# 大屯火山群地鳴調查

The Analysis of Infrasonic Signals Excited by Tatun Volcano Group

受委託單位:中華民國地球物理學會

研究主持人:林正洪

研究期程:中華民國 106年03月至106年12月

研究經費:新臺幣 85 萬元 整

### 陽明山國家公園管理處委託辦理報告

中華民國一百零六年十二月

(本報告內容純係作者研究小組之觀點,不應引申為本機關之意見)

目 錄	
-----	--

中文摘要	. IV
英文摘要	V
第一章、計畫背景與工作項目	1
第二章、地鳴監測方法與儀器設備	15
第三章、分析步驟與結果	23
第四章、工作成果	38
第五章、結論與建議	50
參考文獻	52
附錄一、期初意見回覆	54
附錄二、期中意見回覆	56
附錄三、期末意見回覆	59

圖 目 錄

圖一、火山噴發造成地震與地鳴模型。
圖二、全球次聲波監測站分布。
圖三、阿拉斯加 2009 年 Redoublt 火山噴發。
圖四、次聲波測站的分布位置。4
圖五、不同距離兩個測站之地鳴記錄資料。4
圖六、美國夏威夷火山 Kilauea 位置。5
圖七、2007年次聲波測站記錄的地鳴資料。5
圖八·全球不同火山噴發所記錄的次聲波訊號。6
圖九、(a)帕卡亞火山附近的測站位置。(b)二氧化硫噴出量與地鳴訊號。7
圖十、2013年5月14日巴弗洛夫火山噴發的照片及示意圖。8
圖十一、巴弗洛夫山鄰近區域地震測站分布圖。9
圖十二、2013年巴弗洛夫火山噴發時間所紀錄。9
圖十三、2015年7月21日位於阿拉斯加的克利夫蘭火山噴發的地震、地鳴訊號。.10
圖十四、2008年8月8日 位於阿拉斯加的卡薩托奇火山噴發的地鳴訊號 。10
圖十五、淡水「神秘怪聲」怪聲干擾範圍。12
圖十六、2015年9月1日至2日次聲波測站紀錄。
圖十七、大屯火山觀測站與主要山勢之相對地理位置圖。14
圖十八、野外寬頻地震測站。16
圖十九、大屯火山觀測站地震站與七星山及山腳斷層地理位置圖。16
圖二十、 地震觀測站及次聲波測站與陽明山國家公園、鄰近地標分布圖。17
圖二十一、次聲波感應器 M21。 18
圖二十二、陽明山國家公園內之大屯火山群次聲波監測站儀器與設備。19
圖二十三、臺灣東北部次聲波監測網分布。
圖二十四、次聲波監測儀紀錄地鳴隨時間變化範例。
圖二十五、 次聲波監測儀紀錄的地鳴頻譜內容與特性範例。

圖二十六、陽明山國家公園內地震網記錄之小油坑地鳴實例。24
圖二十七、陽明山國家公園內小油坑次聲波測站記錄之地鳴頻譜實例。25
圖二十八、火山地區地鳴發生可能的物理模式。
圖二十九、地鳴的分析處理技術範例。
圖三十、2015年11月13日 次聲波及地震測站記錄的高頻訊號
圖三十一、 菁山 YD10 的高頻次聲波訊號波型,及訊號頻譜
圖三十二、 地震測站的高頻訊號隨距離排列
圖三十三、2015年10月7日的次聲波及地震高頻訊號。 29
圖三十四、2015年12月21日的次聲波及地震測站記錄的低頻訊號。
圖三十五、2017年8月2日的次聲波及地震側站記錄的低頻訊號。31
圖三十六、 雷文塔多火山的次聲波連續振動訊號 。
圖三十七、2017年1月16日次聲波及地震測站記錄的連續訊號。33
圖三十八、2017年7月2日次聲波及地震測站記錄的連續訊號。
圖三十九、2015年11月13日次聲波及地震測站紀錄的單一波浪狀頻譜訊號。 35
圖四十、2017年8月2日的次聲波及地震測站紀錄的單一波浪狀頻譜訊號。36
圖四十一、2015年11月15日次聲波及地震測站記錄的波浪頻譜訊號。37
圖四十二、訊號來源空間位置與測站到時示意圖。 39
圖四十三、小油坑的地鳴訊號範例。41
圖四十四、2017年7月5日記錄的次聲波及地震高頻訊號。42
圖四十五、2017年7月5日的高頻濾波(30-45Hz)地震訊號。43
圖四十六、YC05 測站的高頻濾波(30-45Hz)訊號,及對應的包絡線函數。44
圖四十七·2017年7月5日高頻地鳴訊號震源掃描結果。45
圖四十八、地震訊號隨震央距離排列。46
圖四十九、2015年11月7日的次聲波及地震高頻訊號。47
圖五十、2015年11月7日高頻地鳴訊號定位結果。48
圖五十一、2015年11月7日紀錄的高頻地鳴訊號隨震央距離排列49

#### 中文摘要

2015年9月2日,有多家新聞媒體同時報導,在陽明山國家公 園之大屯山地區與淡水西區,都有民眾聽到了不明來源的巨大聲響。同 時,陽明山國家公園內位處大屯山附近的巴拉卡公路路段(4.5公里 處)亦出現了神秘怪聲。事實上,回顧過去文獻,在大屯山地區也有地 鳴之記載,例如清咸豐3年(1853)夏季大屯山鳴三日。因此,陽明山 國家公園內之大屯火山群地鳴,其來源與特性是值得研究的一個課題, 它是與地震有關嗎?是地震的徵兆?還是與火山活動有所關聯呢?還是其 他尚未被人們所瞭解的原因呢?這些的問題都是非常值得深入的探討研 究。本計劃中主要利用次聲波監測儀器,並配合寬頻地震測站所收集到 資料,分析地鳴隨時間變化之記錄與其頻譜內容與特性。

透過資料分析,目前可以分辨出數種會重複發生的訊號,分別有著 不同的頻譜與特性如:(1)高頻紡錘狀訊號,頻率約為10~50赫茲。(2) 低頻訊號,主要頻率為20赫茲以下。(3)固定窄頻連續振動訊號,訊 號頻率呈現倍數。(4)波浪狀頻譜訊號。

在經由長期資料的收集與訊號的分類,用以討論陽明山國家公園內 地震網之地鳴訊號特性與可能之來源。初步的分析結果判定大屯火山群 內之地鳴來源可能與火山活動有關。未來將更仔細分析研究討論地鳴與 陽明山國家公園內大屯火山群之火山活動之可能關係。

關鍵詞: 地鳴、火山、次聲波、地震網

#### 英文摘要

On September 2, 2015, several newspapers and TV news reported that there was a huge unknown sound which has been heard by a large number of people in the Datun Mountain area and the western of Tamsui District in the Yangmingshan National Park. At the same time, strange voice was also found on the Barakah road section (~ 4.5 km) near the Datun Mountain in Yangmingshan National Park. In fact, the unidentified voices in the Datun mountain area have also been recorded in the past documents. For instance, in 1853 (the third year of the XianFeng of the Qing dynasty), there were a plenty of unusual noisy sounds for three days in summertime in Datun mountain area. Therefore, the source and the characteristics of the unknown sound comes from the Datun volcano group in the Yangmingshan National Park is an interesting topic. Is it a meaning for something, maybe the sound is another indication of earthquakes, maybe correlate to volcanic activity or just maybe some phenomenon we don't know yet. These questions are fascinating and worth to work on it!

