

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 台灣地質災害的地球化學監測之規劃計畫

### Projected study on geochemical monitoring for geohazards in Taiwan

計畫編號：NSC 88-2116-M-002-032

執行期限：87年9月1日至88年8月31日（獲准延至同年9月30日）

主持人：陳正宏

執行機構及單位名稱：國立台灣大學地質學系

#### 一、摘要

本計畫對台灣島主要溫泉與泥火山作全面的氣體與水質成份分析，並對大屯山、埔里與嘉南地區流體成份，從事初步較有系統的監測分析工作。本研究結果顯示，流體地球化學成份的異常變化，與火山、地震斷層活動有密切關係，可作為有效的監測工具之一。考量採樣方便性與火山、斷層地震可能的活動性，建議選擇北部大屯火山區、嘉南地區與宜蘭平原作為優先監測的地區，視結果再推廣至其它地區。

**關鍵詞：**地球化學、監測、地質災害

#### Abstract

We have measured the compositions of fluid samples from the representative hot springs and mud volcanoes in Taiwan. Preliminary monitoring works are also carried out at Tatun, Puli, and Chi-Nan area. The results show that the variations of fluid samples are closely associated with the magma activity and earthquakes. Considering the convenience of sampling and the potential activity of magma and earthquake, we will suggest that Tatun, Chia-Nan, and Ilan areas can be selected for systematical long-term surveillance in the feature at the first stage.

**Keywords:** geochemistry, monitoring, geohazards

#### 二、計畫緣由與目的

火山噴發和斷層活動所引發的地震，

是兩種破壞性極大的地質災害，對人類的生命和財產常造成重大損失。在地震來臨之前，若能準確的預測，預作準備，可望把災害減到最輕。以往國內對此等地質災害之監測與預測的研究，大都利用地球物理的方法（如全台地震網的設立），甚少利用流體（水和氣）地球化學的方法。俗語說，工欲善其事，必先利其器。例如火山地震在即將發生前，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，必能收集到更為可靠的資料，作為可能發生災害的預警。台灣幾個值得進行地球化學監測的目標為：(1) 北部火山與活斷層活動區；(2) 西部變形帶前緣及南部泥火山與活斷層帶；(3) 東部溫泉與斷層帶。

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明確的地震前兆。這些大部分與熱水作用相關的氣體如 Rn, He, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, Ar, 與 N<sub>2</sub> 的地球化學異常，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。

由許多國外成功的案例顯示，於火山地震發生前幾天至幾個月前，監測站的水、氣經常有異常的成份變化，確實可做為火山、斷層與地震活動的有效前兆之一。而台灣島上具有從事這些研究的有利條件，如：火山噴氣發達、地震與活斷層多，溫泉、自噴地下水井、受壓含水層、泥火山多等，若能選擇適當地點從事長期連續的成份監測，同時配合其它相關監測資料，當有機會於火山、地震發生前發現有效前兆，並加以預警和防範，而降低其

可能帶來的災害。

### 三、已進行工作

於今年元月起，我們便於全島主要溫泉與泥火山區做全面的氣體與水質成份調查，初步得知各個地區溫泉水與泥火山噴氣的可能來源特性，可作為往後進一步地質災害監測的基礎資料。目前為止，與可能活斷層與構造活動有關的採集地點如下：

金山斷層：金山溫泉、大屯火山群噴氣

獅潭斷層：泰安溫泉（原上島溫泉）

雙冬斷層：廬山溫泉

觸口斷層：中崙溫泉、關仔嶺溫泉與水火同源

左鎮斷層：大小滾水泥火山

旗山斷層：烏山頂與燕巢泥火山

恆春斷層：恆春出火、四重溪溫泉

宜蘭斷層：礁溪溫泉

花東縱谷斷層：瑞穗溫泉、安通溫泉、紅葉溫泉

我們並於 88 年 5 月 14 日於國立台灣大學地質系廣邀國內相關學者，舉辦『台灣地質災害地球化學研討會』，會後並舉行座談。與會人員除提出相關具體建議外，皆一致認為國內已具有進行地球化學監測的能力，應與國內相關單位（如中央地質調查所與氣象局）配合，選擇適當地點（如龜山島、大屯山、嘉南平原等地區），儘速開始進行有系統的長期的監測工作。

