

台灣北部火山活動地區密集陣列觀測研究(1/4)

Dense geophysical arrays in the volcanic areas of northern Taiwan (1/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所

林正洪¹

Lin, Cheng-Horng

¹中央研究院 地球科學研究所

摘要

火山活動所產生的災害，一直是威脅人類社會安全與文明進步。台灣地區雖無明顯活動的火山，但過去的歷史文獻紀錄從十八世紀以來，台灣東部鄰近海域有四次的火山活動。位於宜蘭縣之龜山島及台北盆地北側之大屯火山群為北台灣主要之火山地區。龜山島生成年代推測約在七千年前，因此一直為台灣學術界認定為一個活火山。相對地，大屯火山群根據多年來的調查監測結果，雖然沒有立即噴發的危險，但是大屯火山群的種種地質跡象仍讓科學家擔憂，因為大屯火山群很年輕。因此，為進一步探測北台灣主要之火山地區火山活動相關之岩漿熱液活動，本計畫規劃以四年之時間，利用多種密集陣列觀測，研究北台灣火山地區之火山地下構造。主要工作項目包括(1)密集地震儀陣列、(2)大地電磁陣列、(3)大屯火山及台北井下地震網觀測與(4)宜蘭龜山島地震網觀測等四部分。今年度主要工作已依規劃之進度，除了維護現有地震網，並完成兩個火山地區之微震觀測分析外，已於大屯山地區完成三個密集地震儀陣列之設置，並收集大量資料進行分析與初步之討論。同時在台灣北部火山完成部分大地電磁觀測與解釋。預期四年計畫完成後之具體成果，不但可更了解台灣北部火山之岩漿活動型態及行為，同時提供政府單位在台灣北部火山防災項目上政策制定，善用及掌握火山地區高溫流體之存在活動範圍，對火山地熱能源開發將有相當大助益。

關鍵詞：大屯火山、龜山島、地震網、地震陣列、大地電磁陣列、火山活動

Abstract

Volcanic activity is always threatening the safety and civilization of human beings. Although there was not historical eruption in the island of Taiwan, four possible volcanic activities offshore eastern Taiwan have been found in some literatures since the 18 century. Tatun volcano group and Kueishantao are two of active volcanoes in the northern Taiwan area. Kueishantao was resulted from volcanic activity before 7,000 years ago and thus it has been considered as an active volcano. Although the Tatun volcano group hasn't been found any eruption in the human history, recent studies suggest that the last eruption might be taken place about 6,000 years ago. Therefore, the project is planning to study both volcanic areas of Tatun volcano group and Kueishantao in the northern Taiwan area by deploying several geophysical arrays in the following 4 years. The major works in the study areas will include (1) dense seismic arrays, (2) MT arrays, (3) seismic networks in the Taipei area and (4) seismic networks in the Ilan area. In this year, we have finished the seismic observations in two volcanic areas, deployed three dense seismic arrays at the Tatun volcanic area and some preliminary MT measurements in Ilan area. The final results will not only improve the understanding of volcanism geometry beneath the Tatun volcano group as well as the Kueishantao area, but also provide important information for reducing the potentially volcanic hazard and geothermal exploration in the future.

Keywords : Tatun volcano, Kueishantao, seismic array, MT array, volcanic activity

一、前言

台灣北部地區存有兩個火山活動記錄之地區 (Chen, 1990; Tsao, 1994)。首先是大屯火山地區，它位於台北盆地北方，雖然人類歷史上並無任何火山噴發之記錄，但地表地熱活動極為明顯。大屯火山群不僅緊鄰大台北地區，同時其北側之金山萬里地區有兩座核能發電廠，所以大屯山是否再度活動 (包括火山或地震)，不僅是一個科學上的問題，更關係著大台北都會區內數百萬居民之生命及財產之安全。故政府該有責任與義務積極整合所屬的相關部門及廣納學術研究單位之意見，朝基礎研究與防震減災的兩個目標，妥善規劃該地區的中、長期之監測計畫。

