

陽明山國家公園之火山地震活動

林正洪¹、柯士達²、蒲新杰²

(收稿日期：2006年11月16日；接受日期：2006年12月26日)

摘 要

雖然陽明山國家公園內大屯火山群已經沉寂長久，但是地表地熱及微震活動還是很明顯。根據噴氣所含氦同位素之最近分析研究，顯示部分噴氣來自岩漿源，這強烈的暗示台灣北部地底下依舊存在有岩漿庫之可能性。故大屯火山群是否再度活動的可能性，不僅是一個值得研究的科學問題，更關係大台北附近民眾的生命財產安全。經由過去兩年多仔細地分析八個地震站之地震記錄，除了於七星山及大油坑附近之最上部地殼中，觀測到許多微震與群震之活動外，也發現有異常的火山地震訊號，例如地震波形類似螺絲釘（Tornillos）與單頻水滴狀地震紀錄，及連續性爆發型之火山地震活動。初步定位顯示這些來源亦落於七星山及大油坑附近地區之淺部地殼。這些訊號之發生機制，一般可以用岩層裂縫內液體或氣體，因壓力突增或突減造成之震動來解釋。雖然依目前之地震資料，無法清楚地判識這些群震現象與異常訊號之正確機制，但其特徵卻與一般火山地區之岩漿或熱水活動相似，故很值得作更進一步之探討與研究。

關鍵詞：大屯火山群，岩漿庫，微震活動，群震，火山地震訊號

一、背景與目的

陽明山國家公園之大屯火山群位於台灣島的最北端，它正處於台北盆地的正北方。陽明山國家公園火山群總共有二十幾座火山。七星山為最高之火山，其海拔超過一千公尺。大屯火山地區有一條東北—西南走向的主要斷層通過，為金山斷層，其通過竹子山、小觀音山、和大屯山。而金山斷層往西南可連接至台北盆地西側的新莊斷層或山腳斷層。大屯火山群的火山噴發物覆蓋在中新世沉積岩上，火山體沿著東北—西南走向的金山斷層兩側分佈，據推測火山活動與金山斷層活動有關 (Yen et al., 1984)。

陽明山國家公園之大屯火山群的噴發歷史，主要根據 K-Ar 定年 (Juang and Bellon, 1984; Tsao, 1994)，及核飛跡定年 (Wang and Chen, 1990) 資料可知。基本上，大屯火山群的主要火山活動可分為兩個階段。第一階段大約在二百八十萬年前左右開始。在二百五十萬年前時，原始

1. 中央研究院地球科學研究所。
2. 中央大學地球物理研究所。

大屯山亦有活動，後來靜止一段相當長的時間。第二階段於九十萬年前又開始活動，在七十萬年時，大屯火山群幾乎各亞群均有噴發，至三十萬年前以後，整個大屯火山群的火山活動便慢慢地趨向停止。根據最近的地質調查顯示，大屯山最近的一次噴發大約是一、二十萬年前 (Song et al., 1992)。雖然這意味大屯火山群已經沉寂長久，但是地表地熱與微震活動還是很明顯。最近之地震之觀測，更發現大多數之微震均集中於七星山及大油坑附近之最上部地殼中(林, 2004)。此外，根據噴氣所含氦同位素之分析研究 (楊, 1999)，顯示部分噴氣來自岩漿源，這強烈的暗示台灣北部地底下，依舊存在有岩漿庫之可能性。故大屯火山群是否復活的可能性，不僅是一個值得研究的科學問題，更關係大台北附近民眾的生命財產安全。

