經濟部

中央地質調查所報告第 98-08 號
委辦計畫編號（98-5226904000-05-02）

斷層活動性觀測研究-第二階段

斷層活動性之地球化學觀測與研究

(1/4)

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行單位：國立台灣大學
中華民國九十八年十二月

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
(1/4)

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、李治平、
林純玉、鄭文菁、蘇建元、范愷軍、
林正浩、陳逸群、王資琦、林意琪、
黃盈穎、游家豪、張哲維

執行期限：98 年 3 月 1 日至 12 月 31 日

委辦單位：經濟部中央地質調查所

承辦單位：國立台灣大學地質學系
國立成功大學資源工程系

中 華 民 國 九 十 八 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台灣北部的地震活動較為敏感，尤其是宜蘭地區一帶；嘉義梅山、嘉義中崙和台南二溪觀測站則對於台灣西南部地區的地震活動較為敏感；屏東潮州站對於台灣南部地區的地震活動比較有關聯；台東池上站之土壤氡氣氣體成份則與台東及花蓮南部附近的地震活動有很顯著的關連性；此外，降雨量的多寡似乎常會影響本觀測站之土壤氣體的逸氣系統。另外，本計畫已於台灣東北部宜蘭地區設置一座新的土壤氣體觀測站，以期能夠建立較完整之觀測網，以利於往後對於分析資料之判讀。

本年度分析了2008年11月至2009年11月間地下水觀測井內之地下水壓變化，共9口觀測井。主要結果如下：（1）台北縣明德國中與錦和國小觀測井均記錄到數起台北地震以及宜蘭外海地震之震前水壓異常變化。（2）新竹縣梅花國小與雙溪國小觀測井未顯現震前地下水壓變化。新樂國小地下水壓資料中，除記錄到許多同震地下水壓上升外，也觀測到數起東部外海、新竹，以及南投地區地震之震前反應。（3）嘉義縣沄水國小觀測井在本年度顯示震前水壓異常；太興與達邦國小觀測井於本年度呈現多起同震地下水壓異常，以及數次震前之地下水壓異常變化。中興國小觀測井呈現台南、嘉義、南投和高雄地區多次震前地下水壓異常變化，也觀測到花蓮外海地震可能的水壓變化。

本計畫今年（98年度）在花東縱谷南段附近安通溫泉安通站監測井定期採集水樣，分析地下水水氡及溶解氣體（甲烷及氮氣）。同時，即時監測地下水溫度及水位。2009年4月至2009年11月底，花東縱谷南段未發生強震 (M_W＞6.0)，在這期間，安通溫泉安通站監測井中地下水氡及地下水溶解氣體（氮氣及甲烷）濃度也未觀測到異常之變化，因此本計劃在安通站獲得地下水水氡及地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）之背景資料。安通站地下水氡監測井水氡背景濃度平均值為64 ± 24 pCi/L；甲烷濃度平均值為5.9 ± 3.0 mg/L，氮氣濃度平均值為14.9 ± 4.1 mg/L。

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 better 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 earthquake in northern Taiwan for Tapingti station, especially in Ilan area. Meishan station, Chunglung station and Resi 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. However, the local rainfall seems to affect the degassing-system of soil gas. Meanwhile, we also setup additional soil gas monitoring station in Ilan area in this study for strength the monitoring system as a better network.

The groundwater pressure in nine monitoring wells from November 2008 to November 2009 is analyzed. The followings are the major results: (1) Several anomalous pre-seismic events have been recorded in the groundwater pressure data from the two monitoring wells in Taipei county. (2) The data from Xin-Le monitoring well has recorded several pre-seismic events and some co-seismic events. The epicenters of the earthquakes which results in the pre-seismic events in Xin-Le well are located in Nantou, Hsinchu areas as well as in eastern Taiwan. However, there is no pre-seismic event in the groundwater pressure data in Shuang-Xi and Mei-Hua monitoring wells. (3) A few pre-seismic events are recorded in the data of Yun-Shui; both pre-seismic and co-seismic events are recorded by Tai-Xing and Da-Bang monitoring wells. Zhong-Xing monitoring well has recorded several pre-seismic events and the epicenters of the earthquakes are in Tainan, Chiayi, Nantou and Kaohsiung counties and in eastern Taiwan as well.

We initiated an observation of groundwater radon and dissolved gases (methane and nitrogen) in April 2009 at the Antung station. We also started a continuous monitoring of groundwater temperature and level in the Antung hot

spring. During the period from April 2009 to November 2009, no large earthquake ($M_W > 6.0$) occurred with the hypocenter located on the Chihshang fault. No anomalous concentrations of radon, methane, and nitrogen in groundwater were also observed at the Antung station during the period. The background concentrations of radon, methane, and nitrogen in groundwater at the Antung station were in the averages of 64 ± 24 pCi/L, 5.9 ± 3.0 mg/L, 14.9 ± 4.1 mg/L.

目　錄

摘要……I
目錄……III
表目錄……VI
圖目錄……VI

壹、緒論……1
1-1　本年度之工作項目……2
1-2　目前工作進度……3

貳、氣體觀測站觀測結果……5
2-1　觀測站主要使用儀器……5
2-1.1　四極桿質譜儀……5
2-1.2　氡氣偵測儀……5
2-1.3　地震儀……5
2-1.4　觀測站分佈位置……6
2-2　新竹大平地土壤氣體觀測站……7
2-2.1　結論……9
2-3　嘉義梅山土壤氣體觀測站……23
2-3.1　土壤氣體連續觀測結果……23
2-3.2　結論……24
2-3.3　梅山觀測站替代點……40
2-4　台南二溪土壤氣體觀測站……49
2-4.1　結論……50
2-5　屏東潮州土壤氣體觀測站……64
2-5.1　結論……65
2-6　台東池上土壤氣體觀測站……79
2-6.1　結論……80
2-7　嘉義中崙濁水潭土壤氣體觀測站……94
2-7.1　氡氣偵測儀分析結果……94
2-7.2　結論……96
2-7.3　四極桿質譜儀分析結果……111
2-8　人工採樣分析結果……126

參、新觀測站設置之評選..... 130
3-1 前言.....130
3-2 研究地區.....130
3-3 採樣與分析.....132
3-3.1 氦氣偵測儀..... 132
3-3.2 攜帶式氣相層析儀..... 133
3-4 研究成果..... 133
3-5 氣體觀測站位址之選擇與設置..... 151
3-6 宜蘭氣體觀測站..... 153

肆、地下水壓觀測..... 156
4-1 前言..... 156
4-1.1 觀測站基本資料..... 156
4-1.2 各觀測站良率..... 158
4-2 地下水壓觀測結果.....159
4-2.1 台北地區..... 163
4-2.2 新竹地區..... 180
4-2.3 嘉義地區..... 198
4-3 結論..... 217
4-3.1 震前地下水壓變化匯整..... 217

伍、水氡觀測 226
5-1 前言及研究目的..... 226
5-2 文獻探討..... 228
5-3 研究地區地質背景..... 233
5-3.1 池上斷層..... 233
5-3.2 玉里地區地質背景..... 235
5-3.3 安通溫泉地質背景..... 240
5-3.4 安通溫泉區溫泉開發..... 241
5-4 結果與討論..... 246
5-4.1 安通站地下水氡濃度監測..... 246
5-4.2 安通站地下水溶解氣體(甲烷、氮)監測..... 247
5-4.3 安通溫泉區地下水水位監測..... 249
5-4.4 安通站地下水溫度監測..... 253

陸、評估觀測站氣體成份、水位變化、水氡觀測與地震活動之關聯性.....254
6-1 土壤氣體觀測站..... 254
6-2 水壓觀測站..... 255
6-3 水氡觀測站..... 255
6-4 土氡、水氡、水壓變化與地震活動之關聯..... 256
柒、結論 258
捌、參考文獻.....259
玖、附錄(9-6、9-7、9-8 請參照光碟電子檔).....265
9-1：今年期中報告審查委員意見及答覆情形.....265
9-2：今年期中報告審查委員意見及答覆情形.....269
9-3：水氡監測分析方法.....273
A 地下水水氡量測..... 273
A-1 地下水水氡現地量測方法..... 273
A-2 地下水水氡分析原理..... 273
A-3 地下水水氡實驗室分析方法..... 273
B 地下水溶解氣體組成分..... 275
B-1 地下水水溶解氣體現地採樣方法..... 275
B-2 地下水水溶解氣體分析原理..... 275
B-3 地下水水溶解氣體分析方法..... 275
B-4 地下水水溶解氣體檢量線之製作..... 277
B-5 品保與品管..... 278
C 地下水位監測方法..... 280
C-1 地下水位監測工作..... 280
C-2 抽水試驗分析方法..... 280
D 地下水溫度監測方法..... 284
D-1 地下水位溫度分析原理..... 284
D-2 地下水位溫度分析方法..... 284
D-3 地下水位溫度量測儀器資訊..... 284
D-4 溫度計校正 QAQC..... 285
9-4：92008 年 11 月至 2009 年 11 月地下水壓資料缺漏部分.....286
9-5：與本計畫相關之研究成果目錄.....287
9-6：各土壤氣體觀測站氣體成份連續觀測結果

9-7：各水壓觀測站連續觀測結果
9-8：水氡觀測站連續觀測結果

表目錄

表 1-1　預期進度甘梯圖及實際工作進度.....4
表 2-1　既有觀測站位置座標.....6
表 2-2　古坑地區人工採樣土壤氣體成份表..... 42
表 2-3　各觀測站人工採樣氣體成份表..... 126
表 3-1　宜蘭平原採樣點分析結果..... 136
表 3-2　宜蘭平原固定點定期採樣結果..... 147
表 3-3　蘇澳國小採樣分析結果..... 154
表 4-1　觀測井基本資料..... 158
表 4-2　2009 年各觀測站雨量與地下水壓之良率.....160
表 4-3　本年度發現地下水壓震前異常之地震資料..... 218
表 5-1　安通溫泉區溫泉旅館溫泉井井位..... 243
表 5-2　安通溫泉區 4 家溫泉旅館溫泉井水質分析（濃度 ppm）..... 245

圖目錄

圖 2-1：既有觀測站的分佈位置.....6
圖 2-2：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/11/1～2009/11/30）.....10
圖 2-3：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/11/1～2008/11/30）.....11
圖 2-4：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/12/1～2008/12/31）.....12
圖 2-5：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/1/1～2009/1/31）.....13
圖 2-6：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/2/1～2009/2/28）.....14
圖 2-7：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/3/1～2009/3/31）.....15
圖 2-8：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/4/1～2009/4/30）.....16
圖 2-9：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/5/1～2009/5/31）.....17
圖 2-10：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/6/1～2009/6/30）.....18
圖 2-11：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/7/1～2009/7/31）.....19
圖 2-12：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/8/1～2009/8/31）.....20
圖 2-13：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/9/1～2009/9/30）.....21
圖 2-14：新竹大平地觀測站觀測結果（2009/10/1～2009/11/10）.....22

圖 2-15：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/11/1～2009/11/30）……25
圖 2-16：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/11/1～2009/1/31）……26
圖 2-17：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/3/4～2009/11/9）……27
圖 2-18：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/11/1～2009/11/30）……28
圖 2-19：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/12/1～2008/12/31）……29
圖 2-20：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/1/1～2009/1/31）……30
圖 2-21：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/2/1～2009/2/28）……31
圖 2-22：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/3/1～2009/3/31）……32
圖 2-23：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/4/1～2009/4/30）……33
圖 2-24：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/5/1～2009/5/31）……34
圖 2-25：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/6/1～2009/6/30）……35
圖 2-26：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/7/1～2009/7/31）……36
圖 2-27：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/8/1～2009/8/31）……37
圖 2-28：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/9/1～2009/9/30）……38
圖 2-29：嘉義梅山觀測站觀測結果（2009/10/1～2009/11/30）……39
圖 2-30：嘉南梅山觀測站附近適合遷站位置……41
圖 2-31：新觀測站施工流程一……43
圖 2-32：新觀測站施工流程二……43
圖 2-33：新觀測站施工流程三……44
圖 2-34：新觀測站施工流程四……44
圖 2-35：新觀測站施工流程五……45
圖 2-36：新觀測站施工流程六……45
圖 2-37-1：新觀測站施工流程七……46
圖 2-37-2：新觀測站施工流程八……46
圖 2-38-1：新觀測站施工流程九……47
圖 2-38-2：新觀測站施工流程十……47
圖 2-39：新觀測站施工流程十一……48
圖 2-40：新觀測站施工流程十二……48
圖 2-41：台南二溪觀測站觀測結果（2008/11/1～2009/11/30）……51
圖 2-42：台南二溪觀測站觀測結果（2008/11/1～2008/11/30）……52
圖 2-43：台南二溪觀測站觀測結果（2008/12/1～2008/12/31）……53
圖 2-44：台南二溪觀測站觀測結果（2009/1/1～2009/1/31）……54
圖 2-45：台南二溪觀測站觀測結果（2009/2/1～2009/2/28）……55
圖 2-46：台南二溪觀測站觀測結果（2009/3/1～2009/3/31）……56
圖 2-47：台南二溪觀測站觀測結果（2009/4/1～2009/4/30）……57

圖 2-48：台南二溪觀測站觀測結果（2009/5/1～2009/5/31）……58
圖 2-49：台南二溪觀測站觀測結果（2009/6/1～2009/6/30）……59
圖 2-50：台南二溪觀測站觀測結果（2009/7/1～2009/7/31）……60
圖 2-51：台南二溪觀測站觀測結果（2009/8/1～2009/8/31）……61
圖 2-52：台南二溪觀測站觀測結果（2009/9/1～2009/9/30）……62
圖 2-53：台南二溪觀測站觀測結果（2009/10/1～2009/11/30）……63
圖 2-54：屏東潮州觀測站觀測結果（2008/11/1～2009/11/30）……66
圖 2-55：屏東潮州觀測站觀測結果（2008/11/1～2008/11/30）……67
圖 2-56：屏東潮州觀測站觀測結果（2008/12/1～2008/12/31）……68
圖 2-57：屏東潮州觀測站觀測結果（2009/1/1～2009/1/31）……69
圖 2-58：屏東潮州觀測站觀測結果（2009/2/1～2009/2/28）……70
圖 2-59：屏東潮州觀測站觀測結果（2009/3/1～2009/3/31）……71
圖 2-60：屏東潮州觀測站觀測結果（2009/4/1～2009/4/30）……72
圖 2-61：屏東潮州觀測站觀測結果（2009/5/1～2009/5/31）……73
圖 2-62：屏東潮州觀測站觀測結果（2009/6/1～2009/6/30）……74
圖 2-63：屏東潮州觀測站觀測結果（2009/7/1～2009/7/31）……75
圖 2-64：屏東潮州觀測站觀測結果（2009/8/1～2009/8/31）……76
圖 2-65：屏東潮州觀測站觀測結果（2009/9/1～2009/9/30）……77
圖 2-66：屏東潮州觀測站觀測結果（2009/10/1～2009/11/30）……78
圖 2-67：台東池上觀測站觀測結果（2008/11/1～2009/11/30）……81
圖 2-68：台東池上觀測站觀測結果（2008/11/1～2008/11/30）……82
圖 2-69：台東池上觀測站觀測結果（2008/12/1～2008/12/31）……83
圖 2-70：台東池上觀測站觀測結果（2009/1/1～2009/1/31）……84
圖 2-71：台東池上觀測站觀測結果（2009/2/1～2009/2/28）……85
圖 2-72：台東池上觀測站觀測結果（2009/3/1～2009/3/31）……86
圖 2-73：台東池上觀測站觀測結果（2009/4/1～2009/4/30）……87
圖 2-74：台東池上觀測站觀測結果（2009/5/1～2009/5/31）……88
圖 2-75：台東池上觀測站觀測結果（2009/6/1～2009/6/30）……89
圖 2-76：台東池上觀測站觀測結果（2009/7/1～2009/7/31）……90
圖 2-77：台東池上觀測站觀測結果（2009/8/1～2009/8/31）……91
圖 2-78：台東池上觀測站觀測結果（2009/9/1～2009/9/30）…92
圖 2-79：台東池上觀測站觀測結果（2009/10/1～2009/11/30）…93
圖 2-80：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/11/1～2009/1/9）……97
圖 2-81：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2009/1/9～2009/11/30）……98
圖 2-82：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/11/1～2008/11/30）…99

圖 2-83：中崙濁水潭土壤氪氣成份連續變化（2008/12/1～2008/12/31）...100
圖 2-84：中崙濁水潭土壤氪氣成份連續變化（2009/1/1～2009/1/31）.....101
圖 2-85：中崙濁水潭土壤氪氣成份連續變化（2009/2/1～2009/2/28）...102
圖 2-86：中崙濁水潭土壤氪氣成份連續變化（2009/3/1～2009/3/31）.....103
圖 2-87：中崙濁水潭土壤氪氣成份連續變化（2009/4/1～2009/4/30）.....104
圖 2-88：中崙濁水潭土壤氪氣成份連續變化（2009/5/1～2009/5/31）.....105
圖 2-89：中崙濁水潭土壤氪氣成份連續變化（2009/6/1～2009/6/30）.....106
圖 2-90：中崙濁水潭土壤氪氣成份連續變化（2009/7/1～2009/7/31）.....107
圖 2-91：中崙濁水潭土壤氪氣成份連續變化（2009/8/1～2009/8/31）.....108
圖 2-92：中崙濁水潭土壤氪氣成份連續變化（2009/9/1～2009/9/30）.....109
圖 2-93：中崙濁水潭土壤氪氣成份連續變化（2009/10/1～2009/11/30）.....110
圖 2-94：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/11/1～2009/11/30）.....113
圖 2-95：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/11/1～2008/11/30）.....114
圖 2-96：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/12/1～2008/12/31）.....115
圖 2-97：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/1/1～2009/1/31）.....116
圖 2-98：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/2/1～2009/2/28）.....117
圖 2-99：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/3/1～2009/3/31）.....118
圖 2-100：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/4/1～2009/4/30）.....119
圖 2-101：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/5/1～2009/5/31）.....120
圖 2-102：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/6/1～2009/6/30）.....121
圖 2-103：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/7/1～2009/7/31）.....122
圖 2-104：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/8/1～2009/8/31）.....123
圖 2-105：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/9/1～2009/9/30）.....124
圖 2-106：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2009/10/1～2009/11/30）.....125
圖 2-107：本年度各觀測站之良率.....129
圖 3-1 ：綜合各研究所繪之斷層分佈圖 131
圖 3-2 ：宜蘭平原採樣點分佈圖.....135
圖 3-3 ：野外採樣的實際情形與採樣示意圖.....135
圖 3-4 ：宜蘭平原土壤氣之氦氣等濃度分布圖.....141
圖 3-5 ：宜蘭平原土壤氣之氪氣等濃度分布圖.....142
圖 3-6 ：宜蘭平原土壤氣之二氧化碳等濃度分布圖.....143
圖 3-7 ：宜蘭平原土壤氣二氧化碳通量之等濃度分布圖.....144
圖 3-8 ：宜蘭平原土壤氣之二氧化碳碳同位素分布圖.....145
圖 3-9 ：氣體異常且為新測站之可能候選位置的分布圖.....146
圖 3-10 ：氣體觀測站設置示意圖.....152

圖 3-11 ：蘇澳國小初選位置現地照片.....153
圖 3-12 ：蘇澳地區衛星影像圖及預定設站位置現地照片.....154
圖 3-13 ：蘇澳國小觀測站設置流程及外觀照片.....155
圖 3-14 ：蘇澳觀測站土壤氣體測試結果.....155
圖 4-1：地下水壓觀測井位置圖.....157
圖 4-2：本計畫觀測站雨量記錄與附近氣象局測站雨量資料比較.....160
圖 4-3：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/11/1～2009/11/30）...164
圖 4-4：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/11/1～2009/6/30）...165
圖 4-5：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/11/1～2008/11/30）...166
圖 4-6：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/12/1～2009/12/31）...167
圖 4-7：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/1/1～2009/1/31）...168
圖 4-8：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/2/1～2009/2/28）...169
圖 4-9：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/3/1～2009/3/31）...170
圖 4-10：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/4/1～2009/4/30）...171
圖 4-11：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/5/1～2009/5/31）...172
圖 4-12：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/6/1～2009/6/30）...173
圖 4-13：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/7/1～2009/11/30）...174
圖 4-14：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/7/1～2009/7/31）...175
圖 4-15：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/8/1～2009/8/31）...176
圖 4-16：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/9/1～2009/9/30）...177
圖 4-17：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/10/1～2009/10/31）...178
圖 4-18：台北地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/11/1～2009/11/30）...179
圖 4-19：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/11/1～2009/11/30）...182
圖 4-20：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/11/1～2009/6/30）...183
圖 4-21：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/11/1～2008/11/30）...184
圖 4-22：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/12/1～2008/12/31）...185
圖 4-23：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/1/1～2009/1/31）...186
圖 4-24：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/2/1～2009/2/28）...187
圖 4-25：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/3/1～2009/3/31）...188
圖 4-26：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/4/1～2009/4/30）...189
圖 4-27：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/5/1～2009/5/31）...190
圖 4-28：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/6/1～2009/6/30）...191
圖 4-29：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/7/1～2009/11/30）...192
圖 4-30：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/7/1～2009/7/31）...193
圖 4-31：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/8/1～2009/8/31）...194

圖 4-32：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/9/1～2009/9/30）...195
圖 4-33：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/10/1～2009/10/31）...196
圖 4-34：新竹地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/11/1～2009/11/30）...197
圖 4-35：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/11/1～2009/11/30）...201
圖 4-36：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/11/1～2009/6/30）...202
圖 4-37：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/11/1～2008/11/30）...203
圖 4-38：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2008/12/1～2008/12/31）...204
圖 4-39：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/1/1～2009/1/31）...205
圖 4-40：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/2/1～2009/2/28）...206
圖 4-41：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/3/1～2009/3/31）...207
圖 4-42：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/4/1～2009/4/30）...208
圖 4-43：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/5/1～2009/5/31）...209
圖 4-44：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/6/1～2009/6/30）...210
圖 4-45：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/7/1～2009/11/30）...211
圖 4-46：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/7/1～2009/7/31）...212
圖 4-47：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/8/1～2009/8/31）...213
圖 4-48：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/9/1～2009/9/30）...214
圖 4-49：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/10/1～2009/10/31）...215
圖 4-50：嘉義地區觀測井之水壓觀測值結果（2009/11/1～2009/11/30）...216
圖 4-51：台北地區觀測站與地震震央空間分布之關聯圖.....220
圖 4-52：新竹地區新樂觀測站與地震震央空間分布之關聯圖.....221
圖 4-53：嘉義地區沄水觀測站與地震震央空間分布之關聯圖.....222
圖 4-54：嘉義地區太興觀測站與地震震央空間分布之關聯圖.....223
圖 4-55：嘉義地區中興觀測站與地震震央空間分布之關聯圖.....224
圖 4-56：嘉義地區達邦觀測站與地震震央空間分布之關聯圖.....225
圖 5-1：東部安通溫泉吉祥水氡監測站 2003 至 2008 之水氡濃度監測圖...227
圖 5-2：東部安通溫泉區附近歷年主要地震震央分佈圖.....227
圖 5-3：體積膨脹模式.....229
圖 5-4：Rn-222 自 U-238 的衰變鏈.....230
圖 5-5：在 60℃時不同比例氣體飽和度及安通吉祥站水氡濃度變化圖.....232
圖 5-6：安通地下水水氡及溶解氣體監測站位置圖.....234
圖 5-7：玉里安通鄰近地質圖.....237
圖 5-8：玉里安通鄰近地質圖 CC'剖面圖.....238
圖 5-9：玉里安通鄰近地質圖圖例.....239
圖 5-10：安通溫泉飯店地下水水氡及溶解氣體監測井綜合柱狀圖.....242

圖 5-11：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）.....244
圖 5-12:安通站地下水水氡濃度圖(2009/4/1～2009/11/1) 246
圖 5-13：安通站地下水溶解氣體甲烷濃度圖(2009/4/1～2009/11/1)...247
圖 5-14：安通站地下水溶解氣體氮氣濃度圖(2009/4/1～2009/11/1) 248
圖 5-15：吉祥站每月每日最高地下水位圖(2009/1/1～2009/11/1).....250
圖 5-16：吉祥站鄰近含水層導水係數圖(2009/1/1～2009/11/1).....251
圖 5-17：吉祥站鄰近含水層儲水係數圖(2009/1/1～2009/11/1).....252
圖 5-18：安通溫泉飯店地下水氡監測井分離器地下水溫度監測紀錄.....253
圖 6-1：安通溫泉區地下水氡監測井全年度觀測資料統整圖.....257
圖 A-1：水氡標準溶液液態閃爍之典型圖譜.....274
圖 A-2：水氡分析實驗室品保品管歷線圖.....274
圖 B-1：甲烷檢量線.....278
圖 B-2：氮檢量線.....278

壹、緒論

台灣位於歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的交接處，地殼活動特別活躍，斷層活動所引發的地震也特別多。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，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，可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，地球化學變化常可提供有用的地震前兆訊息。這些大部分與熱水作用相關的氣體如 Rn, He, CO_2, CH_4, H_2, Ar, 與N_2的地球化學異常，以及溶於水體的陰、陽離子濃度的劇烈變化一般歸之於斷層活動過程造成的地下流體（水與氣）循環系統的改變而導致的這些流體的混合作用。

選擇位於斷層帶附近的適當位置，設置氣體與水氡地球化學與水位遠端傳輸觀測站，配合鄰近地區之地殼活動觀測資料，將有助於吾人瞭解該地區之斷層、地震活動與觀測結果之關聯，並進一步觀測其活動可能之前兆訊息與可能機制。本計畫承續前一階段之觀測研究，將於未來四年（98-101年）於台灣各活動斷層區逐年逐區新設置氣體與水氡觀測站，以瞭解不同構造區觀測結果之異同，探討台灣南部與北部不同構造區對於觀測結果之影響，並評估觀測站氣體、水氡成份與水位觀測結果，及作為斷層與地震活動之可能前兆訊息。

本（98）年度，持續對於新竹大平地、嘉義梅山、嘉義中崙、台南二溪、屏東潮州、及台東池上已設置之六座氣體觀測站，及新竹雙溪國小、嘉義沄水國小水位觀測站持續觀測外，亦於宜蘭平原附近選擇對於斷層與地震活動較為敏感的位置，新設置一座氣體觀測站，以期能夠建立較完整之觀測網，以利於往後對於分析資料之判讀。發生在2003 年12月10日規模(M) 6.8 的2003年成功地震是東台灣自1951年以來最強烈的地震。我們自2003年7月起在花蓮玉里安通溫泉吉祥站觀測地下水水氡。安通溫泉鄰近池上斷層，位於現今歐亞板塊及菲律賓海板塊之交界處，為捕捉地震前兆理想的研究地點。吉祥站於2003年成功地震震前，水氡濃度由背景值780 pCi/L下降至最低值330 pCi/L。至今，我們在吉祥站觀測到三次震前氡濃度異常下降 (2003年12月10日、2006年4 月1日及2008年2月17日發生地震規模M_W 6.8、M_W 6.1及M_W 5.0)。本計畫於未來四年將在台灣東部池上斷層鄰近安通溫泉增加安通站連續觀測水氡及地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）。另外，也將在台灣西南部選擇適當地質條件站址，建立地下水水氡及地下水溶解氣體連續觀測站。

1-1 本年度之工作項目：

1. 嘉義中崙濁水潭觀測站97年12月至98年11月土壤氣體之甲烷、水氣、氮氣、氧氣、氬氣、二氧化碳、氡氣氣體觀測結果。
2. 新竹大平地、嘉義梅山、台南二溪觀測、屏東潮洲、台東池上站97年12月至98年11月土壤氣體之二氧化碳與氡氣氣體觀測結果。
3. 新竹雙溪國小、嘉義沄水國小水位觀測站97年12月至98年11月水位觀測結果。
4. 完成嘉義梅山觀測站之遷站。
5. 完成宜蘭地區設置土壤氣體觀測站（共1座）。
6. 將觀測資料同步轉移至委託單位之伺服器。
7. 地下水溶解氣體人工採樣分析結果。
8. 評估同震水位變化與地震活動之關聯性。
9. 探討觀測結果與當地斷層、地震活動之關聯性。
10. 修正後之期末報告書30份；及電子檔與資料光碟1份。

1-2 目前工作進度：

1. 嘉義中崙濁水潭觀測站97年12月至98年11月土壤氣體之甲烷、水氣、氮氣、氧氣、氫氣、二氧化碳、氡氣氣體觀測結果。
2. 新竹大平地、嘉義梅山、台南二溪觀測、屏東潮洲、台東池上站97年12月至98 年11月土壤氣體之二氧化碳與氡氣氣體觀測結果。
3. 新竹雙溪國小、嘉義沄水國小水位觀測站97年12月至98年11月水位觀測結果。
4. 完成嘉義梅山觀測站之遷站，新觀測站位在雲林古坑。
5. 完成宜蘭地區設置土壤氣體觀測站（共1座）。
6. 將觀測資料同步轉移至委託單位之伺服器。
7. 地下水溶解氣體人工採樣分析結果。
8. 評估同震水位變化與地震活動之關聯性。
9. 探討觀測結果與當地斷層、地震活動之關聯性。
10. 修正後之期末報告書30份；及電子檔與資料光碟1份。

表 1-1、預期進度甘梯圖（黑）及實際工作進度（紅）

計畫名稱：

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	備註
相關文獻搜集整理分析											
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											
嘉義梅山氣體觀測站遷站位址探勘											
嘉義梅山氣體觀測站遷站、與儀器安裝與測試											
新觀測站設置位址探勘											
新觀測站設置儀器採購											
觀測站設置與儀器設備安裝測試											
定期監測台灣東部（安通溫泉）地下水水氡、溶解氣體(甲烷及氮氣)、地下水水位及溫度變化											
觀測站定期氣體採樣分析											
第一季查核點											
第二季查核點											
期中報告											
第三季查核點											
期末報告											
第四季查核點											
預定進度（累積數）			5%	15%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	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。

貳、氣體觀測站觀測結果

2-1 觀測站主要使用儀器

2-1.1 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樣品之儀器，SRS QMS-100 具有輕便及體積小、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），能夠快速掃瞄樣品中所有成份（<10 秒），同時可分析多種氣體成份（包括：氫氣、氦氣、甲烷、水氣、氮氣、氧氣、氬氣、二氧化碳、乙烷、氡氣等）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）。

2-1.2 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 (slow) 模式且設定為每 30 分鐘一筆資料以期瞭解氡氣持續的變化情形並將其誤差值減至最低。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。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）。

2-1.3 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）。

2-1.4 觀測站分佈位置

各觀測站的分佈位置和座標點如圖2-1和表2-1所示。

表 2-1 既有觀測站位置座標

	二度分帶 (E)	二度分帶 (N)
中崙濁水潭測站(CL)	204643	2586520
大平地測站 (TPT)	265637	2736929
梅山測站 (MS)	206325	2609740
二溪測站 (RS)	189642	2558154
寶山水位站 (BS)	248175	2740736
沄水水位站 (YS)	200697	2586171
潮州測站 (CC)	209087	2050689
池上測站 (CS)	273485	2558221

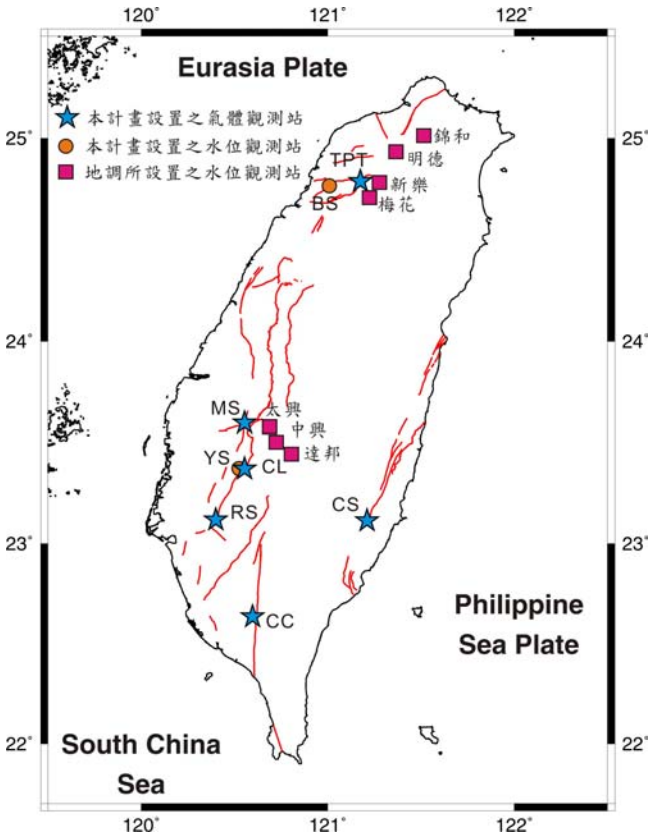


圖 2-1 既有觀測站的分佈位置。

2-2 新竹大平地土壤氣體觀測站

圖 2-2 至圖 2-14 為新竹大平地觀測站 2008 年 11 月至 2009 年 11 月的連續觀測結果。圖 2-2 是總圖表（2008 年 11 月至 2009 年 11 月）。圖 2-3 至圖 2-14 是分月圖表。其中 11 月 1 日至 11 月 9 日，11 月 13 日至 11 月 29 日，1 月 13 日至 2 月 18 日，4 月 9 日至 4 月 13 日，4 月 24 日至 4 月 28 日等五個期間，氡氣分析儀皆肇因於溼度過高，導致儀器受損而影響運作，因此這段時間皆沒有紀錄。2008 年 11 月至 2009 年 1 月及 2009 年 5 月至今，使用編號 164 的氡氣分析儀。2009 年 2 月至 2009 年 4 月使用編號 156 的氡氣分析儀。更換儀器的主要原因是儀器受到水氣侵入造成溼度太高，使得氡氣無法有效紀錄。而用來作為氡氣來源的儲氣槽，亦因四月中的大雨因素，造成儲氣槽積水嚴重，無法正常抽氣，因此從 4 月 28 日至 5 月 14 日無氡氣資料。直到 5 月 14 日儲氣槽積水完全退去，才又開始氡氣的連續分析，但此時溼度仍然偏高。為免氡氣分析儀再次遭水氣侵蝕，於 5 月 20 日加裝一儲水錐形瓶及一具電子式氣體乾燥器於氡氣分析儀前端，以期能有效解決水氣及溼度太高等問題。5 月 20 日加裝除水裝置後，可以看出溼度明顯的大幅下降（85% 降至 30%）。7 月 27 日至 7 月 28 日，7 月 30 日至 8 月 3 日兩個期間，氡氣分析儀肇因於儀器本身的當機而影響運作，因此沒有紀錄。

圖 2-3 至圖 2-5 為 2008 年 11 月至 2009 年 1 月的觀測結果。這段期間降雨量極少，對於測站也僅止於資料的下載，因此可以排除水氣及其他人為因素影響。氡氣從 11 月 29 日正常紀錄開始，歷經 12 月，至 1 月 13 日。從 12 月的圖示得知，氡氣濃度有數次明顯異常升高的趨勢出現，這期間於 12 月 2 日發生於花蓮玉里的地震（規模 5.7，深度 31.7km），氡氣於 12 月 4 日上升至高處，隨即下降至低於月初規模。12 月 8 日發生於花蓮市外海的地震（規模 5.9，深度 35.1km），氡氣呈現上升趨勢。至 12 月 30 日發生於宜蘭蘇澳外海的地震（規模 5.1，深度 95.4km），氡氣雖有上升下降，但整體趨勢來看是往上升的，在地震發生前升至最高點，地震後隨即下降至月初規模，此外，12 月中旬也發現氡氣濃度有升高的情形出現卻未能對應到可能的地震事件，這可能與區域性構造活動有關，如斷層潛移等，這有待日後以應變儀的結果或其他研究來進行佐證。

圖 2-5 及圖 2-6 為 1 月及 2 月的觀測結果，這期間氡氣皆無法有效紀錄。不過有三起發生在觀測站附近的地震事件，一起是 1 月 21 日發生於桃園三光的地震（規模 2.7，深度 9.1km，距離測站 23.1km）；另外在 2 月 25 日發生於桃園三光的兩起地震（規模 3.5，深度 6.9km；規模 3.4，深度 7.6km），時間間隔一分鐘，距離測站分別是 7.7km 及 8.1km。

圖 2-7 及圖 2-8 為 3 月及 4 月的觀測結果。3 月初的大雨，明顯的直接將氡氣往上提升。去除掉因下雨造成氡氣異常升高的訊號後，發現氡氣在 4 月 17 日升至本階段的最高點，此時在 4 月 17 日發生一起花蓮市外海的地震（規模 5.3，深度 43.4km，距離測站 103.4km），由於距離測站較遠，是否屬於氡氣可反應範圍，仍需持續資料收集分析。

圖 2-10 為 6 月的觀測結果。本月在月初及月中有大雨發生，濕度升高阻礙逸氣來源，致使氡氣濃度下降，之後在 6 月 7 日及 6 月 18 日因濕度下降，氡氣獲得逸氣來源，因此氡氣濃度皆由零突上升至幾近於 6K，之後回降至背景值 3K（圖上紅框）。6 月 28 日及 6 月 29 日花蓮秀林一帶發生多起地震，觀察氡氣濃度並無明顯異常變化。

圖 2-11 為 7 月的觀測結果。7 月 11 日氡氣濃度開始緩慢上升，這段時間雖有降雨但溼度未影響到氡氣的來源，至 7 月 12 日為一階段，之後於 7 月 14 日在花蓮秀林外海發生的地震（規模 6.3，深度 9.4km，震度 2 級）。在短暫平穩後氡氣繼續上升至 7 月 20 日為一階段，在 7 天的醞釀期後，7 月 21 日於花蓮秀林發生的地震（規模 4.7，深度 8.7km，距離測站 88km）。7 月 20 日至 7 月 29 日為一階段，此階段醞釀期亦是 9 天，7 月 29 日氡氣上升到高點後，隨即下降（但因缺少至 8 月 3 日的資料，因此無法確實得知氡氣濃度的曲線），之後在 7 月 29 日於宜蘭南澳發生的地震（規模 5.1，深度 12.7km，震度 2 級，距離測站 78.8km），以上兩地震雖都接著在氡氣濃度上升下降後發生，但皆因距離測站較遠，且中間因機體不明原因當機致缺兩段氡氣紀錄，因此無法確定地震的發生是否與氡氣濃度異常有關。

圖 2-12 為 8 月的觀測結果。本月承續 7 月底，至 8 月 3 日始有氡氣紀錄。氡氣濃度持續在高點，直至 8 月 6 日因莫拉克颱風大雨影響至濕度升高，阻礙逸氣來源，致氡氣濃度突降至零並持續至 8 月 14 日，14 日氡氣濃度大幅度升高至 8K 並持續了將近一天左右，不過並未有相對應的地震活動，雖然 17 日於花蓮外海 200 多公里處發生一起規模達 6.8 的地震，不過由於距離觀測站過遠(大於 300 公里)，因此暫且將它排除，待日後與其他研究資料共同討論。在這之後氡氣濃度回降到背景值 3K（圖上紅框）。

圖 2-13 及圖 2-14 為 9 月及 10、11 月的觀測結果。氡氣濃度自 9 月 5 日開始呈現多階段的緩慢上升，但 9 月於觀測站地震儀並未偵測到顯著的地震震度。承續 9 月的氡氣上升趨勢至 10 月 2 日氡氣濃度下降，從 9 月 5 日到 10 月 2 日長達 27 天的醞釀期後，在 10 月 4 日於花蓮西林發生的地震（規模 6.3，深度 15.3km，震度 2 級，距離測站 125.5km），雖因距離測站遠，但將近一個月的氡氣濃度持續升高，期間並無其他地震可與之反應，直到氡氣濃度下降後始發生地震，應可視為此

次地震的前兆訊息。10 月 6 日氡氣下降至空氣值至 10 月 10 日氡氣始再呈現多階段的上升，在這多段異常氡氣濃度上升的過程中，隨後皆有地震發生，如氡氣濃度於 10 月 10 日上升，10 月 14 日下降，此為一階段。10 月 15 日上升，10 月 17 日下降，此為一階段，在三天的醞釀期後，10 月 19 日發生於宜蘭南澳的地震（規模 4.5，深度 43.8km，距離測站 68.5km）；又如 10 月 18 日氡氣濃度上升，在 10 月 21 日下降後，此為一階段，亦是在三天的醞釀期後，10 月 23 日發生於宜蘭南澳的地震（規模 5，深度 16.7km，距離測站 77.6km）。這兩次地震震度雖只有 1 級，但都在氡氣濃度的異常上升下降後發生，應與氡氣有密切的關係。10 月 27 日上升，11 月 1 日下降，此為一階段，在六天的醞釀期後，11 月 5 日於南投名間發生的地震（規模 6，深度 19.3km，震度 2 級，距離測站 112.4km），這氡氣的異常上升下降，亦可視為之後地震發生的前兆訊息。而 11 月 22 日之後在氡氣濃度開始升高後，在宜蘭外海附近也發生了地震。

2-2.1 結論

本測站有數起造成氣體異常的地震事件被偵測到，這些地震大都發生在測站附近數公里處和宜蘭、花蓮一帶。其中 2009 年 7 月 14 日地震規模 6.3 地震，本測站的氡氣濃度在兩天前明顯急遽升高，在經過此地震之後並未像過去回復到原來的背景值濃度，這可能是由於本次地震改變了測站周遭的逸氣系統抑或是因為這段時間的地震過於頻繁所致。此外，10 月 4 日規模 6.3 發生在花蓮西林的地震，氡氣濃度在 27 日前已開始大幅度升高，直至地震發生之後濃度才恢復降至背景值；對於 11 月 5 日發生於南投名間發生的地震（規模 6），同樣也有類似的反應出現，意味著本測站土壤氡氣的變化與地震活動的關聯性非常密切，值得持續觀察。

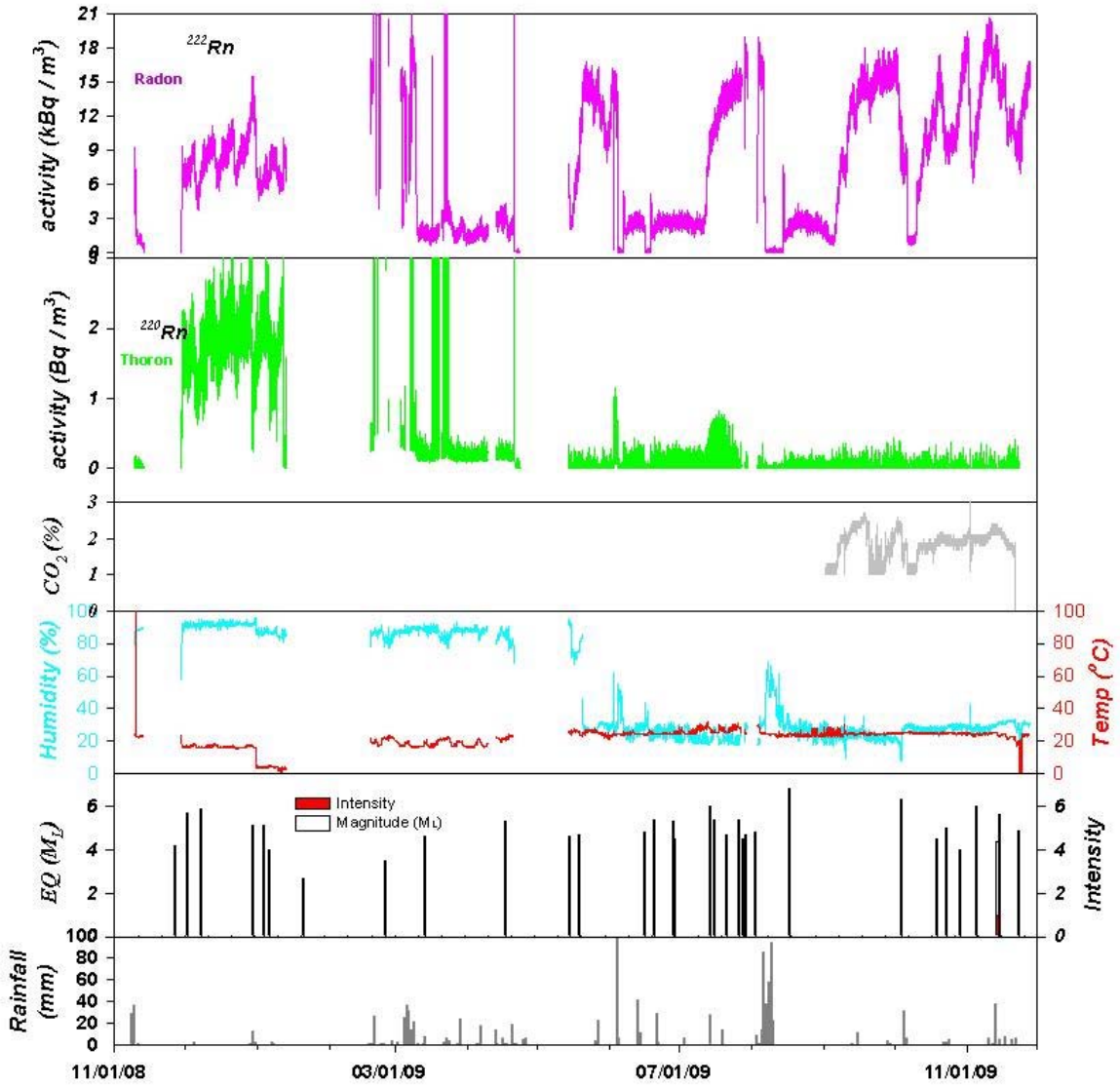


圖 2-2：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/11/01-2009/11/30）。

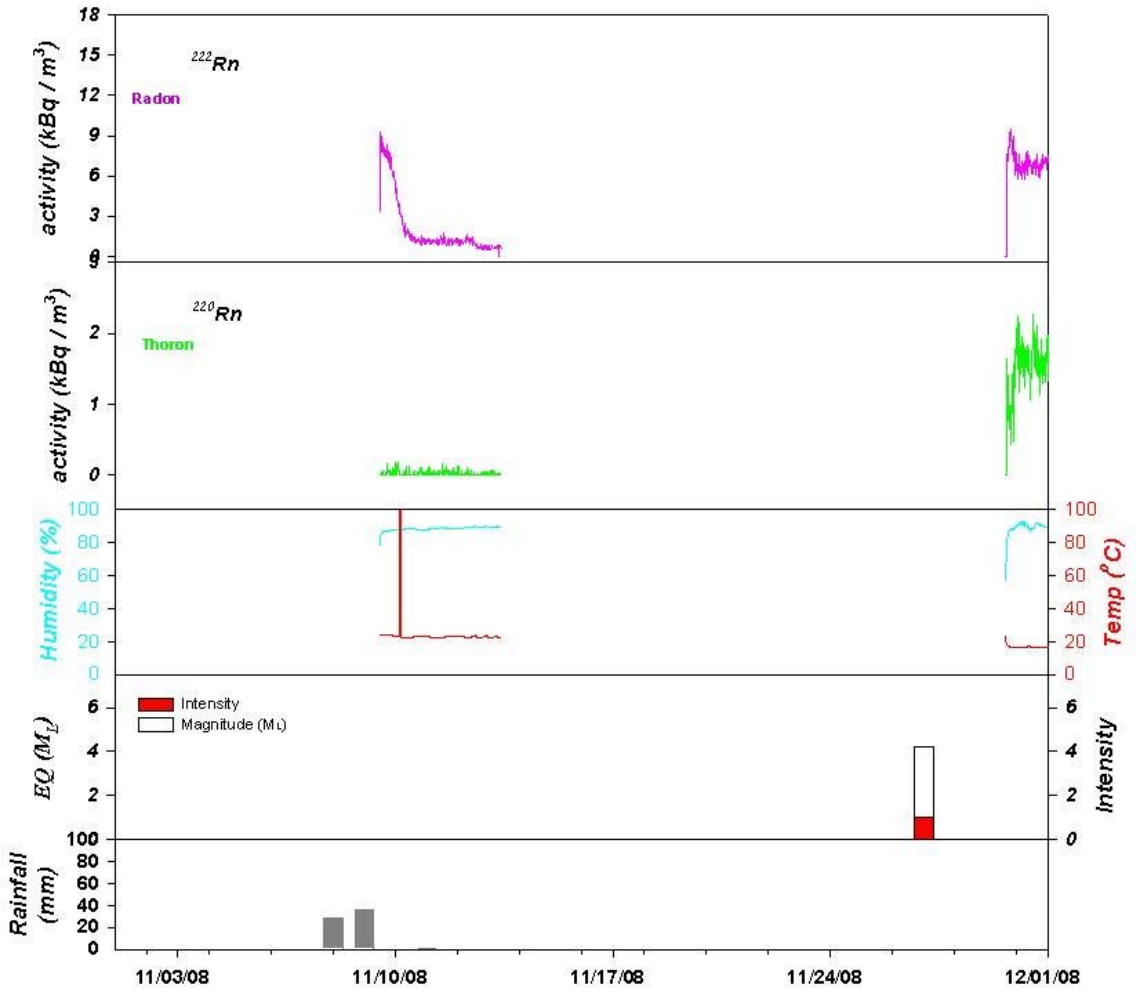


圖 2-3：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/11/01-2008/11/30）。

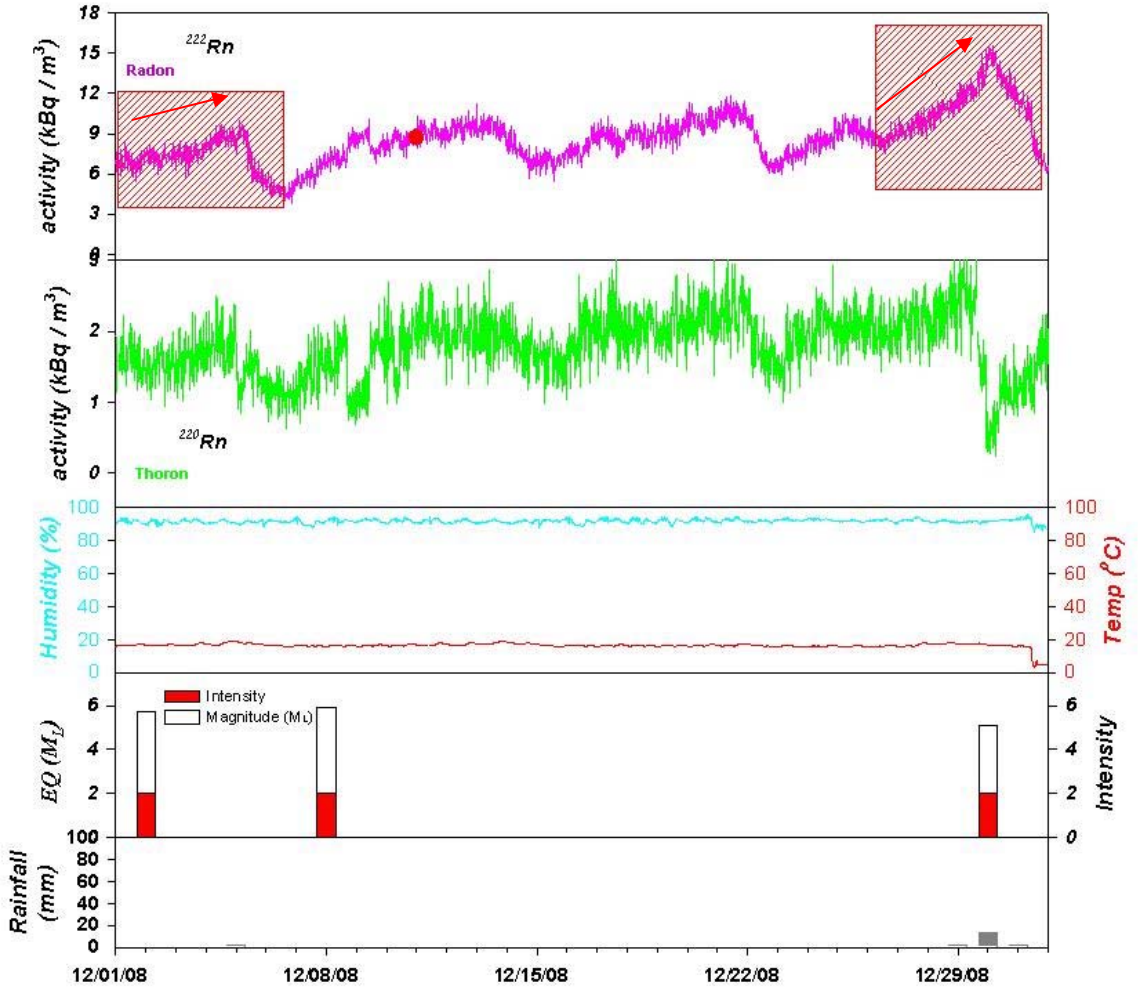
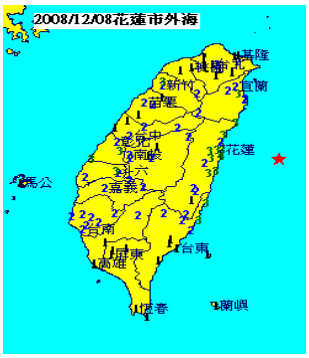
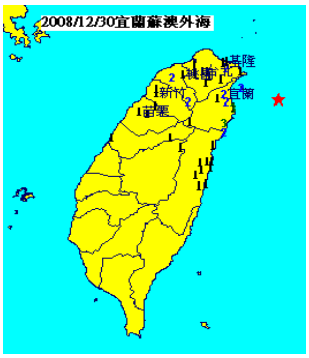


圖 2-4：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果；紅框為異常值區間（2008/12/01-2008/12/31）。





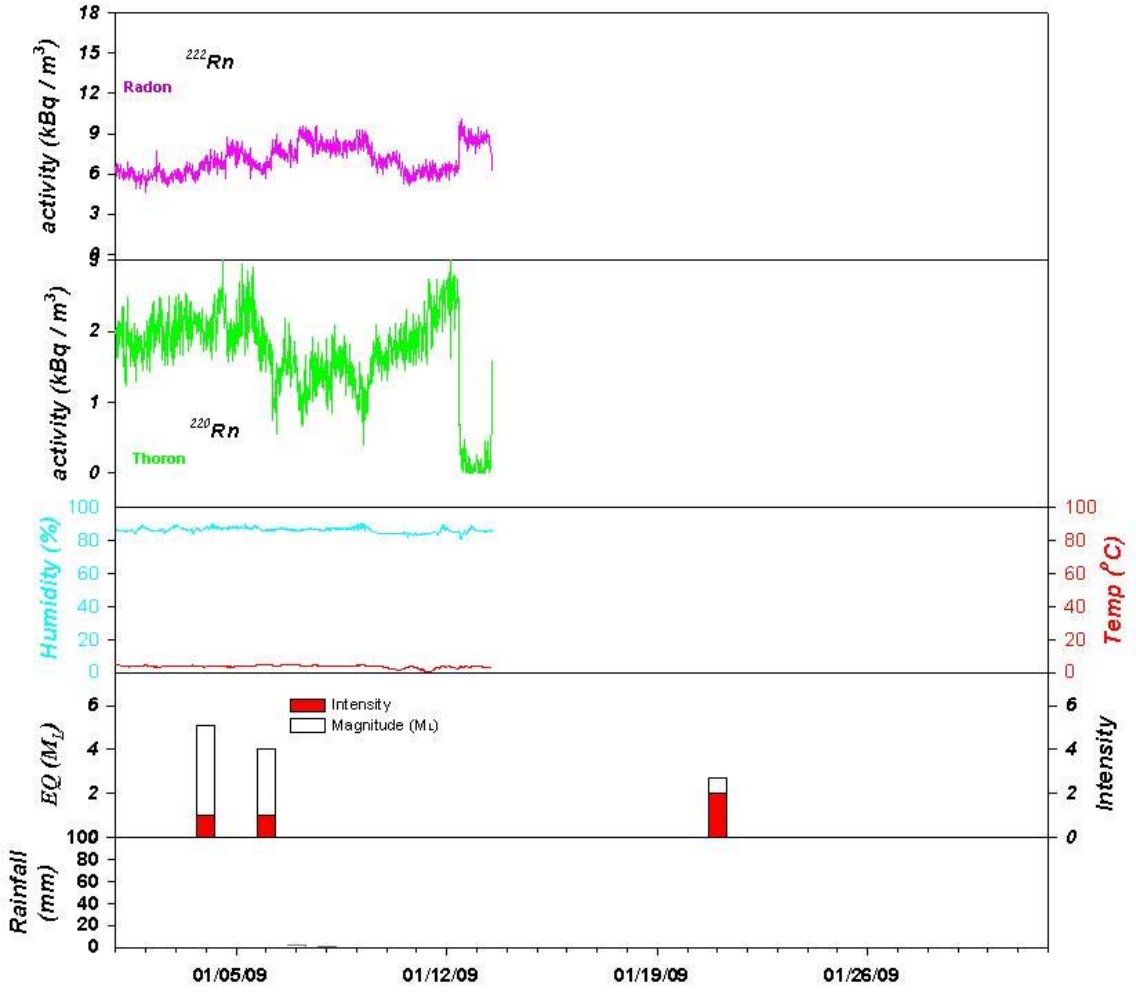


圖 2-5：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/01/01- 2009/01/31）。

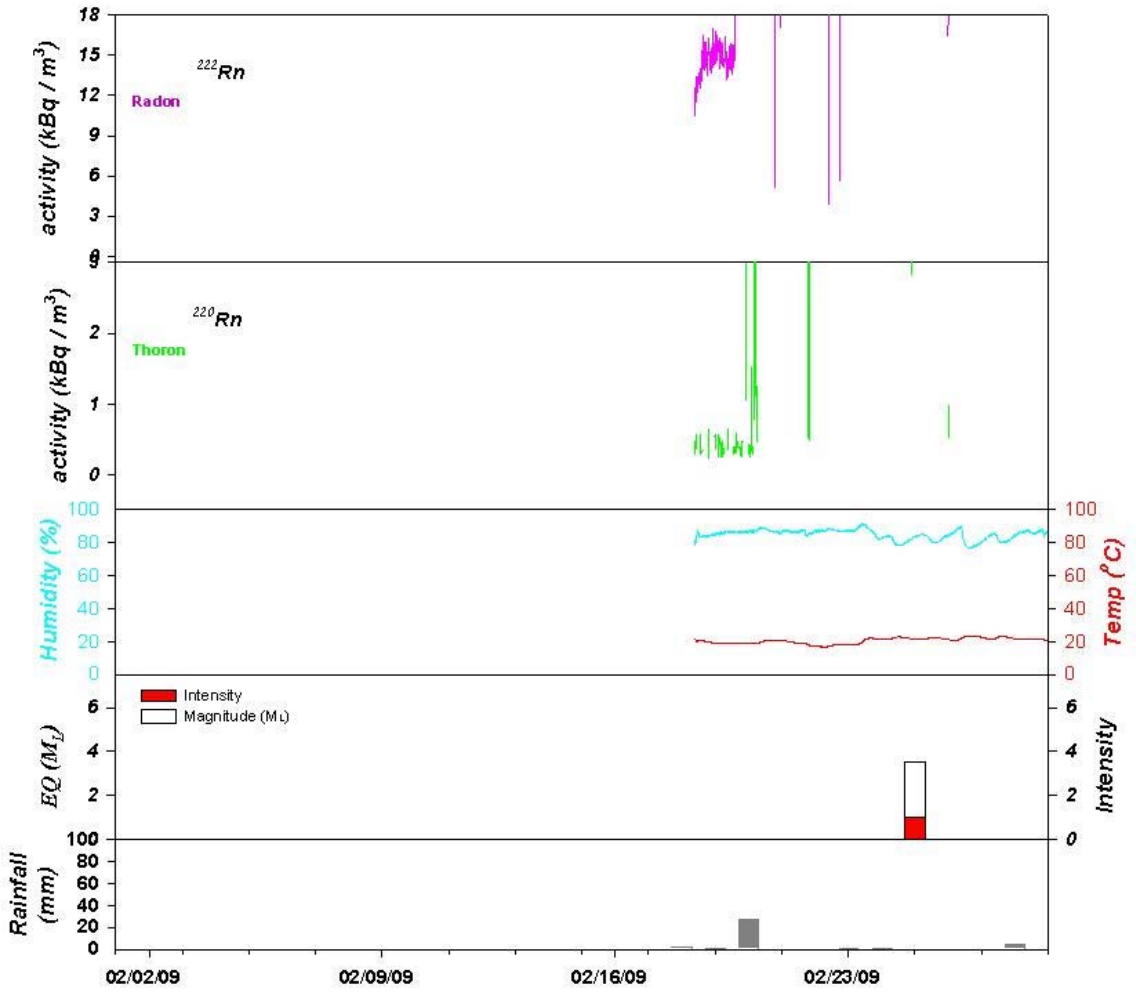


圖 2-6：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/02/01- 2009/02/28）。

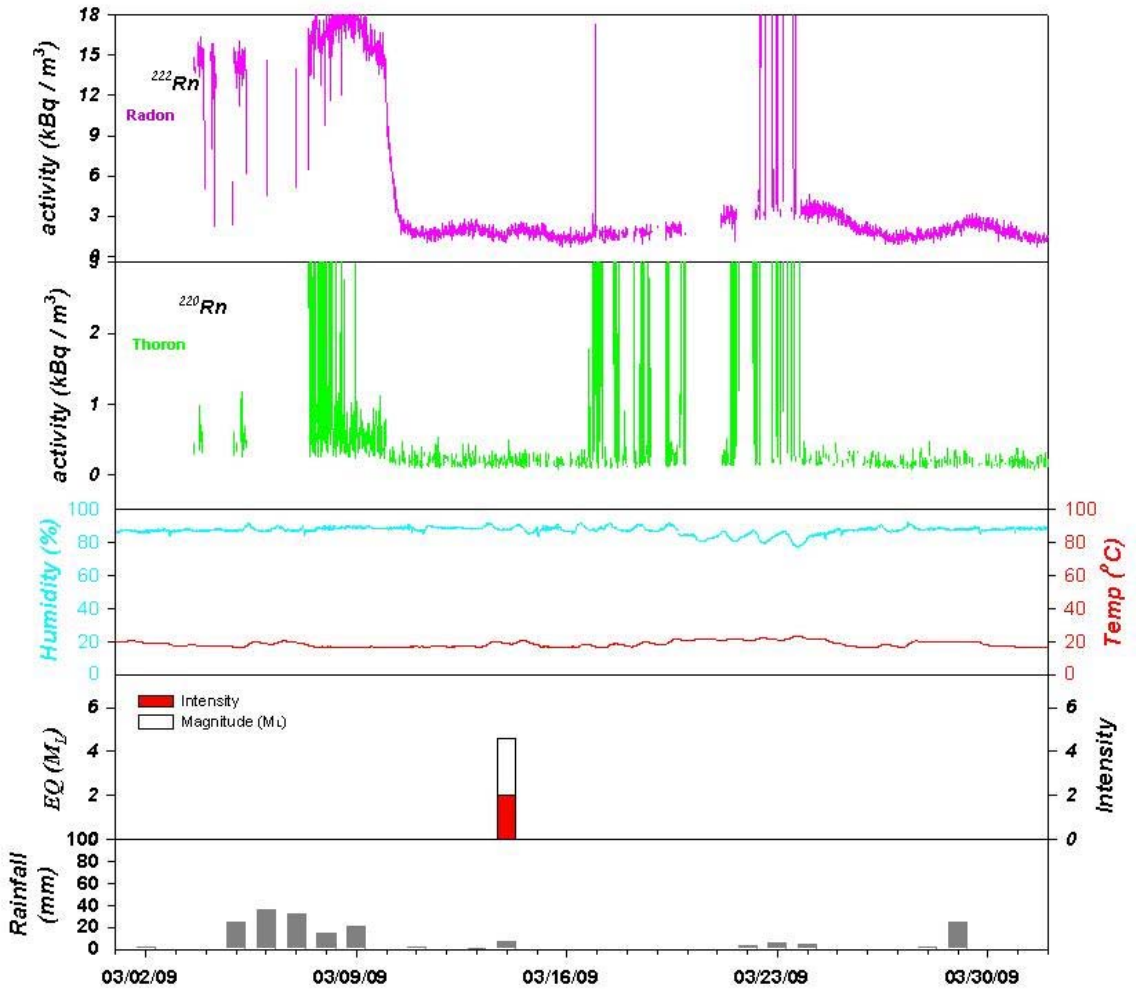


圖 2-7：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/03/01-2009/03/31）。

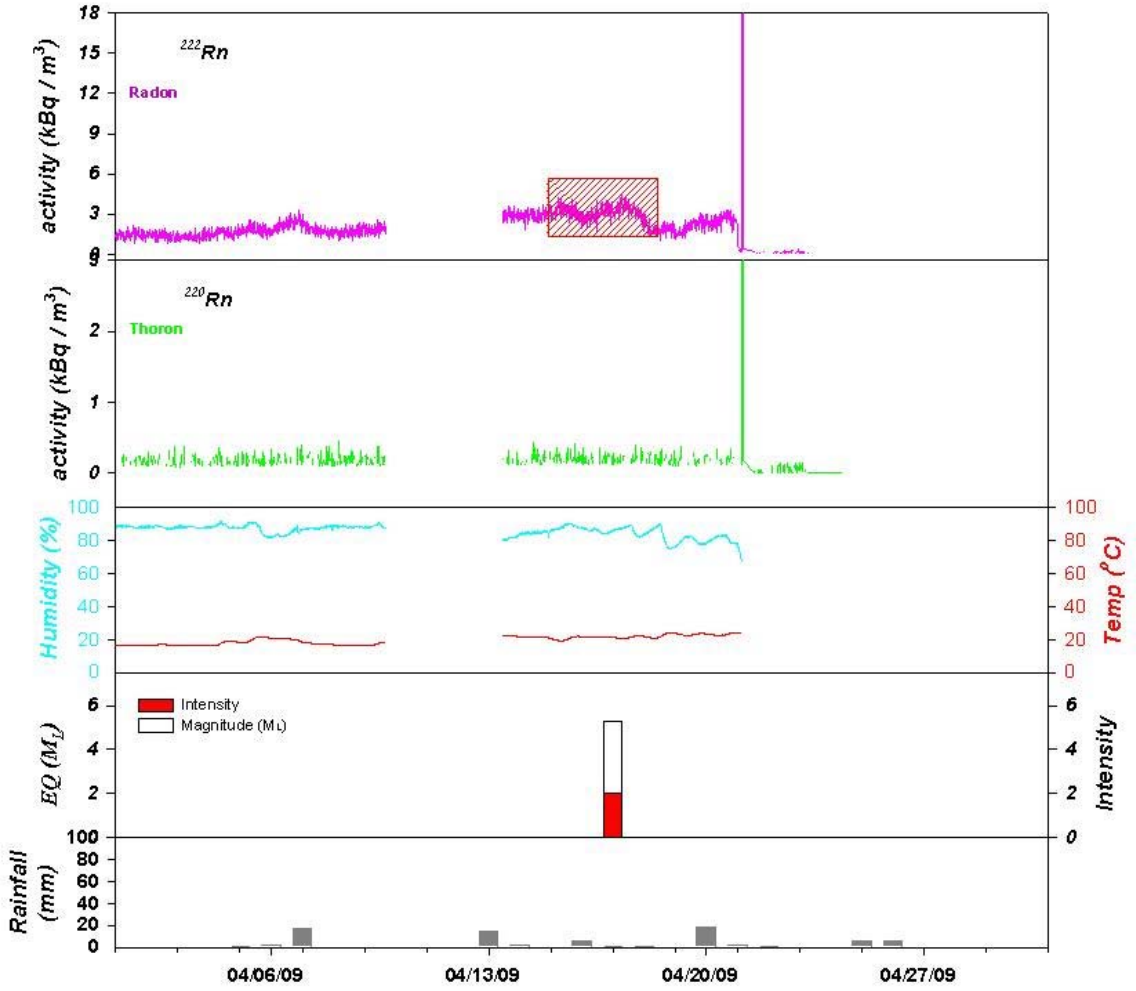
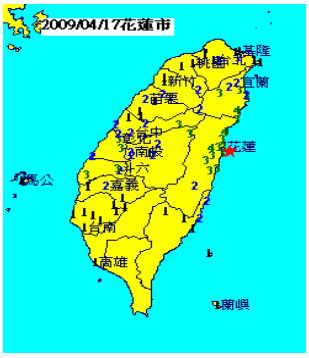


圖 2-8：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅框為異常值區間（2009/04/01-2009/04/30）。



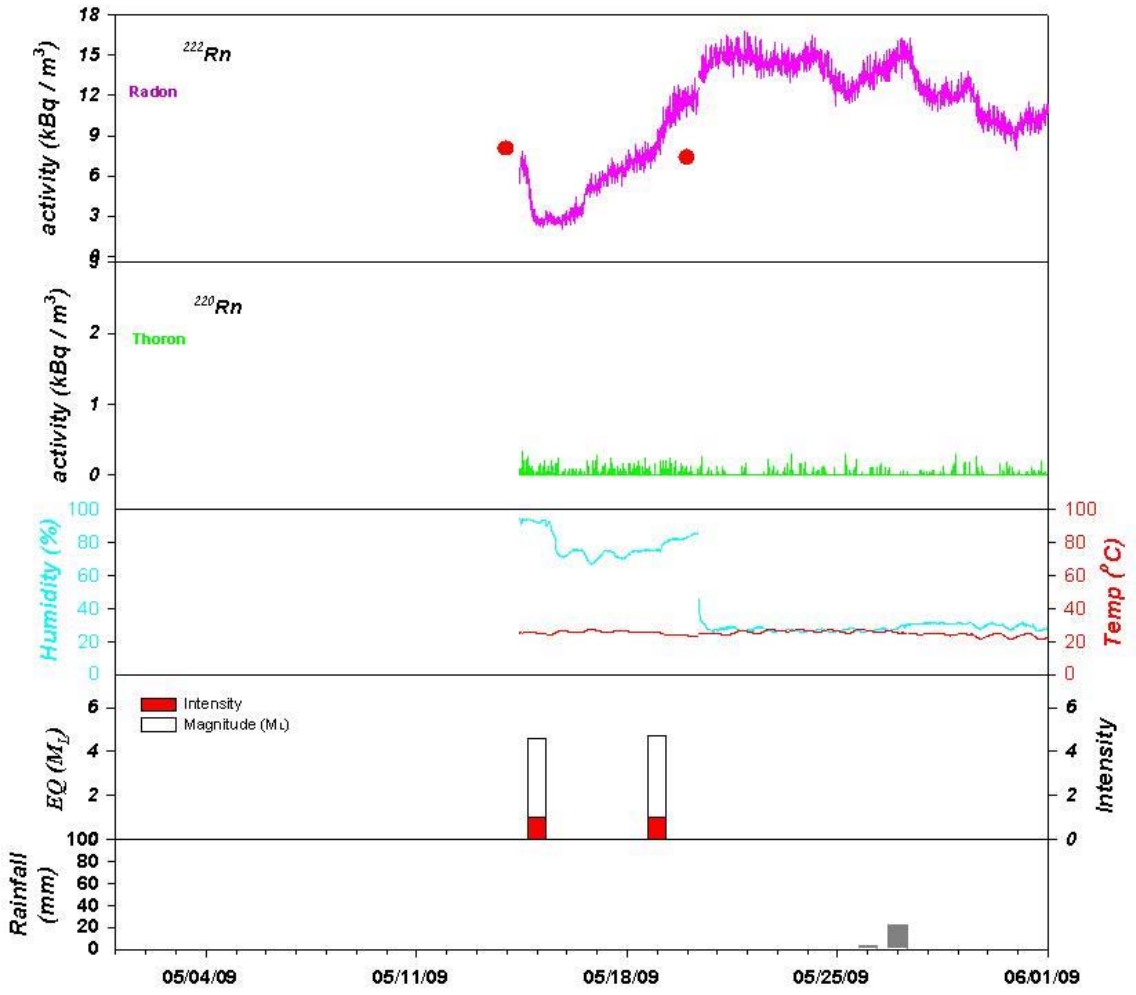


圖 2-9：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果（2009/05/01- 2009/05/31）。

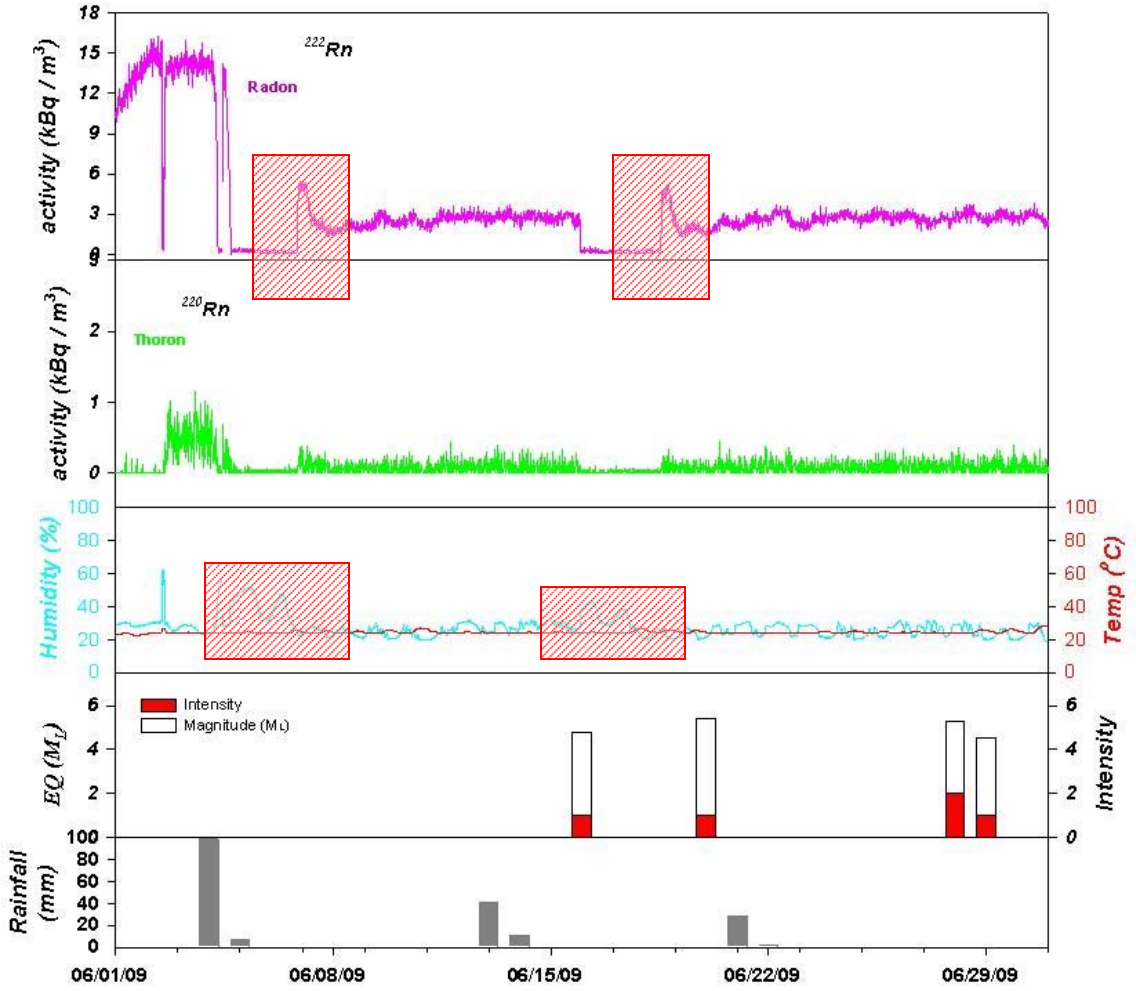


圖 2-10：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/06/01-2009/06/30）。

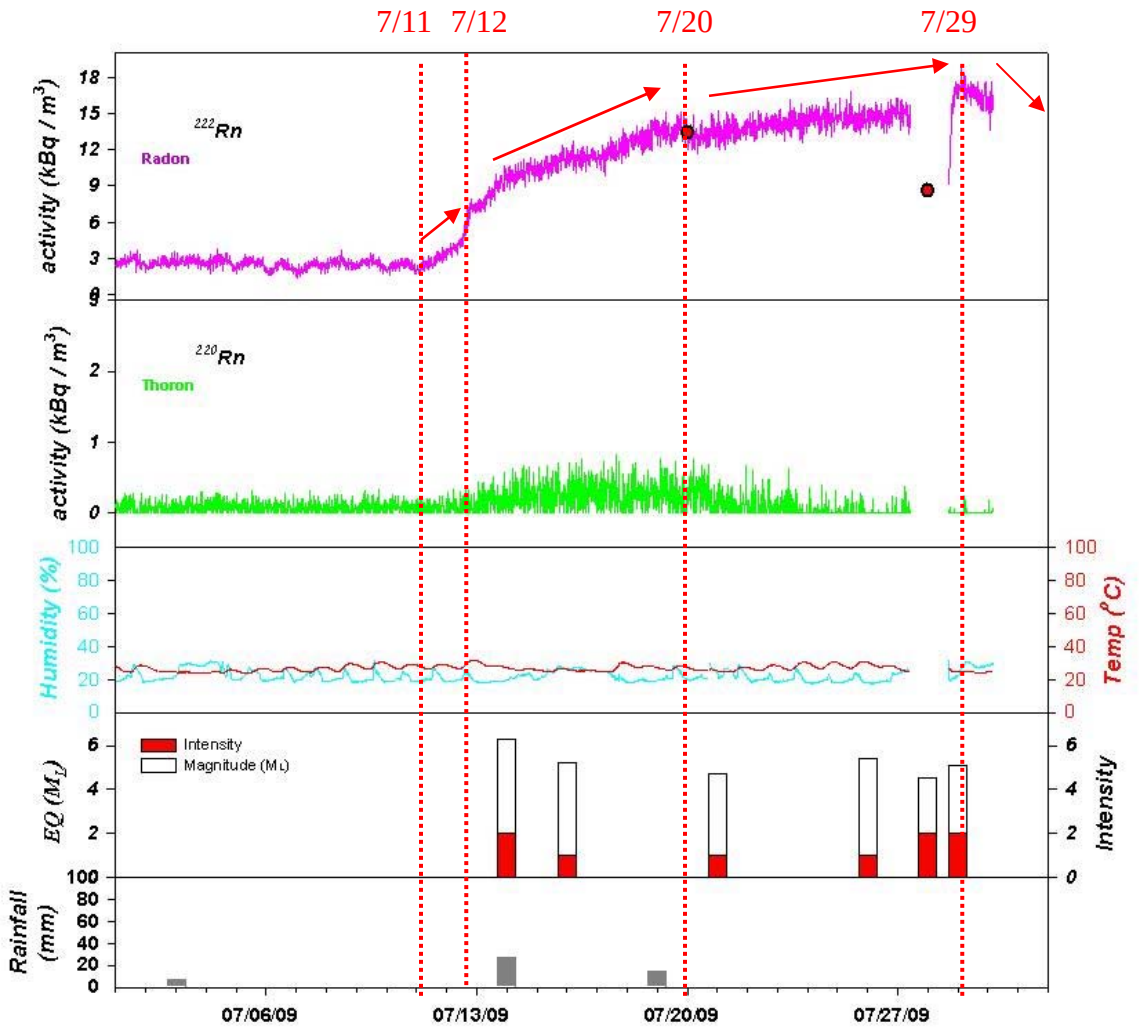


圖 2-11：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果（2009/07/01- 2009/07/31）。



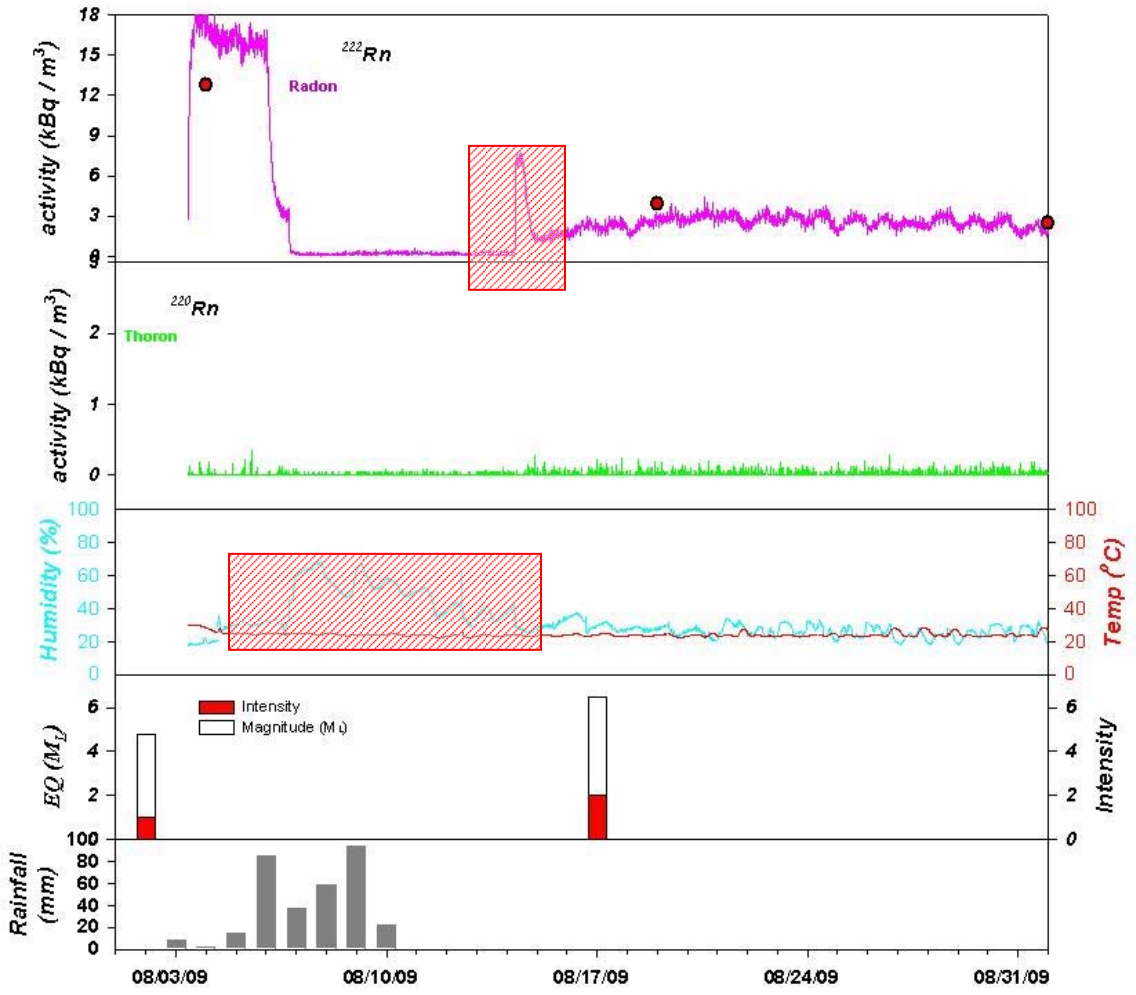


圖 2-12：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果（2009/08/01- 2009/08/31）。

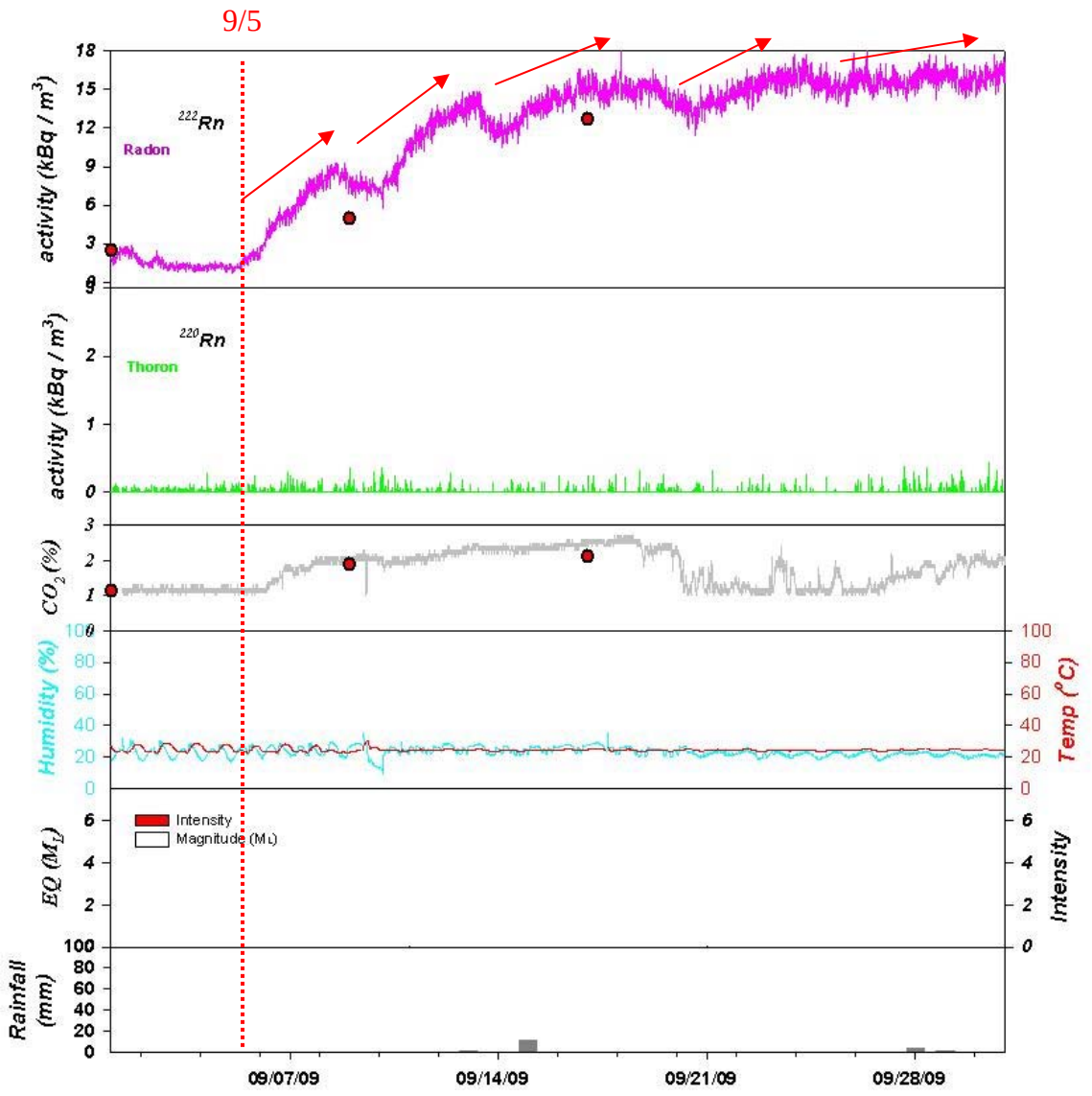


圖 2-13：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果（2009/09/01- 2009/09/30）。

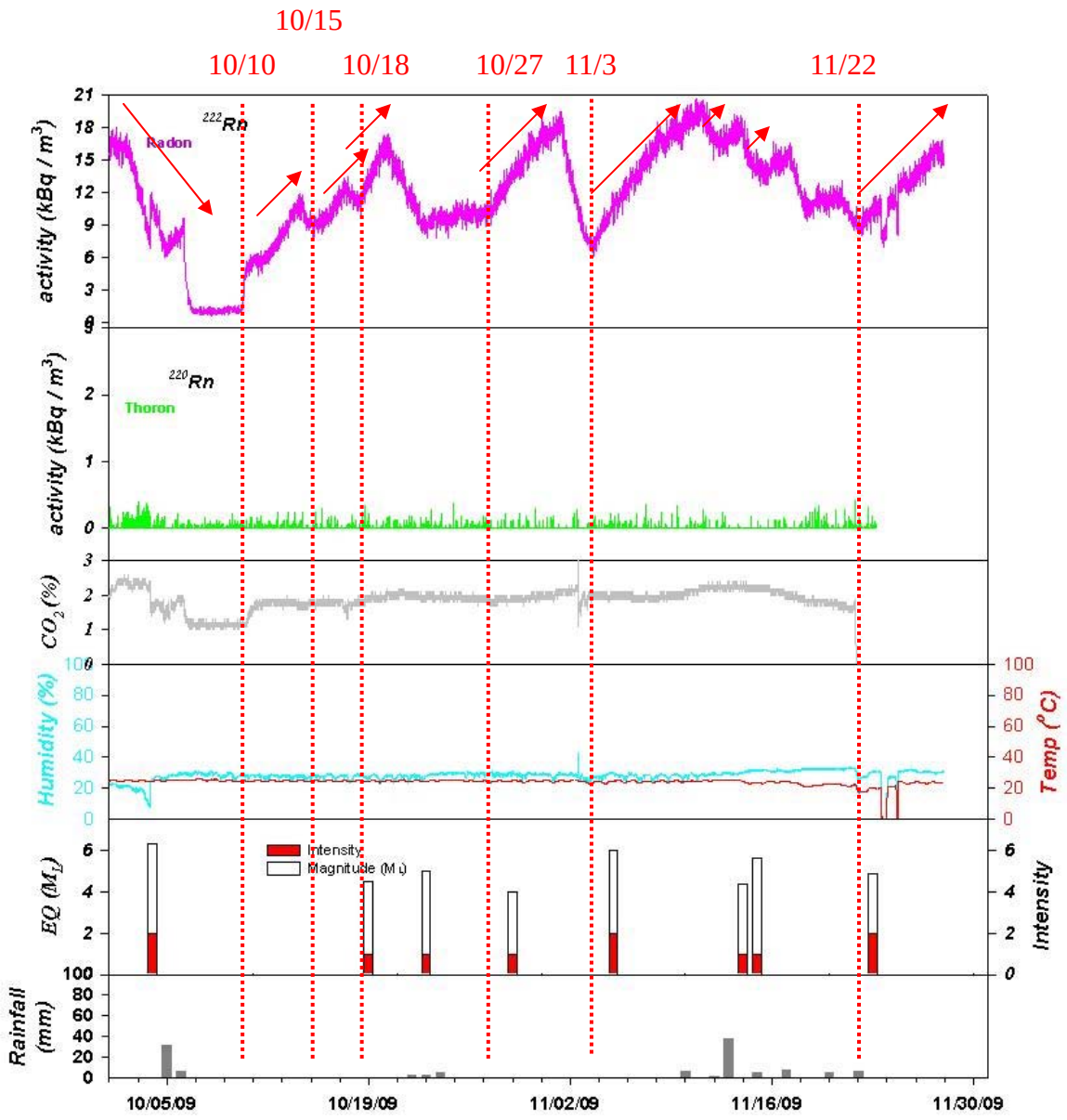
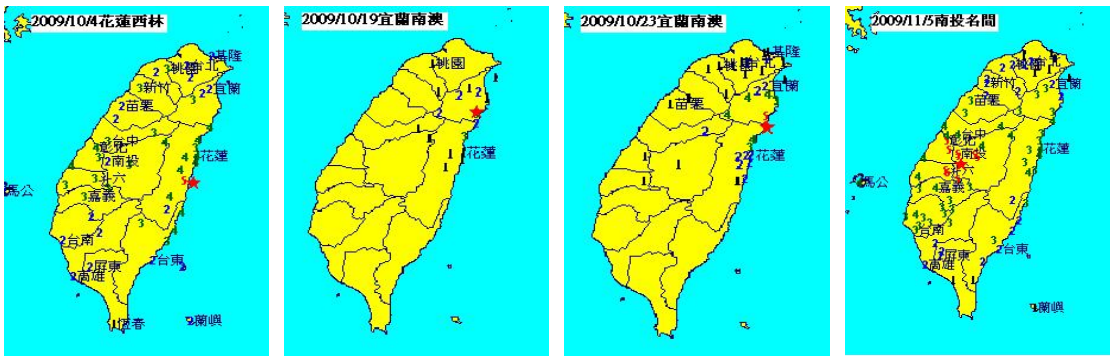


圖 2-14：新竹大平地土壤氣氡氣成份連續變化與溫度、溼度、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/10/01- 2009/11/30）。



2-3 嘉義梅山土壤氣體觀測站

2-3.1 土壤氣體連續觀測結果

圖 2-15 至圖 2-29 為嘉義梅山觀測站 2008 年 11 月至 2009 年 11 月的連續觀測結果。圖 2-15 是總圖表（2008 年 11 月至 2009 年 11 月）。圖 2-18 至圖 2-29 是分月圖表。圖 2-18 是 2008 年 11 月的觀測結果，11 月 8 日至 11 月 10 日，由於降雨量過大關係，造成水氣增加、溼度上升，導致氡氣分析儀無法有效紀錄，造成氡氣值及二氧化碳下降。11 月 18 日發生於嘉義市東北方的地震（規模 3.6，深度 10km，距離測站 5.3km），可惜的是氡氣及二氧化碳並無明顯變化。

圖 2-19 及圖 2-20 是 2008 年 12 月至 2009 年 1 月的觀測結果。其中從 12 月 12 日至 1 月 8 日，置於氡氣分析儀前端用來排除水氣的電子式氣體乾燥器故障結冰，阻塞進氣管道，不但溼度上升也造成氡氣分析儀抽不到氣，氡氣濃度降至空氣背景值。而 11 月 29 日至 12 月 2 日，氡氣濃度明顯的異常升高的變化，在 12 月 2 日凌晨發生於斗六市的地震（規模 2.8，深度 8.2km，距離測站 14.7km），應該可以確定是一次可信的前兆訊號，至於同日在此地震 11 小時之後發生於花蓮玉里的地震（規模 5.7，深度 31.7km），雖然造成台灣全島各地不等的震度，但由於發生時間太密集因此尚無法確定。而 12 月 7 日氡氣的濃度異常，則可能為 12 月 8 日發生於花蓮市外海地震（規模 5.9，深度 35.1km）的前兆訊息。此外，1 月 8 日拆除電子式氣體乾燥器後，溼度明顯下降，氡氣濃度也恢復到背景值，並且有升高的趨勢，至 1 月 11 日升到高點後下降，之後在 1 月 15 日於南投名間發生的地震（規模 3.1，深度 23km，震度 1 級）及在 1 月 17 日於台南東山發生的地震（規模 3.9，深度 12.2km，震度 1 級），可能與氡氣的異常升高變化有關。

圖 2-16 是編號 155 氡氣分析儀，分析時間自 2008 年 11 月 1 日至 2009 年 1 月 31 日。1 月 31 日至 3 月 4 日由於編號 155 的氡氣分析儀故障導致資料無法有效收集，至 3 月 4 日更換德國維修回來的編號 169 氡氣分析儀，始再能開始資料的收集與分析。圖 2-17 是編號 169 氡氣分析儀，分析時間自 2009 年 3 月 4 日至 2009 年 11 月 9 日。由兩圖比較氡氣濃度，編號 169 氡氣分析儀比編號 155 氡氣分析儀的分析結果，濃度略高約 5000Bq/m^3 左右，顯示編號 155 氡氣分析儀的結果需要進行進一步的校正。

圖 2-21 及圖 2-22 是 2 月及 3 月的觀測結果。其中 3 月 5 日至 3 月 9 日及 3 月 29 日的下雨影響，導致水氣增加，氡氣及二氧化碳皆呈現空氣值。測站內同步觀測的環境影響因子（溫溼度、雨量、大氣壓力），因為電腦當機無法有效運作，所以 3 月 22 日至 3 月 25 日沒有紀錄。氡氣在 3 月 10 日緩慢上升，至 3 月 15 日到達高點，之後緩慢下降，這段時間內發生於 3 月 16 日台南東山的地震（規模 3.6，深度 12.1km，距離測站 29.8km），其觀測站地震儀所測得的震度為 1 級，可能為一次可信的前兆訊號。

圖 2-23 至圖 2-26 是 4 月至 7 月的觀測結果。其中 4 月 14 日至 4 月 26 日，及 6 月 4 日以後，皆肇因於大雨影響，水氣與溼度上升，導致氡氣及二氧化碳逸氣通道常

受阻礙。4 月 20 日在氡氣分析儀前端放置一具電子式氣體乾燥器，溼度很明顯的下降。6 月 2 日發生於嘉義大埔的地震（規模 3.8，深度 12.8km，震度 2），氡氣及二氧化碳濃度並無明顯的變化。而發生在 6 月 18 日（嘉義大埔：規模 4.4，深度 6.6km，距離測站 19.4km）、6 月 19 日（嘉義大埔：規模 4，深度 15.6km，距離測站 19.5km）、6 月 22 日（嘉義市：規模 4.5，深度 7.7km，距離測站 25.3km）的三起地震且測站震度皆為 2 級，不過由於這段時間氡氣及二氧化碳濃度受濕度影響過甚，呈現劇烈的上下變化，無法進一步對比並解釋是否與這些地震活動有關。

7 月 7 日拆除故障的電子式氣體乾燥器。同步觀測的環境影響因子（溫溼度、雨量、大氣壓力），因為當地停電電腦無法運作，所以 6 月 21 日至 6 月 23 日、6 月 25 日至 7 月 1 日及 7 月 2 日至 7 月 7 日沒有資料紀錄。同樣由於濕度過高，致使氡氣濃度呈現劇烈的上下起伏，7 月 20 日更換電子式氣體乾燥器，隨後溼度明顯的降低，氡氣分析儀始恢復正常的反應。其中 7 月 24 日至 7 月 25 日這段時間，氡氣濃度突然從 20K 降至 10K，之後又回復到 20K，這氡氣濃度降低的異常變化，可能與之後在 7 月 26 日發生於南投名間的地震（規模 5.4，深度 13.3km，震度 2 級，距離測站 43.7km）有關，不過，這濃度降低的情形有別於本測站過去所呈現的變化，非常值得日後作進一步的探討。

圖 2-27 及圖 2-28 是 8 月及 9 月的觀測結果。氡氣濃度承續 7 月 22 日以來的高點，直到 8 月 3 日因大雨溼度影響而降至零，這零值維持一天，8 月 4 日氡氣濃度始恢復。但 8 月 9 日至 8 月 17 日又因莫拉克颱風大雨影響，導致測站停電，造成儀器無法運作。然本站地基於去年颱風已遭破壞，再加上這次的颱風肆虐，致始至 9 月初仍無法獲得有效的觀測資料。9 月 3 日恢復觀測而氡氣濃度值呈現一新背景值（5K），較颱風前的濃度值（15K）下降約 10K 左右。9 月 10 日至 9 月 24 日氡氣分析儀故障無法開機運作，因此這段時間無資料記錄。

圖 2-29 是 10、11 月的觀測結果。由於本月份無明顯降雨，因此 10、11 月的氡氣濃度反應大致維持在 5K，除了在 10 月 6 日氡氣下降維持一天的零值外，至資料擷取為止並無明顯的異常變化。

2-3.2 結論

梅山觀測站有數起造成氣體異常的地震事件被偵測到，這些地震大都發生在測站附近嘉義、雲林一帶，而部分則是發生在花蓮南部附近。在豪大雨期間，對於此觀測站會造成一定程度的影響，而土壤氡氣濃度變化也常會受到土壤濕度的影響。

去年(97)八月起由於豪大雨和颱風的關係造成觀測站基部淹水，這段時間雖在觀測站附近以替代點連續分析，不過氣體的變化依舊過大，因此考慮另尋其他地點來取代原梅山觀測站，目前已在原觀測站北方，同樣位在九芎坑斷層帶沿線附近設置一新觀測站。

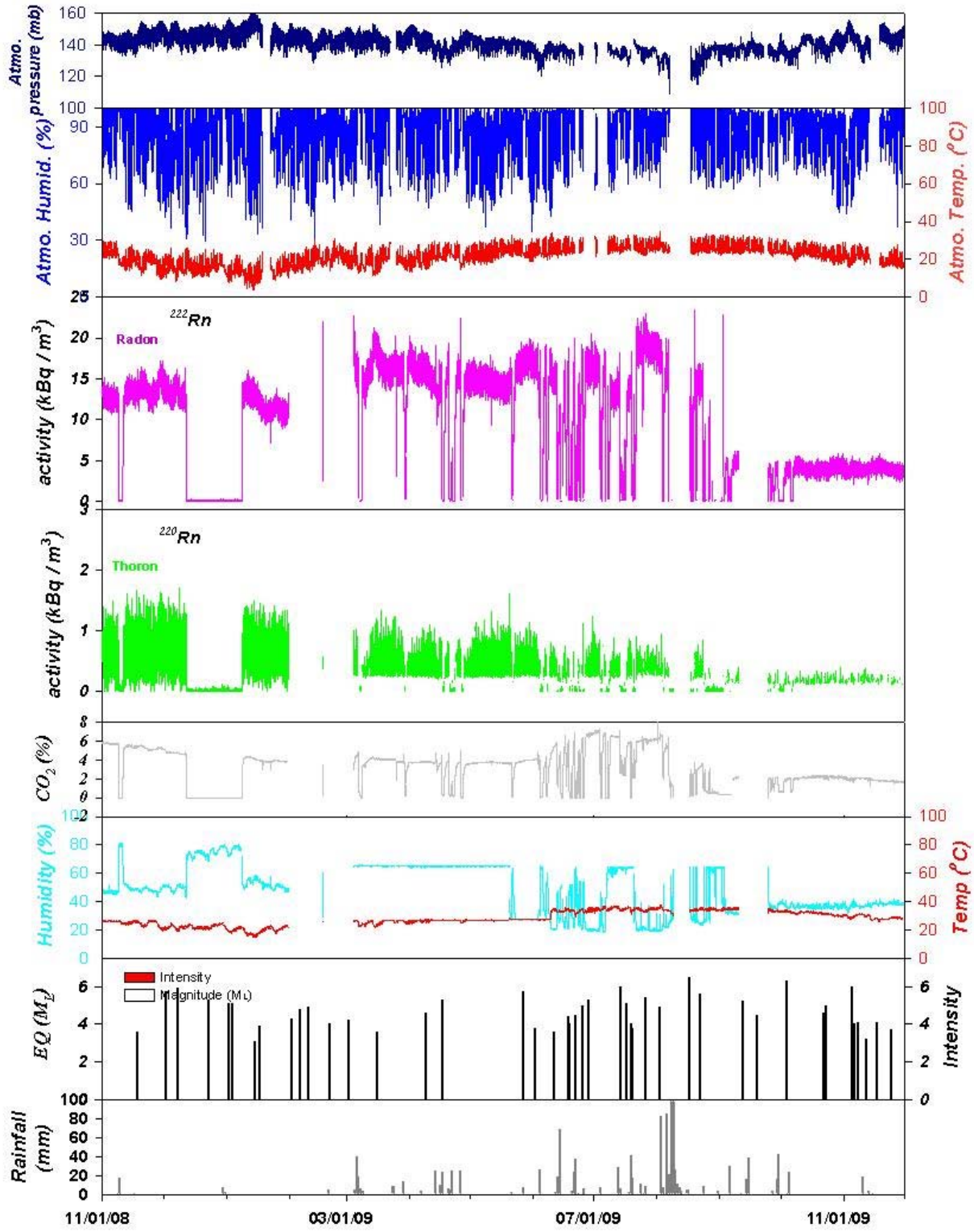


圖 2-15：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/11/01- 2009/11/30）。

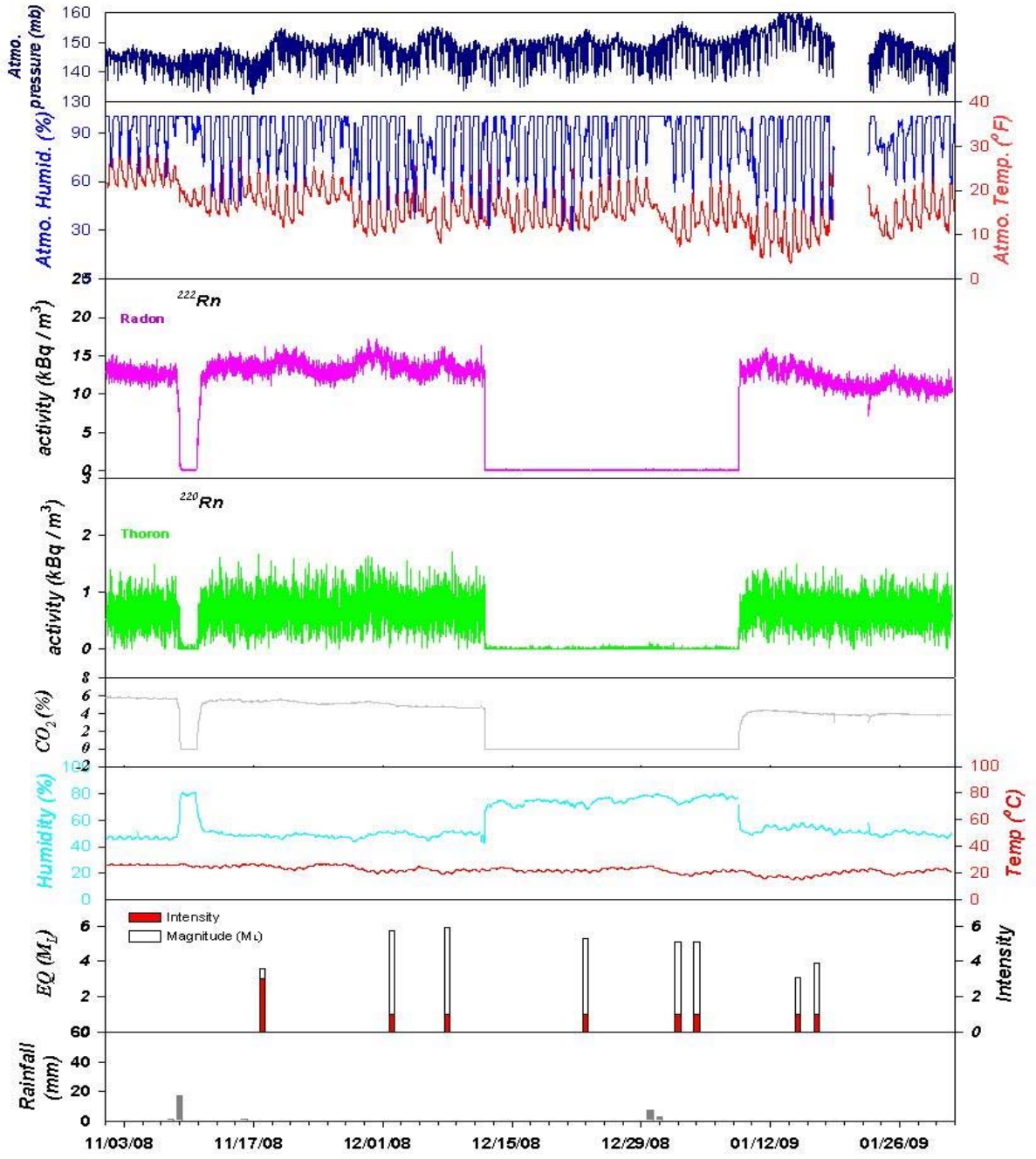


圖 2-16：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/11/01- 2009/01/31）。

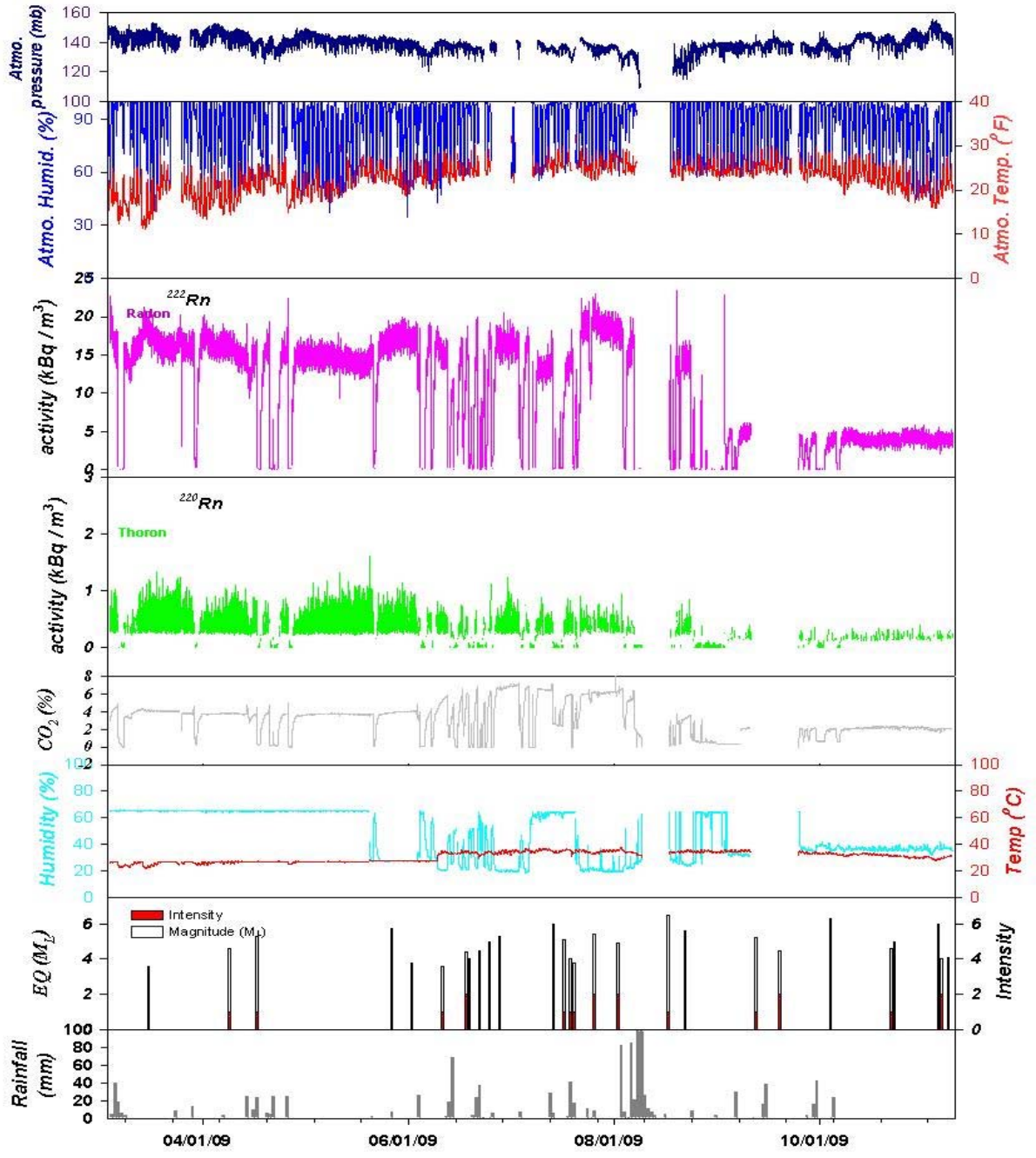


圖 2-17：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/03/04-2009/11/09）。

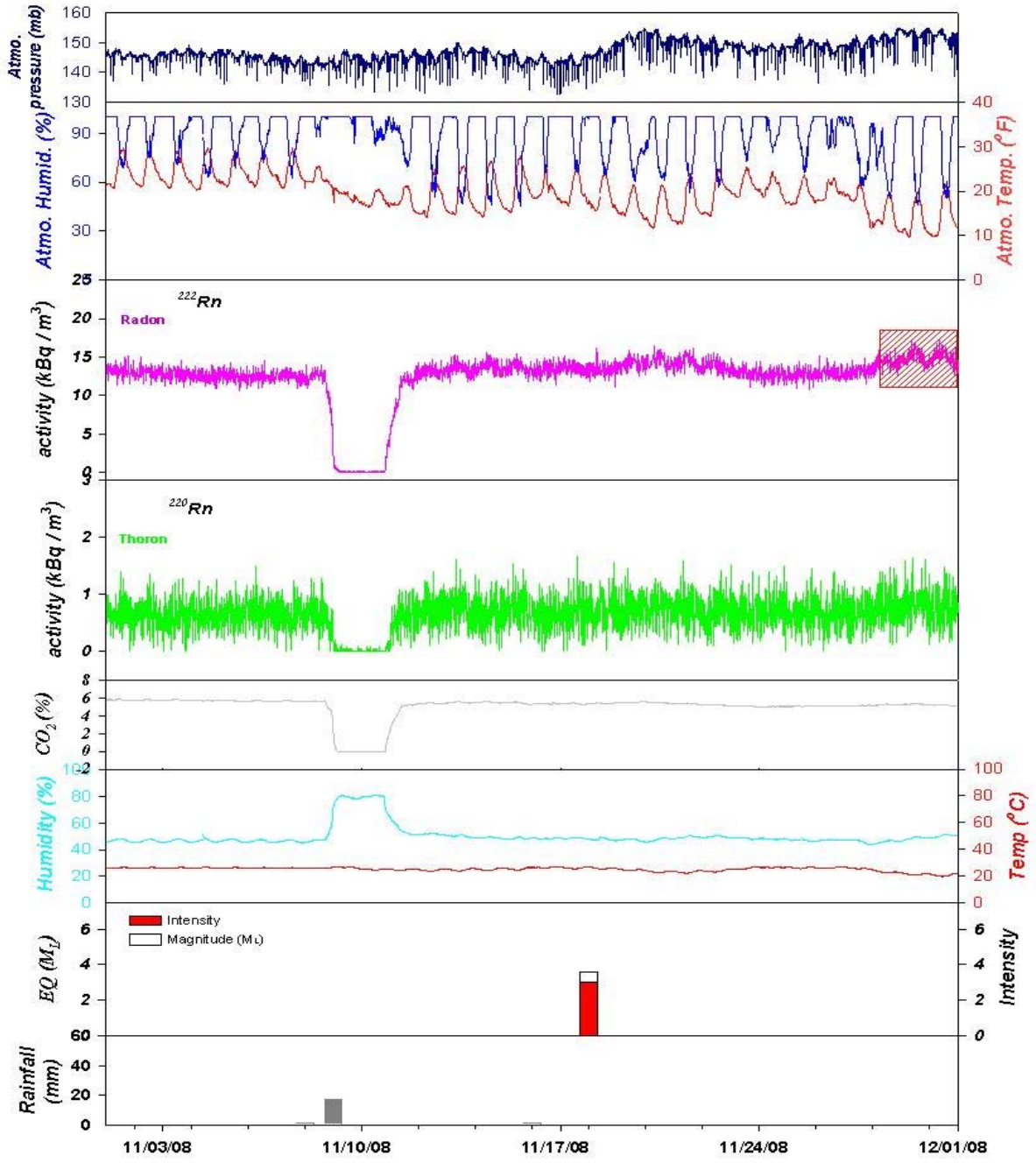


圖 2-18：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅框為異常值區間（2008/11/01-2008/11/30）。