In this study, we used not only infrasound instruments but broadband seismic instruments to monitoring the acoustic waves in Yangmingshan National Park. Otherwise, we also do the data process and analysis by using seismological analysis technique, such as spectrum and spectrogram analysis, traditional earthquake locating method, grid search locating method, and etc. For now, we have several major types of repetitive signals that have different spectrums and characteristics respectively: (1) high-frequency spindle-shaped signals with a frequency of about 10-50 Hz. (2) low-frequency signal, the main frequency is below 20 Hz. (3) fixed narrow-frequency continuous vibration signal, the signal frequency appears multiple. (4) the wavy signal in spectrograms.

By continually monitoring, we can collect a large number of infrasound and seismic data for a comprehensive database. Furthermore, the signal will be detected and classified to discuss the characteristics and potential sources located in the Yangmingshan National Park. Preliminary results indicate the source of the sound in Datun volcano may be related to volcanic activity. The following work will discuss the relationship between the sound and volcanic activity of Datun volcanoes within the Yangmingshan National Park in detail.

### 第一章、計畫背景與工作項目

自然界造成地鳴的成因非常的複雜,可能與地震、火山、隕石、海浪等等的原因有關。一般而言,地鳴通常最多是指當地震發生時,一小部分地震波能量傳入空氣變成聲波而形成的聲音,在震央區或近震央的範圍內能可能聽到。文獻中記載人耳聽到的地聲,有的似雷聲、炮聲、撕布聲,有的似拖拉機聲、風聲、哭聲等。可能成因是當應力達到岩石破裂強度的一半時,聲發射信號顯著增加,當微破裂進一步發展時,聲發射頻率由高頻向低頻變化,因而有可能被儀器和人耳接收。地鳴往往發生在地震前的幾秒、幾分鐘或幾小時、甚至幾天內,因此地鳴和地光一樣是地震的徵兆(維基百科)。

當這些聲音訊號頻率小於 20 赫茲時,頻率低於人類耳朵感知的範圍 20~20000 赫茲,稱之為次聲波 (infrasound),必須透過儀器測量。火山活動是常見的次聲波訊 號來源,可能形成原因目前認為岩漿庫上升至淺層地層的過程,使地層或地層中的 熱液系統因為壓力的改變而產生震動,震動的能量沿著地層傳遞會被地震儀器紀 錄,到地表也會透過空氣傳遞,以聲波形式被次聲波儀器紀錄 (圖一)。特別是靠 近地表的噴氣作用會使大氣產生擾動,可能會產生短時間的次聲波脈衝或者長時間 的擾動,因此分析次聲波的訊號來源、特性,可以提供我們線索了解火山底下的岩 漿、熱液活動,甚至地層氣體管道的變化。



圖一、火山噴發造成地震與地鳴模型。

自然的地鳴活動甚至人類活動所造成的地鳴,其重要性在近一、二十年廣被注 意,除了小區域次聲波測站外,在1996年開始也建立全球的次聲波監測網(IMS, International Monitoring System)(圖二)。而火山活動所造成的地鳴,曾經被現代化 的儀器清楚的記錄,例如 2009年阿拉斯加 Redoublt火山噴發(如圖三),在不同的 距離下測站(如圖四),可以清楚的記錄地鳴在時間與頻率的特性(如圖五)。類似 的例子,也可以在夏威夷的火山噴發時候(如圖六),清楚的記錄地鳴的現象(如圖 七)。不論是區域的次聲波測站網,或者是全球性的次聲波網,針對地鳴訊號的時 間與頻率特性皆有進一步研究(Dalton et al., 2010; Fee and Matoza, 2013; Waythomas et al., 2014)(圖八、九),包括 2008年瓜地馬拉的帕卡亞火山(Pacaya Volcano) 及 2013年阿拉斯加的巴弗洛夫火山(Pavlof Volcano)噴發,其他數個阿拉斯加火 山的地鳴訊號。



#### 圖三、阿拉斯加 2009 年 Redoublt 火山噴發。



圖五、不同距離兩個測站之地鳴記錄資料。



圖七、2007年次聲波測站記錄的地鳴資料。



(1) 帕卡亞火山

位在瓜地馬拉的帕卡亞火山最早噴發時間約為 2.3 萬年前,自 16 世紀以來已至 少噴發過 23 次,在休眠一個世紀後,從 1965 年開始持續活動,在火山口附近仍有 小範圍的噴發或者噴氣活動,利用地鳴訊號及二氧化硫的噴氣量偵測帕卡亞火山的 小噴發活動。2008 年 1 月 9 日開始地鳴訊號增加且振幅大幅提高,另外利用紫外線 攝影機偵測的二氧化硫噴出含量也增加,顯示當時有噴發活動 (Dalton et al., 2010)。



圖九、(a)帕卡亞火山附近的測站位置,三角形與圓形分別代表次聲波與監測二氧 化硫變化的紫外線攝影機。(b)二氧化硫噴出量(藍點)與地鳴訊號(紅 點)變化一致,二氧化硫增加時地鳴訊號多且振幅大,表示為噴氣事件。

(2)巴弗洛夫火山

阿拉斯加的巴弗洛夫(Pavlof Volcano)火山位於阿留申島弧,火山活動非常活躍,自18世紀開始到目前為止已有超過40次噴發紀錄,近期分別於2007、2013、 2016年皆發生噴發。2013年噴發時煙灰柱最高達8千2百公尺,活動時間從5月13 日開始至6月底持續數十天,包含數次大小規模噴發,主要為斯通伯利式噴發

(Stombolian explosion),噴發時岩漿會以噴泉形式噴射出,並伴隨氣體活動,噴發活動皆被鄰近的地震測站,以及 450 公里以外的次聲波測站記錄,火山噴發所造成的地鳴訊號在時間及頻率的特性,可以清楚分析(Waythomas et al., 2014)。



圖十,2013年5月14日巴弗洛夫火山噴發的照片及示意圖。



圖十一、巴弗洛夫山鄰近區域地震測站分布圖。



圖十二、2013年巴弗洛夫火山噴發時間所紀錄的 (a)地震資料、地鳴訊號,及(b) 對應的訊號頻譜。

(3) 阿拉斯加克利夫蘭及卡薩托奇火山



圖十三、2015年7月21日位於阿拉斯加的克利夫蘭火山(Cleveland volcano)噴發的地震、地鳴訊號。



圖十四、2008 年 8 月 8 日 位於阿拉斯加的卡薩托奇火山(Kasatochi volcano)噴 發的地鳴訊號,被 1000 英哩外的次聲波測站記錄。

大屯火山群為活火山,火山的活動性值得注意,因此地鳴訊號也為監測活動的 有力工具之一。2015年09月02日也有多項新聞媒體同時報導,陽明山國家公園內 大屯山區與淡水西區都傳出怪聲音(圖十五)。

節錄報導內容為:

陽明山國家公園內大屯山附近的巴拉卡公路 4.5 公里處出現了神秘怪聲;也有家 住淡水的網友附和說,「我摩天 21 樓也有聽到說,一下有一下沒有的...」,或是 感覺有晃動但吊燈卻沒搖。

