

大屯火山群潛在岩漿庫 及微震觀測網長期監測計畫(三)

內政部營建署陽明山公園管理處委託研究報告

中華民國九十四年十二月

學明一國本也

(國科會GRB編號)

(內政部編號)

大屯火山群潛在岩漿庫 及微震觀測網長期監測計畫(三)

受委託者：中國地球物理學會

計畫主持人：林正洪

研究人員：柯士達、蒲新杰

研究助理：溫錦富、陳阿斌、林瑞仁

王怡青、張麗琴

內政部營建署陽明山公園管理處委託研究報告

中華民國九十四年十二月

目 次

表次	II
圖次	III
摘要	VI
第一章 研究背景與目的	1
第二章 儀器設備	11
第三章 測站設置	15
第四章 資料處理	23
第五章 分析討論	29
第六章 結論	45
第七章 建議	47
附錄	49
參考書目	83

表 次

表一	大屯山地區微震測站.....	16
表二	大屯山地區的一維速度構造.....	27



圖 次

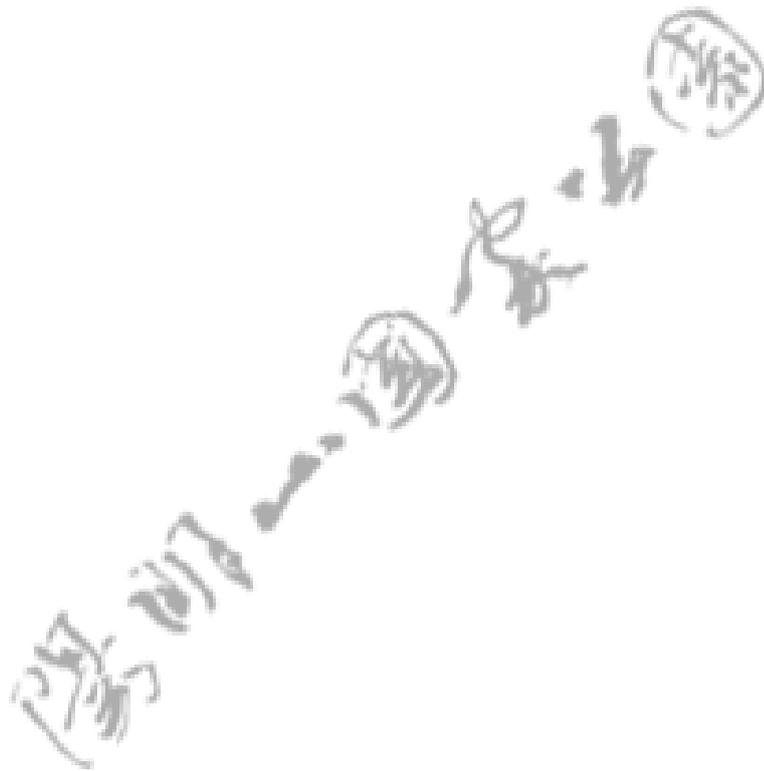
圖一 台灣北部之地形與主要地質構造區	1
圖二 大屯山地區之火山分佈	2
圖三 大屯火山群定年分佈情形 (楊, 1999)	3
圖四 大屯火山群噴發歷史 (Wang and Chen, 1990)	4
圖五(a) 大屯火山群氦同位素分佈特性 (楊, 1999)	5
圖五(b) 利用氦同位素判識其噴氣來源 (楊, 1999)	6
圖六 大屯山地區臨時地震站置及微震分佈 (余等, 1990)	7
圖七 金山斷層附近之微震活動 (Chen et al., 1991)	8
圖八 大屯火山地區微震活動 (葉等, 1999)	9
圖九 日本東京測震公司所生產之短週期地震記錄器	12
圖十 儲存地震記錄之電腦硬碟	12
圖十一 速度型地震感應計 (L-3d)	14
圖十二 陽明山國家公園內地形圖與地震觀測站分佈	16
圖十三(a) 微震站水泥台之施工情形	17
圖十三(b) 微震站水泥台之施工情形	18
圖十三(c) 微震站感應器放置孔施工情形	18
圖十三(d) 微震站水泥台施工完成情形	19
圖十四 竹篙嶺微震站 (YM01) 之外觀	20
圖十五 七股微震站 (YM02) 所使用之電力來源裝置	20
圖十六 一般微震站內維持地震儀器運作之主要電池	21
圖十七 冷水坑微震站 (YM05) 於民國九十二年四月二日所記錄之垂直向 地振動訊號	23
圖十八 竹篙嶺微震站 (YM01) 於民國九十二年六月三日所記錄之一個地 震記錄	24
圖十九 微震分佈與地震站位置圖	30
圖二十 群震現象之地震記錄 (a)、(b)、(c) 及 (d)	31-33
圖二十一 群震震源分佈與大屯山地區地形圖	34
圖二十二 (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 赫斯附近	35
圖二十三 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 生振盪現象之物理模型	36
圖二十四 (a) 螺絲釘狀之火山地震訊號 (Tornillos) 及 (b) 其頻譜分 析	38
圖二十五 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	39
圖二十六 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.....40

圖二十七 岩石裂縫中四種不同組成物質模擬火山地震波形中之 Q 值分佈情形 (Kumagai and Chouet, 2000).....41

圖二十八 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).....42

圖二十九 (a)連續爆發性火山地震訊號及(b)其局部放大之波形.....44



學明一國本

摘 要

一、研究緣起

依據過去地質定年資料顯示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。此外，最近噴氣所含氦同位素之分析研究，證實部分大屯火山群之噴氣來自岩漿源，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。

二、研究方法與過程

本計劃於陽明山國家公園內設置一個共有八個地震站微震觀測網，來監測七星山附近之火山地震活動。經由過去兩年多仔細地分析每一測站連續之地震記錄，於七星山及大油坑附近之最上部地殼中(深度約二至五公里)，觀測到許多微小的地震活動。

三、重要發現

在這些微震中並發現有少許的群震現象，即有些微震常同時發生於很集中之小地區內。此外，仔細比較每一測站每天之連續地震記錄，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) 及單頻水滴狀地震紀錄，及連續性暴發型之火山地震活動。初步定位顯示其來源亦落於七星山及大油坑附近地區之淺部地殼。這種訊號之來源與發生機制，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。

四、主要建議事項

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之機制，但其特徵卻與一般活火山地區之岩漿或熱水活動相似，故很值得作更進

大屯火山群潛在岩漿庫及微震觀測網長期監測計畫(III)

一步之探討與研究。

陽明山國家公園

Abstract

1. Introduction

Although the Tatun volcanoes have been extinct for a long time based on the previous geological dating results, there are still a lot of geothermal and micro-earthquake activities near the surface. A recent study of Helium isotope ratios indicates some magma chambers might exist beneath the Tatun volcanoes. Therefore, it is not only an interestingly scientific topic but also strongly social impact if there is any potential volcanic activity in the Tatun area.

2. Methodology and Data Process

In this report micro-earthquakes in the Tatun volcanic area were detected by using a small-aperture seismic network that was composed of eight seismic stations. The seismic monitoring results show that most of the micro-earthquakes were largely located beneath the Chih-Shin-Shan and Da-You-Kan areas at depths between 2 km and 5 km.

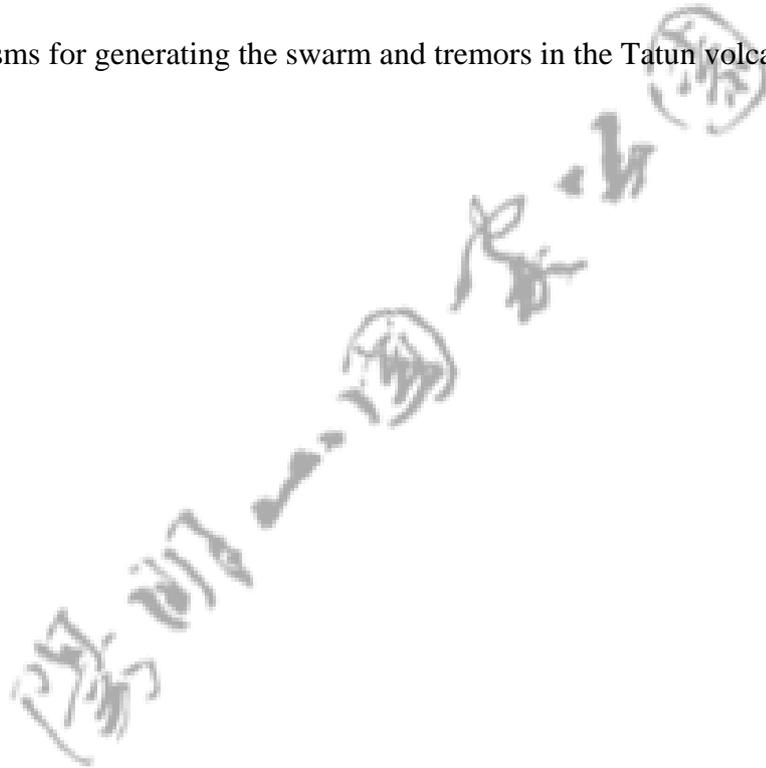
3. Results

Among those micro-earthquakes, some swarms were also found. Besides, some continuous tremors such as Tornillos, harmonic and spasmodic signals were simultaneously observed from the seismic records at different stations. The possible sources for generating those volcanoseismic signals are also located beneath the Chih-Shin-Shan and Da-You-Kan areas. Although the exact mechanisms of generating those continuous tremors and swarms are still not be fully understood from seismic

data recorded so far, those features were very similar to the signatures produced by either the magma chamber or other geothermal activity at the active volcanic areas in the world.

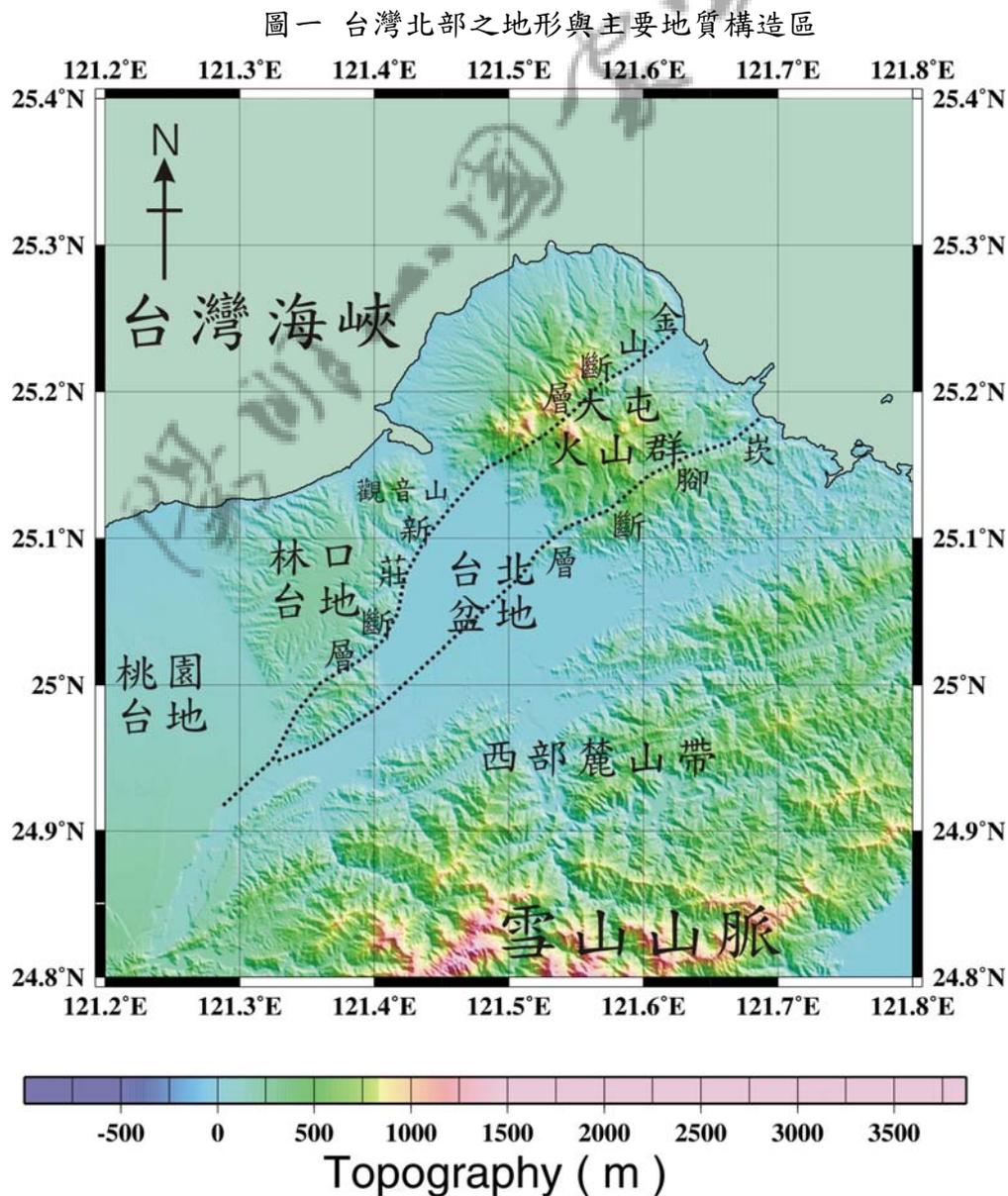
4. Suggestions

Some further investigations have to be done to improve the understanding of the mechanisms for generating the swarm and tremors in the Tatun volcanic area.



