

台灣北部火山地區背景環境資料監測

Collection of background data on the Tatun volcanic area

主管單位：經濟部中央地質調查所

宋聖榮¹

楊燦堯¹

江協堂²

Song, Sheng-Rong

Yang, Tsanyao

Jiang, Hsieh-Tang

¹ 國立臺灣大學地質科學系

² 國立臺灣大學海洋研究所

摘要

從大屯火山的長期觀察結果來看，1999 年到 2003 年之間，氣體成分並沒有重大改變。從 2004 年 8 月之後，大油坑的氣體樣品在 HCl 含量以及 SO₂/H₂S 比值開始有明顯的變化，這些異常現象和溫度上升有一致性的改變，而大屯火山其他地區則維持穩定。大油坑的異常現象可能和岩漿活動或是底下裂縫增加/變大有關。2010 年中在大部分採樣點發生一次短暫的 HCl 含量同步增加的現象，目前(2012)又回復穩定。由於變化期間在大屯火山地區並沒有大規模地震發生，是否與微震活動有關則還有待釐清。

針對大屯火山群中五個溫泉監測點，進行每個月最少一次的長期監測研究，監測方法包括野外直接量測水質，以及採集樣本攜回實驗室分析溫泉水中的陰、陽離子濃度變化，結果顯示溫泉水質和陰陽子濃度都有隨時間變化，尤其是在 2004 年和 2007 年間有較大的起伏變化，對比於 2003 年至 2009 年的大屯火山群微震資料，顯示此種變化的控制因素可能與地下的流體活動有關。但本年度除了地熱谷水質 (TDS、導電度和溫度) 有較大的變化外，其餘顯現相對穩定，無明顯火山流體向上增加的趨勢。

關鍵詞：火山地質、監測、地質圖、火山氣體、溫泉 地熱監測

Abstract

The results of long-term observation in the TVG area show that there is no significant change in gas composition from 1999 to 2003. However, since August 2004, progressive increases of HCl concentrations and SO₂/H₂S ratio in fumaroles from Da-you-keng have been observed. These variations were accompanied by rising temperature of fumaroles. We propose two possible processes, 1) new magma supply and 2) recent opening of fractures in local area, to explain these observations. In 2010, brief increases of HCl concentrations were observed in most sampling sites simultaneously. There is no large-scale earthquake take place in this period. We need to check if this phenomenon is associated with microseismic activity.

We collected a sample per month from 5 spots of hot springs in the Tatun Volcano Group to monitor the physical properties, i.e. pH, temperature, TDS and conductivity in the field, and to analyze the chemical compositions, i.e. cations and anions in the laboratory. They show some variations in the time spectrum of the years of 2004 and 2007. Those variations are probably related to the microseismicity in the Tatun Volcano Group. However, they show relatively stable, except the TDS, thermal conductivity and temperature of Tijeku springs, and no increasing the activity of volcanic fluids in this year.

Keywords : volcanic geology, monitoring, geologic map, volcanic gas, hot spring, geothermal monitoring.

一、前言

火山噴發所造成的危害，能波及方圓數百公里範圍，造成嚴重的生命和財產損失，是世界上各種嚴重自然災害之一。對火山進行有系統的研究與監測，期望藉由監測與研究，把火山噴發對火山區域所造成的災害減低到最小的程度，一直是火山學家所致力的目標。台灣地區年輕的火山，包括有大屯火山群和龜山島等，這兩個區域的火山是否為活火山，未來還會不會噴發，一直是住在其鄰近—台北盆地的人們所關切的問題。

本所於民國93年至民國100年執行「大台北地區特殊地質災害調查與監測」兩期共8年之計畫。其中，在火山活動的調查監測方面，建立了溫泉水質、火山氣體以及地下溫度等多面向之監測站，長時間蒐集火山地區之環境資料，了解長時間之地球化學及地下熱流變化，並配合大台北計畫項下子計畫所布設的火山微震觀測站網資料，進一步評估火山之活動性。過去八年在大屯火山群的火山流體和地熱監測結果顯示，各項監測值均為穩定的狀態，大屯火山群目前雖沒有立即噴發的危險，但種種地質跡象仍顯示有再活動的可能讓科學家擔憂，需要未來長期觀測。

大屯火山群的地質年代仍屬年輕，許多證據均顯示最近一次噴發年代落於國際活火山定義的一萬年內，且地殼深部仍有高溫的岩漿存在，因此根據國際火山學的定義，可以歸類為「休眠的活火山」。對於活火山的各種現象定義，包含岩漿庫存在範圍的界定，熱液活動通道、火山地化特性變化原因、火山地區電磁特性、地殼變形特性及微震活動機制，由於研究的時間週期太短，至今仍無法掌握長週期之狀況。因此大屯火山群還需要更多持續的科學觀測證據，才能證明究竟它是否有再爆發活動可能的「活火山」，且持續的觀測也是火山防災必要之工作。為進一步探測火山活動相關之岩漿熱液活動，在近程研究階段，調整前期部分調查方法，持續性地對北部火山重點地區進行調查與觀測。本計畫預定以4年為期，進行台灣北部火山地區的火山活動資料蒐集工作。先期計畫已存在設置的各式環境背景監測站，包含火山氣體、火山溫泉及火山地溫；維持目前主動連續紀錄及人工紀錄點位(每月量測或收取資料1次)。計畫目的是監測地底下岩漿庫的可能活動情形，以判定大屯火山群未來活動的可能性。

二、工作項目與內容

本計畫預定以4年為期，進行台灣北部火山地區的火山活動資料蒐集工作。先期計畫已存在設置的各式環境背景監測站，包含火山氣體、火山溫泉及火山地溫；維持目前主動連續紀錄及人工紀錄點位(每月量測或收取資料1次)。計畫目的是監測地底下岩漿庫的可能活動情形，以判定大屯火山群未來活動的可能性。