大屯火山的噴發形態依據，顏等人 (Yen et al., 1984) 提出與金山斷層有關。宋等人 (Song et al., 1992) 綜合相關資料進一步推論大屯火山群噴發機制為地殼陷沒後，使岩漿湧出地表，最晚期的大量噴發時間約在 0.3 Ma (Wang and Chen, 1990)。然而台北盆地沉積物內仍夾有火山噴發物的觀察，使得相關研究學者研判大屯火山的噴發時間可能持續到最近一萬年左右。此外，最近一些地球化學 (Yang et al., 1999) 及地震觀測等結果 (Lin et al., 2005a, 2005b 及 Konstantinos et al., 2007)，一致高度懷疑大屯山之火山活動可能還未完全停止。雖然政府已整合政府所屬的相關單位及學術研究團體之力量，建置大屯火山觀測站，進行火山監測之任務。但是還是應該對大屯火山地區作更進一步之研究，以期達到真正防災及研究之兩種目的。

龜山島是北台灣地區另一處活躍的火山地區。龜山島上的火成岩年齡只有 7000 年 (誤差 \pm 800 年)，以火山地質上的定義來說，龜山島是一個活火山。根據海洋地球物理與最近之地震觀測 (Lin et al., 2007) 等研究清楚地指出，該島及其附近有許多火山活動。龜山島雖然位於宜蘭外海，離台北都會區較遠，其火山活動亦將可能造成北台灣嚴重災害。例如雖然龜山島離台灣本島依舊有大約二十公里之距離，但如果龜山島或附近之海底火山有任何活動 (包括火山及地震)，均有可能對蘭陽平原居民之生命與財產造成威脅。其中特別是因地震或火山所造成之海嘯，對北台灣沿岸之村落更具有非常大之衝擊。如此，政府及相關學術研究單位，應對此地區進行更詳盡的研究及監測。因此，有必要對其進行監測研究，以期對台灣地區可能的火山活動獲得全盤的了解。由於龜山島位於海域，監測不易，因此本研究對龜山島的地震監測，僅設立一個長期監測站實施長期監測。

本計畫整合過去研究計畫，已經設立地表與井下地震儀，並適度增加或調整觀測站之個數，將可全面性同時監測兩個火山地區及大台北附近地區之微震及火山活動地動訊號，以期達到多重學術與防災之目的。本計畫全程目標將以四年為期，利用設立地震陣列及大地電磁陣列，進行火山地區之地下構造與可能活動特性。同時持續維護現有之地震網，針對大屯火山群和龜山島之地震活動進行調查與監測，以評估火山之活動性。期望能為大台北地區潛在火山相關災害的了解與減災之重要目標提供具體貢獻。具體工作時程將由民國一百零一年起執行，預定於民國一百零四年底完成全程計畫。

二、研究方法與步驟

2.1 計畫執行方法

本計畫主要工作包括 (1) 密集地震儀陣列、(2) 大地電磁陣列、(3) 大屯火山與台北盆地井下地震觀測網與 (4) 宜蘭龜山島地震觀測網等四部分，以下分項說明之。

(1) 密集地震儀陣列：

本計畫之調查範圍設定為台灣具有明顯火山活動之兩區域：(一) 大屯火山群，及 (二) 宜蘭龜山島周圍之陸海域地區。本計畫擬於調查範圍每年設置多種不同型式之密集地震儀陣列，每次時間為期 3 個月，對研究區域進行地下構造之推求。前兩年分別在大屯山及宜蘭地區，以三個密集地震站之震列方式，每陣列包括至少 20 個垂直向地震儀，偵測可能之火山型震動 (volcanic tremors)，試圖辨識火山主要活動位置與深度，期望能清楚判釋火山地區底下可能主要岩漿活動之位置。