第一章 研究背景與目的

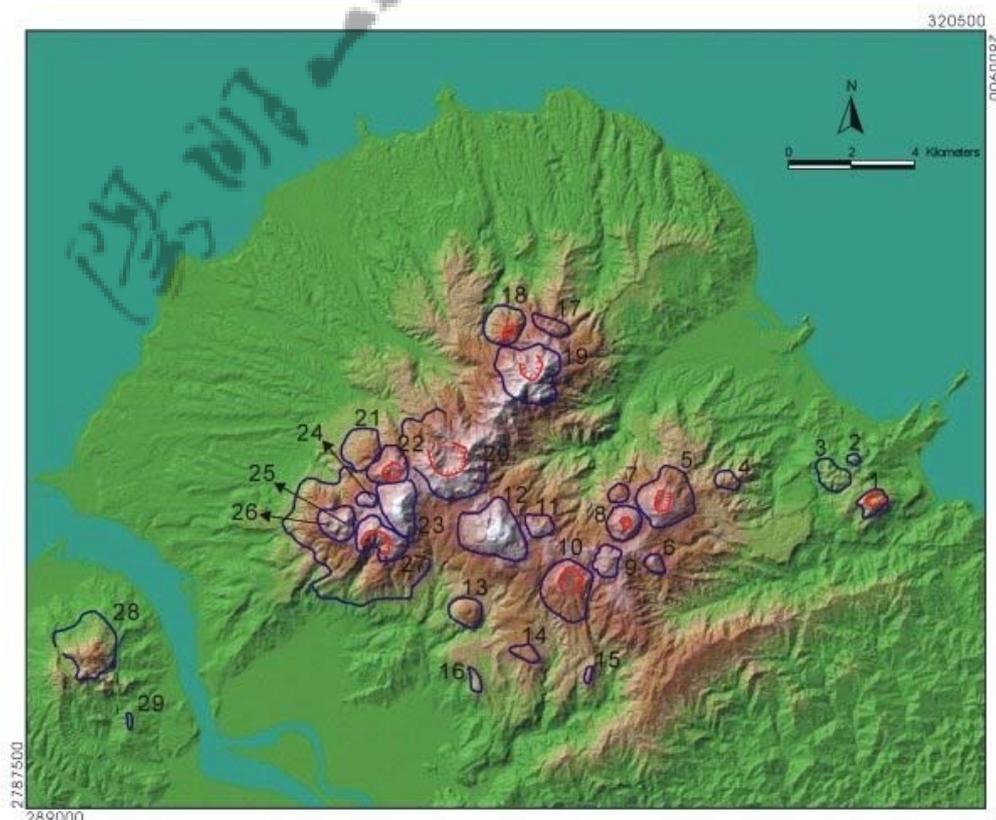
台灣島的最北端之大屯火山群是緊鄰於台北盆地的正北方（圖一）。大屯火山群之分佈範圍，大約涵蓋 250 平方公里面積。東南以崁腳斷層與漸新世沉積岩相隔，西南以淡水河與更新世台地分開，北面臨台灣海峽。大屯火山群也是台灣北部火山活動的中心位置。其四周還有相鄰的火山，東為基隆火山群，西南為觀音山，東北外海還有一群火山小島（如花瓶嶼、棉花嶼及彭嘉嶼等）。



大屯火山群總共包括有二十幾座火山 (圖二)。主要包括竹子山、嵩山、小觀音山、菜公坑山、烘爐山、面天山、向天山、南大屯山、大屯山、紗帽山、七星山、七股山、內寮山、大尖山、大尖後山及磺嘴山。大屯火山地區有一條東北—西南走向的主要斷層通過，即為金山斷層，其通過竹子山、小觀音山、和大屯山 (圖一)。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。大屯火山群的火山活動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)。

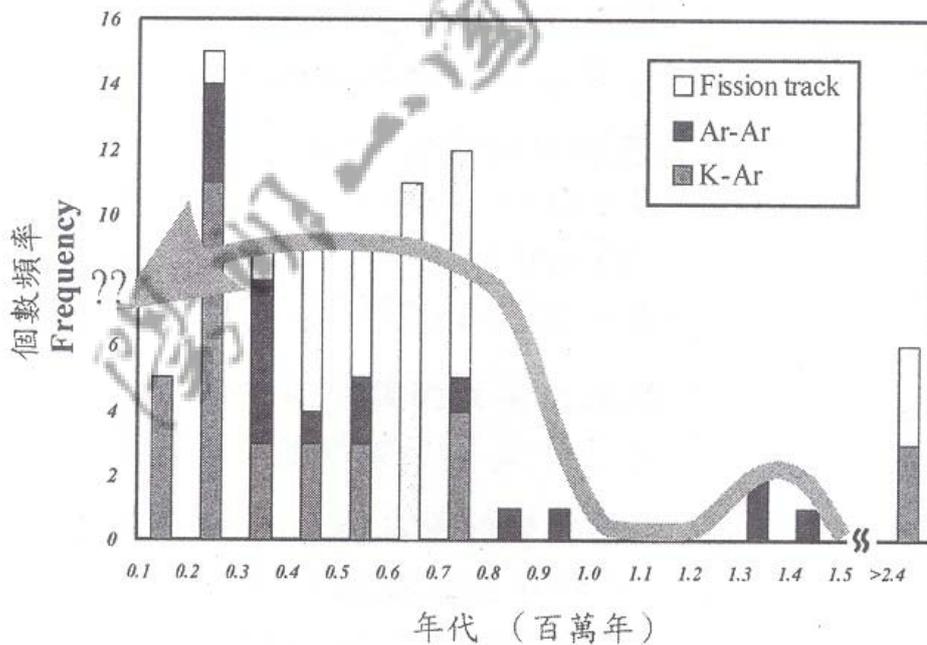
圖二 大屯火山地區之主要火山分佈:

大屯山(23)，七星山(12)，磺嘴山(5)，八斗子山(2)，小觀音山(20)，竹子山(19)，烘爐山(21)，面天山(25)，紗帽山(13) 及丁火朽山(1)。



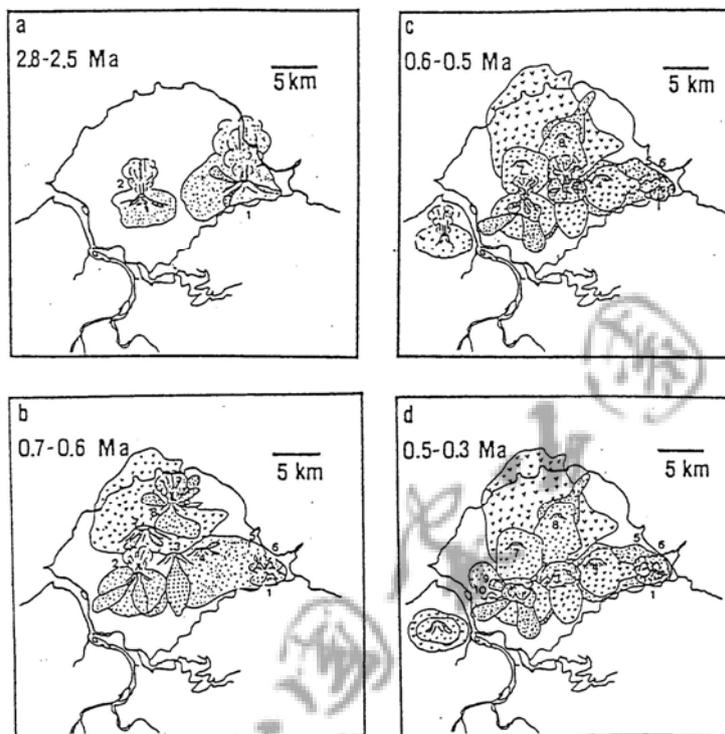
大屯火山群的噴發歷史，主要根據鉀氩（K-Ar）定年（Juang and Bellon,1984; Tsao,1994），及核飛跡定年（Wang and Chen,1990）資料可知。基本上，大屯火山群的主要火山活動可分為兩個階段（圖三）。第一階段大約在二百八十萬年左右開始。在二百五十萬年時，原始大屯山亦有活動，後來靜止一段相當長的時間。第二階段於九十萬年又開始活動，在七十萬年時，大屯火山群幾乎各亞群均有噴發，至三十萬年以後，整個大屯火山群的火山活動便慢慢地趨向停止（圖四）。

圖三 大屯火山群定年分佈情形



(楊, 1999)

圖四 大屯火山群噴發歷史簡圖



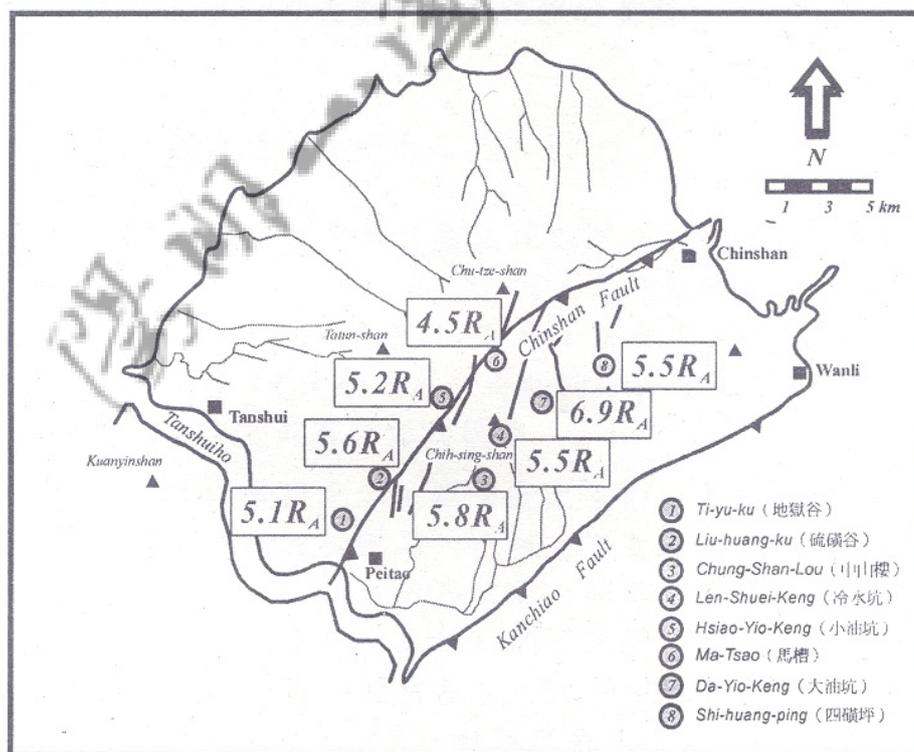
(Wang and Chen, 1990)

科學家一般認為台灣北端火山群是琉球火山弧的西延 (Ho, 1982; Chen, 1983, 1990 及 Teng et al., 1992)。也就是說大屯火山群主要可能生成原因，是因為菲律賓海板塊向西北隱沒，所生成一系列的琉球火山弧，而台灣北端的火山活動正是在其最西端。然而，最近的地球化學資料也顯示，台灣北端火山群與真正琉球火山弧的產物並不相同 (Chen et al., 1994 及 1996)，因此我們可能需要重新思考大屯火山群是否為琉球島弧的一部份。取而代之，根據大地構造應力的研究指出 (Suppe, 1984)，由於呂宋島弧與歐亞大陸碰撞，使台灣北部大地應力場在更新世晚期由擠壓轉變為擴張。台灣北端的火山活動可能是因張力陷落造成正斷層，而後岩漿沿著斷層裂縫湧出所產生的火山活動 (Yen et al., 1984; Song et al., 1992)。如果這看法是比較接近事實的話，在研究大屯火山群是否有再活動的可能性時，需要特

別留意整個區域是否還在繼續擴張中。火山形成的機制如果還繼續存在，再次的活動機會就無法排除了。

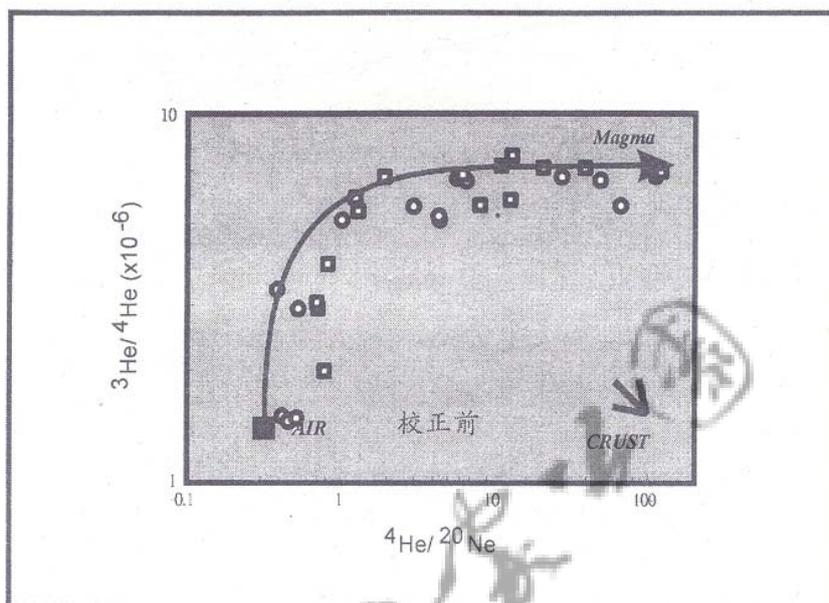
根據最近的地質調查顯示，大屯山最近的一次噴發大約是一、二十萬年前 (Song et al., 1996)。雖然這意味大屯火山群已經沉寂長久，但是地表地熱活動還是很明顯。此外，根據噴氣所含氦同位素之最近分析研究 (楊等, 1999)，顯示部分噴氣來自岩漿源 (圖五 a)，這強烈的暗示台灣北部地底下依舊存在有岩漿庫之可能性 (圖五 b)。故大屯火山群是否復活的可能性，不僅是一個值得研究的科學問題，更關係大台北附近民眾的生命財產安全。

圖五(a) 大屯山地區噴氣氦同位素特性分佈



(楊, 1999)

圖五(b) 利用氦同位素特性判識其噴氣來源



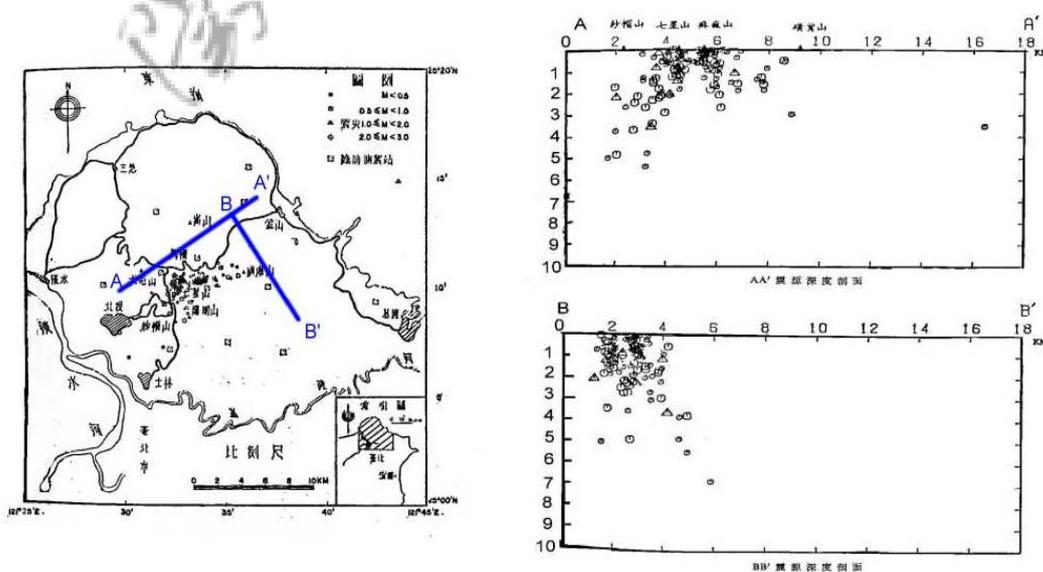
(楊, 1999)