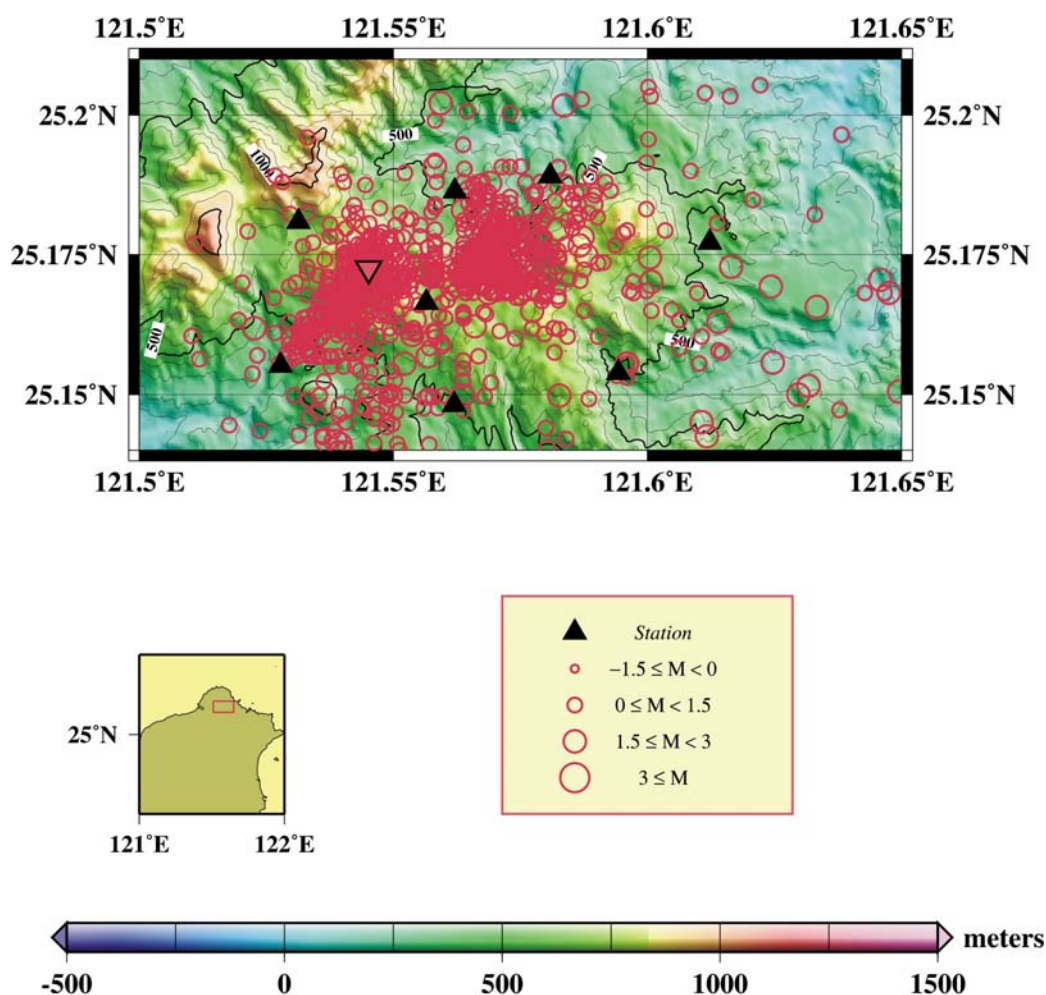
二、方法；地震觀測網與資料處理

本研究之測震網以監測陽明山國家公園之大屯山地區火山活動所引起的地震為主要目的。為能蒐集微小之地震波信號，並連續觀測該地區之地震活動，測震網採用高解析度的數位式地震記錄器，並以高效能的資料擷取系統作分析研究。臨時地震觀測網中之感應器有兩種，一為短週期三向量速度型感應器，另一為中長週期三向量速度型感應器。野外測站所選用的地震記錄器為日本東海測震公司發展之 H801 型，其主要功能在將感震器的地震信號數位化，具有 24 位元的解析度，取樣率為 100 次/秒。地震記錄與資料處理系統，包括三組磁碟陣列、數台個人電腦及兩個工作站來進行地震資料之分析。

本研究自民國九十二年五月起，於大屯山地區之陽明山國家公園內，建立一個小型地震觀測網(圖一)，包括八個地震站，來測量微小地震的時空分佈，並試圖由記錄之地震波形，辨識地震震源之種類，是否包括岩漿活動造成之地震。本研究的資料處理流程包括：(1)從連續資料，全日波形的垂直方向波形圖中挑選可能為地震的訊號。再將所有的測站波形資料，摘取同一段時間訊號，並轉換資料格式，以便進行地震波形分析。(2)利用套裝電腦軟體(SAC)，來讀取每個地震在測震站記錄上的 P 波(縱波)到達時間、S 波(橫波)到達時間、P 波初動方向及地震總振動時間。(3)將每一地震在各測站所記錄之數據，輸入自己編寫之電子計算機程式，以計算各地震的發生時間、震央位置、震源深度及規模等。詳細之過程請參考(林, 2004)。