網友今天在臉書上發問,最近上班一直聽到轟隆轟隆的聲音,聽起來不像是雷聲,而且「地層跟房子感覺會震動」,不管屋裡屋外都可以聽到,「請問有人跟我一樣聽到轟隆的聲音跟感受到震動嗎?我在巴拉卡公路 4.5Km 處。」結果貼文一出,馬上引來連串討論。

有位家住淡水的網友表示,「從昨天開始就一直轟個沒停,在新民街消防隊附 近,11樓都聽得到,感覺比較像地底下傳來的。」其他網友也紛紛表示,「剛剛 在淡水河邊也有聽到,昨天地震,是不是地鳴啊?」、「地震前後有可能有地 鳴」、「可是現在陸陸續續還是可聽到轟隆的聲音說」、「地鳴也未免太多天了, 而且聲音是陸陸續續長達好幾個小時說」。(原文網址:淡水「神秘怪聲」轟隆連 三天 驚動大屯火山觀測站啦!

http://www.ettoday.net/news/20150902/558742.htm#ixzz3kj4uADPj)

由民眾反應在大屯火山區域及淡水皆可聽到地鳴訊號,分佈範圍廣泛,比對兩個次聲波測站 YD10與 YD21 該時期幾天的連續紀錄,皆有記錄長週期訊號持續數小時(圖十六),是否就是民眾反映的地鳴訊號,訊號的來源等仍須更進一步分析。 相似的現象於 2016年1月 29日,又有媒體報導「淡水神秘怪聲轟隆連三天,驚動 大屯火山觀測站啦!」。



圖十五、淡水「神秘怪聲」怪聲干擾範圍(紅色圈)。

事實上,過去歷史也有地鳴之記載,例如歷史文獻中描述清咸豐3年(1853)夏 季大屯山鳴三日(鄭世楠、葉永田,1989)。

除了地震以外,地鳴也可能與火山活動有關,例如火山爆發時或者是高壓蒸氣 的釋放,也都可能在空氣中產生一些振動,造成地鳴的現象。因此,陽明山國家公 園內之大屯火山群地鳴來源與特性是非常值得研究,它是與地震有關嗎?地震的徵 兆?還是與火山活動有關呢?還是其他的原因呢?這些的問題都是非常值得深入的探 討研究。雖過去曾有多次地鳴的發生,但對於大屯火山區的地鳴訊號分佈、來源都 未有深入研究,因此本計畫針對地鳴訊號的分析探討,主要工作項目包含:

(1) 蒐集與分析陽明山國家公園內大屯火山群地震網連續監測資料。

(2) 彙整陽明山國家公園內次聲波監測儀監測的紀錄。

- (3) 進行陽明山國家公園內地鳴訊號之頻譜分析。
- (4) 辨識陽明山國家公園內地鳴訊號之可能來源。

(5) 解釋陽明山國家公園內大屯火山群之地鳴之成因與特性。

(6) 報告之撰寫。



圖十六、2015年9月1日至2日兩次聲波測站皆記錄到連續數小時的長週期訊號。

陽明山國家公園內之大屯火山群,是臺灣島上唯一具有現生活火山地質特徵 的自然景觀區,地表溫泉及硫磺噴氣等地熱活動還是非常明顯。若陽明山國家公園 內之大屯火山再度活動,火山噴發之災害可能威脅不僅限於大屯山地區,也很有可 能影響其附近更廣泛的區域。事實上,大屯火山群之最高峰(七星山)距離大臺北市 中心(臺北101大樓)僅十餘公里遠。所以,針對大屯火山的活動性之探討,不僅是 一個值得研究的科學問題,更關係大臺北附近民眾的生命財產安全。

政府為防備未來大屯火山可能之威脅,已經於民國 100 年 10 月 17 日,由國科 會與內政部於陽明山國家公園內之菁山自然中心,共同成立大屯火山觀測站(TVO: Taiwan Volcano Observatory at Tatun)(圖十七),並整合經濟部中央地質調查所、交 通部中央氣象局、中央研究院、臺灣大學及中央大學等過去分析研究成果,建立多 項火山即時監測系統,以期達到火山監測與研究之目標。其中特別是地震監測、地 球化學分析、地殼變形與地溫量測等,均是廣泛地被應用在世界其他活火山之主要 監測方法。同時將所有陽明山國家公園內之大屯火山分析研究之成果,提供一般民 眾與學生參觀,以達成更廣泛地科普教育之功能。



圖十七、大屯火山觀測站(TVO)與主要山勢之相對地理位置圖。

#### 第二章、地鳴監測方法與儀器設備

目前陽明山國家公園內之大屯火山觀測站(TVO)主要的火山監測方法,包括有火山地震活動監測、火山氣體與溫泉水的化學成份分析調查、地殼變形的量測、次聲波監測、地溫監測及噴氣即時影像監測等。其中,特別是大屯火山觀測站之高密度的地震監測網(圖十九),可以提供非常高解析之地動偵測能力。此外,本計畫也將配合次聲波監測儀的儀器,仔細的分析地鳴隨時間變化之記錄與其頻譜內容與特性。

(一) 地震測站

雖然地鳴是在空氣中傳遞的聲波,但是地震儀也經常可以記錄聲波在地表所造成的地動。因此,可以用地震儀記錄的地鳴到達時間,仔細估算地鳴發生的時間與位置。本計畫野外測站選用的地震記錄器為 Galrup(6DT),其主要功能在將感震器的地動信號數位化。存放資料的記憶體是硬碟,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。具有 24 位元的解析度,取樣率最高可達 100 次/秒。在本計畫中其地震儀配置及設定的狀況如下:

取樣率: 100 次/秒

頻道數目: 三個頻道分別連接寬頻(訊號週期可大至 30 秒)速度型地震計。

定時系統: 利用 GPS 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。



圖十八、野外寬頻地震測站。



圖十九、大屯火山觀測站地震站(三角形)與七星山及山腳斷層(灰色虛線)之相 對地理位置圖。



圖二十、地震觀測站及次聲波測站與陽明山國家公園、鄰近地標分布圖。

(二) 次聲波測站

地鳴訊號以聲波形式傳遞能量,而聲波為空氣中的粒子來回振動形成疏密的壓 力波,因此聲波訊號實為記錄大氣壓力的微小變化,稱之為聲音壓力。以火山噴發 所引起的地鳴而言,當噴發規模越大,噴出氣體越多時,會造成空氣中分子大幅振 動,引起明顯的壓力變化,因此紀錄的聲波訊號就會越大。如上所述,聲波的強弱 以壓力大小表示,單位為帕斯卡(Pascal),簡稱『帕』。

野外次聲波儀器為 Chaparral Physics (Model 21)(圖二十一),其主要特色為可以 記錄到非常微小的壓力變化,頻率範圍涵蓋廣,非常適合偵測火山區域的高頻至低 頻訊號。為避免在監測的過程中漏失任何有用的資訊,採取連續紀錄方式並即時傳 輸監測。在本計畫中其次聲波測站配置及設定的狀況如下:

|--|

頻道數目: 單一頻道連接至地震儀器的記錄器。

定時系統: 因為連接至地震儀記錄器,具利用 GPS 全球定位系統校 時功能,每小時的誤差量不會超過 0.005sec。



圖二十一、次聲波感應器 M21, 箭頭位置分別為記錄器(electric connector)及風 濾波器 (acoustic inlet)接頭。



圖二十二、陽明山國家公園內之大屯火山群次聲波監測站儀器與設備,圖為菁山測

站 YD10。





圖二十四、次聲波監測儀紀錄地鳴隨時間變化範例,圖為2015年5月7日臺灣當地時間08:00至20:00的連續紀錄,右側為對應的UTC時間,分別以黑、紅、藍、綠色代表每小時內0-15分、15-30分、30-45分及45-00分的連續記錄。