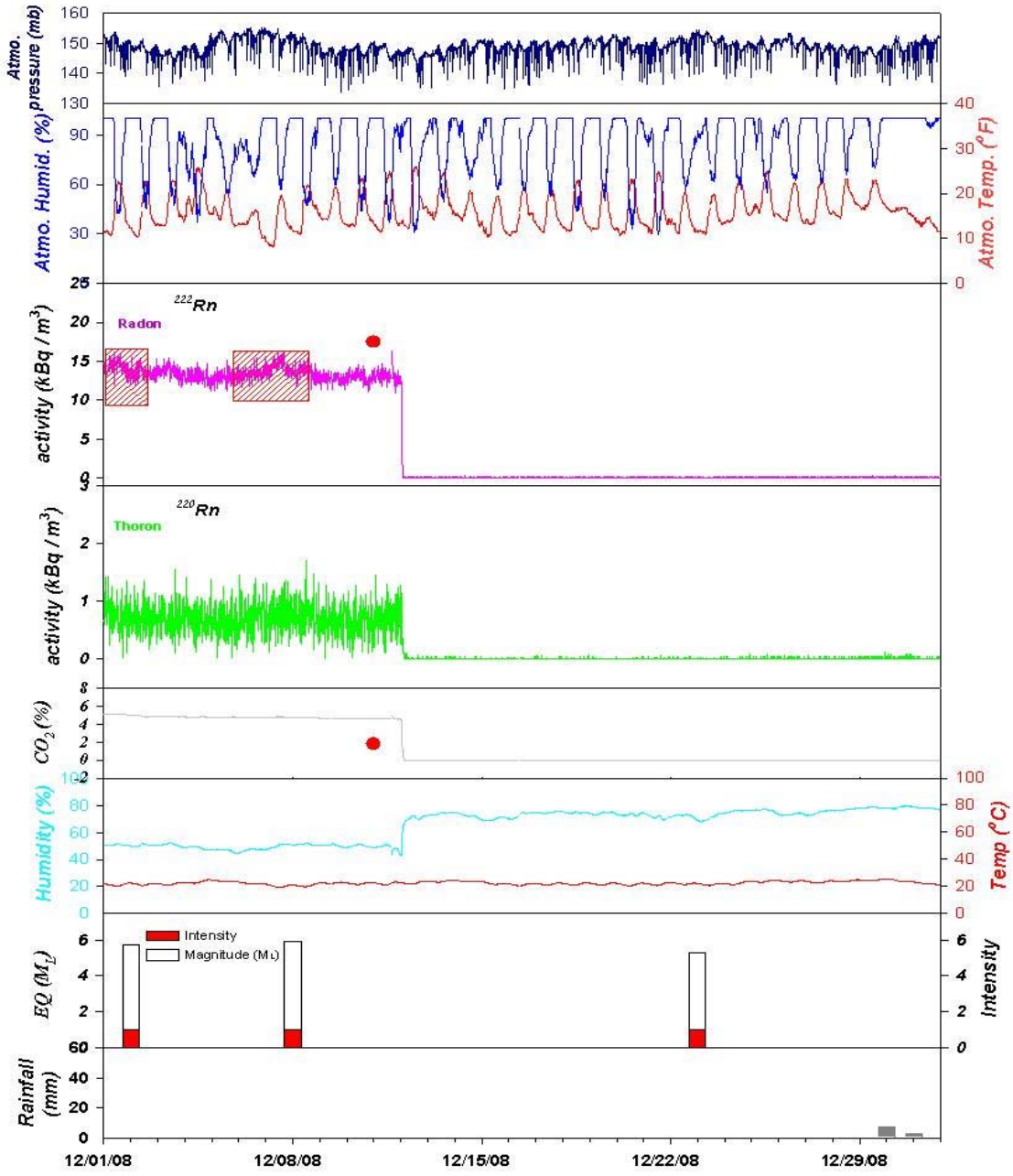
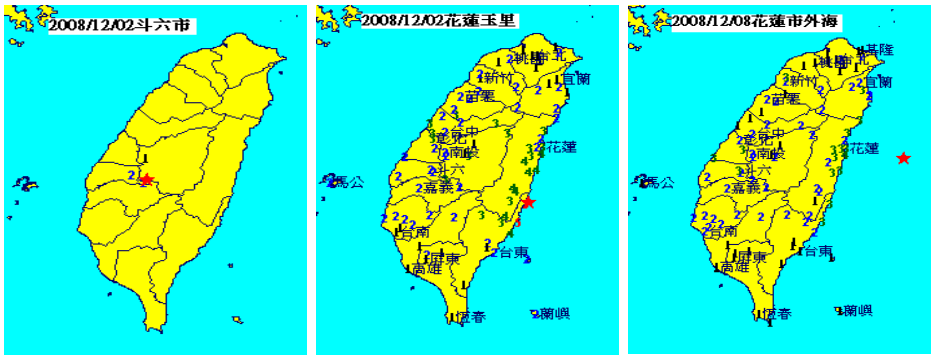


圖 2-19：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果；紅框為異常值區間（2008/12/01- 2008/12/31）。



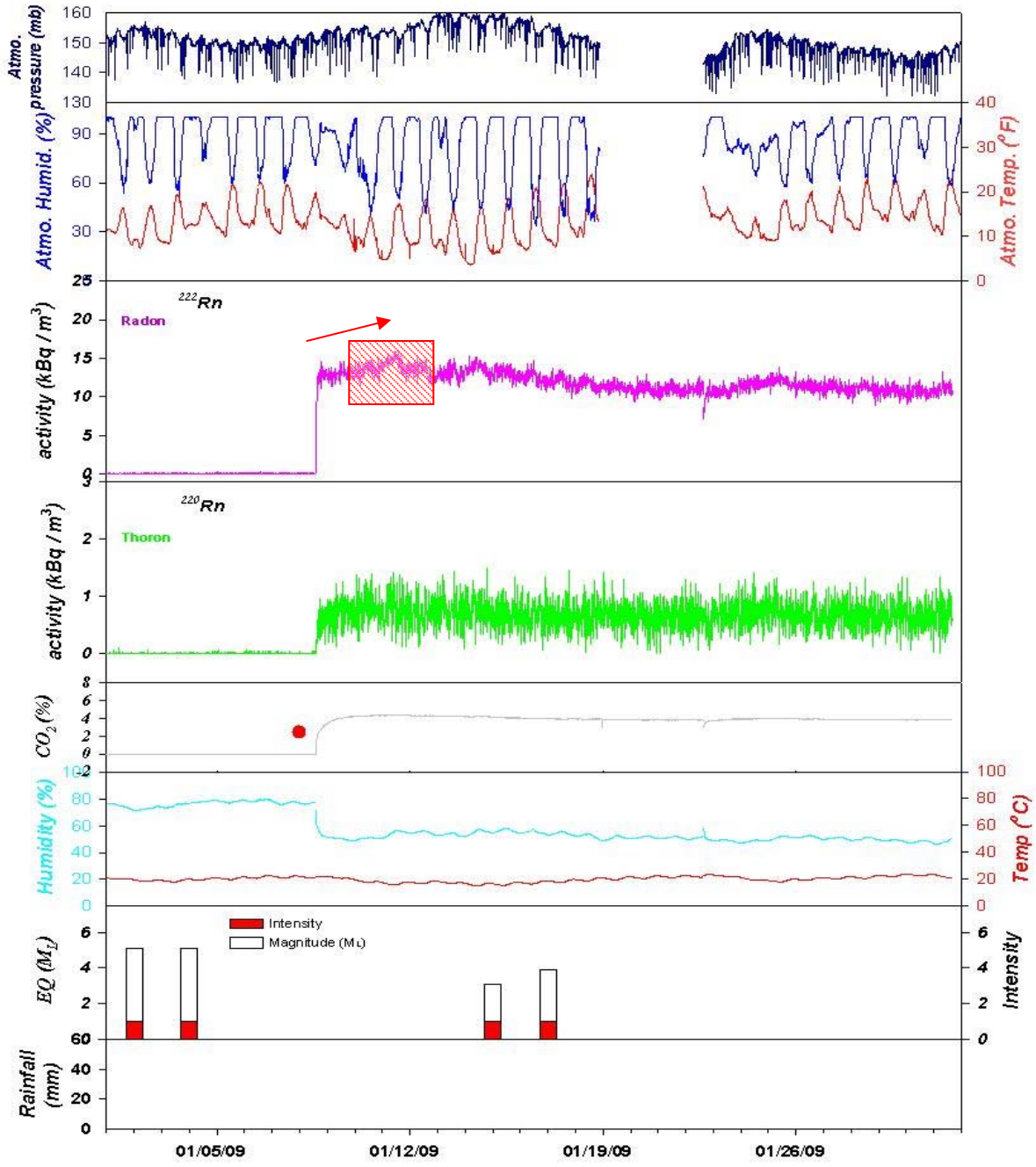
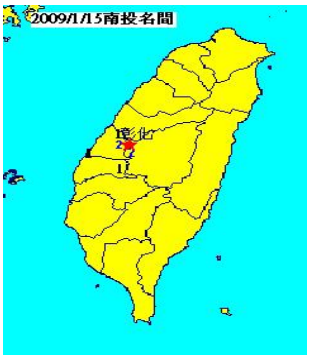
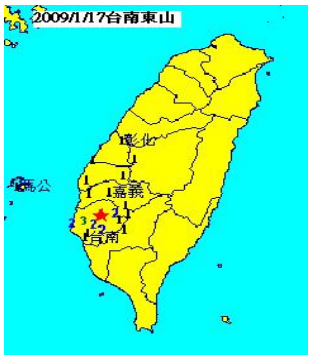


圖 2-20：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅框為異常值區間（2009/01/01-2009/01/31）。





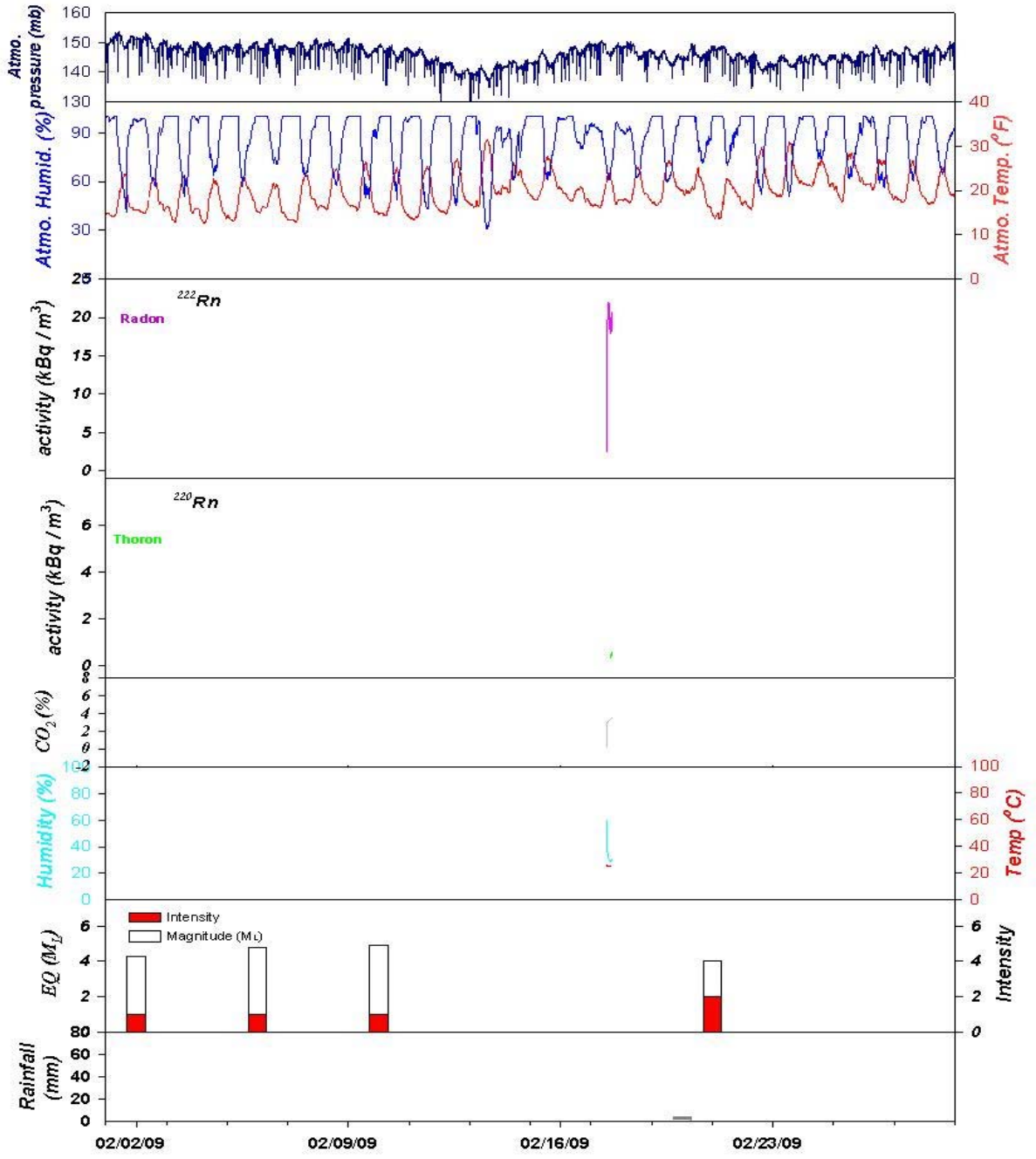


圖 2-21：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/02/01- 2009/02/28）。

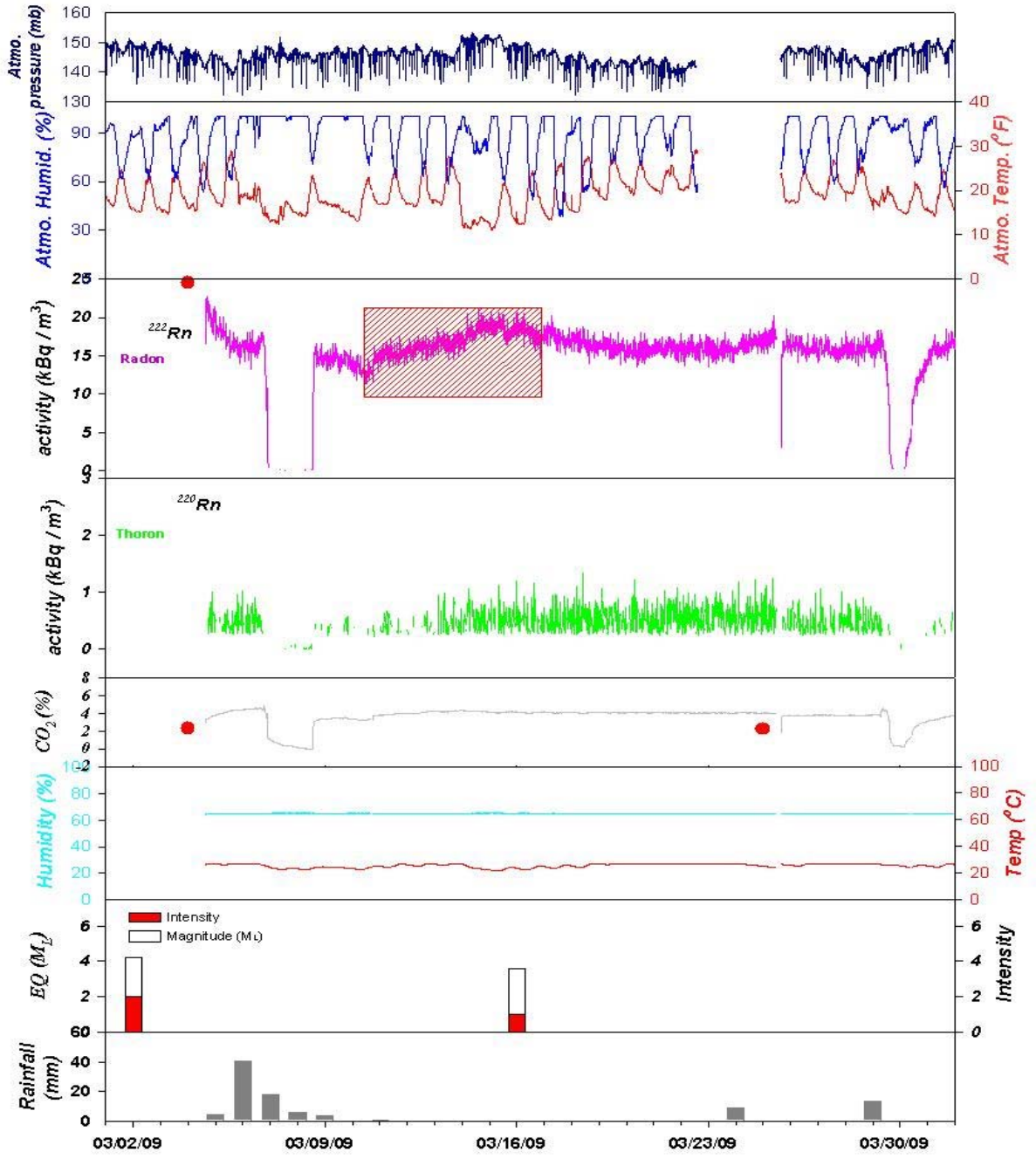
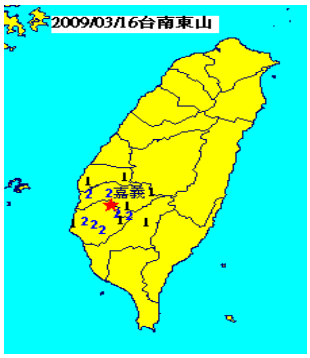


圖 2-22：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果；紅框為異常值區間（2009/03/01- 2009/03/31）。



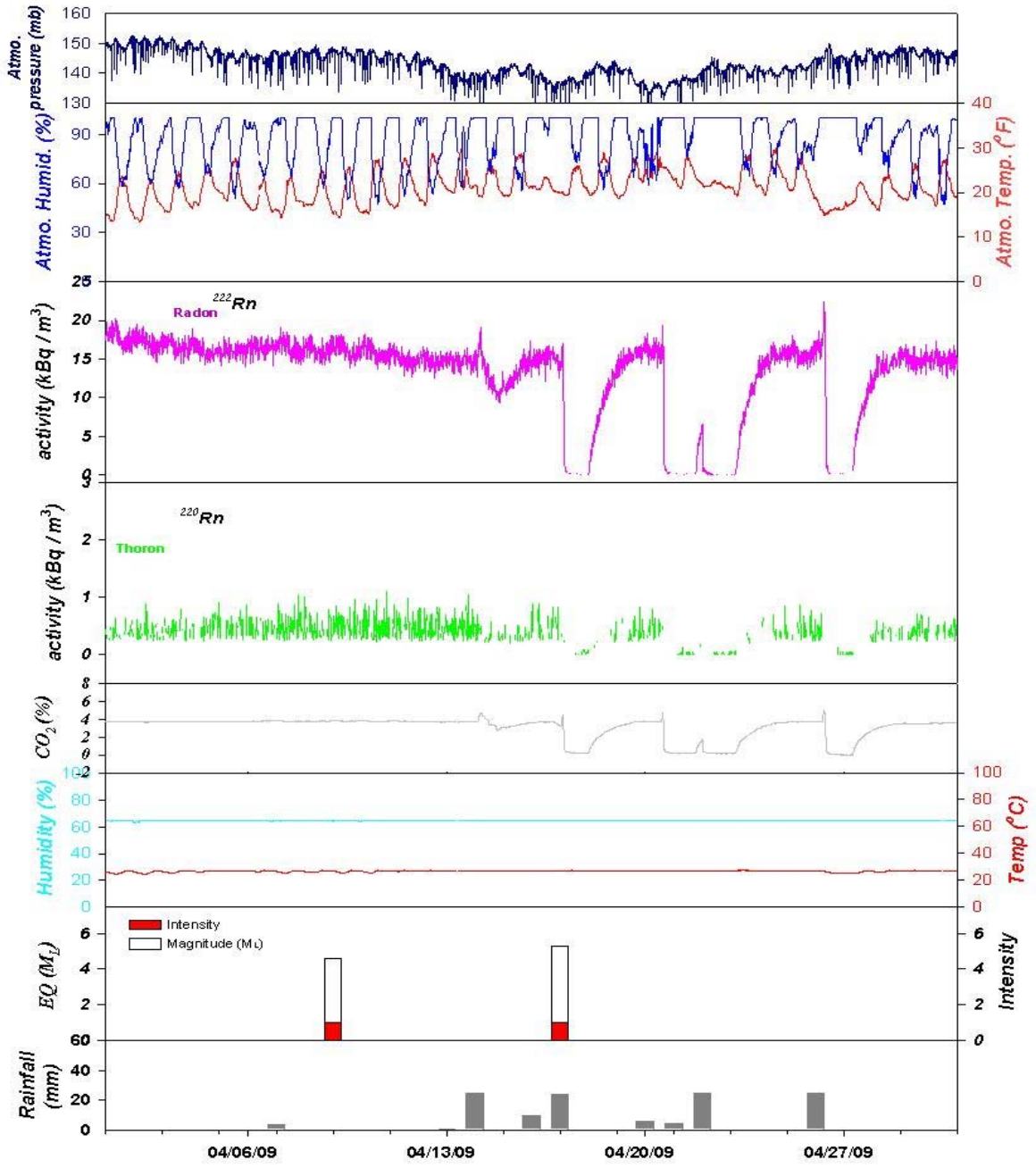


圖 2-23：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/04/01- 2009/04/30）。

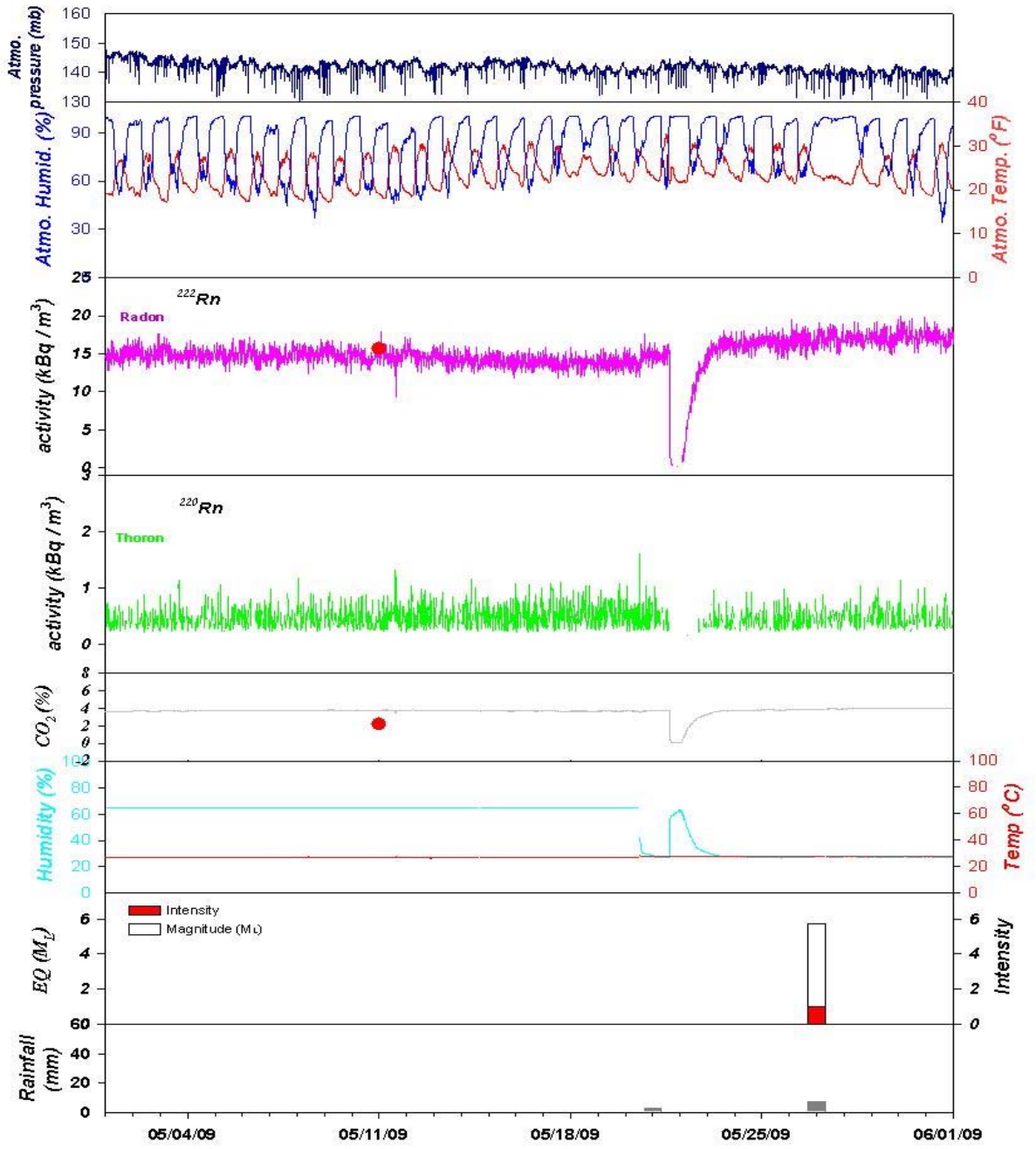


圖 2-24：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果（2009/05/01- 2009/05/31）。

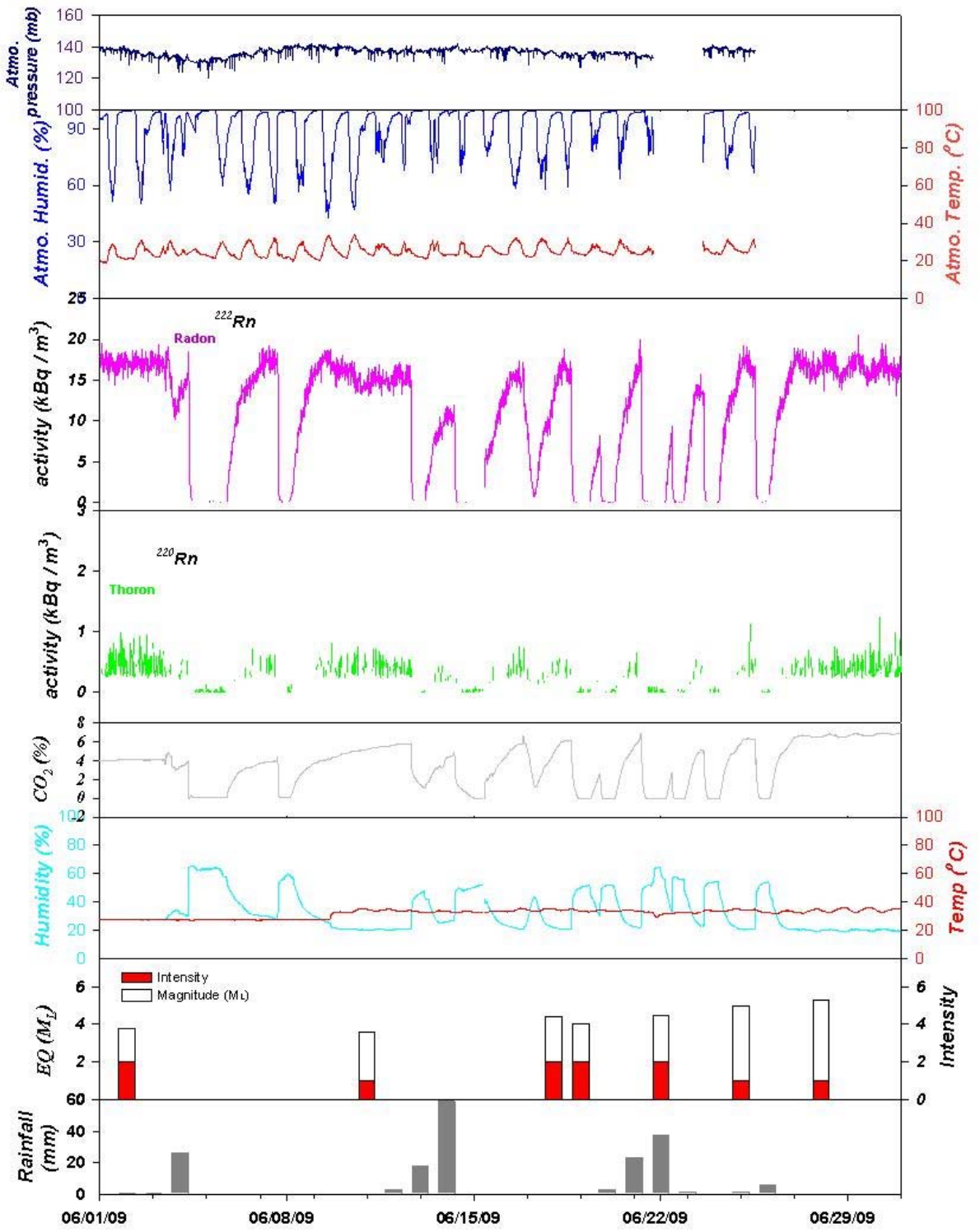


圖 2-25：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/06/01-2009/06/30）。

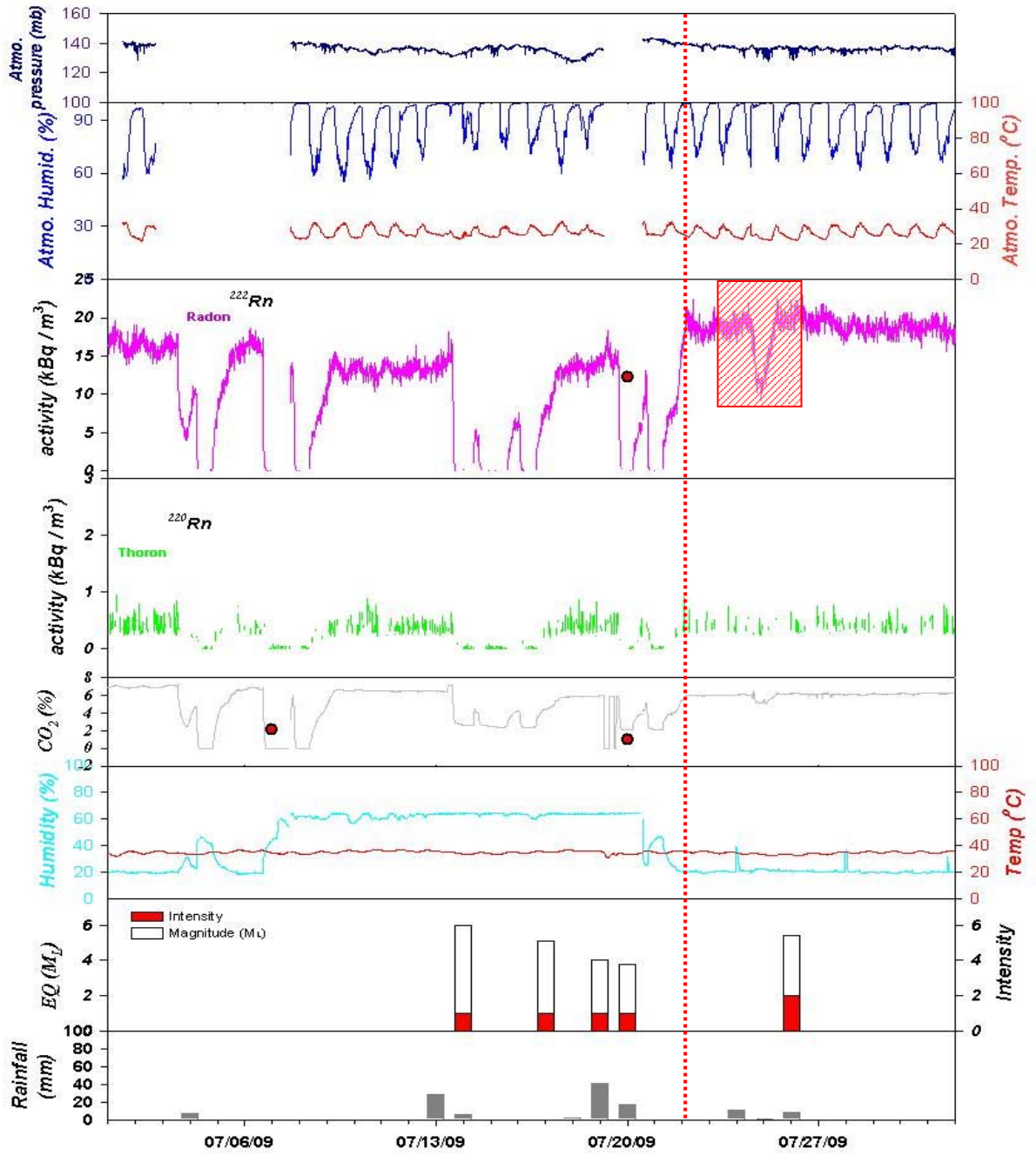


圖 2-26：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅框為異常值區間（2009/07/01-2009/07/31）。



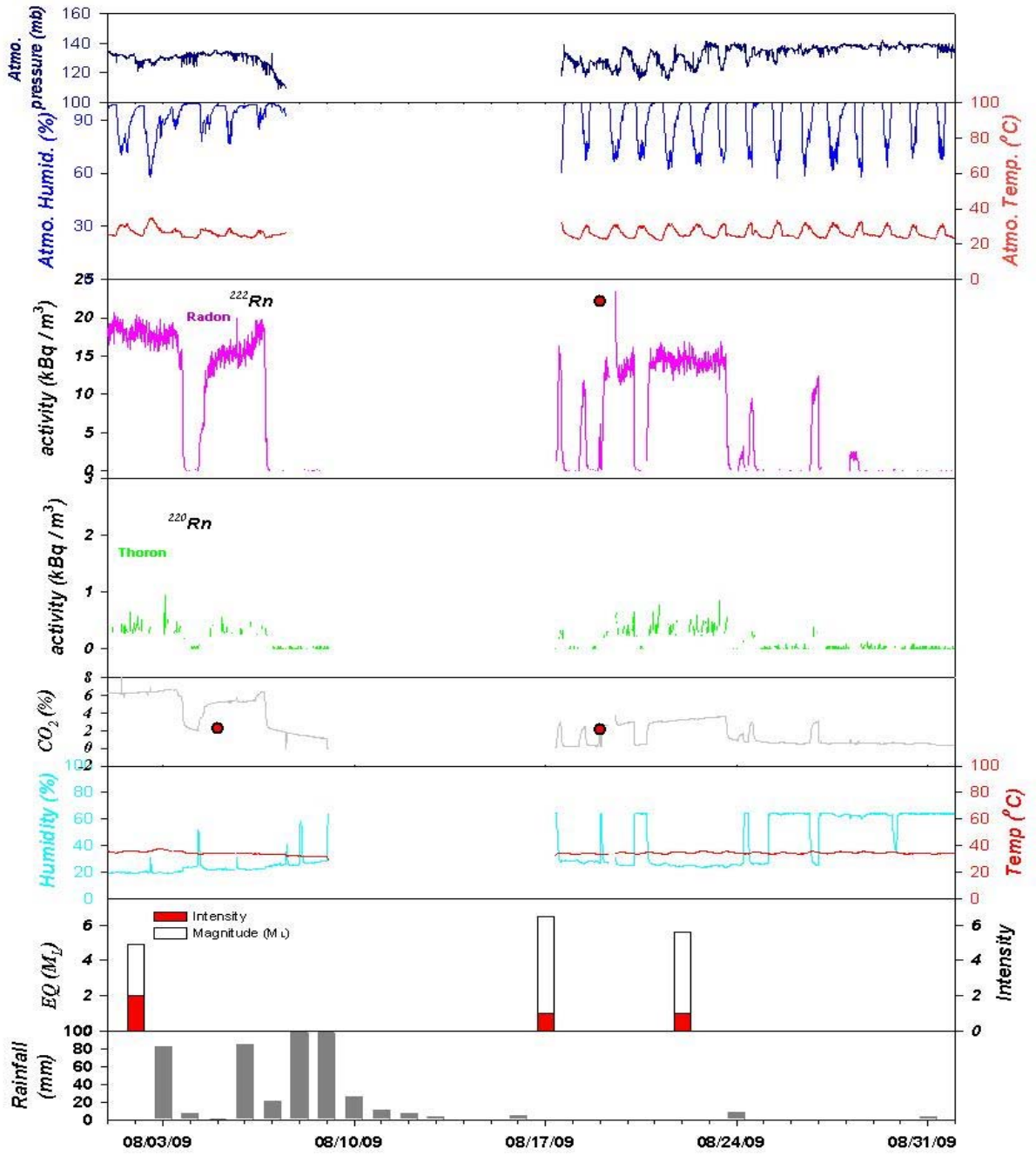


圖 2-27：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2009/08/01-2009/08/31）。

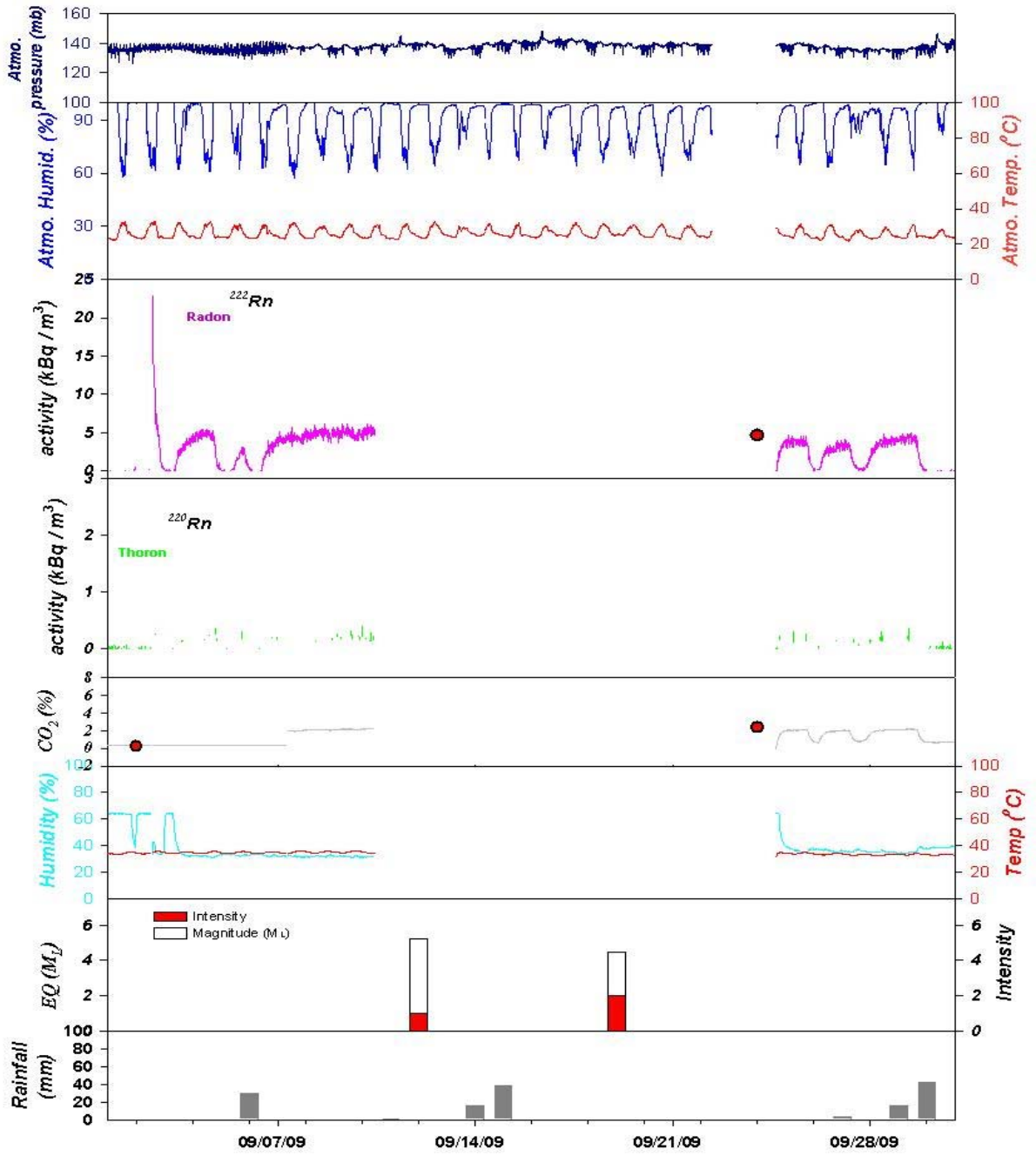


圖 2-28：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2009/09/01-2009/09/30）。

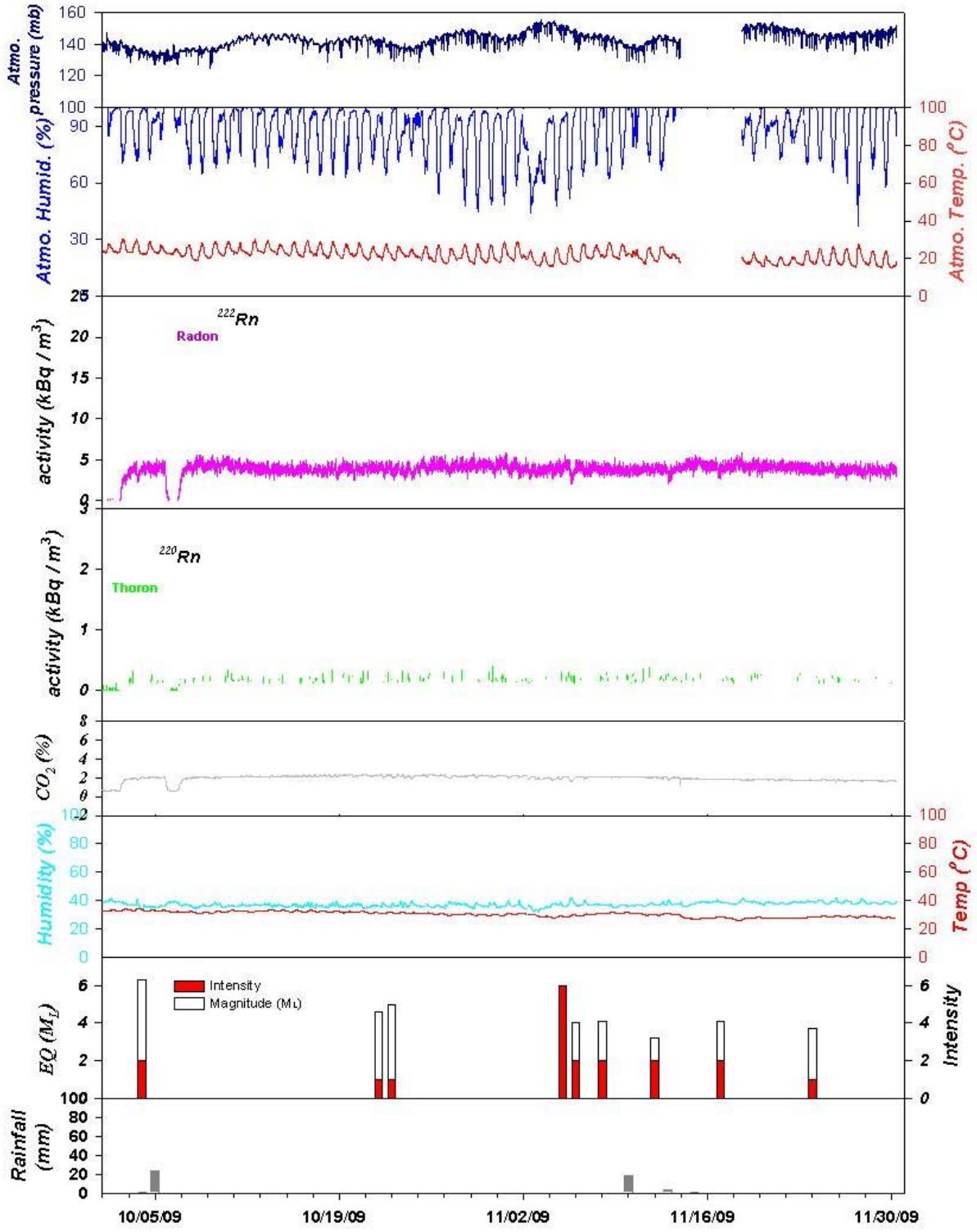


圖 2-29：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/10/01-2009/11/30）。

2-3.3 嘉義梅山觀測站替代點

由於去年（2008）8 月份的颱風及豪大雨關係，造成觀測站基部積水，又因積水使基部地質脆弱並隨著大雨侵襲漸漸掏空基部,所以目前暫時在觀測站附近以臨時替代點來進行土壤氣體連續分析,不過替代點的氣體的變化仍常受到水氣或是間歇性的積水造成觀測品質不良，因此考慮另尋其他合適地點來取代原嘉義梅山觀測站。

自去年（2008）10 月以來，在原觀測站北方的古坑地區，同樣位於九芎坑斷層帶附近進行初探，以便未來提供新觀測站地點的評選考量，如圖 2-30。人工採樣採集一大袋（3Liter）做氡氣濃度分析，一小袋（1Liter）做主要氣體成份分析，而分析結果如表 2-2 所示。

由表 2-2 發現，GK1 至 GK-3，GK-1 的土壤氡氣濃度大致上維持在 22000（Bq/m^3 ~ 27000（Bq/m^3），尚稱平穩，二氧化碳濃度也在 4~5%，GK-1 的採樣分析結果應是成功的。GK-2 的土壤氡氣則顯得起伏甚大，低的有 9000（Bq/m^3），高的有 61000（Bq/m^3），但近兩次採樣結果氡氣濃度都在 41000（Bq/m^3），二氧化碳也在 4%以上。GK-3 的氡氣濃度亦是高低互見，但是二氧化碳卻較其他兩點高許多，同時亦有少量的甲烷。再由表 2-2（續）觀察 GK-a 至 GK-c，Gk-a 至 GK-c 等三點位在 GK-3 上方平台梯地上，土壤氡氣濃度以 GK-c 較高，GK-b、GK-c 相近；二氧化碳部分亦是 GK-c 較高。綜觀以上 6 個採樣點，GK-3 在二氧化碳濃度與甲烷均較其他點高，雖然氡氣每次採樣分析結果差異大，但有可能是實際土壤氣體反應。GK-1 有穩定的二氧化碳濃度，氡氣的分析也很一致，但與 GK-3 位在小公園內，且腹地不大，不適合怪手開挖，實際設站可能性低；GK-a~GK-c 相較於其他點二氧化碳濃度偏低，氡氣濃度分布平均；GK-2 如以近兩次採樣結果來看，似乎是可以考慮的設站地點。

於現地觀察地形，發現 GK-2 旁是斜坡地帶，擔心下雨後雨水會積聚在觀測站所在平地上，影響氡氣的逸氣來源，因此捨棄 GK-2，改以次要點 GK-3 代替。由於用地取得非常費時，終於在 10 月 22 日施工。圖 2-31 至圖 2-40 為施工至完工照片。

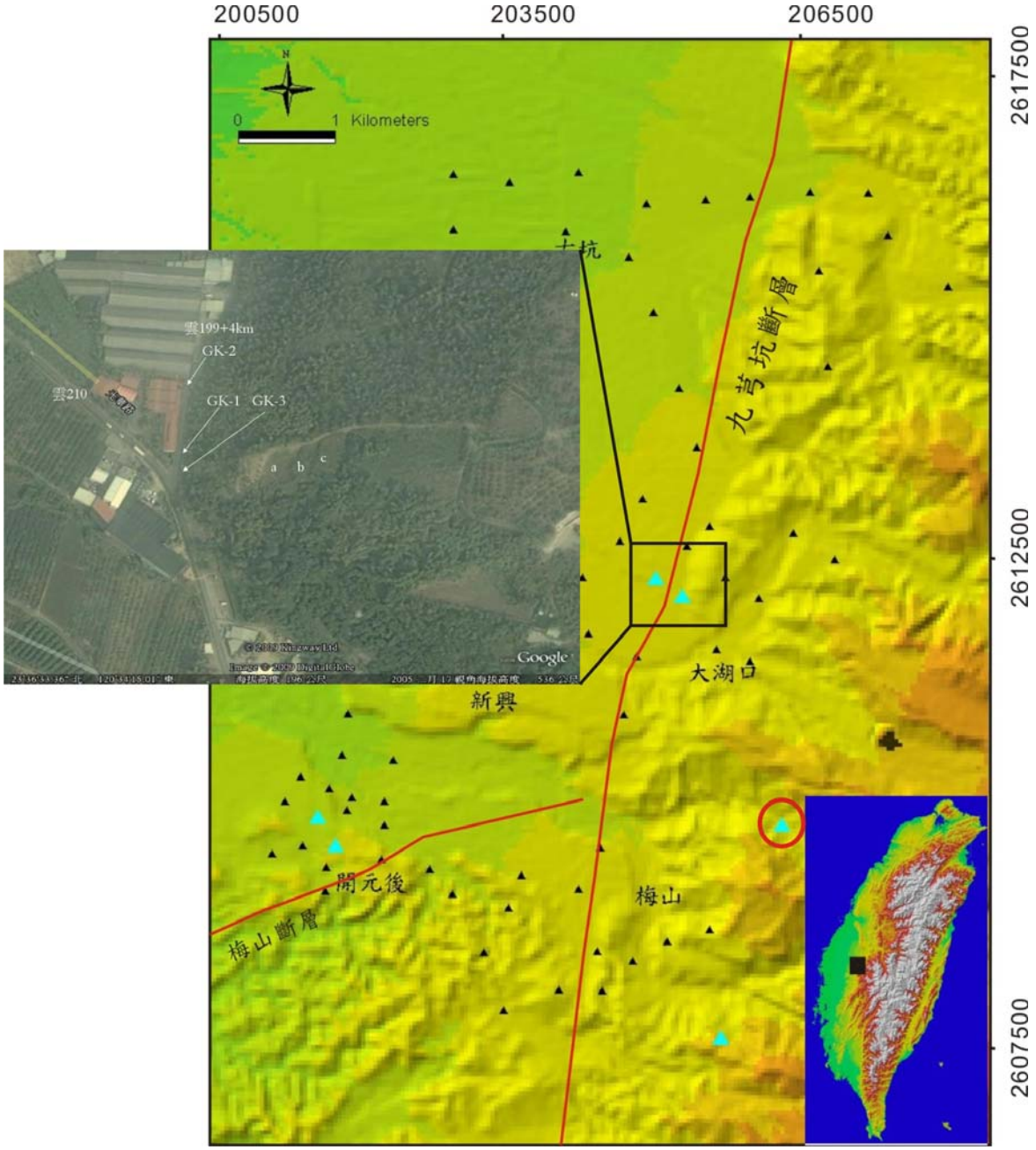


圖2-30：嘉南梅山觀測站附近適合遷站位置。藍色三角形為土壤氣初探之氡氣濃度異常分佈位置；黑圈框標示了可能適合遷站的位置。其中實心三角形為調查採樣點；紅色圈為原梅山觀測站位置。

表 2-2：古坑地區人工採樣土壤氣體成份表

Date-Sample-No.	N2+CO	O2+Ar	CO2	CH4	C2H6	Total	Rn(Bq/m3)
081003GK-1	86.94%	8.33%	4.73%	0.00%	0.00%	100%	22104
081030GK-1	78.96%	16.05%	4.97%	0.01%	0.00%	100%	7685
081211GK-1	78.15%	16.69%	5.16%	0.00%	0.00%	100%	27981
090108GK-1	79.55%	16.03%	4.42%	0.00%	0.00%	100%	25373
090304GK-1	79.44%	16.67%	3.89%	0.00%	0.00%	100%	22097
081003GK-2	79.15%	20.80%	0.05%	0.00%	0.00%	100%	61131
081030GK-2	79.93%	16.04%	4.01%	0.03%	0.00%	100%	29914
081211GK-2	78.96%	19.97%	1.07%	0.00%	0.00%	100%	12375
090304GK-2	79.07%	19.89%	1.04%	0.00%	0.00%	100%	17992
090511GK-2	80.12%	16.37%	3.51%	0.00%	0.00%	100%	33965
090521GK-2	77.56%	20.33%	2.11%	0.00%	0.00%	100%	17085
090606GK-2	81.51%	14.24%	4.25%	0.00%	0.00%	100%	41436
090707GK-2	82.64%	10.13%	7.22%	0.00%	0.00%	100%	41997
090720GK-2	83.68%	10.05%	6.27%	0.00%	0.00%	100%	64239
090805GK-2	82.94%	7.89%	9.17%	0.00%	0.00%	100%	80681
090819GK-2	88.36%	4.82%	6.82%	0.00%	0.00%	100%	108542
090902GK-2	86.17%	6.28%	7.55%	0.00%	0.00%	100%	81352
081003GK-3	86.75%	6.57%	5.39%	1.29%	0.00%	100%	50628
081030GK-3	76.34%	1.30%	14.88%	7.48%	0.00%	100%	17881
081211GK-3	84.83%	3.39%	10.87%	0.92%	0.00%	100%	5837
090108GK-3	86.44%	3.03%	10.33%	0.21%	0.00%	100%	25264
090304GK-3	85.40%	2.11%	12.45%	0.04%	0.00%	100%	13243
090720GK-3	79.76%	10.89%	8.15%	1.19%	0.00%	100%	18147
090805GK-3	62.49%	21.33%	16.18%	0.00%	0.00%	100%	20791
090819GK-3	82.26%	9.78%	7.96%	0.00%	0.00%	100%	22924
090902GK-3	78.13%	9.60%	9.79%	2.48%	0.00%	100%	22945

表 2-2（續）：古坑地區人工採樣氣體成份表

Date-Sample-No.	N2+CO	O2+Ar	CO2	CH4	C2H6	Total	Rn(Bq/m3)
090326GK-a	78.76%	20.06%	1.18%	0.00%	0.00%	100%	27464
090420GK-a	79.57%	19.29%	1.13%	0.00%	0.00%	100%	23281
090511GK-a	79.92%	18.68%	1.39%	0.00%	0.00%	100%	No data
090326GK-b	77.58%	20.86%	1.54%	0.02%	0.00%	100%	24197
090420GK-b	79.65%	18.62%	1.73%	0.00%	0.00%	100%	28223
090326GK-c	78.83%	19.89%	1.28%	0.00%	0.00%	100%	17823
090420GK-c	80.06%	18.08%	1.86%	0.00%	0.00%	100%	37340
090511GK-c	74.97%	22.59%	2.44%	0.00%	0.00%	100%	27421



圖 2-31：觀測站整地。



圖 2-32：長、寬 2m，深 2.8m。



圖 2-33：兩支 3 吋 4m 長及一支半吋 4m 長 PVC 管。



圖 2-34：底下鋪上鵝軟石。



圖 2-35：三支 PVC 管直立於鵝軟石上。



圖 2-36：於鵝軟石上鋪上防水帆布。



圖 2-37-1：覆土完成。



圖 2-37-2：再蓋上一層帆布。



圖 2-38-1：地基灌水泥。



圖 2-38-2：地基完成。



圖 2-39：新觀測站遠照。



圖 2-40：新觀測站近照。

2-4 台南二溪土壤氣體觀測站

圖 2-41 至圖 2-53 為台南二溪觀測站 2008 年 11 月至 2009 年 11 月的連續觀測結果。圖 2-41 是總圖表（2008 年 11 月至 2009 年 11 月）。圖 2-42 至圖 2-53 是分月圖表。其中測站同步觀測的環境影響因子（溫溼度、雨量、大氣壓力），由於儀器故障，造成 11 月 1 日至 12 月 2 日沒有資料；另外 12 月 12 日至 12 月 16 日，3 月 9 日至 3 月 25 日，6 月 1 日至 6 月 2 日，6 月 15 日至 6 月 20 日，8 月 22 日至 9 月 2 日因為電腦當機，無法同步紀錄資料。土壤氡氣分析部分，在 2 月 4 日至 2 月 17 日，氡氣分析儀送回研究室進行校正，因此無資料記錄；5 月 28 日至 6 月 2 日，因儀器發生故障，因此無資料記錄。

圖 2-42 至圖 2-46 是 2008 年 11 月至 2009 年 3 月的觀測結果，觀察土壤氡氣部分，發現這 5 個月的土壤氣體濃度呈現平穩的趨勢；在 12 月 7 日凌晨測站紀錄到兩起嘉義大埔的地震（一起是規模 3.8，深度 9.3km，震度 2 級，距離測站 18.6km；一起是規模 3.5，深度 9km，震度 1 級，距離測站 19.6km），不過氡氣濃度並無明顯變化。

在 2009 年 1 月至 3 月期間，亦測得多起發生於測站附近的地震，如 1 月的三起地震，分別是 1 月 11 日發生於台南市的地震（規模 3.8，深度 15km，震度 2 級）、1 月 17 日發生於台南東山的地震（規模 3.9，深度 12.2km，震度 3 級）、1 月 22 日發生於高雄甲仙的地震（規模 4.0，深度 18.3km，震度 3 級）；2 月 19 日發生於台南東山的地震（規模 2.9，深度 7.4km，震度 1 級）；3 月 16 日發生於台南東山的地震（規模 3.6，深度 12.1km，震度 2），觀察土壤氡氣濃度皆沒有明顯的異常變化，而呈現平穩的趨勢。

圖 2-47 是 4 月的觀測結果。4 月 16、17 兩日降雨影響使土壤氣溼度於 4 月 20 日上升，觀察土壤氡氣濃度並非與之前隨溼度上升氡氣濃度即下降，反而與溼度呈現正相關，隨著溼度上升氡氣濃度也上升，氡氣在 4 月 27 日之後達成平衡。圖 2-48 是 5 月的觀測結果。本月份土壤氡氣濃度呈現三階段變化，5 月 11 日之前為第一階段，5 月 11 日至 5 月 20 日為第二階段，5 月 20 日至 5 月 28 日為第三階段。第一、第二階段溼度呈現平穩狀態，氡氣濃度則在 5 月 11 日下降，經過一段平穩時間，在 5 月 20 日拆除結冰的電子式氣體乾燥器，溼度隨即下降，土壤氡氣濃度也隨之下降。這三階段中，觀測站測得四起震度皆為 1 級的地震，分別是 5 月 5 日發生於台南氫山的地震（規模 3.3，深度 11.7km）、5 月 12 日發生於高雄甲仙的地震（規模 3.8，深度 10.2km）、5 月 21 日發生於台南市的兩起地震（規模 3.3，深度 16.4km；規模 3.1，深度 15.2km）、5 月 27 日發生於高雄外海的地震（規模 5.7，深度 55.1km）。其中，5 月 11 日氡氣濃度的下降變化可能與 5 月 12 日發生於高雄甲仙的地震有關，這需要日後更多的資料進行進一步的討論。

圖 2-49 至圖 2-53 是 6 至 11 月的觀測結果。6 月份受到大雨影響，氡氣分析儀無法正常反應土壤氡氣變化，因此資料呈現劇烈上下起伏。這期間發生了三起地震，6 月 18 日發生於嘉義大埔的地震（規模 5.1，深度 6.6km）、6 月 19 日發生於嘉義大埔的地

震（規模 4.2，深度 15.6km）、6 月 22 日發生於嘉義市的地震（規模 4.8，深度 7.7km），皆距離測站約 43km 以內，然卻因雨量影響而無較佳的觀測資料予以比對。而 6 月 4 日重新裝上電子式氣體乾燥器之後，6 月 19 日又發現接在氡氣分析儀前端的電子式氣體乾燥器故障，土壤氣濕度上升，氡氣值也相對地明顯上升，現已將問題排除正常運作中。

從 6 月 24 日至 7 月 19 日，溼度維持在 75%，氡氣濃度亦持續在高點 35K，直到 7 月 19 日更換電子式氣體乾燥器後，伴隨著溼度下降至 40%，氡氣濃度也降至 30K。如此來看，氡氣濃度似乎是受到溼度的影響。這期間在 7 月 17 日發生於台南市的地震（規模 4.2，深度 16.3km，震度 2 級，距離測站 16km）；7 月 19 日至 8 月 7 日期間，於南投名間發生兩起地震，分別是在 7 月 26 日（規模 5.4，深度 14.3km）及 8 月 2 日（規模 4.9，深度 18.5km），及一起 7 月 30 日在屏東恆春外海的地震（規模 5.8，深度 41.3km），不過氡氣濃度皆未有顯著的變化出現。8 月 7 日至 8 月 17 日因莫拉克颱風大雨影響，測站停電儀器停止運作。8 月 17 日恢復運作後，氡氣濃度亦是呈現平穩的趨勢，直到資料擷取為止。期間雖有多起在測站附近的地震，也有規模 6.3 的強震，但是測站的氡氣仍是維持平穩的趨勢無明顯的異常變化。

2-4.1 結論

二溪測站本年度測得 46 起地震，其中東部（宜蘭至台東）有 13 起，規模皆在 4.6 以上，5 起位於中部南投名間，其餘 28 起分部於西南部，規模從 2.9 至 5.8 不等。本測站大部分反應台灣西南部地區之地震，測站裝置的地震儀亦可與氣象局地震資料同步呈現，然氡氣及二氧化碳尚無明顯的地震前後異常變化。綜觀本年度此站氡氣與地震的關聯性，實有必要確實檢討此站是否應繼續作為土壤氣體觀測，或是於附近斷層帶上另尋找適合替代點。

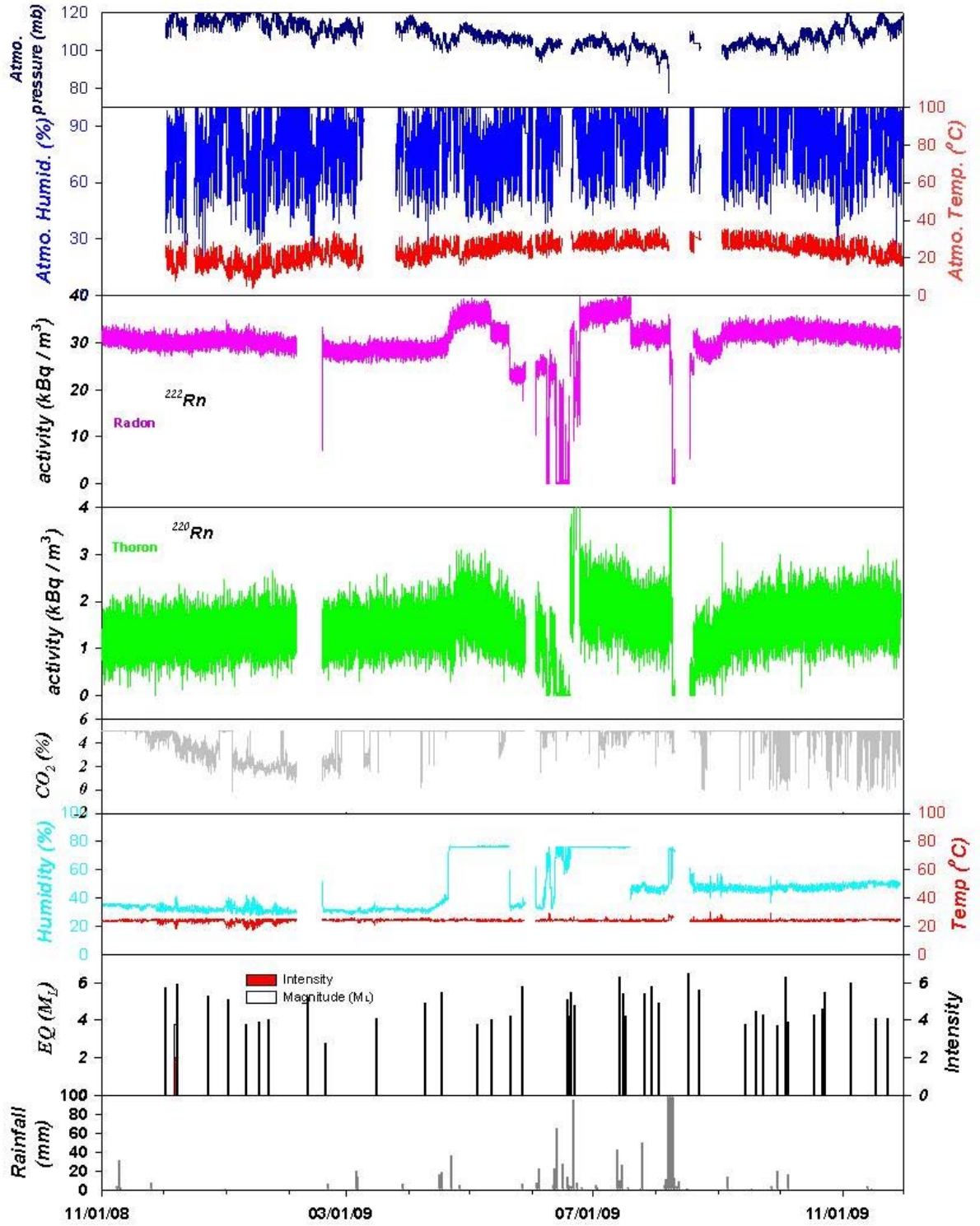


圖 2-41：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/11/01-2009/11/30）。

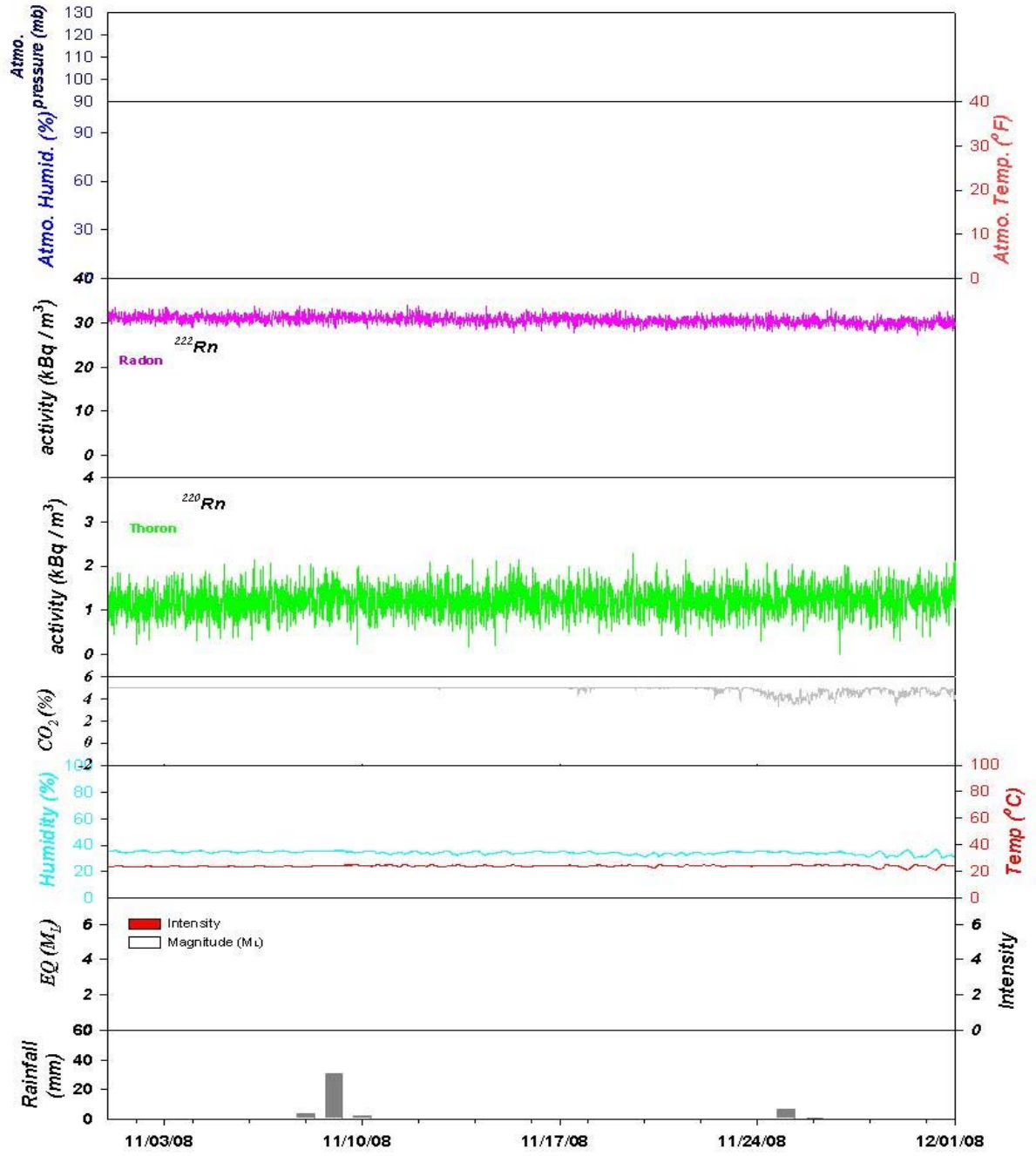


圖 2-42：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/11/01-2008/11/30）。

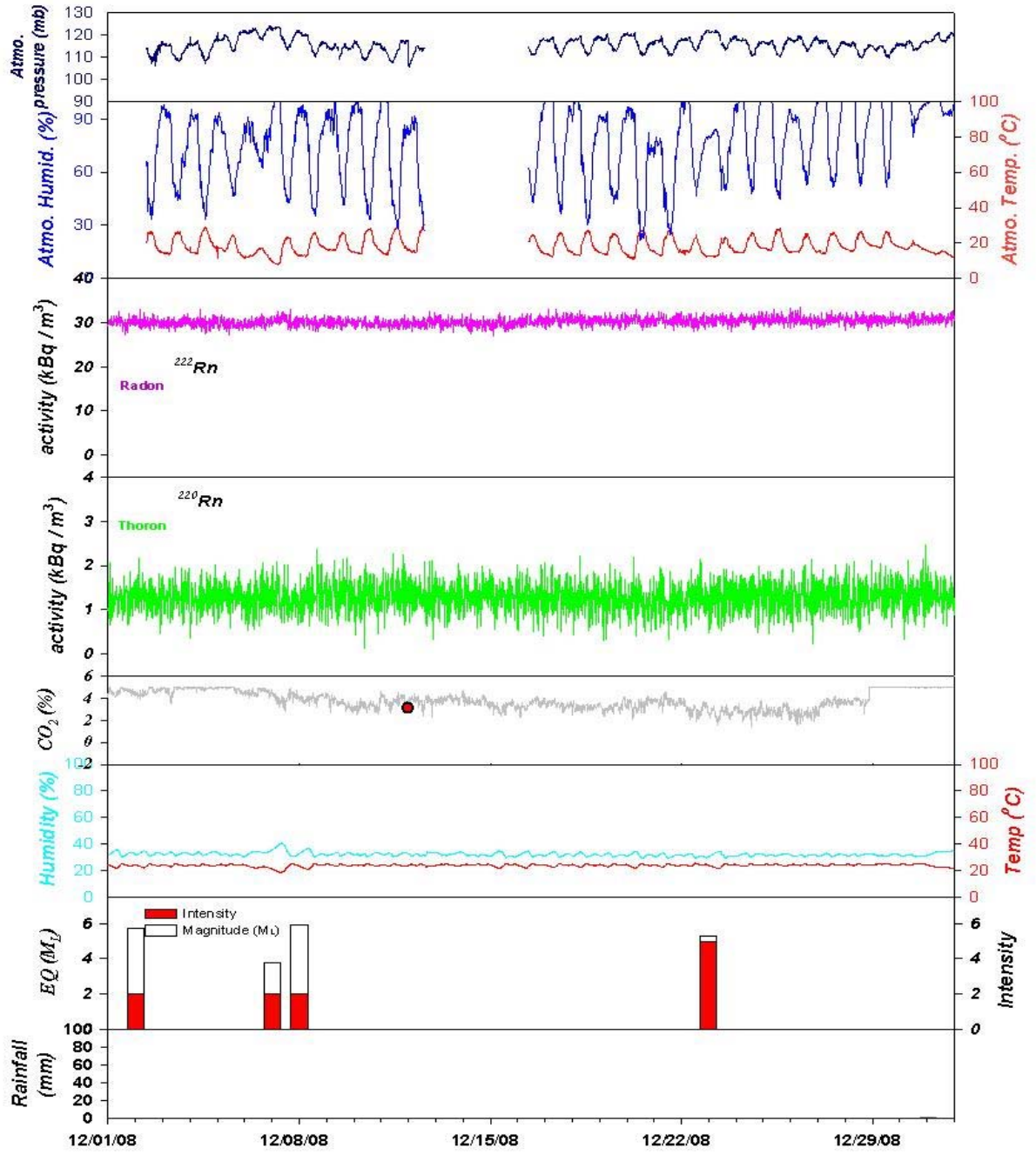
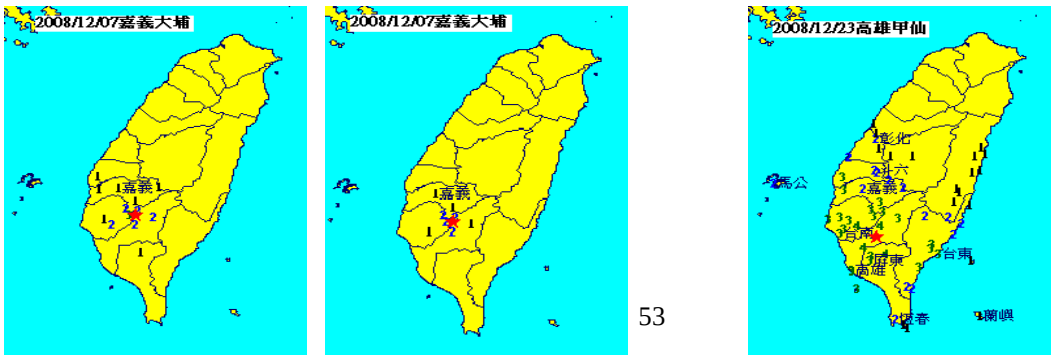


圖 2-43：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2008/12/01-2008/12/31）。



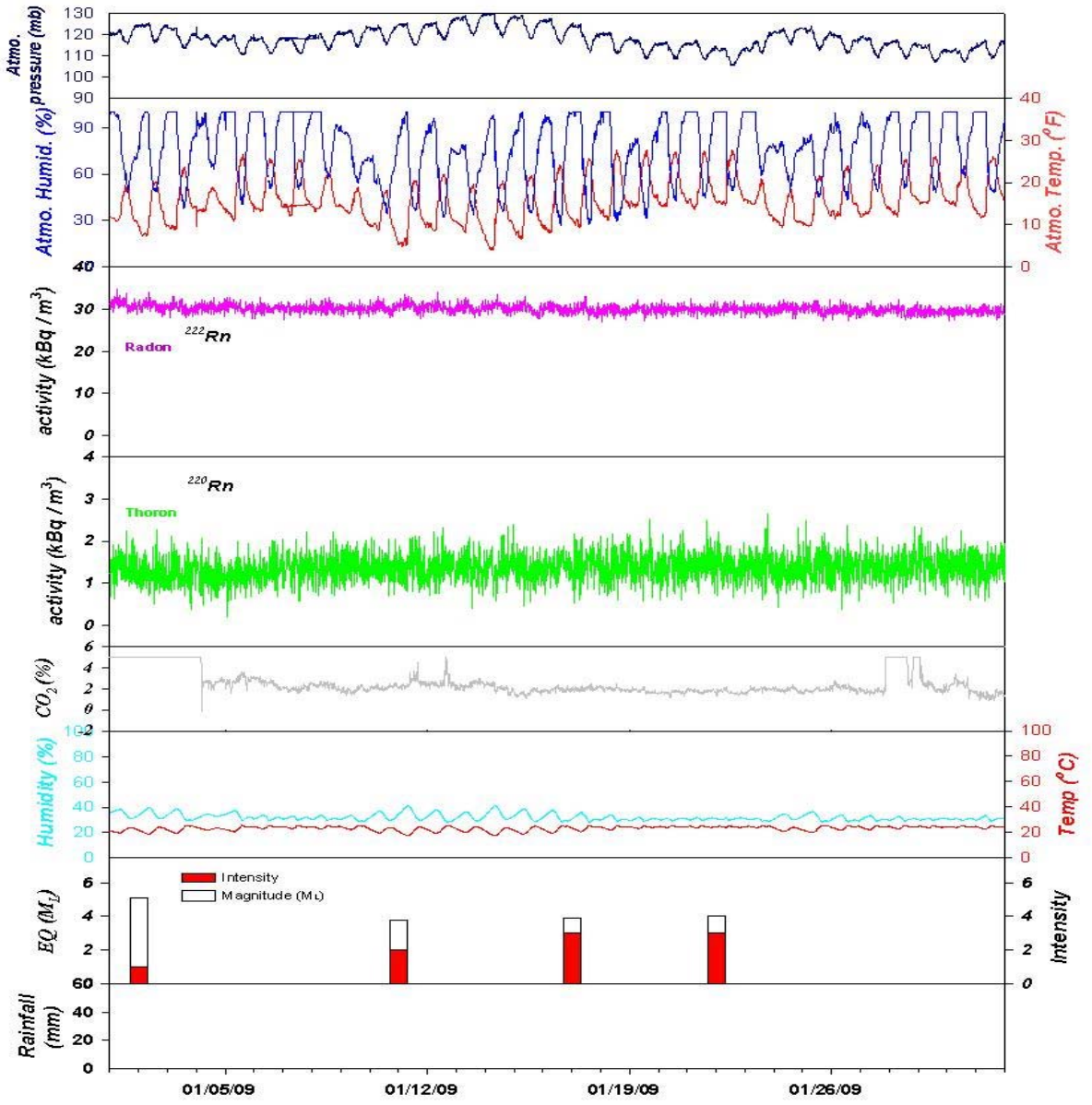


圖 2-44：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/01/01- 2009/01/31）。



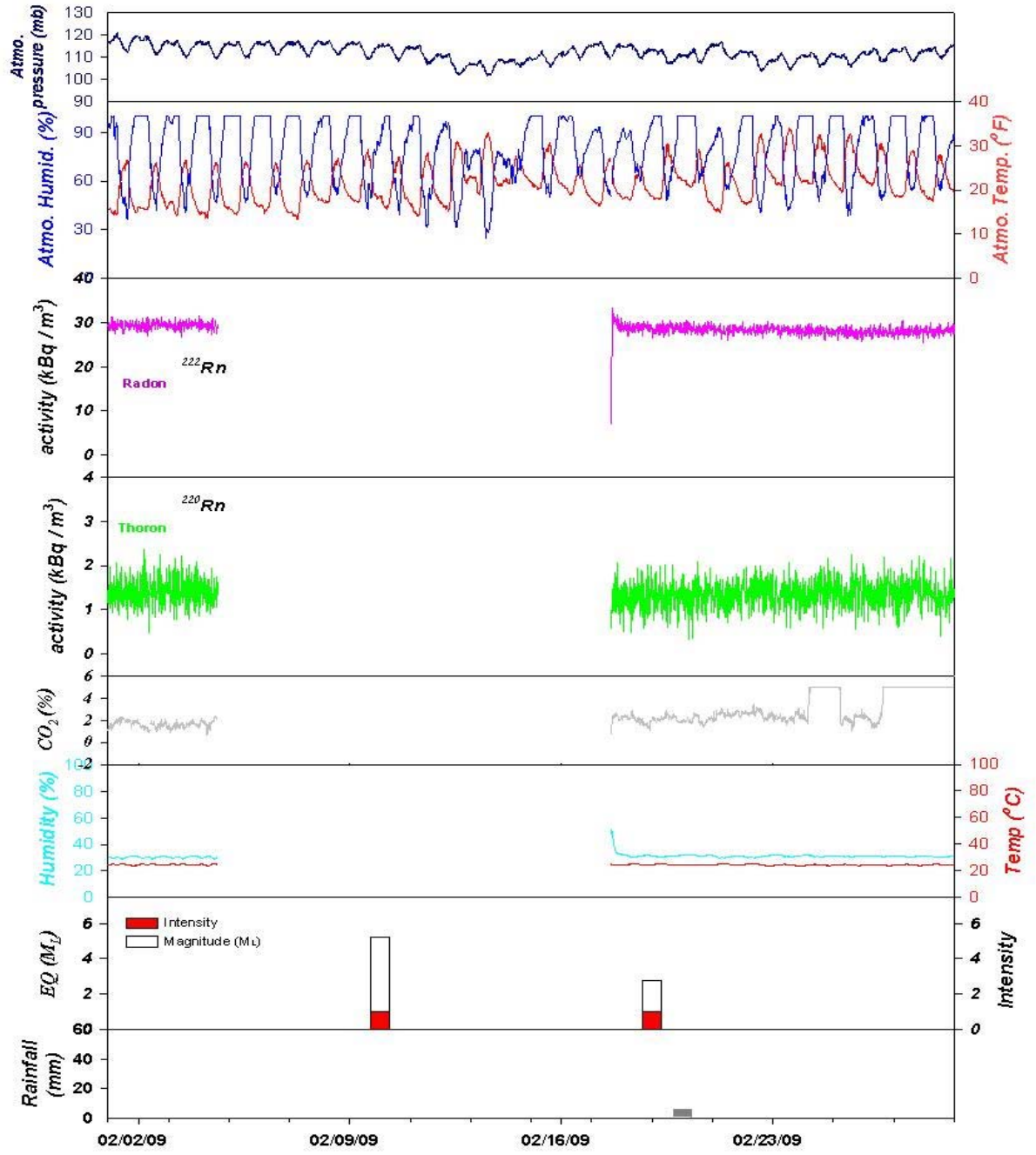


圖 2-45：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/02/01-2009/02/28）。



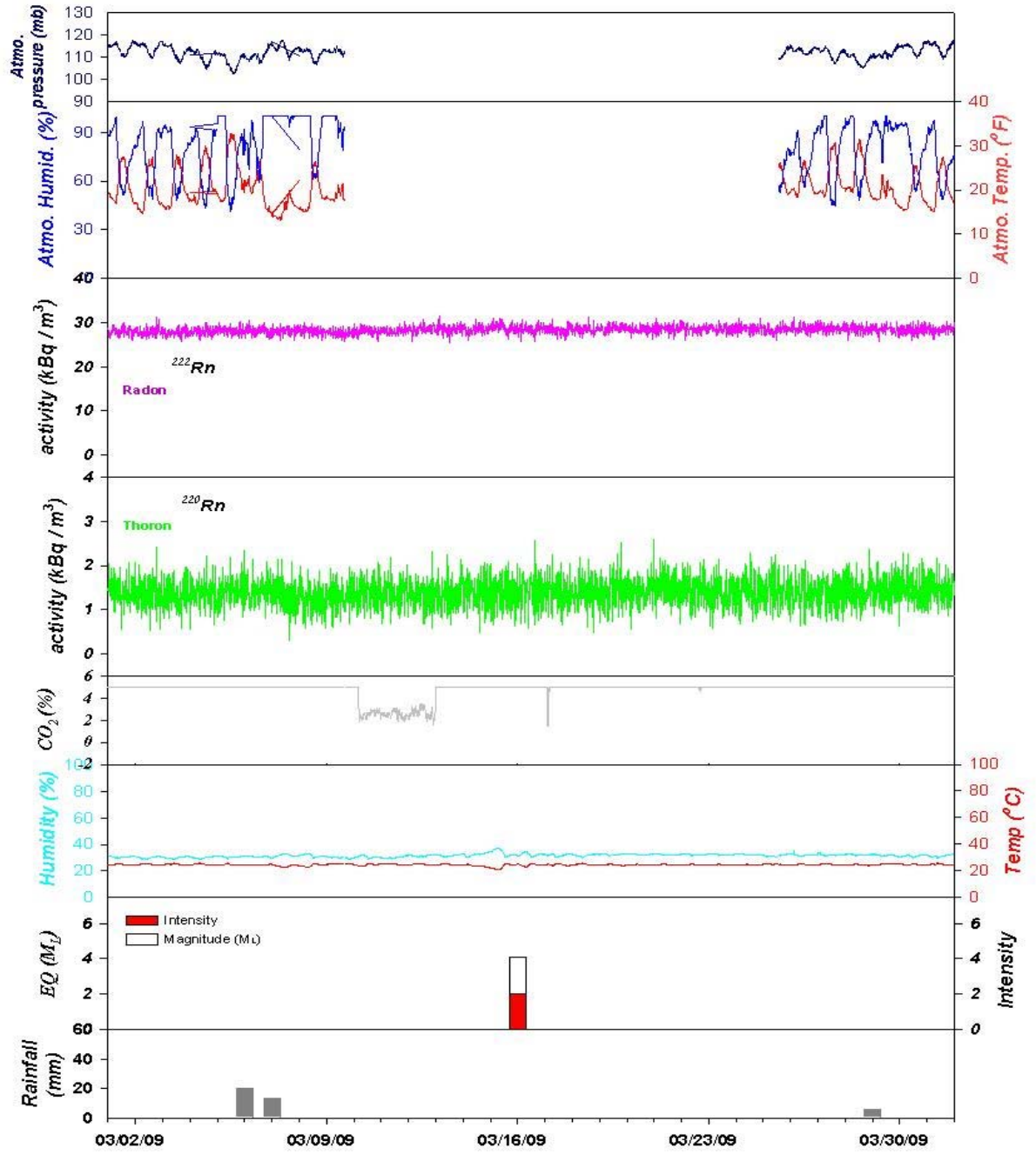
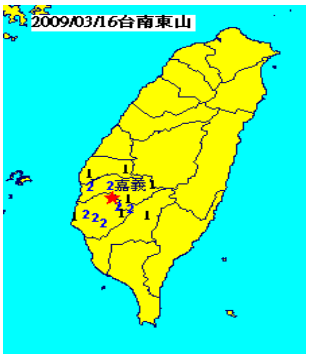


圖 2-46：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/03/01-2009/03/31）。



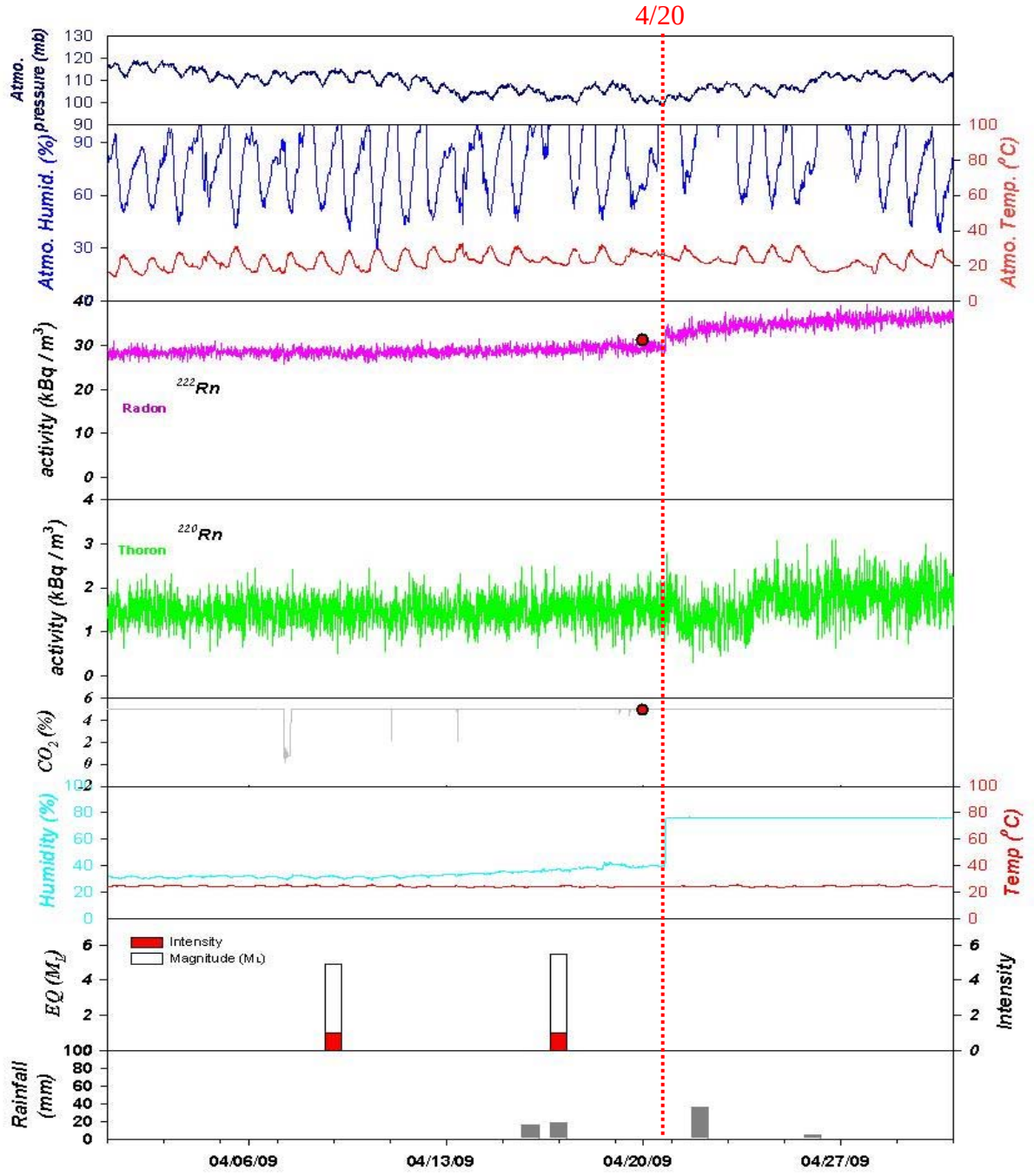


圖 2-47：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果（2009/04/01-2009/04/30）。

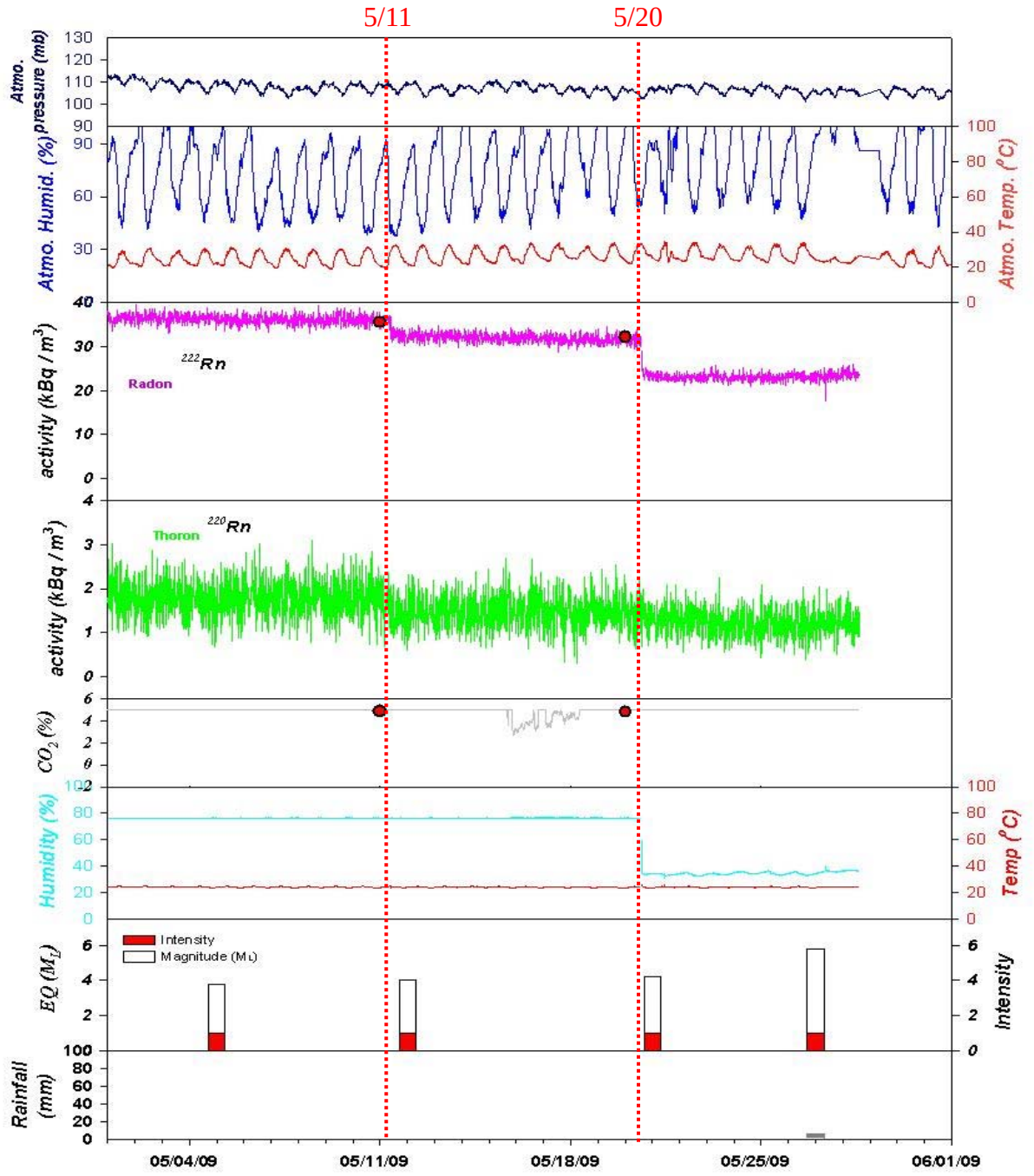
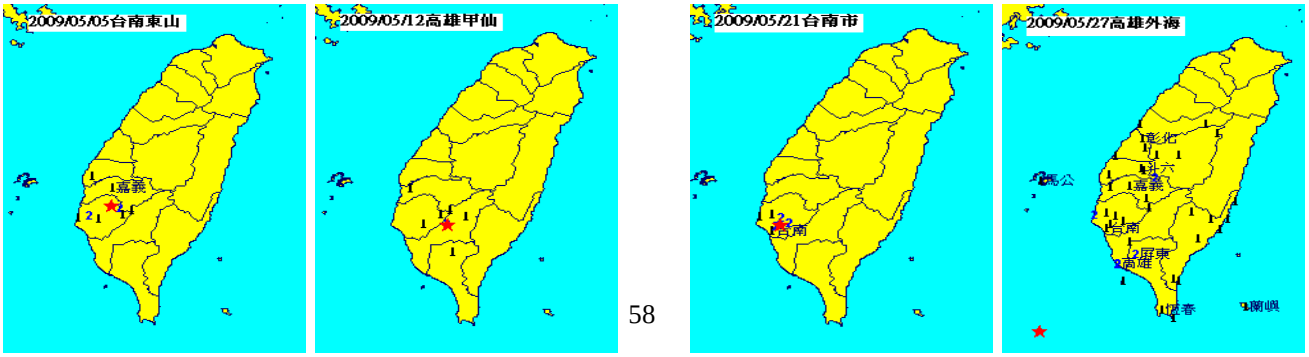


圖 2-48：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果（2009/05/01-2009/05/31）。



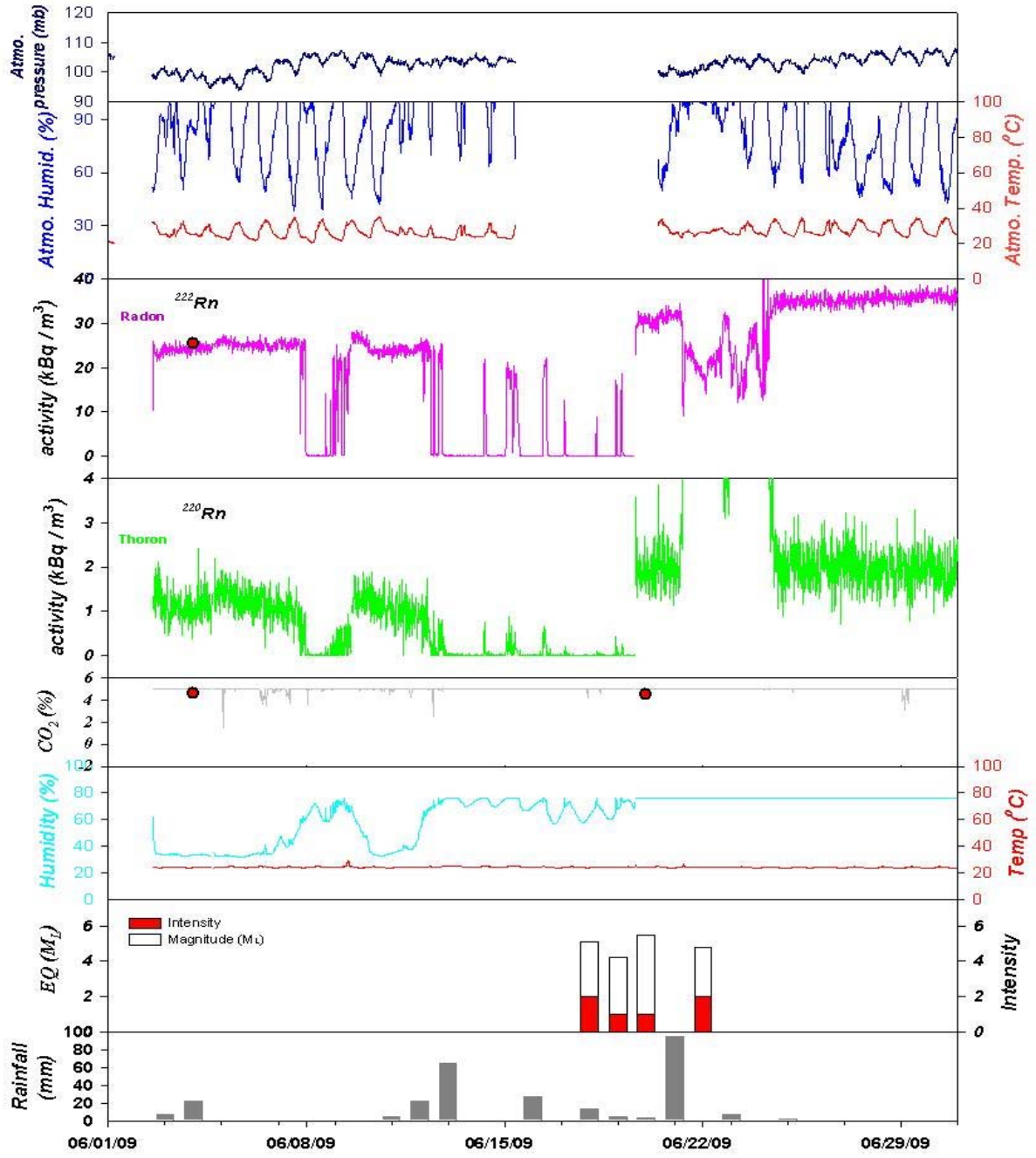


圖 2-49：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果（2009/06/01-2009/06/30）。

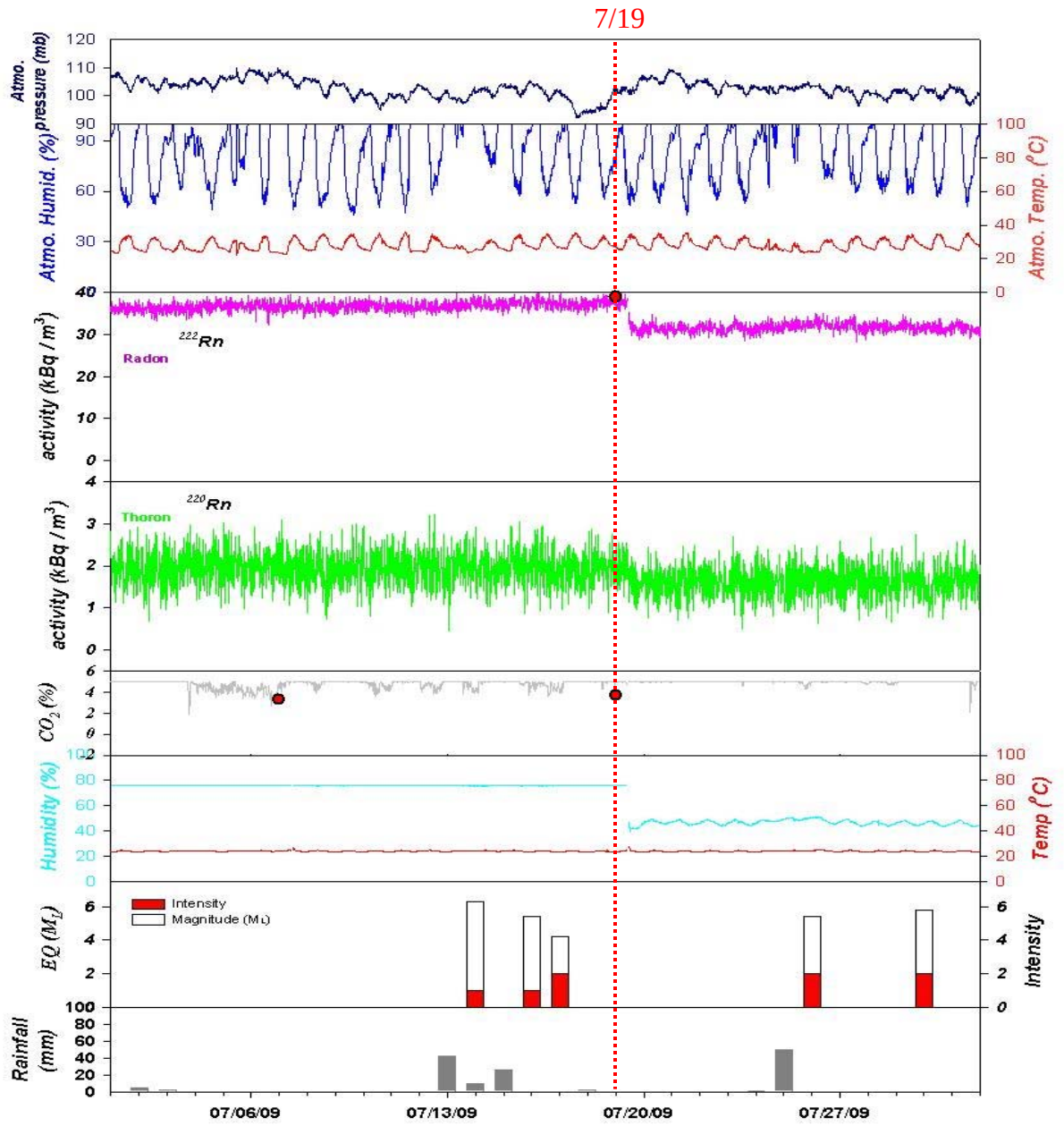


圖 2-50：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果（2009/07/01-2009/07/31）。



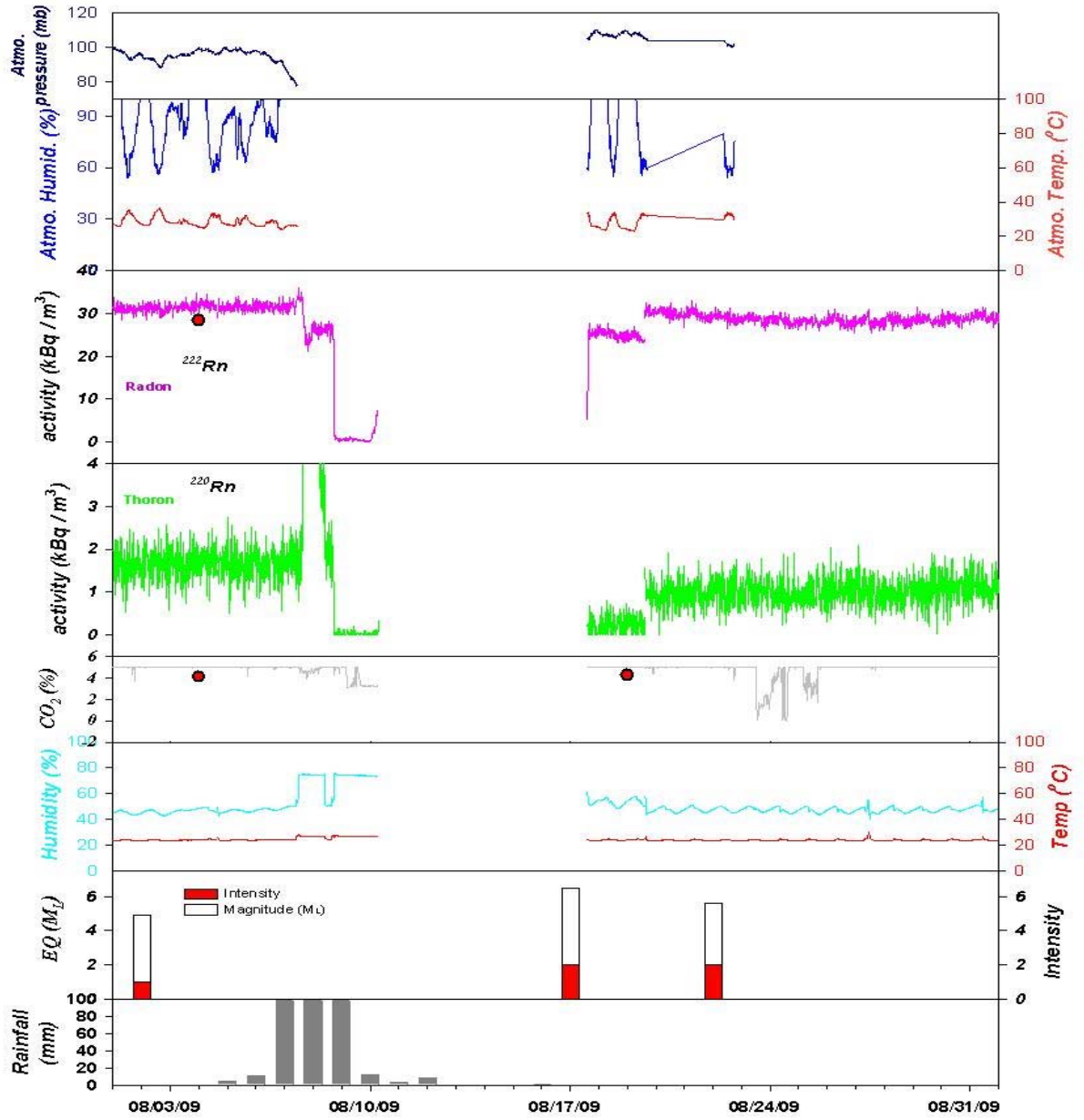
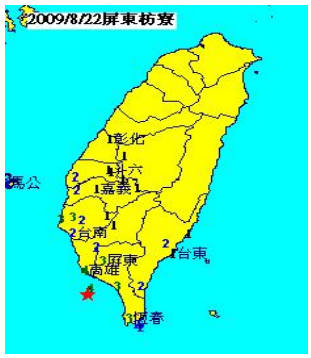


圖 2-51：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果（2009/08/01-2009/08/31）。





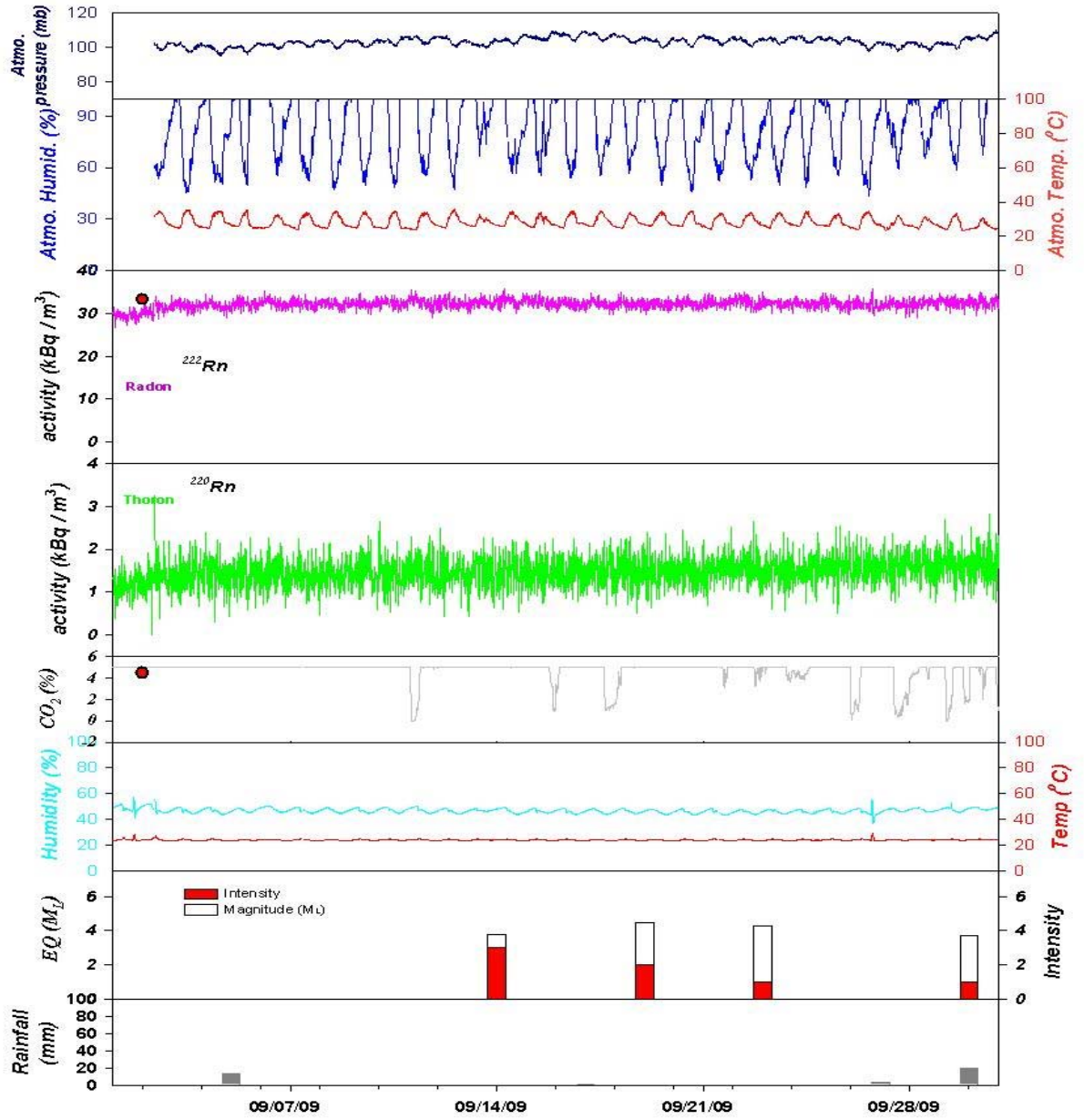
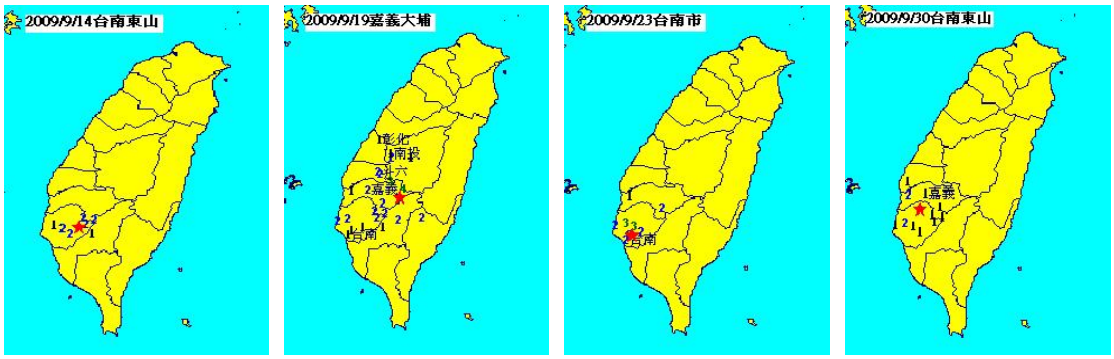


圖 2-52：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣及二氧化碳分析結果（2009/09/01-2009/09/30）。



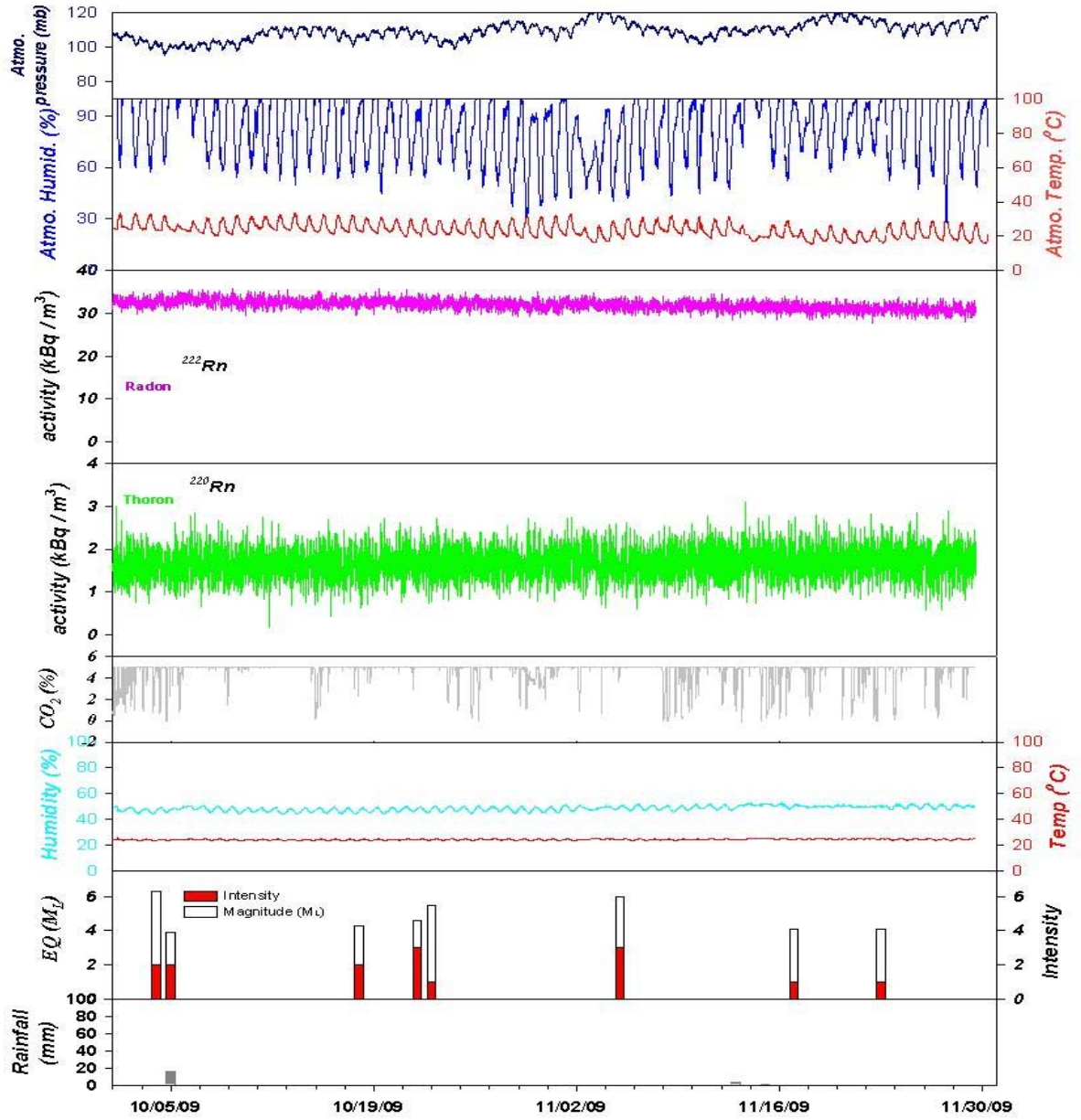
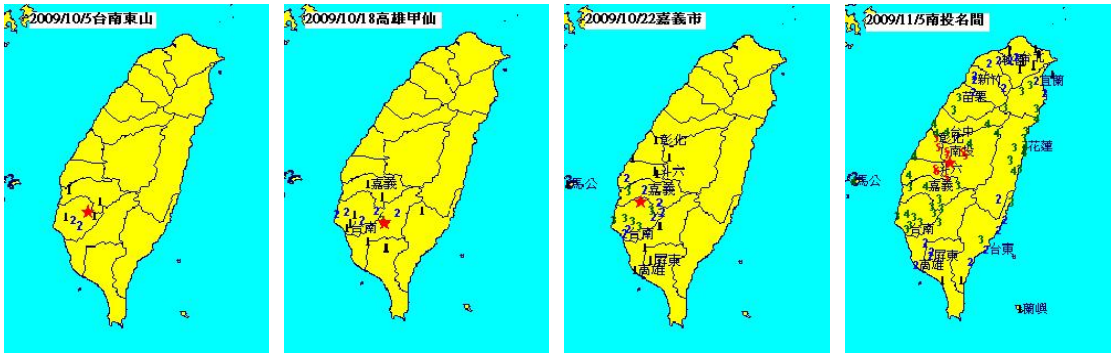


圖 2-53：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/10/01-2009/11/30）。



2-5 屏東潮州土壤氣體觀測站

圖 2-54 至圖 2-66 為屏東潮州觀測站 2008 年 11 月至 2009 年 11 月的連續觀測結果。圖 2-54 是總圖表（2008 年 11 月至 2009 年 11 月）。圖 2-55 至圖 2-66 是分月圖表。其中測站同步觀測的環境影響因子（溫溼度、雨量、大氣壓力），由於儀器故障，造成 11 月 1 日至 11 月 11 日沒有資料；土壤氡氣的部分，在 12 月 3 日至 12 月 4 日、12 月 26 日至 12 月 30 日、1 月 13 日至 1 月 16 日、4 月 7 日至 4 月 14 日，由於測站停電造成無資料記錄；2 月 4 日至 2 月 17 日，氡氣分析儀送回研究室進行校正，因此無資料記錄。

圖 2-55 為 2008 年 11 月的觀測結果，本月份很明顯的土壤氡氣受到溼度影響很大，溼度上升氡氣下降。至 11 月 25 日溼度下降後，氡氣始緩慢上升，至 11 月 29 日達成平衡。圖 2-56 為 2008 年 12 月的觀測結果，氡氣承上月的平穩背景值。本月份在月初有兩起規模超過 5 的地震，震度皆為 1 級。分別是 12 月 2 日發生於花蓮玉里的地震（規模 5.7，深度 31.7km）及 12 月 8 日發生於花蓮市外海的地震（規模 5.9，深度 35.1km），兩起地震都距離測站較遠，氡氣濃度並無明顯的變化。而 12 月 23 日發生於高雄甲仙的地震（規模 5.3，深度 17.1km，震度 4 級），土壤氡氣濃度亦無異常變化。