三、結果與討論

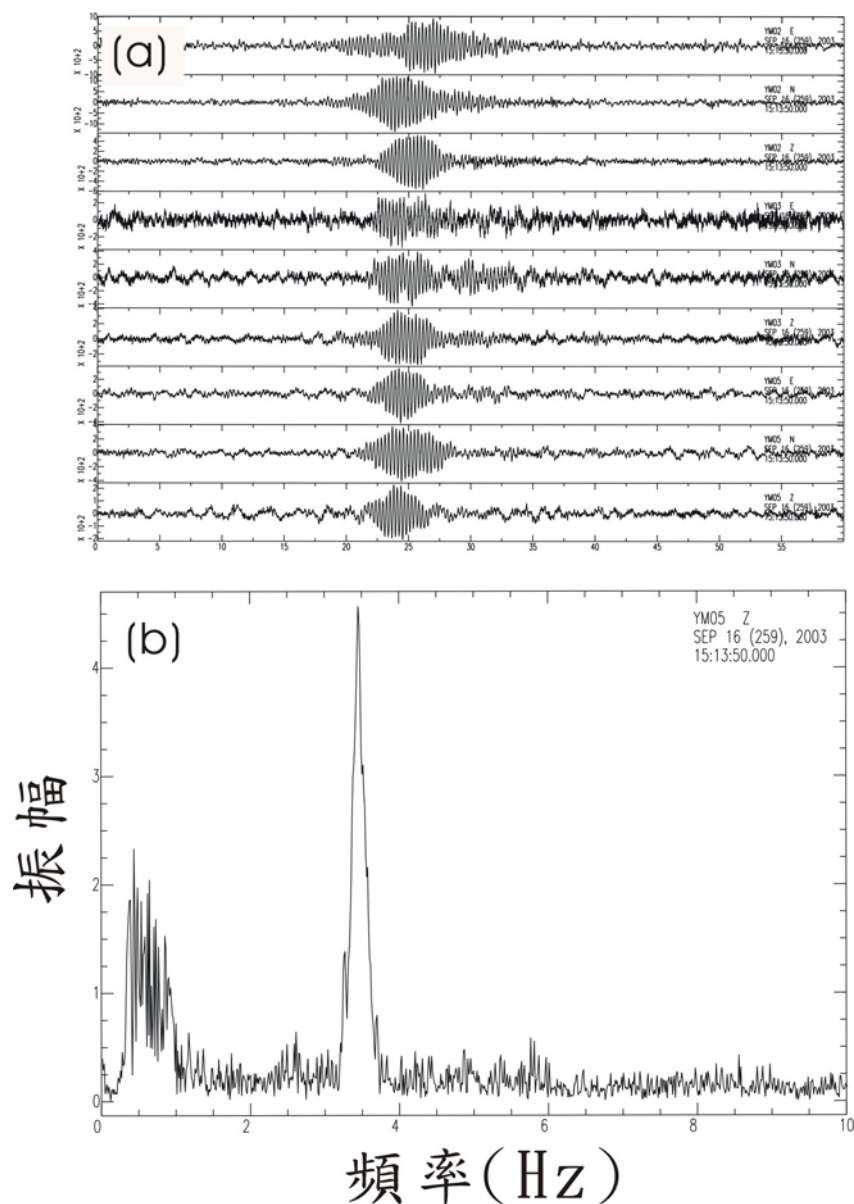
自 92 年 5 月起至 94 年 12 月，已於陽明山國家公園觀測到數百個相當可信的地震記錄(圖一)，地震之分佈與初步之分析討論並已於前兩篇文章(林, 2004 及 Lin et al., 2005a)詳述。此外，利用大容量的磁碟所觀測之連續地震記錄，除了提供上述一般局部地區性的地震偵測功能外，連續地震記錄又可發揮其偵測振幅較不明顯之低頻，或連續性的其他可能訊號之能力。特別是在火山活躍地區，常有所謂較長週期之地震訊號，例如與岩漿活動有關之振動 (Tremors) 或單頻與多頻之振盪 (Harmonic vibrations) 等，分別陳述如下。



圖一. 陽明山國家公園地區之微震分佈(圓圈)、七星山(倒三角形)與地震站位置(正三角形)。

(一) 單頻火山地震訊號 (Monochromatic tremors)

仔細分析本計劃之微震監測網之連續記錄中，可發現一些地震波形非常特殊(圖二(a))。其地震波之波包形狀類似水滴狀(Drop)，其振動時間很短，僅約十秒左右。從這些地震訊號中，並無法辨識其P波與S波之到達，故有別於一般所謂之構造地震(tectonic earthquake)所產生之地震波。並且這些水滴狀之地震訊號頻率組成也很特殊，似乎主要為某種單一頻率所組成。經由一般頻譜分析法，即快速傅利葉轉換法(Fast Fourier Transfer)計算所得(圖二(b))，可更清楚看出這些水滴狀之地震訊號之主要頻率落於3.4赫斯附近。根據全世界其他國家火山地區之觀測與研究經驗，一般認為這些單頻水滴狀之地震訊號產生原因，最可能是由液態或氣態物質共振所引起(Chouet, 2003)。初步推斷可能與岩層裂縫中液態或氣態物質，突然增加或減少壓力所造成之振動有關。