![](_page_28_Figure_0.jpeg)

圖二十五、次聲波監測儀紀錄的地鳴頻譜內容與特性範例,圖為圖二十四連續記錄 對應之頻譜。

#### 第三章、分析步驟與結果

本計畫主要針對過去一些地鳴的發生,及目前即時監測訊號進行收集分析,希 望可以充分判定大屯火山群內之地鳴來源與特性。同時,利用現有的一些分析處理 辦法,仔細分析研究。主要依據下列步驟:

- (1) 資料收集與整理: 包含 40 個地震測站與 3 個次聲波測站紀錄取回到室內後, 必須進行資料格式之轉換、截取與儲存等過程,方能進行各項分析工作。
- (2) 地鳴事件之讀取:地震與次聲波資料經過適當的修正處理後,進行所有時間視窗的頻譜計算,初步頻譜計算範圍為 0.01-50 赫茲,每 30 分鐘連續紀錄計算一次,再由人工判讀地震與次聲波頻譜具一致性的特殊訊號後,再進行時間內特定地鳴訊號的摘讀。該階段選取所有具特殊性的一致訊號,並將具相似頻譜特徵及波型的事件歸類。
- (3) 地鳴事件之分析:將上述選取的地鳴事件訊號進行波型比對、頻譜分析,找出 每一類型地鳴訊號的特徵,並討論擷取事件的時間分佈,以及討論不同地鳴訊 號的可能來源。

由於大屯山區地鳴訊號特性尚未建立,因此需要透過人工仔細確認比對次聲波 及地震測站波型及頻譜資料,進行地鳴訊號擷取與分類,過程極為費時費工,因此 本計劃先分析 2017 連續紀錄,並以其為特定訊號範本,再針對過去紀錄中較為活 躍時間區間依序進行分析,因此本計畫主要涵蓋 2017 年度資料,及 2015 年下半年 度資料進行後續分析與討論。

圖二十六與圖二十七為陽明山國家公園內地震網之地鳴記錄範例。根據這些初步的分析結果,透過充分實例的分析能探討大屯火山群內之地鳴來源與特性。例如過去針對一些地鳴之發生(圖二十八),進行分析討論。同時,利用現有的一些分析處理辦法(圖二十九),仔細分析研究。

23

![](_page_30_Figure_0.jpeg)

站訊號依據距離小油坑距離排列,訊號到時呈現線行排列,表示假設的 來源位置非常接近真實訊號源。

啚

![](_page_31_Figure_0.jpeg)

11110 (000)

圖二十七、陽明山國家公園內小油坑次聲波測站(YD21)記錄之地鳴頻譜實例,資料時間為 2015 年 8 月 30 日,資料時間共 5 分鐘。

![](_page_31_Figure_3.jpeg)

圖二十八、火山地區地鳴發生可能的物理模式之一,為岩漿內氣體解壓離溶(gas exsolution)作用,氣體上升噴出擾動大氣,形成地鳴訊號。

![](_page_32_Figure_0.jpeg)

圖二十九、地鳴的分析處理技術範例。挑選次聲波連續紀錄中振幅較大的事件,並 對應訊號的頻率分佈情形。

本計畫蒐集與分析陽明山國家公園內大屯火山群地震網連續監測資料,與陽明山國 家公園內次聲波監測儀監測的記錄,進行上述波型比對與頻譜分析步驟,將陽明山 國家公園內的的地鳴訊號依據其特性分為數種類型,包含:

- (1) 高頻紡錘狀訊號,頻率約為 10~50 赫茲,持續時間約為數分鐘。
- (2) 低頻訊號,主要頻率為 20 赫茲以下,訊號頻率會隨時間降低,時間約 1-2 分鐘。
- (3) 固定頻率連續振動訊號,訊號頻率呈現倍數,持續時間長達數分鐘至數十分 鐘。
- (4) 特殊頻譜訊號,窄頻訊號且在頻譜上呈現波浪狀。

詳述如下:

(1) 高頻紡錘狀訊號,頻率約為 10~50 赫茲,持續時間約為 1-2 分鐘。除次聲波 紀錄到訊號外,地震測站也皆記錄到相當一致訊號,且分佈範圍相當大。在陽明山 區域屬於常出現訊號,且有時間集中特性,1-2 天內密集發生,事件間距約為數分鐘 至數十分鐘不等。

![](_page_33_Figure_2.jpeg)

27

![](_page_34_Figure_0.jpeg)

圖三十二、 地震測站的高頻訊號隨距離排列

![](_page_35_Figure_0.jpeg)

年10月7日的次聲波及地震高頻訊號,持續時間約3分鐘。

(2)低頻訊號,主要頻率為20赫茲以下,訊號頻率會隨時間降低,時間約1-2分鐘。除次聲波紀錄到訊號外,地震測站也皆記錄到相似訊號,但頻率較次聲波訊號 略低,雖記錄到的地震測站分佈範圍大但能量較弱。

![](_page_36_Figure_1.jpeg)

2015-12-21 20:52:00

![](_page_36_Figure_3.jpeg)

![](_page_37_Figure_0.jpeg)

圖三十五、2017年8月2日的次聲波及地震側站所記錄的低頻訊號(5-15Hz)。

(3)固定頻率連續振動訊號,持續時間數分鐘至數十分鐘,主要頻率為多個窄頻, 且彼此間有倍數關係,雖然頻率會稍微改變,但仍維持倍頻特性。類似訊號在其他 火山區域也被紀錄,一般認為是火山氣體的持續解壓造成,但不同火山的訊號頻率 有明顯差異,如雷文塔多火山(Reventador Volcano)的訊號頻率較為低頻,約為 1.6、3.2、4.8 赫茲。頻率的差異可能與岩漿庫規模、地層氣體通道體積不同等因素 有關。

![](_page_38_Figure_1.jpeg)

圖三十六、 雷文塔多火山的次聲波連續振動訊號, 頻率固定且為倍數。

![](_page_39_Figure_0.jpeg)

![](_page_40_Figure_0.jpeg)

十八、2017年7月2日次聲波及地震測站記錄的連續訊號,固定頻率連續訊號,該窄頻訊號持續達十分鐘。

(4)特殊頻譜訊號,高頻呈現波浪紋,包含單一個,或者多次重複波浪訊號。訊號 頻率由高頻隨時間降為低頻,訊號持續時間由數十秒至數十分鐘,頻率也略有差 異。此類型訊號在次聲波紀錄中非常清楚,但地震記錄能量則明顯降低,是否與該 訊號來源或傳播路徑特性,仍須進一步分析。

![](_page_41_Figure_1.jpeg)

![](_page_41_Figure_2.jpeg)

![](_page_42_Figure_0.jpeg)

圖四十、2017年8月2日的次聲波及地震測站記錄的單一波浪狀頻譜訊號。

![](_page_43_Figure_0.jpeg)

