

臺灣北部火山地區背景環境資料監測(2/4)

Collection of background data on the Tatun volcanic area(2/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所

宋聖榮¹

Song, Sheng-Rong

楊燦堯¹

Yang, Tsanyao

江協堂²

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

大屯火山群由於地緣上與大台北都會區的關係非常密切，因此其地質上的活動往往備受關注。由於大屯火山已被定義為休眠中的活火山，在完善保障人民的生活安全前提下，增設多元的監測方法以達成有效的監測工作是必要的。

火山噴氣氣體和溫泉水氣成分的變化和火山活動有重大的關連，藉由火山噴出氣體可以推斷出此一火山的岩漿性質和活動性。許多國外研究都指出在火山噴發前，其噴發之氣體成分會有明顯的異常變化。1940年在夏威夷的 Mouna Loa 噴發前的一個月，Payne and Ballard 便觀察到火山噴氣中增加了大量的 H₂S；Casadevall *et al.* (1983) 發現 Mt. St. Helens 在噴發前，噴氣中的 CO₂ 含量減少；而根據對 Ohshima 火山噴氣中的 SO₂ 連續監測的結果，Noguchi and Kamiya (1963) 在火山噴發前的三個月，發現噴氣中的 SO₂ 明顯增加。由以上的各個研究都顯示火山噴氣與溫泉水氣的變化與火山活動有明顯的關係，因此火山噴氣和溫泉水氣中之成份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。而往往各個地區的火山活動，皆有不同的氣體成份異常變化；也因此要先了解一個地區噴氣氣體和溫泉水氣成分的來源與變化，才能用以作為往後長期監測火山活動的重要資訊。

在火山噴氣氣體的部份，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，顯示出本研究區域中，大油坑含有較多岩漿系統來源之噴氣。同時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。唯各地區之氦同位素比值成份，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。

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第二座監測站，自 2012 年底起開始累積連續資料，至今二氧化碳逸氣通量和濃度最高值分別為 1,876 g m⁻² day⁻¹ 和 29.8 %，與世界上其他活火山地區之分析結果相當；值得配合其他監測結果持續觀察其變化。

針對大屯火山群中七個溫泉監測點，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。但本年度則顯現相對穩定，無明顯火山流體向上增加的趨勢。

針對大屯火山群中四個溫泉連續監測點，進行每天最少四次的連續長期監測研究，監測溫泉的水質，以及氯離子，硫酸根離子和碳酸氫根離子，結果顯示其顯現相對穩定，無明顯火山流體向上增加的趨勢。

本委託案為監測大屯火山區菁山、擎天崗和龜山島地溫井之井內溫度變化，監測結果發現菁山站的地溫呈現慢慢下降的趨勢，井下 0-100 公尺的溫度受到降雨影響變化較大，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 2.3 °C/100m，下段 100-190 公尺約 0.5 °C/100m。擎天崗站的地溫顯示井底較接近熱源，地溫梯度於井下 0-200 公尺約 3.5°C/100m，200-470 公尺約 29.0°C/100m，井下 10 公尺的溫度受地表氣溫影響呈明顯年週期變化，振幅約 0.5°C，2007 年至今來下降約 0.85°C。由地溫梯度推測大屯山兩個測站地下水有一厚度約 200 公尺的對流包。龜山島測站各深度溫度變化顯示整口井溫度有慢慢下降趨勢，深度 210-240 公尺的地溫呈顫抖現象，可能跟該深度的地層裂縫發生變化有關。地溫梯度於井下 0-100 公尺約 -1.5°C/100m，100 公尺以下的梯度約 9.7°C/100m。本站在 2004-2009 年夏季期間發現數個與颱風有關的熱脈衝事件，是否颱風的低氣壓影響龜山島岩石的應力，進而造成地層中孔隙水發生位移，導致地溫產生細微的變化，值得進一步討論。

關鍵詞：火山地質、監測、地質圖、火山氣體、溫泉 地熱監測

Abstract

Datun Volcano Group geopolitical relationship with the Taipei metropolitan area is very close, so the geological activity on its often concern. Since Datun Volcano has been defined as dormant volcano in comprehensive protection of people living under the premise of safety, the creation of multi-monitoring methods to achieve effective monitoring is necessary.

Changes and volcanic activity volcanic gases and hot water volcanic gas composition has significant related, by volcanic gases can infer the nature of this magma and volcanic activity. Many foreign studies have pointed out before the eruption, the eruption of gas composition changes will be obvious abnormalities. 1940 Mouna Loa in Hawaii a month before the eruption, Payne and Ballard has seen increased volcanic volcanic gas in a lot of H₂S;. Casadevall *et al.* (1983) found that Mt St Helens before the eruption, the volcanic gas CO₂ content. decrease; according to Ohshima volcano volcanic gas continuous monitoring of SO₂ results, Noguchi and Kamiya (1963) in the

three months before the eruption , the volcanic gas was found in SO₂ increased significantly. By each study are shown above the volcano and hot spring water vapor volcanic gas change and volcanic activity has a significant relationship, so fumaroles and hot springs water vapor in the ingredients used to investigate - as magmatic activity and monitoring volcanic activity of the most effective methods . And often in various regions of volcanic activity, there are different gas composition anomalies ; therefore important to understand the source and change a regional volcanic gas and hot water gas composition in order to important information as future long-term monitoring of volcanic activity .

In the majority of volcanic gas volcanic gas , large oil pit has the highest helium isotope ratios in the present study, it has been very close to (or even exceed) neighborhood (such as Japan , the Philippines) extant volcanic gas of helium isotope ratios of volcanic areas , showing the study area, large oil pit containing more magma sources volcanic gas system. While large oil pit in the present study showed a considerable degree of sampling points in the magma contains the highest concentration ratio of helium , and also confirms the results of the above reasoning , proved compared to the rest of the sample area, the volcanic gas has large oil pit area source of contamination which volcanic gas. Only the ratio of helium with prime ingredients , as well as major volcanic gas composition of each region with continuous observations of time, generally neither change significantly over time , which means that in the past few years, the area under the outgassing system is quite stable .

