經濟部

中央地質調查所報告第 95-15 號
委辦計畫編號（5226902000-06-95-02）

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
(2/4)

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
中華民國九十五年十二月

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
(2/4)

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

研究助理：傅慶州、吳國維

執行期限：95 年 1 月至 12 月

委辦單位：經濟部中央地質調查所

承辦單位：國立台灣大學地質科學系

中 華 民 國 九 十 五 年 十二 月

摘 要

經由先前的調查研究結果得知，於斷層帶附近的氣體成份與水位變化的長期觀測，有助於吾人對於斷層與地震活動之機制的瞭解，更可進一步探討當地可能之地震前兆異常指標。

本年度計畫對於已設置在嘉義中崙地區的濁水潭、溫泉井及新竹大平地三座氣體觀測站持續觀測，以定期人工採樣的方式確保觀測站連續資料的品質，並配合濁水潭與大平地測站的地震儀與新竹雙溪水位觀測站資料，期能提供更為精準的地震活動訊息。

分別於梅山-古坑地區的梅山、九芎坑斷層附近和玉井-左鎮地區的觸口斷層附近進行土壤逸氣調查，選擇對於斷層與地震活動較為敏感的位置，配合鄰近已設置之地殼形變觀測站，新設置兩組氣體觀測站；並於鄰近嘉義中崙地區設置一座水位觀測站，以期能夠有同步之觀測資料。全部的觀測站皆為自動化設置且都可從台北直接取得即時資料，並配合周遭的應變儀測站及中央氣象局的強震儀，期有利於往後對於分析資料之判讀，並進一步觀測其活動可能之前兆訊息與可能機制。

Abstract

It will be helpful to better understand the mechanism and process of the fault/earthquake activity by long-term monitoring the gas composition and water-level at appropriate sites of fault zone. Furthermore, it may help us to observe the potential precursors in one area.

We have maintained the existing stations in Chunglun area and Kuanshi-Chutung area for continuous monitoring on the variations of soil gas composition to verify the relationship between geochemical and earthquake events in the project. Regular manual sampling the gas samples for analysis in the laboratory is also conducted to calibrate the data obtained from the stations. Meanwhile, seismometers were also installed at the stations for better understanding the earthquake activity in the area.

After the general survey of soil gas composition around the Meishan and Chiouchiungkeng Faults in Meishan-Gukeng area and the Chukou Fault in Yujing-Zuojhen area, respectively, we have setup two automatic monitoring stations for soil gas composition at selected sites, where soil gas shows anomalous high helium and radon concentrations and is believed to be sensitive to local crust/strain activity. A water-level station is also setup at a primary school where is close to the existing soil gas station. All stations are fully automatic and able to transfer the real-time data to Taipei (NTU) for further analyses synthesis and interpretations. In addition to the nearby setup continuous strain monitoring station, we will be able to collect physical and chemical data of crustal strain and fluid chemistry simultaneously at the same area for further data interpretation in the feature.

斷層活動性之地球化學觀測與研究(2/4)

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
2-2　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　嘉義中崙溫泉一號井土壤氣體觀測站…… 37
2-4　新竹大平地土壤氣體觀測站…… 51
2-5　人工採樣分析結果…… 66

參、土壤氣體成份初勘結果…… 69
3-1　前言…… 69
3-2　野外採樣…… 69
3-3　實驗室分析…… 70
3-3.1　氦氣偵測儀…… 70
3-3.2　攜帶式氣相層析儀…… 73
3-3.3　氡氣偵測儀…… 74
3-4　結果與討論…… 74
3-5　小結…… 82

3-6　新觀測站選擇的考量因子…… 100
3-7　新氣體觀測站初期觀測結果…… 101

肆、地下水位觀測…… 104
4-1　前言…… 104
4-2　95 年度嘉義山區電子式水壓計觀測井概要…… 104
4-2.1　觀測井設計 ……104
4-2.1.1　玻璃纖維（FRP）儀器站房……107
4-2.1.2　接地裝置 ……108
4-3　沄水國小觀測井附近地質概要……108
4-3.1　地質概要 ……108
4-3.2　施工現場情況 ……111
4-3.2　鑽井岩芯柱 ……113
4-4　地下水壓變動觀測結果……125
4-4.1　新竹寶山雙溪國小水壓觀測站……125
4-4.2　嘉義縣中埔鄉沄水國小水壓觀測站……131

伍、評估觀測站氣體成份、水位變化與地震活動之關聯性……134
5-1　中崙濁水潭觀測站…… 134
5-2　中崙溫泉一號井觀測站…… 134
5-3　新竹大平地氣體觀測站…… 134
5-4　雙溪水位觀測站 …… 135
5-5　嘉義梅山、台南二溪氣體觀測站與嘉義沄水水位觀測站…… 135

陸、結論與建議……136

柒、參考文獻……138

捌、附錄（附錄 8-4 至 8-6 請參照光碟電子檔）……140
附錄 8-1：今年期中報告審查委員意見及答覆情形……140
附錄 8-2：今年期末報告審查委員意見及答覆情形 ……142
附錄 8-3：本計畫有關發表之文章及得獎情形 ……144
附錄 8-4：各土壤氣體觀測站氣體成份連續觀測結果
附錄 8-5：各水位井觀測站連續觀測結果
附錄 8-6：梅山-古坑地區及玉井-左鎮地區土壤氣體成份分析結果

表目錄

表 1-1　預期進度甘梯圖及實際工作進度.....3
表 1-2　既有觀測站位置座標.....7
表 2-1　觀測站人工採樣氣體成份表..... 66
表 3-1　梅山-古坑地區土壤氣體成分分析結果.....75
表 3-2　玉井-左鎮地區土壤氣體成分分析結果（一）..... 79
表 3-3　玉井-左鎮地區土壤氣體成分分析結果（二）..... 80
表 3-4　土壤氣體成份統計分析結果..... 81
表 3-5　編號 M41 不同時間的土壤氣體成分分析結果..... 83

圖目錄

圖 2-1：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2005/11/15～2005/12/31）.....7
圖 2-2：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/1/1～2006/1/31）.....8
圖 2-3：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/2/1～2006/2/28）.....8
圖 2-4：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2003/3/1～2006/3/31）.....9
圖 2-5：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/4/1～2006/4/30）.....9
圖 2-6：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/5/1～2006/5/31）.....10
圖 2-7：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/6/1～2006/7/14）.....10
圖 2-8：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/8/27～2006/9/30）.....11
圖 2-9：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/10/1～2006/10/31）.....11
圖 2-10：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/11/1～2006/11/30）.....12
圖 2-11：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/12/1～2006/12/20）.....12
圖 2-12：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2005/11/15～2006/11/18）.....13
圖 2-13：中崙濁水潭土壤氣體成份（2005/11/15～2005/12/31）.....13
圖 2-14：中崙濁水潭土壤氣體成份（2006/1/1～2006/1/31）.....14
圖 2-15：中崙濁水潭土壤氣體成份（2006/2/1～2006/2/28）.....14
圖 2-16：中崙濁水潭土壤氣體成份（2003/3/1～2006/3/31）.....15
圖 2-17：中崙濁水潭土壤氣體成份（2006/4/1～2006/4/30）.....15
圖 2-18：中崙濁水潭土壤氣體成份（2006/5/1～2006/5/31）.....16
圖 2-19：中崙濁水潭土壤氣體成份（2006/6/1～2006/7/14）.....16
圖 2-20：中崙濁水潭土壤氣體成份（2006/8/27～2006/9/30）.....17

圖 2-21：中崙濁水潭土壤氣體成份（2006/10/1～2006/10/31）.....17
圖 2-22：中崙濁水潭土壤氣體成份（2006/11/1～2006/11/30）.....18
圖 2-23：中崙濁水潭土壤氣體成份（2006/12/1～2006/12/20）.....18
圖 2-24：中崙濁水潭土壤氣體成份（2005/11/15～2006/12/20）.....19
圖 2-25：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2005/11/15～2005/12/31）.....20
圖 2-26：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/1/1～2006/1/31）.....20
圖 2-27：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/2/1～2006/2/28）.....21
圖 2-28：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2003/3/1～2006/3/31）.....21
圖 2-29：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/4/1～2006/4/30）.....22
圖 2-30：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/5/1～2006/5/31）.....22
圖 2-31：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/6/1～2006/7/14）.....23
圖 2-32：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2003/8/27～2006/9/30）.....23
圖 2-33：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/10/1～2006/10/31）.....24
圖 2-34：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/11/1～2006/11/30）.....24
圖 2-35：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/12/1～2006/12/20）.....24
圖 2-36：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2005/11/15～2006/11/18）.....25
圖 2-37：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2005/11/1～2005/12/31）.....26
圖 2-38：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2006/1/1～2006/1/31）.....27
圖 2-39：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2006/2/1～2006/2/28）.....28
圖 2-40：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2003/3/1～2006/3/31）.....29
圖 2-41：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2006/4/1～2006/4/30）.....30
圖 2-42：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2006/5/1～2006/5/31）.....31
圖 2-43：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2006/6/1～2006/6/30）...32
圖 2-44：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2006/8/1～2006/9/30）...33
圖 2-45：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2006/10/1～2006/11/30）...34
圖 2-46：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2006/12/1～2006/12/20）...35
圖 2-47：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化（2005/11/1～2006/6/30）...36
圖 2-48：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2005/11/1～2005/12/31）.....38
圖 2-49：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2006/1/1～2006/1/31） ...39
圖 2-50：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2006/2/1～2006/2/28） ...40
圖 2-51：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2003/3/1～2006/3/31） ...41
圖 2-52：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2006/4/1～2006/4/30） ...42
圖 2-53：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2006/5/1～2006/5/31） ...43
圖 2-54：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2003/6/1～2006/7/31） ...44

圖 2-55：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2006/8/1～2006/8/31） ...45
圖 2-56：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2006/9/1～2006/9/30） ...46
圖 2-57：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2006/10/1～2006/10/31） ...47
圖 2-58：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2006/11/1～2006/11/30） ...48
圖 2-59：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2006/12/1～2006/12/20） ...49
圖 2-60：中崙溫泉井氡氣與二氧化碳成份變化（2005/11/1～2006/12/20） ...50
圖 2-61：新竹大平地觀測站觀測結果（2005/12/16～2006/1/31）.....53
圖 2-62：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/2/1～2006/2/28）.....54
圖 2-63：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/3/1～2006/3/31）.....55
圖 2-64：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/4/1～2006/4/30）.....56
圖 2-65：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/5/1～2006/5/31）.....57
圖 2-66：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/6/1～2006/6/30）.....58
圖 2-67：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/7/1～2006/7/31）.....59
圖 2-68：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/8/1～2006/8/31）.....60
圖 2-69：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/9/1～2006/9/30）.....61
圖 2-70：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/10/1～2006/10/31）.....62
圖 2-71：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/11/1～2006/11/30）.....63
圖 2-72：新竹大平地觀測站觀測結果（2006/12/1～2006/12/20）.....64
圖 2-73：新竹大平地觀測站觀測結果（2005/12/16～2006/12/20）.....65
圖 3-1 ：梅山-古坑地區土壤氣採樣點分佈情形.....71
圖 3-2 ：玉井-左鎮地區土壤氣採樣點分佈情形.....72
圖 3-3 ：野外採樣土壤氣體的實際情形 73
圖 3-4 ：採樣示意圖..... 73
圖 3-5 ：梅山-古坑地區土壤氣體氦氣(He)濃度異常分佈圖 84
圖 3-6 ：梅山-古坑地區土壤氣體氦氣(He)等濃度分佈圖 85
圖 3-7 ：梅山-古坑地區土壤氣體氡氣(Rn)濃度異常分佈圖 86
圖 3-8 ：梅山-古坑地區土壤氣體氡氣(Rn)等濃度分佈圖 87
圖 3-9 ：梅山-古坑地區土壤氣體二氧化碳(CO_2)濃度異常分佈圖 88
圖 3-10 ：梅山-古坑地區土壤氣體二氧化碳(CO_2)等濃度分佈圖 89
圖 3-11 ：梅山-古坑地區土壤氣體氮氣(N_2)濃度異常分佈圖.....90
圖 3-12 ：梅山-古坑地區土壤氣體氮氣(N_2)等濃度分佈圖.....91
圖 3-13 ：梅山-古坑地區土壤氣體中各氣體間彼此含量之投圖 92
圖 3-14 ：玉井-左鎮地區土壤氣體氦氣(He)濃度異常分佈圖 92
圖 3-15 ：玉井-左鎮地區土壤氣體氡氣(Rn)濃度異常分佈圖 93

圖 3-16：觀測站預定地之久力橋周遭環境的照片.....94
圖 3-17：觀測站預定地(g10)之周遭環境的照片..... 95
圖 3-18：梅山觀測站的設站過程與儀器配置.....96
圖 3-19：二溪觀測站的設站過程與儀器配置..... 98
圖 3-20：梅山觀測站氣象控制系統連續分析結果.....101
圖 3-21：嘉義梅山觀測站連續觀測結果..... 102
圖 3-22：台南二溪觀測站連續觀測結果.....103
圖 4-1a：玻璃纖維（FRP）儀器站房示意圖.....105
圖 4-1b：地下水位觀測資料之衛星傳輸示意圖.....105
圖 4-2：井孔及水壓計設置示意圖.....106
圖 4-3：本年度地下水位觀測井觀址及其周邊地貌..... 109
圖 4-4：沄水國小觀測井附近地質圖..... 110
圖 4-5：沄水國小觀測井施工現場照片..... 111
圖 4-6：鑽井岩芯柱狀圓柱狀圖..... 113
圖 4-7：嘉義縣中埔鄉沄水國小鑽井岩芯照片..... 118
圖 4-8：井篩之上下層岩芯照片..... 124
圖 4-9：雙溪國小觀測井位置圖..... 125
圖 4-10：雙溪國小觀測井第一次安裝水壓計觀測值與地震及降雨量關係圖... 126
圖 4-11：雙溪觀測井於 6/3/14 更換水壓計後觀測值與地震及降雨量關係圖... 127
圖 4-12：雙溪觀測井於 3/14 至 4/11 水壓觀測值與地震及降雨量關係圖..... 128
圖 4-13：雙溪觀測井於 6/1 至 6/20 水壓觀測值與地震及降雨量關係圖..... 129
圖 4-14：雙溪觀測井於 8/25 至 9/25 水壓觀測值與地震及降雨量關係圖..... 130
圖 4-15：雙溪觀測井於 10/5 至 11/9 水壓觀測值與地震及降雨量關係圖..... 130
圖 4-16：透過 ADSL 及控制軟體由台大及時讀取沄水觀測井數據之情形..... 131
圖 4-17：嘉義沄水國小觀測井之水壓觀測值與地震及降雨量關係圖..... 132
圖 4-18：沄水觀測井於 12/1 至 12/19 水壓觀測值與地震及降雨量關係圖..... 132
圖 5-1：新竹大平地觀測站觀測結果與地震活動之關聯性..... 135

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，同時來監測這種地質災害的前兆，可作為可能發生災害的預警。在監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。

經過前一階段（89-93年）有系統的調查觀測結果顯示，土壤氣體成份之監測有較為敏感的變化，且較容易達到連續自動化分析，及持續維護之目標。故而本階段計畫（94-97年）將著重於土壤氣體成份之觀測，配合水位觀測井與地震儀連續觀測分析、及鄰近地殼變形觀測結果，當可更有效解釋流體地球化學變化與地殼、地震活動之關連性。對已經設立之嘉義中崙濁水潭、嘉義中崙溫泉一號井與新竹大平地等連續觀測站持續分析，結果顯示大平地觀測站之氣體成份有顯著的變化，可能與地震與地殼活動有關，仍持續觀測當中。本（2006）年度並對嘉義地區的梅山斷層、九穹坑斷層和台南玉井地區的觸口斷層周遭進行土壤氣成份探勘，初步結果顯示於特定的位置皆有異常之土壤逸氣通量，並將評選出合適的監測站設置位置。

1-1 本年度之工作項目：

1. 持續維護已設置之氣體連續觀測站與水位觀測井，分析其土壤氣體成份與水位變化。
2. 九芎坑斷層、梅山斷層、及觸口斷層附近，選擇適當地點設置兩個土壤氣體連續觀測站。本觀測站將可以連續觀測土壤氣體 CO_2 與 Rn 兩種成份之變化，及當地溫、濕度，與雨量之變化；共站並設置一座強震儀，以便同步紀錄當地之地震活動。
3. 於基岩處設置一口 70-150 公尺深之水位觀測井，置入水位計進行記錄，並觀測水位變化與他相關效應之關聯。氣體觀測站與水位觀測井將盡量共站設置，且與委託單位於該地區設置之井下應變儀進行聯合觀測。
4. 評估同震地下水位變化與地震活動之關聯性。
5. 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。
6. 繳交依審查意見修正後之研究成果報告書 50 份及電子資料檔光碟 1 份。
7. 於本年度計畫所選擇之地區及選擇之氣體成份作定期人工採樣與背景值分析。

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. 於九芎坑斷層、梅山斷層、及觸口斷層附近，分別設置了嘉義梅山觀測站和台南二溪觀測站，已正常運作中。
3. 已於嘉義中崙地區溓水國小旁，設置一口 70-150 公尺深之水位觀測井。目前已正常運作中。
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。

表一、預期進度甘梯圖（黑）及實際工作進度（紅）

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													
新的觀測站設置位址探勘													
水位觀測站之觀測井鑽探													
水位觀測站設置													
氣體觀測站設置儀器採購(完成招標手續)													
新的氣體觀測站設置與儀器設備安裝測試													
定期人工氣體採樣													
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）做為監測站分析氣體樣品之儀器，SRS QMS-100 具有輕便及體積小、適合野外分析之優點外，並有很大之分析範圍（10^{-5}～10^{-14} torr）、極高之敏感度、與解析（<0.5 amu），能夠快速掃瞄樣品中所有成份（<10 秒），同時可分析多種氣體成份（包括：氫氣、氦氣、甲烷、水氣、氮氣、氧氣、氬氣、二氧化碳、乙烷、氡氣等）等優點，非常適合用於長期連續監測氣體成份變化。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)。由於在監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）。

2-2 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2-12為中崙濁水潭之土壤氣體成份分壓連續分析結果，圖2-1、圖2-2為2005年11月至2006年1月的分析結果，分壓變化沒有太大的波動不過在2005年12月底時分析管現有冷凝水累積其中，造成氣體分壓下降且呈現一陣陣的突波。而排除後於2006年1月中旬又發生類似的情形，因此於1月底決定加裝主動式抽氣幫浦來幫助儀器順利分析氣體樣本。

圖2-3至圖2-5分別為2月至4月的分析結果，其間的變化大都是因為更換乾燥劑或土壤濕度升高的因素，沒有明顯的對應事件。而4月中嘉義中崙地區因停電使得觀測站無電力支援造成QMS分析中斷，此時同站的氡氣分析儀則由於本身的電池供給而不受影響；圖2-6則恢復正常的背景值範圍，5月初又重新換了乾燥劑，所以水氣明顯降低，而5月中旬突然性的豪大雨造成分析管線積水，導致各氣體成份變的不穩定，因此決定更換分析孔。新孔的成份較原先的低，而持續觀察一陣子後發現應再做些許調整，因此圖2-7顯示的成份分壓變化，則是不同方式測試的結果，目前已經恢復觀測中。

自7月起發現儀器很不穩定，加上整個觀測站的其餘硬體部分皆有維護的需要，因此決定將QMS送回原廠維護並調整、改善整體觀測站的配置，而經過宜連串的測試後，直至8月底才將讓觀測站重新步入軌道。圖2-8則為2006年8月27日至2006年9月30日的分析結果，顯示各氣體分壓變化平穩，除了9月中有些許的波動外，這是受到連日的大雨及更換同站的氡氣分析儀所造成的影響。圖2-9至圖2-11為10月至12月20日的分析結果，皆呈現平穩的連續變化，顯示7月中對於觀測站的調整有其必要且成功的。而圖2-12則為全年氣體成份分壓的連續分析結果。

而圖2-13至2-24中崙濁水潭之土壤氣體成份之體積百分比連續分析結果與圖2-25至2-36中崙濁水潭之土壤氣體成份比值變化連續分析結果，則同樣顯示出類似氣體成份分壓的變化情形。

2-2.2 氡氣偵測儀分析結果

圖2-37至2-47為中崙濁水潭之土壤氡氣成份連續分析結果。圖2-37為2005年11月至12月的變化情形，12月初因進行測試所以將濁水潭觀測站的氡氣偵測儀與溫泉一號井觀測站的交換，發現氡氣與釷氣皆顯著的改變，這應是儀器本身的因素所造成的；圖2-38和圖2-39分別為2006年1月和2月的分析結果，1月的部分則是前面所提到受到水氣升高導致氡氣偵測儀發生故障，隨後即修復重回觀測行列；而2月9日則將氡氣偵測儀重新更換回原來各自的觀測站，土壤氡氣再度變化而降低回原來的背景值；圖2-40同樣沒有顯著的異常事件。

圖2-41則是2006年4月的連續分析結果，於4月14日時Radon與Thorn濃度皆開始升高並持續了約三天左右，而土壤氡氣濃度開始升高的兩天後，在4月16日則發生了地震規模達6.0級的地震（當地震度為4級），緊接著在4月18日也發生一起地震規模達4.6級的地震（當地震度為4級），這個變化可能意味著地震前兆。

圖2-42和圖2-43則分別為2006年5月和6月的分析結果，如前述所提到，5月中旬突然性的豪大雨造成分析管線積水，導致各氣體成份變的不穩定，因此決定更換分析孔。新孔土壤氡氣的成份較原先的低很多，持續觀察一陣子後發現應再做些許調整，而圖2-43成份的變化是由於不同測試方式所產生的變化情形，我們發現儀器似乎有維修的必要，目前已更換備用儀器，不過觀測一段時間後卻讓更換後的儀器也故障而一併送修處理。

前述有提到本站決定進行硬體配置的調整，因此一直至8月中後裝上替換的氡氣分析儀(型號為: RTM 1688)，此型號與原來的RTM 2100最大的差別在於，無法同時分析土壤中的溫濕度變化且對於Thorn的分析敏感度較低，其餘則大同小異。圖2-44為2006年8月至9月的變化情形，發現前半段的分析值較低，不同觀測孔的分析結果，9月底中再度更換觀測孔後，整個的分析結果則呈現較平穩的變化情形，主要受到每日溫差變化影響，其間並沒有太大的異常波動。圖2-45則為2006年10月至11月的變化情形，同樣並沒有異常的變化，而在11月13日左右已重新將維修後的氡氣分析儀(RTM 2100)裝回，因此，背景分析值會有所變化。圖2-46則是2006年12月的分析結果，於12月3日後的分析值開始有問題，經檢測後發現為儀器問題，目前已更換備用儀器，不過氡氣和釷氣的分析背景值與先前不太相同，現在持續觀

察中。

圖2-47則是中崙濁水潭之土壤氡氣成份半年的連續分析結果，土壤氡氣濃度變化雖然多少是受到人為因素（更改管線配置方式、更換乾燥劑）、土壤溫濕度、雨量的影響，不過仍然可從中發現可能的構造活動訊息。整體來說，本區在這一年來並沒有太活躍的構造活動。

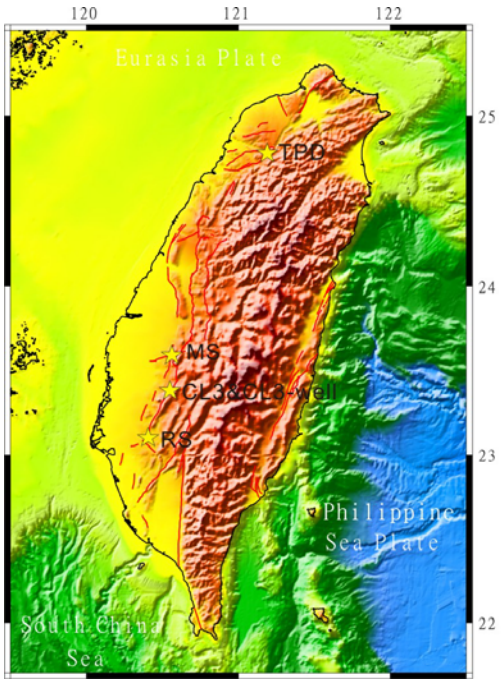


表 1-2 既有觀測站位置座標

	二度分帶(E)	二度分帶(N)
中崙濁水潭測站 (CL3)	204643	2586520
中崙溫泉井測站 (CL3-well)	204295	2585913
大平地測站 (TPD)	265637	2736929

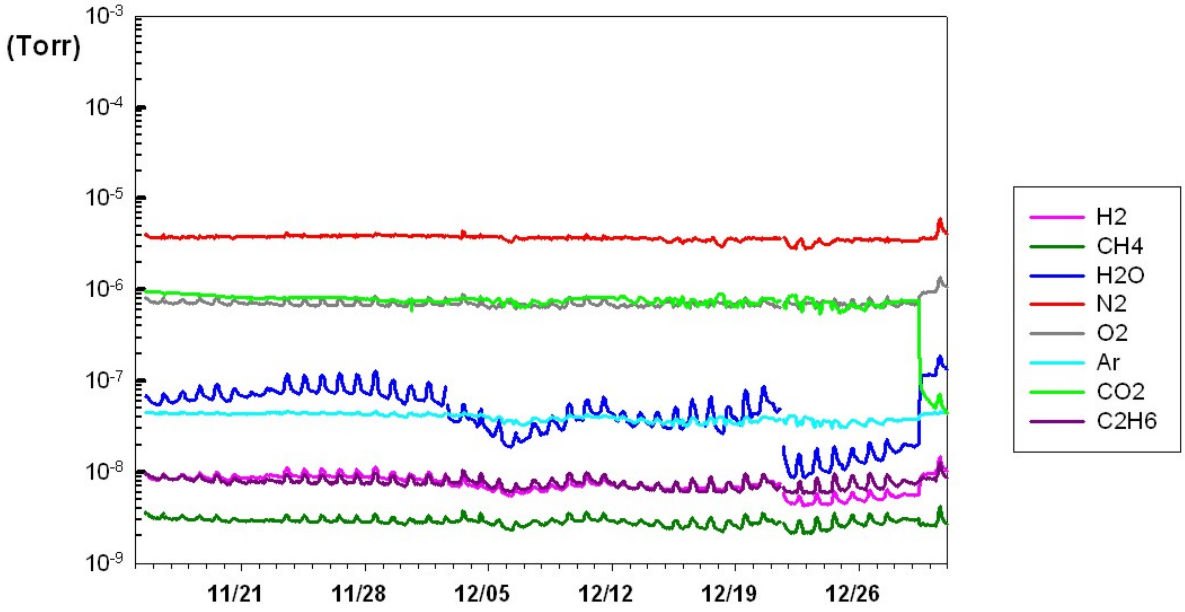


圖2-1：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2005/11/15～2005/12/31）與各觀測站位置（CL3:中崙濁水潭測站; CL3-well:中崙溫泉井測站; TPD:大平地測站;MS:梅山測站; RS:二溪測站）。

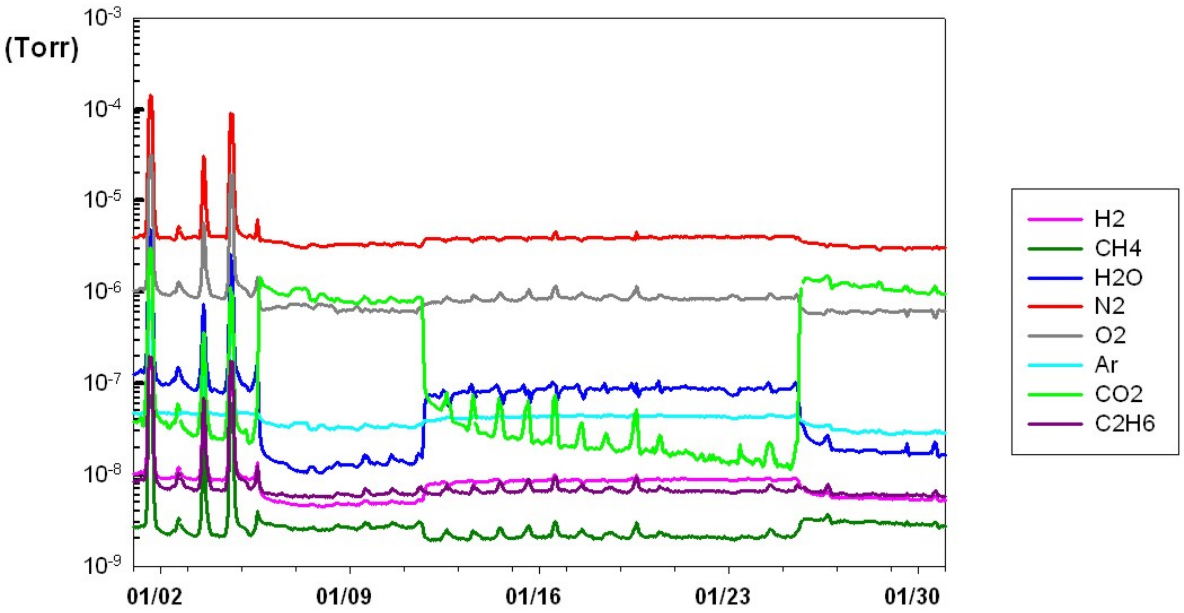


圖2-2：中崙濁水潭土壤成份分壓連續變化（2006/1/1～2006/1/31）。

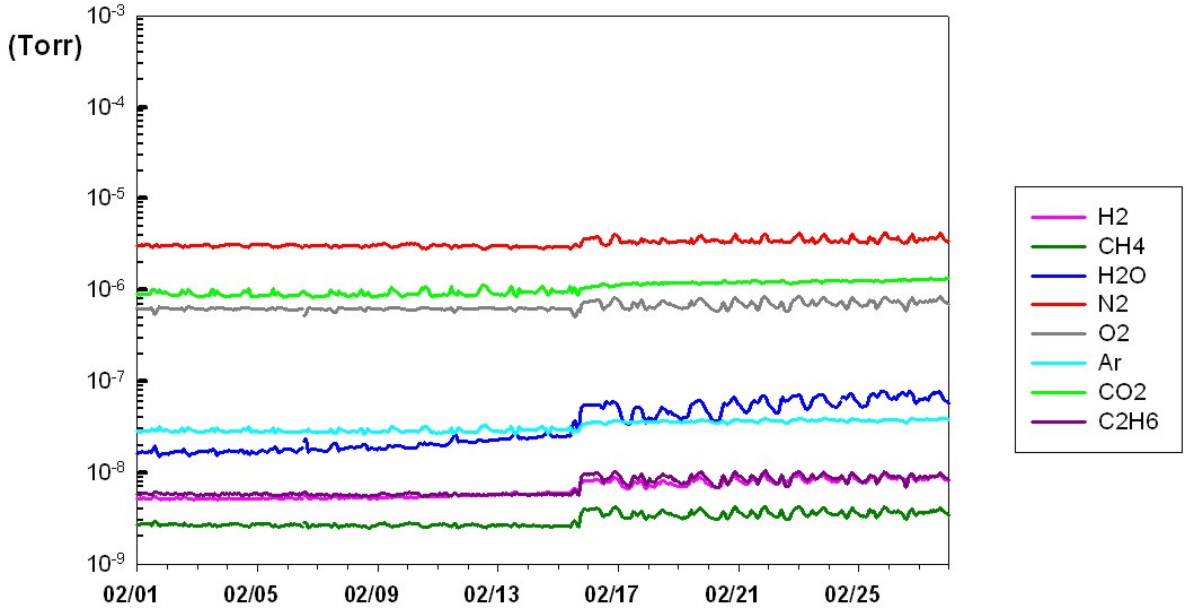


圖2-3：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/2/1～2006/2/28）。

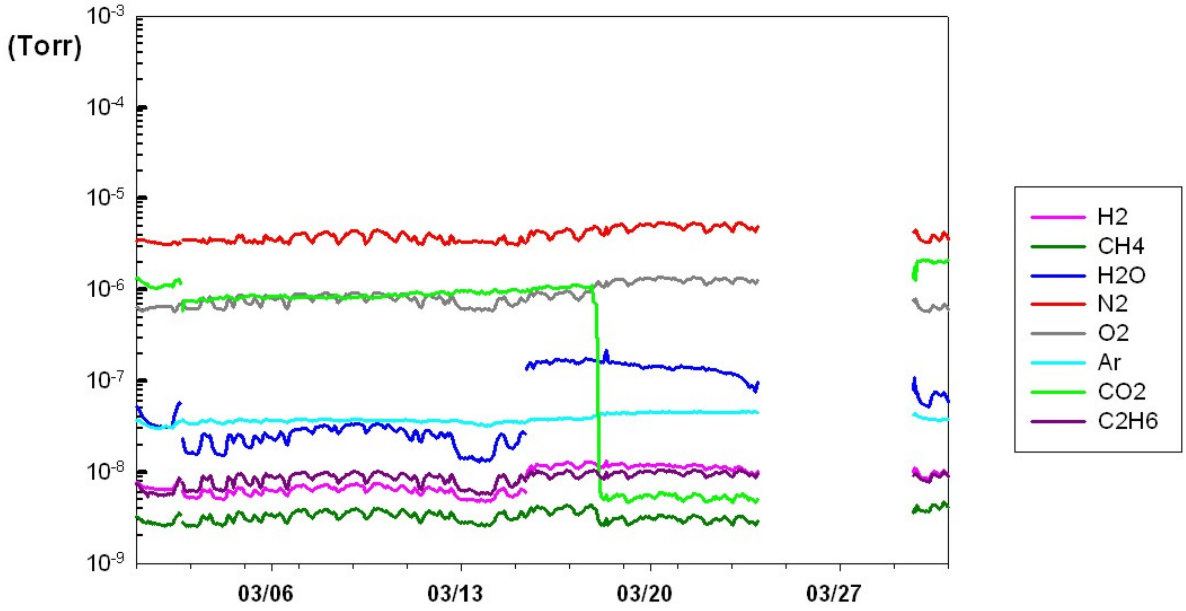


圖2-4：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/3/1～2006/3/31）。3月底儀器維修。

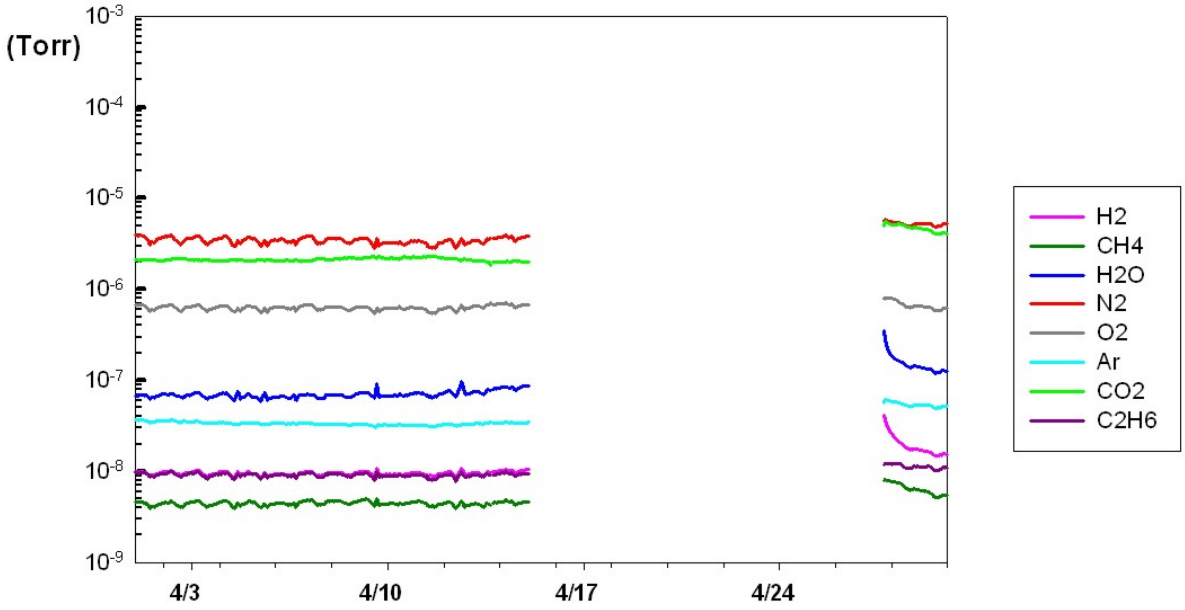


圖2-5：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/4/1～2006/4/30）。4月中儀器維修。

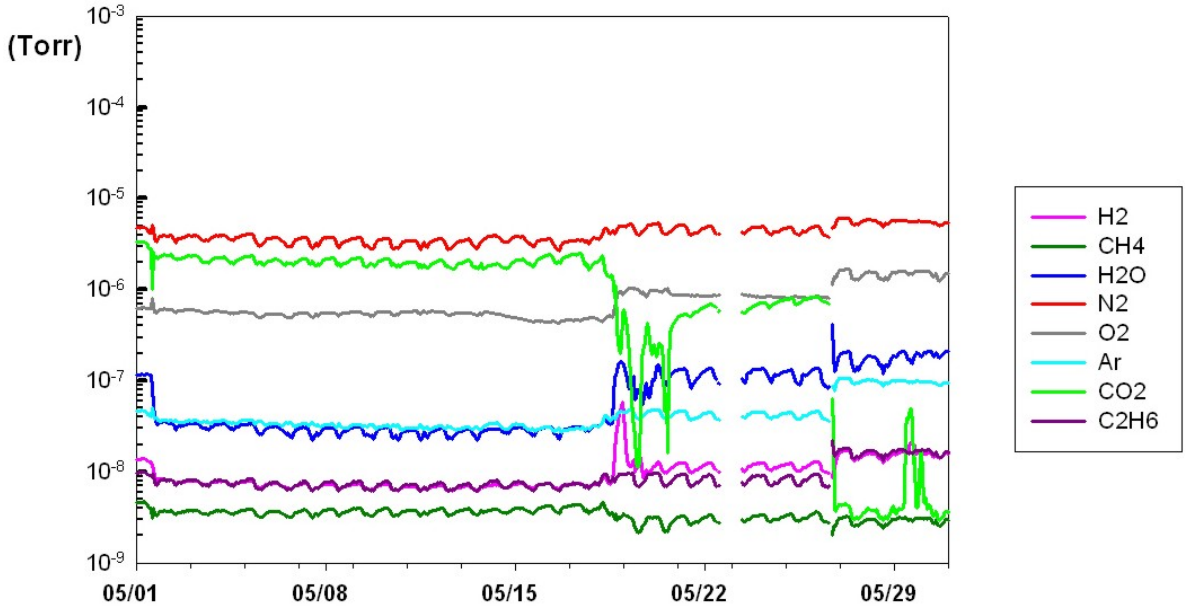


圖2-6：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/5/1～2006/5/31）。

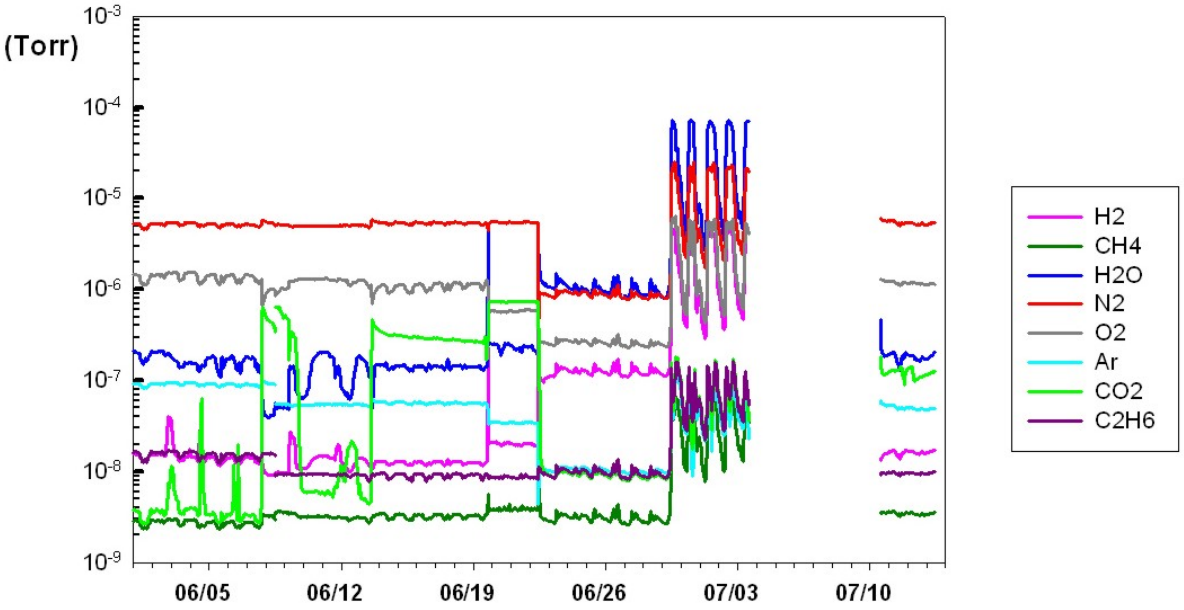


圖2-7：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/6/1～2006/7/14）。7月初儀器送修。

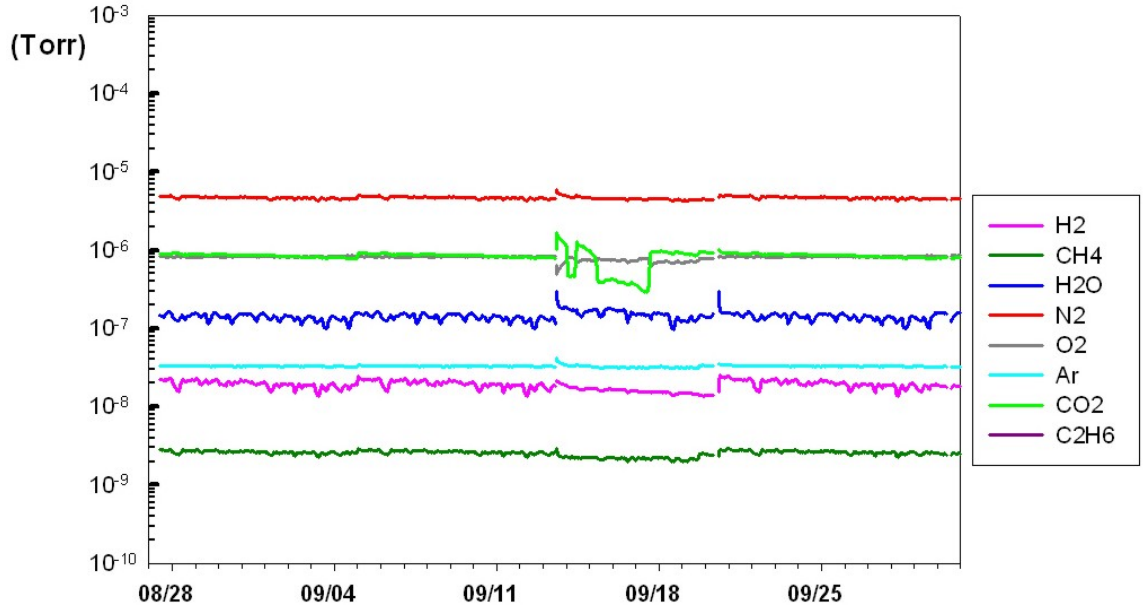


圖2-8：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/8/27～2006/9/30）。

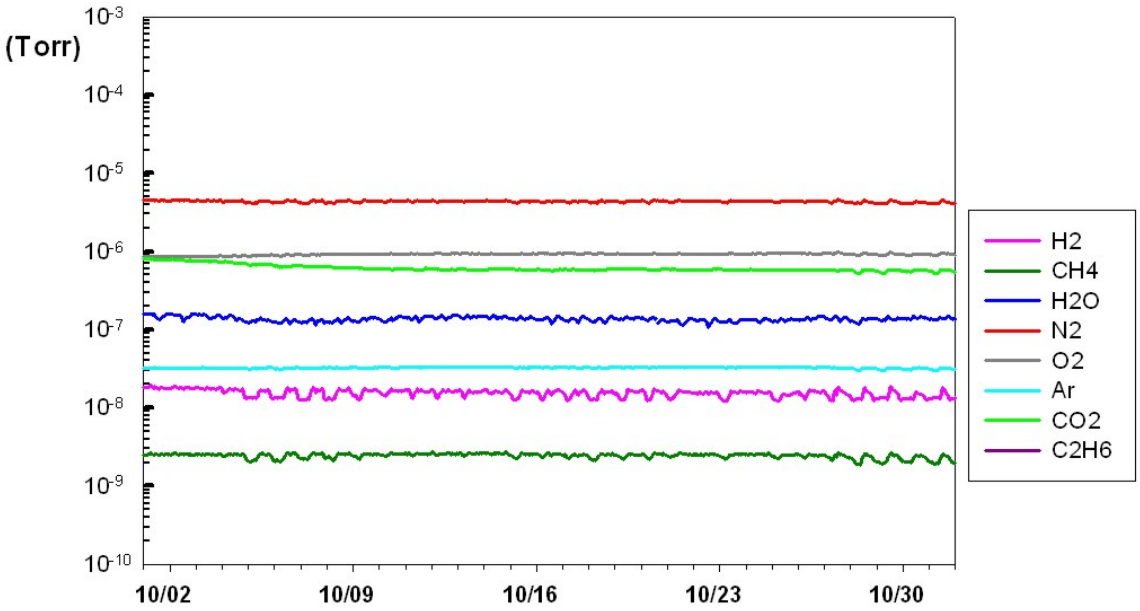


圖2-9：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2006/10/1～2006/10/31）。

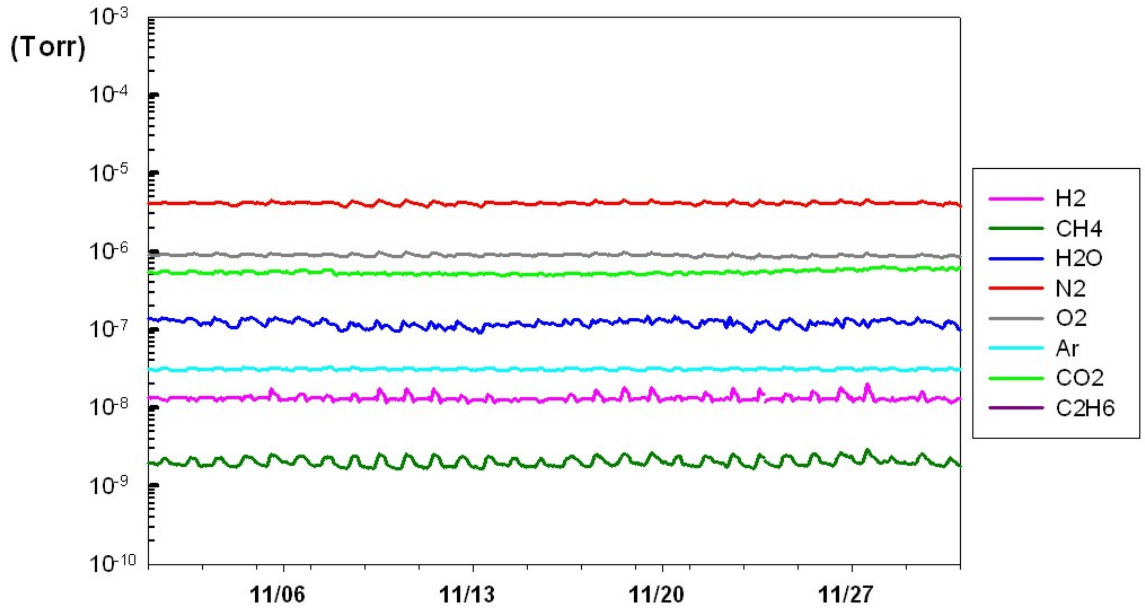


圖2-10：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化(2006/11/1～2006/11/30)。

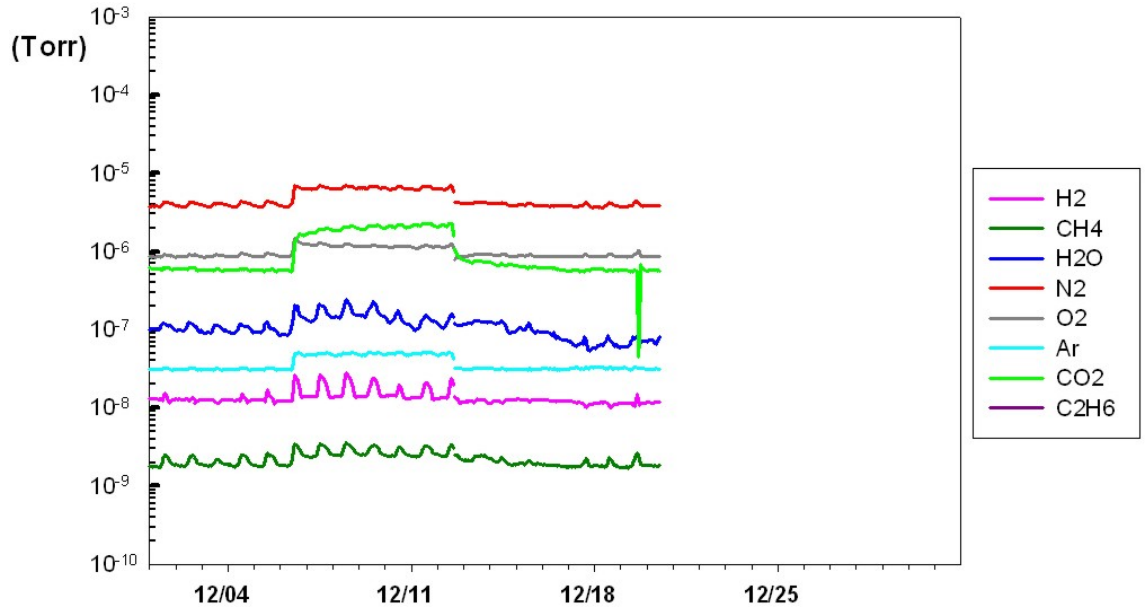


圖2-11：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化(2006/12/1～2006/12/20)。

