

大屯火山群地底岩漿庫之調查與監測—— 土壤氣體之觀測調查



陽明山國家公園管理處
委託研究報告（97 年度）

中華民國 97 年 12 月

大屯火山群地底岩漿庫之調查與監測—— 土壤氣體之觀測調查

受委託者：國立台灣大學地質科學系

研究主持人：楊燦堯教授

陽明山國家公園管理處
委託研究報告

中華民國 97 年 12 月

目次

表次	II
圖次	III
摘要	V
第一章 前言	1
第二章 研究方法	7
第一節 原理	7
第二節 土壤氣體通量量測的方法	8
第三節 本計畫量測的方法及設備	8
第四節 土壤氣體通量的計算	11
第五節 氣體成份及氮同位素採樣方法	12
第三章 調查結果	13
第一節 測量地點	13
第二節 土壤氣體通量測量結果	17
第四章 監測站之設置	19
第五章 分析結果與討論	27
第一節 分析資料處理	27
第二節 連續監測結果	29
第三節 討論	31
第六章 結論與建議	35
參考書目	39
附錄	43

表次

表 3-1 土壤氣通量初步量測結果	18
表 4-1 不同孔洞採集氣體樣品之成份表	22
表 5-1 連續分析五小時的二氧化碳通量（低濃度） .	27
表 5-2 連續分析五小時的二氧化碳通量（高濃度） .	28
表 5-3 2007 年 11 月 16 日監測站採集氣體樣 品之成份	29

圖次

圖 1-1	北部地體構造簡圖與噴氣孔與溫泉分布圖	2
圖 1-2	氣體樣品之 He-Ne 三端元成份投影圖	3
圖 1-3	大屯火山群各地噴氣之平均氦同位素比值	4
圖 2-1	土壤逸氣通量量測之儀器設備	10
圖 3-1	小油坑噴氣孔採樣及通量測量位置分佈圖	13
圖 3-2	通量測量設備之工作情形	14
圖 3-3	第 06 採樣點位置圖	15
圖 3-4	第 07 採樣點位置圖	16
圖 3-5	第 08 採樣點位置圖	16
圖 4-1	火山氣體監測站之配置圖	19
圖 4-2	火山氣體監測站之外觀	20
圖 4-3	火山氣體監測站位於小油坑噴氣孔附近	21
圖 4-4	監測站之內不同深度的孔洞	21
圖 4-5	1 米鐵管孔洞氣體樣品之氬氣分析結果	23
圖 4-6	1 米 PVC 管孔洞樣品之氬氣濃度分析結果	24
圖 4-7	2 米 PVC 管孔洞樣品之氬氣濃度分析結果	24
圖 4-8	監測站二氧化碳分析儀之設置	25
圖 5-1	連續分析土壤氣體濃度變化資料 (低濃度)	27
圖 5-2	連續分析土壤氣體濃度變化資料 (高濃度)	28
圖 5-3	2007 年連續分析土壤氣體二氧化碳濃度變化結果	29
圖 5-4	2007 年連續分析土壤氣體二氧化碳逸氣通量結果	30

圖 5-5 2008 年連續分析土壤氣體二氧化碳濃度變化結果	31
圖 5-6 2008 年連續分析土壤氣體二氧化碳逸氣通量結果	31
圖 5-7 2008 年連續分析土壤氣體二氧化碳期間之雨量變化	31
圖 5-8 2008 年連續監測期間出現異常高值時段以及氬氣測量時段	32
圖 5-9 2007-2008 年監測期間台北地區的有感地震 . .	35

摘 要

關鍵詞：大屯火山群、七星山、火山氣體、觀測

最近研究資料顯示大屯火山群底下可能仍有岩漿庫活動，故而對大屯火山活動之長期監測，為一重要而急迫的工作項目。傳統上火山學家直接利用火山噴氣與溫泉水氣之地球化學成份變化來監測火山活動，唯採集樣品時經常要靠近火山噴發口位置，有較大的危險性，在火山噴發前與同時幾乎不可能靠近採集樣品，且不易設置長期連續監測站。

土壤氣體是由封存於地殼中的氣體擴散至地表，其成份與大氣有顯著差異。深部氣體會因為地層的裂隙而擴散至地表。在火山地區，不論火山處於活動或休眠狀態，只要有岩漿活動，大量的二氧化碳就會由火山地區釋放到大氣中。因此利用觀測二氧化碳的釋放，來監測火山活動，是相當重要的火山預報機制。藉由土壤氣中二氧化碳通量的測量及其它對於火山活動敏感的氣體成份，可以讓科學家在安全的距離內監測火山活動。

本計畫利用土壤氣體中二氧化碳含量變化，配合其它觀測結果來監測大屯山地區可能之岩漿活動。研究地區以七星山區火山噴氣活動較為活躍區域小油坑，選擇適當地點設置一座土壤氣二氧化碳連續觀測站，希望藉由對二氧化碳成份的連續觀測，配合地震活動觀測資料，達到同步連續監測本地區可能火山活動的目的。目前本研究已於小油坑設置連續觀測站，可以連續分析土壤氣中二氧化碳濃度與通量之變化，達到監測火山活動之目的。

ABSTRACT

Keywords: Tatun Volcano Group; Chishingshan; Fumarolic gas,
Observation

Recent studies indicate that there may be active magma chamber underneath the Tatun Volcano Group, northern Taiwan. Therefore, it becomes an urgent task to continuous monitoring on the potential magma activity in this region. Traditionally, volcanologists collect volcanic gases and hot springs directly from the venting sites to monitor their compositions. However, it is very dangerous to approach the venting areas, especially before and during the eruption. Meanwhile, it is also very difficult to set up a continuous monitoring station close to the venting sites.

Soil gases, which come from deep crust through fractures and degas toward surface, usually exhibit different composition of atmospheric air. In volcanic areas, intensive CO₂ is degassing to the atmosphere if there is magma activity no matter it is in the dormant or active stage. Therefore, it becomes a useful technique to monitor the magma activity of a volcano via measuring the CO₂ flux. Furthermore, it can keep scientists in a safe distance to do the monitoring task.

We have set up a continuous gas station at Hisao-yiou-ken area, where has active hydrothermal activity. Combining with other continuous monitoring technique, we will apply this method, i.e., continuous observation on the variations of soil CO₂ concentration and flux to monitor the potential magma activity in Tatun volcanic area.

第一章 前言

地處西環太平洋火山地震頻繁帶的大屯火山群（圖 1-1），其與岩漿活動有關的地熱活動仍然十分頻繁，由火山噴發記錄看來，大屯山最近的一次噴發是在十萬年前，故而可以將之歸類為休眠火山。傳統上地質學家認為台灣北部大屯山與東北外海之諸火山島，是屬於琉球島弧西延的一部份（如：莊文星與陳汝勤，1989；陳正宏，1990）；而 Teng et al. (1992) 與 Teng (1996) 則更進一步推測，台灣北部的岩漿活動因為沖繩海槽逐漸向西張裂而將停止活動。最近 Wang et al. (1999, 2002) 的研究，則開始挑戰傳統認為台灣北部火山活動是導因菲律賓海板塊隱沒所造成島弧岩漿活動的看法。他們認為這些具有「島弧」地球化學特徵的熔岩，不一定與現在正在進行中琉球海溝隱沒作用所生成的島弧系統直接有關；Wang et al. (1999, 2002) 指出這些岩漿活動，可能與台灣北部因為碰撞作用所生成的造山崩解張裂作用（extensional collapse）有關。若是此說法是正確的，則傳統認為大屯山及北部諸火山島已經逐漸停止活動的看法將必須要作很大的修正，因為台灣北部的張裂活動現正逐步加強發育當中，若是地殼下方有岩漿庫存在，則隨時有可能提供管道給岩漿噴發至地表。

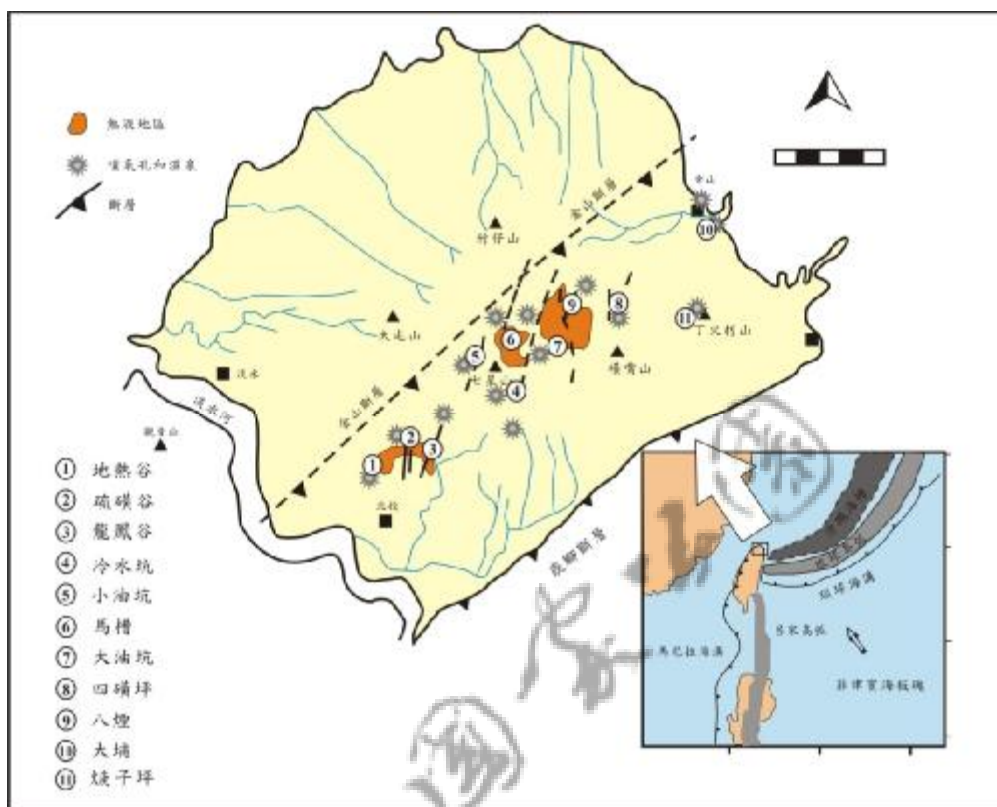


圖 1-1：台灣北部的地體構造簡圖與大屯火山群主要的火山噴氣孔與溫泉位置分佈圖。

最近初步的氦同位素研究結果顯示，大屯山地區的噴氣與溫泉氣仍有大於 60% 源於深部地函源的氣體組成（圖 1-2，Yang et al., 1999; 2005; 楊燦堯, 2000; 楊燦堯等, 2003），暗示台灣北部地底下仍有非常大可能性有岩漿庫的存在，其最可能之岩漿庫位置可能在有最高氦同位素比值火山氣體成份的大油坑底下（圖 1-3）；Song et al. (2000) 更據此推論大屯火山群可能為一活火山。Chen and Lin (2002) 最近由台北盆地之鑽井岩芯中，發現在松山層中夾有原生火山灰薄層，且推論其最有可能為大屯火山群之噴發產物，假設松山層最老的沈積年代為兩萬年以前，所以他們推論大屯火山群最近的一次噴發紀錄應該年輕於兩萬年前。此一年輕的噴發記錄，又加強了大屯山底下可能仍有岩漿庫活動的說法。

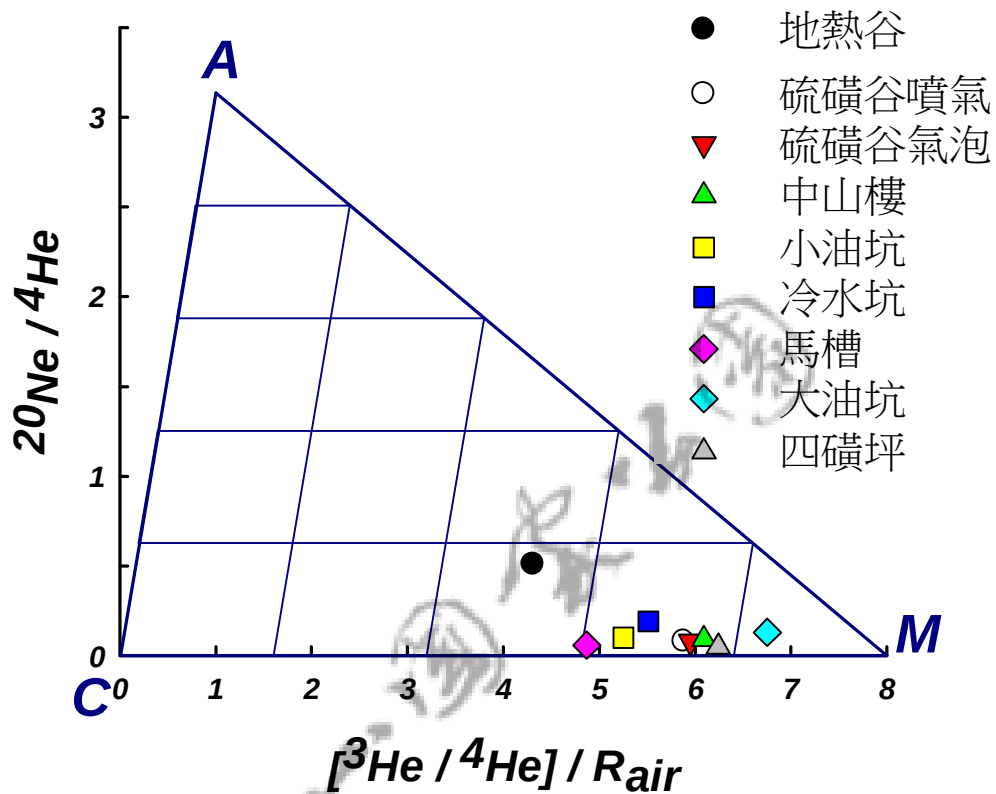


圖 1-2：大屯火山地區氣體樣品之 He-Ne 三端元成份投影圖。
A：空氣；C：地殼；M：地函端成份。除了地熱谷外，大屯火山群之氣體成份皆有大於 60% 之地函源氣體成份；而大油坑氣體則有最大之地函源比例（~90%）。（楊燦堯等，2003）