Baying soil gas stations following the Hsiaoyukeng geothermal area in the Datun Volcano Group , continuous data accumulated since the beginning of the end of 2012 , so far outgassing of carbon dioxide flux and the highest concentration values were 1,876 g m⁻² day⁻¹ and 29.8% , with the analysis of other regions of the world's active volcanoes results are quite ; worth continuing with other monitoring to observe the changes .

We collected a sample per month from 7 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.

Three geothermal wells, Chinshan, Chinteingan and Kueishantao have been monitored the borehole temperature in this project. The results show that the borehole temperatures were decreased gradually in Chinshan wells during the observation period. The thermal gradient is 2.3 °C/100m between 0 and 100 meters and 0.5 °C/100m between 100 and 190 meters subsurface. Due to the high temperature at the bottom of the borehole, the Chinteingan well is suggested to be located close to the heat source. The

thermal gradient of Chinteingan well is 3.5 °C/100m between 0 and 200 meters and 29.0 °C /100m between 200 and 470 meters subsurface. The annual variation of the temperature is significant near 10 meter in depth where the temperature also has been decreased 0.85 °C from 2007. We propose a 200-meter thickness of convection cell of ground water may be exist in the Tatun volcano. The whole borehole temperature of Kueishantao seems to be decreased slowly. The thermal gradient is -1.5 °C/100m between 0 and 100 meters and 9.7 °C/100m below 100 meters subsurface. Several heat pulses related to the visits of Typhoon have been found in the summer from 2004 to 2009. It was interpreted that the temperature may be changed by the movements of pore water in the rock which the stress varies affected by the low atmosphere pressure.

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

一、前言

火山所造成的危害，是僅次於地震和洪水對人類社會威脅的自然災害，翻開過去火山災害史，造成人類傷亡和財產損失，也不計其數，令人觸目驚心。所以研究火山的目的是，除了要瞭解火山形成的機制和噴發的行為外；另一主要的目的，是希望藉由對火山的瞭解，能預測火山的噴發及降低因火山噴發所造成的災害。所以，國際火山學會在幾年前配合聯合國推動二十世紀最後十年(1990~1999)的國際自然災害防災十年計畫(International Decade for Natural Disaster Reduction)，選定全世界16個未來十年最有可能再噴發、具破壞性的火山為十年火山(Decade Volcanoes)，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。

從過去的火山噴發紀錄和定年研究，大屯火山群和龜山島活火山的定義(Szakacs, 1994)應歸為活火山。大屯火山群目前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。故地調所前期相關計畫已針對大屯火山群及宜蘭龜山島地區進行基本普查研究，建立區域地質及火山活動背景資料，並設置數類監測站持續觀測，所得到的數據提供監測環境的背景資訊，但對於調查及監測

到變動的數據，尚無法辨別其發生機制。

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；維持目前主動連續記錄及人工記錄點位(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。本年度為第二年的監測工作。

二、研究地區與研究方法

本計畫工作主要為火山活動監測，工作包括火山氣體、溫泉和地溫的量測等監測工作。

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。主要的研究方法為於大屯火山區進行每月定期之火山氣體採集及成分蒐集，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，全區至少3個採樣點。

大屯火山地區有相當多處的噴氣孔以及溫泉地熱區，本研究團隊自1999年起便定期於地熱谷、硫磺谷、龍鳳谷、中山樓、小油坑、冷水坑、馬槽、大油坑、八煙、四磺坪、煥子坪、大埔等處收集火山噴氣和溫泉氣泡，分析其氣體成份。採樣地點分別如圖1所示。去年度定期採樣位置為小油坑、大油坑、以及八煙，今年度定期採樣位置除了延續過去的三個採樣點外，另新增了四磺坪及硫磺谷。採樣時間最少維持約每月一次。

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。採獲的水樣攜回實驗室後，對其水體中的鈉離子(Na^+)、鉀離子(K^+)、鎂離子(Mg^{2+})、鈣離子(Ca^{2+})、矽離子(Si^{4+})、鋁離子(Al^{3+})、鐵離子(Fe^{2+})、鈦離子(Ti^{4+})、錳離子(Mn^{2+})、和銅離子(Cu^{2+})等陽離子，以及氟離子(F^-)、氯離子(Cl^-)、溴離子(Br^-)、硝酸根離子(NO_3^-)、硫酸根離子(SO_4^{2-})、磷酸根離子(PO_4^{3-})等陰離子，進行分析實驗。陽離子用感應耦合電漿—原子發射光譜儀(ICP-AES)分析，而陰離子則用離子層析儀(IC)分析。至於碳酸氫根離子(HCO_3^-)則是利用酸鹼滴定法測量之。

採用感應耦合電漿—原子發射光譜儀和離子層析儀的原因，是此二儀器的分析速度快，且其偵測極限低又精準度高，能達到偵測本地區水體中的濃度要求、濃度變化範圍、以及需分析樣本多的要求。