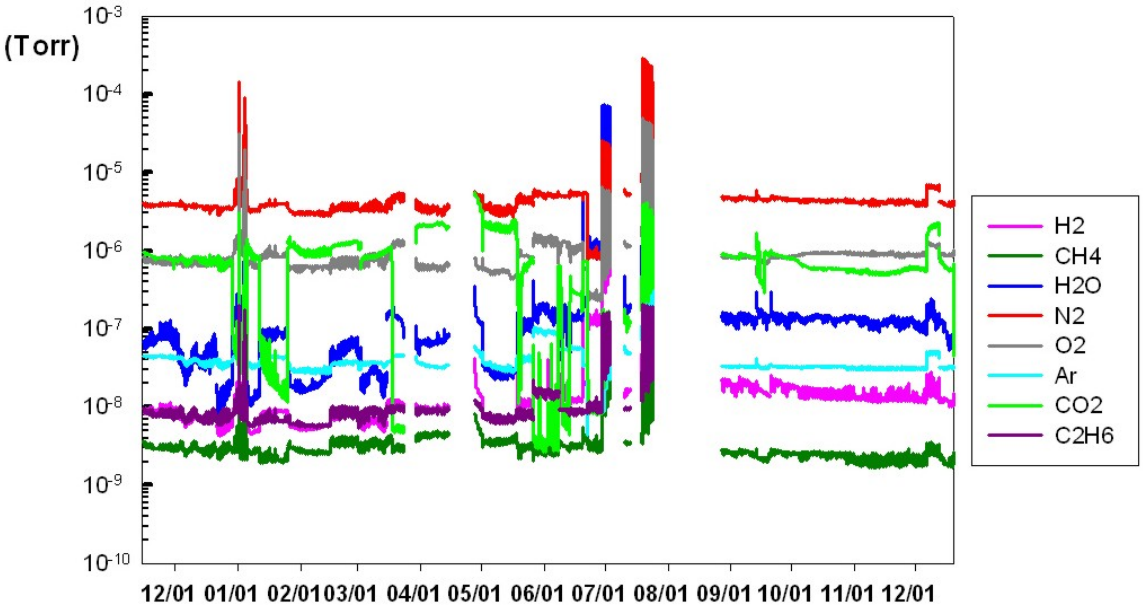


圖2-12：中崙濁水潭氣體成份分壓連續變化（2005/11/15～2006/12/20）。

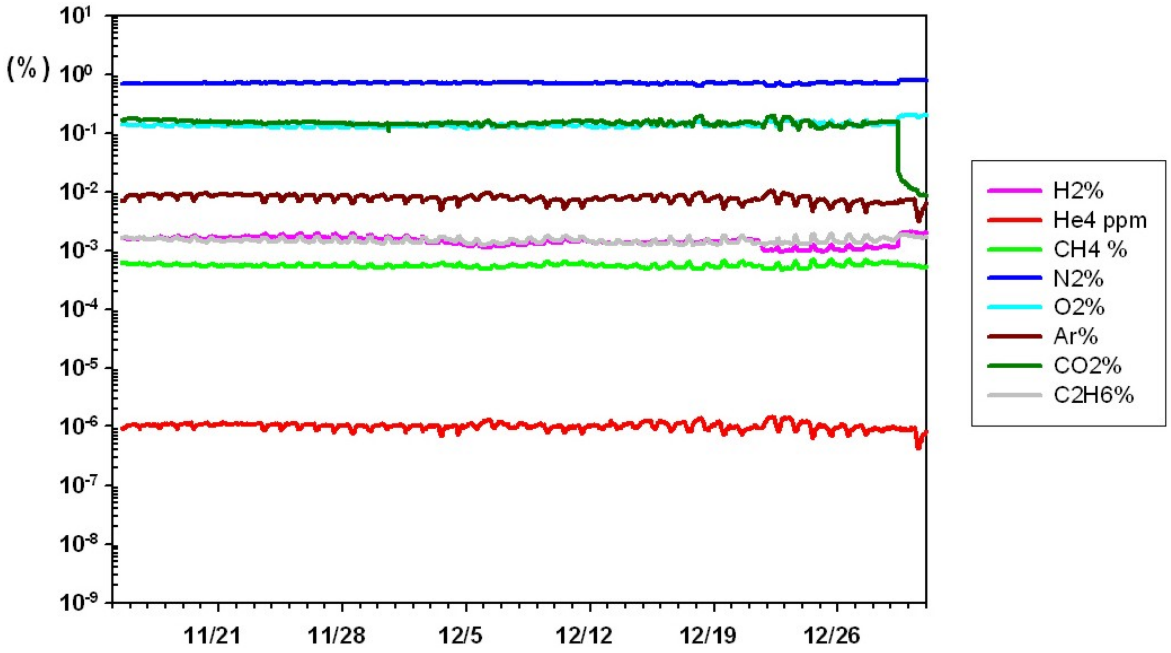


圖2-13：中崙濁水潭土壤氣體成份（體積百分比）（2005/11/15~2005/12/31）。

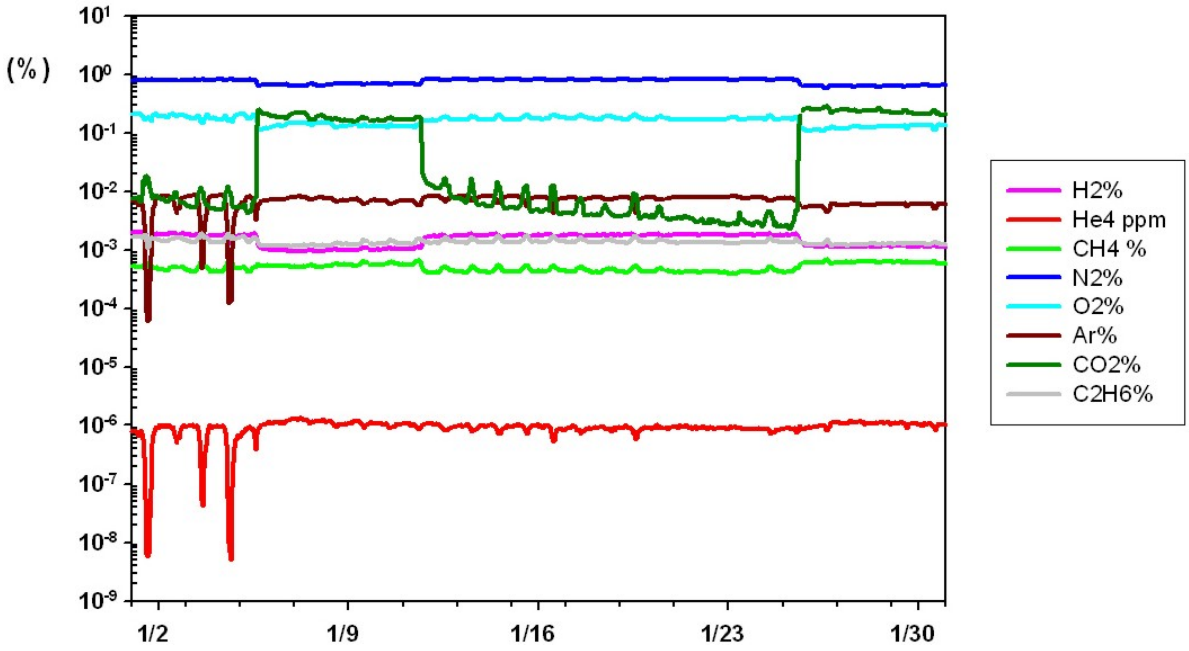


圖2-14：中崙濁水潭土壤氣體成份(體積百分比)(2006/1/1～2006/1/31)。

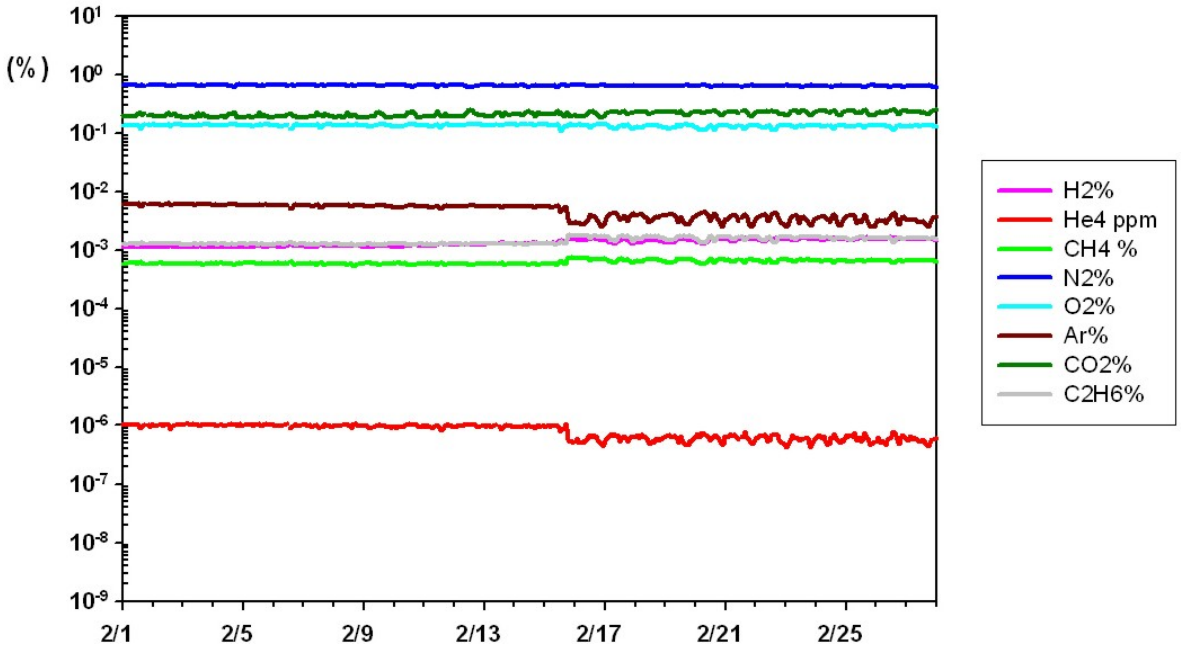


圖2-15：中崙濁水潭土壤氣體成份(體積百分比)(2006/2/1～2006/2/28)。

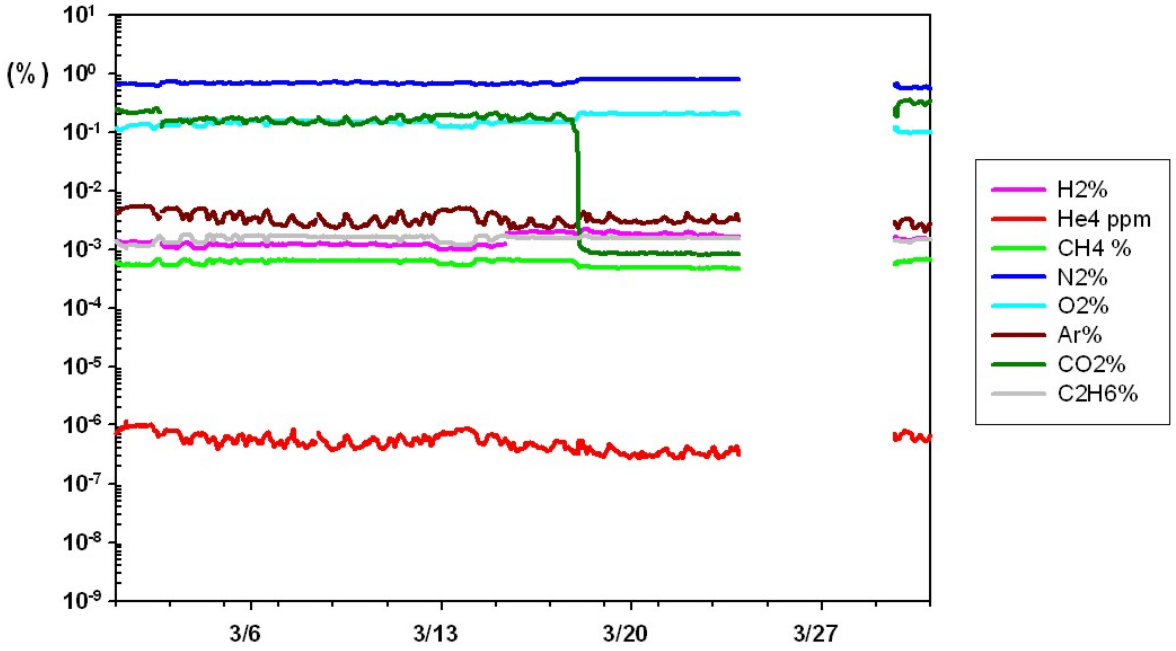


圖2-16：中崙濁水潭土壤氣體成份(體積百分比)(2006/3/1～2006/3/31)。
3月底儀器維修。

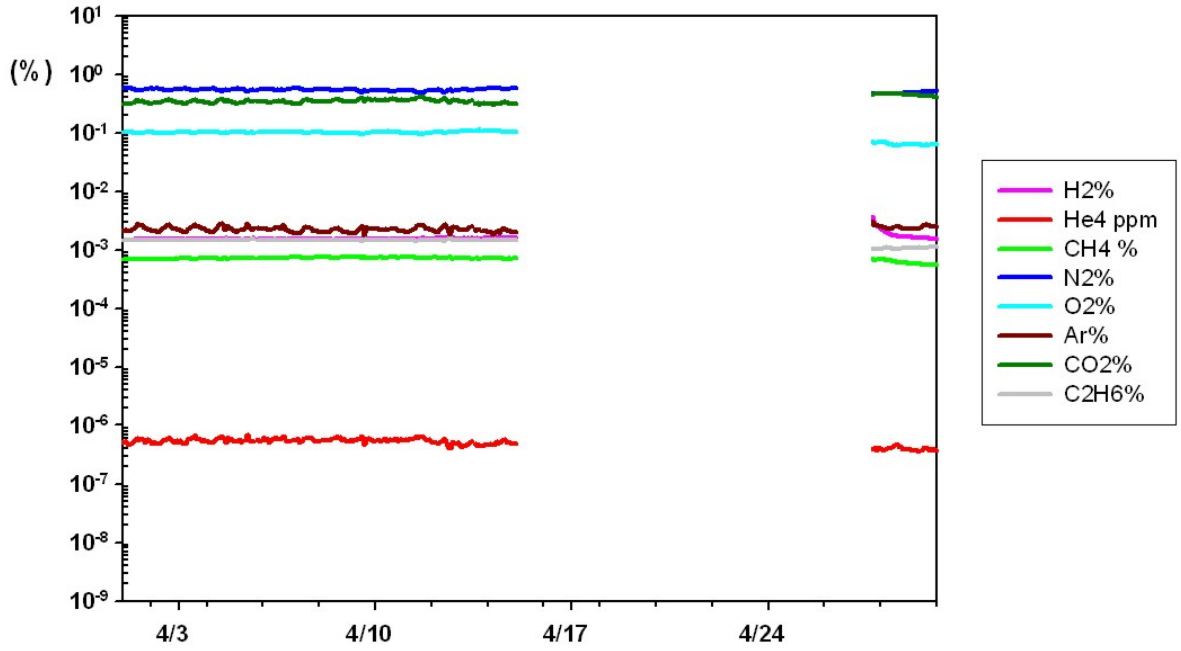


圖2-17：中崙濁水潭土壤氣體成份(體積百分比)(2006/4/1～2006/4/30)。
4月中儀器維修。

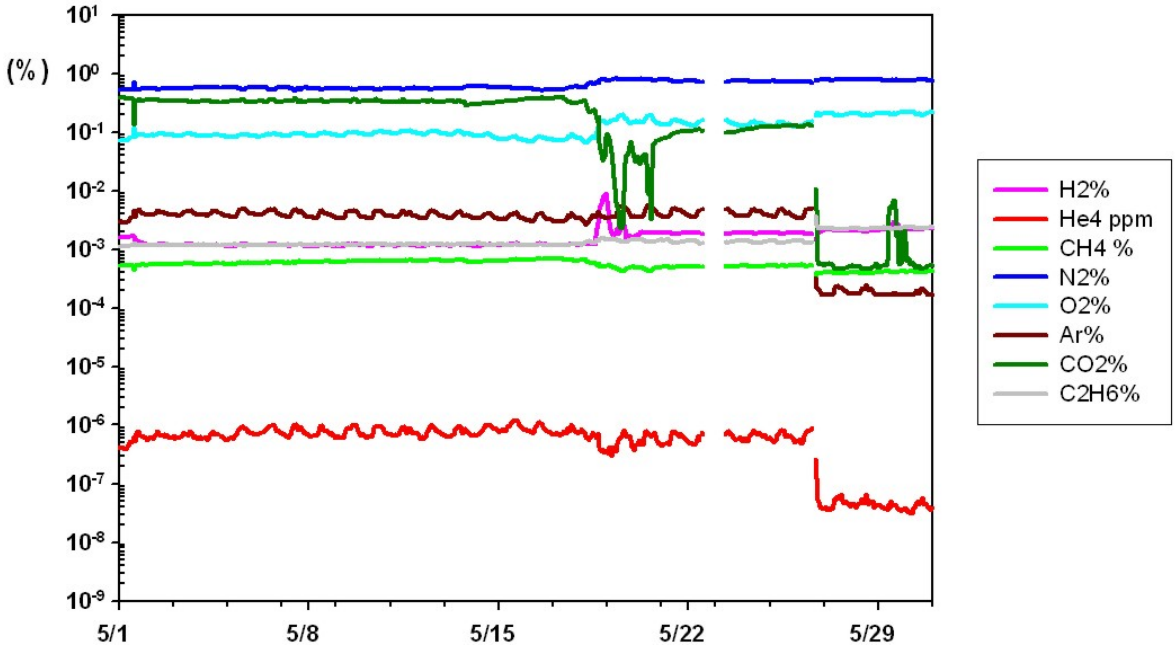


圖2-18：中崙濁水潭土壤氣體成份(體積百分比)(2006/5/1～2006/5/31)。

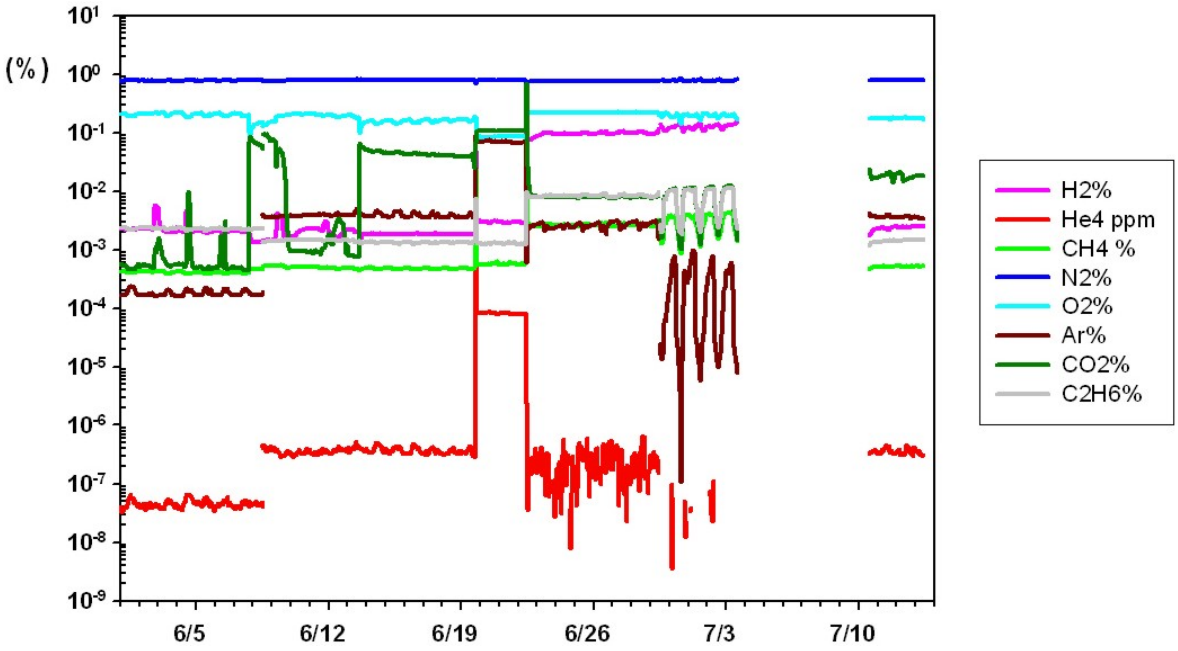


圖2-19：中崙濁水潭土壤氣體成份(體積百分比)(2006/6/1～2006/7/14)。
7月初儀器送修。

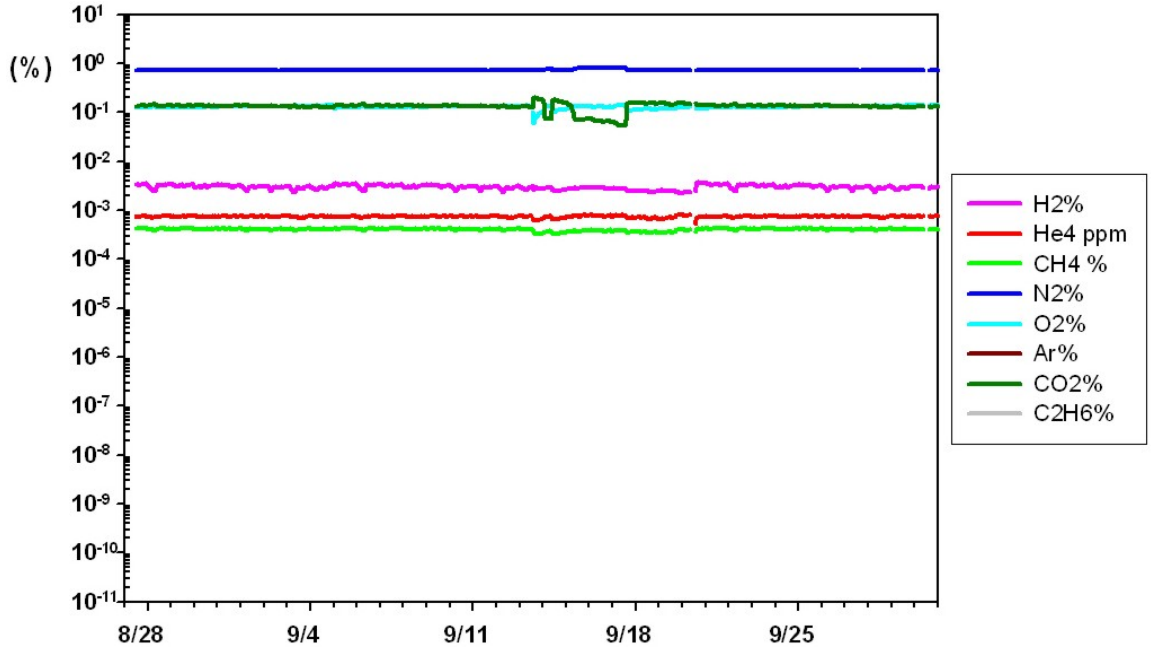


圖2-20：中崙濁水潭土壤氣體成份(體積百分比)(2006/8/27～2006/9/30)。

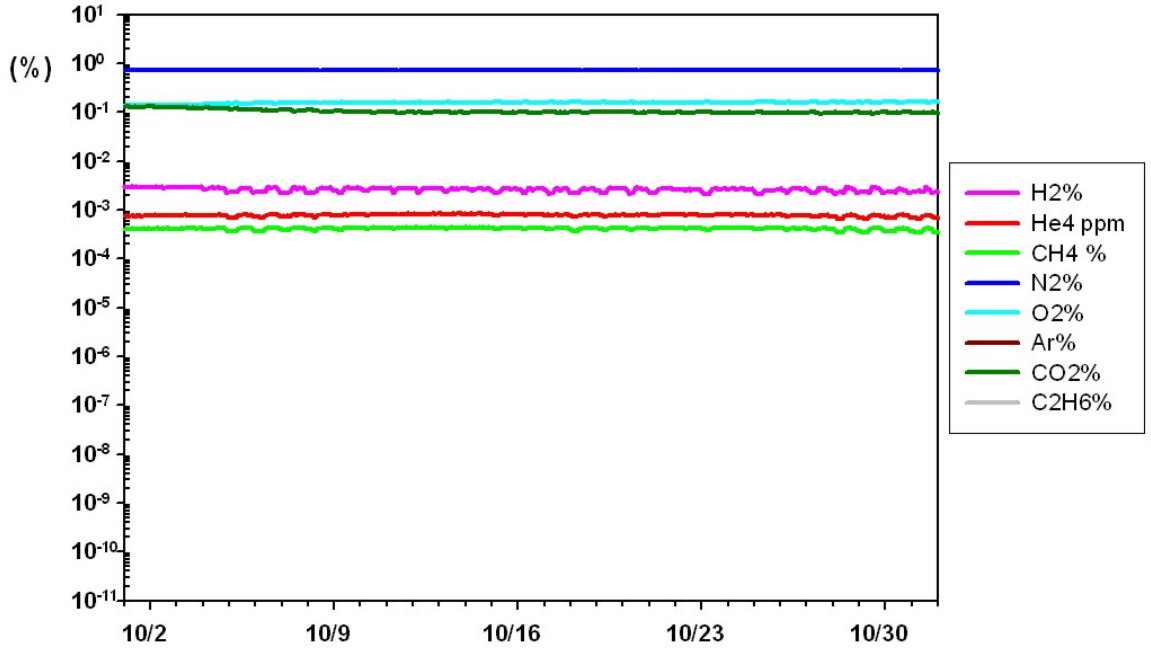


圖2-21：中崙濁水潭土壤氣體成份(體積百分比)(2006/10/1～2006/10/31)。

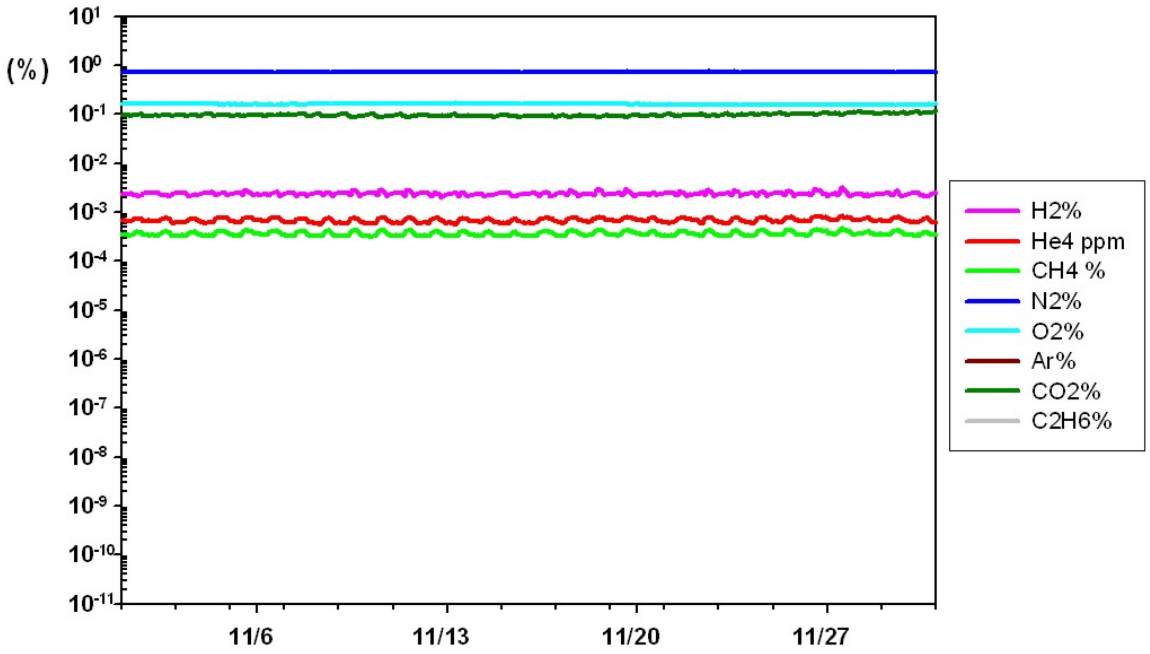


圖2-22：中崙濁水潭土壤氣體成份(體積百分比)(2006/11/1～2006/11/30)。

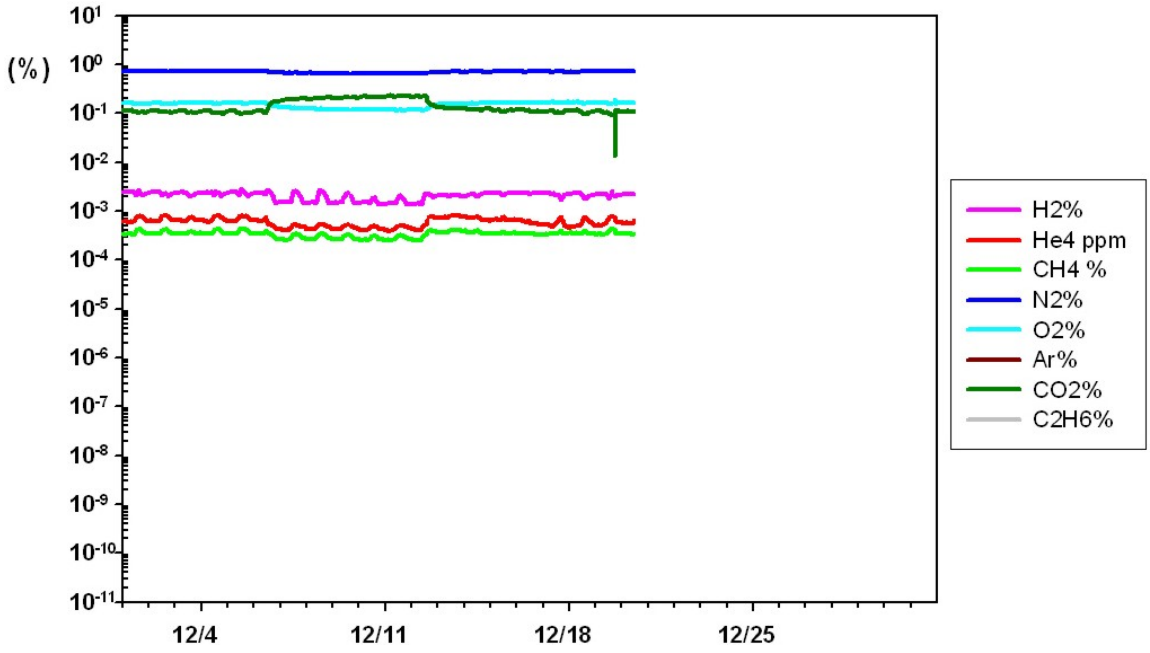


圖2-23：中崙濁水潭土壤氣體成份(體積百分比)(2006/12/1～2006/12/20)。

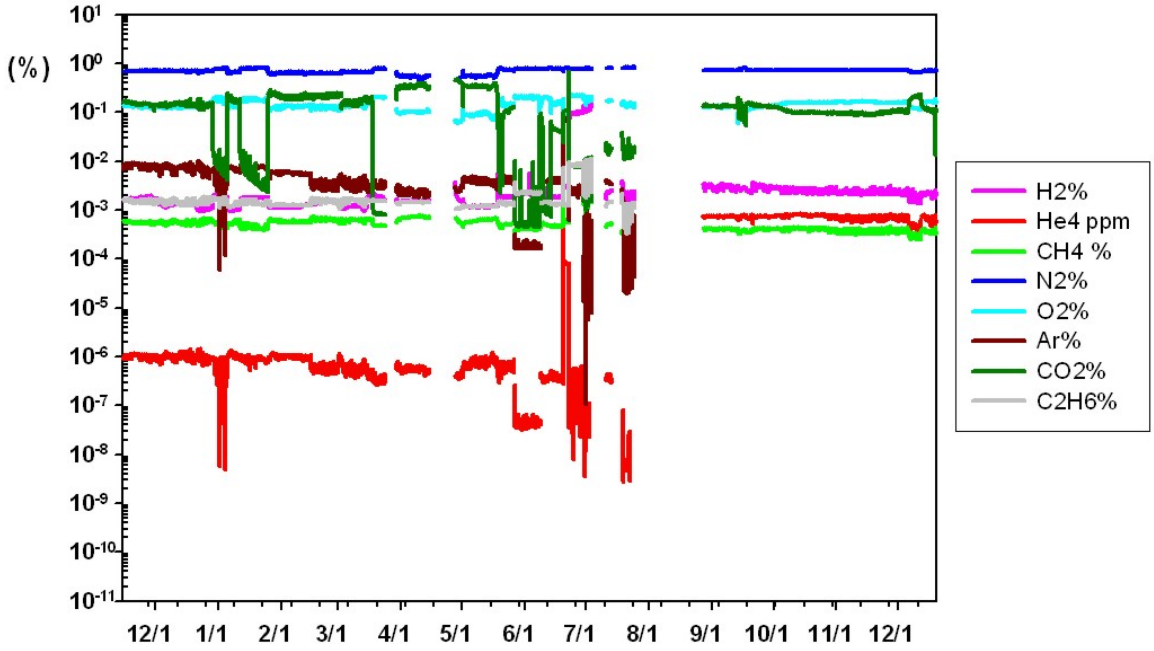


圖2-24：中崙濁水潭土壤氣體成份(體積百分比)(2005/11/15～2006/12/20)。

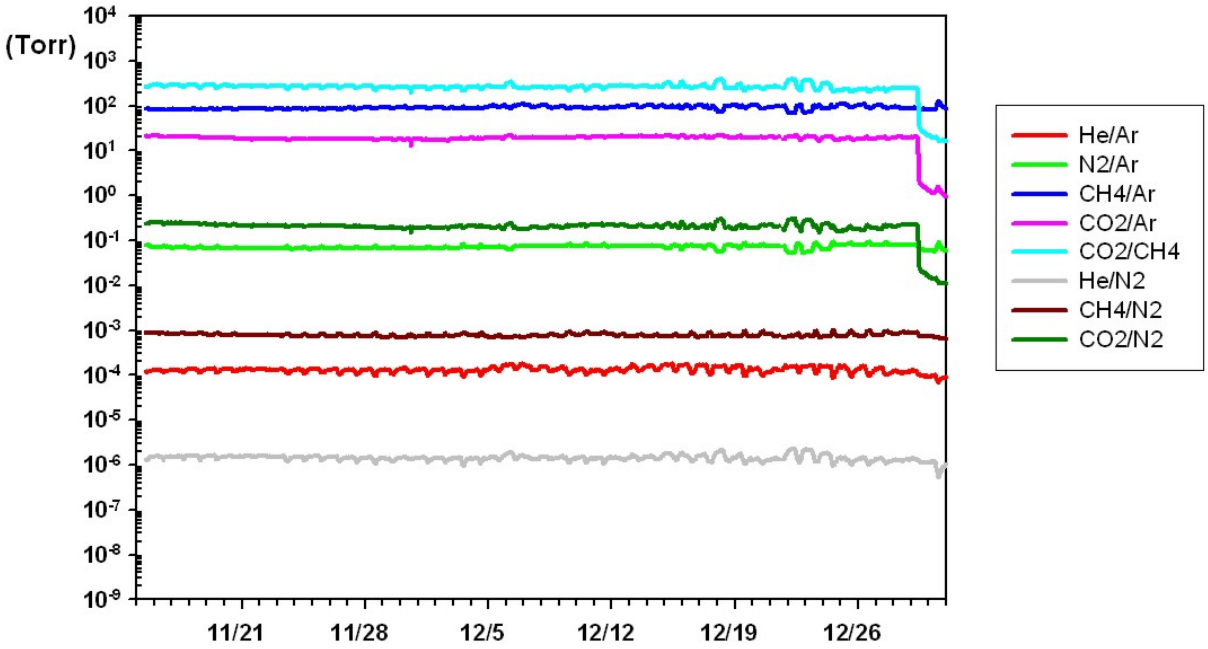


圖2-25：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化(2005/11/15～2005/12/31)。

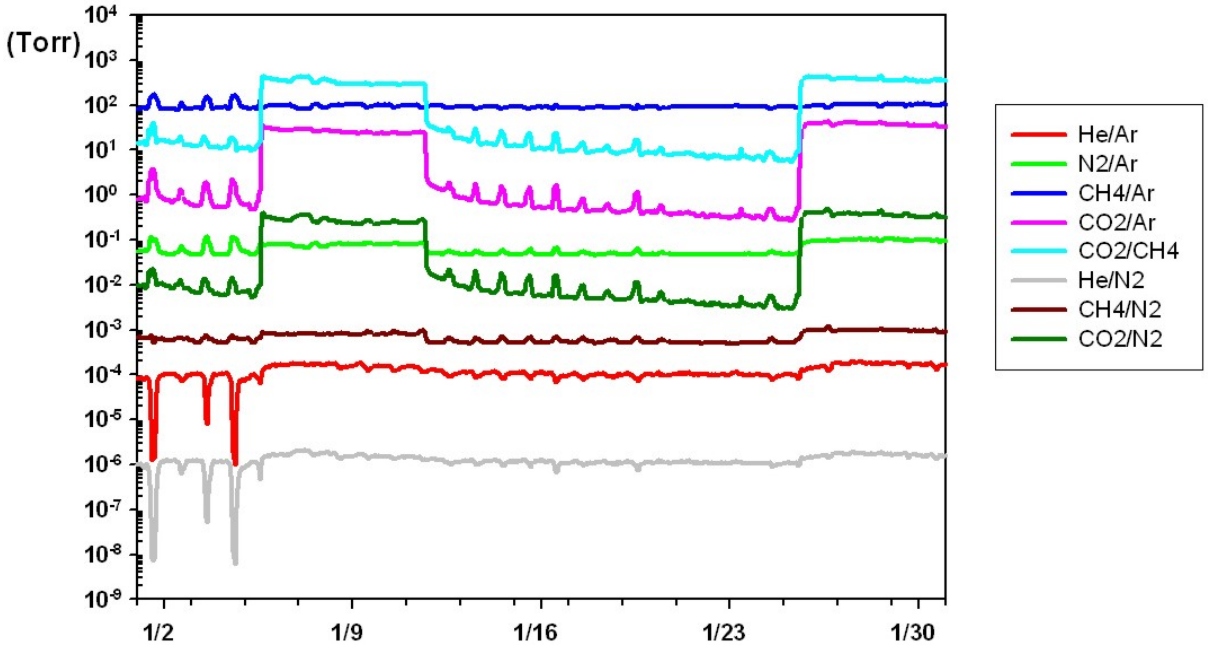


圖2-26：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/1/1～2006/1/31）。

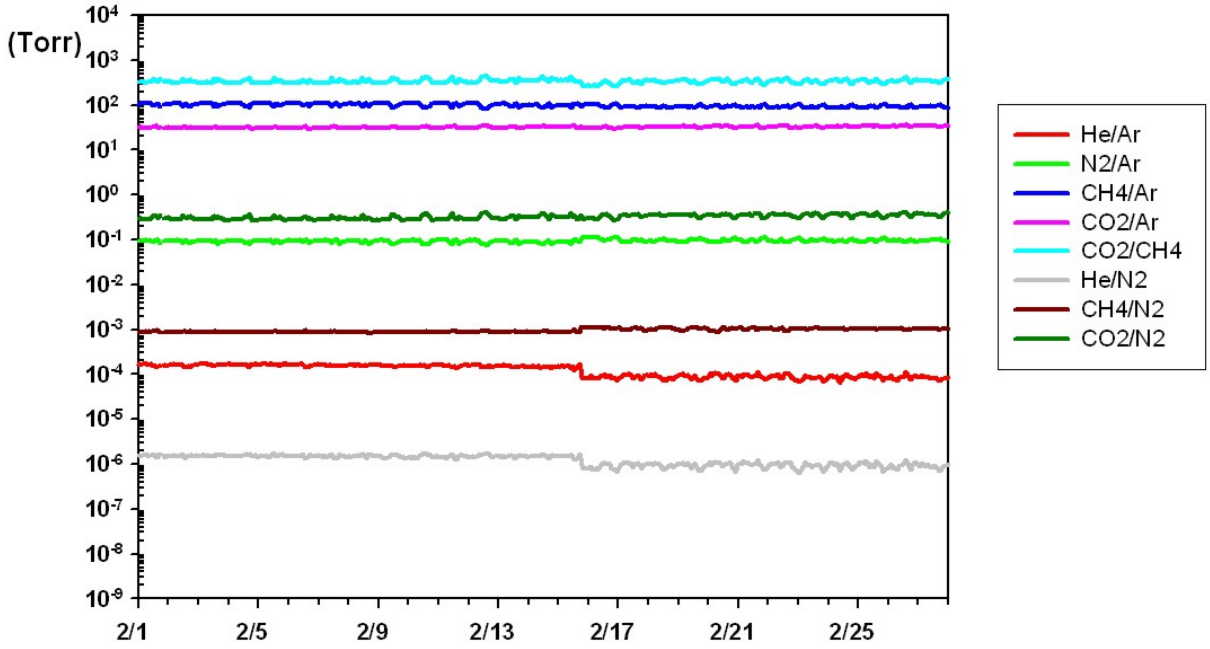


圖2-27：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/2/1～2006/2/28）。

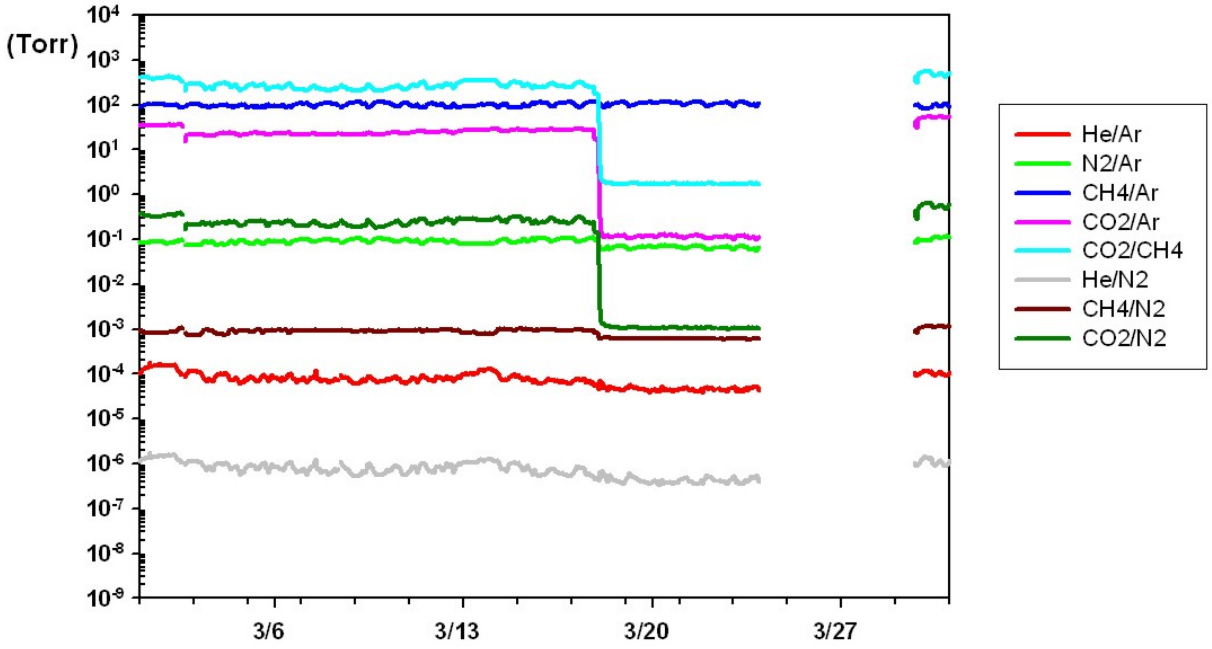


圖2-28：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/3/1～2006/3/31）。3月底儀器維修。

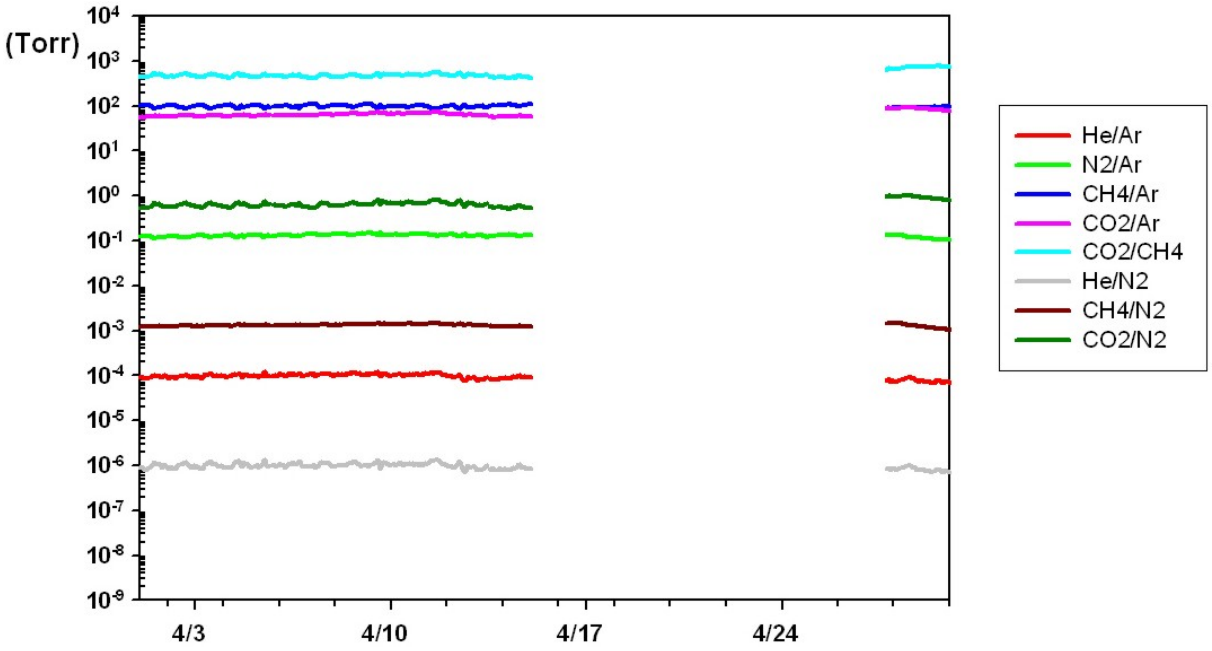


圖2-29：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/4/1～2006/4/30）。4月中儀器維修。

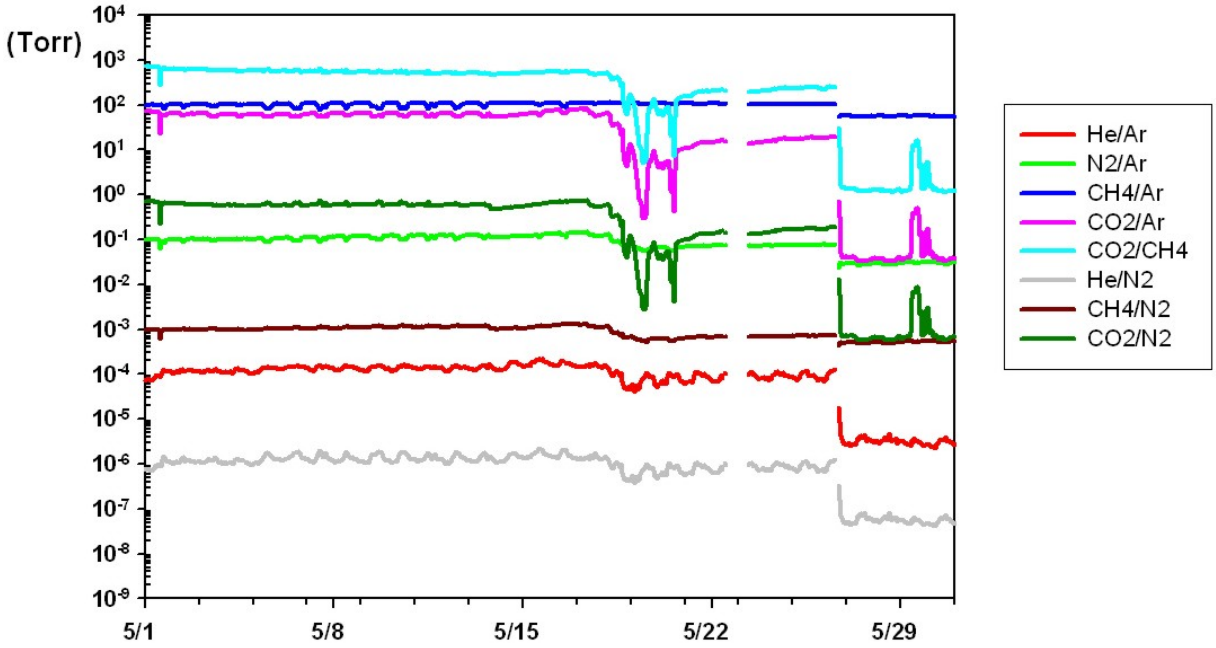


圖2-30：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/5/1～2006/5/31）。

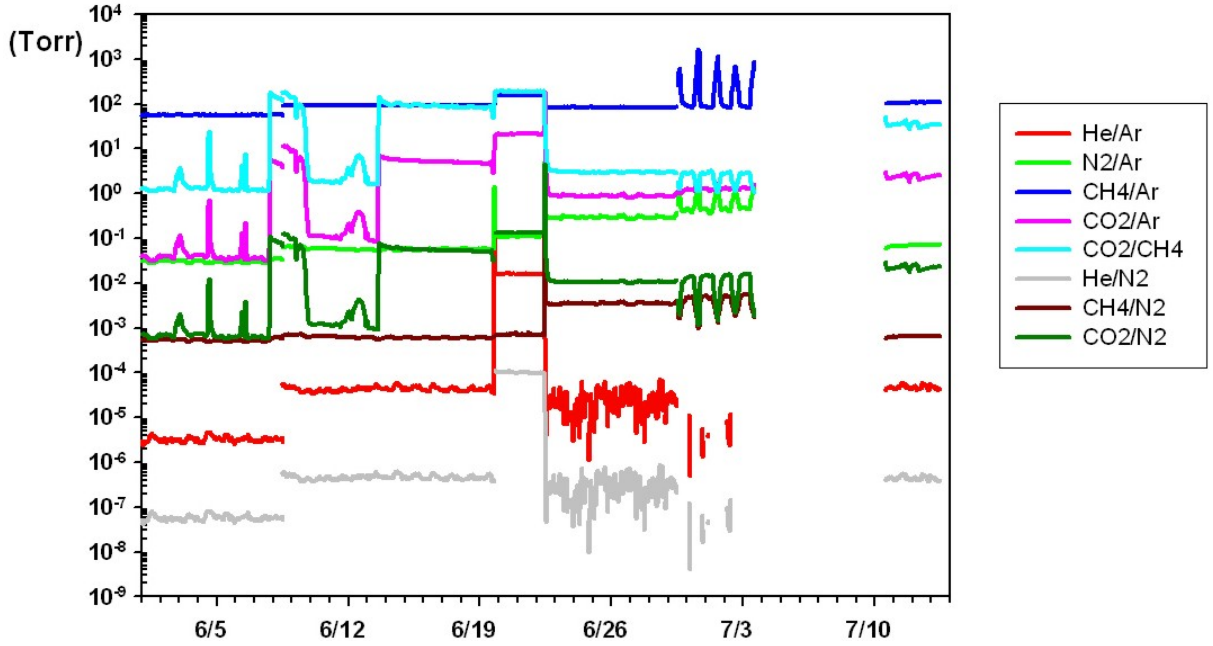


圖2-31：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/6/1～2006/7/14）。7月初儀器送修。

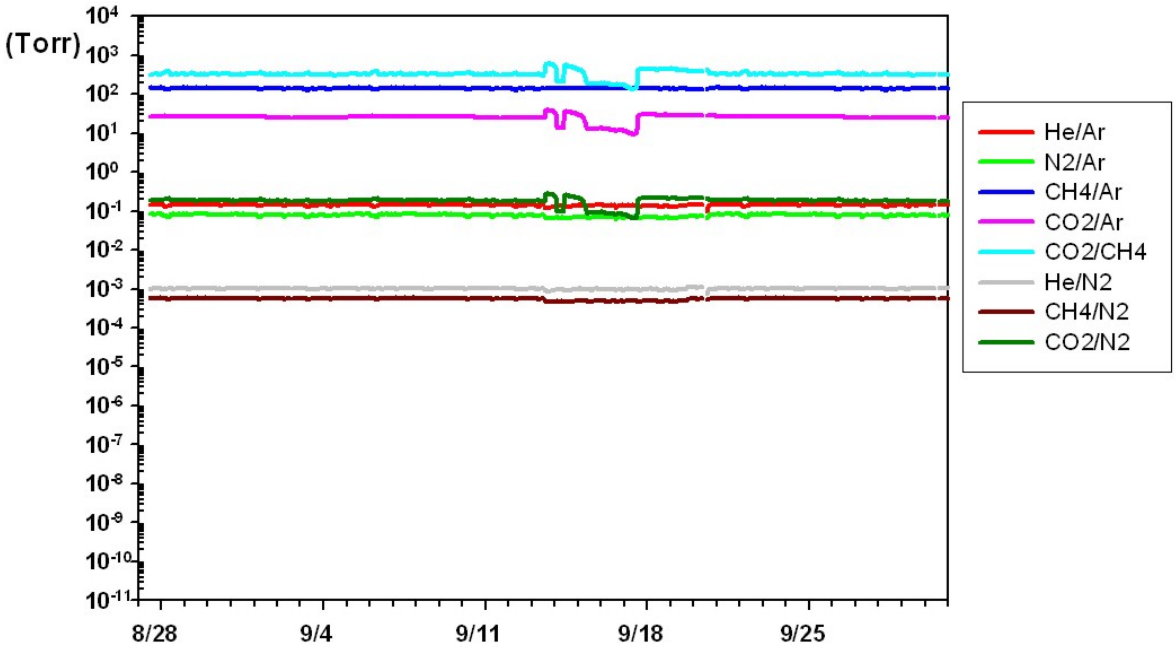


圖2-32：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/8/27～2006/9/30）。

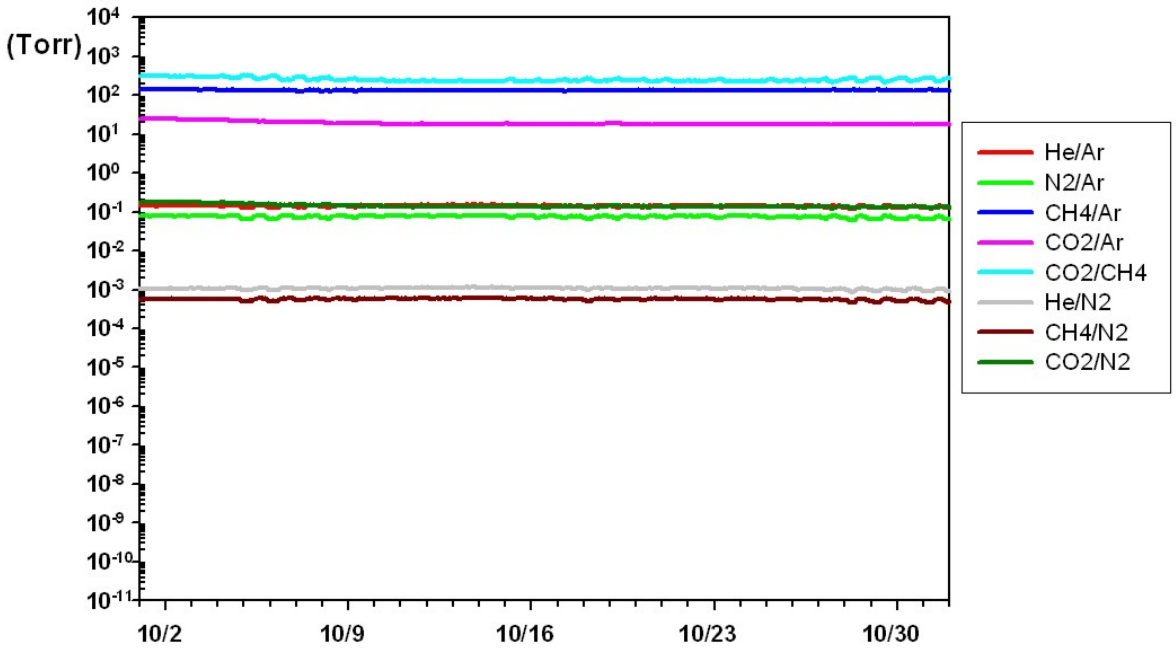


圖2-33：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2006/10/1～2006/10/31）。

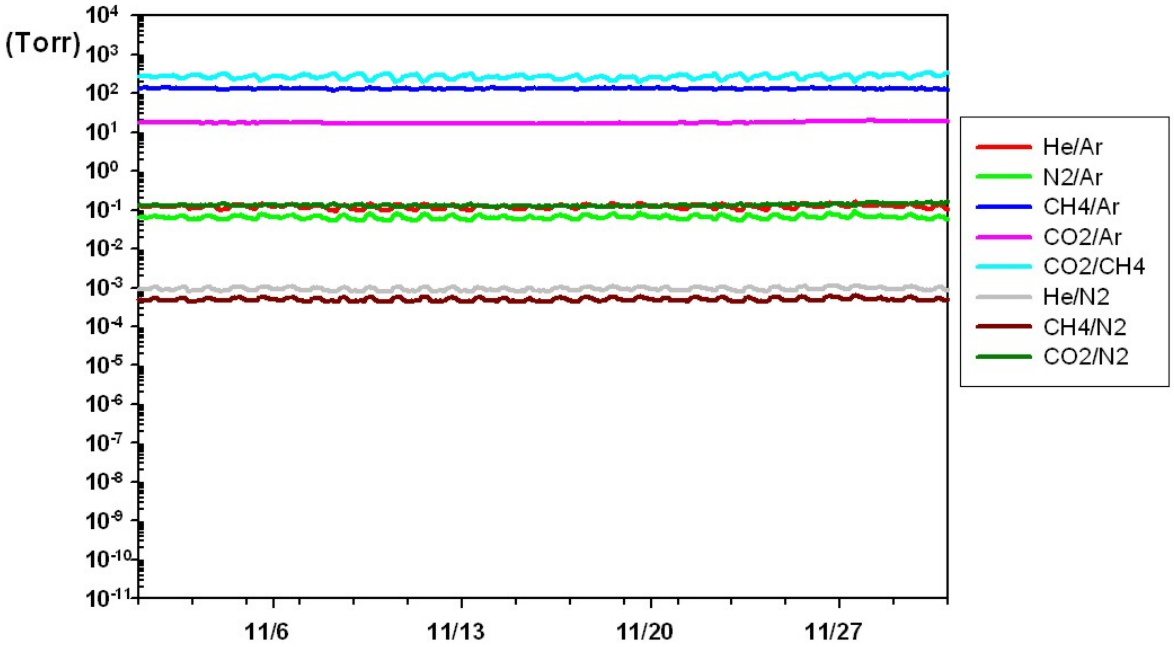


圖2-34：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化(2006/11/1～2006/11/30)。