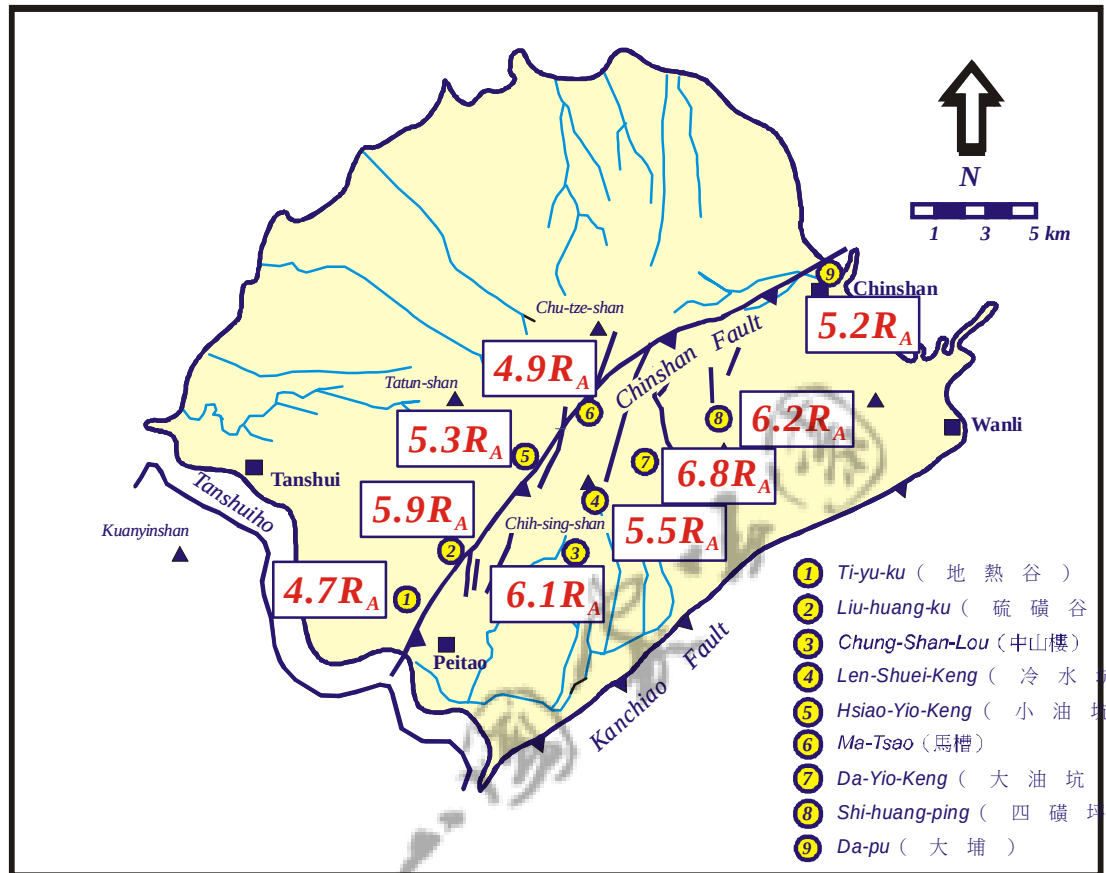


圖 1-3：大屯火山群各地噴氣之平均氮同位素比值。其中大油坑有最高之氮同素比值，推測為最有可能存在岩漿庫的位置（楊燦堯等，2003）。

故而對大屯火山活動之長期監測，為一重要而急迫的工作項目；最近 Lin et al. (2005a, b) 的地震監測資料分析結果顯示，在七星山底下確有異常的地震活動，可能與岩漿熱液活動所引發的微震有關，非常值得持續對當地的可能岩漿活動進一步監測，可惜此一觀測結果未能有地球化學方面的同步監測，無法進一步確認是否為岩漿活動所引起之異常活動。

傳統上火山學家直接利用火山噴氣與溫泉水氣之地球化學成份變化來監測火山活動，唯採集樣品時經常要靠近火山噴發口位置，有較大的危險性，在火山噴發前與同時幾乎不可能靠近採集樣品，且不易設置長期連續監測站。

土壤氣體是由封存於地殼中的氣體擴散至地表，其成份與大氣有顯著差異。深部氣體會因為地層的裂隙而擴散至地表。藉由成份的差異，可以判斷地下的構造及可能之氣體來源。根據許多研究顯示，土壤氣體檢測在許多調查工作上，是相當可靠的方法。應用範圍包括：礦床、地熱及石油蘊含的分佈、地震預測及新構造的研究等 (King et al., 1996; Klusman, 1993; Lombardi and Reimer, 1990; Schumacher, 1991)；近年來更被應用於藉由觀察地層破裂面所擴散出的氣體，找出放射性廢棄物的可能位置 (Lombardi et al., 1993; 1996)。不僅可以迅速有效率地分析氣體成份，加上土壤氣體檢測可以克服許多地形、土壤難以設觀測站的問題，使其應用更為廣泛。

在火山的應用方面：不論火山處於活動或休眠狀態，只要有岩漿活動，大量的二氧化碳就會由火山地區釋放到大氣中。因此利用觀測二氧化碳的釋放，來監測火山活動，是相當重要的火山預報機制。以往量測二氧化碳的方法有：由火山口的 CO_2/SO_2 比例和 correlation spectrometer (COSPEC) 測量 SO_2 通量 (e.g., Rose et al., 1986; Symonds et al., 1994)，求出 CO_2 通量。或是利用裝置有 CO_2 分析器的飛機，飛過火山口上方進行分析 (e.g., Brantley and Keopenick, 1995; Gerlach et al., 1997; Harris et al., 1981)。然而不僅在火山口及火山噴氣口的氣體中含有大量的二氧化碳，在火山的側邊也可以量測到火山氣體，經由擴散作用釋放到大氣中 (Allard et al., 1991)。火山氣體中，去水後之氣體成份以二氧化碳含量較高，同時也是岩漿上升過程中，首先脫離的氣體之一 (e.g., Giggenbach, 1996; Symonds et al., 1994; Lee et al., 2005; 2008)，因此藉由土壤氣中二氧化碳通量的測量及其它對於火山活動敏感的氣體成份（如氦氣與氬氣），可以讓科

學家在安全的距離內監測火山活動 (Lan et al., 2007)。這樣的優點，在火山噴發前和噴發期間更顯重要。

本計畫將利用土壤氣體中二氧化碳含量變化，配合其它觀測結果來監測大屯山地區可能之岩漿活動。研究地區將以七星山區火山噴氣活動較為活躍區域（如大油坑、小油坑等地），選擇適當地點設置一座土壤氣二氧化碳連續觀測站，希望藉由對二氧化碳成份的連續觀測，配合地震活動觀測資料，達到同步連續監測本地區可能火山活動的目的。

第二章 研究方法

第一節 原理

土壤氣體是存在於地下的氣體，可能由生物或是地質等作用產生；由於氣體密度低而經由土壤中的裂隙擴散至地表。土壤氣體的成分與大氣有顯著的差異，藉由成份的分析及各種性質的探討，給予我們許多地質意義上的解析。

根據許多研究顯示，土壤氣體檢測在許多調查工作上，是相當可靠的方法。應用範圍包括：礦床、地熱及石油蘊藏的分佈、地震預測及新構造的研究等(King et al., 1996; Klusman, 1993; Lombardi and Reimer, 1990; Schumacher, 1991)。礦床學上，土壤氣體早已被應用於礦藏的探勘。近年來，更被應用於環境污染的偵測。加上分析儀器的進步，不僅可以迅速且有效率地分析氣體成份，加上土壤氣體檢測可以克服許多地形、地質環境難以設站的問題，使其應用更為廣泛。

在火山調查與監測的應用方面：不論火山處於活動或休眠狀態，只要有岩漿活動，大量的火山氣體就會由火山地區釋放到大氣中。因此利用觀測火山氣體的釋放，來監測火山活動，是相當重要的火山預報機制。以往量測火山氣體通常使用相對光譜儀(correlation spectrometer，簡稱 COSPEC)測量二氧化硫通量(e.g. Rose et al., 1986; Symonds et al., 1994)。

火山氣體中，去水後之氣體成份以二氧化碳含量較高，同時也是岩漿上升過程中，首先脫離的氣體之一(e.g., Giggenbach, 1996; Symonds et al., 1994; Yang et al., 2003; Lee and Yang, 2004)。不僅在火山口及火山噴氣口的氣體中含有大量的二氧化碳，在遠離火山口的地區也可以量測到高於空氣濃度的火山氣體(Allard et al., 1991)。因此藉由土壤氣中二氧化碳通量的測量，可以讓科學家在安全的距離內監測火山活動；此外，藉由繪製通量等高線圖，可提供辨識火山特徵及未來可能噴發點的資訊。這樣的優點，在噴發前和噴發期間更顯重要。

第二節 土壤氣體通量量測的方法

若忽略氣體及固體表面的交互作用，總通量(ϕ_{tot})代表對流作用通量及擴散作用通量的和。而總通量中，主要仍以對流作用為主，擴散只佔少部分。若以擴散方式通過均質土壤，根據 Fick 第一定律有下列關係式：

$$\phi A = -vD(dC/d\lambda) \quad v: \text{土壤孔隙率} \quad D: \text{土壤的擴散係數} \quad (1)$$

相對的，對流則包含了因為壓力梯度而產生的作用力。根據 Darcy 定律：

$$\phi a = (\kappa/\mu)(dP/d\lambda) \quad \kappa: \text{土壤滲透係數} \quad \mu: \text{流體的黏滯度} \quad (2)$$

雖然式(2)是經由穩定系統實驗而得，但仍廣泛應用於各方面，包括受壓流體的對流等(e.g. Clements and Wilkening, 1974)。

參考國外學者量測通量的方法主要如下(Chiodini, 1998)：

1. 間接量測法：根據二氧化碳濃度決定通量。量測不同深度的二氧化碳濃度來計算通量，因為難以估算(1)中的 v 、 D ，所以本方法只能使用於氣體擴散速率穩定的地區。
2. 直接量測法：直接法需要動態平衡的過程，包括量測已知土壤的進氣與抽氣量，而得 CO_2 通量(e.g. Kucera and Kirkham, 1971; Reiners, 1968)。Gurrieri and Valenza (1988)將一直徑 1.3 公分、50 公分長的金屬管打入土壤，利用抽氣速率固定的幫浦，由管子的底部持續抽出二氧化碳並量測其含量。被吸出的氣體，以空氣進入取代，如此可以估算出通量。經過一段時間，二氧化碳濃度達一定值時，其濃度為“動態濃度(C_d)”，與土壤二氧化碳通量成比例。為了計算 $\phi_{\text{soil}} \text{CO}_2$ ， C_d 必需考慮實驗設計、實驗情形與土壤的物理性質等參數。且所有動態平衡的過程，都可能因為實驗裝置設計，或操作人員對空氣通量的選擇，造成氣體通入壓力過高或過低的影響(Kanemasu *et al.*, 1974)。
3. 靜態吸收法：許多研究者利用鹼液和二氧化碳平衡的方法計算通量(e.g., Cerling *et al.*, 1991)。例如利用鹼液吸收待測容器中的二氧化碳，而後由分析石灰水的濃度得到二氧化碳的增加量。此方法可以測出微小到 $0.7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 的差異，但收集時間長，缺乏效率。
4. 密閉氣罩法(Closed-chamber method)：由義大利科學家 Chiodini 發展出的通量研究方法(Chiodini *et al.*, 1998)：在土壤表面蓋上一密閉容器，利用二氧化碳濃度的增加速率計算通量。這個方法已經成功的應用在農業科學上，用以測量土壤代謝效率 (Parkinson, 1981) 及測量土壤中其他氣體的通量，例如(e.g. Kinzig and Socolow, 1994)。