(2) 大地電磁陣列：

為探測台灣北部火山活動岩漿熱液之存在及活動範圍及行為，本計畫擬於未來四年內，利用四部大地電磁觀測儀器，在台灣北部配置大地電磁陣列，收集深部電性資料，解釋深部電性構造，推估火山構造。因為大地電磁法對深部岩層流體與溫度極為靈敏，可以幫助我們了解火山或地熱區由淺而深部地殼的熱水分佈、地下火成岩體的範圍。若整合上述地震站陣列所推估之速度地下構造之結果，將有助益於判斷岩漿之存在與否。由於大地電磁法測站之選定極為嚴格，位置要儘量避免人為的電磁干擾，才能紀錄到來自深部 (~10 km) 的微弱電磁訊號，故建站前先以車載深部透地雷達掃描北台灣，來瞭解廣域地下淺部 (~100m) 地質構造，針對北台灣火成岩體、地熱區或地質構造先行普查，再提供大地電磁測勘選站之參考。此外為了要進一步了解地下岩漿或殘餘的岩漿位置、形貌或火山的活動情形，也必須對測區火山地下做長期的監測，運用所建立之台灣北部電性地層構造資料，選擇適當地點，建立地電監測站，持續長期觀測記錄火山活動變化徵兆與背景值，從監測資料的變化趨勢才能進一步推斷地下火山活動是否有異常變化，以作為分析可能之火山活動預警前兆。

(3) 大屯火山與台北盆地井下地震觀測網：

本計畫將維持台北盆地井下寬頻地震站與大屯火山外圍地區現有之地震站之運轉，進而偵測火山地震之時空分佈。此地震網對小區域之火山地震活動有更高之應用性。此外，考慮台北盆地內人為活動頻繁，地表雜訊大，本計畫將持續維護井下地震站運轉，並聯合地表地震網共同觀測地震活動。至於小區域地質構造之微震活動監測，則可以利用密集地震站為主要觀測工具，針對台北盆地可能存在的斷層或大屯火山活動所產生之地震，藉由地表之密集地震站進行有系統的

調查與監測。

(4) 宜蘭龜山島地區地震觀測網：

本計畫將維持宜蘭龜山島地區現有之地震站之運轉，進而偵測火山地震時空分佈。此地震網對小區域的斷層或火山地震活動有更高之應用性。中央氣象局的地震觀測是以大區域的角度來監測本島及鄰近地區的地震活動。而對於小區域地質構造的微震活動監測，則可以利用密集地震站為主要觀測工具，針對小區域內可能存在的斷層或火山活動所產生之地震，藉由擺設於地表的密集地震站進行有系統的調查與監測。

2.2 進行步驟

(1) 收集分析現有資料：本計畫的第一件工作將為收集分析過去國內對大屯火山群與宜蘭龜山島所進行的地震調查及其成果，以提供本計畫野外細部作業的參考。

(2) 密集地震儀陣列：本計畫將在調查範圍，每年設置多個密集地震儀陣列，每次時間為期 3 個月，對研究區域進行火山活動之監測。主要使用之感應器為 GS-11D，是 4.5 赫茲 (Hz) 垂直向地震檢波器 (geophone)；記錄器 (recorder) 為 RT-125A，也叫 Texan，解析度為 24 位元，記憶體容量為 1GB，只能記錄單一分量。利用頻率-波數法 (frequency-wavenumber method, F-K method) 分析陣列資料，辨識可能火山活動之來源。

三、成果與討論

3.1 大台北地區

西元 2004 年起中央地質調查所在大台北地區進行「大台北地區特殊地質災害調查與監測」計畫，此計畫的重點即在大台北地區廣泛、密集的裝設新一代高性能的數位式寬頻地震儀，設置地點除了涵蓋都會區地震災害潛能較高的斷層區域外，也將鄰近大台北地區的大屯火山群與宜蘭外海龜山島的火山活動納入觀測的範圍。此項工作是由中央研究院地球科學研究 (簡稱地球所) 所負責執行，在歷經 2004 年至 2007 年「地球物理微震調查與監測」與 2008 年至 2011 年「大屯火山群與台北盆地之地震地質調查與監測」的兩期計畫後，共完成有 6 口座落於台北盆地內的井下長期寬頻站，4 個位於大屯火山群外圍區域與 2 個位於台北與宜蘭山區間的地表長期觀測固定站，以及 10 個以上設於台北盆地鄰近山區的地表臨時觀測站，不僅擴大北台灣地區構造活動的監測範圍，同時也能補強過去宜蘭、花蓮發生大地震時，地震波行經山區傳至台北間所缺乏的資料。