### 四、結果與討論

#### (1) 大屯火山群之噴氣成份變化

我們於大屯火山群選擇代表性的噴氣口，如大磺嘴、大油坑、小油坑、冷水坑、馬槽、死磺子坪等處，定期採集火山噴氣樣品，進行氦同位素與氣體成份的分析。

比較兩年前（1997 年一月）與今年（1999 年三月）噴氣的成份顯示，各地區噴氣之氦同位素比值皆有明顯增加的趨

勢，其中大油坑噴氣有最高的氦同位素比值幾接近於合理岩漿成份的氦同位素比值，最值得密切監測。由氦同位素比值分析結果估計，大屯山地區的火山噴氣，平均約有 >75% 的氦同位素成份源於合理的岩漿源端成份，暗示本地區地殼深處，可能有有殘餘的岩漿庫存在持續冒氣中。

所幸自今年（89 年）三月起迄今（十一月底），本地區各處的氦同位素比值組成變化皆在實驗誤差範圍內，顯示氣體組成來源並未有明顯的異常，表示本地區的岩漿噴氣活動並未因最近幾次大地震而有明顯異常的改變，不過我們仍需密切監測其變化中。

此外，由噴氣的組成變化看來，對岩漿活動較為敏感的  $H_2S$ ,  $SO_2$  與氦氣成份，於最近幾次大地震發生前後亦並未有明顯異常增加的現象。反倒是最能代表岩漿訊號的  $SO_2/H_2S$  含量比值，於十月下旬有明顯降低的現象，直至目前（11 月中旬）仍未回歸原本比值成份。此一變化可能表示岩漿源的噴氣比例減少，暗示本地區有地表淺源的氣體成份混入原本岩漿噴氣系統，造成其比值下降；至於是否與鄰近幾次地震活動有關，則需要進一步持續觀察。

#### (2) 地震發生前後地下氣體成份之變化

我們初步選擇了關仔嶺溫泉、關仔嶺水火同源、中崙溫泉（以上靠近觸口斷層）、小滾水泥火山（左鎮斷層）、與烏山頂泥火山（旗山斷層）作為較有系統的氣體成份監測工作。

比較地震發生前後氣體成份的變化顯示，較為靠近車籠埔斷層的關仔嶺溫泉與中崙溫泉氣體成份，於 921 地震發生前似乎有比較明顯的異常成份變化，代表著地殼氣體的混入造成這兩個地方樣品的氦同位素比值皆有往「地殼」端成份變化的情形；反之，距離本次大地震震央比較遠的小滾水與烏山頂泥火山噴氣成份，則變化較不明顯。

由氣體成份分析結果可以看出，嘉南

地區溫泉水之氣泡成份主要以二氧化碳為主（50~90%），而泥火山噴氣則以甲烷成份為主（>90%）。最近幾次地震顯然對於本地區的噴氣系統有很明顯的影響，其中中崙溫泉與關仔嶺溫泉的氣體成份有最顯著的改變，可能這兩處地點跟震央與斷層位置較為接近有關。

綜合來說，本研究地區內之溫泉水與泥火山氣體組成，於地震發生前似乎都有成份比值異常的現象，如中崙溫泉、關仔嶺水火同源、烏山頂泥火山在 921 地震、1022 地震與其後的 1115 餘震發生前，CH<sub>4</sub>/Ar 與 CO<sub>2</sub>/Ar 比值都有明顯變化。

### (3) 地震發生前地下水成份之變化

集集大地震後我們開始收集震央附近礦泉水公司所生產的礦泉水，進行水中陰離子的分析，探討地震對地下水水質的可能影響。

採自埔里地區不同地下水層，利用離子分析儀（Ion Chromagrophy）分析礦泉水中氯、硫酸根和硝酸根等陰離子的分析結果，顯示在今年四月時，礦泉水中的硫酸根離子和硝酸根離子已開始有異常出現，離子濃度上升。但到了六月中，離子濃度則呈明顯的下降，到地震發生時離子濃度最低。