第三節 本計畫量測的方法及設備

我們採用近來最常被使用的密閉氣罩法，並使用義大利 WEST SYSTEM 所製造的可攜式裝備，進行硫磺谷地熱區土壤氣體二氧化碳濃度測量。儀器主要分為三部分（圖 2-1）：

- (1) 遠紅外線光譜儀：配備有兩個氣體偵測器，LICOR LI820 非擴散性遠紅外光譜儀，偵測範圍 0-20000 ppm 及硫化氫偵測儀，偵測範圍 0-50 ppm。
- (2) 循環氣罩(Circular chamber)：為一完全密閉的金屬罩，內部總體積 6.2×10^{-3} 立方公尺，高 20 公分，底面積 314 平方公分。有進氣及出氣口連接光譜儀，使管路成為循環系統。毛細管裝置使內外壓平衡，但不會造成氣罩內外氣體的交換。若沒有毛細管會使氣罩內壓漸漸升高而影響通量值。由於二氧化碳密度較空氣大，易沉降於低處，造成濃度不均勻；因此氣罩內部有一轉速固定的風扇，用以均勻混合空氣及二氧化碳。為防止水氣進入儀器造成誤差及儀器的損壞，進入儀器前的管路加裝乾燥劑。經測試，矽膠凝體 (silica gel) 的除濕效果好、易更換，是相當合適的乾燥劑。另外，進行量測前，應將氣罩邊緣以土壤覆蓋妥當；以避免外部空氣進入，造成誤差。在風較大的狀況下更應小心氣罩的密閉。再者需要確定氣罩內的二氧化碳濃度已經與空氣相當後，再開始測量，否則初始值會高於真正土壤的二氧化碳濃度，造成量測時間加長 (Welles et al., 2001)。
- (3) 掌上型電腦：儀器的控制及數據儲存均利用掌上型電腦進行。由掌上型電腦內建的程式可以馬上得到通量值數據（單位: ppm/s），即時得到數據可以立刻確知實驗的正確與否，而決定是否從新測試，是相當便利、有效率的方法。

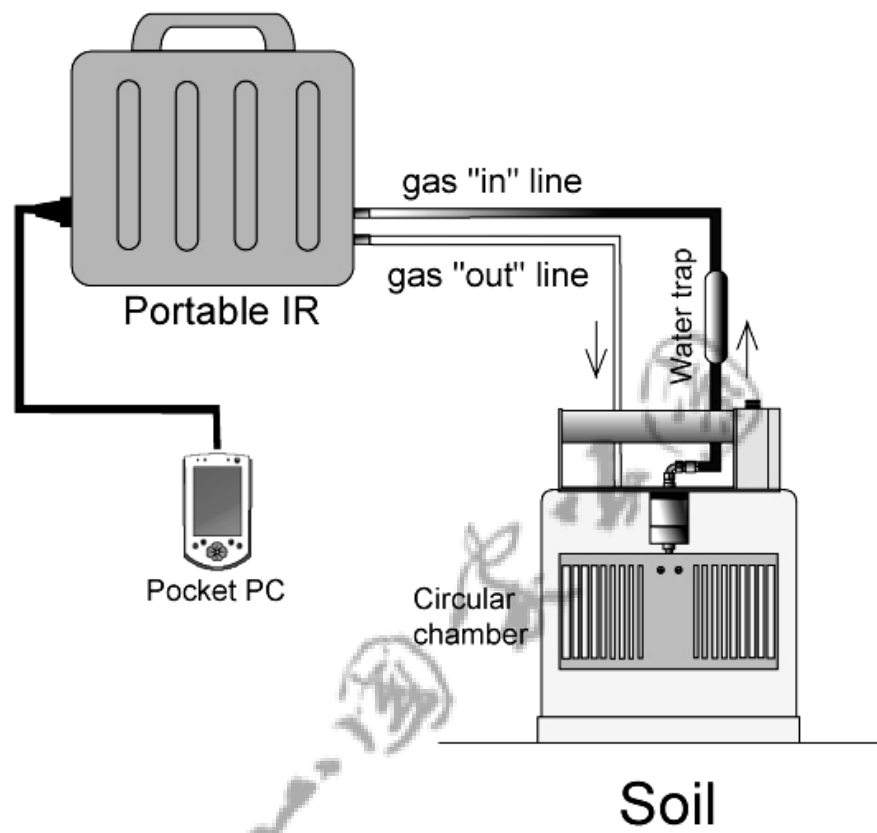


圖 2-1：土壤逸氣通量量測之儀器設備

第四節 土壤氣體通量的計算

由計算二氧化碳質量的增加來求得通量(ϕ)，必須固定氣罩的體積；並於固定時間間隔量測二氧化碳濃度。可得到以下的關係式：

$$V_C C_{CO_2,t+dt} = V_C C_{CO_2,t} + \phi_{inp} A_C C_{soil} CO_2 dt - \phi_{out} A_C C_{CO_2,t} dt \quad (3)$$

A_C 為 chamber 底面積， V_C 為 chamber 體積， $C_{CO_2,t+dt}$ 為二氧化碳於 dt 時間內增加的濃度。 V_C 與 $C_{CO_2,t+dt}$ 相乘即為在 $t+dt$ 內二氧化碳增加的質量。這個值與 t 時刻 chamber 內二氧化碳質量($V_C C_{CO_2,t}$)加上 dt 時間內，由外界進入的質量($\phi_{inp} A_C C_{soil} CO_2 dt$)，並減去流出 chamber 的質量後($\phi_{out} A_C C_{CO_2,t} dt$)應相等。而氣體進出氣罩的速率(ϕ_{inp} 、 ϕ_{out})由儀器控制，兩者應相等，因此沒有壓力不等的問題。又 V_C/A_C 即為氣罩的高，因此(3)可寫成：

$$dC_{CO_2}/(C_{CO_2,t} - C_{soil} CO_2) = -(\phi_{inp}/H_C) dt \quad (4)$$

(4)恰為帶有常數的一次線性微分方程式，計算後可寫成：

$$C_{CO_2,t} = C_{soil} CO_2 + (C_{air} CO_2 - C_{soil} CO_2) \exp(-t \phi_{inp} / H_C) \quad (5)$$

若於初始狀態($t \rightarrow 0$)，(4)可以寫成：

$$\phi_{inp} (C_{soil} CO_2 - C_{air} CO_2) = (dC_{CO_2}/dt)_{t \rightarrow 0} H_C \quad (6)$$

火山及地熱地區的土壤氣二氧化碳濃度通常會遠大於空氣二氧化碳濃度($C_{soil} CO_2 \gg C_{air} CO_2$)，因此：

$$\phi_{soil} CO_2 = \alpha H_C \quad (7)$$

要計算 $\phi_{soil} CO_2$ 須先確定 α 值，而 α 決定於開始量測通量前 $C_{CO_2}-t$ 的斜率。此斜率在實際狀況下是很難評估的；但只要經實驗矯正就可以克服這樣的問題。

第五節 氣體成份及氦同位素採樣方法

為瞭解土壤氣體成份，並辨別氣體來源，採取土壤氣體進行氣體成份分析及氦同位素分析。使用長1公尺、內徑1公分的不鏽鋼管打入土壤至少50公分深，並使用鉀玻璃真空瓶採取土壤氣體樣本，攜回實驗室利用四極桿質譜儀分析氣體成份；並使用磁場式氣態離子源稀有氣體質譜儀(MM5400, Micromass, England)進行氦同位素比值分析。

第三章 調查結果

第一節 測量地點

野外初步探勘結果顯示，七星山附近地區以小油坑噴氣口附近最為適合設置連續監測站。除了有強烈持續的火山噴氣活動值得連續監測其活動以外，更因為鄰近遊客中心，有容易維護與設置的優點，且未來更具有教育大眾的附加價值。故而本計畫以本地區為首選設置連續監測站的位置。

本計畫於本地區之調查，以土壤氣體通量測量配合土壤氣體採樣，在使用不銹鋼管打入土壤採樣前後各進行二氧化碳及硫化氫通量測量，以比較打穿土壤表層前後通量的差異。

通量測量與土壤氣體採樣點共計十一個點，分佈於遊客中心附近、噴氣口周圍與遊客中心停車場（如圖 3-1）。

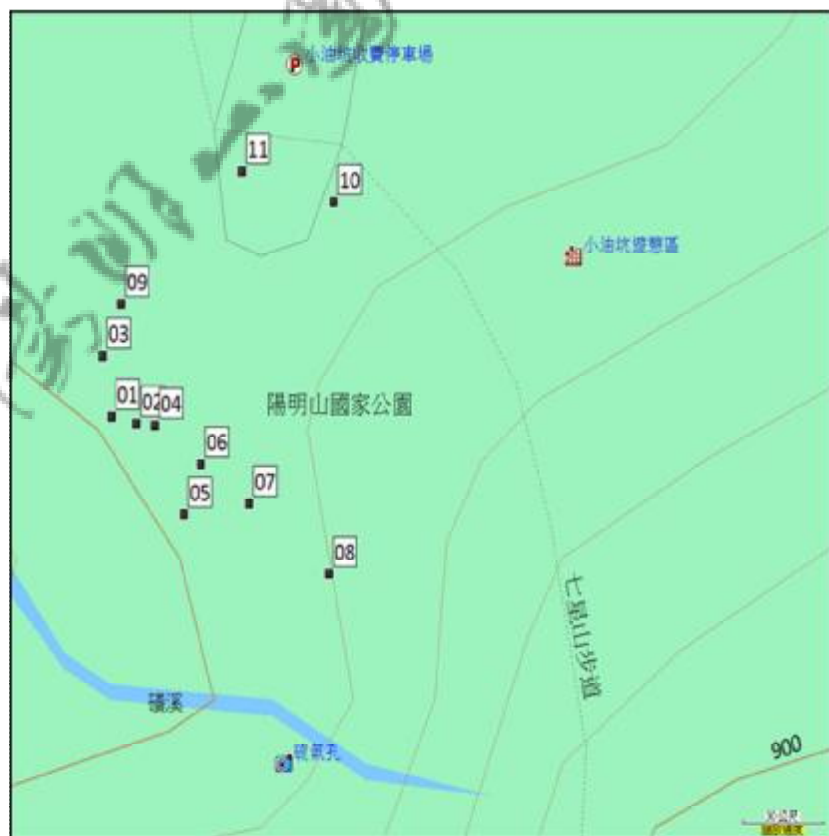


圖 3-1：小油坑噴氣孔附近土壤氣採樣及通量測量點位置分佈圖



圖 3-2：使用密閉氣罩法及套裝通量測量設備之工作情形。



圖 3-3：第 06 採樣點位置靠近小油坑主要遊客步道且周遭有景觀設計



圖 3-4：第 07 採樣點位置適中，溫度、通量及氣體成份均適合監測站設立



圖 3-5：第 08 採樣點已相當靠近噴氣孔，溫度及氣體成份均對儀器有害

第二節 土壤氣體通量測量結果

土壤氣體通量測量結果如表 3-1 所示。

大部分較遠離噴氣口的採樣點，無論在打入不銹鋼管前後，通量都沒有太大的改變（如第 02~05 採樣點），硫化氫含量也未達到儀器的最小偵測值。第 01 採樣點與一般觀察較不同，在打穿土壤之前的通量頗高，但打穿後通量卻與一般無異，顯示其氣體逸散通量可能不穩定，加上氣體成份並沒有代表性，因此排除在其上設立監測站的可能性。

靠近停車場的兩個採樣點（10 及 11）在打穿土壤後，雖然通量增加量較遊客中心附近的點都來得高，但成份仍屬典型的土壤氣體，無法適當反映火山活動，因此也將其排除。

第 06、07、08 採樣點在通量及氣體成份上均具有適合監測站設立之條件：氣體通量達到一定量且氣體成份可以適當反映火山活動。

第 06 採樣點在打穿土壤後，通量由 $37.6 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 遽增至 $565 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 且通量穩定，但其位置就位於小油坑主要遊客步道上，加上附近有解說牌及石頭等景觀設計，基於小油坑整體景觀與監測站的安全性，第 06 採樣點並非最恰當的位置。

第 07 與 08 採樣點均位在靠近噴氣口的區域，第 07 點在遊客步道旁邊的草叢中，而第 08 點就在噴氣口旁禁止遊客進入的圍欄旁。但是 08 可能因為太過於靠近噴氣口，其土壤氣體成份幾乎與火山氣體成份相當，且土壤表面溫度高達 55 度；其氣體硫含量及溫度都會造成儀器損傷，因此 08 點也不適合設立監測站。

