12 月 7 日至 12 月 16 日，高低點相差 30000(Bq/m^3)，細查這段時間內並無任何地震發生，因此還需其他資料來輔助判讀。

圖 4-79 及圖 4-80 為 2011 年 1 月及 2 月的連續觀測結果。在 1 月初有一個氡氣異常變化區間，是在 1 月 2 日至 1 月 8 日，可以視為是 1 月 7 日發生於臺南市的地震(規模 3.4，震度 2 級，深度 17.9km，D/R 1.3)的前兆反應時間。在 2 月 20 日至 2 月 28 日為一氡氣異常變化區間，可視為是 2 月 26 日發生於雲林的地震(規模 3.7，震度 2 級，深度 20.2km，D/R 1.4)的前兆反應時間。

圖 4-81 及圖 4-82 為 2011 年 3 月及 4 月的連續觀測結果。此階段有四個氡氣異常變化區間，說明如後：3 月 8 日至 3 月 11 日為一氡氣異常變化區間，可以視為是 3 月 12 日發生於嘉義縣的地震(規模 3.7，震度 2 級，深度 20.2km，D/R 1.4)的前兆反應時間；3 月 11 日至 3 月 17 日為一氡氣異常變化區間，可以視為是 3 月 16 日發生於屏東縣的地震(規模 4.7，震度 2 級，深度 37.9km，D/R 1.1)的前兆反應時間；3 月 17 日至 3 月 20 日為一氡氣異常變化區間，可以視為是 3 月 20 日發生於臺東外海的地震(規模 5.8，震度 4 級，深度 16.3km，D/R 2.3)的前兆反應時間。3 月 29 日至 3 月 31 日為一氡氣異常變化區間，可以視為是 4 月 1 日發生於南投的地震(規模 3.9，震度 2 級，深度 16.3km，D/R 0.9)的前兆反應時間。

中崙站 5 月之後受到降雨及電動幫浦的影響，氡氣資料時段時續未能連貫，觀測品質不盡理想，對於用來解釋與地震的關係有相當程度的困難。

與中崙站氡氣異常相關地震篩選原則為規模≧5 或震度≧2 或 D/R≧2，震央距離測站＜200km 皆選入。因此中崙站全部背景地震有 103 起，經過以上原則篩選後的相關地震有 28 起，與測站氡氣異常相關的地震有 9 起。

表 4-9 為中崙觀測站經過篩選後的相關地震與測站氡氣異常有關的地震列表。

圖 4-89 為中崙觀測站經過篩選後的相關地震分布圖。白色圈圈為篩選後的地震，紅色圈圈為與測站氡氣異常有關的地震。由圖可看出中崙測站相關的地震分布位置多集中在中南部、東部花蓮和台東附近。

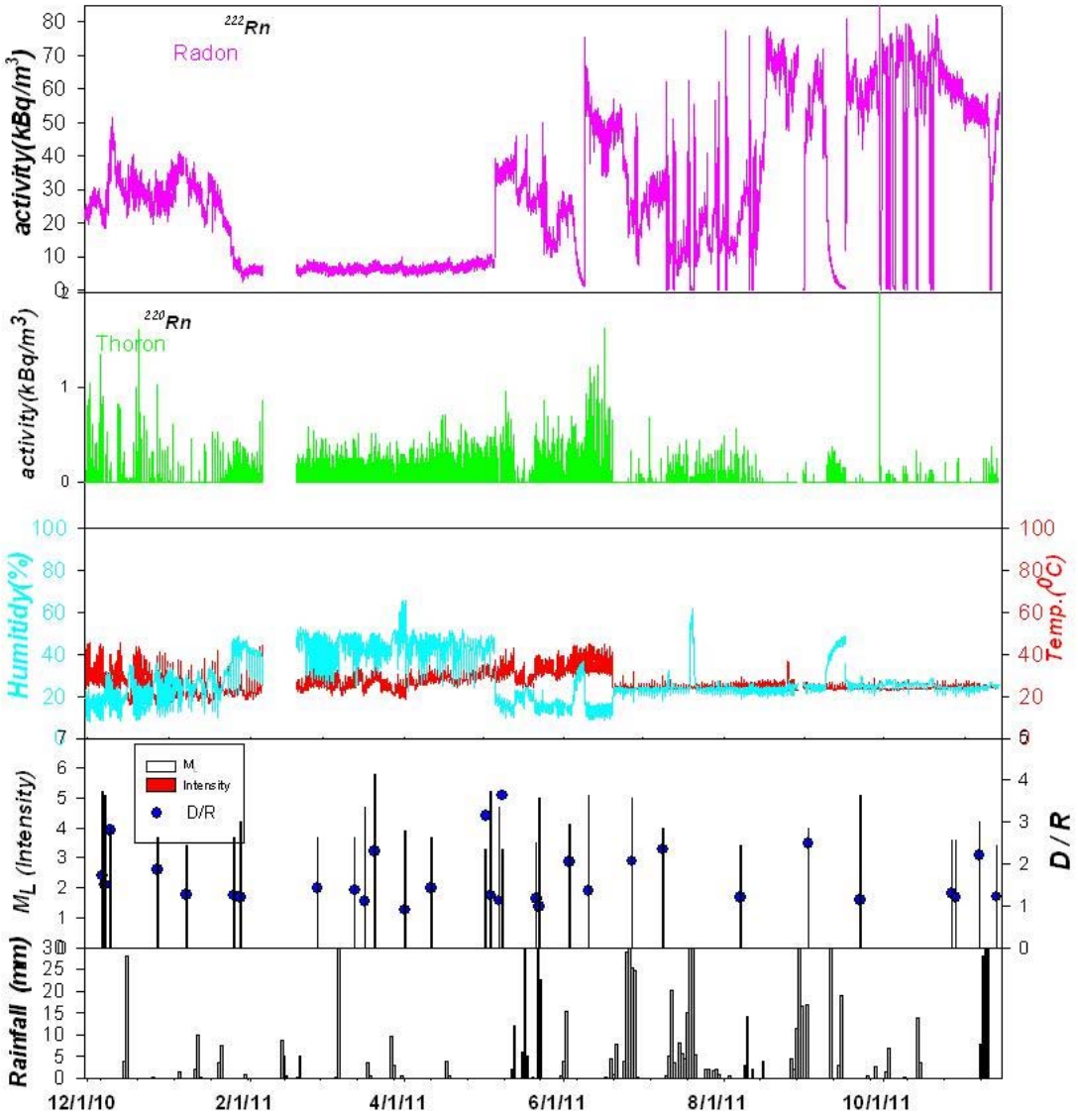


圖 4-77 嘉義中崙濁水潭（2010/11/30-2011/11/14）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度。

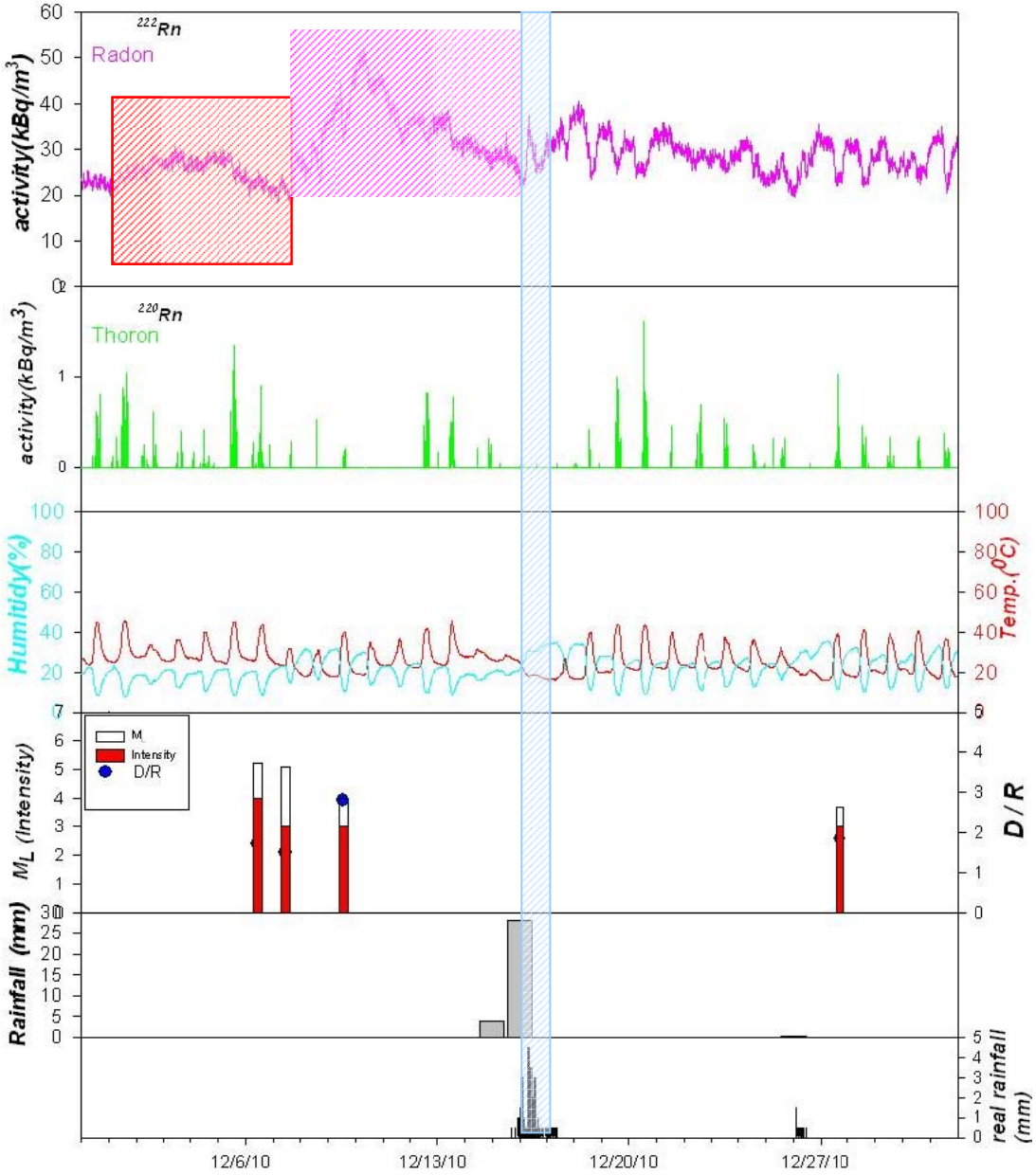
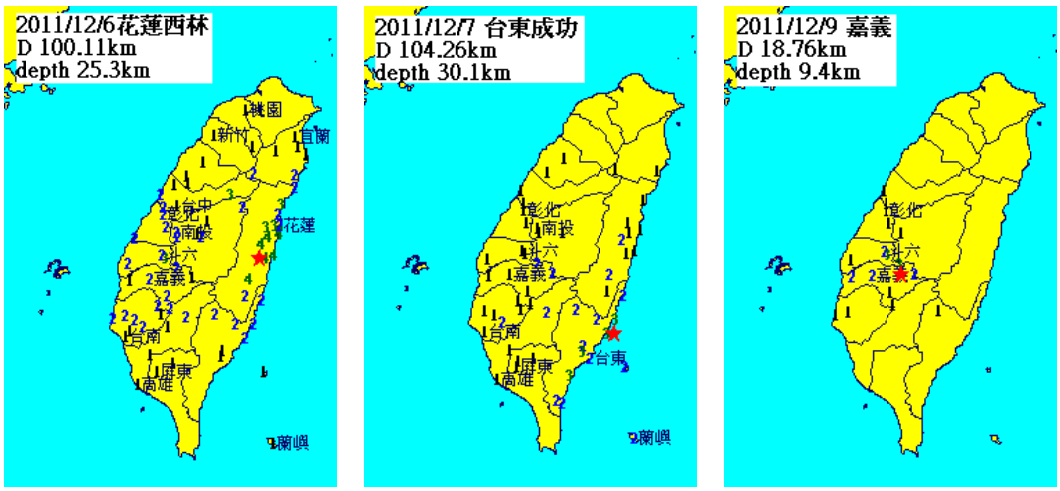


圖 4-78 嘉義中崙濁水潭（2010/11/30-2010/12/31）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間；紅色斜線框為氡氣異常變化區間。



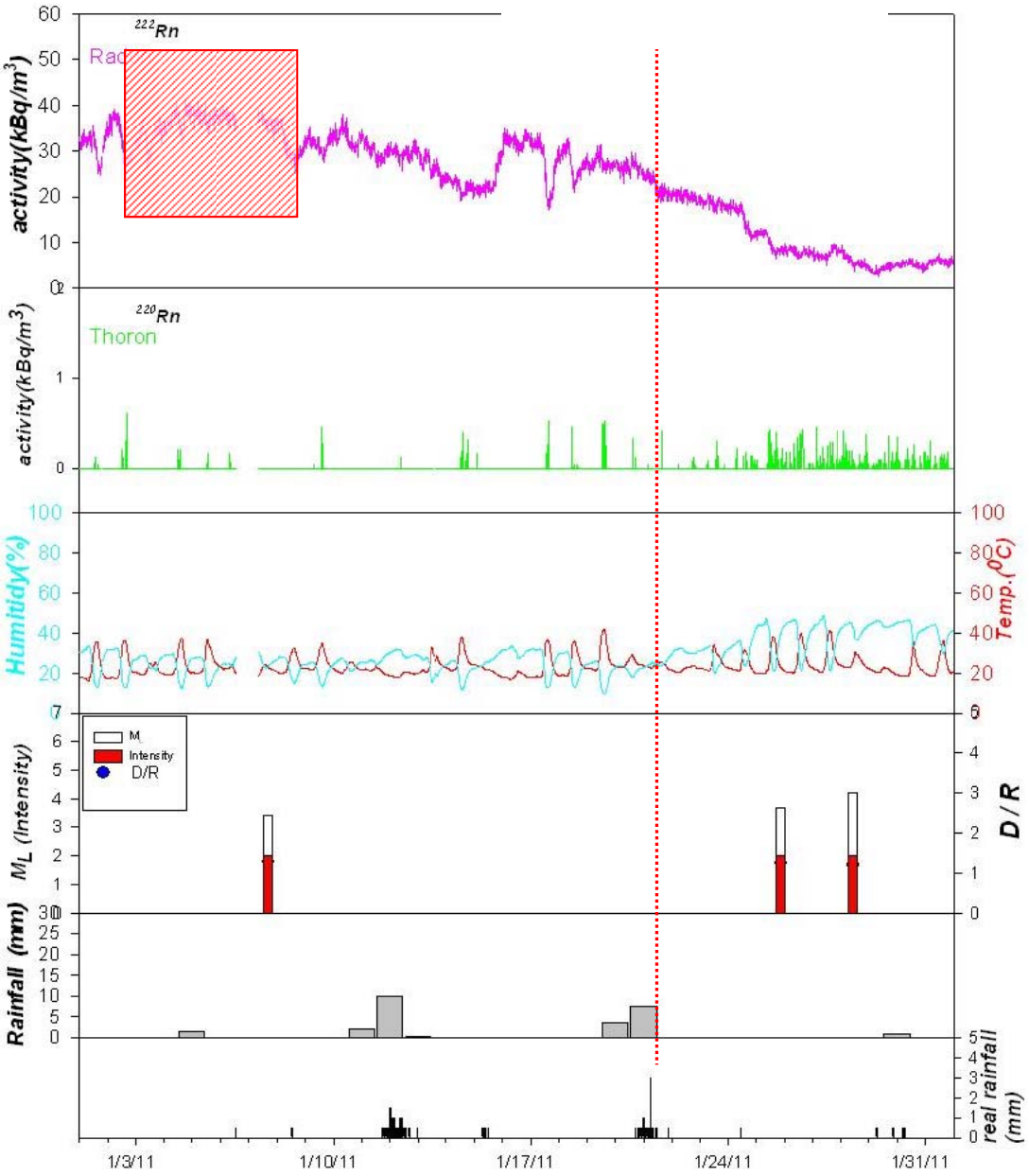
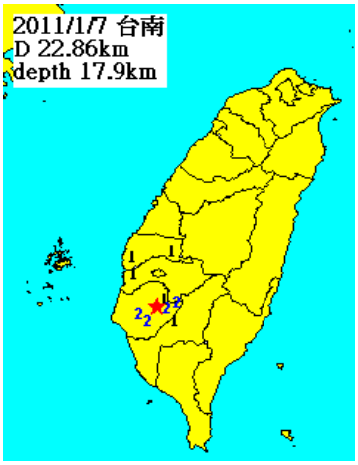


圖 4-79 嘉義中崙濁水潭（2011/01/01-2011/01/31）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間。



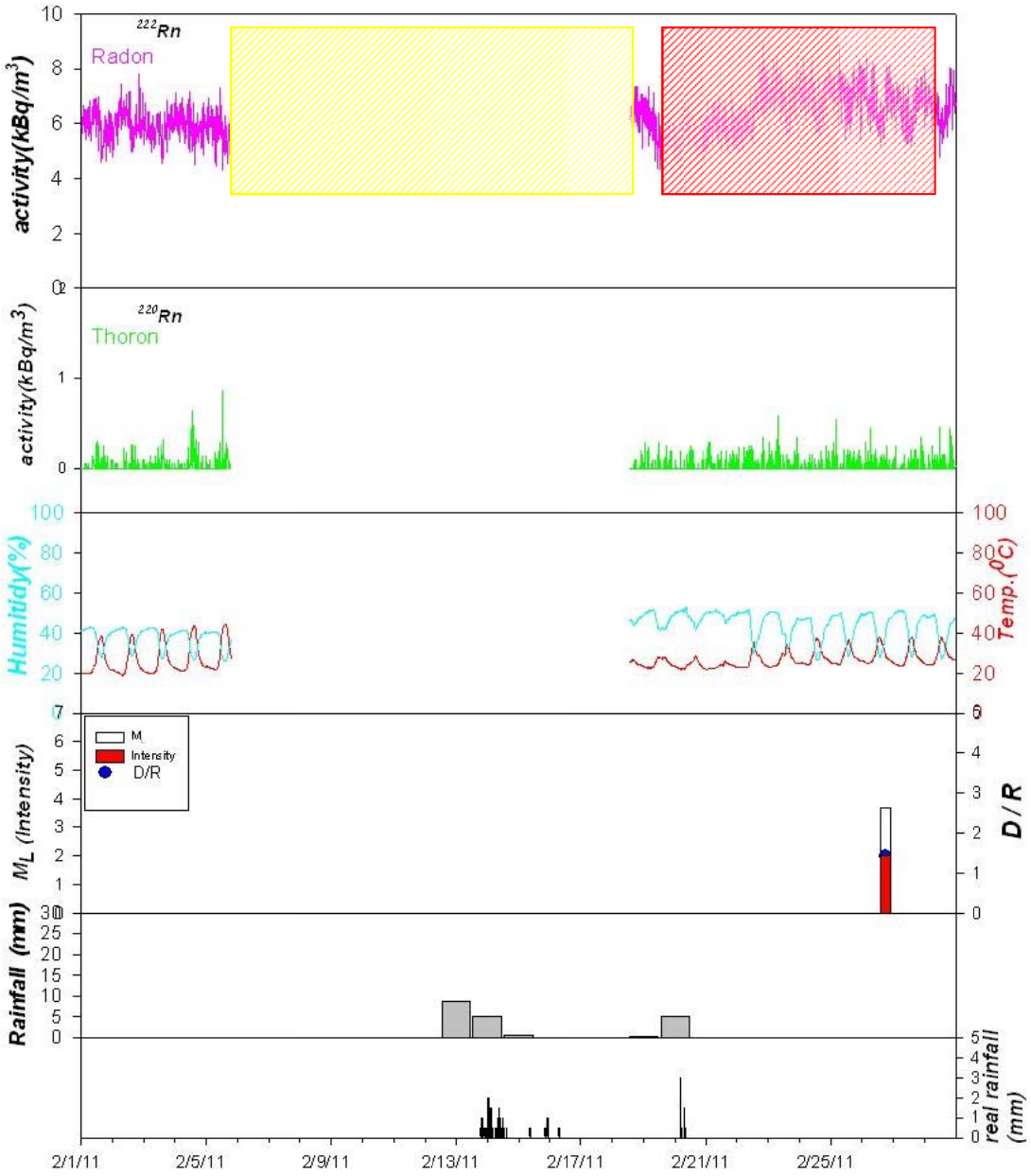
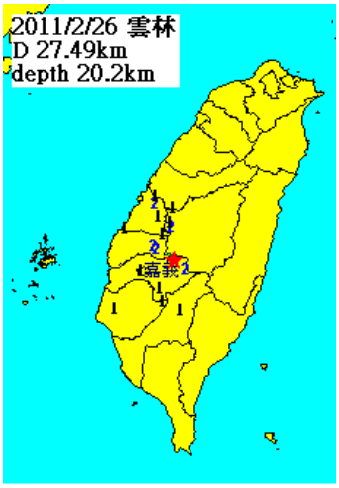


圖 4-80 嘉義中崙濁水潭（2011/02/01-2011/02/28）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；黃色斜線框為氡氣分析儀故障區間。



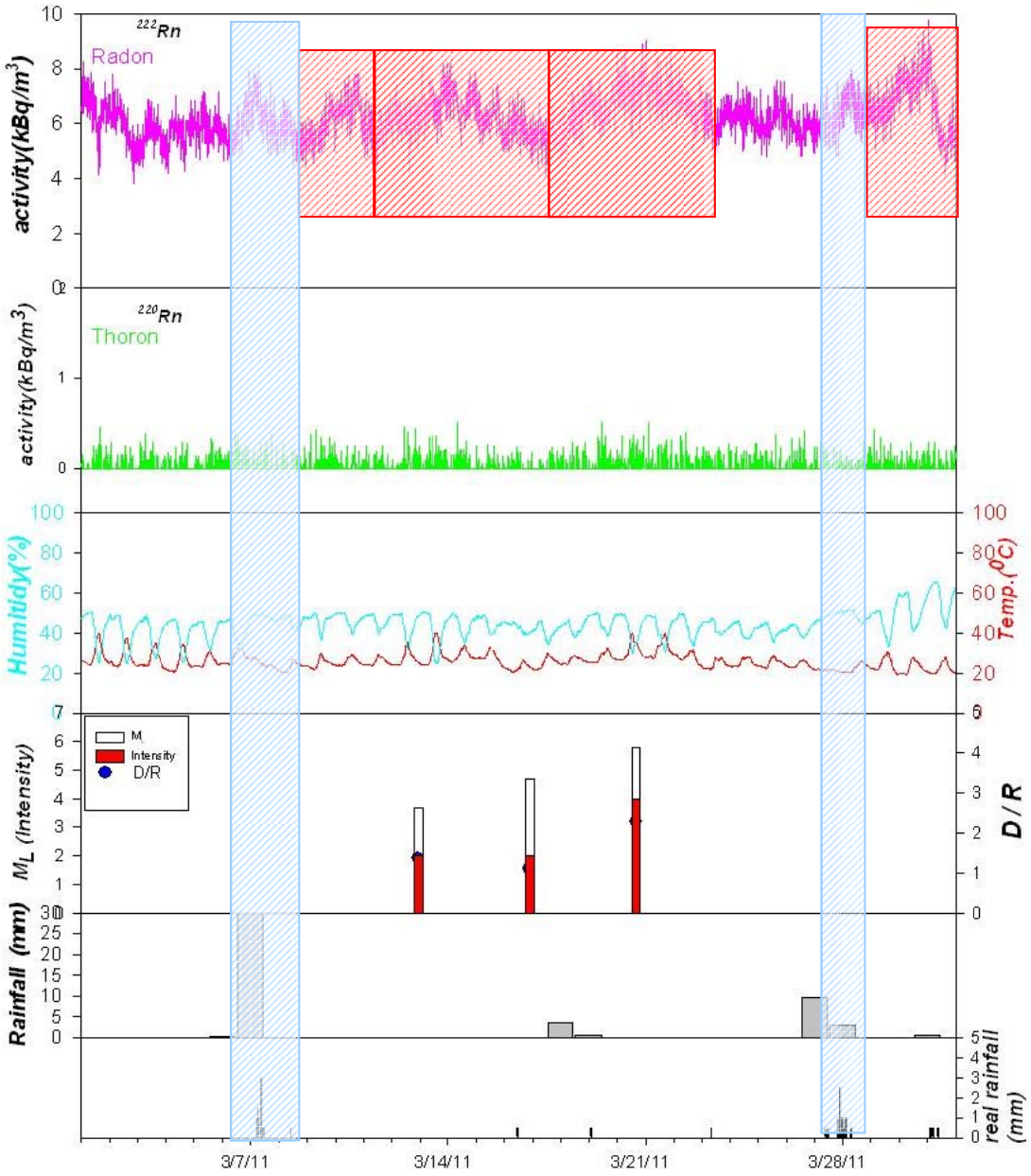
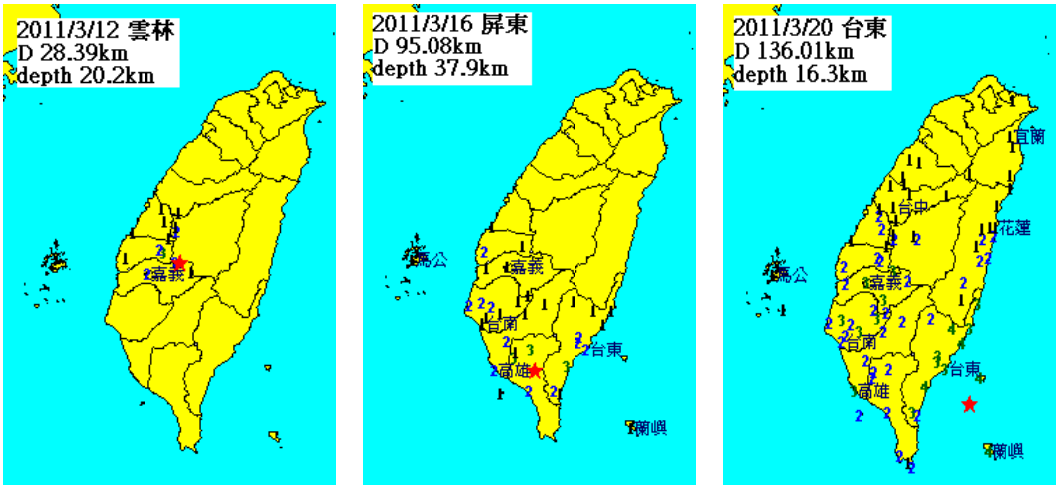


圖 4-81 嘉義中崙濁水潭（2011/03/01-2011/03/31）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；紅色斜線框為氡氣異常變化區間；藍色斜線框為受降雨影響區間。



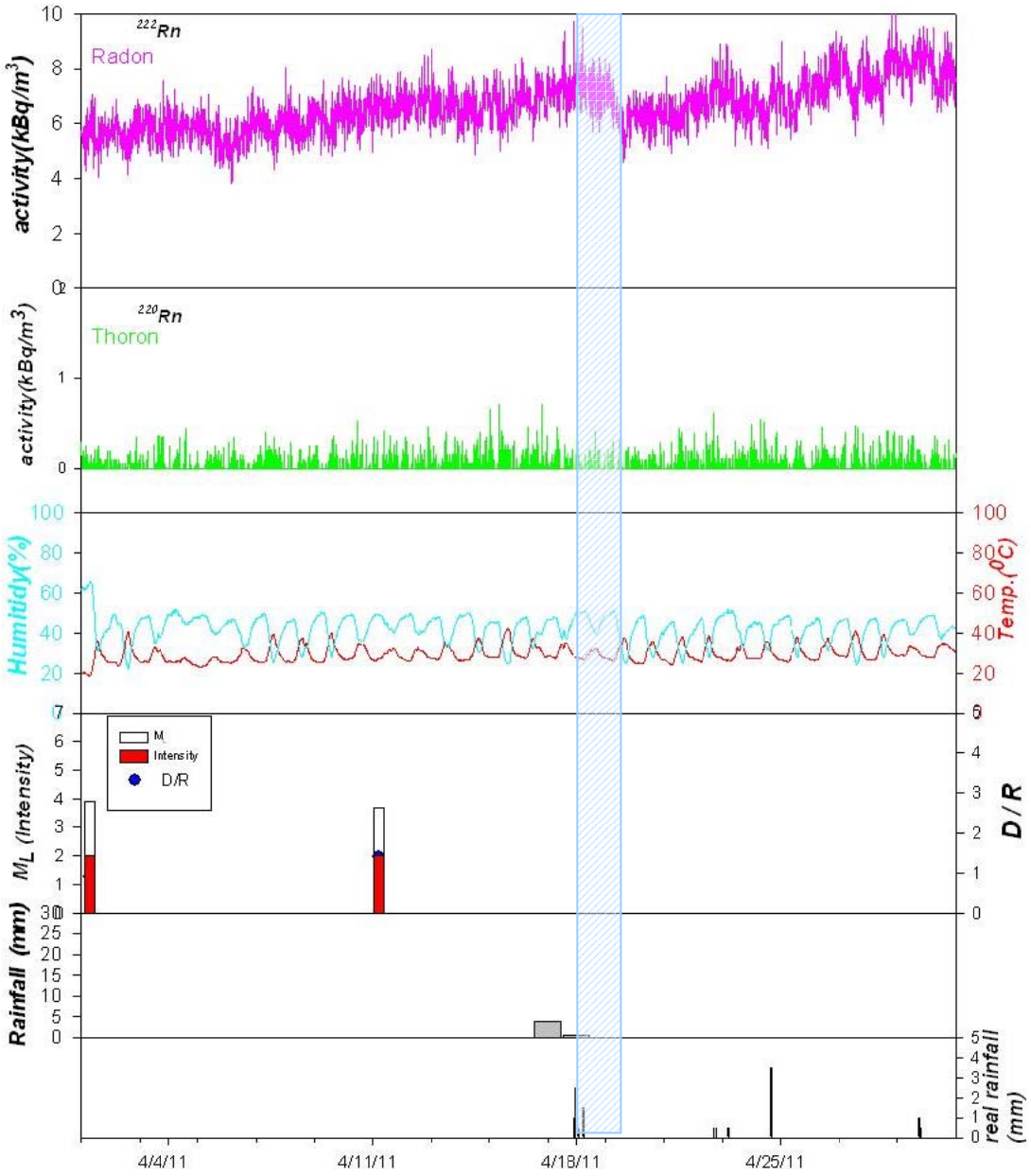
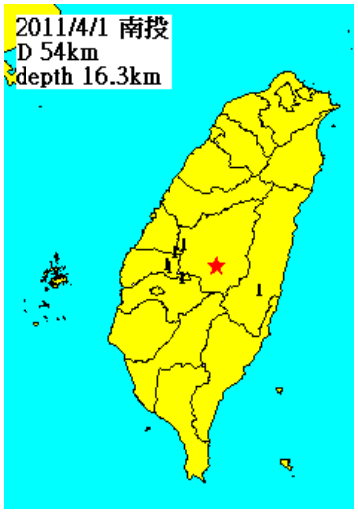


圖 4-82 嘉義中崙濁水潭（2011/04/01-2011/04/30）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。



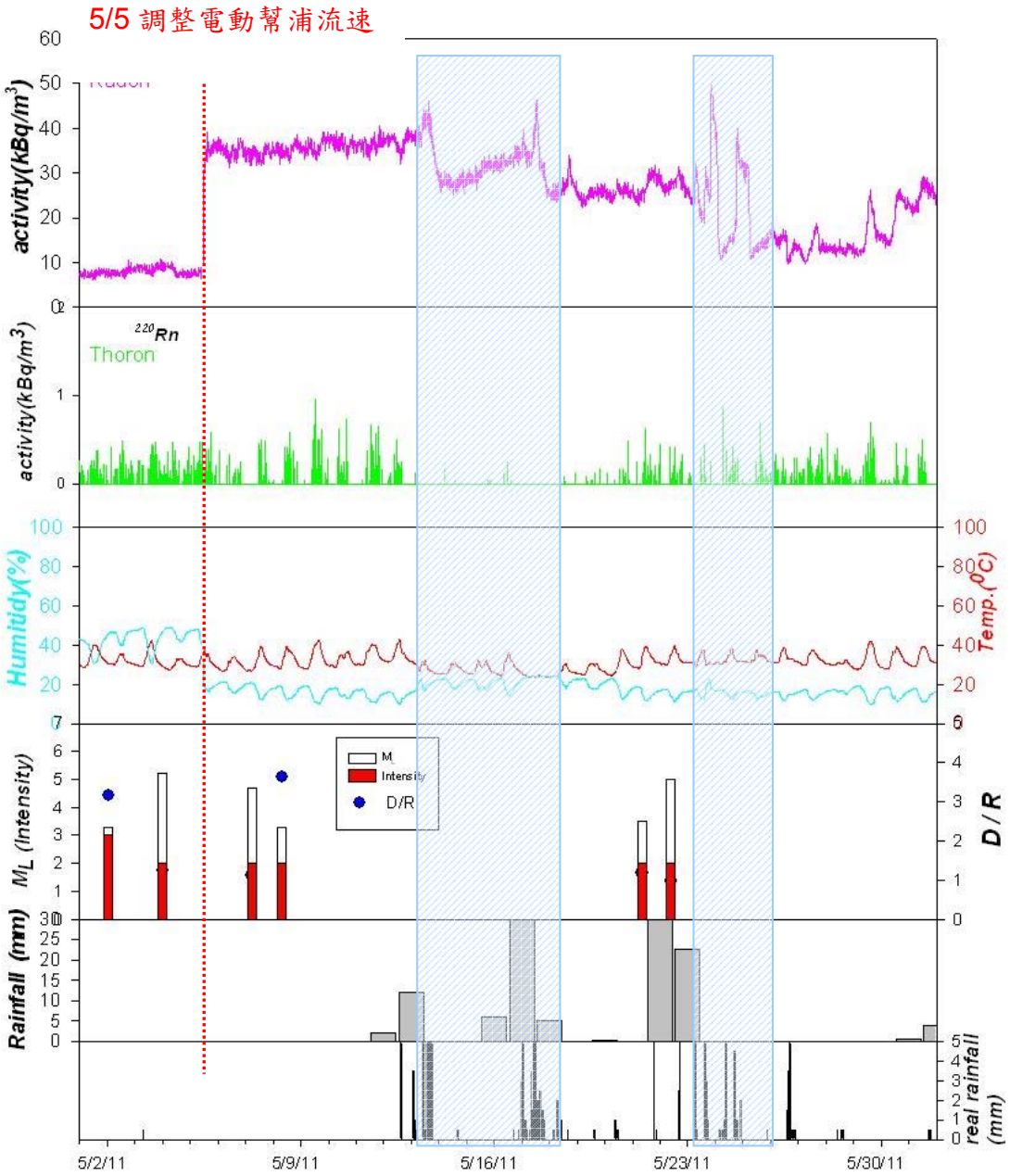


圖 4-83 嘉義中崙濁水潭（2011/05/01- 2011/05/31）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

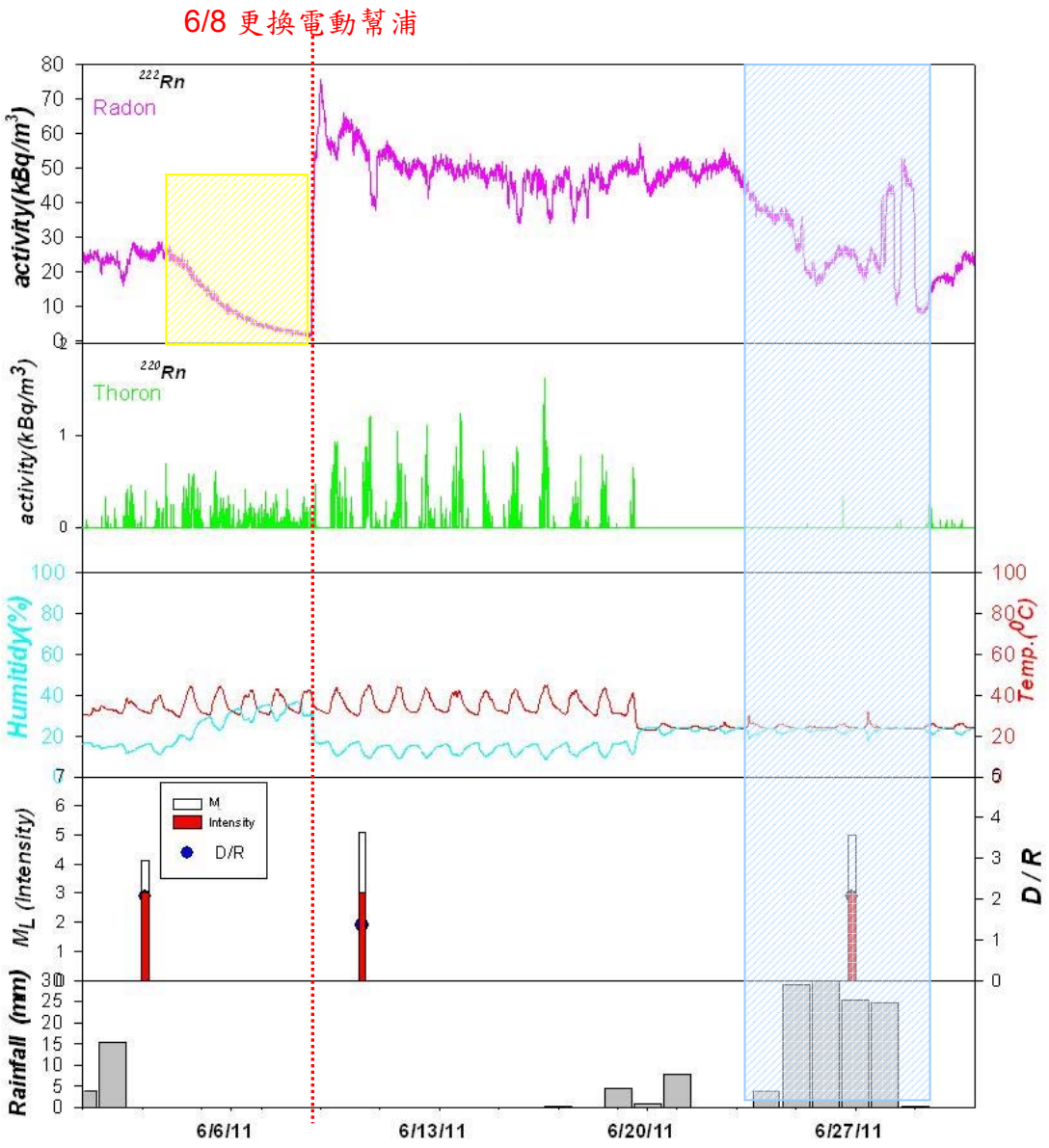


圖 4-84 嘉義中崙濁水潭（2011/06/01- 2011/06/30）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間；黃色斜線框為電動幫浦故障區間。

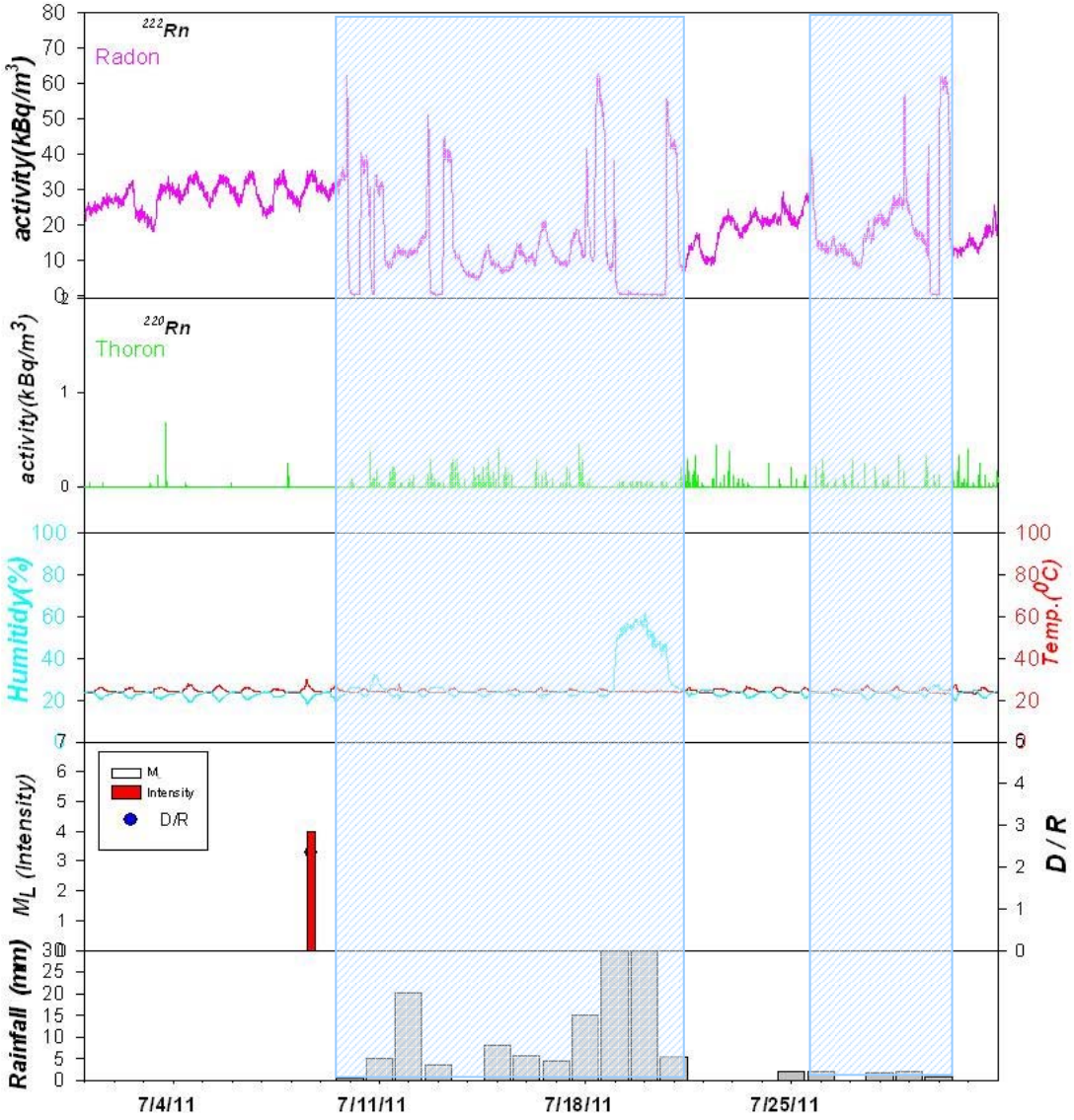


圖 4-85 嘉義中崙濁水潭（2011/07/01- 2011/07/31）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

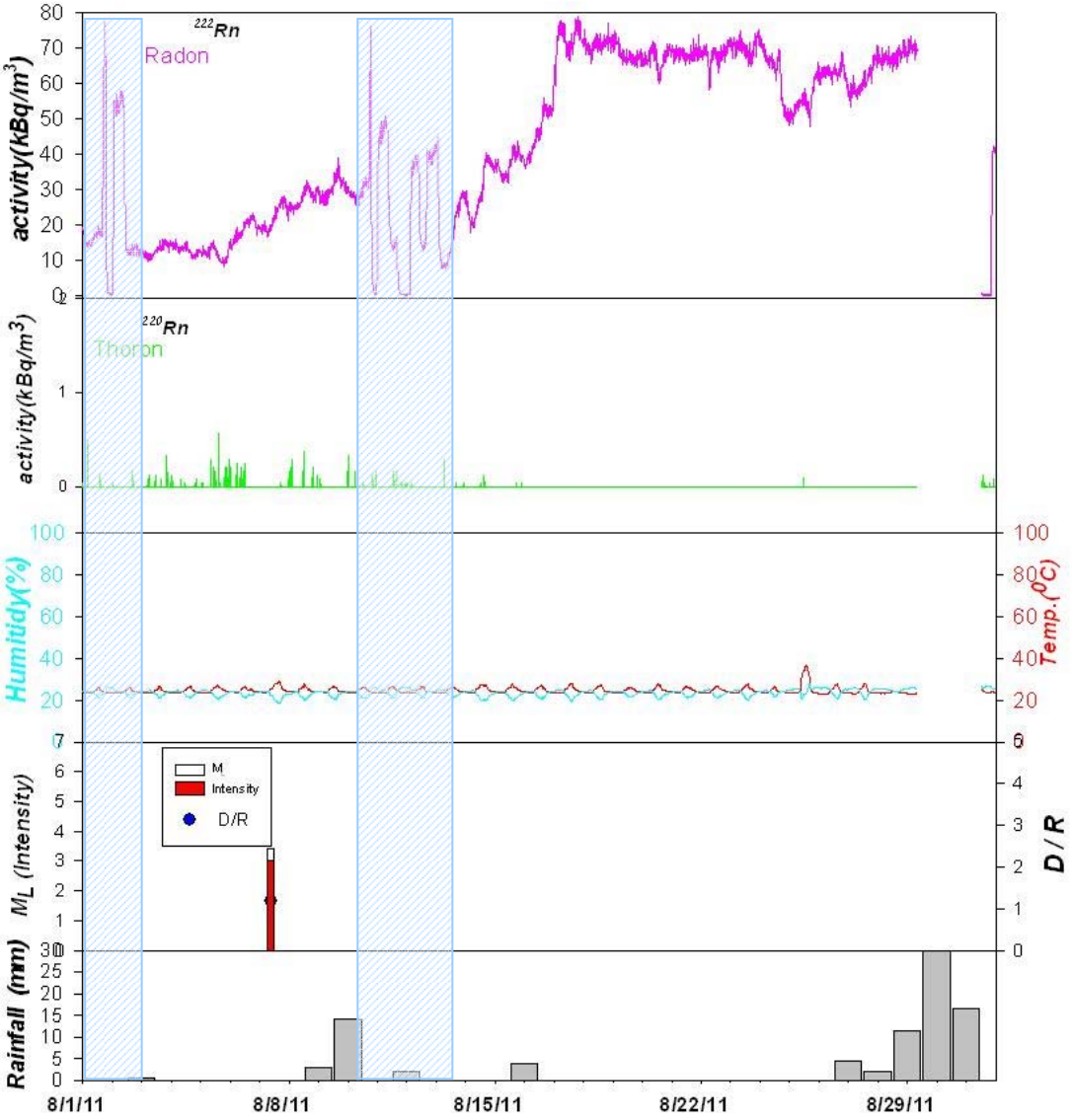


圖 4-86 嘉義中崙濁水潭（2011/08/01- 2011/08/31）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間。

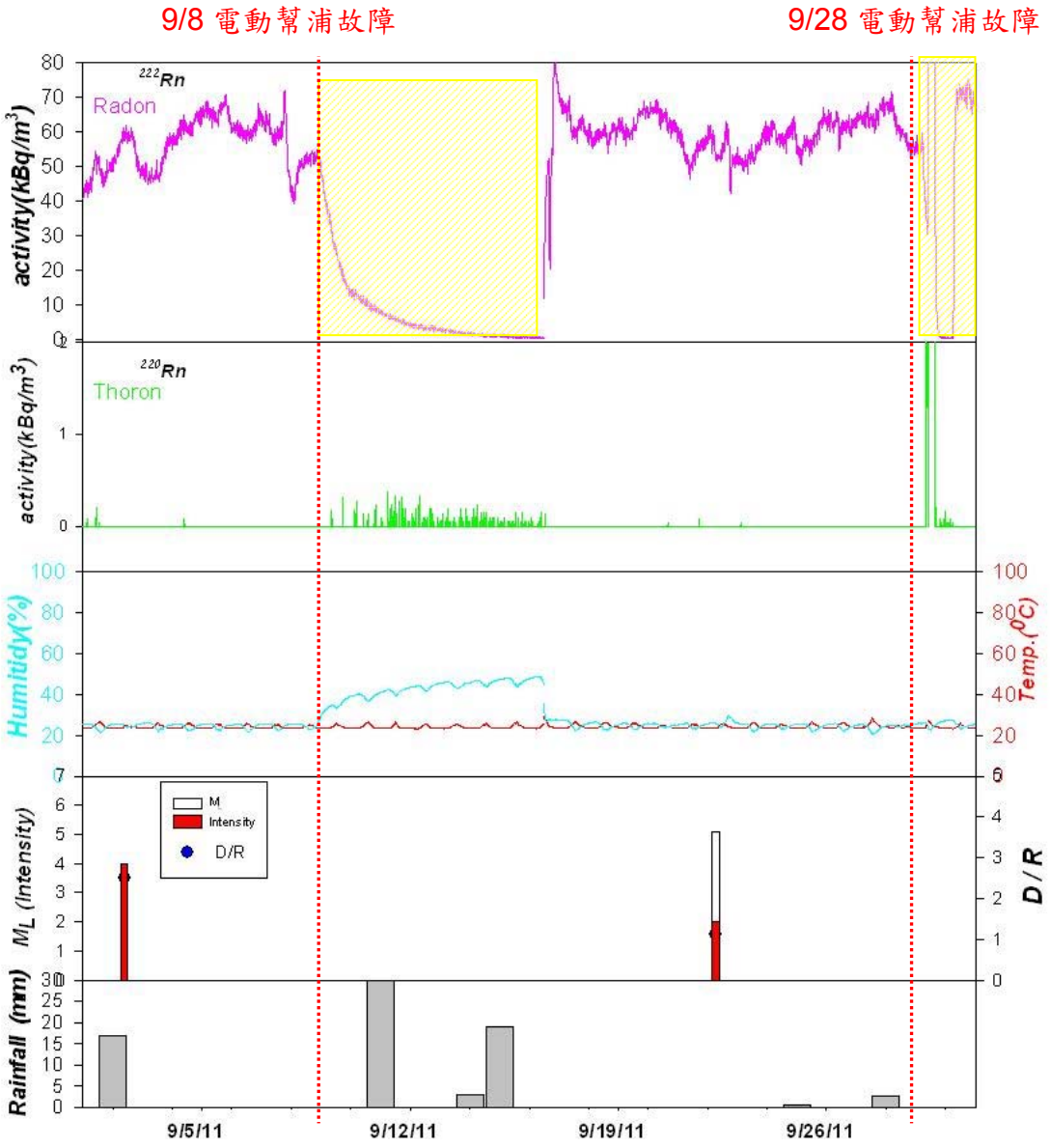


圖 4-87 嘉義中崙濁水潭（2011/09/01- 2011/09/30）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間；黃色斜線框為電動幫浦故障區間。

10/20 更換電動幫浦

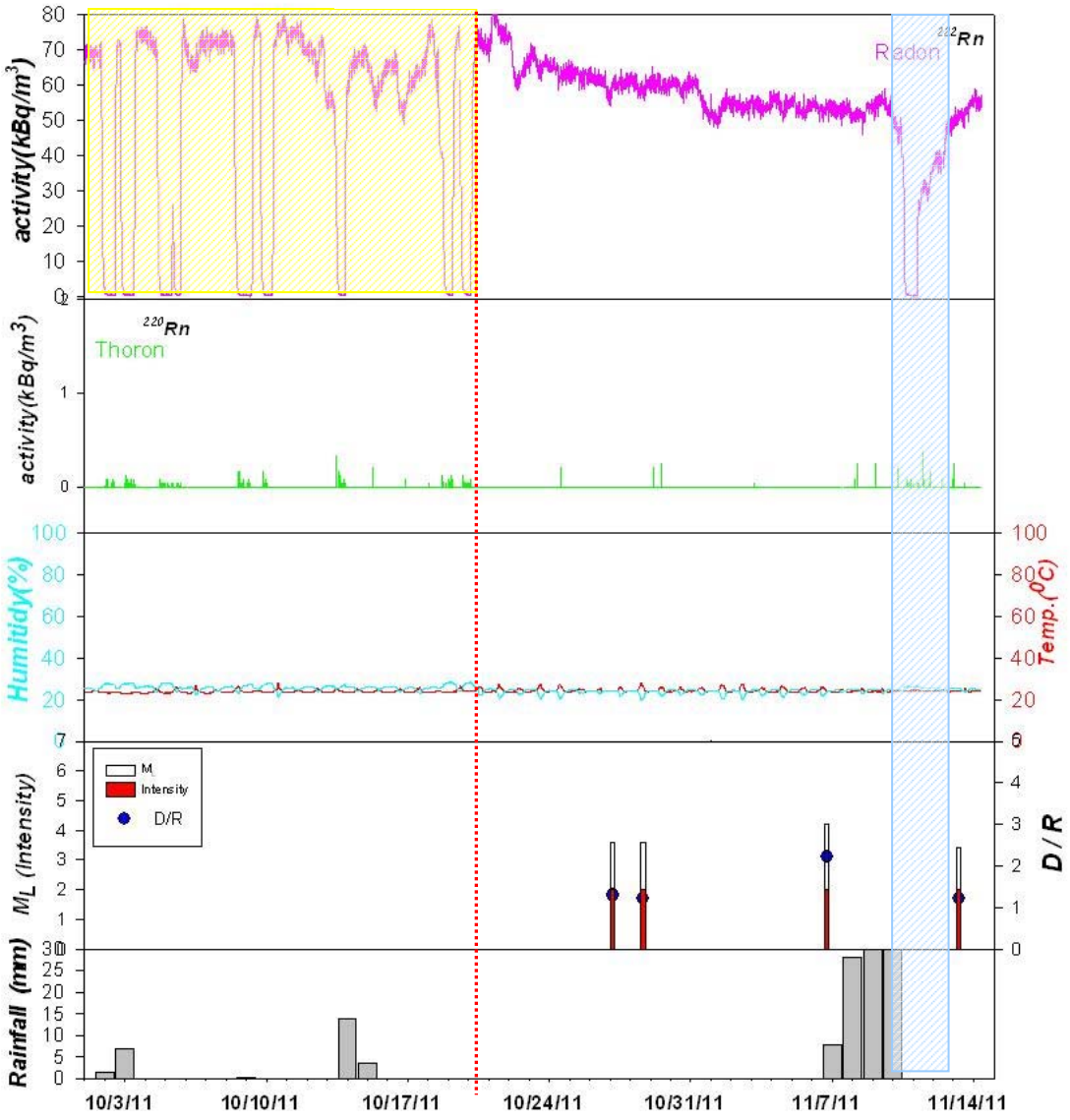


圖 4-88 嘉義中崙濁水潭（2011/10/01- 2011/11/14）土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。M_L：地震規模；Intensity：震度；藍色斜線框為受降雨影響區間；黃色斜線框為電動幫浦故障區間。

120.57 23.38	嘉義中崙(自有地震儀)						M_L≧5 或 Int.≧2 或 D/R≧2，距離<200km					
No	西元時間	規模	D=10^(0.43*M)	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
10-581	2010/12/6 10:14	5.2	172.19	121.5	23.67	25.3	花蓮西林地震站南偏東方 16.5 公里	v	4	25.28	100.11	1.7
10-583	2010/12/7 10:46	5.1	155.96	121.46	22.92	30.1	台東成功地震站南偏東方 21.3 公里	v	3	8.21	104.26	1.5
10-587	2010/12/9 13:20	4	52.48	120.71	23.49	9.4	嘉義阿里山地震站西方 10.5 公里	v	3	15.67	18.76	2.8
10-614	2010/12/27 17:01	3.7	38.99	120.58	23.19	17.1	台南市政府東偏北方 46.1 公里		3	12.27	21.04	1.9
11-10	2011/1/7 16:42	3.4	28.97	120.46	23.2	17.9	台南市政府東北方 36.7 公里	v	2	5.43	22.86	1.3
11-30	2011/1/25 20:44	3.7	38.99	120.83	23.53	20.4	南投縣政府南偏東方 43.8 公里		2	5.06	31.29	1.2
11-32	2011/1/28 10:52	4.2	63.97	120.63	22.9	5	高雄市政府東北方 45.4 公里		2	7.99	53.43	1.2
*11-43	2011/2/1 16:16	5.5	231.74	121.8	24.24	17.6	花蓮縣政府東北方 33.0 公里外海		2	7.92	157.20	1.5
*11-90	2011/2/15 15:18	5.5	231.74	121.3	21.18	35.4	台東縣政府南方 175.0 公里外海		1	1.81	254.58	0.9
11-96	2011/2/26 18:23	3.7	38.99	120.73	23.58	20.2	嘉義縣政府東偏北方 46.6 公里	v	2	6.75	27.49	1.4
11-130	2011/3/12 22:20	3.7	38.99	120.73	23.59	20.2	嘉義縣政府東偏北方 46.6 公里	v	2	6.2	28.39	1.4
11-137	2011/3/16 21:12	4.7	104.95	120.71	22.53	37.9	屏東縣政府東南方 28.3 公里	v	2	5.23	95.08	1.1
11-146	2011/3/20 16:00	5.8	311.89	121.4	22.42	16.3	台東縣政府東南方 45.3 公里外海	v	4	54.05	136.01	2.3
11-169	2011/4/1 06:48	3.9	47.53	120.97	23.7	16.3	南投縣政府東南方 36.2 公里	v	2	3	54.00	0.9
11-190	2011/4/11 04:44	3.7	38.99	120.7	23.6	14.8	雲林縣政府東偏南方 21.3 公里		2	4.91	27.71	1.4
*11-219	2011/4/29 21:12	5.9	344.35	122.07	21.35	178.1	台東縣政府南偏東方 182.5 公里外海		3	14.56	272.35	1.3
*11-220	2011/4/30 16:35	5.8	311.89	121.81	24.65	75	宜蘭縣政府南偏東方 10.1 公里		3	15.12	188.68	1.7
11-222	2011/5/2 00:54	3.3	26.24	120.6	23.31	17	嘉義縣政府東偏南方 35.6 公里		3	11.01	8.33	3.2
11-224	2011/5/3 23:52	5.2	172.19	121.8	23.9	34.2	花蓮縣政府東偏南方 20.3 公里外海		2	6.25	137.88	1.2
11-233	2011/5/7 05:31	4.7	104.95	121.46	23.18	22.8	台東縣政府東北方 57.2 公里外海		2	5.89	93.57	1.1
11-237	2011/5/8 07:32	3.3	26.24	120.5	23.39	8	嘉義縣政府東偏南方 22.7 公里		2	4.94	7.23	3.6
11-251	2011/5/21 08:34	3.5	31.99	120.71	23.59	19	嘉義市政府東偏北方 28.5 公里		2	5.1	27.26	1.2
11-254	2011/5/22 09:34	5	141.25	121.72	24.15	8	花蓮縣政府北偏東方 20.8 公里外海		2	3.52	144.76	1.0

表 4-9 嘉義中崙觀測站經過篩選後的相關地震及與氡氣異常有反應的地震列表

120.57 23.38	嘉義中崙(自有地震儀)						M_L≧5 或 Int.≧2 或 D/R≧2，距離<200km					
No	西元時間	規模	D=10^(0.43*M)	經度	緯度	深度 km	詳細資料	反應與否	震度	gal	距測站(km)	D/R
*11-257	2011/5/23 05:07	4.7	104.95	121.08	23.89	16.8	南投縣政府東方 39.7 公里		2	6.6	76.69	1.4
*11-264	2011/5/25 02:32	4.7	104.95	121.66	23.4	32.4	花蓮縣政府南方 65.2 公里外海		2	5.45	111.29	0.9
11-279	2011/6/3 02:08	4.1	57.94	120.71	23.6	21.2	雲林縣政府東偏南方 21.9 公里		3	19.05	28.21	2.1
11-290	2011/6/10 09:25	5.1	155.96	121.68	23.57	28	花蓮縣政府南方 46.8 公里外海		3	14.93	115.17	1.4
11-317	2011/6/26 21:19	5	141.25	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)		3	20.07	68.49	2.1
*11-333	2011/7/3 20:30	4.8	115.88	121.93	24.72	70	宜蘭縣政府東方 16.8 公里 (位於台灣東部海域)		2	2.89	202.59	0.6
*11-346	2011/7/6 19:58	4.9	127.94	121.75	24.24	16.2	花蓮縣政府北偏東方 30.5 公里 (位於花蓮縣近海)		2	3.03	153.18	0.8
11-373	2011/7/8 16:19	3.3	26.24	120.62	23.47	16.3	嘉義市政府東方 17.3 公里 (位於嘉義縣番路鄉)		4	33.73	11.18	2.3
*11-381	2011/7/12 19:17	5.3	190.11	121.53	23.53	20.7	花蓮縣政府南方 52.3 公里 (位於花蓮縣近海)		3	13.69	99.34	1.9
*11-382	2011/7/13 15:19	5.4	209.89	123.97	24.48	99.4	宜蘭縣政府東方 225.4 公里 (位於台灣東部海域)		1	1.07	366.42	0.6
*11-399	2011/7/18 22:48	5.1	155.96	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)		2	7.79	176.18	0.9
*11-413	2011/7/23 16:53	3.5	31.99	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		2	3.84	36.77	0.9
11-433	2011/8/7 09:08	3.4	28.97	120.58	23.6	13.9	雲林縣政府南偏東方 12.3 公里 (位於雲林縣古坑鄉)		3	14.28	24.35	1.2
*11-436	2011/8/11 03:25	4.5	86.10	121.73	23.39	20.2	花蓮縣政府南方 67.8 公里 (位於台灣東部海域)		2	5.19	118.42	0.7
*11-439	2011/8/12 06:07	4.8	115.88	121.67	23.78	26.9	花蓮縣政府南偏東方 24.2 公里 (位於台灣東部海域)		3	9.03	120.54	1.0
11-467	2011/9/2 09:17	3.3	26.24	120.49	23.44	10.8	嘉義市政府東南方 5.8 公里 (位於嘉義縣中埔鄉)		4	26.46	10.52	2.5
*11-476	2011/9/9 11:26	5	141.25	120.99	22.33	9.4	台東縣政府南偏西方 50.1 公里 (位於台灣東部海域)		3	8.85	123.83	1.1
*11-484	2011/9/12 13:15	5.1	155.96	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)		2	3.26	228.10	0.7
*11-489	2011/9/13 18:44	3.4	28.97	120.66	23.45	15.3	嘉義市政府東方 21.2 公里 (位於嘉義縣番路鄉)		3	14.28	12.01	2.4
11-502	2011/9/22 06:18	5.1	155.96	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)		2	4.02	138.45	1.1
*11-524	2011/10/9 23:54	4.6	95.06	121.03	22.5	21.4	台東縣政府南偏西方 30.7 公里 (位於台東縣近海)		2	5.95	108.11	0.9
11-552	2011/10/27 03:11	3.6	35.32	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)		2	3.45	27.40	1.3

11-557	2011/10/28 15:58	3.6	35.32	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)		2	4.11	29.30	1.2
*11-562	2011/10/30 11:23	6.3	511.68	123.14	25.29	221.4	基隆市政府東方 141.4 公里 (位於台灣東北部海域)		2	2.83	335.34	1.5

*表示受到降雨影響、距測站太遠（≧150km）、震源太深（≧50km）的地震，不列入測站氣體異常的分母地震

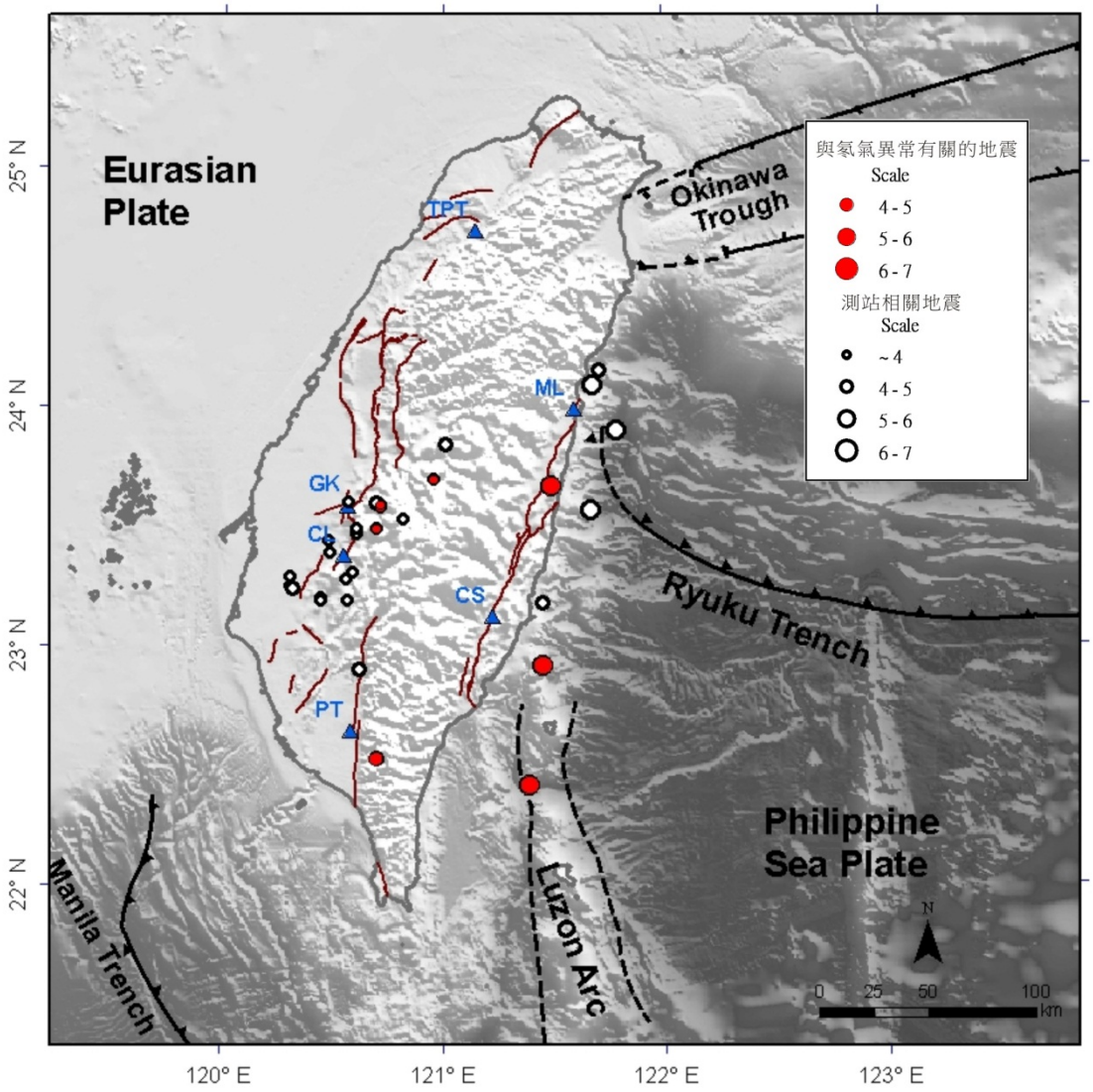


圖 4-89 嘉義中崙測站相關地震位置分布圖（2010/12-2011/11）。

4.7.2 四極桿質譜儀分析結果

圖 4-90 至圖 4-101 為中崙濁水潭土壤氣體成份 2010 年 12 月至 2011 年 11 的連續分析結果，圖由上而下分別為土壤氣體成份的分壓、體積百分比和比值的連續分析結果。圖 4-90 為總圖表。圖 4-91 至圖 4-101 為分月圖表。

由圖 4-90 總圖表可看出，長期趨勢來看比較明顯的變化是二氧化碳（CO2）（圖上淺綠色所示），其變化與氡氣分析儀所測得的結果並不一致，氡氣有異常時，二氧化碳卻無異常。惟對於電動幫浦故障的反應則是一致的。至於深綠色的甲烷（CH4），則是呈現每日的變化，這部份的原因，可能真的是地底下的氣體反應，因為所量測的逸氣來源離濁水潭約三公尺距離，有可能是受到潭水漸歇性湧出的氣泡影響，但亦有可能是儀器或是管線裝置的問題，為求慎重起見於是在 6 月 8 日在更換電動幫浦時一併更換四極桿質譜儀，期望能有有別於之前更完整的分析數據，惟因冷氣老舊故障（因儀器運轉會發熱，為避免儀器因過熱當機，因此冷氣設定 24 小時運轉）導致測站內溫度過高，四極桿質譜儀亦因過熱當機，之後在 6 月 22 日更換冷氣候，四極桿質譜儀才有較穩定的分析品質，之後又因電腦老舊常當機，間或無紀錄情形，因此在 10 月 19 日更換電腦。

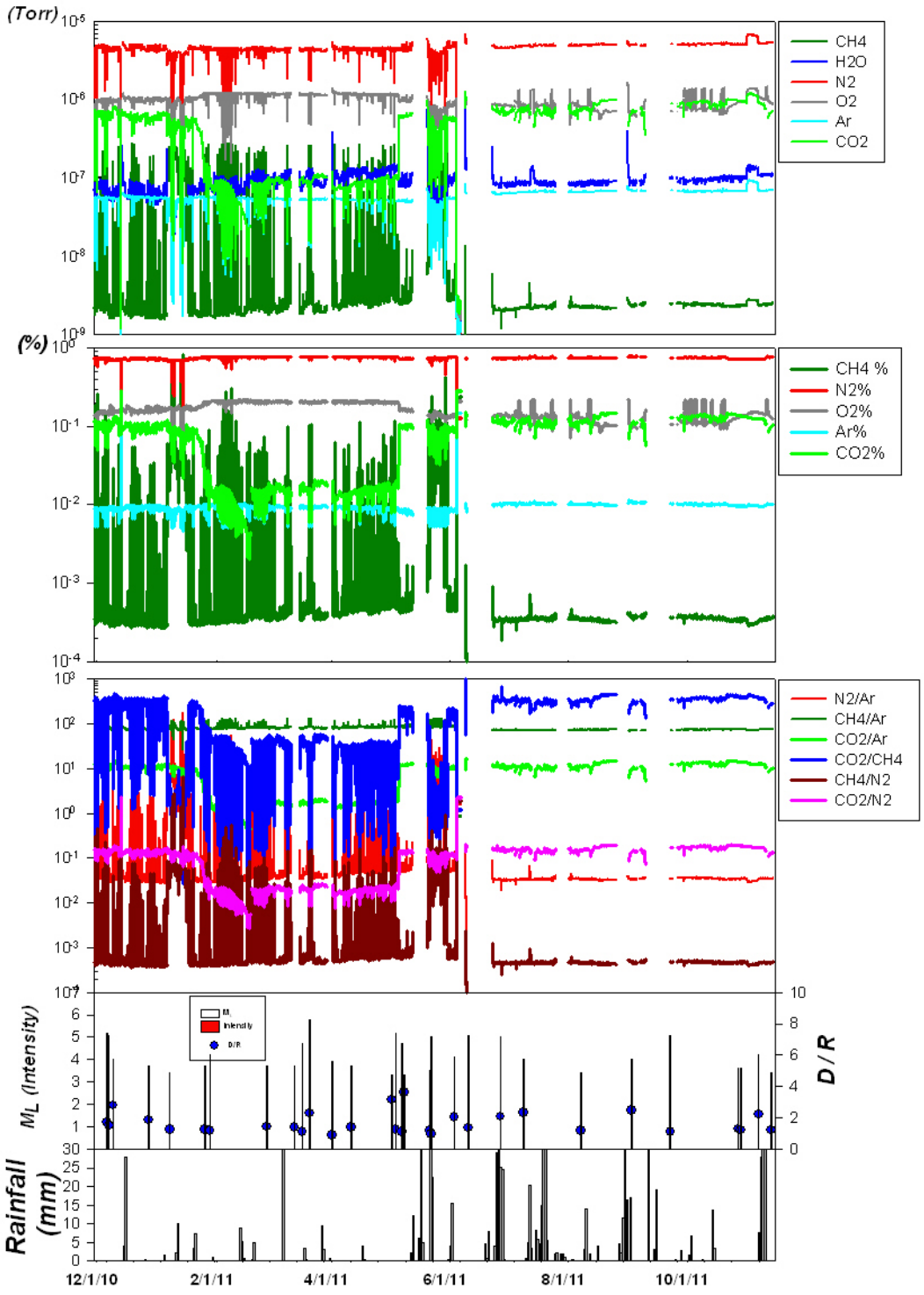


圖 4-90 嘉義中崙濁水潭（2010/11/30-2011/11/14）土壤氣體成份連續變化。

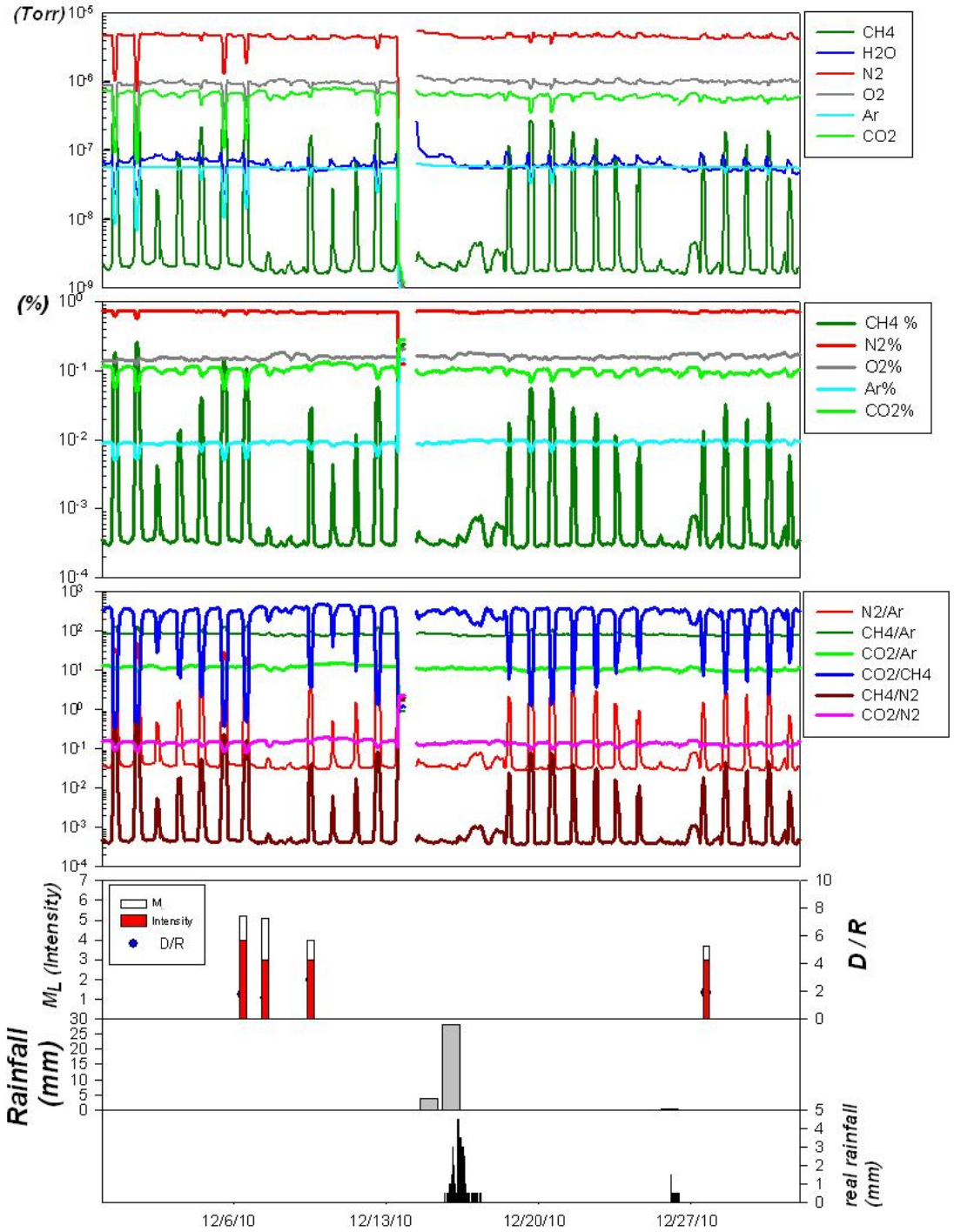
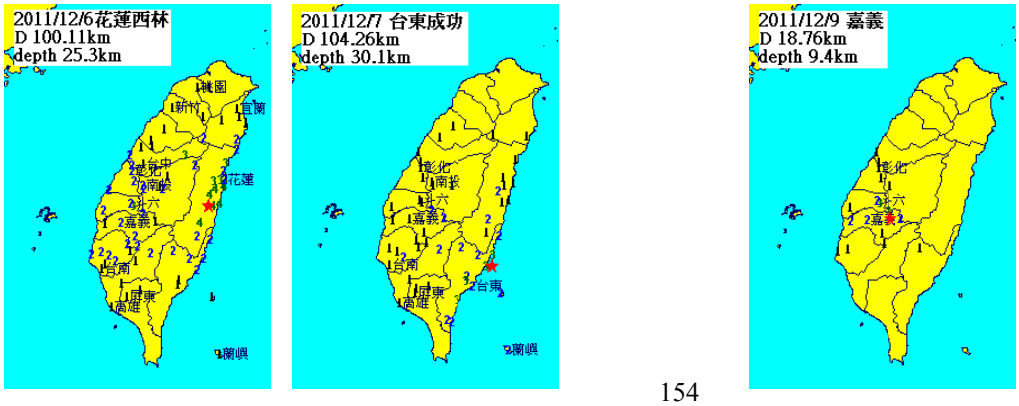


圖 4-91 嘉義中崙濁水潭（2010/11/30-2010/12/31）土壤氣體成份連續變化。



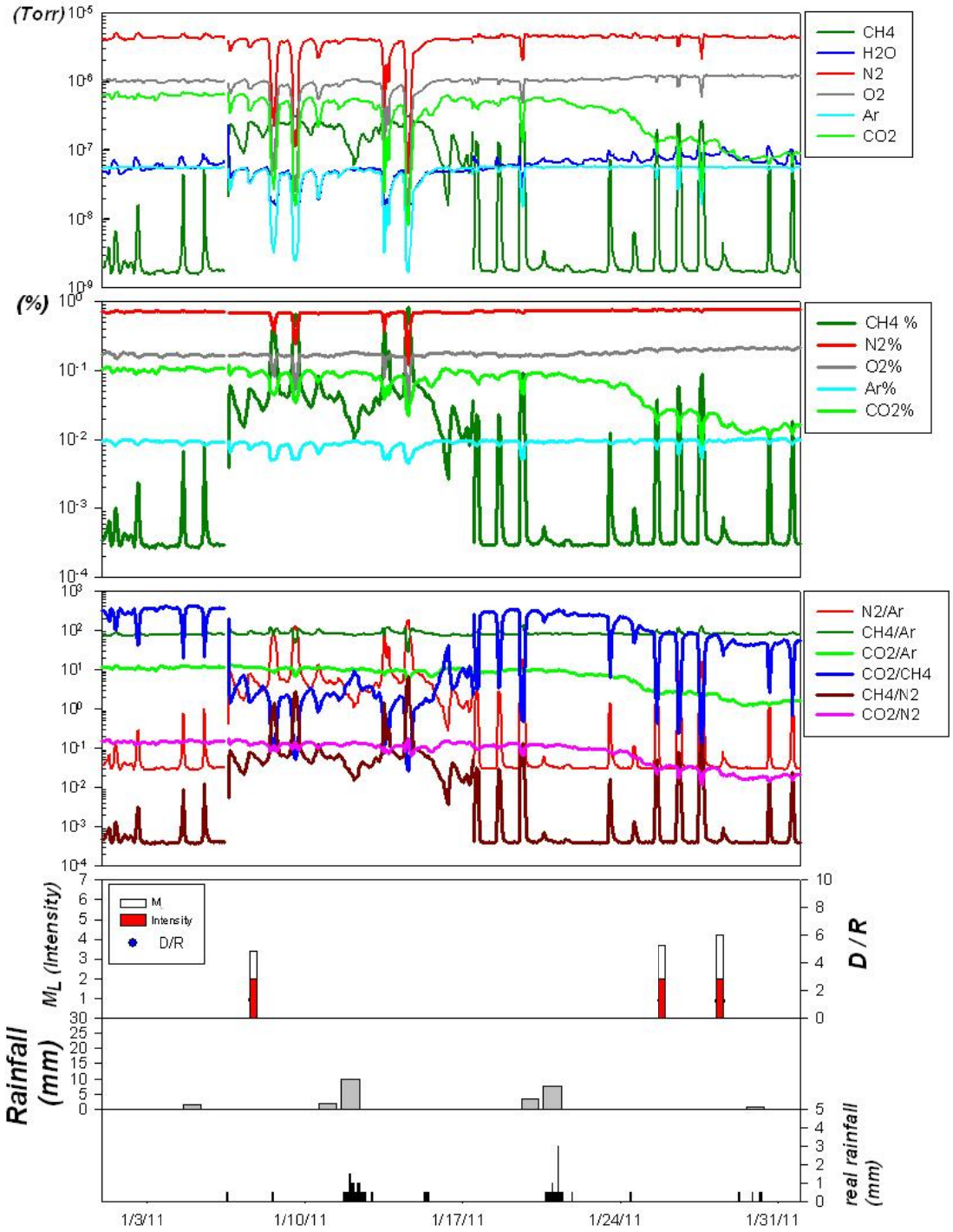
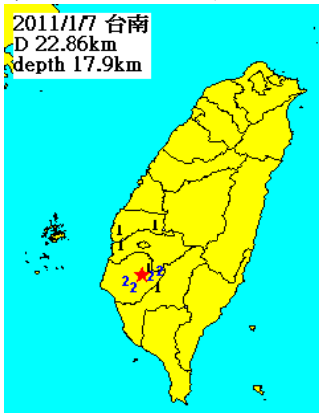


圖 4-92 嘉義中崙濁水潭（2011/01/01-2011/01/31）土壤氣體成份連續變化。



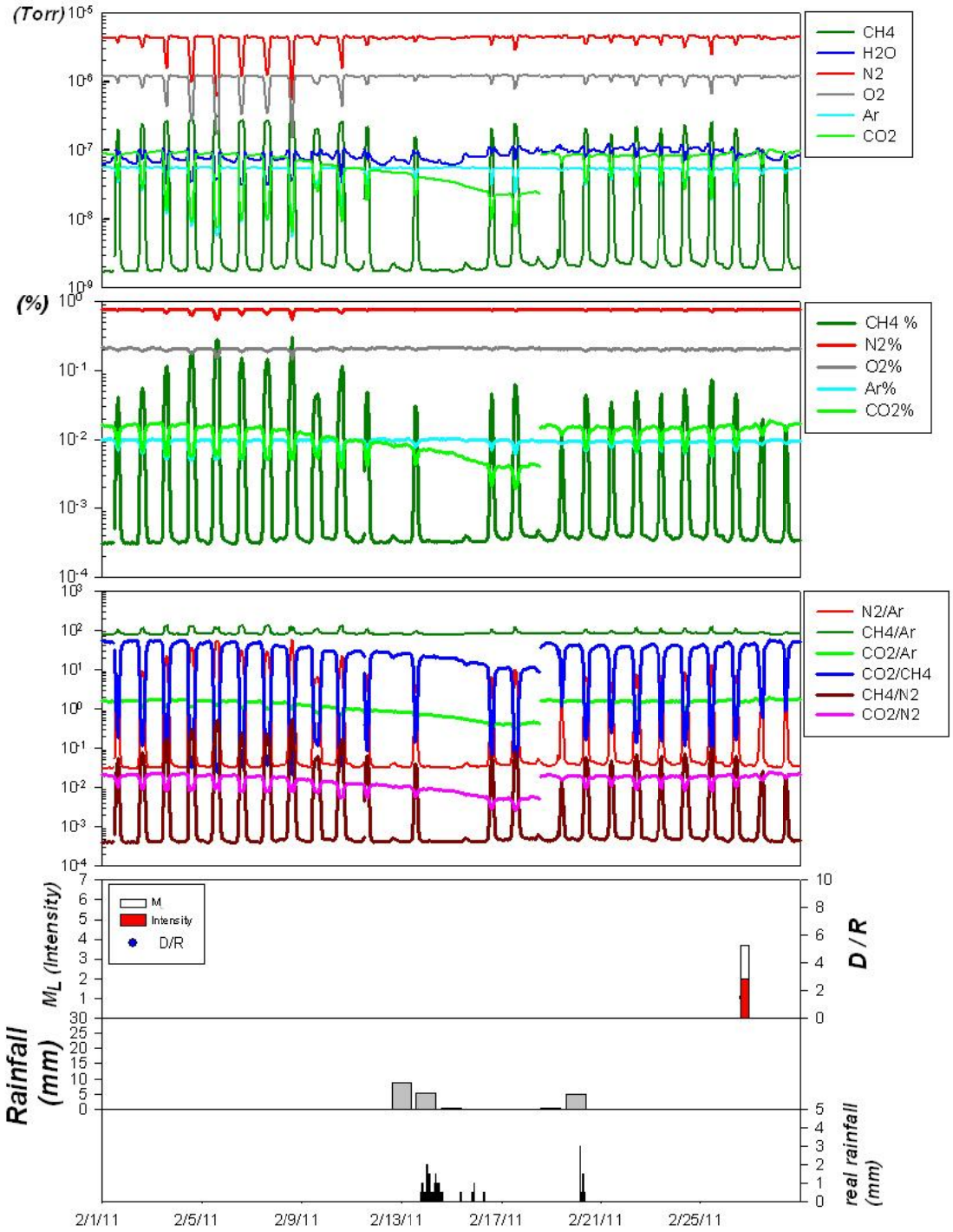
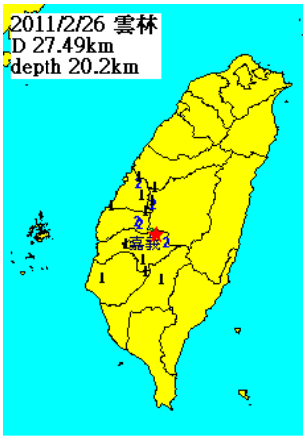


圖 4-93 嘉義中崙濁水潭（2011/02/01-2011/02/28）土壤氣體成份連續變化。



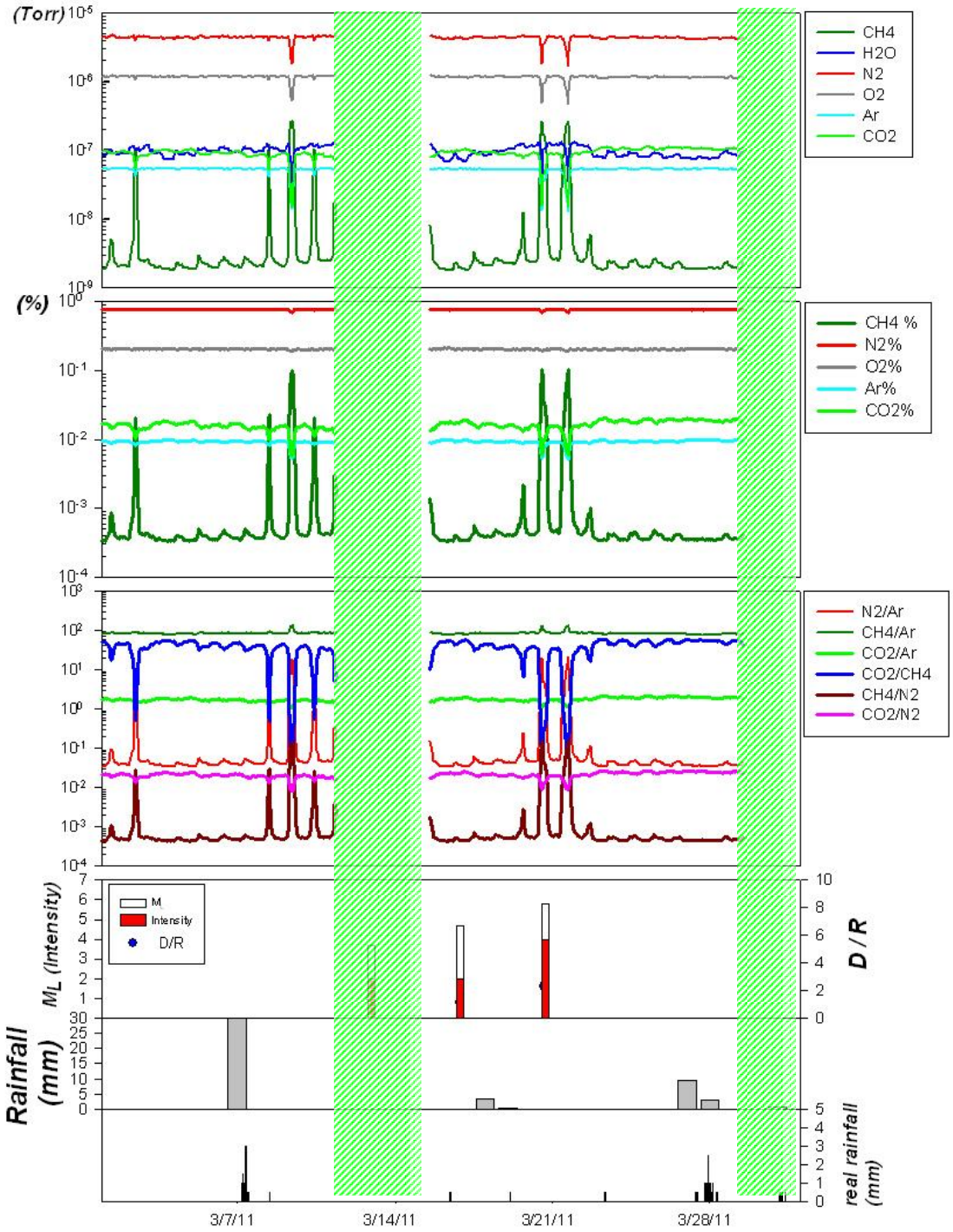
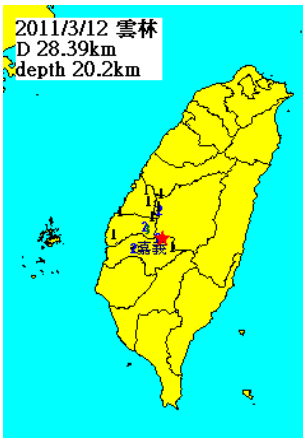
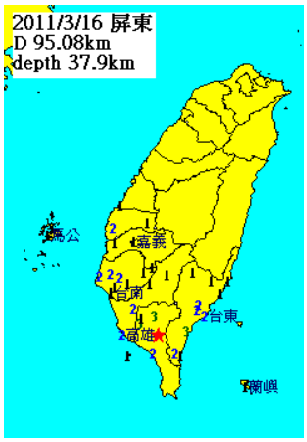
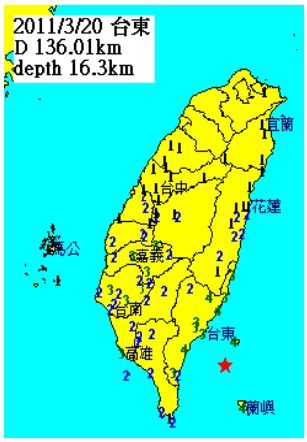