大台北地區寬頻微震觀測網運轉迄今已進入第 9 年，該網已收錄超過 300 起以上的顯著地震，這些紀錄已用於探討場址放大、地震動特性、改進外海地震

定位及近地表鬆軟地層對震波的放大效應。本報告將對 2012 年大台北地區寬頻微震觀測網的運轉狀況與資料收錄狀況作一概述。

3.1.1 井下寬頻地震站

本計畫在大台北都會區有 6 口井下地震站正常運轉，它們分別是 2005 年建立於台北市大安森林公園的 DANB、2006 年建立於台北市關渡自然公園的 GDUB、2007 年建立於新北市新莊區生命紀念公園的 SNJB、2008 年建立於新北市板橋區八德公園的 PADB、2009 年建立於新北市三重區國立三重高級商工職業學校的 SCVB 與 2010 年建立於新北市五股區憲兵學校的 WKVB。每個井下站均設計有深度 100 公尺（或 150 公尺）與 50 公尺的兩個井位，其中較深的井位所安裝的是 VSE-355G3R 速度地震計；而 50 公尺的井位所安裝的是 AS-3250 加速度地震計，兩者均為東京測振株式會社所出產。由圖 1 可知若以 SCVB 為中心測站，井下站約略呈半徑 6 公里的圓形分佈，形成同心圓狀的排列，涵蓋台北盆地的主要都會區，此一適當的幾何排列，除希望藉由對小地震的監測勾勒出山腳斷層的幾何形貌外，對波場行經盆地內部與震波進入盆地的方位都具有均一性。此外，此 6 個井下地震站在施作過程中都進行了淺層（地下 100 公尺）P 波與 S 波速度的量測工作，這些資料將提供波形模擬、場址效應等研究的參考。

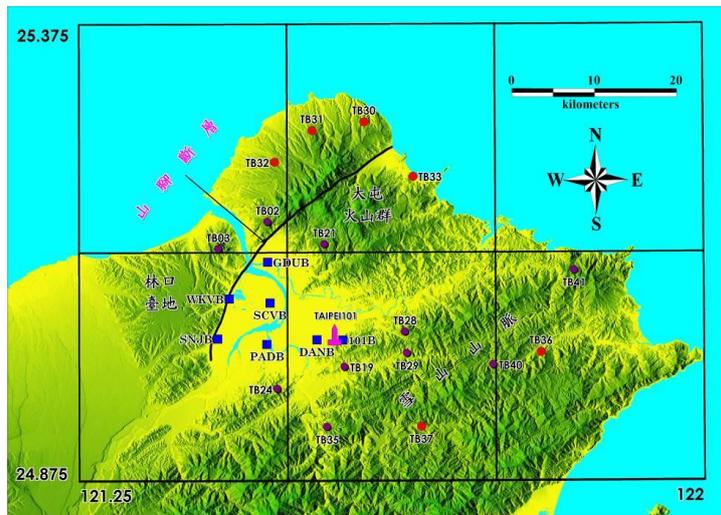


圖 1 大台北地區寬頻地震觀測網的測站位置分佈，紅色實心圓是 6 個地表固定站，藍色方塊是 7 個井下站（含 101B，地球所建立），深棕色實心圓是 10 個臨時站（地球所建立）。

目前 6 口井下寬頻站均裝有非對稱數位用戶線路（ADSL），功能除可即時將資訊傳回地球所資料中心外，也可隨時監控儀器的運轉狀況，並掌握第一手地震訊息。透過 ADSL 的資料傳輸功能，本所已在 2010 年 8 月建立了井下站的即時波形與紀錄頻譜展示系統，繪出最近數日內的資料。

3.1.2 地表微震觀測站

本計畫目前共設有 16 個地表地震站，6 個是長期固定地震站。而為了沿續

觀測網的完整性，我們保留前期計畫中的 10 個臨時站繼續加入地震觀測的行列，這些臨時站的位置主要是分佈在環繞台北都會區的外圍山區，測站的位置與參數如圖 1 所示。此 16 個測站均配備有相同的 Trillium 速度地震計(40 秒或 120 秒)和 Quanterra Q330 記錄器，對後續的資料處理與研究分析有相當大的幫助。

為了加強即時提供地震的資訊，2012 年我們已將 6 個長期地表固定地震站透過 ADSL 建立了波形即時展示系統 (<http://140.109.82.93/tb/>)，提供 7 日內各測站的全日波形歷時紀錄，使用者可依其需求點選測站與日期依序查閱。結合先前井下站的波形即時展示系統，將對大台北地區的地震監測工作提供更完整的資訊。