第 07 採樣點為本監設站首選位置，因為其二氧化碳通量夠大、硫化氫等可能損害儀器之成份低，且氣體成份具有火山氣體代表性，加上位置適中，設立監測站不會對遊客或是景觀造成太大的影響。

基於以上種種考量，第 07 採樣點為設立土壤氣體監測站的最佳位置。

表 3-1：土壤氣通量初步量測結果

Sample	P (mbar)	T (°C)	Flux (ppm/s)	K	CO ₂ Flux (mole/m ² /day)	CO ₂ Flux (g/m ² /day)	H ₂ S Flux (mole/m ² /day)	H ₂ S Flux (g/m ₂ /day)	X (WGS84)	Y (WGS84)
syk-1-1	924.6	20	2.059	0.700	1.44	63.4	nd	nd	E121.54673	N25.17628
syk-1-2	924.6	20	2.196	0.646	1.42	62.4	nd	nd		
syk-2-1	924.3	20.4	1.708	0.645	1.10	48.5	nd	nd	E121.54683	N25.17626
syk-2-2	924.3	20.4	1.433	0.645	0.92	40.7	nd	nd		
syk-3-1	924.3	19.3	2.035	0.647	1.32	58.0	nd	nd	E121.54670	N25.17644
syk-3-2	924.3	19.3	1.928	0.647	1.25	54.9	nd	nd		
syk-4-1	924.2	18.3	0.851	0.650	0.55	24.3	nd	nd	E121.54689	N25.17626
syk-4-2	924.2	18.3	0.555	0.650	0.36	15.9	nd	nd		
syk-5-1	923.7	17.8	0.351	0.650	0.23	10.0	nd	nd	E121.54700	N25.17602
syk-5-2	923.7	17.8	0.517	0.650	0.34	14.8	nd	nd		
syk-6-1	923.6	25.7	1.351	0.633	0.86	37.6	nd	nd	E121.54706	N25.17615
syk-6-2	923.6	25.7	20.310	0.633	12.9	566	nd	nd		
syk-7-1	923.6	23.3	1.219	0.638	0.78	34.2	nd	nd	E121.54724	N25.17605
syk-7-2	923.6	23.3	37.370	0.638	23.8	1049	nd	nd		
syk-8-1	923.3	55.4	20.330	0.576	11.7	515	nd	nd	E121.54754	N25.17585
syk-8-2	923.3	55.4	48.850	0.576	28.1	1237	0.001	0.04		
syk-9-1	922.7	22	0.544	0.640	0.35	15.3	0.003	0.11	E121.54677	N25.17658
syk-9-2	922.7	22	0.739	0.640	0.47	20.8	0.002	0.07		
syk-10-1	922.7	26.8	1.146	0.630	0.72	31.8	0.002	0.06	E121.54755	N25.17686
syk-10-2	922.7	26.8	3.694	0.630	2.33	102	0.003	0.11		
syk-11-1	922.8	18.8	0.299	0.647	0.19	8.52	nd	nd	E121.54722	N25.17694
syk-11-2	922.8	18.8	3.964	0.647	2.57	113	nd	nd		

備註：-1 為打穿土壤前通量，-2 為打穿土壤後通量測量值

第四章 監測站之設置

圖 4-1 為本計畫設置氣體連續觀測站之配置示意圖。

於設站位置，分別利用兩米與一米長的鐵管打入土壤層，測試有足夠的氣體由地底逸散出來後，罩上氣罩，經過氣體冷卻器後，氣體樣品便可以導入二氧化碳偵測儀，而可量得其成份的變化。

於監測站內部，並預留兩個分別為一米與兩米身的孔洞，以供往後設置氬氣分析儀使用，以資與二氧化碳的成份變化相比對。

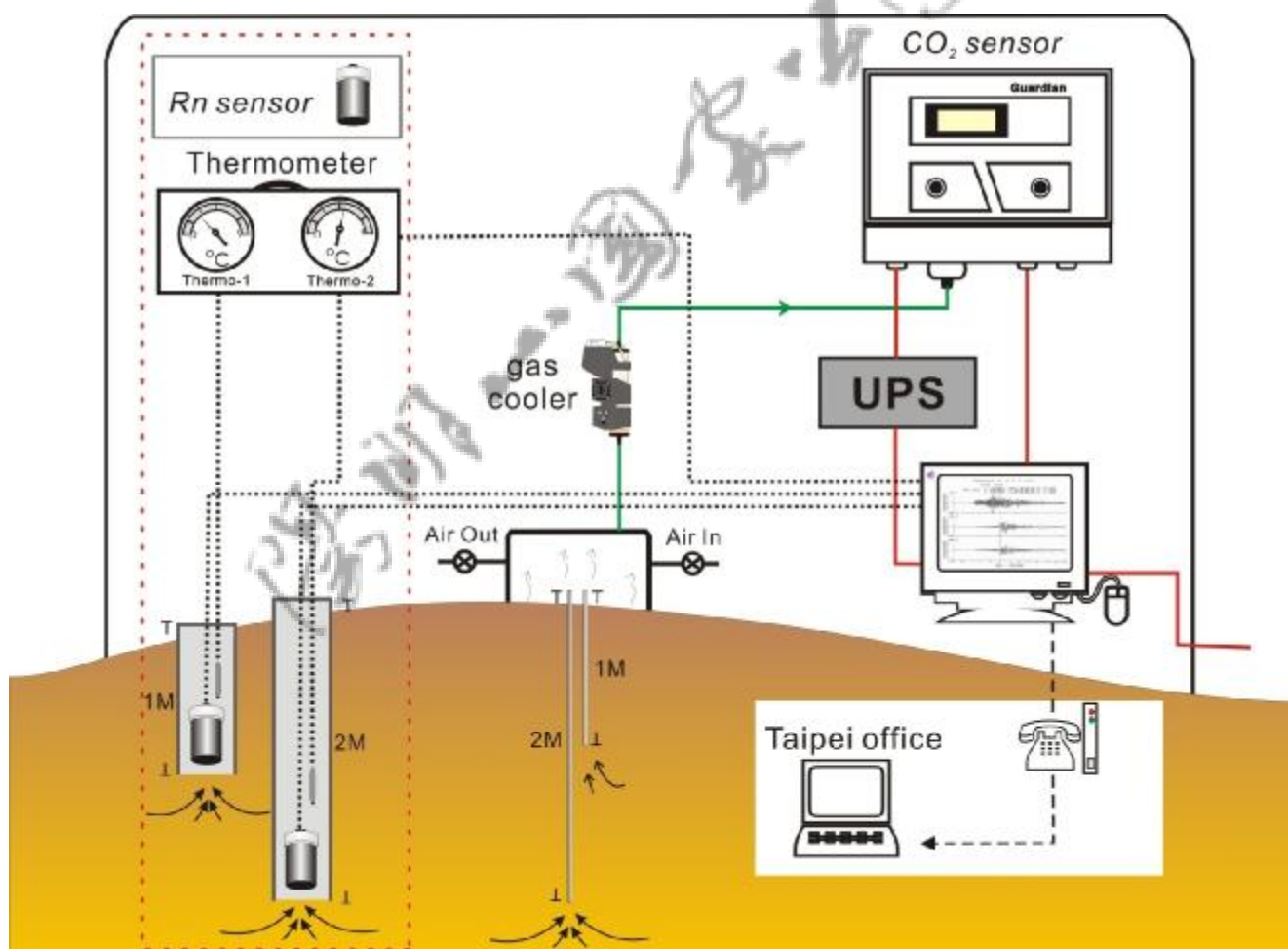


圖 4-1：火山氣體監測站之配置圖

目前監測站已設置完成，如圖 4-2 所示。目前以可以正式的連續分析土壤二氧化碳的氣體成份與通量變化。



圖 4-2：火山氣體監測站之外觀



圖 4-3：火山氣體監測站位於小油坑噴氣孔附近



圖 4-4：火山氣體監測站之內預留不同深度的孔洞，可供二氧化碳與氮氣分析儀使用

分別採集不同孔洞的氣體樣品進行分析，其中深度兩米的鐵管居然僅有微量的土壤氣體可以抽取出來，而無法分析到氣體組成。可能因為此深度剛好打到不透水的黏土層，致使透氣率較差，使得深處的氣體無法逸散至地表來。

表 4-1：監測站內不同孔洞採集氣體樣品之成份

	CH ₄	N ₂	O ₂	H ₂ S	Ar	CO ₂	SO ₂	Total
SYK PVC 1M	0.00%	76.54%	18.55%	0.09%	0.825%	3.92%	0.02%	100.00%
SYK PVC 2M	0.08%	69.65%	17.71%	0.06%	0.954%	11.50%	0.00%	100.00%
SYK 鐵管	2.13%	4.49%	0.44%	6.26%	0.014%	86.53%	0.04%	100.00%

由表 4-1 可以看出，由一米深鐵管所採集到的氣體樣品，與火山氣體樣品成份最為接近（有最高的二氧化碳與硫化氫氣體濃度），可以作為本地區火山氣體的替代樣品，用予監測本地區的火山活動。

而由 PVC 管所採集的樣品，因為孔徑較大，故而有較多的空氣混染情形（明顯較高的氮氣與氧氣含量）；不過 2 米深孔洞所採集的樣品，比由 1 米深孔洞所採集的樣品有較高的二氧化碳濃度，可以作為往後不同深度氮氣濃度通量的量測，以資跟二氧化碳資料相比對。

圖 4-5 至 4-7 為不同孔洞樣品之氮氣濃度分析結果。其中 PVC 管不同深度的樣品有相近且較低的氮氣濃度，約 8,000 Bq/m³；而一米鐵管孔洞的樣品，則明顯有較高的氮氣濃度，>20,000 Bq/m³。此結果與主要氣體成份分析結果相符，即由鐵管孔洞所採集的樣品有較高比例的火山氣體成份，有較高二氧化碳、硫化氫與氮氣濃度，可以作為往後監測火山活動的監測指標。

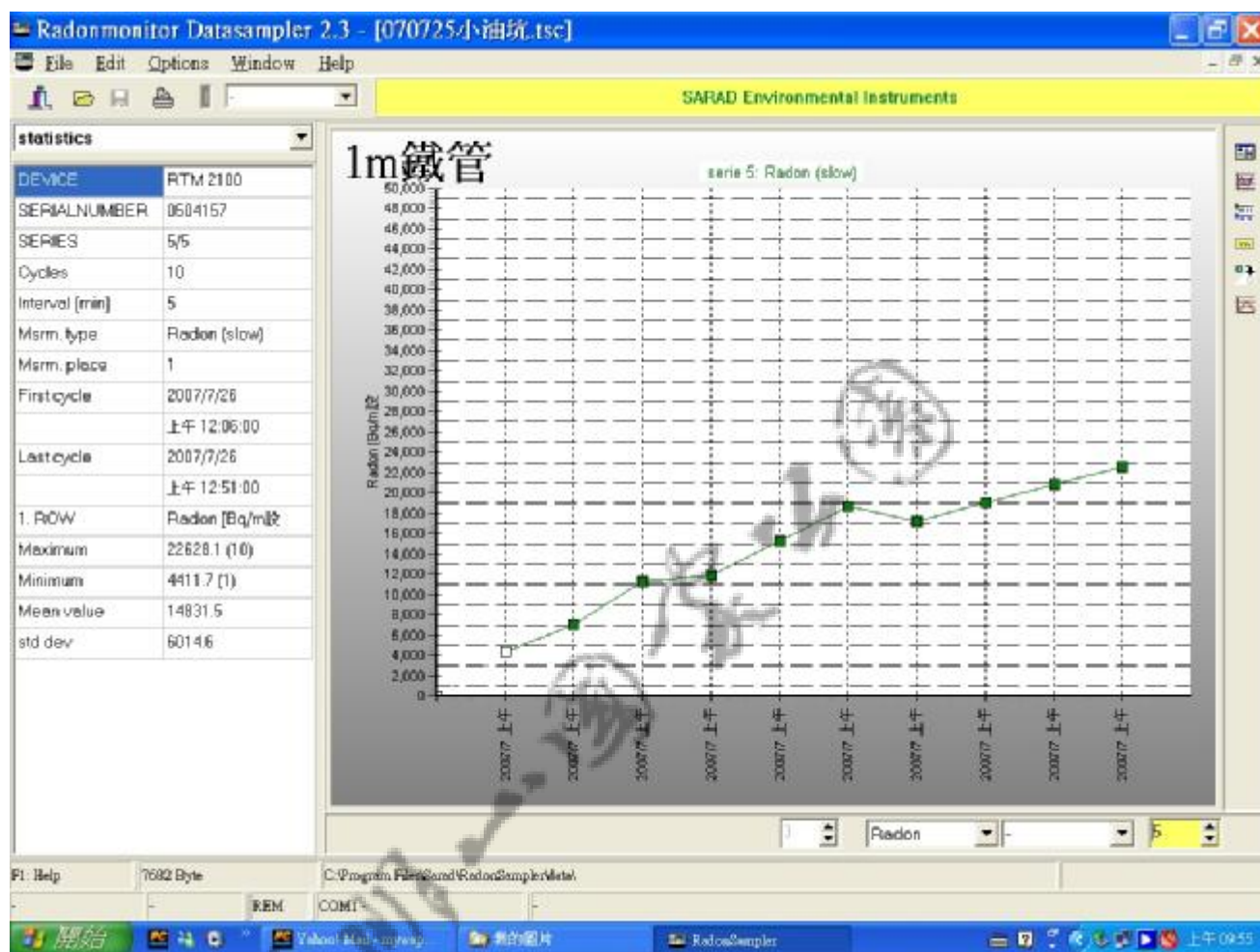


圖 4-5：監測站內 1 米鐵管孔洞採集氣體樣品之氡氣濃度分析結果 ($>20,000\text{Bq/m}^3$)