圖 2-58 為 2 月的觀測結果。2 月 1 日至 2 月 4 日置於氡氣分析儀前端的電子式氣體乾燥器故障結冰致使管線阻塞，氡氣呈現空氣值。本月份在台東市附近發生三起規模超過 4 的地震，分別是 2 月 8 日（規模 4.4，深度 12.7km，震度 2 級），2 月 10 日（規模 4.5，深度 6.7km，震度 1 級），2 月 10 日（規模 4，深度 6km，震度 2 級），雖有兩起超過震度 2 的地震，但是這段時間由於氡氣分析儀送回研究室進行校正，因此無資料可進行分析與比對。

自 2 月 18 日至 4 月 7 日土壤氡氣濃度呈現平穩的背影值狀態，期間並無可與測站對應的地震發生。至於 4 月 10 日發生於台東大武的地震（規模 4.1，深度 9.6km，震度 2 級），測站氡氣分析儀因故障而無資料記錄。

圖 2-61 為 5 月的觀測結果。土壤氡氣濃度在 5 月 17 日有異常下降，在 5 月 26 日之後氡氣濃度緩慢上升，至 6 月 1 日達到自 2008 年 11 月以來的高點，對照這段時間並無可據以解釋的地震發生。只有一起發生於 5 月 12 日高雄甲仙的地震（規模 3.8，深度 10.2km，震度 1），但在這期間土壤氡氣濃度並無異常變化。

圖 2-62 至圖 2-64 為 6 月至 8 月的觀測結果。自 6 月 8 日高點後，土壤氡氣濃度呈現下降趨勢，期間雖有大雨，土壤氣體溼度仍保持在 20%，因此氡氣應可排除受溼度的影響。值得注意的是自 6 月 19 日以後，氡氣分析儀在每次下載重新啟動後，濃度都會先呈現上升後下降的趨勢，此種情形維持至 8 月底止，但扣除掉因資料下載時間氡氣濃度先上升後下降，發現在其他時間點，氡氣濃度也會呈現先上升後下降的階梯式趨勢，在經過不斷的檢查與測試，氡氣分析儀濃度於 9 月份恢復較為平穩的走向。在這三個月期間發生多起規模超過 5 的地震，如 7 月 13 日發生於花蓮市外海的地震（規

模 6，深度 18.1km，震度 1）；7 月 26 日發生於花蓮玉里的地震（規模 5.4，深度 12.5km，震度 1）；7 月 30 日發生於屏東恆春外海的地震（規模 5.8，深度 41.3km，震度 2，距測站 67.1km）；8 月 17 日發生於花蓮市外海的地震（規模 6.8，深度 43.3km，震度 2）；8 月 22 日發生於屏東枋寮的地震（規模 5.1，深度 24.3km，震度 2，距離測站 35km）；不過由於這段時間有人為因素的影響，因此很難得知進一步探討地震與氡氣濃度的關聯性，不過但扣除掉人為因素影響後，同樣發現土壤氡氣濃度仍出現先上升後下降的情形，初步猜測可能與區域性的斷層潛移活動有關，有待日後進行確認。

圖 2-65 及圖 2-66 為 9 至 11 月的觀測結果。這兩個月的濕度受限於電子式氣體乾燥器的不穩定，時堪用時故障，又礙於新品尚未送到更換，為保護氡氣分析儀免受水氣受損，只能密切觀察其運作狀況，因此這兩月的土壤溼度呈現劇烈的上下起伏，但就氡氣濃度的分析結果顯示，似乎沒有受到太大的影響。由於 9 月 5 日至 9 月 11 日電子式氣體乾燥器故障結冰，阻塞了分析的氣體逸氣來源，因此氡氣濃度呈現空氣值，因此在 9 月 6 日於屏東恆春外海發生的地震（規模 5，深度 46.9km，震度 1 級，距離測站 70.2km），便無從得知是否與地震有所關聯。9 月 11 日至 9 月 28 日氡氣呈現平穩的趨勢，9 月 29 日氡氣濃度上升，9 月 30 日始由高點下降，這段時間土壤濕度在控制內且保持平穩，因此應可確信氡氣值未受溼度影響，10 月 4 日發生於花蓮西林的地震（規模 6.3，深度 15.3km，震度 2），可能與這期間的氡氣異常變化有關。另外，在 11 月 5 日南投名間地震發生前（規模 6，深度 19.3km，震度 2），觀察到 11 月 1 日時土壤氡氣濃度即開始升高直至地震發生後才降回原背景值，可能為一地震的前兆訊息。

2-5.1 結論

本測站大部分反應台灣南部與東部地區之地震，然本年度因常受土壤濕度影響，造成土壤氣體的變化多受一項參數所控制，不易觀察出土壤氣體與地震的關聯性，不過發現土壤氣體的變化可能也會受到區域的斷層活動影響(Fu et al., 2009)，這需要日後與鄰近的 GPS 測站和應變儀資料進行比對以進一步確認。

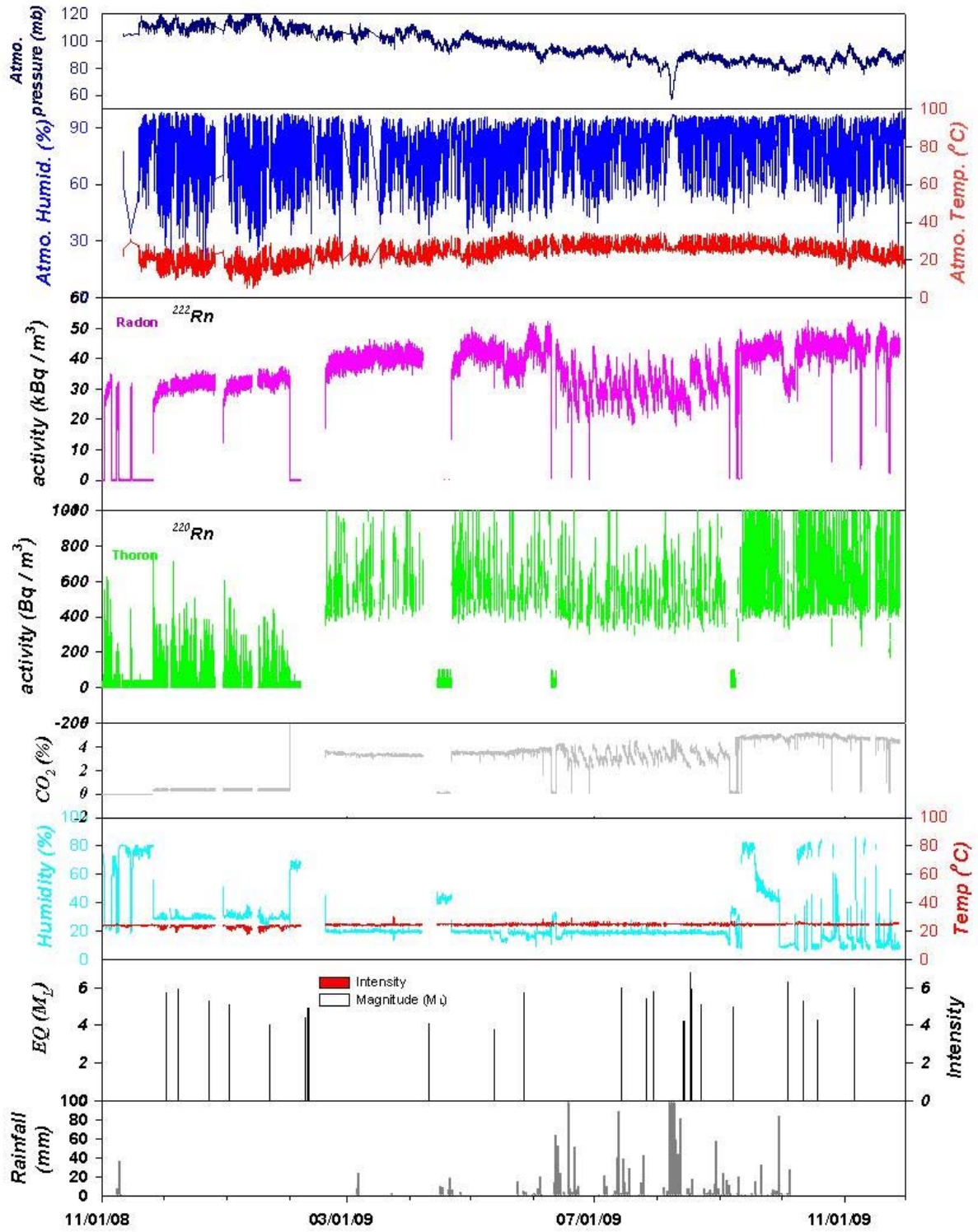


圖 2-54：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/11/01- 2009/11/30）。

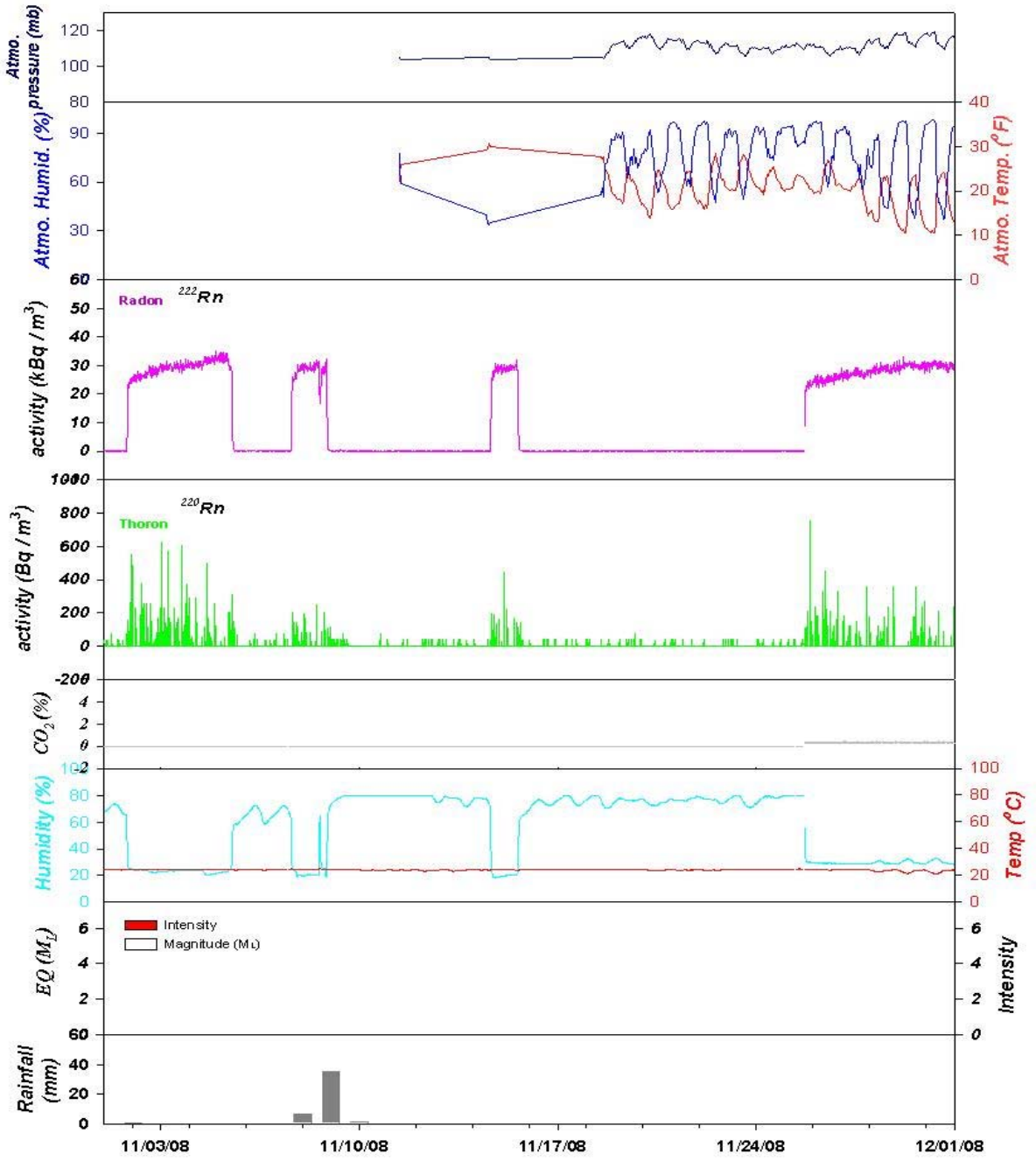


圖 2-55：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/11/01- 2008/11/30）。

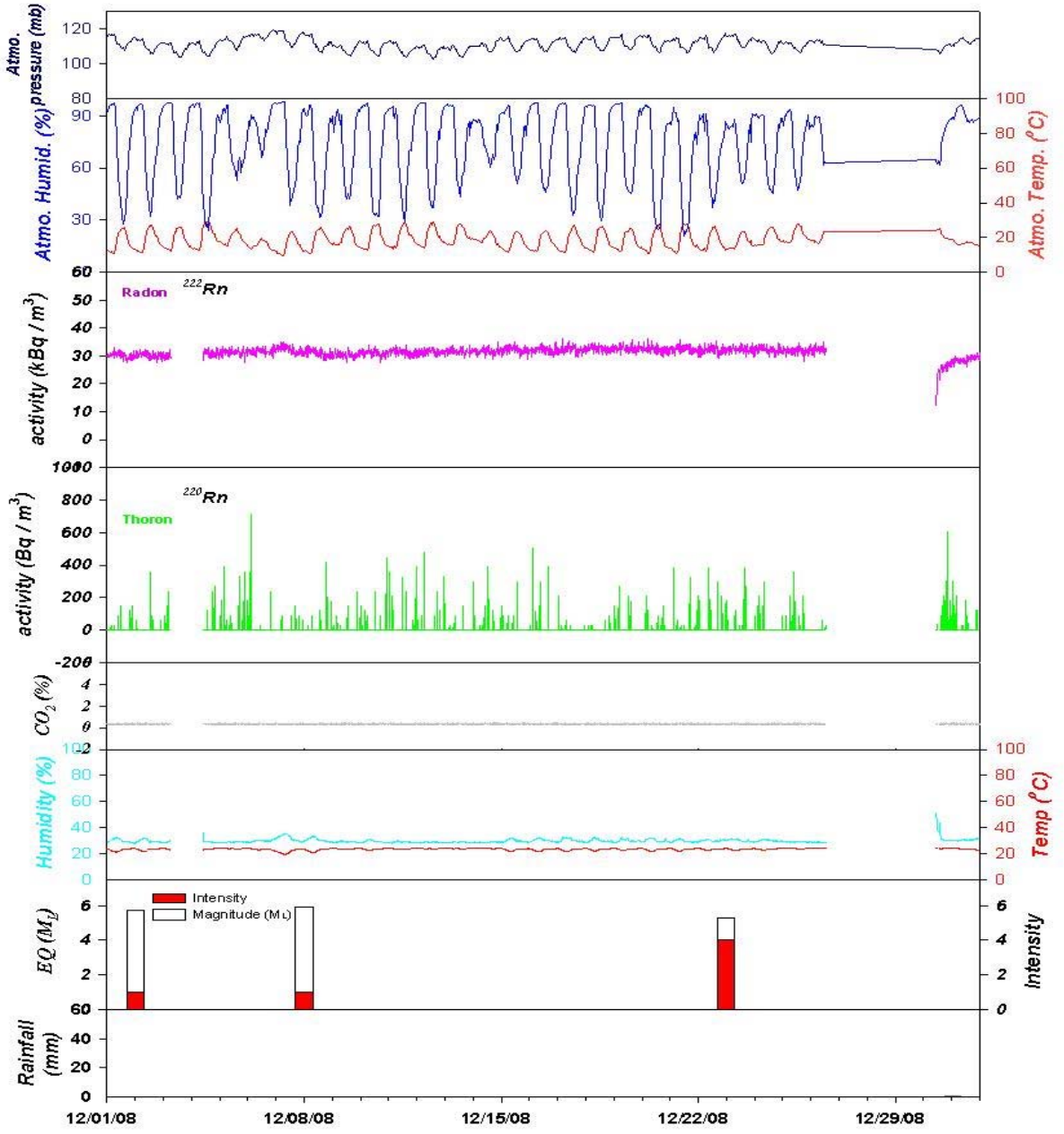
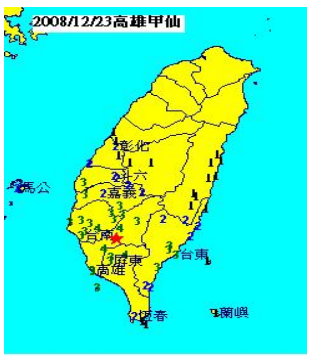


圖 2-56：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/12/01- 2008/12/31）。



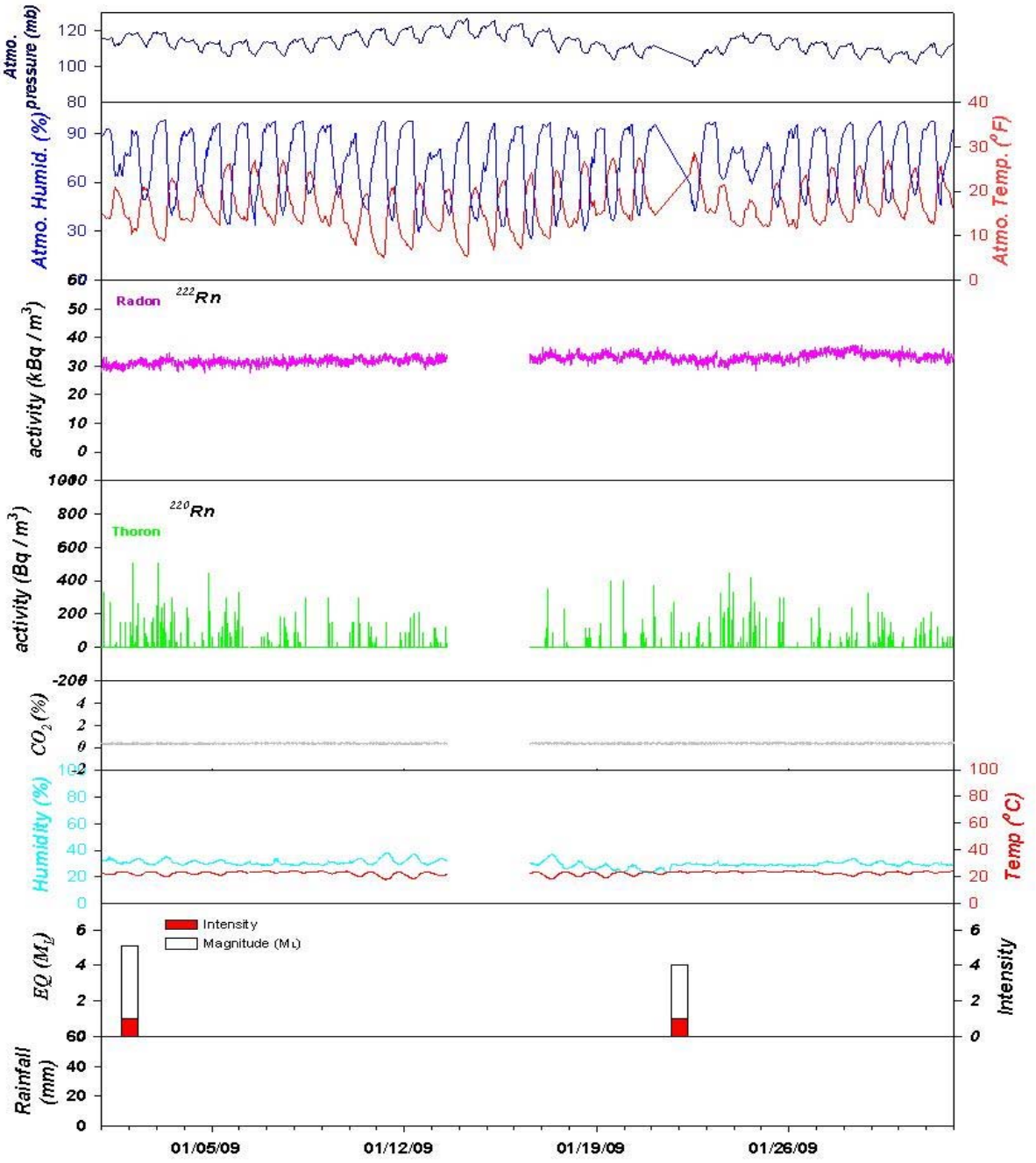
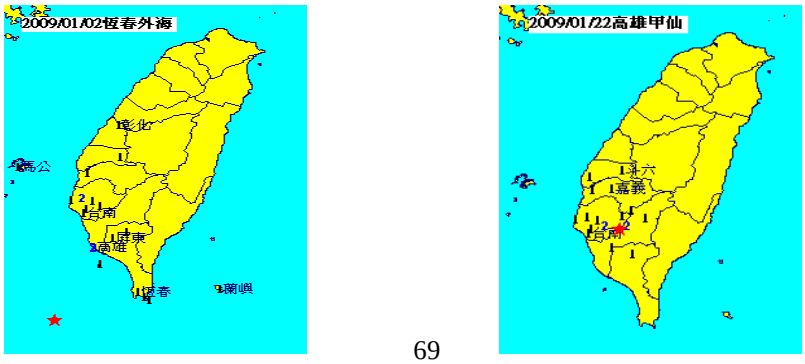


圖 2-57：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/01/01- 2009/01/31）。



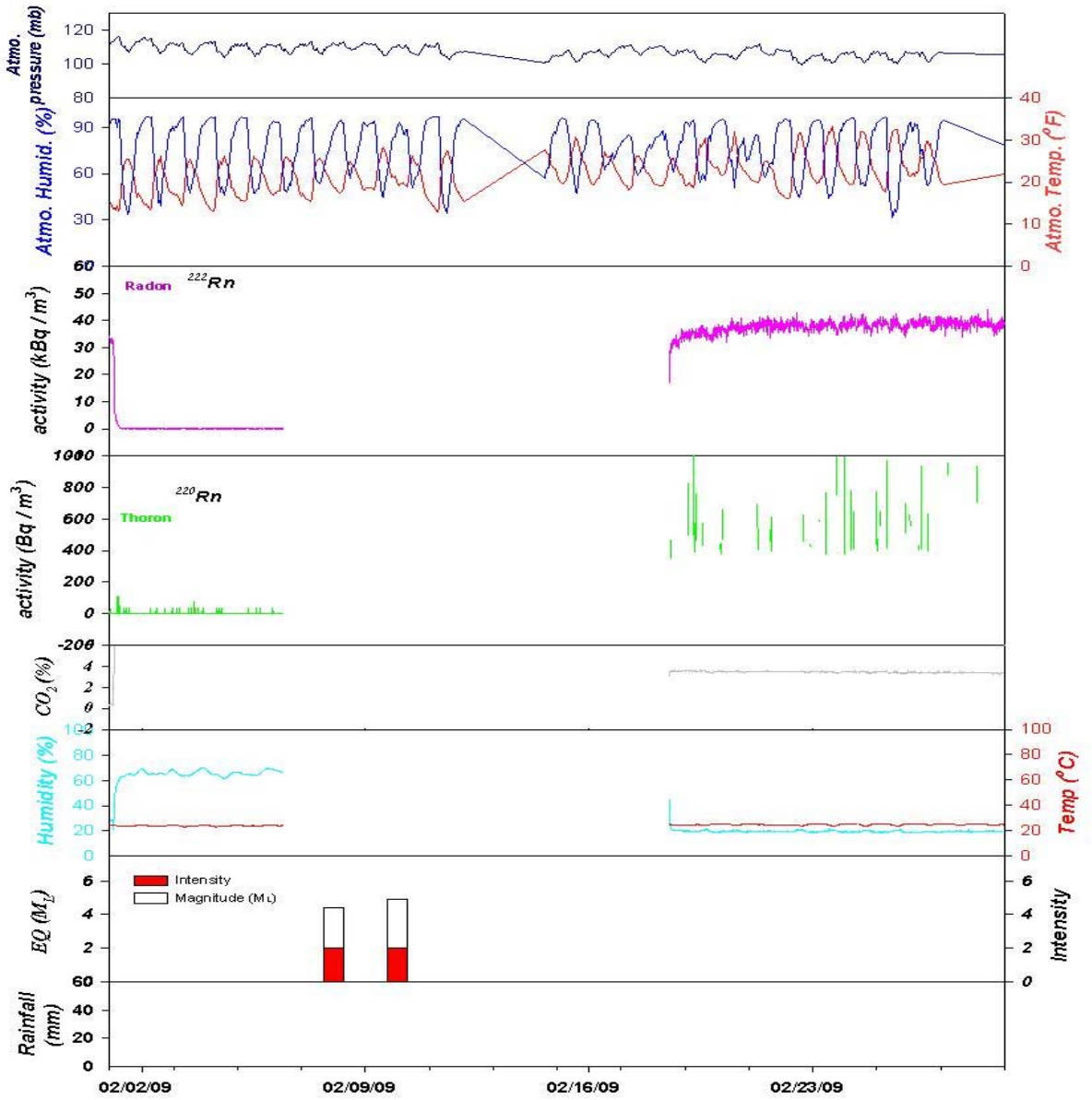


圖 2-58：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/02/01- 2009/02/28）。



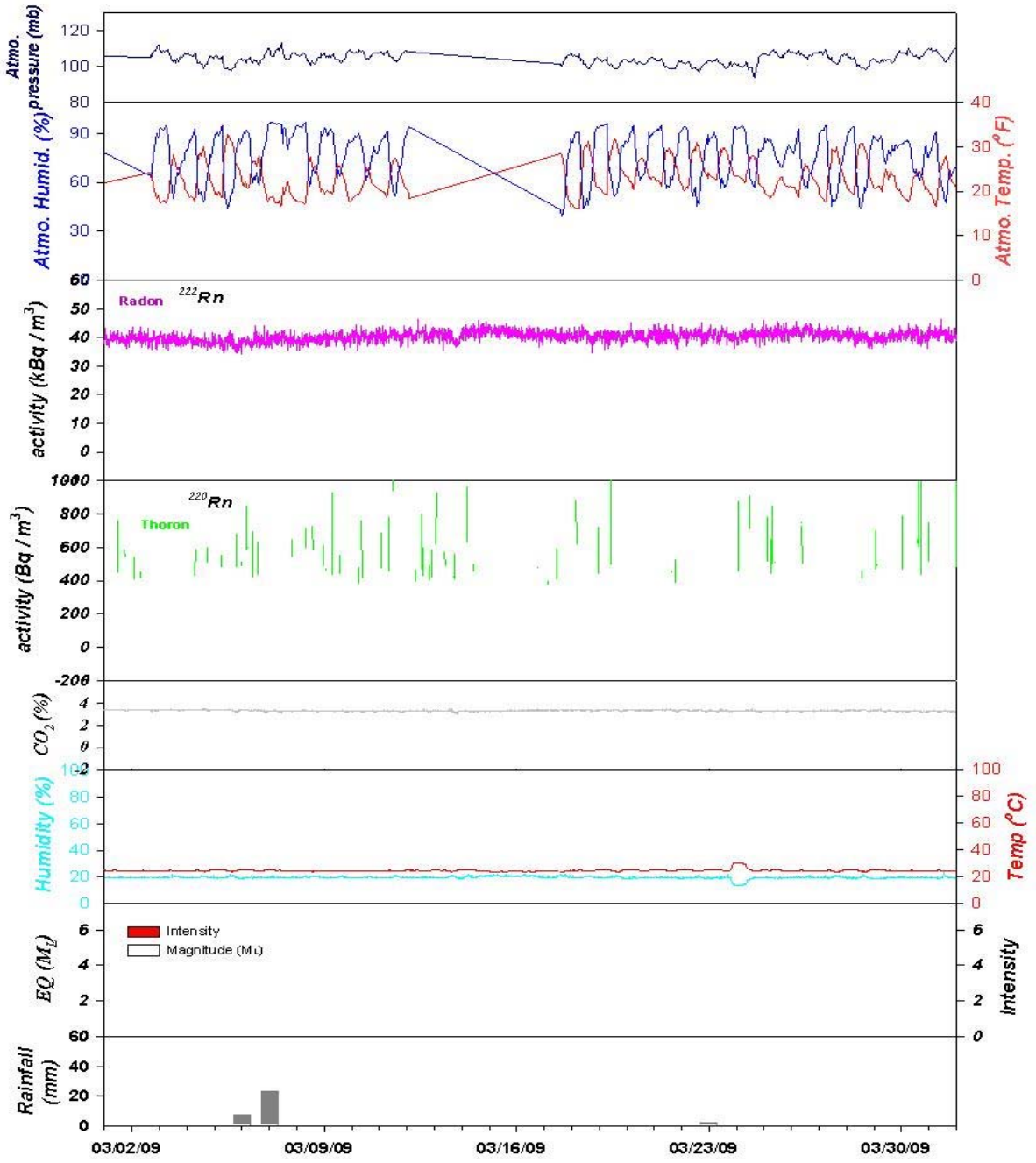


圖 2-59：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/03/01- 2009/03/31）。

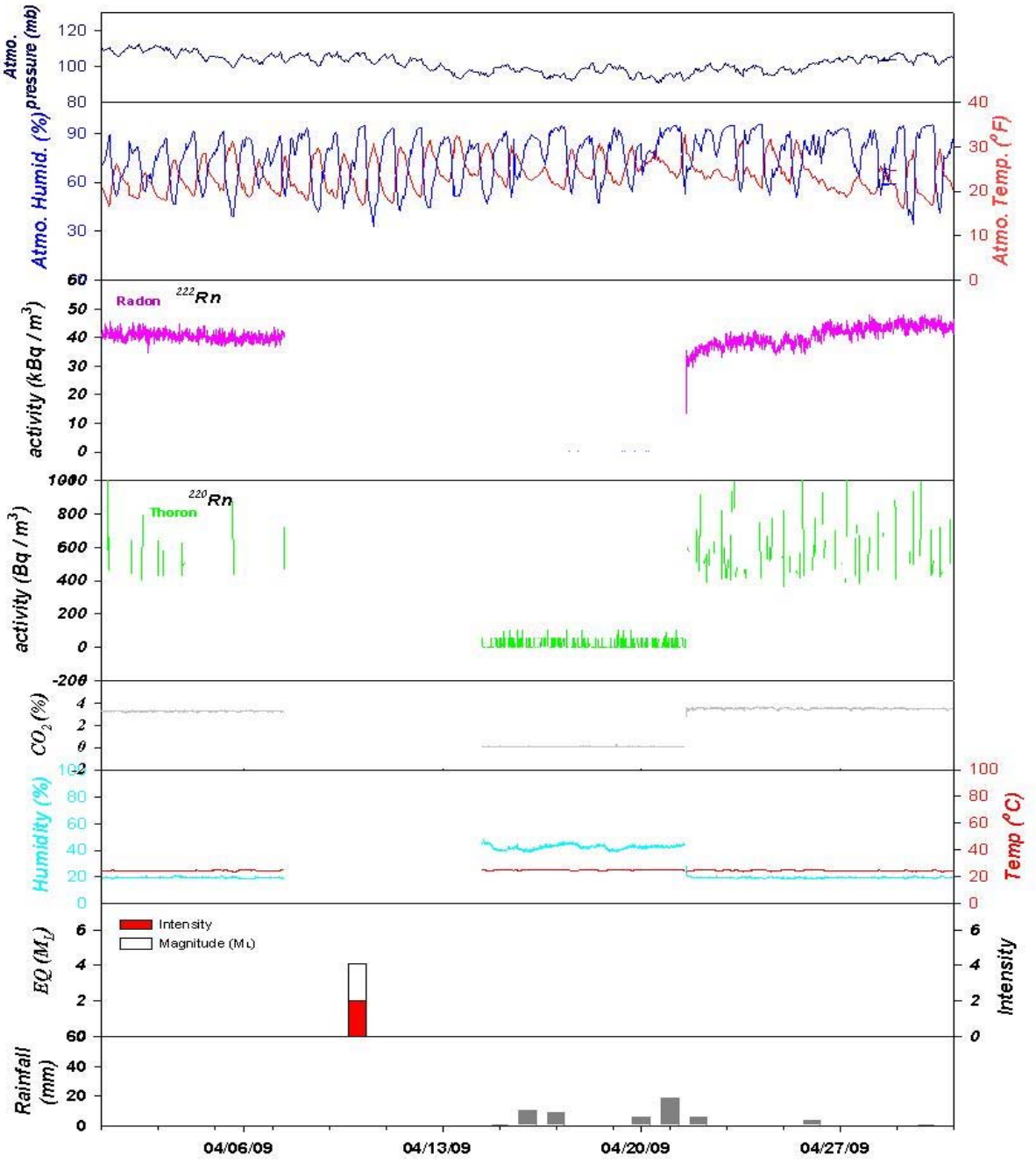


圖 2-60：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/04/01- 2009/04/30）。



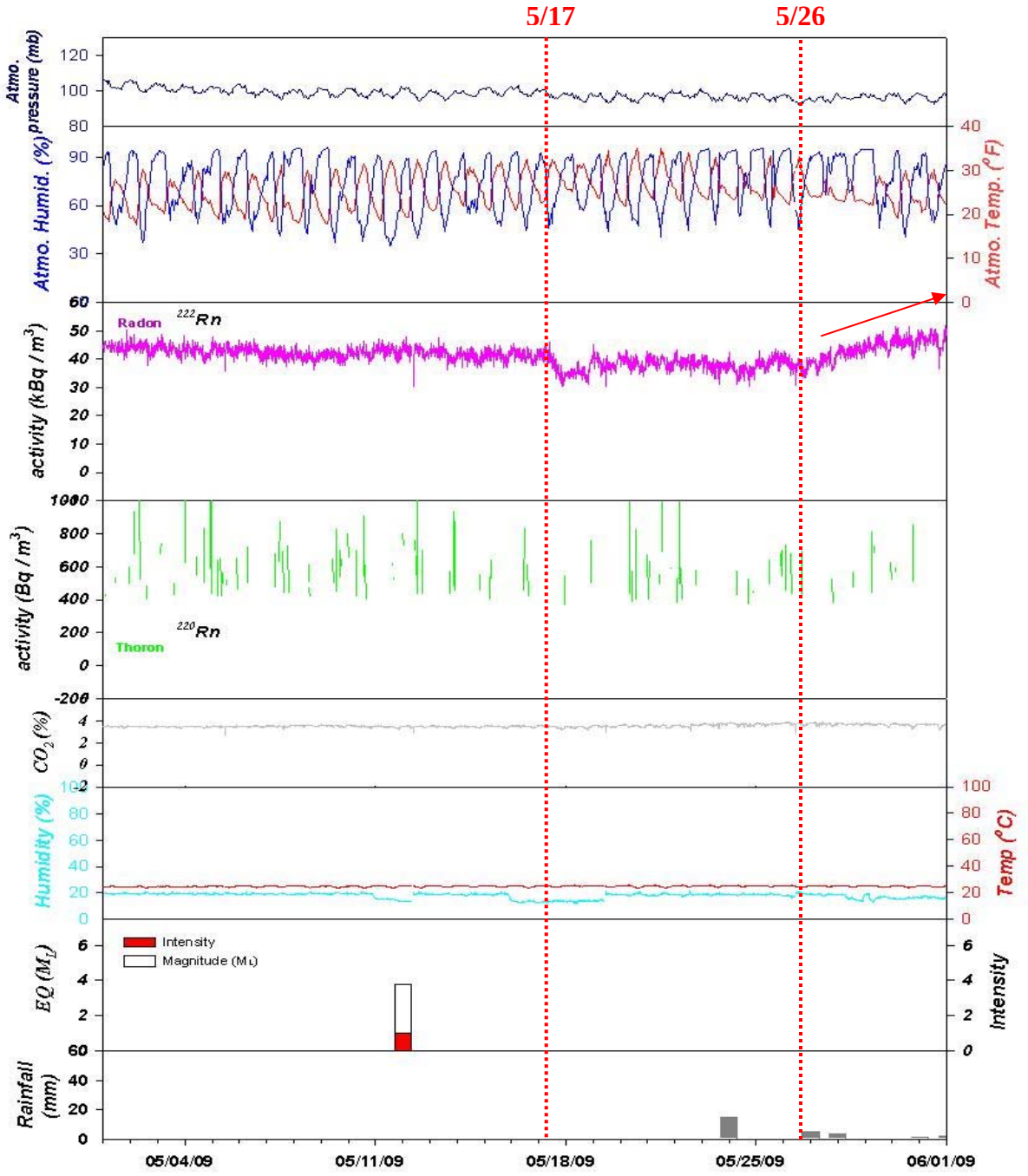
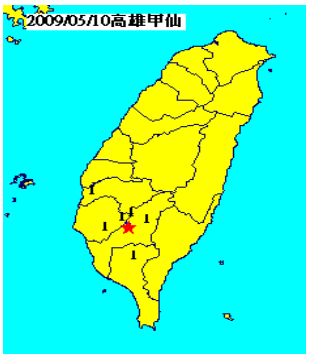


圖 2-61：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/05/01- 2009/05/31）。



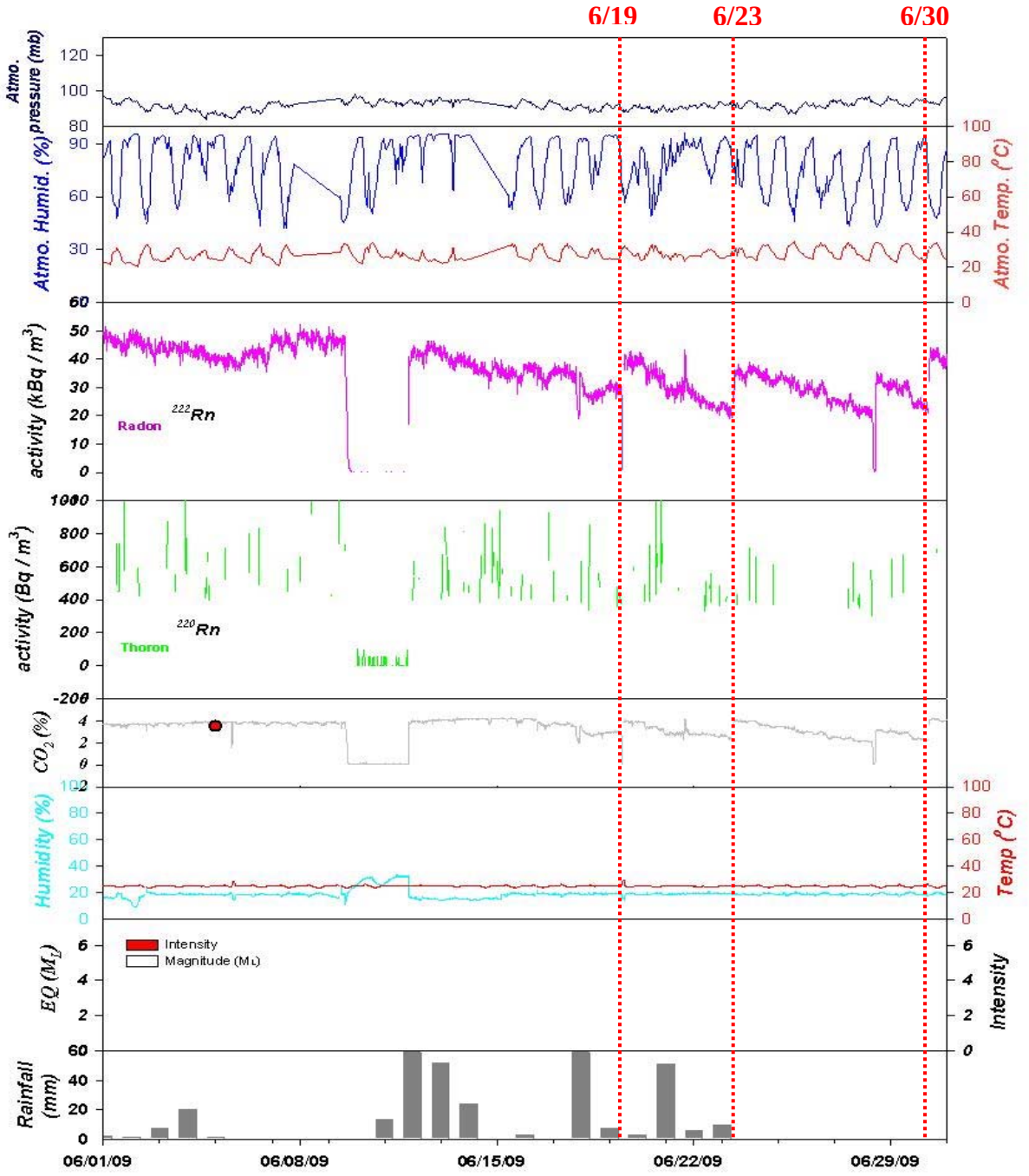


圖 2-62：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅色虛線為資料下載時間（2009/06/01-2009/06/30）。

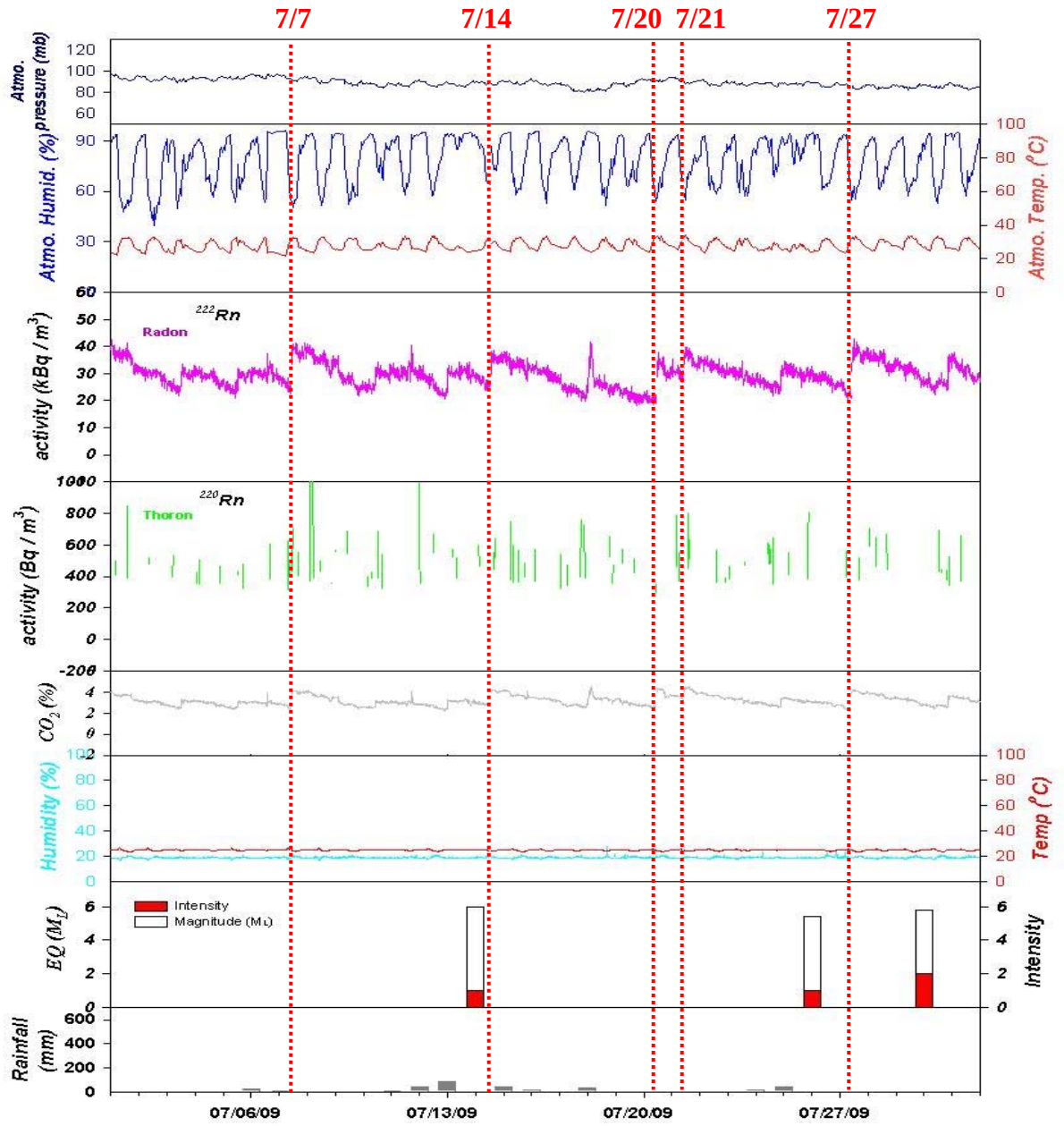


圖 2-63：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅色虛線為資料下載時間（2009/07/01-2009/07/31）。



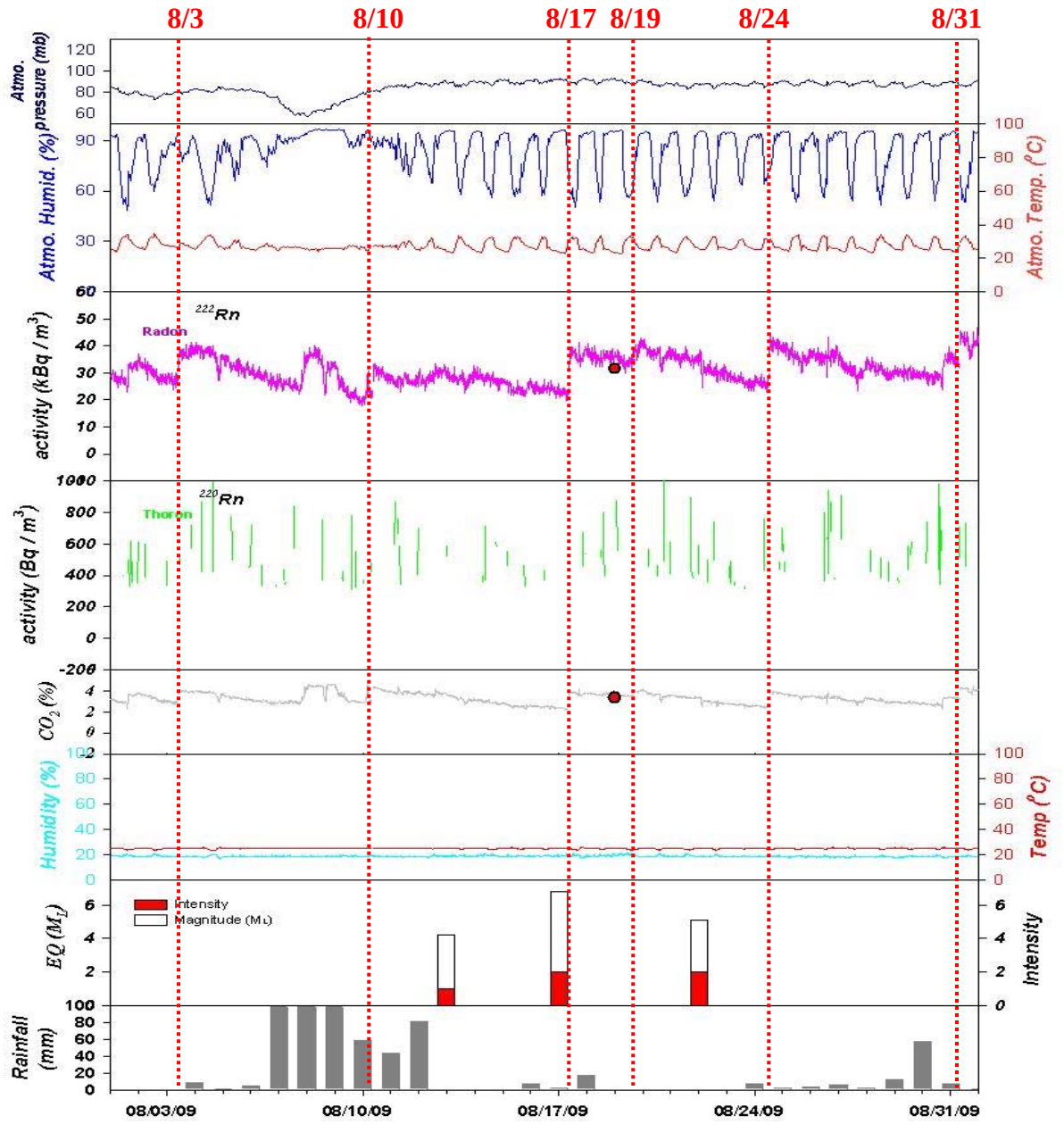
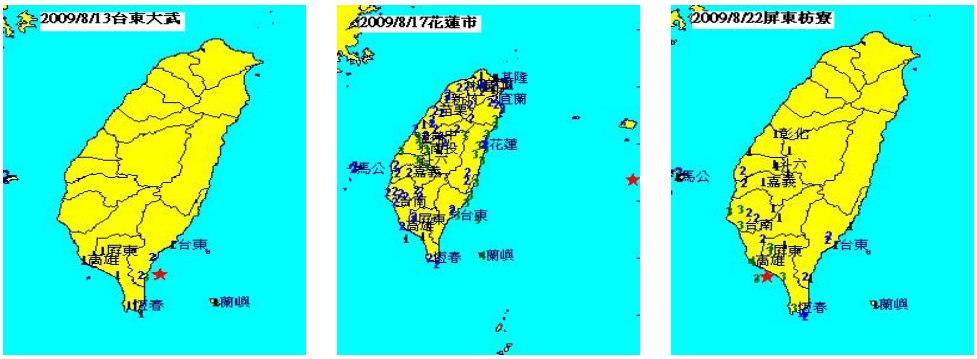


圖 2-64：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅色虛線為資料下載時間（2009/08/01-2009/08/31）。



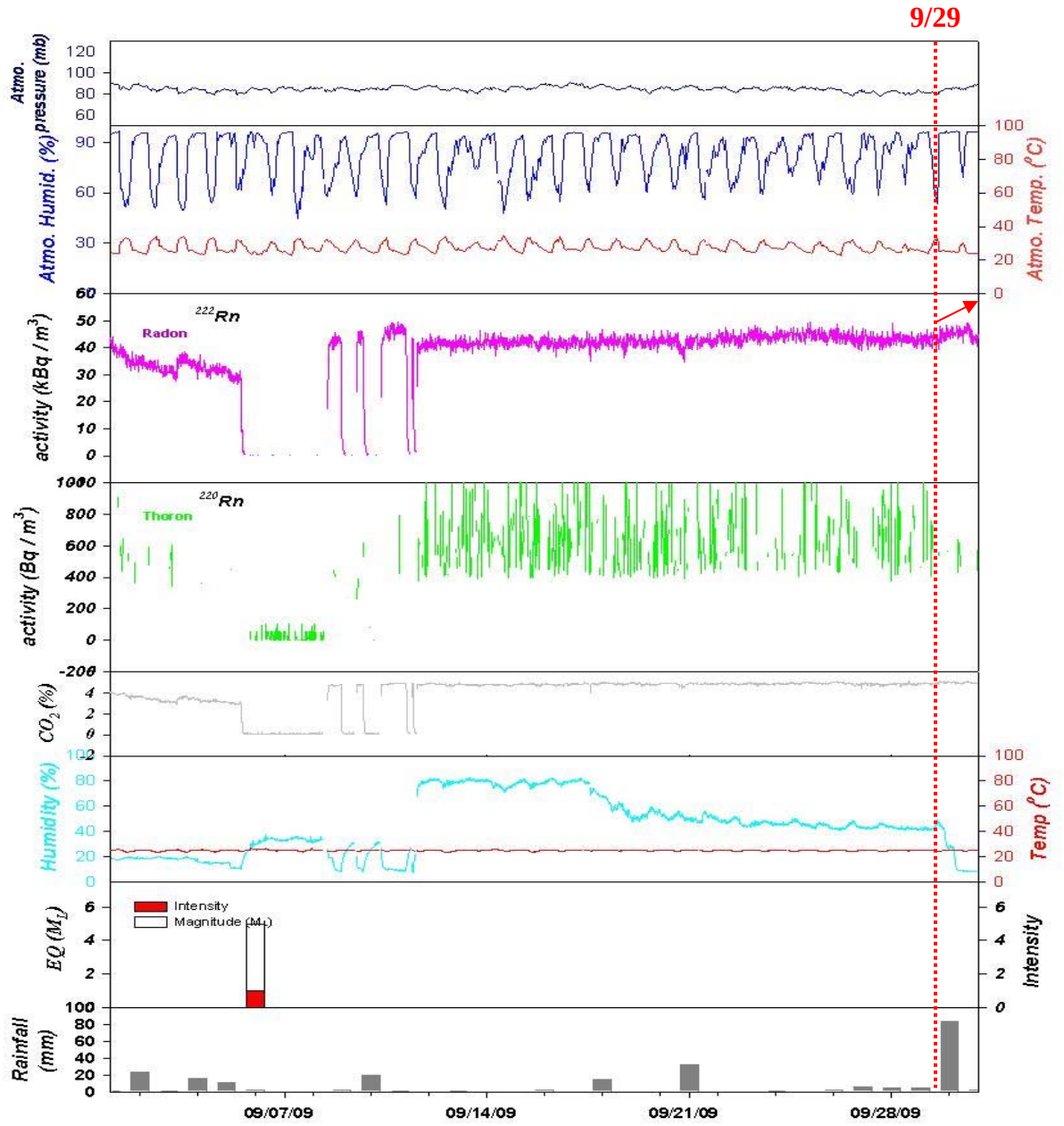
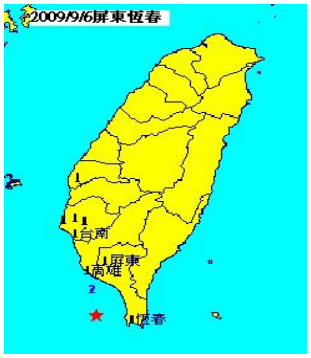


圖 2-65：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/09/01-2009/09/30）。



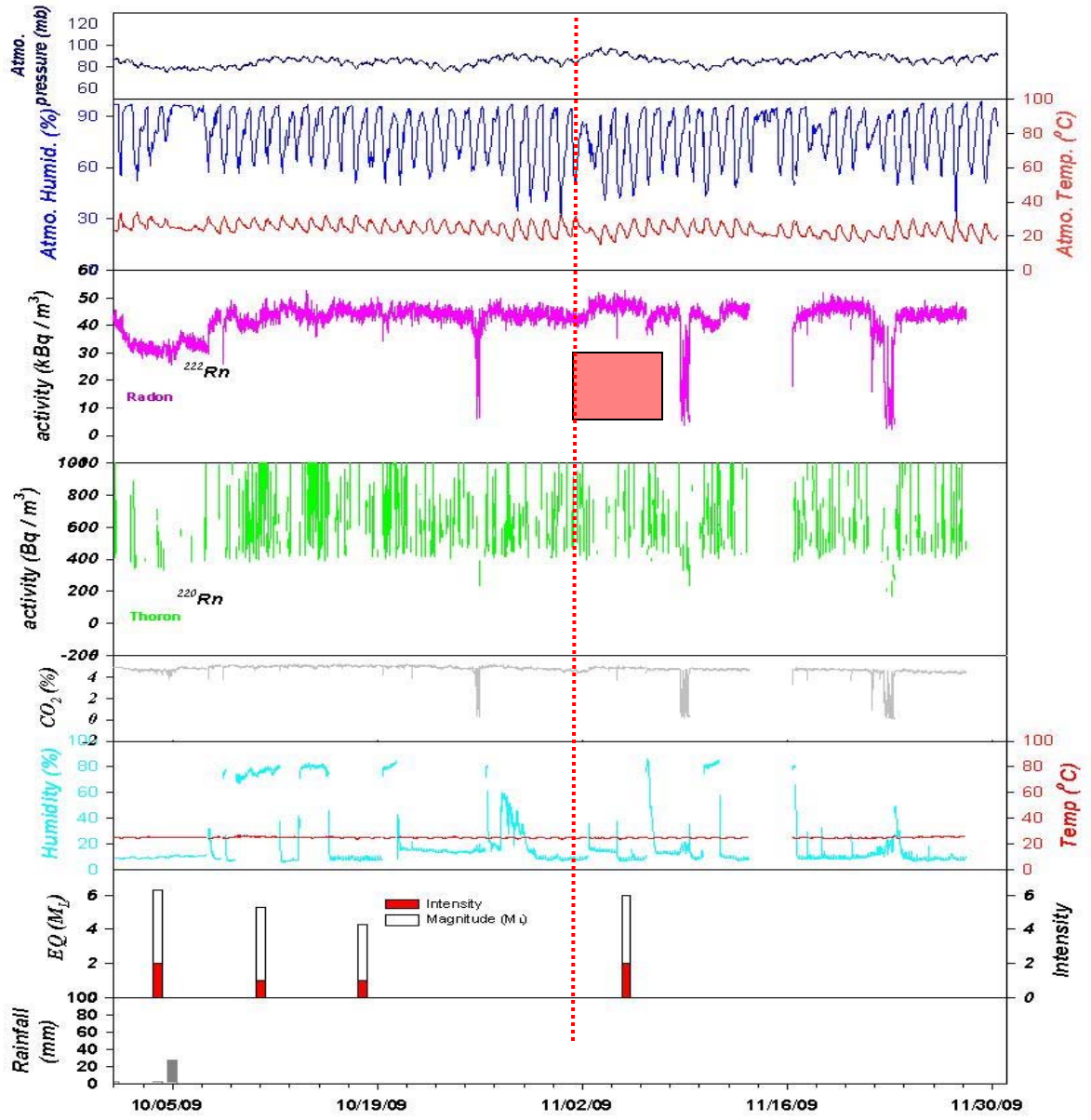
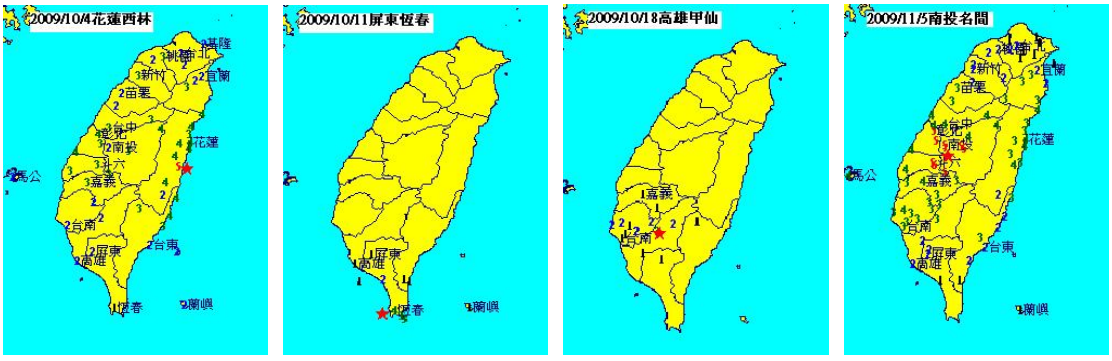


圖 2-66：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅框為異常值區間（2009/10/01-2009/11/30）。



2-6 台東池上土壤氣體觀測站

圖 2-67 至圖 2-79 為台東池上觀測站 2008 年 11 月至 2009 年 11 月的連續觀測結果。圖 2-67 是總圖表（2008 年 11 月至 2009 年 11 月）。圖 2-68 至圖 2-79 是分月圖表。其中測站同步觀測的環境影響因子（溫溼度、雨量、大氣壓力），因控制系統軟體與電腦硬體相衝突，以致無法下載氣象資料故而缺少 11 月 1 日至 11 月 13 日的資料。另外土壤氡氣的部分，11 月 1 日至 11 月 9 日因儀器不明原因故障造成氡氣資料缺乏。1 月 21 日至 2 月 17 日，氡氣分析儀送回研究室進行校正，故沒有資料記錄。此外，在 7 月 23 日之後由於氡氣分析儀內部的抽氣幫浦故障，導致儀器多次自動停止運作，故而缺少資料記錄（紅框表示），已於 10 月 1 日將原機送修並更換氡氣分析儀。

圖 2-68 至圖 2-70 為 2008 年 11 月至 2009 年 1 月的觀測結果。觀察這三個月的土壤氡氣濃度，有多次明顯的濃度升高後再下降的趨勢，期間也觀察到多起的地震事件，至 1 月 21 日升高至本階段最高點。圖 2-68，氡氣濃度於 11 月 14 日異常升高，11 月 19 日發生於台東成功的地震（規模 3.5，深度 16km，震度 1 級），氣體的異常變化可能與此地震有關。圖 2-69，氡氣濃度於 12 月 1 日至 12 月 5 日、12 月 12 日至 12 月 13 日、12 月 18 日至 12 月 22 日等三段時間有異常高點，並在高點後 12 月 8 日於花蓮外海的地震（規模 5.9，深度 35.1km，震度 2 級）；12 月 15 日於台東成功的地震（規模 3.3，深度 30.9km，震度 2 級）；12 月 25 日於台東成功的地震（規模 4.5，深度 38.3km，震度 1 級），這三個氡氣異常升高的情形，應可視為地震的前兆訊息。圖 2-70，氡氣濃度於 1 月 11 日至 1 月 12 日有異常高點，高點後於 1 月 15 日發生於台東市的地震（規模 3.4，深度 9.2km），亦是一次地震的前兆訊息。1 月 16 日氡氣開始上升，不過由於 1 月 21 日之後氡氣分析儀因帶回實驗室進行校正，因此無資料記錄。無法對於 1 月 26 日發生在台東利稻的地震（規模 3.5，深度 5.2km，震度 2 級）和 1 月 28 日發生於台東利稻的地震（規模 2.6，深度 11km，震度 2 級）予以比對與解釋。

圖 2-71 至圖 2-75 為年 2 月至 6 月的觀測結果。觀察這 5 個月的土壤氡氣濃度，亦有多次濃度升高一段時間後下降至背景值的趨勢，期間並發生多起地震。圖 2-72，氡氣濃度於 3 月 1 日至 3 月 6 日、3 月 7 日至 3 月 9 日、3 月 20 日至 3 月 22 日等三段間有異常高點，並在高點後 3 月 9 日於花蓮玉里的地震（規模 3.8，深度 41km）；3 月 12 日於台東市外海的地震（規模 3.8，深度 17.4km）；3 月 28 日於台東成功的地震（規模 3.6，深度 17.5km）。4 月份土壤氡氣濃度也有多次異常升高的情形出現，如 4 月 3 日至 4 月 6 日氡氣有異常變化，在 4 月 9 日於台東成功發生的地震（規模 4.6，深度 27.2km，震度 3 級）；4 月 6 日至 4 月 15 日氡氣亦有異常變化，這段醞釀期長達 9 天，在 4 月 17 日於花蓮市發生的地震（規模 5.3，深度 43.4km，震度 1 級），由此觀之，這兩次的氡氣異常變化，應可視為是之後地震的前兆訊息。5 月份土壤氡氣濃度值尚稱平穩。在 6 月 21 日至 6 月 26 日間氡氣濃度有異常升高的變化，在這之後的 6 月 25 日在花蓮市外海發生的地震（規模 5，深度 21.9km）及在 6 月 28 日在花蓮秀林也

有地震發生（規模 5.3，深度 12.9km）。氡氣濃度的異常變化是否與這兩起地震有關，需要進一步討論。

圖 2-76 是 7 月的觀測結果。7 月份氡氣濃度亦同樣有兩段明顯的異常變化，且在濃度下降後緊跟隨著地震。如氡氣濃度於 7 月 13 日升高並持續至 7 月 15 日始下降，兩天的醞釀期後，分別於 7 月 16 日（規模 5.4，深度 21.4km，震度 2 級）及 7 月 17 日（規模 5.1，深度 20.8km，震度 1 級）在花蓮市外海發生地震；又如氡氣 7 月 18 日上升並持續至 7 月 19 日下降，於 7 月 26 日在花蓮玉里發生地震（規模 5.4，深度 12.5km，震度 2 級）。

圖 2-77 及圖 2-78 是 8、9 月的觀測結果。8 月 10 日前雖有兩段無資料記錄，但大致上可以看出氡氣濃度是上升的趨勢，在 8 月 10 日達於高點後下降，隨之在 8 月 11 日於台東成功外海（規模 3.5，深度 38.4km，震度 1 級）及 8 月 17 日於花蓮市外海（規模 6.8，深度 43.3km，震度 2 級）各發生一起地震。9 月份由於多次儀器本身抽氣幫浦故障無法紀錄資料，因此氡氣濃度無法完整的紀錄。

圖 2-79 是 10、11 月的觀測結果。10 月 17 日至 10 月 20 日由於儀器故障因而無資料記錄。本月份亦呈現多階段濃度升高後再下降趨勢。如 10 月 2 日氡氣從高點下降後，於 10 月 4 日發生 3 起地震，一是發生於花蓮西林（規模 6.3，深度 15.3km，震度 3 級），一是發生於台東市（規模 4.1，深度 3km，震度 2 級），一是發生於台東成功（規模 4.2，深度 27km，震度 2 級）。10 月 4 日氡氣上升後，於下降時在 10 月 11 日發生於台東成功的地震（規模 3.4，深度 19.4km，震度 2 級）；11 月 1 日氡氣下降後，於 11 月 5 日發生於南投名間的地震（規模 6，深度 19.3km，震度 2 級）。由以上觀之，應可確信氡氣的異常變化與地震的關聯性。

2-6.1 結論

大致上，本測站的土壤氡氣濃度變化與台灣東部發生的地震有密切關係，由數次氡氣濃度異常升高的反應發現，土壤氣體濃度異常升高持續一段時間，在開始降低之後常伴隨地震發生，而這些地震的位置多發生在台東附近一帶。

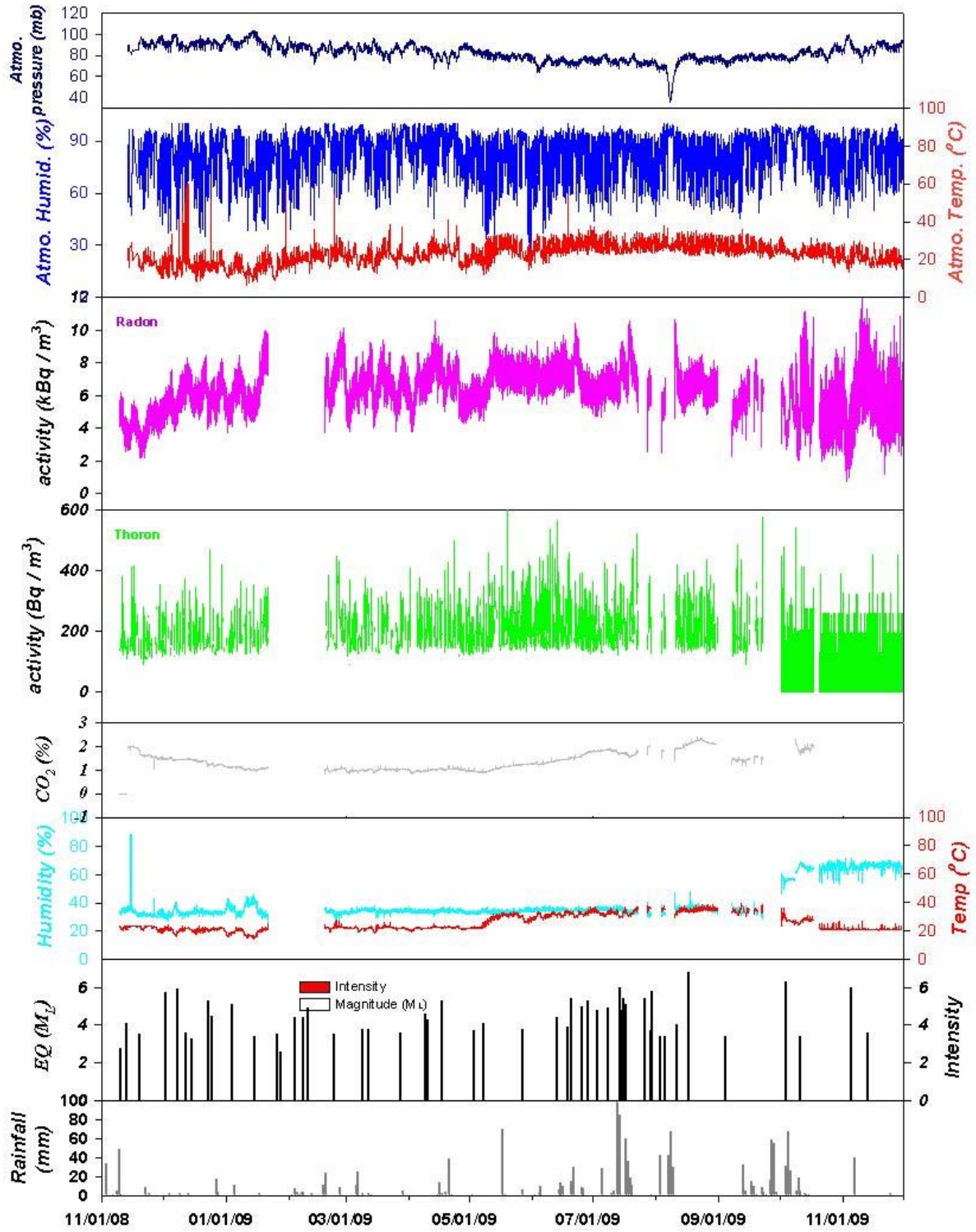


圖 2-67：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/11/01-2009/11/30）。

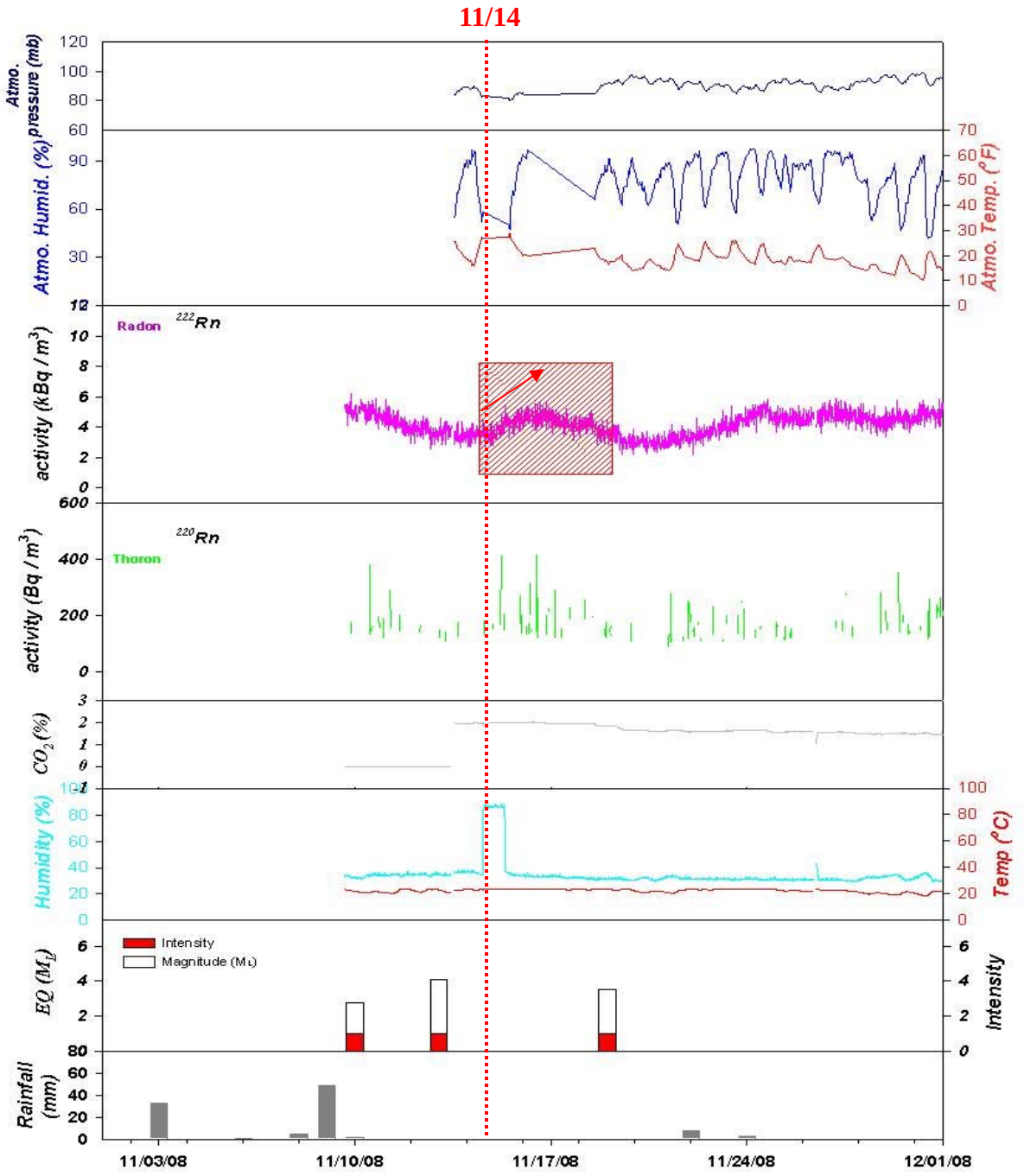
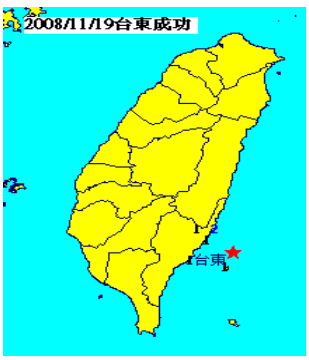


圖 2-68：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅框為異常值區間（2008/11/01-2008/11/30）。



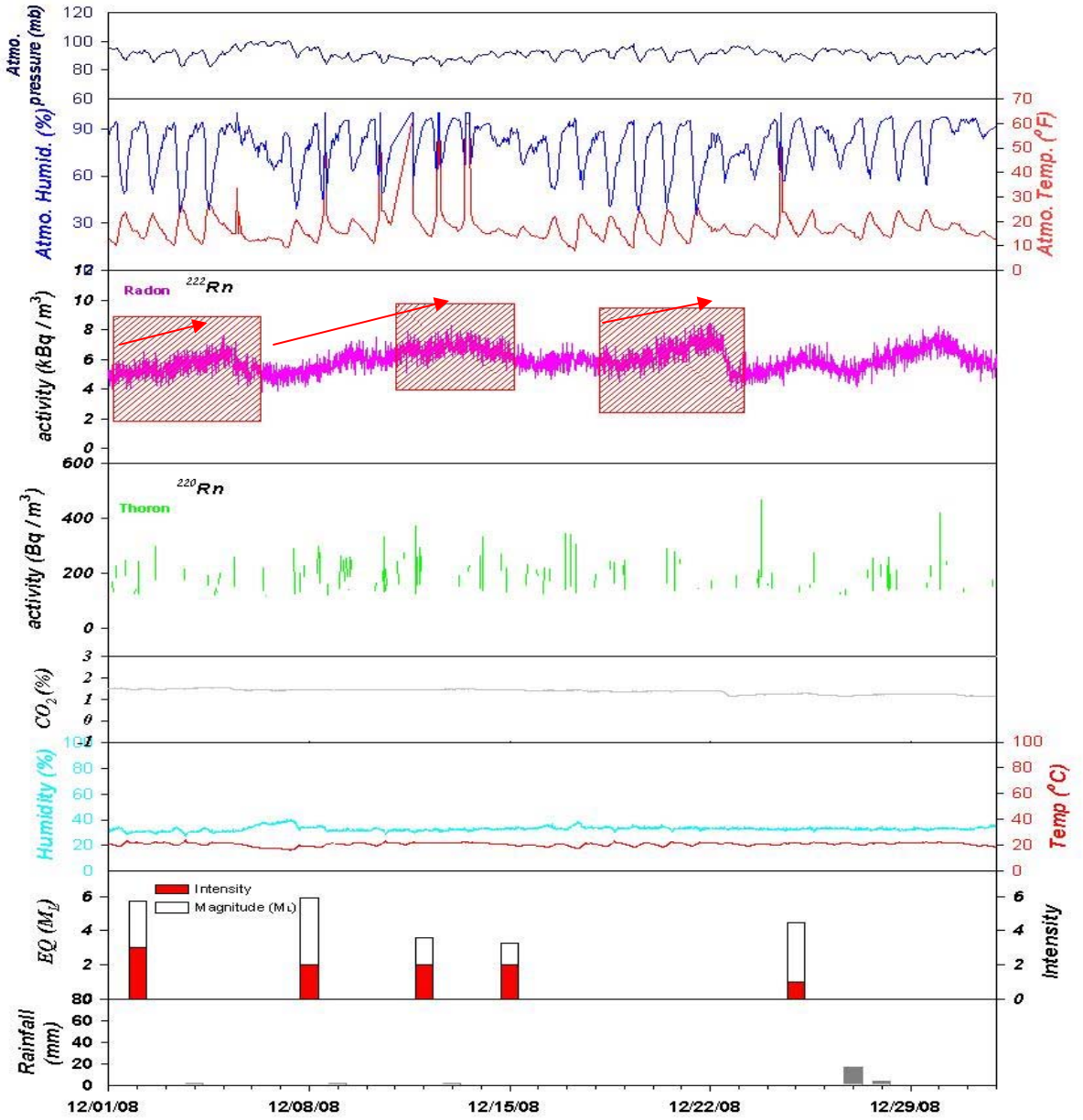


圖 2-69：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅框為異常值區間（2008/12/01-2008/12/31）。



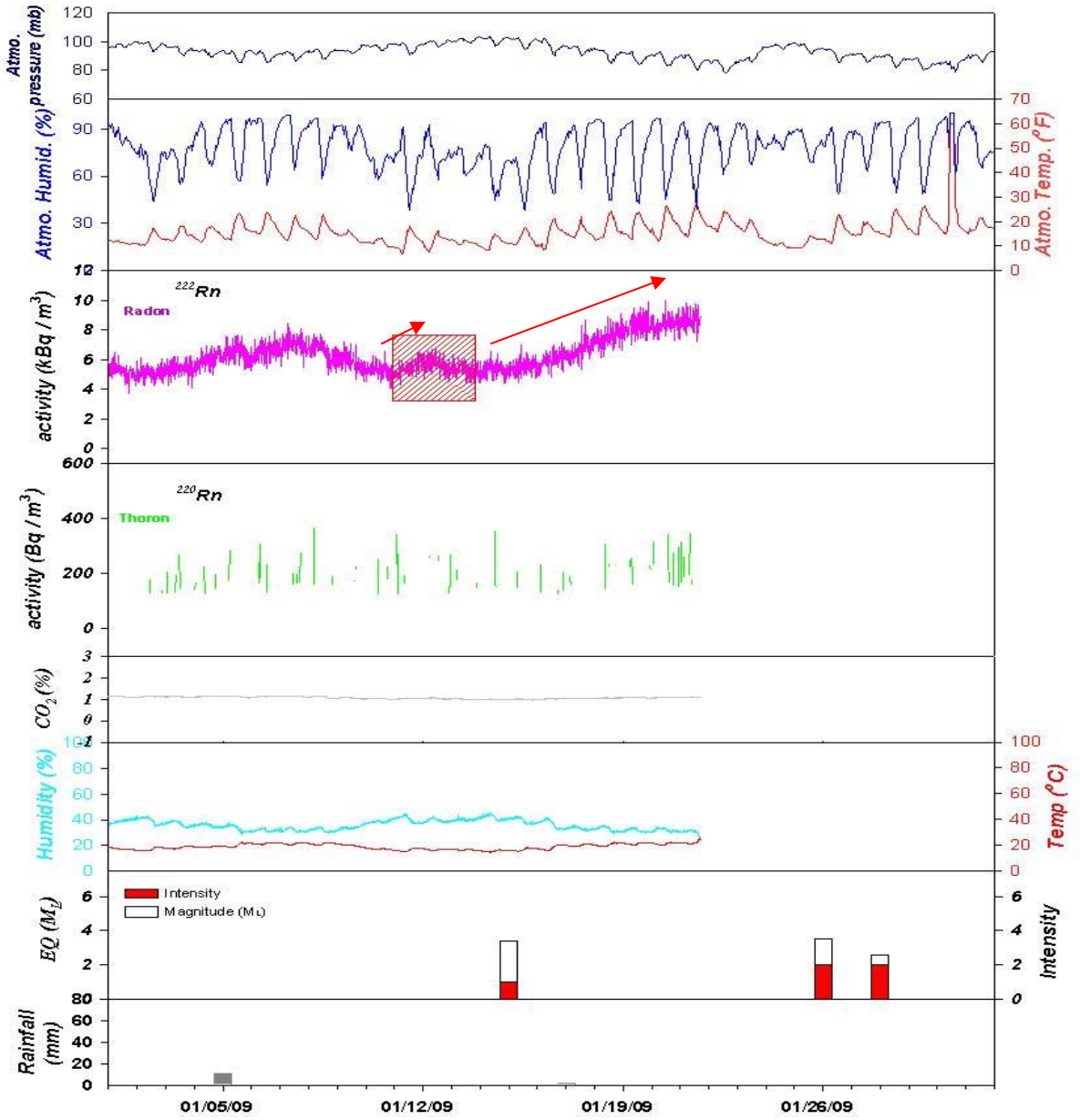
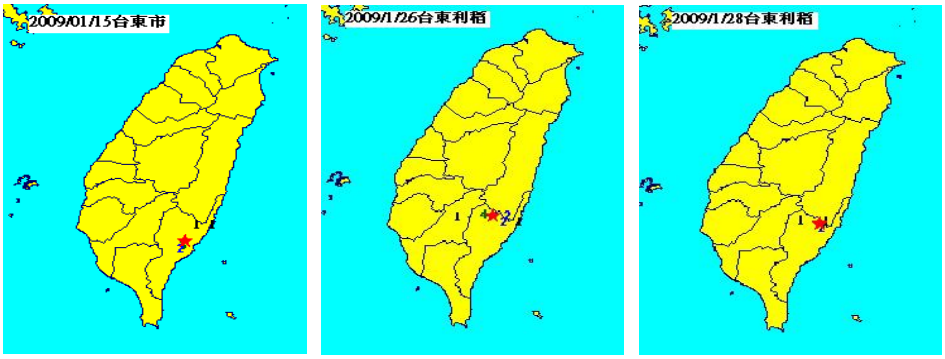


圖 2-70：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅框為異常值區間（2009/01/01-2009/01/31）。



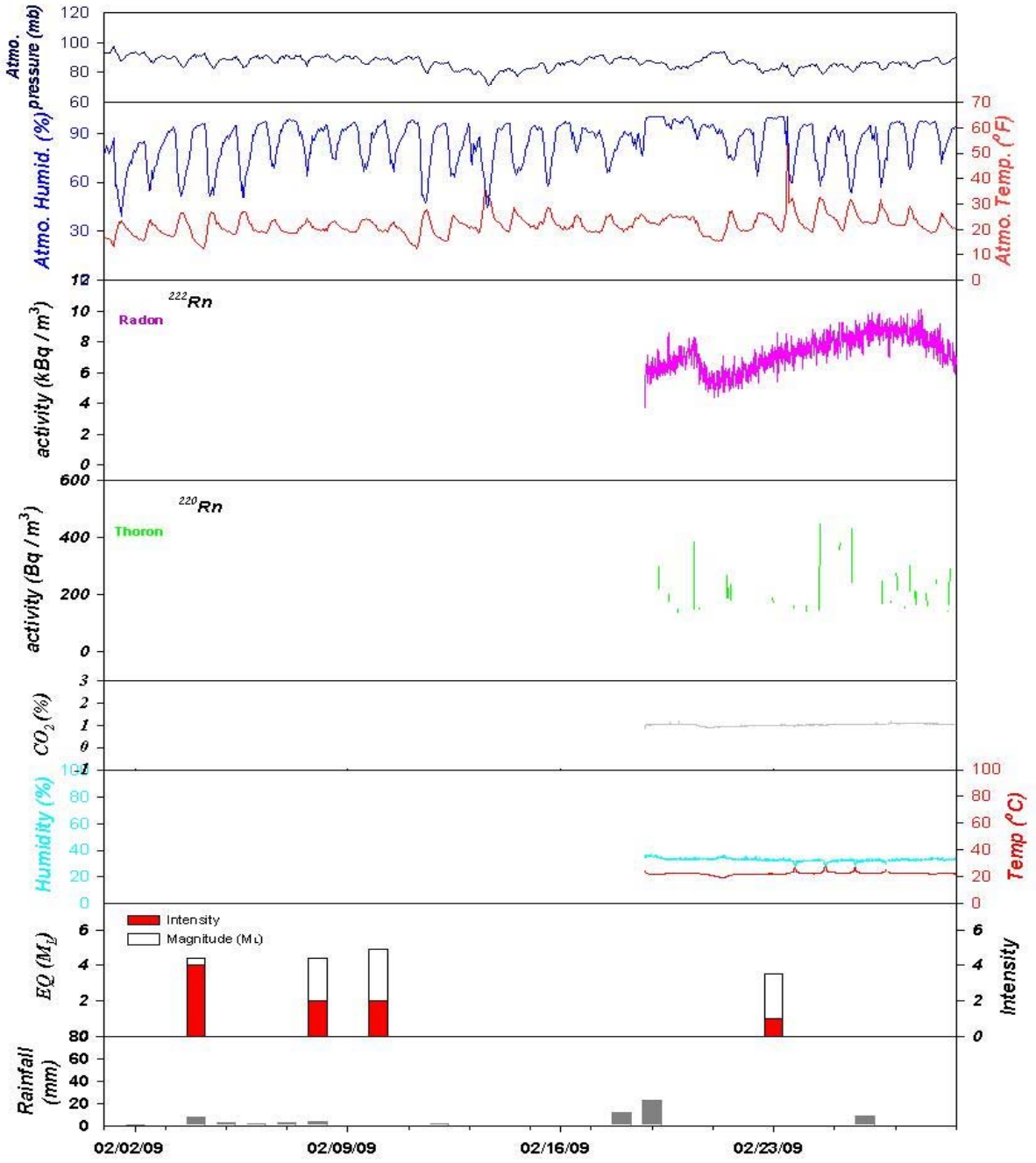


圖 2-71：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/02/01-2009/02/28）。

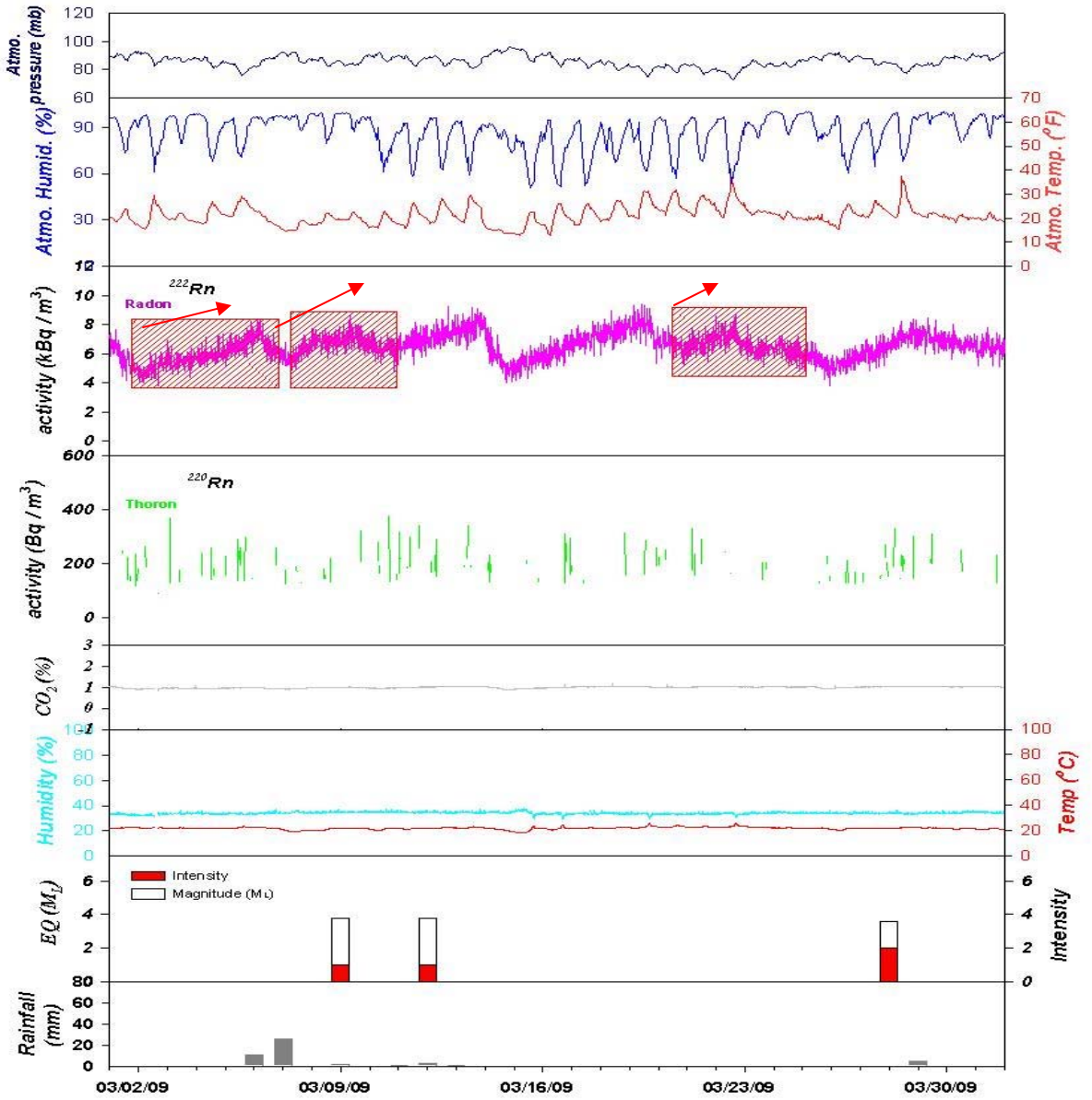


圖 2-72：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅框為異常值區間（2009/03/01-2009/03/31）。



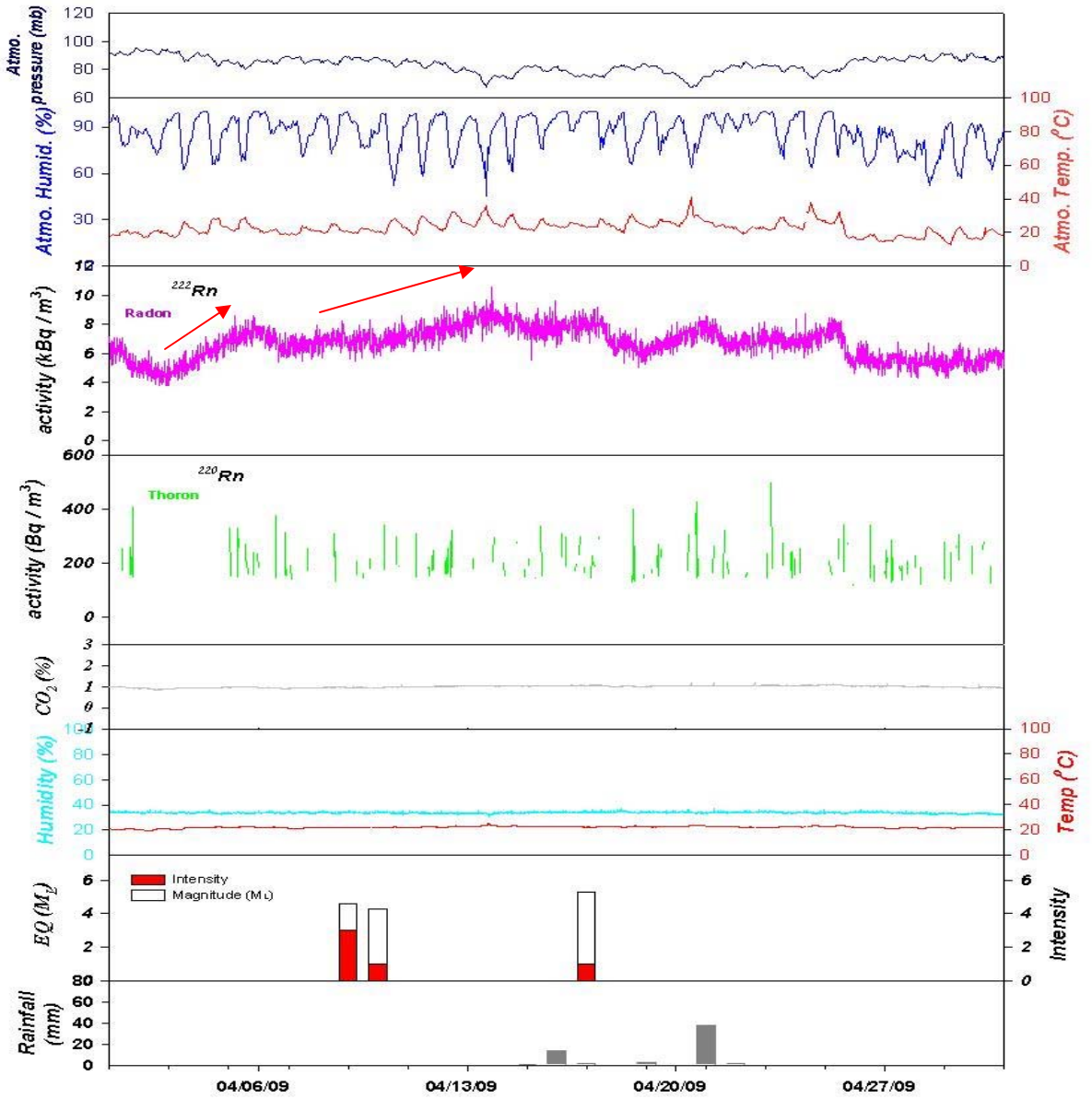
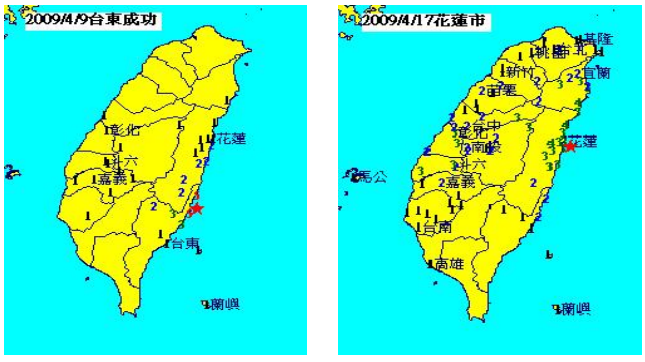


圖 2-73：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/04/01-2009/04/30）。



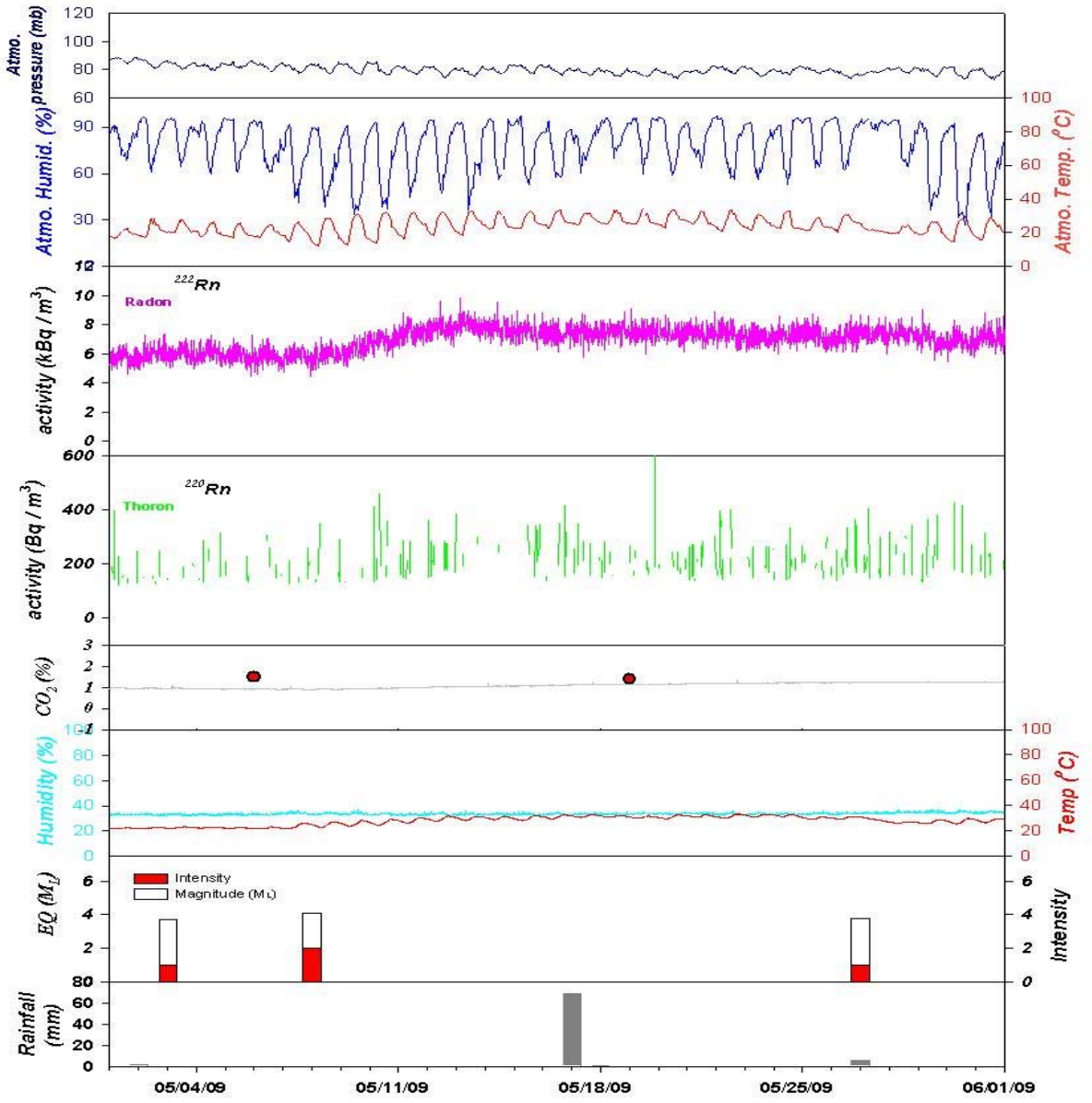


圖 2-74：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2009/05/01-2009/05/31）。

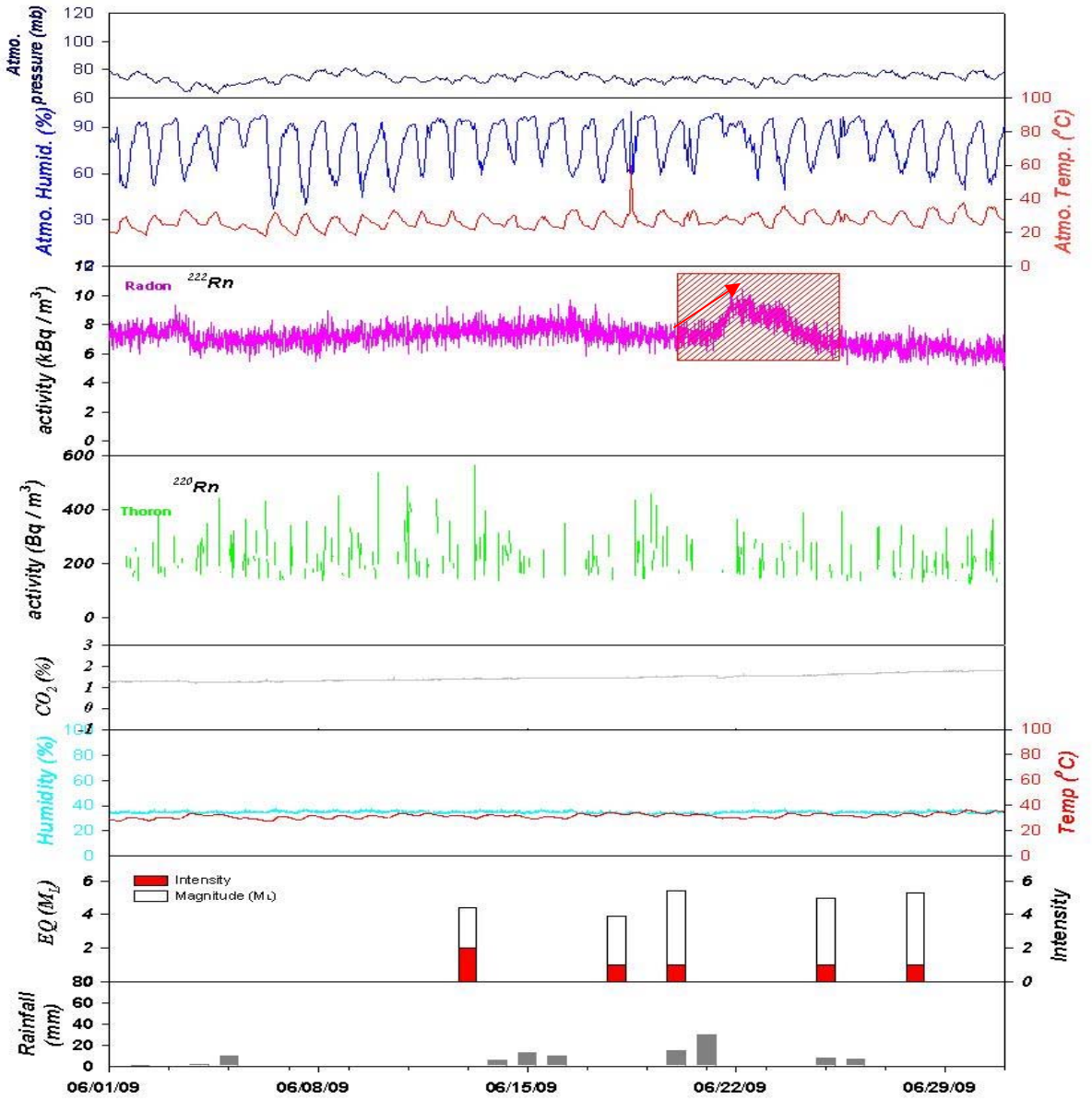
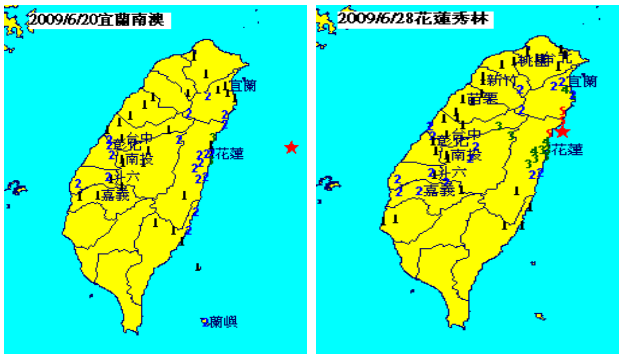


圖 2-75：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅框為異常值區間（2009/06/01-2009/06/30）。



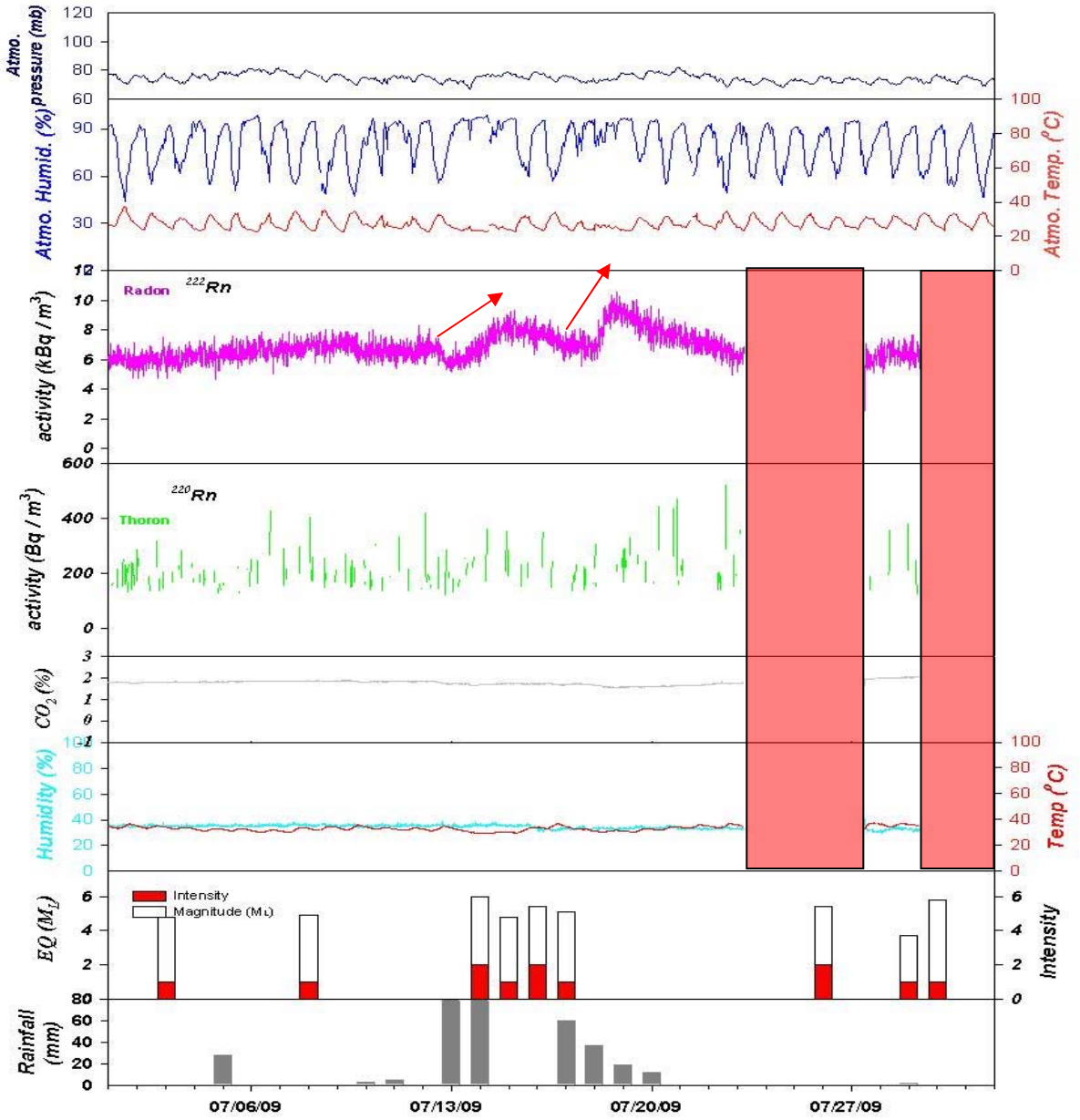


圖 2-76：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/07/01-2009/07/31）。



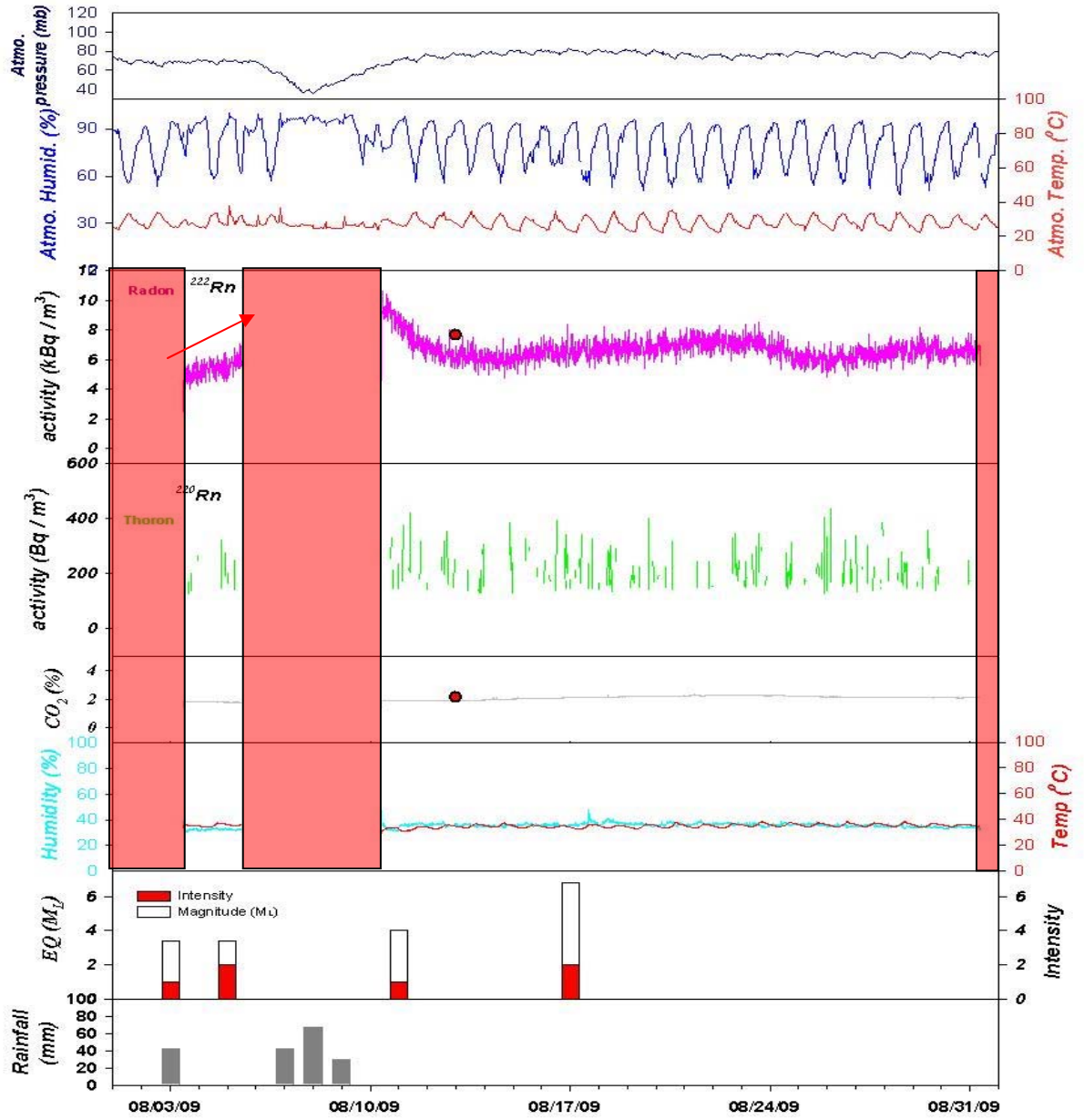
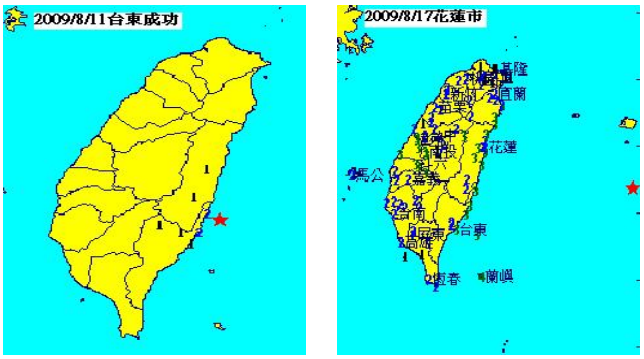


圖 2-77：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2009/08/01-2009/08/31）。



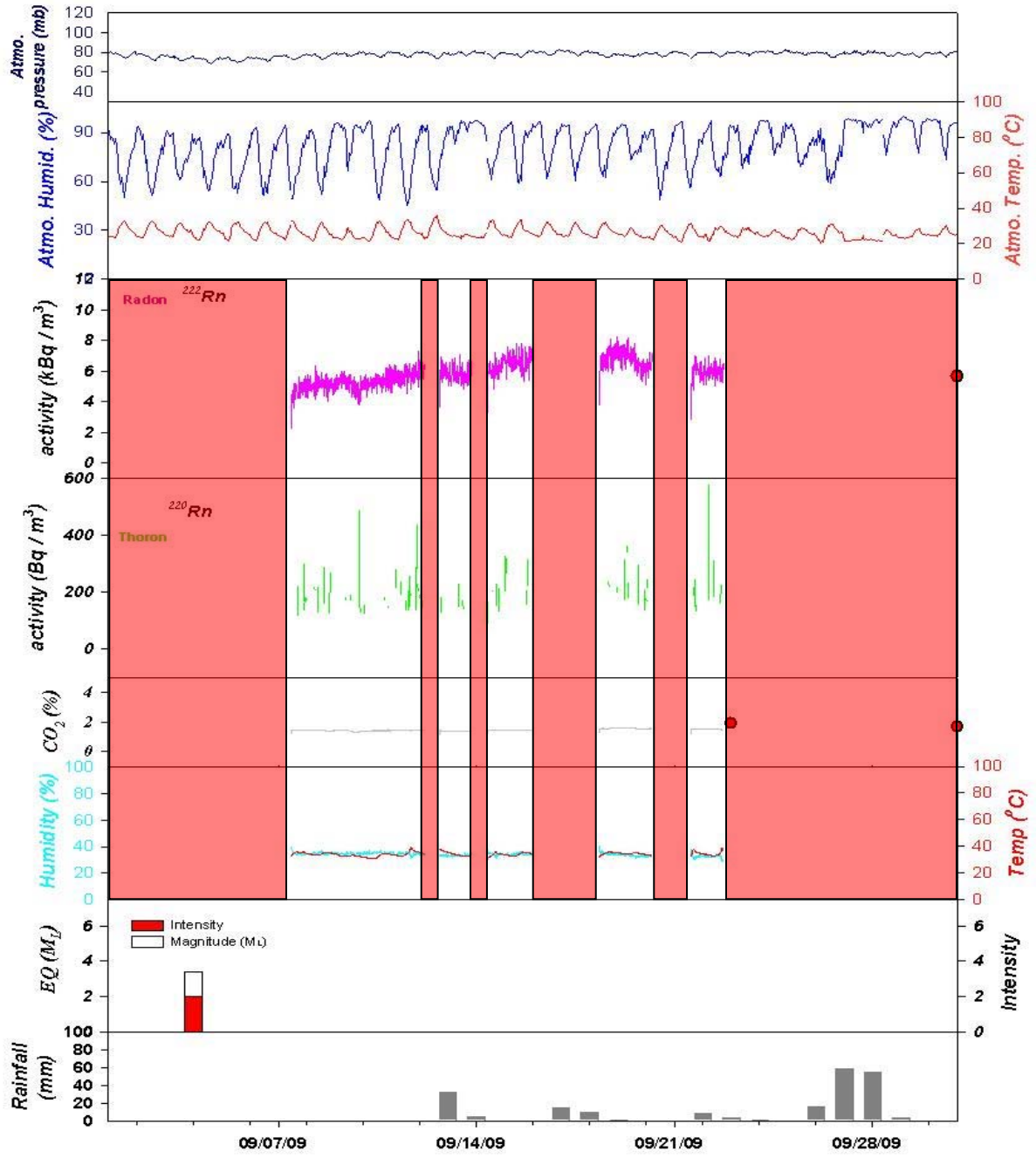


圖 2-78：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2009/09/01-2009/09/30）。