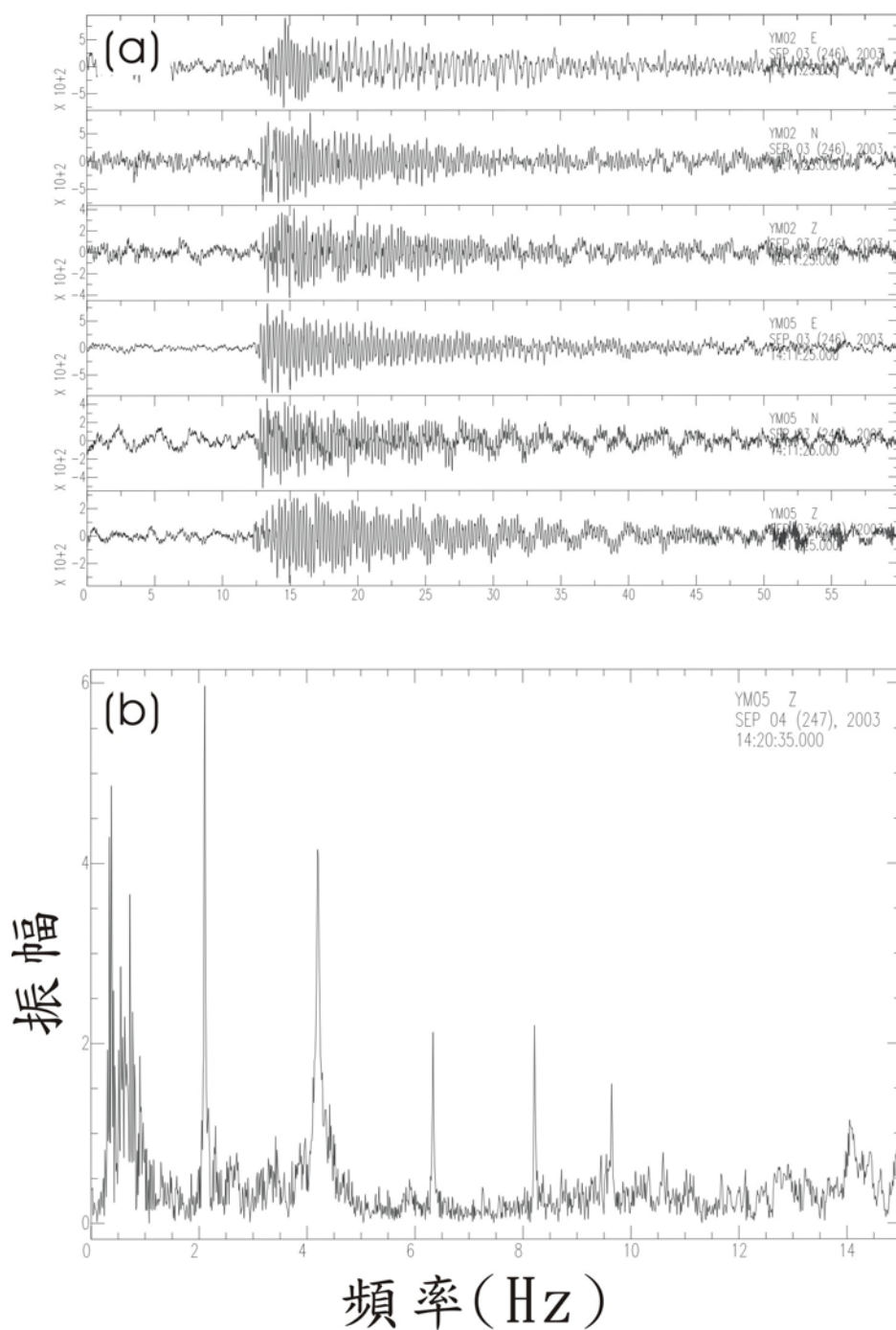


圖二(a). 單頻水滴狀火山地震訊號 (b)地震訊號之主要頻率落於 3.4 赫斯(Hz)附近。

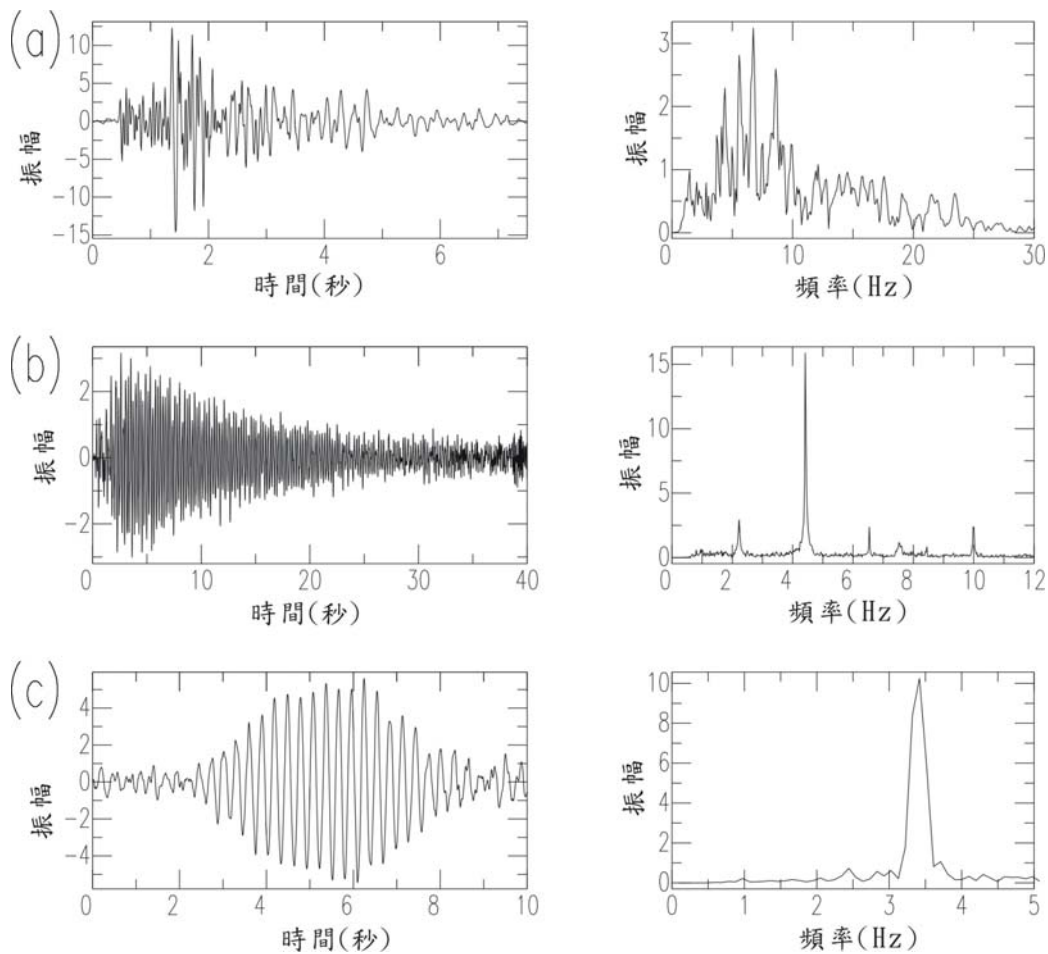
(二) 多頻火山地震訊號 (Multichromatic tremors)