圖 4-94 嘉義中崙濁水潭（2011/03/01-2011/03/31）土壤氣體成份連續變化；綠色斜線框為停電區間。







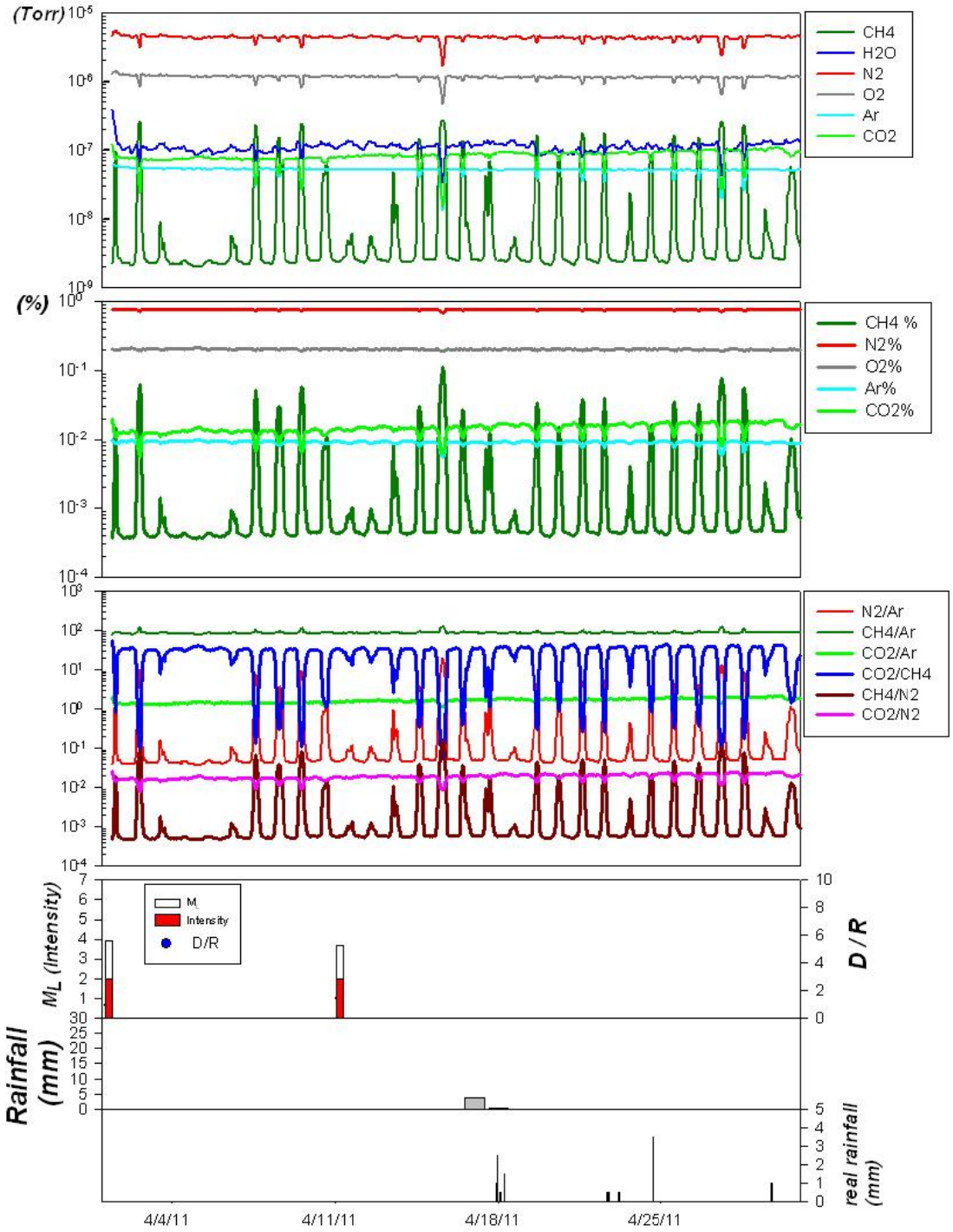
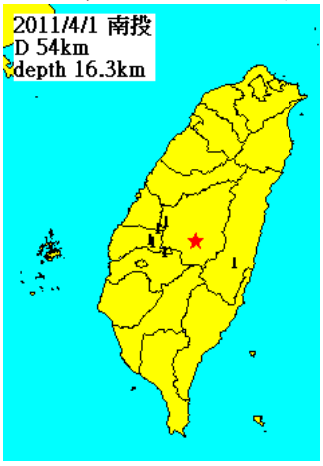


圖 4-95 嘉義中崙濁水潭（2011/04/01-2011/04/30）土壤氣體成份連續變化。



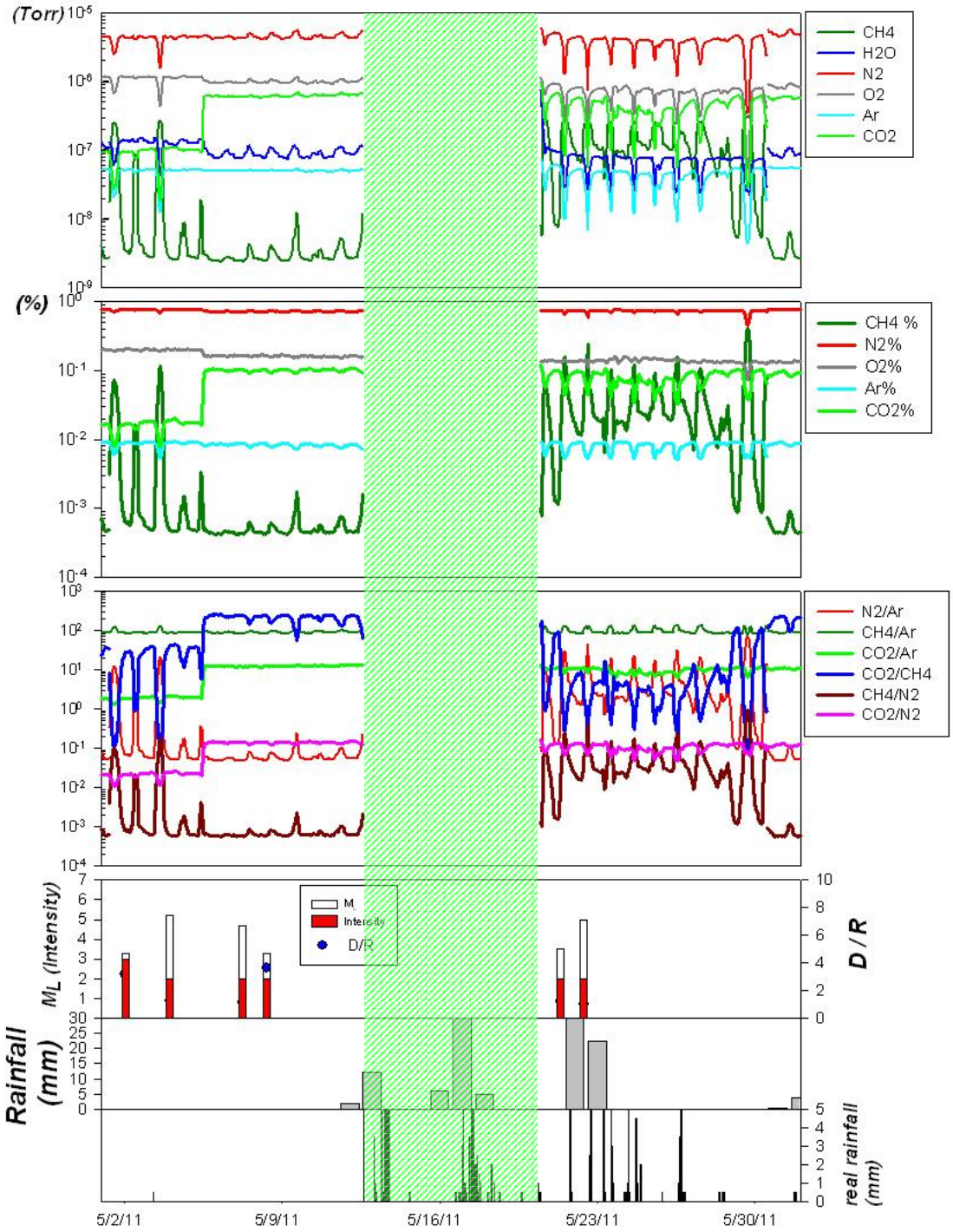


圖 4-96 嘉義中崙濁水潭（2011/05/01-2011/05/31）土壤氣體成份連續變化；綠色斜線框為停電區間。

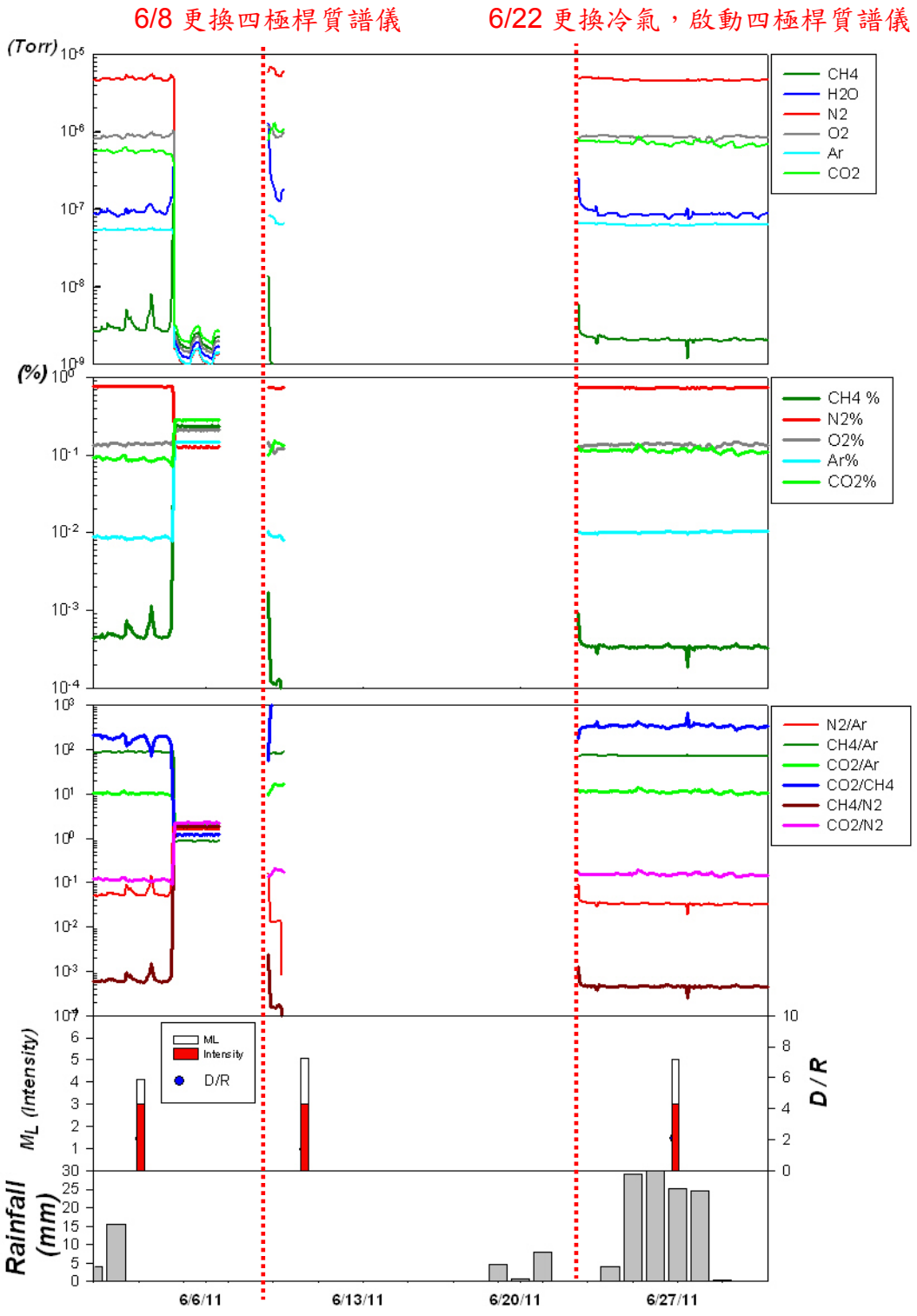


圖 4-97 嘉義中崙濁水潭（2011/06/01-2011/06/30）土壤氣體成份連續變化。

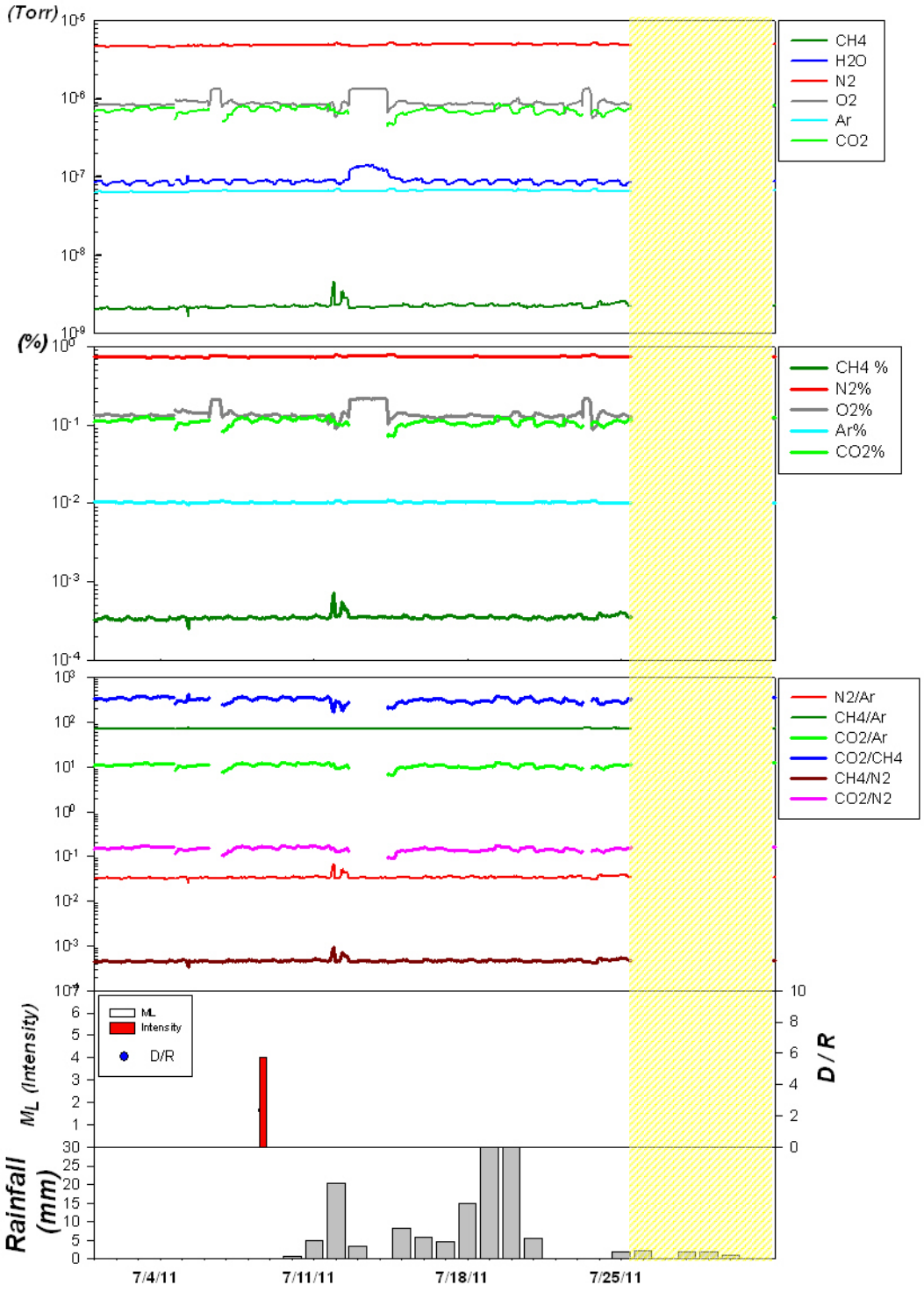


圖 4-98 嘉義中崙濁水潭（2011/07/01-2011/07/31）土壤氣體成份連續變化；黃色斜線框為電腦當機區間。

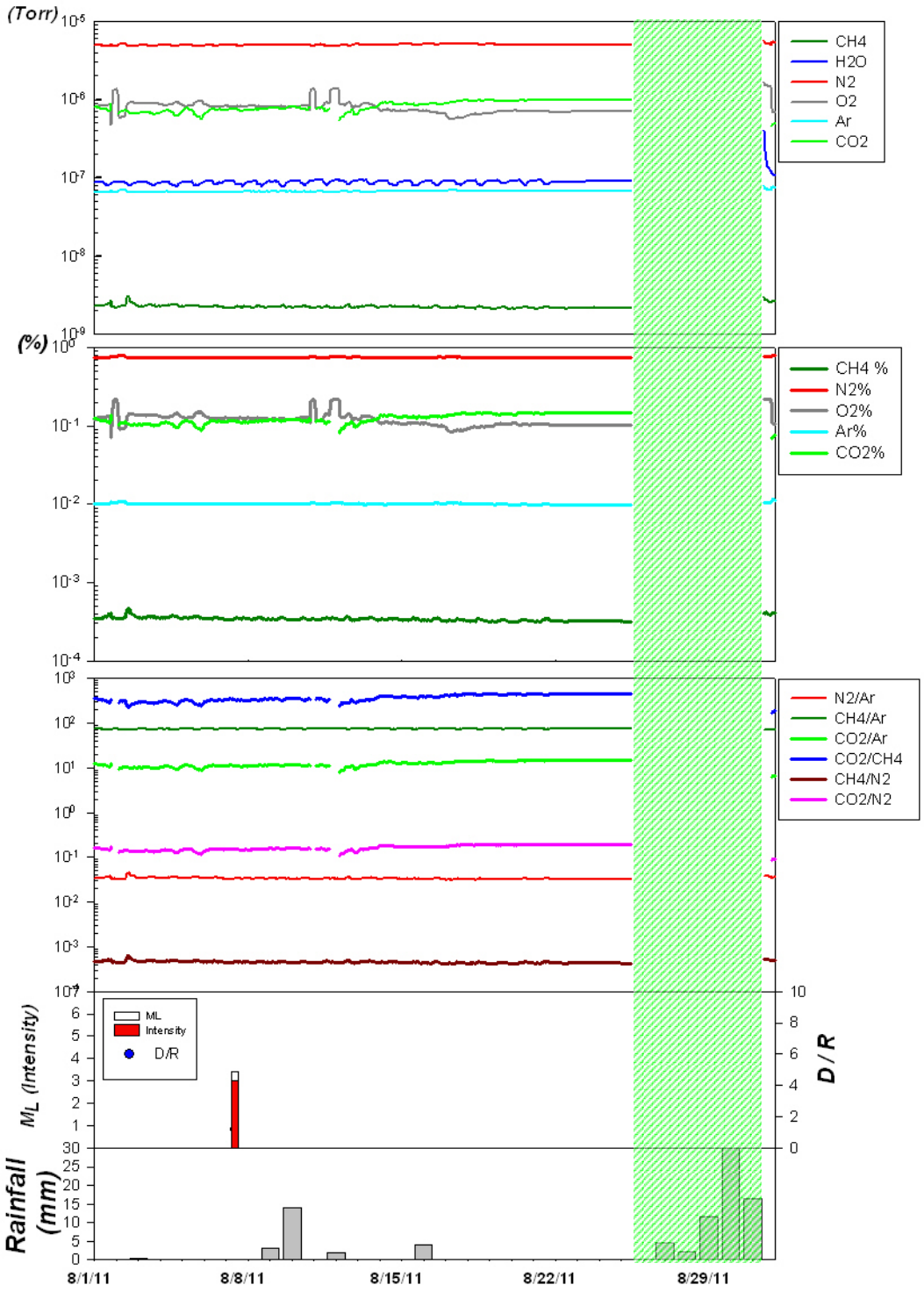


圖 4-99 嘉義中崙濁水潭（2011/08/01-2011/08/31）土壤氣體成份連續變化；綠色斜線框為停電區間。

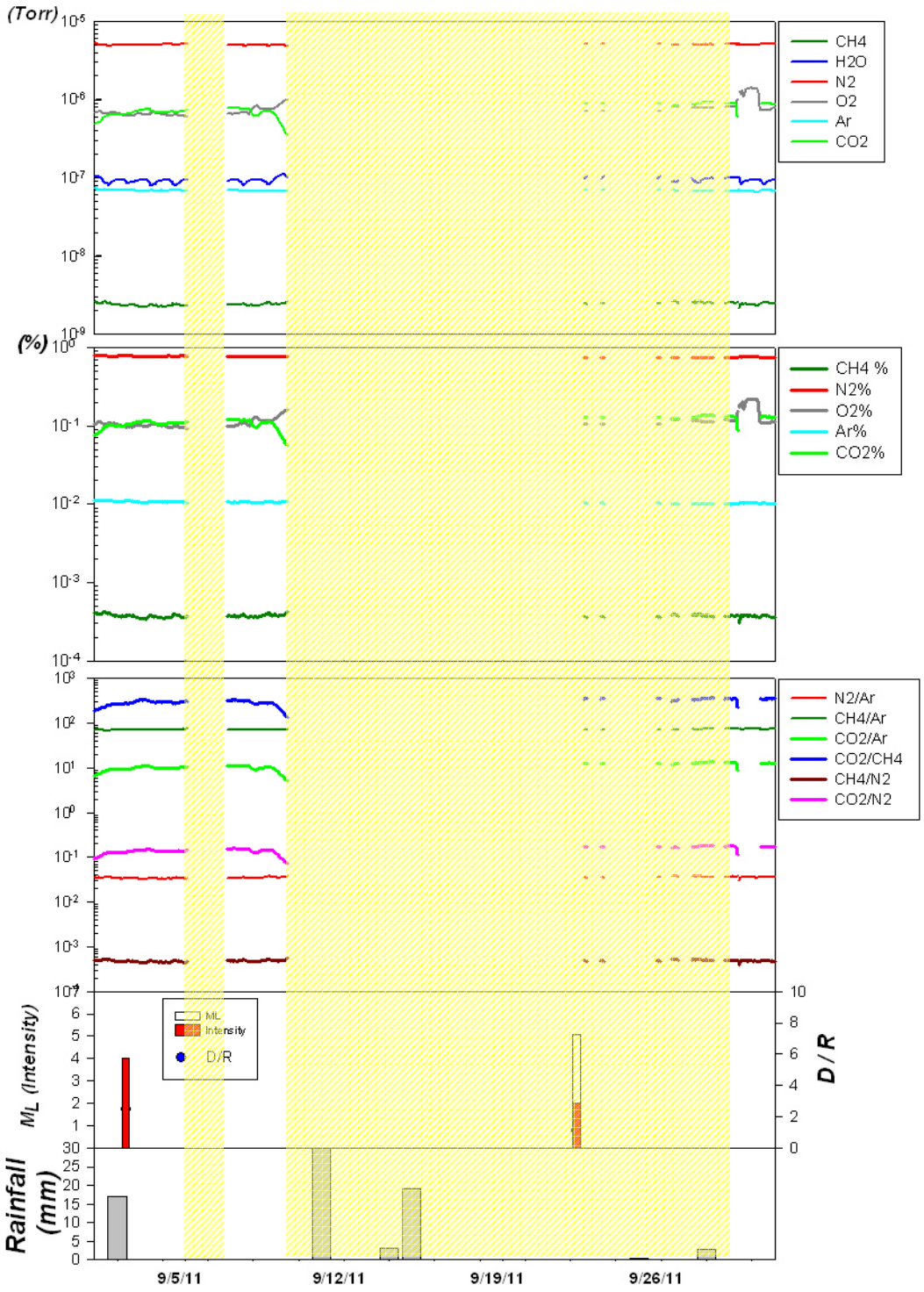


圖 4-100 嘉義中崙濁水潭（2011/09/01-2011/09/30）土壤氣體成份連續變化；黃色斜線框為電腦當機區間。

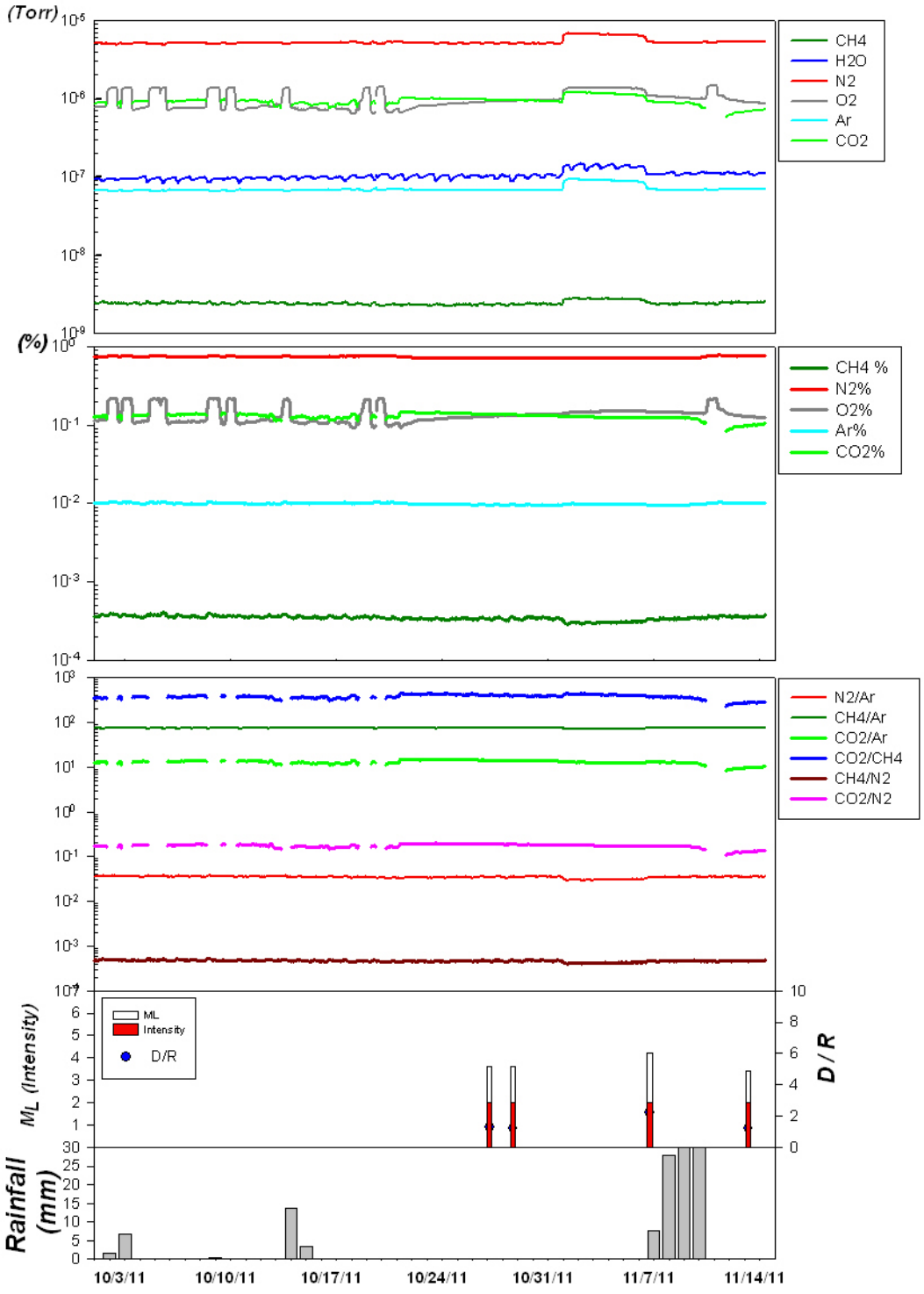


圖 4-101 嘉義中崙濁水潭（2011/10/01-2011/11/14）土壤氣體成份連續變化。

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佈位置。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佈。因為源於地殼深處與近地表處的氣體組成截然不同,在斷層或破裂帶經過的地方,會形成氣體通道,使氡氣、氦氣、氫氣、二氧化碳與甲烷等揮發性氣體沿著此通道向上遷移逸散,而在近地表處顯示異常高濃度值。利用此原理可判斷該處是否有斷層抑或破裂帶通過,也可用來判定斷層的走向和位置。位於構造活動上的某些地區,在氣體成分的變化上,經常與地震活動有明顯關連。因此可扮演推手的角色,使地底下的氣體沿著通道不斷的逸散上來。

5-2 三義斷層

研究地區主要的斷層分布是三義斷層(圖 5-1),為一逆移斷層,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

5-3 採樣與分析

本研究在 100 年 10 月至 11 月間於苗栗台中地區利用土壤氣體地球化學方法

調查，採集了共約 55 個樣本並進行分析(圖 5-2，表 5-1)。採樣前，首先將採樣袋抽至真空狀態，以確保無空氣殘留其中。採樣的方法則是將一枝長約 130 cm 半徑約 3 cm 中空的不鏽鋼管，其前端插入一尖錐鋼頭（為了能較順利鑽進土壤中同時避免土壤阻塞不鏽鋼管造成氣體無法流通），利用鐵鎚將鋼管敲入土壤中約 1 公尺左右，接著用一根較細的實心鋼條插入此中空的鋼管中將其最前端的尖錐物敲入土中使其與鋼管脫離，以利土壤中的氣體順利進入不鏽鋼管（圖 5-3）。再將鋼管套入已設計好的管線再利用手動幫浦讓管線經過土壤氣體的沖刷約 30 秒，以避免空氣或前次採樣時的殘留氣體造成污染；倘若土壤氣量過小，則先將管線抽氣呈真空狀態之後，等待土壤氣充滿整個管線之中，再進行採樣的工作（管線中有裝置兩個過濾器，一為過濾塵土；另一則是為了擋住水氣的進入）。最後，用手動幫浦將土壤氣樣抽入採樣袋中即完成採樣工作（圖 5-3）。

將採集的氣樣帶回實驗室後，利用攜帶式氣相層析儀（Gas Chromatography）、與氦氣偵測儀（Helium detector）來進行分析。在氣體地球化學與地質構造的關係研究中，主要是討論 He、CO_2、CH_4、N_2、Ar、O_2 等各種氣體相對含量的變化情形，並探討其中所代表的意義（Gregory and Durrance, 1985; Giammanco and Gurrieri, 1997; Guerra and Lombardi, 2000; Fu et al., 2006）。其中，我們將會以氦氣的含量來探討地底下是否有斷層與裂隙存在。因為氦氣在大氣中的含量頗為固定（5.24 ppm），所以如果有偵測到高於這個量的氦氣，便表示可能有更深部的氦氣來源。氡氣的分析使用氡氣偵測儀（Radon detector），其分析步驟、原理同樣請參照台灣陸上斷層活動性之環境地球化學調查研究（陳正宏等，2002）。

5-4 研究成果

初步分析結果顯示（表 5-1），各採樣點的氣體成分差異很大，在特定區域可看出明顯的高濃度值(圖 5-4)。本研究將各別氣體濃度異常值門檻定義為：去除濃度明顯過高的分析值後，將所有分析結果取平均值加上兩倍標準偏差(達 95% 的可信度)，當分析值高於此門檻者可視為異常值。

未來將進一步針對有氣體異常或於敏感地帶上的點位，進行定期採樣並觀測，以作為日後設站的參考。

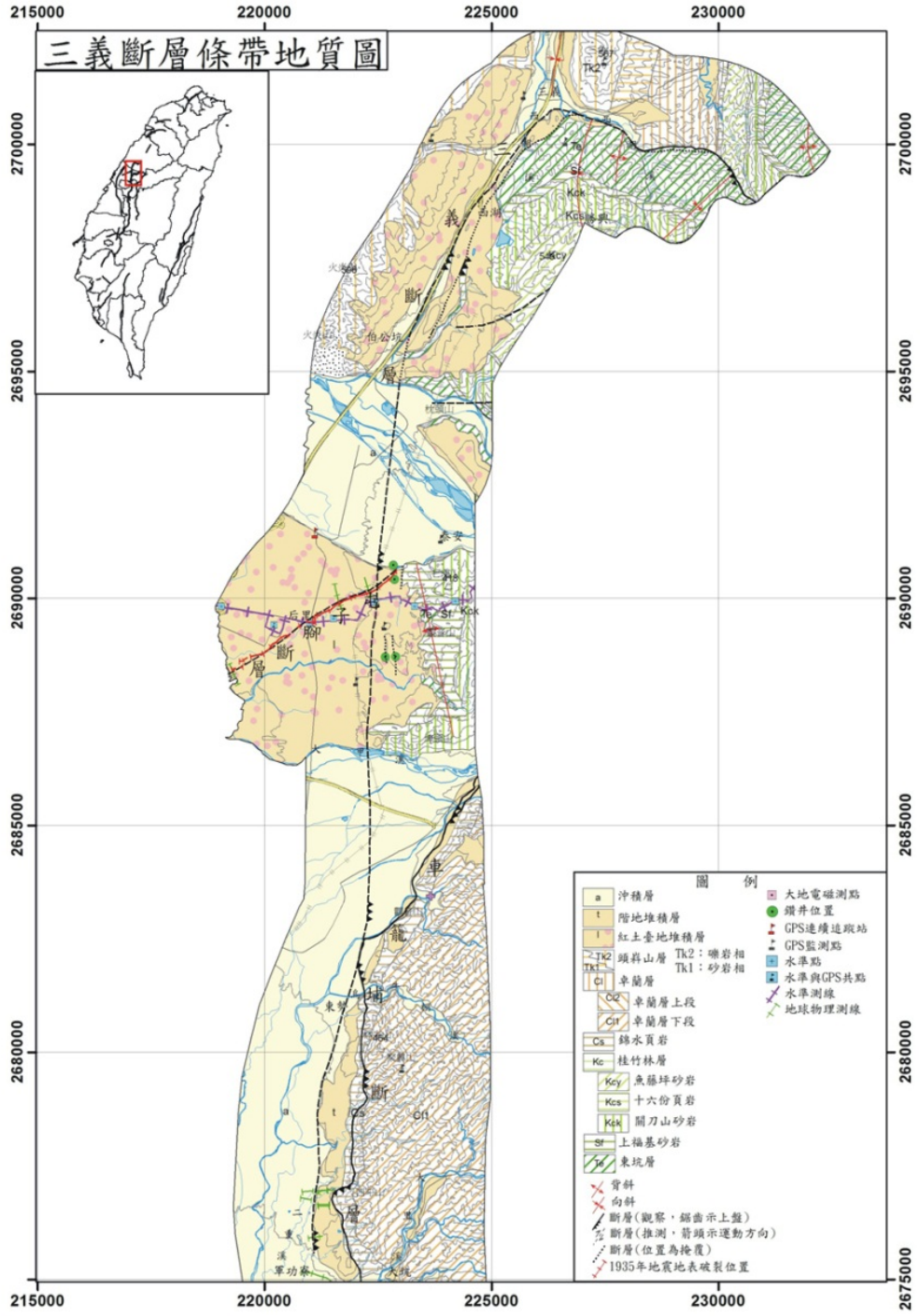


圖 5-1 三義斷層兩萬五千分之一條帶地質圖，(林啟文等，2008)。

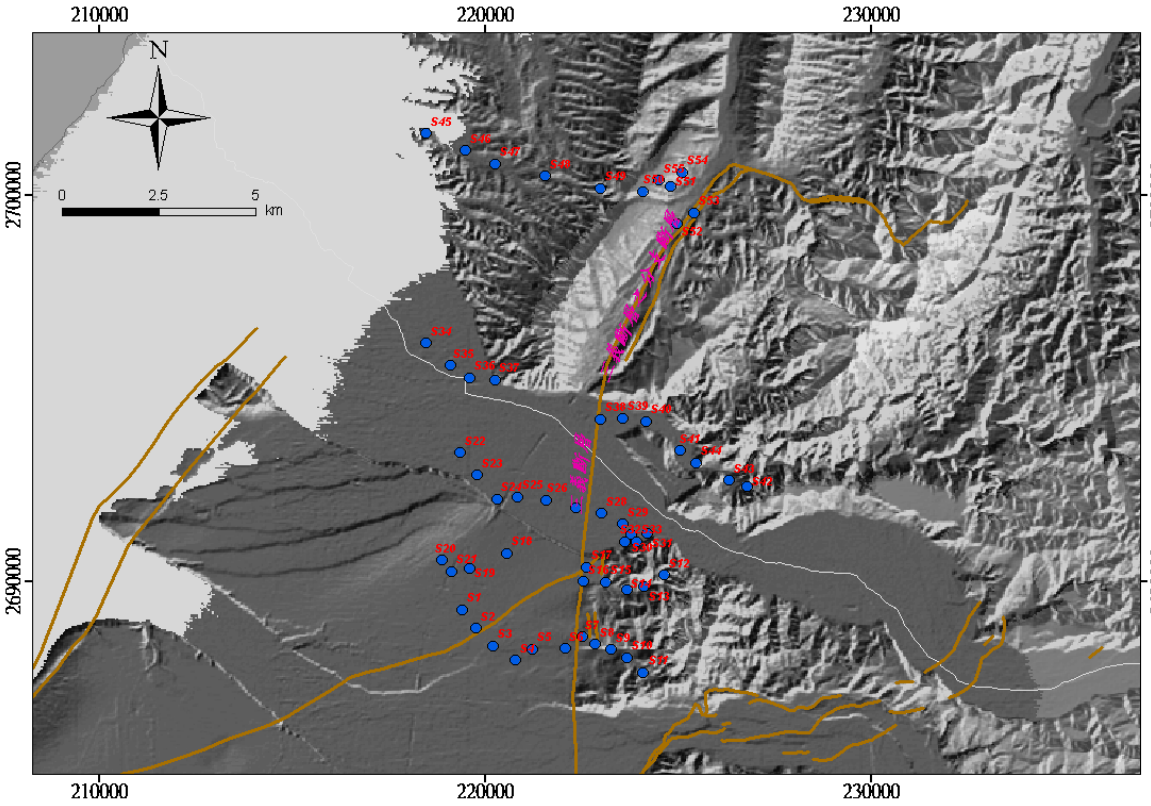


圖 5-2 苗栗台中地區土壤氣體採樣點分佈圖。

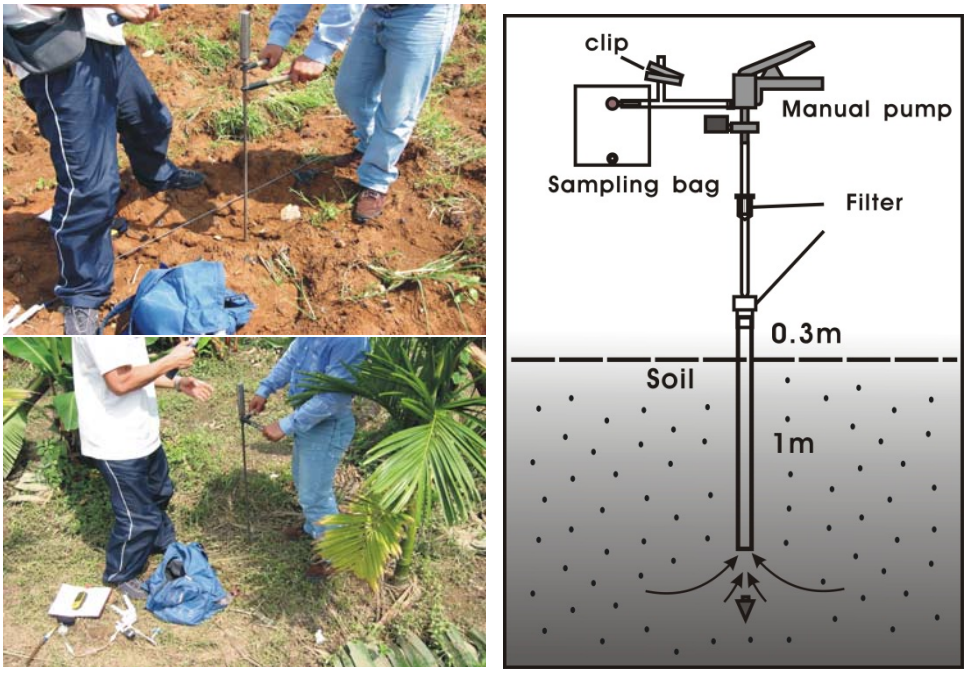


圖 5-3 土壤氣體野外採樣的實際情形與採樣示意圖。

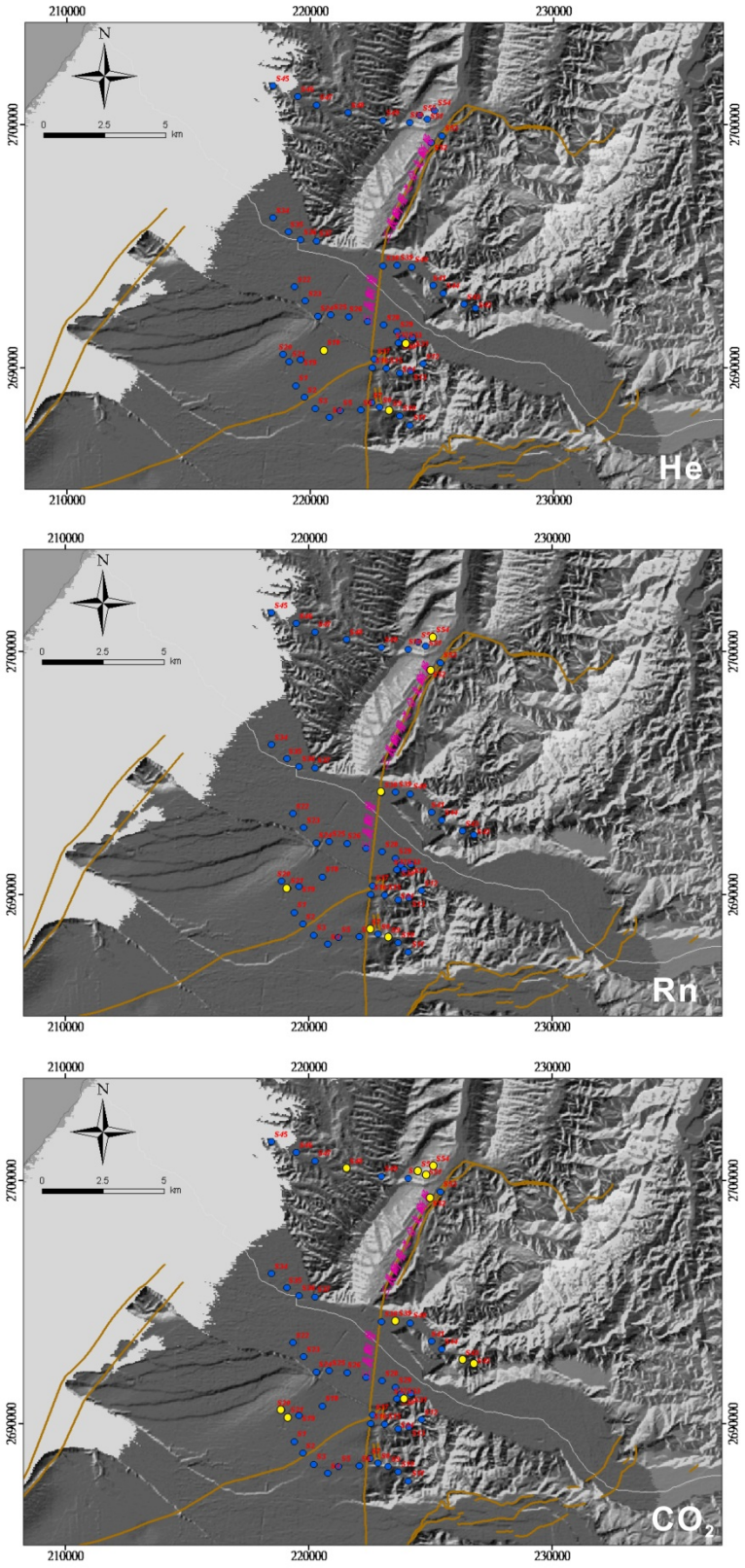


圖 5-4 苗栗三義地區土壤氣異常分布圖，黃點為異常點位，由上到下依序為氦氣、氡氣和二氧化碳。

表 5-1 苗栗台中地區土壤氣體成份分析結果。

No.	X67	Y67	Rn (Bq/m^3)	He (ppm)	Micro GC			
					N_2 (%)	O_2+Ar (%)	CO_2 (%)	CH_4 (%)
S1	219374	2689261	27479	5.24	81.55	13.51	4.94	0.00
S2	219739	2688791	12766	5.24	82.30	17.13	0.57	0.00
S3	220189	2688325	14404	5.24	81.71	16.77	1.52	0.00
S4	220746	2687960	61989	5.24	82.38	16.72	0.90	0.00
S5	221204	2688252	19387	5.24	81.77	15.91	2.31	0.00
S6	222038	2688265	17570	5.24	82.68	16.87	0.45	0.00
S7	222485	2688570	36588	5.24	82.10	16.93	0.97	0.00
S8	222827	2688374	14285	5.24	82.26	16.71	1.03	0.00
S9	223234	2688230	36996	5.28	81.74	17.48	0.77	0.00
S10	223654	2688030	16814	5.24	81.53	16.10	2.37	0.00
S11	224061	2687637	13852	5.24	82.31	15.87	1.82	0.00
S12	224617	2690161	16651	5.24	81.92	16.40	1.68	0.00
S13	224092	2689868	20533	5.24	81.99	15.77	2.24	0.00
S14	223632	2689783	16096	5.24	82.36	16.29	1.35	0.00
S15	223092	2689978	13390	5.24	81.99	17.74	0.28	0.00
S16	222506	2689996	5025	5.24	82.06	17.38	0.56	0.00
S17	222592	2690373	14160	5.24	81.67	17.18	1.15	0.00
S18	220535	2690722	27158	5.28	81.81	16.41	1.78	0.00
S19	219583	2690343	9682	5.24	81.31	17.21	1.48	0.00
S20	218842	2690550	33488	5.24	81.39	15.64	2.97	0.00
S21	219108	2690251	76883	5.24	81.30	15.87	2.83	0.00
S22	219320	2693325	23801	5.24	81.67	16.73	1.60	0.00
S23	219777	2692750	29795	5.24	82.02	17.53	0.45	0.00
S24	220282	2692135	33707	5.24	81.82	17.07	1.11	0.00
S25	220812	2692183	4323	5.24	83.10	16.44	0.46	0.00
S26	221560	2692100	21716	5.24	82.44	15.70	1.86	0.00
S27	222317	2691902	14108	5.24	82.04	15.79	2.18	0.00
S28	222975	2691763	10902	5.24	83.04	16.29	0.67	0.00
S29	223531	2691483	21815	5.24	83.18	15.13	1.68	0.00
S30	223765	2691202	36200	5.24	82.15	14.22	3.63	0.00
S31	224181	2691246	14992	5.38	86.33	12.55	1.11	0.00
S32	223584	2691029	8374	5.24	83.25	16.01	0.74	0.00
S33	223894	2691023	8418	5.24	82.63	16.67	0.70	0.00
S34	218449	2696159	20932	5.24	82.60	14.97	2.43	0.00
S35	219074	2695584	6279	5.24	83.89	15.59	0.52	0.00
S36	219569	2695262	19724	5.24	84.29	14.95	0.75	0.00

表 5-1 苗栗台中地區土壤氣體成份分析結果(續)。

No.	X67	Y67	Rn (Bq/m^3)	He (ppm)	Micro GC			
					N_2 (%)	O_2+Ar (%)	CO_2 (%)	CH_4 (%)
S37	2696146	218435	4365	5.24	84.64	15.33	0.03	0.00
S38	2695571	219059	3091	5.24	84.50	15.29	0.21	0.00
S39	2695249	219555	17764	5.24	83.76	13.33	2.91	0.00
S40	2695196	220204	10448	5.24	83.99	15.69	0.32	0.00
S41	2694186	222954	14359	5.24	82.89	15.62	1.49	0.00
S42	2694206	223520	25876	5.24	84.45	12.09	3.45	0.00
S43	2694134	224125	26199	5.24	82.81	13.96	3.22	0.00
S44	2693367	225014	7666	5.24	83.26	14.90	1.84	0.00
S45	2692429	226746	713	5.24	83.59	16.34	0.07	0.00
S46	2692605	226271	9279	5.24	83.09	15.46	1.44	0.00
S47	2693057	225430	15979	5.24	84.11	15.43	0.45	0.00
S48	2701383	219267	25916	5.24	86.85	10.21	2.94	0.00
S49	2700939	220292	17806	5.24	87.26	10.17	2.57	0.00
S50	2700599	221059	38955	5.24	86.57	12.05	1.38	0.00
S51	2700273	222351	35457	5.24	87.00	8.72	4.29	0.00
S52	2699957	223776	48338	5.24	85.94	5.19	8.87	0.00
S53	2699883	224886	1099	5.24	86.84	11.57	1.59	0.00
S54	2700017	225601	44115	5.24	86.87	8.83	4.30	0.00
S55	2699044	225778	32011	5.24	78.81	14.65	6.54	0.00

陸、地下水壓觀測結果

地下水壓之異常升降可能為斷層活動之前兆，故將地下水壓異常變化定義為：

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

（2） 在降雨時期，地下水壓出現超出由長期統計而得之預期趨勢與變化量。

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

各測站之地震篩選條件：

規模≧5 or 觀測站附近震度≧2 or D/R≧2

6-1 台北地區地下水壓觀測結果

2010年12月至2011年11月台北地區明德中學、錦和國小及樹林飛灰掩埋場觀測井之地下水壓資料，比對中央氣象局台北站降雨量及篩選地震資料繪圖（圖6-1至圖6-15）。研究結果如下：

整體而言，台北地區三個觀測站水位變動一致性高，且與降雨量有顯著相關(圖6-1)。台北觀測站對於發生於台灣東北部的地震特別敏感，今年度錦和站與明德站出現較多次的震前水壓異常反應，但這兩個觀測站水壓的變化與降雨量關係也十分密切。

2010年12月6日，花蓮光復鄉附近發生一起規模5.2之地震，影響台灣北、中、南地區，台北影響震度1，錦和站和明德站在震前4~5天出現水位異常上升(圖6-4)。同年12月8日在花蓮秀林附近規模4.2，台北震度小於1，但錦和站和明德站在震前2~3天出現水位異常上升。一周後，12月15日相近位置又發生規模3.7之地震，台北震度小於1，但在兩日前台北三觀測站水位出現同步上升。2011年2月1日和14日發生的兩起地震，明德站在2~3日前出現水位異常下降的前兆反應(圖6-6)。同年1月3日至10日，台北三觀測站地下水位同步異常升降(圖6-5)，不確定是否為宜蘭陸續發生之小規模局發地震(台北震度1級以下)的前兆，或僅是雨量干擾影響。1月14日明德站出現水位異常上升，疑似為其後宜蘭發生數起規模4以下，台北震度0之局發地震之影響。由多次經驗發現台北觀測站對於宜蘭南澳附近之局發地震反應敏感，3月19日宜蘭南澳附近一起規模4.3之地震，錦和站和樹林站在5日前出現水位異常上升11公分，明德站由於這段期間剛好缺失資料而無法判別

(圖6-7)。3月20台東外海規模5.8的地震，台北震度1，三觀測站也疑似在數小時前出現水位異常下降的反應。3月26日龜山島附近發生一起規模4.8，台北震度2級的地震，明德、錦和、樹林站在5日前出現水位同步上升之前兆。4月30日宜蘭羅東發生一起規模5.8，影響全台之地震，台北震度3級，樹林觀測站這段期間缺失資料，但明德和錦和站在3天前地下水位有異常上升之前兆(圖6-8)。5月21日明德站水位異常下降10公分(圖6-9)，推測為5月22日花蓮近海規模5.0或是5月24日宜蘭近海規模4.3之地震影響。

同年 6 月 17 日台北明德站在地震發生前數小時地下水位異常上升 44 公分(圖6-10)，同樣狀況也發生於 19 日，但這兩次震前異常型態較平常不同，較接近降雨影響，尚須進一步確認。同年 9 月 22 日花蓮縣近海發生一起規模 5.2，台北震度1級的地震,錦和站在震前四天至震後兩天發生潮汐現象減弱之水位異常(圖6-13)，明德與樹林在震前 7 日也發生水位異常上升，但同時亦有受雨量干擾影響。 同年10月24日至25日,明德、錦和、樹林同時出現水位異常上升(圖 6-14)，雖然有降雨，但雨量甚小，前後僅在 25 日下 3.5㎜ 雨量，影響不大。其後 10 月 30 日台灣東北部海域發生一起規模 6.5 的遠距地震，且深度達 221.4 公里，台北震度 1；10 月 31 日宜蘭近海也發生一起規模 5.1，台北震度 2 級的地震。這兩起地震對於台北觀測站之 D/R 皆大於 2，皆有造成此異常之可能性，目前將此異常列為 10 月 31 日較近且較淺之地震的前兆,而 10 月 30 日地震列為疑似前兆地震。

表 6-1 台北篩選地震列表（灰階為不在篩選條件內，但地下水位出現異常的地震，黃色為震央距>200km）

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	錦和前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	樹林前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	明德前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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	
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	

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	錦和前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	樹林前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	明德前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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	
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		
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	
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		
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	4 日前上升 15cm	58	0.67		有	4 日前上升 10cm	67	0.58		有	4 日前上升 20cm	67	0.58		疑
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

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	錦和前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	樹林前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	明德前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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 再下降 6cm	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		
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		

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	錦和前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	樹林前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	明德前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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.9/17~28 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.9/17~28 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	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 11 起小規模地震	72	0.49		有	同上 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	同上 ps.9/17~28 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	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 12 起小規模地震	87	0.99		有	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 12 起小規模地震	91	0.94		有	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 12 起小規模地震	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	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 13 起小規模地震	71	0.25		有	同上 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	同上 ps.9/17~28 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	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 14 起小規模地震	146	1.07		有	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 14 起小規模地震	145	1.08		有	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 14 起小規模地震	138	1.13		疑 5

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	錦和前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	樹林前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	明德前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 15 起小規模地震	84	0.38		有	同上 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	同上 ps.9/17~28 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	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 16 起小規模地震	53	0.90		有	同上 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	同上 ps.9/17~28 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	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 17 起小規模地震	51	0.85		有	同上 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	同上 ps.9/17~28 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	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 18 起小規模地震	65	0.22		有	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 18 起小規模地震	64	0.23		有	同上 ps.9/17~28 宜蘭南澳附近陸續發生 18 起小規模地震	56	0.26		疑 9
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	同上 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	同上 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	同上 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	同上	33	4.77	yes	有	同上	41	3.78	yes	有	同上	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	

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	錦和前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	樹林前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	明德前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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	潮汐現象減弱 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	潮汐現象減弱 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	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		
76	2010/12/15 2:03	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	潮汐現象減弱 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

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	錦和前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	樹林前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	明德前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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 後升	91	2.55	yes	有	3 日前下降 20cm	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	先降後升 3 日前下降 11cm	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		
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 天前潮汐現象減弱	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	

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	錦和前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	樹林前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	明德前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
92	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 潮汐現象減弱	69	1.03		有	5 日前上升 11cm	73	0.96				70	1.01		*MD3/14~3/19 缺資料
93	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			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 *MD3/14~3/19 缺資料
94	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 天前上升 15cm 潮汐現象減弱	47	2.22	yes	有	5 日前上升 8cm	56	1.87		有	5 日前上升 8cm	57	1.85		
95	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	潮汐現象減弱	23	1.16		有	0.5 日上升 1cm	21	1.27		有	3 日前上升 11cm	15	1.79		
96	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		*JH4/19~4/27 缺資料 *SLN4/19~5/9 缺資料
97	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	*SLN4/19~5/9 缺資料
98	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		*SLN4/19~5/9 缺資料
99	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		*SLN4/19~5/9 缺資料
100	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		
101	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
102	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		
103	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		

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	錦和前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R >2	樹林前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	明德前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R >2	其他備註
104	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		
105	2011/6/17 21:20	3.9	0	122.15	24.52	17.1	宜蘭縣政府東偏南方 46.1 公里 (位於台灣東部海域)			71	0.67				77	0.62		疑	6 小時前上升 44cm	74	0.64		疑
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	3.42	yes			52	2.98	yes	疑	3 小時前上升 43cm	51	3.05	yes	疑
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		
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		
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			3 日前上升 2cm	206	0.92				202	0.94		疑
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		

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	錦和前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	樹林前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	明德前兆	地下水壓異常程度	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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	*JH10/3~10/13 缺資料
122	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）		10/24~27 潮汐現象減弱	170	3.01	yes		6 日前上升 4cm	180	2.84	yes		6 日前上升 6cm	184	2.78	yes	疑 *JH10/28~11/6 缺資料
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	*JH10/28~11/6 缺資料
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		

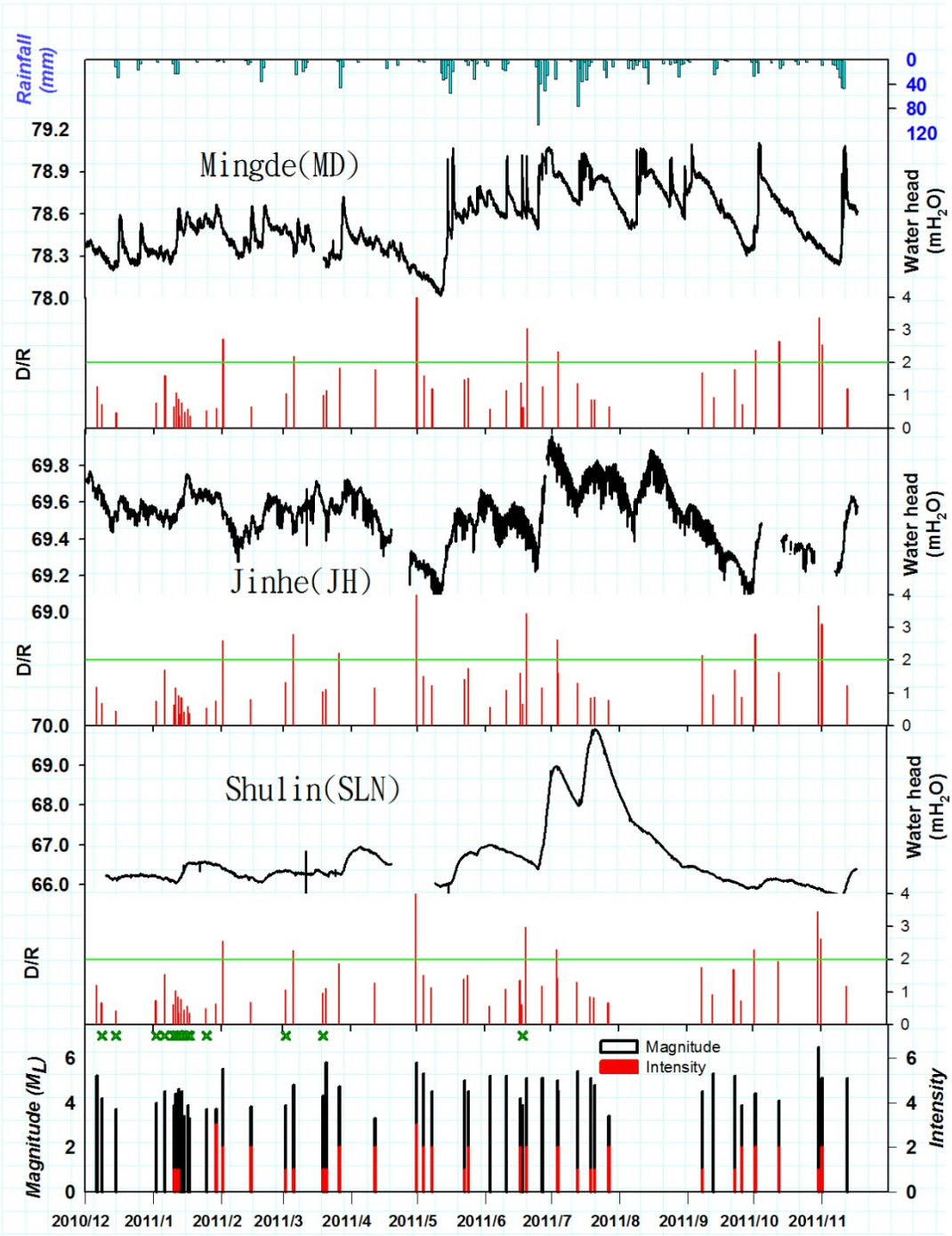


圖 6-1 台北地區 2010 年 12 月至 2011 年 11 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。圖中紅線為地震活動對比之標示，藍色線條表示降雨量。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。

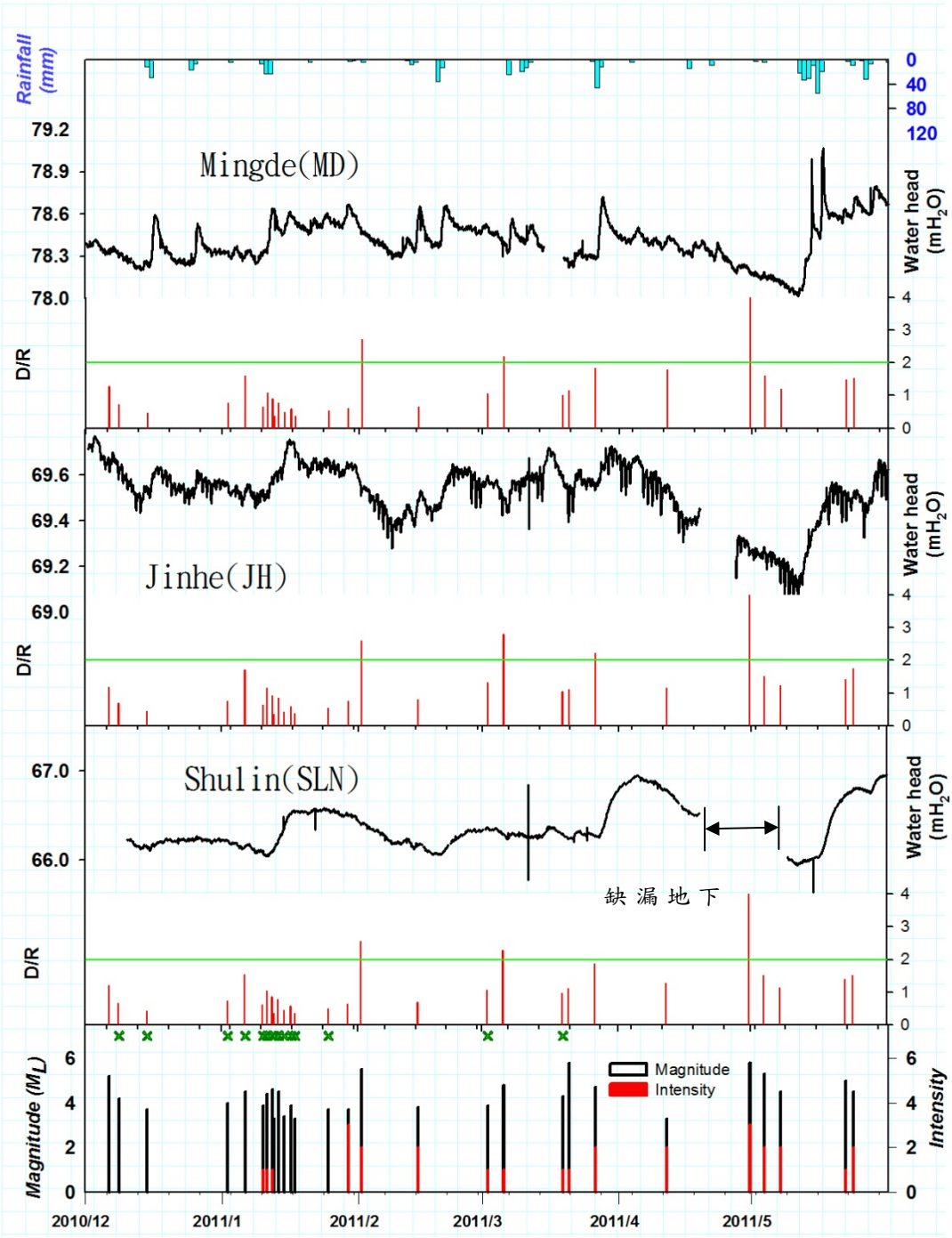


圖 6-2 台北地區 2010 年 12 月至 2011 年 5 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。

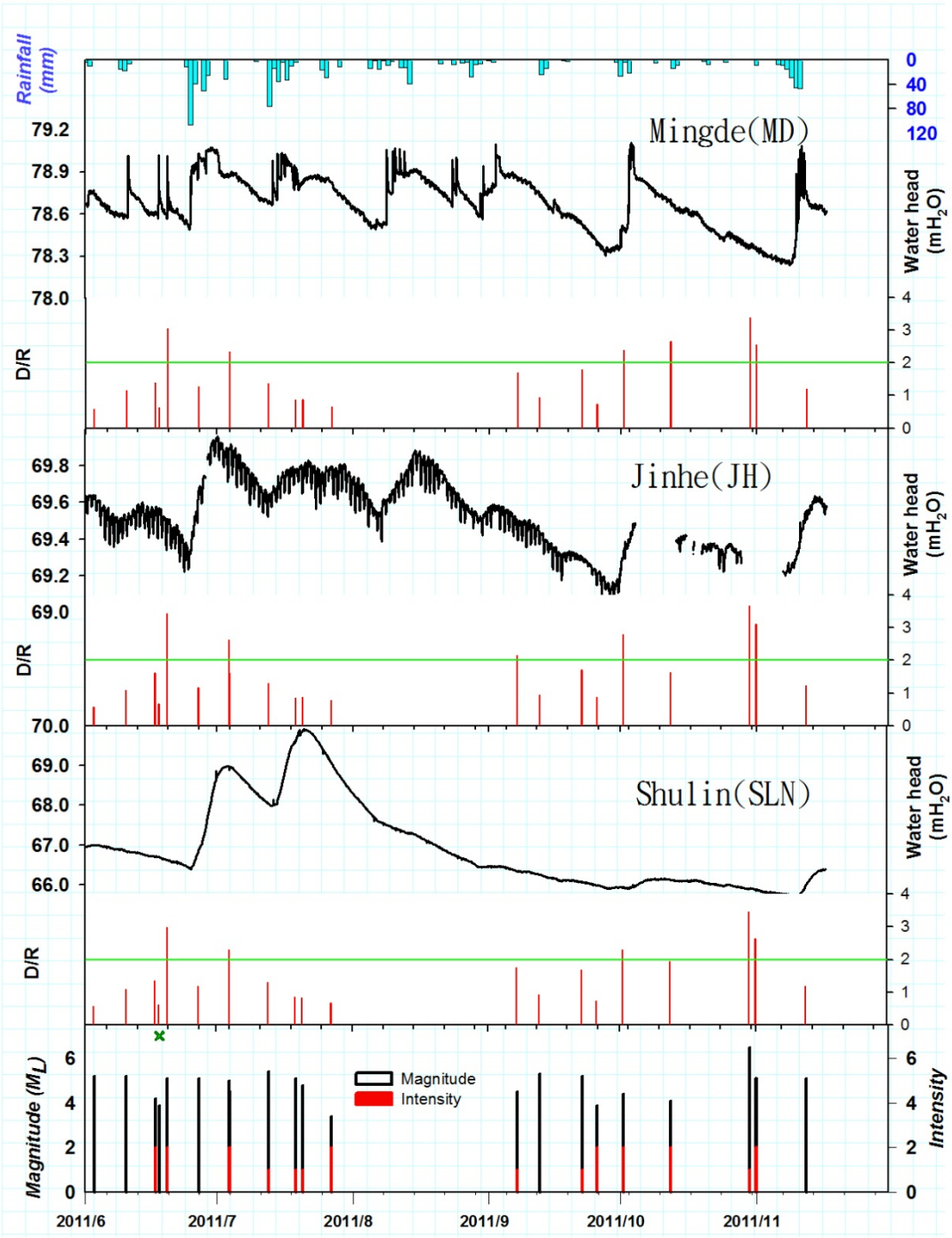


圖 6-3 台北地區 2011 年 6 月至 2011 年 11 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。

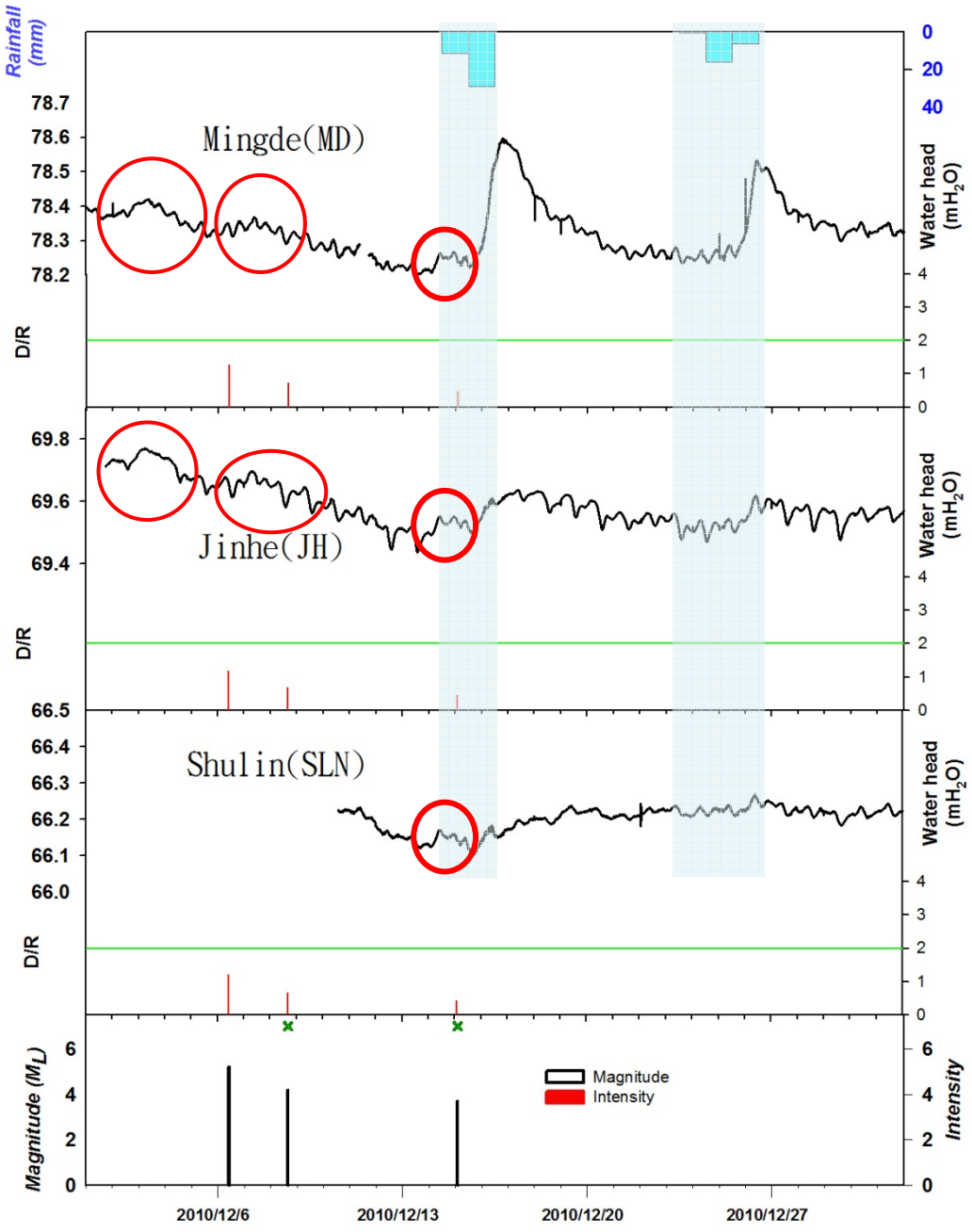
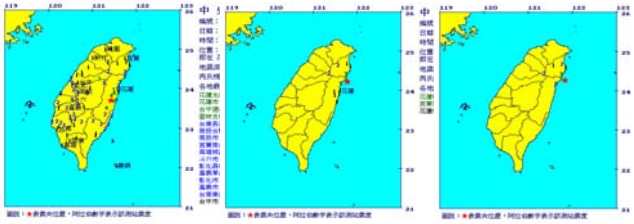


圖 6-4 台北地區 2010 年 12 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。紅色圈為震前水位異常。



M_L=5.2　　M_L=4.2　　M_L=3.7

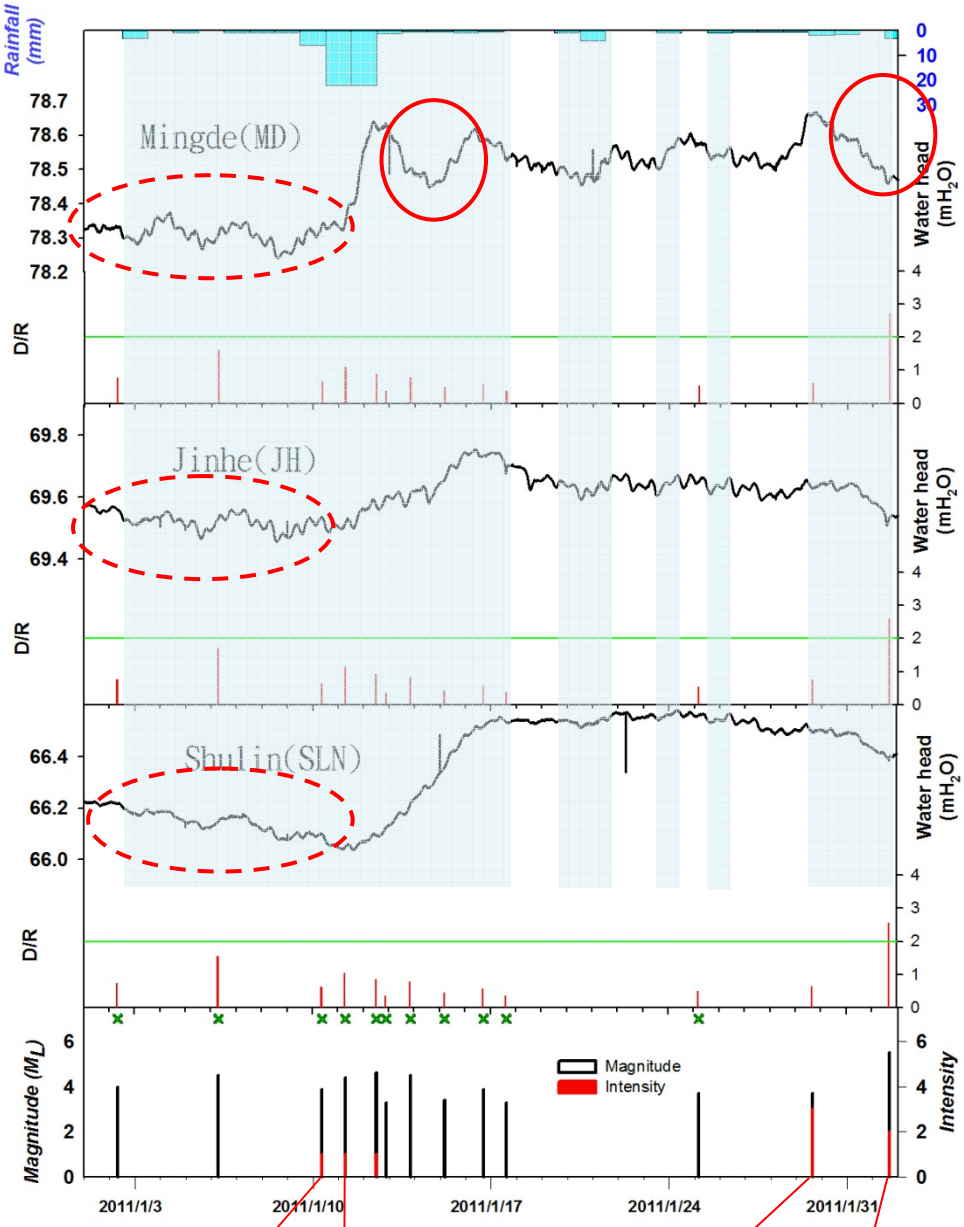
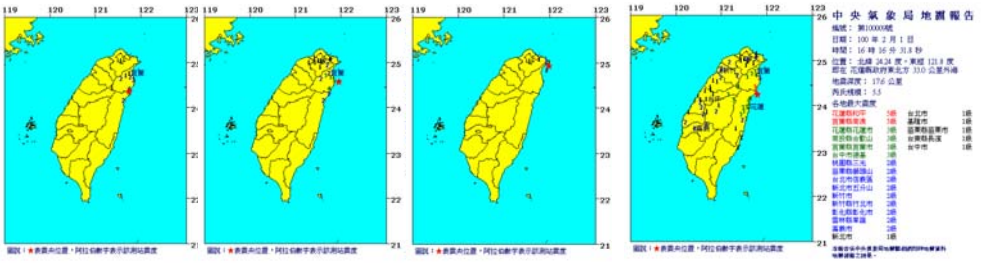


圖 6-5 台北地區 2011 年 1 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



M_L=3.9　M_L=4.4　M_L=3.7　M_L=5.5

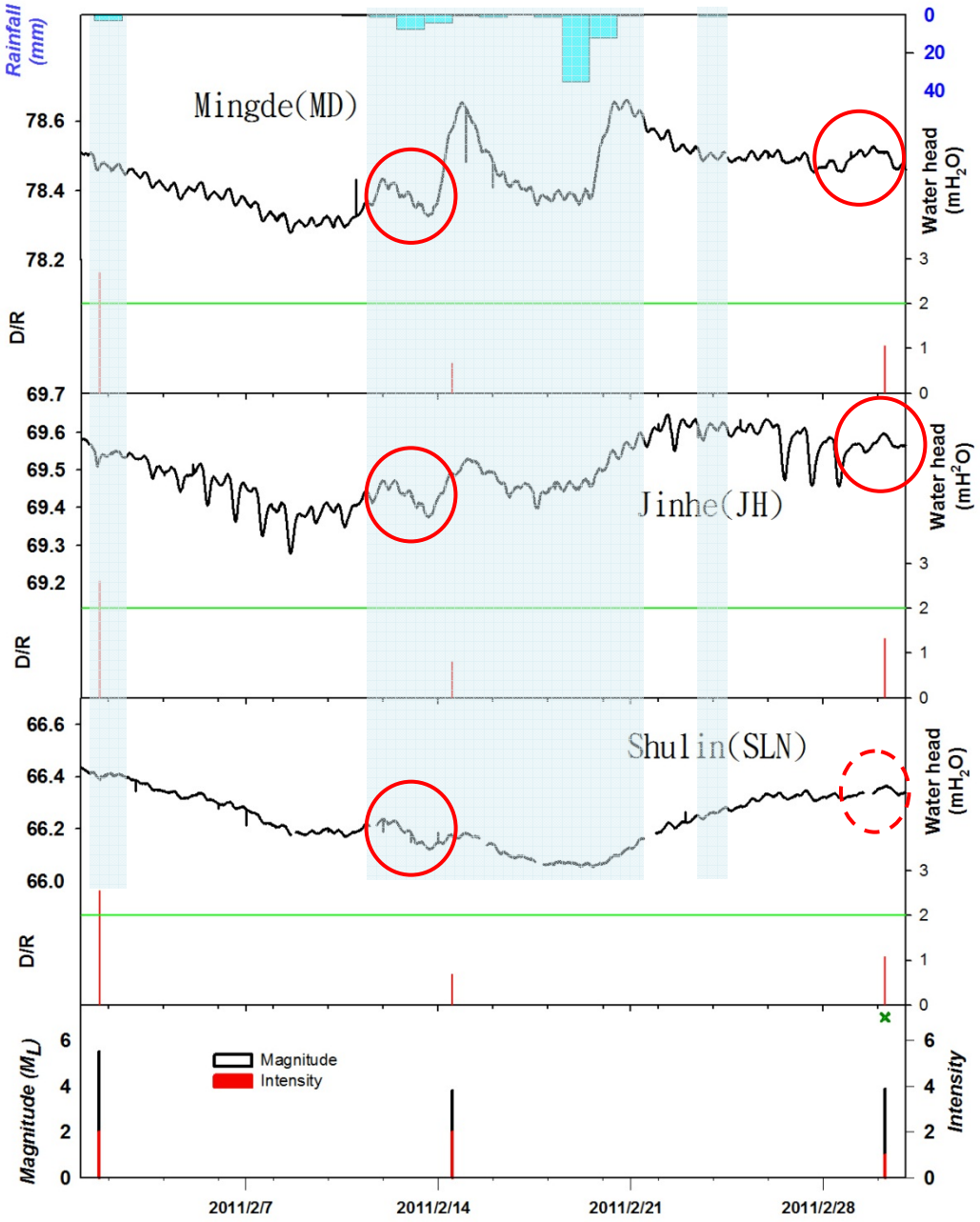
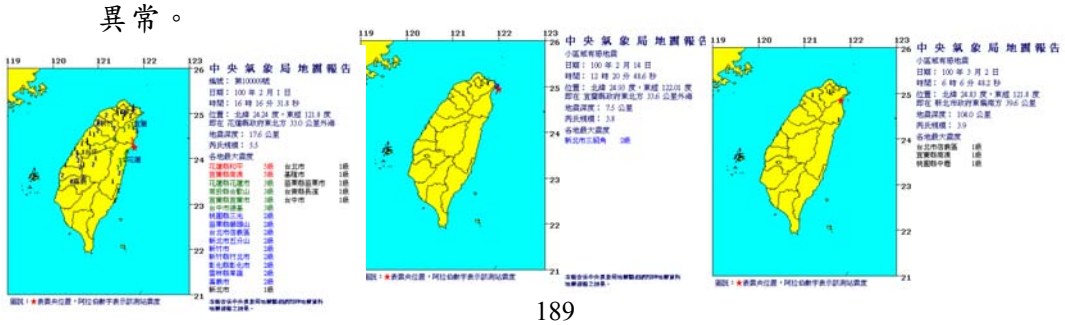


圖 6-6 台北地區 2011 年 2 月至 3 月 2 日明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



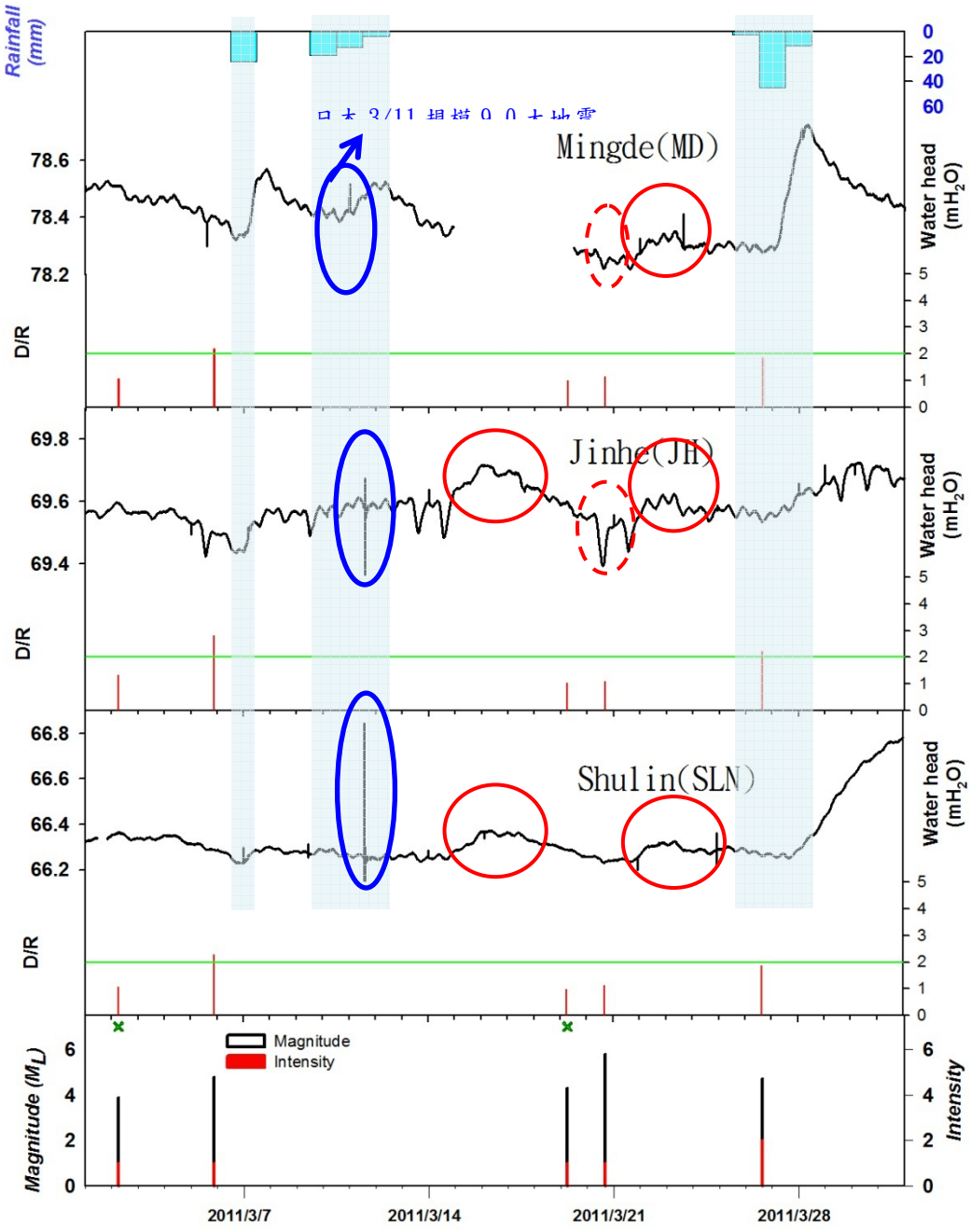
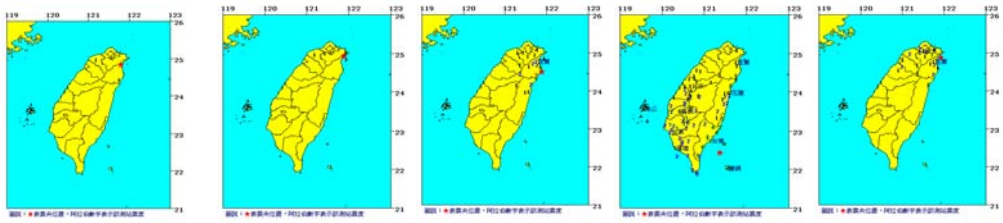


圖 6-7 台北地區 2011 年 3 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。藍色圈為同震。