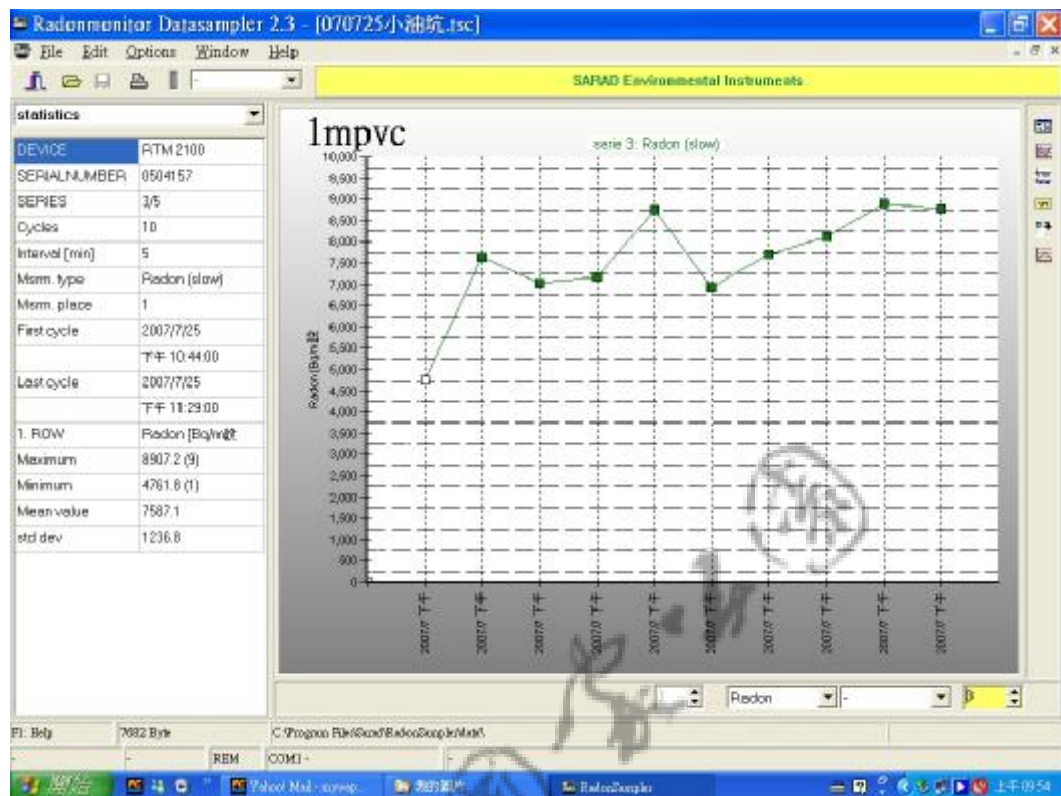


圖 4-6：監測站內 1 米 PVC 管孔洞採集氣體樣品之氡氣濃度分析結果 ($\sim 8,200 \text{ Bq/m}^3$)

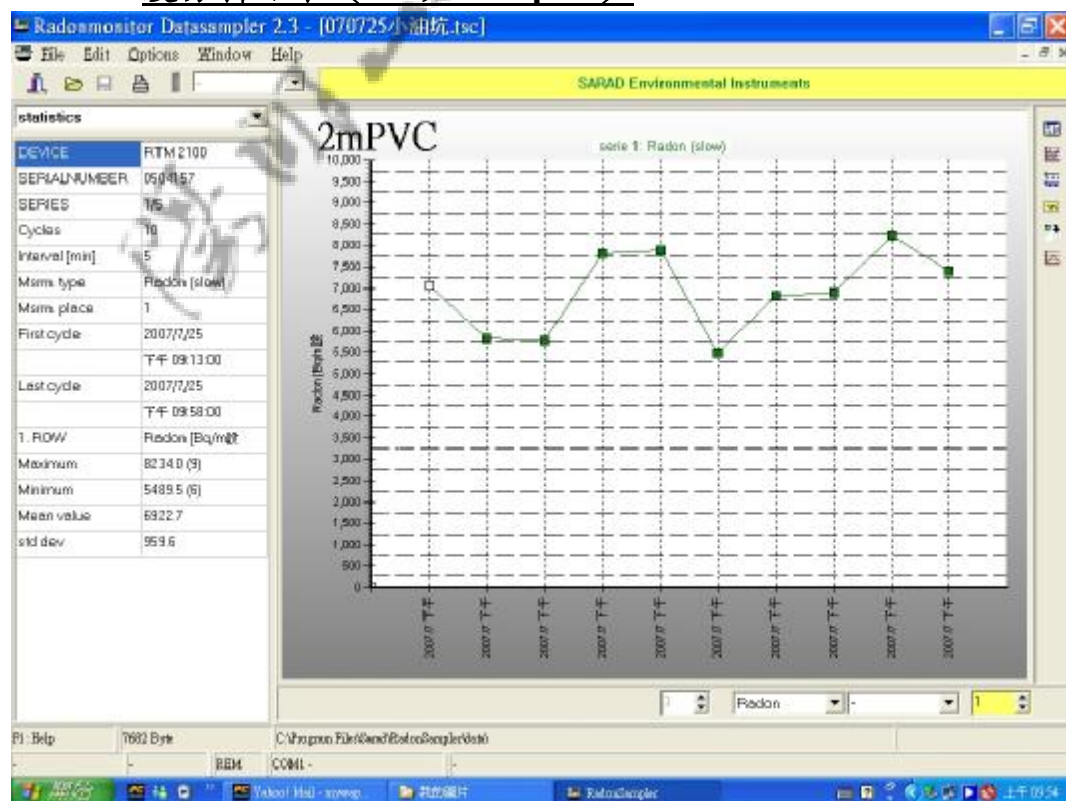


圖 4-7：監測站內 2 米 PVC 管孔洞採集氣體樣品之氡氣濃度分析結果 ($\sim 7,800 \text{ Bq/m}^3$)

本監測站利用前述的密閉氣罩法(Closed-chamber method)，在鐵管孔洞上方的土壤表面蓋上一密閉容器，利用二氧化碳偵測儀，連續量測土壤氣體中之二氧化碳濃度變化，由其隨時間的增加速率以計算其通量大小。

本觀測站主要配置的儀器為 EDINBURGH 所製造的二氧化碳分析儀，使用 NDIR 紅外線感測器，偵測範圍為 0-1 %，內建幫浦其流速為 1 L/min。密閉容器的總體積為 1.12×10^{-2} 立方公尺，高 21.5 公分，底面積為 5.23×10^{-2} 平方公尺，容器上有四個可供氣體進出的連接孔。

此外，由於二氧化碳密度較空氣大，易沈降於低處而造成濃度不均勻，因此容器內部則裝置一轉速固定的風扇，用以均勻混合空氣與二氧化碳。為防止水氣進入儀器造成損壞或誤差，容器管路連接至儀器前加裝一電子式乾燥器，氣體在進入二氧化碳分析儀後，出氣端再將氣體導回密閉容器形成一迴路。詳細的設置如圖 4-8 所示。

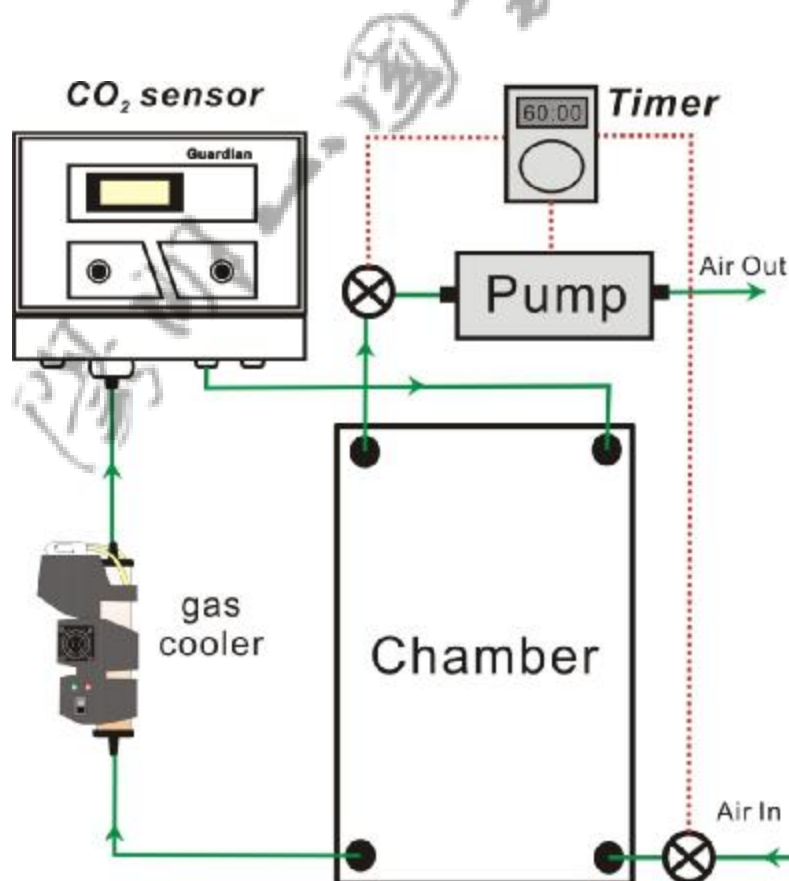


圖 4-8：監測站二氧化碳分析儀之設置

於本分析系統中，設置有定時開關。我們設定分析時間為每 5 分鐘一筆資料，可 24 小時連續分析。而每經過 1 小時，定時器則開始動作，同時開啟容器另外兩接口的抽氣幫浦，將新鮮空氣抽入容器內並將容器內部的氣體排出觀測站，在定時器啟動後的 5 分鐘，抽氣幫浦停止動作，使得容器內部的氣體可繼續增加，以計算其通量變化。

陽明大學

第五章 分析結果與討論

第一節 分析資料處理

圖 5-1 顯示本監測站每 5 分鐘連續分析 5 小時的二氧化碳濃度變化資料。由圖中可以看出，二氧化碳濃度由一開始的最低值便持續的增加，直至定時器啟動電子閥門和抽氣幫浦，新鮮空氣注入後二氧化碳濃度回到初始值，再重複另一次循環分析。

每組分析數據中，我們可以由回歸曲線得到二氧化碳每分鐘的平均增加量。以圖 5-1 的分析數據為例，此段時間的二氧化碳通量，介於每分鐘 0.00087-0.00125 %。再經過單位換算，我們可以得到國際間常用的通量單位數值（如 $\text{mole/m}^2/\text{day}$ 或 $\text{g/m}^2/\text{day}$ ）（表 5-1）。圖 5-2 與表 5-2 顯示了另一個時段較高濃度的分析結果。

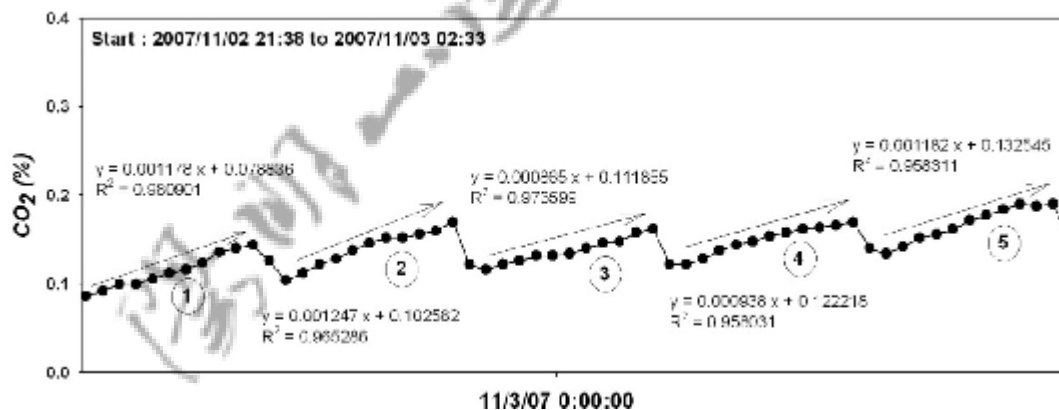


圖 5-1：連續分析五小時的土壤氣體濃度變化資料（低濃度）

表 5-1：連續分析五小時的二氧化碳通量（低濃度）

P(mbar)	923.6		CO ₂ (1)	CO ₂ (2)	CO ₂ (3)	CO ₂ (4)	CO ₂ (5)
T (K)	296.3	Flux (%/min)	0.001178	0.001247	0.000865	0.000938	0.001182
T (C)	23.3	K	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Volume of chamber (m ³)	0.01123	Flux (mole/m ² /day)	0.013743	0.014548	0.010092	0.010943	0.01379
Area of chamber (m ²)	0.05225	Flux (g/m ² /day)	0.604707	0.640127	0.444033	0.481507	0.60676