2.1 火山氣體化學資料蒐集

於大屯火山區進行每月定期之火山氣體採集及成分蒐集並進行監測站儀器維護工作，成分蒐集項目包含 N_2 、 O_2 、Ar、 CH_4 、 C_2H_6 、CO、 H_2 、He、HCl、 H_2S 、 SO_2 、 CO_2 、 $3He/4He$ 同位素比值等，採樣範圍：包括火山氣體徵兆區以及本所於前期計畫

建置之固定式火山氣體監測站。

2.2 溫泉水化學資料蒐集

於大屯火山區進行每年定期之溫泉水採集及成份蒐集，成分蒐集項目包含溫泉水中的總固溶體 (TDS) (現地測量)、pH 值 (現地測量)、電導度 (現地測量)，以及 Cl^- 、 Br^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 NO_3^- 、 HCO_3^- 等陰離子，和 Si^{+4} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 等陽離子濃度，採樣範圍：包括溫泉水樣以及本所於前期計畫建置之固定式水質監測站。

2.3 地溫資料蒐集

蒐集目前本所於大屯火山群所設置之地溫監測站計有菁山、擎天崗及龜山島3口地溫監測井至少2口地溫監測井之觀測資料。除資料蒐集之外亦須進行溫度量測儀器之校正工作，校正準確度須達到約 0.01°C ，靈敏度須達到 0.0001°C 。

三、火山氣體監測

火山噴氣氣體成分的變化常用來作為探討岩漿活動與監測火山活動最有效的方法之一。藉由火山噴出的氣體變化可以推斷出此一火山的岩漿性質和活動性。許多研究指出在火山噴發前，噴氣中的某些氣體成份會突然增加或是減少，或是同位素值會有所改變等等。因此調查火山的氣體成分及同位素變化可以監測火山運動，並可以進一步預言即將到來的爆發。

3.1 火山氣體採樣與分析方法

大屯火山地區有相當多處的噴氣孔以及溫泉地熱區，目前定期採樣位置為小油坑、大油坑以及八煙 (如圖1所示)，採樣間隔最少維持約每月一次。火山氣體研究利用吉氏採樣瓶 (Giggenbach bottle) 來採集火山氣體並分析其氣體成份，此方法的初步的分析結果顯示本地區各處火山噴氣成分以水氣佔絕大部分，除水後以 CO_2 為主，其次為硫化物，為一典型低溫火山氣體組成 (楊燦堯等，2003)。

此外，本研究將利用土壤二氧化碳逸氣通量以及氬氣濃度進行大屯火山群火山活動的監測工作。監測站位置如圖1所示，內部配置採用密閉氣罩法進行二氧化碳濃度的測量 (Chiodini *et al.*, 1998)。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0-100 %，內建泵浦流速為1 L/min。氬氣則使用由德國SARAD公司所製造的可攜帶式之氬氣濃度分析儀進行量測工作；在火山地區中，二氧化碳通量變化除了受到火山活動的影響，環境因子的影響不容忽略。其中包含溫度(土壤溫度和大氣溫度)、大氣壓力、雨量和風速風向等，這些資料對於往後二氧化碳通量和氬氣濃度變化的結果討論與分析相信可以帶來莫大的幫助，協助辨別火山活動的情況。