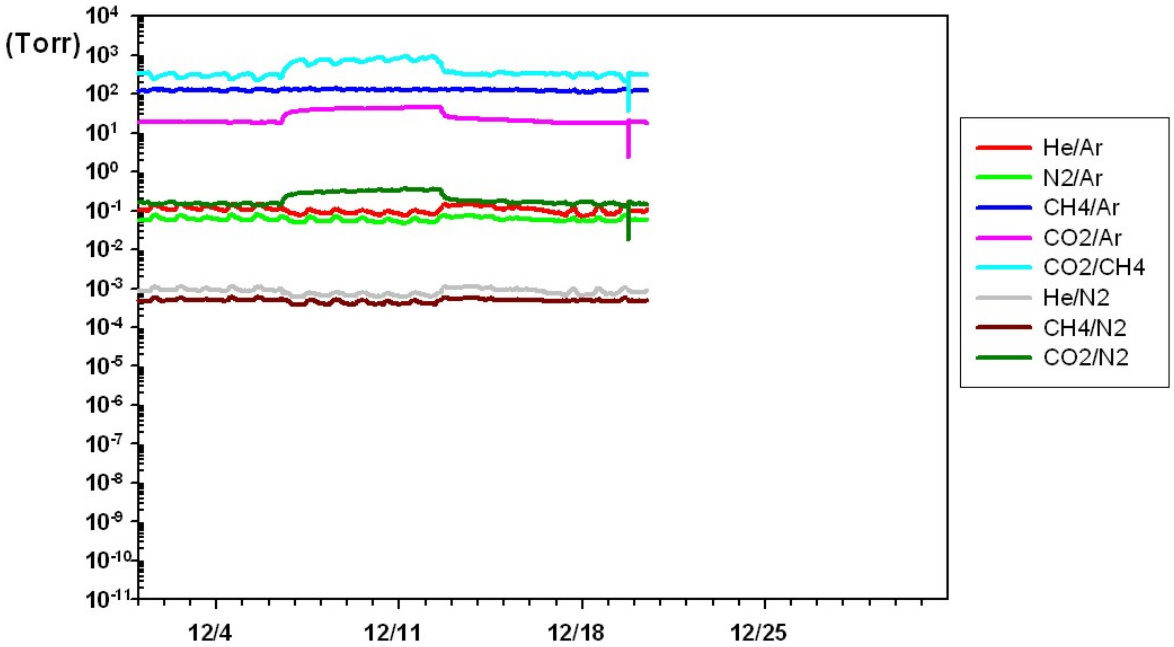


圖2-35：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化(2006/12/1～2006/12/20)。

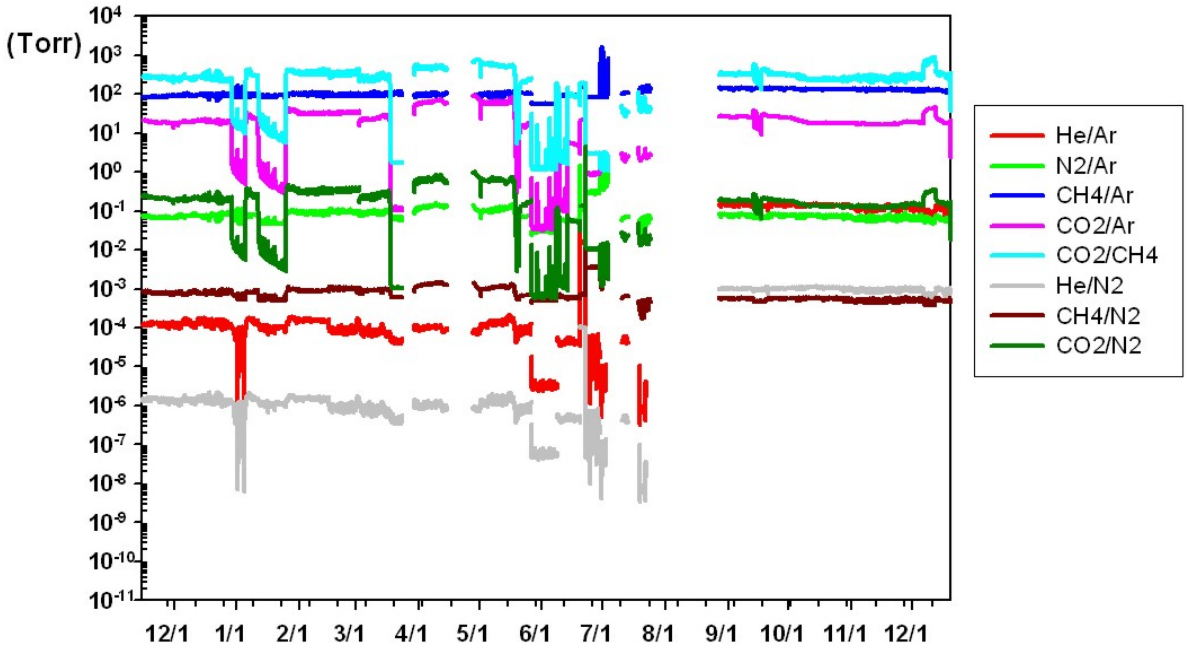


圖2-36：中崙濁水潭各氣體間成份比值變化（2005/11/15～2006/12/20）。

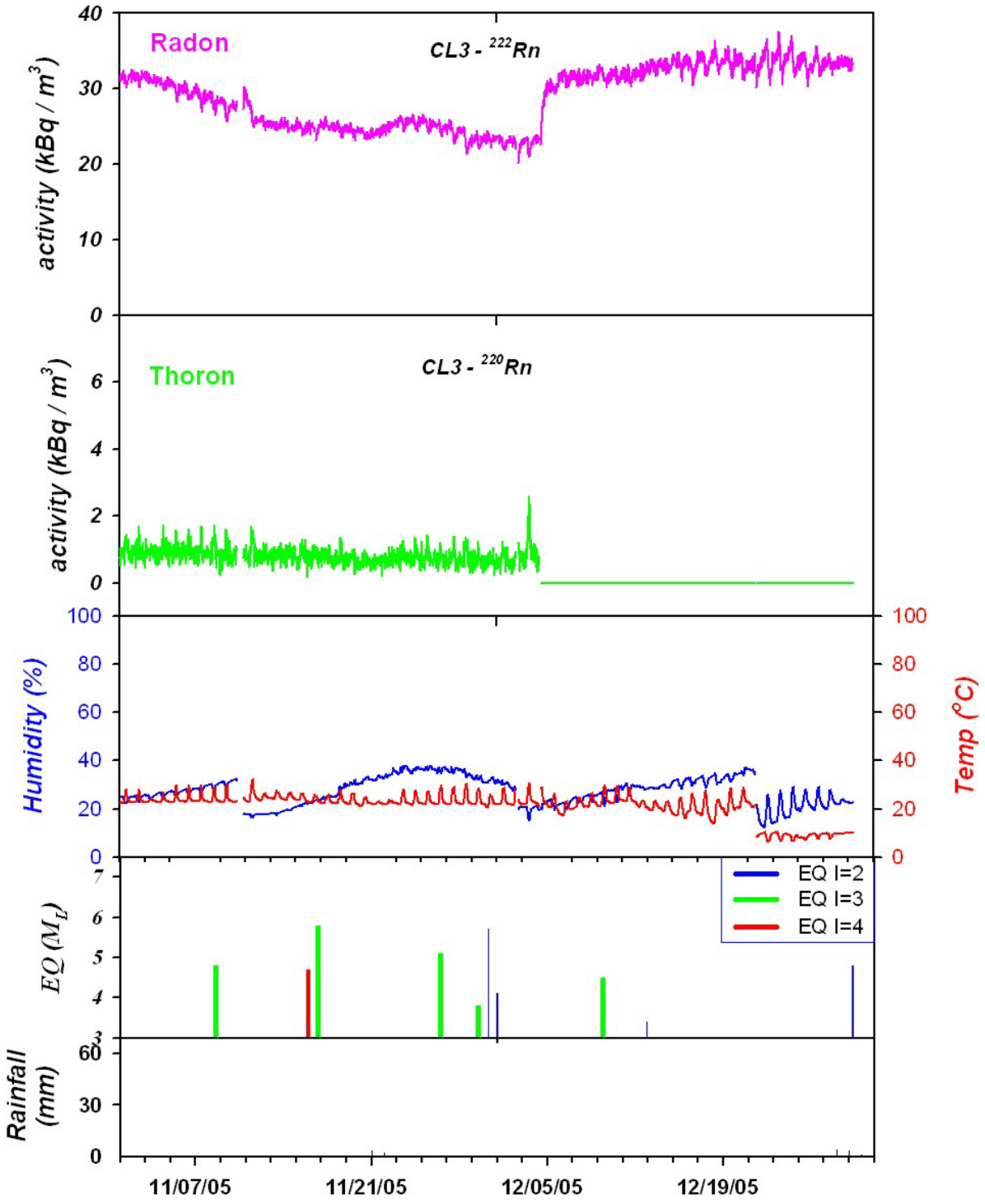


圖2-37：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2005/11/1～2005/12/31）12月初更換儀器因此背景值不同。

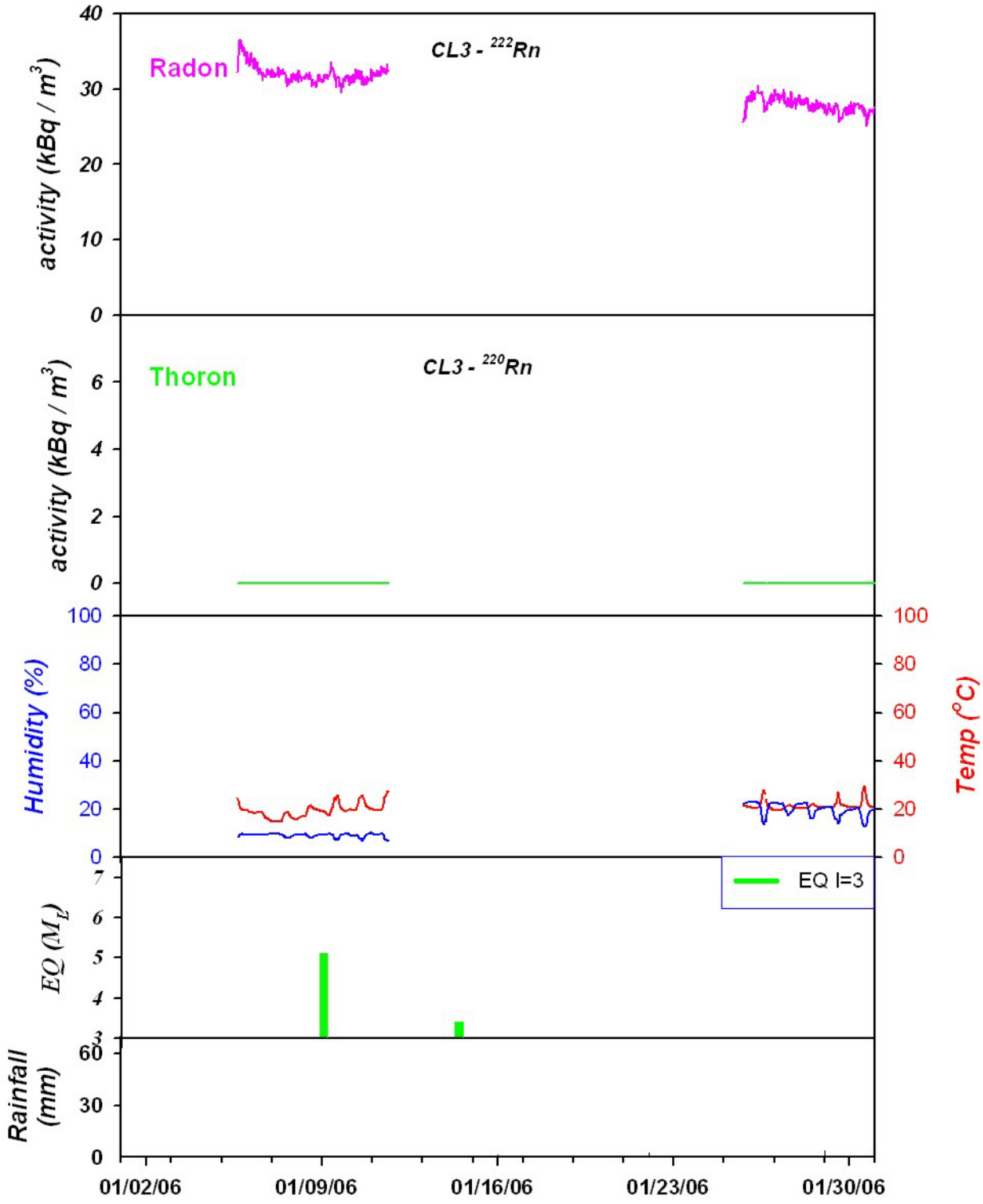


圖2-38：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2006/1/1～2006/1/31）。1月中儀器送修。

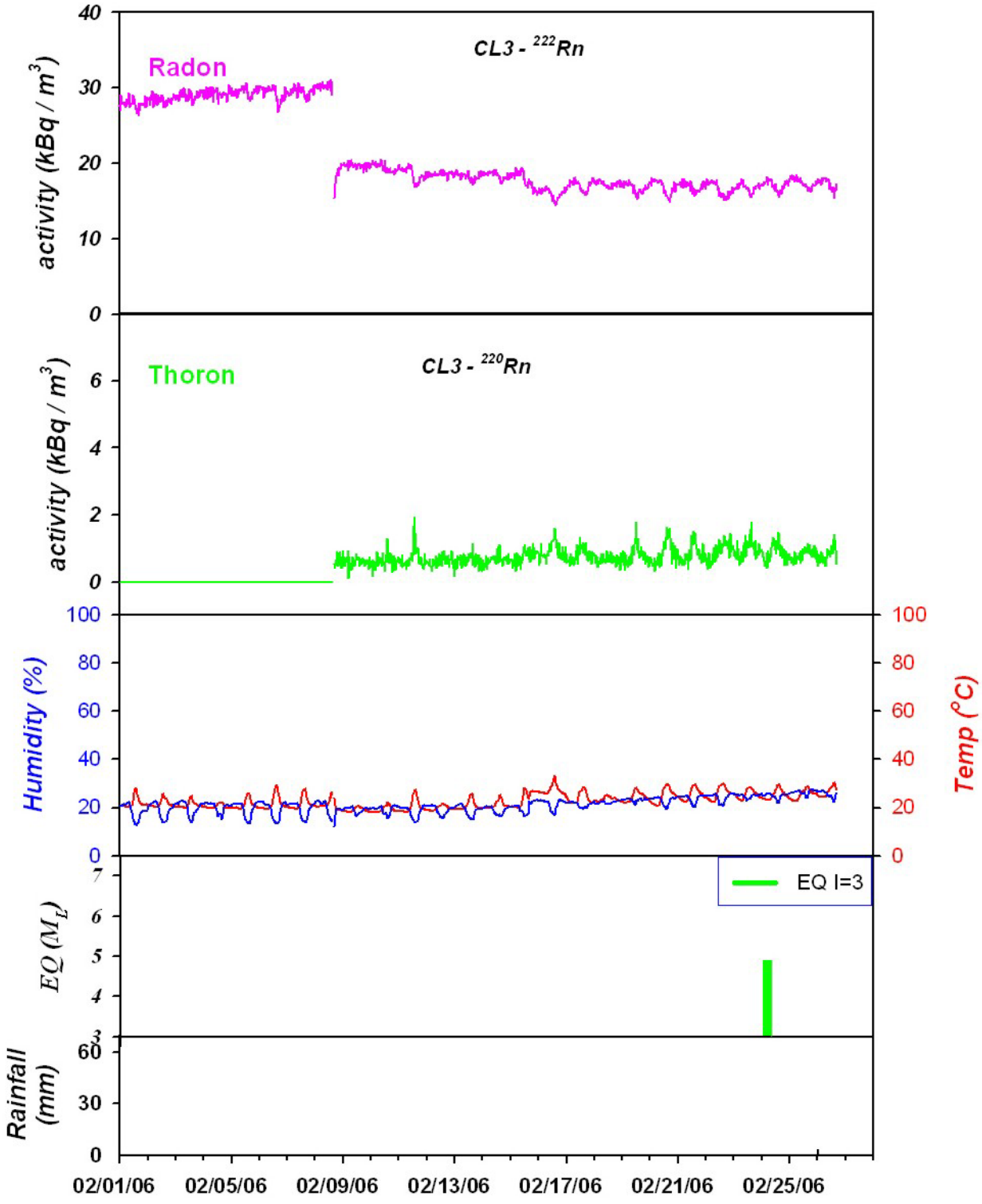


圖2-39：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2006/2/1～2006/2/28）。2月8日更換儀器。

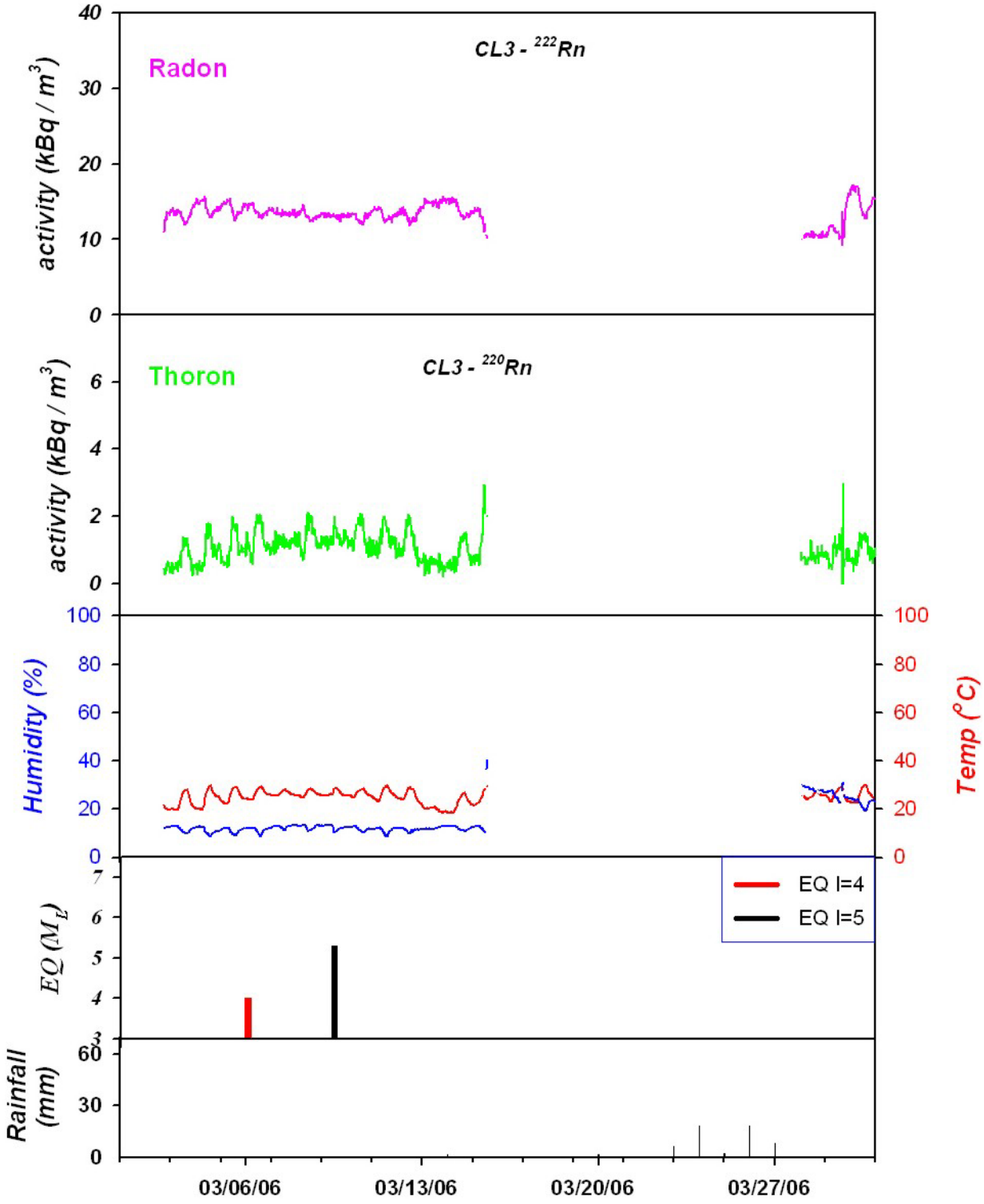


圖2-40：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2006/3/1～2006/3/31）。3月15日將儀器維修。

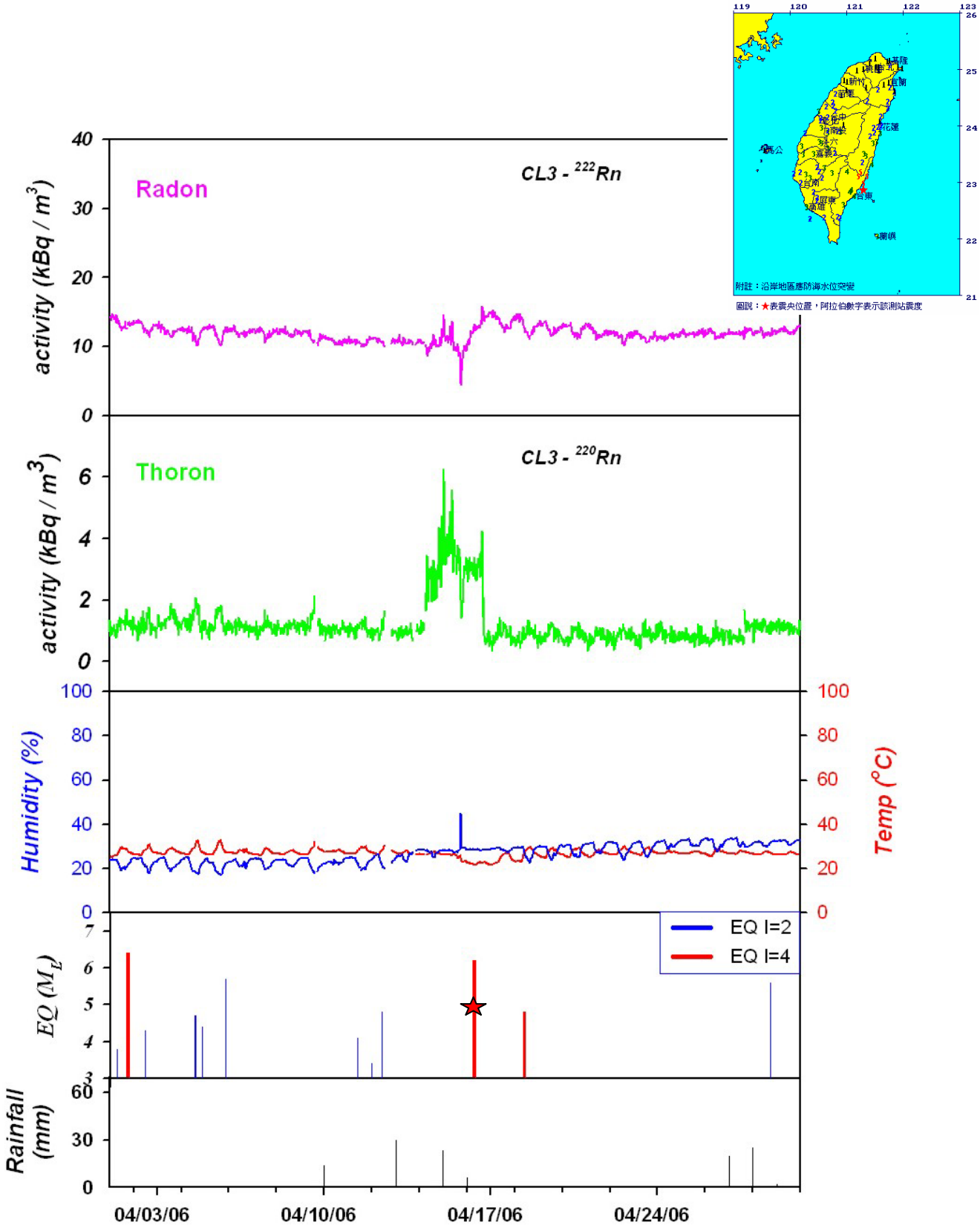


圖2-41：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2006/4/1～2006/4/30）。★地震深度：17.9km地震規模：6級，地點如右上圖所示。

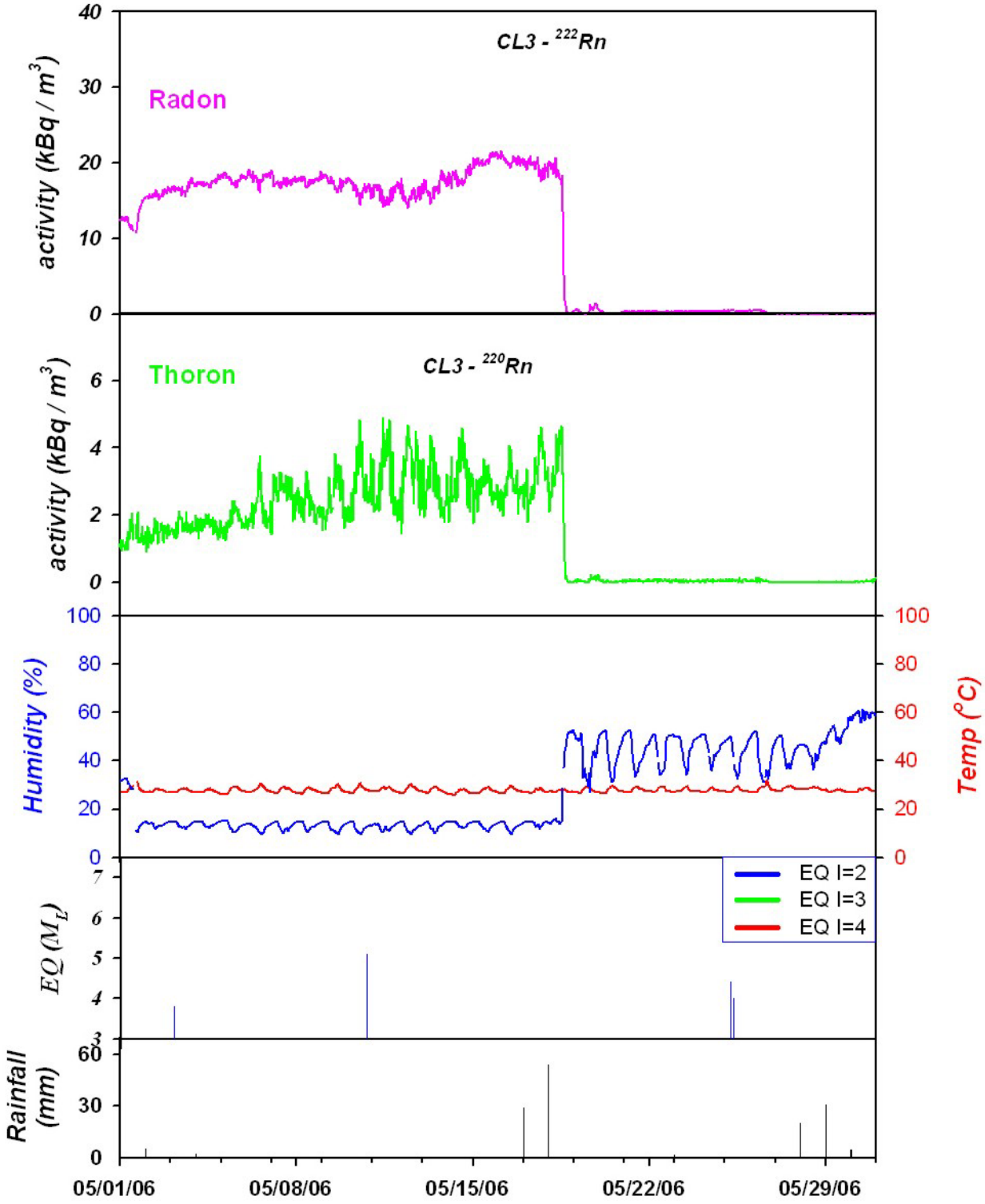


圖2-42：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2006/5/1～2006/5/31）。

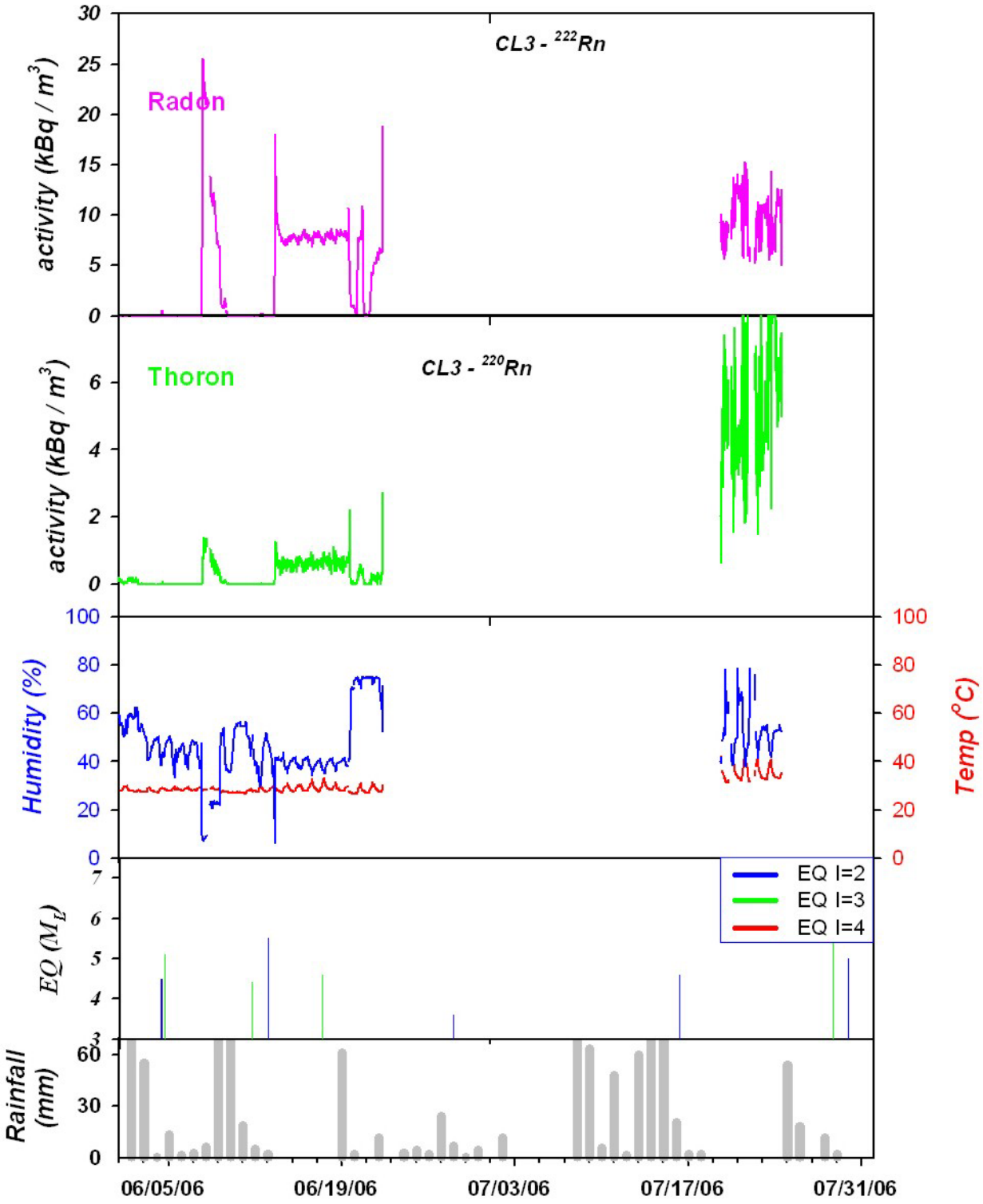


圖2-43：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2006/6/1～2006/7/31）。7月初儀器送修。

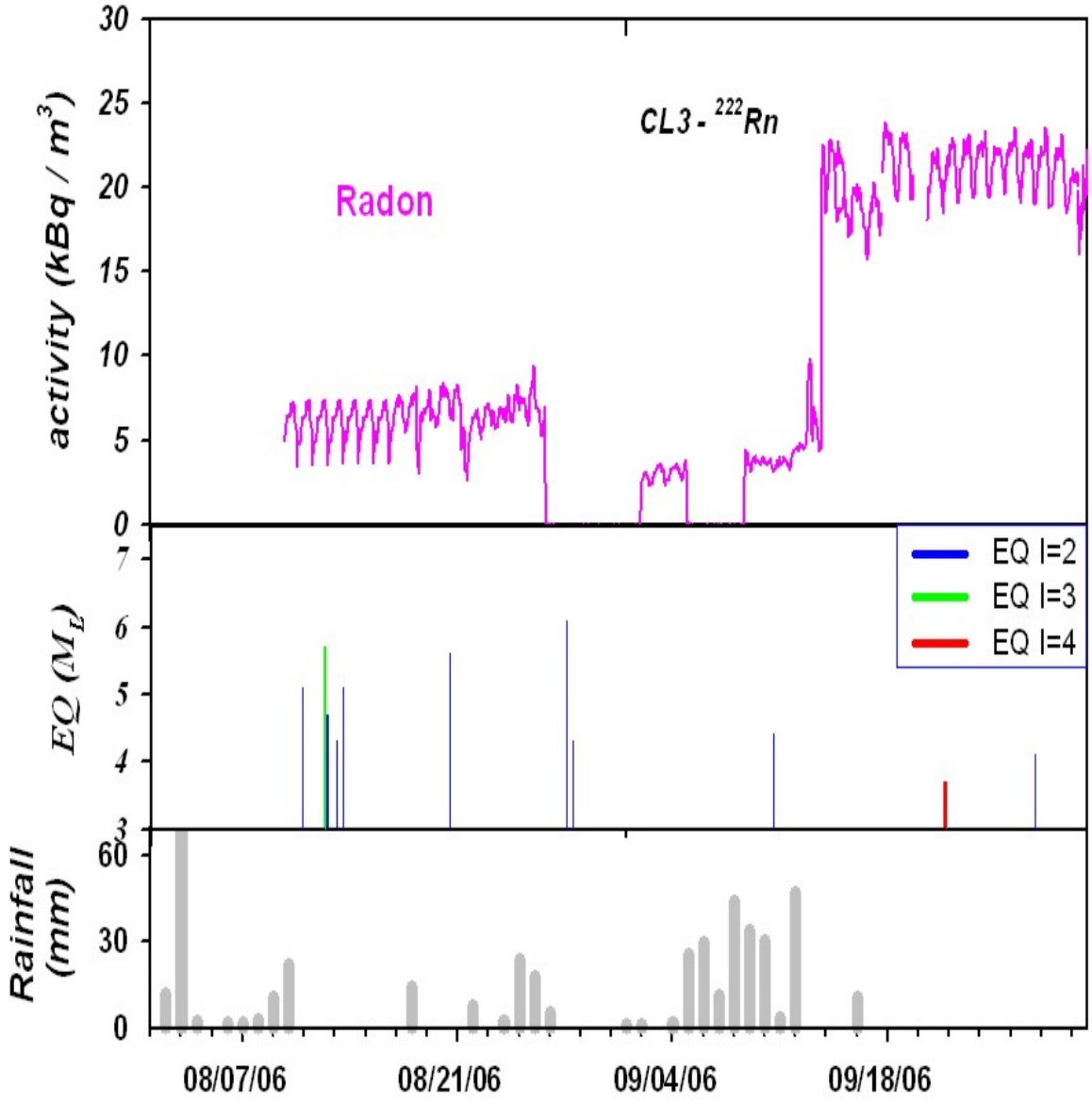


圖2-44：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。(2006/8/1～2006/9/30)。

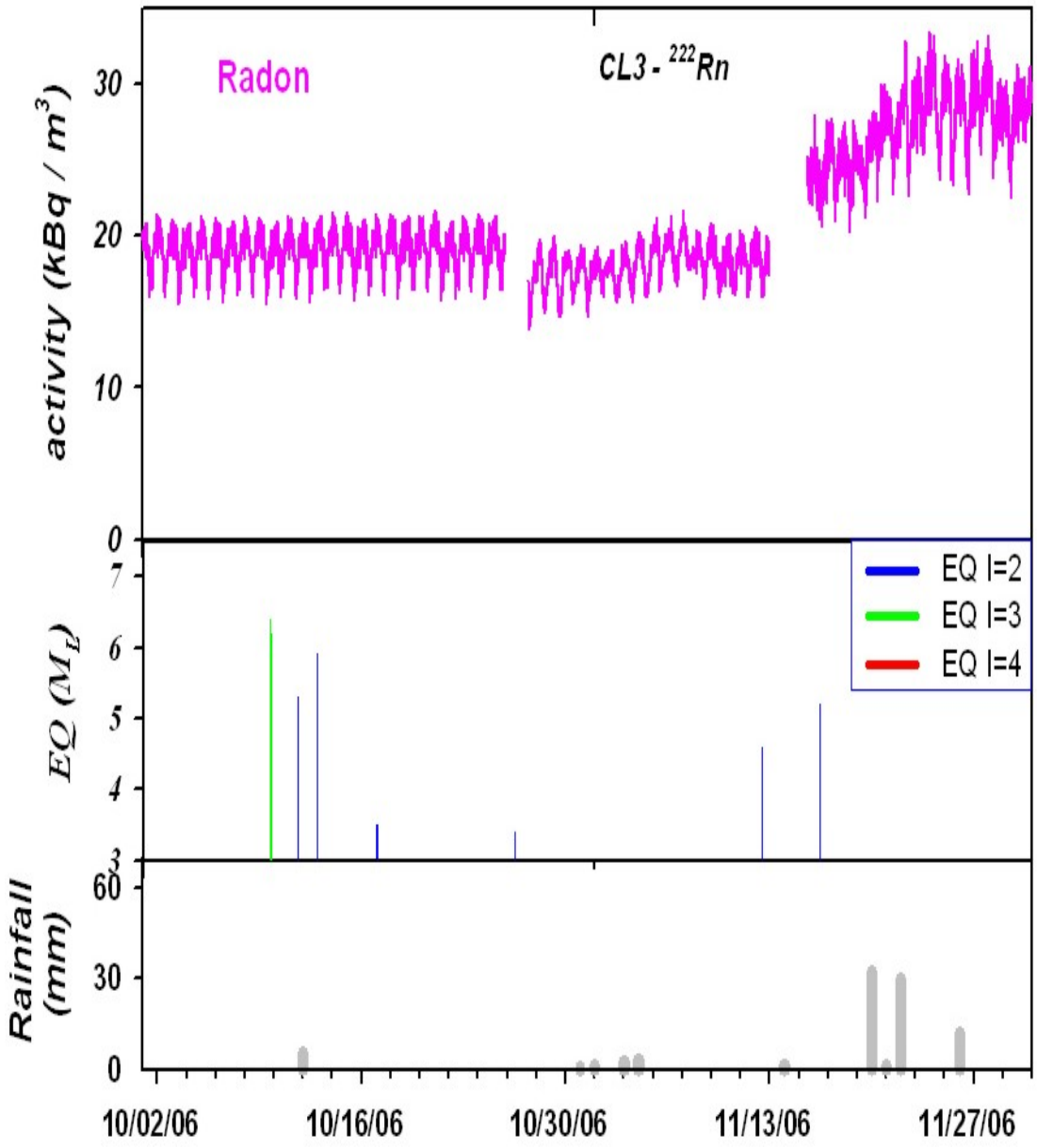


圖2-45：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。(2006/10/1～2006/11/30)。10月13日更換儀器，因此背景值升高。

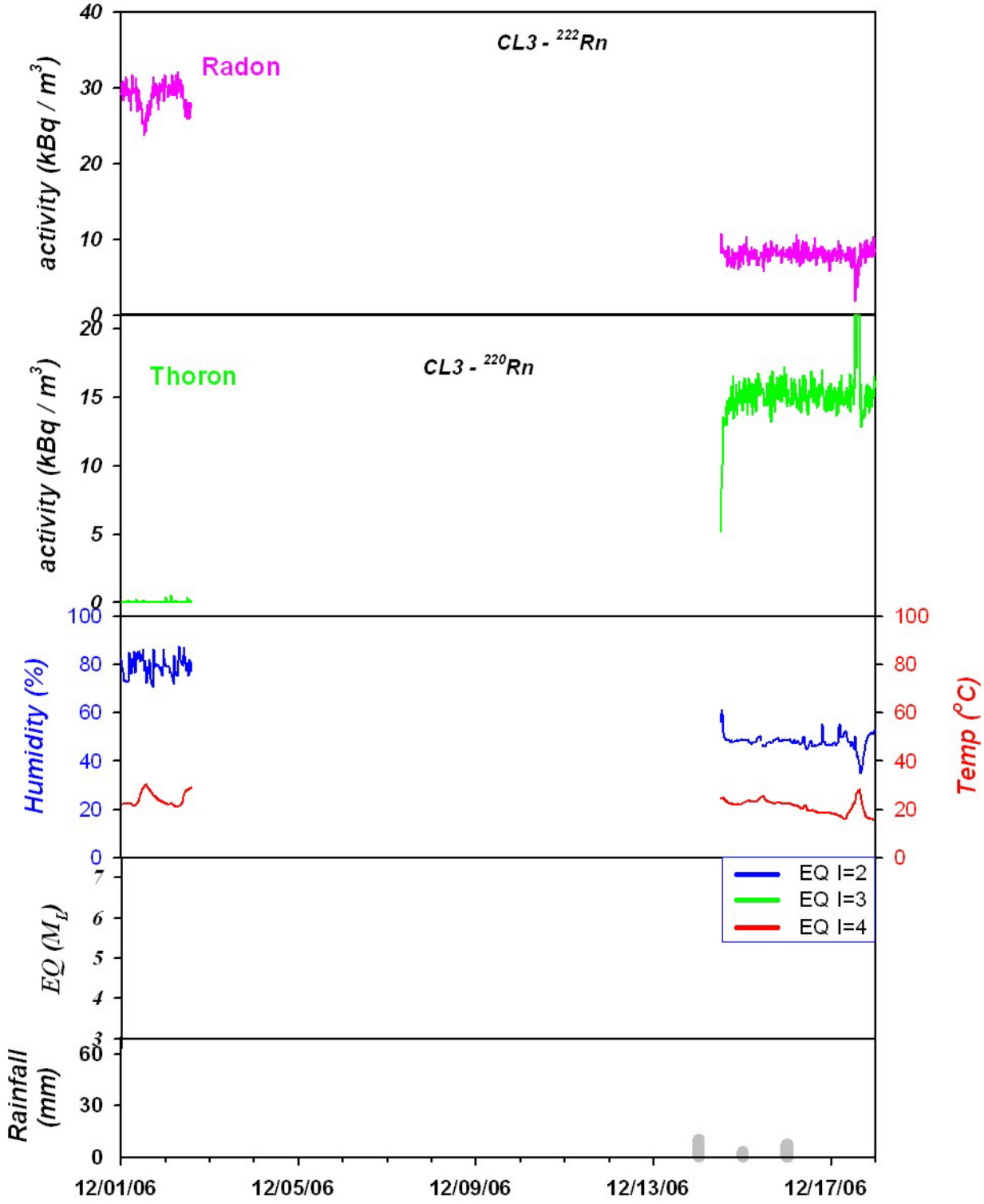


圖2-46：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。（2006/12/1～2006/12/20）。12月初儀器故障，隨後送修而12月16日更換另一備用儀器。

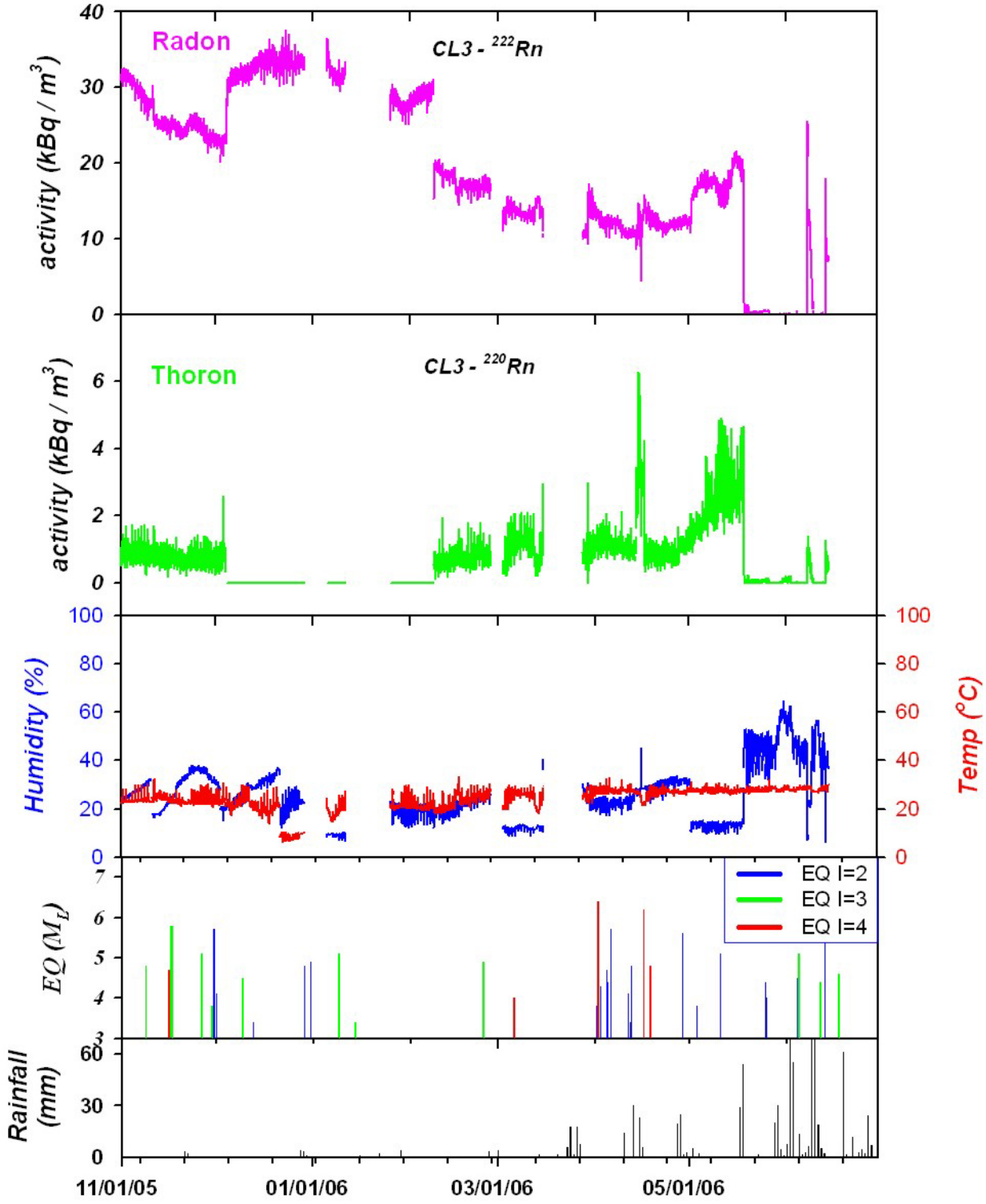


圖2-47：中崙濁水潭土壤氣氡氣成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度。T、H則表示土壤氣的溫濕變化（2005/11/1～2006/6/30）。

2-3 嘉義中崙溫泉一號井土壤氣體觀測站

圖2-48和2-60為中崙溫泉一號井之土壤氡氣連續分析結果，圖2-48顯示了2005年11月1日至12月31日連續氣體成份分析結果，於12月初時我們將原來的氡氣分析儀與濁水潭的交換，以測試Thorn與二氧化碳是否可順利分析，其後便看出Thorn的濃度變化。於12月9日的地震發生前，氡氣和二氧化碳有升高的趨勢，這可能為一前兆訊息。圖2-49到圖2-51分別為2006年1月至3月的連續分析結果，各氣體濃度並沒有顯著的變化趨勢，而其中圖2-50在2月8日時，我們將氡氣分析儀換回至原來所屬的觀測站。圖2-52則是4月的連續分析結果，於4月15日土壤氡氣濃度升高，而約1天後在台東地區發生了一個地震規模達6.0的地震（當地震度達到4級）並持續了約1天左右，然後土壤氡氣恢復原來背景值，這是一個相當明顯的地震前兆。而圖2-53、2-54中，雖然也有數個異常濃度升高的情形出現，不過並沒有對應到顯著的事件。

圖2-55為8月的觀測結果，顯示分析值呈現平穩，而8月19日起氡氣值有略微升高且持續一天左右，可能與21日於蘭嶼東南方60公里的地震有關聯(深度119.4公里，規模4.9)，不過由於距離太遠且異常情形並不顯著，因此尚有討論的空間。圖2-56為9月的觀測結果，其間於9月中時更換了乾燥劑，使得土壤濕度大幅度降低以致於氡氣背景值明顯升高。圖2-57、圖2-58分別為10月至11月30日的觀測結果，由於在9月底時將分析間隔時間由每筆30分鐘改成15分鐘，因此資料量變的密集，10月中時在下載完前一次資料後，不小心忘了重新啟動儀器，因此其間缺失了一段資料，其後則恢復正常觀測，在這段時間內並沒有顯著的變化出現。圖2-59為12月的觀測結果。

圖2-60則是2005年11月1日至2006年12月20日全年的連續分析結果，二氧化碳的濃度變化相當混亂，不易找出其規律；而土壤氡氣濃度變化雖然多少是受到土壤溫濕度、雨量的影響，不過仍然可從中發現可能的構造活動訊息。

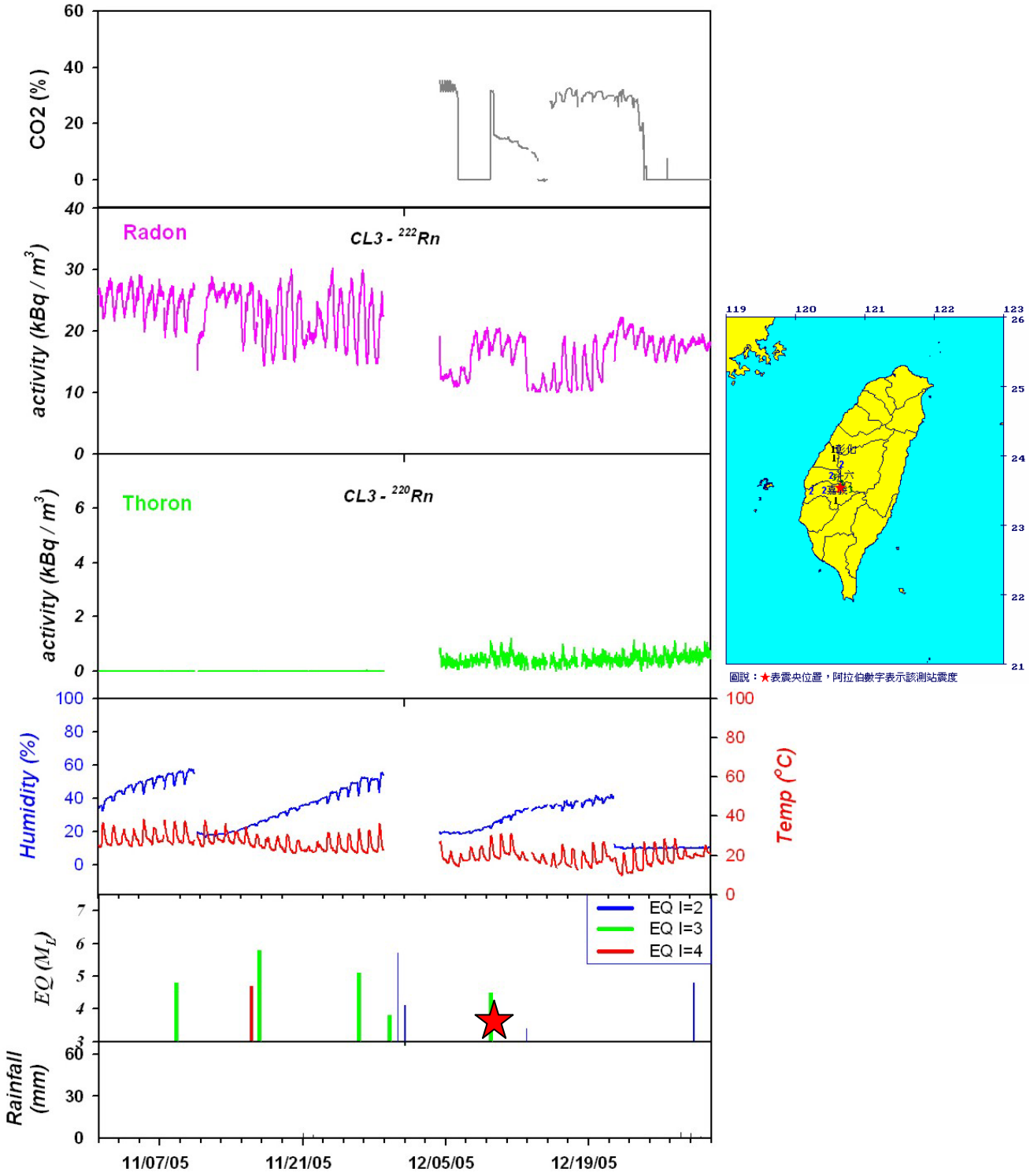


圖 2-48：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2005/11/1～2005/12/31）。★地震深度：12.8km；地震規模：3.9級；地點如右上圖所示。