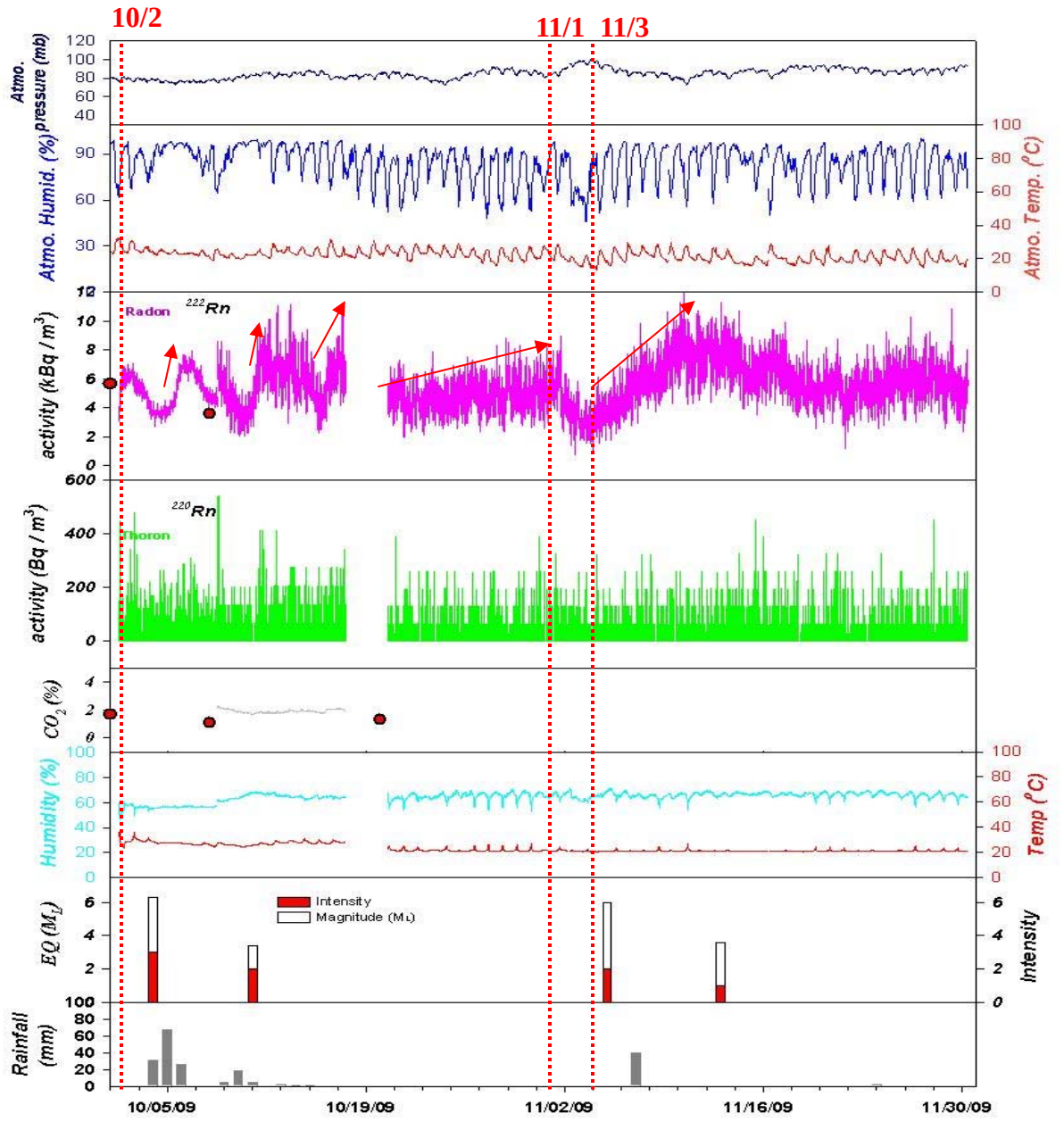
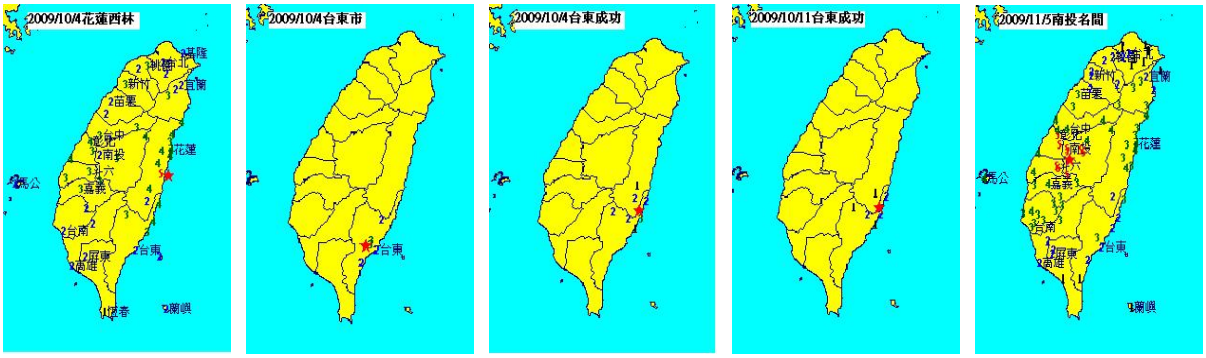


圖 2-79：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度（A.T.）、溼度（A.H.）、雨量及地震之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2009/10/01-2009/11/30）。



2-7 嘉義中崙濁水潭土壤氣體觀測站

2-7.1 氡氣偵測儀分析結果

圖 2-80 至圖 2-93 為嘉義中崙濁水潭觀測站 2008 年 11 月至 2009 年 11 月的連續觀測結果。本測站內現有兩台氡氣分析儀（編號 112 及編號 106）進行土壤氣氡氣的濃度分析並據以交叉比對。唯編號 106 氡氣分析儀的溫度感應出現問題，必須送回原廠維修，因此在 2009 年 1 月 9 日更換成另一款氡氣分析儀（型號是 RTM1688-8），圖 2-80 是編號 112 及編號 106 氡氣分析儀自 2008 年 11 月 1 日至 2009 年 1 月 9 日的分析結果，兩台氡氣分析儀背景值不同，差距約在 10000Bq/m^3（現以完成校正）；圖 2-81 是編號 112 及編號 RTM1688-8 氡氣分析儀自 2009 年 1 月 9 日至 11 月 30 日的分析結果，兩台氡氣分析儀背景值亦不同，差距約在 20000Bq/m^3（現以完成校正），目前兩台儀器的分析結果相當一致，有助於確認氡氣濃度變化的可信度。圖 2-82 至圖 2-93 是分月圖表。12 月 12 日更換電子式氣體乾燥器，溼度從 70%降至 35%。2 月 4 日至 2 月 17 日氡氣分析儀送回研究室進行校正及 8 月 7 日至 8 月 20 日因莫拉克颱風停電影響故沒有資料記錄。

圖 2-80 及 圖 2-81 可以明顯的看出土壤氡氣濃度在 1 月 8 日之後呈現上升趨勢。1 月 9 日更換氡氣分析儀，期間除了定時下載資料，降雨少，可以排除人為與自然因素的干擾，應是真實土壤氣體濃度的釋放。圖 2-82 為 2008 年 11 月的觀測結果，11 月 18 日發生於嘉義市東北方的地震（規模 3.6，深度 10km，震度 3 級，距離測站 19.4km），土壤氡氣濃度在 11 月 13 日上升（紅色箭頭處）至 11 月 15 日之後開始下降，這異常升高的氡氣濃度，可能與這起地震有關。圖 2-83 為 2008 年 12 月的觀測結果，受到土壤日夜溫溼度變化影響，土壤氡氣濃度呈現日夜變化的趨勢，本月 3 起的地震事件，12 月 1 日發生於嘉義大埔的地震（規模 3.1，深度 8.4km，震度 2 級，距離測站 15km），12 月 7 日 2 起發生於嘉義大埔的地震（規模 3.8，深度 9.3km，震度 3 級，距離測站 22km；規模 3.5，深度 9km，震度 2 級，距離測站 22km）。在測站南部及台灣東南部亦發生 4 起規模超過 4 的地震，不過土壤氡氣濃度並未觀察到顯著的異常變化。

圖 2-84 及圖 2-85 為 2009 年 1、2 月的觀測結果。1 月份仍然受到土壤日夜溫溼度變化影響，土壤氡氣濃度呈現日夜變化的趨勢，值得注意的是在 1 月 22 日 5 時至 1 月 23 日 21 時，這 2 天時間氡氣看似較不受土壤日夜溫溼度影響，氡氣濃度在 1 月 22 日 18 時上升至高點，這期間在 1 月 22 日 9 時 40 分發生在高雄甲仙的地震（規模 4，深度 18.3km，震度 2 級）。然經過此一地震後，氡氣濃度雖受土壤日夜溫溼度影響仍呈現緩慢上升，之後趨於穩定，在 2 月 17 日以後，氡氣濃度對於土壤日夜溫溼度的影響逐漸趨緩。

圖 2-86 為 3 月的觀測結果。土壤氡氣濃度在 3 月 10 日至 3 月 14 日間有明顯的

異常變化，於 3 月 16 日在台南東山附近發生一起地震（規模 3.6，深度 12.1km，震度 3，距離測站 13.2km），這應是一次可信的地震前兆訊息。

圖 2-87 及圖 2-88 為 4、5 月的觀測結果。在 4 月 7 日發生於嘉義大埔的地震（規模 3，深度 6.5km，震度 3，距離測站 7.7km），土壤氡氣濃度在 4 月 3 日至 4 月 6 日間發生異常變化；在 4 月 17 日發生於花蓮市的地震（規模 5.3，深度 43.4km，震度 3），土壤氡氣濃度在 4 月 13 日至 4 月 17 日間有異常變化；在 5 月 5 日發生於台南東山的地震（規模 3.3，深度 11.7km，震度 2，距離測站 19.2km），土壤氡氣濃度在 4 月 26 日至 5 月 4 日間有異常變化。至於 4 月 17 日以後土壤氡氣濃度有 2 次異常變化，或許與雨量增加有關，期間並無相對應的地震可供比對。此外，值得注意的是，5 月 25 日氡氣濃度突然大幅度下降，於 27 日時發生一起規模達 5.7，地震深度 55.1km 的地震事件，不過由於此地震發生位置在觀測站西南方約 200 公里以外的位置，然而過去本測站對於在此地區發生地震與土壤氣體之間的觀察並不多，因此本氣體異常降低的變化是否和這個地震有關，尚待日後配合其他研究的觀察結果予以討論。

圖 2-89 至圖 2-91 為 6 月至 8 月的觀測結果。這三個月受到豪大雨影響雖然溼度控制在 40%上下，但是兩台交叉做比對的氡氣分析儀分析的結果卻是呈現相同劇烈的上下起伏，尤其是在大雨過後，如 6 月 4 日、6 月 14 日、6 月 21 日、7 月 13 日、7 月 24 日及 8 月 3 日，氡氣皆是降到零值，這應是地底下積水造成逸氣通道受阻而造成溼度雖在控制內但卻分析不到氡氣。圖上紅色箭頭表示氡氣呈現上升趨勢，這期間測站測得 19 起地震（在測站附近的有 6 起，6 月 2 日嘉義大埔，規模 3.8；6 月 18 日嘉義大埔，規模 4.4；6 月 19 日嘉義市，規模 4；6 月 22 日嘉義市，規模 4.5；7 月 11 日嘉義市，規模 3.2；8 月 1 日嘉義市，規模 3.4）且在地震發生前土壤氡氣濃度也有明顯變化，不過由於變化幅度太大，無法確實指出之間的關聯性。

圖 2-92 為 9 月的觀測結果。本月分有三段值得注意的區間（圖上紅色箭頭處）。每段區間上升至高點後，於下降時發生地震，如 9 月 7 日氡氣上升，9 月 8 日下降後，於 9 月 12 日發生於花蓮市外海的地震（規模 5.2，深度 1.2km，震度 2 級）及 9 月 14 日發生於台南東山的地震（規模 3.8，深度 10.7km，震度 2 級），這兩起地震一是地震規模較大而發生的深度較淺，一是規模較小但距離觀測站比較近，至於哪一起地震的發生與這區間的氡氣變化有關，仍需進一步討論。9 月 11 日氡氣上升，9 月 15 日下降後，於 9 月 19 日發生於嘉義大埔的地震（規模 4.5，深度 9.4km，震度 4 級）；9 月 16 日氡氣上升，9 月 30 日因大雨導致氡氣呈現劇烈上下起伏至 10 月 2 日，於 9 月 30 日發生於台南東山的地震（規模 3.7，深度 11.4km，震度 3 級）。根據地震發生前氡氣濃度會有異常上升的趨勢來看，這三段區間的氡氣變化與地震的關聯性應是可確認的。

圖 2-93 為 10、11 月的觀測結果。此圖亦有數段值得注意的區間（圖上紅色箭頭

處）。每段區間異常變化後伴隨著地震，如 10 月 3 日氡氣上升，10 月 5 日下降後，於 10 月 5 日發生於台南東山的地震（規模 3.9，深度 13.6km，震度 2 級）；10 月 8 日氡氣上升，10 月 12 日下降後，於 10 月 18 日發生於高雄甲仙的地震（規模 4.3，深度 20km，震度 2）；10 月 26 日氡氣上升，11 月 2 日下降後，於 11 月 5 日發生於南投名間的地震（規模 6，深度 19.3km，震度 5 級），11 月 5 日氡氣持續上升中，期間南投地震的餘震不斷，此應為這段濃度異常的原因；而 11 月 12 日氡氣濃度又再度升高，約 4 天左右在嘉義附近就發生一起地震規模 4.1 的地震（深度 8.8km，測站測得的震度為 5），以上幾起的地震發生前氡氣皆有明顯的異常變化，應可確信是真實的地震前兆訊息。至資料擷取為止，還在上升中，應可期待另一次的地震。

2-7.2 結論

大致上，本測站的土壤氡氣濃度變化與台灣中部以南與東部地區發生的地震有密切關係。由數次氡氣濃度異常升高的反應發現，土壤氣體濃度異常升高持續一段時間，在開始降低之後常伴隨地震發生。此外，短時間的豪大雨常會造成本測站土壤氣體的變化過大，導致資料難以判讀。

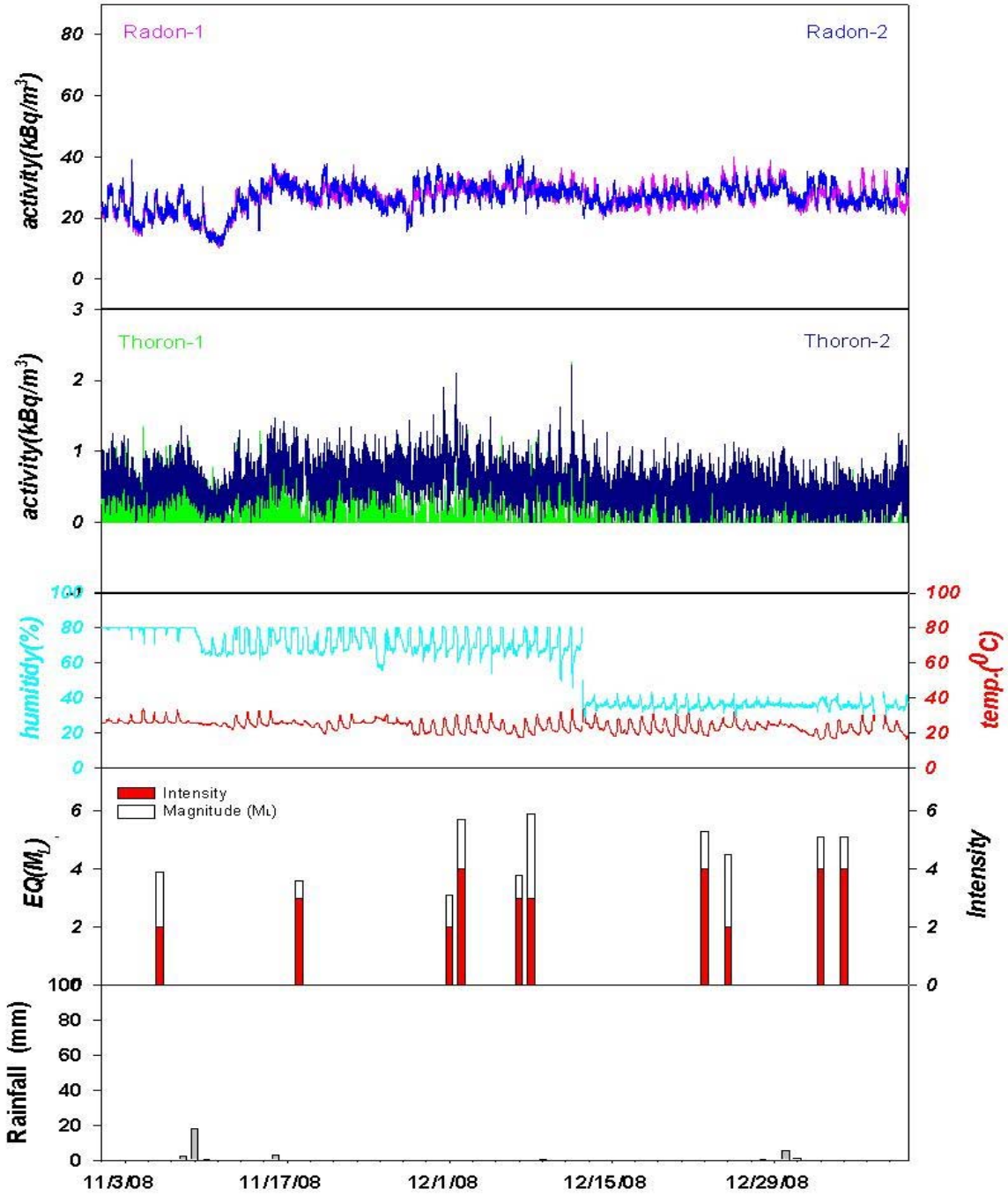


圖 2-80：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/11/01-2009/01/09）。

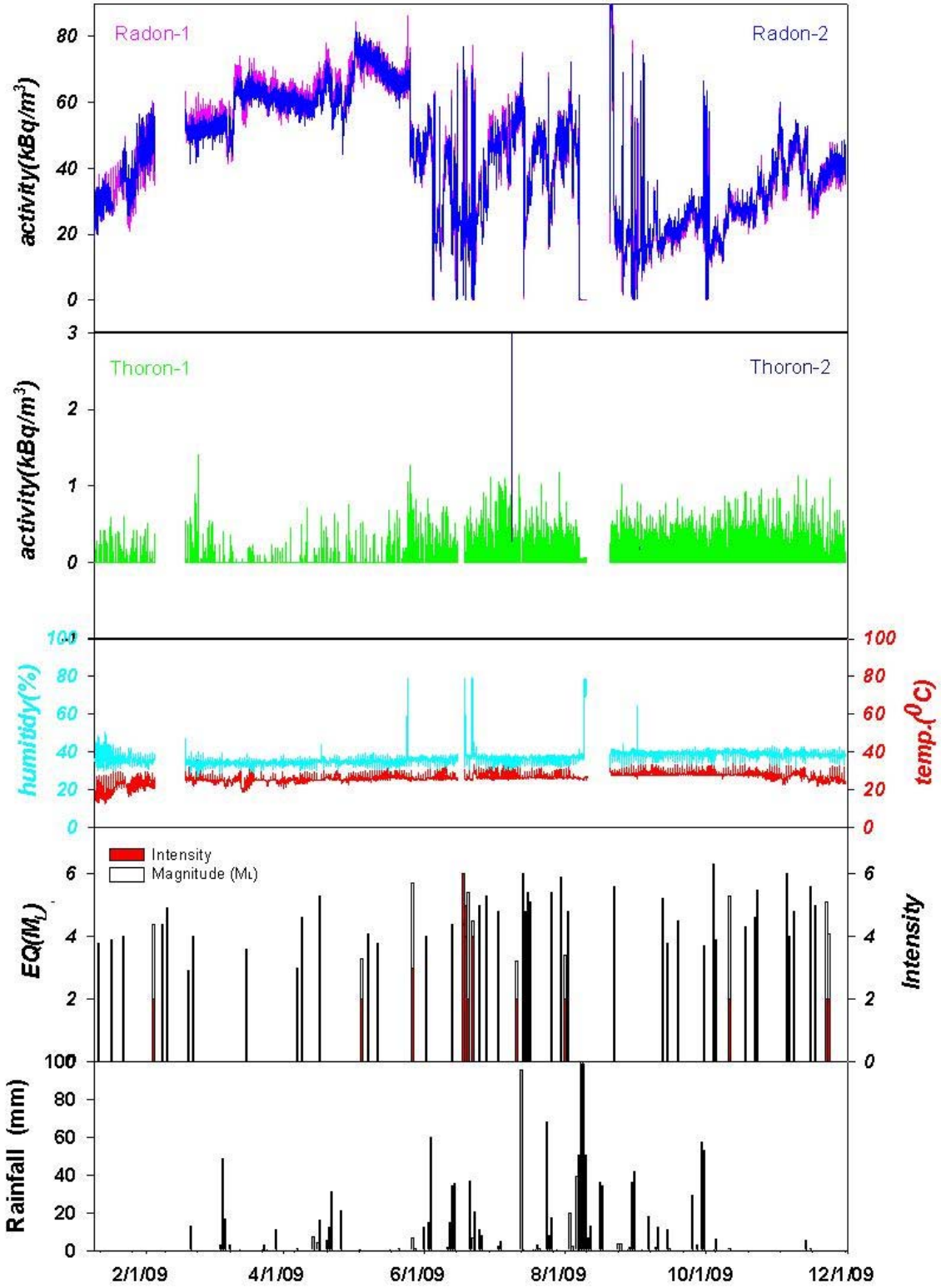


圖 2-81：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/01/09-2009/11/30）。

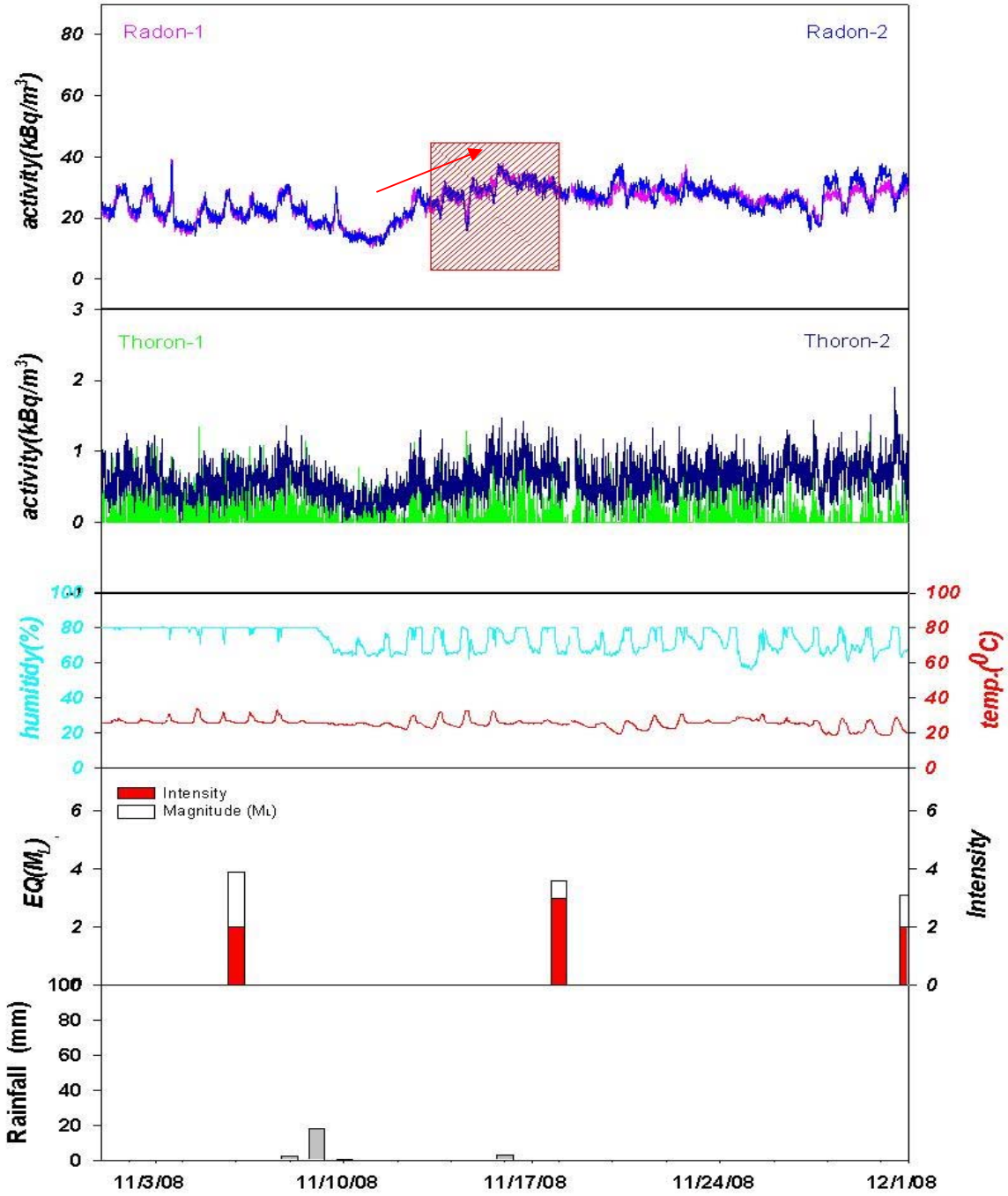
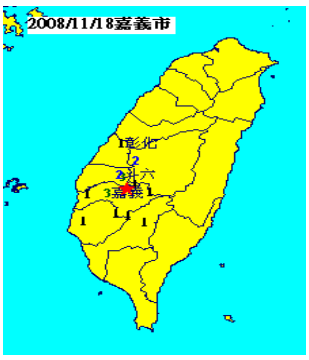


圖 2-82：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅框為異常值區間（2008/11/01-2008/11/30）。



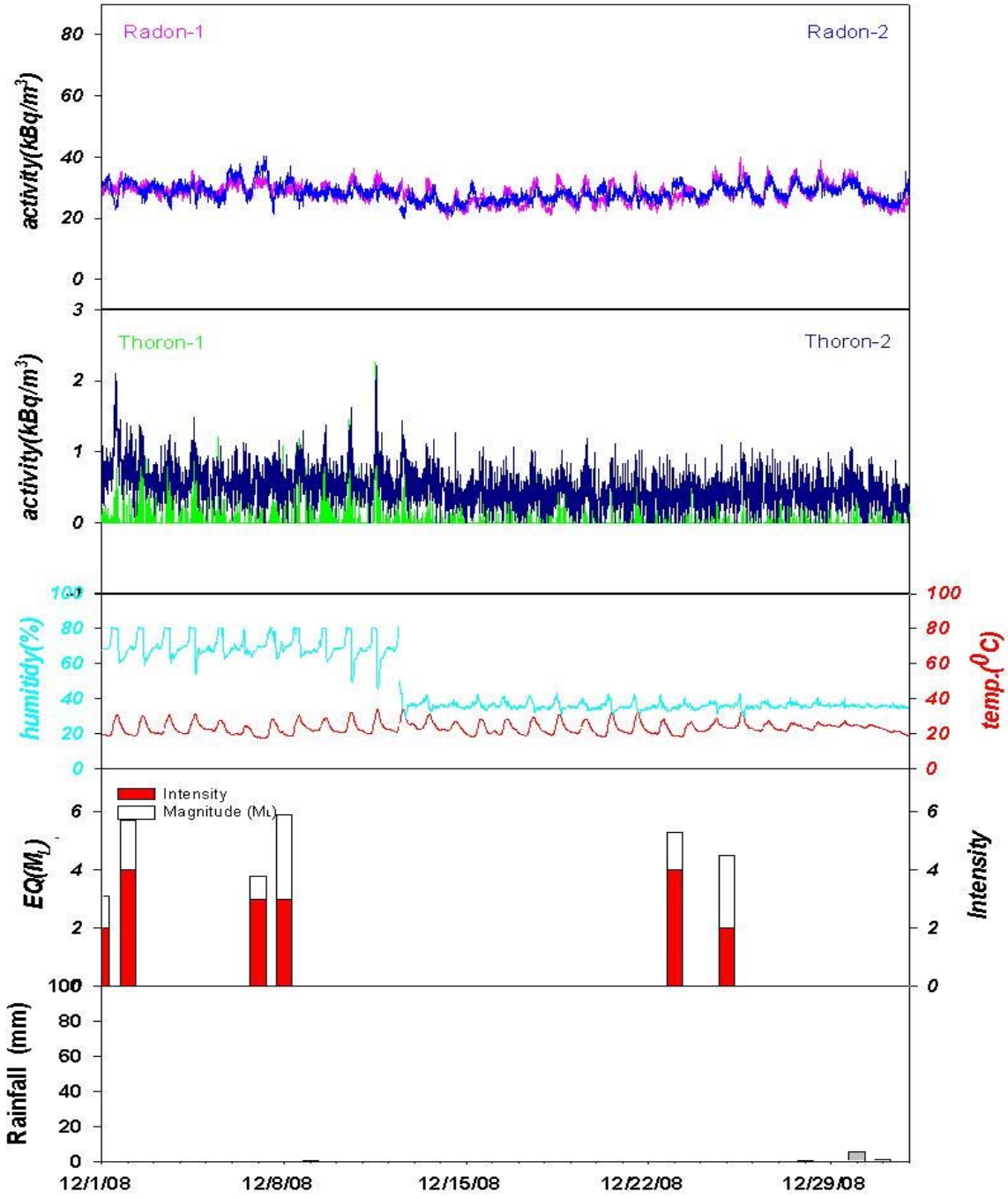
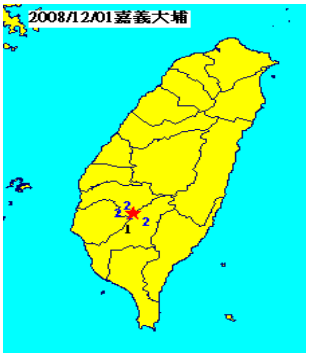
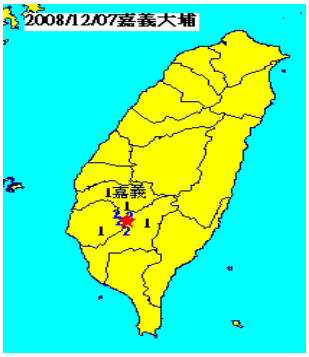


圖 2-83：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2008/12/01-2008/12/31）。







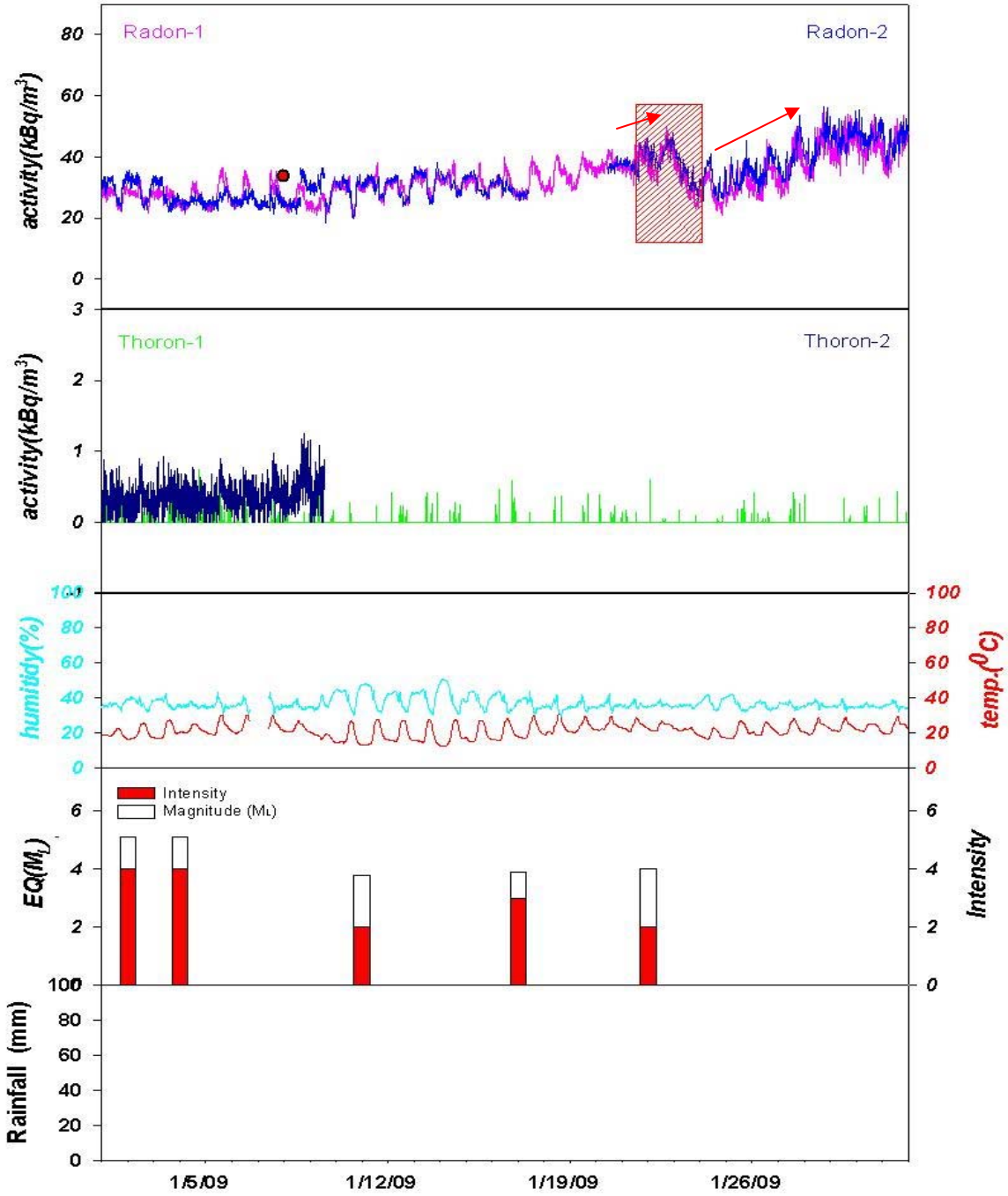
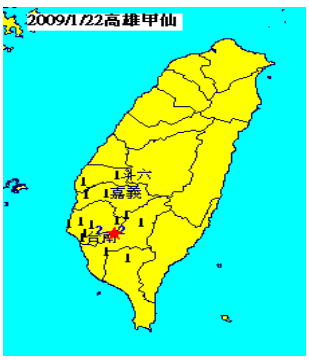


圖 2-84：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣分析結果；紅框為異常值區間（2009/01/01-2009/01/31）。



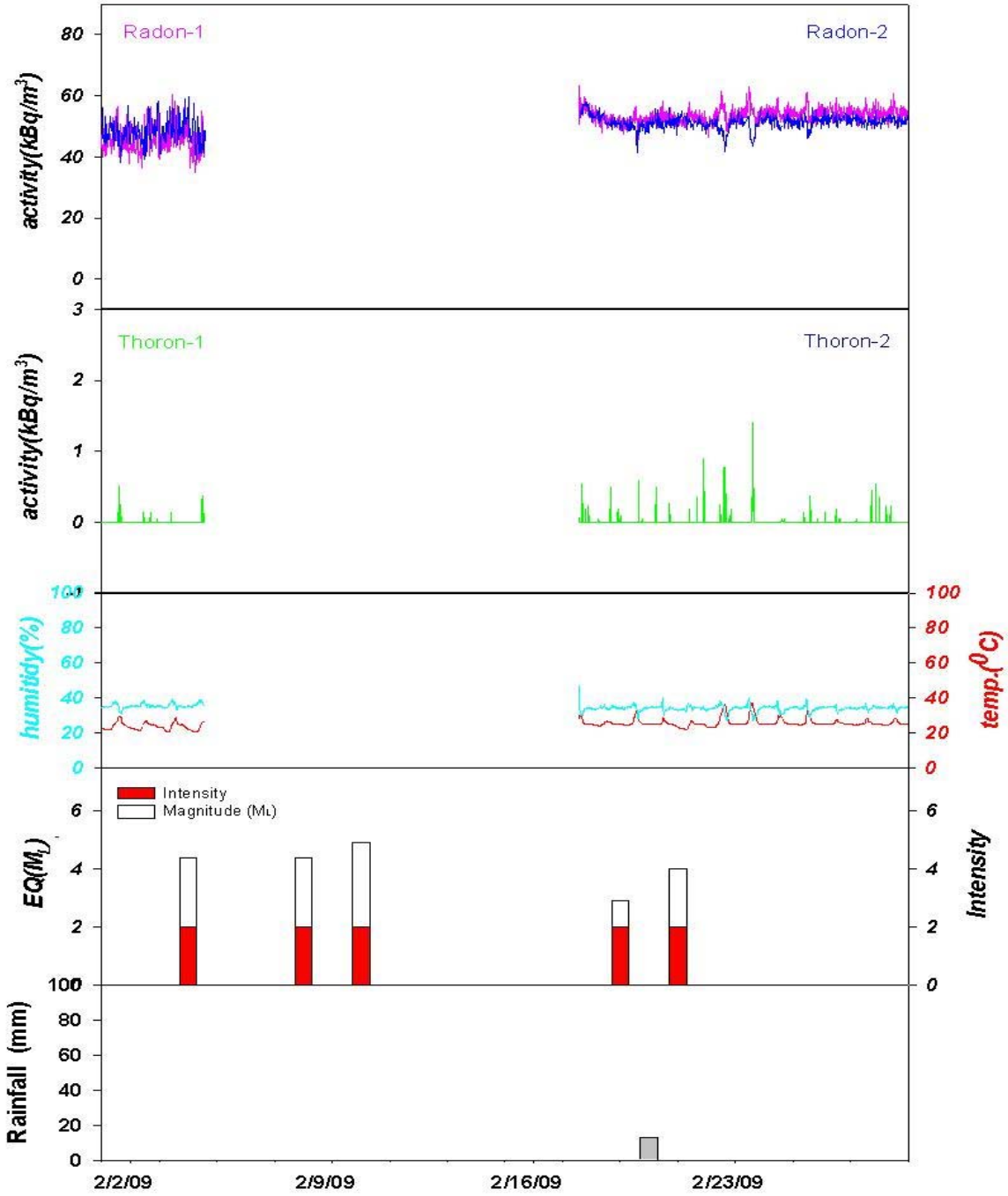


圖 2-85：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/02/01-2009/02/28）。

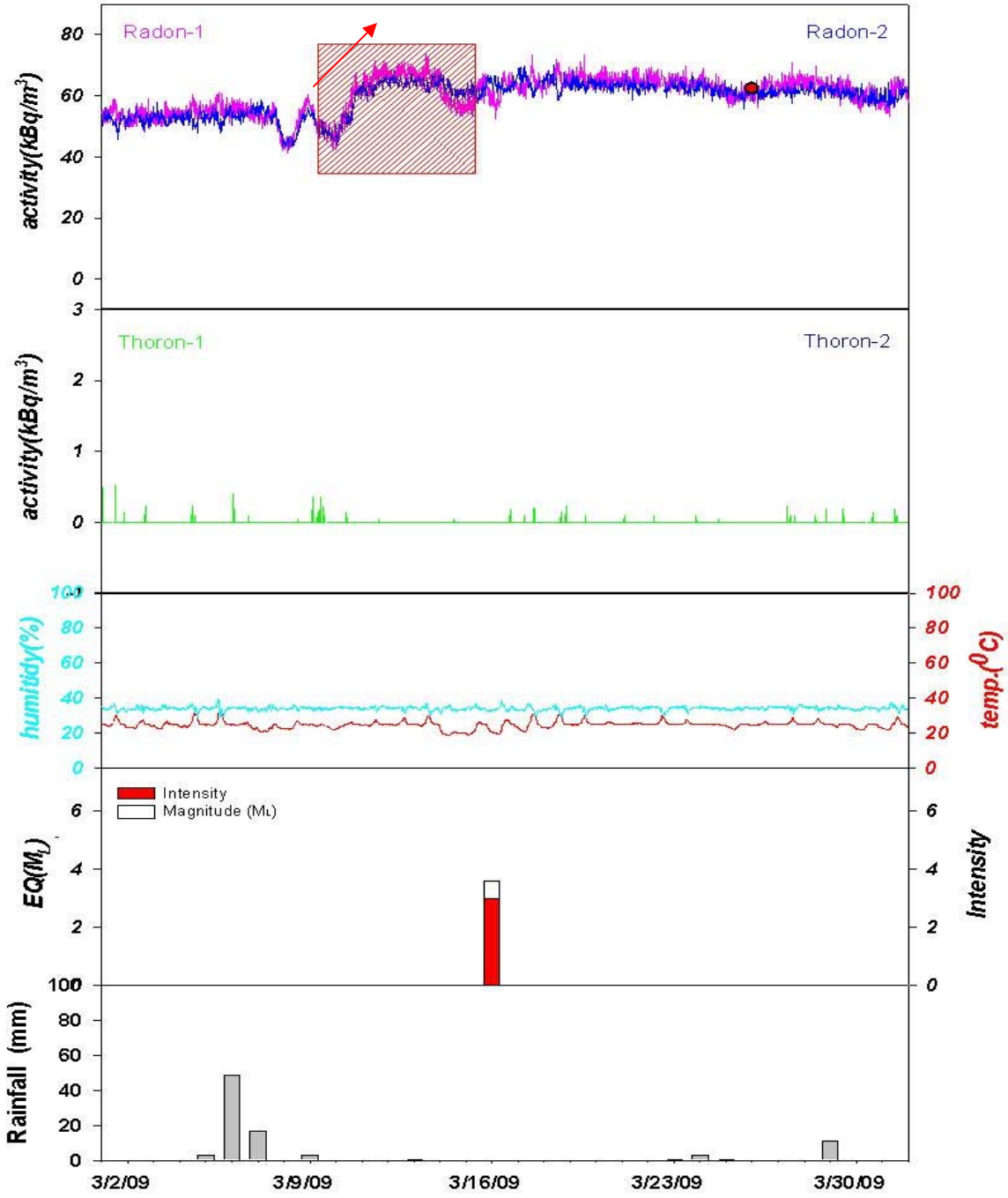
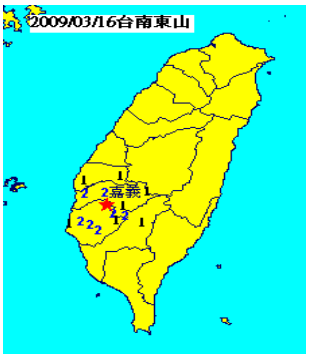


圖 2-86：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣分析結果；紅框為異常值區間（2009/03/01- 2009/03/31）。



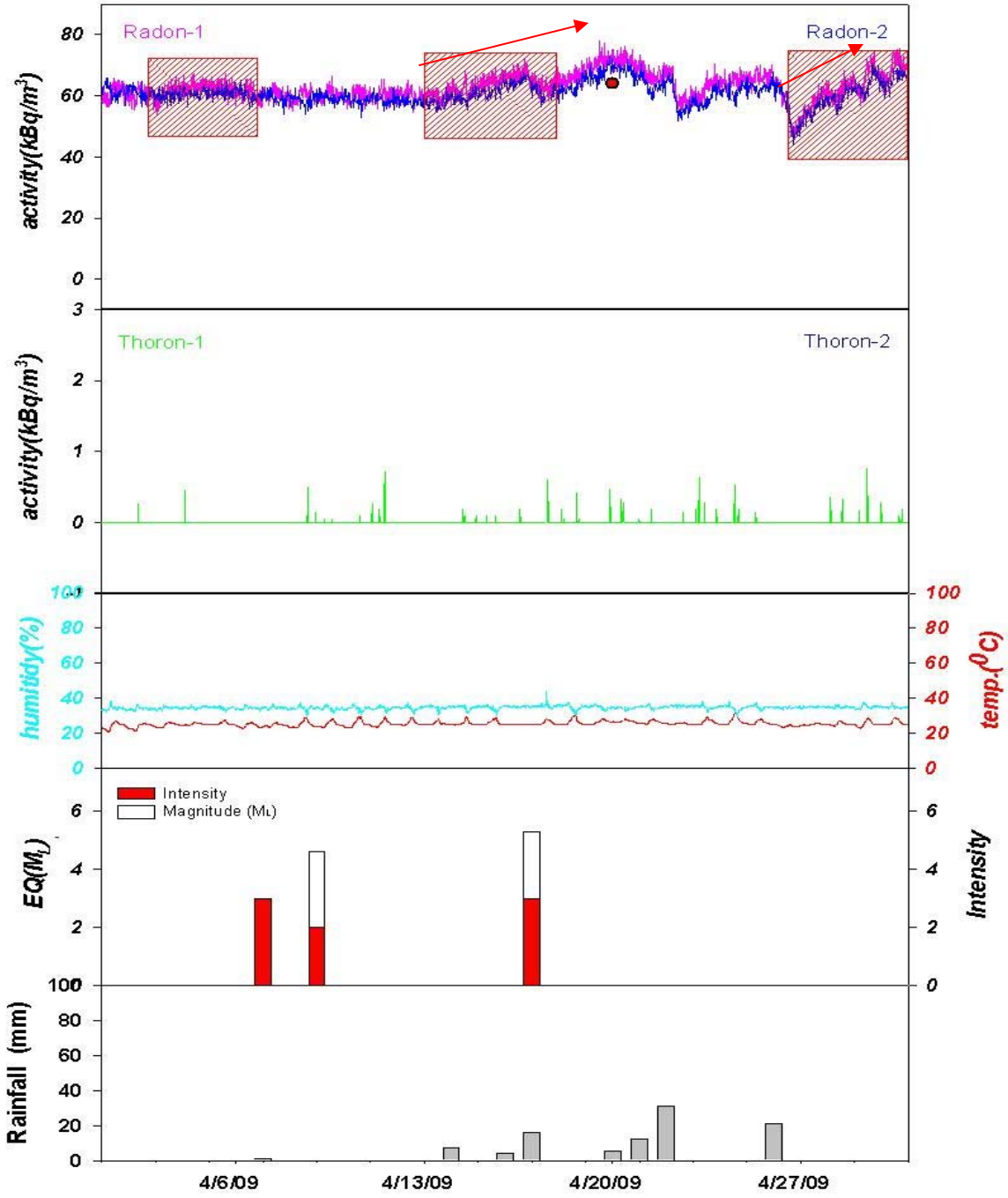
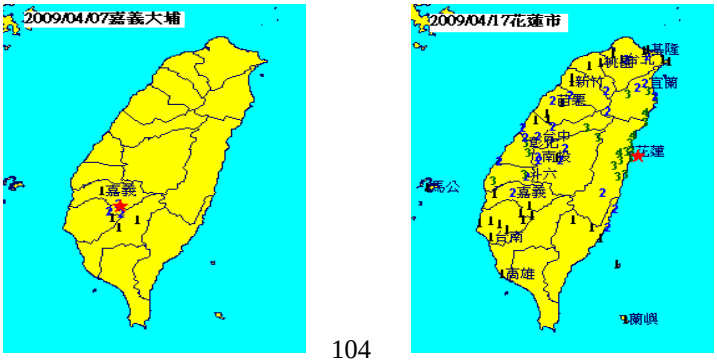


圖 2-87：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣分析結果；紅框為異常值區間（2009/04/01- 2009/04/30）。



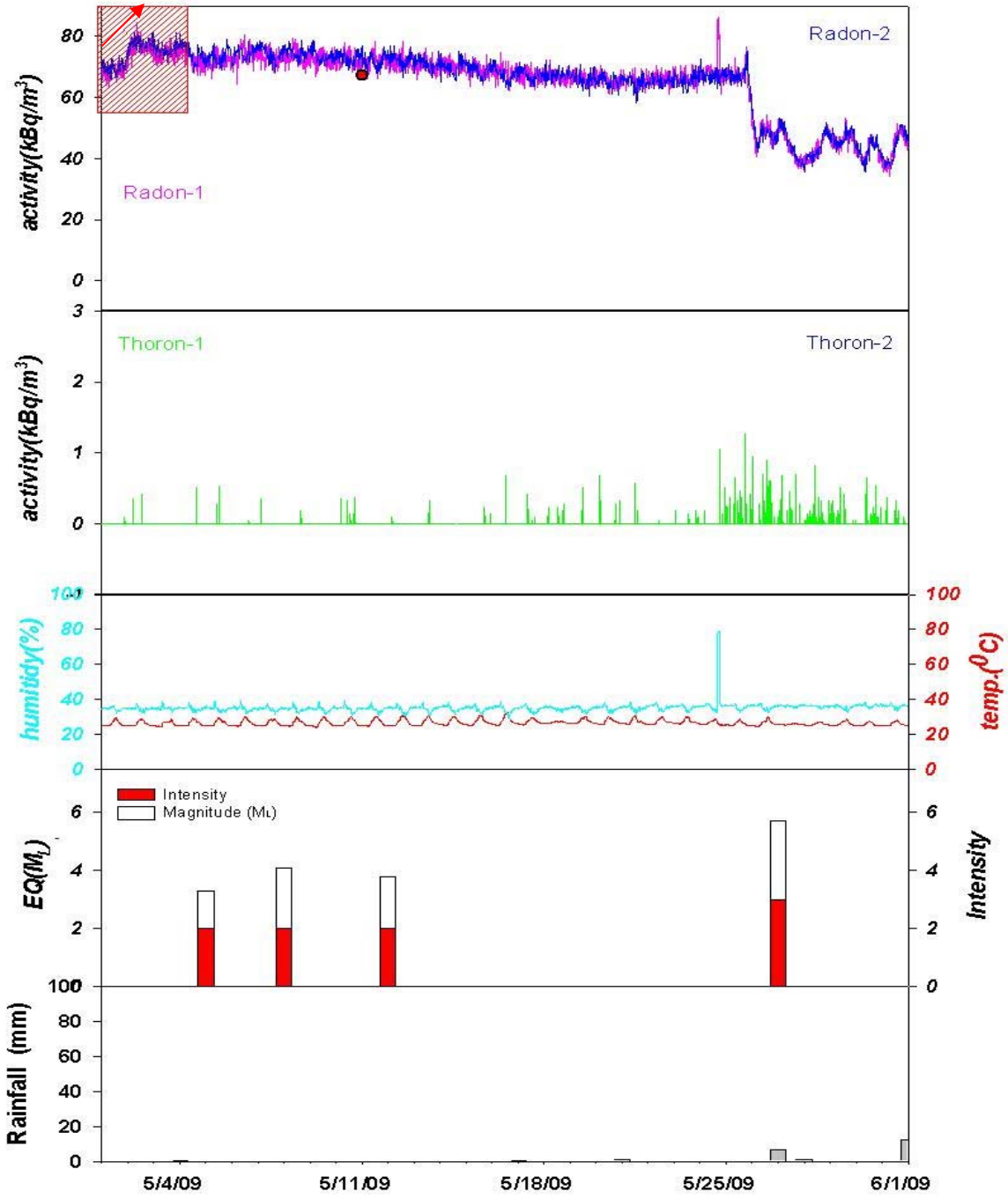
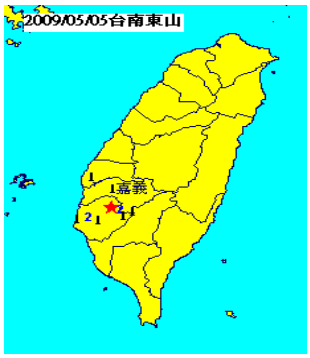


圖 2-88：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣分析結果；紅框為異常值區間（2009/05/01- 2009/05/31）。



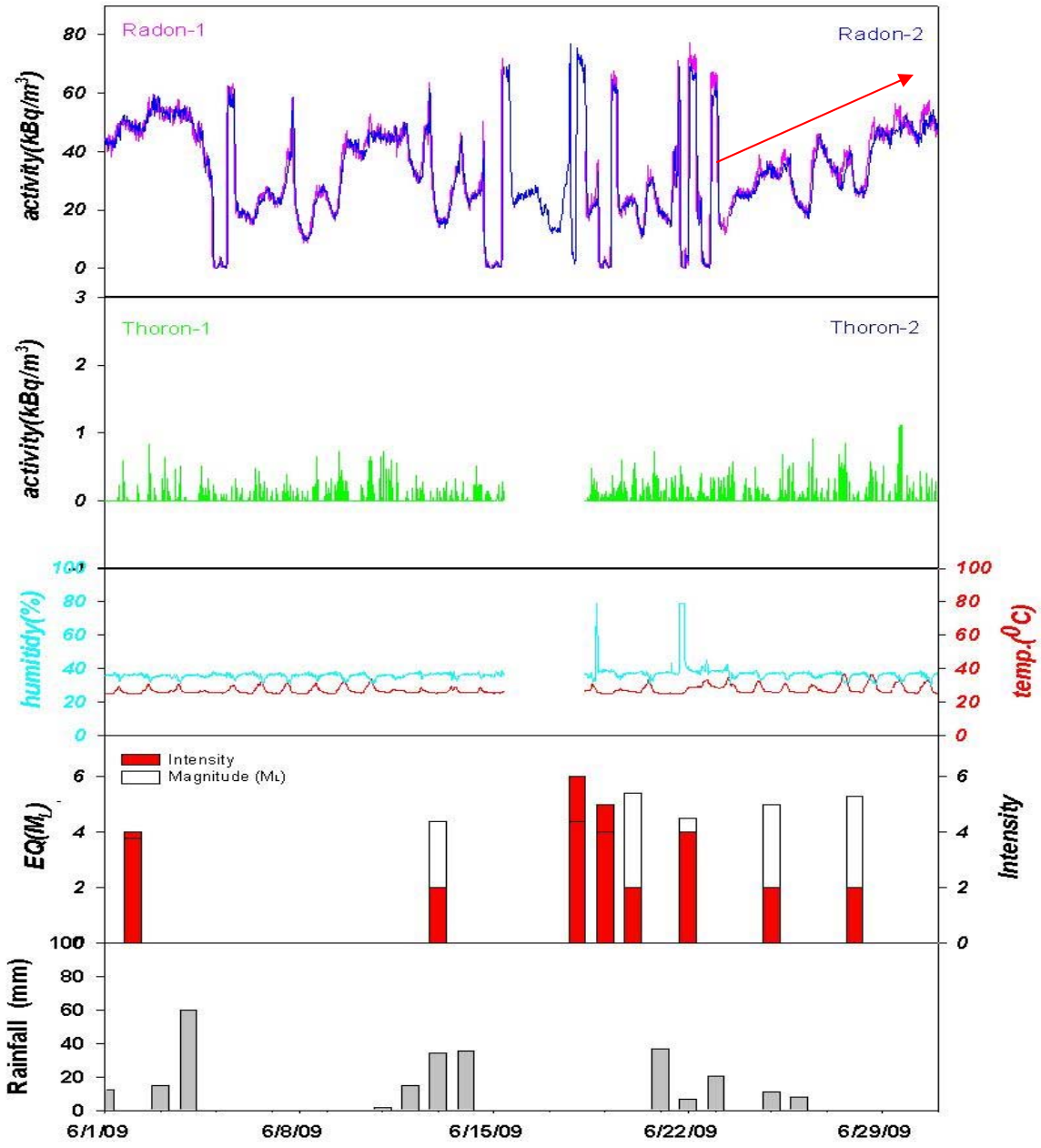
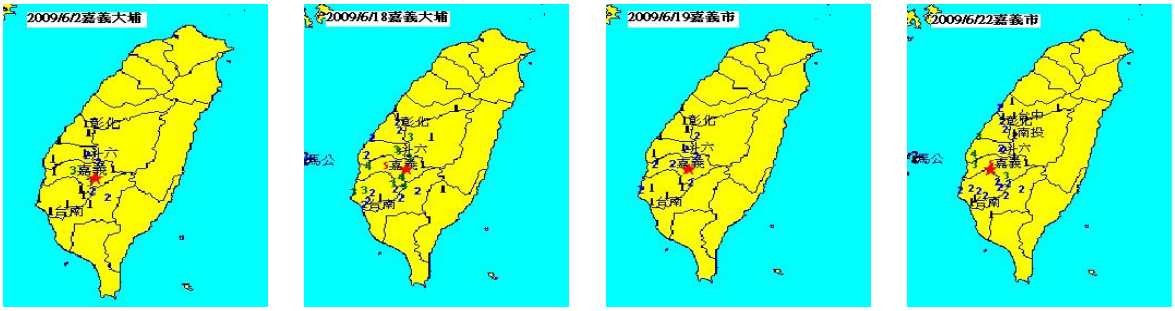


圖 2-89：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/06/01-2009/06/30）。



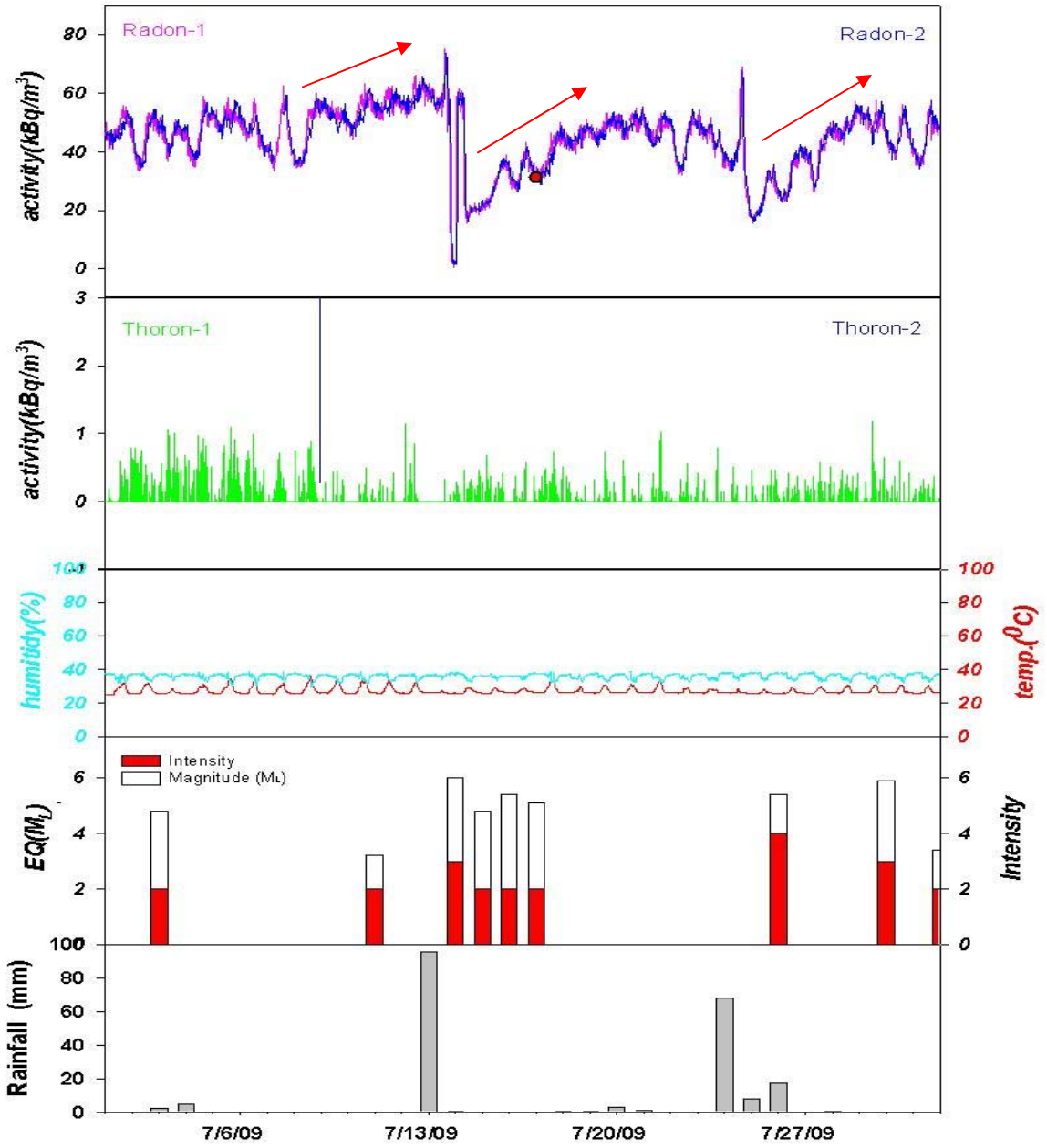
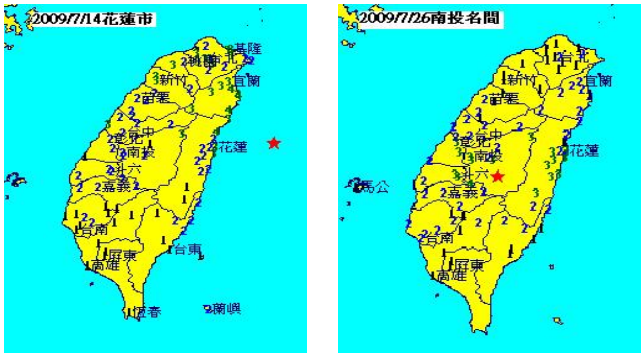


圖 2-90：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣分析結果（2009/07/01-2009/07/31）。



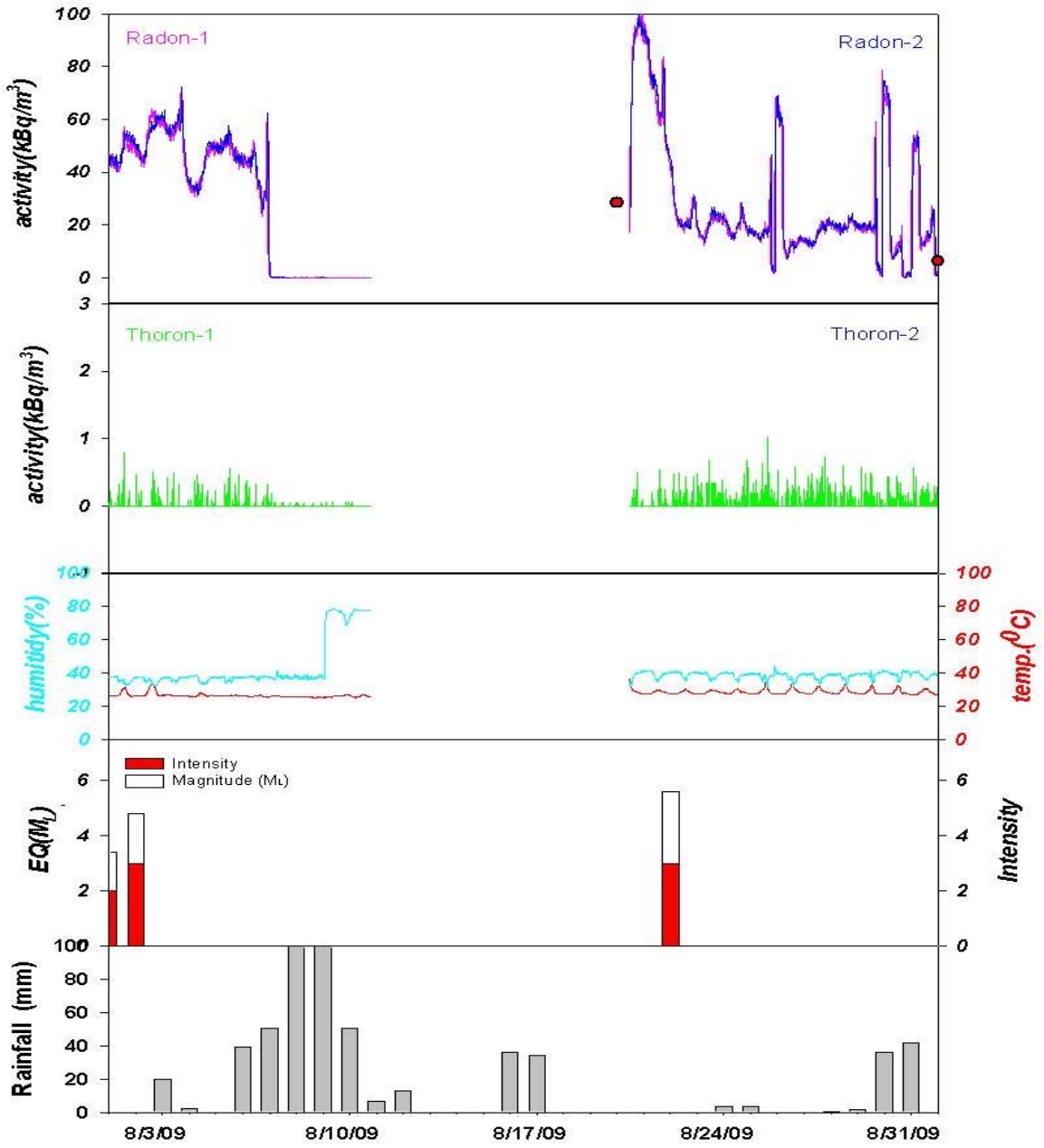
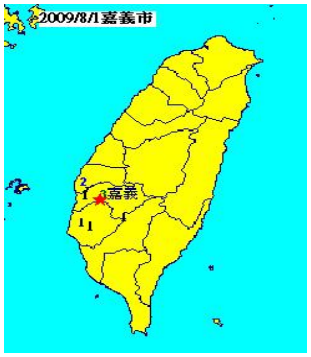


圖 2-91：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣分析結果（2009/08/01-2009/08/31）。



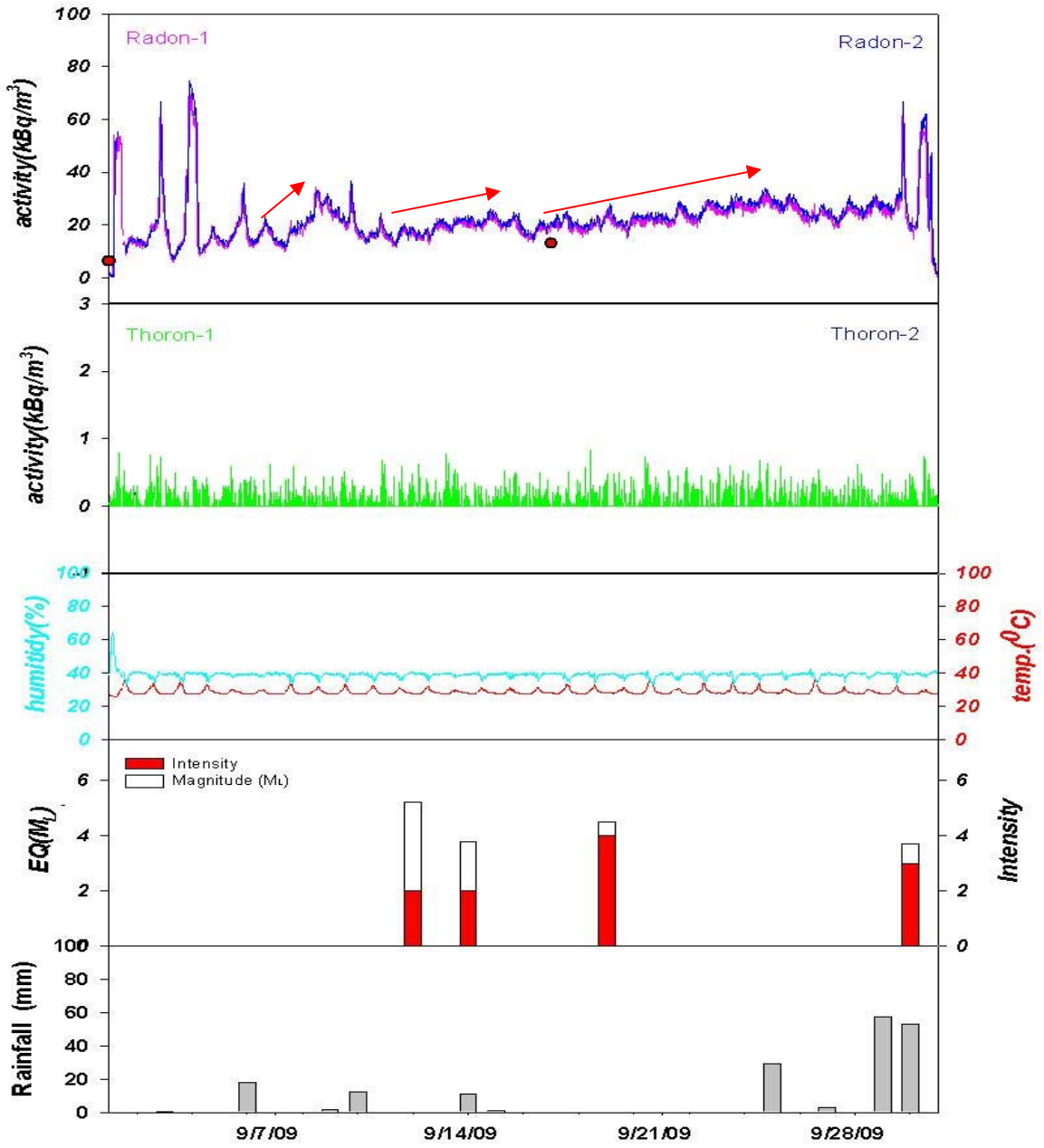
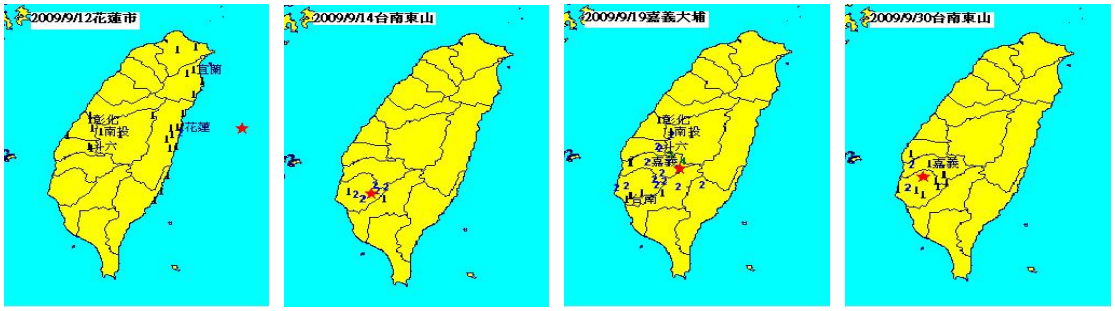


圖 2-92：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化；紅點為人工採樣氡氣分析結果（2009/09/01-2009/09/30）。



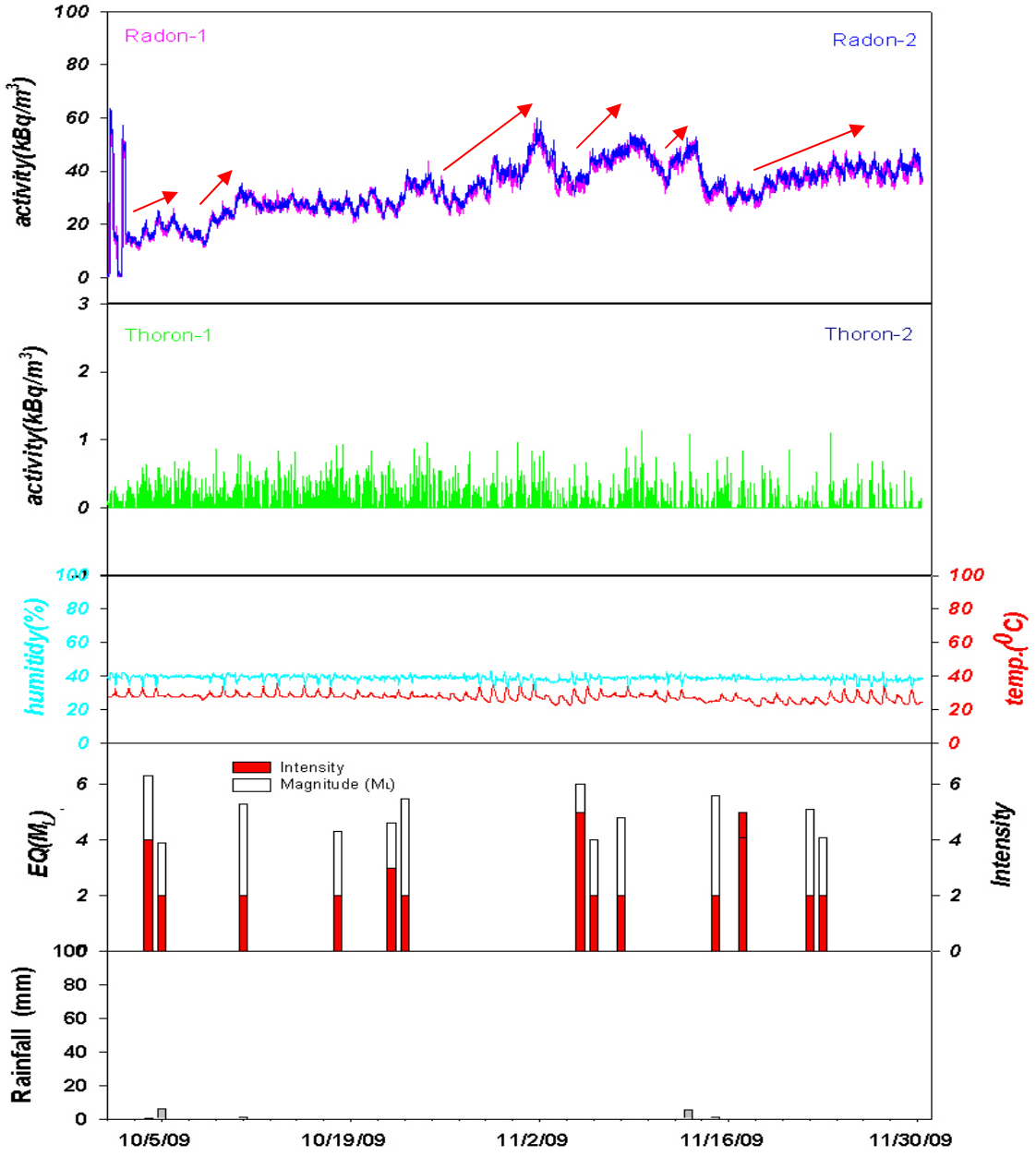
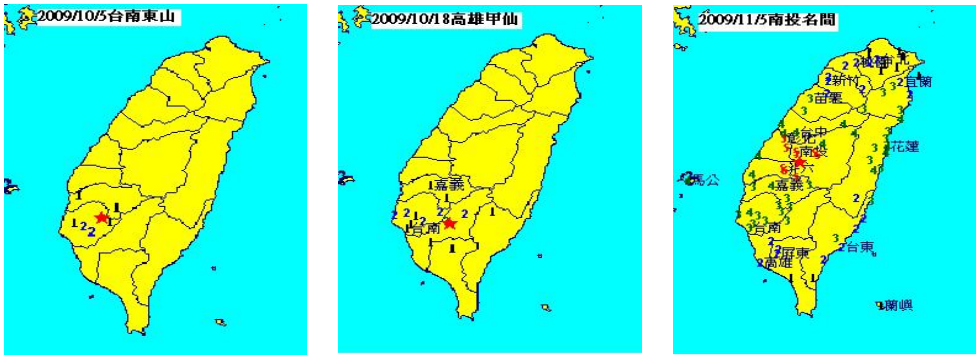


圖 2-93：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ（M_L）：地震規模；Temp.、Humidity 表示土壤氣的溫溼度變化（2009/10/01-2009/11/30）。



2-7.3 四極桿質譜儀分析結果

圖 2-94 至圖 2-106 為中崙濁水潭土壤氣體成份 2008 年 11 月至 2009 年 11 月的連續分析結果，圖由上而下分別為土壤氣體成份的分壓、體積百分比和比值的連續分析結果，圖 2-94 為總圖表。圖 2-95 至圖 2-106 為分月圖表。其中多段無資料記錄處肇因於測站位處山區，電力較一般平地不穩，雖申請專電，但必須拉百公尺電線入測站內，加上午後山區突如其來的打雷，常造成臨時停電，氡氣分析儀尚可依靠自身電力供電，四極桿質譜儀及電腦僅能由不斷電系統短暫供給電力使用，復電後仍需專人啟動主機，因此一來一往就花了不少時間。

圖 2-95 為 2008 年 11 月的連續分析結果。11 月 13 日至 11 月 15 日發現土壤氣體有異常變化，這部分異常變化與氡氣分析結果相符合，這異常變化可能與 11 月 18 日發生於嘉義市東北方的地震（規模 3.6，深度 10km，震度 3 級，距離測站 19.4km）有關。圖 2-96 為 2008 年 12 月的連續分析結果。受到土壤日夜溫溼度變化影響，土壤氣體呈現日夜變化的趨勢。

圖 2-97 及圖 2-98 為 2009 年 1、2 月的連續分析結果。2 月 17 日發現輔助抽氣的電子幫浦故障，因此研判 1 月 21 日至 2 月 13 日二氧化碳濃度突降與此有關。這期間在 2 月 3 日至 2 月 4 日兩日間，二氧化碳及甲烷有明顯的變化，可惜後面兩天因電力問題無法連續觀測。2 月 17 日放回氡氣分析儀後，藉由氡氣分析儀的幫浦輔助抽氣，二氧化碳濃度逐漸恢復到背景值。2 月 22 日及 2 月 23 日土壤氣體有明顯的兩次突波的變化，此情形都持續了數小時之久，對照同時段的氡氣濃度亦有相同的突波變化，這與 2 月 19 日（台南東山，規模 2.9，深度 7.4km，震度 2 級，距離測站 17.8km）及 2 月 21 日（南投名間，規模 4，深度 8.6km，震度 2 級，距離測站 42.6km）的地震是否有關，則需進一步確認。

圖 2-99 為 3 月的連續分析結果。3 月 16 日發生於台南東山的地震（規模 3.6，深度 12.1km，震度 3 級，距離測站 13.2km），二氧化碳在地震前的 3 月 6 日至 3 月 16 日間有明顯變化，同時段的氡氣濃度也呈現異常升高，但由此圖卻可看出二氧化碳受水氣影響甚鉅，是否為地震前的訊號仍待討論。

圖 2-100 及圖 2-101 為 4、5 月的連續分析結果。這兩個月呈現背景值的日夜變化趨勢。僅在 4 月 24 日及 5 月 16 日氣體成份有突波出現，也發現無任何地震可與這兩個突波有關聯。

圖 2-102 至圖 2-104 為 6 月至 8 月的連續分析結果。6 月 4 日及 6 月 14 日受到大雨影響，氣體成分有很大的變化，這與氡氣分析的結果受到大雨的影響相同。6 月 16 日至 6 月 24 日及 6 月 26 日至 6 月 29 日由於電腦當機，分析儀器無法運作，因此缺少紀錄。6 月 24 日重新啟動後，在 6 月 25 日及 6 月 29 日有兩個區間，觀察到甲烷明顯的異常升高，且升高幅度相當大，這段期間的升高與氡氣的上升趨勢相符合，然因 6 月 26 日至 6 月 29 日無資料記錄，因此無法得知甲烷的連續變化。

整體的氣體成分於 7 月 1 日恢復到背景值，7 月 13 日因大雨影響，導致分析儀器當機，因此缺少 7 月 13 日至 7 月 20 日的氣體連續分析資料，這段時間氡氣亦是呈現劇烈起伏。從 7 月 20 日恢復運作後至 7 月 29 日這段期間，觀察到甲烷有明顯的升高且持續了九日，對照氡氣的時間點，亦同樣有上升的趨勢，這段時間有兩起地震發生，一是 7 月 26 日發生於南投名間的地震（規模 5.4，深度 14.3km，震度 4 級）；一是 7 月 30 日發生於屏東恆春外海的地震（規模 5.9，深度 62.4km，震度 3 級）。7 月 29 日氣體成分恢復到背景值並持續到 8 月 7 日。8 月 7 日至 8 月 20 日由於莫拉克颱風大雨影響，觀測站停電導致儀器無法運作，因此無資料記錄。8 月 20 日儀器恢復運作後，觀察到氧氣、二氧化碳及甲烷與颱風前的資料相比較有明顯的變化。其中氧氣及甲烷升高，二氧化碳則下降，尤其在 8 月 25 日二氧化碳下降幅度更大（氡氣亦呈現明顯的上下起伏），之後隨即回升。

圖 2-105 及圖 2-106 為 9 月至 11 月的連續分析結果。8 月 28 日至 9 月 1 日由於電腦當機導致儀器無法運作，因此於 9 月 1 日更換一台電腦，並重新啟動儀器，發現 9 月 3 日至 9 月 8 日，二氧化碳及甲烷有明顯的異常變化，對照這段時間，氡氣亦是有明顯的異常變化，這可能與 9 月 12 日發生於花蓮市外海的地震（規模 5.2，深度 1.2km，震度 2 級）或是 9 月 14 日發生於台南東山的地震（規模 3.8，深度 10.7km，震度 2 級）有關。9 月 8 日之後的氣體成分維持穩定的趨勢，直到 9 月 30 日才因大雨影響，致使二氧化碳下降，10 月 1 日恢復到背景值。10 月 1 日起氣體成分維持穩定的趨勢。10 月 28 日至 11 月 4 日觀察到二氧化碳濃度、分壓明顯升高，而氡氣的反應亦是於同樣時間內有異常升高的趨勢，這八天的的異常升高應與 11 月 5 日發生於南投名間的地震（規模 6，深度 19.3km，震度 5 級）有密切關聯。

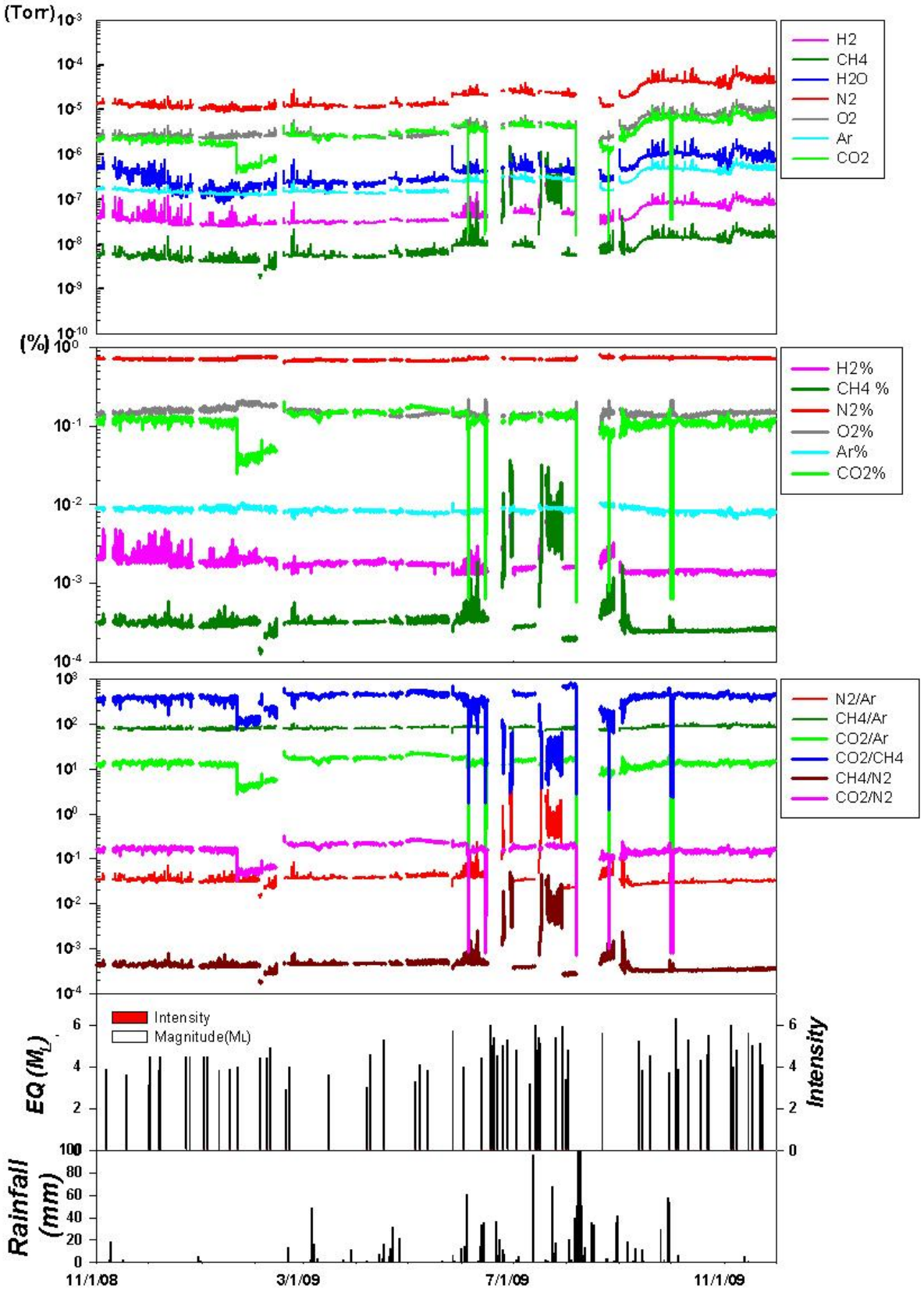


圖 2-94：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/11/01-2009/11/30）。

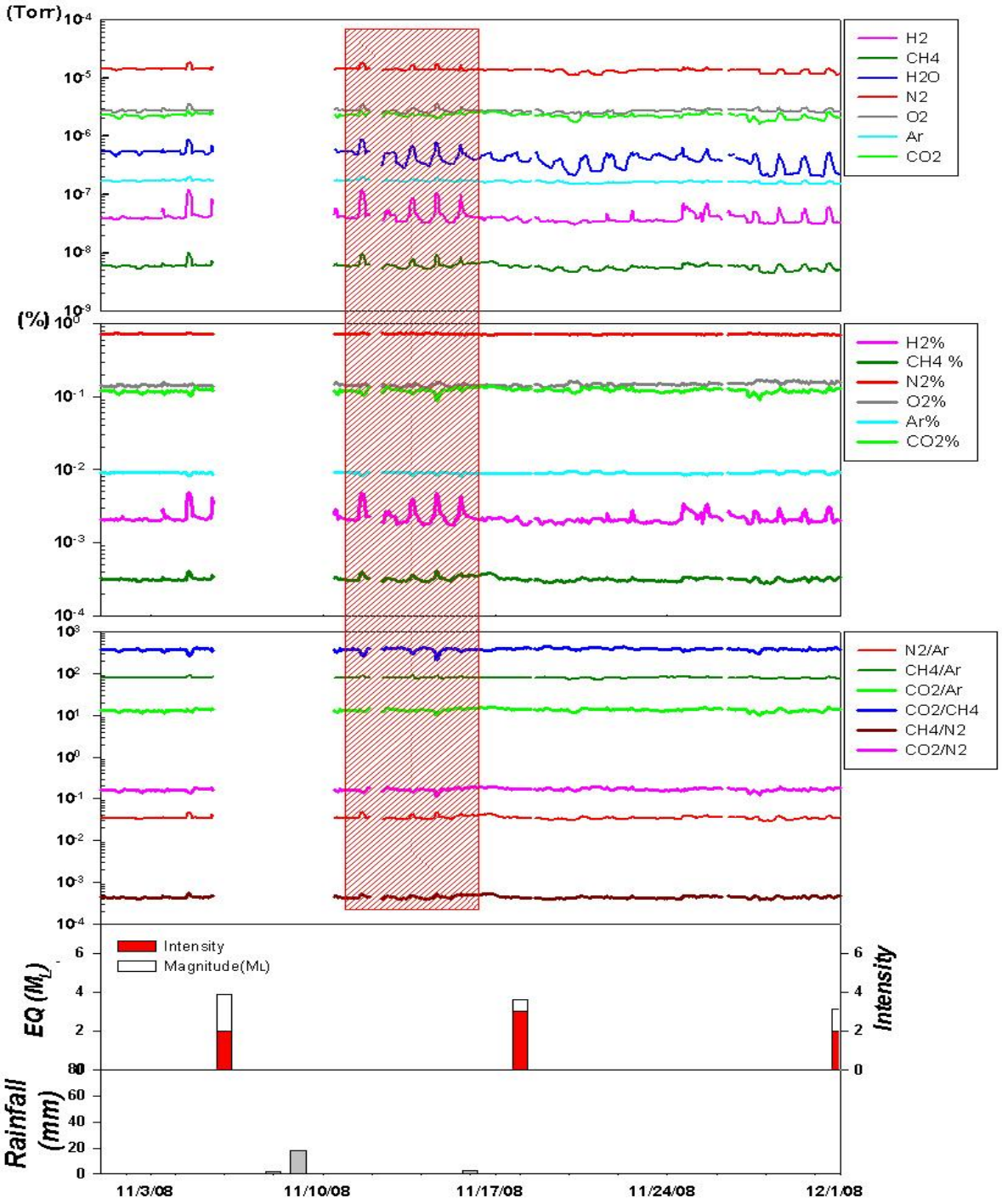
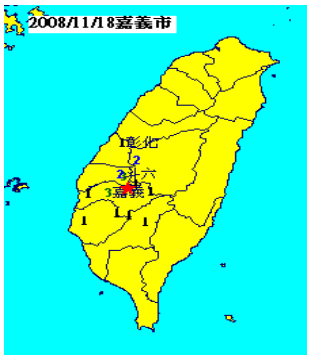


圖 2-95：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅框為異常值區間（2008/11/01-2008/11/30）。



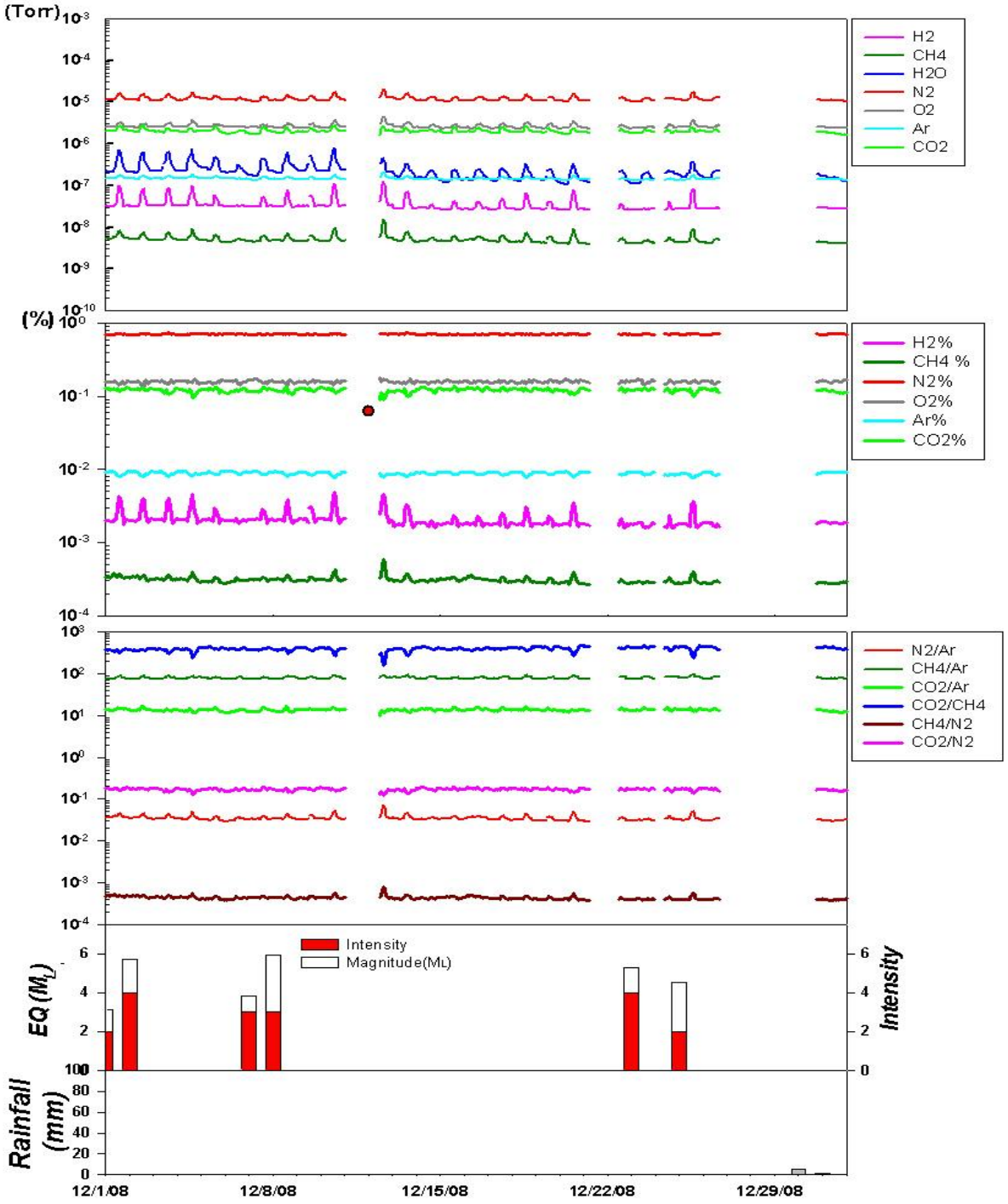


圖 2-96：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2008/12/01-2008/12/31）。

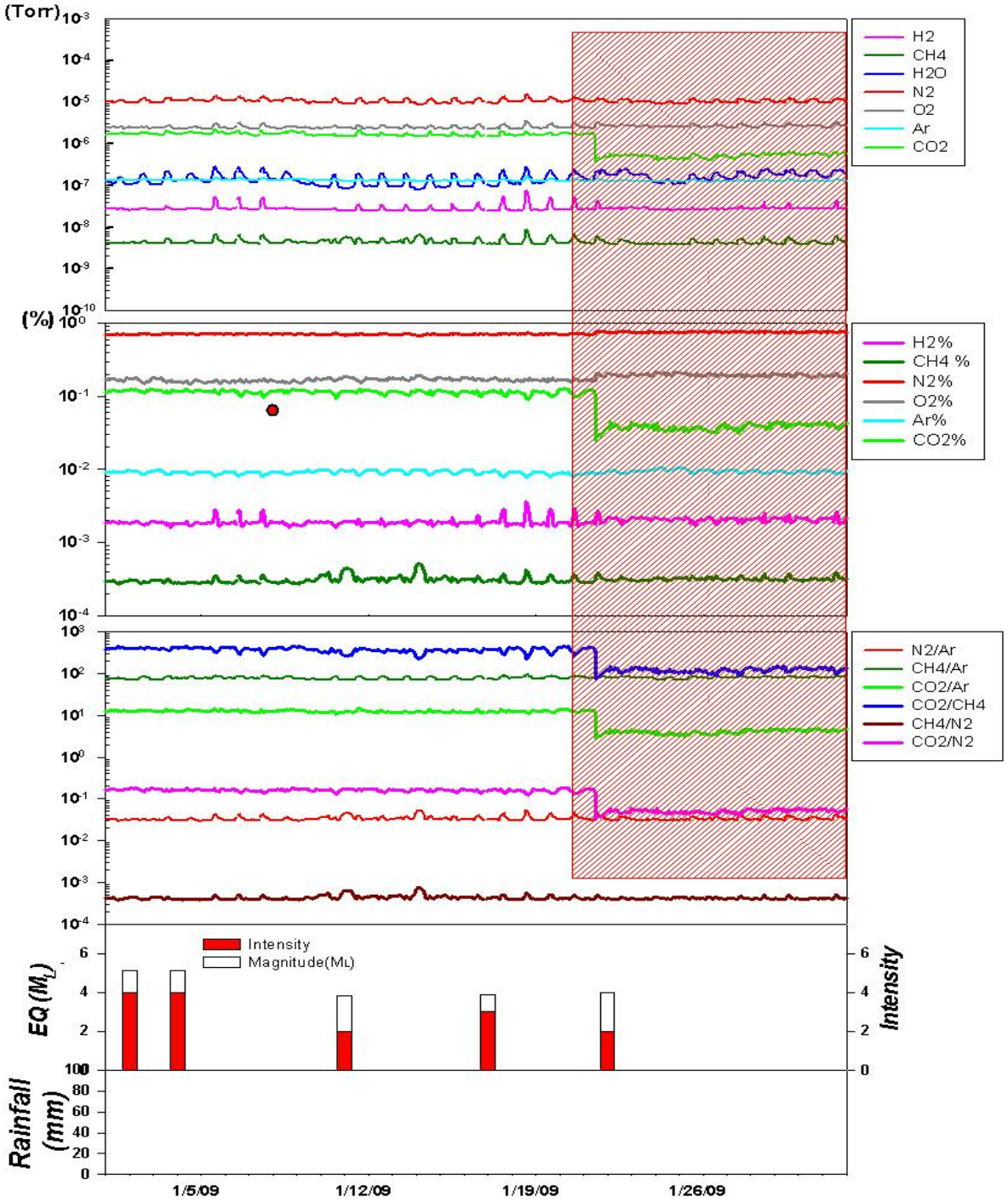


圖 2-97：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅框為異常值區間（2009/01/01-2009/01/31）。

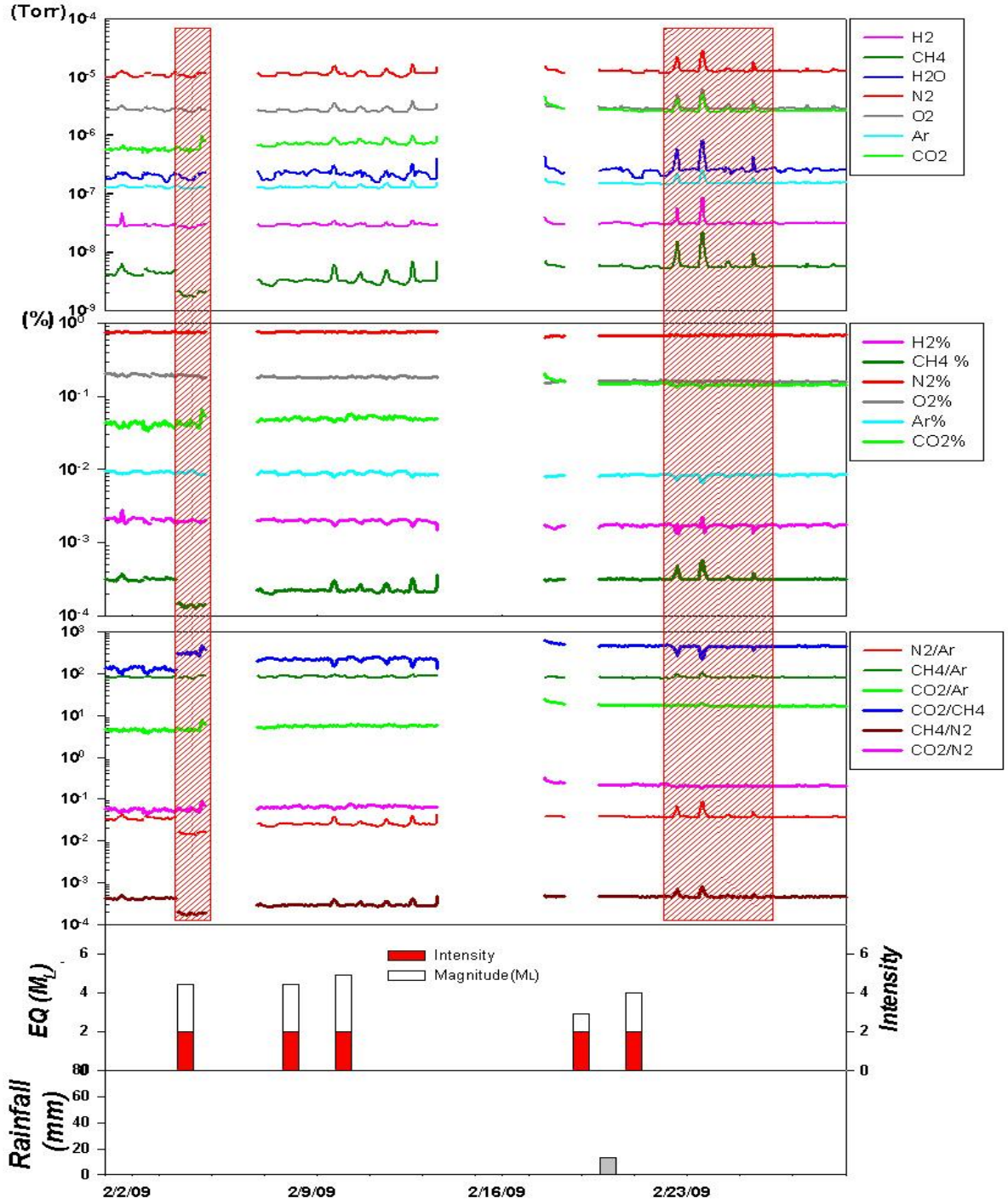
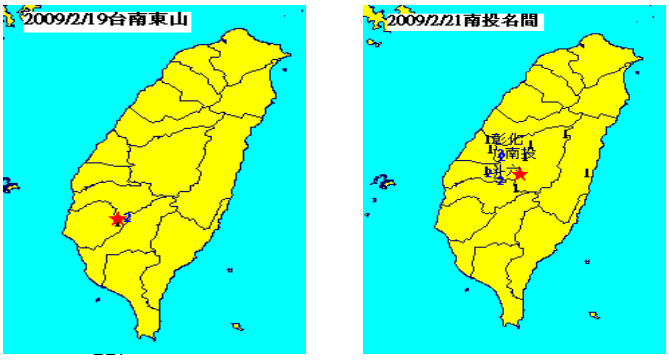


圖 2-98：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅框為異常值區間（2009/02/01-2009/02/28）。



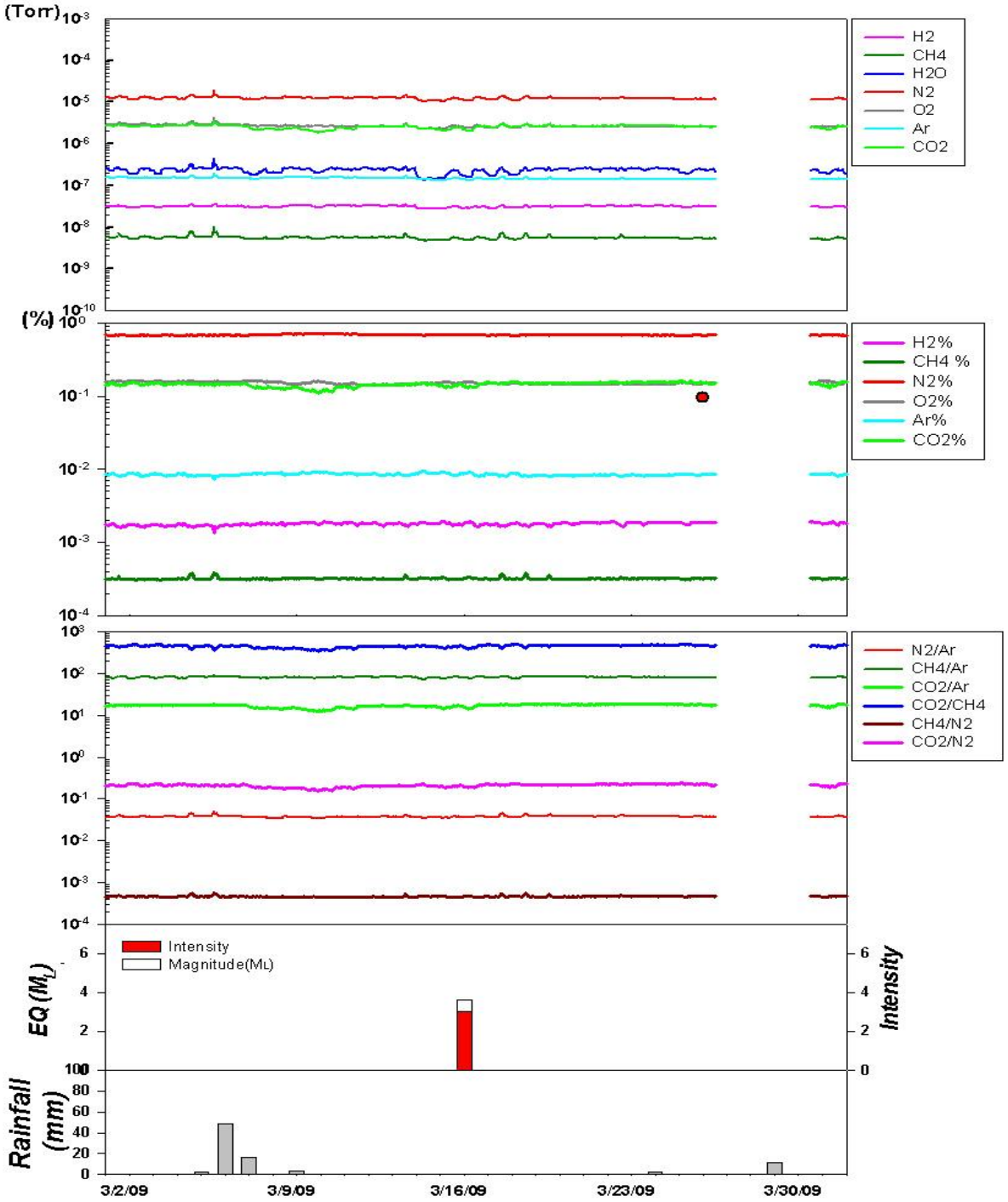
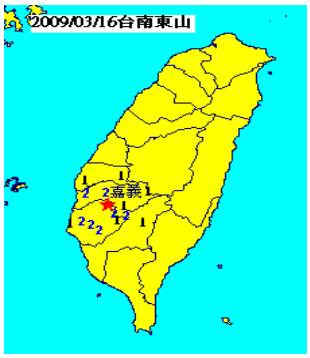


圖 2-99：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2009/03/01-2009/03/31）。



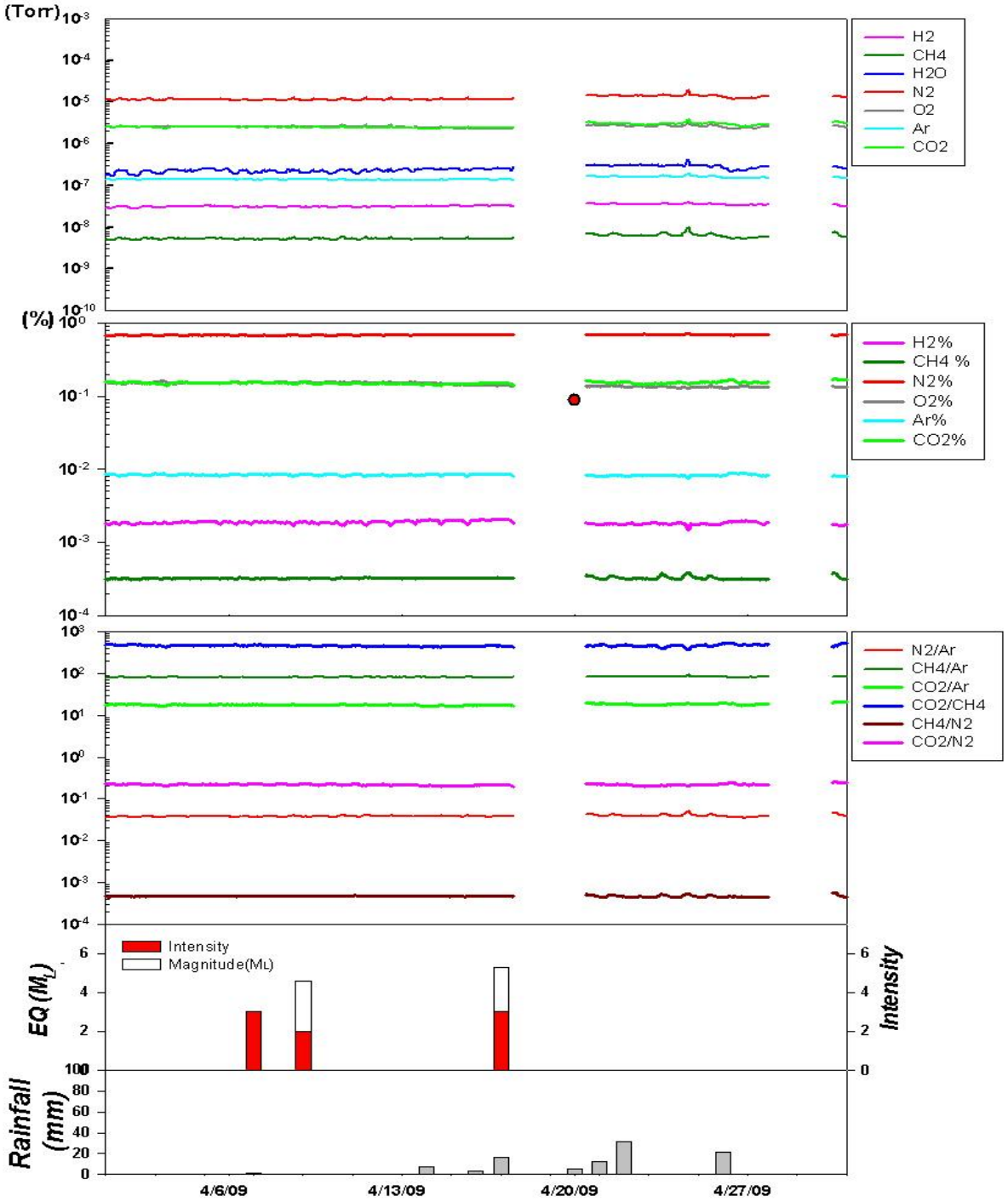


圖 2-100：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2009/04/01-2009/04/30）。

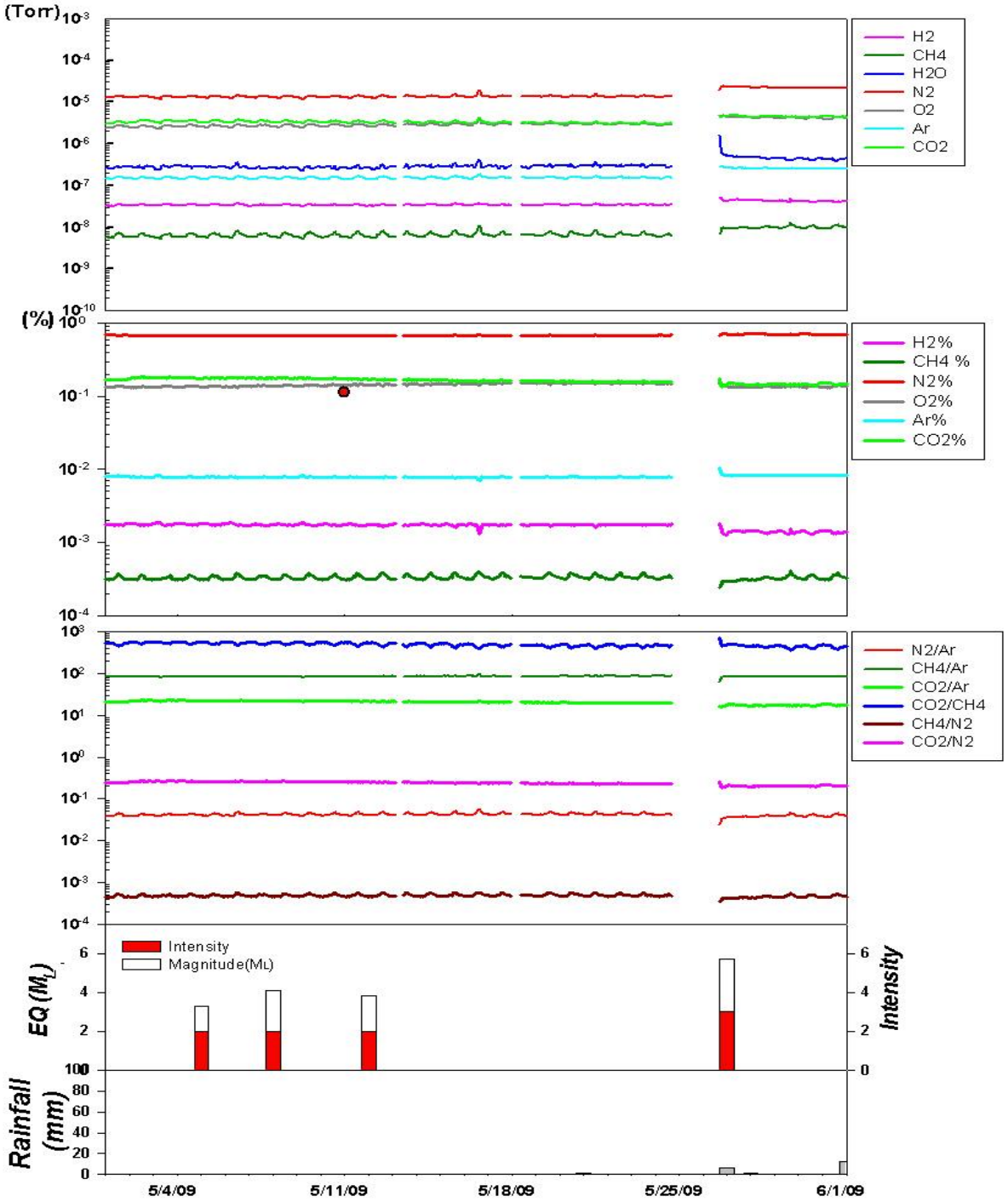


圖 2-101：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果（2009/05/01-2009/05/31）。

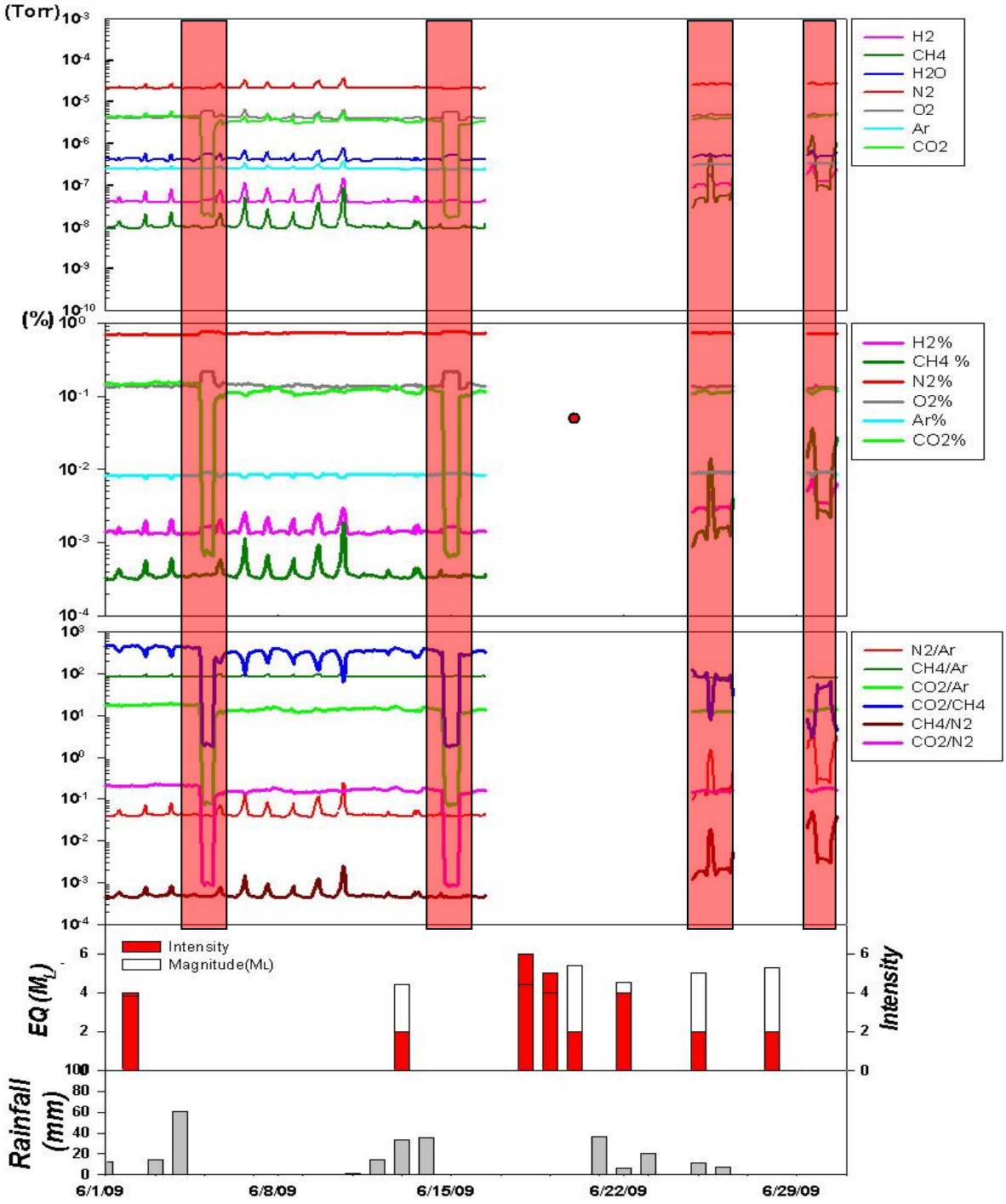


圖 2-102：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅框為異常值區間（2009/06/01-2009/06/30）。