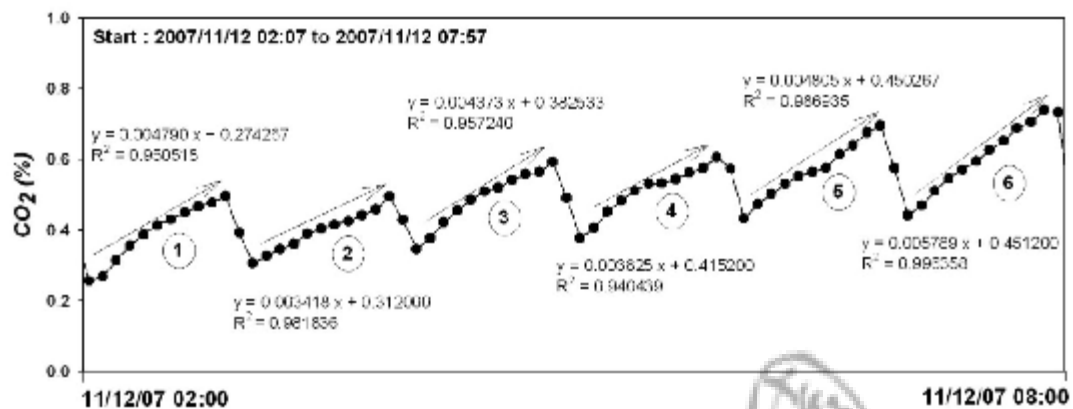


圖 5-2：連續分析五小時的土壤氣體濃度變化資料（高濃度）

表 5-2：連續分析五小時的二氧化碳通量（高濃度）

P(mbar)	923.6	CO ₂ (1)	CO ₂ (2)	CO ₂ (3)	CO ₂ (4)	CO ₂ (5)	CO ₂ (6)	
T (K)	296.3	Flux (%/min)	0.00479	0.003418	0.004373	0.003825	0.004805	0.005789
T (C)	23.3	K	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Volume of chamber (m ³)	0.01123	Flux (mole/m ² /day)	0.055883	0.039877	0.051018	0.044625	0.056058	0.067538
Area of chamber (m ²)	0.05225	Flux (g/m ² /day)	2.458867	1.754573	2.244807	1.9635	2.466567	2.971687

第二節 連續監測結果

經過儀器測試與校正後，本監測站於 2007 年 11 月 1 日開始連續分析；圖 5-3 顯示由 2007 年 11 月 1 日至 11 月 15 日的土壤二氧化碳濃度連續分析結果。

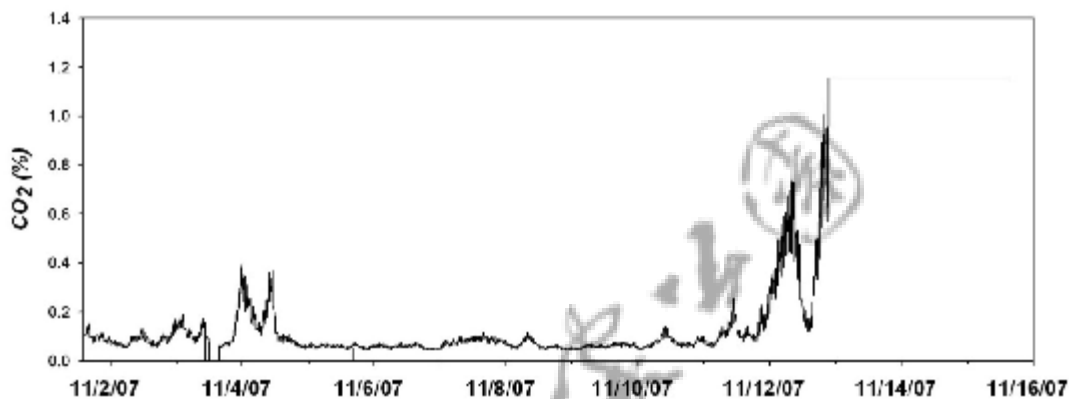


圖 5-3：2007 年連續分析土壤氣體二氧化碳濃度變化結果

由圖 5-3 連續分析結果顯示，於此段監測期間，本地區的二氧化碳通量有非常顯著的變化。其中 2007 年 11 月 4 日、11 月 11 日、與 11 月 12 日有明顯逸氣通量增加的情形，直至 11 月 12 日晚間，通量大幅增加，以致於二氧化碳濃度超出儀器偵測極限（1%），而無法分辨其濃度與通量的變化。故而我們於 11 月 16 日趕赴監測站採集容器內的氣體樣品，帶回實驗室分析其成份（表 5-3），結果顯示其二氧化碳濃度約為 2%，與監測站的分析結果（> 1%）相同。

表 5-3：2007 年 11 月 16 日監測站採集氣體樣品之成份

	CH4	N2	O2	H2S	Ar	CO2	SO2	Total
071116-SYK-1	0.00%	76.61%	20.22%	0.14%	0.96%	2.07%	0.00%	100.00%
071116-SYK-2	0.00%	76.68%	20.16%	0.14%	0.94%	1.960%	0.00%	100.00%
SYK 鐵管*	2.13%	4.49%	0.44%	6.26%	0.014%	86.53%	0.04%	100.00%

*為設站之前的土壤氣體分析結果

將所有分析的二氧化碳濃度資料，轉換成通量資料（圖 5-4），亦顯示出於監測期間有相當大的二氧化碳逸氣通量的變化，其通量由 $-4.00 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 至 $>5 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 。

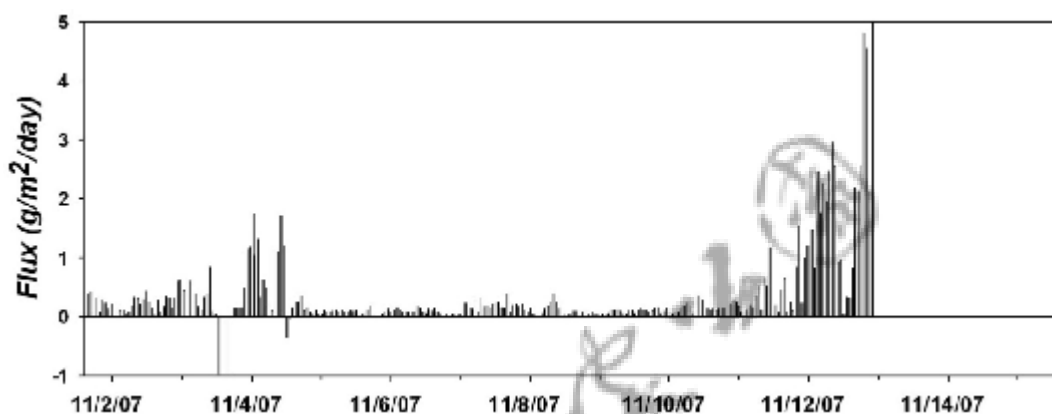


圖 5-4：2007 年連續分析土壤氣體二氧化碳逸氣通量結果

在增設一組偵測上限為 10%的二氧化碳氣體分析儀後，自 2008/06/21 至 2008/10/28 止，每五分鐘連續分析二氧化碳濃度變化。每組分析數據中，我們可以由回歸曲線得到二氧化碳每分鐘的平均增加量。為了取得更加精確的數值，我們在監測站中放置兩台不同偵測極限的二氧化碳分析儀，分別為 1%與 10%。基於靈敏度的關係，當數值低於 1%時我們採信偵測極限為 1%儀器的數值；反之若高於 1%則採信偵測極限為 10%儀器的數值，加以統整後得到濃度變化(圖 5-5)和每小時逸氣通量結果(圖 5-6)。

由圖 5-5 分析結果顯示，監測期間二氧化碳通量有非常的變化。其中 10 月 6 日與 10 月 22 日通量大幅增加，以致於二氧化碳濃度超出儀器偵測極限（10%），以至於無法分辨二氧化碳的濃度。故將考慮將二氧化碳分析儀的偵測極加以提高，以便了解正確的濃度值。

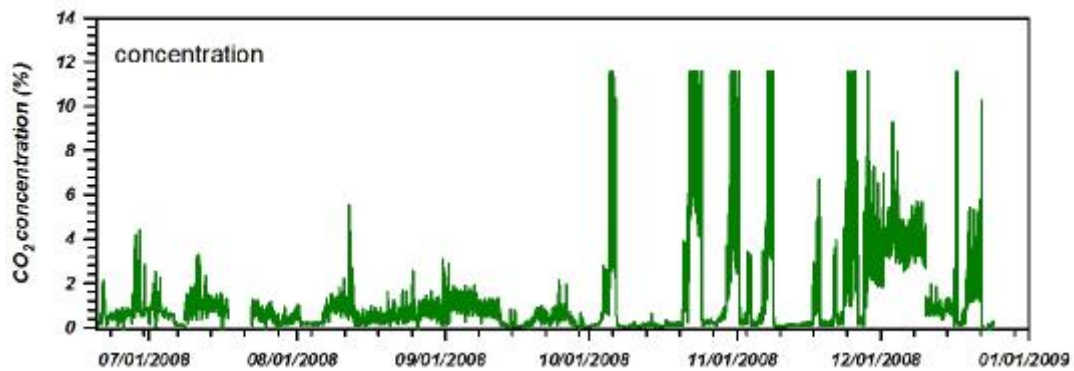


圖 5-5：2008 年連續分析土壤氣體二氧化碳濃度變化結果

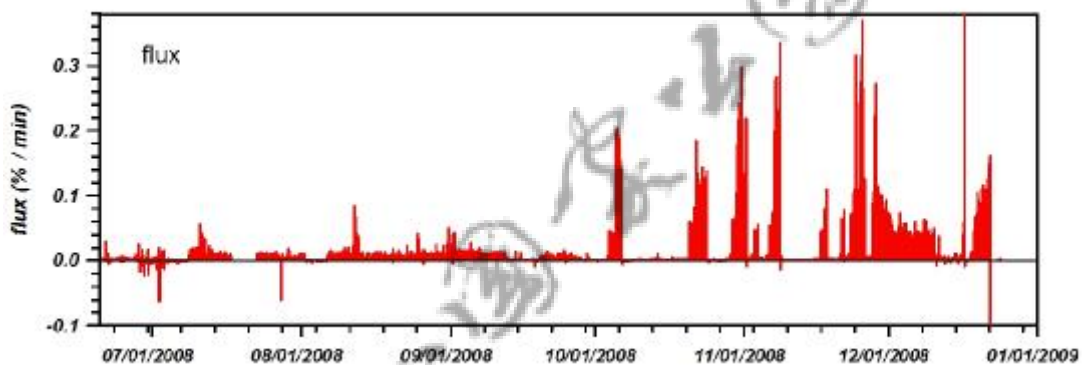


圖 5-6：2008 年連續分析土壤氣體二氧化碳逸氣通量結果

監測期間內有許多的颱風侵襲，造成陽明山地區雨量增多。結果顯示，二氧化碳通量與當地的降雨有密切關係，當有驟雨發生時，土壤氣通量明顯降低。顯示因降雨會使得土壤滲透度（孔隙度）降低，造成逸氣通道不順暢，使得逸氣通量明顯降低。