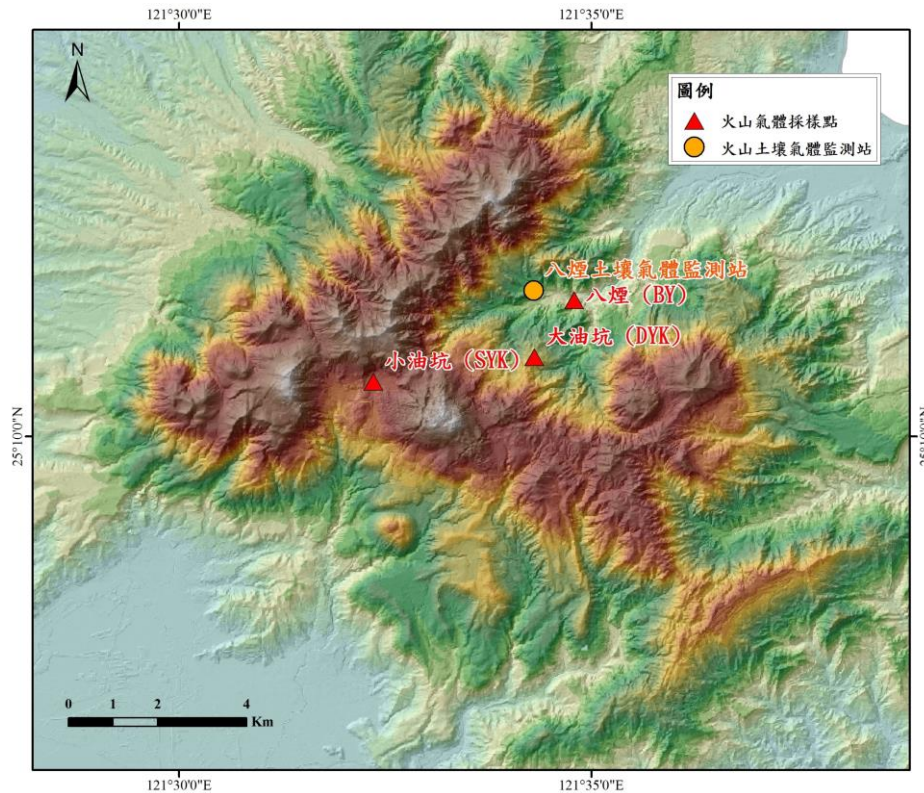


圖1、大屯山氣體採樣點與火山土壤氣體監測站位置圖。

3.2 氣體樣品分析結果

由時間上的變化來看，圖2為1999年至今，此三個採樣點的大屯山地區主要噴氣口之氣體樣品在經過校正後，氦同位素比值隨時間變化的結果。大油坑在本研究中有最高的氦同位素比值，已經非常接近（甚至超過）鄰近地區（如日本、菲律賓）現生火山地區噴氣的氦同位素比值，指示大油坑含有相當成分的岩漿性來源逸氣。三處噴氣氦同位素比值隨時間並無明顯異常變化，表示本研究地區逸氣系統相對安定。此外，我們也選擇了此三個採樣點噴氣中的氮氣、氬氣及氫氣三種氣體，將其含量依比例投影在三角圖中（圖3），藉此協助我們更加精確的判斷本研究採樣點中的噴氣氣體來源。採樣點的氣體組成主要落在島弧型態氣體組成成分和空氣的混合區間。相較於八煙以及小油坑，大油坑噴氣中的氬氣含量比例較高，證實了可能有較多的岩漿源氣體混染於大油坑噴氣之中。本研究區域中，大油坑含有較多岩漿系統來源之噴氣，而小油坑及八煙則是以熱液系統來源的噴氣為主。大油坑在本研究採樣點中顯示出含有最高的氬氣濃度比值，也同時印證了上述所推論之結果，證明了相較於其餘採樣區域，大油坑地區的噴氣有相當程度的岩漿源噴氣混染其中。圖3中唯各地區之氦同素比值成份，以及主要火山氣體成分隨時間的連續觀測結果，大致上都未隨著時間有顯著的變化，表示在過去數年來，本地區底下的逸氣系統相當的穩定。

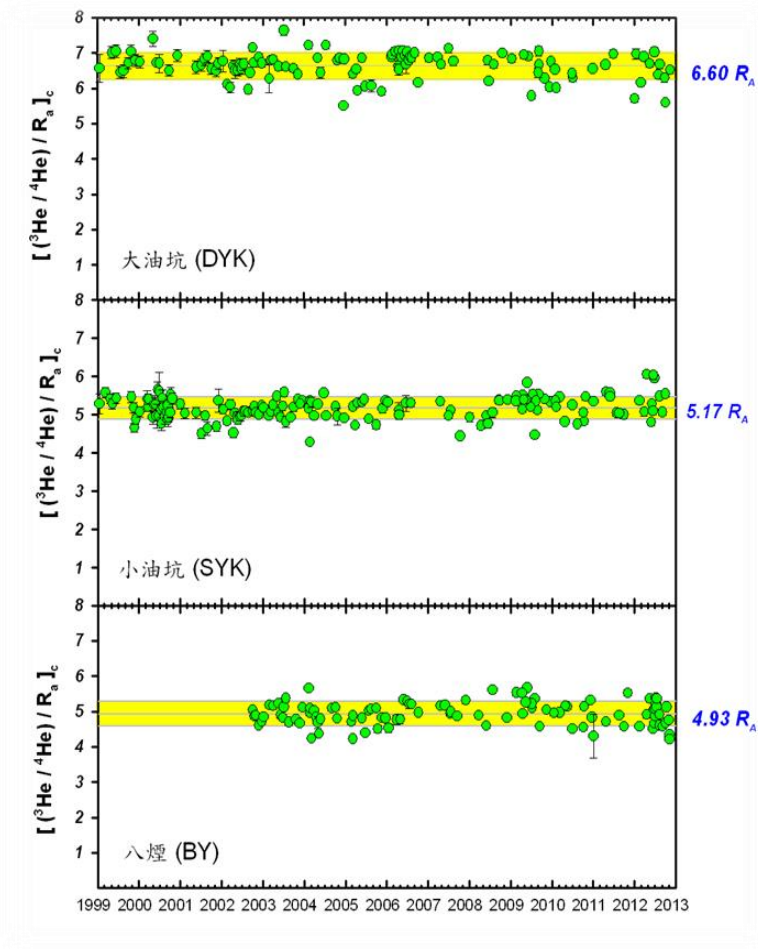


圖2、本研究採樣點噴氣之氦同位素比值隨時間變化圖。

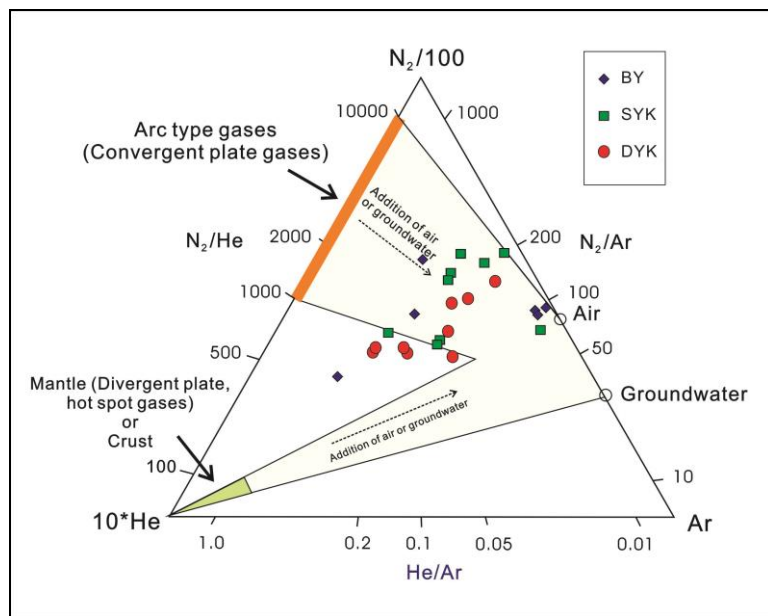


圖3、本研究三個採樣點噴氣中氦氣、氮氣及氬氣之三成份比例圖。
(大油坑：DYK, 小油坑：SYK, 八煙：BY)

