

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

利用氣體成份監測台灣北部潛在的岩漿活動

Geochemical surveillance of fumaroles and bubble gases for the potential magma activity in N. Taiwan

計畫編號：NSC 89-2116-M-002-040-

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 9 月 30 日

主持人：楊燦堯

執行機構及單位名稱：國立台灣大學地質科學系

一、摘要

本年度為第一年計畫，著重於大屯火山區之噴氣來源探討。由氣體樣品中之氦、碳、氮同位素比值估算，本地區氣體樣品中皆含有顯著的地函源氣體比例，其中以大油坑噴氣中有高達 90% 氦氣成份源於岩漿端成份，暗示大屯火山群底下可能仍存在有岩漿庫持續逸氣中。持續氦同位素比值監測結果，並未發現有明顯異常之變化，顯示本地區之供氣系統相對穩定。

關鍵詞：大屯火山群、龜山島、火山噴氣、溫泉、監測

Abstract

It is a three-year monitoring project on potential magma activity by geochemical method in northern Taiwan. We have focused on the gas sources of the Tatun Volcano Group in the first year. Helium, carbon and nitrogen isotopic ratios results show that large amount of mantle derived components are involved in the gas samples in this area. The highest helium isotopic ratio is obtained from Da-Yiou-Keng.. Up to 90% of magmatic component was estimated for its gas sources. It implies that there may be magma reservoir underneath Tatun Volcano area. However, no significant anomalous variations of helium isotopic ratios of the gas samples have been observed during last two years. It suggests that the de-gassing system in this area is relatively steady in the period.

Keywords: Tatun Volcanoes, Kueishantao, fumaroles, hot springs, surveillance

二、計畫緣由與目的

台灣北部地處西環太平洋火山地震頻繁帶，其與岩漿活動有關的地熱活動仍然十分頻繁。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: Juang and Chen, 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 Chen et al. (1996) 與 Wang et al. (1999) 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) 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。

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源於深部地函源的氣體組成(Yang et al., 1999)，且於 1997 年 1 月至 1999 年三月間，大屯山各地區噴氣之氦同位素比值皆有增加的趨勢，暗示於這段期間本地區可能有新的岩漿源補注，即台灣北部地底下仍有可能有岩漿

庫的存在，Song *et al.* (2000) 更據此推論大屯火山群可能為一活火山。

而龜山島附近海底溫泉氣泡初步的氦同位素比值分析結果，更是高達 $7.8 \sim 8.2 R_A$ ，表示軟流圈地函成份可能已經可以直接逸散至地表，暗示著本地區的岩漿活動正方興未艾(Yang *et al.*, 1999a)。

由以上研究資料顯示，對台灣北部地區（包括大屯火山群與龜山島附近）可能潛在之岩漿活動的長期監測，為一重要且急迫的工作項目；而利用火山噴氣與溫泉氣泡之地球化學組成分析，則為一有效監測岩漿活動的方法之一。

本研究將利用三年時間，長期有系統地分析大屯火山群與龜山島附近海域代表性火山噴氣與溫泉氣泡樣品之地球化學組成，希望找出與火山活動相關的地球化學徵兆，並建立起大屯火山群之噴氣成份組成的基本資料及長短週期之變化情形，據以歸納出異常氣體成份變化與火山活動可能的關係。

三、已進行工作

本計畫第一年度著重於大屯火山區之噴氣來源探討，利用排水集氣法以真空採氣瓶，定期採集火山氣體與溫泉氣泡樣品，攜回實驗室分析其氣體成份與同位素比值。

計畫執行期間，筆者亦曾赴日本參加第七屆國際火山氣體研討會，與來自世界各國之火山專家，實地於活火山地區採集氣體樣品，學習到了許多火山氣體樣品採集與分析之寶貴經驗，將逐次地將之運用本計畫。

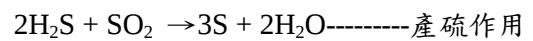
四、結果與討論

(1) 氣體樣品中之硫化物含量變化

大屯火山地區之火山噴氣與溫泉氣體中包含了多種不同化學特性的氣體組成 (H_2O 、 CO_2 、 H_2S 、 SO_2 、 CH_4 、 HCl 、 N_2 、 He 、 Ne 、 Ar ...)，其中水氣佔了 95% 以上。我們對水氣以外氣體成份作連續的監測分析，觀察其變化趨勢，整體而言，大屯地

區火山氣體去水後之氣體組成以二氧化碳為主 ($68 \sim 84\%$)，其次為硫化物氣體 ($H_2S + SO_2 \sim 0.9-17.2\%$) 及氮氣 ($10.6-16.5\%$)；此種氣體組成為典型的低溫火山氣體組成。