本年度研究計畫共採集大屯火山群的溫泉水七處。大屯火山群七處溫泉，從元月起每月採集一個樣本，目前每一處共12個樣本，其採樣地點分布如圖2。

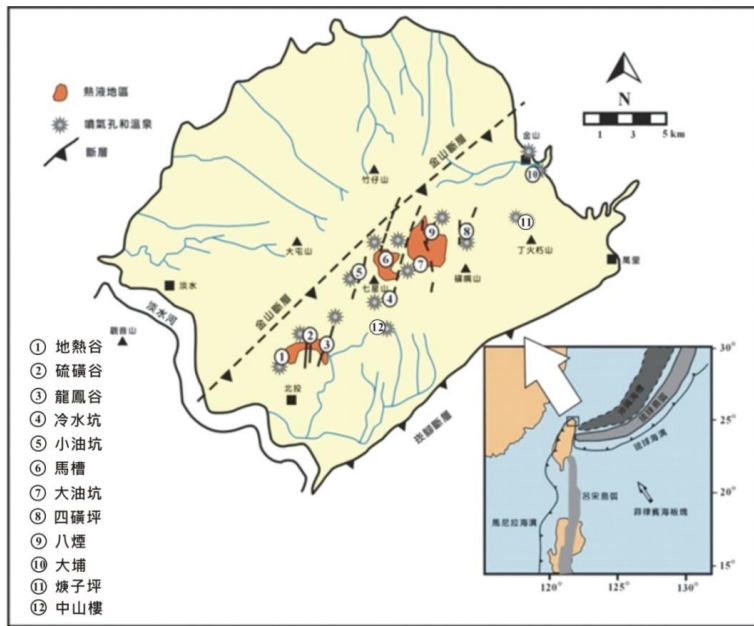


圖1：大屯火山噴氣分布圖。本計畫氣體採樣位置為小油坑、大油坑、八煙、四磺坪及硫磺谷。

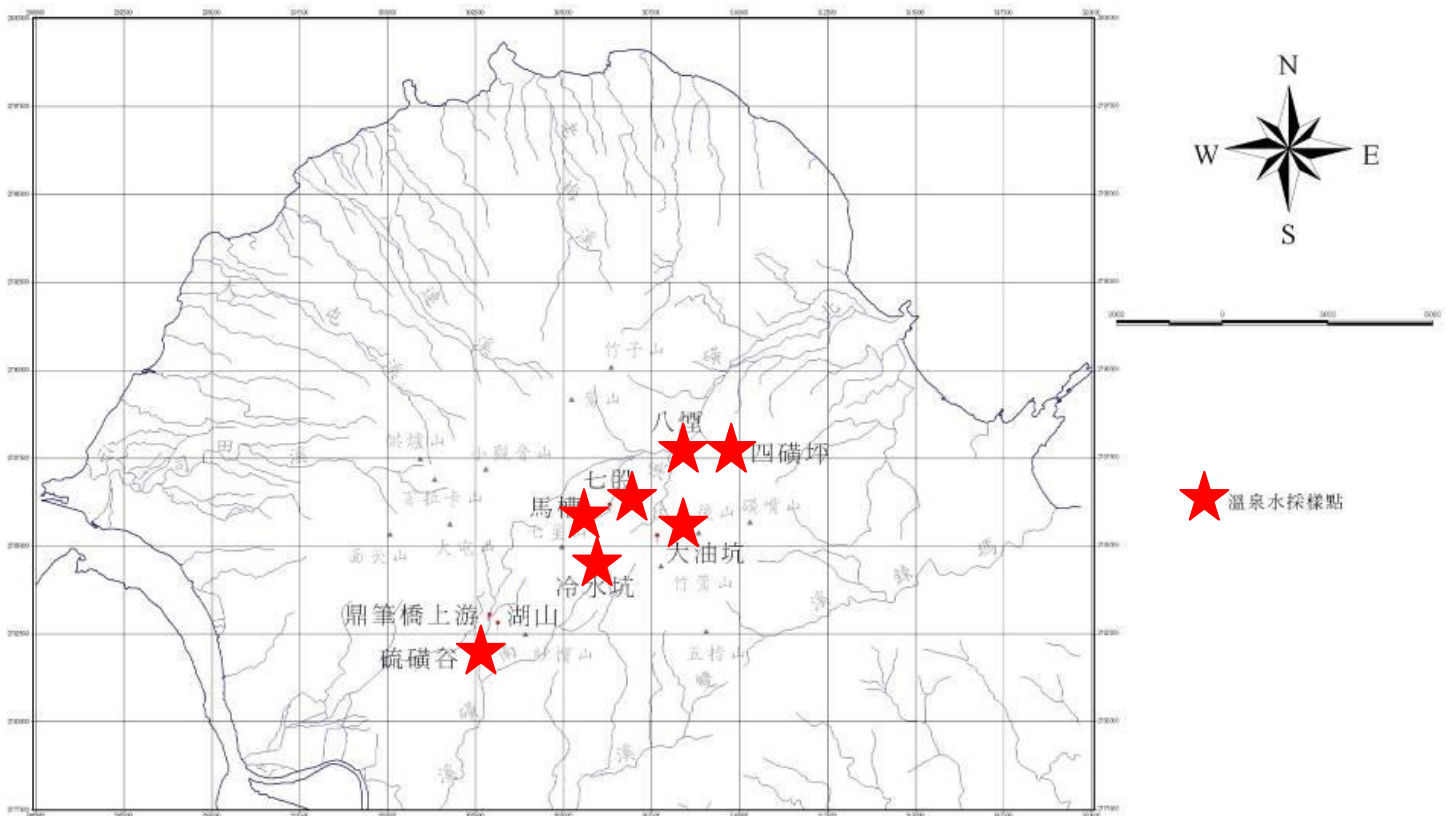


圖2：大屯火山群溫泉採集地點分布圖。

本案所委託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）（圖3），菁山站監測

井深為 200 公尺，2005 年初開始監測，擎天崗站監測井井深為 480 公尺，2007 年 6 月起開始監測；另 1 口監測井位於宜蘭外海的龜山島上（龜山島站），井深為 280 公尺，自 2006 年 7 月開始監測。本委託案執行單位需不定期前往該 3 監測站收集井下溫度資料，資料經處理、分析後，彙整交付委託單位。