3.3 土壤氣體連續監測站

八煙土壤氣體2012年11月20日至2012年12月4日止的監測結果如圖4所示，CO₂濃度最高達27%；CO₂通量最高達891 g m⁻² d⁻¹，環境溫度最高溫達42°C；土壤溫度平均為25.1°C，而氬氣濃度較過去臨時站監測結果都來得低之現象。八煙土壤氣體連續監測站是繼小油坑地熱區後，在大屯火山群內所進行的第二座監測站，未來可以順利進行土壤中二氧化碳逸氣通量測量以及土壤氬氣濃度之火山活動連續監測工作。本年度工作前期由於受制於沒有電力供給，因此我們僅能利用臨時測站進行低耗電量的土壤氬氣濃度監測。雖然觀測的時間不長，但仍可以明顯的看出氬氣濃度受到氣候因子的影響，尤其是濕度對氬氣濃度造成明顯的影響。因此在未來我們將於測站中加裝氣體乾燥系統，將氣體的相對濕度維持在10%左右，相信此舉動能夠將環境氣候因子影響降至最低，以利於我們未來可以更深入的探討火山活動與氬氣濃度間的關係。

除了連續監測的資料之外，每個月會採集現地的土壤氣體樣本回實驗室利用四極桿質譜儀進行氣體組成分析及稀有氣體氬同位素分析。圖5為將結果投影至空氣-地函-地殼三端源圖後，顯示本測站土壤氣體主要是由地函來源以及地殼來源所組成，其中地函來源約占了總氣體成份的40%。此外也有地殼來源氣體以及少許的空氣混染其中。

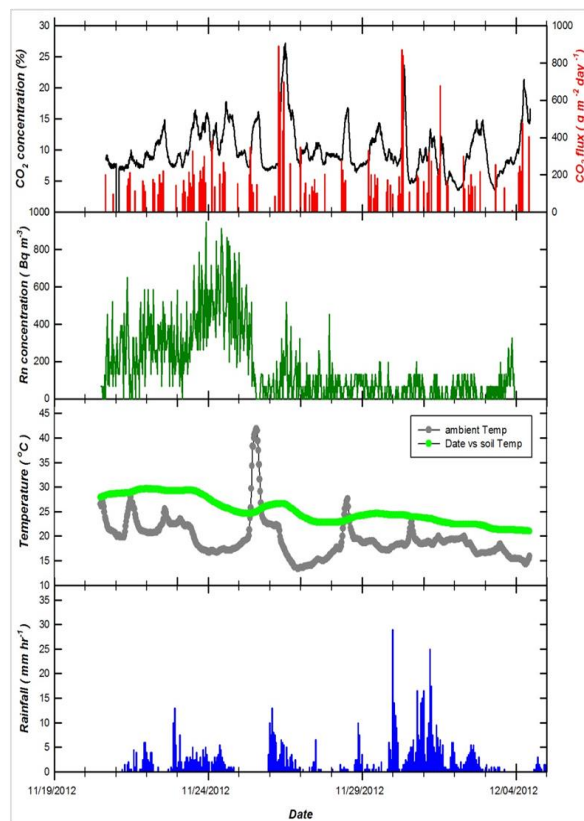


圖4、自2012年10月24日至2012年11月15日之氬氣濃度（黑色）、大氣溫度（紅色）、土壤溫度（粉紅色）、氣體壓力（綠色）、氣體濕度（淺藍色）和雨量資料（深藍色）。雨量資料取自於鹿角坑雨量站。

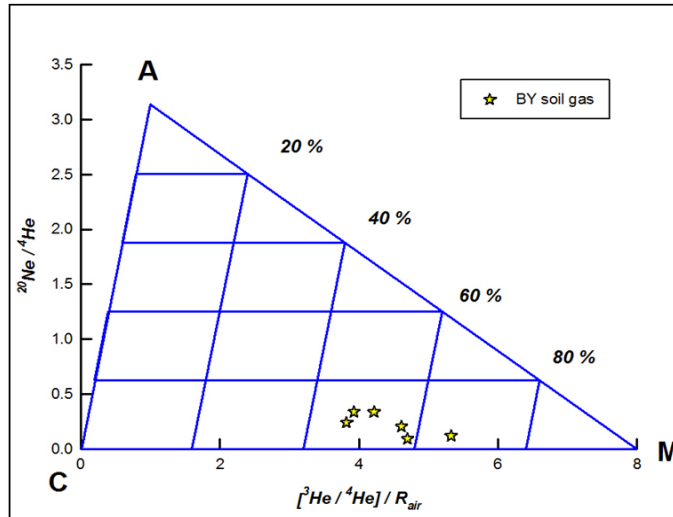


圖5、八煙地熱區土壤氣體之空氣-地函-地殼三端源圖。
(A代表空氣，C代表地殼，M代表地函。)

四、溫泉水質分析與監測

4.1 溫泉水質監測

4.1.1 採集和分析方法

水樣採集的密度，以一個月為一採樣基準進行分析。在自然湧出的溫泉露頭，利用攜帶式量測溫度、電導度、pH值和TDS的儀器，量測溫泉水的溫度、電導度、pH值和TDS等。本年度研究計畫共採集大屯火山群的硫磺谷、冷水坑、馬槽、大油坑及地熱谷溫泉水共五處，每月採集一個樣本，每一處共8個樣本，其採樣地點分布如圖6。