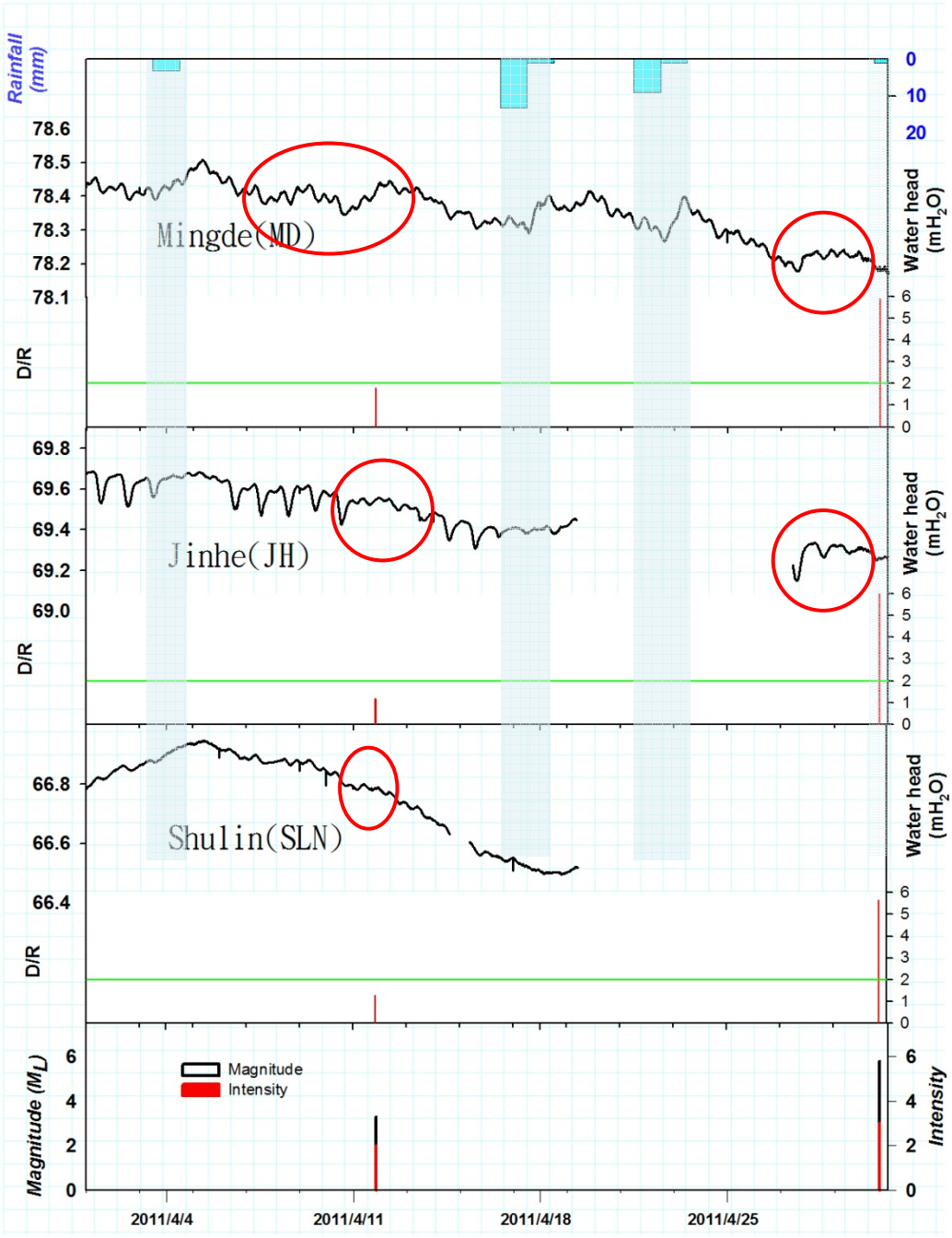
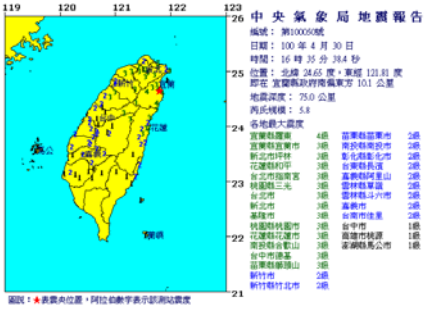
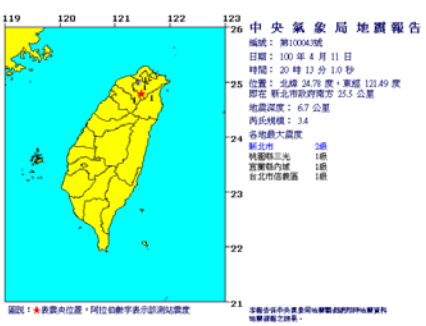


圖 6-8 台北地區 2011 年 4 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常。





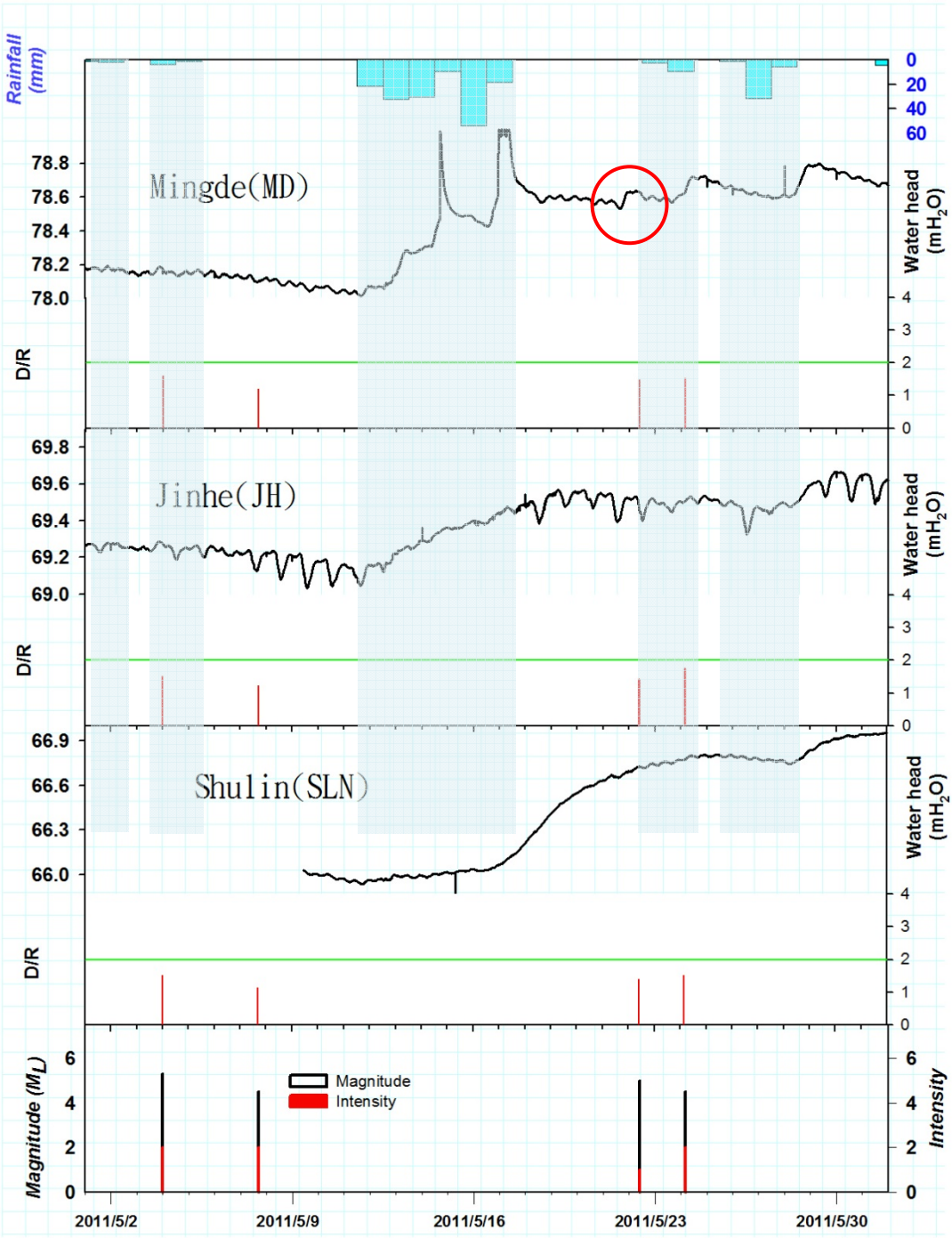
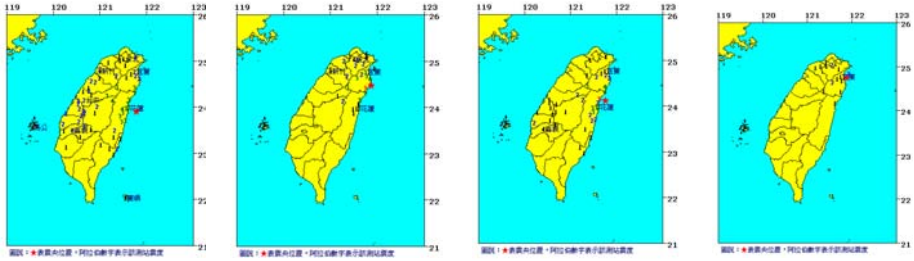


圖 6-9 台北地區 2011 年 5 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常。



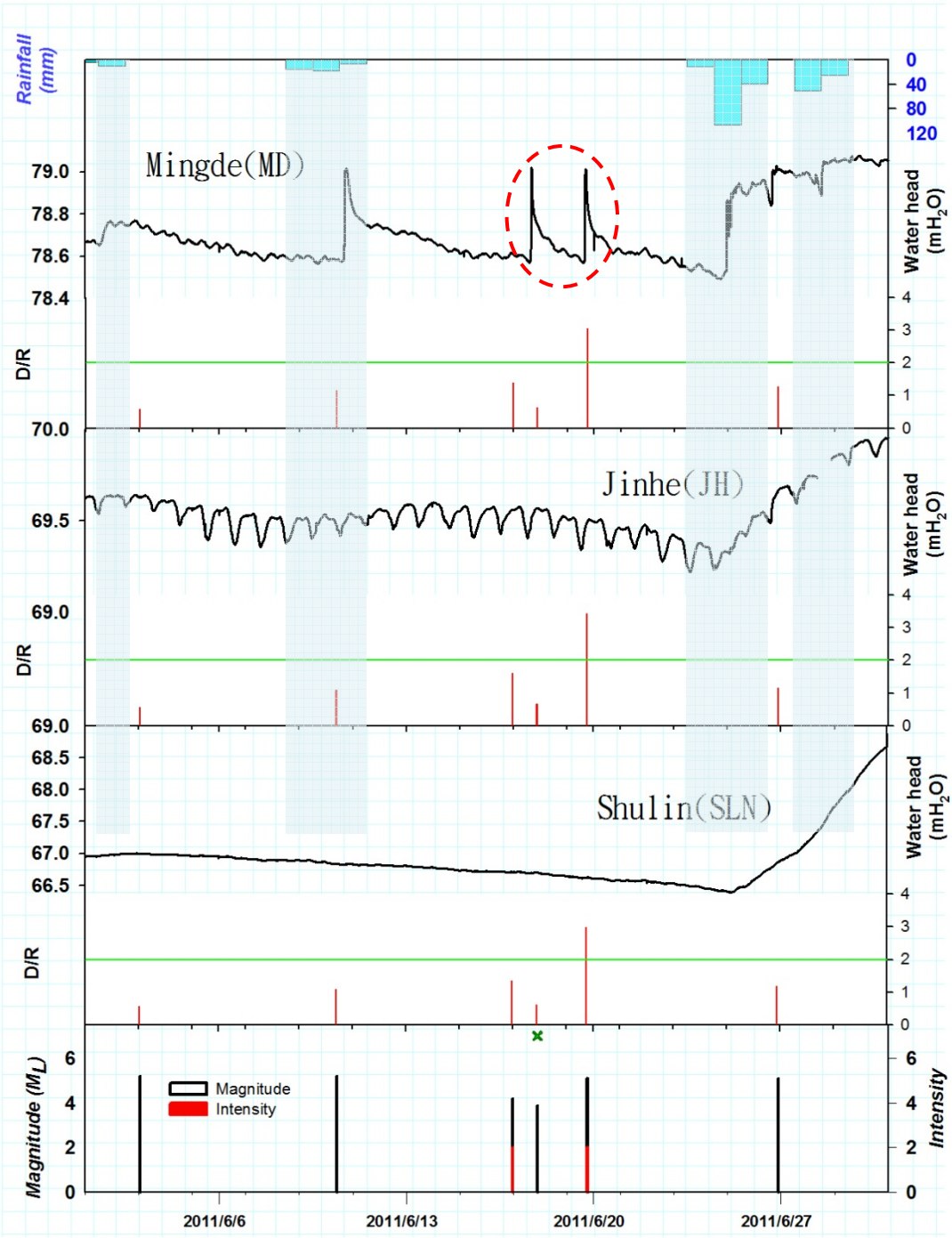
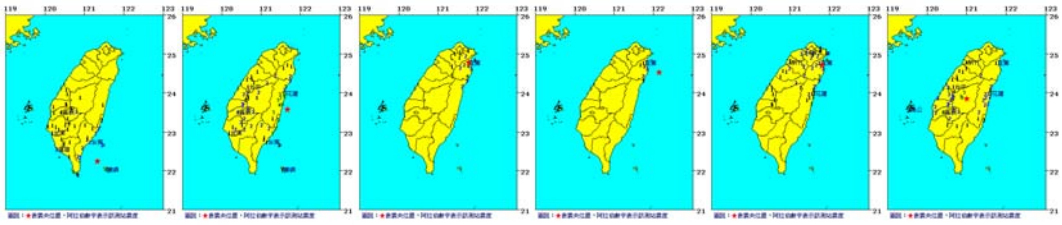


圖 6-10 台北地區 2011 年 6 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



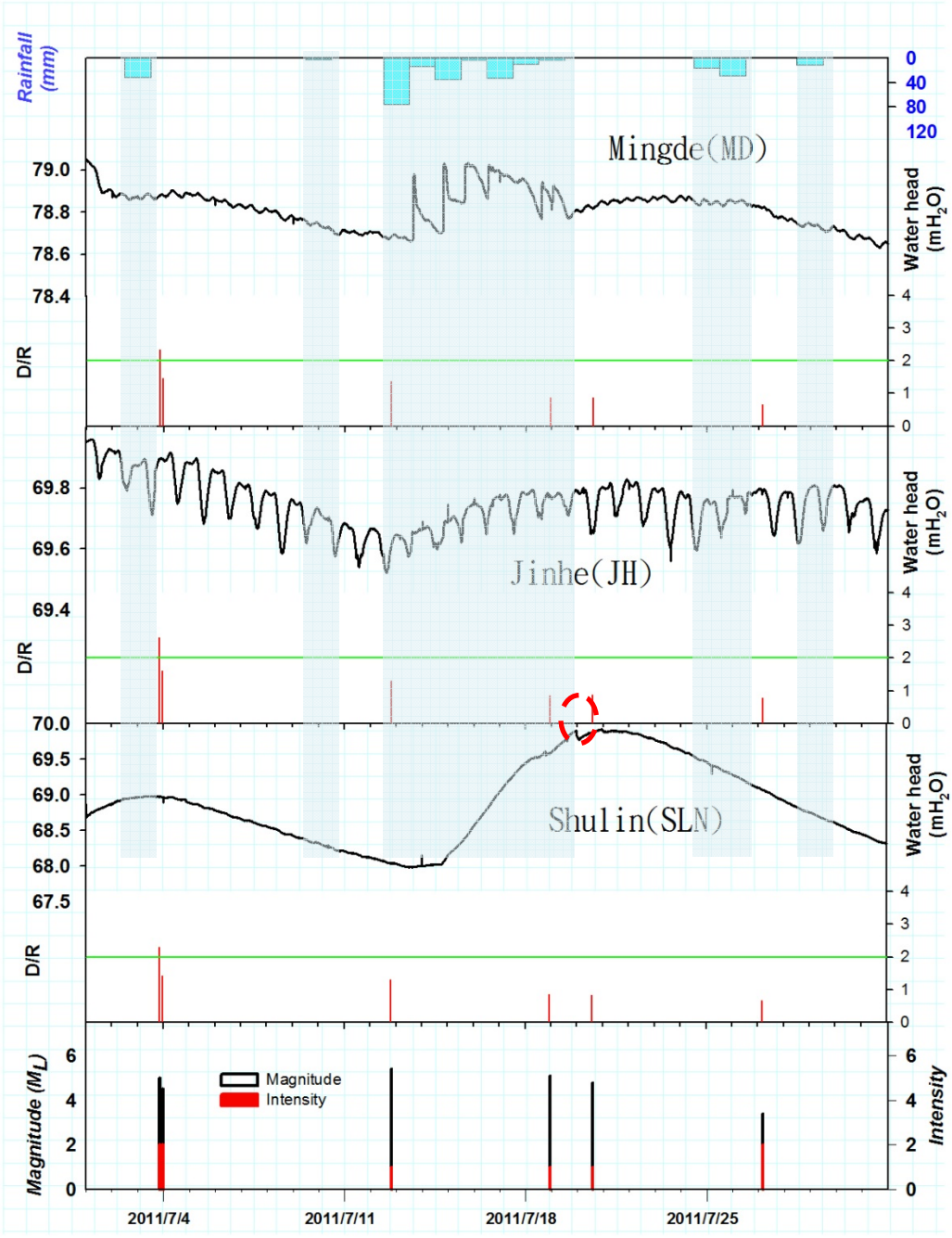
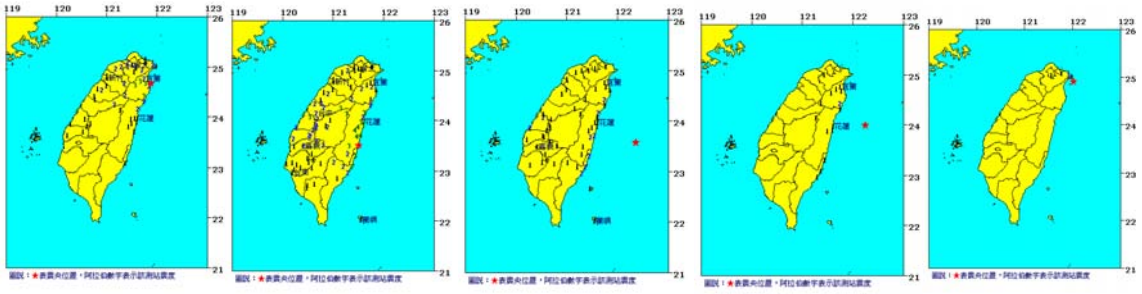


圖 6-11 台北地區 2011 年 7 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



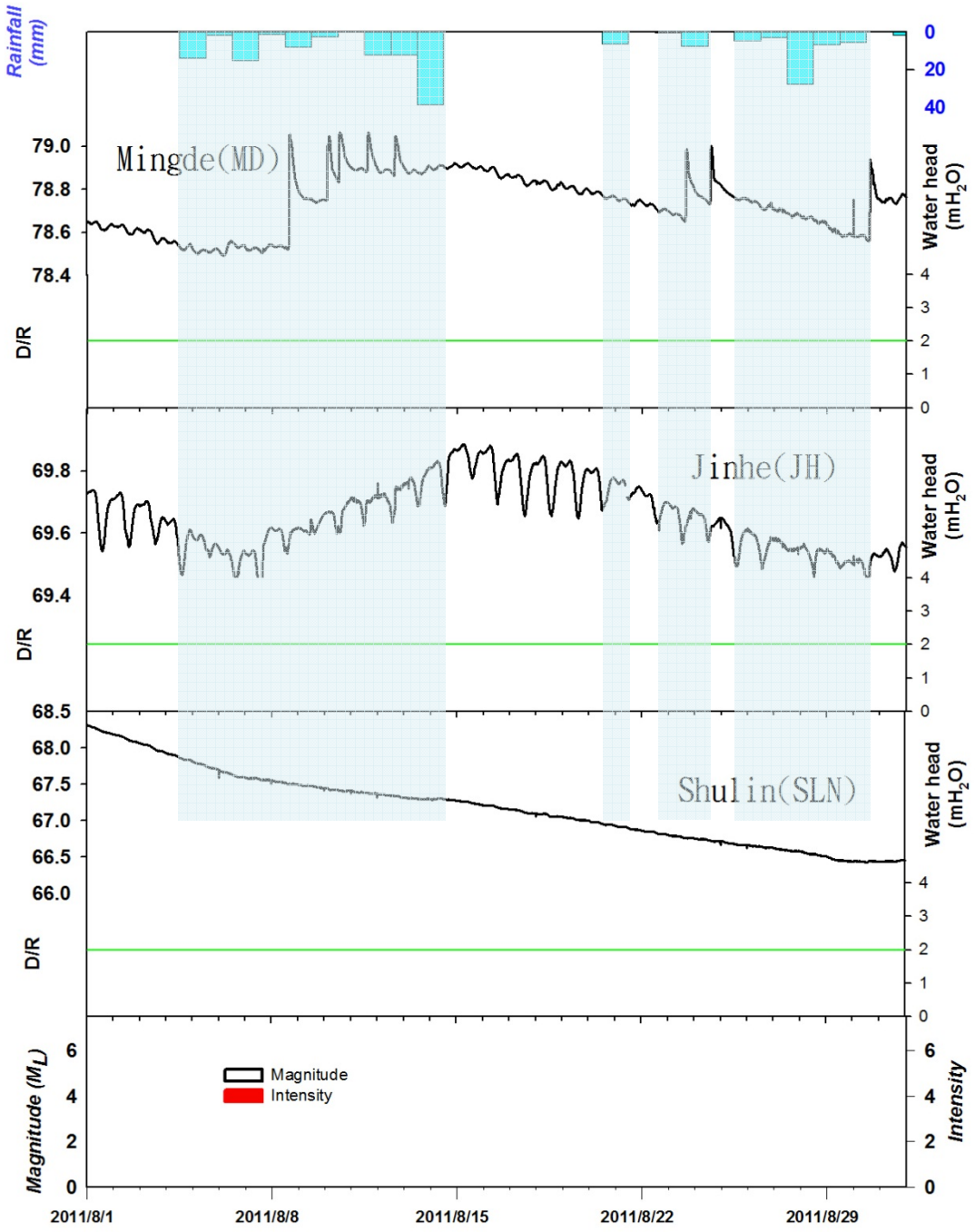


圖 6-12 台北地區 2011 年 8 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

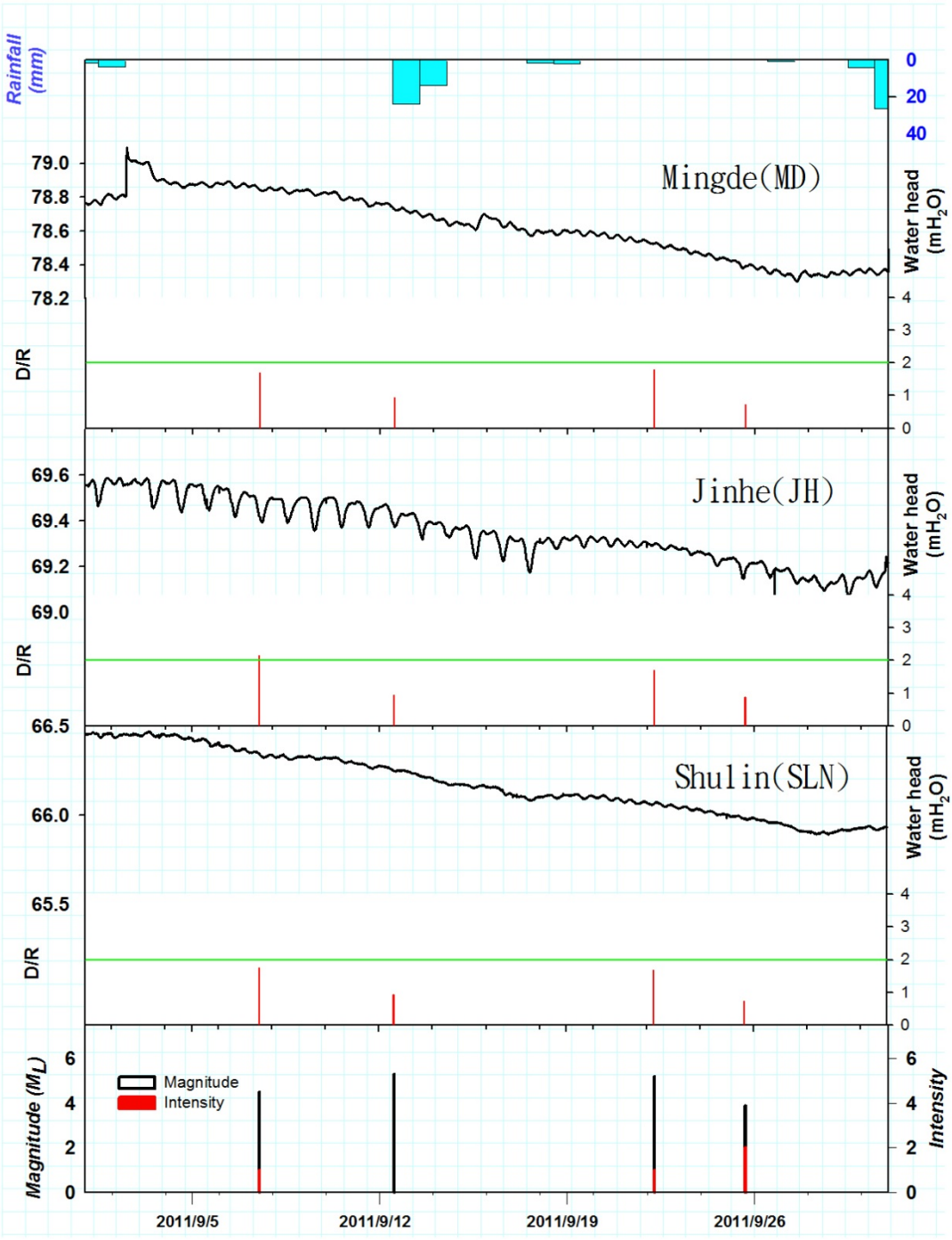
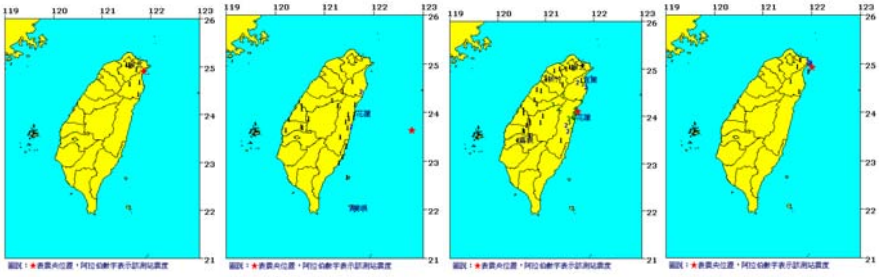


圖6-13 台北地區2011年9月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



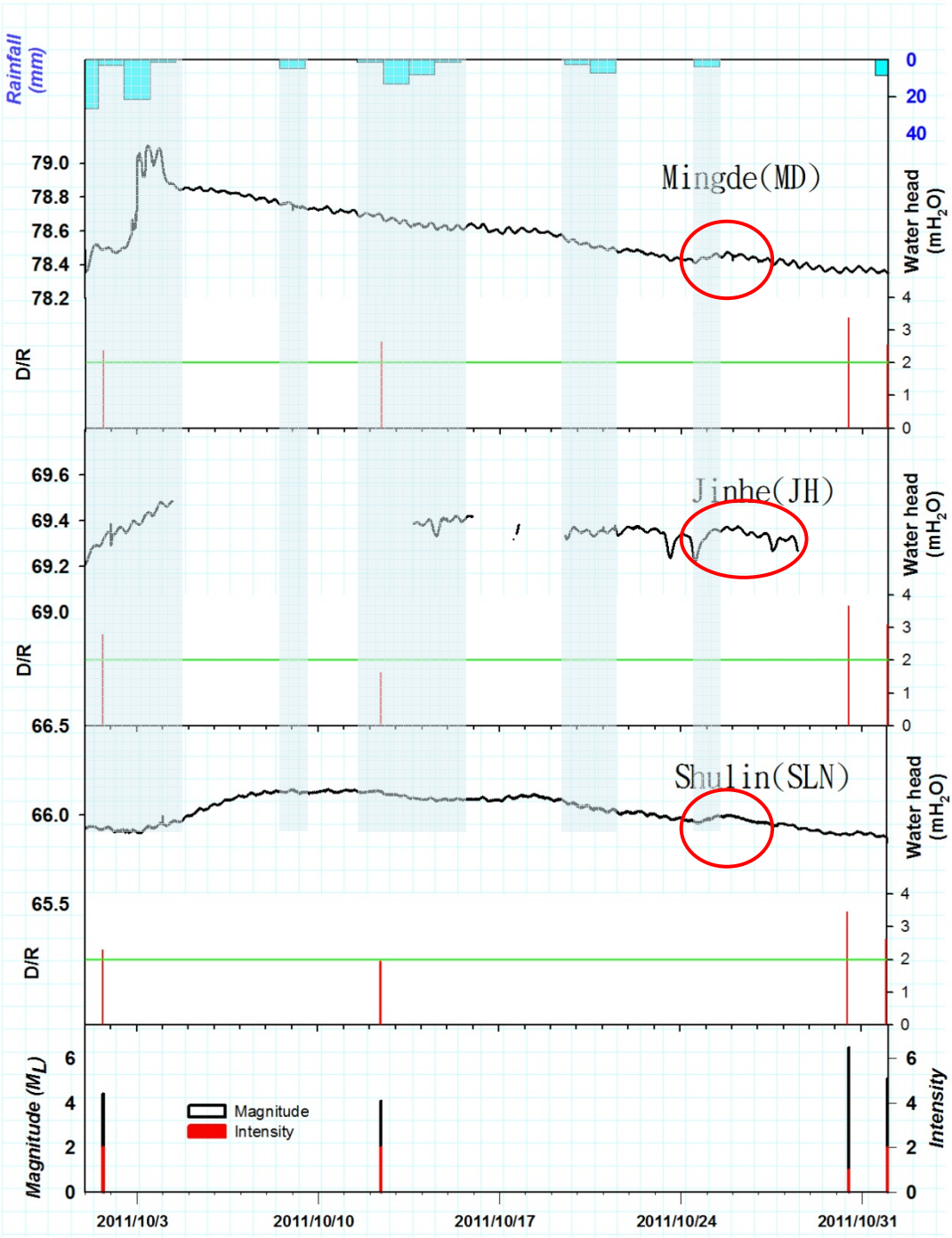
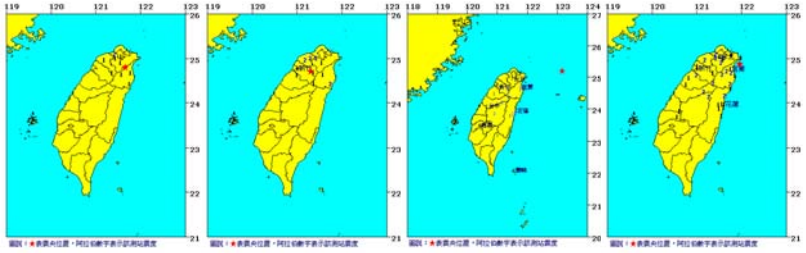


圖 6-14 台北地區 2011 年 10 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常。



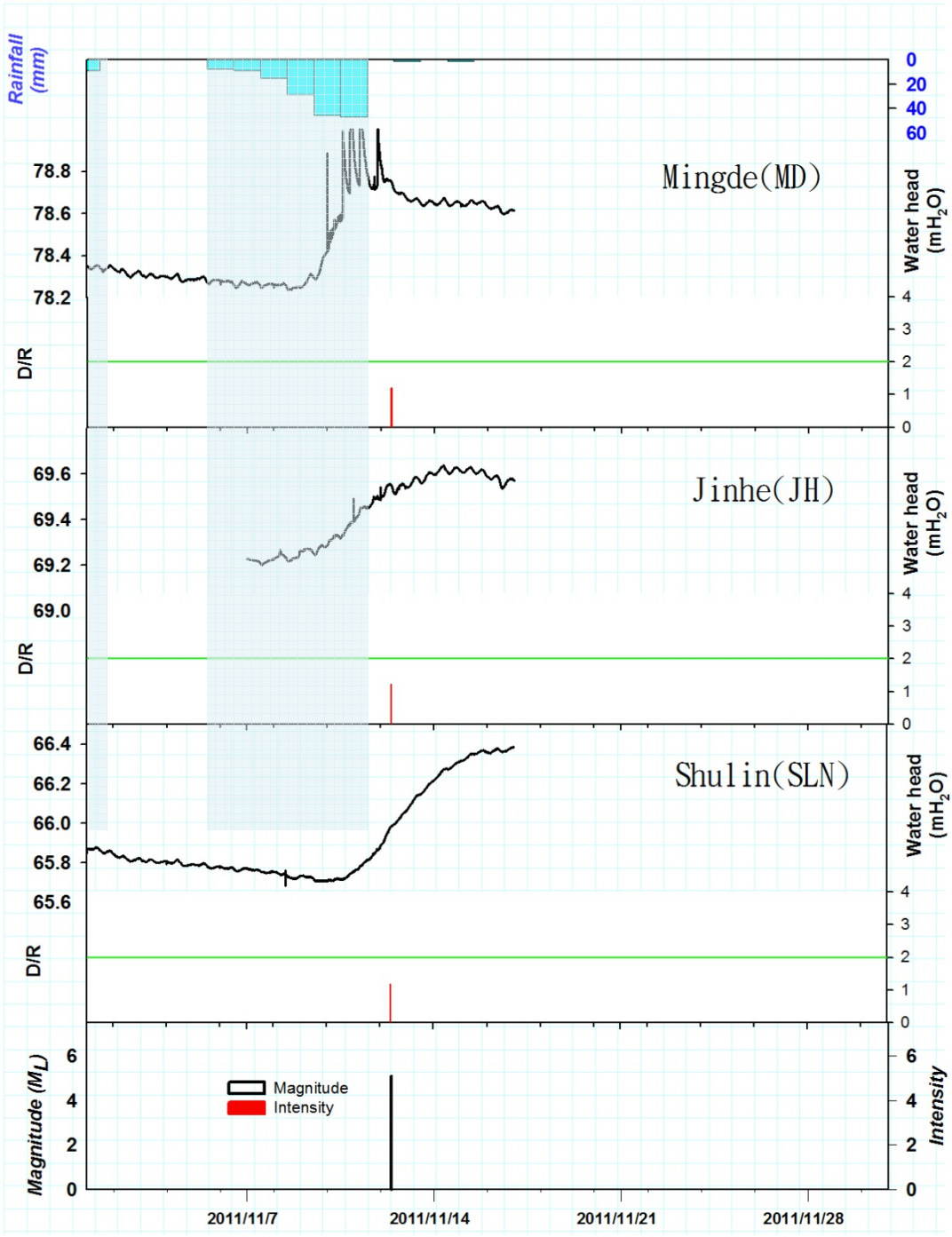
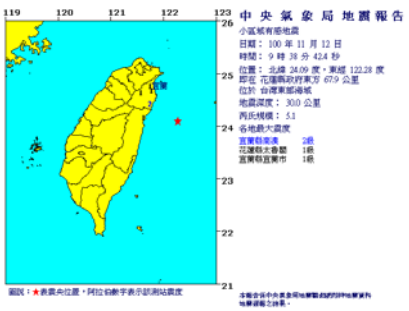


圖 6-15 台北地區 2011 年 11 月明德、錦和與樹林觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



6-2 新竹地區地下水壓觀測結果

2010年12月至2011年11月新竹地區新樂國小、瑞峰國小與雙溪國小觀測井之地下水壓資料，比對中央氣象局新竹站降雨量及篩選地震資料繪圖（圖6-16至圖6-30）。瑞峰觀測站在2010年12月中旬以後水壓計故障，導致資料缺漏。資料顯示(圖6-16)，新竹地區的三個觀測站中水壓變化趨勢一致性較低，各站地下水壓的觀測結果分別記錄如下：

新樂站2010年12月份資料缺漏，直到27日才有水位資料，若自2010年1月以後來看，本年度篩選地震中，新樂站有較佳的前兆反應(表6-2)。而瑞峰站因為長時間缺少資料， 5月以後開始有水位資料，但水位振盪較劇烈且持續上升中，較不易判別其對地震之反應。雙溪站自從2010年5月修復水壓計之後，水位資料一直在回穩狀態，但在2011年3月以後開始出現地震前兆訊息，其水位異常現象為地震發生數日前地潮現象開始變弱。

新樂站：2011年2月1日花蓮和平鄉近海發生一起規模5.5之強震，新竹震度2級，新樂站在1日前出現水位異常下降7公分，之後同震上升5公分(圖6-21)。同年3月3日新竹市發生兩起規模3以下之局發地震，新樂站在3日前水位資料潮汐振盪之幅度變小，1日前下降4公分，雙溪觀測站也在3日前地潮現象開始變弱，震後才又恢復正常(圖6-22)。3月20日台東外海發生規模5.8之地震，雖然新竹震度在1以下，但新樂站在5日前水位異常上升4公分。3月26日宜蘭龜山島附近發生規模4.7地震，新竹震度2級，新樂站水位在前5日異常上升9公分，而雙溪站之水位資料也在4日前地潮現象開始變弱，震後1日回復。4月30日宜蘭羅東附近發生規模5.8，新竹震度2級之地震，新樂站也在4日前出現水位異常上升4公分(圖6-23)。同年 6 月 19 日宜蘭近海發生一起規模 5.1 地震，新竹震度 1 級，新樂站在震前 4 小時水位持續異常上升(圖 6-25)，推測為此地震之前兆。

同年 7 月 12 日花蓮近海一起規模 5.4，全台皆有震度，台北、新竹、嘉義觀測站皆無前兆反應，但新竹雙溪站發生水位下降兩公分之同震反應(圖 6-26)。7 月 16 新竹關西地震，新樂觀測站 D/R 值將近 5，新樂測站在前一日晚上水位出現異常持續緩降。但其後 7 月 18 日和 20 日分別也發生了規模 5.1 和 5.2，新竹影響震度 1 級之地震，不確定是否也同時受到這兩起地震影響。

同年 9 月 12 日花蓮外海發生一起規模 5.3 地震，新竹影響震度在 1 以下，地震發生前 4 日，新樂觀測站水位在無降雨影響下異常上升 2 公分(圖 6-28)。9 月 22 日花蓮近海發生一起規模 5.2，新竹震度 1 級，D/R 值在 2 以上，新樂站在震前 5 日水位異常上升 3 公分，雙溪站則在 2 日前發生潮汐現象減弱之異常。9 月 28 日新樂站水位異常上升 7 公分，其後 10 月 5 日新竹縣五峰鄉發生一起規模

3.9 區域小地震，但新竹震度 2 級，D/R 值大於 2，應為此地震之前兆。

10 月 24 日至 25 日新樂站異常上升 3.5 公分(圖 6-29)，雙溪站在這段期間也出現潮汐現象減弱之異常，其後 10 月 30 日在台灣東北部海域發生一起規模 6.5 的遠距地震，新竹影響震度 1 級，且 D/R 值大於 2；10 月 31 日宜蘭近海也發生一起規模 5.1，新竹震度 1 級的地震，此水位異常應是受到這兩起地震影響。

表 6-2 新竹篩選地震列表（灰階為不在篩選條件內，但地下水位出現異常的地震，黃色為震央距>200km）

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	雙溪前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	新樂前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	瑞峰前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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	
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	

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	雙溪前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	新樂前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	瑞峰前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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		
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		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，但受降雨干擾	82	2.09	yes			84	2.05	yes	疑
24	2010/4/9 19:49	5.1	1	122.03	24.85	102.8	宜蘭市地震站東偏北方 29.7 公里			106	1.48		有	先降後升 5 小時前上升 4cm，但受山區降雨干擾	80	1.95				94	1.66		疑
25	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			201	1.05				183	1.14				184	1.14		
26	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			404	2.08	yes	有	先降後升 1 日前下降 7cm	383	2.19	yes			386	2.17	yes	
27	2010/5/15 16:15	2.5	2	121.04	24.74	3.7	新竹竹北地震站南偏東方 10.5 公里			6	2.04	yes			21	0.56				12	0.99		
28	2010/5/23 15:52	3.1	2	121.1	24.73	9.1	新竹竹北地震站東南方 14.0 公里			12	1.82		有	5 日前先上升 5cm 再下降 10cm	15	1.41				8	2.74	yes	
29	2010/6/14 5:11	4.2	2	121.38	24.59	16.9	桃園三光地震站南方 9.3 公里			44	1.45			同震，上升 16cm	20	3.13	yes			27	2.34	yes	
30	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			102	2.52	yes			84	3.06	yes			84	3.04	yes	

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	雙溪前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	新樂前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	瑞峰前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
31	2010/6/27 2:05	5.1	2	121.55	24.69	64.9	宜蘭牛鬥地震站北偏西方 6.2 公里			57	2.72	yes	有	4 日前上升 9cm	31	5.10	yes			43	3.59	yes	
32	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			110	1.73				84	2.26				94	2.03	yes	
33	2010/7/9 8:41	5.8	2	122.66	24.66	113.6	宜蘭蘇澳地震站東方 81.5 公里			169	1.84		有	3 日前先上升再回降 (4cm)	143	2.18	yes			156	2.00	yes	
34	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			165	1.04				151	1.14				149	1.15		
35	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			170	1.01		有	先小降後升 3 日前上升 25cm	145	1.18		有	先降後升 12 日前上升 70cm	153	1.13		
36	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			215	1.32				216	1.31				206	1.37		
37	2010/8/22 0:38	5.3	1	121.59	23.58	40.2	花蓮西林地震站南偏東方 29.3 公里			145	1.31		有	6 日前上升 122cm	132	1.44		有	8 日前上升 55cm	129	1.47		疑
38	2010/8/22 2:48	4.8	2	121.92	24.81	5.7	宜蘭市地震站東偏北方 17.3 公里			94	1.23		有	6 日前上升 122cm，受山區雨量干擾	68	1.70		有	8 日前上升 55cm	82	1.41		
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				115	1.50		
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				452	1.52		
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				29	1.23		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				16	0.80		
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				6	5.02	yes	

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	雙溪前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	新樂前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	瑞峰前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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			112	3.75	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				113	1.52		*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				383	0.45		
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				15	1.07		*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				17	0.46		*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			83	2.79	yes	*1/30~2/10 雙溪缺資料
0	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				15	0.65		*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																
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	7 日前上升 3cm	9	2.27	yes			8	2.73	yes	疑
55	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	5 日前地潮現象變弱	261	1.20		疑	5 日前上升 4cm	254	1.23				247	1.26		疑

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	雙溪前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	新樂前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	瑞峰前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
56	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		
57	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		
58	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	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	
59	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		
60	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		
61	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		
62	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		
63	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		
64	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	1.83		有	4 小時前上升 23cm	59	2.66	yes			72	2.17	yes	
65	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		
66	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		
67	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 (位於花蓮縣近海)		同震，下降 2cm	147	1.42				136	1.54				132	1.59		
68	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)																
69	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		
70	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
71	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

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	雙溪前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	新樂前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	瑞峰前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
72	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							
73	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		
74	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	
75	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			7 日前上升 7cm	14	3.44	yes			8	5.72	yes	
76	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	
77	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)		10/21, 25~26 日分別出現潮汐現象變弱	225	2.28	yes		6 日前上升 3.5cm	200	2.55	yes			215	2.38	yes	疑
78	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)		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		

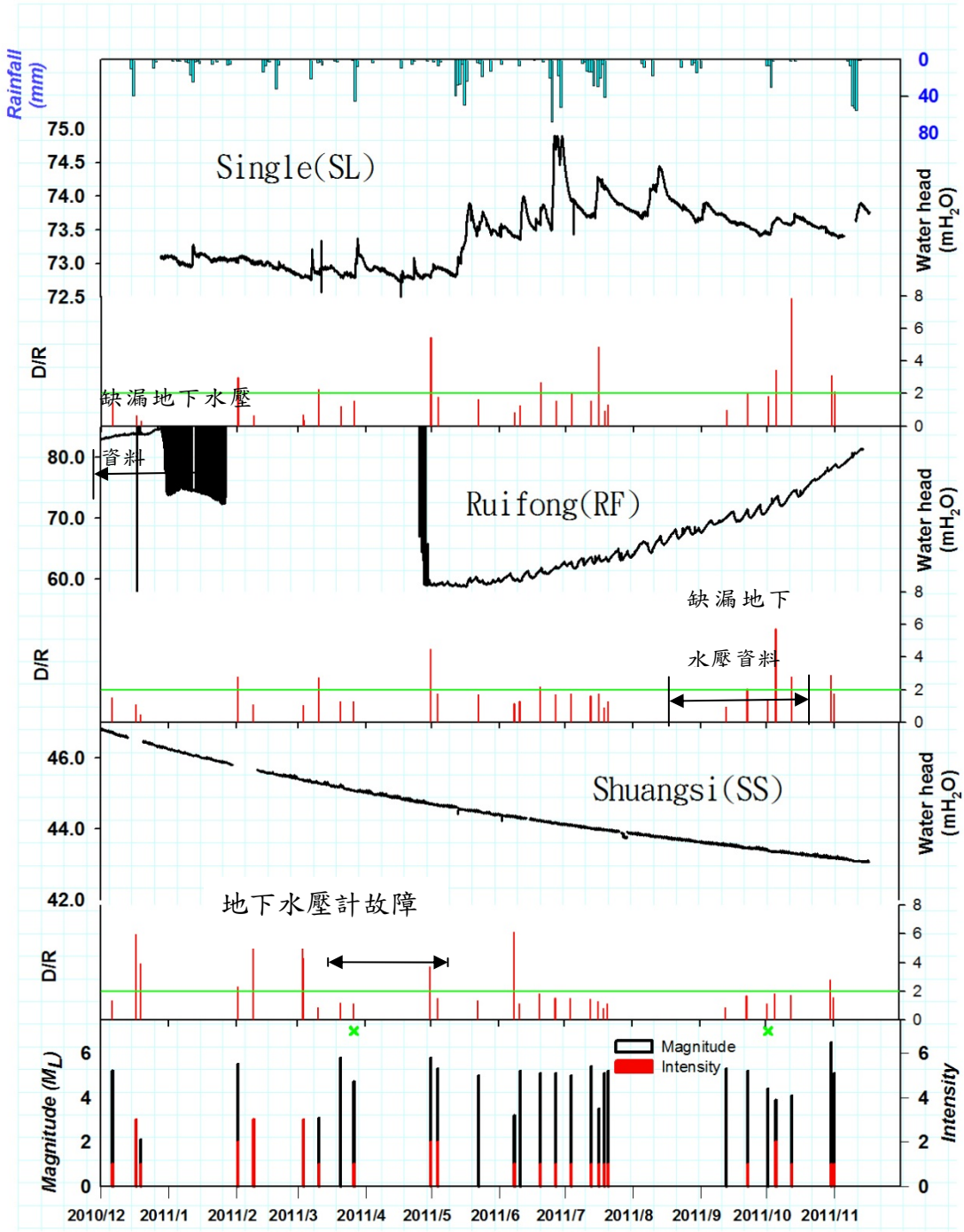


圖 6-16 新竹地區 2010 年 12 月至 2011 年 11 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。圖中紅線為地震活動對比之標示，藍色線條表示降雨量。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。

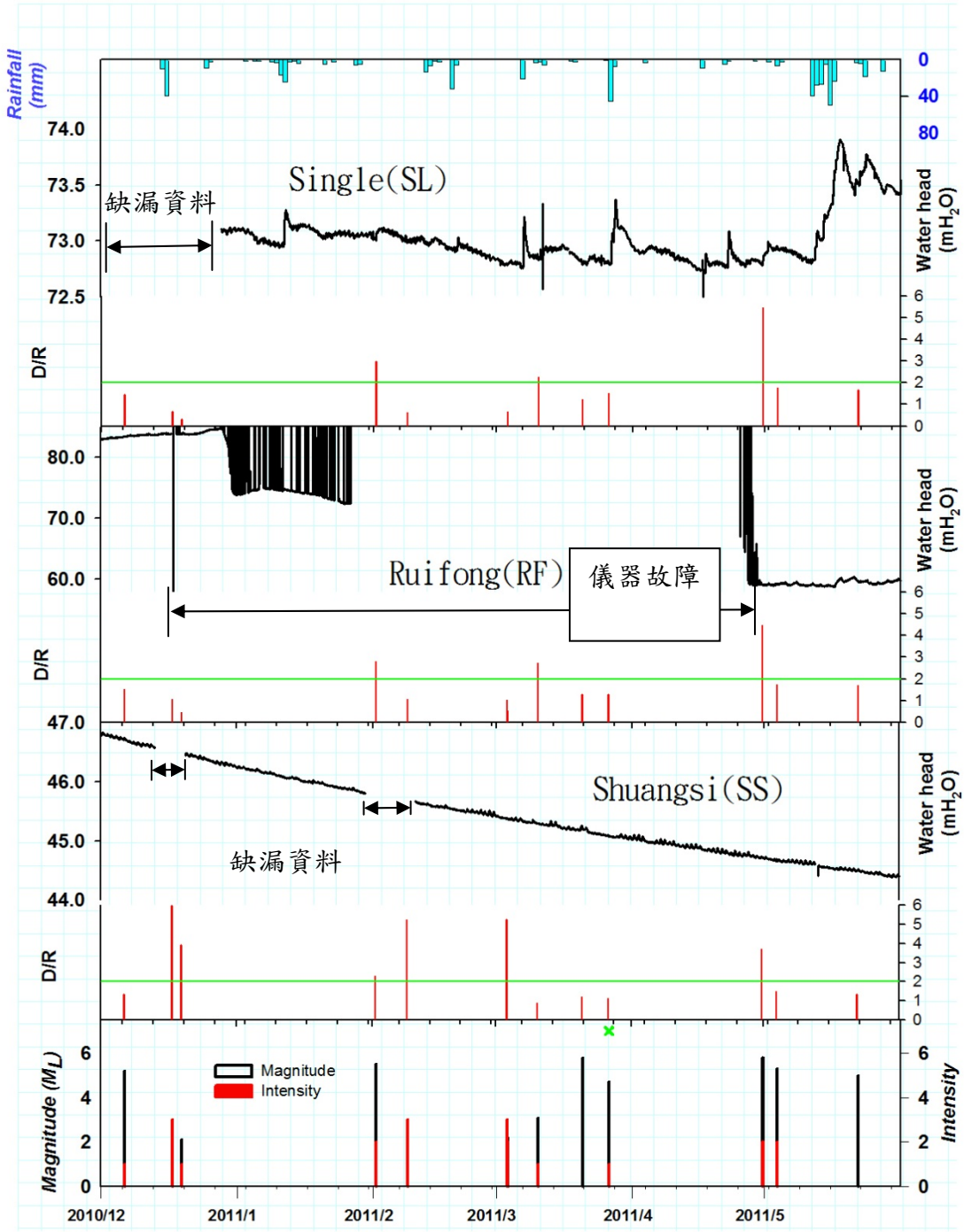


圖 6-17 新竹地區 2010 年 12 月至 2011 年 5 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

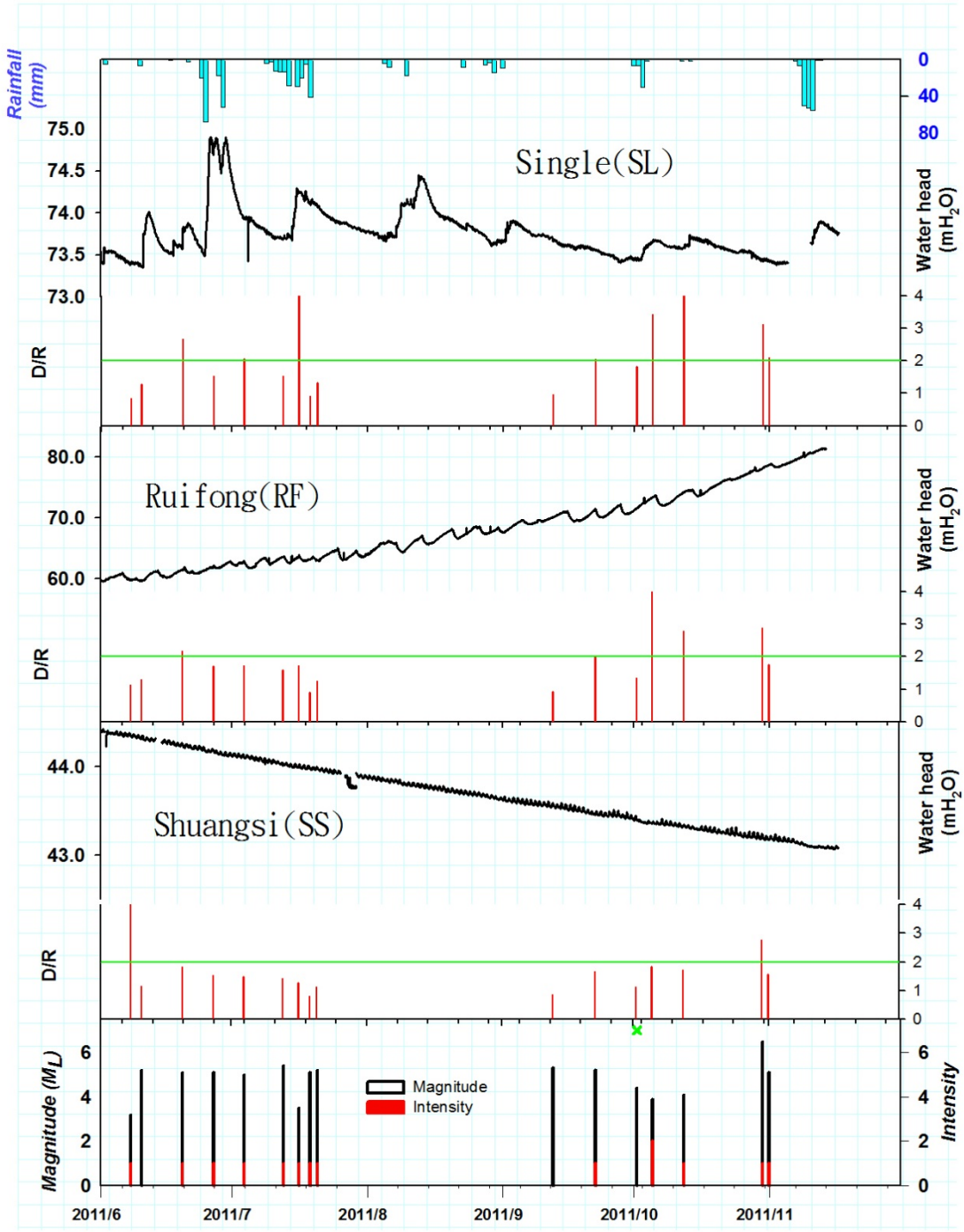


圖 6-18 新竹地區 2011 年 6 月至 2011 年 11 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。

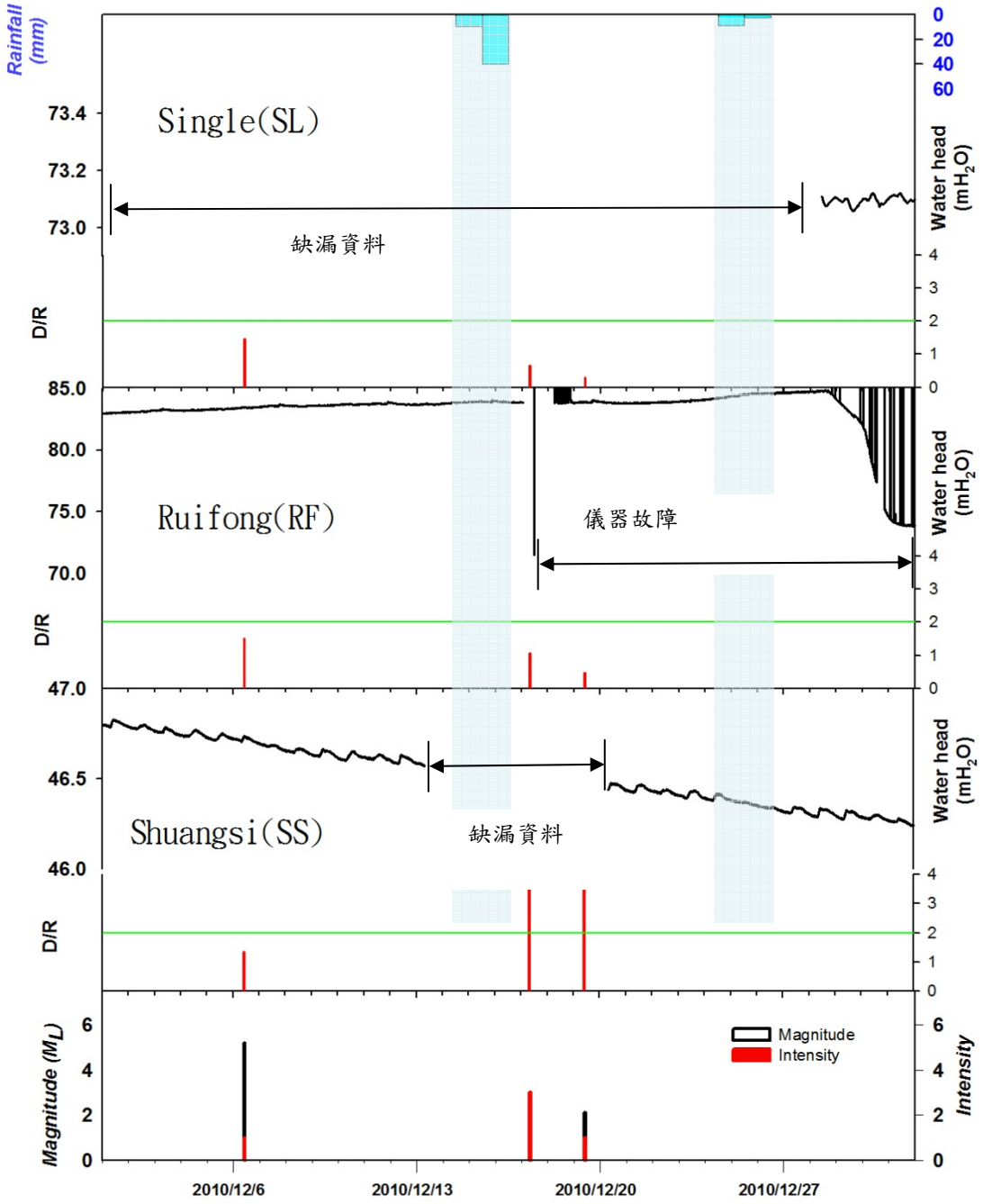
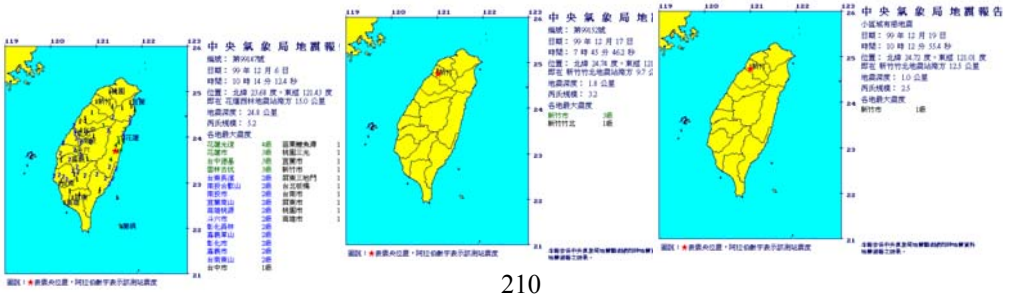


圖 6-19 新竹地區 2010 年 12 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



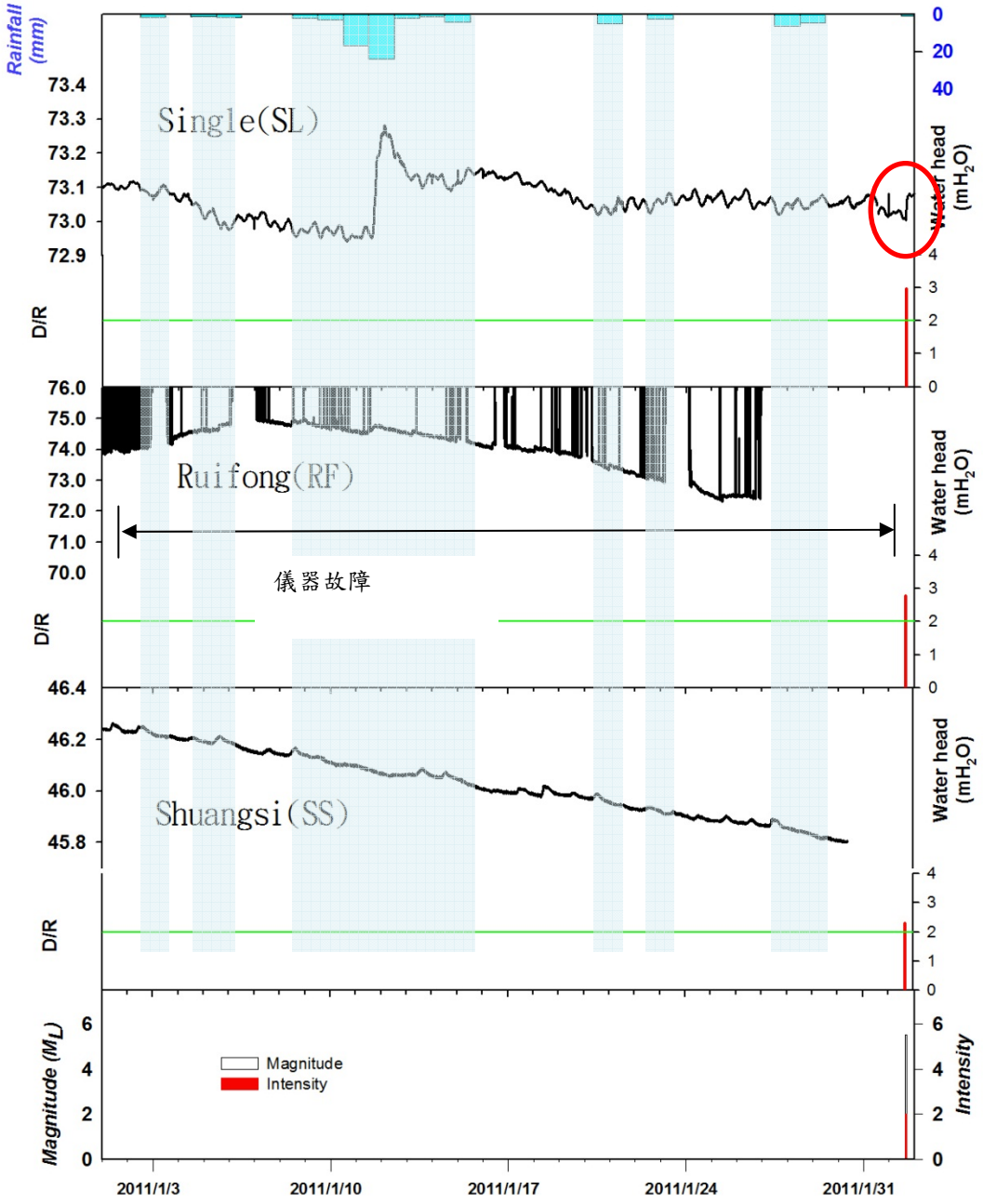
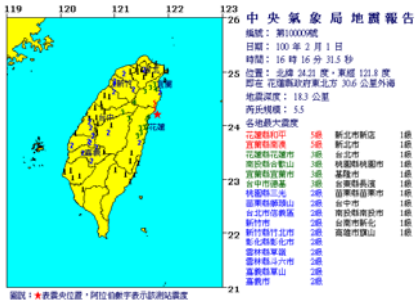


圖 6-20 新竹地區 2011 年 1 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常。



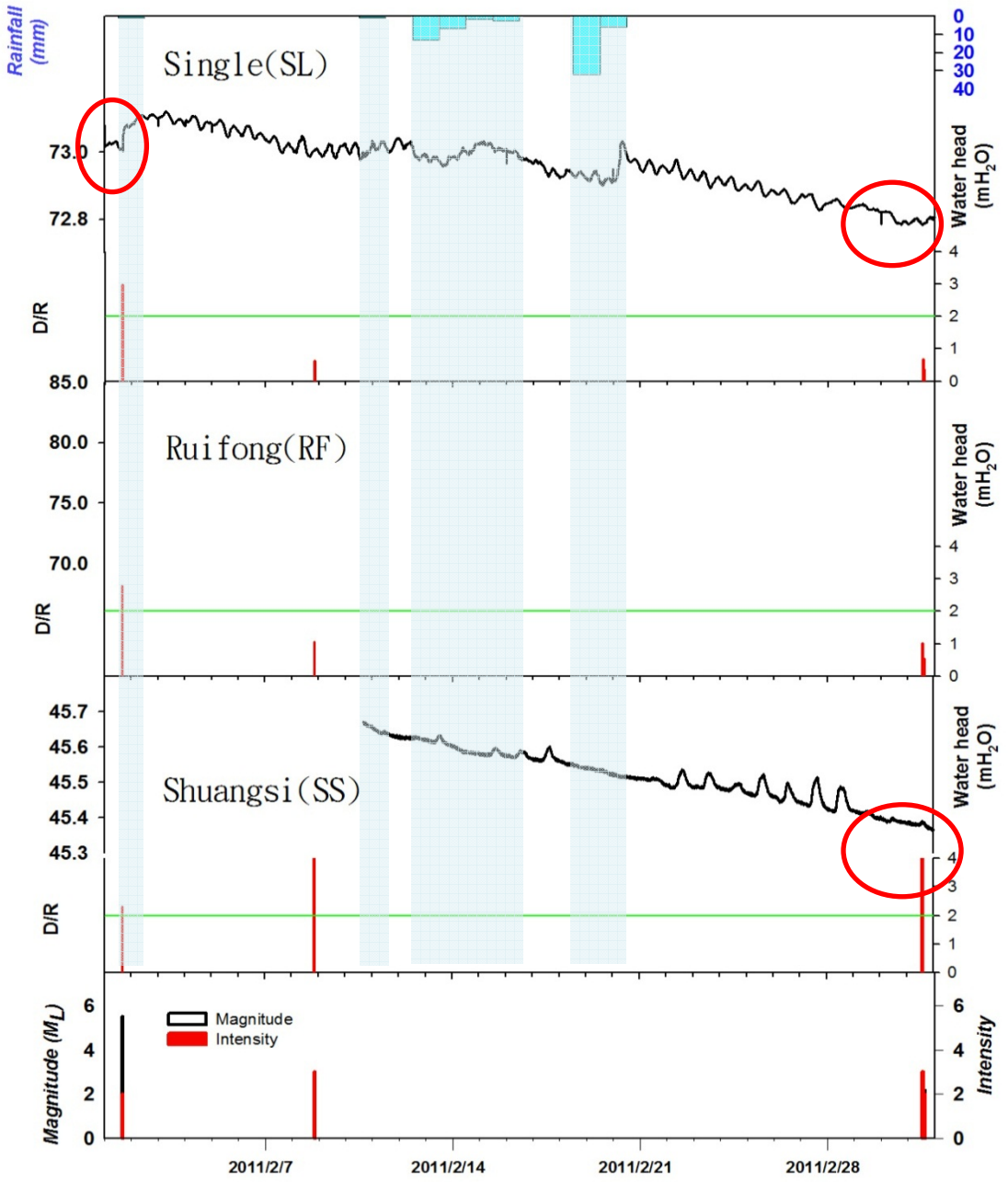
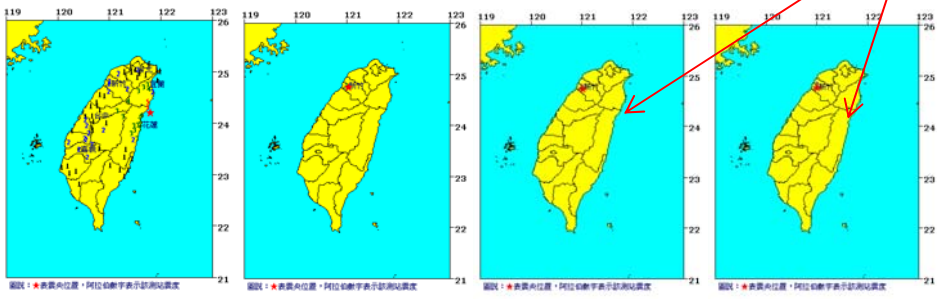


圖 6-21 新竹地區 2011 年 2 月~3 月 3 日新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常。



M_L=5.5　　M_L=1.8　　M_L=2.8　　M_L=2.2

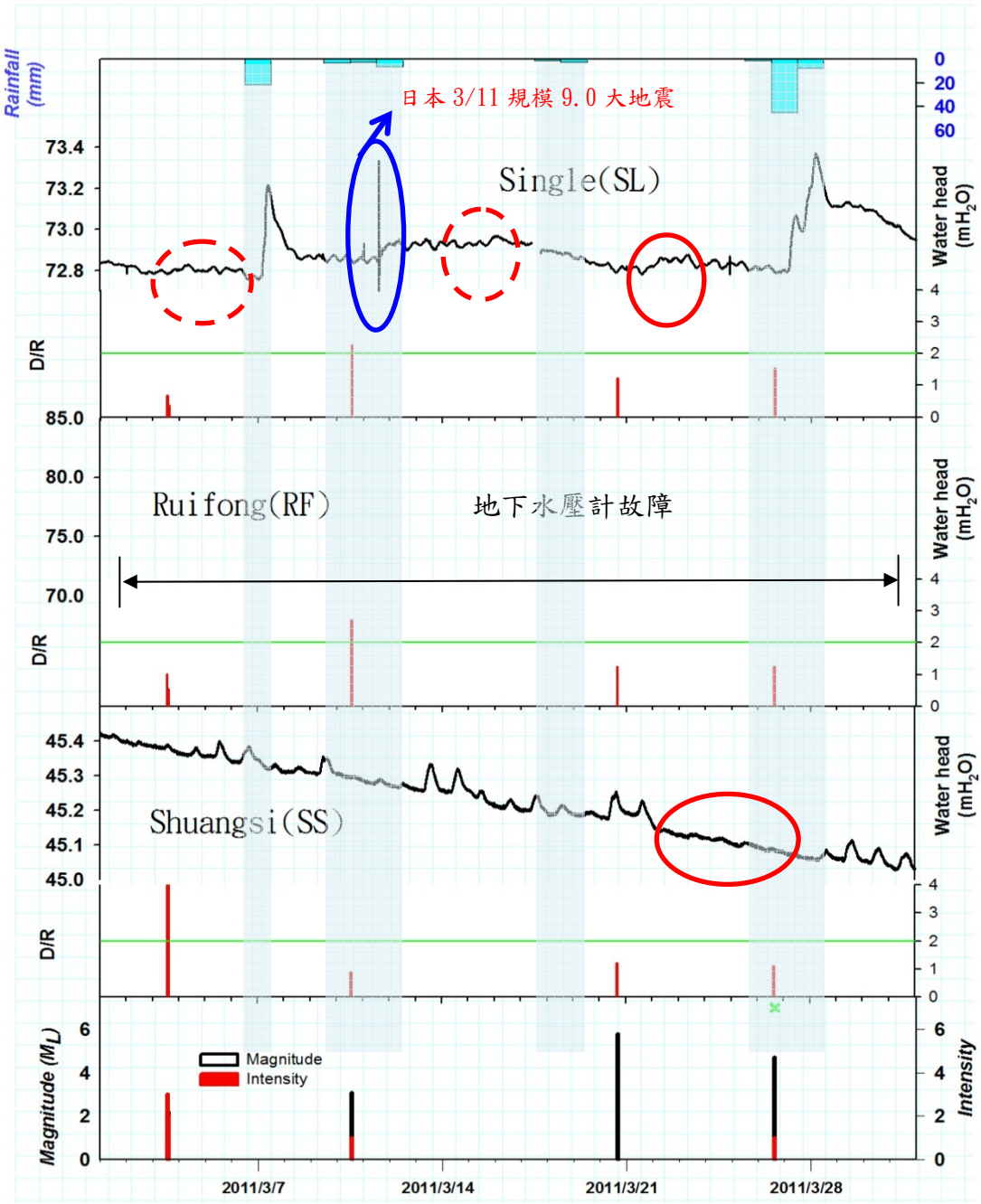
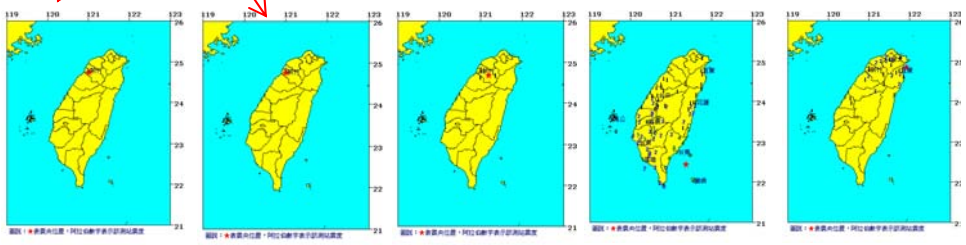


圖 6-22 新竹地區 2011 年 3 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。藍色圈為同震。



M_L =2.8　　M_L=2.2　　M_L=3.1　　M_L=5.8　　M_L=4.7

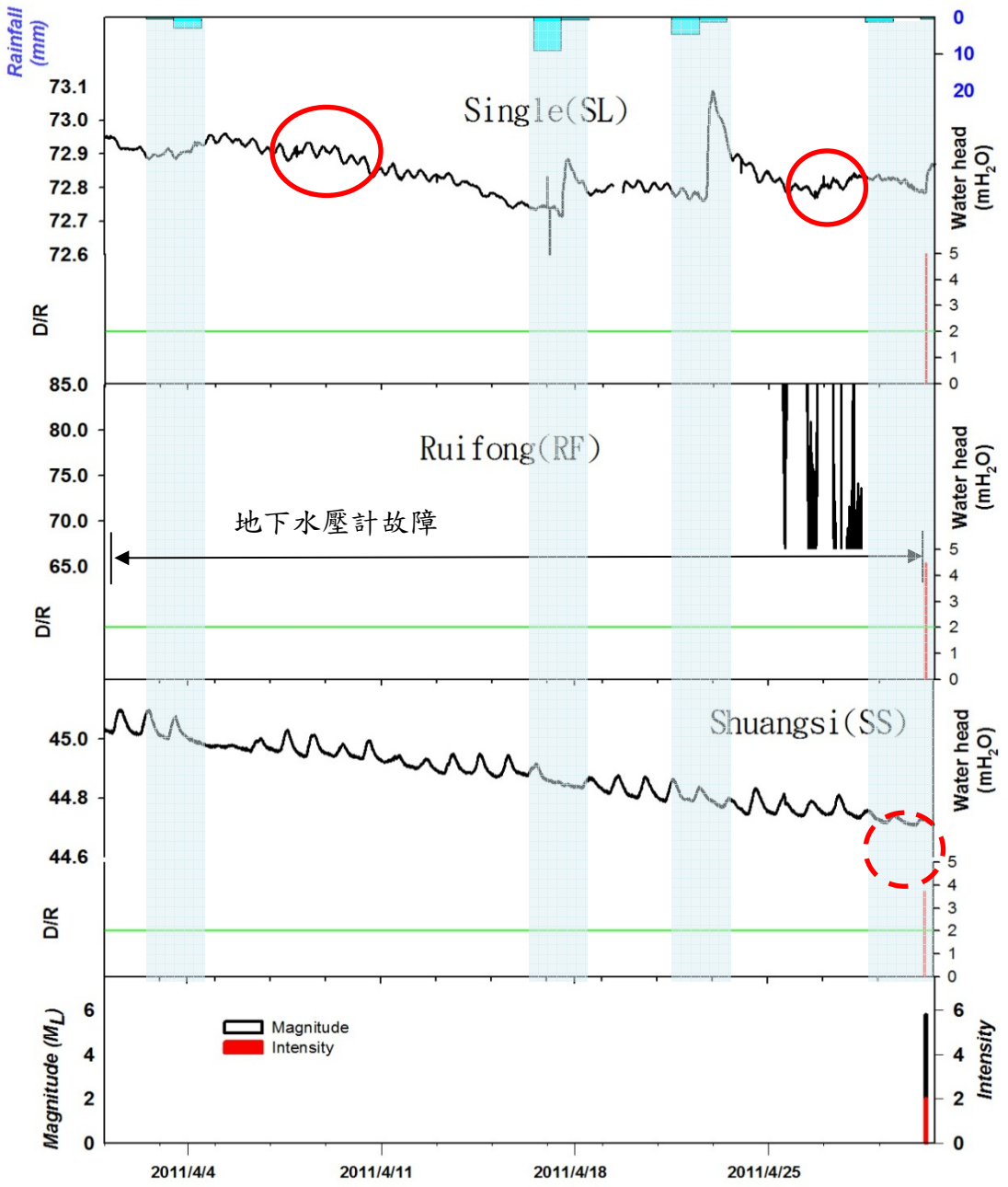
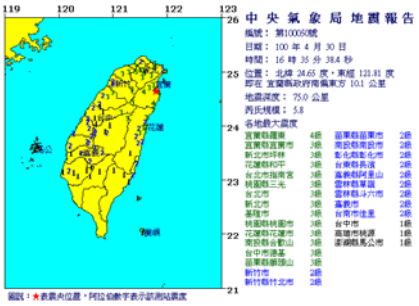


圖 6-23 新竹地區 2011 年 4 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



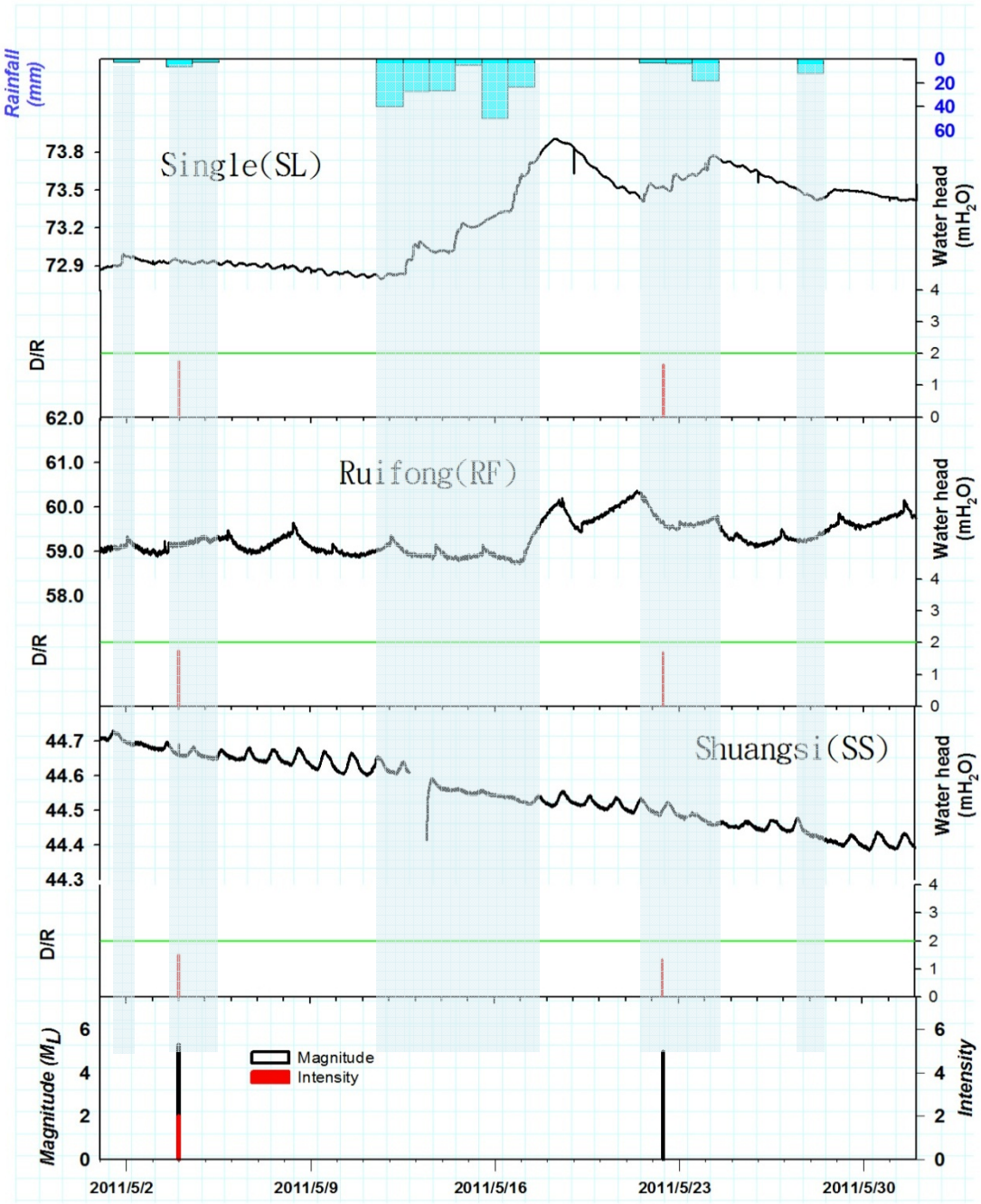
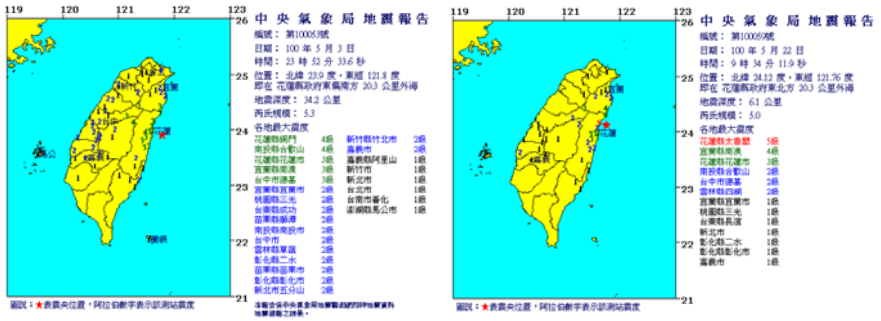


圖 6-24 新竹地區 2011 年 5 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。



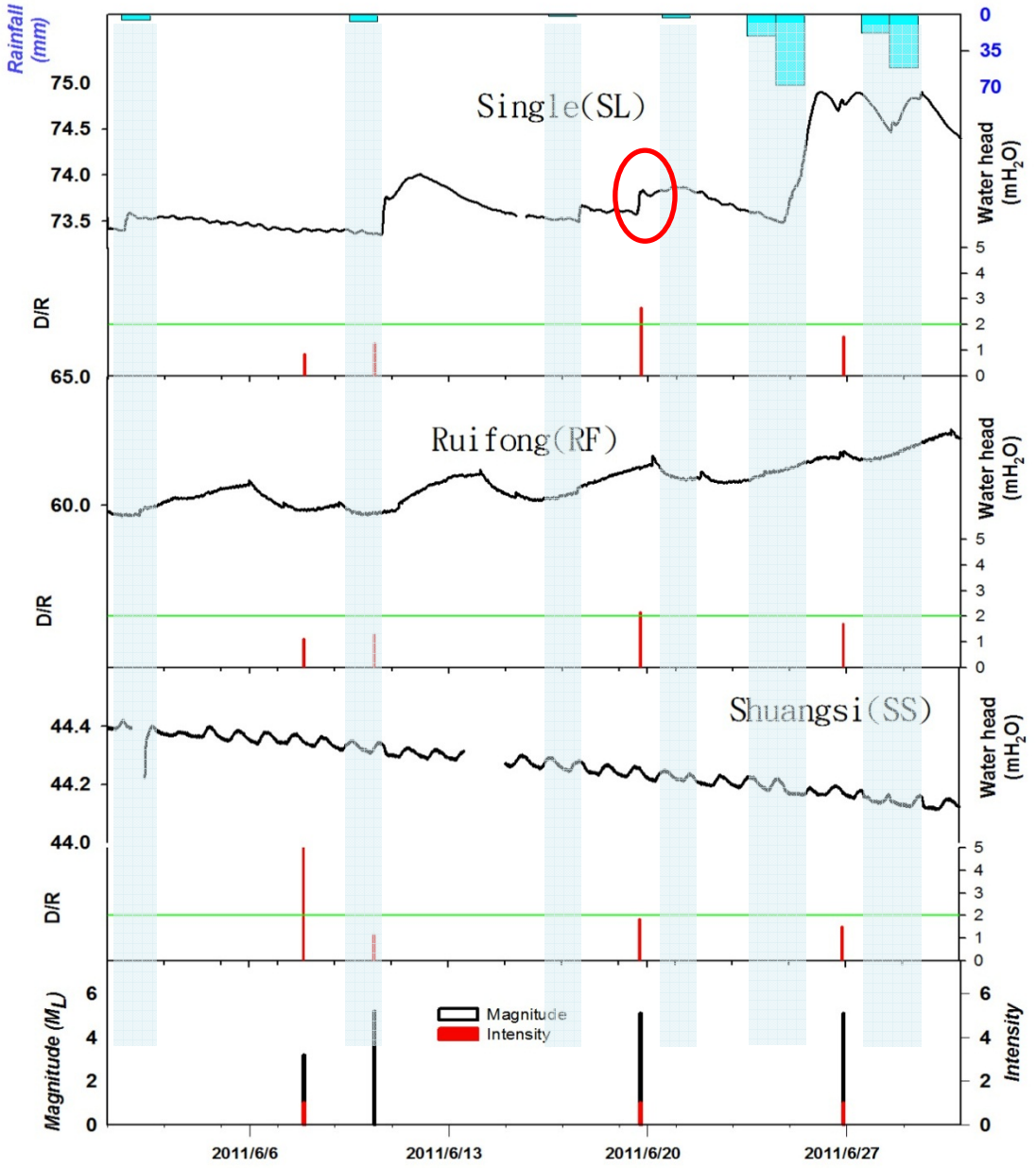
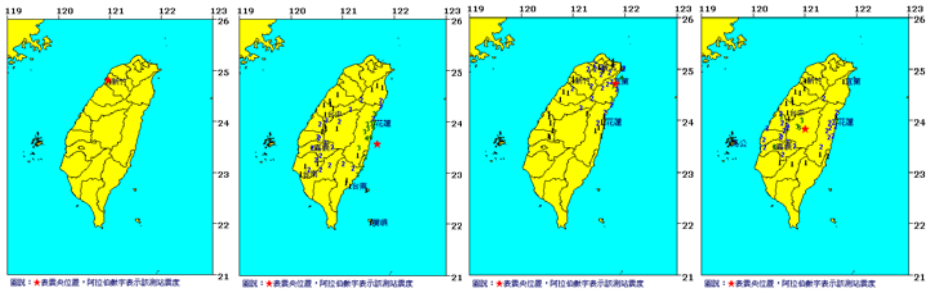


圖 6-25 新竹地區 2011 年 6 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨綜合之對比圖。紅色圈為震前水位異常。



M_L=3.2　　M_L=5.2　　M_L=5.1　　M_L=5.1

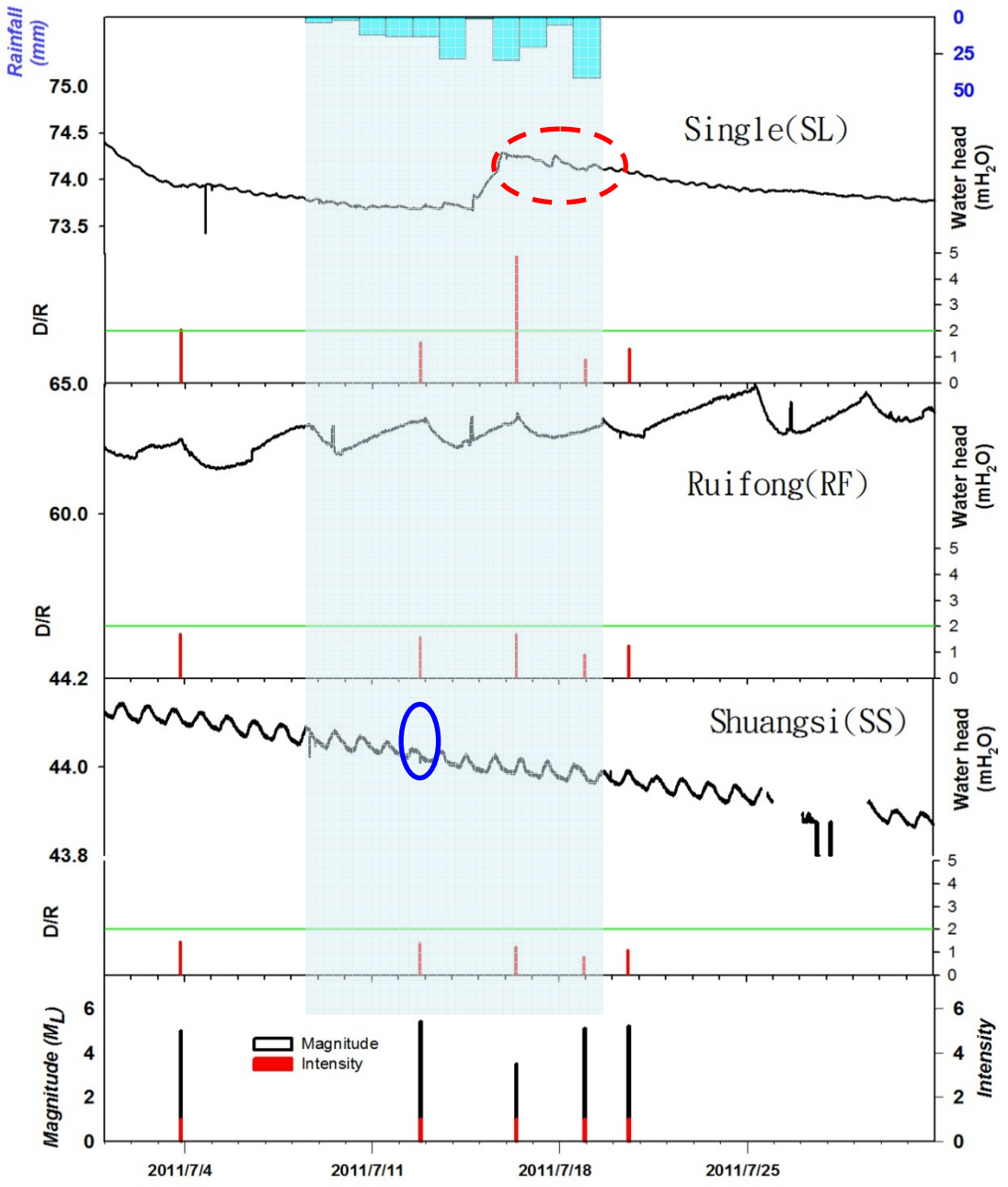
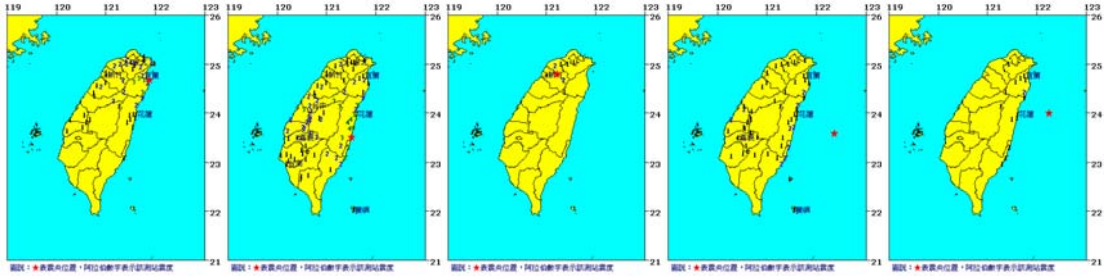