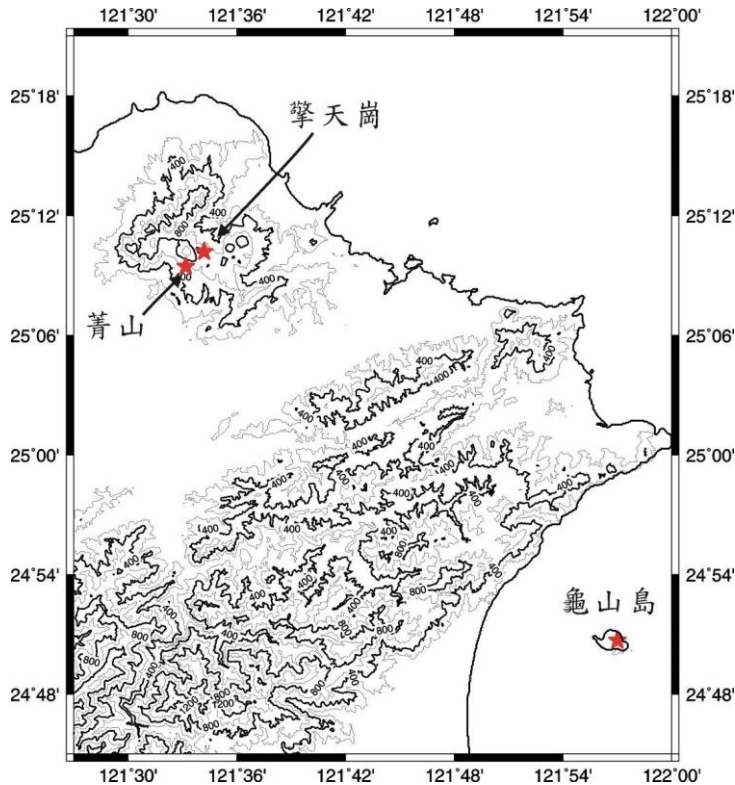


圖 3: 龜山島站、菁山站和擎天崗站 3 口地熱監測站位置圖。位於龜山島站龜山島龜頸附近，擎天崗站位於擎天崗遊客中心機車停車場旁，菁山站位於大屯山菁山生態保育中心。

本委託案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，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 公尺以上）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。熱探針內之資料係以 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)。

三、研究成果

3.1 氣體監測

由時間上的變化來看，圖4整理自1999以來至今，此五個採樣點的大屯山地區主要噴氣口之氣體樣品經過校正後之氦同位素比值結果。由圖4中可以看出，大油坑在本研究中有最高的氦同位素比值(長期平均值約為6.61Ra)，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。而本研究其餘採樣地區(小油坑、八煙、四磺坪、硫磺谷)之 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值則稍低(約落於5~6Ra)，顯示這些地區岩漿源噴氣並不若大油坑如此活躍，而是以熱液系統來源的噴氣為主。