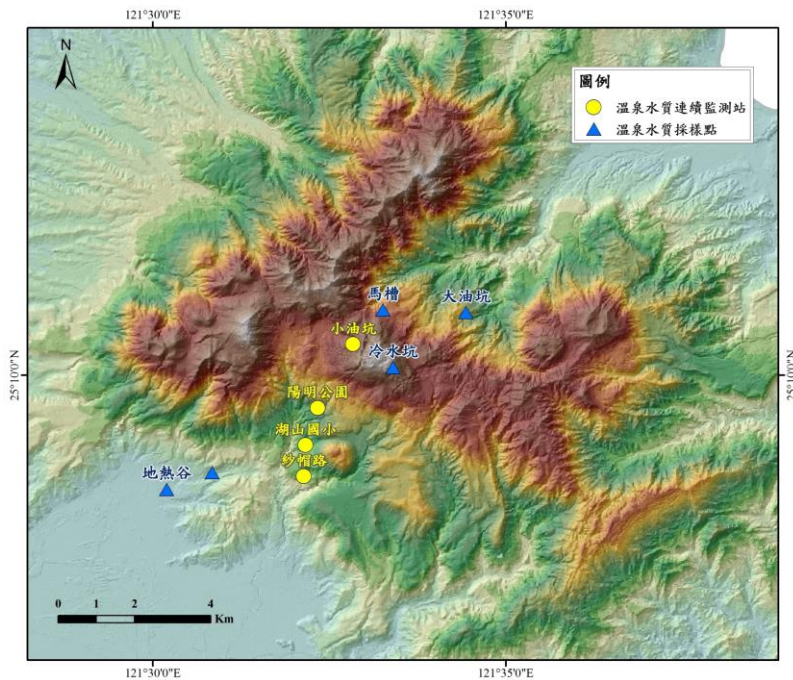


圖6、大屯火山群溫泉採集地點及連續監測站分布圖。

4.1.2 溫泉水質分析結果

溫泉水的分析結果顯示，水質和陰陽子濃度都有隨時間變化，尤其是在2004年和2007年間有較大的起伏變化，對比於2003年至2009年的大屯火山群微震資料，顯示此種變化的控制因素可能與地下的流體活動有關。圖7為地熱谷溫泉的TDS、pH、導電度、溫度月變化趨勢圖，在2009年10月有偏低於平均值2倍的標準差出現，然後逐漸上升至今，且導電度在今年9月有一相對低值，低於平均值2倍的標準差。pH值在2009年7月有偏高於平均值2倍的標準差出現；溫度則是在2009年10月和2012年10月有偏低於平均值2倍的標準差出現。本年度除了地熱谷水質（TDS、導電度和溫度）有較大的變化外，其餘顯現相對穩定，無明顯火山流體向上增加的趨勢。

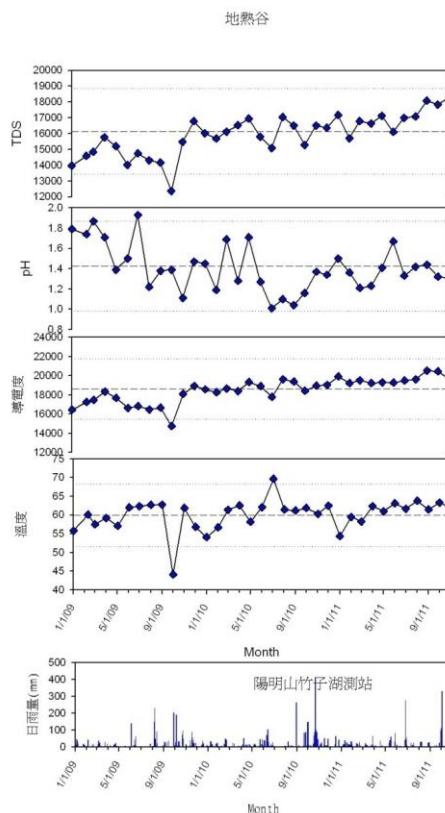


圖7、地熱谷溫泉TDS(ppm)、pH、導電度(μ S/cm)、溫度($^{\circ}$ C)和日雨量，2009至2012年變化趨勢圖。

4.2 水質和水化學連續監測

4.2.1 水質和水化學連續監測方法

水質和水化學監測站的分布位置如圖6所示，湖山國小水質和水化學監測儀器選用瑞士Metrohm 公司所製造的821 Compact Online IC型。陽明公園花鐘、小油坑和北投紗帽路等三處水質監測站的儀器，則選用德國AMT公司所製造的CTD/PH-48M型綜合地下水導電度/溫度/深度分析器。將溫泉水導入儀器的入口處或將儀器放入溫泉井內，即可測量溫泉水中的水溫、pH值、導電度和水位等。因儀器可設定一段固定時間內測量一次，而溫泉水則是一直在流動，故可量測溫泉水中的水質與水化學隨時間的變化情形，而達到監測的目的。

4.1.2 連續監測分析結果

分析各站所得之數據，都呈現較穩定的狀況，顯示本年度監測結果和往年一樣，呈現上下起伏較為相對穩定的狀態，可做為溫泉水質連續監測之背景值。圖8為湖山國小監測站溫泉水之硫酸根離子、氯離子濃度、碳酸氫根離子、溫度和pH值的變化趨勢，比較所有的數據，顯示在觀測時間內，都呈現較穩定的狀況。

