中央地質調查所報告第 97-07 號
委辦計畫編號（97-5226902000-01-02）

斷層活動性觀測研究-第 1 階段

斷層活動性之地球化學觀測與研究

(4/4)

期末報告

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行單位：國立台灣大學
中華民國九十七年十二月

經濟部

斷層活動性觀測研究-第 1 階段
斷層活動性之地球化學觀測與研究
(4/4)

期末報告

計畫主持人：楊燦堯

協同計畫主持人：劉聰桂

研究員：陳正宏、吳逸民、齊麟

研究助理：傅慶州、吳國維

執行期限：97 年 1 月 31 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

中 華 民 國 九 十 七 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。

本計畫為四年期計畫（94-97 年度），於台灣各活動斷層區設置氣體與水位遠端傳輸觀測站，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（97）年度持續對於嘉義中崙濁水潭、新竹大平地、嘉義梅山、台南二溪已設置之四座氣體觀測站持續觀測外，並分別於台灣東部池上地區和屏東潮州斷層附近各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。本年度中崙濁水潭和梅山觀測站前半年皆紀錄數起可能的震前異常變化，不過下半年後受到豪大雨的影響，造成觀測資料不易辨識；大平地與二溪觀測站則皆未記錄到較明顯的異常前兆訊息。

水位觀測部分，本（97）年度整理與分析寶山鄉雙溪國小、尖石鄉新樂國小、尖石鄉梅花國小、中埔鄉沄水國小、竹崎鄉中興國小、梅山鄉太興國小、阿里山鄉達邦國小、中和市錦和國小與三峽鎮明德國中等，共 9 個地下水位（水壓）觀測井，探討地下水壓（水位）與地震之關係。分析結果顯示，嘉義地區除沄水井外，其餘三口觀測井（即竹崎鄉中興國小、梅山鄉太興國小、和阿里山鄉達邦國小），在觀測期間都出現震前水壓異常變化，非常值得後續長期觀測；其餘水位站則因降雨及其他未知因素之影響，對地震前應力場改變，並不易判別相關性。

Abstract

It has been generally recognized that long-term monitoring of gas composition and groundwater-level at appropriate sites in 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.

This four-year project spans from 2005 to 2008. We have setup continuous monitoring stations for measuring gas compositions and water-level, respectively, at some active zones. Long-term monitoring will be continued to verify the relation between geochemical/water-level variations and earthquake activities in the study areas. So far, the results of this project have confirmed the occurrence of precursors of some local earthquakes.

During the year 2008, we have maintained the existing stations and collected data of gas compositions and water levels. In addition, we have setup two soil gas monitoring stations at selected areas of southern and eastern Taiwan. The stations are fully automatic and able to transfer real-time measurements to Taipei (NTU) for further integration and interpretations of related data. The monitoring results show that soil gases of some stations were sensitive to the local earthquakes and may record some precursors. However, the results of some stations were significantly affected by the heavy rains, especially during the typhoon season.

We have also analyzed the time series variations of water level data from 9 monitoring wells. The results showed that three stations in Chia-yi area may have recorded water level changes prior to some local earthquakes and worthy for further continuous monitoring. Unfortunately, the data obtained from other monitoring wells were not able to recognize the relationship between the water level variations and the local stress changes before quakes due to the heavy rains and unknown factors.

斷層活動性之地球化學觀測與研究(4/4)

目　錄

中文摘要.....I
英文摘要.....II
目錄.....III
表目錄.....V
圖目錄..... V

壹、緒論..... 1
1-1　本年度之工作項目..... 2
1-2　目前工作進度..... 2

貳、氣體觀測站觀測結果..... 4
2-1　觀測站主要使用儀器..... 4
2-1.1　四極桿質譜儀..... 4
2-1.2　氡氣偵測儀..... 4
2-1.3　地震儀..... 4
2-1.4　觀測站分佈位置..... 5
2-2　嘉義中崙濁水潭土壤氣體觀測站..... 5
2-2.1　四極桿質譜儀分析結果..... 5
2-2.2　氡氣偵測儀分析結果..... 6
2-3　新竹大平地土壤氣體觀測站..... 29
2-4　嘉義梅山土壤氣體觀測站..... 41
2-5　台南二溪土壤氣體觀測站..... 53
2-6　人工採樣分析結果..... 65

參、新觀測站設置..... 67
3-1　前言..... 67
3-2　研究地區..... 67
3-3　氣體觀測站位址之選擇與設置..... 73
3-4　屏東潮州氣體觀測站..... 75
3-5　台東池上氣體觀測站..... 79

3-6 梅山氣體觀測站未來可能遷站地點..... 82

肆、地下水位觀測..... 86
4-1 前言..... 86
4-2 地下水壓變動觀測結果.....86
4-2.1 新竹寶山雙溪國小水壓觀測井 86
4-2.2 新竹尖石新樂國小觀測站 95
4-2.3 新竹尖石梅花國小觀測站 105
4-2.4 嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測站 115
4-2.5 嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測站 121
4-2.6 嘉義縣梅山鄉太興國小觀測站 135
4-2.7 嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測站 148
4-2.8 台北縣中和市錦和國小觀測站 162
4-2.9 台北縣三峽鎮明德國中觀測站 166

伍、線上網頁資料庫……170

陸、評估觀測站氣體成份、水位變化與地震活動之關聯性 172
6-1 中崙濁水潭觀測站..... 172
6-2 新竹大平地氣體觀測站..... 172
6-3 嘉義梅山氣體觀測站 172
6-4 台南二溪氣體觀測站..... 172
6-5 水壓觀測站.....172

柒、結論與建議……175

捌、本階段觀測結果總評估……177
8-1 前言.....177
8-2 氣體觀測站之可能前兆訊息與地震活動的關聯性.....177
8-3 氣體觀測站位址之選擇、設置與維護…… 184
8-4 地下水壓變動觀測結果.....189
8-5 土壤氣體與地下水壓觀測之相關性.....202
8-6 各觀測站敏感因子的評估.....203

玖、參考文獻……204

拾、附錄（附錄 10-5、10-6 請參照光碟電子檔）……206
附錄 10-1：今年期中報告審查委員意見及答覆情形.....206
附錄 10-2：今年期末報告審查委員意見及答覆情形.....208

附錄 10-3：水位觀測站之觀測井地層柱狀圖資料.....211
10-3-1 新竹縣雙溪國小觀測井.....211
10-3-2 嘉義縣沄水國小觀測井.....213
10-3-3 新竹縣梅花國小觀測井.....218
10-3-4 新竹縣新樂國小觀測井.....224
10-3-5 嘉義縣中興國小觀測井.....230
10-3-6 嘉義縣太興國小觀測井.....236
10-3-7 嘉義縣達邦舊公所觀測井.....242
10-3-8 台北縣錦和國小觀測井.....248
10-3-9 台北縣明德國中觀測井.....254
附錄 10-4：與本計畫相關之研究成果目錄.....260
附錄 10-5：各土壤氣體觀測站氣體成份連續觀測結果（詳電子檔資料）
附錄 10-6：各水位井觀測站連續觀測結果（詳電子檔資料）

表目錄

表 1-1　預期進度甘梯圖及實際工作進度.....3
表 2-1　既有觀測站位置座標.....5
表 2-2　觀測站人工採樣氣體成份表..... 65
表 3-1　候選區不同時間的土壤氣體成份分析結果..... 82
表 8-1　大平地觀測站觀測結果與地震活動之關聯性.....180
表 8-2　本研究對於各觀測站的綜合評估.....203

圖目錄

圖 2-1：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2007/12/1～2007/12/31）.....8
圖 2-2：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/1/1～2008/1/31）.....9
圖 2-3：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/2/1～2008/2/29）.....10
圖 2-4：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/3/1～2008/3/31）.....11
圖 2-5：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/4/1～2008/4/30）.....12
圖 2-6：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/5/1～2008/5/31）.....13
圖 2-7：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/6/1～2008/6/30）.....14
圖 2-8：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/7/1～2008/7/31）.....15
圖 2-9：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/8/1～2008/8/31）.....16

圖 2-10：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/9/1～2008/9/30）.....17
圖 2-11：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/10/1～2008/11/5）.....18
圖 2-12：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/1/1～2008/1/31）.....19
圖 2-13：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/2/1～2008/2/28）.....20
圖 2-14：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/3/1～2008/3/31）.....21
圖 2-15：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/4/1～2008/4/30）.....22
圖 2-16：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/5/1～2008/5/31）.....23
圖 2-17：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/6/1～2008/6/30）.....24
圖 2-18：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/7/1～2008/7/31）.....25
圖 2-19：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/8/1～2008/8/31）.....26
圖 2-20：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/9/1～2008/9/30）.....27
圖 2-21：中崙濁水潭土壤氡氣成份連續變化（2008/10/1～2008/11/10）.....28
圖 2-22：新竹大平地觀測站觀測結果（2007/12/1～2007/12/31）.....30
圖 2-23：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/1/1～2008/1/31）.....31
圖 2-24：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/2/1～2008/2/29）.....32
圖 2-25：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/3/1～2008/3/31）.....33
圖 2-26：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/4/1～2008/4/30）.....34
圖 2-27：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/5/1～2008/5/31）.....35
圖 2-28：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/6/1～2008/6/30）.....36
圖 2-29：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/7/1～2008/7/31）.....37
圖 2-30：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/8/1～2008/8/31）.....38
圖 2-31：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/9/1～2008/9/30）.....39
圖 2-32：新竹大平地觀測站觀測結果（2008/10/1～2008/10/31）.....40
圖 2-33：嘉義梅山觀測站觀測結果（2007/12/1～2007/12/31）.....42
圖 2-34：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/1/1～2008/1/31）.....43
圖 2-35：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/2/1～2008/2/29）.....44
圖 2-36：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/3/1～2008/3/31）.....45
圖 2-37：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/4/1～2008/4/30）.....46
圖 2-38：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/5/1～2008/5/31）.....47
圖 2-39：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/6/1～2008/6/30）.....48
圖 2-40：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/7/1～2008/7/31）.....49
圖 2-41：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/8/1～2008/8/31）.....50
圖 2-42：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/9/1～2008/9/30）.....51
圖 2-43：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/10/1～2008/11/10）.....52
圖 2-44：台南二溪觀測站觀測結果（2006/12/1～2006/12/31）.....54

圖 2-45：台南二溪觀測站觀測結果（2008/1/1～2008/1/31）.....55
圖 2-46：台南二溪觀測站觀測結果（2008/2/1～2008/2/29）.....56
圖 2-47：台南二溪觀測站觀測結果（2008/3/1～2008/3/31）.....57
圖 2-48：台南二溪觀測站觀測結果（2008/4/1～2008/4/30）.....58
圖 2-49：台南二溪觀測站觀測結果（2008/5/1～2008/5/31）.....59
圖 2-50：台南二溪觀測站觀測結果（2008/6/1～2008/6/30）.....60
圖 2-51：台南二溪觀測站觀測結果（2008/7/1～2008/7/31）.....61
圖 2-52：台南二溪觀測站觀測結果（2008/8/1～2008/8/31）.....62
圖 2-53：台南二溪觀測站觀測結果（2008/9/1～2008/9/30）.....63
圖 2-54：台南二溪觀測站觀測結果（2008/10/1～2008/11/10）.....64
圖 3-1 ：成功地區土壤氣體氡氣(Rn)濃度異常分佈圖 69
圖 3-2 ：池上地區土壤氣體氡氣(Rn)濃度異常分佈圖 70
圖 3-3 ：土壤氣調查所推測的潮州斷層附近之斷層或破裂帶分佈圖.....71
圖 3-4 ：屏東科技大學校園內土壤氣體等濃度分布圖.....72
圖 3-5 ：氣體觀測站設置示意圖.....74
圖 3-6 ：潮州氣體觀測站設置流程圖.....76
圖 3-7 ：屏東潮州觀測站測試結果（2008/9/1～2008/10/15）.....77
圖 3-8 ：屏東潮州觀測站測試結果（2008/10/15～2008/12/15）.....78
圖 3-9 ：池上氣體觀測站設置流程圖.....80
圖 3-10 ：台東池上觀測站測試結果（2008/9/23～2008/12/15）.....81
圖 3-11 ：梅山-古坑地區土壤氣體氡氣(Rn)濃度異常分佈圖 83
圖 3-12 ：梅山-古坑地區土壤氣體氡氣(Rn)濃度異常分佈圖 84
圖 3-13 ：候選區現地照片.....85
圖 4-1：新竹縣寶山雙溪國小地下水位觀測井位置圖.....87
圖 4-2a：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/3/14～2006/3/31）.....88
圖 4-2b：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/4/1～2006/6/30）.....88
圖 4-2c：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/7/1～2006/9/30）.....89
圖 4-2d：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/10/1～2006/12/31）.....89
圖 4-2e：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/1/1～2007/3/31）.....90
圖 4-2f：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/4/1～2007/6/30）.....91
圖 4-2g：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/7/1～2007/9/30）.....91
圖 4-2h：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/10/1～2007/12/31）.....92
圖 4-2i：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/1/1～2008/3/31）.....92
圖 4-2j：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/4/1～2008/6/30）.....93
圖 4-2k：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/7/1～2008/9/30）.....94

圖 4-2l：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/10/1～2008/11/11）……95
圖 4-3：新竹縣尖石鄉新樂國小地下水位觀測井位置圖……96
圖 4-4a：新樂國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/11/23～2006/12/31）……97
圖 4-4b：新樂國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/1/1～2007/3/31）……98
圖 4-4c：新樂國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/4/1～2007/6/30）……99
圖 4-4d：新樂國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/7/1～2007/9/30）……100
圖 4-4e：新樂國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/10/1～2007/12/31）……101
圖 4-4f：新樂國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/1/1～2008/3/31）……102
圖 4-4g：新樂國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/4/1～2008/6/30）……103
圖 4-4h：新樂國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/7/1～2008/9/30）……104
圖 4-4i：新樂國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/10/1～2008/11/6）……105
圖 4-5：新竹縣尖石鄉梅花國小地下水位觀測井位置圖……106
圖 4-6a：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2005/7/28～2005/9/30）……106
圖 4-6b：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2005/10/1～2005/12/31）……107
圖 4-6c：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/1/1～2006/3/31）……107
圖 4-6d：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/4/1～2006/6/30）……108
圖 4-6e：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/7/1～2008/9/30）……108
圖 4-6f：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/10/1～2006/12/31）……109
圖 4-6g：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/1/1～2007/3/31）……110
圖 4-6h：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/4/1～2007/6/30）……110
圖 4-6i：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/7/1～2007/9/30）……111
圖 4-6j：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/10/1～2007/12/31）……111
圖 4-6k：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/1/1～2008/3/31）……112
圖 4-6l：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/4/1～2008/6/30）……112
圖 4-6m：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/7/1～2008/9/30）……113
圖 4-6n：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/10/1～2008/11/2）……114
圖 4-7：沄水國小觀測井附近地質圖……115
圖 4-8a：沄水國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/10/1～2006/12/31）……116
圖 4-8b：沄水國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/1/1～2007/3/31）……117
圖 4-8c：沄水國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/4/1～2007/6/30）……118
圖 4-8d：沄水國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/7/1～2007/9/30）……118
圖 4-8e：沄水國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/10/1～2007/12/31）……119
圖 4-8f：沄水國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/1/1～2008/3/31）……119
圖 4-8g：沄水國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/4/1～2008/6/30）……120
圖 4-8h：沄水國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/7/1～2008/9/30）……120

圖 4-8i：沄水國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/10/1～2008/11/11）……121
圖 4-9：嘉義縣竹崎鄉中興國小地下水位觀測井位置圖……122
圖 4-10a：中興國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/3/6～2006/3/31）……123
圖 4-10b：中興國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/4/1～2006/6/30）……124
圖 4-10c：中興國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/7/1～2006/9/30）……125
圖 4-10d：中興國小觀測井之水壓觀測值結果(2006/10/1～2006/12/31)……126
圖 4-10e：中興國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/1/1～2007/3/31）……126
圖 4-10f：中興國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/4/1～2007/6/30）……127
圖 4-10g：中興國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/7/1～2007/9/30）……128
圖 4-10h：中興國小觀測井之水壓觀測值結果(2007/10/1～2007/12/31)……129
圖 4-10i：中興國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/1/1～2008/3/31）……130
圖 4-10j：中興國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/4/1～2008/6/30）……131
圖 4-10k：中興國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/7/1～2008/9/30）……132
圖 4-10l：中興國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/10/1～2008/11/4）……133
圖 4-11：中興國小觀測井之水壓觀測值與地震分佈圖……134
圖 4-12：嘉義縣梅山鄉太興國小地下水位觀測井位置圖……135
圖 4-13a：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/3/8～2006/3/31）……136
圖 4-13b：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/4/1～2006/6/30）……137
圖 4-13c：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/7/1～2006/9/30）……138
圖 4-13d：太興國小觀測井之水壓觀測值結果(2006/10/1～2006/12/31)……139
圖 4-13e：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/1/1～2007/3/31）……140
圖 4-13f：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/4/1～2007/6/30）……141
圖 4-13g：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/7/1～2007/9/30）……142
圖 4-13h：太興國小觀測井之水壓觀測值結果(2007/10/1～2007/12/31)……143
圖 4-13i：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/1/1～2008/3/31）……144
圖 4-13j：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/4/1～2008/6/30）……145
圖 4-13k：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/7/1～2008/9/30）……146
圖 4-13l：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/10/1～2008/11/5）……146
圖 4-14：太興國小觀測井之水壓觀測值與地震分佈圖……147
圖 4-15：嘉義縣阿里山鄉達邦國小地下水位觀測井位置圖……148
圖 4-16a：達邦國小觀測井之水壓觀測值結果(2006/12/5～2006/12/31)……149
圖 4-16b：達邦國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/1/1～2007/3/31）……150
圖 4-16c：達邦國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/4/1～2007/6/30）……151
圖 4-16d：達邦國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/7/1～2007/9/30）……151
圖 4-16e：達邦國小觀測井之水壓觀測值結果(2007/10/1～2007/12/31)……152

圖 4-16f：達邦國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/1/1～2008/3/31）……153
圖 4-16g：達邦國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/4/1～2008/6/30）……154
圖 4-16h：達邦國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/7/1～2008/9/30）……155
圖 4-16i：達邦國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/10/1～2008/11/6）……155
圖 4-17：達邦國小觀測井之水壓觀測值與地震分佈圖……156
圖 4-18a：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測值結果（2008/1/1～2008/3/31）…157
圖 4-18b：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測值結果（2008/2/14～2008/2/19）…158
圖 4-18c：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測值結果（2008/4/1～2008/6/30）…159
圖 4-18d：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測值結果（2008/7/1～2008/9/30）…160
圖 4-18e：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測值結果（2008/10/1～2008/11/6）…161
圖 4-19：台北縣中和市錦和國小地下水位觀測井位置圖……162
圖 4-20a：錦和國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/10/1～2007/12/31）……163
圖 4-20b：錦和國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/1/1～2008/3/31）……164
圖 4-20c：錦和國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/4/1～2008/6/30）……164
圖 4-20d：錦和國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/7/1～2008/9/30）……165
圖 4-20e：錦和國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/10/1～2008/11/4）……165
圖 4-21：台北縣三峽鎮明德國中地下水位觀測井位置圖……166
圖 4-22a：明德國中觀測井之水壓觀測值結果（2007/10/1～2007/12/31）……167
圖 4-22b：明德國中觀測井之水壓觀測值結果（2008/1/1～2008/3/31）……168
圖 4-22c：明德國中觀測井之水壓觀測值結果（2008/4/1～2008/6/30）……168
圖 4-22d：明德國中觀測井之水壓觀測值結果（2008/7/1～2008/9/30）……169
圖 4-22e：明德國中觀測井之水壓觀測值結果（2008/10/1～2008/10/2）……169
圖 6-1：氣體和地下水觀測站之觀測結果（2008/1/1～2008/3/31）…174
圖 8-1：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/6/15～2007/9/30）……178
圖 8-2：大平地觀測站所測得地震震度的地震分布圖……179
圖 8-3：梅山觀測站所測得地震震度的地震分布圖……181
圖 8-4：中崙觀測站所測得地震震度的地震分布圖……182
圖 8-5：二溪觀測站所測得地震震度的地震分布圖……183
圖 8-6：嘉義中崙溫泉井觀測站觀測結果（2005/11/1～2006/11/30）…185
圖 8-7：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/1/1～2008/7/31）……186
圖 8-8：嘉義梅山觀測站觀測結果（2008/8/1～2008/11/10）……187
圖 8-9：嘉義梅山觀測站地基淘空與周遭受到破壞的情形……188
圖 8-10：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/1/1-2007/3/31）……190
圖 8-11：雙溪國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/4/1-2008/6/30）……191
圖 8-12：新樂國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/4/1-2008/6/30）……192

圖 8-13：梅花國小觀測井之水壓觀測值結果（2006/10/1-2006/12/31）.....193
圖 8-14：沄水國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/7/1-2007/9/30）.....194
圖 8-15：中興國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/1/1-2008/3/31）.....195
圖 8-16：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/1/1-2007/3/31）.....196
圖 8-17：太興國小觀測井之水壓觀測值結果（2008/1/1-2008/3/31）.....197
圖 8-18：達邦國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/1/1-2007/3/31）.....198
圖 8-19：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測值結果(2008/1/1-2008/3/31).....199
圖 8-20：錦和國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/10/1-2007/12/31）.....200
圖 8-21：明德國小觀測井之水壓觀測值結果（2007/10/1-2007/12/31）.....201
圖 8-22：氣體和地下水觀測站之觀測結果（2008/1/1～2008/3/31）.....202
圖 10-1：新竹縣雙溪國小鑽井岩芯柱狀圖.....211
圖 10-2：新竹縣寶山鑽井井測圖.....212
圖 10-3：嘉義沄水國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖.....213
圖 10-4：新竹梅花國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖.....218
圖 10-5：新竹縣梅花國小電井測曲線圖.....223
圖 10-6：新竹新樂國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖.....224
圖 10-7：新竹縣新樂國小電井測曲線圖.....229
圖 10-8：嘉義中興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖.....230
圖 10-9：嘉義縣中興國小電井測曲線圖.....235
圖 10-10：嘉義太興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖.....236
圖 10-11：嘉義縣太興國小電井測曲線圖.....241
圖 10-12：嘉義達邦舊公所觀測站之鑽孔地質柱狀圖.....242
圖 10-13：嘉義縣達邦舊公所電井測曲線圖.....247
圖 10-14：台北錦和國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖.....248
圖 10-15：台北縣錦和國小電井測曲線圖.....253
圖 10-16：台北明德國中觀測站之鑽孔地質柱狀圖.....254
圖 10-17：台北縣明德國中電井測曲線圖.....259

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。

本計畫為四年期計畫（94-97 年度），將於台灣各活動斷層區逐年逐區新設置共氣體與水位遠端傳輸觀測站，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（97）年度，持續對於嘉義中崙濁水潭、新竹大平地、嘉義梅山、台南二溪已設置之四座氣體觀測站；及新竹雙溪國小、嘉義沄水國小水位觀測站持續觀測外，亦於台灣東部池上地區和屏東潮州斷層附近，選擇對於斷層與地震活動較為敏感的位置，設置新氣體觀測站，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。

1-1 本年度之工作項目：

（I） 持續維護已設置之氣體遠端傳輸觀測站與水位觀測井，分析其土壤氣體成份與水位變化。

（II） 於台東（池上或成功地區）和屏東潮州斷層區，分別設置土壤氣體遠端傳輸觀測站（共2站）。本觀測站將可以長期觀測土壤氣體CO_2與Rn兩種成份之變化，及當地溫、濕度，與雨量之變化。

（III） 將原有嘉義中崙溫泉井站的儀器設備遷至鄰近的嘉義中崙濁水潭站，以期進一步確認中崙濁水潭站氣體成份異常變化的可信度與真實性。

（IV） 將觀測資料同步轉移至委託單位之伺服器，並協助完成技術轉移事項。

（V） 評估同震地下水位變化與地震活動之關聯性。

（VI） 收集鄰近地殼、地震活動觀測資料，分析觀測站氣體成份、水位變化與當地斷層、地震活動之關聯性。

（VII） 評估本階段氣體成份與水位觀測結果，及觀測斷層與地震活動之可能前兆訊息。

（VIII） 繳交依審查意見修正後之研究成果報告書、及本階段總結報告書30份；及電子資料檔光碟1份。

1-2 目前工作進度：

1. 針對已設置之氣體連續觀測站與水位觀測井，持續分析其土壤氣體成份與水位變化。
2. 已分別於屏東潮州斷層地區-屏東科技大學校園內和台東池上地區，選擇適合設置連續氣體觀測站的位址，並已完成觀測站的設立。
3. 已將原有嘉義中崙溫泉井站的儀器設備遷至鄰近的嘉義中崙濁水潭站，以進一步確認中崙濁水潭站氣體成份異常變化的可信度與真實性。
4. 評估同震地下水位變化與地震活動之關聯性。
5. 持續收集鄰近地殼、地震活動觀測資料，試著分析觀測站氣體成份、水位變化與當地斷層、地震活動之關聯性。
6. 持續進行人工採樣與背景值分析。

表 1-1、預期進度甘梯圖（黑）及實際工作進度（紅）

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	第11月	第12月	備 註
相關文獻搜集整理分析													
既有觀測站持續分析數據													
新觀測站設置位址探勘													
新觀測站設置儀器採購													
新的觀測站設置與儀器設備安裝設置													
觀測站定期氣體採樣													
樣本分析、測定													
第一季查核點													
第二季查核點													
期中報告													
第三季查核點													
期末報告													
第四季查核點													
預 定 進 度 （ 累 積 數 ）	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%	

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、氪氣等）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、

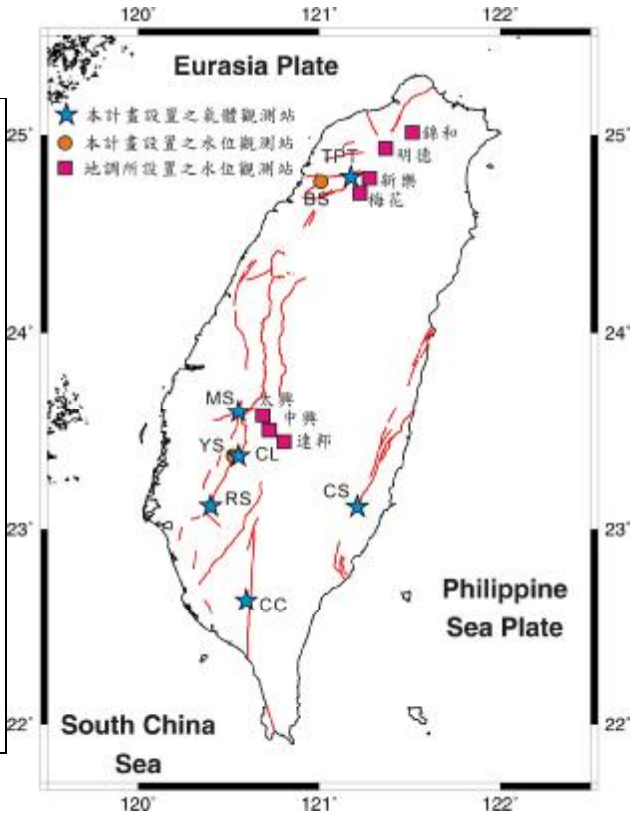
原理同樣請參照斷層活動性之地球化學觀測與研究(1/4)（楊燦堯等，2005）。

2-1.4 觀測站分佈位置

表2-1顯示各觀測站的分佈位置。

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 (CL3)	204643	2586520
大平地測站 (TPD)	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



2-2 嘉義中崙濁水潭土壤氣體觀測站

2-2.1 四極桿質譜儀分析結果

圖2-1至2-11為中崙濁水潭之土壤氣體成份連續分析結果，而圖由上至下分別為土壤氣成分的分壓、體積百分比和比值的連續分析結果。圖2-1、圖2-2為2007年12月至2008年1月的分析結果，顯示觀測結果沒有太大的波動，不過在2008年1月9日至14日由於水氣增加造成各成分明顯下降，而14日恢復後背景值每日的變化增大。圖2-3於2月9日各成分開始升高直至18日恢復背景值後，於東部地區發生一起規模4.1，震度為2級的地震。圖2-4於3月有數起地震事件發生，其中4日的異常升高趨勢可能跟嘉義附近的地震有關，而5日發生的地震位置幾乎就觀測站附近（地震規模5.5，震度為5級），在此地震之後各成分開始逐漸升高直至11日達到穩定，這可能

是因為地震改變原來的逸氣系統所致，而之後的三起地震則無顯著成分異常出現。圖2-5在4月初各成份有明顯升高，不過附近並沒有記錄到任何地震活動，其原因仍有待討論；19日和24日分別在嘉義與東部外海發生一起地震（地震規模3.7，震度為2級和地震規模5.9，震度為2級），各氣體成份於17日升高至22日降低為背景值，這異常升高的變化可能與這兩起地震事件有關。圖2-6中8日、9日和10日的三起地震雖都發生在觀測站附近，不過成份並沒有明顯變化；而相對的在24日起成份增加卻無地震活動，其中的原因仍有待查明。而圖2-7的觀測結果則因水氣的影響造成很大的波動，雖然其間發生了三起地震且在地震發生之前成份也有明顯的增加，不過由於水氣的因素，使得無法確實的指出之間的關連性。而圖2-8到圖2-10的觀測結果也同樣因水氣的影響造成很大的波動，直至圖2-11的10月初儀器恢復穩定背景值，在10月19日左右發現甲烷濃度有增加的趨勢，這個現像一直持續到10月底，這與10月31日發生在台南地區的地震可能有關（地震規模4.6，震度為2級，地震深度15.4公里）。

2-2.2 氡氣偵測儀分析結果

圖2-12至2-21為中崙濁水潭之土壤氡氣成份連續分析結果。而2007年12月的觀測結果由於氡氣分析儀損壞造成資料中斷。圖2-12為1月的觀測結果，於9日至14日由於水氣增加造成氡氣濃度下降，而26日氡氣濃度雖然升高並持續了一天左右，不過觀測站周遭並沒有紀錄到相對應的地震活動。 圖2-13中氡氣濃度似乎受到土壤濕度的變化產生明顯的波動。於2月19日將原來裝置在中崙溫泉井測站的儀器移至濁水潭測站，不過兩台氡氣分析儀的背景值並不一致，大約差距10000 Bq/m^3左右，但相對的變化則相當一致，併站的觀測結果有助於增加濃度變化的可信度。圖2-14於3月雖有數起地震事件發生，但期間土壤氣濃度的變化並不顯著，無法明顯的指出與地震活動之間的相關性。圖2-15在4月初其中一台氡氣分析儀出現顯著變化（Radon降低，Thoron升高），不過另一台卻無變化，因此這應是儀器本身所造成的假訊號所致。土壤氡氣濃度於17日升高至22日降低後恢復為背景值，而19日和24日分別在嘉義與東部外海發生一起地震（地震規模3.7，震度為2級和地震規模5.9，

震度為2級)，這異常升高的變化可能與這兩起地震事件有關，這與QMS的觀測結果一致。。不過附近並沒有記錄到任何地震活動，其原因仍有待討論；圖2-16中5月2日至6日氡氣濃度呈現異常升高，這與8日、9日和10日發生在觀測站附近的三起地震可能有關。圖2-17則是6月的觀測結果，因豪大雨的原因造成濕度大幅度上升，使得氡氣濃度的相對變化太大，雖然其間發生了三起地震且在地震發生之前土壤氣濃度也有明顯的增加，不過由於變化幅度過大，使得無法確實的指出之間的關連性。圖2-18為7月的觀測結果，同樣因為降雨的關係造成氡氣濃度變化過大，雖有兩起地震事件發生，不過仍無法明顯找出之間可能的關連性。圖2-19、圖2-20和圖2-21這三個月的觀測結果，仍無法將土壤氡氣的每日變化使其趨於穩定，不排除氡氣分析儀可能因水氣的因素而遭到部分的損壞，需送原廠維修。

整體而言，排除人為因素及天候影響後，本觀測站對於觀測站氣體濃度的異常變化，常可對應到周遭數十公里內的地震活動。

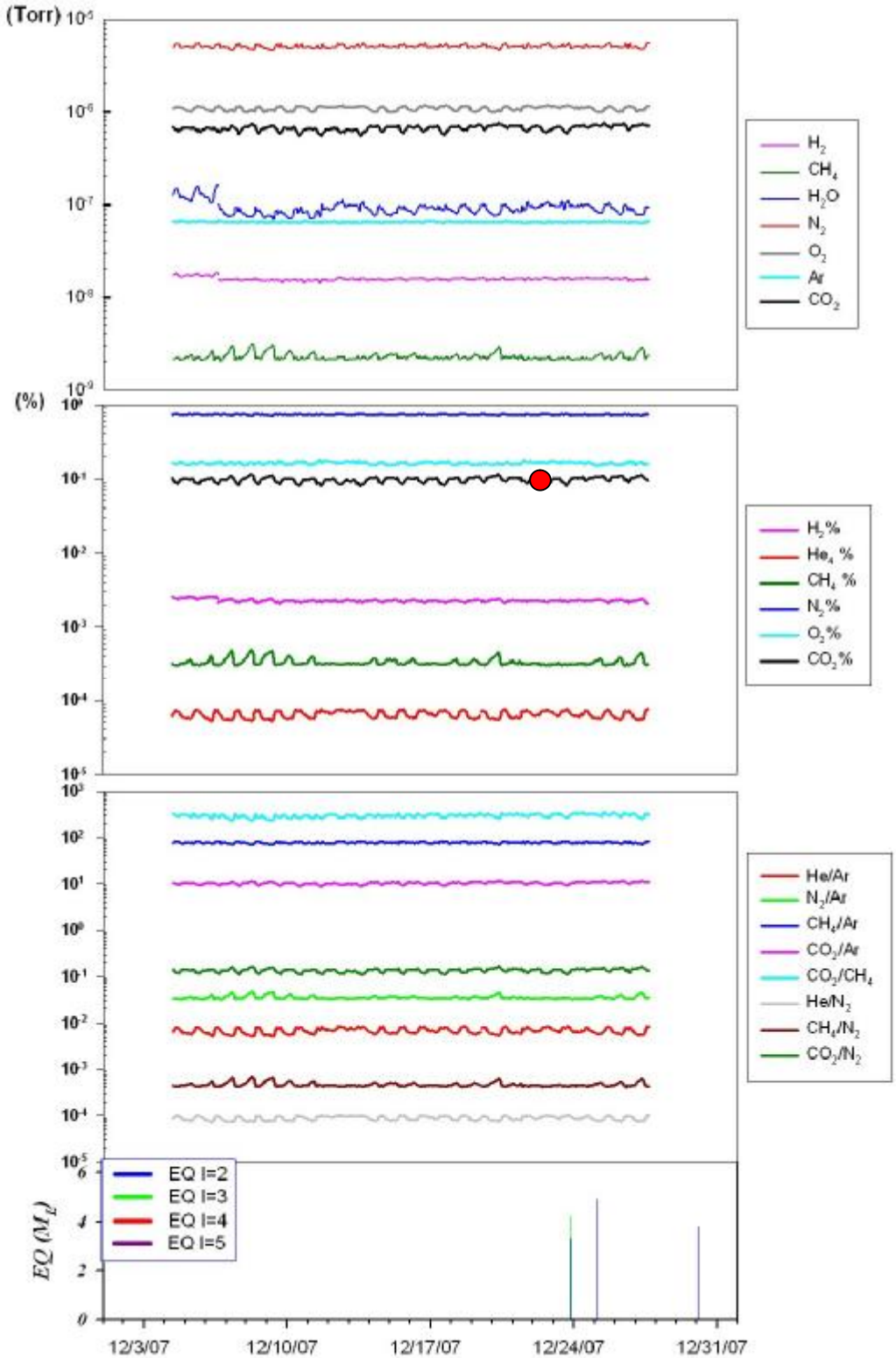


圖2-1：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2007/12/1～2007/12/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

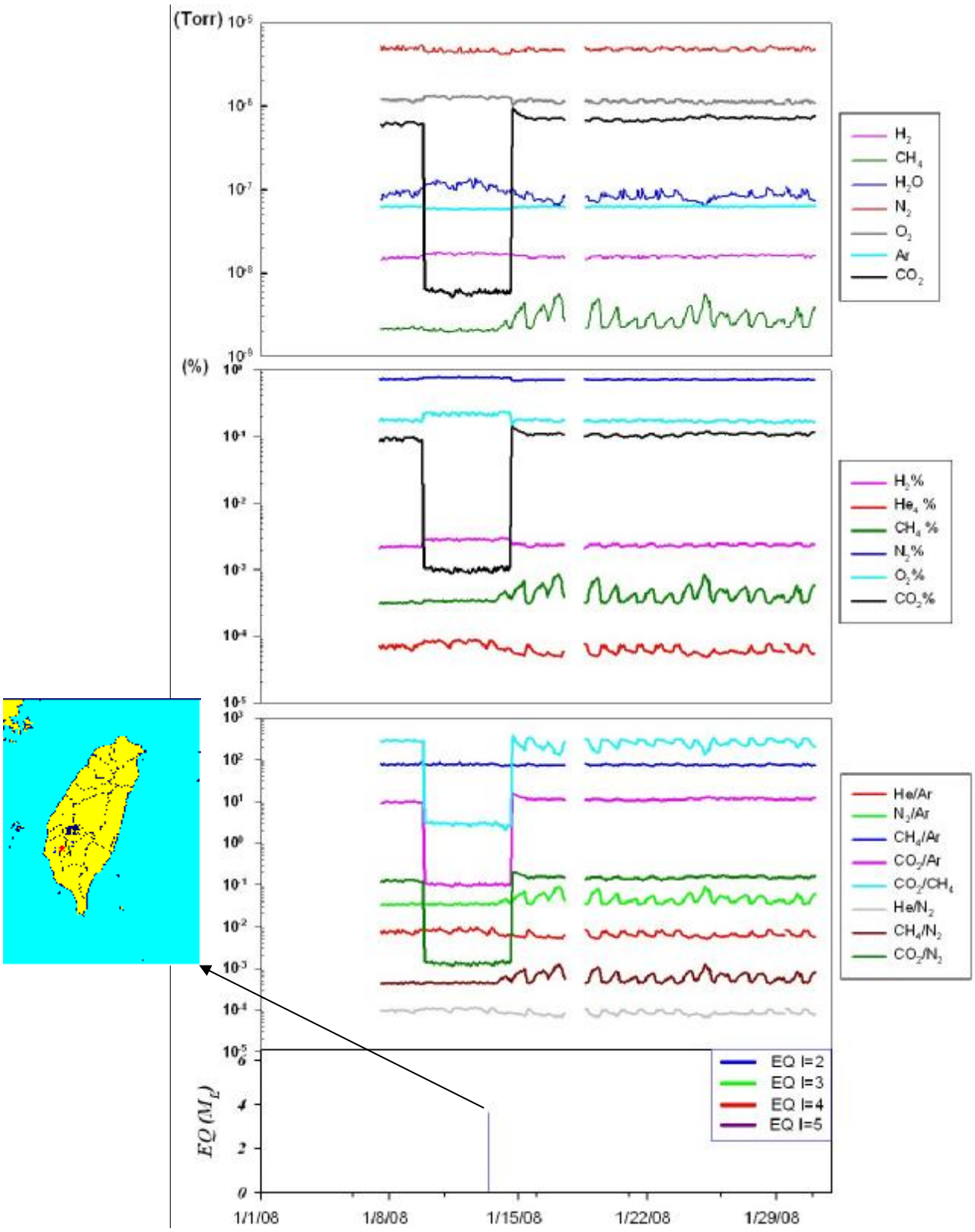


圖2-2：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/1/1～2008/1/31）。

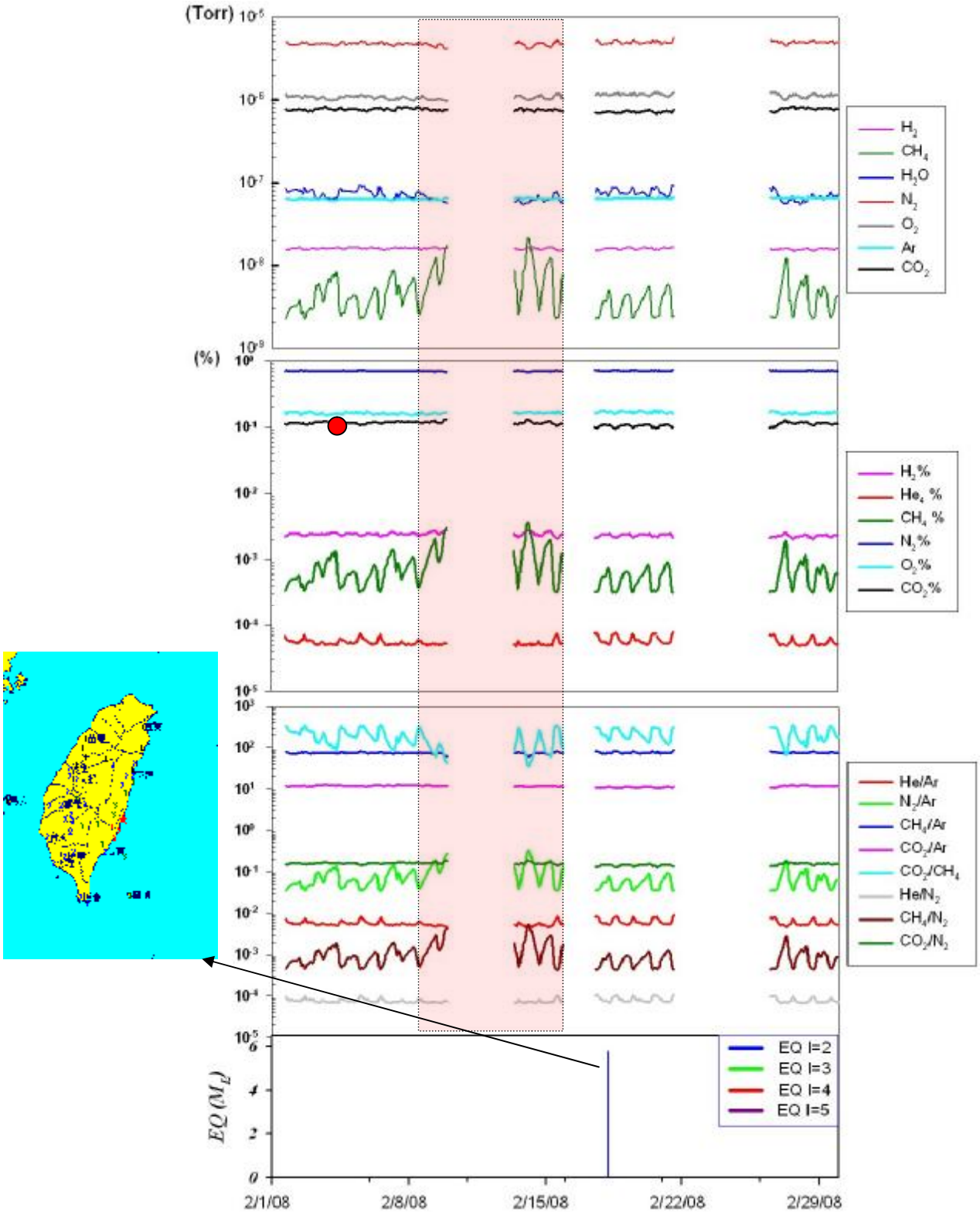


圖2-3：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/2/1～2008/2/28），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果，紅框為異常值區間。

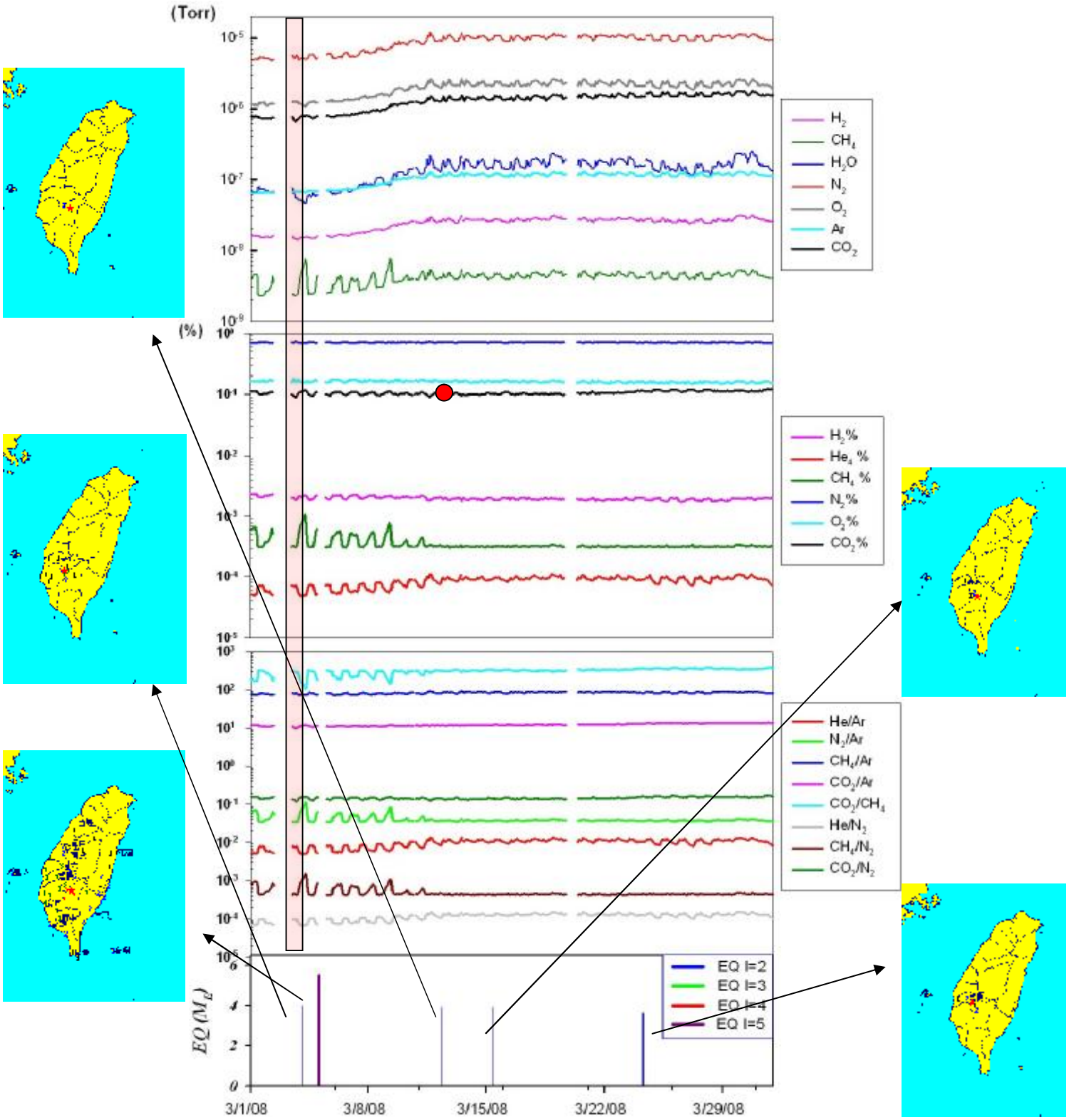


圖2-4：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/3/1～2008/3/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果，紅框為異常值區間。

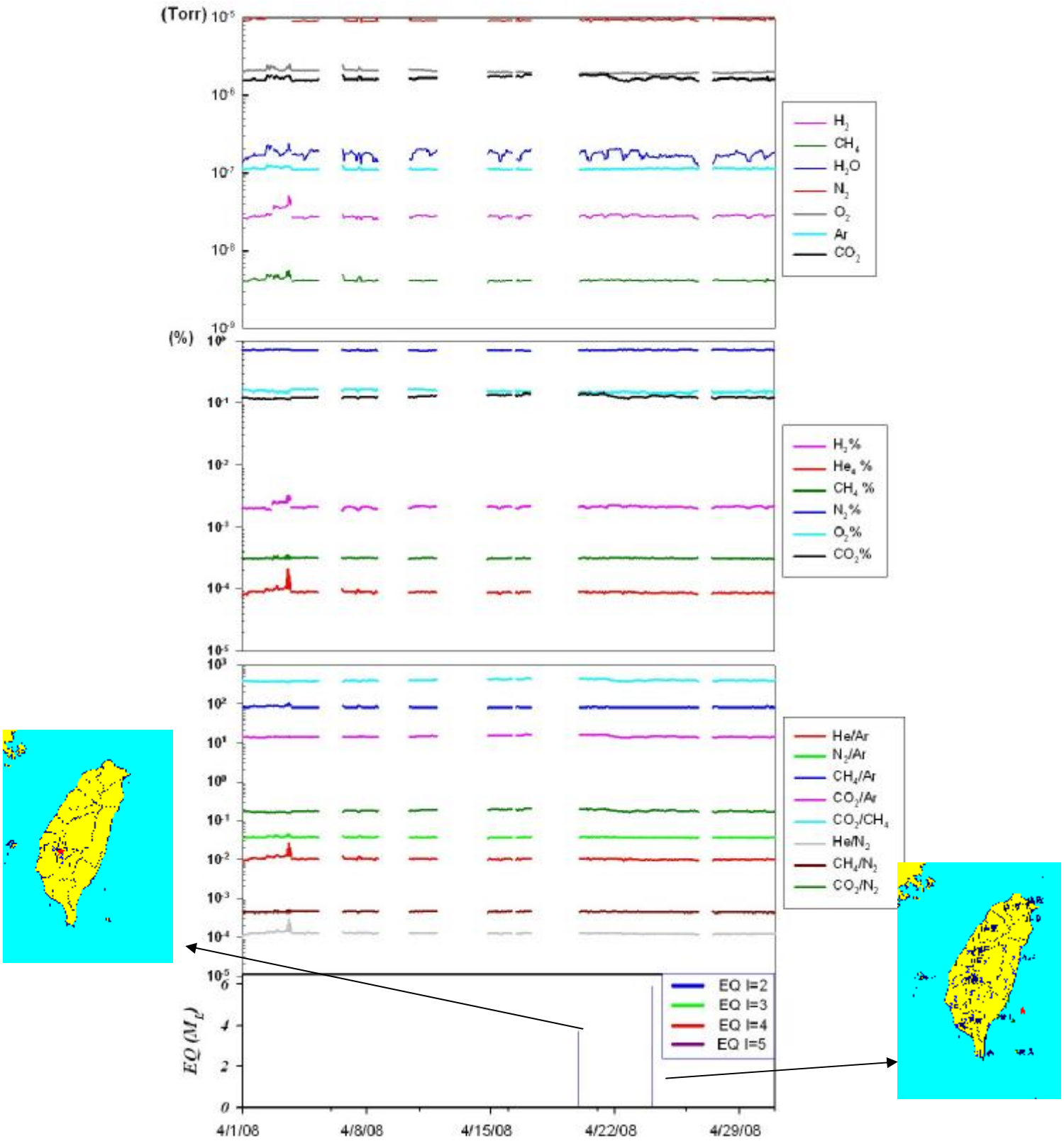


圖2-5：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/4/1～2008/4/30）。

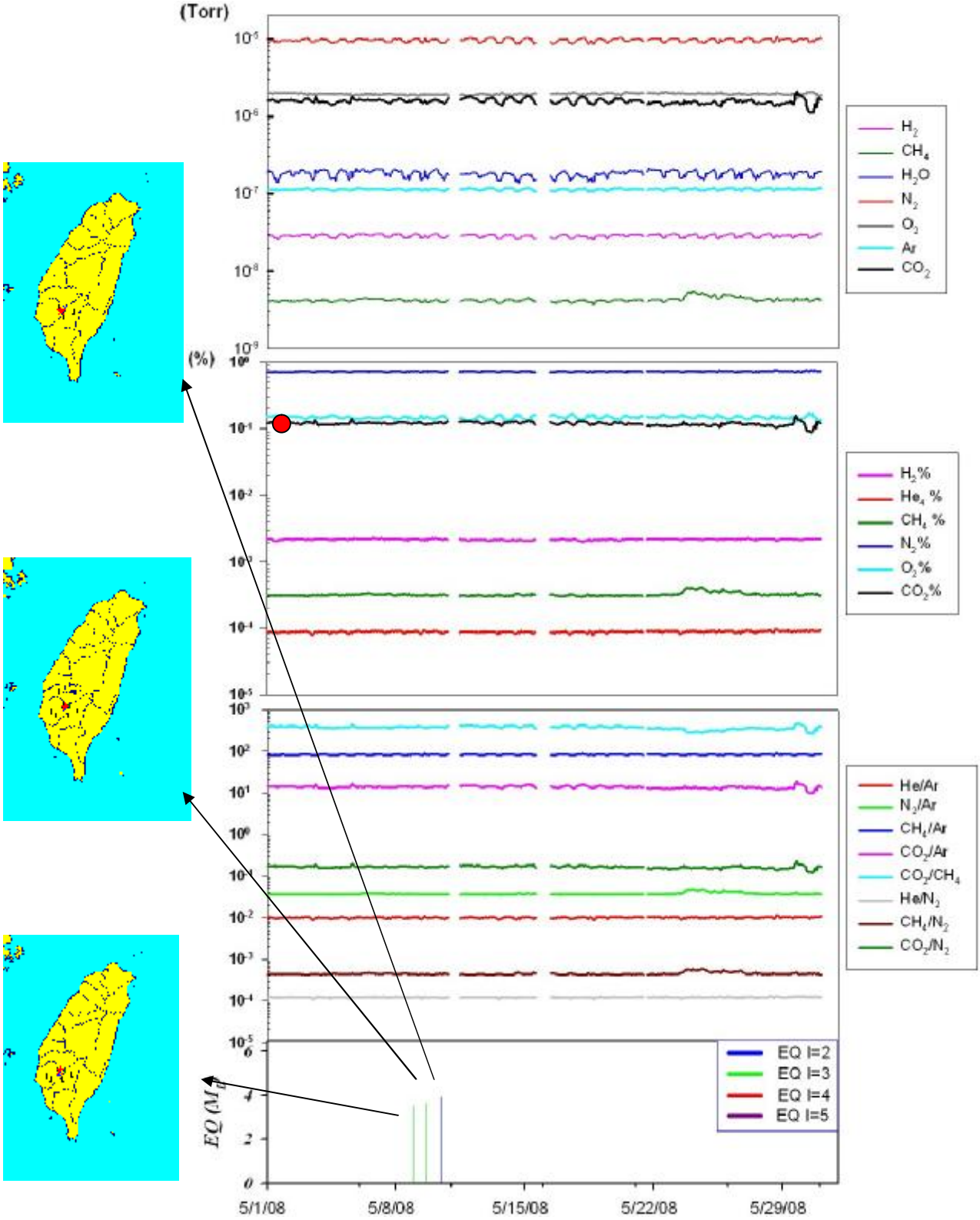


圖2-6：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/5/1～2008/5/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

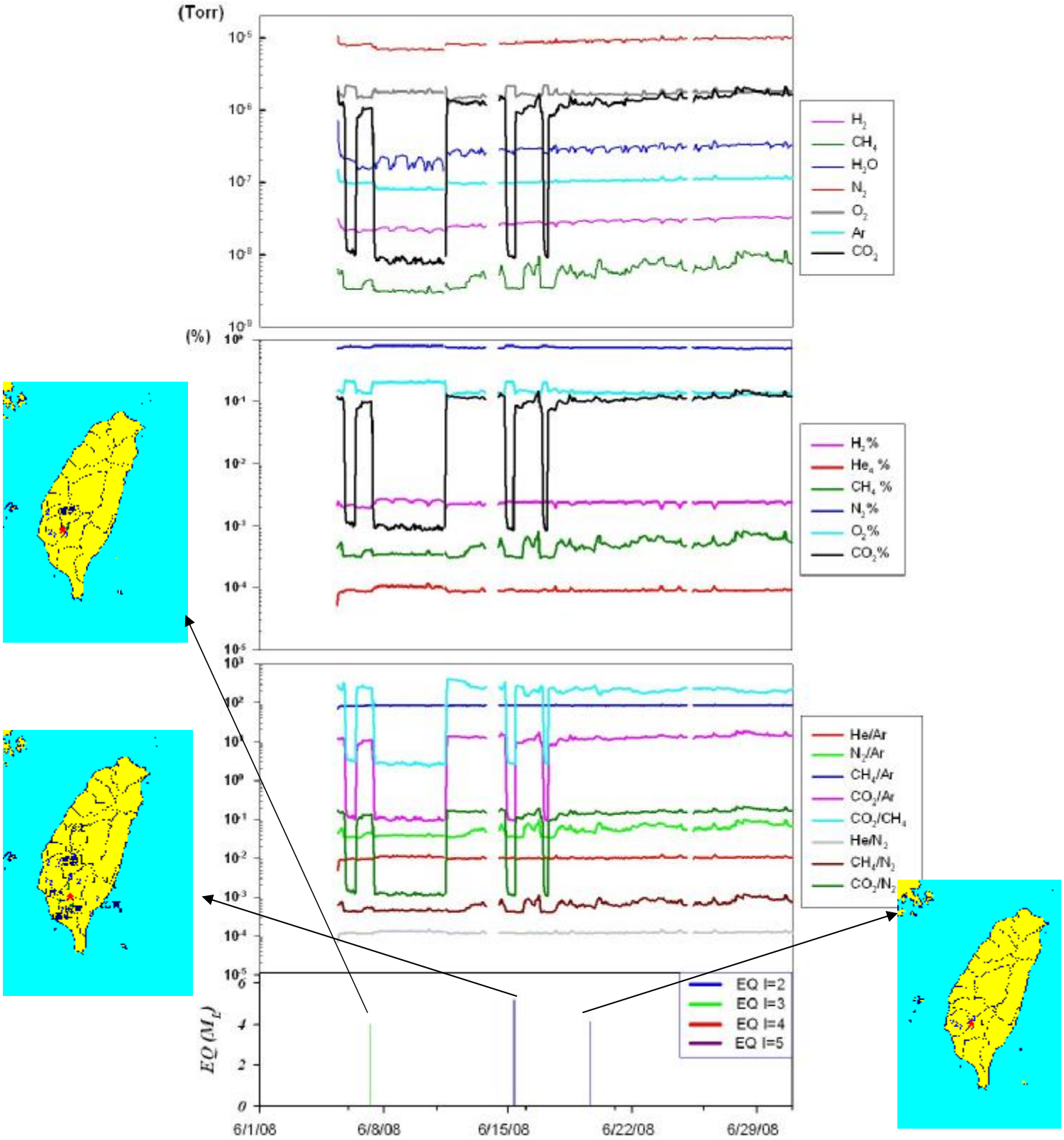


圖2-7：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/6/1～2008/6/30）。

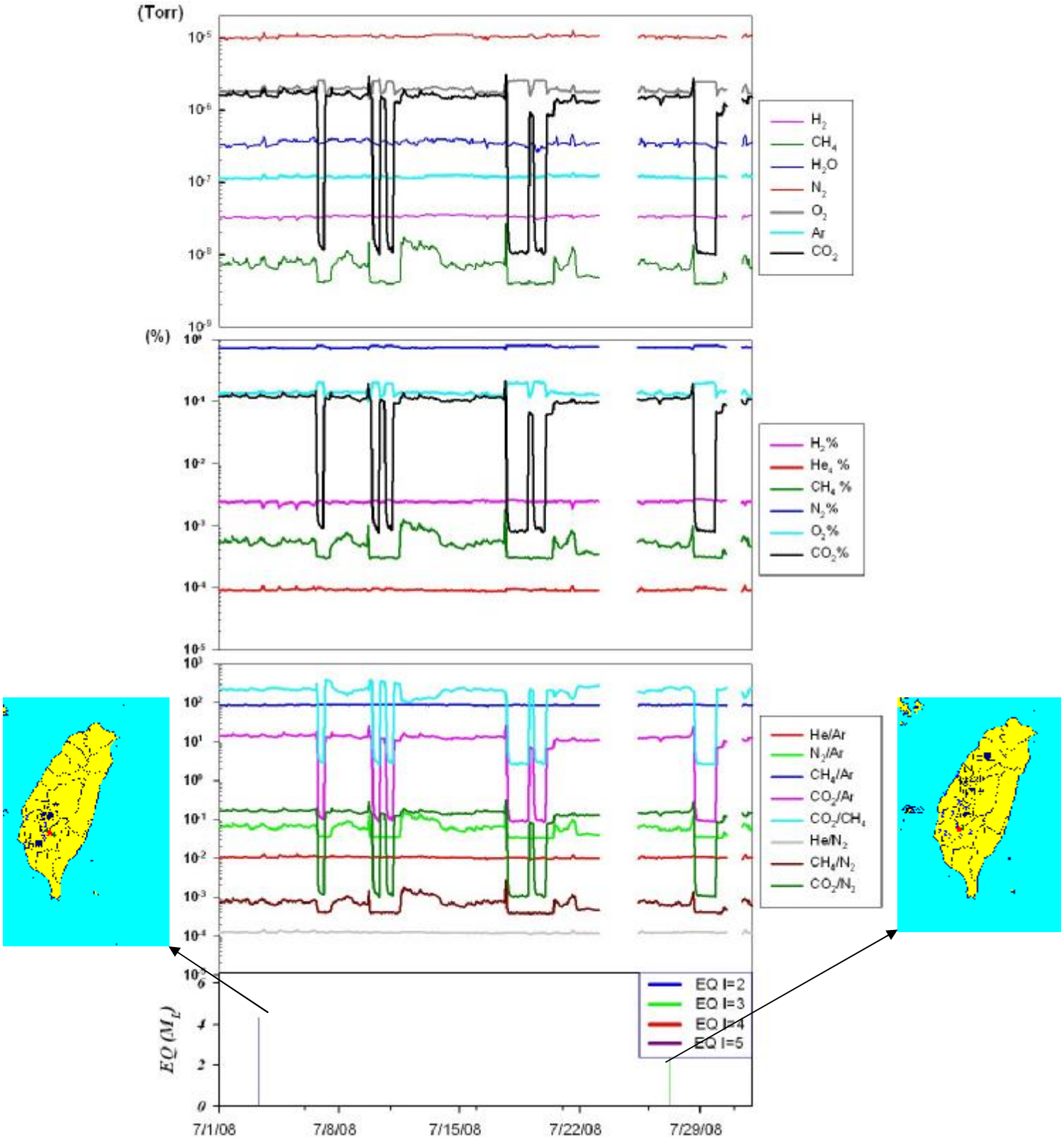


圖2-8：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/7/1～2008/7/31）。

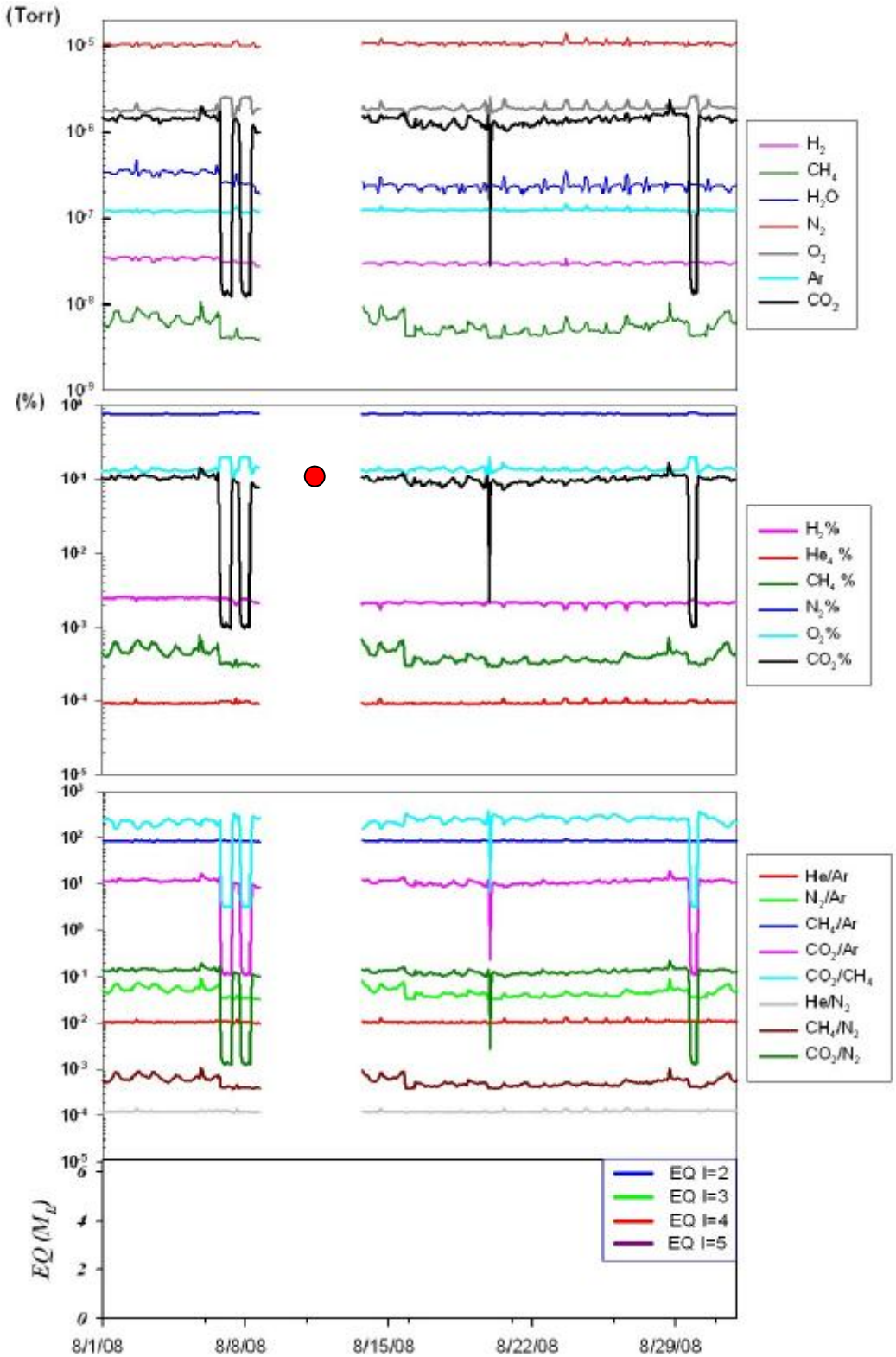


圖2-9：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/8/1～2008/8/31）。紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

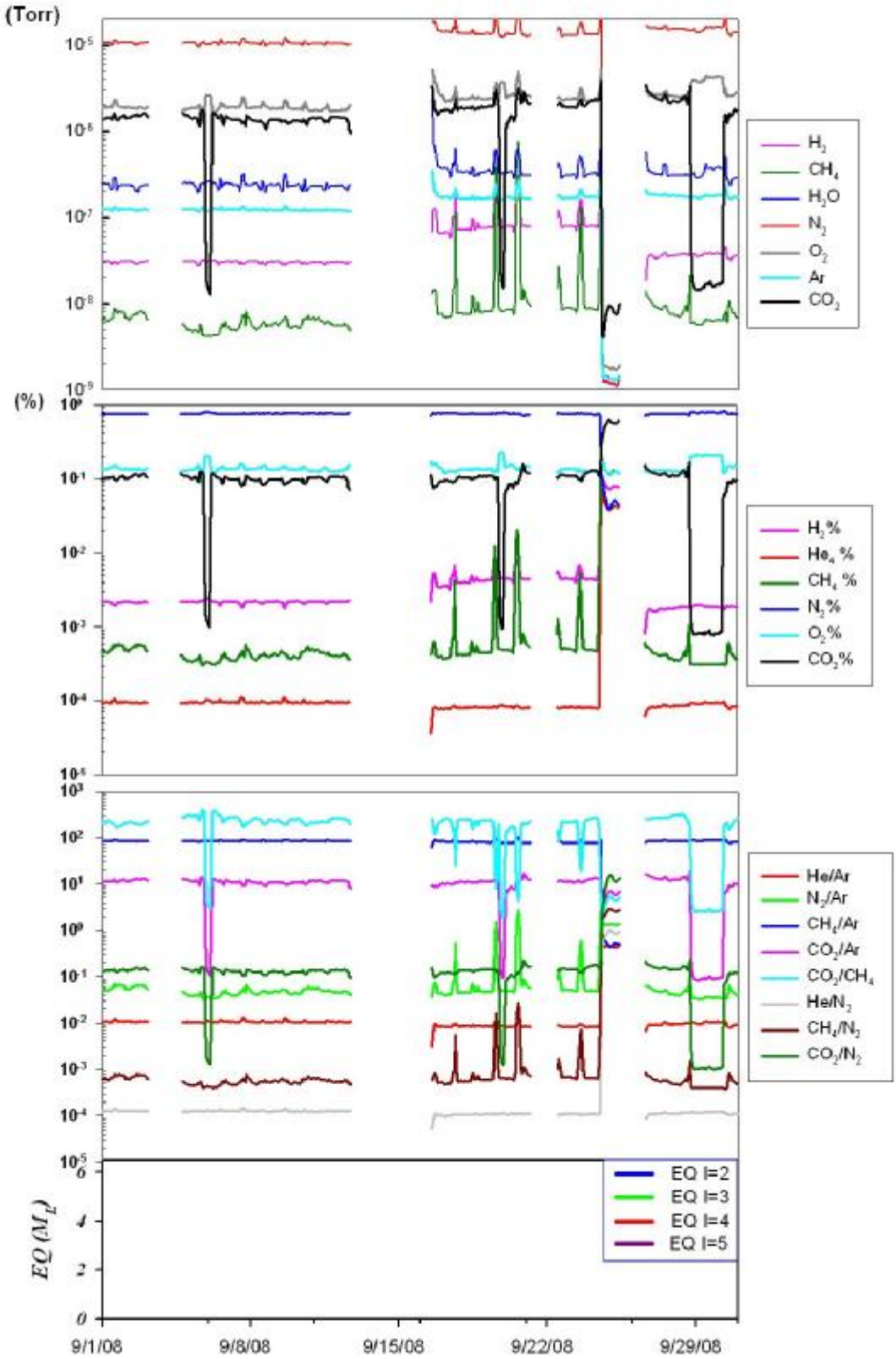


圖2-10：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/9/1～2008/9/30）。

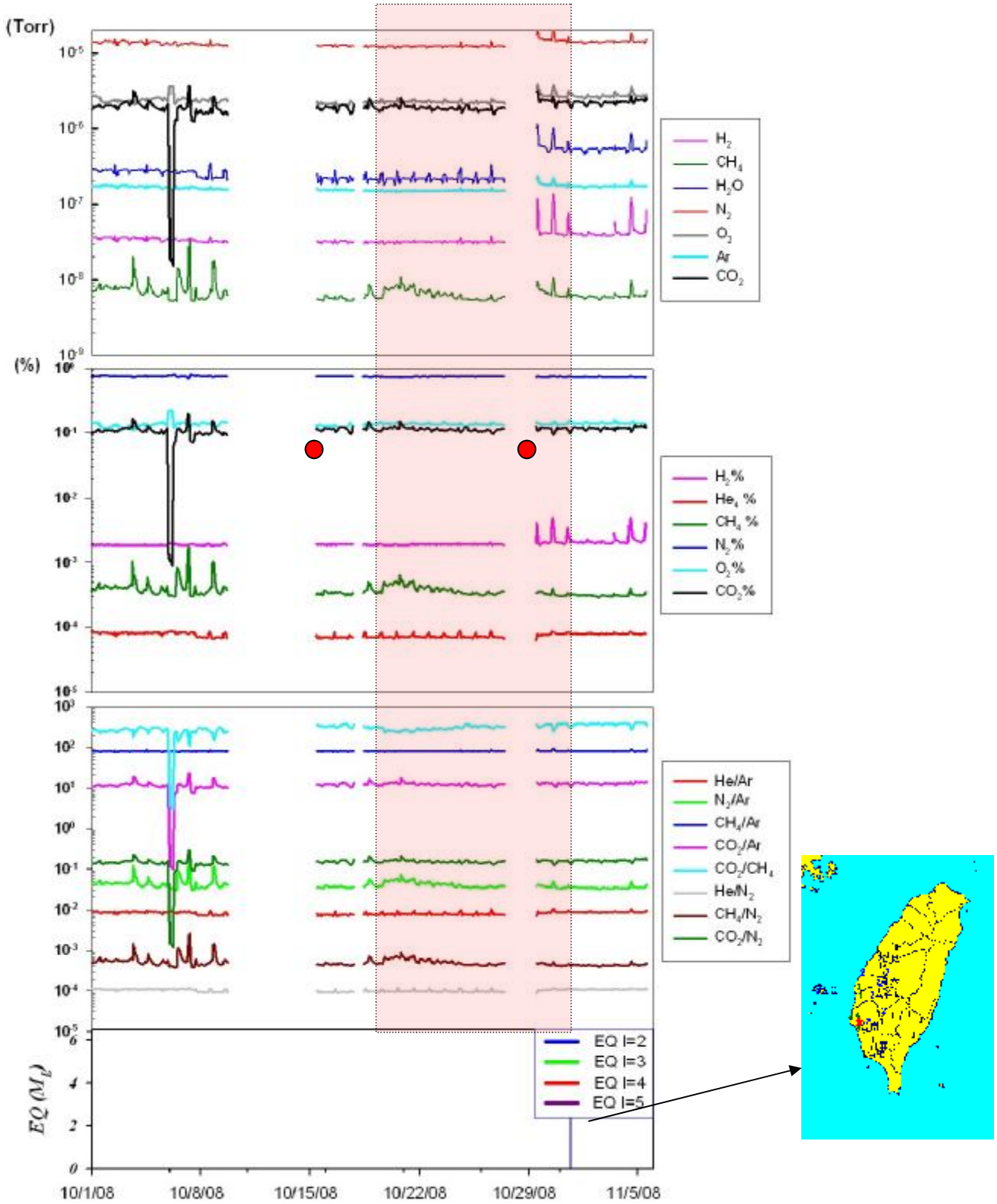


圖2-11：中崙濁水潭土壤氣體成份連續變化（2008/10/1～2008/11/5）。
紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

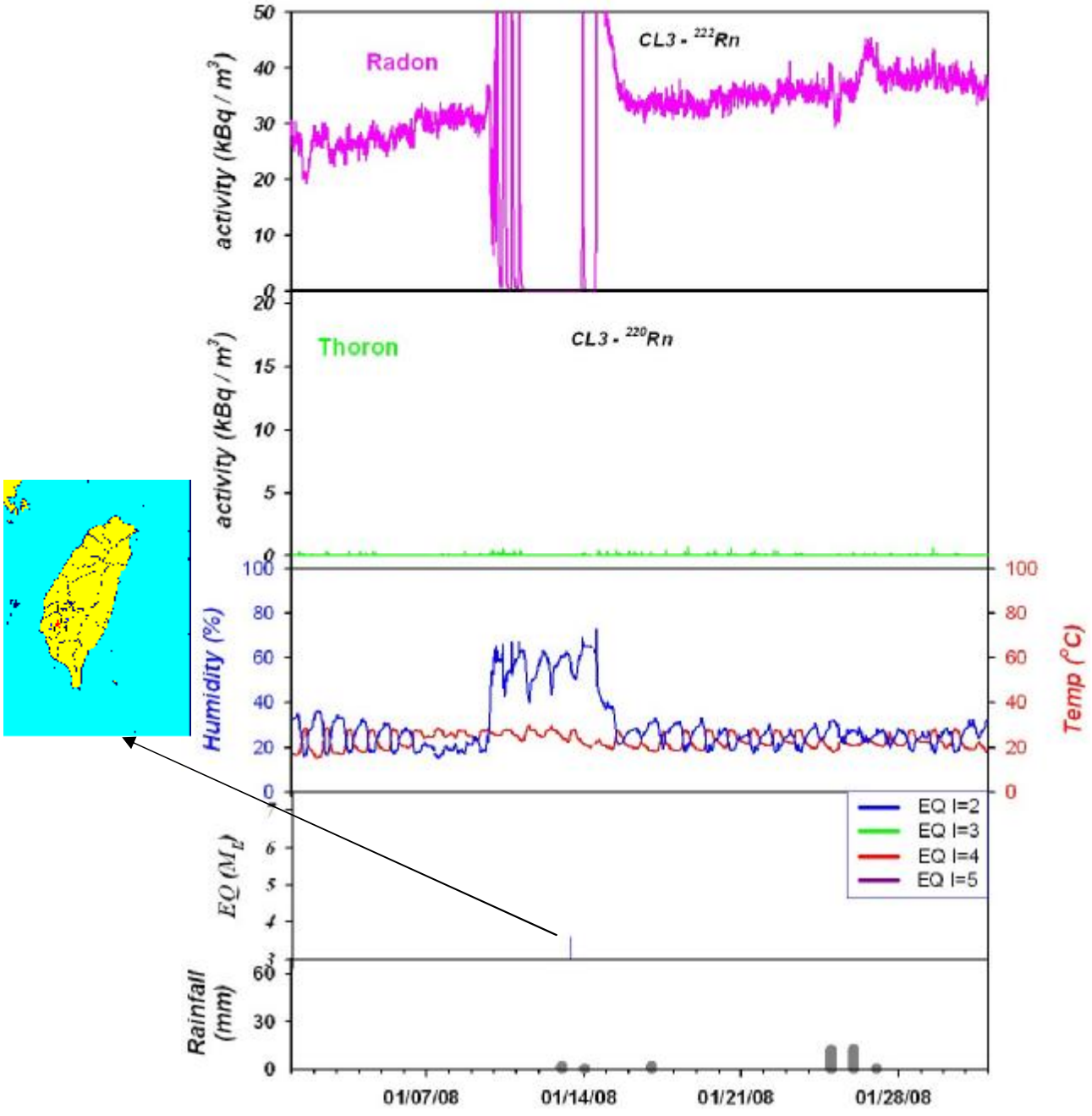


圖2-12：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2008/1/1～2008/1/31）。

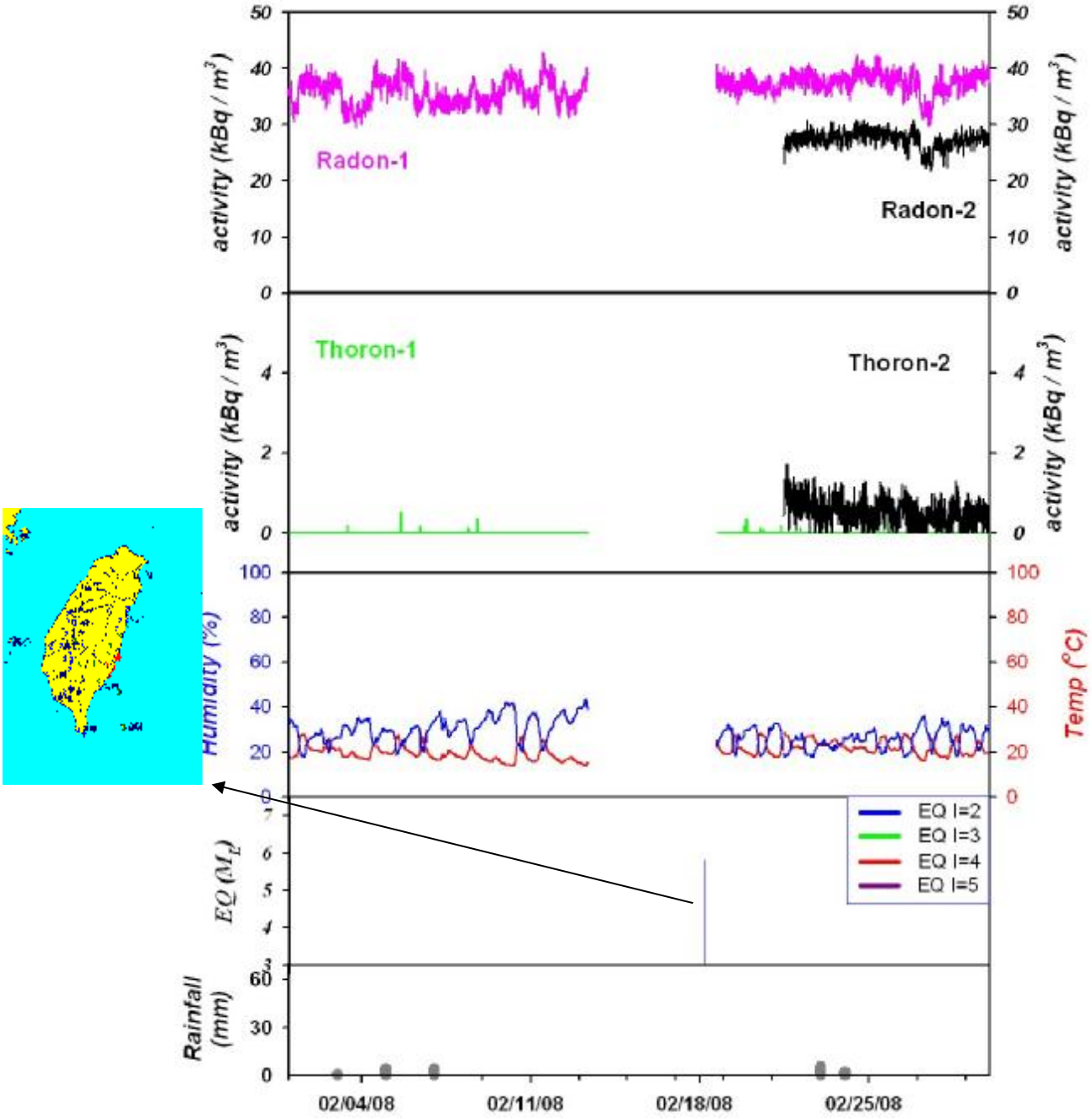


圖2-13：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2008/2/1～2008/2/28）。

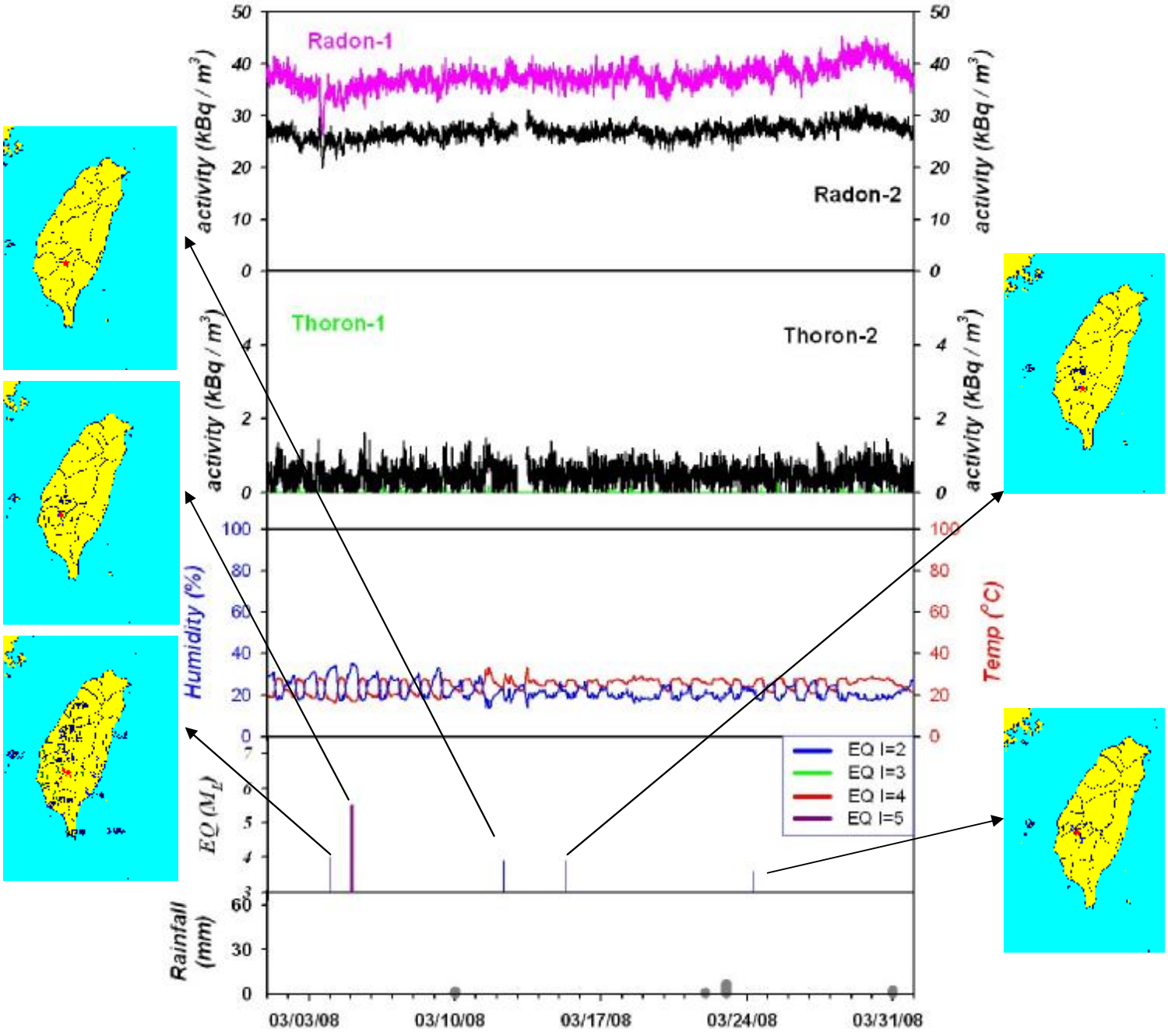


圖2-14：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2008/3/1～2008/3/31）。

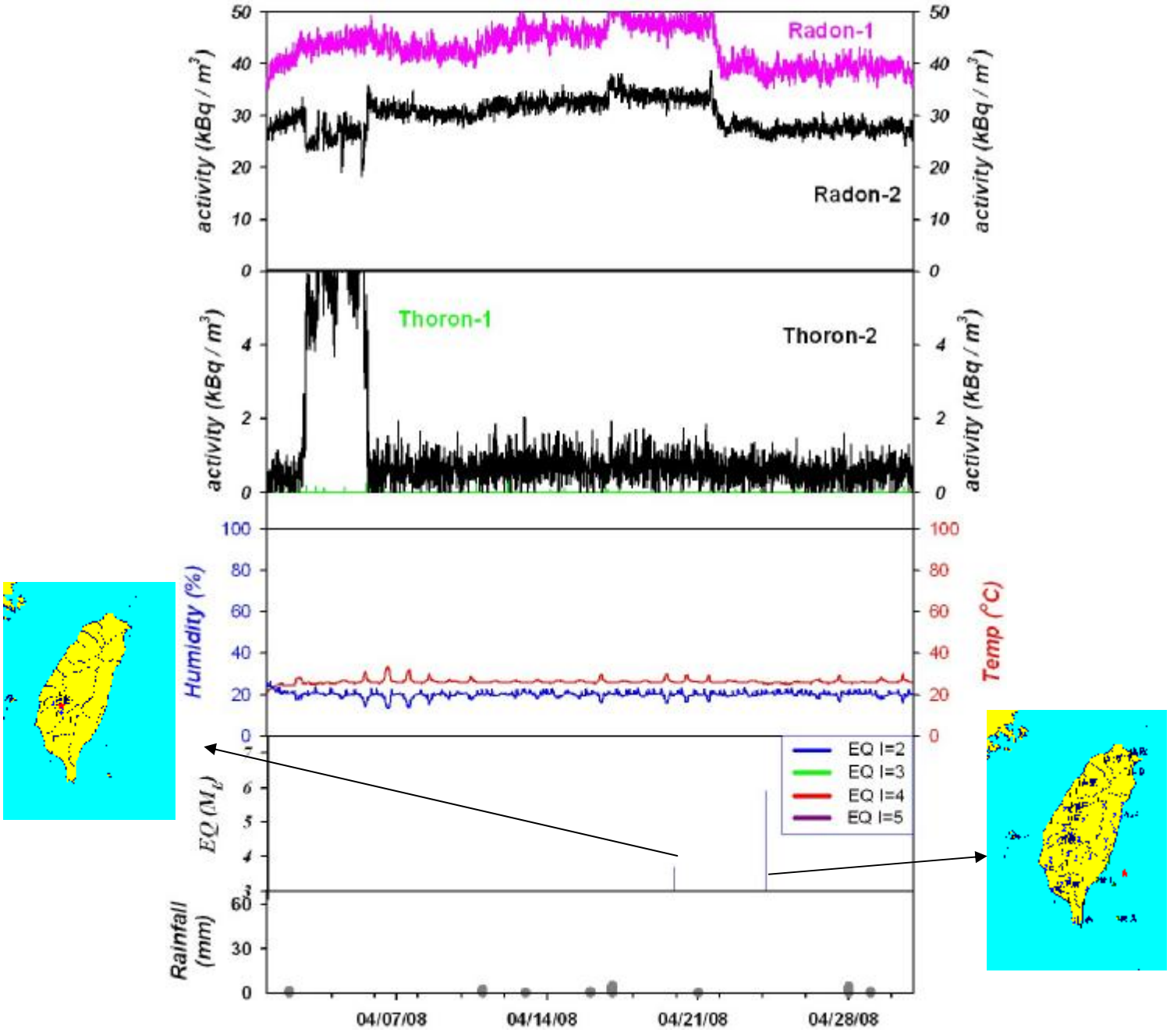


圖2-15：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2008/4/1～2008/4/30）。

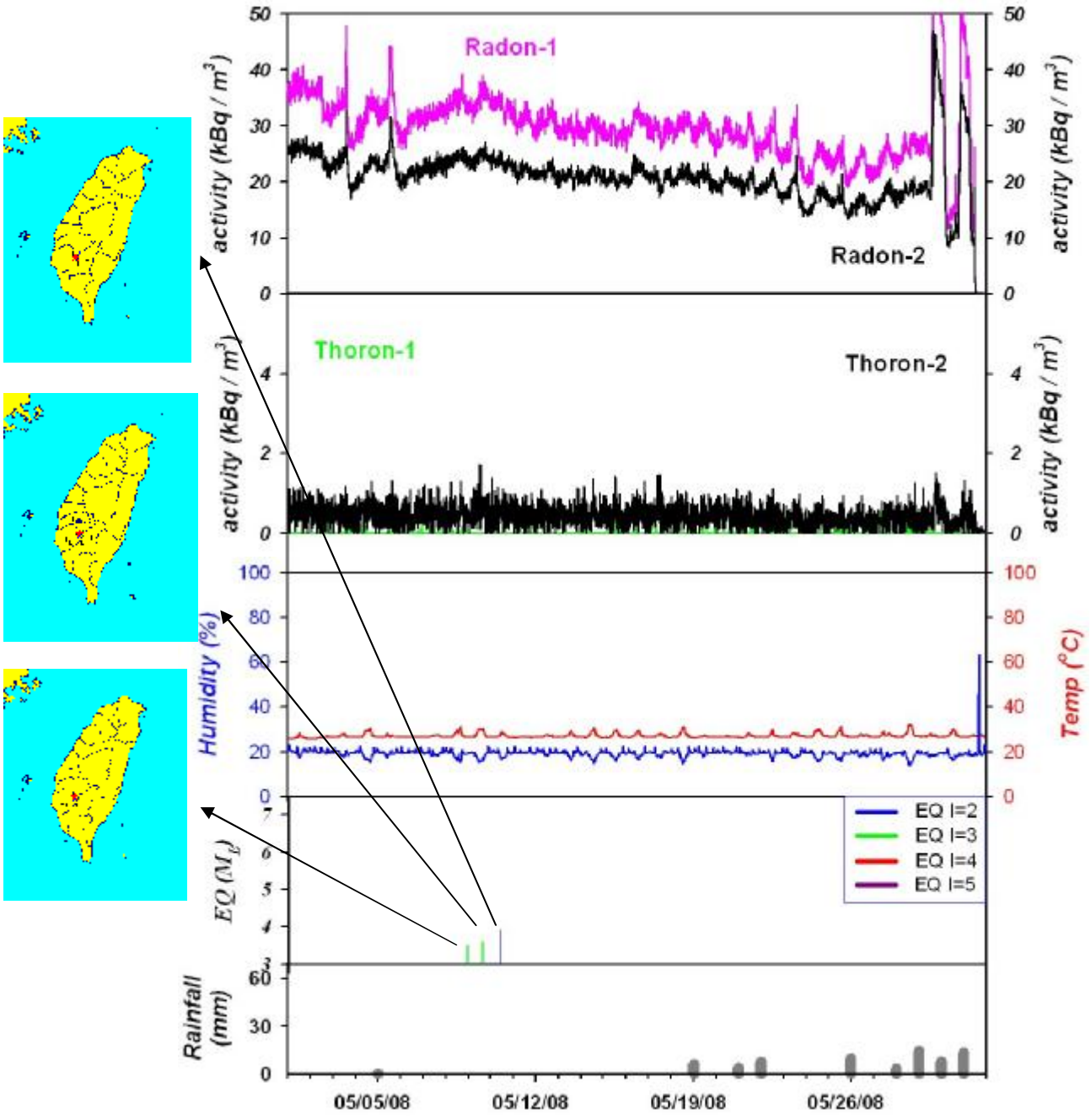


圖2-16：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2008/5/1～2008/5/31）。

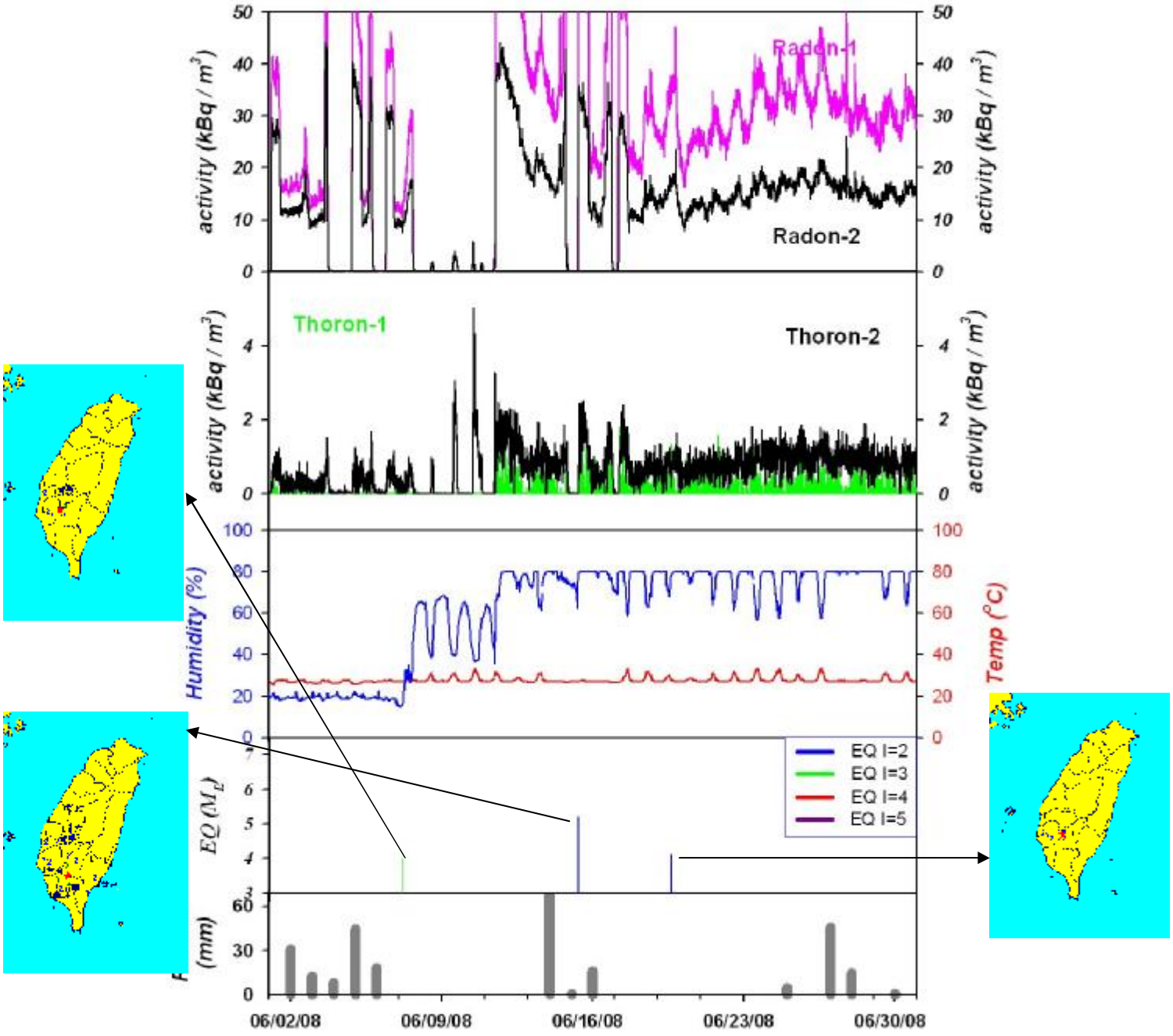


圖2-17：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2008/6/1～2008

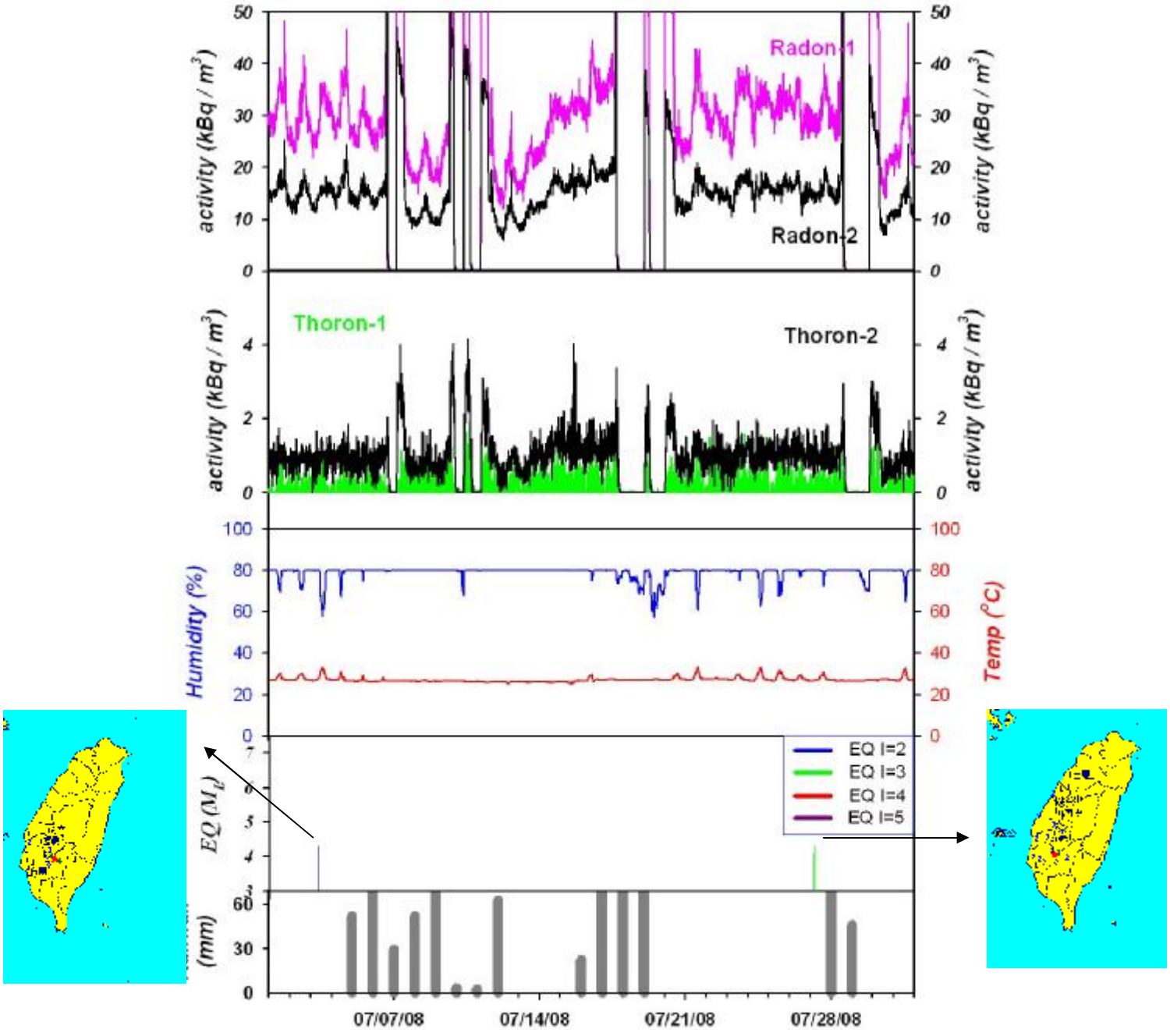


圖2-18：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2008/7/1～2008/7/31）。

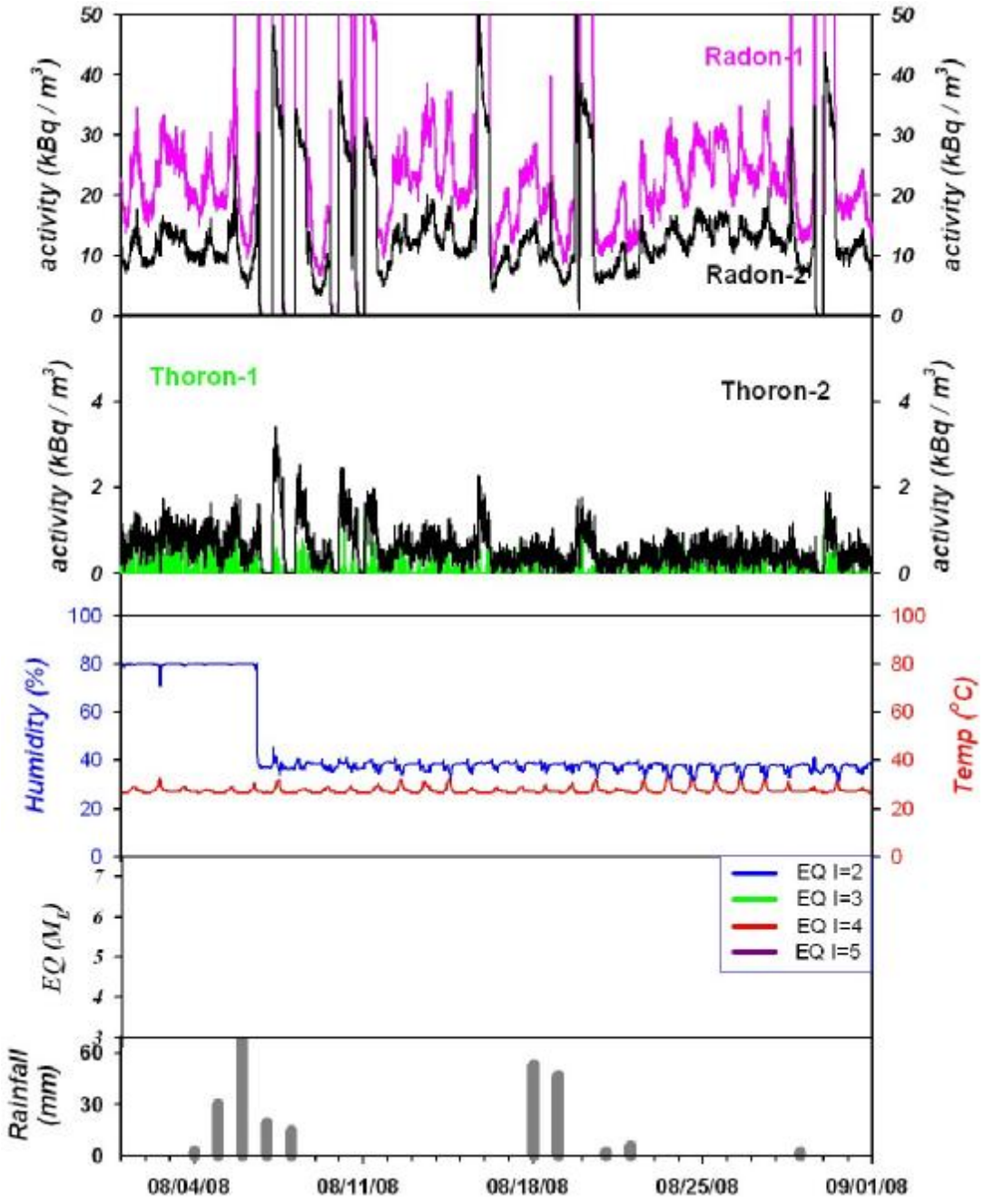


圖2-19：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2008/8/1～2008/8/31）。

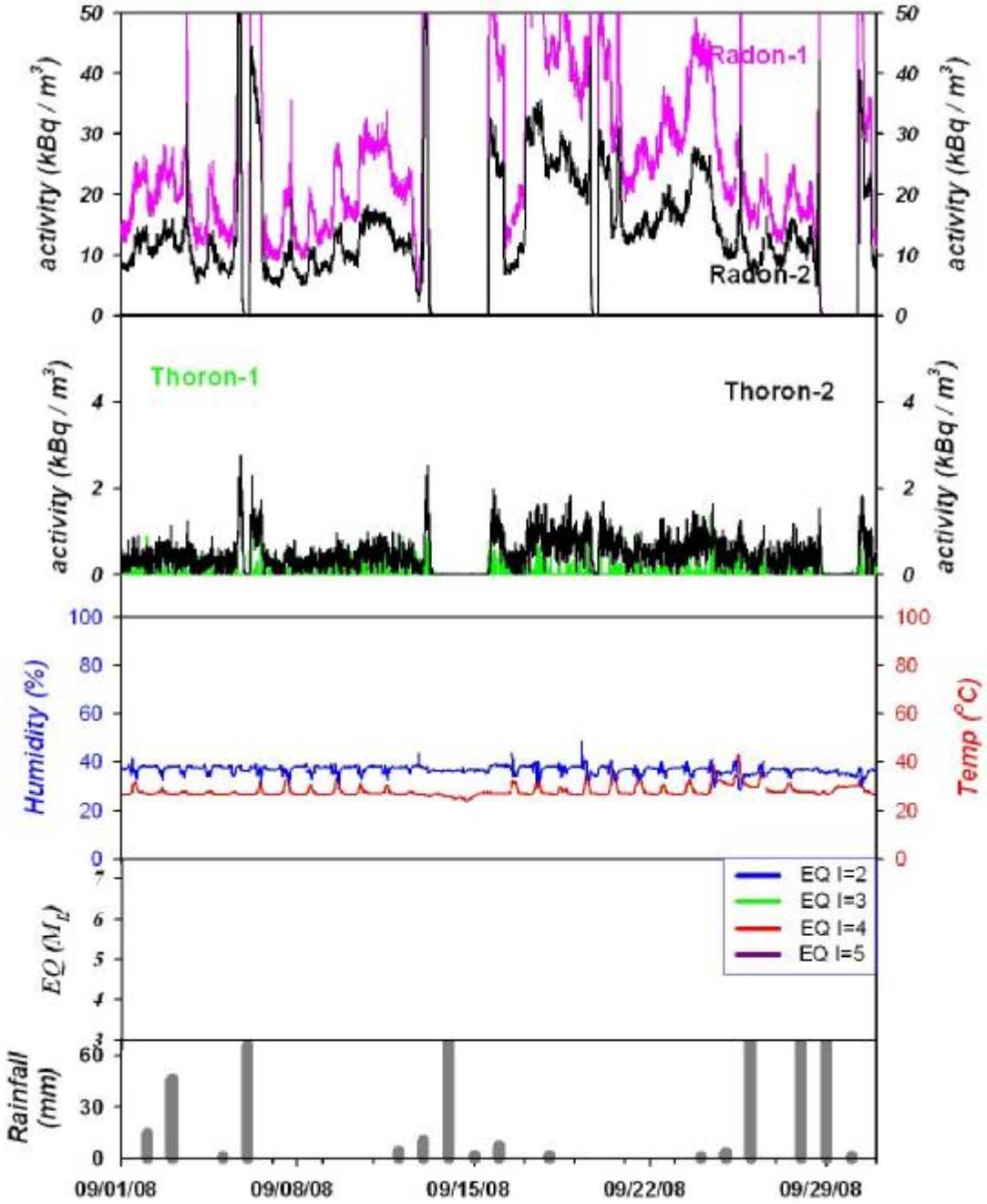


圖2-20：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2008/9/1～2008/9/30）。

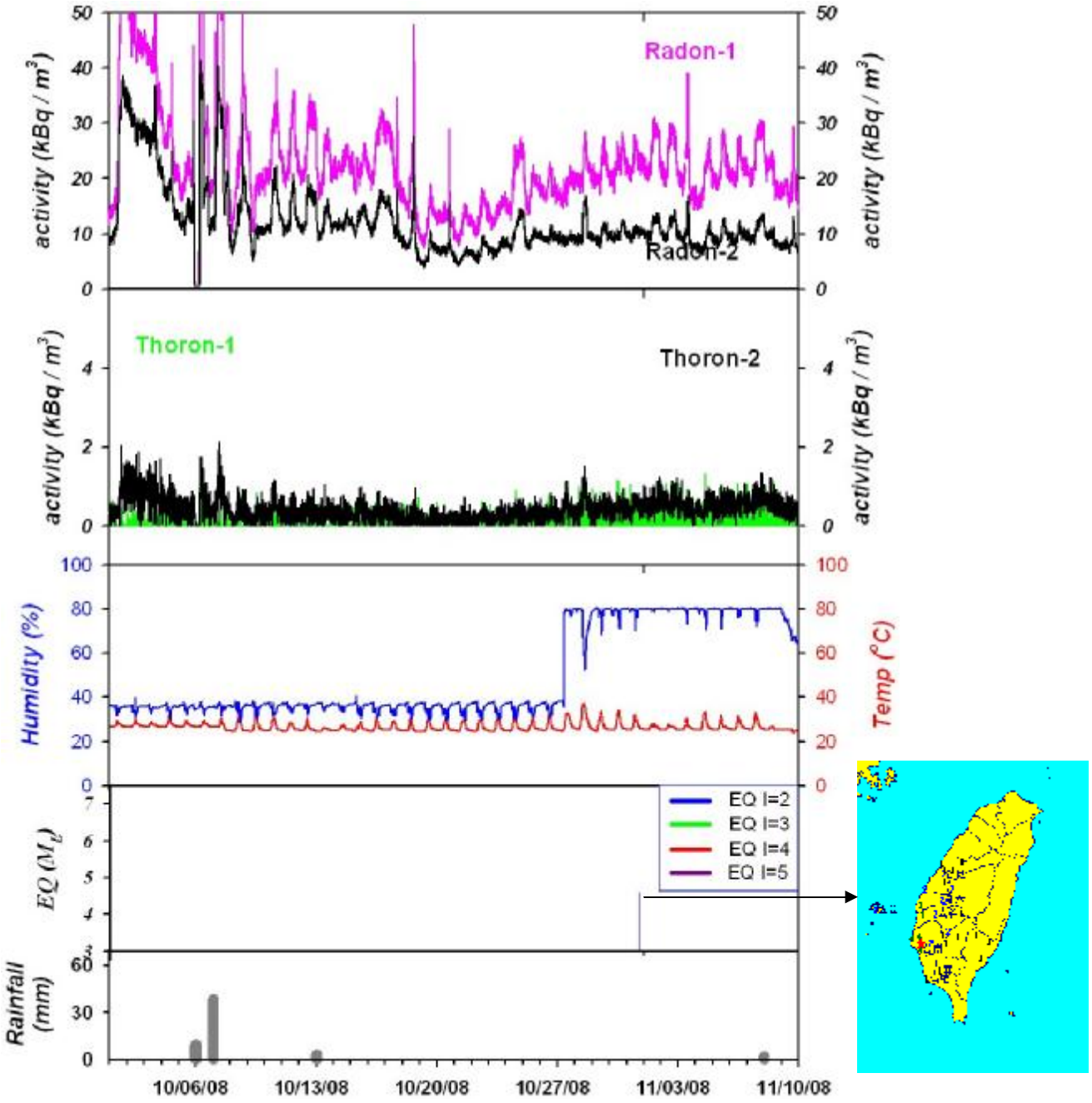


圖2-21：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2008/10/1～2008/11/10）。