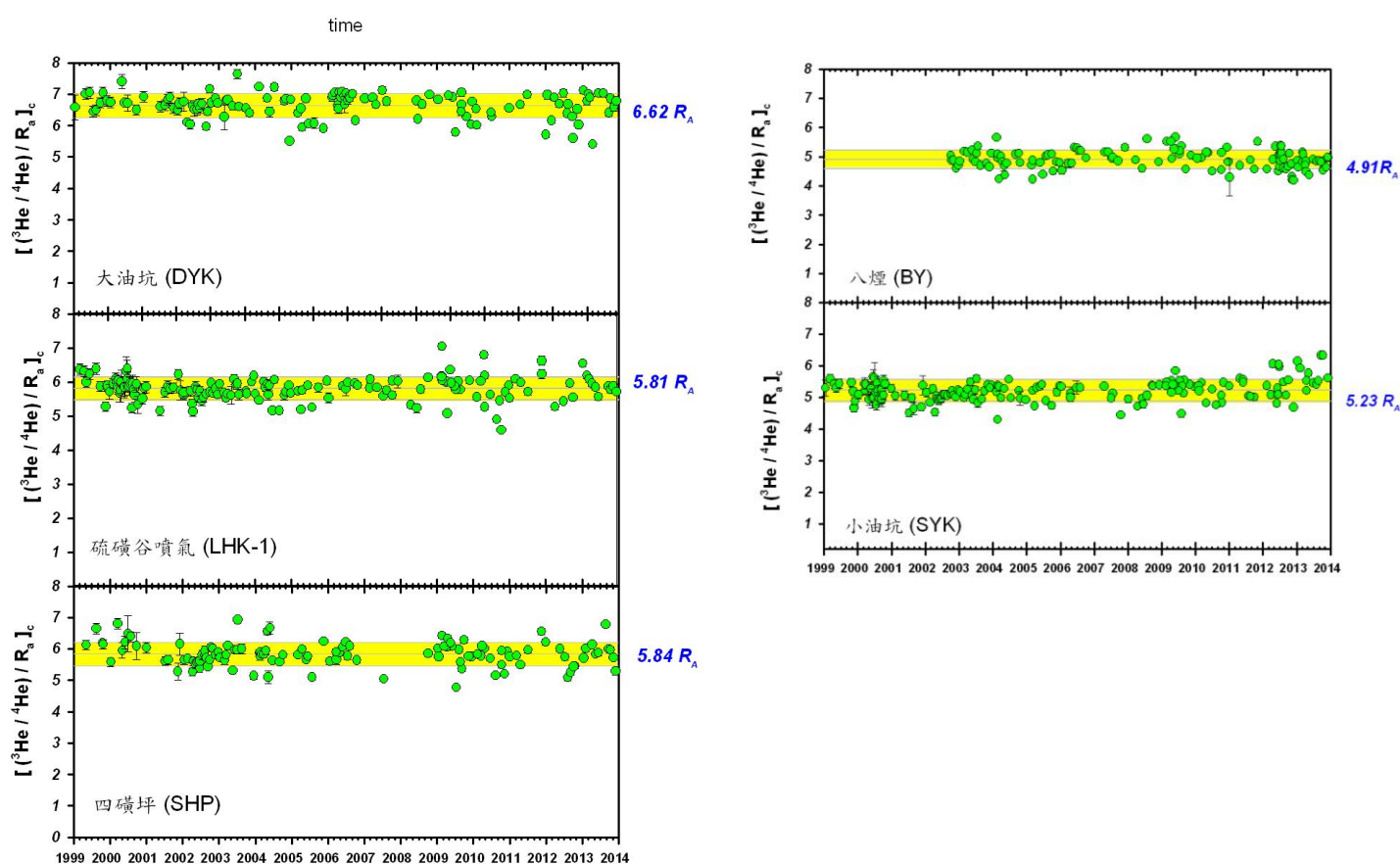


圖4：採樣點噴氣之氦同位素比值隨時間變化

此外，根據各採樣點噴氣於不同主要火山氣體成分上的分析結果，顯示相同的變化趨勢，我們選擇大油坑採樣點來做進一步的說明：

由圖5中可以看出在各區域中大油坑含有最高的HCl濃度，顯示可能含有較高的深源訊號。若以長期趨勢來看，在2004年之前大屯火山地區的氣體樣本中含有較少的HCl含量，且 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S} < 1$ 。大油坑的氣體樣品中HCl含量以及 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比值從2004年8月起有明顯的增加，但 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比值在2011年後又重新下降。此外以今年之變化

來看，於2013年3-8月份之間，大油坑之HCl濃度有增加之趨勢，唯此變化在9月份又降回該區域之背景濃度。在此異常發生期間，大油坑之噴氣口溫度與Total S/CO₂並未產生同步變化，顯示此HCl濃度突增事件可能僅為一區域逸氣通道之改變，並非是熱液或岩漿庫系統的整體性改變。

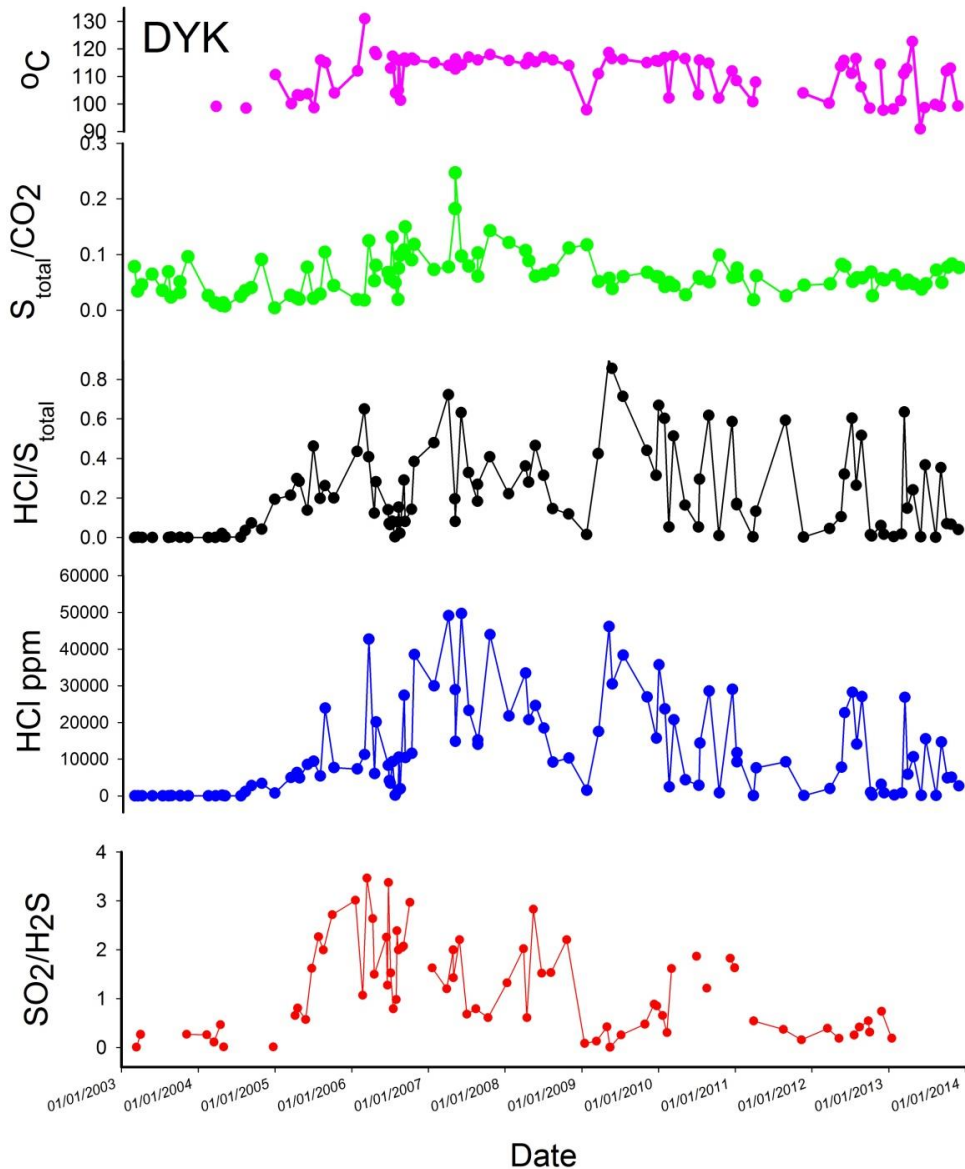


圖5：大油坑噴氣孔氣體成份隨時間的連續變化圖。

3.2 溫泉水監測

根據各溫泉採樣點於野外水質直接量測和實驗室陰、陽離子成分上的分析結果，顯示在不同採樣點都有相同的變化趨勢，故選擇硫磺谷採樣點為代表做進一步的說明：

圖 6 是結合 2004 至 2013 年，在野外所量測到的 TDS、pH、導電度和溫度等資

料，繪成隨時間的變化圖。從圖中可知，硫磺谷溫泉在 2004 年 9 月以後，上述所量測的數據有很大的下降變化至 2004 年 12 月，然後持穩後至 2009 年中，又有較大的震盪。TDS 在 2006 年 5 月、2009 年 6 和 8 月有異常高的變化，高於平均值 2 倍的標準差；pH 值在 2006 年 7 月後下降至 9 月達到最低，另外，在 2009 年 5、6 和 8 月都低於平均值 2 倍的標準差；而溫度在 2009 年 8 月則有異常高的變化，高於平均值 2 倍的標準差。除了溫度在今年 8-9 月有稍低之外，本年度監測值相對穩定。