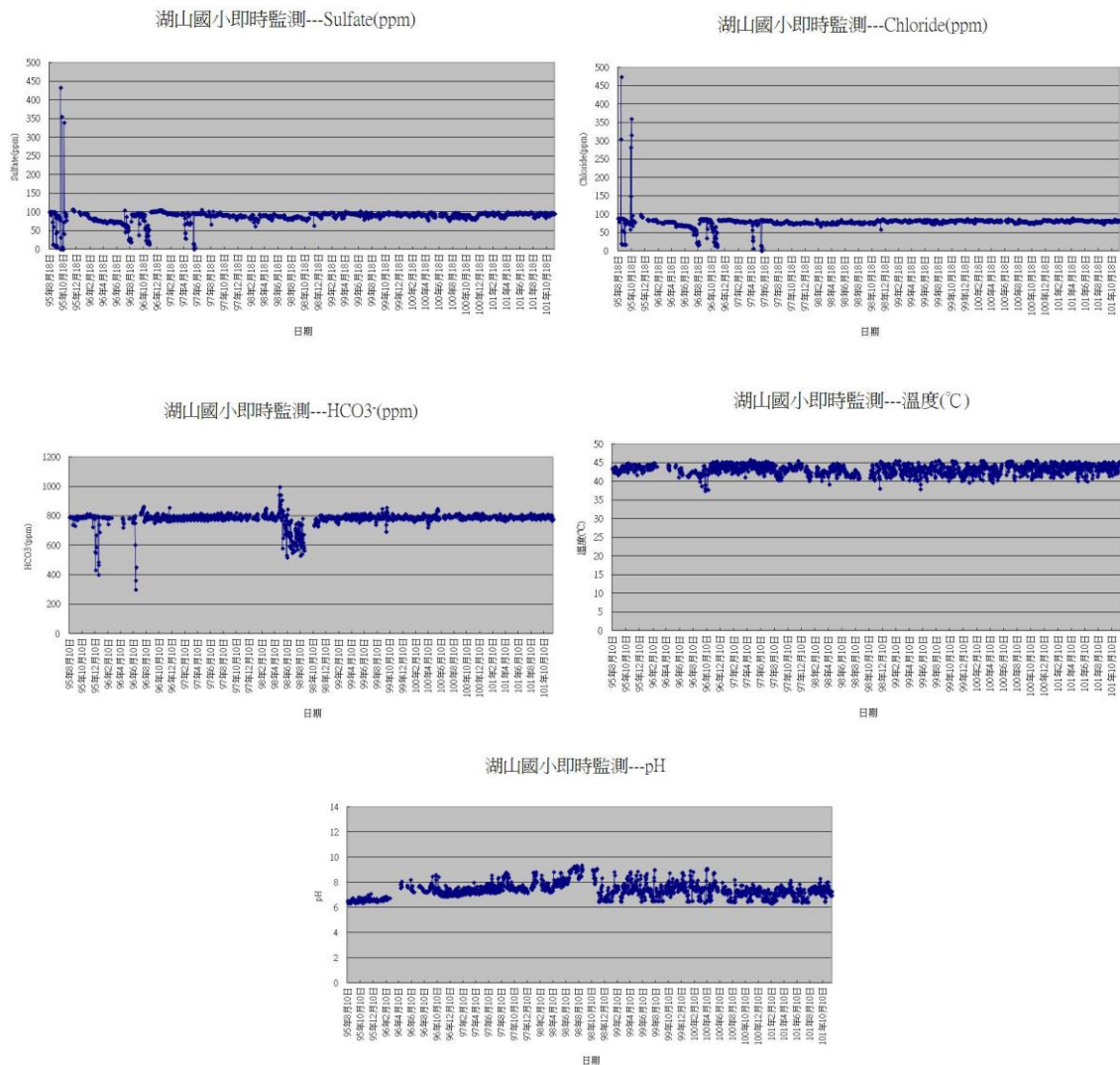


圖8、湖山國小溫泉水連續監測站分析結果之變化趨勢圖。

五、地溫監測

地溫的變化是反應火山活動的主要證據之一，長期監測地溫的變化可探討地底下火山的活動情形 (Tilling, 1989)。本計畫藉由井下地溫監測，探討大屯火山群和龜山島地下溫度場隨時間的變化，希望能得知此區域火山活動情形，其觀測方式係於地表鑽井，再將數根小型熱探針置於井內不同深度，進行長時間溫度監測 (江協堂和徐春田, 2009)。本計畫執行的地溫井監測井共有3口，其中2口位於大屯火山區，分別是陽明山菁山生態保育中心 (菁山站) 和擎天崗風景區 (擎天崗站)，另1口監測井位於宜蘭外海的龜山島上 (龜山島站) (圖9)。