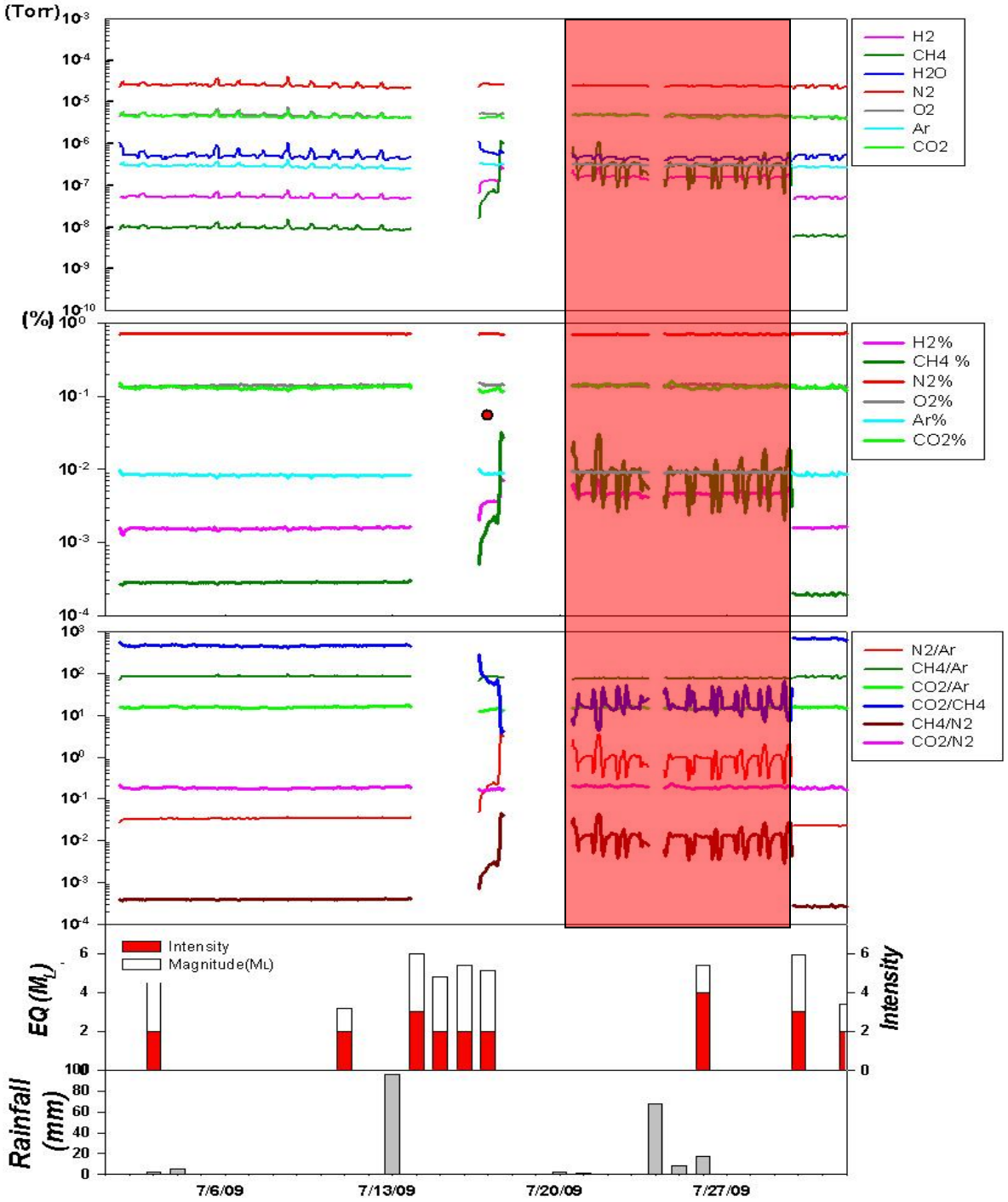
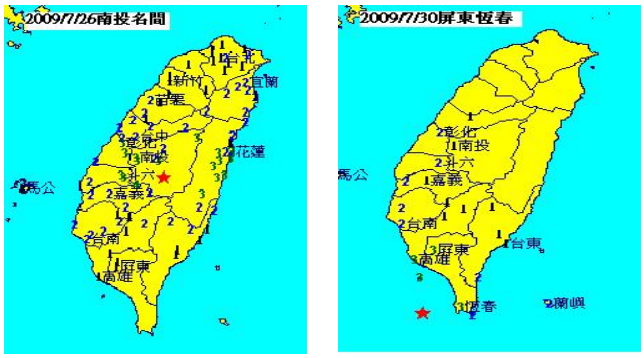


圖 2-103：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅框為異常值區間（2009/07/01-2009/07/31）。



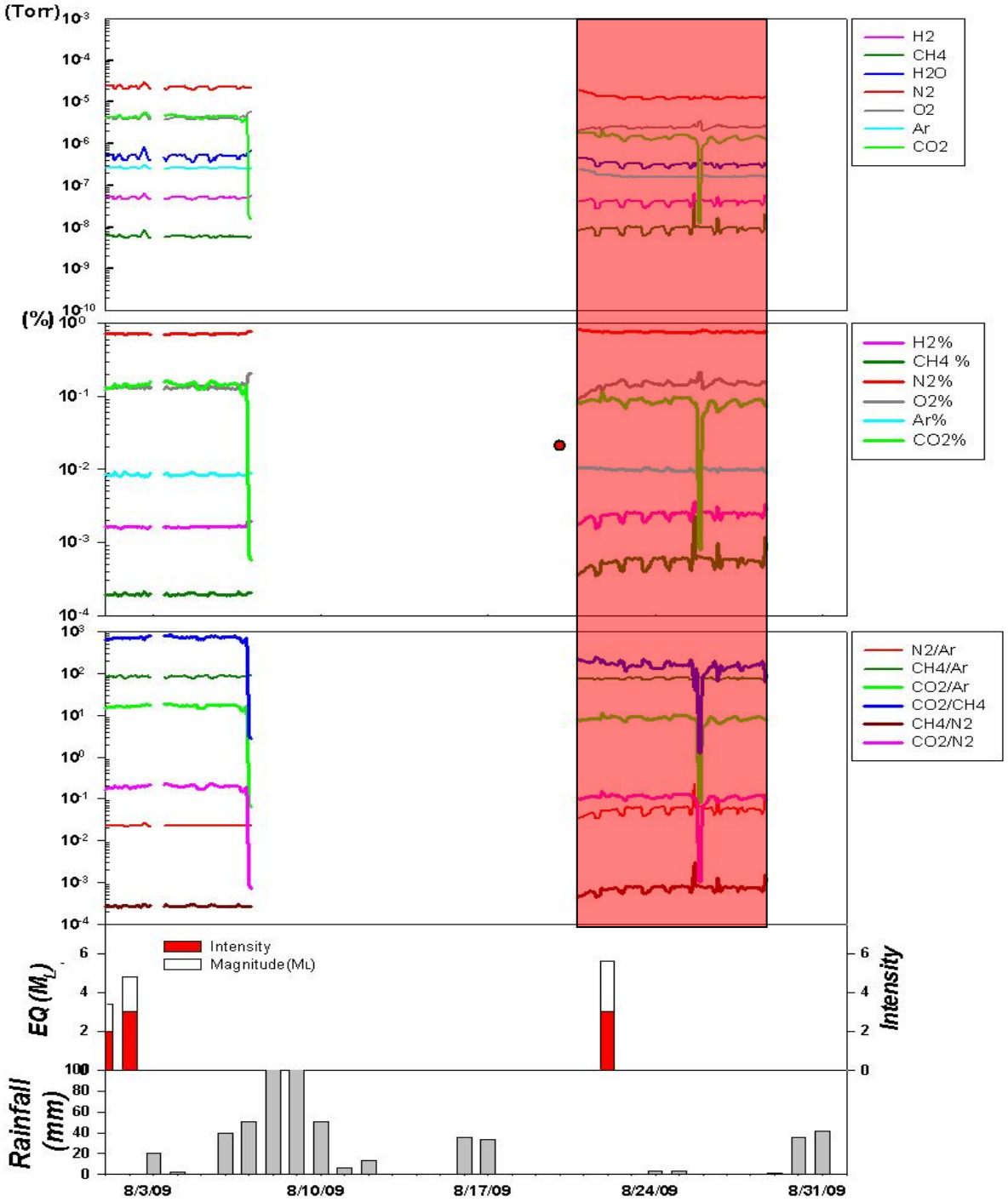


圖 2-104：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅點為人工採樣二氧化碳分析結果；紅框為異常值區間（2009/08/01-2009/08/31）。

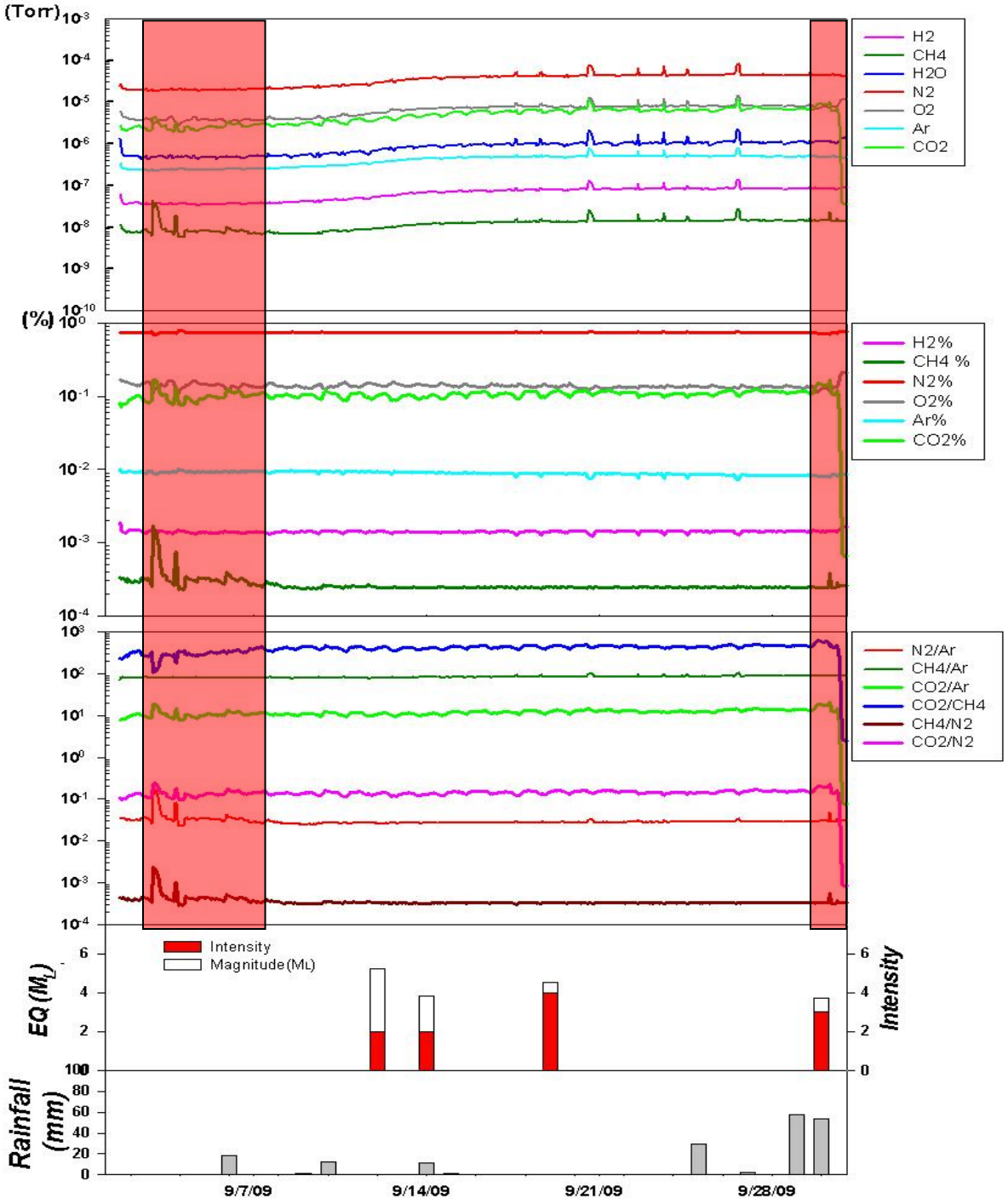
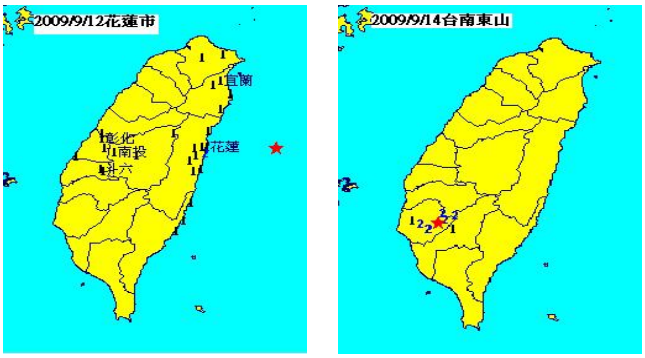


圖 2-105：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅框為異常值區間（2009/09/01-2009/09/30）。



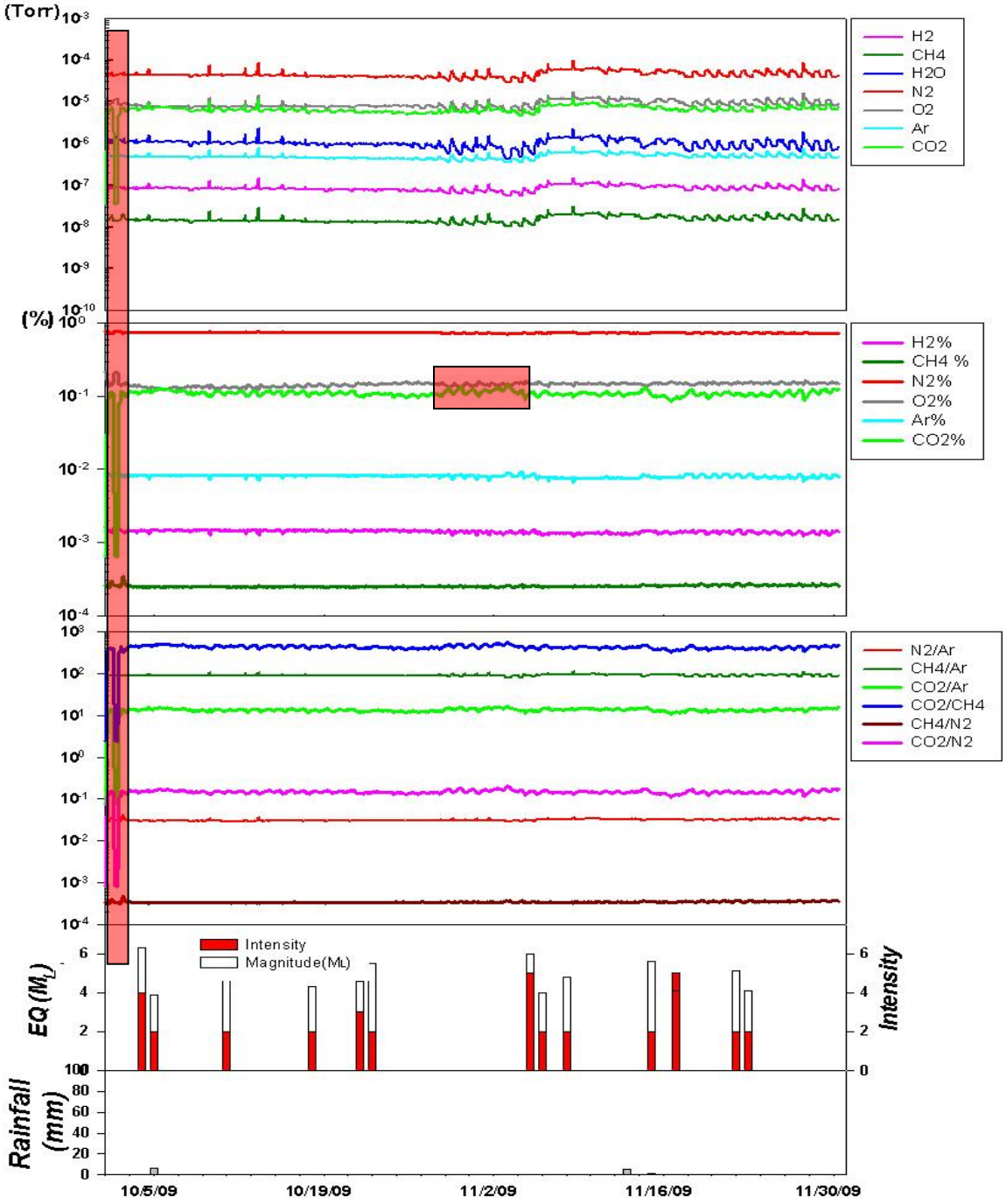
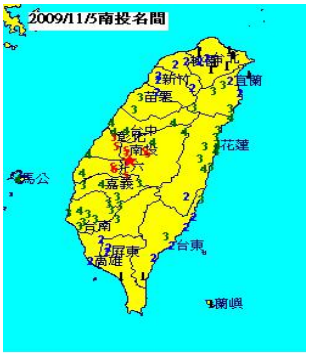


圖 2-106：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化；紅框為異常值區間（2009/10/01-2009/11/30）。



2-8 人工採樣分析結果

除了測站內進行的土壤氡氣及二氧化碳濃度連續觀測外，亦於野外實施測站維護時，以人工採樣方式，以電動 pump 為主，手動 pump 為輔，分別在大平地觀測站、梅山觀測站、二溪觀測站、中崙濁水潭觀測站、潮州觀測站與池上觀測站，採集一大袋（3Liter）進行氡氣分析，一小袋（1Liter）進行主要氣體成份分析，以對照人工採樣土壤氣體組成成份與連續觀測站的分析結果。有時受限於交通或是氣候狀況，所以並不是每個測站的人工採樣時間及數量是一樣的，在此說明。

如表2-3（各觀測站人工採樣氣體成份表）與各觀測站連續觀測的分析結果（詳各觀測站連續觀測圖，圖2-2至圖2-29，圖2-41至圖2-106），顯示各觀測站的人工採樣分析結果與各觀測站的連續觀測結果大致相似，意味著觀測站呈現正常運作的狀態。從表2-3也發現不同測站的主要氣體成份或背景值濃度也不盡相同，如大平地測站和濁水潭的氡氣濃度分別約為8000 Bq/m^3和34000 Bq/m^3。測站會因各地之地質構造環境、流體與氣體來源成份不同而有所不同，無法用單一相同因子適用於所有地區。所以在進行某一地區的觀測工作時，首先一定要釐清當地的構造環境，找出當地可能之流體端成份來，然後才能瞭解流體成份變化的控制變因。

圖107為本年度各觀測站之良率分佈圖，良率代表觀測站每月有紀錄資料的比例。顯示除了部分月份由於儀器校正或故障和豪大雨、颱風等天候因素影響之外，各觀測站大都維持正常運作的情況。

表 2-3：觀測站人工採樣氣體成份表

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total	Rn(Bq/m^3)
081211TPT	80.64%	19.17%	0.19%	0.00%	0.00%	100%	8664
090514TPT	68.96%	31.03%	0.01%	0.00%	0.00%	100%	8003
090520TPT	81.22%	18.38%	0.40%	0.00%	0.00%	100%	7358
090720TPT	81.94%	17.38%	0.67%	0.00%	0.00%	100%	13449
090728TPT	80.44%	19.18%	0.38%	0.00%	0.00%	100%	8589
090804TPT	83.27%	16.03%	0.70%	0.00%	0.00%	100%	12798
090812TPT	79.53%	20.45%	0.02%	0.00%	0.00%	100%	
090819TPT	80.40%	19.57%	0.03%	0.00%	0.00%	100%	3834
090901TPT	79.77%	20.21%	0.03%	0.00%	0.00%	100%	2476
090909TPT	80.40%	19.57%	0.03%	0.00%	0.00%	100%	4952
090917TPT	80.91%	18.47%	0.62%	0.00%	0.00%	100%	12615

TPT：新竹大平地觀測站

表 2-3（續）：觀測站人工採樣氣體成份表

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total	Rn(Bq/m^3)
081211MS	82.22%	15.98%	1.80%	0.00%	0.00%	100%	17439
090108MS	82.47%	15.11%	2.41%	0.01%	0.00%	100%	25407
090304MS	81.99%	15.75%	2.26%	0.00%	0.00%	100%	24473
090325MS	81.26%	16.50%	2.23%	0.00%	0.00%	100%	9409
090511MS	80.83%	17.05%	2.12%	0.00%	0.00%	100%	15648
090707MS	81.95%	15.95%	2.10%	0.00%	0.00%	100%	
090720MS	80.19%	18.90%	0.91%	0.00%	0.00%	100%	12283
090805MS	82.38%	15.41%	2.20%	0.00%	0.00%	100%	
090819MS	84.80%	13.09%	2.12%	0.00%	0.00%	100%	22134
090902MS	84.34%	13.40%	2.26%	0.00%	0.00%	100%	31906
090924MS	82.75%	12.88%	4.37%	0.00%	0.00%	100%	4616

MS：嘉義梅山觀測站

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total	Rn(Bq/m^3)
081212CL3-S	76.45%	17.29%	6.25%	0.01%	0.00%	100%	
090108CL3-S	77.11%	16.56%	6.33%	0.00%	0.00%	100%	13667
090326CL3-S	75.19%	15.11%	9.70%	0.00%	0.00%	100%	32369
090420CL3-S	77.27%	13.93%	8.80%	0.00%	0.00%	100%	34019
090511CL3-S	74.59%	14.24%	11.17%	0.00%	0.00%	100%	37391
090620CL3-S	80.38%	14.74%	4.88%	0.00%	0.00%	100%	
090717CL3-S	79.01%	15.49%	5.50%	0.00%	0.00%	100%	21124
090820CL3-S	82.03%	15.84%	2.12%	0.00%	0.00%	100%	28393
090901CL3-S	80.11%	15.77%	4.12%	0.00%	0.00%	100%	6115
090917CL3-S	79.80%	13.77%	6.43%	0.00%	0.00%	100%	12914

CL3-S：嘉義中崙濁水潭觀測站

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total	Rn(Bq/m^3)
081212RS	79.05%	19.25%	1.69%	0.01%	0.00%	100%	
090420RS	79.18%	18.84%	1.97%	0.00%	0.00%	100%	20880
090511RS	79.95%	16.96%	3.09%	0.00%	0.00%	100%	27256
090520RS	79.81%	17.95%	2.24%	0.00%	0.00%	100%	23988
090604RS	76.77%	20.12%	3.11%	0.00%	0.00%	100%	29225
090620RS	79.64%	18.95%	1.41%	0.00%	0.00%	100%	
090707RS	80.16%	16.55%	3.29%	0.00%	0.00%	100%	
090719RS	79.22%	17.12%	3.66%	0.00%	0.00%	100%	23647
090804RS	80.51%	16.14%	3.35%	0.00%	0.00%	100%	28333
090819RS	80.50%	16.44%	3.06%	0.00%	0.00%	100%	45814
090902RS	80.02%	16.69%	3.29%	0.00%	0.00%	100%	31607

RS：台南二溪觀測站

表 2-3（續）：觀測站人工採樣氣體成份表

Date-Sample-No.	N_2+CO	O_2+Ar	CO_2	CH_4	C_2H_6	Total	Rn(Bq/m^3)
090506CS	80.15%	18.34%	1.51%	0.00%	0.00%	100%	
090519CS	80.50%	18.13%	1.37%	0.00%	0.00%	100%	
090813CS	75.88%	19.86%	4.26%	0.00%	0.00%	100%	7671
090923CS	79.08%	18.99%	1.92%	0.00%	0.00%	100%	
091001CS	80.31%	18.02%	1.67%	0.00%	0.00%	100%	5650
091008CS	79.86%	19.09%	1.05%	0.00%	0.00%	100%	
091020CS	78.61%	20.08%	1.31%	0.00%	0.00%	100%	
090605CC	81.09%	13.23%	5.68%	0.00%	0.00%	100%	
090819CC	80.74%	13.49%	5.77%	0.00%	0.00%	100%	31456

CS：台東池上觀測站；CC：屏東潮州觀測站

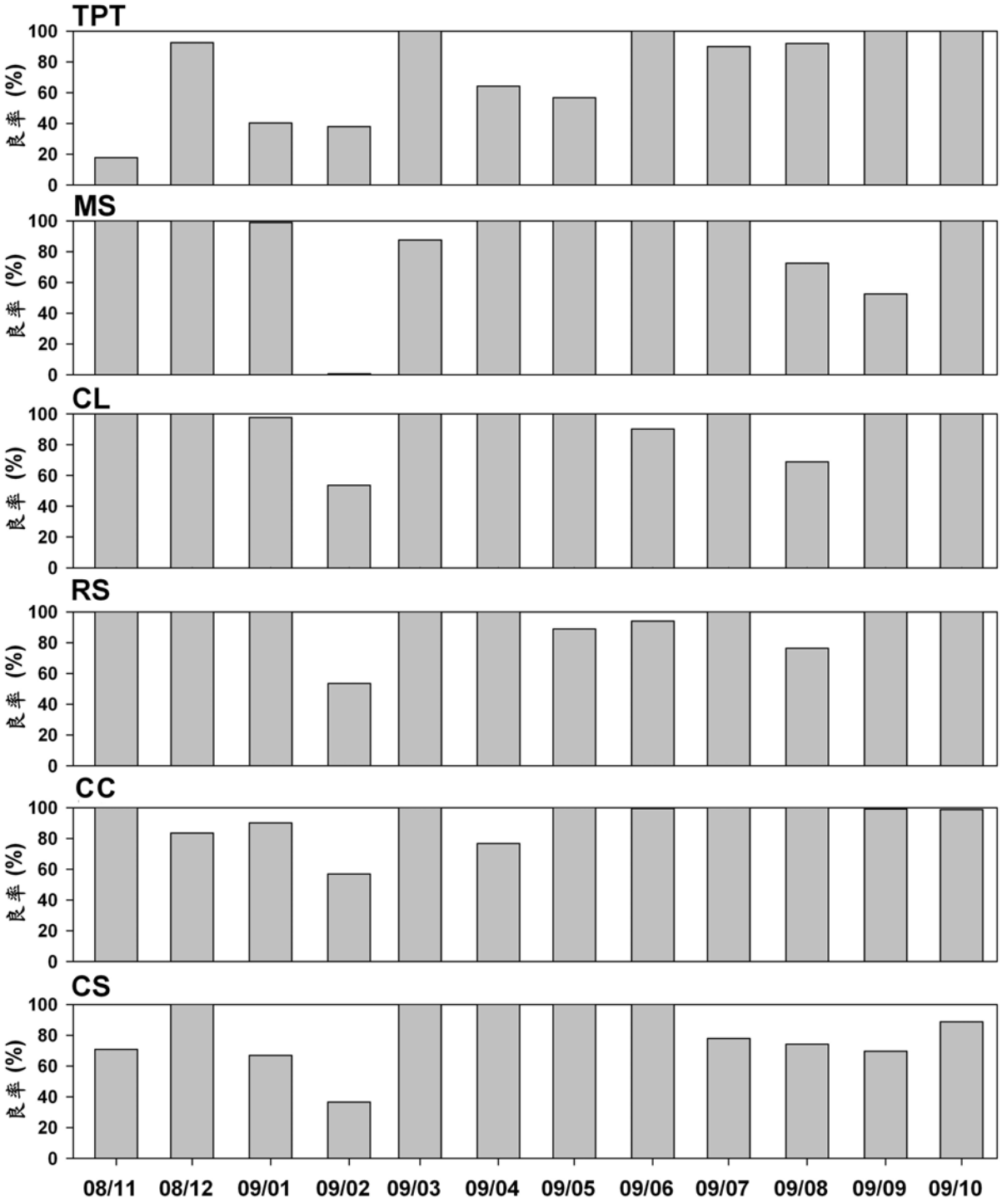


圖 2-107：本年度各觀測站之良率。

參、新觀測站設置之評選

3-1 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。本研究對於宜蘭平原進行調查，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，以更徹底了解宜蘭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 Etiope and Lombardi, 1995; Giammanco and Gurrieri, 1997; Guerra and Lombardi, 2000; Baubron *et al.*, 2002; Etiope and Martinelli, 2002; Yang et al., 2005）。而位於活斷層上的一些有利測站，則有較敏感的成份變化，且經常與地震活動有明顯關連；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。。

位於構造活動上的某些地區，在氣體成份的變化上，經常與地震活動有明顯關連。宜蘭位處板塊擠壓碰撞帶的邊緣，地震活動非常頻繁，因此扮演推手的角色，使地底下的氣體沿著通道不斷的逸散上來。

3-2 研究地區

宜蘭平原位於台灣東北處，為一沖積扇三角洲，緊鄰著南沖繩海槽。在台灣東北部，菲律賓海板塊沿著琉球海溝向北隱沒至歐亞大陸板塊之下，形成琉球島弧與沖繩海槽之弧溝系統，使得宜蘭地區地震活動頻繁。沖繩海槽向西南延伸至宜蘭平原，因受到海槽擴張作用之影響，宜蘭平原處於橫移伸張變形的環境。

根據地下構造判識以及震測資料，江新春 (1976) 指出在宜蘭平原之下有數條大致呈東北-西南向的構造線，由北而南分別是頭城、鵠子、隘界、宜蘭、坑四、濁水及三星斷層等七條斷層 (圖 3-1) 。根據李錫堤等人 (1998) 所繪製之台灣活斷層圖指出，宜蘭平原北部可能有存疑性活斷層，為礁溪斷層、牛鬥斷層以及宜蘭斷層 (圖 3-1) 。而大部分學者認為梨山斷層向東北延伸至宜蘭平原與雪山山脈的交界處。

蔡義本 (1976) 根據微震分佈發現在宜蘭與羅東之間有一寬約 3 公里，長約 30 公里，深約 20 公里的地震密集帶，由震源機制推測是一東北走向的右移活斷層且傾角接近 90 度。在近期地震的研究中，宜蘭平原的東南側有兩條明顯的東西向之地震密集帶，其震源解為橫移破裂的走向滑移機制(Liang et al., 2005)。此外，黃信樺 (2007) 利用三維速度模型並重新定位後發先兩個地震活動帶，分別位於宜蘭平原最北之正斷層序列以及南澳之走向斷層序列。根據上述研究得知，蘭陽平原周圍的發震構造因素複雜，不同深度的地震有不同的變形影響。

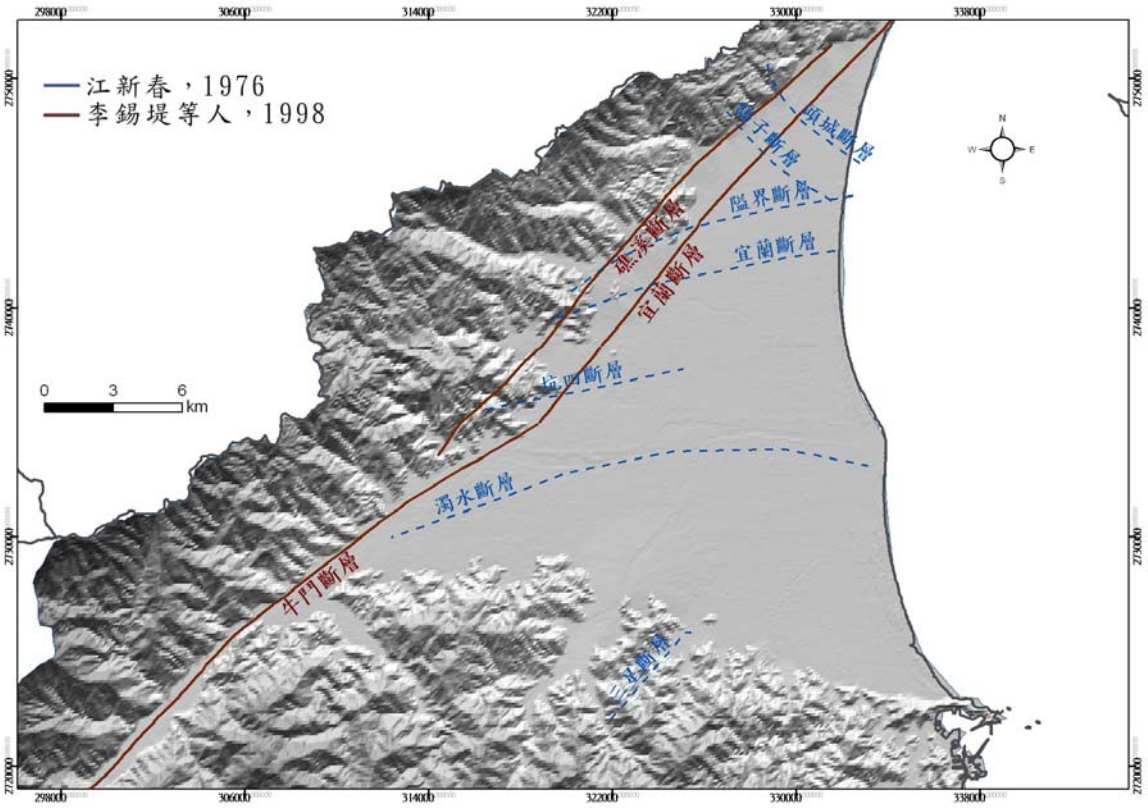


圖 3-1：綜合各研究所繪之斷層分佈圖。

3-3 採樣與分析

本研究在 98 年 4 月間於宜蘭平原利用土壤氣體地球化學方法調查(傅慶州等，2004)，採集了共約 158 個樣本並進行分析(圖 3-2，表 3-1)。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 130cm 半徑約 3cm 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 3-3）。再將鋼管套入已設計好的管線再利用手動邦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，再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 3-3）。

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。主要是討論 He、CO_2、CH_4、N_2、Ar、O_2 等各種氣體相對的含量的變化情形，並探討其中所代表的意義（Etiope and Lombardi, 1995; Etiope and Martinelli, 2002; Fu et al.,2006, 2008; Walia et al., 2005）。其中，我們將會以氦氣的含量來探討地底下是否有斷層與裂隙存在。因為氦氣在大氣中的含量頗為固定（5.24 ppm），所以如果有偵測到高於這個量的氦氣，便表示可能有更深部的氦氣來源。本研究將之氣體濃度異常值門檻定義為：去除濃度明顯過高的分析值後，將所有分析結果取平均值加上兩倍標準偏差（達 95%的可信度），當分析值高於此門檻者，可視為異常值。而氡氣的分析使用氡氣偵測儀（Radon detector），其分析步驟、原理同樣請參照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）。

3-3.1 氦氣偵測儀

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

一、開機後，三用電表接上後將儀器校正歸零

二、將進樣的管線連接上儀器主體後，靜待儀器與空氣達成平衡穩定

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

$$0.1 \times e^{(0.3026 \times V)} \quad \text{.....(1)}$$

備註：1.三用電表可達小數點後三位

2.空氣中氦氣濃度約為 5.24ppm

3.儀器誤差小於 0.3%

3-3.2 攜帶式氣相層析儀

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

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

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

3-4 研究成果

宜蘭地區的初步分析結果顯示，宜蘭平原各地的氣體成份差異很大，在特定區域可看出明顯的高濃度值，圖 3-4 到圖 3-7 分別為氦氣、氡氣、二氧化碳濃度與二氧化碳通量之等濃度分佈圖，並可發現各氣體濃度和通量皆有由東向西遞減的趨勢，這可能與沖繩海槽擴張有關。由於沖繩海槽持續張裂使得來自地底深處的氣體經由此通道逸散至研究地區，而此趨勢越接近中央山脈則趨於不明顯。

本研究將各別氣體濃度異常值門檻定義為：去除濃度明顯過高或過低的分析值後，將所有分析結果取平均值加上兩倍標準偏差(達 95%的可信度)，當分析值高於此門檻者可視為異常值，表 3-1 標記粗體的部分則代表為異常值。個別氣體成分之

異常門檻計算結果如下：

二氧化碳通量：平均值為 12.40，標準差為 8.12，故取 12.40+2*8.12= 28.64 ($g/m^2/day$) 為異常值門檻。

氡氣濃度通量：平均值為 5.26，標準差為 0.08，故取 5.26+2*0.08= 5.42 (ppm) 為異常值門檻。

氡氣濃度通量：平均值為 14468，標準差為 7691，故取 14468+2*7691= 29850 (Bq/m3) 為異常值門檻。

二氧化碳濃度通量：平均值為 2.40，標準差為 1.77，故取 2.40+2*1.77= 5.94 (%) 為異常值門檻。

而根據二氧化碳之碳同位素的結果顯示，研究地區的氣體來源主要為淺處的生物來源與較深處的地殼或地函來源混合的結果，如圖 3-8 所示。

現進一步篩選出氡氣或氦氣超過門檻值的點位，進行候選區的評估，但同時考量其他現地環境因素(如土地利用情形、地主意願等)之後，選擇編號 21, 29, 30, 55, 80 等點位(圖 3-9)留下一不銹鋼管並進行定期採樣(表 3-2)，以作為日後設站的參考。除了上述氣體濃度異常之位置外，坐落於敏感地帶上的點位也值得關注，因此挑選了位於礁溪斷層帶上的 67 與 104 點位以及位於武淵瓦斯噴氣區的 56 點位(圖 3-9) 進行觀測。近期將從這些候選位置，擇一最合適之地點來設置新的土壤氣觀測站。

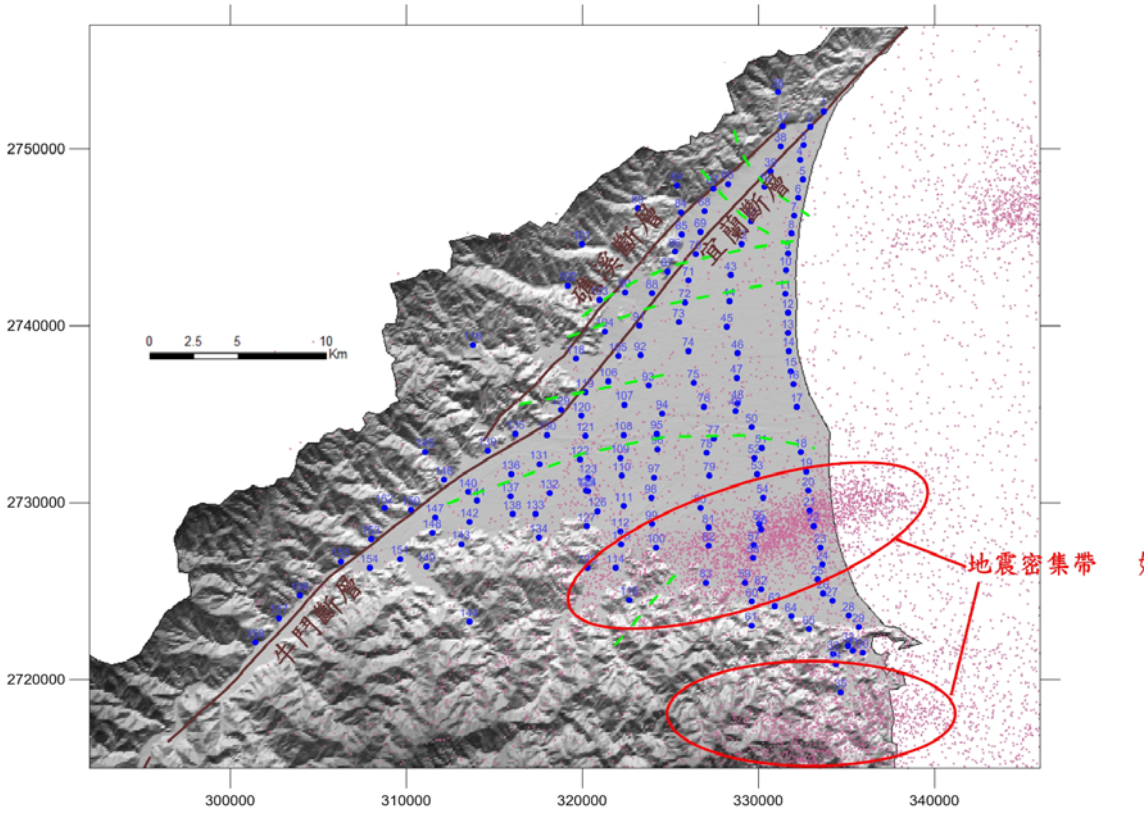


圖 3-2：宜蘭平原採樣點分佈圖

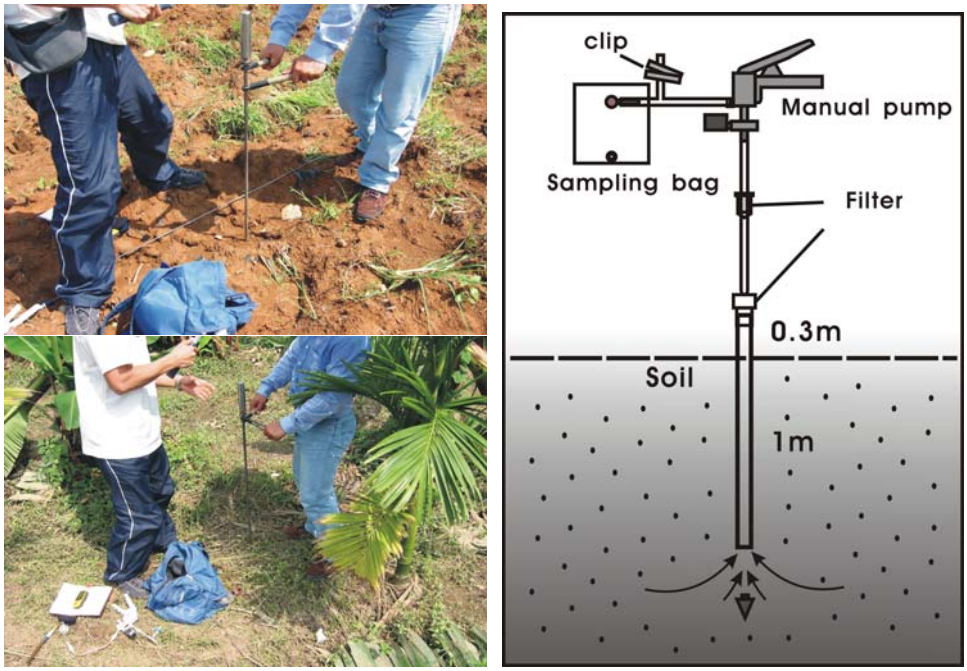


圖 3-3：野外採樣的實際情形與採樣示意圖。

表 3-1 宜蘭平原採樣點分析結果

No.	CO_2 Flux ($g/m^2/day$)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)	Micro GC				δ13C (‰)
				N_2(%)	O_2+Ar(%)	CO_2(%)	CH_4(%)	
1	13.50	5.20	13071	78.89	19.74	1.37	0.00	
2	3.43	5.15	14161	80.64	5.11	**14.25**	0.00	-23.12
3	17.34	5.18	**36084**	79.78	17.35	2.87	0.00	
4	5.00	5.15	lost	79.09	16.87	4.04	0.00	
5	12.42	5.24	12687	79.43	19.09	1.48	0.00	
6	10.65	5.22	10456	79.28	19.29	1.43	0.00	
7	9.66	5.20	5052	79.57	19.93	0.51	0.00	
8	**31.48**	5.22	10347	79.42	16.80	3.78	0.00	
9	16.26	5.26	**50342**	81.50	14.51	4.00	0.00	-22.21
10	15.35	5.21	9404	79.45	19.00	1.56	0.00	
11	19.04	5.20	21356	82.06	7.53	**10.38**	0.03	-21.20
12	11.05	5.24	4549	79.76	19.98	0.26	0.00	
13	**30.57**	5.22	8364	79.40	18.83	1.78	0.00	
14	18.65	5.21	3454	79.10	20.62	0.27	0.00	
15	20.83	5.16	26025	79.17	14.37	**6.46**	0.00	-20.61
16	16.74	**5.52**	27360	90.35	1.25	**8.10**	0.30	-21.72
17	10.76	5.26	**39352**	84.39	4.40	**11.21**	0.00	-14.87
18	1.50	5.37	**31541**	81.53	14.66	3.82	0.00	-14.41
19	3.34	5.37	16492	84.96	10.30	4.37	0.37	-17.80
20	13.36	5.24	5090	80.09	18.04	1.86	0.00	
21	18.21	5.24	**34018**	82.46	9.38	**8.15**	0.00	-14.24
22	8.43	5.24	21122	80.81	12.12	**7.07**	0.00	
23	**37.86**	5.26	6949	80.78	16.89	2.33	0.00	
24	20.61	5.24	3051	79.85	15.97	4.17	0.00	
25	13.59	5.24	lost	80.75	14.17	5.08	0.00	
26	4.43	5.33	20192	82.36	13.98	3.67	0.00	-17.21
27	0.67	5.27	1181	79.41	20.11	0.48	0.00	
28	**32.16**	5.25	5121	80.33	17.60	2.07	0.00	
29	17.27	**5.78**	5910	79.26	18.95	1.78	0.00	-14.97
30	8.80	**5.53**	20742	90.56	1.21	**8.23**	0.00	-15.66
31	17.84	5.24	466	lost				
32	14.64	5.01	10248	75.00	13.58	4.05	**7.38**	-16.24
33	**60.34**	5.31	17079	82.71	11.99	5.30	0.00	
34	19.26	5.30	10830	80.43	18.20	1.38	0.00	

表 3-1 宜蘭平原採樣點分析結果 (續)

No.	CO_2 Flux ($g/m^2/day$)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)	Micro GC				δ13C (‰)
				N_2(%)	O_2+Ar(%)	CO_2(%)	CH_4(%)	
35	7.65	5.24	10273	80.02	17.68	2.30	0.00	
36	7.04	5.26	4334	79.64	20.23	0.13	0.00	
37	13.68	5.22	22782	79.42	18.99	1.59	0.00	
38	8.30	5.24	28107	79.90	18.35	1.75	0.00	
39	6.20	5.22	10417	79.81	18.40	1.79	0.00	
40	6.45	5.20	9464	79.62	18.78	1.60	0.00	
41	11.87	**5.42**	**33856**	87.14	9.38	3.48	0.00	-24.18
42	7.32	5.21	6968	79.06	19.49	1.45	0.00	
43	10.02	5.20	6149	79.03	19.79	1.17	0.00	
44	7.07	5.19	20966	79.04	18.89	2.07	0.00	
45	12.64	5.22	19745	81.95	14.17	3.88	0.00	
46	26.06	5.14	20381	80.01	11.89	**8.09**	0.00	-14.87
47	19.45	5.20	9119	79.94	16.87	3.19	0.00	
48	22.55	5.22	5317	79.32	20.02	0.66	0.00	
49	8.20	5.21	17733	82.84	10.39	**6.77**	0.00	-21.94
50	**31.79**	5.25	24606	82.15	11.35	**6.50**	0.00	-21.41
51	9.35	5.24	16199	80.85	16.57	2.58	0.00	
52	17.29	**5.58**	19496	93.61	1.54	4.85	0.00	-20.76
53	7.73	5.24	**30993**	81.12	14.79	4.09	0.00	
54	11.66	5.24	140	79.28	20.64	0.08	0.00	
55	28.97	**5.42**	**32049**	84.43	6.02	**9.55**	0.00	
56	23.54	5.20	3426	79.54	19.96	0.47	0.03	
57	**87.03**	**5.48**	25796	87.03	8.55	4.41	0.00	
58	22.97	5.26	9643	82.46	12.39	5.15	0.00	
59	**58.63**	5.24	20106	83.02	11.12	5.86	0.00	
60	7.71	5.22	17635	79.63	16.49	3.89	0.00	-18.45
61	9.05	5.25	17444	79.36	20.22	0.42	0.00	
62	7.25	5.30	19219	83.31	14.72	1.97	0.00	
63	4.02	**5.60**	20155	87.70	12.25	0.06	0.00	
64	15.90	5.24	599	79.47	20.45	0.08	0.00	
65	28.47	5.25	14332	81.54	12.74	5.72	0.00	-18.74
66	3.09	4.23	16647	55.81	13.96	5.90	**24.32**	-7.24
67	8.59	5.20	29032	79.28	17.85	2.87	0.00	-18.08
68	11.03	5.21	25634	79.53	17.58	2.89	0.00	-18.34

表 3-1 宜蘭平原採樣點分析結果 (續)

No.	CO_2 Flux ($g/m^2/day$)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)	Micro GC				δ13C (‰)
				N_2(%)	O_2+Ar(%)	CO_2(%)	CH_4(%)	
69	8.61	5.21	13066	79.61	18.03	2.36	0.00	
70	16.03	5.26	18296	79.00	18.51	2.48	0.00	
71	25.38	5.22	19162	83.42	6.06	**10.53**	0.00	-23.50
72	2.04	5.24	12767	82.06	12.99	4.94	0.00	-20.93
73	**39.46**	5.16	**40625**	82.06	4.03	**13.91**	0.00	-11.37
74	12.24	5.13	23077	81.49	10.56	**7.95**	0.00	-16.30
75	18.99	**5.45**	27945	88.27	4.37	**7.26**	0.11	-13.70
76	**62.90**	5.13	11780	79.97	15.29	4.74	0.00	-21.22
77	20.54	5.22	18853	80.27	16.52	3.21	0.00	
78	**29.64**	5.24	**54419**	85.83	13.63	0.54	0.00	
79	**34.68**	5.20	7215	80.10	13.98	5.93	0.00	-22.26
80	21.68	5.36	**31864**	87.04	3.53	**9.39**	0.04	-16.07
81	**30.88**	5.13	16976	78.97	18.92	2.11	0.00	
82	21.33	5.40	25480	87.88	2.80	9.31	0.00	-23.21
83	12.50	5.25	**30255**	79.64	16.75	3.61	0.00	
84	4.60	5.22	5924	79.41	19.79	0.79	0.00	
84	15.13	5.25	2403	79.48	20.32	0.20	0.00	
85	5.96	5.21	12709	79.59	18.34	2.07	0.00	
86	9.71	5.22	20395	78.66	20.03	1.31	0.00	
87	5.47	5.19	29139	79.27	18.21	2.52	0.00	
88	5.72	5.19	15508	79.11	18.36	2.54	0.00	
89	0.54	5.30	**58353**	79.81	17.58	2.60	0.00	
90	13.04	5.24	10862	79.59	19.23	1.18	0.00	
91	3.88	5.18	12451	78.98	18.83	2.19	0.00	
92	13.05	5.19	**58522**	79.31	14.99	5.71	0.00	-11.83
93	10.56	5.11	8905	78.38	16.57	5.05	0.01	-11.44
94	7.84	5.24	16508	80.55	17.57	1.88	0.00	
95	15.83	**5.53**	13769	92.68	4.07	3.25	0.00	-16.02
96	4.60	5.26	15311	79.35	18.73	1.92	0.00	
97	14.69	5.24	10454	80.34	13.05	**6.61**	0.00	
98	9.26	5.27	12353	79.72	18.84	1.44	0.00	
99	2.52	5.25	6498	79.67	17.66	2.67	0.00	
100	3.06	5.28	12455	79.49	18.99	1.52	0.00	
101	7.51	5.25	6502	78.90	20.13	0.97	0.00	

表 3-1 宜蘭平原採樣點分析結果 (續)

No.	CO_2 Flux ($g/m^2/day$)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)	Micro GC				δ13C (‰)
				N_2(%)	O_2+Ar(%)	CO_2(%)	CH_4(%)	
102	13.71	5.27	4316	79.37	20.04	0.59	0.00	
103	9.82	5.25	20227	79.72	18.36	1.91	0.00	
104	11.87	5.24	15621	80.13	16.21	3.66	0.00	-15.96
105	16.11	5.22	11651	80.30	16.04	3.66	0.00	lost
106	14.60	5.26	4674	80.81	18.34	0.84	0.00	
107	7.21	5.38	20121	87.17	12.23	0.60	0.00	
108	3.96	5.31	20269	82.96	14.72	2.33	0.00	
109	8.11	5.24	9176	80.43	17.66	1.92	0.00	
110	17.04	5.26	17531	79.87	19.02	1.10	0.00	-17.41
111	18.02	5.24	9090	79.27	19.12	1.61	0.00	
112	9.29	5.28	7505	79.88	19.58	0.54	0.00	
113	2.40	5.24	14288	80.07	17.30	2.63	0.00	
114	5.97	5.24	9335	79.38	19.23	1.39	0.00	
115	6.33	5.24	5376	79.64	19.79	0.56	0.00	
116	4.05	5.24	**44616**	80.46	17.18	2.36	0.00	-18.35
117	lost	5.22	23467	79.70	18.16	2.14	0.00	
118	19.24	5.21	16593	79.43	17.32	3.24	0.00	
119	7.99	5.20	20217	80.28	16.41	3.31	0.00	
120	7.97	5.24	3513	79.67	20.18	0.15	0.00	
121	4.60	5.24	5868	79.36	20.10	0.54	0.00	
122	6.54	5.25	8635	79.55	18.61	1.84	0.00	
123	6.07	5.25	23721	81.83	11.60	**6.56**	0.00	-19.76
124	5.48	5.31	10129	81.62	1.13	3.48	**13.78**	-11.68
125	6.73	5.30	8793	80.04	18.75	1.21	0.00	
126	3.73	5.31	15603	80.52	16.74	2.70	0.05	
127	13.01	5.28	13153	80.00	17.30	2.70	0.00	
128	1.25	5.25	12402	79.28	20.04	0.68	0.00	
129	21.14	5.24	11033	80.08	17.09	2.82	0.00	
130	6.05	5.24	8122	79.94	17.28	2.79	0.00	
131	19.77	5.30	20995	80.94	17.59	1.48	0.00	
132	7.71	5.24	11437	79.69	18.32	1.99	0.00	
133	7.67	5.25	13164	79.37	18.94	1.69	0.00	
134	**29.08**	5.24	12680	79.15	19.15	1.70	0.00	
135	10.61	5.31	14906	80.74	16.91	2.35	0.00	

表 3-1 宜蘭平原採樣點分析結果 (續)

No.	CO_2 Flux ($g/m^2/day$)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)	Micro GC				δ13C (‰)
				N_2(%)	O_2+Ar(%)	CO_2(%)	CH_4(%)	
136	3.67	5.26	6857	79.68	20.06	0.27	0.00	
137	2.89	5.26	10551	80.72	17.46	1.82	0.00	
138	9.55	5.28	19757	80.75	17.20	2.05	0.00	
139	10.07	5.24	3785	79.44	20.18	0.38	0.00	
140	3.36	5.28	10116	79.85	19.36	0.80	0.00	
141	6.39	5.26	15376	79.74	18.48	1.78	0.00	
142	7.79	5.24	17007	80.27	17.95	1.78	0.00	
143	11.65	5.26	22902	80.03	18.46	1.51	0.00	
144	16.31	5.13	10895	79.32	18.08	2.60	0.00	
145	3.54	5.24	5989	79.69	20.07	0.24	0.00	
146	11.21	5.20	22856	lost				
147	3.22	5.28	12553	80.39	18.44	1.17	0.00	
148	7.96	5.24	17039	80.22	18.25	1.54	0.00	
149	13.25	5.21	4007	79.72	19.77	0.51	0.00	
150	13.95	5.24	8591	79.82	20.04	0.14	0.00	
151	14.00	5.28	14362	80.53	17.51	1.96	0.00	
152	11.54	5.24	**73873**	81.04	16.03	2.93	0.00	
153	9.00	5.27	10688	80.43	16.73	2.84	0.00	
154	18.03	5.24	3644	79.33	20.14	0.53	0.00	
155	9.39	5.30	19841	80.06	19.44	0.50	0.00	
156	8.61	5.26	3033	79.60	20.33	0.07	0.00	
157	3.03	5.20	7538	79.37	20.37	0.26	0.00	
158	8.56	5.26	6856	79.86	19.54	0.60	0.00	

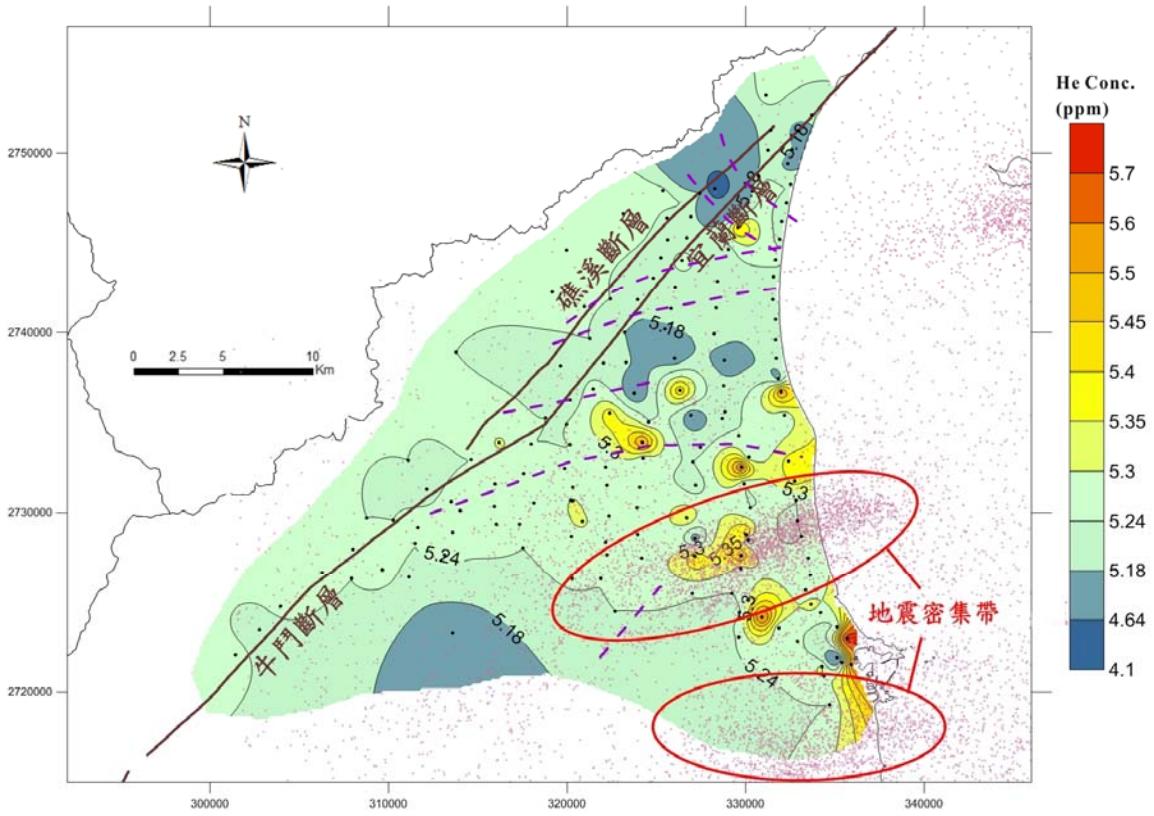


圖 3-4：宜蘭平原土壤氣之氦氣等濃度分布圖。

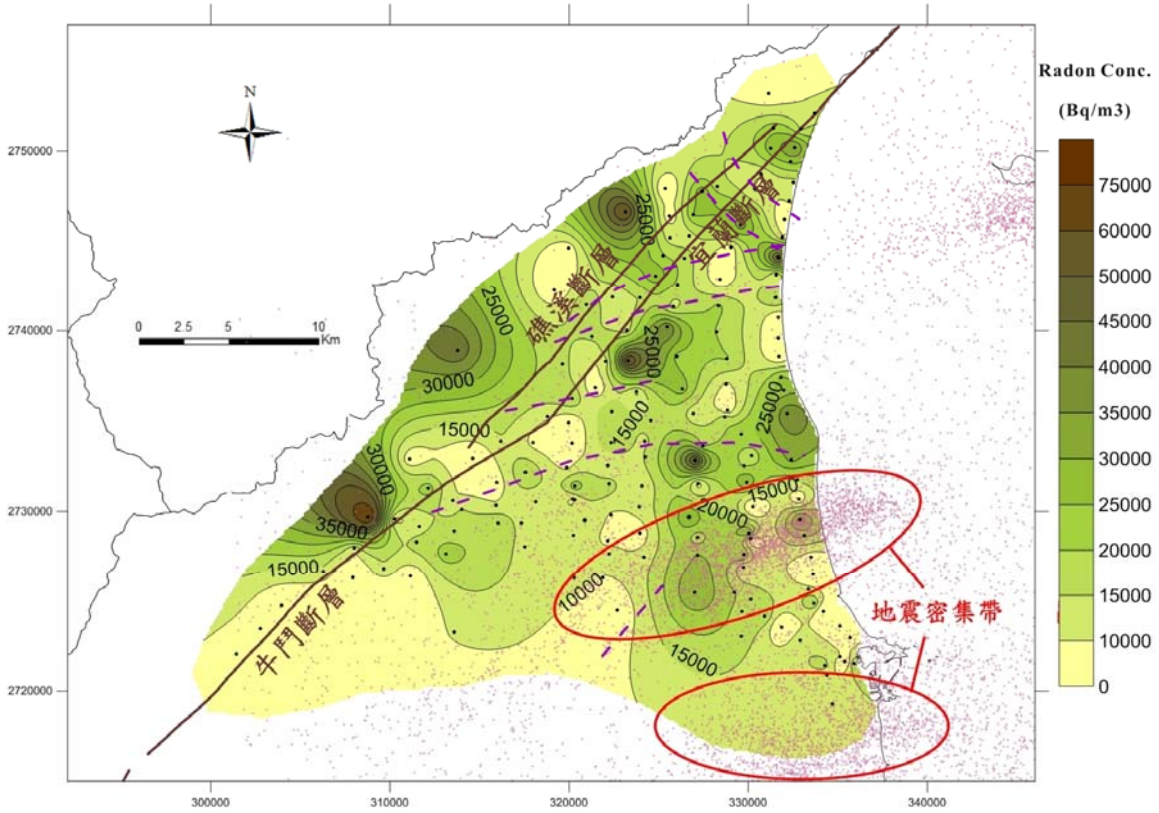


圖 3-5：宜蘭平原土壤氣之氡氣等濃度分布圖。

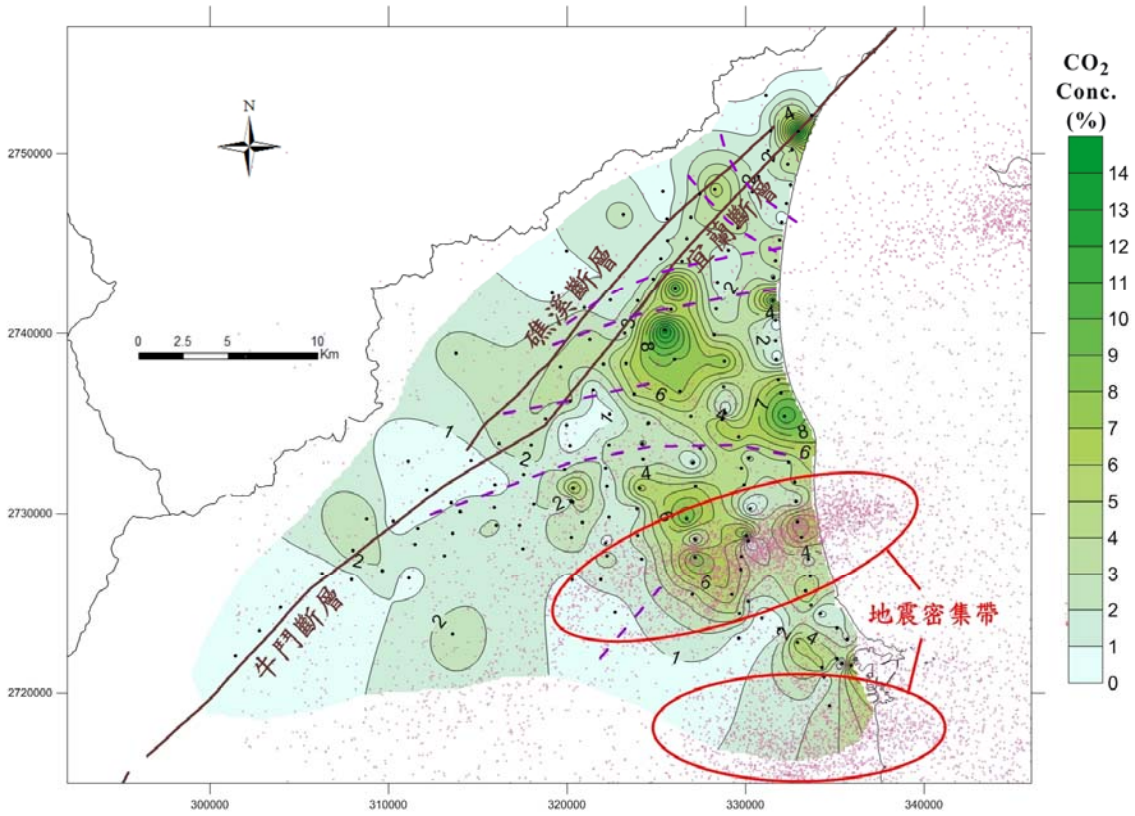


圖 3-6：宜蘭平原土壤氣之二氧化碳等濃度分布圖。

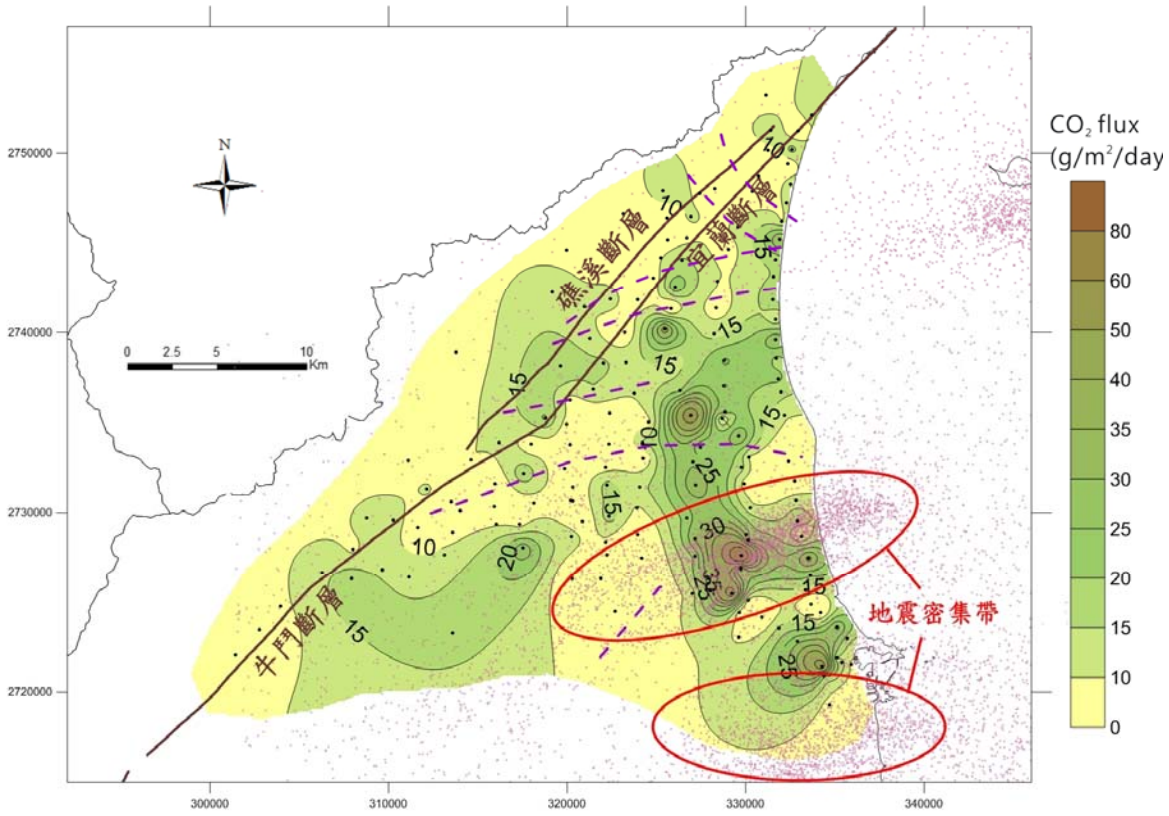


圖 3-7：宜蘭平原土壤氣二氧化碳通量之等濃度分布圖。

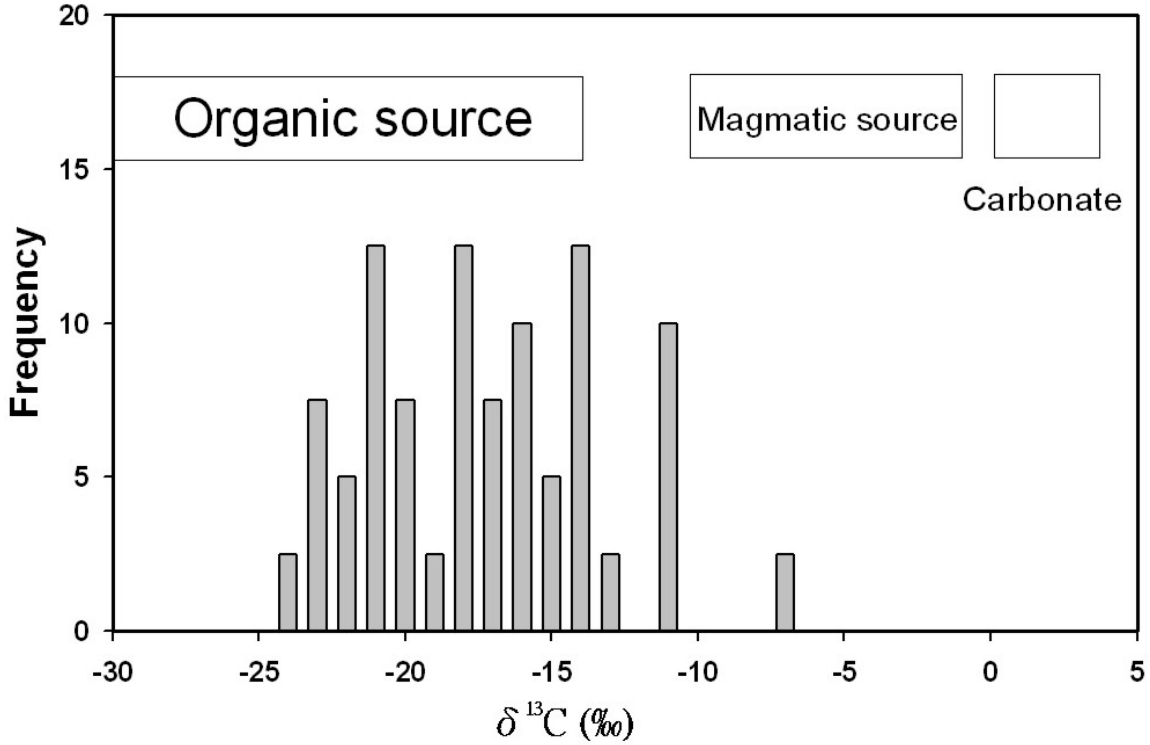


圖 3-8：宜蘭平原土壤氣之二氧化碳碳同位素分佈圖。

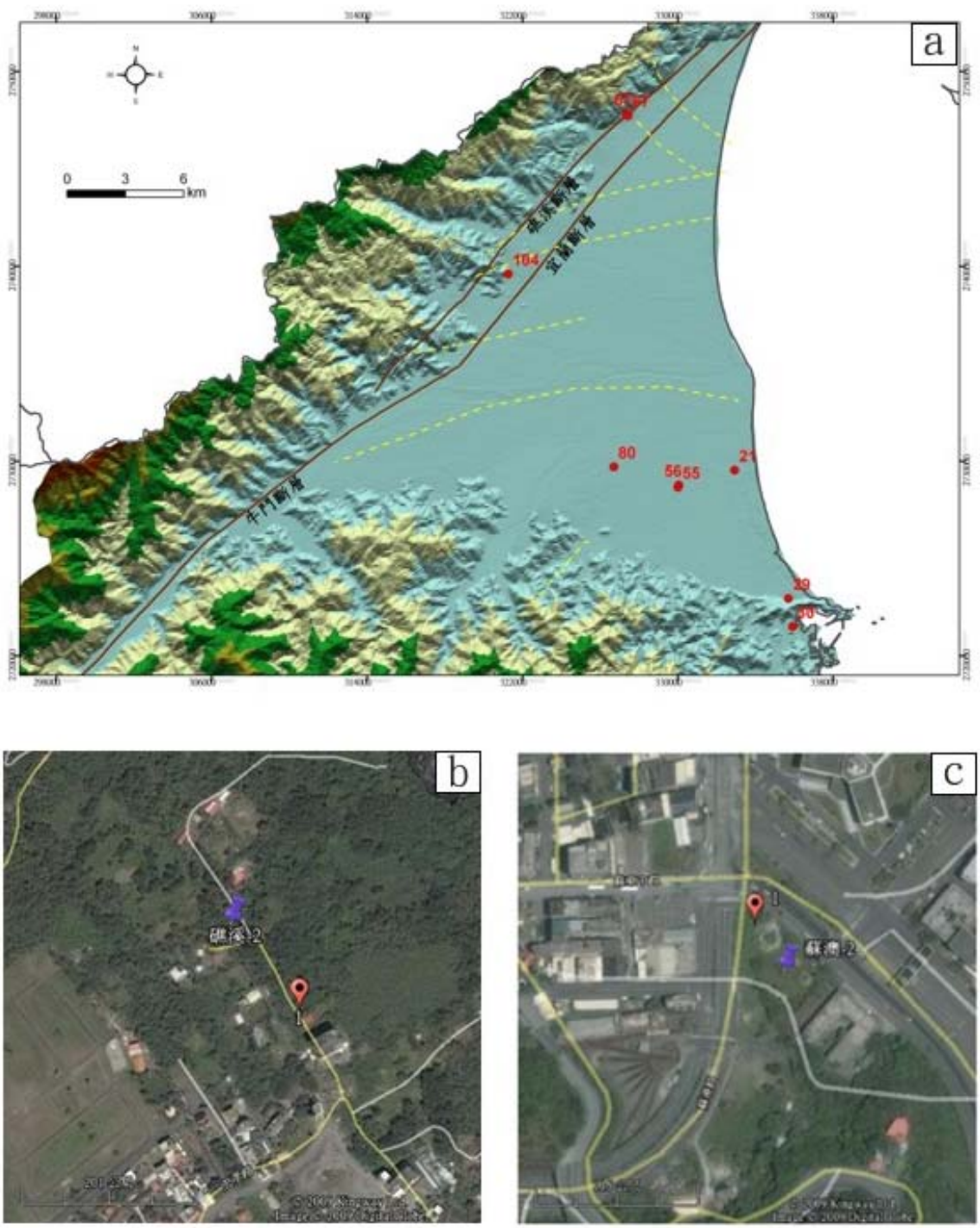


圖 3-9：氣體異常且為新測站之可能候選位置的分佈圖。

表 3-2 宜蘭平原固定點定期採樣結果

Date	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)	N_2 (%)	O_2+Ar (%)	CO_2 (%)	CH_4 (%)	δ13C (‰)
no. 67 (礁溪-1)							
4/5	*5.20*	*29,032*	*79.28*	*17.85*	*2.87*	*0.00*	*-16.07*
4/29	5.24	42,239	79.85	18.29	1.86	0.00	
5/7	5.32	43,225	81.35	16.42	2.23	0.00	
5/13	5.27	29,750	81.32	15.79	2.88	0.00	
5/22	5.26	33,453	79.86	16.77	3.36	0.00	
6/3	5.26	32,497	79.69	16.96	3.35	0.00	-20.58
6/18	5.37	49,227	81.22	14.81	3.97	0.00	
6/25	5.35	25,319	82.40	13.10	4.50	0.00	-18.99
7/3	5.28	47,664	81.40	13.38	5.22	0.00	
7/10	5.28	34,423	80.22	14.40	5.38	0.00	-18.86
7/15	5.31	42,226	81.43	13.14	5.42	0.00	
7/23	5.32	51,167	80.88	13.44	5.68	0.00	
8/1	5.27	51,430	79.63	15.42	4.94	0.00	
8/6	lost	35,395	78.93	15.47	5.60	0.00	
8/18	5.30	48,878	80.13	15.52	4.35	0.00	-18.68
8/26	5.19	34,759	78.67	16.54	4.79	0.00	
9/9	5.30	53,412	80.56	14.44	5.00	0.00	
9/20	5.31	60,477	80.94	12.81	6.26	0.00	
no. 67 (礁溪-2)							
5/13	5.24	59,563	79.87	16.32	3.81	0.00	
5/22	5.25	53,825	80.12	16.20	3.68	0.00	
6/3	5.26	53,499	80.55	15.64	3.81	0.00	-24.22
6/18	5.41	79,860	83.61	11.95	4.45	0.00	
6/25	5.33	50,496	82.78	12.12	5.10	0.00	-23.63
7/3	5.21	57,508	79.97	14.74	5.29	0.00	
7/10	5.20	75,743	80.02	14.92	5.06	0.00	-23.89
7/15	5.27	74,413	81.36	13.29	5.35	0.00	
7/23	5.22	102,674	80.59	14.06	5.35	0.00	-23.49
8/1	5.26	85,767	80.62	13.61	5.76	0.00	
8/6	lost	105,917	80.76	13.66	5.58	0.00	
8/18	5.28	90,188	80.76	13.78	5.46	0.00	-23.38
8/26	5.21	86,005	80.42	14.45	5.13	0.00	
9/9	5.27	78,788	80.95	13.49	5.56	0.00	
9/20	5.25	65,210	80.19	14.25	5.56	0.00	

表 3-2 宜蘭平原固定點定期採樣結果 (續)

Date	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)	N_2 (%)	O_2+Ar (%)	CO_2 (%)	CH_4 (%)	δ13C (‰)
no.104 (圓山)							
4/12	5.24	15,621	80.13	16.21	3.66	0.00	-15.96
7/3	5.27	20,937	80.53	14.46	5.01	0.00	
7/10	5.24	21,007	80.61	14.23	5.16	0.00	-15.03
7/23	5.21	25,971	80.35	14.24	5.40	0.00	-15.17
8/1	5.22	26,318	79.86	14.66	5.49	0.00	
8/18	5.31	28,856	81.99	11.52	6.50	0.00	-15.78
8/26	5.22	17,989	80.45	13.35	6.20	0.00	
9/20	5.28	33,510	80.98	17.69	1.33	0.00	
no.80 (羅東)							
4/5	5.36	31,864	87.04	3.53	9.39	0.04	-16.07
4/29	5.15	13,261	78.77	18.29	2.94	0.00	
5/7	5.15	7,207	78.46	18.16	3.38	0.01	
5/13	5.12	10,429	79.93	7.88	11.65	0.54	
5/22	5.13	11,570	79.40	7.75	12.80	0.05	
6/3	5.21	12,700	80.79	4.86	14.33	0.02	-20.58
7/23	5.12	10,680	78.34	7.61	13.96	0.08	
8/18	5.11	20,647	77.81	5.96	16.20	0.03	-20.787
9/20	5.13	14,861	77.23	5.50	16.27	0.99	
no.55 (武淵國小)							
4/5	5.42	32,049	84.43	6.02	**9.55**	0.00	
4/29	5.28	53,747	87.30	1.61	11.09	0.00	-14.71
5/7	5.14	lost	79.00	11.53	9.47	0.00	
之後更改採樣位置，距原始點 50m，座標(329999, 2728672)							
5/13	5.12	34,310	78.09	13.72	8.19	0.00	
5/22	5.16	16,456	78.95	12.97	8.07	0.01	
6/3	5.20	15,362	78.66	10.23	11.11	0.00	-20.14
no.56 (武淵民宅)							
4/5	5.20	3,426	79.54	19.96	0.47	0.03	
5/7	5.22	35,703	80.84	12.33	6.83	0.00	
5/13	5.18	34,210	81.40	11.06	7.54	0.00	
5/22	5.09	28,772	77.88	15.05	7.08	0.00	
6/3	5.16	28,697	78.51	15.03	6.41	0.04	-23.62
8/19	5.12	46,260	79.05	14.04	6.91	0.00	

表 3-2 宜蘭平原固定點定期採樣結果 (續)

Date	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)	N_2 (%)	O_2+Ar (%)	CO_2 (%)	CH_4 (%)	δ13C (‰)
武淵民宅-2							
5/7	3.13	5,207	48.35	0.63	23.81	27.20	
5/13	4.34	6,769	51.61	0.68	19.35	28.35	
5/22	4.72	6,479	58.02	0.68	21.93	19.37	
6/3	4.76	6,416	59.11	0.73	22.40	17.77	-9.63
8/19	4.71	20,757	59.47	0.80	19.55	20.18	
no.21							
4/2	5.24	34,018	82.46	9.38	8.15	0.00	-14.24
6/18	5.33	21,078	83.10	9.78	7.12	0.00	
6/25	5.25	17,096	80.53	12.28	7.19	0.00	-15.03
7/3	5.24	12,240	79.34	14.02	6.64	0.00	
7/10	5.21	12,609	79.06	15.06	5.88	0.00	-14.47
7/23	5.26	18,239	81.66	10.64	7.70	0.00	-15.08
8/18	5.26	25,683	80.17	8.78	11.05	0.00	
no.29 (蘭陽隧道前)							
4/5	5.78	5,910	79.26	18.95	1.78	0.00	-14.97
4/29	6.97	23,485	79.78	13.16	7.06	0.00	-14.24
5/7	6.53	16,857	78.32	14.99	6.68	0.00	
5/13	6.01	17,929	77.53	15.36	7.11	0.00	
5/22	6.28	19,118	76.51	14.23	9.27	0.00	
6/3	6.67	24,021	75.71	12.08	12.21	0.00	-12.97
6/18	6.82	17,806	76.17	10.20	13.64	0.00	
6/25	6.52	23,086	74.59	11.79	13.63	0.00	-12.70
7/3	6.10	15,703	73.29	13.01	13.70	0.00	
7/10	5.88	16,446	73.40	13.87	12.73	0.00	-12.00
7/15	6.11	22,441	74.02	12.94	13.04	0.01	
7/23	6.24	24,428	73.71	12.83	13.46	0.00	-12.57
8/1	5.92	22,152	72.93	13.78	13.29	0.00	
8/6	lost	21,797	78.22	17.26	4.53	0.00	
8/18	5.94	22,592	73.87	14.36	11.77	0.00	-11.85
8/26	5.77	18,743	72.64	14.43	12.92	0.00	
9/9	6.12	28,240	73.55	12.36	14.09	0.00	
9/20	6.17	28,148	73.60	9.55	16.85	0.00	
10/1	6.34	22,179	74.06	12.47	13.47	0.00	

表 3-2 宜蘭平原固定點定期採樣結果 (續)

Date	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)	N_2 (%)	O_2+Ar (%)	CO_2 (%)	CH_4 (%)	δ13C (‰)
no.30 (蘇澳公園-1)							
4/5	5.53	20,742	90.56	1.21	8.23	0.00	-15.66
4/29	5.60	23,463	90.59	1.23	7.74	0.44	-16.86
5/7	5.46	18,683	89.02	1.34	9.34	0.30	
5/13	5.40	20,556	88.33	1.95	9.72	0.00	
5/22	5.36	18,134	85.73	3.47	10.80	0.00	
6/3	5.38	21,363	86.70	2.19	11.11	0.00	-16.74
6/18	5.42	13,947	85.88	4.10	9.91	0.11	
6/25	5.37	20,985	86.29	1.32	12.38	0.01	-16.42
7/3	5.32	17,523	83.94	2.55	13.50	0.00	
7/10	5.27	16,468	82.37	6.64	10.99	0.00	-15.75
7/15	5.52	17,733	85.70	1.91	12.39	0.00	
7/23	5.25	19,918	84.26	2.65	13.09	0.00	-15.20
8/1	5.25	16,707	83.50	4.92	11.52	0.06	
8/6		19,556	82.85	3.24	13.91	0.00	
8/18	5.38	23,933	84.10	3.41	12.48	0.00	-14.98
8/26	5.26	29,336	82.02	3.78	14.20	0.00	
9/9	5.27	24,633	82.88	5.18	11.94	0.00	
9/20	5.33	25,480	84.29	2.16	13.55	0.00	
no.30 (蘇澳公園-2)							
6/3	5.40	35,432	81.27	15.12	3.61	0.00	-15.34
6/25	5.43	20,334	85.51	8.05	6.43	0.00	-16.86
7/3	5.35	29,516	83.66	9.47	6.87	0.00	
7/10	5.33	31,000	82.09	11.21	6.70	0.00	-17.04
7/15	5.41	28,603	82.05	11.50	6.45	0.00	
7/23	5.43	34,363	85.20	7.89	6.91	0.00	-17.44
8/1	5.33	34,302	83.04	9.26	7.70	0.00	
8/6	lost	51,671	83.35	5.71	10.22	0.71	
8/18	5.42	31,640	83.53	10.93	5.54	0.00	-16.35
8/26	5.32	38,548	82.92	9.29	7.79	0.00	
9/9	5.38	46,932	83.58	10.22	6.19	0.00	
9/20	5.46	49,844	86.38	6.29	7.34	0.00	

3-5 氣體觀測站位址之選擇與設置

（1）確認觀測站地底下之氣體來源

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

（2）選擇鄰近斷層帶的地點設站

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

（3）考量地震活動對當地的影響程度

在設置觀測站之前可於候選地點進行定期採樣分析，藉以先行判斷該地的濃度背景值變化是否穩定，並可經由長時間的採樣結果，觀察該地在地震前後氣體濃度是否改變，以瞭解地震活動對當地的影響程度。

（4）選擇地下水位較低或地形較高的地點

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

（5）多因子同步觀測

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

（6）盡量避免有腐蝕性的環境

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

（7）選擇外人不易到達、但具有通訊與電源供應設備的地點

除了前述自然地質背景與地形考量外，設站地點應盡量避免外人的干擾，但有通訊與電源供應又是設置觀測站重要的一項考量，而觀測站的設置如圖3-10所示。

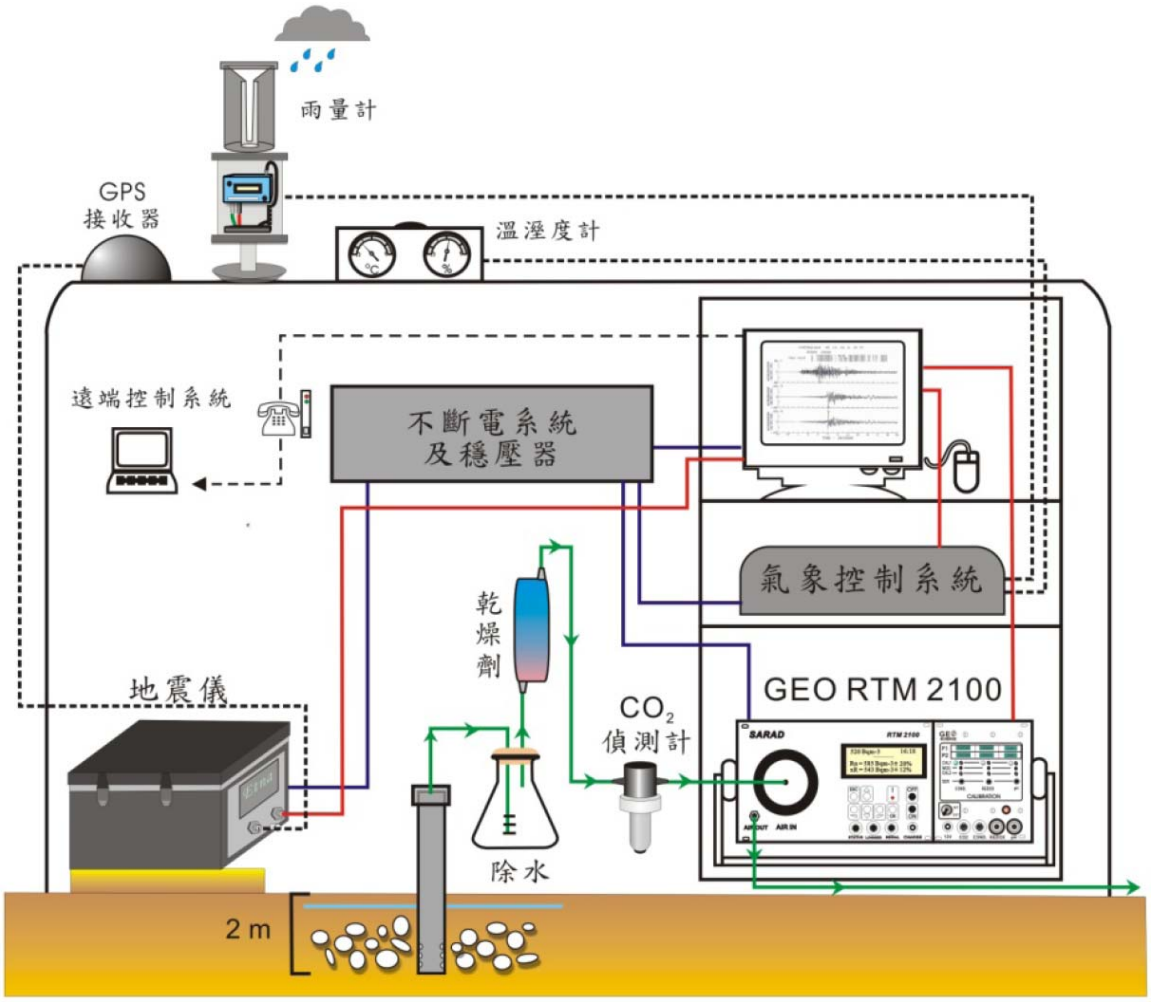


圖3-10：氣體觀測站設置示意圖。

3-6 宜蘭氣體觀測站

由於宜蘭平原中間地勢較低窪，雨量大時易造成積水，故由上述候選區中，排除武淵、羅東等地，而選擇蘇澳地區作為新觀測站的位置；此外，定期連續採樣結果亦顯示蘇澳地區土壤濃度有顯著的變化，非常適合於此設置連續觀測站。

根據現場實地會勘，在蘇澳地區鎖定了蘭陽隧道口與蘇澳國小等兩處地點作為設立監測站的候選區。蘭陽隧道口此點係屬國有財產局之土地，經多次連繫之後，國有財產局表示借用此地須通過其特定行政程序，耗時最短需半年，故暫不考慮此地點。

而蘇澳國小最初採樣結果顯示，校園內兩處的氡氣與二氧化碳濃度均明顯高於宜蘭地區的背景值，為一逸氣顯著的地點(圖3-11，表3-3)，可能對地震活動敏感，蘇澳國小也許可以作為觀測站的理想地點。但與校方討論協商之後，此兩地均為學生活動場地，無法提供作為設置觀測站之使用。最後校方同意出借位於國小幼稚園後方之土地(圖3-12)，因此將在此地設立氣體連續觀測站，其經緯度座標為 (E121.839969°, N24.597435°)。

圖 3-13 為觀測站的設置過程及外觀照片。圖 3-14 觀測站自 12 月 11 日至 12 月 18 日的土壤氣體的測試結果。由於剛開挖不久，氣體通道常會受降雨等外界因素之干擾，需經過一段時間達到穩定並將儀器配置完成所有校調之後觀測站就可正式運作。

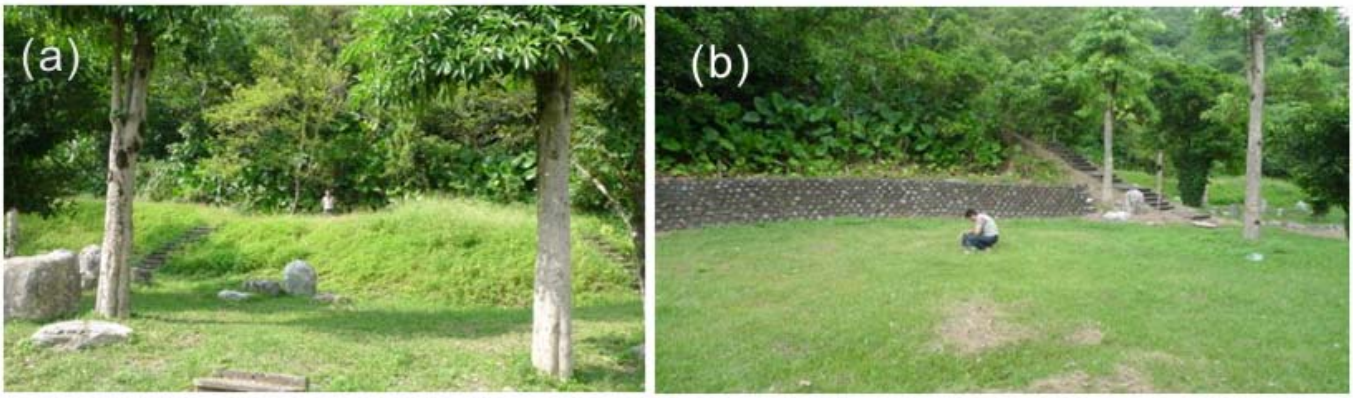


圖3-11：蘇澳國小初選位置現地照片。

表3-3　蘇澳國小採樣分析結果

位置	Date	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)	N_2 (%)	O_2+Ar (%)	CO_2 (%)	CH_4 (%)
蘇澳國小-a	2009/9/9	5.25	47,180	79.65	18.16	2.19	0.00
	2009/9/20	5.24	38,797	80.48	17.53	1.99	0.00
蘇澳國小-b	2009/9/9	5.24	29,163	79.49	18.39	2.12	0.00
	2009/9/20	5.24	73,989	80.57	15.48	3.95	0.00

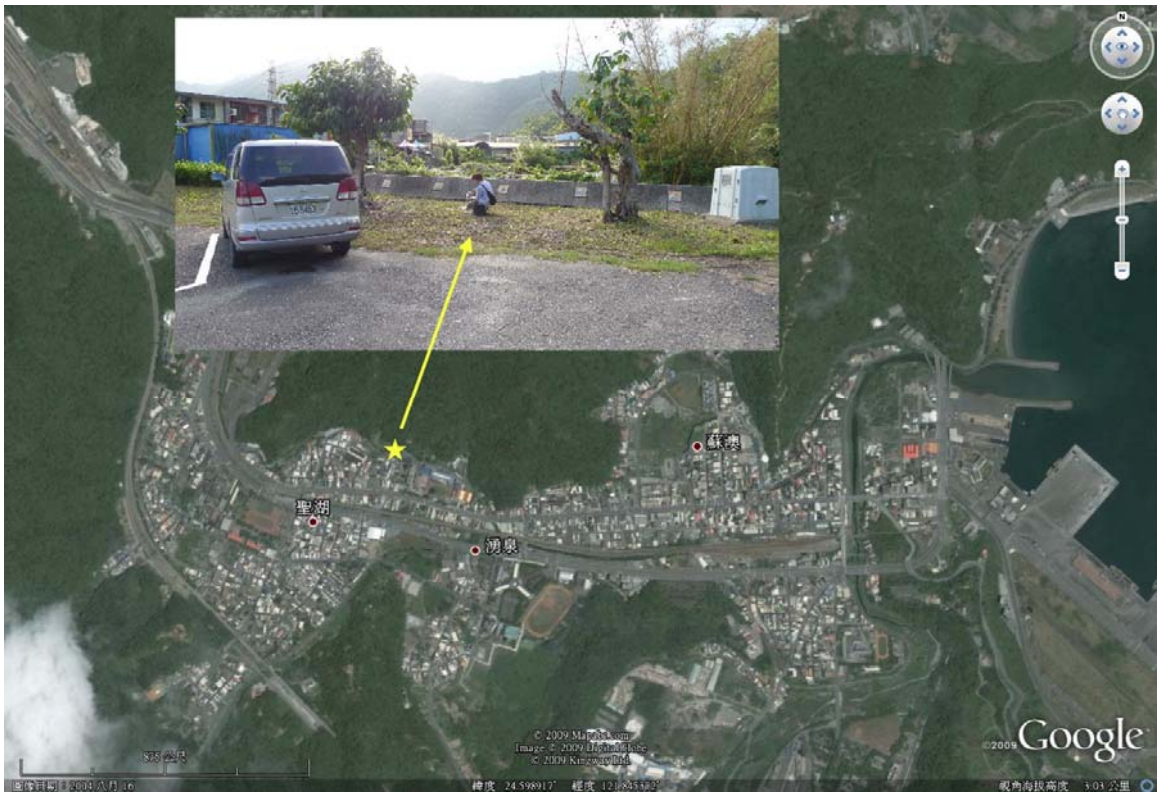


圖3-12：蘇澳地區衛星影像圖及預定設站位置現地照片。圖中黃色星號處為預定設立觀測站位置。



圖3-13：蘇澳觀測站的設置過程及外觀照片。

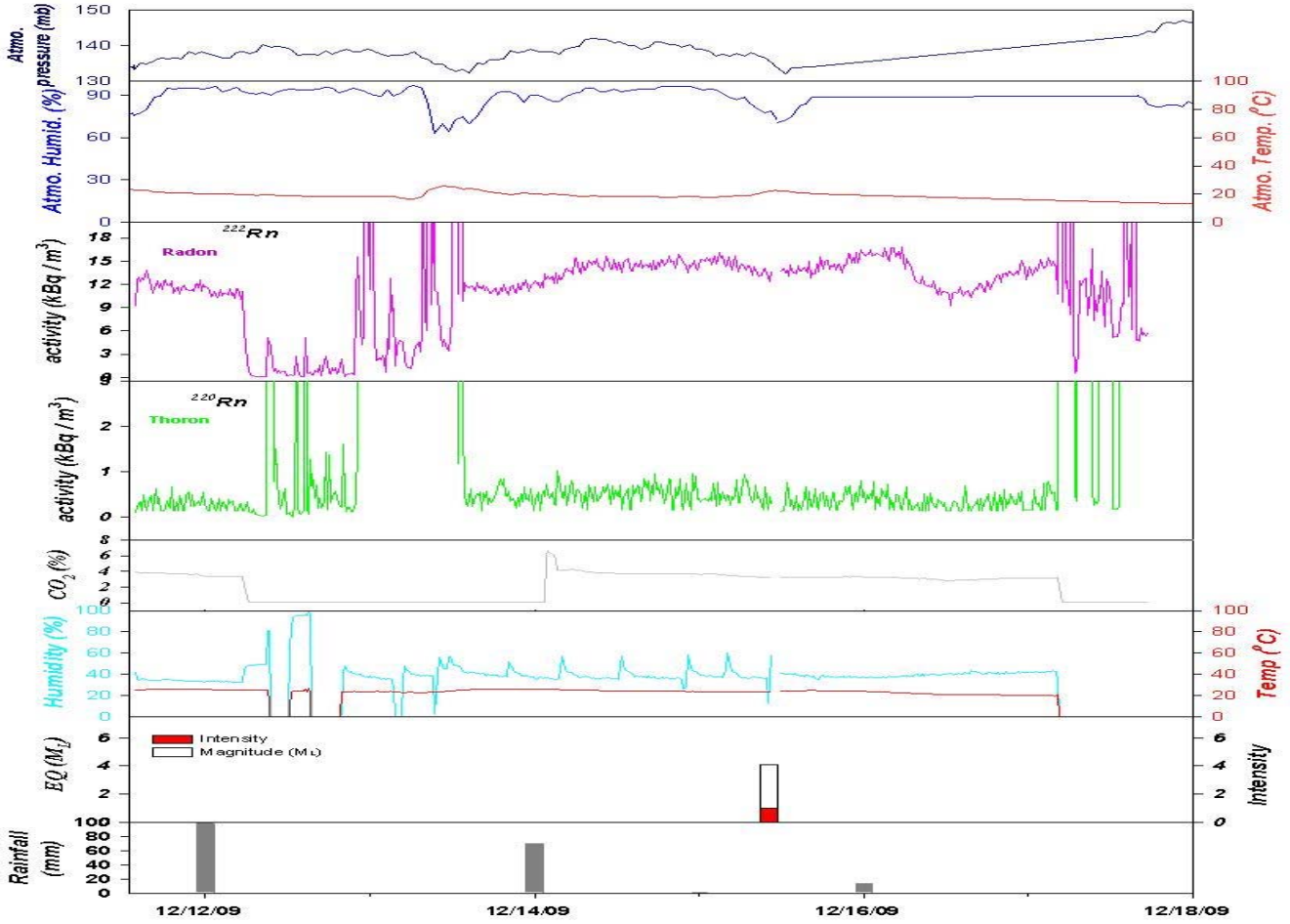


圖3-14：蘇澳觀測站自12月11日至12月18日的測試結果。

肆、地下水壓觀測

4-1 前言

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., 1999, 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。因此在斷層活動發生（地震）前，利用區域應力場變化所造成之地下水壓改變，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，包括新竹縣雙溪、嘉義縣沄水以及其他七口由地調所提供之地下水觀測井：台北縣錦和、明德及新竹縣新樂、梅花，以及嘉義縣太興、中興與達邦。藉由地下水壓觀測，及地震資料比對，並歸納各測站降雨對地下水壓升降之影響，判釋震前之地下水壓變化，以達到未來能以地下水壓之變化，預知斷層與地震活動性之目標。

4-1.1 觀測站基本資料

本計畫之觀測站分布於台北、新竹及嘉義地區，空間分布如圖 4-1 所示，基本資料見表 4-1。

台北縣三峽鎮明德中學觀測井，地表為全新世之台地堆積層，下方為中新世之桂竹林層，以灰色砂岩夾頁岩為主（經濟部中央地質調查所，2007）。中和市錦和國小觀測井，地表為全新世沖積層，下方為中新世之南港層，其中54-129公尺以灰色細粒至中粒砂岩偶夾薄層頁岩為主；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）。

新竹縣尖石鄉新樂國小地表為沖積層，下方為觀音山砂岩，層理近乎水平，有多處破碎帶（經濟部中央地質調查所，2006b）。尖石鄉梅花國小觀測井位於向斜軸部，為觀音山砂岩，附近出露打鹿頁岩以及北寮層。此鑽井12-120公尺深度為泥岩夾厚層砂岩，或頁岩夾泥岩， 深度120-196公尺為灰色砂岩；岩芯中可見多處破裂面及破裂帶（經濟部中央地質調查所，2005）。寶山鄉雙溪國小地表出露淺灰至深灰色的粉砂質砂岩，間夾粉砂岩或泥岩（楊燦堯等，2005）。

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

調查所，2006a）。竹崎鄉中興國小出露南莊層，深度14.9-107公尺以細至中粒砂岩為主，其中69.1-77.7公尺處為灰色頁岩夾砂岩，並有多處剪裂破碎且夾有斷層泥；深於107公尺為細粒砂與頁岩互層，或灰黑色頁岩夾薄砂岩層，偶見剪裂破碎（經濟部中央地質調查所，2006a）。阿里山鄉達邦國小座落於三民頁岩上，深度148.8公尺往上至地表有多處破裂面（經濟部中央地質調查所，2006b）。

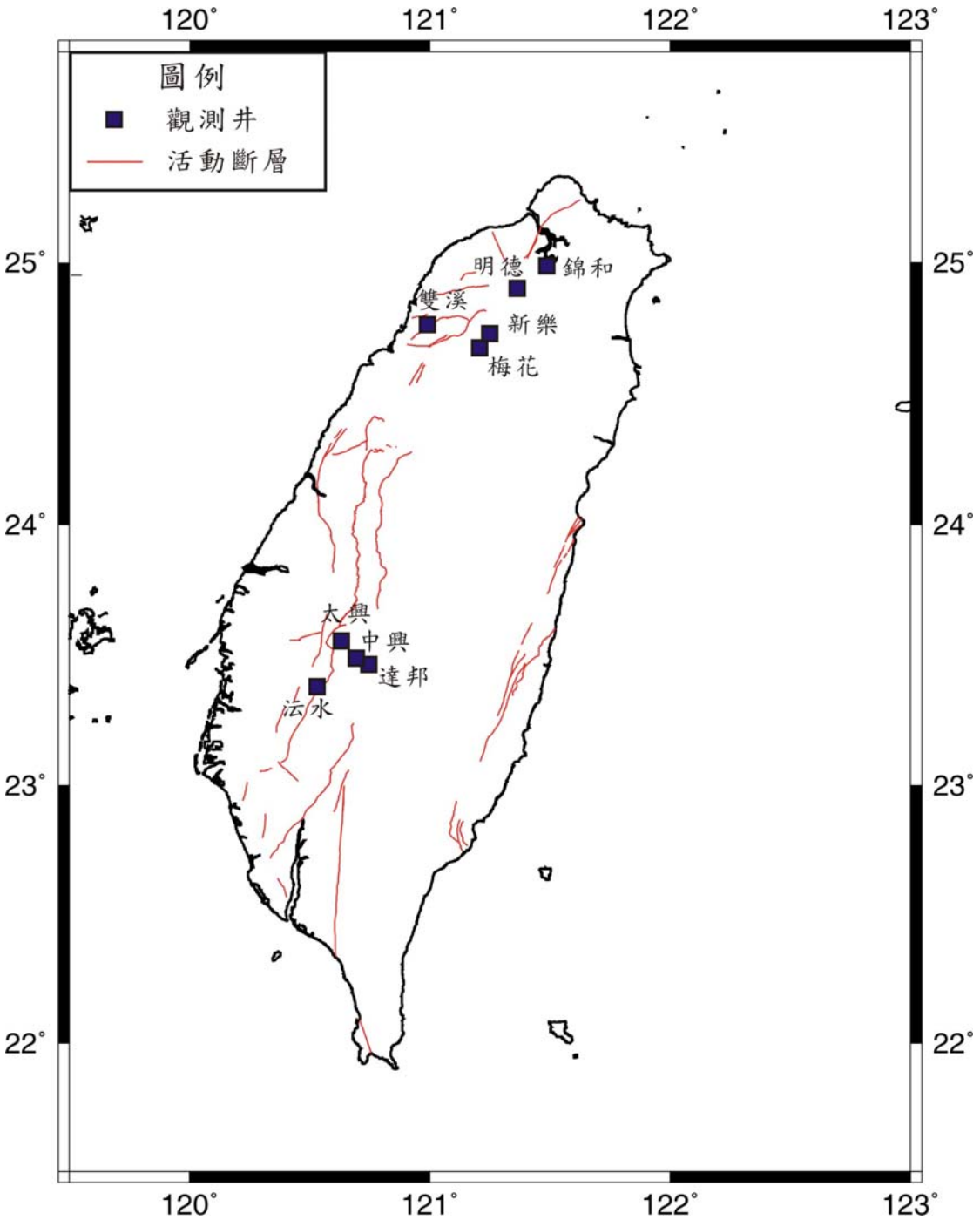


圖4-1：地下水壓觀測站位置圖。

表4-1：觀測井基本資料

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

4-1.2 各觀測站良率

觀測站地下水壓及雨量資料，可能因電力中斷或其他因素造成缺漏。自2009年1月以來地下水壓及雨量的觀測資料良率列於表4-2。良率表示可用數據與當月應接收數據數量的比值。此外也比較地調所觀測站與附近之氣象局雨量站之資料，確認資料之正確性（圖4-2）。

台北地區明德與錦和觀測站，降雨量資料之良率分別達99.8%與99.7%，然而明德站之雨量並未與氣象局之台北雨量站的雨量資料有同步變化，須確認該站之雨量計是否故障；錦和站之雨量記錄自七月起才與氣象局之台北站的記錄有同步變化，可繼續使用該站雨量資料。新竹地區新樂及梅花站之雨量記錄，較氣象局新竹測站之雨量資料大，乃因觀測站較氣象局之雨量站靠近山邊之緣故，而降雨發生之時間與氣象局新竹站之記錄一致，故可繼續使用。嘉義地區太興站雨量記錄之良率可達98.8%，且與氣象局嘉義站雨量觀測值同步上升，故太興站雨量計可繼續使用。中興站雨量記錄之良率僅達77.4%，於本年二月及八月時有大量記錄缺失；達邦站雨量資料僅在八月時有較多缺漏（62.2%），與氣象局阿里山站資料對比結果良好。

本年度台北地區地下水壓資料，明德觀測井資料缺漏部分包括3月26日至4月7日以及7月31日至9月5日；錦和觀測井至5月27日起才有資料，其餘資料缺漏部分包括7月7日至7月14日與10月17日至10月19日。新竹地區地下水壓資料，新樂觀測井資料缺漏部分僅有4月4日至4月5日；梅花觀測井資料缺漏部分包括1月30日至3月25日與4月2日至4月9日；雙溪觀測井在今年初因讀值異常，維修後至4月8日起始記錄資料，其後資料則無缺漏部分。嘉義地區地下水壓資料，沄水觀測井缺漏部分包括4月9日至5月7日和8月7日至8月9日；太興觀測井缺漏部分

包括5月24日至7月9日以及8月6日至9月16日；中興觀測井缺漏部分甚多，包括5月17日至6月1日，6月5日至6月18日，6月21日至7月9日，7月13日至7月31日，8月6日至8月22日，9月3日至9月8日以及9月10日至9月15日；達邦觀測井今年至4月10日起才有地下水壓資料，另一資料缺漏的時間是在8月6日至8月26日。

4-2 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；

（2） 在降雨時期，地下水壓出現超出預期趨勢之上升。

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

表4-2：2009年各觀測站雨量與地下水壓之良率（%）

站名	項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	全年
明德	雨量	100	99.9	99.9	99.6	99.7	99.9	99.9	99.9	99.9	94.5	88.7*	99.0
	水壓	99.9	99.9	83.6#	76.0#	100	100	99.4	0#	84.9#	100	99.9	85.5#
錦和	雨量	99.8	99.9	99.7	99.7	99.9	99.8	99.4	99.5	99.2	93.5	99.4*	99.0
	水壓	0#	0#	0#	0#	14.6#	100	77.5#	100	100	93.4	100	53.0#
新樂	雨量	97.2	96.3	97.7	98.9	95.2	92.8	96.8	98.9	94.7	89.5*	-	95.8
	水壓	100	99.9	100	87.0#	99.5	99.8	100	100	100	100	100	98.6
梅花	雨量	100	100	100	100	100	100	100	100	100	83.0#	88.3*	97.9
	水壓	94.1	0#	17.7#	77.5#	100	100	99.7	100	99.8	98.5	44.0	76.2#
雙溪	雨量	採用中央氣象局新竹雨量站資料											
	水壓	0	0	0	73.8	100	100	100	100	100	100	100	69.0#
汐水	雨量	採用中央氣象局嘉義雨量站資料											
	水壓	100	100	100	28.3#	79.0#	100	100	93.5	100	100	100	91.1
太興	雨量	100	98.8	99.5	100	99.4	99.4	100	92.1	100	99.9	100*	98.9
	水壓	99.8	99.9	96.9	80.1#	75.9#	0#	72.3#	24.0#	48.5#	100	100	72.6#
中興	雨量	100	47.9#	99.3	98.3	83.6#	88.3#	94.2	27.3#	53.9#	95.2	99.2*	79.7#
	水壓	99.9	99.9	97.0	80.6#	53.2#	77.9#	12.8#	37.8#	68.3#	99.9	100	70.1#
達邦	雨量	100	97.4	97.4	100	96.1	97.1	86.4#	62.2#	96.7	92.8	100*	92.6
	水壓	0#	0#	0#	55.5#	100	99.5	100	41.7#	97.0	99.8	99.9	63.1#

*表示累積之資料僅到當月為止。

#表示資料之良率在90%以下。

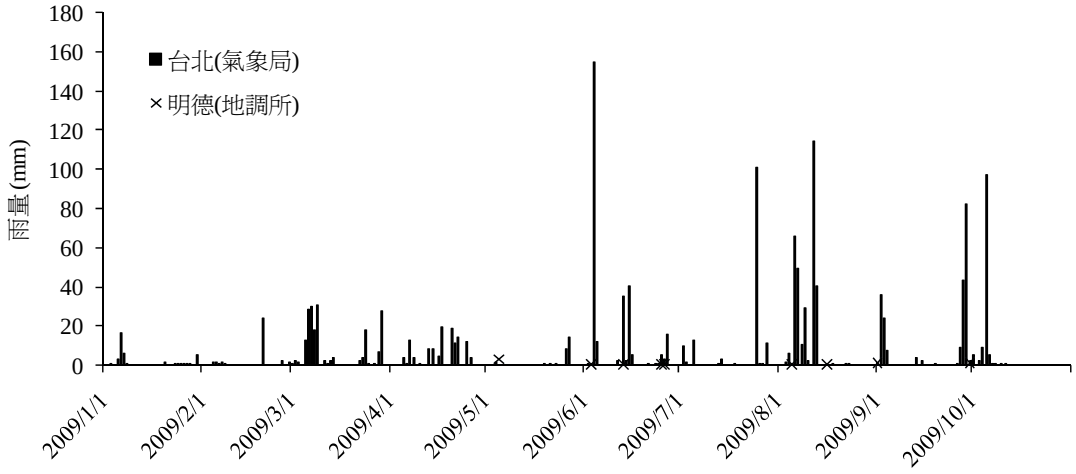


圖4-2：本計畫觀測站雨量記錄與附近氣象局測站雨量資料比較。觀測時間為2009年1月至10月初。上圖為台北縣明德中學的雨量資料。

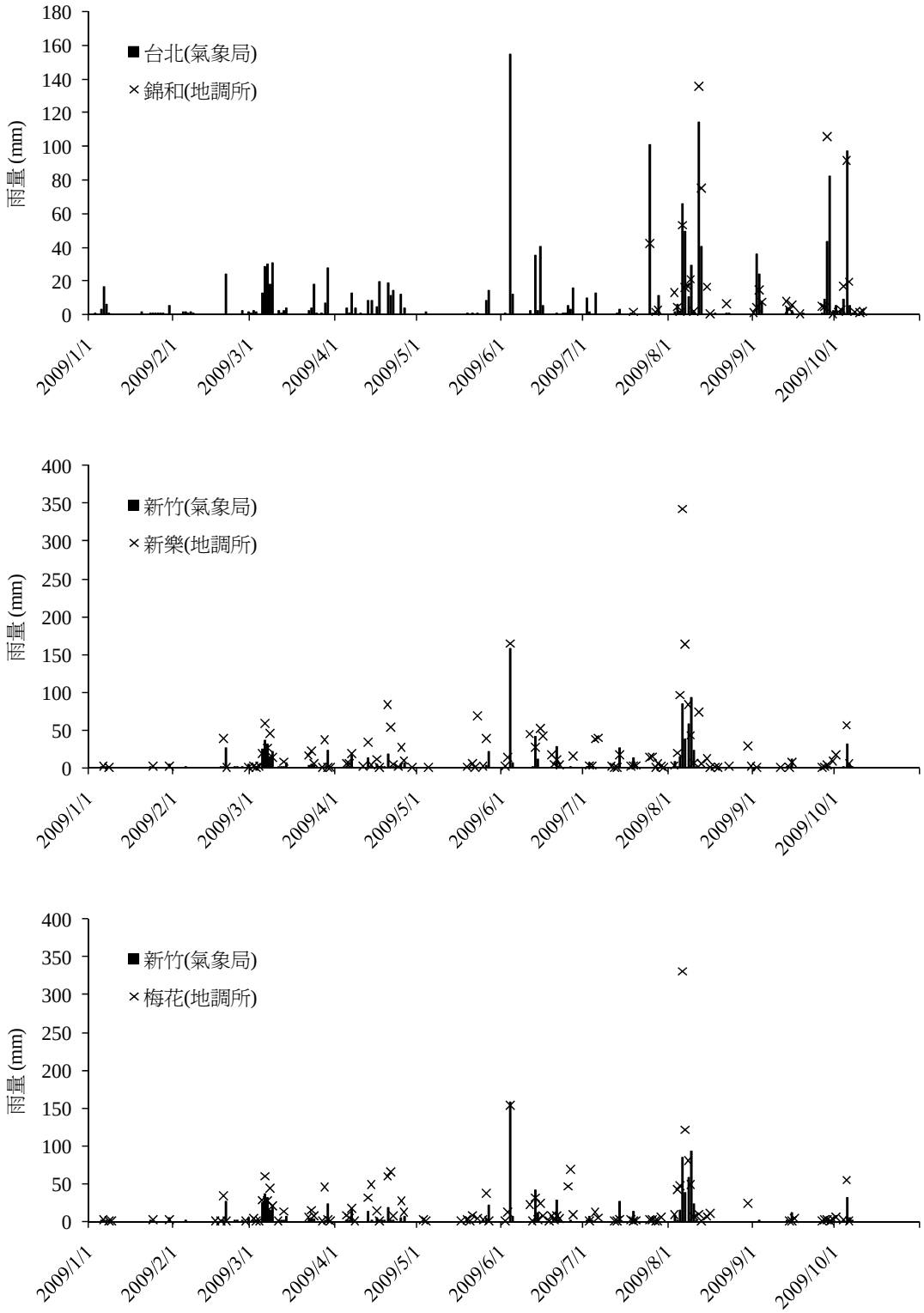


圖4-2(續) ：本計畫觀測站雨量記錄與附近氣象局測站雨量資料比較。觀測時間為2009年1月至10月初。由上而下依序為台北縣錦和國小、新竹縣新樂國小及新竹縣梅花國小的雨量資料。