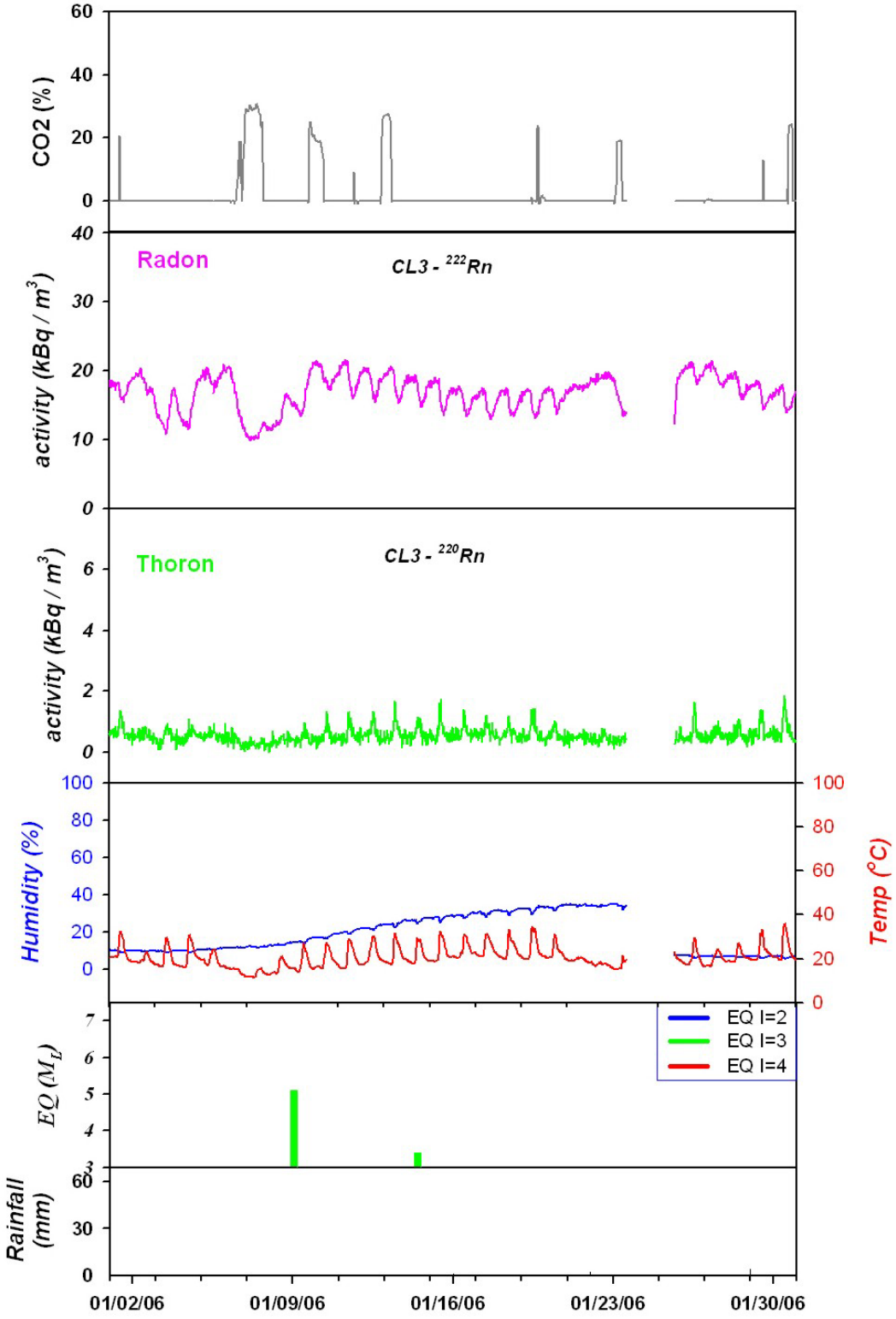


圖 2-49：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2006/1/1～2006/1/31）。

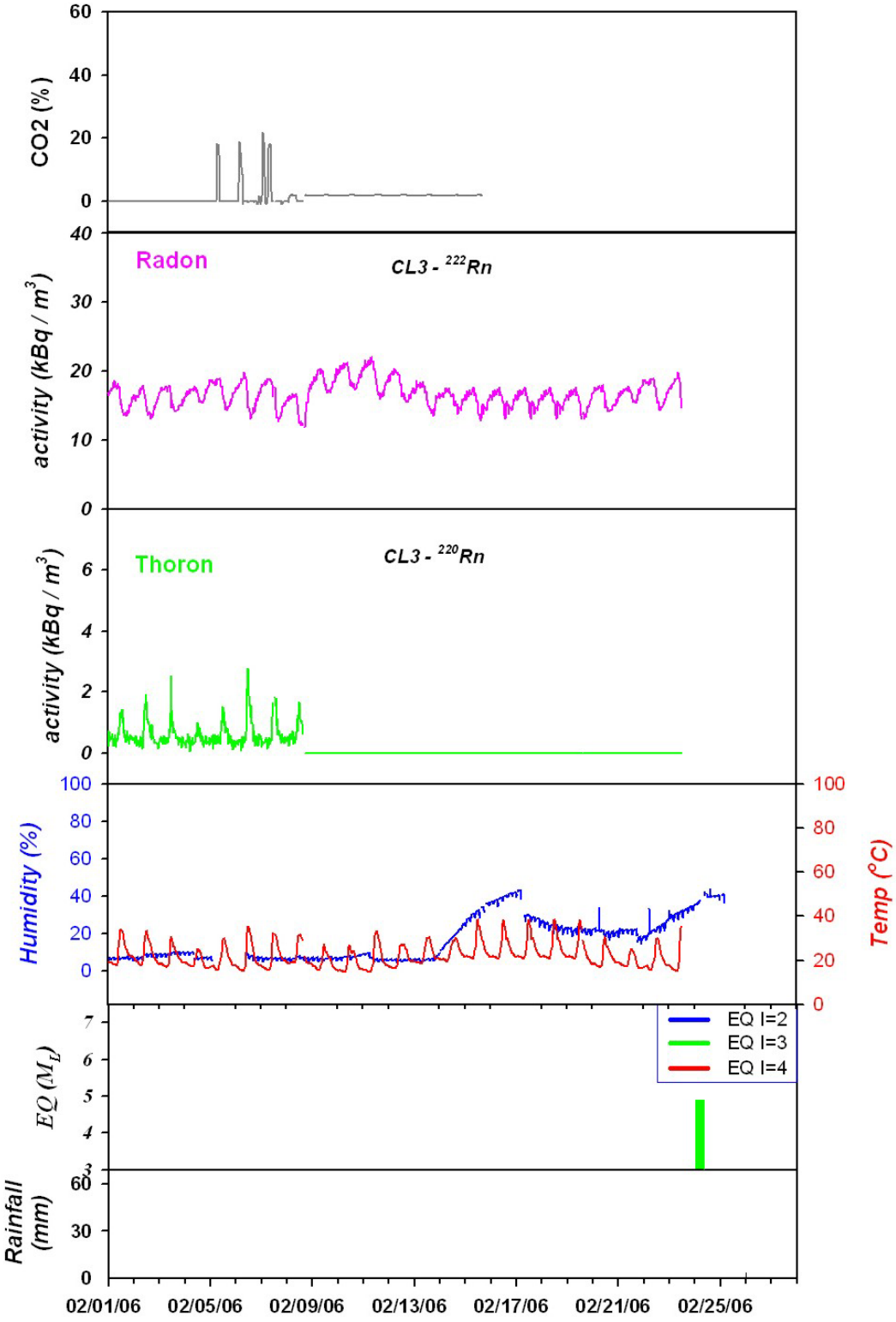


圖 2-50：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2006/2/1～2006/2/28）。

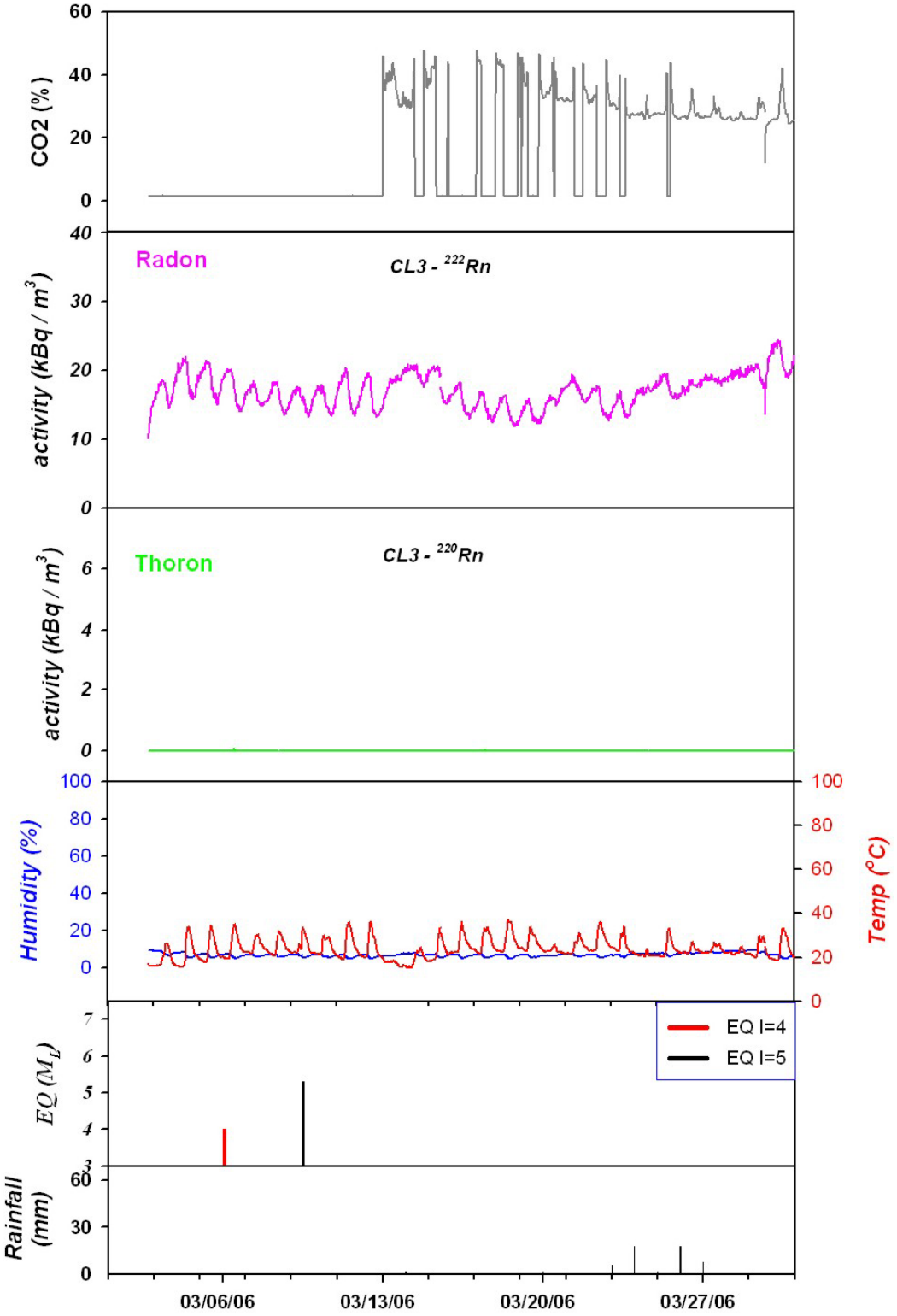


圖 2-51：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2006/3/1～2006/3/31）。

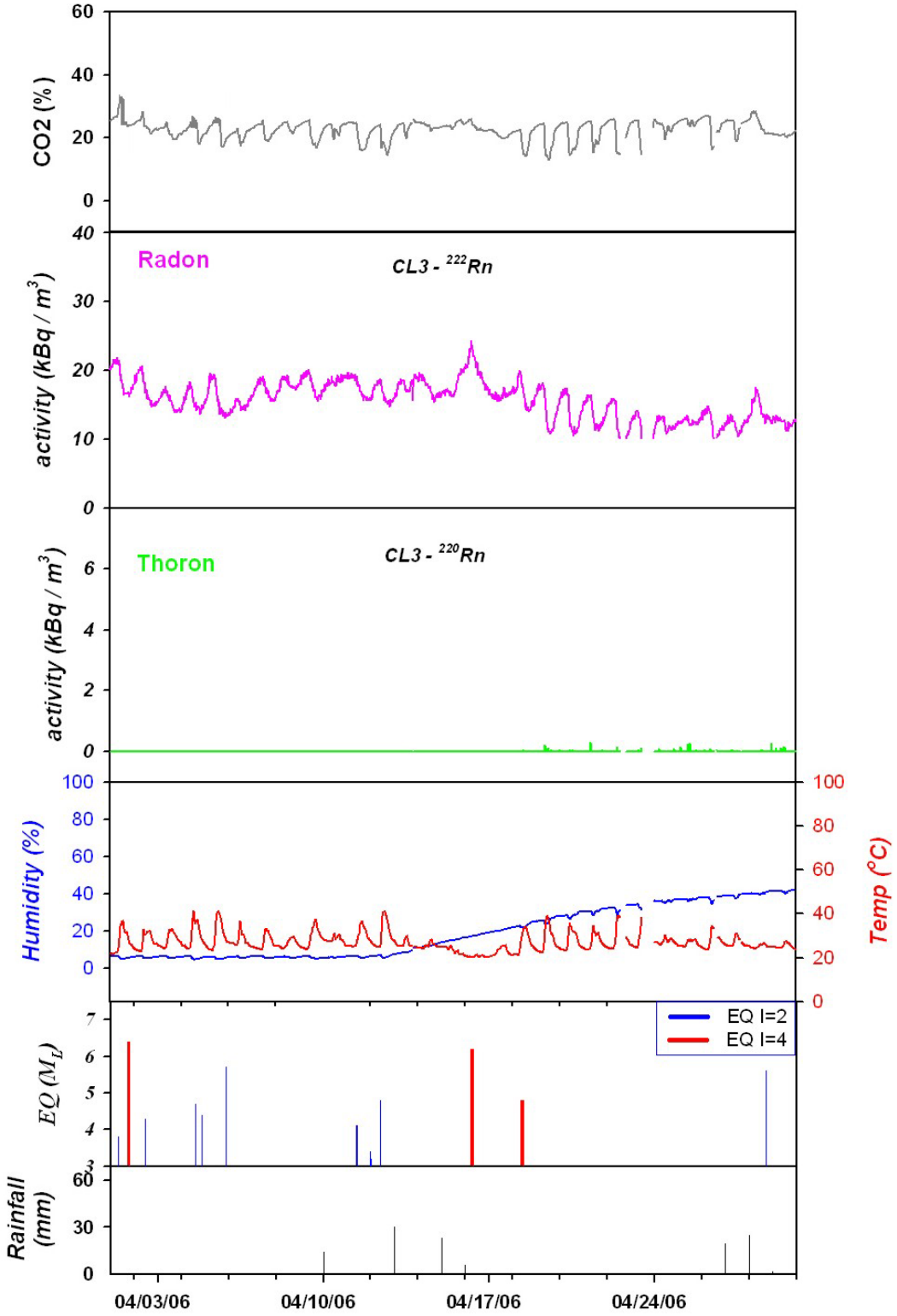


圖 2-52：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2006/4/1～2006/4/30）。

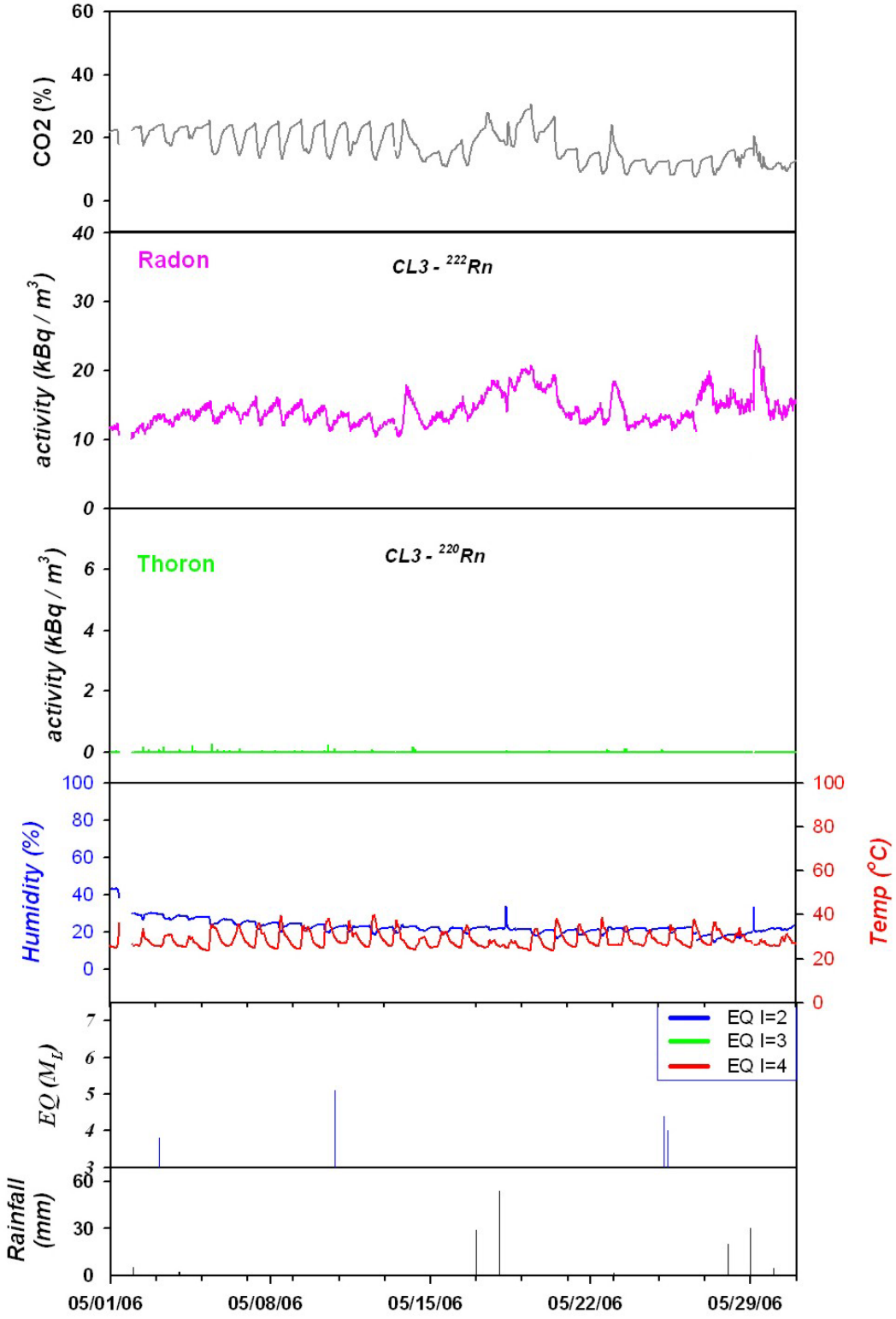


圖 2-53：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2006/5/1～2006/5/31）。

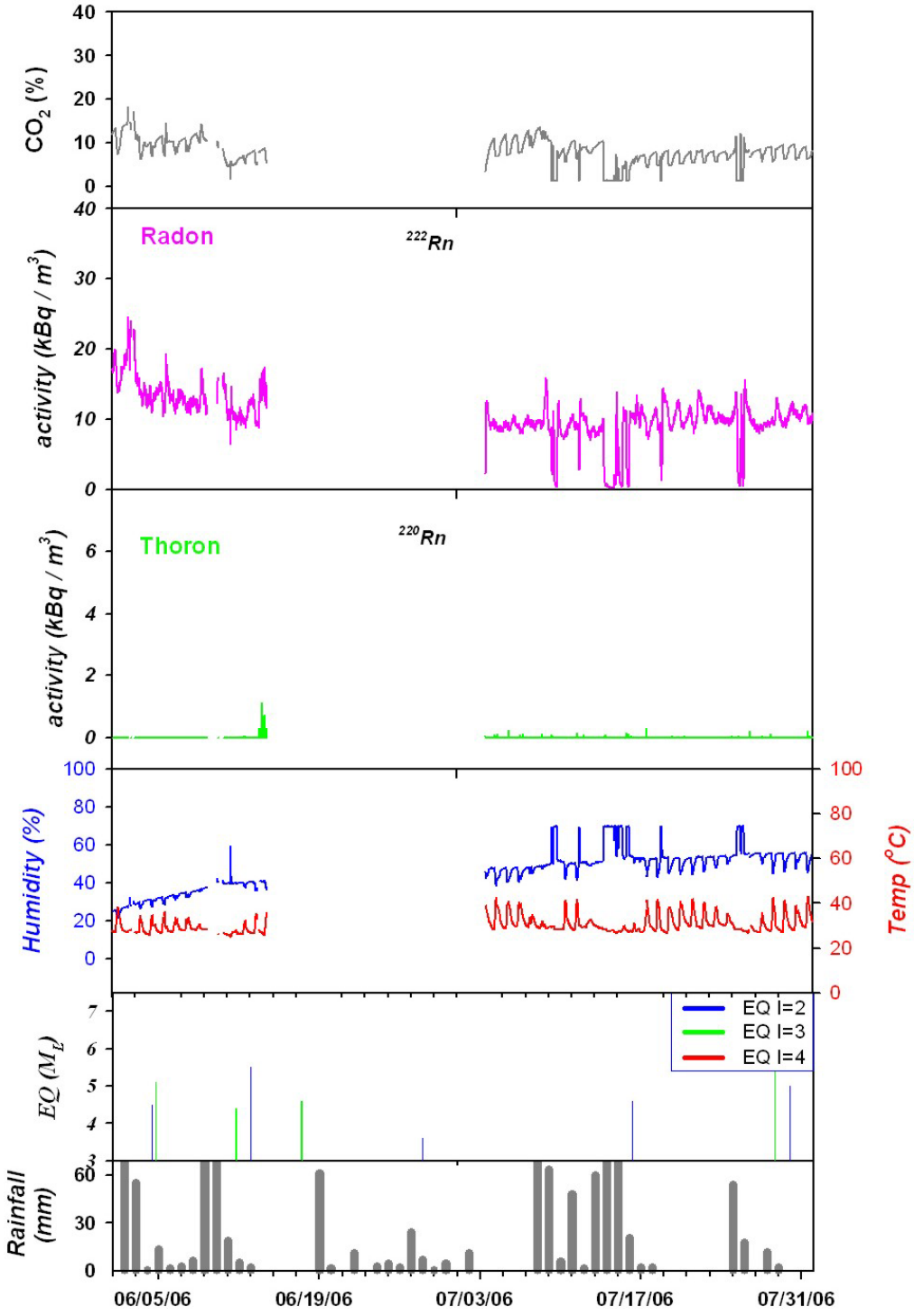


圖 2-54：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2006/6/1～2006/7/31）。6 月中儀器送修。

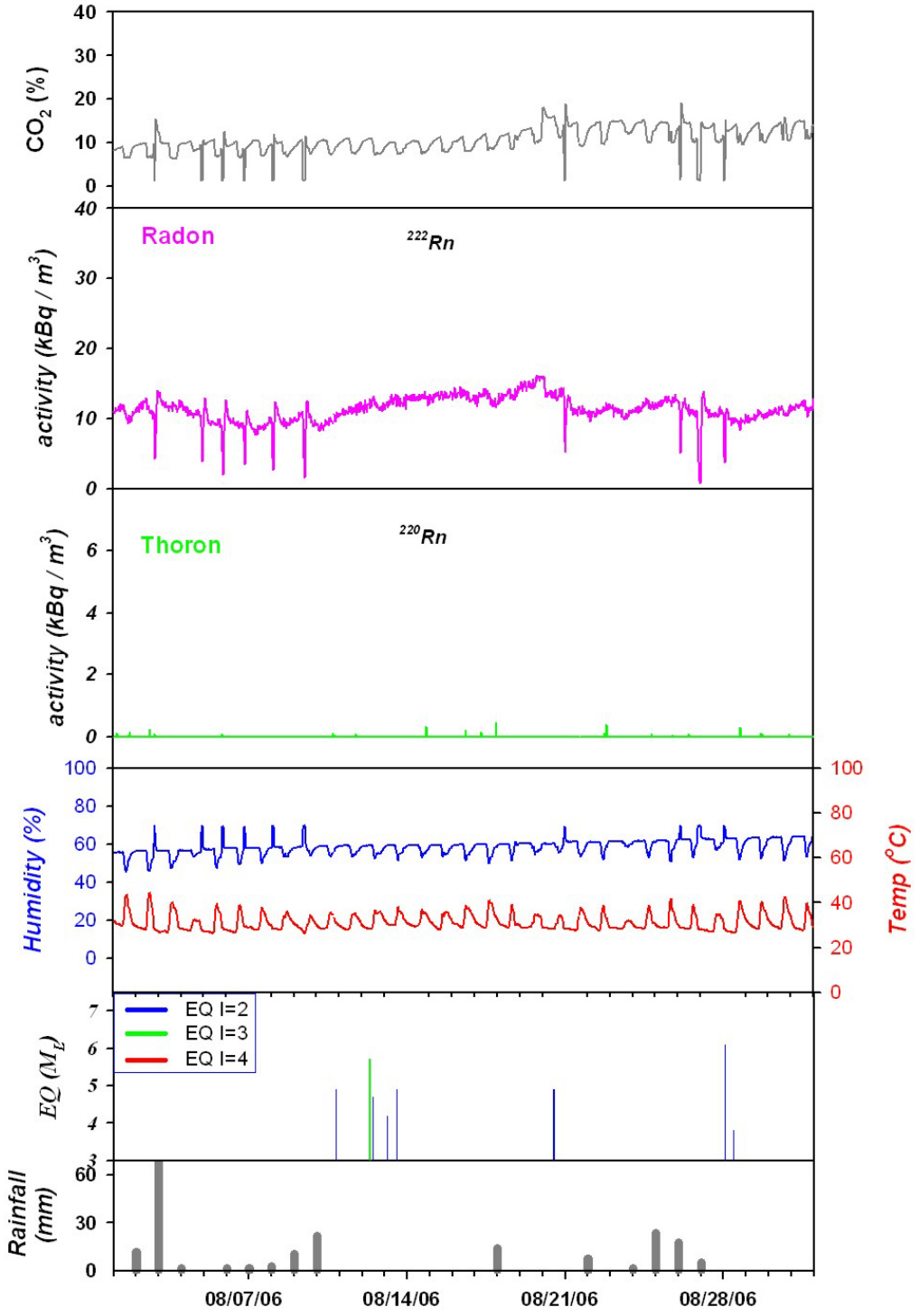


圖 2-55：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2006/8/1～2006/8/31）。

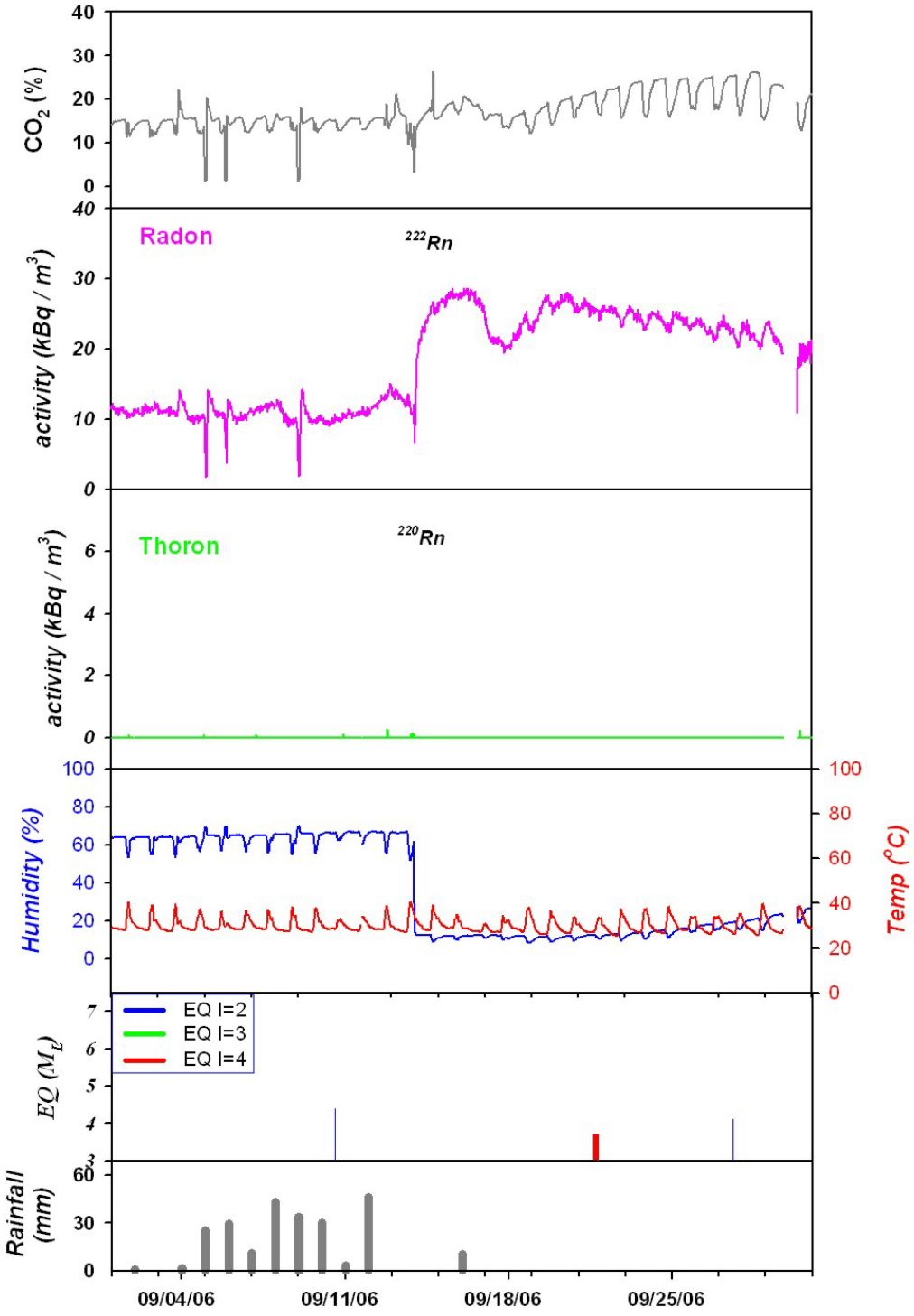


圖 2-56：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2006/9/1～2006/9/30）。

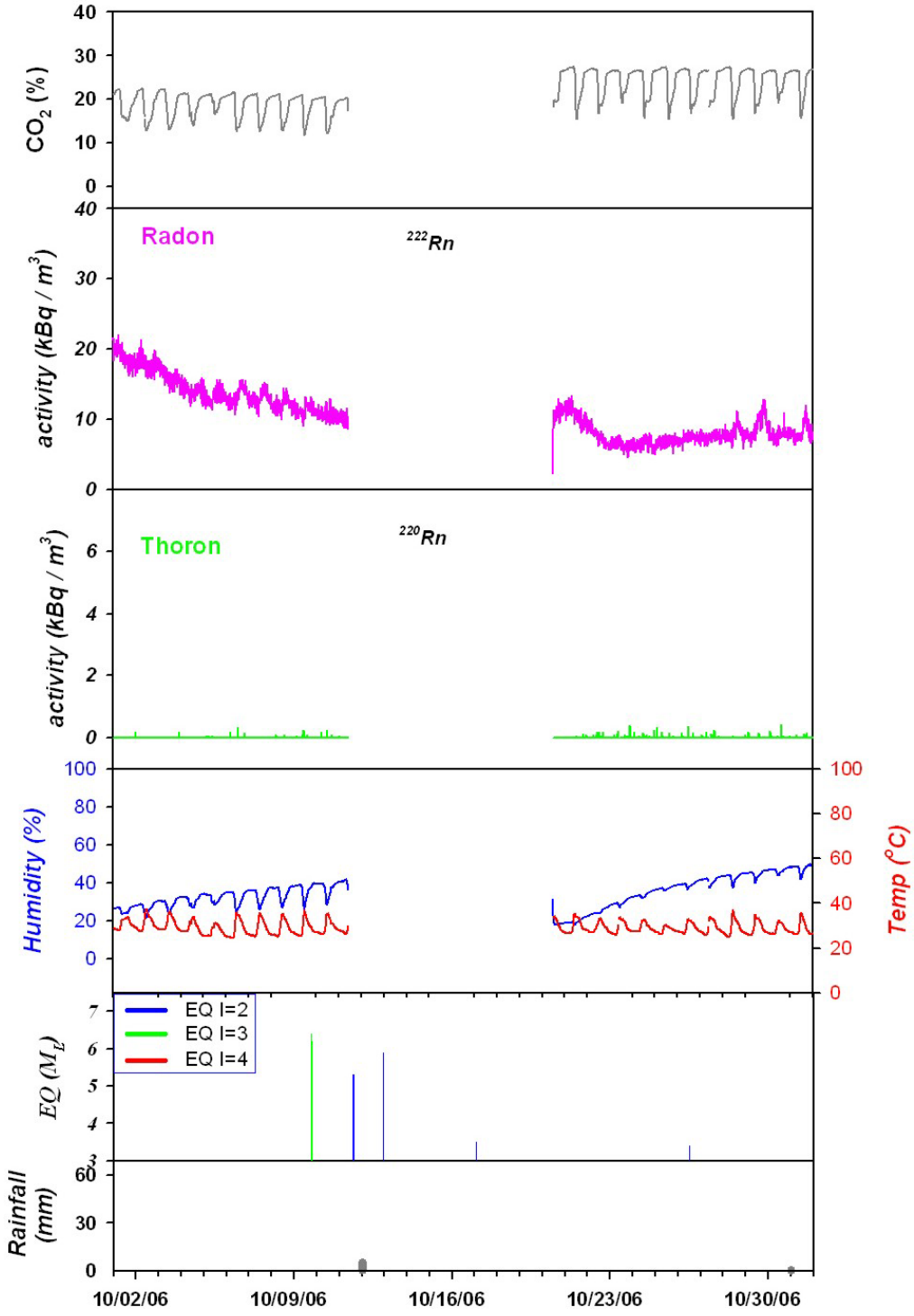


圖 2-57：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2006/10/1～2006/10/31）。10 月 11 日將儀器維修。

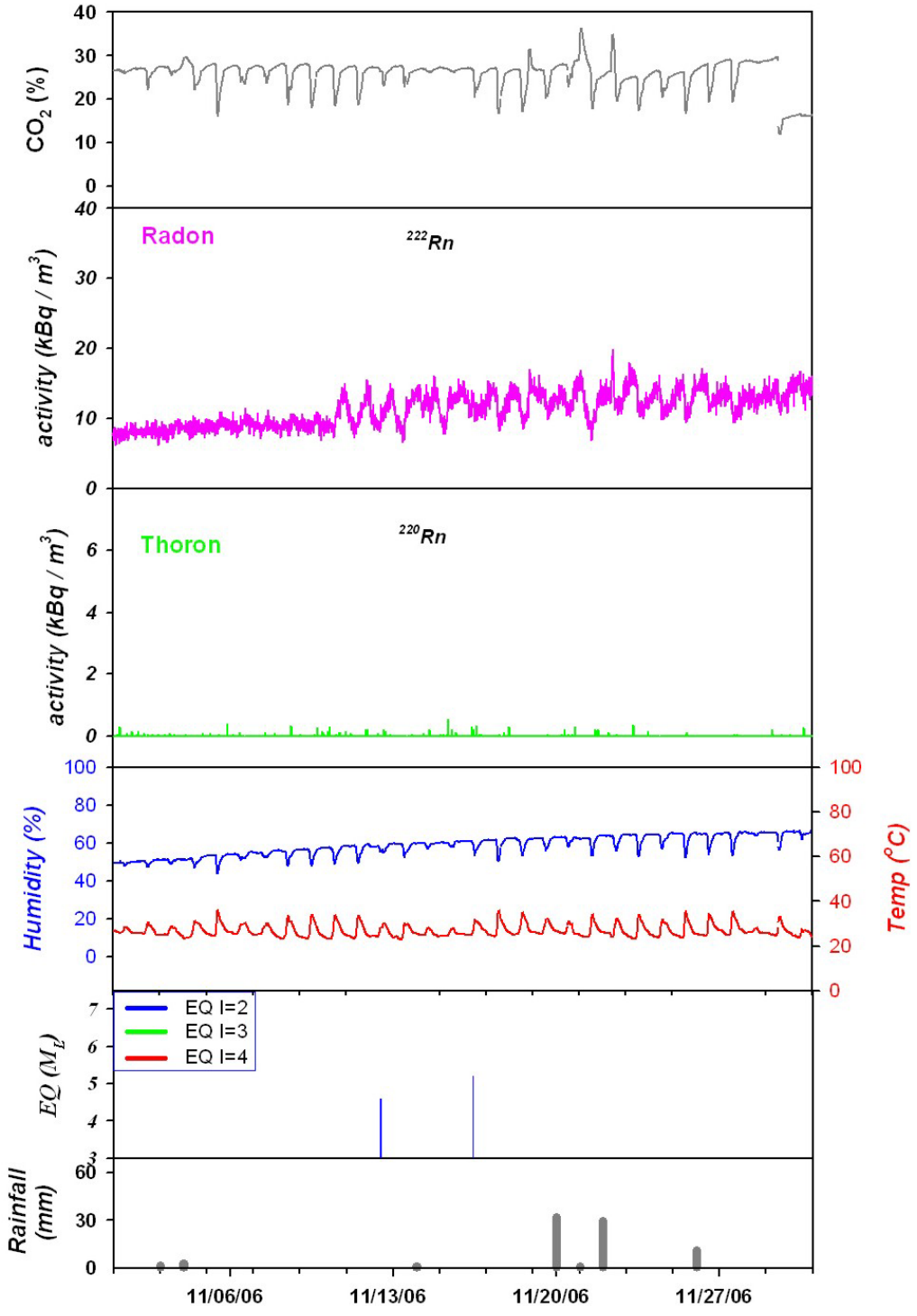


圖 2-58：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2006/11/1～2006/11/30）。

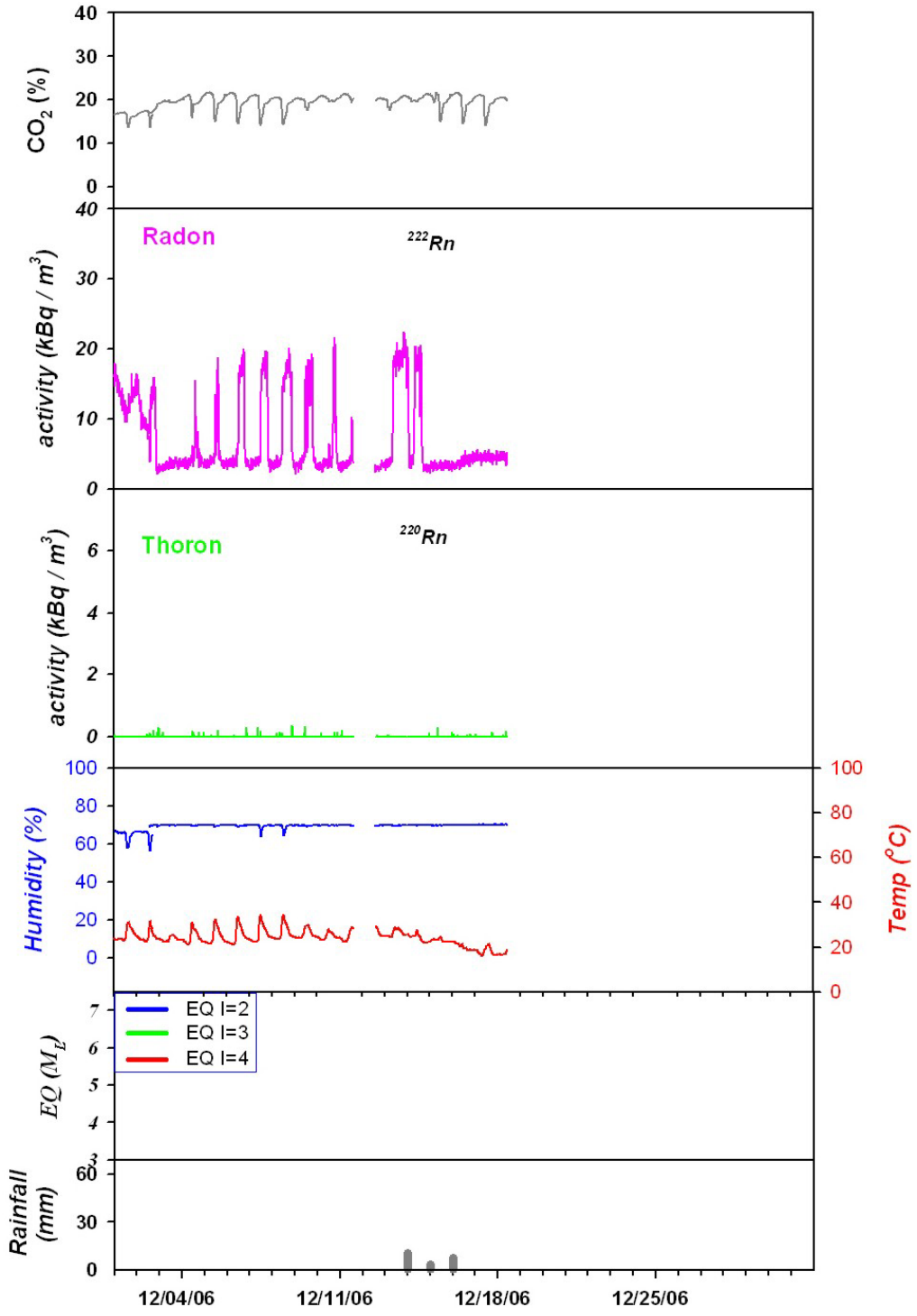


圖 2-59：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2006/12/1～2006/12/30）。

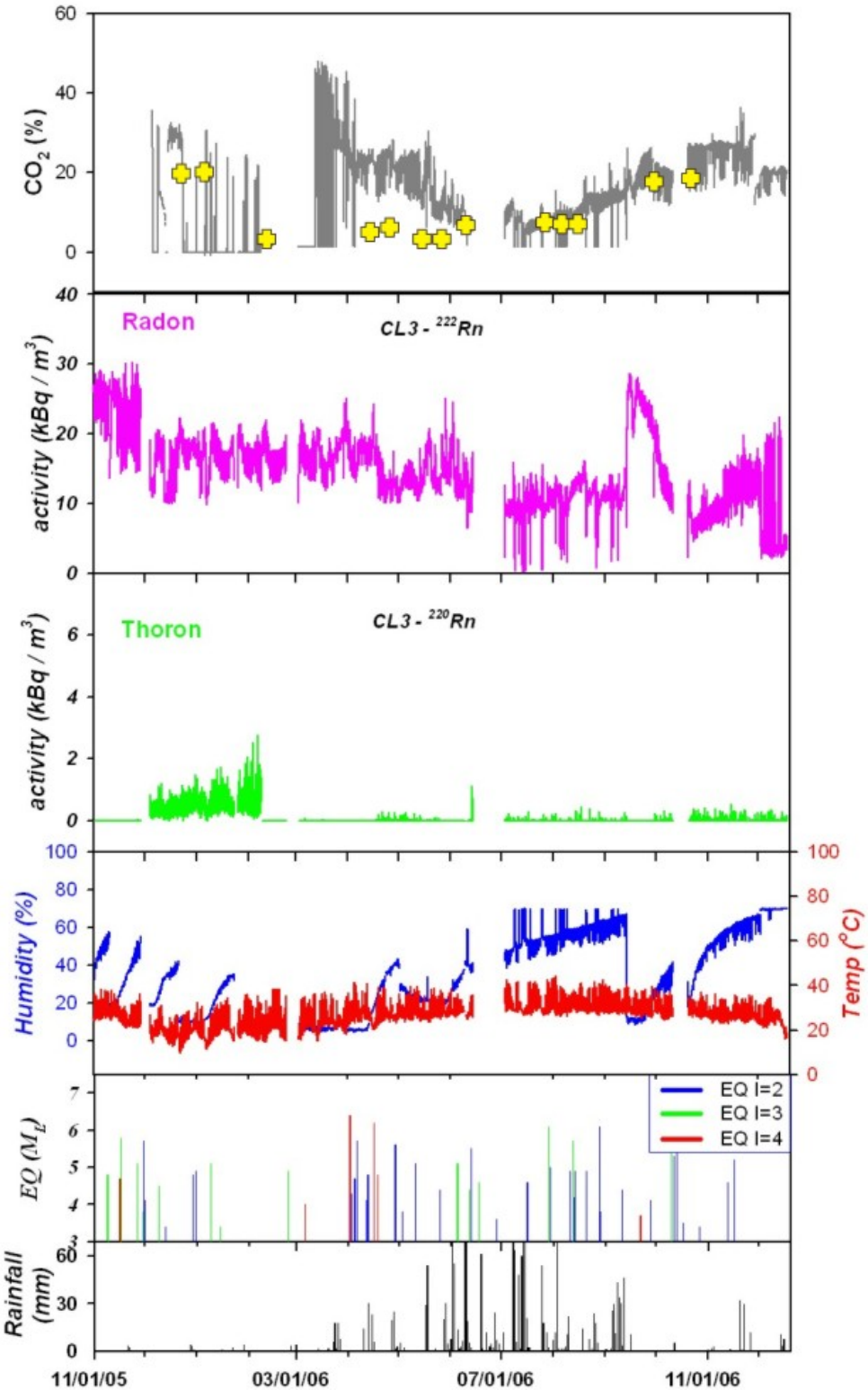


圖 2-60：中崙溫泉 1 號井土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與地震、雨量之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度（2005/11/1～2006/12/20），黃色十字代表定期採樣的二氧化碳分析結果。

2-4 新竹大平地土壤氣體觀測站

圖2-61和2-73為大平地觀測站連續分析結果，圖2-61為2005年12月16日至2006年1月31日的連續分析結果，土壤氡氣略有些微波動變化，若與其它觀測因子比較沒有顯著的相關性，不過氡氣與大氣壓力似乎呈現一負相關的關連性；圖2-62為2006年2月的連續分析結果，於4日時氡氣突然開始降低，這是因為水氣升高所造成的結果，從2月的分析結果發現土壤氡氣濃度會隨著土壤濕度升高而降低。此外，在16日時氡氣濃度開始升高，此時其它觀測因子並無明顯變化，這可能與宜蘭地區所發生的地震有關。

圖2-63為2006年3月的連續分析結果與圖2-61很相似，土壤氡氣變化與地震、大氣壓力似乎有關連，而於3月26日的豪大雨影響，水氣再度升高以致於氡氣濃度降至空氣背景值。圖2-64為2006年4月的分析結果，由於連日的豪大雨造成管線積水，且因無法將水即時排除而造成氡氣、二氧化碳分析暫時停擺。直到4月底時決定重新設置一臨時孔來進行分析，由於深度較淺(約1公尺深左右)所以氡氣濃度值也較原來的低。

圖2-65為2006年5月的連續分析結果，土壤氡氣與二氧化碳呈現同步的變化，不過並未發線任何異常現象。圖2-66則為年6月的分析結果，發現Radon和Thorn濃度分別在6月1日、6月3日、6月17日皆突然升高，此時其它因子並無任何變化，在濃度異常升高之後緊接著都發生了地震，這可能是地震的前兆訊息。

圖2-67中，在7月7日11:20左右開始出現異常，而兩個多小時後於觀測站西北方約30公里處發生了一起地震(地震深度14.7公里，規模3.6)；而於7月18日中又出現另一異常高值，約4天左右在觀測站東南方約35公里左右發生一地震(地震深度5.3公里，規模3.5)，除了受到這兩起地震事件影響，其餘觀測背景值皆非常平穩。

圖2-68為8月的觀測結果，在21日時出現一異常高值，這可能有兩個可能，其一為受到土壤濕度降低使得氡氣背景值升高所致，不過10日時也曾出現土壤濕度降低的情形，當時氡氣並沒有升高的現象；另一原因則可能是28日在觀測站東方約200公里的地震前兆訊息(地震深度135.3公里，規模6.0)。

圖2-69的觀測結果顯示在9月19日03:53時氡氣濃度開始升高，而約莫17個小時

後在觀測站北方不到10公里處發生地震(地震深度8.3公里，規模3.7)，此異常高值持續了約4天左右才回復至背景值。圖2-70中，10月的觀測結果則出現與圖2-69類似的觀測結果，在10月9日15:15時氡氣濃度開始升高，約15個小時候於觀測站南方不到10公里處發生一起地震(地震深度6.4公里，規模4.0)，同樣為淺源的地震，此異常高值持續約2天後回復至背景值。而很可惜的是在11月6日在觀測站西南方不到10公里的位置再度發生一起規模達3.8，地震深度7.1公里的淺源地震，不過由於儀器記憶體早已存滿錯過下載時間，以致於地震發生的這段時間內，沒有資料可以再次證明前兩次所紀錄到的地震前兆訊息(圖2-71)。圖2-72為12月的分析結果。

圖2-73為2005年12月16日至2006年12月20日全年的連續分析結果，而到2006年4月前發現土壤氡氣除了本身每日的變化之外似乎還有週期性的變化，這可能與大氣變化或宜蘭地區的地震有所關連，而之後觀測站的配置經過些許的調整後氡氣濃度呈現低但平穩的背景值，其間有一些偶發的異常濃度升高似乎都與地震活動有關。此外，二氧化碳濃度則一直很平穩直到5月時更換分析孔才有明顯的變化趨勢，不過6月中換回原分析孔後則回復平穩但濃度趨近於0。而其它分析因子則多呈現每日的日夜變化，無顯著的異常發生，而前面提到土壤氡氣與大氣壓力呈現負相關，從圖2-65至圖2-71的觀測結果來判斷，似乎就不是那麼的明顯。就整體的來說，本觀測站的變化可能可以反映出台灣北部地區地殼的活動情形。

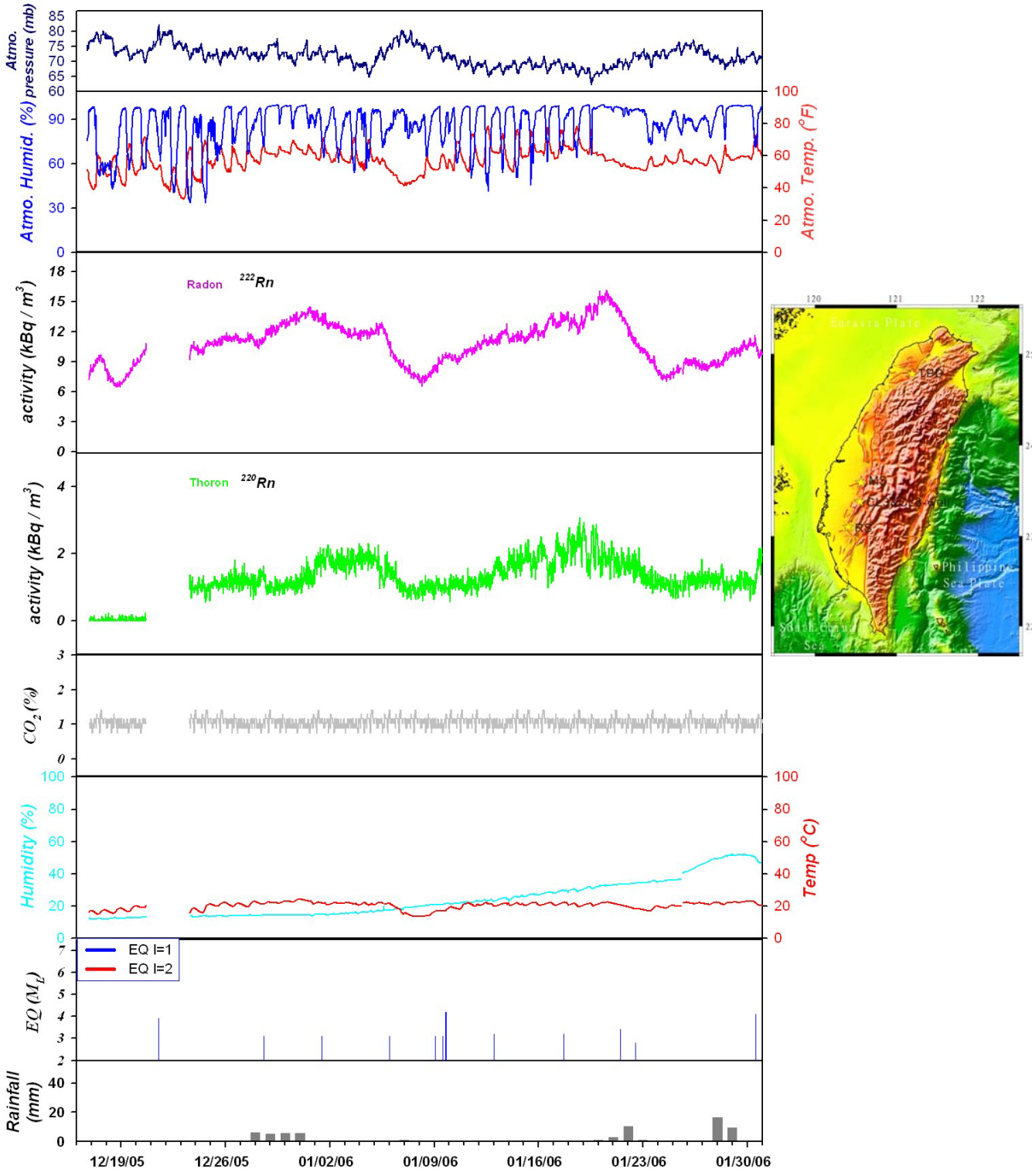


圖 2-61：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2005/12/16～2006/1/31）與觀測站位置。