圖 6-26 新竹地區 2011 年 7 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨綜合之對比圖。藍色圈為同震，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



M_L=5　M_L=5.4　M_L=3.5　M_L=5.1　M_L=5.2

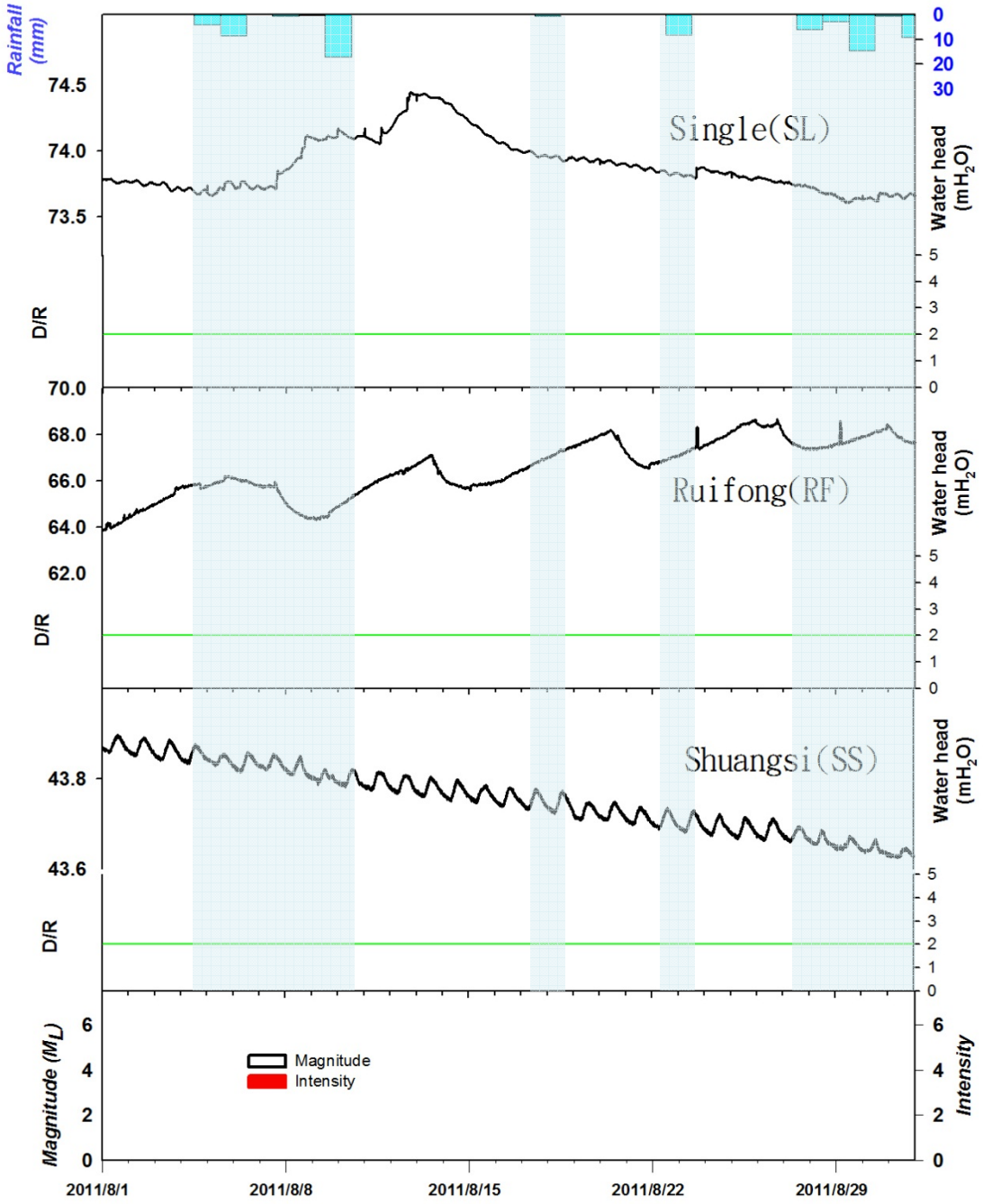


圖 6-27 新竹地區 2011 年 8 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨綜合之對比圖。

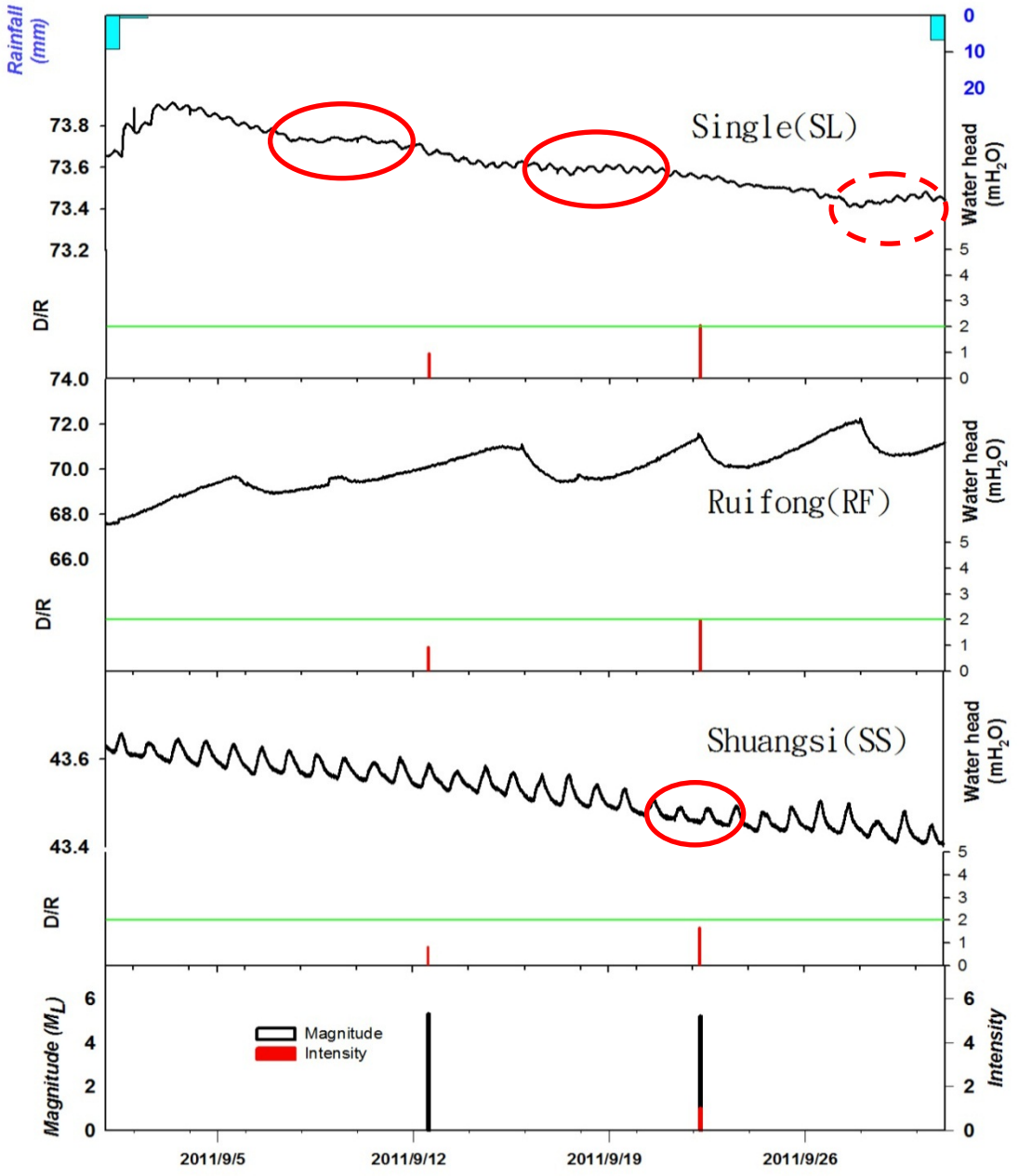
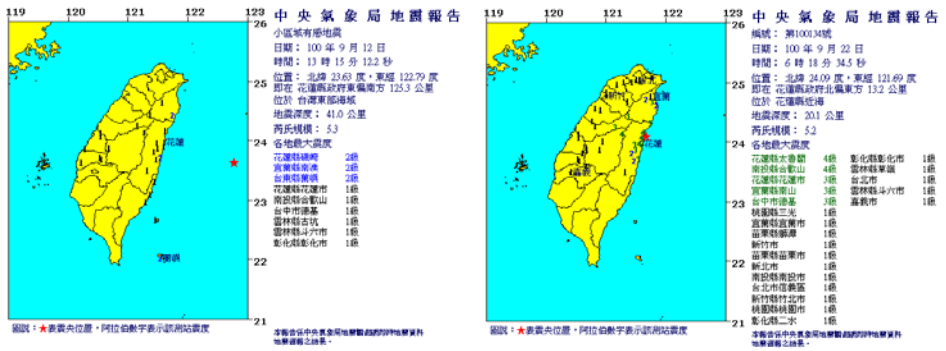


圖 6-28 新竹地區 2011 年 9 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨綜合之對比圖。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



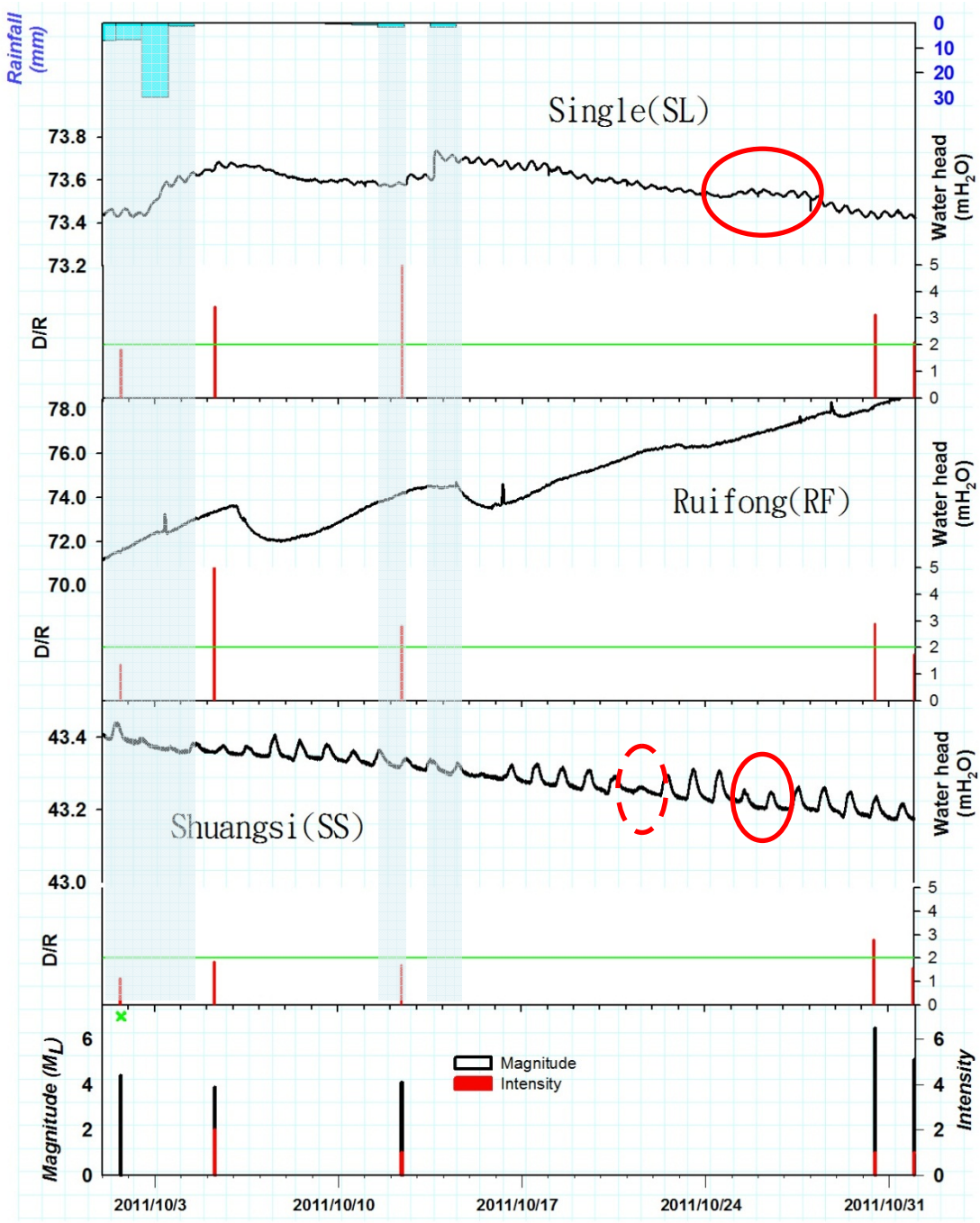
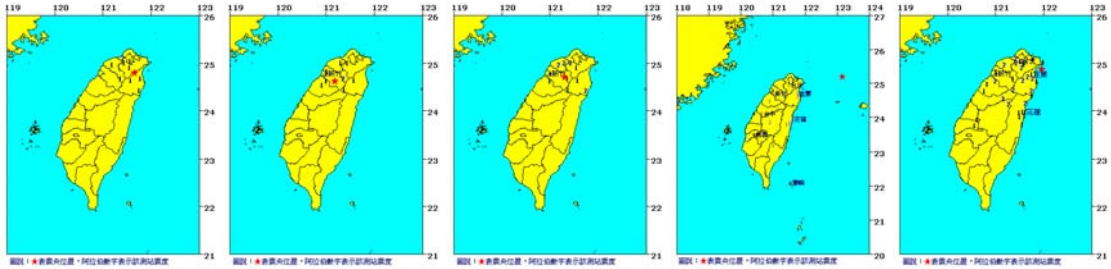


圖 6-29 新竹地區 2011 年 10 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨綜合之對比圖。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



M_L=4.4　M_L=3.9　M_L=4.1　M_L=6.5　M_L=5.1

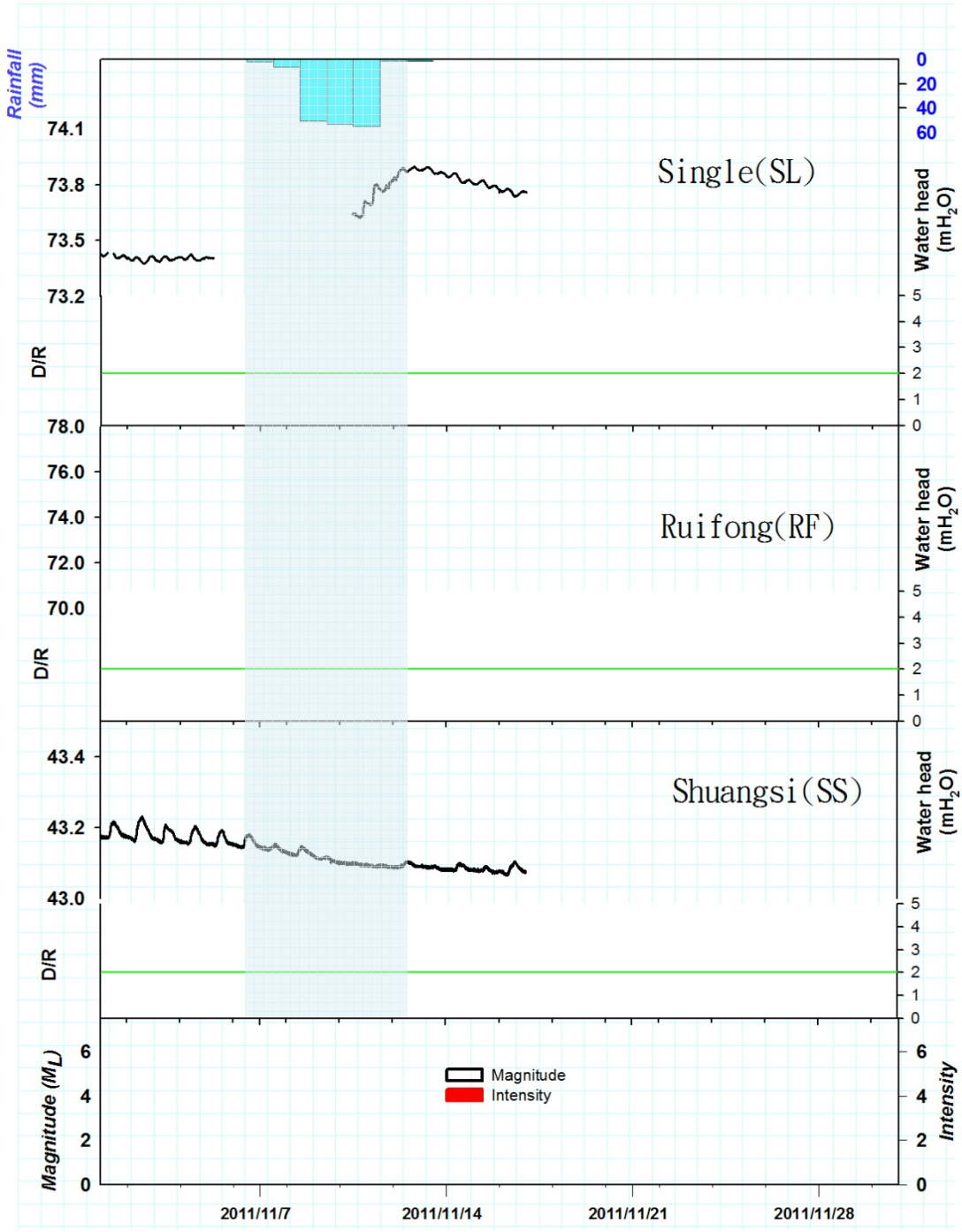


圖 6-30 新竹地區 2011 年 11 月新樂、瑞峰與雙溪觀測井水壓與地震及降雨綜合之對比圖。

6-3 嘉義地區地下水壓觀測結果

自2010年12月至2011年11月嘉義地區沄水國小、太興國小與達邦國小觀測井之地下水壓資料，中央氣象局嘉義站降雨資料（用作沄水與太興觀測站地下水壓之對比）與阿里山站降雨資料（用作達邦觀測站地下水壓之對比），再配合篩選地震資料繪圖（圖6-31至圖6-45）。各站點研判分析結果如下：

整體而言，嘉義三個觀測站中，太興觀測站之地下水位變化較大，自 2010 年 12 月以來逐漸下降，前半年的下降幅度達約 8 公尺，直到 2011 年 5 月雨季，連續豪大雨而回升，但自 6 月 1 日以後至今因水壓計故障無接收資料(圖 6-31)；沄水站則是所有觀測站中唯一不受雨量影響的觀測站，此特性利於觀測地震之前兆(圖 6-31)。沄水觀測站自 2010 年 6 月中旬以後，除了每日升降，時常出現大幅度驟降之異常，直到 2011 年 9 月以後又恢復平穩。

這段觀測期間，嘉義幾乎每月都發生數起小規模地震，而在震前沄水站地下水位對這些鄰近小地震都有劇烈的反應（圖6-31至圖6-45）。而達邦觀測站對於數起嘉義附近地區小規模地震亦有前兆反應。如2011年1月21日(圖6-35)、3月12日(圖6-37)、4月29日(圖6-38)、5月20日(圖6-39)、6月3日 、6月22日(圖6-40)等規模小於4之鄰近地震發生數天前，沄水與達邦皆出現異常現象。太興觀測站在今年度也和以往一樣，每年10月以後地下水位呈現持續下降情況，直至五月雨季開始，水位因降雨影響而回升(圖6-31)。今年度太興站出現兩次同震：分別是2011年3月11日發生於日本規模9.0之大地震與3月20台東外海規模5.8之地震(圖6-37)；三次震前水位異常：3月11日水位異常上升7公分(圖6-37)，達邦站同時也出現水位異常上升，但未確定是否是3月12日嘉義附近發生三起小規模地震之前兆，抑或是受到日本地震影響。4月10日太興站地下水位異常下降14公分，推測為4月11日發生於雲林、嘉義交界處規模3.7，嘉義震度1級，D/R值4.21之地震前兆(圖6-38)。5月17日水位異常上升12公分，推測為5月20日與21日嘉義鄰近地區發生兩起小規模地震之前兆(圖6-39)。2011年5月24至28日沄水站每日振盪的頻率增加(圖6-39)，可能受到6月3日發生於台東外海及雲林兩起地震影響，嘉義震度2級。

2011 年 6 月 3 日至 20 日，沄水站每日的振盪較以往為劇烈(圖 6-40)，尤其 6 月 4 日下降幅度達 121 公分，6 月 10 日下降幅度達 111 公分，不知是否與 6 月 10 日花蓮外海規模 5.2，嘉義震度 2 級之地震有關。6 月 26 日南投發生一起規模 5.1 地震，嘉義震度 3 級，沄水觀測站在 4 小時前出現水位驟降 112 公分，而達邦在 3 日前也出現降雨其水位卻下降之異常。同月 30 日高雄茂林發生一起規模 3.9 之局發地震，嘉義震度 1 級，沄水站於前一日出現驟降 132 公分之異常。7

月 18 日沄水站驟降 120 公分(圖 6-41)，7 月 18 日花蓮外海發生一起規模 5.1、嘉義震度 1 級之地震，7 月 18 日至 23 日高雄桃源發生數起小規模之局發地震，推測此異常與這些地震有關係。7 月 21 至 29 日達邦站缺少地下水位資料，7 月 26 至 28 日沄水水位紀錄器發生故障。7 月 30 日沄水水位異常驟降 126 公分，之後時間最接近的是 8 月 1 日發生於彰化的地震，規模僅 3.1，嘉義震度 1 級以下，並沒有在篩選條件內。8 月 4 日沄水站驟降 130 公分(圖 6-42)，可能是 8 月 7 日雲林古坑之局發地震影響。8 月 7 日晚間 10 時 30 分南投草屯發生一起規模 3.6 之局發地震，嘉義震度 1 級，沄水站在 9 小時前發生驟降 165 公分之異常，水位驟降後，不僅發生此地震，8 月 11 日、12 日台灣東部海域發生 2 起規模 4.5 及 4.8 地震，嘉義震度 1 級。

同年 8 月 16 日嘉義發生兩起篩選地震，而沄水站前 1 日出現水位異常驟降 92 公分。8 月下旬雖無符合篩選條件之地震，但沄水站於 8 月 17 日驟降 102 公分，8 月 20、22、26 也有異常下降約 50 公分，不知道是否與 8 月 25 日台灣東部海域、8 月 31 日台灣南部海域這兩起地震有關，但這兩起地震規模皆小於 5，且嘉義震度不達 1 級，並未符合篩選條件。

沄水觀測站自 2010 年 6 月中旬以後，除了每日升降，時常出現驟降之異常，為了釐清此水位驟降是否是實際水位升降，於2011年5月23日安裝第二水壓計。第二水壓計數值自 2011 年 9 月以後持續緩升(圖 6-46)，巧合的是，第一水壓計自 9 月 4 日以後至今水位就沒有出現大幅度驟降的情況，即使發生了許多在過去震前易出現驟降異常的地震。這之間是否有關聯仍在觀察評估中。

表 6-3 嘉義篩選地震列表（灰階為不在篩選條件內，但地下水位出現異常的地震，黃色為震央距>200㎞）

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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		

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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	
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		
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	

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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	有	5 日前上升 28cm	5	11.05	yes	
45	2009/11/22 1:27	5	1	121.76	24.22	66.9	花蓮秀林地震站東北方 22.4 公里			137	1.03		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 1
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 2
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 3
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	
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		
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		

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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	11.25	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	10.04	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 1
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 2
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	
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		

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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		
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		
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	121.77	24.08	17.1	高雄甲仙地震站南偏東方 15.5 公里			130	0.81				125	0.84		有	1 日前下降33cm	148	0.71		
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		

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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		
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		*DB 2010/11/22~2011/1/7 缺資料
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，依序爲 55cm、93cm	22	2.43	yes	

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
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		
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		*YS 2/16~12/20 缺資料
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		*YS 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 120cm	253	0.91		
120	2011/2/26 18:23	3.7	2	120.73	23.58	20.2	嘉義縣政府東偏北方 46.6 公里			11	3.67	yes			14	2.75	yes	有	7 日前驟降 123cm	30	1.30		
121	2011/3/6 6:16	3.6	1	121.04	23.35	4.9	花蓮縣政府西南方 91.8 公里			47	0.76				32	1.11		有	7 日前驟降 87cm	52	0.68		
122	2011/3/12 9:13	3.5	2	120.63	23.58	11	嘉義縣政府東偏北方 36.6 公里	疑似	1 日前上升 7cm	4	7.66	yes	疑似	1 日前上升 8cm	19	1.72		有	5 日前驟降 110cm	24	1.32		
123	2011/3/12 21:13	3.7	2	120.73	23.6	19.3	嘉義縣政府東偏北方 47.6 公里	疑似	1 日前上升 7cm	12	3.34	yes	疑似	1 日前上升 8cm	16	2.38	yes	有	5 日前驟降 110cm	32	1.23		

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
124	2011/3/12 22:20	3.7	2	120.73	23.59	20.2	嘉義縣政府東偏北方 46.6 公里	疑似	1 日前上升 7cm	11	3.51	yes	疑似	1 日前上升 8cm	15	2.55	yes	有	5 日前驟降 110cm	31	1.27		
125	2011/3/14 21:15	3.4	1	120.5	23.45	10.3	嘉義縣政府東方 21.0 公里			17	1.69				25	1.14		有	1 日前驟降 38cm	8	3.53	yes	
126	2011/3/16 21:12	4.7	1	120.68	22.56	34.9	屏東縣政府東南方 24.2 公里			109	0.96				99	1.06		有	0.5~1 日前驟降 87cm	92	1.14		疑
127	2011/3/17 0:43	3.5	2	120.34	23.47	7.4	嘉義縣政府東方 4.8 公里			31	1.03				42	0.76		有	1 日前驟降 50cm	22	1.47		疑
128	2011/3/17 12:43	3.7	2	120.29	23.47	8	嘉義縣政府北方 1.6 公里			36	1.08				47	0.83		有	1 日前驟降 50cm	26	1.47		疑
129	2011/3/20 13:19	3.7	1	120.61	23.59	15.1	雲林縣政府東南方 15.1 公里			6	6.71	yes			21	1.88		有	3 日前驟降 32cm	24	1.59		
130	2011/3/20 16:00	5.8	3	121.38	22.44	27.5	台東縣政府東南方 41.9 公里外海		同震，上升 3cm	144	2.17	yes		降雨期水位反降	130	2.41	yes	有	3 日前驟降 32cm	136	2.30	yes	
131	2011/3/30 12:22	4.7	1	121.48	23.94	19.2	花蓮縣政府西南方 15.6 公里			97	1.08				92	1.14		有	2011/3/25 -110cm 2011/3/27 -110cm 2011/3/29 -94cm & -71cm	115	0.91		
132	2011/4/4 18:56	2.8	1	120.49	23.43	6	嘉義縣政府東方 27.1 公里			19	0.83				27	0.60			2011/3/25 -110cm 2011/3/27 -110cm 2011/3/29 -94cm & -71cm	7	2.36	yes	疑
133	2011/4/5 20:45	2.7	1	120.51	23.49	12.1	嘉義縣政府東方 24.1 公里			14	1.04				25	0.58		有	1 日前驟降 87cm	12	1.19		
134	2011/4/11 4:44	3.7	1	120.7	23.6	14.8	雲林縣政府東偏南方 21.3 公里	有	1 日前下降 14cm 再回升	9	4.21	yes			17	2.29	yes	有	4 日前驟降 23cm	30	1.31		
135	2011/4/24 21:42	3	1	120.56	23.64	5.4	雲林縣政府南偏東方 7.6 公里			13	1.48				28	0.69		有	5 日前驟降 70cm	29	0.68		

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
136	2011/4/26 6:38	2.6	2	120.38	23.49	8.7	嘉義縣政府東偏北方 9.7 公里			27	0.49				38	0.35				20	0.67		
137	2011/4/29 11:38	3.2	0	120.69	23.64	14.7	南投縣政府南方 29.1 公里			12	1.95		有	2 日前上升 2cm	22	1.10		有	2 日前驟降 110cm	33	0.72		
138	2011/4/29 21:12	5.9	2	122.07	21.35	178.1	台東縣政府南偏東方 182.5 公里外海			284	1.21		有	2 日前上升 2cm	270	1.28		有	7 小時前驟降 69cm	275	1.25		
139	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			171	1.82				171	1.82		有	1 日前驟降 69cm	192	1.63		疑
140	2011/5/2 0:54	3.3	4	120.6	23.31	17	嘉義縣政府東偏南方 35.6 公里			26	1.01				22	1.19		有	1 日前驟降 80cm	11	2.47	yes	
141	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				111	1.71		有	7 小時前驟降 46cm	135	1.41		
142	2011/5/7 5:31	4.7	1	121.46	23.18	22.8	台東縣政府東北方 57.2 公里外海			93	1.12				79	1.33		有	2 日前驟降 68cm	98	1.07		
143	2011/5/8 7:32	4.2	3	120.5	23.39	8	嘉義縣政府東偏南方 22.7 公里			22	2.94	yes			26	2.42	yes	有	1 日前驟降 20cm	3	19.65	yes	
144	2011/5/10 6:06	3.1	1	120.45	23.54	12.2	嘉義縣政府東偏北方 17.9 公里			19	1.15				32	0.67		有	1 日前驟降 57cm	19	1.11		
145	2011/5/13 21:20	3.6	2	120.44	23.53	11.4	嘉義縣政府東偏北方 17.4 公里			20	1.78				33	1.08		有	1 日前驟降 54cm	19	1.87		
146	2011/5/20 8:17	3.4	0	120.6	23.65	12.2	雲林縣政府東偏南方 9.1 公里	有	3~4 日前上升 12cm	12	2.34	yes	有	3~4 日前下降 3cm	27	1.09		有	4 日前驟降 123cm	31	0.95		
147	2011/5/21 8:34	3.5	1	120.71	23.59	19	嘉義市政府東偏北方 28.5 公里			9	3.42	yes			16	2.04	yes	有	1 日前驟降 105cm	29	1.08		
148	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			131	1.08				127	1.11				150	0.94		
149	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		
150	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	6 日前下降 4cm	145	1.18				149	1.15		疑 *TS 6/1~11/15 缺資料
151	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		
152	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		

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
153	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	
154	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		
155	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	
156	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		
157	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		
158	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		
159	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
160	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
161	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
162	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
163	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
164	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
165	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 *DB 7/20~7/25 缺資料
166	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 *DB 7/20~7/25 缺資料
167	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

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
168	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
169	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		
170	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
171	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
172	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
173	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		
174	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
175	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
176	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
177	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	
178	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		
179	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		
180	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		
181	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		
182	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	
183	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	
184	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			7	4.14	yes			20	1.47				16	1.83		

編號	西元時間	規模	震度	E	N	深度(km)	詳細資料	太興前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	達邦前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	沄水前兆	地下水壓異常	距測站(km)	D/R	D/R>2	其他備註
185	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		
186	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		
187	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
188	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
189	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
190	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	
191	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		疑	1 日前先下降再上升 7cm	26	2.02	yes	疑
192	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)			319	1.60				317	1.62		疑	3 日前先下降再上升 7cm	339	1.51		疑
193	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		
194	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		
195	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	
196	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				18	1.58		疑	3 日前上升 6cm	15	1.92		疑

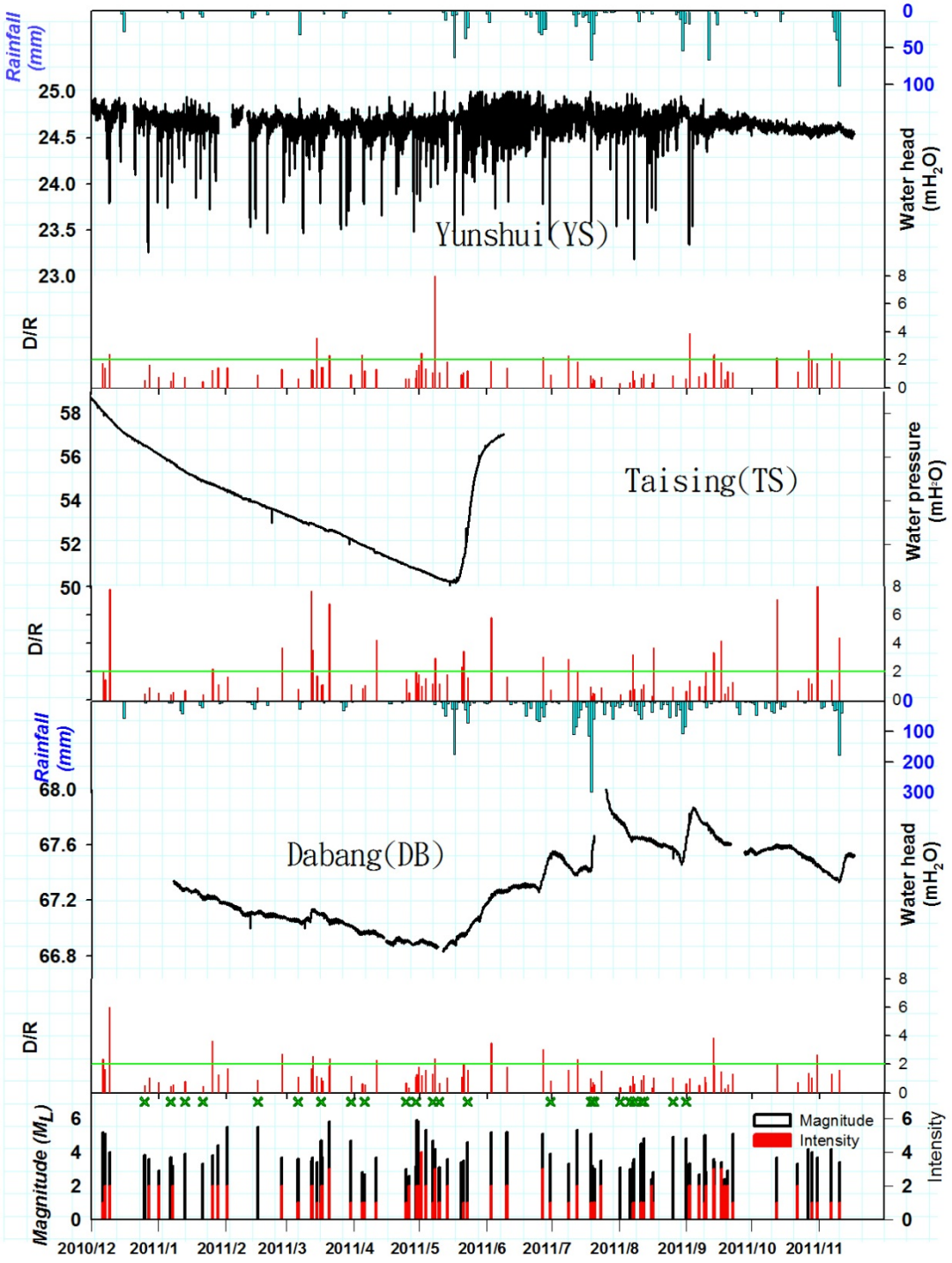


圖 6-31 嘉義地區 2010 年 12 月至 2011 年 11 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。圖中紅線為地震活動對比之標示，藍色線條表示降雨量。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。

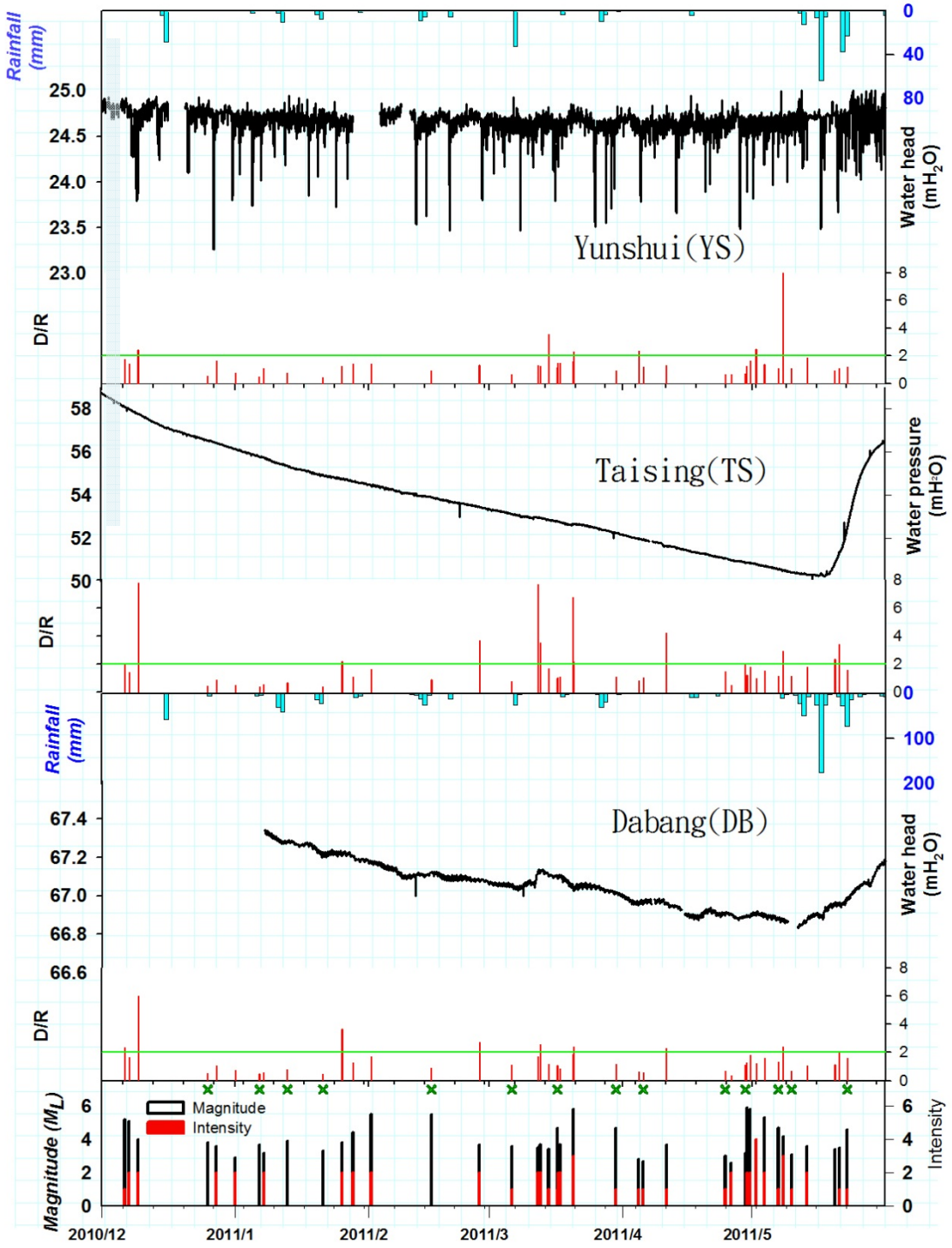


圖 6-32 嘉義地區 2010 年 12 月至 2011 年 5 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。

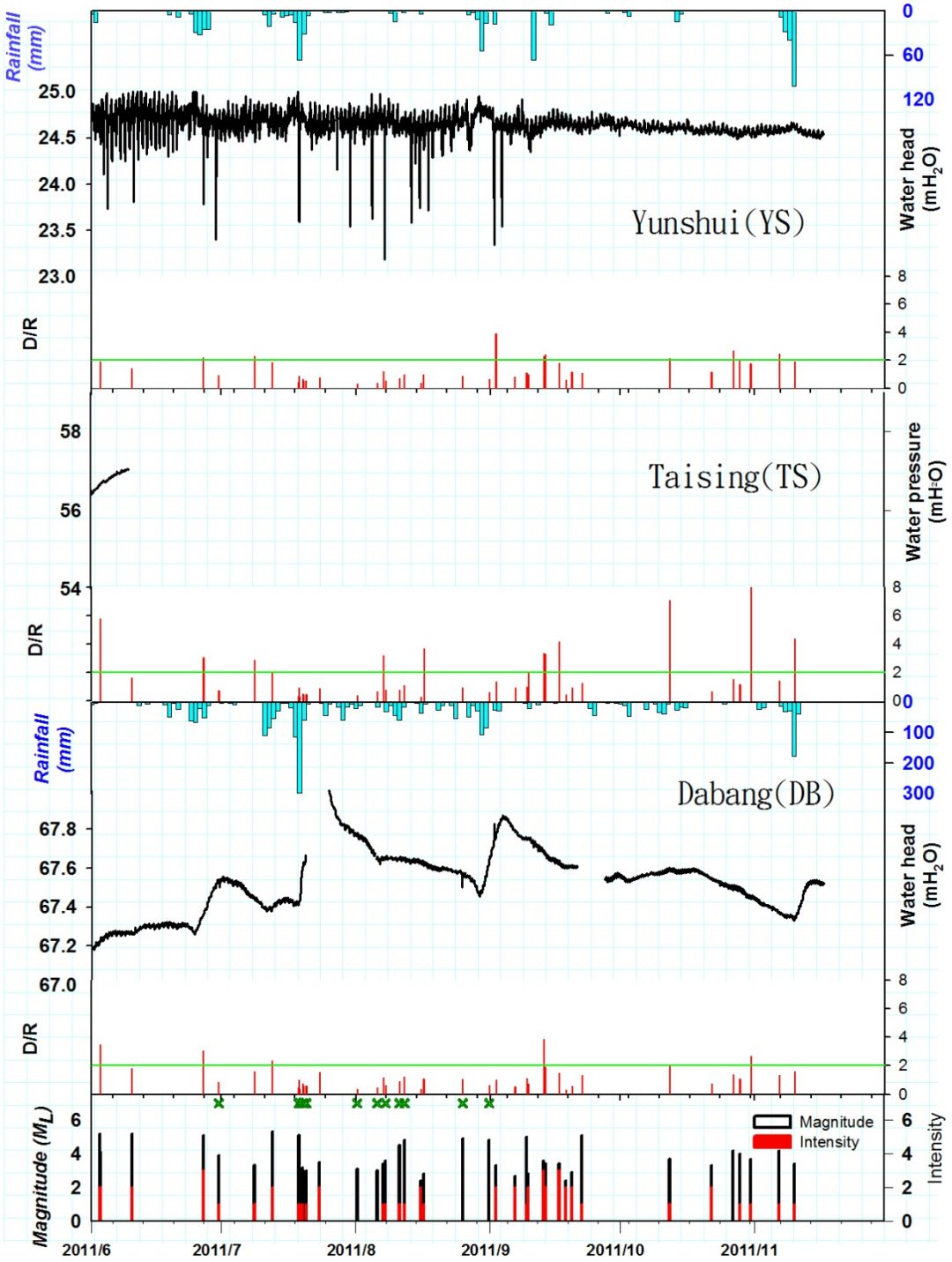


圖 6-33 嘉義地區 2011 年 6 月至 2011 年 11 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。

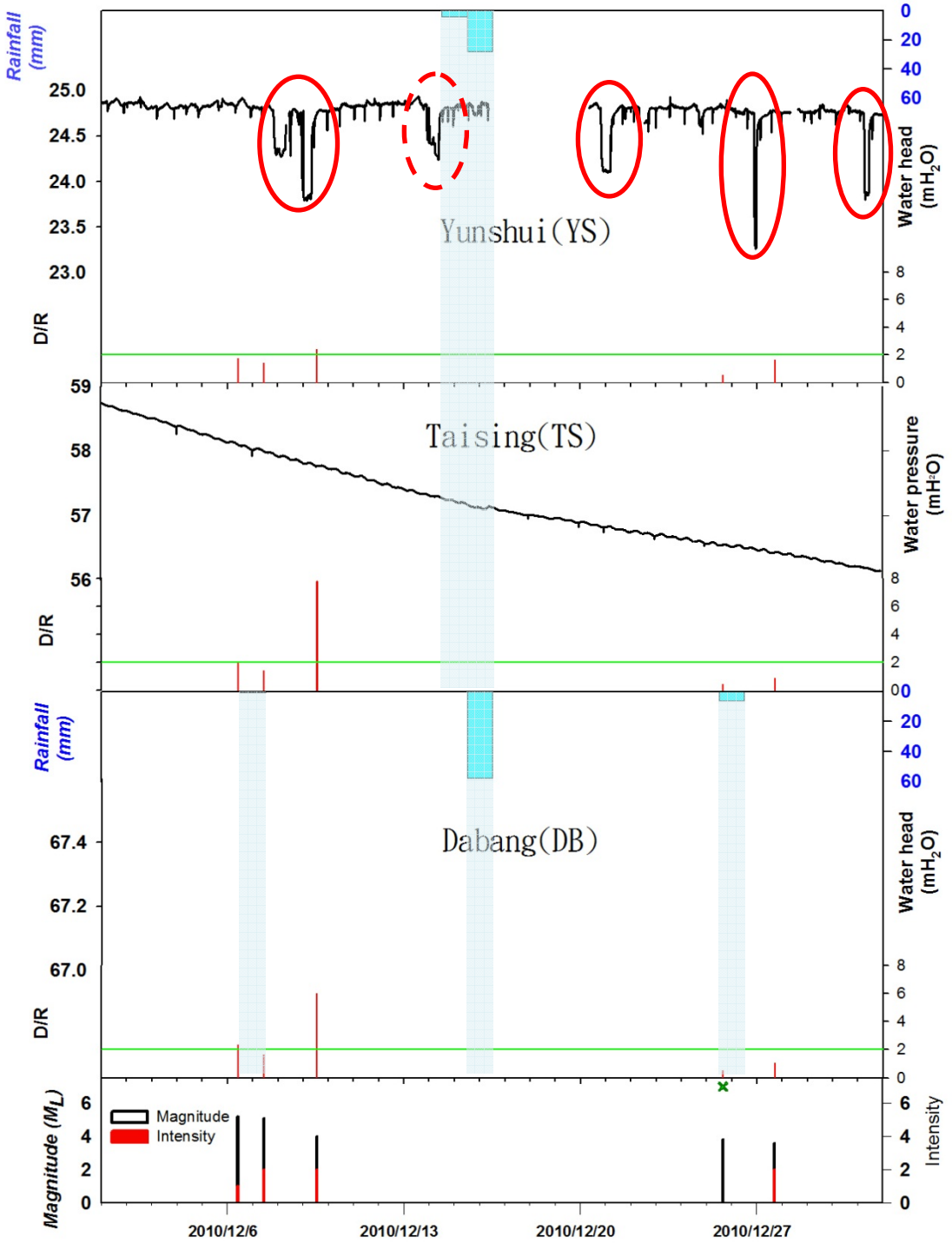
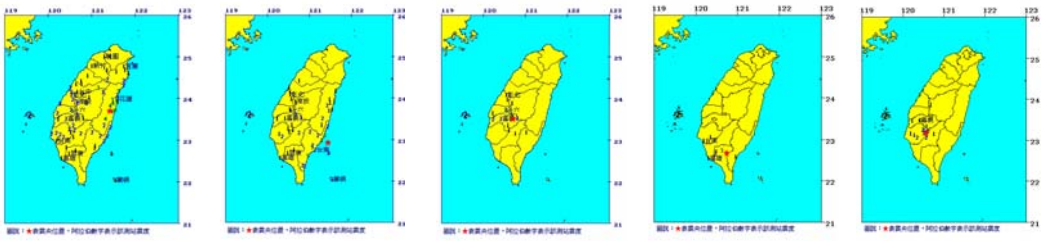


圖 6-34 嘉義地區 2010 年 12 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



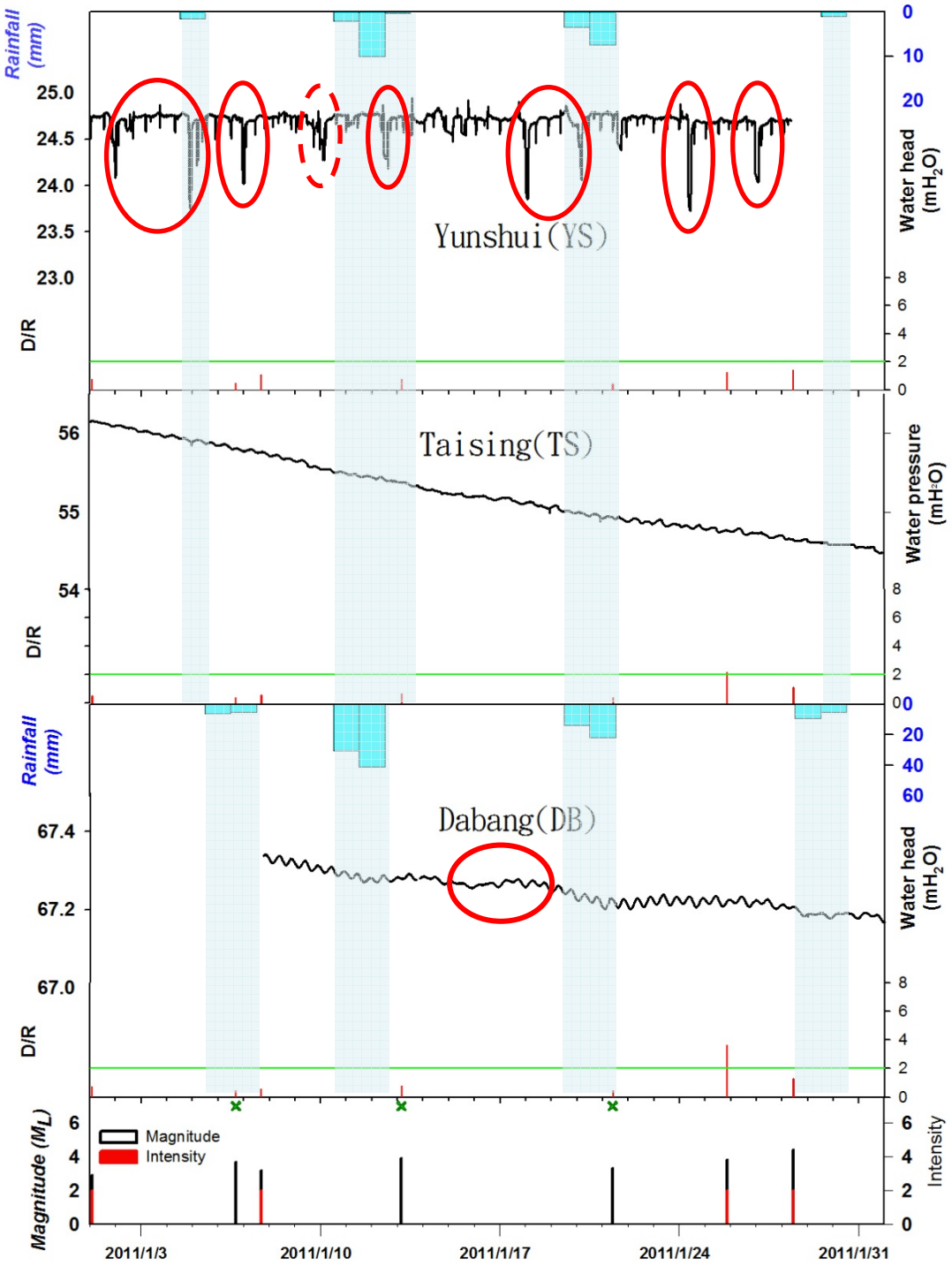
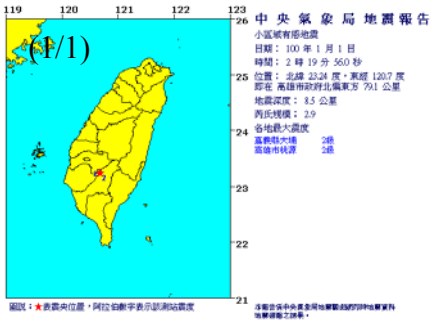
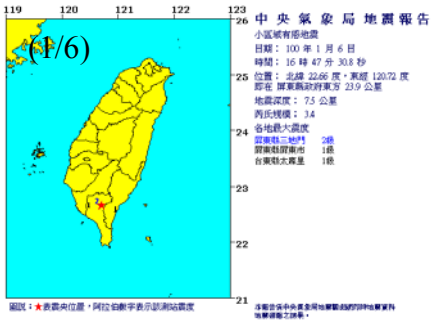
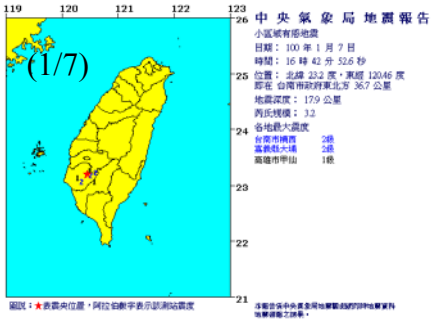
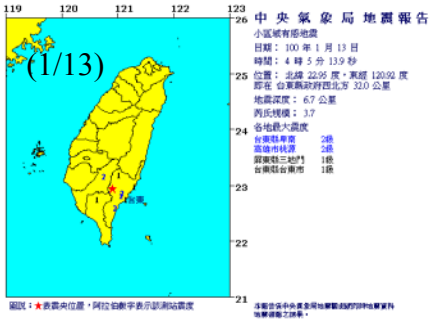


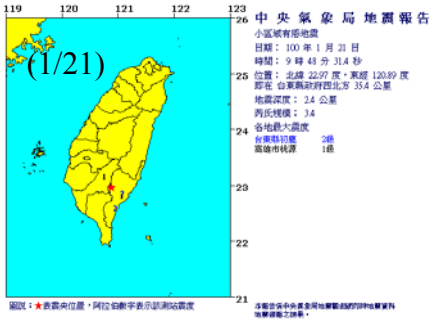
圖 6-35 嘉義地區 2011 年 1 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。

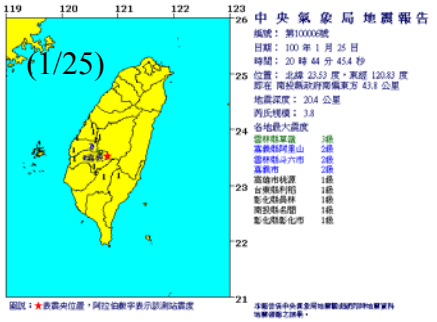

(1/1)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 1 月 1 日
時間： 2 時 19 分 56.0 秒
位置： 北緯 23.24 度，東經 120.7 度
即在 南投市政府北偏東方 79.1 公里
地震深度： 8.5 公里
芮氏規模： 2.9
各地最大震度
嘉義縣大埔 2級
高雄市桃源 2級

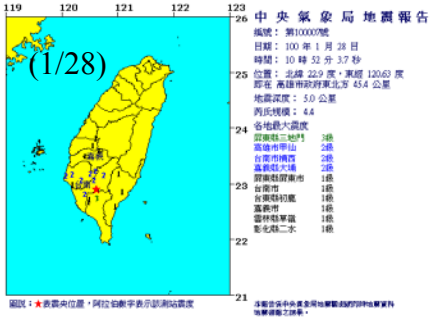

(1/6)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 1 月 6 日
時間： 16 時 47 分 30.8 秒
位置： 北緯 22.66 度，東經 120.72 度
即在 屏東縣政府東方 23.9 公里
地震深度： 7.5 公里
芮氏規模： 3.4
各地最大震度
屏東縣三地門 2級
屏東縣屏東市 1級
台東縣太麻里 1級


(1/7)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 1 月 7 日
時間： 16 時 42 分 52.6 秒
位置： 北緯 23.2 度，東經 120.46 度
即在 台南市政府東北方 36.7 公里
地震深度： 17.9 公里
芮氏規模： 3.2
各地最大震度
台南市楠西 2級
嘉義縣大埔 2級
高雄市甲仙 1級


(1/13)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 1 月 13 日
時間： 4 時 5 分 13.9 秒
位置： 北緯 22.95 度，東經 120.92 度
即在 台東縣政府西北方 32.0 公里
地震深度： 6.7 公里
芮氏規模： 3.7
各地最大震度
台東縣卑南 2級
高雄市桃源 2級
屏東縣三地門 1級
台東縣台東市 1級


(1/21)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 1 月 21 日
時間： 9 時 48 分 31.4 秒
位置： 北緯 22.97 度，東經 120.89 度
即在 台東縣政府西北方 35.4 公里
地震深度： 2.4 公里
芮氏規模： 3.4
各地最大震度
台東縣初鹿 2級
高雄市桃源 1級


(1/25)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100006號
日期： 100 年 1 月 25 日
時間： 20 時 44 分 45.4 秒
位置： 北緯 23.53 度，東經 120.83 度
即在 南投縣政府南偏東方 43.8 公里
地震深度： 20.4 公里
芮氏規模： 3.8
各地最大震度
雲林縣草嶺 3級
嘉義縣阿里山 2級
雲林縣斗六市 2級
嘉義市 2級
高雄市桃源 1級
台東縣利稻 1級
彰化縣員林 1級
南投縣名間 1級
彰化縣彰化市 1級


(1/28)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100007號
日期： 100 年 1 月 28 日
時間： 10 時 52 分 3.7 秒
位置： 北緯 22.9 度，東經 120.63 度
即在 高雄市政府東北方 45.4 公里
地震深度： 5.0 公里
芮氏規模： 4.4
各地最大震度
屏東縣三地門 3級
高雄市甲仙 2級
台南市楠西 2級
嘉義縣大埔 2級
屏東縣屏東市 1級
台南市 1級
台東縣初鹿 1級
嘉義市 1級
雲林縣草嶺 1級
彰化縣二水 1級

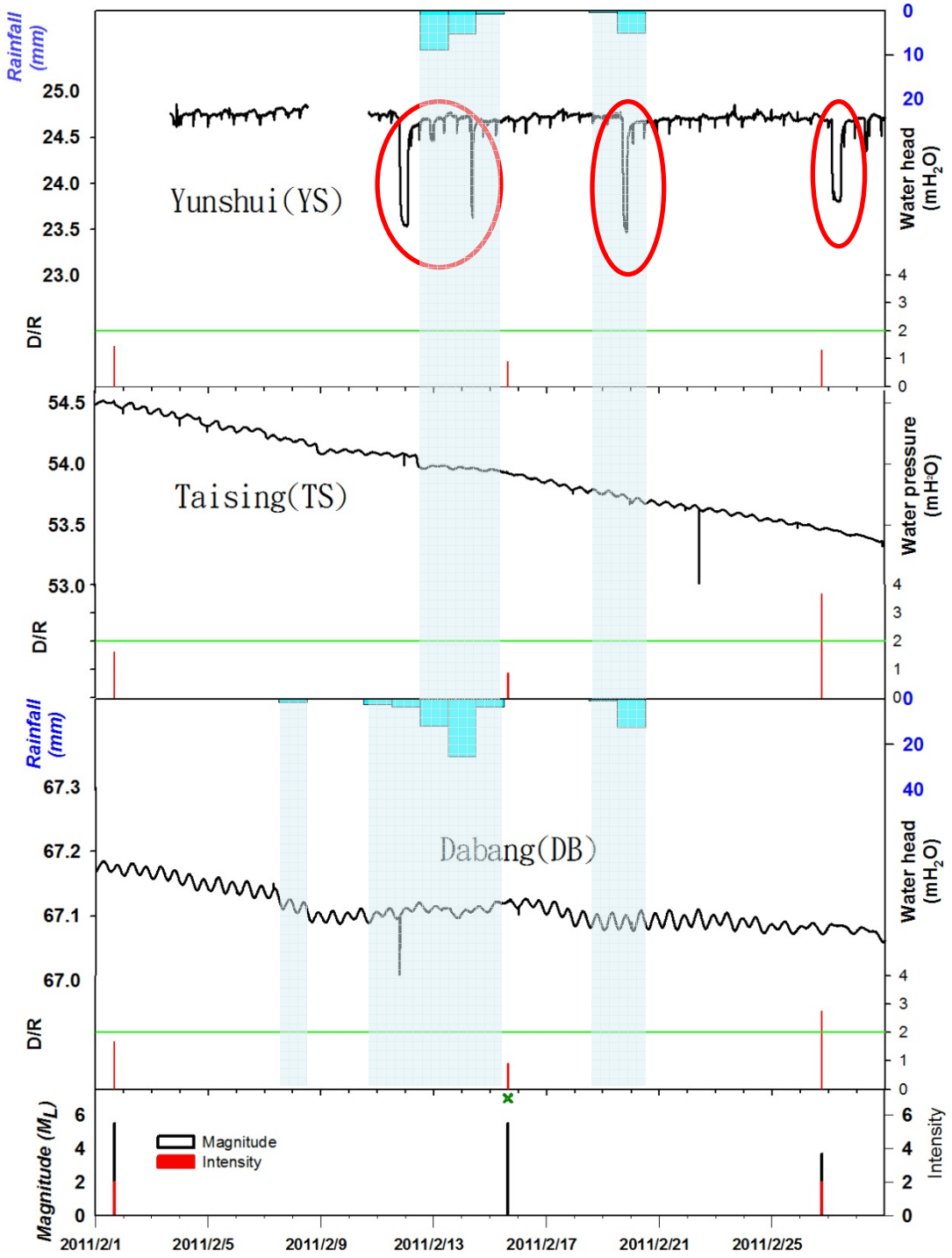
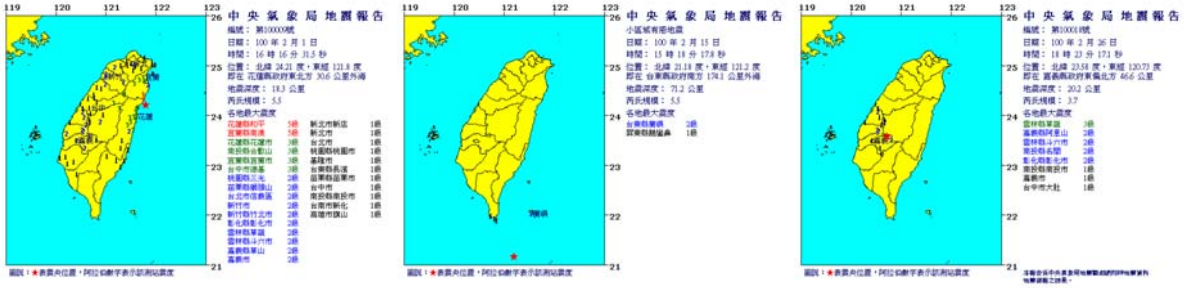


圖 6-36 嘉義地區 2011 年 2 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。紅色圈為震前水位異常。



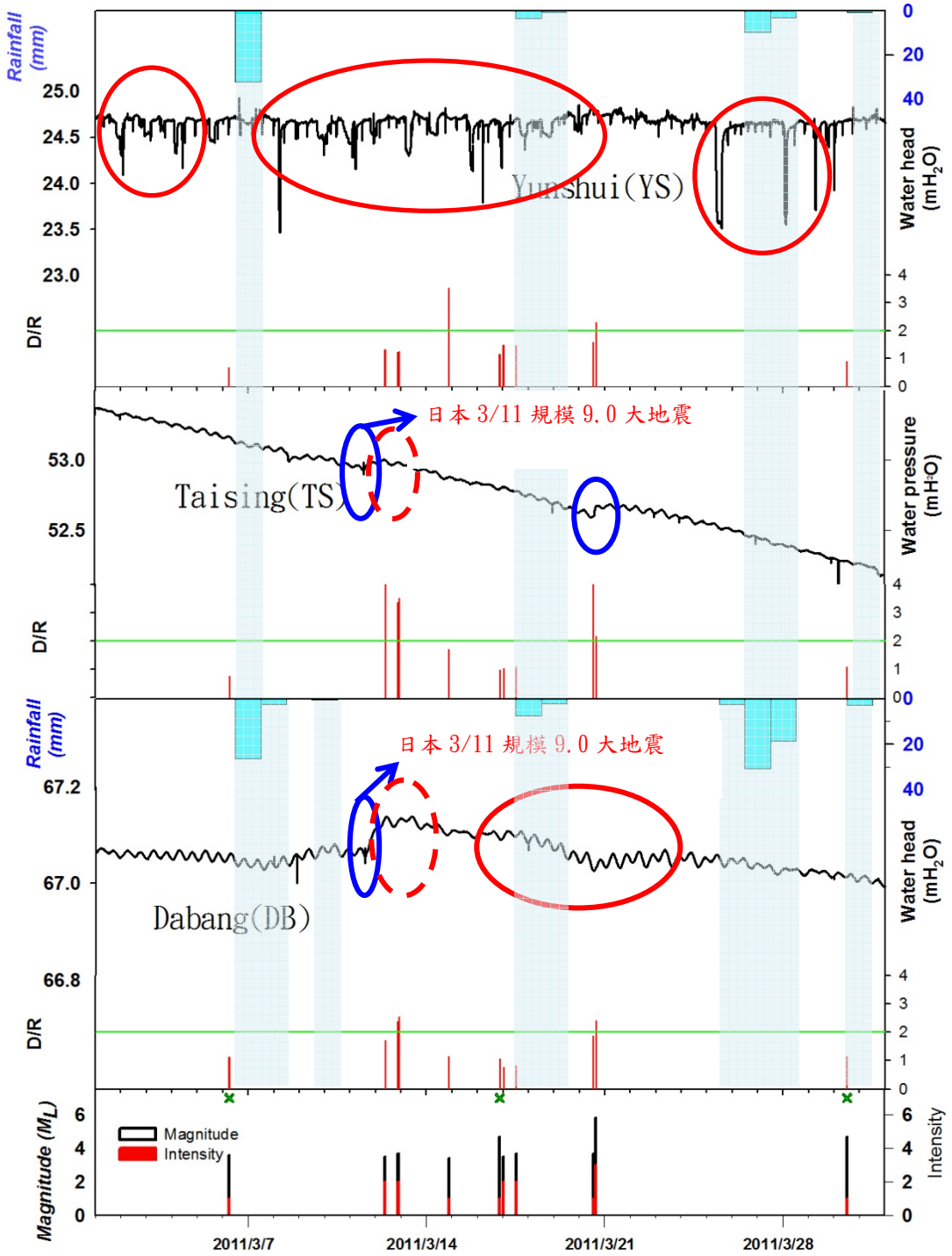
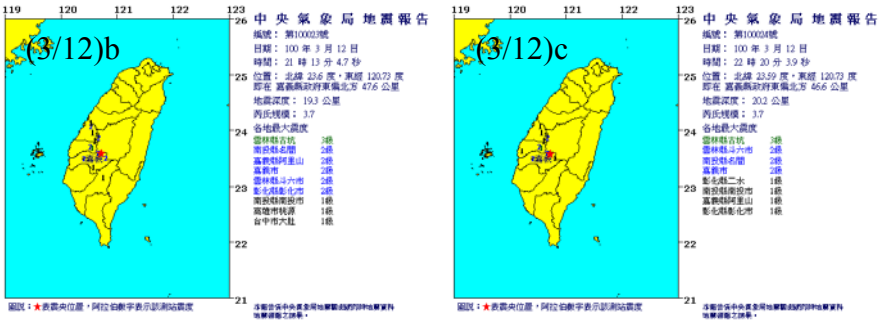
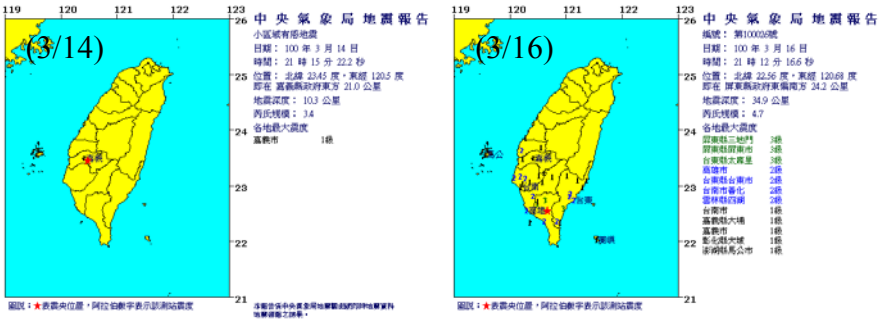


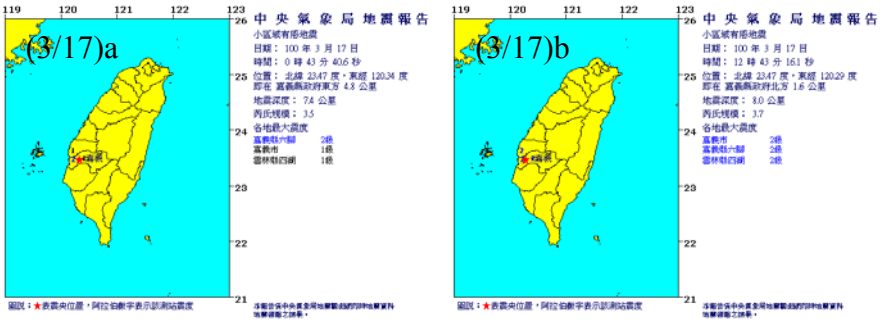
圖 6-37 嘉義地區 2011 年 3 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。藍色圈為同震，紅色圈為震前水位異常。

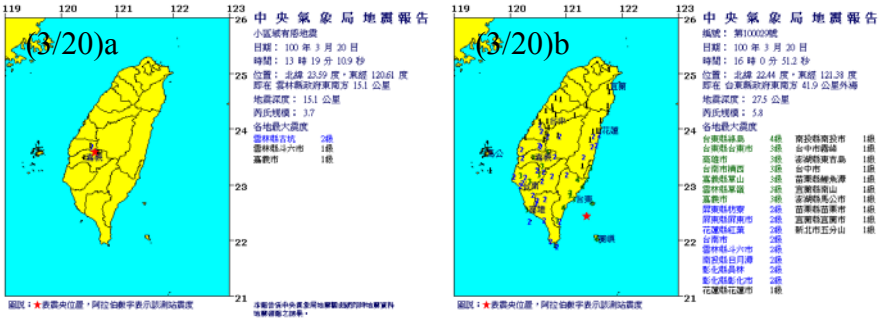


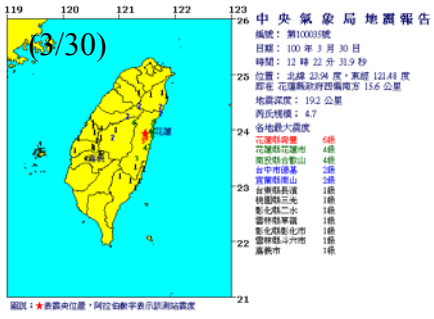



(3/12)b
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
(3/12)c
中 央 氣 象 局 地 震 報 告


(3/14)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
(3/16)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告


(3/17)a
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
(3/17)b
中 央 氣 象 局 地 震 報 告


(3/20)a
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
(3/20)b
中 央 氣 象 局 地 震 報 告


(3/30)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告

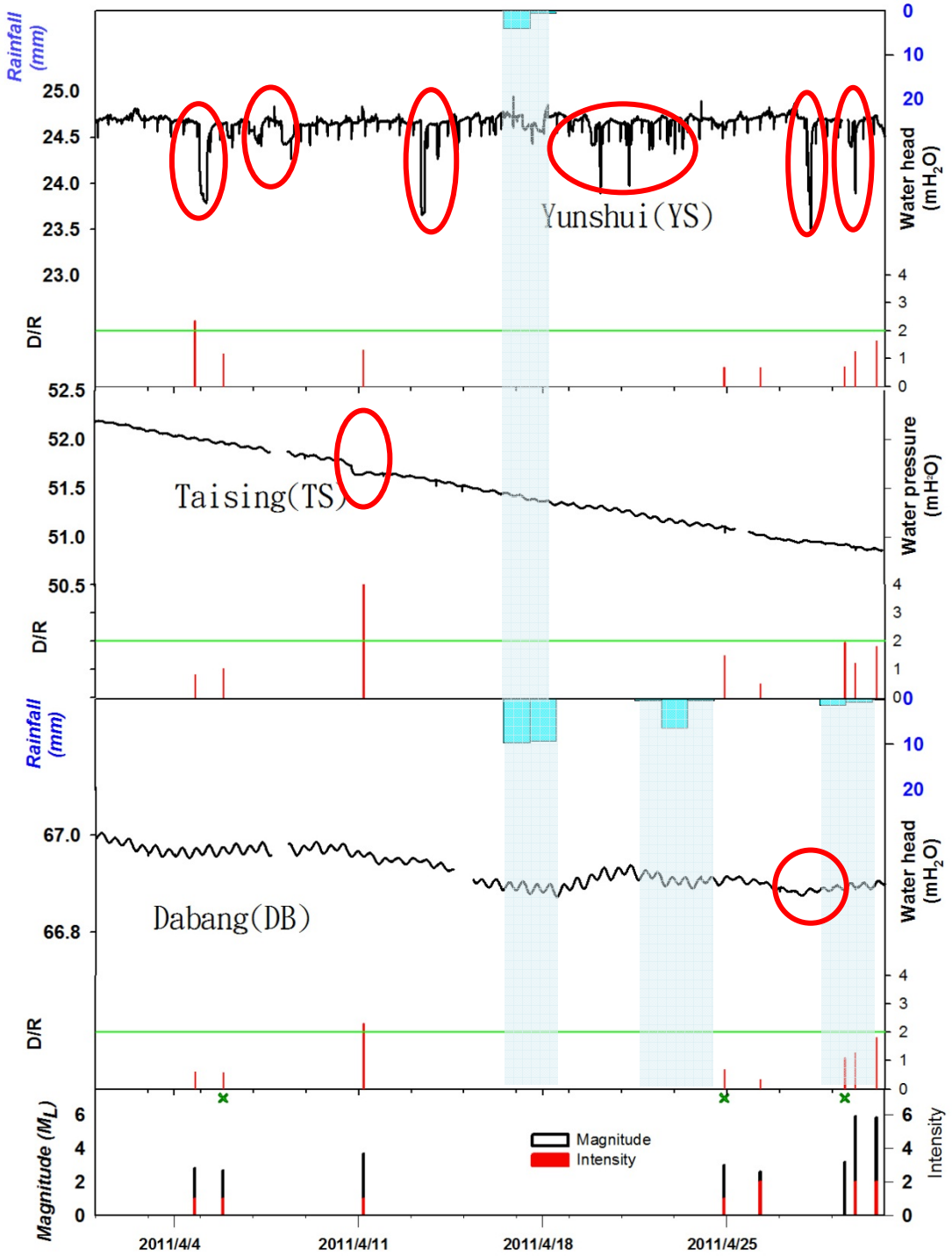
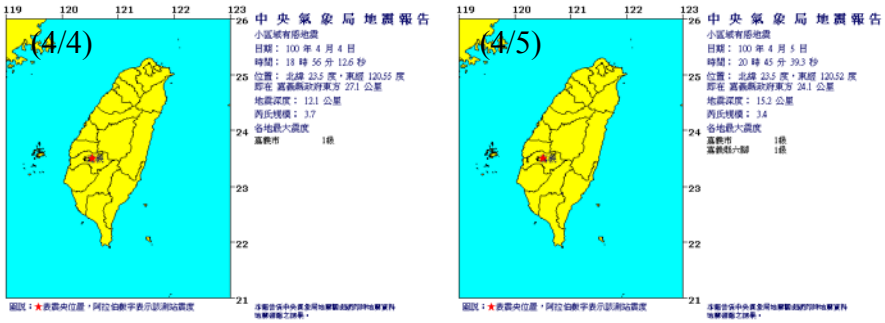
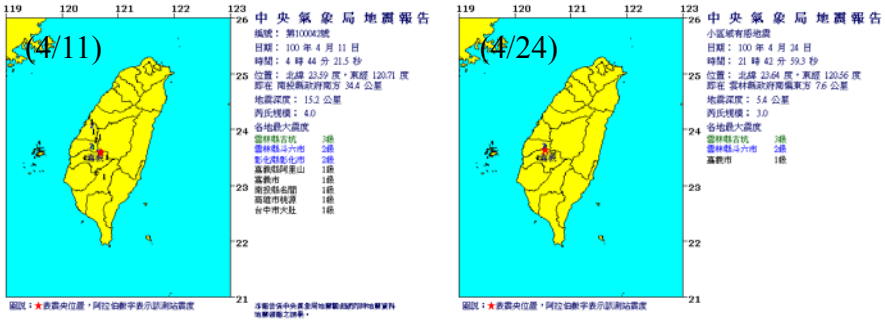
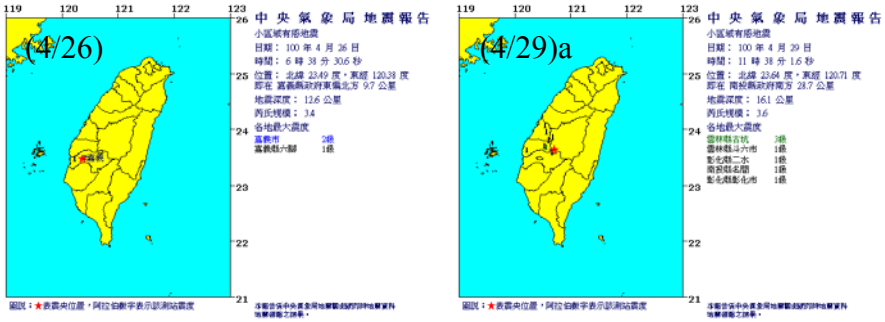
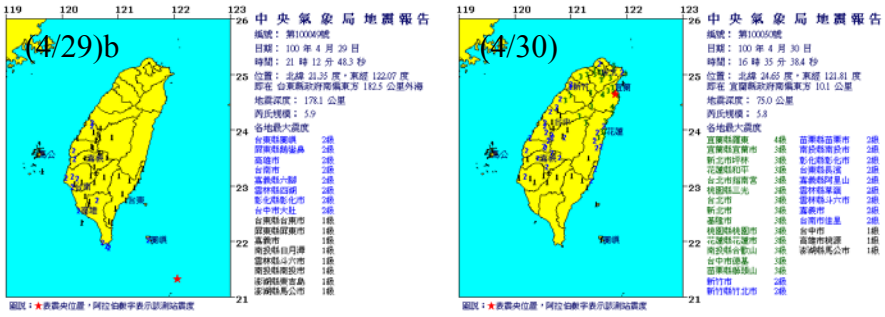


圖 6-38 嘉義地區 2011 年 4 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。紅色圈為震前水位異常。


(4/4)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 4 月 4 日
時間： 18 時 56 分 12.6 秒
位置： 北緯 23.5 度，東經 120.55 度
即在 嘉義縣政府東方 27.1 公里
地震深度： 12.1 公里
芮氏規模： 3.7
各地最大震度
嘉義市 1級
(4/5)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 4 月 5 日
時間： 20 時 45 分 39.3 秒
位置： 北緯 23.5 度，東經 120.52 度
即在 嘉義縣政府東方 24.1 公里
地震深度： 15.2 公里
芮氏規模： 3.4
各地最大震度
嘉義市 1級
嘉義縣六腳 1級


(4/11)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100042號
日期： 100 年 4 月 11 日
時間： 4 時 44 分 21.5 秒
位置： 北緯 23.59 度，東經 120.71 度
即在 南投縣政府南方 34.4 公里
地震深度： 15.2 公里
芮氏規模： 4.0
各地最大震度
雲林縣古坑 3級
雲林縣斗六市 2級
彰化縣彰化市 2級
嘉義縣阿里山 1級
嘉義市 1級
南投縣名間 1級
桃園市桃源 1級
台中市大社 1級
(4/24)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 4 月 24 日
時間： 21 時 42 分 59.3 秒
位置： 北緯 23.64 度，東經 120.56 度
即在 雲林縣政府南偏東方 7.6 公里
地震深度： 5.4 公里
芮氏規模： 3.0
各地最大震度
雲林縣古坑 3級
雲林縣斗六市 3級
嘉義市 1級


(4/26)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 4 月 26 日
時間： 6 時 38 分 30.6 秒
位置： 北緯 23.49 度，東經 120.38 度
即在 嘉義縣政府東偏北方 9.7 公里
地震深度： 12.6 公里
芮氏規模： 3.4
各地最大震度
嘉義市 2級
嘉義縣六腳 1級
(4/29)a
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 4 月 29 日
時間： 11 時 38 分 1.6 秒
位置： 北緯 23.64 度，東經 120.71 度
即在 南投縣政府南方 28.7 公里
地震深度： 16.1 公里
芮氏規模： 3.6
各地最大震度
雲林縣古坑 3級
雲林縣斗六市 1級
彰化縣二水 1級
南投縣名間 1級
彰化縣彰化市 1級


(4/29)b
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100060號
日期： 100 年 4 月 29 日
時間： 21 時 12 分 48.3 秒
位置： 北緯 21.35 度，東經 122.07 度
即在 台東縣政府南偏東方 182.5 公里外海
地震深度： 178.1 公里
芮氏規模： 5.9
各地最大震度
台東縣蘭嶼 2級
屏東縣琉球鄉 2級
高雄市 2級
台南市 2級
嘉義縣六腳 2級
雲林縣四湖 2級
彰化縣彰化市 2級
台中市大社 2級
台東縣台東市 1級
屏東縣屏東市 1級
嘉義市 1級
南投縣日月潭 1級
雲林縣斗六市 1級
南投縣南投市 1級
澎湖縣東吉島 1級
澎湖縣馬公市 1級
(4/30)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100050號
日期： 100 年 4 月 30 日
時間： 16 時 35 分 38.4 秒
位置： 北緯 24.65 度，東經 121.81 度
即在 宜蘭縣政府南偏東方 10.1 公里
地震深度： 75.0 公里
芮氏規模： 5.8
各地最大震度
宜蘭縣蘇澳 4級
宜蘭縣宜蘭市 3級
新北市坪林 3級
花蓮縣和平 3級
台北市指南宮 3級
桃園縣三光 3級
台北市 3級
新北市 3級
基隆市 3級
桃園縣桃園市 3級
花蓮縣花蓮市 3級
南投縣合歡山 3級
台中市德基 3級
苗栗縣獅頭山 3級
新竹市 2級
新竹縣竹北市 2級
苗栗縣苗栗市 2級
南投縣南投市 2級
彰化縣彰化市 2級
雲林縣斗六市 2級
嘉義市 2級
台東市成功 2級
高雄市桃源 1級
澎湖縣馬公市 1級

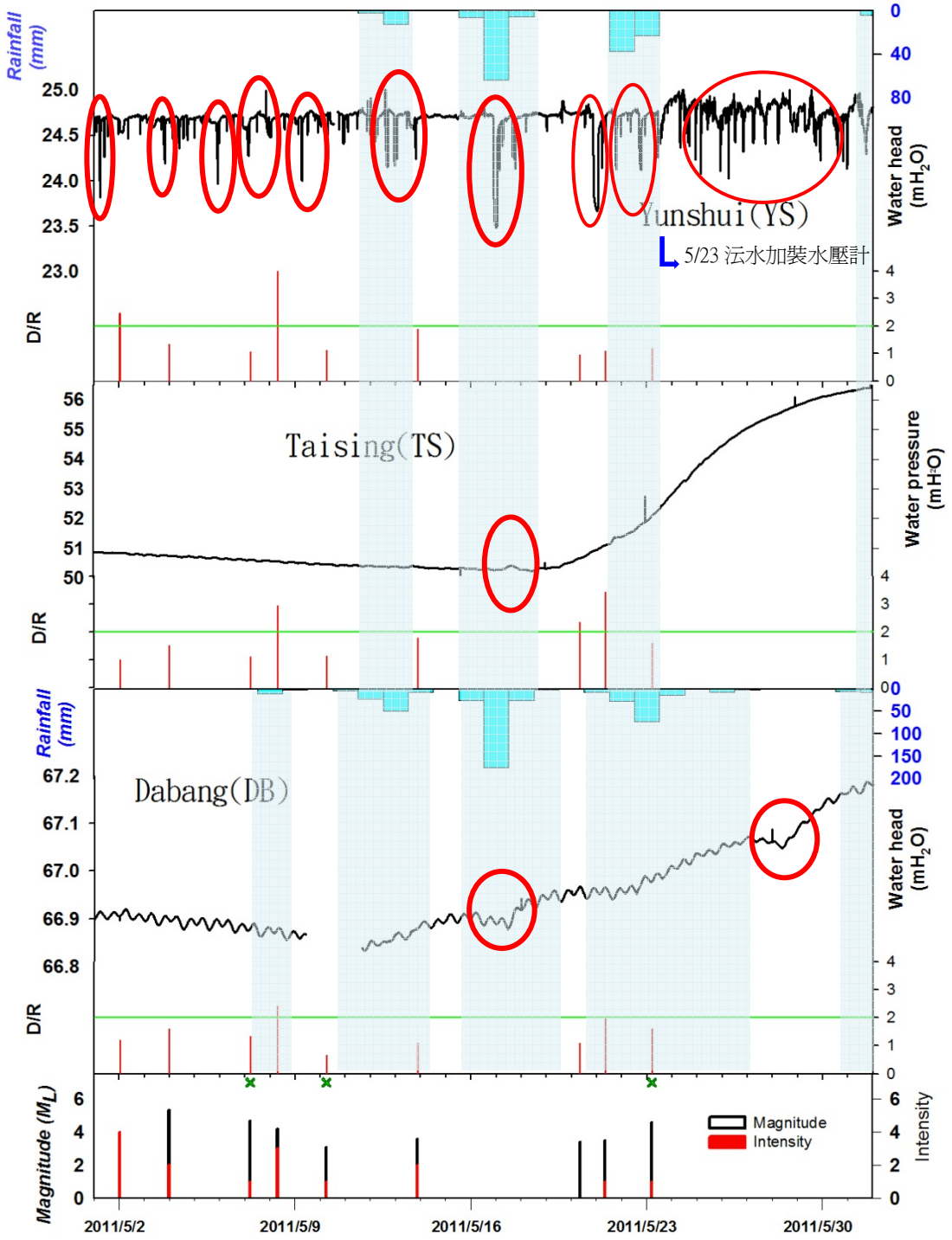
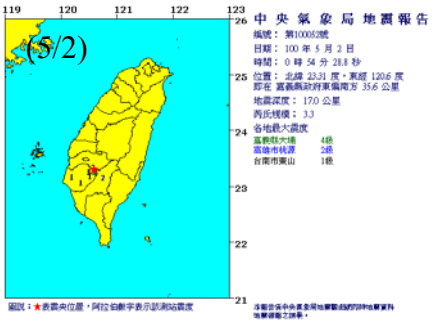
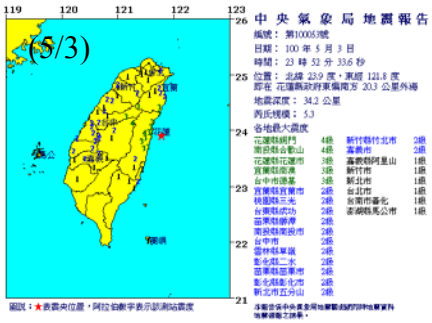
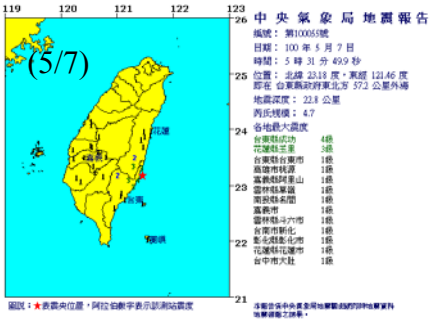
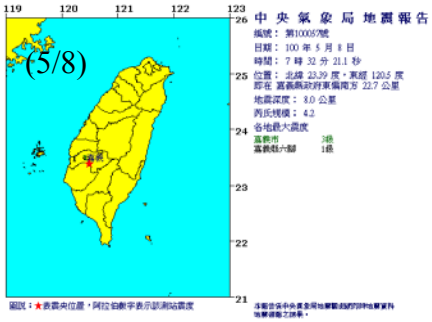


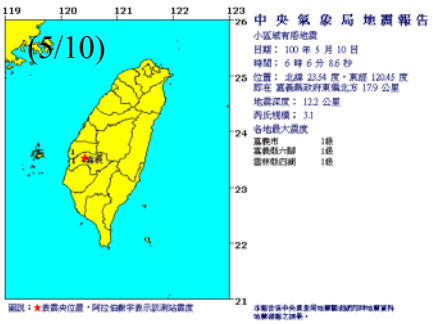
圖 6-39 嘉義地區 2011 年 5 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。綠色 X 標記表示不在篩選條件範圍內，卻疑似有地下水位異常前兆之地震。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。

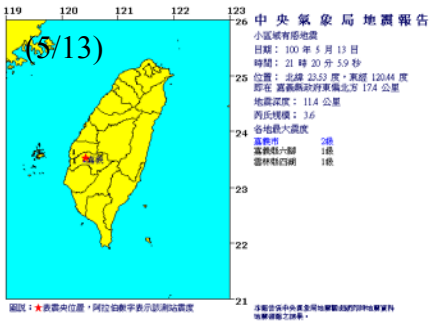

(5/2)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100052號
日期： 100 年 5 月 2 日
時間： 0 時 54 分 28.8 秒
位置： 北緯 23.31 度，東經 120.6 度
即在 嘉義縣政府東偏南方 35.6 公里
地震深度： 17.0 公里
芮氏規模： 3.3
各地最大震度
嘉義縣大埔 4級
嘉義市 2級
台南市東山 1級