利用科學方法瞭解火山體地下物質、情況的途徑有很多種。根據日本、美國、紐西蘭和菲律賓等國家，監測火山活動的經驗得知，除了地表的地質調查、溫泉水成份分析、氣體採集分析、岩石礦物定年研究外，利用地球物理的方法（微震觀測、震波測勘、重力、磁力測量、電磁波測勘、大地電阻法等），推估地下構造也是近年來常被採用的方式。因為火山如果復活，其岩漿流動必然會產生火山性的地震，也可能會改變地形、重力、地磁力、及地熱氣和溫泉水中化學物質的濃度。其中為了瞭解地下岩層的物理性質，利用火山地區之地震活動資料，所獲得震源時空分佈與速度構造特性，並配合其他相關證據解釋，可以幫助我們了解大屯火區淺部地殼的地熱分佈、地下火成岩體的範圍、破裂岩層與融熔物質等。本計畫預期在大屯山地區，設立一個長期性地震觀測網系統，以精密的儀器，測量微小地震的時空分佈，及地震震源特性研究。希望透過地震分佈與震源特性之

研究，辨識大屯山地區岩漿之存在與否。

大屯火山區地動監測與調查，最早始於民國 69 年，由中國石油公司探採研究中心，委託當時的中央研究院地球科學研究所籌備處（余等，1980），以南起新北投、北至金山，以具有明顯地熱徵兆的狹長區塊為中心，設立了 13 高靈敏度的臨時測震網。經過了 35 天的完整記錄，觀測到了 131 個微震活動，其規模介於 0 ~ 2.1 之微震（圖六）。幾乎所有的地震都發生在紗帽山、燒庚寮、三重橋、磺嘴山之間東北向的狹長地帶。陳（1985）利用該地震網的收到的地震時間，項配合重力波譜分析，亦對大屯火山區的地殼構造速度分層作了相關研究，並歸結出在 1.3 公里深的地方有一密度不連續，而 2.7 公里為花崗岩質層頂的平均深度。由於受到斷層影響，大體上由東南向西北漸深，而於兩斷層間形成凸區，且此區以馬槽為中心有一慢速薄層。

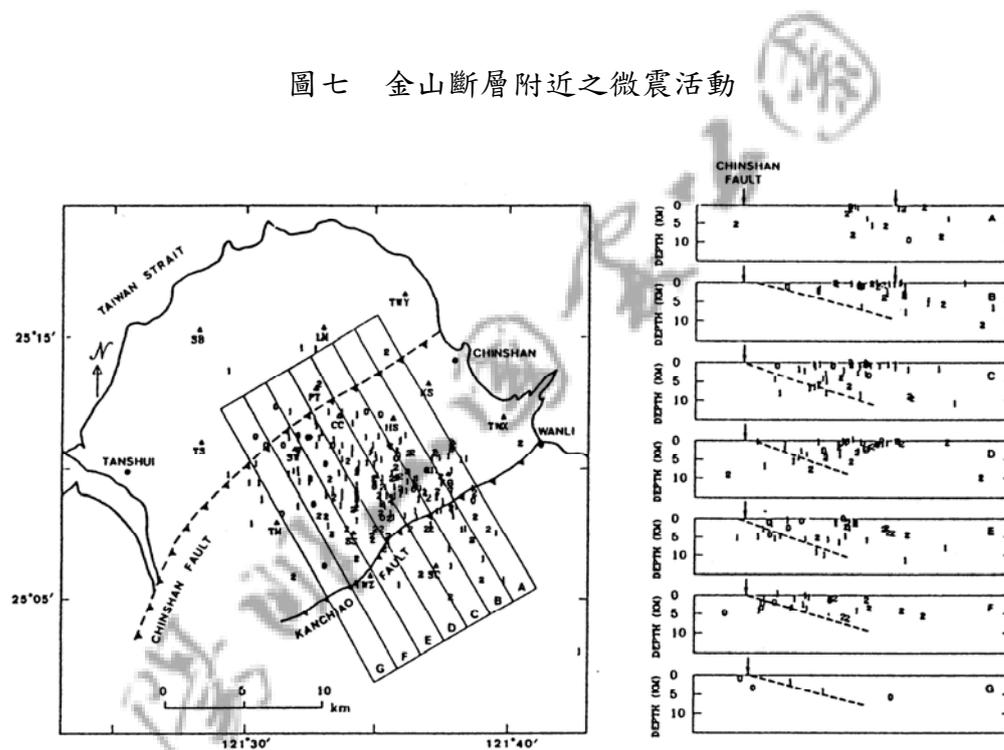
圖六 大屯山地區臨時地震站置及微震分佈



（余等, 1990）

民國 76 年 8 月到 10 月間，中研院地球所再度以金山斷層、大屯火山群為研究對象，設了 12 個臨時測震站 (Chen et al., 1991)，在為期大約兩個月的觀測中，總共蒐集了 223 個地震 (圖七)，大部分震源深度淺於 10 公里，將其震源深度繪於與金山斷層垂直的剖面，發現地震的發生應與大屯山及七星山的地熱活動有關，分析其斷層面解亦發現多為正斷層型態。

圖七 金山斷層附近之微震活動

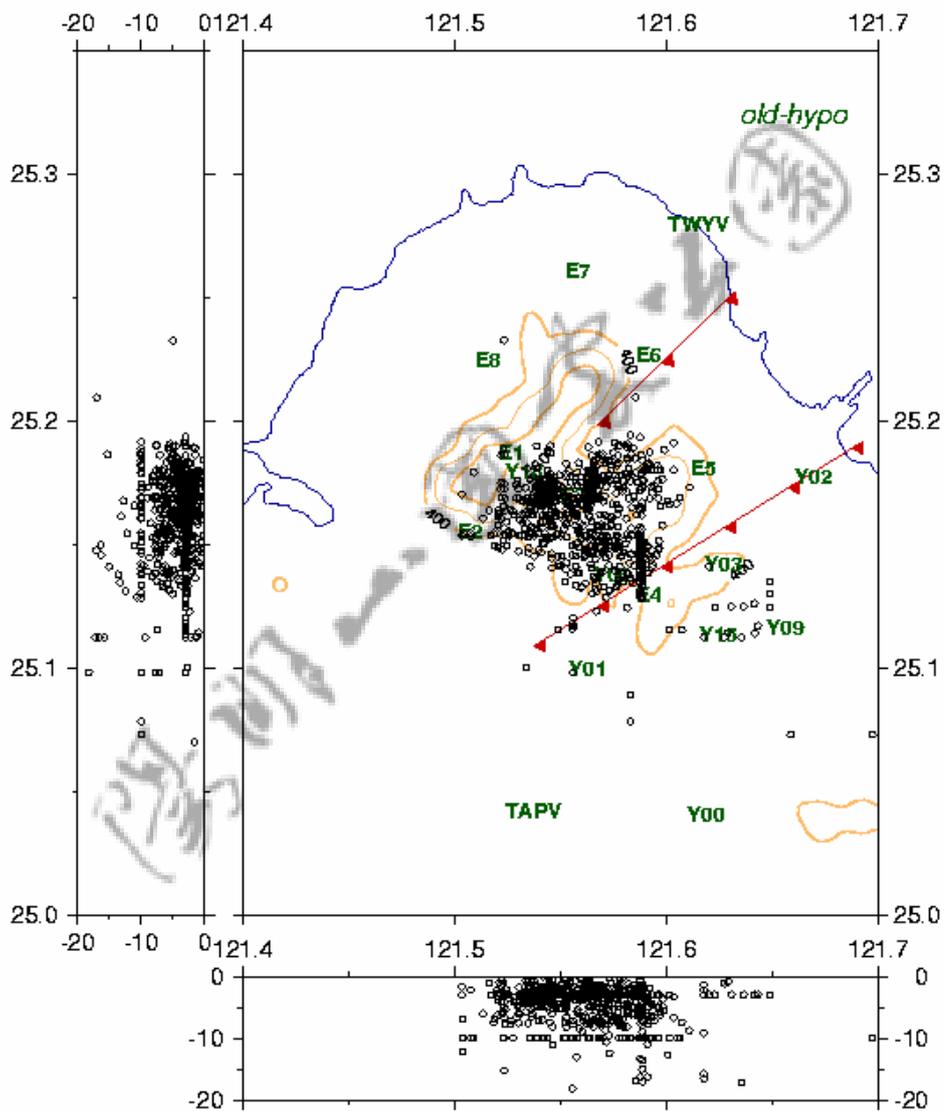


(Chen et al., 1991)

最近幾年(民國 85 年到民國 90 年間)，為了解大屯火山群火山活動的可能性，由美國系統科技工程公司，再次委託中研院地球所及中央大學，進行包括微震、地形變動 (GPS)、重力、磁力及地球化學等項目之監測研究。其中微震研究再次說明，該地區之地震活動大多數是位於大屯山之東南側地區(葉等，1999)，而大屯火山地區正下方之地震活動較小(圖八)。由震源深度剖面圖約略可見一個往東南傾斜之地震帶，其傾角約 45°

左右，震源深度分佈約從 2 公里到 7 公里。雖然此東南傾斜之地震帶特性與金山斷層相似，但由於目前金山斷層之傾角並不清楚，故兩者間很難作進一步之解釋。

圖八 大屯火山地區微震活動



(葉等, 1999)



第二章 儀器設備

本計畫之測震網以監測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訊號，並連續觀測該地區之地震活動，本計畫之測震網採用高解析度的數位式地震記錄器，並以高效能個人電腦、PC-Based 的資料擷取系統作分析研究。本計畫所架設的臨時地震觀測網中之感應器 (Sensors) 有兩種速度型感應器，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。本計畫野外測站選用的地震記錄器為日本東海測震公司發展之地震記錄器，其主要功能在將感震器的地動信號數位化。具有 24 位元的解析度，取樣率最高可達 250 次/秒。地震記錄與資料處理系統，包括三組磁碟陣列 (Disc-array)、數台個人電腦 (PC) 及兩個工作站 (SUN-workstation) 來進行地震資料之分析研究。本計畫微震監測系統的儀器主要元件之功能及特性介紹如下。

(一) 數位式地震記錄器

本計畫所架設的臨時地震觀測網中，其所使用的記錄器 (Recorders) 是由日本東京測震公司所設計生產的 SAMTAC801 連續記錄器 (圖九)，存放資料的記憶體是硬碟 (圖十)，因其容量高達 20 Gigabyte。硬碟優點在於連續資料的資料量龐大，高容量硬碟可減少前往蒐集資料的次數。觀測微小地震是本監測網的主要任務，為避免在監測的過程中漏失任何有用的資訊，連續記錄方式就成為較佳的選擇。

在本計畫中其配置及設定的狀況如下：

取樣率：100 次/秒

頻道數目：6 個，頻道 1、2、3 連接短週 (訊號主頻率為 2 赫茲) 速度地震計 (L、V、T 方向)，頻道 4、5、6 連接中長週期 (訊號週期可大至 30 秒) 速度型地震計。

定時系統：利用全球定位系統 (Global Position System) 接收衛星時間信號，全球定位系統所獲得之時間作為地震觀測網之標

準時間系統。換言之，每一地震觀測站之時間系統均為 GPS 時間。每小時的 55 分~00 分會進行一次 GPS 時間修正，而儀器每小時的誤差量不會超過 0.005sec。在儀器的設定上，每隔 0.01 秒就會記錄一次。

圖九 日本東京測震公司所生產之短週期地震記錄器



圖十 儲存地震記錄之電腦硬碟



(二) 感應器

本計畫所架設的臨時地震觀測網中之感應器(Sensors)有兩種，一為三向量短週期速度型感應器，訊號主頻率為 2 赫茲 (圖十一)，另一為三向量中長週期速度型感應器 (訊號週期可大至 30 秒)。換言之，感應器部分，速度型感應器的最主要接收頻率是 2Hz，寬頻感應器的最小接收頻率約 0.033Hz。而在感應器的設置部分，本研究將這些感應器全部置入地表之下，其深度都在 50 cm 以上。本計畫使用速度型兩種感震裝置來檢測地震，速度型感震裝置由美國 Mark Products 公司製造的 L-3D 三向速度型感震計附加放大器及濾波器組成。重要特性有：

L-3d 速度型感震計：

自然頻率：2Hz

靈敏度：119.4 V/m/sec

線圈阻抗：5470 Ω

線圈質量：72.8 克

最大位移：3.8 mm (p-p)

阻尼係數：0.46 (未接放大器時)

放大器輸入阻抗：22.6 K(可使 L-22 之阻尼為 0.7)

放大器放大倍率：100

濾波器型式：單極低通濾波

濾波器截止頻率：9 Hz

圖十一 速度型地震感應計 (L-3d)



(三) 地震記錄與資料分析處理系統

利用個人電腦蒐集和處理資料是本計畫微地震監測網的特色之一。拜科技進步之賜，以往須仰仗大型電腦才能運作的即時地震資料蒐集系統，目前已可完全由廉宜的個人電腦取代。大屯火山群地區微震觀測網的地震記錄與資料處理系統，基本上是由根據中研院地球所，過去幾年來的工作經驗所設計。整體地震記錄與資料處理系統，包括三組磁碟陣列 (Disc-array)、數台個人電腦 (PC)及兩個工作站 (SUN-workstation)來進行地震資料之分析研究。其主要功能分別如下：