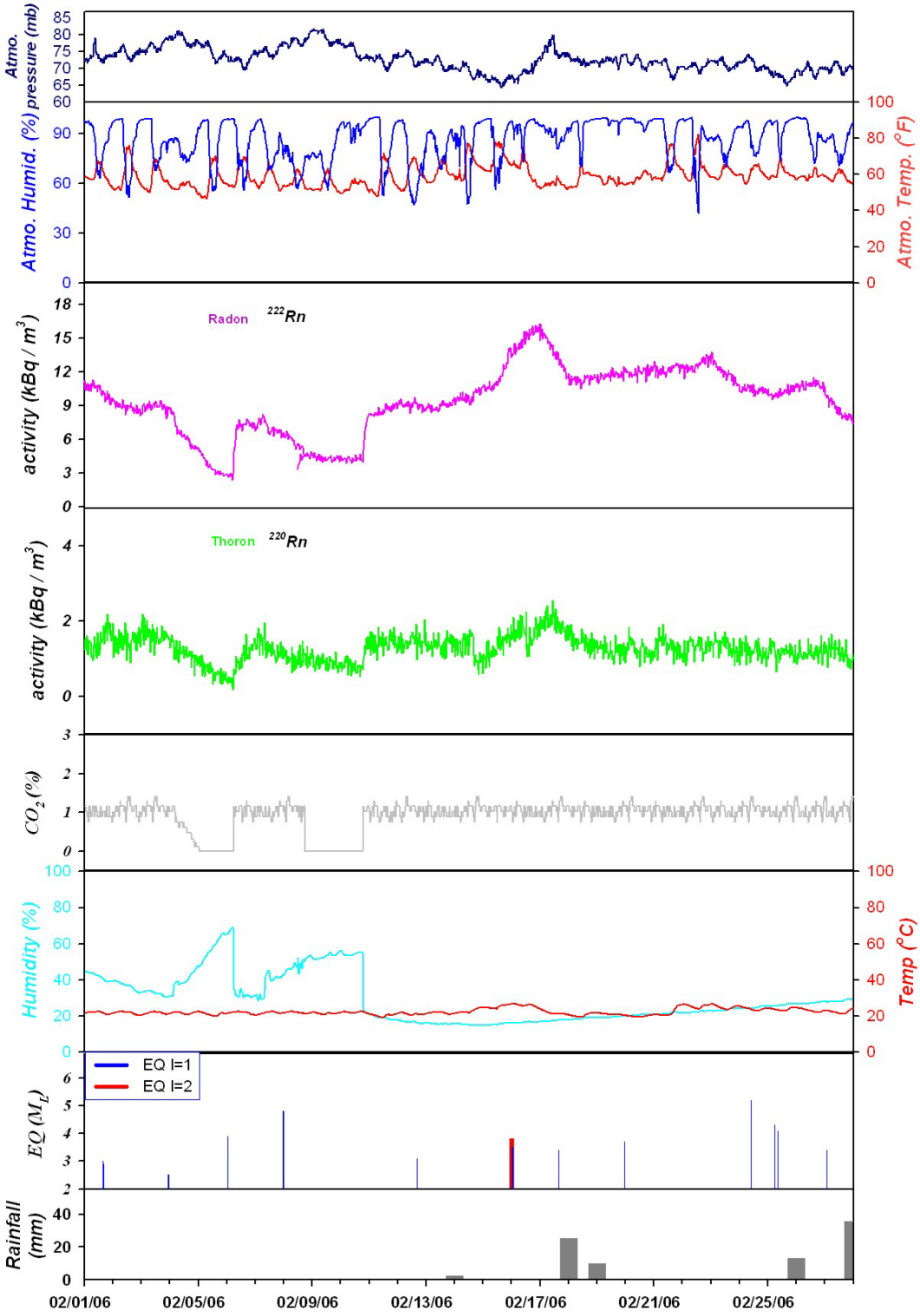


圖 2-62：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/2/1～2006/2/28）。

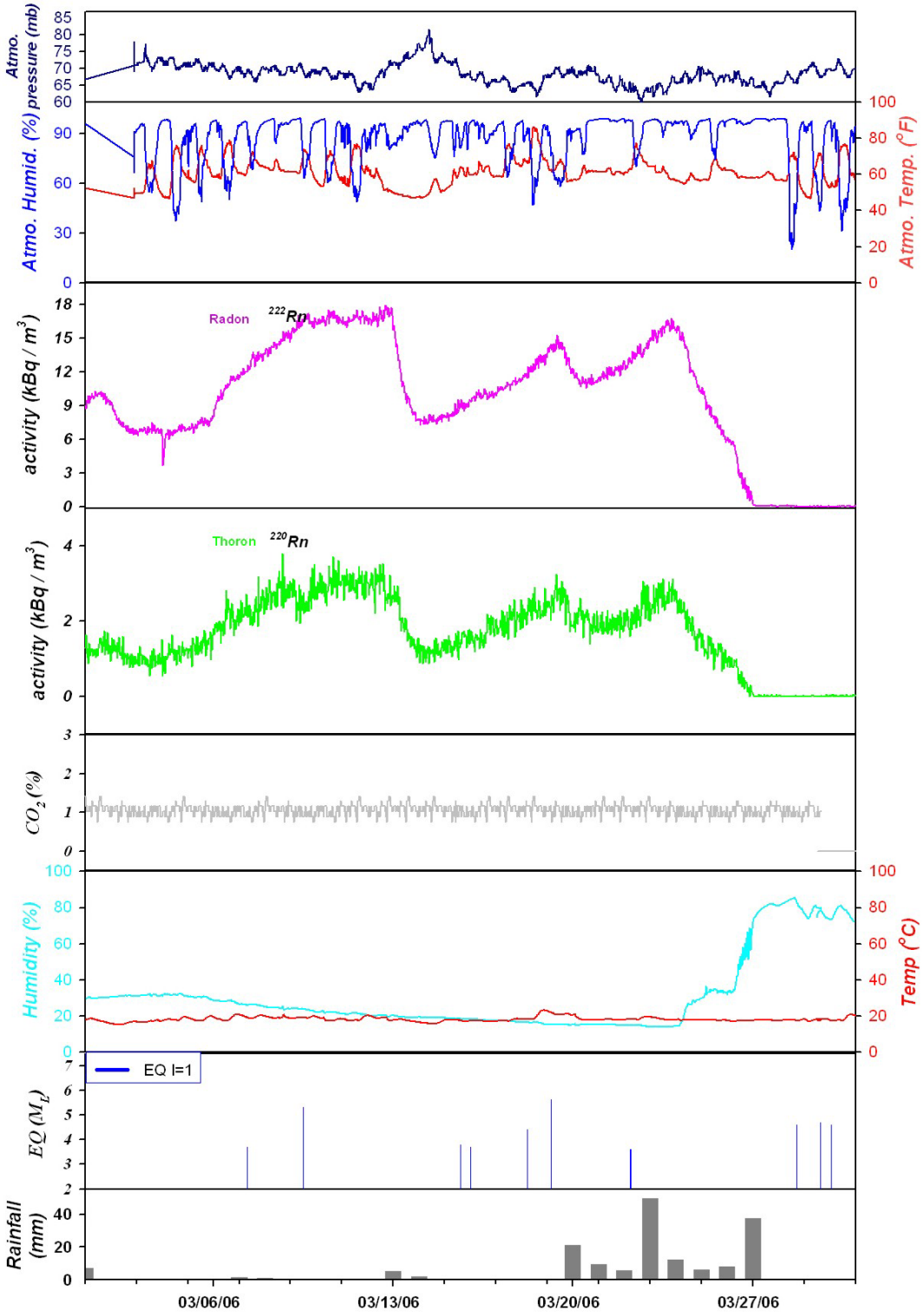


圖 2-63：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/3/1～2006/3/31）。

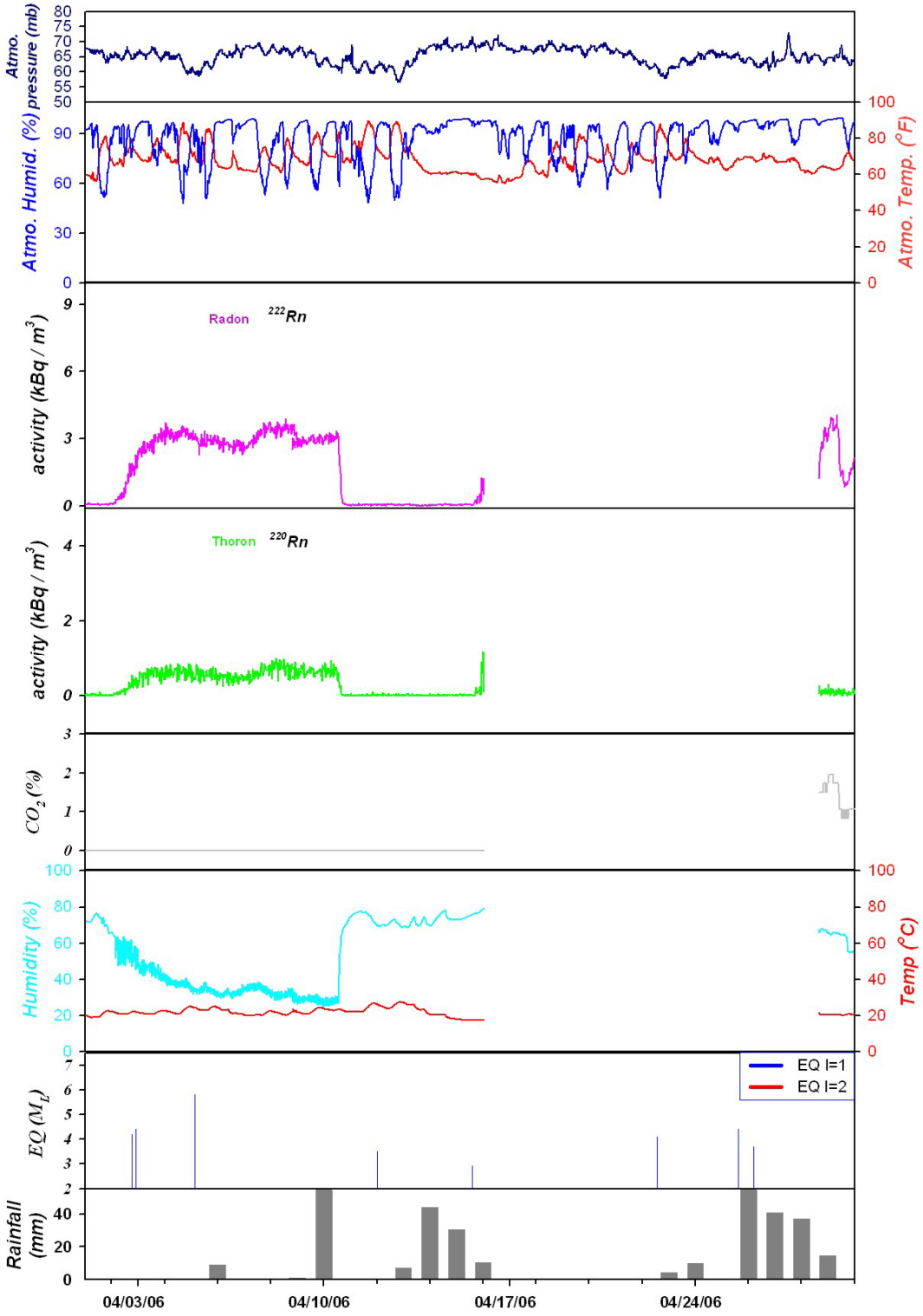


圖 2-64：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/4/1～2006/4/30）。4 月中儀器維修。

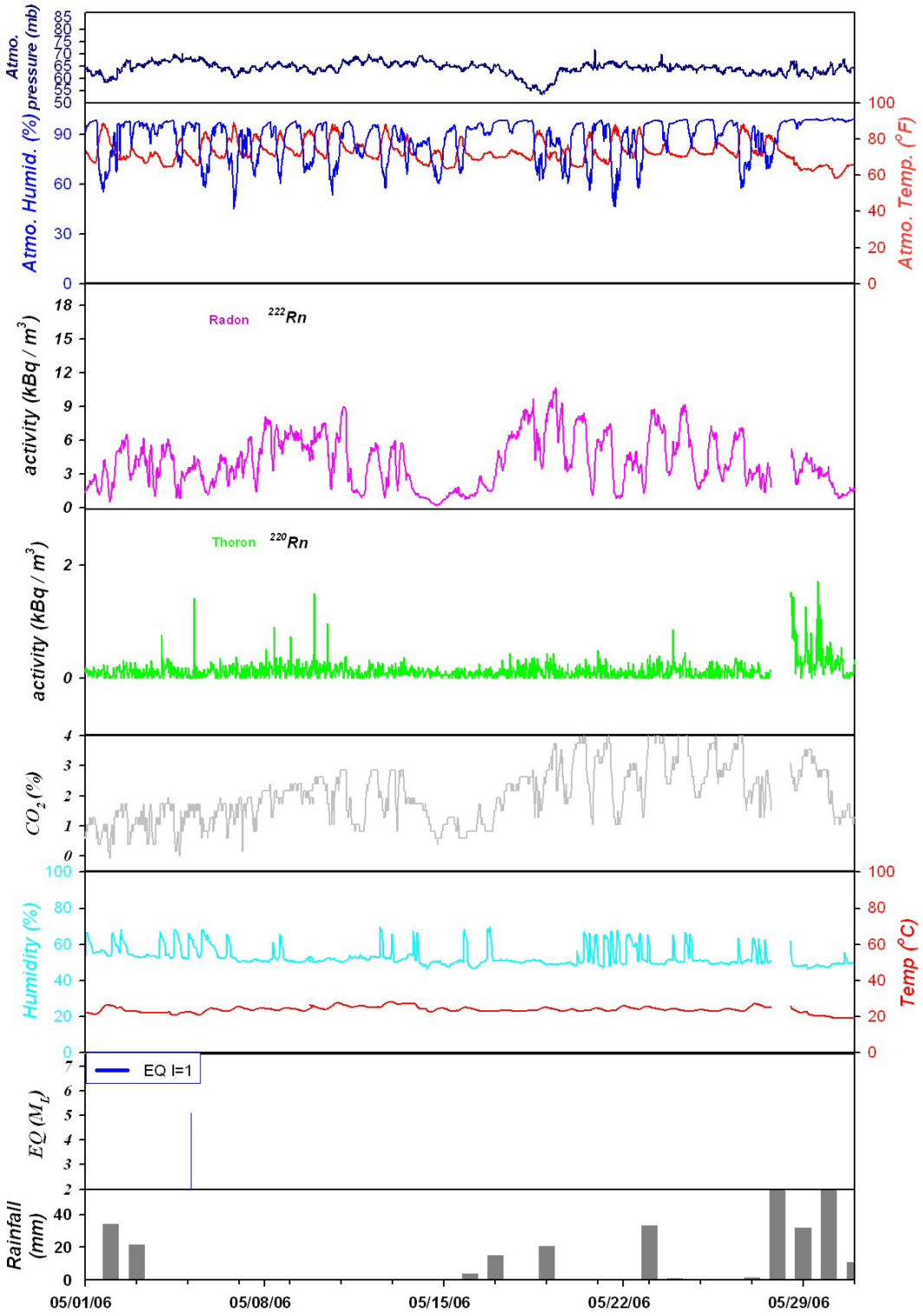


圖 2-65：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/5/1～2006/5/31）。

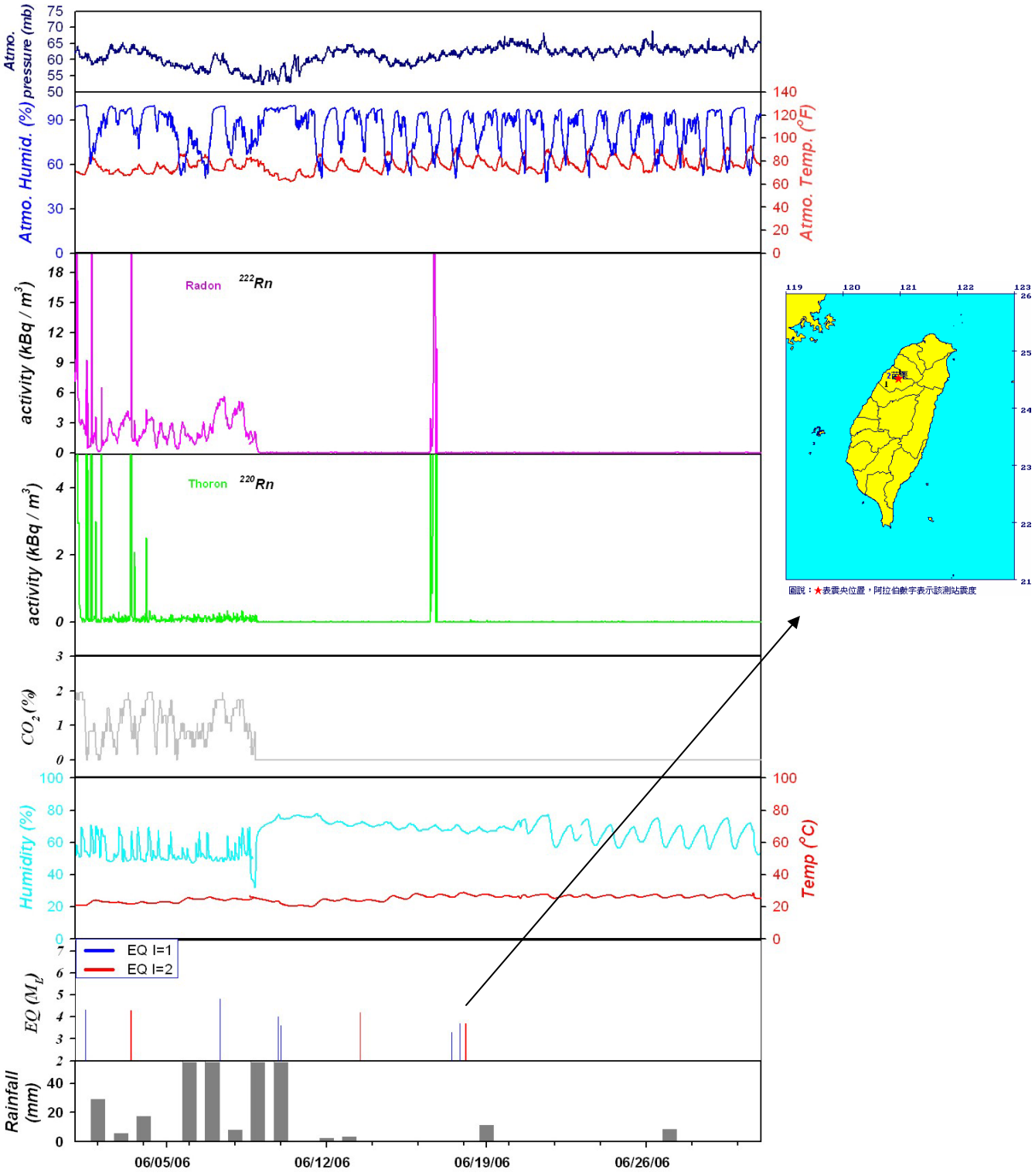


圖 2-66：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/6/1～2006/6/30）。

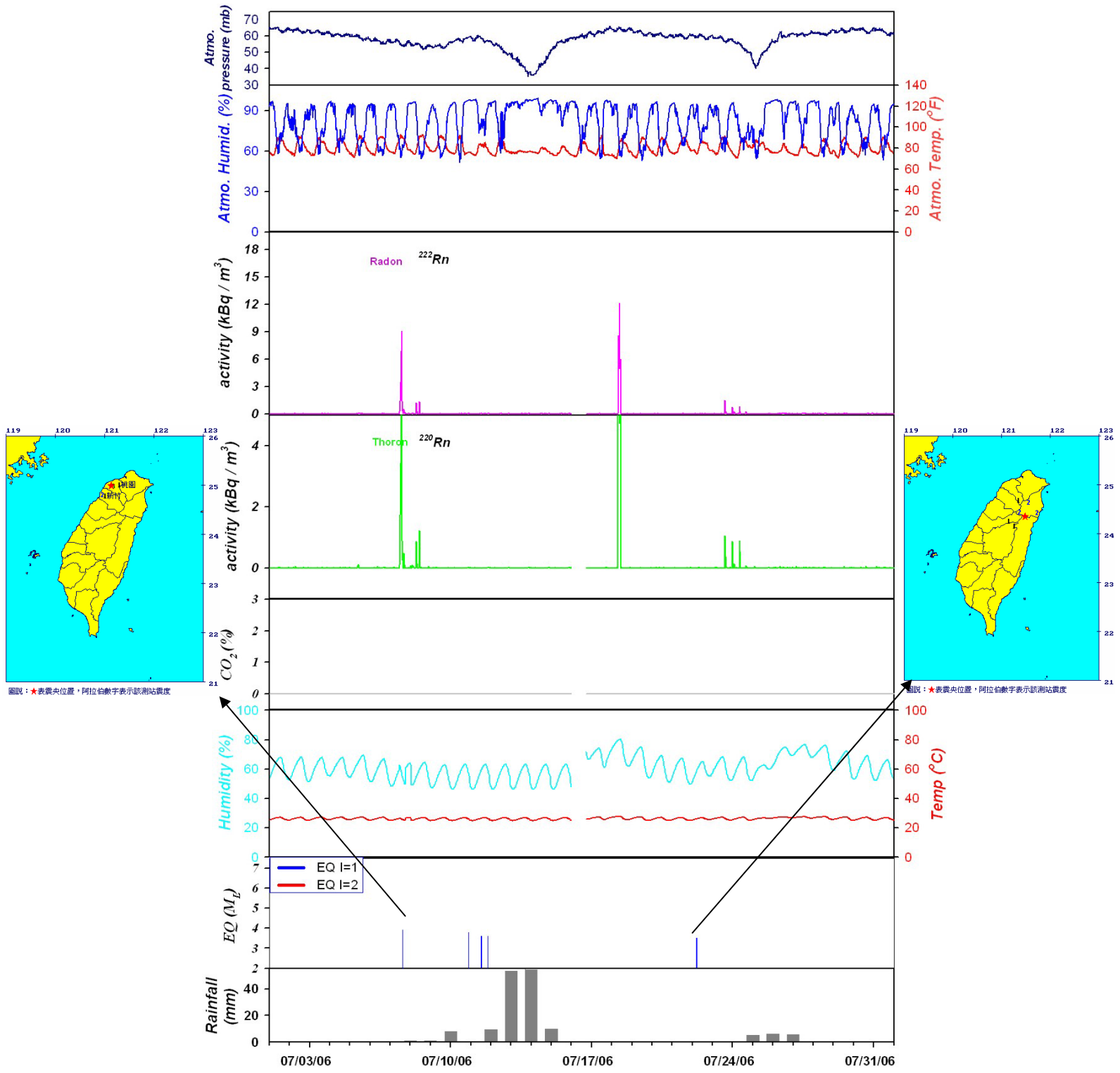


圖 2-67：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/7/1～2006/7/31）。

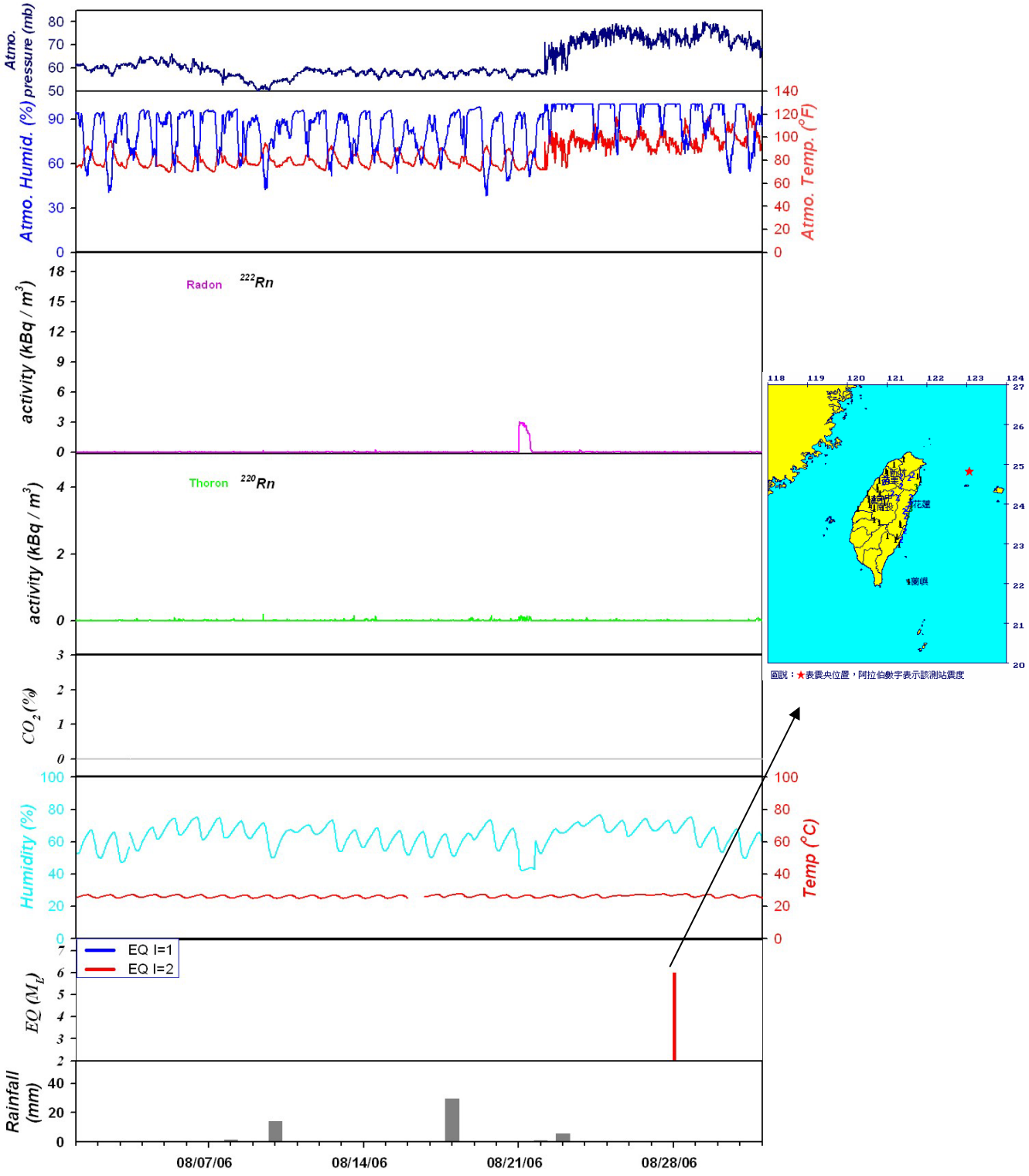


圖 2-68：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/8/1～2006/8/31）。

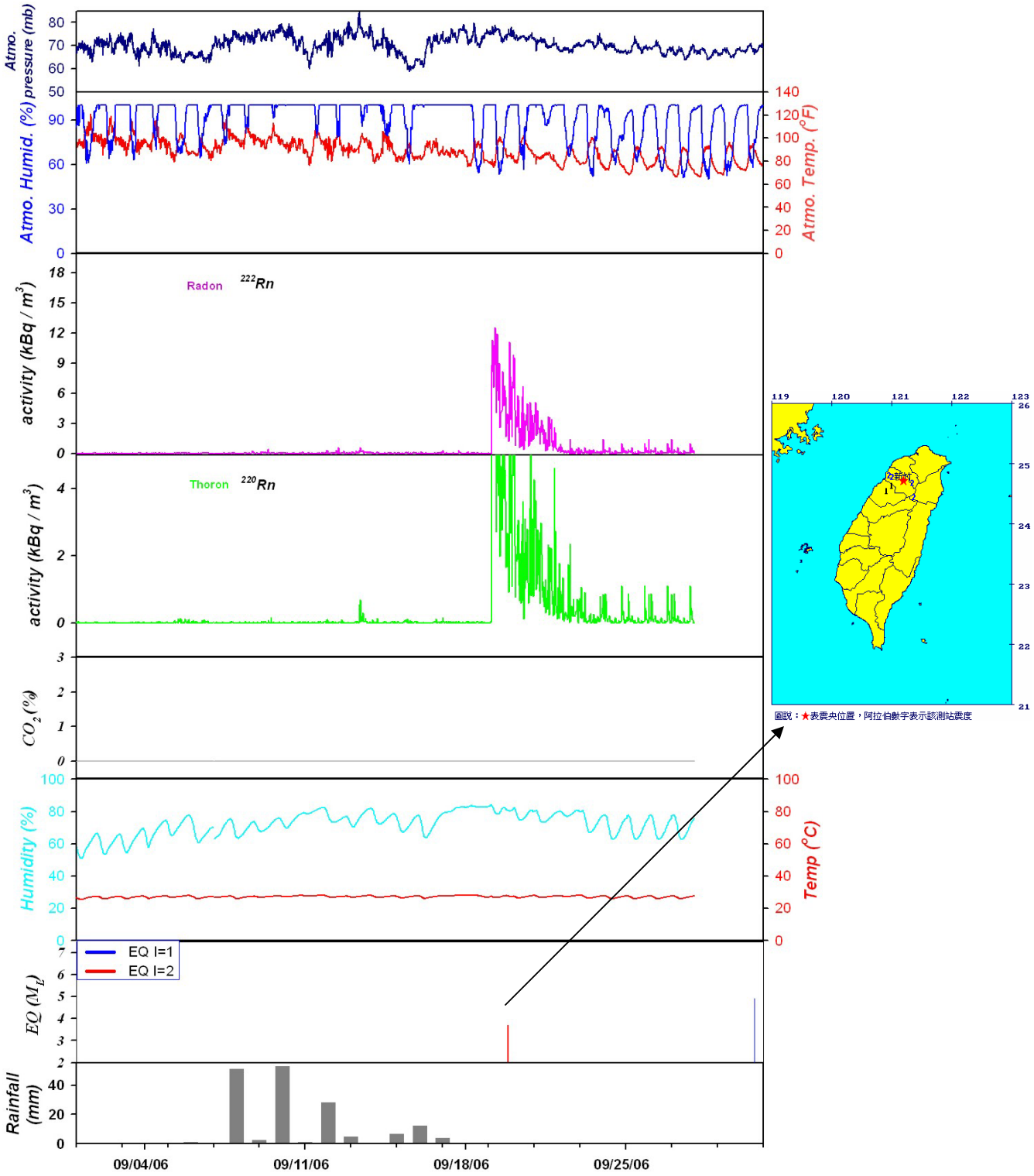


圖 2-69：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/9/1～2006/9/30）。

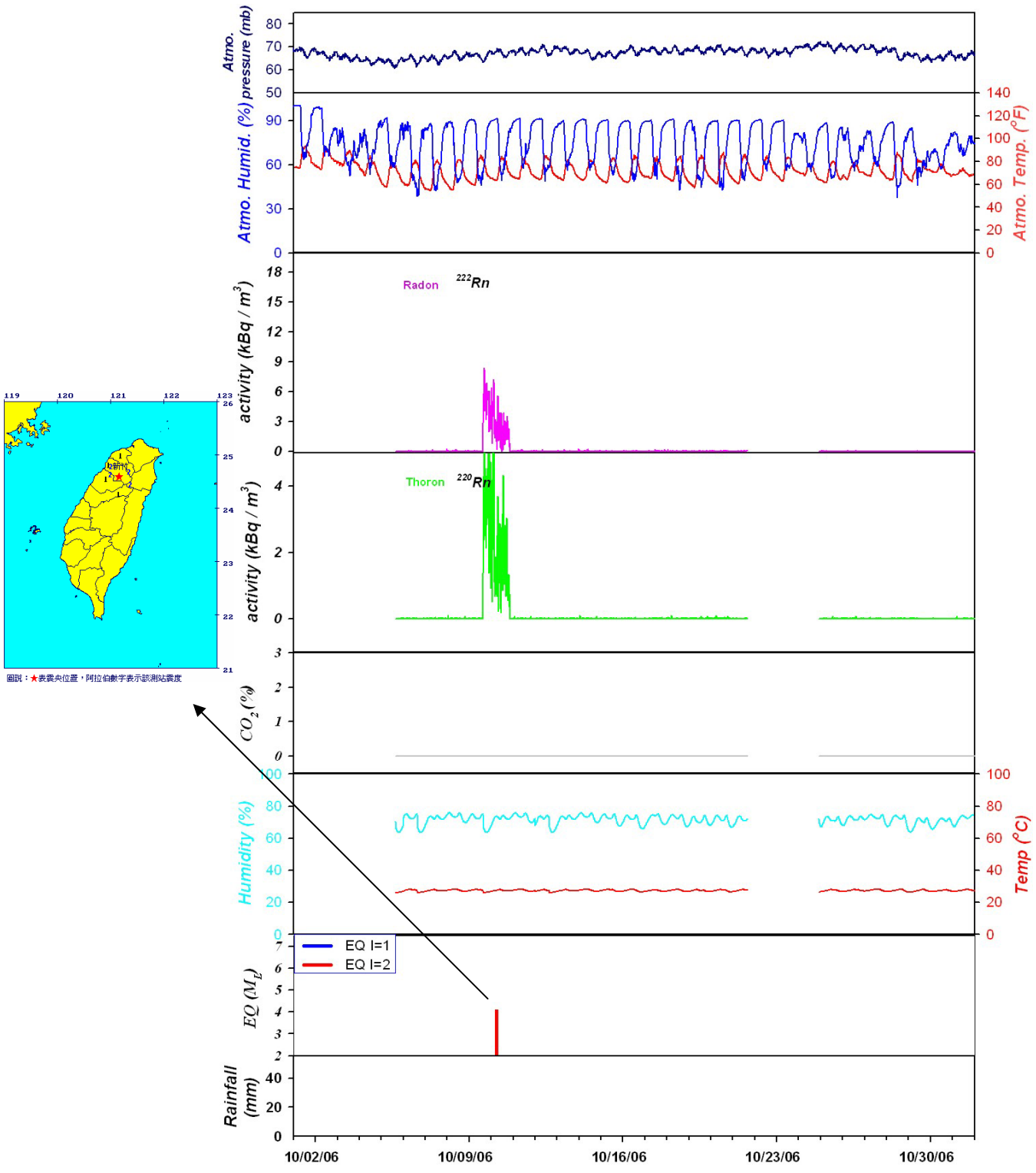


圖 2-70：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/10/1～2006/10/31）。

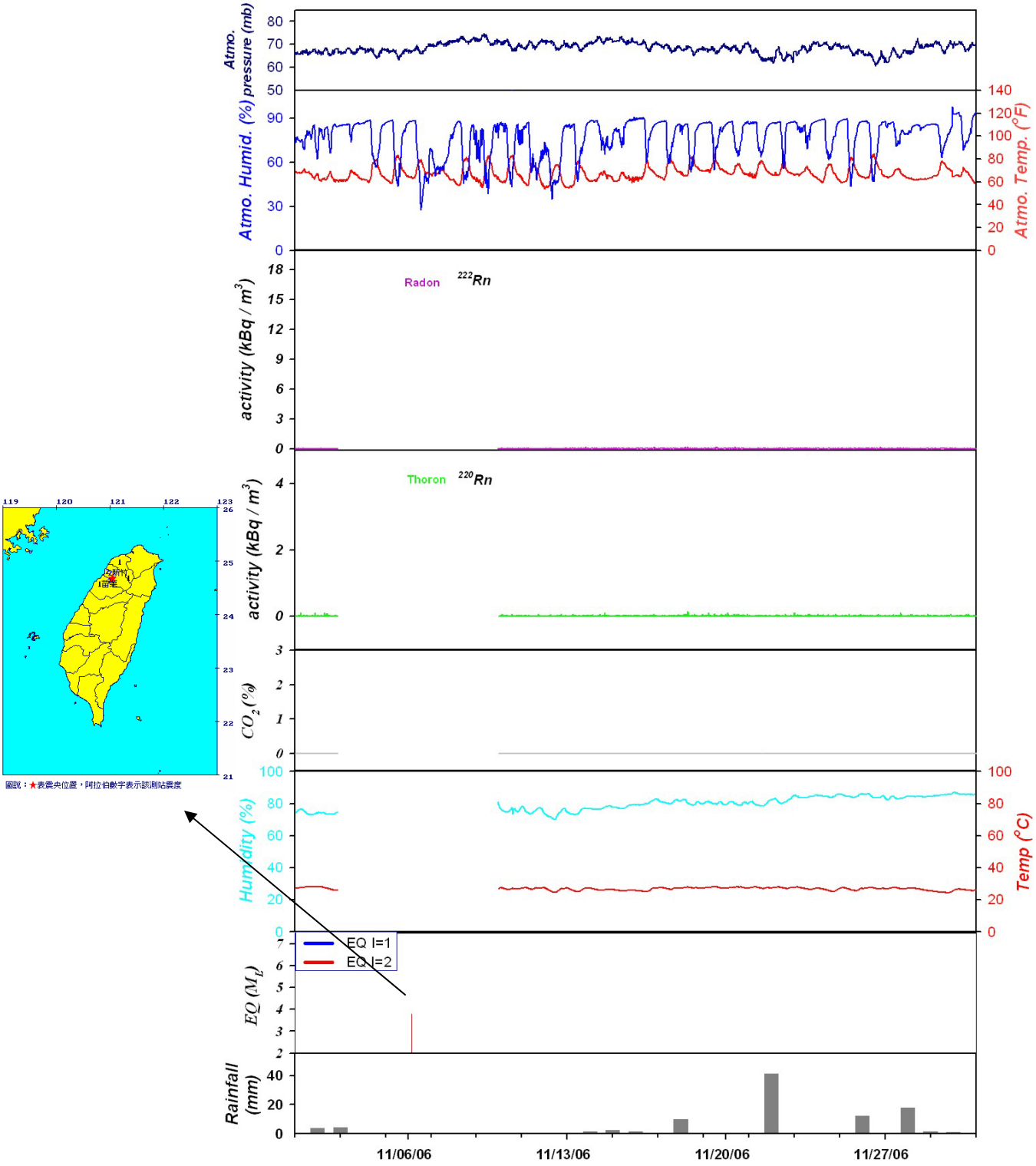


圖 2-71：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/11/1～2006/11/30）。11 月初儀器記憶體已滿而造成中斷。

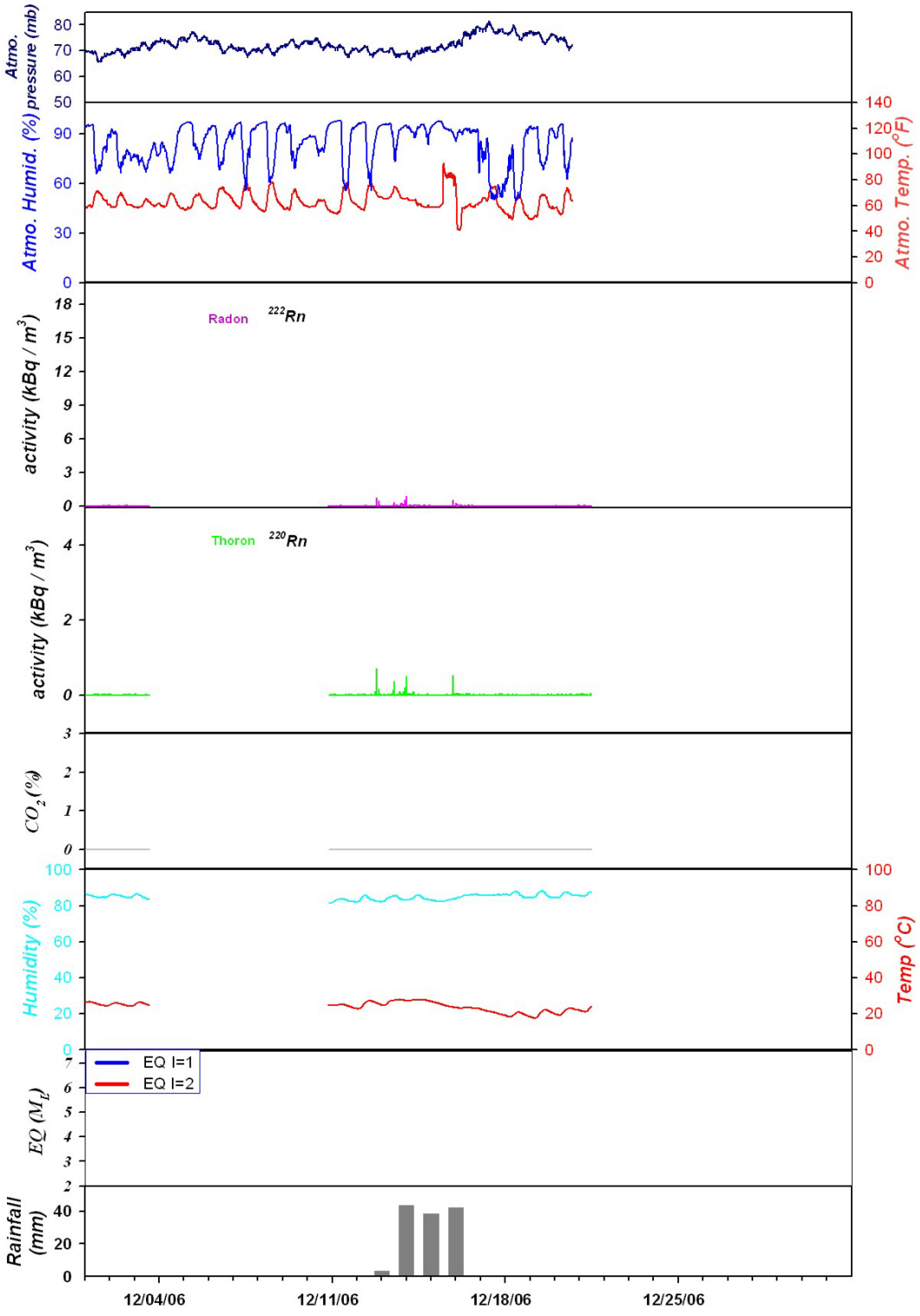


圖 2-72：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/12/1～2006/12/20）。12 月初儀器校正中。

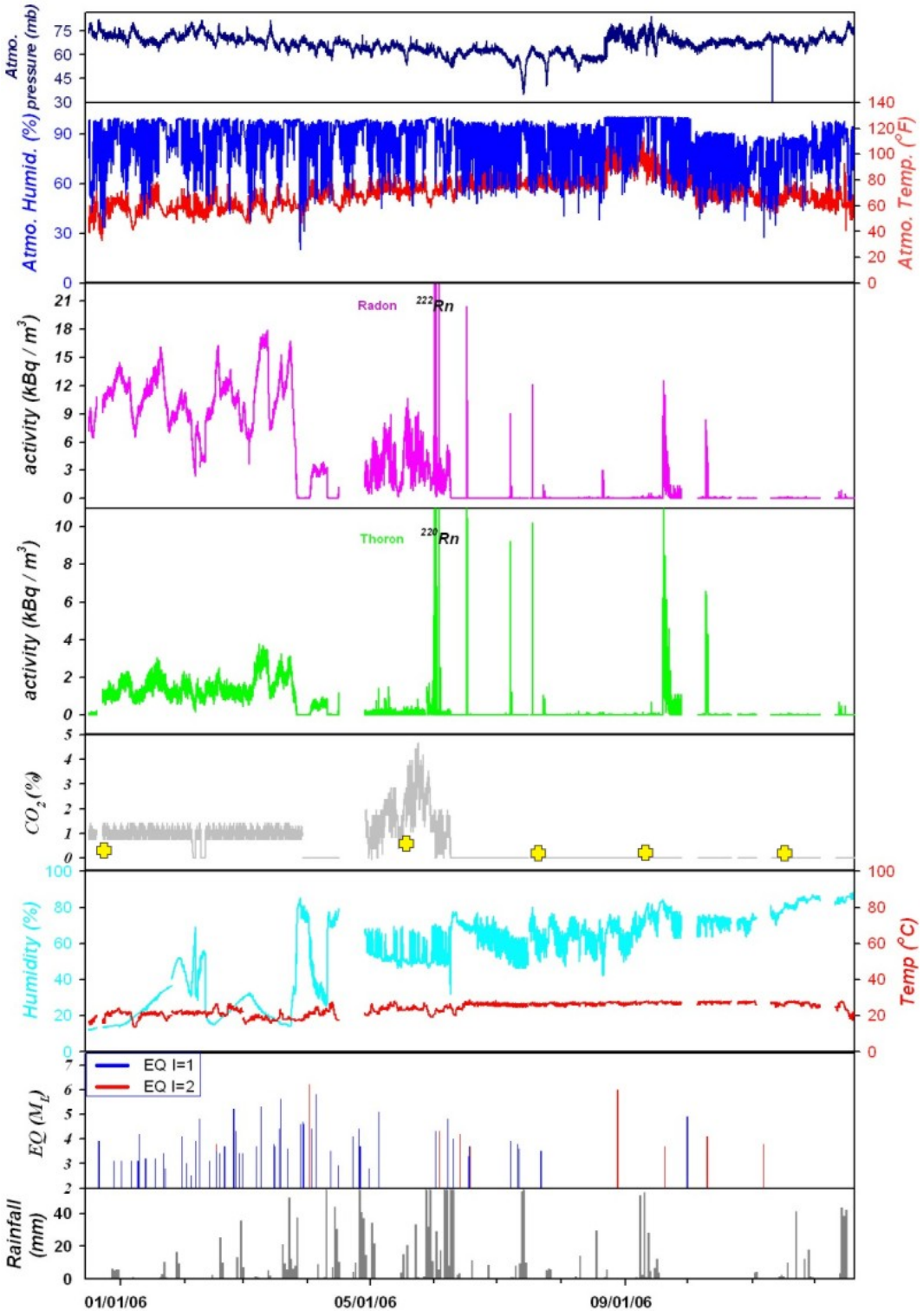


圖 2-73：新竹大平地土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2005/12/16～2006/12/20），黃色十字代表定期採樣的二氧化碳分析結果。

2-5 人工採樣分析結果

分別在中崙濁水潭潭水、中崙濁水潭觀測站之土壤氣、中崙溫泉一號井與大平地觀測站進行定期的人工採樣分析，以確認其組成份(如表 2-1)與連續觀測站的分析結果一致。

表 2-1：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
51221 CL3-S-2	0%	0%	73%	15%	1%	12%	0%	100%
60123 Cl3-S	0%	0%	77%	12%	1%	10%	0%	100%
60208 cl3-S-1	0%	0%	70%	15%	1%	14%	0%	100%
60208 Cl3-S-2	0%	0%	69%	16%	1%	14%	0%	100%
60215 Cl3-S-1	0%	0%	79%	20%	1%	0%	0%	100%
60427 Cl3-S	0%	0%	73%	17%		10%	0%	100%
60513 Cl3-S	0%	0%	71%	16%		12%	0%	100%
60526 Cl3-S	0%	0%	73%	18%		8%	0%	100%
60608 Cl3-S	0%	0%	78%	18%		4%	0%	100%
60622 Cl3-S	0%	0%	81%	17%		2%	0%	100%
60727 Cl3-S	0%	0%	83%	16%		3%	0%	100%
60807 Cl3-S	0%	0%	80%	17%		3%	0%	100%
60815 Cl3-S	0%	0%	81%	17%		2%	0%	100%
60930 Cl3-S	0%	0%	79%	17%		4%	0%	100%
61020 Cl3-S	0%	0%	81%	16%		3%	0%	100%
61118 Cl3-S	0%	0%	80%	16%		4%	0%	100%

CL3-S：中崙濁水潭土壤氣；

表 2-1（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
51221CL3-1	0%	14%	10%	1%	0%	76%	0%	100%
60105 Cl3-2	0%	57%	34%	5%	0%	3%	1%	100%
60125 Cl3-1	0%	12%	5%	1%	0%	82%	0%	100%
60208 Cl3-1	0%	13%	4%	0%	0%	82%	0%	100%
60427 Cl3	0%	20%	36%	12%		32%	0%	100%
60513 Cl3	0%	18%	14%	6%		62%	0%	100%
60608 Cl3	0%	12%	7%	2%		79%	0%	100%
60622 Cl3	0%	13%	6%	2%		78%	0%	100%
60727 Cl3	0%	15%	6%	3%		76%	0%	100%
60807 Cl3	0%	13%	7%	3%		77%	0%	100%
60815 Cl3	0%	14%	5%	2%		79%	0%	100%
60930 Cl3	0%	12%	5%	2%		81%	0%	100%
61020 Cl3	0%	14%	6%	2%		78%	0%	100%
61118 Cl3	0%	13%	6%	3%		78%	0%	100%

CL3：中崙濁水潭

表 2-1（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
51221 Cl3-welll-2	0%	5%	75%	0%	1%	19%	0%	100%
60125 Cl3-welll-1	0%	11%	79%	1%	1%	9%	0%	100%
60105 Cl3-welll	0%	5%	72%	0%	1%	21%	0%	100%
60215 Cl3-welll-1	0%	0%	79%	17%	1%	3%	0%	100%
60215 Cl3-welll-2	0%	0%	79%	17%	1%	3%	0%	100%
60414 Cl3-well	0%	2%	86%	6%		7%	0%	100%
60427 Cl3-well	0%	4%	81%	6%		9%	0%	100%
60513 Cl3-well	0%	2%	79%	16%		3%	0%	100%
60526 Cl3-well	0%	1%	81%	15%		3%	0%	100%
60608 Cl3-well	0%	2%	83%	6%		10%	0%	100%
60727 Cl3-well	0%	3%	79%	6%		12%	0%	100%
60807 Cl3-well	0%	2%	82%	5%		11%	0%	100%
60815 Cl3-well	0%	2%	82%	5%		11%	0%	100%
60930 Cl3-well	0%	3%	75%	4%		18%	0%	100%
61020 Cl3-well	0%	1%	76%	3%		20%	0%	100%
61118 Cl3-well	0%	2%	77%	4%		17%	0%	100%

Well：中崙溫泉一號井

表 2-1（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
60125 TPD-1	0%	0%	83%	16.6%	1%	0.4%	0%	100%
60125 TPD-2	0%	0%	80.2%	19.2%	1%	0.4%	0%	100%
60528 TPD-1	0%	0%	83%	16.5 %		0.5 %	0%	100%
60716 TPD-1	0%	0%	82%	17.8 %		0.2 %	0%	100%
60906 TPD-1	0%	0%	83%	16.8 %		0.2 %	0%	100%
61109 TPD-1	0%	0%	83.4%	16.4 %		0.2 %	0%	100%

TPD：大平地

參、土壤氣體成份初勘結果

3-1 前言

本研究在於對監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，對於梅山、九穹坑斷層地區及觸口斷層斷層帶上找尋敏感及合適的監測站設置地點。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。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 野外採樣

本研究方法參考現有地形圖資料以及已發表之地質圖，將可能有斷層分布的地區進行有計畫的採樣，而每個採樣點之間的間距約400~500公尺，視當地環境而做適當的調整。本研究於2006年的三至五月間，分別在兩個區域共採集了200個以上的土壤氣樣本，其採樣點分佈情形分別如圖3-1、圖3-2與所示。

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

3-3 實驗室分析

將採集的氣樣帶回實驗室後，利用攜帶式氣相層析儀(Gas Chromatography)、與氦氣偵測儀(Helium detector)來進行分析。主要是討論He、CO_2、CH_4、N_2、Ar、O_2 等各種氣體相對的含量的變化情形，並探討其中所代表的意義(Gregory and Durrance, 1985; Etiope and Lombardi, 1995; Giammanco Gurrieri, 1997; Guerra and Lombardi, 2000; Baubron *et al.*, 2002; Etiope and Martinelli, 2002)。其中，我們將會以氦氣的含量來探討地底下是否有斷層與裂隙存在。因為氦氣在大氣中的含量頗為固定(5.24 ppm)，所以如果有偵測到高於這個量的氦氣，便表示可能有更深部的氦氣來源。本研究將之氣體濃度異常值門檻定義為：去除濃度明顯過高的分析值後，將所有分析結果取平均值加上兩倍標準偏差 (達95%的可信度)，當分析值高於此門檻者，可視為異常值。

3-3.1 氦氣偵測儀

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

1、 開機後，三用電表接上後將儀器校正歸零

2、 將進樣的管線連接上儀器主體後，靜待儀器與空氣達成平衡穩定

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

$$0.1\times EXP\ (2.3026\times V) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