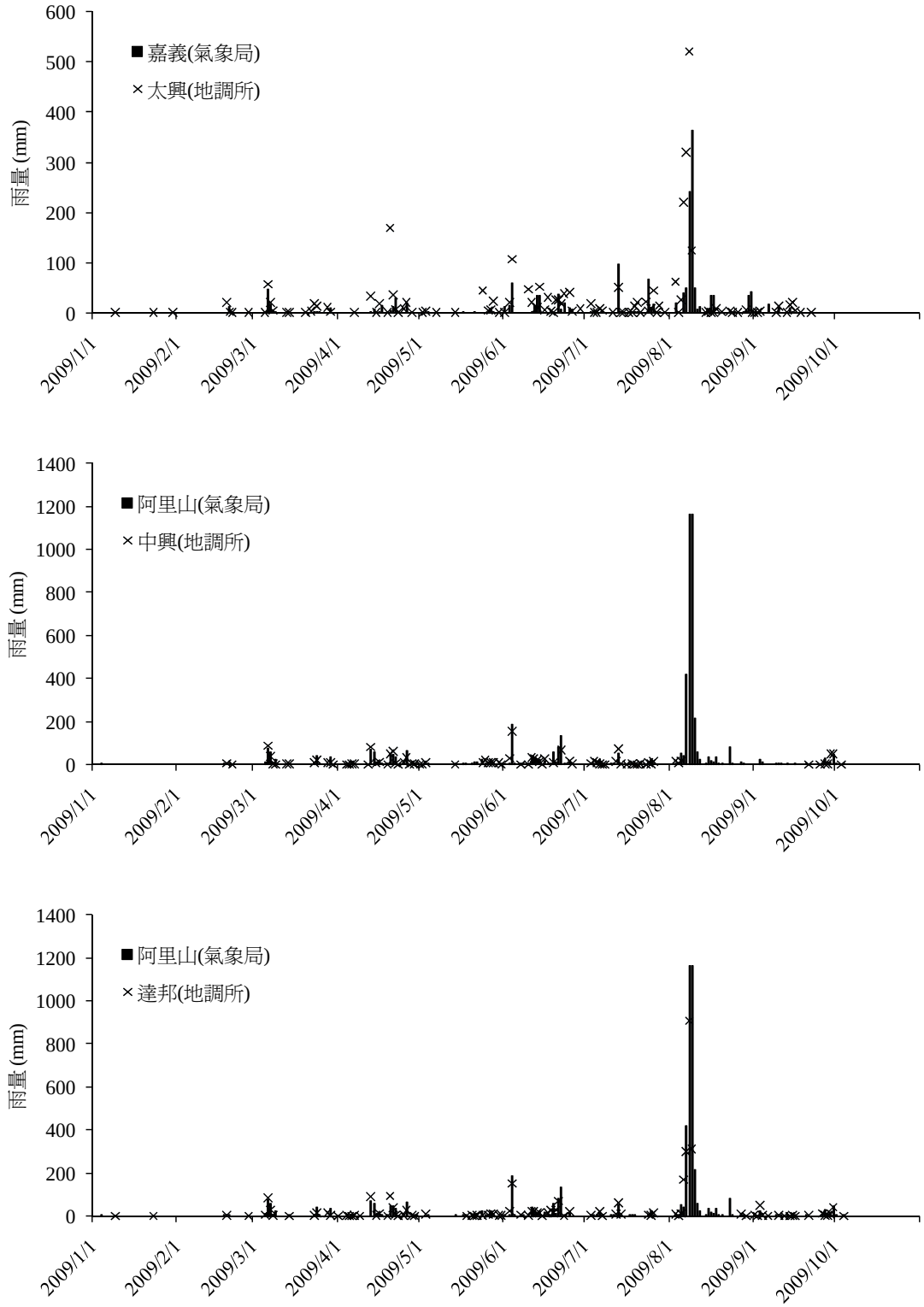


圖4-2(續) ：本計畫觀測站雨量記錄與附近氣象局測站雨量資料比較。觀測時間為2009年1月至10月初。由上而下依序為嘉義縣太興國小、中興國小及達邦國小的雨量資料。

4-2.1 台北地區

2008年11月至2009年11月台北地區明德中學與錦和國小觀測井之地下水壓資料，對比中央氣象局台北站降雨量及觀測井附近震度2級以上之地震資料繪圖（圖4-3至4-18）。研究結果如下：

台北地區明德觀測井於2008年12月24日之間之地下水壓上升（圖4-6），可能為2008年12月30日蘇澳外海地震有關之震前反應。2009年1月11日開始，水壓持平至1月17日後下降（圖4-7），可能為2月4日台北新店地震（M_L = 2.8）之前兆。7月31日至9月5日有地下水壓資料缺漏，但仍觀測到許多地下水壓異常之持平或上升。7月18日，中央氣象局台北站雨量僅觀測到0.1 mm之降雨，但地下水壓上升達10公分（圖4-14）。然而在一個月內觀測到震度2級以上之地震僅有8月14日花蓮外海地震，因距離甚遠且其間歷時過長，同時也歷經莫拉克颱風降雨干擾，因此推論非8月17日花蓮外海地震之前兆。9月21日，地下水壓持平6日，至9月27日才繼續下降（圖4-16）。之後於10月4日1時36分發生規模6.3之花蓮地震，但地下水壓持平。其後歷經9月27日開始之降雨干擾，故無法確認是否為震前徵兆。10月19日，地下水壓再次上升，至10月20日晚上才達最高點（圖4-17）。10月20日13時40分卻發生芮氏規模3.4之地震，震央位於基隆市地震站西方16.0公里。故推測10月19日開始之地下水壓異常上升，為10月20日地震之前兆。11月6日地下水壓之下降趨勢減緩兩日後，再持續下降，可能為11月15日22時47分宜蘭外海規模5.6地震之震前反應（圖4-18）。

錦和觀測井與明德觀測井一樣出現兩次地下水壓異常上升。2009年7月18日，與明德井同樣出現地下水壓上升，於3日內達最高，上升達10公分（圖4-14）。10月20日台北地震前，錦和觀測井雖缺乏10月17日至19日之水壓資料，卻仍可見水壓在無降雨的情況下，上升約10公分（圖4-17），因此推論此水壓上升同為台北地震之前兆。11月6日地下水壓之下降趨勢減緩同明德觀測井，可能為11月15日宜蘭外海地震之前兆（圖4-18）。

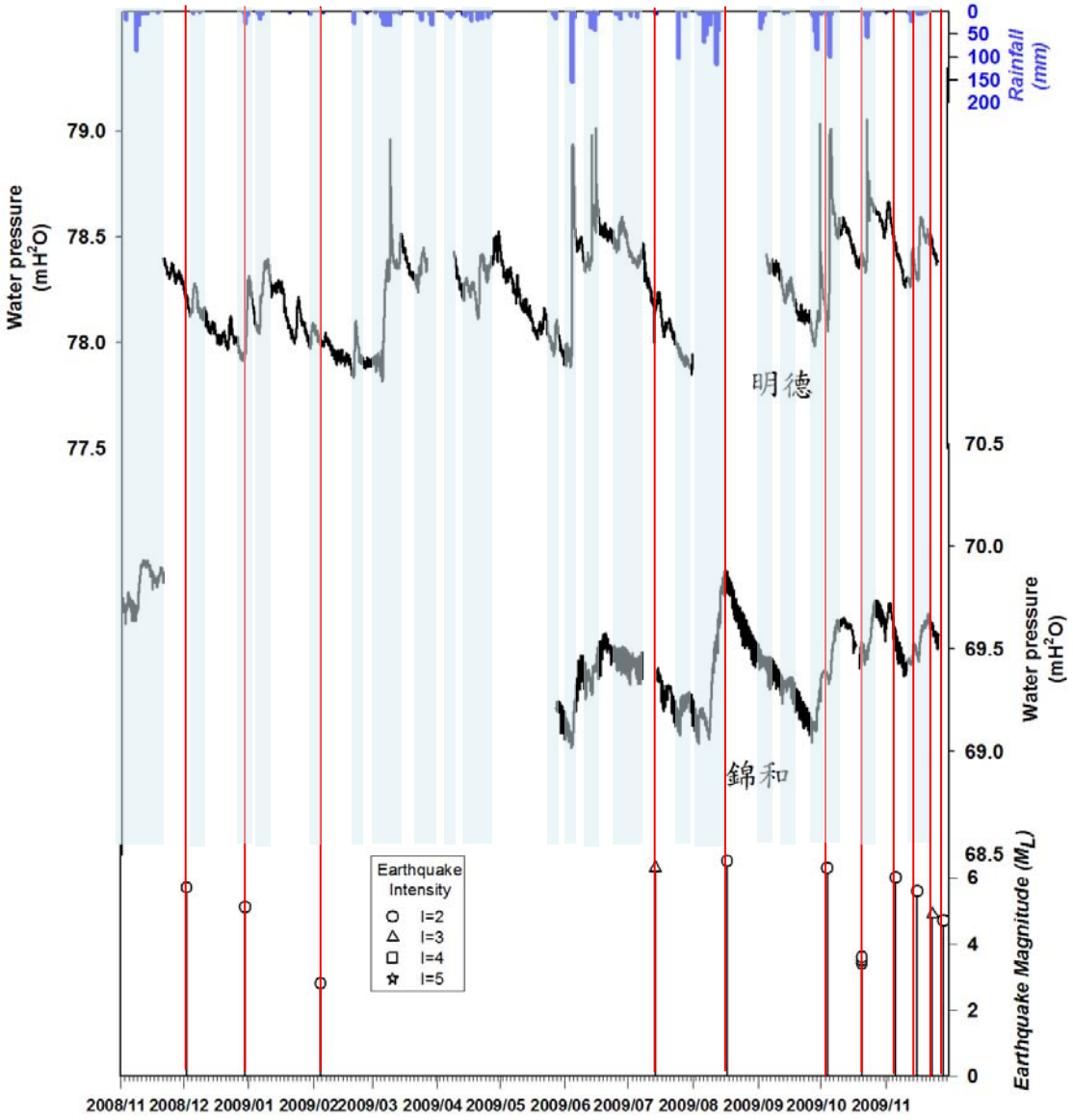


圖4-3: 台北地區2008年11月至2009年11月明德與錦和觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。圖中紅線為地震活動對比之標示，淺藍色陰影處表示降雨發生之時段，圖中紅圈表示地下水壓異常變化。以下各圖之標示同本圖。

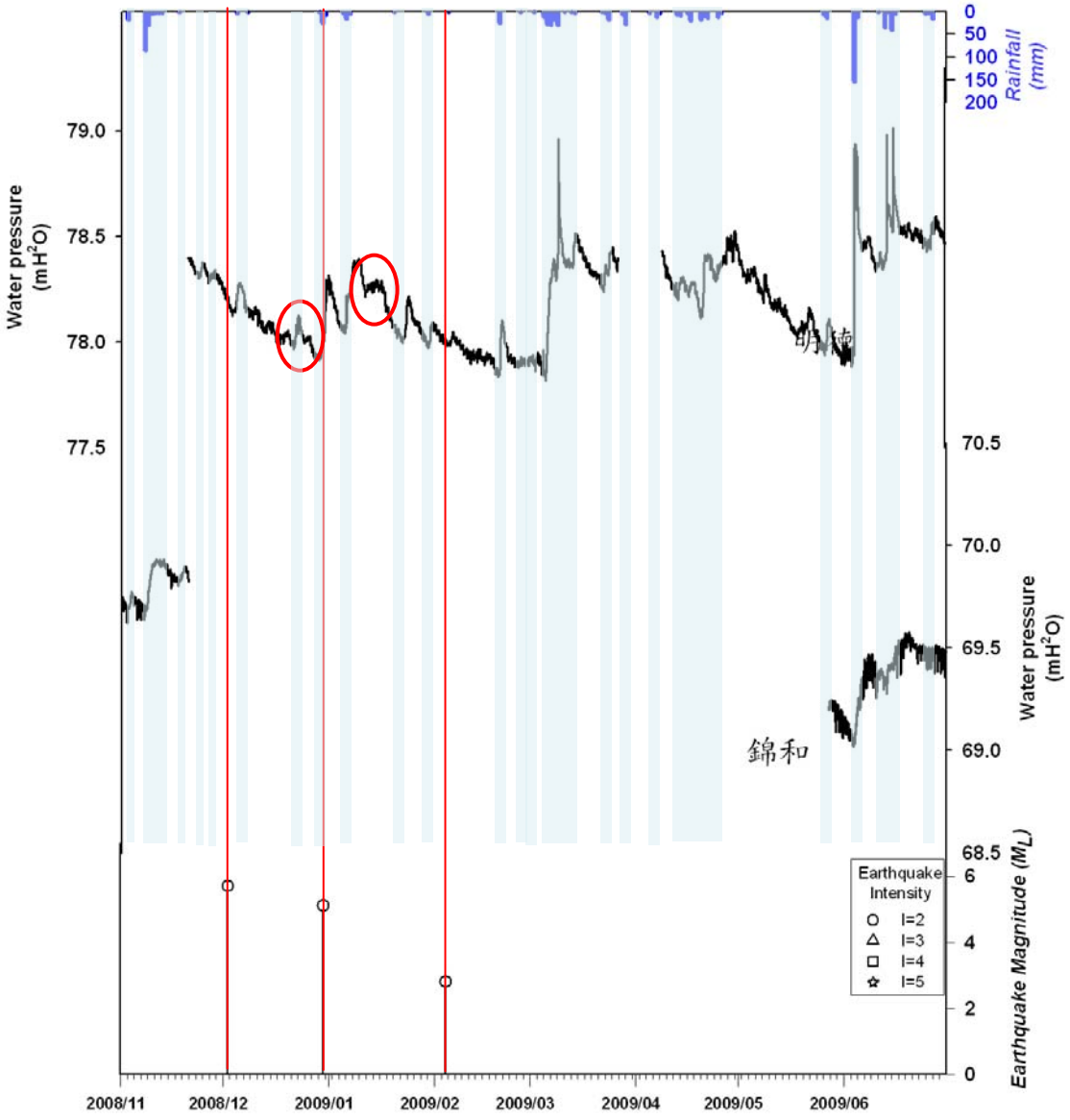


圖4-4：台北地區2008年11月至2009年6月明德與錦和觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

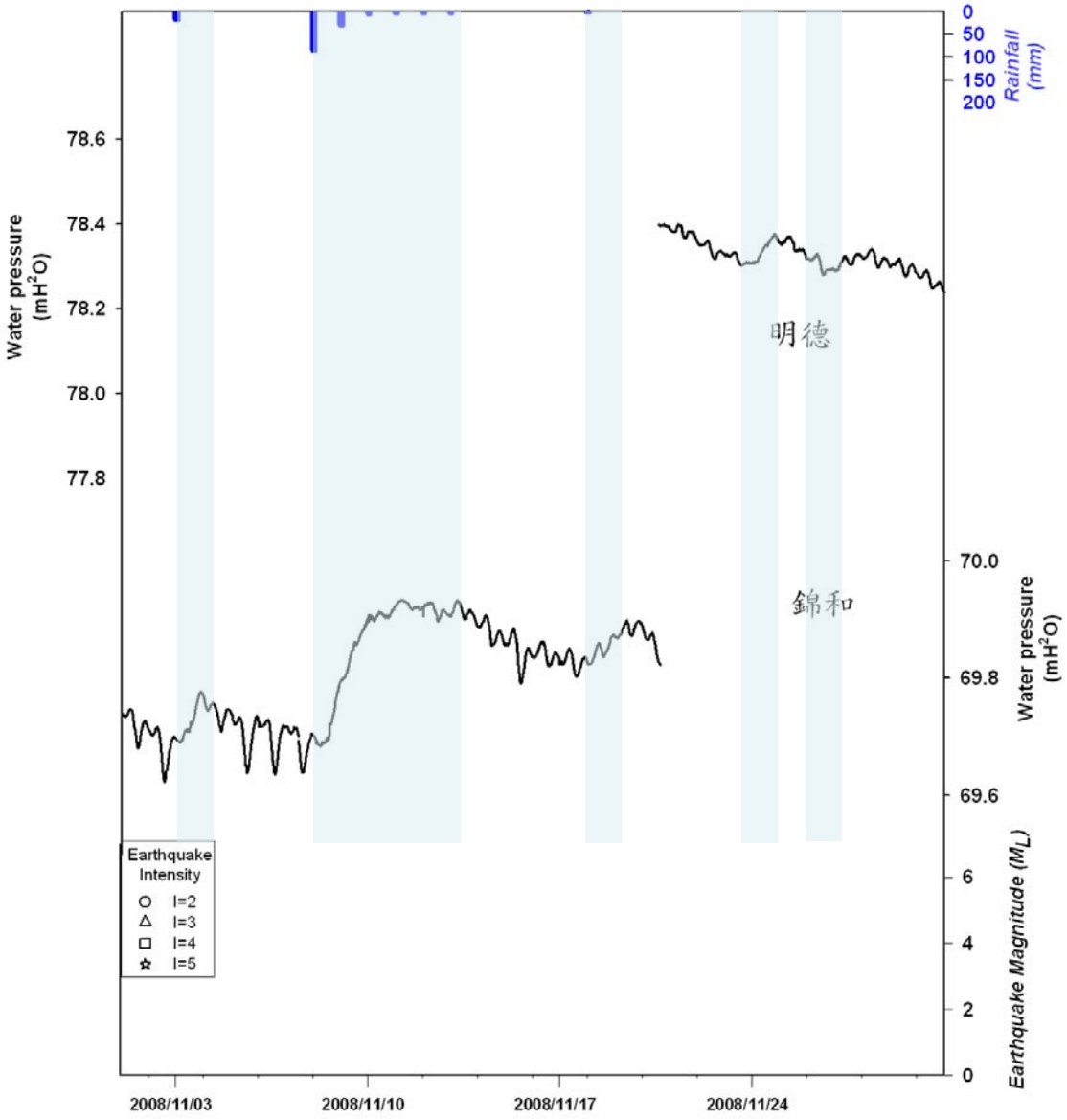


圖4-5：台北地區2008年11月明德與錦和觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

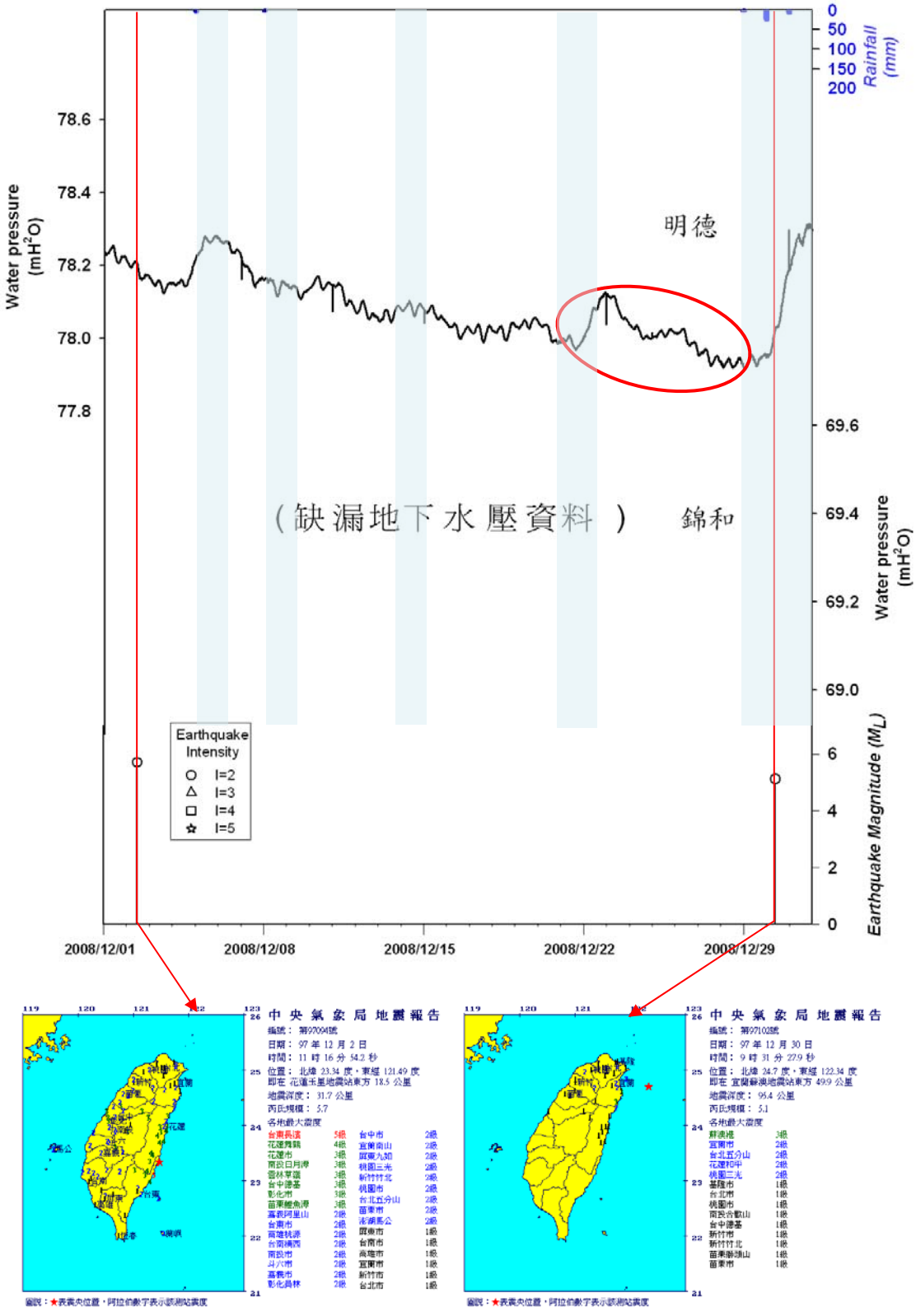


圖4-6：台北地區2008年12月明德與錦和觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

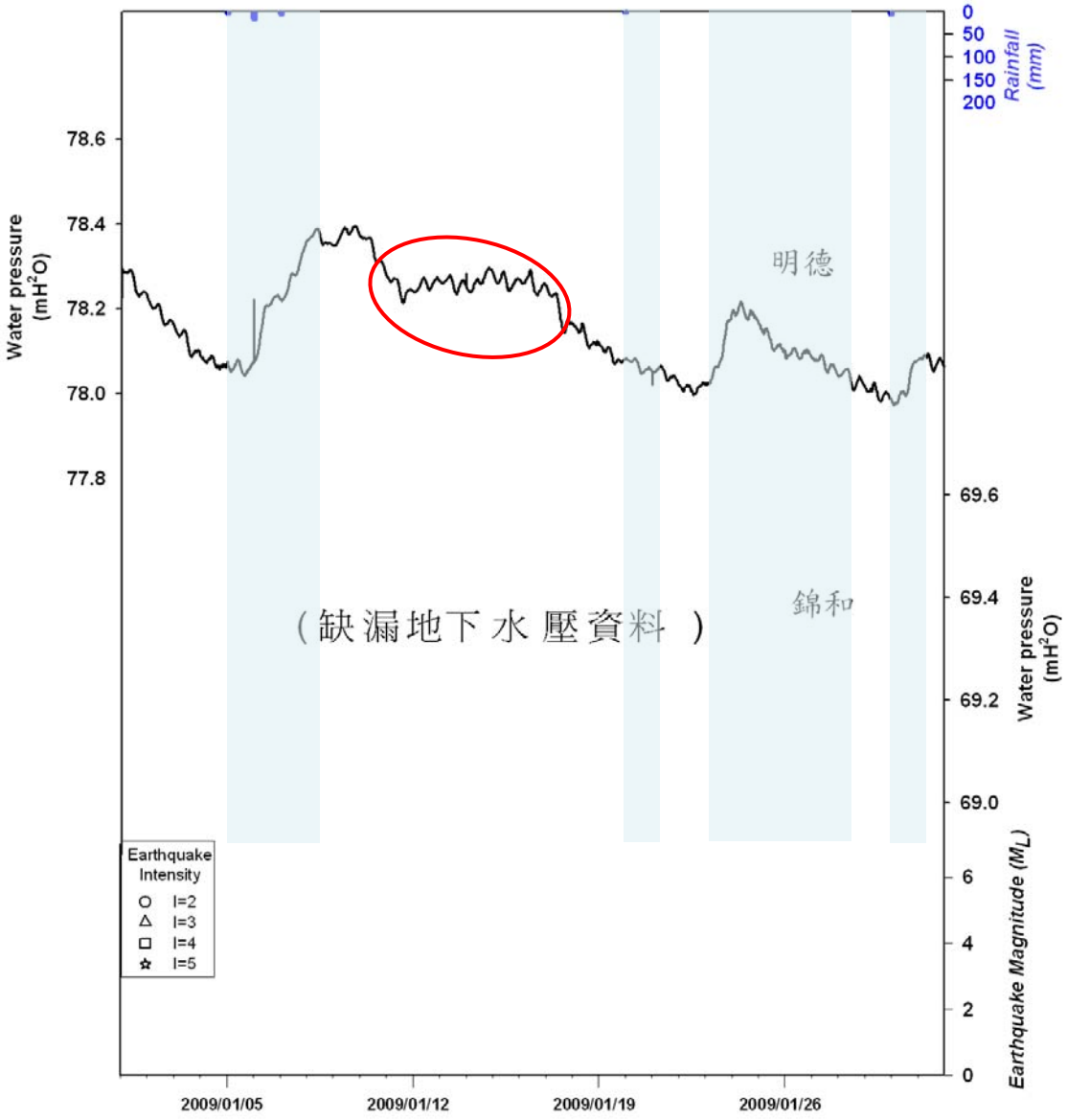


圖4-7：台北地區2009年1月明德與錦和觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

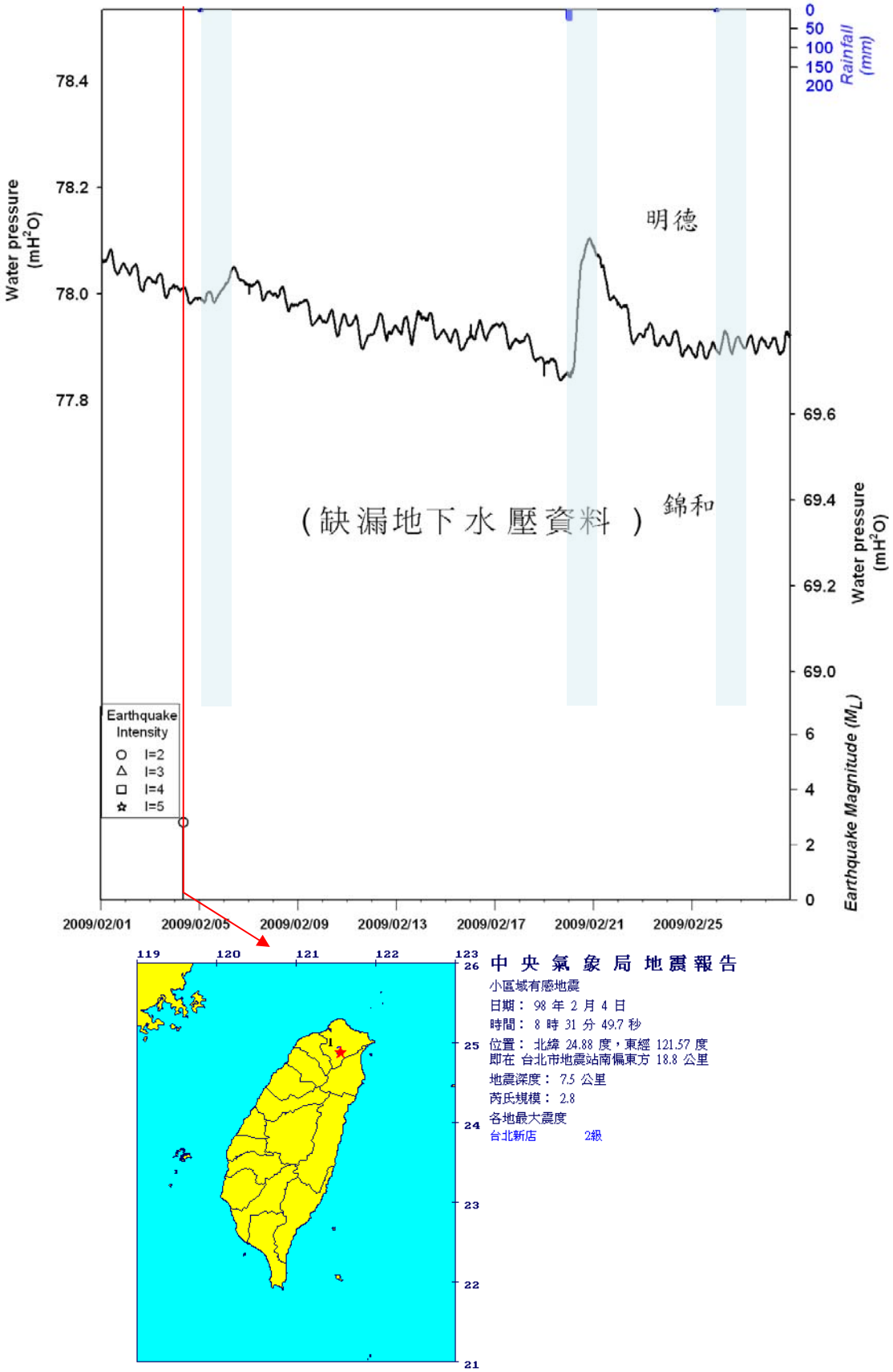


圖4-8：台北地區2009年2月明德與錦和觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

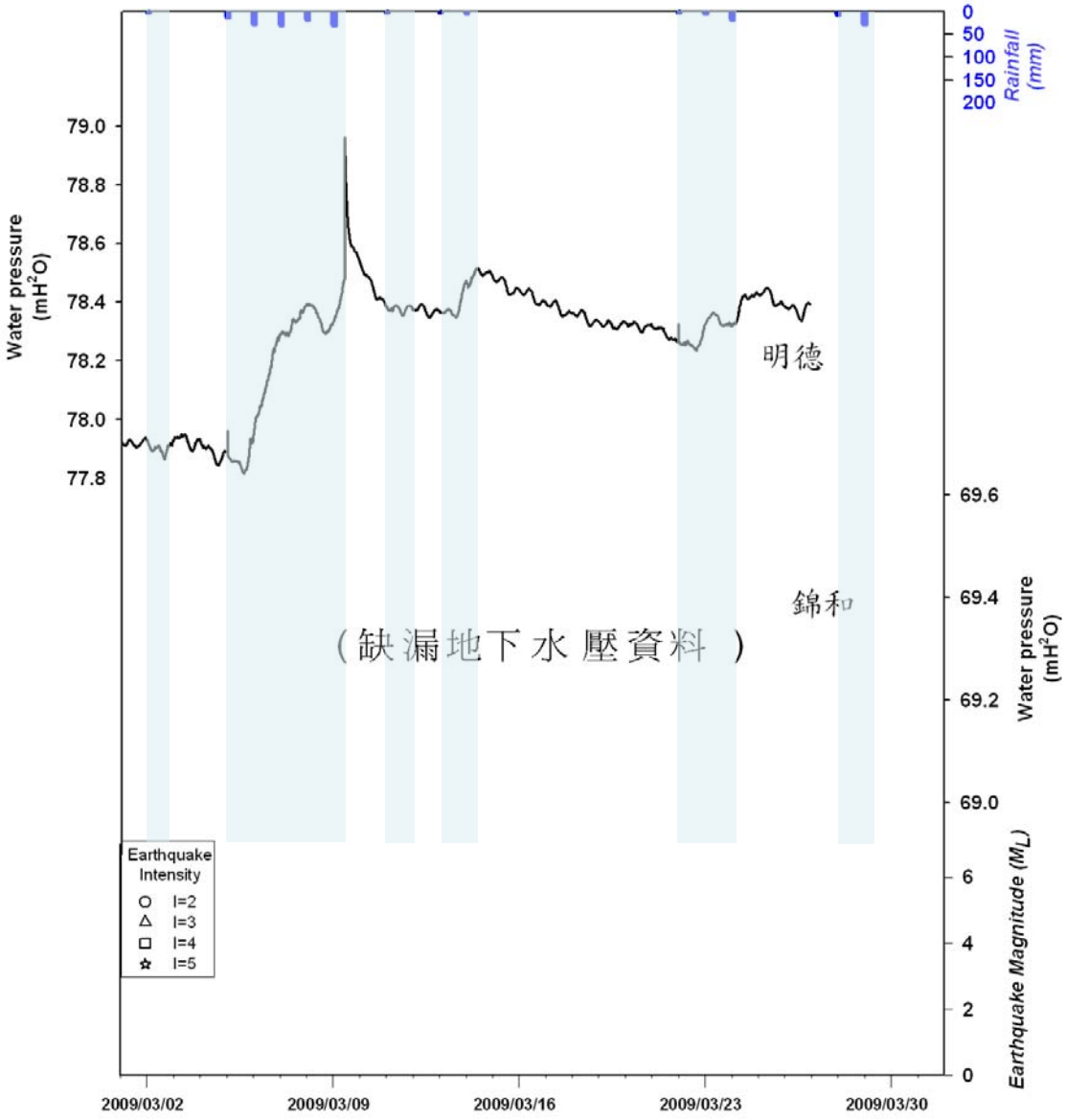


圖4-9：台北地區2009年3月明德與錦和觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

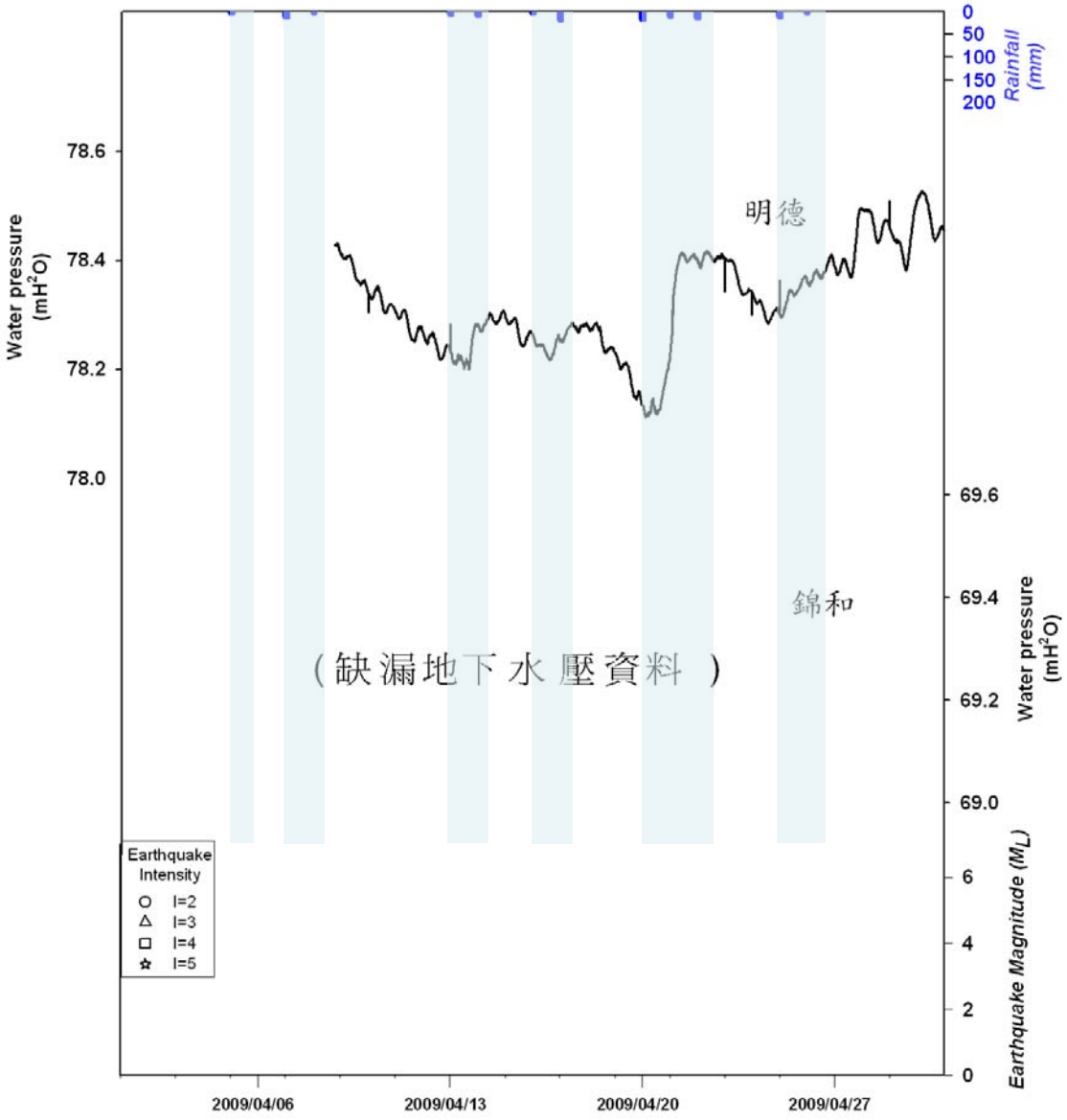


圖4-10：台北地區2009年4月明德與錦和觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

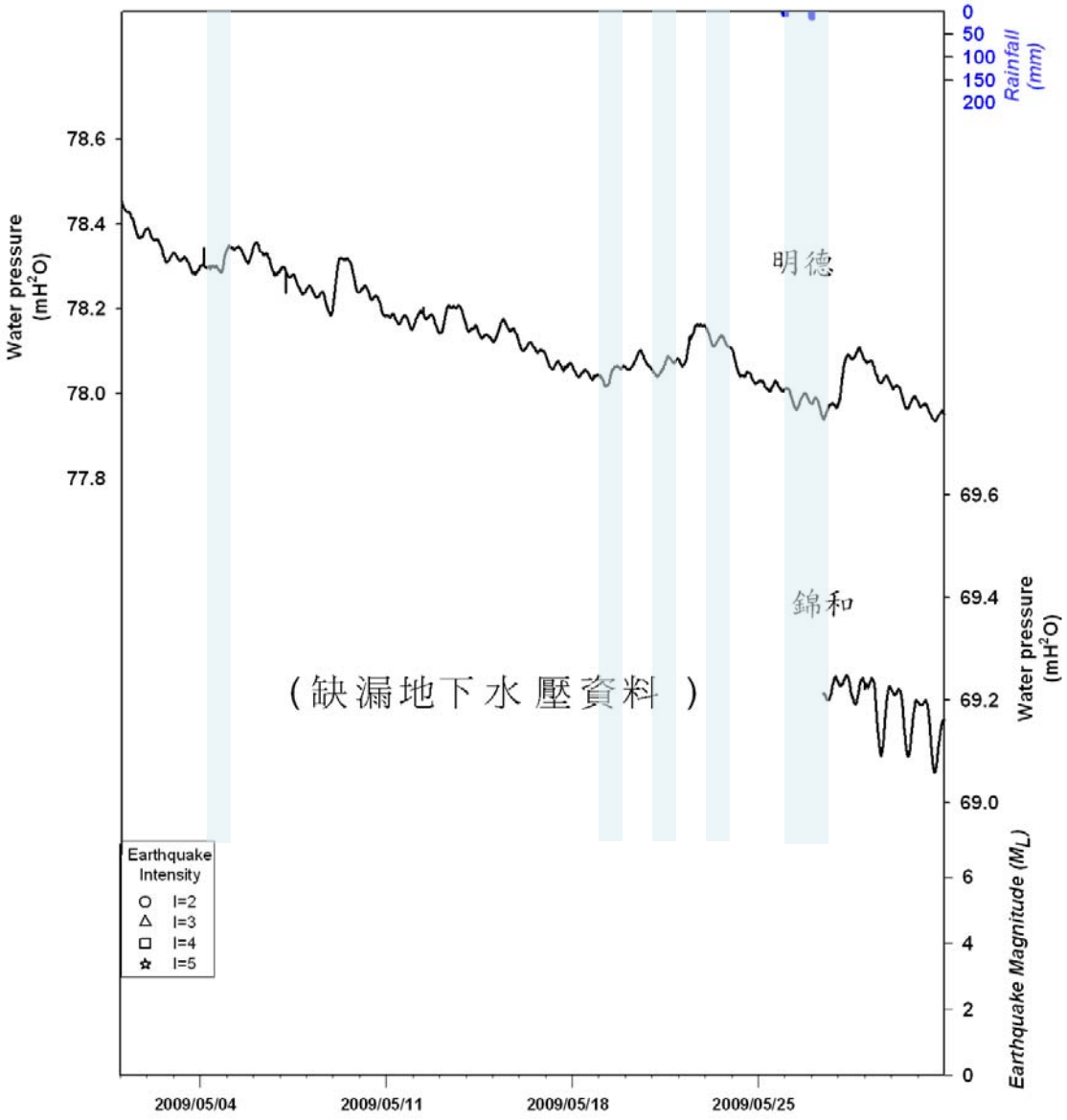


圖4-11：台北地區2009年5月明德與錦和觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

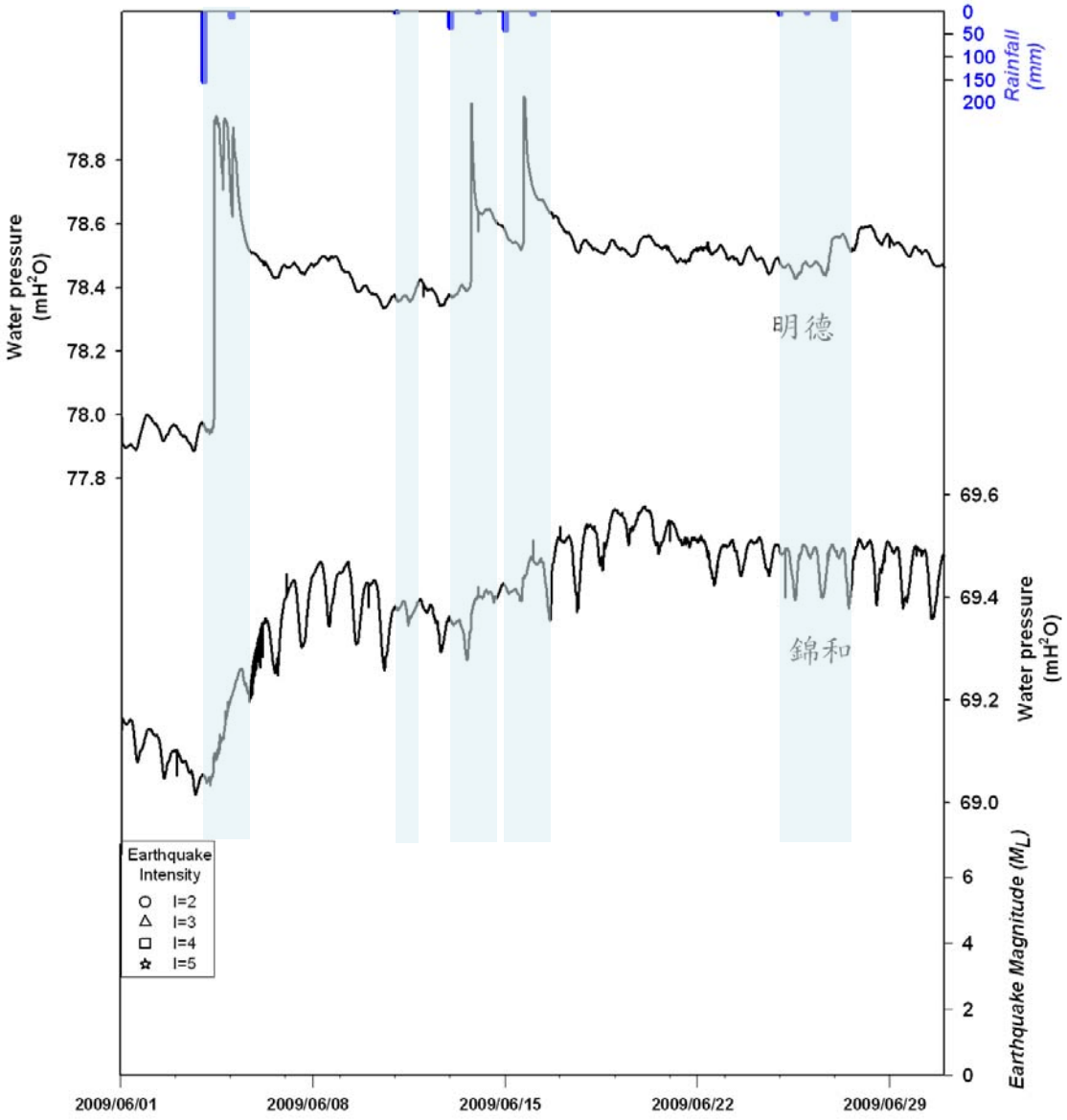


圖4-12：台北地區2009年6月明德與錦和觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

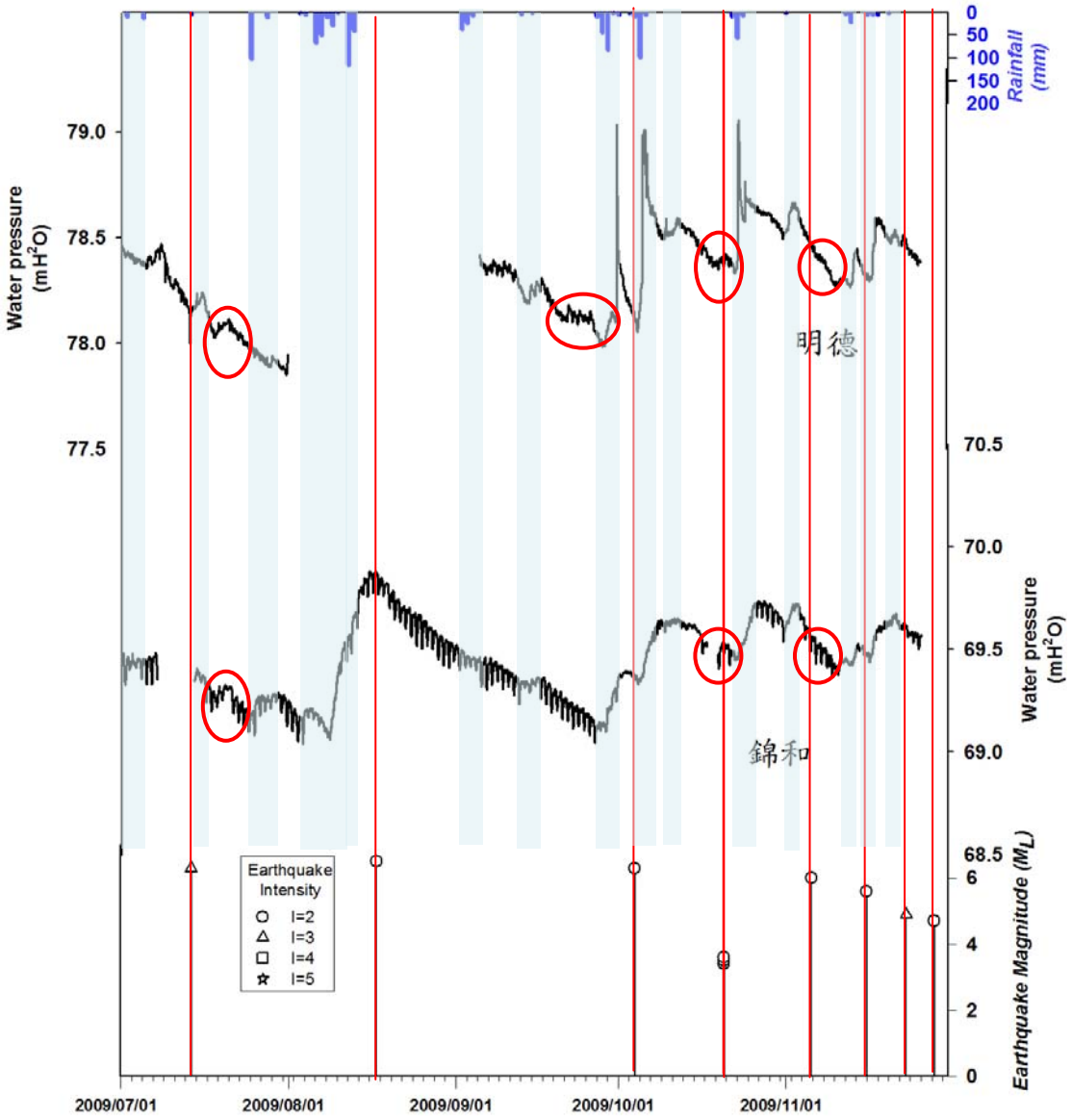


圖4-13：台北地區2009年7月至11月明德與錦和觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

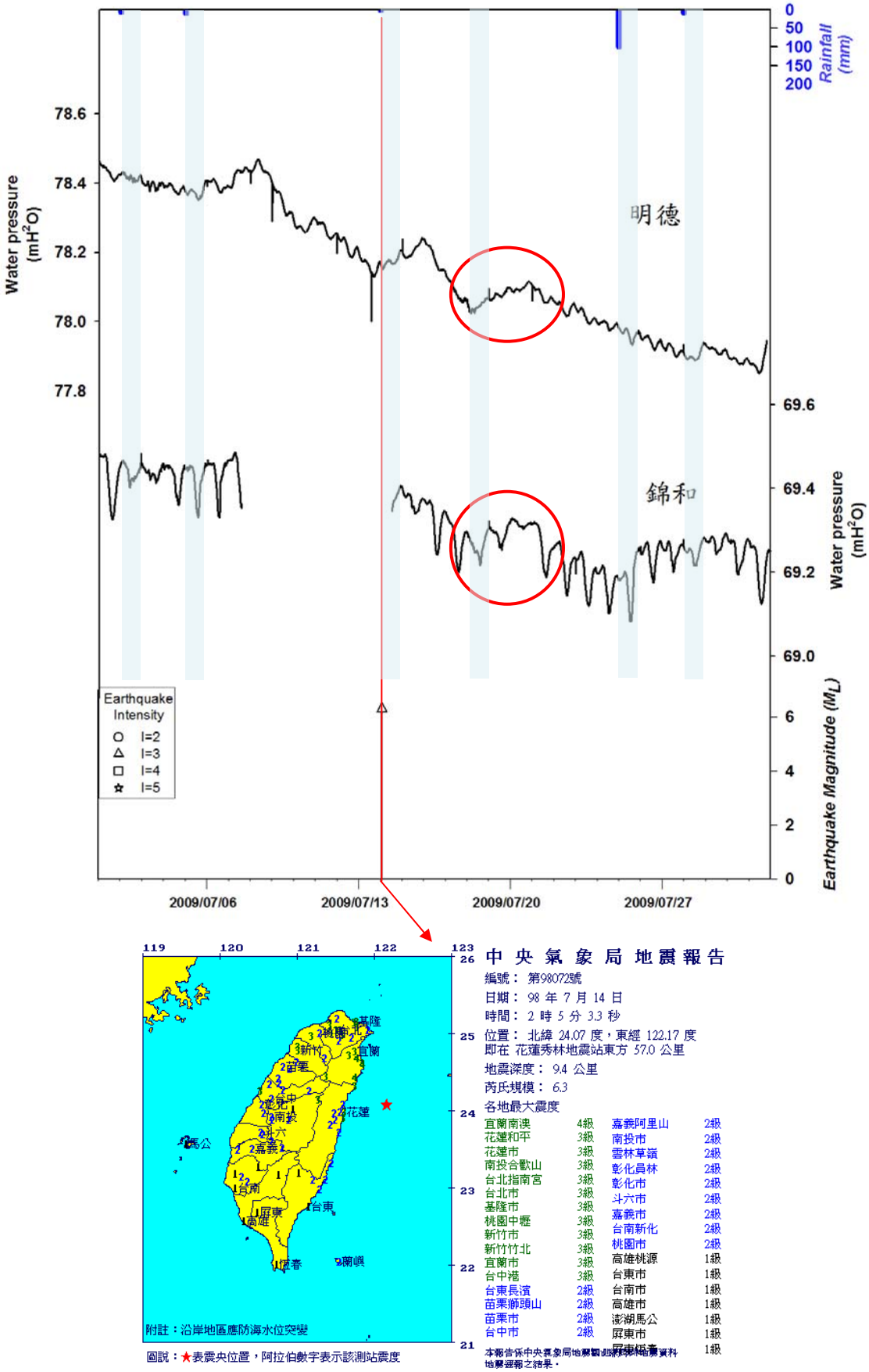
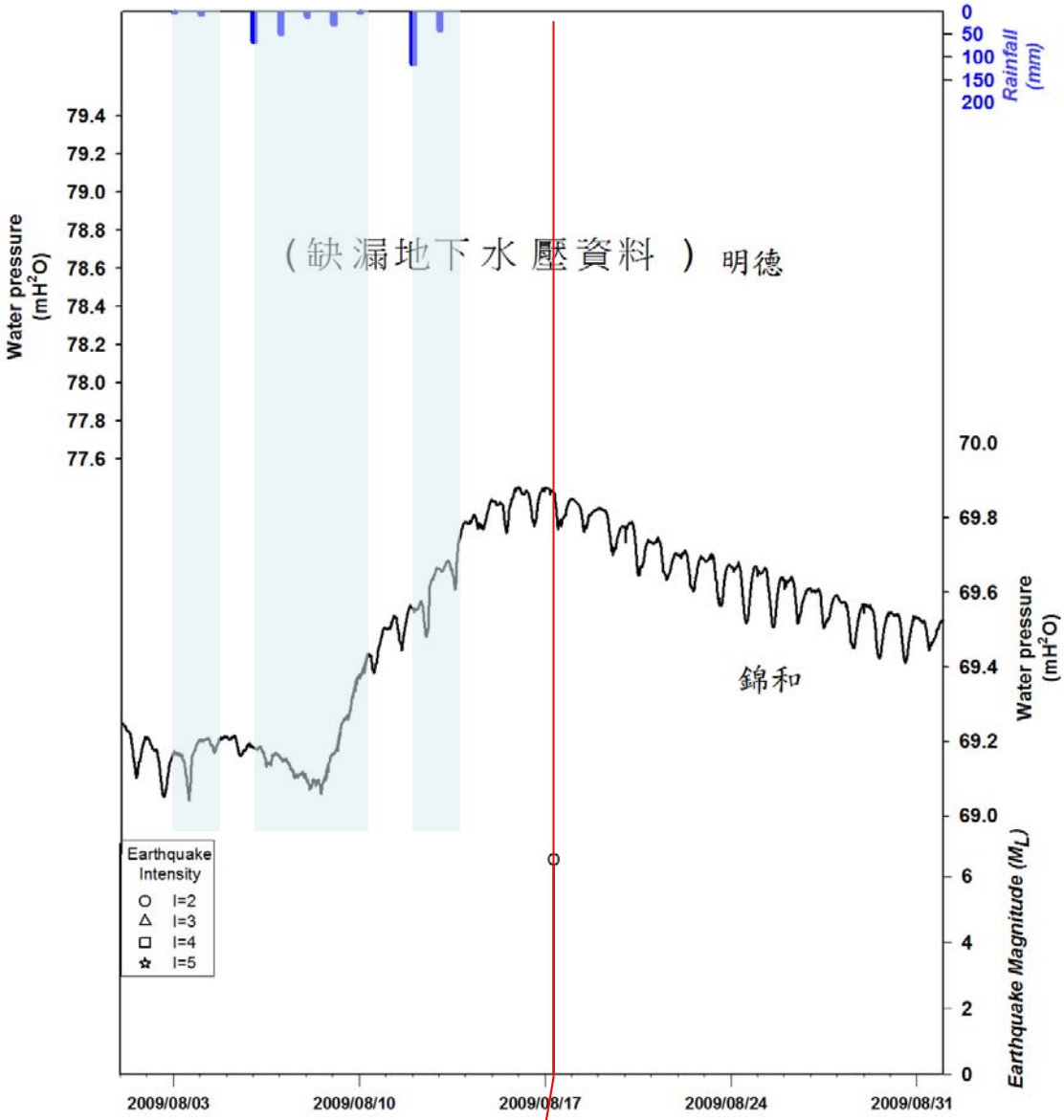
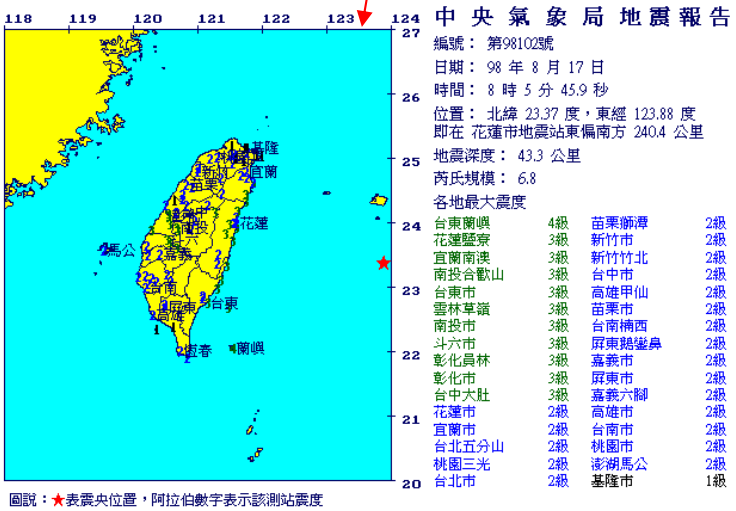


圖4-14：台北地區2009年7月明德與錦和觀測井與地震及降雨之對比圖。





中 央 氣 象 局 地 震 報 告

編號： 第98102號
日期： 98 年 8 月 17 日
時間： 8 時 5 分 45.9 秒
位置： 北緯 23.37 度，東經 123.88 度
即在 花蓮市地震站東偏南方 240.4 公里
地震深度： 43.3 公里
芮氏規模： 6.8
各地最大震度

台東蘭嶼	4級	苗栗獅潭	2級
花蓮豐寮	3級	新竹市	2級
宜蘭南澳	3級	新竹竹北	2級
南投合歡山	3級	台中市	2級
台東市	3級	高雄甲仙	2級
雲林草嶺	3級	苗栗市	2級
南投市	3級	台南楠西	2級
斗六市	3級	屏東鵝鑾鼻	2級
彰化員林	3級	嘉義市	2級
彰化市	3級	屏東市	2級
台中大肚	3級	嘉義六腳	2級
花蓮市	2級	高雄市	2級
宜蘭市	2級	台南市	2級
台北五分山	2級	桃園市	2級
桃園三光	2級	澎湖馬公	2級
台北市	2級	基隆市	1級

圖說：★表震央位置，阿拉伯數字表示該測站震度

圖4-15：台北地區2009年8月明德與錦和觀測井與地震及降雨之對比圖。

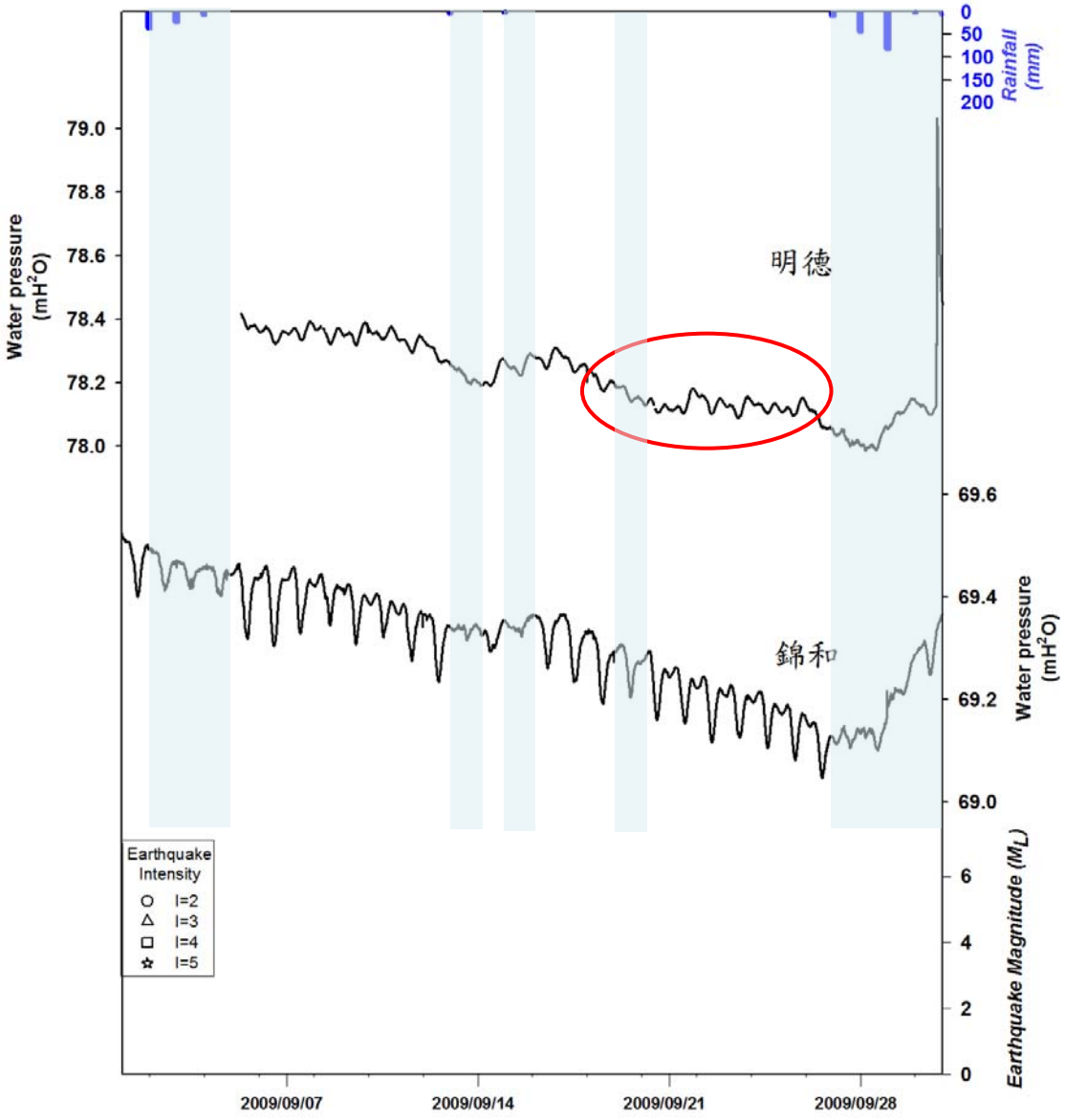


圖4-16：台北地區2009年9月明德與錦和觀測井與地震及降雨之對比圖。

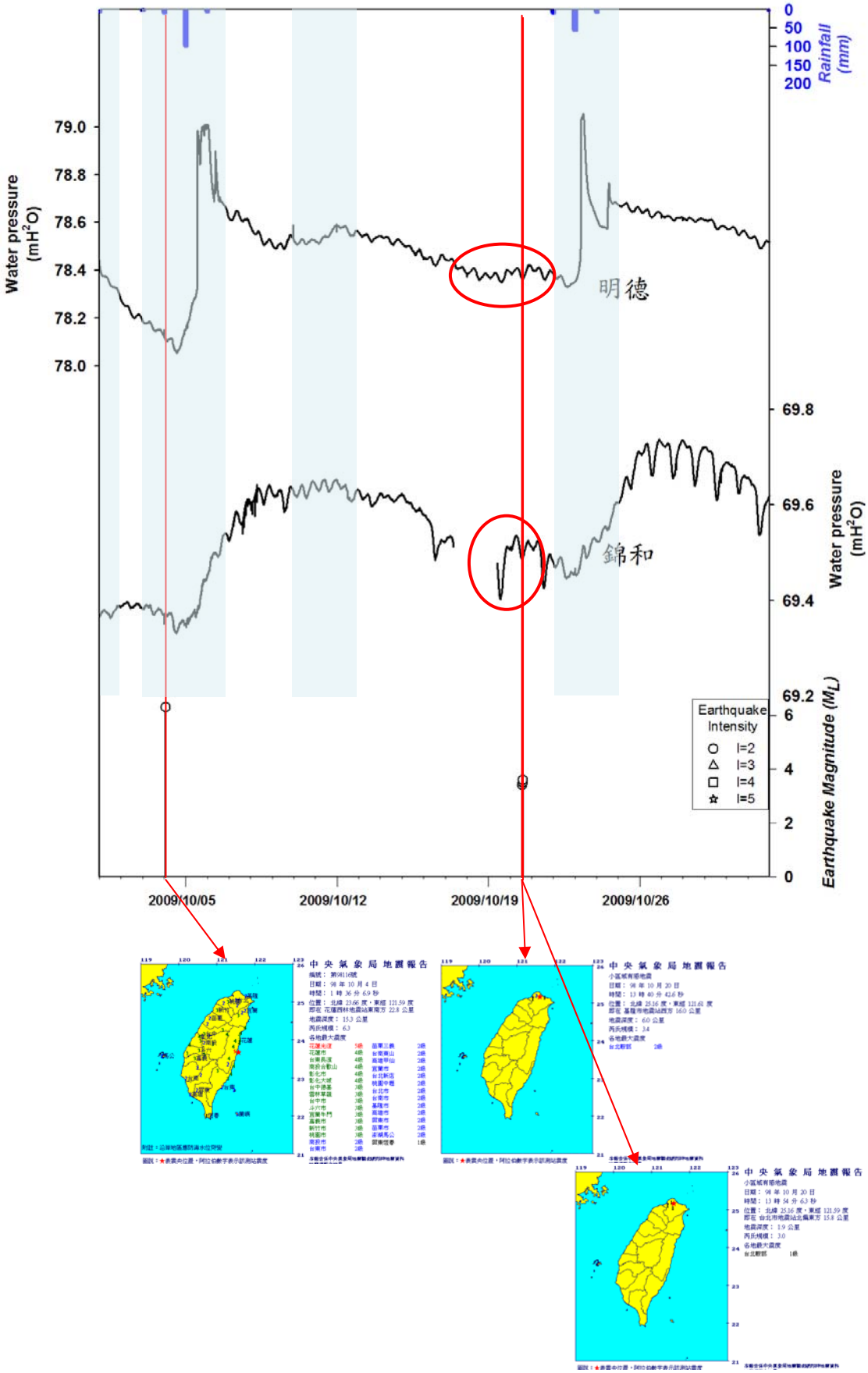


圖4-17：台北地區2009年10月明德與錦和觀測井與地震及降雨之對比圖。

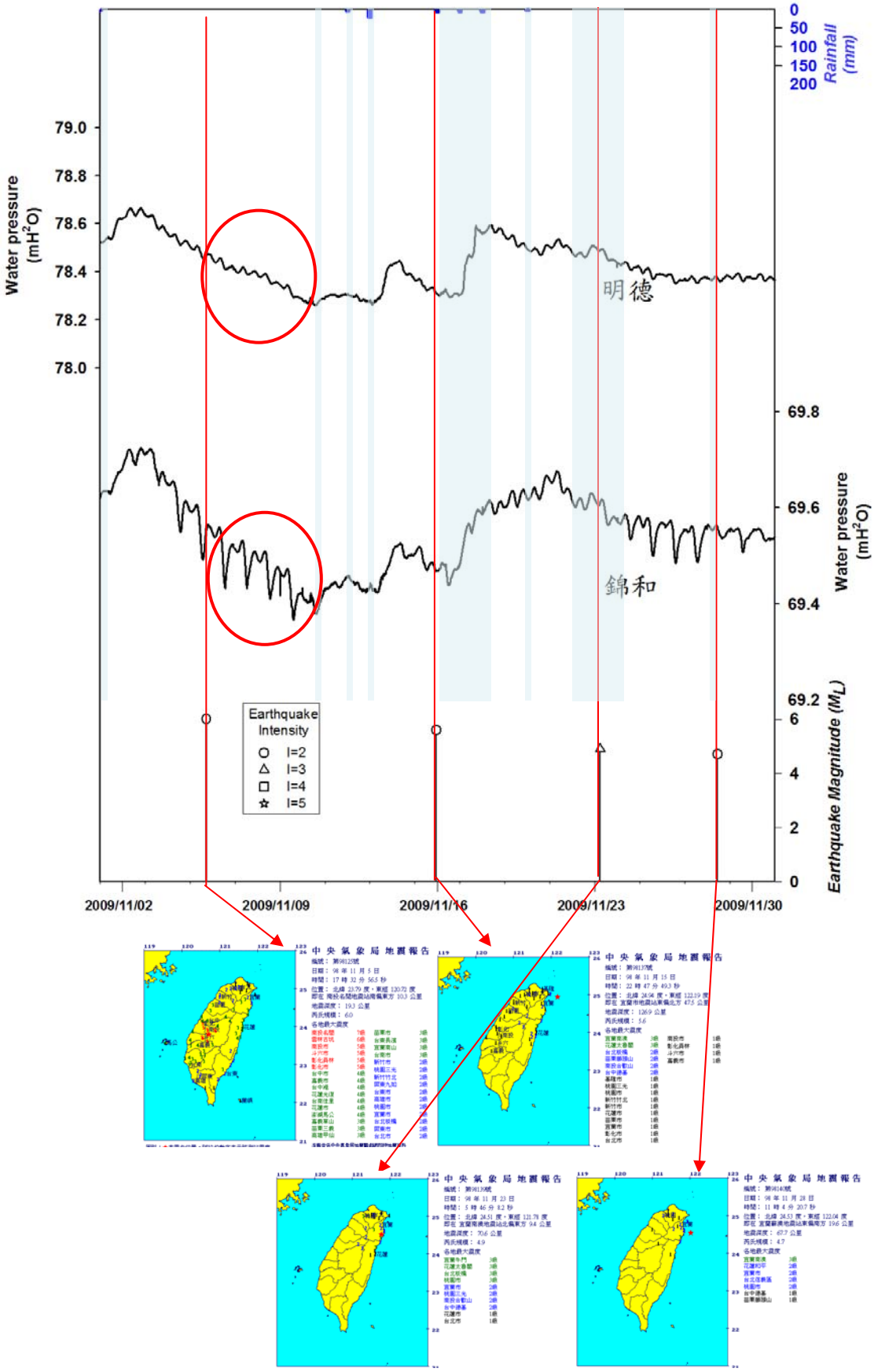


圖4-18：台北地區2009年11月明德與錦和觀測井與地震及降雨之對比圖。

4-2.2 新竹地區

2008年11月至2009年11月新竹地區新樂國小、梅花國小與雙溪國小觀測井之地下水壓資料，對比中央氣象局新竹站降雨量及觀測井附近震度2級以上之地震資料繪圖（圖4-19至4-34）。圖中某些地下水壓異常，應為當地降雨所導致，分別比對新樂及梅花站之雨量資料並加註於圖中。地下水壓觀測結果如下：

新樂觀測井2008年11月16日起，在無明顯的降雨情況下地下水壓異常升高（圖4-21），可能為12月2日台東縣長濱鄉（M_L = 5.7）地震或12月8日花蓮外海（M_L = 5.9）地震之前兆。水壓接著於12月16日穩定，直到12月26日才下降（圖4-22），可能為12月30日蘇澳外海地震之前兆。2009年2月13日起，本井出現地下水壓異常升高（圖4-24），因無明顯的降雨干擾，接著於2月25日2時38分49秒於新竹發生地震（M_L = 3.4，I = 1級），故推測此地下水壓之異常上升為震前之地下水壓異常變化。4月17日之花蓮地震則因降雨干擾，無法清楚辨別震前之地下水壓變化。7月10日，地下水壓微升，7月12日水壓才下降（圖4-30）；7月14日，花蓮外海發生規模6.3之地震，造成新樂井出現達65公分之地下水壓上升，此地震震央雖離新樂井遙遠，7月10日之水壓變化仍可能為該地震之前兆。9月5日至9月12日，地下水壓有數次升降異常（約7公分）（圖4-32），有可能為7月14日花蓮外海地震後之應力調整或10月4日花蓮地震之震前水壓變化。10月10日至10月14日以及10月17日至10月20日，出現兩次水壓異常變化，分別持續五日與四日（圖4-33）。11月1日至11月2日，地下水壓上升8公分（圖4-34），之後於11月5日17時32分，在南投名間地震站南偏東方10.3公里處，發生芮氏規模6.0之地震，該地震也造成新樂井之地下水壓產生同震上升約10公分；推測11月1日之水壓上升可能為南投地震之前兆， 10月10日及17日之水壓變化亦可能為震前之異常。

梅花觀測井2008年11月至2009年6月並無觀測到震前及同震地下水壓異常變化。2009年7月至11月之地下水壓受到降雨影響造成干擾，以莫拉克颱風帶來之降雨為例，其水壓達最大值之時間點，與水壓開始上升之時間點相差約8天。然而觀察圖4-4k之長期趨勢，可發現圖中自8月底以來至9月份，梅花井地下水壓呈現多次階梯式下降，水壓先穩定4至5日後，再下降15至20公分。自10月10日開始，梅花井水壓也改變原先之下降趨勢（圖4-33），且距上場降雨已隔4日，故推論此改變應非降雨導致之結果。離此水壓變化最近之震度2級以上地震為11月5日之南投地震，兩者差距26日，可能為11月5日南投地震之震前異常。

雙溪觀測井自2008年12月10日起，地下水壓計有所故障（圖4-22），在一個月內持續下降，從最初的37.4 m，下降46 m，並在2009年1月8日之後，水壓維持在 -8.6 m。觀測井及水位計於3月17日進行維修；4月7日修復。4月17日20

時37分48秒（M_L=5.3）花蓮地震之前，當日曾出現水壓異常升降，然而之後恰好缺漏數日之水壓資料，故無法確認是否為震前之水壓異常升降。在5月22日15時45分，地下水壓異常升高7公分（圖4-27），然而當時當地並無震度2級以上之地震，故該水壓變化原因尚未知。6月28日發生花蓮群震，但因降雨干擾，無法辨別是否為同震或震前水壓異常升降。2009年7月至11月，在圖4-29中曾觀察三次異常水壓變化：7月10日至7月12日，雙溪井出現與新樂井類似之水壓持平；7月20日至8月2日，出現長達13天之水壓持平變化，可能為8月17日花蓮外海地震之震前反應；10月4日花蓮曾發生芮氏規模6.3之地震，10月5日開始，出現約10天之持平現象，推論為該起地震之影響，之後水壓再度呈下降趨勢。

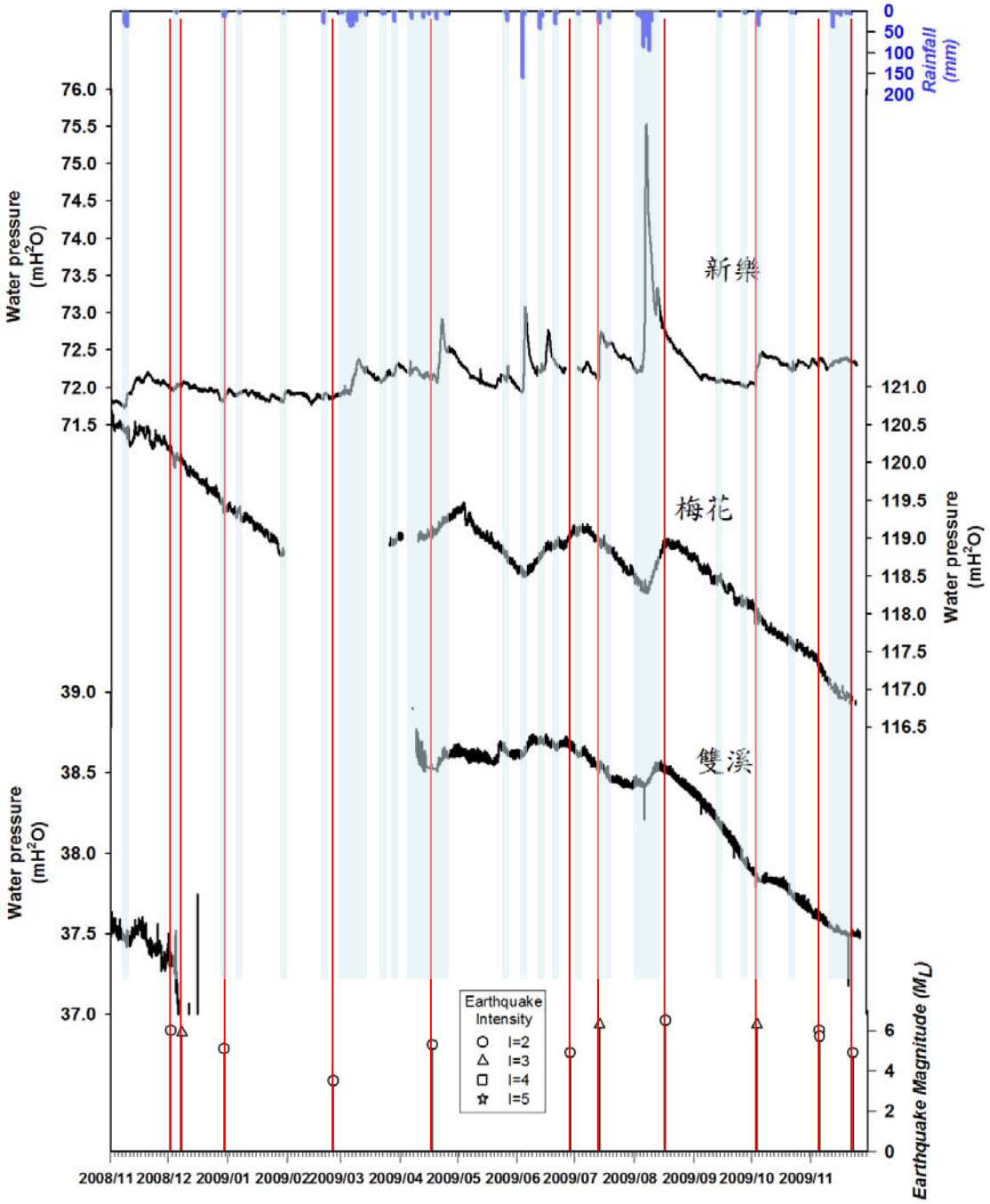


圖4-19：新竹地區2008年11月至2009年11月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。圖中紅線為地震活動對比之標示，淺藍色陰影處表示降雨發生之時段，圖中紅圈表示地下水壓異常變化，綠圈表示同震水壓變化。以下各圖之標示同本圖。