基本上 $^3He/^4He$ 比值代表火山噴氣中岩漿源氣體的比例高低，也似乎應與樣品所含之硫化物氣體濃度成正相關。但由表一得知，氦同位素比值與各地區之硫化物總量（硫化氫＋二氧化硫）並未有明顯正比關係，推測主要會影響硫化物氣體含量的原因可以下列三個化學式：



分析結果顯示， $^3He/^4He$ 比值最高的大油坑，其硫化物氣體含量卻是大屯山各噴氣點中最低的。推測有兩種可能的原因：一是大油坑的固體硫產量豐富，噴氣中的 H_2S 與 SO_2 於噴發接近地表時反應生成固體硫，即硫化作用旺盛；使得 H_2S 與 SO_2 同時大量減少，其含量為大屯火山地區各採樣點之末。另一可能原因為大油坑噴氣中，水氣含量較其它地點豐富，使得硫化物氣體於噴發過程中，或是收集進入採集瓶後，有較大部份溶於水氣中。如此一來，使得我們所分析的去水後氣體組成，無法得到真正之火山源硫化物氣體含量。

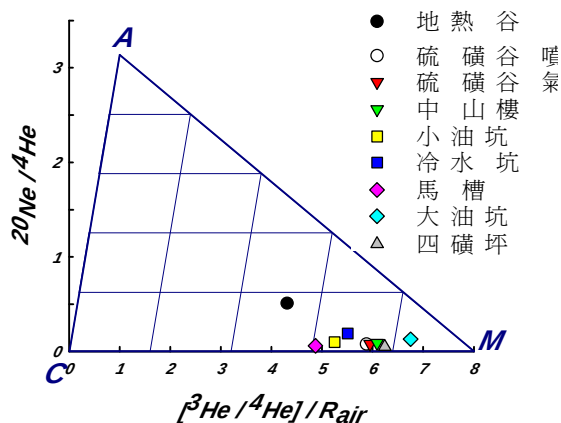
因為水解作用會消耗硫化物氣體之含量，若是 H_2S 的水解程度大於 SO_2 ，則水解後的含量趨勢線斜率會增大；反之，若是 SO_2 的水解程度大於 H_2S ，則趨勢線斜率會減小。相對於水解作用，產硫作用對於硫化物氣體的消耗則較為規則，若是火山噴氣中的硫化物氣體完全受控於產硫作用，則產硫作用影響後的硫化物含量似乎應該沿著斜率為 2 的趨勢線變化。因此，若我們能得知火山氣體噴發前的 H_2S 與 SO_2 含量（比例），則可進一步釐清水解作用與產硫作用對火山地區噴氣中硫化物氣體成份的影響程度。

由上述討論，加上野外觀察結果，大

屯火山地區各火山氣體噴出點，應同時進行著不同程度的產硫作用與水解作用。若產硫作用旺盛，則有較大之固體硫結晶產量(如：大油坑、硫磺谷過去之產硫大宗)；若水解作用旺盛，則推斷當地水分之硫酸含量應較其它地點為高。

(2) 本地區火山噴氣與溫泉氣泡可能來源

利用氦同位素比值與 Ne/He 比值之作圖，我們可以看出除了地熱谷以外，大屯火山區噴氣中之氦氣來源平均都有 $>60\%$ 源於地函源氣體成份；其中大油坑更可以高達 85% 。



(3) 氦同位素比值隨時間的變化

由各地點噴氣之氦同位素比值隨時間的變化情形看來，同一時間內所採的樣品，大抵上皆是大油坑有最高的氦同位素比值，而硫磺谷、小油坑依序次之、而馬槽、與地熱谷地區的噴氣則都有最低的氦同位素比值。基本上各地點的變化情形都相當一致，即某處的氦同位素比值增加時，其它各點之比值亦隨著增加，暗示著他們有共同的岩漿噴氣來源，而有一致性的氦同位素比值變化。

值得注意的是 1997 年與 1999 年 1~3 月間，氦同位素比值似乎有很明顯的變化，暗示著這段期間內可能有新的岩漿源補充，或者地殼錯動讓岩石圈氣體成份更容易上升到地表而影響了氦同位素比值。

相同時間內的微震監測資料亦顯示，這段期間內有較為頻繁的地震記錄(林正洪，未發表資料)與能量釋放，支持了上述的可能性。

唯自 1999 年 3 月以後近兩年來，本研究對大屯火山地區主要的火山噴氣分佈點所進行氦同位素比值的連續監測分析結果，可以發現各採樣點之氦同位素值似乎沒有明顯隨時間變化，暗示著這兩年來大屯火山地區之噴氣系統相對穩定，當然我們需要累積更多資料後，才能看出本地區岩漿活動之趨勢。

若進一步對照大屯火山地區竹子湖測站之年度雨量與氣溫變化資料，發現同一地區之氦同位素比值，並未受到雨量、溫度等環境因素的變化而影響，可以反應出火山氣體源區成份之改變，適合用來作為監測火山活動的有效工具之一。