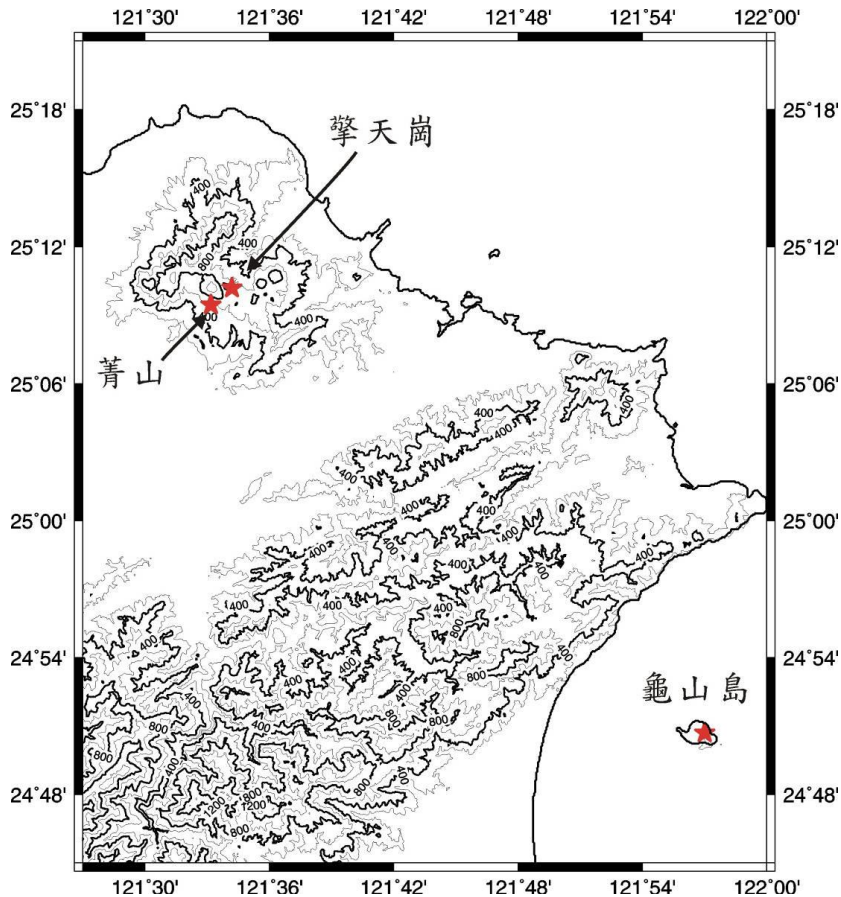


圖9、地溫監測站位置圖。

5.1 研究方法和使用儀器

本計畫量測溫度所用的儀器為台灣大學海洋研究所研發的小型熱探針(圖10左)(徐春田等人, 2005), 圓柱狀的小型熱探針長度為24公分, 直徑為2.2公分, 材質為鈦合金, 可在強酸 (PH小於2) 和高壓 (水深4000米以上) 環境下工作, 熱探針內部主體為一電路板和一顆3號電池, 針頭內含一顆PT100白金電阻, 白金電阻可反應周圍的溫度, 並經由電路板儲存以及讀取溫度資料, 熱探針之取樣頻率設為三分鐘一筆, 記錄的資料包括熱探針編號、熱敏電阻值、儲存檔案個數、記錄筆數、記錄起迄日期和時間、電阻轉換成電壓之原始資料等, 熱探針在製作完成後經實驗室內恆溫槽溫度校正, 校正後溫度準確度約為 0.01°C , 解析度約 0.0001°C , 熱探針約每兩年校正一次。熱探針內之資料系以RS-232傳輸方式, 使用xtalk軟體下載至手提電腦中, 其內部電路板上的快閃記憶體可記錄約32萬筆資料, 以3分鐘之取樣頻率, 可連續儲存資料約兩年 (Chang and Shyu, 2011)。小型熱探針全重約230公克, 一般用直徑3mm、長300-500公尺的尼龍繩、不鏽鋼纜線或鈦纜線懸掛熱探針, 每口井依深度不同約每10-50公尺懸掛一根, 總共懸掛7-14根 (圖10右), 以測得不同深度的地溫。換), 若無法解決, 則帶回研究室處理。

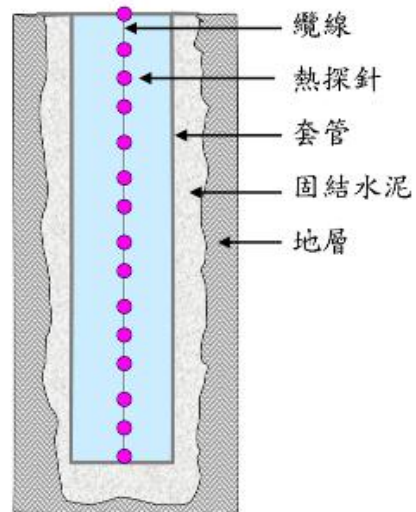
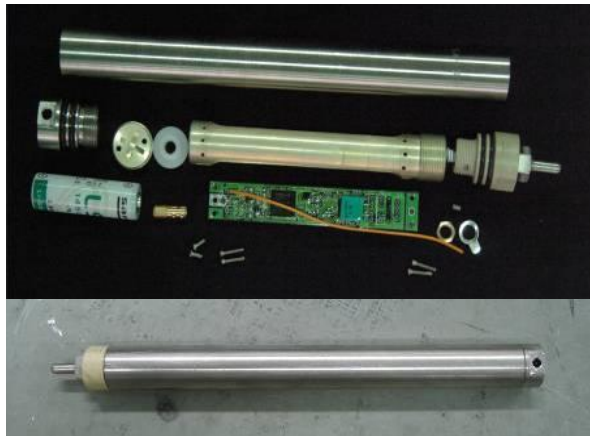


圖10、溫度監測器（微小型熱探針）機殼及內部零件和外觀（左圖）及地溫監測示意圖(右圖)。

5.2 地溫監測成果

監測大屯火山區菁山、擎天崗兩口地溫井和龜山島一口地溫井之井內溫度變化，溫度監測結果發現，菁山站、擎天崗站和龜山島站各井內深度溫度分佈分別介於約 $17.17\sim 21.46^{\circ}\text{C}$ 、 $17.72\sim 105.72^{\circ}\text{C}$ 和 $21.99\sim 34.26^{\circ}\text{C}$ ，各深度溫度變化之標準差分別約 $0.0093\sim 0.7041^{\circ}\text{C}$ 、 $0.2209\sim 0.7270^{\circ}\text{C}$ 和 $0.0094\sim 0.2748^{\circ}\text{C}$ 。菁山站地溫呈現慢慢下降的趨勢，0-100 公尺的地溫變化較大，係受到降雨影響，視雨量多寡，大雨過後數小時內變化可達 2°C ，地溫梯度以深度 100 公尺為界主要可分成兩段，上段 0-100 公尺約 $2.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，下段 100-190 公尺約 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，上段溫度 5 年來降低約 0.6°C ，下段的溫度年下降量在 2004-2009 年約 0.11°C ，但 2009 年以後逐漸緩和，這個緩和現象是否跟深部溫度變化有關，值得後續持續觀測。擎天崗站的地溫在深度 200 公尺附近約 25.0°C ，比同深度鄰近的菁山站高約 4.0°C ，顯示本測站在大屯火山區較接近熱源。地溫梯度大致可分為兩段，第一段 0-200 公尺約 $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，第二段 200-470 公尺約 $29.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，第二段高地溫梯度可能是因本站離大油坑（後火成活動強）較近，同時監測的深度也較深。大屯山兩個測站淺於 200 公尺的地溫梯度都偏低，可能是受地下水循環的影響，因此推測本區地下水有一厚度約 200 公尺的對流包。龜山島測站各深度溫度變化也顯示整口井溫度有慢慢下降趨勢，值得持續監測。地溫梯度大致可分兩段，淺於 100 公尺的梯度約 $-1.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，100 公尺以下的梯度約 $9.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，深度 230、260、270 公尺有幾個時間點發生溫度快速下降後又急速升高現象，這些溫度的變化曲線很少見，其發生機制目前尚不了解。