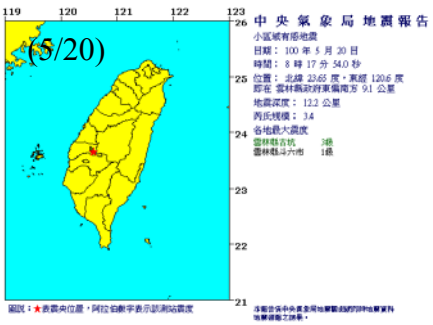

(5/3)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100053號
日期： 100 年 5 月 3 日
時間： 23 時 52 分 33.6 秒
位置： 北緯 23.9 度，東經 121.8 度
即在 花蓮縣政府東偏南方 20.3 公里外海
地震深度： 34.2 公里
芮氏規模： 5.3
各地最大震度
花蓮縣國門 4級
南投縣合歡山 4級
花蓮縣花蓮市 3級
宜蘭縣南澳 3級
台中市德基 3級
宜蘭縣宜蘭市 2級
桃園縣三光 2級
台東縣成功 2級
苗栗縣錦水 2級
南投縣南投市 2級
台中市 2級
雲林縣草嶺 2級
彰化縣二水 2級
苗栗縣苗栗市 2級
彰化縣彰化市 2級
新北市五分山 2級
新竹縣竹北市 2級
嘉義市 2級
嘉義縣阿里山 1級
新竹市 1級
新北市 1級
台北市 1級
台南市善化 1級
澎湖縣馬公市 1級

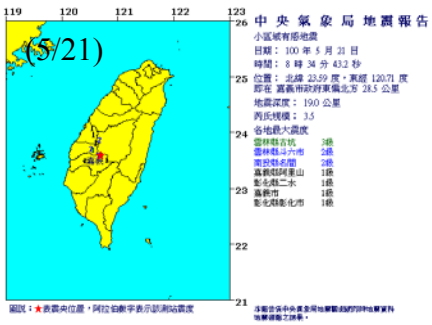

(5/7)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100057號
日期： 100 年 5 月 7 日
時間： 5 時 31 分 49.9 秒
位置： 北緯 23.18 度，東經 121.46 度
即在 台東縣政府東北方 57.2 公里外海
地震深度： 22.8 公里
芮氏規模： 4.7
各地最大震度
台東縣成功 4級
花蓮縣玉里 3級
台東縣台東市 1級
高雄市桃源 1級
嘉義縣阿里山 1級
雲林縣草嶺 1級
南投縣名間 1級
嘉義市 1級
雲林縣斗六市 1級
台南市新化 1級
彰化縣彰化市 1級
花蓮縣花蓮市 1級
台中市大肚 1級

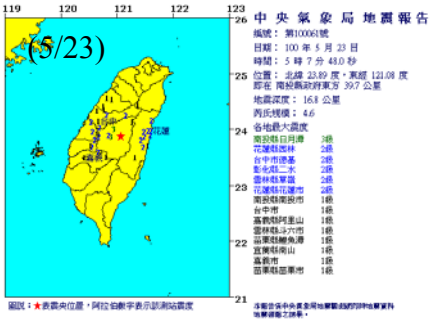

(5/8)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100058號
日期： 100 年 5 月 8 日
時間： 7 時 32 分 21.1 秒
位置： 北緯 23.39 度，東經 120.5 度
即在 嘉義縣政府東偏南方 22.7 公里
地震深度： 8.0 公里
芮氏規模： 4.2
各地最大震度
嘉義市 3級
嘉義縣六腳 1級

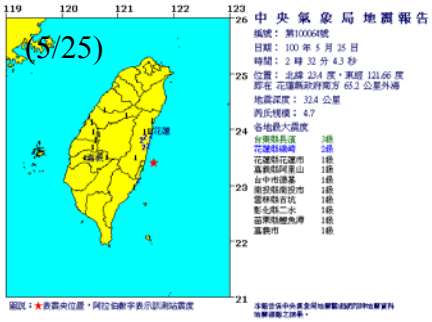

(5/10)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 5 月 10 日
時間： 6 時 6 分 8.6 秒
位置： 北緯 23.54 度，東經 120.45 度
即在 嘉義縣政府東偏北方 17.9 公里
地震深度： 12.2 公里
芮氏規模： 3.1
各地最大震度
嘉義市 1級
嘉義縣六腳 1級
雲林縣四湖 1級


(5/13)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 5 月 13 日
時間： 21 時 20 分 5.9 秒
位置： 北緯 23.53 度，東經 120.44 度
即在 嘉義縣政府東偏北方 17.4 公里
地震深度： 11.4 公里
芮氏規模： 3.6
各地最大震度
嘉義市 2級
嘉義縣六腳 1級
雲林縣四湖 1級


(5/20)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 5 月 20 日
時間： 8 時 17 分 54.0 秒
位置： 北緯 23.65 度，東經 120.6 度
即在 雲林縣政府東偏南方 9.1 公里
地震深度： 12.2 公里
芮氏規模： 3.4
各地最大震度
雲林縣古坑 3級
雲林縣斗六市 1級


(5/21)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 5 月 21 日
時間： 8 時 34 分 43.2 秒
位置： 北緯 23.59 度，東經 120.71 度
即在 嘉義市政府東偏北方 28.5 公里
地震深度： 19.0 公里
芮氏規模： 3.5
各地最大震度
雲林縣古坑 3級
雲林縣斗六市 2級
南投縣名間 2級
嘉義縣阿里山 1級
彰化縣二水 1級
嘉義市 1級
彰化縣彰化市 1級


(5/23)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100061號
日期： 100 年 5 月 23 日
時間： 5 時 7 分 48.0 秒
位置： 北緯 23.89 度，東經 121.08 度
即在 南投縣政府東方 39.7 公里
地震深度： 16.8 公里
芮氏規模： 4.6
各地最大震度
南投縣日月潭 3級
花蓮縣壽林 2級
台中市德基 2級
彰化縣二水 2級
雲林縣草嶺 2級
花蓮縣花蓮市 2級
南投縣南投市 1級
台中市 1級
嘉義縣阿里山 1級
雲林縣斗六市 1級
苗栗縣鯉魚潭 1級
宜蘭縣南山 1級
嘉義市 1級
苗栗縣苗栗市 1級


(5/25)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100064號
日期： 100 年 5 月 25 日
時間： 2 時 32 分 4.3 秒
位置： 北緯 23.4 度，東經 121.66 度
即在 花蓮縣政府東方 65.2 公里外海
地震深度： 32.4 公里
芮氏規模： 4.7
各地最大震度
台東縣長濱 3級
花蓮縣磯崎 3級
花蓮縣花蓮市 1級
嘉義縣阿里山 1級
台中市德基 1級
南投縣南投市 1級
雲林縣古坑 1級
彰化縣二水 1級
苗栗縣鯉魚潭 1級
嘉義市 1級

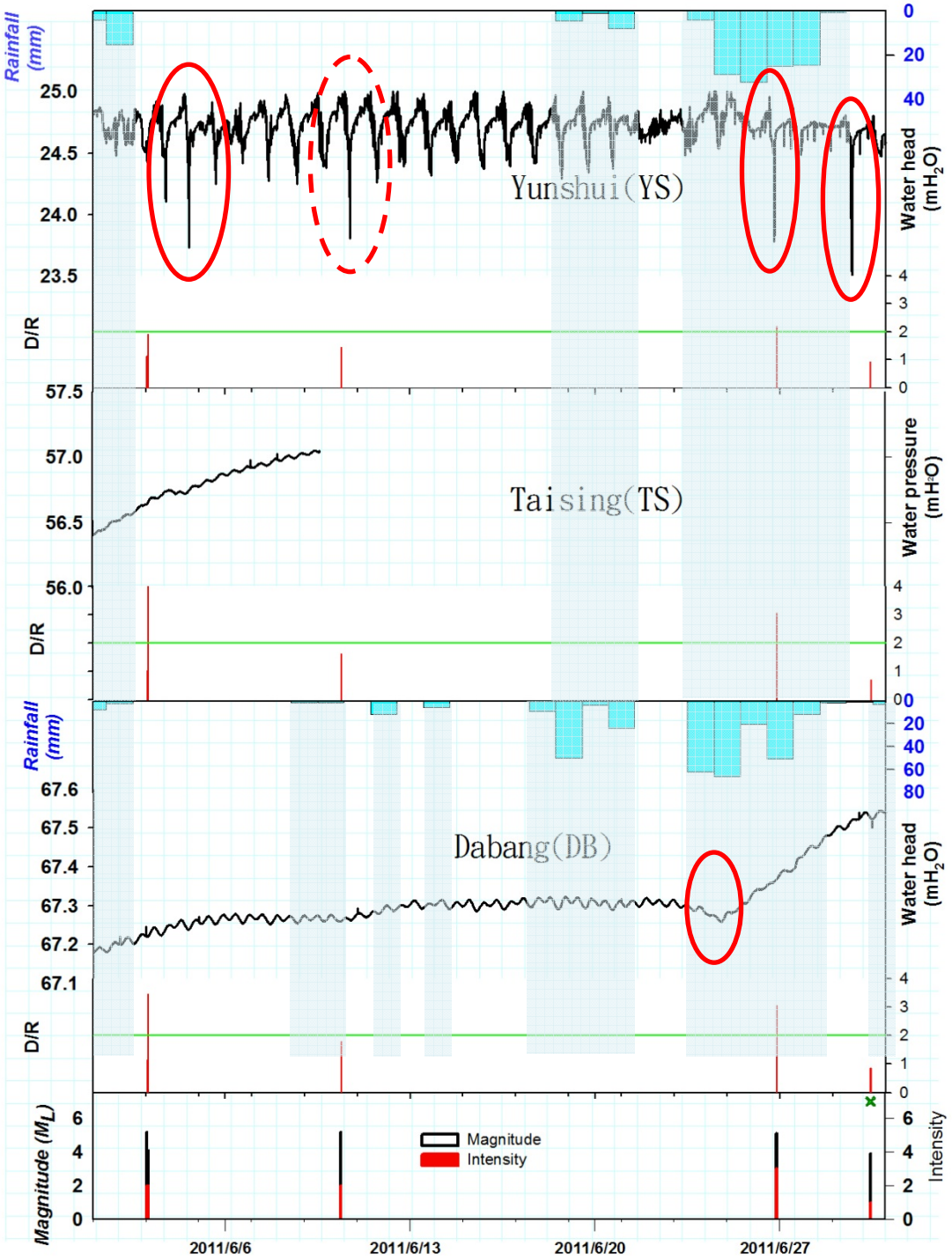
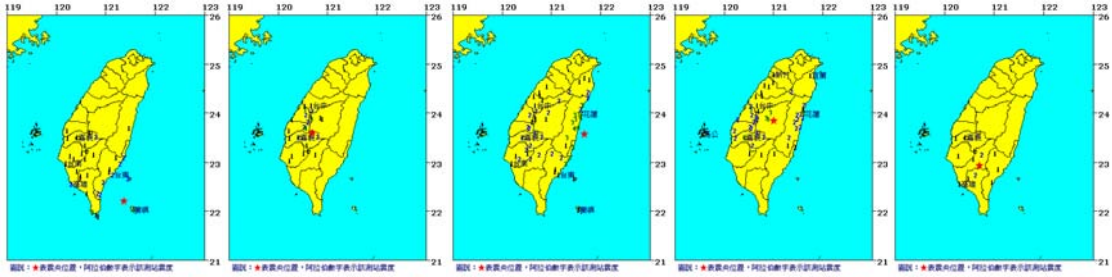


圖 6-40 嘉義地區 2011 年 6 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



M_L=5.2　M_L=4.1　M_L=5.2　M_L=5.1　M_L=3.9

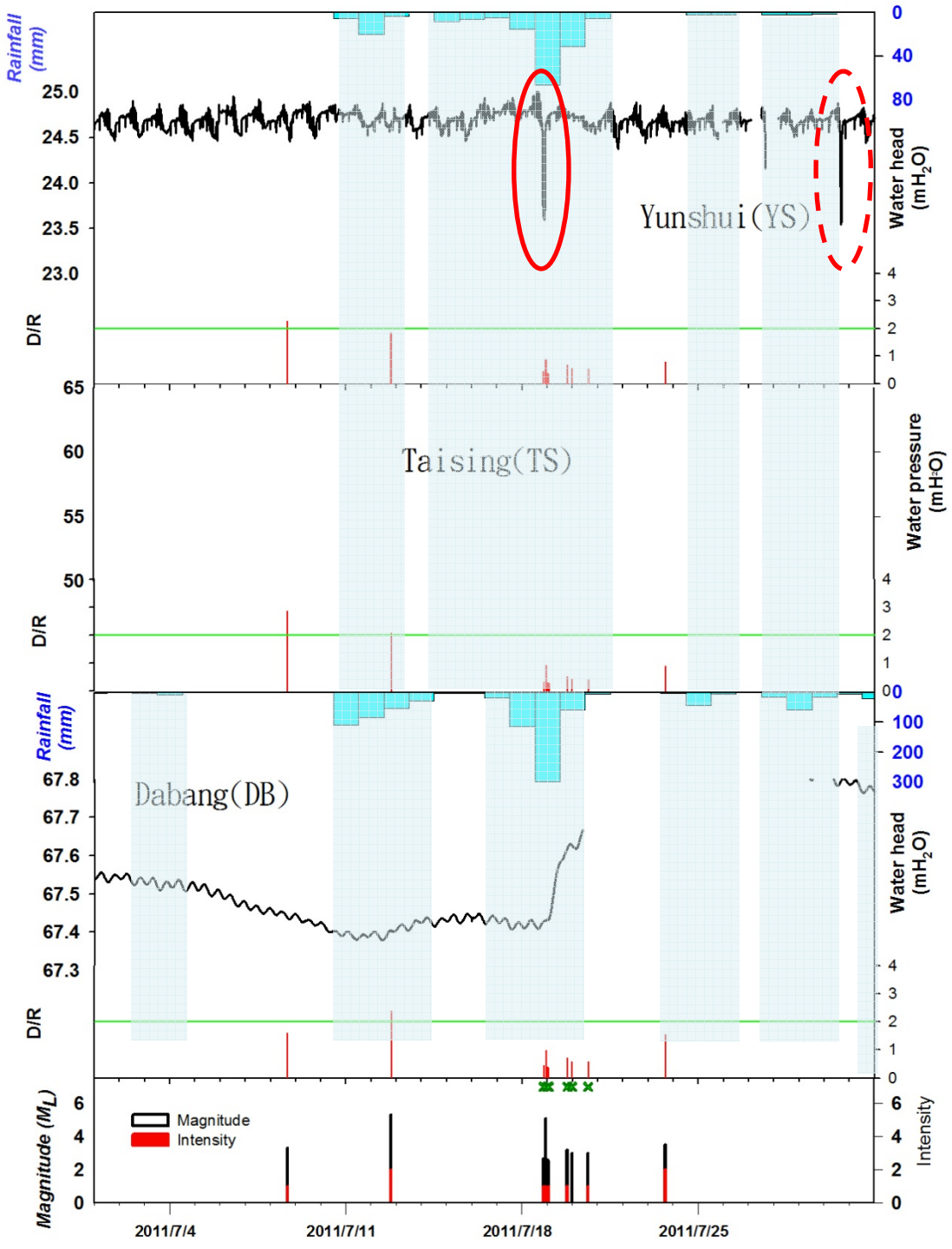
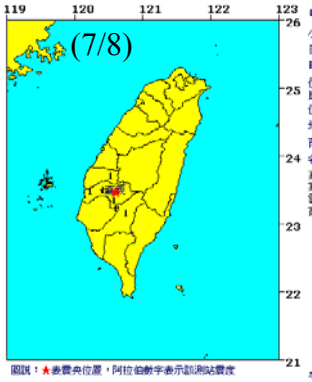


圖 6-41 嘉義地區 2011 年 7 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

小區域有感地震

日期： 100 年 7 月 8 日

時間： 16 時 19 分 45.3 秒

位置： 北緯 23.47 度，東經 120.62 度

即在 嘉義市政府南方 17.3 公里

位於 嘉義縣番路鄉

地震深度： 16.3 公里

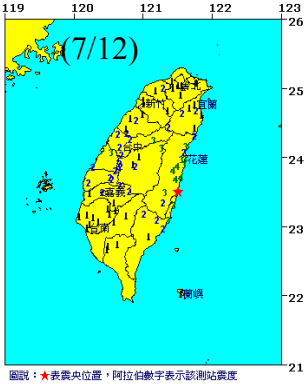
芮氏規模： 3.8

各地最大震度

嘉義縣革山	1級
嘉義市	1級
雲林縣斗六市	1級
高雄市桃源	1級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

本報告係中央氣象局地震測報中心即時地震資料地震經過之說明。



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100100號

日期： 100 年 7 月 12 日

時間： 19 時 17 分 11.0 秒

位置： 北緯 23.51 度，東經 121.52 度

即在 花蓮縣政府南偏西方 53.9 公里

位於 花蓮縣近海

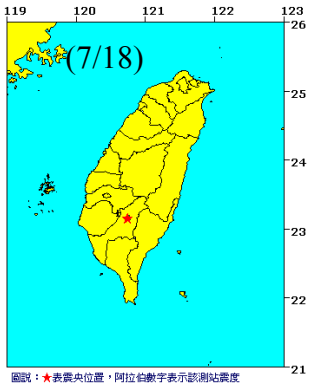
地震深度： 31.2 公里

芮氏規模： 5.3

各地最大震度

花蓮縣光復	4級	台南市東山	1級
台東縣長濱	3級	屏東縣三地門	1級
花蓮縣花蓮市	3級	苗栗縣苗栗市	1級
南投縣合歡山	3級	屏東縣屏東市	1級
台中市源基	3級	宜蘭縣宜蘭市	1級
彰化縣彰化市	3級	台南市	1級
嘉義縣阿里山	2級	新竹市	1級
雲林縣草嶺	2級	新北市新店	1級
南投縣南投市	2級	新竹縣竹北市	1級
雲林縣斗六市	2級	新北市	1級
宜蘭縣南山	2級	台北市	1級
台中市	2級		
嘉義市	2級		
苗栗縣鯉魚潭	2級		
桃園縣桃園市	2級		
高雄市桃源	1級		

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100107號

日期： 100 年 7 月 18 日

時間： 20 時 40 分 21.1 秒

位置： 北緯 23.16 度，東經 120.76 度

即在 嘉義市政府東南方 46.8 公里

位於 高雄市桃源區

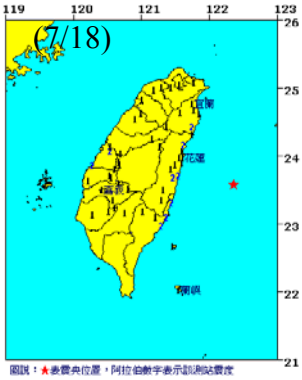
地震深度： 6.1 公里

芮氏規模： 2.7

各地最大震度

高雄市桃源	4級
嘉義縣大埔	1級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100108號

日期： 100 年 7 月 18 日

時間： 22 時 48 分 54.9 秒

位置： 北緯 23.59 度，東經 122.37 度

即在 花蓮縣政府東偏南方 88.2 公里

位於 台灣東部海域

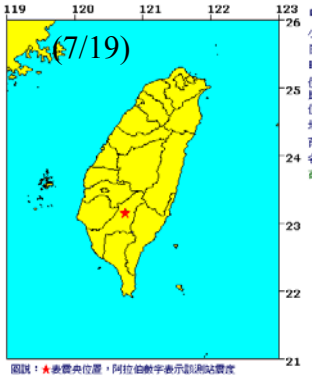
地震深度： 29.8 公里

芮氏規模： 5.1

各地最大震度

花蓮縣鳳林	2級	雲林縣斗六市	1級
台東縣長濱	2級	桃園縣桃園市	1級
宜蘭縣南澳	2級	台南市楠西	1級
彰化縣彰化市	2級	新竹縣竹北市	1級
花蓮縣花蓮市	1級	嘉義市	1級
南投縣合歡山	1級		
台中市德基	1級		
宜蘭縣宜蘭市	1級		
嘉義縣阿里山	1級		
高雄市桃源	1級		
雲林縣草嶺	1級		
南投縣南投市	1級		
新北市五分山	1級		
苗栗縣獅頭山	1級		
台北市信義區	1級		
新北市	1級		

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

小區域有感地震

日期： 100 年 7 月 19 日

時間： 0 時 30 分 0.3 秒

位置： 北緯 23.16 度，東經 120.76 度

即在 嘉義市政府東南方 47.0 公里

位於 高雄市桃源區

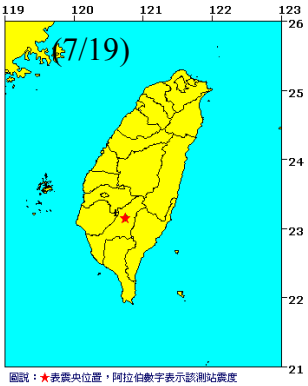
地震深度： 5.8 公里

芮氏規模： 2.6

各地最大震度

高雄市桃源	3級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

小區域有感地震

日期： 100 年 7 月 19 日

時間： 1 時 29 分 25.5 秒

位置： 北緯 23.16 度，東經 120.76 度

即在 嘉義市政府東南方 47.0 公里

位於 高雄市桃源區

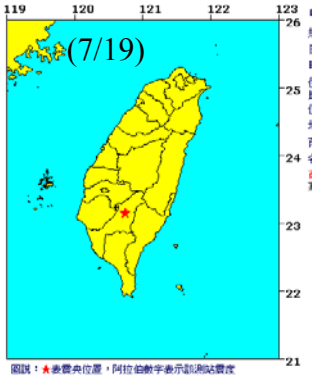
地震深度： 5.9 公里

芮氏規模： 2.5

各地最大震度

高雄市桃源	3級
嘉義縣大埔	1級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100110號

日期： 100 年 7 月 19 日

時間： 19 時 16 分 44.1 秒

位置： 北緯 23.16 度，東經 120.76 度

即在 嘉義市政府東南方 47.2 公里

位於 高雄市桃源區

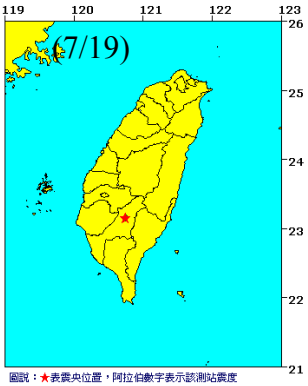
地震深度： 6.3 公里

芮氏規模： 3.2

各地最大震度

高雄市桃源	5級
嘉義縣大埔	1級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

小區域有感地震

日期： 100 年 7 月 19 日

時間： 23 時 36 分 51.2 秒

位置： 北緯 23.16 度，東經 120.76 度

即在 嘉義市政府東南方 47.0 公里

位於 高雄市桃源區

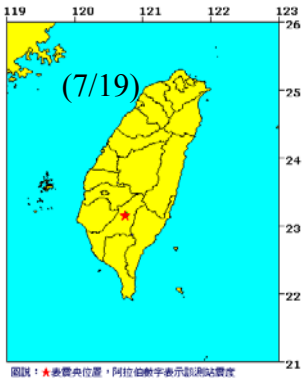
地震深度： 5.9 公里

芮氏規模： 2.0

各地最大震度

高雄市桃源	3級

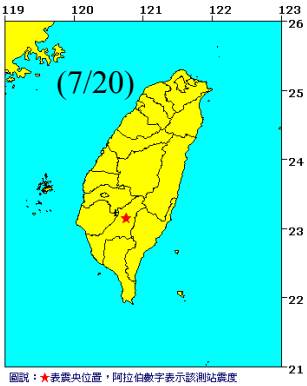
圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100112號
日期： 100 年 7 月 19 日
時間： 23 時 37 分 42.8 秒
位置： 北緯 23.16 度，東經 120.76 度
即在 嘉義市政府東南方 46.9 公里
位於 高雄市桃源區
地震深度： 6.5 公里
芮氏規模： 3.0
各地最大震度
高雄市桃源 4級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

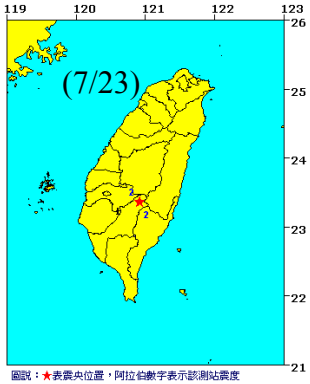


中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100114號
日期： 100 年 7 月 20 日
時間： 15 時 21 分 29.4 秒
位置： 北緯 23.15 度，東經 120.77 度
即在 嘉義市政府東南方 48.8 公里
位於 高雄市桃源區
地震深度： 6.5 公里
芮氏規模： 3.6
各地最大震度
高雄市桃源 4級
嘉義縣大埔 1級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

本報告係中央氣象局地震觀測網即時地震資料地震速報之結果。



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

小區域有感地震
日期： 100 年 7 月 23 日
時間： 16 時 53 分 17.2 秒
位置： 北緯 23.37 度，東經 120.93 度
即在 嘉義市政府東偏南方 50.2 公里
位於 高雄市桃源區
地震深度： 7.1 公里
芮氏規模： 3.5
各地最大震度
嘉義縣阿里山 2級
台東縣利稻 2級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

本報告係中央氣象局地震觀測網即時地震資料地震速報之結果。

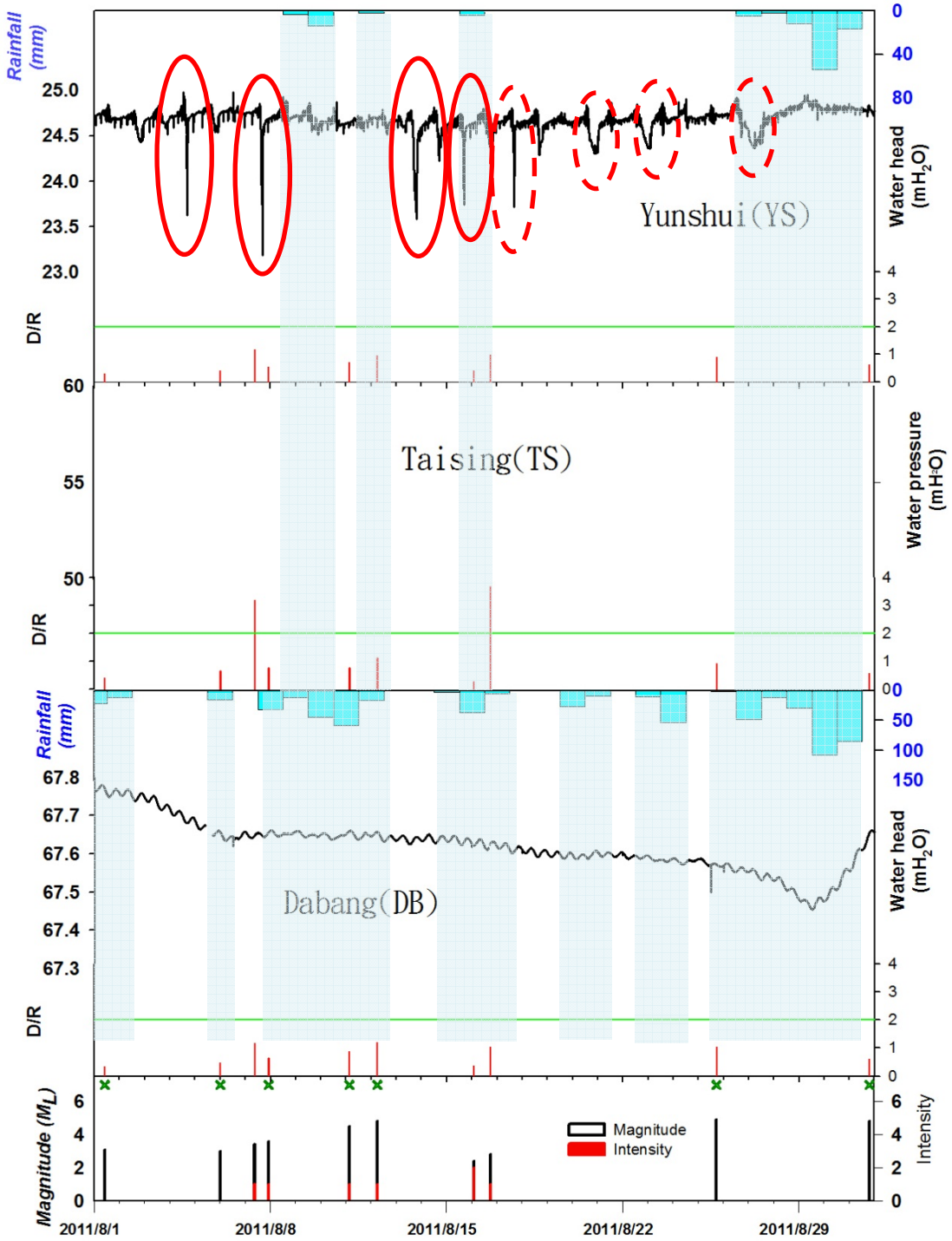
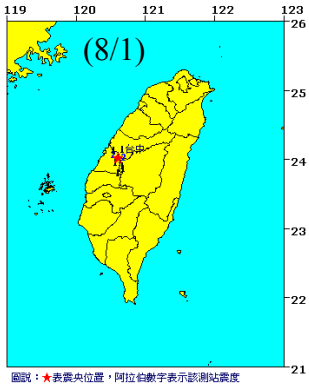


圖 6-42 嘉義地區 2011 年 8 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常，紅色虛線圈為疑似震前水位異常。

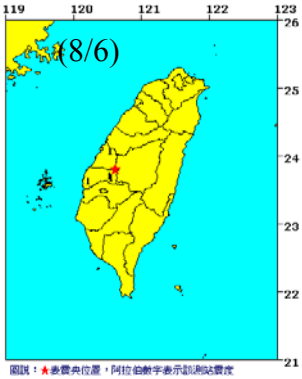


圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100118號
日期： 100 年 8 月 1 日
時間： 10 時 9 分 59.6 秒
位置： 北緯 24.02 度，東經 120.62 度
即在 彰化縣政府東南方 9.4 公里
位於 彰化縣芬園鄉
地震深度： 23.5 公里
芮氏規模： 3.1
各地最大震度

彰化縣彰化市	2級
台中市霧峰	2級
南投縣南投市	1級
台中市	1級

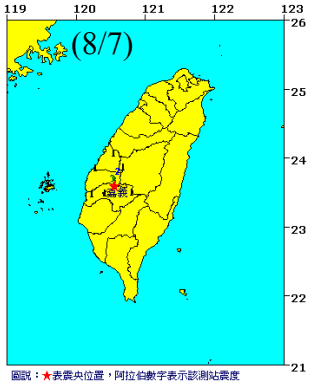


圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

中 央 氣 象 局 地 震 報 告

小區域有感地震
日期： 100 年 8 月 6 日
時間： 0 時 22 分 44.5 秒
位置： 北緯 23.81 度，東經 120.63 度
即在 南投縣政府南偏西方 12.0 公里
位於 彰化縣二水鄉
地震深度： 19.9 公里
芮氏規模： 3.0
各地最大震度

彰化縣二水	1級
雲林縣斗六市	1級
彰化縣彰化市	1級

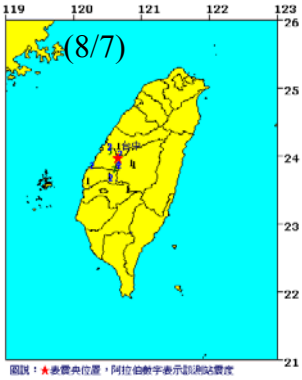


圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100120號
日期： 100 年 8 月 7 日
時間： 9 時 8 分 21.7 秒
位置： 北緯 23.6 度，東經 120.57 度
即在 雲林縣政府南偏東方 12.3 公里
位於 雲林縣古坑鄉
地震深度： 9.8 公里
芮氏規模： 3.4
各地最大震度

雲林縣古坑	3級
雲林縣斗六市	3級
彰化縣二水	2級
嘉義市	1級
嘉義縣阿里山	1級
南投縣名間	1級
彰化縣彰化市	1級

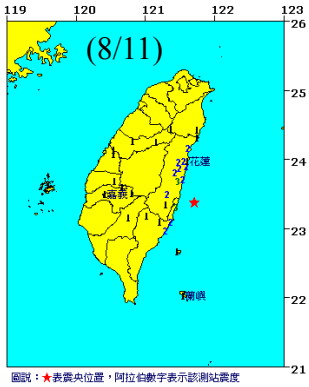


圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100121號
日期： 100 年 8 月 7 日
時間： 22 時 30 分 57.4 秒
位置： 北緯 23.96 度，東經 120.67 度
即在 南投縣政府北偏西方 7.2 公里
位於 南投縣草屯鎮
地震深度： 23.9 公里
芮氏規模： 3.6
各地最大震度

彰化縣彰化市	3級
南投縣南投市	2級
台中市霧峰	2級
雲林縣古坑	2級
台中市	1級
雲林縣斗六市	1級
嘉義縣阿里山	1級

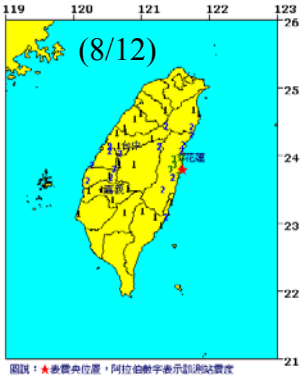


圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100122號
日期： 100 年 8 月 11 日
時間： 3 時 25 分 54.9 秒
位置： 北緯 23.39 度，東經 121.72 度
即在 花蓮縣政府南方 67.7 公里
位於 台灣東部海域
地震深度： 27.0 公里
芮氏規模： 4.5
各地最大震度

台東縣長濱	3級
花蓮縣光復	3級
花蓮縣花蓮市	1級
嘉義縣阿里山	1級
高雄市桃源	1級
雲林縣草嶺	1級
台中市德基	1級
宜蘭縣南澳	1級
嘉義市	1級
彰化縣彰化市	1級

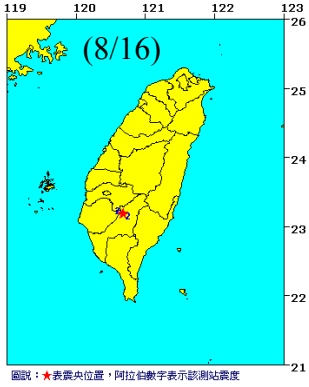


圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100123號
日期： 100 年 8 月 12 日
時間： 6 時 7 分 32.5 秒
位置： 北緯 23.8 度，東經 121.62 度
即在 花蓮縣政府南方 21.1 公里
位於 花蓮縣近海
地震深度： 32.4 公里
芮氏規模： 4.8
各地最大震度

花蓮縣壽豐	3級	嘉義市	1級
花蓮縣花蓮市	3級	台南市七股	1級
南投縣合歡山	2級		
宜蘭縣南澳	2級		
台東縣成功	2級		
台中市霧峰	2級		
彰化縣二水	2級		
雲林縣古坑	2級		
彰化縣彰化市	2級		
嘉義縣阿里山	1級		
南投縣南投市	1級		
桃園縣三光	1級		
台中市	1級		
苗栗縣卓蘭鎮	1級		
雲林縣斗六市	1級		
高雄市桃源	1級		

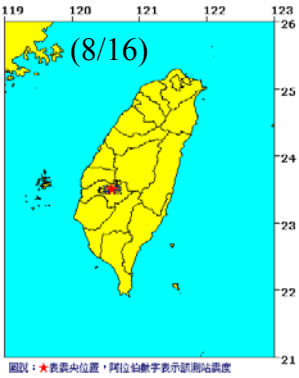


圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

中 央 氣 象 局 地 震 報 告

小區域有感地震
日期： 100 年 8 月 16 日
時間： 2 時 7 分 49.7 秒
位置： 北緯 23.2 度，東經 120.7 度
即在 嘉義市政府東南方 40.0 公里
位於 高雄市那瑪夏區
地震深度： 8.3 公里
芮氏規模： 2.4
各地最大震度

高雄市桃源	2級
嘉義縣大埔	2級

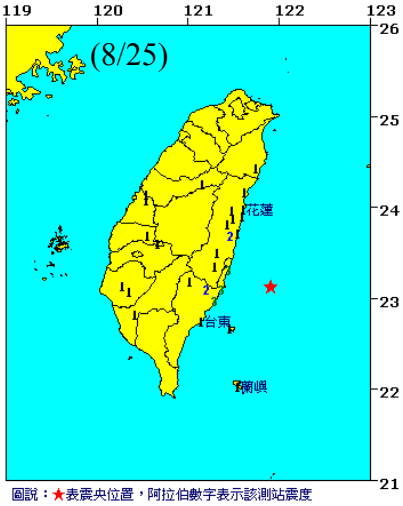


圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

中 央 氣 象 局 地 震 報 告

小區域有感地震
日期： 100 年 8 月 16 日
時間： 17 時 56 分 51.2 秒
位置： 北緯 23.51 度，東經 120.61 度
即在 嘉義市政府東方 15.9 公里
位於 嘉義縣竹崎鄉
地震深度： 8.5 公里
芮氏規模： 2.8
各地最大震度

雲林縣草嶺	1級
嘉義市	1級



圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100125號

日期： 100 年 8 月 25 日

時間： 17 時 35 分 13.7 秒

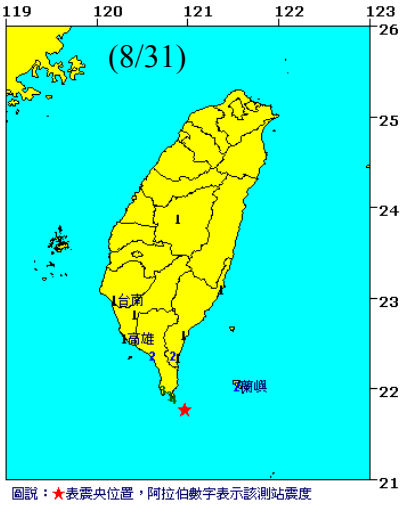
位置： 北緯 23.13 度，東經 121.91 度
即在 台東縣政府東偏北方 88.5 公里
位於 台灣東部海域

地震深度： 25.2 公里

芮氏規模： 4.9

各地最大震度

台東縣長濱	3級
花蓮縣光復	2級
台東縣台東市	1級
花蓮縣花蓮市	1級
雲林縣草嶺	1級
宜蘭縣南澳	1級
台中市德基	1級
高雄市旗山	1級
台南市新化	1級
彰化縣彰化市	1級



圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100127號

日期： 100 年 8 月 31 日

時間： 19 時 22 分 32.0 秒

位置： 北緯 21.78 度，東經 120.98 度
即在 台東縣政府南方 109.8 公里
位於 台灣南部海域

地震深度： 29.5 公里

芮氏規模： 4.8

各地最大震度

屏東縣鵝鑾鼻	4級
台東縣蘭嶼	2級
高雄市	1級
台南市	1級
南投縣日月潭	1級

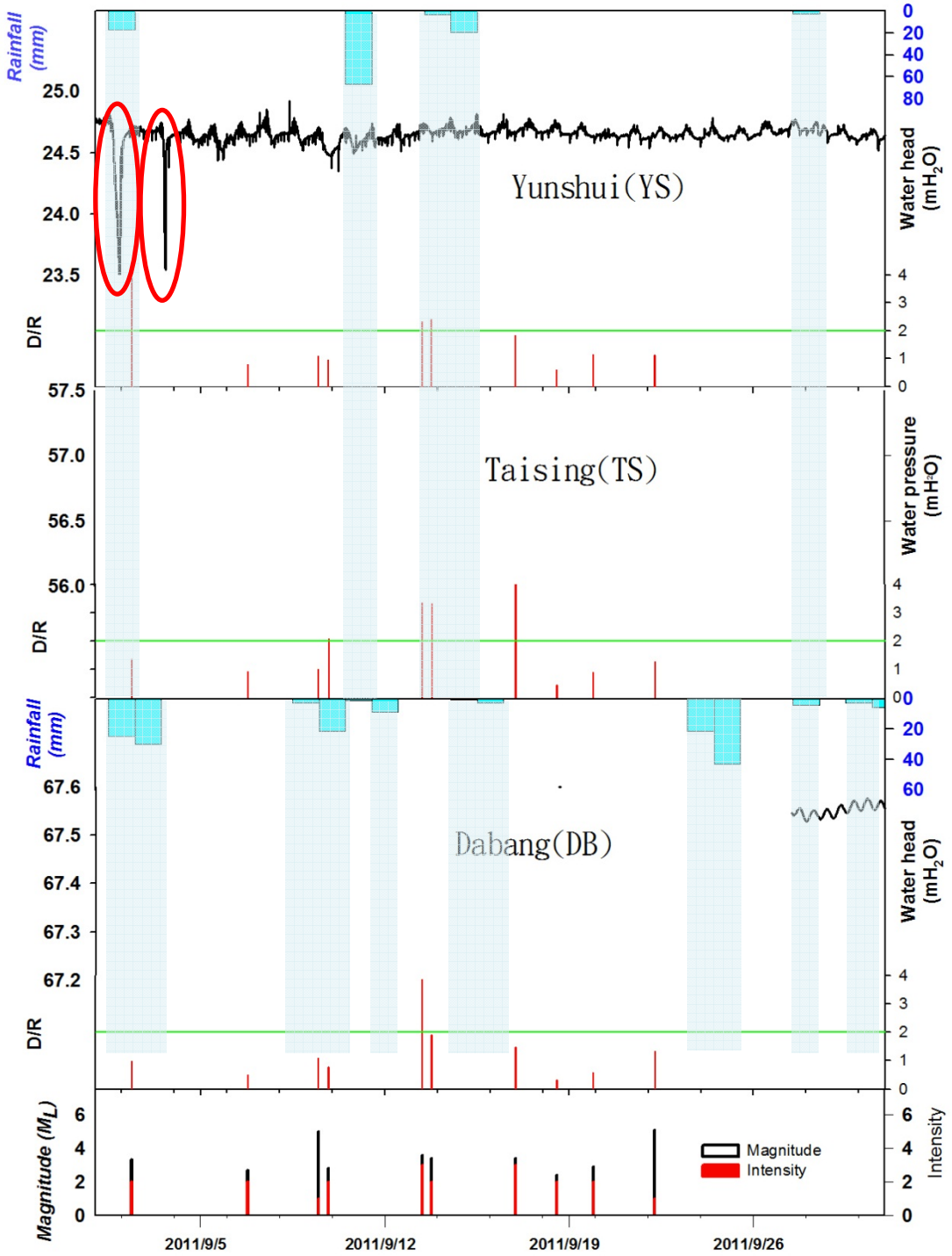
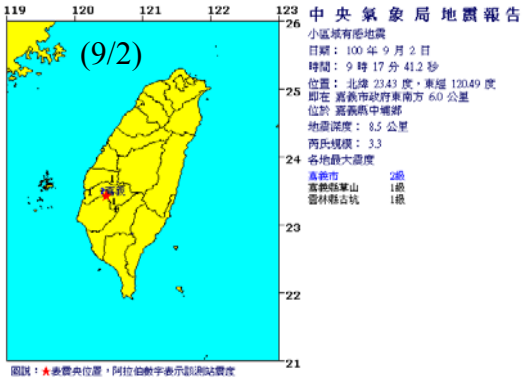
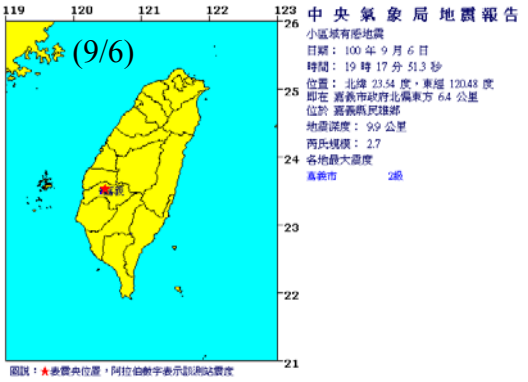
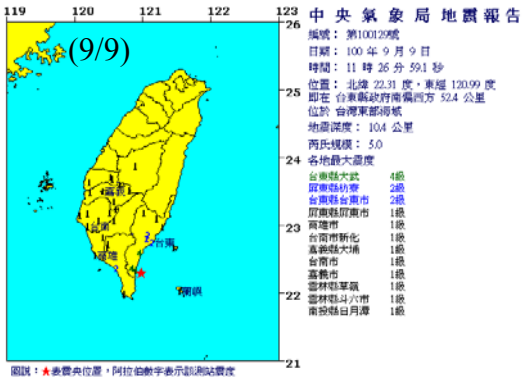
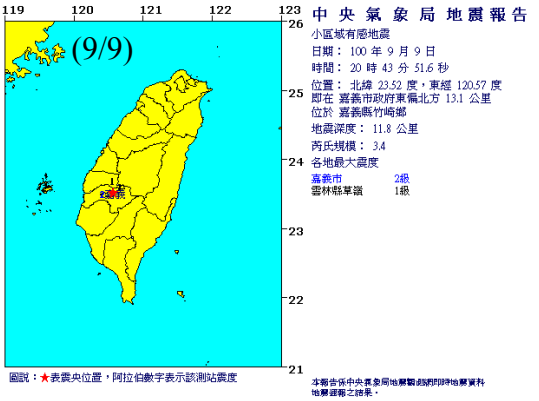


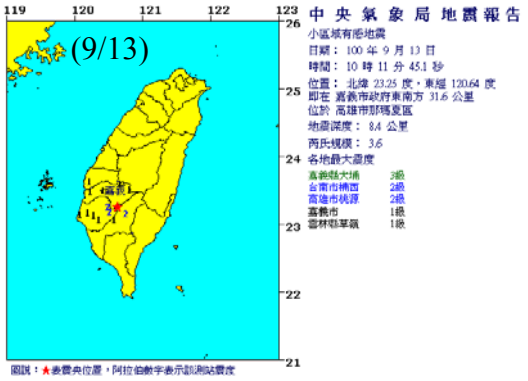
圖 6-43 嘉義地區 2011 年 9 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色圈為震前水位異常。

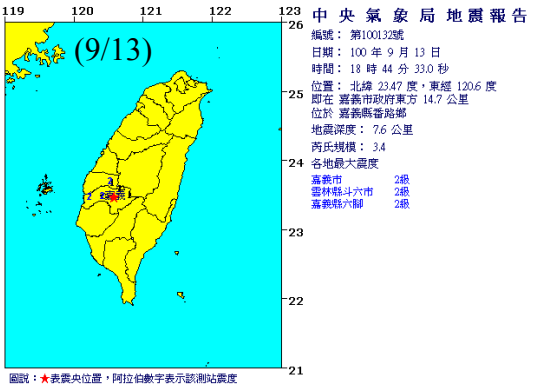

(9/2)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 9 月 2 日
時間： 9 時 17 分 41.2 秒
位置： 北緯 23.43 度，東經 120.49 度
即在 嘉義市政府東南方 6.0 公里
位於 嘉義縣中埔鄉
地震深度： 8.5 公里
芮氏規模： 3.3
各地最大震度
嘉義市 2級
嘉義縣阿里山 1級
雲林縣古坑 1級
圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

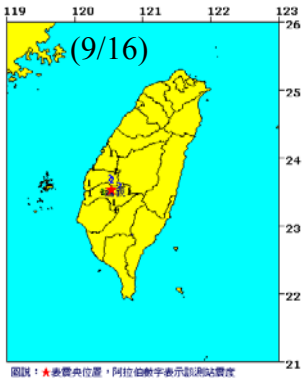

(9/6)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 9 月 6 日
時間： 19 時 17 分 51.3 秒
位置： 北緯 23.54 度，東經 120.48 度
即在 嘉義市政府北偏東方 6.4 公里
位於 嘉義縣民雄鄉
地震深度： 9.9 公里
芮氏規模： 2.7
各地最大震度
嘉義市 2級
圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度


(9/9)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100129號
日期： 100 年 9 月 9 日
時間： 11 時 26 分 59.1 秒
位置： 北緯 22.31 度，東經 120.99 度
即在 台東縣政府南偏西方 52.4 公里
位於 台灣東部海域
地震深度： 10.4 公里
芮氏規模： 5.0
各地最大震度
台東縣大武 4級
屏東縣枋寮 2級
台東縣台東市 2級
屏東縣屏東市 1級
高雄市 1級
台南市新化 1級
嘉義縣大埔 1級
台南市 1級
嘉義市 1級
雲林縣草嶺 1級
雲林縣斗六市 1級
南投縣日月潭 1級
圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度


(9/9)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 9 月 9 日
時間： 20 時 43 分 51.6 秒
位置： 北緯 23.52 度，東經 120.57 度
即在 嘉義市政府東偏北方 13.1 公里
位於 嘉義縣竹崎鄉
地震深度： 11.8 公里
芮氏規模： 3.4
各地最大震度
嘉義市 2級
雲林縣草嶺 1級
圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度
本報告係中央氣象局地震觀測網即時地震資料地震速報之結果。


(9/13)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
小區域有感地震
日期： 100 年 9 月 13 日
時間： 10 時 11 分 45.1 秒
位置： 北緯 23.25 度，東經 120.64 度
即在 嘉義市政府東南方 31.6 公里
位於 高雄市那瑪夏區
地震深度： 8.4 公里
芮氏規模： 3.6
各地最大震度
嘉義縣大埔 3級
台南市楠西 2級
高雄市桃源 2級
嘉義市 1級
雲林縣草嶺 1級
圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度


(9/13)
中 央 氣 象 局 地 震 報 告
編號： 第100132號
日期： 100 年 9 月 13 日
時間： 18 時 44 分 33.0 秒
位置： 北緯 23.47 度，東經 120.6 度
即在 嘉義市政府東方 14.7 公里
位於 嘉義縣番路鄉
地震深度： 7.6 公里
芮氏規模： 3.4
各地最大震度
嘉義市 2級
雲林縣斗六市 2級
嘉義縣六腳 2級
圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

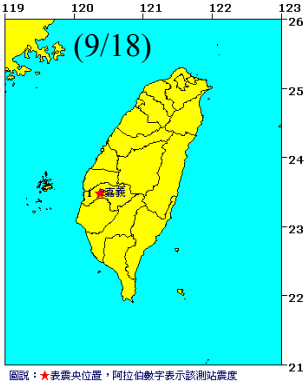


中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100133號
日期： 100 年 9 月 16 日
時間： 23 時 24 分 29.0 秒
位置： 北緯 23.53 度，東經 120.56 度
即在 嘉義市政府東偏北方 11.7 公里
位於 嘉義縣竹崎鄉
地震深度： 9.9 公里
芮氏規模： 3.4
各地最大震度

嘉義市	3級
雲林縣草嶺	2級
雲林縣斗六市	2級
嘉義縣草山	1級
彰化縣二水	1級
彰化縣彰化市	1級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

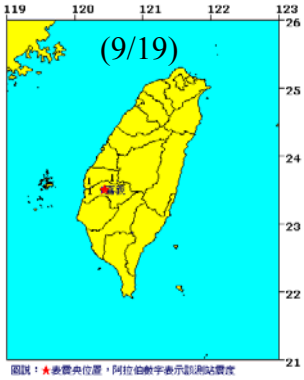


中 央 氣 象 局 地 震 報 告

小區域有感地震
日期： 100 年 9 月 18 日
時間： 12 時 59 分 59.6 秒
位置： 北緯 23.49 度，東經 120.4 度
即在 嘉義市政府西方 5.7 公里
位於 嘉義市西區
地震深度： 9.0 公里
芮氏規模： 2.4
各地最大震度

嘉義市	2級
嘉義縣六腳	1級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

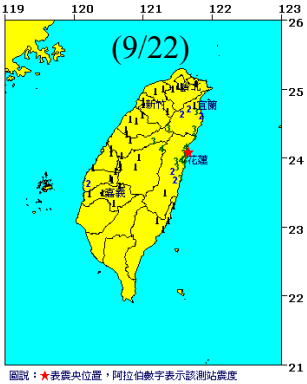


中 央 氣 象 局 地 震 報 告

小區域有感地震
日期： 100 年 9 月 19 日
時間： 22 時 13 分 31.7 秒
位置： 北緯 23.5 度，東經 120.45 度
即在 嘉義市政府北方 2.5 公里
位於 嘉義市東區
地震深度： 8.5 公里
芮氏規模： 2.9
各地最大震度

嘉義市	2級
嘉義縣六腳	1級
雲林縣古坑	1級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100134號
日期： 100 年 9 月 22 日
時間： 6 時 18 分 33.4 秒
位置： 北緯 24.09 度，東經 121.67 度
即在 花蓮縣政府北偏東方 11.9 公里
位於 花蓮縣近海
地震深度： 17.2 公里
芮氏規模： 5.1
各地最大震度

花蓮縣太魯閣	4級	台北市	1級
南投縣合歡山	4級	桃園縣桃園市	1級
花蓮縣花蓮市	3級	彰化縣二水	1級
宜蘭縣南澳	3級	彰化縣彰化市	1級
台中市德基	3級	雲林縣斗六市	1級
雲林縣四湖	2級	嘉義縣草山	1級
桃園縣三光	1級	嘉義市	1級
宜蘭縣宜蘭市	1級		
台東縣長濱	1級		
苗栗縣獅頭山	1級		
苗栗縣苗栗市	1級		
新竹市	1級		
南投縣南投市	1級		
新北市	1級		
台北市信義區	1級		
新竹縣竹北市	1級		

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

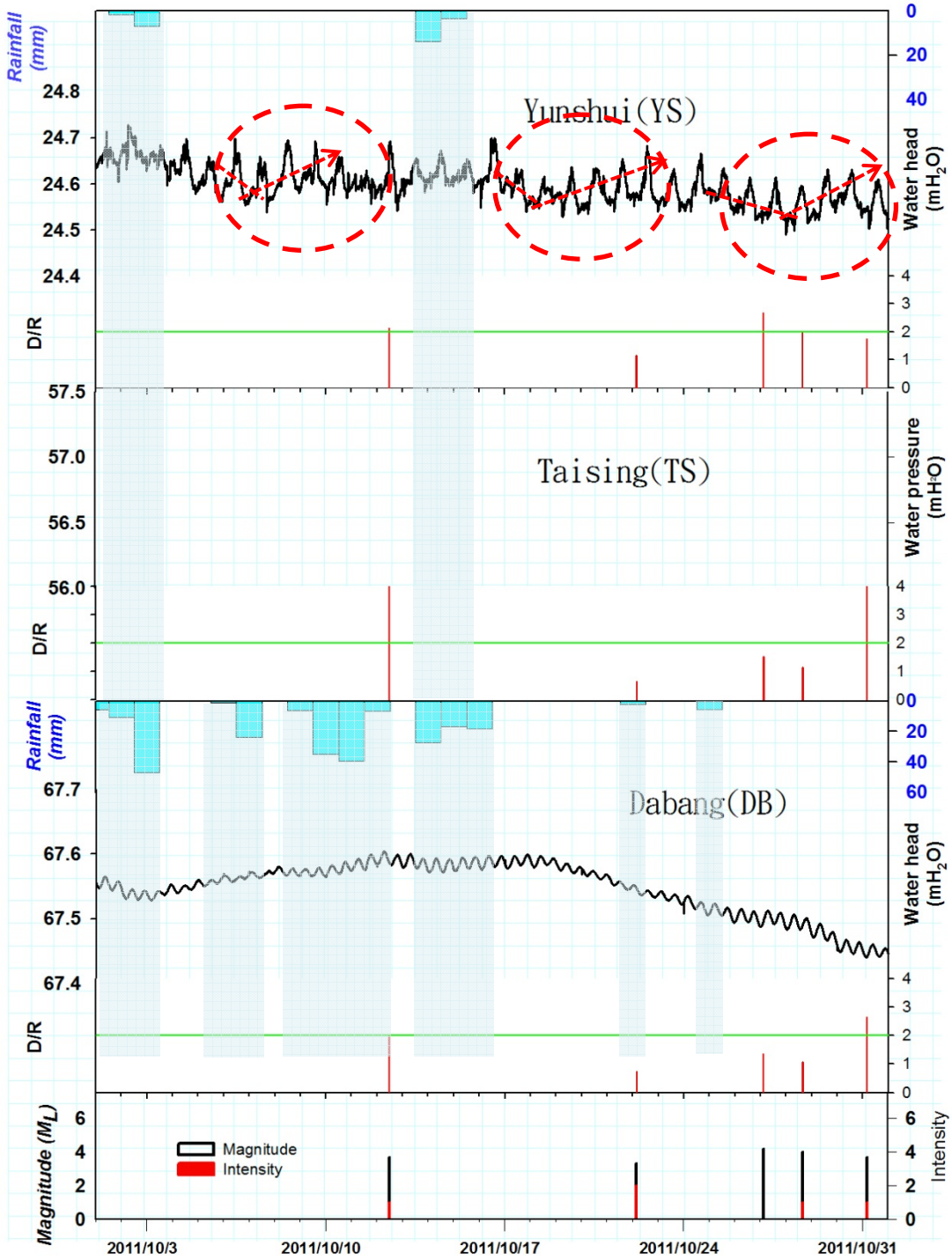
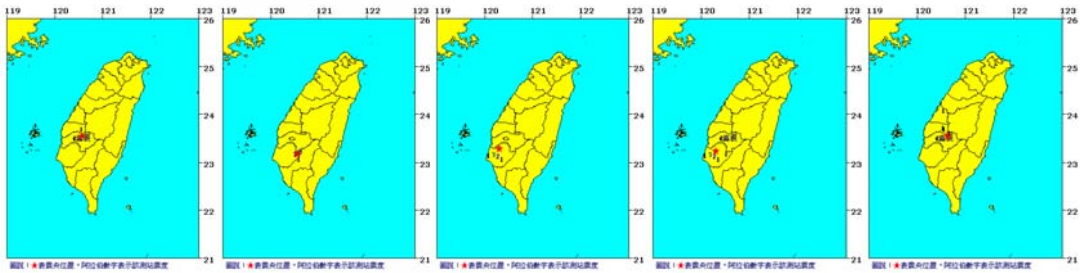


圖 6-44 嘉義地區 2011 年 10 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



M_L=3.7　M_L=3.3　M_L=4.2　M_L=4　M_L=3.7

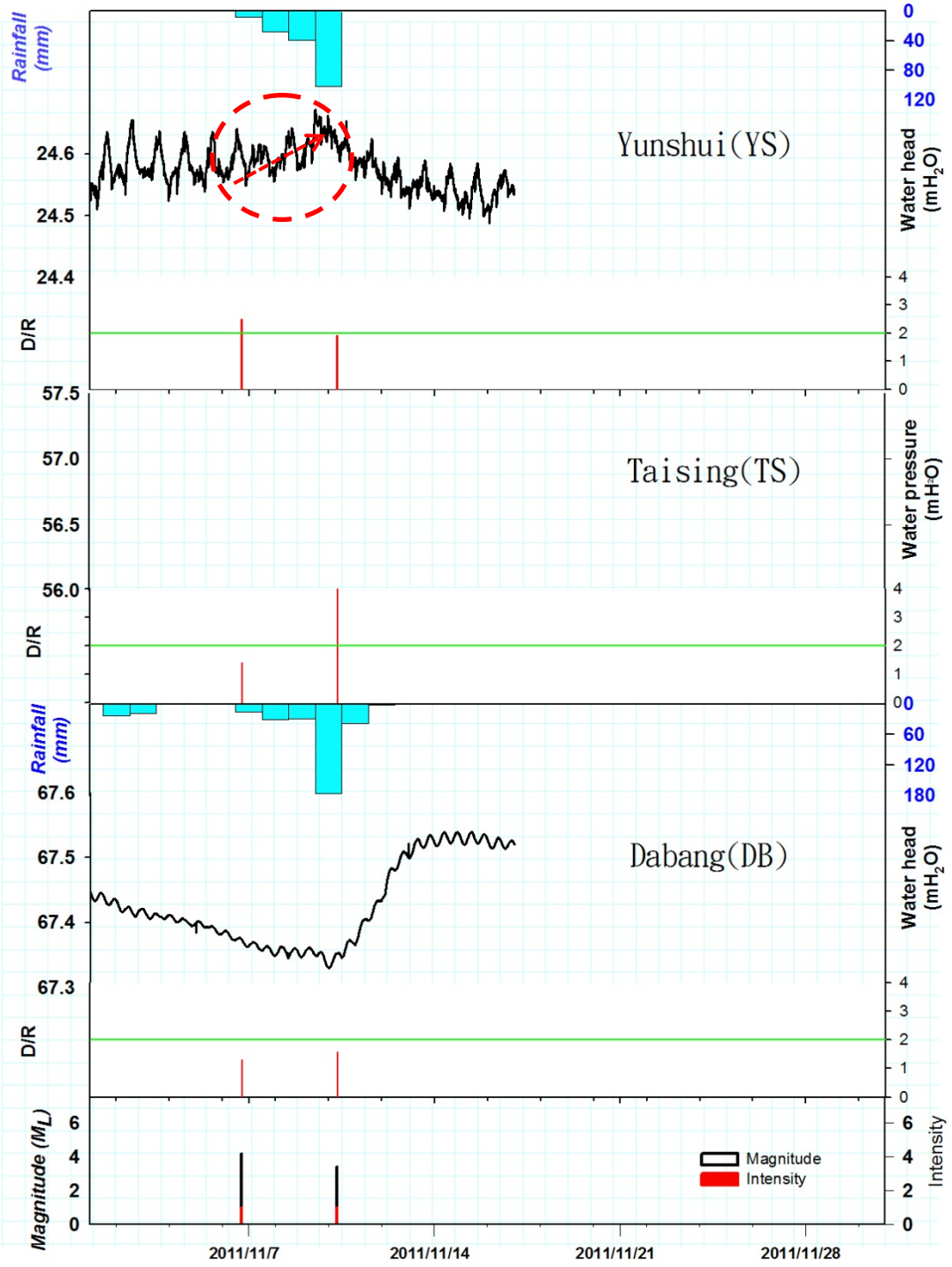
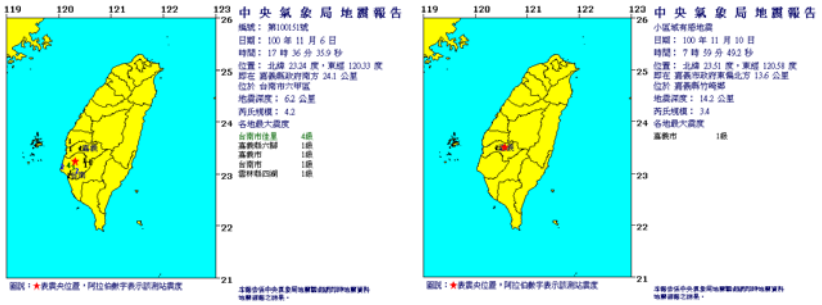


圖 6-45 嘉義地區 2011 年 11 月沄水、太興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。紅色虛線圈為疑似震前水位異常。



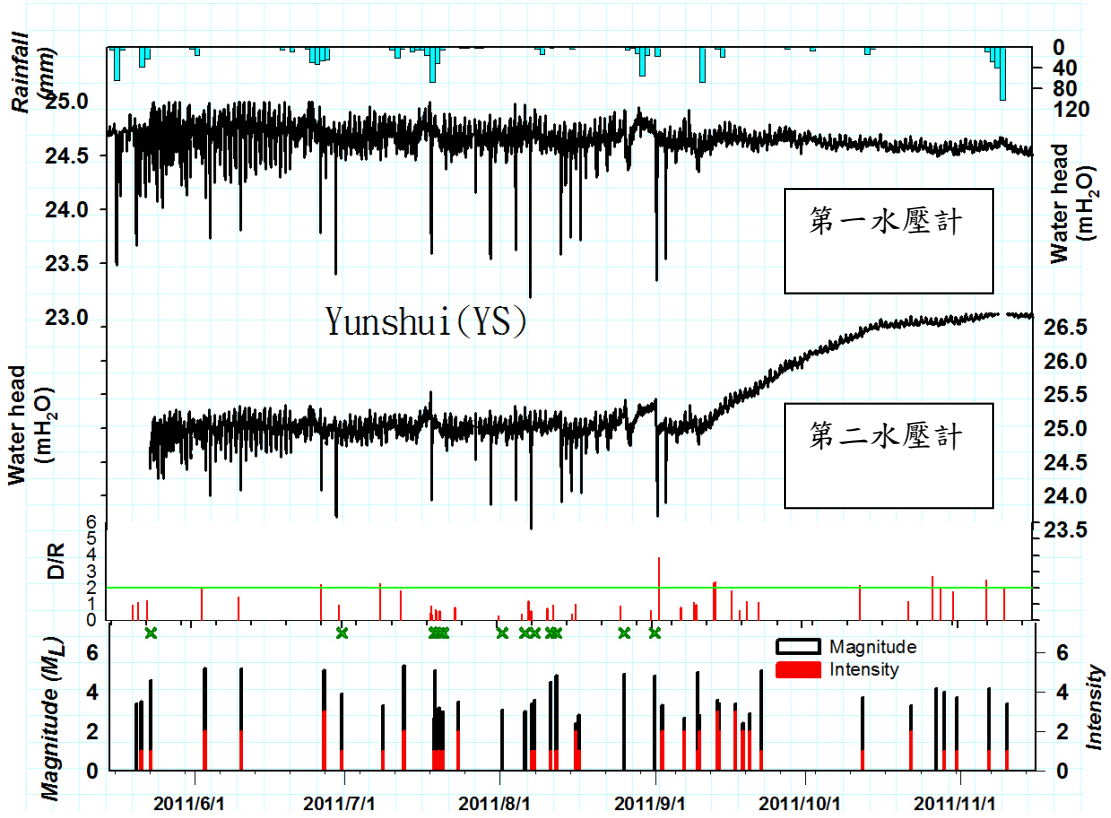


圖 6-46 嘉義地區 2011.5.15~2011.11.15 沄水第一與第二水壓計與地震及降雨之對比圖。

6-4 震前地下水壓變化資料整合

統計自 2008 年 12 月至 2010 年 11 月 15 日之篩選地震與水位有前兆反應之地震，紀錄於表 6-1~6-3，並將其空間分布圖繪製於圖 6-47~6-49。而某些未達篩選條件之地震在震前有觀測到水位異常升降的地震空間分布圖繪製於圖 6-50~6-52。

台北地區表6-1中共有124起地震,前兆地震有31起,疑似前兆有30起(表6-1)，多分布在台灣東北部，少數幾起位在台灣中部地區(圖6-47)。有多起地震不在篩選條件範圍內，但地下水位出現異常反應，這些地震多位於台灣東北部沿岸附近(圖6-50)。台北觀測站中，錦和站的震前水位異常變化皆呈現上升或先降後升或是潮汐現象振盪幅度減弱；樹林站則皆是上升或先降後升之異常反應；明德站的震前水位異常變化除了2月1日和3月20日地震呈現下降反映外，其餘都是上升或是先降後升(表6-1)。

新竹地區表 6-2 中共有起 78 地震，前兆地震有 30 起，疑似前兆地震 9 起，其中今年度有一起地震不在篩選條件範圍內,但地下水位有出現前兆反應(表 6-2)。新竹地區反應較佳為新樂觀測站。前兆地震除了新竹境內數起小規模地震外，多分布在台灣東北部(M_L>4.7)及花蓮近海(M_L>5.2) (表 6-2)。有兩起前兆地震位於南投縣，在同一天發生， 2009 年 11 月 5 日，規模分別是 6.2、5.7，這兩起地震，造成台北、新竹、嘉義 2~4 級震度，且三地區之觀測站也都有前兆反應。新竹地區三個觀測站中，以新樂站和雙溪站較利於地震前兆觀測，其中雙溪站的震前水位異常變化皆呈現潮汐現象振盪幅度減弱，而新樂站的前兆反應則較不一定。

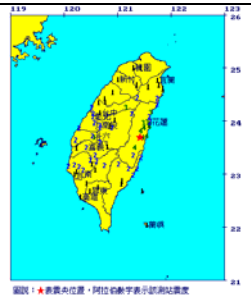
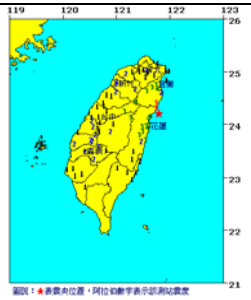
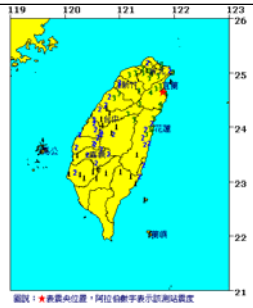
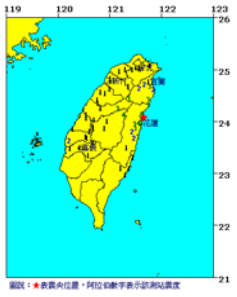
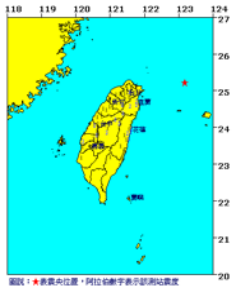
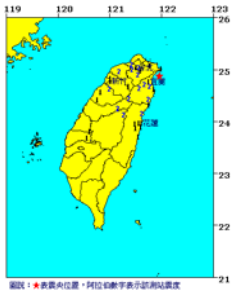
嘉義地區表 6-3 中共有 196 起地震，前兆反應地震 84 起，疑似前兆地震 33 起，有多起不在篩選條件內的地震，但地下水位有異常反應，多是鄰近地區(嘉南地區)發生的局發地震。前兆地震多反應出台灣中南部、花蓮及台灣東部外海的地震(圖 6-49)。規模小於 4 有前兆反應的地震，其震央距皆在 80 公里以內。大於 150 公里以外的前兆地震，規模皆大於 5。嘉義三個觀測站中，沄水站的震前水位異常反應皆為驟降後回升或是先降後升；太興站震前異常大部分為水位上升，可惜自今年度 6 月以後就故障沒接收資料了；達邦站的震前異常反應則較不一定。

若僅考慮符合篩選條件(地震規模≧5 or 觀測站附近震度≧2 or D/R≧2)且震央距在 200 公里以內之地震，自 2008 年 12 月至 2010 年 11 月 15 日，台北地區共有 85 起地震，前兆地震 24 起，疑似前兆有 6 起。新竹地區共有 62 起，前兆地震 27 起，疑似前兆有 7 起。嘉義地區共有 148 起，前兆地震 64 起，疑似前兆有 16 起，空間分布見圖 6-47~6-49。未達篩選條件之地震，震前出現水位異常的地震空間分布見圖 6-50~6-52，台北、新竹震前有異常反應之地震多位於台灣

東北部沿海區域，嘉義則範圍較廣(圖 6-52)，但也都與歷年來前兆地震分布紀錄相符(圖 6-49)。

本年度(自 2010 年 12 月至 2010 年 11 月 15 日) 地震規模 5 以上且跨兩地區以上震前有水位異常反應之地震有 2010 年 12 月 6 日規模 5.2、2011 年 2 月 1 日規模 5.5、3 月 20 日規模 5.8、4 月 30 日規模 5.8、9 月 22 日規模 5.2、10 月 30 日規模 6.3、10 月 31 日規模 5 等七起發生於台灣東部地區及其外海之地震，詳細資料列於表 6-4。其中 2011 年 3 月 20 地震之震前異常，台北地區由於在 3 月 19 日宜蘭南澳也發生一起台北震度 1 級之地震，因此將 3 月 20 地震列為疑似前兆反應地震；而新竹地區新樂站之水位異常不顯著，亦將 3 月 20 此地震列為疑似。同年 4 月 30 日地震，雖然一日前嘉義沄水水位異常，但較大可能性是 4 月 29 日台東外海規模 5.9、嘉義震度 2 級之地震影響。同年 10 月 30 日台灣東北部海域規模 6.3 地震，雖然震前台北、新竹、嘉義都出現水位異常反應，但台北、新竹也有可能是受到 10 月 31 日宜蘭近海規模 5 之地震影響。

表 6-4 本年度地震規模 5 以上且跨兩個地區(台北、新竹、嘉義)以上有前兆反應之地震列表

時間	2010/12/6 10:14	2011/2/1 16:16	2011/3/20 13:19	2011/4/30 16:35
規模	M_L=5.2	M_L=5.5	M_L=5.8	M_L=5.8
位置				
前兆地區(觀測站)	台北(錦和、明德) 嘉義(沄水)	台北(錦和、樹林、明德) 新竹(新樂)	嘉義(沄水、達邦) 台北(錦和、樹林、明德)(疑似) 新竹(雙溪、新樂)(疑似)	台北(錦和、明德) 新竹(雙溪、新樂) 嘉義(沄水) (疑似)
同震現象		新竹(新樂)		
時間	2011/9/22 06:18	2011/10/30 11:23	2011/10/31 23:17	
規模	M_L=5.2	M_L=6.3	M_L=5	
位置				
前兆地區(觀測站)	台北(錦和、樹林、明德) 新竹(雙溪、新樂)	台北(錦和、樹林、明德) (疑似) 新竹(雙溪、新樂) (疑似) 嘉義(沄水) (疑似)	台北(錦和、樹林、明德) 新竹(雙溪、新樂)	
同震現象				

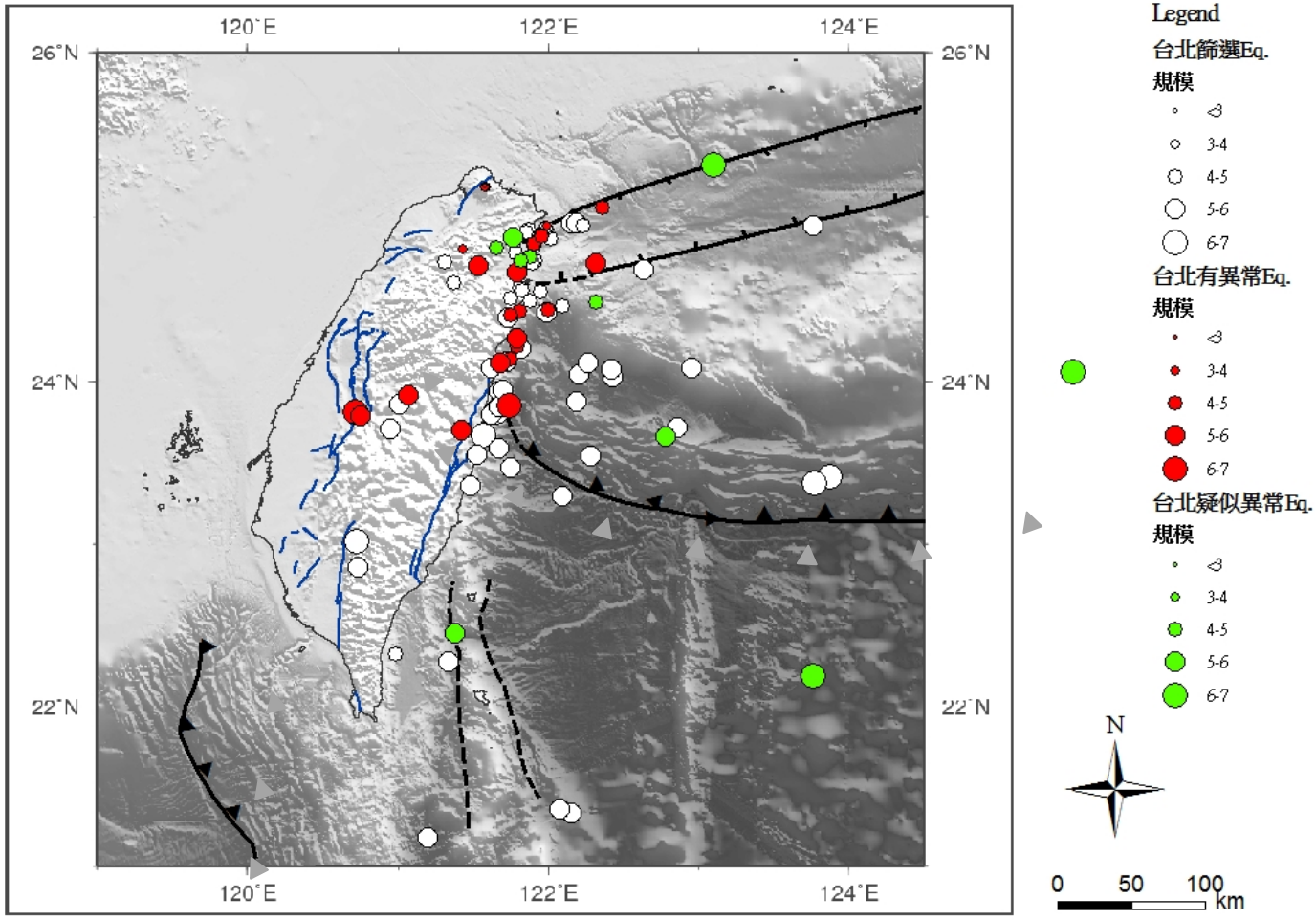


圖 6-47 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及台北地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 11 月至 2011 年 11 月)。

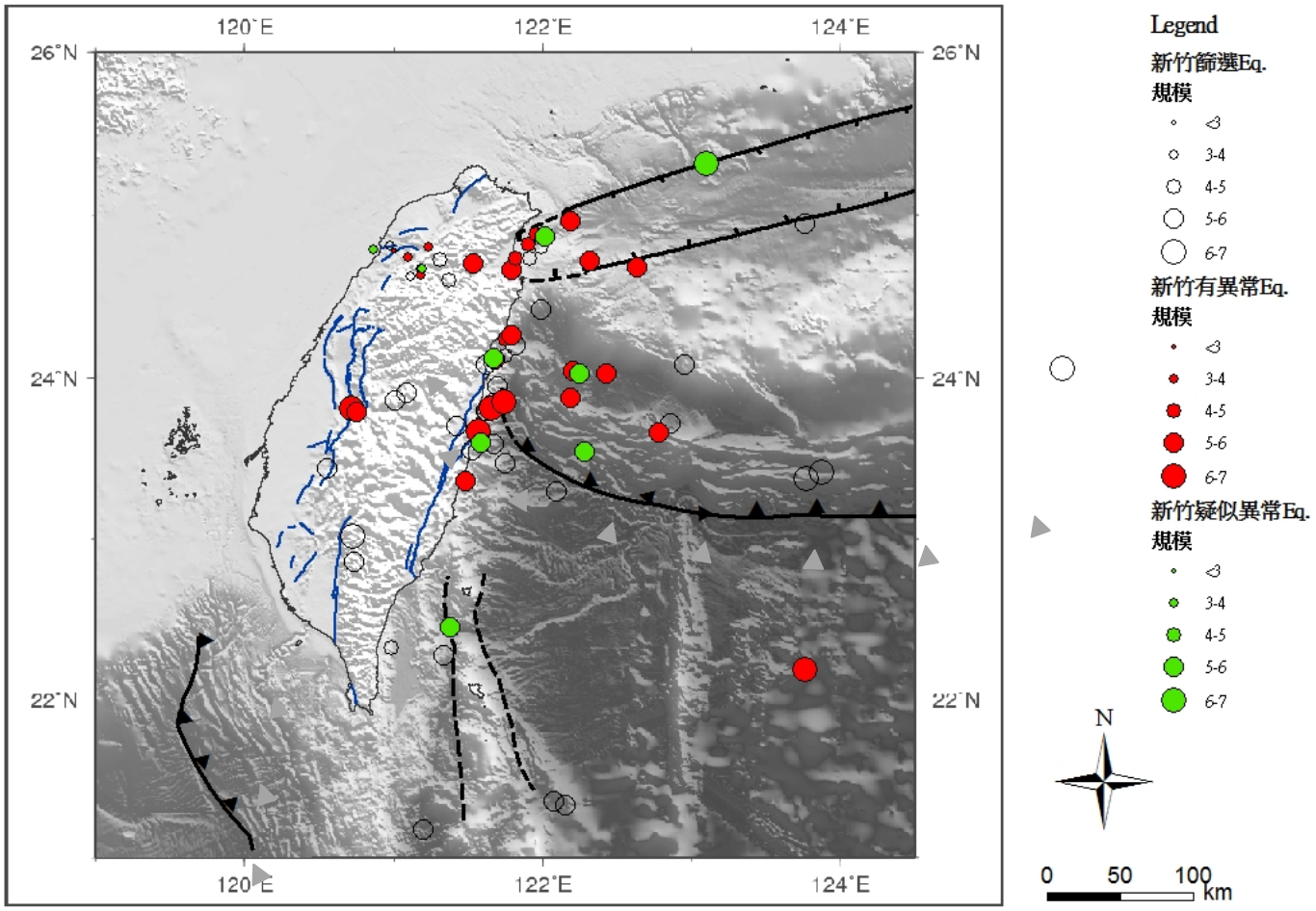


圖 6-48 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及新竹地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 11 月至 2011 年 11 月)。

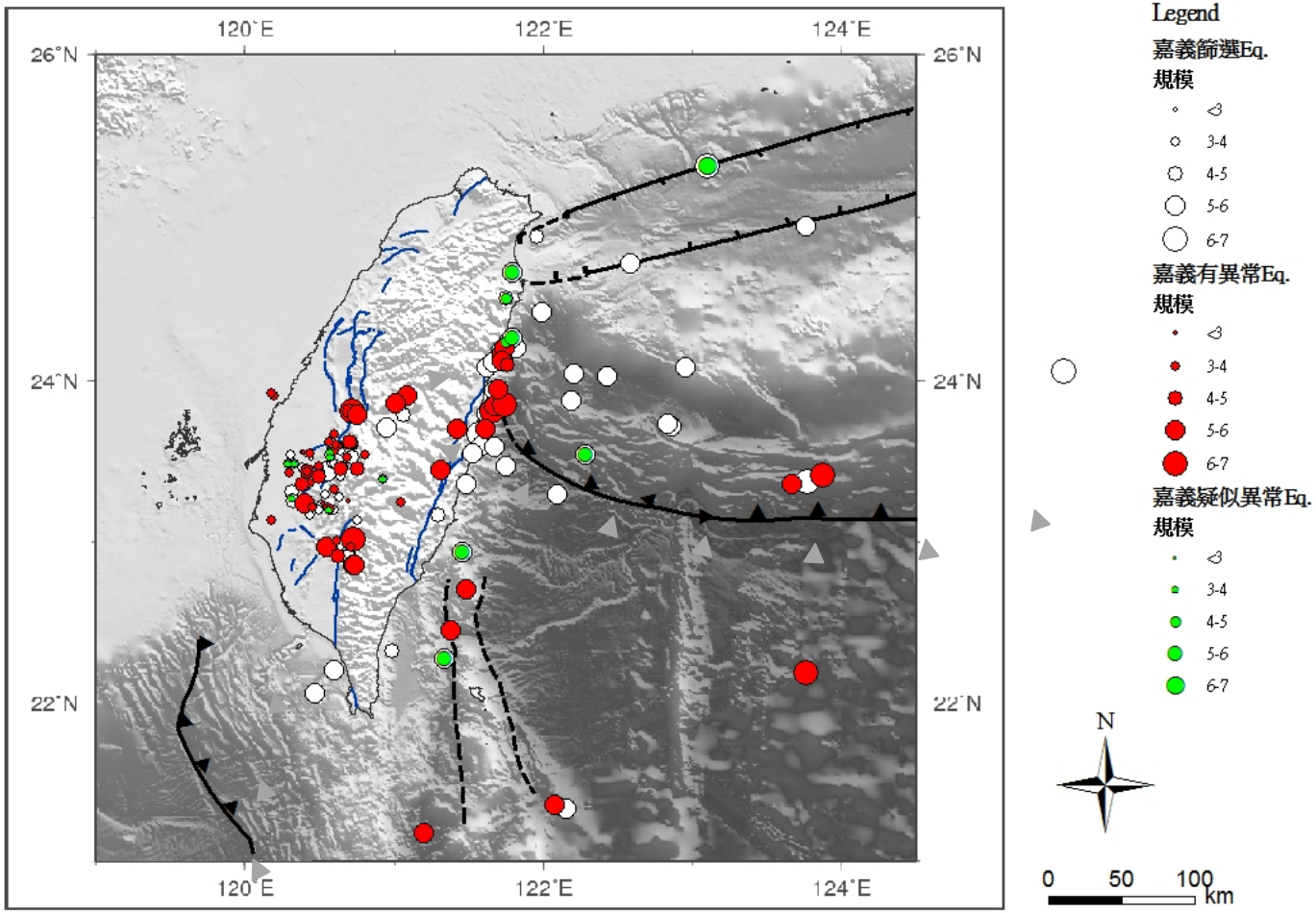


圖 6-49 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及嘉義地區觀測井有前兆反應的地震震央分布圖(2008 年 11 月至 2011 年 11 月)。

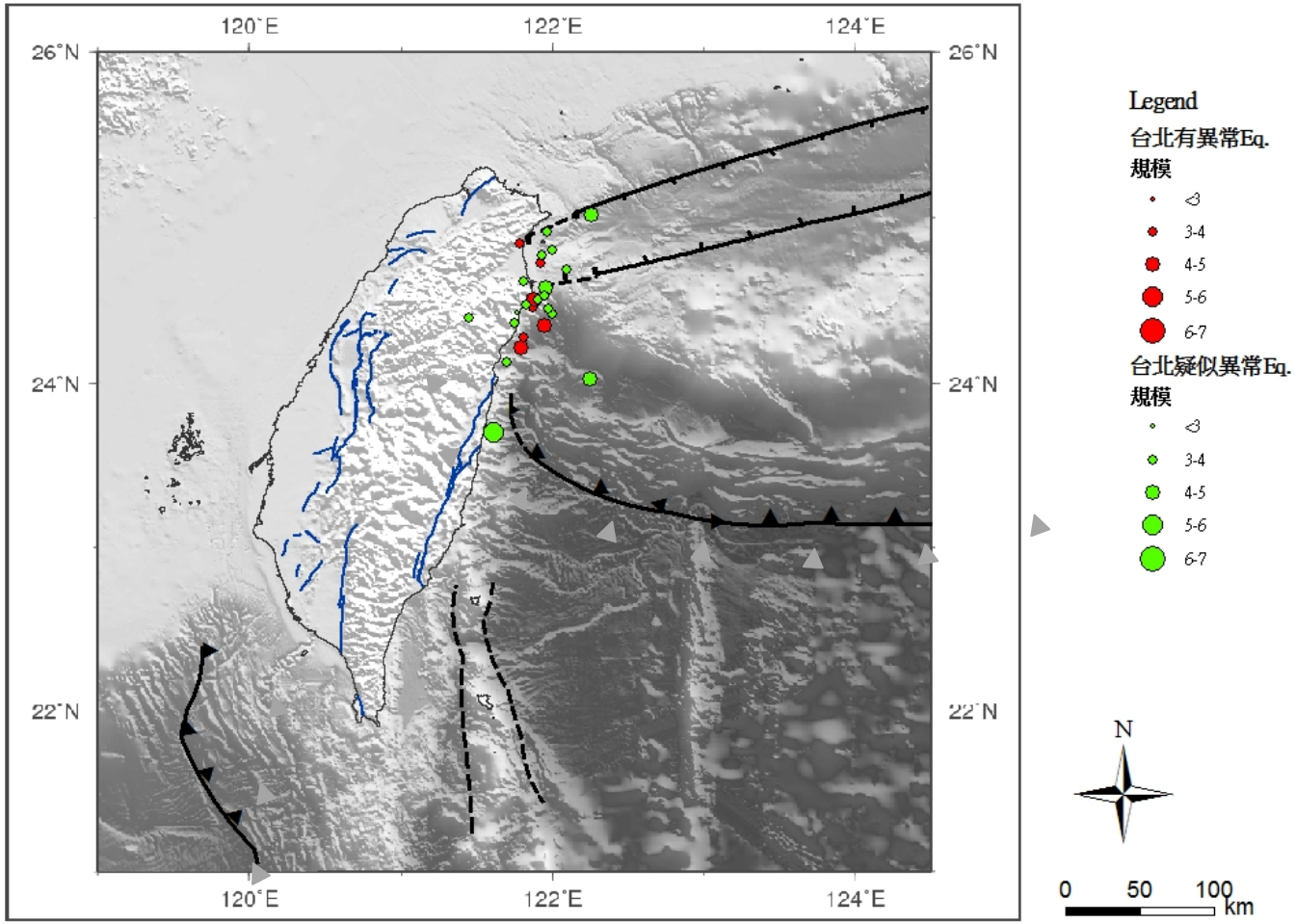


圖 6-50 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及台北地區未符合篩選條件但震前出現水位異常反應的地震震央分布圖 (2008 年 11 月至 2011 年 11 月)。