圖 7 是陰離子分析結果，結合 2004 至 2013 年所量測到的資料，繪成隨時間的變化圖。圖 8 是陽離子分析結果，結合 2004 至 2013 年所量測到的資料，繪成隨時間的變化圖。從圖中可知，硫磺谷溫泉(圖 7)的 SO_4^{2-} 在 2004 年 4 月、2008 年 2 月和 2009 年 8 和 9 月有異常高的變化，高於平均值 2 倍的標準差； Cl^- 在 2009 年 6 月和 8 月有異常高的變化，高於平均值 2 倍的標準差； NO_3^- 也是在監測期間有較大的浮動，但在某些時段內有偏高或偏低於平均值 2 倍的標準差出現。而陽離子(圖 8) K^+ 在 2004 下半年至 2005 上半年、和 2006 年 5 月至 2008 年 2 月有較大的浮動，且有偏高或偏低於平均值 2 倍的標準差出現，其他時段則較平穩； Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 和在 2004 年和 2007 年間有較大的浮動，且某些時段內有偏高於平均值 2 倍的標準差出現； Si_4^+ 則 2007 年以後有較大的浮動，且某些時段內有偏高於平均值 2 倍的標準差出現。一般而言，從 2009 下半年至 2012 年，都呈現相對穩定的狀態。本年度也呈現相對穩定。

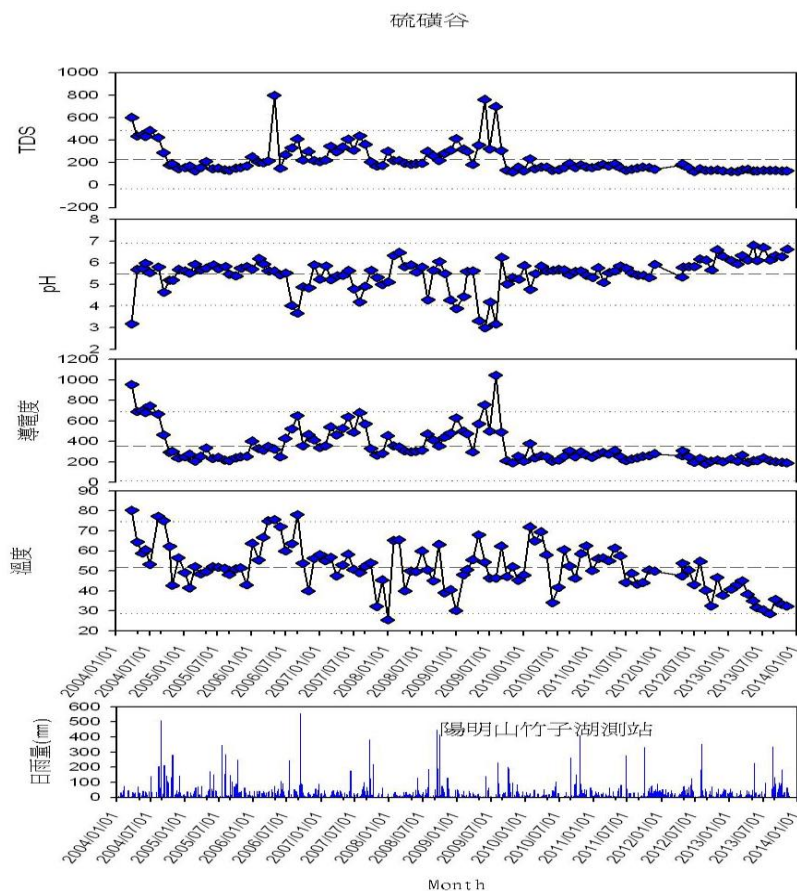


圖 6：硫磺谷溫泉 TDS(ppm)、pH、導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)、溫度($^{\circ}\text{C}$)和日雨量，2004