3.1.3 微震觀測網的地震觀測

DANB 位於大安森林公園，是本計畫最早(2005 年 10 月)設立的井下地震站，因此收集有最完整的資料，圖 3 是該站自 2005 年 10 月運轉以來至 2012 年 11 月所收錄發生於台灣地區地震之震央分佈，這些地震的規模 (ML) 介於 2 至 7 之間，由圖可知這些地震主要發生於東部的宜蘭與花蓮地區。

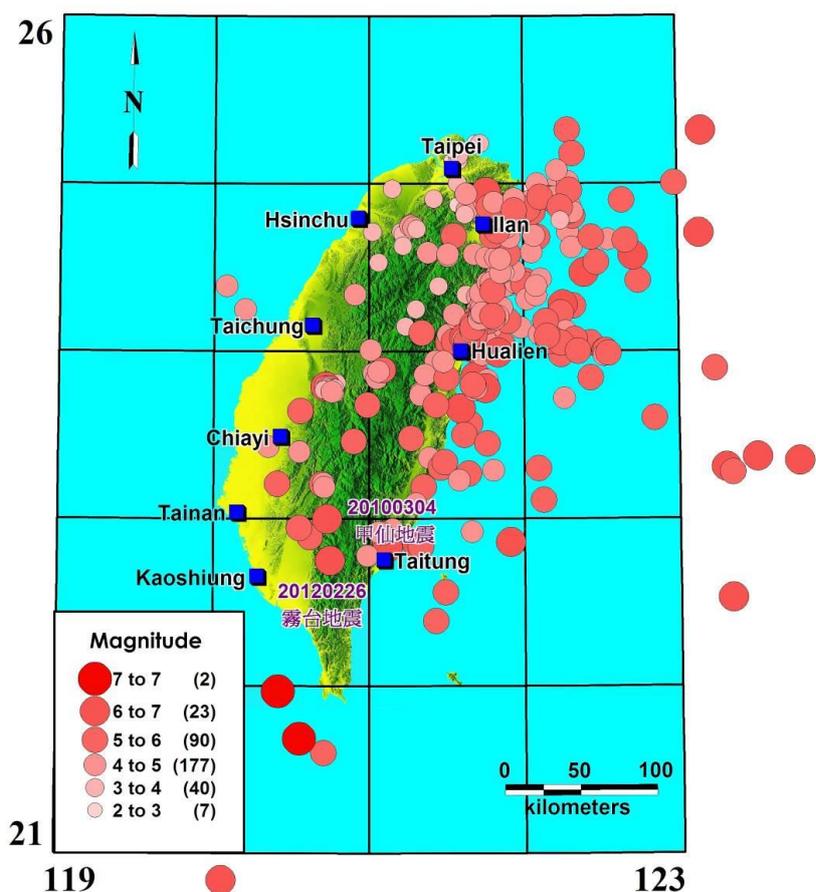


圖 3 DANB 井下站在 2005 年 10 月至 2012 年 11 月所收錄臺灣地區地震之震央分佈。

3.2 大屯山地區

3.2.1 微震網觀測

早於 2003 年國科會及內政部營建署陽明山公園管理處的支持與協助下（林，2007），地球所陸續於大屯火山地區建置了 12 個地震觀測站（YM01 至 YM12），成立大屯火山地區地震監測網。近年來在地調所的支持下，本所於 2008 年 5 月至 6 月間，於大屯火山地區的七星山附近增設了 6 個臨時性地震站（YM13 至 YM18）。在這個微震觀測網中，每一地震站皆配備有英國 Guralp 公司所生產之 CMG-6TD 的寬頻地震儀，其可記錄的頻寬可高達 30 秒，並以連續記錄的方式收集地動訊號，資料的取樣率是 100Hz。CMG-6TD 設有 GPS，可定時接收衛星訊號進行校時。由於若干測站所需之電力供應並不方便，我們架設太陽能板並借用民宅電力，以確保電力的穩定與供應無虞。此外，為了確保野外地震站的安全與訊號的穩定，部分測站的基座以混凝土建成，並將儀器置於以玻璃纖維強化塑膠（Fiberglass Reinforced Plastics, FRP）所製成的保護罩內，其他測站則是以整理箱加上防水帆布覆蓋之。