磁碟陣列 (Disc-array): 大量地震資料儲存系統

個人電腦 (PC): 地震資料擷取與資料處理系統

工作站 (SUN-workstation): 地震定位與資料處理系統

第三章 測站設置

本年度延續上年度已有的八個地震觀測站之地震網，來測量微小地震的時空分佈，並試圖由記錄之地震波型，辨識地震震源之種類，是否包括有岩漿活動造成之地震。主要工作包括規劃、儀器和電腦軟體的安裝與測試、發展儀器和電腦軟體操作的程序等工作。往後幾年，除了延續測量微小地震的時空分佈及地震震源之辨識工作，將依過去之結果，適當地增加地震觀測網之密度，以期推求大屯山地區地下構造特性，並辨認火山岩漿存在與否。主要工作包括進行資料收集、資料分析、專題研究、報告和儀器維修等工作。

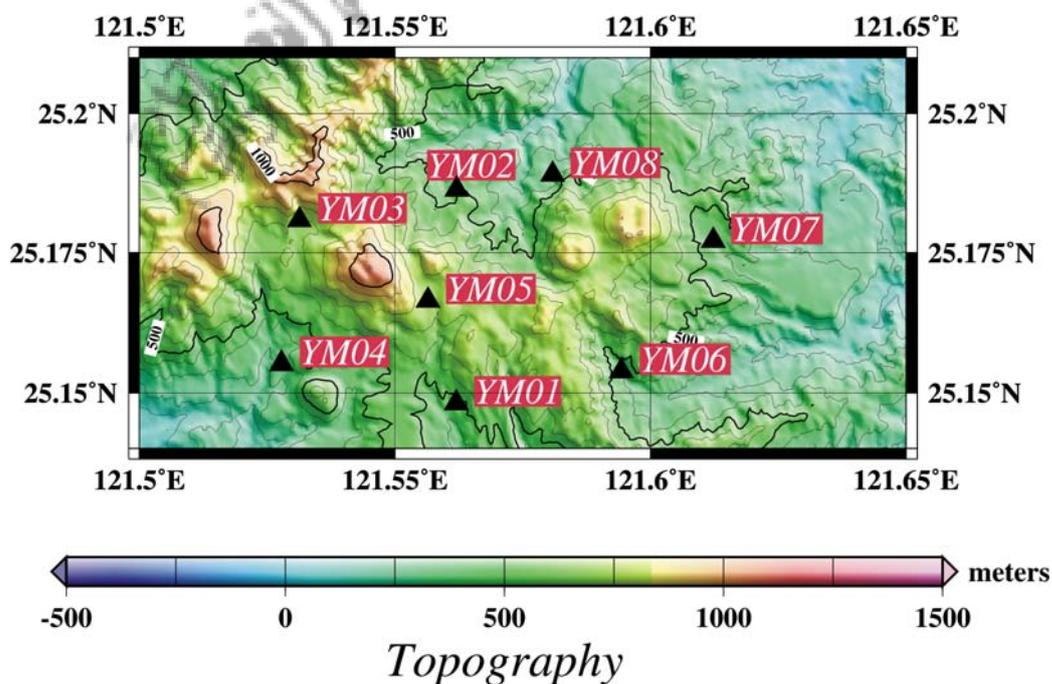
(一) 微地震站之選定

地震站之選定是最重要且耗時之工作。由於主要大屯火山區屬於陽明山國家公園保護管理範圍，相關的法令規定、土地之地目、電力與電話配線等限制必須優先考量。又因為地震觀測站是以觀測微地震為主，因此測站要儘量避免人為與自然界的干擾，以提高儀器放大倍率。在測站均勻分佈的原則下，我們先在地圖上，標示出可能設置地震站的位置，然後攜帶儀器前往測試。經過分析比較後，依交通、電力配線狀況，及雜訊的高低排列設站地點的順序。經過多方面的努力交涉，終於在地主和陽明山國家公園管理處的同意下，在本計畫中，除了第一年度中已完成之竹篙嶺 (YM1)、七股 (YM2)、頂湖 (YM3)、湖山 (YM4)、冷水坑 (YM5)等五個測震站外，並於第二年度中增加了溪底 (YM6)、大坪 (YM7) 及八煙 (YM8) 新的三個地震站。測震站分佈情形，基本上是以七星山為中心(如圖十二所示)。測站相關的資料詳列於表一。

表一 大屯山地區微震測站

設站日期	站名	站碼	緯度(N)	經度(E)	高度(m)
92.05.13	竹篙嶺	YM01	25°08'47.0"	121°34'12.8"	488
92.05.13	七股	YM02	25°11'04.4"	121°34'13.2"	521
92.05.18	頂湖	YM03	25°10'44.8"	121°32'22.5"	702
92.05.16	湖山	YM04	25°09'12.2"	121°32'09.8"	401
92.06.02	冷水坑	YM05	25°09'52.9"	121°33'52.8"	740
92.09.09	溪底	YM06	25°09'07.4"	121°36'09.2"	445
92.09.09	大坪	YM07	25°10'31.3"	121°37'13.8"	456
92.09.08	八煙	YM08	25°11'14.1"	121°35'20.7"	342

圖十二 陽明山國家公園內地形圖與地震觀測站分佈



(二) 測站平台

本地震觀測網之測站大多數位於陽明山國家公園內，為遵照相關法令之規定，測站之建造以不破壞周圍環境為主要原則。儀器平台為一混凝土結構，其長寬各約 1.2 公尺，混凝土中鋪設有鐵絲網(圖十三 a)，以增強平台之承載能力。又為增加平台與土壤(或岩石)的附著力，減低兩者的互制作用，在建造平台時均先清理過表土，並預先植入數根長約 45 公分的不銹鋼棒。平台中預留兩個圓孔，其直徑約三十公分(圖十三 b,c,d)，以放置感應器(Sensors)，其深度都在 50 cm 以上。

圖十三 (a) 微震站水泥台之施工情形



圖十三 (b) 微震站水泥台之施工情形。



圖十三 (c) 微震站感應器放置孔之施工情形



圖十三 (d) 微震站水泥台之施工完成情形



(三) 測站站房

站房使用型號 41-2 號的 F.R.P(玻璃纖維)護蓋，其大小不僅能放置地震記錄器 (Recorder)、感應器 (Sensors) 及電磁設備等(如圖十四)，並容許工作人員方便於站房作業。該護蓋並採取適當的措施，以改善通風和防雨的功能。

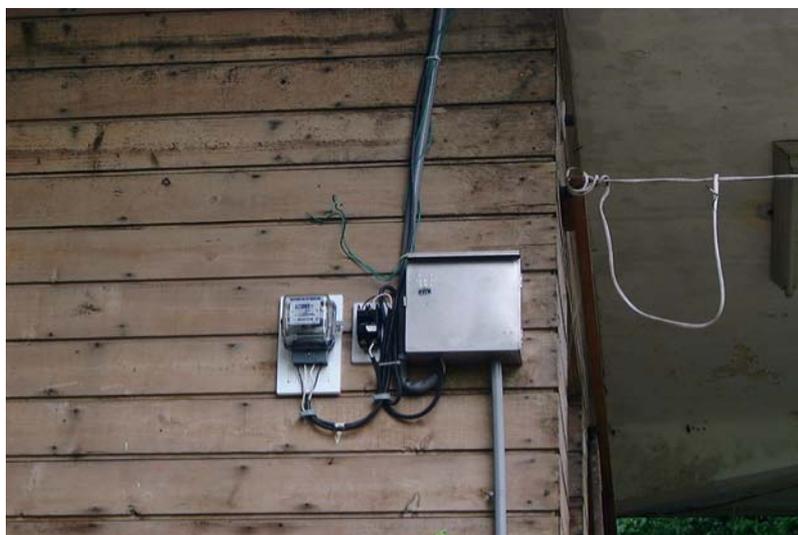
圖十四 竹篙嶺微震站 (YM01) 之外觀



(四) 電源來源

電源(Power)部分則有二種供電方式，一是交流電源(110 伏特)，是主要的電力來源 (圖十五)，另一電力來源則是電池(60 安培)，主要功能是做為備用電力 (圖十六)。

圖十五 七股微震站 (YM02) 所使用之電力來源裝置





圖十六 一般微震站內維持地震儀器運作之主要電池



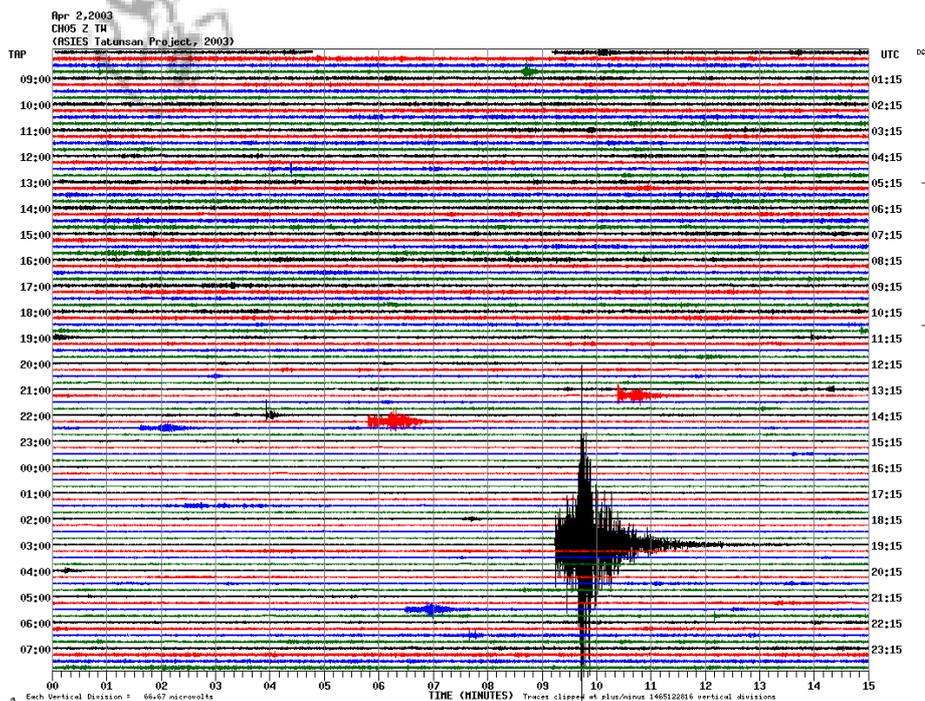
第四章 資料處理

本研究的資料處理流程包括：(1)先從連續資料，全日波形的垂直方向波形圖中挑選可能為地震的訊號。再將所有的測站的波形資料中，摘取同一段時間訊號，並轉換資料格式，以便進行地震波型分析。(2)利用套裝電腦軟體，來讀取每個地震在測震站記錄上的 P 波到達時間、S 波到達時間、P 波初動方向及地震總振動時間。(3)然後將每一地震在各測站所記錄之數據，輸入電子計算機程式，以計算各地震的發生時間、震央位置、震源深度及規模等。

(1) 地震訊號挑選與轉換

本研究的資料處理流程，先從將野外蒐集之磁碟中之連續地震資料，傳至個人電腦(PC)。然後利用電腦軟體，將每天連續地震資料整理儲存。

圖十七 冷水坑微震站 (YM05) 於民國九十二年四月二日所記錄之垂直向地振動訊號

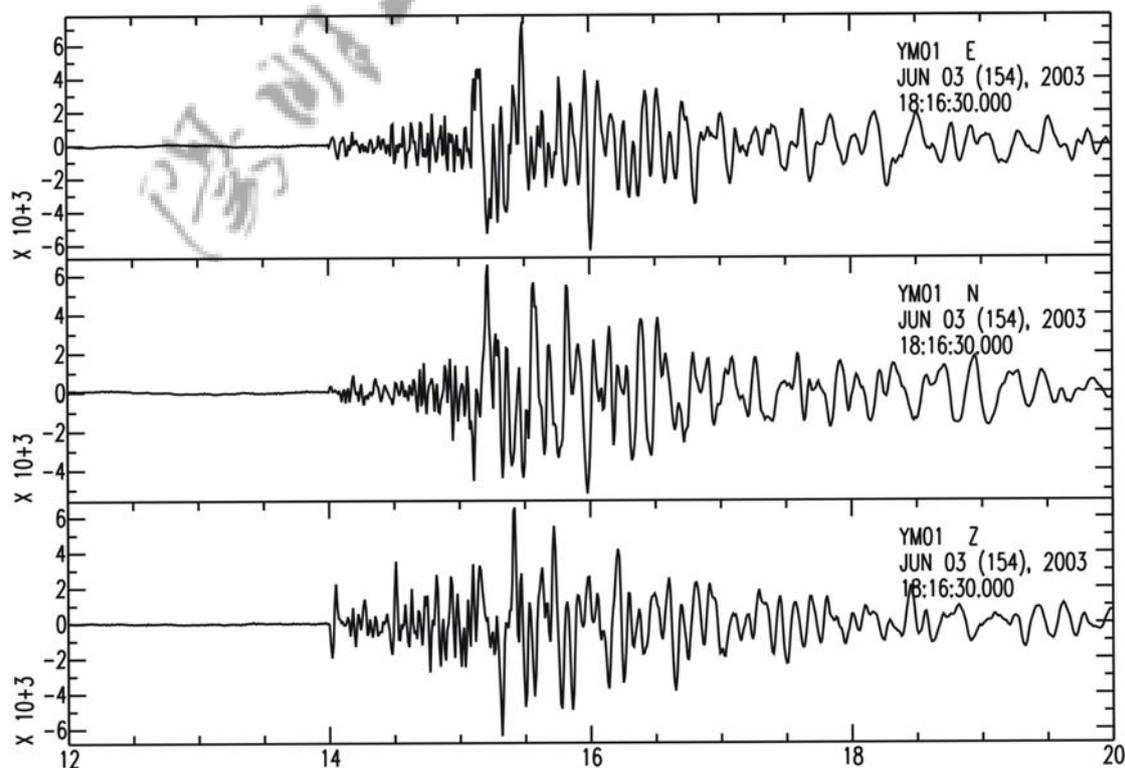


利用全日波形的 Z 方向波形圖中 (圖十七), 挑選可能為地震的訊號, 再將所有的測站摘取同一段時間訊號, 並將各測站的波形資料, 傳遞至工作站 (SUN-workstation), 以便往後進行挑選 P 波、S 波的工作及地震定位。