至 2013 年月變化趨勢圖。

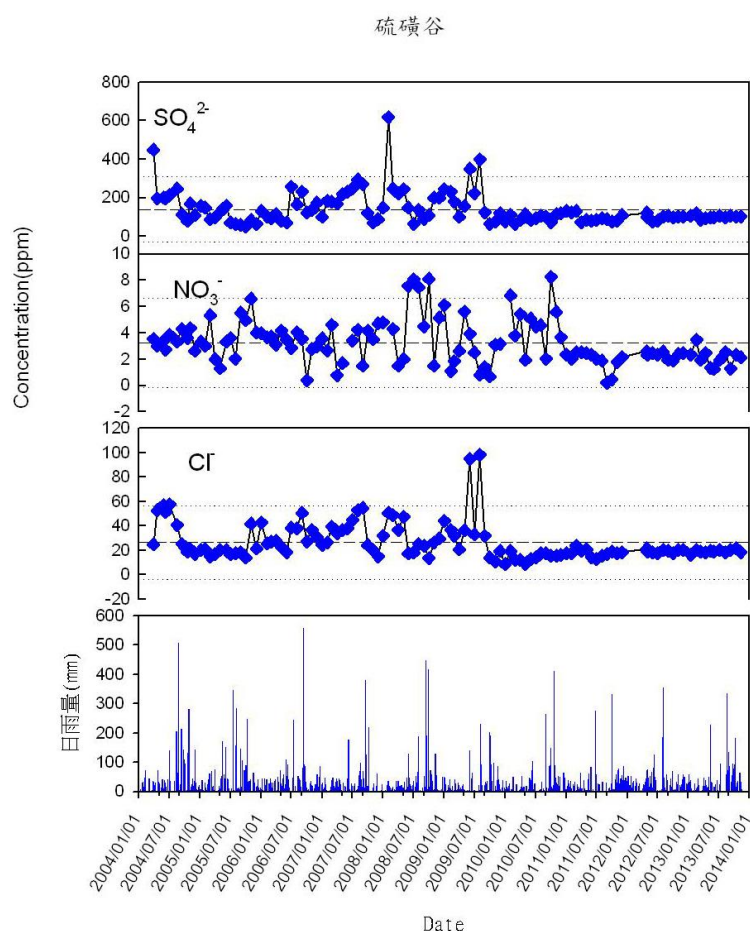


圖 7：硫磺谷溫泉陰離子濃度，2004 至 2013 年月變化趨勢圖。

3.3 地溫監測

根據各地溫監測點的結果，顯示在不同地點都有相同的變化趨勢，故選擇擎天崗站為代表做進一步的說明：

本測站記錄資料從 2007 年 4 月 11 日至 2013 年 11 月 17 日（圖 9），各熱探針監測結果如下：

1. 本測站從深度 10 公尺至 470 公尺，最低溫度 17.72°C，最高溫 106.02°C，其中 180 公尺附近的溫度約 25.0°C，比同深度鄰近的菁山站高約 4.0°C（但比龜山島站低約 3.8°C），顯示本測站在大屯火山區較接近熱源。
2. 深度 10 公尺的溫度呈現明顯的年變化週期，振幅約 0.05°C，且溫度長期下降趨勢不變，2007 年至今已下降約 0.85°C，此現象非常奇特，使所有觀測溫度中，唯一一個具明顯年變化週期，且溫度持續大幅度下降，其原因有待進一步討論。
3. 深度 100 公尺至 250 公尺的溫度剛開時有 3-4 個月快速升高現象，這是鑽井完後地層的回溫現象，一般回溫時間需數天至數個月，回溫曲線與地層熱學參數有關，地層回溫後，溫度似乎有慢慢升高趨勢，此趨勢維持約 4 年，這兩年來則沒有再

升高。

- 井底470公尺的溫度似乎有持續上升現象，很可惜記錄器於11月17日收取資料時發現已經故障。此深度溫度4年累計上升約 1.5°C ，由於井底溫度最高，最靠近熱源，後續是否會繼續上升值得注意，建議委託單位能編列預算修復該測站。
- 垂直地溫剖面在200公尺附近有一轉折點，大約以深度200公尺為界可分為上下兩層，上層的地溫梯度約 $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ，下層的地溫梯度約 $29.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。200公尺以上的低地溫梯度現象與菁山測站情形相同，如果低地溫梯度是熱對流效應所引起的，則可推測本區域地下水可能存在一個200公尺厚度的對流包。
- 本測站深度10~470公尺的背景溫度為 $18.16\sim 105.19^{\circ}\text{C}$ ，各深度溫度變化的標準差為 $0.2321\sim 0.7139^{\circ}\text{C}$ 。