除了上述單頻火山地震訊號外，本研究中也發現另一種更為重要之記錄。其地震波形之外觀類似螺絲釘一樣（圖三）。一般火山地震學家以西班牙文之螺絲釘（Tornillos）稱之（Hagerty and Benites, 2003）。這些螺絲釘狀之火山地震訊號之振動時間，明顯大於單頻水滴狀火山地震訊號，可長達數十秒。同樣地仔細分析這些螺絲釘狀之火山地震訊號，可清楚發現，其主要頻率從 2 Hz 到 15 Hz 中包括有好幾個。訊號中之最大能量落於 2.1 Hz 左右，其次為 4.2 Hz、6.3 Hz、8.3 Hz 及 9.6 Hz。仔細比較這些訊號之頻率，似乎成等差級數。這現象與一般地

震非常不同(圖四)。根據一般火山地震觀測之經驗，這些螺絲釘狀之火山地震訊號，極可能代表該火山活躍性很強。並且，曾於中美洲之一些火山噴發前，常可發現這些所謂螺絲釘狀之地震記錄 (Tornillos)。故大屯山地區亦有類似之記錄，非常值得我們注意與深入研究。



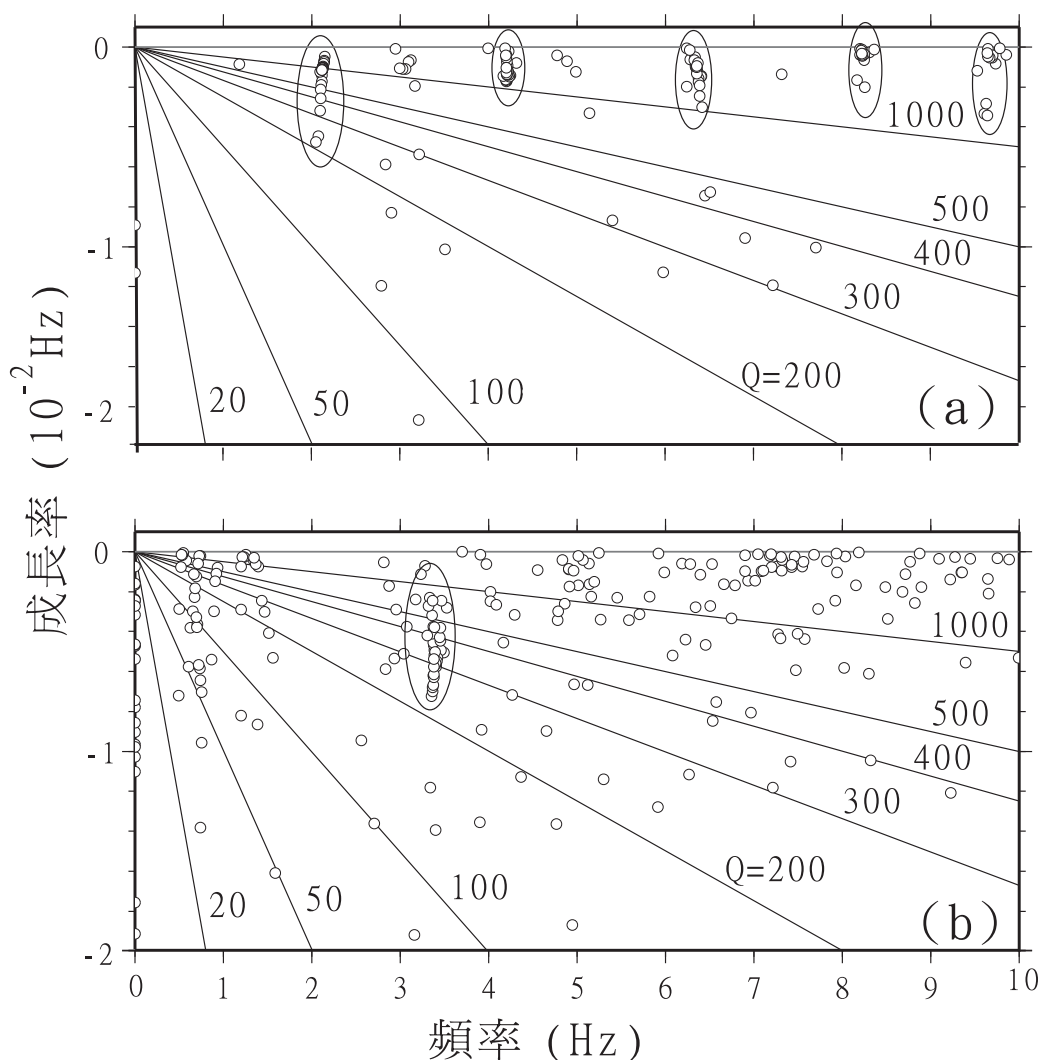
圖三(a). 螺絲釘狀之火山地震訊號 (Tornillos) 及 (b) 其頻譜分析。