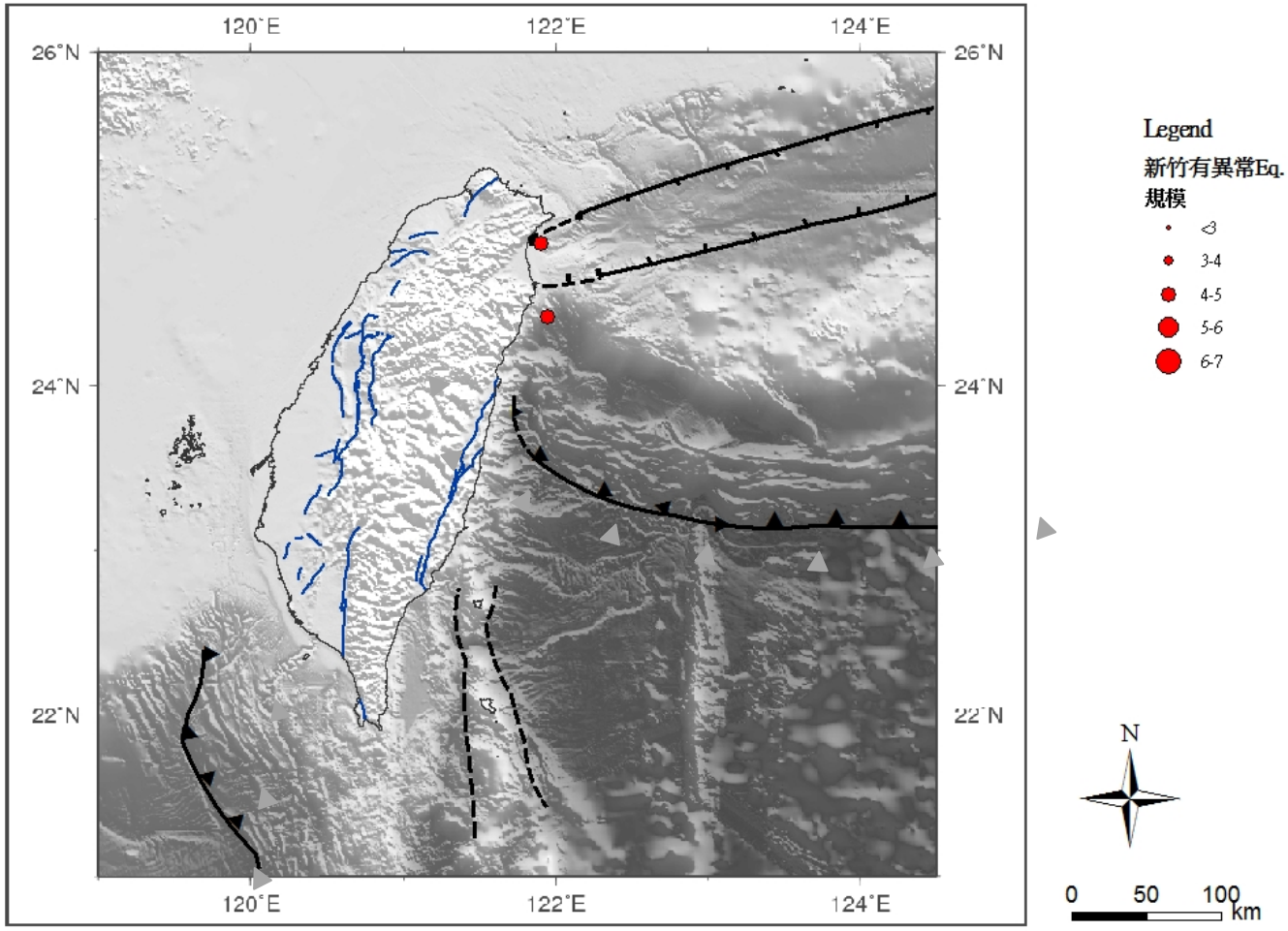


圖 6-51 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及新竹地區未符合篩選條件但震前出現水位異常反應的地震震央分布圖 (2008 年 11 月至 2011 年 11 月)。

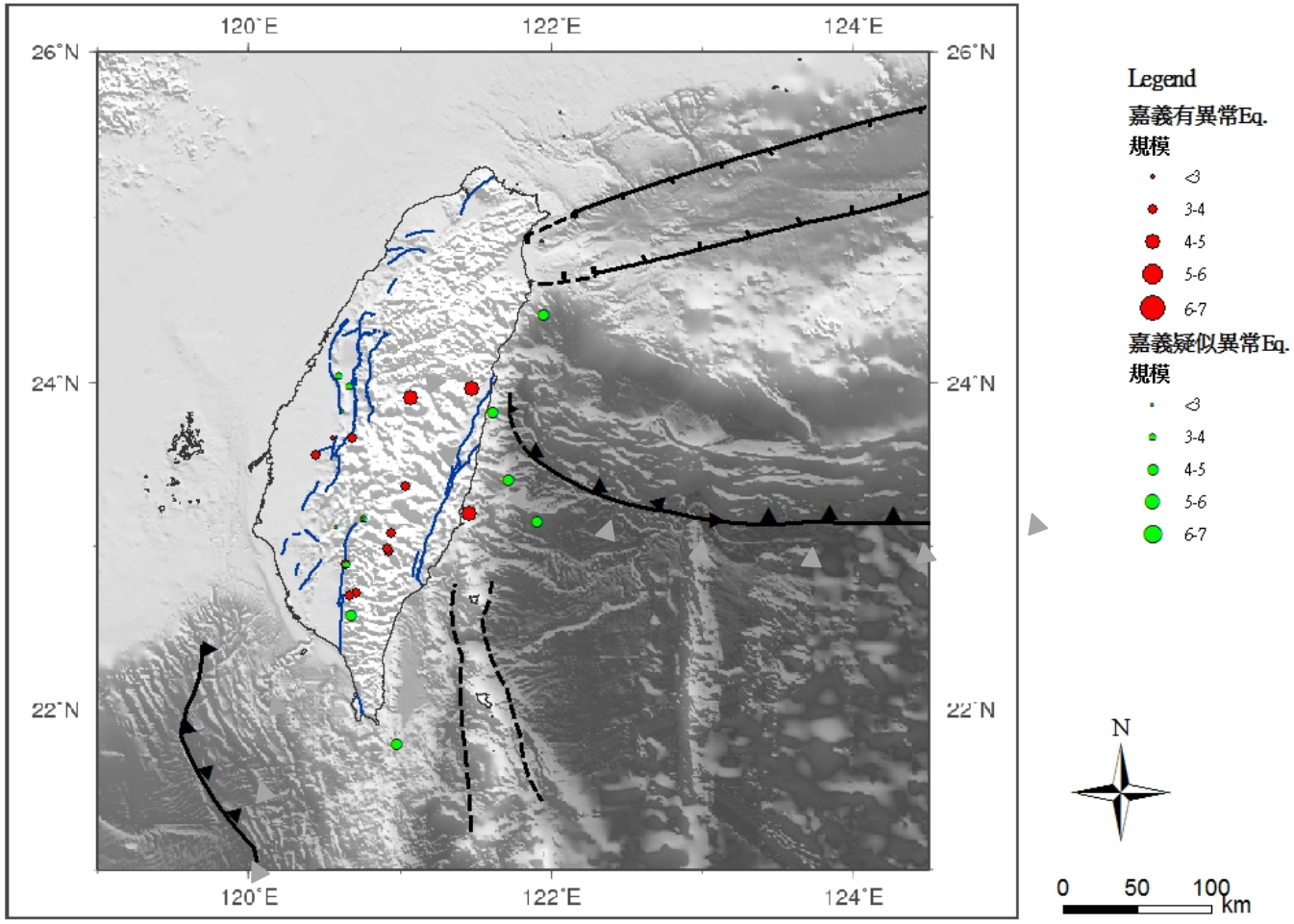


圖 6-52 台灣島與鄰近地區的板塊構造架構以及嘉義地區未符合篩選條件但震前出現水位異常反應的地震震央分布圖 (2008 年 11 月至 2011 年 11 月)。

6-5　年度較大地震討論

99年度所發生規模大於6的地震（表6-5），除了3月4日發生於高雄甲仙之地震外，大多位於台灣東部外海。

2009年12月19日規模6.9之地震，新竹和嘉義地下水位皆有前兆反應，而台北三個測站地下水壓雖然都出現異常上升，但也同時有降雨的干擾，無法判斷是否地震影響之震前異常反應，同時台北、新竹、嘉義皆有觀測站出現同震效應。另外出現同震反應的有2010年3月4日高雄甲仙地震，新竹新樂站及嘉義地區中興、太興、達邦和沄水等觀測站皆有同震反應。

2010年2月7日花蓮外海規模6.6地震，對於台北、新竹、嘉義測站D/R值皆大於2，但震央距也都大於300公里，皆無觀測到無前兆反應。同樣也是遠距離大地震，2010年10月4日宜蘭外海規模6.6地震，其發生位置緯度接近北緯24度，台北地區三個觀測站與新竹新樂站地下水位在震前1日出現異常上升之前兆反應。

100年度目前尚未發生規模6以上的地震，而規模介於5.5至6之間的地震則有五起（表6-6），其中2011年2月1日與4月30日所發生的兩起地震，震央分別位於花蓮東北與宜蘭東部，其餘三起2月15日、3月20日、4月29日等地震震央皆於台灣東南外海。

2011年2月1日之地震規模為5.5，對於台北、新竹、嘉義的影響震度均為2級，並造成台北明德、錦和、樹林站，以及新竹的新樂等四站在震前1~3日出現地下水位異常下降7~20cm（此四站D/R值都在2.5到3之間），且其中新竹新樂站也出現水位上升5cm之同震變化。

同年2月15日、3月20日、4月29日之三起地震震央皆位於東南海域，其中2月15日發生的地震規模為5.5，因距離過遠(震央距>200km)，對本島各地震度均為0，但沄水測站（D/R=0.91）仍在震前四天及一天出現地下水位異常下降110~120cm；3月20日規模5.8的地震對本島影響較大，台灣中南部分別出現2到3級的震度，且嘉義達邦(D/R=2.41)及沄水觀測站 (D/R=2.3)均出現震前三日地下水位異常下降(表6-3)，以及太興觀測站(D/R=2.17)出現水位上升3cm之同震變化；4月29日之地震規模雖達5.9，嘉義地區震度2級，但因距離本島較遠，所有測站之D/R值均小於2，但嘉義達邦和沄水觀測站均在4月27日發生水位異常升降狀況，而4月29日除了這起地震外，在南投嘉義交界處也發生一起小規模地震，緊接著4月30日也發生一起規模5.8，嘉義震度2級之地震。

2011年4月30日發生於宜蘭縣東部規模5.8的地震，對台北、新竹、嘉義造成2~3級震度，其中D/R值高於5的為台北地區三個測站錦和(D/R=6.28)、明德

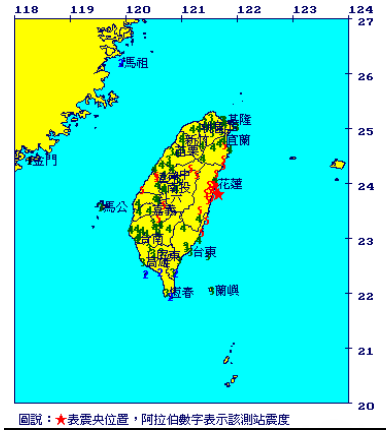
(D/R=5.88)、樹林(D/R=5.66)以及新竹的新樂(D/R=5.44)，此四個高D/R值的測站除了台北的樹林測站外，均出現震前3~4天水壓上升3~12cm的異常狀況(表6-1)。

2011年10月30日台灣東北部海域發生一起規模6.3地震，台北震度2級，新竹、嘉義震度1級。台北錦和、明德、樹林站在6日前出現水位異常，新竹雙溪、新樂站也在5~6日前出現水位異常，但此次異常也可能同時受到10月31日宜蘭近海規模5之地震影響。嘉義沄水在3日前也出現水位異常現象，但相較於以往沄水的水位異常反應，近期水位異常變化較小，變化量僅在10公分以內，目前仍在觀察沄水站的變化。

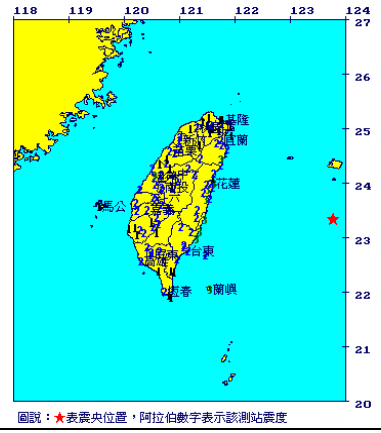
表 6-5 99 年度規模 6 以上之地震影響

西元時間	規模	震度	深度(km)	位置	水壓異常反應測站**(D/R 值)**	同震反應測站**(D/R 值)**
2009/12/19 21:02	6.9	4(台北、新竹、嘉義)	43.8	如下圖(A)	雙溪(7.24)、沄水(7.49)、中興(8.91)	樹林(6.94)、新樂(8.27)、太興(8.58)、中興(8.91)、達邦(9.27)
2010/2/7 14:10	6.6	2(台北、新竹、嘉義)	88	如下圖(B)	附註：台北、新竹、嘉義 2.5 < Q/R < 3	
2010/3/4 08:18	6.4	5(嘉義) 2(台北、新竹)	22.6	如下圖(C)	太興(9.29)	新樂(2.84)、沄水(12.06)、太興(9.29)、中興(10.68)、達邦(11.26)
2010/4/26 10:59	6.8	2(台北、新竹、嘉義)	73.4	如下圖(D)	新樂(2.2)、沄水(2.36)、中興(2.44)	
2010/10/4 21:28	6.6	1(台北、嘉義)	60	如下圖(E)	錦和(2.05)、樹林(2.01)、明德(2.01)、新樂(1.56) 附註：新竹、嘉義 D/R<2	

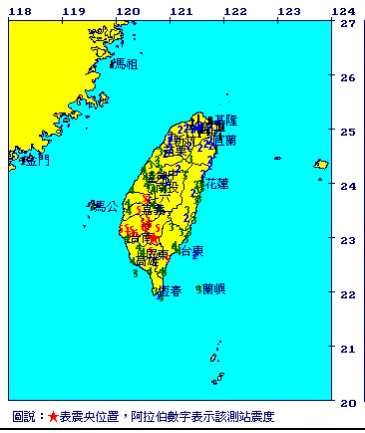
圖(A)



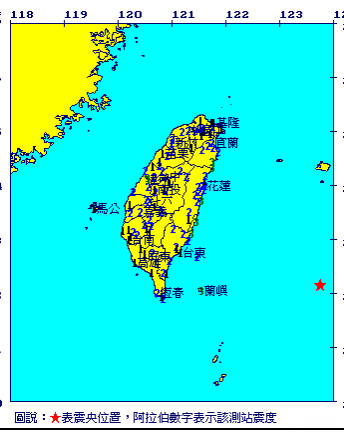
圖(B)



圖(C)



圖(D)



圖(E)

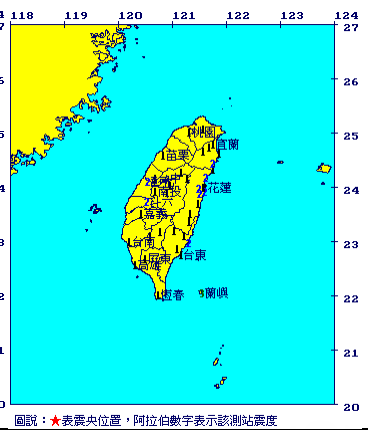
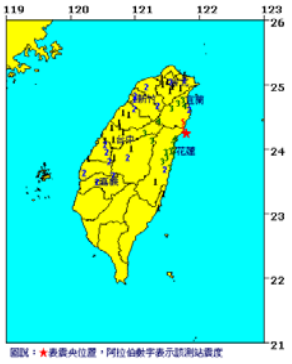


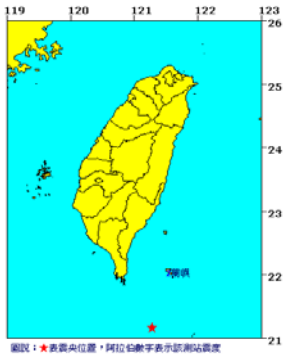
表 6-6 100 年度規模 5.5 以上之地震影響

西元時間	規模	震度	深度(km)	位置	水壓異常反應測站**(D/R 值)**	同震反應測站**(D/R 值)**
2011/2/1 16:16	5.5	2(台北、新竹、嘉義)	17.6	如下圖(A)	錦和(2.61)、樹林(2.55)、明德(2.70) 新樂(2.98)	新樂(2.98)
2011/2/15 15:18	5.5	0(台北、新竹、嘉義)	71.2	如下圖(B)	沄水(0.91) 附註：台北、新竹、嘉義 D/R < 1	
2011/3/20 16:00	5.8	0(台北、新竹) 3(嘉義)	27.5	如下圖(C)	達邦(2.41)、沄水(2.3) 疑-新樂(1.23)	太興(2.17)
2011/4/29 21:12	5.9	0(台北、新竹) 2(嘉義)	178.1	如下圖(D)	達邦(1.28)、沄水(1.25) 附註：台北、新竹 D/R < 1	
2011/4/30 16:35	5.8	3(台北) 2(新竹、嘉義)	75	如下圖(E)	錦和(6.28)、明德(5.88)、新樂(5.44) 疑-達邦(1.82)、沄水(1.63)	
2011/10/30 11:23	6.3	2(台北) 1(新竹、嘉義)	215.8	如下圖(F)	疑-錦和(2.97)、樹林(2.81)、明德(2.74) 雙溪(2.25)、新樂(2.52) 沄水(1.5)	

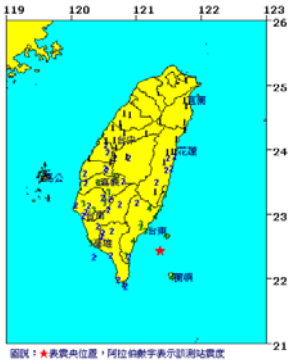
圖(A)



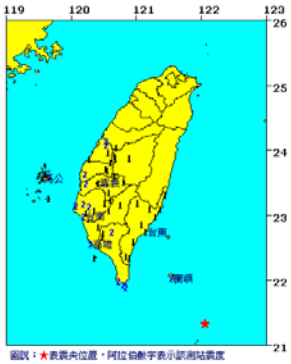
圖(B)



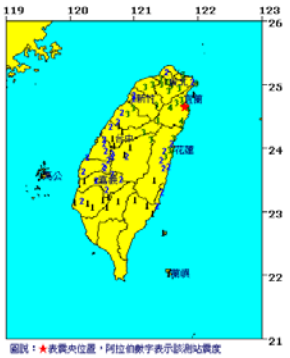
圖(C)



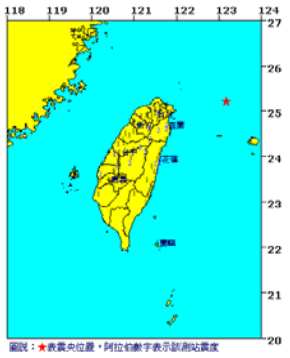
圖(D)



圖(E)



圖(F)



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 2010 年 12 月 1 日至 2011 年 11 月 30 日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 2010 年 12 月 1 日至 2011 年 11 月 30 日雨量、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 96 ± 7 pCi/L。

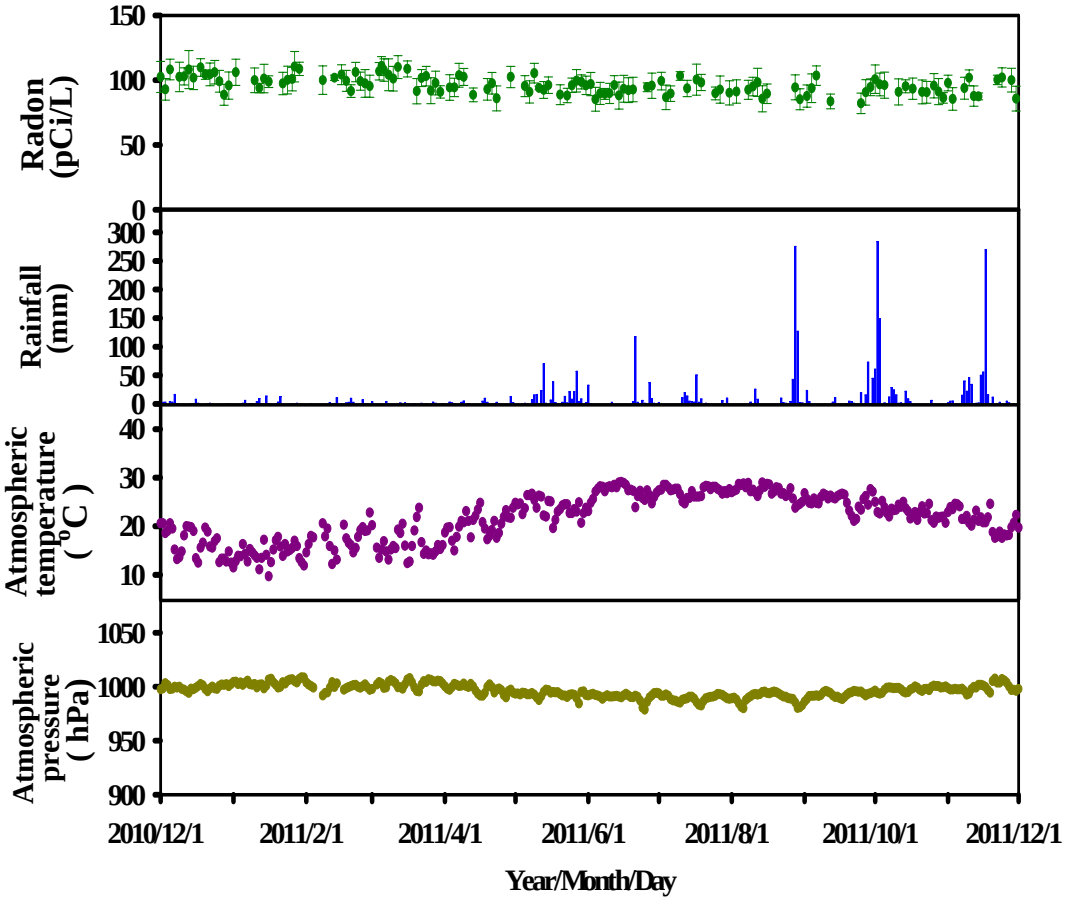


圖 7-1 安通站地下水水氡濃度變化與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

7-2 安通站地下水溶解氣體（甲烷、氮氣）監測

圖 7-2 及圖 7-3 為 2010 年 12 月 1 日至 2011 年 11 月 30 日之地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）監測數據與各項環境因子之關係圖。數據顯示安通站地下水監測井地下水溶解氣體背景濃度，地下水甲烷濃度平均值為 11.2 ± 0.8 mg/L，地下水氮氣濃度平均值為 22.2 ± 2.2 mg/L。將環境因子紀錄資料與地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）監測結果互相比較，並未發現觀測結果有受到環境因子之影響。

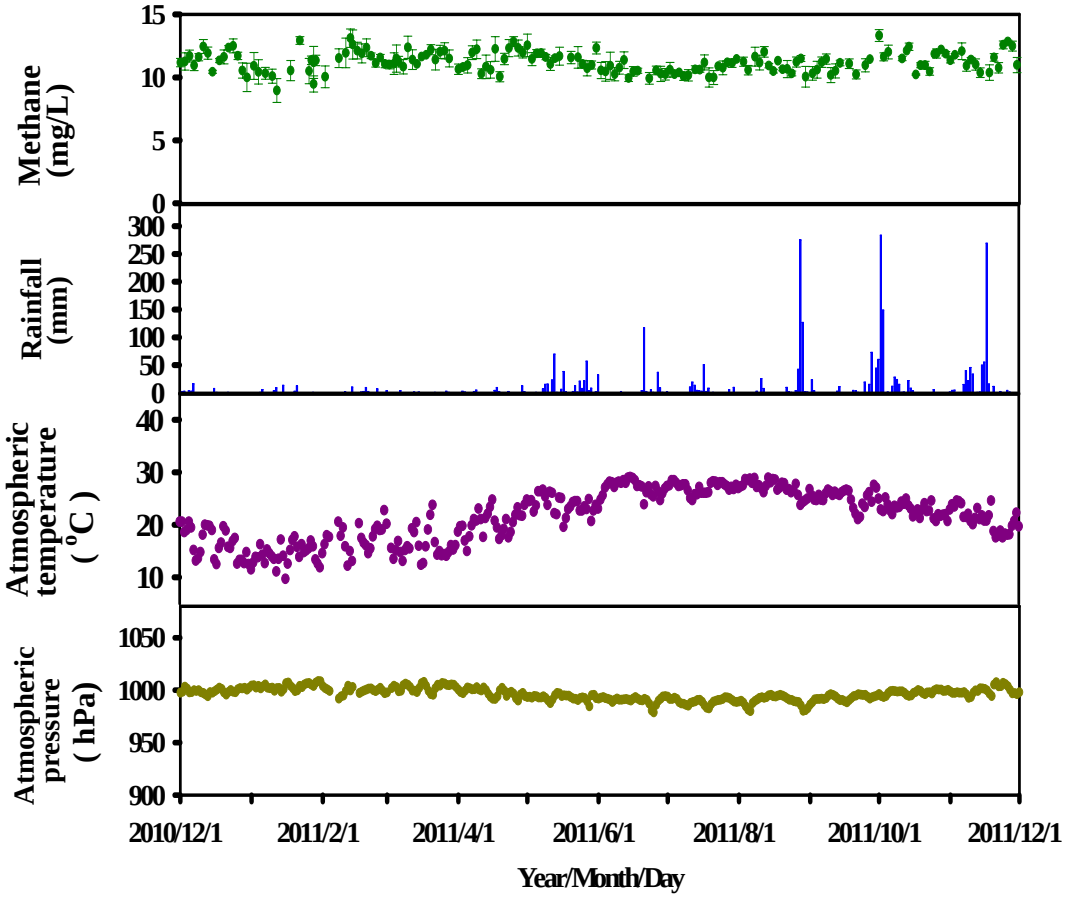


圖 7-2 安通站地下水溶解氣體甲烷濃度監測結果與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

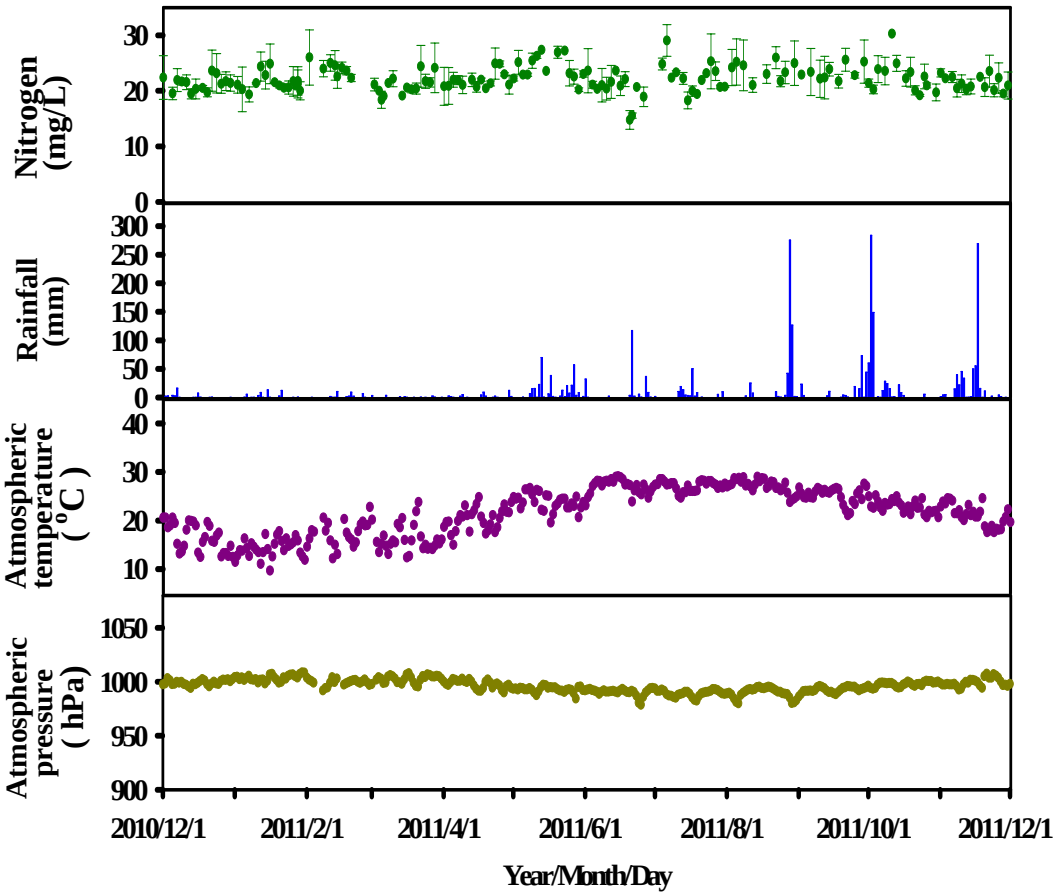


圖 7-3 安通站地下水溶解氣體氮氣濃度監測結果與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

7-3 安通溫泉區地下水水位監測

安通站地下水水氡監測井為自流井，因此選擇吉祥站監測安通溫泉區地下水位，每個月固定收取一次數據，圖 7-4 為吉祥站 2010 年 12 月 1 日至 2011 年 11 月 30 日每日最高地下水位與各項環境因子之關係圖。2011 年 2 月至 2011 年 4 月期間，適逢年節節慶活動旺季，當地業者頻繁且延長抽取溫泉水的時間，加上冬季雨量補注較少，造成地下水位偏低。2011 年 4 月以後，隨著當地業者抽水量之減少，地下水位逐漸回升。整體而言，地下水位變化介於地表下 0.044 米至 61.25 米間。

導水係數及儲水係數為以吉祥站 B 井作為地下水位觀測井，同時以吉祥站 A 井作為生產井，進行抽水試驗後以 Jacob 直線法計算求得，目的為監測含水層中地下水參數和地殼活動之關聯性。圖 7-5 和圖 7-6 為吉祥 B 井鄰近含水層導水係數值和儲水係數值與環境因子之關係圖。導水係數背景平均值為 0.040 ± 0.006 m^2/min；儲水係數背景平均值為 0.000028 ± 0.000013。

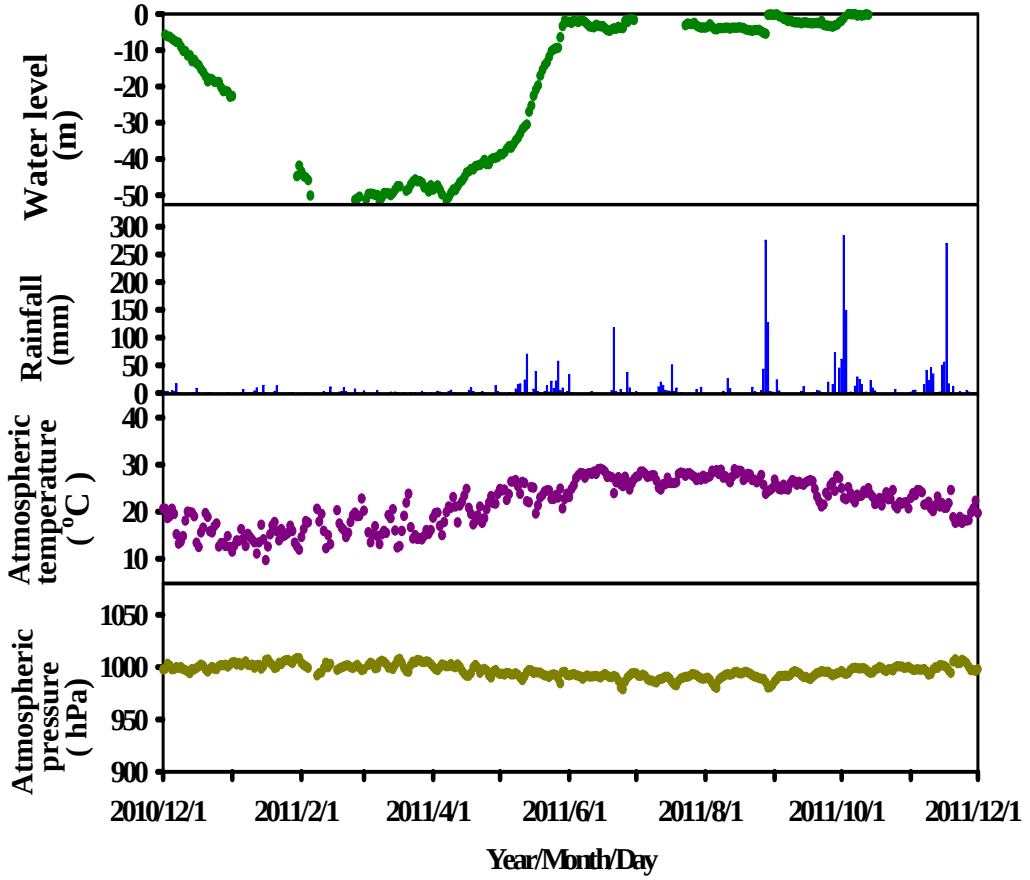


圖 7-4 吉祥站 2010 年 12 月至 2011 年 11 月初每日最高地下水位與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

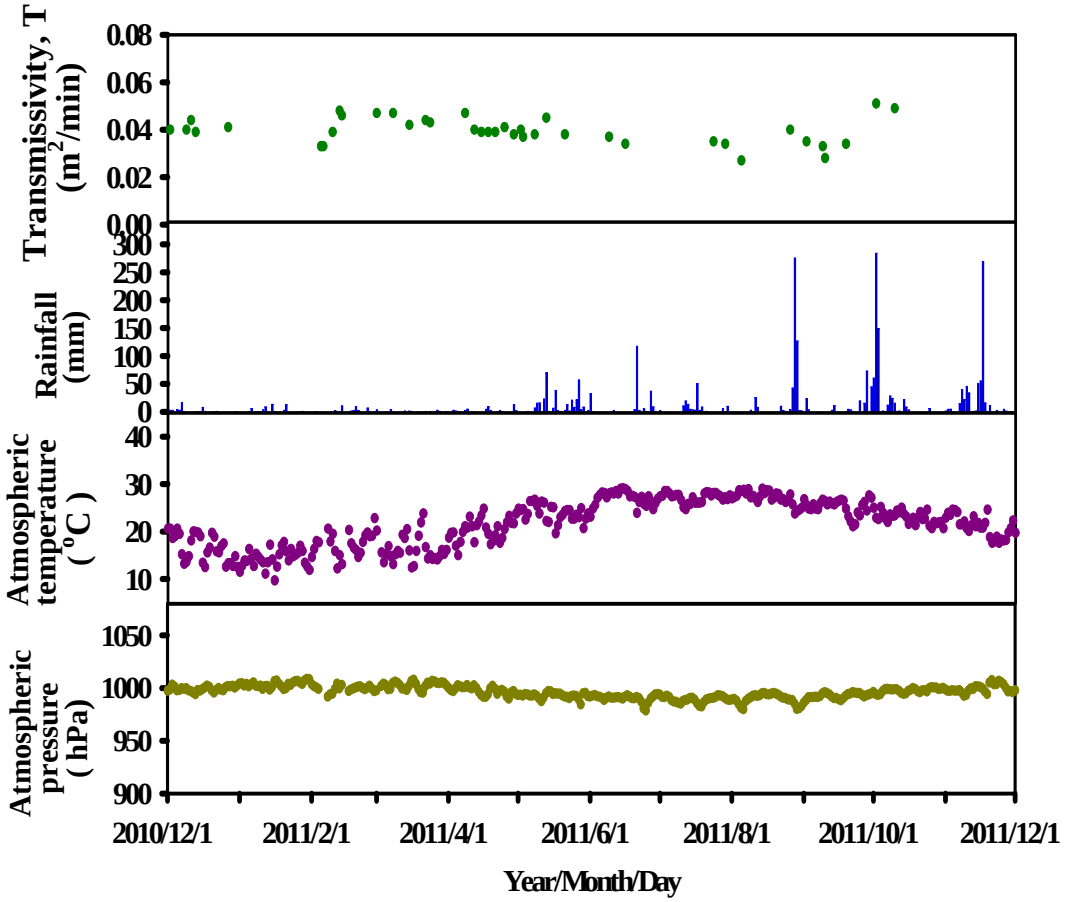


圖 7-5 吉祥站鄰近含水層導水係數T與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

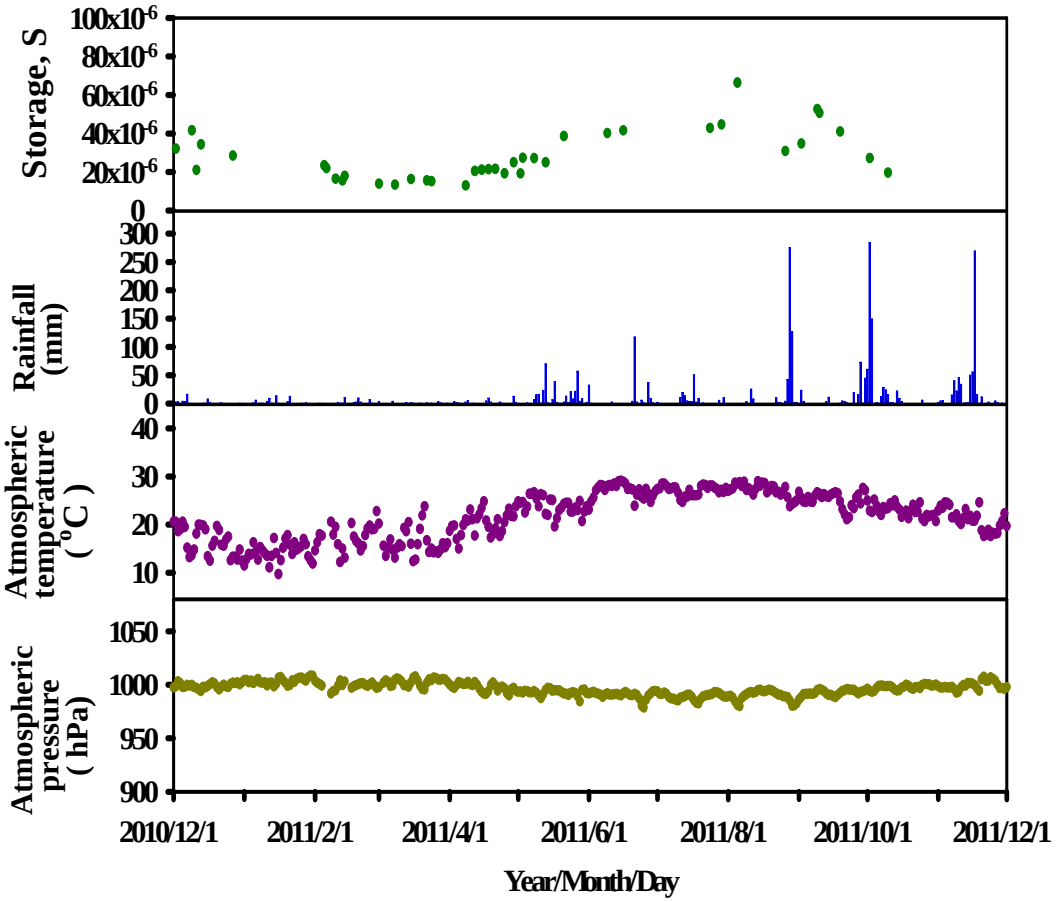


圖 7-6 吉祥站鄰近含水層儲水係數S與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

7-4 安通站地下水溫度監測

本研究在計畫執行期間開始在安通溫泉飯店地下水水氡監測井井頭設置電阻式溫度計紀錄地下水溫度變化，每十分鐘平均一次。安通站地下水溫度監測地殼活動及地震前兆研究，是利用電阻式溫度計監測地下水溫度變化，期待有效應用溫度監測地殼活動。圖 7-7 為安通站地下水水氡監測井 2010 年 12 月 1 日至 2011 年 11 月 30 日之地下水溫度紀錄。研究期間，地下水生產溫度達一穩定值，背景值平均為 63.21 ± 0.11 ℃。將地下水生產溫度監測結果與環境因子紀錄資料互相比較，並未發現觀測結果有受到環境因子之影響。

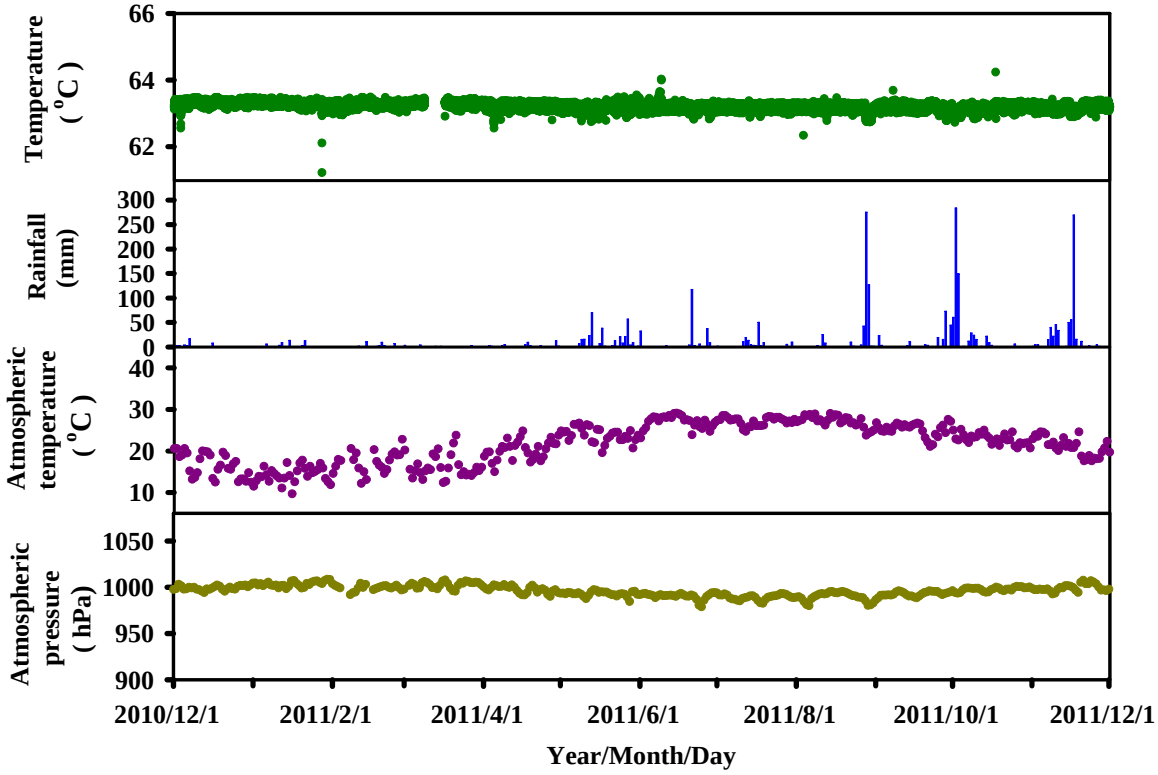


圖 7-7 安通溫泉飯店地下水水氡監測井分離器地下水溫度監測紀錄與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

7-5 恆春半島墾丁社頂監測站地下水水氡濃度監測

墾丁社頂區域自 2010 年 2 月開始進行地下水水氡濃度監測，墾丁社頂地下水水氡濃度監測站（社頂站）為一連續湧水之泉水，採樣頻率為每週三次，每次樣本皆進行三重覆分析。圖 7-8 為 2010 年 12 月 1 日至 2011 年 11 月 30 日之墾丁社頂監測站地下水水氡濃度監測數據與各項環境因子之關係圖。

圖 7-9 為 2010 年 12 月 1 日至 2011 年 11 月 30 日之墾丁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。在 2010 年 3 月 4 日 M_L = 6.4 的高雄甲仙地震、2010 年 11 月 12 日 M_L = 5.3 的屏東枋寮地震及 2011 年 8 月 31 日 M_L = 4.8 的屏東鵝鑾鼻地震發生前，墾丁社頂監測站地下水水氡濃度分別於 2010 年 2 月 19 日、2010 年 10 月 6 日及 2011 年 8 月 25 日降至最低點，有地下水水氡濃度異常下降之地震前兆。三次地震資料如圖 7-10 所示。此結果顯示，墾丁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 7-11 為 2010 年 12 月 1 日至 2011 年 11 月 30 日之墾丁社頂監測站地下水水氡濃度監測數據與降雨量之關係圖。從接近兩年的觀測資料中，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。

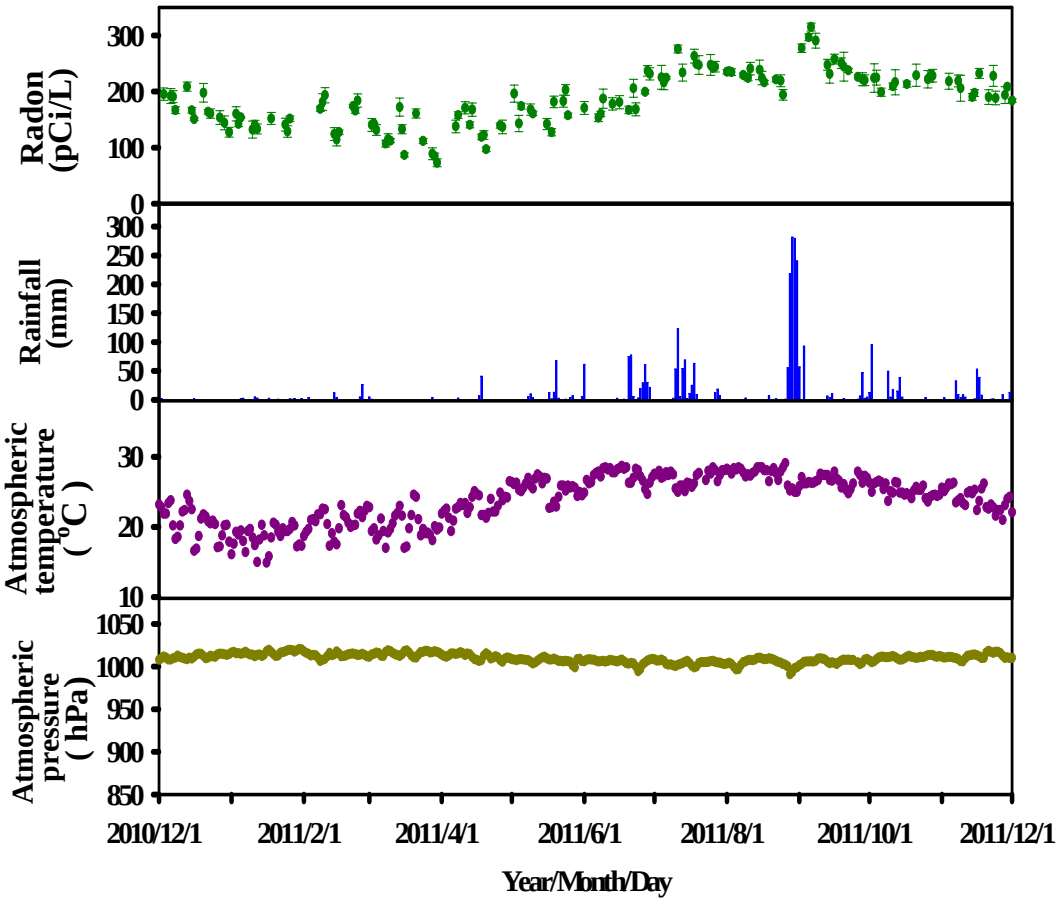


圖 7-8 社頂站地下水水氡濃度變化與環境因子關係圖(環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

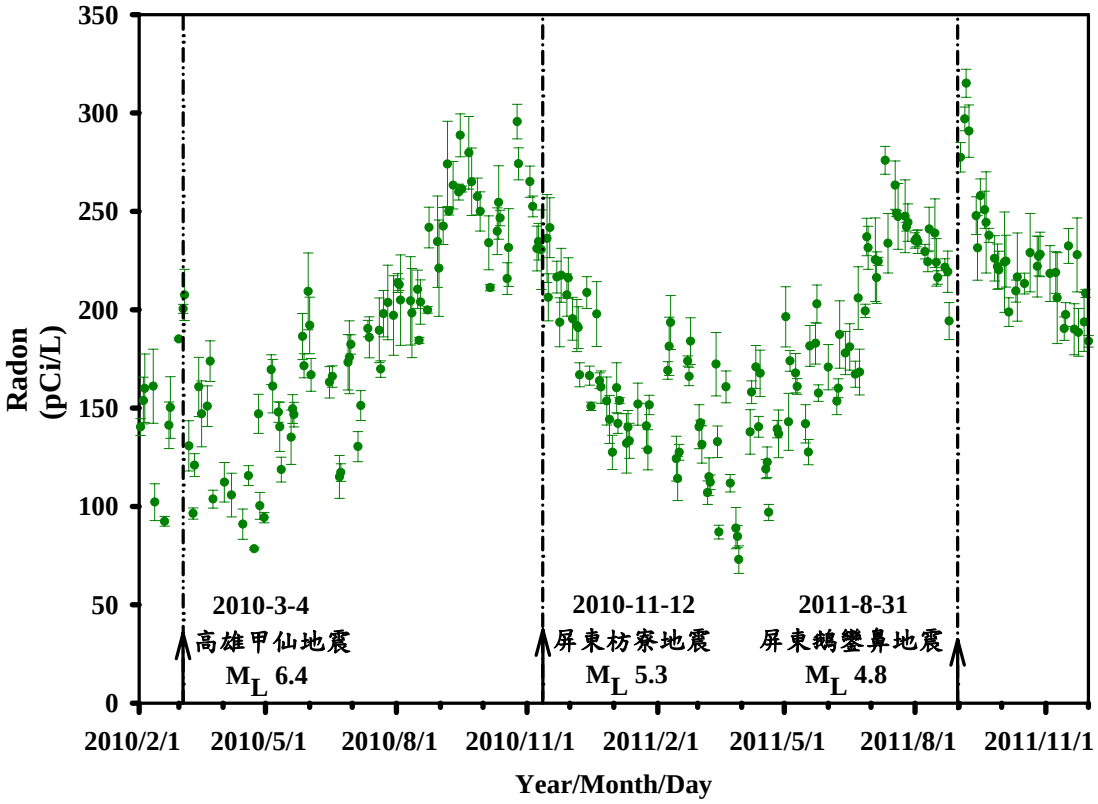
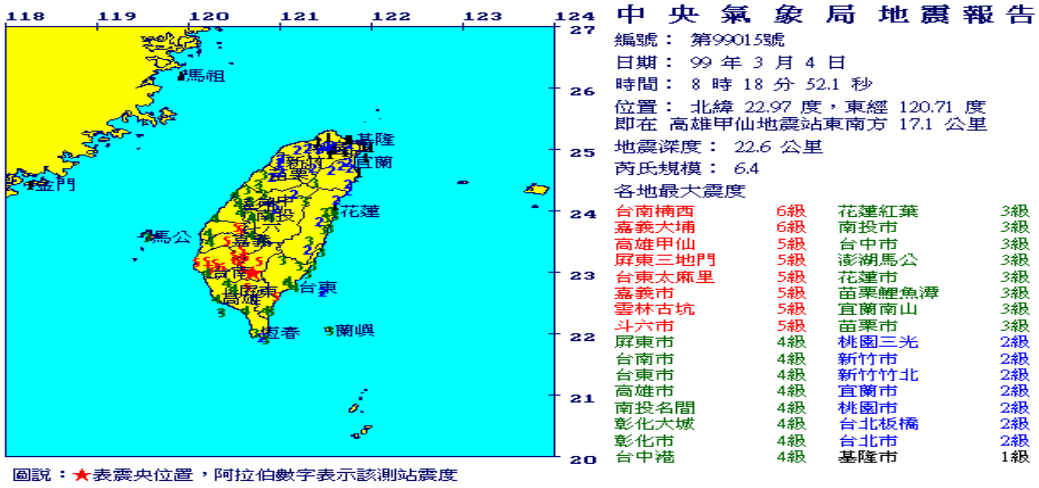
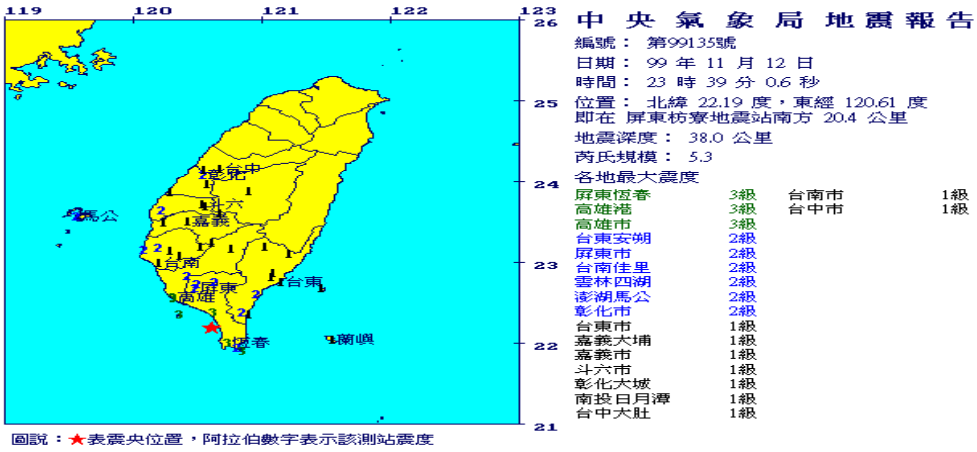


圖 7-9 社頂站地下水水氡濃度變化，及監測到地下水水氡濃度異常下降前兆之地震。





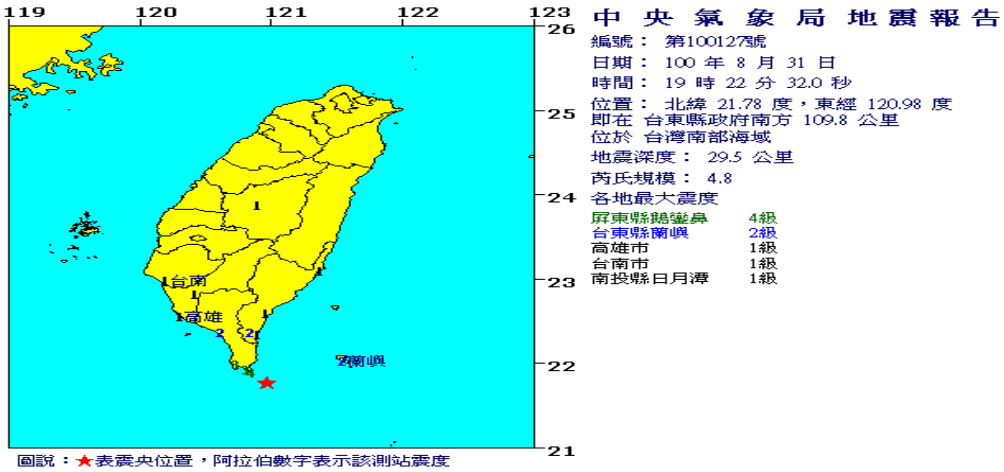


圖 7-10 2010 年 3 月 4 日高雄甲仙地震、2010 年 11 月 12 日屏東枋寮地震及 2011 年 8 月 31 日屏東鵝鑾鼻地震資料（資料來源：中央氣象局）。

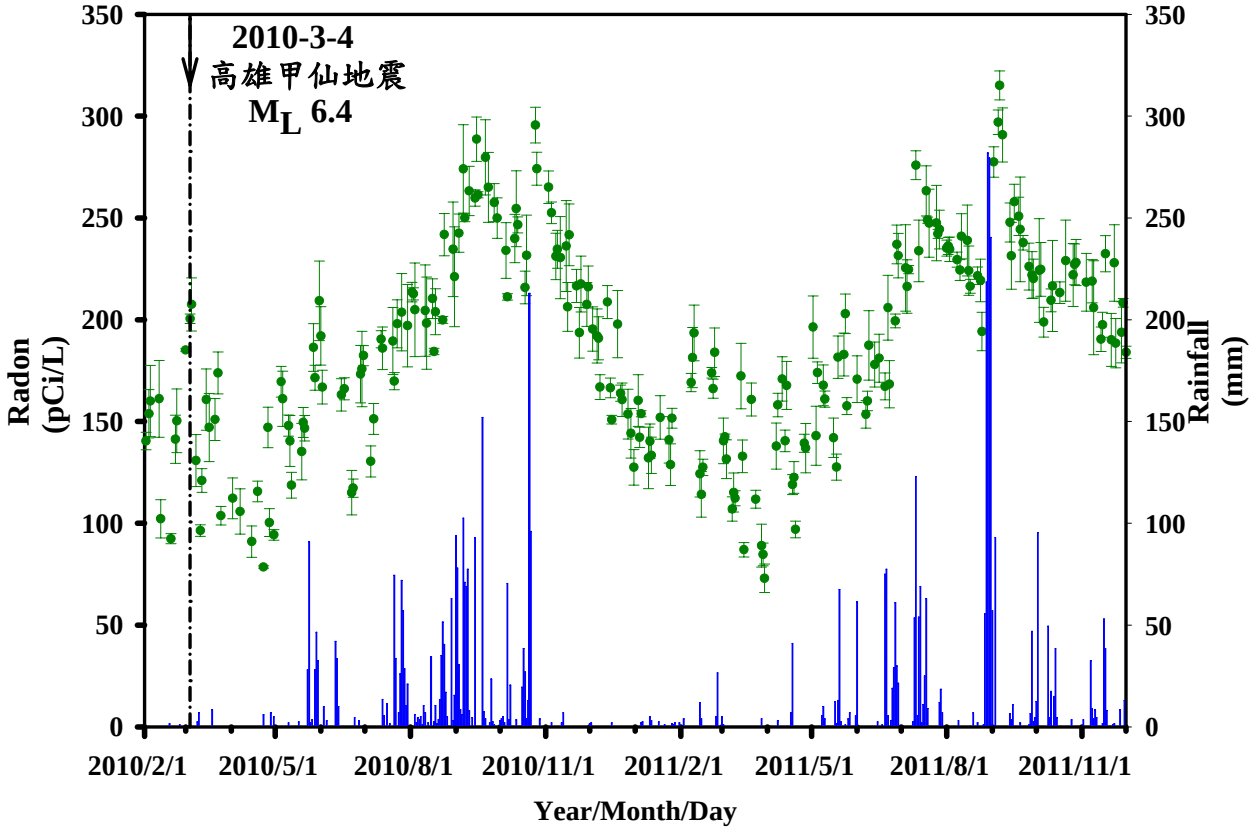


圖 7-11 社頂站地下水水氡濃度變化與雨量關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

7-6 恆春半島墾丁社頂監測站地下水溶解氣體（二氧化碳）監測

墾丁社頂區域自 2010 年 2 月開始進行地下水二氧化碳濃度監測，採樣頻率為每週三次，圖 7-12 為 2010 年 12 月 1 日至 2011 年 11 月 30 日之地下水二氧化碳濃度監測數據與各項環境因子之關係圖。

在 2010 年 3 月 4 日發生芮氏地震規模 M_L = 6.4 的高雄甲仙地震前，墾丁社頂監測站地下水二氧化碳濃度於 2010 年 2 月 19 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。對於 2010 年 11 月 12 日 M_L = 5.3 的屏東枋寮地震及 2011 年 8 月 31 日 M_L = 4.8 的屏東鵝鑾鼻地震，墾丁社頂監測站地下水二氧化碳沒有明顯的反應。此結果顯示，墾丁社頂監測站地下水二氧化碳相較於水氡較不敏感。

圖 7-13 為 2010 年 12 月 1 日至 2011 年 11 月 30 日之墾丁社頂監測站地下水二氧化碳濃度監測數據與降雨量之關係圖，可證實地下水二氧化碳濃度也同時和豐水季及枯水季有週期性的行為。

比較地下水水氡及二氧化碳的濃度（圖 7-11 及圖 7-13），可發現兩者濃度在 2010 年 3 月 4 日發生芮氏地震規模 M_L = 6.4 的高雄甲仙地震前，皆同時有明顯異常下降之前兆行為，此結果支持安通溫泉地震前兆地下水水氡逸散機制(Kuo et al., 2006a; 2006b; 2009；2010a；2010b；2010c；2011)。

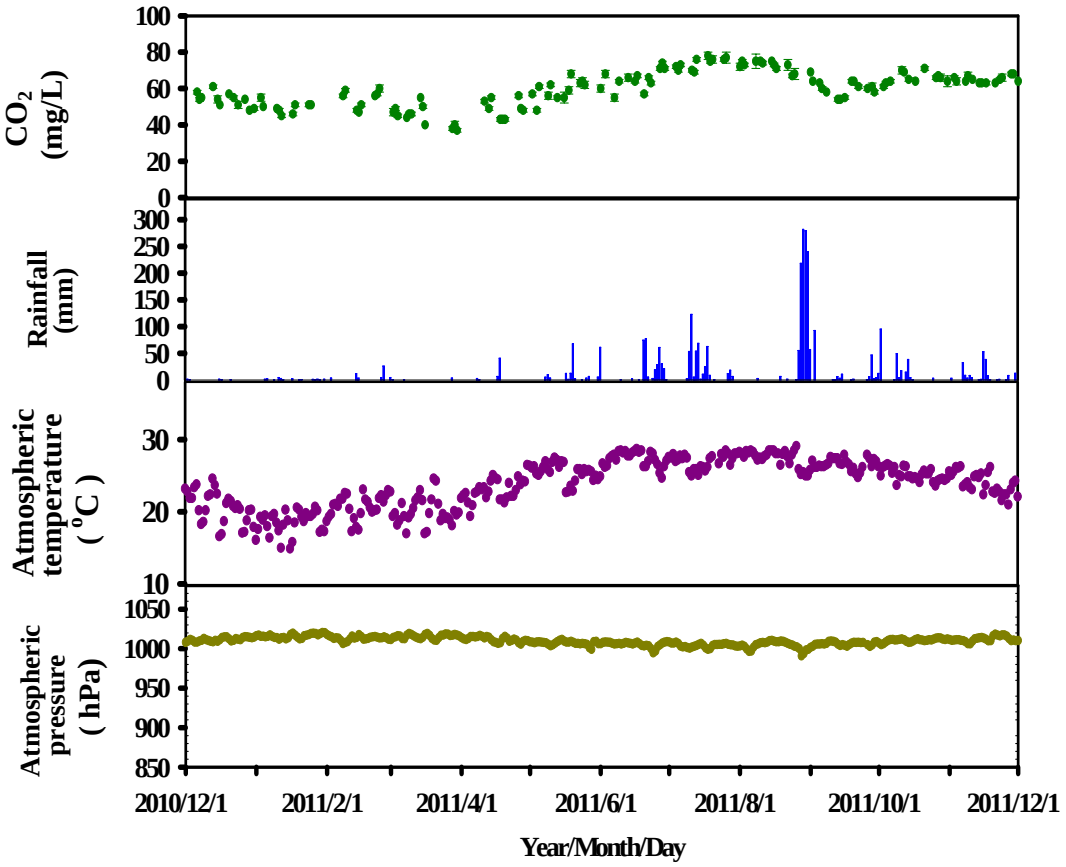


圖 7-12 社頂站地下水溶解氣體二氧化碳濃度監測結果與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

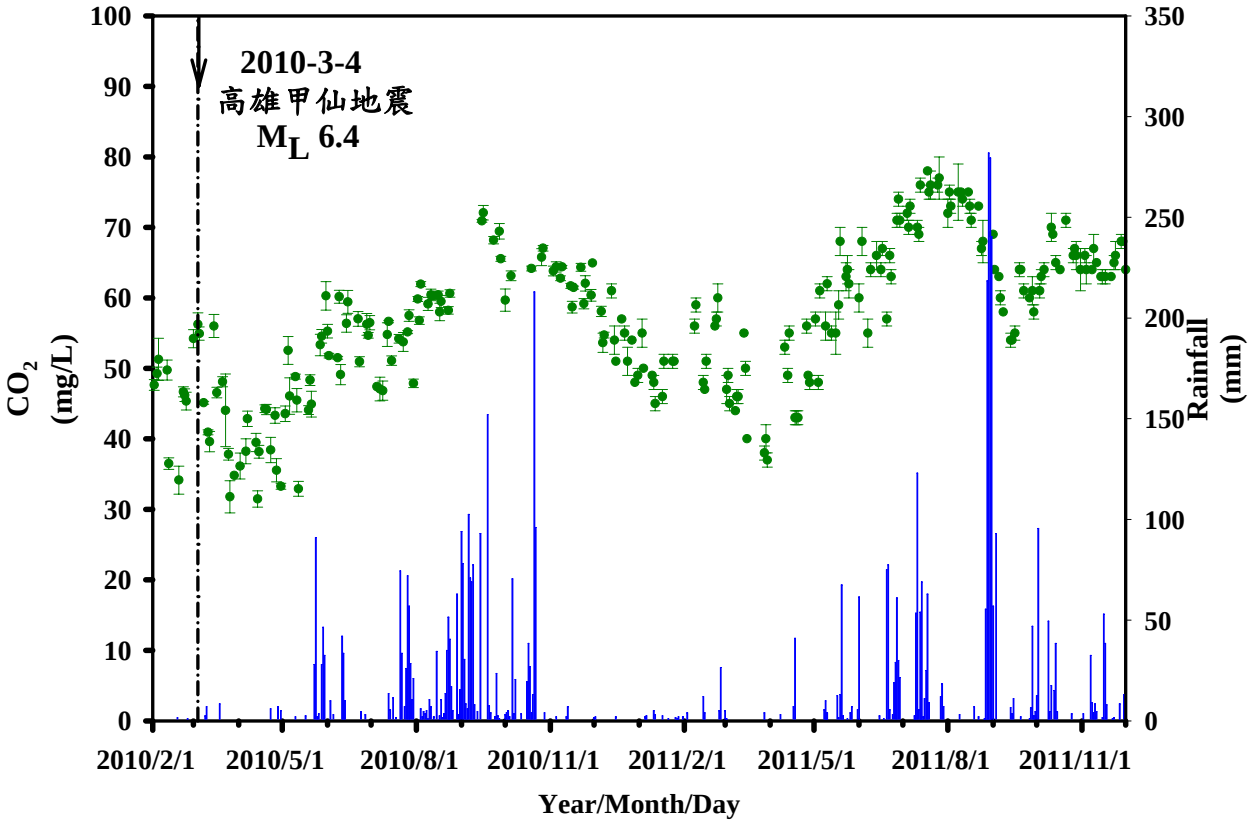


圖 7-13 社頂站地下水溶解氣體二氧化碳濃度監測結果與雨量關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

7-7 建置地下水水氡即時連續監測站（安通站）

安通站已完成建置地下水水氡連續監測系統（見圖 7-14 至圖 7-17），以 SARAD 進行氣相氡濃度之連續監測。圖 7-18 及圖 7-19 分別為 2011 年 1 月底至 2011 年 4 月初期間及 2011 年 9 月中至 2011 年 10 月中期間，安通站以 SARAD 連續監測氣相氡濃度獲得之數據。

圖 7-20 及圖 7-21 分別比較 2011 年 1 月底至 2011 年 4 月初期間及 2011 年 9 月中至 2011 年 10 月中期間，安通站 SARAD 量測之氣相氡濃度及實驗室液態閃爍計數儀（LSC）量測之地下水水氡濃度。SARAD 所量測到的氣相氡濃度使用 Fritz Weigel 方程式（Weigel, 1978）及分離器係數計算地下水水氡濃度。計算方程式如下:

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

其中此處 C_w 為地下水水氡濃度，pCi/L；C_g 為 SARAD 量測之氣相氡濃度，pCi/L；α 為分配係數，無因次；T 為平衡溫度，℃；A 為分離器係數（3.9 ± 0.3 及 5.4 ± 0.9），無因次。經計算後，由圖 7-20 及圖 7-21 可觀察到 SARAD 及 LSC 量測的氡濃度數據相當一致。



圖 7-14 安通站 500 米自流井及監測站外觀。



圖 7-15 安通站 500 米自流井（樣本採樣口與 PT100 溫度計放置處）。



圖 7-16 安通站內部配置(①:井水溫度記錄器,CR-800;②:氡氣分析儀,SARAD;③:氣體冷凝裝置)。

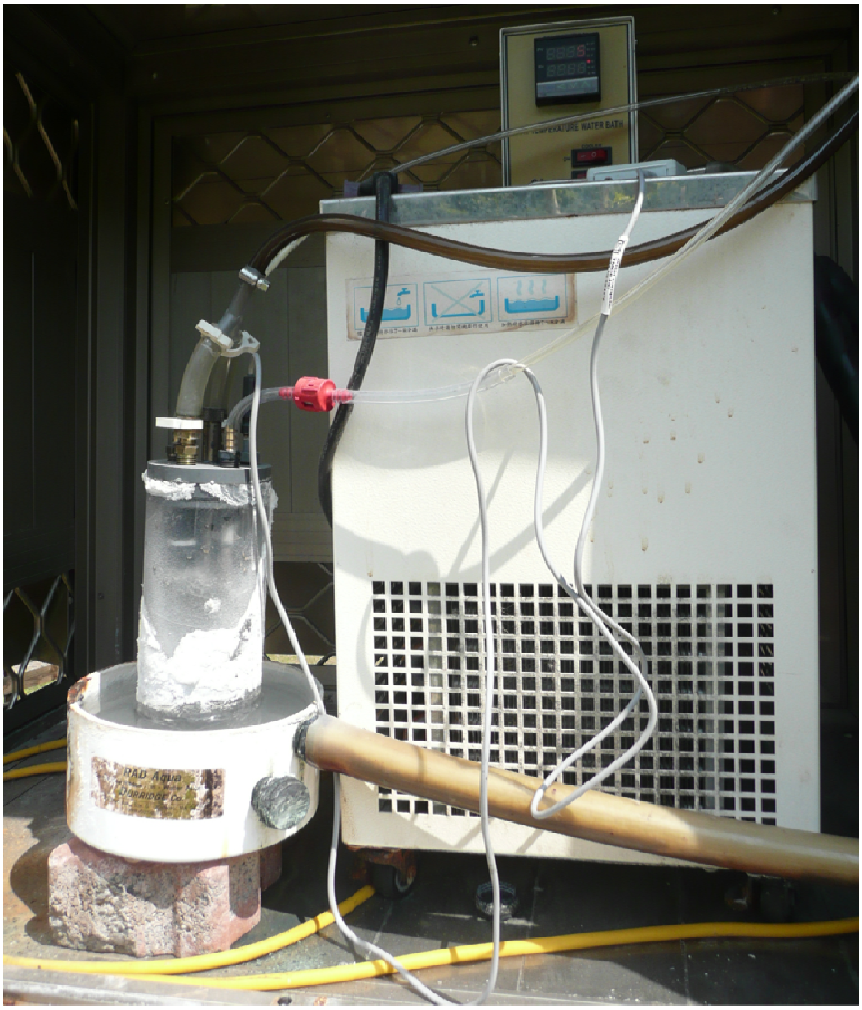


圖 7-17 安通站氣水分離器（RAD Aqua）。

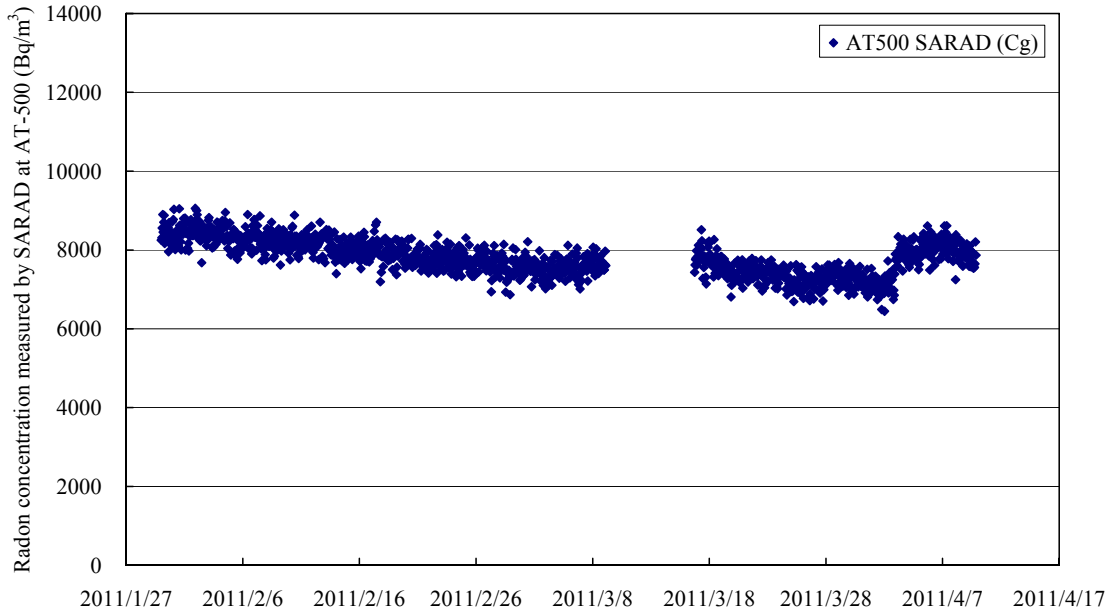


圖 7-18 2011 年 1 月底至 2011 年 4 月初期間，安通站以 SARAD 連續監測氣相氡濃度獲得之數據。

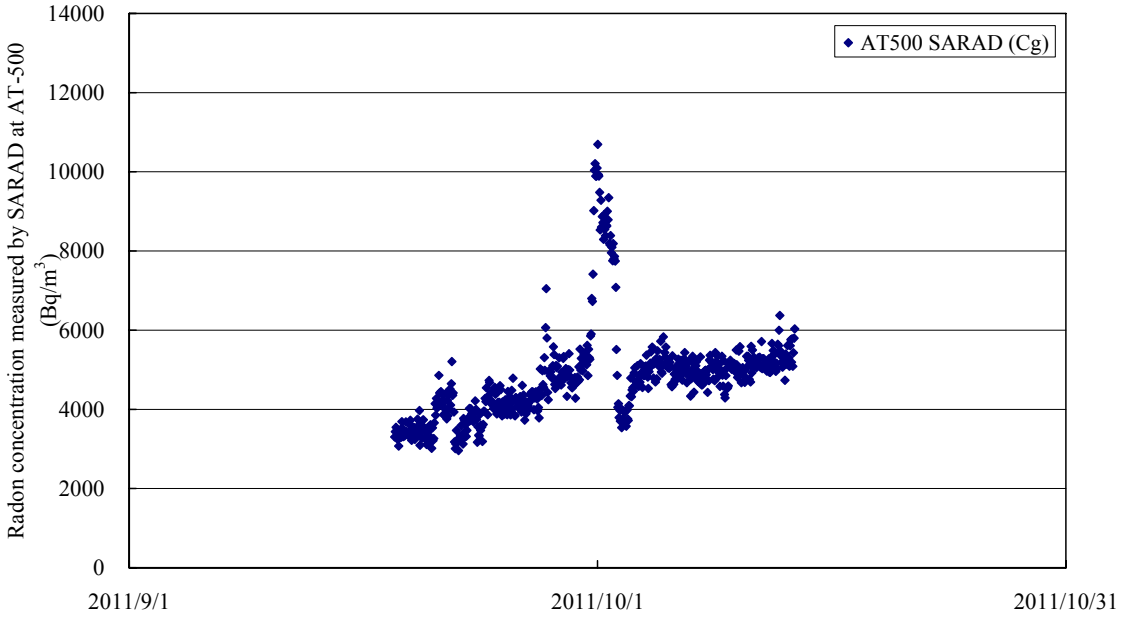


圖 7-19 2011 年 9 月中至 2011 年 10 月中期間，安通站以 SARAD 連續監測氣相氡濃度之數據。

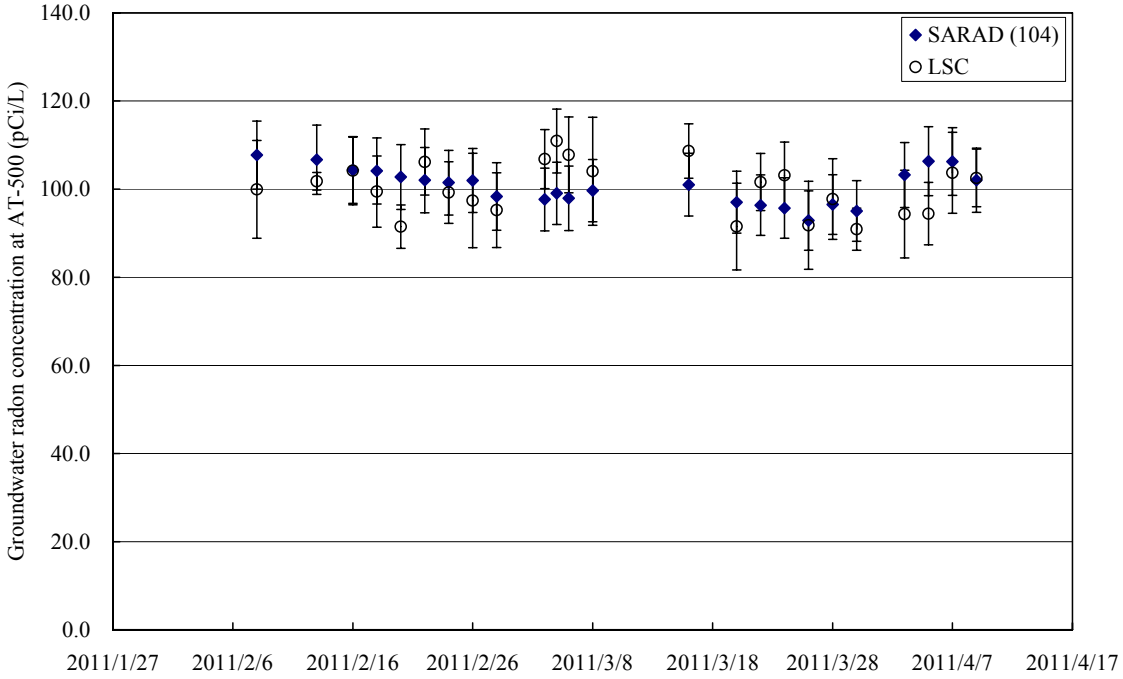


圖 7-20 2011 年 1 月底至 2011 年 4 月初期間，安通站 SARAD 量測之氣相氡濃度及實驗室液態閃爍計數儀（LSC）量測之地下水水氡濃度比較圖。

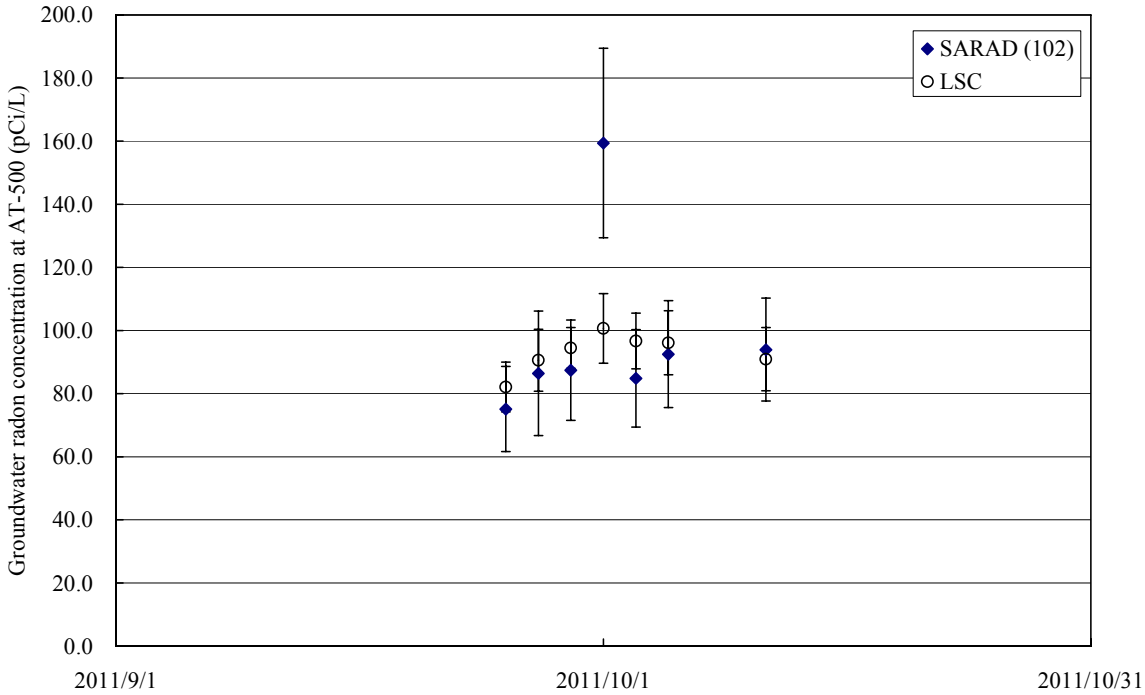


圖 7-21 2011 年 9 月中至 2011 年 10 月中期間，安通站 SARAD 量測之氣相氡濃度及實驗室液態閃爍計數儀（LSC）量測之地下水水氡濃度比較圖。

7-8 建置地下水水氡及二氧化碳即時連續監測站（社頂站）

社頂站已完成建置地下水水氡及二氧化碳連續監測系統。工作項目包含水電工程、抽水馬達、液體與氣體管線、氣水分離器及氣體冷凝裝置，見圖 7-22 至 7-27。圖 7-28 及圖 7-29 為社頂站以 SARAD (Serial No. 103)連續監測氣相氡及二氧化碳濃度所獲得之數據。

墾丁社頂站地下水水位連續監測系統已完成，見圖 7-30 及 7-31。圖 7-32 為 2011 年 11 月 2 日至 2011 年 11 月 26 日期間，社頂站以自動水位紀錄儀連續監測之地下水水位數據。



圖 7-22 社頂站站牌及監測站外觀。

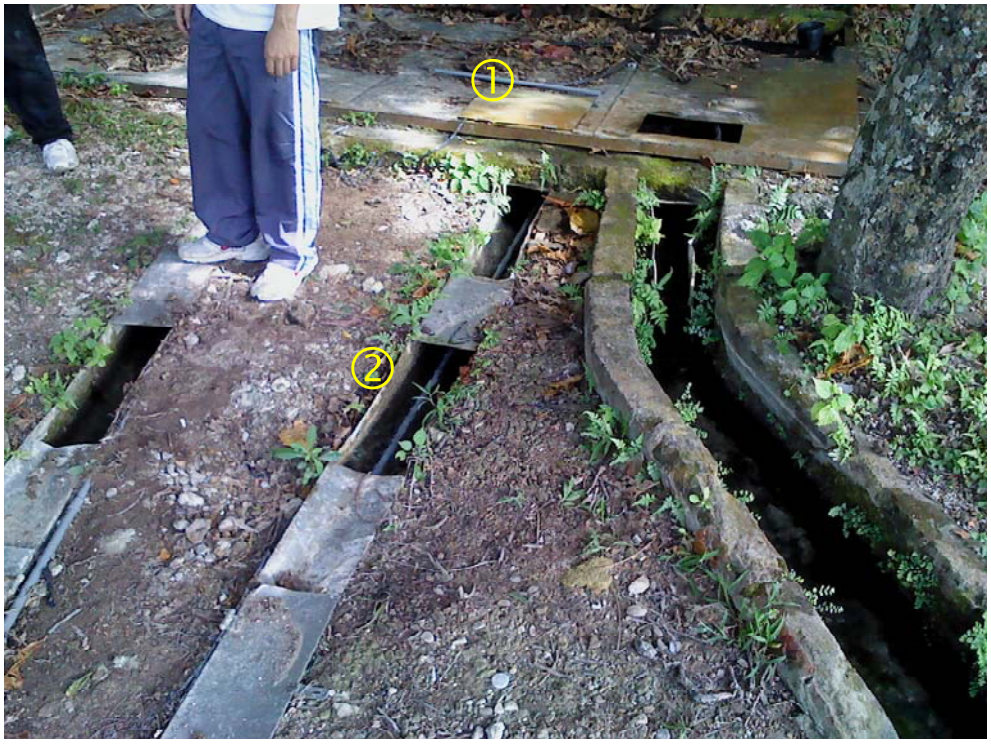


圖 7-23 社頂站天然湧泉的蓄水槽及液體管線(①:蓄水槽；②:液體管線)。



圖 7-24 社頂站天然湧泉的蓄水槽及抽水馬達。



圖 7-25 社頂站氣水分離器及液體管線 (①:氣水分離器，RAD Aqua；②:液體管線)。



圖 7-26 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)。

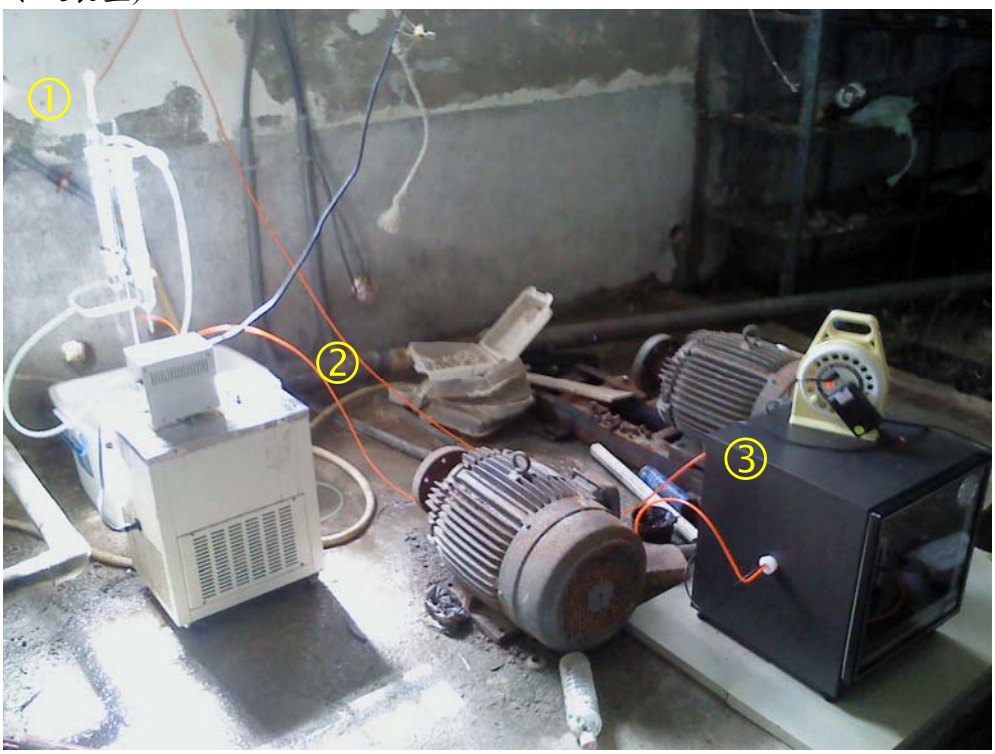


圖 7-27 社頂站建築物內部配置 (①:氣體冷凝裝置；②:氣體管線③:氡氣分析儀，SARAD)。

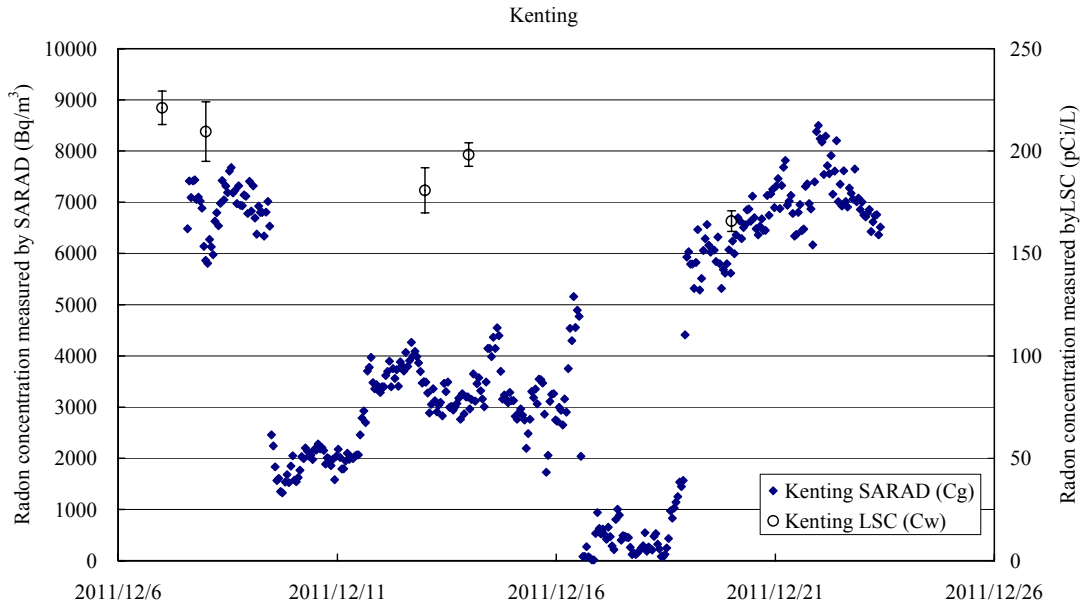


圖 7-28 社頂站以 SARAD 連續監測氣相氡濃度及實驗室 LSC 地下水水氡濃度之數據。

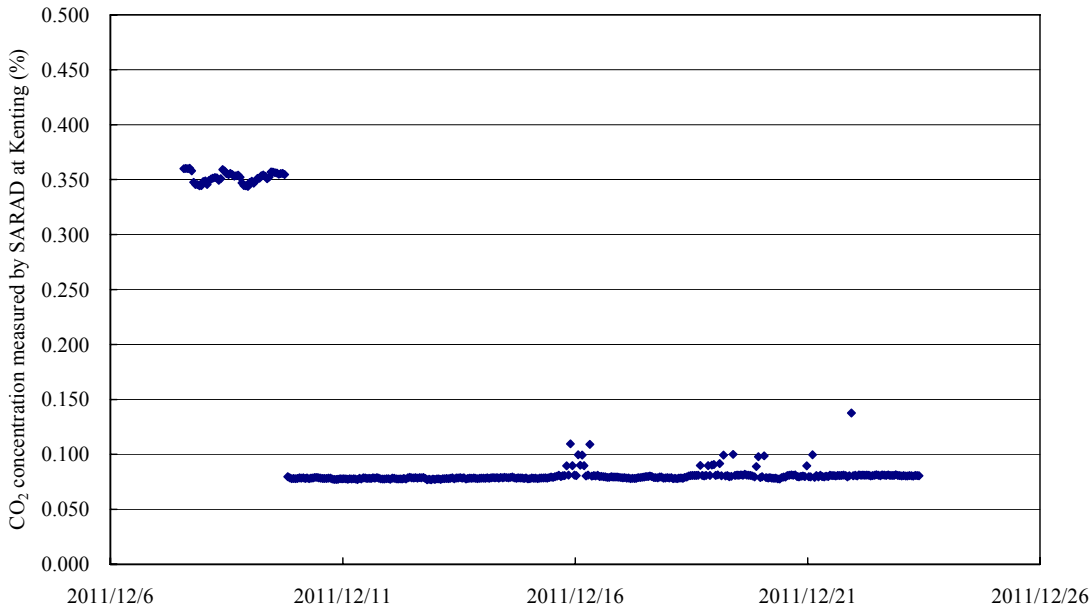


圖 7-29：社頂站連續監測地下水中二氧化碳之數據。



圖 7-30 墾丁社頂站放置自動水位紀錄儀之水井。



圖 7-31 墾丁社頂站放置自動水位紀錄儀之水井內部圖。

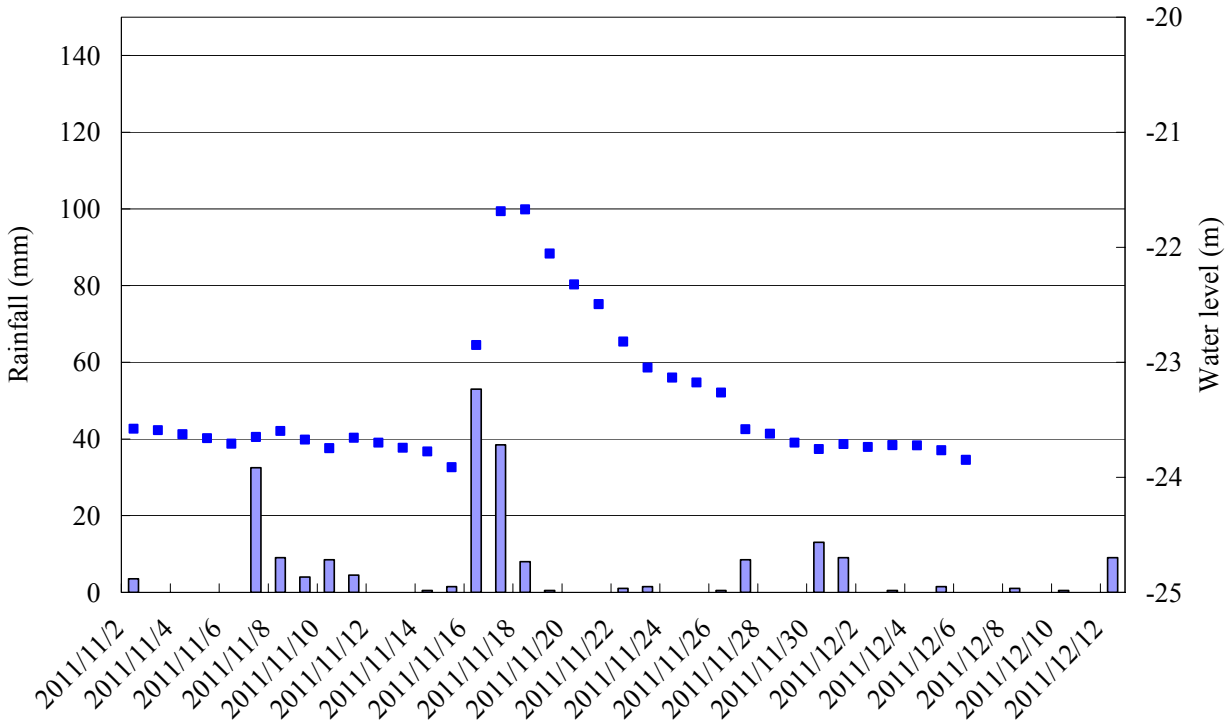


圖 7-32：2011 年 11 月 2 日至 2011 年 11 月 26 日期間，社頂站以自動水位紀錄儀連續監測之地下水水位數據。

捌、資料整合及資料處理

8.1 評估觀測結果與地震活動之關聯性

8.1.1 土壤氣體及水壓觀測結果

根據過去的觀測結果我們可經由地震活動所造成的異常變化而初步劃分出各觀測站的異常反應範圍，當各測站的反應區間出現交集處，則地震可能將發生在這個區域。例如：當北部的大平地觀測站出現異常且嘉義的中崙測站也出現異常變化時，此時兩個測站的反應區間交集處則可能為地震即將發生的位置；如果東部的池上觀測站也出現異常變化，那則可更提高準確度，如圖 8-1 所示。