921 集集大地震造成埔里地區地下水先上升、後下降的可能原因為：地震來臨之前的應力擠壓，先造成孔隙塌陷，孔隙中的水被排出，因其含較高的離子濃度，所以造成地下水中離子濃度的上升，且因其不是被穩定的排出，所以離子濃度有上下震盪的變化。但隨著應力擠壓的增強，岩層中開始有微裂隙的產生，使不同儲存層的地下水相混合。由於礦泉水中的離子濃度在六月以後明顯地降低，可能是由淺層、較低濃度的地下水層，進入目前抽取的地下水層混合，而使得離子濃度降低，造成異常的原因。

## 五、結論

(1) 由氦同位素比值分析結果估計，大

屯山地區的火山噴氣，平均約有 >75% 的氦同位素成份源於岩漿源端成份，暗示本地區地殼深處，可能有殘餘的岩漿庫存在持續逸氣中，所以本地區長期火山活動之監測是必須且急迫的工作。

(2) 由本研究初步結果顯示，嘉南地區附近的溫泉水與泥火山氣成份，於最近幾次大地震發生前後都有顯著的變化，其變化程度視其氣體來源與組成不同、與距離震央位置遠近而有所不同。其中中崙溫泉、關仔嶺溫泉有最顯著的變化；另外其它地點的觀測結果，於地震發生前後亦有不同程度的變化。

(3) 埔里地區礦泉水分析結果顯示，在 921 地震發生前幾個月前，礦泉水中的硫酸根離子和硝酸根離子含量即有明顯異常出現。此一成份異常的變化可能與地震應力作用，使不同儲存層的地下水相混合所造成。

(4) 由本計畫初步結果說明了流體（水與氣）地球化學成份的異常變化，有可能作為往後火山、地震、與斷層活動有效的監測工具之一，當然我們需要更多資料的累積與更密集連續的觀測資料，才能更進一步瞭解這些異常變化與火山、地震斷層活動間的關係。