2-3 新竹大平地土壤氣體觀測站

圖2-22到圖2-32為新竹大平地觀測站的連續分析結果，圖2-22為2007年12月的觀測結果，於12月10日開始土壤氡氣濃度明顯降低，之後則一直維持此背景值。圖2-23到圖2-29則是1月到7月的觀測結果，期間土壤氣體濃度呈現穩定的背景值而其它大氣因子及土壤溫濕度皆呈現每日的日夜變化與一些異於每日變化的波動之外，並無任何的地震事件被紀錄到而產生相對應的變化。而圖2-28中6月2日於宜蘭地區發生的地震(地震深度95.7km，地震規模6.0)，無顯著的土壤氣體濃度異常升高的情形出現，這可能是因為此地震的震源發生位置太深的原因，以致於無法造成明顯的變化。圖2-30為8月的觀測結果，月初發現電子式乾燥器因結冰而造成分析管線不通，排除後背景值濃度明顯升高。

圖2-31在9月9日宜蘭外海的一起地震(地震深度103.8km，地震規模5.9)發生之前的前一天，氡氣濃度有開始降低的趨勢，其之間的關連性需要進一步的資料才能釐清；22日氡氣濃度又開始升高並持續到27日才又降低，不過這段時間並無記錄到地震活動。圖2-32則是10月的觀測結果，於8日氡氣濃度開始升高，這與15日在觀測站附近的地震事件可能有關(地震深度7.9km，地震規模3.3)。這些的地震活動，是否與本測站的氣體異常有關，則需要後續的資料進行確認。

本測站今年的觀測資料，並沒有顯著的濃度異常發生，這與今年台灣北部地區的地震活動次數，較往年來的要少相互呼應。

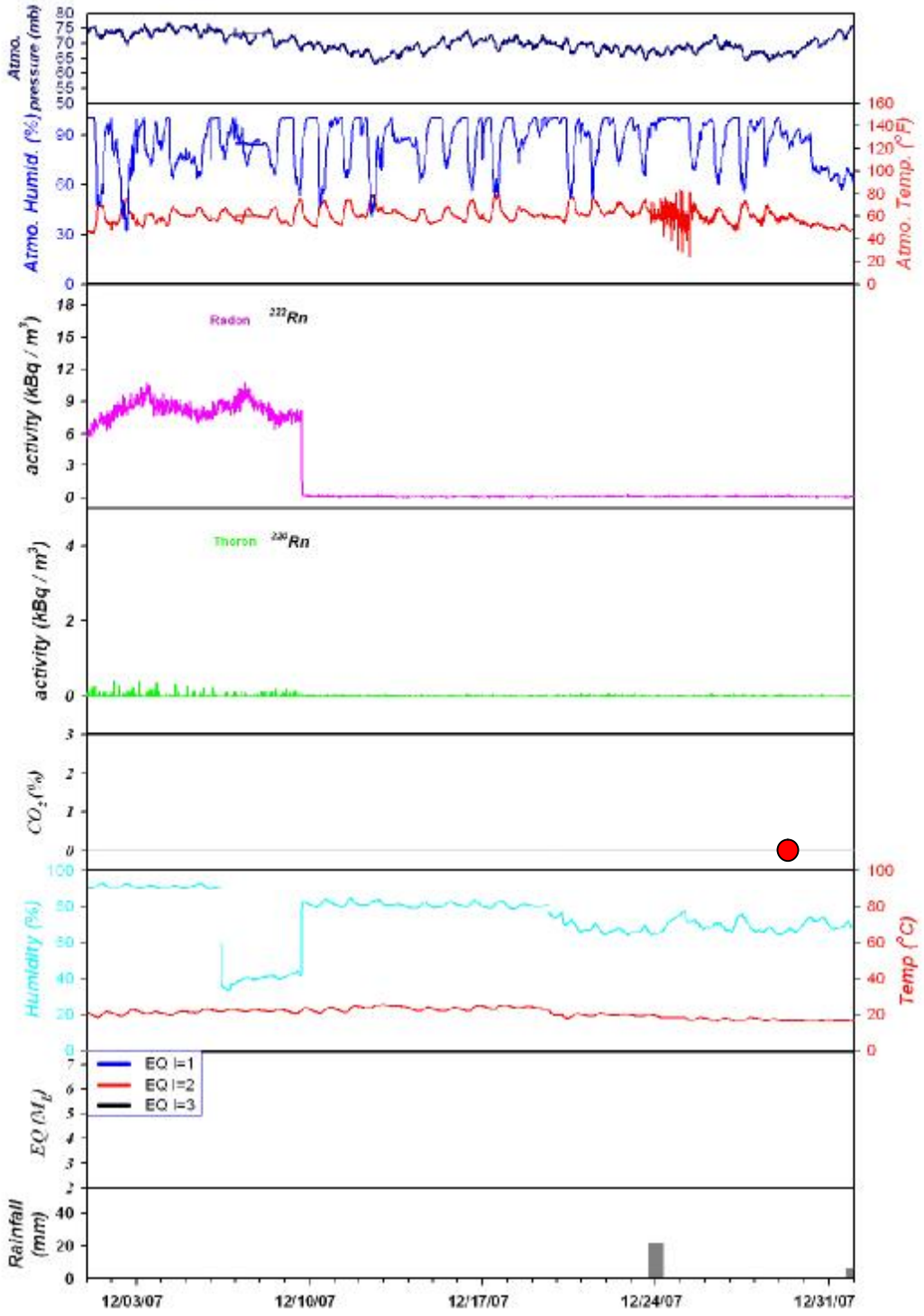


圖2-22：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H則表示土壤氣的溫濕度變化（2007/12/1～2007/12/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

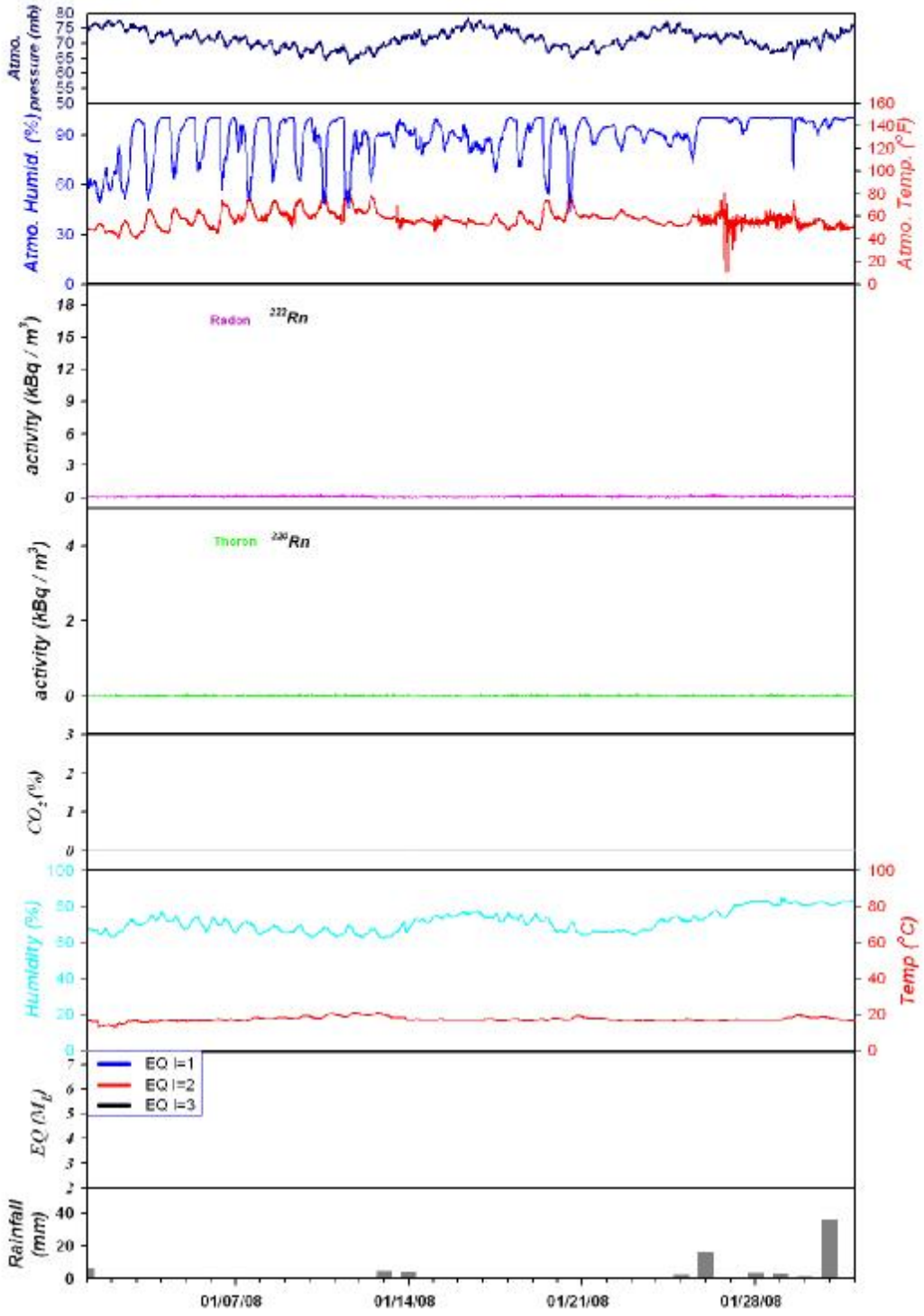


圖 2-23：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/1/1～2008/1/31）。

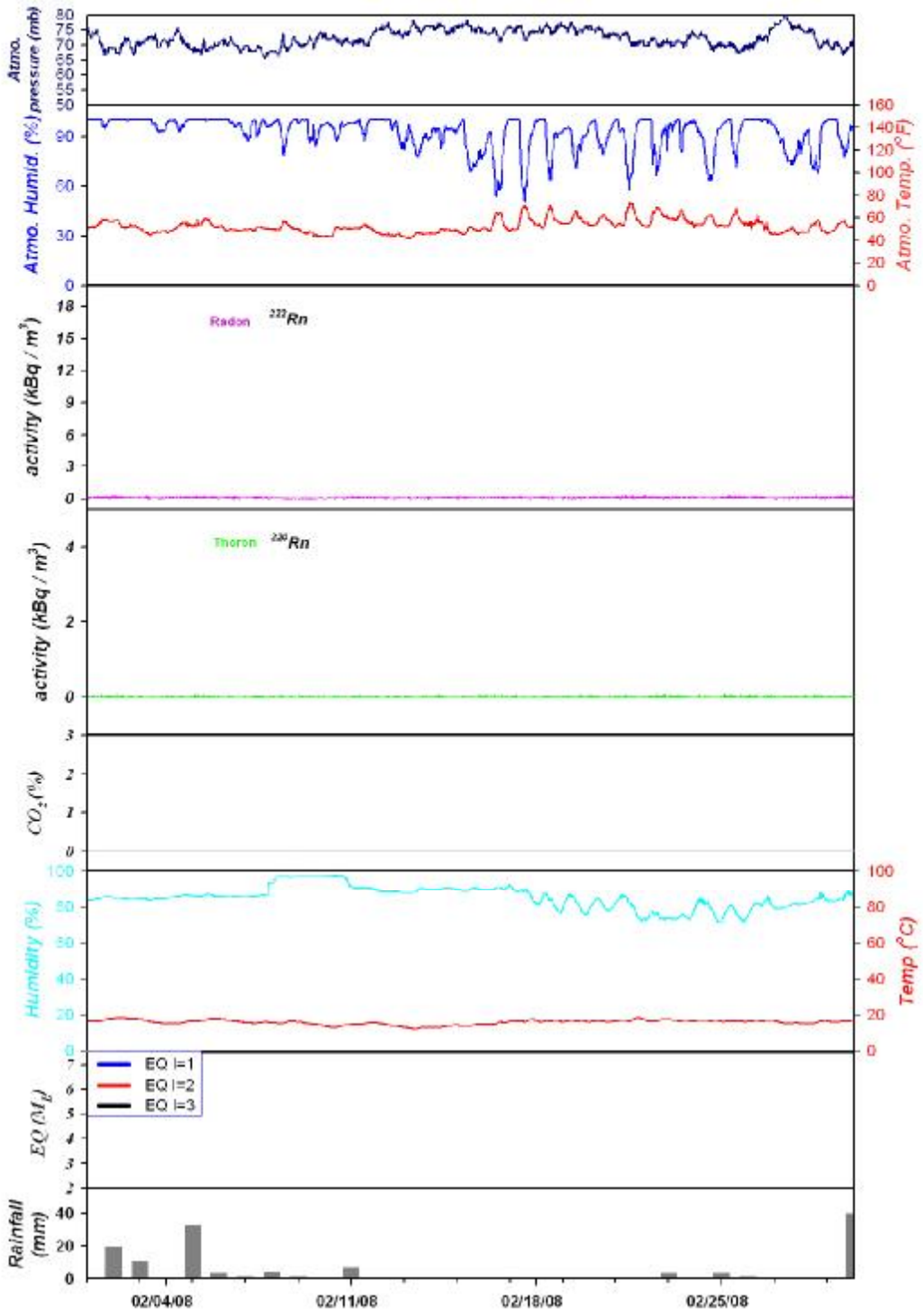


圖 2-24：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/2/1～2008/2/28）。

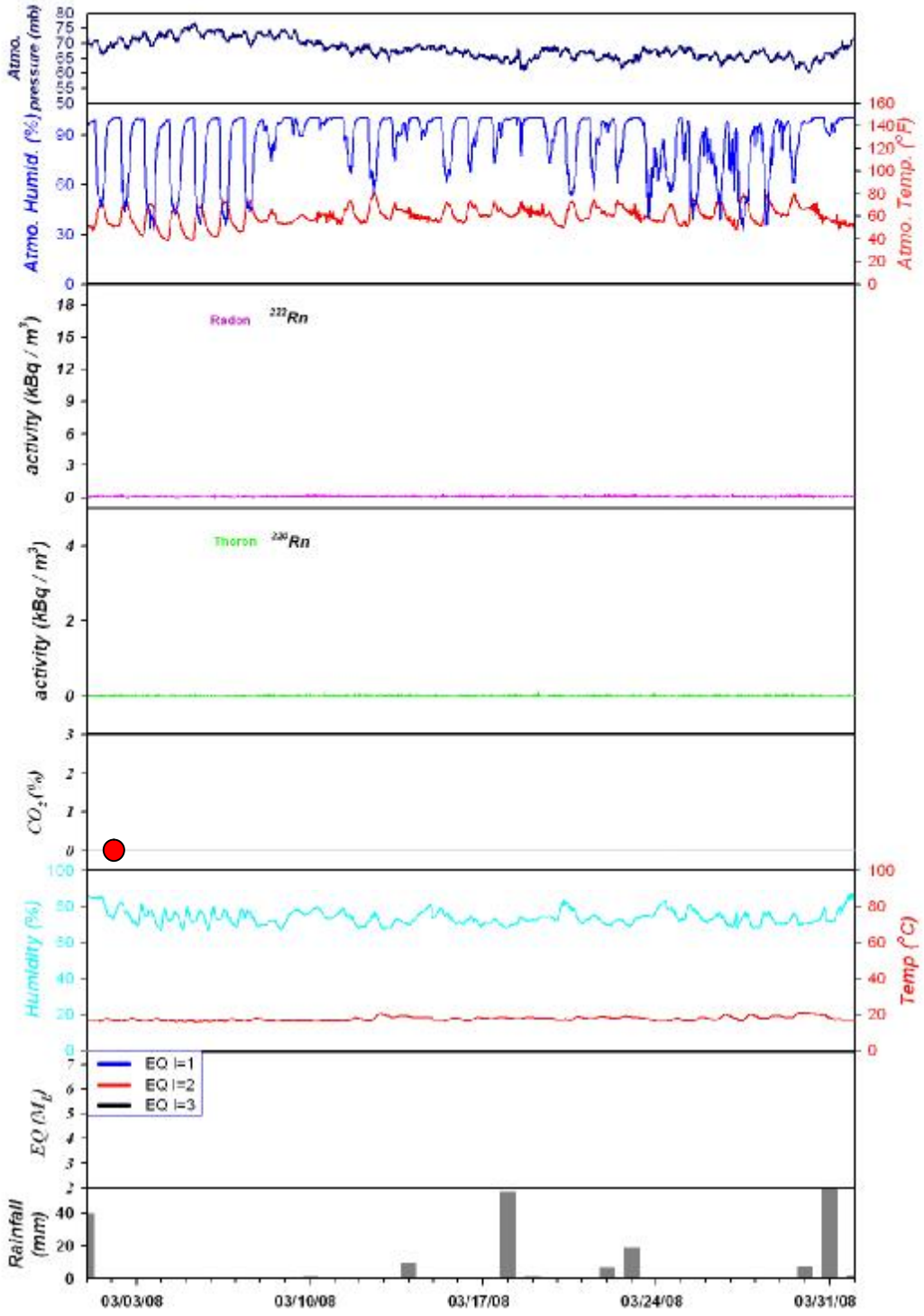


圖2-25：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/3/1～2008/3/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

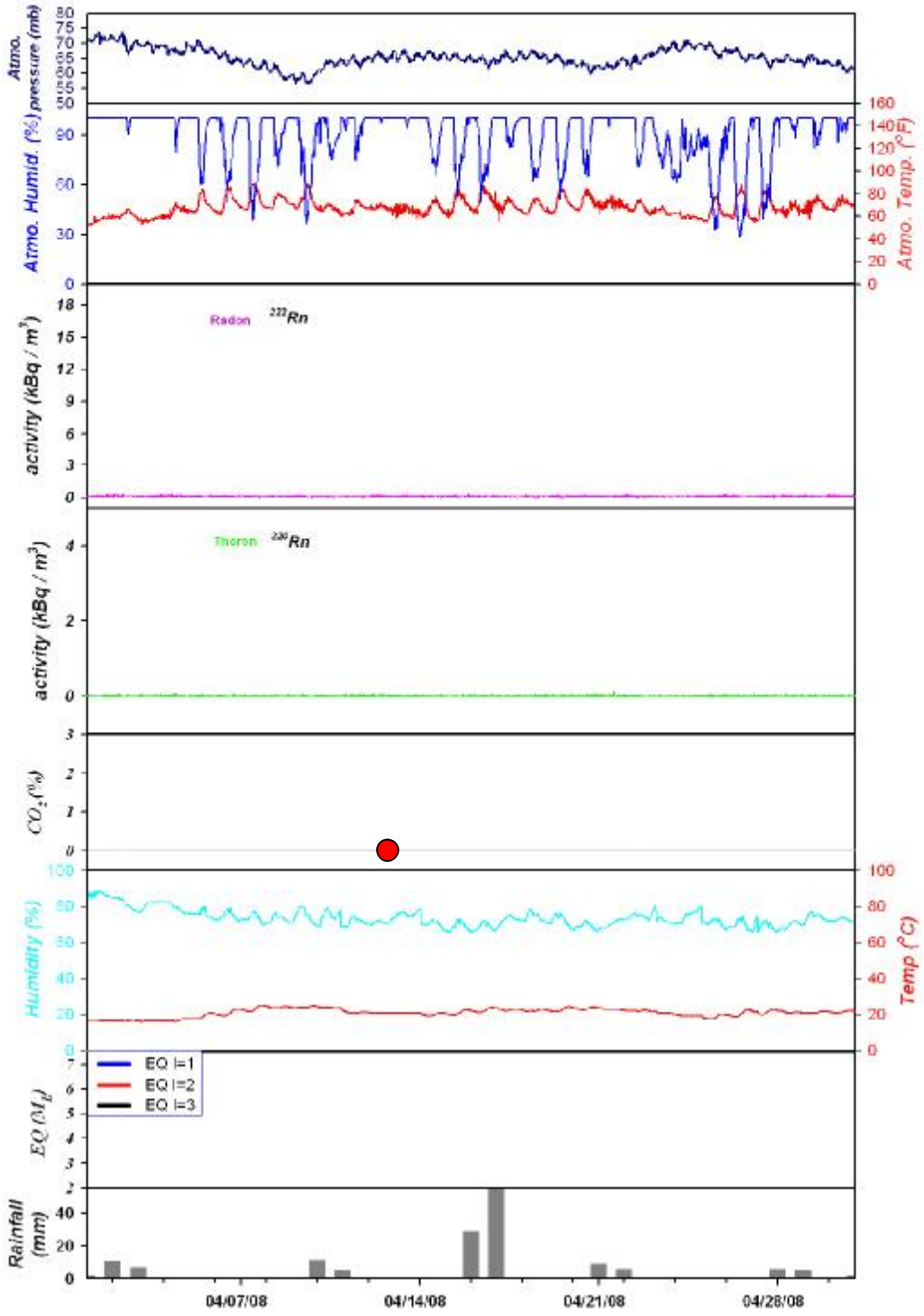


圖2-26：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/4/1～2008/4/30），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

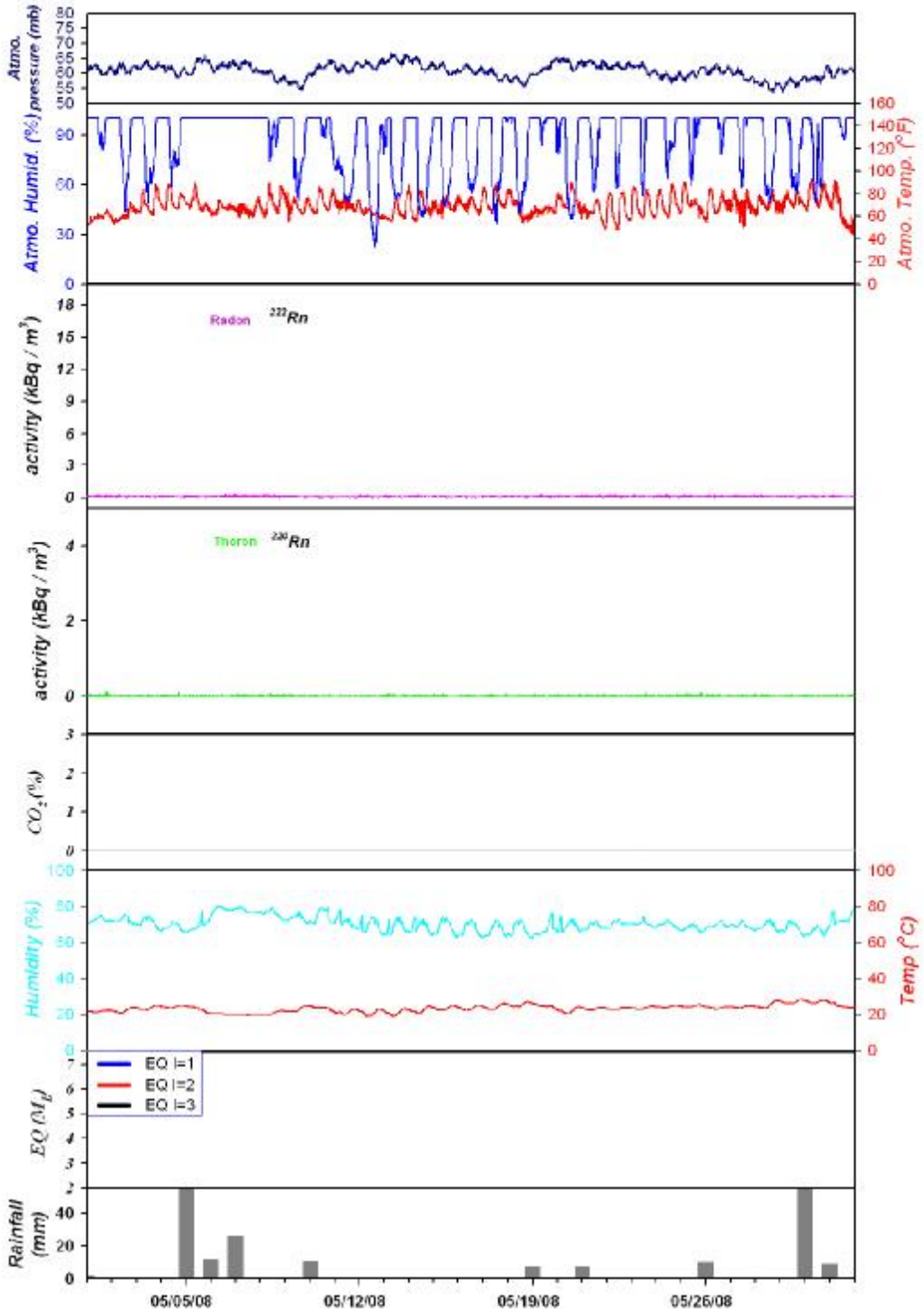


圖 2-27：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/5/1～2008/5/31）。

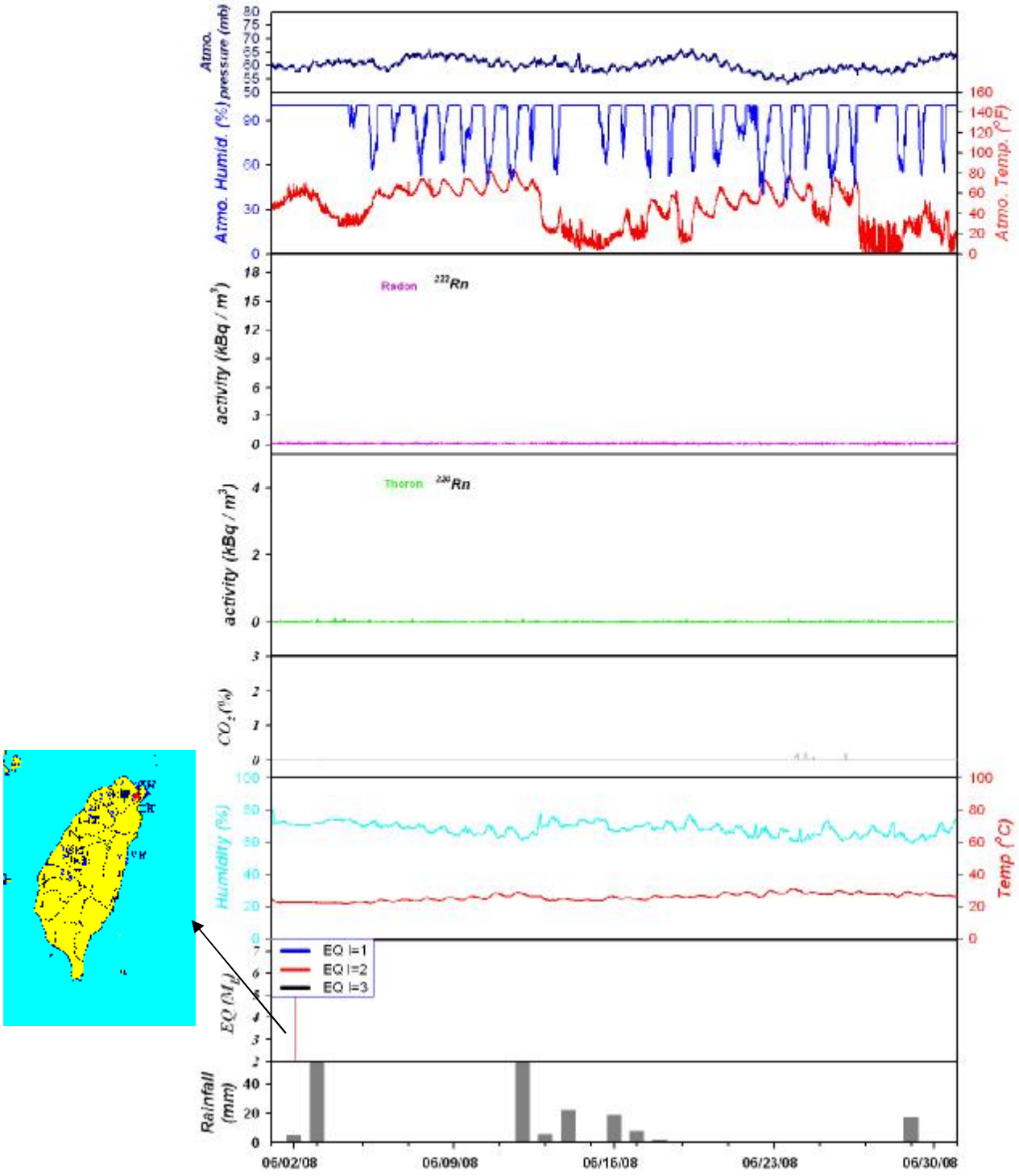


圖 2-28：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/6/1～2008/6/30）。

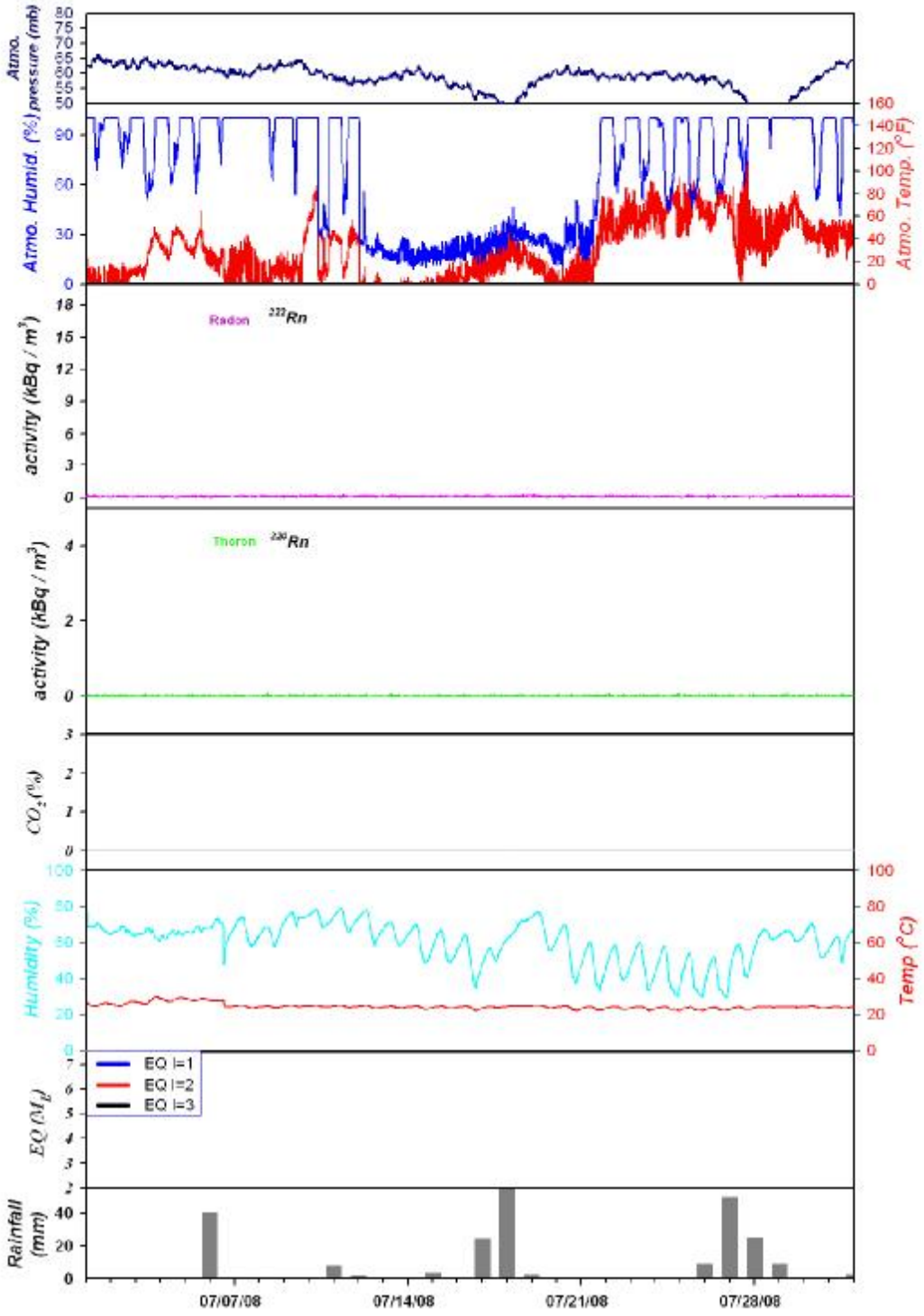


圖 2-29：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/7/1～2008/7/31）。

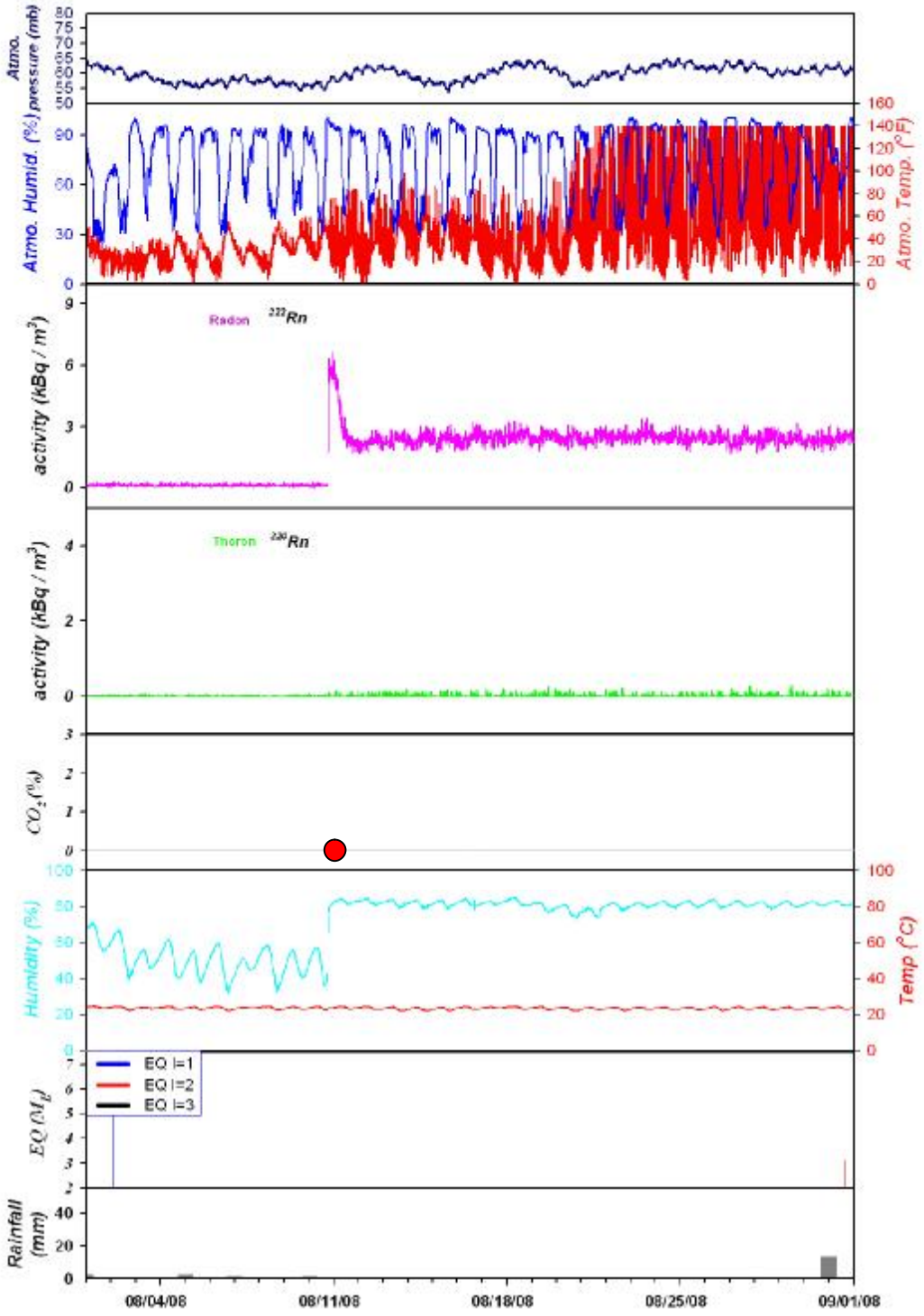


圖2-30：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/8/1～2008/8/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

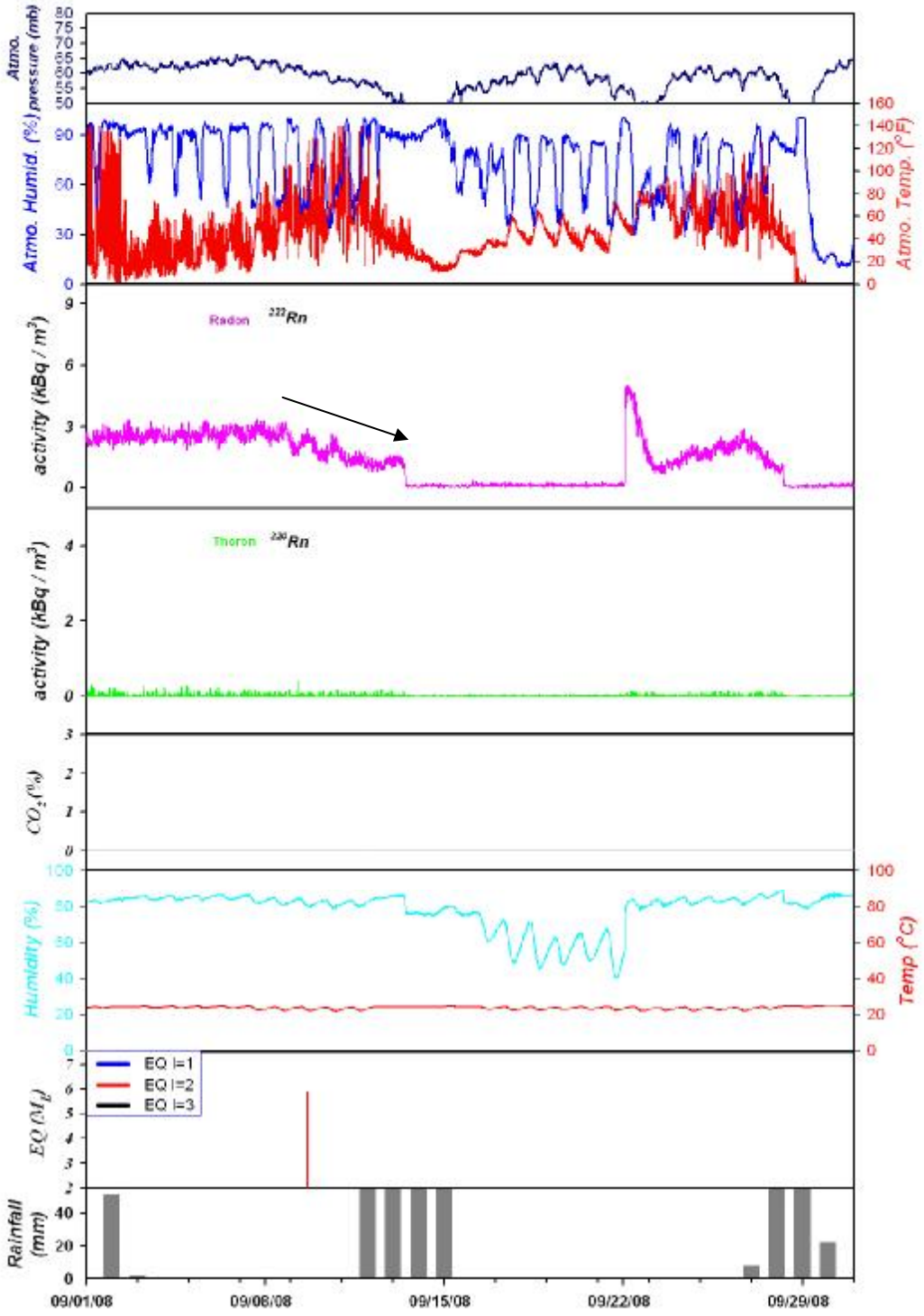


圖 2-31：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/9/1～2008/9/30）。

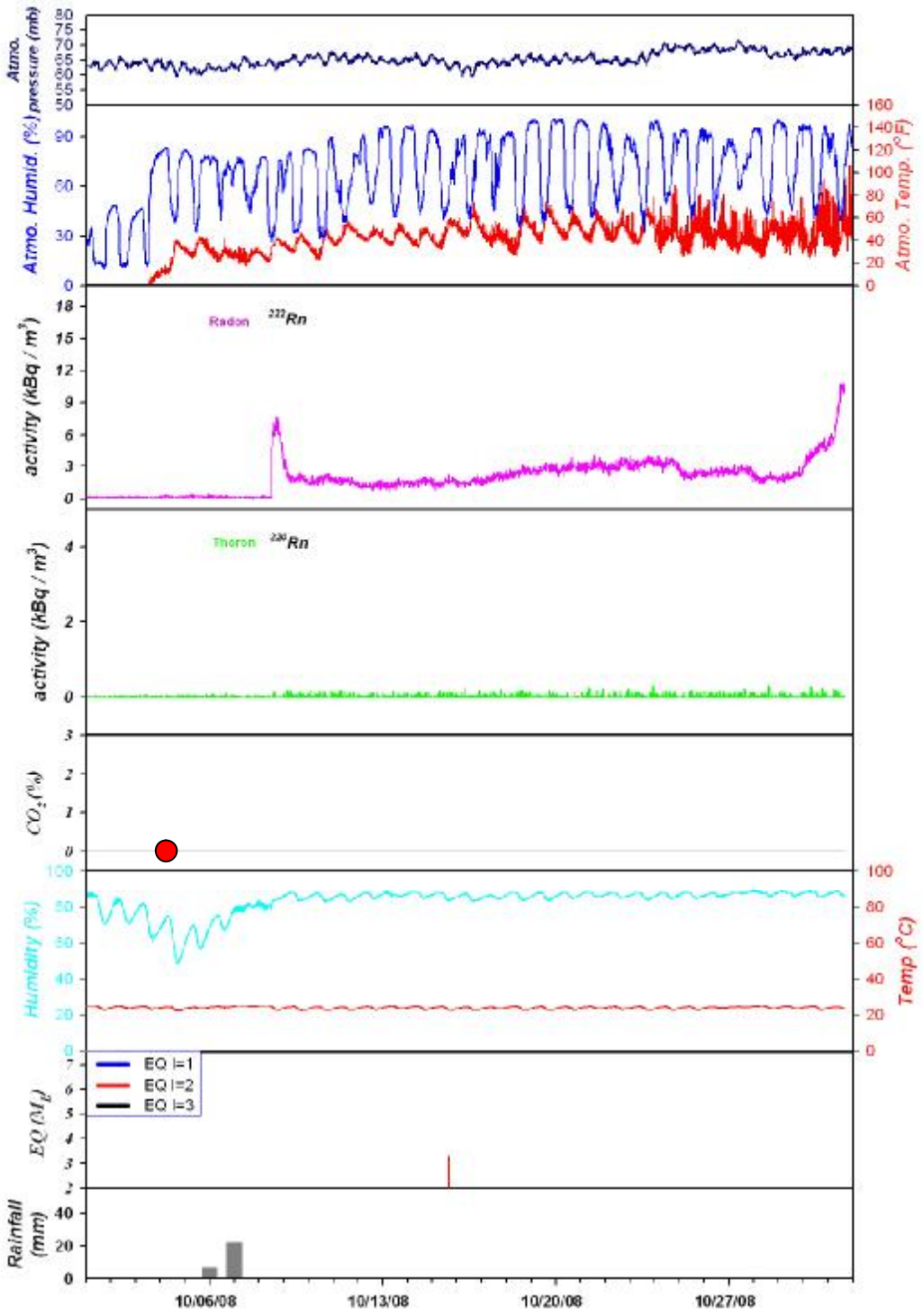


圖2-32：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H則表示土壤氣的溫濕度變（2008/10/1~2008/10/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

2-4 嘉義梅山土壤氣體觀測站

圖2-33到圖2-43為嘉義梅山觀測站的連續觀測結果，圖2-33為2007年12月的觀測資料，由於11月時在觀測站旁有工程進行，挖斷電源線造成觀測站斷電至12月初才完全復電，不過因為氡氣分析儀斷電過久造成儀器損壞，直至月底才恢復正常觀測情形。圖2-34為1月的觀測結果，對於21日於測站附近的地震（地震規模為4.1，地震深度8.5 km）土壤氣體無明顯變化。

圖2-35於2月3日時氡氣濃度升高並持續到5日，其間於測站附近發生地震規模為3.7，地震深度11.9 km的地震；13日氡氣濃度突然升高數小時後回復背景值，不過並無記錄到任何的地震活動；21日則由於更換氡氣分析儀（更換儀器的原因：原儀器記錄的土壤溫度有問題），因此背景值改變而升高，不過22日和23日發生兩起鄰近測站的地震，分別為規模4.4，深11.5 ㎞；規模3.8，深度16.0 ㎞，由於土壤氡氣濃度似乎尚未達到平穩的狀態，因此無法明確指出之間的關連性。

圖2-36為3月的觀測結果，3月3日起氡氣濃度開始些微增加，5日於測站南邊發生一起規模5.5、深3.6 ㎞的地震，於6日時恢復背景值，不過這個濃度變化並不是特別顯著；而3月10日的地震（地震規模4.0，地震深度4.7km）則無明顯異常出現。圖2-37和圖2-38並無任何顯著的變化出現，於5月9日更換電子式乾燥器，因此整體觀測值有些許改變。圖2-39為6月的觀測結果，土壤氡氣與二氧化碳於14日開始增加，在15日於測站南邊發生一起地震（地震規模4.8，地震深度16.9km），而在地震發生後一天的16日氡氣與二氧化碳才恢復原背景值，應是一次相當可信的前兆訊息。圖2-40為7月的觀測結果，3日在嘉義大埔附近發生一起地震後（地震規模4.3，地震深度15.1km），氡氣濃度隨即升高，可能為同震反應；不過此濃度升高的情形持續三天後降低，9日在南投地區發生地震（地震規模3.7，地震深度14.5km），這可能也與此氡氣濃度的變化有關。圖2-41、圖2-42和圖2-43的觀測結果，則因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附近進行初探，以便未來提供新觀測站地點的評選考量。

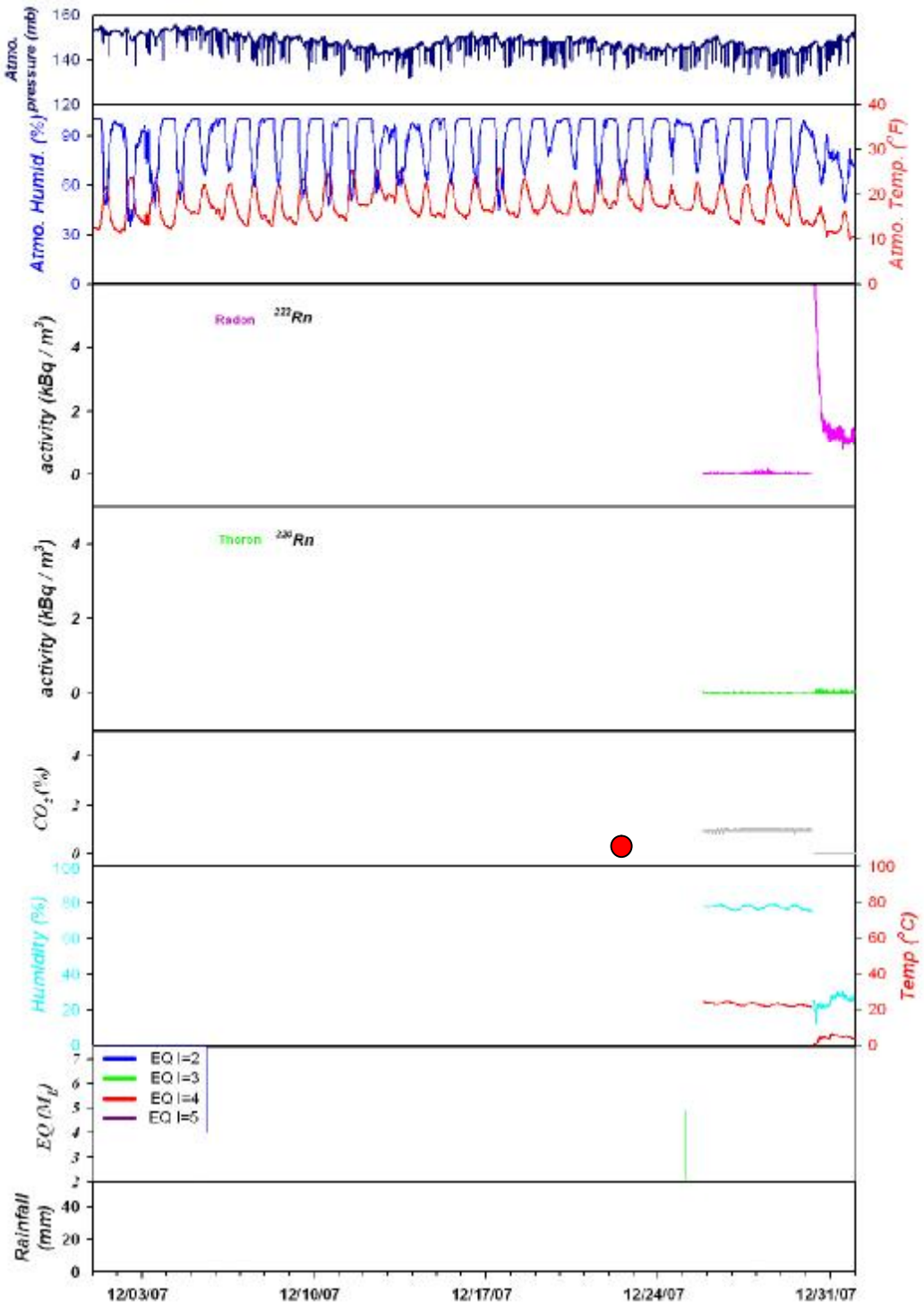


圖2-33：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H則表示土壤氣的溫濕度變化（2007/12/1～2007/12/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

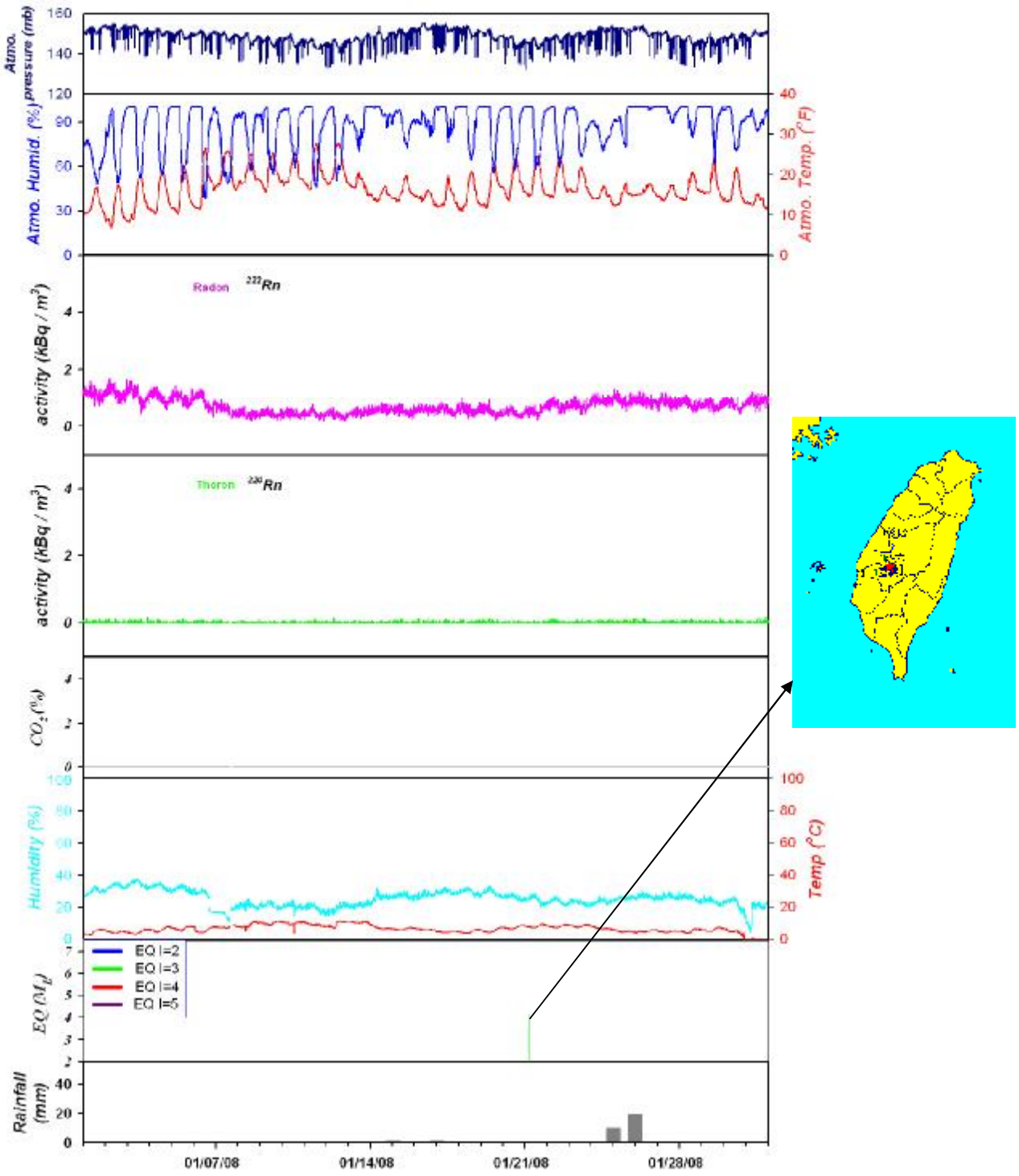


圖 2-34：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/1/1～2008/1/31）。

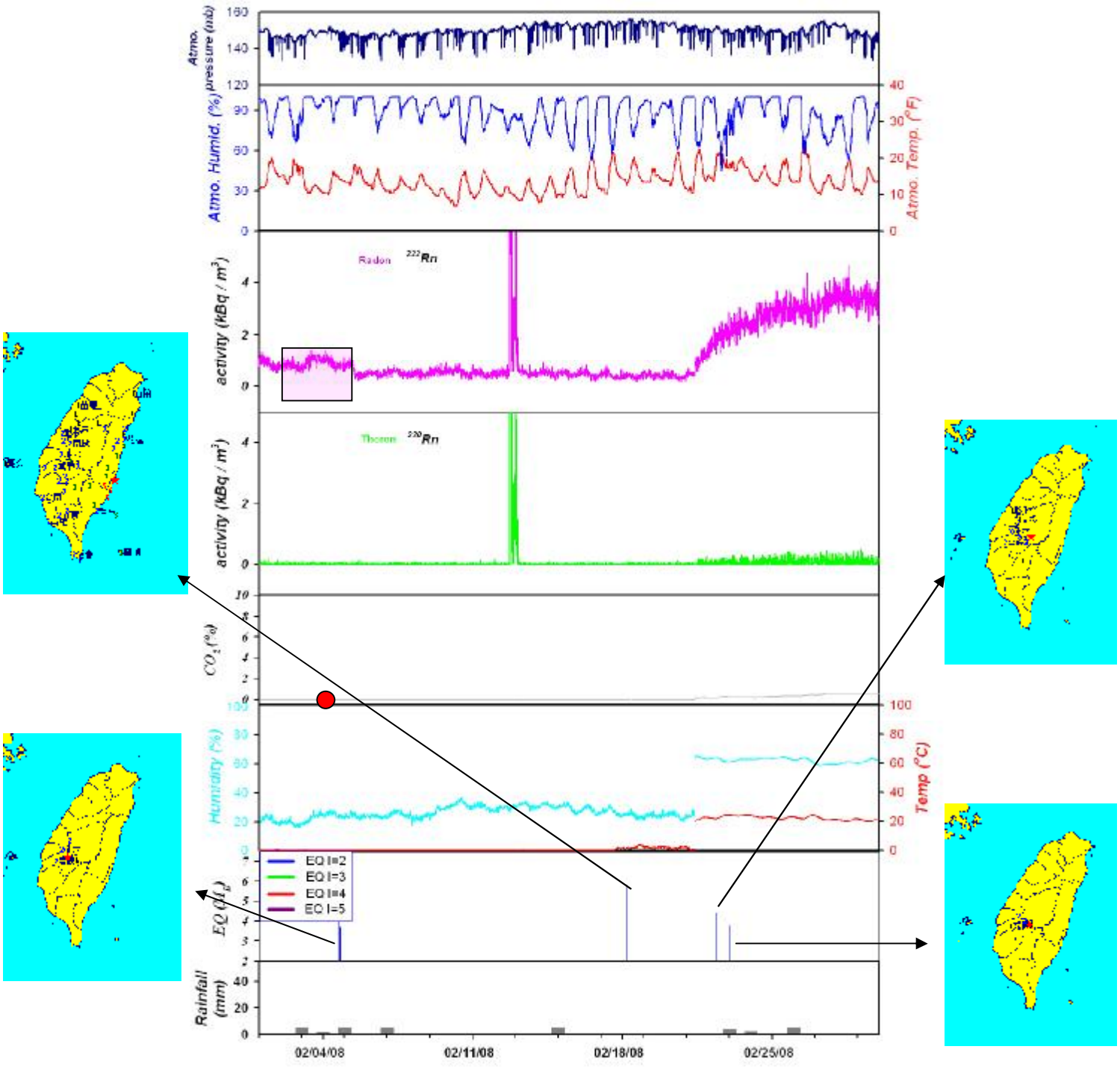


圖2-35：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/2/1～2008/2/28），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果，紅框為異常值區間，21日更換一台氡氣分析儀而造成背景值改變。

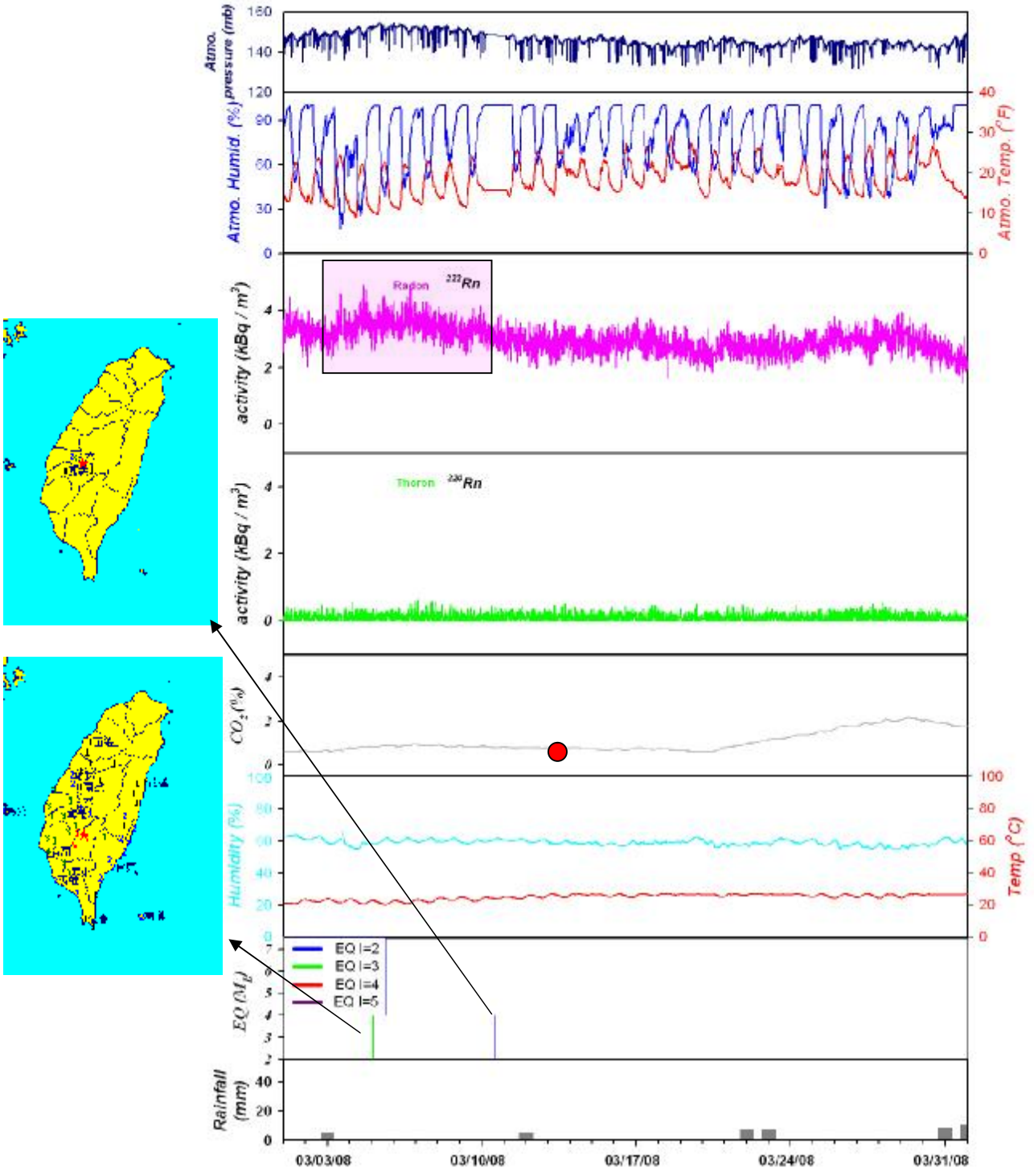


圖2-36：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/3/1～2008/3/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果，紅框為異常值區間。

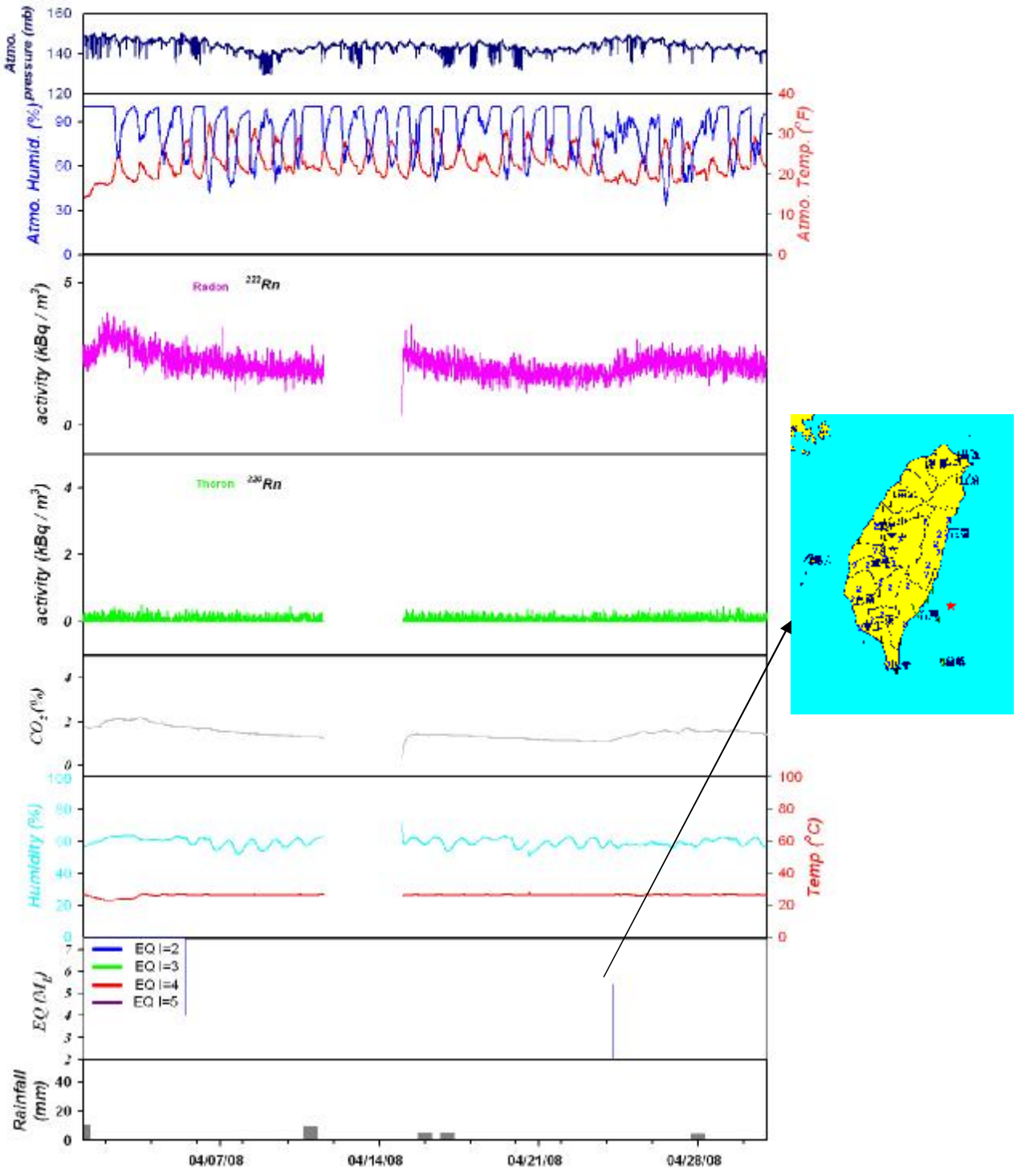


圖 2-37：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/4/1～2008/4/30）。

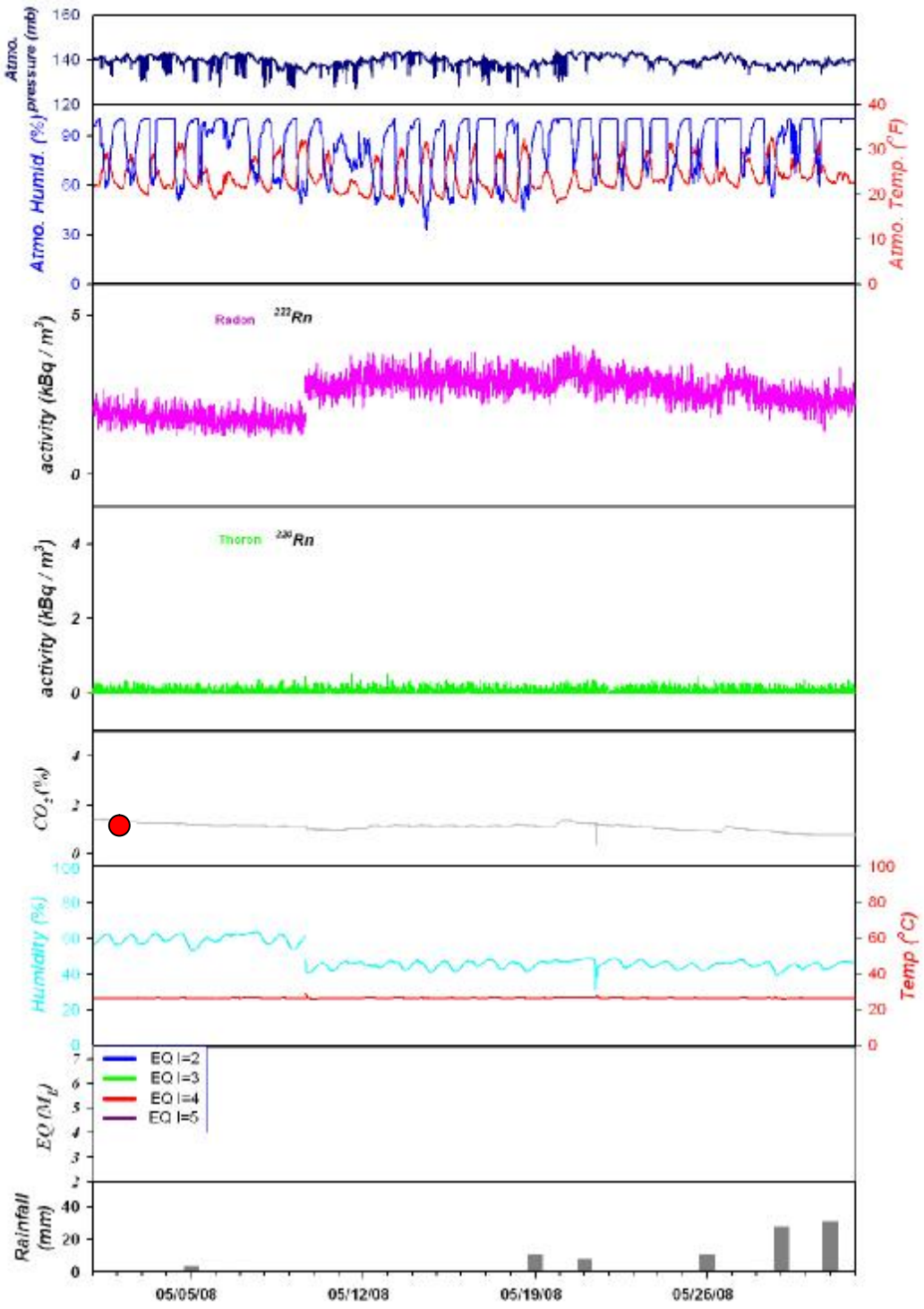


圖2-38：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/5/1～2008/5/30），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果，9日更換電子乾燥器。

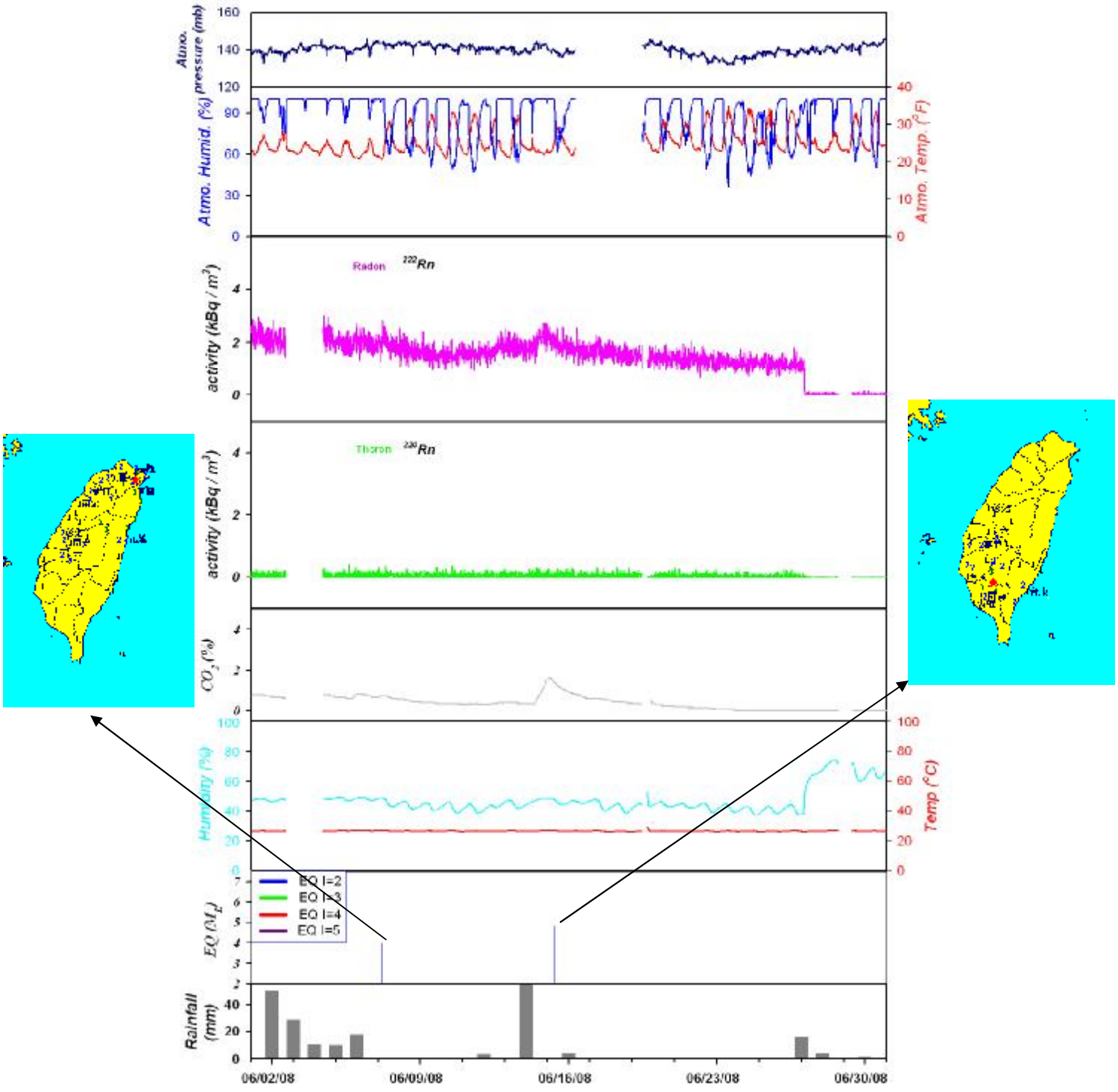


圖 2-39：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/6/1～2008/6/30）。

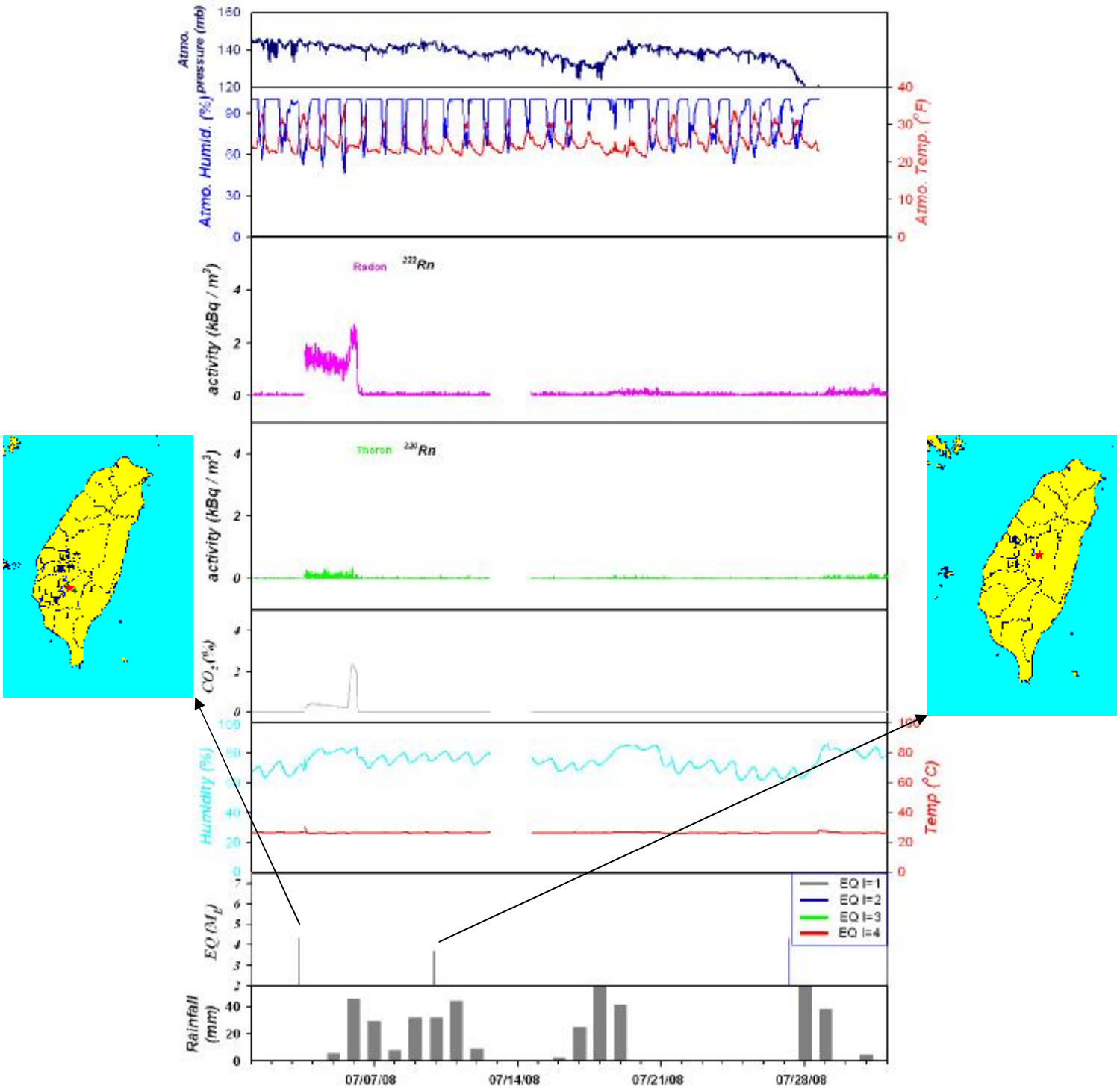


圖 2-40：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/7/1～2008/7/31）。

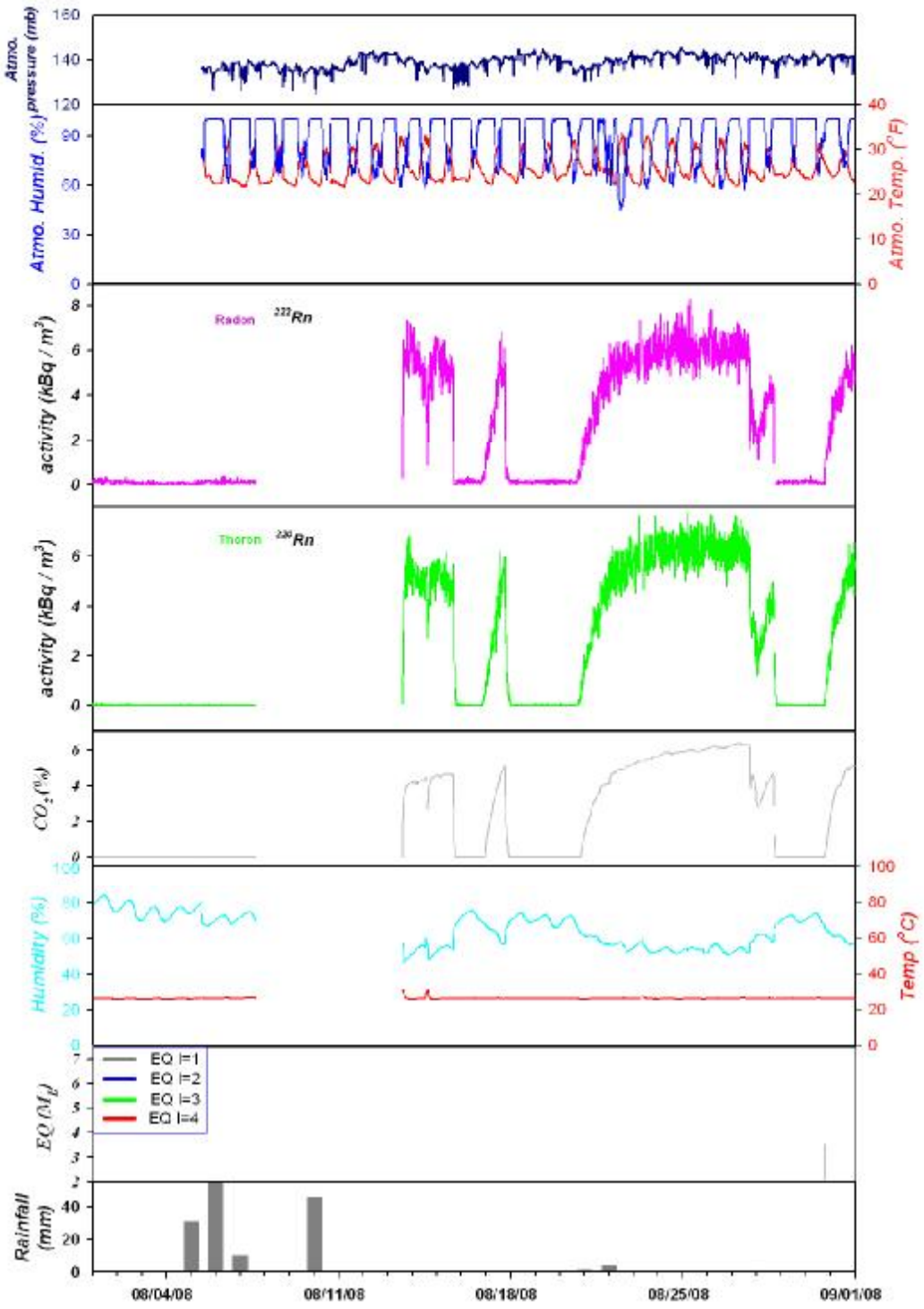


圖 2-41：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/8/1～2008/8/31）。

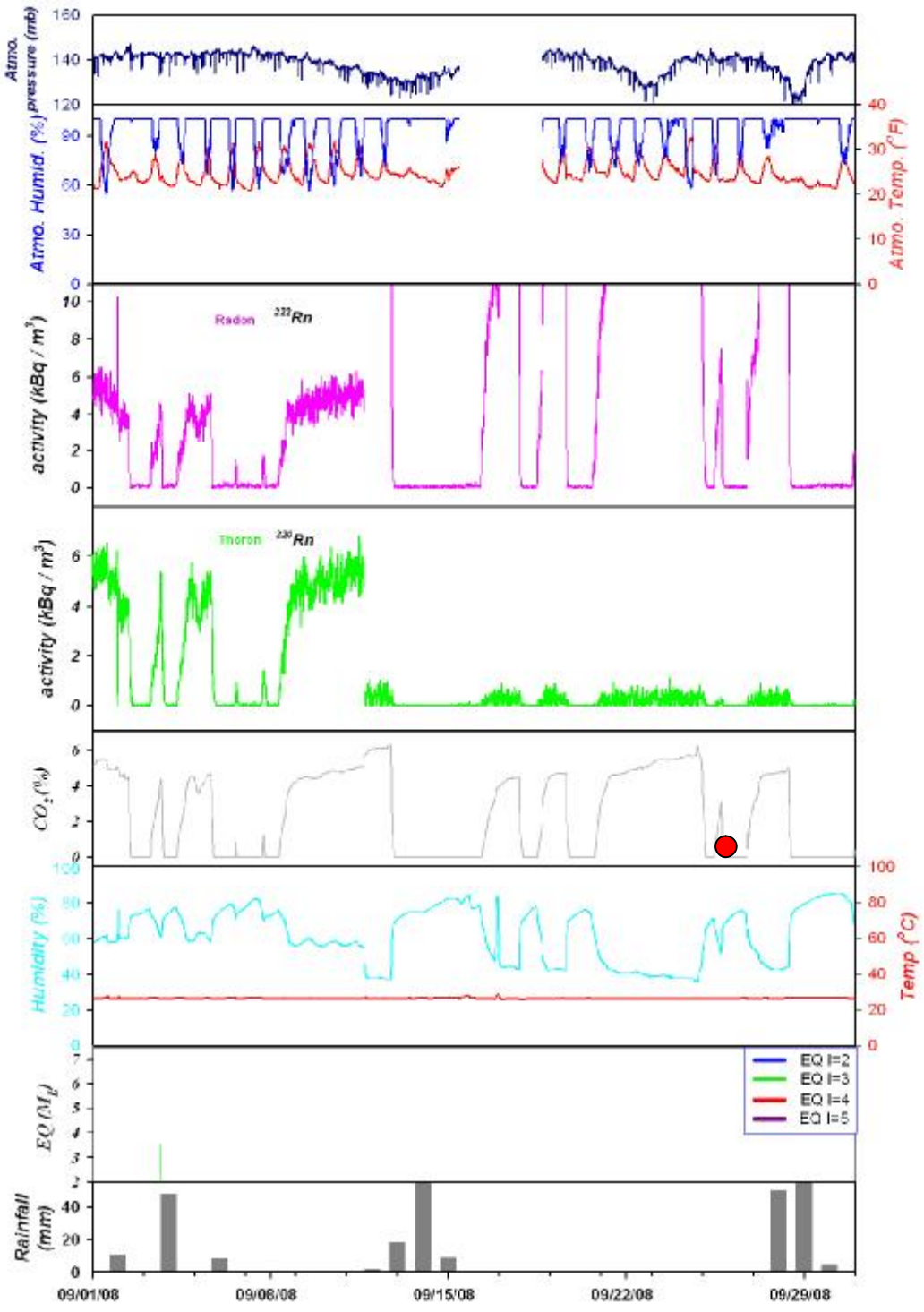


圖 2-42：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/9/1～2008/9/30），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

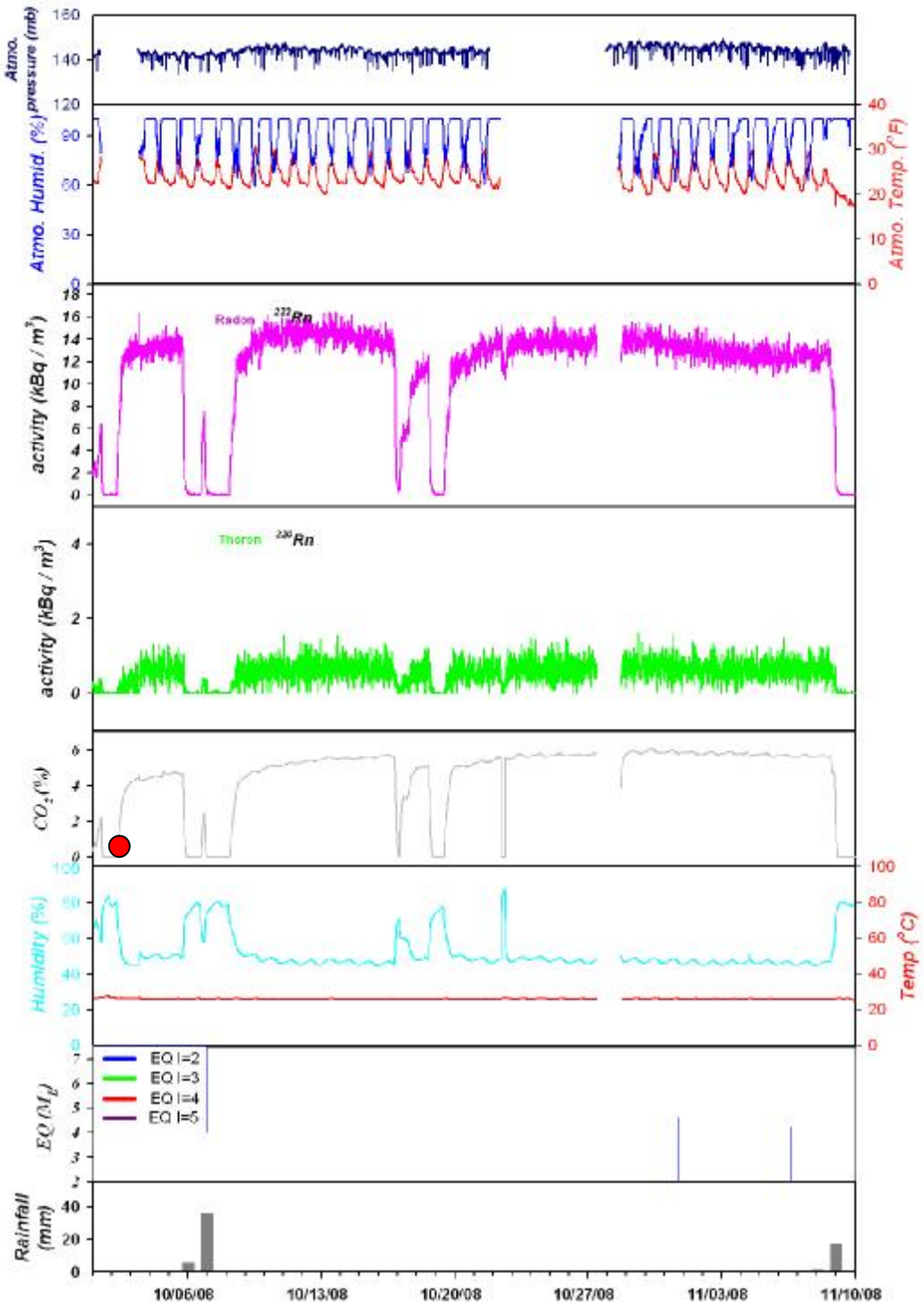


圖 2-43：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/10/1～2008/11/10），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

2-5 台南二溪土壤氣體觀測站

圖2-44到圖2-54為台南二溪觀測站的連續觀測結果，圖2-44為2007年12月的觀測結果，氡氣分析儀發生故障因此造成資料中斷。圖2-45和圖2-46皆出現由於濕度增加造成氡氣濃度降低的情形。圖2-47中3月的觀測結果，則有土壤氡氣(radon)劇降反而土壤釷氣(thoron)劇升的情形，不過出現的時間並未記錄到任何的地震活動。圖2-48和圖2-49的觀測結果，土壤氣體濃度平穩，於5月22日更換電子式乾燥器，因此整體觀測值有些許改變。圖2-50為6月的觀測結果，土壤氣體濃度又出現因濕度升高造成濃度降低的情形，目前得知是由於電子乾燥器運作失常所致。圖2-51中7月4日到21日由於電腦送修，因此缺少氣象因子的觀測結果，氡氣濃度則於16日因豪大雨過後而逐漸升高。圖2-52和圖2-53為8到9月的觀測結果，除了因為更換電子式乾燥器而造成氣體濃度改變之外，並未出現任何顯著的異常。圖2-54為10月的觀測結果，又因電腦再度出現問題而使得氣象紀錄中斷。

整體而言，本年度本測站尚未有顯著的氣體異常出現。

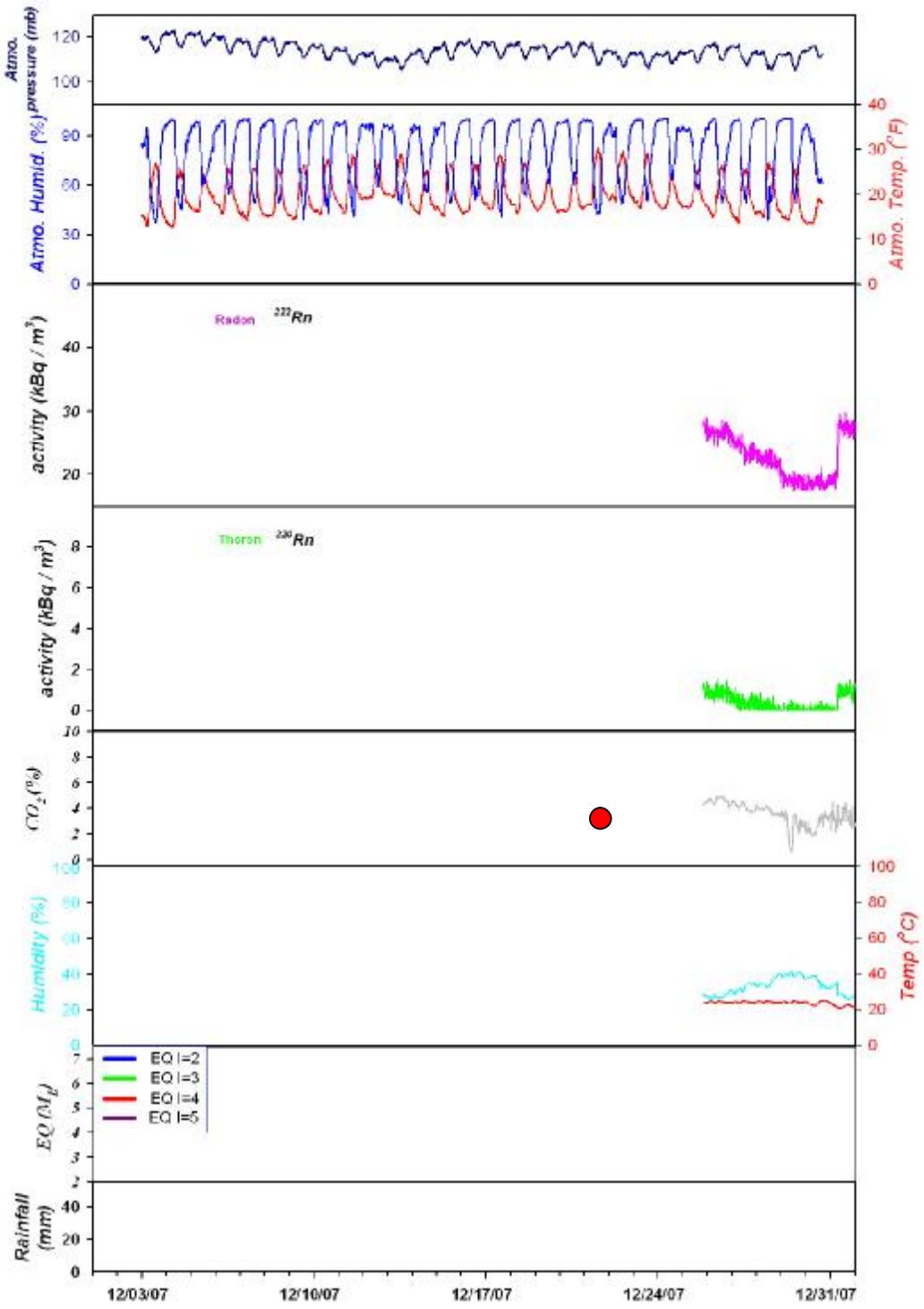


圖 2-44：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2007/12/1～2007/12/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

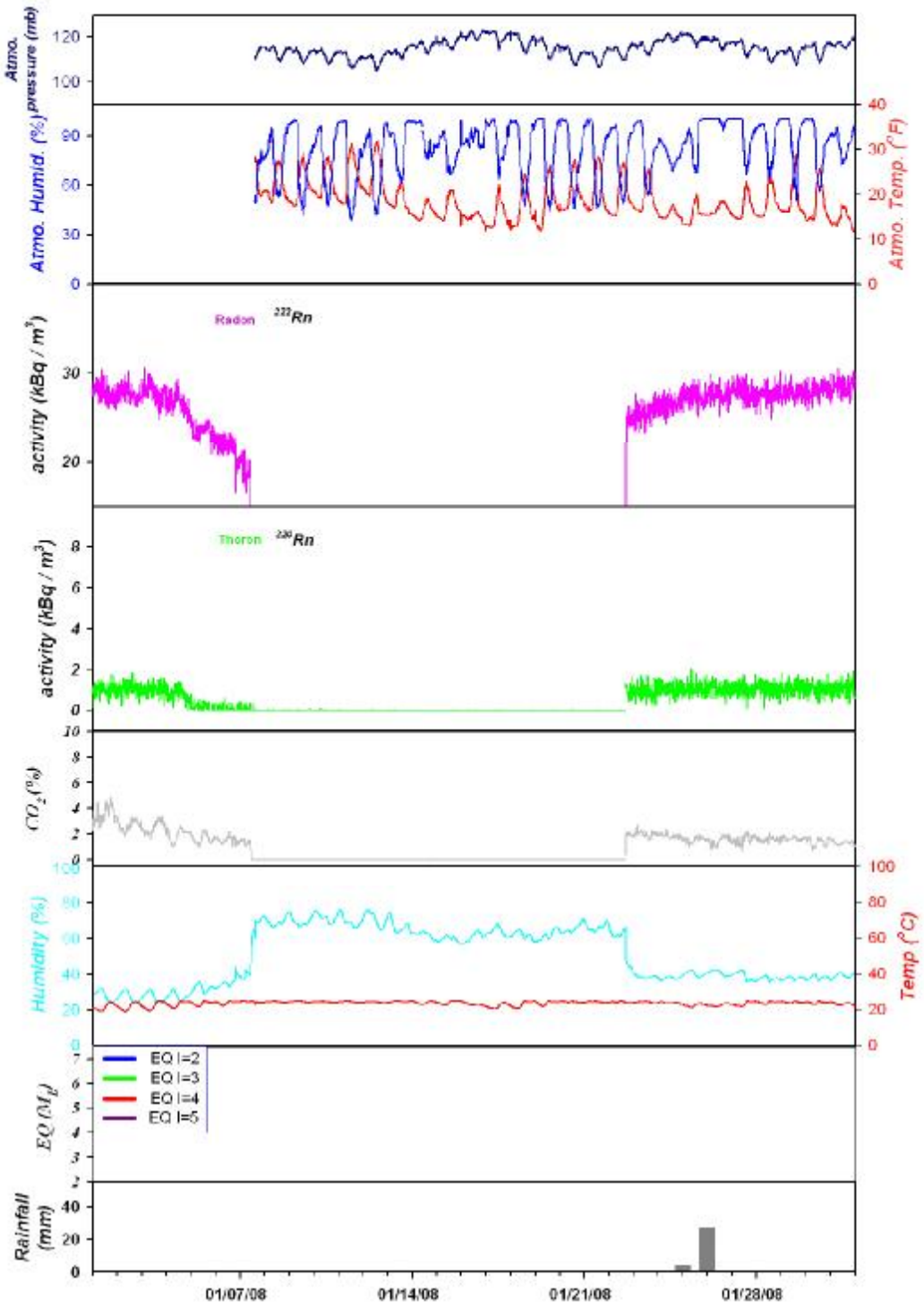


圖 2-45：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/1/1～2008/1/31）。

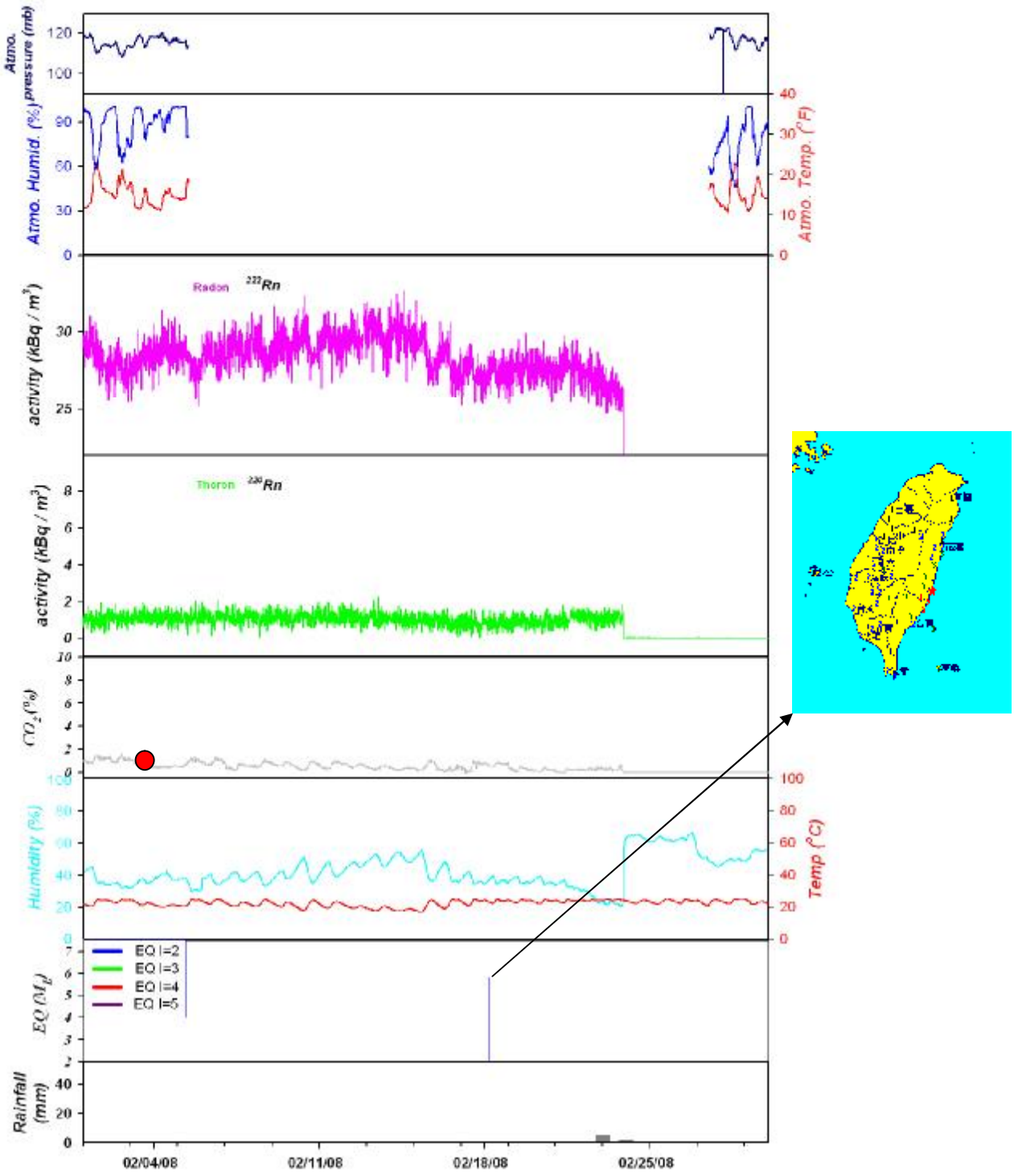


圖 2-46：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/2/1～2008/2/28），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