(2) 地震訊號讀取

本研究直接利用電腦工作站上套裝電腦軟體(SAC)中所提供之程式 (PPK), 來讀取每個地震在每一測震站記錄上的 P 波到達時間、S 波到達時間、P 波初動方向及地震總振動時間。由於地震資料為三向量數位記錄(圖十八), 此套裝軟體可提供合適的濾波、局部放大、及向量旋轉等非常有效資料處理步驟, 選讀地震波到達時間時, P 波可精確至 0.01 秒。實際上之作業過程, 所有 P 波、S 波及總振動時間, 均直接從電腦螢幕來讀取。

圖十八 竹篙嶺微震站 (YM01) 於民國九十二年六月三日所記錄之一個地震記錄



(3) 地震定位原理

將每一地震在各測站所記錄之數據，輸入電子計算機程式，以計算各地震的發生時間、震央位置、震源深度及規模等。地震之定位以利用 P 波和 S 波到達之時間為主，我們採用李及納氏 (Lee & Lahr, 1972) 之電腦程式 (HYPO 71)，其可同時求得微震之發震時間、震央位置、震源深度、地震規模、震波自震源傳至各測站之方位角、出射角 (take off angle) 及震源距離等。其主要原理在逐步調整一假定之震源及發震時間，使震波到達時間之殘餘值 (觀測到達時間 - 理論到達時間) 趨於極小。當調整向量 (Adjustment Vector) 小於某一規定值時，其震源位置和發震時間即為所求。

其原理是利用下列變量進行運算：

不變量：第 i 個地震站的坐標位置 (x_i, y_i, z_i) 。

第 i 個地震站觀測到的波相到時 T_i 。

可變量：發震時間 t 。

震源位置 (x, y, z) 。

應變量：理論到時 t_i 。

觀測與理論震波到時差 $R_i = T_i - t_i$ 。

當 R_i 很小，由泰勒展開式忽略高次項可得：

$$R_i = dt + \frac{\partial(t_i - t)}{\partial x} dx + \frac{\partial(t_i - t)}{\partial y} dy + \frac{\partial(t_i - t)}{\partial z} dz + e_i \quad (1)$$

$$\text{設 } \frac{\partial(t_i - t)}{\partial x} = a_i \quad \frac{\partial(t_i - t)}{\partial y} = b_i \quad \frac{\partial(t_i - t)}{\partial z} = c_i$$

(1) 式中的 e_i 是第 i 個測站的近似誤差量 (approximation error)，將 (1)

式移項後可得：

$$e_i^2 = (R_i - a_i dx - b_i dy - c_i dz - dt)^2 \quad (2)$$

一般在進行地震定位時都不會只一個測站，而若有 n 個測站，測站數大於未知數（可變量數目），則用最小平方方法（least square method）可得到未知數最佳解。即

$$\sum_{i=1}^n e^2 = f(\varepsilon) = \sum_{i=1}^n ((R_i - a_i dx - b_i dy - c_i dz - dt)^2) \Rightarrow \min \quad (3)$$

$\varepsilon = (x, y, z, t)$ 四個變數

而 $\frac{df(\varepsilon)}{d\varepsilon} = 0$ 為在獲得極值時的必要條件，

故把（3）式分別對 dx 、 dy 、 dz 、 dt 做偏微分可得：

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n a_i^2 dx + \sum_{i=1}^n a_i b_i dy + \sum_{i=1}^n a_i c_i dz + \sum_{i=1}^n a_i dt &= \sum_{i=1}^n a_i R_i \\ \sum_{i=1}^n a_i b_i dx + \sum_{i=1}^n b_i^2 dy + \sum_{i=1}^n b_i c_i dz + \sum_{i=1}^n b_i dt &= \sum_{i=1}^n b_i R_i \\ \sum_{i=1}^n a_i c_i dx + \sum_{i=1}^n a_i c_i dy + \sum_{i=1}^n c_i^2 dz + \sum_{i=1}^n c_i dt &= \sum_{i=1}^n c_i R_i \\ \sum_{i=1}^n a_i dx + \sum_{i=1}^n b_i dy + \sum_{i=1}^n c_i dz + \sum_{i=1}^n dt &= \sum_{i=1}^n R_i \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

利用矩陣的方式可得到四個未知數 dx 、 dy 、 dz 、 dt 的解，再利用所得的四個未知數，配合起始的震源位置得到新的修正後坐標 $(x + dt, y + dy, z + dz)$ ，再以新的坐標代入計算，經過多次疊代（iteration）後，一直修正到此震源解與前一個震源解的 $\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} \leq 0.05$ 公里及 $dt \leq 0.1$ 秒範圍內，就算是已收斂，即得到定位出的震源位置及發震時間。

此程式所需輸入的資料包含初達 P 波或 S 波的到時、加權值、波相初動型態、地震的終了時間。而上述的加權值是指在挑選波相的到時值，挑選者對於其所挑選到時的正確性，可提供程式進行加權運算。而波相初動型態是指 P 波的初動為上或下動，此部分和定位並無相關，其主要目的在提供後續運算震源機制時使用的。同樣的，地震的終了時間則是被利用來計算地震規模 (Md)。

(4)速度構造模式

利用 HYP071 程式計算震源位置，尚須給予地殼地震波速度的構造模式，本計畫使用的模式是根據林與葉 (1989) 所求得之大屯山地區之地下構造，其一維的模式如表二。

表二 大屯山地區的一維速度構造

深度(公里)	P 波速度(km/sec)	S 波波速(km/sec)	Vp/Vs
-1.0~1.0	3.79	2.13	1.78
1.0~2.0	4.07	2.29	1.78
2.0~3.0	4.55	2.56	1.78
3.0~5.0	5.12	2.88	1.78
5.0~7.0	5.39	3.03	1.78
7.0~9.0	5.98	3.36	1.78
9.0~17.0	6.10	3.43	1.78
17.0~36.0	6.70	3.76	1.78
36.0 以下	7.80	4.38	1.78

地殼構造模式中的 S 波速度直接由 P 波速度除以 1.78 來獲得。由於各個測震站的標高不盡相同，故各測震站之地震波到達時間須作高度修正，其修正公式為

$$\delta t = \frac{H}{V}$$

式中 δt 為延遲時間修正量， H 為測震站標高， V 為表層岩石之地震波平均速度。本研究採用 3790 公尺/秒作為表層岩石的地震波平均速度。

本計畫根據各測震站之震央距離和總振動時間資料，依 Lee et al. (1972) 之經驗公式來計算地震規模 (M_d)，其公式為：

$$M_d = -0.87 + 2.0 \log \tau + 0.0035\Delta$$

式中 τ 為總振動時間（以秒為單位）， Δ 為測震站到震央的距離（以公里為單位）。

第五章 分析討論

本年度計劃執行中利用大屯山地區 8 個地震站所組成之小型微震網，來監測陽明山國家公園內之微震活動。微震網設置基本上是以七星山附近為微震監測範圍（圖十二）。所以本計劃所測得之微震，當然以七星山附近為主。也就是說，本微震網無法對遠離本小型微震網之地震完成定位工作。本計劃自 92 年 5 月份起至今，已觀測到數百個相當可信賴的地震記錄，並進行微震分析與討論。此外，本計劃利用大容量的磁疊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外之功能外，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動訊號，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。

（一）微震空間分佈

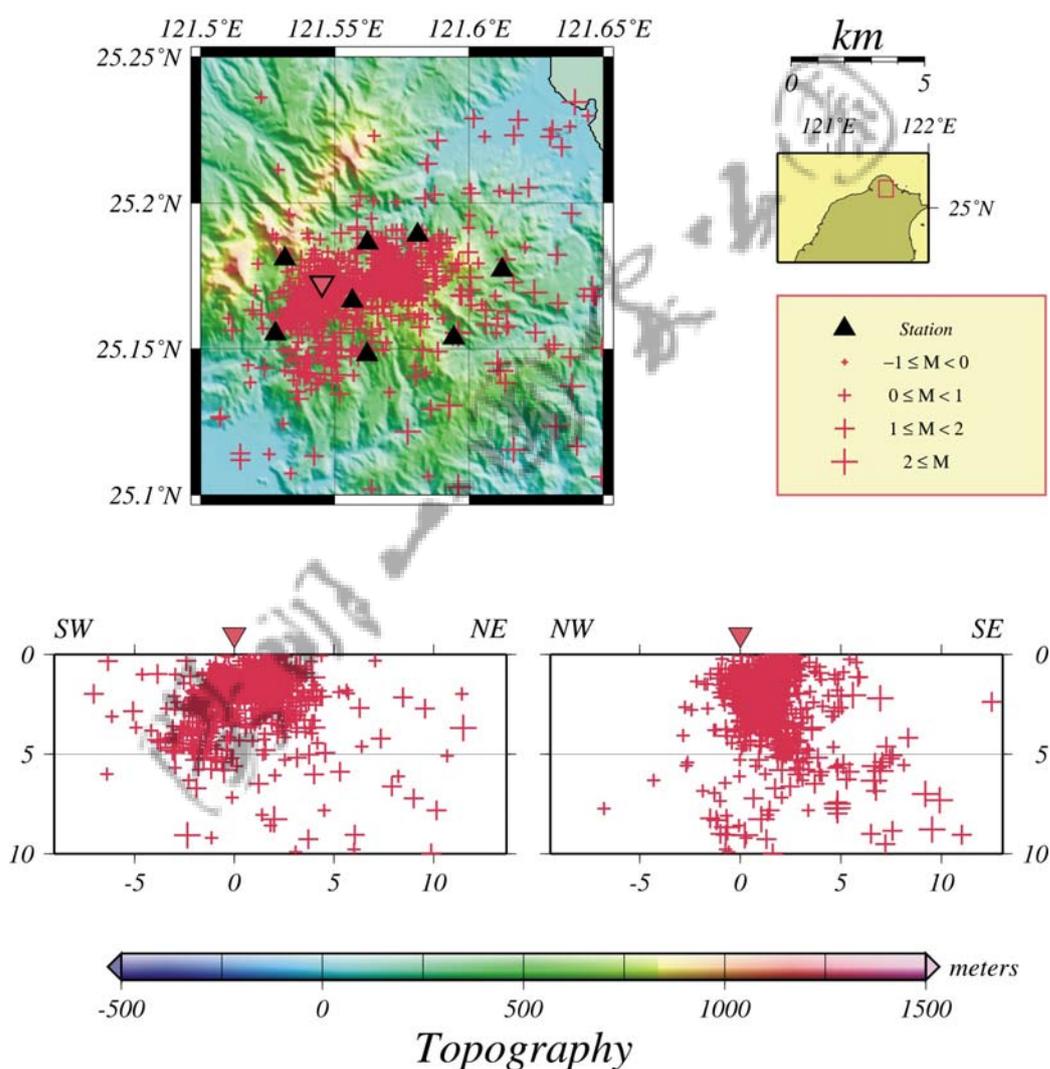
依據目前本計劃所測得之微震活動（圖十九及附錄），可明顯地發現，大多數微震活動範圍，分佈於微震網內。大多數微震深度分佈範圍均小於 5 公里。其中，約略有兩群微震較為集中。第一群微震位於七星山下方，其深度僅約 1 至 3 公里。明顯地，此群微震屬於網內震，故其定位品質相當可靠。另一群位於大油坑附近，約略處於微震網之東側，其深度約 3 至 5 公里。

（二）群震特性

除了微震之空間分佈外，仔細觀察連續地震記錄，驚訝地發現部份地震記錄，偶有連續發生微震的特性（如圖二十）。例如民國 92 年 6 月 1 日 15 時 25 分的地震記錄中，每個微震站均可發現有幾個微小之地震訊號。此外，民國 92 年 6 月 3 日及 6 月 8 日均有類似之情形。經由仔細地定位分析

圖十九 微震分佈與地震站位置圖(倒三角形表示七星山的位置，十字符號表示震源的位置)

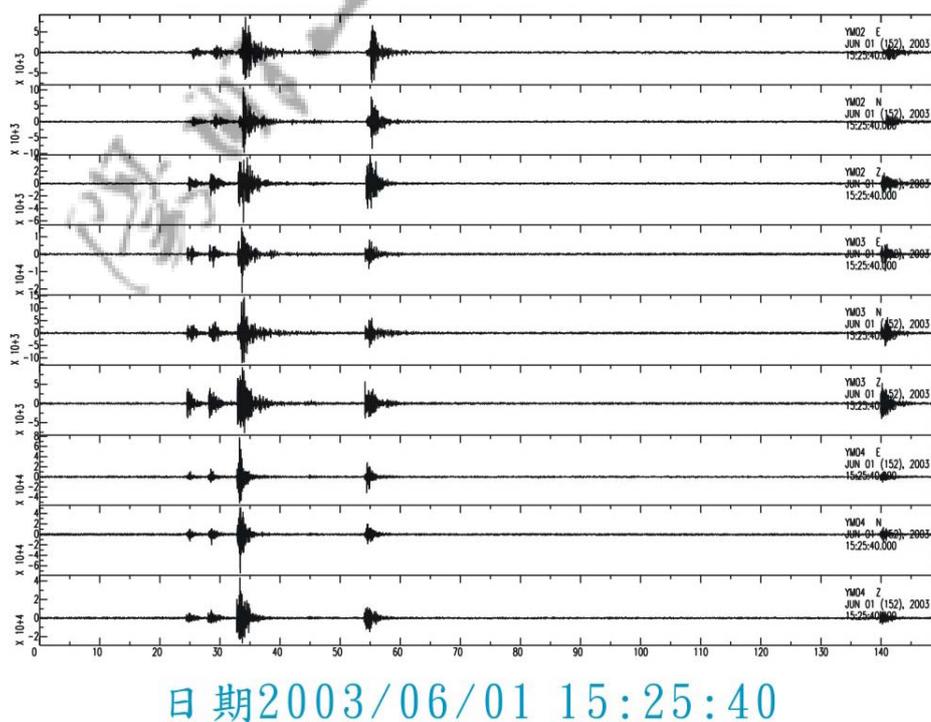
2003/05-2005/09



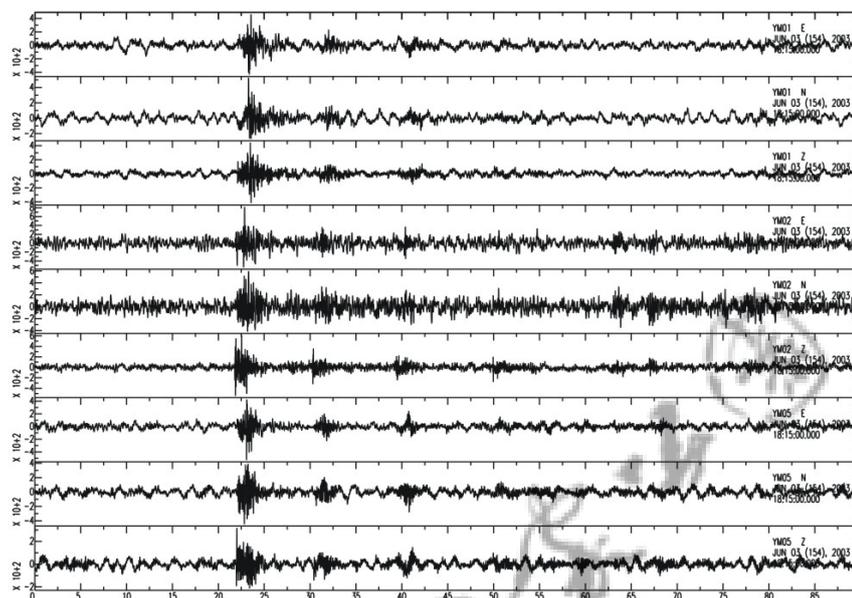
後，發現這些微震大多數之震源均集中於兩處，第一處是位於七星山之東北側，也就是七股與大油坑附近，其深度大約為 3 至 4 公里左右。另一處震源集中地區落於七星山正下方，其深度僅約 1 至 2 公里左右。這些在時