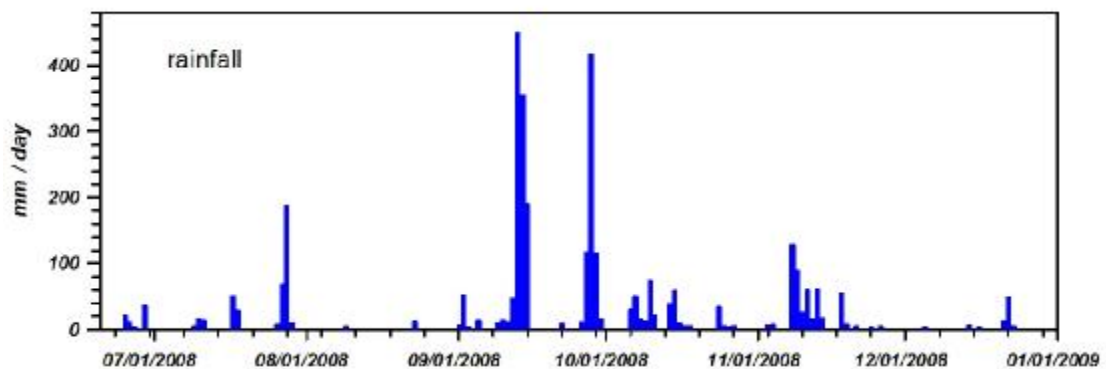


圖 5-7：2008 年連續分析土壤氣體二氧化碳期間之雨量變化

由圖 5-5 分析結果顯示，2008 年監測期間有三個時段二氧化碳濃度顯示較為異常。如圖 5-8 示，8 月 10 日至 8 月 13 日，10 月 3 日至 10 月 7 日，以及 10 月 19 日至 10 月 26 日，且未受雨量影響。其中以 10/20~26 時段中，在 10/25 和 10/28 在台北各有一起震度為 1 的地震，但在 10/26 當天的雨量也不小，在雙重的影響下無法確認此異常的氣體通量是否只受到地震的影響。需要藉由微震資料加以釐清當時是否為漿庫活動的訊號。

在 8 月 13 日，我們嘗試將氬氣分析儀放進監測站測試，所顯示的結果氬氣與二氧化碳的濃度變化有著相當好的關係，這也證明著二氧化碳是氬氣自土壤向上逸氣的攜行載氣。不過因監測站土壤氣中含硫化氫導致儀器易被腐蝕損毀，致只能收集到有限的氬氣資料，有待以後加以改善儀器設置。

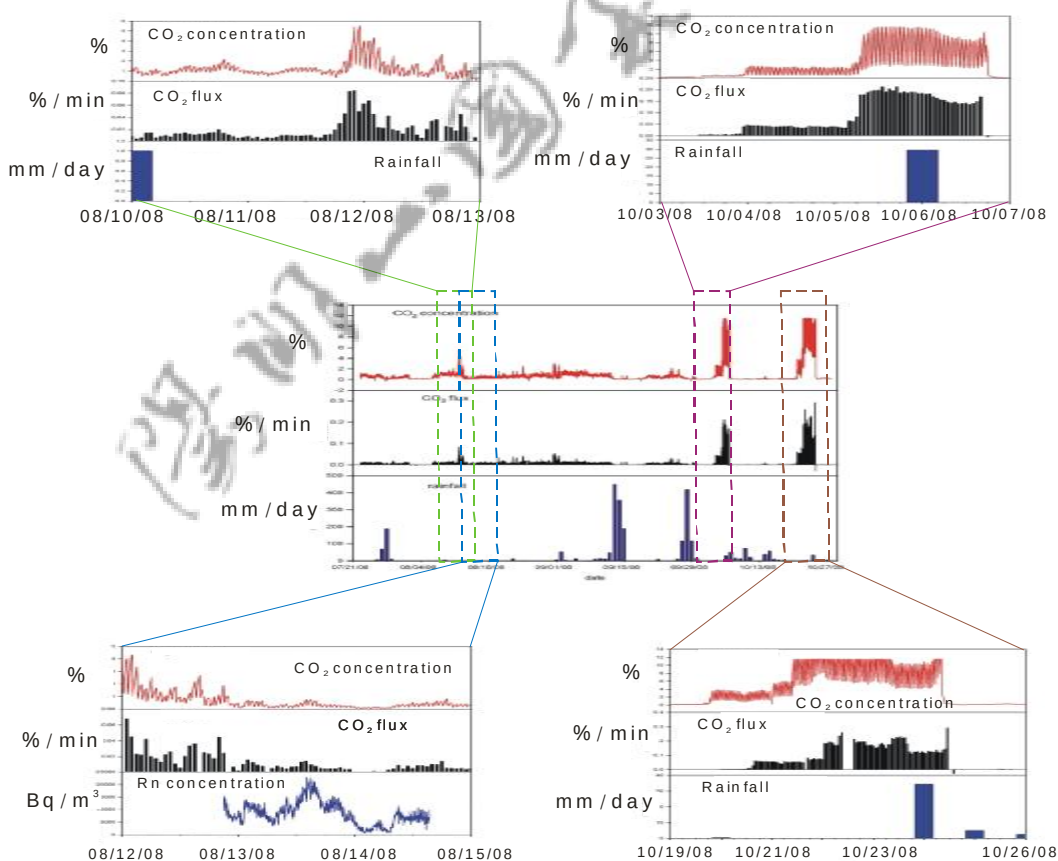


圖 5-8：2008 年連續監測期間出現異常高值時段以及氬氣測量時段

第三節 討論

一、較小的逸氣通量

雖然 2007 年 11 月 12 日早上量測的二氧化碳濃度與逸氣通量結果（圖 5-2）比 2007 年 11 月 2 日晚上（圖 5-1）要高出許多，但與之前的人工手動量測的結果（表 3-1 所列 sky-6-1 與 sky-6-2 結果、與表 4-1 的分析結果）相比較，在本監測時間內量得的二氧化碳濃度與通量明顯低了許多，比當初量測結果小了兩個數量級以上。

有幾種可能性來解釋此偏小的土壤二氧化碳逸氣濃度與通量結果：

- （1）人工量測當時的土壤逸氣確實是比較高，遠高於目前的量測結果。若監測站附近地層的主要物理性質皆未改變，則目前可能代表著本地區較平靜低逸氣通量的時期，也代表著本地區逸氣通量的極大差異性。
- （2）人工量測當時的土壤逸氣確實是比較高，遠高於目前的量測結果；但監測站附近地層的主要物理性質發生了顯著改變。如於本年 8-9 月間的大雨、與 10 月間的颱風豪雨，造成監測站附近地層的孔隙度與滲透度發生顯著改變，而造成了目前偏低的逸氣濃度與通量結果。唯我們需要更長期的觀測，才能確定監測站量得的逸氣濃度與通量變化，是否明顯與當地豪大雨有關連。
- （3）因為監測站量測二氧化碳的密閉容器設計不良，造成分析結果偏低。本監測站的設計原理，大致上與人工量測的分析儀器（圖 2-1）相似，但是人工量測的密閉容器，並非絕對「密閉」，而是有一毛細管開口與大氣相通，以維持容器內外壓力平衡，而不會造成大逸氣量時，容器內壓力過大而壓抑了土壤的持續逸氣，使得量得的逸氣通量可能有偏低的情形發生。

本監測站量測逸氣通量的密閉容器，並未考慮到上述情形而設置有毛細卸壓孔，有可能是造成偏低的量測結果因素之一。唯此因素對於大通量的影響可能較大，對於小通量的影響較小；所以監測站初期所量得的低土壤二氧化碳濃度與通量，應該是沒有問題的。

二、監測站分析儀的偵測極限過小

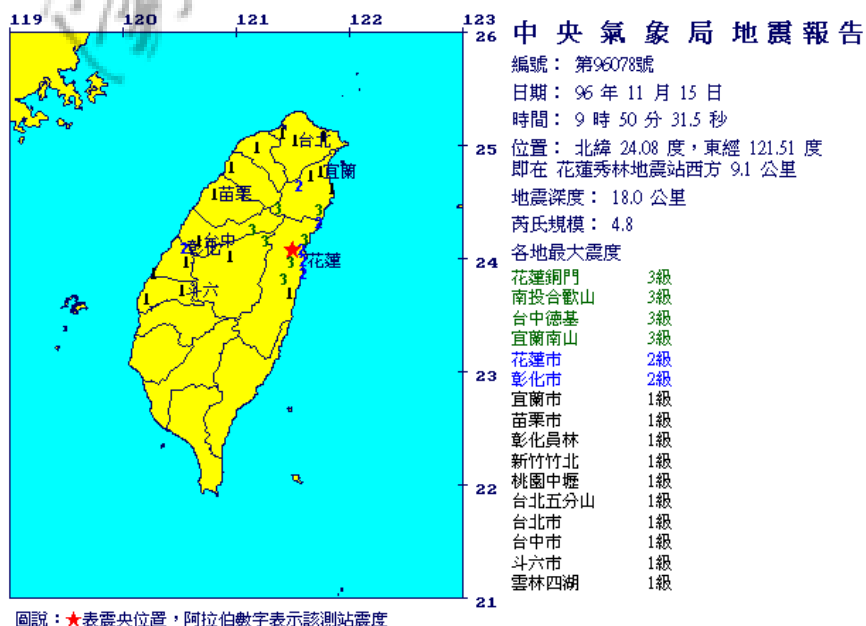
不管前節所討論本監測站分析的二氧化碳濃度與通量偏小的原因為何，本監測站土壤逸氣二氧化碳濃度有非常大的機率會大於分析儀的偵測極限值（10%）（如圖 5-5 所示）。所以，有必要調整其偵測極限值，或者增設另一組較大偵測極限的分析儀，以便能夠同時偵測到低濃度與高濃度範圍土壤逸氣的變化。

三、土壤逸氣與地震活動之關連

由監測結果顯示，本地區可能有很大的逸氣通量變化。造成大幅逸氣通量變化原因，有可能是地底下的岩漿活動、或者是區域的地殼活動造成地層孔隙度改變所造成的。

於 2007 年監測期間台北地區發生了一起有感地震（圖 5-9），震央發生在花蓮地區，深度 18 公里、規模 4.8，台北地區可以感應到 1 的震度。我們無法判斷監測站的逸氣通量變化是否與該地震活動所引起本地區之地殼裂隙有關，需要長期資料累積才能進一步判斷二者之關連。

2008/10/20~26 時段中，在 10/25 和 10/28 在台北各有一起震度為 1 的地震，但在 10/26 當天的雨量也很大，在雙重的影響下無法確認是否受到地震的影響。需要藉由微震資料加以釐清當時是否為漿庫活動的訊號。



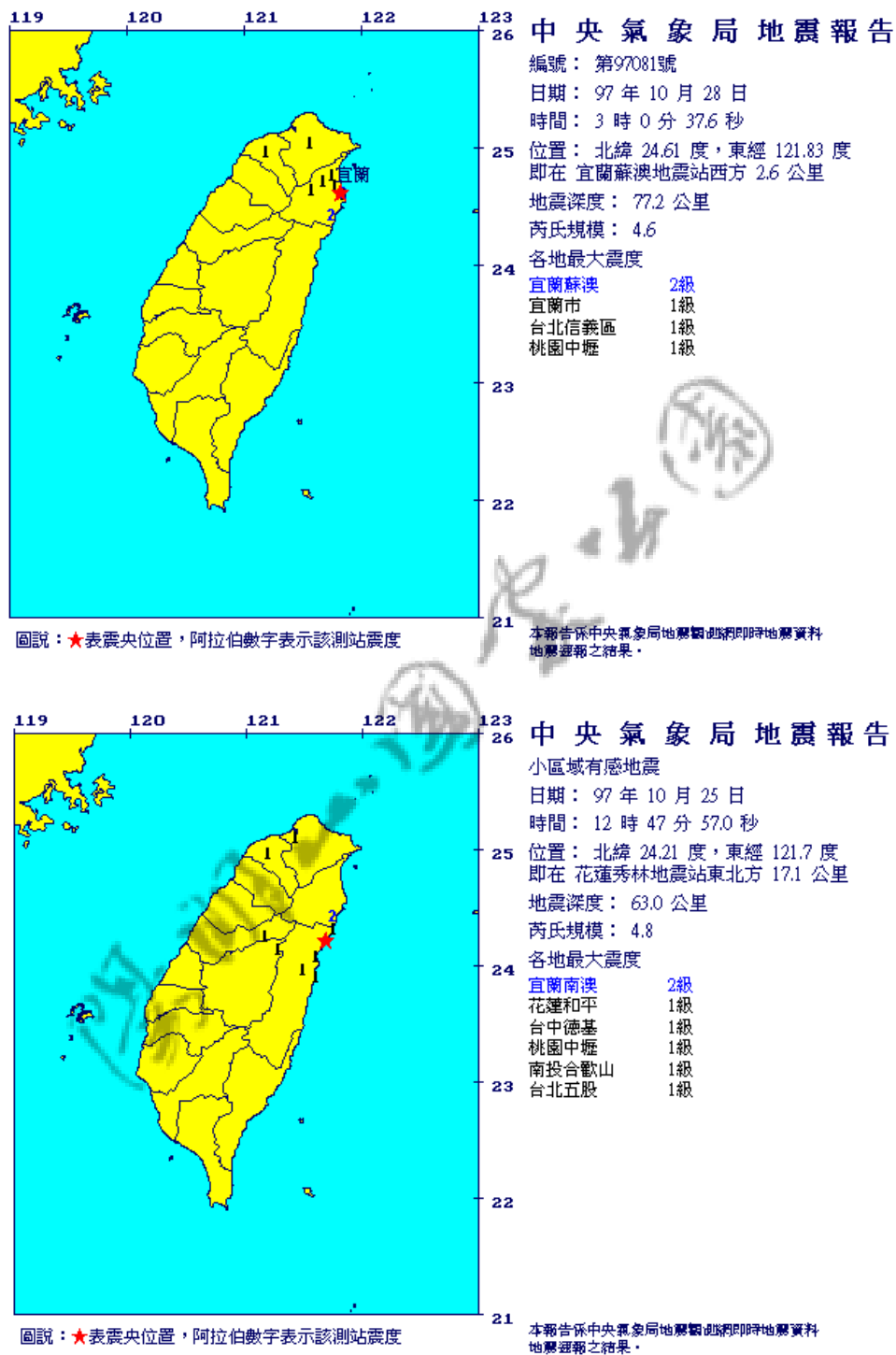


圖 5-9：2007-2008 年監測期間台北地區的有感地震

最近中央研究院地球科學所林正洪博士的研究團隊，在大屯山地區從事長期的微震監測，結果顯示有許多異常的微震活動，而此地震活動一般只有在活火山地區岩漿活動活躍的地區才會發生，故而他們推論大屯山（尤其是七星山）底下，可能有活躍的岩漿、或者熱液活動（Lin et al., 2005a, b）。雖然目前我們沒有及時的微震監測結果，不過以後本監測站的分析結果，可以與其微震監測結果相配合，以進一步探討本地區可能的岩漿活動。