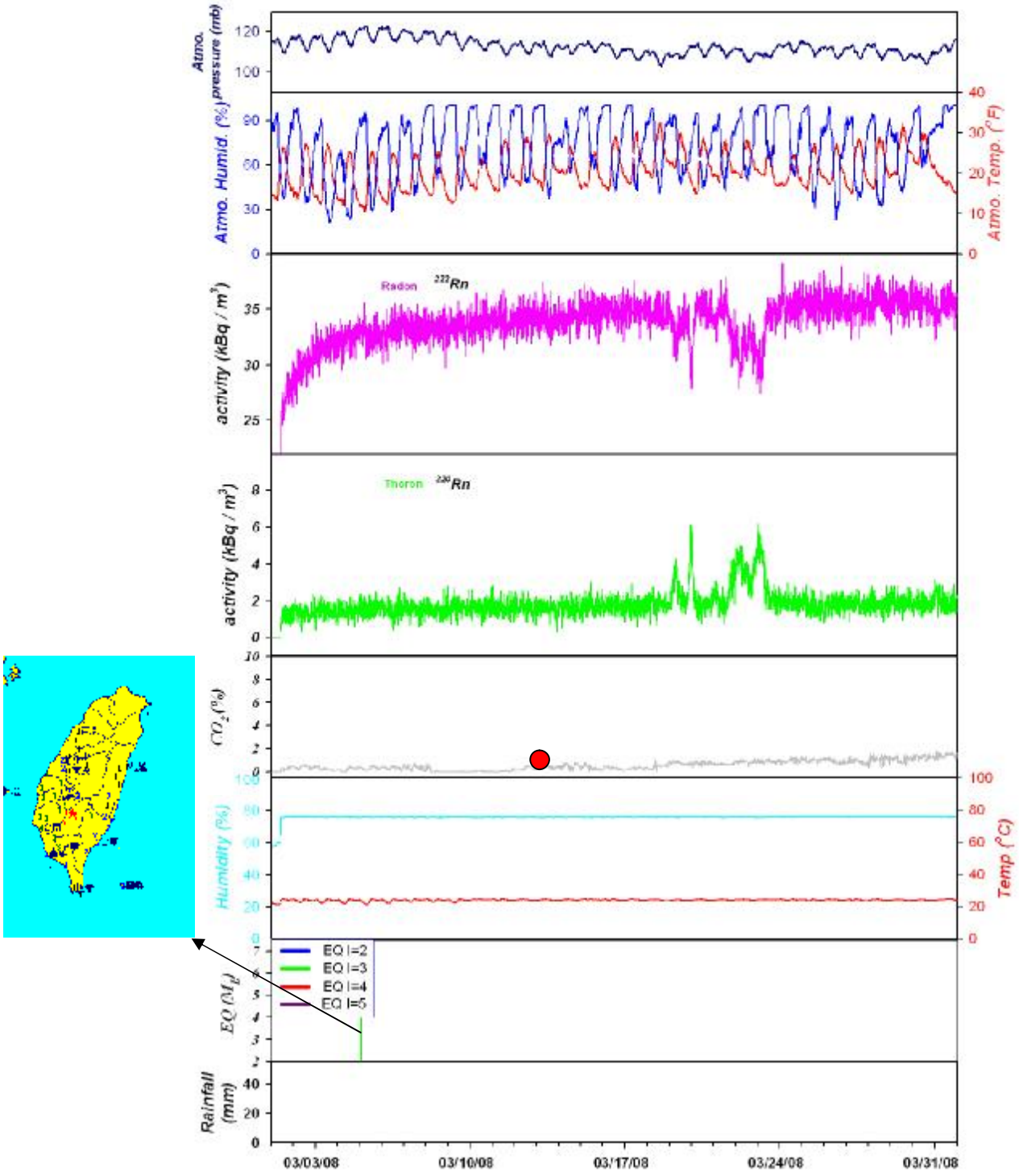


圖 2-47：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/3/1～2008/3/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

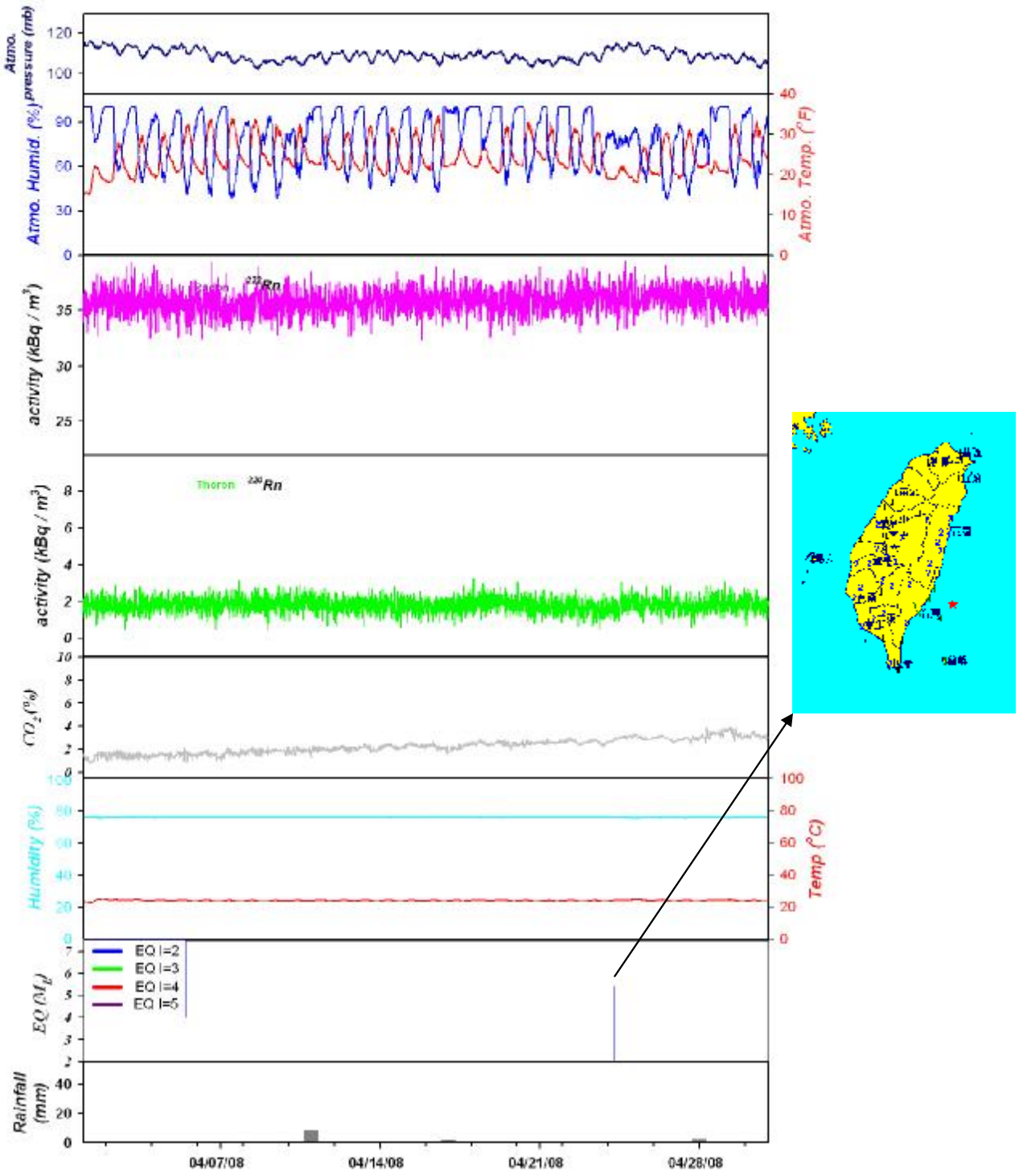


圖 2-48：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/4/1～2008/4/30）。

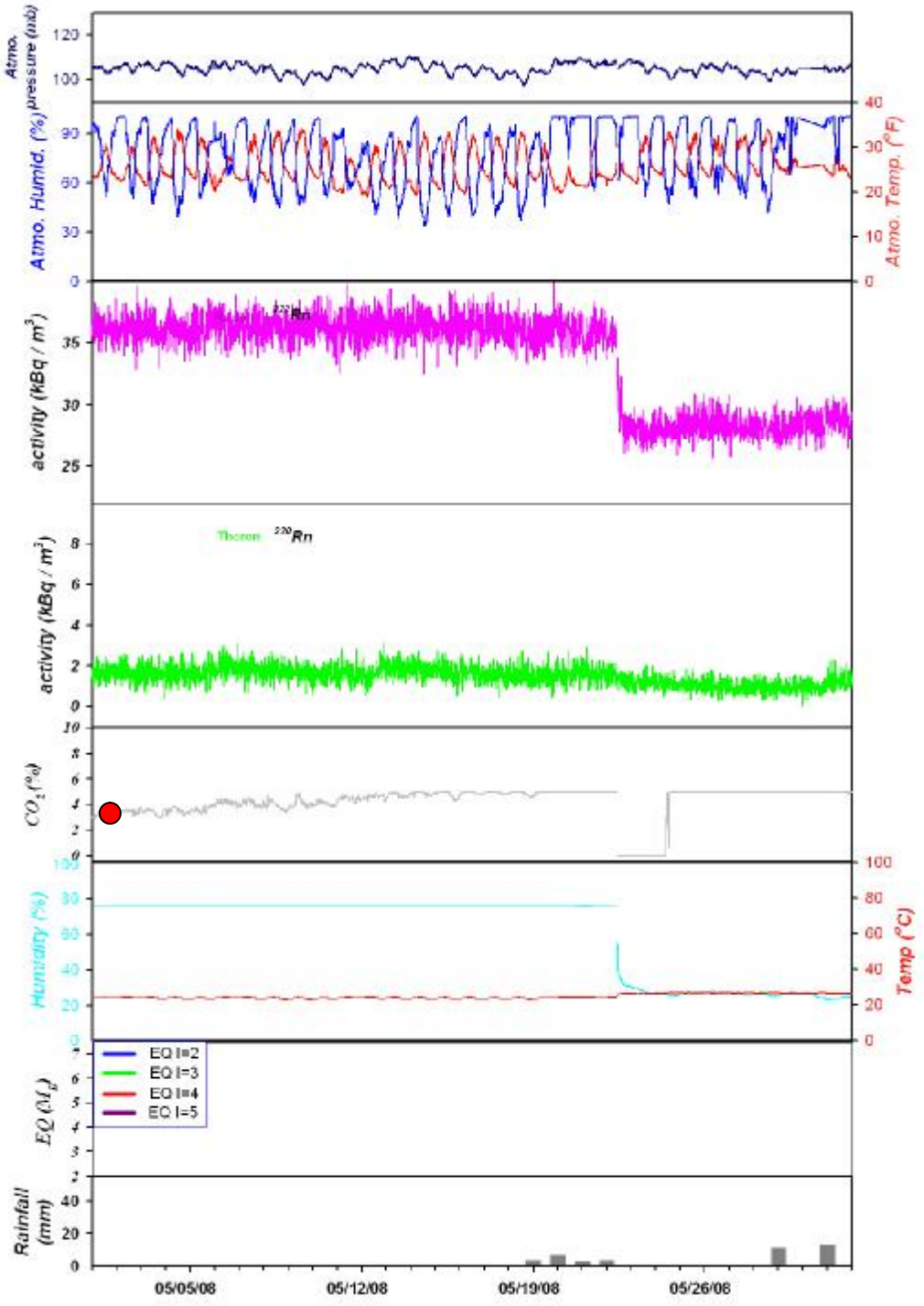


圖 2-49：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/5/1～2008/5/30），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果，22 日更換電子乾燥器。

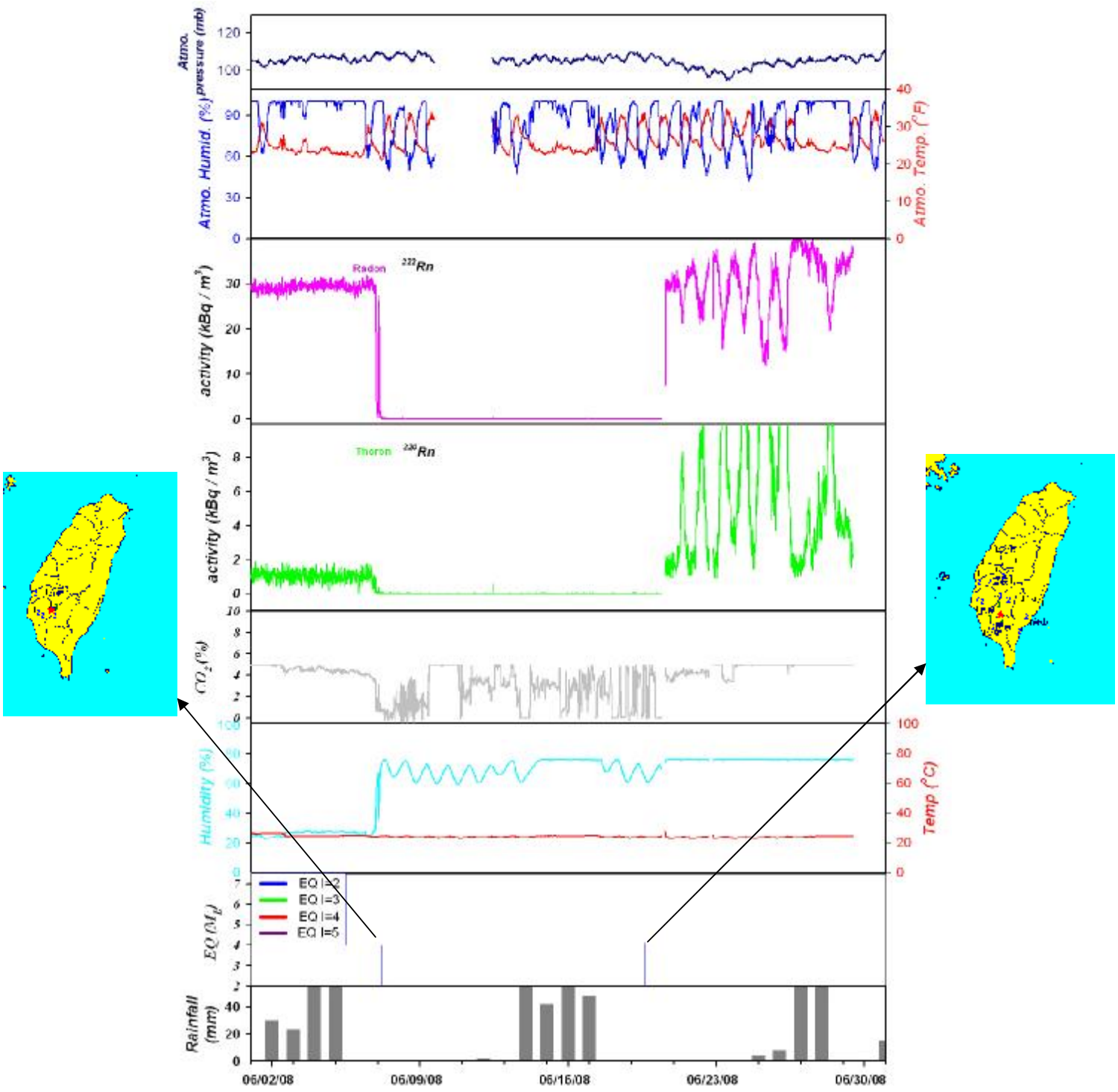


圖 2-50：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/6/1～2008/6/30）。

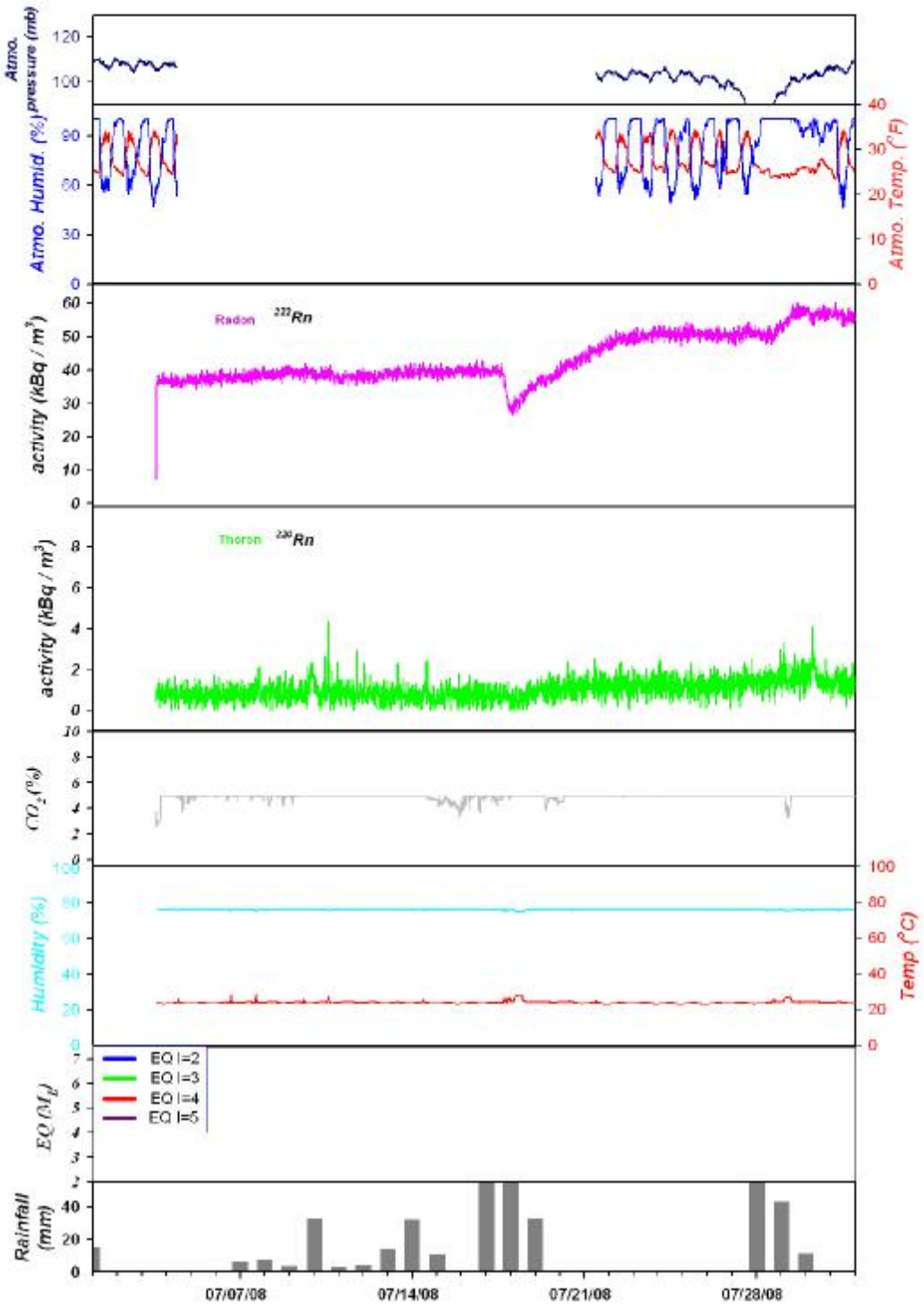


圖 2-51：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/7/1～2008/7/31）。

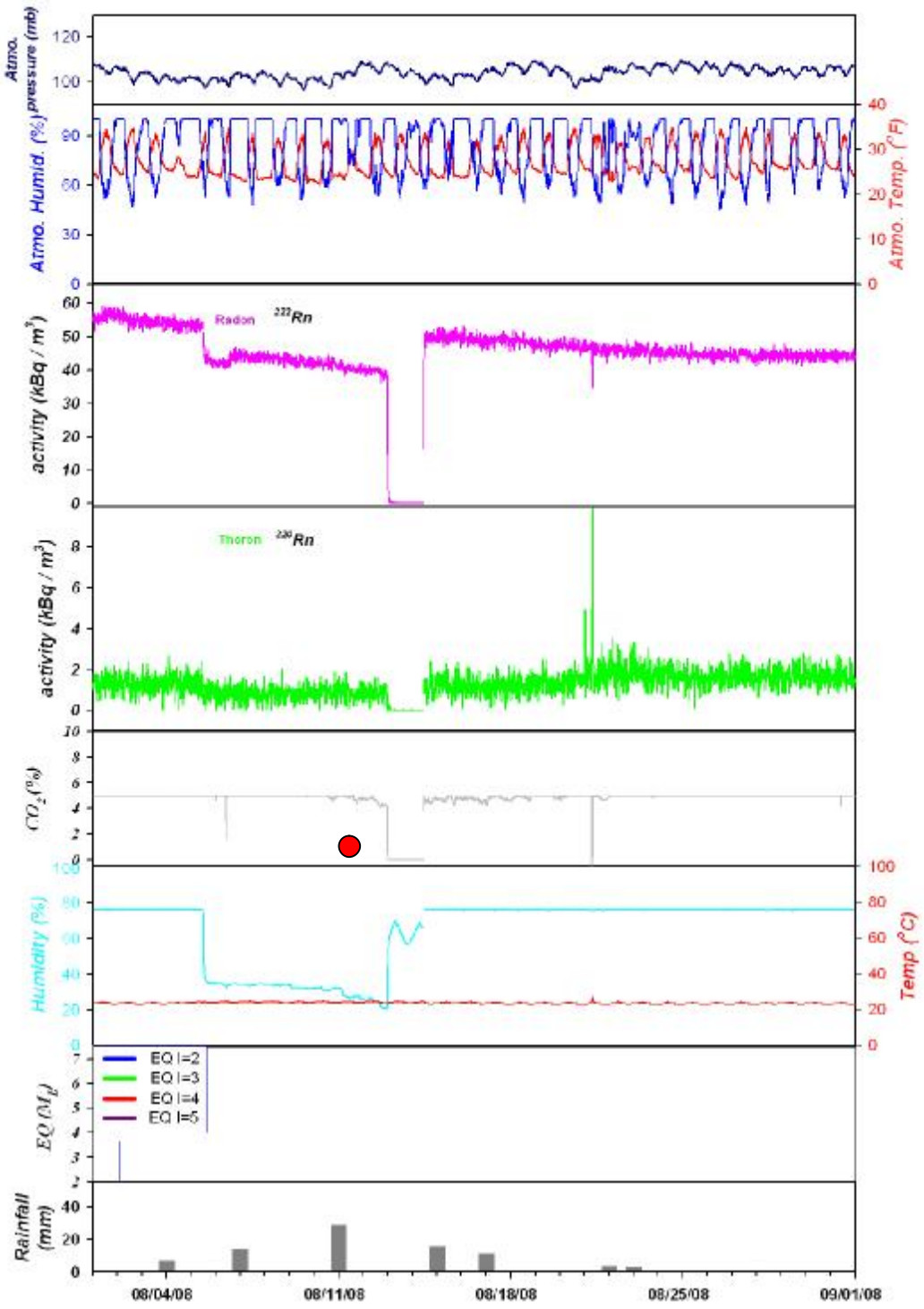


圖 2-52：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/8/1～2008/8/31），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

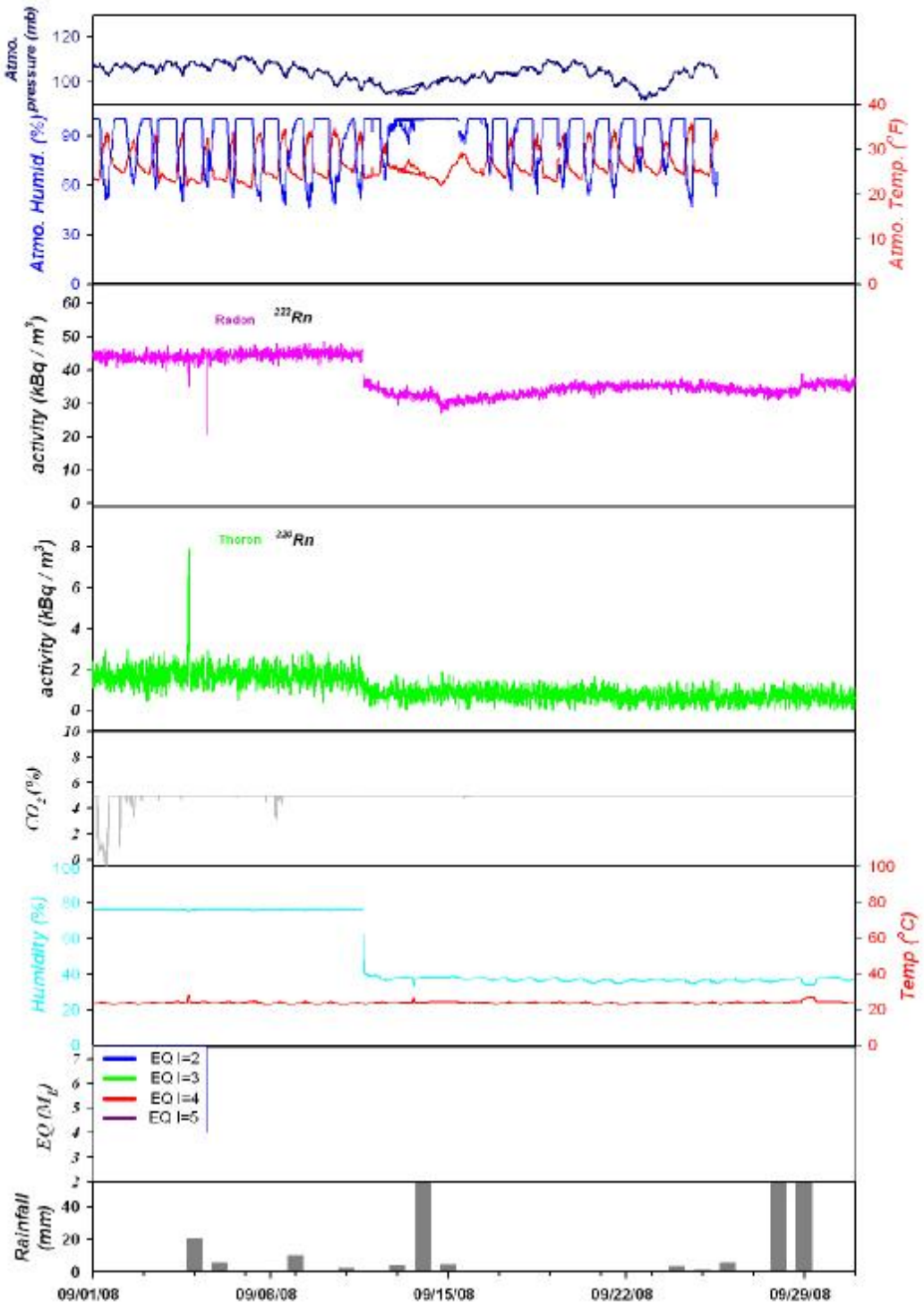


圖 2-53：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/9/1～2008/9/30）。

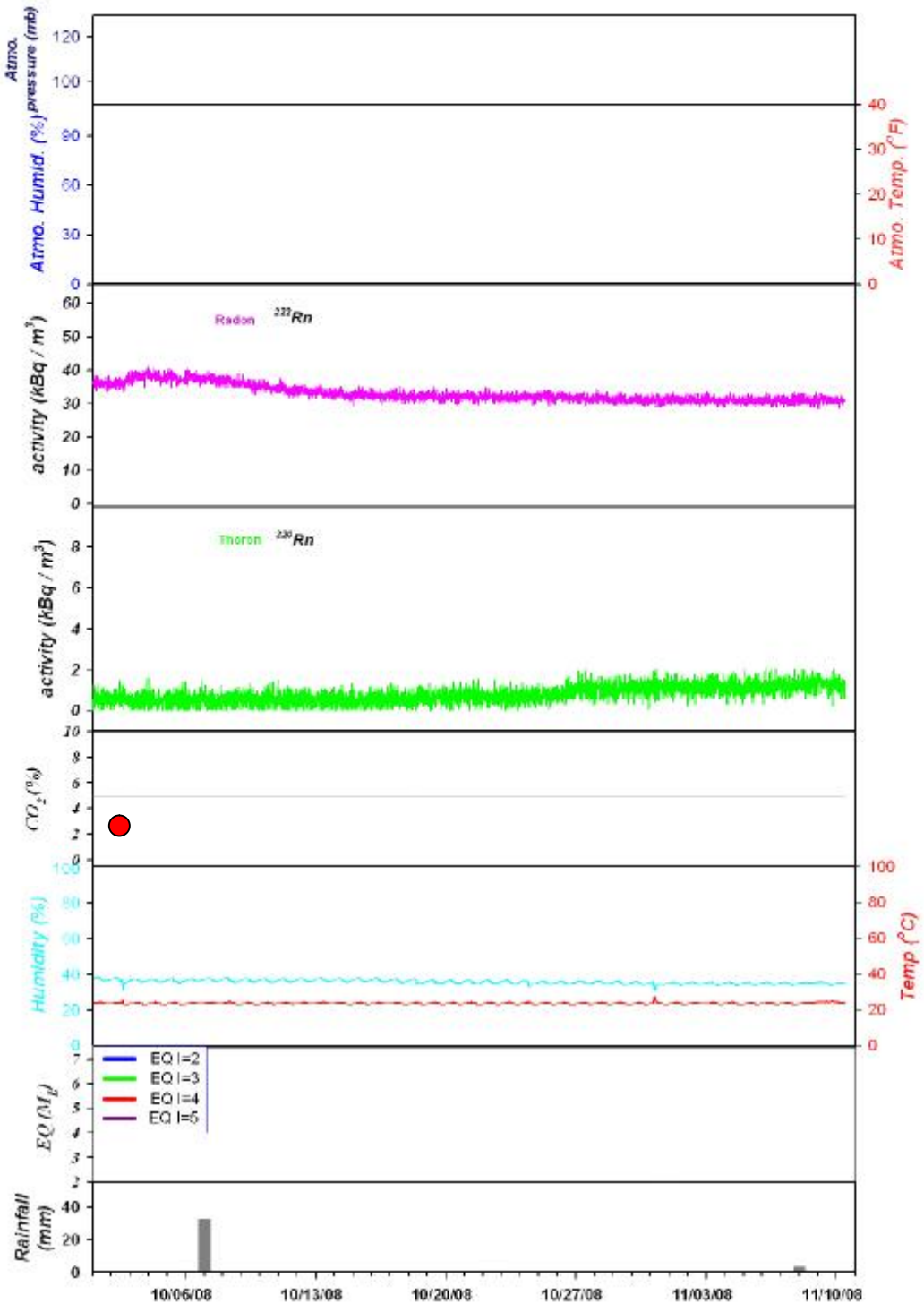


圖 2-54：台南二溪土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/10/1～2008/11/10），紅點為人工採樣二氧化碳分析結果。

2-6 人工採樣分析結果

分別在中崙濁水潭觀測站、大平地觀測站、梅山觀測站與二溪觀測站進行定期的人工採樣分析，以對照其組成份(如表2-2)與連續觀測站的分析結果(見各觀測站之連續觀測圖)。顯示各觀測站的分析結果與人工採樣的結果大部分相似，意味者觀測站呈現正常運作的狀態。從表2-2也發現不同測站的主要氣體成份也不盡相同，會因各地之地質構造環境、流體與氣體來源成分不同而有所不同，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分來，然後才能瞭解流體成分變化的控制變因

表 2-2：觀測站人工採樣氣體成份表

Date-Sample-No.	H_2	CH_4	N_2+CO	O_2	Ar	CO_2	C_2H_6	Total
71222-CL3-S	0%	0%	74.21%	15.43%		10.36%	0%	100%
80204-CL3-S	0%	0%	75.81%	13.96%		10.23%	0%	100%
80313-CL3-S	0%	0%	74.74%	14.74%		10.52%	0%	100%
80502-CL3-S	0%	0%	73.99%	15.17%		10.84%	0%	100%
80811-CL3-S	0%	0%	76.26%	12.59%		11.15%	0%	100%
81015-CL3-S	0%	0.02%	80.25%	15.19%		4.54%	0%	100%
81029-CL3-S	0%	0.02%	79.21%	14.40%		6.37%	0%	100%

CL3-S：中崙濁水潭土壤氣；

表 2-2（續）：觀測站人工採樣氣體成份表

Date-Sample-No.	H_2	CH_4	N_2+CO	O_2	Ar	CO_2	C_2H_6	Total
71229 TPD	0%	0%	83.8%	16.1 %		0.1%	0%	100%
80302 TPD	0%	0%	83.4%	16.5 %		0.1 %	0%	100%
80413 TPD	0%	0%	82.9%	16.9 %		0.2 %	0%	100%
80811 TPD	0%	0%	79.24%	20.62%		0.14%	0%	100%
81003 TPD	0%	0%	78.97%	20.99%		0.05%	0%	100%

TPD：大平地

表 2-2（續）：觀測站人工採樣氣體成份表

Date-Sample-No.	H_2	CH_4	N_2+CO	O_2	Ar	CO_2	C_2H_6	Total
71222 MS	0%	0%	81.3%	18.3%		0.4%	0%	100%
80204 MS	0%	0%	81.7%	17.8%		0.5%	0%	100%
80313 MS	0%	0%	83.0%	15.9%		1.1%	0%	100%
80502 MS	0%	0%	83.6%	14.8%		1.6%	0%	100%
80926 MS	0%	0.02%	81.53%	17.94%		0.51%	0%	100%
81003 MS	0%	0%	83.68%	14.73%		1.6%	0%	100%

MS：梅山

表 2-2（續）：觀測站人工採樣氣體成份表

Date-Sample-No.	H_2	CH_4	N_2+CO	O_2	Ar	CO_2	C_2H_6	Total
71222 RS	0%	0%	81.6%	15.2%		3.2%	0%	100%
80204 RS	0%	0%	82.4%	16.3%		1.3%	0%	100%
80313 RS	0%	0%	82.5%	16.7%		0.8%	0%	100%
80502 RS	0%	0%	81.6%	14.8%		3.6%	0%	100%
80811 RS	0%	0%	81.38%	16.92%		1.70%	0%	100%
81002 RS	0%	0%	81.59%	16.44%		1.97%	0%	100%

RS：二溪

參、新觀測站設置

3-1 前言

本研究在於對觀測站的設置進行前置的的初步探勘，先利用以建立成熟的土壤氣體逸氣調查方法，對於台東池上、成功和屏東潮州斷層等地區，找尋敏感及合適的觀測站設置地點。首先由數值地形圖上觀察，利用地球化學土壤逸氣的方法並再和其他地球物理或是地質的方法互相作比較以得到更精確的結論，以更徹底了解斷層的位置分佈與其活動性。

源自於地殼深處之天然逸氣常有高於地表空氣之組成，而氡氣、氦氣、氫氣、二氧化碳與甲烷等揮發性氣體，易沿著活斷層逸散至地表而顯示出異常高濃度值；此特性除了可用於觀測斷層活動以外，亦常被用來協助確認地表斷層構造之位態與分佈（如 Etiope and Lombardi, 1995; Giammanco and Gurrieri, 1997; Guerra and Lombardi, 2000; Baubron *et al.*, 2002; Etiope and Martinelli, 2002）。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。

一般說來，斷層帶提供了深源氣體逸散至地表的主要通道，故而於其附近之土壤氣體濃度便要比一般之背景值為高，故而可以配合其他方法，將之用於判別地底是否存在有深源斷層的有效工具之一，而廣為學者所利用。

3-2 研究地區

利用上述方法，於96年度已於台東池上斷層、成功地區附近，進行初步土壤氣體地球化學探勘，選擇適合設站位置。

台東成功地區的初步分析結果顯示，所採集之土壤氣中各氣體濃度並無顯著異常，且其土壤氡氣的背景值濃度也相當的低，平均約只有3800 Bq/m^3左右，相較於台灣其它地區的土壤氡氣濃度動輒5000～15000 Bq/m^3不等的範圍，本地區的土壤氡氣濃度背景值偏低。

圖3-1為土壤氣氡氣濃度的分佈情形，於CK-15呈現異常的高濃度，此地點於

2003年12月10日曾經發生規模達6.5的地震。此外，CK-15的採樣時間為2007年的4月4日，而於採樣日期之後幾天（4月6與4月8日）發生了兩起地震，此地震都位在CK-15方圓20公里的範圍內，這都可能意味著此地點的土壤逸氣通量相當敏感，可作為日後設站的參考。

台東池上地區的初步分析結果顯示氫氣、氧氣其濃度的變化無法成為尋找斷層的指標氣體。本研究將每個剖面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。

分析結果顯示，土壤氣樣本中所含之氦氣、氡氣（圖3-2）、氮氣和二氧化碳濃度在特定的位置處皆有異常值出現。而這些高濃度的位置大都出現在池上斷層沿線及其西側附近，意味著斷層沿線的土壤逸氣通量可能比起遠離斷層的高，若進一步將氦氣、氡氣、氮氣和二氧化碳等氣體濃度，同時呈現異常的篩選出來則有CS-16、CS-22和CS-42這3個地點，未來可在這些地方進行定期的採樣以確認其敏感度，進而作為日後設站的參考。

潮州斷層為台灣南部的重要構造帶，根據中央地質調所目前公布的潮州斷層位置大致與屏東平原與中央山脈交界一致，為一相當顯著的構造分界線。前人研究顯示此斷層具有直線狀的山麓線、保存尚完整的三角切面和棚階狀崖面而屬於階段斷層；由航照判釋的結果指出，階地的變位，顯示潮州斷層近期曾經活動，並形成和主斷層平行的副斷層，其崖面向東，為一反斜斷層崖，該副斷層通過更新世的紅土階地及全新世尚未紅土化的沖積河階；經由地形學的研究，也認為潮州斷層呈現明顯的南北向直線狀山麓線且以帶狀形式分佈，其間有許多小的斷層錯斷階地及崩積層，因而推論潮州斷層為一活動斷層。

由土壤氣調查探勘結果顯示（傅慶州等，2004），於潮洲斷層附近土壤氣有異常之變化（圖3-3）；而於國立屏東科技大學校區內定期連續採樣分析結果顯示，其土壤氣體濃度有顯著的變化，可能與鄰近之地震活動有關（Fu et al., 2008），非常適合於本處設置連續觀測站。因此，屏東潮州測站候選位置將選擇在屏東科技大學校園內，於圖3-4中呈現高濃度分佈處設置（紅點為新觀測站設置地點）。

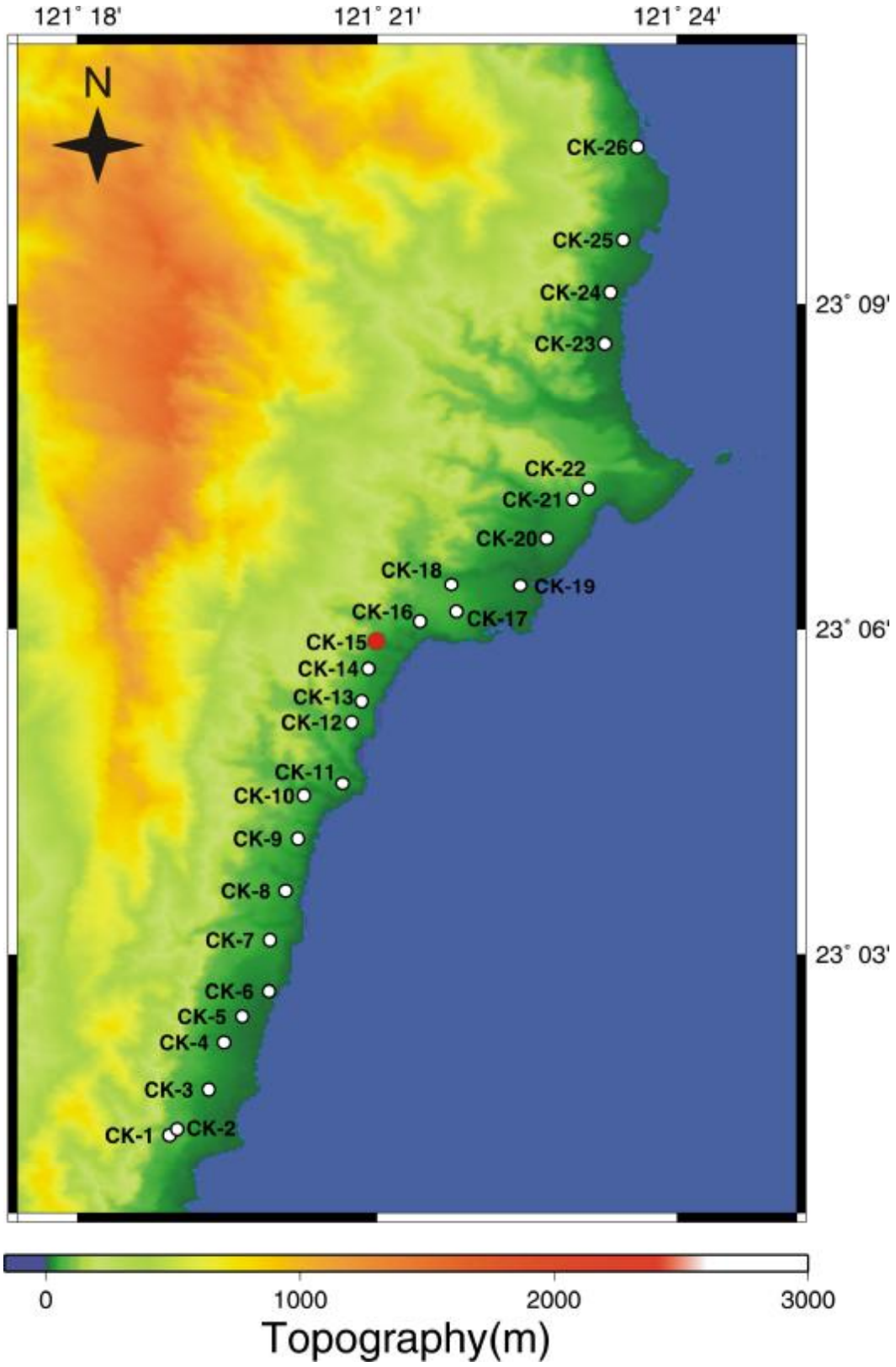


圖 3-1：成功地區土壤氡氣(Rn)濃度異常分佈圖，紅色圓點為異常點。

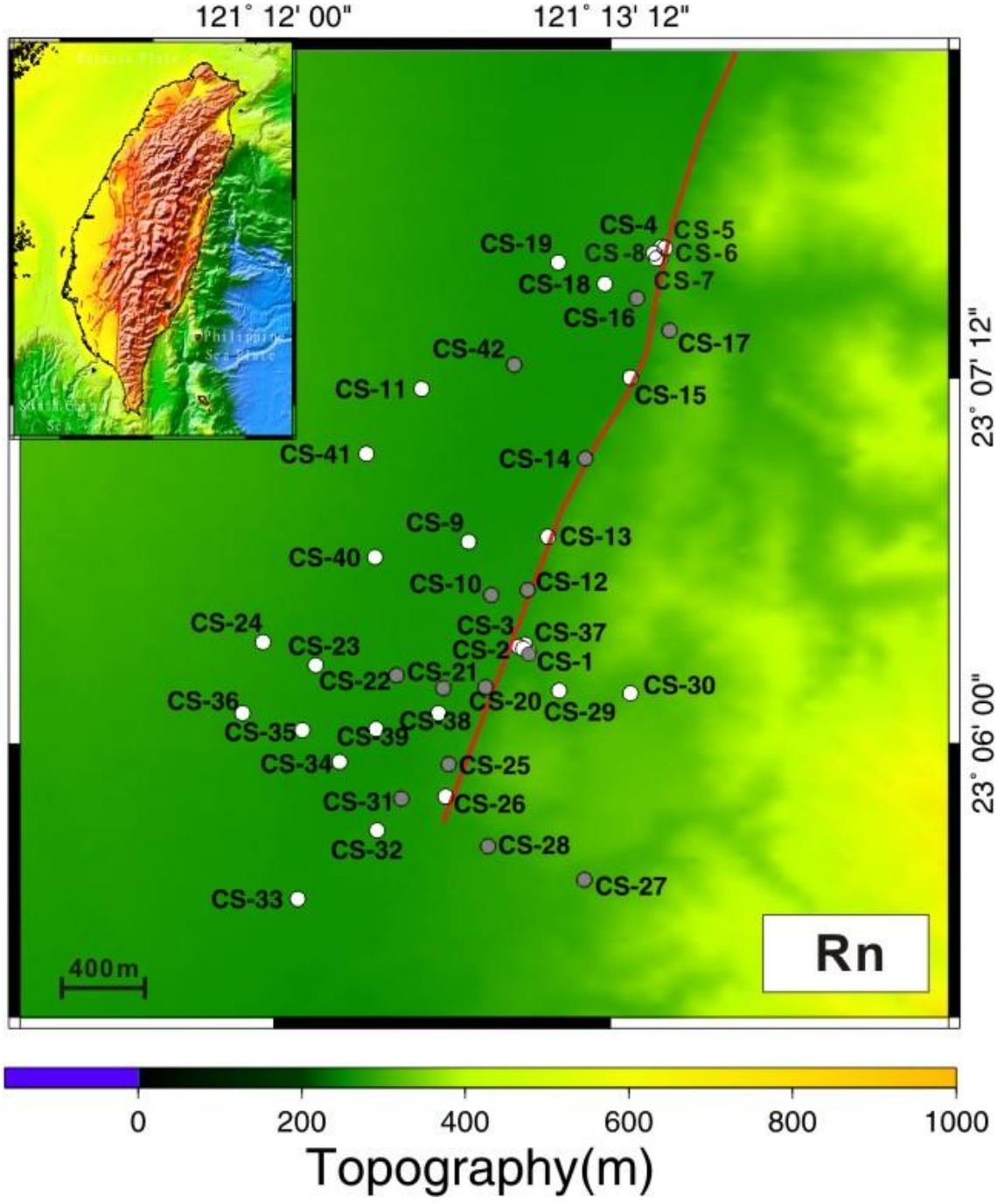


圖 3-2：池上地區土壤氣體氡氣(Rn)濃度異常分佈圖，紅線代表池上斷層，灰色圓點為異常點。

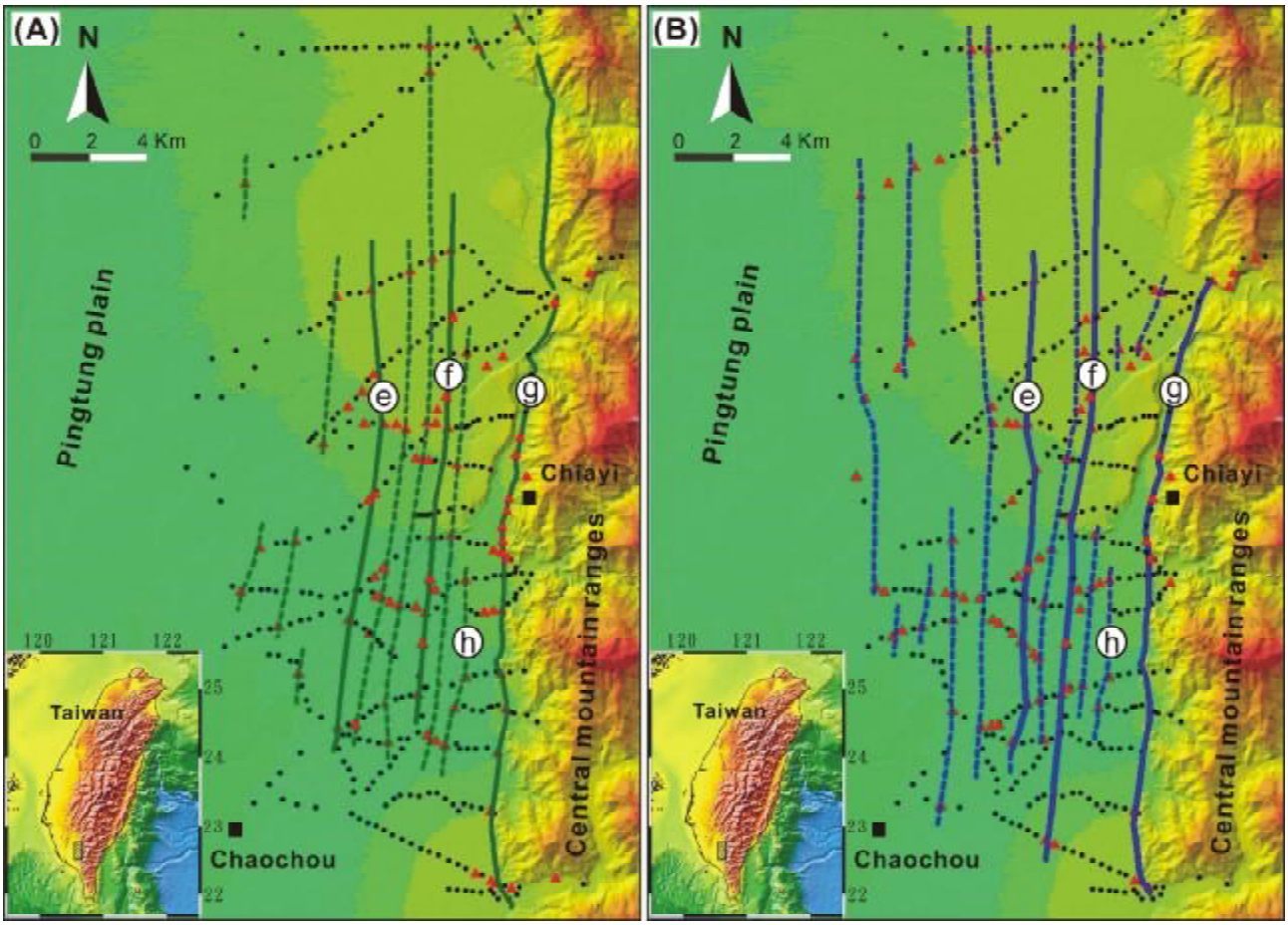


圖3-3：利用土壤氣調查所推測的潮州斷層附近之斷層或破裂帶分佈圖。（A）為氦氣所得；（B）為二氧化碳所得，紅色三角點為異常點。e代表萬隆斷層；f代表潮州斷層；g代表佳義斷層；h代表平頂山斷層。

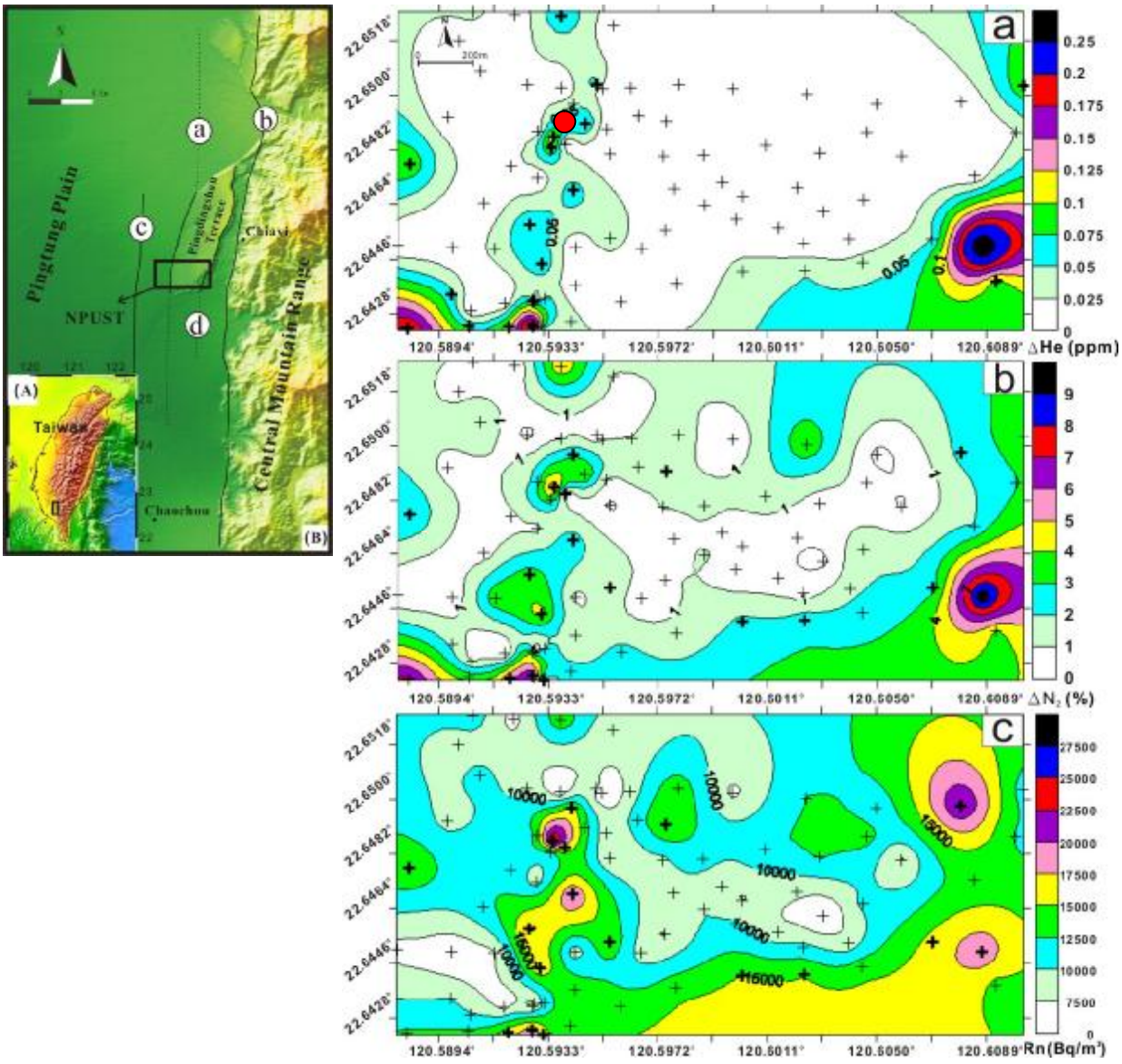


圖3-4：屏東科技大學校園內土壤氣體等濃度分布圖，（a）為氦氣所得；（b）為氮氣所得；（c）為氡氣所得。紅點為新觀測站設置地點。a線代表潮州斷層； b線代表佳義斷層；c線代表萬隆斷層；d線代表平頂山斷層。

3-3 氣體觀測站位址之選擇與設置

（1）確認觀測站地底下之氣體來源

這對於氣體觀測站之設置最為重要，牽涉到觀測站要以何種方式、及何種分析儀器來進行觀測。過去幾年來本計畫有系統的分析調查發現，台灣西部地底下不同深處具有不同成分來源的儲氣層，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，而有非常明顯的成分變化，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分的觀測站。反之，若是地底下僅有單一之逸氣來源，則其成分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分同時觀測（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分與來源的氣體逸散至地表，而有明顯的成分變化。故而選擇斷層帶附近作為觀測地點，將可達事半功倍之效。

（3）考量地震活動對當地的影響程度

（4）選擇地下水位較低或地形較高的地點

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

（5）多因子同步觀測

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

（6）盡量避免有腐蝕性的環境

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

（7）選擇外人不易到達、但具有通訊與電源供應設備的地點

除了前述自然地質背景與地形考量外，設站地點應盡量避免外人的干擾，但有通訊與電源供應又是設置觀測站重要的一項考量，而觀測站的設置如圖3-5所示。

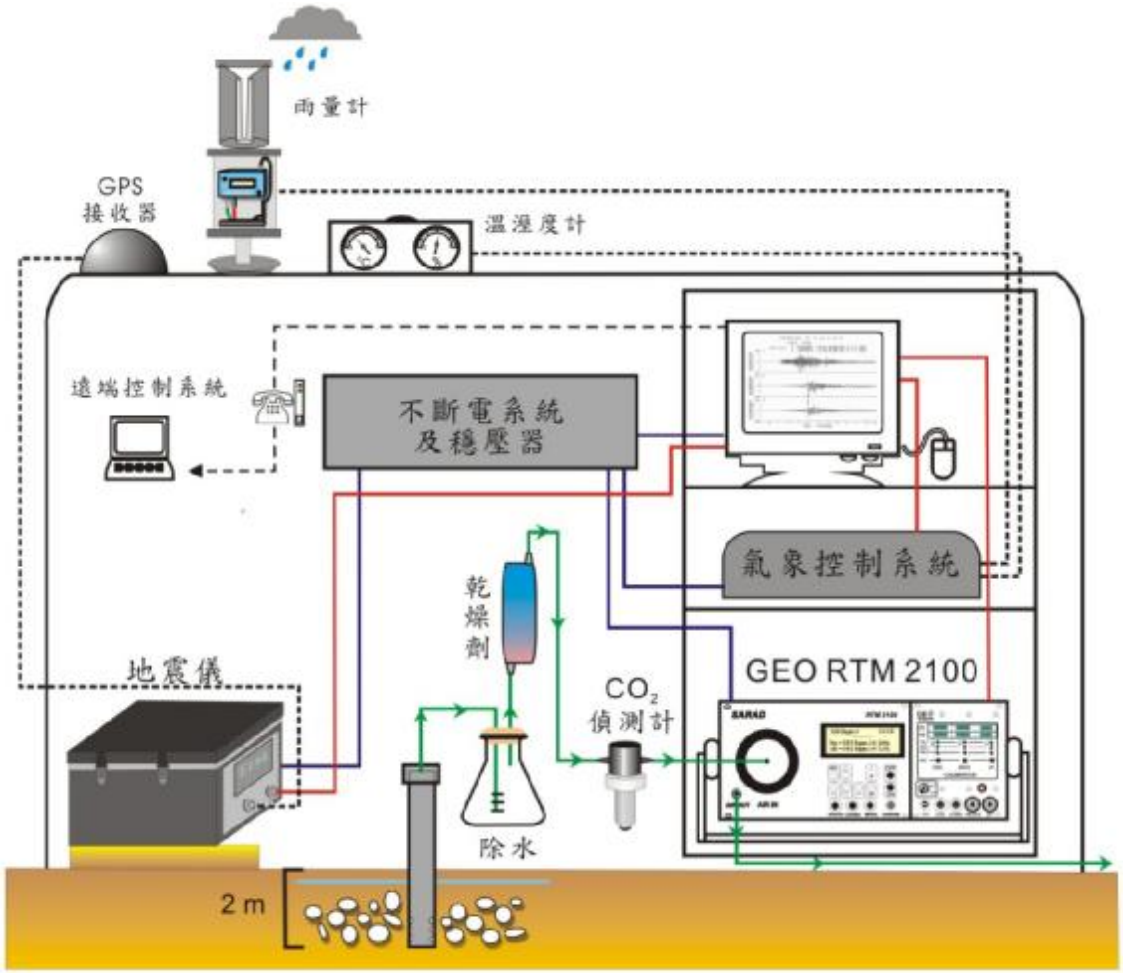


圖3-5：氣體觀測站設置示意圖。

3-4 屏東潮州氣體觀測站

圖 3-6 為潮州觀測站的設置過程與儀器實際配置情形。圖 3-7 和圖 3-8 則是屏東潮州觀測站自 9 月 3 日至 12 月 15 日的土壤氣體、大氣壓力、溫濕度和雨量的測試結果，氡氣偵測儀和二氧化碳的設定為每 15 分鐘分析一筆數據，氣象因子的設定則為 60 分鐘一筆資料。9 月中旬後經歷數次的豪大雨和颱風，顯示目前觀測站不會因為降雨量突然增加而使得氣體通道受阻。不過 10 月中旬電子乾燥器不定時出現異常現象而產生結冰的問題，因此造成管線堵塞，在 11 月底已排除這些問題，現已完成所有的校調工作，觀測站順利運作中。



圖 3-6：潮州觀測站設置流程圖。

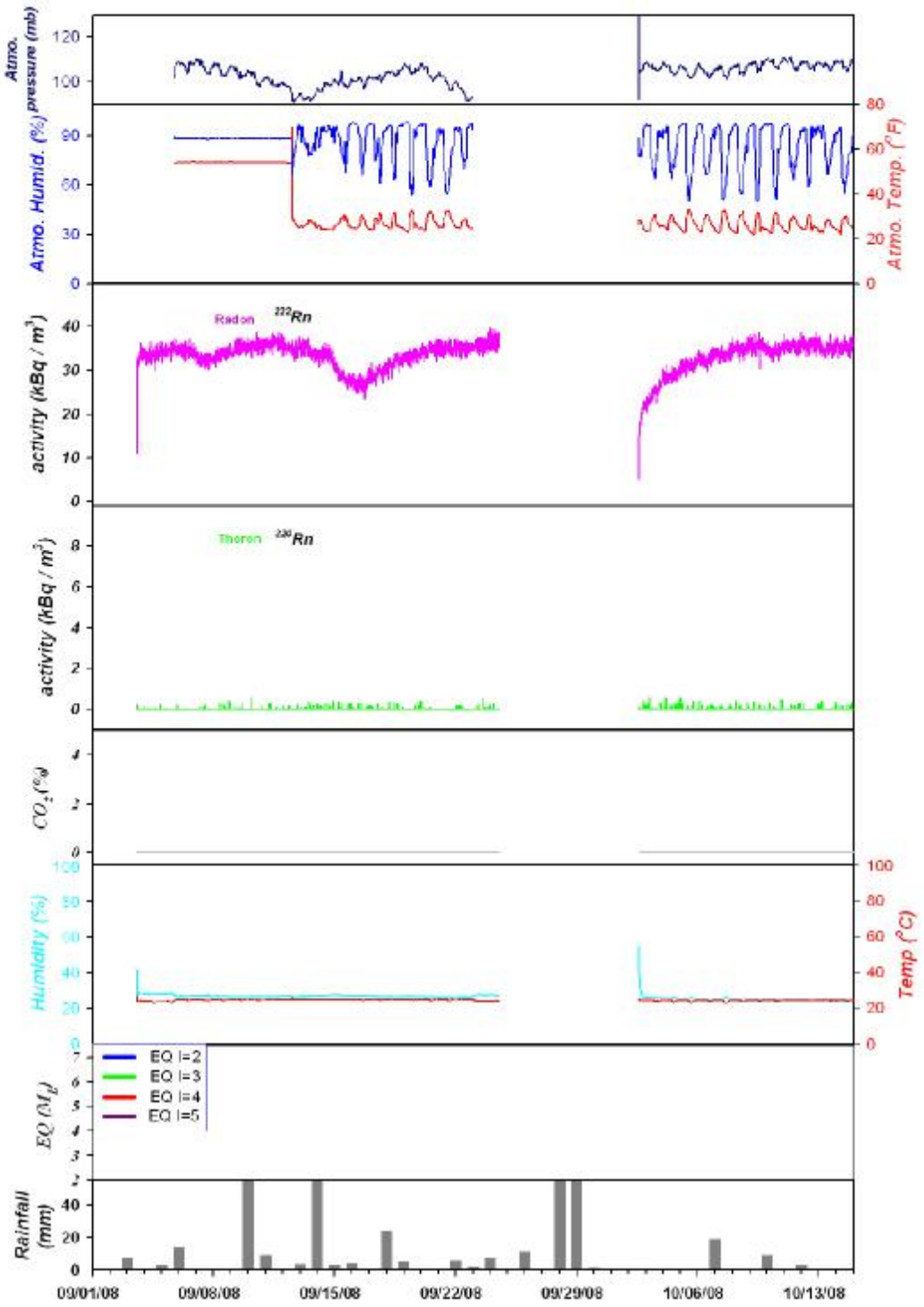


圖 3-7：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/9/1～2008/10/15）。

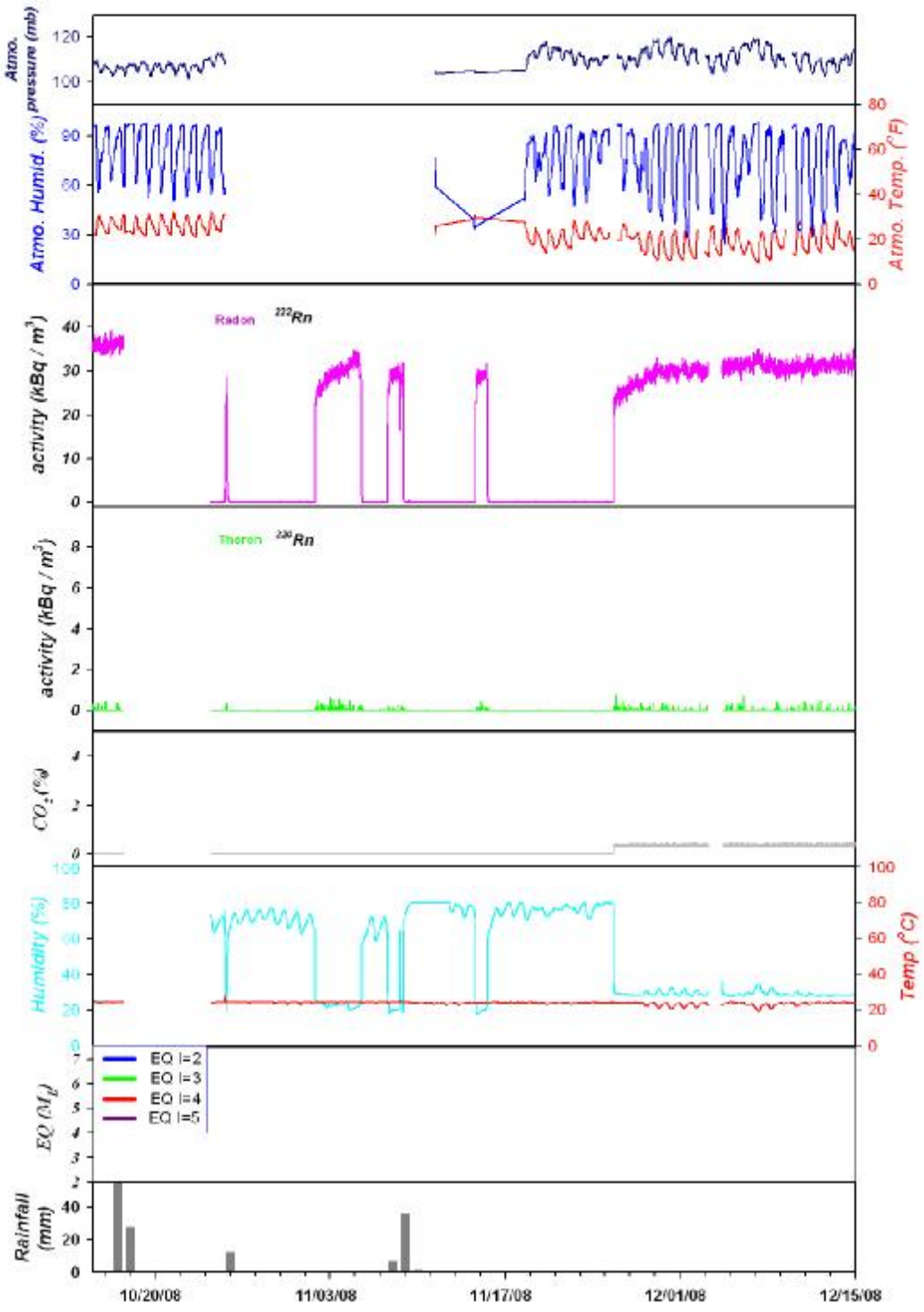


圖 3-8：屏東潮州土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/10/15～2008/12/15）。

3-5 台東池上氣體觀測站

圖 3-9 為池上觀測站的設置過程與儀器實際配置情形。圖 3-10 顯示台東池上觀測站自 9 月 23 日至 12 月 15 日的土壤氣體資料，於不同測試條件下的測試結果，目前管線配置和氡氣偵測儀的儀器校正已完成，氡氣偵測儀和二氧化碳的設定為每 15 分鐘分析一筆數據，氣象因子的設定則為 60 分鐘一筆資料。不過設站初期，因為氣象因子控制系統的軟體與電腦硬體相衝，以致於無法下載氣象資料故而尚缺少氣象因子的測試結果（已確定氣象資料仍持續記錄當中），目前已經排除此問題，而能順利紀錄所有資料。



圖 3-9：池上觀測站設置流程圖。

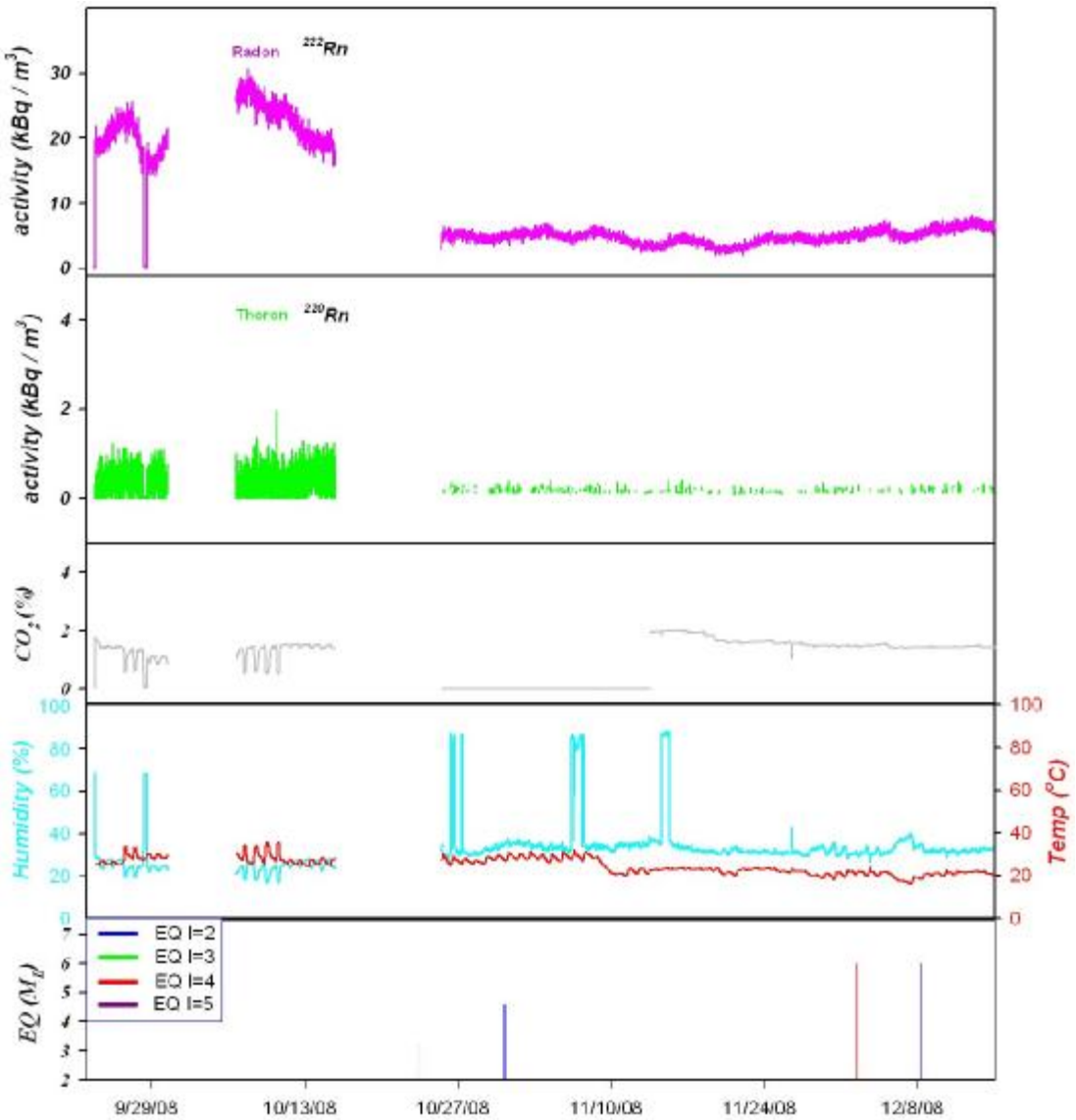


圖 3-10：台東池上土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/9/23～2008/12/15）。

3-6 梅山氣體觀測站未來可能遷站地點

由於觀測站受到天候因素受到嚴重影響，因此我們認為有必要進行遷站評估。經由 2006 年於古坑-梅山地區土壤逸氣的調查資料顯示，圖 3-11 和圖 3-12 的土壤氡氣與氪氣的異常分布圖說明，九芎坑斷層帶上有逸氣敏感的地點，如圖中圓框標記處所示，包含三個新觀測站後選區的地點 G1、G2 和 G3，由於此三個位置皆在相隔不遠處因而不易標示，在此便不在圖 3-11 加列其中，其座標地點分別如下所示。圖 3-13 則是候選區現地的照片。

G1：E205307 N2612079

G2：E205363 N2612446

G3：E205298 N2612068

表 3-1：候選區不同時間的土壤氣體成分分析結果

採樣時間	樣本編號	Ar+O2 (%)	N2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)
2008/10/03	G1	8.33	86.94	0.00	4.73	5.45	22104
2008/10/03	G2	20.80	79.15	0.00	0.05	5.36	61131
2008/10/03	G3	6.57	86.75	1.29	5.39	5.37	50628
2008/10/30	G1	16.05	78.96	0.01	4.97	5.25	7685
2008/10/30	G2	16.04	79.93	0.03	4.01	5.25	29914
2008/10/30	G3	1.30	76.34	7.48	14.88	5.13	17881

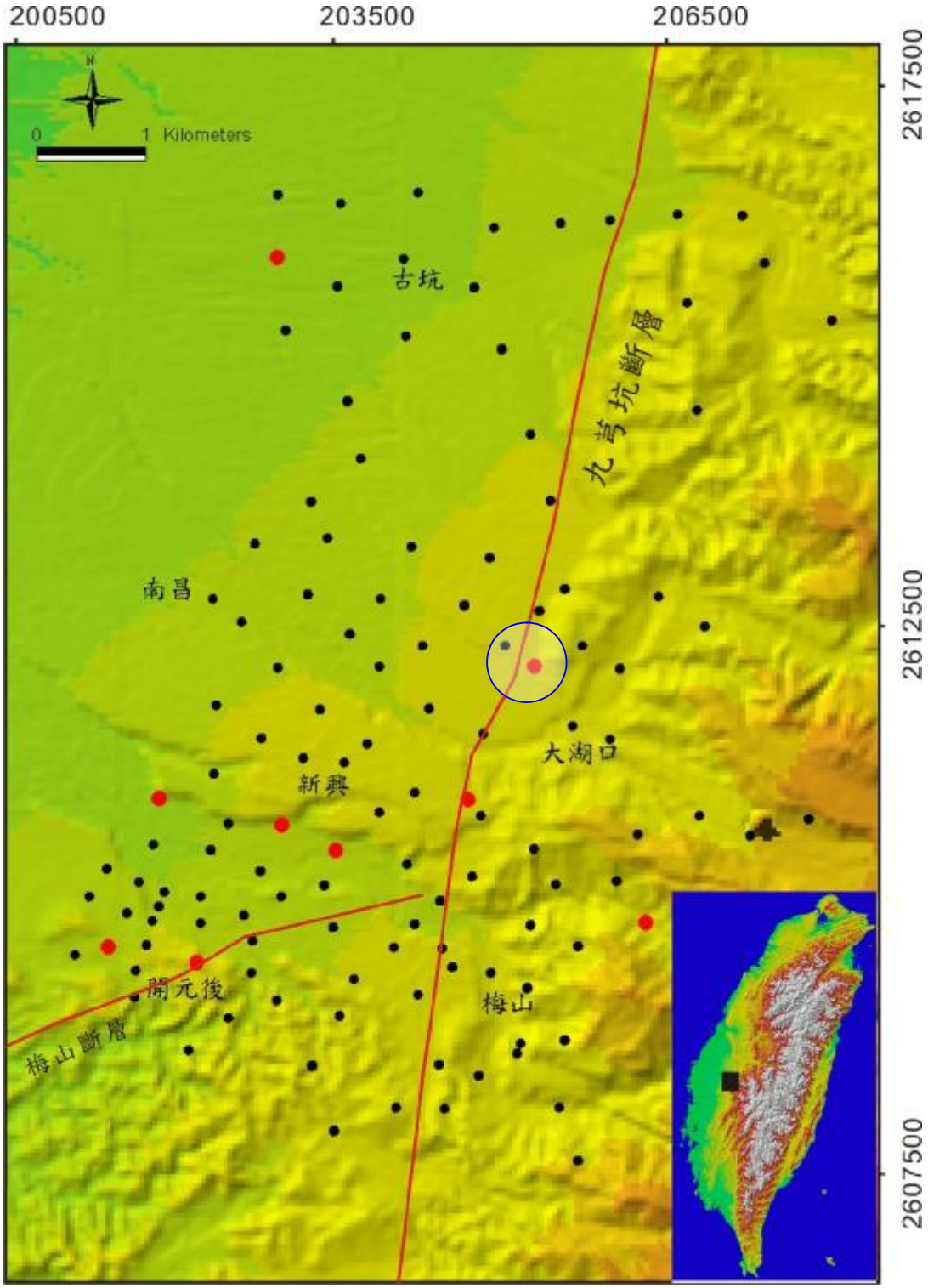


圖 3-11：梅山-古坑地區土壤氣體氦氣(He)濃度異常分佈圖。

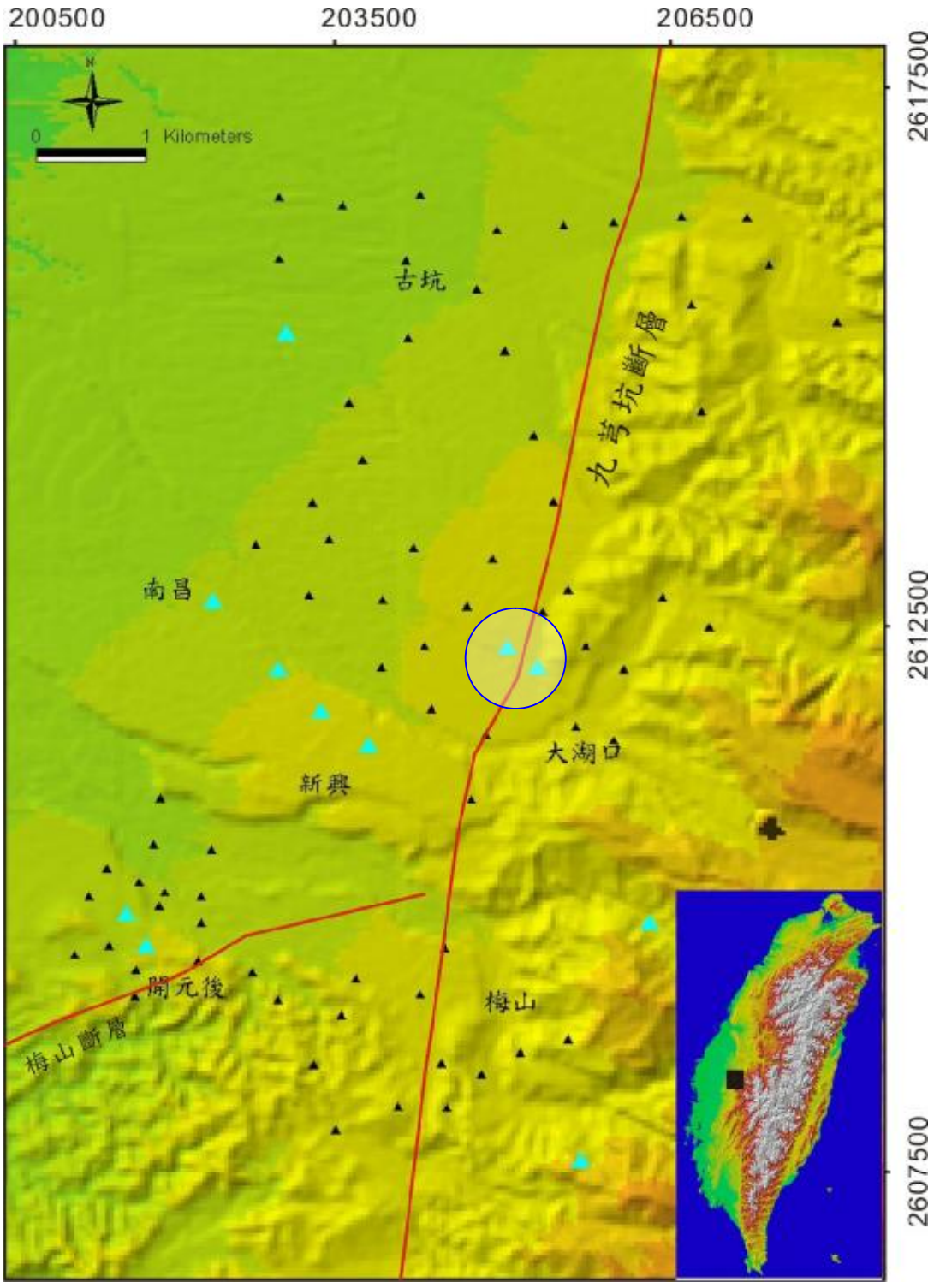


圖 3-12：梅山-古坑地區土壤氣體氡氣(Rn)濃度異常分佈圖。



圖 3-13：候選區現地的照片。

肆、地下水壓（水位）觀測

4-1 前言

許多觀察研究顯示（例如 Lamar and Merifield, 1979; Merifield and Lamar, 1981; Barsukov. et al., 1985; Wang, C. 1985; Roeloffs, 1988; Biagi. et al., 2000 ），斷層錯動（地震）之前，區域應力場的改變會導致地下水位與水壓異常。台灣地區斷層與地震活動顯著及頻繁，是研究地下水位（或水頭）變化與斷層活動關係的絕佳之地。本計畫於民國 94 年度（2005 年）於新竹縣寶山鄉雙溪國小、95 年度（2006 年）於嘉義縣中埔鄉沄水國小鑽設某一擇定深度的地下水水位觀測井，以水壓計量測水壓，以反應井內的地下水位（水頭）變化，至今持續進行觀測至今。另外，本年度亦分析中央地質調查所在台北縣錦和、明德及新竹縣新樂、梅花，以及嘉義縣太興、中興與達邦建置的七個觀測井所有地下水壓（水位）資料，然後與地震規模、震度及發生時間與地點比對，探討地下水位變化與地震的關係，成果一併納入本報告。

4-2 地下水壓變動觀測結果

4-2.1 新竹寶山雙溪國小觀測井

綜合雙溪國小水壓觀測站自 2006 年 3 月至 2008 年 11 月 11 日(圖 4.2a 至圖 4.2l)的觀測資料，以每三個月匯整資料成一圖，比對水壓觀測曲線與當地震度 2 級或台灣北部規模 5 以上的地震及降雨量的關係。初步結果如下：

2008 年 6 月 2 日，宜蘭地震站北方 20.9 公里處發生規模 6 的地震(圖 4-2j)；2008 年 9 月 9 日，蘇澳地震站東方 85.8 公里外海發生規模 6.1 的地震（圖 4-2k)，但這兩起地震都不易研判與水壓變化之相關性。整體而言，雙溪觀測井水壓變化與地震之關係不易判斷。



圖 4-1：新竹縣寶山雙溪國小地下水壓觀測井（▲）位置圖。

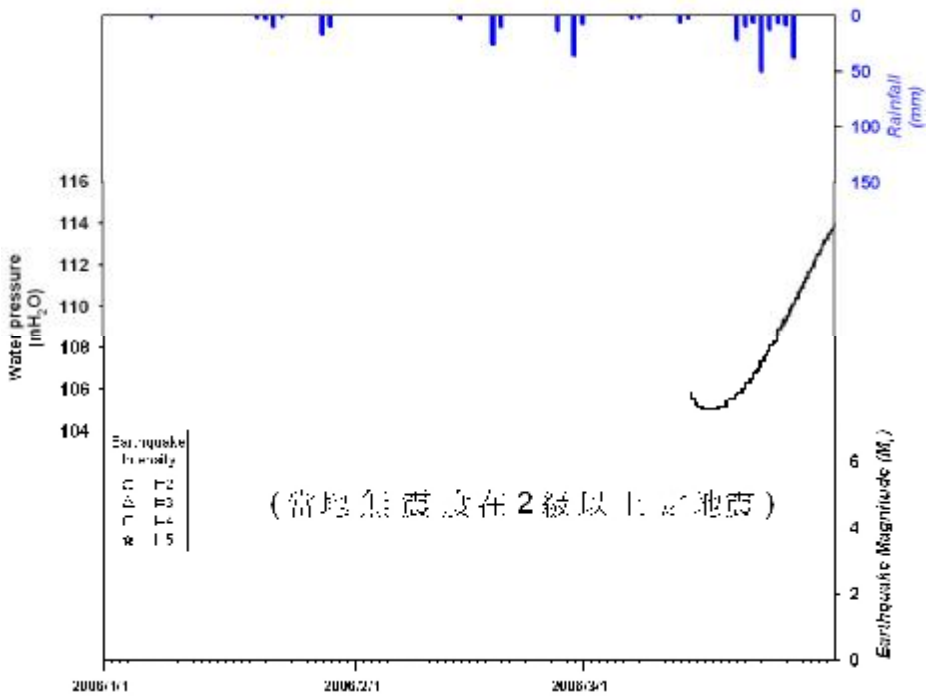


圖 4-2a：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/3/14-2006/3/31）。此時期在新竹地區，並無觀測到當地震度在 2 級以上的地震。Earthquake Magnitude（M_L）：地震規模；Earthquake Intensity（I）：地震震度（級）。縱軸 water pressure 代表水壓計之上的水頭高度。以下各圖地震規模與震度符號及縱軸 water pressure 代表意義與本圖相同。

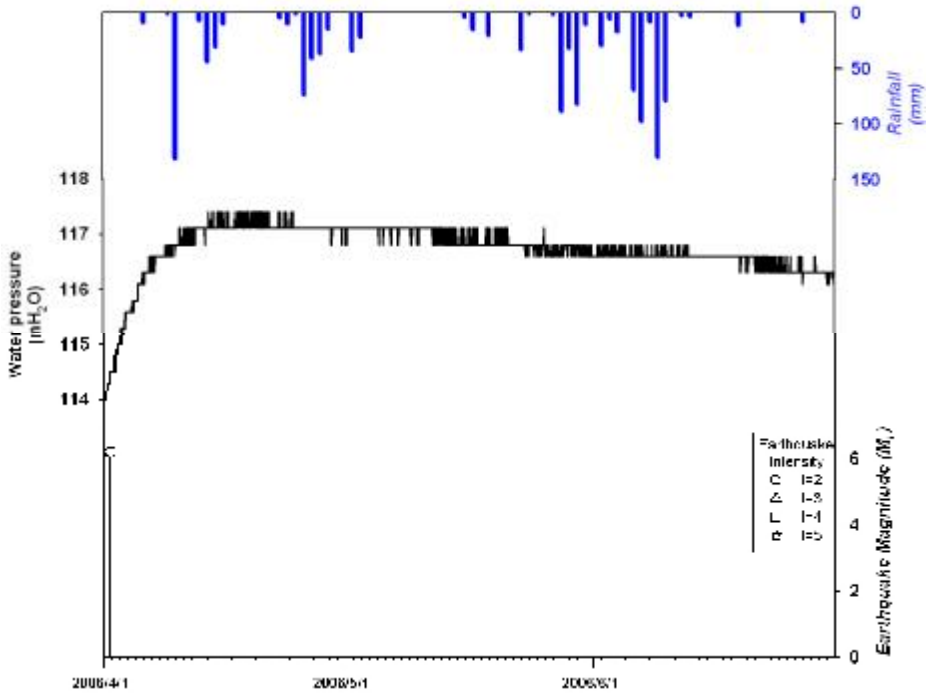


圖 4-2b：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/4/1-2006/6/30）。

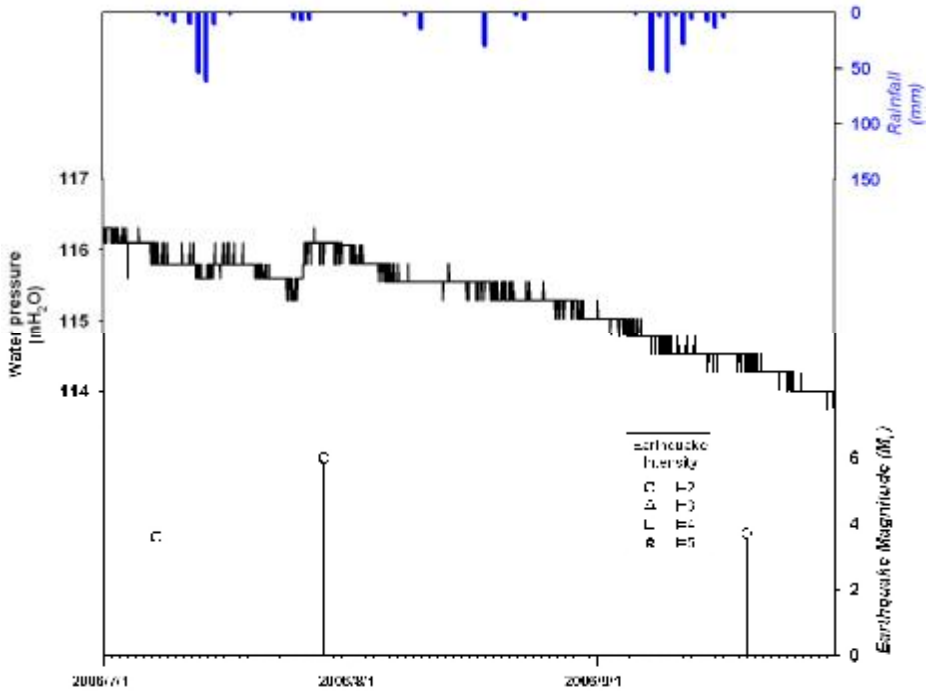


圖 4-2c：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/7/1-2006/9/30）。疑水壓計故障。

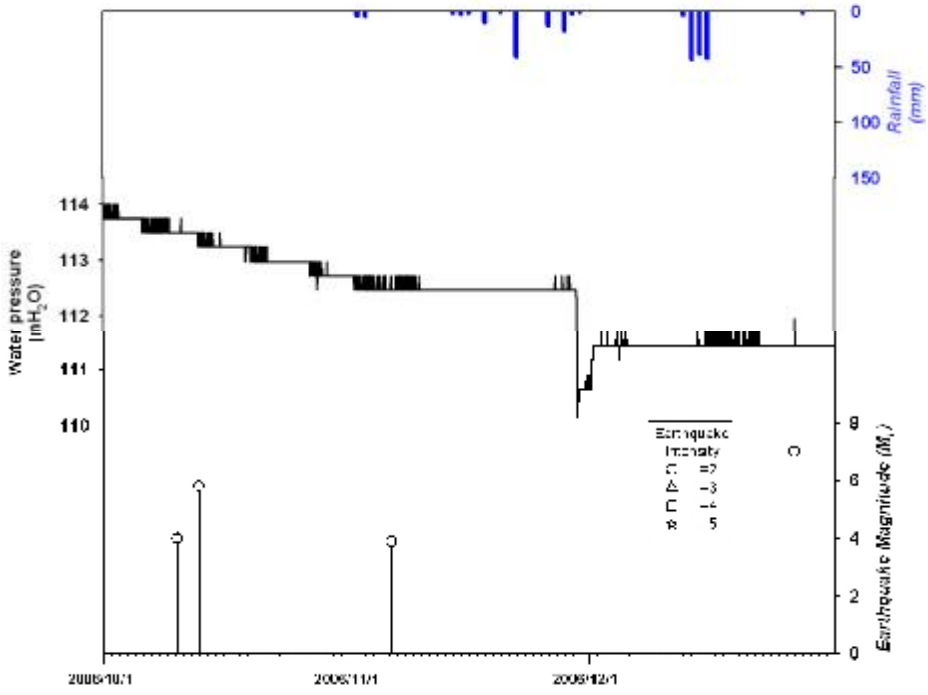


圖 4-2d：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/10/1-2006/12/31）。疑水壓計故障。

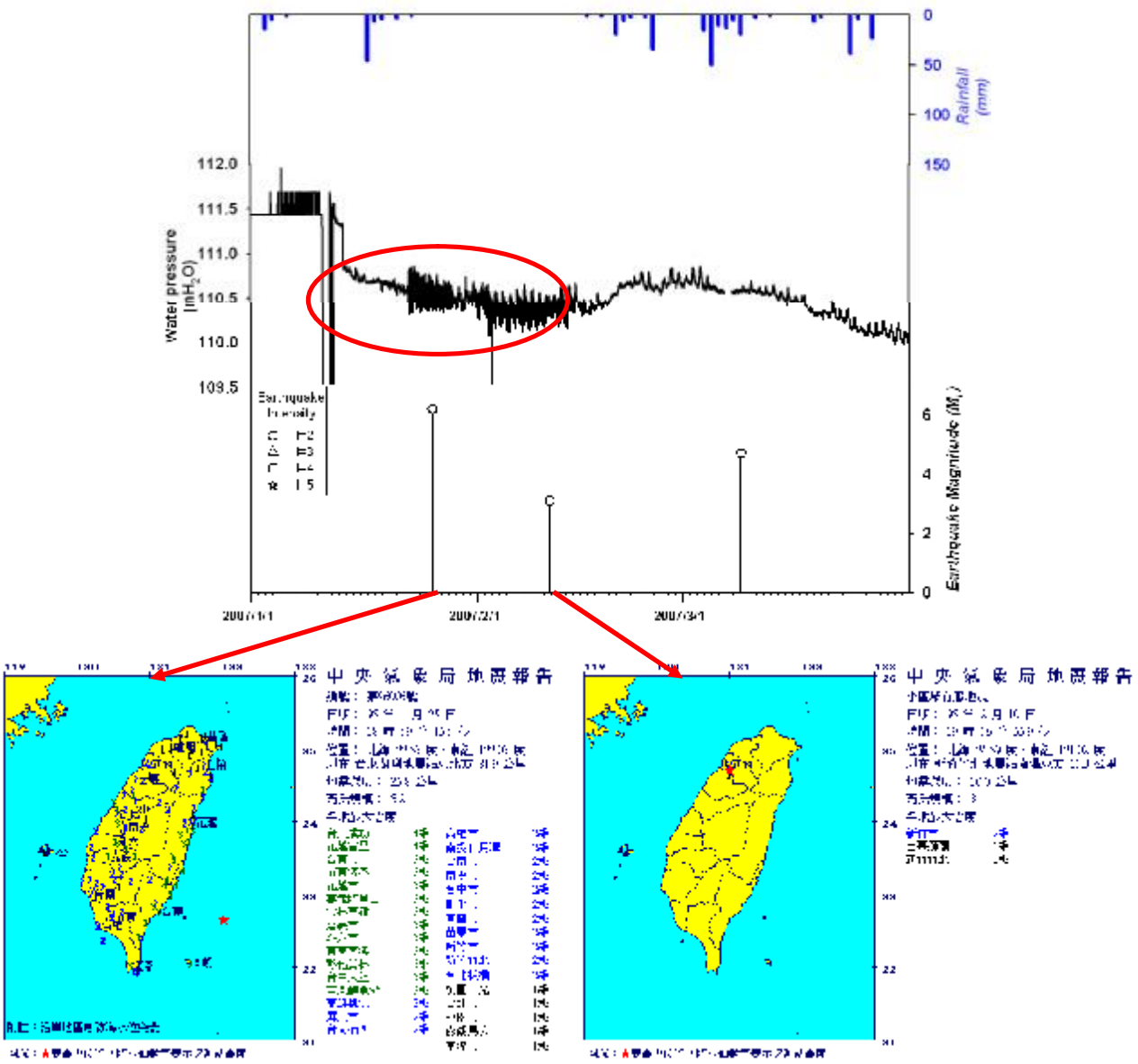


圖 4-2e：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/1/1-2007/3/31）。於 1 月 10 日水壓計維修。

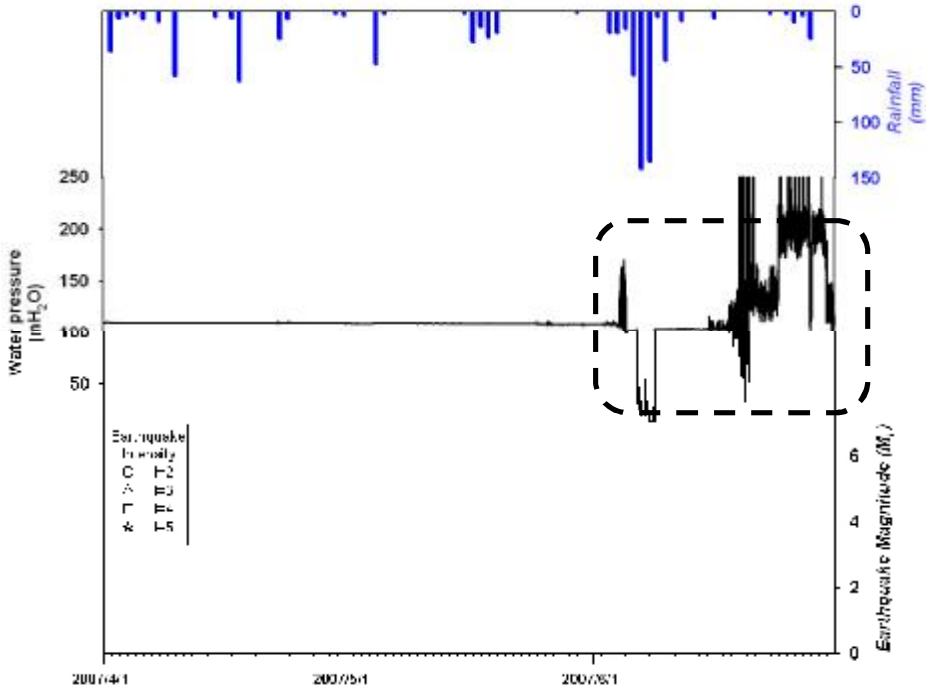


圖 4-2f：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/4/1-2007/6/30）。疑水壓計又故障。

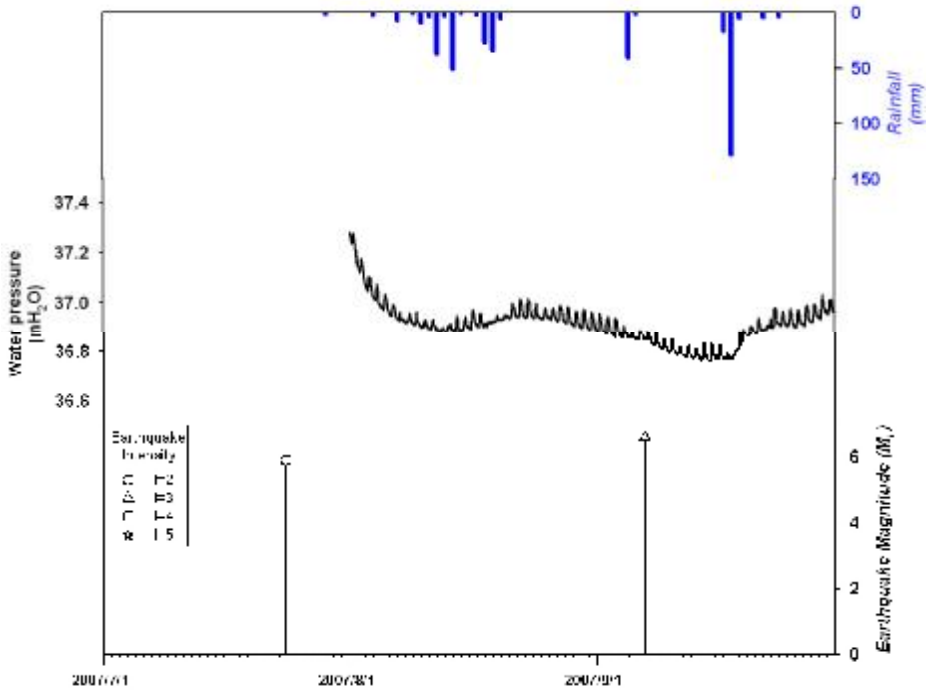


圖 4-2g：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/7/1-2007/9/30）。

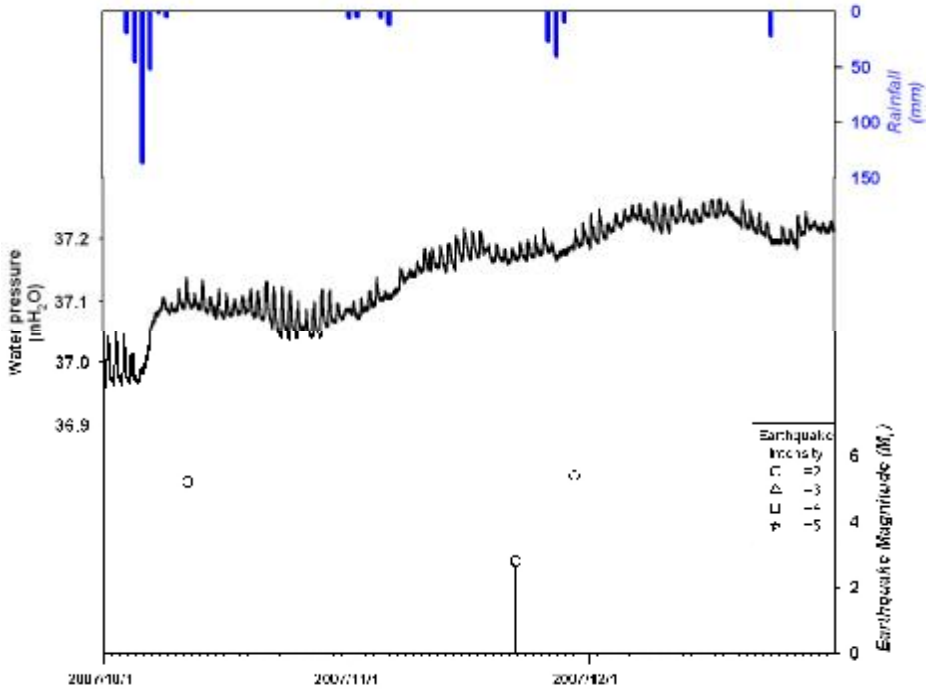


圖 4-2h：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/10/1-2007/12/31）。無法研判水壓變化與此期間地震之關係。