綜觀在去年度（2010）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可以發現到異常變化，如表 8-1。表 8-1 列出 2009 年底至 2010 年所發生較大的地震及有震前異常變化的土壤氣體觀測站。

本年度（2011）延續去年的觀測資料，持續觀察 2010 年底至 2011 年 11 月間的氣體變化情形，亦發現到在某些地震來臨前，特定氣體觀測站的氣體濃度有異常的反應；除了土壤氣體之外，亦同時比較地下水觀測井之水位變化。以下討論針對數個地球化學測站對單一地震的異常變化情形，以 2010 年 12 月至 2011 年 11 月發生的五起地震來說明，如表 8-2：

(1) 2010/12/6 花蓮西林地震（M_L = 5.2）

如圖 8-2 所示，大平地氣體觀測站之氡氣濃度於 12 月 1 日開始上升，並於 12 月 3 日達到最高點後下降，之後略為上升，而後在 12 月 6 日發生地震；中崙氣體觀測站之氡氣濃度於 12 月 1 日開始上升，並在 12 月 4 日達到高峰後下降，此異常變化反應了 12 月 6 日地震；另外，池上氣體觀測站在 11 月 26 日至 12 月 3 日有異常區間，可視為此地震之前兆反應。除此之外，在地下水壓觀測站方面，台北的明德與錦和觀測井之水位亦分別在 12 月 1 日與 12 月 2 日上升，加上沄水觀測井在 11 月 24 日有水位的驟降，這些現象皆反應了 12 月 6 日的花蓮地震。若同時對照前述所提之地球化學反應區間，可觀察到 2010 年 12 月 6 日花蓮西林地震震央落在大平地、中崙及池上站的反應區範圍交集處（圖 8-2 (D)），故此三個測站都能在地震前 1 至 2 週發現到震前異常變化。

(2) 2011/2/1 花蓮近海地震（M_L = 5.2）

綜觀 2011 年 2 月 1 日花蓮近海地震之各觀測站前兆反應有（圖 8-3）：大平地氣體觀測站於 1 月 24 日與 1 月 31 日發現氡氣異常，以及花蓮美崙氣體觀測站的氡氣濃度在 1 月 27 日開始上升，並於 1 月 31 日開始下降期間發生地震。錦和、明德及樹林地下水壓觀測井之水位亦分別在 1 月 30 日、1 月 29 日及 1 月 30 日開始下降約 10-20 公分。這些異常變化區間可視為 2 月 1 日花蓮地震之前兆反應。對照前述所提之地球化學反應區間，可觀察到 2011 年 2 月 1 日花蓮地震震央落在大平地及美崙站的反應區範圍交集處（圖 8-3），故此兩個測站都能在地震發生 5 至 9 天前發現到震前異常變化。

(3) 2011/3/16 屏東三地門地震（M_L = 4.7）

如圖 8-4 所示，中崙氣體觀測站在地震前發現到異常變化，氡氣濃度在 3 月 11 日至 3 月 17 日呈現先升後降的變化；屏東氣體觀測站在 3 月 7 日至 3 月 15 日的氣氣異常變化亦可視為 3 月 16 日地震的震前反應。沄水地下水壓觀測站在此地震前一日記錄到水位驟降，此異常情形可能與 3 月 16 日三地門地震有關。同樣地，可以觀察到 2011 年 3 月 16 日屏東三地門地震的震央落於中崙站與屏東站的反應範圍之交集處（圖 8-4），故在此二測站於地震前 6 至 10 天能觀察到震前異常變化。

(4) 2011/3/20 台東外海地震（M_L = 5.8）

如圖 8-5 所示，屏東屏科大氣體觀測站在 3 月 15 日至 3 月 22 日氣體濃度呈現先升後降的異常變化；池上氣體觀測站於 3 月 10 日至 3 月 17 日亦有氡氣異常變化區間；中崙氣體觀測站在 3 月 17 日氡氣開始升高，並在濃度呈最高值時發生 3 月 20 日台東外海地震。沄水地下水壓觀測站於 3 月 17 日水位發生驟降；達邦地下水壓觀測站發現在 3 月 18 日降雨期水位反而下降的異常變化，可能反應出 3 月 20 日台東外海地震的震前變化。對照前述所提之地球化學反應區間，可觀察到此地震震央落在屏科大、池上及中崙站的反應區範圍交集處（圖 8-5），故此三個測站都能在地震前數天至十數天發現到震前異常變化。

(5) 2011/3/30 花蓮壽豐地震（M_L = 4.7）

3 月 30 日花蓮地震的前兆現象有（圖 8-6）：池上氣體觀測站於 3 月 17 日 3 月 22 日的氣體異常變化，以及花蓮美崙氣體觀測站在 3 月 21 日開始上升，於 3 月 28 日達到高點後下降，隨後於 30 日發生花蓮地震。嘉義沄水地下水壓觀測站

亦在 3 月 25 日、27 日及 29 日呈現異常的水位驟降，可視為 3 月 30 日地震之前兆反應。同樣地，可以觀察到 2011 年 3 月 30 日花蓮壽豐地震的震央落於池上站與美崙站的反應範圍之交集處（圖 8-6），故在此二測站於地震前 10 天能觀察到震前異常變化。

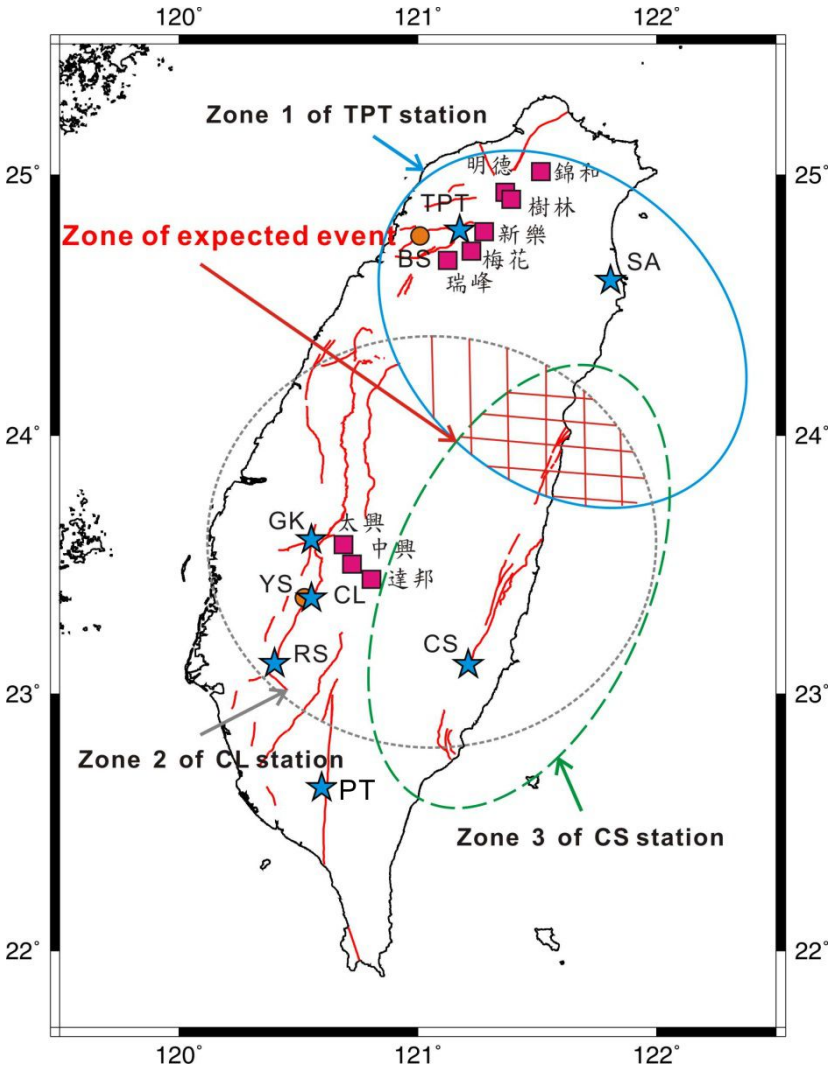


圖 8-1 地球化學觀測站的地震反應區間示意圖，藍圈、灰圈和綠圈分別代表大平地測站、中崙測站和池上測站的可能地震反應區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點。

表 8-1 地震與多個土壤氣體測站的氡氣異常反應

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

● 表氡氣濃度有震前異常

表 8-2 2010 年 12 月至 2011 年 6 月間的地震於不同觀測站所觀察到的異常之比較。

(1) 2010/12/6 10:14:00 M_L=5.2 depth=25 km						
	觀測站	震度	距測站 (km)	D/R	異常開始時間	異常行為
氣體觀測站	新竹大平地（TPT）		121	1.4	2010/11/26 11:00	10 天前上升，4 天前達最高點後下降
	嘉義中崙（CL）	4	100	1.7	2010/12/1 01:00	6 天前上升，3 天前開始下降，下降途中發生地震
	台東池上（CS）	2	66	2.6	2010/11/26 20:00	10 天前上升，5 天前達最高點後下降，3.5 天前達低點後微幅上升
地下水壓觀測站	台北明德（MD）	1	136	1.3	2010/12/1 12:00	5 日前上升 5cm
	台北錦和（JH）	1	145	1.2	2010/12/2 18:00	4 日前上升 4cm
	嘉義沄水（YS）	2	98	1.8	2010/11/24 10:00	12 日前驟降 67cm

(2) 2011/2/1 16:16:00 M_L=5.5 depth=18 km						
	觀測站	震度	距測站 (km)	D/R	異常開始時間	異常行為
氣體觀測站	新竹大平地（TPT）	2	84	2.8	2011/1/24 09:50	9 天前上升，4 天前達高點後些微下降
	花蓮美崙（ML）	3	34	6.9	2011/1/27 21:00	5 天前上升，1 天前達高點後下降，下降途中發生地震
地下水壓觀測站	台北錦和（JH）	2	89	2.6	2011/1/30 22:00	1 日前下降 12 cm
	台北明德（MD）	2	86	2.7	2011/1/29 15:00	3 日前下降 20 cm
	台北樹林（SLN）	2	91	2.6	2011/1/30 04:00	2 日前下降 9 cm

(3) 2011/3/16 21:12:00 M_L=4.7 depth=38 km						
	觀測站	震度	距測站 (km)	D/R	異常開始時間	異常行為
氣體觀測站	嘉義中崙（CL）	2	95	1.1	2011/3/11 09:30	6 天前上升，2.5 天前達高點後下降
	屏東屏科大（PT）	3	16	6.6	2011/3/7 10:00	10 天前上升，5 天前下降，1 天前達低點後再度上升
地下水壓觀測站	嘉義沄水（YS）	1	92	1.1	2011/3/15 18:00	1 日前驟降 87cm

(4) 2011/3/20 16:00:00 M_L=5.8 depth=16 km						
	觀測站	震度	距測站 (km)	D/R	異常開始時間	異常行為
氣體觀測站	嘉義中崙（CL）	4	136	2.3	2011/3/17 12:00	3.5 天前上升，在高點處發生地震
	屏東屏科大（PT）	2	85	3.7	2011/3/15 23:00	5.5 天前上升，3 前達高點後下降
	台東池上（CS）	4	80	3.9	2011/3/10 20:00	19 天前上升，5 天前下降，2.5 天前達低點後再度上升
地下水壓觀測站	嘉義沄水（YS）	3	136	2.3	2011/3/17 20:00	3 日前驟降 32cm
	嘉義達邦（DB）	3	130	2.4	2011/3/18 00:00	降雨期水位反降

(5) 2011/3/30 12:22:00 M_L=4.7 depth=23 km						
	觀測站	震度	距測站 (km)	D/R	異常開始時間	異常行為
氣體觀測站	花蓮美崙（ML）	4	11	9.8	2011/3/21 22:00	10 天前上升，2.5 天前下降，1 天前達低點後再度上升
	台東池上（CS）	1	92	1.1	2011/3/17 20:00	10 天前上升，5 天前達高點後下降，2.5 天前達低點後上升
地下水壓觀測站	嘉義沄水（YS）	1	115	0.9	2011/3/25 09:00	2011/3/25 下降 110 cm 2011/3/27 下降 110 cm 2011/3/29 下降 94 & 71 cm

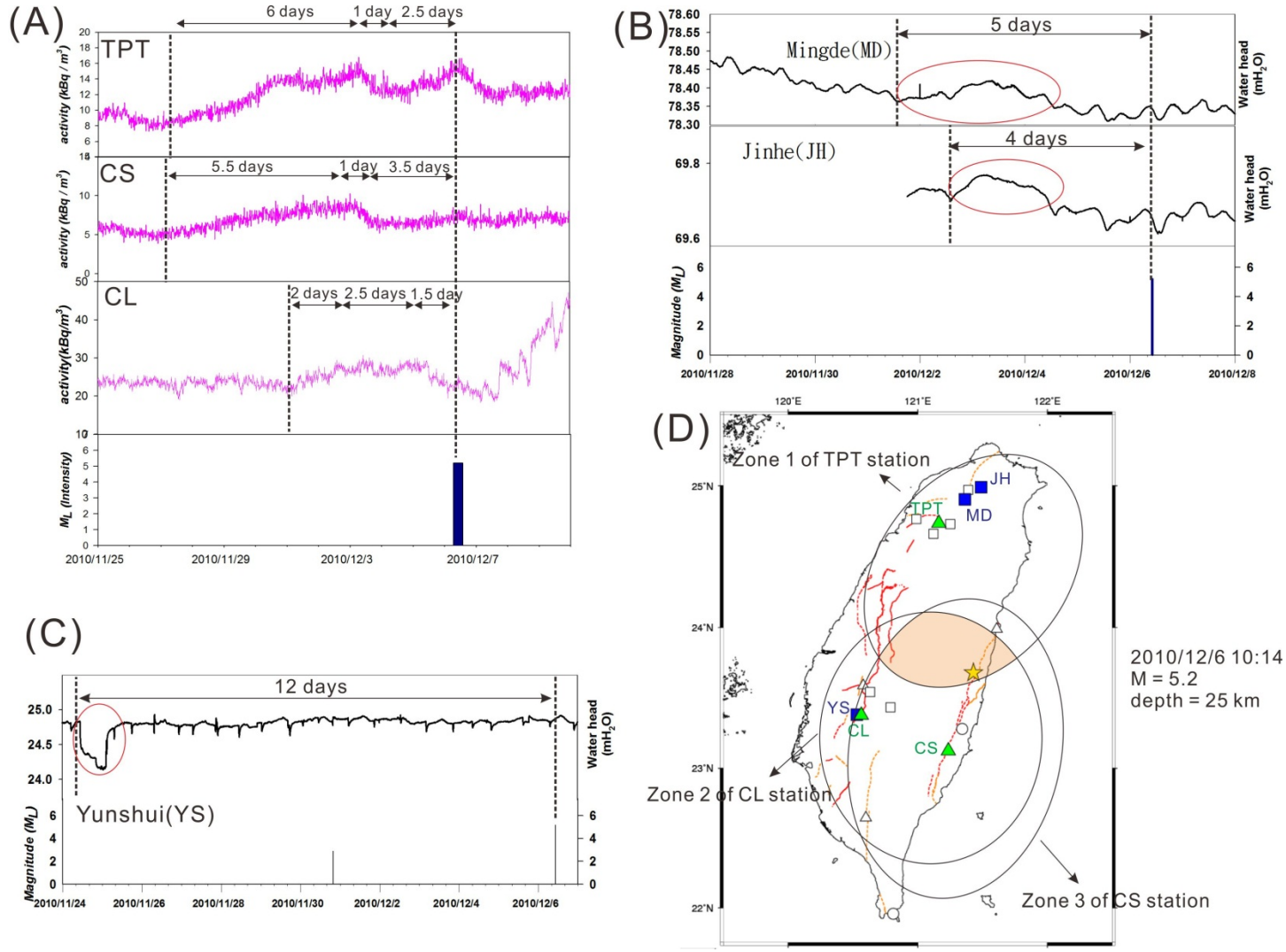


圖 8-2 2010/12/6 花蓮西林地震與各測站觀測情形。（A）新竹大平地站（TPT）、台東池上站（CS）及嘉義中崙站（CL）土壤氣氡氣成份觀測結果（2010/11/25-2010/12/10）；（B）台北地區明德（MD）及錦和（JH）觀測井水壓變化（2010/11/28-2010/12/8）；（C）嘉義沄水觀測井（YS）水壓變化（2010/11/24-2010/12/7）；（D）台灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點（圖上橘色區塊）。黃色星號代表花蓮西林地震的震央位置；三角形、方形及圓形分別代表土壤氣體、地下水壓井及水氡觀測站之位置，其中空心符號為無前兆訊號的測站，實心符號代表有觀察到此地震前兆的測站。

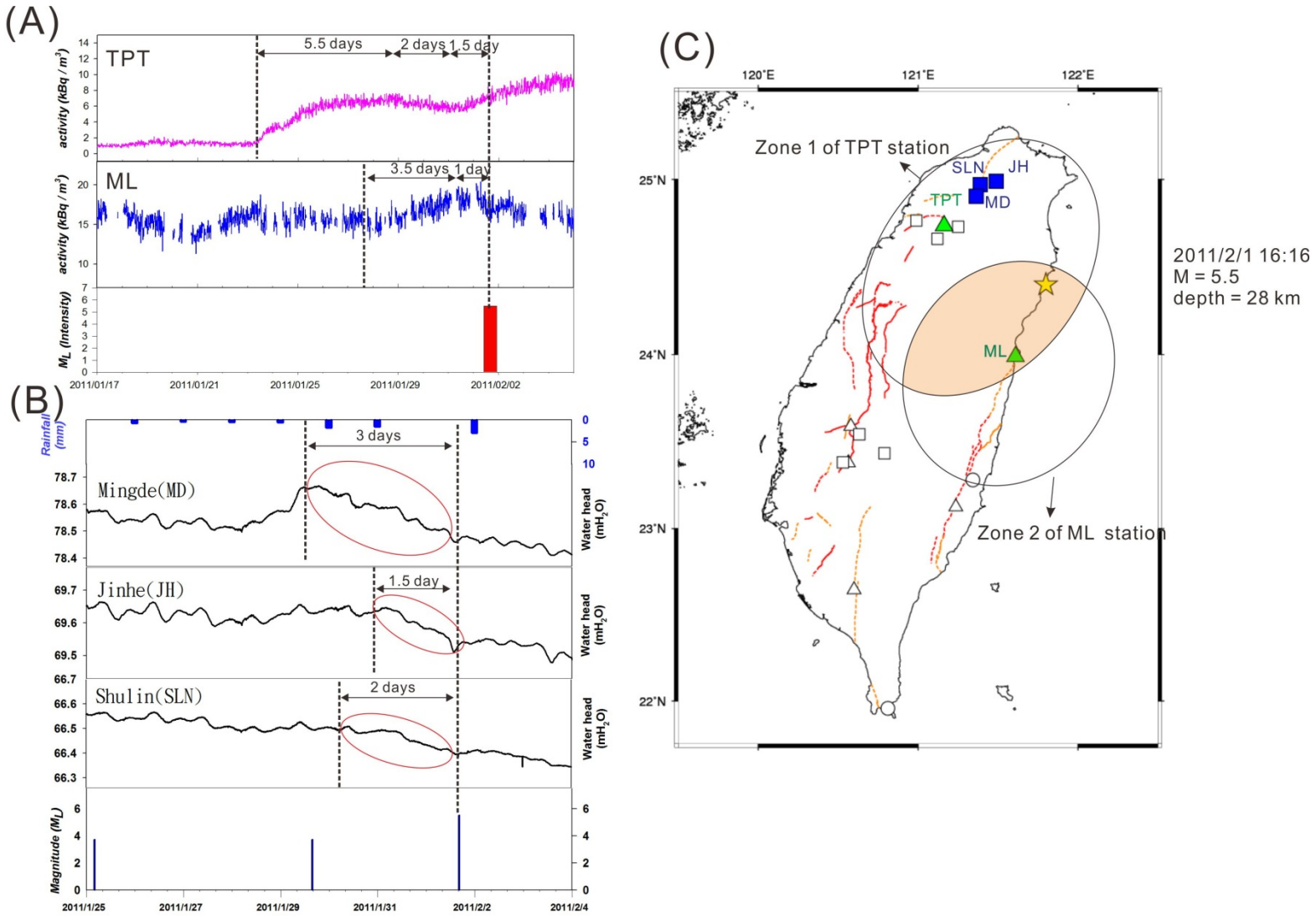


圖 8-3 2011/2/1 花蓮近海地震與各測站觀測情形。（A）新竹大平地站（TPT）及花蓮美崙站（ML）土壤氣氡氣成份觀測結果（2011/1/17-2011/2/5）；（B）台北地區明德（MD）、錦和（JH）及樹林（SLN）觀測井水壓變化（2011/1/25-2011/2/4）；（C）台灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點（圖上橘色區塊）。黃色星號代表花蓮近海地震的震央位置；三角形、方形及圓形分別代表土壤氣體、地下水壓井及水氡觀測站之位置，其中空心符號為無前兆訊號的測站，實心符號代表有觀察到此地震前兆的測站。

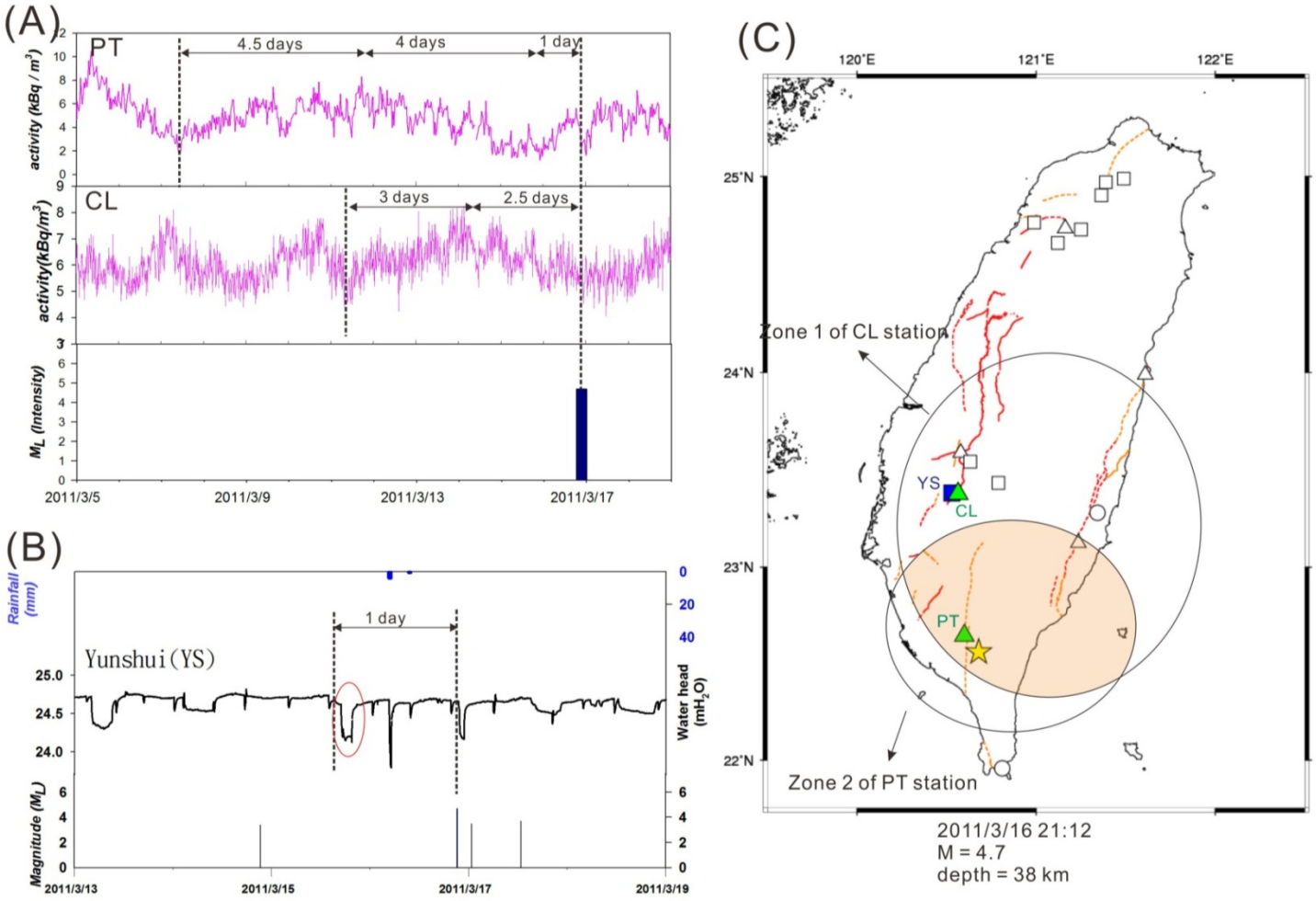


圖 8-4 2011/3/16 屏東三地門地震與各測站觀測情形。（A）屏東屏科大站（PT）及嘉義中崙站（CL）土壤氣氡氣成份觀測結果（2011/3/5-2011/3/19）；（B）嘉義沄水（YS）觀測井水壓變化（2011/3/13-2011/3/19）；（C）台灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點（圖上橘色區塊）。黃色星號代表屏東三地門地震的震央位置；三角形、方形及圓形分別代表土壤氣體、地下水壓井及水氡觀測站之位置，其中空心符號為無前兆訊號的測站，實心符號代表有觀察到此地震前兆的測站。

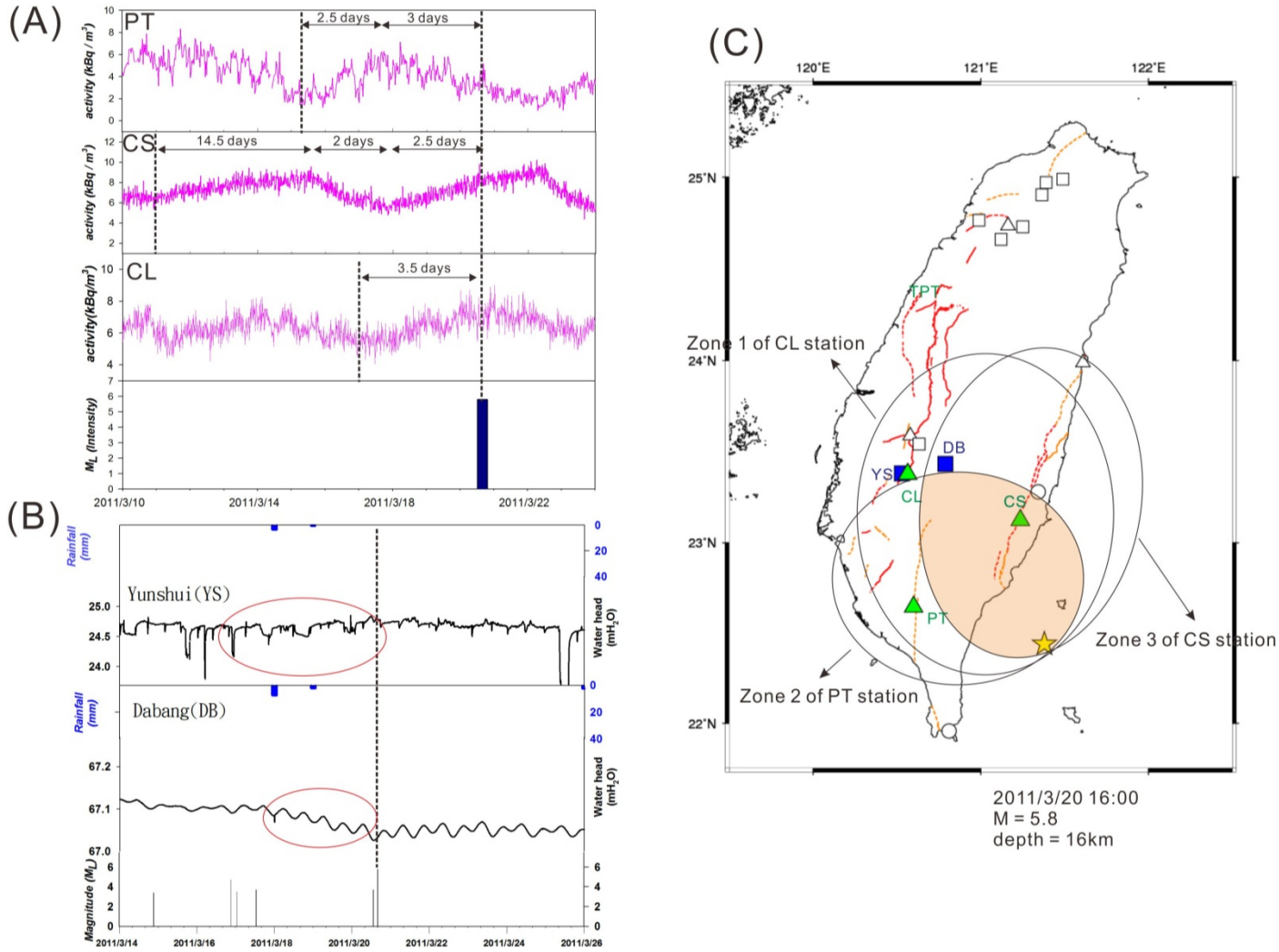


圖 8-5 2011/3/20 台東外海地震與各測站觀測情形。(A) 屏東屏科大站 (PT)、台東池上站 (CS) 及嘉義中崙站 (CL) 土壤氣氡氣成份觀測結果 (2011/3/10-2011/3/24)；(B) 嘉義地區沄水 (YS) 及達邦 (DB) 觀測井水壓變化 (2011/3/14-2011/3/26)；(C) 台灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點 (圖上橘色區塊)。黃色星號代表台東外海地震的震央位置；三角形、方形及圓形分別代表土壤氣體、地下水壓井及水氡觀測站之位置，其中空心符號為無前兆訊號的測站，實心符號代表有觀察到此地震前兆的測站。

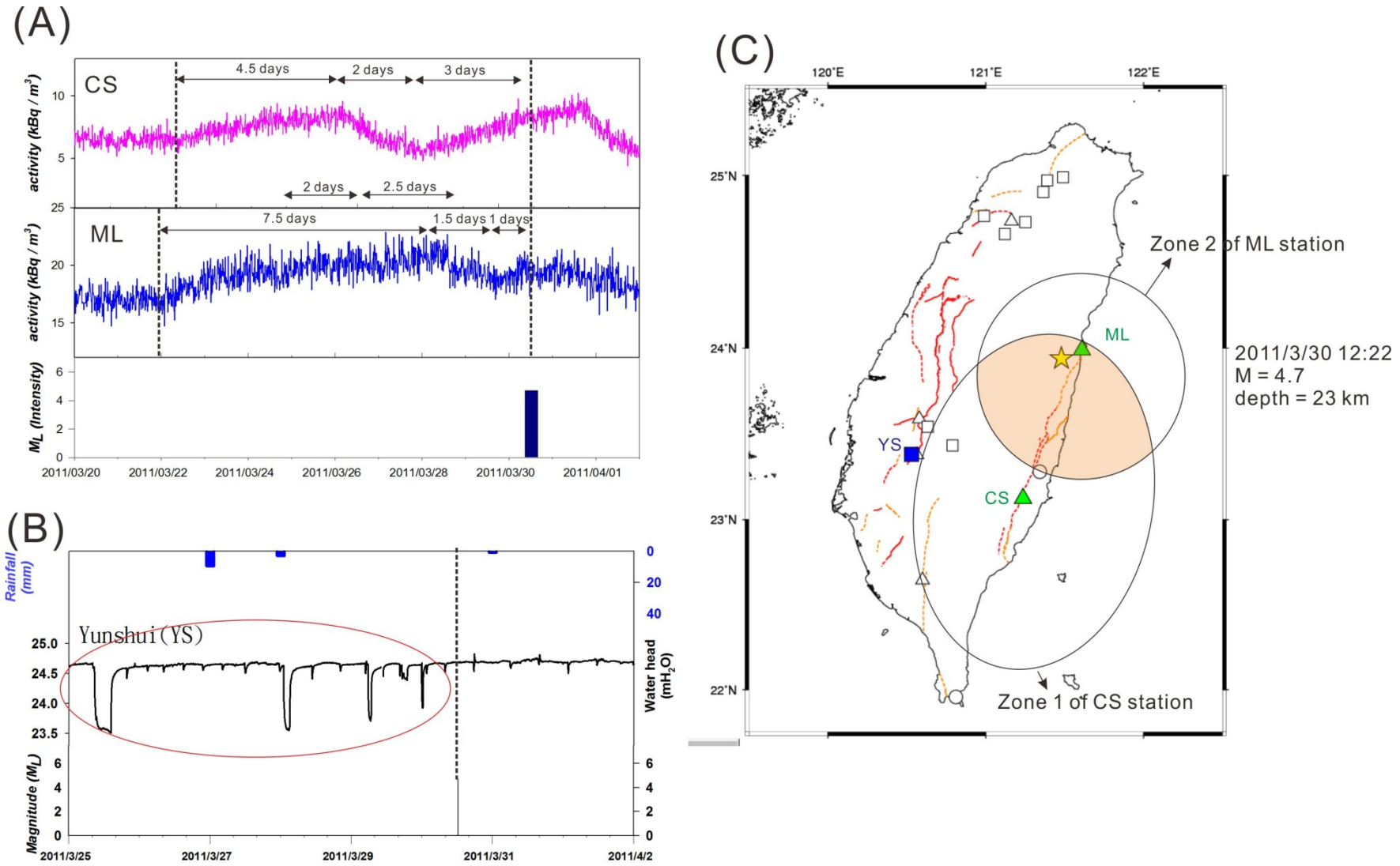


圖 8-6 2011/3/30 花蓮壽豐地震與各測站觀測情形。（A）台東池上站（CS）及花蓮美崙站（ML）土壤氣氡氣成份觀測結果（2011/3/20-2011/4/2）；（B）嘉義沄水（YS）觀測井水壓變化（2011/3/25-2011/4/2）；（C）台灣地區地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點（圖上橘色區塊）。黃色星號代表花蓮壽豐地震的震央位置；三角形、方形及圓形分別代表土壤氣體、地下水壓井及水氡觀測站之位置，其中空心符號為無前兆訊號的測站，實心符號代表有觀察到此地震前兆的測站。

8.1.2 水氡觀測與地震活動之關聯性

8.1.2.1 安通觀測站

本計畫2009年3月至2011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，分析地下水水氡及溶解氣體（甲烷及氮氣）。圖8-7為安通站地下水水氡濃度監測與地震活動之關係圖。安通站在2008年2月17日發生M_W = 5.4安通地震前，有捕捉到地下水水氡異常下降之地震前兆。執行本計畫期間，安通溫泉區於2011年7月12日發生m_b=5.1的花蓮地震，為自2008年以來在安通溫泉區地震規模較大之地震，地震相關資料請參見圖8-8。在2011年7月12日花蓮地震來臨前，安通站地下水水氡濃度並未觀測到異常下降之變化。此觀測結果顯示，下次在安通溫泉附近發生M_W大於5.4地震來臨前，安通站有機會捕捉到地下水水氡異常下降之地震前兆。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氡濃度，預期能捕捉下次在花東縱谷南段發生災害性地震之前兆（大約M_W＞6.0）。

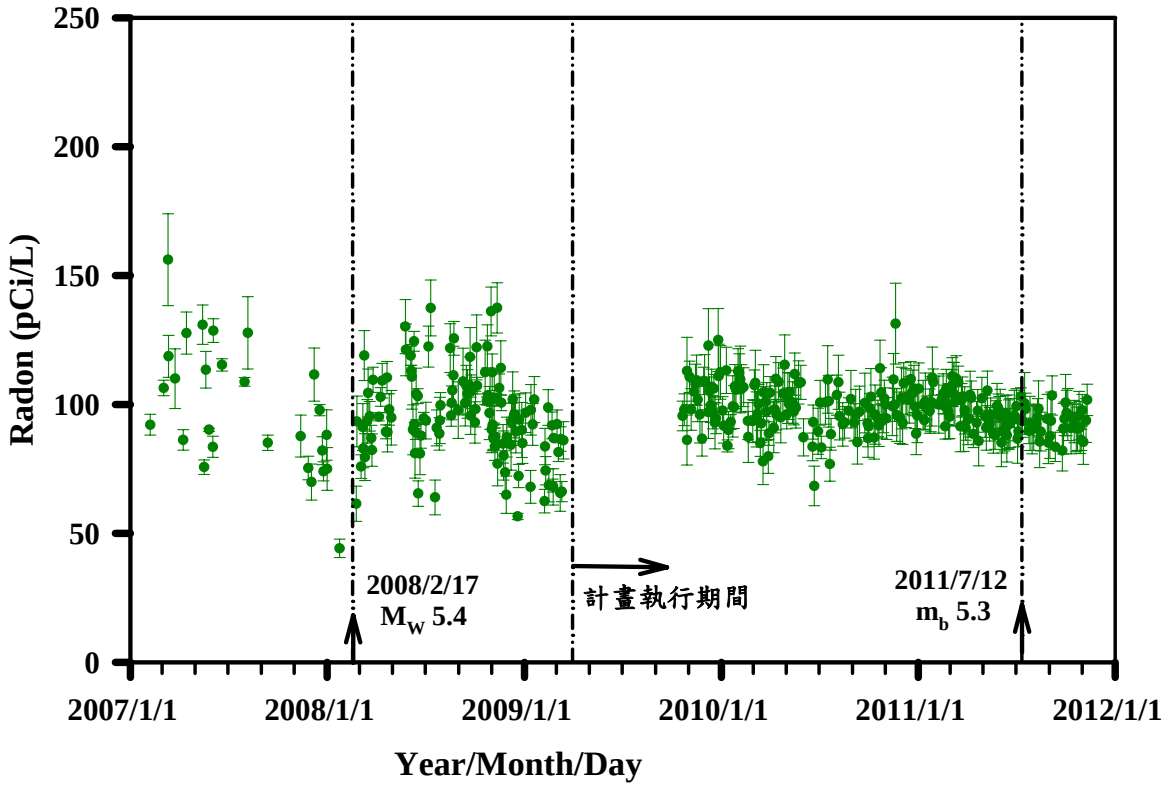
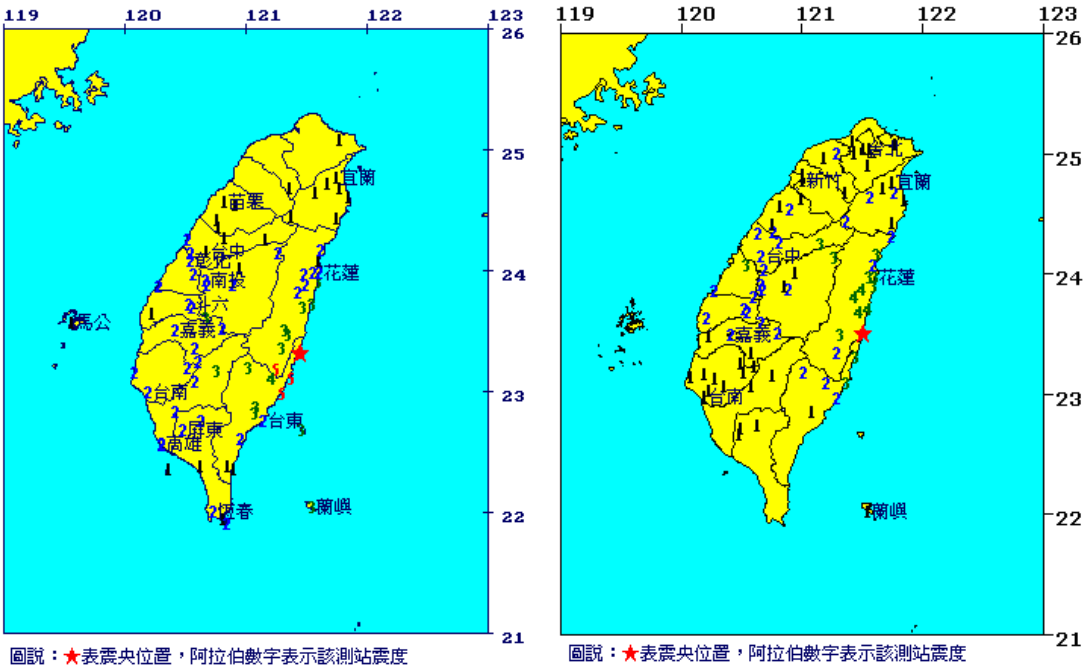


圖 8-7 安通站地下水水氡濃度監測與地震活動之關係圖。



中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第97011號
日期： 97 年 2 月 18 日
時間： 4 時 33 分 2.3 秒
位置： 北緯 23.31 度，東經 121.46 度
即在 花蓮玉里地震站東偏南方 16.7 公里
地震深度： 28.3 公里
芮氏規模： 5.4

中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第100100號
日期： 100 年 7 月 12 日
時間： 19 時 17 分 11.0 秒
位置： 北緯 23.51 度，東經 121.52 度
即在 花蓮縣政府南偏西方 53.9 公里
位於 花蓮縣近海
地震深度： 31.2 公里
芮氏規模： 5.3

圖 8-8 2008 年 2 月 18 日安通地震及 2011 年 7 月 12 日花蓮地震之地震資料(資料來源：中央氣象局)。

8.1.2.2　社頂觀測站

2010年2月開始新增恆春半島墾丁社頂站執行地下水水氡及溶解氣體（二氧化碳）之採樣及實驗室分析。圖8-9為社頂站地下水水氡與二氧化碳濃度監測與地震活動之關係圖。本研究於2010年3月4日M_L = 6.4的高雄甲仙地震、2010年11月12日M_L = 5.3的屏東枋寮地震及2011年8月31日M_L = 4.8的屏東鵝鑾鼻地震來臨前，在墾丁社頂站有觀測到地下水水氡異常下降之現象。地下水溶解氣體二氧化碳的濃度監測，也在2010年3月4日M_L = 6.4的高雄甲仙地震前，有異常下降之變化，但對於2010年11月12日M_L = 5.3的屏東枋寮地震及2011年8月31日M_L = 4.8的屏東鵝鑾鼻地震，墾丁社頂監測站地下水二氧化碳沒有明顯的反應。此結果顯示，墾丁社頂監測站地下水二氧化碳相較於水氡較不敏感。由圖8-9中可發現兩項監測項目皆有同步的濃度變化，因此可確定兩者之間對於墾丁社頂地區地層的應變有一定的反應。

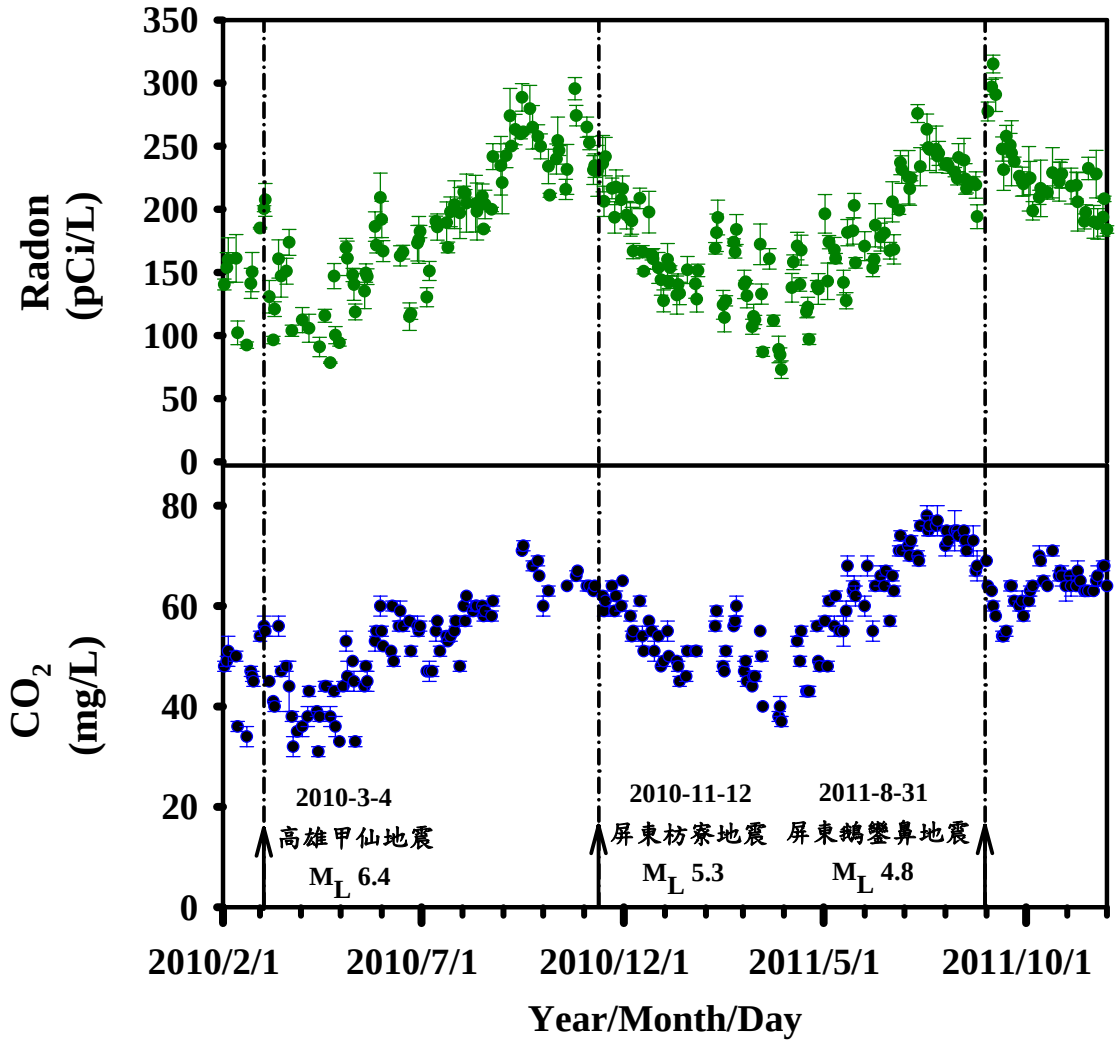


圖 8-9 社頂站地下水水氡與二氧化碳濃度監測與地震活動之關係圖。

8.2 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。

8.2.1 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_i}每一點而言，其高斯平均（Guassian Average）：

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

此數學式說明 $\{y_i\}$ 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。$\{y_i\}$ 所組成的新訊號較{y_i}平滑，也就是其高頻部分 $\{y_j^1\} = \{y_i - \bar{y}_i\}$ 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）若干次後得到的 y_j^m（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 8-10 的濾波器。

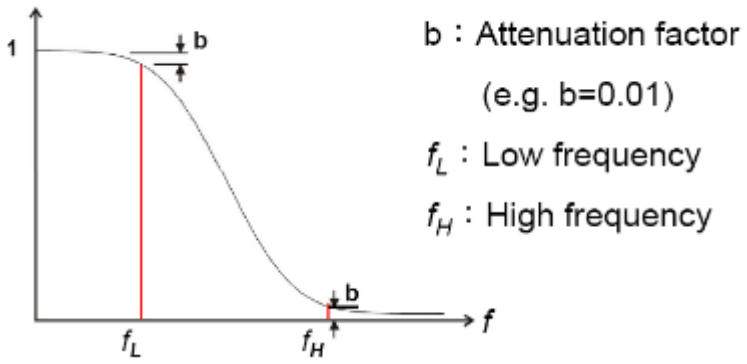


圖 8-10 Iterative Gussin Filter 示意圖。

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）分析方法是由 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（Instrinsic Mode Functions, IMF）。其二為 Hilbert Transform（HT），它是將一個實數的時間訊號轉換成一個複數平面上的解析訊號。

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

步驟一：求取上包絡線

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

步驟二：求取下包絡線

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

步驟三：求取均值包絡線

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

步驟四：第一個 IMF 與餘數求取

將原訊號和平均線相減，而相減後所得的第一個新訊號為 $h_1(t)$；且

$h_1(t) = c_1$ 即為 IMF，故可將此過程表示為：

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

將原始訊號減去 IMF_1 即為此原始訊號的第一個殘餘訊號，即可表示為：

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

以上的四個步驟,即為經驗模態分解EMD,且經由每一次的EMD可以得到一個IMF（圖 8-11)；但通常僅經過一次 EMD 後的 IMF 仍會具有許多通過零點的局部極值，且具有某些固定的振幅和頻率,因此並不符合 IMF 的終止準則。所以必須做第二次的 EMD 過程，其與第一次 EMD 的差異在於使用的原始資料，第二次的 EMD 直接採用 $r_1(t)$做為新的資料來源，依此類推，並重複多次的 EMD 過程，得到若干個 IMF，直到 IMF 符合其終止準則為止。

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

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

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

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

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

經過多次的篩檢過程，主要包含了兩個目的如下：

1. 可消除載波
2. 使得波形更對稱

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

由於 IMF_1 並不符合 IMF 的終止準則，故必須再經由數次的 EMD 篩選，達到終止準則後可以得到最後一個 IMF 及餘數 r，其各 IMF 分量如圖 8-12。

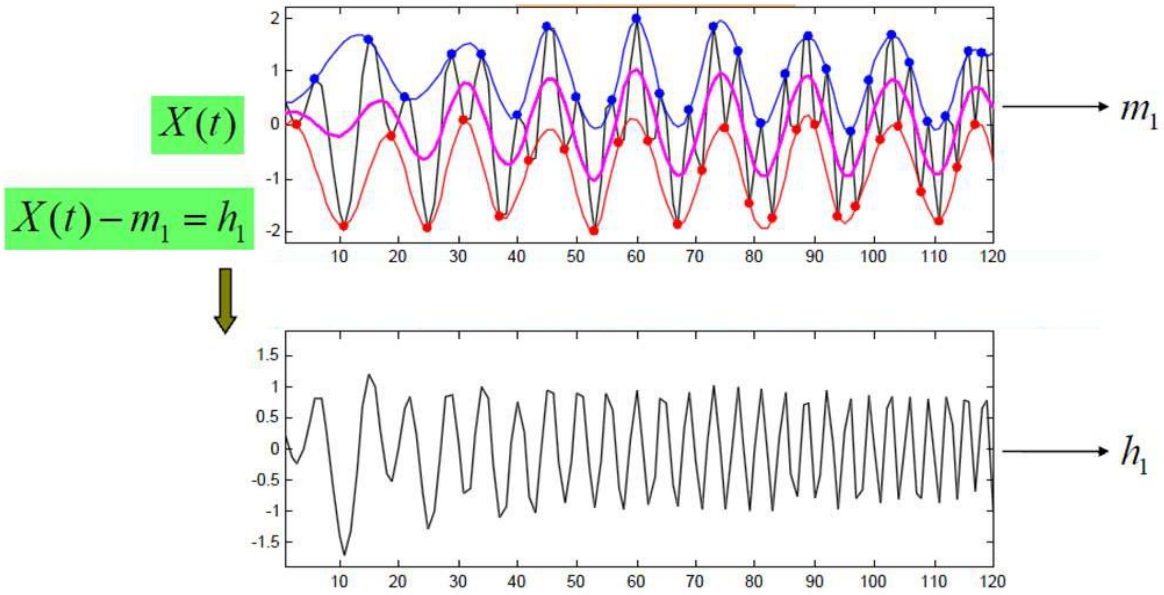


圖 8-11 為第一個 IMF 的求取過程。

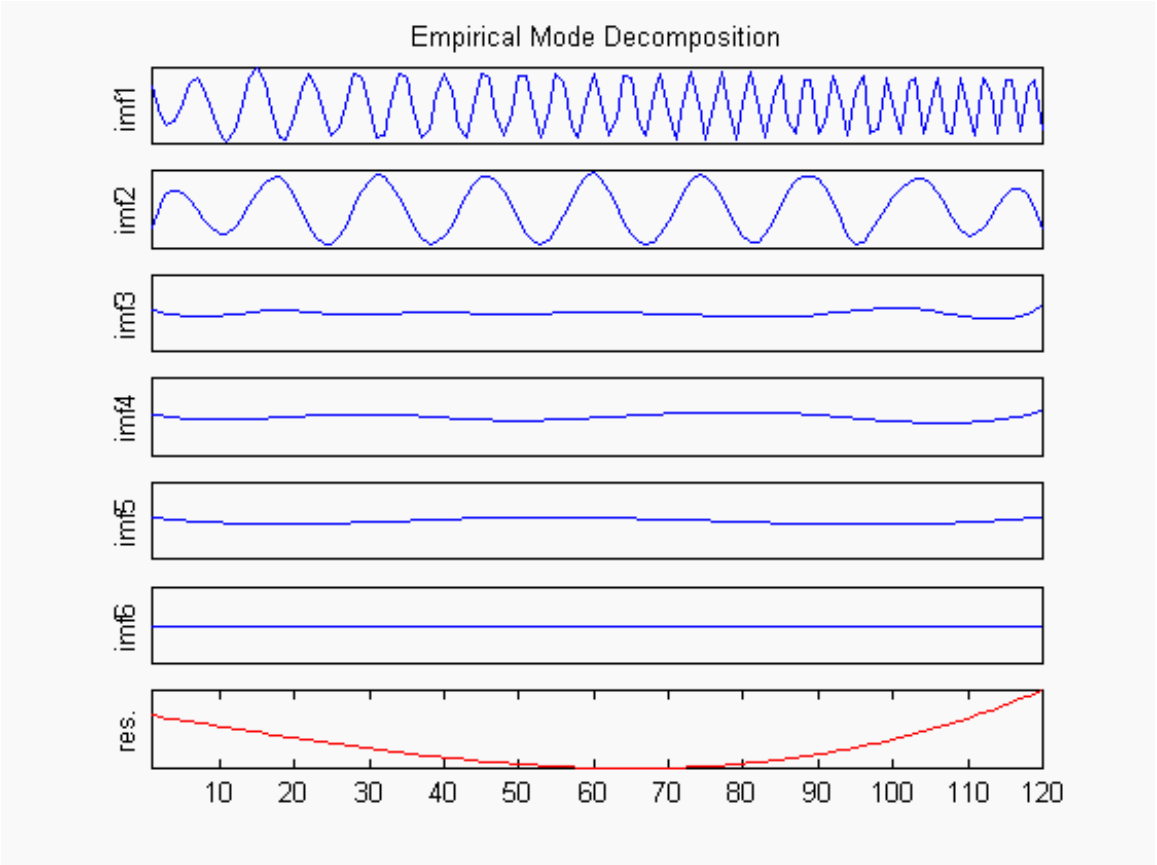


圖 8-12 各 IMF 分量圖。

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

$x(t) – h(t) = r_1(t)$

$r_1(t) – h_2(t) = r_2(t)$

…

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.2.2 美崙氣體觀測站時序分析結果

由於美崙氣體觀測站之氡氣濃度易受大氣溫度變化影響，而呈現日夜震盪變化，如圖 8-13，造成不易判別與地震活動有關的異常。此外，此站也易受雨量影響，當單日降雨過大或連續數日降雨時，氡氣濃度會異常升高。因此，本研究嘗試用疊代式高斯平滑法（Iterative Gaussian Smoothing）及經驗模態分解（Empirical Mode Decomposition）來去除掉日夜之週期性變化與並探討濾波後的訊號與地震活動的關聯。

因此，選取美崙測站 2010/12/1 至 2011/6/10 的觀測結果進行資料處理。首先，將數據經由快速傅立葉轉換（Fast Fourier Transform），結果如圖 8-14。頻率域頻譜顯示在的頻率為一天一次時，有明顯的峰值，代表氡氣濃度受每日的大氣溫度影響而呈現每天一次的變化。因此本研究嘗試利用一些數據處理技術來濾掉日夜變化。

首先，利用疊代式高斯平滑法（Iterative Gaussian Smoothing）來進行處理，根據前節所言，設定參數 F_L 為 0.8、F_H 為 0.95，亦即將頻率為 0.95（1/day）以上的頻率去掉而保留 0.8（1/day）以下的頻率，濾波後結果如圖 8-15（A），可觀察到已無明顯的日夜變化。

本研究再利用經驗模態分解（Empirical Mode Decomposition）拆解原始訊號。拆解後得到得到 11 個內部模態函數（IMF）。由於根據過去觀測經驗，地震前氣體異常的變化可能持續 1 天至 20 天，故選擇周期在 1 至 20 天的 IMF_5（周期為 1.4 天）至 IMF_8（周期為 12 天）等四個內部模態函數。將四個 IMF 相加後，得到去雜訊及去趨勢的訊號，如圖 8-15（B），也可發現到日夜變化已被移除。

比較經驗模態分解與疊代式高斯平滑法（圖 8-16），可發現兩者的趨勢大致差不多，但與經驗模態分解相比，疊代式高斯平滑法濾波後的數據呈現一些較高頻的訊號。將處理後的數據以平均值將兩倍標準差作為異常值的門檻，再將原始數據與 EMD 及 IGaussian Filter 結果同時與地震活動比較，如圖 8-17 及圖 8-18。

圖 8-16 是 2010 年 12 月至 2011 年 2 月的比較圖，原始氡氣濃度方面，可看到 1 月 27 日至 2 月 4 日有氡氣濃度異常區間；而 EMD 處理後的數據在此期間亦有呈現異常，然 IGauss Filter 處理後的結果沒有觀察到異常。這段由 EMD 及直觀所辨識出的的異常可以視為是 12 月 22 日於花蓮秀林發生的地震（規模 4.2，震度 2 級，深度 34 km，距測站 14 km）的前兆反應時間。之後至 2 月底，氡氣濃度由直覺上沒有觀察到與地震活動有關的異常，而 IGauss Filter 處理後的數據在 2 月 7 日達到異常值門檻，似乎與 2 月 7 日花蓮地震（規模 4.6，震度 3，深度 16km，距測站 17 km）發生的時間相當一致，是否代表氡氣濃度同震反應還是有其他的因素影響仍待進一步探討。

圖 8-17 為 2011 年 3 月至 2011 年 6 月的比較圖，原始氡氣數據可發現到四起與地震活動有關的異常，分別是 3 月 1 日至 3 月 7 日、3 月 14 日至 3 月 21 日、3 月 21 日

至 3 月 28 日與 4 月 10 日至 4 月 12 日，詳見節 4.5 的討論。而經過處理後數據，利用 IGaussian 濾波器處理過的數據在 3 月 10 日、3 月 28 日、4 月 4 日、4 月 17 日至 19 日、5 月 18 日及 5 月 28 日、4 月 17 日至 19 日、5 月 18 日及 5 月 28 日有明顯地超過異常值之門檻；經 EMD 處理後的數據在 3 月 10 日、5 月 18 日及 5 月 28 有明顯地異常。這些異常明顯地受雨量影響，當單日降大雨或連日降雨或氡氣濃度直呈現明顯地升高。而在直覺所辨識出的異常區間在利用 IGaussian 及 EMD 處理後反而無明顯的異常。

利用 IGaussian Filter 及 EMD 雖然皆能成功地濾除掉每日大氣溫度所造成的日夜變化，但無法有效地去除雨量對氡氣濃度的干擾。某些直觀判斷出的異常再利用 IGaussian Filter 及 EMD 處理後卻看不到異常，因此未來亦須繼續尋找其他的訊號處理方法並套用在本站的數據以進行測試，期能有更客觀及更具說服力的結果來解釋氣體異常變化與構造活動的關係。

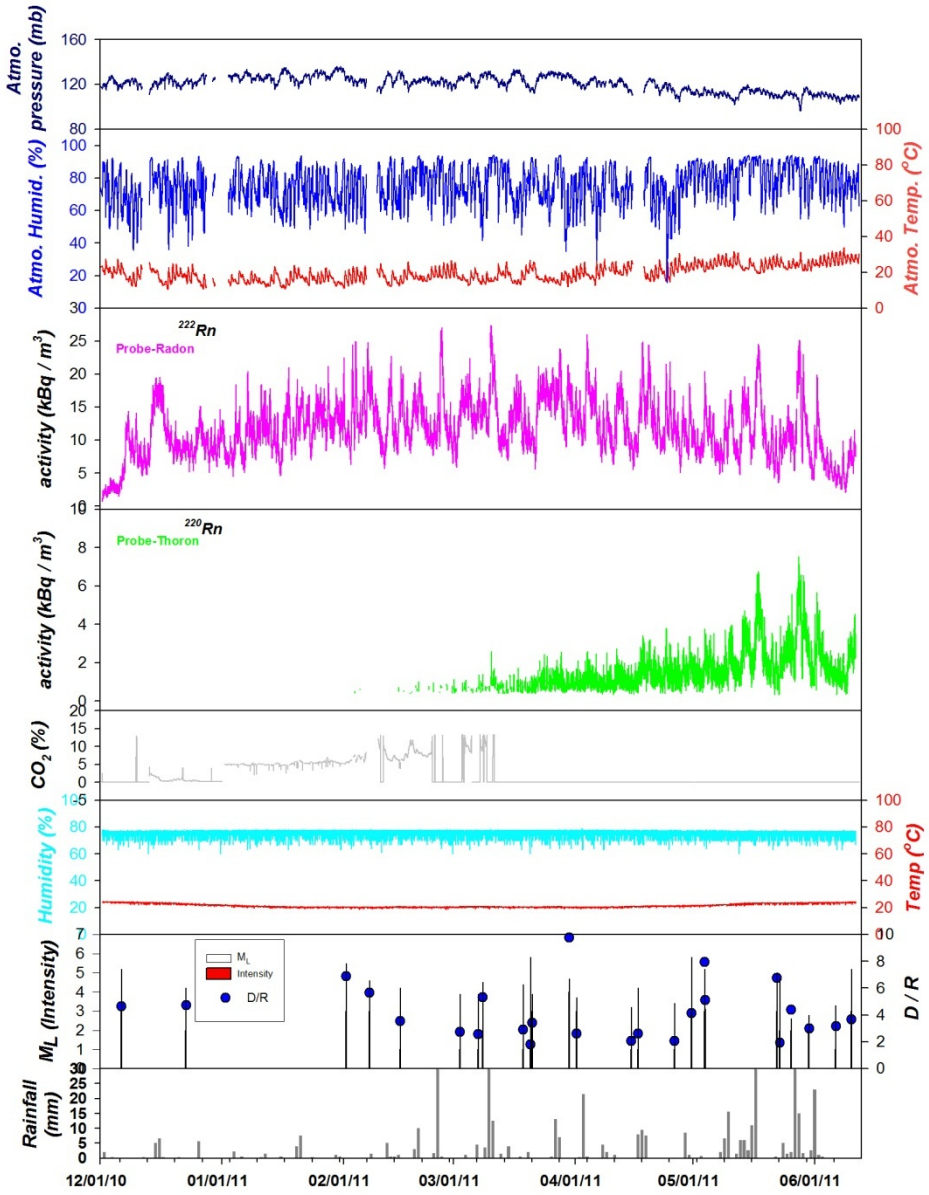


圖 8-13 美崙氣體觀測站 2010/12/1 至 2011/6/10 氡氣觀測結果。

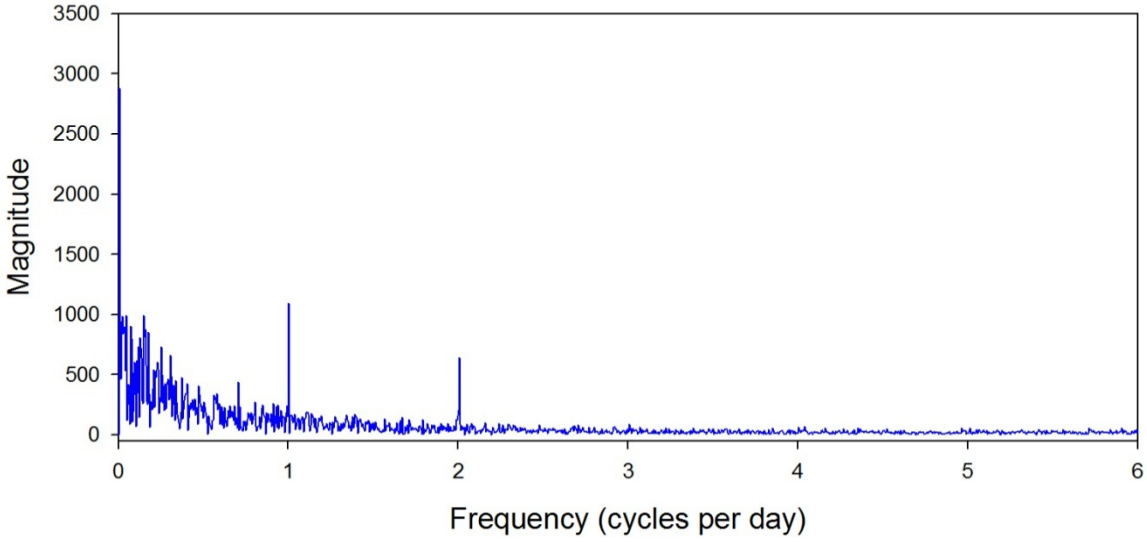


圖 8-14 美崙站氡氣濃度經快速傅立葉轉換結果。

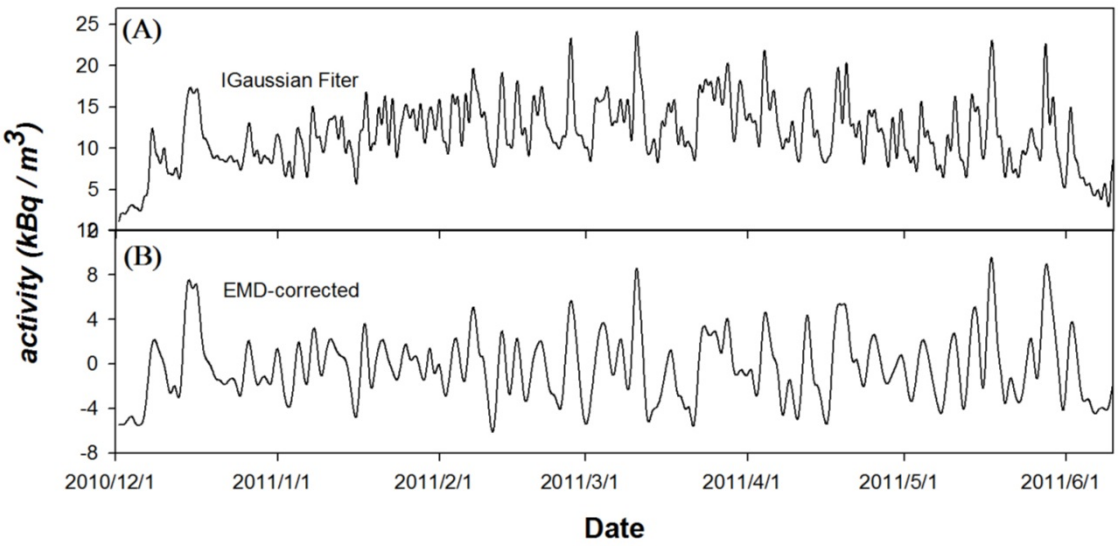


圖 8-15 美崙站氡氣數據經疊代式高斯平滑法與經驗模態分解處理後的結果（A）為疊代式高斯平滑法的結果（B）為經驗模態分解處理後的結果，選擇 IMF_5-IMF_8 相加而得。

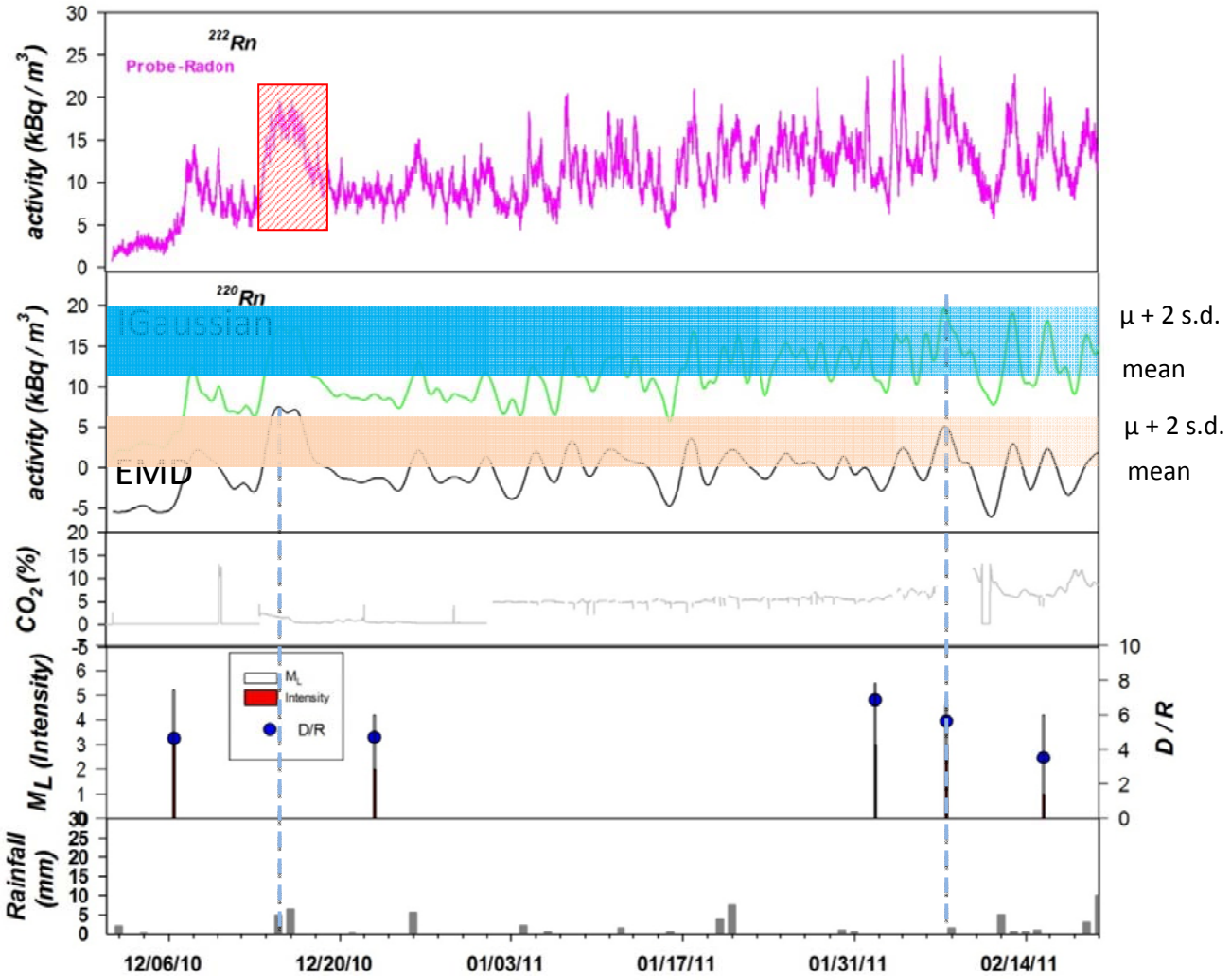
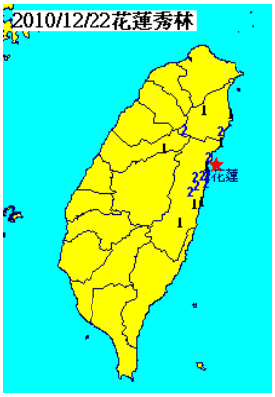


圖 8-16 美崙觀測站原始氡氣濃度與經 IGaussing Filter 及 EMD 處理後的數據比較，並同時與地震及雨量作相關性比對。紅色斜線框代表直覺觀察原始氡氣濃度而定的異常區間；藍色及橘色區塊代表 IGaussing Filter 及 EMD 處理後的數據值為平均值至平均值加上兩倍標準差之間，藍色虛線代表異常值之區間（2010/12/1-2011/2/10）。



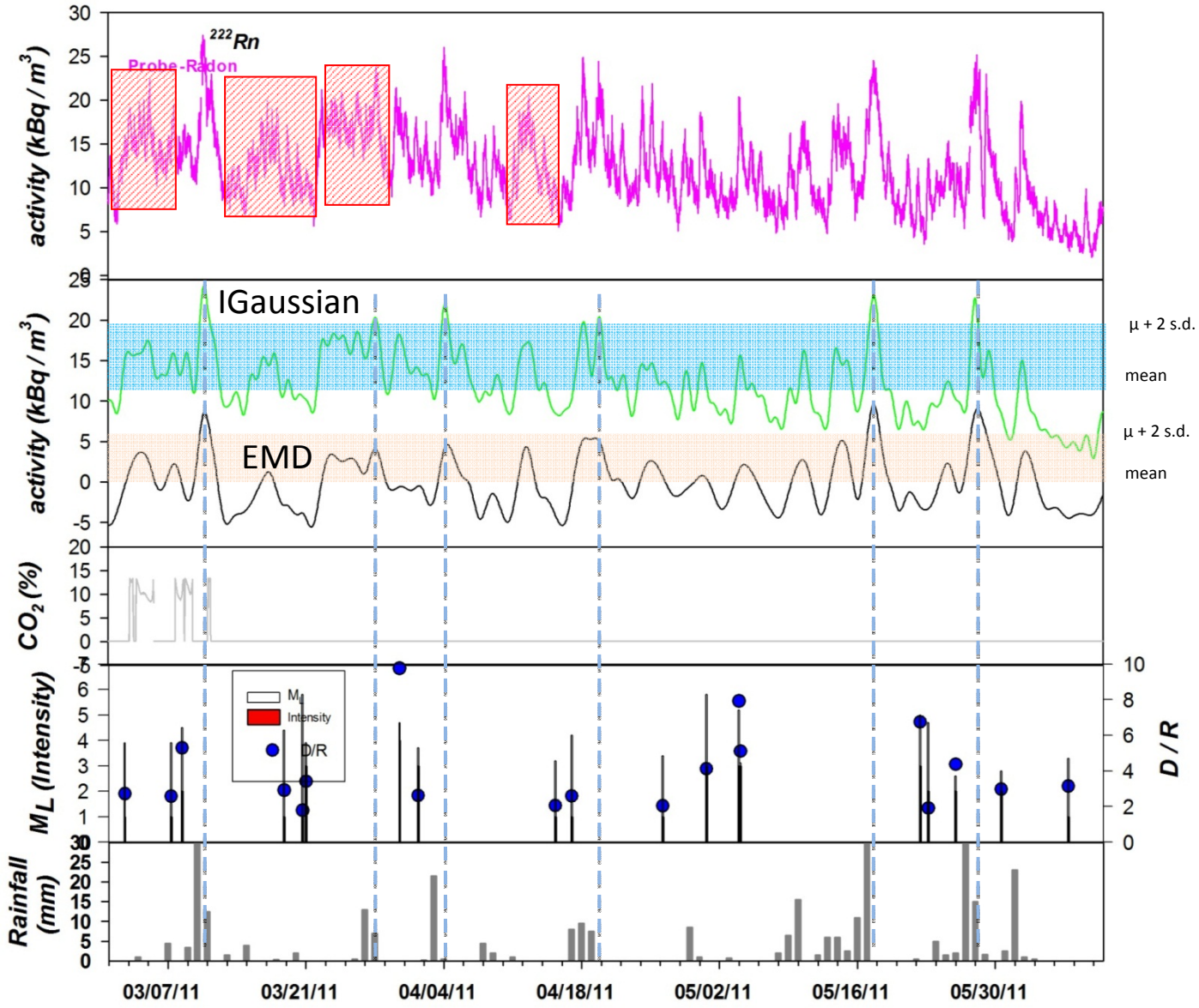


圖 8-17 美崙觀測站原始氡氣濃度與經 IGaussing Filter 及 EMD 處理後的數據比較，並同時與地震及雨量作相關性比對。紅色斜線框代表直覺觀察原始氡氣濃度而定的異常區間；藍色及橘色區塊代表 IGaussing Filter 及 EMD 處理後的數據值為平均值至平均值加上兩倍標準差之間，藍色虛線代表異常值之區間（2011/3/1-2011/6/10）。

8.2.3 池上氣體觀測站時序分析結果

池上觀測站的氡氣變化常有上下起伏震盪，有些的氡氣變化可能與地震活動有關，而有些可能與斷層本身的活動有關。圖 8-18 為池上觀測站 2010/12/1 至 2011/6/10 的觀測結果，本研究用經驗模態分解（EMD）來處理這筆數據。EMD 方法如前節所述，選取週期介於 1 天至 20 天的 IMF（IMF_4 至 IMF_8）並加總，再將此訊號作統計分析，以平均值加一倍標準差作為平均值門檻（圖 8-19），高於此門檻即視為異常。

圖 8-20 是 2010 年 12 月至 2011 年 1 月氡氣濃度的比較圖，原始氡氣濃度方面，可看到 11 月 26 日至 12 月 3 日有氡氣濃度異常區間，可能與 12 月 6 日、7 日、10 日及 12 日發生在台東花蓮附近地區的地震有關，以及 12 月 27 至 12 月 30 日氡氣異常可視為 2011 年 1 月 5 日（規模 3.3，震度 2 級，深度 33 km，距測站 22 km）的前兆反應。上述兩起震前反應在經過 EMD 處理後的數據上亦皆可看到。然而，EMD 處理後的數據另外有觀察到兩起異常（12 月 13 日至 12 月 14 日以及 12 月 21 日），但皆無可對應的地震。

圖 8-21 是 2010 年 12 月至 2011 年 1 月氡氣濃度的比較圖，觀看原始數據，在 2 月 26 日至 3 月 5 日、3 月 10 日至 3 月 17 日以及 3 月 17 至 3 月 29 日可看到氡氣濃度異常可能分別為 3 月 5 日、3 月 20 日及 3 月 30 日地震的前兆反應；而利用 EMD 處理後的數據亦可以觀察到與這些地震相對應的異常。另外 EMD 處理後的數據顯示，2 月 3 日至 2 月 10 日氡氣值超過異常值門檻，還不確定是否為 2 月 21 日地震的前兆反應。3 月 7 日可辨識出短暫且規模較小的異常，可能為 3 月 16 日屏東三地門地震的震前反應。

圖 8-22 是 2011 年 4 月至 2011 年 6 月的比較圖，直覺上觀察原始氡氣濃度，可將 4 月 12 日至 4 月 21 日氡氣濃度異常變化視為與 4 月 17 日的地震有關；5 月 16 日至 5 月 19 日的異常變化區間可能反應了 5 月 24 日的地震；5 月 29 日至 6 月 2 日的異常反應可能是 6 月 30 日的震前變化。上述三起於原始氡氣濃度直覺上可辨識出的前兆異常，亦可與 EMD 處理後的數據中辨識出。吾人亦可由原始氡氣濃度中觀察出 4 月 24 日至 5 月 5 日的異常，進而將之對應到 5 月 7 日發生在台東的地震，然而於 EMD 處理後的數據在這段時間並沒有超過異常值門檻。此外，在 EMD 處理後的數據中，可發現到 4 月 1 日至 5 日及 4 月 7 日至 11 日氡氣濃度明顯超過異常值門檻，然而這段期間內並沒有發生地震。

表 8-3 為池上測站與地震有關的異常利用直覺判斷與 EMD 判斷結果的比較，在 2010/11/25 至 2011/6/1 之間經篩選出的地震共有 21 起，若用直覺主觀的辨識與有震前異常反應的地震共 12 起；用 EMD 解析後的訊號共可分辨出 12 起異常，其震前異常反應的地震佔篩選後的地震比率為 57 （＝12/21）。值得注意的是，雖然直覺觀察與利用 EMD 處理後的異常數量皆相同，但其中數個異常並不相同，即是不同時間發生的異常，

對應的地震活動也不相同（表 8-3）。由於目前觀測資料尚嫌不足，須持續累積資料，才能更深入討論不同的異常值定義方法與不同地震類型的關聯。

另外，池上觀測站有時會有氣體的異常變化但並沒有發生地震的情形出現，可能與當地的斷層潛變活動或是附近區域的軟地震發生有關，此推論仍需靠潛變儀或井下應變儀等地球物理資料加以佐證。

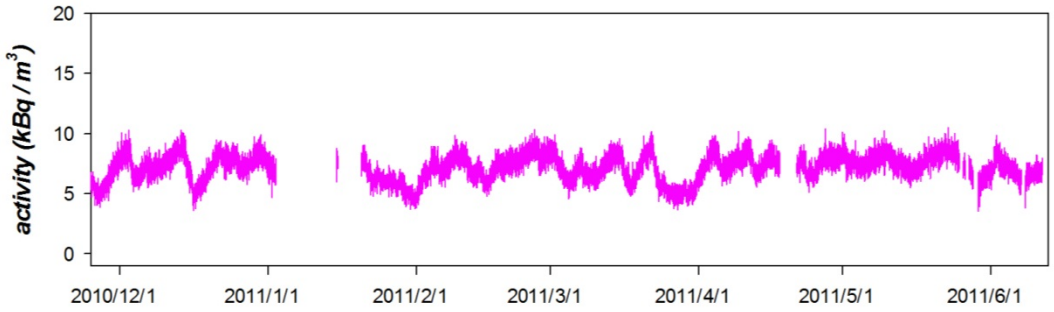


圖 8-18 池上氣體觀測站 2010/12/1 至 2011/6/10 的觀測結果。

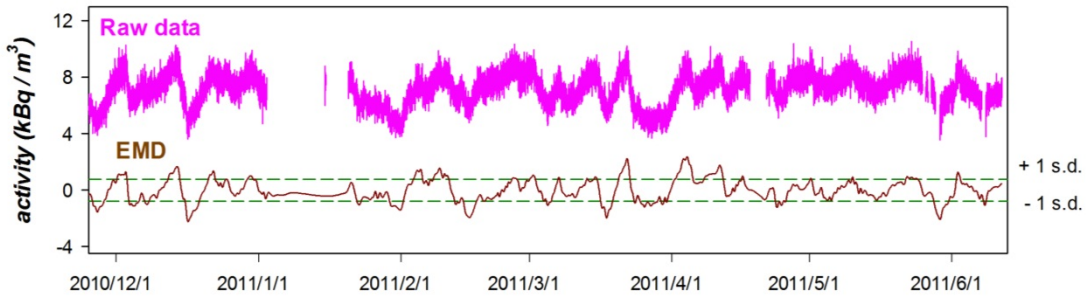


圖 8-19 池上氣體觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據之比較。

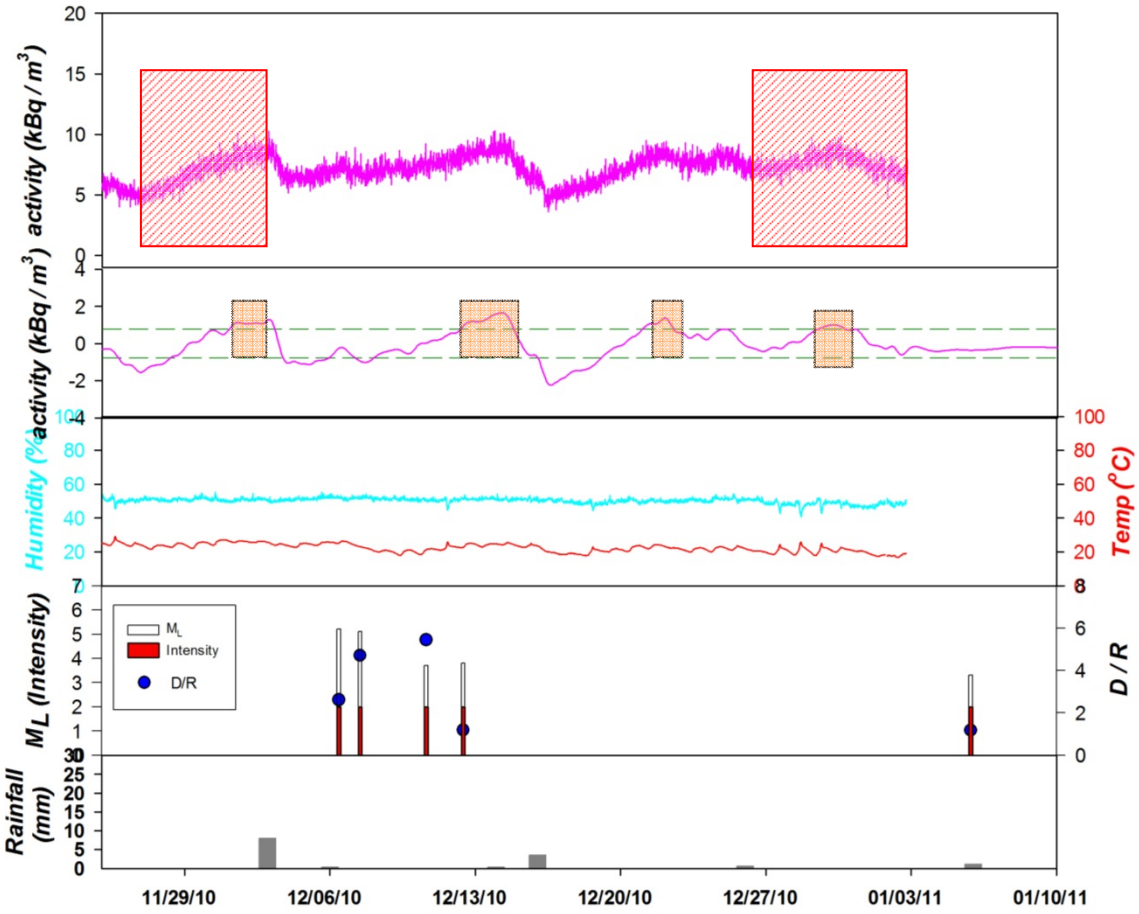


圖 8-20 池上觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據，同時與地震及雨量作相關性比對。紅色斜線框代表直覺觀察原始氡氣濃度而定的異常區間；橘色區塊代表 EMD 處理後的數據之異常區間（2010/11/25–2011/1/10）。