圖四十一、2015年11月15日次聲波及地震測站記錄的波浪頻譜訊號。

#### 第四章、工作成果

本計畫以大屯火山觀測站(TVO)在陽明山國家公園區域,所設置之連續地震 觀測網為主。該觀測網可提供高解析的地動偵測能力,並配合在園區中陸續增設之 次聲波監測儀所記錄到訊號,進而展開大屯火山群及其鄰近地區之地鳴研究調查。

目前,工作內容為持續性地對過去歷年次聲波資料進行彙整,並加入即時的監 測資料。同時進行初步的頻譜分析,利用人力對訊號波型加以辨別,以確定大屯火 山群區域之地鳴訊號的基本類型分類,進一步確定訊號的可能來源位置,以便討論 其成因,甚至與區域微震的相關性。

地鳴訊號雖訊號雖明顯,但因為到時判斷不易,無法使用一般的地震定位方法,因此本計畫採用震源掃描方法,尋找訊號的來源位置。震源掃描方法(Source-Scanning Algorithm, SSA)是為解決微地動定位所提出的方法

(Kao and Shan, 2004),微地動的訊號到時不易判斷,無法使用傳統走時定位方法,該方法主要利用亮度函數(brightness function)疊加平均顯示出具有一致性的振幅訊號。亮度函數式為:

$$br(\eta,\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} \left| \mu_n(\tau + t_{\eta n}) \right|$$

其中N為測站數目, $\eta$ 、 $\tau$ 分別代表震源的起始位置與時間,而 $t_{\eta n}$ 表示震源到第n個 測站的走時, $\mu_n$ 則為第n個測站的訊號振幅。不同位置的訊號來源會同時被測站所 記錄,但因為訊號來源與每個測站的距離不同,會使測站的訊號到時不同,如下圖 表示。透過理論到時的計算可將每個測站的訊號修正後疊加,即可得到每個空間點 的亮度函數,數值越高即代表疊加的訊號越一致,表示越接近真實的訊號來源位 置。

![](_page_45_Figure_0.jpeg)

因此,地鳴訊號雖然大部分能在波形以及頻譜上清楚辨識,但因為到時不容易 明確判別,所以無法使用傳統的地震定位方法,確定地鳴訊號的來源位置。因此本 計劃採用震源掃描方法(SSA),計算地鳴訊號的來源。掃描時震源範圍為緯度 25.05至25.3度,經度為121.45至121.7度,格點間距為0.01度。

在前述章節所提到之"地鳴訊號的分類"中,第一項高頻紡錘狀訊號,發生機率 最高,其訊號可同時被次聲波與地震儀器記錄到,波形訊號中可見到相當清楚且一 致的訊號。因此,本計畫優先以此類訊號進行定位,並進行相關程式的開發與分析 工作流程之建立。以下為該地鳴訊號的定位步驟與結果:

(1) 頻譜分析:

進行頻譜分析時,可清楚看到次聲波與地震儀器皆記錄到相當高頻的訊號,經 過此步驟挑選出資料品質較佳,並同時確認該訊號能量分佈之頻段,以利後續 分析工作之進行。

(2) 高頻濾波,並計算對應的包絡線(envelope):

將訊號濾波至 30-45 赫茲後,在波形訊號上可明顯看出多數測站皆有一致的訊號,分佈範圍幾乎涵蓋大部分大屯火山區域。但由於訊號相當高頻,波型疊加時易受雜訊干擾。因此,計算每個測站波形訊號的包絡線,反映其訊號的能量變化。

(3) 地鳴訊號速度確認:

計算時訊號來源時需使用地鳴訊號的速度,進行測站的走時修行,速度的錯誤 會導致一致的訊號無法在同時疊加,因此我們採用在大屯火山區觀測到的訊號 估計其訊號傳播速度。圖四十三為大屯火山所記錄的地鳴訊號,初步將訊號來 源位置假設為小油坑時,將地震資料依據離小油坑距離遠近重新排列後,訊號 的到時會隨著距離呈系統排列,越遠的測站到時越遠,表示訊號來源的確為小 油坑,而測站到時與距離的關係即反應訊號傳遞的速度,圖上顯示為415公尺/ 秒,若為一般地震訊號傳遞速度高達2-3000公尺/秒,聲波傳遞速度則為340公 尺/秒,415公尺/秒代表聲波非水平傳遞,稱之為視速度(apparent velocity)。

(4) 震源掃描:

計算所有格點位置的亮度函數,其結果之最大值即為地鳴訊號之來源位置。而 為去除資料單位的屬性,以利於結果的比較與展示,將所有格點亮度函數數值 予以正規化運算(normalization),使每個數值皆在0與1之間。因此正規化亮 度等於1的位置,即為地鳴訊號可能來源位置,考慮資料誤差以亮度大於0.98 區域視為可能的訊號來源位置(圖四十七、五十紅色虛線區域)。

2015年11月7日與2017年7月5日兩筆資料為例(分別為圖四十四、四十九), 震源掃描定位結果位於七星山、小油坑鄰近區域。該區域內有諸多噴氣孔存 在,此類型高頻訊號成因可能與大量氣體通過岩石內裂隙噴發時有關。

![](_page_47_Figure_0.jpeg)

圖四十三、小油坑的地鳴訊號範例,將所有測站依距離小油坑遠近重新排列,呈現 線型排列,虛線斜率即為測站間訊號傳播速度,為416公尺/秒。聲波水 平傳遞時速度為340公尺/秒,416公尺/秒表示地鳴訊號傳遞時非完全水 平,與水平面有一夾角時速度,此時測站間訊號傳遞稱之為視速度。

![](_page_48_Figure_0.jpeg)

圖四十四、2017年7月5日記錄的次聲波及地震高頻訊號,訊號持續時間長達約3-4分鐘。

![](_page_49_Figure_0.jpeg)

圖四十五、2017年7月5日的高頻濾波(30-45Hz)地震訊號。

![](_page_50_Figure_0.jpeg)

圖四十六、YC05 測站的高頻濾波(30-45Hz)訊號,及對應的包絡線函數。

![](_page_51_Figure_0.jpeg)

![](_page_52_Figure_0.jpeg)

圖四十八、依據圖四十七的定位結果,將地震訊號隨震央距離排列。

![](_page_53_Figure_0.jpeg)

圖四十九、2015年11月7日的次聲波及地震高頻訊號,持續時間約3分鐘。

![](_page_54_Figure_0.jpeg)

七星山主峰附近。

![](_page_55_Figure_0.jpeg)

圖五十一、2015年11月7日紀錄的高頻地鳴訊號,依據圖五十的定位結果,隨震央 距離排列。

#### 第五章、結論與建議

一、 結論

 本計劃使用在陽明山國家公園範圍內之三個次聲波觀測站與四十個地震觀測站之 紀錄分析,初步將觀測之地鳴訊號依據其特性分為下列數種類型:

- (1) 高頻紡錘狀訊號,頻率約為 10~50 赫茲,持續時間約為數分鐘。
- (2) 低頻訊號,主要頻率分佈為 20 赫茲以下,訊號頻率會隨時間降低,時間約 1-2 分鐘。
- (3)固定頻率連續振動訊號,訊號頻率呈現倍數,持續時間長達數分鐘至數 十分鐘。
- (4) 特殊頻譜訊號,窄頻訊號且在頻譜上呈現波浪狀。