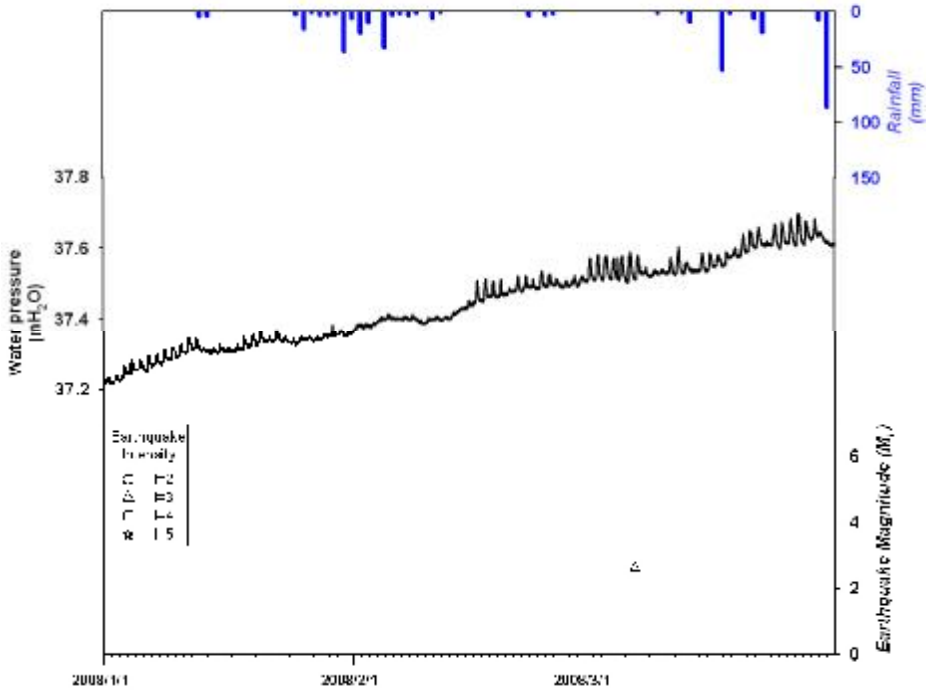


圖 4-2i：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。無法研判水壓變化與此期間地震之關係。

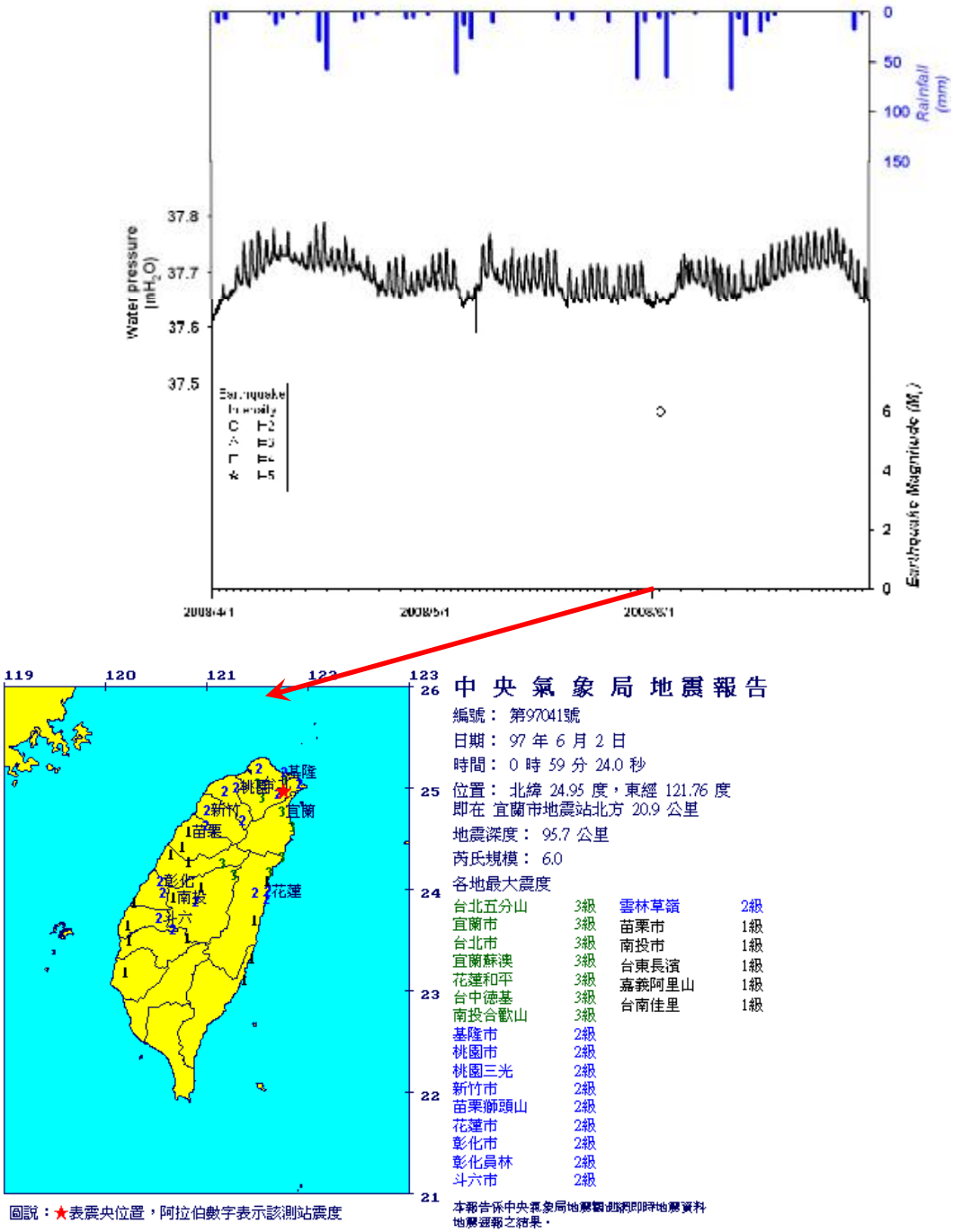


圖 4-2j：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。本圖無法研判水壓變化與地震之關係。

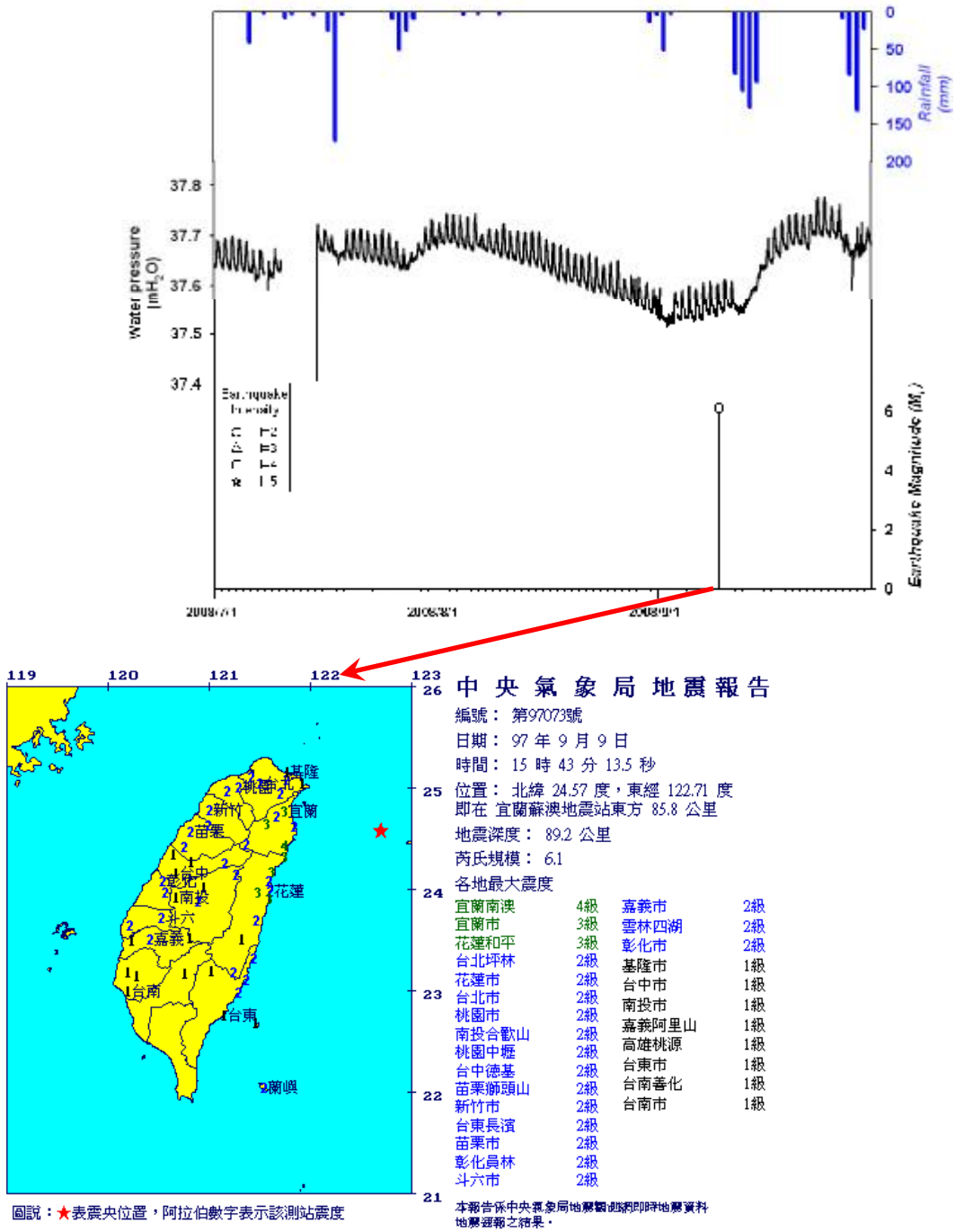


圖 4-2k：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/7/1-2008/9/30）。不易判別水位變化與圖中所示之 9 月 9 日，蘇澳地震站東方約 86 公里外海發生規模 6.1，當地震度為 2 級之地震的關係。

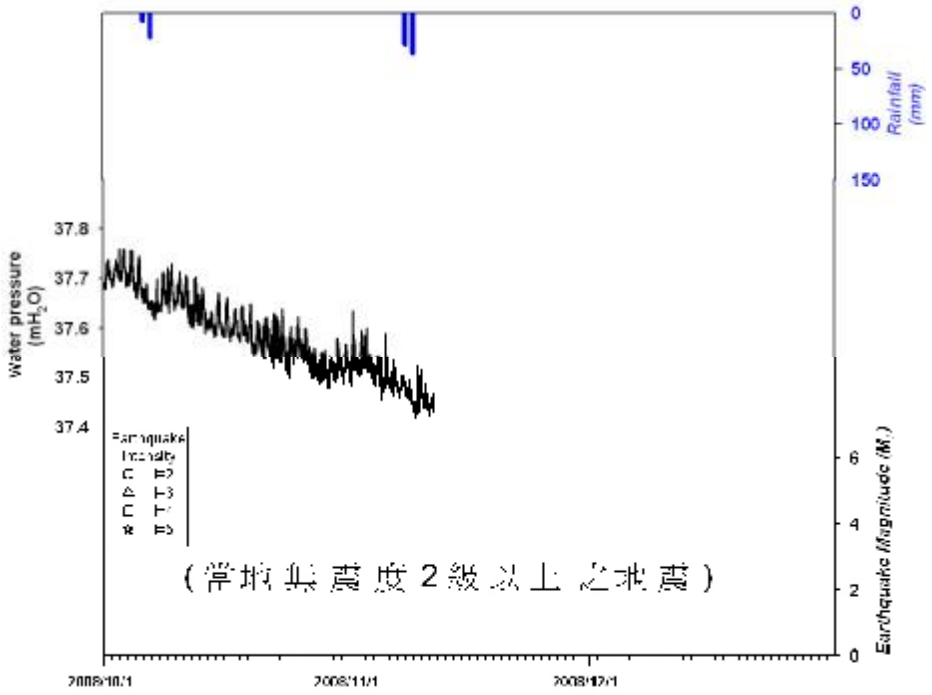


圖 4-2l：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/10/1-2008/11/11）。此期間無當地震度 2 級以上之地震。

4-2.2 新竹縣尖石鄉新樂國小觀測站

本觀測站位在新竹縣尖石鄉新樂國小內，自 2006 年 11 月 23 日開始擷取水壓資料，每分鐘記錄一筆資料。目前本觀測井所累積之地下水壓資料已至 2008 年 11 月 6 日。每三個月匯整水壓資料於一圖，比對當地震度 2 級以上，或台灣地區規模 5 以上的地震及降雨量數據，加以比對。

在觀測期間，當地共發生 13 次當地震度 2 級以上之地震。由於部份地下水位資料缺失，以及降雨之干擾，致使許多的水位變化不易比對與地震之關係。以下列舉幾個地下水位變化：2006 年 12 月 19 日 15 時以及 26 日 10 時，水位快速下降，可能與 2006 年 12 月 26 日雨起規模均達 7.0 之恆春地震有關（圖 4-4a）。2007 年 1 月 31 日至 2 月 16 日，新竹地區並無降雨，但出現水位異常振盪，可能與 2007 年 2 月 10 日 19 時 36 分的新竹地震有關（圖 4-4b）。2007 年 7 月，新竹地區並無降雨，但卻出現水位異常變化（圖 4-4d），可能與 2007 年 7 月 23 日花蓮外海規模 5.9 地震有關。2008 年 2 月 28 日至 3 月 5 日，在降雨的情況下，水位持平後上升，接著在 2008 年 3 月 7 日 1 時 3 分發生地震，震央位在竹北地震站東方 7.6 公里處，深度 1.0 公里，芮氏規模達 2.6。此一水位變化可能與區域應力場變化有關（圖 4-4f）。2008 年 8 月與 9 月初，水位異常上升，應與 9 月 9 日蘇澳外海地震有關（圖 4-4h）。



圖 4-3：新竹縣尖石鄉新樂國小地下水壓觀測井（▲）位置圖。

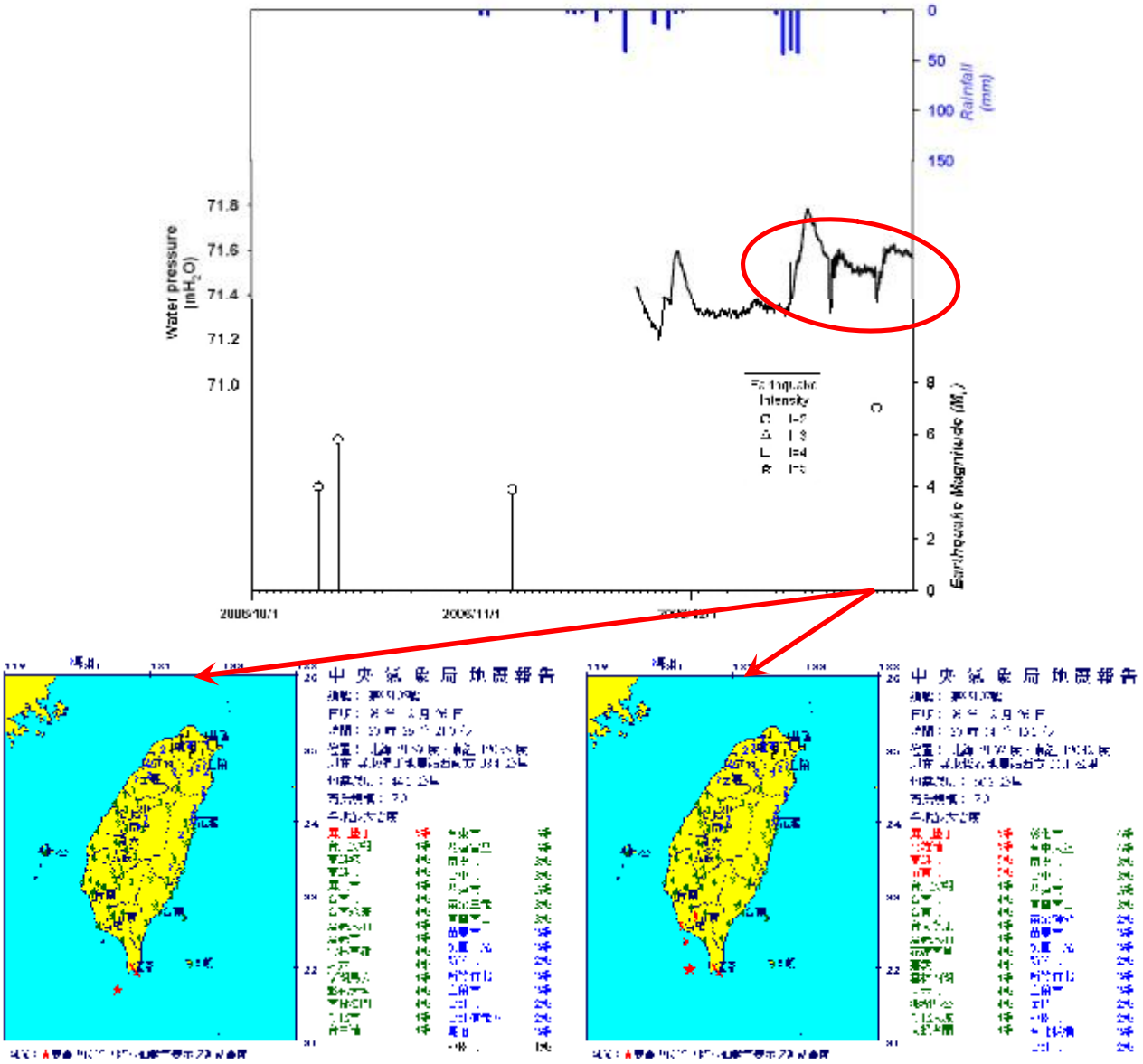


圖 4-4a：新竹縣尖石鄉新樂國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/11/23-2006/12/31）。縱軸 water pressure 代表水壓計之上的水頭高度。以下各圖縱軸 water pressure 代表意義與本圖相同。

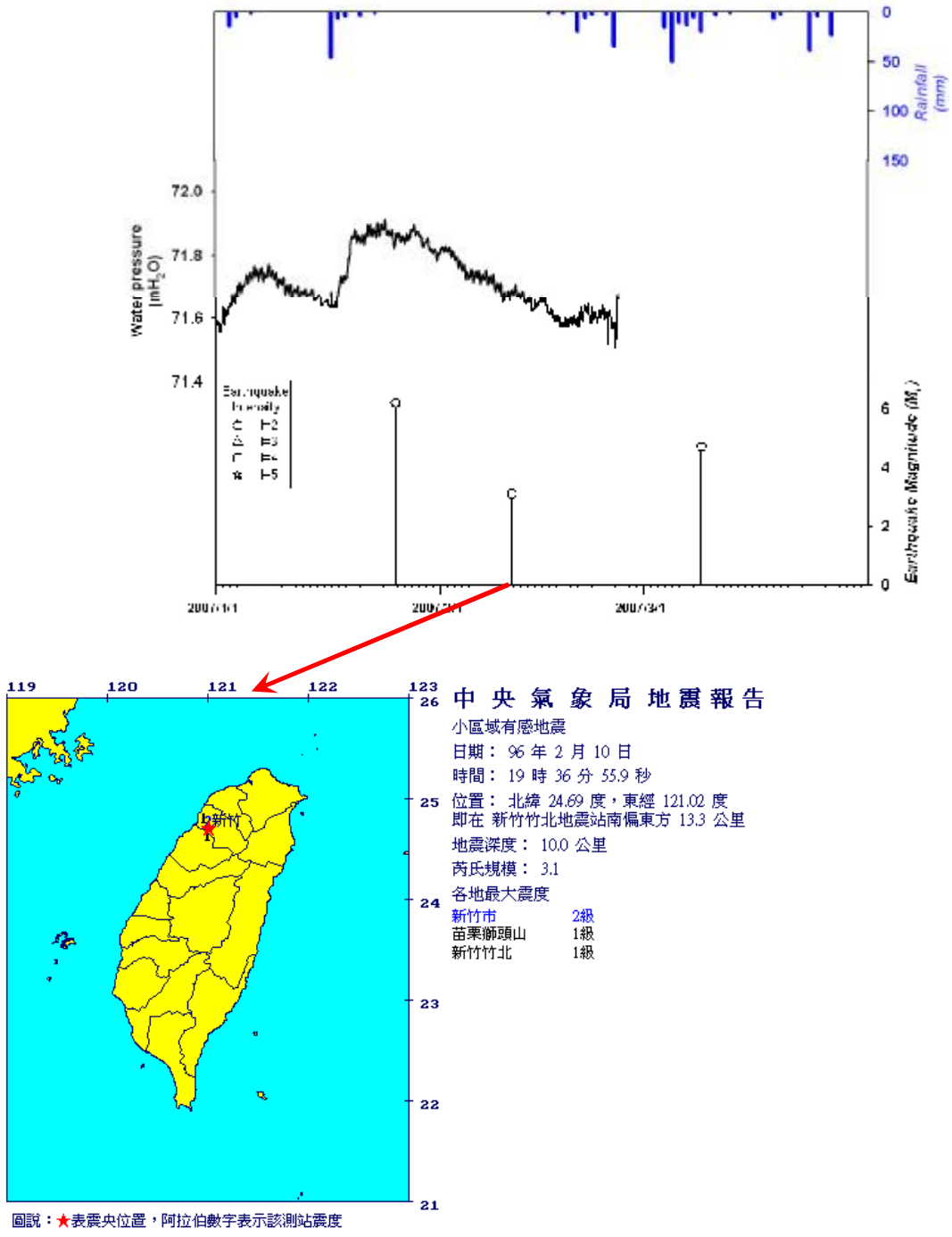


圖 4-4b：新竹縣尖石鄉新樂國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/1/1-2007/3/31）。

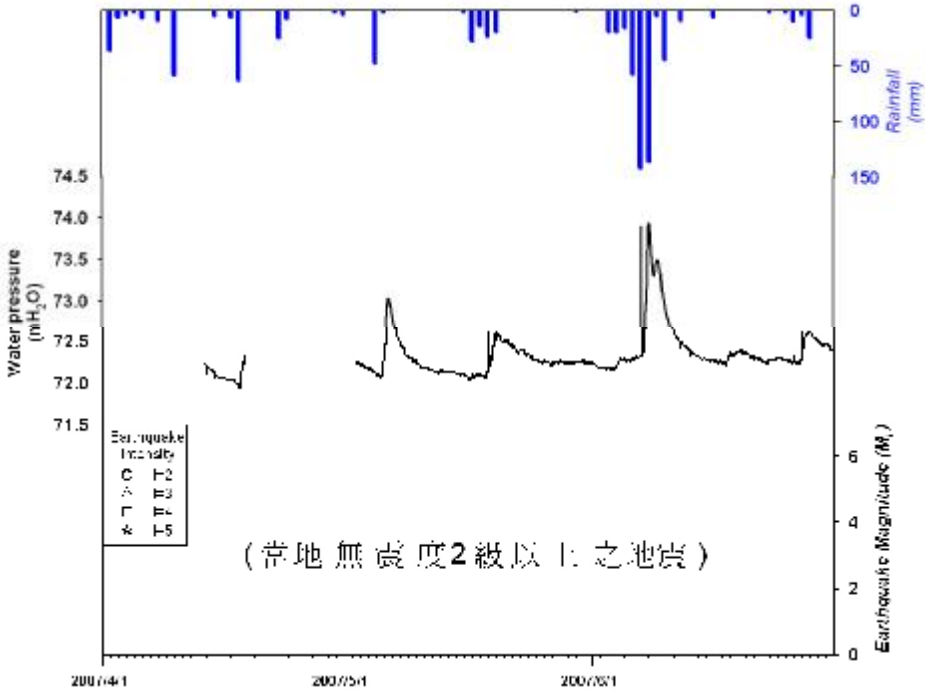


圖 4-4c：新竹縣尖石鄉新樂國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/4/1-2007/6/30）。此時期無當地震度 2 級以上之地震。

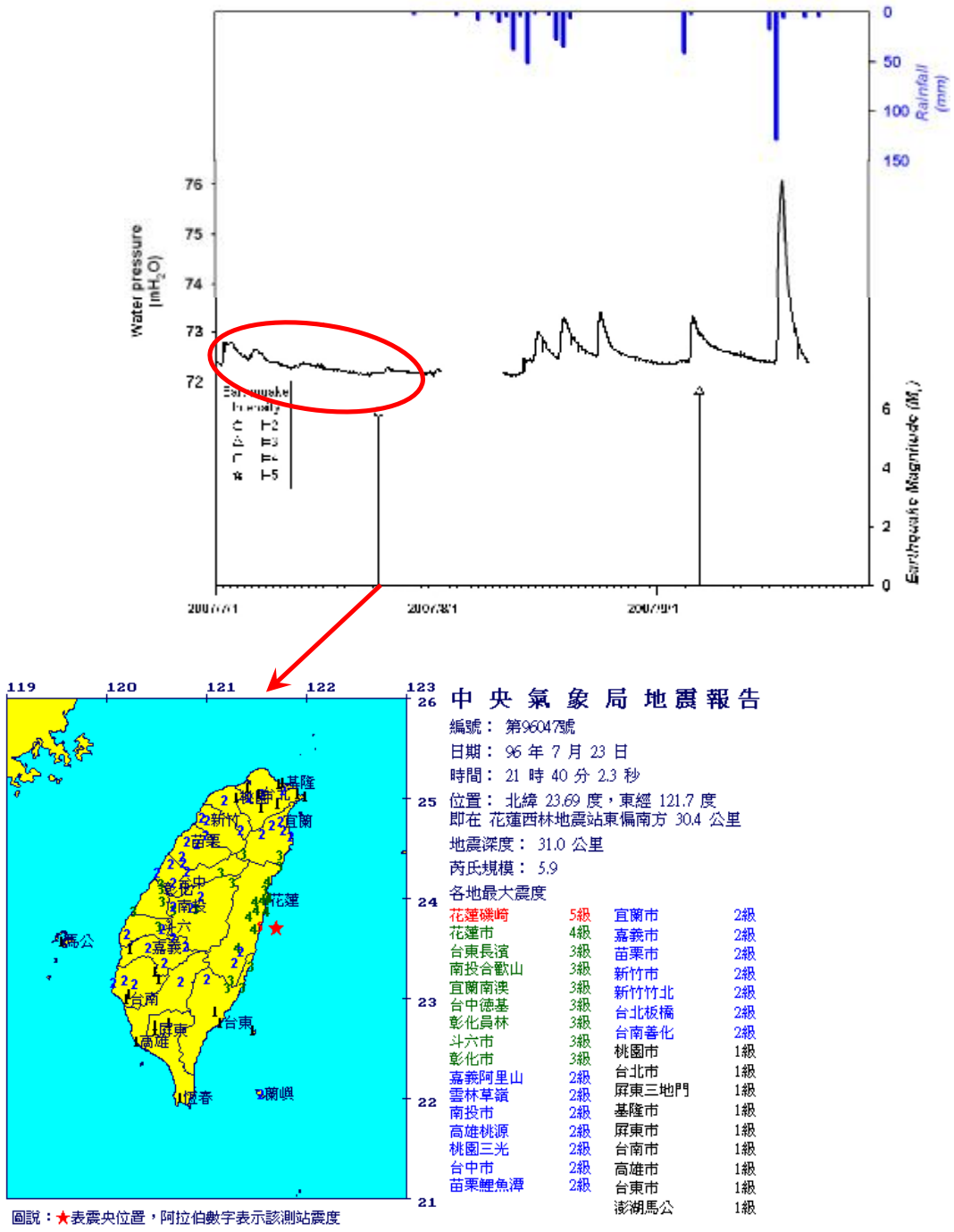


圖 4-4d：新竹縣尖石鄉新樂國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/7/1-2007/9/30）。

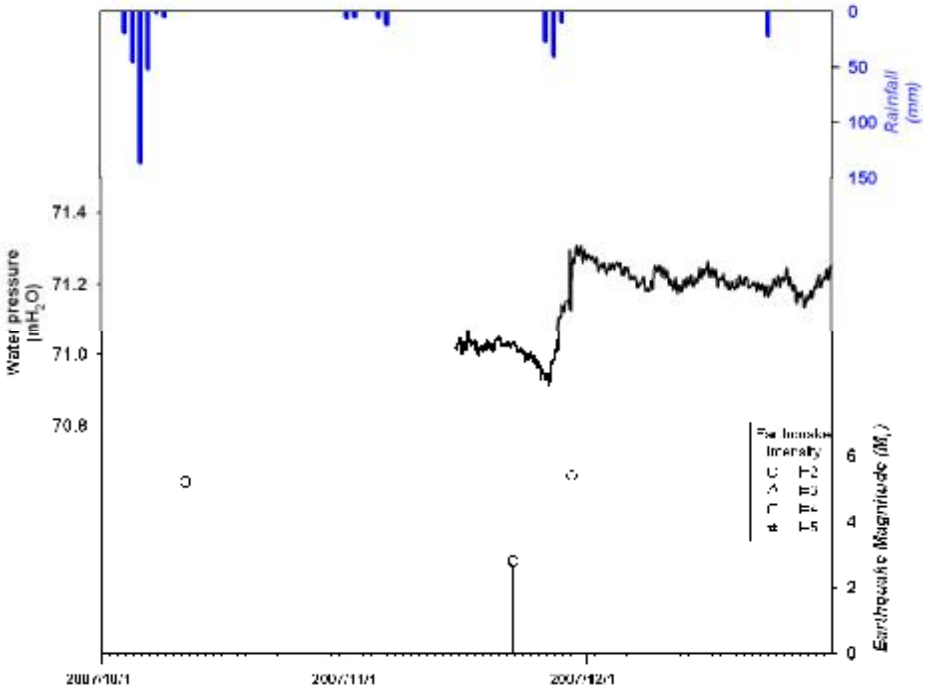


圖 4-4e：新竹縣尖石鄉新樂國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/10/1-2007/12/31）。

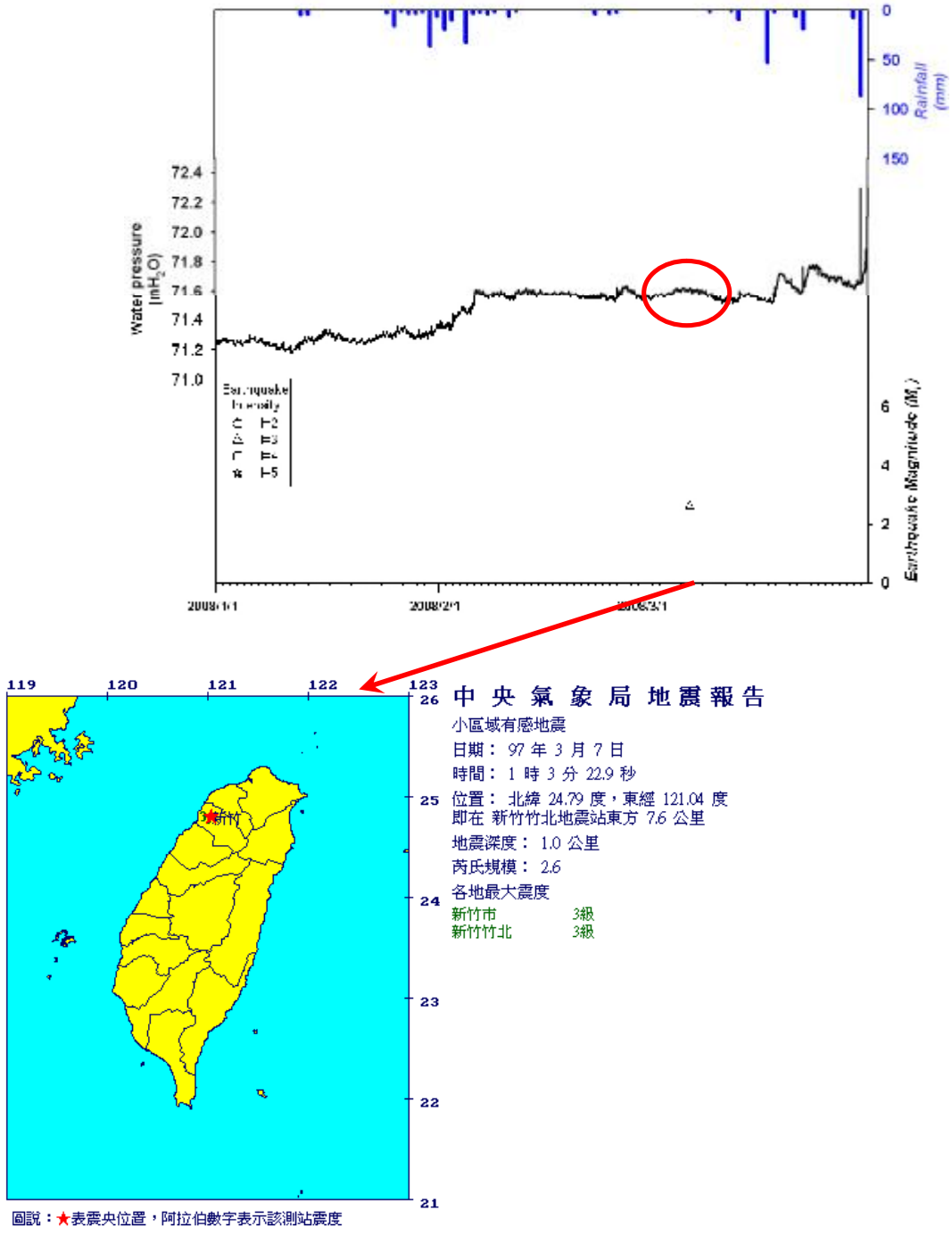


圖 4-4f：新竹縣尖石鄉新樂國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。

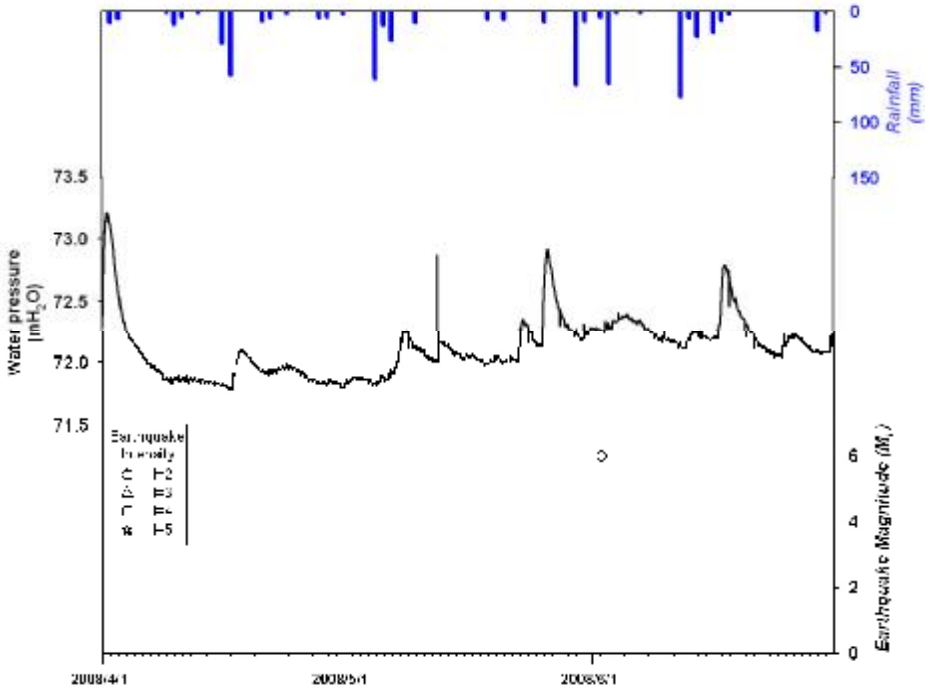


圖 4-4g：新竹縣尖石鄉新樂國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。

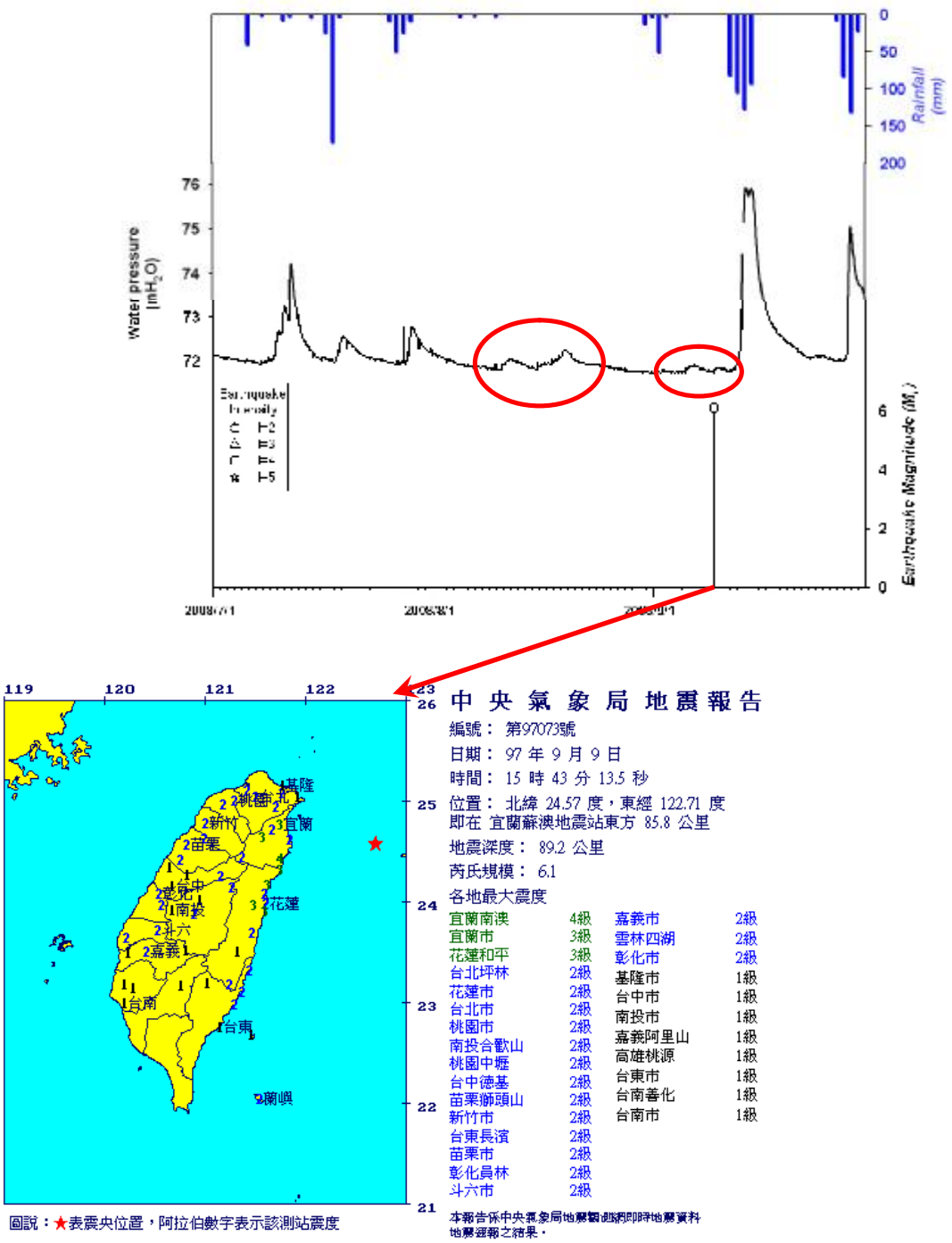


圖 4-4h：新竹縣尖石鄉新樂國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/7/1-2008/9/30）。

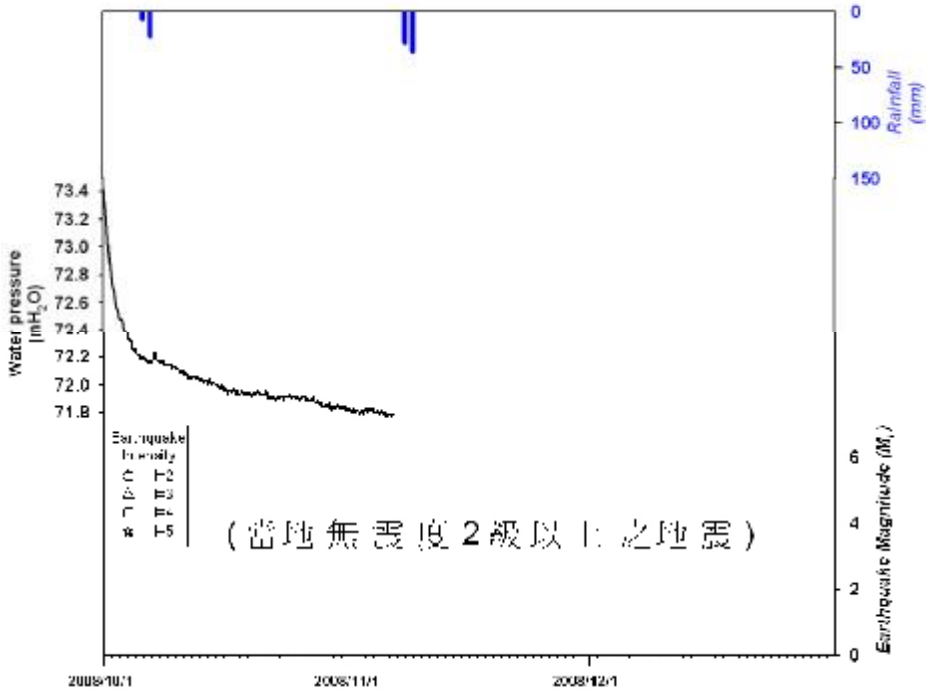


圖 4-4i：新竹縣尖石鄉新樂國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/10/1-2008/11/6）。此時期無當地震度 2 級以上之地震。

4-2.3 新竹縣尖石鄉梅花國小觀測站

本觀測站位在新竹縣尖石鄉梅花國小，自 2005 年 7 月 28 日開始擷取水壓資料，每分鐘記錄一筆資料。至 2008 年 11 月 2 日止的資料，每三個月匯整成一圖，與當地震度及降雨量記錄比對。

在觀測期間，當地一共發生 27 次震度 2 級以上之地震。排除地下水位資料缺失以及研判屬於降雨干擾的資料後，可能有三次震前水位異常變化：(1) 2006 年 10 月 5 日上午 7 時 30 分，水位突然下降，接著於 10 月 10 日 6 時 1 分與 10 月 12 日 22 時 46 分發生地震，震央分別在新竹與花蓮外海（圖 4-6f），(2) 2006 年 12 月 23 日起，八天內出現水壓反覆升降現象，緊接著為 12 月 26 日 20 時 26 分和 34 分之兩起恆春地震，震央雖離測站較遠，但兩起地震芮氏規模均達到 7.0（圖 4-6f），推測地下水壓變化可能為大區域應變結果。



圖 4-5：新竹縣尖石鄉梅花國小地下水壓觀測井（▲）位置圖。

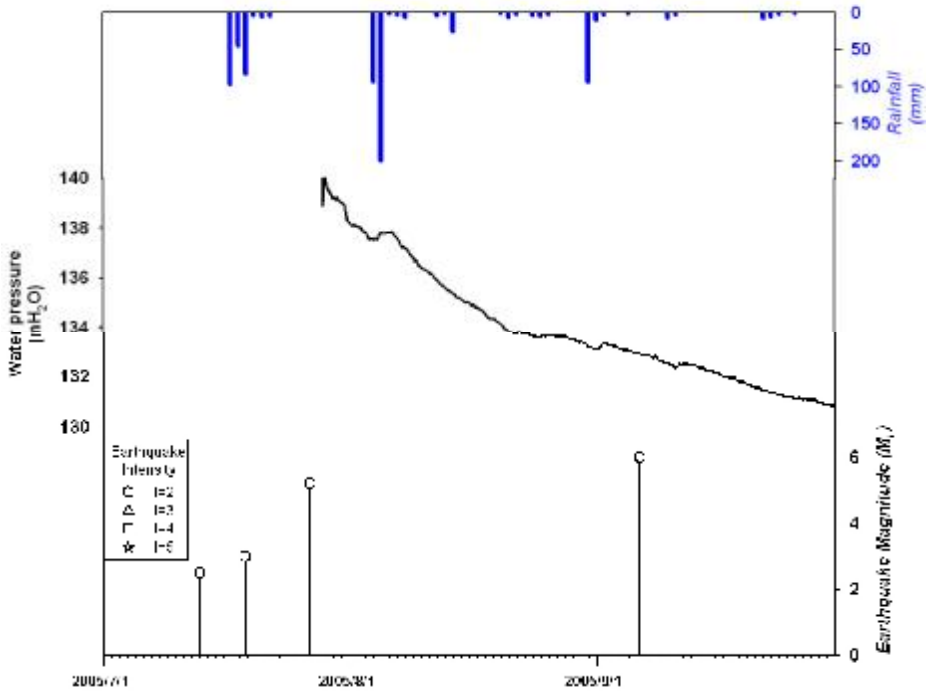


圖 4-6a：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2005/7/28-2005/9/30）。縱軸 water pressure 代表水壓計之上的水頭高度。以下各圖縱軸 water pressure 代表意義與本圖相同。

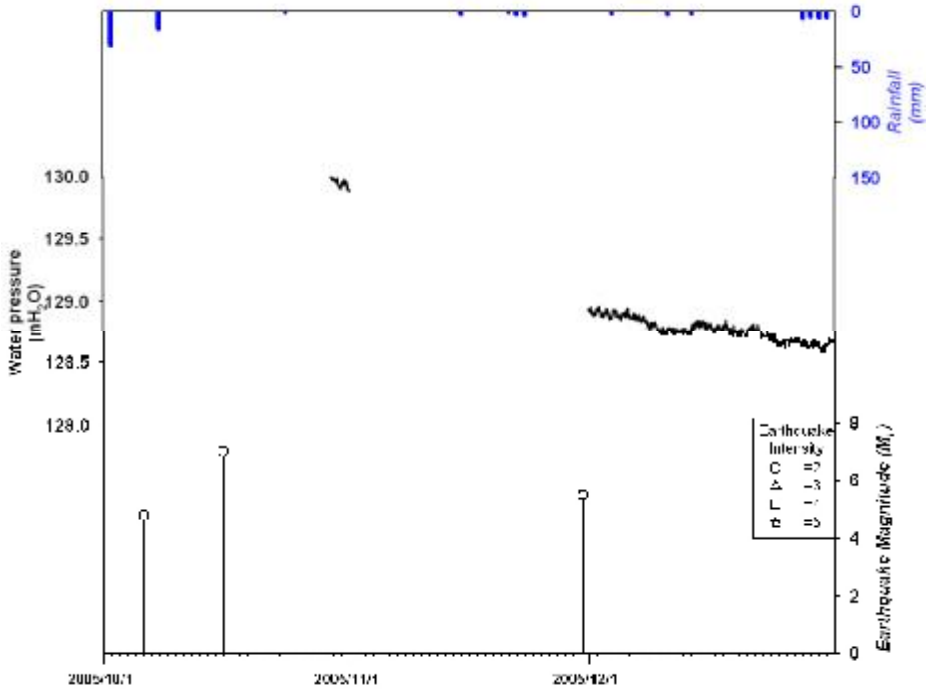


圖 4-6b：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2005/10/1-2005/12/31）。

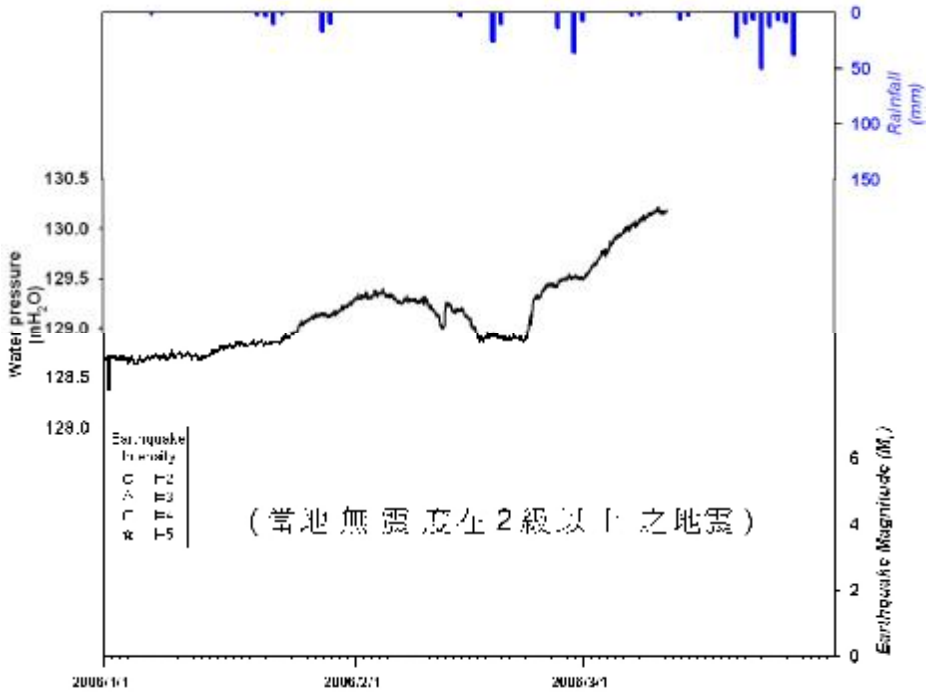


圖 4-6c：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/1/1-2006/3/31）。此時期在新竹地區，當地並無震度 2 級以上的地震。

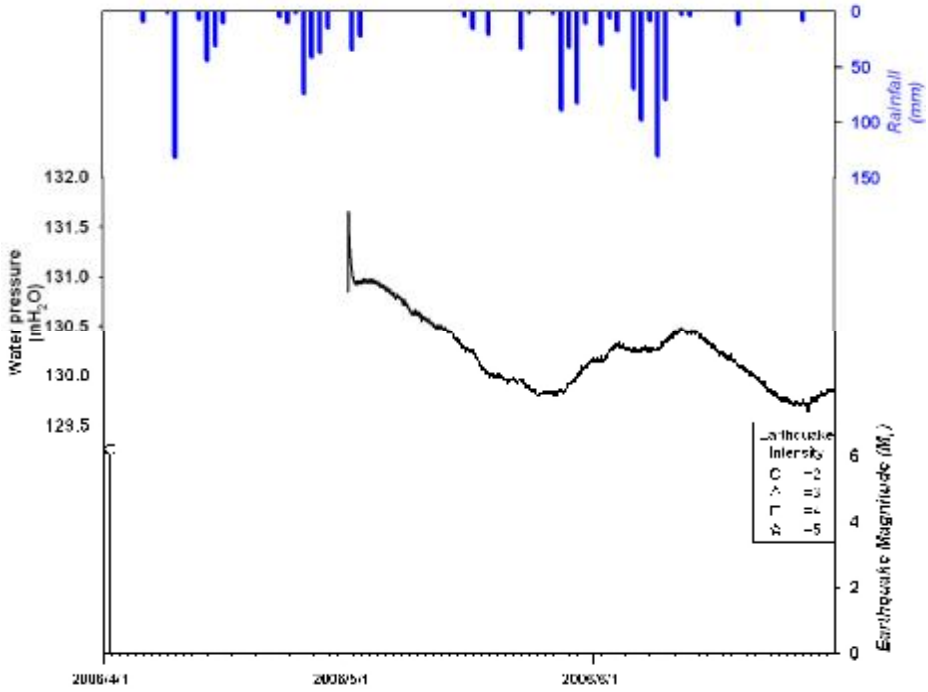


圖 4-6d：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/4/1-2006/6/30）。

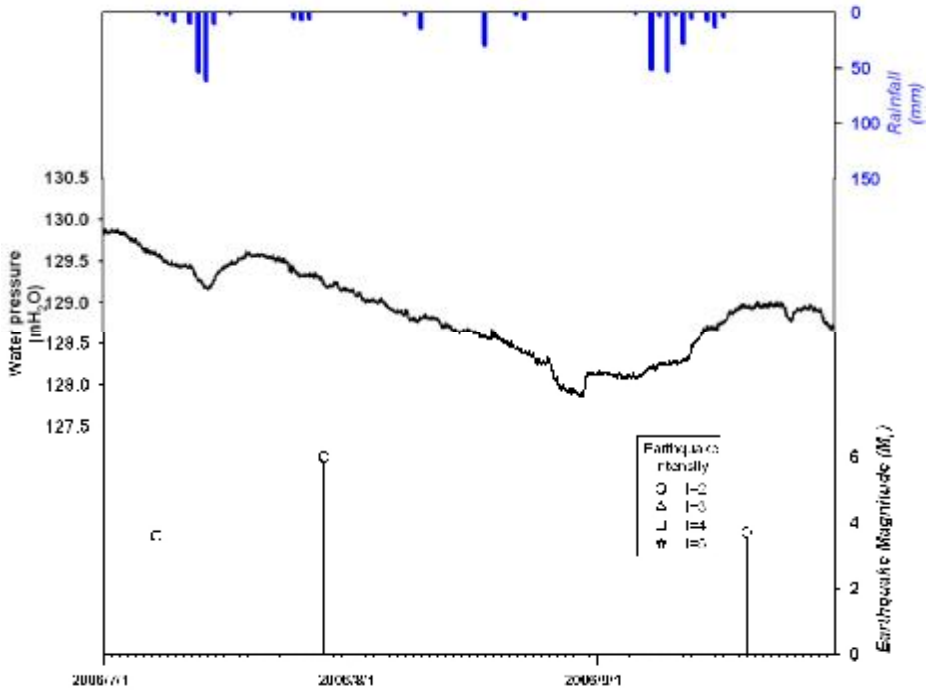


圖 4-6e：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/7/1-2006/9/30）。

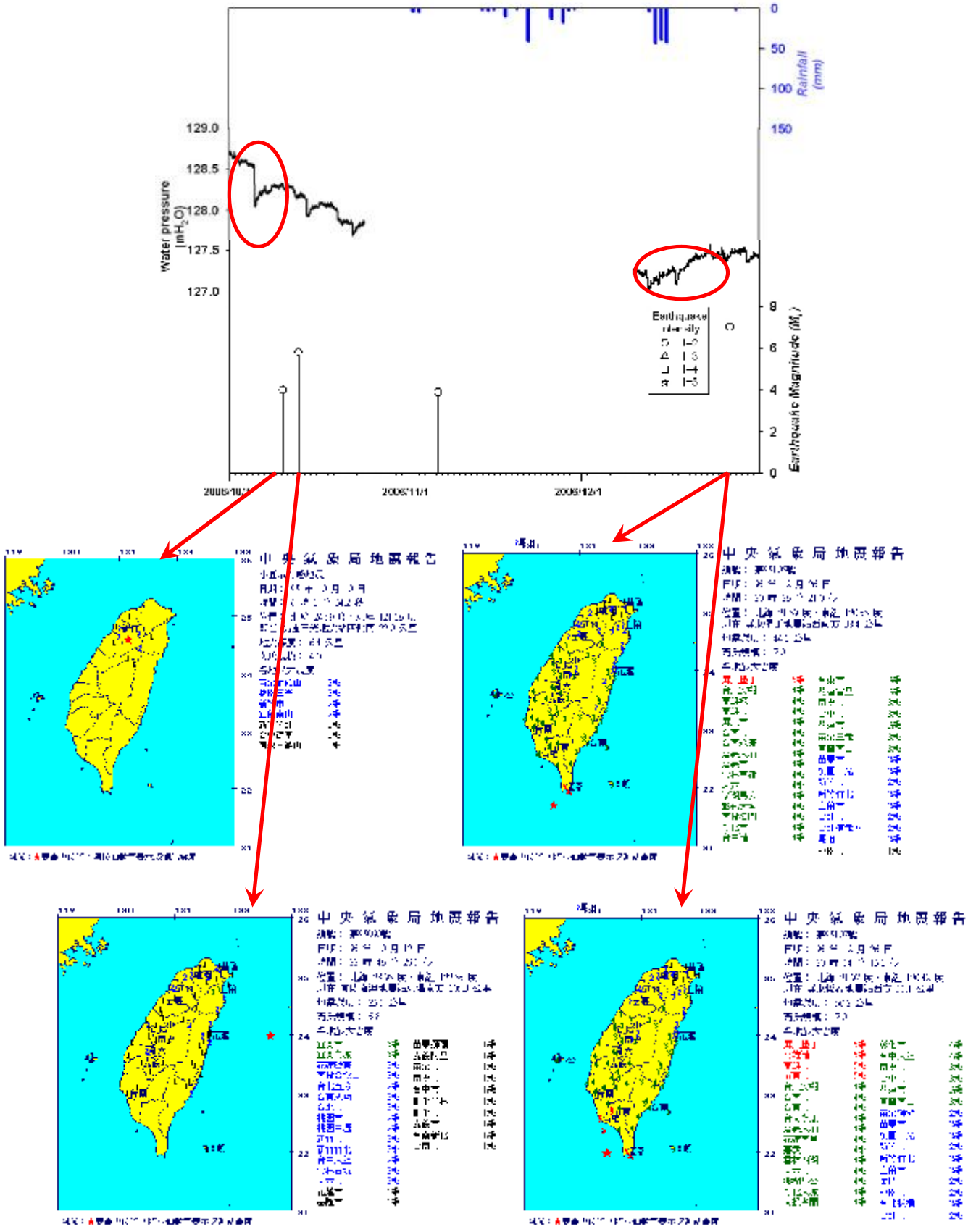


圖 4-6f：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/10/1-2006/12/31）。圖中圓圈標示之水位變化，研判與地震有關。

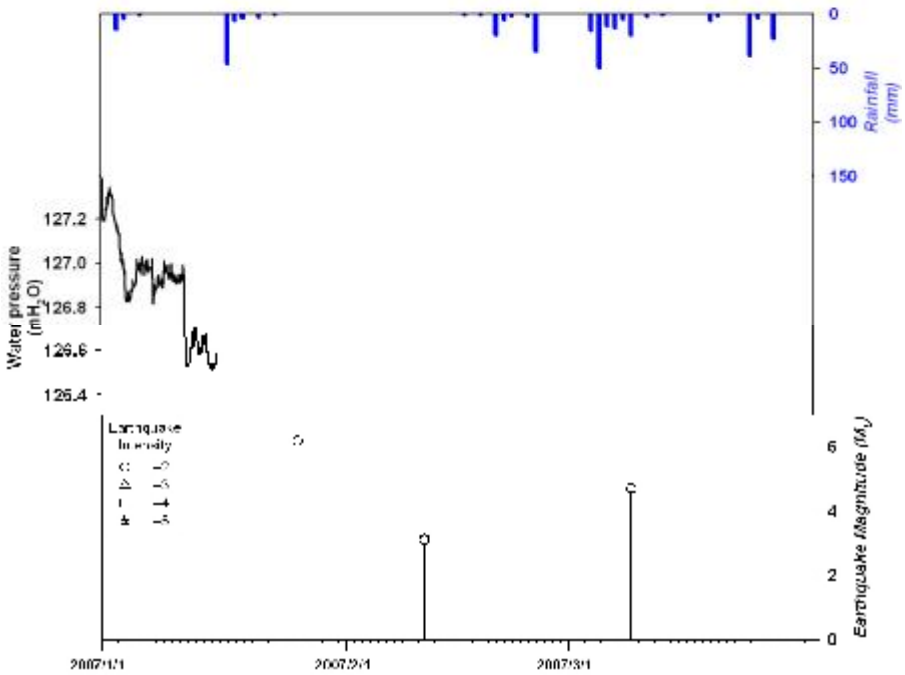


圖 4-6g：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/1/1-2007/3/31）。

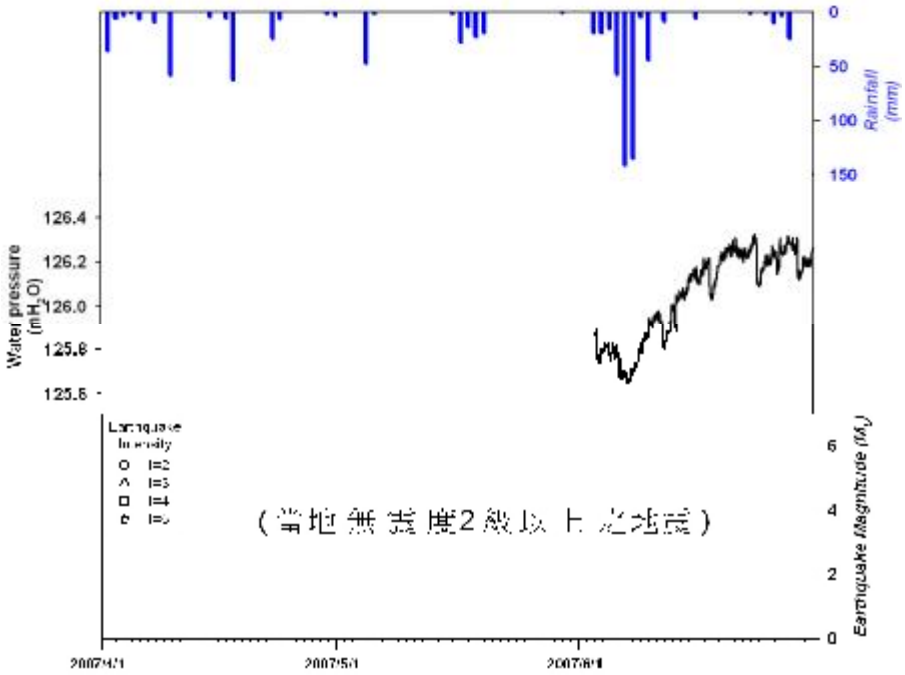


圖 4-6h：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/4/1-2007/6/30）。此時期當地並無震度 2 級以上的地震。

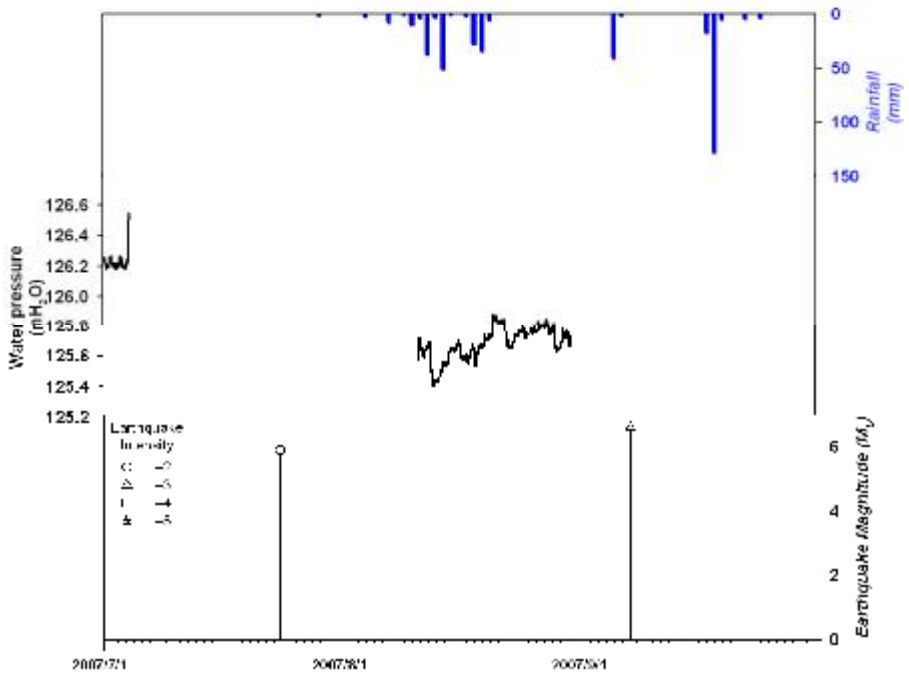


圖 4-6i：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/7/1-2007/9/30）。

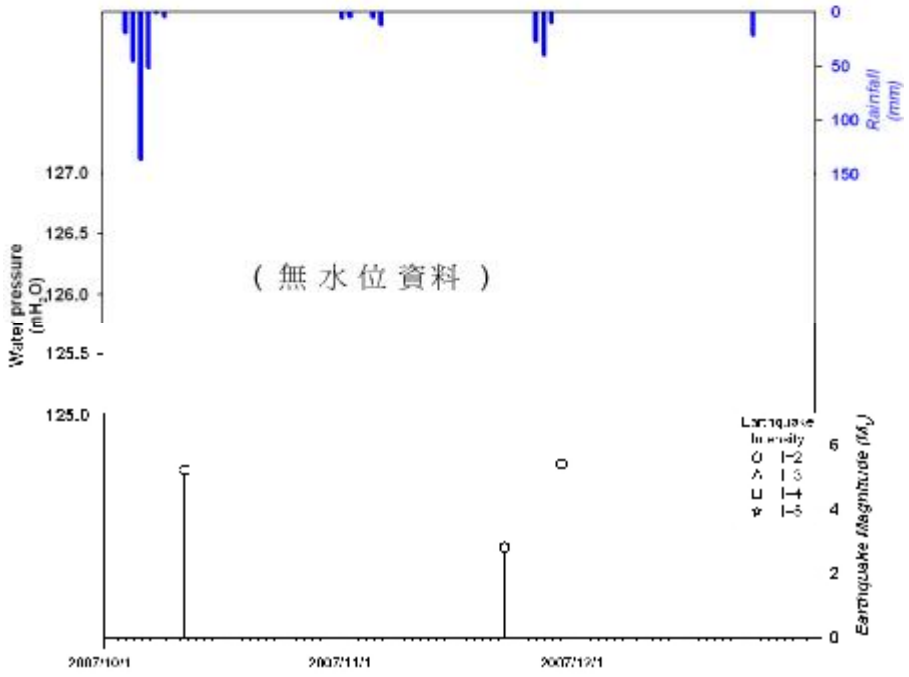


圖 4-6j：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/10/1-2007/12/31）。此時期本觀測井並無地下水壓資料。

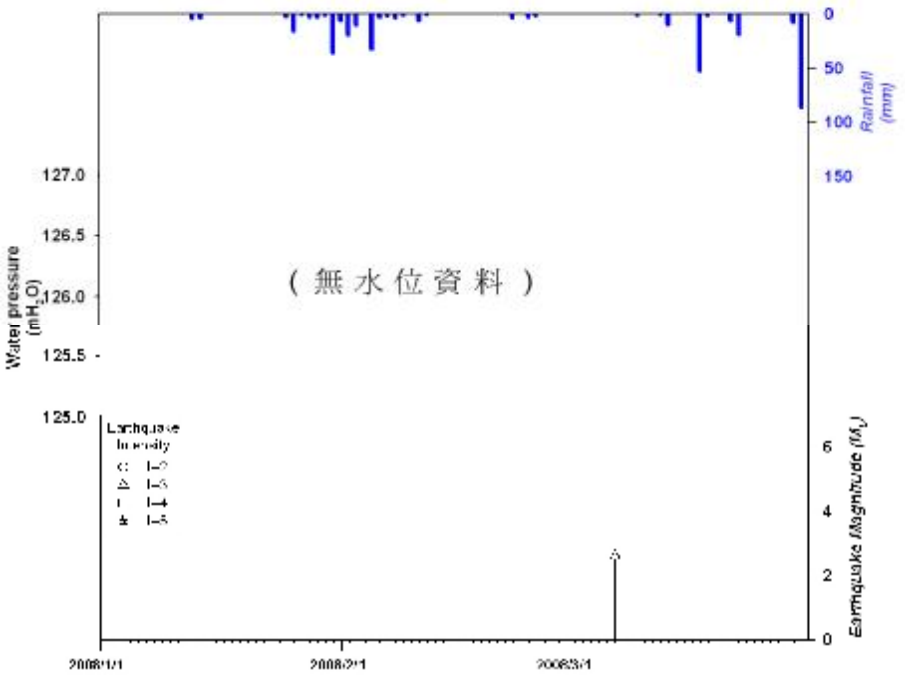


圖 4-6k：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。此時期本觀測井並無地下水壓資料。

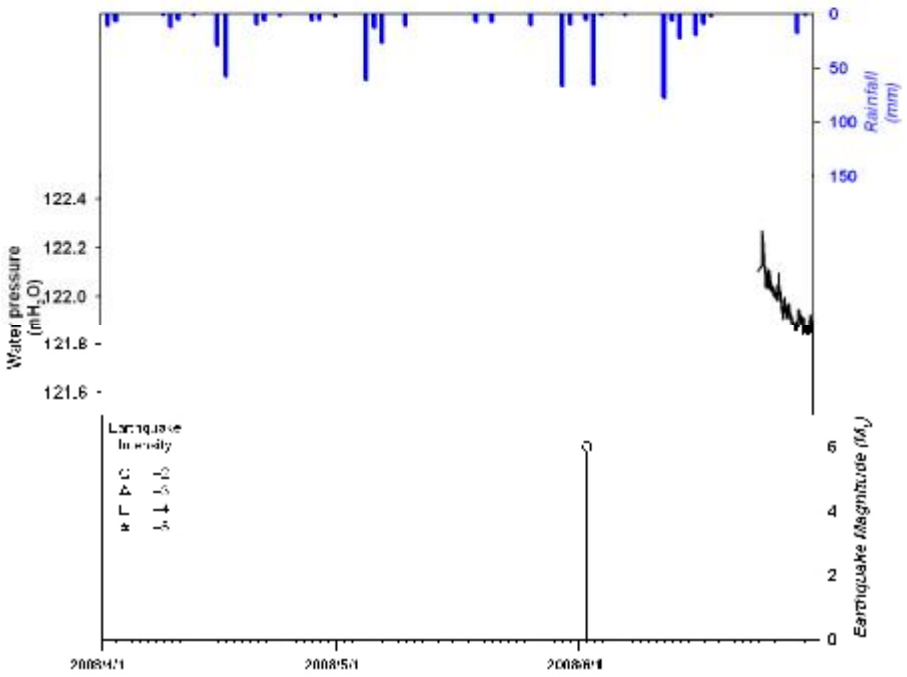


圖 4-6l：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。

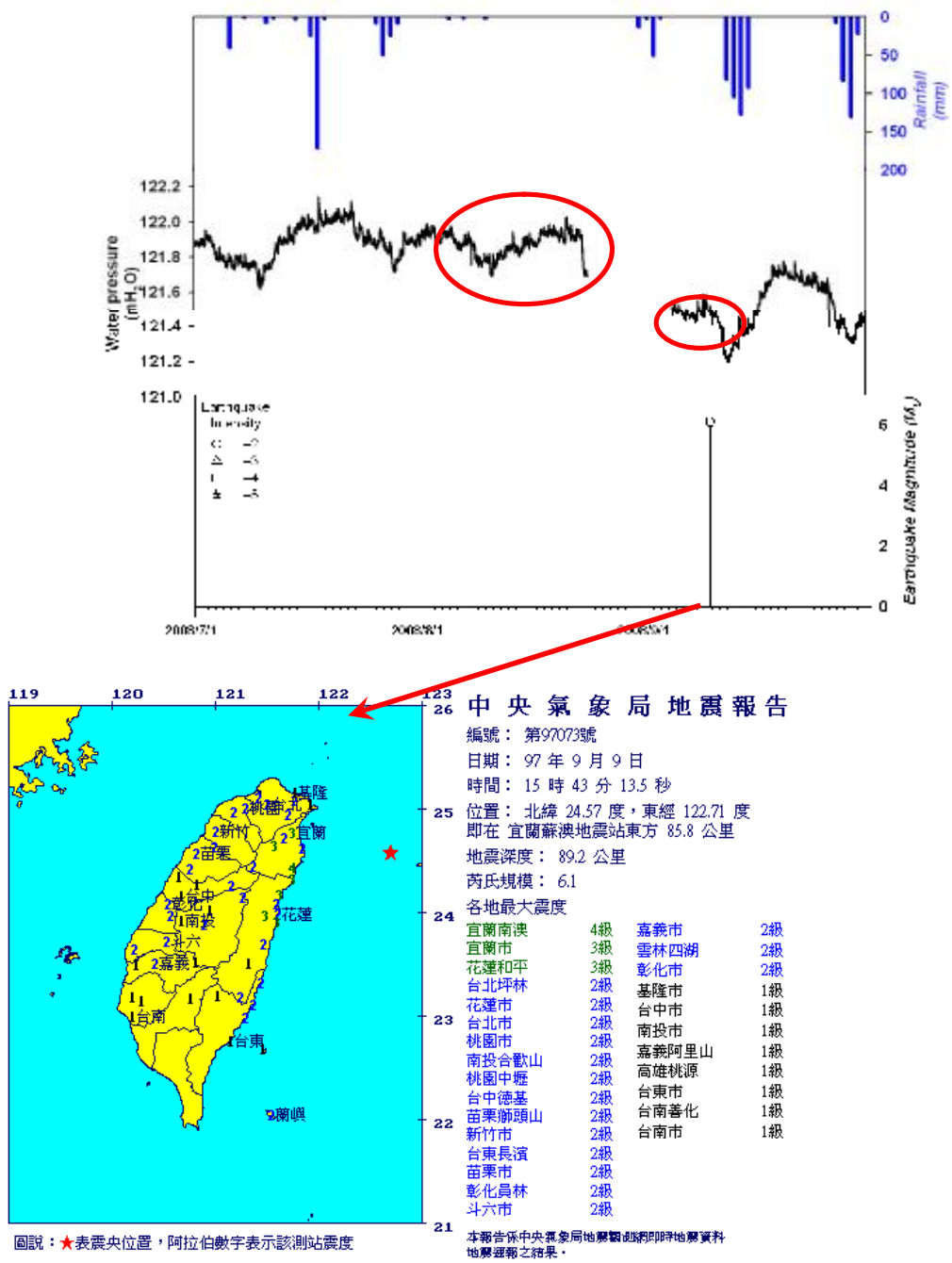


圖 4-6m：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/7/1-2008/9/30）。圖中圓圈標出之水位變化，不排除與地震有關。

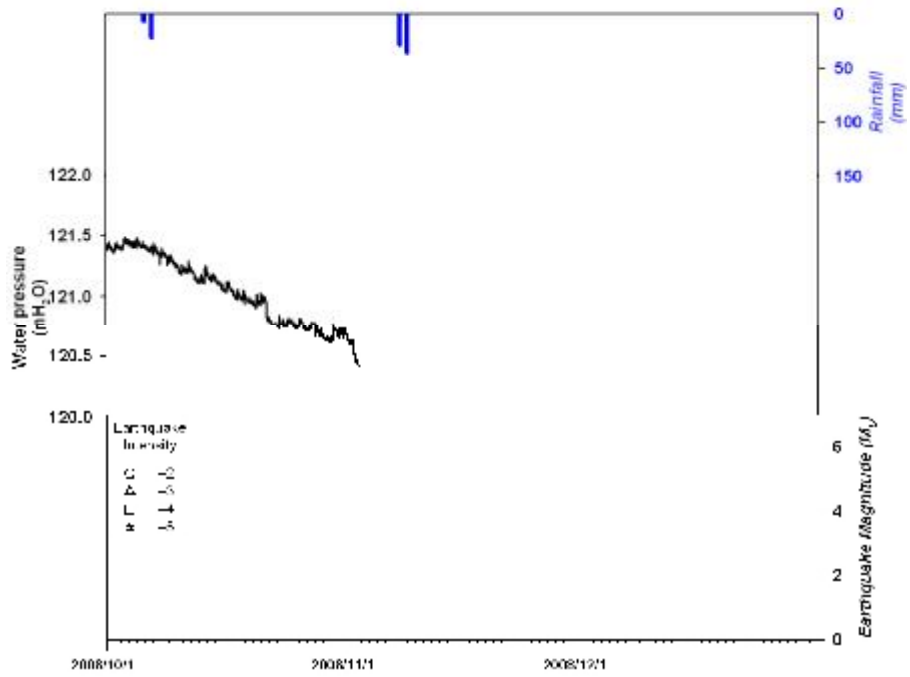


圖 4-6n：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/10/1-2008/11/2）。此時期當地並無震度 2 級以上的地震。

4-2.4 嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測站

嘉義縣中埔鄉沄水國小（圖 4-7）之水壓觀測井於 2006 年 9 月 28 日裝設。因本井為自噴井，2006 年 11 月 7 日密封井口，之後水壓小幅上升，至 11 月 9 日後穩定變化。

在觀測期間內所發現的水位異常變化僅兩次，一次為 2006 年 12 月 26 日恆春地震前十天（圖 4-8a），另一次為 2007 年 2 月 3 日（圖 4-8b）。本觀測站水壓無明顯升降，應與此站為井口封閉之受壓井，當地下水壓大到某一程度時，地下水乃沿裂隙洩漏而降壓，然後地下水壓又累積，如此反覆發生洩壓與增壓的現象。

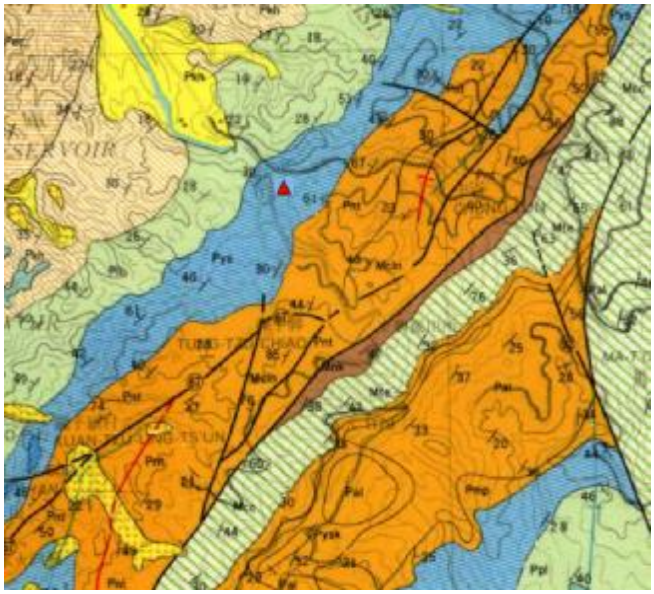


圖 4-7：沄水國小觀測井（ ▲ ）附近地質圖（節錄自中國石油公司台灣油礦探勘總處（1986）編印之 1：100,000 嘉義地質圖）。Pal：隘寮腳層；Pkh：崁下寮層（夾石灰岩）；Pys：沄水溪層（夾石灰岩）；Pnt：鳥嘴層；Pysk：鹽水坑頁岩；Pmp：茅埔頁岩；Mcln：中崙層；Mcc：長枝坑層；Mnk：南港層；Mte：糖恩山砂岩；62崙後斷層；63馬頭山斷層；67六重溪斷層；92頂坪林斷層。

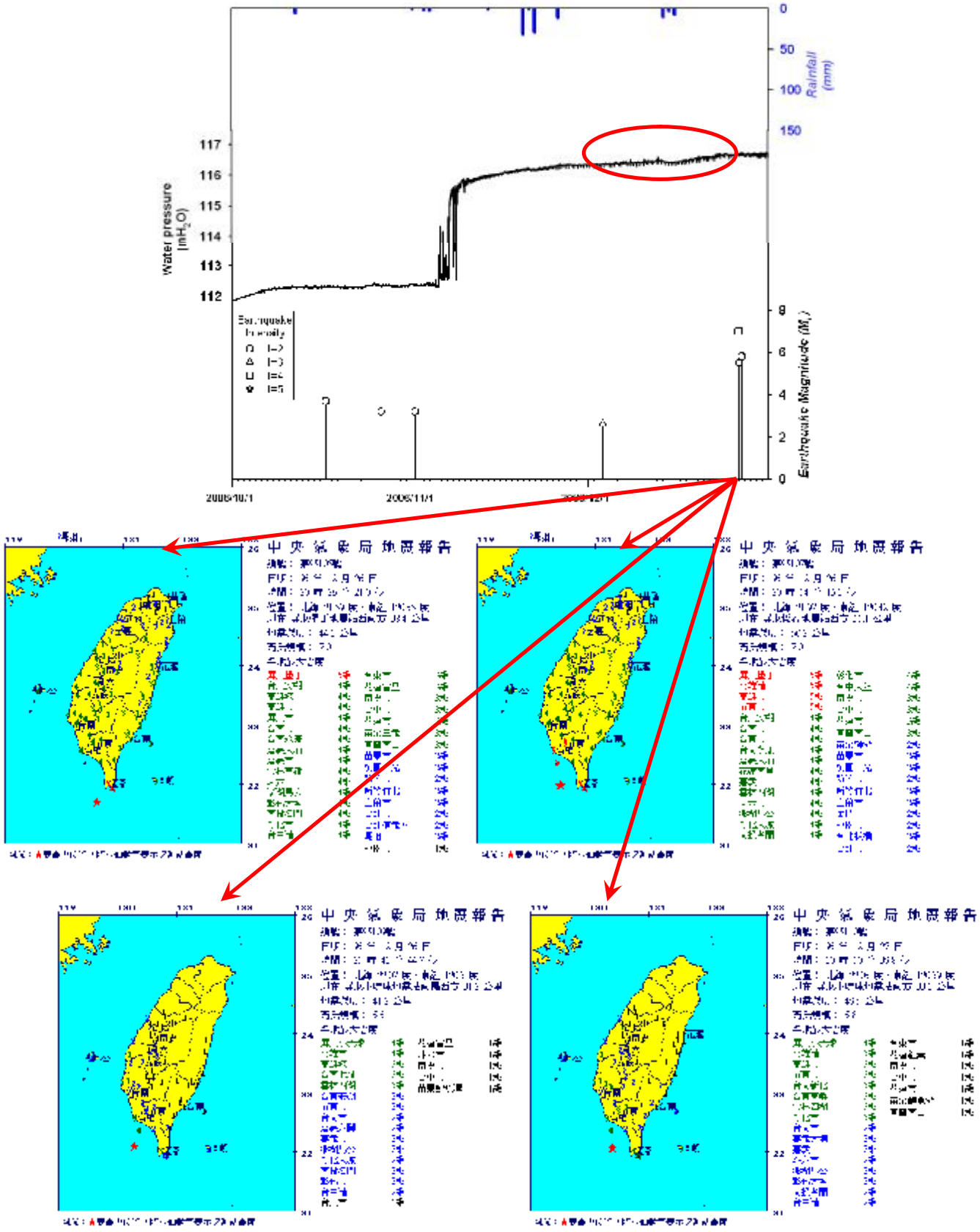


圖 4-8a：嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/10/1-2006/12/31）。觀測井封頂後，至 11 月 9 日地下水壓才漸趨穩定。縱軸 water pressure 代表水壓計之上的水頭高度。以下各圖縱軸 water pressure 代表意義與本圖相同。

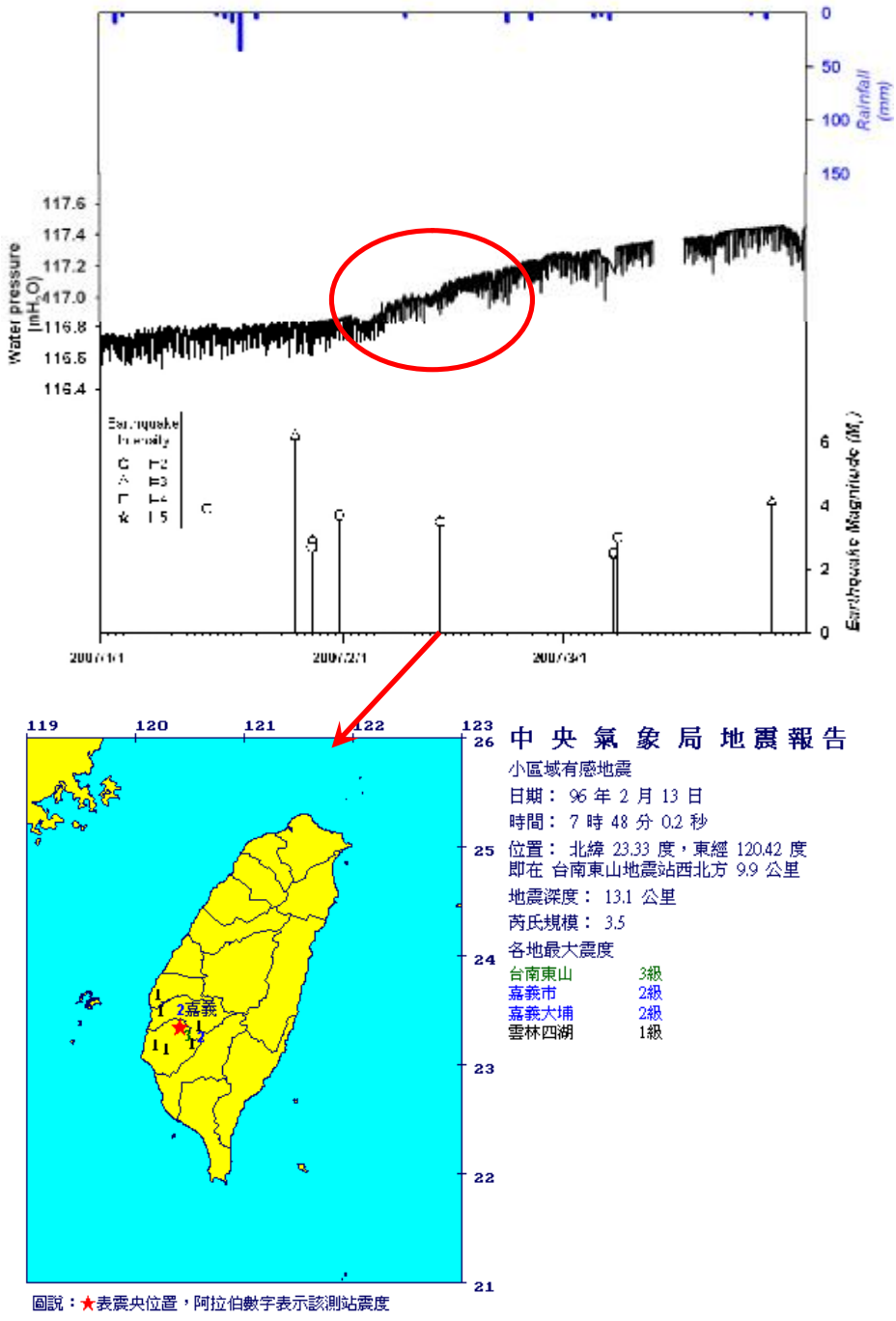


圖 4-8b：嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/1/1-2007/3/31）。圖中圓圈標示之水位變化，可能與地震有關。

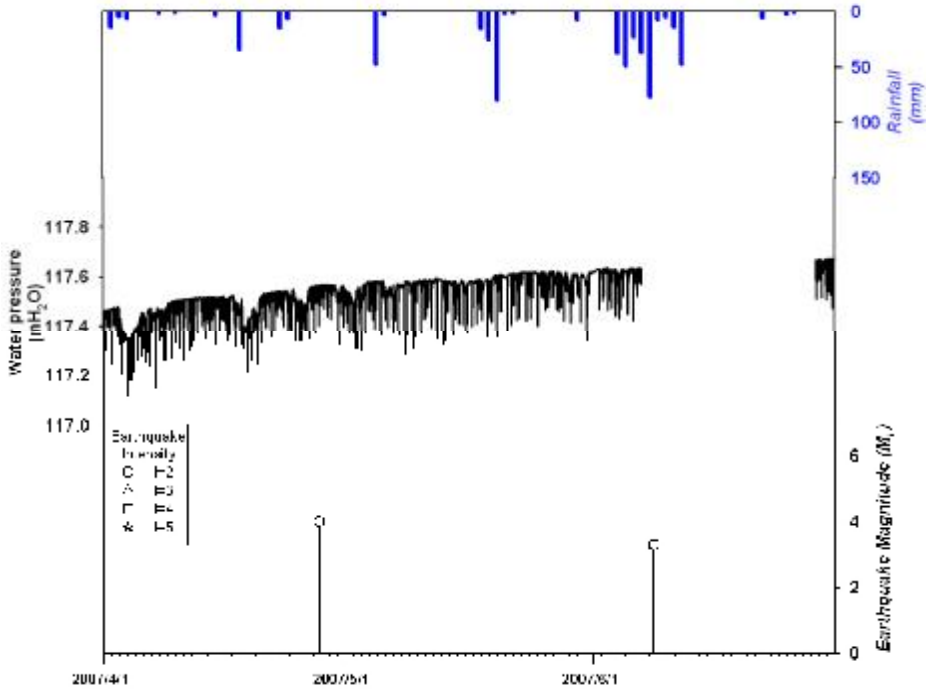


圖 4-8c：嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/4/1-2007/6/30）。

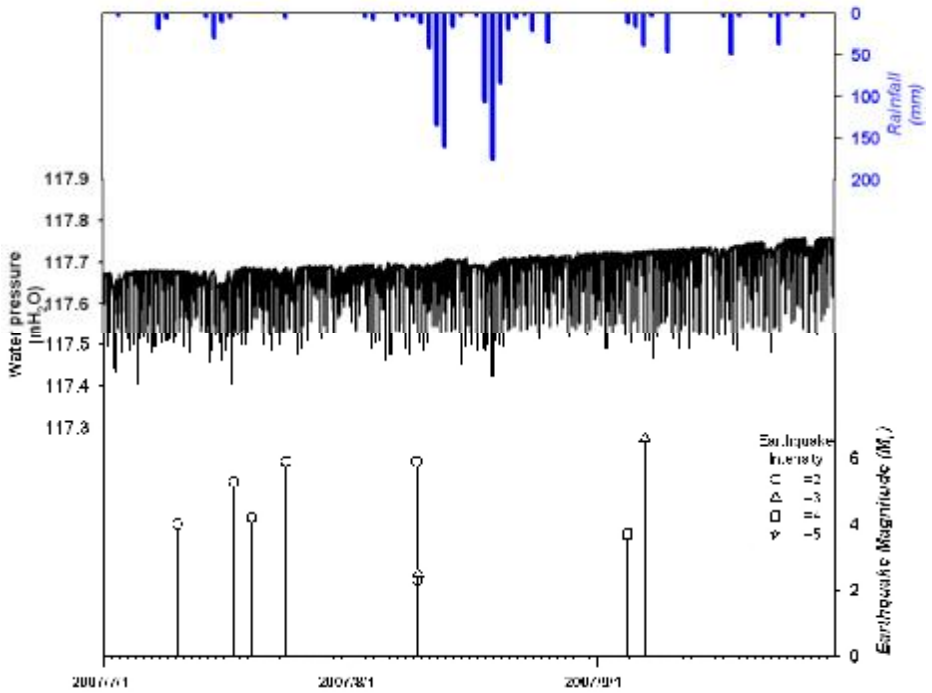


圖 4-8d：嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/7/1-2007/9/30）。此期間有多次震度 2 級以上之地震，無法判識與地震有關的水位變化異常。

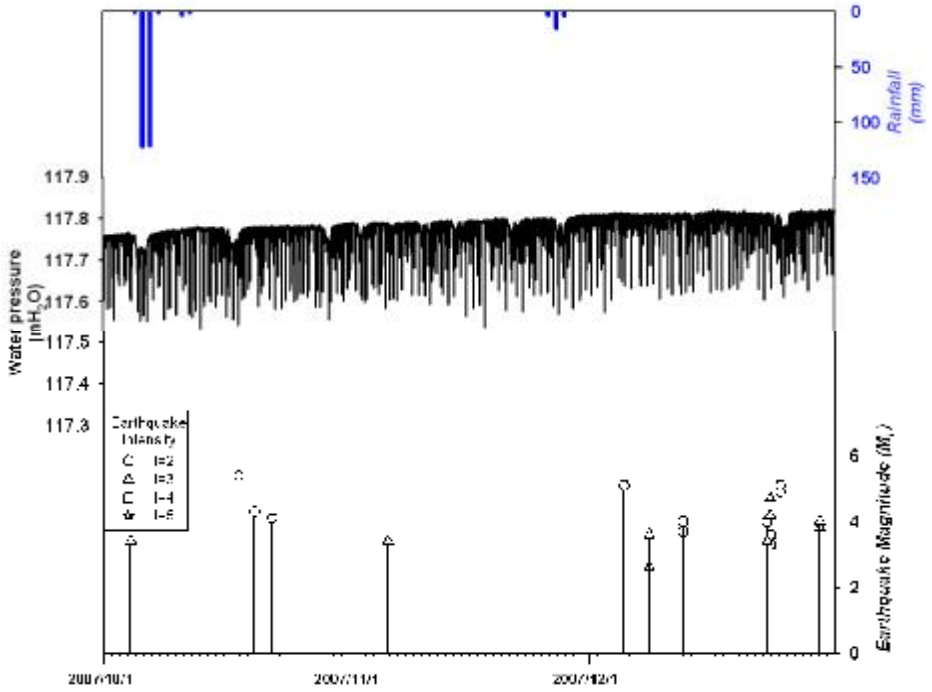


圖 4-8e：嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/10/1-2007/12/31）。

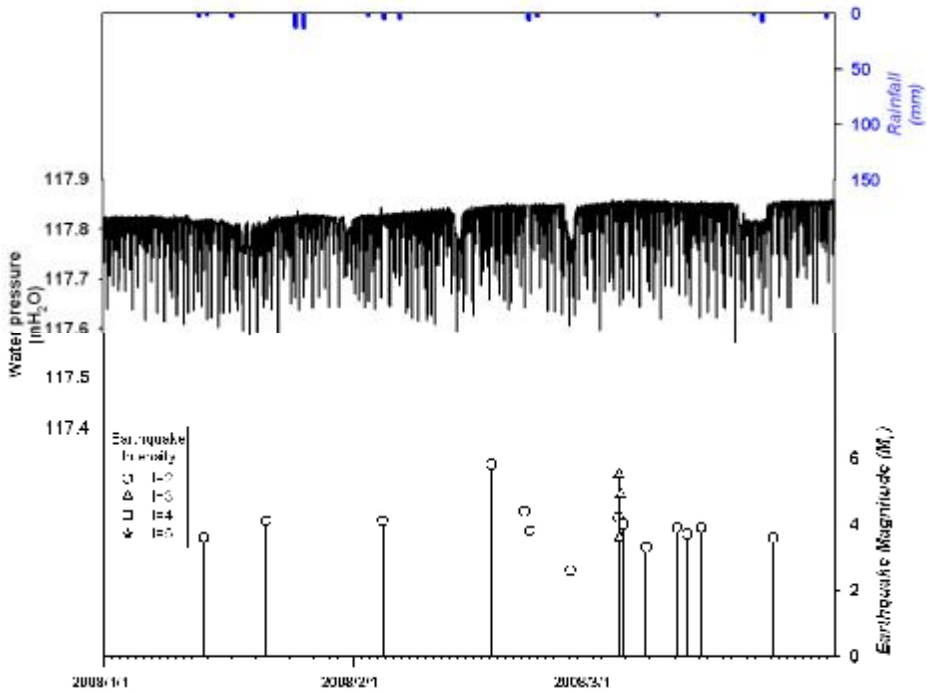


圖 4-8f：嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。

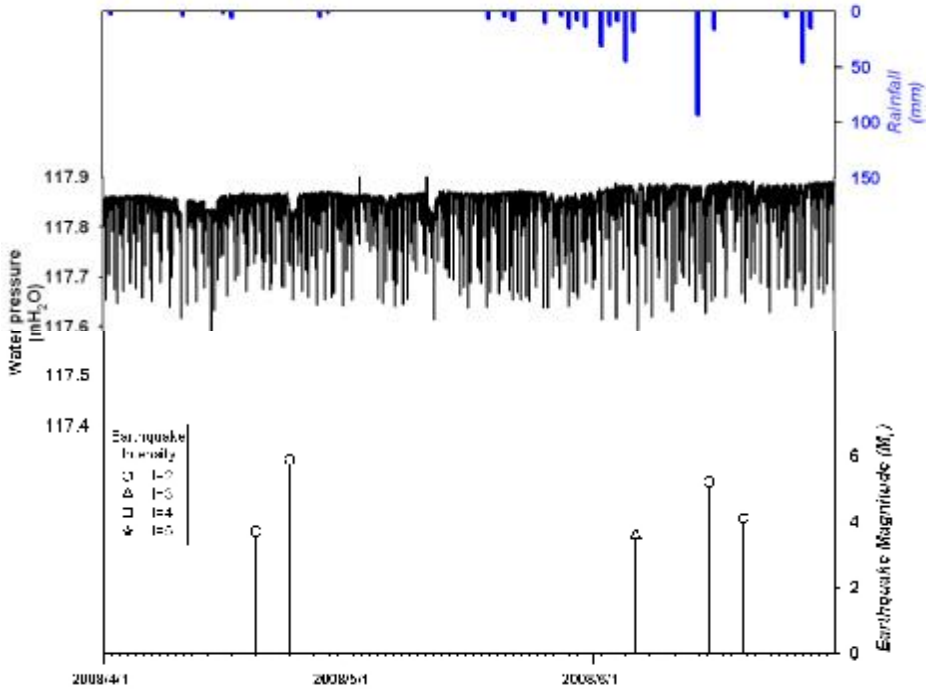


圖 4-8g：嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。

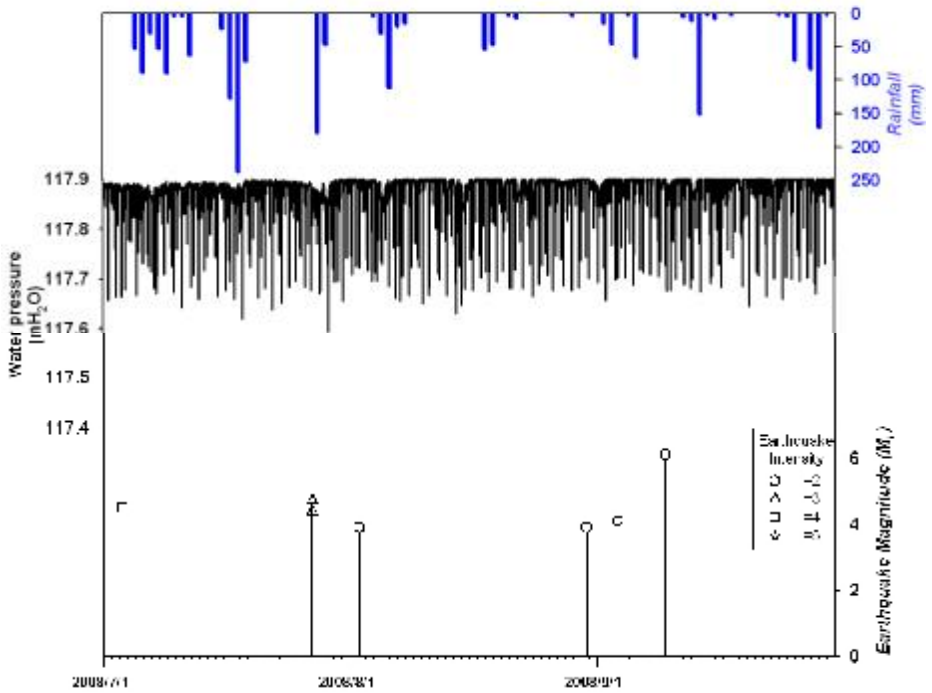


圖 4-8h：嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/7/1-2008/9/30）。

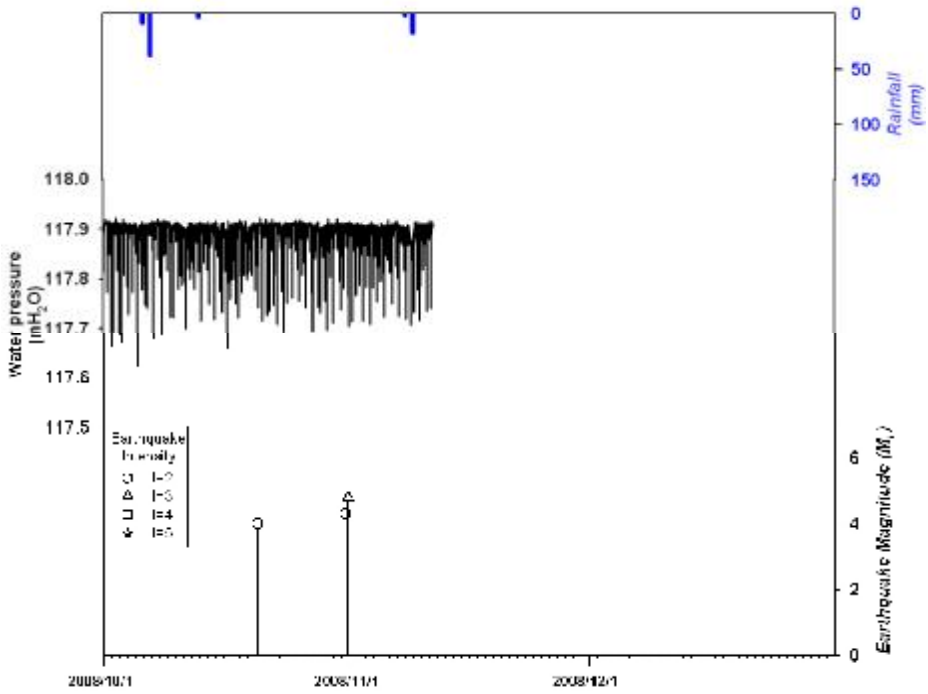


圖 4-8i：嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/10/1-2008/11/11）。

4-2.5 嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測站

本觀測站設在嘉義縣竹崎鄉中興國小，所在位置如圖 4.9 所示。自 2006 年 3 月開始記錄地下水壓資料，每分鐘記錄一次水壓資料。地下水壓及當地震度 2 級以上之地震，以及降雨量，繪製於圖 4-10a 至圖 4-10l。在水位記錄期間，震度 2 級以上地震之空間分布圖繪於圖 4-11。

2006 年 5 月 10 日，在無降雨干擾因素之情況下，地下水壓突然異常地小幅上升，接著同年 6 月 4 日、6 月 11 日與 6 月 17 日，台南地區發生三起地震，研判水壓變化可能與嘉南地區地震有關（圖 4-10b）。2006 年 6 月 25 日，在降雨時期出現水壓異常下降；7 月 28 日 15 時 40 分花蓮外海發生規模 6.0 的地震（圖 4-10b；圖 4-10c）。無法推測兩者是否相關。2006 年 7 月底，水壓在上升過程中常見突然升降的變化，期間曾在 7 月 28 日花蓮外海發生芮氏規模 6.0 的地震，但水壓仍有異常變化直到 8 月初。此水位變化可能與 2006 年 8 月 4 日 5 時 21 分，台南楠西地震站南偏西 1.6 公里，規模 4.0 之地震有關（圖 4-10c）。2007 年 6 月 2 日水壓上升，可能與 6 月 8 日 9 時 45 分，嘉義地震站西偏南 9.1 公里芮氏規模 3.3 的地震有關（圖 4-10f）。2007 年 7 月 29 日，地下水壓上升，可能與 8 月 9 日發生的三起地震有關，分別是 8 時 55 分台東規模 5.9 的地震，9 時 42 分嘉義規模 2.3 的地震，以及 12 時 39 分嘉義同一位置規模 2.5 的地震有關（圖 4-10g）。2008 年 2 月 14 日 8 時起地下水壓在長期下降趨勢之下出現異常增高，之後在 2 月 18 日 4 時 33 分以及 22、23 和 28 日，以及三月初發生地震。除 2 月 18 日之東部地震，其餘地震均分布在雲嘉及高

雄桃源一帶，推測前述水壓異常變化與當地應變有關（圖 4-10i）。2008 年 10 月至 11 月 3 日間，地下水壓有顯著的異常變化，研判與隨後與彰化、台南地區之地震有關（圖 4-10l）。



圖 4-9：嘉義縣竹崎鄉中興國小地下水壓觀測井（▲）位置圖。

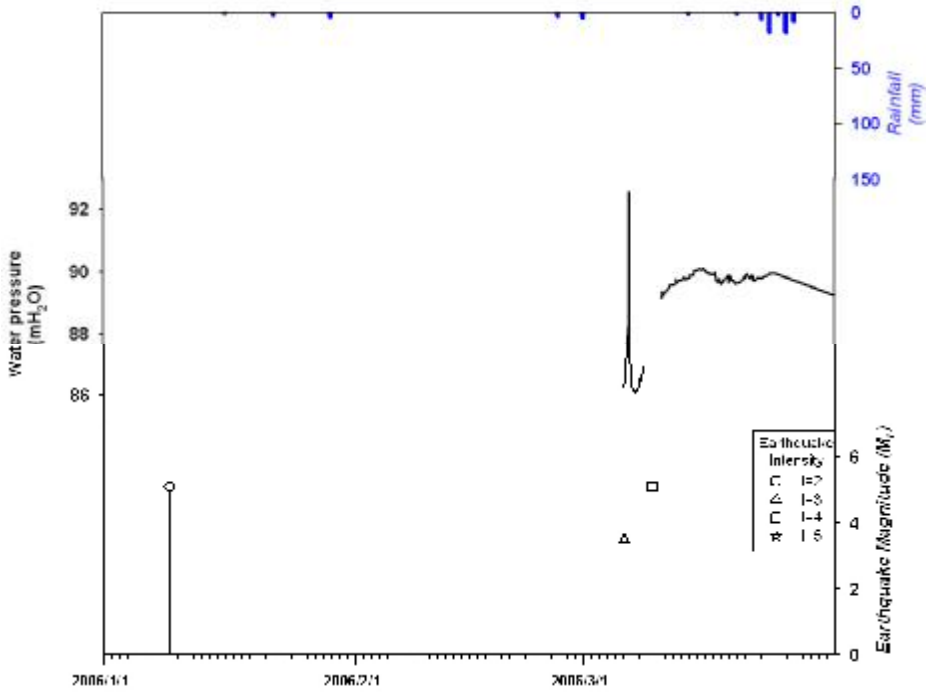


圖 4-10a：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/3/6-2006/3/31）。縱軸 water pressure 代表水壓計之上的水頭高度。以下各圖縱軸 water pressure 代表意義與本圖相同。

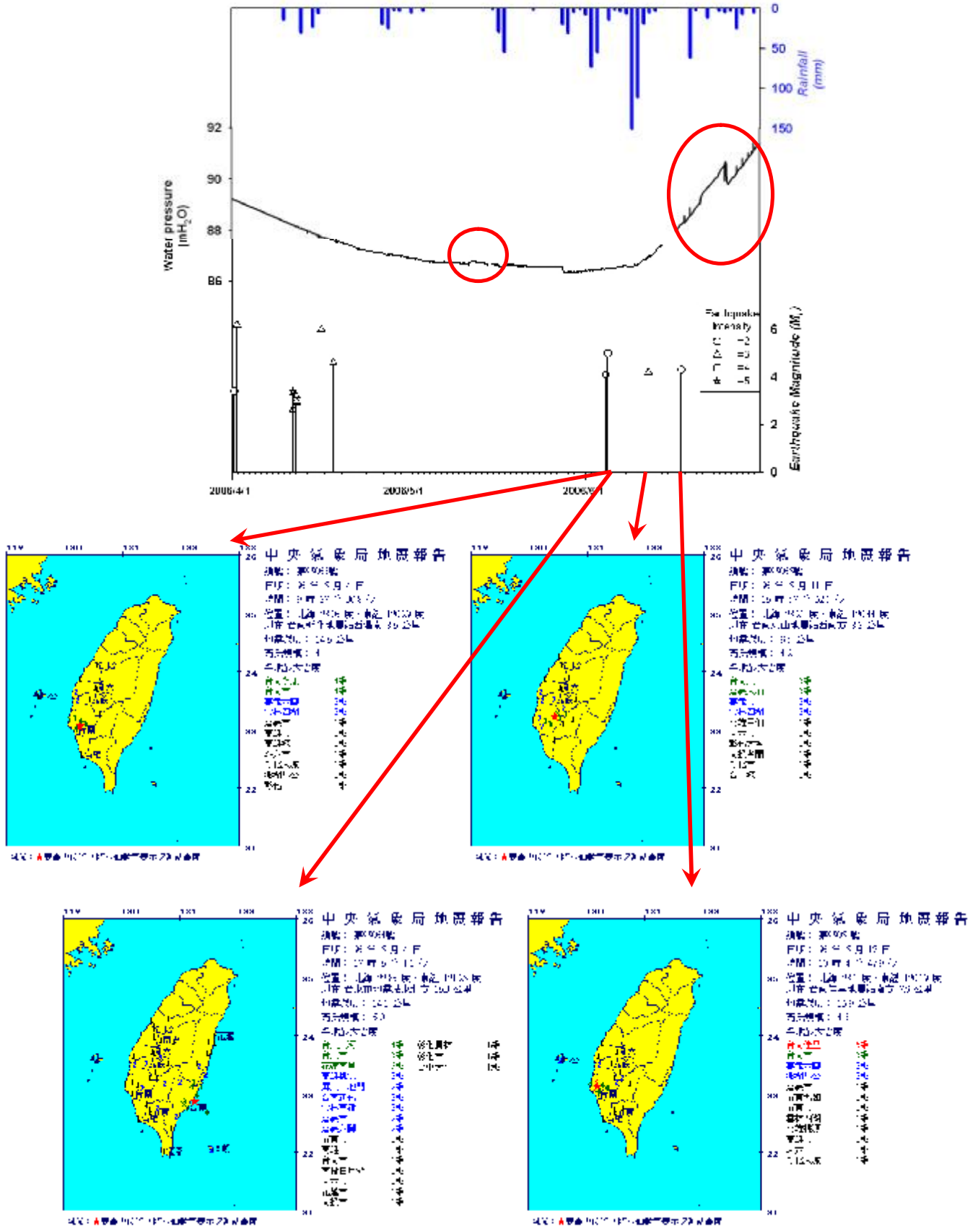


圖 4-10b：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/4/1-2006/6/30）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