間上與空間上集中分佈之微震，即代表著一般所稱之群震（Swarm）現象。雖然群震與一般所謂之餘震（Aftershock），在時空上均有集中之現象相同，但群震現象則無明顯的主震（Main shock）。換言之，餘震是指於主震後，在短時間內於主震附近，所發生之較小規模之地震群。反之，群震並無主震發生，但卻於特定區域內，所發生大小相近之地震群。兩者之構造背景與意義截然不同。一般而言，在火山地區或地熱活動較為明顯的地區，常會有群震現象。群震發生的主要機制，可能與火山地區岩漿或熱水活動有關。

圖二十 (a) 民國九十二年六月一日群震現象之地震記錄

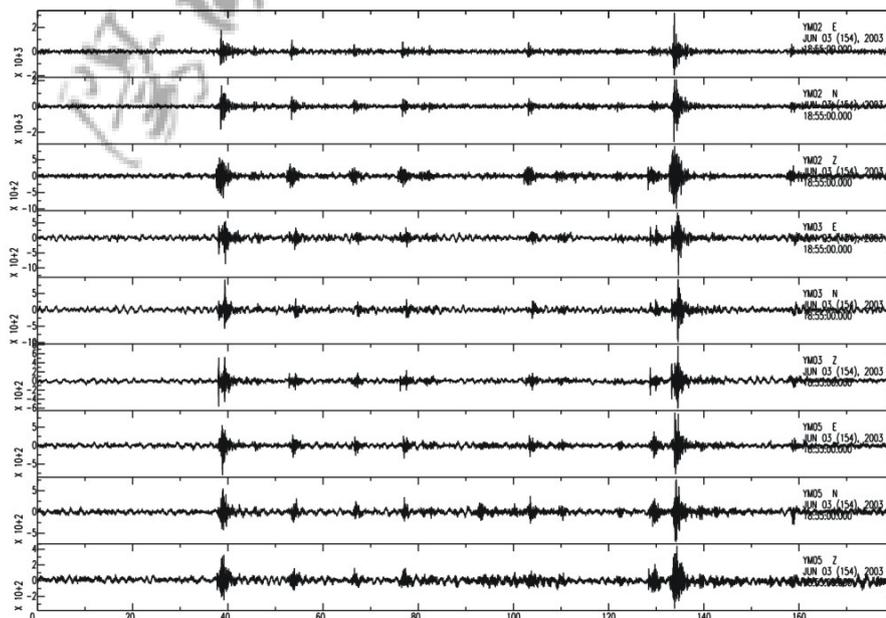


圖二十 民國九十二年六月三日群震現象之地震記錄



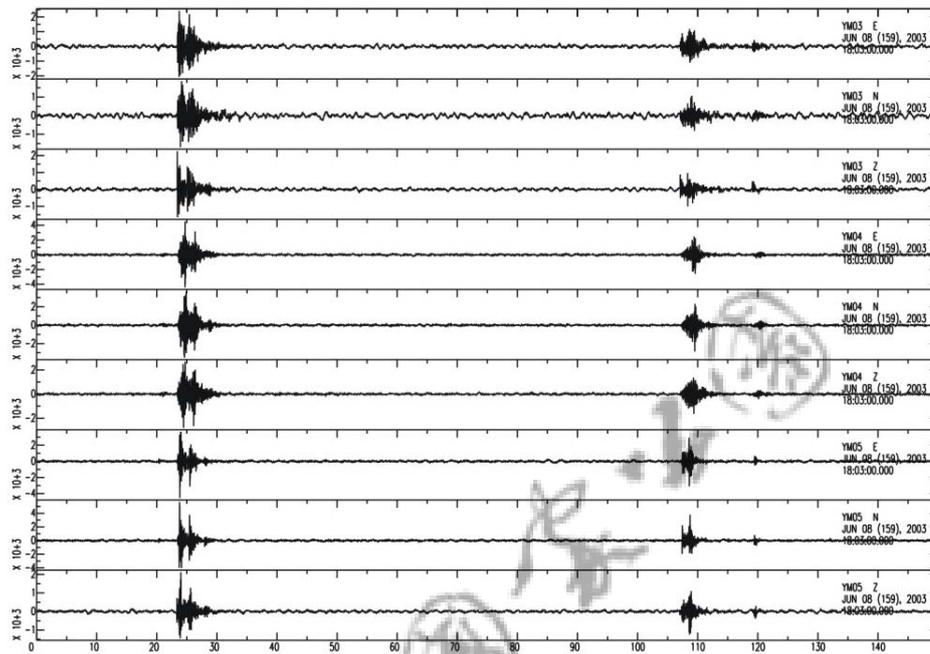
日期2003/06/03 18:15:00

圖二十 (b) 民國九十二年六月三日另一群震之地震記錄



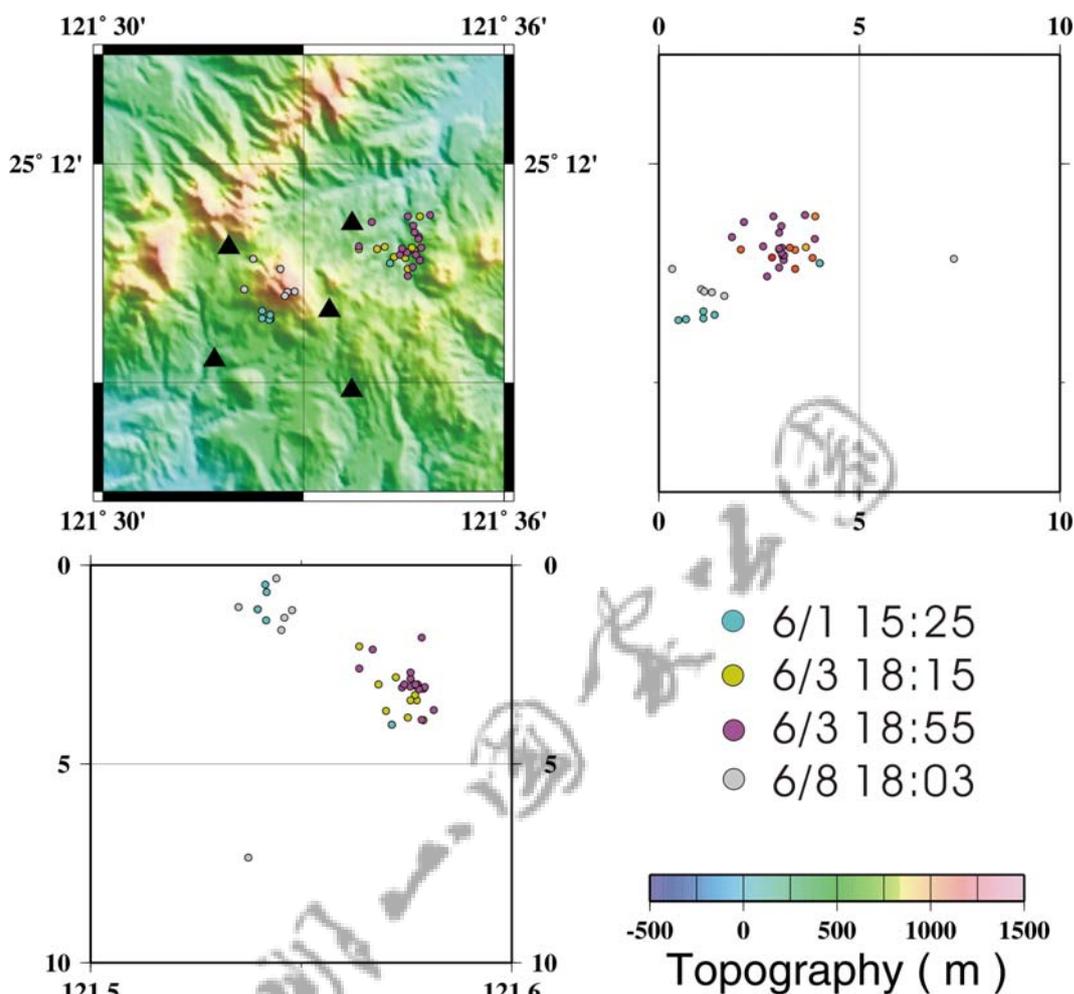
日期2003/06/03 18:55:00

圖二十 (d) 民國九十二年六月八日群震現象之地震記錄



日期2003/06/08 18:03:00

圖二十一 群震震源分佈與大屯山地區地形

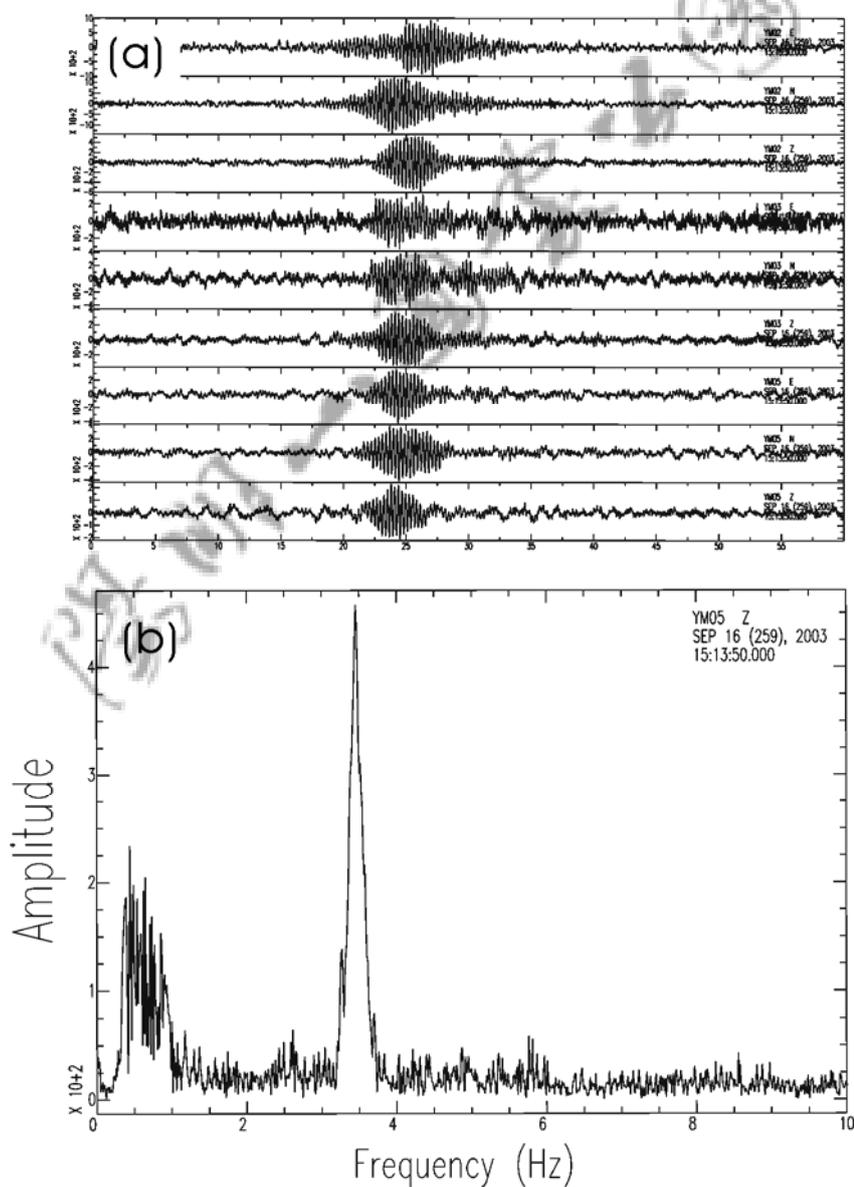


(三) 單頻火山地震訊號 (Monochromatic tremors)

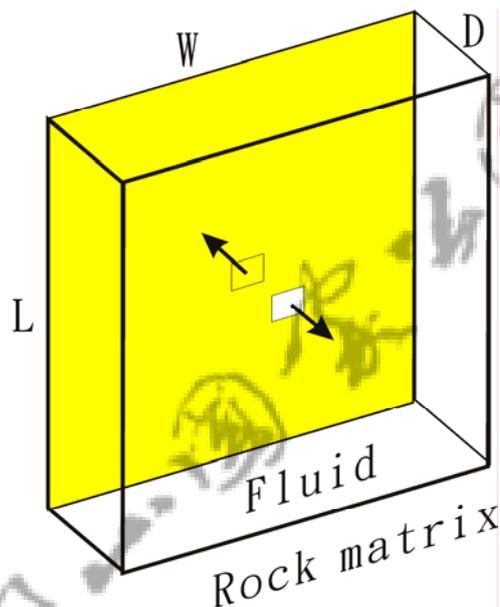
仔細分析本計畫之微震監測網之連續記錄中，亦可發現一些波形非常特殊之訊號（圖二十二(a)）。其地震波之波包形狀類似水滴狀（Drop），其振動時間很短，僅約十秒左右。從這些地震訊號中，並無法辨識其P波與S波之到達，故有別於一般所謂之構造地震（tectonic earthquake）所產生之地震波。並且這些水滴狀之地震訊號之頻率組成也很特殊，似乎主要為某種單一頻率所組成。經由一般頻譜分析法，即快速傅利葉轉換法（Fast Fourier Transfer）計算所得（圖二十二(b)），可更清楚看出這些水滴狀之地震訊號之主要頻率落於3.4赫斯附近。根據全世界其他國家火山地區之觀測與研究經驗，一般認為這些單頻水滴