五、未來繼續之工作

除了上述初步完成之結果以外，本計畫將繼續定期連續採樣分析，並加強下列工作：

(1) 氣體採樣與分析方法之改進

為了能夠將火山氣體中各種不同化學特性的氣體組成(H_2O 、 CO_2 、 H_2S 、 SO_2 、 CH_4 、 HCl 、 N_2 、 He 、 Ne 、 $Ar...$)做準確的分析，本實驗室近來參考各國著名火山研究實驗室採樣方法，希望發展一套更完善的採樣方法。此方法首先由紐西蘭化學家 Giggenbach 所提出(Giggenbach, 1975)，因而將此採樣瓶以其名稱之；此方法之原理即採樣過程簡述如下：

火山氣體中主要是以水蒸氣及二氧化碳為主($H_2O + CO_2 > 90\%$)，其次為硫化氫及二氧化硫等硫化物氣體及氮氣，而硫化氫及二氧化硫又是相當容易溶於水中的氣體；因此，當我們在採集火山氣體樣本時，容易因為水氣不易完整收集，或是部分硫化物溶於水中，造成分析氣體組成時的誤差。有鑑於此，我們在採集過程中用鹼液($NaOH$)將這些氣體(H_2O 、 CO_2 、

H₂S、SO₂、HCl) 溶解於溶液中，而其它不溶解的氣體則可相對富集於採樣瓶中，帶回到實驗室中，我們再分別分析出瓶中的溶液與氣體組成，如此則可得到真正而完整的火山氣體組成。

採樣時，我們將採樣瓶倒立接上採樣管線之中，以手動幫浦將採樣管線中的空氣抽離，並讓火山噴氣大量流洗，以將採樣管線中空氣的污染比例降至最低；接著將採樣瓶與幫浦相連的一端以夾子封閉，並緩緩轉開瓶上之密閉閥（以不讓瓶中鹼液倒灌漏出為原則，盡量轉開），使火山氣體能大量通過鹼液進入瓶中，可藉由觀察氣泡的大小與流量，來判定收集樣本氣體的完成與否；而鹼液體積也會因為溶解了大量的水氣與二氧化碳氣體，而有明顯的增加。

此方法最大的優點就是能完整且大量的收集火山氣體，對於我們所要分析之原本含量稀少的氫、氦氣，有相當好的富集效果；相對於傳統方法甚至可達到數十倍的富集程度。但另一方面，由於要分別分析不溶解氣體及溶解於鹼液的組成，必須使用多種化學分析方法，使得一個樣品的總分析時程會相對較長，故而本年度擬再添購一組氣相層析儀，以利諸多樣品得以順利分析。

目前本實驗室對於此套方法中採樣瓶的氣體保存能力、採樣過程與採樣後氣體的品質及各種分析方法得到之結果正在測試校正並進行改善階段，並自行規劃一套氣體層析分析方法，預定配置於新購置的層析儀上，希望能夠改善整體分析流程與時間，相信在近期之內我們必能規劃出一套最完整且精準的火山氣體組成分析流程。

(2) 其它同位素之分析

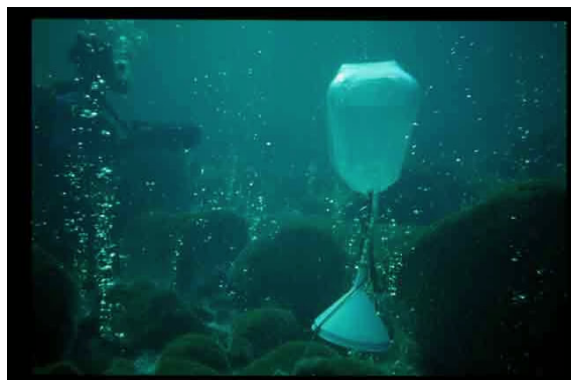
除了氫同位素以外，火山氣體中二氧化碳之碳同位素比值、與氦氣之氦同位素比值亦廣為火山氣體地球化學學者用於探討火山氣體來源，台灣地區未曾有系統之分析。本研究將設計純化系統，有系統地

分析火山氣體中碳、氮同位素比值，以進一步瞭解氣體來源與噴發機制。

由溫泉水之氫氧同位素研究，一般認為大屯火山區之溫泉水是源自於地表水，滲入地下後由地熱加溫至沸騰後再噴出地表。可是卻鮮少有直接大屯火山區火山噴氣冷擬水之氫氧同位素報導，世界其他活躍地區之火山噴氣冷擬水之氫氧同位素比值往往異於天水線，而被認為有一「岩漿水」之氫氧同位素端成份存在，本計畫將有系統利用火山氣體冷擬水之氫氧同位素比值，進一步探討台灣北部是否存在有「岩漿水」端成份。