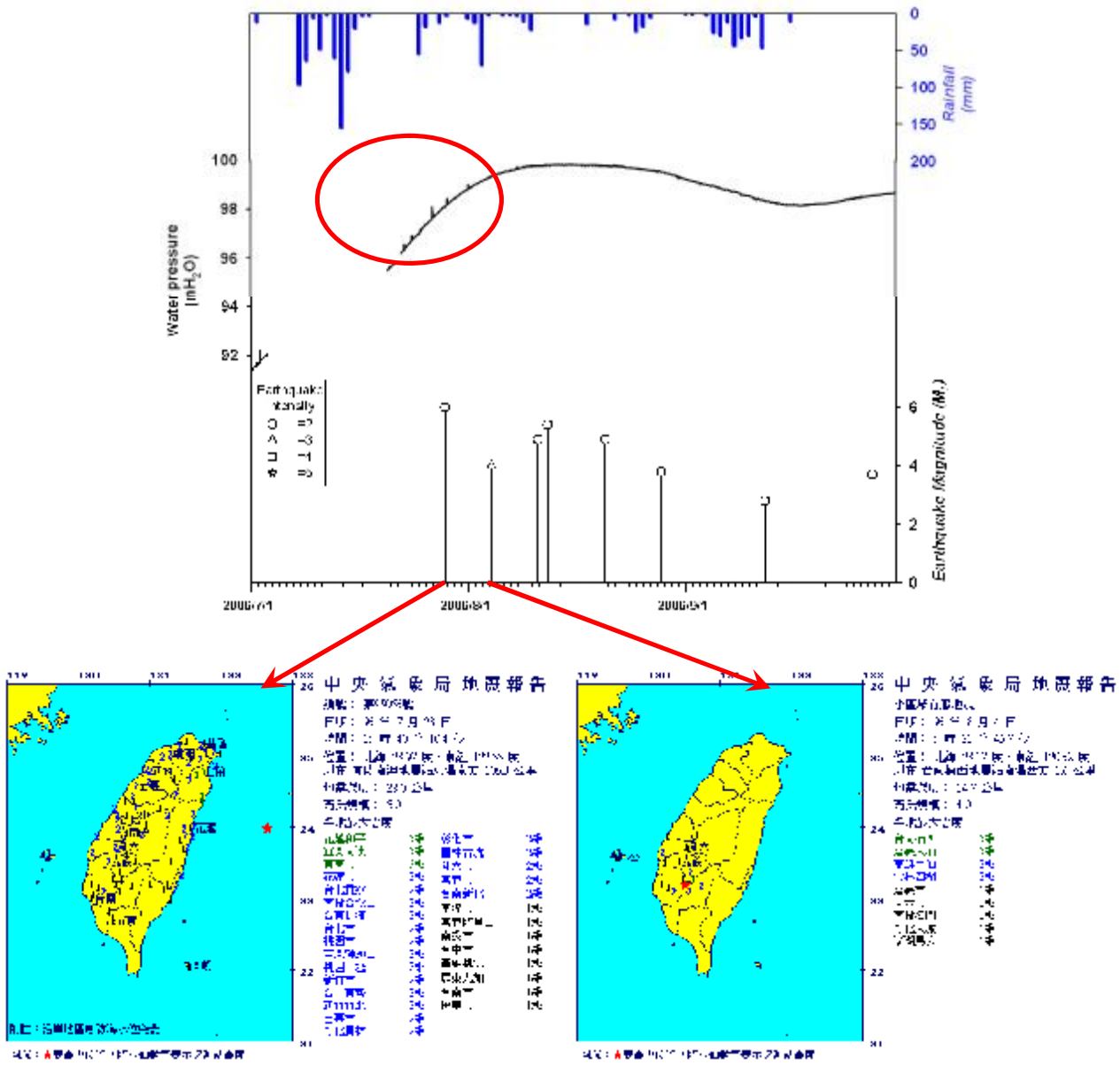


圖 4-10c：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/7/1-2006/9/30）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與 8 月 4 日台南地震有關。

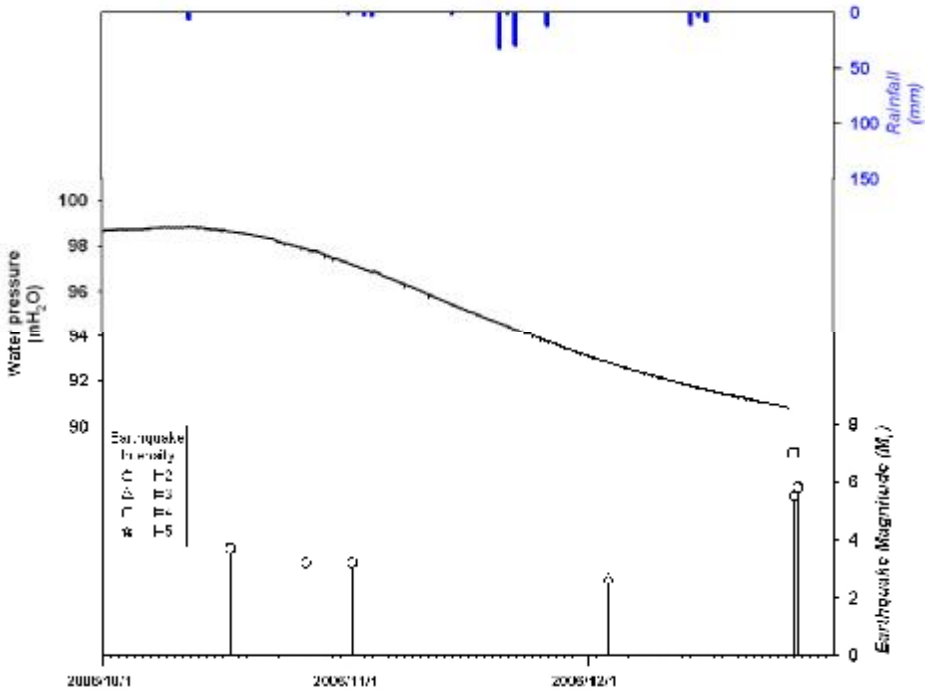


圖 4-10d：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/10/1-2006/12/31）。

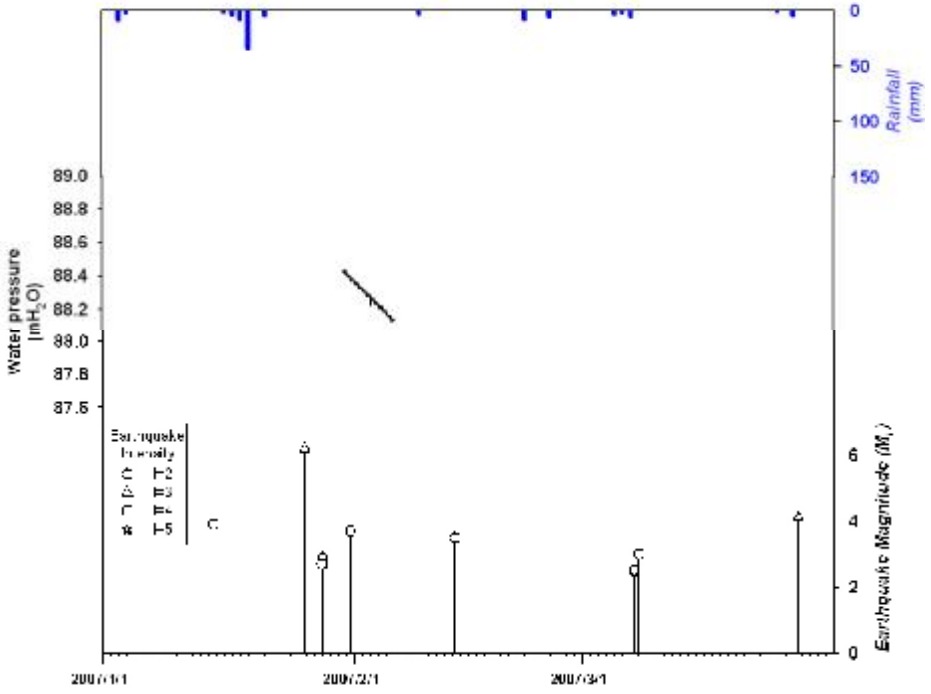


圖 4-10e：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/1/1-2007/3/31）。

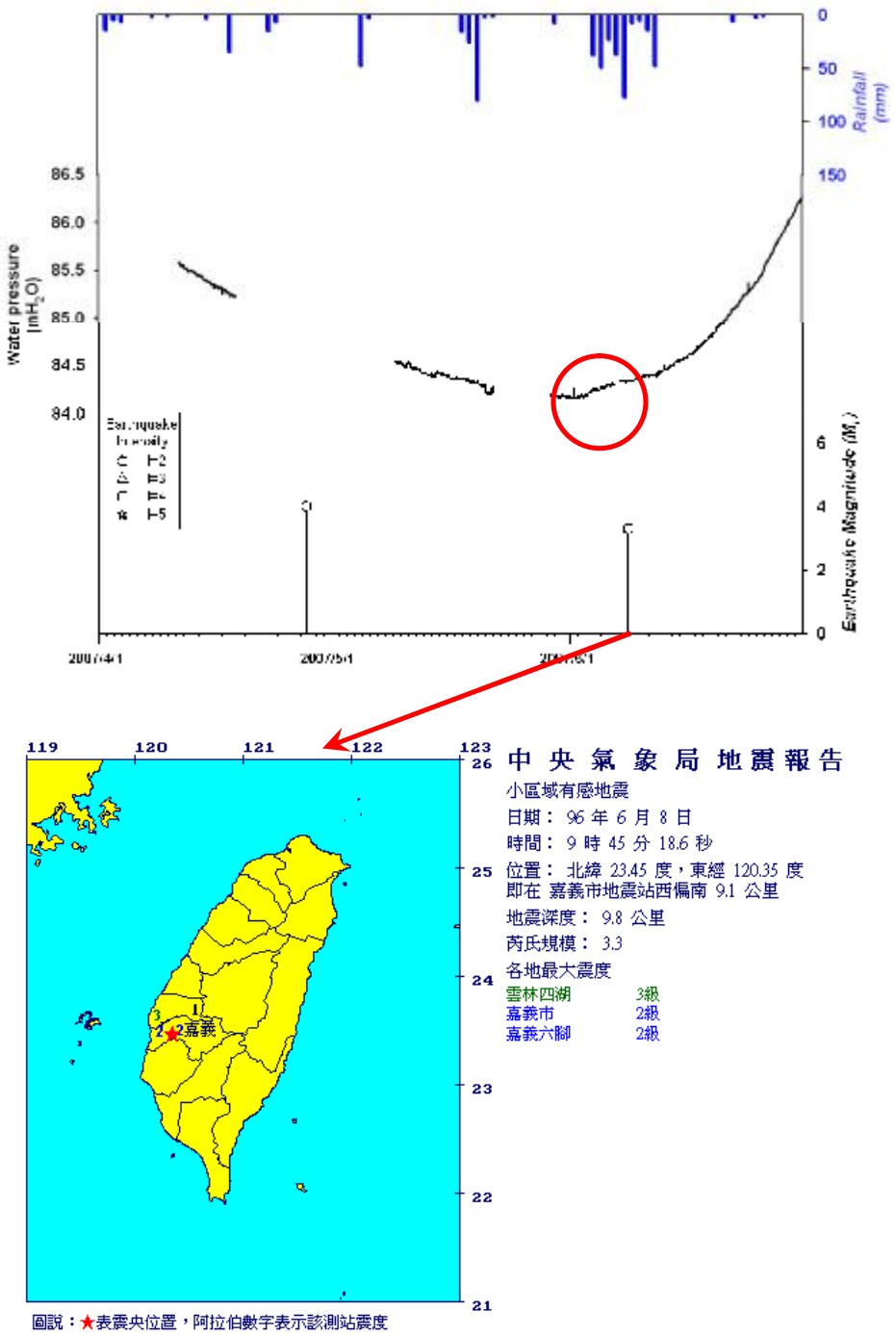


圖 4-10f：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/4/1-2007/6/30）。

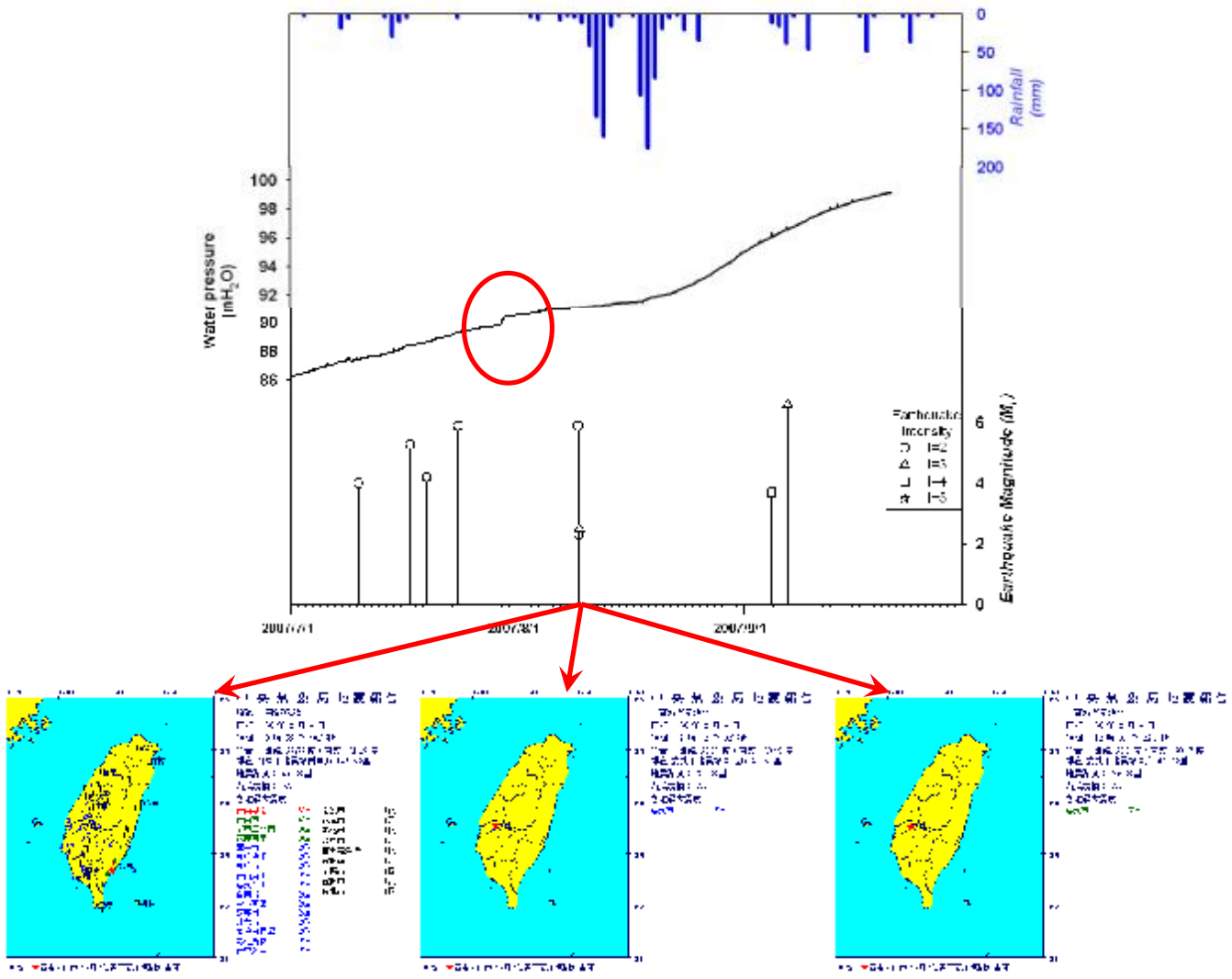


圖 4-10g：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/7/1-2007/9/30）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

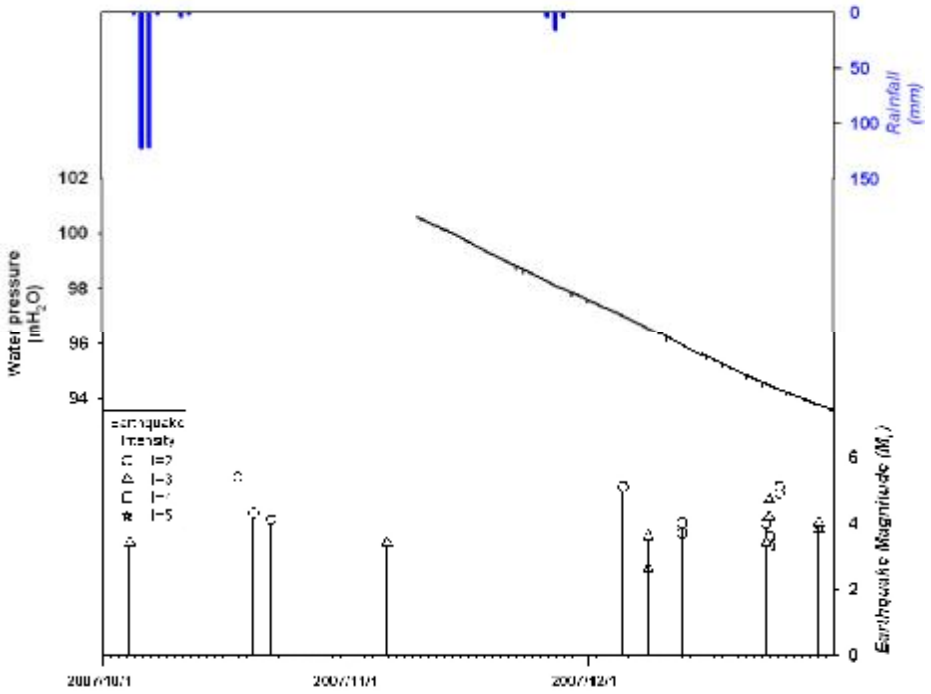


圖 4-10h：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/10/1-2007/12/31）。

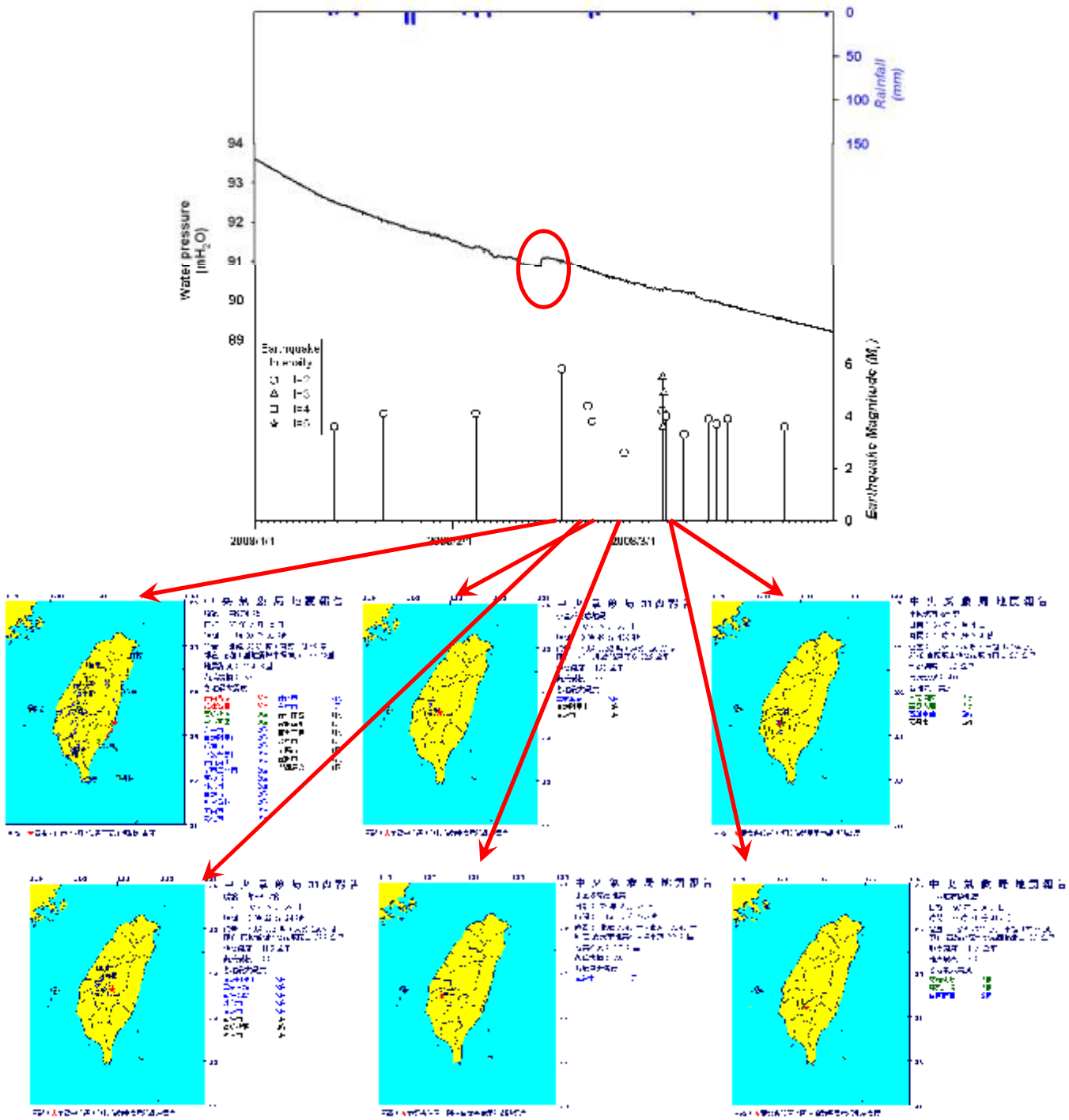


圖 4-10i：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

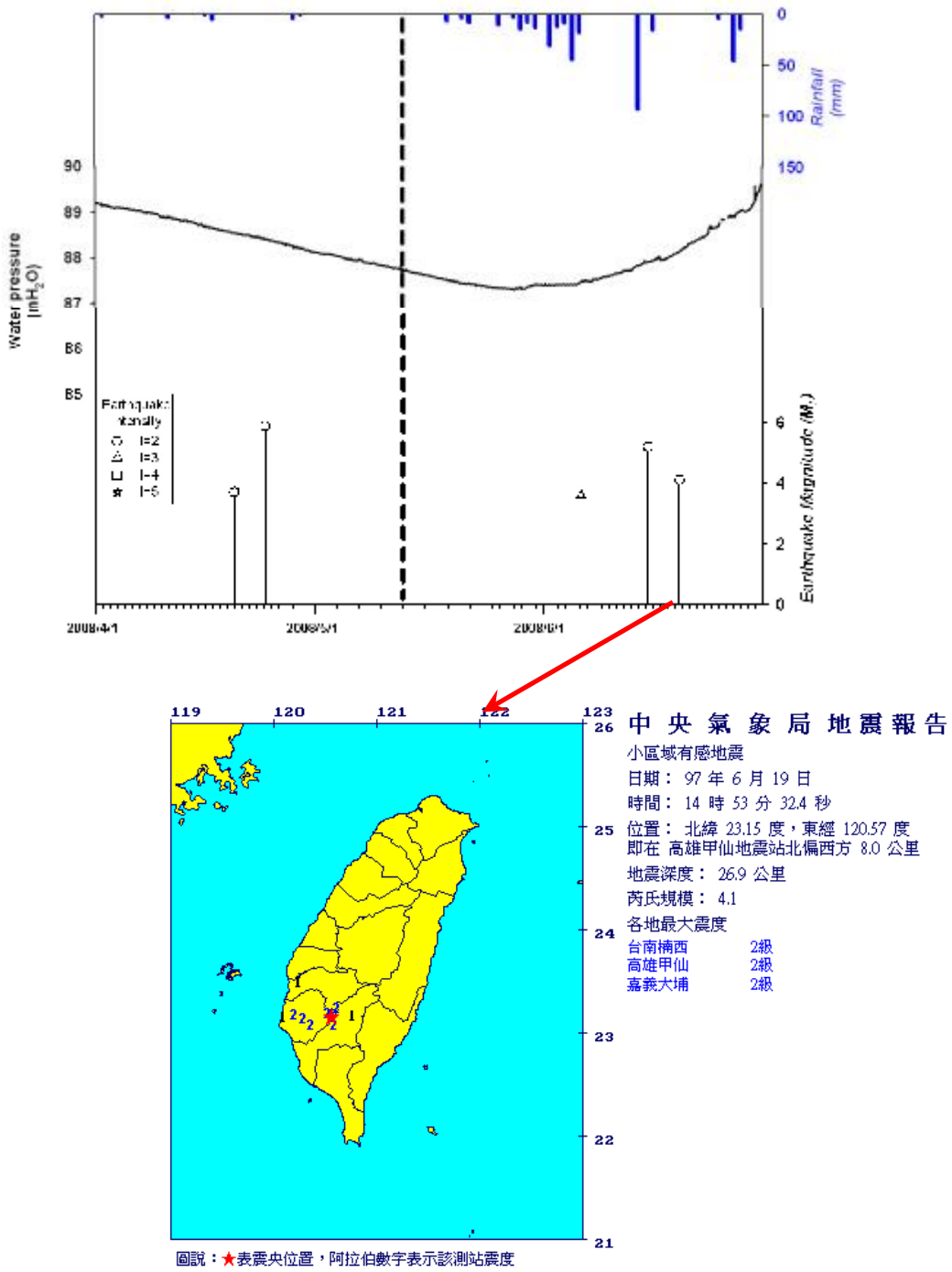


圖 4-10j：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。虛線位置 2008 年 5 月 12 日之中國汶川地震時間。

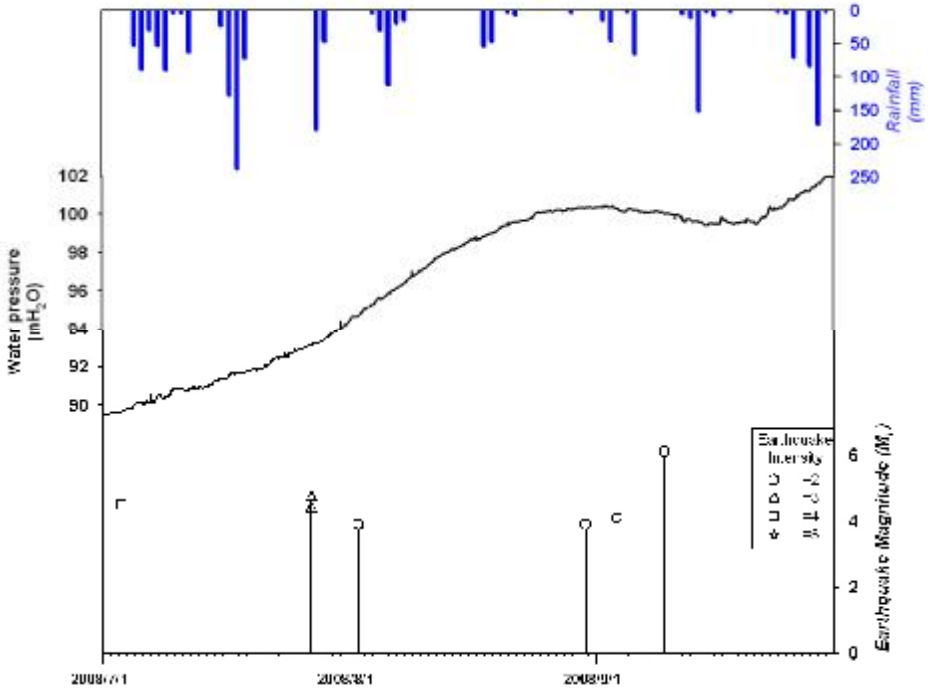


圖 4-10k：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/7/1-2008/9/30）。

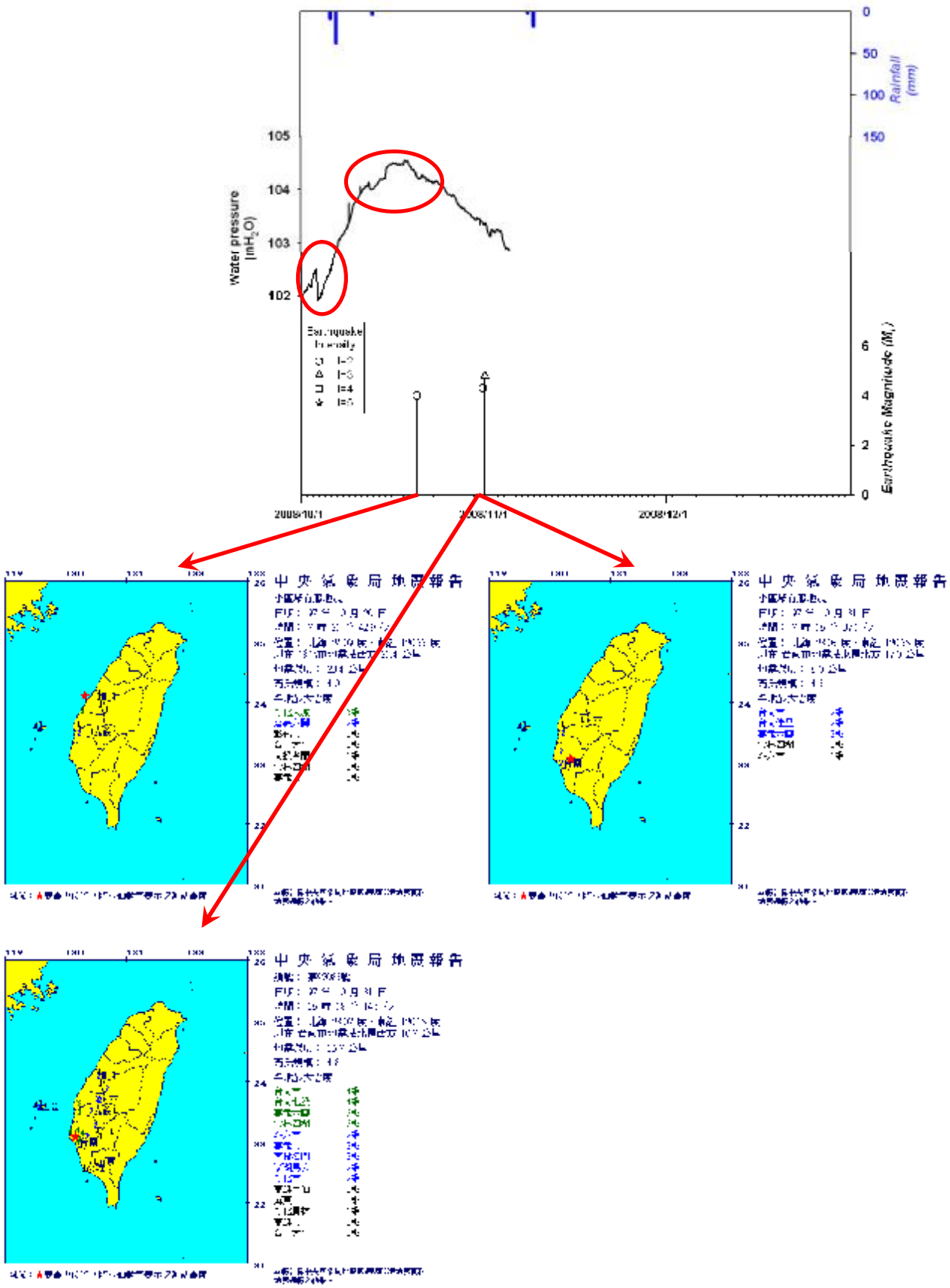


圖 4-10l：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/10/1-2008/11/4）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

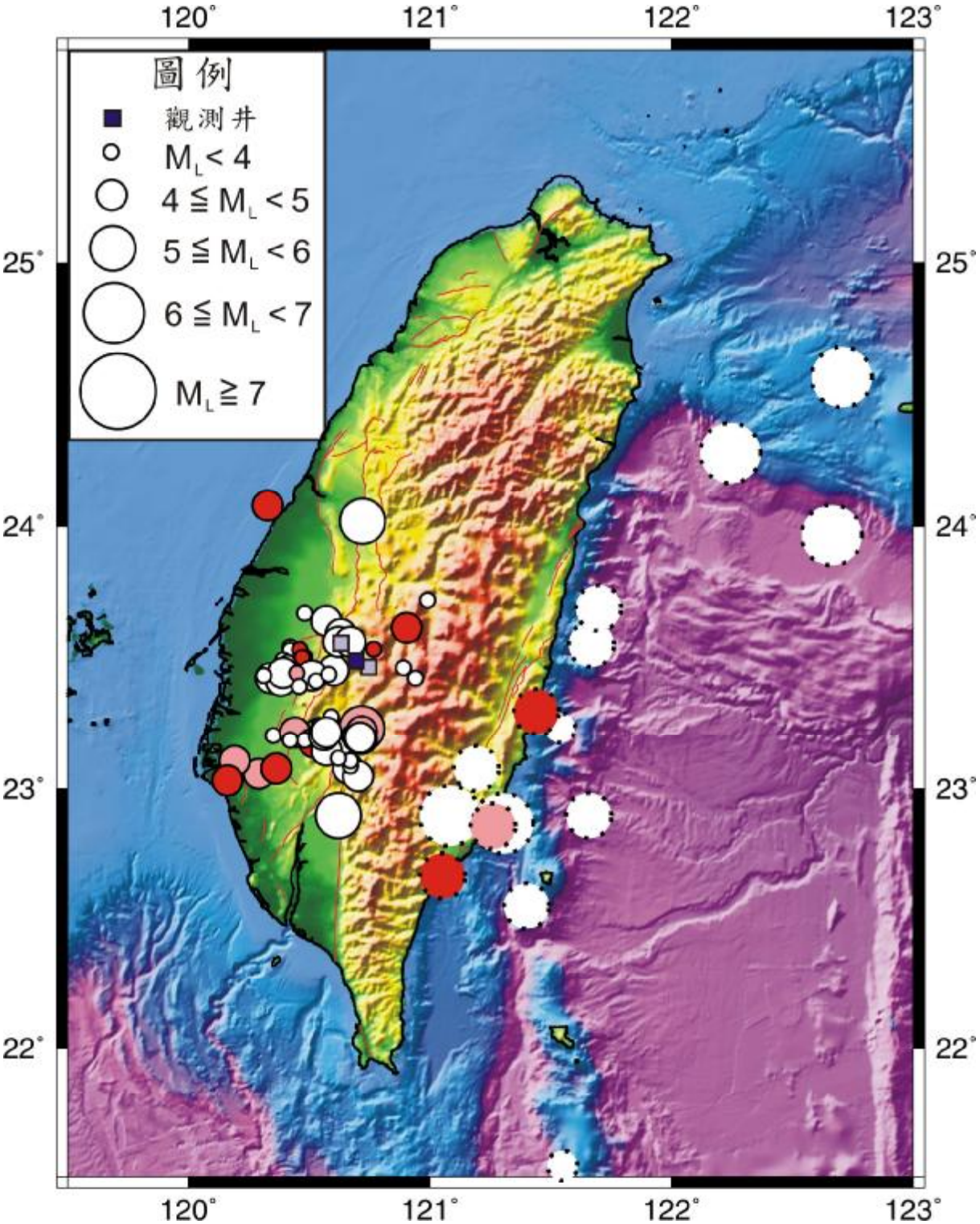


圖 4-11　嘉義縣中興國小觀測井在水壓記錄期間，震度 2 級以上地震之空間分布圖。其中深藍色為中興觀測井，淺藍色為太興與達邦觀測井。紅色圓圈為水壓變化後 10 天內發生之地震，粉紅色圓圈為水壓變化後 10 天以後發生之地震，白色圓圈則推測與水壓變化無關或無法分辨影響因子的地震。圓圈框線為實線者，為雲林、嘉義、台南和高雄一帶之地震，為虛線者，為上述地區以外的地震。

4-2.6 嘉義縣梅山鄉太興國小觀測站

本觀測站設於嘉義縣梅山鄉太興國小，所在位置如圖 4-12。自 2006 年 3 月開始，每分鐘記錄一次地下水壓資料。地下水壓與當地震度 2 級以上之地震以及降雨量之比對圖，繪於圖 4-13a 至 4-13l。水位記錄期間，震度 2 級以上地震之空間分布圖繪於圖 4-14。

2006 年 4 月 11 日發生地下水壓異常下降（圖 4-13b）。2006 年 6 月初水壓突然升降，推測主要因為雲嘉地震之震前反應（圖 4-13b）。2006 年 12 月 26 日 16 時，水壓突然大幅上升，研判為當日 20 時 26 分與 34 分發生恆春地震之震前反應（圖 4-13d）。2007 年 1 月 25 日水壓異常上升，研判與地震有關（圖 4-13e）。2008 年 2 月 18 日水壓異常上升（圖 4-13i），可能為當日東部地震之同震反應，但在 2 月底至 3 月初嘉南地區出現一系列地震，不排除為這些地震的震前反應。2008 年 5 月 12 日水壓上升，推測為中國汶川地震之同震現象。



圖 4-12：嘉義縣梅山鄉太興國小地下水壓觀測井（▲）位置圖。

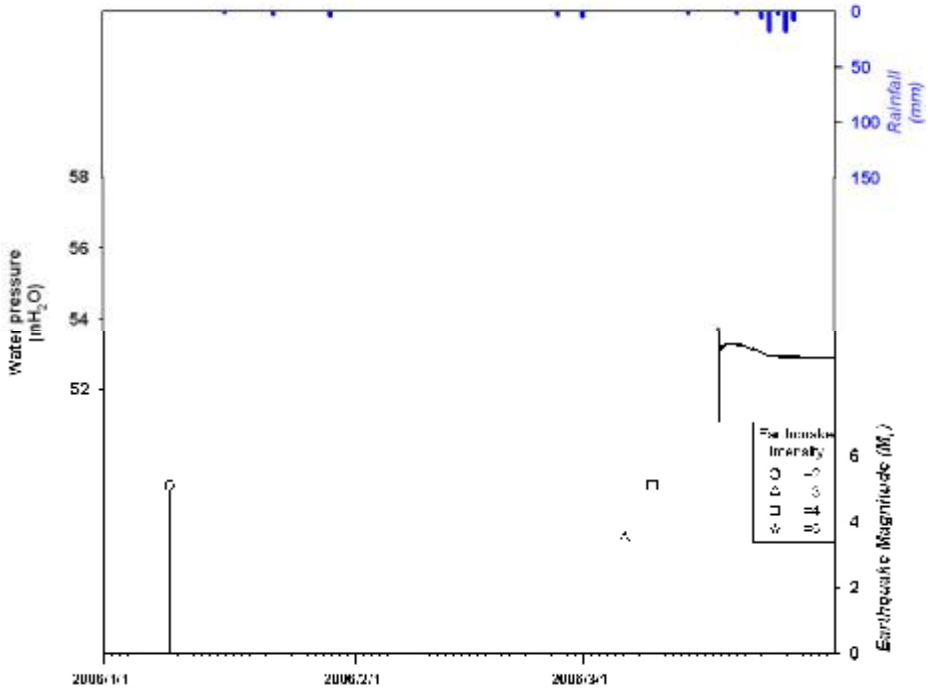


圖 4-13a：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/3/8-2006/3/31）。縱軸 water pressure 代表水壓計之上的水頭高度。以下各圖縱軸 water pressure 代表意義與本圖相同。

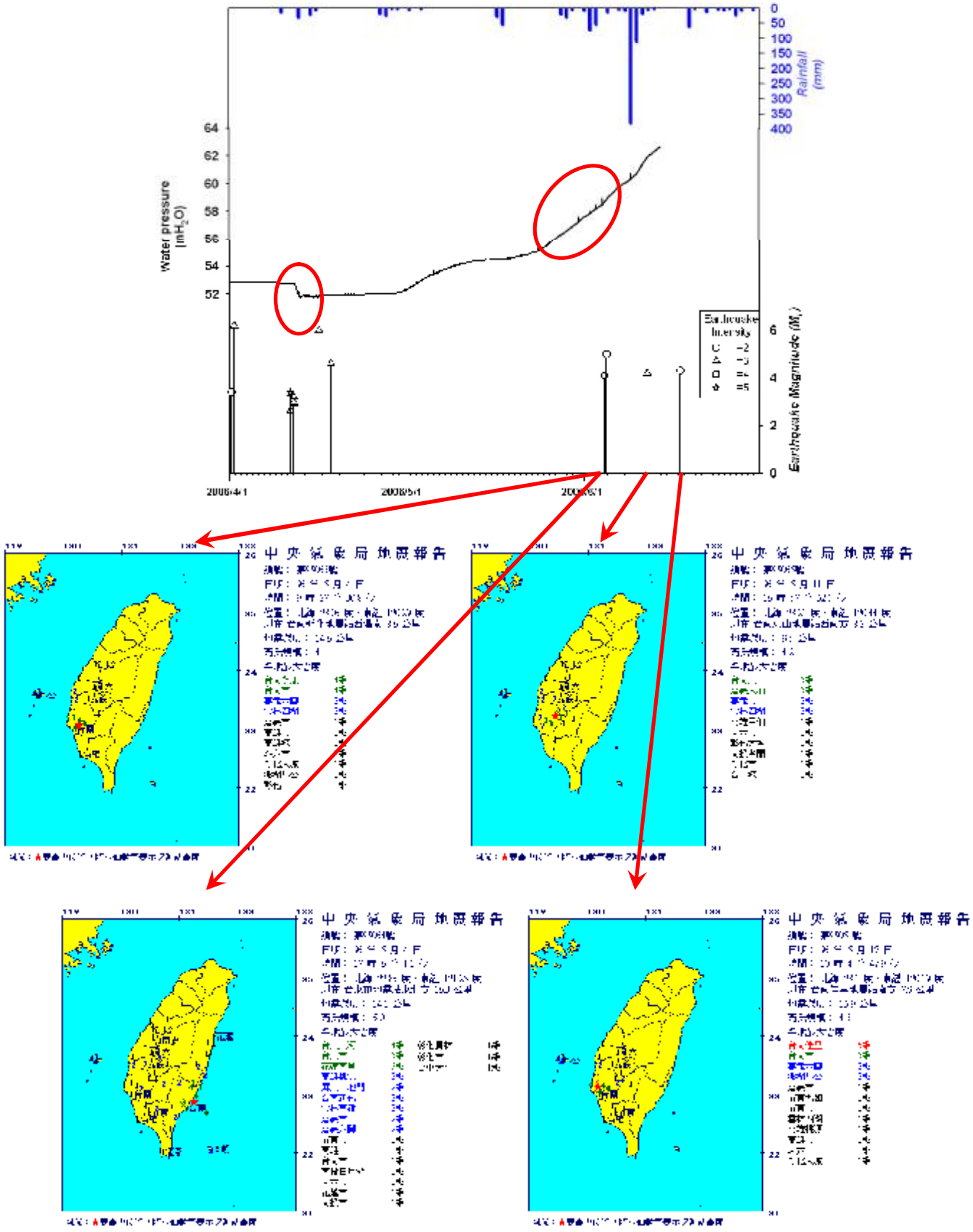


圖 4-13b：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/4/1-2006/6/30）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

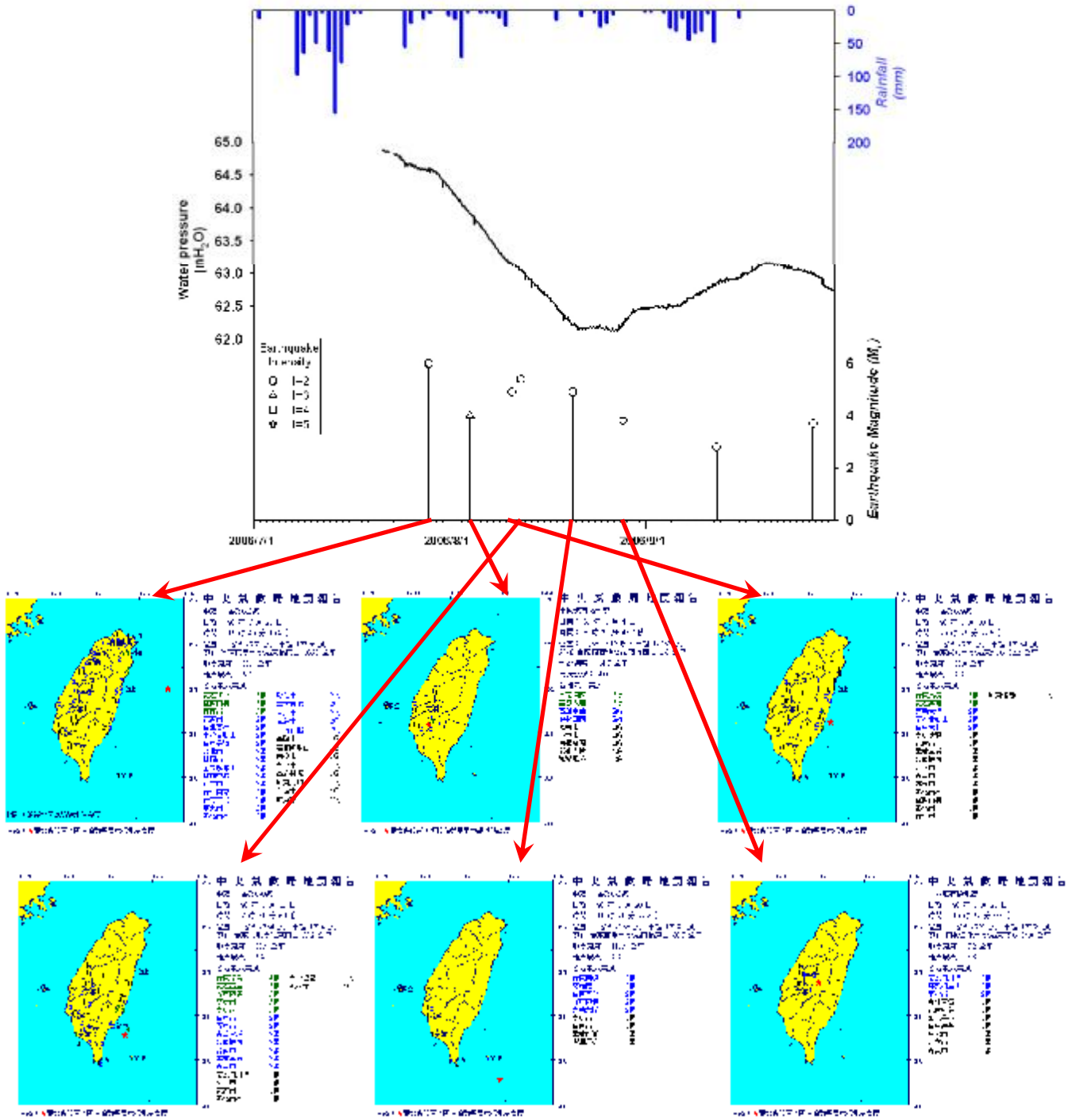


圖 4-13c：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/7/1-2006/9/30）。

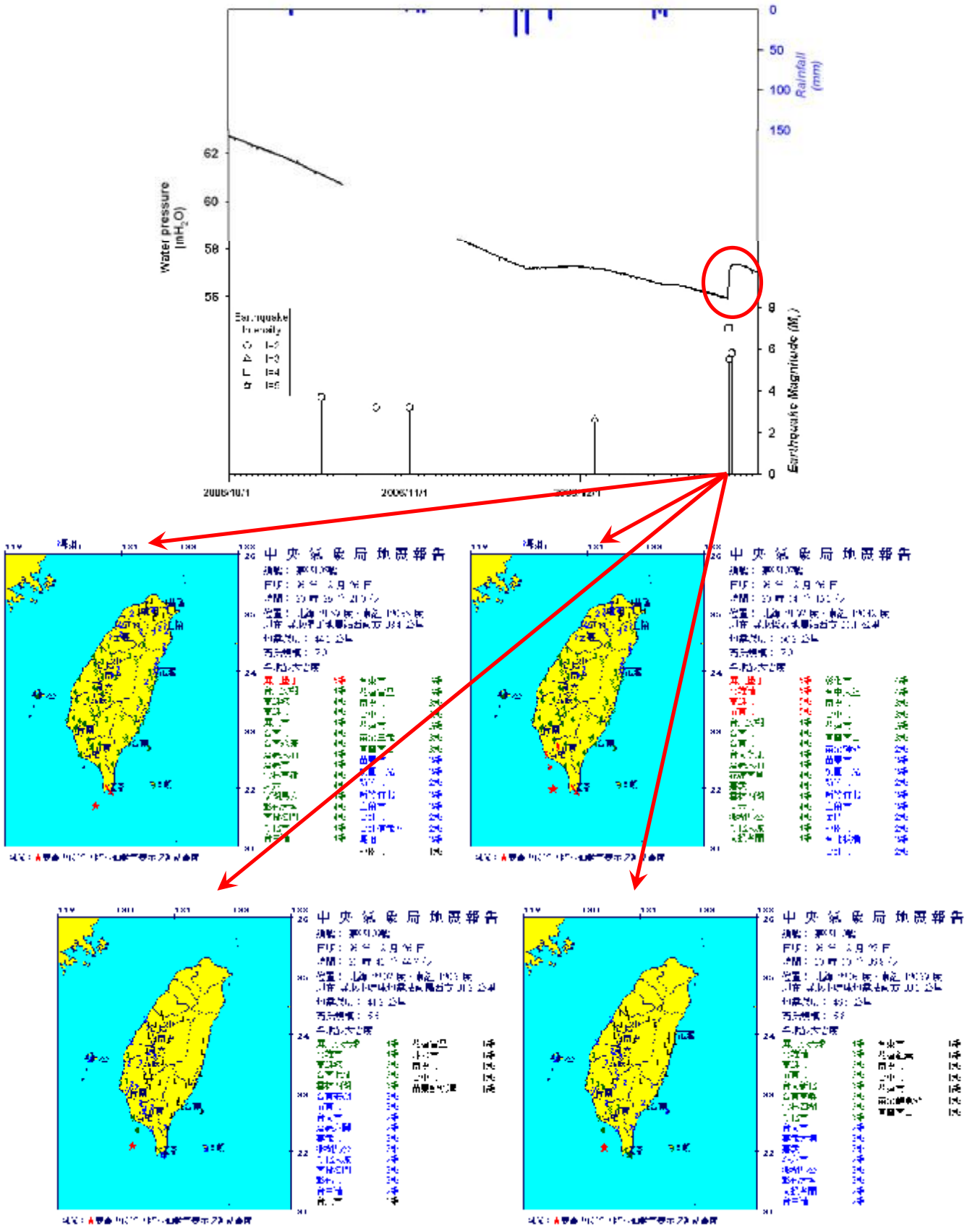


圖 4-13d：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/10/1-2006/12/31）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

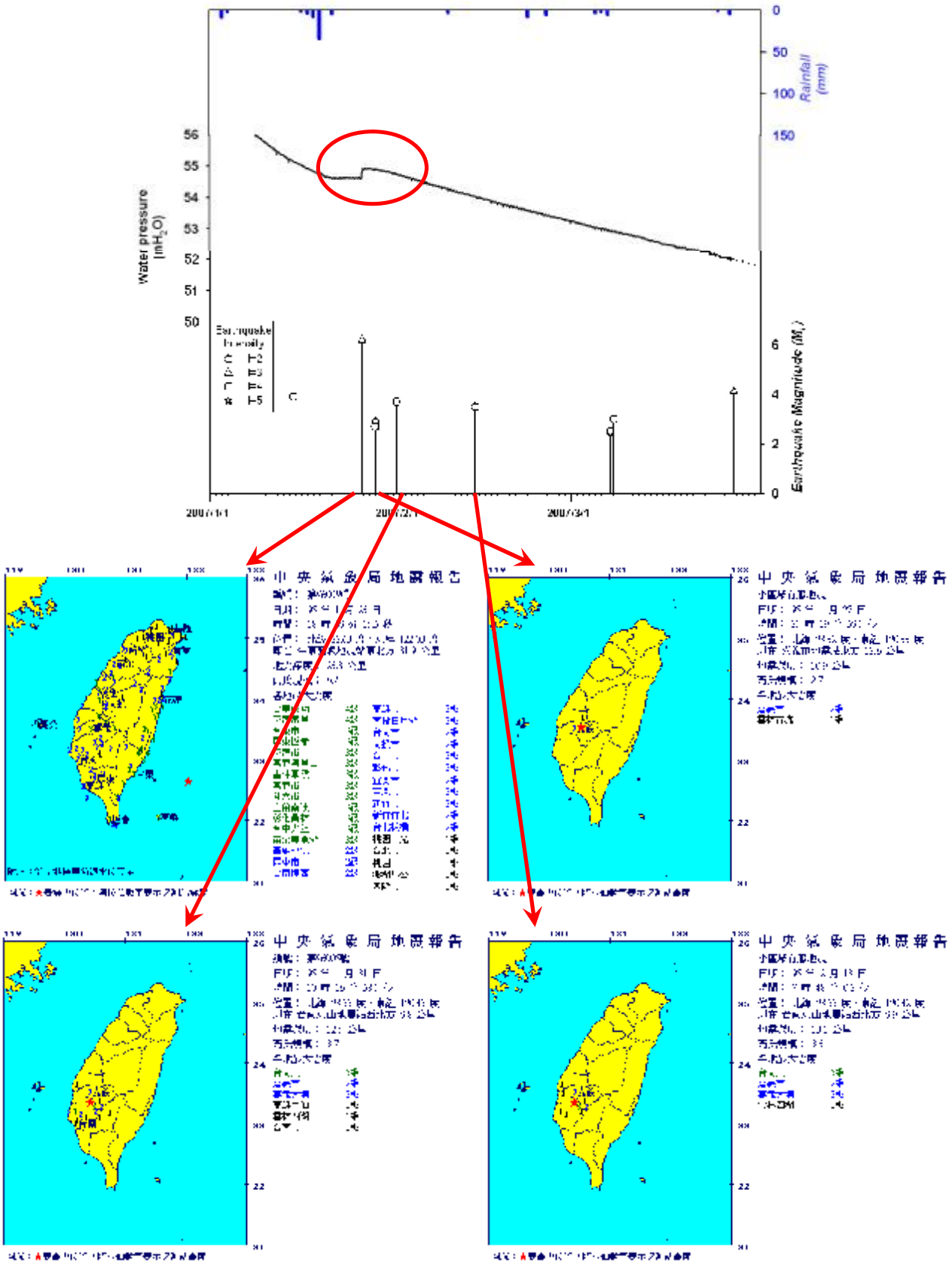


圖 4-13e：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/1/1-2007/3/31）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

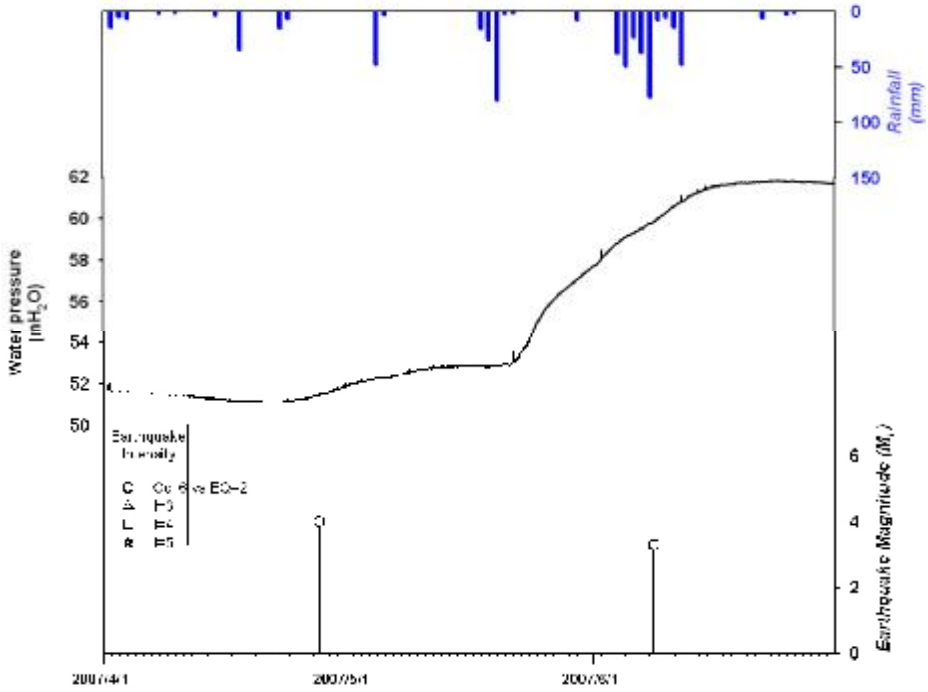


圖 4-13f：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/4/1-2007/6/30）。

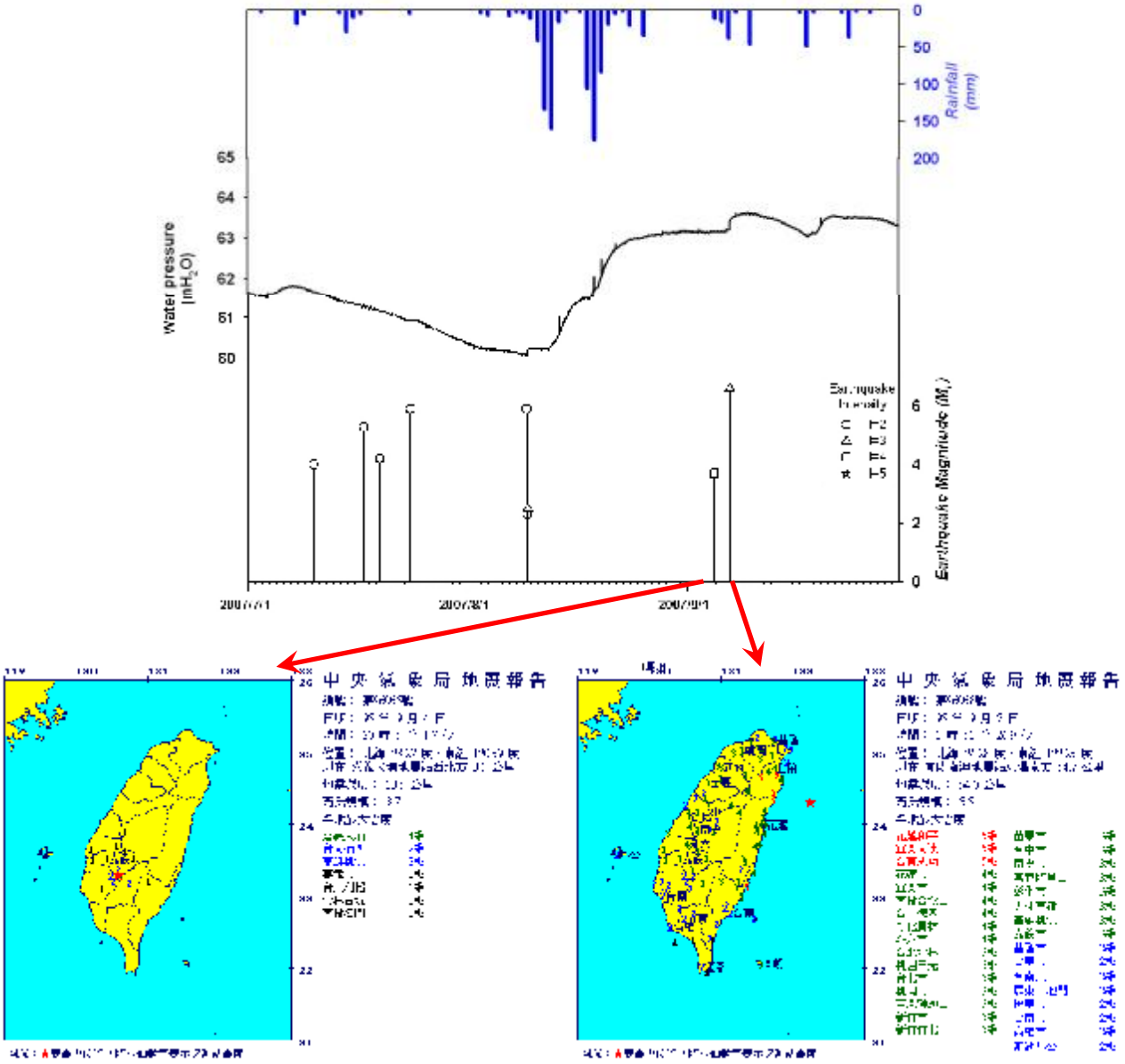


圖 4-13g：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/7/1-2007/9/30）。

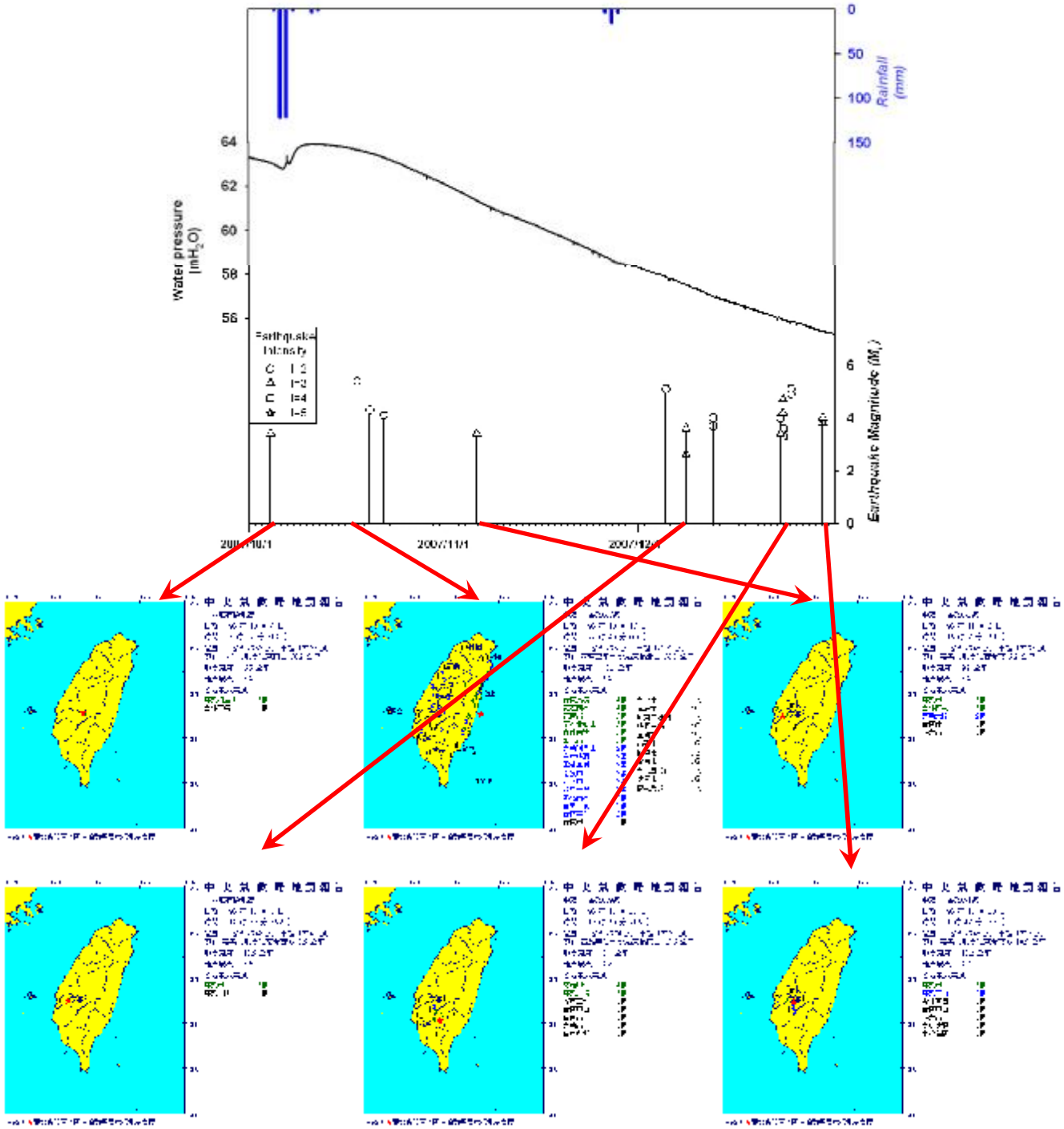


圖 4-13h：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖(2007/10/1-2007/12/31)。

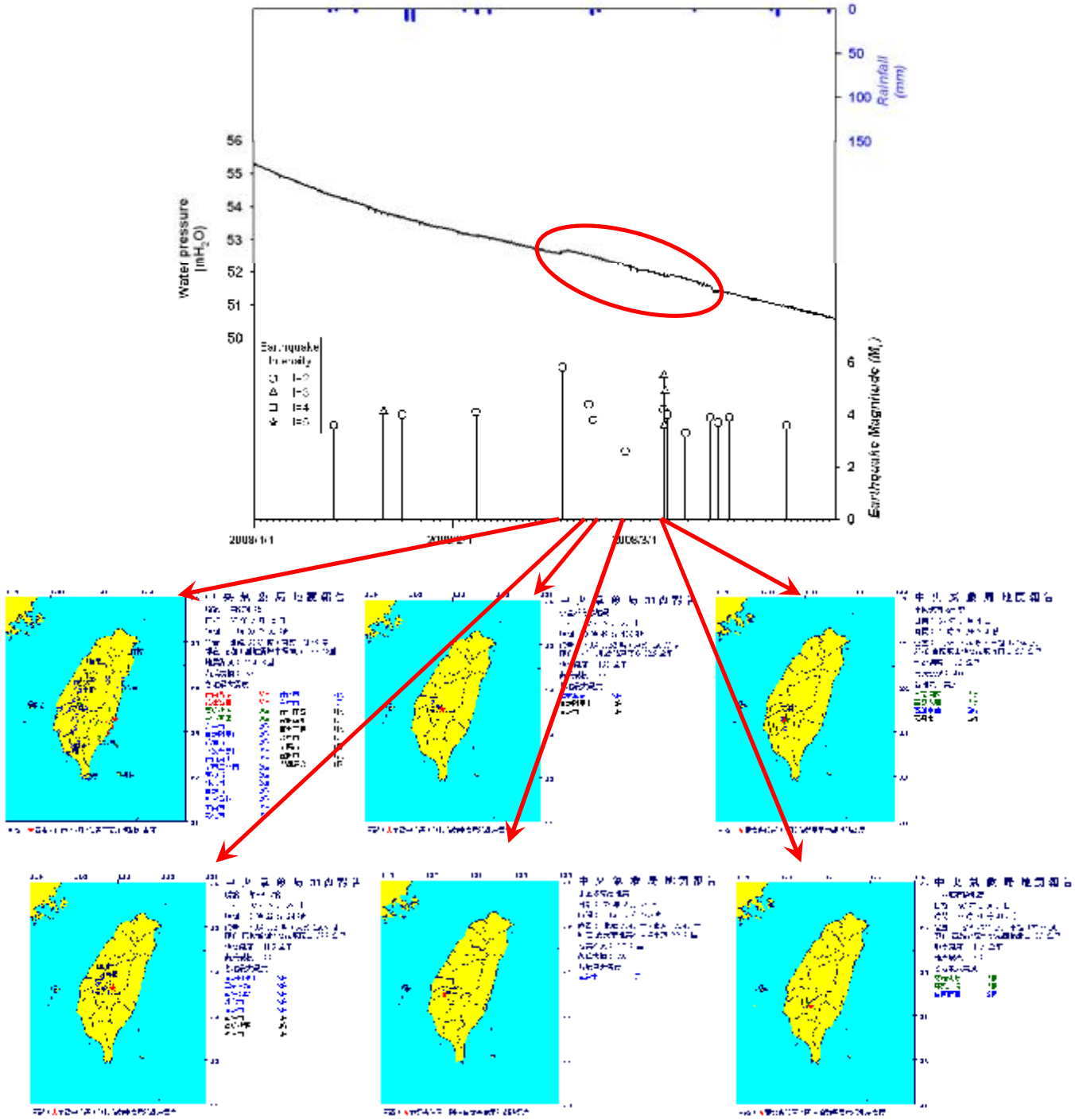


圖 4-13i：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

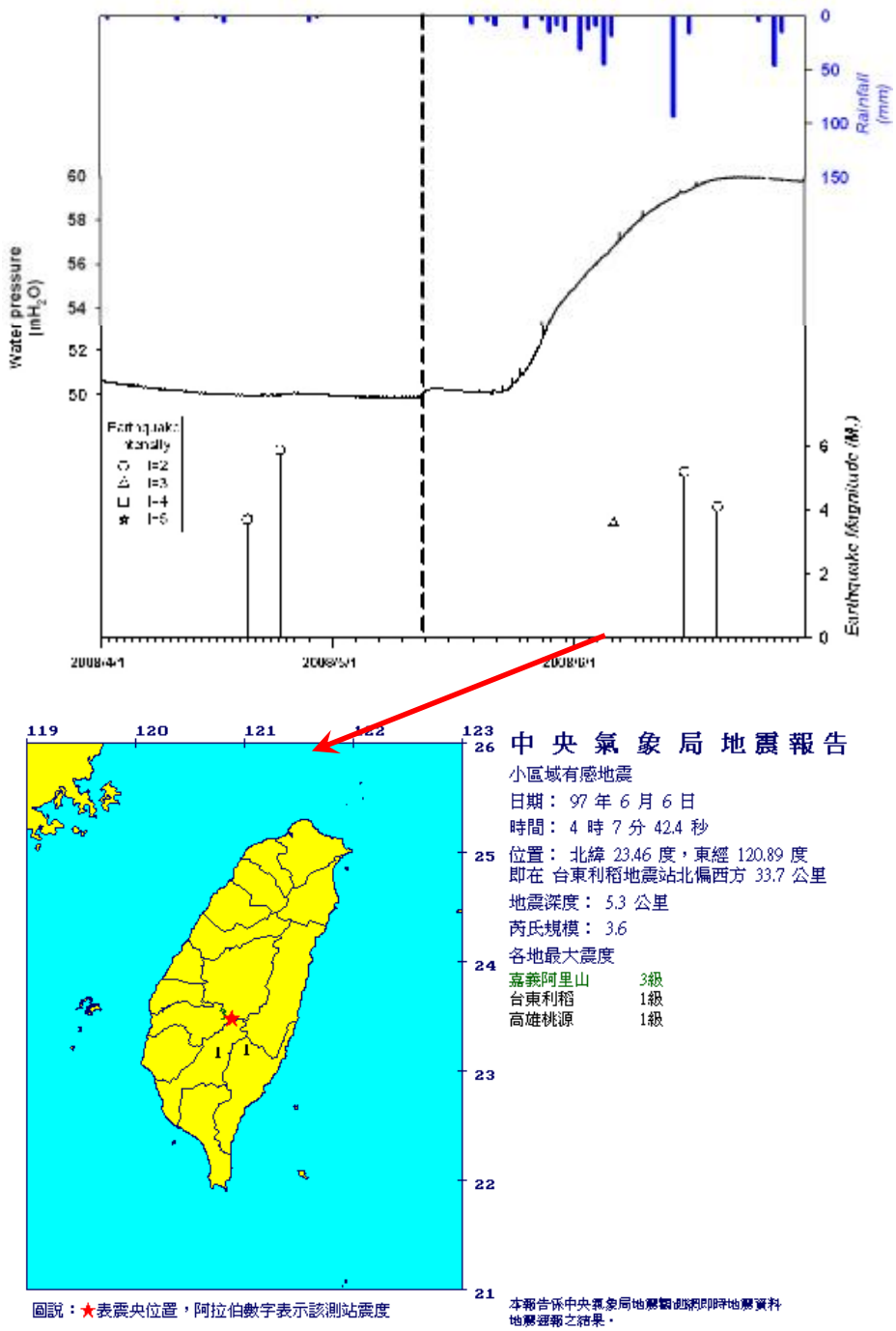


圖 4-13j：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。虛線位置 2008 年 5 月 12 日之中國汶川地震時間。

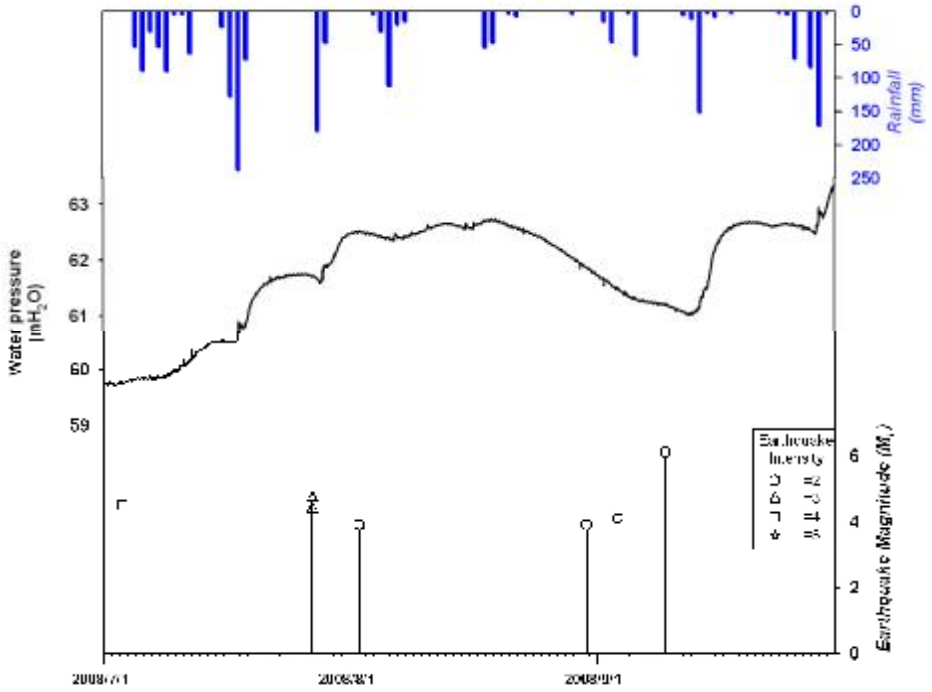


圖 4-13k：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/7/1-2008/9/30）。

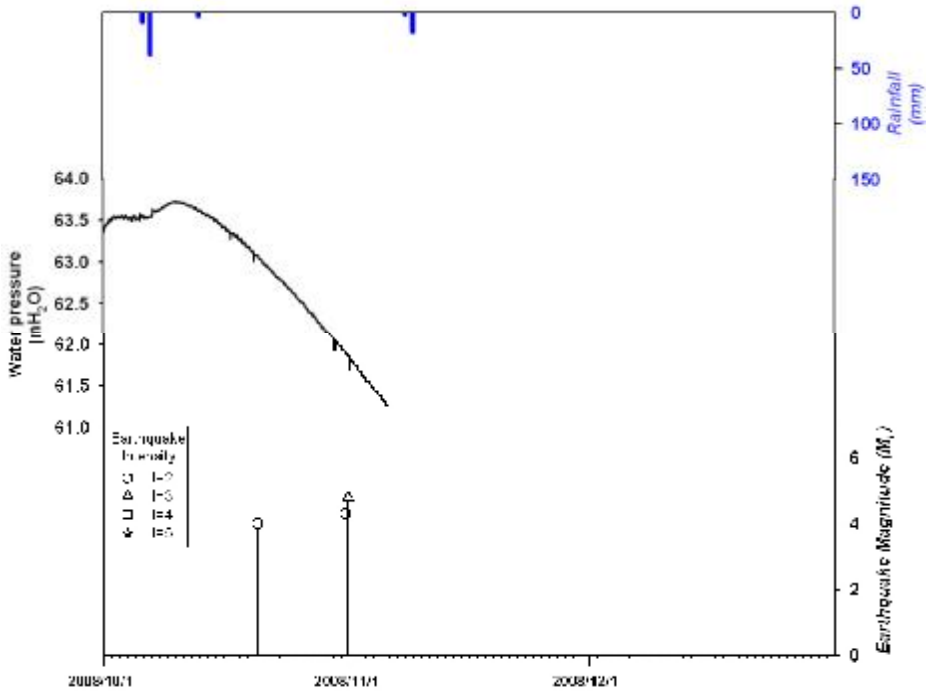


圖 4-13l：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/10/1-2008/11/5）。

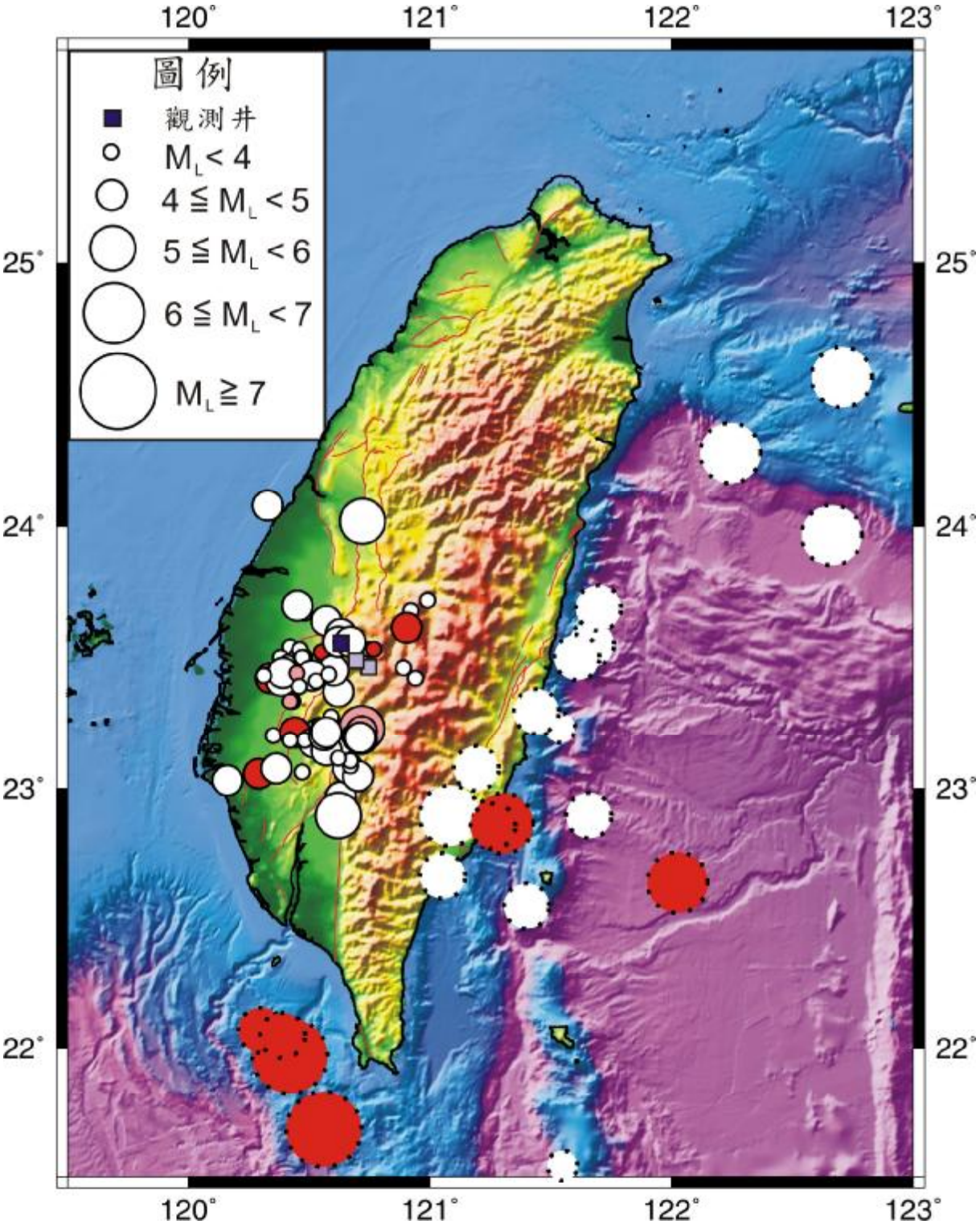


圖 4-14　嘉義縣太興國小觀測井在水壓記錄期間，震度 2 級以上地震之空間分布圖。其中深藍色為中興觀測井，淺藍色為中興與達邦觀測井。紅色圓圈為水壓變化後 10 天內發生之地震，粉紅色圓圈為水壓變化後 10 天以後發生之地震，白色圓圈則推測與水壓變化無關或無法分辨影響因子的地震。圓圈框線為實線者，為雲林、嘉義、台南和高雄一帶之地震，為虛線者，為上述地區以外的地震。

4-2.7 嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測站

本觀測站設於嘉義縣阿里山鄉達邦國小，所在位置如圖 4-15 所示。每分鐘記錄一筆資料。本站地下水壓、當地震度 2 級以上之地震及降雨量資料繪於圖 4-16a 至 4-16i。水位記錄期間，震度 2 級以上地震之空間分布圖也繪於圖 4-17。嘉義縣中興、太興及達邦三個觀測井自 2008 年以來的水位變化的對比，也繪於圖 4-18a 至 4-18e。

2006 年 12 月 26 日 20 時 28 分，原本降低之水壓突然驟降再升高，故推論為當日 20 時 26 分恆春地震之同震反應（圖 4-16a）。2007 年 3 月 15 日，水壓持平，直至 3 月 23 日水壓下降，此期間並無降雨， 3 月 27 日 13 時 16 分嘉義草山地震站東方 2.9 公里處，發生芮氏規模 4.1 之地震，研判此水壓變化與此地震震前應力場變化有關（圖 4-16b）。2008 年 2 月 18 日，出現水壓異常上升之地下水壓異常變化（圖 4-16f；圖 4-18b），推測與太興站相同，可能為當日東部地震之同震反應，或 2 月底至 3 月初嘉南地區出現一系列地震的震前反應。2008 年 5 月 12 日水壓上升，應為中國汶川地震之同震現象。

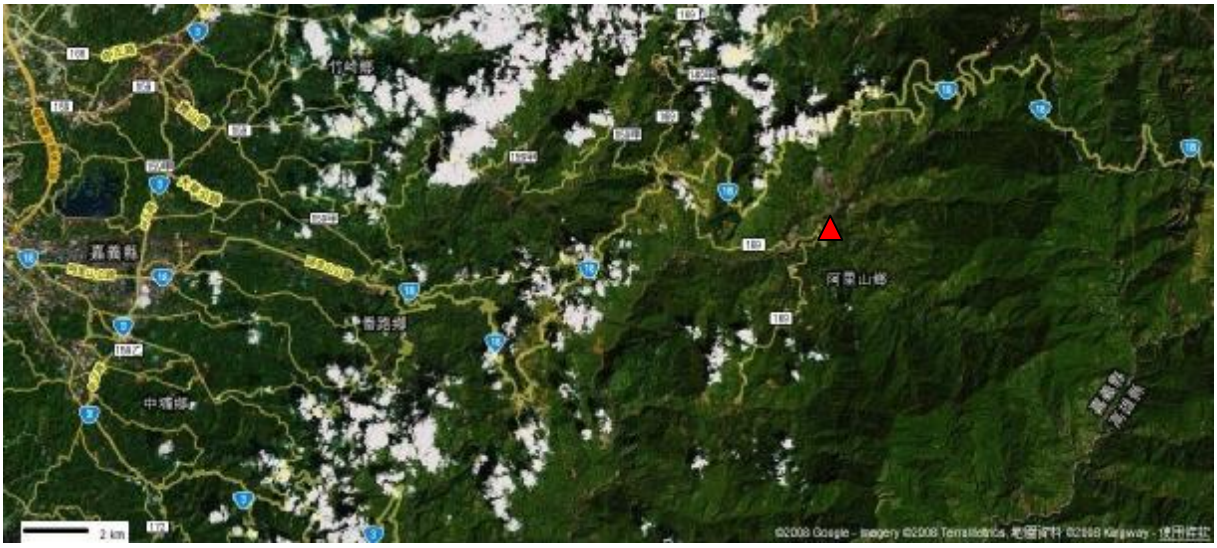


圖 4-15：嘉義縣阿里山鄉達邦國小地下水壓觀測井（▲）位置圖。

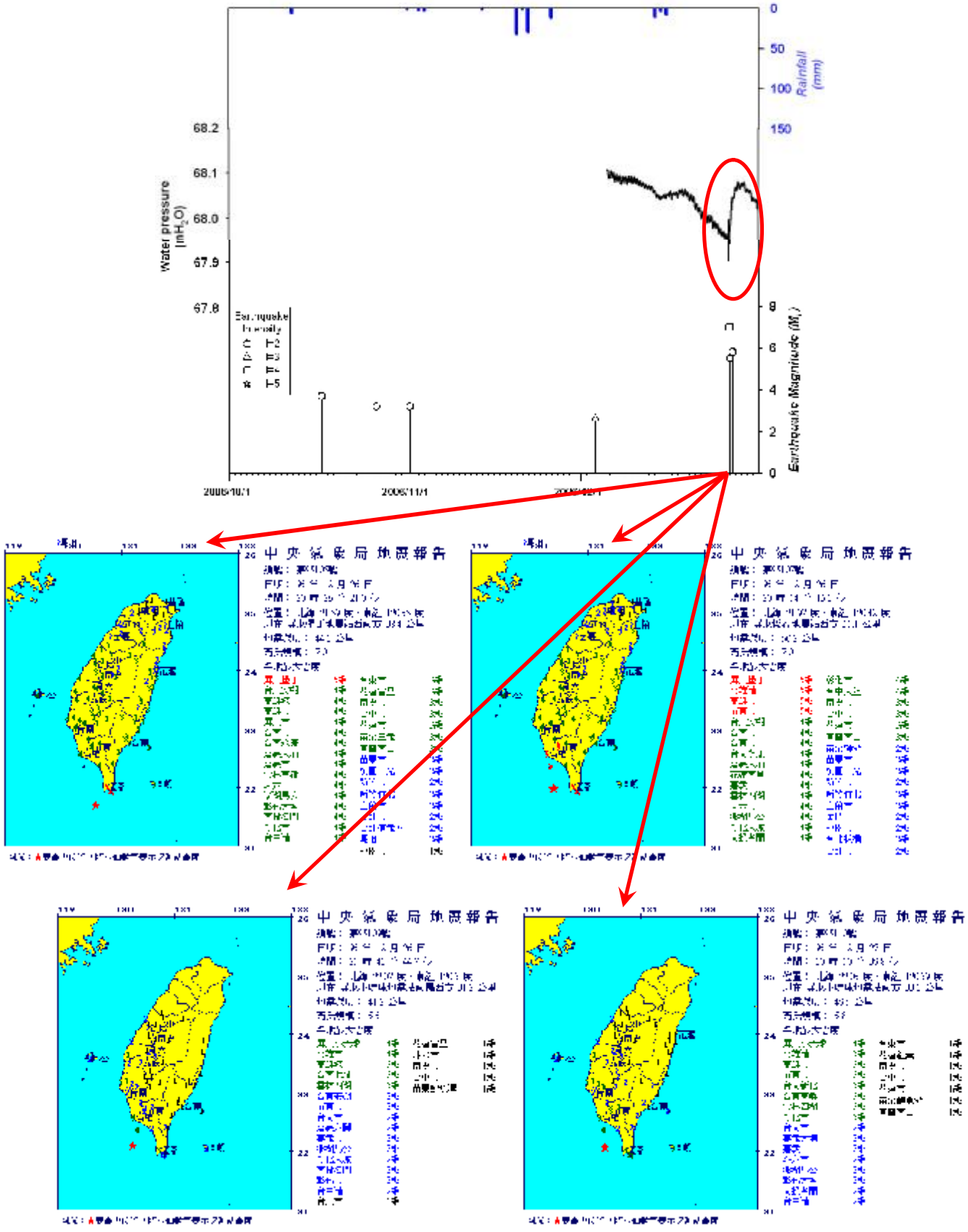


圖 4-16a：嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/12/5-2008/12/31）。縱軸 water pressure 代表水壓計之上的水頭高度。以下各圖縱軸 water pressure 代表意義與本圖相同。

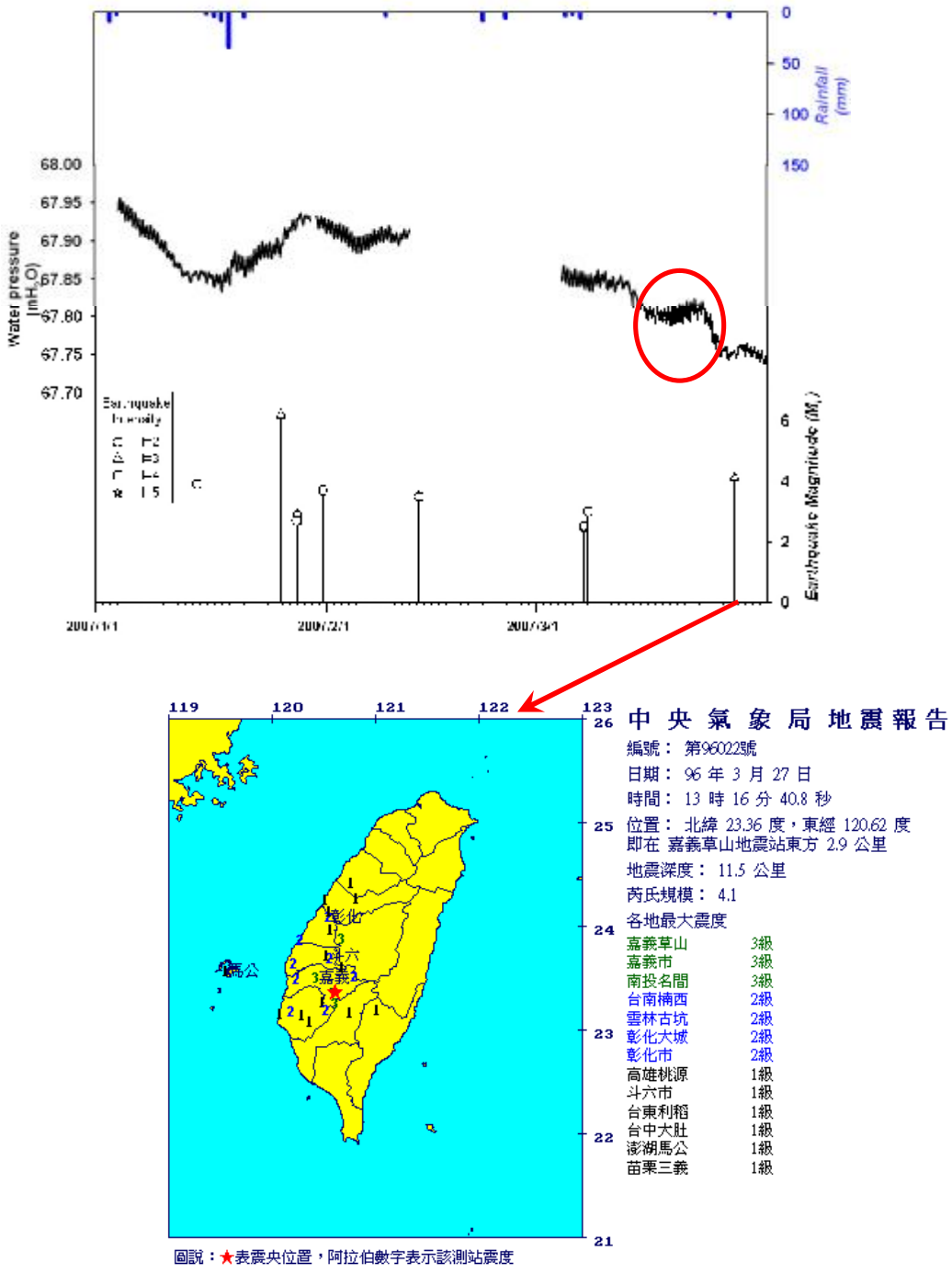


圖 4-16b：嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/1/1-2007/3/31）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

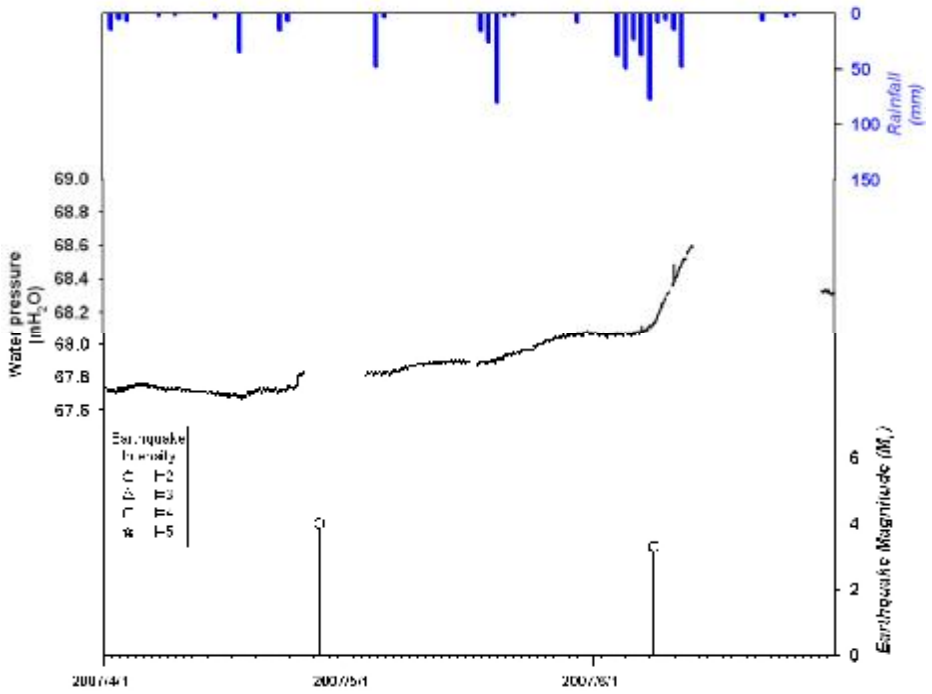


圖 4-16c：嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/4/1-2007/6/30）。

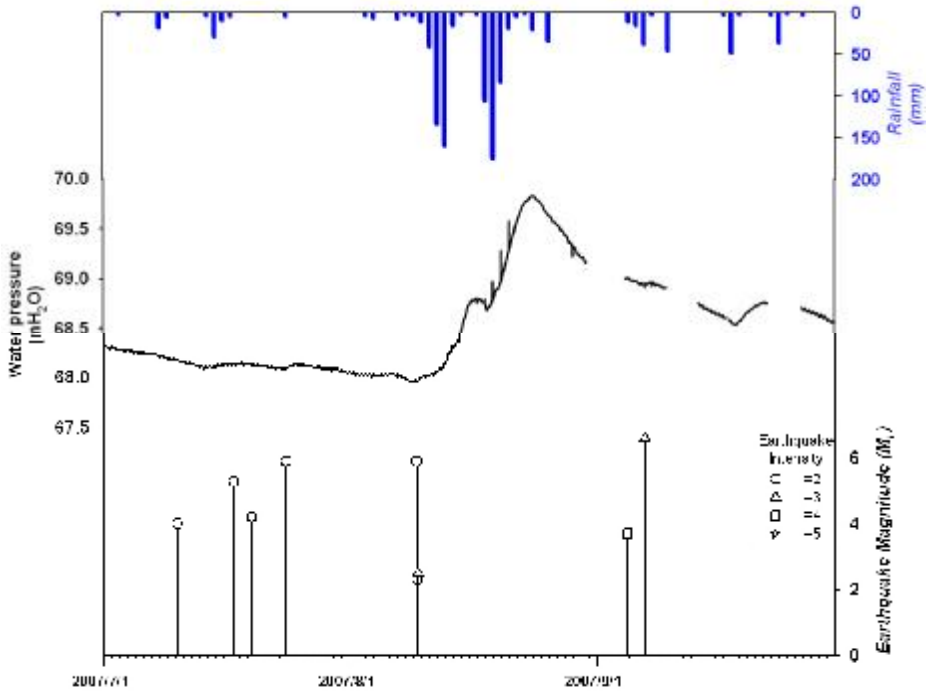


圖 4-16d：嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/7/1-2007/9/30）。

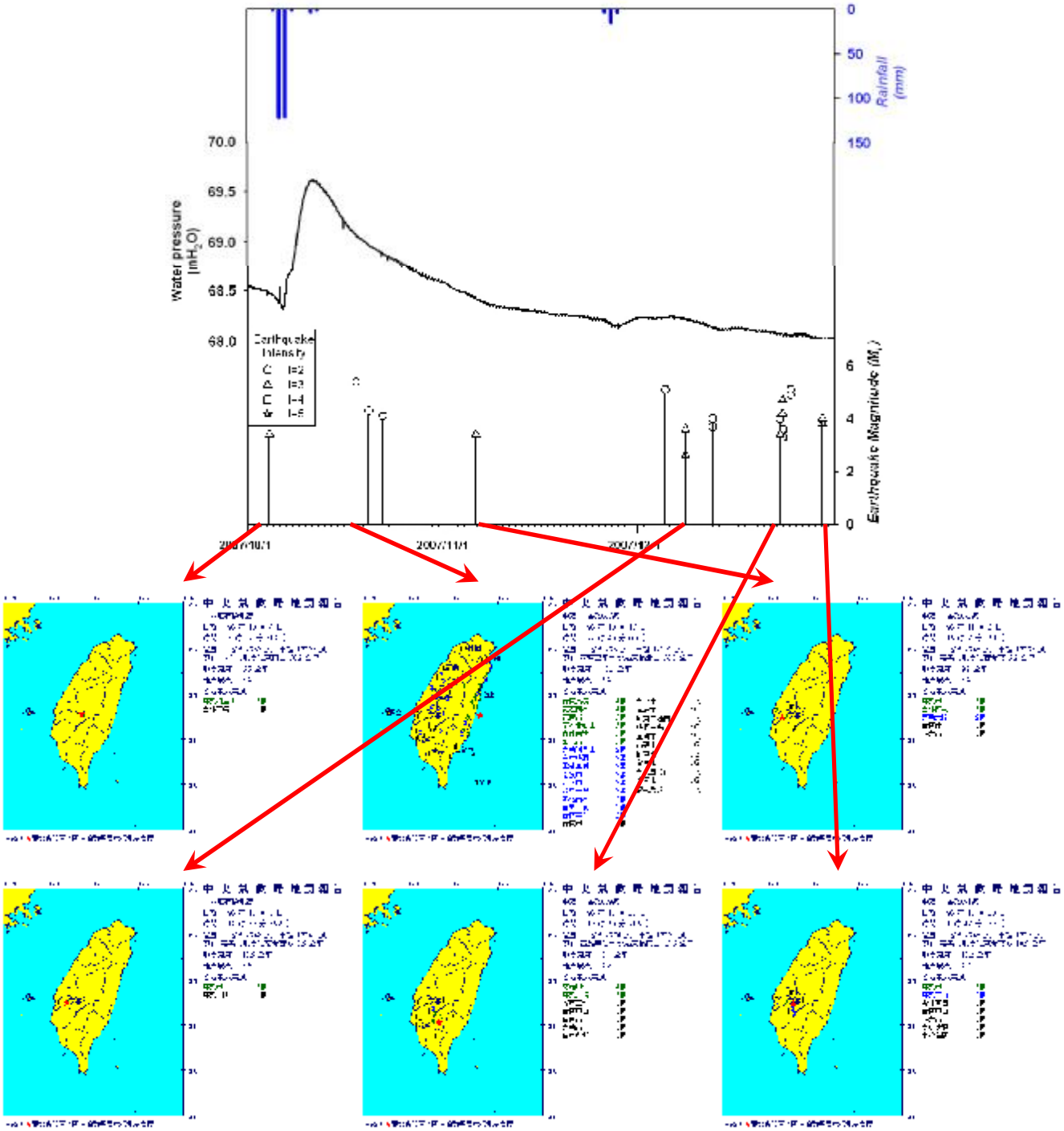


圖 4-16e：嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/10/1-2007/12/31）。

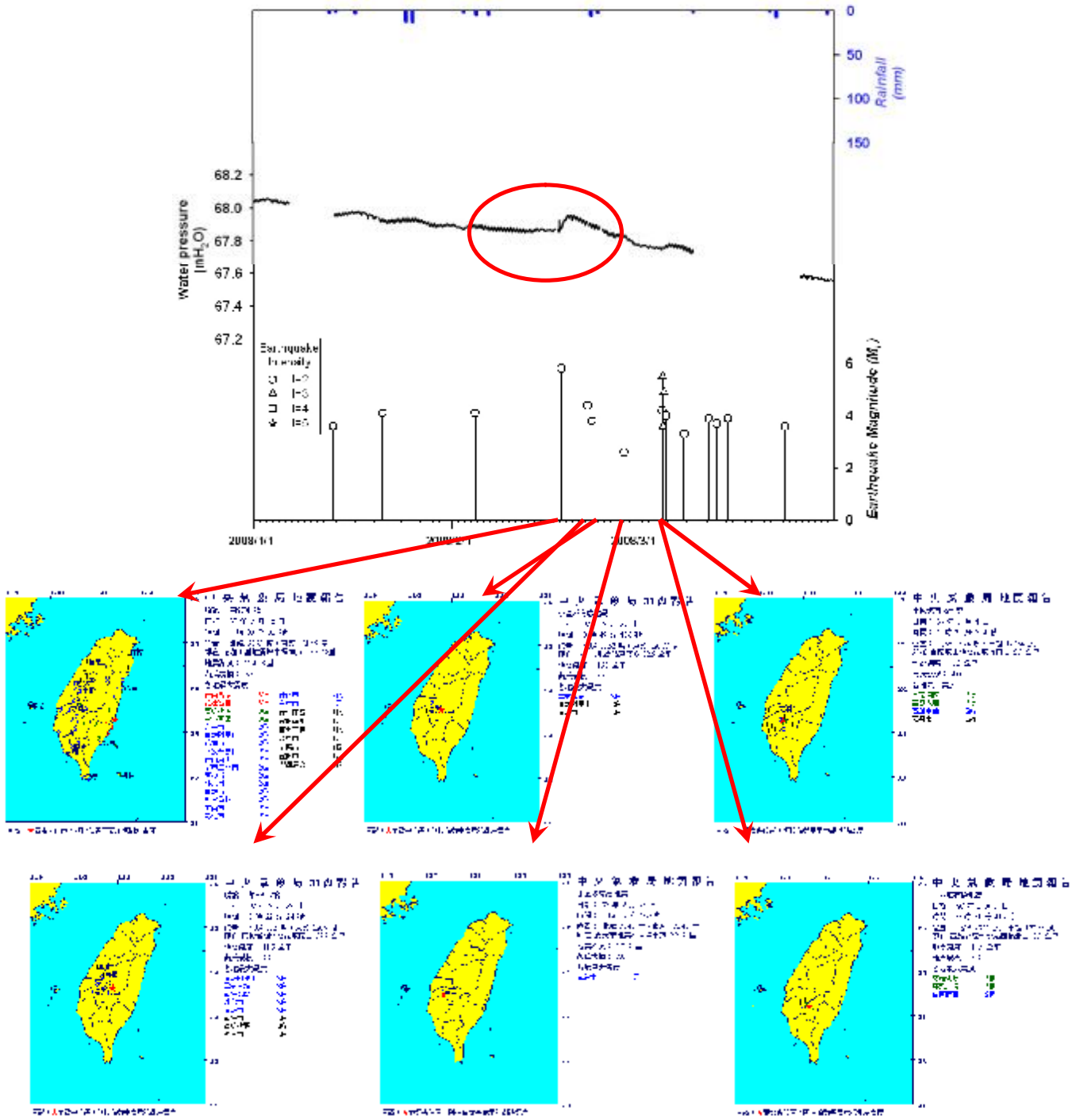


圖 4-16f：嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

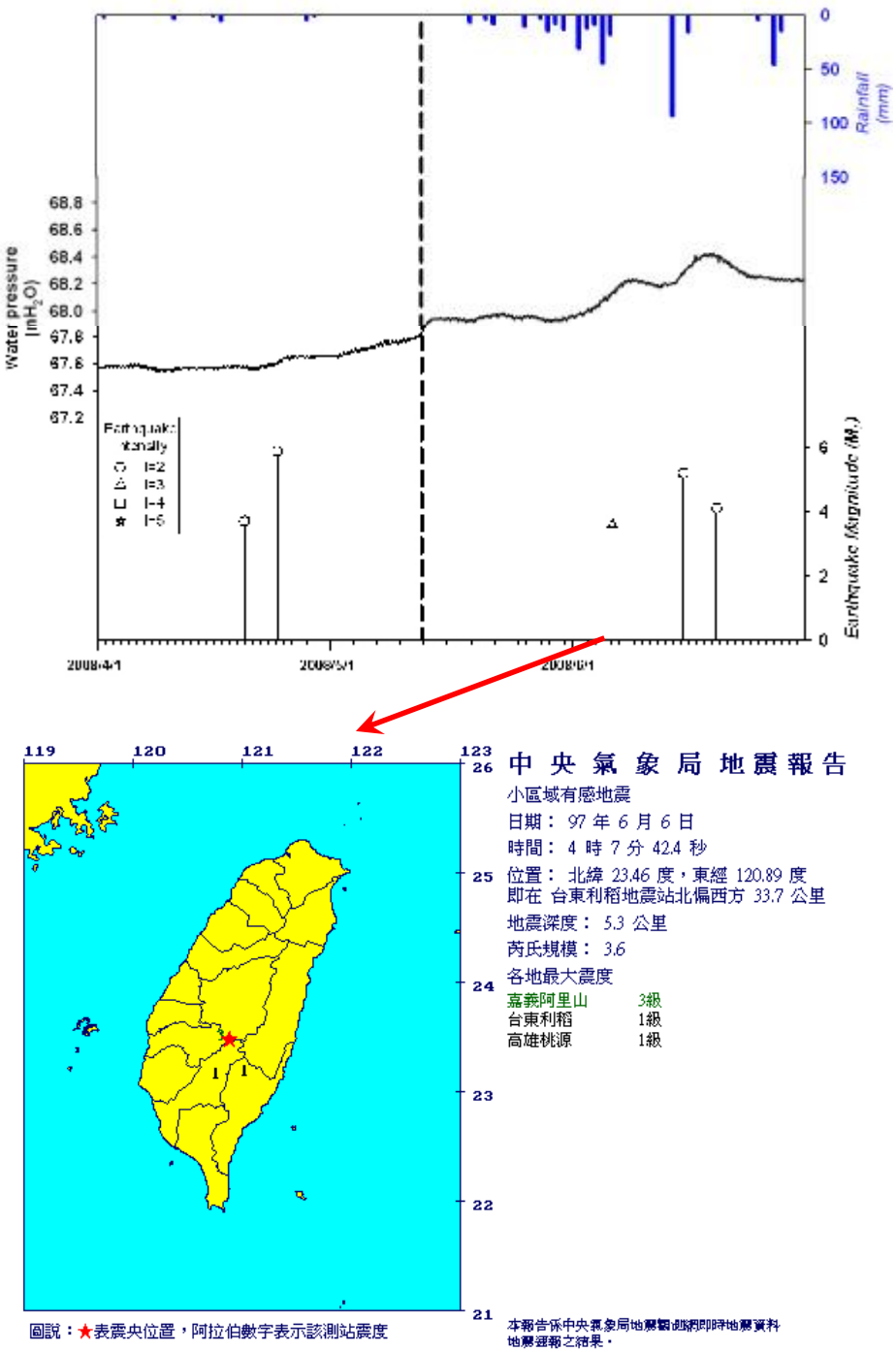


圖 4-16g：嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。虛線位置 2008 年 5 月 12 日之中國汶川地震時間。