第六章 結論與建議

第一節 結論

- (1) 自2008年 6 月 20 日 至 10 月 27 日止連續分析，本地區的二氧化碳濃度介於0.02%至>10%；逸氣通量介於-0.06 %/min 至 >0.02 %/min
- (2) 結果顯示，二氧化碳通量與當地的降雨有密切關係，當有驟雨發生時，土壤氣通量明顯降低。顯示因降雨會使得土壤滲透度（孔隙度）降低，造成逸氣通道不順暢，使得通量明顯降低。
- (3) 2008年度連續觀測資料中有三個時段二氧化碳通量顯示異常，且未受雨量影響。其中以10/20~26時段中，在10/25 和10/28 在台北各有一起震度為1的地震，但在10/26當天的雨量也不小，在雙重的影響下無法確認於此段時間的逸氣異常是否只受到地震的影響。
- (4) 未來將與本地區的微震資料做比較，以了解本地區土壤逸氣與岩漿活動之關連。
- (5) 監測站原設計分析儀之偵測極限值太小不敷使用，需要調整分析範圍、或者增設另一組分析儀，以利能夠同時分析到低濃度與高濃度的變化。

第二節 建議

一、立即可行建議

主辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處解說課

協辦機關：內政部營建署陽明山國家公園管理處保育課

☐火山活動監測更加完善

具體作法：

☐增設火山監測站

☐增強監測站功能

具體作法：

對於火山活動的監測是長久的，建議管理處於本計畫執行同時，亦能同時訓練相關人員，能夠進行後續的維護與資料解讀，並於後續能夠編列經費設置多個觀測站，形成一個觀測網，如此於本計畫結束後，便能夠更有效地長期連續監測本地區的火山活動。

二、中長期建議

主辦機關：經濟部中央地質調查所

協辦機關：經濟部能源局

☐國家公園土地資源暨景觀之管理（指標）

具體作法：

☐國家公園計畫通盤檢討作業之執行（指標）

具體作法：

全球能源逐漸枯竭，而地熱是未來可能加以利用的能源。政府單位通盤考慮於大屯火山區利用地熱能源的可行性。

參考書目

- 莊文星、陳汝勤 (1989) 台灣北部火山岩之定年與地球化學研究。經濟部中央地質調查所彙刊，5，125-166 頁。
- 陳正宏 (1990) 台灣的火成岩。經濟部中央地質地質調查所，共 137 頁。
- 楊燦堯 (2000) 陽明山國家公園大屯火山群噴氣之氦同位素比值研究。國家公園學報，10(1)，73-94 頁。
- 楊燦堯、何孝恆、謝佩珊、劉念宗、陳于高、陳正宏 (2003) 大屯火山群火山氣體成份與來源之探討。國家公園學報，13(1)，127-156 頁。
- Allard, P., Carbonelle, J., Dajlevic, D., Le Bronce, J., Morel, P., Robe, M.C., Maurenads, J.M., Faivre-Pierret, R., Martin, D., Sabroux, J.C. and Zettwoog, P. (1991) Eruptive and diffusive emissions of CO₂ from Mount Etna. *Nature*, 351, 387-391.
- Brantley, S.L. and Koepenick, K.W. (1995) Measured carbon dioxide emissions from Oldoinyo Lengai and the skewed distribution of passive volcanic flux. *Geology*, 23, 933-936.
- Chen, C-H. and Lin, S.B. (2002) Eruptions younger than 20Ka of the Tatun Volcano Group as viewed from the sediments of the Sungshan Formation in Taipei Basin. *Western Pacific Earth Sciences*, 2, 191-204.
- Gerlach, T.M., Delgado, H., McGee, K.A., Doukas, M.P., Venegas, J.J. and Cardenas, L. (1997) Application of the LI-COR CO₂ analyzers to volcanic plumes: a case study, volcan Popocatepetl, Mexico, June 7 and 10, 1995. *J. Geophys. Res.*, 102, 8005-8019.
- Giggenbach, W.F. (1996) Chemical composition of volcanic gases. In: Scarpa. R., Tillinh, R.I. (Eds.), *Monitoring and Mitigation of Volcanic Hazards*. Springer, Berlin, pp. 221-256.
- Harris, D.M., Casadevall, T.J., Rose, W.I. and Borhnhost, T.J. (1981) Emission rates of CO₂ from plume measurements. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 1250, 201-207.

- King, C.-K., King B.-S., Evans, W.C. and Zang, W. (1996) Spatial radon anomalies on active faults in California. *Appl. Geochem.*, 11, 497-510.
- Klusman, R.W. (1993) Soil gas and related methods for natural resource exploration. Wiley, England, 483pp.
- Lan, T.F., Yang, T.F., Lee, H.F., Chen, Y.G., Chen, C-H., Song, S.R. and Tsao, S. (2007) Compositions and flux of soil gas in Liu-Huang-Ku hydrothermal area, northern Taiwan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 165, 32-45.
- Lee, H.F., Yang, T.F., Lan, T.F., Song, S.R. and Tsao, S. (2005) Fumarolic gas composition of the Tatun Volcano Group, northern Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 16(4), 843-864.
- Lee, H.F., Yang, T.F., Lan, T.F., Chen, C-H., Song, S.R. and Tsao, S. (2008) Temporal variations of gas compositions of fumaroles in the Tatun Volcano Group, northern Taiwan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 178, 624-635.
- Lin, C.H., Konstantinou, K.I., Liang, W.T., Pu, H.C., Lin, Y.M., You, S.H. and Huang, Y.P. (2005a) Preliminary analysis of volcanoseismic signals recorded at the Tatun Volcano Group, northern Taiwan. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 32, No.10, L10313, doi:10.1029/ 2005GL022861.
- Lin, C.H., Konstantinou, K.I., Pu, H.C., Hsu, C.C., Lin, Y.M., You, S.H. and Huang, Y.P. (2005b) Preliminary results of seismic monitoring at Tatun volcanic area of northern Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 16, 563-577 .
- Lombardi, S. and Reimer, G.M. (1990) Radon and helium in soil gases in the Phlegrean Fields, Central Italy. *Geophys. Res. Lett.*, 17, 849-952.
- Lombardi, S., Etiope, G., Guerra, M., Ciotoli, G., Grainger, P., Duddridge, G.A., Gera, F., Chiantore, V., Pensieri, R., Grindrod, P. and Impey, M. (1996) The refinement of soil gas analysis as a geological investigative technique. Commission of the European Communities, Nuclear Science and Technology. Final report. EUR 16929 EN.

- Lombardi, S., Pinti, D.L., Rossi, U. and Fiordelisi, A. (1993) Rn-222 in soil gases at Latera geothermal field: a preliminary case history. *Geologica Romana*, 29, 391-399.
- Rose, W.I., Chuan, R.L., Giggenbach, W.F., Kyle, P.R. and Symonds, R.B. (1986) Rates of sulphur dioxide and particle emissions from White Island volcano, New Zealand, and an estimate of the total flux of major gaseous species. *Bull. Volcano.*, 48, 181-188.
- Schumacher, D. (1991) Soil gas helium concentrations in the vicinity of a uranium deposit, Red desert, Wyoming. US Geol. Survey open-file report, 79-975.
- Song, S.R., Yang, T.Y., Yeh, Y.H., Tsao, S. and Lo, H.J. (2000) The Tatun Volcano Group is active or extinct ? *J. Geol. Soc. China*, 43, 521-534.
- Symonds, R.B., Rose, W.I., Bluth, G.J.S. and Gerlach, T.M. (1994) Volcanic-gas studies: methods, results, and applications. In: Carroll and Holloway (eds.) Volatiles in magmas. Rev. in Mineralogy, 30, 1-66.
- Teng, L.S. (1996) Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt. *Geology*, 24, 949-952.
- Teng, L.S., Chen, C-H., Wang, W.S., Liu, T.K., Juang, W.S. and Chen, J.C. (1992) Plate kinematic model for late Cenozoic arc magmatism in northern Taiwan. *J. Geol. Soc. China*, 35, 1-18.
- Wang, K.L., Chung, S.L. and Chen, C.H. (2002) Geochemical constraints on the petrogenesis of high-Mg basaltic andesites from the Northern Taiwan Volcanic Zone. *Chem. Geol.*, 182, 513-528.
- Wang, K.L., Chung, S.L., Chen, C.H., Shinjo, R., Yang, T.F. and Chen C-H. (1999) Post-collisional magmatism around northern Taiwan and its relation with opening of the Okinawa Trough. *Tectonophysics*, 308, 363-376.
- Yang, T.F., Sano, Y., and Song, S.R. (1999) $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio of fumaroles and bubbling gases of hot springs in Tatun

volcano Group, North Taiwan. *Il Nuovo Cimento*, 22c, 281-286.

Yang, T.F., Lan, T.F., Lee, H.F., Fu, C.C., Chuang, P.C., Lo, C.H., Chen, C-H., Chen, C.T.A. and Lee, C.S. (2005) Gas compositions and helium isotopic ratios of fluid samples around Kueishantao, NE offshore Taiwan and its tectonic implications. *Geochemical Journal*, 39, 469-480.



附錄：檢附相關會議審議紀錄

「大屯火山群地底岩漿庫之調查與監測——土壤氣體之觀測調查」—調查報告會議簽到簿及紀錄

一、時間：97 年 12 月 2 日（星期二）上午 10 時 30 分

二、地點：本處二樓會議室

三、主持人：林處長永發

記錄：張弘明

四、出（列）席單位及人員

出席機關（單位）（人員）	職 稱	簽 到 處
本處詹副處長德樞	副處長	詹德樞
陳秘書昌黎	秘書	陳昌黎
企劃經理課		
環境維護課		
遊憩服務課		
解說教育課	技士	陳彥伯
技正室		公出
小油坑管理站	主任	呂理昌
龍鳳谷管理站	巡查員	曹岱翔
擎天崗管理站		

陽明書屋管理站		
資訊室		
建管小組		
會計室		
人事室		
行政室		
保育研究課	課長	羅淑英
	技士	鄭文良

研究團隊代表

台灣大學地質科學系楊燦堯教授	教授	楊燦堯
	學生	溫心怡

列席機關（單位）（人員）	職 稱	簽 到 處
中國文化大學環境設計學院	地質系講師	蔡裕偉
臺北市立復興高級中學	教師	葉月鳳

五、討論：

（一）可否在調查報告書加入另一派新火山理論，以更周全岩漿活動的說明。

受託單位代表：感謝指導，將盡量說明。

(二)可否在明年度計畫案中在小油坑噴氣孔測站旁，設解說牌或火山氣體數據面板，比對標準值以對遊客有警示作用，或也可將各種氣體變化值展示在遊客服務站的電腦內。

受託單位代表：若經費允許，將配合辦理。

(三)本園區火山氣體逸氣量是否有週期變化，能否提供解說教育與展示用。

受託單位代表：需經長期調查並累積足夠之背景值後，方可嘗試說明。

(四)未來能否除小油坑外，也在龍鳳谷監測土壤氣體資料，以比較兩個地區之不同。

受託單位代表：若經費足夠，將配合辦理。

(五)可否在測站旁增設雨量計，收集直接資料，來輔助說明與氣體逸氣量之關係。

受託單位代表：審視經費及實際需求後，將可考慮設置。

六、結論：

(一) 本案依期末簡報意見修正，並經本處審查后通過。

(二) 請受託單位依合約書規定續辦，並於12月31日前，完成審查驗收等結案事宜。

(三) 請保育課考量整合大屯火山群地質監測計畫，於明年度起整合各種微震（地殼變形）、氣體、地溫、大地電磁法等監測調查工作，以長期持續彙整大屯火山群岩漿庫變化狀況。

(四) 以下空白。