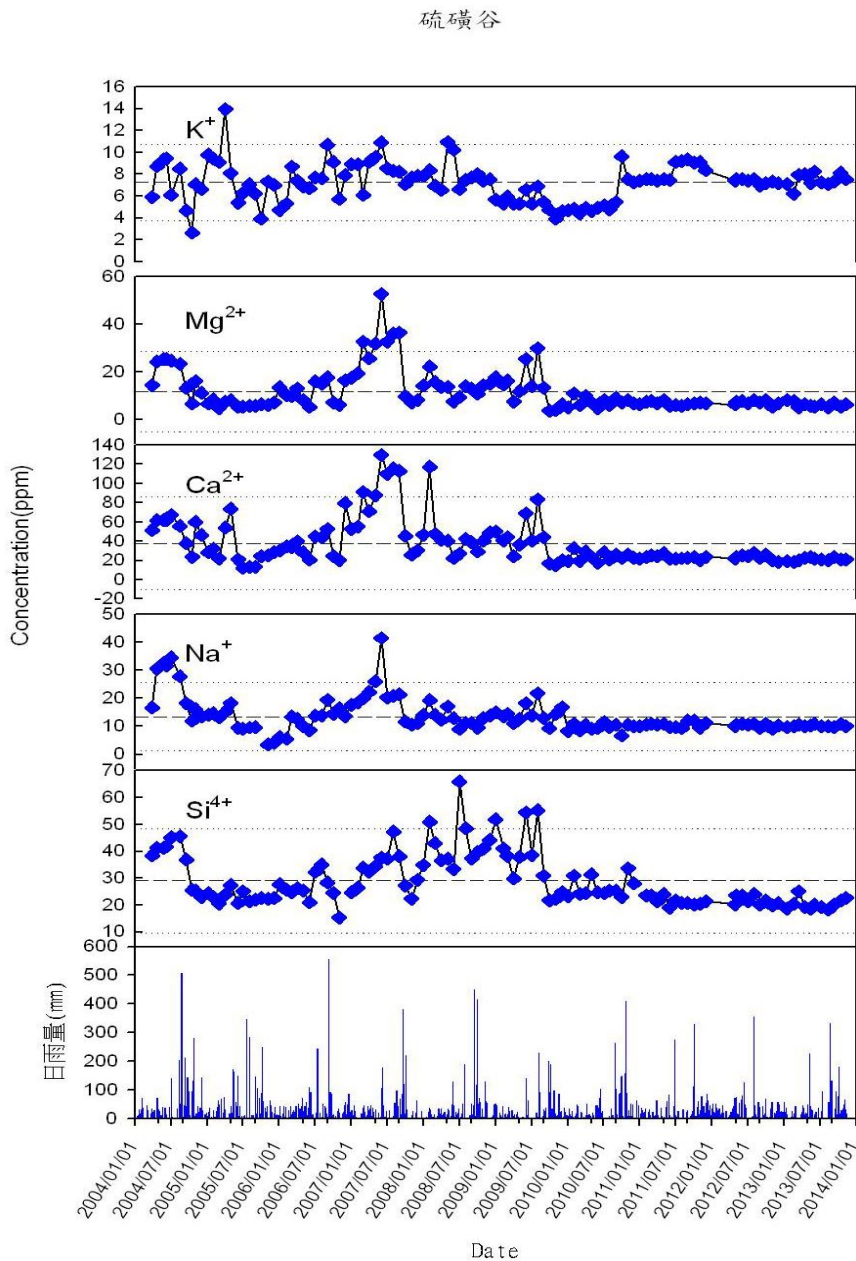


圖 8：硫磺谷溫泉陽離子濃度，2004 至 2013 年月變化趨勢圖。

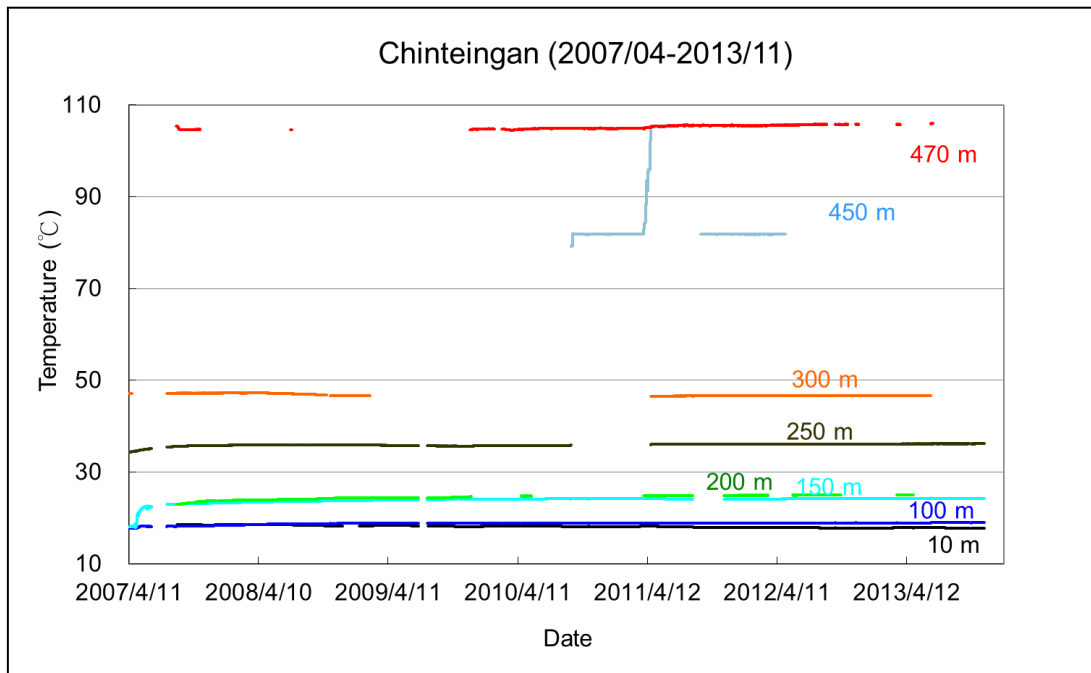


圖 9：擎天崗測站 2007 年 4 月 11 日至 2013 年 11 月 17 日各深度溫度變化圖。

四、結論與建議

- 1、本研究中，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。
- 2、2013年3-4月份間大油坑之HCl濃度有突增之趨勢，唯其噴氣口溫度與Total S/CO₂並未產生同步變化，顯示此事件可能僅為一區域逸氣通道之改變。
- 3、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第二座監測站，自2012年底起開始累積連續資料，至今二氧化碳逸氣通量和濃度最高值分別為1876 g m⁻² day⁻¹和29.8 %。
- 4、本年度監測結果在2月中至4月中出現二氧化碳逸氣通量相對高值，其他時段都處平穩期間，沒有太大的變異，推論目前仍處於平靜的狀態。
- 5、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。
- 6、大屯火山群中的四個溫泉水連續監測站之水質和水化學呈現相當穩定的狀態，隨時間的變化不大。
- 7、本委託案為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17.17~21.46°C、17.72~106.02°C和20.54~34.26°C，各深度溫度變化之標準差分別約0.0093~0.7166°C、0.2321~0.7139°C和0.0166~0.2757°C。
- 8、菁山站各深度地溫普遍呈現緩慢下降趨勢，各深度溫度下降0.1-0.7°C不等，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。0-100公尺的地溫變化較大，係受到降雨影響。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 $2.3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，下段100-190公尺約 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

- 9、擎天崗站的井底溫度約 106°C ，顯示本測站可能較靠近大屯火山區的熱源。深度10公尺的溫度呈現明顯的年變化週期，振幅約 0.05°C ，且溫度長期下降趨勢不變，2007年至今已下降約 0.85°C ，原因有待進一步討論。地溫梯度以深度200公尺為界大致可分為上下兩段，上段約 $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，下段約 $29.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，下段的高地溫梯度可能是因離熱源較近。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。
- 10、龜山島測站各深度溫度變化顯示整口井溫度有慢慢下降趨勢，值得持續監測以探討其機制。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 $9.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，下段可能比較靠近熱源，因此地溫梯度比較高。深度210-240公尺的地溫顫抖情形越來越明顯，顫抖的地溫可能跟該深度的地層裂縫發生變化有關。本站在2004-2009年觀測到與颱風有關的熱脈衝事件，溫度變化約 $-0.023\sim 0.015^{\circ}\text{C}$ 溫度，是否颱風的低氣壓影響龜山島岩石的應力，進而造成地層中孔隙水發生位移，導致地溫產生細微的變化 (Chiang et al., 2010)，值得進一步討論。

參考文獻

- Chang, H. I., 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.
- Szakacs, M. (1994) Redefining active volcanoes: a discussion. *Bull Volcano*. 56, 321-325.