(3) 龜山島周圍海域溫泉氣泡成份分析

我們初步只採集了龜山島海域海面上的氣泡，我們相信源於海底之火山氣體成份（深約 15~30 公尺）於上升至海面後雖然會有些許的分異效應，但應該不至於有太大的改變，尤其是不易溶於水的氣體組成（其中氫同位素比值應該最不受影響），應可代表原生火山氣體性質。可是一些比較易溶於水的氣體，如硫化氫、二氧化硫與氯化氫，於我們在海面上收集的氣體樣品中便都極為少量，很有可能於火山氣泡於上升過程中便已溶於海水中了。筆者於 2000 年參加於日本舉行之第七屆火山氣體研討會時，法國學者於日本新硫磺島海底採集火山氣體，非常適用於龜山島海域採樣。所以我們便參考其海底採集火山氣體樣品的方式，將於近期內潛水直接採集位於海底火山噴氣口處之火山氣體樣品，以其瞭解其真正火山氣體組成。



參考文獻

- Chen, C.H., Chen, C-H., Nakada, S. and Mertzman, S.A. (1996) The northern Taiwan volcanic zone behind the southern Okinawa Trough-the western extension of the Ryukyu volcanic front? Extended abst. for annual meeting of Geol. Soc. China, Taipei, p. 450-452.
- Chen, Chang-Hwa, Lee, T., Shieh, Y.N., Chen, C.H. and Hsu, W.Y. (1995) Magmatism at the onset of back-arc basin spreading in the Okinawa Trough. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **69**, 313-322.
- Chen, Y.G., Wu, W.S., Liu, T.K., Chen, C.-H. (1998) A Holocene volcanic island: Kueishantao (in Chinese). Annu. Meet. Geol. Soc. China, Prog. Abst., pp. 104-105.
- Juang, W.S. and Chen, J.C. (1989) Geochronology and geochemistry of volcanic rocks in northern Taiwan. *Bull. Geol. Survey*, **5**, 67-85. (in Chinese with English abstract)
- Lee, C.S., Tsai, C.F., Chung, S.L. and SPOT members (1998) Active Interaction of submarine volcanoes and ocean current in the Southernmost Part of Okinawa Trough (SPOT). Eos.
- Liu, C.-C. (1995) The Ilan plan and the southwestward extending Okinawa Trough. *Jour. Geol. Soc. China*, **38**, 229-242.
- Noguchi, K and Kamiya, H. (1963) Prediction of volcanic eruption by measuring the chemical composition and amounts of gases. *Bull. Volcano.*, **26**, 367-378.
- Oskarsson, N. (1984) Monitoring of fumarole discharge during the 1975-1982 rifting in Karafla volcanic center, North Iceland. *Jour. Volcan. Geotherm. Res.*, **22**, 97-121.
- Ossaka, J., Ozawa, T., Nomura, T., Hirabayashi, J. (1980) Variation of chemical compositions in volcanic gases and waters at Kusatsu-Shirane volcano and its activity in 1976. *Bull. Volcano.*, **43**, 207-216.
- Poreda, R. and Craig, H. (1989) Helium isotope ratios in circum-Pacific volcanic arcs, *Nature*, **338**, 473-478.
- Shinjo, R., Chung, S.L., Kato, Y., Kimura, M. (1999) Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of volcanic rocks from the Okinawa Trough and Ryukyu arc: implications for the evolution of a young, intra-continental backarc basin. *Jour. Geophys. Res.*, **104**, 10591-10608.
- Song, S.R., Tsao, S. and Lo, H.J. (1996) Lithofacies of the volcanic rocks and characteristics of the eruption of Tatun Volcano Group in northern Taiwan. Abstr. for the 3rd Sino-British Geological Conference, Taipei.
- Song, S.R., Yang, T.F., Yeh, Y.H., Tsao, S. and Lo, H.J. (2000) The Tatun Volcano Group is active or extinct? *Jour. Geol. Soc. China*, **43**(3), 521-534.
- 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. *Jour. Geol. Soc. China*, **35**(1), p.1-18.
- 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. (2000) The helium isotopic ratios of fumaroles from Tatun Volcano Group of Yangmingshan National Park, N. Taiwan. *Journal of National Park*, **10**(1), 73-94. (in Chinese with English abstract)
- Yang, T.F., Lee, C.S., Liu, N.T. and Ho, H.H. (1999a) Helium isotopic ratios of fluid samples around Kueishantao, NE offshore Taiwan and their tectonic implication. Extended Abstract to the Annual meeting of Geophysical Society of China, Keelung, Oct. 28-29.
- Yang, T.F., Sano, Y. and Song, S.R. (1999b) $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios of fumaroles and bubbling gases of hot springs in Tatun Volcano Group, North Taiwan. *II Nuovo Cimento*, **22C**, 281-286.