為提高地震監測能力，本計畫將部分地表地震站以井下地震儀來取代，分別有兩類。第一類為一百公尺深之井下地震儀，以七星山與大油坑附近地震較多之地區為中心，分別於菁山自然中心、小油坑及七股三個地震站。第二類為十公尺深之淺部井下地震儀，大約均勻選取分佈於監測地區內共有八站（如圖 4），相信這些改善對未來火山地震之監測會有較大之效益。

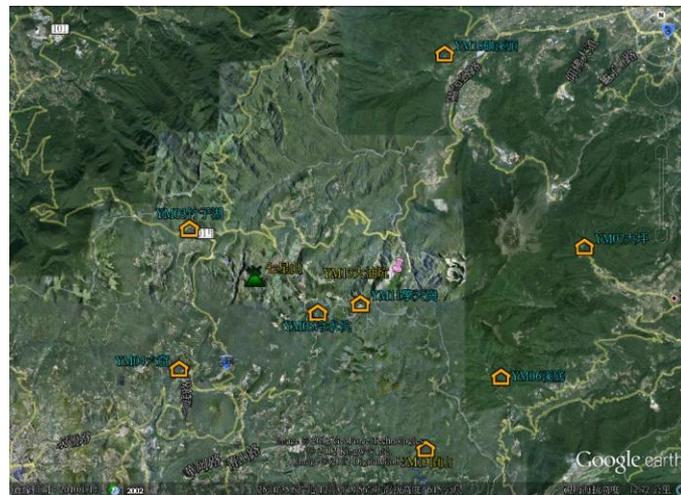


圖 4 八個淺井地震站分佈(黃色屋型)。

大屯山地區的資料處理，截至 2012/03/31 前，一共決定出了 10,058 微震，所有微震於空間中的分佈（如圖 5 所示）。

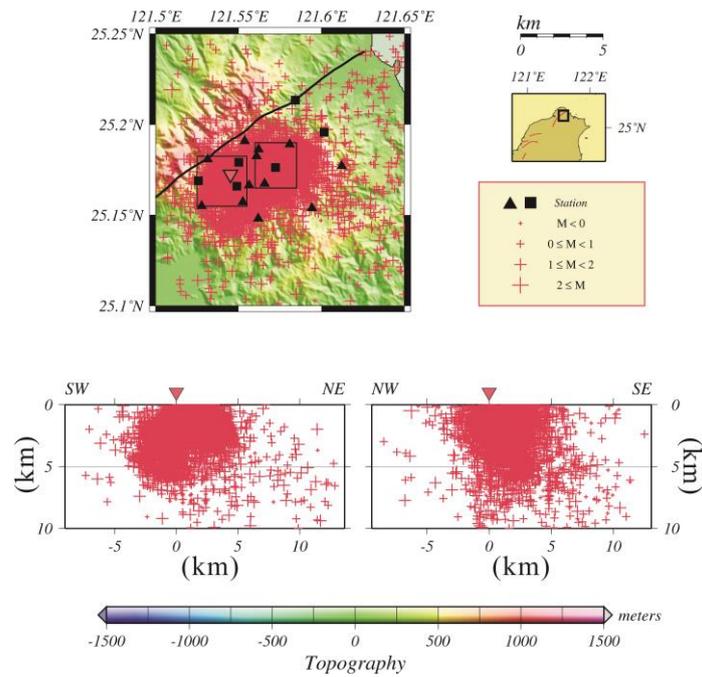


圖 5 大屯山地區過去數年中之微震活動分布。資料起自 2003 年 5 月至 2012 年 8 月於左上圖中的兩個黑框分別表示七星山（西邊）與大油坑（東邊）地區。