狀之地震訊號之產生原因，最可能是由液態或氣態物質共振所引起。初步推斷可能與岩層裂縫中液態或氣態物質(圖二十三)，突然增加或減少壓力所造成之振動有關。

圖二十二 (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



圖二十三 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振盪現象之物理模型



(四) 多頻火山地震訊號 (Multichromatic tremors)

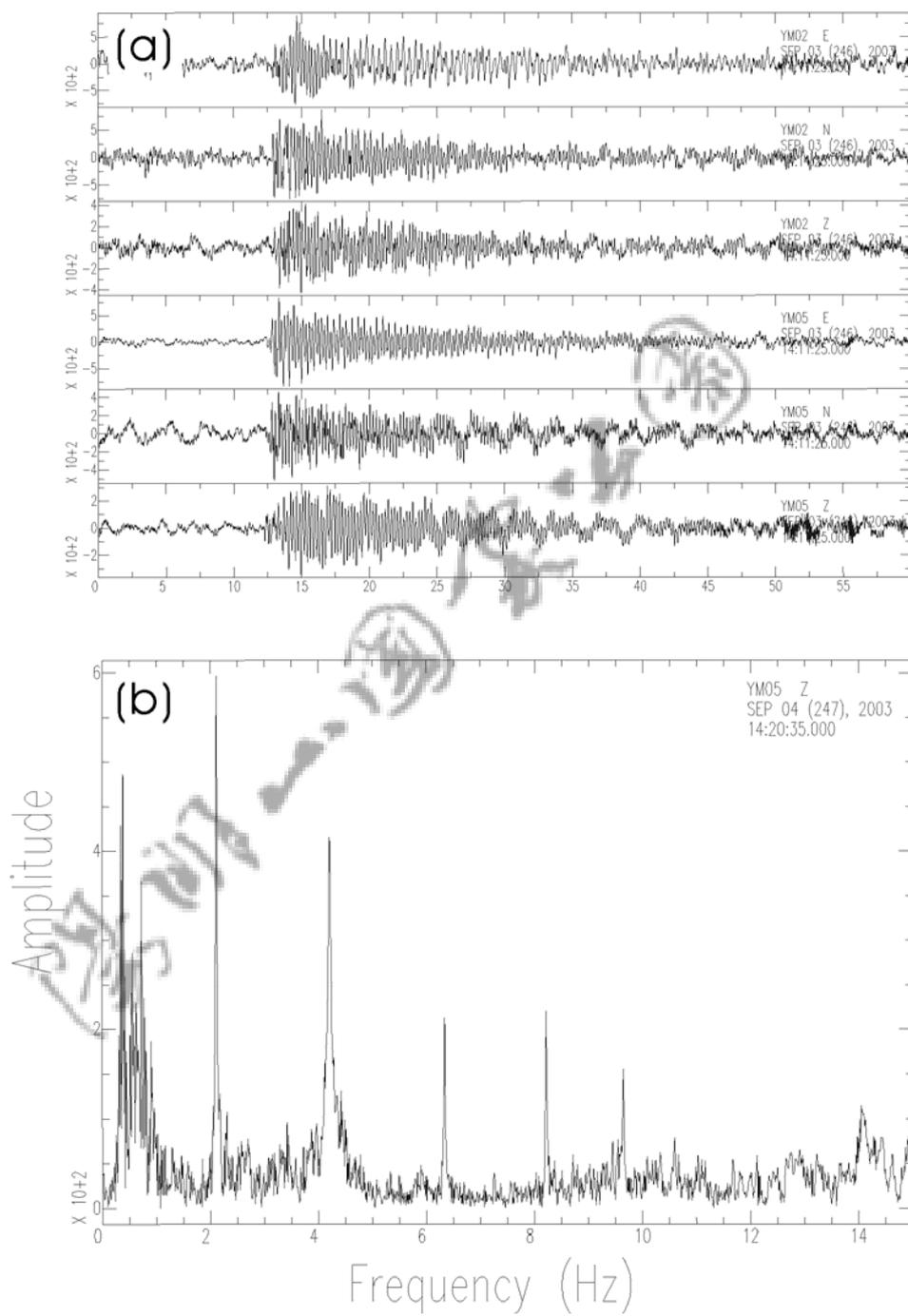
除了上述單頻火山地震訊號外，本研究中也發現另一種更為重要之記錄。其地震波形之外觀類似螺絲釘一樣（圖二十四）。一般火山地震學家以西班牙文之螺絲釘（Tornillos）稱之。這些螺絲釘狀之火山地震訊號之振動時間，明顯大於單頻水滴狀火山地震訊號，可長達數十秒。同樣地仔細分析這些螺絲釘狀之火山地震訊號，可清楚發現，其主要頻率從 2Hz 到 15Hz 中包括有好幾個。訊號中之最大能量落於 2.1Hz 左右，其次為 4.2Hz、6.3Hz、8.3Hz 及 9.6Hz。仔細比較這些訊號之頻率，

似乎約略成等差級數。這現象與一般地震非常不同(圖二十五)。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，曾於中美洲之有些火山噴發前，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探討。

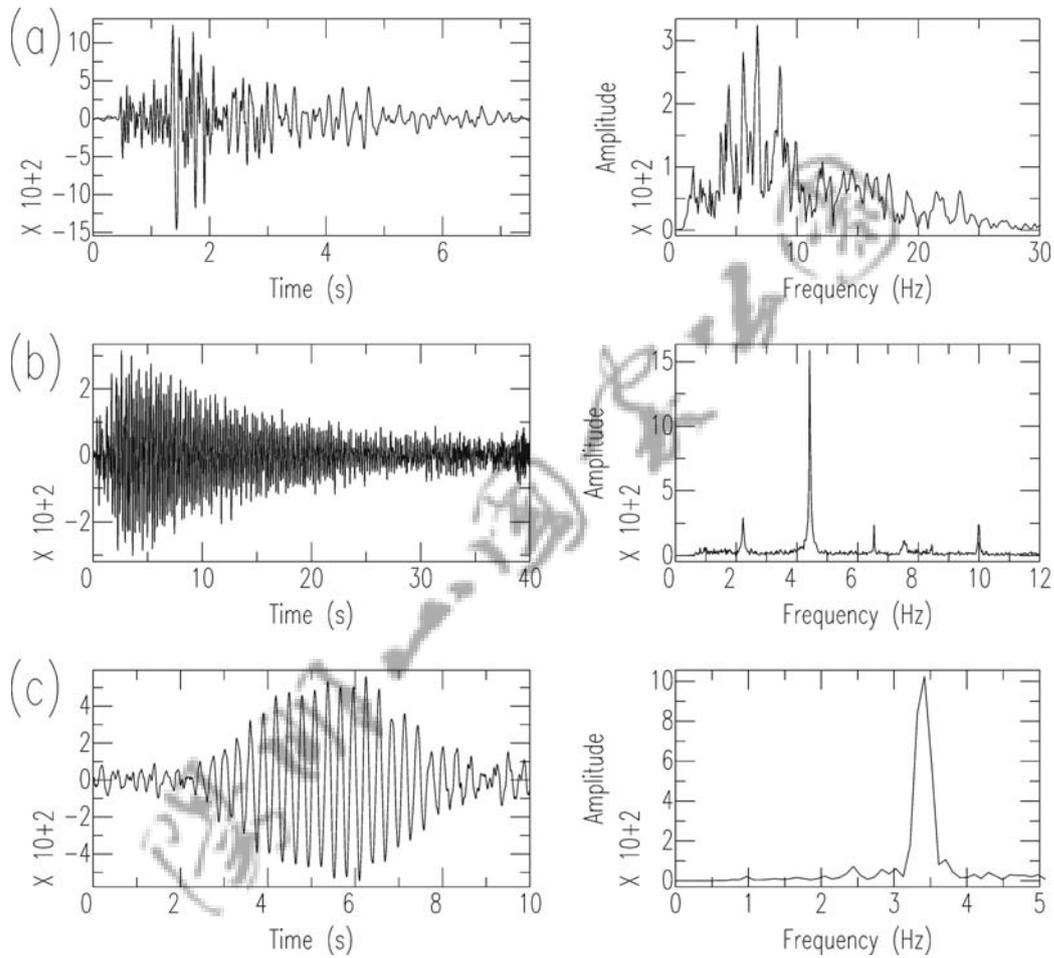
爲了更進一步瞭解這些單頻及多頻火山地震訊號之產生機制，本計畫利用一個簡單之物理模型來作計算與對比。假設這些異常訊號爲一個填滿液態或氣態之岩石裂縫，因壓力突然增加或減少而產生之振盪現象。利用一種特殊之計算方式 (Sompi Method, Kumagai and Chouet, 2000)，可正確地估算岩石裂縫物質之黏滯性，或一般地震學中常用之 Q 值大小 (圖二十六)。估算結果顯示大屯火山地區所記錄之火山訊號之 Q 值均大於 200 以上。依據前人之物理模擬結果 (如圖二十七) (Kumagai and Chouet, 2000) 推斷岩石裂縫之物質中，含有霧狀般之微小粒子爲最合適之解釋，一般認爲這些微小粒子可能爲火山灰。更詳細之討論可參見本研究團隊今年 (2005) 發表於國際著名期刊 (Geophysical Research Letters, Vol.32, L10313)。

同時本計畫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，深度約爲 1.5 公里左右 (如圖二十八)。

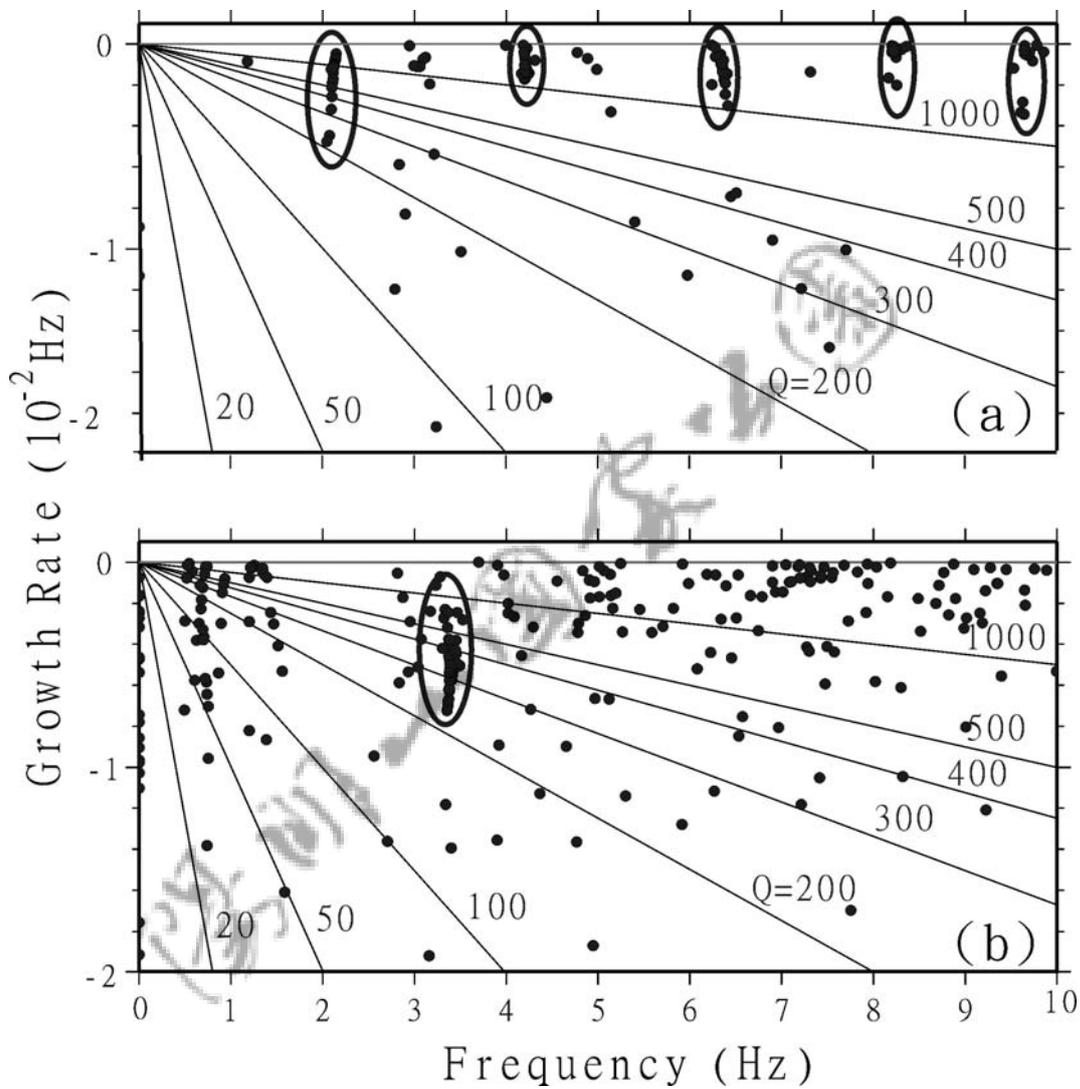
圖二十四 (a) 螺絲釘狀之火山地震訊號 (Tornillos) 及 (b) 其
頻譜分析