備註：1.三用電表可達小數點後三位

2.空氣中氦氣濃度約為 5.24ppm

3.儀器誤差小於 0.3%

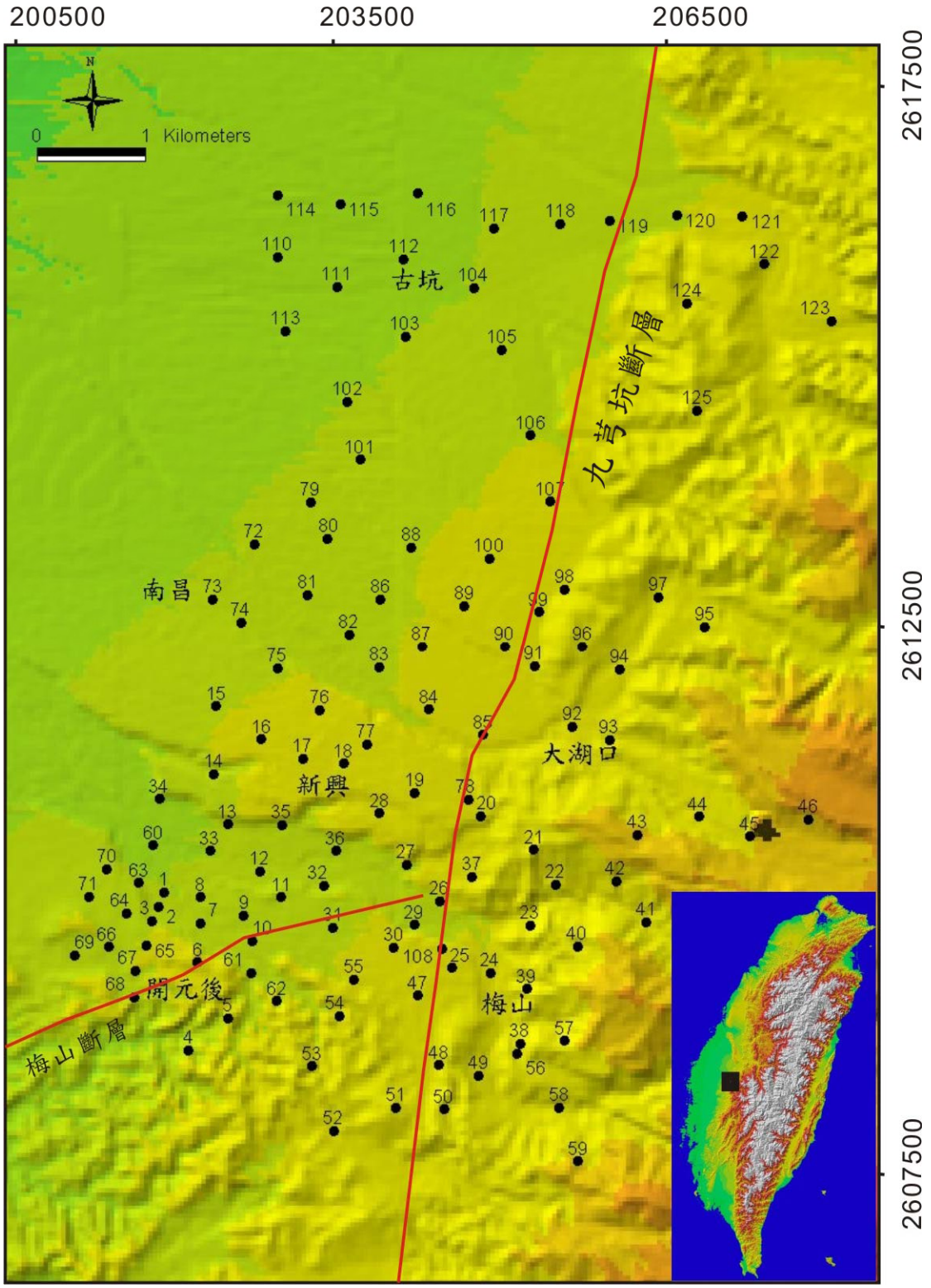


圖3-1：研究區域位於台灣中部梅山-古坑地區，黑點代表每個採樣的位置；數字為樣本編號，採樣時間為2006年二月至三月。

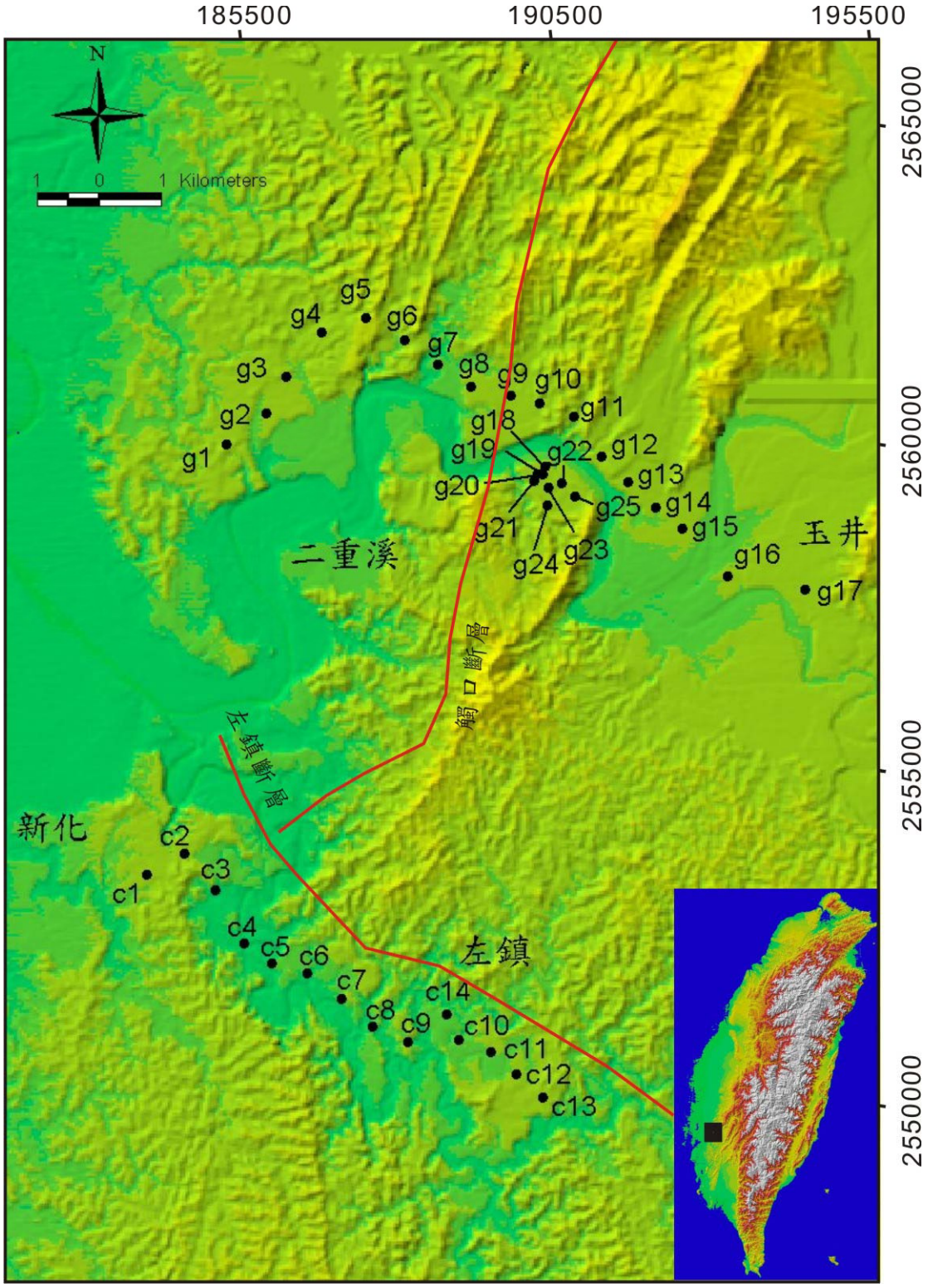


圖3-2：研究區域位於台灣南部梅山玉井-左鎮地區，黑點代表每個採樣的位置；數字為樣本編號，採樣時間為2006年三月至五月。



圖 3-3：野外採樣的實際情形。

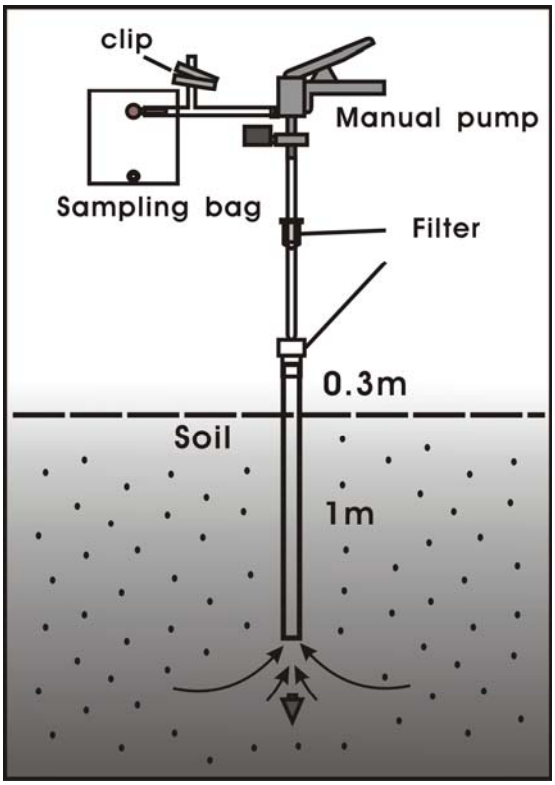


圖 3-4：採樣示意圖。

3-3.2 攜帶式氣相層析儀

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

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

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

由於此型號配有小鋼瓶及充電電池，因此可將儀器直接帶至野外進行現地分析。以上我們一次進樣即可同時分析出樣品中主要的氣體成份，並且於分析樣品完後，做標準氣體分析以檢測檢量線，以確保分析之準確度。

3-3.3 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 Radon 及 Thoron。由於樣本袋屬於短時間的分析，因此我們選擇 Radon (slow) 模式且設定為每 5 分鐘一筆資料持續分析約 1 小時左右，以期在短時間內獲得氡氣的平衡資料，並且每分析一樣本後則分析一空氣樣本使誤差值減至最低。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）。

3-4 結果與討論

初步分析結果如表 3-1、表 3-2 和表 3-3 所示，顯示氫氣、氧氣與甲烷其濃度的變化無法成為尋找斷層的指標氣體；不過，將這幾種氣體與空氣背景值相比較，可作為檢驗採樣成功與否的一種方法。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，如下表 3-4 所示。

表 3-1：梅山-古坑地區土壤氣體成分分析結果									
採樣時間	樣本編號	二度分帶座標 (E / N)		Ar+O2 (%)	N2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)
2006/2/9	m1	201918	2610016	21.95	78.05	0.00	0.00	5.248	14460
2006/2/9	m2	201868	2609877	21.49	78.39	0.00	0.12	5.285	14267
2006/2/9	m3	201808	2609753	21.92	78.08	0.00	0.00	5.236	*
2006/2/9	m4	202148	2608575	20.96	78.09	0.00	0.94	5.236	*
2006/2/9	m5	202507	2608868	21.26	78.18	0.00	0.56	5.285	*
2006/2/9	m6	202229	2609377	20.71	78.32	0.00	0.97	5.321	10030
2006/2/9	m7	202258	2609734	21.90	78.10	0.00	0.00	5.236	4899
2006/2/9	m8	202253	2609968	21.85	78.15	0.00	0.00	5.260	10208
2006/2/9	m9	202651	2609804	20.49	77.87	0.00	1.64	5.297	*
2006/2/9	m10	202730	2609570	21.65	78.35	0.00	0.00	5.236	*
2006/2/9	m11	202992	2609969	19.10	78.40	0.00	2.50	5.285	*
2006/2/9	m12	202793	2610206	21.76	78.24	0.00	0.00	5.236	*
2006/2/9	m13	202504	2610634	22.06	77.94	0.00	0.00	5.236	*
2006/2/9	m14	202377	2611089	21.80	78.20	0.00	0.00	5.248	*
2006/2/9	m15	202397	2611711	22.10	77.90	0.00	0.00	5.236	*
2006/2/9	m16	202808	2611408	21.96	78.04	0.00	0.00	5.236	*
2006/2/9	m17	203187	2611233	21.79	78.21	0.00	0.00	5.248	*
2006/2/9	m18	203560	2611188	21.48	78.33	0.00	0.19	5.236	*
2006/2/9	m19	204208	2610920	20.97	78.17	0.00	0.85	5.236	*
2006/2/9	m20	204815	2610706	21.71	78.29	0.00	0.00	5.236	*
2006/2/9	m21	205298	2610400	21.67	78.33	0.00	0.00	5.236	*
2006/2/9	m22	205494	2610083	20.82	78.39	0.00	0.79	5.248	*
2006/2/9	m23	205261	2609713	21.77	78.23	0.00	0.00	5.236	*
2006/2/10	m24	204898	2609281	20.44	77.84	0.00	1.72	5.236	*
2006/2/10	m25	204546	2609323	21.05	77.64	0.00	1.30	5.236	*
2006/2/10	m26	204437	2609931	21.39	78.33	0.00	0.29	5.285	*
2006/2/10	m27	204132	2610265	20.74	78.19	0.00	1.07	5.236	*
2006/2/10	m28	203887	2610734	22.05	77.95	0.00	0.00	5.285	*
2006/2/10	m29	204205	2609717	21.63	78.25	0.00	0.12	5.236	*
2006/2/10	m30	204017	2609509	21.17	78.23	0.00	0.60	5.248	*
2006/2/10	m31	203464	2609694	21.23	78.26	0.00	0.52	5.260	*
2006/2/10	m32	203381	2610073	21.87	78.13	0.00	0.00	5.297	*
2006/2/10	m33	202342	2610390	21.06	78.23	0.00	0.71	5.260	8493
2006/2/10	m34	201878	2610864	15.73	79.96	0.00	4.30	5.333	7816
2006/2/10	m35	202997	2610631	21.71	78.19	0.00	0.10	5.309	*
2006/2/10	m36	203492	2610391	21.74	78.26	0.00	0.00	5.321	*

表 3-1（續）：梅山-古坑地區土壤氣體成分分析結果									
採樣時間	樣本編號	二度分帶座標 (E / N)		Ar+O2 (%)	N2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)
2006/2/10	m37	204731	2610158	19.64	78.39	0.00	1.97	5.236	*
2006/2/10	m38	205172	2608635	21.81	78.19	0.00	0.00	5.297	*
2006/2/10	m39	205231	2609134	20.75	78.05	0.00	1.20	5.248	*
2006/2/10	m40	205695	2609523	21.32	78.25	0.00	0.43	5.236	*
2006/2/10	m41	206325	2609740	4.09	87.55	0.00	8.36	5.483	24540
2006/2/10	m42	206046	2610116	19.37	77.67	0.00	2.96	5.236	*
2006/2/10	m43	206240	2610536	20.81	78.01	0.00	1.18	5.236	*
2006/2/10	m44	206800	2610705	21.52	78.12	0.00	0.36	5.236	*
2006/2/10	m45	207266	2610521	21.57	78.17	0.00	0.25	5.224	*
2006/2/16	m46	207799	2610679	21.65	78.35	0.00	0.00	5.248	*
2006/2/16	m47	204238	2609074	20.89	78.21	0.00	0.90	5.236	14127
2006/2/16	m48	204430	2608439	21.40	78.37	0.00	0.23	5.236	8049
2006/2/16	m49	204794	2608342	21.19	78.24	0.00	0.57	5.236	9151
2006/2/16	m50	204476	2608038	15.98	79.87	0.00	4.15	5.236	12990
2006/2/16	m51	204039	2608052	21.63	78.34	0.00	0.03	5.248	10382
2006/2/16	m52	203472	2607839	21.88	78.12	0.00	0.00	5.248	11492
2006/2/16	m53	203271	2608430	20.96	78.28	0.00	0.76	5.236	11285
2006/2/16	m54	203519	2608886	18.82	78.39	0.00	2.79	5.236	17686
2006/2/16	m55	203656	2609221	21.39	78.12	0.00	0.49	5.236	12359
2006/2/16	m56	205146	2608540	20.31	78.40	0.00	1.29	5.260	15204
2006/2/16	m57	205581	2608660	21.59	78.39	0.00	0.02	5.236	9202
2006/2/16	m58	205530	2608051	20.84	78.12	0.00	1.04	5.236	*
2006/2/16	m59	205696	2607565	21.01	78.69	0.00	0.30	5.236	30259
2006/2/16	m60	201822	2610441	21.45	78.40	0.00	0.15	5.236	6949
2006/2/16	m61	202715	2609281	21.99	78.01	0.00	0.00	5.248	9449
2006/2/16	m62	202951	2609021	20.85	78.02	0.00	1.13	5.236	20494
2006/2/16	m63	201692	2610099	21.40	77.84	0.00	0.76	5.236	16500
2006/2/16	m64	201575	2609823	18.56	81.44	0.00	0.00	5.260	32775
2006/2/16	m65	201766	2609530	18.64	77.98	0.00	3.38	5.236	24697
2006/2/17	m66	201422	2609514	21.07	78.12	0.00	0.81	5.321	15129
2006/2/17	m67	201657	2609301	21.81	78.19	0.00	0.00	5.236	17367
2006/2/17	m68	201653	2609056	21.94	78.06	0.00	0.00	5.236	14689
2006/2/17	m69	201110	2609442	21.64	78.29	0.00	0.07	5.236	8843
2006/2/17	m70	201403	2610224	21.77	78.23	0.00	0.00	5.285	13866
2006/2/17	m71	201241	2609974	20.46	78.06	0.00	1.47	5.236	9902
2006/2/17	m72	202747	2613194	21.70	78.30	0.00	0.00	5.236	6639

表 3-1（續）：梅山-古坑地區土壤氣體成分分析結果									
採樣時間	樣本編號	二度分帶座標 (E / N)		Ar+O2 (%)	N2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)
2006/2/17	m73	202370	2612689	21.90	78.10	0.00	0.00	5.236	32889
2006/2/17	m74	202625	2612481	22.00	78.00	0.00	0.00	5.236	*
2006/2/17	m75	202954	2612056	21.69	78.31	0.00	0.00	5.248	28771
2006/2/17	m76	203345	2611674	21.57	78.34	0.00	0.10	5.236	23240
2006/2/17	m77	203772	2611363	21.49	78.50	0.00	0.02	5.236	31665
2006/2/17	m78	204699	2610859	17.39	79.22	0.00	3.39	5.321	13904
2006/2/17	m79	203257	2613578	21.97	78.03	0.00	0.00	5.236	6858
2006/2/17	m80	203407	2613244	21.86	78.14	0.00	0.00	5.236	2559
2006/2/17	m81	203233	2612734	21.95	78.05	0.00	0.00	5.248	6695
2006/2/17	m82	203611	2612369	21.91	78.09	0.00	0.00	5.236	*
2006/3/8	m83	203888	2612068	22.11	77.89	0.00	0.00	5.248	7521
2006/3/8	m84	204343	2611681	22.10	77.90	0.00	0.00	5.248	5275
2006/3/8	m85	204835	2611448	22.03	77.97	0.00	0.00	5.236	9208
2006/3/8	m86	203896	2612692	21.01	78.69	0.00	0.30	5.248	17459
2006/3/8	m87	204276	2612258	21.73	78.27	0.00	0.00	5.236	15183
2006/3/8	m88	204179	2613168	18.96	78.76	0.00	2.28	5.236	16656
2006/3/8	m89	204660	2612630	20.38	78.44	0.00	1.18	5.236	12630
2006/3/8	m90	205030	2612261	21.91	78.09	0.00	0.00	5.248	32888
2006/3/8	m91	205303	2612081	20.98	78.31	0.00	0.71	5.321	24119
2006/3/8	m92	205648	2611523	21.55	78.45	0.00	0.00	5.236	5149
2006/3/8	m93	205987	2611400	21.98	78.02	0.00	0.00	5.248	8787
2006/3/8	m94	206083	2612050	19.92	79.67	0.00	0.41	5.272	20635
2006/3/8	m95	206859	2612437	21.74	78.26	0.00	0.00	5.224	11585
2006/3/8	m96	205742	2612259	20.81	78.88	0.00	0.31	5.236	14747
2006/3/9	m97	206437	2612709	22.10	77.90	0.00	0.00	5.236	4439
2006/3/9	m98	205581	2612779	21.76	78.24	0.00	0.00	5.248	9463
2006/3/9	m99	205340	2612575	21.62	78.38	0.00	0.00	5.248	14753
2006/3/9	m100	204888	2613063	21.98	78.02	0.00	0.00	5.236	18689
2006/3/9	m101	203710	2613965	21.64	78.36	0.00	0.00	5.236	10078
2006/3/9	m102	203591	2614494	21.81	78.19	0.00	0.00	5.236	8342
2006/3/9	m103	204124	2615089	21.13	78.04	0.00	0.83	5.248	14292
2006/3/9	m104	204746	2615533	22.09	77.91	0.00	0.00	5.236	4411
2006/3/9	m105	205000	2614962	22.01	77.99	0.00	0.00	5.236	5512
2006/3/9	m106	205264	2614186	22.12	77.88	0.00	0.00	5.248	3055
2006/3/9	m107	205447	2613581	22.08	77.92	0.00	0.00	5.260	3534
2006/3/9	m108	204459	2609503	21.75	78.25	0.00	0.00	5.236	9636

表 3-1（續）：梅山-古坑地區土壤氣體成分分析結果									
採樣時間	樣本編號	二度分帶座標 (E / N)		Ar+O2 (%)	N2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)
2006/3/9	m110	202954	2615808	19.21	79.31	0.00	1.48	5.309	14563
2006/3/9	m111	203500	2615537	21.18	78.39	0.00	0.43	5.248	*
2006/3/9	m112	204110	2615794	21.92	78.08	0.00	0.00	5.248	6930
2006/3/9	m113	203032	2615140	20.99	78.32	0.00	0.69	5.236	32422
2006/3/10	m114	202961	2616376	22.00	78.00	0.00	0.00	5.236	7114
2006/3/10	m115	203533	2616295	21.86	78.14	0.00	0.00	5.248	5629
2006/3/10	m116	204233	2616393	22.07	77.93	0.00	0.00	5.236	6240
2006/3/10	m117	204937	2616069	21.92	78.08	0.00	0.00	5.248	6238
2006/3/10	m118	205538	2616117	21.95	78.05	0.00	0.00	5.236	4379
2006/3/10	m119	205986	2616140	22.01	77.99	0.00	0.00	5.248	4778
2006/3/10	m120	206601	2616193	22.07	77.93	0.00	0.00	5.248	6554
2006/3/10	m121	207200	2616183	22.01	77.99	0.00	0.00	5.236	6328
2006/3/10	m122	207395	2615746	20.80	78.61	0.00	0.59	5.236	15739
2006/3/10	m123	208008	2615228	21.88	78.12	0.00	0.00	5.236	6912
2006/3/10	m124	206698	2615385	22.02	77.98	0.00	0.00	5.236	12856
2006/3/10	m125	206783	2614415	21.89	78.11	0.00	0.00	5.236	6544

表 3-2：玉井-左鎮地區土壤氣體成分分析結果（一）									
採樣時間	樣本編號	二度分帶座標 (E / N)		Ar+O2 (%)	N2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)
2006/3/30	y1	185360	2559982	21.89	78.11	0.00	0.00	5.236	8999
2006/3/30	y2	185997	2560479	21.18	78.48	0.00	0.34	5.236	28688
2006/3/30	y3	186317	2561068	21.45	78.55	0.00	0.00	5.236	16679
2006/3/30	y4	186873	2561768	21.59	78.41	0.00	0.00	5.272	11234
2006/3/30	y5	187591	2562000	21.62	78.38	0.00	0.00	5.236	14097
2006/3/30	y6	188210	2561640	20.93	78.14	0.00	0.00	5.236	28315
2006/3/30	y7	188728	2561252	21.98	78.02	0.00	0.00	5.236	8013
2006/3/30	y8	189264	2560904	21.56	78.44	0.00	0.00	5.236	15014
2006/3/30	y9	189900	2560760	21.63	78.37	0.00	0.00	5.248	13838
2006/3/30	y10	190359	2560643	21.94	78.06	0.00	0.00	5.272	31188
2006/3/30	y11	190890	2560434	21.39	78.61	0.00	0.00	5.236	14394
2006/3/30	y12	191341	2559788	21.08	78.37	0.00	0.55	5.236	10790
2006/3/30	y13	191765	2559383	21.77	78.23	0.00	0.00	5.236	14809
2006/3/30	y14	192194	2558991	21.41	78.59	0.00	0.00	5.236	9797
2006/3/30	y15	192632	2558643	22.03	77.97	0.00	0.00	5.248	16330
2006/3/30	y16	193346	2557895	21.94	78.06	0.00	0.00	5.236	18880
2006/3/30	y17	194571	2557676	22.26	77.74	0.00	0.00	5.236	24670
2006/3/30	y18	190442	2559630	21.89	78.11	0.00	0.00	5.236	17659
2006/3/30	y19	190405	2559518	22.09	77.91	0.00	0.00	5.260	12446
2006/3/30	y20	190309	2559508	22.07	77.93	0.00	0.00	5.309	12223
2006/3/30	y21	190267	2559409	21.97	78.03	0.00	0.00	5.236	15366
2006/3/30	y22	190707	2559382	22.12	77.88	0.00	0.00	5.260	11155
2006/3/30	y23	190488	2559301	21.96	78.04	0.00	0.00	5.260	24112
2006/3/30	y24	190478	2559018	21.57	78.20	0.00	0.00	5.236	25488
2006/3/30	y25	190914	2559159	21.96	78.04	0.00	0.00	5.248	11419
2006/3/31	c1	184089	2553131	22.04	77.96	0.00	0.00	5.248	12303
2006/3/31	c2	184695	2553475	21.35	78.54	0.00	0.11	5.309	13395
2006/3/31	c3	185182	2552891	21.76	78.24	0.00	0.00	5.248	12226
2006/3/31	c4	185639	2552048	21.70	78.30	0.00	0.00	5.248	14735
2006/3/31	c5	186090	2551726	21.66	78.34	0.00	0.00	5.236	13827
2006/3/31	c6	186647	2551574	21.78	78.22	0.00	0.00	5.285	13616
2006/3/31	c7	187192	2551171	21.92	78.08	0.00	0.00	5.236	9730
2006/3/31	c8	187696	2550732	22.05	77.95	0.00	0.00	5.297	9298
2006/3/31	c9	188250	2550476	21.36	78.50	0.00	0.13	5.236	18356
2006/3/31	c10	189073	2550507	22.07	77.93	0.00	0.00	5.236	11275
2006/3/31	c11	189585	2550315	16.63	79.01	0.00	4.36	5.248	24964
2006/3/31	c12	189980	2549967	21.94	78.06	0.00	0.00	5.236	24414
2006/3/31	c13	190409	2549604	21.60	78.40	0.00	0.00	5.236	38857
2006/3/31	c14	188877	2550926	21.91	78.09	0.00	0.00	5.236	24425

表 3-3：玉井-左鎮地區土壤氣體成分分析結果（二）									
採樣時間	樣本編號	二度分帶座標 (E / N)		Ar+O2 (%)	N2 (%)	CH4 (%)	CO2 (%)	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)
2006/5/10	y1	185360	2559982	21.48	78.52	0.00	0.00	5.236	5190
2006/5/10	y2	185997	2560479	14.99	78.64	0.00	6.37	5.236	23790
2006/5/10	y3	186317	2561068	12.72	81.10	0.00	6.18	5.321	33691
2006/5/10	y4	186873	2561768	18.27	79.07	0.00	2.66	5.236	51319
2006/5/10	y5	187591	2562000	20.13	78.70	0.00	1.17	5.236	16234
2006/5/10	y6	188210	2561640	17.37	78.61	0.00	4.02	5.236	30988
2006/5/10	y7	188728	2561252	20.56	78.83	0.00	0.62	5.236	18284
2006/5/10	y8	189264	2560904	17.47	79.82	0.00	2.71	5.272	23297
2006/5/10	y9	189900	2560760	21.04	78.69	0.00	0.28	5.236	16414
2006/5/10	y10	190359	2560643	17.43	80.49	0.00	2.08	5.321	50849
2006/5/10	y11	190890	2560434	16.32	81.15	0.00	2.52	5.272	33844
2006/5/10	y12	191341	2559788	13.59	81.97	0.00	4.44	5.297	36696
2006/5/10	y13	191765	2559383	21.77	78.23	0.00	0.00	5.236	10386
2006/5/10	y14	192194	2558991	8.59	81.45	0.00	9.96	5.297	35600
2006/5/10	y15	192632	2558643	19.99	79.56	0.00	0.46	5.260	25426
2006/5/10	y16	193346	2557895	14.84	81.38	0.00	3.78	5.346	53911
2006/5/10	y17	194571	2557676	22.26	77.74	0.00	0.00	5.236	11882
2006/5/10	y18	190442	2559630	19.69	78.40	0.00	1.92	5.236	20725
2006/5/10	y19	190405	2559518	20.66	78.85	0.00	0.49	5.236	19643
2006/5/10	y20	190309	2559508	19.43	79.07	0.00	1.50	5.224	15484
2006/5/10	y21	190267	2559409	16.18	78.35	0.00	5.47	5.297	25122
2006/5/10	y22	190707	2559382	18.86	78.82	0.00	2.32	5.236	18885
2006/5/10	y23	190488	2559301	19.02	78.80	0.00	2.18	5.236	18212
2006/5/10	y24	190478	2559018	15.61	79.76	0.00	4.63	5.260	27975
2006/5/10	y25	190914	2559159	17.80	78.83	0.00	3.37	5.236	19827
2006/5/10	y26	190173	2559563	19.78	78.96	0.00	1.26	5.236	31302
2006/5/11	c1	184089	2553131	21.68	78.32	0.00	0.00	5.236	11746
2006/5/11	c2	184695	2553475	12.13	79.60	0.00	8.26	5.236	24129
2006/5/11	c3	185182	2552891	16.58	80.54	0.00	2.88	5.297	30197
2006/5/11	c4	185639	2552048	12.29	81.01	0.00	6.70	5.383	41191
2006/5/11	c5	186090	2551726	14.25	79.86	0.00	5.89	5.236	19539
2006/5/11	c6	186647	2551574	18.72	78.68	0.00	2.60	5.236	25562
2006/5/11	c7	187192	2551171	20.19	77.70	0.00	2.11	5.212	14092
2006/5/11	c8	187696	2550732	21.76	78.24	0.00	0.00	5.236	11591
2006/5/11	c9	188250	2550476	14.56	81.37	0.00	4.07	5.236	10887
2006/5/11	c10	189073	2550507	20.20	78.56	0.00	1.23	5.236	25446
2006/5/11	c11	189585	2550315	15.10	79.30	0.00	5.60	5.236	33255
2006/5/11	c12	189980	2549967	20.39	78.67	0.00	0.93	5.236	57200
2006/5/11	c13	190409	2549604	16.44	79.37	0.00	4.19	5.236	34284

表 3-4：土壤氣體成份統計分析結果

梅山-古坑地區				
	He (ppm)	Rn (Bq/m^3)	CO_2 (%)	N_2 (%)
Mean	5.249	11305	0.43	78.23
Std. dev.	0.0236	5724	0.73	0.36
Mean + 2σ	5.296	22753	1.90	78.94
玉井地區（一）				
	He (ppm)		Rn (Bq/m^3)	
Mean	5.248		15606	
Std. dev.	0.0198		5830	
Mean + 2σ	5.288		27266	
玉井地區（二）				
	He (ppm)		Rn (Bq/m^3)	
Mean	5.239		18634	
Std. dev.	0.0194		5841	
Mean + 2σ	5.278		30317	
左鎮地區（一）				
	He (ppm)		Rn (Bq/m^3)	
Mean	5.248		15582	
Std. dev.	0.0198		5617	
Mean + 2σ	5.288		26817	
左鎮地區（二）				
	He (ppm)		Rn (Bq/m^3)	
Mean	5.239		17874	
Std. dev.	0.0194		6530	
Mean + 2σ	5.278		30934	

分析結果顯示，本研究於梅山-古坑地區所採集之土壤氣樣本中所含之氦氣、氡氣、二氧化碳和氮氣濃度在特定的位置處皆有異常值出現，如圖 3-5、圖 3-7、圖 3-9 圖 3-11 所示。從圖 3-6、圖 3-8、圖 3-10 圖 3-12 的等濃度分佈圖，同樣也發現高濃度的位置都出現特定的區塊中呈現富集的現象，因此我們可從中判斷何處為氣體逸氣明顯的位置，並進而在這些地方進行定期的採樣以確認其敏感度。

圖 3-13 顯示，本研究區域的土壤氣體除了地表之空氣成份以外，還可以辨識出兩個端成份成份，一為來自深斷裂的氣體，其所含之氦氣由二氧化碳攜帶至地表，故而氦氣異常程度隨著二氧化碳含量增高而增加；另一群則源於淺破裂的氣體，其所含之氦氣濃度並未隨著二氧化碳含量升高而有明顯變化，顯示其為淺處的來源。而氮氣與二氧化碳之關係為一正相關，氮氣隨著二氧化碳的升高而升高，顯示二氧化碳與氮氣都可能為氦氣之『攜行氣體』（Carrier gas）。

圖 3-14 則是玉井-左鎮地區的氦氣濃度異常分佈圖，圖 3-14(左圖)為 2006 年 3 月 30 日、31 日採集的樣本而圖 3-14(右圖)則是 2006 年 5 月 11 日、12 日，同樣發現於特定的位置氦氣濃度都有異常，而綜合兩次的變化情形，其中編號 g10（位置見圖 3-2）兩次濃度皆為異常。此外，圖 3-15 則是玉井-左鎮地區的氡氣濃度異常分佈圖，圖 3-15(左圖)為 2006 年 3 月 30 日、31 日採集的樣本而圖 3-15(右圖)則是 2006 年 5 月 11 日、12 日，同樣於特定的位置濃度都呈現異常，而編號 g10 的氡氣變化也如氦氣一般，兩次皆呈現異常狀態。因此我們可從中判斷何處為氣體逸氣明顯的位置，並進而在這些地方進行定期的採樣以確認其敏感度。

3-5 小結

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 Baubron *et al*., 2002; Walia *et al*., 2005; Fu *et al*., 2006）。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。

綜合上述結果可得知，氦氣和氮氣濃度高的地點可能就適合設置觀測站，再者，日後觀測站的長期分析是以氡氣為主，而氦氣濃度異常的地點通常意味著氡氣也會有相似的成果，因此我們可利用此特性對於氣體反應叫敏感的位置進行數次的採樣分析，以期獲得最合適的設站地點。如圖從上述的結果可知編號 41（見圖 3-1）的

氣體逸氣明顯，因此進行定期採分析，從表 3-5 土壤氣體變化的結果可知編號 41 的位置為最適合進行長期觀測的地點；而編號 g10 為另一地區唯一持續呈現異常，因此為此區最適合設置觀測站的優先地點。圖 3-16 和圖 3-17 分別顯示編號 41（位於久力橋旁的空地）與編號 g10 的周遭環境。不過，在後續的用地取得部分關於編號 g10 的用地取得一直遭遇挫折，不斷的與地主斡旋且同時間尋找新的替代位置，在經過多方面的考慮和交涉後，最後決定在觸口斷層沿線上的二溪國小吉林分校校區內設置另一觀測站(位置如圖 3-14、圖 3-15 中的星號所示)。

終於將本年度的兩座氣體地球化學觀測站順利設置完成，分別命名為嘉義梅山觀測站與台南二溪觀測站。圖 3-18 與圖 3-19 分別顯示梅山觀測站和二溪觀測站的設置過程與儀器實際配置情形。

表 3-5：編號 M41 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)
2006/2/10	m41	4.09	87.55	0.00	8.36	5.483	24540
2006/2/16	m41	6.54	84.41	0.00	9.05	5.433	25446
2006/3/8	m41	16.17	80.54	0.00	3.29	5.408	29245
2006/3/30	m41	16.96	81.25	0.00	1.79	5.546	34735
2006/5/11	m41	4.51	85.91	0.00	9.58	5.433	40307
2006/5/12	m41	5.09	85.43	0.00	9.48	5.408	40110
2006/6/7	m41	4.23	89.59	0.00	6.18	5.458	28344