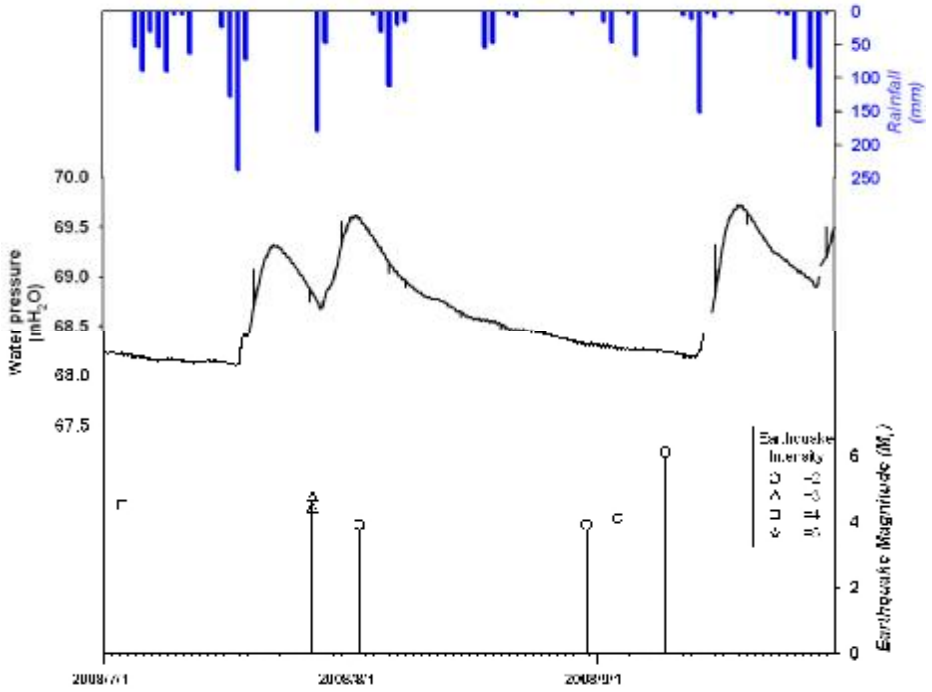


圖 4-16h：嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/7/1-2008/9/30）。

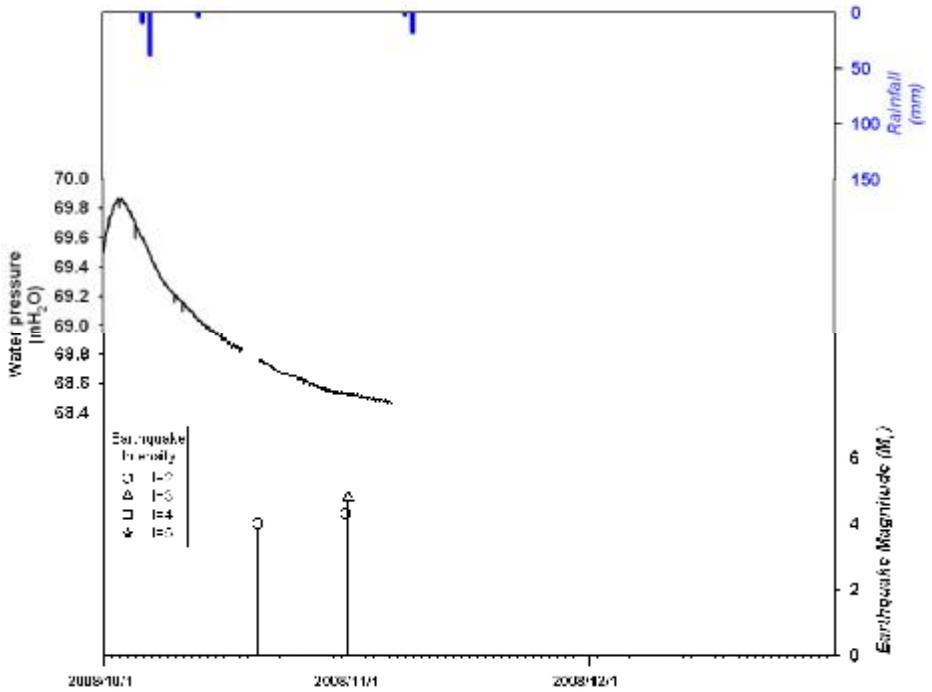


圖 4-16i：嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/10/1-2008/11/6）。

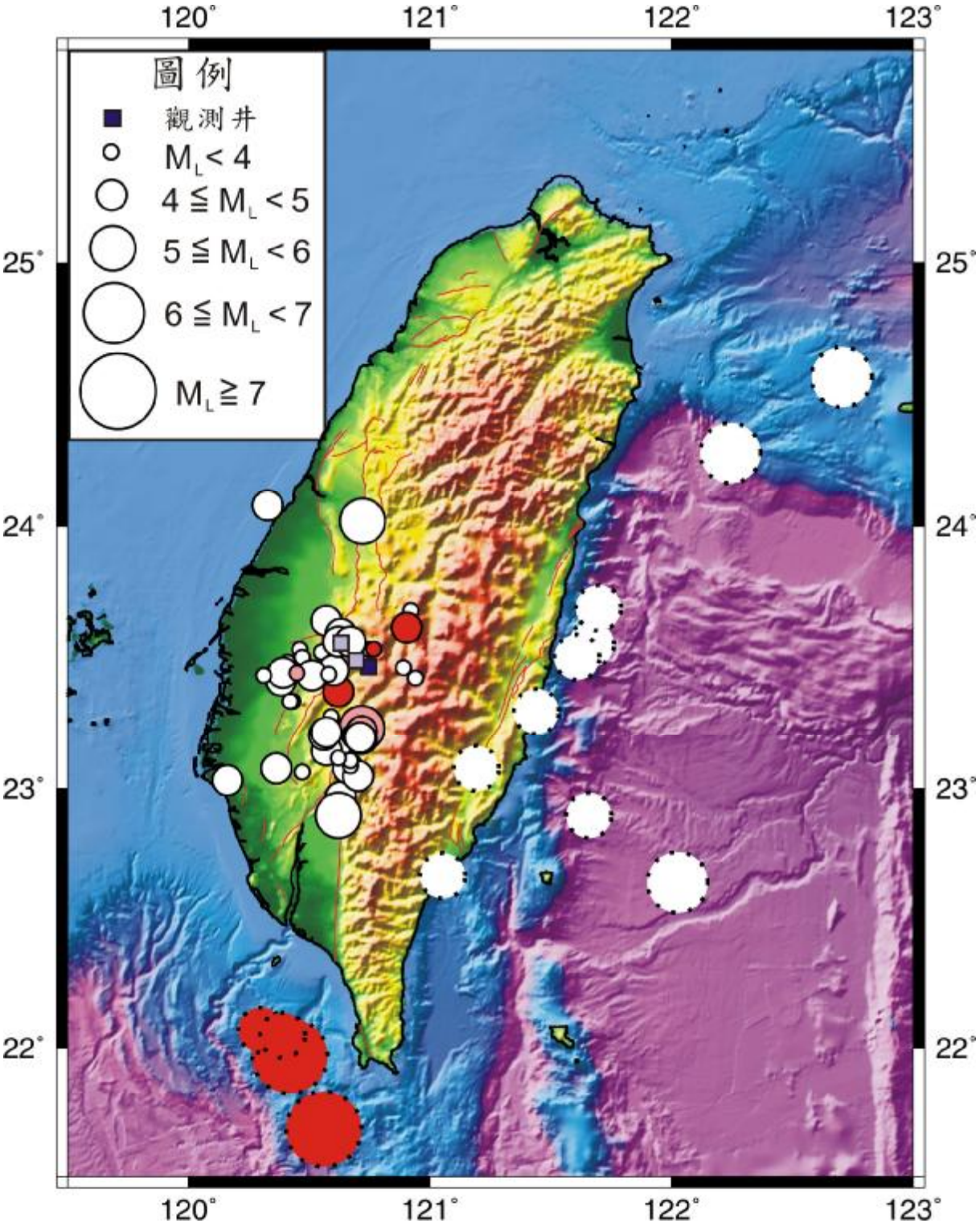


圖 4-17　嘉義縣達邦國小觀測井在水壓記錄期間，震度 2 級以上地震之空間分布圖。其中深藍色為中興觀測井，淺藍色為中興與太興觀測井。紅色圓圈為水壓變化後 10 天內發生之地震，粉紅色圓圈為水壓變化後 10 天以後發生之地震，白色圓圈則推測與水壓變化無關或無法分辨影響因子的地震。圓圈框線為實線者，為雲林、嘉義、台南和高雄一帶之地震，為虛線者，為上述地區以外的地震。

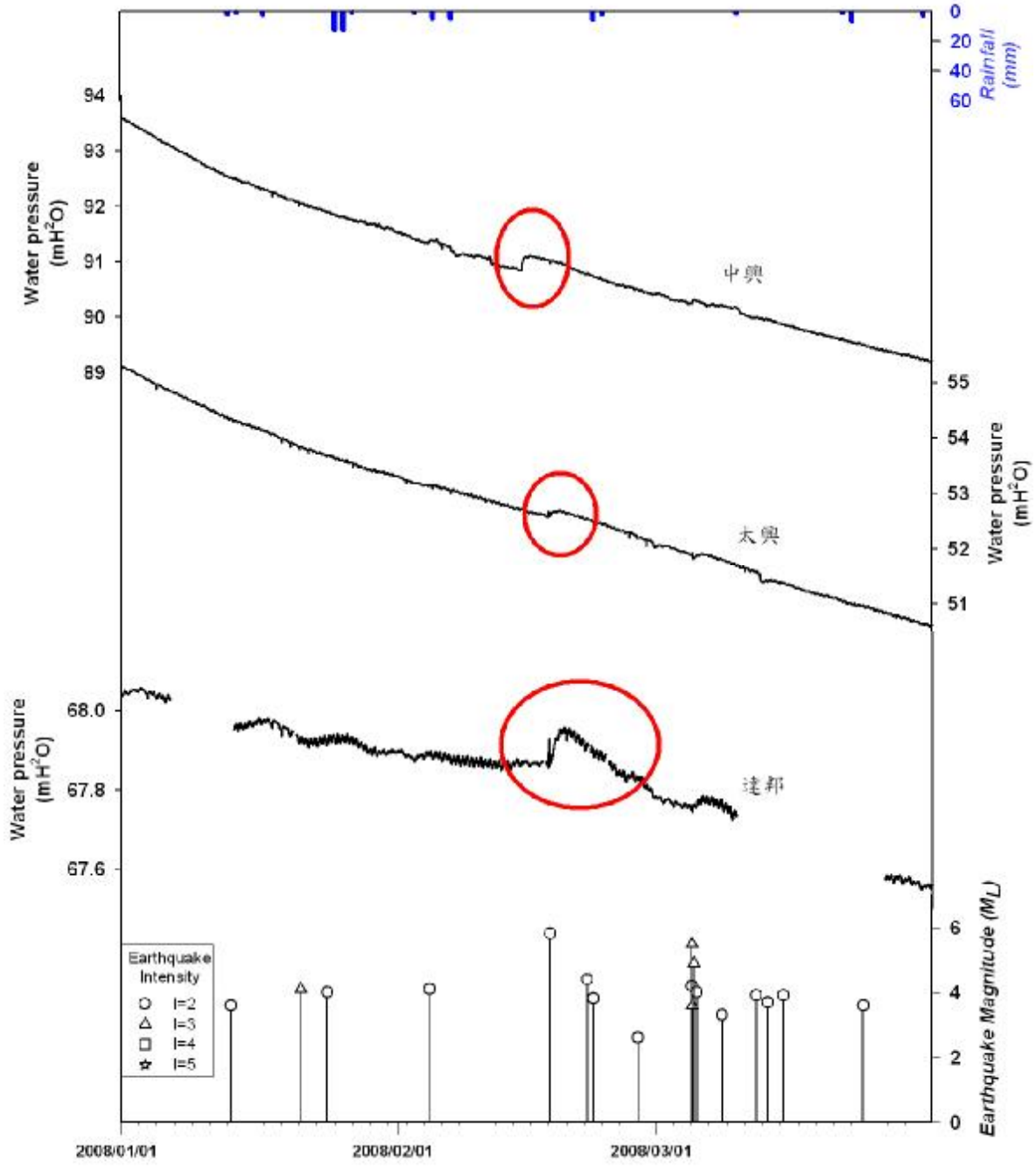


圖 4-18a：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。縱軸 water pressure 代表水壓計之上的水頭高度。以下各圖縱軸 water pressure 代表意義與本圖相同。

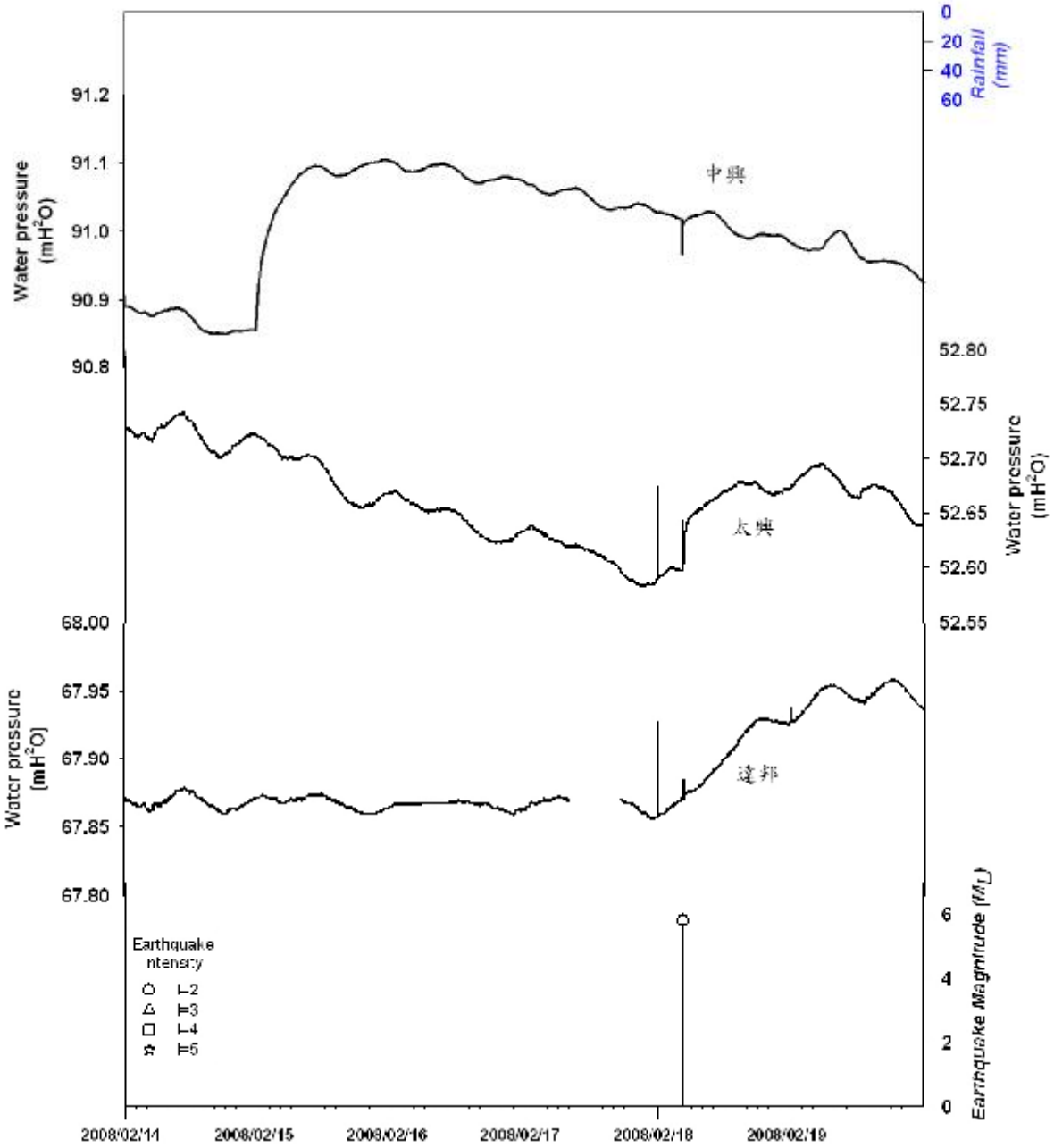


圖 4-18b：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/2/14-2008/2/19）。

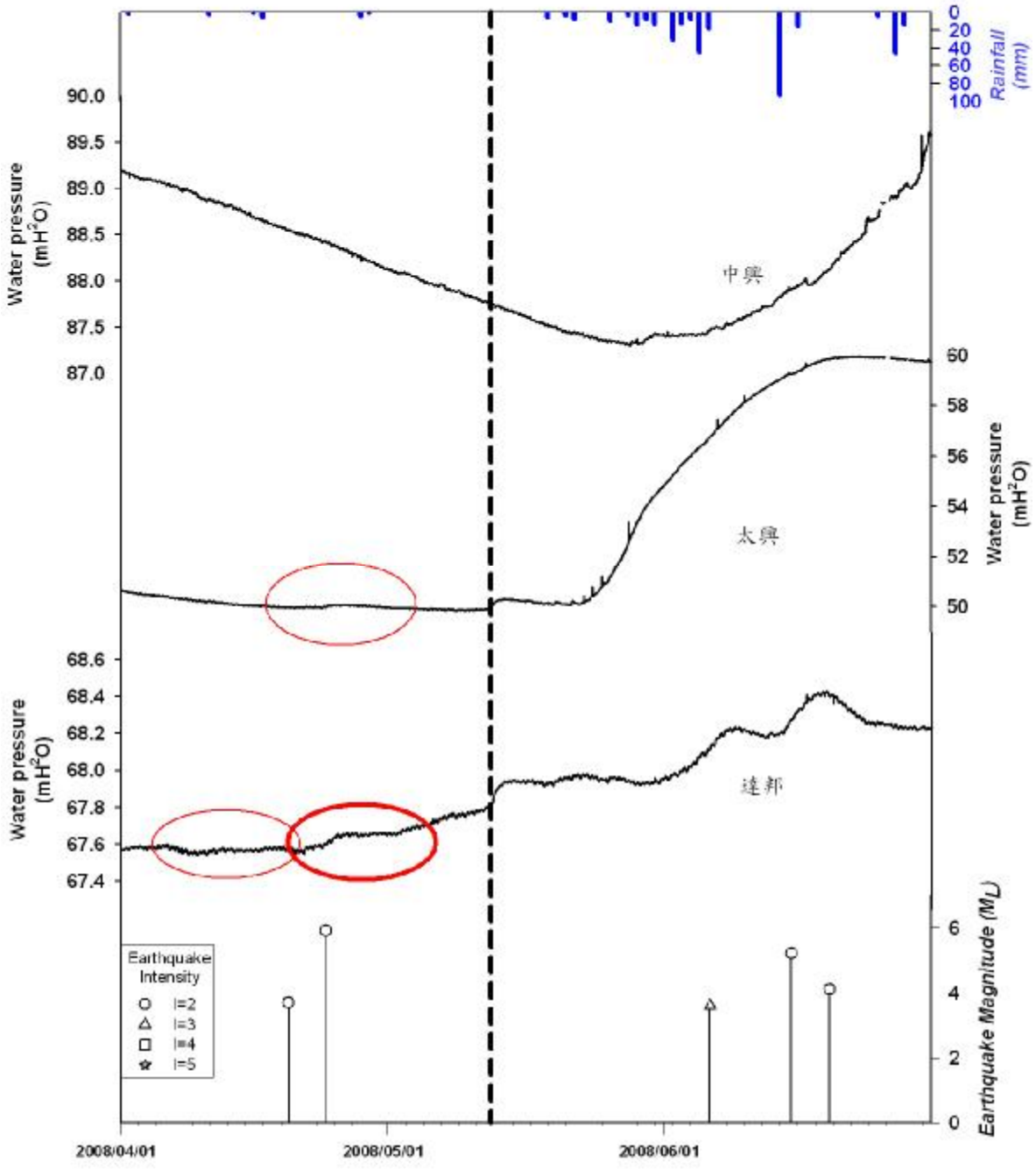


圖 4-18c：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。虛線位置 2008 年 5 月 12 日之中國汶川地震時間。

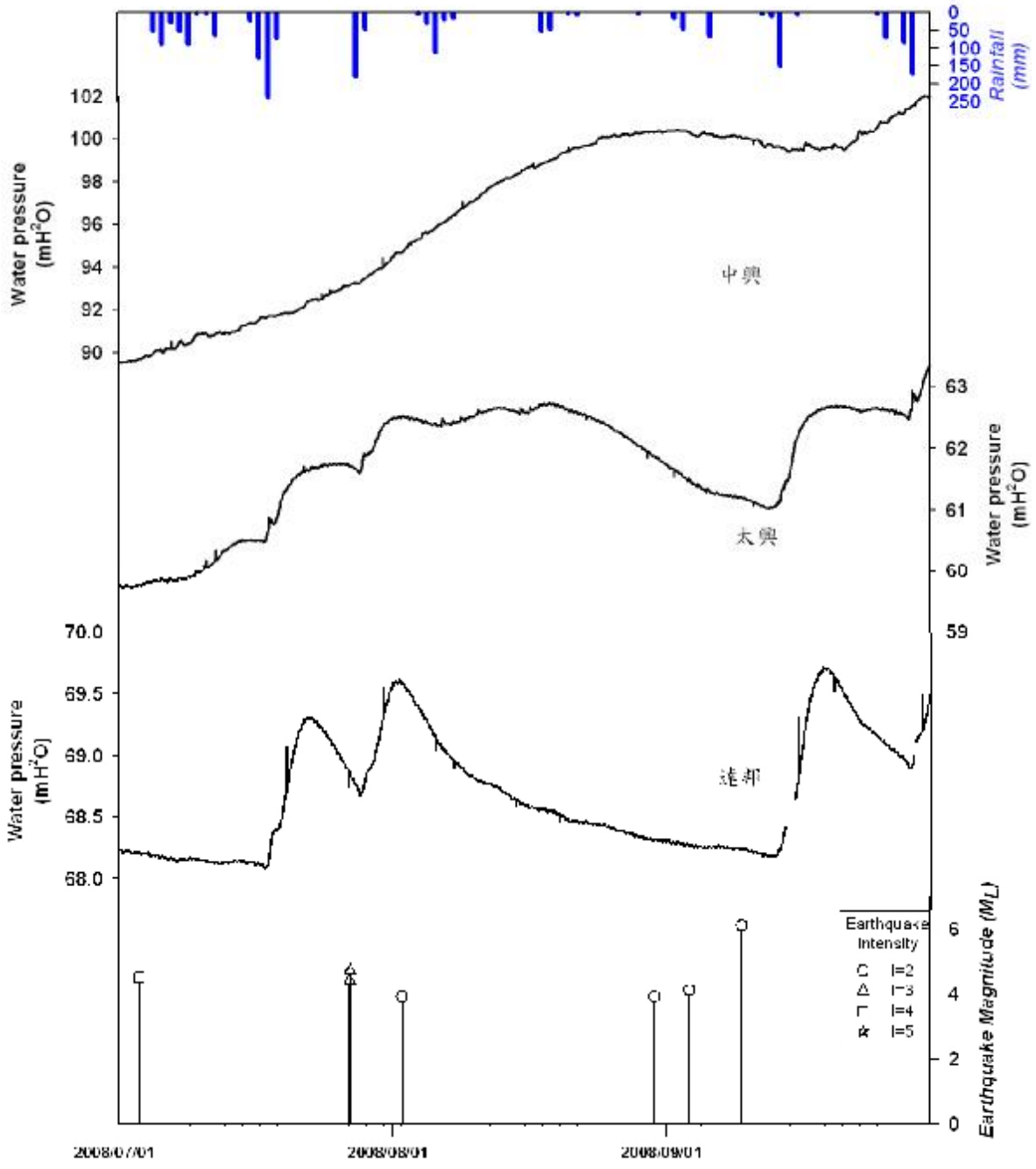


圖 4-18d：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/7/1-2008/9/30）。

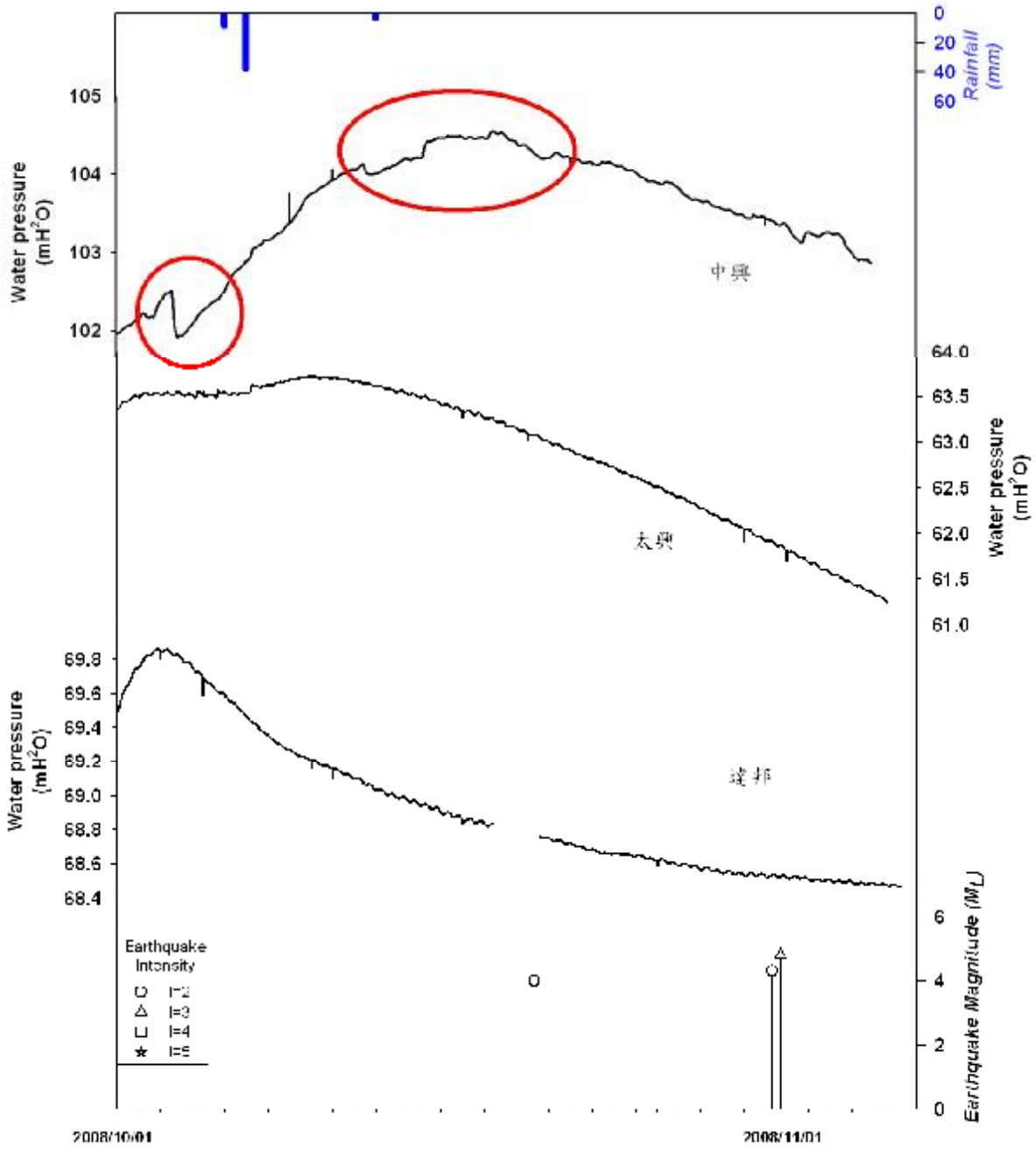


圖 4-18e：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/10/1-2008/11/6）。

4-2.8 台北縣中和市錦和國小觀測站

本觀測站所在位置如圖 4-19 所示。自 2007 年 11 月 16 日起，每分鐘記錄一筆地下水壓資料。與降雨量及當地震度 2 級以上之地震資料，繪於圖 4-20a 至 4-20e。

自 2007 年 10 月至 2008 年 9 月以來，台北地區所記錄到當地震度 2 級以上之地震僅有 5 次；當地又無明顯乾季，降雨易造成地下水位上升，以致無法明確判定地下水位之上升原因。所觀察到唯一異常者，為 2007 年 11 月 18 日之水位下降，並在其後 11 月 20 日出現宜蘭規模 4.3，台北震度 3 級之地震（圖 4-20a），推測此一地下水位變化與區域應力場變化有關。

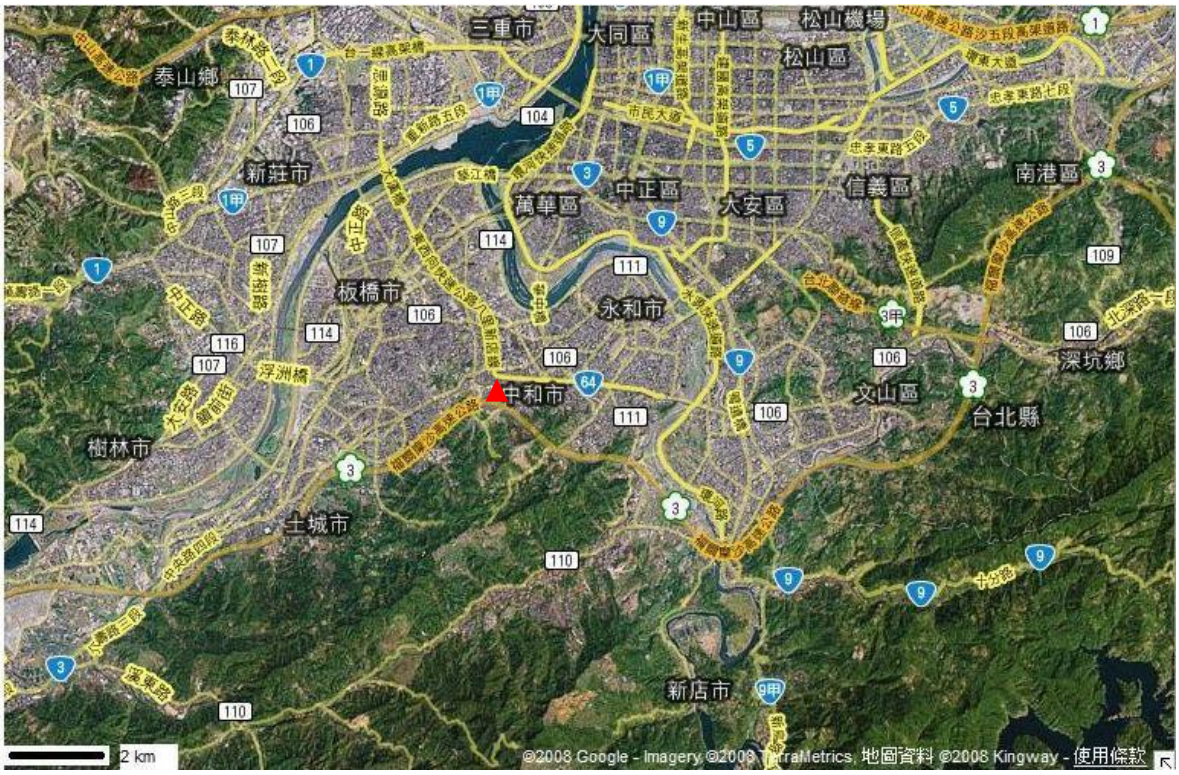


圖 4-19：台北縣中和市錦和國小地下水壓觀測井（▲）位置圖。

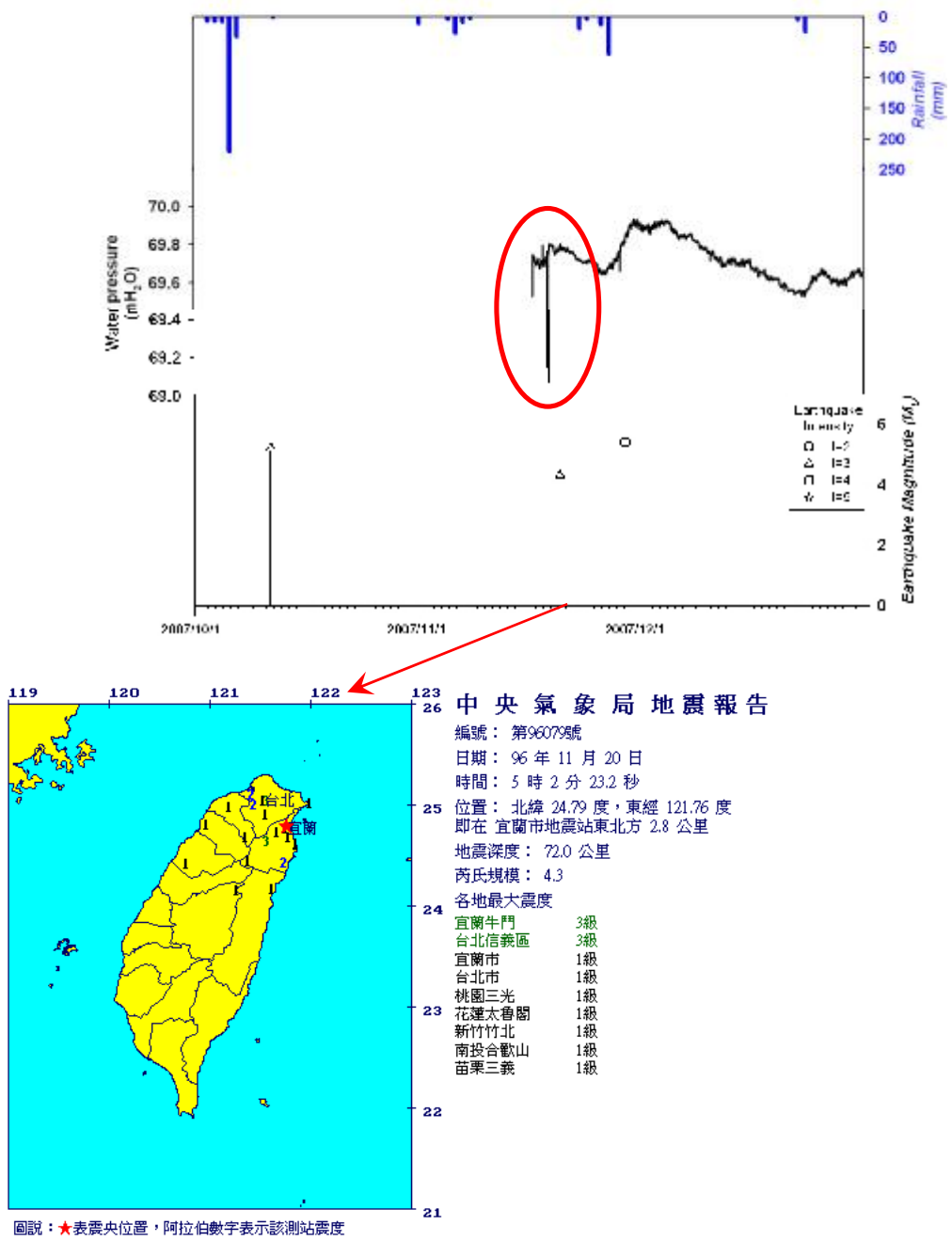


圖 4-20a：台北縣中和市錦和國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/10/1-2007/12/31）。圖中圓圈標示者，水位可能係因震前應力場改變之異常變化。縱軸 water pressure 代表水壓計之上的水頭高度。以下各圖縱軸 water pressure 代表意義與本圖相同。

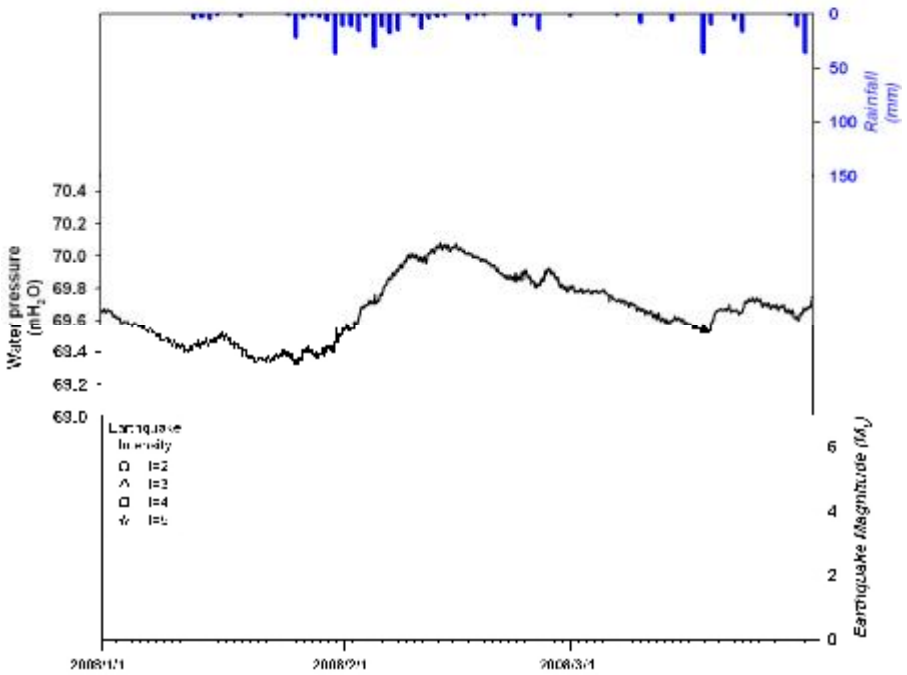


圖 4-20b：台北縣中和市錦和國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。

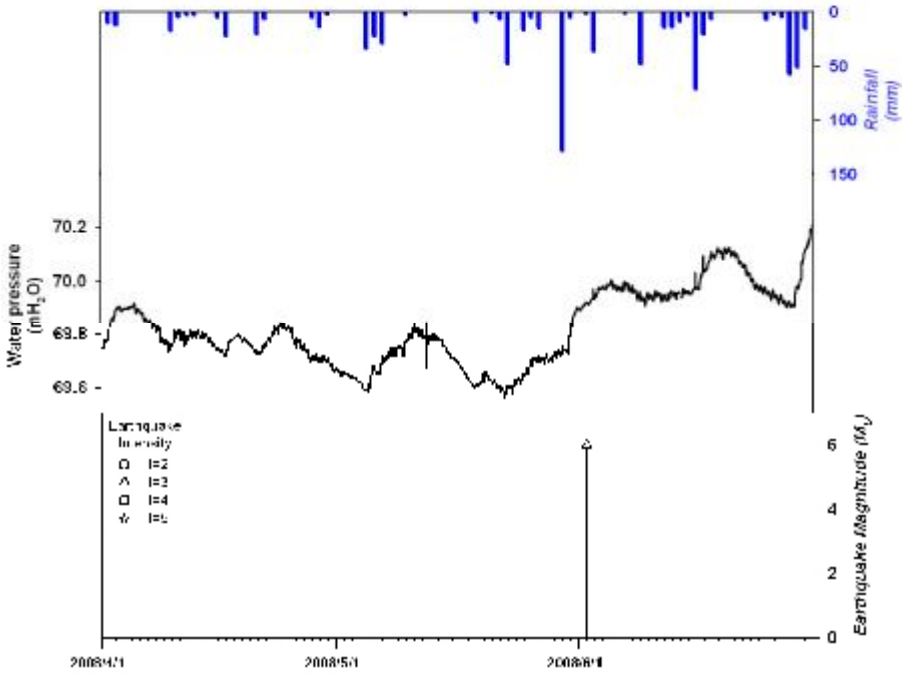


圖 4-20c：台北縣中和市錦和國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。

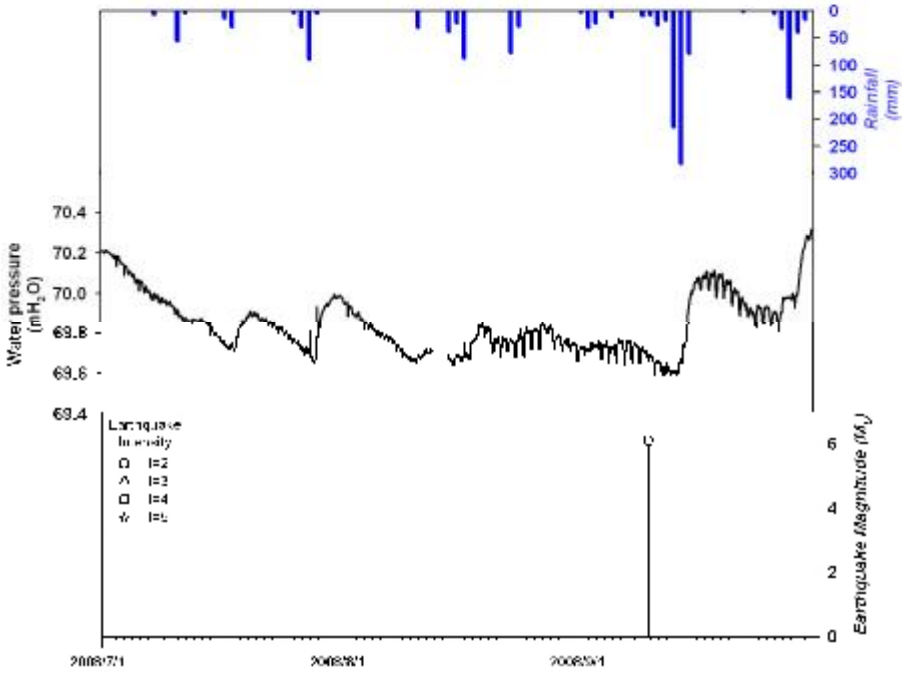


圖 4-20d：台北縣中和市錦和國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/7/1-2008/9/30）。

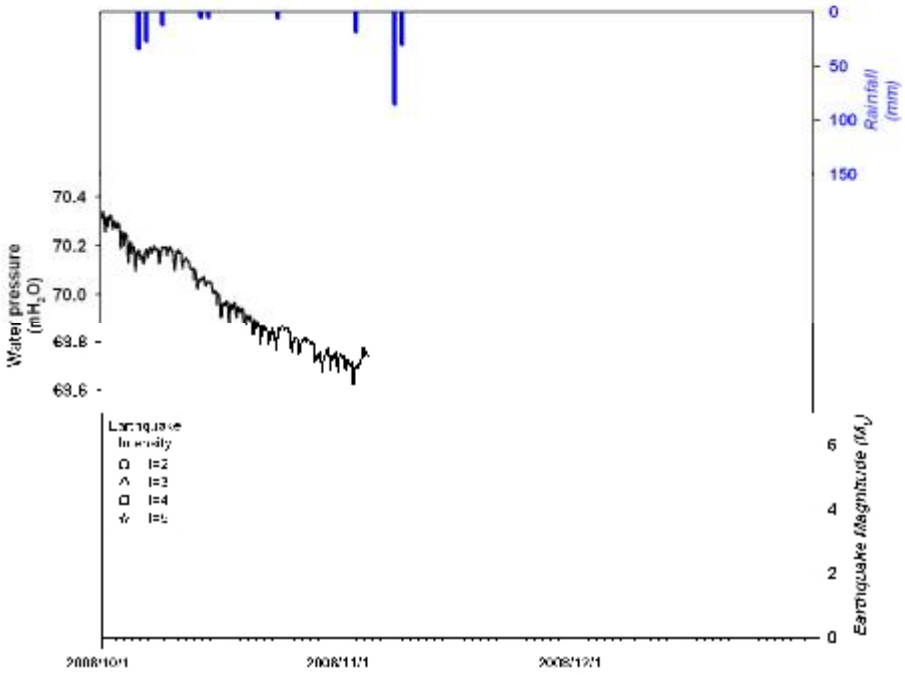


圖 4-20e：台北縣中和市錦和國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/10/1-2008/11/4）。

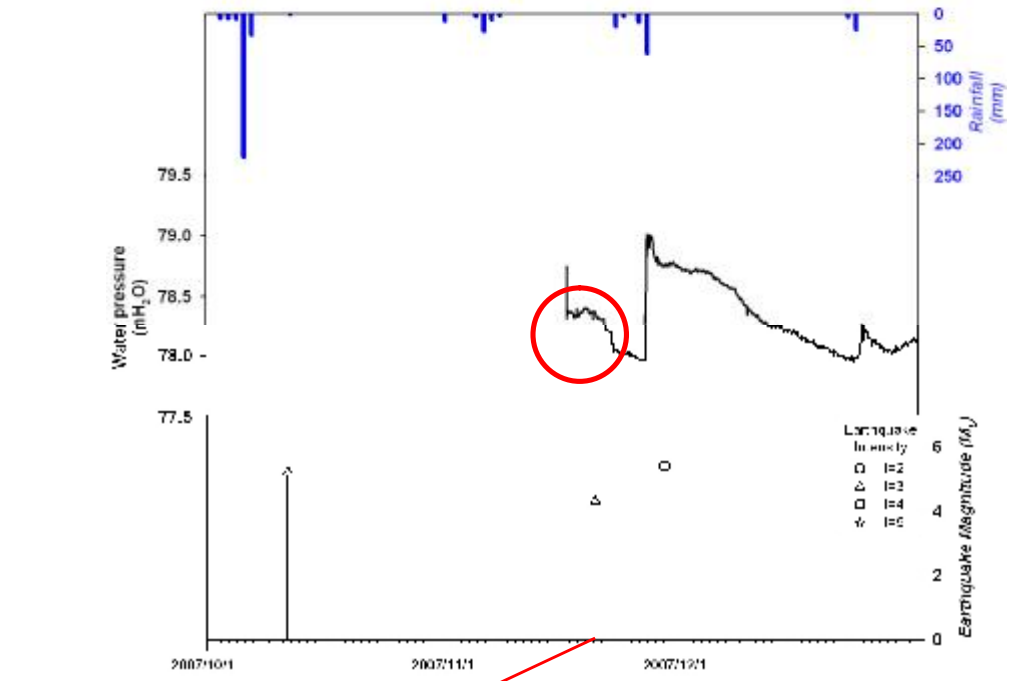
4-2.9 台北縣三峽鎮明德國 中觀測站

本觀測站所在位置如圖 4-21。本觀測站自 2007 年 11 月 16 日起，每分鐘記錄地下水壓資料，比對地下水壓和震度 2 級以上之地震及降雨量，並將結果繪於圖 4-22a 至 4-22e。

明德國中觀測站結果如同錦和國小站，地下水壓異常變化發生之前恰逢降雨，故無法判定是否為震前反應。



圖 4-21：台北縣三峽鎮明德國中地下水壓觀測井（▲）位置圖。



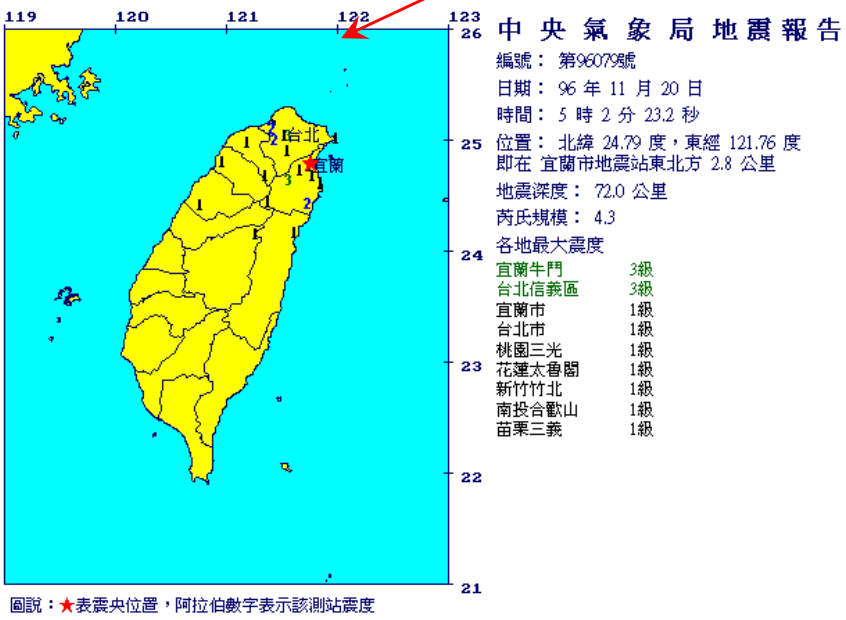


圖 4-22a：台北縣三峽鎮明德國中觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/10/1-2007/12/31）。縱軸 water pressure 代表水壓計之上的水頭高度。以下各圖縱軸 water pressure 代表意義與本圖相同。

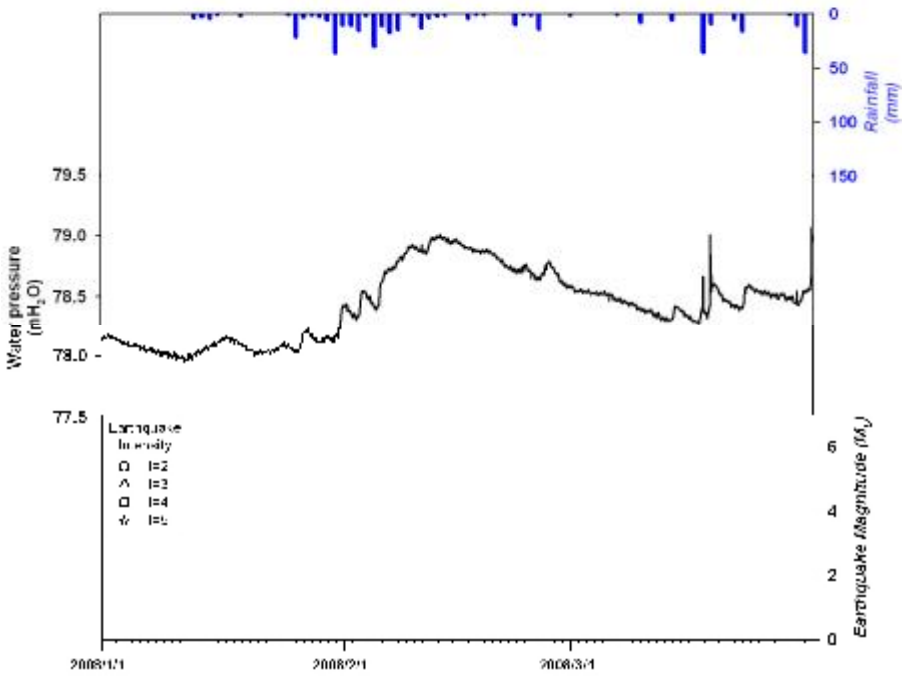


圖 4-22b：台北縣三峽鎮明德國中觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。此時期並無當地震度 2 級以上之地震發生。

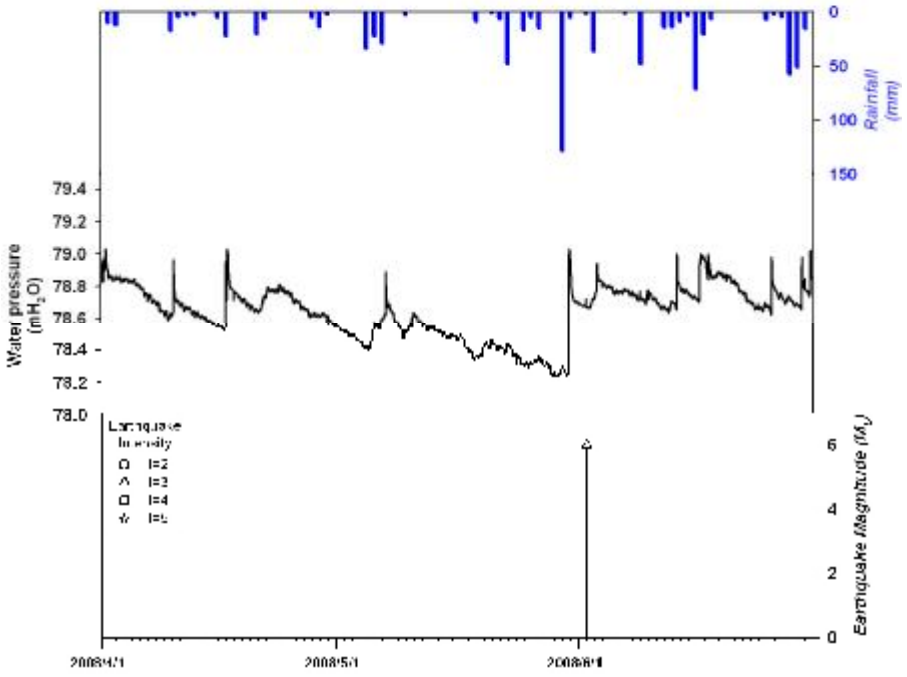


圖 4-22c：台北縣三峽鎮明德國中觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。

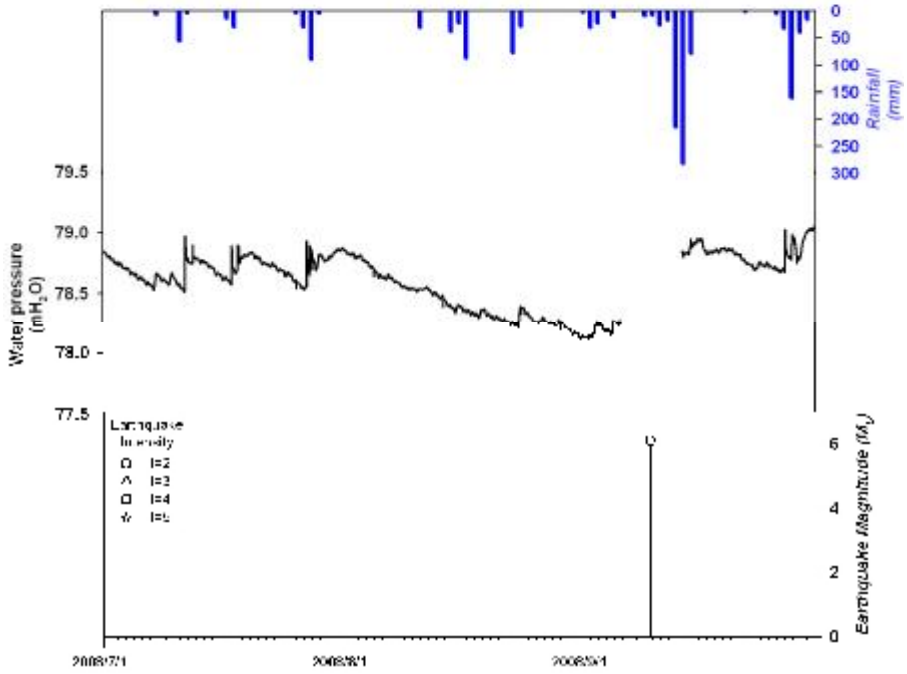


圖 4-22d：台北縣三峽鎮明德國中觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/7/1-2008/9/30）。

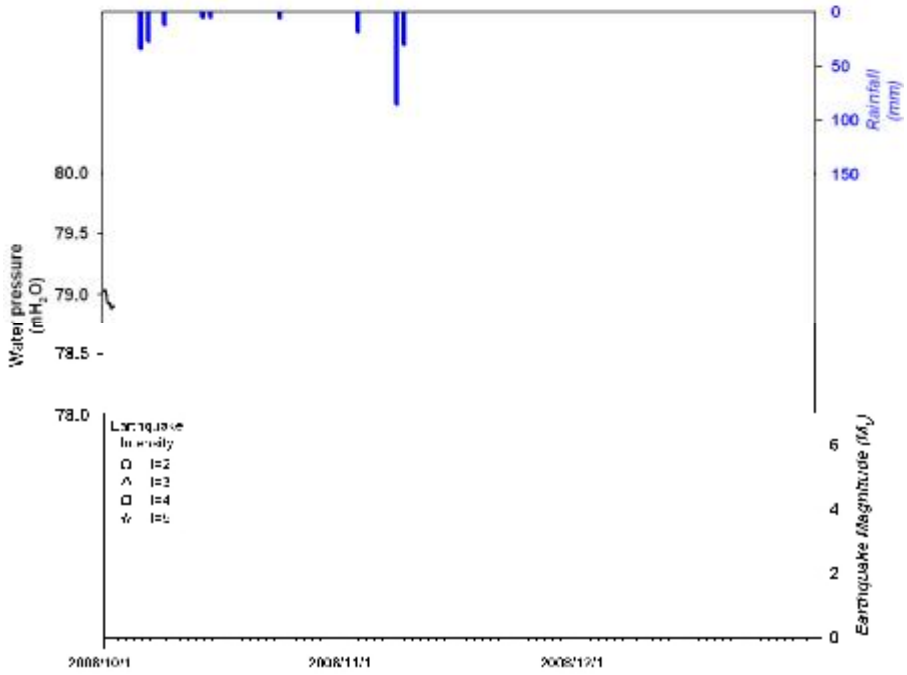


圖 4-22e：台北縣三峽鎮明德國中觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/10/1-2008/10/2）。

伍、線上網頁資料庫

為了方便使用者查詢與判讀地化觀測相關結果，因此製作此線上網頁資料庫。將各觀測站結果處理完成之後，匯入本資料庫系統，此線上網頁則同步更新資料。目前網頁所在位址為：http://61.56.2.2/ncreemonitor 。

進入本網頁會出現四個觀測站的選項（如圖 5-1），選擇欲查詢的測站後則會有 radon、thoron、CO_2、tempature、humidity、rainfall、earthquake、時間範圍等項目可供查詢（如圖 5-2），圖 5-3 則為中崙觀測站的資料呈現範例。



圖 5-1：線上網頁資料庫的首頁。

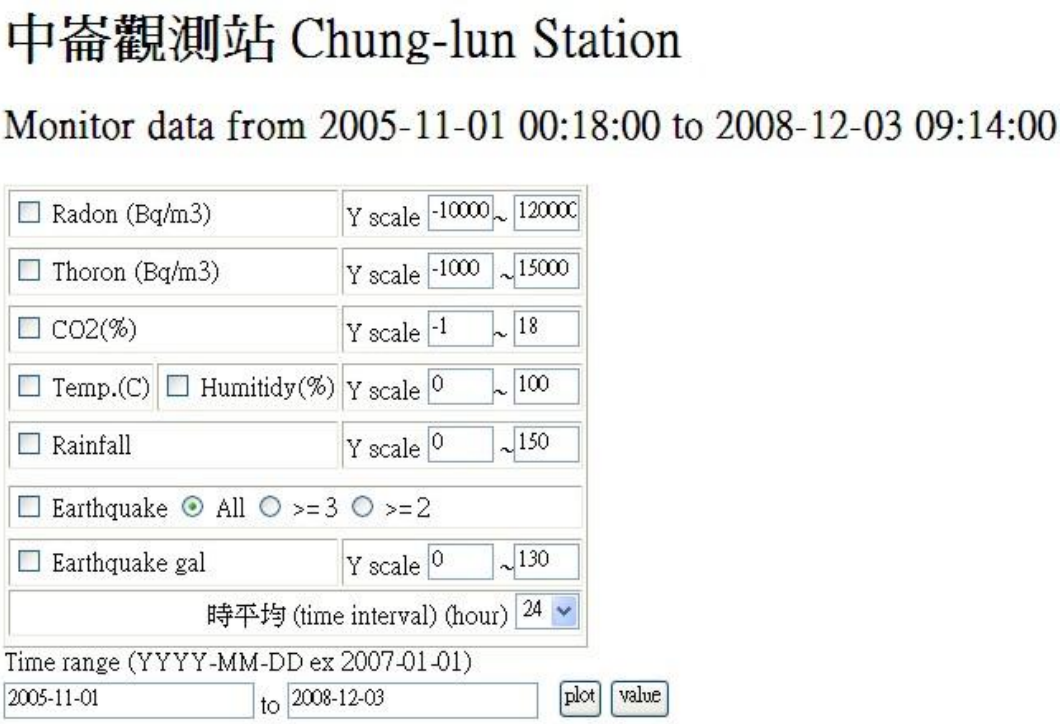


圖 5-2：線上網頁資料庫的查詢選項。

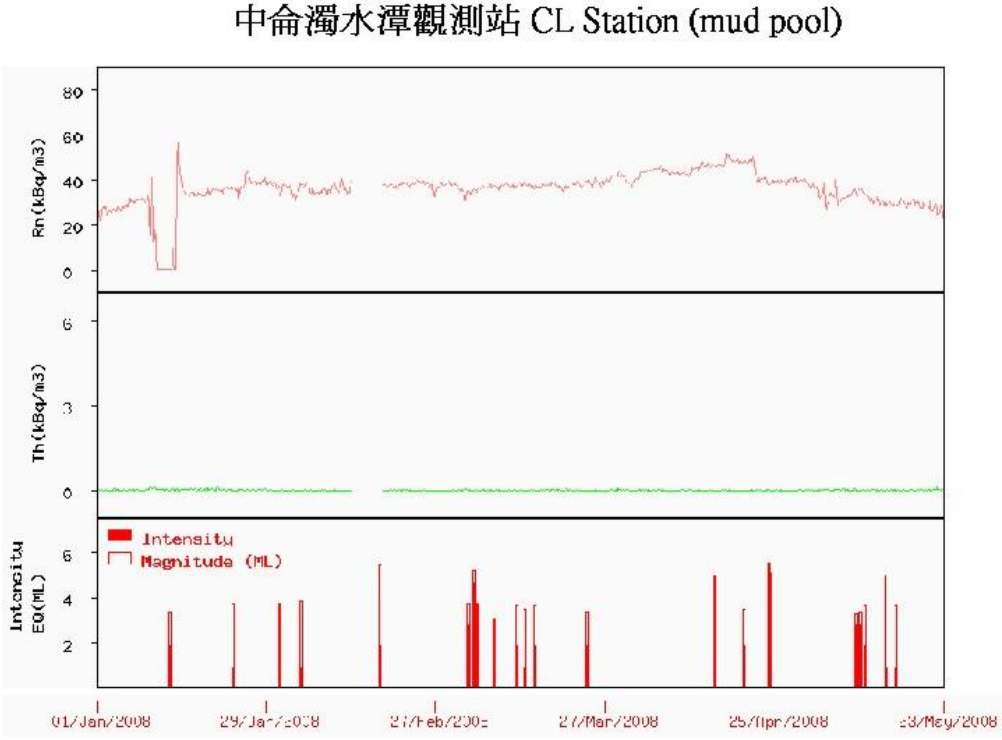


圖 5-3：線上網頁資料庫的查詢範例，以中崙觀測站為例。

陸、評估觀測站氣體成份、水位變化與地震活動之關聯性

6-1 中崙濁水潭觀測站

本年度濁水潭觀測站的觀測數據中，在排除因人為或氣候因子的影響之後，仍有一些的氣體濃度異常升高的情形可能與地震活動有關， 而這些對應到的地震發生地點多為觀測站周遭數十公里以及台東部分地區。

6-2 新竹大平地氣體觀測站

本年度大平地觀測站的數據中，沒有顯著的氣體異常變化與地震活動的有關連，在8月之後土壤氣體濃度開始有些許變化，這些變化應與鄰近的地震活動有關。

6-3 嘉義梅山氣體觀測站

梅山觀測站的觀測資料顯示，當土壤氡氣濃度升高數小時到數天之後，常伴隨著一些地震事件，而這些地震大都發生在南投、雲林和嘉義一帶，相較於濁水潭測站，本站的可能反應範圍屬於較小區域的。不過由於8～10月連續的豪大雨和颱風的摧殘，本站的觀測情形已不若以往，並開始著手尋找鄰近地區或更適當的地區，選擇一更適合長期觀測的地點將原測站遷移至新址，以期獲得更好的觀測結果。

6-4 台南二溪氣體觀測站

從目前的觀測結果尚無法確切的辨識出與地震活動的相關性，期間出現的一些變化多是人為因素所致，需要更多的資料才有助於瞭解本站的氣體變化和地震活動的關連。

6-5 水壓觀測站

1. 新竹縣尖石鄉新樂國小、梅花國小及寶山鄉雙溪國小等三個觀測井，因降雨、抽水或電力不穩等因素之影響，不易判別井內水位變化與附近地區地震的相關性。

2. 嘉義縣除沄水井外，其餘三口觀測井，即竹崎鄉中興國小、梅山鄉太興國小和阿里山鄉達邦國小，在觀測期間出現數次震前水位異常變化。

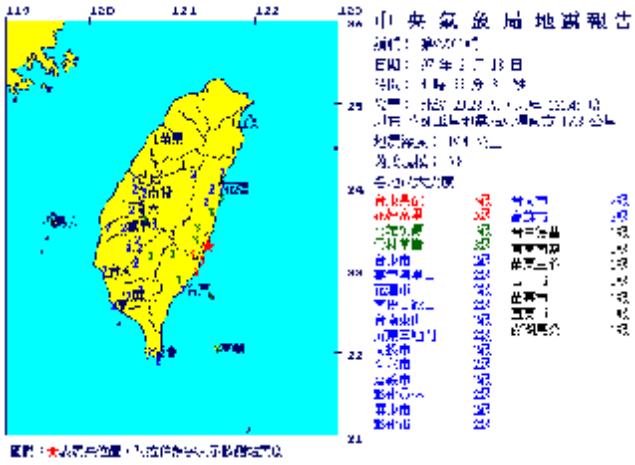
3. 台北縣明德國中與錦和國小觀測井之地下水位,可能因受到降雨影響而無法判識出與地震有關的震前異常升降。

4. 建議未來優先繼續進行嘉義地區的中興國小、太興國小和達邦國小等三口觀測井的地下水位觀測，做為嘉南地區斷層活動性之研究。新竹及台北地區之五口觀測井，因受到降雨及抽水等因素干擾，仍需更長時間觀察這五口觀測井之適用性；嘉義的沄水觀測井因係自噴井，經評估除非井況更新，否則不適繼續作為斷層活動性觀測之用。

5. 綜合此階段之地下水位觀測結果，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位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. 觀測井常因降雨影響，導致難以辨別震前水位變化。故建議未來建置之觀測井應較現有之觀測井深。此外，在同一地體構造單元，宜設置至少兩口之觀測井，以供互相比對水位觀測資料的一致性，增加研判震前水位變化之可信度。

7. 圖 6-1 為 2008 年 1 月至 3 月嘉義梅山、中崙和台南二溪氣體觀測站與嘉義中興、太興和達邦水位觀測站，對於 2008 年 2 月 18 日發生在台灣東部地區的地震，彼此間相對應的情形，可以發現氣體和水位皆出現異常變化，而氣體濃度異常出現的時間早於水位的異常變化，應該是一起成功的地震前兆訊息。



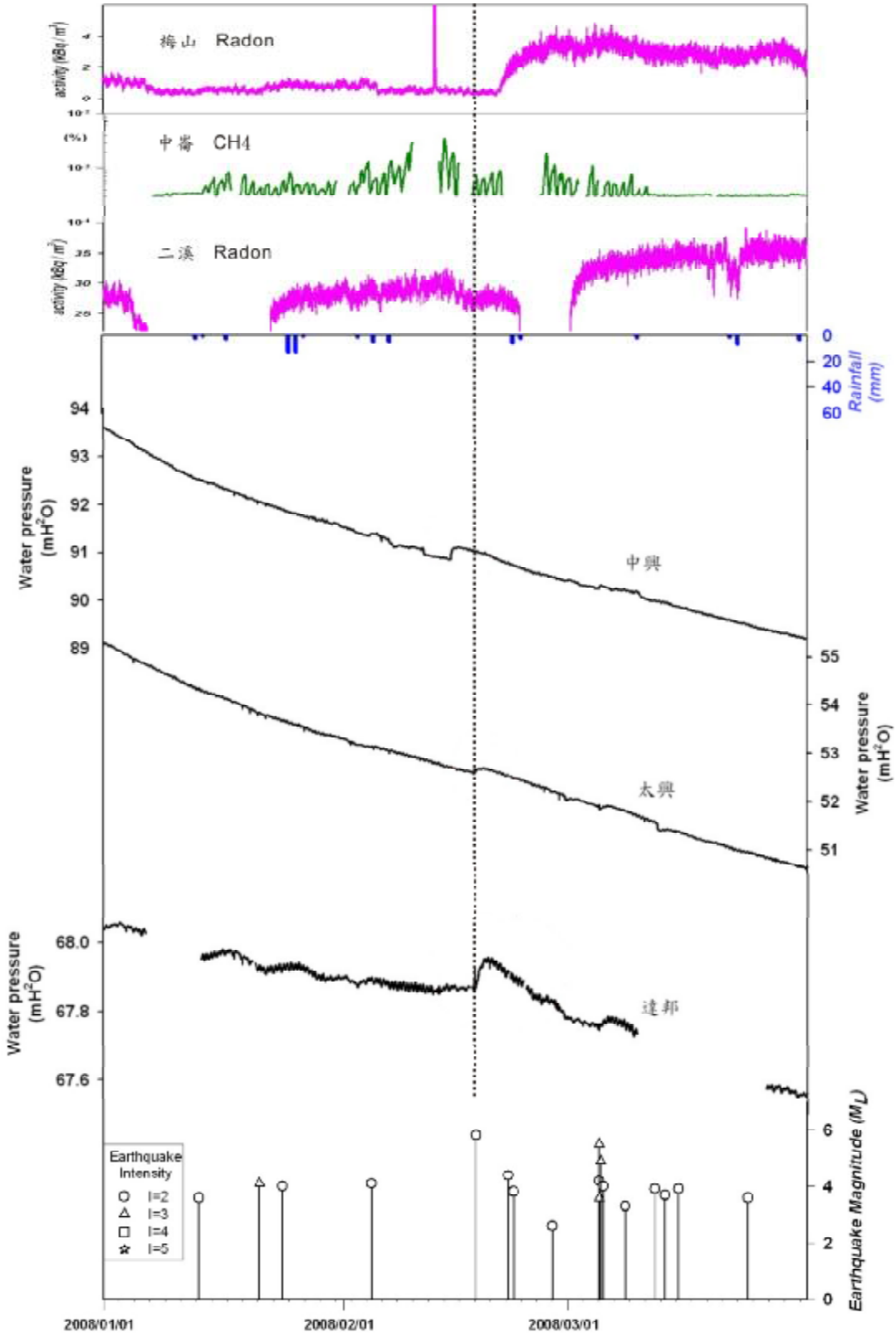


圖 6-1：梅山、中崙和二溪氣體觀測站與嘉義縣中興、太興與達邦站觀測井之水壓觀測值與地震和降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。

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. 地下水井應設置於土壤氣體觀測站址或其緊鄰近地點，以觀測地下水面之變化。由於同震地下水位變化可能改變氣體之逸散，地下水面之變動將有助於解釋土壤氣體之變化。
3. 嘉義梅山觀測站之氣體成份變化由於觀測站硬體基部淹水造成分析資料受到嚴重影響，未來考慮另行選擇更為合適地點進行遷站。
4. 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，本階段以大平地觀測站的觀測成果最為顯著。
5. 新竹縣尖石鄉新樂國小、梅花國小及寶山鄉雙溪國小等三個觀測井，因降雨、抽水或電力不穩等因素之影響，不易判別井內水位變化與附近地區地震的相關性。
5. 嘉義縣除沄水井外，其餘三口觀測井，即竹崎鄉中興國小、梅山鄉太興國小和阿里山鄉達邦國小，在觀測期間出現數次震前水位異常變化。
6. 台北縣明德國中與錦和國小觀測井之地下水位，可能因受到降雨影響而無法判識出與地震有關的震前異常升降。
7. 建議未來優先繼續進行嘉義地區的中興國小、太興國小和達邦國小等三口觀測井的地下水位觀測，做為嘉南地區斷層活動性之研究。新竹及台北地區之五口觀測井，因受到降雨及抽水等因素干擾，仍需更長時間觀察這五口觀測井之適用性；嘉義的沄水觀測井因係自噴井，經評估除非井況更新，否則不適繼續作為斷層活動性觀測之用。

8. 綜合此階段之地下水位觀測結果，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位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。

9. 觀測井常因降雨影響，導致難以辨別震前水位變化。故建議未來建置之觀測井應較現有之觀測井深。此外，在同一地體構造單元，宜設置至少兩口之觀測井，以供互相比對水位觀測資料的一致性，增加研判震前水位變化之可信度。

捌、本階段觀測結果總評估

8-1 前言

本計畫為四年期計畫（94-97 年度），持續對於嘉義中崙濁水潭、中崙溫泉井、新竹大平地、嘉義梅山、台南二溪進行觀測，而 97 年中崙溫泉井站遷至與濁水潭站併站，並分別於台灣東部池上地區和屏東潮州斷層附近各新設置一座氣體觀測站，已設置之四座氣體觀測站，以期能夠建立較完整之觀測網，以利於往後對於分析資料之判讀。此外，於民國 94 年(2005 年)於新竹寶山鄉雙溪國小、95 年度(2006 年）於嘉義縣中埔鄉沄水國小鑽設地下水壓觀測井，至今持續進行水壓變化觀測。另外，亦分析中央地質調查所在台北縣錦和、明德及新竹縣新樂、梅花，以及嘉義縣太興、中興與達邦建置的七個觀測井之地下水壓（水位）資料，與地震活動進行對比。

本計畫的目的是在台灣各活動斷層區設置氣體與水位遠端傳輸觀測站，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。

8-2 氣體觀測站之可能前兆訊息與地震活動的關聯性

歷年大平地觀測站的觀測結果，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。 就整體的來說，本觀測站的變化可以反映出台灣北部地區地殼的活動情形，特別是發生在觀測站周遭數十公里內及宜蘭平原內的地震事件。

圖8-1為2006年6月至2007年9月的連續觀測結果，而圖8-2則是本測站有測到地震震度的所有地震分布圖，其中紅色圓點代表該地震在發生之前已經先造成土壤氡氣濃度增加。圖8-2中各地震與大平地測站之間的各個參數，列在表8-1。未來持續的觀察應能更清楚的釐清這些地震活動與氣體濃度變化的關聯性。

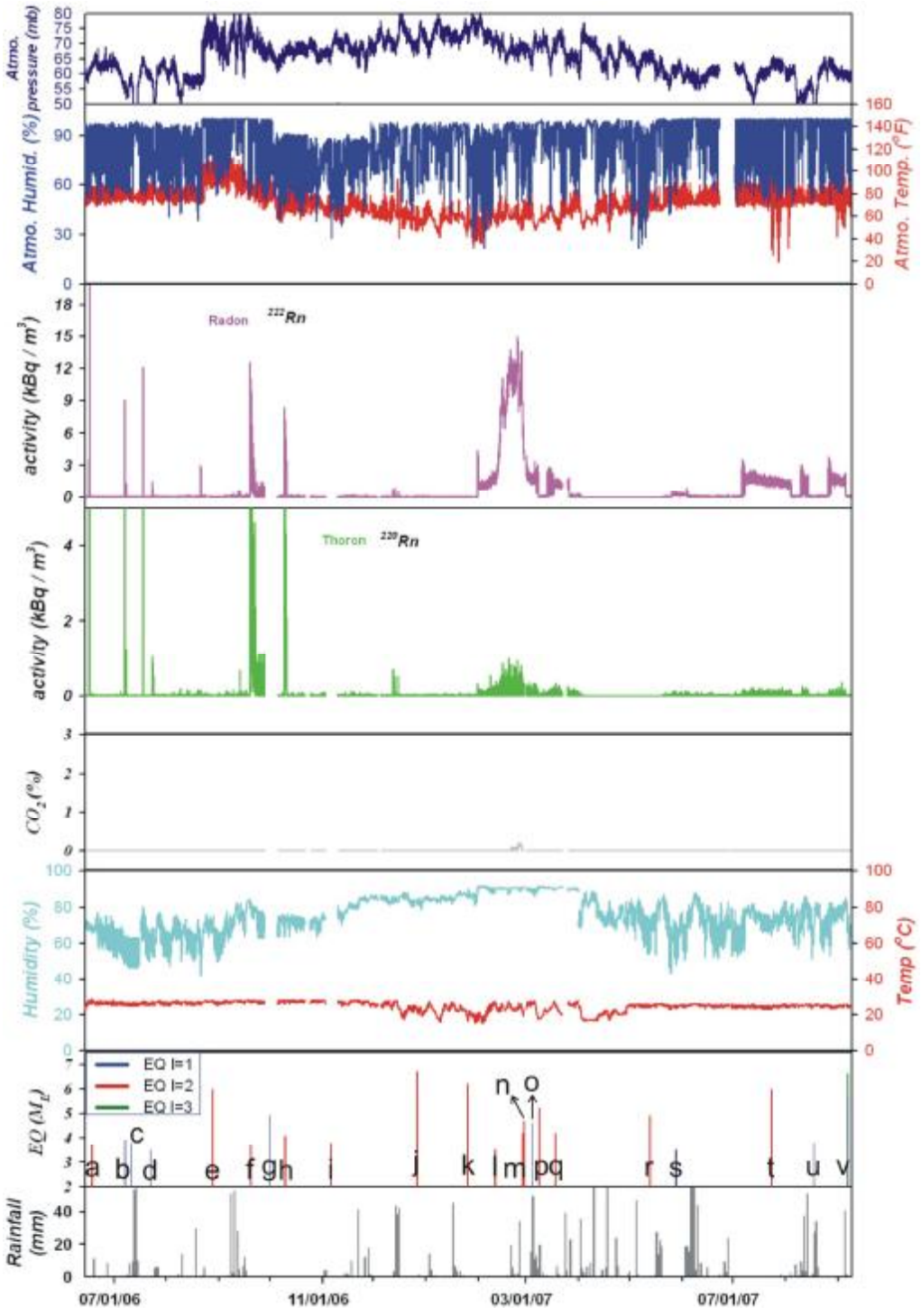


圖 8-1：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/6/15～2007/9/30）。

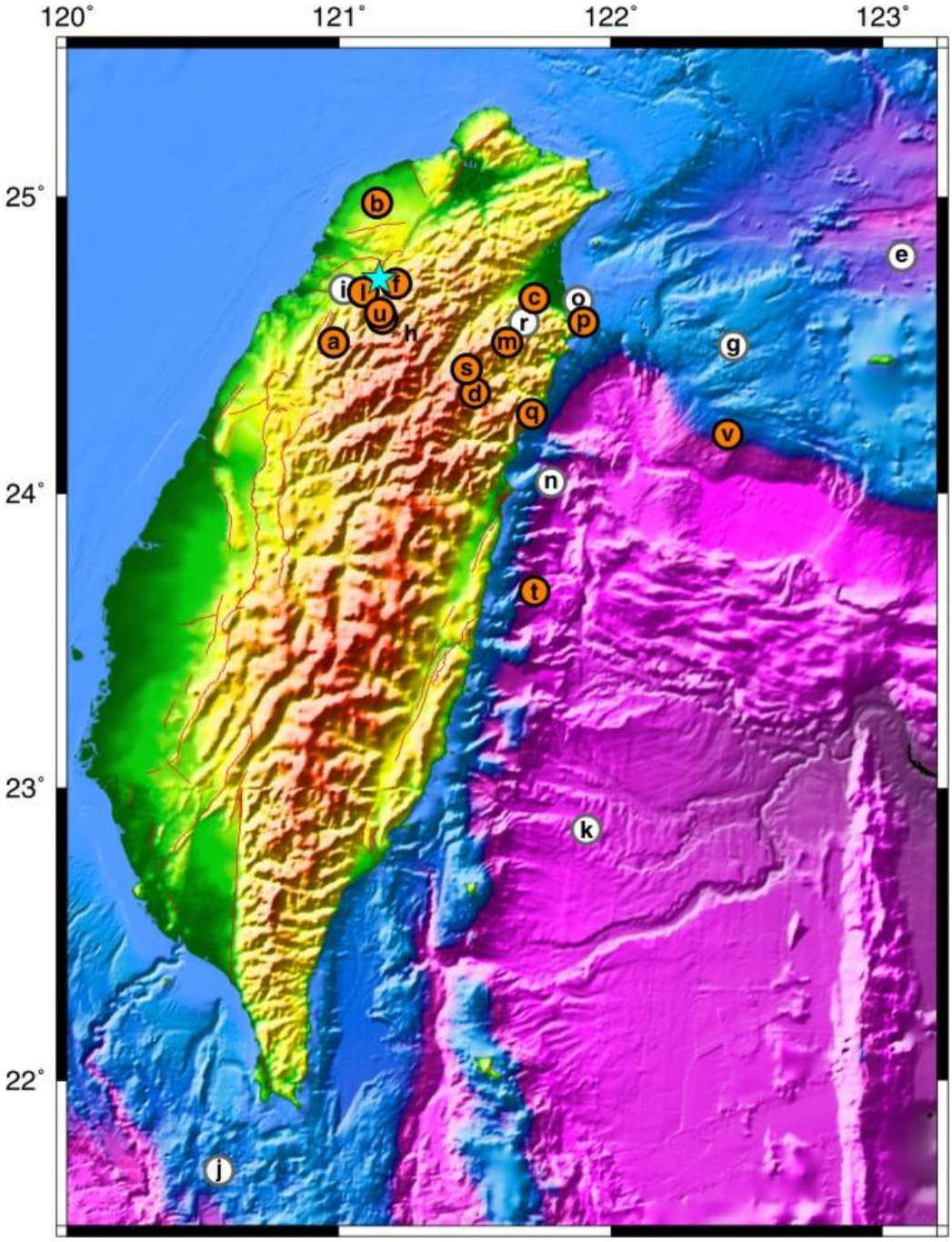


圖 8-2：大平地觀測站所測得地震震度的地震分布圖，紅色圓點代表該地震在發生之前氣體已經產生異常。

表 8-1 大平地觀測站觀測結果與地震活動之關聯性

No.[1]	Depth (km)	Mag. (M_L)	Int. (M_I)	Distance (km)	$\triangle t$ [2] (day)	No.[1]	Depth (km)	Mag. (M_L)	Int. (M_I)	Distance (km)	$\triangle t$ [2] (day)
a	5.6	3.2	2	29.4	1.5	l	8.6	3.5	2	7.8	10.5
b	14.7	3.6	1	28.3	0.2	m	41	4.2	2	53.2	14.6
c	9.7	3.1	1	58	3.4	n	25.4	4.7	2	99.3	-
d	5.3	3.5	1	55.5	3.5	o	85.5	4.6	1	74.2	-
e	135.3	6	2	193.9	-	p	68.7	5.2	2	77.5	2.6
f	8.3	3.7	2	6.3	0.7	q	11.6	4.2	2	75.9	4.5
g	88.4	4.9	1	133.7	-	r	40.9	4.9	2	55.9	-
h	6.4	4	2	15	0.6	s	7.3	3.5	1	46.9	7.4
I	10.1	3.9	2	13.7	x [3]	t	29.6	6	2	130.7	17.4
J	44.1	7	2	342.6	-	u	8.4	3.8	1	12.8	7.5
k	5	6.2	2	221.2	-	v	27	6.6	3	142	11.5

註：1.各地震編號請見圖8-1和圖8-2。

2.此時間計算為濃度開始升高作為起始點，一直到地震發生為止。

圖 8-3、圖 8-4 圖 8-5 分別為 2006 年 12 月至 2008 年 11 月間，對於梅山觀測站、中崙觀測站和二溪觀測站有震度影響的地震分佈情形，紅點則代表這些地震在發生之前，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。這 三座氣體觀測站的變化可以反映出台灣西南部地區地震的活動情形，特別是發生在觀測站周遭數十公里內的地震活動。

不過，仍有許多地震並無對應到氣體的異常變化，除了是因為部分地震在發生期間，儀器出現異常狀況和天候與人為因素所造成之外，這些地震其震源機制的差異，也可能是造成氣體反應不一致的原因。另外，有些的氣體異常變化卻無相對應的地震事件，這可能與區域的構造活動有關，這可利用應變儀的資料來進行確認與比對，這些皆需要未來作進一步的研究以釐清彼此的關連性。

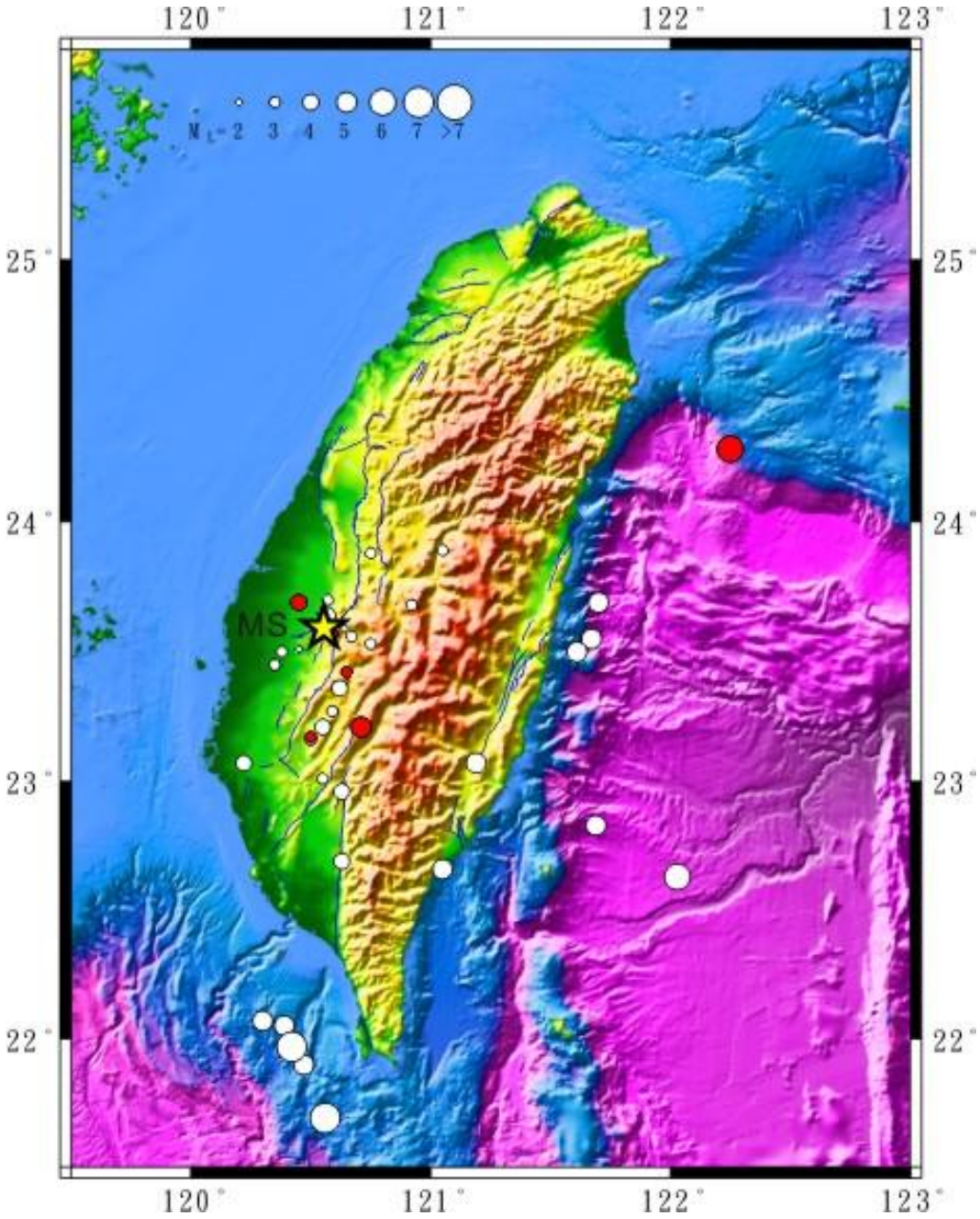


圖 8-3：梅山觀測站所測得地震震度的地震分布圖，紅色圓點代表該地震在發生之前氣體已經產生異常（2006/12~2008/11）。

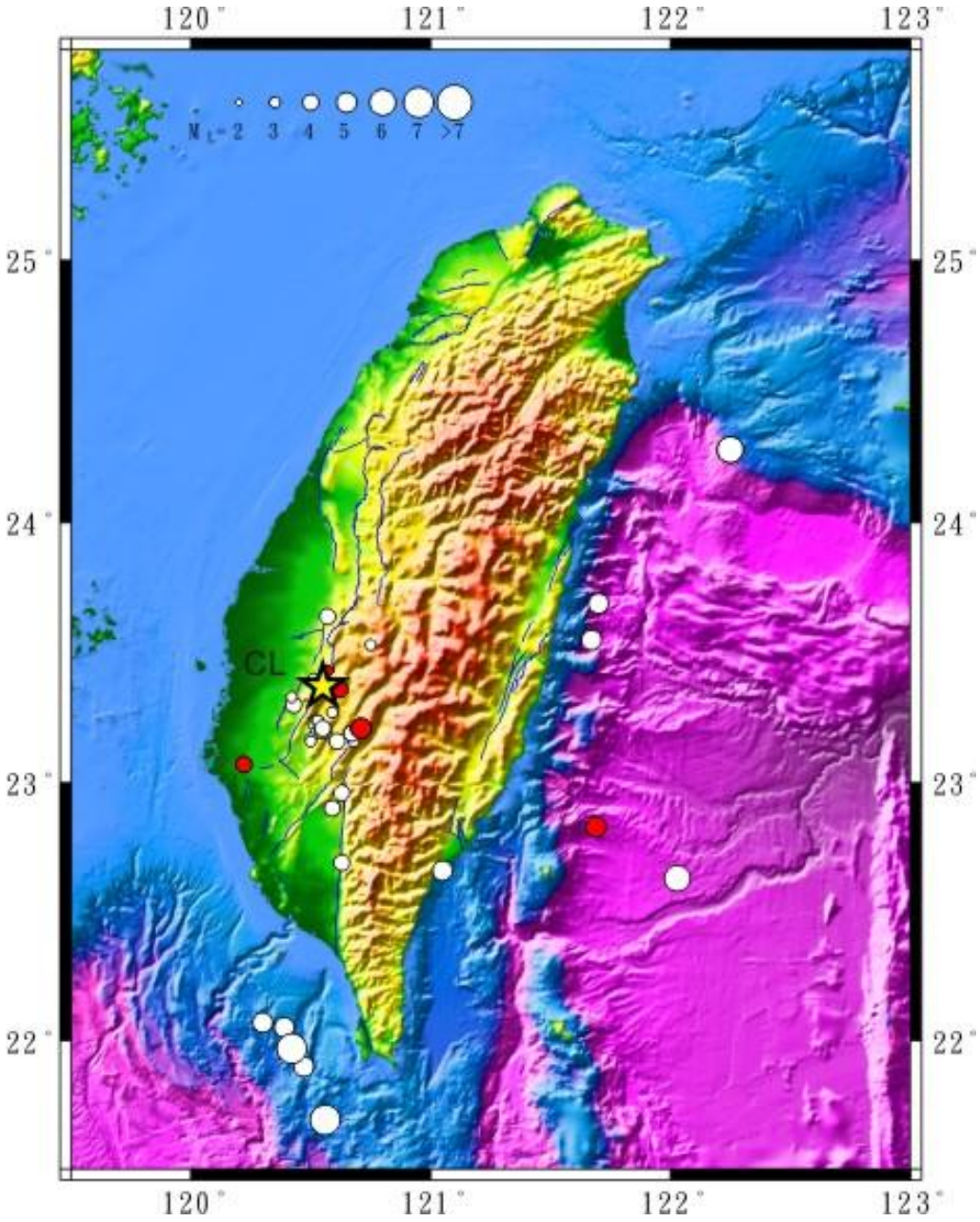


圖 8-4：中崙觀測站所測得地震震度的地震分布圖，紅色圓點代表該地震在發生之前氣體已經產生異常（2006/12~2008/11）。

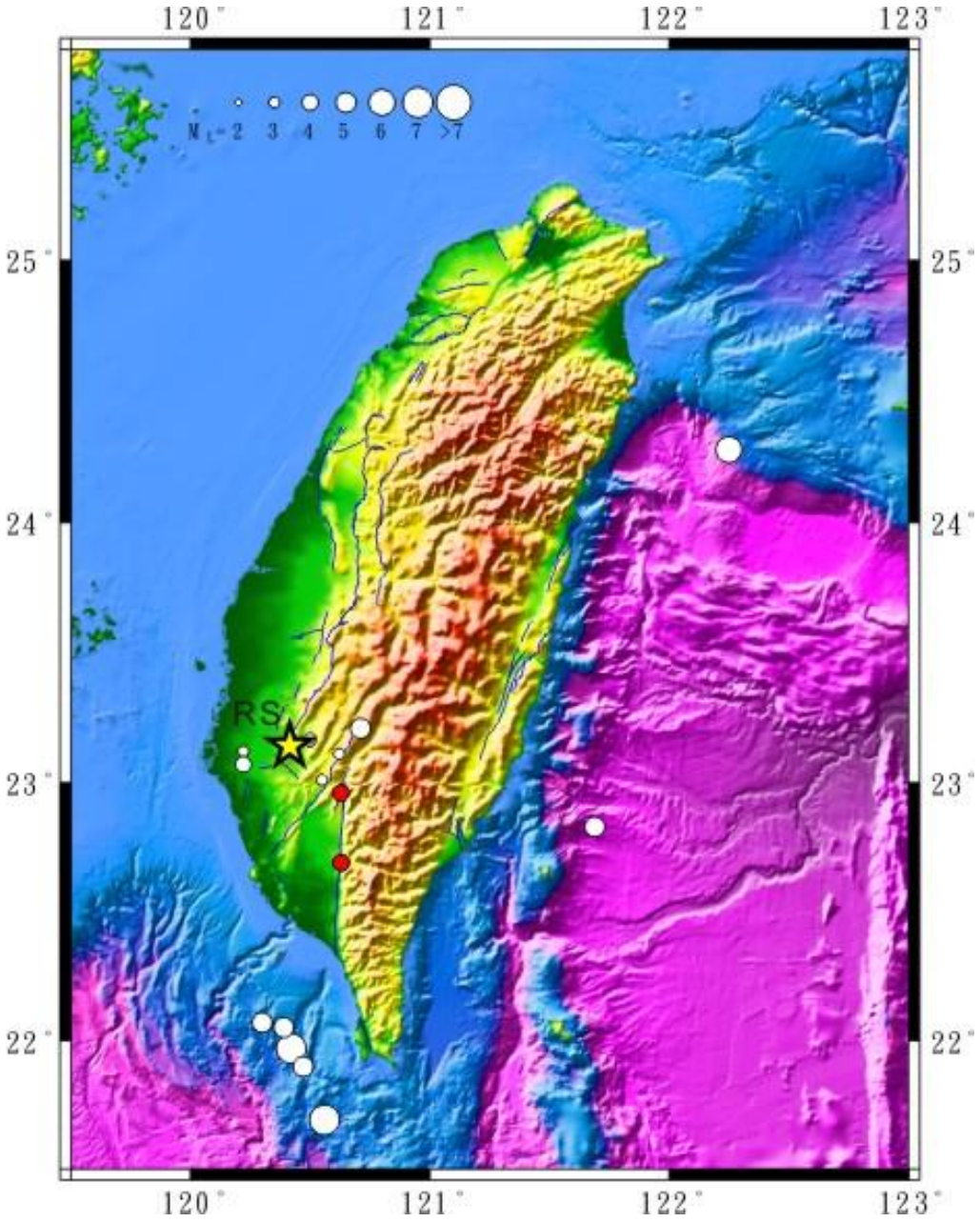


圖 8-5：二溪觀測站所測得地震震度的地震分布圖，紅色圓點代表該地震在發生之前氣體已經產生異常（2006/12~2008/11）。

8-3 氣體觀測站位址之選擇、設置與維護

1. 確認觀測站地底下之氣體來源
2. 選擇鄰近斷層帶的地點設站
3. 考量地震活動對當地的影響程度
4. 選擇地下水位較低或地形較高的地點
5. 多因子同步觀測
6. 盡量避免有腐蝕性的環境
7. 選擇外人不易到達、但具有通訊與良好電源供應的地點

上述七項為本階段原來主要的設站位址之選擇、設置條件，不過經過四年的經驗累積，發現仍有不少尚須注意的事項，下文則接續說明。

8. 電源供應裝置完整，如不斷電系統能夠及時通知監控端做適時的處理。
9. 觀測站的配置情形儘量不做太大的變動，避免因改變其背景值造成資料判讀困難。
10. 觀測站地點於設站前後之氣體濃度和通量的差異。

大部分觀測站的地點於設站前後其濃度、通量都有明顯的差異，不過大都能在短期內達到穩定呈現一新的背景值濃度，不過原中崙溫泉井站則在設站完成後，通量、濃度大幅度改變而且十分不穩定，幾乎呈現間歇性的變化，造成連續資料難以判讀進行後續的數值分析，而就豪大雨的影響，也使得土壤氣濃度、通量受到影響，如圖8-6所示。

11. 觀測站需能通過豪大雨等降雨因素所造成的影響。

本項目為這一階段各觀測站所面臨的首要問題，各觀測站幾乎都曾因豪大雨的因素造成顯著的影響，梅山觀測站甚至因連續的豪大雨、颱風因素，使得分析系統的管線時常積水甚至造成觀測站的地基遭到淘空，而就連前一階段的泰安觀測站的氣體來源，也是因為颱風的原因造成溪水暴漲，衝毀了主要的出氣口，因而被迫放棄泰安觀測站。梅山觀測站在正常的觀測期間（2008年1月至7月），資料穩定獲得不錯的觀測結果，如圖8-7所示。而7月起，由於一連串的豪大雨、颱風造成地基嚴重淘空，因此在原觀測站旁新置一採樣點進行連續分析，不過其濃度值極不穩定

（2008年8月至11月），如圖8-8所示，且地基淘空問題以無法再進行補救（圖8-9），因此建議未來將原梅山觀測站遷移至新的候選地點，地點請參見圖3-11和圖3-12。

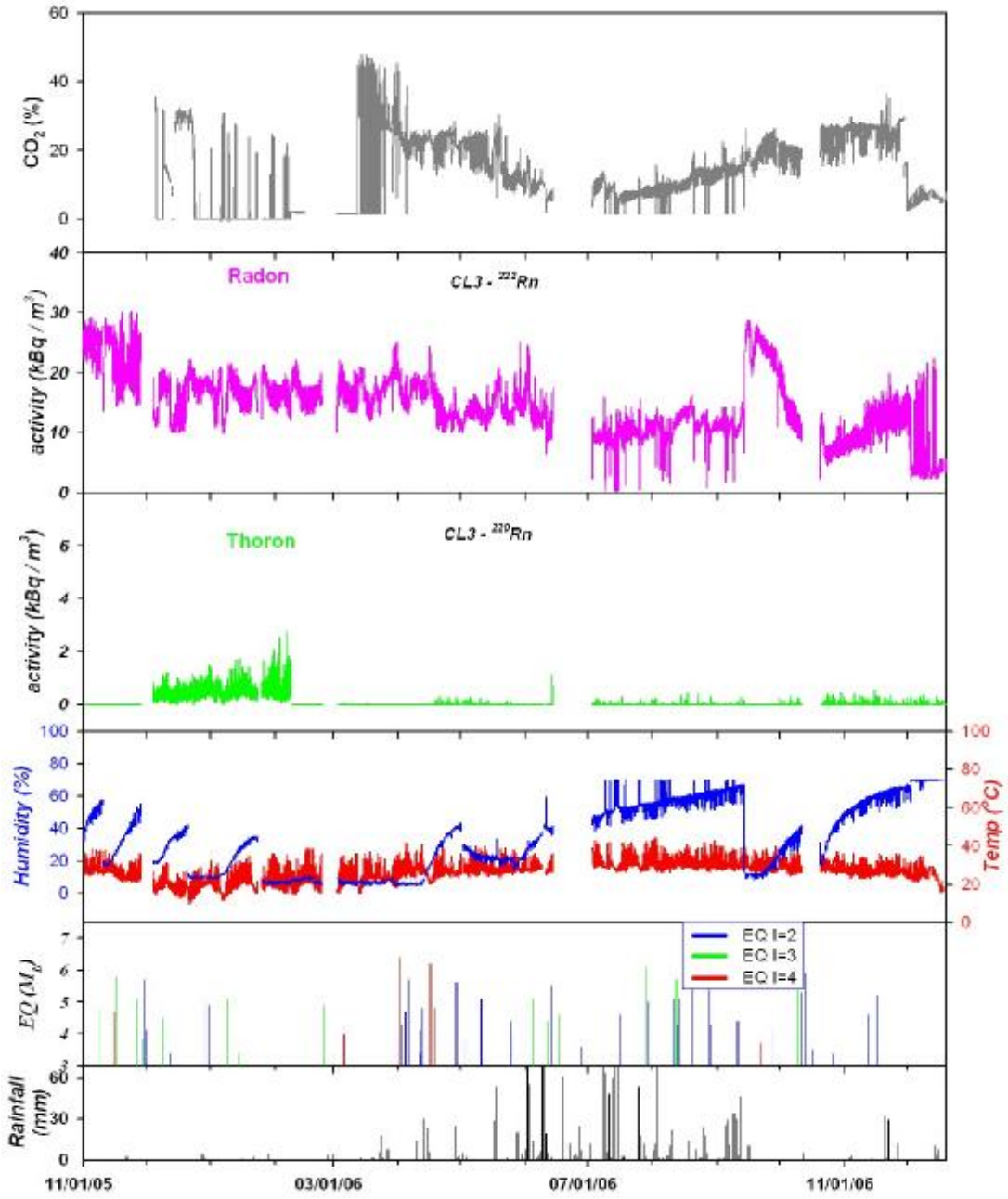


圖 8-6：嘉義中崙溫泉井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2005/11/1～2006/11/30）。

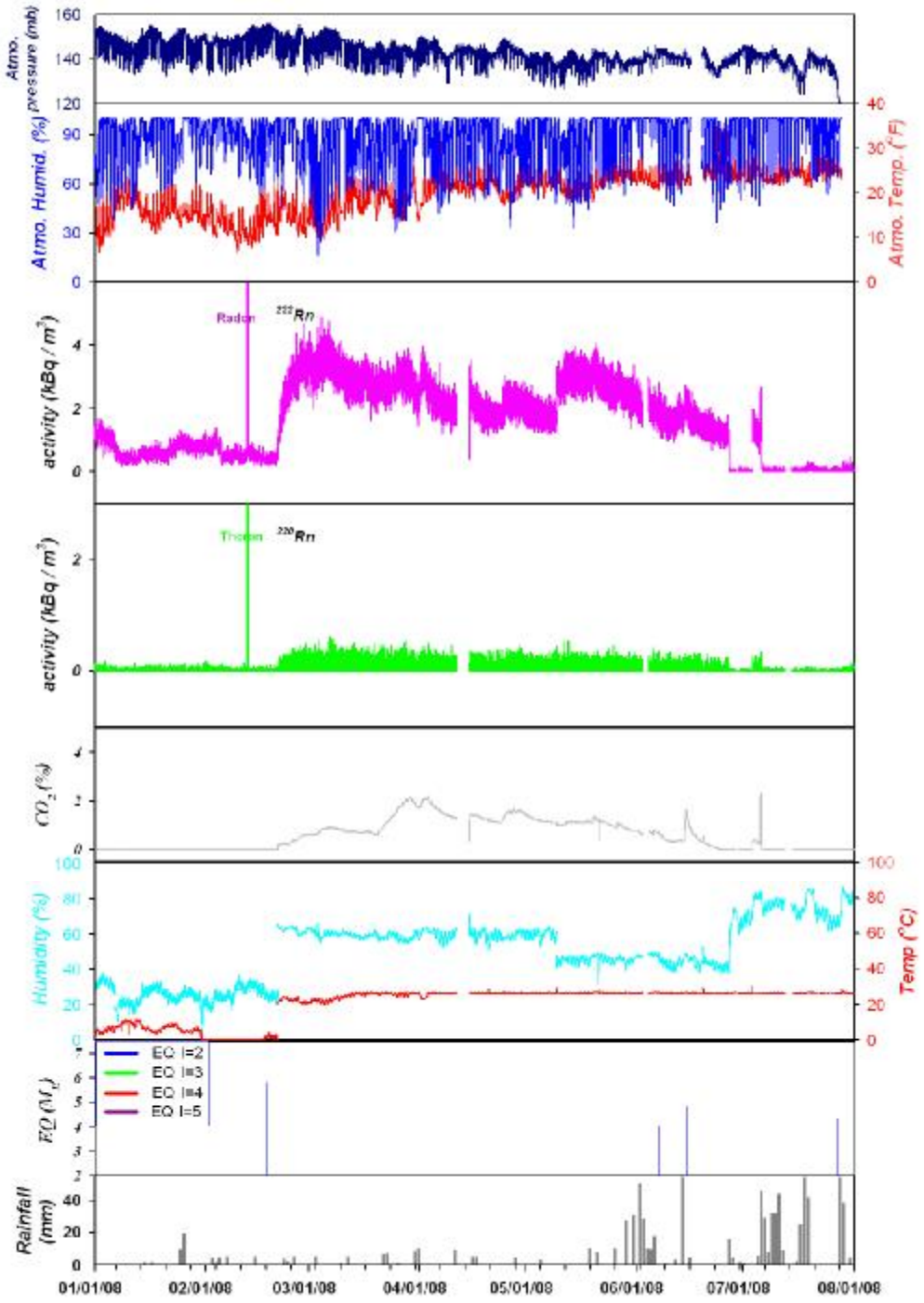


圖8-7：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/1/1～2008/7/31）。

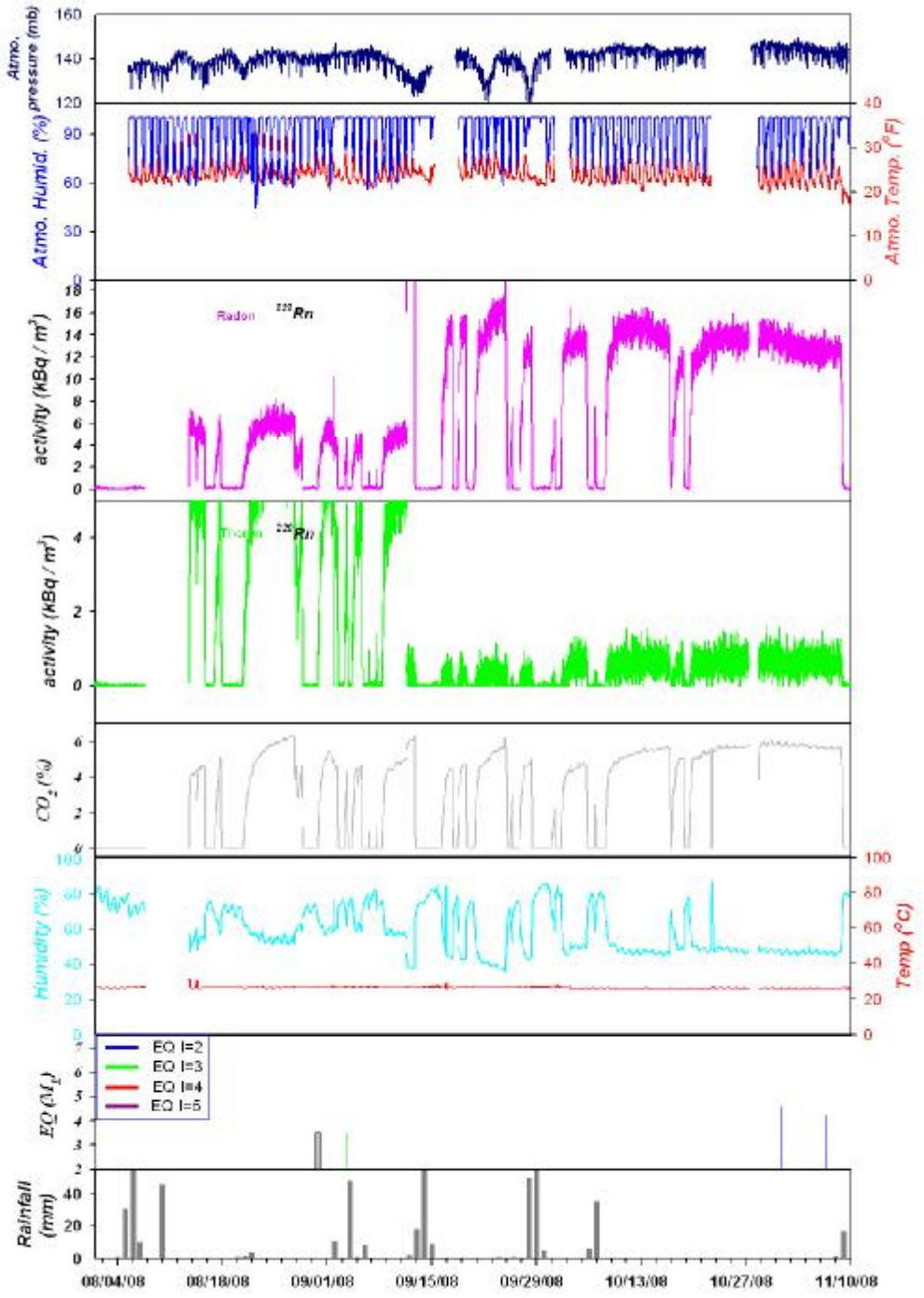


圖8-8：嘉義梅山土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H則表示土壤氣的溫濕度變化（2008/8/1～2008/11/10）。