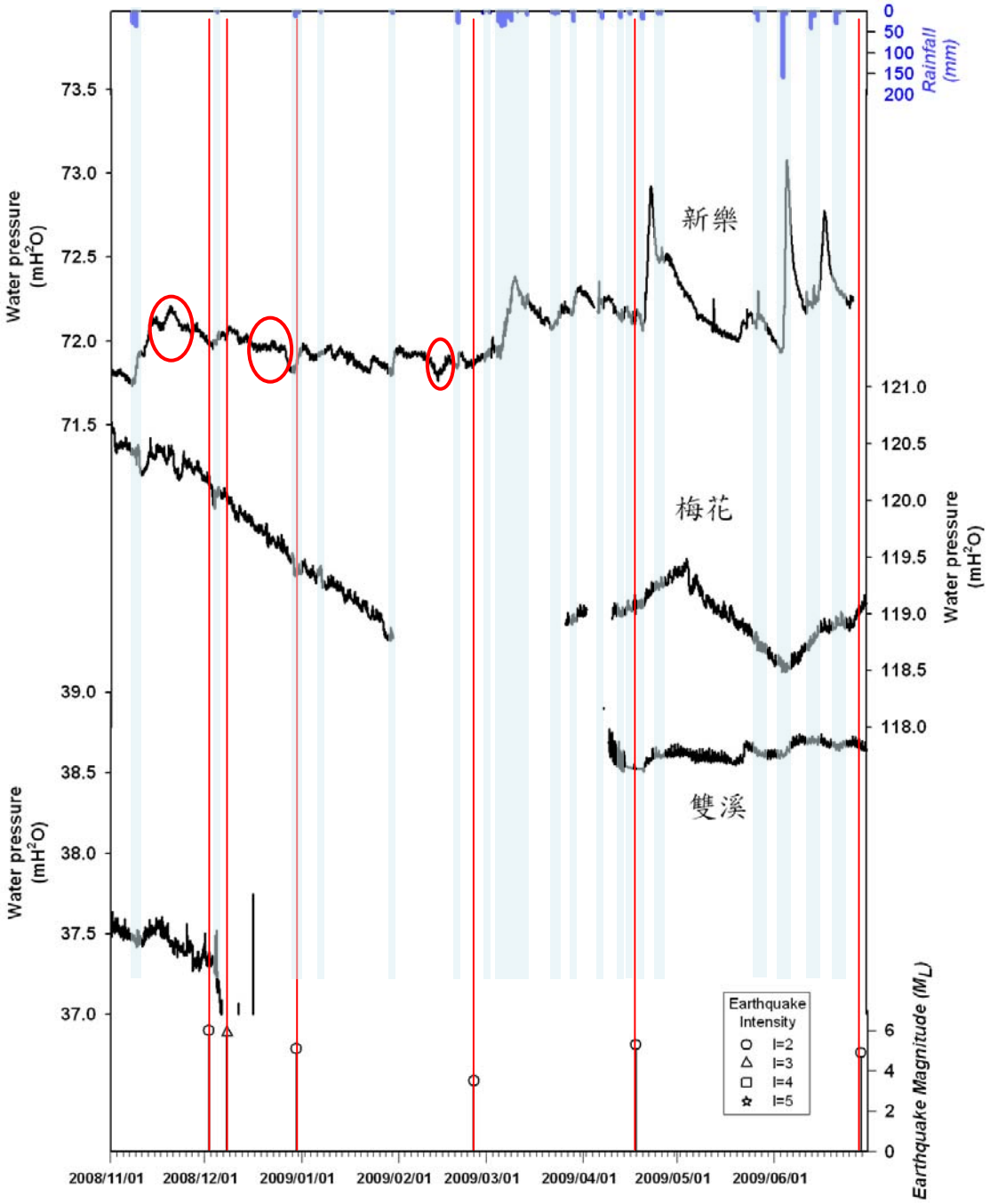


圖4-20：新竹地區2008年11月至2009年6月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

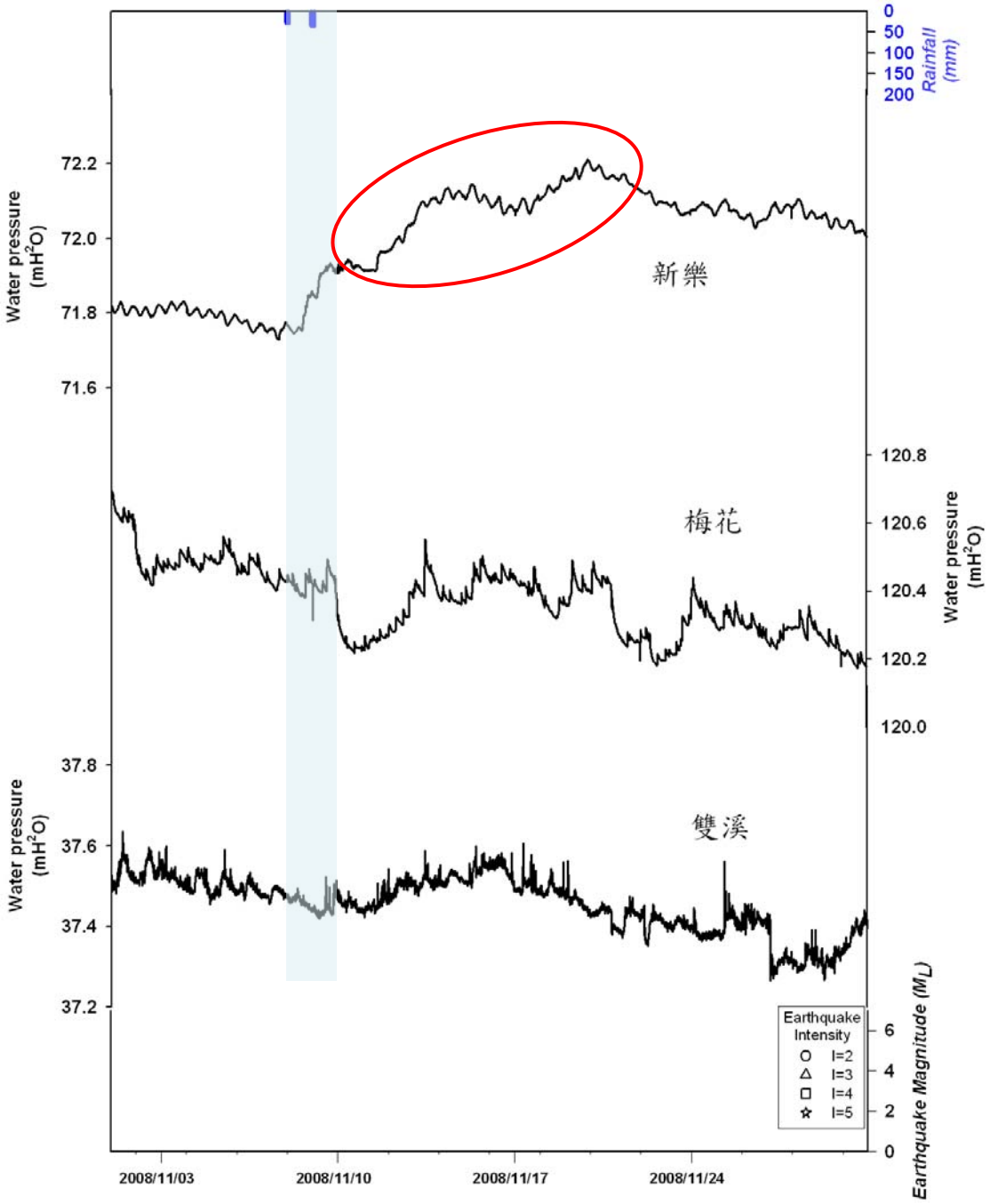


圖4-21：新竹地區2008年11月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

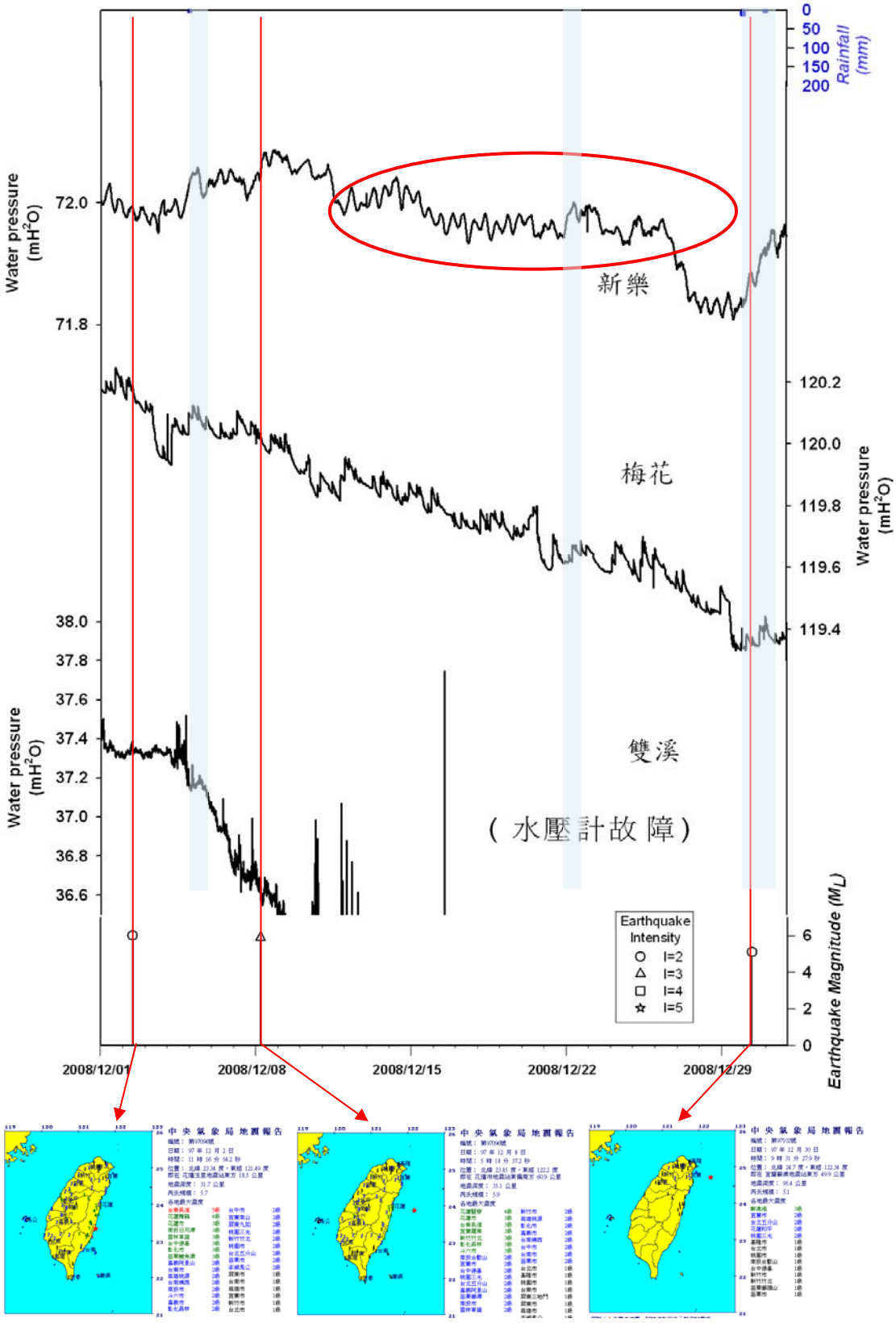


圖4-22：新竹地區2008年12月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

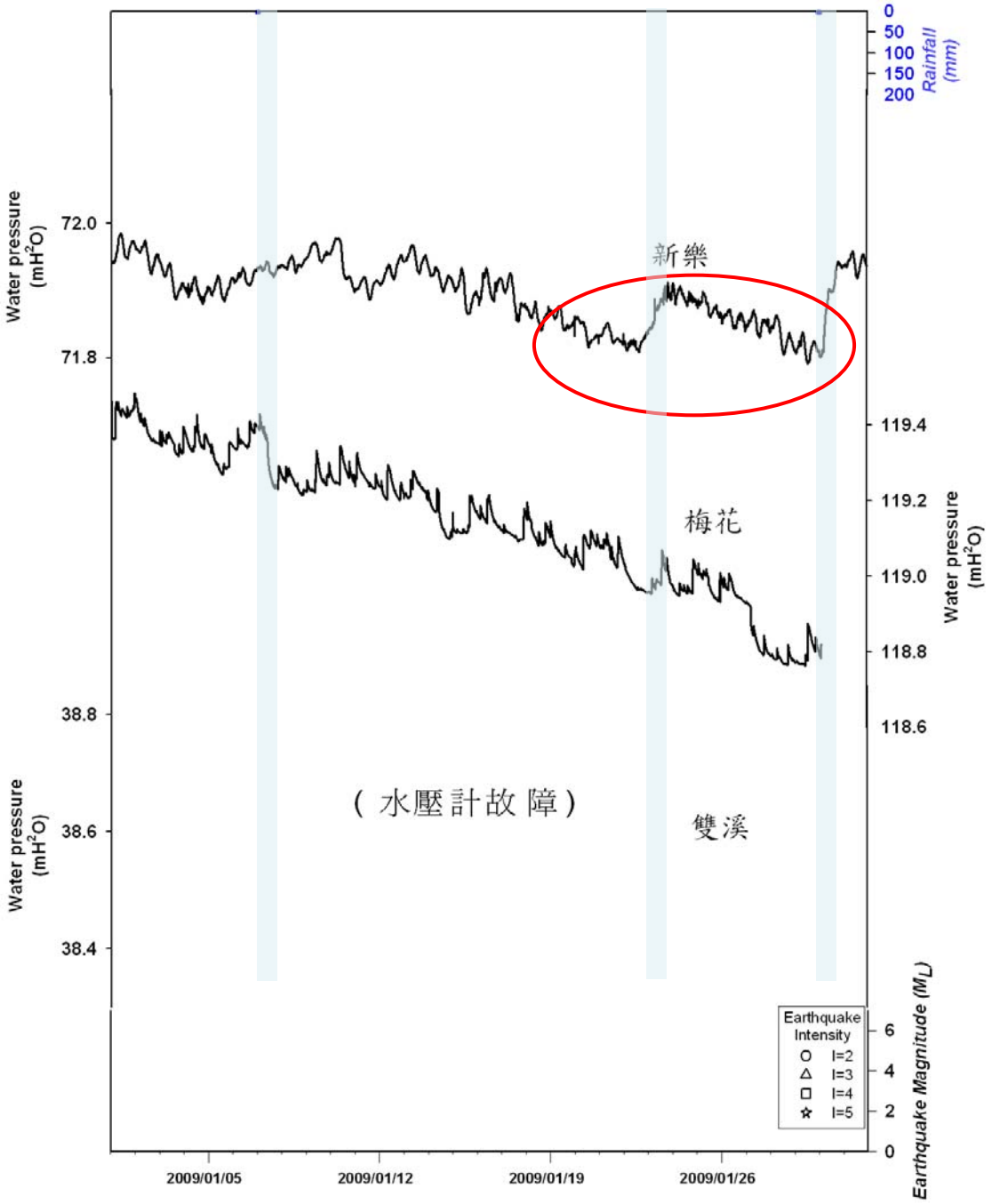


圖4-23：新竹地區2009年1月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

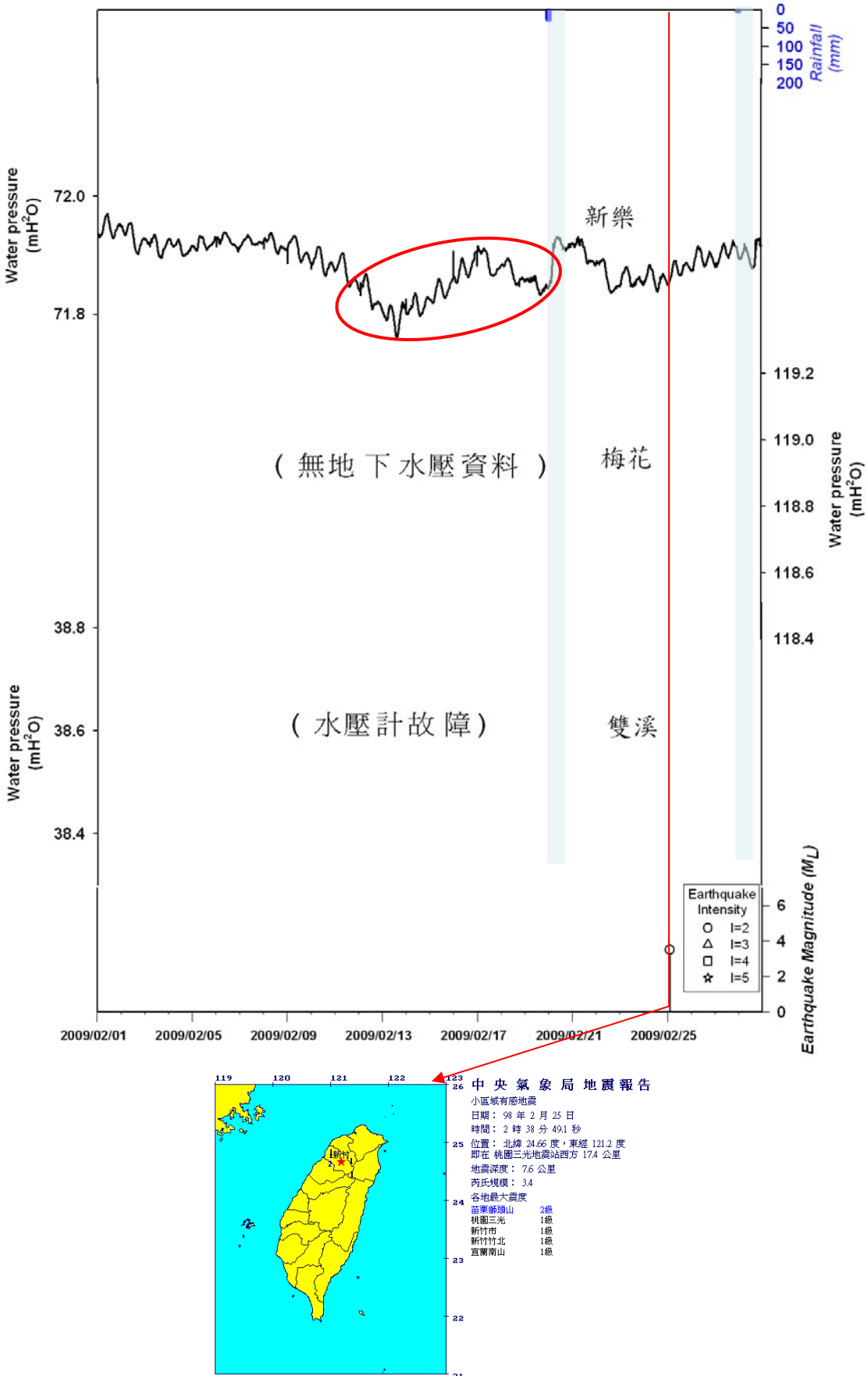


圖4-24：新竹地區2009年2月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

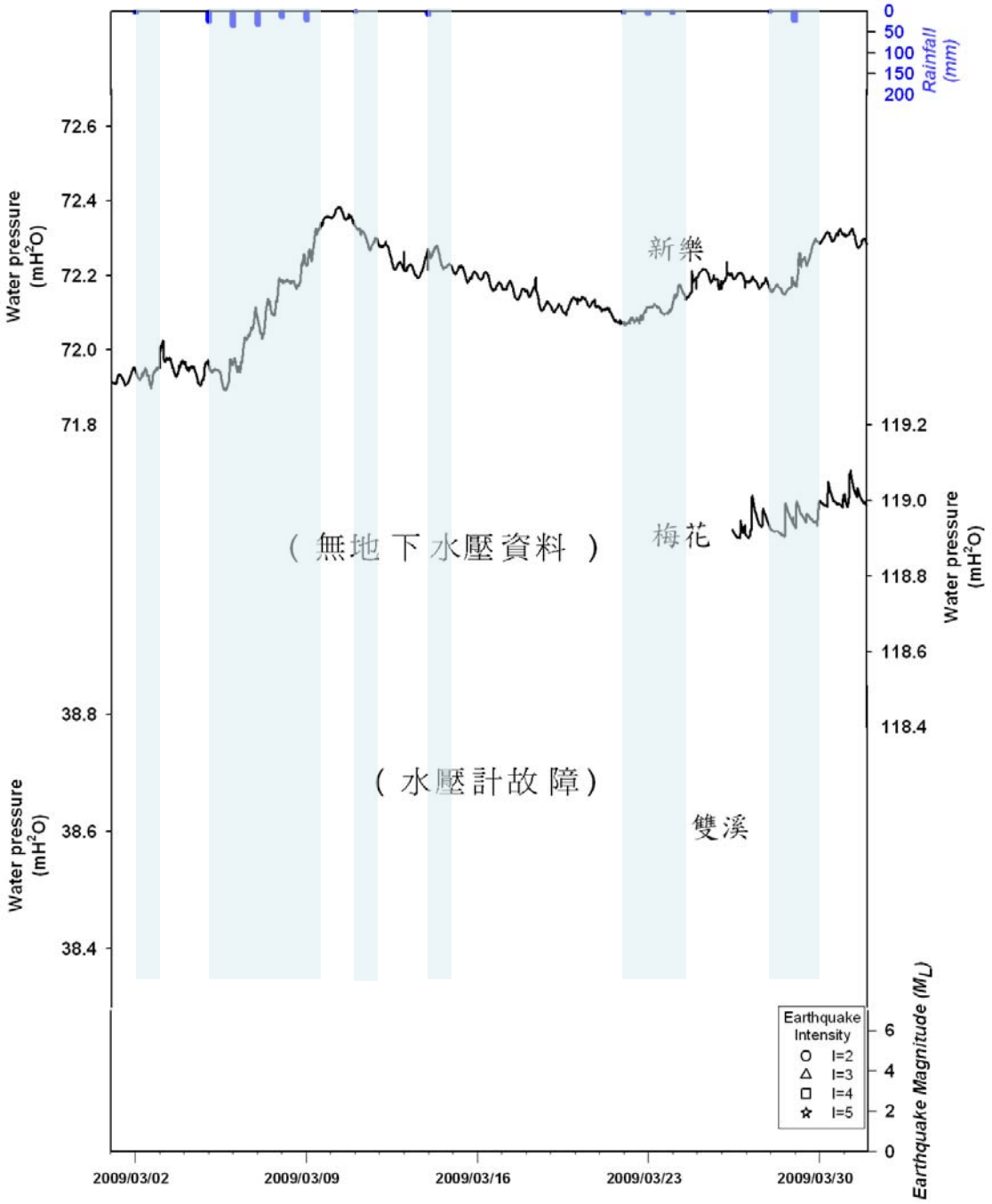


圖4-25：新竹地區2009年3月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

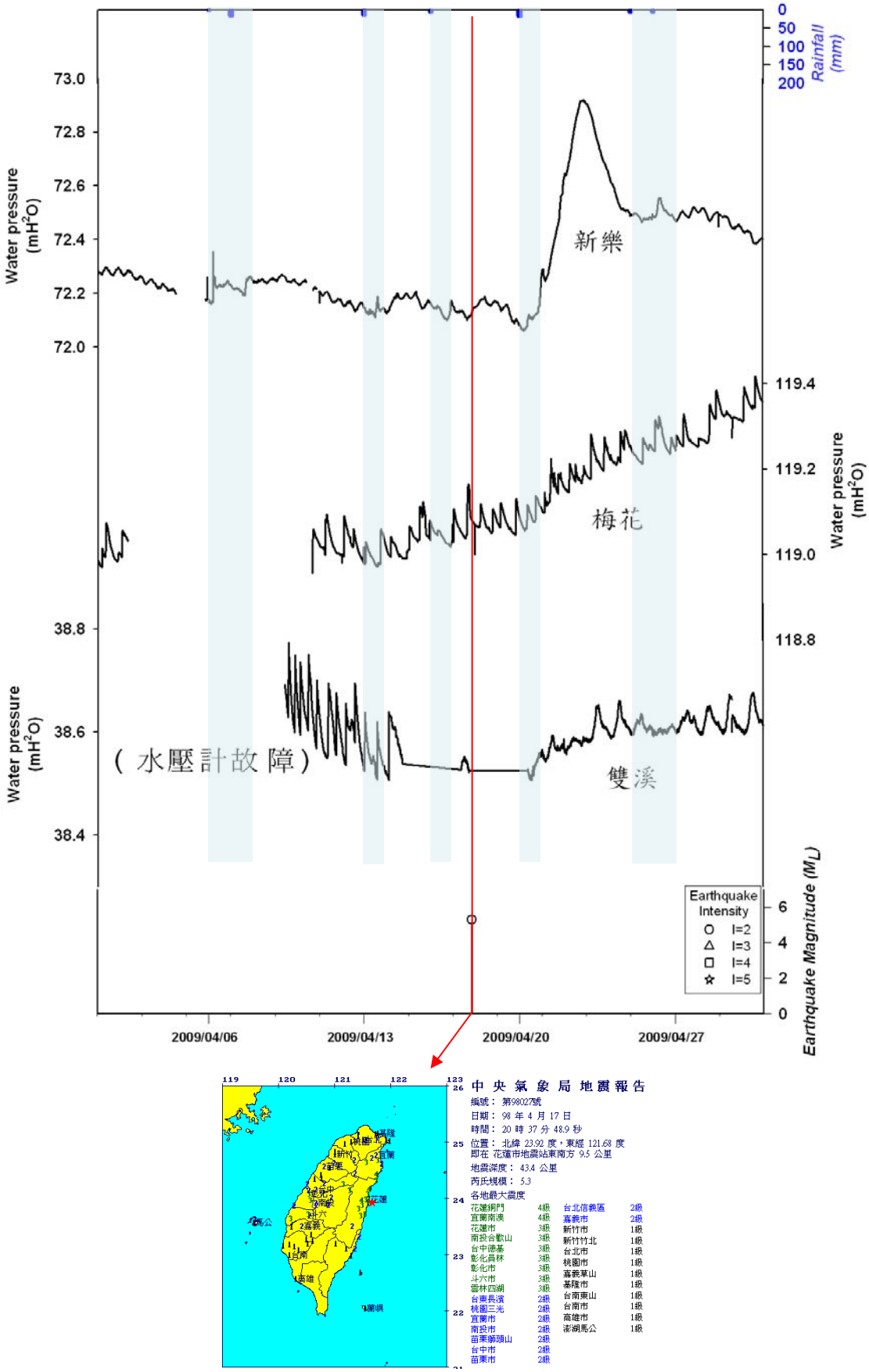


圖4-26：新竹地區2009年4月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

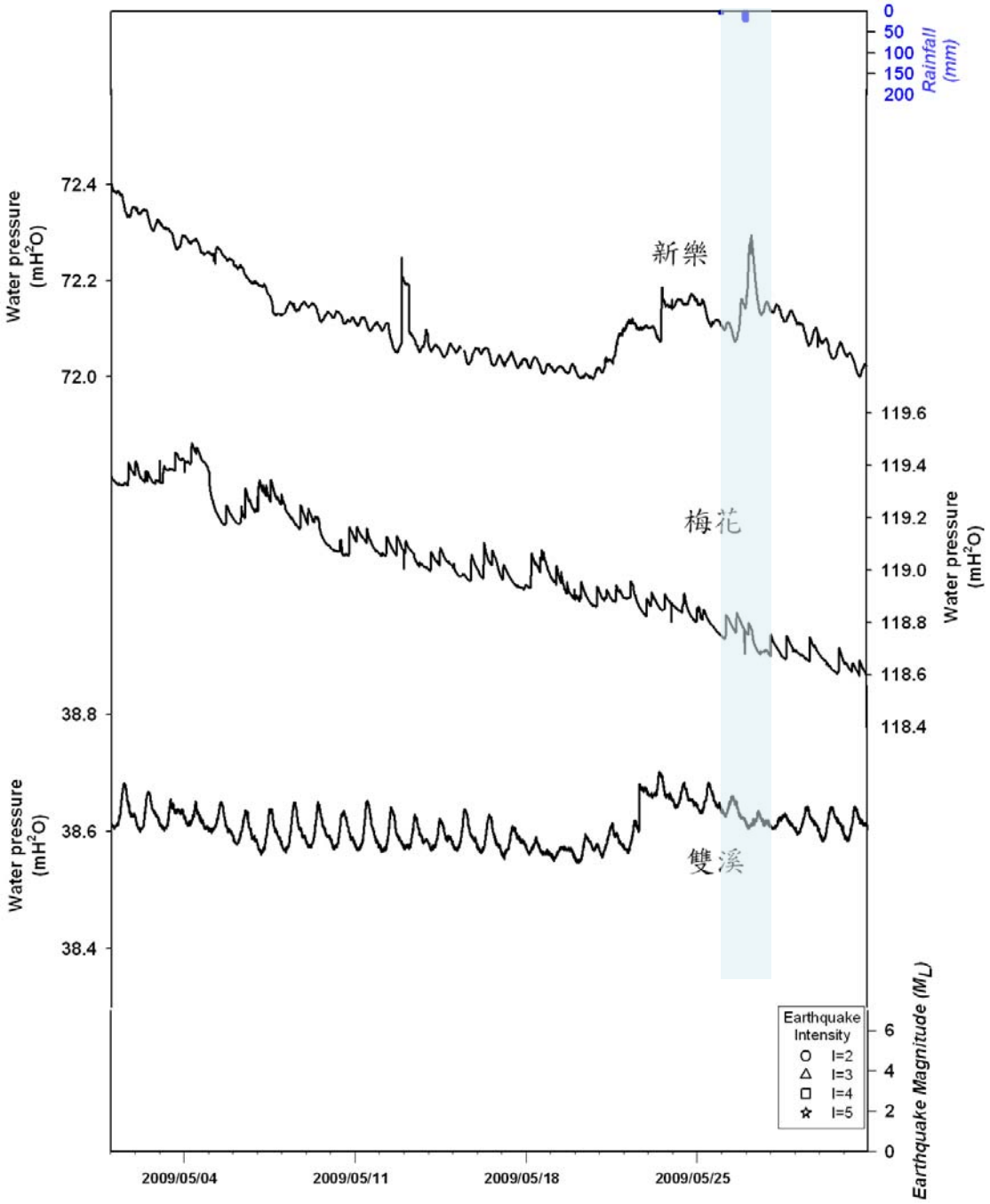


圖4-27：新竹地區2009年5月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

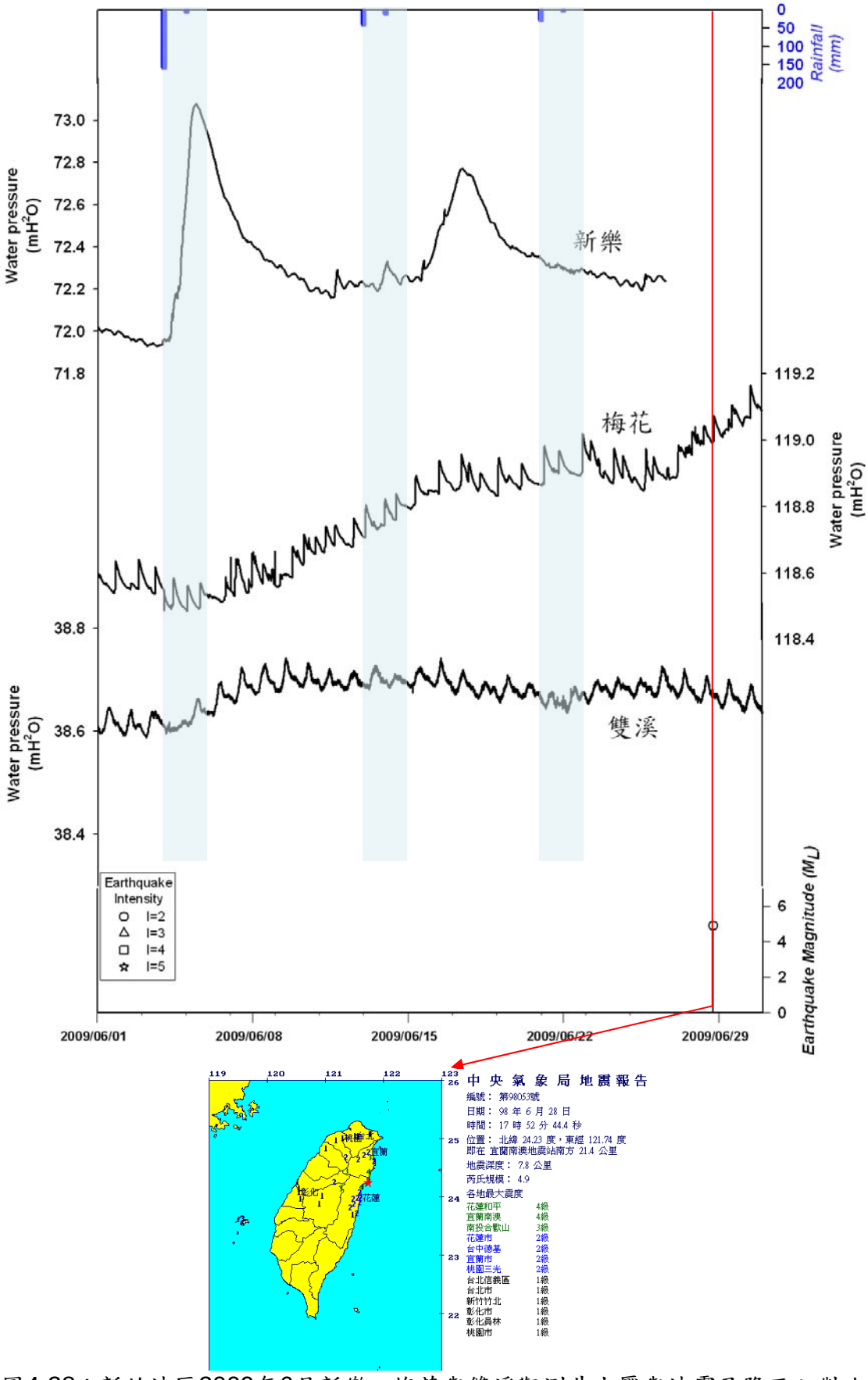


圖4-28：新竹地區2009年6月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

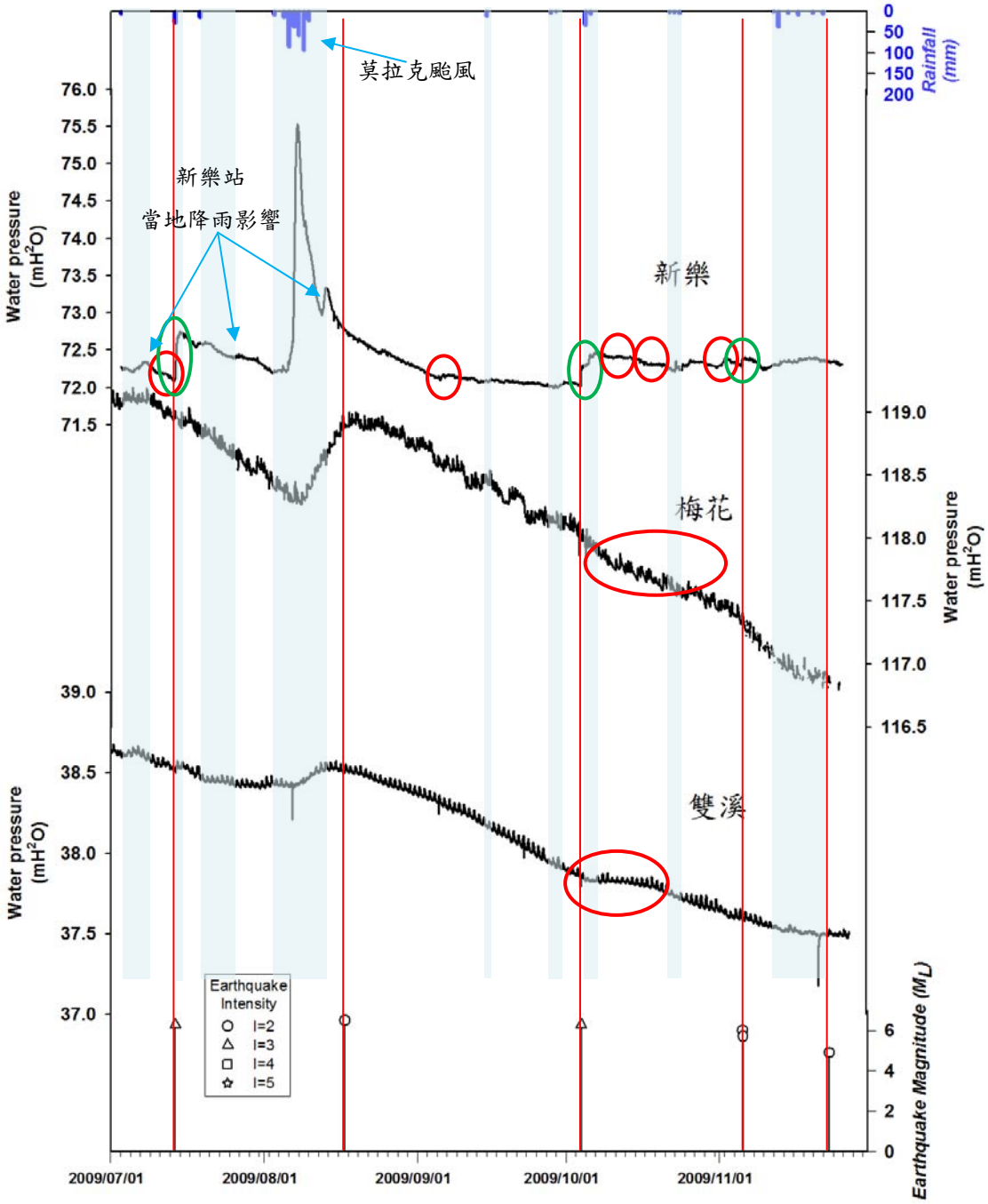


圖4-29：新竹地區2009年7月至11月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

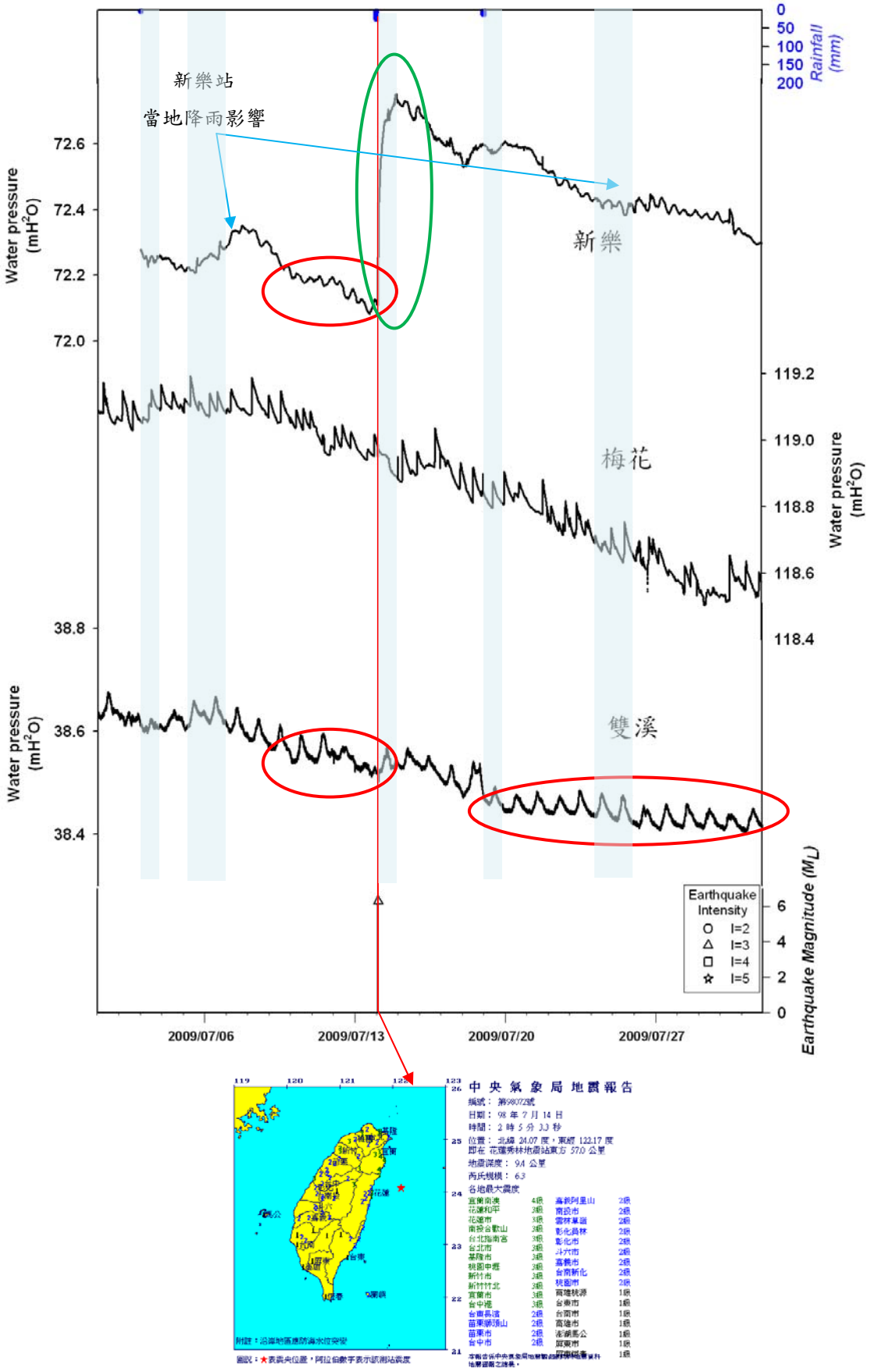


圖4-30：新竹地區2009年7月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

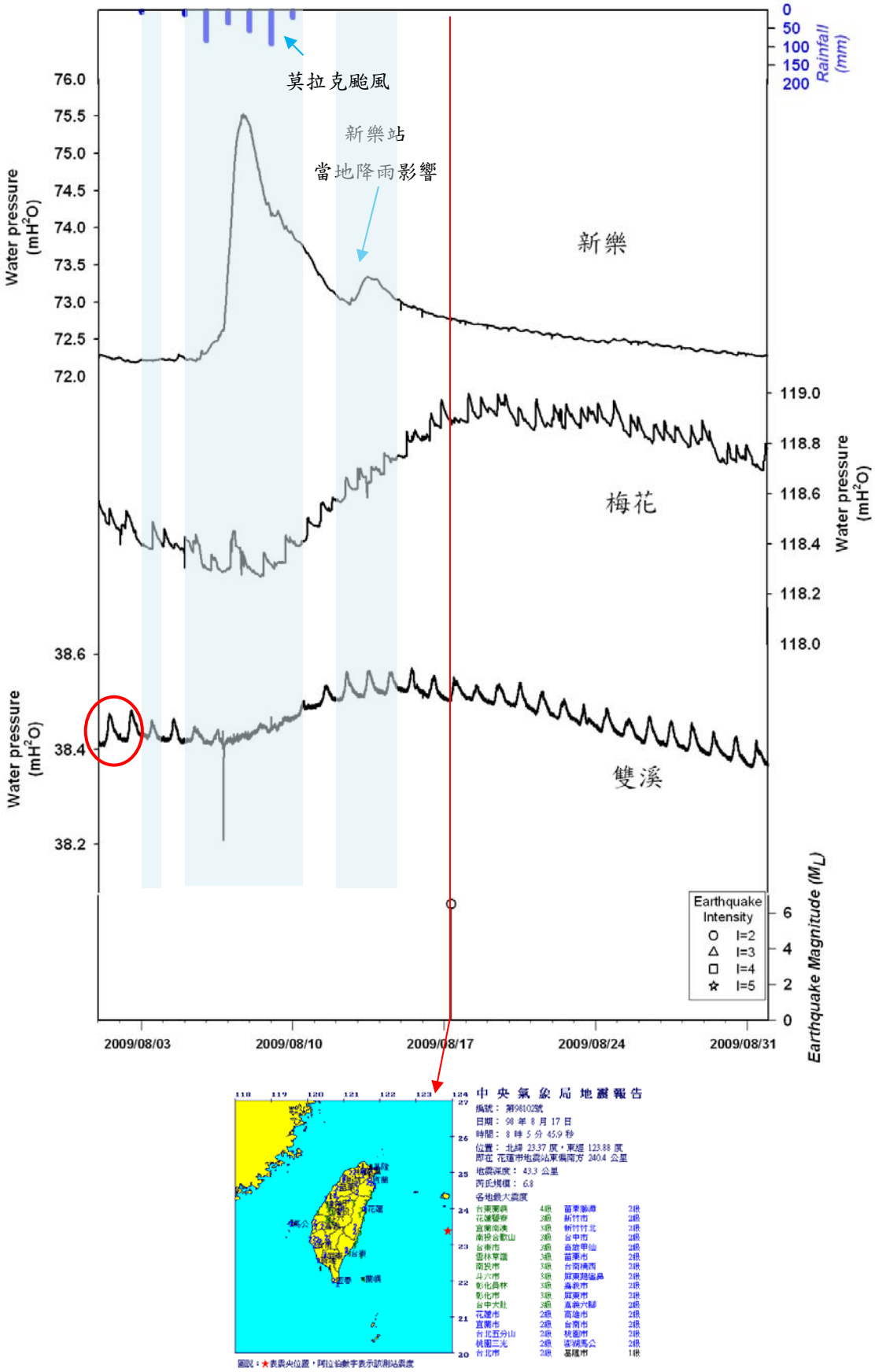


圖4-31：新竹地區2009年8月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

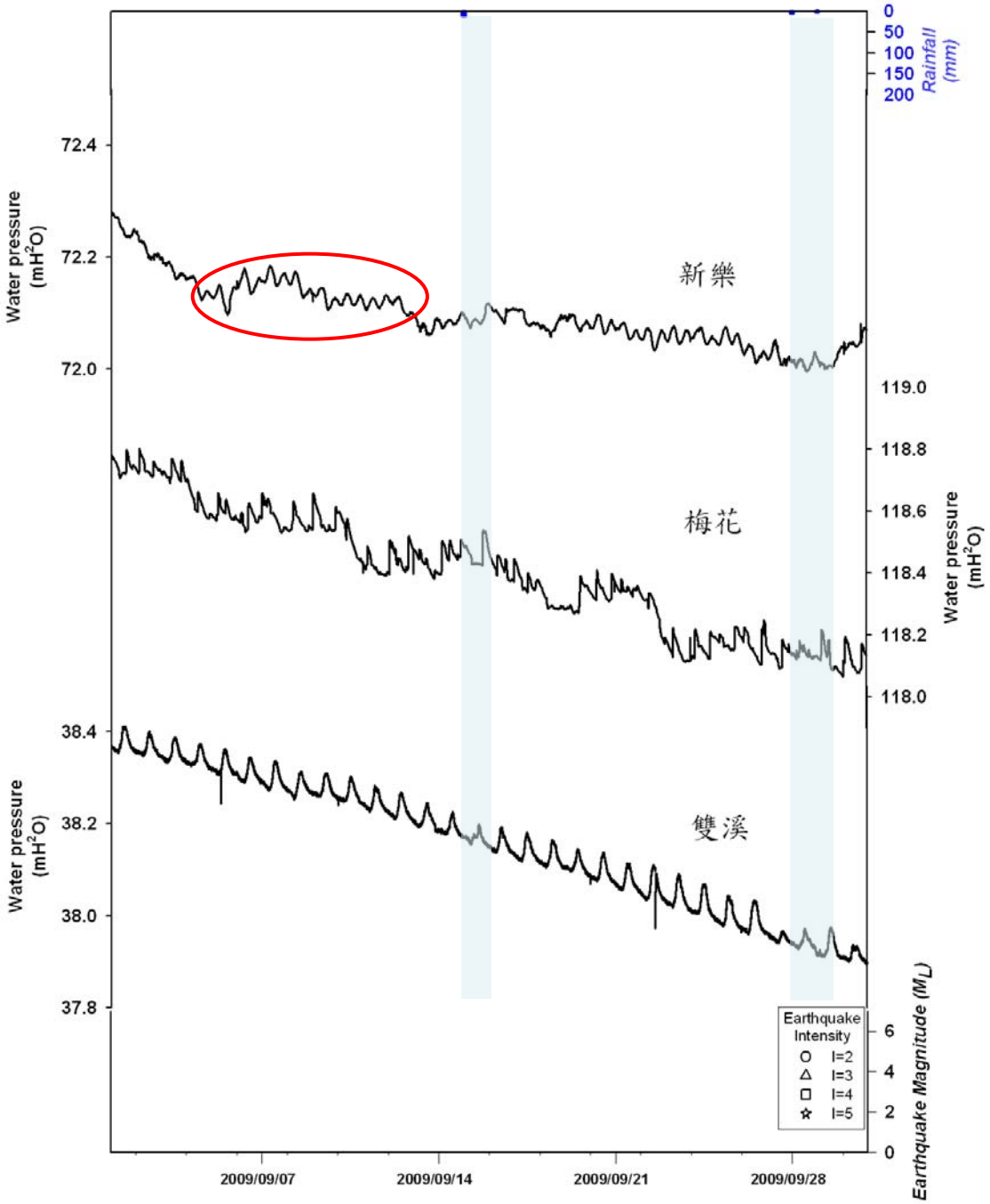


圖4-32：新竹地區2009年9月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

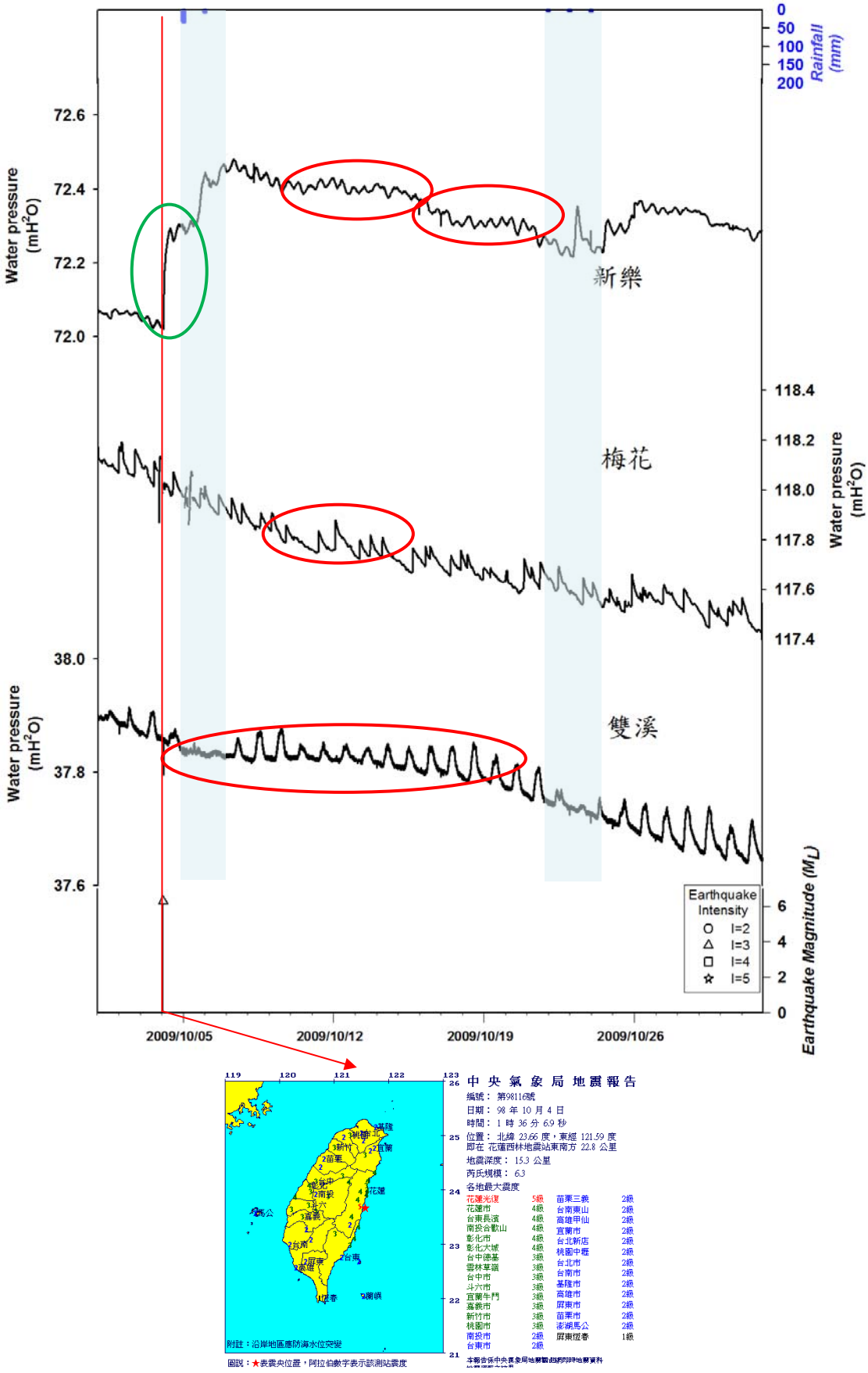


圖4-33：新竹地區2009年10月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

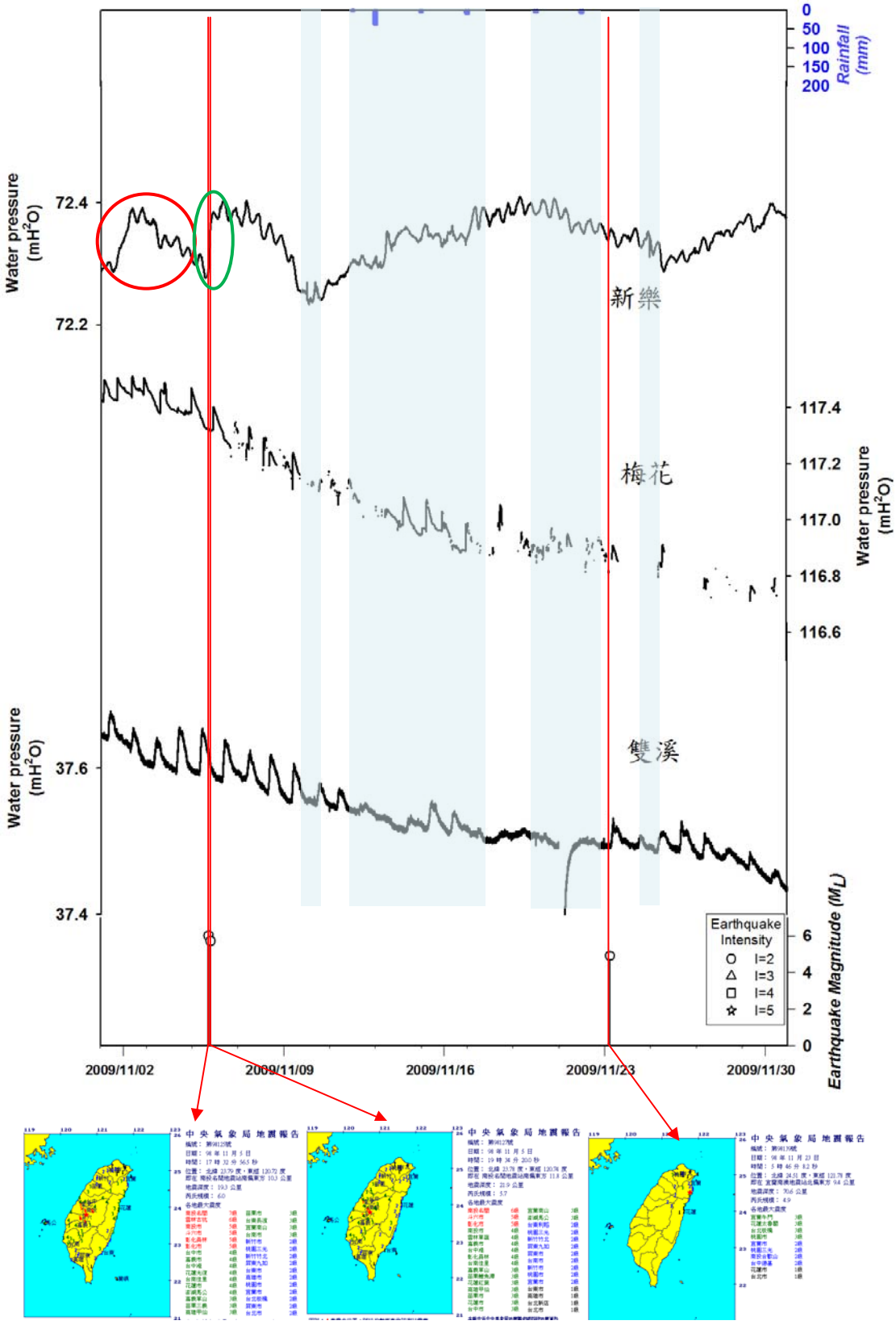


圖4-34：新竹地區2009年11月新樂、梅花與雙溪觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

4-2.3 嘉義地區

由2008年11月至2009年11月嘉義地區沄水國小、太興國小、中興國小與達邦國小觀測井之地下水壓資料，中央氣象局嘉義站降雨資料（用作沄水及太興井地下水壓之對比）與阿里山站降雨資料（用作中興及達邦井地下水壓之對比），再配合觀測井附近震度2級以上之地震資料繪圖（圖4-35至4-50），研判分析之結果如下：

沄水觀測井　屬自噴井，2006 年 9 月 28 日設立後，於同年 11 月 7 日密封井口，之後水壓上限未變化，研判可能因水壓循裂隙洩漏或因水壓計異常。2009 年 4 月 9 日本觀測井洗孔，並更換水壓計， 5 月 7 日更換完成。2009 年 6 月 8 日出現地下水壓異常上升（圖 4-44）；6 月 16 日至 6 月 27 日水壓異常升降（圖 4-44），推測與 6 月 18 日 1 時 17 分 45 秒（M_L = 5.1），或 6 月 22 日 18 時 48 分 26 秒（M_L = 4.8）嘉義地震有關。6 月 27 日水位出現異常升降（圖 4-44），可能為 6 月 30 日 23 時 6 分 17 秒（M_L = 3.6）嘉義之前兆。2009 年 7 月至 11 月間，地下水壓並未隨著降雨而上升，直到 10 月 4 日花蓮地震之後，始出現較明顯之地下水壓升降：10 月 14 日，水壓上升 10 公分（圖 4-49），隨後於嘉義市地震站南偏西方 15.9 公里處，發生芮氏規模 4.6 之地震。10 月 14 日之水壓上升，可能為該地震之震前反應；10 月 29 日，水壓在 2 日內上升近 10 公分，其後於 11 月 4 日，水壓再次上升（圖 4-50），接著於 11 月 5 日 17 時 32 分發生南投地震，研判 10 月 29 日以及 11 月 4 日兩起水壓異常上升，為 11 月 5 日南投地震之前兆。

太興觀測井　於 2008 年 11 月至 2009 年 11 月之觀測結果如下：2008 年 12 月 2 日 11 時 16 分 54 秒於台東長濱發生芮氏規模 5.7 之地震，而本觀測井於當日 11 時 18 分地下水壓異常上升（圖 4-38），於 7 小時內之水壓上升 19 公分，推測為該起台東地震之震後反應。2009 年 1 月 23 日水壓持平（圖 4-39），推測為 2 月 19 日 12 時 32 分 54 秒台南地震或 2 月 21 日南投地震有關之震前水壓異常。3 月 13 日 6 時 35 分出現水位異常下降，於 6 小時內下降 14 公分（圖 4-41）；3 月 15 日 9 時開始，於 5 小時內也下降 3.3 公分後回升（圖 4-41），推測為 3 月 16 日 6 時 33 分 5 秒之台南地震有關之震前水壓異常變化。自 3 月 19 日至 4 月 7 日，地下水壓變化明顯變大（圖 4-41 與圖 4-42），推測為 4 月 7 日 10 時 53 分 48 秒之嘉義地震有關之震前反應。10 月 4 日 1 時 36 分，花蓮西林地震站東南方 22.8 公里處芮氏規模 6.3 之地震，同震水壓上升 60 公分；持平 8 天後水壓才開始下降（圖 4-49）；11 月 5 日 17 時 32 分，南投名間地震站南偏東方 10.3 公里處芮氏規模 6.0 之地震，同震水壓上升 115 公分（圖 4-50）。

中興觀測井在 2008 年 11 月 14 日地下水壓異常下降與 11 月 22 日地下水

壓異常上升（圖 4-37），可能與 11 月 18 日 10 時 25 分及 11 月 29 日之嘉義地震有關；12 月 12 日及 20 日之地下水壓異常上升（圖 4-38），可能與 12 月 23 日之高雄地震有關。換言之，以上三起地下水壓異常均與嘉義台南高雄地區地震有關之震前反應。12 月 27 日地下水壓在降雨前即異常上升（圖 4-38），可能與 2009 年 1 月 4 日的花蓮外海地震有關。2009 年 1 月 14 日至 28 日之地下水壓異常升降（圖 4-39），之後於 2 月 19 日 12 時 32 分 54 秒於台南發生地震，水壓開始發生異常變化距地震發生時間早 36 天。2 月 27 日及 3 月 12 日地下水壓都出現異常下降（圖 4-40 與圖 4-41），推測與 3 月 16 日 6 時 33 分 5 秒之台南地震有關。4 月 7 日 10 時 53 分 48 秒之嘉義地震震前，因降雨干擾，無法辨識其震前水壓異常變化。9 月 17 日水壓上升約 10 公分（圖 4-48）。接著於 9 月 19 日 0 時 42 分，水壓再度上升 10 公分；當日 13 時 58 分，水壓下降；17 時 57 分 30 秒，嘉義大埔地震站東北方 25 公里處，即發生芮氏規模 4.5 之地震，並出現同震地下水壓上升。推測 9 月 17 日與 19 日 0 時之地下水壓異常變化為 9 月 19 日阿里山地震之震前徵兆。9 月 20 日 20 時 11 分，水位異常下降（圖 4-48），研判為 9 月 22 日與 23 日台南地震之徵兆。9 月 24 日至 25 日期間，水壓異常升高 5 公分（圖 4-49），接著 9 月 30 日，於台南東山地震站西偏北 15.6 公里，發生芮氏規模 3.7 的地震，研判 9 月 24 日之水壓上升為 30 日台南地震之前兆。10 月 3 日 13 時 55 分水壓異常上升（圖 4-49）， 10 月 4 日 1 時 36 分即發生花蓮地震，水壓隨即在 1 時 38 分下降，接著於 10 時 57 分水位上升，推測 10 月 3 日及 4 日水位之異常升降，分別為 10 月 4 日花蓮地震之震前與同震變化。10 月 23 日地下水壓上升約 10 公分（圖 4-49），應為 10 月 22 日嘉義市地震站南偏西 15.9 公里處地震之震後反應。10 月 26 日至 27 日地下水壓持平（圖 4-49），11 月 4 日 9 時也出現一次水壓異常升降（圖 4-50），之後 11 月 5 日 17 時 32 分發生芮氏規模 6.0 的南投地震，同時也造成同震地下水壓下降，故研判 10 月 26 日及 11 月 4 日中興站之水壓異常變化為 11 月 5 日南投地震之前兆。11 月 7 日水壓先下降後持平 1 日（圖 4-50），可能為 11 月 17 日 1 時 49 分 15 秒嘉義地震（M_L= 4.1）之前兆。

達邦觀測井於 2008 年 12 月 2 日 13 時 42 分開始（圖 4-38），在 9 小時內，水位上升 4.7 公分，推測與太興國小觀測井同為 12 月 2 日 11 時 16 分 54 秒台東長濱地震有關之震後水壓反應。7 月 26 日地下水壓上升約 5 公分（圖 4-45），當日 9 時 0 分發生南投地震，14 時 10 分發生花蓮玉里地震，但在地下水壓上升前也有降雨干擾，故不易分辨是否為同震之地下水壓上升。9 月 19 日 17 時 57 分 30 秒，嘉義大埔地震站東北方 25 公里處，發生芮氏規模 4.5 之阿里山地震，出現明顯的同震地下水壓上升達 10 公分（圖 4-48），震前未出現水壓異常升降。10 月 4 日 1 時 36 分 6 秒，花蓮西林地震站東南方 22.8 公里處，發生芮氏規模

6.3 之地震，出現同震地下水壓上升（圖 4-49）。10 月 18 日，地下水壓緩緩徵升後持平，至 10 月 21 日水壓才轉為微幅下降之趨勢（圖 4-49）；之後於 10 月 22 日 11 時 36 分，嘉義市地震站南偏西 15.9 公里處發生芮氏規模 4.9 之地震。研判 10 月 18 日水壓微升後微降為該地震之震前反應。10 月 25 日至 29 日期間，地下水壓上升 7 公分（圖 4-49），接著於 11 月 2 日至 4 日期間，水壓異常上升 3 公分（圖 4-50），研判為 11 月 5 日南投地震之震前反應。自 11 月 11 日開始持平 2 日後下降（圖 4-50），可能與中興井同為 11 月 17 日嘉義地震之前兆。

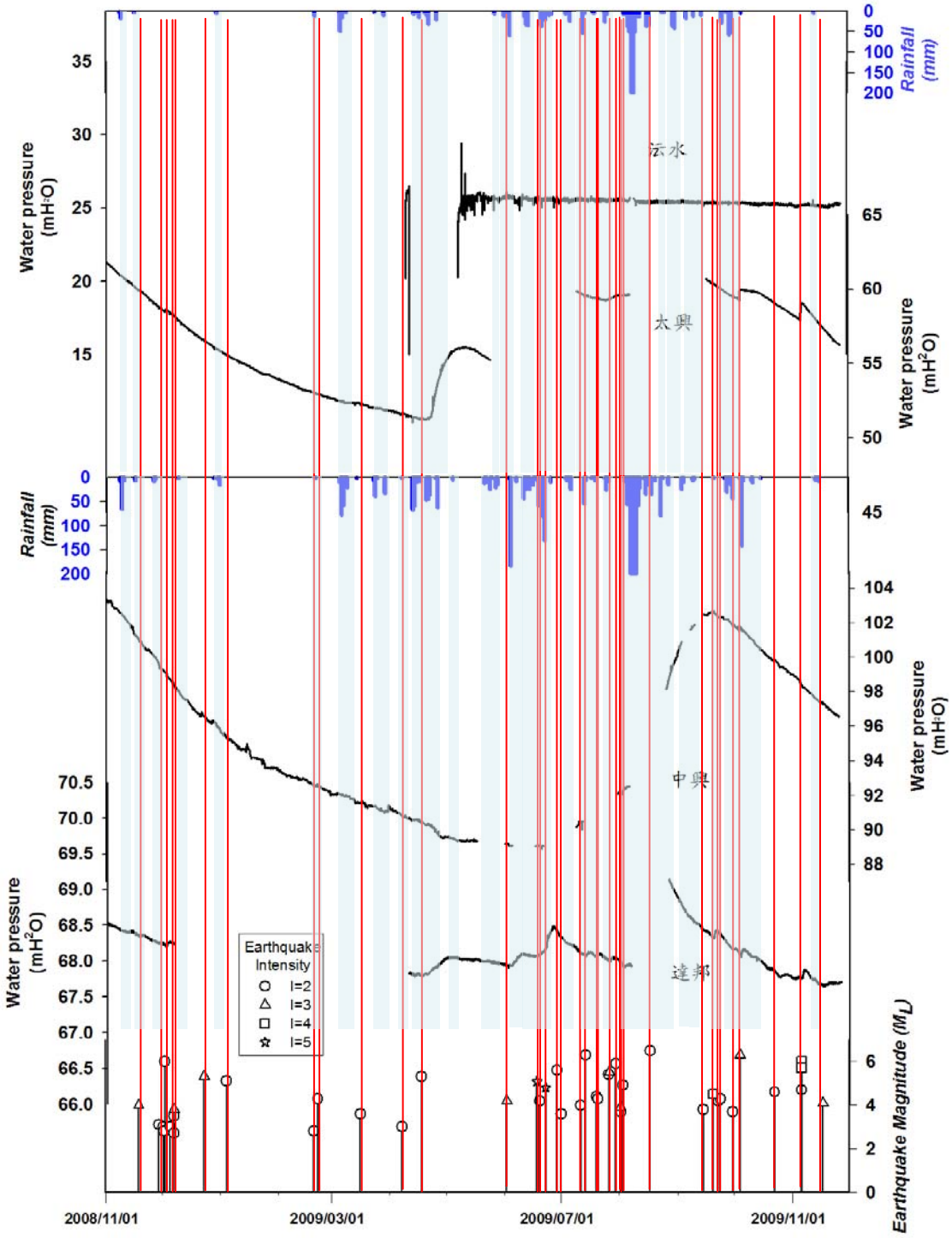


圖4-35：嘉義地區2008年11月至2009年11月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。圖中紅線為地震活動對比之標示，淺藍色陰影處表示降雨發生之時段，圖中紅圈表示地下水壓異常變化，綠圈表示同震水壓變化。以下各圖之標示同本圖。

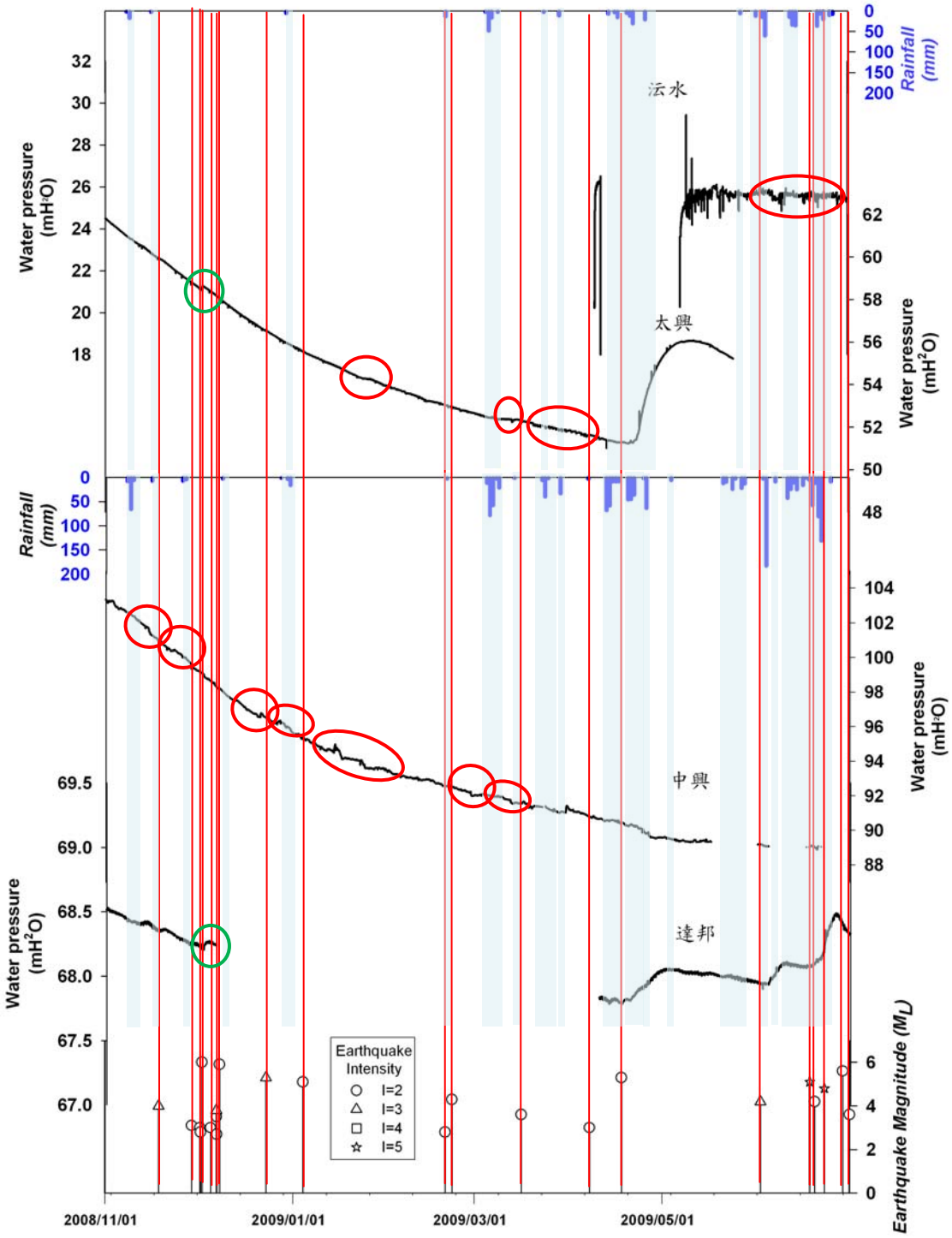


圖4-36：嘉義地區2008年11月至2009年6月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

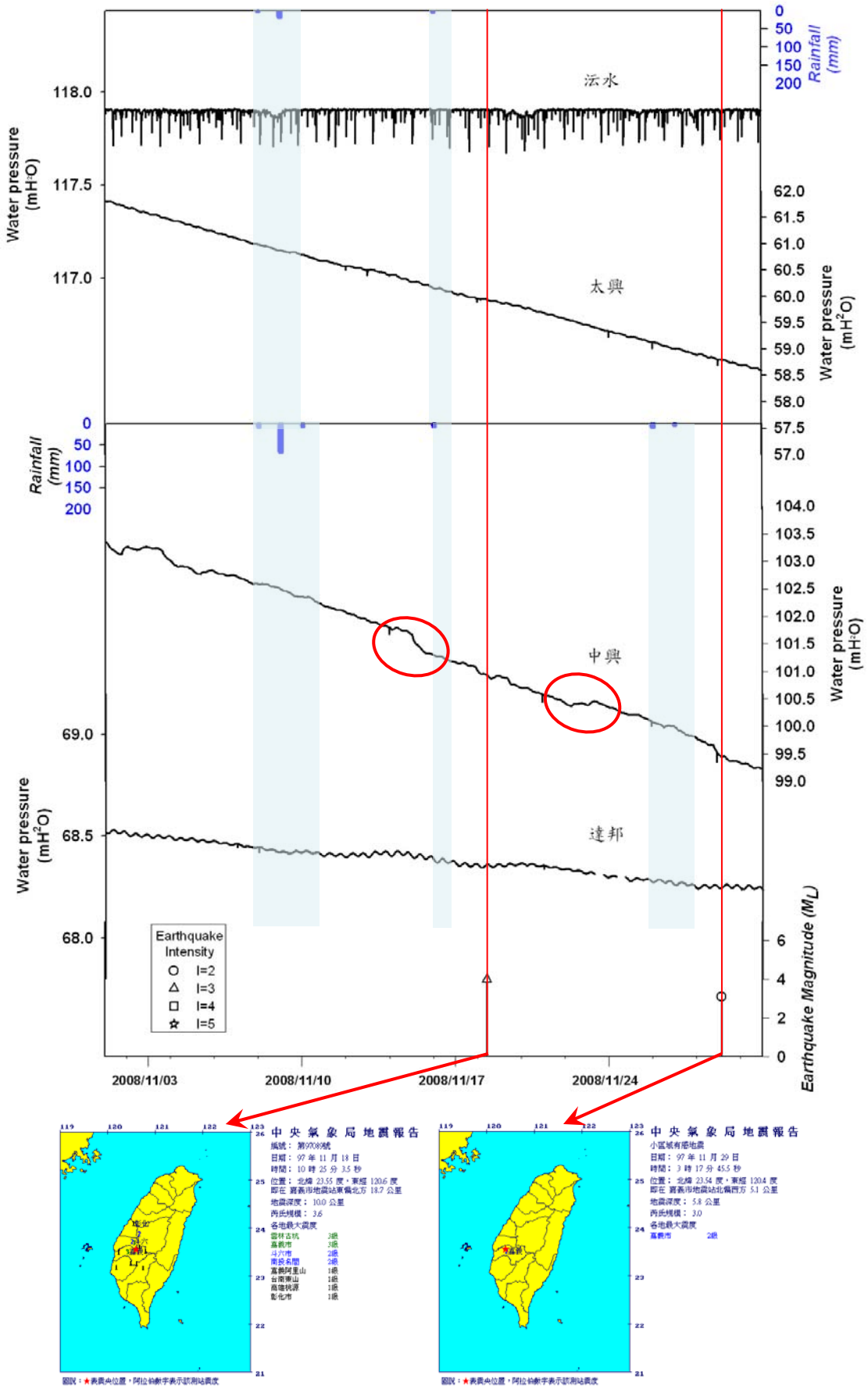


圖4-37：嘉義地區2008年11月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

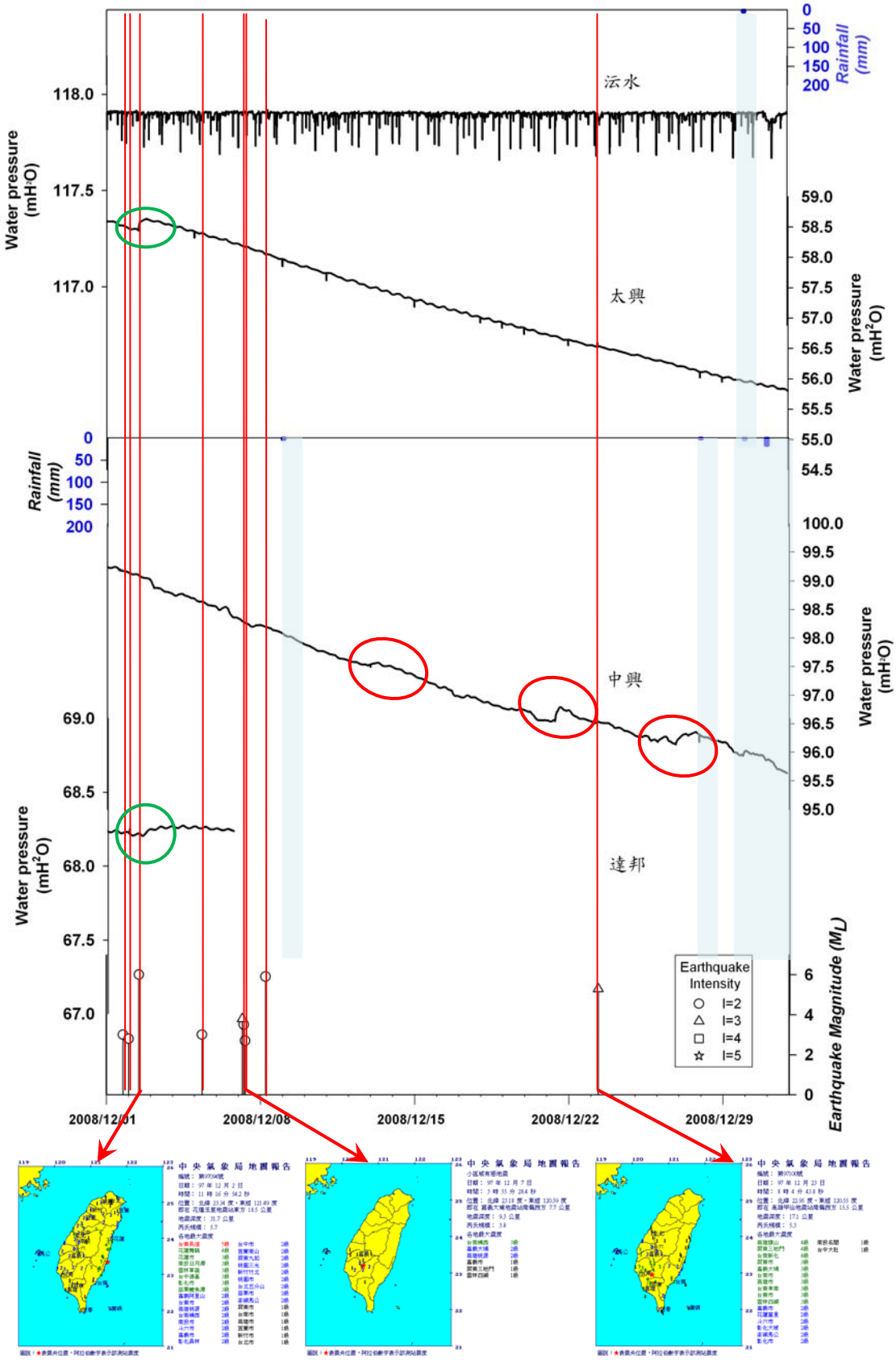


圖4-38：嘉義地區2008年12月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

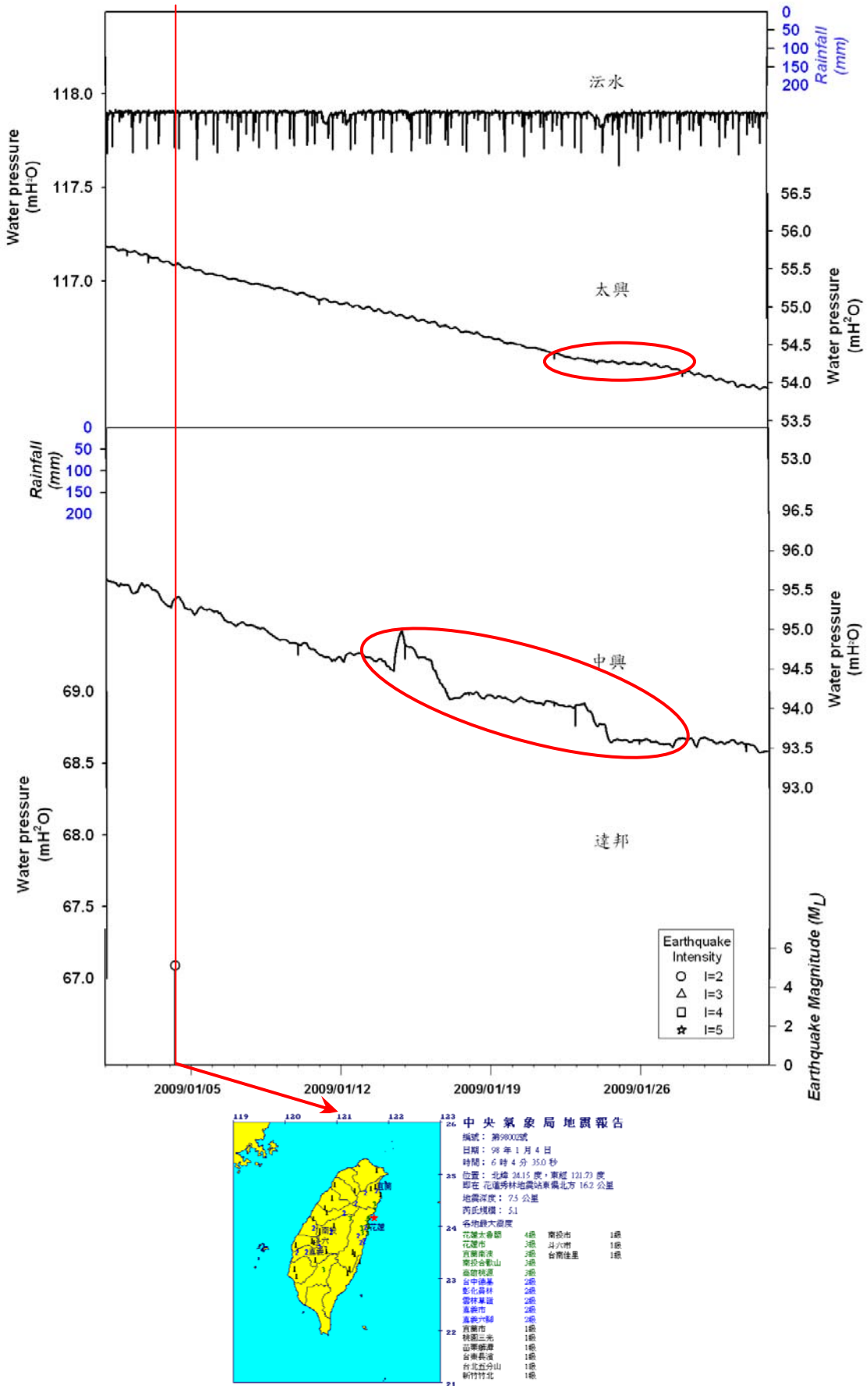


圖4-39：嘉義地區2009年1月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

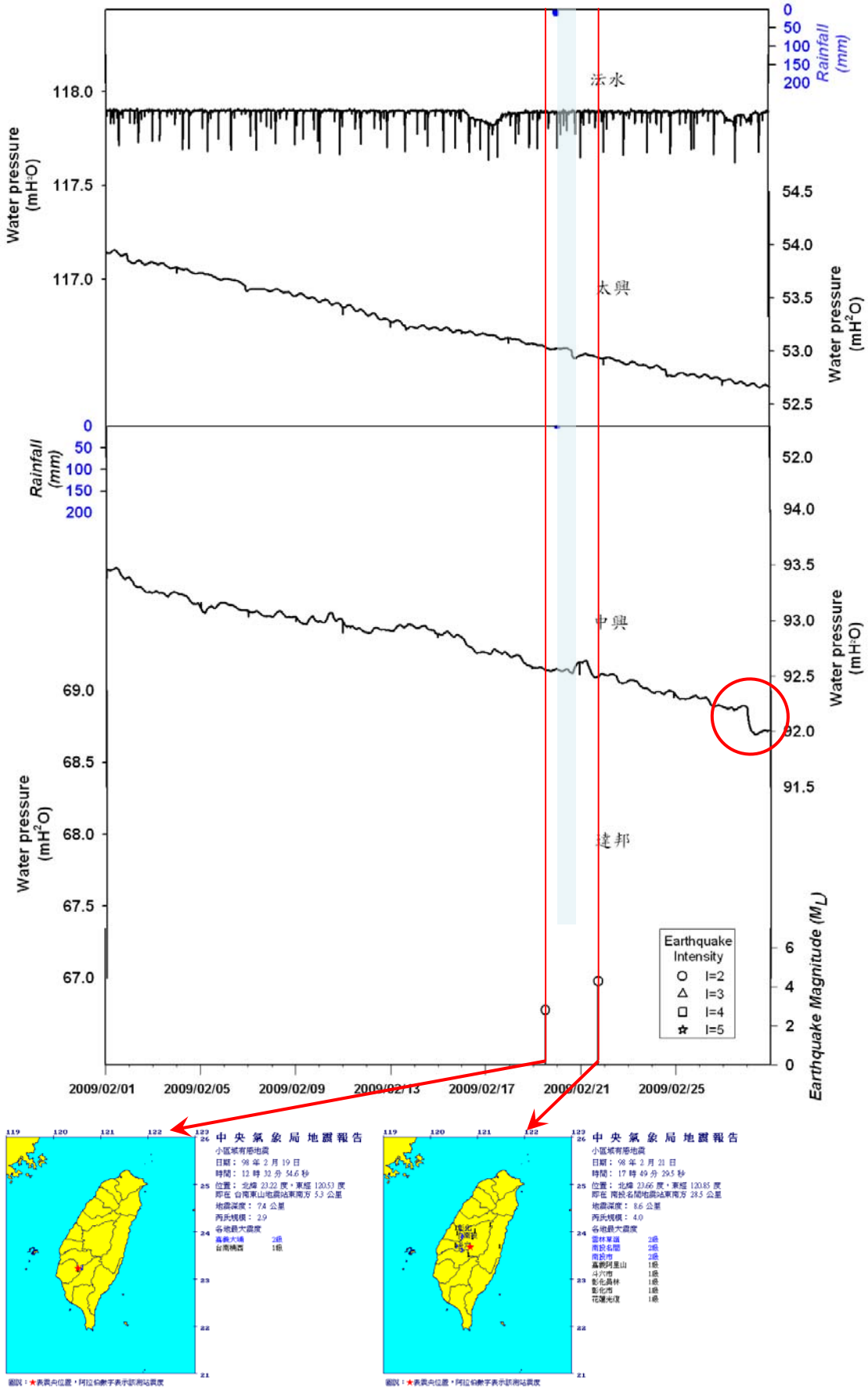


圖4-40：嘉義地區2009年2月法水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

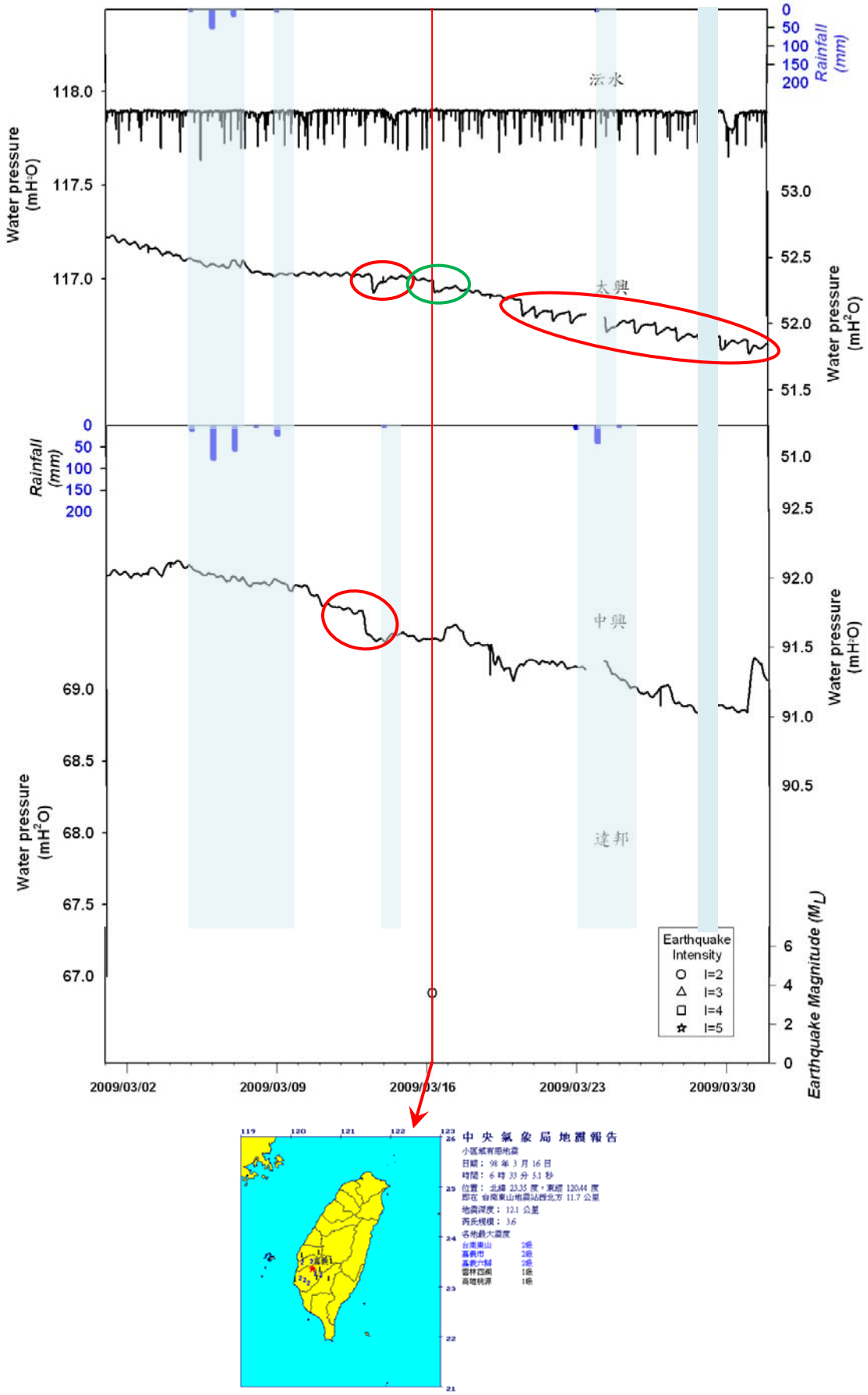


圖4-41：嘉義地區2009年3月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

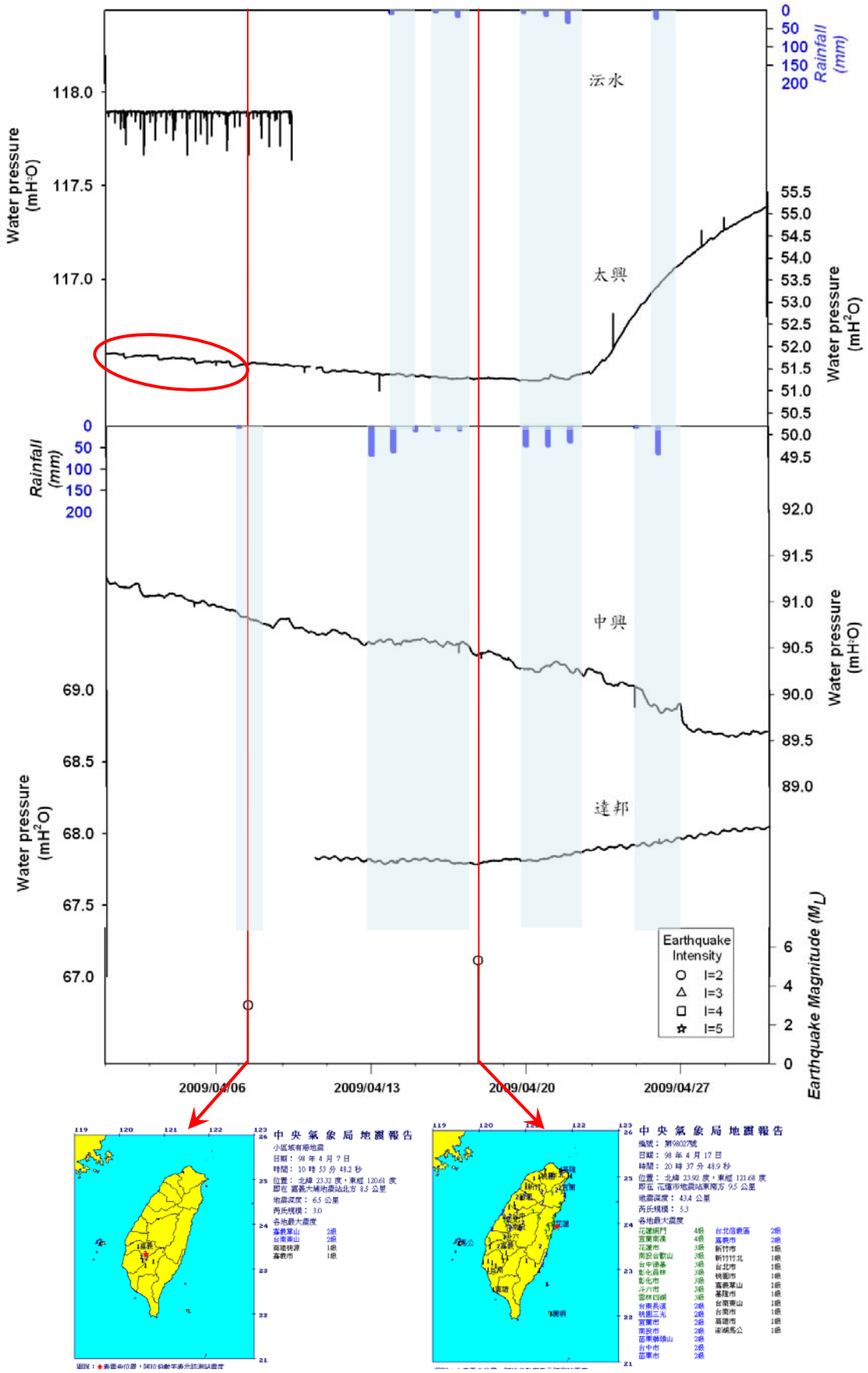


圖4-42：嘉義地區2009年4月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

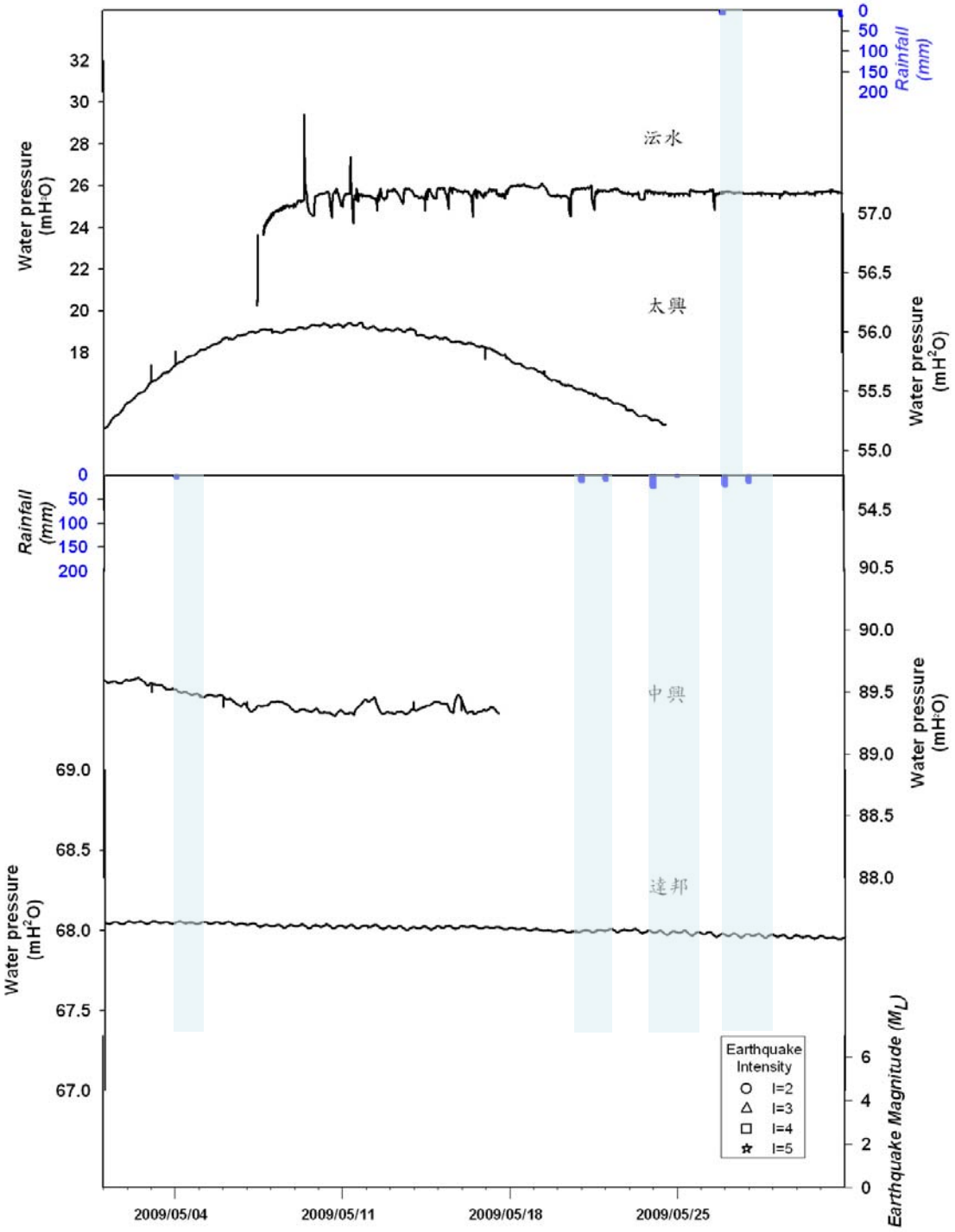


圖4-43：嘉義地區2009年5月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

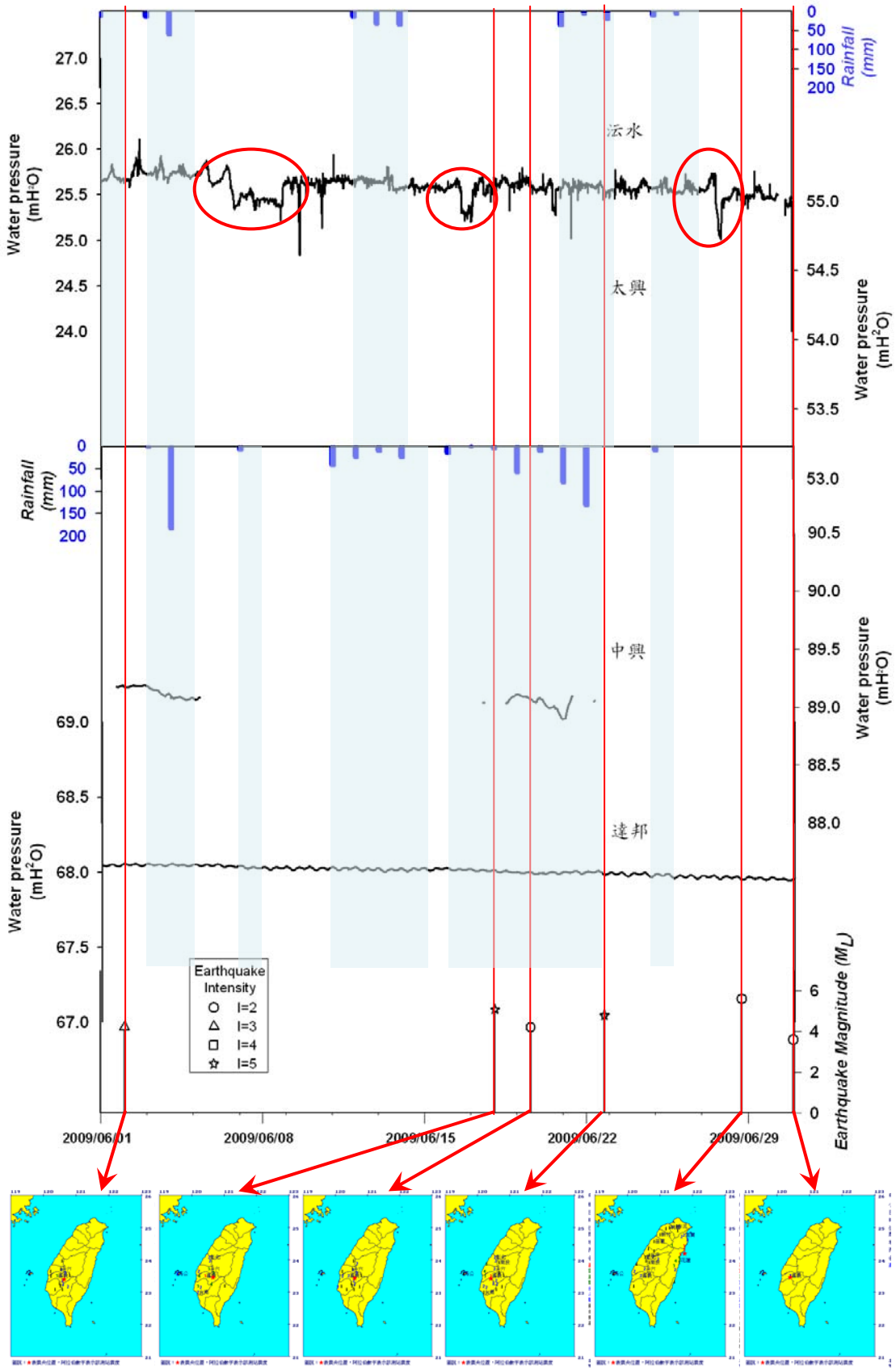


圖4-44：嘉義地區2009年6月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

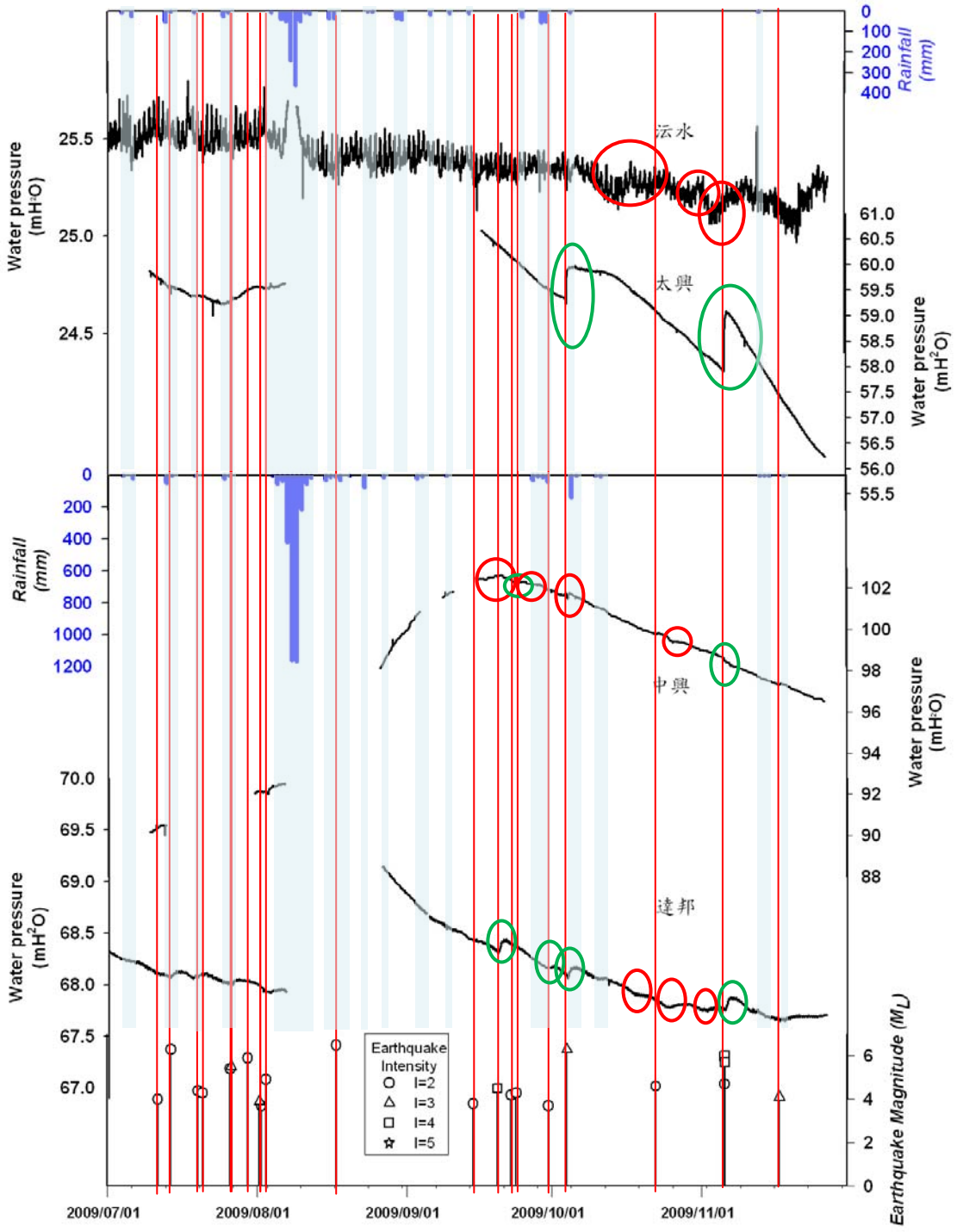


圖4-45：嘉義地區2009年7月至11月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

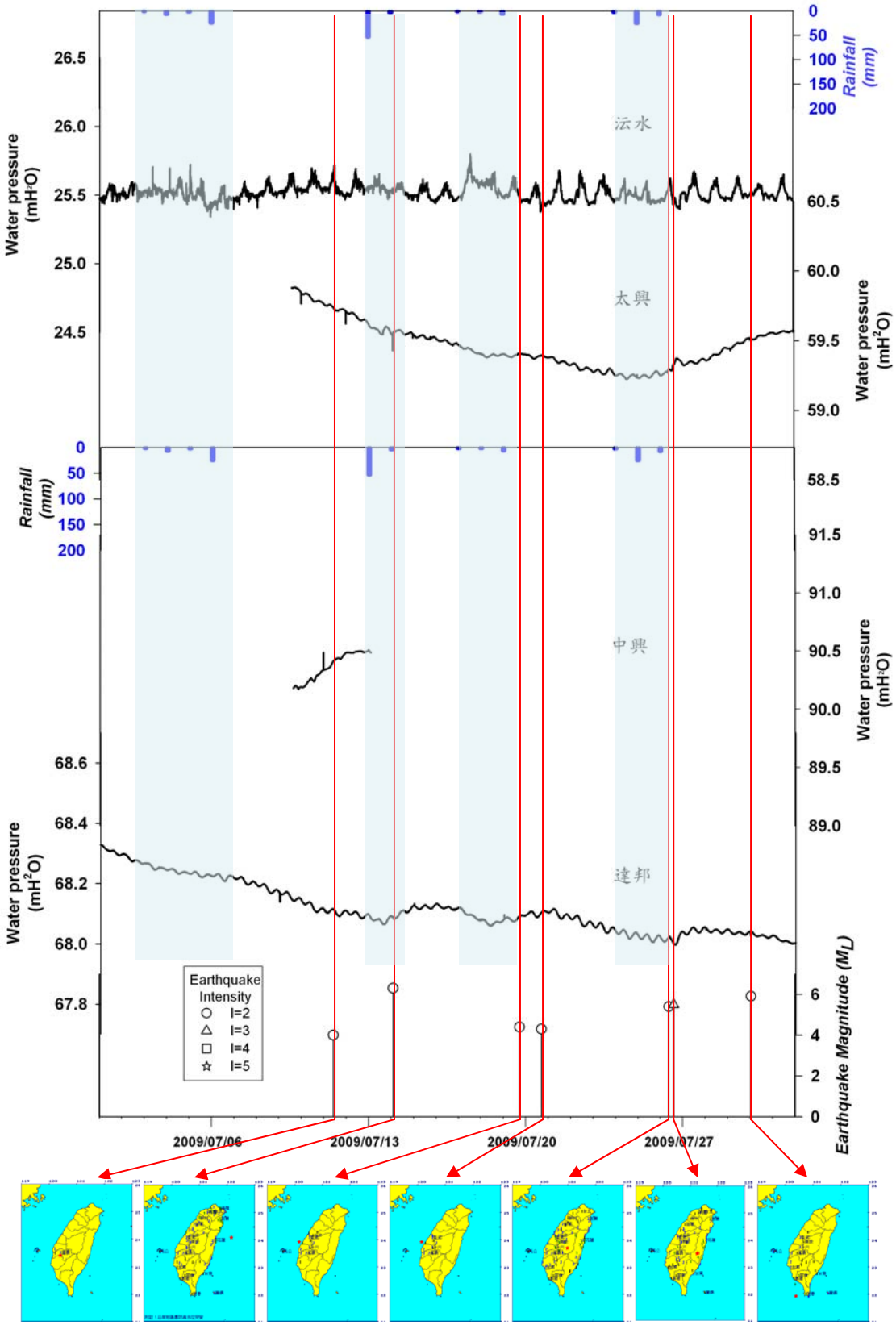


圖4-46：嘉義地區2009年7月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

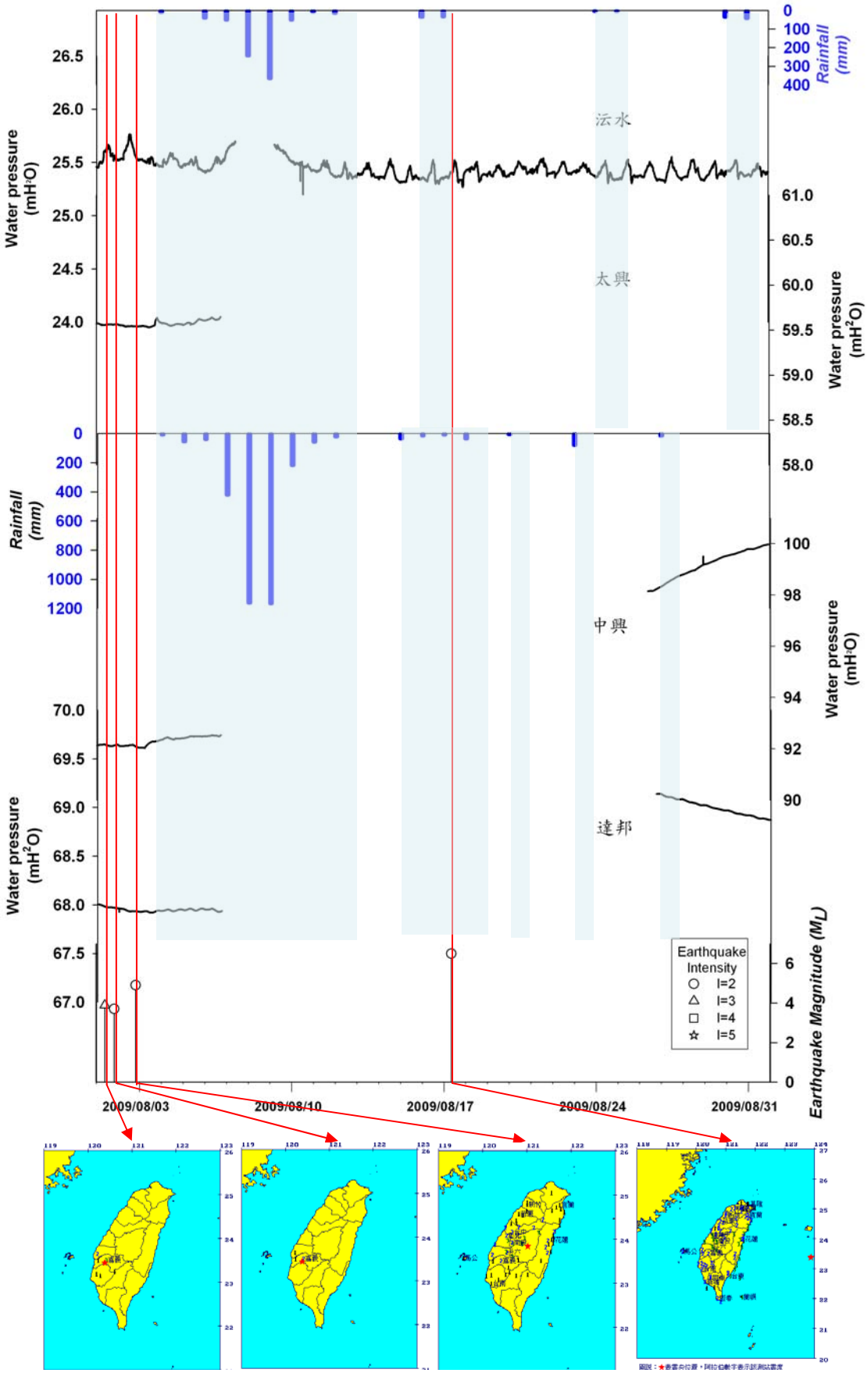


圖4-47：嘉義地區2009年8月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

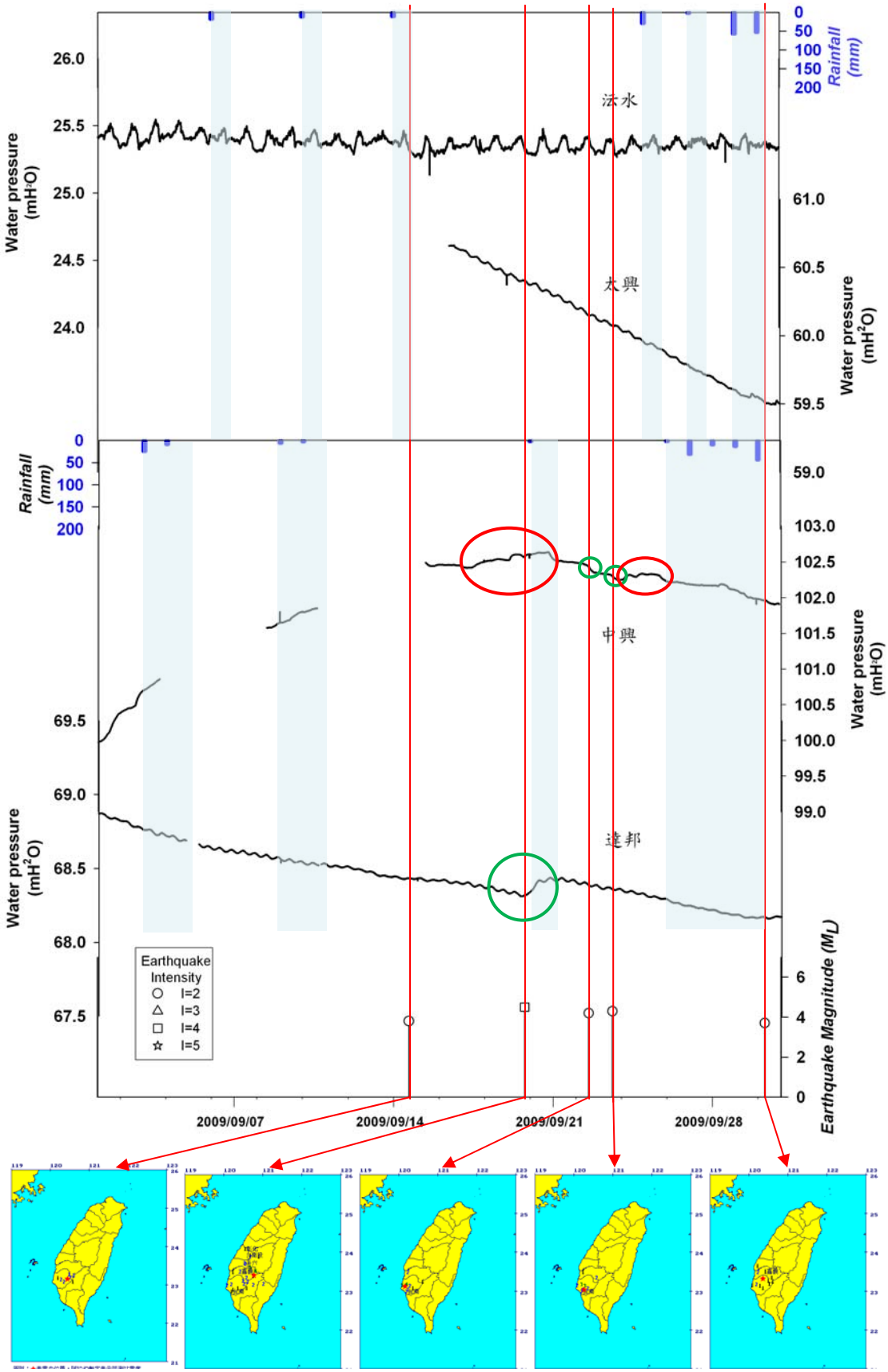


圖4-48：嘉義地區2009年9月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

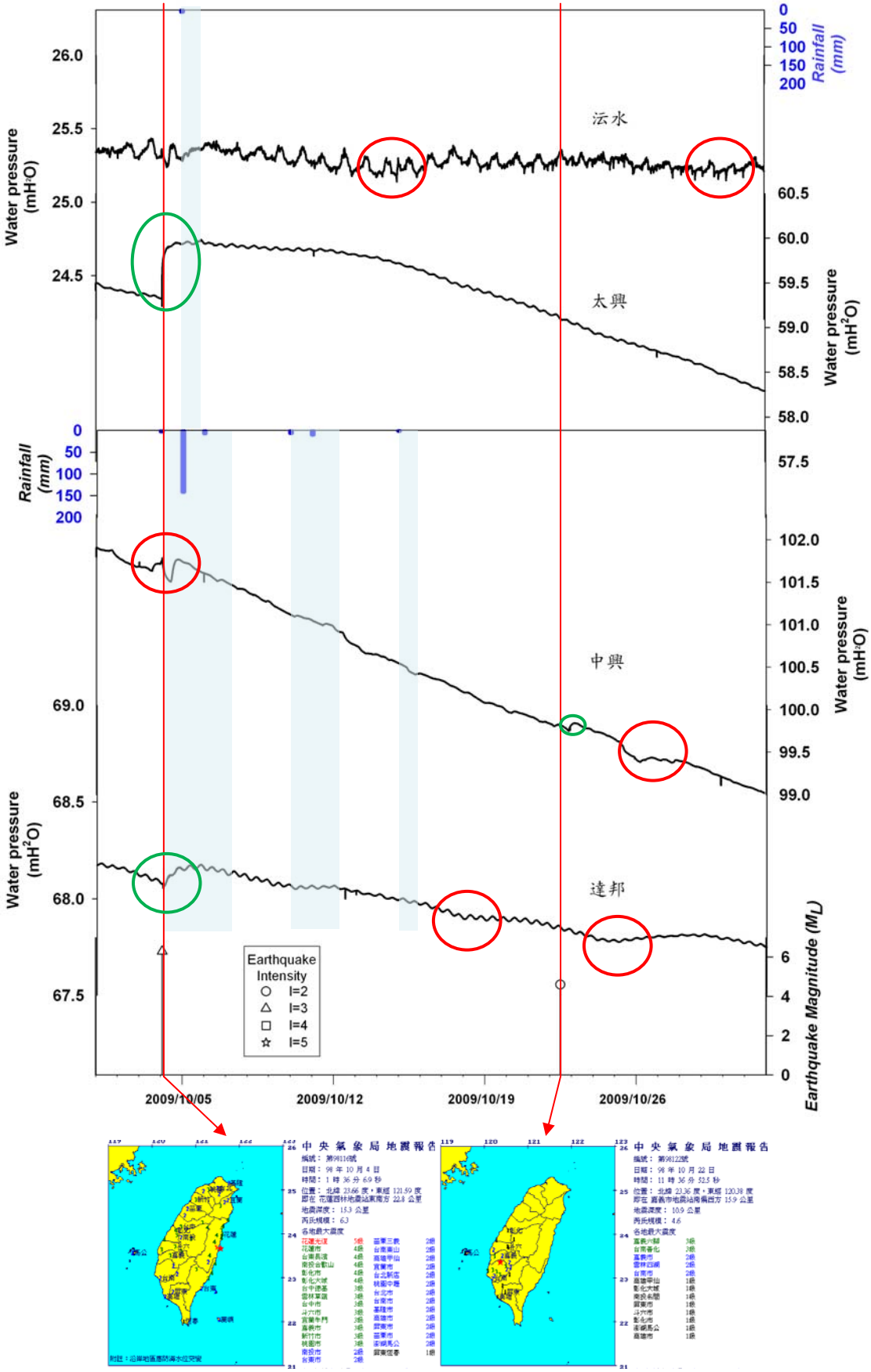


圖4-49：嘉義地區2009年10月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

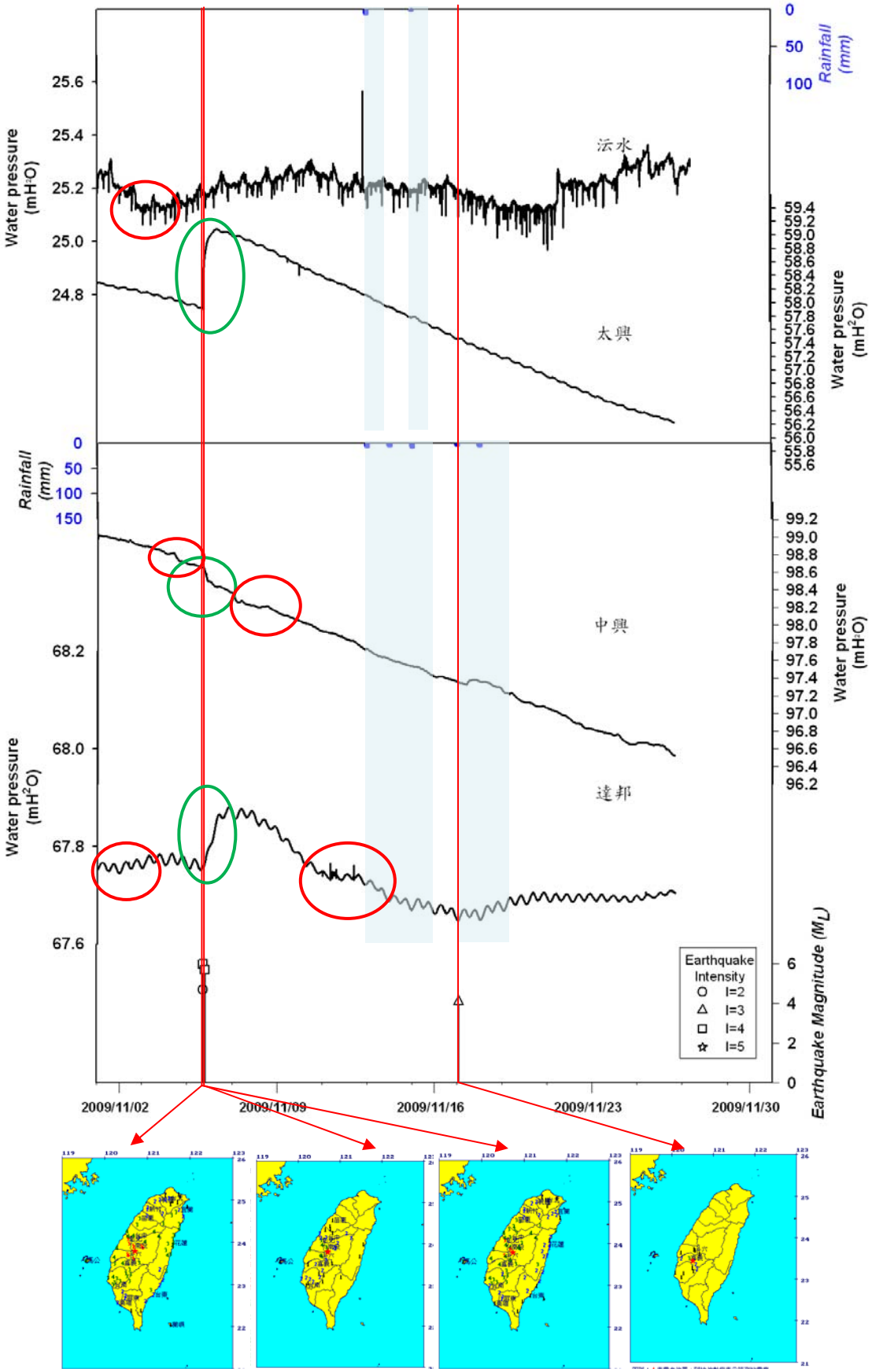


圖4-50：嘉義地區2009年11月沄水、太興、中興與達邦觀測井水壓與地震及降雨之對比圖。

4-3 結論

4-3.1 震前地下水壓變化匯整

2008年11月至2009年11月，台北、新竹以及嘉義地區均觀測到多次地下水壓震前變化（表4-3）。將本年度觀測到震前水壓異常變化之震央分布，繪於圖4-51至4-56。

台北地區明德觀測井觀測到2008年12月30日，蘇澳外海地震之震前反應，並於2009年2月也觀測到台北新店地震之前兆;2009年10月明德及錦和觀測井均記錄10月20日台北地震之震前水壓變化。將地震震央位置繪於圖4-51，並配合觀測井與地震震央間的震央距以及地震規模,可得到使台北地觀測井水壓出現異常變化之地震，其規模之下限值以及對應之空間分布範圍（圖4-51）：距台北觀測井21公里以上，地震規模必須達2.8以上，才可能出現震前異常水壓變化；距台北觀測井38公里以上，地震規模必須達3.0以上，才可能出現震前異常水壓變化；震央若距觀測井101公里以上地震，芮氏規模必須達5.1以上，地下水壓才會出現異常變化。

新竹地區新樂觀測井，除了記錄2008年12月台灣東部三起地震之震前異常外，也記錄了2009年2月之新竹地震震前水壓變化，以及11月5日南投地震之震前異常。配合觀測井與地震震央間的震央距以及地震規模（圖4-52），可知：距新樂井10公里以上，地震規模必須達3.5以上，才可能出現震前異常水壓變化；距新樂井110公里以上之地震，其規模必須達5.1以上，才可能出現震前異常水壓變化。

嘉義地區沄水觀測井出現之震前水壓變化之地震包括2009年6月之嘉義地震，以及11月之南投地震。配合震央距及地震規模（圖4-53），可知：距沄水井16公里以上，地震規模必須達5.0以上，才可能出現震前異常水壓變化；距沄水井49公里以上，地震規模必須達6.0以上，才可能出現震前異常水壓變化。然而相較於其他觀測井，沄水井所能觀測之空間分布較小，應持續進行觀測，以了解該井記錄到震前水壓變化之空間範圍與能力。太興井今年度僅觀測到南投、嘉義及台南地區之地震震前反應；達邦井僅記錄到台南、南投與嘉義地震震前反應。太興井與達邦井應持續進行觀測，以得知這兩口觀測井反應地震前兆之能力。中興井除了觀測到南投、嘉義、台南及高雄地震之震前水壓變化外，也記錄到10月4日花蓮外海地震之震前水壓變化。配合震央距及地震規模資料（圖4-55），可知：距中興井33公里以上，地震規模必須達2.9以上，才可能出現震前水壓異常變化；距中興井39公里以上，地震規模必須達3.7以上，才可能出現震前水壓異常變化；距中興井67公里以上，地震規模必須達4.2以上，才可能出現震前水壓異常變化；距中興井129公里以上，地震規模必須達5.1以上，才可能出現震前

水壓異常變化。

表4-3：本年度發現地下水壓震前異常之地震資料

觀測井	地震發生時間	震央位置		深度	芮氏規模	當地震度	震央距	水位異常	變化時間
明德	2008年12月30日 9時31分27秒	N 24.70° E 122.34°	蘇澳 外海	95.4 km	5.1	2級	101 km	上升	7日前
	2009年2月4日 8時31分49秒	N 24.88° E 121.57°	台北 新店	7.5 km	2.8	2級	21 km	持平	24日前
	2009年10月22日 13時40分42秒	N 25.16° E 121.61°	台北	6.0 km	3.4	2級	38 km	上升	1日前
	2009年10月22日 13時54分6秒	N 25.16° E 121.59°	台北	1.9 km	3.0	2級	36 km		
	2009年11月15日 22時47分49秒	N 24.94° E 122.19°	宜蘭 外海	126.9 km	5.6	2級	83 km	持平	9日前
錦和	2009年10月22日 13時40分42秒	N 25.16° E 121.61°	台北	6.0 km	3.4	2級	22 km	上升	1日前
	2009年10月22日 13時54分6秒	N 25.16° E 121.59°	台北	1.9 km	3.0	2級	21 km		
	2009年11月15日 22時47分49秒	N 24.94° E 122.19°	宜蘭 外海	126.9 km	5.6	2級	77 km	持平	9日前
新樂	2008年12月2日 11時16分54秒	N 23.34° E 121.49°	台東 長濱	31.7 km	5.7	2級	156 km	上升	16日前
	2008年12月8日 5時18分37秒	N 23.85° E 122.20°	花蓮 外海	35.1 km	5.9	2級	137 km	上升	22日前
	2008年12月30日 9時31分27秒	N 24.70° E 122.34°	蘇澳 外海	95.4 km	5.1	2級	110 km	上升	14日前
	2009年2月25日 2時37分35秒	N 24.66° E 121.19°	新竹	6.9 km	3.5	1級	10 km	上升	12日前
	2009年2月25日 2時38分49秒	N 24.66° E 121.20°	新竹	7.6 km	3.4	1級	9.5 km		
	2009年11月5日 17時32分56秒	N 23.79° E 120.72°	南投	19.3 km	6.0	2級	117 km	上升	4日前
	2009年11月5日 19時34分20秒	N 23.78° E 120.74°	南投	21.9 km	5.7	2級	117 km		
沄水	2009年6月18日 1時17分45秒	N 23.44° E 120.67°	嘉義	6.6 km	5.1	5級	16 km	升降 升降	10日前 2日前
	2009年6月22日 18時48分26秒	N 23.41° E 120.42°	嘉義	7.7 km	4.8	5級	12 km	升降 升降	14日前 6日前
	2009年6月30日 23時6分17秒	N 23.45° E 120.42°	嘉義	9.2 km	3.6	2級	14 km	升降	3日前
	2009年11月5日 17時32分56秒	N 23.79° E 120.72°	南投	19.3 km	6.0	4級	49 km	上升 上升	7日前 1日前
	2009年11月5日 19時38分6秒	N 23.79° E 120.72°	南投	22.6 km	4.7	2級	49 km		
	2009年11月5日 19時34分20秒	N 23.78° E 120.74°	南投	21.9 km	5.7	4級	49 km		

表4-3(續) ：本年度發現地下水壓震前異常之地震資料。

觀測井	地震發生時間	震央位置		深度	芮氏規模	當地震度	震央距	水位異常	變化時間
太興	2009年2月19日 12時32分54秒	N 23.22° E 120.53°	台南	7.4 km	2.9	2級	37 km	持平	27日前
	2009年2月21日 17時49分25秒	N 23.66° E 120.85°	南投	8.6 km	4.0	2級	26 km	持平	29日前
	2009年3月16日 6時33分5秒	N 23.35° E 120.44°	台南	12.1 km	3.6	2級	29 km	下降 下降	3日前 1日前
	2009年4月7日 10時53分48秒	N 23.32° E 120.61°	嘉義	6.5 km	3.0	2級	25 km	變化 增大	19日前
中興	2008年11月18日 10時25分2秒	N 23.53° E 120.58°	嘉義	17.0 km	4.0	3級	13 km	下降	4日前
	2008年11月29日 3時17分45秒	N 23.54° E 120.41°	嘉義	4.9 km	3.1	2級	30 km	上升	7日前
	2008年12月23日 8時4分43秒	N 22.95° E 120.55°	高雄	17.1 km	5.3	3級	60 km	上升 上升	11日前 3日前
	2009年1月4日 6時4分35秒	N 24.14° E 121.73°	花蓮 外海	7.5 km	5.1	2級	129 km	上升	8日前
	2009年2月19日 12時32分54秒	N 23.22° E 120.53°	台南	7.4 km	2.9	2級	33 km	升降	36日前
	2009年3月16日 6時33分5秒	N 23.35° E 120.44°	台南	12.1 km	3.6	2級	30 km	下降 下降	17日前 4日前
	2009年9月19日 17時57分30秒	N 23.41° E 120.79°	阿里山	9.4 km	4.5	4級	12 km	上升 上升 下降	2日前 17小時前 2小時前
	2009年9月22日 13時27分41秒	N 23.12° E 120.17°	台南	15.8 km	4.2	2級	67 km	下降	2日前
	2009年9月23日 14時27分18秒	N 23.03° E 120.26°	台南	21.9 km	4.3	2級	67 km		
	2009年9月30日 6時56分21秒	N 23.32° E 120.36°	台南	11.4 km	3.7	2級	39 km	上升	5日前
	2009年10月4日 1時36分6秒	N 23.66° E 121.59°	花蓮 外海	15.3 km	6.3	3級	93 km	上升	12小時前
	2009年11月5日 17時32分56秒	N 23.79° E 120.72°	南投	19.3 km	6.0	4級	35 km	持平 升高	10日前 1日前
	2009年11月5日 19時38分6秒	N 23.79° E 120.72°	南投	22.6 km	4.7	2級	35 km		
	2009年11月5日 19時34分20秒	N 23.78° E 120.74°	南投	21.9 km	5.7	4級	34 km		
	2009年11月5日 1時49分15秒	N 23.43° E 120.52°	嘉義	8.8 km	4.1	3級	19 km	下降	10日前
達邦	2009年10月22日 11時36分52秒	N 23.36° E 120.38°	台南	10.9 km	4.6	2級	43 km	持平	4日前
	2009年11月5日 17時32分56秒	N 23.79° E 120.72°	南投	19.3 km	6.0	4級	40 km	上升 上升	11日前 3日前
	2009年11月5日 19時38分6秒	N 23.79° E 120.72°	南投	22.6 km	4.7	2級	40 km		
	2009年11月5日 19時34分20秒	N 23.78° E 120.74°	南投	21.9 km	5.7	4級	39 km		
	2009年11月5日 1時49分15秒	N 23.43° E 120.52°	嘉義	8.8 km	4.1	3級	28 km	持平	6日前

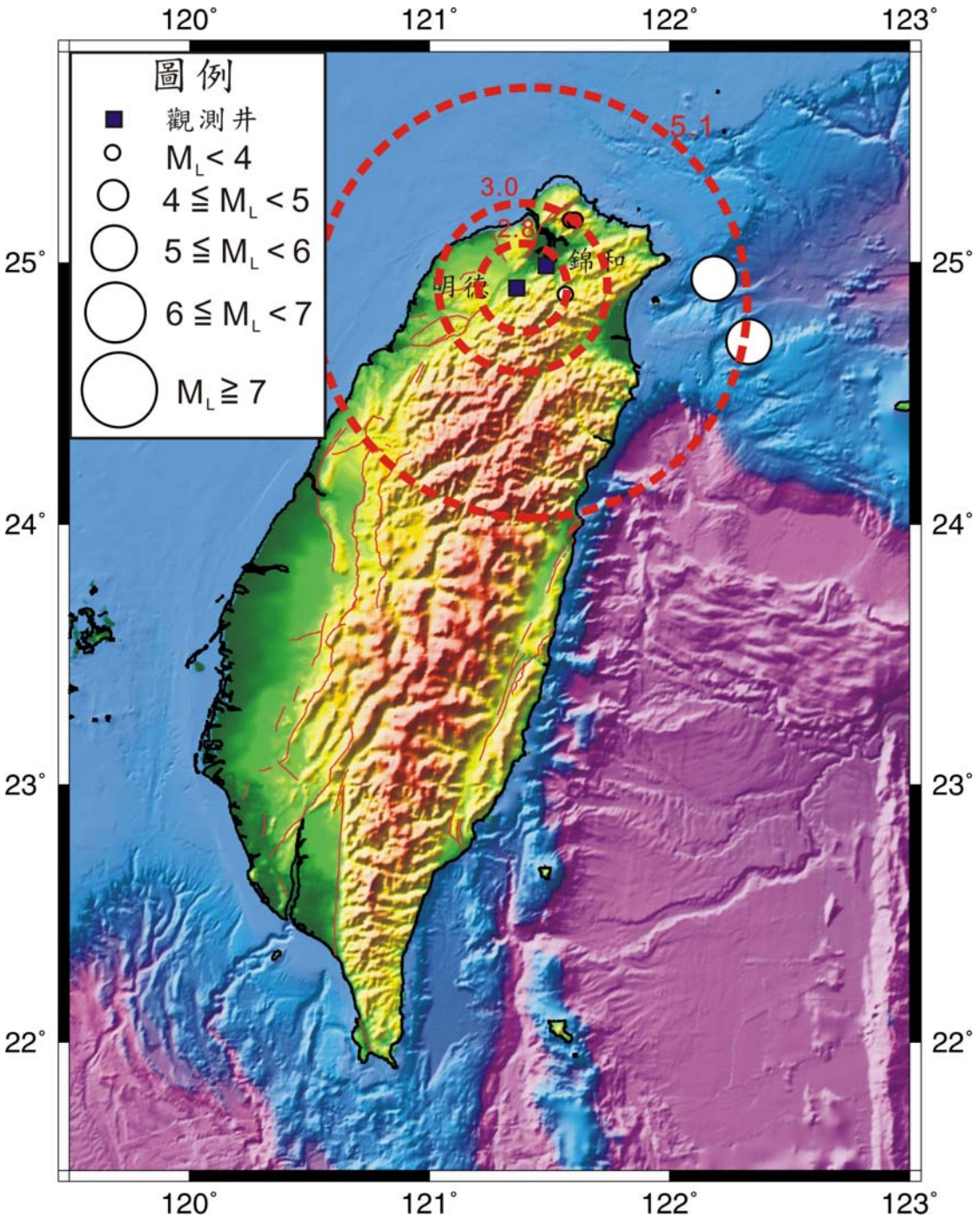


圖 4-51： 台北地區明德中學與錦和國小觀測井，本年度有震前地下水壓異常升降之地震震央分布圖。圖中圓圈表示地下水壓具震前反應之地震，其中紅色圓圈代表接近觀測井，且地下水壓出現異常變化後十天內發生的地震震央。紅色粗虛線圓圈表示能使觀測井地下水壓出現震前異常變化之地震，其規模之下限值分布範圍；數值表示該圓圈所代表之地震規模下限值。

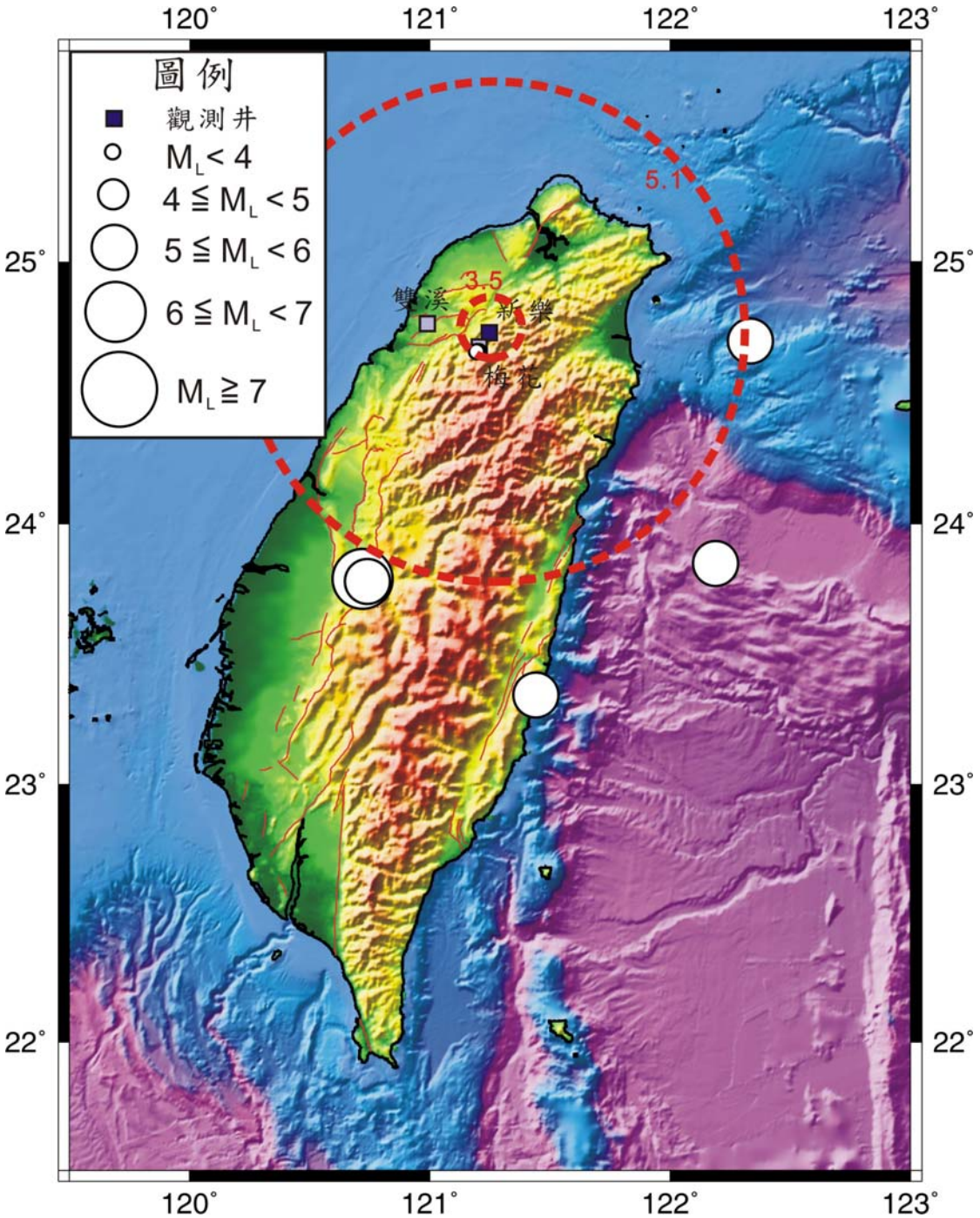


圖 4-52：新竹地區新樂國小觀測井，本年度有震前地下水壓異常升降之地震震央分布圖。圖中圓圈表示地下水壓具震前反應之地震，其中紅色圓圈代表接近觀測井，且地下水壓出現異常變化後十天內發生的地震震央。紅色粗虛線圓圈表示能使觀測井地下水壓出現震前異常變化之地震，其規模之下限值分布範圍；數值表示該圓圈所代表之地震規模下限值。

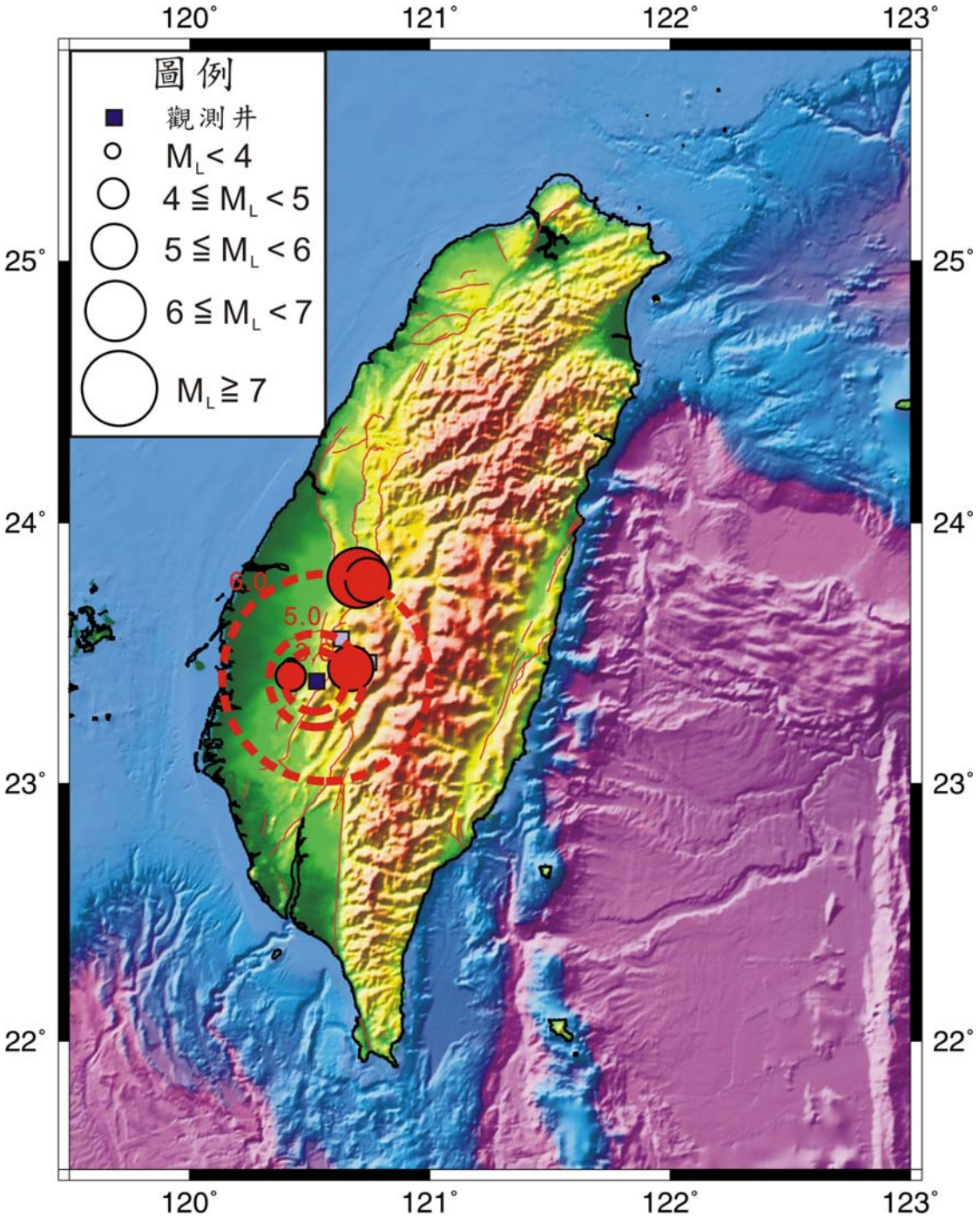


圖 4-53：嘉義地區沄水國小觀測井，本年度有震前地下水壓異常升降之地震震央分布圖。圖中圓圈表示地下水壓具震前反應之地震，其中紅色圓圈代表接近觀測井，且地下水壓出現異常變化後十天內發生的地震震央。紅色粗虛線圓圈表示能使觀測井地下水壓出現震前異常變化之地震，其規模之下限值分布範圍；數值表示該圓圈所代表之地震規模下限值。

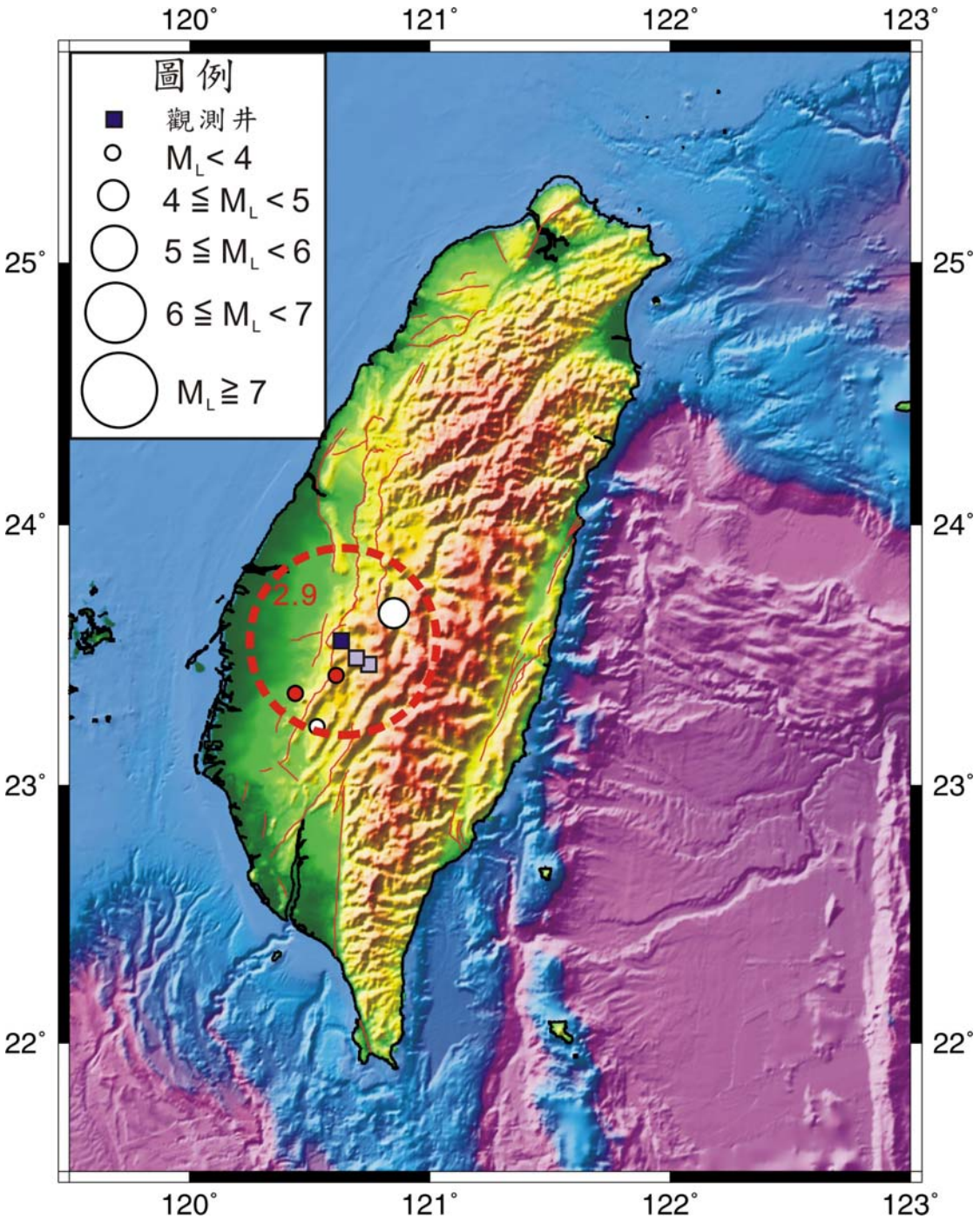


圖 4-54：嘉義地區太興國小觀測井，本年度有震前地下水壓異常升降之地震震央分布圖。圖中圓圈表示地下水壓具震前反應之地震，其中紅色圓圈代表接近觀測井，且地下水壓出現異常變化後十天內發生的地震震央。紅色粗虛線圓圈表示能使觀測井地下水壓出現震前異常變化之地震，其規模之下限值分布範圍；數值表示該圓圈所代表之地震規模下限值。

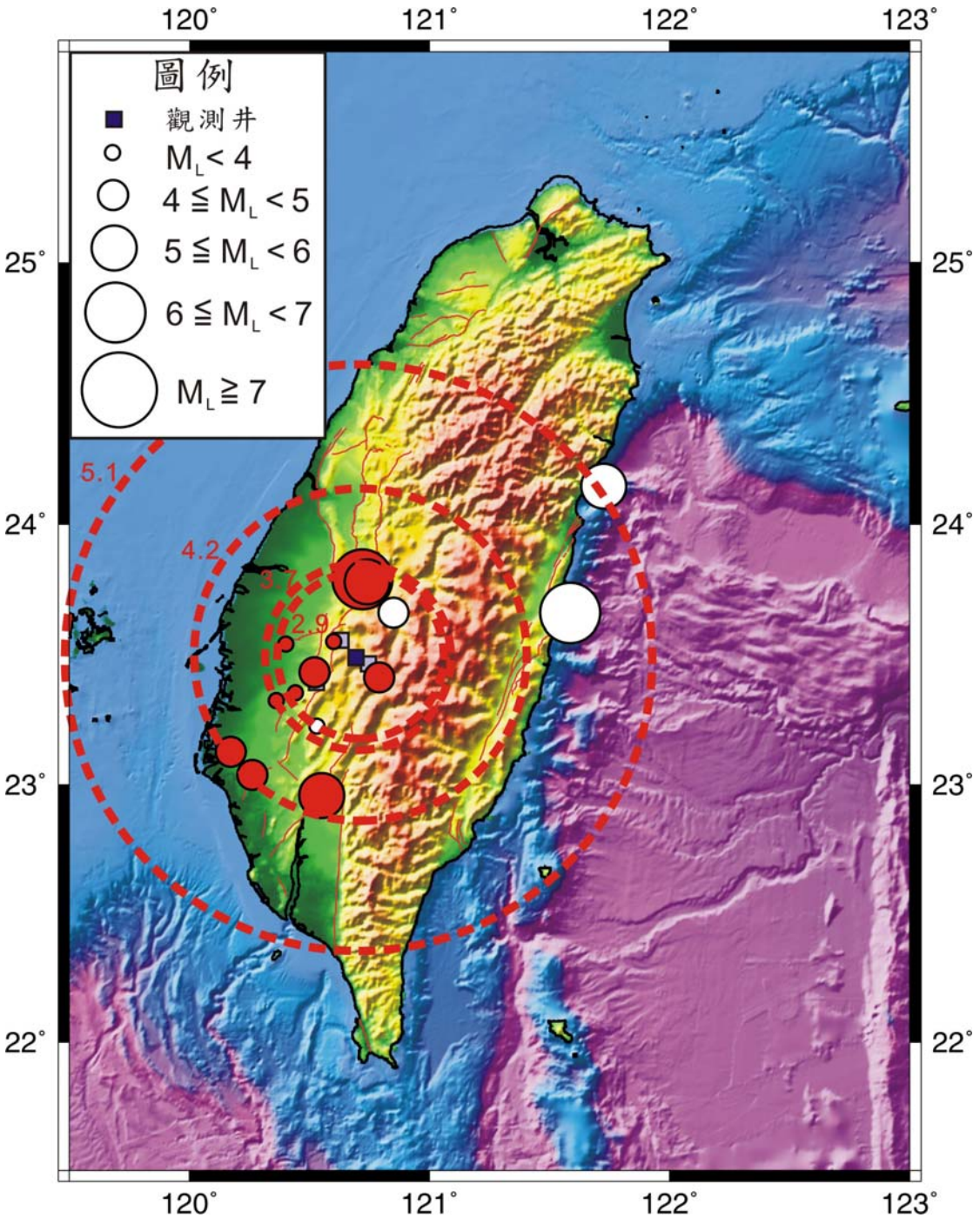


圖 4-55：嘉義地區中興國小觀測井，本年度有震前地下水壓異常升降之地震震央分布圖。圖中圓圈表示地下水壓具震前反應之地震，其中紅色圓圈代表接近觀測井，且地下水壓出現異常變化後十天內發生的地震震央。紅色粗虛線圓圈表示能使觀測井地下水壓出現震前異常變化之地震，其規模之下限值分布範圍；數值表示該圓圈所代表之地震規模下限值。