圖四. 地震之波形與其頻率分佈(a)一般典型微震、(b) 螺絲釘狀之火山地震訊號及(c)水滴狀之地震訊號。

為了更進一步瞭解這些單頻及多頻火山地震訊號之產生機制，本研究利用一個簡單之物理模型來作計算與對比。假設這些異常訊號為一個填滿液態或氣態之岩石裂縫，因壓力突然增加或減少而產生之振盪現象。利用一種特殊之計算方式 (Sompi Method, Kumagai and Chouet, 2000)，可正確地估算岩石裂縫物質之黏滯性，或一般地震學中常用之 Q 值大小 (圖五)。估算結果顯示大屯火山地區所記錄之火山訊號之 Q 值均大於 200 以上。依據前人之物理模擬結果 (Kumagai and Chouet, 2000) 推斷岩石裂縫之物質中，含有霧狀般之微小粒子為最合適之解釋，一般認為這些微小粒子可能為火山灰。更詳細之討論可參見 (Lin et al., 2005b)。

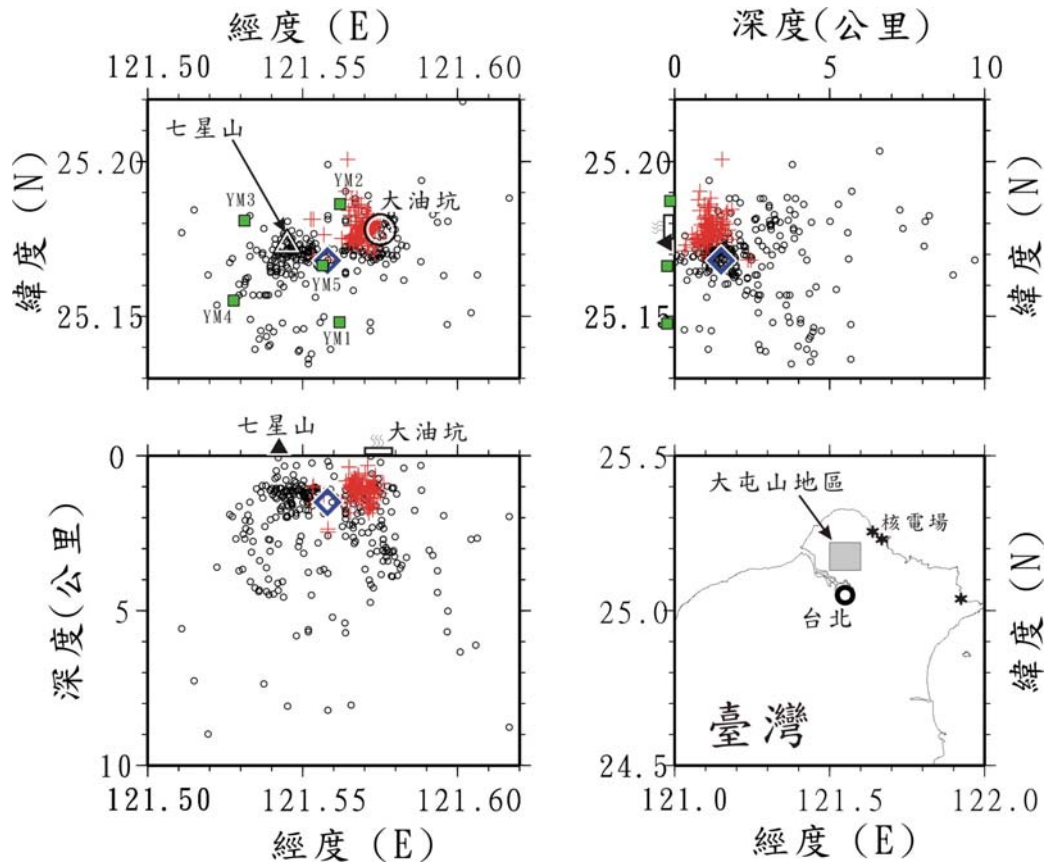
同時本研究亦對多頻火山地震訊號 (Tornillos) 之來源進行討論，首先讀取各測站之初始到達波時間，利用一般定位程式來判斷震源之來源，其結果顯示其來源位於七星山與大油坑之間，深度約為 1.5 公里左右 (如圖六)。