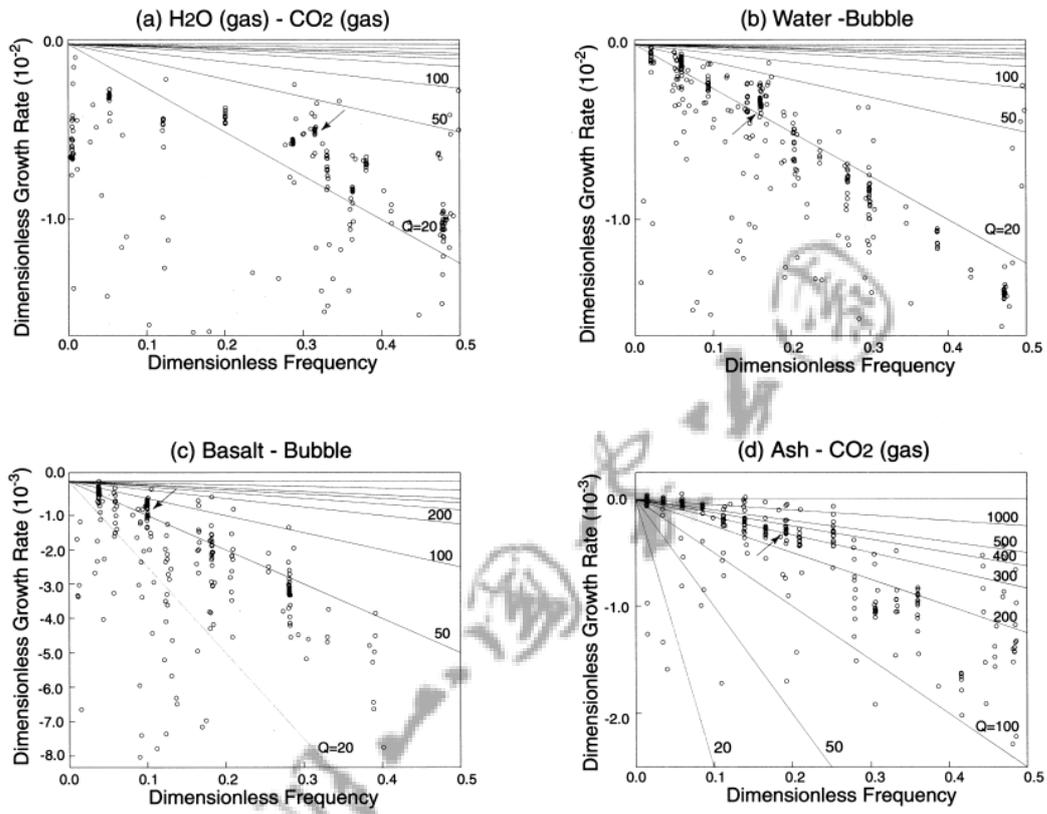
圖二十五 地震之波形與其頻率分佈(a)一般典型微震、(b) 螺絲釘狀之火
山地震訊號及(c) 水滴狀之地震訊號



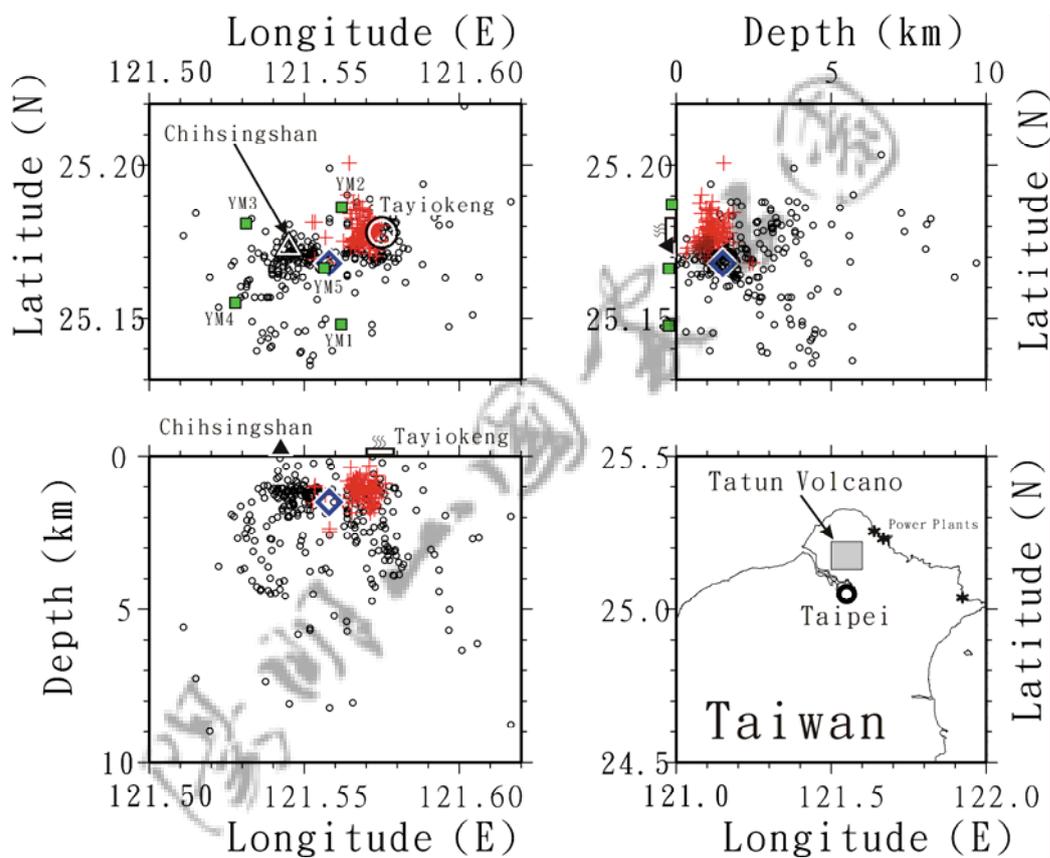
圖二十六 火山地震波形中之(a)水滴狀之地震訊號及(b) 螺絲釘狀之火
山地震訊號之Q值分佈



圖二十七 岩石裂縫中四種不同組成物質模擬火山地震波形中之 Q 值分佈情形 (Kumagai and Chouet, 2000)



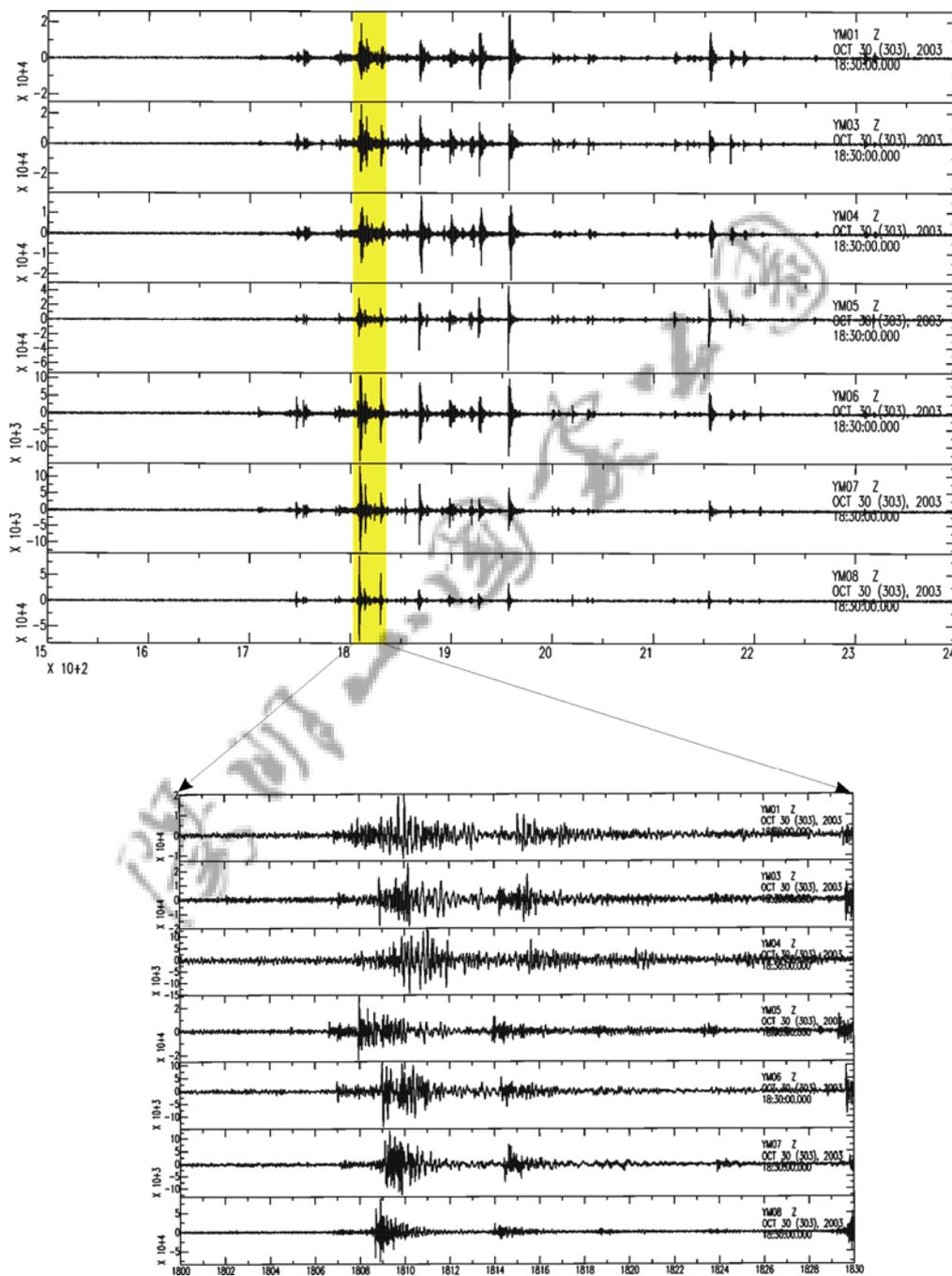
圖二十八 七星山附近之火山地震活動分佈情形包括微震(小圓圈)、連續性爆炸型地震(十字形)及多頻螺絲釘狀訊號(菱形)



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

根據過去大屯山觀測經驗，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(圖二十九 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，亦可清楚判識其 P 波與 S 波到達時間(圖二十九 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(圖二十八)。

圖二十九 (a)連續爆發性火山地震訊號及(b)其局部放大之波形



第六章 結 論

- 一、 依據本計劃設置之大屯山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附近，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。一般而言七星山地區之微震震源深度小於大油坑附近震源深度。
- 二、 分析連續地地震記錄，並仔細地震定位後，更發現有些微震，常在短時間內發生於很小的地區內，這現象與一般火山地熱區所觀測之群震現象相同。
- 三、 比較每日之連續地震記錄，常可發現有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。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，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。故很值得於未來研究，作更進一步探討。



第七章 建議

立即可行建議：

依據本計畫過去幾年初步觀測與分析結果顯示，大屯山地區之七星山與大油坑附近，淺部地殼有相當活躍的微震活動與群震現象。此外，部份地震站也觀測到一些火山地震振動現象。這些特性一般反應火山地區之液態物質作用有關，所謂液態物質可能是岩漿庫或熱水活動。根據過去地球化學有關氮同位素之觀測成果，也建議大屯火山群地底深處，存有岩漿庫之可能性。故建議政府相關部門，對大屯火山地區能持續作連續性之監測與研究。

中長期建議：

根據本計劃所獲得的地震分佈及火山地形之地震訊號，除了持續進行長期火山地震觀測之相關研究外，建議於未來研究中，適時加入地表變形長期監測研究及其他相關之研究，以探討岩漿庫存在之可能性。



參考書目

中文部分

- 余水倍, 蔡義本, 胡錦城, 林國安, 1980. 大屯火山區微震及地動雜波之研究, 探採研究彙報, 中國石油公司, 3, 101~130 頁。
- 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 頁。
- 楊燦堯, 1999. 陽明山國家公園大屯火山群之氮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。
- 陳朝輝, 1985. 利用地震時間項和重力波譜分析法研究大屯火山區之地殼構造, 國立台灣大學海洋研究所碩士論文, 93 頁。
- 葉義雄, 林正洪, 顏宏元, 劉啓清, 劉忠智, 1999. 大屯火山區地球物理監測研究, 台灣電力公司委託計畫。

英文部分

- Chen C. H., 1983, The geochemical evolution of Pleistocene absarokite, shoshonite and high-alumina basalt in northern Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China*, 5, 85-96.
- Chen C. H., 1990, Igneous rocks in Taiwan. *Central Geol. Surv.*, MOEA, 137pp.
- Chen C.-H. and Nakada S., 1994, Comparison of late Cenozoic basaltic magma generation in Ryukyu arc, Okinawa Trough and adjoining area (NW Kyushu, Japan and N. Taiwan). 1994 8th International Conference on Geochronology, 54.
- Chen C-H, Nakada S., Chen C. H., Mertzman S. A., 1996, An unusual volcanic zone behind the southern Okinawa trough (back arc basin)- the western extension of the Ryukyu volcanic arc front?
- Chen, K.J., and Yeh, Y.H., 1991. Gravity and Microearthquakes Studies in the Chinshan-Tanshui Area, Northern Taiwan, *TAO*, 2, 1, 35~50.
- Ho C. S., 1982, Tectonic evolution of Taiwan explanatory text of the tectonic map of Taiwan. Ministry Econ. affairs, ROC. 126pp.

- Juang W. S. and Bellon H., 1984, The Potassium-argon dating of andesites from Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, 27, 86-100.
- Lee, W.H.K., and J.C. Lahr, 1972. HYPO71: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, USGS Open file Rep., 100pp.
- Lin, C.H., K. I. Konstantinou, W.T. Liang, H.C. Pu, Y.M. Lin, S.H. You and Y.P. Huang, 2005a, Preliminary analysis of tectonic earthquakes and volcanoseismic signals recorded at the Tatun volcanic group, northern Taiwan, *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, No.10, L10313.
- Lin, C.H. K. I. Konstantinou, H.C. Pu, C.C. Hsu, Y.M. Lin, S.H. You and Y.P. Huang, 2005b, Preliminary results of seismic monitoring at Tatun volcanic area of northern Taiwan, *Terr. Atm. Ocean.*, Vol. 16, No. 3, 563-577.
- Suppe, J., 1984, Kinematics of arc-continent collision, flipping of subduction, and back-arc spreading near Taiwan. *Mem. Geol. Soc. china*, 6, 21-33.
- 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. 4th Symposium Quaternary of Taiwan, 45.
- 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. *J. Geol. Soc. China*, 35, 1-18.
- Tsao S. J., 1994, Potassium-argon age determination of volcanic rocks from the Tatun Volcano Group. *Bull. Central Geol. Surv.*, 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.
- Yang T.F., Sano, Y., Ho, H.H., Shieh, P S, Liu, N.T. and Chen C.H. (1999), Variations of Helium isotopic ratios of gases from Tatun Volcano Group, N. Taiwan, *Handbook of Annual Meeting of Geolo. Soc. China*, 35-36.

Yang, T.F., 1999. The helium isotopic study of fumaroles from Tatun Volcano Group of Yangmingshan National Park, Journal of National Park.

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.