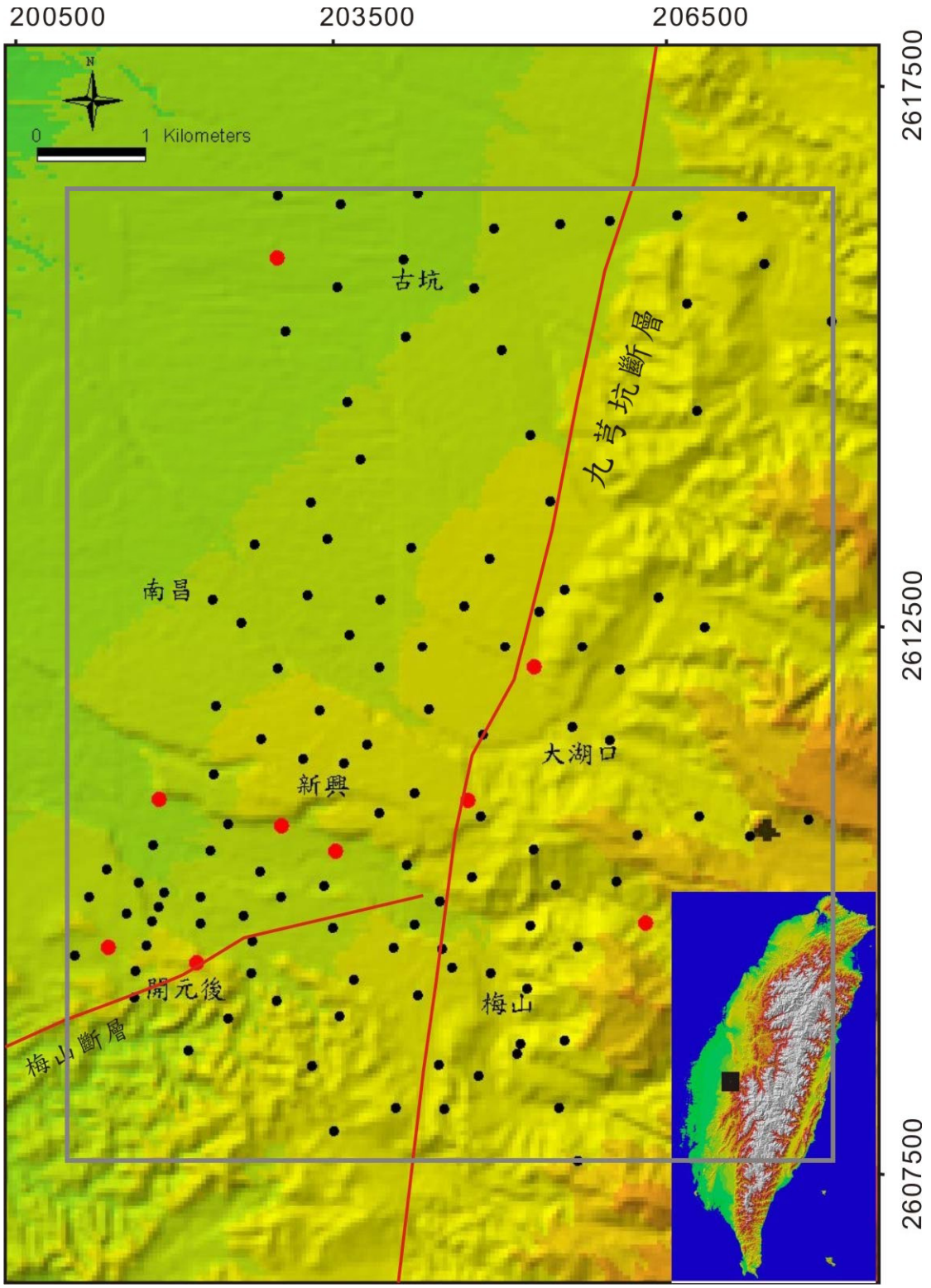


圖 3-5：梅山-古坑地區土壤氣體氦氣(He)濃度異常分佈圖，紅色圓形為大於平均值加兩個標準偏差，灰框為等濃度分佈圖的範圍。

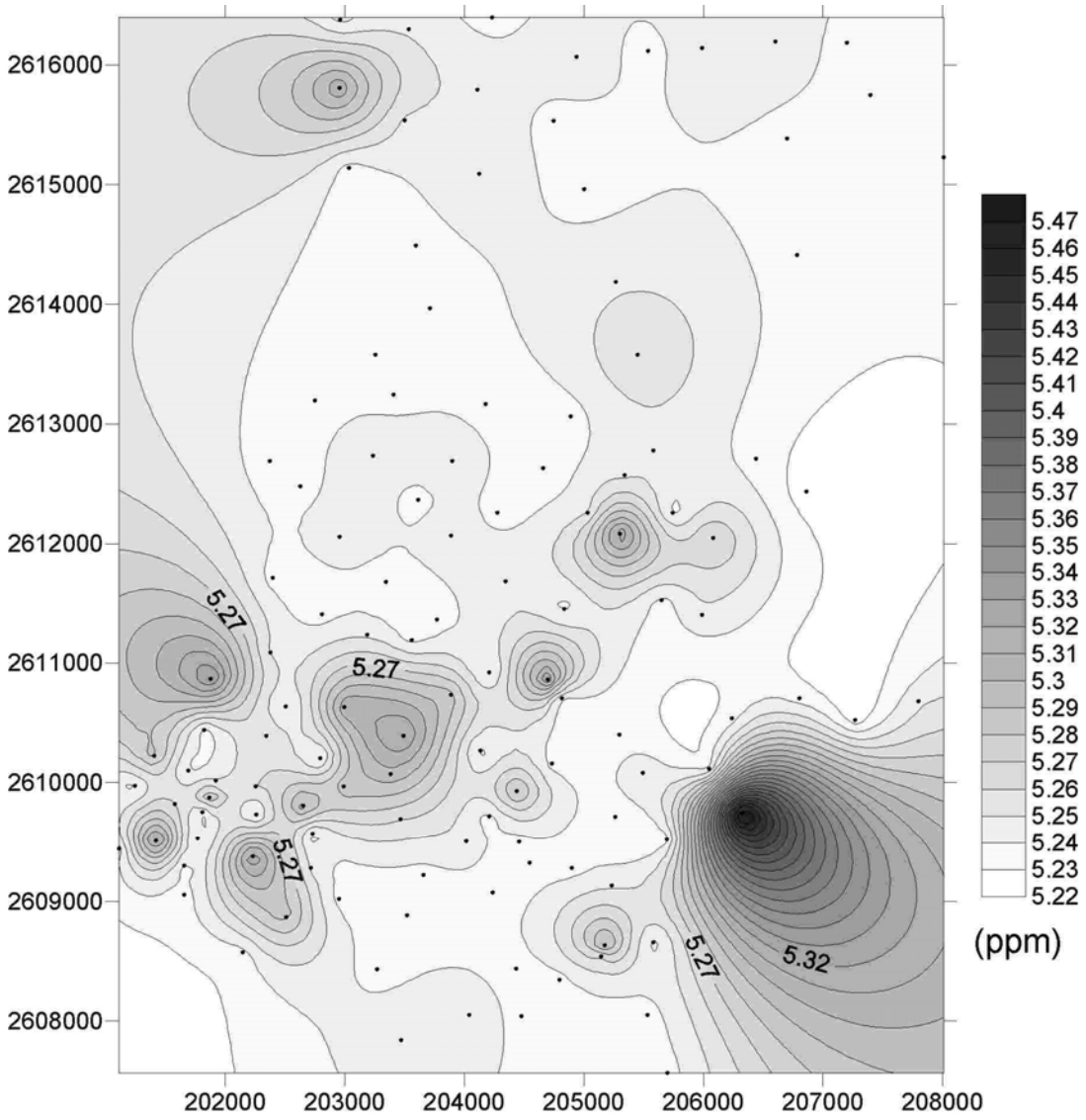


圖 3-6：梅山-古坑地區土壤氣體氦氣(He)等濃度分佈圖。

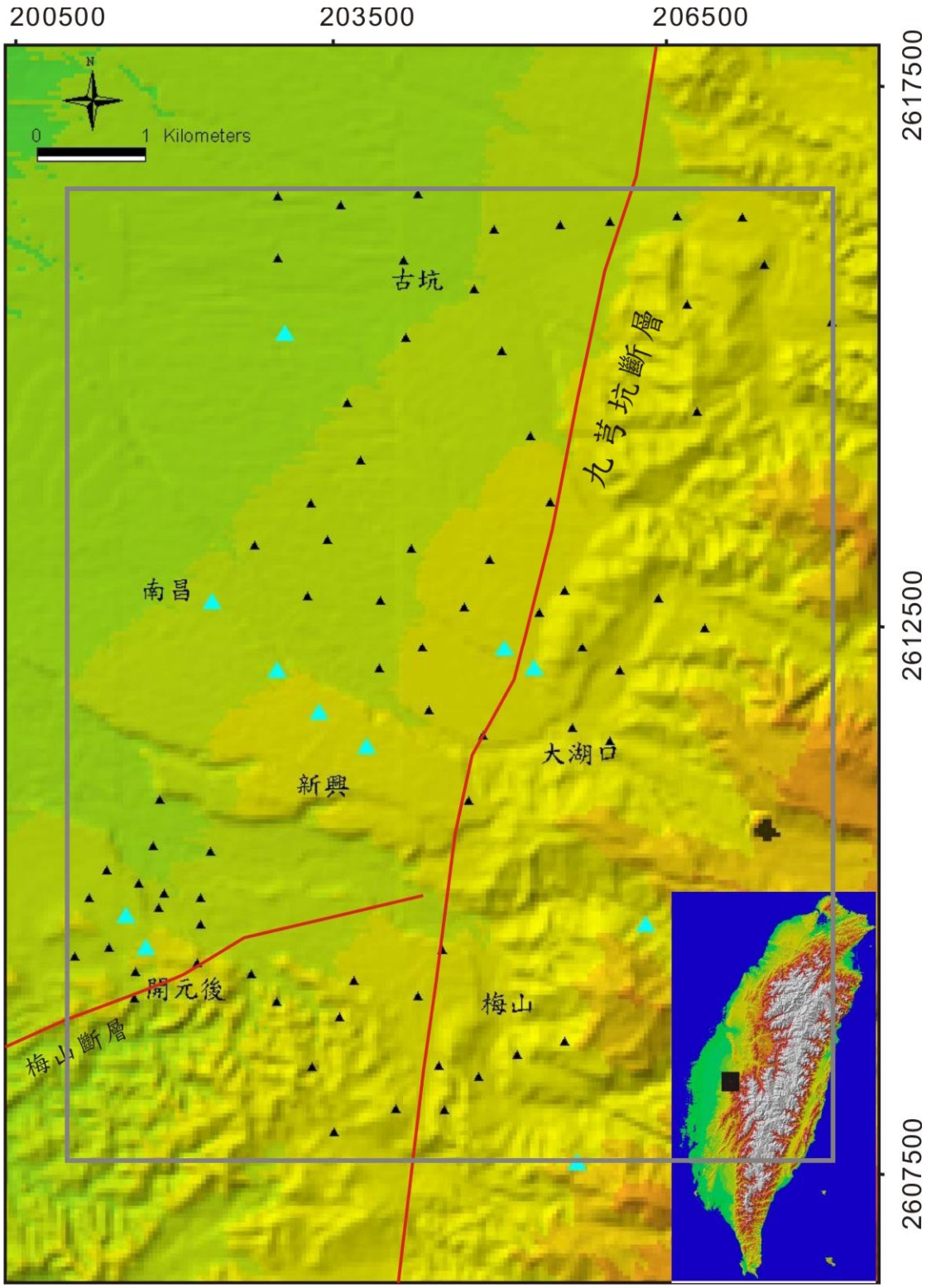


圖 3-7：梅山-古坑地區土壤氣體氡氣(Rn)濃度異常分佈圖，淺藍色三角形為大於平均值加上兩個標準偏差，灰框為等濃度分佈圖的範圍。

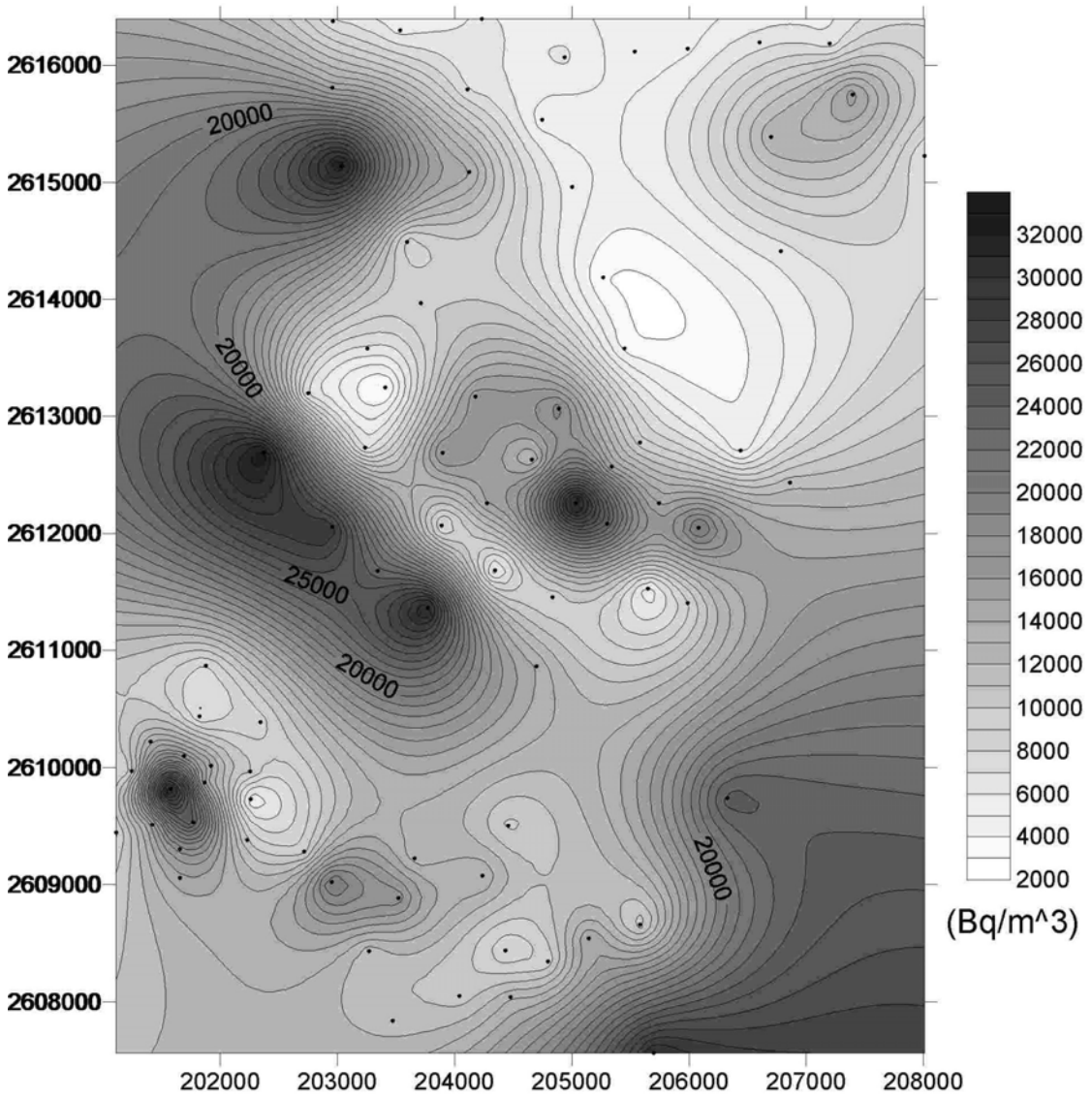


圖 3-8：梅山-古坑地區土壤氣體氡氣(Rn)等濃度分佈圖。

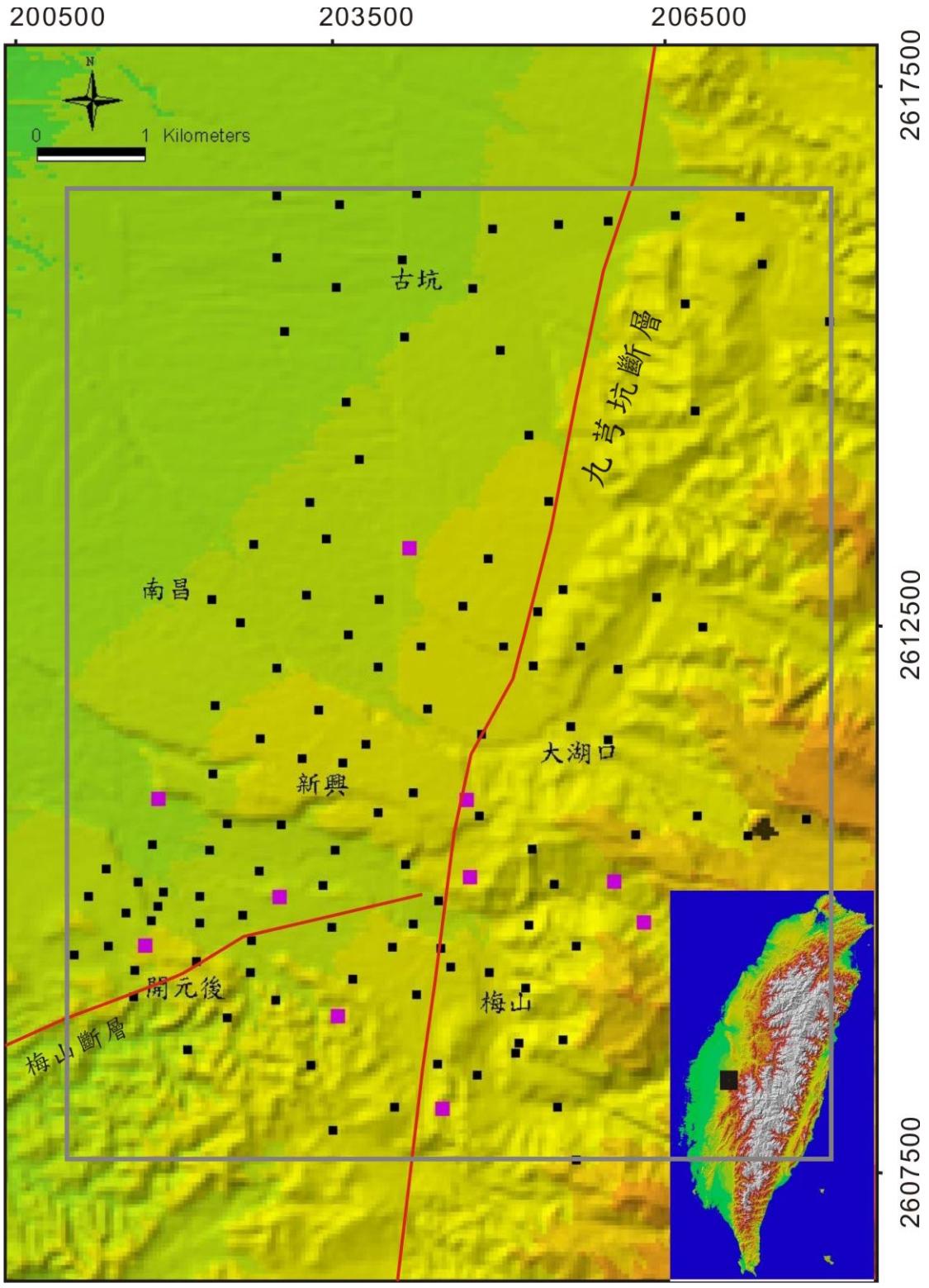


圖 3-9：梅山-古坑地區土壤氣體二氧化碳(CO_2)濃度異常分佈圖，紫色方形為大於平均值加上兩個標準偏差，灰框為等濃度分佈圖的範圍。

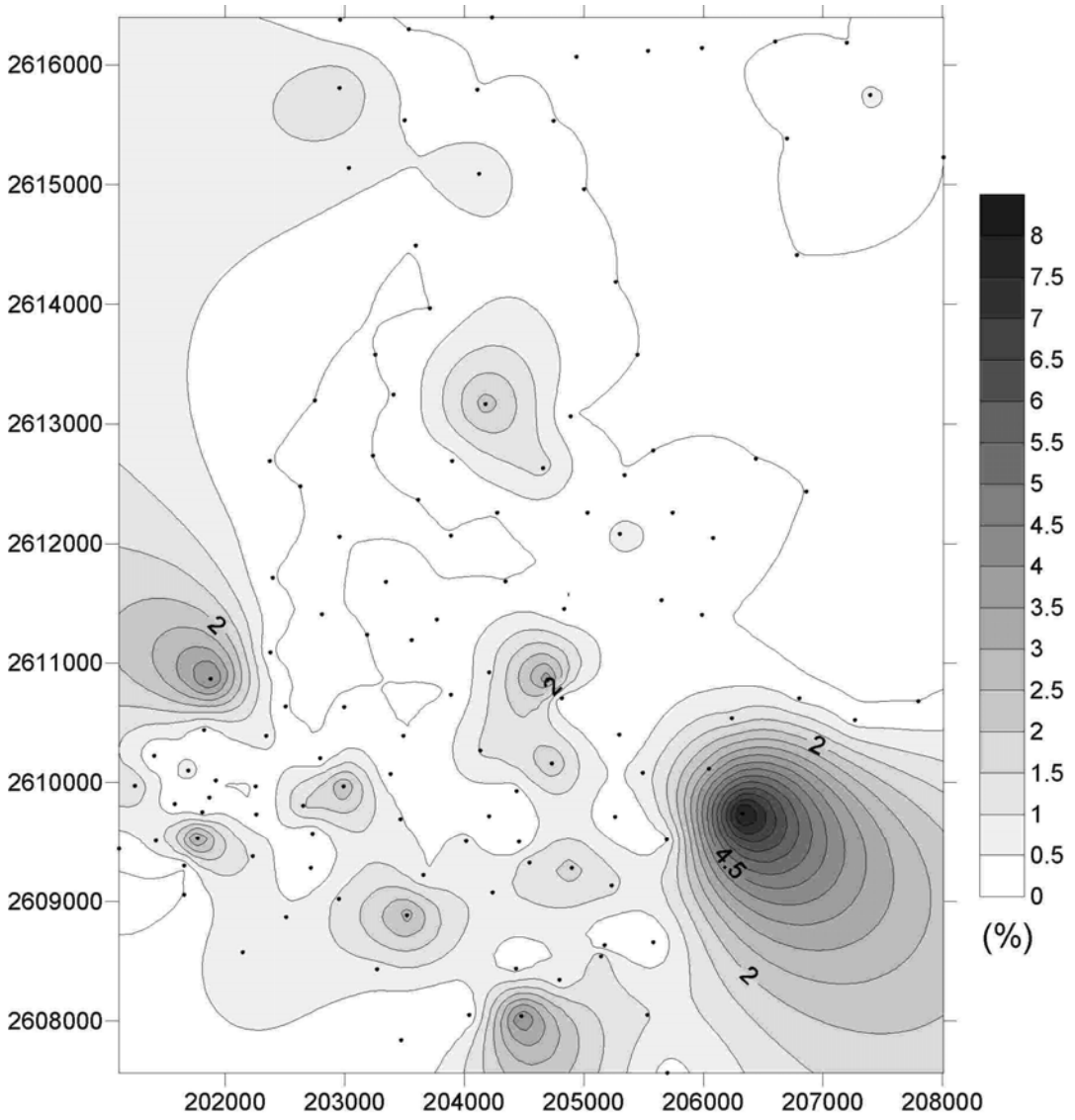


圖 3-10：梅山-古坑地區土壤氣體二氧化碳(CO_2)等濃度分佈圖。

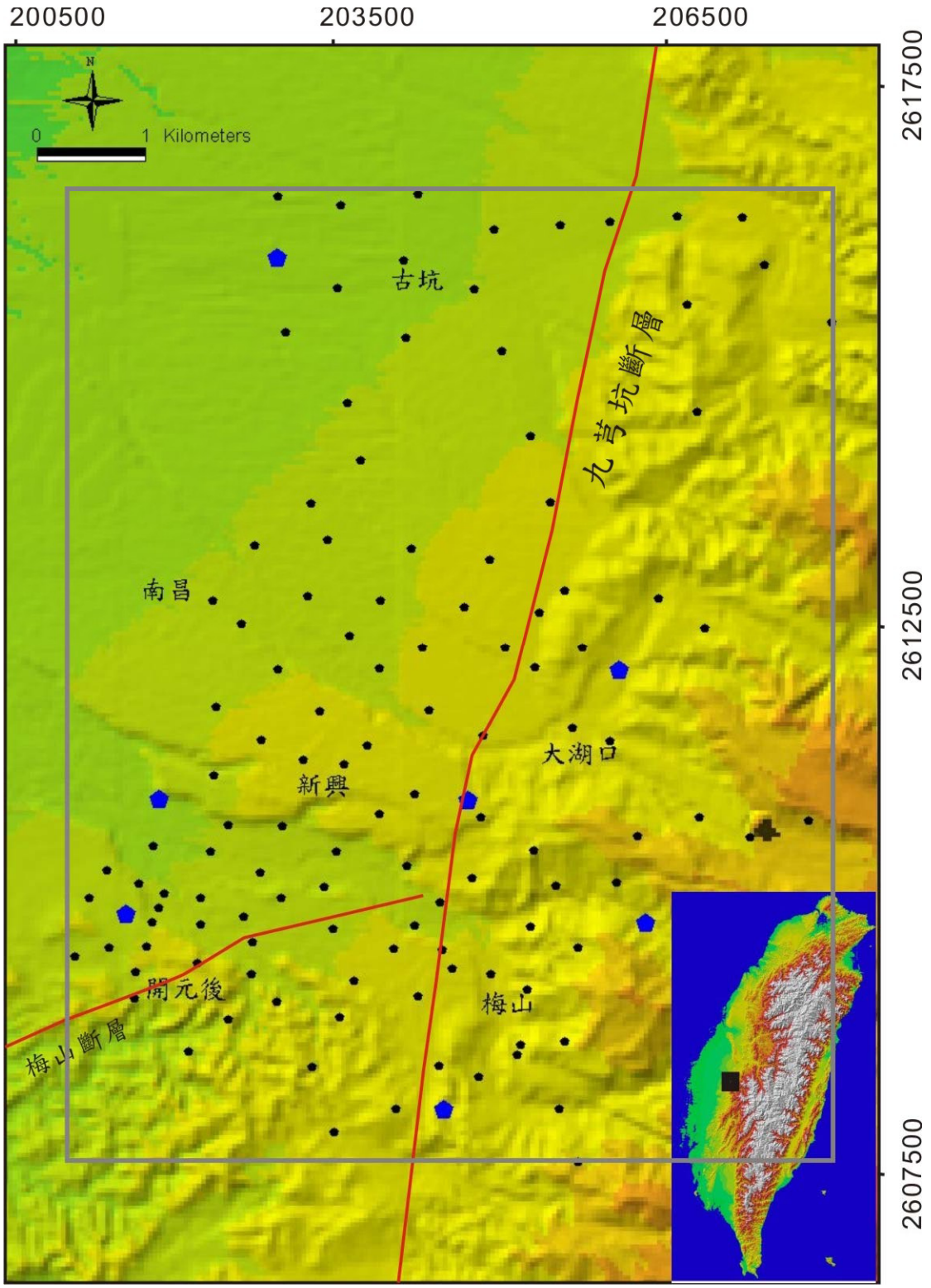


圖 3-11：梅山-古坑地區土壤氣體氮氣(N_2)濃度異常分佈圖，藍色五角形為大於平均值加上兩個標準偏差，灰框為等濃度分佈圖的範圍。

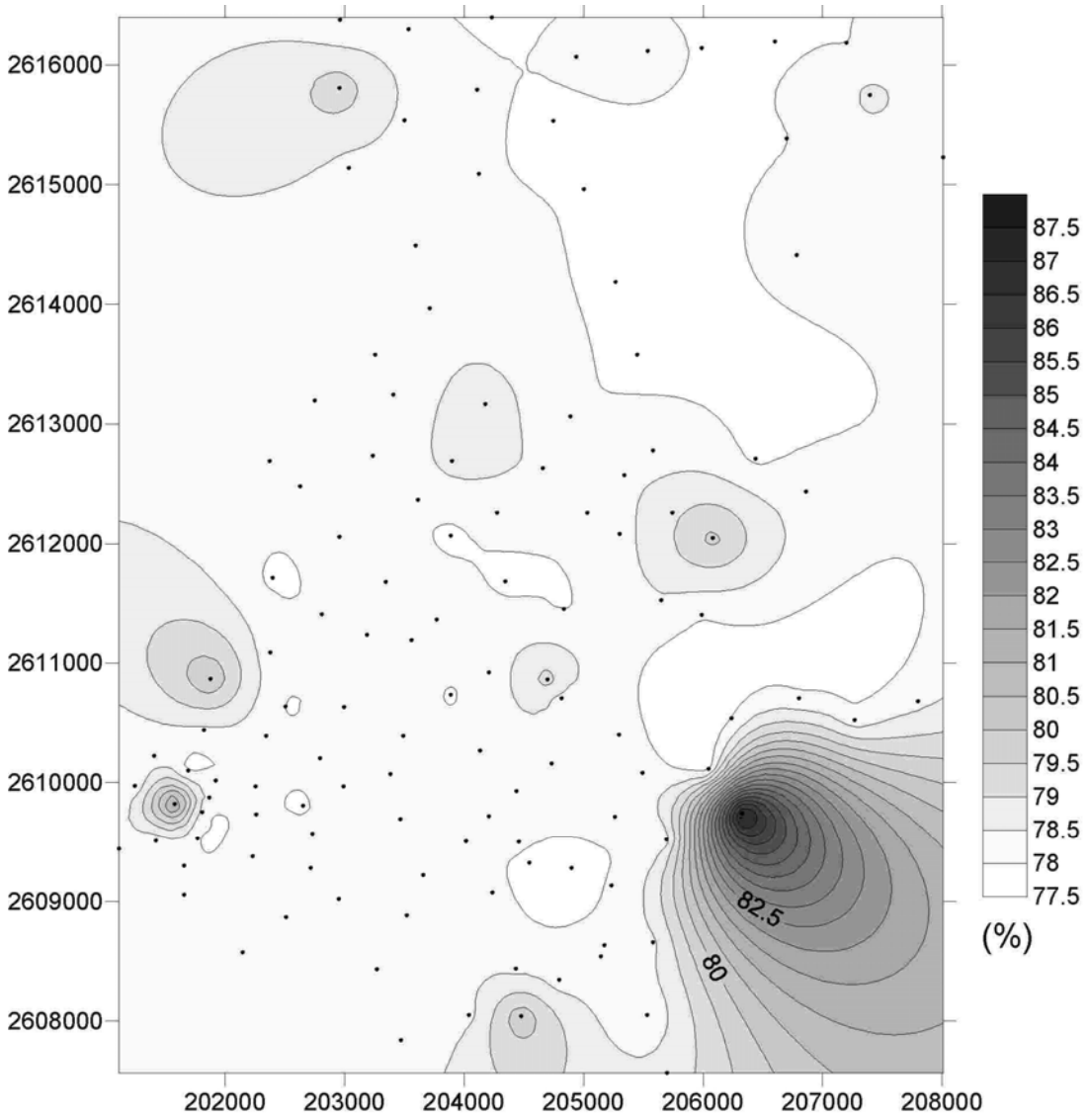


圖 3-12：梅山-古坑地區土壤氣體氮氣(N_2)濃度分佈圖。

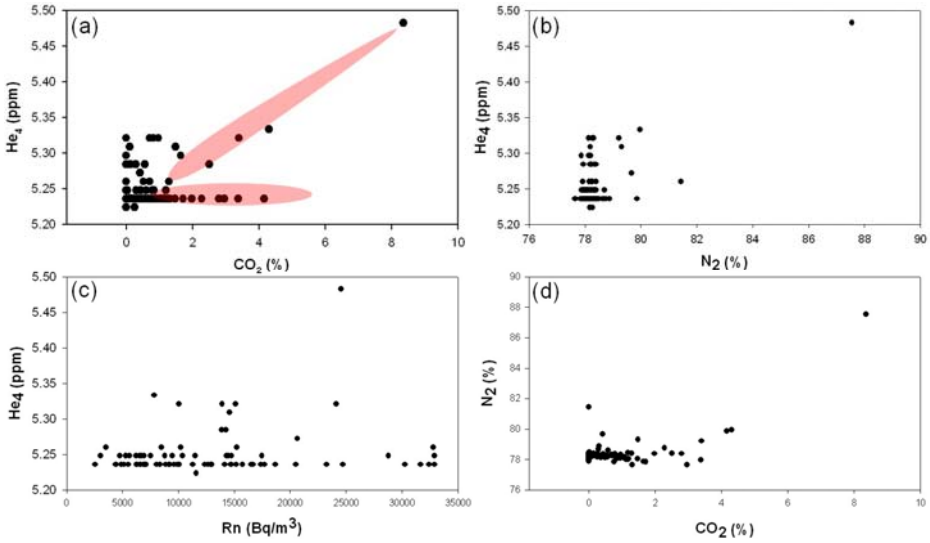


圖 3-13：梅山-古坑地區土壤氣體中(a)氦氣與二氧化碳、(b) 氦氣與氮氣、(c)氦氣與氡氣及(d) 氮氣與二氧化碳含量之投圖。

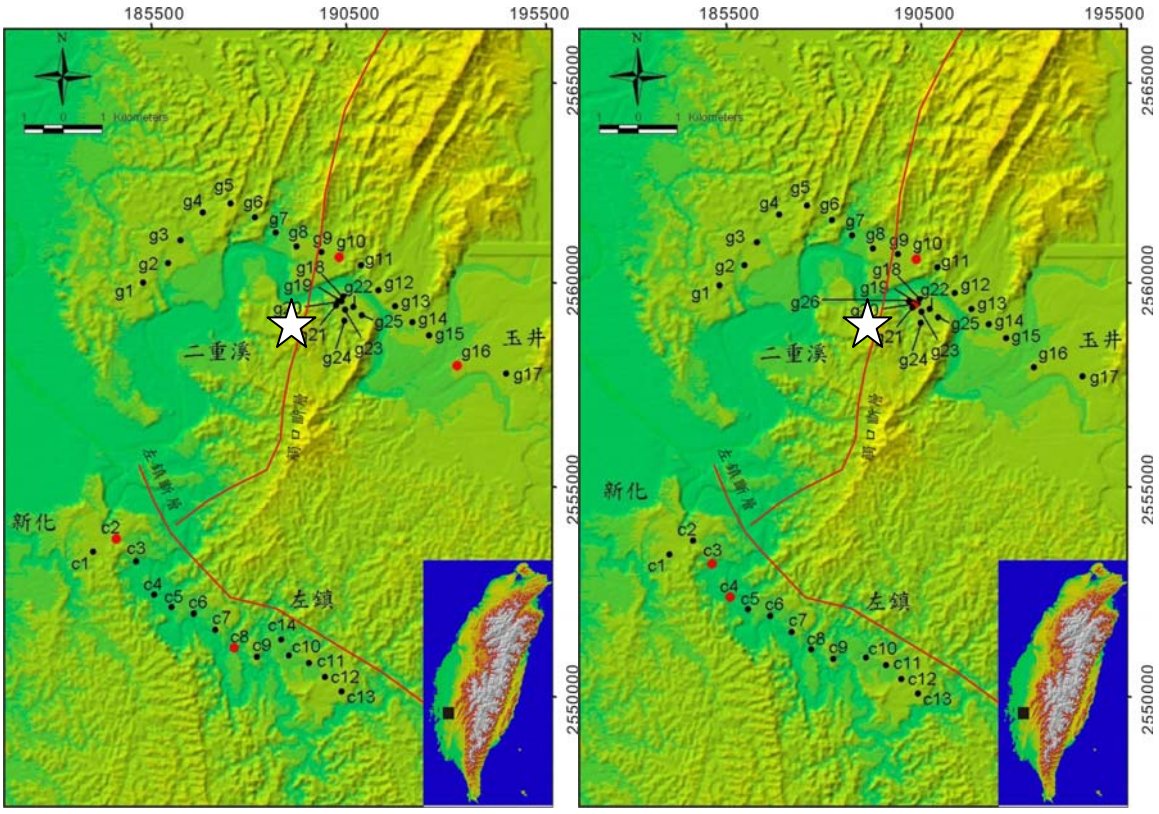


圖 3-14：玉井-左鎮地區土壤氣體氦氣(He)濃度異常分佈圖，紅色圓形為大於平均值加上兩個標準偏差。左圖採樣時間為 2006 年 3 月 30、31 日；右圖則是 2006 年 5 月 11、12 日。

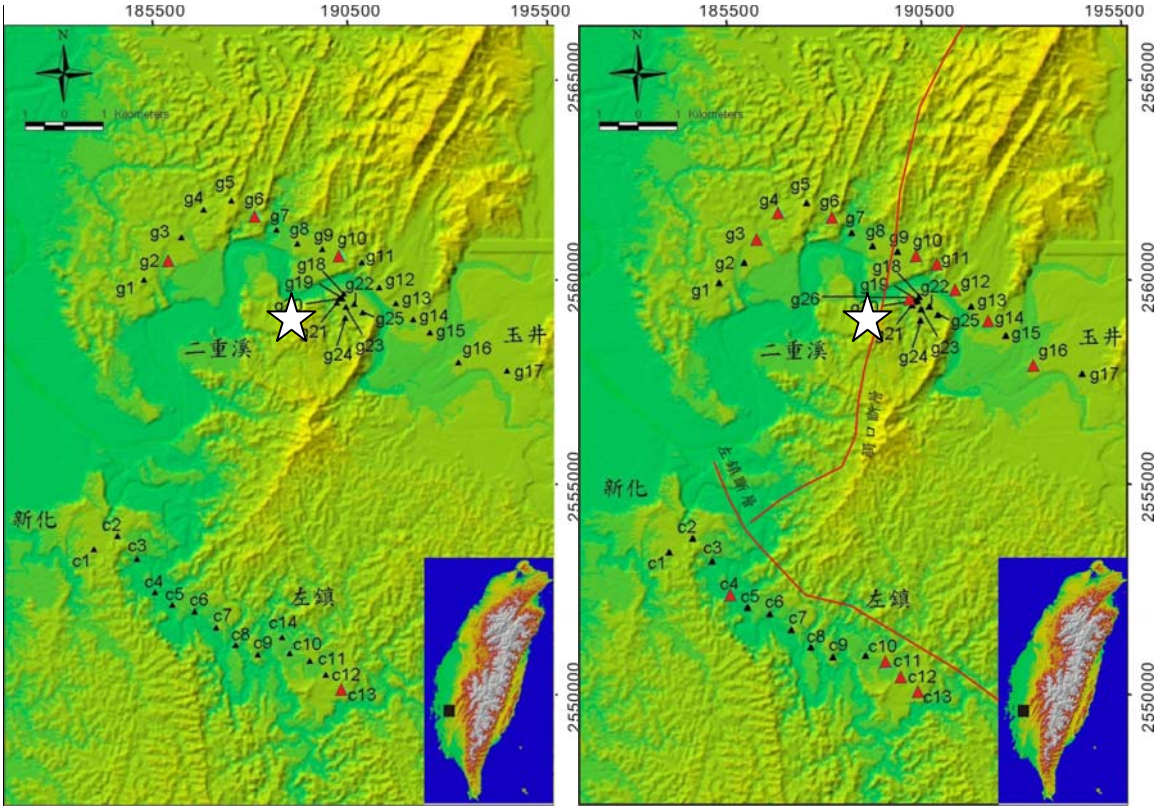


圖 3-15：玉井-左鎮地區土壤氣體氡氣(Rn)濃度異常分佈圖，紅色三角形為大於平均值加上兩個標準偏差，左圖採樣時間為 2006 年 3 月 30、31 日；右圖則是 2006 年 5 月 11、12 日。



圖 3-16：梅山觀測站預定地之久力橋周遭環境的照片。



圖 3-17：觀測站預定地(g10)之周遭環境的照片。



圖 3-18：梅山觀測站的設站過程與儀器配置。



圖 3-18 (續)：梅山觀測站的設站過程與儀器配置。



圖 3-19：二溪觀測站的設站過程與儀器配置。



圖 3-19 (續)：二溪觀測站的設站過程與儀器配置。

3-6 新觀測站選擇的考量因子

（1）確認監測站地底下之氣體來源

這對於氣體監測站之設置最為重要，需先事前勘查何種氣體才是此地區最為敏感的氣體組成，牽涉到監測站要以何種方式、及何種分析儀器來進行監測。

（2）選擇鄰近斷層帶的地點設站

雖然氣體相對於流體有較佳的遷移速率，對於地殼活動也相對較為敏感，可是在斷層帶的天然逸氣，明顯要比非斷層帶的逸氣量要高，且較容易攜帶深處不同成份與來源的氣體逸散至地表，而有明顯的成份變化。

（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，監測站之選擇與設計，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）多因子同步監測

除了主要之監測項目以外，在經費許可下，監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）之同步監測，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

監測站之設置通常要能夠長期運作，若是監測環境不佳（如有腐蝕性氣體：硫化氫等氣體），對於監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監測站重要的一項考量。

（8）觀測站的用地取得

這是最單純卻也可能是最複雜的一個因子，操控於地主的決擇。

3-7 新氣體觀測站初期觀測結果

圖 3-20 為嘉義梅山觀測站（座標位置：E206325, N2609740）自 8 月 22 日至 11 月 15 日的大氣壓力、溫濕度和雨量的觀測結果，顯示氣象控制系統已正常運作當中。而梅山觀測站雖於 8 月 22 日已設置完成，不過由於氡氣分析儀的測試一直不成功而再度將儀器送回德國原廠處理，因此直到 11 月初梅山觀測站才開始有完整的資料數據（如圖 3-21 所示），氡氣偵測儀設定每 15 分鐘分析一筆數據，由圖 3-21 顯示 Radon、Thorn 與二氧化碳並沒有隨著日夜溫差有所變化呈現平穩的分析值，這有助於日後的觀測進行。

圖 3-22 則為台南二溪觀測站（座標位置：E189642, N2558154）的測試結果，從 11 月 9 日至 11 月 22 日的連續觀測數據，說明了本觀測站已正式加入觀測的行列中。不過在 11 月 15 日前只有氡氣分析儀先行進行測試，因此這段時間並沒有氣象控制系統的數據，而在 15 日完成硬體配置後，則開始進行完整的觀測狀態。同樣的，氡氣偵測儀設定為每 15 分鐘分析一筆數據，由圖 3-22 後半段的數據顯示，Radon、Thorn 與二氧化碳並沒有隨著日夜溫差有所變化呈現平穩的分析值，這同樣有助於日後的觀測進行。

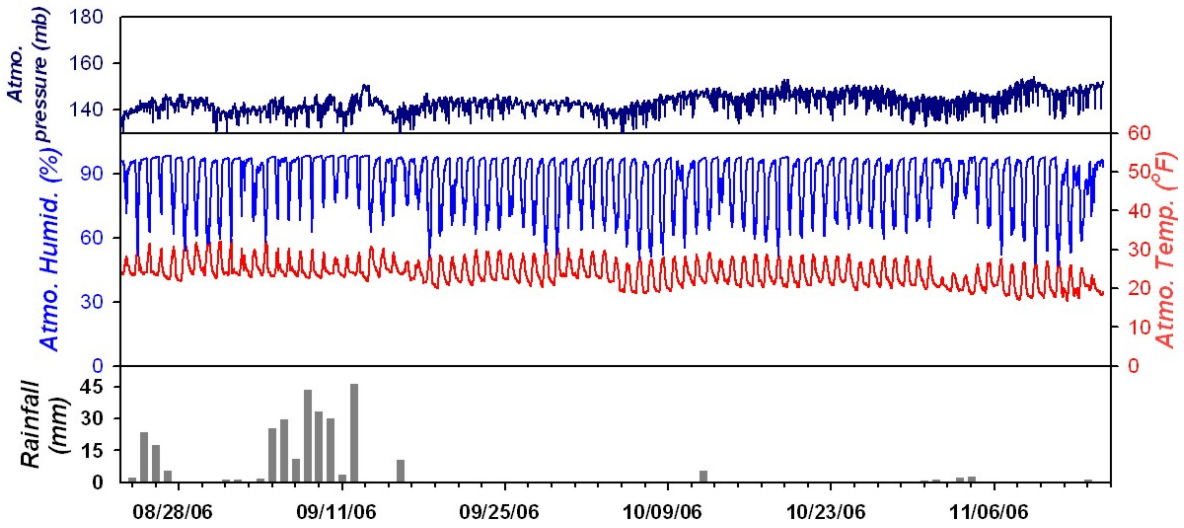


圖 3-20：嘉義梅山觀測站大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量連續變化（2006/8/22～2006/11/15）。

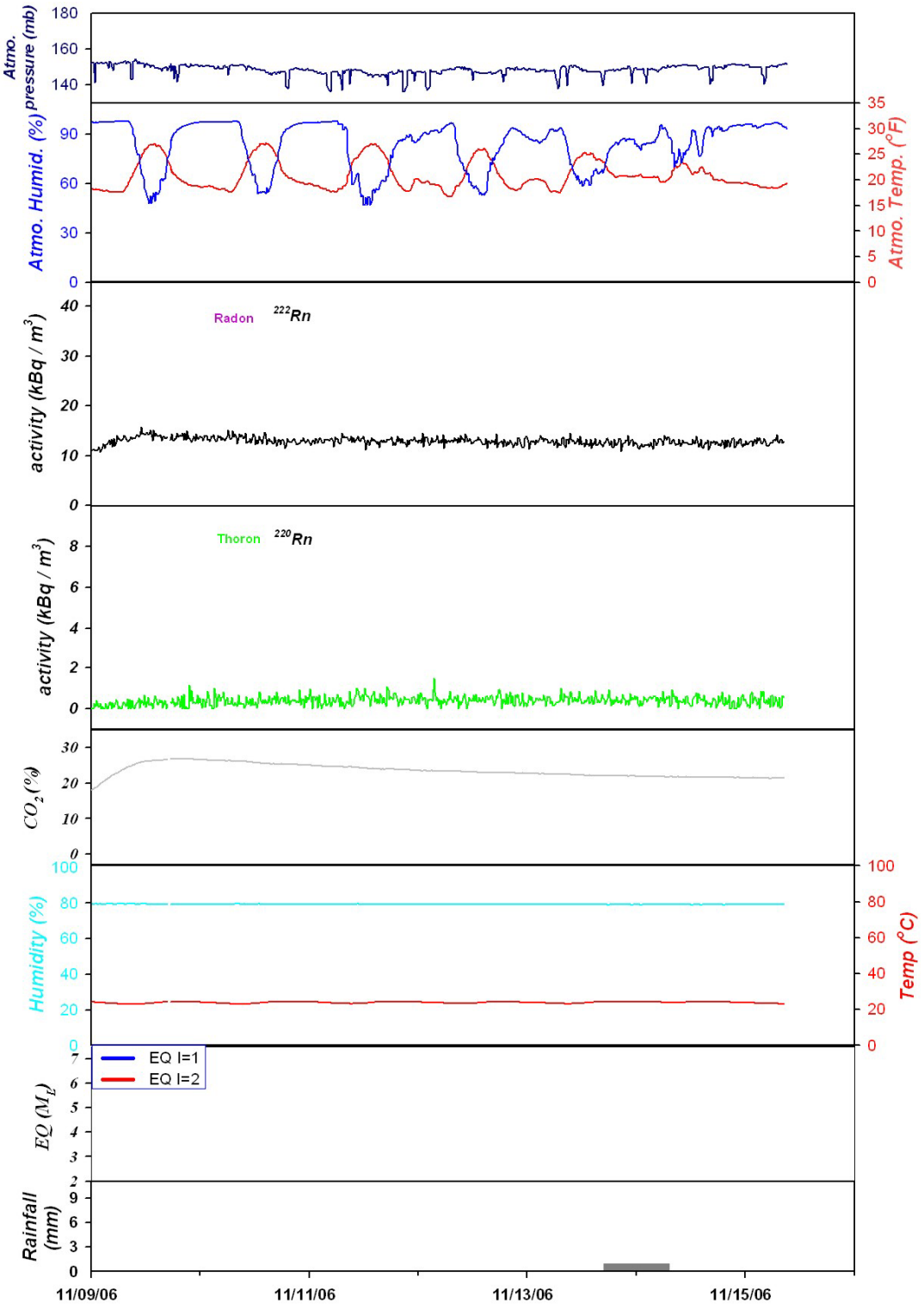


圖 3-21：嘉義梅山觀測站土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/11/9～2006/11/15）。

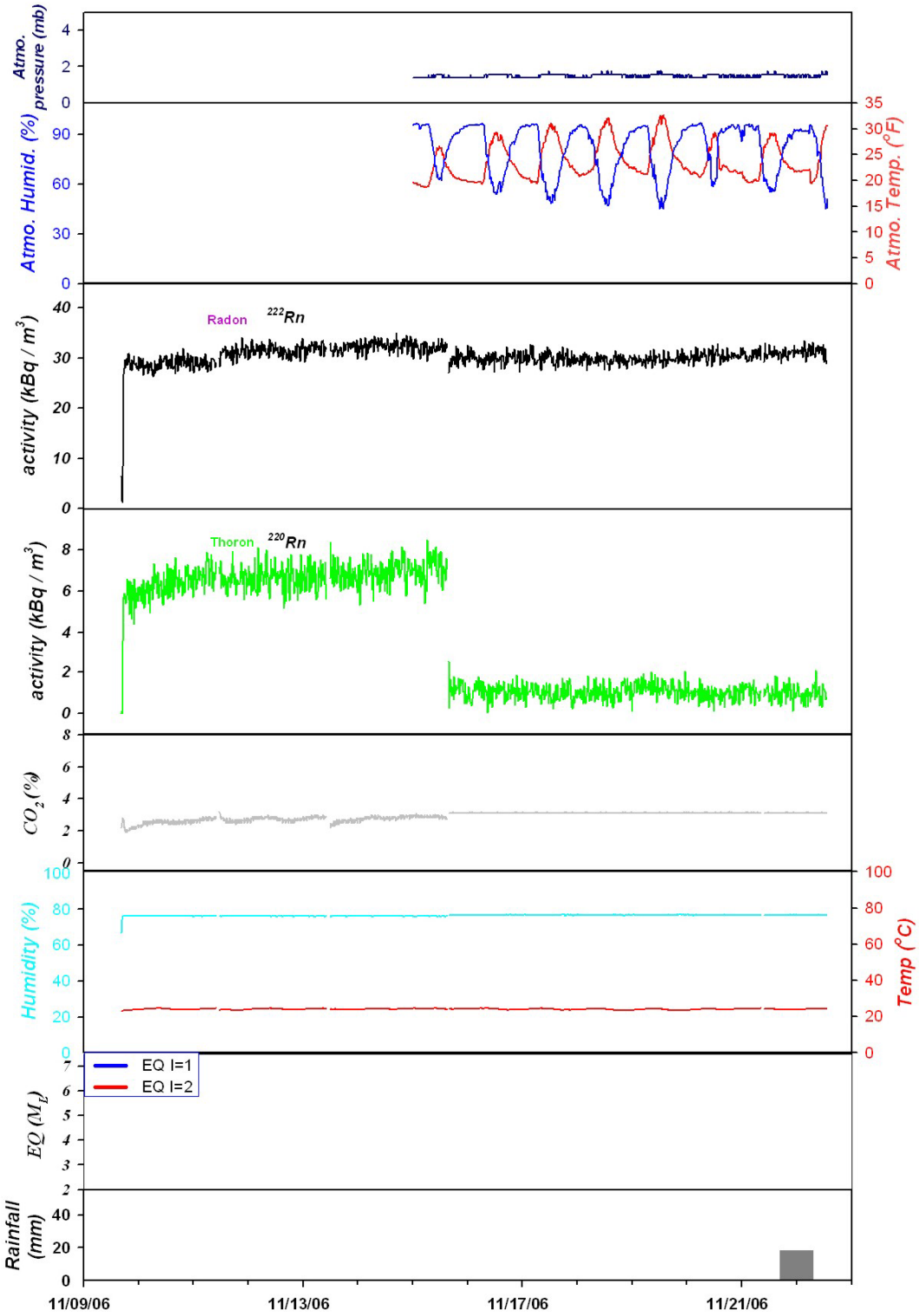


圖 3-22：台南二溪觀測站土壤氣氡氣與二氧化碳成份連續變化與大氣壓力、溫度(A.T.)、濕度(A.H.)、雨量及地震之相關性。EQ(M_L)：地震規模；EQ I：地震震度；T、H 則表示土壤氣的溫濕度變化（2006/11/9～2006/11/22）。

肆、地下水位（水壓）觀測

4-1 前言

至今的許多觀察研究（例如 Kovach et al., 1975; Lamar and Merifield, 1979; Merifield and Lamar, 1981; Barsukov. et al., 1985; Wang, C. 1985; Roeloffs, 1988; Biagi. et al., 2000）已經顯示，斷層錯動（地震）之前，區域應力場的改變，會導致地下水位/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壓變化與斷層活動關係的絕佳之地。本計畫本（95）年度已依預定進度，於嘉義縣中埔鄉沄水國小鑽設地下水觀測井，並在 9 月 28 日完成水壓計之安裝，至今持續的觀測水壓變化中。本計畫去（94）年度所鑽設的新竹縣寶山水壓站，目前仍持續監測水壓的變化。

4-2 95 年度嘉義山區電子式水壓計觀測井概要

4-2.1 觀測井設計

電子式水壓/水位計觀測井一孔，孔徑 4 英吋，鑽設深度 100 公尺，全程岩芯取樣。鑽孔內埋設 3.5 英吋鋼質井管，井管內放置口徑約 2.8 英吋電子式水壓計一具。

為獲知地下水文情況，以確定較佳之監測水層位置，本計畫採用旋鑽式鑽機施鑽，而不使用衝鑽式鑽孔。因衝鑽式對地層之擾動性較大，易破壞岩心以及地層之原來特性，影響地下水層之孔隙率。

鑽孔取樣後，埋設 3.5 英吋鋼質井管，防止崩孔。為確保水壓計能順利放入井管中以及取得精確的鑽孔資料，特別小心鑽掘及埋設鋼井管之施工。鑽孔及井管之垂直度誤差不大於 1%。於井內（97.5 米深處）安裝精度為 0.01％的電子式水壓計，井口旁設置 FRP 觀測箱(圖 4-1a)，內部安裝資料擷取、紀錄及傳輸設備等，利用寬頻網路（ADSL）將資料傳送至台大地質系(圖 4-1b)以供監測、儲存及分析。

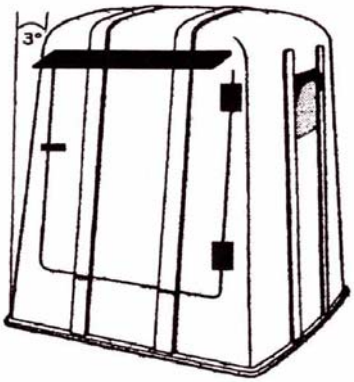


圖 4-1a 玻璃纖維（FRP）儀器站房示意圖。

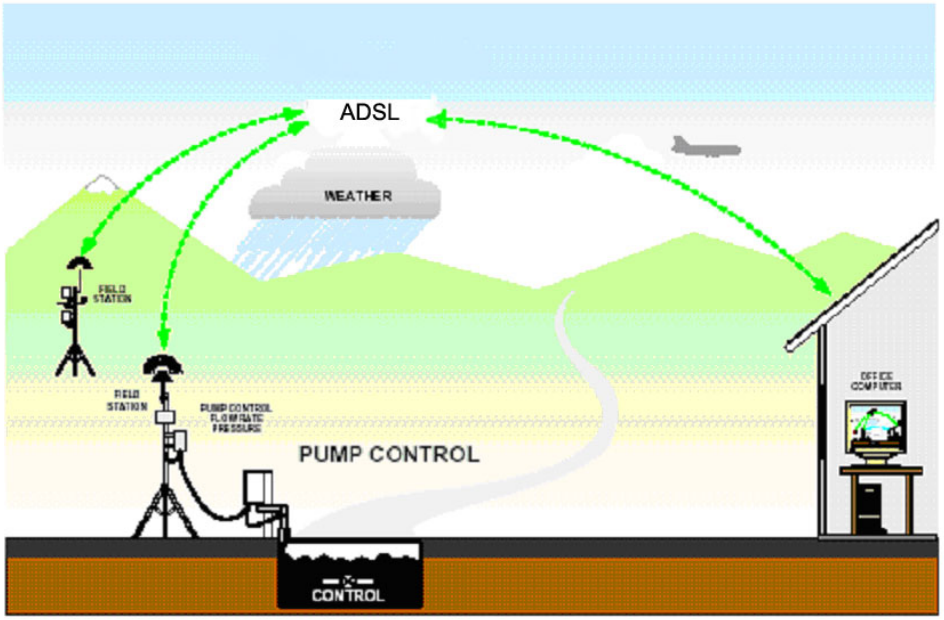


圖 4-1b 地下水壓觀測資料之衛星傳輸示意圖。

1. 水位觀測井概要

電子式水壓計觀測井鑽鑿期間，鑽孔用水添加皂土當作鑽孔潤滑液，陸續量測地下水位，並紀錄迴水率。根據地下水位以及迴水率，推估擬觀測之受壓含水層的深度。

確定擬觀測之受壓水層位置，且鑽進至預定深度上方 10 公尺處，埋設厚度 4mm 鋼井管及灌漿封層，等待漿液凝固後再以 3 英吋鑽頭鑽進 10 公尺至預定深度(圖 4-2)。

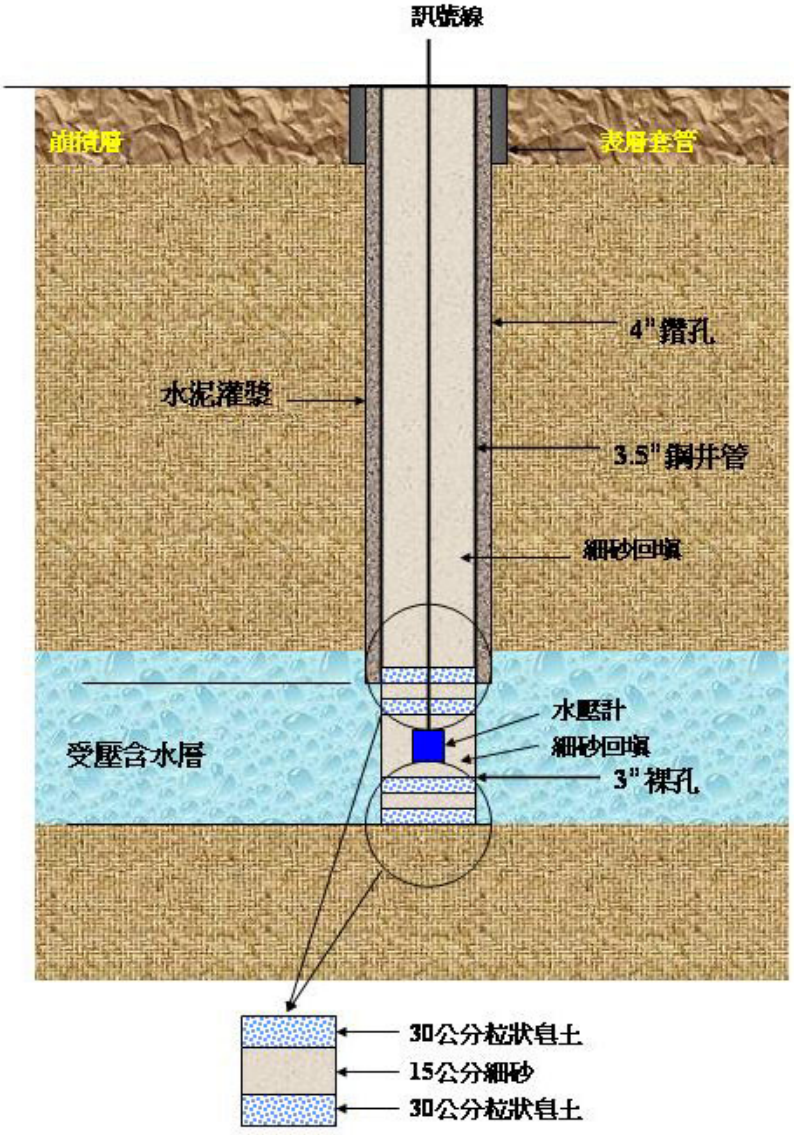


圖 4-2 井孔及水壓計設置示意圖。

2. 保護孔壁

採用 3.5 英吋口徑、厚度 4mm 鋼井管，以螺紋方式連接，每支長度 3 公尺，於觀測水層 10 公尺上方以水泥灌漿封層。

3. 擴水處理

為確保地下水層不受阻塞，下井管及篩管以後，需洗井清除鑽探中之岩屑。洗井方式以高壓空氣（air lifting）提吊方式為之。

4-2.1.1 玻璃纖維（FRP）儀器站房

1. 在觀測站裝設 FRP 儀器站房一個，規格如下：

（一）儀器護蓋尺寸：W =106cm　D=104cm　H=137cm

（二）門板尺寸：W =74cm　L=86cm

（三）使用材料：玻璃纖維強化塑膠

（四）配備

(1) 儀器護蓋左右各設通風口一個，左側通風口之高度為 110 公分，右側通風口之高度為 40 公分。

(2) 通風口須加裝雨披、白鐵紗網、擋水板等裝置，左側上方通風口須裝設抽風機一座。

(3) 門板左右開啟，絞鏈、門栓使用不銹材質，內緣底座並加裝合成橡膠壓條，上緣並加裝雨披。

(4) 儀器護蓋底部安裝 FRP 之固定角座四只。（厚度 10mm 以上）

(5) 儀器護蓋底部安裝橡膠材質 U 行壓條。

2. FRP 站房固定於厚度 25 公分，長寬各 110 公分之混凝土基座，基座頂部高於地面約 12 公分。
3. 配置站房至水壓計之 1 吋 PVC 管線，以保護電纜。
4. FRP 站房至鑽孔之距離一般為 2~3 公尺。
5. FRP 站房外面噴上「 斷層活動性研究－壓力式地下水位觀測站」等文字，以資識別。

4-2.1.2 接地裝置

儀器站房旁邊將 3 支直徑 5/8 英吋長 2.4 公尺之 O 型接地銅棒敲入地下，並以正三角形方式排列。銅棒間以 100mm^{2}PVC 被覆銅線連接，接地電阻需小於 5 歐姆。

4-3 沄水國小觀測井

4-3.1 地質概要

做為斷層活動性觀測用的地下水水壓觀測井之位址，基本上須考慮交通可及與用地取得可行性、避開天然邊坡災害或人為破壞、以及水文與地質條件（包括岩性與構造）較佳之地點。根據筆者多年之經驗，以用地取得較易、且未來觀測站較不易被破壞這兩個重要因素而言，國民小學或國民中學校園是最適當的地點。就水文條件而言，地殼活動性觀測用的地下水文觀測井宜選於人工抽水及降雨影響小的地點或深度。換言之，宜選於無（或幾乎無）抽水影響的封閉含水層。以地質構造而言，此種含水層約相當於油氣儲集層，不論是構造封閉或地層封閉。

在上述的條件之下，依據中國石油公司出版的十萬分之一地質圖，並選擇儘量靠近已有斷層活動性氣體監測站的中崙濁水潭一帶，做為本年度水壓觀測井選址之優先條件。原有的中崙國小因已廢校而使得用地取得不易，觸口斷層附近有溫泉井之開發，人為抽水影響之可能性增大，故放棄原中崙國小之位址。靠近觸口斷層及中崙濁水潭之另外二個國民小學，一為石磅國小，另一為沄水國小（圖 4-3）。前者校地因廢校而改為露營地，旁邊緊接著是深谷且地層傾角大，推論地下水位受降雨之影響顯著，不符本計畫之目的。反之，沄水國小地層傾角小（圖 4-4），距溪床落差不大；除了校舍所在之平地外，旁邊尚有平坦之未建築校地。經現地探查評估後，選擇此國小周邊、不易受未來開發影響的第一階駁崁平台，做為本年度地下水壓觀測井之位置。



圖 4-3 本（95）年度地下水壓觀測井觀址－嘉義縣中埔鄉沄水國民小學及周邊地貌。

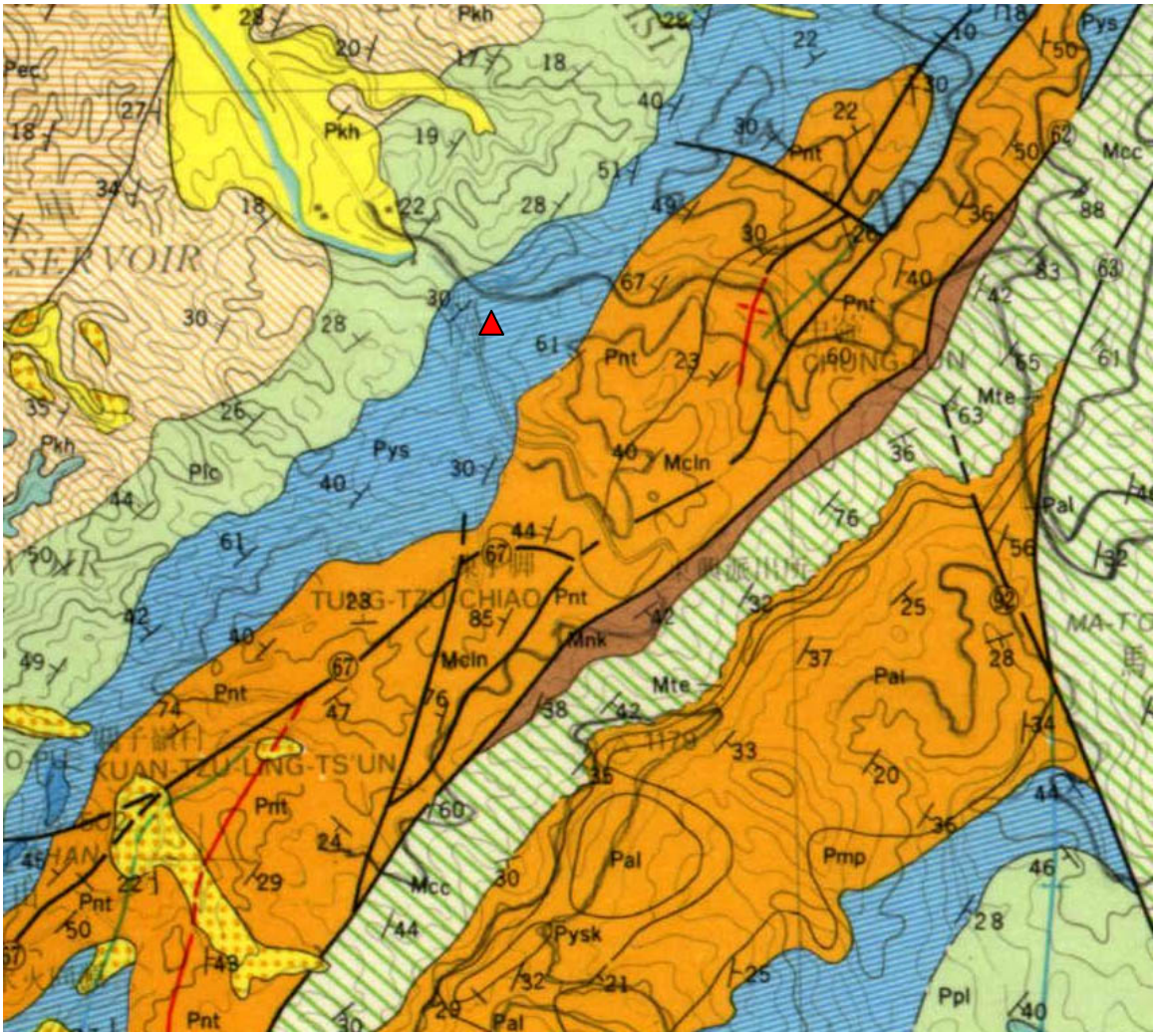


圖 4-4 沄水國小觀測井（▲）附近地質圖（節錄自中國石油公司台灣油礦探勘總處（1986）編印之 1：100,000 嘉義地質圖）。Pal：隘寮腳層；Pkh：崁下寮層（夾石灰岩）；Pys：沄水溪層（夾石灰岩）；Pnt：鳥嘴層；Pysk：鹽水坑頁岩；Pmp：芧埔頁岩；Mcln：中崙層；Mcc：長枝坑層；Mnk：南港層；Mte：糖恩山砂岩；62崙後斷層；63馬頭山斷層；67六重溪斷層；92頂坪林斷層。

4-3.2 施工現場情況

目前鑽井工程及水壓計之安裝已完成（圖 4-5），開始觀測水壓資料至今已約一個月，正持續進行長期觀測。



圖 4-5 施工現場照片(廣鎂工程顧問有限公司提供)。



圖 4-5 （續） 施工現場照片。

4-3.3 鑽井岩芯柱

本（95）年度觀測站鑽至 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 4-6；圖 4-7）。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（圖 4-8），厚約 1 米的細砂岩為放置水壓計的含水層。

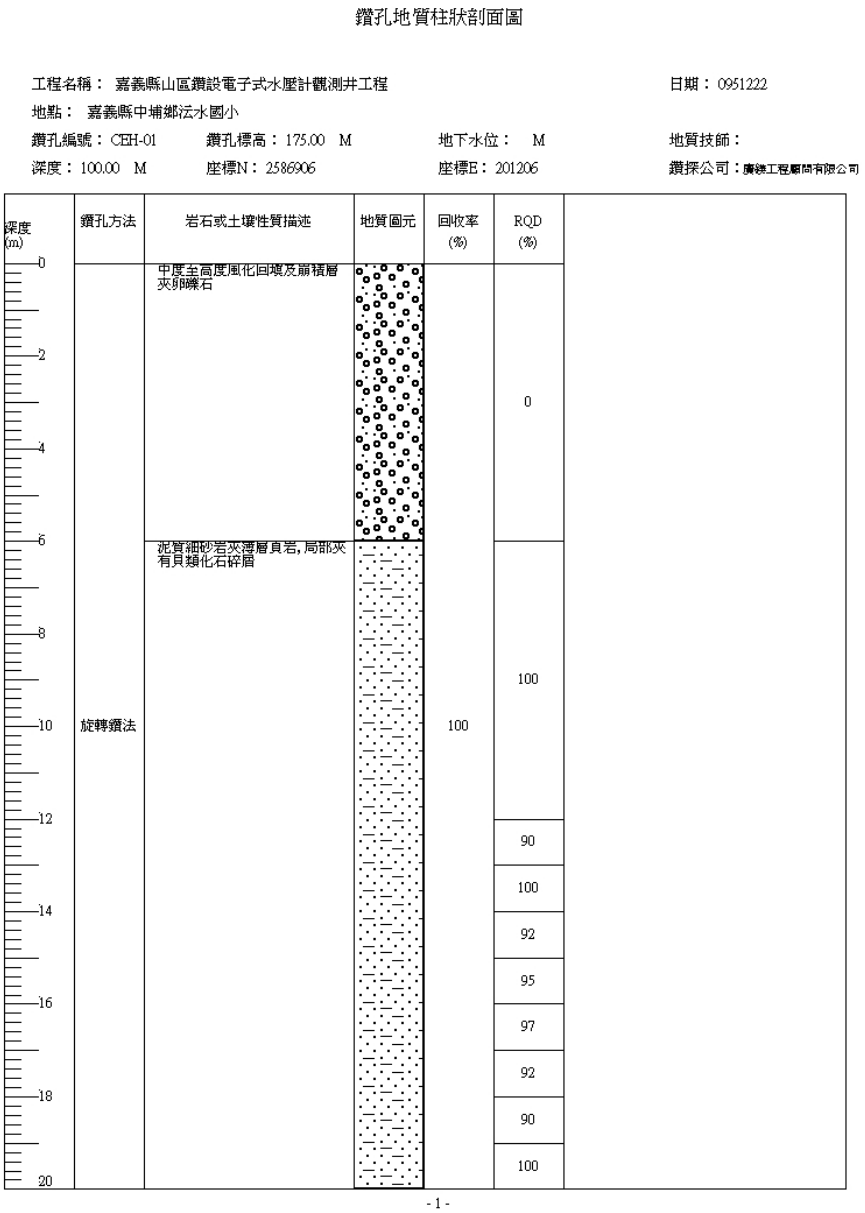


圖 4-6 嘉義法水國小觀測站之鑽孔地質柱狀圖。

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：廣錄工程顧問有限公司

深度(m)	鑽孔方法	岩石或土壤性質描述	地質圖元	回收率(%)	RQD(%)
20		泥質細砂岩夾薄層頁岩, 局部夾有貝類化石碎屑			90
22					100
					80
24					100
26					96
					98
28					100
					95
30	旋轉鑽法			100	100
32					90
					92
34					96
36					100
38					
40					

- 2 -

圖 4-6（續）

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：廣錄工程顧問有限公司

深度(m)	鑽孔方法	岩石或土壤性質描述	地質圖元	回收率(%)	RQD(%)
40		泥質細砂岩夾薄層頁岩, 局部夾有貝類化石碎屑			100
42					80
44					100
46					80
					40
48					70
50	旋轉鑽法			100	
					80
52					100
					70
54					
56					100
58					
60					

- 3 -

圖 4-6（續）

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：廣錄工程顧問有限公司

深度(m)	鑽孔方法	岩石或土壤性質描述	地質圖元	回收率(%)	RQD(%)
60		泥質細砂岩夾薄層頁岩, 局部夾有貝類化石碎屑			100
					90
62					100
64					
					80
66					100
68					90
					95
70	旋轉鑽法			100	
72					
74					100
76					
78					
80					

- 4 -

圖 4-6（續）

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：廣鐵工程顧問有限公司

深度(m)	鑽孔方法	岩石或土壤性質描述	地質圖元	回收率(%)	RQD(%)
80		泥質細砂岩夾薄層頁岩, 局部夾有貝類化石碎屑			100
					90
82					100
84					
					80
86					100
88					90
					95
90	旋轉鑽法			100	
92					
94					100
96					
98					
100					

- 5 -

圖 4-6（續）

工程名稱 ：	沄水國小電子式水壓計觀測井工程		
工程地點 ：	嘉義中埔沄水國小	總 深 度 ：	100 公尺
箱　　號 ：	1~4	本頁深度 ：	0~16 公尺
施鑽起訖日期:中華民國 95 年 07 月 3 日至 95 年 07 月 19 日			