圖五. 火山地震波形中之(a)水滴狀之地震訊號及(b) 螺絲釘狀之火山地震訊號之 Q 值分佈。

(三) 連續爆發性火山地震訊號 (Continuously spasmodic bursts)

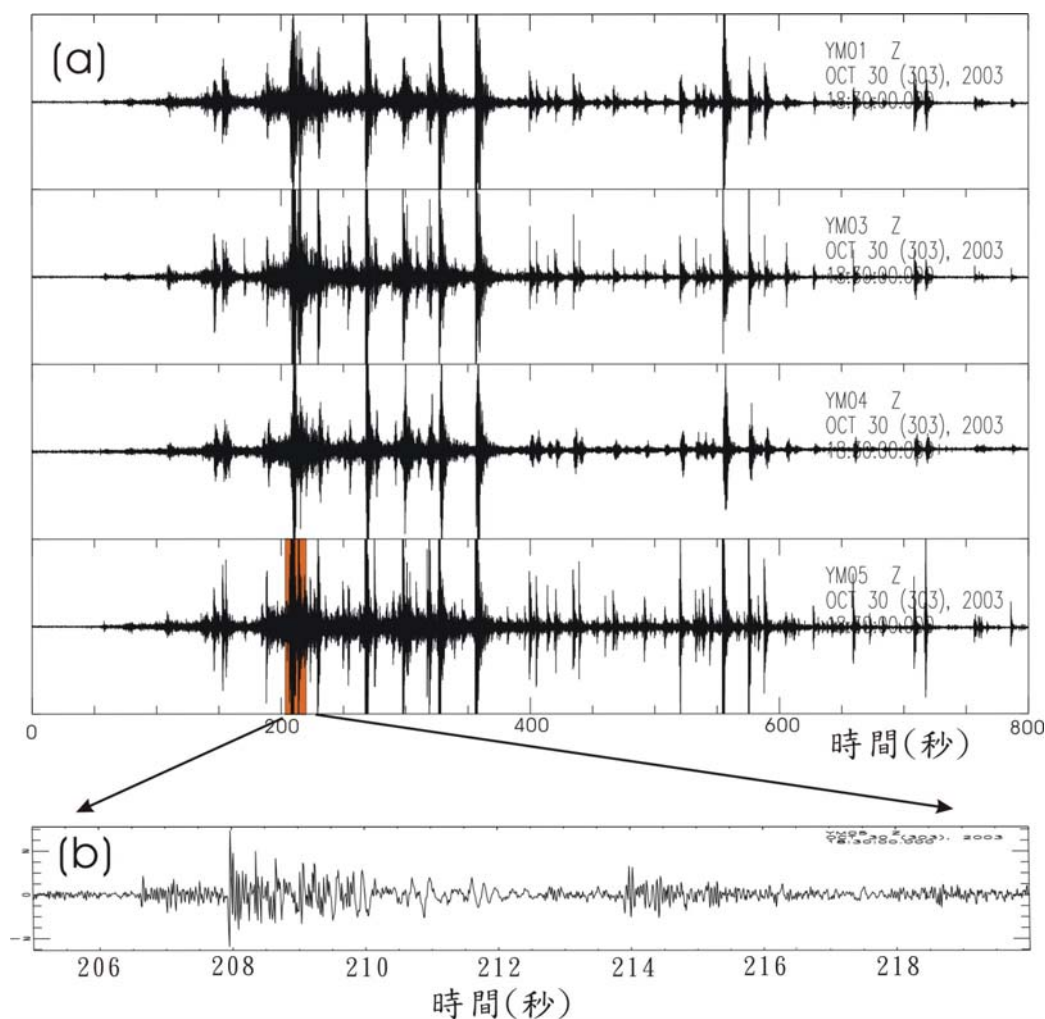
根據過去大屯火山群之觀測經驗，除了有些一般性之群震現象外，本研究也發現另一種更為強烈且連續性之爆發性火山地震訊號（圖七(a)）。這種持續超過二十分鐘之火山地震訊號，為上百個連續發生之爆發性振動所組成。仔細分析每一個單獨振動記錄，亦可清楚辨識其 P 波與 S 波到達時間（圖七(b)）。連續性爆發式火山地震活動，經過仔細分析後，其來源大約落於大油坑下方之岩層內（圖六）。