3.2.2 密集地震站陣列

本計畫之調查範圍設定為台灣具有明顯火山活動之兩區域：大屯火山群，及宜蘭龜山島周圍陸海域地區。參考 Ghosh et al. (2009) 在加拿大地區，利用密集地震儀陣列 (seismic array) 偵測隱沒型板塊的非火山型震動 (non-volcanic tremors) 訊號結果，試著在大屯山地區進行火山型震動來源之偵測。第一年目前已完成大屯山地區設置三個密集地震儀陣列 (圖 6)，目前正積極利用此資料對研究區域進行火山活動之監測，偵測火山型震動訊號。期望未來能試圖辨識大屯山地區，火山型震動的主要活動位置與深度，了解底下可能岩漿庫位置。

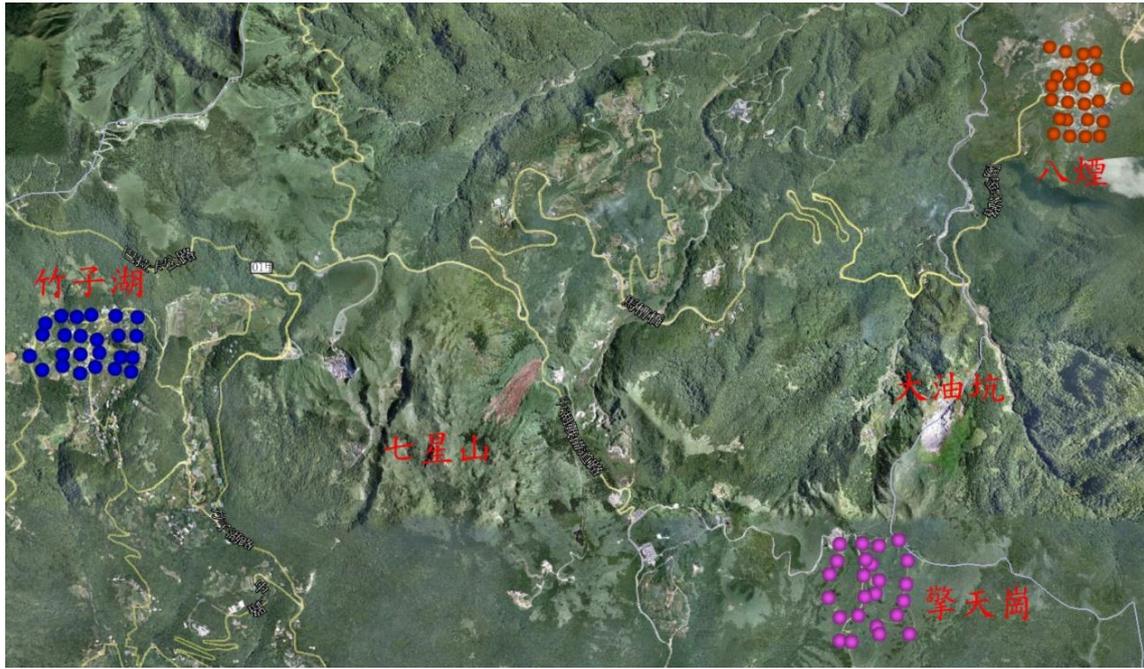


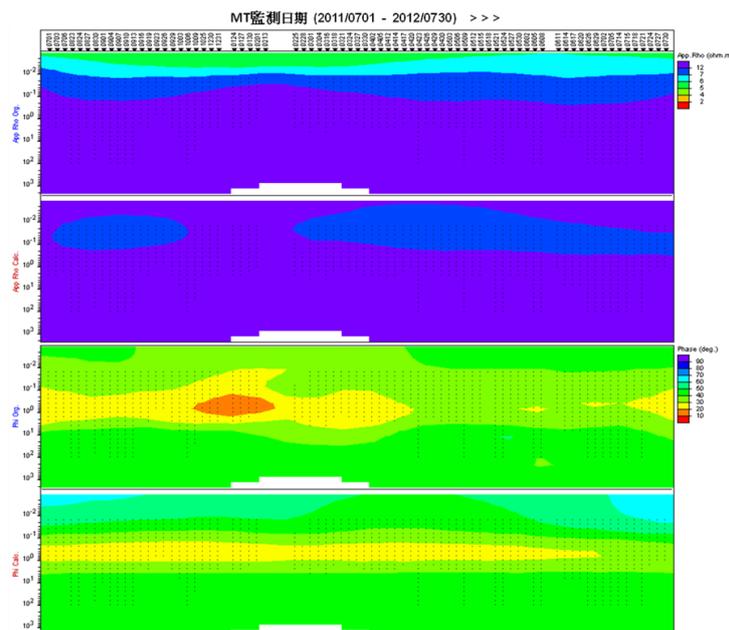
圖 6 大屯山地區設置的三個密集地震儀陣列相關位置圖。

3.2.3 大地電磁監測

為探測台灣北部火山活動岩漿熱液之存在及活動範圍及行為，本計畫在台灣北部利用大地電磁法，收集深部電阻率資料，解釋深部電阻率構造，推估岩漿庫或殘餘的岩漿位置。大地電磁法是以地球外部天然交變電磁場為場源，量測此電磁場進入地層後之感應電磁場，在地面上一點或多點同時觀測互相垂直的電磁場水平分量，可以測獲地球內部的電阻率構造，這是法國學者所創，成為一種研究地球深部電性構造的有效方法。