圖 4-7 嘉義縣中埔鄉沄水國小鑽井岩芯照片。

工程名稱 ：	沄水國小電子式水壓計觀測井工程		
工程地點 ：	嘉義中埔沄水國小	總 深 度 ：	100 公尺
箱　　號 ：	5~8	本頁深度 ：	17~32 公尺
施鑽起訖日期:中華民國 95 年 07 月 3 日至 95 年 07 月 19 日			



圖 4-7 (續)

工程名稱 ：	沄水國小電子式水壓計觀測井工程		
工程地點 ：	嘉義中埔沄水國小	總 深 度 ：	100 公尺
箱　　號 ：	9~12	本頁深度 ：	33~48 公尺
施鑽起訖日期:中華民國 95 年 07 月 3 日至 95 年 07 月 19 日			



圖 4-7 (續)

工程名稱：	沄水國小電子式水壓計觀測井工程		
工程地點：	嘉義中埔沄水國小	總 深 度：	100 公尺
箱　　號：	13~16	本頁深度：	49~64 公尺
施鑽起訖日期:中華民國 95 年 07 月 3 日至 95 年 07 月 19 日			



圖 4-7 (續)

工程名稱：	沄水國小電子式水壓計觀測井工程		
工程地點：	嘉義中埔沄水國小	總 深 度：	100 公尺
箱　　號：	17~20	本頁深度：	65~80 公尺
施鑽起訖日期:中華民國 95 年 07 月 3 日至 95 年 07 月 19 日			



圖 4-7 (續)

工程名稱：	沄水國小電子式水壓計觀測井工程		
工程地點：	嘉義中埔沄水國小	總 深 度：	100 公尺
箱　　號：	21~24	本頁深度：	81~96 公尺
施鑽起訖日期:中華民國 95 年 07 月 3 日至 95 年 07 月 19 日			



圖 4-7 (續)

工程名稱：	沄水國小電子式水壓計觀測井工程		
工程地點：	嘉義中埔沄水國小	總 深 度：	100 公尺
箱　　號：	25~28	本頁深度：	97~100 公尺
施鑽起訖日期:中華民國 95 年 07 月 3 日至 95 年 07 月 19 日			



圖 4-7 (續)



圖 **4-8** 井篩（觀測水壓之含水層）之上下層岩芯照片。

4-4 地下水壓變動觀測結果

4-4.1 新竹寶山雙溪國小水壓觀測站

94 年 12 月 13 日於新竹縣寶山鄉雙溪國小（圖 4-9）鑽設之水壓觀測井內完成裝設電子式地下水壓觀測儀，12 月 15 日之後，井況趨於穩定，以每小時讀取一筆數據之方式持續觀測。連續一個月的觀測結果，發現水壓計數值沒有變動（圖 4-10），請廠商（智統科技公司）檢查，並於 95 年 3 月 2 日進行洗井及更換已故障之水壓計。3 月 14 日水壓計更換完成，並開始讀取數據至今（圖 4-11）。不久，恰於 4 月 1 日在台東有一規模 6.2 的地震。此期間，本站測得水壓有上升之趨勢（圖 4-12）。地震後不久，水壓恢復平穩至今。此一水壓變化是否與台東地震巧合，有待未來長期持續之觀測資料才能進一步研斷。從 6 月至 11 月，已發生過多次規模 5 以上的遠距地震與更小規模之地震，但水壓變化與地震之關係並不明顯（圖 4-13、圖 4-14、圖 4-15），有待更長期的持續觀測。



圖 4-9　94 年度新竹縣寶山雙溪國小地下水位觀測井（▲）位置圖。

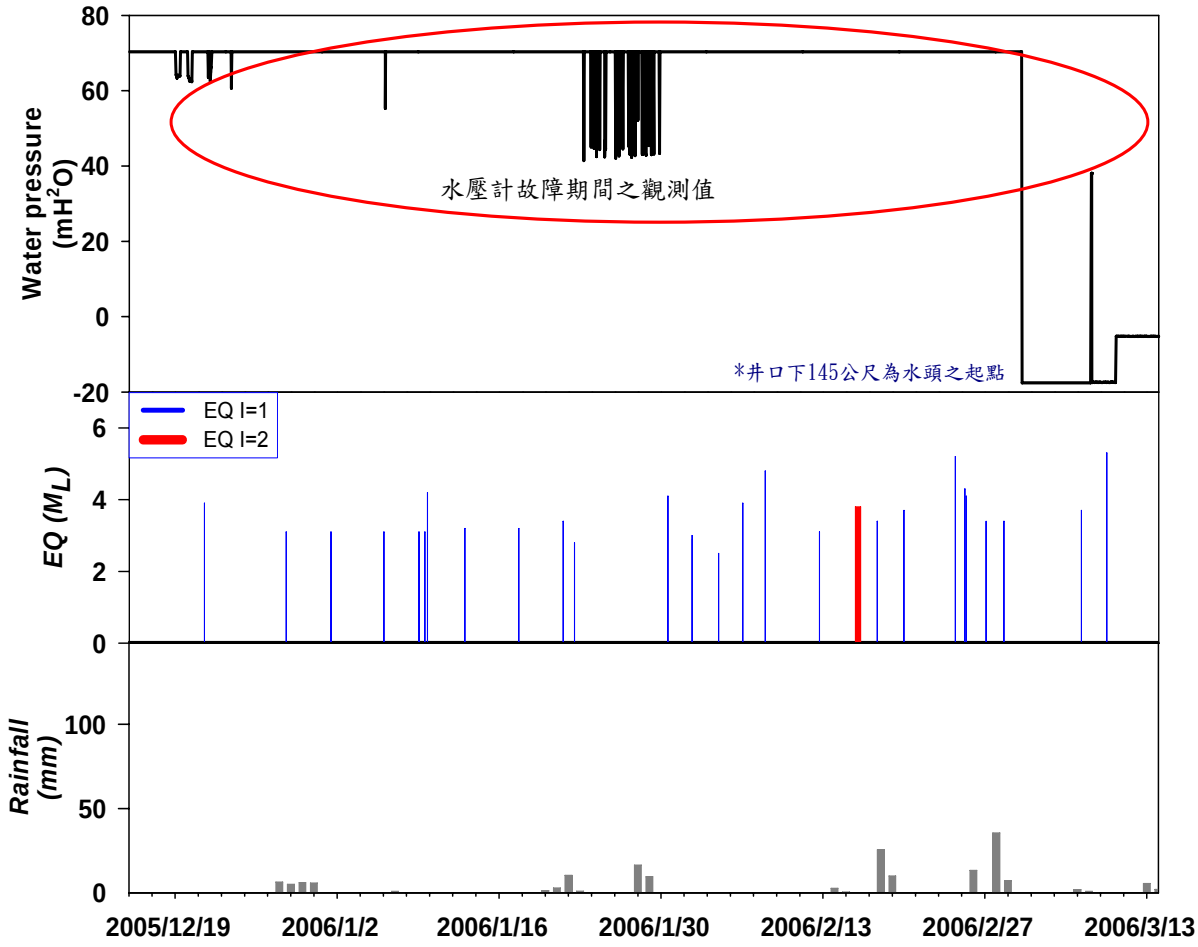


圖 4-10 新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井第一次安裝之水壓觀測值與地震及降雨量關係圖。EQ（M_L）：地震規模；EQ I：地震震度。

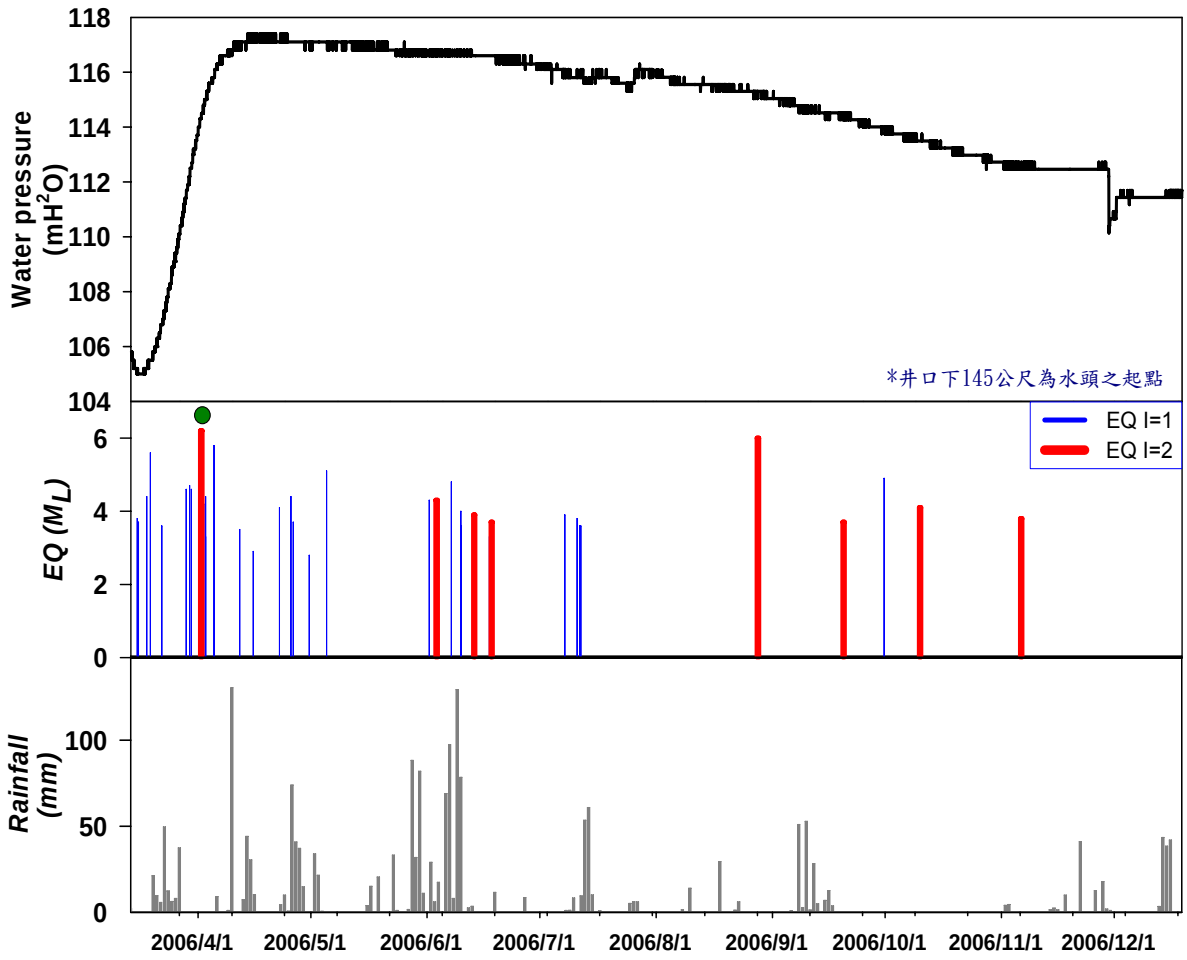


圖 4-11　新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井自 2006 年 3 月 14 日更換水壓計後至 2006 年 12 月 19 日之水壓觀測值與地震及降雨量關係圖。從水壓計讀數與雨量對照，可以推斷此觀測井水壓受短期降雨的影響不大。自 4 月初水壓達到最高值後，水壓緩慢下降中。是否反應地震，有待未來長期持續觀測 。EQ（M_L）：地震規模；EQ I：地震震度；● 4 月 1 日台東規模 6.2 地震。

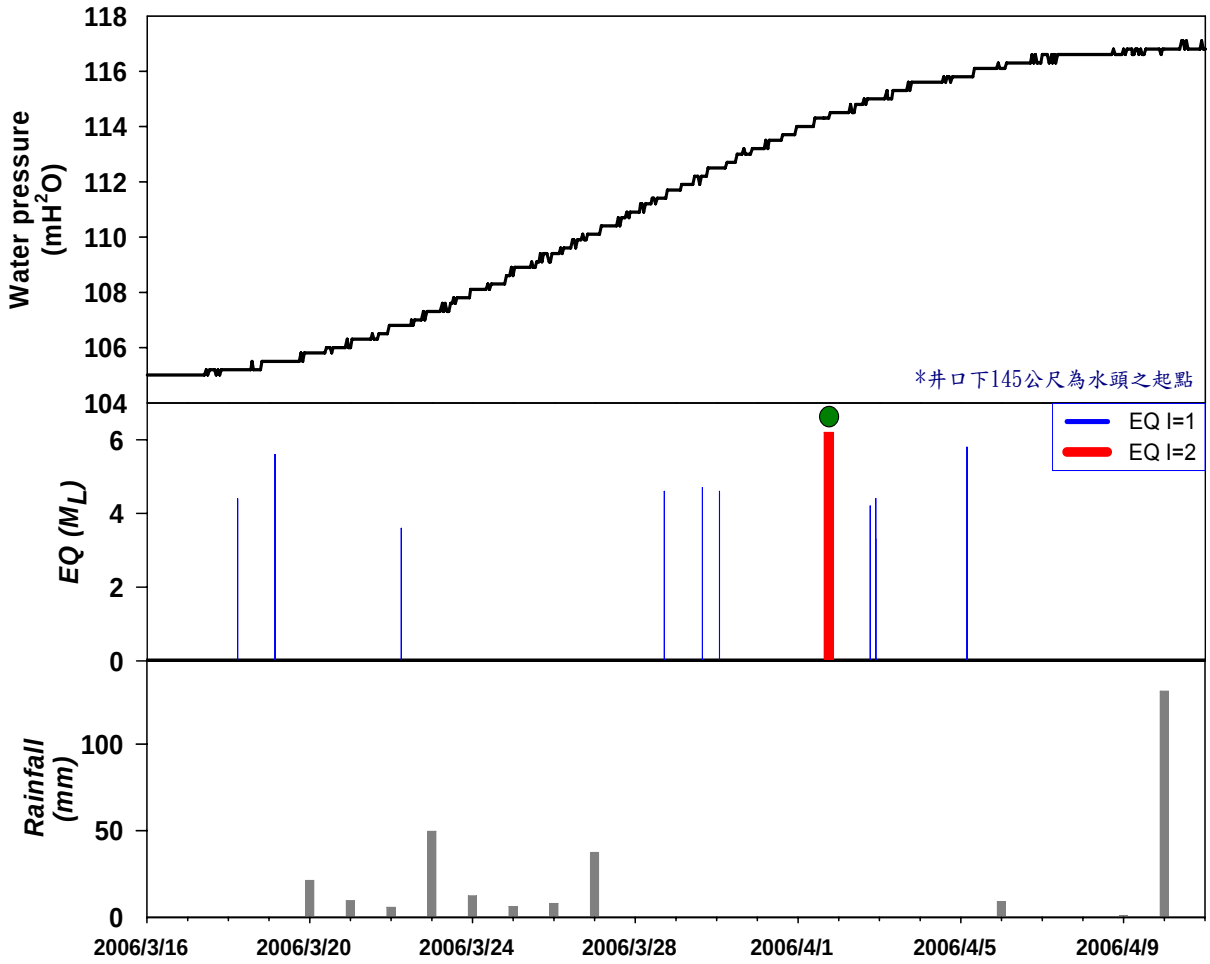


圖 4-12　新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井 3 月 16 日至 4 月 11 日水壓觀測值與地震及降雨量關係圖。圖中可見 4 月 1 日台東規模 6.2 地震期間，水位有上升之趨勢，是否與該地震有關，有待未來長期持續觀測資料進一步研判。EQ（M_L）：地震規模；EQ I：地震震度；● 4 月 1 日台東規模 6.2 地震。

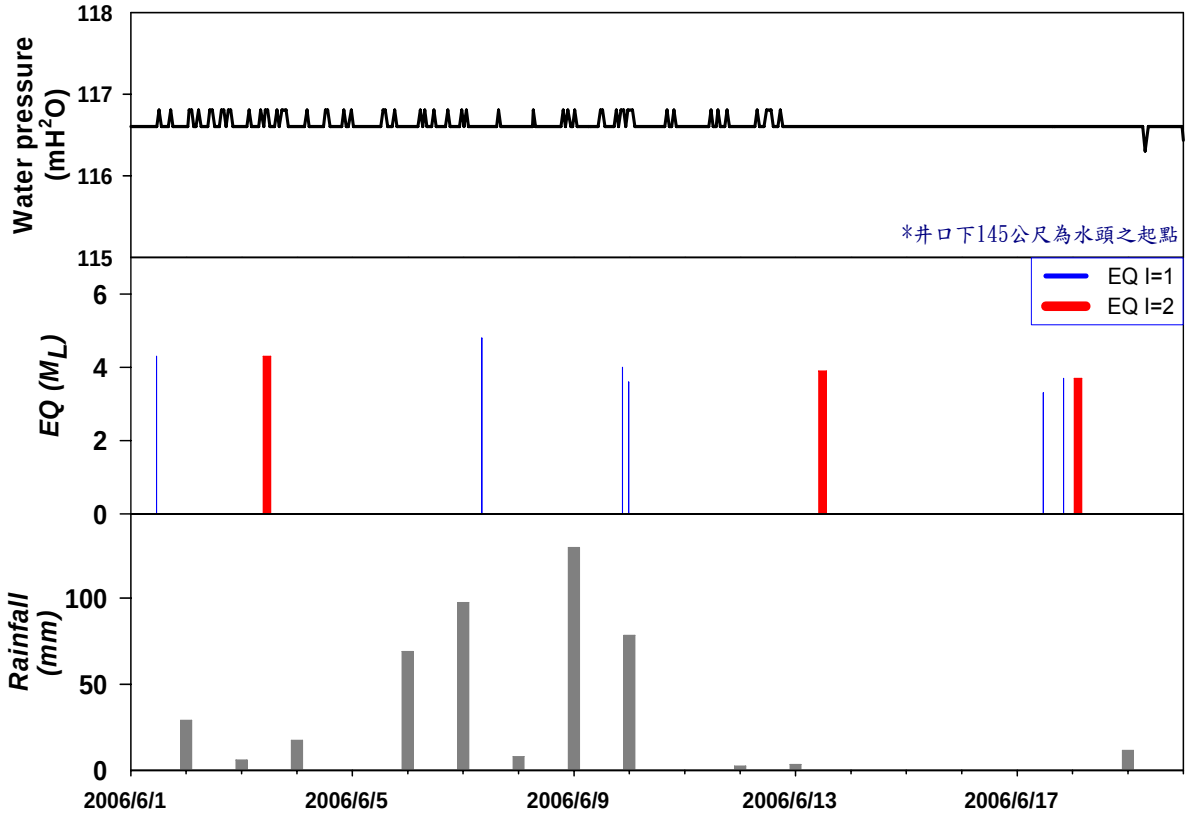


圖 4-13　新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井 6 月 1 日至 6 月 20 日水壓觀測值與地震及降雨量關係圖。EQ（M_L）：地震規模；EQ I：地震震度。

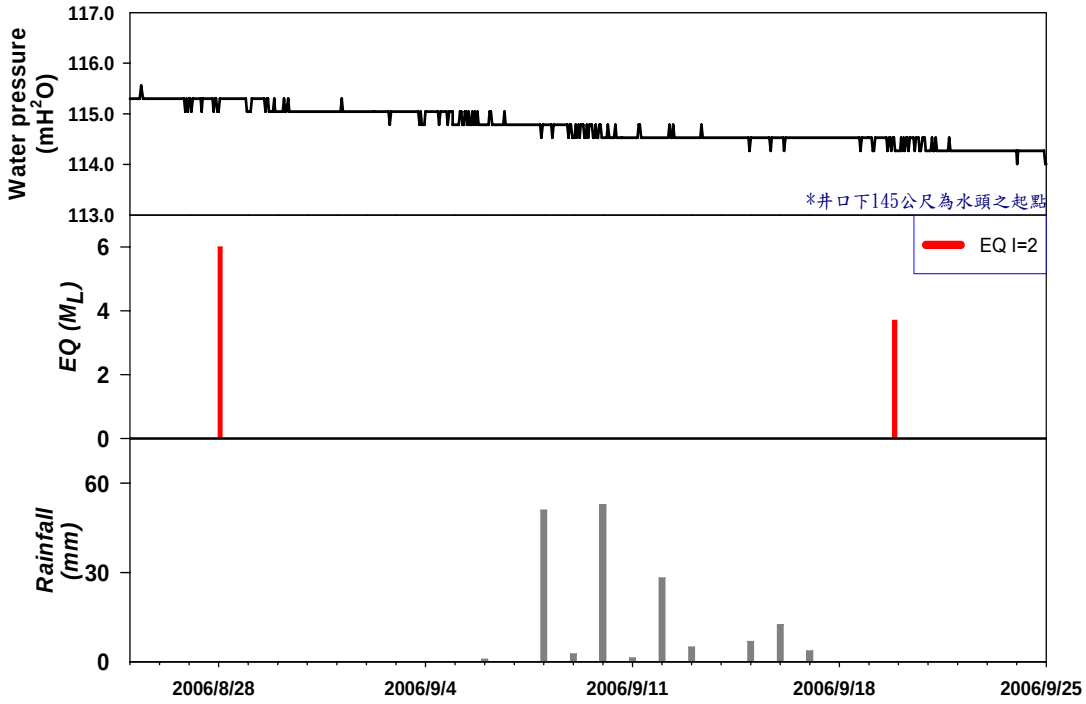


圖 4-14　新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井 8 月 25 日至 9 月 25 日水壓觀測值與地震及降雨量關係圖。EQ（M_L）：地震規模；EQ I：地震震度。

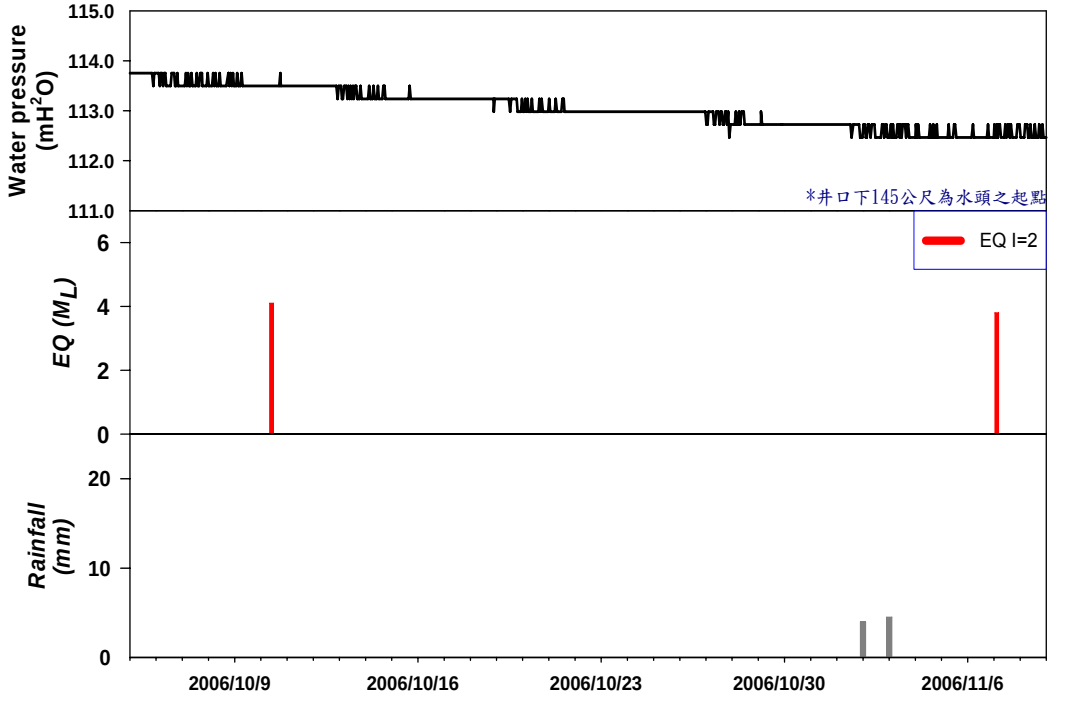


圖 4-15　新竹縣寶山鄉雙溪國小觀測井 10 月 5 日至 11 月 9 日水壓觀測值與地震及降雨量關係圖。EQ（M_L）：地震規模；EQ I：地震震度。

4-4.2 嘉義縣中埔鄉沄水國小水壓觀測站

95 年 9 月 28 日於嘉義縣中埔鄉沄水國小鑽設之水壓觀測井內完成裝設電子式水壓計，並透過 ADSL 及控制軟體（圖 4-16）由本研究室的電腦讀取水壓至今（圖 4-17、圖 4-18）。因觀測時間尚短，與降雨及地震的關係，持續觀測中。

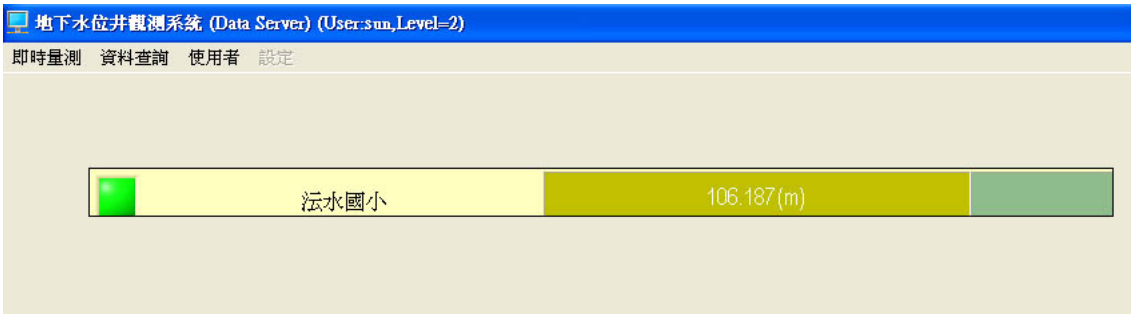


圖 4-16 透過 ADSL 及控制軟體由台大本研究室即時讀取沄水國小水壓觀測井之水壓狀況。

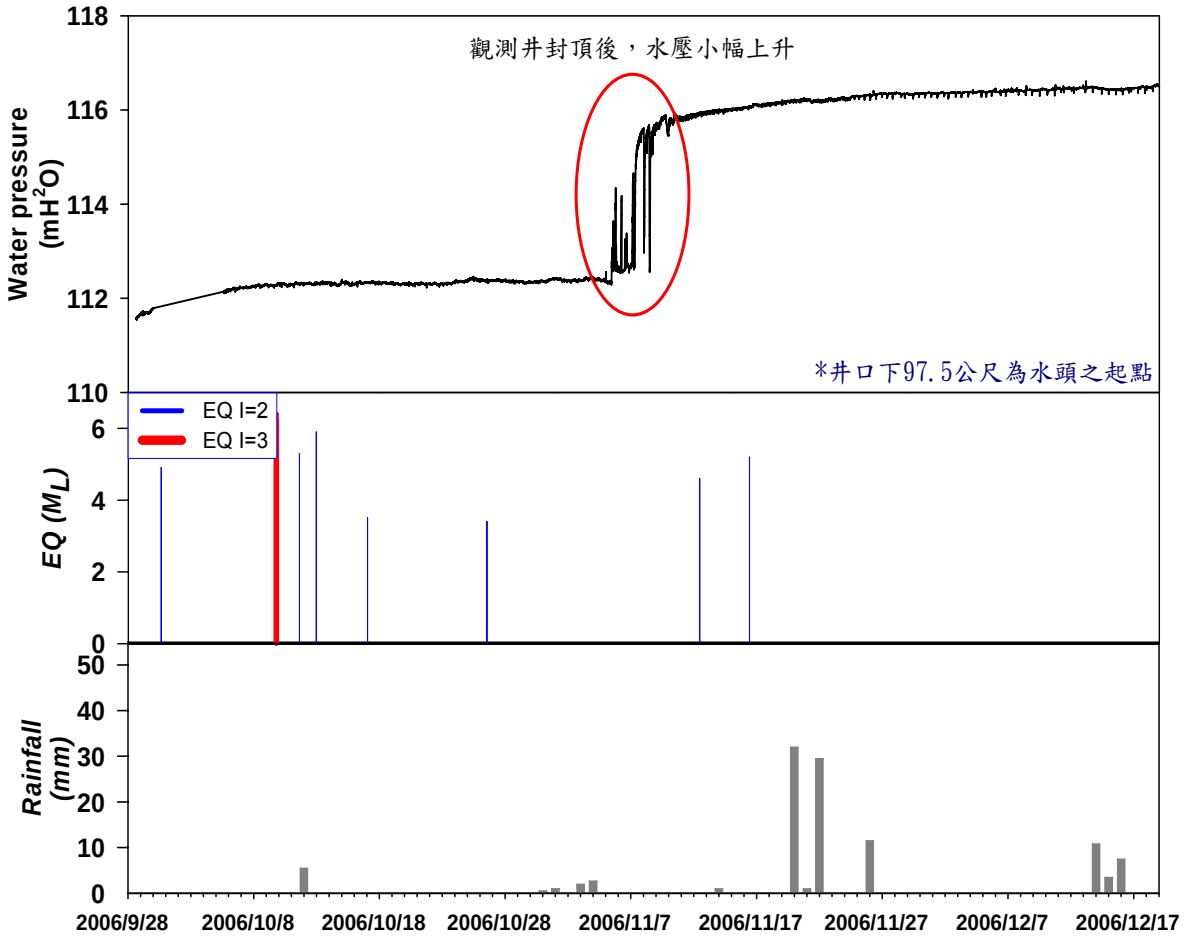


圖 4-17　嘉義縣中埔鄉沄水國小水壓觀測井於 9 月 28 日水壓計安裝後未封井口，至 11 月上旬密封井口後至今之水壓觀測值與地震及降雨量關係圖。EQ（M_L）：地震規模；EQ I：地震震度。因觀測時間尚短，與降雨及地震的關係，持續觀測中。

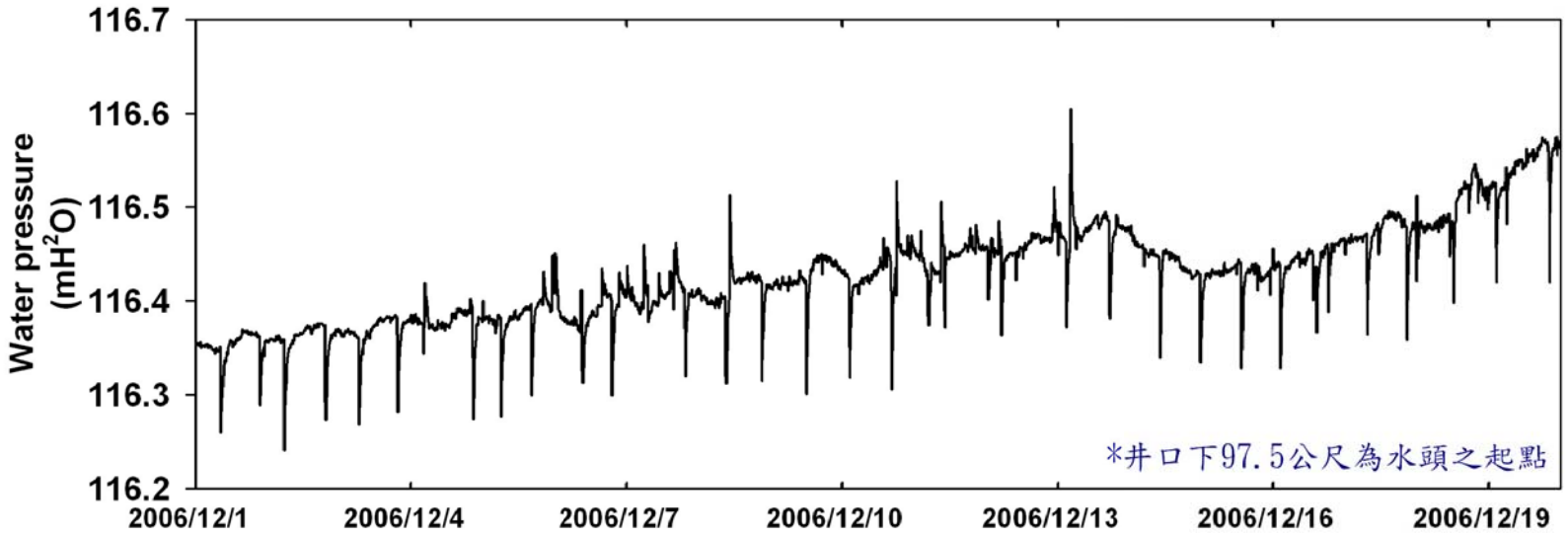


圖 4-18　嘉義縣中埔鄉沄水國小水壓觀測井 2006 年 12 月 1 日至 12 月 19 日之水壓計觀測值。

伍、評估觀測站氣體成份、水位變化與地震活動之關聯性

5-1 中崙濁水潭觀測站

本年度濁水潭觀測站的觀測數據中，沒有特別顯著的異常變化來說明與地震活動的關連性，其間雖有零星幾次氡氣濃度呈現些微升高的趨勢，不過都可能是受到人為因素、氣候因子的影響所致。因此，可能本區在這一年來並沒有太活躍的構造活動發生抑或是整體的觀測數據尚有改善的空間。

5-2 中崙溫泉一號井觀測站

溫泉一號井觀測站的觀測數據如同濁水潭觀測站一般，沒有特別顯著的異常變化來說明與地震活動的關連性，同樣有零星幾起氡氣濃度呈現些微升高的趨勢，不過都可能是受到人為因素、氣候因子的影響所致。因此，可能本區在這一年來並沒有太活躍的構造活動發生抑或是整體的觀測數據尚有改善的空間。

5-3 新竹大平地氣體觀測站

本年度大平地觀測站的數據中，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(如圖5-1)。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。

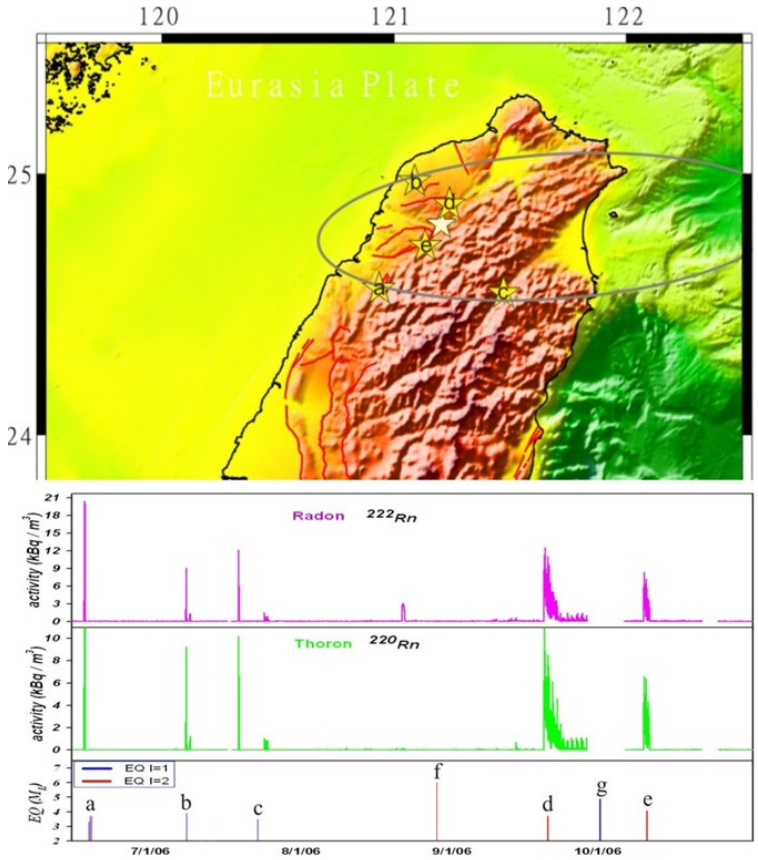


Table Catalog of related earthquakes occurred from 14th June, 2006 to 31st October, 2006 in Taiwan

No.[1]	Depth (km)	Mag. (M_L)	Int. (M_I)	Distance (km)	△t [2] (day)
a	5.6	3.2	2	14.2	1.5
b	14.7	3.6	1	61.3	0.2
c	5.3	3.5	1	42.7	3.5
d	8.3	3.7	2	33.4	0.7
e	6.4	4.0	2	19.1	0.6
f	135.3	6.0	2	204.2	-
g	88.4	4.9	1	137.8	-

[1] The relevant anomalous peak marked in Fig. 6
[2] Time difference between peak of the anomaly and the earthquake event.

圖 5-1 大平地觀測站觀測結果與地震活動之關聯性。

5-4 雙溪水位觀測站

本水位觀測站的數據尚無顯著的變化，並未觀察出明顯與地震活動有密切關的訊息。

5-5 嘉義梅山氣體觀測站、台南二溪氣體觀測站與嘉義沄水水位觀測站

新觀測站目前的觀測資料如圖 3-21、圖 3-21 和圖 4-16 所示，從目前的觀測結果（氣體與水位變化）尚無法觀察出任何與地震活動相關的訊息。

陸、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.本年度嘉義中崙地區兩座連續觀測站之氣體成份變化由於部分時間儀器的損壞、維修和硬體配置的調整造成份析資料數度中斷，所幸今年地震活動並不太頻繁，以致於也不易觀測斷層活動帶氣體成份與地震斷層作用之關聯性，期待增加了新的測站後能進而更瞭解台灣西南部土壤氣體成份變化與西南部各斷層和鄰近地殼、地震活動之關聯性。

4.本年度大平地觀測站的數據中，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。

5.九芎坑斷層、梅山斷層和觸口斷層初步探勘結果顯示，本地區有異常的土壤逸氣量，顯示斷層確實通過本區。而設置的監測站可長期監測本地區之可能斷層活動。

6.已分別於嘉義與台南地區設置土壤氣連續觀測站和水位觀測井，其中水位觀測井距原有的中崙濁水潭觀測站約只有5公里左右，這有助於我們瞭解當地水位、各氣體間與地震活動之關連性。

7.氣體觀測站之設置有許多因素非常重要，往後需要列入設站時之重要參考指標：

(a) 確認觀測站地底下之氣體來源

(b) 選擇鄰近斷層帶的地點設站

(c) 考量地震活動對當地的影響程度

(d) 選擇地下水位較低或地形較高的地點

(e) 多因子同步監測

(f) 盡量避免有腐蝕性的環境

(g) 選擇外人不易到達、但具有通訊與電源供應設備的地點

(h) 觀測站用地取得

柒、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。

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.

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

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8-1：期中報告審查委員意見及答覆情形

委 員 意 見	辦 理 情 形
1. 期中報告書 P.3、P.50 有關參考資料陳正宏（2003）未列於參考文獻，請補齊或修正。	1.答：已修正。
2. P.35 所有圖 2-42 至圖 2-48，應改為圖 2-41 至圖 2-47。	2.答：已修正。
3. 圖 2-29、2-33 及 2-37 等提及氣體異常可能與地震有關，建議應描述每個相關地震之震央位置、震源深度及與測站之地表距離（最好再加圖）。	3.答：遵照辦理。
4. 圖 3-14 及圖 3-15 應增加標示左圖與右圖，且該圖之採樣日期與內文不一致，請修正。	4.答：已修正，見 P.82、P.92、P.93。
5. 圖 3-15，淺藍色異常點，應改為較明顯之顏色。	5.答：已修正。見 P.93。
6. 圖 3-16，3-17 建議改為斷層走向之垂直方向投影。	6.答：原圖已刪除。
7. P.58 參考資料 Fu et al., (2006)，請加列於參考文獻。	7.答：已修正，見 P.139。
8. P.60~P.71（1）濃度異常分佈圖及對應元素濃度分佈圖範圍是否一致，應標示二度分帶座標。（2）等濃度線應標示清楚。（3）等濃度線圖請標示平均值。	8.答：已修正。
9. P.73 軟橋斷層附近之地質情形與本研究之關係，應有一張地質圖表示。	9.答：已刪除軟橋斷層等敘述。
10. P.77 第三行，"回"水率與"迴"水率，應修正。	10.答：已修正，見 P.106。
11. P.82-84 之圖說應加註觀測地點，請補正。	11.答：已修正，見 P.81-83。
12. P.46（4-6 行）及 P.75（3~4 行）之引用參考資料應依年代老至新排列，而非依英文字母先後次序排列。	12.答：已修正，見 P.104。
13. 儀器之穩定度及數據之可靠性與本計畫之觀測研究一樣重要，建議乙方持續努力改善所使用之儀器及相關設備。	13.答：設法改善中
14. 報告內應附預定工作進度並提出與	14.答：已補上，見 P.3。

實際工作進度之比較，且說明已達到期中之預定進度。	
15. 觀測儀器穩定度尚未讓人滿意（紀錄變異大，且有空白區間），宜於事前多考慮，設站後應有改進對策。對未來資料收集才有助益。	15.答：設法改善並尋找替代方案。
16. 新設站所需資料，非常嚴謹，唯儀器的可靠性仍需再努力維護，如此資料的可信度，連續度可維持一定水準。	16.答：遵照辦理並設法改善。

附錄 8-2：期末報告審查委員意見及答覆情形

委 員 意 見	辦 理 情 形
1. 報告書封面地調所報告編號應修改為"95-15"號。	1.答：已修正，見封面
2. 報告書 P.127 附錄 8-1 應修改項目尚有第 5、8、10、及 12 等項，請確實修改。	2.答：已修正。
3. 圖 2-29 與圖 2-33 相同，請修改。	3.答：已修正。
4. P.34 第 2 段第 4 行，乾"糙"劑應改為乾燥劑。	4.答：已修正，見 P.37。
5. 圖 3-14 及 3-15 之右圖採樣日期請與內文 P.77 校對修正。	5.答：已修正。見 P.82、P.92、P.93。
6. 圖 3-14 請加列地質圖或有文字的地形圖。	6.答：此區無詳細地質圖而地形圖會使圖例過於複雜因此未予以加列。
7. 圖 4-9 至 4-16 中水壓觀測值建議修改為水頭或以平均海水面為參考基準之地下水位。	7.答：已修正。
8. 各觀測站建議加列站址位置示意圖。	8.答：已加列。
9. P.103 有關地質概述應適當修正，P.105 山崙層應修正為中崙層。	9.答：已修正。見 P.110。
10. P.108 鑽探岩芯須依本所 Geo2005 規範建置資料。	10.答：遵照辦理。
11. 建議避免設置雨量計，以減少維護工作。有關雨量資料可引用附近氣象站的資訊。	11.答：納入考量。
12. 建議未來另行使用一個水位計來測試雙溪國小水位計之資料品質。	12.答：若經費允許將加設另一水位計。
13. 各氣體間成份比值圖，可考慮將非自然異常先行過濾，使圖形更能顯示自然變化。	13.答：將試著過濾資料而使資料呈現更具代表性。
14. 連續採樣與人工採樣所得資料，可相互校正，建議在圖中明顯標示出。	14.答：遵照辦理，見 P.50、P.65。
15. 儀器維修建議在圖說中加以註明。	15.答：遵照辦理。
16. 建議在討論與建議中，加入新竹大平地氣體觀測站觀測結果及與地震活動	16.答：遵照辦理，見 P.135。

之關聯性評估結果。	
17.建議適當修改 P.1 緒論之第 13 行"對已經設立.....有關"。	17.答：遵照辦理，見 P.1。
18. 地化之記錄，除機器之問題外，本報告指出尚有天然因素(如豪大雨)、忘了啟動儀器及記憶體存滿等因素，請考慮是否用列表檢驗單之方式改進。	18.答：將設計表單以避免此情形發生。
19. 圖 2-67(p.60)地震規模，地震震央之距離與地化異常之關係，就大平地觀測站資料請在期末報告書中加註。	17.答：遵照辦理，見 P.135。
20. 本計畫有關發表之文章及得獎情形建議以附錄表示。	17.答：遵照辦理。

附錄8-3：本計畫有關發表之文章及得獎情形

（一）與本計畫相關之研究成果

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

2002, Chyi, L.L., Chou, C.Y., Yang, T.F. and Chen, C-H., Automated radon monitoring of seismicity in a fault zone. *Geofisica Internacional*, 41(4), 507-511.

2002, 楊燦堯、宋聖榮、陳正宏、劉聰桂，地震前兆之化學性監測。經濟部中央地質調查所，台灣之活斷層與地震災害研討會論文集，89-106 頁。

2003, 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., Groundwater chemical anomaly before and after the Chi-Chi earthquake in Taiwan. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.* 14(3), 311-320. (SCI)

2003, Yang, T.F., Chou, C.Y., Chen, C-H., Chyi, L.L. and Jiang, J.H., Exhalation of radon and its carrier gases in SW Taiwan. *Radiation Measurements*, 36, 425-429. (SCI)

2004, 陳正宏、楊燦堯、宋聖榮、劉聰桂、李寄嵎，臺彎西部嘉南及竹苗地區斷層活動性之環境地球化學研究：2000-2002 年間之變化，中央地質調查所彙刊，第 17 號，129-174。

2004, 楊燦堯、宋聖榮、傅慶州、蘇春旭、劉聰桂、陳正宏，活動斷層地球化學監測現況與成果。經濟部中央地質調查所，台灣活動斷層與地震災害研討會論文集，120-137 頁。

2004, Yang, T.F., Song, S.R., Chen, C-H. and Liu, T.K., Geochemical precursors of fluid samples before and after 1999 earthquake swarms in SW Taiwan. Extended abstract for the International Conference in Commemoration of 5th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake, Taiwan, September 8-9.

2004, Yang, T.F., Yeh, G.H., Fu, C.C., Wang, C.C., Lan, T.F., Lee, H.F., Chen, C-H., Walia, V. and Sung, Q.C., Composition and exhalation flux of gases from mud volcanoes in Taiwan. *Environmental Geology*, 46, 1003-1011. (SCI)

2005, 陳正宏、楊燦堯、宋聖榮、劉聰桂，地震化學。集集大地震專書（王錦華編），548-569 頁。

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

2005, 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., Hydrochemical changes in spring waters in Taiwan: Implications for evaluating sites for earthquake precursory monitoring. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 16(4), 745-762. (SCI)

2005, Yang, T.F., Chen, C-H. and Liu, T.K., Preface to the special issue on Geochemical Investigations on the Geohazards. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 16(4), I-VI. (SCI)

2005, 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., Variations of soil radon and thoron concentrations in a fault zone and prospective earthquakes in SW Taiwan. *Radiation Measurements*, 40, 496-502. (SCI)

2006, 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)

2006, Yang, T.F., Fu, C.C., Walia, V., Chen, C-H., Chyi, L.L., Liu, T.K., Song, S.R., Lee, M., Lin, C.W. and Lin, C.C., Seismo-geochemical variations in SW Taiwan: multi-parameter automatic gas monitoring results. *Pure and Applied Geophysics*, 163(4), 693-709. (SCI)

2006, Fu, C.C., Yang, T.F., Du, J., Walia, V., Liu, T.K. and Chen, C-H., Variations of helium and radon concentrations in soil gases from an active fault zone of NPUST campus in southern Taiwan. *Radiation Measurements* (submitted) (SCI)

2006, Yang, T.F., Hsieh, P.S., Chen, Y.G. and Chen, C-H., Anomalous helium isotopic variations of fluid samples before and after the 1999 Chi-Chi earthquake in SW Taiwan. *Geophy. Res. Lett.* (submitted) (SCI)

2006, Yang, T.F., Jiang, J.H., Fu, C.C., Walia, V., Chen, C-H., Chyi, L.L. and Liu, T.K., An automated continuous gas monitoring system for the seismo- geochemical research. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.* (submitted) (SCI)

2006, Yang, T.F., Fu, C.C., Hong, W.L. and Walia, V. (2007) Radioactive gas emission from mud volcanoes in Taiwan. (submitted)

2006, Walia, V., Yang, T.F., Hong, W.L., Lin, S.J., Fu, C.C., Wen, K.L. and Chen, C-H., Geochemical variation of soil-gas composition for fault and earthquake precursory studies along Hsincheng fault in NW Taiwan. *Geophys. J. Intl.* (submitted) (SCI)

（二）本研究團隊研究成果獲得湯姆森卓越研究獎

湯姆森表揚台灣傑出科學家

2006 年 11 月 14 日，台灣：湯姆森科技訊息集團 Thomson Scientific 在今天公開表揚台灣地區獲得『Thomson Scientific 卓越研究獎』的八位教授，而這也是於全球各地舉辦的世界級獎項『Thomson Scientific 卓越研究獎』首次在台頒發。這個獎項是爲了表揚台灣地區最頂尖的教授，彰顯他們在國際研發領域上領先群倫的成就及具影響力的貢獻。

受人矚目的 Thomson Scientific 卓越研究獎是以學術研究報告引用數量爲根據所頒發的獎項，而這正反應出該研究報告在研究主題上所造成的衝擊及影響，同時也表示對日後研究的重要貢獻。

在過去八年期間，台灣的研發人員的研究報告被引用的次數逐年攀升，目前已躍升至全球第十八名，亞洲區則僅次於日本、中國、印度及南韓排名第五。若以每一份研究報告被引用的次數來看，台灣則在整個亞洲地區排名第二，僅次於日本，超越中國及印度。這些獲獎也反應出台灣地區在研發上的成就已逐漸在全球研發界佔有地位。

這些台灣地區的傑出卓越研究獎得主包括有：長庚大學醫學院的**廖運範教授**、國立交通大學電信工程學系的**郭仁財教授**、國立中正大學化學工程系的**胡啓章教授**、國立台灣大學化學系的**汪根欉教授**、中央研究院植物暨微生物學研究所的**吳素幸教授**、台灣大學地球科學系的**楊燦堯教授**、國家衛生研究所環境衛生與職業醫學研究組副研究員**吳焜裕教授**、及國立成功大學附設醫院內科部的**張定宗教授**。

台灣在化學、生物學及生物化學的研發領域享有盛名，可以看出台灣在研發方向上的轉變，以所發表的研究報告數量來看，臨床醫學、工程學及物理學是目前領先的三個領域。

同時，台灣也創下在 2000 年到 2005 年間在專利申請上 30%的成長紀錄，同時間，日本反而維持常態，並未有顯著的成長。2005 年在台灣地區像是光學及電訊方面反而因爲在技術方面的獨特發明而異軍突起。

屬於 Thomson 台灣研究日系列活動之一的『Thomson Scientific 卓越研究獎』頒獎典禮，於台北中央研究院舉辦，並由湯姆森科技訊息集團的 David Brown 及中央研究院副院長劉翠溶共同頒發這個獎項，同時也邀請到國立台灣大學圖書資訊學系主任暨研究所所長黃慕萱博士、及國家實驗研究院的洪文琪博士進行專題演講，整場活動共有超過 80 位來自各個頂尖的研究機構及圖書資訊界的精英共同參與。

湯姆森科技訊息集團的企業市場策略商務部副總裁 David Brown 表示：「亞太區目前正屬於旺盛發展期，在強化企業發展及消費者渴望最新科技及產品的雙重需求刺激下，造就了台灣對於最新的技術及推動科學進步的強烈渴望，而台灣也正持續不斷地展示其在農業科學、地球科學及數學等領域研發的領導地位。這些研究所造成的衝擊正是一項指標，代表台灣以持續不斷地追求及發明來尋求最新技術、製藥及科學上的突破！」

湯姆森科技訊息集團亞太區副總裁 Mark Garlinghouse 補充說明:「對湯姆森科技訊息集團而言，不管是學術或是商業機構在專利及科學研究上都享有同等重要的地位。在過去八年間，湯姆森科技訊息集團已經與台灣地區在研發領域的領導機構包括國立台灣大學、及中央研究院建立了牢固的關係，我們也期待在未來能夠與其它台灣頂尖的研究機關發展關係。」

『Thomson Scientific 卓越研究獎』也同時在包括澳洲、丹麥、巴西及墨西哥等國家頒發，最近一次頒獎活動則是在今年七月於印度舉行。

湯姆森科技訊息集團 ISI 知識網絡成立超過 50 年，已成爲目前在科學及學術領域引用文獻最重要的資料來源，爲各大學、學院及研究組織及在製藥、健康保健、及技術方面公司所廣泛運用。ISI 知識網是一個包含 Web of Science, Web Citation Index 及 Derwent Innovations Index 的平台，能幫助研究人員及企業能以索引的方式組織學者文獻、研究報告及各項記錄，同時根據這部份的資訊做出更快的決定。湯姆森科技訊息集團所提供的解決方案能爲專業人員從發現、分析、產品研發到配銷等各個階段的研發過程提供完整的協助。

利用土壤氣體來監測地震活動

國立台灣大學地質科學系

台灣大學地質科學系楊燦堯、劉聰桂、陳正宏教授與國實院地震工程中心的 Walia 博士的研究團隊，結合美國阿克隆大學(Univ. of Akron)的齊麟教授，最近幾年利用土壤氣體探勘方式，於台灣許多活斷層區域進行有系統的監測調查，發現於斷層地表出露處經常有異常的逸氣通量，而其中氡氣濃度於鄰近較大地震（規模大於 4.5 者）發生數天至兩週前，常有異常的變化，認為是一有效的地震前兆，可配合其它監測方法同步監測因為斷層活動所引起的地震活動。此研究成果已陸續發表於國際學術期刊，引起國際學者重視；日前更被國際著名處理學術研究資料的 Thomson Scientific 公司評選為台灣地區「地震前兆」研究項目中頂尖的研究。

台灣位處於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的交界上，兩個板塊不斷的擠壓、碰撞，使得台灣地區的地殼活動特別活躍，密佈許多斷層，由斷層活動所引發的地震也特別頻繁。自 921 地震發生後，在經濟部中央地質調查所與國科會經費支持下，台灣大學地質系的研究團隊於台灣西部地區選擇了幾處位於斷層鄰近地點，開始從事有系統的調查與連續監測計畫，發現位於觸口斷層沿線的嘉義中崙地區與關仔嶺溫泉的氣體成份在 921 地震發生前後有非常顯著的變化，認為是土壤氣體變化對地震活動反應最敏感的地區之一，適合從事長期連續監測。

目前在經濟部中央地質調查所與國家實驗研究院地震工程中心經費支持下，選擇了新城斷層、大平地斷層、觸口斷層、梅山斷層、新化斷層、池上斷層等處，從事調查並選擇敏感區逐年設置連續觀測站，期能佈成區域性的監測網，以利更精準地掌握地震前兆的訊息，朝「地震預測」的終極目標邁進。