圖六. 七星山附近之火山地震活動分佈情形包括微震(小圓圈)、連續性爆炸型地震(十字形)及多頻螺絲釘狀訊號(菱形)。

四、結 論

依據本研究設置之大屯火山群微震網所觀測之地震記錄顯示，陽明山國家公園內之七星山及大油坑下方，有明顯的微震活動存在，大多數之微震震源深度均集中於二至五公里附近。此外，比較每日之連續地震記錄，常發現一些不尋常的連續振動訊號。例如地震波形類似螺絲釘狀 (Tornillos) 及單頻水滴狀之震動訊號。本研究也發現另一種更為強烈且連續性之爆發性火山地震訊號。初步定位顯示這些來源亦落於七星山及大油坑地區之淺部地殼。目前雖無法正確地判識其振動之機制，初步推斷可能與岩層裂縫中液態或氣態物質，突然增加或減少壓力所造成之振動有關。這些現象與國外其他火山地區，所觀測之岩漿相關活動類似。故很值得未來研究，作更進一步探討。



圖七.(a)連續爆發性火山地震訊號及(b)其局部放大之波形。

五、誌 謝

本研究能順利完成，首先感謝內政部陽明山國家公園管理處及行政院國家科學委員會，對本研究之經費與儀器設備全力支持。並感謝多位助理、研究生及大專生，先後曾參與大量地震資料之蒐集與分析整理。

六、參考文獻

林正洪，2004。大屯火山群潛在岩漿庫研究：微震監測之初步結果，國家公園學報，14(2)：103-118。

- 楊燦堯，1999。陽明山國家公園大屯火山群之氬氣及其同位素地球化學之研究，內政部營建署陽明山國家公園管理處委託計畫。
- Chouet B. 2003. Volcano seismology. *Pure appl. Geophys.* 160: 739-788.
- Juang W. S. and Bellon H. 1984. The Potassium-argon dating of andesites from Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China* 27: 86-100.
- Hagerty M. and Benites R. 2003. Tornillos beneath Tongariro volcano, New Zeland. *J. of Volc. And Geotherm. Res.* 125: 151-169.
- Kumagai H. and Chouet B. A.. 2000. Acoustic properties of a crack containing magmatic or hydrothermal fluids. *J. Geophys. Res.* 105, 25: 493-25, 512.
- 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 tectonic earthquakes and volcanoseismic signals recorded at the Tatun volcanic group, northern Taiwan. *Geophysical Research Letters* 32(10): L10313.
- 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. Atm. Ocean.* 16(3): 563-577.
- Song S. R., Lo H. J., Chen C. H., Tsao S. and Yang J. J. 1992. Cauldron formation and volcanic eruption of the Tatun volcanic group. The 4th Symposium Quaternary of Taiwan, 45.
- Tsao S. J., 1994, Potassium-argon age determination of volcanic rocks from the Tatun Volcano Group. Bull. Central Geology Survey, 9.
- Wang W. H. and Chen C. H.. 1990. The volcanology and fission track age dating of pyroclastic deposits in Tatun volcano group, northern Taiwan. *Acta Geol. Taiwanica* 28: 1-30.
- Yen T. P., Tzou Y. H. and Lin W. H. 1984. Subsurface geology of the region of the Tatun Volcano Group. *Petrol. Geol. Taiwan* 20: 143-154.

Volcano-seismic signals in the Tatun volcanic area

Cheng-Horng Lin¹, Konstantinos I. Konstantinou², and Hsin-Chieh Pu²

(Manuscript received 16 November 2006 ; accepted 26 December 2007)

ABSTRACT : In the Tatun volcanic area, the geothermal and seismic activities are still very strong even there was no volcanic eruption for a long time. The possibility of re-eruption in the Tatun volcanic group is not only a scientifically interesting topic but also an important issue related to the safety in the whole Taipei area. In this study, micro-earthquakes in the Tatun volcanic area were detected by using a small-aperture seismic network consisting of eight seismic stations in the past two years. In addition to micro-earthquakes and swarms located beneath the Chihshingshan and Tayiokeng areas, some continuous volcanic tremors such as Tornillos, harmonic signals and spasmodic bursts were recorded at different stations. Most of those volcanic tremors are also located beneath the Chihshingshan and Tayiokeng areas. Those tremors might be associated with the cracking process in the volcanic area. Although the exact mechanisms of generating those continuous tremors and swarm can not be identified from seismic data recorded so far, those features were very similar to the signatures produced by either the magma chamber or other geothermal activities at the active volcanic areas in the world. Therefore, further investigations will be done to improve the understanding of the mechanisms that generate the swarm and tremors in the Tatun volcanic area.

KEYWORDS : Tatun volcano group, seismic monitoring, magma chamber, seismicity, swarm, volcanic tremor

1. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

2. Institute of Geophysics, National Central University