圖8-9：嘉義梅山觀測站地基淘空與周遭受到破壞的情形。

8-4 地下水壓變動觀測結果

為觀測新竹地區之地震活動與地下水壓之關係，在此區共計建置了新竹寶山雙溪國小、尖石鄉新樂國小與梅花國小三個觀測井。雙溪國小觀測井地下水壓雖明顯反應降雨之影響，但在此期間，仍對 2007 年 2 月 10 日及 2008 年 6 月 2 日台灣北部新竹（M_L=3.1）與宜蘭（M_L=6.0）之地震似有數天（圖 8-10）至近一個月（圖 8-11）之前的水壓突降情形，但仍不易確定是否為震前反應。建議可更新水壓計後繼續觀測。新樂國小觀測井水壓亦受降雨的明顯影響（圖 8-12），對新竹地區 M_L=3.0 以下的地震，未發現有震前水壓反應。觀測期間，對 2008 年 6 月 2 日（M_L=6.0）的宜蘭北方地震，似有一約 6 天的震前水壓異常升高，值得繼續觀測。梅花國小水壓記錄缺失許多（圖 8-13），為了於新竹地區與雙溪國小及新樂國小形成觀測井群，以彼此驗證比對，建議將此站水壓計更新。

為觀測嘉義（或嘉南）地區之地震活動與地下水壓之關係，建置了嘉義縣中埔鄉沄水國小、竹崎鄉中興國小、梅山鄉太興國小及阿里山鄉達邦國小等四個觀測井。沄水國小觀測井因係自噴井，須將井口封閉，但水壓觀測結果並不理想（圖 8-14），建議放棄觀測井之觀測。中興國小（圖 8-15）、太與國小（圖 8-16；圖 8-17）及達邦國小（圖 8-18）對於嘉義地區 2007 年 1-2 月、2008 年 2-3 月以及 2008 年 6 月嘉義地區 $M_L \geqq 3$ 的地震有顯著的震前數天的水壓反應（圖 8-19），很值得持續觀測。

為觀測台北地區的地震與地下水壓關係，2007 年 11 月起在台北縣中和市錦和國小及三峽鎮明德國中各建置一口觀測井。此二井水壓亦受降雨影響，但對此期間 2007 年 11 月 20 日及 2008 年 6 月 2 日於宜蘭市北方 $M_L \fallingdotseq 6.0$ 的地震似有震前反應（圖 8-20；圖 8-21）。因這二井觀測時間尚短，建議繼續觀測，預期會有好的成果。

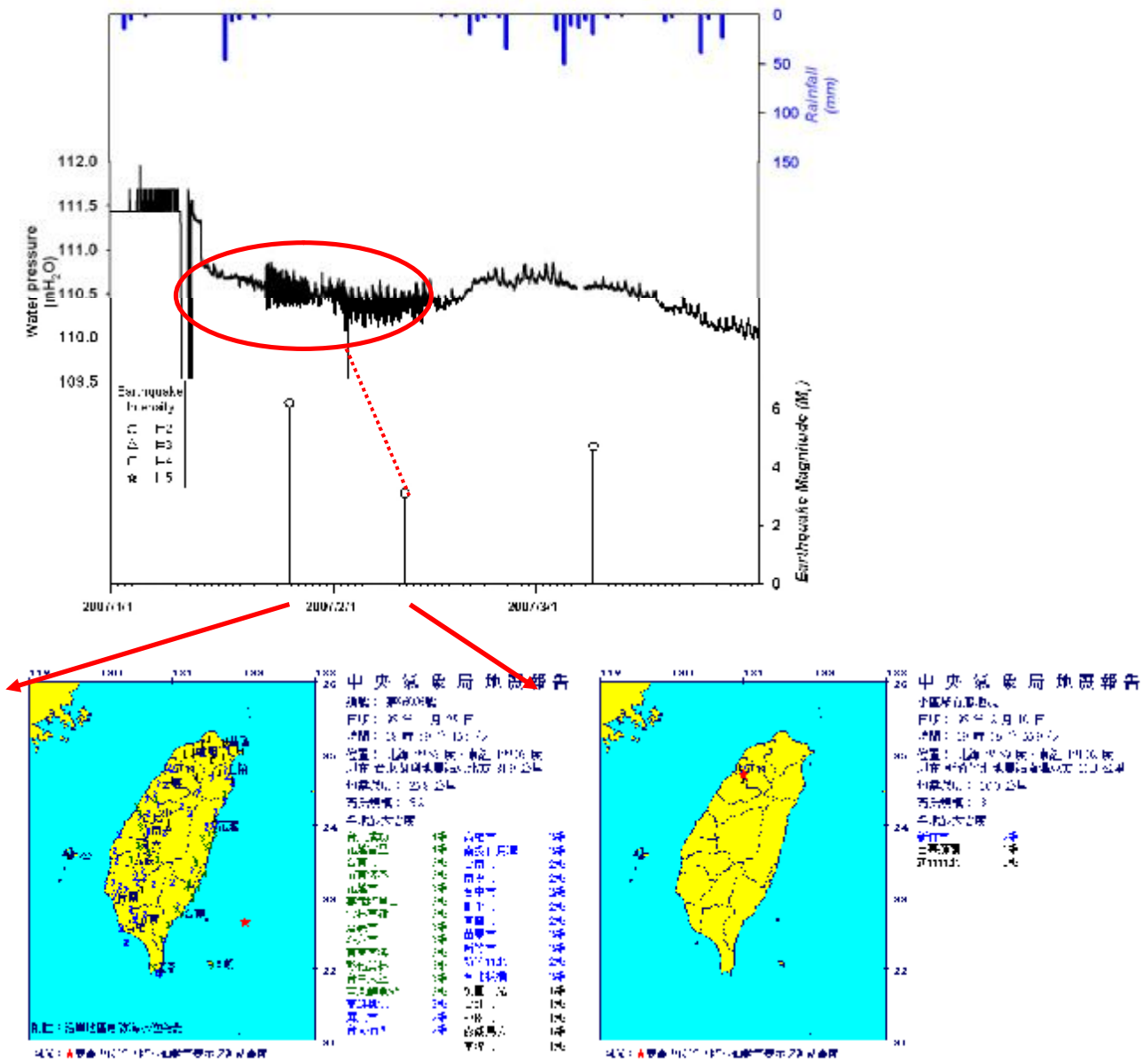


圖 8-10：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/1/1-2007/3/31）。於 1 月 10 日水壓計維修。圖中圓圈標示者，水位可能係因震前應力場改變之異常變化。縱軸 water pressure 代表水壓計之上的水頭高度。以下各圖縱軸 water pressure 代表意義與本圖相同。

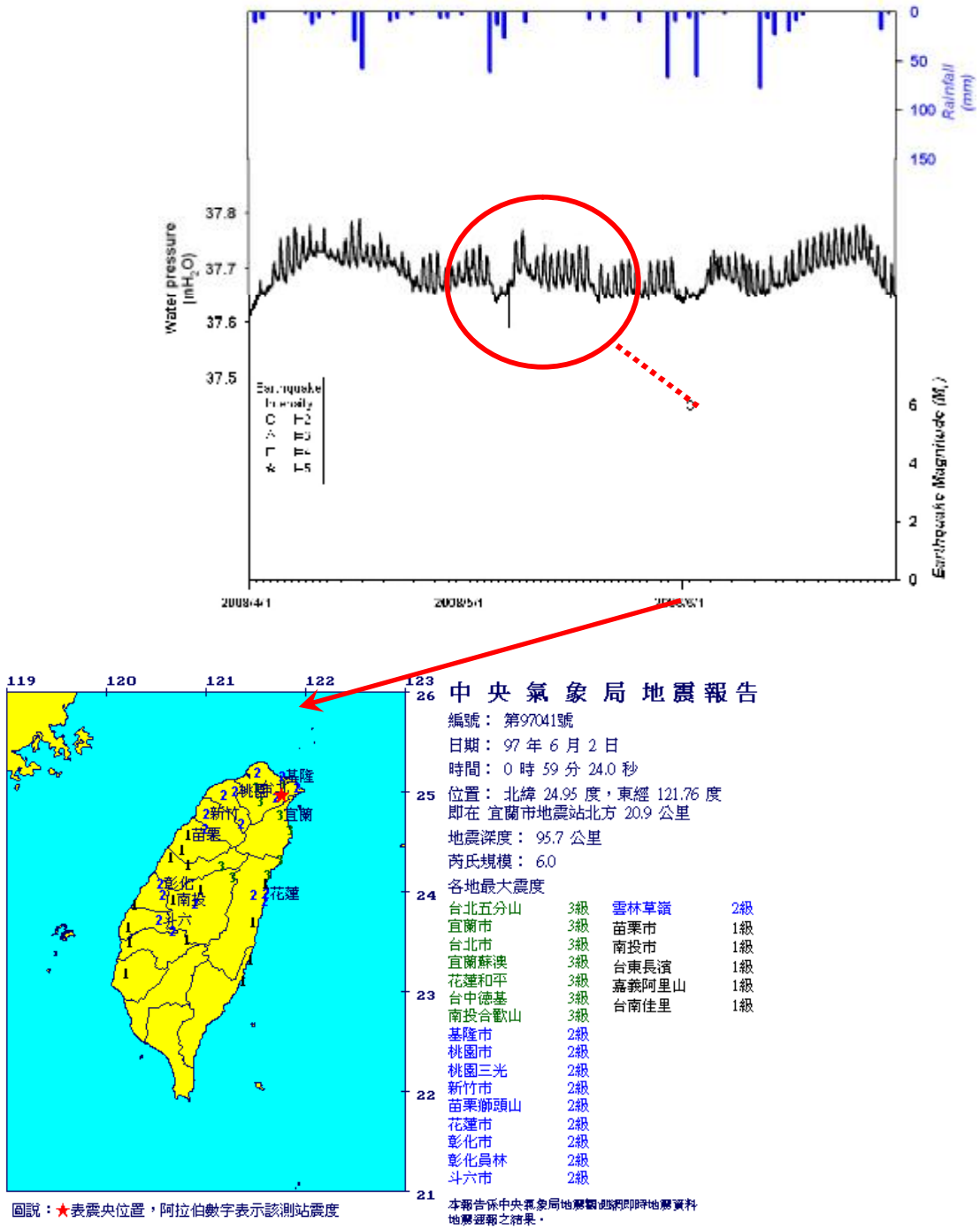


圖 8-11：新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。

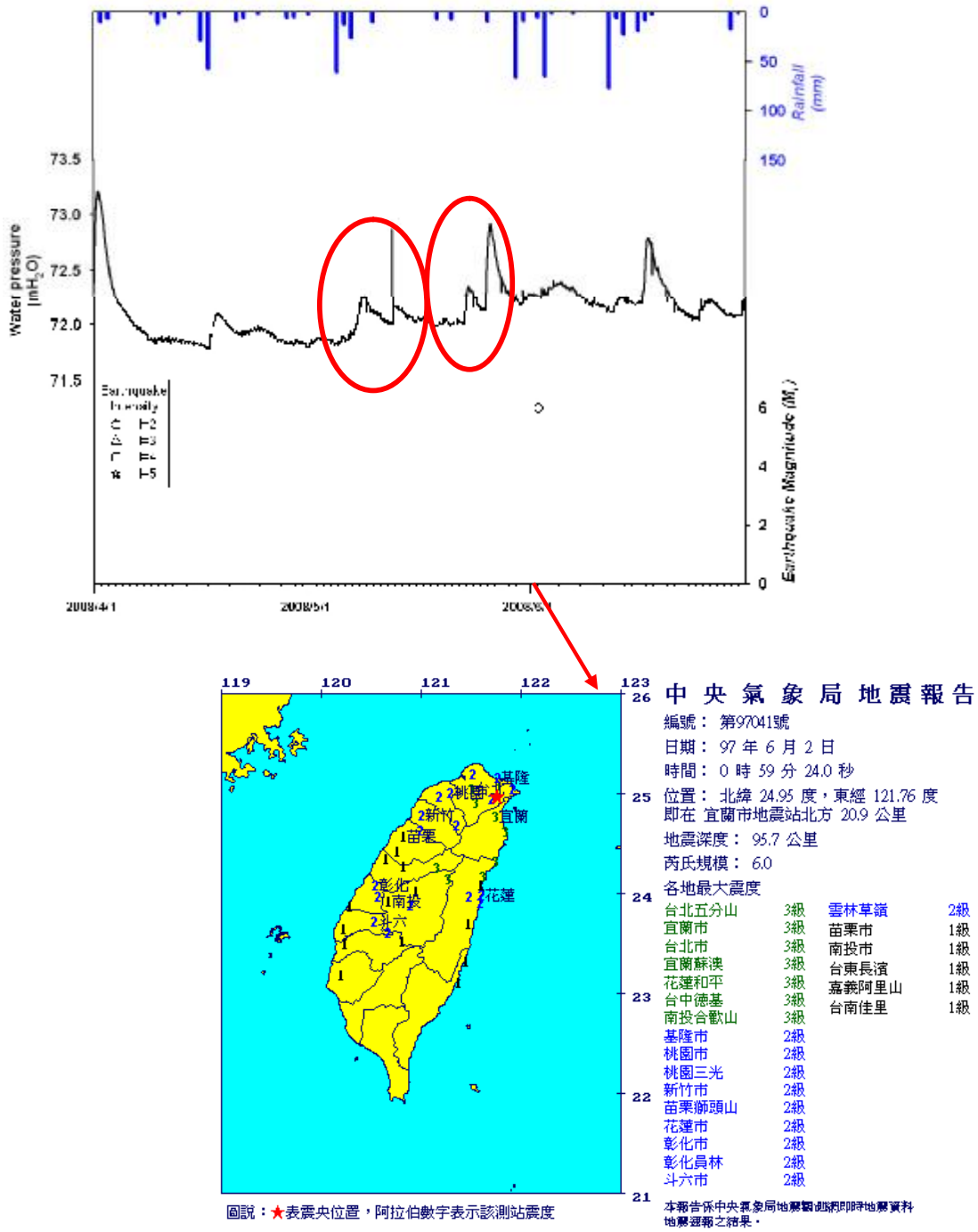


圖 8-12：新竹縣尖石鄉新樂國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/4/1-2008/6/30）。

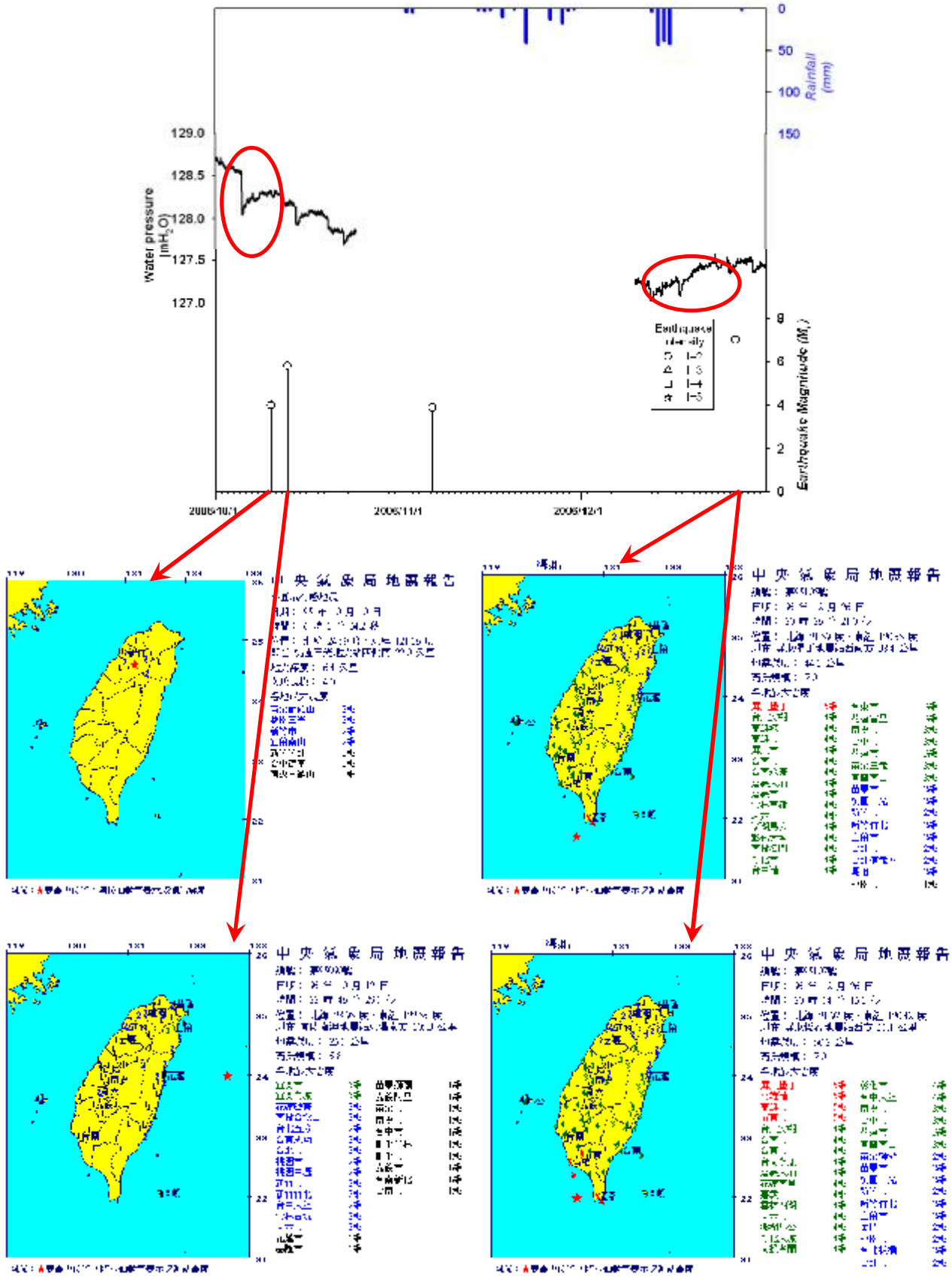


圖 8-13：新竹縣尖石鄉梅花國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2006/10/1-2006/12/31）。

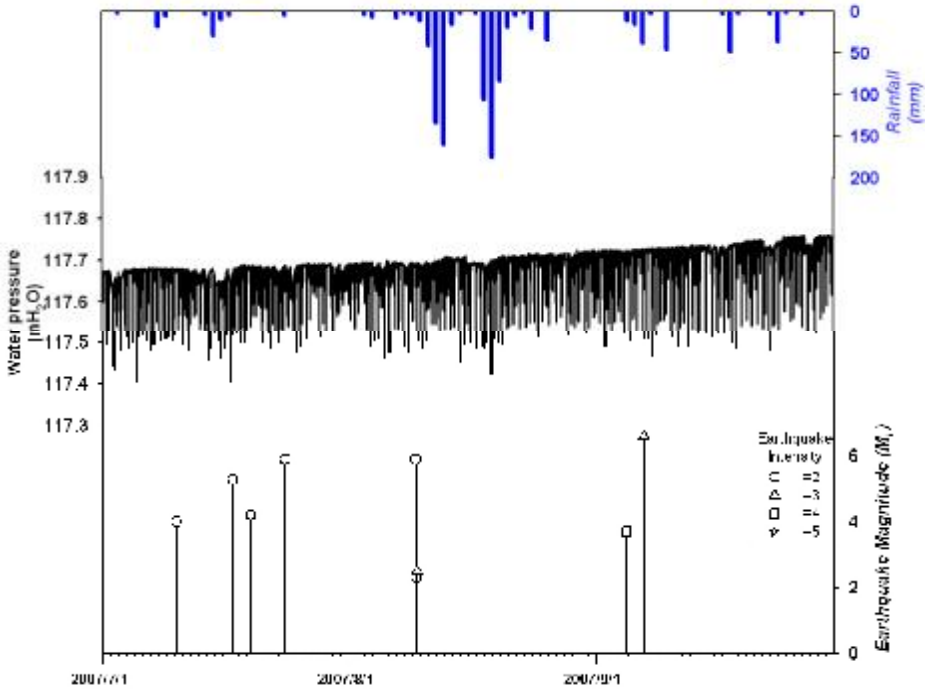


圖 8-14：嘉義縣中埔鄉沄水國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/7/1-2007/9/30）。此期間有多次震度 2 級以上之地震，無法判識與地震有關的水位變化異常。

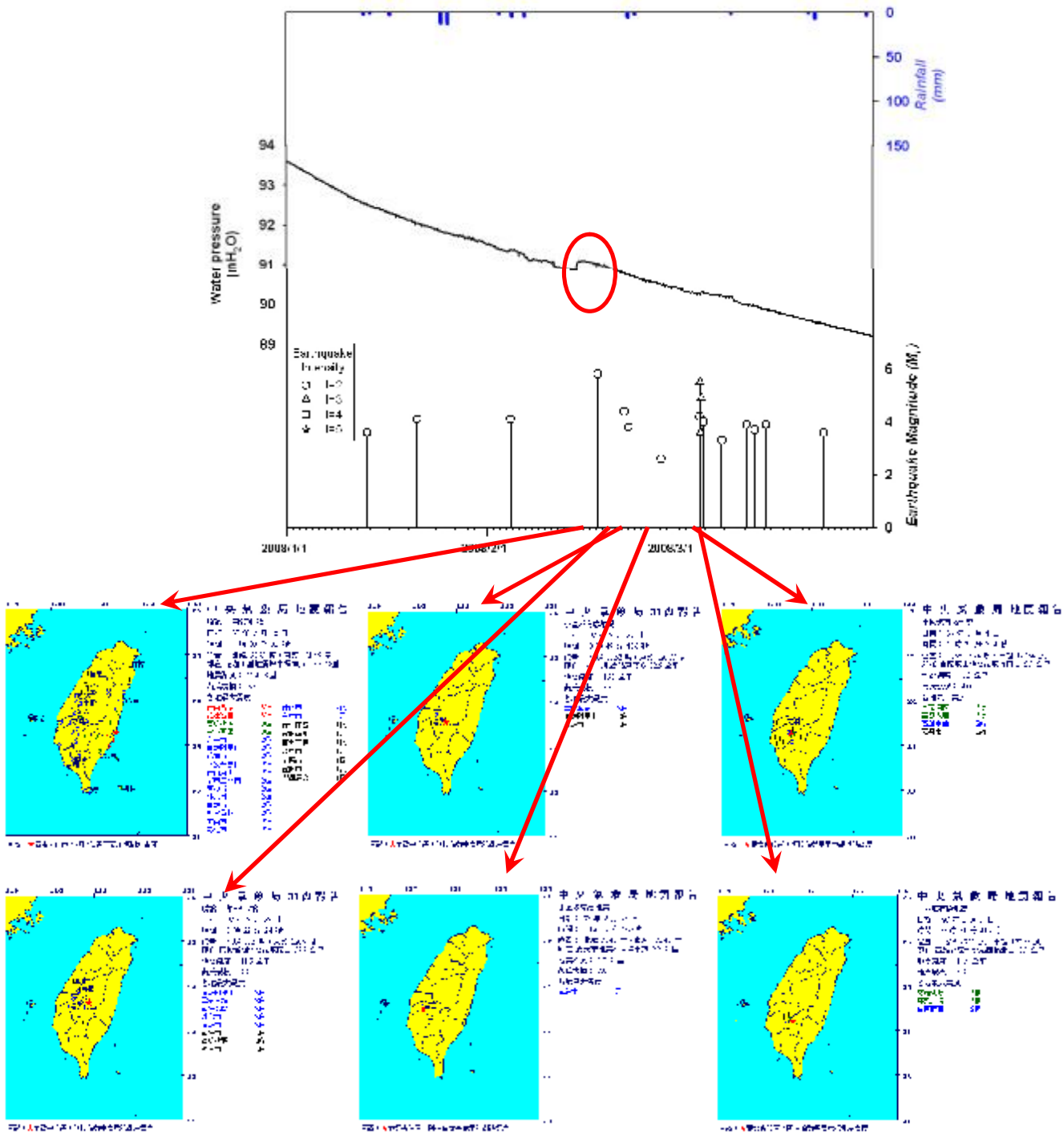


圖 8-15：嘉義縣竹崎鄉中興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

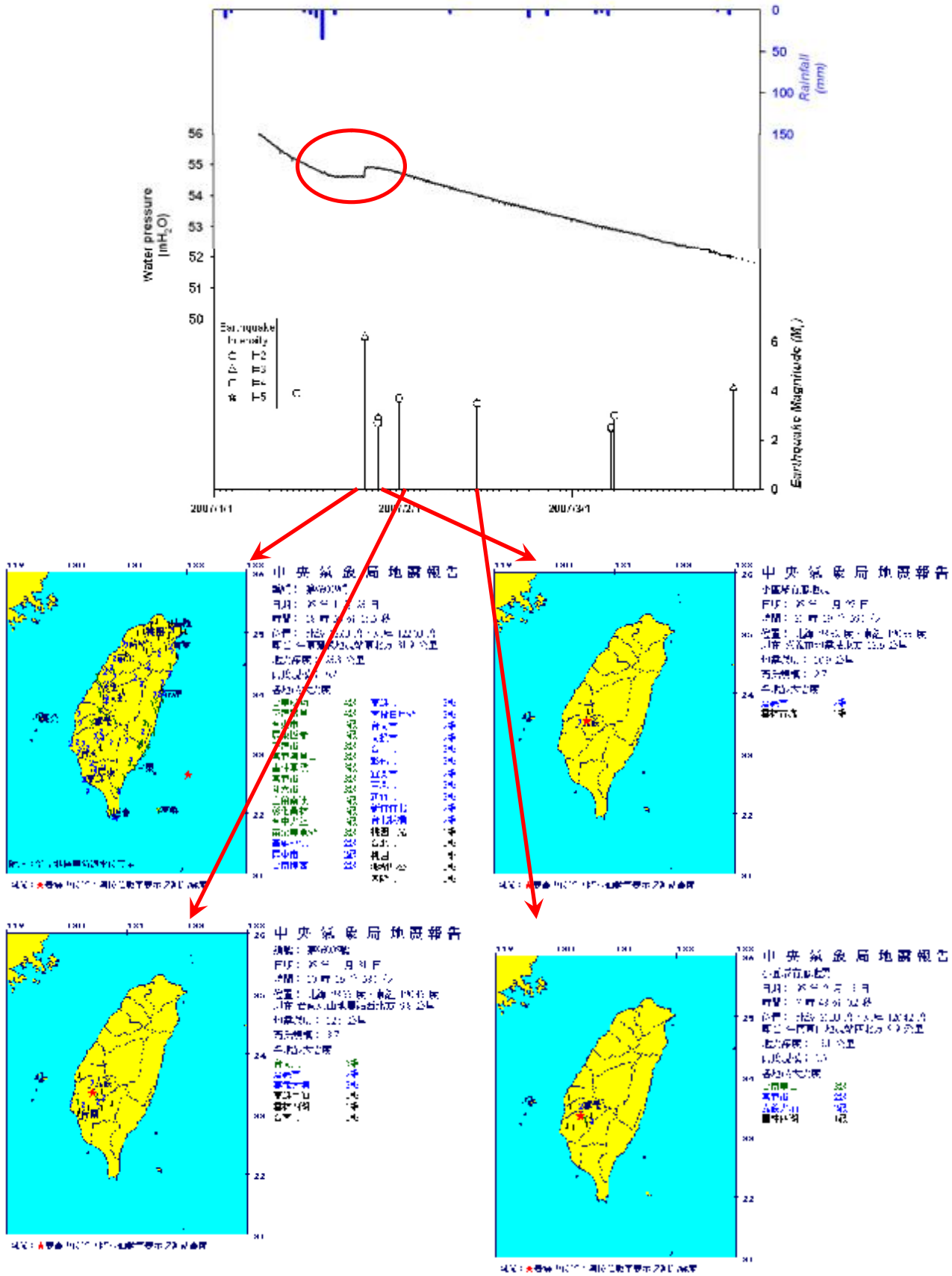


圖 8-16：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨重圖（2007/1/1-2007/3/31）。圖中圓圈標示之水位異常變化，可能與地震有關。

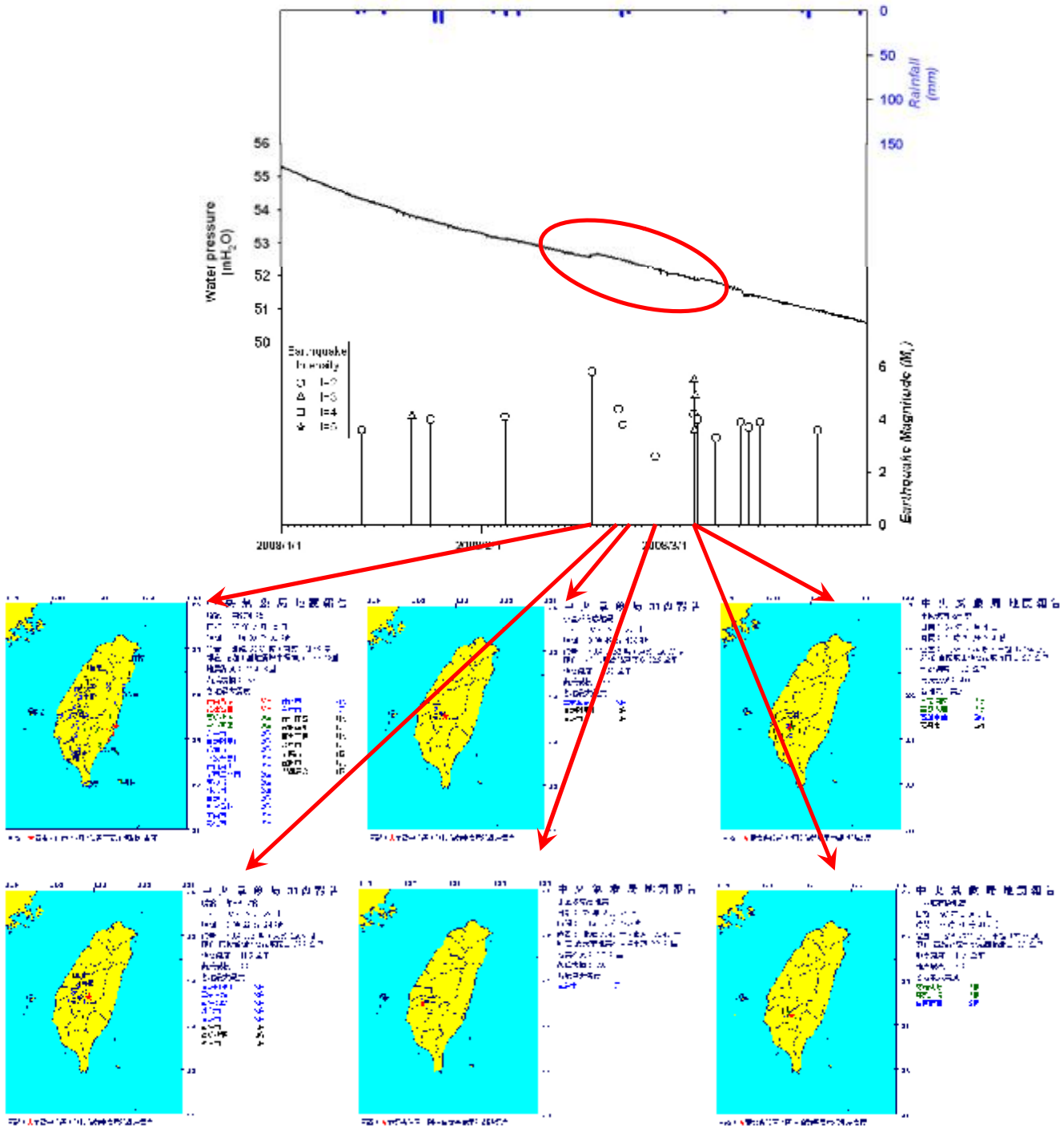


圖 8-17：嘉義縣梅山鄉太興國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。

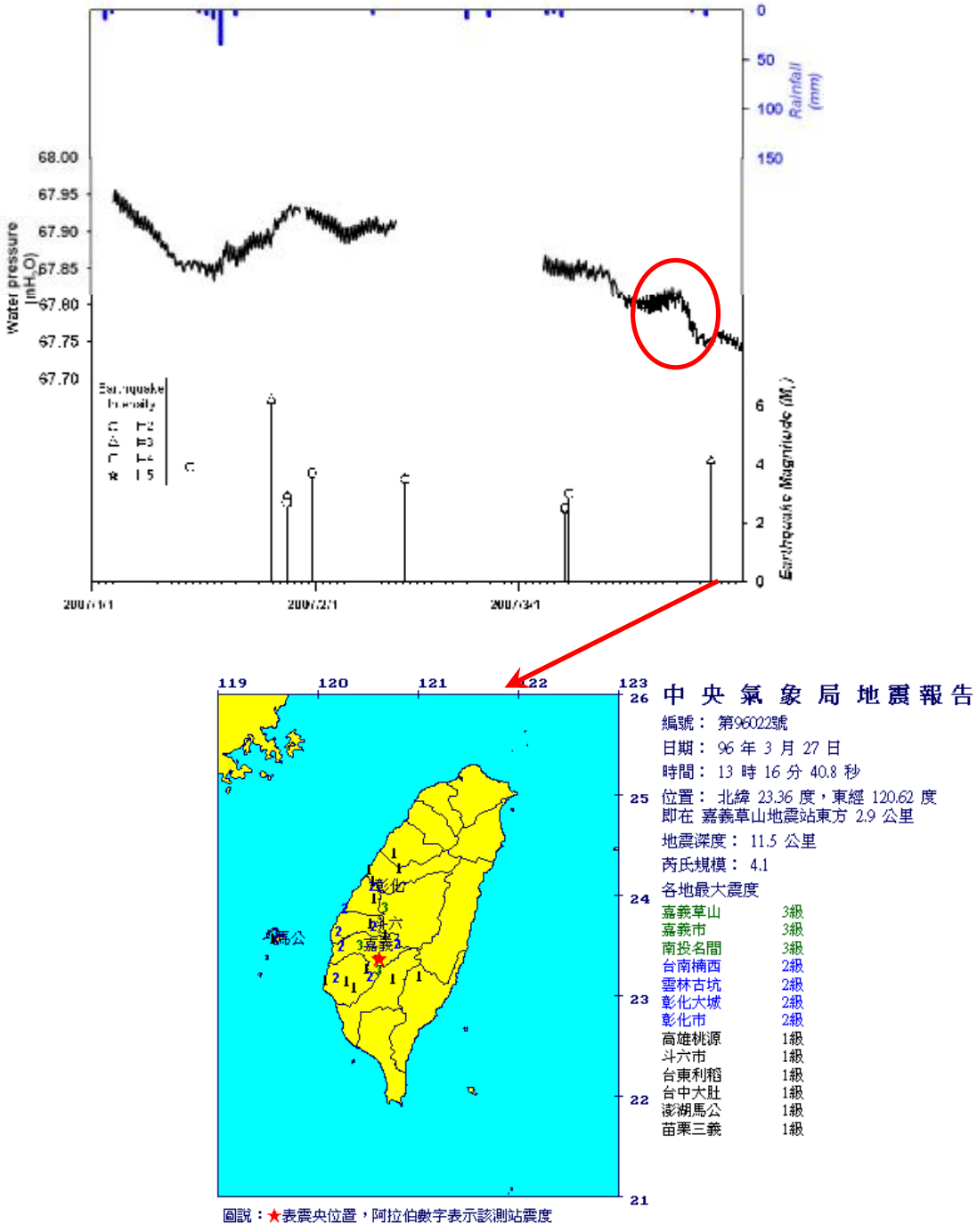


圖 8-18：嘉義縣阿里山鄉達邦國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/1/1-2007/3/31）。

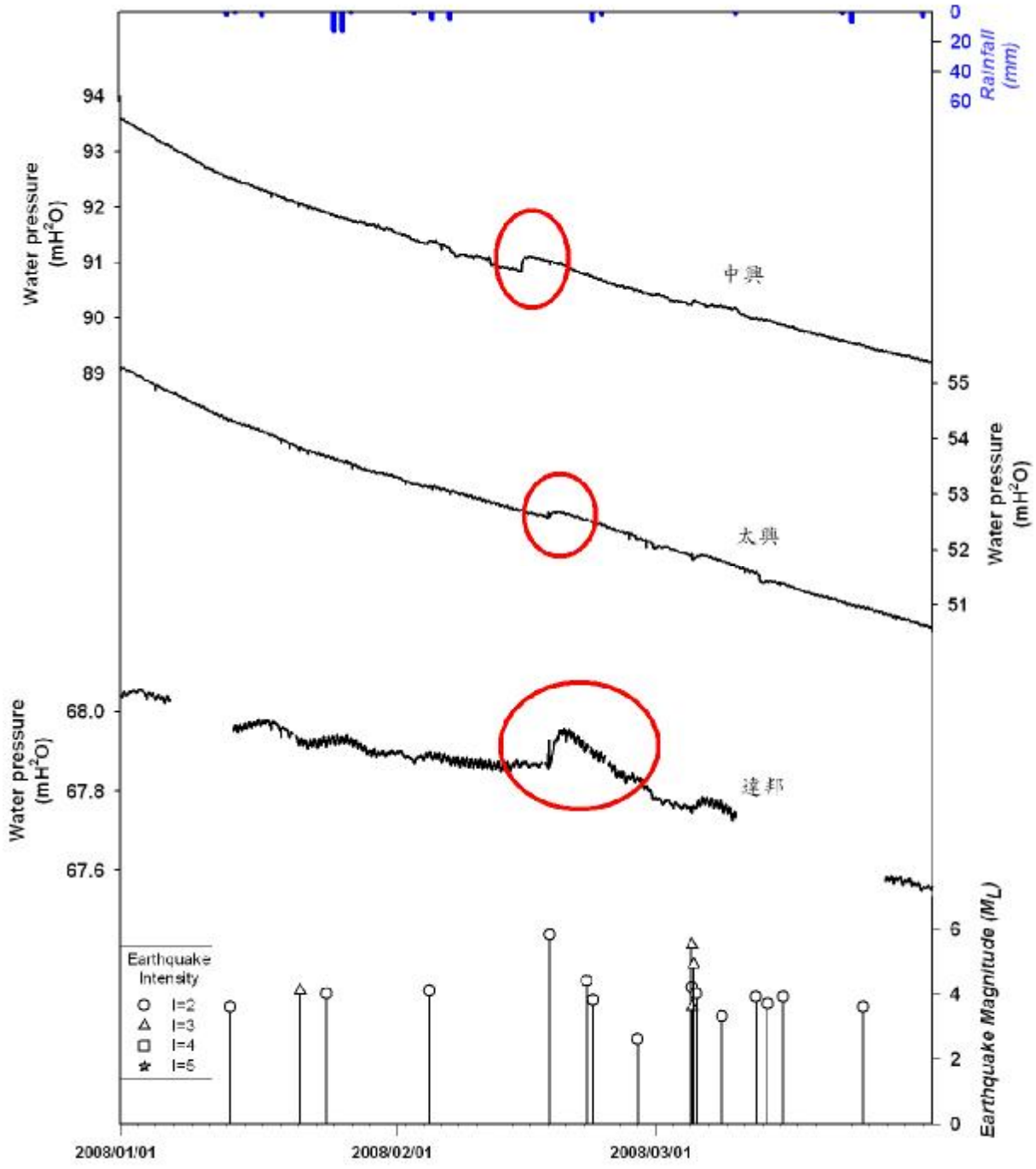


圖 8-19：嘉義縣中興、太興與達邦站觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖(2008/1/1-2008/3/31)。

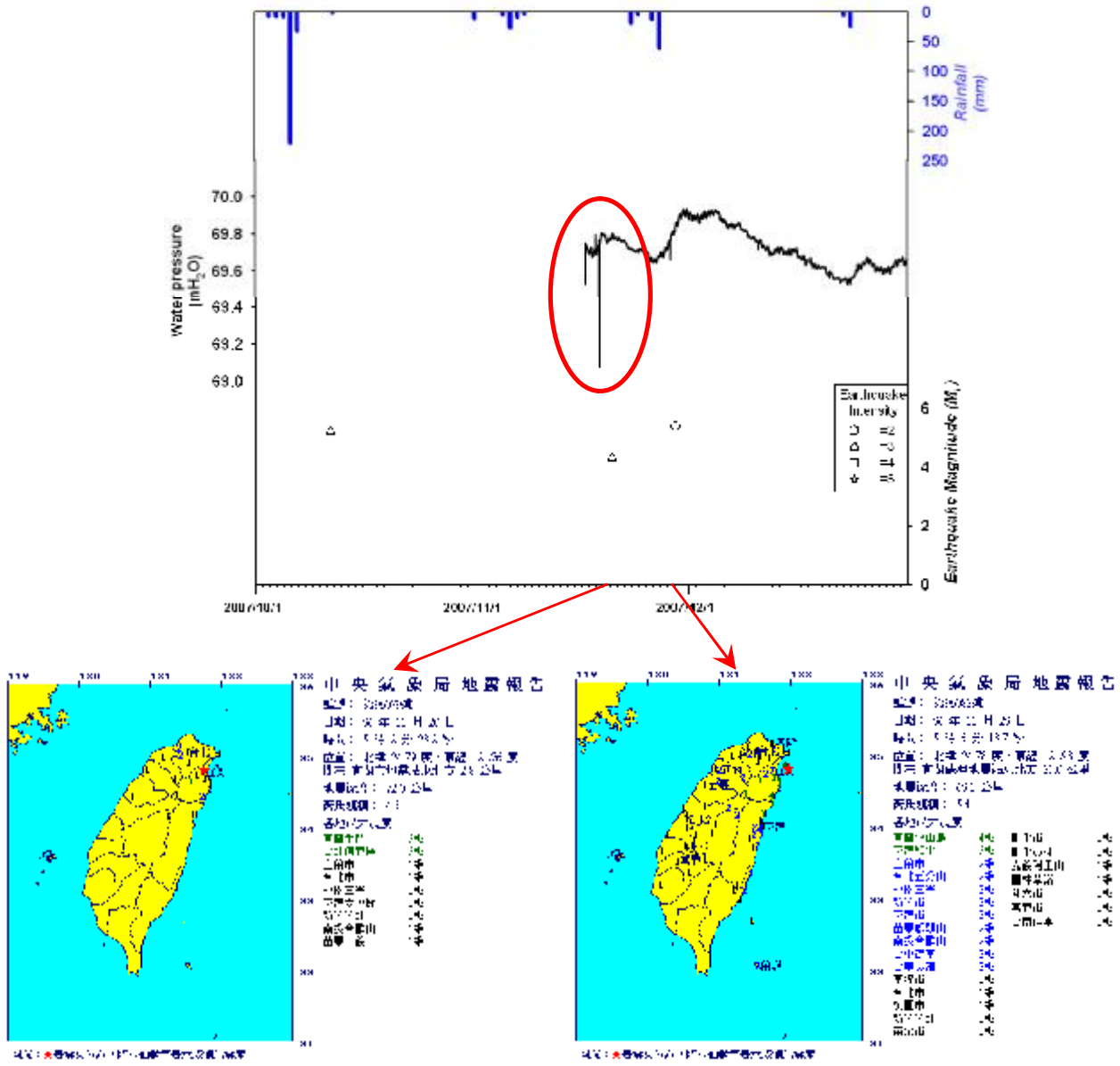


圖 8-20：台北縣中和市錦和國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/10/1-2007/12/31）。

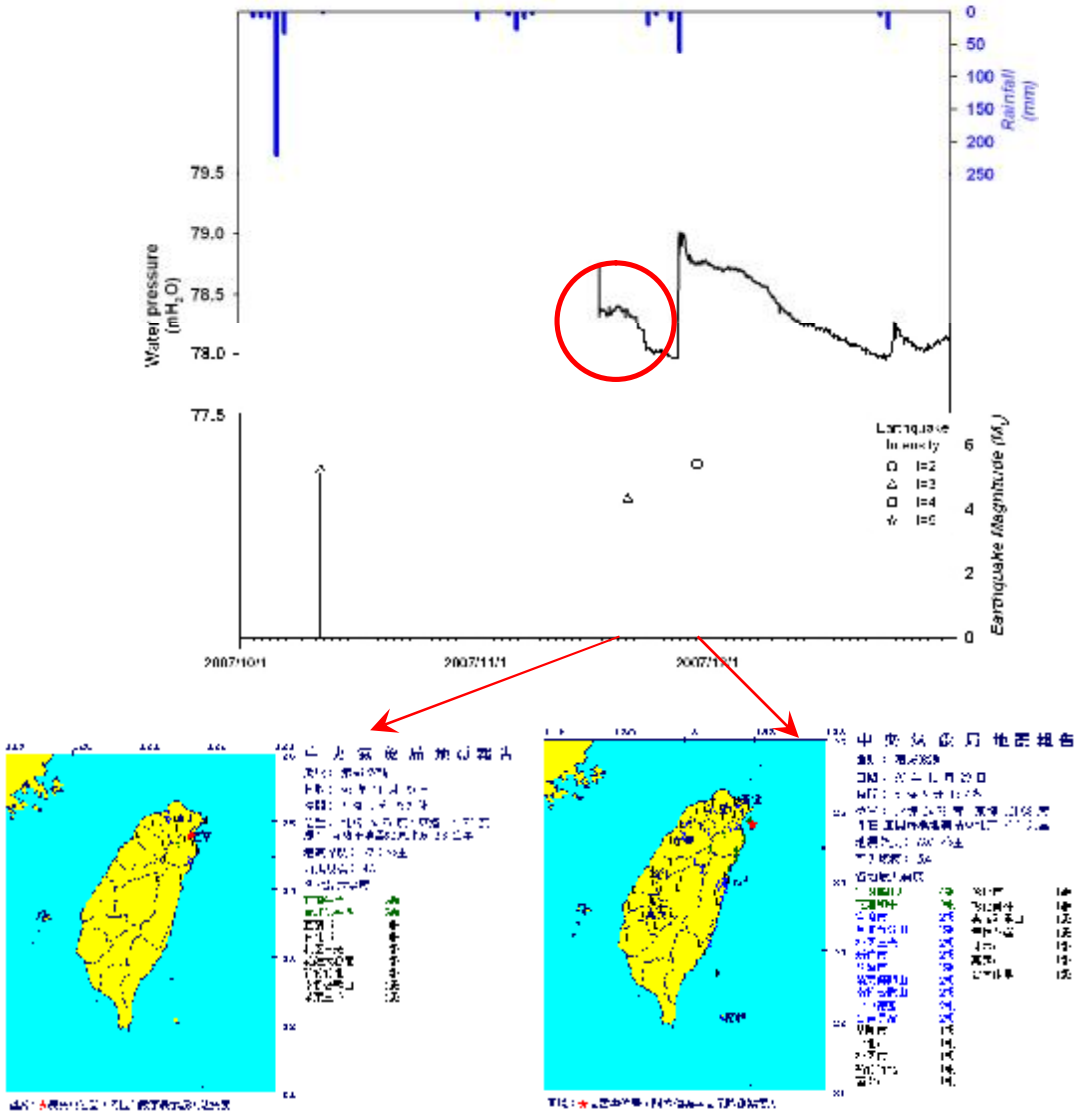


圖 8-21：台北縣三峽鎮明德國中觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量圖（2007/10/1-2007/12/31）。

8-5 土壤氣體與地下水壓觀測之相關性

圖 8-22 為 2008 年 1 月至 3 月嘉義梅山、中崙和台南二溪氣體觀測站與嘉義中興、太興和達邦水位觀測站，對於 2008 年 2 月 18 日發生在台灣東部地區的地震，彼此間相對應的情形，可以發現氣體和水位皆出現異常變化，而氣體濃度異常出現的時間早於水位的異常變化，應該是一起成功的地震前兆訊息。

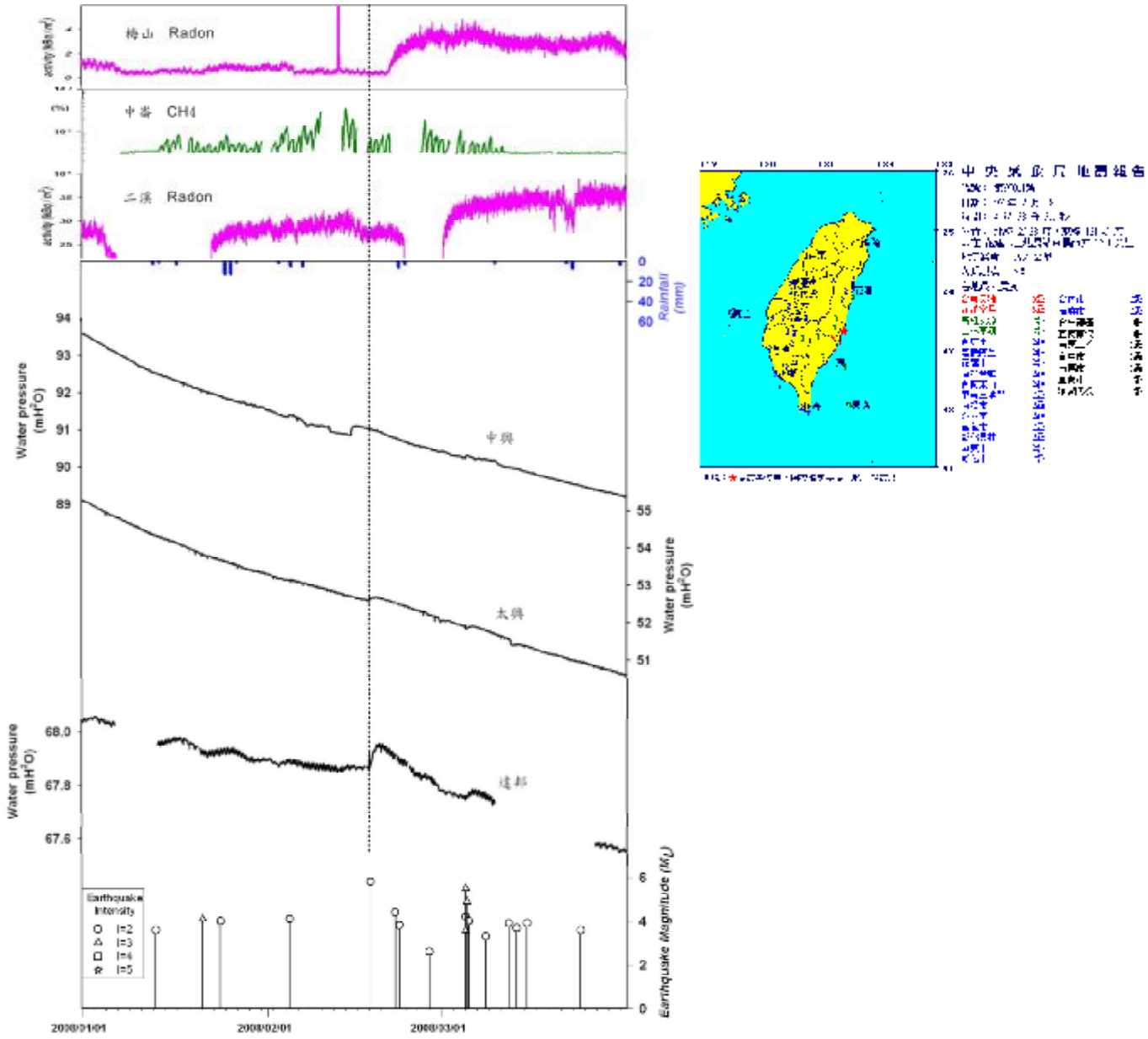


圖 8-22：梅山、中崙和二溪氣體觀測站與嘉義縣中興、太興與達邦站觀測井之水壓觀測值與地震和降雨量圖（2008/1/1-2008/3/31）。

8-6 各觀測站敏感因子的評估

各地點之地化敏感因子，會因各地之地質構造環境、流體與氣體來源成分不同而有所不同。過去四年的分析資料，顯示了各觀測站對於地震活動的關連性，同時也瞭解各觀測站的主要影響變因為何。表 8-2 整理了本計畫各觀測站對於地殼活動的敏感因子、可能的地震偵測範圍、非地殼活動的主要影響變因，並評估該測站是否適合持續進行長期的觀測。

表 8-2 本研究對於各觀測站的綜合評估

地點	地殼活動敏感因子	可能的地震活動偵測範圍	非地殼活動之影響變因	是否適合持續長期觀測
大平地	Rn, N_2	新竹地區以北和宜蘭地區附近	雨量	是
梅山	Rn,CO_2	南投、雲林和嘉義附近	雨量、地基損毀	否，建議遷站
中崙濁水潭	Rn,CH_4,CO_2	台灣西南部和花東部地區	雨量、地處偏遠地區供電不穩定	是
中崙溫泉井	Rn,CH_4,CO_2	難以辨識	雨量、氣體通量不穩定	否，已和濁水潭測站併站
二溪	Rn,CO_2	台南、高雄和屏東地區	雨量	可
潮洲	Rn,CO_2	新設置	雨量	是
池上	Rn,CO_2	新設置	雨量	是
寶山	水位（水壓）	目前不易辨識	雨量	可
沄水	水位（水壓）	目前不易辨識	雨量	可
錦和	水位（水壓）	宜蘭地區	雨量	可
明德	水位（水壓）	宜蘭地區	雨量	可
新樂	水位（水壓）	新竹、宜蘭地區	雨量	可
梅花	水位（水壓）	新竹、花蓮地區	雨量	可
太興	水位（水壓）	嘉義以南和台東地區	雨量	是
中興	水位（水壓）	彰化、台南地區	雨量	是
達邦	水位（水壓）	嘉義以南等地區	雨量	是

玖、參考文獻

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。

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。

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。

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.

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* (accepted)

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.

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.

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.

Roeloffs, E. A. (1988) Hydrologic precursors to earthquakes: A review. *Pure and Applied Geophysics*, 126, 177-209

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.

附錄10-1：期中報告審查委員意見及答覆情形

委 員 意 見	辦 理 情 形
1. 摘要應著重於工作成果。	1.答：已修正。
2. 屏東潮州測站的設站進度，P46	2.答：已修正。
3. 第三章應說明目前設站細節。	3.答：已修正。
4. 地下水觀測應為水位觀測還是水壓觀測？	4.答：本報告以水壓計量測水壓計至井內地下水面（即水頭）之間的水壓變化，此水壓變化用以水壓計位置為起算基準的水位變化來表示。本計畫觀測站位於山區，各站彼此並無水力之連通關係，有別於沖積平原之觀測站。故本計畫之各站水頭變化仍以水壓計為起算基準，以易於理解該站之水頭相對變化。
5. 水位變化與壓力、應變場有關還是與何種變化有關？	5.答：當大地應力場變化時，常會導致孔隙水壓變化，反應在觀測井內的水位變化。除了大地應力場外，井內之水位變化亦受降雨、大氣壓力及人為抽水等因素影響。但本計畫所用水壓計已自動校正大氣壓力影響。
6. 每個地下水、氣體觀測結果應作小結並在文末進行觀測結果總結。	6.答：遵照辦理。
7. 資料的呈現方式會影響觀察的結果是否異常往往將圖放大後就會看到一些異常同震變化。	7.答：遵照辦理。
8. 看到變化後要有一些模式來說明如：中崙測站 2008/4 之 Rn 和 CO_2 變化。	8.答：土壤氣濃度於 4/17 升高至 4/22 降低後恢復為背景值，而 19 日和 24 日分別在嘉義與東部外海發生一起地震(地震規模 3.7，震度為 2 級和地震規模 5.9，震度為 2 級)。由於在地震發生前，應力開始累積並持續累積彈性應變而產生為裂隙，此時氣體濃度開始增加，而應變達到最高點時通常則伴隨著地震的發生。不過由於短時間內出現兩起可能對應的地震事件，因此無法確切的指出誰為主要的影響事件。
9. P44 不同站有不同成份的意義為何？	9.答：已於內文說明，見 P.65。
10. 建立各觀測站異常資料與EQ之關連。	10.答：會儘快以較客觀的方式，來建立各觀測站異常資料的評斷標準。

11. 東部大地震與西部測站的變化是否有關，深的 EQ 最好不要有關。	11.答：會審慎評估。
12. 要客觀的訂定異常標準。	12.答：已於內文說明，見 P.92。
13. 期末達到即時呈現更新資料。	13.答：盡量配合辦理。
14. 圖的呈現避免使用黃色線。	14.答：已修正。

附錄10-2：期末報告審查委員意見及答覆情形

委 員 意 見	辦 理 情 形
1. 各圖中的 water pressure 改為 hydraulic head 或 water level。	1.答：已修正。
2. 各觀測井之水文地質參數及井體結構相關資訊宜列入附錄作為參考資訊。	2.答：已增列於附錄中。
3. 異常變化期間可考慮另行繪圖表示其細節變化。	3.答：遵照辦理。
4. 達邦與太興觀測井 5 月中之異常變化，疑為 5 月 12 日(非 11 日)可探討是否因汶川地震引起。	4.答：此的確為汶川的同震變化，已於文中註明。
5. 研究團隊長期監測工作值得肯定，建議持續進行。	5.答：感謝委員肯定。
6. 報告摘要建議改寫，以適切表達工作成果。	6.答：已修正。
7. 結論與建議第 5 項，詞句表達不明，建議修改。	7.答：已修正，見 P.175。
8. 原報告中，新設站的描述，稱軟硬體連結仍有問題，今報告成已解決問題，請修改報告內容以符實際情形。	8.答：已修正，見 P.75 和 P.79。
9. 報告附圖中氣象局的震央圖太小，不易判讀。箭頭位置應調整，使地震的關聯更清楚。	9.答：已修正。
10. 未來第 2 階段工作建議加入以下項目研究： (1) 影響觀測值的因子很多，是否有法排除或量化或解決其他因子之干擾? (2) 每次地震不一定影響觀測值，是否有其他未知因子影響觀測? (3) 觀測值異常變化有多種形式，如變化振幅大小，變化速率大小，變化之持續時間長短，它們的意義為何?	10.答：將考量各項因素盡力配合辦理。
11. 中文摘要第 2 段需修改，以符合今年的結果。英文摘要需修改符合中文摘要文義。	11.答：已修正。
12. 中興，太興，達邦等國小水位變化與地震關係圖(如簡報所展示者)，應加於報告中。	12.答：已增列，見 P.157-P.161。
13. 本計畫已執行多年，有關的出版文章應詳列，以為成果的參考指標。	13.答：已增列於附錄中。

14. 線上觀測資料與網站資料也建議加註，作為成果展示。	14.答：已增列，見 P.170-P.171。
15. 本年度為 4 年計畫之總結，應就 4 年成果作更詳細之總結及評估。	15.答：已增列，見 P.177 至 P.203。
16. P.5，圖示表 2-1 之位置，請改換成今日簡報之用圖，會比較清楚。此外，水位觀測井文中所提及之位置，也應加位置圖。	16.答：已修正，見 P.5。
17. P.41，L.6，「無名明顯變化…」應去「名」。第 3 段圖 2-39，觀測異常與所指地震日期，文中所指與圖不符，需修改。	17.答：已修正，見 P.41。
18. P.53，圖 2-47，氡氣與釷氣降升情形與圖不符，需修改。	18.答：已修正，見 P.53。
19. P.67-81，新觀測站池上及屏科大與選址條件之關係如何?請說明。	19.答：已增列，見 P.67-81。
20. P.71-72，(圖 3-3 及圖 3-4)，圖中 e,f,g,h 及 a,b,c,d 代表之意義需註明，又屏科大設站位置與圖 3-4 之關係為何?	20.答：已修正，見 P.71-72。
21. P.82，G1，G2 及 G3 在圖 3-11 之位置為何?請加註，另新觀測站位置亦請於圖上註明。	21.答：已補充說明，見 P.82。
22. P.95，圖 4-4a 之異常部份需標示，代表有關地震指示箭頭需修正。	22.答：已修正，見 P.97。
23. P.105 至 165，內文描述所指示的對應圖，皆未在文中標示，許多地震資料無法閱讀，應修正其可讀性(如圖 4-8a, 4-10g, 4-10i, 4-12d, 4-12e, 4-12i, 4-14a, 4-14f, 4-14e 等)。有些圖有標示異常及相關地震資料，卻未在文中描述，若無關則建議去除，有關則須在文中描述(如圖 4-6m 等)。	23.答：已修正。
24. 圖 4-6f，與 P105 文中描述所標示地震不符，請修正。	24.答：已修正，見 P.105 和 P.109。
25. P.115 第 2 段，L.2，述說未完整，請補正。	25.答：已修正，見 P.115。
26. P.122，倒數第 1 行，指出與雲林、嘉義、高雄等地震有關，但圖 4-10l 中並未有此三地相關地震，反為彰化及台南，請修正。	26.答：已修正，見 P.122。
27. P.134，第 2 段，2006 年 6 月水壓	26.答：由於 6 月初的四起地震，有

升降推測為雲嘉地震，但對應之圖 4-12b 卻用台東地震，是否與此地震有關，請註明。	三起發生在雲嘉地區，另一個則在台東地區，因此認為主要的影響為雲嘉地區的地震。見 P.135。

附錄10-3：各水位觀測站之觀測井地層柱狀圖資料

10-3-1 新竹縣雙溪國小觀測井

雙溪國小觀測井於 94 年度鑽探，共鑽 160 公尺深，除了近地表受風化部份呈黃褐色外，主要為中至深灰色的粉砂質砂岩，間夾粉砂岩或泥岩（圖 10-1）。在選擇適宜深度(約 140 公尺)及透水較佳的含水層之考慮下，決定以介於 142.7～148.1 公尺深，厚約 5.4 公尺的粗砂岩層為放置水壓計的含水層。此層上為約 3 公尺的粉砂岩與泥岩互層，下為較不透水的 7 公尺厚泥岩（圖 10-2）。

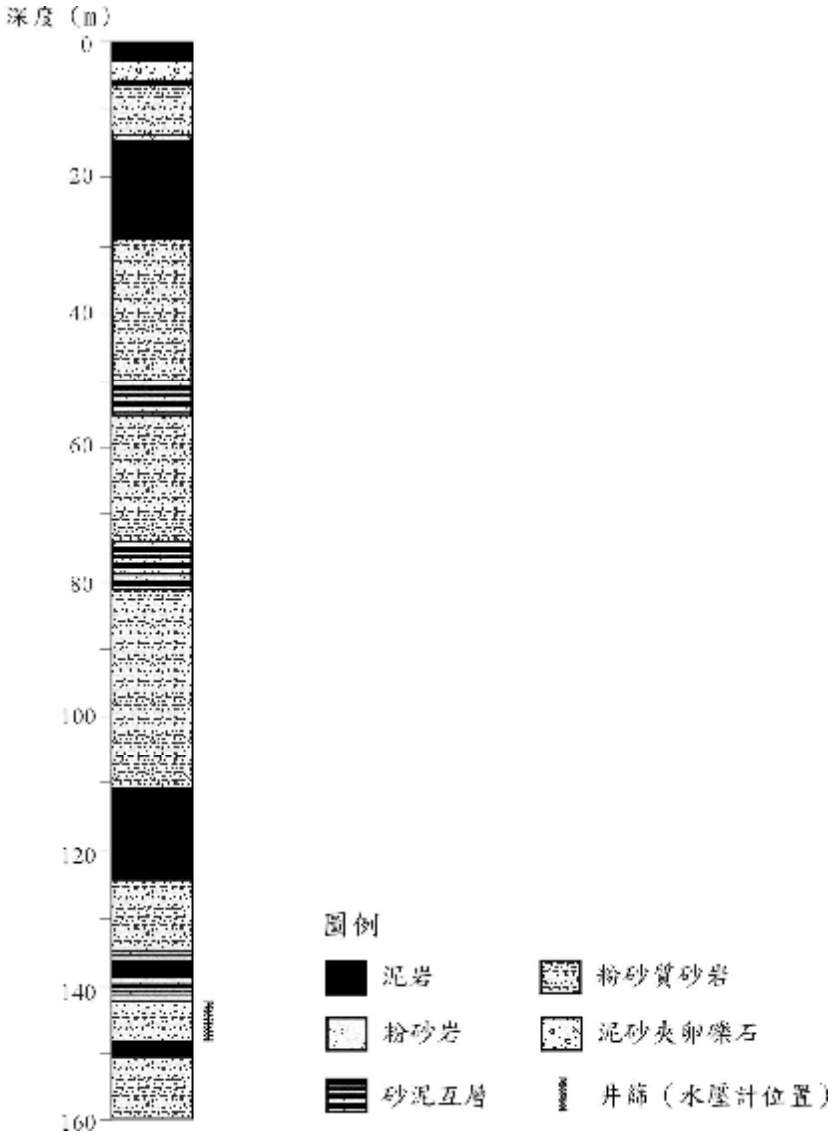


圖 10-1　新竹縣雙溪國小鑽井岩芯柱狀圖。

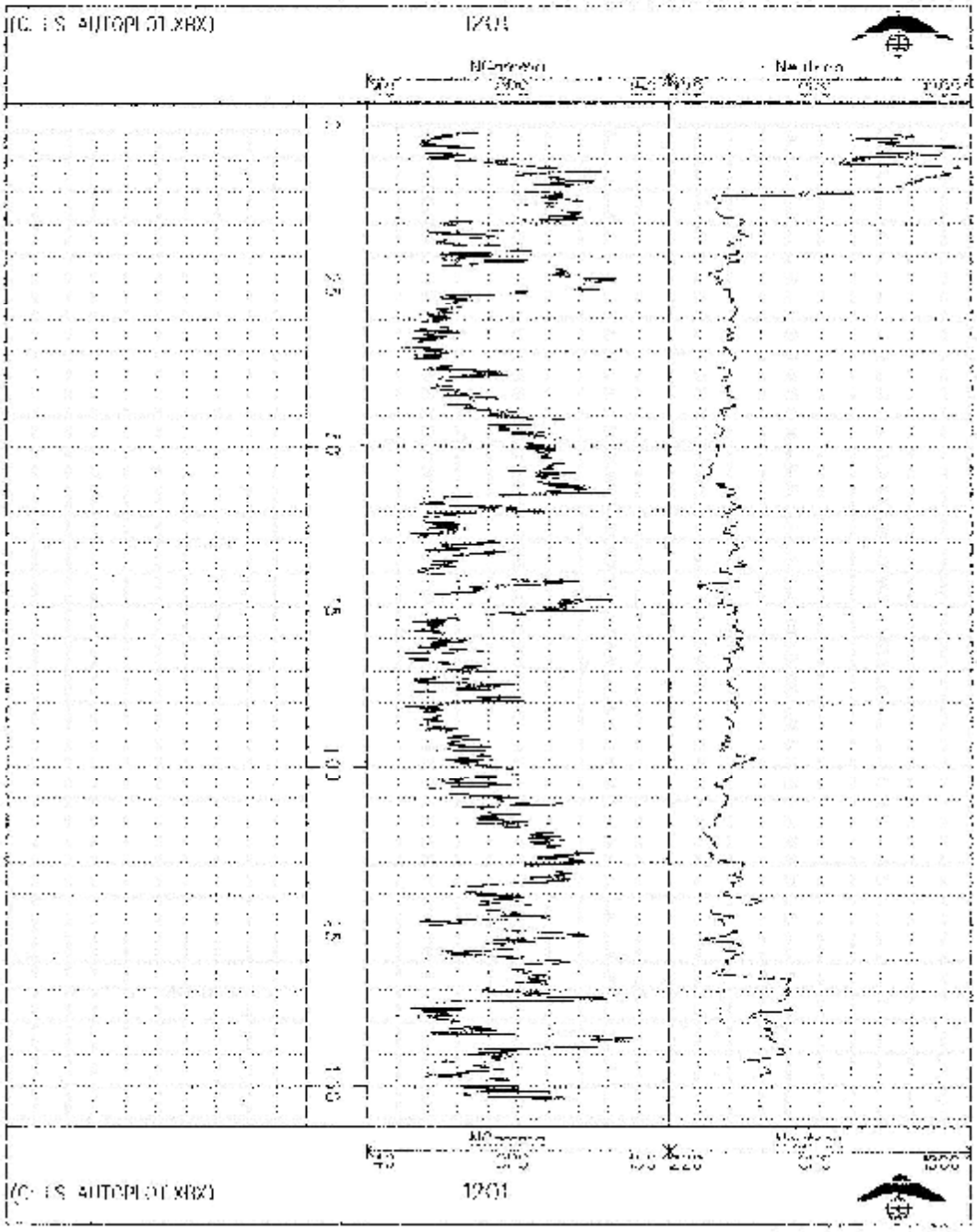


圖 10-2　新竹縣寶山鑽井井測圖。

10-3-2 嘉義縣沄水國小觀測井

嘉義縣沄水國小觀測井於 95 年度施鑽，井深至 100 米深，除了近地表受風化部份呈黃褐色外，主要為灰色泥質細砂岩，間夾薄層頁岩或細砂岩（圖 10-3）。在選擇適宜深度及較透水的含水層之考慮下，決定以 97.5 ± 0.5 米深，厚約 1 米的細砂岩為放置水壓計的含水層。