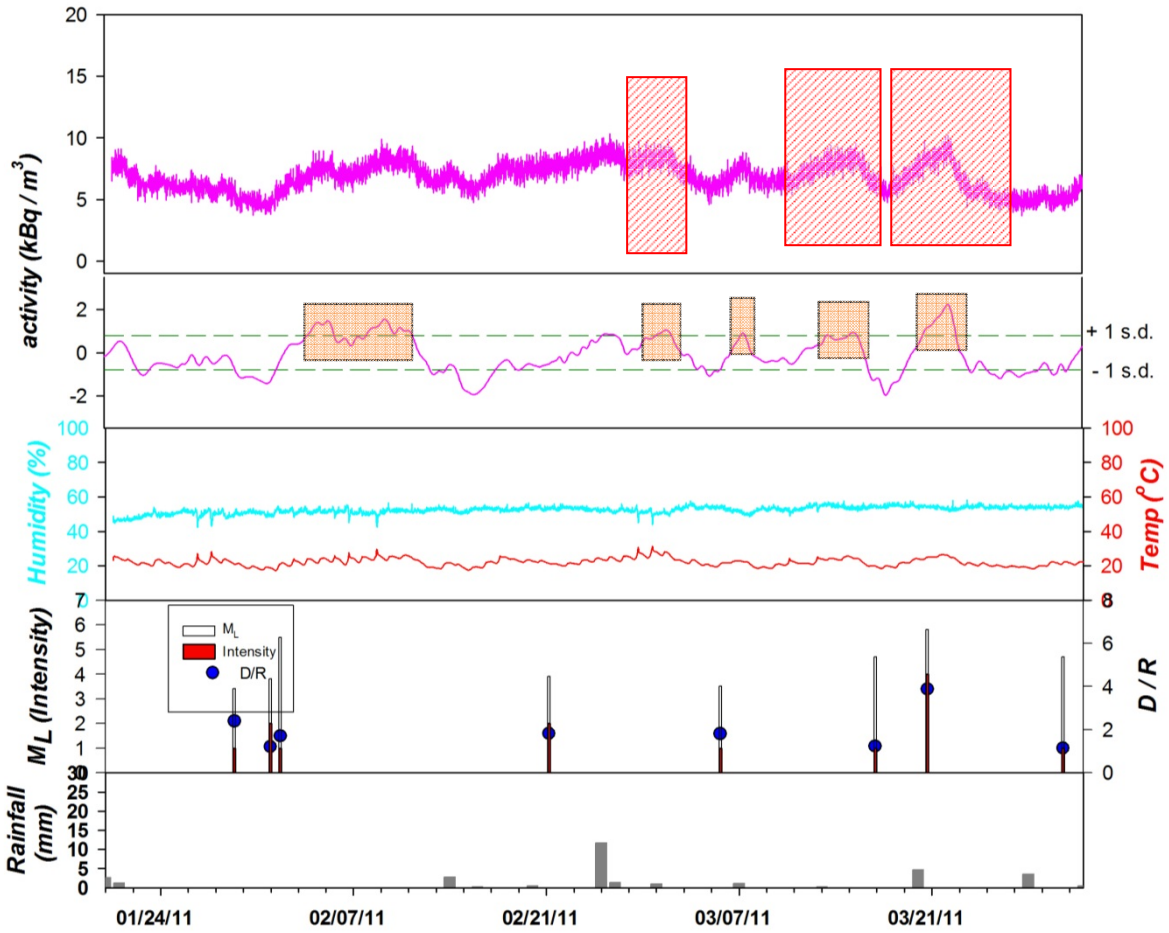


圖 8-21 池上觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據，同時與地震及雨量作相關性比對。紅色斜線框代表直覺觀察原始氡氣濃度而定的異常區間；橘色區塊代表 EMD 處理後的數據之異常區間（2011/1/20–2011/3/28）。

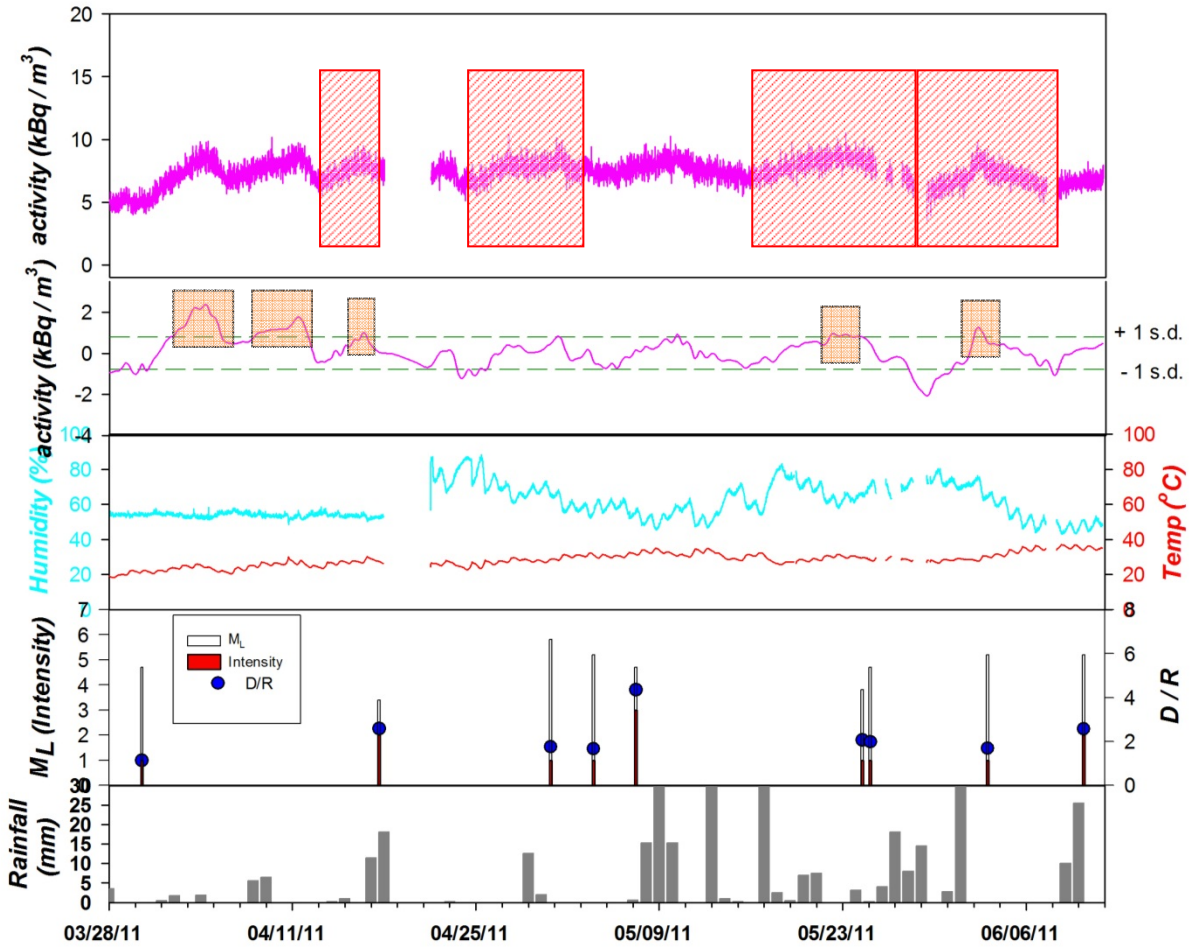


圖 8-22 池上觀測站原始氡氣濃度與經 EMD 處理後的數據，同時與地震及雨量作相關性比對。紅色斜線框代表直覺觀察原始氡氣濃度而定的異常區間；橘色區塊代表 EMD 處理後的數據之異常區間（2011/3/28–2011/6/12）。

表 8-3 池上測站與地震有關的異常利用直覺判斷與 EMD 判斷結果比較。

No	西元時間	規模	深度 km	詳細資料	震度	距測站 (km)	D/R	直覺判識原始氡氣濃度有無異常	EMD 辨識有無異常
10-581	2010/12/6 10:14	5.2	25.3	花蓮西林地震站南偏東方 16.5 公里	2	65.77	2.6	有	有
10-583	2010/12/7 10:46	5.1	30.1	台東成功地震站南偏東方 21.3 公里	2	33.07	4.7	有	有
10-589	2010/12/10 15:04	3.7	15.5	台東成功地震站西偏北方 8.7 公里	2	7.16	5.4	有	有
10-591	2010/12/12 09:54	3.8	24	台東市地震站東偏北方 16.2 公里	2	36.10	1.2	有	有
11-3	2011/1/5 20:38	3.3	33.2	台東縣政府北偏東方 21.4 公里	2	22.14	1.2	有	有
11-34	2011/1/29 08:19	3.4	31.9	台東縣政府北偏東方 36.9 公里	1	12.05	2.4		
11-38	2011/1/31 22:58	3.8	25.7	台東縣政府東偏北方 14.5 公里外海	2	35.75	1.2		
11-43	2011/2/1 16:16	5.5	17.6	花蓮縣政府東北方 33.0 公里外海	1	135.79	1.7		
11-94	2011/2/21 04:15	3.9	23.8	台東縣政府東北方 60.1 公里外海	2	26.08	1.8		有
11-107	2011/3/5 15:18	3.5	22.6	台東縣政府北偏東方 51.4 公里外海	1	17.70	1.8	有	有
11-137	2011/3/16 21:12	4.7	37.9	屏東縣政府東南方 28.3 公里	1	85.10	1.2		有
11-146	2011/3/20 16:00	5.8	16.3	台東縣政府東南方 45.3 公里外海	4	80.42	3.9	有	有
11-161	2011/3/30 12:22	4.7	23.2	花蓮縣政府西南方 11.2 公里	1	92.23	1.1	有	有
11-204	2011/4/17 14:45	3.4	13.3	台東縣政府北偏東方 45.4 公里	2	11.25	2.6	有	有
11-220	2011/4/30 16:35	5.8	75	宜蘭縣政府南偏東方 10.1 公里	1	178.15	1.8		
11-224	2011/5/3 23:52	5.2	34.2	花蓮縣政府東偏南方 20.3 公里外海	1	103.10	1.7		
11-233	2011/5/7 05:31	4.7	22.8	台東縣政府東北方 57.2 公里外海	3	24.16	4.3	有	
11-261	2011/5/24 12:00	3.8	20.6	花蓮縣政府南偏西方 82.4 公里	1	20.96	2.1	有	
11-264	2011/5/25 02:32	4.7	32.4	花蓮縣政府南方 65.2 公里外海	1	53.12	2.0		
11-278	2011/6/3 01:07	5.2	19.1	台東縣政府南偏東方 63.4 公里外海	1	101.79	1.7	有	有
11-290	2011/6/10 09:25	5.2	28	花蓮縣政府南方 46.8 公里外海	2	66.92	2.6		

玖、結論與建議

1. 台灣地區以土壤氣體異常變化之方法來評估斷層活動性或地震活動之發生。各氣體觀測站的觀測結果顯示，發現地震若發生距觀測站不遠的地方，通常在數天至數小時前，氡氣濃度皆呈現異常升高的變化情形，在排除氣象因子及人為因素影響後，這些的異常值出現很明顯的就是該次地震發生前的地震前兆訊息，本年度以新竹大平地、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，捕捉到成功的前兆訊息，表 9-1 為本年度各觀測站成功捕捉前兆訊息之統計結果。古坑觀測站因傾斜積水，現已遷站至另一適合位址。花蓮美崙站自去年底設站後持續分析資料，結果顯示呈明顯日夜變化且受雨量影響甚大，未來可能考慮另尋其他替代位置。

表 9-1 本年度各觀測站成功捕捉前兆訊息之統計結果

	TPT	GK	PT	ML	CS	CL
符合篩選之地震	14	19	11	30	23	28
與氡氣有關之地震	9	1	5	4	8	9
百分比	64%	5%	45%	13%	35%	32%

2. 地下水壓觀測井台北觀測站前兆反應之地震多分佈在台灣東北部。錦和站的震前水位異常變化皆呈現上升或是改變波形；樹林站則皆是上升異常反應；明德站的震前水位異常變化除了 2 月份呈現下降反映外，其餘都是上升異常。新竹地區的三個觀測站中水位變化趨勢一致性較低。有較佳反應的為新樂站，除了反應鄰近地區地震之外，對於宜蘭及花東外海多起地震亦有震前水位異常反應。新樂站的震前水位異常變化有呈現上升，也有先降後升情況；雙溪站則是潮汐現象減弱之異常反應。而瑞峰站今年度因為長時間缺少資料，無法判別其對地震之反應。嘉義地區觀測井反應出台灣中南部及東部外海之地震，沄水站有較佳的震前地下水位異常反應。沄水站的震前水位異常變化皆為下降。沄水站則是所有觀測站中唯一不受雨量影響的觀測站，此特性利於觀測地震之前兆。

3. 統計自 2008 年 12 月 2011 年 11 月 15 日之篩選地震與觀測井地下水位有前兆反應之地震，台北地區 124 起篩選地震中，前兆地震有 31 起，疑似前兆有 30 起。新竹地區 78 起篩選地震中，前兆地震有 30 起，疑似前兆地震 9 起。嘉義地區 196 起篩選地震中，前兆反應地震 84 起，疑似前兆地震 33 起。

4. 根據安通站在 2008 年 2 月 17 日發生 M_W = 5.4 安通地震前，有機會能捕捉到地下水水氡異常下降之地震前兆，建議持續長時間監測安通站地下水水氡濃度，預期能捕捉下次在花東縱谷南段發生災害性地震之前兆（大約 M_W＞6.0）。

5. 本計畫 2011 年在安通站完成建置地下水水氡連續監測系統。現地氡氣分析儀（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互相比較結果顯示數據相當一致。預期長時間之連續監測較能有效觀察到地下水水氡濃度異常變化和斷層活動之關聯性，以捕捉安通溫泉地下水水氡地震前兆異常下降現象。另外，在社頂站亦完成建置地下水水氡、二氧化碳及地下水位連續監測系統。

6. 社頂站在 2010 年 3 月 4 日 M_L = 6.4 的高雄甲仙地震、2010 年 11 月 12 日 M_L = 5.3 的屏東枋寮地震及 2011 年 8 月 31 日 M_L = 4.8 的屏東鵝鑾鼻地震來臨前，有觀測到地下水水氡異常下降之現象。建議繼續監測墾丁公園社頂站地下水水氡及溶解氣體（二氧化碳）濃度變化，預期能捕捉恆春半島附近發生災害性地震之前兆（大約 M_W＞6.0）。

7. 安通溫泉及墾丁社頂之地質條件（延展性地層包圍脆性地層）適合觀測地下水水氡濃度異常下降之地震前兆。

8. 同時檢視土壤氣體、地下水壓及水氡等地球化學觀測站，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氡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，以及社頂水氡站也記錄到前兆反應。持續觀察 2010 年底至 2011 年的地震活動，也發現在特定地震活動前數個觀測站有前兆反應，例如 2010 年 12 月 6 日花蓮西林地震，大平地、中崙及池上氣體觀測站在 1 至 2 周前有震前異常變化；明德、錦和及沄水地下水壓井之水位也有明顯的前兆現象。

9. 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氡氣濃度日夜震盪，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。未來須累積更多資料，並藉由不斷地測試修改，找出適合各觀測站的分析方法。

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。

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

林啟文、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。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

經濟部中央地質調查所(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.

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

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

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

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

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

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

Barsukov, V.L., Serebrennikov, V.S., Belyaev, A.A, Bakaldin, Y.A. and Aresnyeva, R.V.

(1985a) Someexperience in unraveling geochemical earthquake precursors. *Pure and Applied Geophysics*, 122, 157-163

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

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

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

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

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

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

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

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

Giammanco, S. and Gurrieri, S. (1997) Soil CO2 degassing along tectonic structures of Mount Etna (Sicily): the Pernicana fault. *Applied Geochemistry*, 12, 429-436.

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

Hauksson, E. (1981) Radon content of groundwater as an earthquake precursor: Evaluation of worldwide data and physical basis. *Journal of Geophysical Research,* 86, 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 Februaru 2, 1992 Tokyo Bay earthquake. *Geophysical Research Letters,* 19, 1583-1586.

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

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

Kawabe, I. (1985) Anomalous changes of CH4/Ar ratio in subsurface gas bubbles as seismo-geochemical precursors at Matsuyama, Japan. *Pure and Applied Geophysics*, 122, 194-214.

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

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

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

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

Kuo, M.C.T., Fan, K., Kuochen, H. and Chen, W. (2006a) A mechanism for anomalous decline in radon precursory to an earthquake. *Ground Water*, 44, 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 aseimic crustal-strain using radon Repetitive radon precursors of the 2003 M 6.8, 2006 M 6.1, and 2008 M 5.0 earthquakes in eastern Taiwan. *Natural Hazards*, 53, 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, Preceedings of the ROC-JAPAN Joint Seminar on Mutiple 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.

Omori, F. (1907a) Earthquake of the Chiayi area, Taiwan, 1906. *Introduction of Earthquake*, 103-147 (in Japanese).

Omori, F. (1907b) Preliminary note of the Formosa earthquake of March 17, 1906. *Bull. Imp. Earthquake Investigation Committee*, 1, 2, 53-69.

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.

Theis, C. V. (1935) The relation between the lowering of the piezometric surface and

the rate and duration of discharge of well using ground-water storage. *American Geophysical Union Transactions*, 16, 519-524.

Teng, T.L. (1980) Some recent studies on groundwater radon content as an earthquake precursor. *Journal of Geophysical Research*, 85, no. B6, 3089-3099.

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.

Weigel, F. (1978) Radon. *Chemiker Zeitung*, 102, 287-299.

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. 報告封面應加註「期中報告」。	答：期末報告已修正。
2. 籌辦“斷層活動性”學術研討會之進度，須說明。	答：已如期舉行，詳細資料請建附錄二。
3. 斷層活動性觀測相關研究計畫應加強比對不同前兆現象的關係，以進行整合分析。	答：遵照辦理。
4. 異常的判斷應朝自動化的方向行動，希望今年有初步成果，第四年後應能取代大部分的人工判釋。	答：遵照辦理，持續朝自動化來努力。
5. 至目前為止，本計畫皆以分析所觀察和記錄到之資料所得分析之結果；其地震(以某些規模以上)皆有一些前兆的徵兆，這些年來針對類似之結果資料是否能彙整出相關之前兆規則，以做為本年度期末及第四年度之預期目標。	答：遵照辦理，持續彙整中。
6. 氣體異常而無法比對地震發生是否有其他機制如 Creep earthquake(軟地震)，如果能配應力變化資料選適合站資料來驗證突破。	答：主要受限於其他資料的取得或研究尺度不同而造成對比困難，不過池上觀測站曾比對潛變儀未發表結果，部分氣體異常的確受到軟地震的影響。
7. 甘梯圖中「苗栗台中地區之土壤氣體調查」項目原預定 2 月份開始進行，但現在尚未有進度，「第二季查核點」項目原預定 6 月份完成，但現在尚未有進度，建議提出說明。	答：期間調查地區的天候狀況不佳，不利採樣的進行。期末報告已完成苗栗台中之土壤氣體調查。
8. P.44 大平地土壤氣體觀測站「地震篩選原則為 M_L≧5 或....或震央距測站≧200km」其中「震央距測站≧200km」是否為剔除之條件或符號誤植。	答：期末報告已修正。
9. P.55 古坑土壤氣體觀測站「地震篩選原則為 ML≧5 或....或 D/R≧2..或震央距測站≧200km 或 D/R＜1 或無震度」有關震央距測站≧200km、D/R＜1 或無震度是否為剔除之篩選條件，請再確認。	答：期末報告已修正。
10. 地震發生與異常發現時間點之關係如圖 4-1，是否有任何可資佐證或解釋之處可供參考。	答：依照 Scholz 等人於 1973 所提出的彈性破碎模式並根據歷年的觀測資

	料所歸納出的關係圖。
11. 請說明第四章,表 4-1 地震列表中類型一欄空缺處的原因。請說明圖 4-3 至 4-54 諸圖中，氟氡異常變化區間的定義或判斷準則。	答：空缺處期末報告已修正。氟氡異常的定義:為當濃度逐漸明顯高於背景值且期間並未受到其它因素影響時(例如: 雨量、儀器故障和人為因為等)，則可認為是異常變化區間。
12. 請說明為何僅第 4.7 節嘉義中崙的工作中使用四極桿質譜儀進行氣體分析，而其他各觀測站則未進行相關分析？	答：四極桿質譜儀價格昂貴且運作的環境較為嚴苛。此外，各測站的主要氣體成分不盡相同，。
13. 地下水位資料是否可以利用 EMD 及 IGS 時序分析將雨量、季節等因素去除之後再來檢視是否有異常信號。	答：持續嘗試中。
14. 請說明(chap.5)地下水壓異常變化定義中(1)D/R 大於等於 2 之定義的原由與根據，(2)「…震度少於 1“且”D/R 小於 1…不列入考慮」;建議“且”修改成“或”並說明選擇之理由。請說明第五章，表 5-1 地震列表前兆站一欄英文字母之含意。	答：期末報告已修正。
15. 請說明第五章地下水壓異常變化之定義，與其地下水地質上的含意或理由。	答：期末報告補充，詳細內容請見第六章。
16. 第四章和第五章相同地質圖中所列之地震不一致，請說明。	答：期末報告已修正。
17. 311 日本地震如何產生觀測站水位異常，請補充說明。	答：可能由地震波傳遞到台灣時，其長波長震幅所產生的水位震盪效應。
18. 地下水氡變化在安通及墾丁之異常，應類似地化觀測站中氣體觀測站及地下水壓觀測站，對地震活動之關聯性之資料處理及整合分析,一併表示。	答：安通及墾丁之地質條件為脆性岩體外部包圍塑性岩層，在地震來臨前能捕捉到地下水水氡濃度異常下降。
19. P.203 儲水係數平均值是否正確？圖 6-6 及文中所述差二個 order，請修正。	答：期末報告已修正。
20. 請說明 P.203 第 6.3 節中，量測導水係數和儲水係數之目的為何？及其與環境因子有何明確關係？	答：量測導水係數和儲水係數之目的為監測含水層中地下水參數和地殼活動之關聯性。導水係數定義為含水層之水力傳導係數乘上含水層厚度，代

	表含水層的輸水能力。儲水係數定義為當水頭下降(或上昇)一個單位時，由於水與介質的變形，含水層單位體積所釋放(或儲存)的水的體積。藉由監測導水係數與儲水係數，觀測地震前因地層體積應變所產生的裂隙造成導水係數與儲水係數異常變化的情形。
21. P.208-211 墾丁社頂站經過一年多的觀測，水氡濃度變化和二氧化碳濃度變化皆與地下水之豐枯水期有關，並呈現週期性變化，是否能建立水氡濃度及二氧化碳濃度週期性變化曲線，作為比對濃度變化異常之參考線。	答：今年度設置連續監測站，將取得地下水位歷線數據，目標建立水氡濃度及二氧化碳濃度週期性變化曲線。
22. 安通即時連續監測站之儀器因溫泉水溫度過高，僅運作 3 個月就發生故障，請妥為規劃後續觀測之對策。	答：本研究另外設置冷凝設備，已克服溫泉水溫度過高的問題。
23. 其它編輯與文字須修正處： (a.) P.15 第 1 行「美國、前氡濃度的異常」有漏字，「美國、前蘇聯進行」，請修正。 (b.) P.41 應變半徑之方程式所使用之代號(ρ)和以下諸表中所使用之代號(D)不一致。 (c.) P.41 文中表 4-1 比圖 4-2 至 4-8 先提及，文中位置應挪前。 (d.)“大綱”改用“目錄”。 (e.) P.5.倒數第 4 行“十一口井”與本報告不符。 (f.) P.10 表 2-1 站名屏東潮洲站及花蓮站與 P.9 之圖 2-3 所用名稱不同，例如屏東－屏科大－屏東潮洲、花蓮－美崙－花蓮，建議統一。水氡觀測站之二度分帶讀數須仔細核對。 (g.) P.18 公式中之 M 應為 M_L 之誤；P.41 公式同。 (h.) P.22 表 3-1，大興應在梅山“鄉”，而非梅山“縣”。 (i.) P.99.圖 4-42，圖說應加註粉紅色為池上站資料；藍色為錦園站資料，圖 4-44，4-47，4-48 同。	答：期末報告已修正。

(j.) P.134.倒數第 3 行；除“2011 年 12 月 6...”，尚未發生須注意年份。P.208.第 4 行“2011 年”亦同。 (k.) P.144 圖說“綠色 X 標記...”在此圖不適用，應刪去。 (l.) P.156.第 11 行，須加註至“2011 年” 6 月 10 日。 (m.) P.171.第 2 行“2010 年” 6 月應為“2011”年之誤；第 11 行 “圖 5-2”應為“表 5-2”之誤。 (n.) 表 5-1 之位置應挪於圖 5-11 之前，餘表亦應依文中提及之次序安排文中適當之次序。 (o.) P.231.英文拼字“Ierative”應為“Iterative”之誤，有 3 處；P.II 亦同；P.236 有 2 處。 (p.) P.236 至 P.237 間，文字有漏行，須補齊。 (q.) P.247.第 5 行“新竹屏科大”應修正。倒數第 7 行，“2010 年”6 月 10 日應為應“2011 年”之誤。	

附錄二 今年期末報告審查委員意見及答覆情形

意見	回覆
A	
1. 土壤氣體及水壓，仍然以地震事件找尋有無異常得方式來研究，應從異常是否有對應的地震來評估其前兆的有效性。	答：遵照辦理。
2. 異常仍以人工識別為主，失之主觀。	答：目前持續朝時序分析方法並以電腦自動化判識來努力。
3. 水氡未能與土壤及水壓配合。	答：未來地下水水氡觀測到異常下降時，會通報土壤及水壓觀測團隊。
B	
1. p15 第 7 行「圖 3-1，經濟部中央地質調查所」，建議將引用文獻來源移至圖 3-1 的說明部分。倒數第 2 行「梅山東北方及停止」應為「即」，請修正。	答：已修正。
2. p23 圖 3-3 中建議標示安通站址。	答：期末報告已標示。
3. p28 圖 3-6 地質柱狀圖之深度數字只顯示部分，請修正。	答：期末報告已修正。
4. p39 第 1 段描述在 5/30-9/26 間氡氣呈現日夜變化，有無合理解釋。第 4 段第 2 行「在無無降雨日」字重複，請修正。	答：已修正。
5. p71 最後一段古坑站遷站「回到原古坑站附近另尋地點作為遷站位置，目前觀測站的已完成建置」，有建置照片但缺乏位置圖，建議補充新站址之位置圖。	答：已修正，。
6. p93 美崙觀測站易受降雨及積水影響，第 4 段提及「做妥適的搬遷至附近較不易積水地區」，是否有相關想法或規劃。	答：未來將在斷層帶沿線地勢較高處進行調查評估。
7. p161 有關三義斷層的描述似乎許多引自地調所「臺灣中部活動斷層條帶地質圖說明書」之內容，建議需增列文獻。	答：已增列。
8. p163 圖 5-1 引用文獻年份應為 2008 年，請修正。	答：已修正。

9. p169 倒數第 3 行「皆有早成此異常」應為「造」，請修正。	答：已修正。
10. p195 部分地下水觀測站之異常現象為地潮現象減弱，能否有合理的機制說明此變化現象。	答：新竹雙溪站水壓觀測儀雖置於封閉不透水層(深度 160m)，但根據報告指出，台灣地區，就地下含水層在 130～250 公尺深的井水而言，降雨影響水位的主要變化來自地表水的荷重((余貴坤等，2008)。降雨荷重使深部地下水層產生垂直向應力變化，造成孔隙水壓增大的影響（張昭棟等，1986）。雙溪站常觀察到地下水位的潮汐現象呈現因為降雨而減弱。而地震發生前的地下應變改變，有可能加大了地下水的孔隙水壓，導致降低地下水位對地潮變化幅度地反應。
11. p219 及 p257 圖 6-46 顯示沄水觀測站加裝第二水壓計，在 2011 年 9 月前第一、第二水壓計變化類似，但 9 月後二者反應明顯不同，是否有合理解釋？	答：第二水壓計與第一水壓計量測到水位異常升降發生時間是一致的，但長期趨勢來看，第二水壓計有異於第一水壓計的逐漸升高變化，目前還不知道是否因為第二水壓計置於地表以上(第一水壓計，地面下 18 公尺；第二水壓計，地面上 1 公尺)，而受到外在環境干擾，這問題仍在釐清中。
12. p272-300 圖 7-1 至圖 7-31，許多訊號看似變化不大，建議將 Y 軸的數值範圍略作調整，以突顯訊號的變化狀況。Ex.圖 7-31 地下水位介於-20 與-25 之間，但 Y 軸範圍卻在 0 與-30 之間，建議將 Y 軸範圍改為-20 與-25。	答：期末報告已修正。
13. p307-311 相關圖片編號有誤，請修正。	答：已修正。
C	
1. 水氡觀測結果與前兩項觀測結果對地震篩選條件明顯不同，在一整合計畫中，應統一解釋。	答：水氡觀測結果將根據地質、地球物理及物理化學機制，並應用統計方法來進行地震前兆之篩選及解釋。

2. 在篩選條件中 ML 與 D/R 有些意義重複，如只選取 D/R 是否有較高的異常反應比例？	答：篩選條件目前仍然在修正中，D/R 多了一項控制參數，未來會進一步試著區分不同篩選條件的反應比例差異。
D	
1. 工作執行團隊執行本計劃已有三年，三年來由紛亂中到今日之統整及次序及相關之研究成果等皆有長足之進步，且研究成果豐碩，工作團隊之努力值得肯定與表揚。	答：感謝指導，會繼續努力。
2. 本計劃之重點乃在以地球化學的觀測結果研究斷層的「活動性」。因此，本計畫之執行之最終結果(結論)應朝向該問題前進。以今天之成果報告之內容而言，尚有大部分的工作仍僅在進行 Routine 的檢測工作，期待明年之最後一年的工作重點能進一步探討斷層之活動性問題。	答：遵照辦理。
3. 有關觀測站之數據針對地震之選擇依據，R 為測站與「震源」的距離(P.37)，還是如(P.170)之「震央」宜請說明釐清。	答：已修正，應為震央。
4. 有關水氡觀測站之設置，針對該墾丁站之地質的瞭解宜請加強，本部份之地質內容應請主辦單位提供詳細資料，尤其有關恆春石灰岩於社頂地區應有其與上下地層之不整合關係與非連續性的問題，加以石灰岩區之地下水流場與一般固結岩體亦不相同，宜請進一步加以瞭解。	答：謝謝指導。將加強蒐集及整合社頂恆春石灰岩地質及水文地質資料，並應用其在水氡前兆數據之解釋。
E	
1. 圖 4-30 採樣點分布圖請採用清晰之圖幅，並請說明綠色線條所代表之涵意。	答：已修正。
2. 圖 8-2、8-3 之圖號請修訂。	答：已修正。
3. 8.2 一節之數學式子請加強清晰度。	答：已修正。
4. 8.1 節各觀測站的異常反應範圍之建立是本研究最重要的成果之一，其範圍之建立所依據之地震分佈可再詳細說明。	答：依照目前觀察到前兆訊號的所有地震分佈位置的範圍。未來會試著按照不同的地震特性或異常變化做進一步的討論。

5. 本研究主要依據土壤氣體觀測站建立其異常反應範圍，關於地下水壓觀測站是否亦可建立其異常反應範圍，亦請於報告中說明之。	答：目前地下水壓觀測依據不同區域分成台北、新竹和嘉義觀測群，也初步建立了異常反應範圍，大致上與土壤氣觀測的反應範圍相似,詳細內容請見內文。
6. 請討論分別依據土壤氣體觀測站和地下水壓觀測站所建立之異常反應範圍的差異。	答：目前觀測到的異常反應範圍大致相符。
F	
1. 目錄 P.V - P.XIII 與內容完全不符，須修正與其內文符合。	答：已修正。
2. 表 2-1(P.6)屏東屏科大站之二度分帶(N)之讀數需仔細核對。	答：已修正。
3. 圖 3-6(P.28)Depth 之讀數不清楚須修正。	答：期末報告已修正。
4. 表 3-3(P.31)表說有 NA:未檢測，但表中無 NA 出現，應刪除此說明。	答：期末報告已修正。
5. 圖 4-1(P.38)應加注參考文獻。	
6. P.39 倒數第三段之第二行"在無無降雨日的...."--是何意思?	答：已修正。
7. 站位及井位之經緯度，P.6 表 2-1 用二度分帶，P.29 井位卻不是，在同一報告中，有兩種標示不妥，應改為一致。	答：期末報告已修正。
8. 土壤氣體有無異常，卻無地震可比對，則可能原因為何，須說明。	答：其異常可能與當地斷層的活動有關，如潛移。或和區域的軟地震發生有關連。
9. 地下水位異常反應，已有 7 起發生時，有跨雨地區異常反應，則土壤氣體及水氡觀測是否有相同反應，應互相比對說明。	答：土壤氣體觀測若有跨雨地區異常反應，目前暫時不予與地震事件對比，未來會嘗試進行雨量和氣體濃度校正，之後再進行相互比對。
10. 水氡觀測需加強說明為何 Mw>6.0 才會有反應？	答：安通溫泉地下水水氡濃度背景雜訊干擾大，地下水水氡濃度異常下降最低值需夠低，才可以很清楚與背景雜訊分辨出來。
11. 第四章所有附圖所討論的時段應改置於地點之後，不應放於最後，以免混亂意思，如圖 4-3(P.42)	答：已修正。

會以為異常區之變化區間。	
12. 圖 4-33a，圖 4-33b(P.75)及圖 4-34(P76)未在文中引述，應刪去。	答：已修正。
13. 圖 4-66(P.117)，圖 4-69(P.120)，圖 4-70(P.121)在 Rn-222 activity 有藍色及粉色曲線，須在圖說中說明不同顏色曲線代表意義。	答：已在內文補充說明。
14. P.161 缺文獻者：月桂之助,1936; 張麗旭,1951;Meug,1963,需補。	答：已補上。
15. P.162 缺文獻者：Giammancoetal,1997,需補。	答：應為 (Giammancoetal and Gurrieri, 1997) 已修正。
16. 圖 5-2 之圖說應加注"三義斷層附近"採樣點分佈圖，否則不知地點在何處。	答：已修正。
17. 圖 5-3 之圖說應加注"土壤氣體"野外...，否則不知在採何種樣，圖目也應一並修正。	答：已修正。
18. P.169 倒數第三行---皆有"早"成此異常---中，"早"應為"置"之誤，須修正。	答：已修正。
19. P.195 第三段第三行---發生兩起規模 3 以下之"局發"地震---，何謂"局發"地震？	答：為區分有感地震之大小，我國依最大有感距離分為：(資料來自中央氣象局) (1)局發地震(local earthquake)：最大有感半徑小於100 公里。 (2) 小區域地震 (small-felt-area earthquake)：最大有感半徑從100 公里到200 公里。 (3)稍顯著地震(moderate earthquake)：最大有感半徑從 200 公里到300 公里。 (4)顯著地震(remarkable earthquake)：最大有感半徑300 公里及以上。
20. 圖 6-25(P.212)至圖 6-30(P.217)圖說中---"中和"之對比圖，似應改成"综合"之對比圖，須修正。	答：已修正。
21. P.307 圖 8-1，應為圖 8-2 之誤，須修正。	答：已修正。
22. P.308 圖 8-2，應為圖 8-3 之誤，須修正。	答：已修正。
23. P.310 圖 8-3，應為圖 8-5 之誤，須修正。	答：已修正。

24. P.311 圖 8-4，應為圖 8-6 之誤，須修正。	答：已修正。
25. P.317 缺文獻者：Hvamg,1998，需補齊。	答：應為 Huang et al., 1998，已修正。
26. P.319 圖 8-6，應為圖 8-12 之誤，須修正。	答：已修正。
27. P.333 第二段，應加注"地下水壓觀測井"台北觀測站...以區別他種觀測站。	答：已修正。
28. P.300 圖 7-31，應加繪降雨量，表示水位與降雨量關係。	答：期末報告已加繪降雨量。

附錄三 2011 台灣活動斷層與地震災害研討會

2011「臺灣活動斷層與地震災害」研討會
2011 The Taiwan Active Fault and Earthquake Disaster Symposium

台灣位居歐亞板塊與菲律賓海板塊的聚合帶，歷史紀錄中，頻繁的地震活動造成人民生命財產極大的損害；蒙受 921 地震的傷痛國人或許已逐漸淡忘，但 2011 年 3 月 11 日於日本發生規模 9.0 地震所引發海嘯等複合性災害又再度震懾全世界。近年來政府及學術界積極推動活動斷層調查與地震觀測研究，已累積許多豐富的資料，期望藉此研討會進行整合與交流，並將活動斷層與地震災害知識向下紮根，達到未來減輕地震災害之目標。

- **時 間：100 年 9 月 20 日（星期二）**
- **地 點：國立臺灣大學應用力學研究所 國際會議廳**
- **主辦單位：經濟部中央地質調查所**
  國立臺灣大學地質科學系暨研究所
  國立成功大學地球科學系暨研究所
- **聯絡窗口：**

1. 經濟部中央地質調查所

   聯絡人：高銘健 技士

   電話：(02)29462793 轉 241

   電子信箱：kaomc@moeacgs.gov.tw

   郵寄地址：23568 新北市中和區華新街 109 巷 2 號

2. 國立臺灣大學地質科學系暨研究所

   聯絡人：邱瑞焜 博士

   電話：(02)33662907

   電子信箱：jkchiu@ntu.edu.tw

- **研討會網頁：http://fault.moeacgs.gov.tw/ 2011TAFEDS/index.htm**

■ 議 程：

時間	主　題	主講人	主持人
08:30~09:00	報到，領取資料		
09:00~09:10	開幕及貴賓致詞	林朝宗所長 (經濟部中央地質調查所)	
09:10~09:40	臺灣活動斷層調查的回顧與展望	謝凱旋組長 (中央地質調查所)	陳文山 教授
09:40~10:10	活動斷層地質敏感區之劃定	盧詩丁科長 (中央地質調查所)	
10:10~10:30	休　息		
10:30~11:00	臺灣的地體構造	胡植慶教授 （臺灣大學地質科學系）	盧詩丁 科長
11:00~11:30	活動斷層之古地震調查	陳文山教授 (臺灣大學地質科學系)	
11:30~12:00	斷層活動影響範圍之探討	林銘郎教授 (臺灣大學土木工程學系)	
12:00~13:10	午　餐		
13:10~13:40	光達地形與活動斷層之調查	詹瑜璋研究員 (中央研究院地球所)	胡植慶 教授
13:40~14:10	臺灣地表變形觀測	景國恩教授 (成功大學測量與空間資訊系)	
14:10~14:40	地震前兆之化學性觀測	楊燦堯教授 (臺灣大學地質科學系)	
14:40~15:00	休　息		
15:00~15:30	地震活動與應變儀觀測	劉啟清研究員 (中央研究院地球所)	楊燦堯 教授
15:30~16:00	地震預警及速報系統	吳逸民教授 (臺灣大學地質科學系)	
16:00~16:30	由日本海嘯事件探討臺灣潛在海嘯災害	吳祚任教授 (中央大學水文所)	
16:30~17:00	臺灣地區大規模地震減災規劃	溫國樑 教授 (中央大學地球所)	
17:00	賦歸		

附錄四 梅山-古坑地區土壤氣體成分分析結果

採樣時間	樣本編號	二度分帶座標 (E / N)		$Ar+O_2$ (%)	N_2 (%)	CH_4 (%)	CO_2 (%)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)
2006/2/9	m1	201918	2610016	21.95	78.05	0	0	5.25	14,460
2006/2/9	m2	201868	2609877	21.49	78.39	0	0.12	5.29	14,267
2006/2/9	m3	201808	2609753	21.92	78.08	0	0	5.24	-
2006/2/9	m4	202148	2608575	20.96	78.09	0	0.94	5.24	-
2006/2/9	m5	202507	2608868	21.26	78.18	0	0.56	5.29	-
2006/2/9	m6	202229	2609377	20.71	78.32	0	0.97	5.32	10,030
2006/2/9	m7	202258	2609734	21.90	78.10	0	0	5.24	4,899
2006/2/9	m8	202253	2609968	21.85	78.15	0	0	5.26	10,208
2006/2/9	m9	202651	2609804	20.49	77.87	0	1.64	5.30	-
2006/2/9	m10	202730	2609570	21.65	78.35	0	0	5.24	-
2006/2/9	m11	202992	2609969	19.10	78.40	0	2.5	5.29	-
2006/2/9	m12	202793	2610206	21.76	78.24	0	0	5.24	-
2006/2/9	m13	202504	2610634	22.06	77.94	0	0	5.24	-
2006/2/9	m14	202377	2611089	21.80	78.20	0	0	5.25	-
2006/2/9	m15	202397	2611711	22.10	77.90	0	0	5.24	-
2006/2/9	m16	202808	2611408	21.96	78.04	0	0	5.24	-
2006/2/9	m17	203187	2611233	21.79	78.21	0	0	5.25	-
2006/2/9	m18	203560	2611188	21.48	78.33	0	0.19	5.24	-
2006/2/9	m19	204208	2610920	20.97	78.17	0	0.85	5.24	-
2006/2/9	m20	204815	2610706	21.71	78.29	0	0	5.24	-
2006/2/9	m21	205298	2610400	21.67	78.33	0	0	5.24	-
2006/2/9	m22	205494	2610083	20.82	78.39	0	0.79	5.25	-
2006/2/9	m23	205261	2609713	21.77	78.23	0	0	5.24	-
2006/2/10	m24	204898	2609281	20.44	77.84	0	1.72	5.24	-
2006/2/10	m25	204546	2609323	21.05	77.64	0	1.3	5.24	-
2006/2/10	m26	204437	2609931	21.39	78.33	0	0.29	5.29	-
2006/2/10	m27	204132	2610265	20.74	78.19	0	1.07	5.24	-
2006/2/10	m28	203887	2610734	22.05	77.95	0	0	5.29	-
2006/2/10	m29	204205	2609717	21.63	78.25	0	0.12	5.24	-
2006/2/10	m30	204017	2609509	21.17	78.23	0	0.6	5.25	-
2006/2/10	m31	203464	2609694	21.23	78.26	0	0.52	5.26	-
2006/2/10	m32	203381	2610073	21.87	78.13	0	0	5.30	-
2006/2/10	m33	202342	2610390	21.06	78.23	0	0.71	5.26	8,493
2006/2/10	m34	201878	2610864	15.73	79.96	0	4.3	5.33	7,816
2006/2/10	m35	202997	2610631	21.71	78.19	0	0.1	5.31	-
2006/2/10	m36	203492	2610391	21.74	78.26	0	0	5.32	-
2006/2/10	m37	204731	2610158	19.64	78.39	0	1.97	5.24	-

採樣時間	樣本編號	二度分帶座標 (E / N)		$Ar+O_2$ (%)	N_2 (%)	CH_4 (%)	CO_2 (%)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)
2006/2/10	m38	205172	2608635	21.81	78.19	0	0	5.30	-
2006/2/10	m39	205231	2609134	20.75	78.05	0	1.2	5.25	-
2006/2/10	m40	205695	2609523	21.32	78.25	0	0.43	5.24	-
2006/2/10	m41	206325	2609740	4.09	87.55	0	8.36	5.48	24,540
2006/2/10	m42	206046	2610116	19.37	77.67	0	2.96	5.24	-
2006/2/10	m43	206240	2610536	20.81	78.01	0	1.18	5.24	-
2006/2/10	m44	206800	2610705	21.52	78.12	0	0.36	5.24	-
2006/2/10	m45	207266	2610521	21.57	78.17	0	0.25	5.22	-
2006/2/16	m46	207799	2610679	21.65	78.35	0	0	5.25	-
2006/2/16	m47	204238	2609074	20.89	78.21	0	0.9	5.24	14,127
2006/2/16	m48	204430	2608439	21.40	78.37	0	0.23	5.24	8,049
2006/2/16	m49	204794	2608342	21.19	78.24	0	0.57	5.24	9,151
2006/2/16	m50	204476	2608038	15.98	79.87	0	4.15	5.24	12,990
2006/2/16	m51	204039	2608052	21.63	78.34	0	0.03	5.25	10,382
2006/2/16	m52	203472	2607839	21.88	78.12	0	0	5.25	11,492
2006/2/16	m53	203271	2608430	20.96	78.28	0	0.76	5.24	11,285
2006/2/16	m54	203519	2608886	18.82	78.39	0	2.79	5.24	17,686
2006/2/16	m55	203656	2609221	21.39	78.12	0	0.49	5.24	12,359
2006/2/16	m56	205146	2608540	20.31	78.40	0	1.29	5.26	15,204
2006/2/16	m57	205581	2608660	21.59	78.39	0	0.02	5.24	9,202
2006/2/16	m58	205530	2608051	20.84	78.12	0	1.04	5.24	*
2006/2/16	m59	205696	2607565	21.01	78.69	0	0.3	5.24	30,259
2006/2/16	m60	201822	2610441	21.45	78.40	0	0.15	5.24	6,949
2006/2/16	m61	202715	2609281	21.99	78.01	0	0	5.25	9,449
2006/2/16	m62	202951	2609021	20.85	78.02	0	1.13	5.24	20,494
2006/2/16	m63	201692	2610099	21.40	77.84	0	0.76	5.24	16,500
2006/2/16	m64	201575	2609823	18.56	81.44	0	0	5.26	32,775
2006/2/16	m65	201766	2609530	18.64	77.98	0	3.38	5.24	24,697
2006/2/17	m66	201422	2609514	21.07	78.12	0	0.81	5.32	15,129
2006/2/17	m67	201657	2609301	21.81	78.19	0	0	5.24	17,367
2006/2/17	m68	201653	2609056	21.94	78.06	0	0	5.24	14,689
2006/2/17	m69	201110	2609442	21.64	78.29	0	0.07	5.24	8,843
2006/2/17	m70	201403	2610224	21.77	78.23	0	0	5.29	13,866
2006/2/17	m71	201241	2609974	20.46	78.06	0	1.47	5.24	9,902
2006/2/17	m72	202747	2613194	21.70	78.30	0	0	5.24	6,639
2006/2/17	m73	202370	2612689	21.90	78.10	0	0	5.24	32,889
2006/2/17	m74	202625	2612481	22.00	78.00	0	0	5.24	-
2006/2/17	m75	202954	2612056	21.69	78.31	0	0	5.25	28,771
2006/2/17	m76	203345	2611674	21.57	78.34	0	0.1	5.24	23,240

採樣時間	樣本編號	二度分帶座標 (E / N)		$Ar+O_2$ (%)	N_2 (%)	CH_4 (%)	CO_2 (%)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)
2006/2/17	m77	203772	2611363	21.49	78.50	0	0.02	5.24	31,665
2006/2/17	m78	204699	2610859	17.39	79.22	0	3.39	5.32	13,904
2006/2/17	m79	203257	2613578	21.97	78.03	0	0	5.24	6,858
2006/2/17	m80	203407	2613244	21.86	78.14	0	0	5.24	2,559
2006/2/17	m81	203233	2612734	21.95	78.05	0	0	5.25	6,695
2006/2/17	m82	203611	2612369	21.91	78.09	0	0	5.24	-
2006/3/8	m83	203888	2612068	22.11	77.89	0	0	5.25	7,521
2006/3/8	m84	204343	2611681	22.10	77.90	0	0	5.25	5,275
2006/3/8	m85	204835	2611448	22.03	77.97	0	0	5.24	9,208
2006/3/8	m86	203896	2612692	21.01	78.69	0	0.3	5.25	17,459
2006/3/8	m87	204276	2612258	21.73	78.27	0	0	5.24	15,183
2006/3/8	m88	204179	2613168	18.96	78.76	0	2.28	5.24	16,656
2006/3/8	m89	204660	2612630	20.38	78.44	0	1.18	5.24	12,630
2006/3/8	m90	205030	2612261	21.91	78.09	0	0	5.25	32,888
2006/3/8	m91	205303	2612081	20.98	78.31	0	0.71	5.32	24,119
2006/3/8	m92	205648	2611523	21.55	78.45	0	0	5.24	5,149
2006/3/8	m93	205987	2611400	21.98	78.02	0	0	5.25	8,787
2006/3/8	m94	206083	2612050	19.92	79.67	0	0.41	5.27	20,635
2006/3/8	m95	206859	2612437	21.74	78.26	0	0	5.22	11,585
2006/3/8	m96	205742	2612259	20.81	78.88	0	0.31	5.24	14,747
2006/3/9	m97	206437	2612709	22.10	77.90	0	0	5.24	4,439
2006/3/9	m98	205581	2612779	21.76	78.24	0	0	5.25	9,463
2006/3/9	m99	205340	2612575	21.62	78.38	0	0	5.25	14,753
2006/3/9	m100	204888	2613063	21.98	78.02	0	0	5.24	18,689
2006/3/9	m101	203710	2613965	21.64	78.36	0	0	5.24	10,078
2006/3/9	m102	203591	2614494	21.81	78.19	0	0	5.24	8,342
2006/3/9	m103	204124	2615089	21.13	78.04	0	0.83	5.25	14,292
2006/3/9	m104	204746	2615533	22.09	77.91	0	0	5.24	4,411
2006/3/9	m105	205000	2614962	22.01	77.99	0	0	5.24	5,512
2006/3/9	m106	205264	2614186	22.12	77.88	0	0	5.25	3,055
2006/3/9	m107	205447	2613581	22.08	77.92	0	0	5.26	3,534
2006/3/9	m108	204459	2609503	21.75	78.25	0	0	5.24	9,636
2006/3/9	m110	202954	2615808	19.21	79.31	0	1.48	5.31	14,563
2006/3/9	m111	203500	2615537	21.18	78.39	0	0.43	5.25	-
2006/3/9	m112	204110	2615794	21.92	78.08	0	0	5.25	6,930
2006/3/9	m113	203032	2615140	20.99	78.32	0	0.69	5.24	32,422
2006/3/10	m114	202961	2616376	22.00	78.00	0	0	5.24	7,114
2006/3/10	m115	203533	2616295	21.86	78.14	0	0	5.25	5,629
2006/3/10	m116	204233	2616393	22.07	77.93	0	0	5.24	6,240

採樣時間	樣本編號	二度分帶座標 (E / N)		$Ar+O_2$ (%)	N_2 (%)	CH_4 (%)	CO_2 (%)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)
2006/3/10	m117	204937	2616069	21.92	78.08	0	0	5.25	6,238
2006/3/10	m118	205538	2616117	21.95	78.05	0	0	5.24	4,379
2006/3/10	m119	205986	2616140	22.01	77.99	0	0	5.25	4,778
2006/3/10	m120	206601	2616193	22.07	77.93	0	0	5.25	6,554
2006/3/10	m121	207200	2616183	22.01	77.99	0	0	5.24	6,328
2006/3/10	m122	207395	2615746	20.80	78.61	0	0.59	5.24	15,739
2006/3/10	m123	208008	2615228	21.88	78.12	0	0	5.24	6,912
2006/3/10	m124	206698	2615385	22.02	77.98	0	0	5.24	12,856
2006/3/10	m125	206783	2614415	21.89	78.11	0	0	5.24	6,544

附錄五 水氡監測分析方法

A 地下水水氡量測

A-1 地下水水氡現地採樣方法

地下水水氡採樣時應避免氡氣在採樣過程中自地下水中逸散，造成分析濃度偏低的誤差。地下水水氡標準採樣步驟如下：

(A) 以抽水馬達洗井，抽出水體積高於三倍井體積，再將地下水裝入 40 mL 的採樣瓶中。

(B) 將裝滿地下水樣的採樣瓶以鐵氟龍瓶蓋封好。

(C) 上下翻動採樣瓶，確保採樣瓶內沒有氣泡。

(D) 若有氣泡產生，則須重新採樣。

(E) 確實記錄採樣日期及時間(供核衰變校正用)。

(F) 採樣後，在 4 天內運送回實驗室並完成分析。

A-2 地下水水氡分析原理

氡的分析使用液態閃爍計數器（Liquid Scintillation Counter）。液態閃爍計數法是現今被廣泛運用於量測及定量放射性程度的一種靈敏技術。其應用之基本原理為：用液體的化學介質將核子放射性的動能，轉變為光子的分析技術。當放射性粒子或高頻率光子撞擊閃爍物（Scintillators）時，一束螢光立即閃出。若將此閃光導至光電倍增管（Photomultiplier Tubes, PMT）之陰極面上，則每一粒子或光子的撞擊，在液態閃爍計數器上可記錄得一道脈衝。

A-3 地下水水氡實驗室分析方法

圖 A-1 為實驗室配製之水氡標準溶液於液態閃爍計數器中計數得到之水氡標準溶液典型圖譜。本研究室氡含量實驗室分析技術已達到美國環保署規範之品質保證及品質管制。品質保證及品質管制之標準為水氡背景計數率需小於 6 cpm，校正因子（CF）需大於等於 6 cpm/pCi。每一次進行氡分析計數時，必須同時計數水氡背景及水氡標準溶液各兩瓶。將其計數率取平均值，計算校正因子，做為該批地下水樣分析結果是否落在實驗室建立的品質保證及品質管制指標內。若計數出之水氡背景計數率及校正因子不在規定範圍內，則該批地下水樣之分析結果為無效。圖 A-2 為實驗室水氡背景計數率及校正因子自 92 年 2 月 18 日起之品保品管歷線圖，歷線圖顯示實驗室地下水樣的分析均符合品保品管要求。

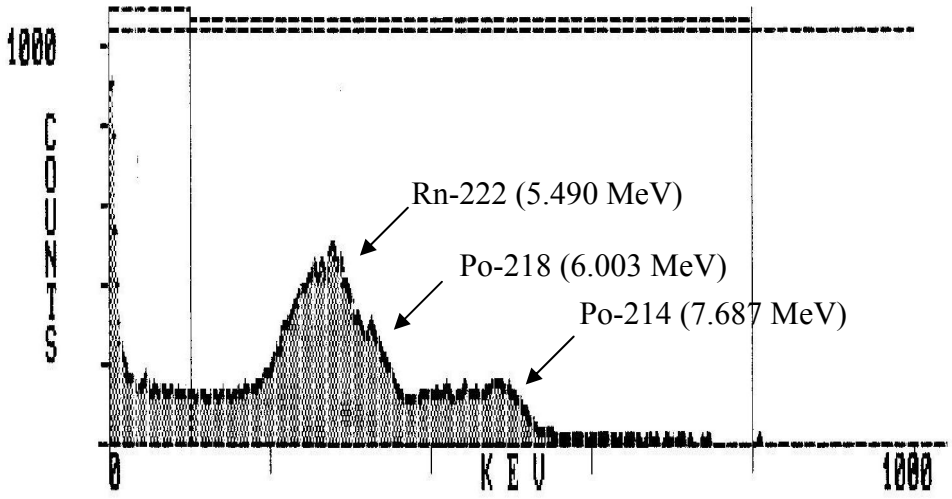


圖 A-1：水氡標準溶液液態閃爍計數之典型圖譜。

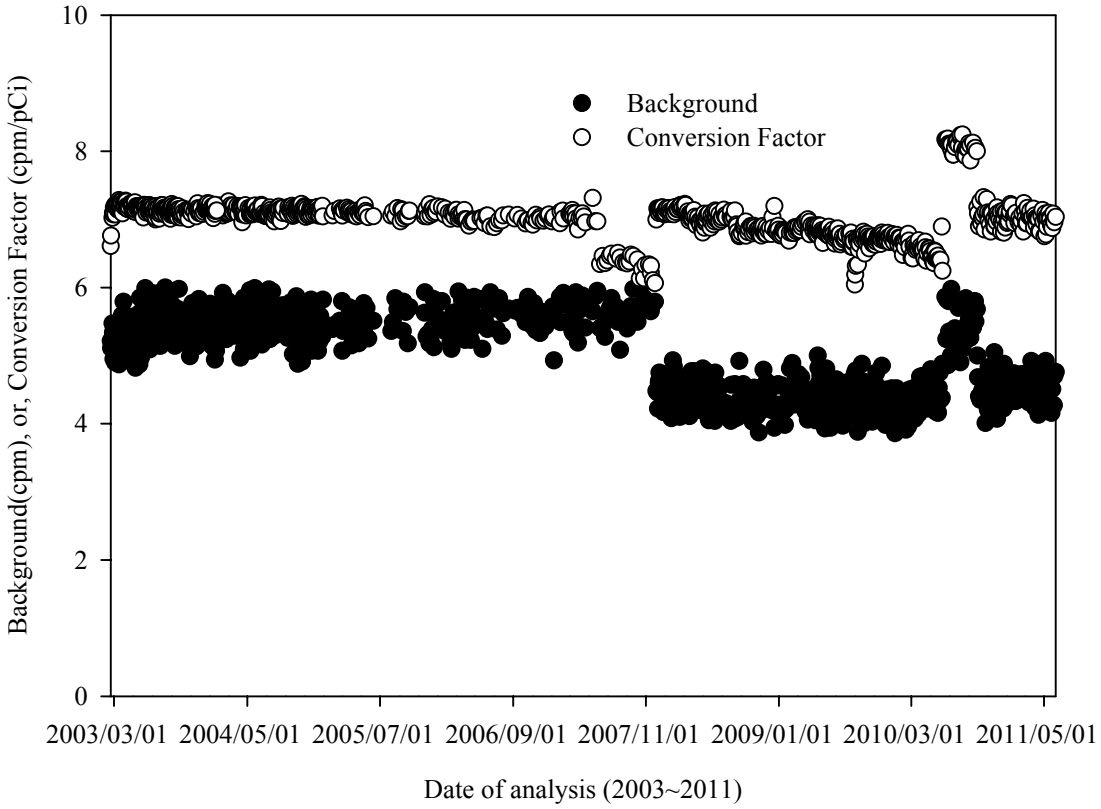


圖 A-2：水氡分析實驗室品保品管歷線圖（背景值及校正因子）。

B 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）組成分析

B-1 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）現地採樣方法

使用使用 GC-FID 及 GC-TCD，分析地下水中溶解氣體甲烷及氮氣等氣體，水樣採樣方法與水氡採樣方法相同。配合水氡濃度量測，執行地下水溶解氣體成分採樣分析，作為地殼活動更有利之佐證，探討地殼活動和水氡濃度異常變化之機制。方法如下：

(A) 現場以 40 ml 玻璃採樣瓶，裝滿樣本不留頂空，以鐵氟龍墊片為內襯蓋子鎖緊並倒置。

(B) 將樣本保持倒置並以 4 ºC 溫度保存，送回實驗室。

(C) 樣本回實驗室後，注入 5 ml 空氣，同時抽出 5 ml 樣本，製造採樣瓶中 5 ml 頂空。

(D) 將含有 5 ml 頂空樣本保持倒置，至於 27 ºC 振盪器中，30 分。

(E) 以氣密針由頂空氣體中抽取 0.5 ml 樣本，使用 GC-FID 及 GC-TCD 分析甲烷及氮氣。

期望能配合水氡濃度量測，執行地下水溶解氣體成分採樣分析，作為地殼活動更有利之佐證，探討地殼活動和水氡濃度異常變化之機制。

B-2 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）分析原理

利用氣體可分離的特性，分離液相中的氣體，使用氣相層析儀熱傳導偵測器(gas chromatography thermal conductivity detector，GC/TCD)分析樣本中成分，在不互溶的固定相與流動相間，依物種的極性、吸附能力、分配係數或差異，所造成的不同滯留時間或不同流速作為分離的依據，由層析管柱之間滯留時間不同而進行分離，進行氣體監測。

B-3 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）分析方法

(1) 氣相層析儀：熱傳導偵測器（ GC-TCD ）

(A) 儀器設備：

(a) 氣相層析儀：Shimadzu GC-14B

(b) 偵測器：中國層析China Chromatography thermal conductivity detector , TCD。

(c) 分離管柱（ column ）：packing column , molecular sieve 5A trap, 50μm Film, 30 m Length , 0.53 mm ID 。

(d) 積分儀（ integrator ）：Scientific Information Service Corporation Inc.3.1

integrator。

(e) 載氣：氦氣（ He ）, 99.99 。

(B) 測定物種：CH_4、N_2。

(C) 操作條件：

(a) 載氣：He , 40 mL/min for column，

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

(c) 注射口溫度：313 K (40 ℃)，

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

(e) 熱阻絲電流值：60 mA，

(f) 樣品注射量：250 μL。

(D) 操作步驟：

開機前：

(a) 將TCD 之Current、Oven 開關設定在off。

(b) 調整或檢查carrier gas 的鋼瓶筒外壓為60 psi。

(c) 以測漏液（liquid leak detector）檢查columns 是否有漏氣。

(d) 打開Oven，設定溫度：Inj. 313 K (40 ℃) , Oven 313 K (40 ℃) , Det. 313 K (40 ℃)。

(e) 待溫度達設定溫度後，調整或檢查carrier gas流量均為40 mL/min。

開機後：

(a) 打開TCD 之Current 開關，電流調至60 mA。

(b) 待基準線（ baseline ）達穩定後即可注射樣品。

調理（conditioning）：

(c) 關TCD 之Current 開關，更換墊片（ septum ）（視需要而定）。

(d) 設定溫度：Inj. 313 K (40 ℃) , Oven 313 K (40 ℃) , Det. 313 K (40 ℃)。

(2) 氣相層析儀：火焰離子偵測器（GC-FID）

(A) 儀器設備：

(a) 氣相層析儀：Shimadzu GC-14B。

(b) 偵測器：flame ionization detector , FID。

(c) 分離管柱：packing column, DB5 ,25μm Film, 30 m Length , 0.53 mm ID。

(d) 積分儀：Scientific Information Service Corporation Inc.3.1 integrator。

(e) 使用氣體：

氮氣（N_2）：高純度氮氣99.99 。

氫氣（H_2）：99.9 。

空氣（air）：壓縮空氣。

(B) 測定物種：CH_4

(C) 操作條件：

(a) 載氣：N_2 , 25 mL/min。

(b) 輔助氣體（make-up gas）：N_2 , 25 mL/min。

(c) 爐體溫度：373 K (100 ℃) 恆溫。

(d) 注射口溫度：493 K (220 ℃)。

(e) 偵測器溫度：523 K (250 ℃)。

(f) 樣品注射量：500 μL。

(D) 操作步驟

(a) 調整或檢查載氣的鋼瓶筒外壓為60 psi，空氣的鋼瓶筒外壓為2.5kg/cm^2，氫氣的鋼瓶筒外壓為1.5 kg/ cm^2。

(b) 以測漏液檢查column 是否漏氣。

(c) 設定溫度：Inj. 493 K (220 ℃)，Oven 溫度373 K (100 ℃)，Det. 523 K (250 ℃)。

(d) 調整或檢查載氣的流量為25 mL/min，輔助氣體的流量為25mL/min。

(e) 依序開啟空氣、氫氣的旋鈕，點火。

(f) 待訊號值達一穩定狀態後即可注射樣品。

調理（conditioning）:

(g) 依序關氫氣、空氣旋鈕開關及鋼瓶開關。

(h) 更換墊片（ 視需要而定 ）。

(i) 設定溫度:Inj. 493 K (220 ℃)，Oven 373 K (100 ℃)，Det. 523 K (250 ℃)。

B-4 地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）檢量線之製作

(1) 氣體標準品

(A) 氮氣 N_2：氮氣65 。

(B) 甲烷 CH_4：35 。

(2) 以氣針抽取適量之不同體積的氣體標準品，進行GC 分析，可得一注入體積對積分面積之關係圖。利用最小平方法，可求得注入體積對積分面積之直線方程式。

(3) 當待測樣品以一定注射量V'（μL）注射入GC 分析後，經積分儀可得待測波峰之積分面積。將此面積值帶入上述檢量線中，可求得比對之注射量V（μL）。

則待測樣品濃度值C 可以下式求得： $C=(V/V')\times Cs$

B-5 品保與品管(QA/QC)

(1) 檢量線

檢量線由6 個不同濃度值所建立，各待測化合物之檢量線相關係數(R平方值)均須大於0.995 以上，本實驗皆符合此標準，如圖B-1及圖B-2所示分別為N_2 及CH_4 的各化合物檢量線。

(2) 空白分析

空白分析是以不含待測物之氮氣，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。

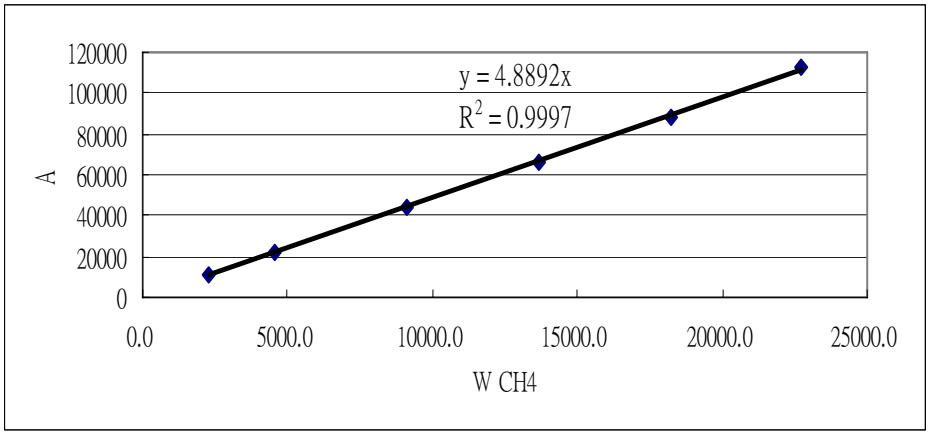


圖 B-1：甲烷（CH_4）檢量線。

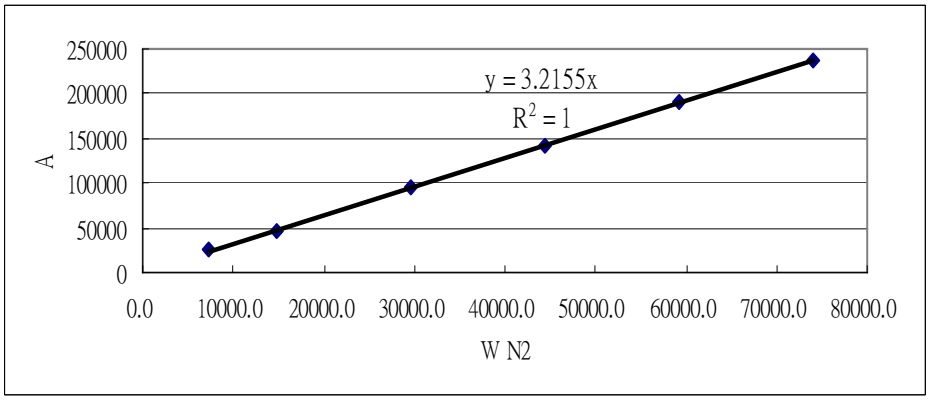


圖 B-2：氮（N_2）檢量線。

(3) 重複分析

重複分析是針對同樣之樣品，以同樣之分析步驟進行三次以上之檢測，藉以瞭解實驗過程之誤差大小，本實驗要求在每一批次或每10 個樣品進行分析一次，且相對誤差須控制在± 20 以內，實驗結果皆符合此要求。

(4) 樣品

(A) 氮氣：每一組樣品進行三重複分析，所得三重複數據平均並得到標準差，僅取標準差值小於20 之數據。

(B) 甲烷：每一組樣品進行三重複分析，所得三重複數據平均並得到標準差，僅取標準差值小於12 之數據。

C 地下水水位監測方法

C-1 地下水位監測工作

使用 Level Troll 自動水位記錄儀，在安通溫泉區增加地下水水位變化監測，同時因安通溫泉區每日皆有溫泉井進行抽水生產工作，挑選適當資料點並以 Jacob 直線法分析抽水試驗監測結果，探討地殼應變與水位變化及含水層水力參數（導水係數及儲水係數）之相關性。安通站地下水水氡及溶解氣體監測井為自流井，不適合執行地下水位監測，因此選擇吉祥站監測地下水位。

C-2 抽水試驗分析方法

本研究是假設安通溫泉區地下含水層為均質及等向含水層，通常執行抽水試驗分析時可採用 Theis 標準曲線比對法(Theis, 1935)及 Jacob 直線法(Cooper and Jacob, 1946 ; Jacob, 1963)。本研究考慮數據龐大，在此選擇 Jacob 直線法，Jacob 直線法處理較為便利。

抽水試驗分析中，等向含水層之水位分佈狀況可由下式 C-1 表示（Theis, 1935）：

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

其中：

s：地下水水位下降量(m)

r：抽水井至觀測點之距離(m)

T：導水係數(m^2/min)

S：儲水係數

t：抽水延時(min)

Theis 在 1935 年發展出未穩定狀態之解為：

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

其中：

s：地下水水位下降量(m)

Q：抽水率(m^3/min)

T：導水係數(m^2/min)

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

其中：

r：抽水井至觀測點之距離(m)

S：儲水係數

t：抽水延時(min)

其中：

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

由 C-2 及 C-3 式知道，W(u)及 1/u 在雙對樹座標做圖所得曲線之形狀必定與 s 及 t 在相同大小之雙對數座標圖所得曲線之形狀相同。由此二曲線疊合良好的圖上，可以訂出疊合點（W(u), s）及（1/u, t）。由疊合點 W(u)及 s 的值，可藉 C-2 式求出 T 值；再由疊合點 1/u 及 t 之值，可藉由 C-3 式求出 S 值。

Theis 公式有許多假設，分述如下：

（1） 含水層為均質（Homogenous）及等向性（Isotropic）。

（2） 含水層為挾限（Confined），且含水層等厚。

（3） 含水層的流動為未穩定流（Unsteady State）。

（4） 含水層水位若下降，則地層儲存之水立即釋出，出水反應瞬間完成。

（5） 抽水井之井徑很小，亦即抽水井井內所儲存之水量可以忽略。

（6） 地下水水平流向抽水井。

（7） 含水層為水平（Horizontal）並寬廣無邊界（Infinite Areal Extent）。

在抽水試驗中，挾限（Confined）含水層保持充滿水，飽和含水層厚度不變。而在未挾限含水層（Unconfined Aquifer）若觀測景水位下降量(s)小於原來飽和厚度(m)之 25，可以使用水位下降的校正式 $s' = s - \frac{s^2}{2m}$（Jacob, 1963），然後再使用 Theis 的標準曲線法來估算地下含水層的 T 及 S 值。此即為 Thies 標準曲線比對法。Cooper 和 Jacob 發現當抽水時間（t）很長或是觀測井與抽水井之距離（r）很短，在 u 值小於 0.01 時，Theis 解 C-2 式可以和下式 C-4 相似（Cooper and Jacob, 1946）：

$$s = \frac{Q}{4\pi T}\left(-0.5772 - \ln u\right) \qquad \text{C-4}$$

C-4 式又可以改寫成

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

其中：

s：地下水水位下降量(m)

r：抽水井至觀測點之距離(m)

T：導水係數(m^2/min)

S：儲水係數

t：抽水延時(min)

Q：抽水率(m^3/min)

由 C-4 式可知，若使用 log t 與 s 做圖，則可以得到一條直線。將此直線外插至 s = 0，在時間軸可得到一個截距 t_0。由 t_0 及此直線之斜率可以求出函水層之儲水係數 S 及導水係數 T。此即為 Jacob 直線法（Cooper and Jacob, 1946）。相同的 Jacob 直線法的基本假設除了 u 必須小於 0.01 外，於其餘均與 Thies 標準曲線比對法之假設相同。

所得吉祥 B 井內安置之 Level Troll 500 型自動水位紀錄器紀錄資料執行 Jacob 直線分析，由方程式 C-5 可做出 X 軸對應 Y 軸之平面座標圖，X 軸為 log t，其中 t 是指吉祥 A 井抽水時間（分鐘），Y 軸是吉祥 B 井水位隨時間變化洩降 s（米 m）深度。即 log t 與 s 做圖，可得一直線：

$s = a * (\log t) + b$ C-6

其中 a 是直線斜率，b 是截距。

假設 s = 0，由方程式 C-6 可得：

$\log t = - (b/a)$ C-7

可修改成：

$t = 10^{-(b/a)}$ C-8

此時所得到之 t 視為 t_0。

同時由方程式 C-6 得直線斜率 a 帶入方程式 C-5 可得：

$$a = \frac{2.30\,Q}{4\,\pi\,T}$$ C-9

由已知的抽水流量 Q 可求得導水係數 T。

又 s = 0 時，方程式 C-5 中可得：

$$\log \frac{2.25\,T\,t}{r^2\,S} = 0$$ C-10

可修改成：

$$\frac{2.25\,T\,t_0}{r^2\,S} = 1$$ C-11

帶入已知的井距 r 及所求得的 t_0 和導水係數 T，可求得儲水係數 S。

Cooper 和 Jacob 發現當抽水時間（t）很長或是觀測井與抽水井之距離（r）很短，在 u 值小於 0.01 時，Theis 解 C-2 式可以和 C-4 相似（Cooper and Jacob, 1946），因此由 C-3 式可得到一針對抽水試驗所需時間之判別式 C-12：

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

由方程式 C-12 可求得抽水延時 t_i，即所得數據再做圖時，所使用分析數據時間點須大於 t_i。在此可先由 Jacob 直線分析法求得適當之導水係數 T 及儲水係數 S，再帶入抽水延時 t_i 判別式後，由所得結果至 Jacob 直線圖，適當調整所使用分析數據時間點。

D 地下水溫度監測方法

地下水溫度變化式使用 PT100Ω 為電阻式溫度計，原理為白金金屬導體的電阻隨溫度的升高而增加；隨溫度之降低而減少，測量此金屬導體之電阻值，即能間接求得其溫度。並使用 CR800 量測與控制資料儲存裝置(Measurement and control datalogger)，連接 PT100Ω 可長期記錄溫度變化並記憶在 CR800 記憶體中，紀錄完成後利用電腦直接將資料下載或者利用 GSM 傳輸器進行遠端傳輸。

D-1 地下水溫度分析原理

利用電阻溫度計搭配資料處理裝置以及井頭改良裝置，將電阻溫度計置入井內，並利用遠端傳輸裝置將溫度資料傳送回研究室。電阻溫度計原理是電阻隨溫度變化產生改變，利用已知電壓通過即可推算出對應溫度。每筆溫度資料點為溫度計每 10 秒鐘掃描 1 點，累積至 10 分鐘 (共 60 筆) 之溫度資料點平均後記錄。

D-2 地下水溫度分析方法

原始資料判讀分析後，進行三個階段的溫度資料點整理：

(1) 擷取抽水動作持續超過 2 小時的連續資料點。
(2) 將資料點平均，並取資料標準差。
(3) 以日為單位，取單日平均後的最高溫度點。

D-3 地下水溫度量測儀器資訊

(1) 白金電阻溫度計量測範圍 0-100℃，校正後誤差為 0.1℃。
(2) 資料處理器 CR-800，資料容量 4MB，輸入電壓 12V。
(3) 電源供應以及變壓器，輸入 110V AC，輸出 12V AC。
(3) 訊號轉換裝置 TR-3，輸出電流 4-20 mA。
(4) 井頭改良裝置為 S-306 不繡鋼打造。。
(5) 井內溫度量測管柱為不鏽鋼管串接。

D-4 溫度計校正 QAQC

利用工研院校正後的白金電阻溫度計作為研究室標準，於研究室內校正其餘未校正之白金電阻溫度計。研究室校正方法如下：

(1) 將標準電阻溫度計與待校正電阻溫度計置入恆溫震盪槽內，並將槽的溫度設定為 60℃。
(2) 放置 4 小時，並接收數據進行整理。

(3) 將數據做比對，進行參數調整。

(4) 放置一天，並關掉恆溫震盪儀之加熱，使水溫回到室溫。

(5) 觀察溫度變化圖。

(6) 校正完成並紀錄參數。

E 地下水溶解氣體（二氧化碳）分析方法

E-1 地下水溶解氣體（二氧化碳）採樣方法

本實驗所觀測之樣品是從墾丁社頂的自湧泉採集而得。因水體表面常因氣體分壓的改變而吸收或放出二氧化碳以便與大氣保持平衡（Sawyer et al., 1994），故採取水樣時，須將 PE 瓶沈入採集處之水面以下，並使容器內水滿溢以除去與空氣接觸過的水。取樣後在水中將蓋子鎖緊，避免產生氣泡，再以低溫宅急便寄出。

樣品曝露於空氣中樣品可能會產生微生物作用，失去或得到 CO_2 或其他氣體，故樣品之分析應儘可能在一日內完成，絕不可超過 48 小時。若有生物性作用影響的疑慮時，應在 6 小時內分析。同時應避免樣品攪動、搖動及在空氣中曝露過長。

E-2 地下水溶解氣體（二氧化碳）滴定法

本方法參考 Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater 2310B. Titration Method 所公布之水中二氧化碳滴定法進行本實驗，此方法之各項操作流程分述如下：

(1) 實驗器材

(A) 酸鹼值測定儀(pH meter)：使用玻璃電極可讀至 0.05 pH 單位之 pH meter 執行校正及量測。特別注意溫度補償及電極之維護。如果未附溫度自動補償者，則滴定溫度須控制在 25 ± 5 ℃ 。

(B) 電磁攪拌器。

(C) 定量球形吸管：250 mL。

(D) 純水製造機。

(E) 定量瓶：200 mL及1000 mL。

(F) 錐型瓶：大小及型式應依據所使用電極及樣品量之大小，保持樣品以上的空間愈小愈好，但其空間須允許滴定操作及電極感測部分可全部浸入。本實驗使用之錐型瓶容量為250 mL。

(G) 移液管。

(H) 玻璃pipet：25 mL。

(I) 分析天平：可精秤至0.1 mg。

(J) 聚乙烯瓶：1 L。

(2) 實驗試劑

(A) 試劑水：不含二氧化碳的去離子蒸餾水(經煮沸 15 分鐘且已冷卻至室溫)，其最終之 pH 值應大於或等於 6.0 且其導電度應在 2 μmhos /cm 以下。用以

製備空白樣品、儲備或標準溶液、標定及所有稀釋之用水。

(B) potassium hydrogen phthalate solution（鄰苯二甲酸氫鉀溶液），0.05 N用於標定氫氧化鈉。

(C) standard sodium hydroxide titrant (標準氫氧化鈉溶液)：0.1 N

(D) standard sodium hydroxide titrant (標準氫氧化鈉溶液)：0.02 N

(E) pH 8.3 指示劑溶液：酚酞

(3) 實驗流程

準備樣品及 pH meter，並選擇適當的樣品量及適當的當量濃度標準氫氧化鈉溶液。對於樣品的酸鹼度值小於 1000 mg $CaCO_3$ / L，選擇一體積小於 50 mg $CaCO_3$ 當量鹼度及 0.02 N 標準硫酸或鹽酸滴定液。

(A) 本實驗使用之 pH meter可自動補償溫度，故無需將樣品回溫至室溫。

(B) 使用球形吸管吸取250 mL的水樣置入250 mL之三角錐型瓶內(吸管尖端靠近瓶底再排出樣品)。

(C) 滴定步驟：加入0.2 mL的酚酞指示劑至250 mL的錐型瓶內，用玻璃pipet吸取0.02 N之氫氧化鈉溶液滴定瓶內水樣直到pH meter顯示讀值為8.3，持續30秒不變即為終點，記錄所消耗的氫氧化鈉毫升數(A)。

(D) 在每一次的添加之後以磁性攪拌子緩和攪拌使溶液完全混合，避免濺起。

(3) 結果處理

二氧化碳濃度計算－

$$CO_2 \ (mg/L) = \frac{A \times N \times 44000}{V}$$

A：滴定使用之標準氫氧化鈉體積(mL)

N：標準氫氧化鈉的當量濃度(N)

V：樣品體積(mL)

附錄六 與本計畫相關之研究成果目錄

期刊論文

(1) 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 Journa*l (in press). (SCI)

(2) 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)

(3) Chang, P.Y., Yang, T.F., Chyi, L.L. and Hong, W.L. (2010) An observation of the electrical resistivity variation before and after the Pingtung Earthqauke in the Wushanting mud volcano area in southwestern Taiwan. Journal of *Environmental and Engineering Geophysics*, 15, 219-213. (SCI)

(4) 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.

(5) 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)

(6) 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.

(7) 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.

(8) 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)

(9) 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)

(10) 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)

(11) 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)

(12) 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)

(13) 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)

(14) 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)

(15) 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)

(16) 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)

(17) 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)

(18) 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)

(19) 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)

(20) 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)

(21) 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)

(22) 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)

(23) 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)

(24) 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)

(25) 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)

(26) 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)

(27) 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)

(28) 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)

(29) 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.

(30) Chyi, L.L., Chou, C.Y., Yang, T.F. and Chen, C-H. (2001) Continuous radon measurements in faults and earthquake precursor pattern recognition. *Western Pacific Earth Sciences*, 1(2), 227-246.

專書論文

(1) Yang, T.F., Hilton, D.R., Italiano, F. and Heinicke, J. (2010) Applications of fluid and gas Geochemistry on geohazards investigation. *Applied Geochemistry*, 25.

(2) Chyi, L.L., Quick, T.J., Yang, F.T., and Chen, C-H. (2007) Soil radon time series and earthquake forecast. In: Sen, P. and Das, N.K. (eds.) *Geochemical precursors for earthquakes*. Macmillan India Ltd., p. 38-51.

(3) Yang, T.F., Chen, C-H. and Liu, T.K. (2005) Special issue on Geochemical Investigations on the Geohazards. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 16(4). (SCI)

(4) 陳正宏、楊燦堯、宋聖榮、劉聰桂（2005）地震化學。九二一集集大地震（王錦華等編），行政院國家科學委員會，548-569頁。

學術報告

(1) 楊燦堯、劉聰桂、郭明錦（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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 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。

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

學術會議發表

(1) Chiu, C.M., Yang, T.F., Lin, S.J., Fu, C.C. and Walia, V. (2010) Soil gas survey in the Ilan Plain, NE Taiwan and its tectonic implications. Abstract for the General Assembly 2010 of European Geosciences Union, Vienna, Austria, May 2-7.

(2) Fu, C.C., Yang, T.F., Chen, C.H., Wu, Y.M., Walia, V., Liu, T.K. and Hou, C.S. (2010) Soil gas anomalies in northern Taiwan and tectonic implications. Abstract for the the Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taiwan, June 22-25.

(3) Heinicke, J., Yang, T.F., Fu, C.C., Walia, V. and Liu, T.K. (2010) Indications of anomalous fluid emissions before seismic events at Chun-Lun (SW Taiwan). Abstract for the the Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taiwan, June 22-25.

(4) Lin, S.J., Walia, V., Yang, T.F. and Wen, K.L. (2010) Monitoring of Nanhua mud pool for tectonic activities in Tainan area of Taiwan. Abstract for the the Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taiwan, June 22-25.

(5) Walia, V., Yang, T.F., Fu, C.C., Lin, S.J., Wen, K.L. and Chen, C.H. (2010) Continuous soil-gas monitoring for earthquake surveillance and its tectonic implications in Taiwan. Abstract for the General Assembly 2010 of European Geosciences Union, Vienna, Austria, May 2-7.

(6) Yang, T.F., Chen, C.H., Fu, C.C., Liu, T.K., Walia, V and Hou, C.S. (2010) Identification of multiple gas components in SW Taiwan and its application for earthquake surveillance. Abstract for the the Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taiwan, June 22-25.

(7) Yang, T.F., Heinicke, Jens, Liu, T.K., Fu, C.C., Walia, V. and Hou, C.S. (2010) Precursory variations of gas flux and water level from an active mud volcano in SW Taiwan. Abstract for the General Assembly 2010 of European Geosciences Union, Vienna, Austria, May 2-7.

(8) Walia, V., Yang, T.F., Lin, S.J., Hong, W.L., Fu, C.C., Wen, K.L. and Chen, C-H. (2009) Geochemical variations of soil-gases as an investigating tool for the study of some fault traces in Taiwan. Abstract for the General Assembly 2009 of European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 19-24.

(9) Yang, T.F. (2009) Anomalous variations of gas compositions and helium isotopic rtios of gas samples before and after the 1999 Chi-Chi earthquake in SW Taiwan. Abstract for the workshop of Developments In Noble Gas Understanding and Expertise, Nancy, France, June 19-20.

(10) Yang, T.F. (2009) Recent monitoring results of gas compositions of fumarolic samples from Tatun volcanic area, northern Taiwan. Abstract for the APRU 5th Research Symposium on Multi-Hazards around the Pacific Rim, Taipei, Taiwan, August 17-18.

(11) Yang, T.F., Walia, V., Liu, T.K., Wen, K.L., Chen, C-H. and Hou, C.S. (2009) Recent progress of the geochemical monitoring on the active faults in Taiwan since Chi-Chi earthquake. Extended abstract for the International Conference in Commemoration of 10th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake. Taipei, Taiwan, September 17-19.

(12) Yang, T.F., Liu, T.K. and Chen, C-H. (2009) Helium isotopic variations of gases in NW Taiwan and its correlation with earthquakes in 2000-2002. Abstract for the 10th International Conference on Gas Geochemistry. Cluj-Napoca, Romania, Sep. 14-21.

(13) Fu, C.C., Yang, T.F., Lee, J.C., Dong, J.J., Walia, V., Liu, T.K., Chen, C-H. and Hou, C.S. (2008) Variations of soil gases on the active Chihshang Fault in a plate suture zone, Eastern Taiwan. Abstract for the 24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Bologna, Italy, September 1-5.

(14) Walia, V., Lin, S.J., Hong, W.L., Fu, C.C., Yang, T.F., Wen, K.L. and Chen, C-H. (2008) Continuous temporal soil-gas composition variations for earthquake precursory studies along Hsincheng and Hsinhua faults in Taiwan. Abstract for the 24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Bologna, Italy, September 1-5.

(15) Yang, T.F., Fu, C.C., Wen, H.Y., Hong, W.L., Lin, S.J. and Walia, V. (2008) Soil radon flux in hydrothermal area of the Tatun Volcano Group, Northern Taiwan and its continuous monitoring results. Abstract for the 24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Bologna, Italy, September 1-5.

(16) Fu, C.C., Yang, T.F., Lee, J.C., Dong, J.J., Walia, V., Liu, T.K., Chen, C-H. and Hou, C.S. (2008) Variations of soil gases on the active Chihshang Fault in a plate suture zone, eastern Taiwan. Eos Trans. AGU, 89(53), Fall Meet. Suppl., Abstract T53D-1978.

(17) Hong, W.L., Yang, T.F., Fu, C.C., Chen, C-H., Walia, V., Lin, S.J. and Wen, K.L. (2007) Evidences support nitrogen as carrier gas of helium along Hsincheng Fault, NW Taiwan. Program Proceeding of the 9th International Conference on Gas Geochemistry, Taipei, October 1-8, p. 136-138.

(18) Walia, V., Lin, S.J., Wen, K.L., Yang, T.F., Fu, C.C. and Chen, C-H. (2007) Soil-gas monitoring: a tool for fault delineation studies along Hsinhua Fault (Tainan), southern Taiwan. Program Proceeding of the 9th International Conference on Gas Geochemistry, Taipei, October 1-8, p. 14.

(19) Yang, T.F., Song, S.R., Chen, Y.G., Chen, C-H. and Liu, T.K. (2006) Geochemical precursors of fluid samples before and after 1999 earthquakes

swarms in SW Taiwan. Extended abstract for 100th Memorial Conference on the 1906 Meishan Earthquake, Chia-yi, Taiwan, March 16-18.

(20) Fu, C.C., Yang, T.F., Liu, T.K., Wu, Y.M., Chen, C-H., Kao, M.C. and Lee, M. (2006) Soil gas investigation on the Tapingdi Fault in northern Taiwan and monitoring results. Abstract for the Annual Meeting of Geol. Soc. China, May 18-20.

(21) Fu, C.C., Yang, T.F., Du, J., Walia, V., Liu, T.K. and Chen, C-H. (2006) Variations of helium and radon concentrations in soil gases from an active fault zone of NPUST campus in southern Taiwan. Abstract for the 23rd International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Beijing, China, September 11-15.

(22) Walia, V., Yang, T.F., Lin, S.J., Hong, W.L., Fu, C.C., Wen, K.L., and Chen, C-H. (2006) Geochemical variation of soil-gas composition for fault and earthquake precursory studies along Hsincheng fault in NW Taiwan. Abstract for the 23rd International Conference on Nuclear Tracks in Solids, Beijing, China, September 11-15.

(23) Fu, C.C., Yang, T.F., Liu, T.K., Chen, C-H. and Lee, M. (2006) Soil gas investigation on the Tapingdi Fault in northern Taiwan and monitoring results. Abstract for the AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, Dec. 11-15.

(24) Fu, C.C., Yang, T.F., Walia, V. and Chen, C-H. (2005) Recognition of buried fault and/or fracture by soil gas method: an example in southern Taiwan. Abstract for the European Geosciences Union General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 24-29.

(25) Hong, W.L., Lin, S.J., Walia, V., Fu, C.C. and Yang, T.F. (2005) Soil gas variations across a neotectonic fault in Northern Taiwan. Abstract for the European Geosciences Union General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 24-29.

(26) Yang, T.F., Fu, C.C., Walia, V., Chen, C-H., Liu, T.K., Chyi, L.L., Song, S.R., Lee, C.Y. and Lee, M. (2005) Identification of multiple gas components in SW Taiwan and its application for earthquake surveillance. Abstract for the European Geosciences Union General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 24-29.

(27) Walia, V., Hong, W.L., Lin, S.J., Fu, C.C. and Yang, T.F. (2005) Soil gas variations: a tool for investigating a neotectonic fault in Hsinchu area, North Taiwan. Abstract for the 8th International Conference on Gas Geochemistry, Palermo & Milazzo, Sicily, Italy, October 2-8.