 2. 經分析數筆次聲波與地震儀訊號同時有明確記錄之事件,其來源集中在小油坑 與七星山一帶。由於該區域內有諸多噴氣孔存在,此類型高頻訊號成因可能與大量 氣體通過岩石內裂隙噴發時有關。

3. 經人工判讀每日之次聲波資料,在頻譜分析的視圖上,常可見前述不同種類的地 鳴訊號。本計畫中已針對第一類高頻訊號加以分析,推斷來源可能與噴氣孔之噴發 有關。同時,其餘各類之發生原因皆須持續地進行監測與分析,以更進一步地探討 其成因與火山活動之關聯性,以利於大屯火山群之監測。

二、 建議

建議一:

增設多個次聲波觀測站:立即性建議 主辦機關:中央研究院地球科學研究所、大屯火山觀測站 協辦機關:陽明山國家公園管理處 目前計畫中使用三個次聲波觀測站與四十個地震觀測站對次聲波訊號進行監測,但地震儀器主要記錄目標為地震訊號,對次聲波之訊號並不靈敏。因此,在本計畫中之資料分析僅能針對次聲波觀測站與地震觀測站能夠同時記錄到之能量較大的事件進行分析。而能量規模較小之事件,則受限於觀測紀錄之不足無法進行分析與定位。因此,錯估地鳴訊號在大屯火山群地區所發生的數量與強度,進而間接影響地鳴與火山活動之間關連性的研究,與大屯火山群之火山活動監測。因此建議可在陽明山國家公園內,增設多個次聲波觀測站,以提高對地鳴訊號之監測能力與發生來源的解析度。同時,亦可新增資訊設備,用以接收即時之次聲波資料,以利對資料進行判讀、分析與定位,進一步提高對火山活動的預警能力。

<u>建議二:</u>

建立即時收集次聲波資料及發展自動判別異常之聲波訊號的方法:中長期建議 主辦機關:中央研究院地球科學研究所、大屯火山觀測站 協辦機關:陽明山國家公園管理處

由於次聲波之監測與分析,在台灣地區為一個嶄新的領域。其資料之收集、分 析與研究皆需要投入人力進行開發與研究。在本計畫中,資料之處理仍以人工進行 作業分析,所花費的時間冗長。且由於地鳴訊號容易隱藏在背景雜訊中,容易造成 訊號在人工辨識與判讀上的誤差與遺漏。同時以人工作業的方式,其分析結果需數 日後或數週才能取得,不利於即時性之火山活動的監測與預警,更不利於長期觀測 的資料維護與分析。

利用電腦自動處理資料為必要發展的方向。應建立一套可即時收集次聲波資料 之方法,且發展自動判別異常之聲波訊號的方法,進一步可找尋出聲音來源的資料 處理流程,以避免人工處理所造成之誤判或缺失,並可提高分析結果之時效性,以 提供在火山活動監測與預警的第一手資料。且應持續監測次聲波訊號,提高對噴氣 孔活動的監測,並同時比對相關資料,如地球化學的氣體成分變化、噴氣孔溫度變 化。

#### 參考文獻

- Dalton, M.P., Waite, G.P., Watson, I.M. and Nadeau, P.A., 2010. Multiparameter quantification of gas release during weak Strombolian eruptions at Pacaya Volcano, Guatemala. Geophys. Res. Lett., 37 L09303, doi: 10.1029/2010gl042617.
- Fee, D., M. Garces, and A. Steffke (2010a), Infrasound from Tungurahua Volcano 2006– 2008: Strombolian to Plinian eruptive activity, J. Volcanol. Geotherm. Res., 193(1-2), 67-81, doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.03.006.
- Fee, D., A. Steffke, and M. Garces (2010b), Characterization of the 2008 Kasatochi and Okmok eruptions using remote infrasound arrays Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 115, D00L10, doi:10.1029/2009JD013621.
- Fee, D., M. Garces, M. Patrick, B. Chouet, P. Dawson, and D. Swanson (2010c), Infrasonic Harmonic Tremor and Degassing Bursts from Halema`uma`uCrater, Kilauea, J. Geophys. Res., 115, B11316, doi:10.1029/2010JB007642.
- Fee, D., M. Garces, T. R. Orr, and M. P. Poland (2011), Infrasound from the 2007 fissure eruptions of Kīlauea Volcano, Hawai'i, Geophys. Res. Lett., 38, L06309, doi:10.1029/2010GL046422.
- Johnson, J., R. Aster, K. R. Jones, P. Kyle, and B. McIntosh (2008), Acoustic source characterization of impulsive Strombolian eruptions from the Mount Erebus lava lake, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 177(3), 673-686.
- Honn Kao, Honn and S.J. Shan (2004), The Source-Scanning Algorithm: mapping the distribution of seismic sources in time and space, Geophys. J. Int., 157, 589-594.
- Matoza, R. S., M. A. Garces, B. A. Chouet, L. D'Auria, M. A. H. Hedlin, C. De Groot-Hedlin, and G. P. Waite (2009b), The source of infrasound associated with long-period events at Mount St. Helens, Journal Of Geophysical Research-Solid Earth, 114.
- Matoza, R. S., D. Fee, and M. Garces (2010), Infrasonic tremor wavefield f the Pu'u O'ocrater complex and lava tube system, Hawaii, in April 2007, J. Geophys. Res., 115, B12312, doi:10.1029/2009JB007192.
- Ripepe, M., and E. Marchetti (2002), Array tracking of infrasonic sources at Stromboli volcano, Geophys. Res. Lett., 29(22), 2076.
- Ripepe, M., S. De Angelis, G. Lacanna, and B. Voight (2010), Observation of infrasonic and

gravity waves at SoufrièreHills Volcano, Montserrat,, Geophys. Res. Lett., 37(L00E14), doi:10.1029/2010GL042557.

- Waythomas, C.F., Haney, M.M., Fee, David, Schneider, D.J., and Wech, Aaron (2014), The 2013 eruption of Pavlof Volcano, Alaska: a spatter eruption at an ice- and snow-clad volcano: Bulletin of Volcanology, 76 (862), doi: 10.1007/s00445-014-0862-2
- Yamasato, H. (1997), Quantitative analysis of pyroclastic flows using infrasonic and seismic data at Unzenvolcano, Japan, Journal of Physics of the Earth, 45(6), 397-416
- 鄭世楠,葉永田(1989),西元 1604 年至 1988 年臺灣地區地震目錄,中央研究院地 球科學研究所研究計畫 IES-R-661,8-10 頁。

維基百科(2016),自由的百科全書。

## 附錄一、期初意見回覆

	審查意見	回覆
	主	席
	因本案地鳴偵測儀僅設立2處,如何	目前地鳴偵測儀僅設立2處,無法定
	定位其來源?	位地鳴來源,目前輔以40處小型微震
		站偵測資料協助定位,本團隊會再添
		購增加1組地鳴偵測設備以定位地鳴
		來源。
	廖敏君	言課長
	小油坑噴氣孔活動是否可由本計畫延	小油坑地鳴 10HZ 音頻將請專任助理
	伸?	調出,再找出其來源及噴發頻率。
	地鳴議題對本處而言為新領域,請受	報告書內容依建議進行補充辦理,增
	託團隊補充文獻整理,專有名詞介紹	加地震引起之地鳴文獻及其他建議內
	俾利完整內容呈現。	容。
	請依學術論文報告格式 review 列出國	報告書內容及格式依建議進行補充辦
	外地鳴案例,雙面列印報告。	理
5	張順發	後秘書 
	有關國外地鳴案例可將其論述方法收	已依據意見辦理,增加國外地鳴案
	集彙整,以期印證本案調查資料。	例。
	報告書圖表請再補充文字說明敘述。	已依據意見辦理。
	陳宏豪	蒙技士
	報告書 p15 新增的初步成果可獨立出	已依據意見辦理。