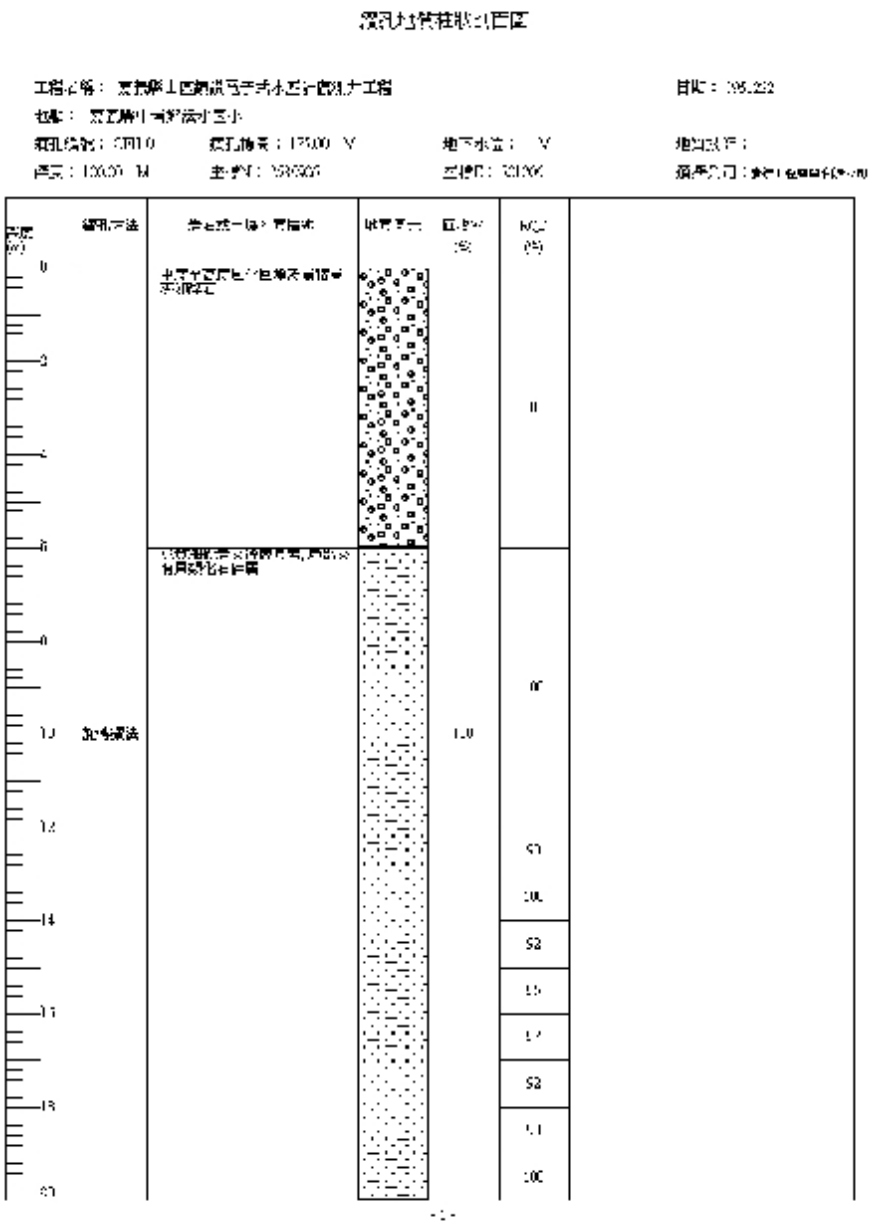


圖 10-3　嘉義沄水國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

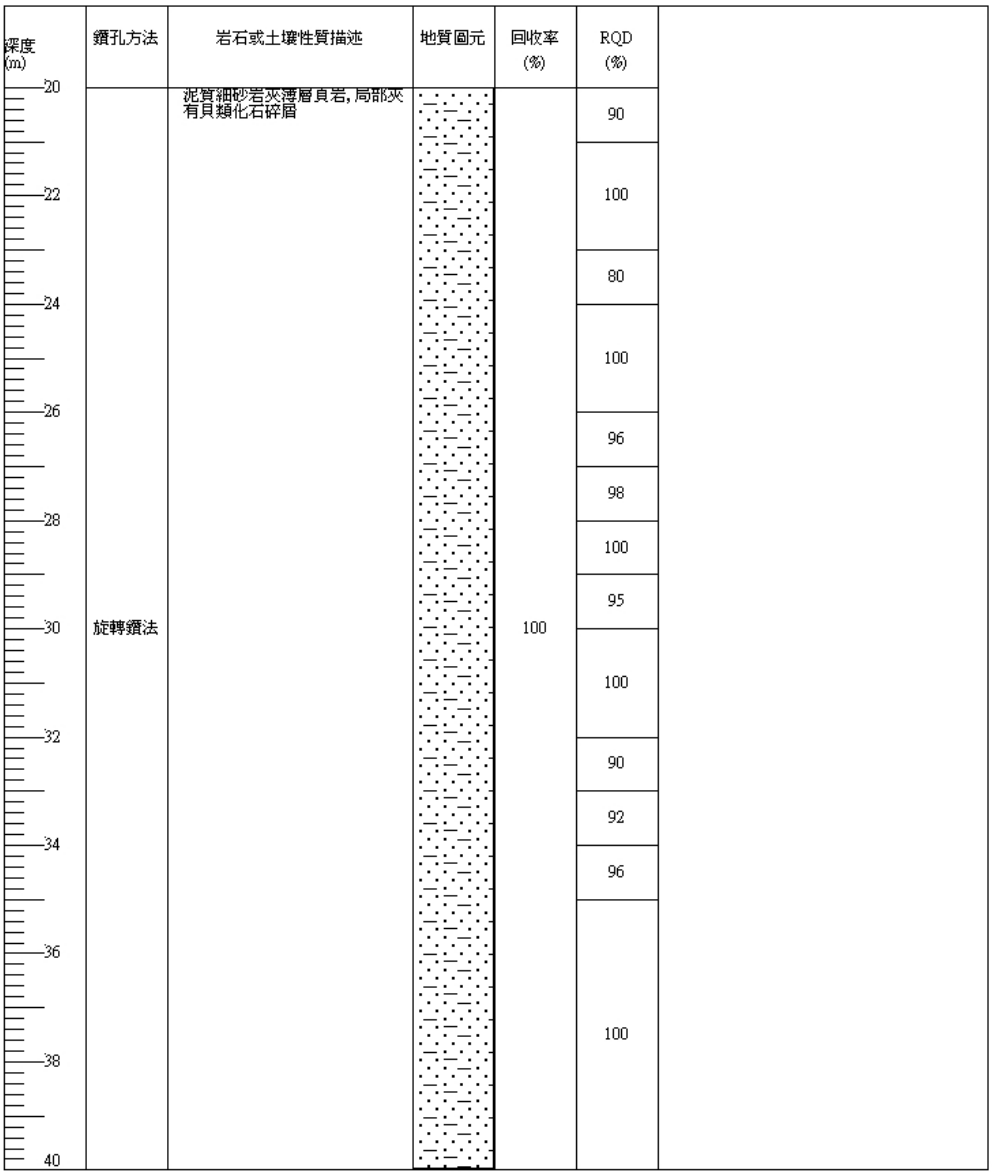
鑽孔地質柱狀剖面圖

工程名稱： 嘉義縣山區鑽設電子式水壓計觀測井工程　　日期： 0951222

地點： 嘉義縣中埔鄉沄水國小

鑽孔編號： CEH-01　　鑽孔標高： 175.00 M　　地下水位： M　　地質技師：

深度： 100.00 M　　座標N： 2586906　　座標E： 201206　　鑽探公司：廣建工程顧問有限公司



- 2 -

圖 10-3（續）　嘉義沄水國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

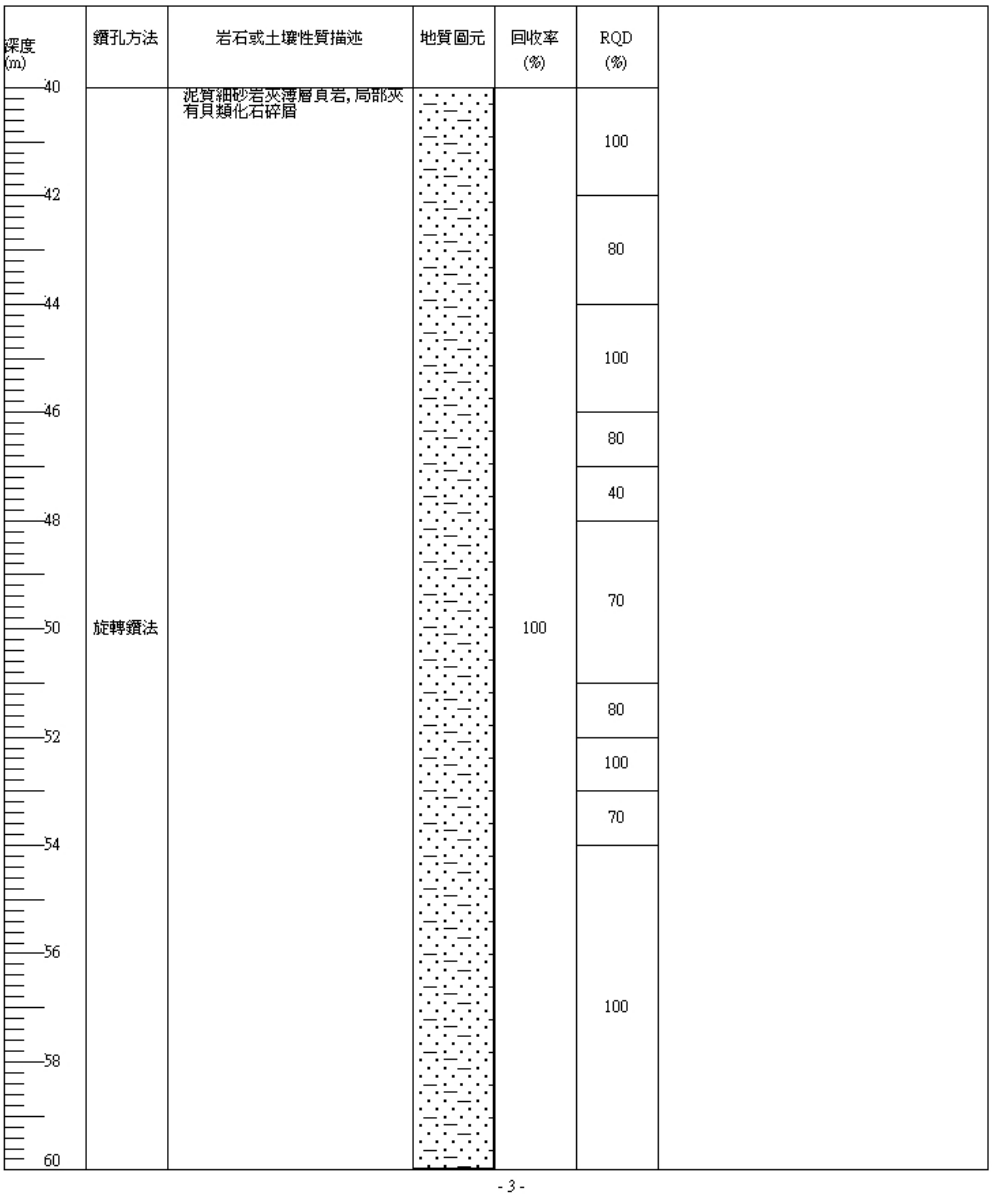
鑽孔地質柱狀剖面圖

工程名稱： 嘉義縣山區鑽設電子式水壓計觀測井工程　　日期： 0951222

地點： 嘉義縣中埔鄉沄水國小

鑽孔編號： CEH-01　　鑽孔標高： 175.00 M　　地下水位： M　　地質技師：

深度： 100.00 M　　座標N： 2586906　　座標E： 201206　　鑽探公司：廣建工程顧問有限公司



- 3 -

圖 10-3（續）　嘉義沄水國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

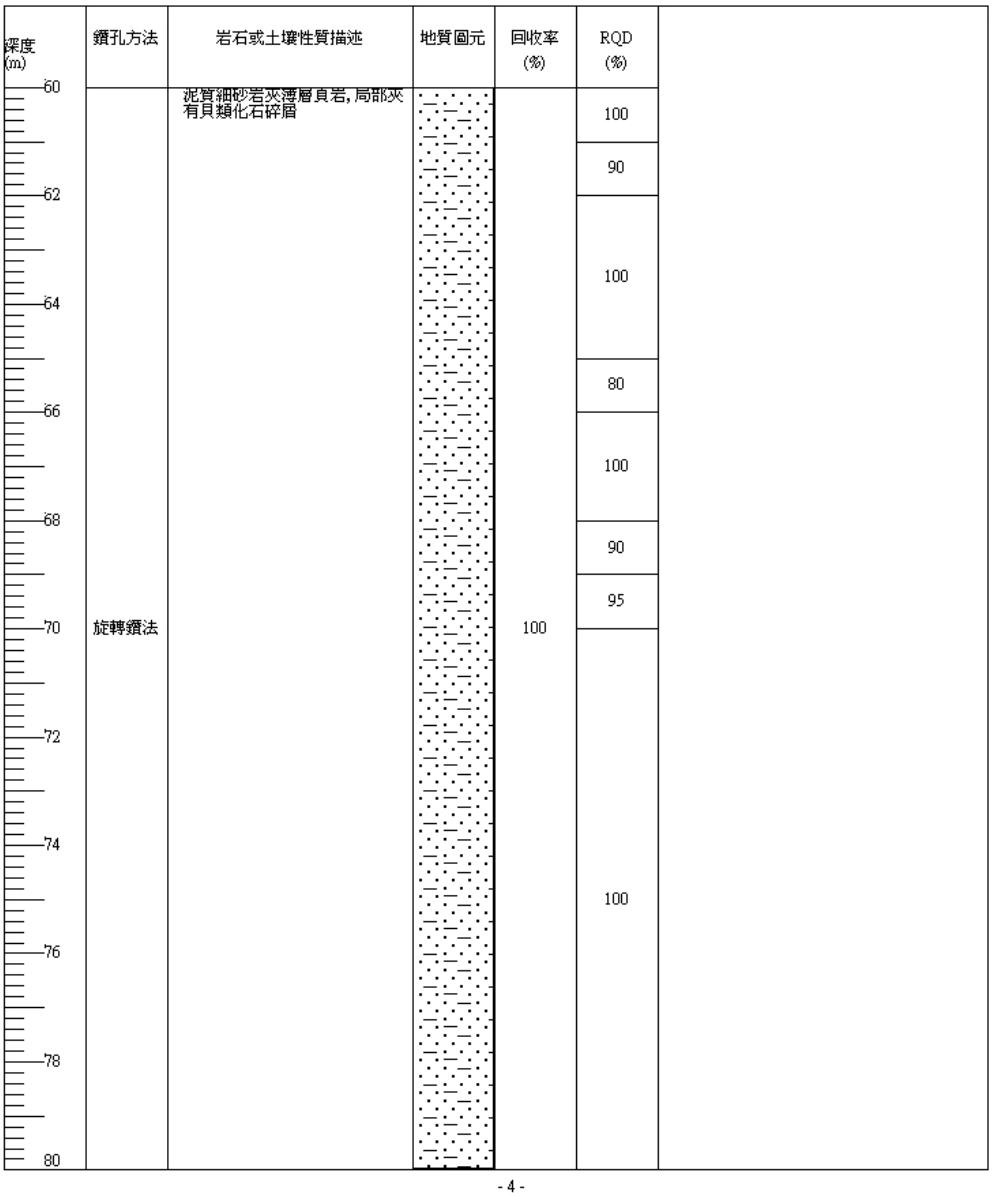
鑽孔地質柱狀剖面圖

工程名稱： 嘉義縣山區鑽設電子式水壓計觀測井工程　　日期： 0951222

地點： 嘉義縣中埔鄉沄水國小

鑽孔編號： CEH-01　　鑽孔標高： 175.00 M　　地下水位： M　　地質技師：

深度： 100.00 M　　座標N： 2586906　　座標E： 201206　　鑽探公司：廣建工程顧問有限公司



- 4 -

圖 10-3（續）　嘉義沄水國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

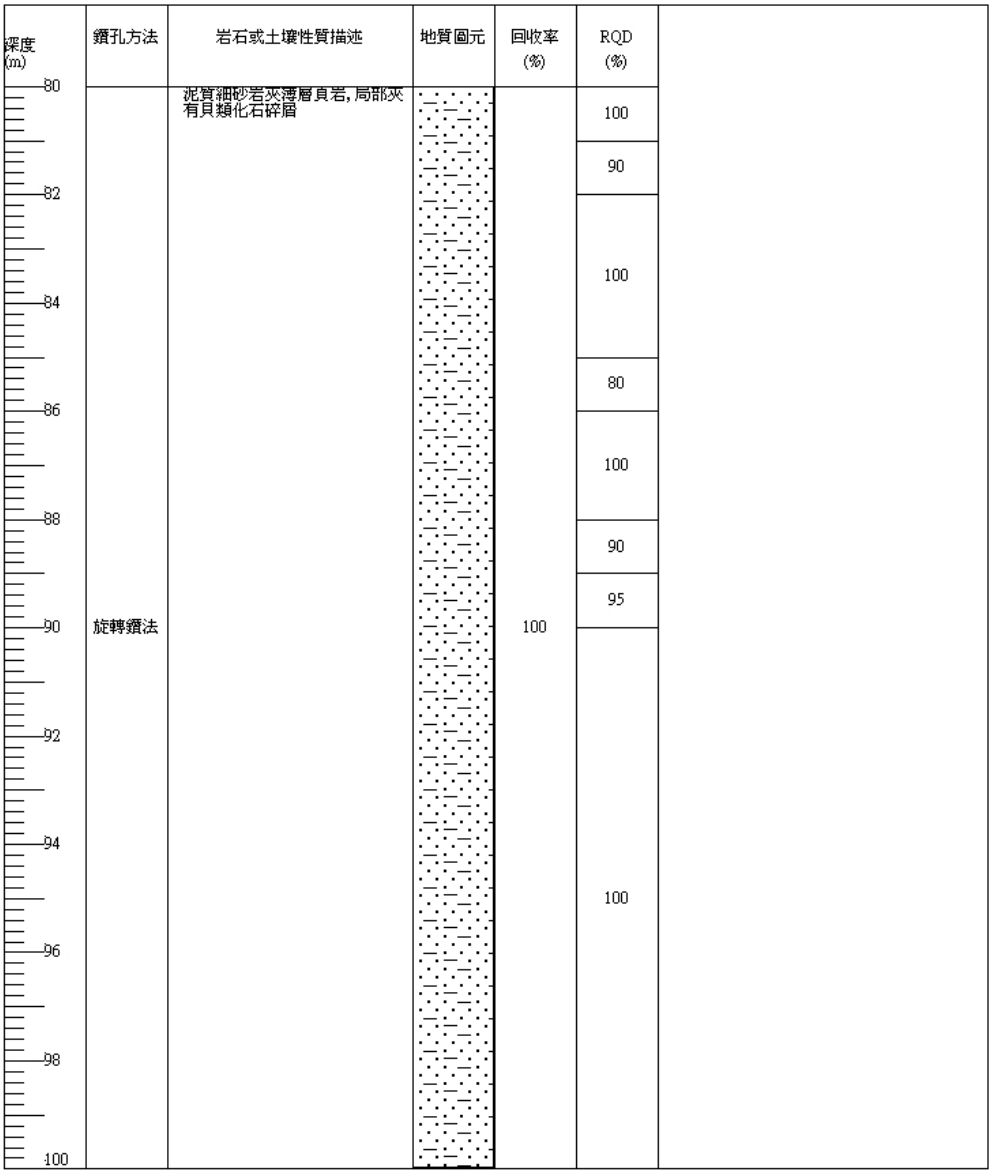
鑽孔地質柱狀剖面圖

工程名稱： 嘉義縣山區鑽設電子式水壓計觀測井工程　　日期： 0951222

地點： 嘉義縣中埔鄉沄水國小

鑽孔編號： CEH-01　　鑽孔標高： 175.00 M　　地下水位： M　　地質技師：

深度： 100.00 M　　座標N： 2586906　　座標E： 201206　　鑽探公司：廣建工程顧問有限公司



- 5 -

圖 10-3（續）　嘉義沄水國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

10-3-3 新竹縣梅花國小觀測井

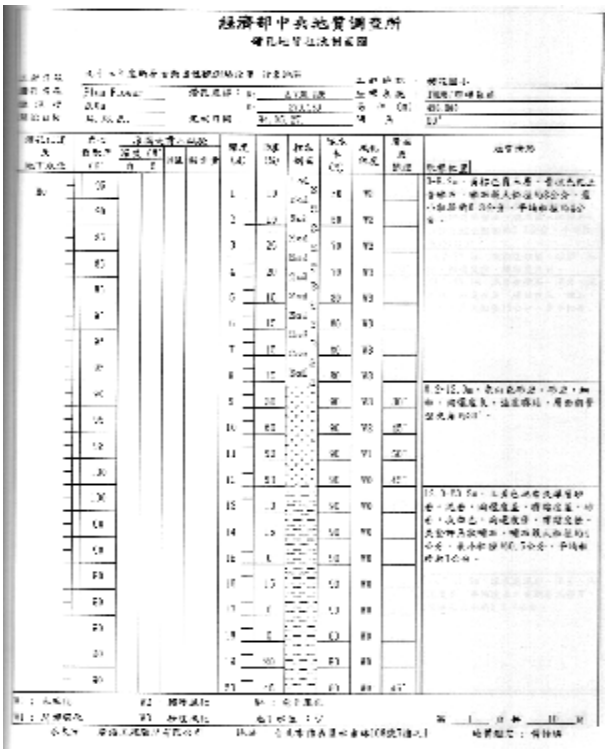


圖 10-4　新竹梅花國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

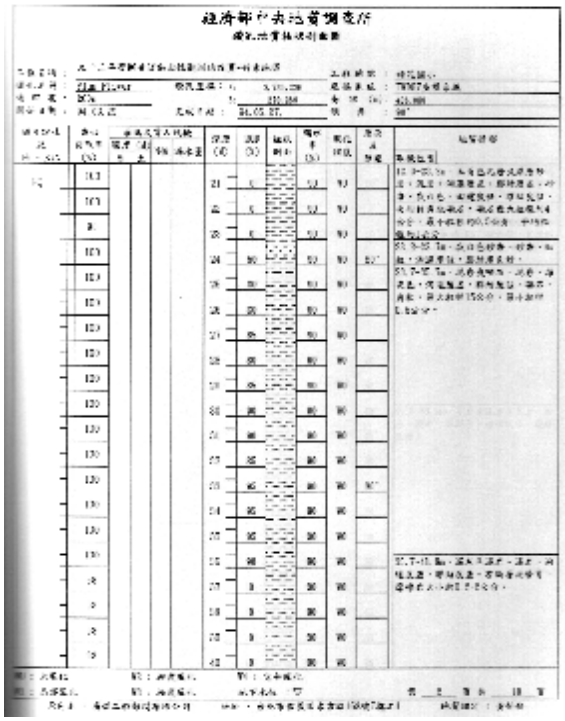


圖 10-4（續）　新竹梅花國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

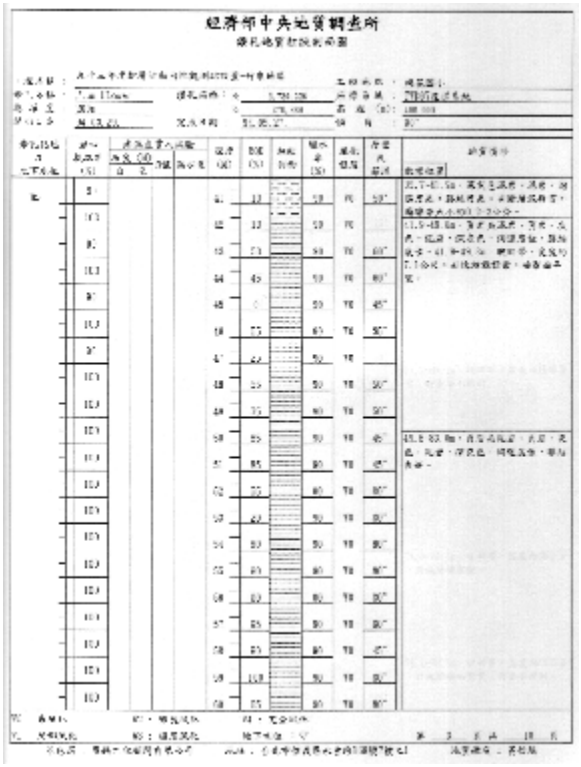


圖 10-4（續）　新竹梅花國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

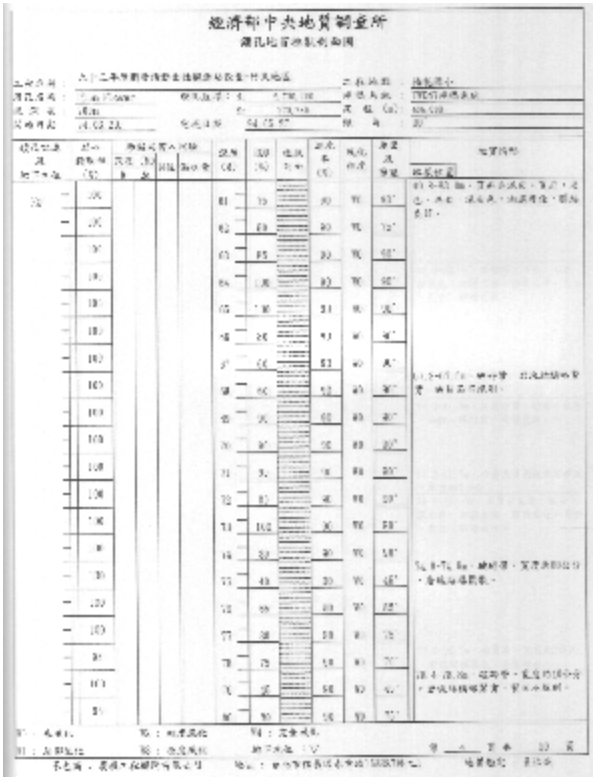


圖 10-4（續）　新竹梅花國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

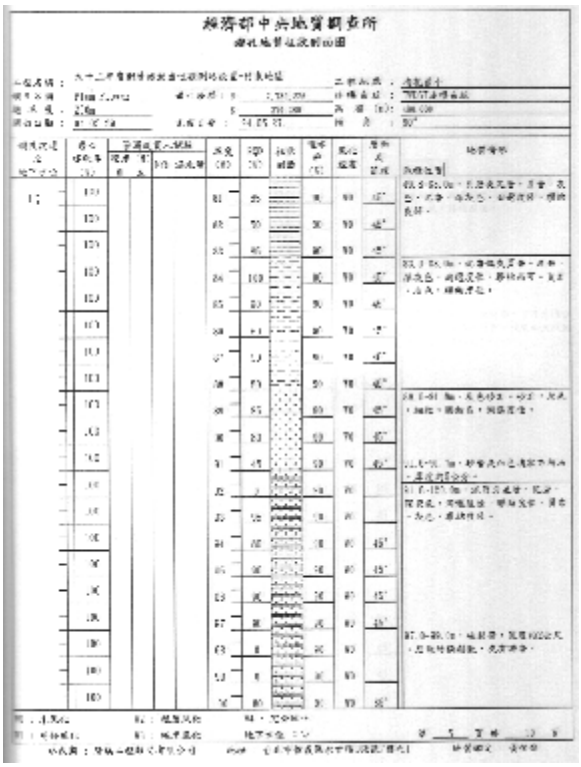


圖 10-4（續）　新竹梅花國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

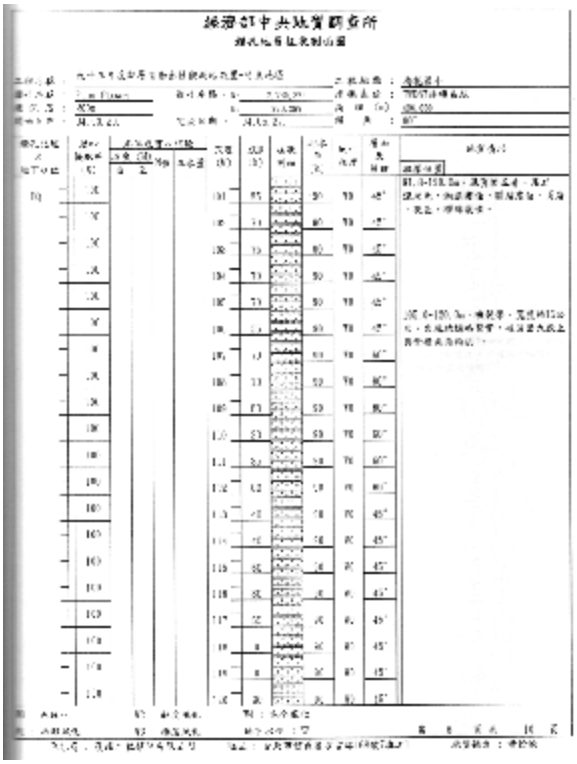


圖 10-4（續）　新竹梅花國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

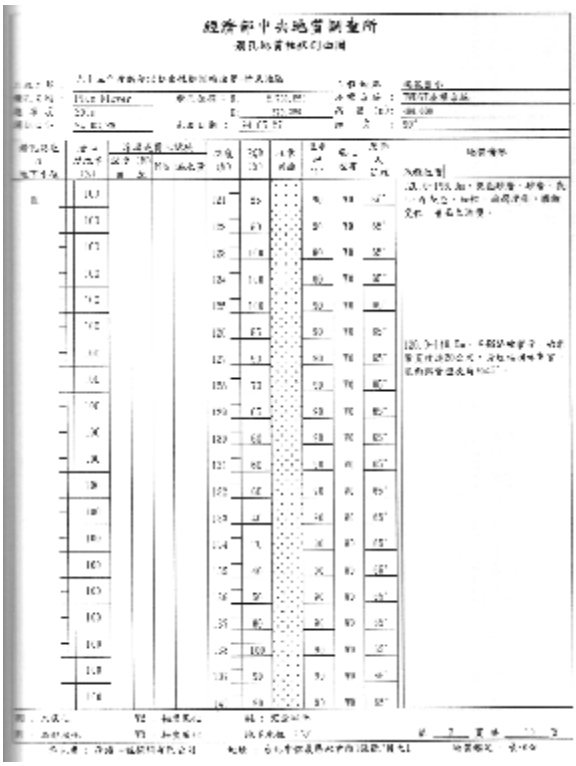


圖 10-4（續）　新竹梅花國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

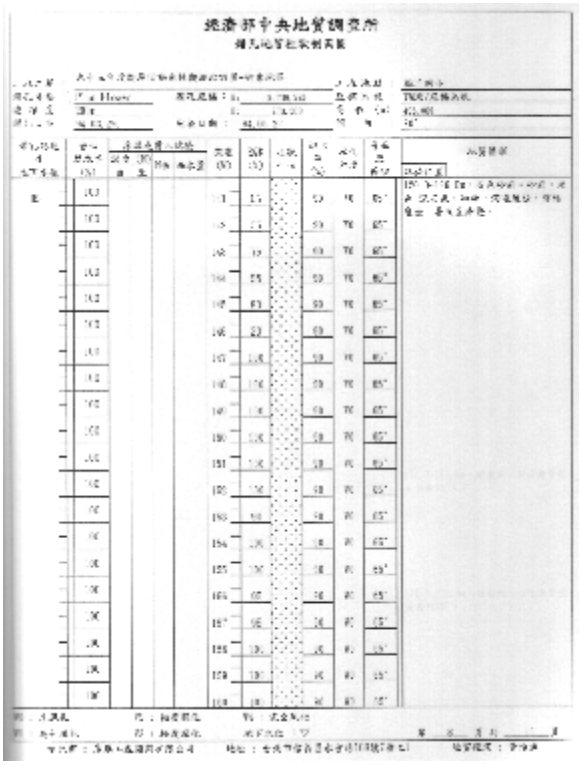


圖 10-4（續）　新竹梅花國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

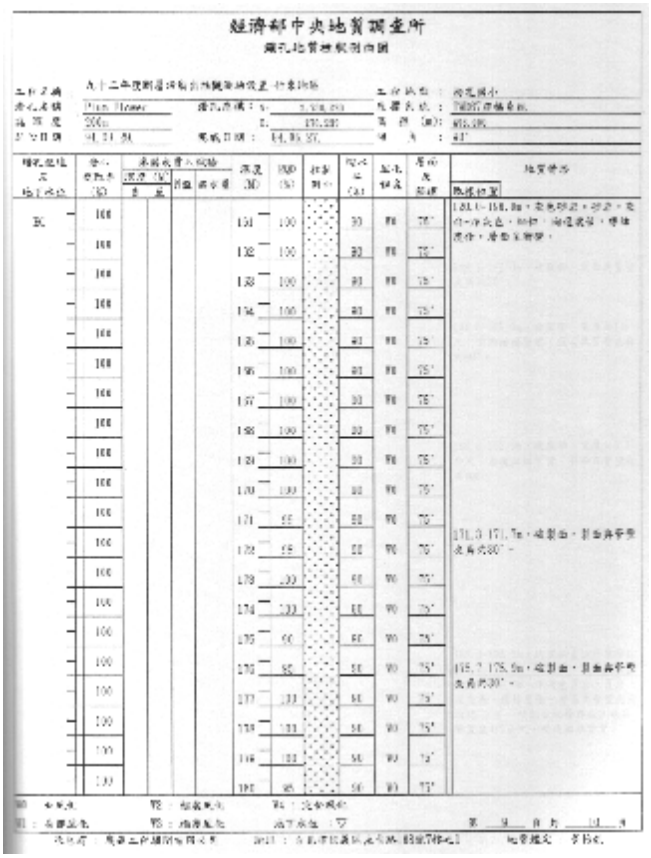


圖 10-4（續）　新竹梅花國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

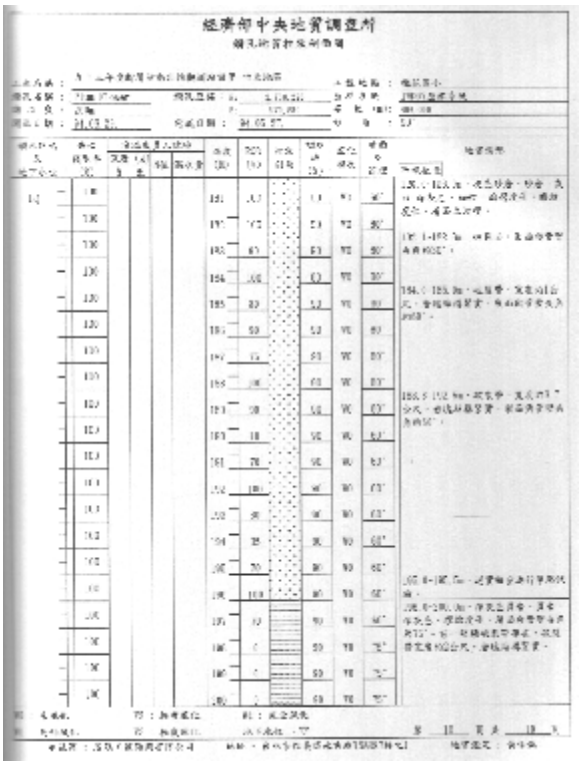


圖 10-4（續）　新竹梅花國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

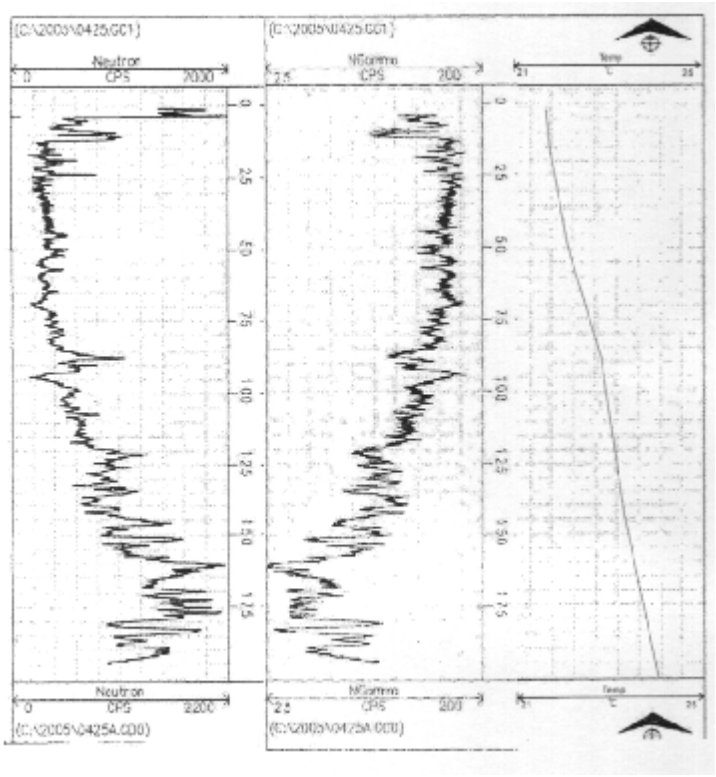


圖 10-5　新竹縣梅花國小電井測曲線圖。

10-3-4 新竹縣新樂國小觀測井

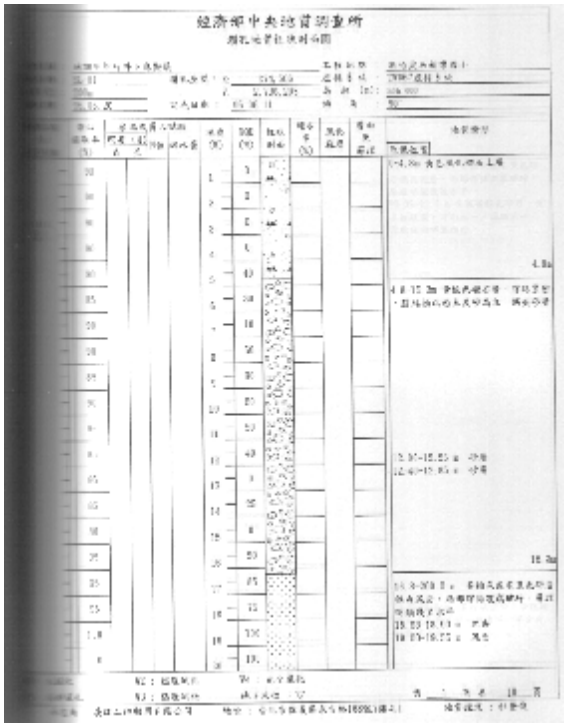


圖 10-6　新竹新樂國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

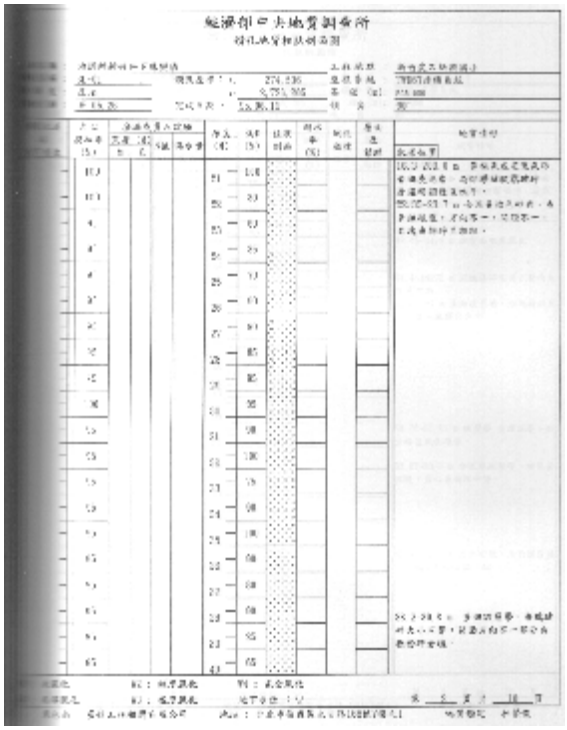


圖 10-6（續）　新竹新樂國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

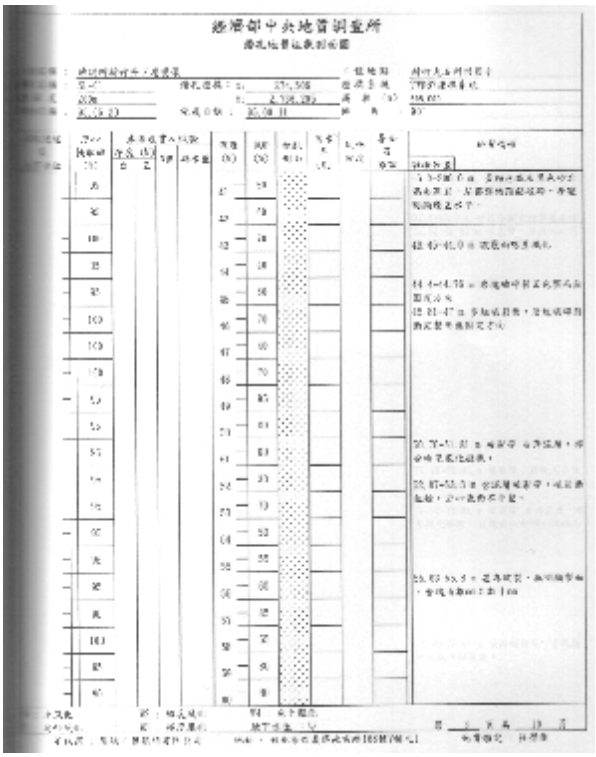


圖 10-6（續）　新竹新樂國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

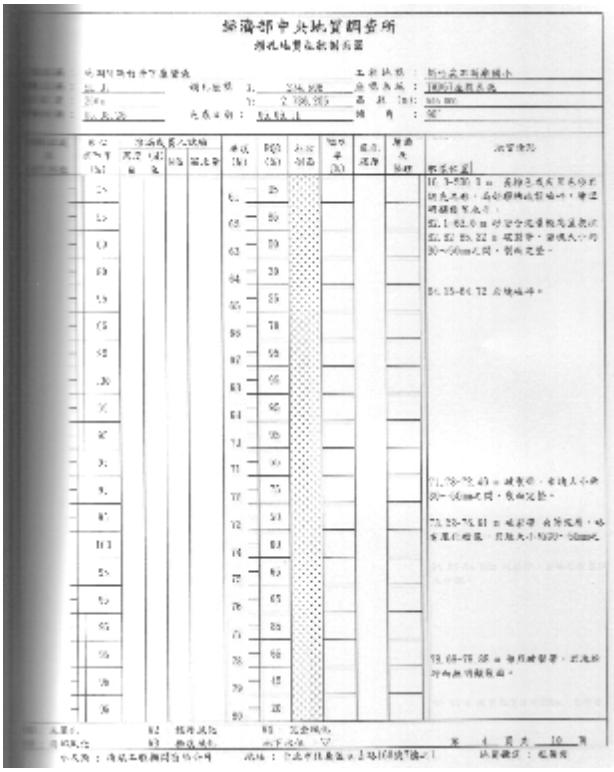


圖 10-6（續）　新竹新樂國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

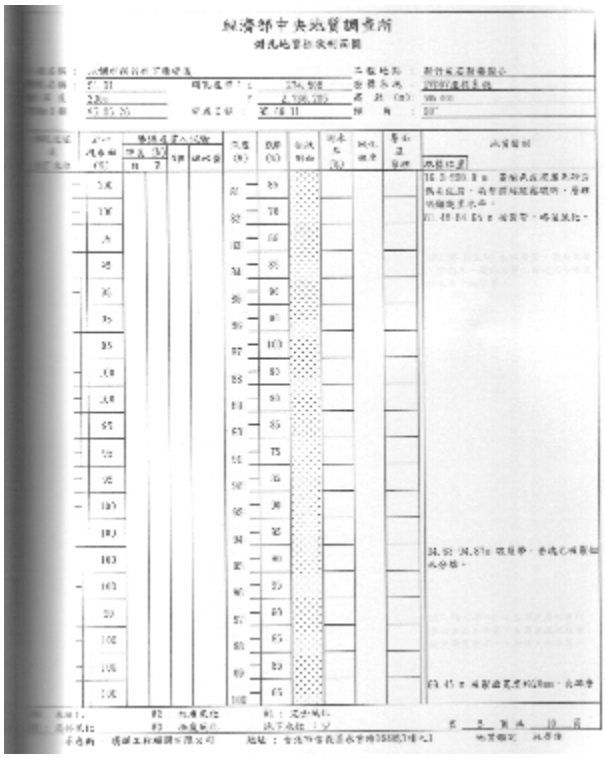


圖 10-6（續）　新竹新樂國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

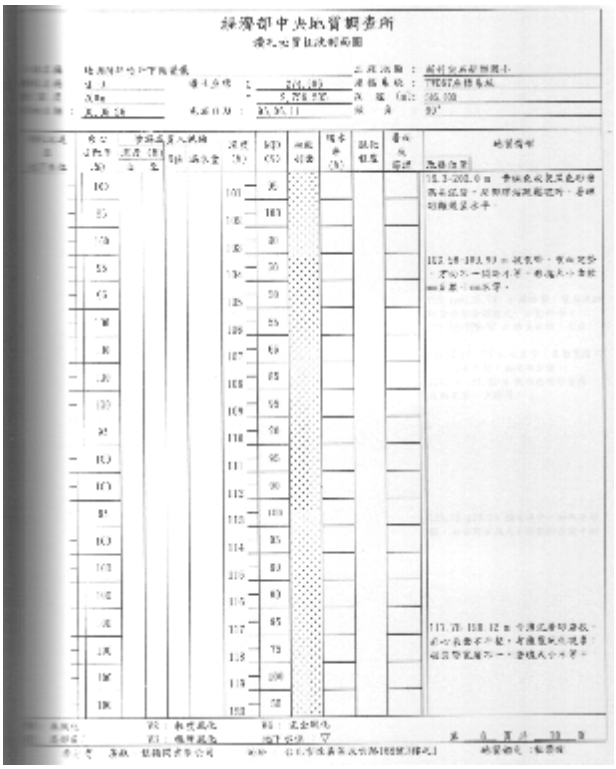


圖 10-6（續）　新竹新樂國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

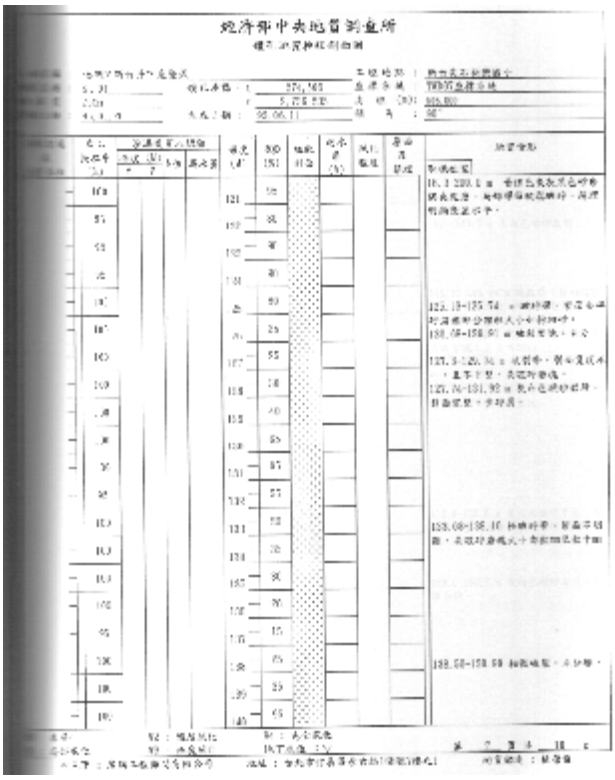


圖 10-6（續）　新竹新樂國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

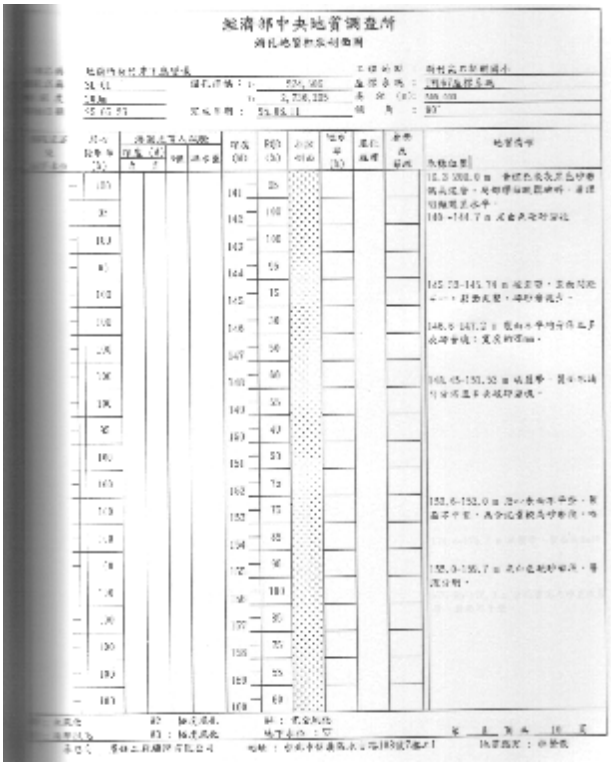


圖 10-6（續）　新竹新樂國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

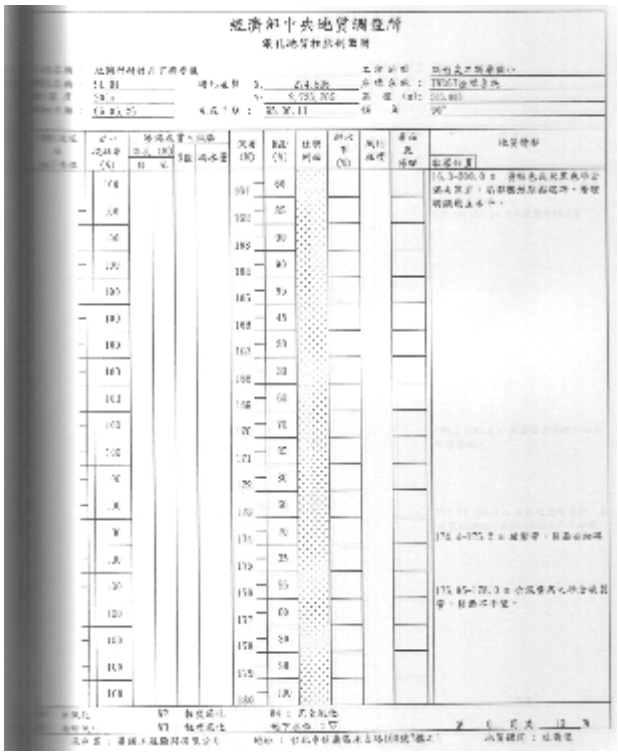


圖 10-6（續）　新竹新樂國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

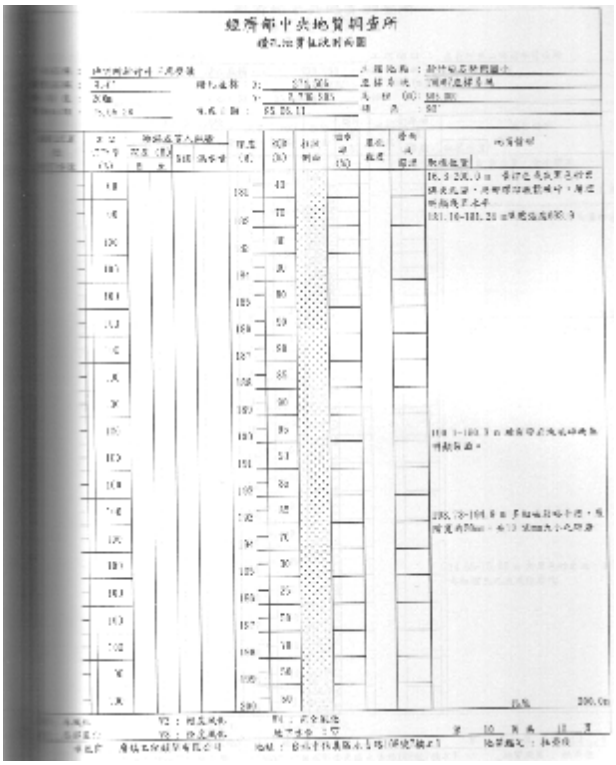


圖 10-6（續）　新竹新樂國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

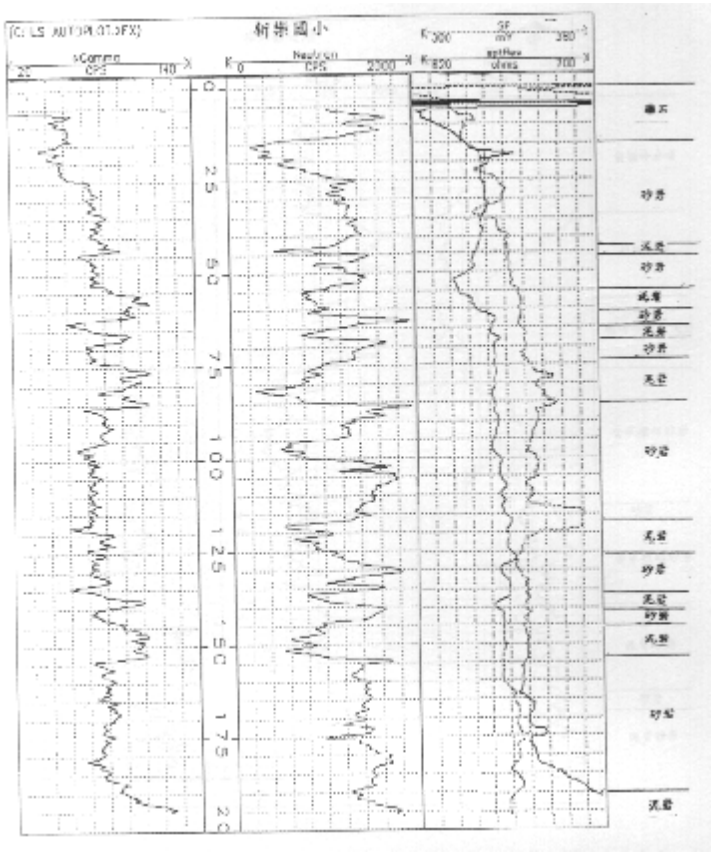


圖 10-7　新竹縣新樂國小電井測曲線圖。

10-3-5 嘉義縣中興國小觀測井

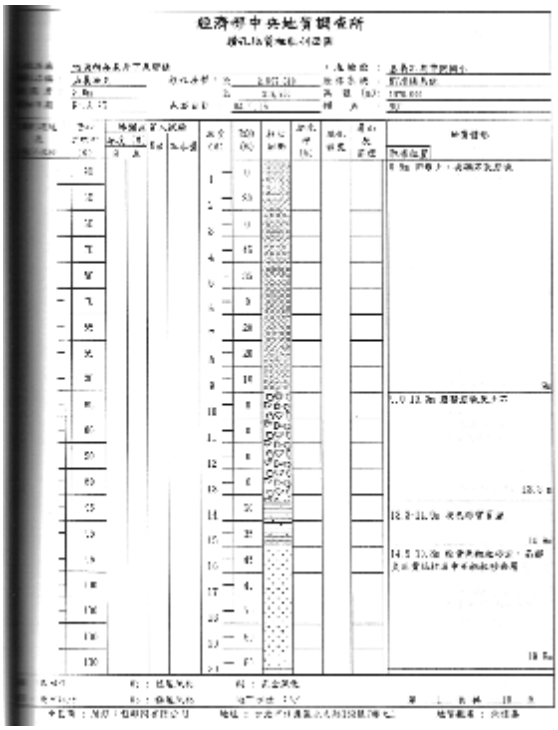


圖 10-8　嘉義中興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

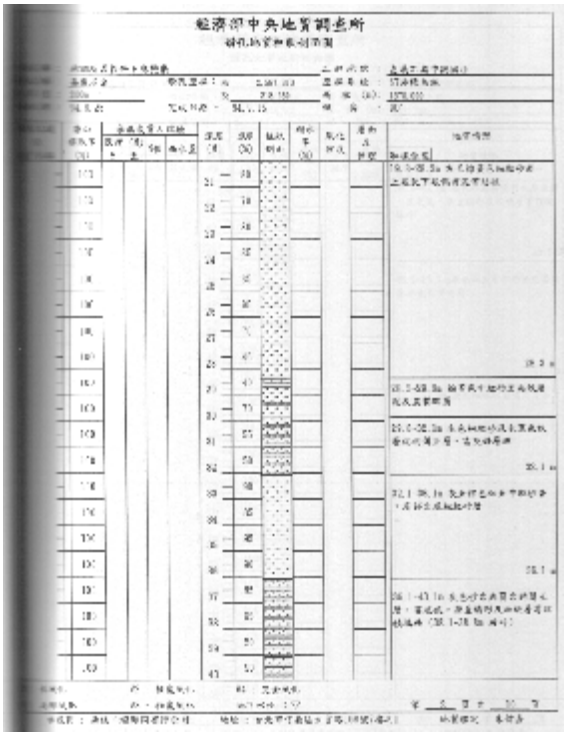


圖 10-8（續）　嘉義中興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

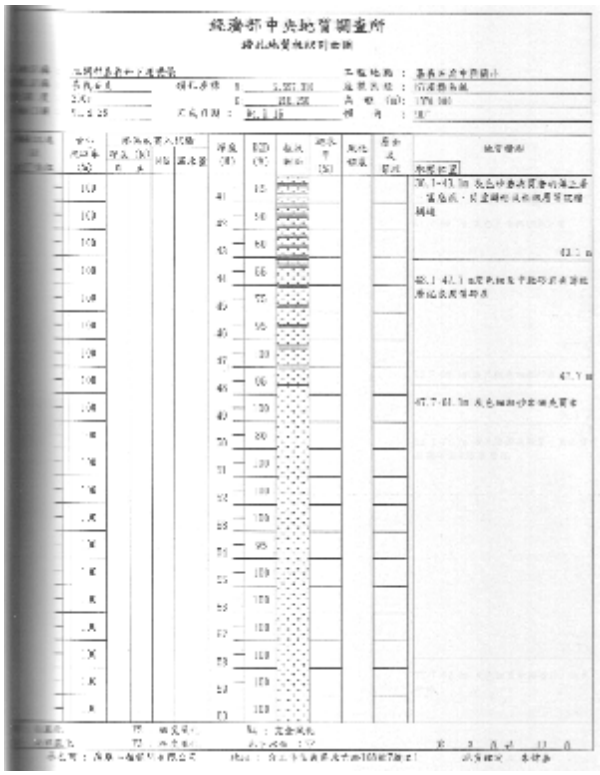


圖 10-8（續）　嘉義中興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

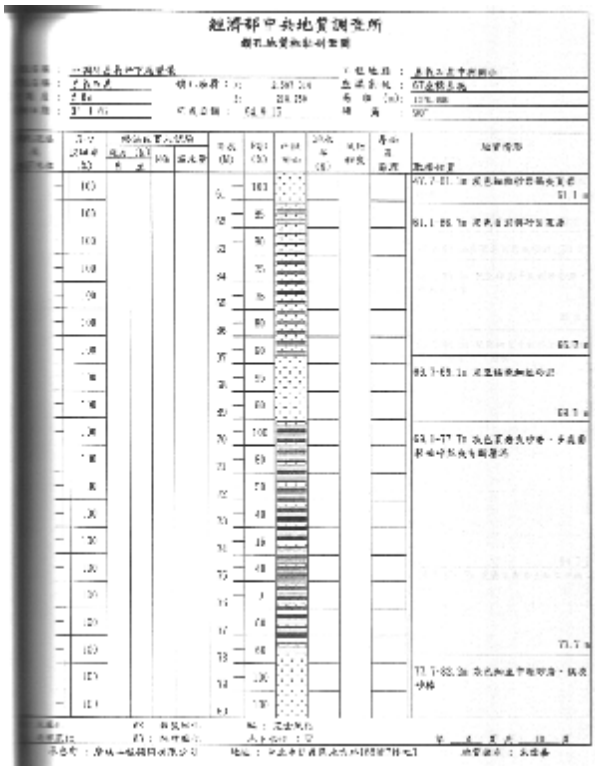


圖 10-8（續）　嘉義中興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

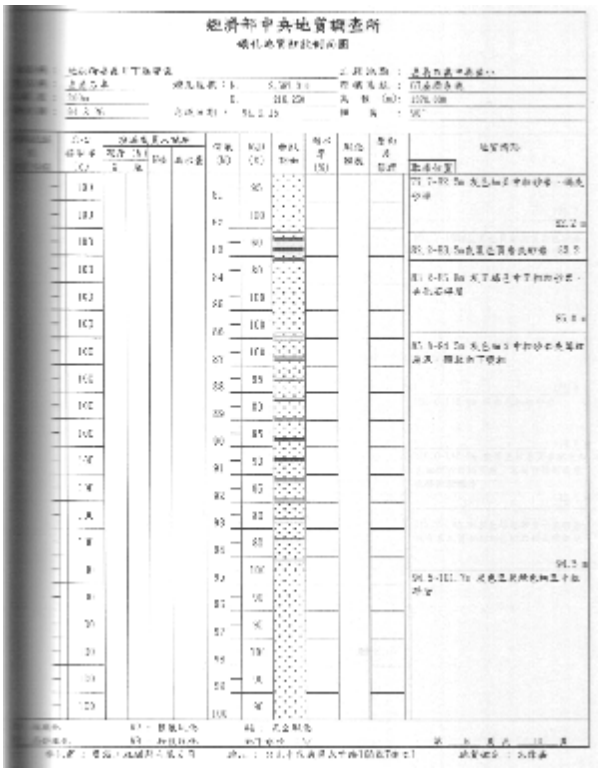


圖 10-8（續）　嘉義中興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

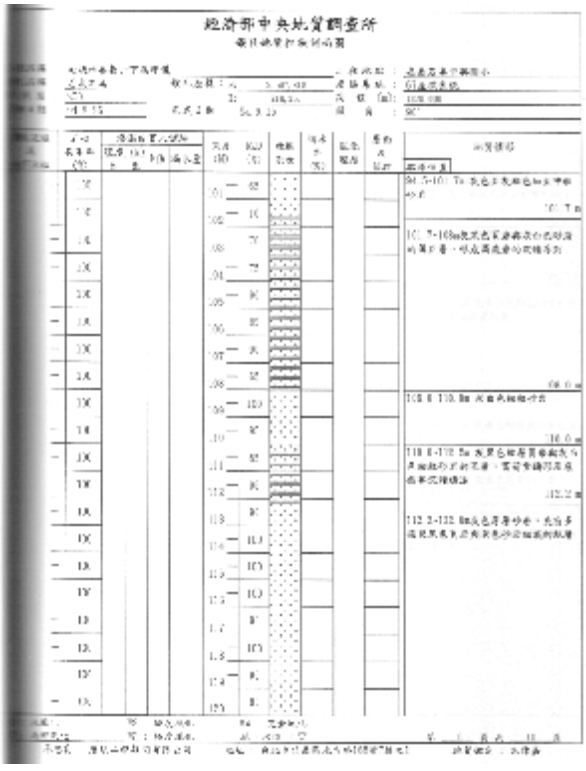


圖 10-8（續）　嘉義中興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

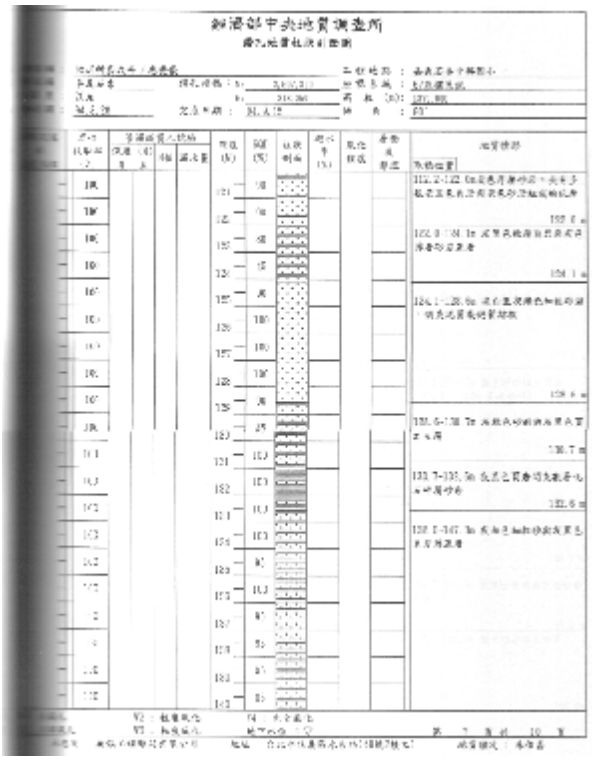


圖 10-8（續）　嘉義中興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

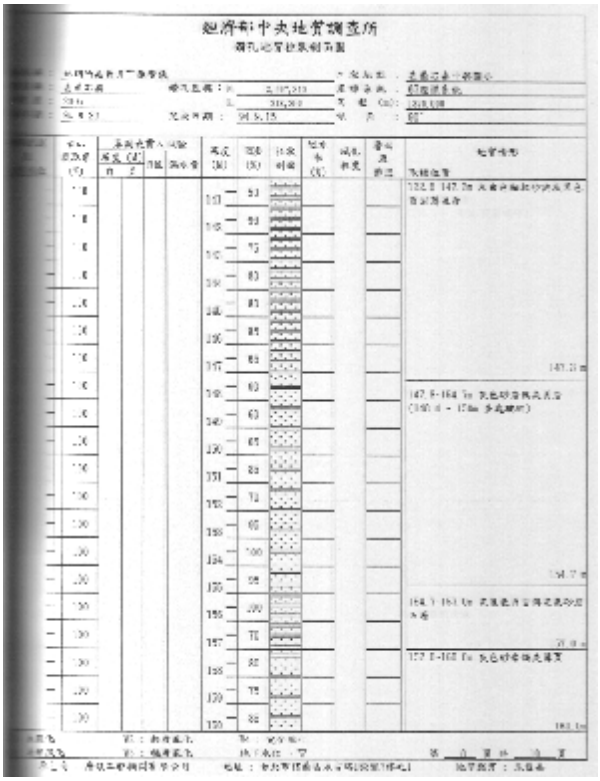


圖 10-8（續）　嘉義中興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

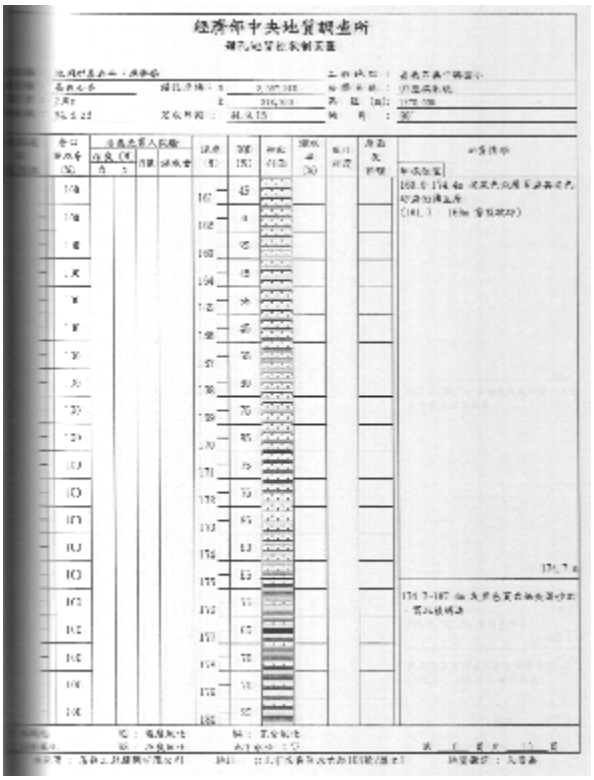


圖 10-8（續）　嘉義中興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

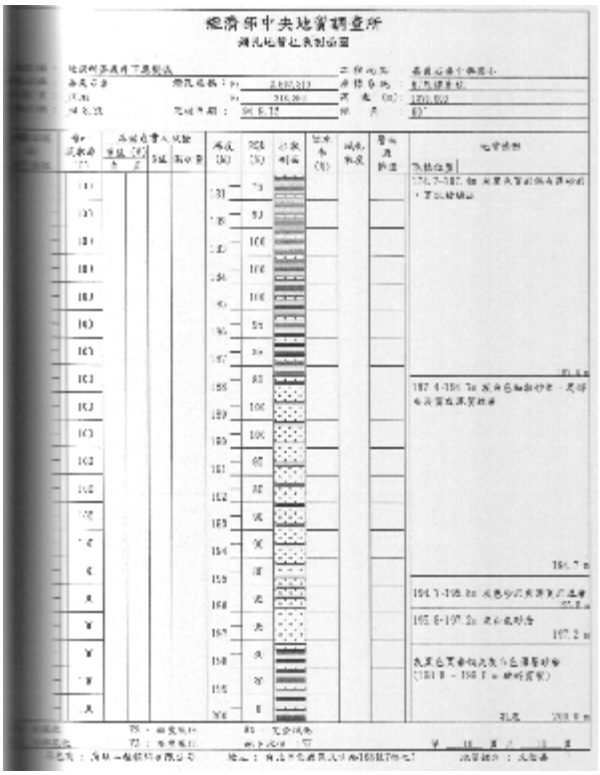


圖 10-8（續）　嘉義中興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

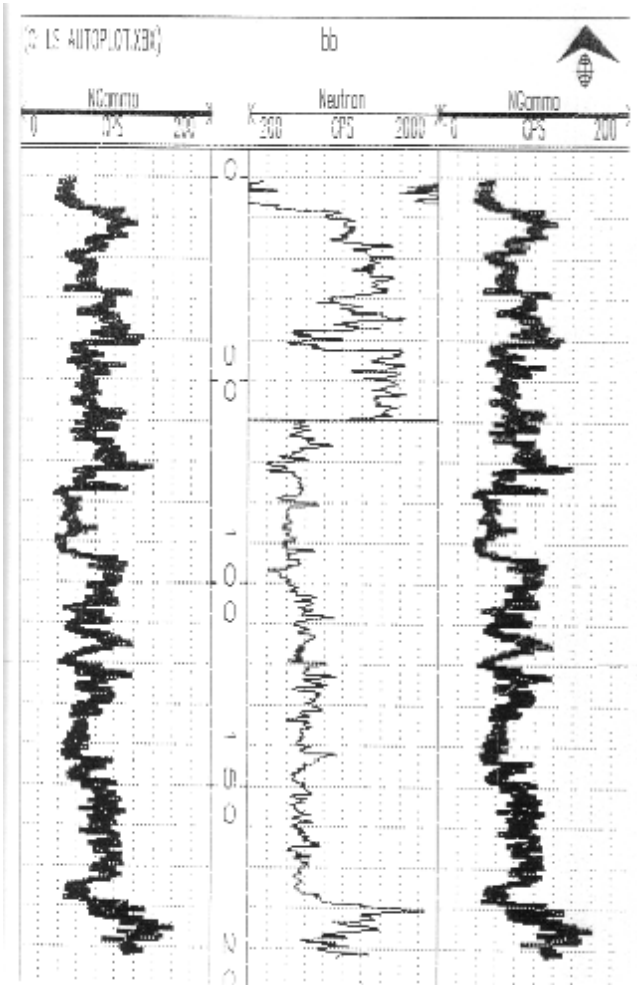


圖 10-9　嘉義縣中興國小電井測曲線圖。

10-3-6 嘉義縣太興國小觀測井

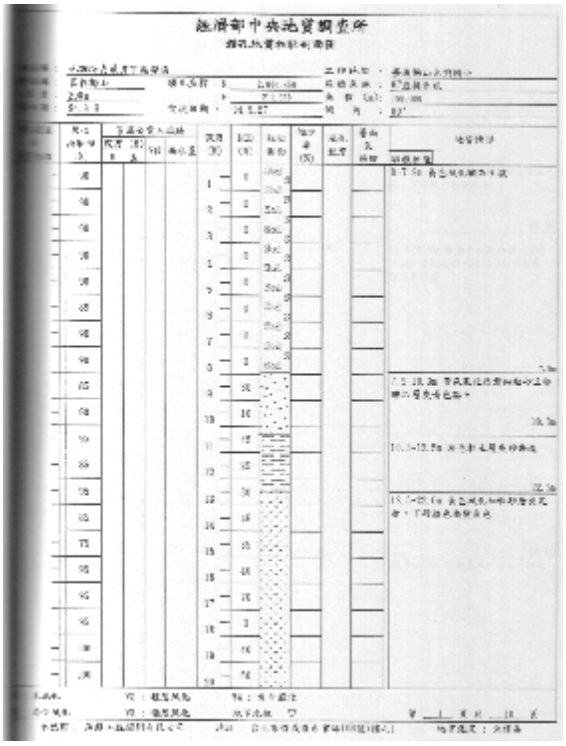


圖 10-10　嘉義太興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

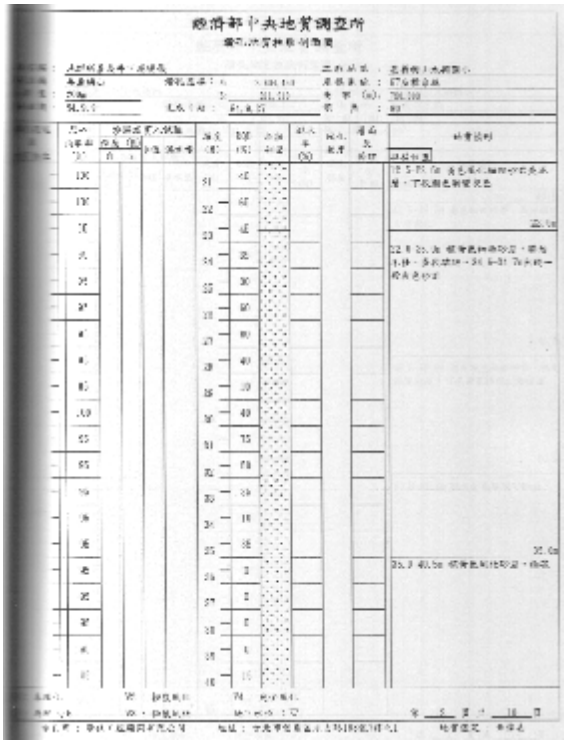


圖 10-10（續）　嘉義太興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

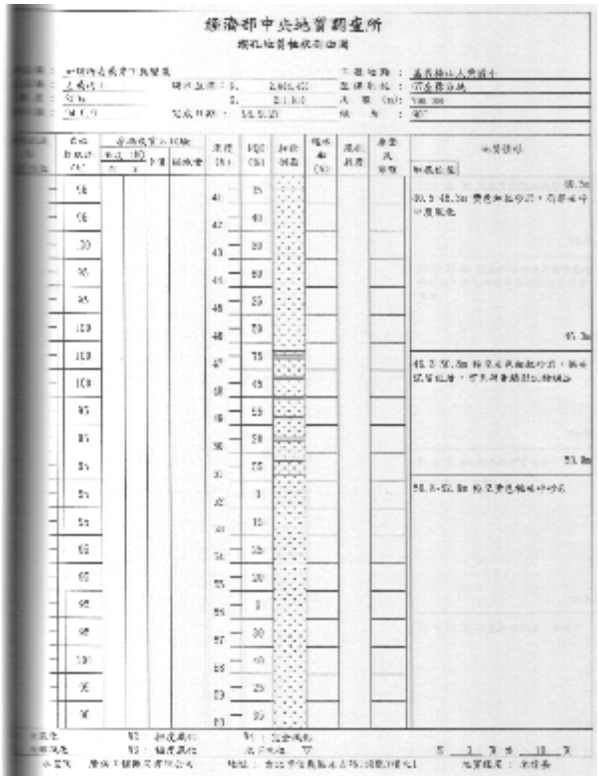


圖 10-10（續）　嘉義太興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

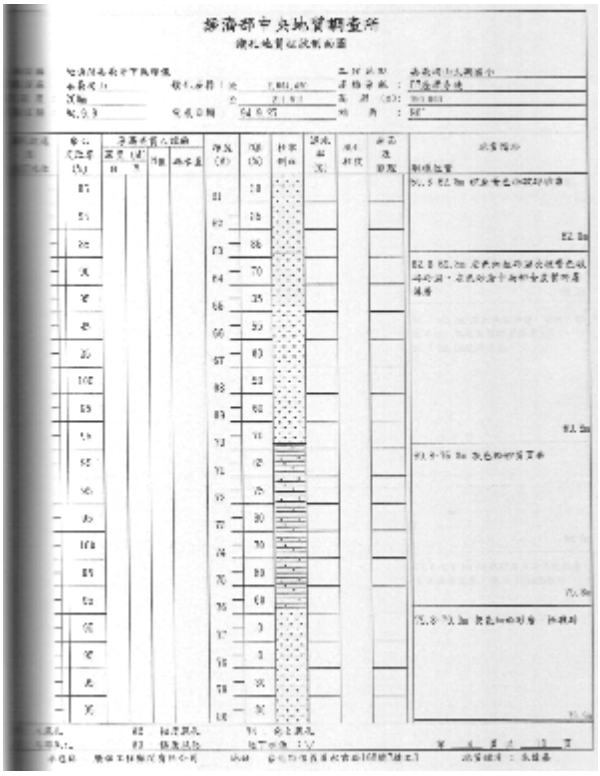


圖 10-10（續）　嘉義太興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

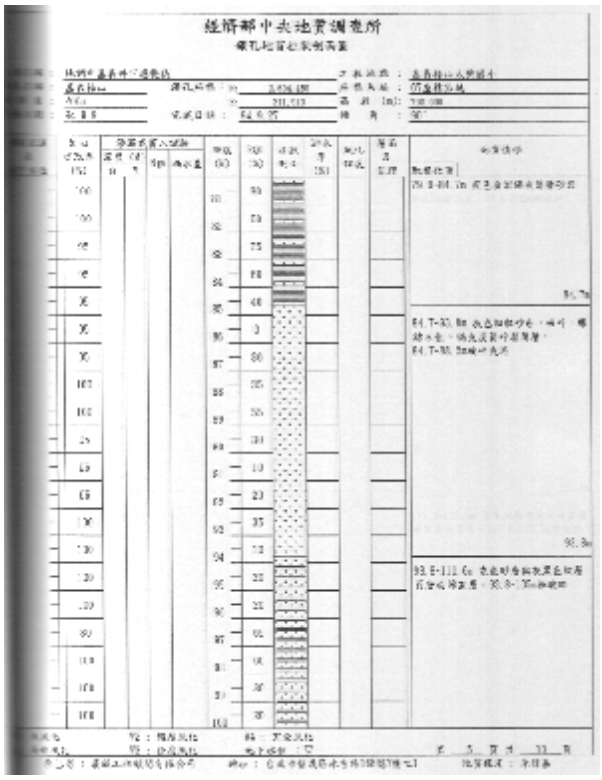


圖 10-10（續）　嘉義太興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

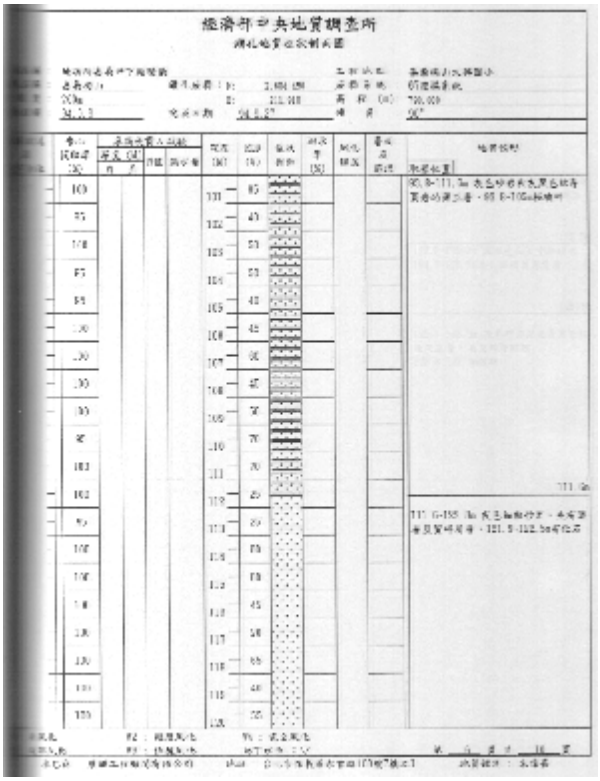


圖 10-10（續）　嘉義太興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

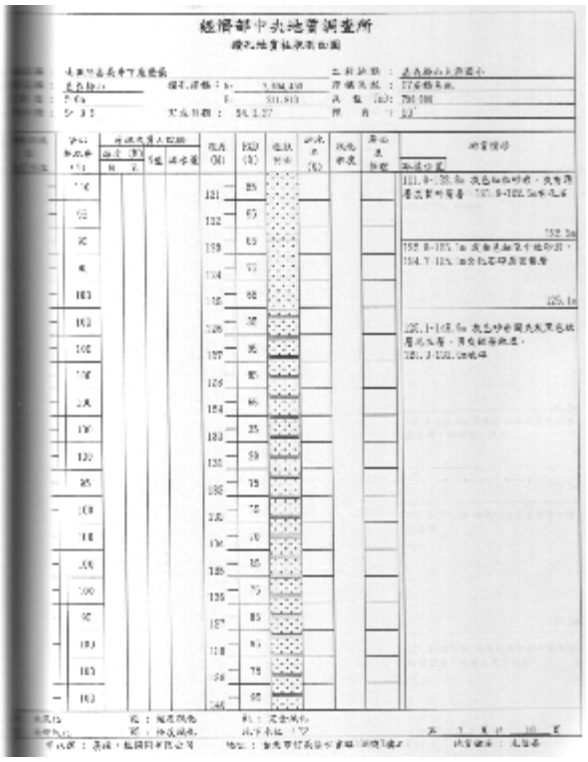


圖 10-10（續）　嘉義太興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

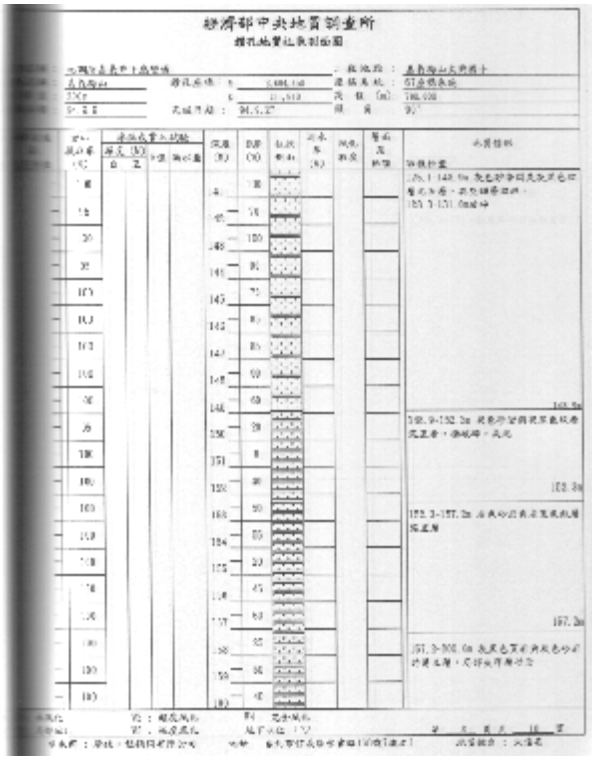


圖 10-10（續）　嘉義太興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

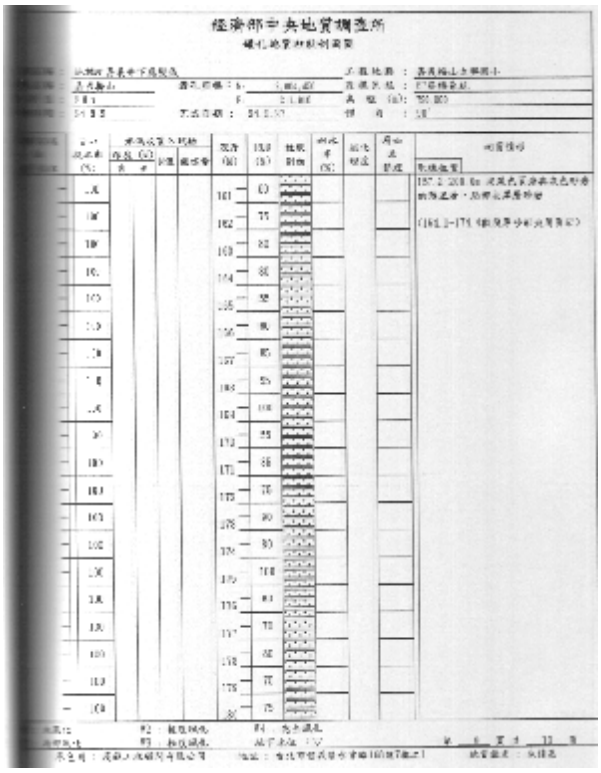


圖 10-10（續）　嘉義太興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

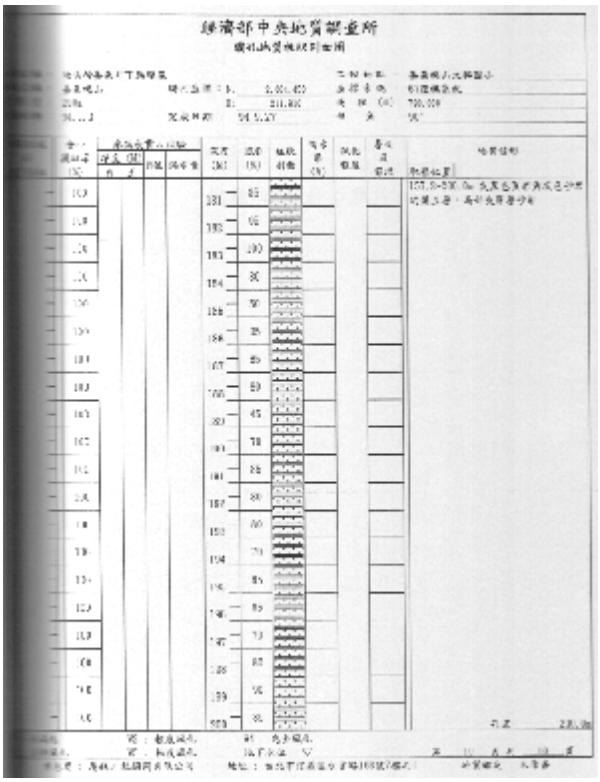


圖 10-10（續）　嘉義太興國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

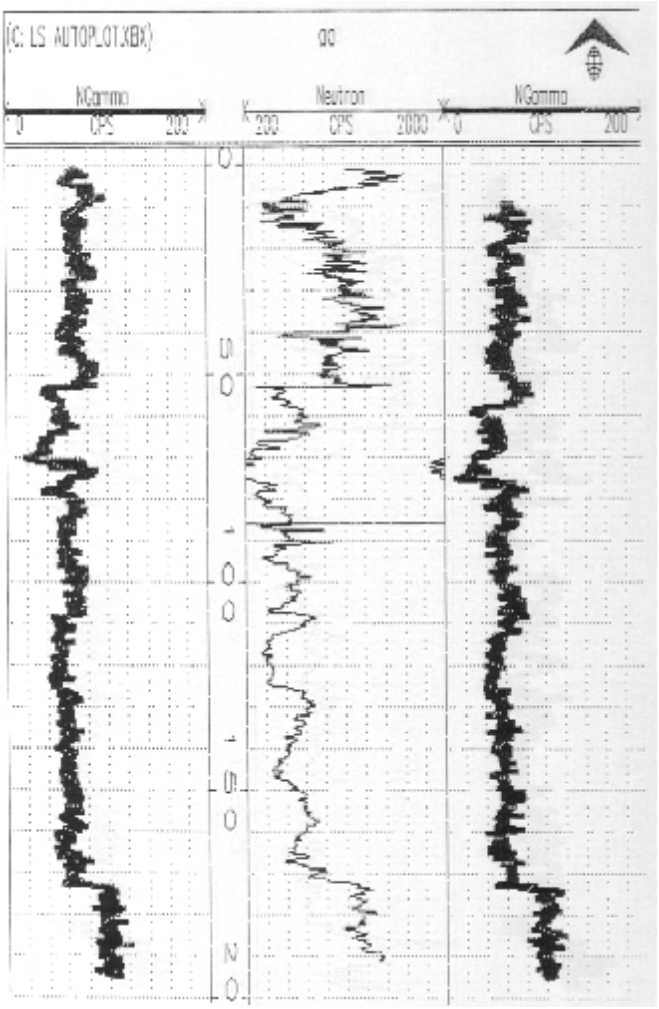


圖 10-11　嘉義縣太興國小電井測曲線圖。

10-3-7 嘉義縣達邦舊公所觀測井

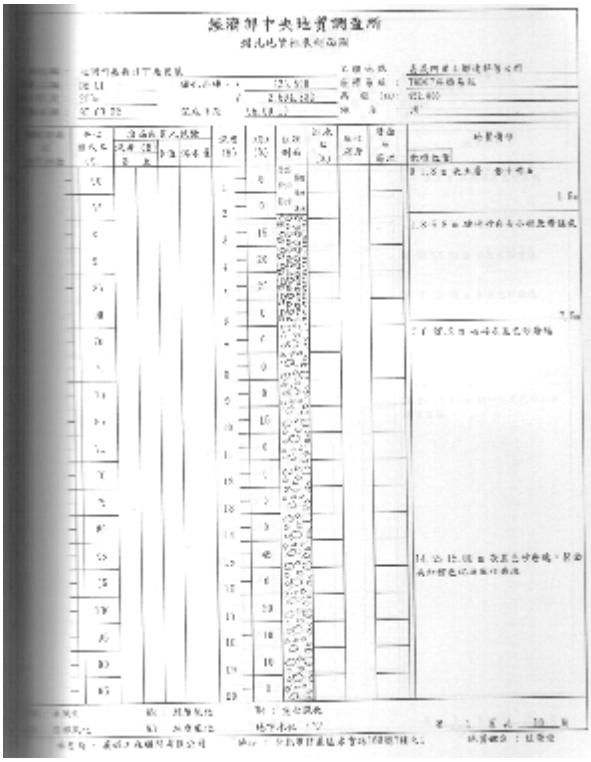


圖 10-12　嘉義達邦舊公所觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

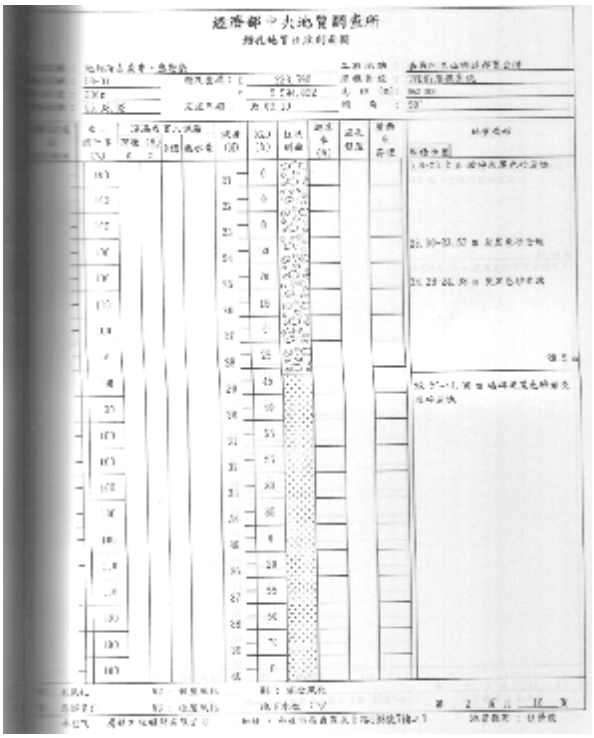


圖 10-12（續）　嘉義達邦舊公所觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

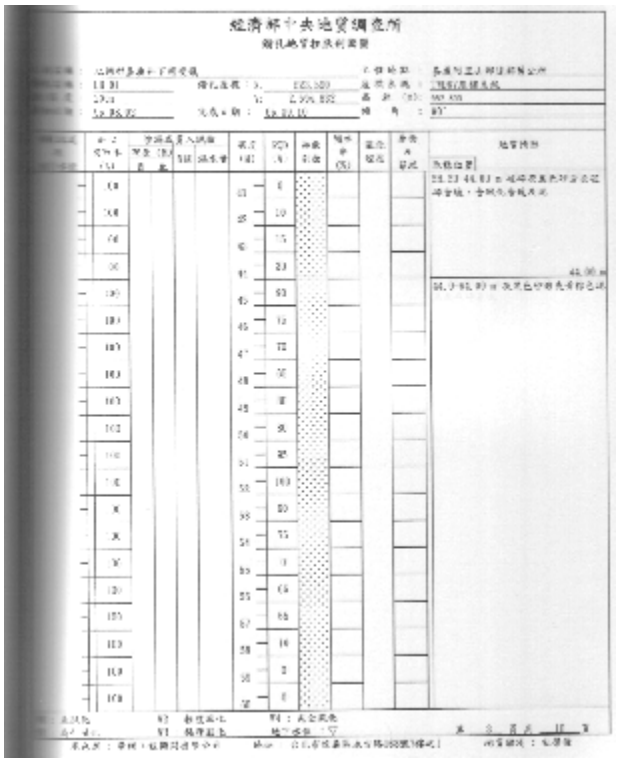


圖 10-12（續）　嘉義達邦舊公所觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

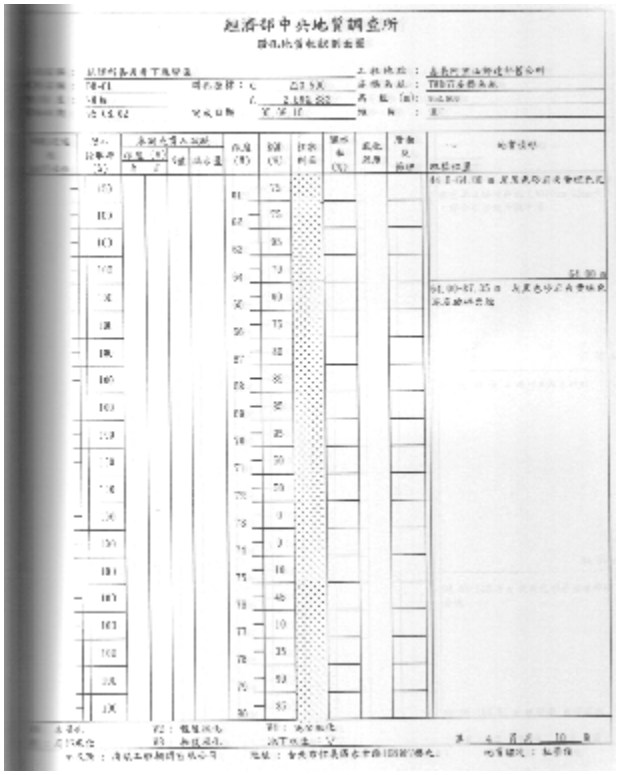


圖 10-12（續）　嘉義達邦舊公所觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

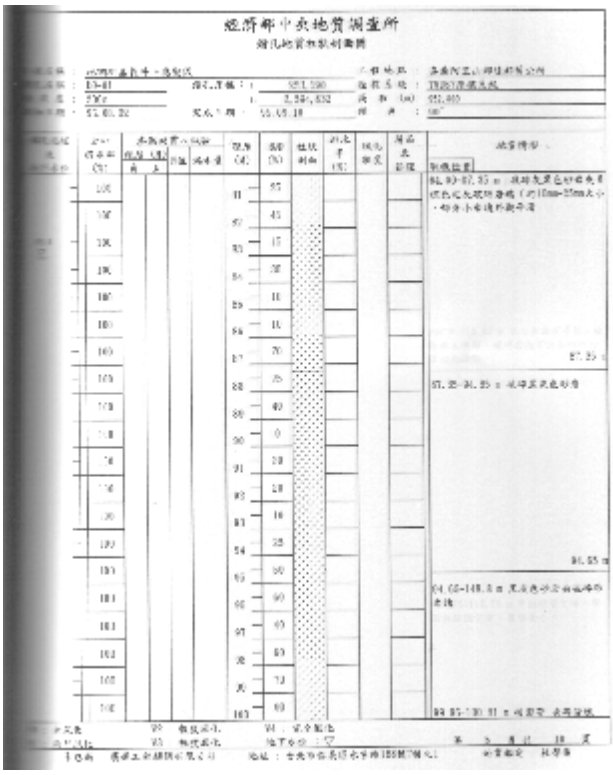


圖 10-12（續）　嘉義達邦舊公所觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

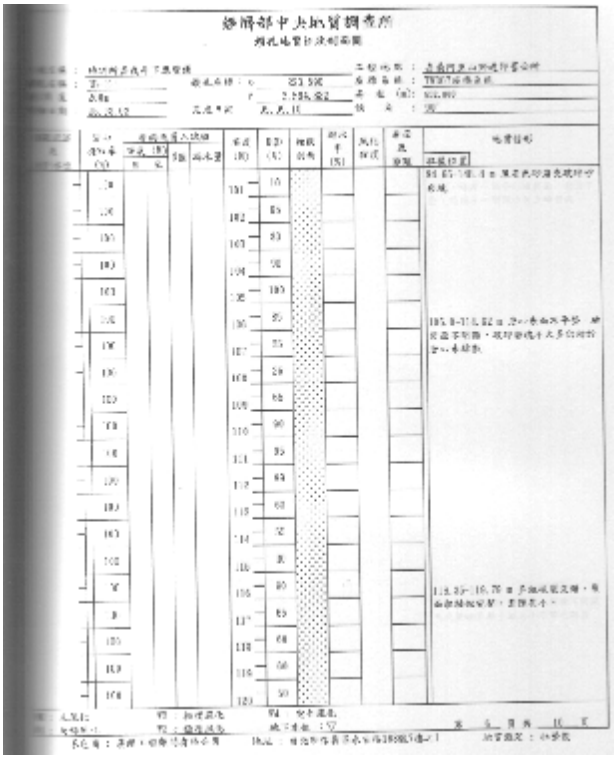


圖 10-12（續）　嘉義達邦舊公所觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

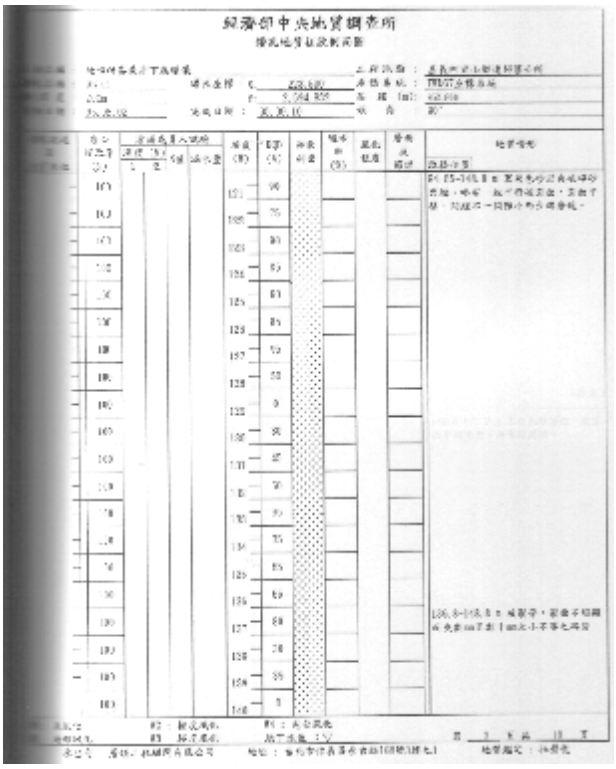


圖 10-12（續）　嘉義達邦舊公所觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

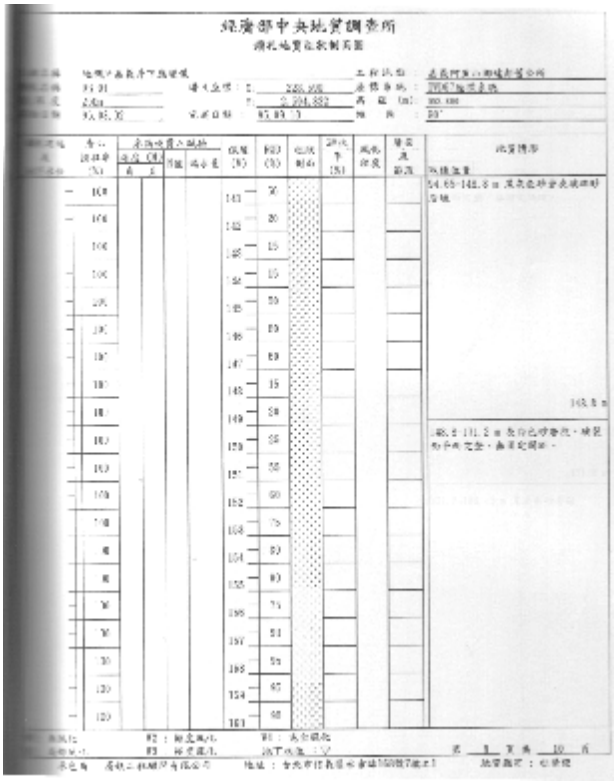


圖 10-12（續）　嘉義達邦舊公所觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

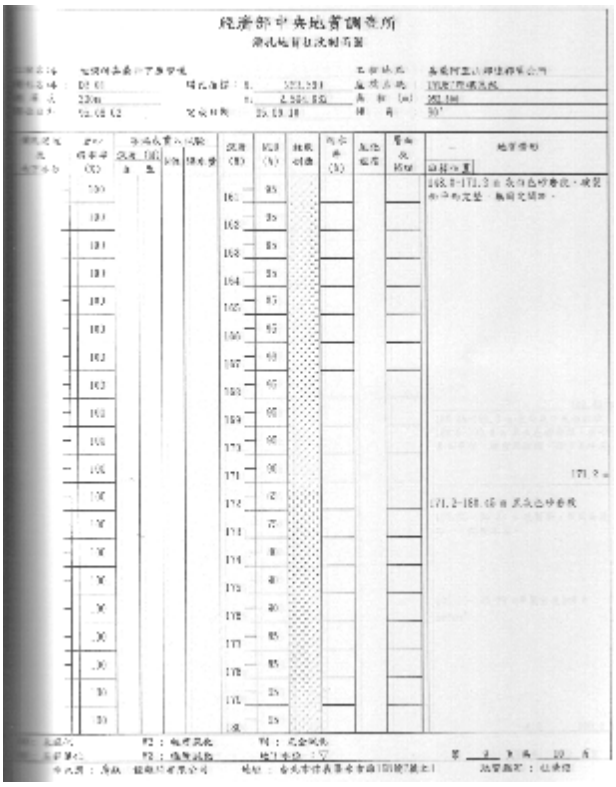


圖 10-12（續）　嘉義達邦舊公所觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

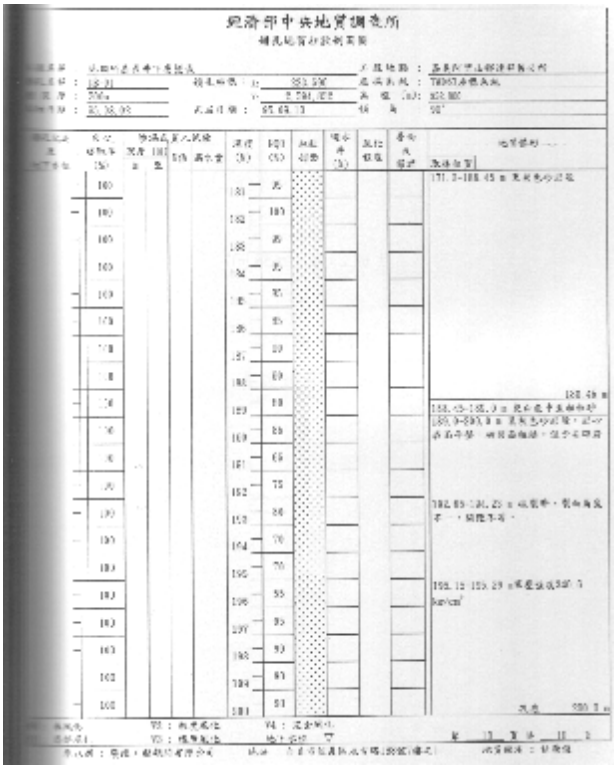


圖 10-12（續）　嘉義達邦舊公所觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

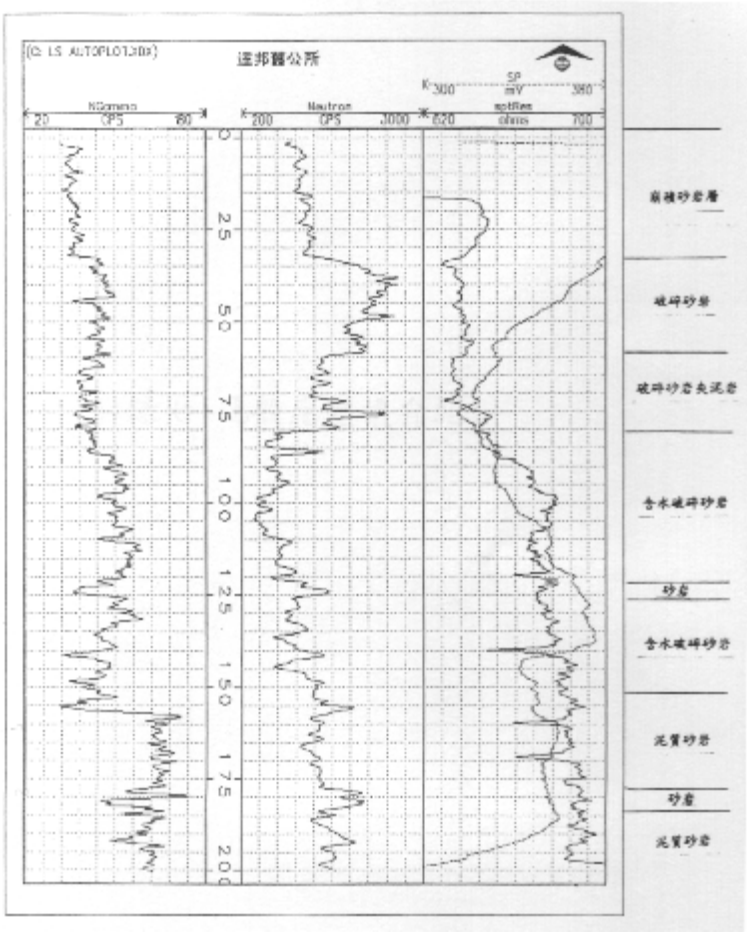


圖 10-13　嘉義縣達邦舊公所電井測曲線圖。

10-3-8 台北縣錦和國小觀測井

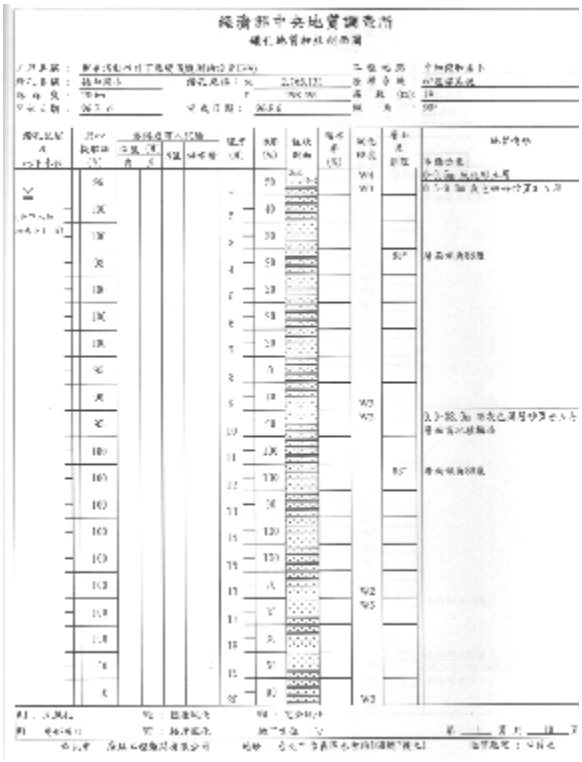


圖 10-14　台北錦和國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

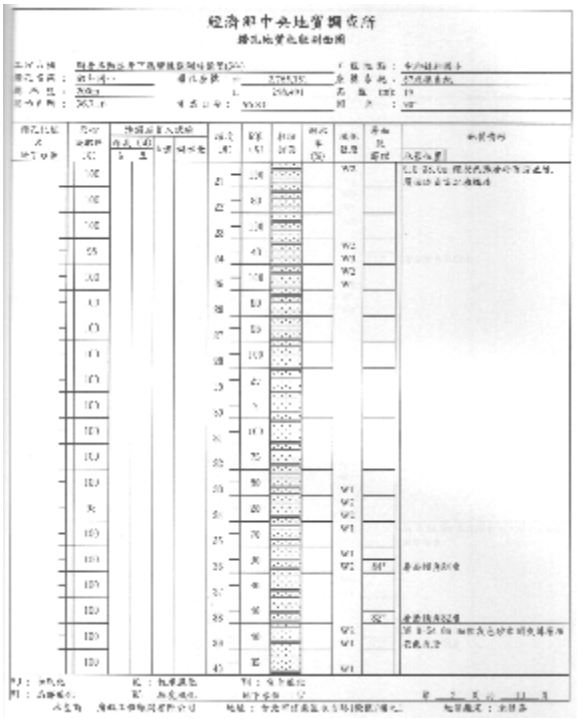


圖 10-14（續）　台北錦和國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

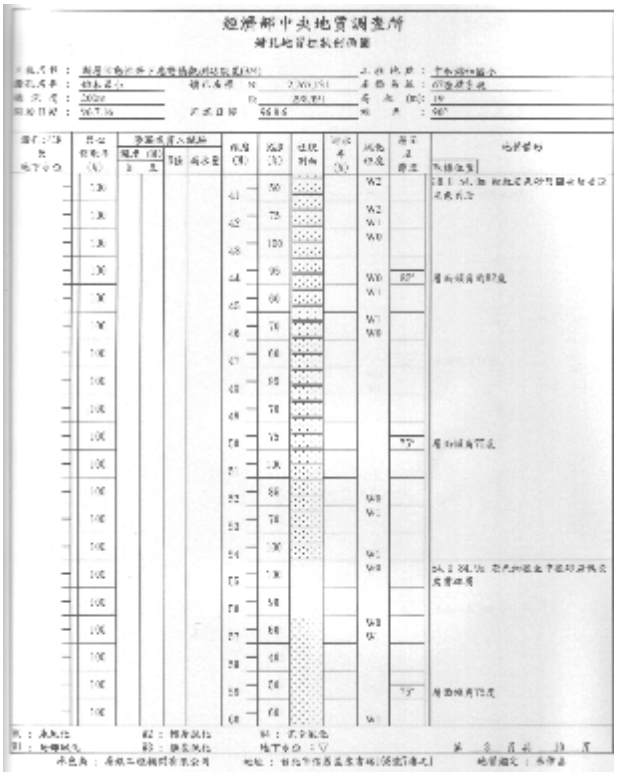


圖 10-14（續）　台北錦和國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

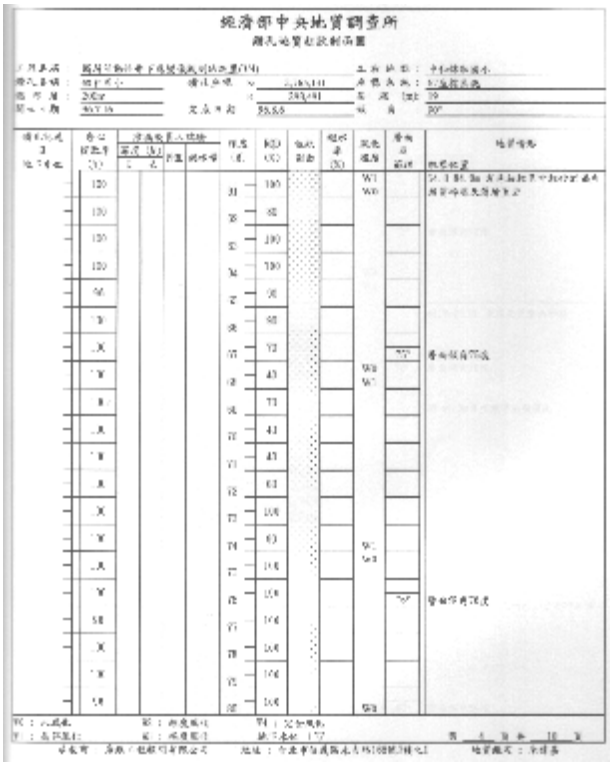


圖 10-14（續）　台北錦和國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

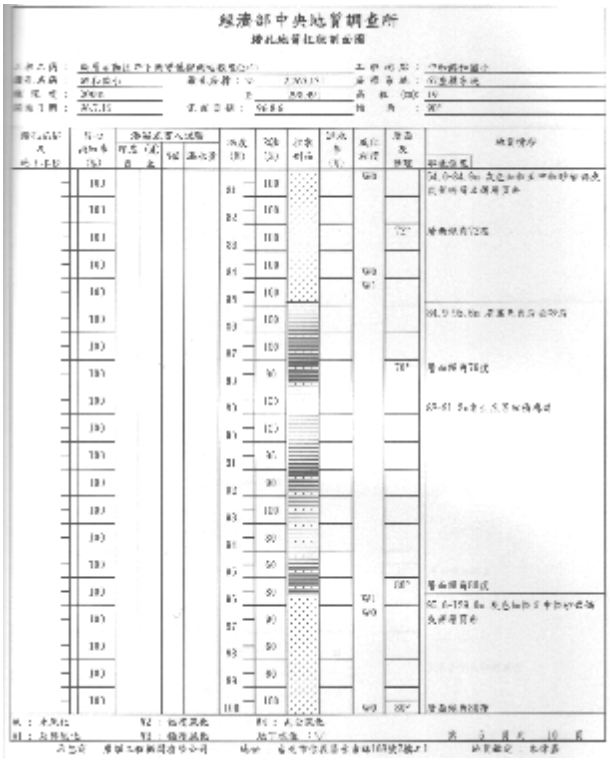


圖 10-14（續）　台北錦和國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

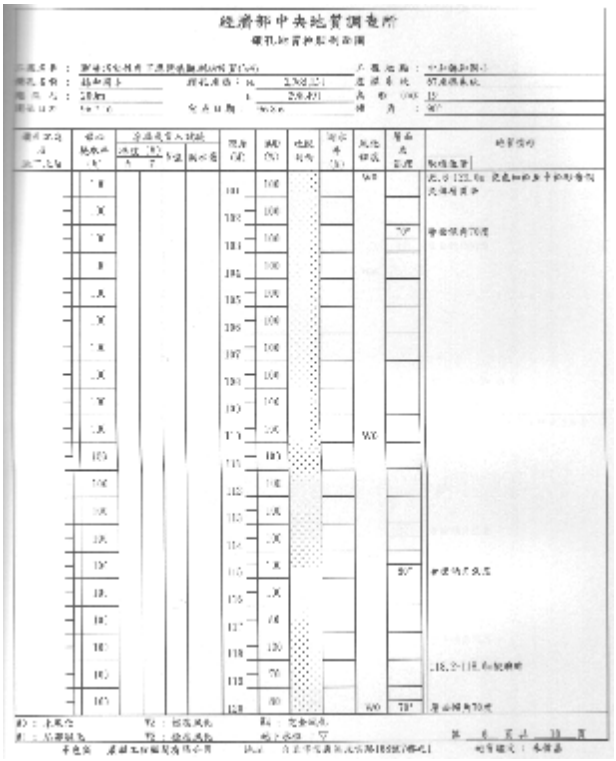


圖 10-14（續）　台北錦和國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

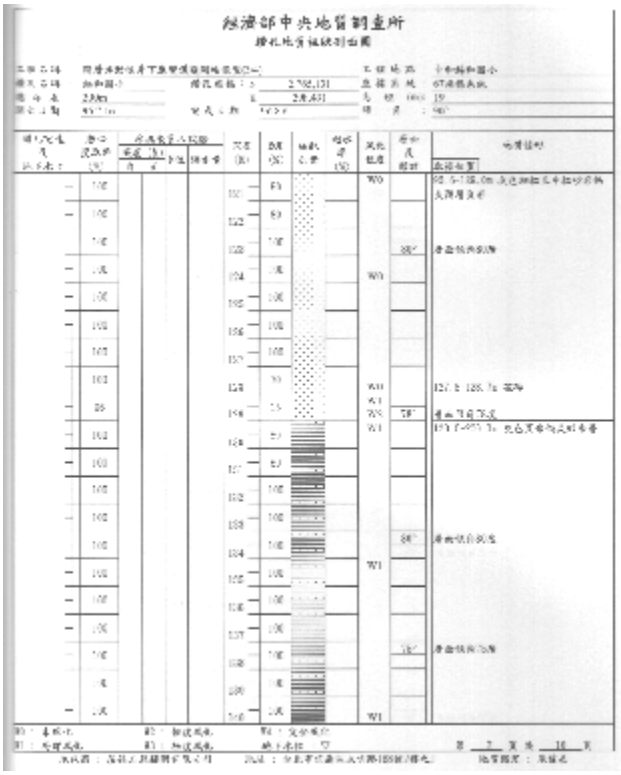


圖 10-14（續）　台北錦和國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

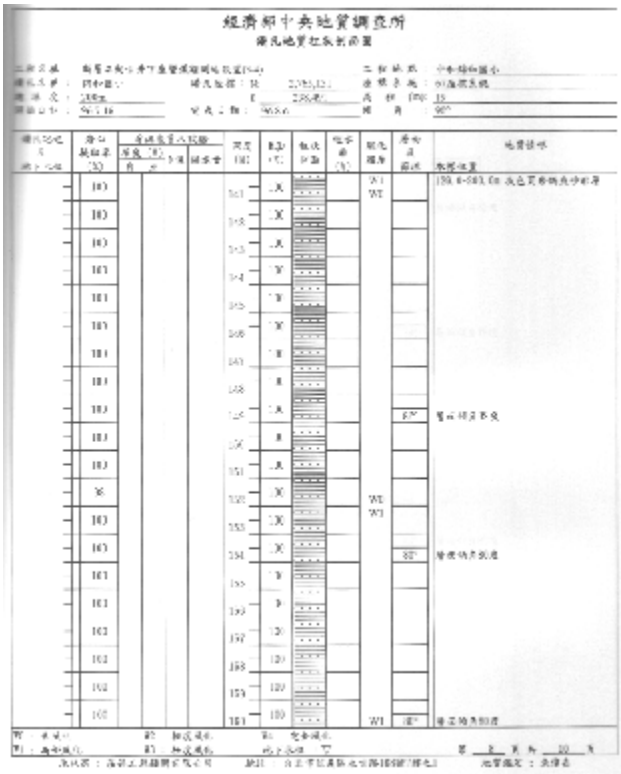


圖 10-14（續）　台北錦和國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

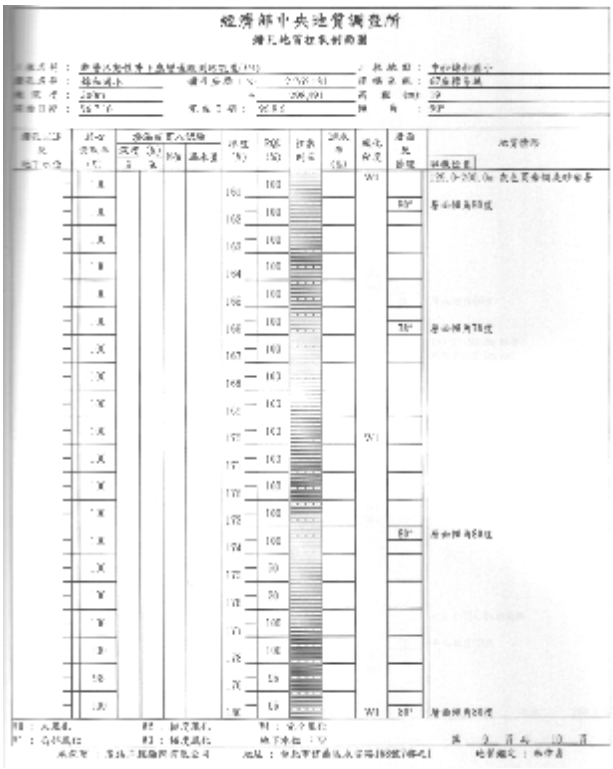


圖 10-14（續）　台北錦和國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

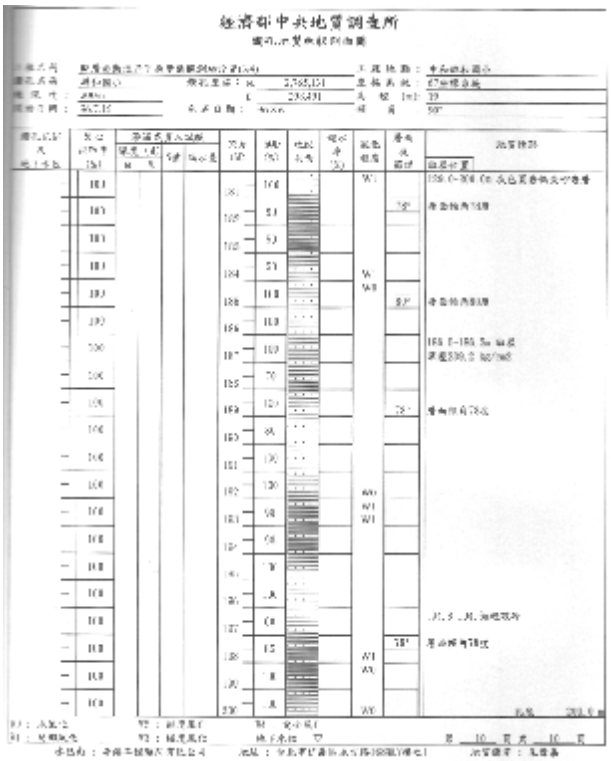


圖 10-14（續）　台北錦和國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

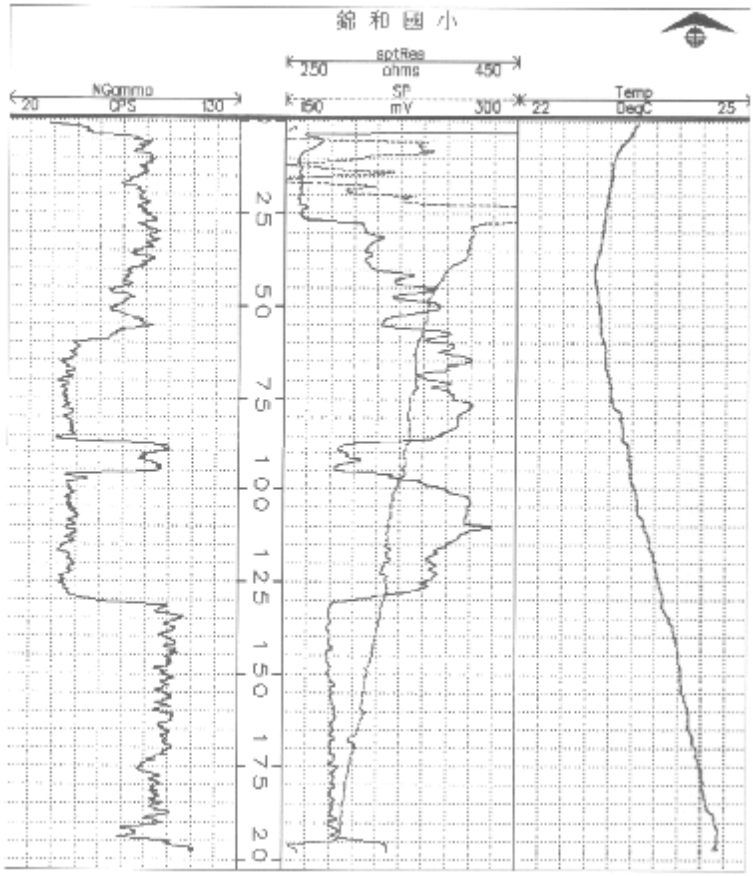


圖 10-15　台北縣錦和國小電井測曲線圖。

10-3-9 台北縣明德國中觀測井

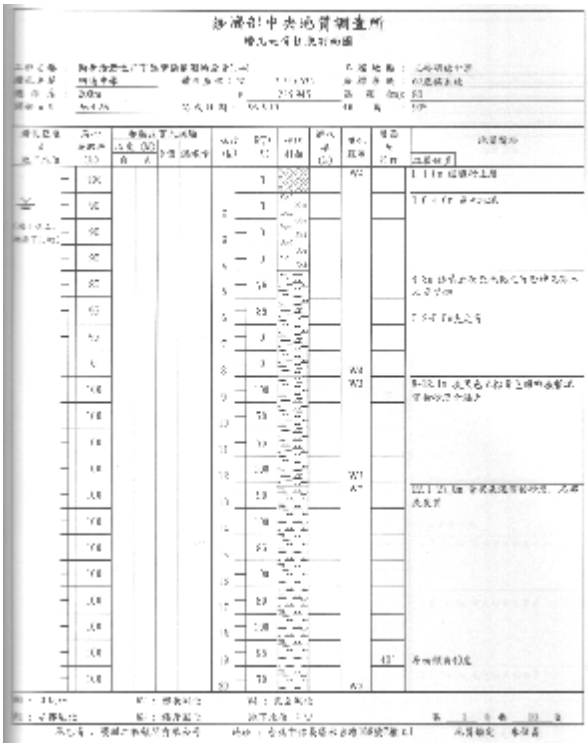


圖 10-16　台北明德國中觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

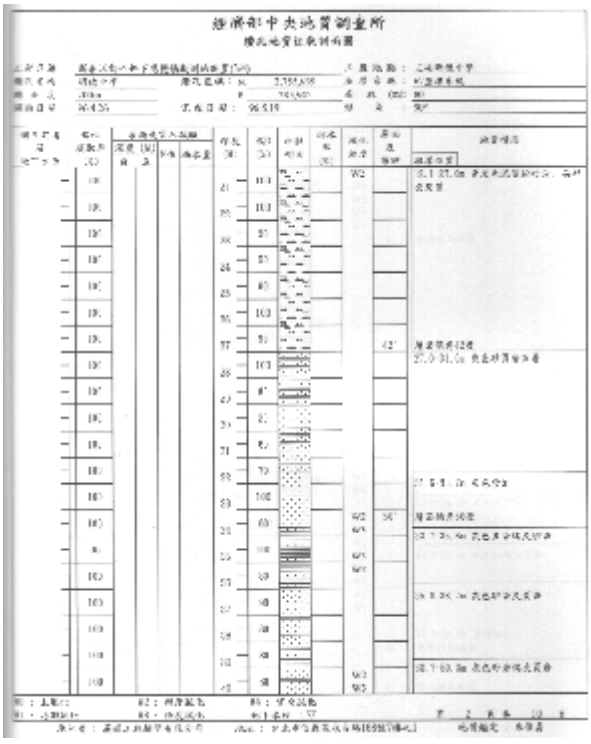


圖 10-16（續）　台北明德國中觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

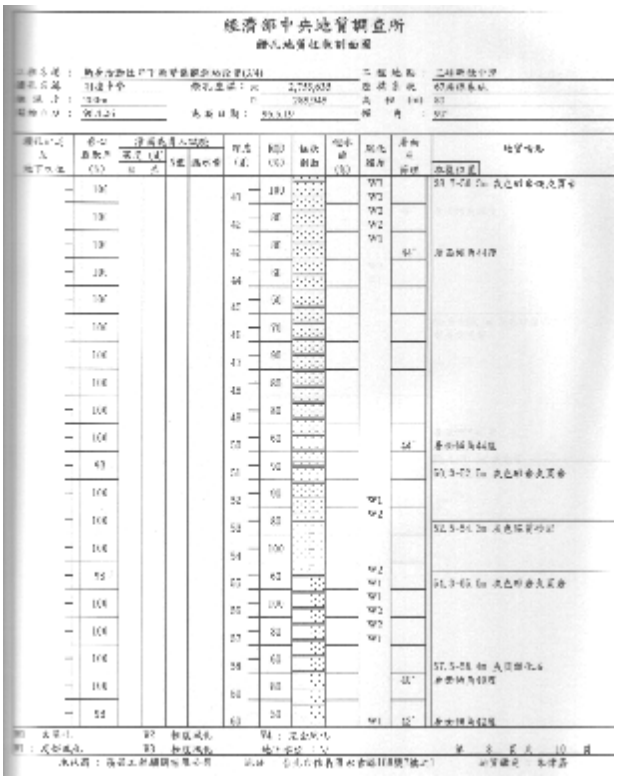


圖 10-16（續）　台北明德國中觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

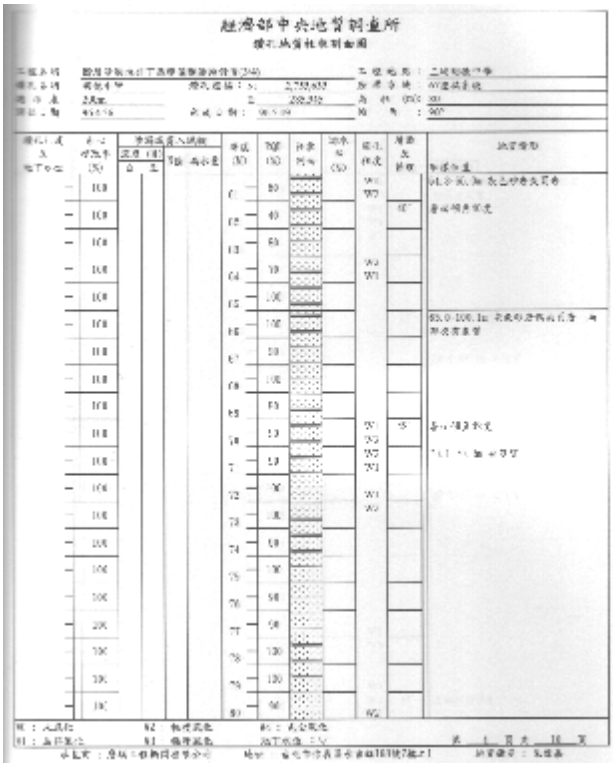


圖 10-16（續）　台北明德國中觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

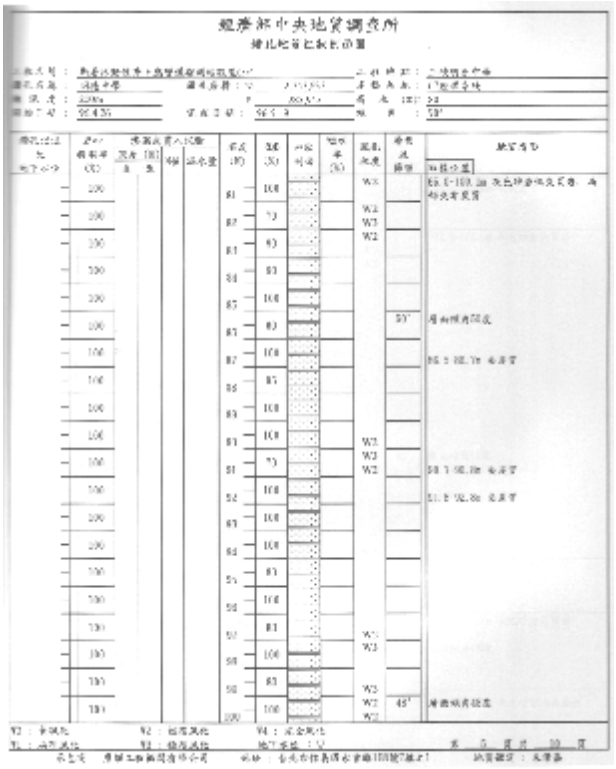


圖 10-16（續）　台北明德國中觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

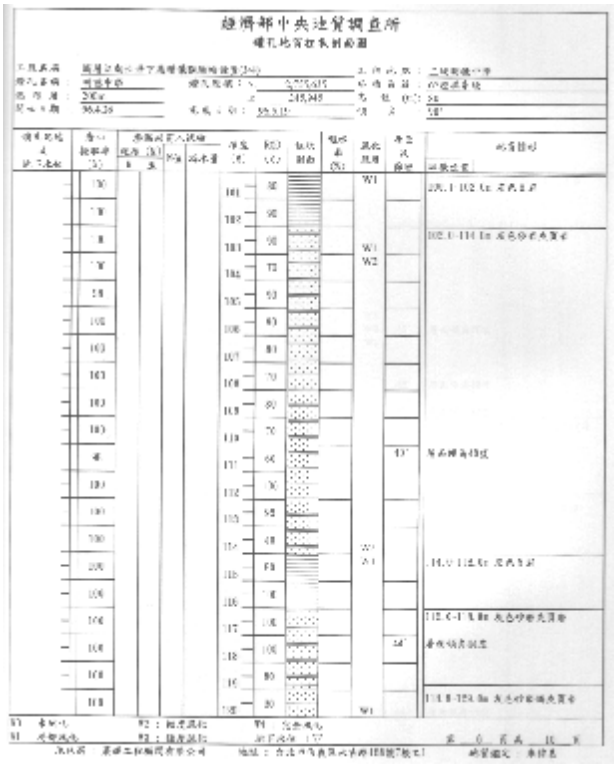


圖 10-16（續）　台北明德國中觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

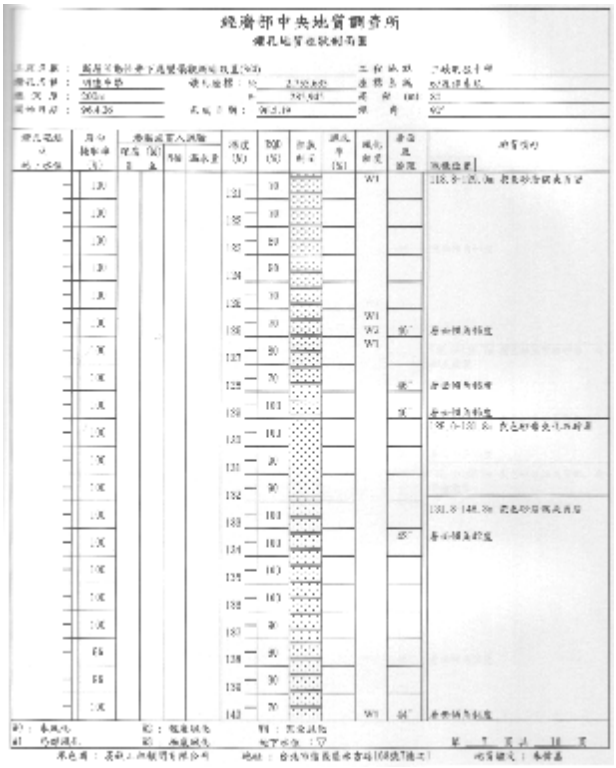


圖 10-16（續）　台北明德國中觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

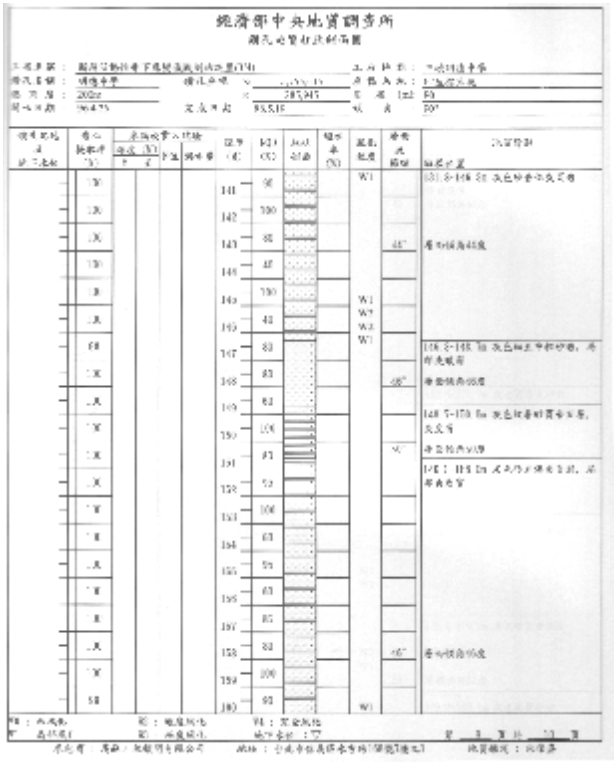


圖 10-16（續）　台北明德國中觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

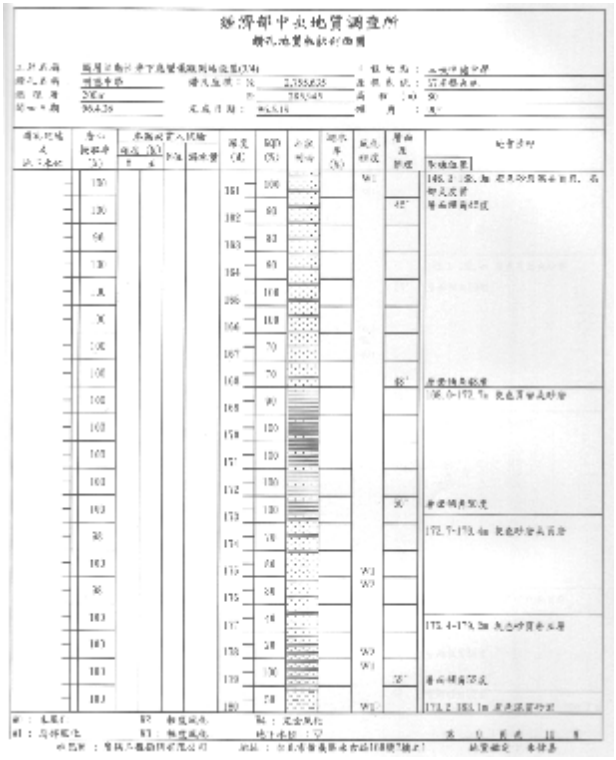


圖 10-16（續）　台北明德國中觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

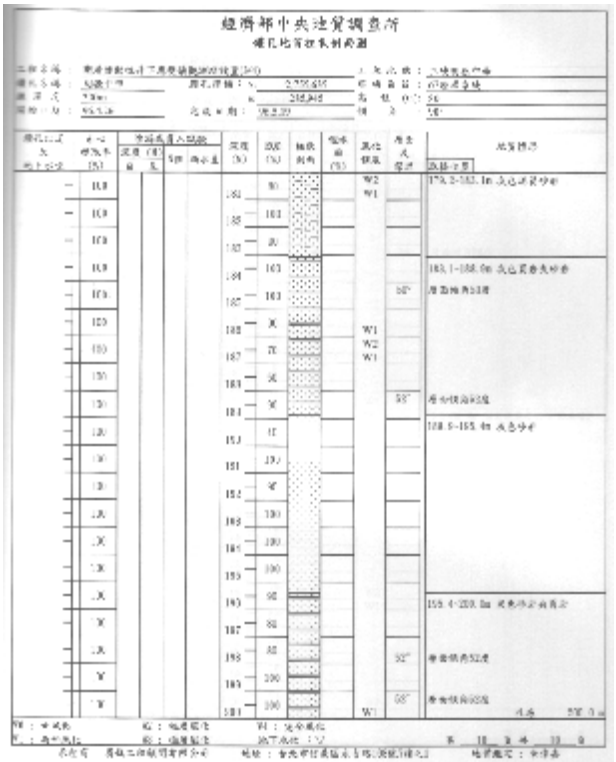


圖 10-16（續）　台北明德國中觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

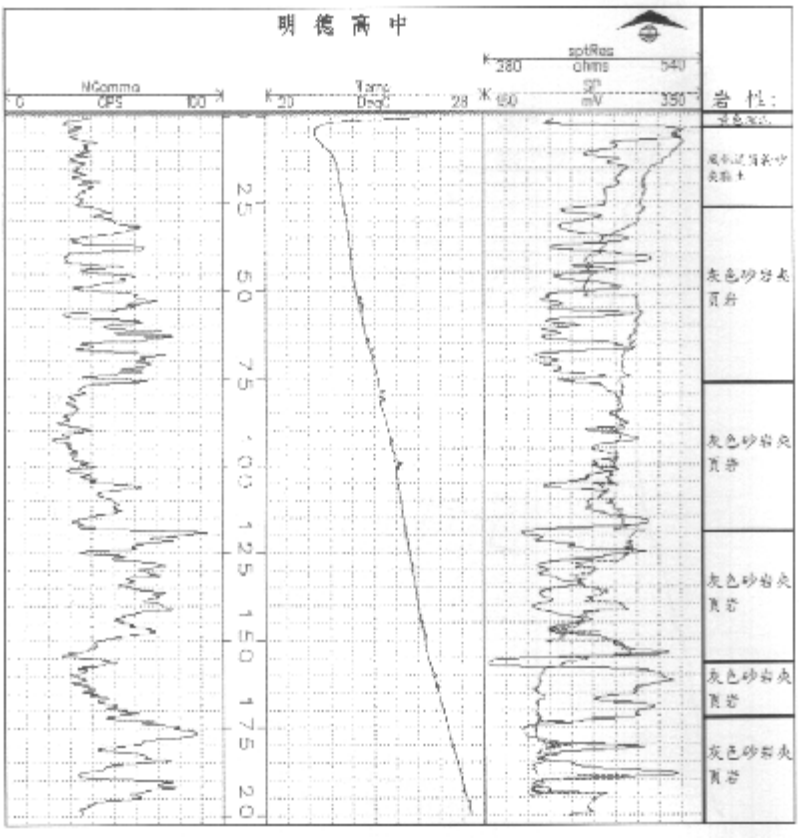


圖 10-17　台北縣明德國中電井測曲線圖。

附錄10-4：與本計畫相關之研究成果目錄

期刊論文

(1) 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)

(2) 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)

(3) 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)

(4) 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)

(5) 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)

(6) 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)

(7) 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)

(8) 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)

(9) 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)

(10) 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)

(11) 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)

(12) 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 Measurement*s, 36, 425-429. (SCI)

(13) 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.

(14) 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) 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.

(2) 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.

(3) 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.

(4) 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.

(5) 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.

(6) 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.

(7) 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.

(8) 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.

(9) 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.

(10) 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.

(11) 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.

(12) 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.

(13) 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.

(14) 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.

(15) 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.