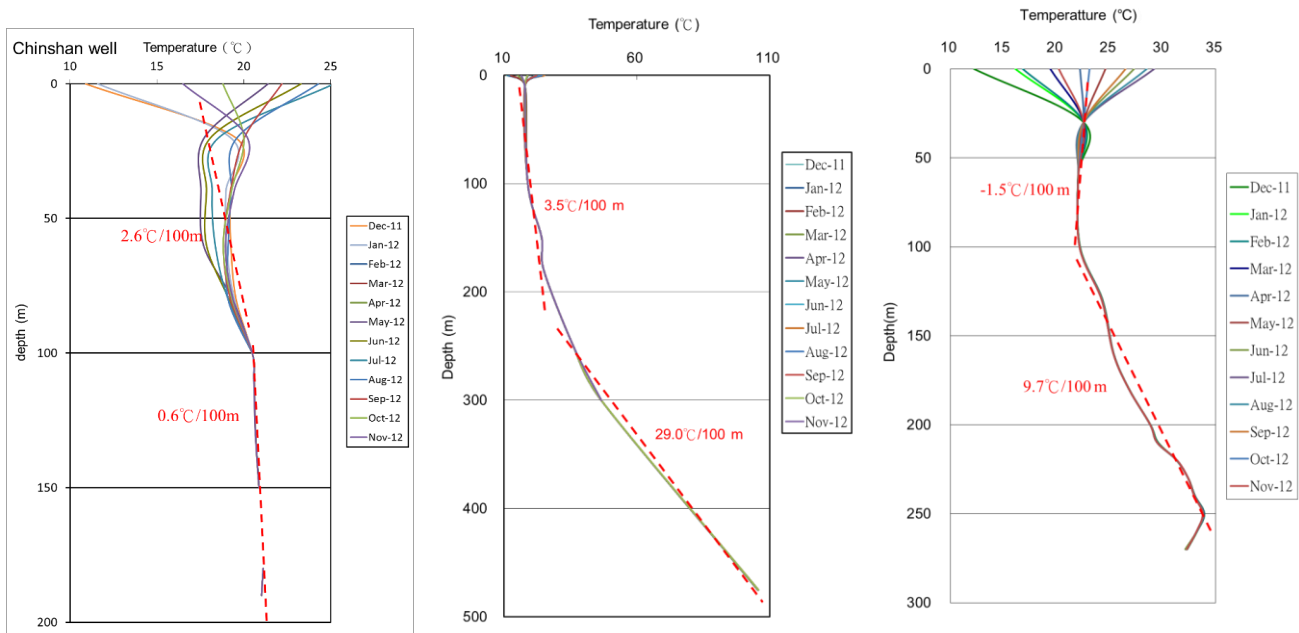


圖 11、三個地溫站之月平均地溫梯度變化圖。
 (左：菁山站，中：擎天崗站，右：龜山島站。)

六、結論

1. 火山氣體監測結果，由氦同位素分析結果指出，大油坑在本研究中有最高的氦同位素比值，已經非常接近（甚至超過）鄰近地區（如日本、菲律賓）現生火山地區噴氣的氦同位素比值，顯示目前大油坑地區的噴氣已接近岩漿源噴氣的氦同位素組成。CO₂、St、HCl三成分比例圖顯示出在本研究區域中，大油坑含有較多岩漿系統來源之噴氣，而小油坑及八煙則是以熱液系統來源的噴氣為主。He、N₂及Ar三成分比例圖則顯示大油坑在本研究採樣點中顯示出含有最高的氦氣濃度比值，也同時印證了上述所推論之結果，證明了相較於其餘採樣區域，大油坑地區的噴氣有相當程度的岩漿源噴氣混染其中。唯各地區之氦同素比值成份，以及主要火山氣體，表示在過去數年來，本地區底下的逸氣系統相當的穩定。
2. 大屯火山群中的溫泉水質和陰陽子濃度隨時間有變化，其控制因素可能與地下的流體活動有關。大屯火山群中的溫泉水質和陰陽子濃度本年度相對穩定，變化不大。
3. 地溫度監測結果發現，菁山站和擎天崗站兩個測站淺於200公尺的地溫梯度都偏低，可能是受地下水循環的影響，因此推測本區地下水有一厚度約200公尺的對流包。龜山島測站各深度溫度變化也顯示整口井溫度有慢慢下降趨勢，值得持續監測。

參考文獻

1. 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。
2. 徐春田、江協堂、吳書恒、張宏毅 (2005), 大屯火山區之地溫監測, 大台北地區山腳斷層與火山活動研討會, 台北, 台灣, 第 55-58 頁。
3. 江協堂、徐春田 (2009), 量測火山體溫-地溫監測, 科學發展, 第 437 期, 第 32-39 頁。
4. Tilling, R.I. (1989) Volcanic hazards: Short course in Geology, volume 1, 28th International Geological Congress, Washungton, D.C., 123P.
5. Chiodini G., Cioni R., Guidi M., Raco B., Marini L., 1998. Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas. Applied Geochemistry, 13, 543-552.
7. Chang, H. I. and Shyu, C.T., 2011, Compact high-resolution temperature loggers for measuring the thermal gradients of marine sediments, Marine Geophysical Researches, DOI 10.1007/s11001-011-9136-y.