	一個項目,其中圖片應增加說明文	
	字,p16 地震站編號應以陽明山相關	
	位置去呈現,以了解其相對位置。	
	本案已列出國外參考文獻,而其 p2-p5	
	内容應列入參考文獻來源及年份。	
	次聲波為新領域研究,依參考文獻是	已依據意見辦理,增加參考文獻的範
	否可詳細敘述分享相關內容,如火山	例說明,並於圖片加註說明。
	噴發氣體釋放參數變化,火山噴發類	
	型與次聲波關係敘述、長期火山活動	
	次聲波來源關係、追蹤次聲波來源案	
	例、觀察次聲波案例及應用上分享,	2.
	如日本使用次聲波及地震資料量化分	
	析火山碎屑流。另報告書之文獻圖	
	片,或可加文字解釋增加閱讀性。	
	本案針對大屯火山群聲音記錄檔多數	
	與噴氣口相關,而地震產生之地鳴或	
	可補充文獻方式補足。	
	報告書儀器照片只有 p12 偵測儀,其	其他儀器說明與圖片已增加至儀器設
	它相關設備請補充列入,讓讀者可以	備章節。
1	更了解本案進行方式,可在未來作為	
	地鳴科普文章插圖。	

## 附錄二、期中意見回覆

	審查意見	回覆
	陳文L	山教授
	地鳴相對「地震」規模是否有相關	地鳴與地震非直接相關,不一定同時
	性,若無產生地鳴的地震是否有和特	存在,其隨區域性,頻率不同而有變
	殊性?	化。地震頻率為 50Hz 且範圍為 1 公里
		內,而地鳴傳播範圍較廣,因此可提
		供火山不穩定的監測媒介。
	震波與音波的對此為何?	地震震波速度 3km/秒,而地鳴空氣傳
		播速度約 330m/秒,但實際地震時皆
		地鳴先發生,尚未有科學上學理可證
		明此種現象,希望可藉由本研究監測
		資料證明原因。
	劉家玛	宣教授
	由於地鳴記錄到的訊號有不同的特	本團隊盡找出可定位來源地鳴事件,
	徵,代表可能不同來源(成因?)。因此	如小油坑、大油坑等區域,定位 5-10
	記錄到的地鳴資料要先找出其不同特	個資料就可以找出地鳴發生點,期間
1	徵,再對應觀察到的不同現象(高壓氣	發現部分音源來自人為干擾,至於機
	體?岩漿活動?地震?)試圖找出不同	制俟累積相當多資料再篩出明顯特徵
	地鳴的形成原因。	作分析。
	可以比較國內地鳴觀測資料和國外報	國外地鳴資料幾乎來自火山爆發事
	導的地鳴資料其特性異同。	件,陽明山相對來說較為平靜先前皆
		尚未進行相關監測,也尚未找到地鳴
		相關資料。

	陳宏豪技士	
	報告書 p15 圖 14 地震站地理位置圖建	已依據意見辦理,增加國家公園位置
	議放大為 A3 大小,並補上國家公園	及地標。
	界線及主要道路資訊,若有需求可向	
	本處申請圖資。	
	報告書應累計前期報告書,如地鳴物	已依據意見辦理。
	理模式内容,其它資料亦同。	
	部分簡報內容如以小油坑地鳴監測及	已依據意見辦理。
	蒸汽型噴發資料應補附在報告書中。	~ V/
	未來進行步驟內容可補充在預期成果	已依據意見辦理。
	。	
	葉超然	然主任
	地震發生前可否於動物行為找到徵兆?	地鳴產生頻率,某些研究顯示哺乳類
		動物、鱷魚等可聽到,如地震前異常
		行為,學理上假說表示地震前地層未
		斷裂期間擠壓會電磁波、高頻聲波產
		生。動物可感覺吵雜聲音。然陽明山
		以火山活動為主,地震引發之地鳴研
~		究期間不一定可記錄到,但已確認有
		記錄到相當地鳴資料與火山活動及噴
		氣孔有關係,期望未來可了解更透
		徹。
	現小油坑噴氣口持續崩塌中,未來是	分析累積監測資料可顯示地球科學不
	否有相關資料可提供未來噴氣孔口上	穩定性,希望對於貴處未來景觀安全
	方步道改善或更改路線參考?	上提供參考。

張順發秘書	
本案3個次聲波,40個地震儀,可否	由於人工擷取地鳴訊號與分類,過程
在圖 14 一併標註次聲波儀器位置及編	極為費時費工, 2017 年資料持續進行
號,另現階段次聲波資料幾乎為 2015	中。
年度,2017年接受的資料量如何,請	
敘明。	
會議中補充說明也可納入報告中,如	相關次聲波與地震儀記錄訊號的初步
次聲波與地震儀的比較,音波高頻與	說明已增加於報告書中。詳細頻率及
低頻是否可作比較,可否同時間接收	波型比對已增加更多範例於文中加以
到?可否可作關聯性分析?	說明討論。
聲波儀器資料幾乎為 YD10 或 YD21,	第3個次聲波儀器因常故障,主要由
第3個次聲波儀器未收到資料原因請	其它2個進行接收,目前請研究人員
敘明。	進行監測,並篩檢出發生次聲波時段
	音頻,因此各種波形長短各異,需要
	時間進行整理歸納

## 附錄三、期末意見回覆

	審查意見	回覆
	宋聖榮委員(	(書面審查)
	如何區分所測聲波是來自地下形成	不同來源所形成的聲波,在觀測
	的(地鳴)或是地面上所引起的(一般	的波形資料以及頻譜分析的視圖
	聲響)?	上會呈現出不同的樣態。如報告
		中所提,在大屯火山群地區所記
		錄到的聲波資料,多集中在特定
		範圍之內,其主要成因應為噴氣
		孔噴氣所致。
	全球次聲波監測站超過40個以	自然界造成地鳴的成因非常的複
	上,而每年火山噴發平均的個數超	雜,可能與地震、火山、隕石、海
	過 50-60 個,全世界活火山的個數	浪等等的原因有關。廣布全球的
	絕對超過 500 座以上,火山熱液和	次聲波監測站,其執行單位為全
	岩漿移動作用非常多,但截至目前	面禁止核子試爆條約組織
	為止偵測到火山噴發或岩漿移動所	(CTBTO),其主要目的為透過聲
	引起的次聲波事件區區可數(P.4-	波的紀錄,監測全世界的核子試
	10),把地鳴歸因於火山噴發和岩	爆活動,同時也可紀錄許多異常
R	漿活動還不確定,故地鳴訊號要作	的聲波紀錄。次聲波在火山地區
	為監測火山活動的有力工具之一,	的監測活動,在世界各地許多機
	值得商確和未來的驗證。	構已有許多研究報告,以及火山
		活動的即時監測,如美國夏威夷
		火山觀測所(HVO)、美國阿拉斯加
		火山觀測所(AVO)以及新加坡的
		Earth Observatory of Singapore 都