天然交變電磁場，屬寬頻、能量強、場源豐富等特性，高頻段 (>1 Hz) 主要由大氣層中雷電效應所引起，低頻段 (<1 Hz) 則是與太陽帶電粒子擾動地球磁層有密切的關係。不同頻率的電磁場訊號，具有不同的穿透深度，頻率越低穿入地層越深，測獲不同的頻率響應，即可獲得不同深度的地下電阻率分佈情形。

清清水地區大地電磁監測站最近一年之視電阻率及相角紀錄，選取高品質之 TM mode (電流東西向) 示於圖 7a。大致而言，紀錄呈現高視電阻率 (與大油坑圖 7b 比較)，視電阻率微小呈現長波週期性變化，相角變化較視電阻率變化小。為求得深度之訊息，進行二維逆推，求得電阻率變化之深度訊息，逆推後的最佳模型計算值符合大部分觀測資料。圖 93a 顯示在清水地下約 5km 處最近一年來電阻率呈漸減變化。電阻率變化原因極可能與流體有關，因為大地電磁法對深部岩層流體與溫度較其他物理參數為靈敏，包括地熱水之棲移 (高溫因素可以排除，因非屬火山區)，不只是經由垂直裂隙也可能經由岩層之裂隙網路側向溢散。

(a) 清水站



(b) 大油坑站

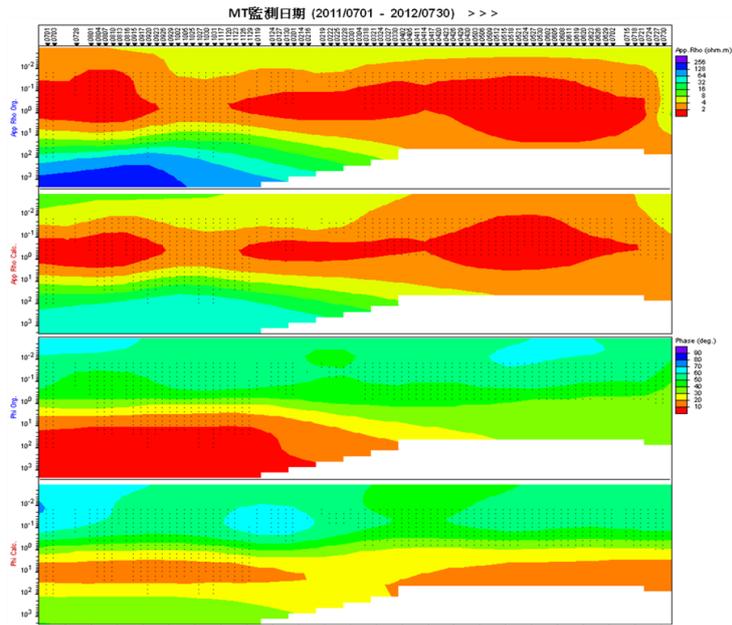


圖 7 大地電磁監測站最近一年 (2011/07/01~2012/07/30) TM mode (電流東西向) 之視電阻率及相角圖。(a) 清水站；(b) 大油坑站。影像圖黑點為資料點，圖上方橫軸數字表觀測日期，各圖之縱軸為週期 (s)。由上而下圖序為觀測視電阻率、逆推視電阻率、觀測相角和逆推相角圖。