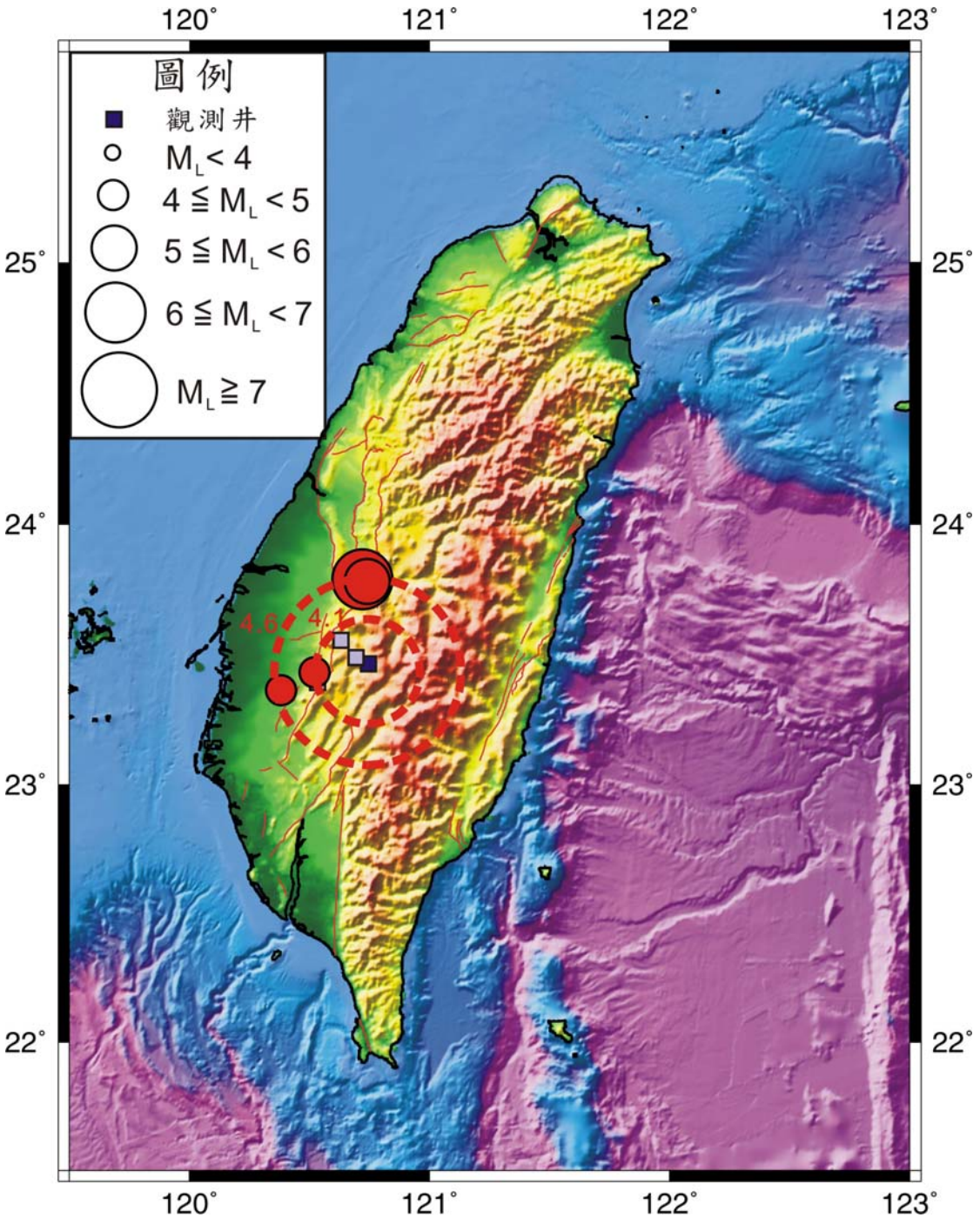


圖 4-56：嘉義地區達邦國小觀測井，本年度有震前地下水壓異常升降之地震震央分布圖。圖中圓圈表示地下水壓具震前反應之地震，其中紅色圓圈代表接近觀測井，且地下水壓出現異常變化後十天內發生的地震震央。紅色粗虛線圓圈表示能使觀測井地下水壓出現震前異常變化之地震，其規模之下限值分布範圍；數值表示該圓圈所代表之地震規模下限值。

伍、水氡觀測

5-1 前言及研究目的

氡-222 是鈾-238 蛻變系列中的一個放射性核種，為地層中自然存在之放射性示蹤劑，近年來已有相當多研究顯示出地下水氡濃度異常變化可做為捕捉地震前兆示蹤劑（Hauksson,1981; Igaraghi et al., 1993, 1995; Liu et al., 1985; Noguchi and Wakita, 1977; Roeloffs, 1998; Silver and Wakita, 1996; Teng, 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氡-222，氡氣溶解進入地下水。地下水氡濃度異常變化監測可用來做為地震前兆預測方法。長時間監測地下水氡濃度監測，可由地下水氡及其他溶解氣體變化來判斷地殼是否有異常活動產生，預警災害性地震來臨的前兆。

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; 2009a；2009b；2009c）。2003 年 12 月 10 日地震規模 M_W 6.8 成功地震來臨前，成功在安通溫泉水氡監測站捕捉到震前地下水氡濃度異常下降之地震前兆。同時又在 2006 年 4 月 1 日及 2008 年 2 月 17 日發生地震規模 M_W 6.1 及 M_W 5.0，地震前皆有觀測到地下水氡濃度異常下降之地震前兆（圖 5-1），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5-2），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，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，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。未來四年將在台灣東部花東縱谷南段鄰近安通溫泉區建置地下水氡即時監測站（安通站），並增加地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）連續監測，達到捕捉地震前兆及驗證物理化學機制之目標。另外，也將在台灣西南部選擇適當地質條件站址，建立地下水水氡及地下水溶解氣體連續監測站。

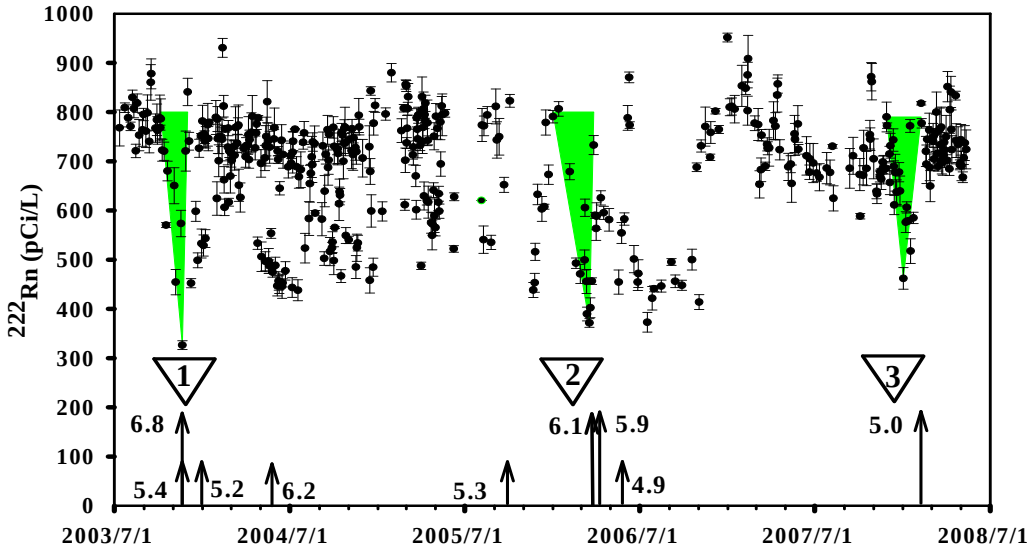


圖 5-1：台灣東部安通溫泉吉祥水氡濃度監測站 2003 年至 2008 年之水氡濃度監測。

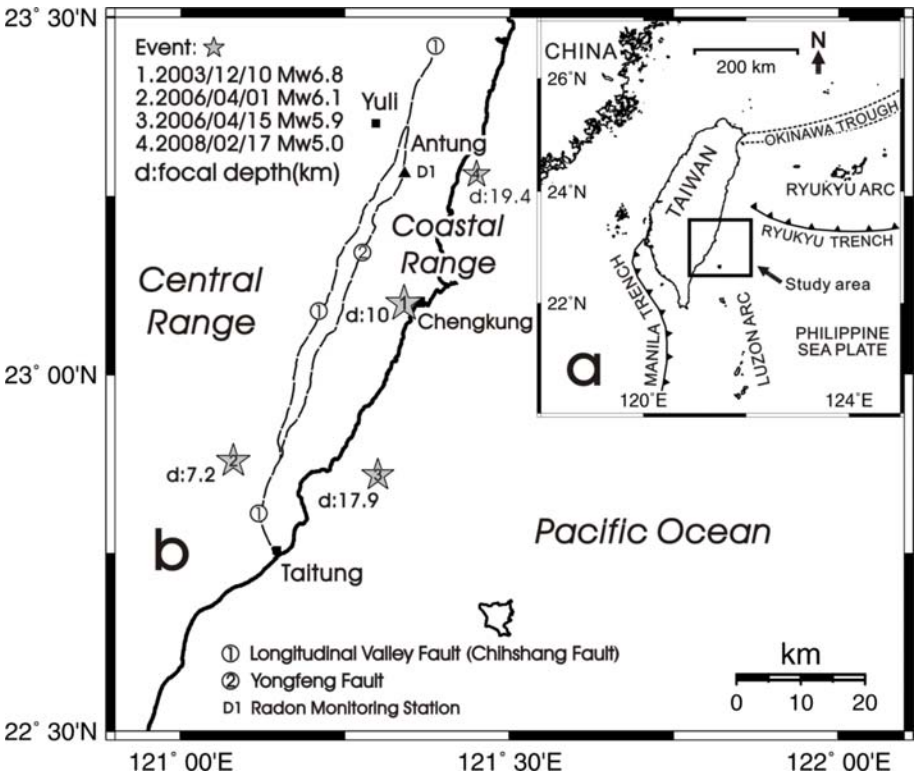


圖 5-2：圖中為安通溫泉區附近 2003 年 12 月 10 日、2006 年 4 月 1 日及 2008 年 2 月 17 日發生地震規模 MW 6.8、MW 6.1 及 MW 5.0 震央位置。

5-2 文獻探討

由 Scholz et al.（1973）的體積膨脹模式（圖 5-3）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。

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 5-4 為 Rn-222 自鈾-238 的衰變鏈。

Rn-222 是鈾-238 蛻變系列中的一個放射性核種，為地層中自然存在之放射性示蹤劑，近年來已有相當多研究顯示出地下水氡濃度異常變化可做為捕捉地震前兆示蹤劑（Hauksson,1981; Igaraghi et al., 1993, 1995; Liu et al., 1985; Noguchi and Wakita, 1977; Roeloffs, 1999; Silver and Wakita, 1996; Teng, 1980; Wakita et al., 1980, 1991.），地殼中所含天然放射性物質(鈾)在衰變過程中會產生放射性核種 Rn-222，氡氣溶解進入地下水。地下水氡濃度異常變化監

測可用來做為地震前兆預測方法。長時間監測地下水氡濃度監測，可由地下水氡及其他溶解氣體變化來判斷地殼是否有異常活動產生，預警災害性地震來臨的前兆。

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

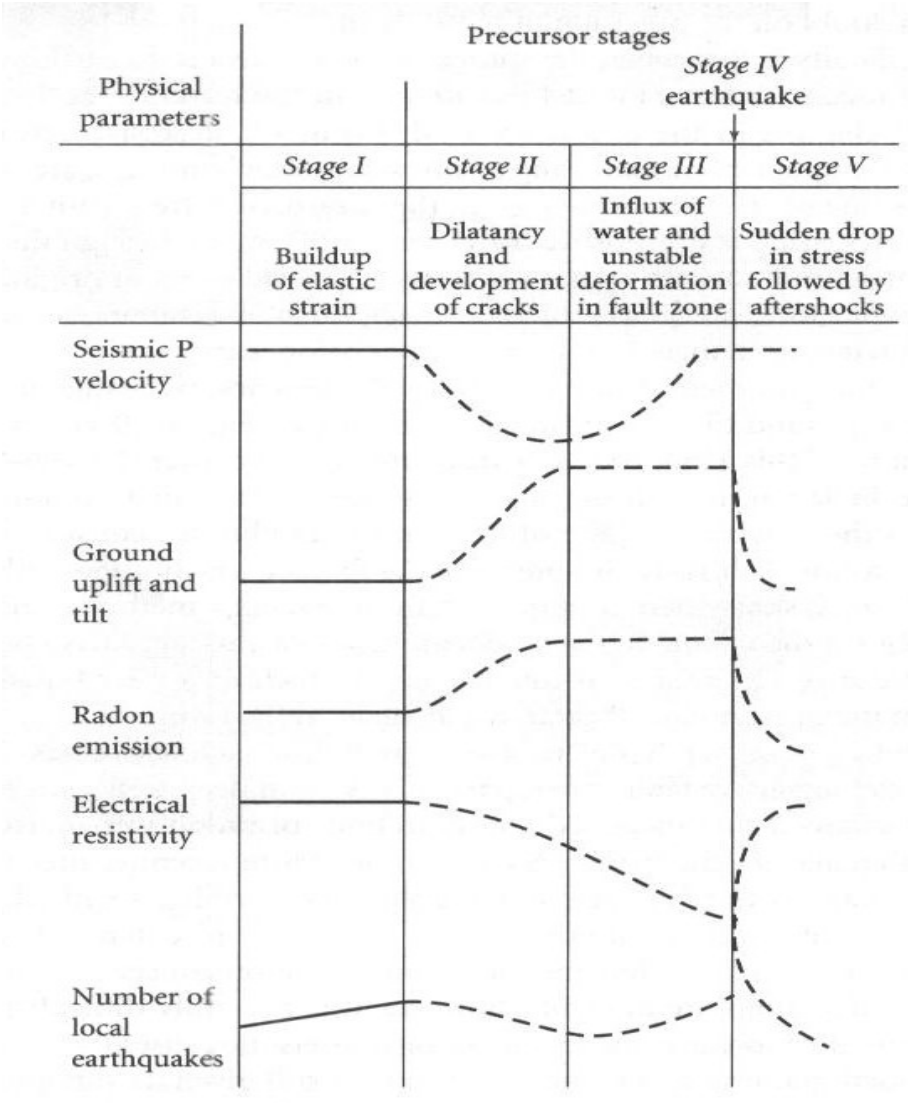


圖 5-3：體積膨脹模式（Scholz et al., 1973）。

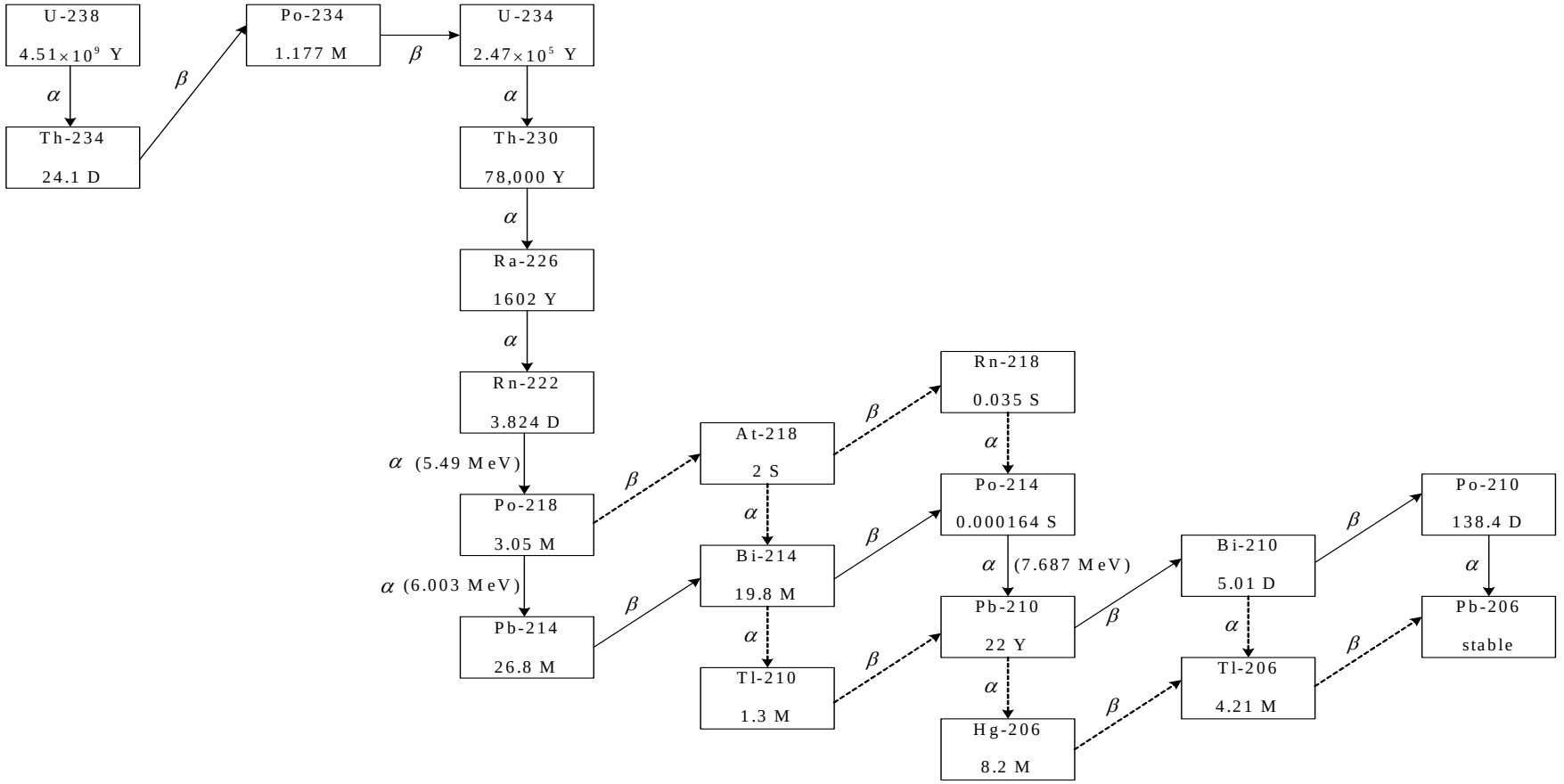


圖 5-4：Rn-222 自 U-238 的衰變鏈（實線指 Rn-222 衰變至 Pb-210 主要途徑）。

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; 2009a；2009b；2009c）也指出，可由地下水水氡濃度數據變化來判斷地殼是否有異常活動產生，作為地震來臨時前兆的一個判斷依據。

Kuo et al.（2006a） 提出所監測到東台灣2003年成功地震前兆之現象，可由安通溫泉地區地質情況及地下水氡在氣相液相的相行為關係來解釋探討。安通溫泉區地質構造是由脆性的玄武岩及砂岩所組成，外部包圍佔優勢的八裏灣層泥岩。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5-5）。

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。

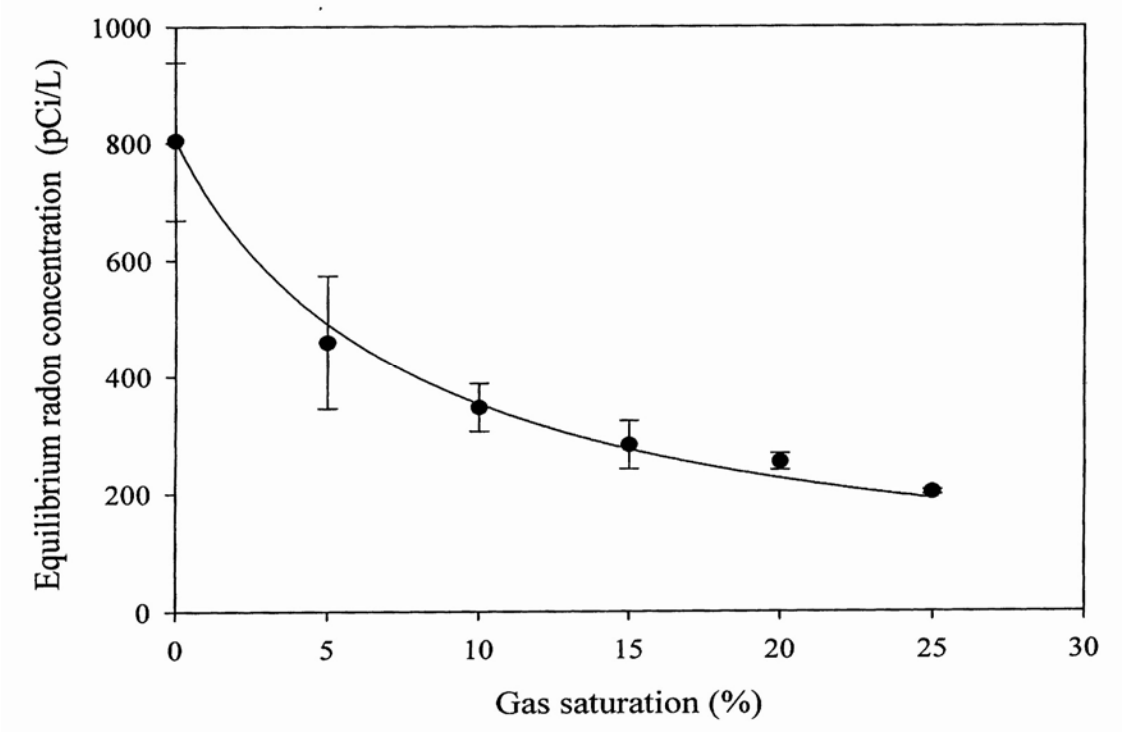


圖 5-5：在 60℃時不同比例氣體飽和度及安通溫泉吉祥站地下水水氡濃度變化圖（Kuo et al., 2006a）。

5-3 研究區域地質背景

5-3.1 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 5-6），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; 2009a；2009b；2009c）。

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 6.2 及 M 7.0 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, 2005）。而 2003 年 12 月 10 日早晨 4:38 在台東縣成功地區發生地震矩規模 M_W 6.8 強烈地震，為自從 1951 年以來成功地區最強烈的地震。

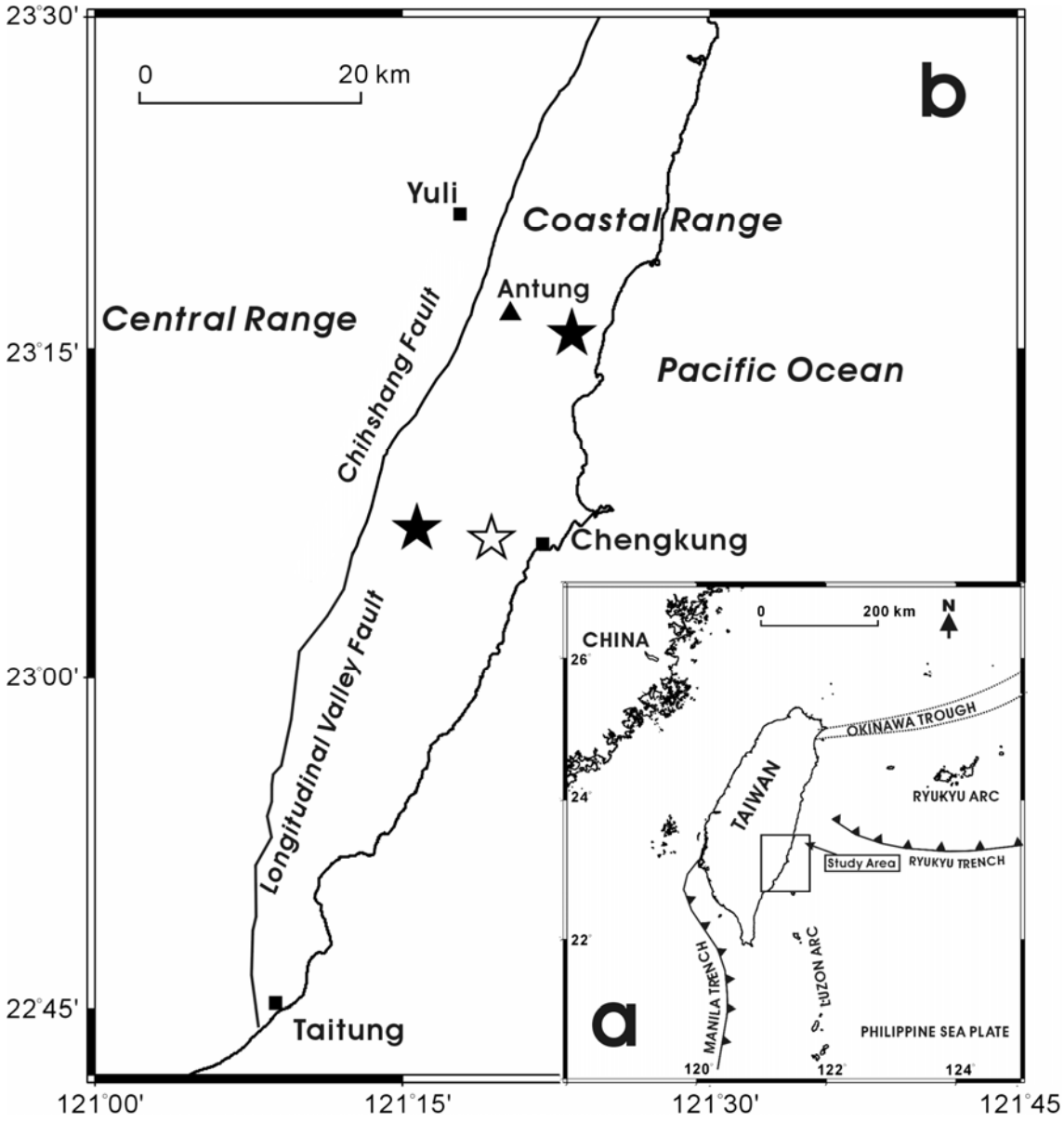


圖 5-6：安通地下水水氡及溶解氣體監測站位置圖（空心星號：為 2003 年主震；實心星號: 為 1951 年主震；實心三角形: 為安通站）。

5-3.2 玉里地區地質背景

1951 年十一月二十五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 6.2 及兩點五十分規模 M 7.0，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(23.10 N，121.25 E)；凌晨兩點五十分地震震央位於玉里附近(23.25 N，121.25 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），見圖 5-6。造成 17 人死亡，326 人受傷，1,016 間房屋全倒、582 間受損的災害。 2003 年 12 月 10 日早晨 4:38 在台東縣成功地區發生地震矩規模 M_W 6.8 強烈地震，為自從 1951 年以來成功地區最強烈的地震。

台灣東部為於歐亞板塊及菲律賓海板塊交界，板塊運動激烈，斷層活動頻繁。其中花東縱谷東半部為海岸山脈，西半部為中央山脈。根據經濟部中央地質調查所出版台灣地質圖說明書圖幅第四十八號（王源等，1992）描述（見圖 5-7 及 5-8，5-9 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巒山背斜；斷層由西向東依序為花東縱谷斷層帶（池上斷層）、永豐斷層、奇美斷層、花東山斷層及大港口斷層，其中花東縱谷斷層就是歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的碰撞縫合斷層帶，應為一些逆斷層之集合，走向大致為北 15 度東，為一寬廣的斷層帶並且歷年來皆有活動的跡象。

(5) 由本研究玉里安通地下水氡濃度監測站（吉祥 A 井）為中心，附近地層，由西邊花東縱谷斷層往東邊到海岸山脈太平洋邊緣依次為：沖積層、沖積層上的花東縱谷斷層（池上斷層）、利吉層、永豐斷層、都巒山層、番薯寮層、八裏灣層、安通向斜、八裏灣層、花東山斷層、都巒山背斜、八裏灣層、沖積層到達海岸山脈和太平洋交界。

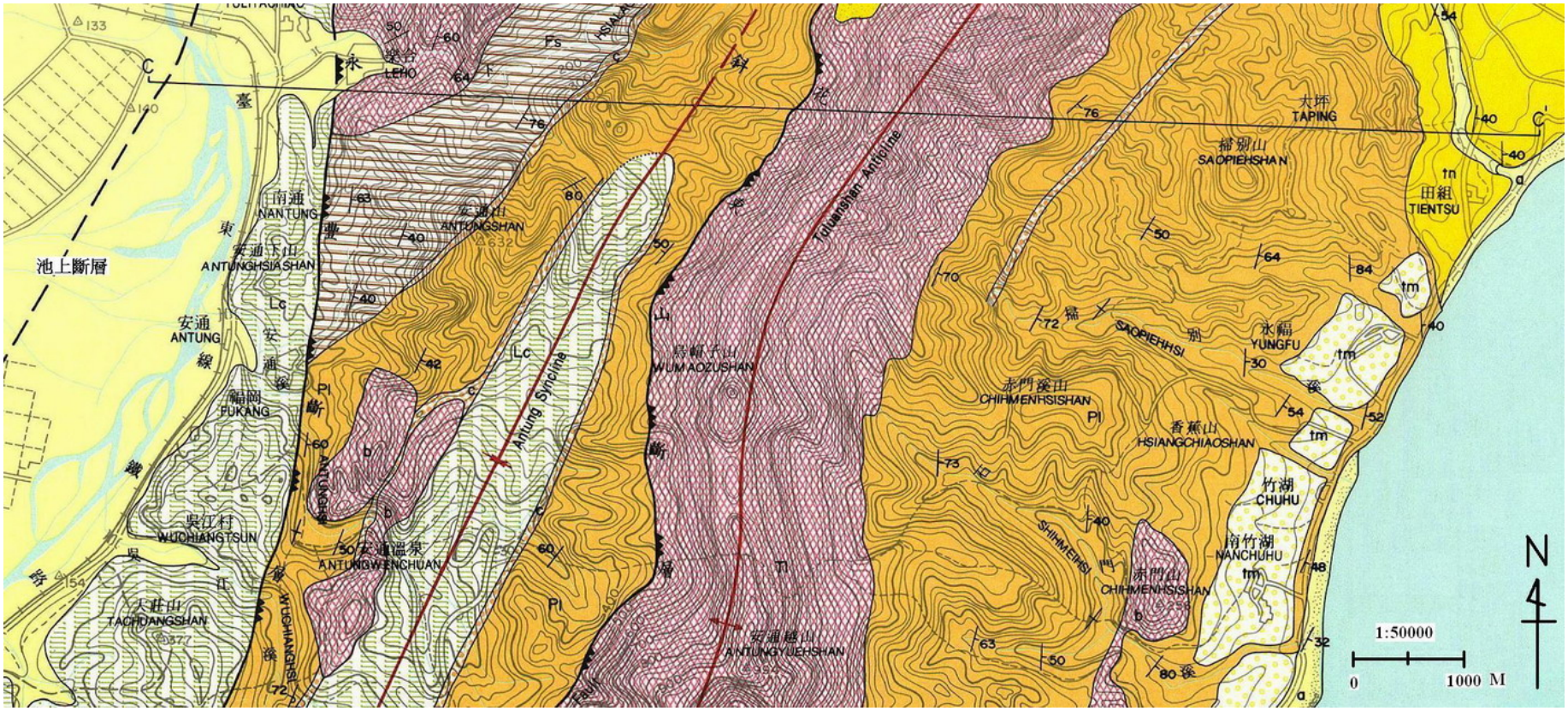


圖 5-7：玉里安通鄰近地質圖，修改至台灣地質圖說明書圖幅第四十八號，玉里圖幅（中央地質調查所，1992）。

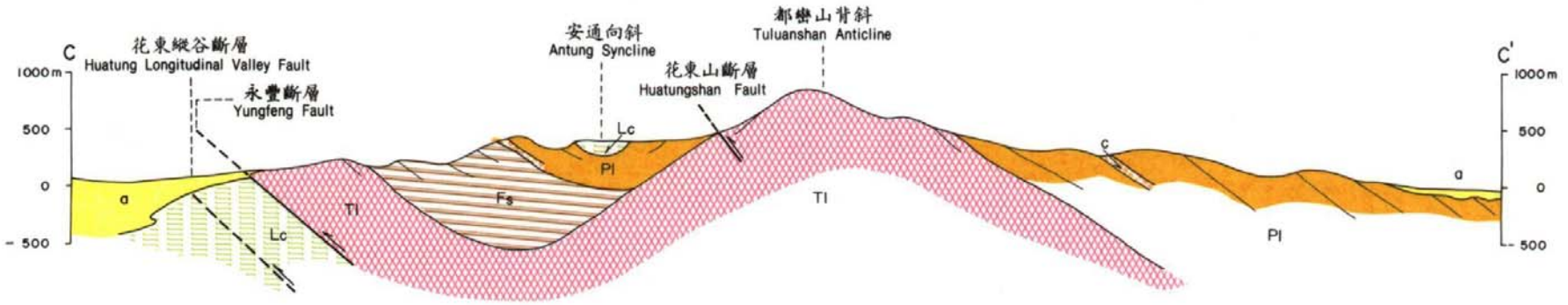


圖 5-8：玉里安通鄰近地質圖 CC'剖面圖（中央地質調查所，1992）。

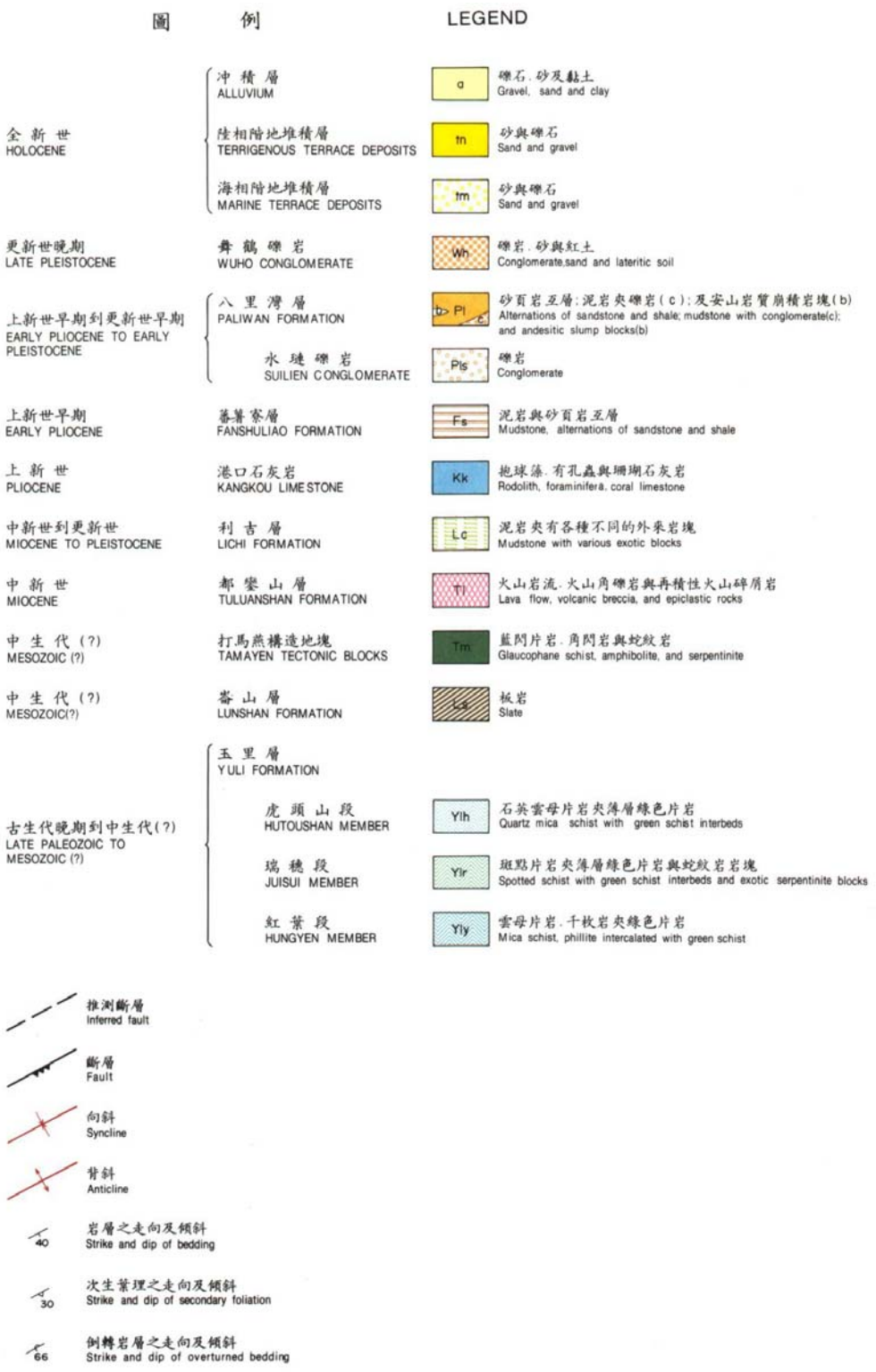


圖 5-9：玉里安通鄰近地質圖圖例（中央地質調查所，1992）。

5-3.3 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 5-6），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，分別是都巒山層、蕃薯寮層、八裏灣層及利吉混合層（圖 5-7）。都巒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。蕃薯寮層及八裏灣層岩相是由砂岩及泥岩有如韻律般的混合層。利吉混合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裏灣層泥岩（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，地質構造應為玄武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。

5-3.4 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 5-10。表 5-1 為安通溫泉區 4 家溫泉旅館所擁有之溫泉井井位，圖 5-11 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 5-11 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，再經玄武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 5-2 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。

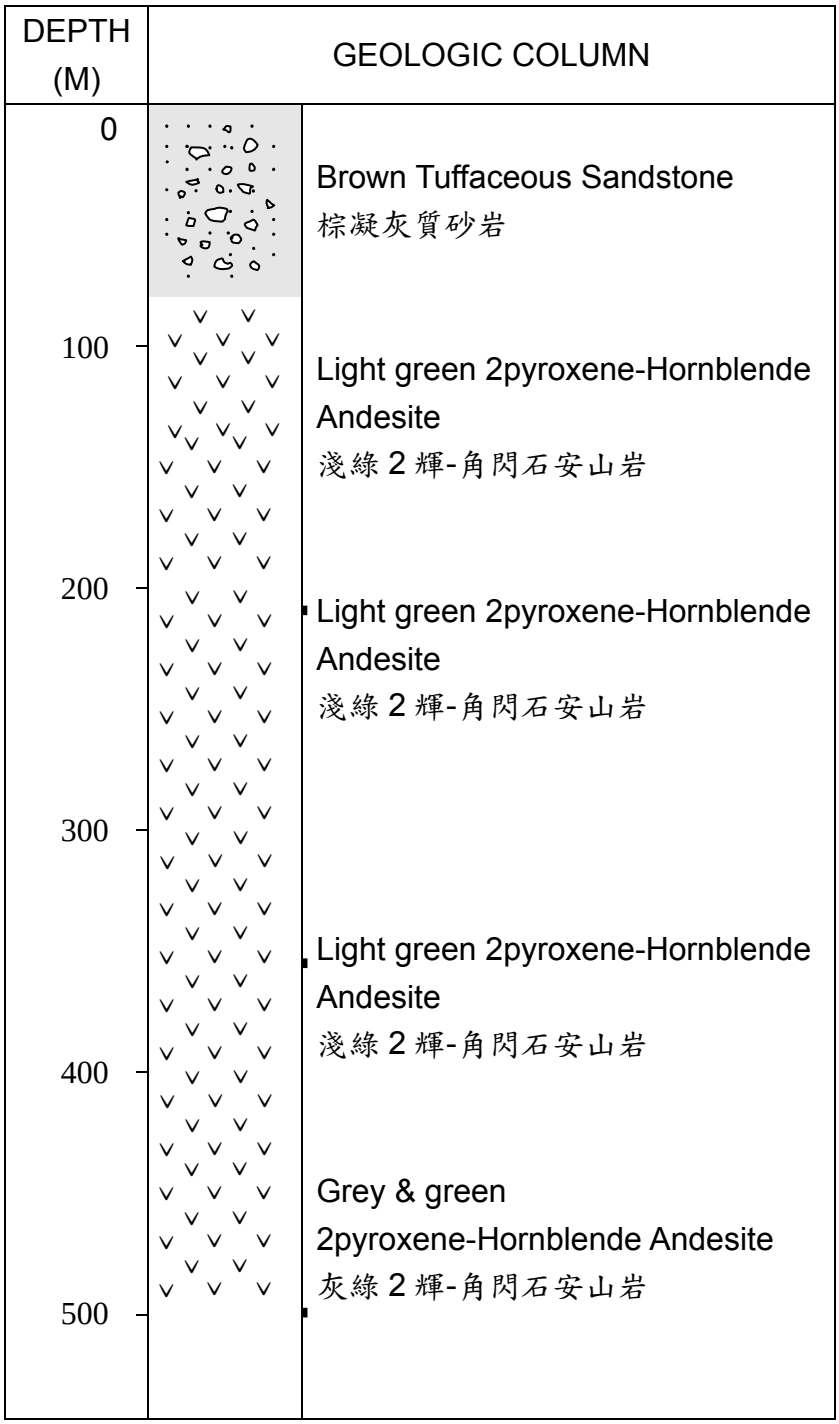


圖 5-10：安通溫泉飯店地下水水氡及溶解氣體監測井(工研院 500 米探勘井) 地質柱狀圖（修改自劉康克等人，1986，圖 17）。

表 5-1：安通溫泉區溫泉旅館溫泉井井位

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



圖 5-11：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 5-2　安通溫泉區 4 家溫泉旅館溫泉井水質分析（濃度 ppm）

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

NA：未檢測

ND：低於方法偵測極限

5-4 結果與討論

5-4.1 安通站地下水水氡濃度監測

本研究自 2009 年 4 月起於安通站採集水樣分析地下水水氡濃度，平均每禮拜 2 次採樣分析，每次分析三重覆。圖 5-12 為安通站於 2009 年 4 月至 2009 年 11 月底之地下水水氡濃度監測數據與各項環境因子之關係圖。地下水氡濃度監測日期至目前為止共 8 個月，數據顯示安通站地下水氡監測井水氡背景濃度平均值為 64 ± 24 pCi/L。環境因子資料分別為玉里地區 2009 年雨量、大氣溫度及大氣壓力之紀錄；由雨量紀錄資料顯示，當玉里地區有明顯降雨時，安通站所監測之地下水氡濃度並未受到影響。此外，安通站水氡濃度和吉祥站水氡濃度有明顯差距，其原因可能為岩石中鐳含量之地質不均質而導致。安通站監測井深度 500 米，吉祥站監測井深度 187 米。

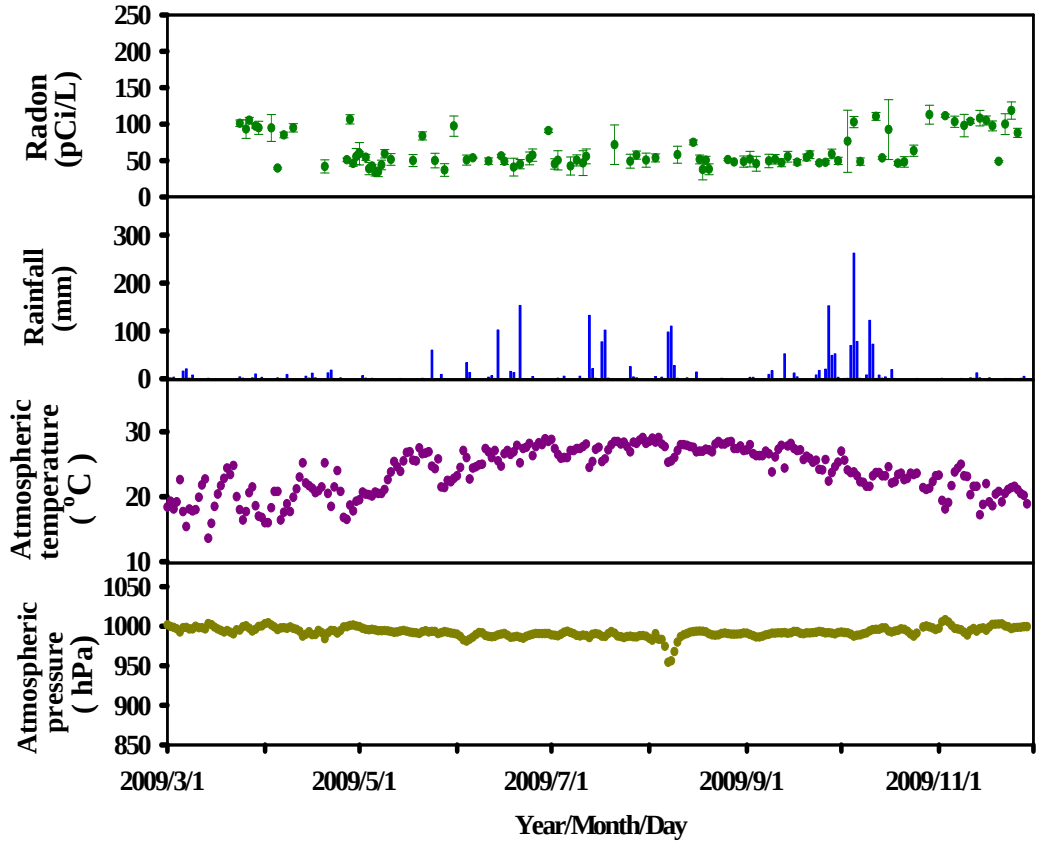


圖 5-12：安通站地下水水氡濃度變化與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

5-4.2 安通站地下水溶解氣體(甲烷、氮)監測

圖 5-13 及圖 5-14 為 2009 年 4 月至 2009 年 11 月底之地下水溶解氣體(氮氣及甲烷）監測數據與各項環境因子之關係圖。數據顯示安通站地下水監測井地下水溶解氣體背景濃度，甲烷濃度平均值為 5.9 ± 3.0 mg/L，氮氣濃度平均值為 14.9 ± 4.1 mg/L。將環境因子紀錄資料與地下水溶解氣體(甲烷、氮氣)監測結果互相比較，並未發現監測結果有受到環境因子之影響。

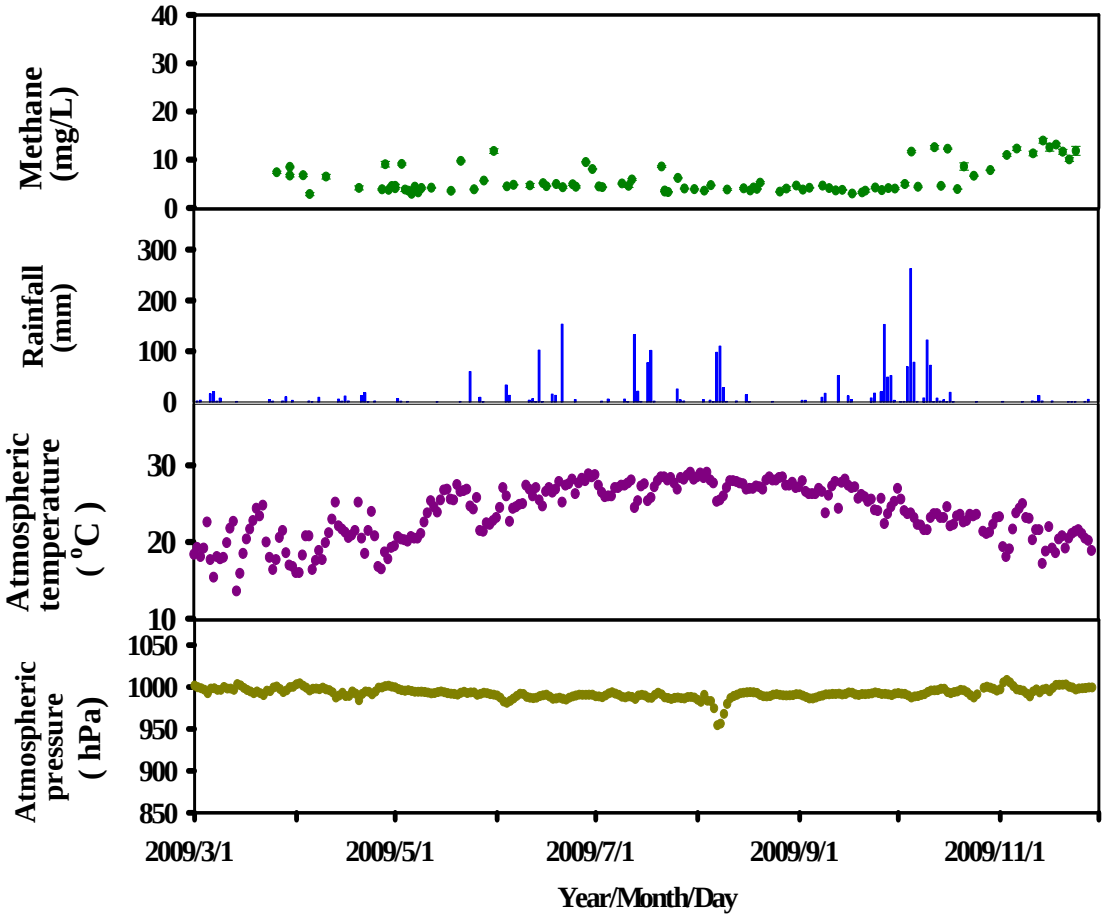


圖 5-13: 安通站地下水溶解氣體甲烷濃度監測結果與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

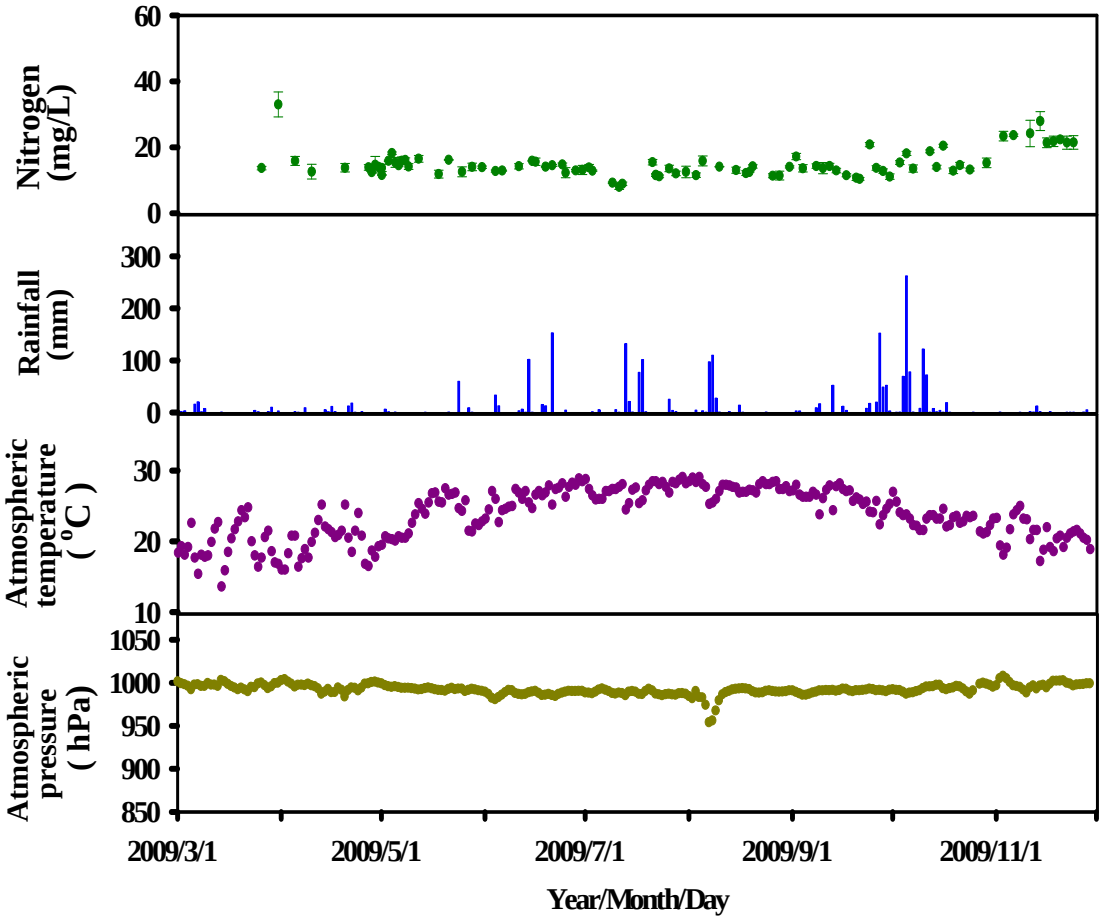


圖 5-14：安通站地下水溶解氣體氮氣濃度監測結果與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

5-4.3 安通溫泉區地下水水位監測

安通站地下水氡監測井為自流井，因此選擇吉祥站監測安通溫泉區地下水位，每個月固定收取一次數據，自 2009 年 1 月開始至 2009 年 5 月 18 日收取水位數據後，2009 年 6 月 15 日欲收取 6 月地下水位紀錄，發現儀器當機，詢問儀器廠商研判因為放置位置水溫過高，因此將儀器設置深度往上提升至適當水溫處（< 40 ℃）後儀器恢復正常。但 5 月 18 日至 6 月 15 日數據遺失。於 7 月 2 日再次收取數據時，發現儀器再度當機，損失 6 月 15 至 7 月 2 日數據，緊急於 7 月 4 日由台南送新地下水位計至吉祥站裝設，並於隔天再度確定儀器有正常運轉。同時於 2009 年 7 月 9 日收取重新設置地下水位計之紀錄數據。地下水位即時監測為每三分鐘記錄一次。圖 5-15 為吉祥站 1 月至 11 月每日最高地下水位與各項環境因子之關係圖。由 2009 年雨量紀錄顯示安通溫泉區地下水位確實有受到雨水補注影響，隨著累積降雨量之增加，地下水位變化介於地表下 0.09 米至 46.39 米間。

導水係數及儲水係數為以吉祥站 B 井作為地下水位觀測井同時以吉祥站 A 井作為生產井，進行抽水試驗後以 Jacob 直線法計算求得，目的為監測含水層中地下水參數和地殼活動之關聯性。圖 5-16 和圖 5-17 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。試驗顯示，導水係數背景平均值為 0.042 ± 0.006 m^2/min；儲水係數背景平均值為 0.00002653 ± 0.00001315。

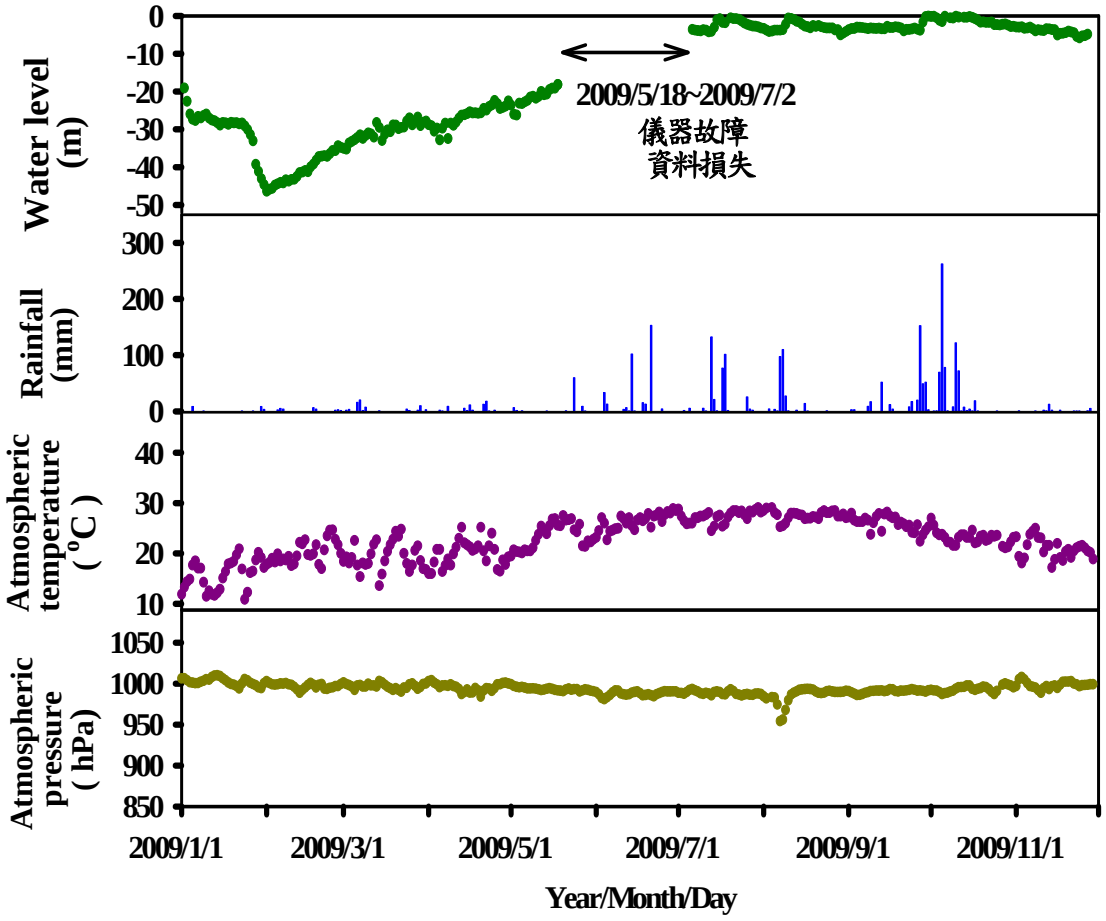


圖 5-15：吉祥站 1 月至 11 月每日最高地下水位與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

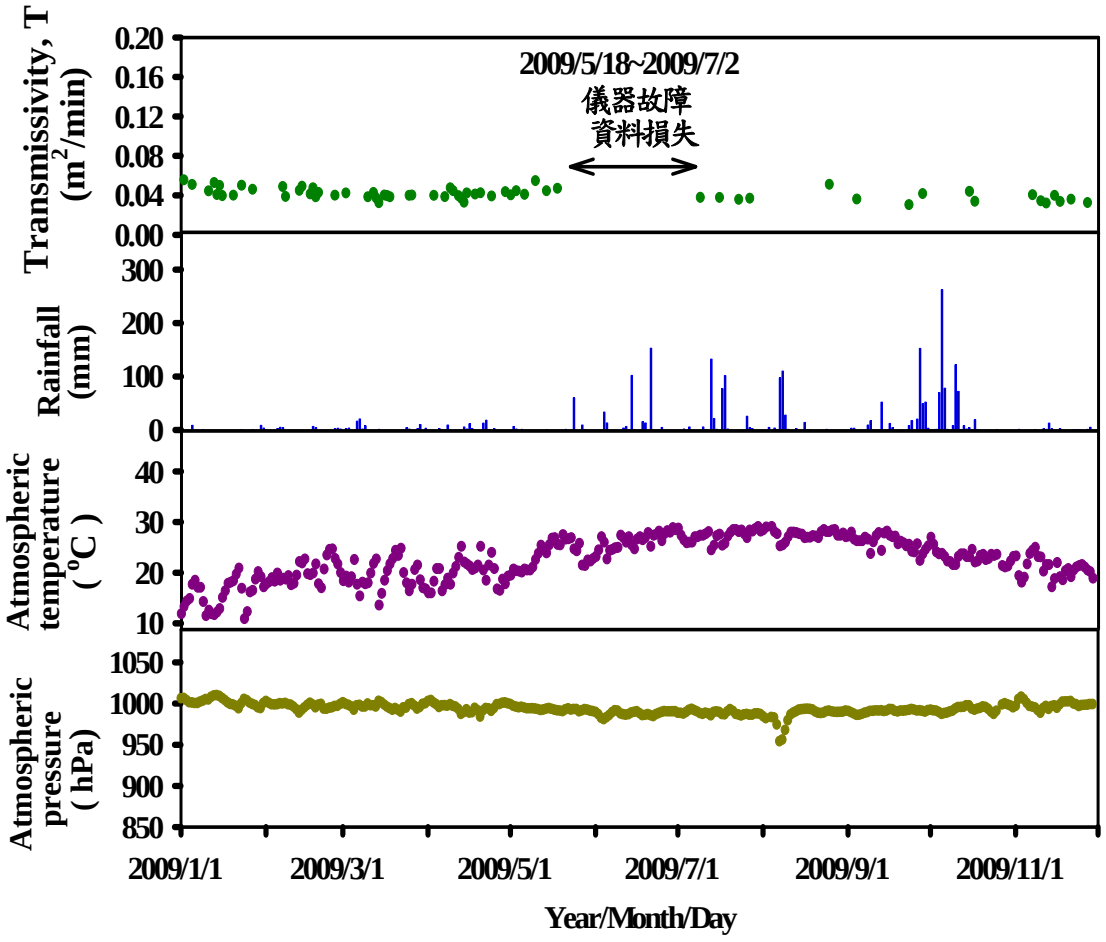


圖 5-16：吉祥站鄰近含水層導水係數 T 與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

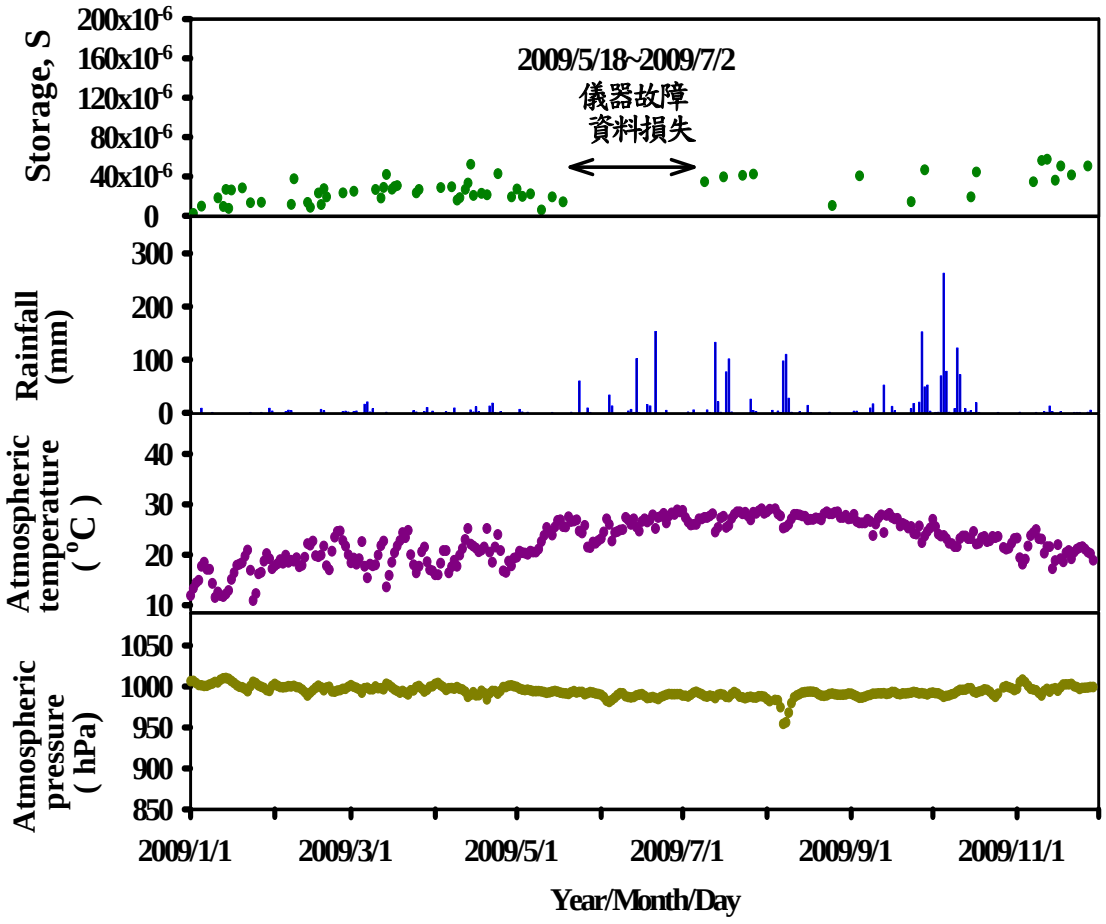


圖 5-17：吉祥站鄰近含水層儲水係數 S 與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

5-4.4 安通站地下水溫度監測

本研究於 2009 年 6 月開始在安通溫泉飯店地下水氡監測井分離器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。圖 5-18 為安通站地下水氡監測井 2009 年 6 月至 2009 年 11 月底之地下水溫度紀錄。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。

研究期間，發現地下水溫度會因雨水補注而下降，地下水生產溫度背景值平均為 61.83 ± 1.84 ℃。建議繼續監測，同時配合地下水氡及溶解氣體監測對地殼活動作前兆做出更好之判斷。

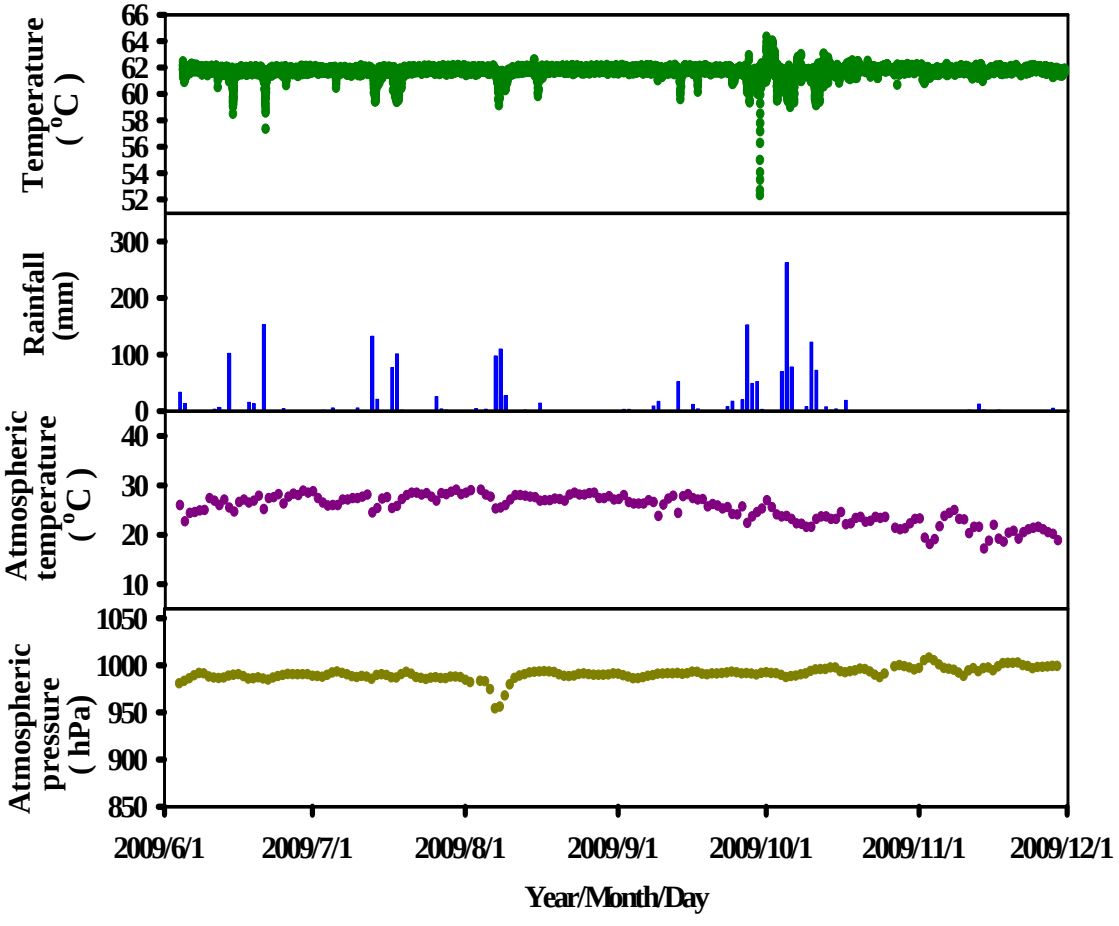


圖 5-18：安通溫泉飯店地下水氡監測井分離器地下水溫度監測紀錄與環境因子關係圖 (環境因子紀錄資料來源：中央氣象局)。

陸、評估觀測站氣體成份、水壓變化、水氡觀測與地震活動之關聯性

6-1 土壤氣體觀測站

觀測2008年11月至2009年11月初之間土壤氣體觀測站的氣體濃度變化，探討觀測氣體與地震之關聯。觀測站包括：大平地觀測站、梅山觀測站、中崙濁水潭觀測站、二溪觀測站、潮州觀測站和池上觀測站等共6座，初步結果如下：

各測站於 2009 年 1 月底至 2 月中，將氡氣分析儀帶回實驗室進行校正的工作，因此這段時間的觀測結果皆中斷。部分測站仍出現因水氣因素造成儀器故障或損壞的情形，目前仍試著克服此問題再度發生。

大平地觀測站的觀測結果發現，數起地震在發生之前其土壤氣體濃度有明顯升高的趨勢出現，這可能意味著為地震前兆的訊息，且這些地震的發生位置大都位在宜蘭和花蓮北部地區，可能說明著本測站對於這個區域較為敏感，如 10 月 4 日發生在花蓮外海的地震就偵測到顯著的前兆訊息。此外，11 月 5 日發生在南投規模 6.0 的地震，本測站在地震發生前也有明顯的濃度異常升高的情形出現，雖然過去的觀測結果對於此地區發生的地震，似乎沒有太多的異常反映出現，意味著台灣中部若發生較大規模的地震活動，也有機會在大平地觀測站偵測到前兆訊息。

由於梅山觀測站的地基遭到淘空，然而替代點的觀測結果的資料品質並不算太好，大部分時間都受到降雨和水氣的影響，使得土壤氣體濃度變化難以辨識出顯著的異常與地震事件有關，不過仍有幾起發生在嘉義、雲林附近的地震於震前觀察到氣體異常升高的變化。梅山測站目前已遷移至新的地點，期望未來新測站的觀測品質能大幅度的提升。

中崙濁水潭測站的觀測結果則顯示，發生在嘉義、台南附近且鄰近測站約數十公里的地震，常可觀測到氣體濃度異常升高的情形出現；另外，對於台灣中部和東部地區發生地震活動也常能獲得到土壤氣體異常變化的前兆訊息。

二溪觀測站則顯示出相當平穩的氣體濃度值，不過 5 月間有兩次氣體明顯下降的情形出現，這可能分別與地震和濕度升高有關，於 6 月期間則因大雨造成氣體濃度波動過大，以致於觀測品質不佳。不過從幾起的氣體異常事件發現，目前本測站似乎僅對於鄰近的台南、高雄一帶發生的地震活動較為敏感。

潮州測站則無觀察出明顯的氣體異常事件，不過自 6 月開始則發現氣體濃度常呈現不規則的階梯式變化，這可能與降雨有關；抑或是與區域的構造活動有關聯。

台東的池上觀測站則觀察出較多起的氣體異常的變化，大部分都能找到相對應的地震事件，且這些地震都發生在台東或花蓮南端附近一帶。不過仍有幾起的氣體異常可能與地震活動無關，初步猜測可能是與池上斷層的活動有關聯。

6-2 水壓觀測站

2008年11月至2009年11月間台北、新竹、嘉義地區地下水壓觀測井之地下水壓變化，獲得主要結果如下：

台北縣明德國中與錦和國小觀測井均記錄到數起台北地震以及宜蘭外海地震之震前水壓異常變化。

新竹縣梅花國小與雙溪國小觀測井未顯現震前地下水壓變化。新樂國小地下水壓資料中，除記錄到許多同震地下水壓上升外，也觀測到數起東部外海、新竹，以及南投地區地震之震前反應。

嘉義縣沄水國小觀測井在本年度發現震前水壓異常；太興與達邦國小觀測井於本年度顯現多起同震地下水壓異常，也呈現數次震前地下水壓異常。中興國小觀測井呈現台南、嘉義、南投和高雄地區多次震前地下水壓異常變化，也觀測到花蓮外海地震。

6-3 水氡觀測站

本研究室自2003年7月起，持續在台灣東部玉里（安通溫泉區）長期觀測花東縱谷南段地震前兆（地下水水氡濃度異常變化）至今，於安通溫泉吉祥水氡濃度監測站（吉祥站）共三次再現性觀測到地震前地下水氡濃度異常下降之現象。Kuo et al., （2006a; 2006b; 2009a；2009b；2009c）提出地震前地下水氡濃度呈現三階段之變化：第一階段地下水氡濃度維持在背景平均值；第二階段地下水氡濃度開始以緩慢速度下降，至地震前10~25天達最低值；第三階段地下水氡濃度急遽開始回穩至背景平均值，幾天後接著發生強震。具體來說，花東縱谷南段在2003年12月10日發生地震規模M_W 6.8成功地震，2006年4月1日發生地震規模M_W 6.1台東地震，以及2008年2月17日發生地震規模M_W 5.0 安通地震，其三次地震前地下水氡濃度分別由背景平均值791 ± 46，762 ± 57和735 ± 48 pCi/L降至最低值326 ± 9、371 ± 9和480 ± 43 pCi/L。

本計畫今年（98年度）4月起至11月底在花東縱谷南段附近安通溫泉安通站監測井定期採集水樣，分析地下水水氡及溶解氣體（甲烷及氮氣）。同時，即時監測地下水溫度及水位。2009年4月至2009年11月底，花東縱谷南段未發生強

震 (M_W＞6.0)，在這期間，吉祥水氡濃度監測站（吉祥站）與安通溫泉飯店監測井（安通站）中地下水氡及地下水溶解氣體（氮氣及甲烷）濃度也未觀測到異常之變化。圖6-1為安通溫泉區地下水氡監測井全年度觀測資料統整圖。

本計畫今年（98年度）已在安通站獲得地下水水氡及地下水溶解氣體（甲烷及氮氣）之背景資料。明年（99年度）將持續監測地下水氡及地下水溶解氣體（氮氣及甲烷），預期長時間之連續監測較能有效觀察到氡濃度異常變化和地殼活動之關聯性，達到捕捉地震前兆及驗證物理化學機制之目標。

6-4 土氡、水氡、水壓變化與地震活動之關聯

截至目前為止，三項觀測項目與地震的關聯可分為下列幾個部分：

土壤氣大平地觀測站與新樂水壓觀測站的觀測結果，對於台灣北部地區發生的地震活動較為敏感，尤其針對測站附近、宜蘭和花蓮地區的地震常都出現震前的異常訊號，此外對於 1004 花蓮地震和 1105 南投地震都出現顯著的異常，代表土壤氣體和水壓觀測站在台灣北部地區能得到不錯的觀測結果。

土壤氣中崙觀測站與沄水國小、中興國小、太興國小觀測井的觀測結果顯示，對於台灣南部地區的地震活動敏感，尤其是嘉義、台南地區和花蓮南部地區，在地震發生前都出現氣體濃度升高和地下水壓異常變化的情形，對於 1004 花蓮地震和 1105 南投地震都出現顯著的異常，顯示土壤氣體和水壓觀測站在台灣南部地區能得到不錯的觀測結果。另外，對於 1004 花蓮地震和 1105 南投地震北部和南部的測站都出現震前的異常變化，即可推測該兩起地震的發生地點可能在北部和南部的觀測站之間。

由於本年度水氡的觀測結果未出現顯著的變化，因此無法與土壤氣與水壓觀測站的結果相比較。

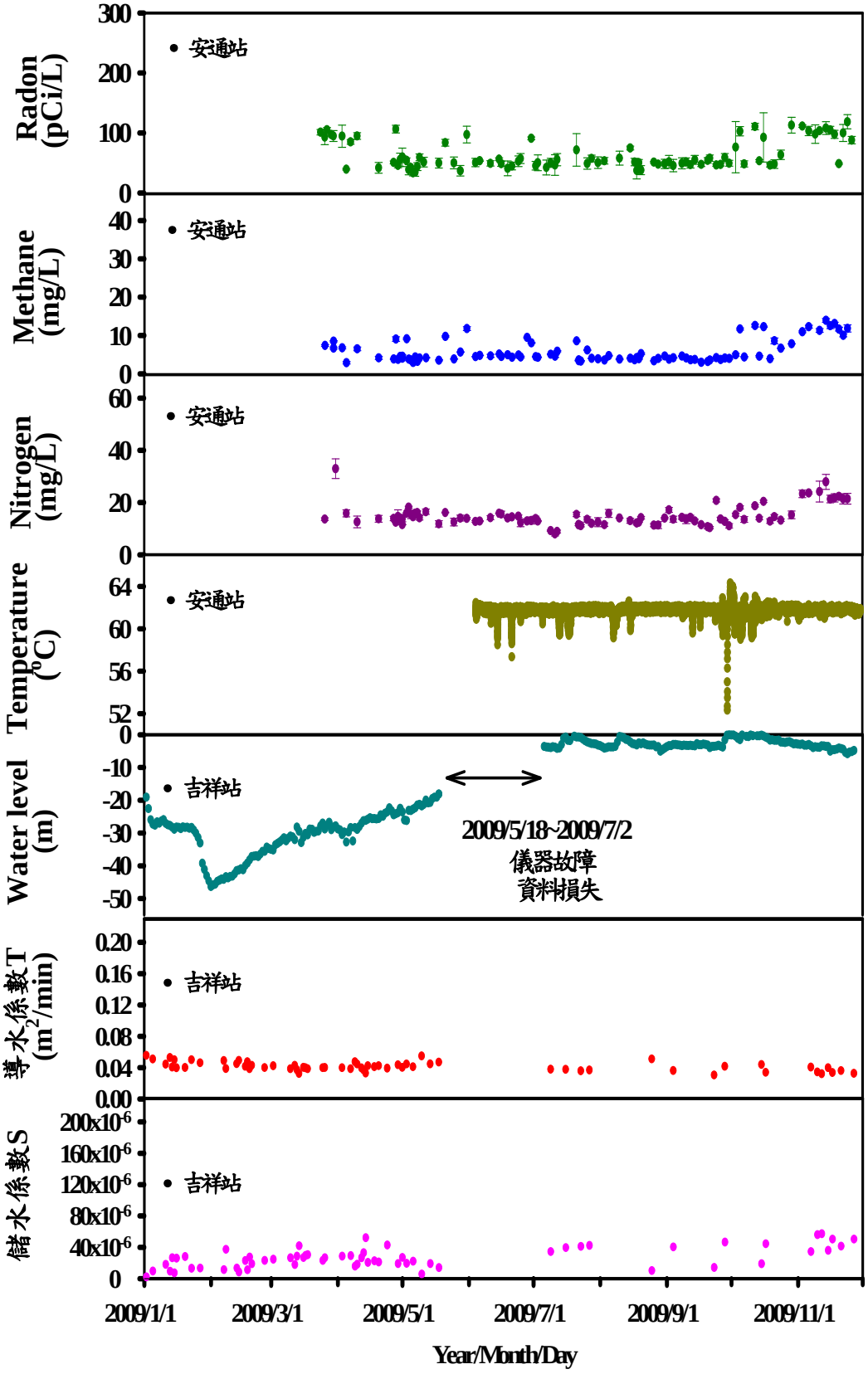


圖 6-1：安通溫泉區地下水氡監測井全年度觀測資料統整圖。

柒、結論與建議

1. 關於自動觀測站之設置，最大問題仍為適當用地的取得、與電力供應及電信資料傳輸等。因此，未來在台灣其它地區設置觀測站，必須要加強與當地居民溝通，持續改善的電力供給系統並要有後備儀器可以替換使用。

2. 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、嘉義中崙和台東池上觀測站的觀測成果最為顯著。

3. 台北縣明德國中與錦和國小觀測井均記錄到數起台北地震以及東部外海地震之震前水壓異常變化。新樂國小地下水壓資料中，除記錄到許多同震地下水壓上升外，也觀測到數起東部外海、新竹，以及南投地區地震之震前反應。太興與達邦國小觀測井於本年度顯現多起同震地下水壓異常，也呈現數次震前地下水壓異常。中興國小觀測井呈現台南、嘉義、南投和高雄地區多次震前地下水壓異常變化，也觀測到花蓮外海地震。

5. 地下水壓觀測結果發現，若觀測井地質條件與儀器設備合宜，以及降雨與抽水干擾少，在台灣山區以觀測井地下水壓異常變化來評估斷層活動性或做為地震前兆研究，基本上是可行的。

6. 本計劃今年（98 年度）在安通站進行地下水水氡及溶解氣體監測工作，獲得寶貴的地下水文背景資料，明年（99 年度）將持續採樣分析，並設置即時監測站，觀測地下水氡、地下水溶解氣體（氮氣及甲烷）、地下水水位及溫度變化監測，以捕捉前兆異常現象和花東縱谷南段鄰近強震之關聯性。

捌、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。

江新春 (1976) 宜蘭平原之震測。礦業技術第 14 卷，第 6 期，第 215-221 頁。

李錫堤、鄭錦桐、廖啟雯、張原賓 (1998) 台灣活斷層圖。中央大學應用地質研究所，工程及地質防災科技研究室。

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。

蔡義本 (1976) 宜蘭地區之地震研究。礦業技術第 14 卷，第 5 期，第 154-161 頁。

黃信樺 (2007) 台灣東北地區的地震構造：由碰撞末期轉變為隱沒拉張之構造特性。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，共 110 頁。

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

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

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

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

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

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

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

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

楊燦堯、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。

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. *J. Geodyn.* 29, 151-185.

Barsukov, V. L., Varshal, G. M. and Zamokina, N. S. (1985) 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.

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*, volume 25, no. 3.

Brace, W.F., Paulding, B.W.Jr. and Scholz, C. (1966) Dilatancy in the fracture of crystalline rocks. *J. Geophys. Res.* 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. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1416-1420.

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

Cooper, H.H. and Jacob, C.E. (1946) Ageneralized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Am. Geophys. Union Trans. 27, 526-534.

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*, doi: 10.1016/j.radmeas.2009.10.095.

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. *Hydrol. Process*, **21**, 510-524.

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

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

Hauksson, E. (1981) Radon content of groundwater as an earthquake precursor: Evaluation of worldwide data and physical basis. *J. Geophys. Res.* 86, no. B10, 9397-9410.

Hsu, T.L. (1962) Recent faulting in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China* 1: 95-102.

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. *Geophys. Res. Lett.* 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. *Geophys. Res. Lett.*, **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., Igarashi, G., Ohno, M., Saito, H. and Wakia, H. (1999) Earthquake-related water-level changes at 16 closely clustered wells in Tono, central Japan. *J. Geophys. Res.* 104(B6), 13,073-13,082.

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. *Geophys. J. Int.*, **143**, 469-477.

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. (2009a) Radon anomalies precursory to the 2003 Mw=6.8 Chengkung and 2006 Mw=6.1 Taitung earthquakes in Taiwan. Radiation Measurements, 44, 295-299.

Kuo, T., Lin, C., Chang, G.., Fan, K., Cheng, W. and Lewis, C. (2009b) 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, *Nat Hazardds*, DOI 10.1007/s11069-009-9423-y.

Kuo, T., Cheng, W., Lin, C., Fan, K., Chang, G. and Yang, T. (2009c) Simultaneous declines in radon and methane precursory to 2008 Mw 5.0 Antung earthquake: corroboration of in-situ volatilization. Natural Hazardds, doi: 10.17.007/s11069-009-9473-1.

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. *J. Geophys. Res*. 108, no. B11, 2528-2548.

Lee, J.C., Angelier, J., Chu, H.T., Hu, J.C. and Jeng, F.S. (2005) Monitoring active fault creep as a tool in seismic hazard mitigation: insights from creepmeter study at Chihshang, Taiwan. C.R. Geoscience 337, no. 13, 1200-1207.

Liang, W.T., J.C. Lee, and B.Y. Kuo. (2005) Left-lateral strike-slip faulting in Ilan: Lateral extrusion at the transition between Taiwan mountain range and Okinawa Through, Geodynamics and Environment in East Asia International Conference & 5th Taiwan-France Earth Science Symposium, 100-103.

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 Applied Geophys.* 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.

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.

Noguchi, M. and Wakita, H. (1977) A method for continuous measurement of radon in groundwater for earthquake prediction. *J. Geophys. Res.* 82, no. 8, 1353-1357.

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. *J. Geophys. Res.* 103, 869-889.

Roeloffs, E.A. (1999) Radon and rock deformation. *Nature* 399, no. 6732, 104-105.

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.

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. Trans., American Geophysical Union 16, 519-524.

Teng, T.L. (1980) Some recent studies on groundwater radon content as an earthquake

precursor. *J. Geophys. Res.* 85, no. B6, 3089-3099.

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?. *Geophys. Res. Lett.* 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.

Wang, C. (1985) Ground-water studies for earthquake prediction in China. *Pure and Applied Geophysics*, 122, 215-217.

Yang, T.F., Walia, V., Chyi, L.L., Fu, C.C., Chen, C.H., Liu, T.K., Song, S.R., Lee, C.Y. and Lee, M. (2005) Variations of soil radon and thoron concentrations in a fault zone and prospective earthquakes in SW Taiwan. *Radiation Measurements*. 40: 496-502.

Yu, S.B., Jackson, D.D., Yu, G.K. and Liu, C.C. (1990) Dislocation model for crustal deformation in the Longitudinal Valley area, eastern Taiwan. *Tectonophysics* 183, 97-109.

Yu, S.B. and Kuo, L.C. (2001) Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan. *Tectonophysics* 333, 199-217.

玖、附錄

9-1：期中報告審查委員意見及答覆情形

委 員 意 見	辦 理 情 形
1. 土壤氣體及水壓觀測之報告書,在使用儀器方面已無重複舊報告，值得讚許。水氡觀測報告書則須加強地質背景部份，且儘量以圖示及加註資料來源。	1.答：遵照辦理，見報告書中地質圖 5-7、5-8、5-9；圖表資料來源已重新註明。
2. 三種觀測在紀錄資料之缺失,有許多原因包括停電、電腦當機、軟體與電腦衝突，儀器送回校正，溫度問題，甚至有儀器不明原因故障及人為操作疏失，如何有效改進才是重點，請說明並確實執行。	2.答：大部分資料的缺失主要為電力問題，目前各觀測站已有專人定期巡視，以期減少各問題的發生。而玉里安通水氡監測站，溫度計量測儀器會在儀器異常後更換新儀器；地下水位監測儀器會隨著地下水位升降，調整適當監測深度。
3. 簡報增加 7 月 9 日以後之資料及各測站之小結論，也應加入本書面報告中，包括宜蘭土壤氣體新觀測站設置採樣結果及選址部份，水壓觀測之分區(台北縣、新竹縣與嘉義縣)之比較。	3.答：遵照辦理。
4. P.65,連續觀測數據與人工採樣結果落差問題如何解決?	4.答：增加儀器校正的頻率。
5. 水壓變化的異常標準為何?	5.答：已詳述，見 4-2 節。
6. 水氡成分與土壤氡氣研究如何整合?經驗可以互補以減少錯誤發生。	6.答：提升地下水氡與土壤氣氡研究經驗交流，減少錯誤重複。
7. 影響地下水的氡氣與其他的因素，可能需擴大，可能不只考慮單一斷層的影響。	7.答：每次捕獲地下水氡異常時，需同時考慮環境因子（如雨量、溫度與氣壓等）及與震源機制相關之斷層。
8. 本計畫相關的監測值，如發現明顯異常時，請能夠即時回傳本所，以便本所配合其他監測資料進一步研判其意義。	8.答：遵照辦理。
9. 地下水變動研究宜納入統計與時序分析方式，以找出地下水變動趨勢與異常值標準。	9.答：遵照辦理。
10. 本計畫顯然係由三個研究團隊所整合組成的計畫工作團隊，各研究團隊皆已按其工作分配的項目與進度，提出其個別部分之工作成果。工作成果豐碩，在此予以肯定。然而，調查研究工作之執行，其成果雖可成為學生論文之題材與資料，但是針對計畫報告書之編撰，應安排專人予	10.答：遵照辦理。

以整合編輯，不應以學生論文初稿方式裝訂而成。報告書之章節、項目與內容之安排，請予以改進。	
11. 報告書內文錯別字部分，請計畫主持團隊指定專人予以修正，並請同時將報告書重新按章節內容編輯。	11.答：遵照辦理。
12. 第三章「新觀測站設置之評選」： 1. 「宜蘭平原」乃蘭陽溪之沖積平原，其外形呈等邊三角形狀，東邊為太平洋，而且計畫工作之採樣點皆位在陸上平原區內（p.103，圖 3-2），如此，圖 3-4～圖 3-7（p.109~p.112）顯然錯誤！濃度分佈如何延伸分佈入海？以及如何延伸分佈入山區？ 2. 表 3-2，有些部分之〔N2〕+〔O2+Ar〕r+〔CO2〕+〔CH4〕≠100%，請予以檢核修正。 3. 表 3-1、3-2，δ13C（0/00），如何得到負值，宜請予以說明。 4. p.101，公式(1)，請以正規數學公式表示。 5. 個別氣體濃度異常值之門檻值定義計算過程宜附於附錄中，俾利檢核。 6. p.102，兩種個不同來源之氣體或液體「混合」成一種氣體或液體，非「混染」。 7.新測站之候選位置（圖 3-9，p.114）的選址條件，請以量化資料進行篩選。而圖 3-9（p.114），應為第 3-5 節（p.118）之篩選結果，其量化指標及其篩選過程，宜請加強說明。	12.答： 1. 繪圖錯誤，已修改。 2. 已修正。 3. δ13C 為利用實驗室質譜儀的碳同位素質與國際標準值(Belemnitella Americana, Peedee Formation, Cretaceous, South Carolina)比較的結果，其計算方式如下： $\delta = \left[\frac{R_e - R_{std}}{R_{std}} \times 10^{-3}\right]$ R_e 為檢測樣品中的 $^{13}C/^{12}C$ 的比值；R_{std} 為標準樣的 $^{13}C/^{12}C$ 比值。 4. $0.1 \times e^{(0.3026 \times V)}$ 5. 於 3-4 節中詳述。 6. 遵照辦理 7. 於 3-4 節中詳述。
13. 地下水位（Groundwater Table or Groundwater Level）與地下水壓面（Piezometric Surfaceor Potentiometric Surface），兩者定義並不相同，宜請注意定義。	13.答：已修正。
14. 圖 4-2 至圖 4-8 之各圖 Earthquake Intensity （I）：地震震度（級）之圖示點與氣象局資料不合者，請予以訂正（如：I=1 之點）。	14.答：已修正。
15. 以地下水位（水壓）之異常變化判識地震徵兆並無不對，但所謂「異常」之定義如何，宜請加強說明。	15.答：已詳述，見 4-2 節。
16. 第五章之編撰格式及內容，宜請加強改進。	16.答：遵照辦理，見報告第伍章。

17. 分析方法、分析步驟、儀器設備規格與內容及其準備工作步驟宜請編於附錄內。	17.答：遵照辦理，已重新編於附錄，見報告內容。
18. 各參考圖表之參考來源請依「著作權法」規定辦理。	18.答：遵照辦理。
19. 研究計畫對宜蘭地區所選的定期採樣並觀測之點的考量(圖 3-9)，除蘇澳地區之外，似乎並不符合圖 3-4 至圖 3-7 所顯示的結果，文中宜加以說明。	19.答：於 3-4 節中詳述。
20. 第四章圖 4-2 至 4-8 及圖 4-12 的台灣全島圖大小與彩色宜比照第二章之圖。	20.答：遵照辦理。
21. 報告中，文獻未列者，請補齊： 1. p.98，江新春(1976)；李錫堤等(1998)；蔡義本(1976)；Liang et al. (2005)；黃信樺(2007)。 2. P.100，Giammanco et al. (1997)；Gregory and Dorrance (1985)；陳正宏等(2003)。 3. P.164. Teng et al.(1980) 4. P.169, Igaraghi et al. (1990); Shapiro et al. (1981); Teng et al.(1980)。 5. P.171, Igaraghi(1995)。 6. P.172, Liu et al.(1984); Liu et al.(1985)。 7. P.188, Yu et al.(2001)。	21.答：已修正。
22. 錯字需修正： 1. P.7，圖 2-1，TPT→TPD，CL→CL3。 2. P.8，倒數第 5 行，歷時 12 月→歷經 12 月。 3. P.12，圖 2-4，「紅」點及「紅」框在非彩色圖中不適用。 4. P.100，第 5 行，之「在」中，「在」請刪除。 5. P.176，CH4，N2，H2 之下標，(c)(d)偵測器溫度 ”40”(40°C)→”313K”(40°C)。 6. P.176，cm2 上標。 7. P.179，第 7 行，圖 3-3 及圖 3-4，請改正確圖名。 8. P.194，倒數 5 行，…「延」斷層→「沿」斷層。 9. P.195，圖 5-12，座標示”指北”方向。	22.答：皆已修正。 1. 已修正，見 P.7。 2. 已修正，見 P.8，倒數第 3 行。 3. 已修正。 4. 已修正，見 P.144，第 2 行。 5. 已修正，見 P.304- P.305。 6. 已修正。 7. 已修正，見 P.308- P.309。 8. 已修正，見 P.263，倒數第 6 行。 9. 已修正。 10. 已修正。 11. 已修正，見 P.278，第 4 行。 12. 已修正，見 P.279，倒數第 2 行。

10. P.197，第 4 行，圖 5-1 應改為正確圖名。 11. P.205，第 4 行，「平」科大→「屏」科大。 12. P.206，第 2 行，同上。 13. P.210-P.211，文獻格式不一致，應改為一致。	13. 已修正，見 P.280-P.281。

9-2：期末報告審查委員意見及答覆情形

委 員 意 見	辦 理 情 形
1. 圖 2-76、77、78 圖例覆蓋資料，須修改或說明無資料。	1.答：覆蓋的部分代表這段時間無資料。
2. 資料顯現異常標準為何？如圖 2-13、2-14，^{222}Rn 連續 20 天上升下降與其後兩個月地震相關性如何？	2.答：測站有其背景值濃度，當濃度開始顯著升高即代表異常。圖 2-13 和 2-14 發現 ^{222}Rn 連續上升下降是受到數個地震加乘的結果，按照過去的觀測結果顯示，當濃度顯著升高後開始降低不久即發生地震，而氡氣濃度會降回至背景值濃度。
3. 請說明於氡氣和水壓連續變化圖下列出震央位置圖的地震有何特性。	3.答：這些地震為觀測站及其附近有感受到震度的地震。
4. 請於圖 3-2、圖 3-4~3-9，列出密集的地震帶位置。	4.答：遵照辦理。
5. 請說明 163 頁「（3）考量地震活動就當地的影響程度」的詳細涵義。	5.答：遵照辦理，已於內文中補充說明。
6. 第二章和第四章的圖號編號應一致。	6.答：已修正。
7. 9 頁第三段「3 月初的大雨，明顯的直接將氡氣往上提升」以及第四段「本月在月初及月中有大雨發生，溼度升高阻礙逸氣來源，致使氡氣濃度下降」這兩段話似乎互相矛盾，請說明。	7.答：降雨對於氡氣的影響分為兩部分。其一當大量的降雨時會將通道阻塞造成濃度下降；其二則是降雨滲入斷層系統降低摩擦力而斷層的活動性增加造成較多的氡氣被釋放出來。
8. 有關新觀測站設置之評選，本報告應解釋為何挑選氡氣濃度較低又沒有斷層通過之處。而不挑選宜蘭平原西北部氡氣高濃度以及有活動斷層之處。	8.答：根據長期人工採樣結果顯示，西北部山區與蘇澳地區的氣體濃度變化皆與地震活動有某種程度的關聯，故皆為設立新觀測站極具潛力的候選區。然而，設置新觀測站須考量許多因素，西北部山區的用地取得不易，因此在審慎評估之下，最後選擇蘇澳地區作為新觀測站的設立地點。
9. 本報告書之章節項目與內容之安排雖以較期中報告改進甚多，然仍未能達書文排版之標準，為報告書應有之版面即可讀性，請確實請專人排版。（e.g p.269）	9.答：遵照辦理。
10. 僅有一個附錄，並非附錄玖。	10.答：已修正。
11. 僅有第五章第 5、4 節提出結論與討論其餘各子題皆未提出。	11.答：已補述。
12. 第陸章之評估其關聯性之建立並未說明。	12.答：已補述。

13. 以氡氣成分濃度變化圖（圖 2-2~圖 2-14）其中所提之異常值，請嘗試以量化之方式說明其檢定之標準。	13.答：未來將嘗試以 moving average 等統計方法來量化觀測結果。
14. P.145 第 3-4 節第二段所提之異常值門檻值定義，並非常數，其將隨記錄資料之長度而有所變異，如何判釋請予以說明。	14.答：異常值之門檻定義為將此研究地區之全面調查結果做統計處理，其方法如 3-4 節中所述，去除濃度明顯過高或過低的分析值後，將所有分析結果取平均值加上兩倍標準偏差，分析值高於此門檻值者可視為異常值。因此，此異常值之門檻是因地而異的，必須在研究區域進行普查後，以了解區域背景值，再根據分析之數據來定義出異常值。
15. 各子計畫間之結果如何整合宜請說明。	15.答：未來將定期討論各子計畫的階段資料，可隨時掌握彼此間的觀測結果進度，達到整合的目標。
16. 本計劃執行結在學術上之產出（sci paper）相當豐富，值得肯定。	16.答：會繼續努力。
17. 按開會通知內容所列，本案預期成果（應交付項目）中尚缺第 8、9 項，應請補充。	17.答：已修正，見報告內容。
18. 報告書撰寫方式建議由各子計劃按各自工作項目各自發揮，而由主持人撰寫綜合分析成果報告。	18.答：遵照辦理。
19. P139 P172 良率定義如何?	19.答：良率代表觀測站每月有紀錄資料的比例。
20. P7,表 2-1,潮州測站是否應為屏科大站?	20.答：已統一更正為屏東潮州測站。
21. P12 等,圖說中:"T,H 表示土壤氣的溫濕度變化",但在圖中並未有 T,H.	21.答：T 代表 Temp.溫度的縮寫；H 代表 Humidity 濕度的縮寫。
22. P29 等,圖說中:"溫度(A.T.)濕度(A.H.)";但在圖中並未有 A.T.及 A.H.	22.答：A. T.代表 Atmo. Temp.大氣溫度的縮寫；A.H.代表 Atmo. Humid.大氣濕度的縮寫。
23. P12 等,EQ 有 intensity 及 magnitude,但總圖無法分,是否有分別的需要?	23.答：各測站的總圖所呈現的地震次數不同，有時總圖仍可辨識出 intensity 及 magnetude，未來將會視情況修正。
24. P148~P152 表 3-1,flux 指 CO_2,應加 CO_2。	24.答：已修正。
25. P165 第三段,圖 3-11,似乎引用不恰當,無法顯示氡氣的 CO_2 濃度變化?經緯度坐標須加"北"及"東"	25.答：已修正。
26. P167 圖 3-14,Flow 指什麼?	26.答：圖 3-14 的 Flow 是指儀器內部

	幫浦的抽氣速率。
27. P264 圖 5-10 Brown dy, Tuffaceous sandstone,中 dy 代表什麼	27.答：已修正為 Brown Tuffaceous Sandstone 棕凝灰質砂岩。
28. P139 新竹大平地之英文代號 TPD or TPT。	28.答：已修正為 TPT。
29. PVII~PVIII:屏東"平"科大→屏東"屏"科大共 13 處。	29.答：已修正。
30. 目前設有 6 個地化監測站,其中新竹大平地站,嘉義中崙站,台東池上站較敏感;其他不敏感站是儀器問題?還是裝置問題,請檢討?	30.答：梅山測站原來也屬反應敏感的觀測站，不過受到豪大雨掏空地基之故，如今才變的較不敏感，現以遷站至雲林古坑期待未來能獲得令人滿意的觀測結果；二溪測站僅對台南、高雄小區域的地震有反應，建議未來將本站遷站；潮州測站對台灣南部的地震略微敏感，不過今年南部的規模較大的地震並不多，因此需要持續長時間的觀測，才能釐清該測站對於地震的關聯性。
31. 因水氡監測的結果比較 Local,且似乎是針對某一條斷層,依據本所的規劃,明年預計於池上安通溫泉建置連續站,建議是否再觀察一些時日再決定是否建水氣連續站?	31.答:自 2003 年 7 月在池上斷層附近安通溫泉已捕捉到三次(2003 Mw 6.8，Mw 6.1 及 2008Mw 5.0) 地下水氡地震前兆。這是世界上第一個案例，在五年內再現性觀測到三次地下水氡地震前兆。安通溫泉具適當地質條件成為理想地下水氡地震前兆觀測站。根據安通溫泉觀測到的再現性水氡異常數據，我們可以建立海岸山脈南段預測地震的數學模式及方法。
32. 建議地下水測站資料缺漏列表,並檢討除了電力以外原因,提改善措施.	32.答：目前除新竹縣雙溪與嘉義縣沄水縣觀測井之外，其餘各觀測井之地下水壓資料均由地調所提供。接收之地下水壓資料若發現缺漏，會即刻回報地調所，以確保資料品質。資料缺漏列表請見 9-4。
33. 地下水位每日變化是否與地潮相關請略加說明.	33.答：出現每日兩次地下水壓升降之地潮反應的觀測井包括：明德、錦和、新樂、沄水、太興和達邦；雙溪觀測井出現每日一次之水壓升降；梅花觀測井之每日升降目前未發現規律性；中興觀測井未出現顯著之每日水壓升降。
34. 地震前前兆異常的論述建議以統計觀點來支持.	34.答：遵照辦理，未來將用更客觀的方式來論述地震前兆異常。

35. 測站異常與鄰近斷層間的關係請評估討論	35.答：觀測站在設置之前，都會先進行土壤氣普查來找尋斷層的分佈與逸氣敏感的地點，而測站呈現的異常則是反應該斷層或地震活動所造成，兩者的同時發生亦可分別影響，需利用其他的研究方式予以釐清關聯，如應變儀、GPS 觀測等。
36. 地化異常是否與地震機制(地震斷層面解)相關請評估討論。	36.答：未來會逐步釐清與震源機制間的關聯。
37. 三個子計畫的報告格式不統一。	37.答：已修正。
38. 水氡,土氡應用的範圍有很大的差異。	38.答：應用的範圍大小跟觀測站的地點是否敏感有很大的關係，本計畫水氡的觀測結果比較針對縱谷南段的斷層活動性，未來將在台灣西部地區進行測試。
39. 土氡不敏感的站是否應移位?	39.答：二溪觀測站建議遷站。
40. 目錄，從 2-3 節至 3-6 節頁次全都編錯，請修正。	40.答：已修正。
41. 表 5-2 請修正範圍，以符頁面大小。	41.答：已修正。
42. P.256,文中「凌晨」皆誤植為「淩晨」，請修正。	42.答：已修正。
43. P.283，按章節編碼，此圖應為圖 6-1。	43.答：已修正。
44. P.282，同上，文中相對應部分請修正。	44.答：已修正。

9-3：水氡監測分析方法

A 地下水水氡量測

A-1 地下水水氡現地採樣方法

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

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

(B) 將裝滿地下水樣的採樣瓶以鐵氟龍瓶蓋封好。

(C) 上下翻動採樣瓶，確保採樣瓶內沒有氣泡。

(D) 若有氣泡產生，則須重新採樣。

(E) 確實記錄採樣日期及時間(供核衰變校正用)。

(F) 採樣後，在 4 天內運送回實驗室並完成分析。

A-2 地下水水氡分析原理

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

A-3 地下水水氡實驗室分析方法

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

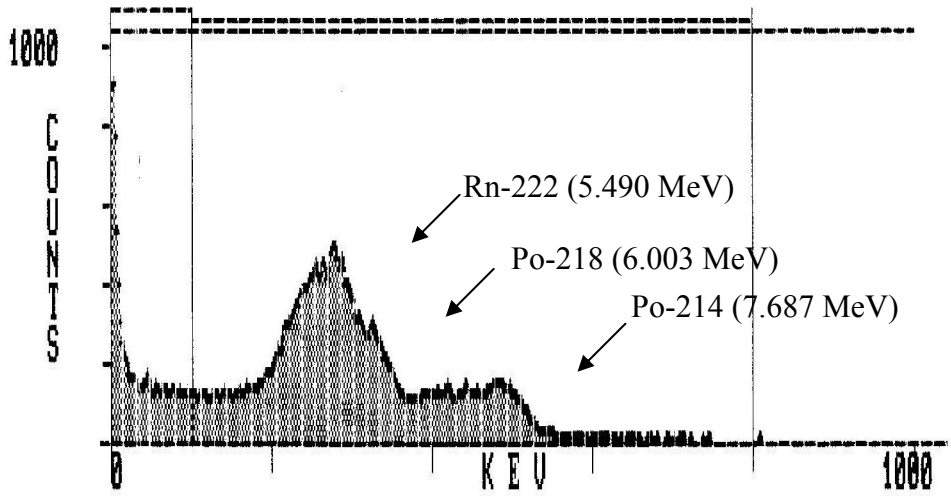


圖 A-1：水氡標準溶液液態閃爍計數之典型圖譜。

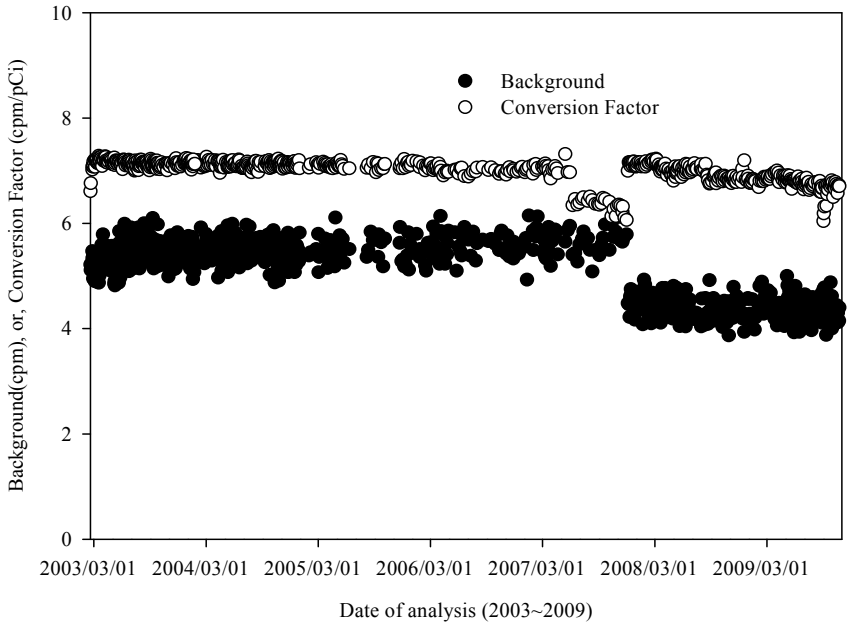


圖 A-2：水氡分析實驗室品保品管歷線圖（背景值及校正因子）。

B 地下水溶解氣體組成分析

B-1 地下水溶解氣體現地採樣方法

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

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

(B) 將樣本保持倒置並以 4 ºC 溫度保存，送回實驗室。

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

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

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

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

B-2 地下水溶解氣體分析原理

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CH_4及N_2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。

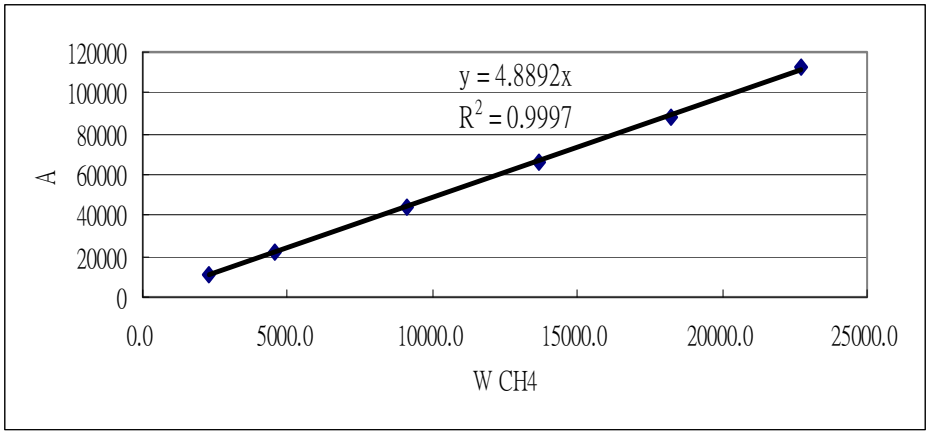


圖 B-1：甲烷（CH_4）檢量線。

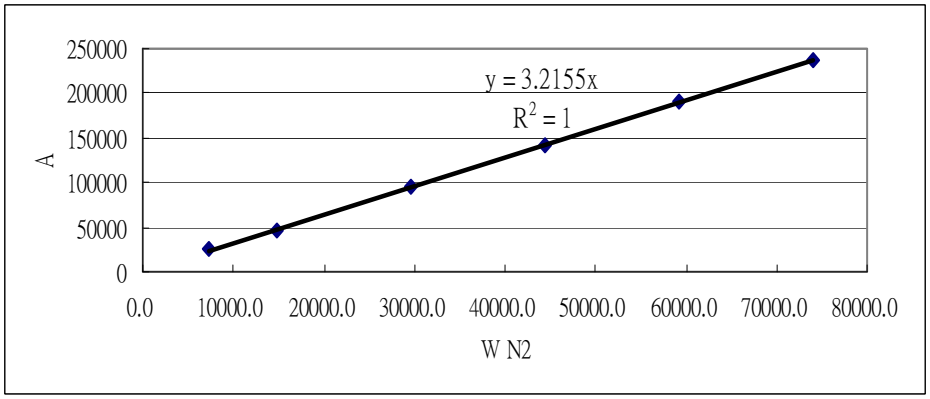


圖 B-2：氮（N_2）檢量線。

(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） 含水層為揭限（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，揭限（Confined）含水層保持充滿水，飽和含水層厚度不變。而在未揭限含水層（Unconfined Aquifer）若觀測景水位下降量(s)小於原來飽和厚度(m)之 25%，可以使用水位下降的校正式：

$s' = s - \frac{s^2}{2m}$ （Jacob, 1963）

然後再使用 Theis 的標準曲線法來估算地下含水層的 T 及 S 值。此即為 Thies 標準曲線比對法。Cooper 和 Jacob 發現當抽水時間（t）很長或是觀測井與抽水井之距離（r）很短，在 u 值小於 0.01 時，Theis 解 C-2 式可以和下式 C-4 相似（Cooper and Jacob, 1946）：

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

C-4 式又可以改寫成

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

其中：

s：地下水水位下降量(m)

r：抽水井至觀測點之距離(m)

T：導水係數(m^2/min)

S：儲水係數

t：抽水延時(min)

Q：抽水率(m^3/min)

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

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

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

其中 a 是直線斜率，b 是截距。

假設 s = 0，由方程式 C-6 可得：

$$\log t = -(b/a) \qquad \text{C-7}$$

可修改成：

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

此時所得到之 t 視為 t_0。

同時由方程式 C-6 得直線斜率 a 帶入方程式 C-5 可得：

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

由已知的抽水流量 Q 可求得導水係數 T。

又 s = 0 時，方程式 C-5 中可得：

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

可修改成：

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

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

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

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

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

D 地下水溫度監測方法

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

D-1 地下水溫度分析原理

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

D-2 地下水溫度分析方法

原始資料判讀分析後，進行三個階段的溫度資料點整理：

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

D-3 地下水溫度量測儀器資訊

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

D-4　溫度計校正 QAQC

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

(1) 將標準電阻溫度計與待校正電阻溫度計置入恆溫震盪槽內，並將槽的溫度設定為 60℃。
(2) 放置 4 小時，並接收數據進行整理。
(3) 將數據做比對，進行參數調整。
(4) 放置一天，並關掉恆溫震盪儀之加熱，使水溫回到室溫。
(5) 觀察溫度變化圖。
(6) 校正完成並紀錄參數。

9-4：2008 年 11 月至 2009 年 11 月地下水壓資料缺漏部分

台北	明德	2009/3/26-2009/4/7
		2009/7/31-2009/9/5
	錦和	2008/11/21-2009/5/27
		2009/7/7-2009/7/14
		2009/10/17-2009/10/19
新竹	新樂	2009/4/4-2009/4/5
	梅花	2009/1/30-2009/3/25
		2009/4/2-2009/4/9
		2009/11/6之後資料記錄零星
	雙溪	2009/12/5-2009/4/8
嘉義	沄水	2009/4/9-2009/5/7
		2009/8/7-2009/8/9
	太興	2009/5/24-2009/7/9
		2009/8/6-2009/9/16
	中興	2009/5/17-2009/6/1
		2009/6/5-2009/6/18
		2009/6/21-2009/7/9
		2009/7/13-2009/7/31
		2009/8/6-2009/8/22
		2009/9/3-2009/9/8
		2009/9/10-2009/9/15
	達邦	2008/12/4-2009/4/10
		2009/8/6-2009/8/26

9-5：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. (2009) The origin and detection of spike-like anomalies in soil gas radon time series. Geochemical Journal (accepted) (SCI)

(2) 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, doi: 10.1016/j.radmeas.2009.10.095. (SCI)

(3) 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. (2009) Nitrogen as the carrier gas for helium emission along an active fault in NW Taiwan. Applied Geochemistry (accepted) (SCI)

(4) Kuo, T., Cheng, W., Lin, C., Fan, K., Chang, G. and Yang, T. (2009) Simultaneous declines in radon and methane precursory to 2008 Mw 5.0 Antung earthquake: corroboration of in-situ volatilization. Natural Hazards, doi: 10.17.007/s11069-009-9473-1.

(5) Kuo, T., Lin, C., Chang, C., Fan, K., Cheng, W. and Lewis, C. (2009) 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, DOI:10.1007/s11069-009-9423-y.

(6) 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)

(7) Walia, V., Lin, S.J., Fu, C.C., Yang, T.F., Wen, K.L. and Chen, C-H. (2009) Soil-gas monitoring: A tool for fault delineation studies along Hsinhua Fault (Tainan), Southern Taiwan. Applied Geochemistry (accepted) (SCI)

(8) 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)

(9) 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, doi: 10.1016/j.radmeas. 2009.10.010. (SCI)

(10) Yang, T.F., Marty, B., Hilton, D.R. and Kurz, M.D. (2009) Geochemical applications of noble gases. Chemical Geology, 266, 1-3. (SCI)

(11) 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)

(12) 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)

(13) Kuochen, H., Wu, Y.M., Chen, Y.G. and Chen, R.Y. (2007) Mw6.8 Chengkung earthquake and its associated seismogenic structures. J. Asian Earth Sci., doi:10.1016/j.jseaes.2006.07.028. (SCI)

(14) 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)

(15) 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. J Environ Radioact, 88, 101-106. (SCI)

(16) 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)

(17) Chyi, L.L., Quick, T.J., Yang, T.F. and Chen, C-H. (2005) Soil gas radon spectra and earthquakes. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 16(4), 763-774. (SCI)

(18) 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)

(19) 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. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 16(4), 745-762. (SCI)

(20) 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)

(21) 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)

(22) 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. *Bull. Cent. Geol. Survey*, 17, 129-174. (in Chinese)

(23) 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)

(24) 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. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* 14(3), 311-320. (SCI)

(25) 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)

(26) 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.

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

專書論文

(1) Chyi, L.L., Quick, T.J., Yang, 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.

(2) Yang, T.F., Chen, C-H. and Liu, T.K. (2005) Special issue on Geochemical Investigations on the Geohazards. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 16(4). (SCI)

(3) 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、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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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) 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.

(2) 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.

(3) 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.

(4) 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.

(5) 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.

(6) 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.

(7) 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.

(8) 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.

(9) 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.

(10) 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.

(11) 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.

(12) 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.

(13) 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.

(14) 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.

(15) 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.

(16) 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.

(17) 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.

(18) 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.

(19) 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.

(20) 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.