1		
		大重使用次聲波的紀錄,對火山
		活動加以監測。
	全世界地鳴是否由火山活動所引起	不同資料間的比對與驗證,始終
	的還有爭議,故把所有大击火山群	是火山觀測上的一大挑戰。伯礙
	山返月于战 以门川月八七八山杆	龙只山號 <u>风上</u> 的一八虎戰 巨威
	内的地場來源卻師囚於與火山活動	於日則員金 <del>興與</del> 人員ొ且上的短
	有關,還需多點觀測資料來驗證。	缺與个足,僅能以現有乙儀器 <u>與</u>
		人力進行觀測。未來計畫將針對
		觀測資料不足之部分,進行逐步
		之補強。
	P.28, 圖二十八"地鳴發生可能的物	任火山地區之宕菜庫业个一定只
	理模式",顯示火山作用的地鳴主要	有一個,如美國黃石公園地區的
	為岩漿內氣體解壓離溶(gas	研究報告指出,該地區有多個的
	exsolution)作用所形成。但主持人	岩漿庫的存在,並且分佈在不同
	對於大屯火山群的岩漿庫研究位於	深度。因此,在此一假設之下,
	金山-萬里地下約20公里的深度,	目前位於金山-萬里地下約20公里
	似乎還未淺到岩漿氣體離溶的深	深度的岩漿庫,可能為大屯火山
	度,且位置也不對,須進一步的說	群底下其中一個岩漿庫,而在淺
	明。	層亦可能有較小規模的岩漿庫存
		在,與近地表的火山活動有著較
		強烈的關聯性,但此一可能性仍
		需有更進一步的觀測與研究加以
		證實。
	2014 年 2 日 10 日的十林 册 雪 , 相	
	wi开之门 W 口时工作也辰 / 收 据把 音	之底 网川 电外 2 用 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1%积早桂动叫油巡月歿生16人的漆	工女不你向边迥地僧且汝辱迹的
	<b>炸聲響,但似乎此欠爆炸所引起的</b>	地
	聲波並未記錄在地震儀上,是何原	的過程中,如果有地鳴的聲波訊
		號產生,在地震儀記錄到的訊號

因?	為應為聲波傳遞到地面後,造成
	地面震動所產生的訊號。其能量
	與地震訊號相比,因為在傳遞過
	程中已有大量損耗與衰減。因
	此,其訊號可能被地震波訊號所
	掩蓋,難以判別。
大屯火山群三個次聲波監測站是否	僅憑三個次聲波測站,無法準確
足以解析地鳴的發生地點和深度	定位地鳴來源,因此輔以40處寬
呢?	頻地震站偵測資料協助定位。
盧淑妃	副處長
結論應更具體陳述並請提供建議。	依建議辦理增加於報告書中。
圖 23 次聲波監測網分布圖,本計	圖為 2015 年次聲波分布圖,當時
畫使用使用哪些測站?	大屯火山區域僅有 YD10、YD21
77	兩處測站,至 2017 年增加 YD18
	一處測站。詳細測站位置已加註
	於圖二十。
研究報告幾個時間點如 2015 年 10	這幾個例子是因為花時間去分析
月及 12 月, 2017 年 8 月 2 日是只	且來源清楚且有聽到聲音經過分
有這時發生地鳴或挑出案例?補述	析,但來源非在噴氣口,地點尚
如經過現有儀器觀察及觀察到次聲	待釐清,且目前整個工作不能自
波資料的佐證,進而推論是否與現	動化,未來希望朝向自動化程式
有發生是否有相關性。	自動歸類並將其標準化,目前只
	能人工辨識訊號。
部分簡報內容關於地鳴訊號視速度	依據意見修改,已將視速度範例

	應補附於報告書中。	與說明增加至報告書中。	
	張順發秘書		
	報告書 p26 資料收集與結果應補充	依據意見補充說明。	
	利用3個次聲波及40幾個地震站		
	分析的結果內容。		
	地鳴讀取應補述 2016 年至 2017 年	地鳴訊號高低頻特性及比較已經	
	利用低頻及高頻特性去擷取資料,	增加說明於報告書中。目前針對	
	可以在 p26 敘明總共紀錄幾筆資料	2015年及 2017年地鳴訊號活躍時	
	已判讀多少筆作完整呈現,其後可	期,已擷取數量達數百筆,無法	
	補充每筆資料特性,分析及其結果	——詳述,但其主要訊號特徵,	
	俾利判讀。	歸納討論於分析結果章節中。	
	報告書中數圖需增加說明,包含圖	依據意見修改,增加各圖圖說解	
	二十測站圖例與編號	釋。	
	於分析步驟與結果章節,需解釋判	次聲波及地震資料頻譜計算,初	
	讀地鳴訊號所採用的頻率區間或波	步頻率計算範圍為 0.01-50 赫茲,	
	型特色	先由人工判讀地震與次聲波頻譜	
		具一致性的特殊訊號後,選取為	
		可能的地鳴訊號,後續再比較歸	
1	11-3	類其頻譜與波型特性。詳細說明	
		已增加於步驟與結果章節。	
	2015至2017年共記錄判讀多少地	由於人工擷取地鳴訊號與分類,	
	鳴資料?	過程極為費時費工,因此本計畫	
		先分析 2017 連續紀錄,並以其為	
		特定訊號範本,再針對過去紀錄	
		中較為活躍時間區間依序進行分	
		析,主要涵蓋2017年度資料,及	

		2015年下半年度資料。以分析期	
		間約每天皆會出現地鳴訊號,活	
		躍期間 1-2 天內地鳴訊號高達數十	
		起。	
	華予菁課長		
	關於分析步驟與方法的論述應多加	依據意見辦理增加說明。	
	說明,盡量以深入淺出方式表達,		
	讓非專業領域讀者能了解。		
	訊號範例皆為 2015 年與 2017 年資	由於人工擷取地鳴訊號與分類,	
	料,是否有特殊意義?	過程極為費時費工,因此先選取	
		2017年及 2015年地鳴訊號活躍期	
		間先行分析,後續將依據本計畫	
		的結果延伸至其他已彙整的資	
		彩。	
	報告書中 2015 及 2017 圖交錯,如	圖 48、51 分別為兩組高頻訊號的	
	圖四十七及圖五十請補充說明圖	結果,圖48為2017年7月5日的	
	說、時間及那一次事件監測內容。	高頻地鳴訊號經過訊號來源定位	
	(修改後圖號分別變更為四十八、	後,將其資料依據震央位置重新	
	五十一)	排列,用以檢驗訊號來源位置的	
1	11-1	可靠性。當位置正確時,訊號的	
		到時會隨著距離呈線性排列,越	
		遠的測站到時越遠。圖 51 則為	
		2015年11月7日地鳴訊號定位後	
		的重新排列。	
	部分內容架構應調整,包含 P16 內	依據意見辦理,已調整章節架	
	容及 P41 工作項目等。	構。	

陳宏豪技士		
報告請補充目錄、英文摘要,期中 會議討論及說明。	依建議辦理。	
圖十九建議加入斷層線。	依建議辦理。	

A REAL PROPERTY OF THE REAL PR