(5) 本計畫建議下列幾處地點，可以作為第一優先展開系統長期連續監測工作的地點，視其結果後再逐步擴展至台灣其它斷層活動活躍地區。

金山溫泉、大屯火山群噴氣：金山斷層與大屯火山活動

中崙溫泉、關仔嶺溫泉與水火同源：觸口斷層

烏山頂與燕巢泥火山：旗山斷層

礁溪溫泉、蘇澳冷泉：宜蘭斷層

## 參考文獻

- Areshidze, G., Bellia, F., Biagi, P.F., Caputo, M., Chkuaseli, V., Della Monica, G., Ermini, A., Mandjgaladze, P., Melikadze, G., Sgrigna, V., Slavina, L., and Zilpimiani, D. (1991) Anomalies in Geophysical and Geochemical Parameters Revealed on the Occasion of the Paravani (M=5.6) and Spitak (M=6.9) Earthquake (Caucasus). *Tectonophysics*, **202**, 23-41.
- Barsukov, V.L., Varshal, G.M. and Zamokina, N.S. (1985) Recent results of hydrogeochemical studies for earthquake prediction in the USSR. *PAGEOPH*, **122**, 143-156.
- Huixin, S. and Zuhuang, C. (1986) Geochemical Characteristics of Underground Fluids in Some Active Fault Zones in China. *J. Geophys. Res.*, **91**, 12282-12290.
- Kawabe, I. (1985) Anomalous changes of CH<sub>4</sub>/Ar ratio in subsurface gas bubbles as seismo-geochemical precursors at Matsuyama, Japan. *Pure and Applied Geophysics*, **122**, 194-214.
- King, C.Y. (1984) Earthquake Prediction: Evaluating Hydrological and Geochemical Anomalies. *Nature*, **312**, 501.
- King, C.Y. (1986) Gas geochemistry applied to earthquake prediction: an overview. *J. Geophys. Res.*, **91**, 12269-12281.
- King, C.Y., Evans, W.C., Presser, T. and Husk, R.H. (1981) Anomalies Chemical Changes in Well Waters and Possible Relation to Earthquakes. *Geophys. Res. Lett.*, **8**, 425-428.
- Koizumi, N., Yoshioka, R. and Kishimoto, Y. (1985) Earthquake Prediction by means of Change of Chemical Composition in Mineral Spring Water. *Geophys. Res. Lett.*, **12**, 510-513.
- Li, G., Jiang, F., Wang, J. and Zhang, P. (1985) Preliminary results of seismogeochemical research in China. *Pure and Applied Geophysics*, **122**, 218-230.
- Martinelli, G. and Ferrari, G. (1991) Earthquake Forerunners in a Selected Area of Northern Italy: Recent Development in Automatic Geochemical Monitoring. *Tectonophysics*, **193**, 397-410.
- Nagamine, K. (1994) Origin and coseismic behavior of mineral spring gas at Byakko, Japan, studied by automated gas chromatographic analyses. *Chemical Geology*, **114**, 3-17.
- Narasimhan, T.N. and Palen, W.A. (1981) Interpretation of a Hydraulic Fracturing Experiment, Monticello, South Carolina. *Geophys. Res. Lett.*, **8**, 481-484.
- Sano, Y., Nakamura, Y., Wakita, H., Notsu, K., and Kobayashi, Y. (1986) <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He ratio anomalies associated with 1984 western Nagano earthquake: possibly induced by a diapiric magma. *Jour. Geophys. Res.*, **91**, 12291-12295.
- Sano, Y., Takahata, N., Igarashi, G., Koizumi, N. and Sturchio, N.C. (1998) Helium degassing related to the Kobe earthquake. *Chemical Geology*, **150**, 171-179.
- Sugisaki, R. (1978) Changing He/Ar and N<sub>2</sub>/Ar ratios of fault air may be earthquake precursors. *Nature*, **275**, 209-211.
- Sugisaki, R., Ito, T., Nagamine, K. and Kawabe, I. (1996) Gas geochemical changes at mineral springs associated with the 1995 southern Hyogo earthquakes (M=7.2). *Japan. Earth Planet. Sci. Lett.*, **139**, 239-249.
- Sugisaki, R. and Sugiura, T. (1985) Geochemical Indicator of Tectonic Stress Resulting in an Earthquake in Central Japan, 1984. *Science*, **229**, 1261-1262.
- Sugisaki, R. and Sugiura, T. (1986) Gas Anomalies at Three Mineral Springs and a Fumarole Before an Inland Earthquake, Central Japan. *J. Geophys. Res.*, **91**, 2296-12304.
- Thomas, D. (1988) Geochemical precursors to seismic activity. *Pure and Applied Geophysics*, **126**, 241-265.
- Toutain, J.P., Munoz, M., Poitrasson, F. and Lienard, A.C. (1997) Springwater chloride ion anomaly prior to a ML=5.2 Pyrenean earthquake. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **149**, 113-119.
- Tsunoga, U. and Wakita H. (1995) Precursory chemical changes in ground water: Kobe earthquake, Japan. *Science*, **269**, 61-63.
- Tsunogai, U. and Wakita, H. (1996) Anomalous change in groundwater chemistry – possible precursors of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, Japan. *J. Phy. Earth*, **44**, 381-390.
- Wakita, H., Nakamura, Y. and Sano, Y. (1988) Short-term and Intermediate-term Geochemical Precursors. *PAGEOPH*, **126**, 267-278.
- Yang, T.F., Sano, Y. and Song, S.R. (1999) <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He ratio of fumaroles and bubbling gases of hot springs in Tatun Volcano Group, North Taiwan. II *Nuovo Cimento*, **22C**, 281-286.
- Yang, T.F., Shieh, P.S., Cheng, A.V. and Chen, C-H. (1999) Variations of gas composition of fluid samples before and after September 20, 1999 Chi-Chi Taiwan earthquake. Abstract to AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, Dec. 13-17.