

台灣北部火山活動地區密集陣列觀測研究(3/4)

Dense geophysical arrays in the volcanic areas of northern Taiwan (3/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所 計畫編號：103-5226904000-02-01

林正洪

Lin, Cheng-Horng

中央研究院 地球科學研究所

摘要

地球上大規模火山噴發所產生的災害，一直是威脅人類社會安全與文明進步。台灣島上雖然沒有明顯活動的火山，但是位於宜蘭縣之龜山島及台北盆地北側之大屯火山群，可能是台灣未來火山再度活動的地區。本計畫在中央地質調查所之支持下，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。主要工作項目包括大屯火山及台北井下地震網觀測、宜蘭龜山島地震網觀測及密集地震儀陣列等工作。今年目前除了已依規劃之進度完成兩個火山地區之微震觀測、台北井下地震網觀測，以及大屯山地區增設 21 個臨時地震站等工作外。並且根據觀測記錄推估，大屯山地區低速帶之初步地下構造特性與可能火山活動機制。此外，根據 0212 與 1020 兩個地震系列之討論與比較結果，清楚地說明大屯山主要地震活動，可能與火山活動比較有關係。相對的，目前並沒有充分的證據說明，大屯火山地區內部的這些地震與山腳斷層有直接的關係。當然未來需要有更多的觀測與證據，才能做更進一步的討論與最後辨識。最後依據最近分析有感地震前微小滑移與超長週期火山地震的結果，推斷大屯火山群依舊有相當程度地活動性，非常值得注意。預期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。更希望提供政府相關單位，未來在台灣北部火山防災項目上的政策制定有所幫助。同時，也可以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，會有相當大助益。

關鍵詞：大屯火山、龜山島、地震網、地震陣列、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. The major works in the study areas will include the operations of seismic networks at the Taipei area, Tatun volcano and the Ilan area as well as the interpretations of subsurface structures beneath those areas. The 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. In this year, we have finished the seismic observations in Taipei and two volcanic areas as well as deployed 21 more temporary stations in Tatun volcanic area. Also some of preliminary subsurface structures for showing possible low velocity zones have been obtained from the seismic data observed in Tatun. Besides, the study of both 0212 and 1020 earthquake sequences suggest the seismic activity at Tatun volcanic group is likely associated with the volcanic activity. Instead, there is no direct evidence to show this seismicity is caused by the Shanchiao fault. Based on the recent results of both pre-slips before the felt earthquakes and very-long-period seismic earthquakes, the volcanic activity is still significant in the Tatun volcanic 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, volcanic activity

壹、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。

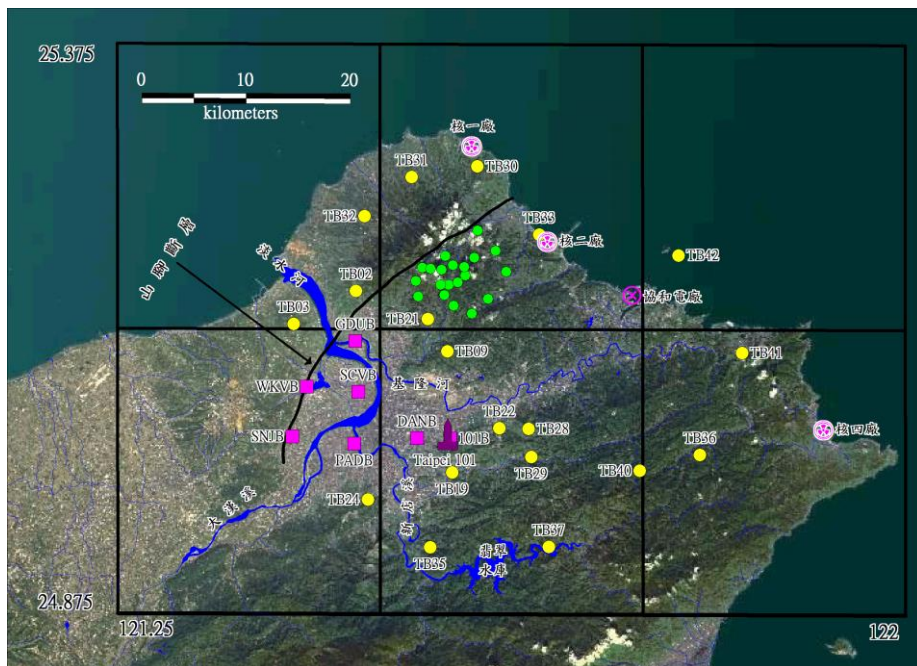
龜山島是北台灣地區另一處活躍的火山地區。龜山島上的火成岩年齡只有 7000 年 (誤差 ± 800 年)，以火山地質上的定義來說，龜山島是一個活火山。根據海洋地球物理與最近之地震觀測 (Lin *et al.*, 2007) 等研究清楚地指出，該島及其附近有許多火山活動。龜山島雖然位於宜蘭外海，離台北都會區較遠，其火山活動亦將可能造成北台灣嚴重災害。例如雖然龜山島離台灣本島依舊有大約二十公里之距離，但如果龜山島或附近之海底火山有任何活動 (包括火山及地震)，均有可能對蘭陽平原居民之生命與財產造成威脅。其中特別是因地震或火山所造成之海嘯，對北台灣沿岸之村落更具有非常大之衝擊。如此，政府及相關學術研究單位，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。

貳、研究範圍

本計畫主要工作包括大台北地區微震觀測、大屯火山地震觀測網與宜蘭龜山島地震觀測網等部分，以下分項說明之。

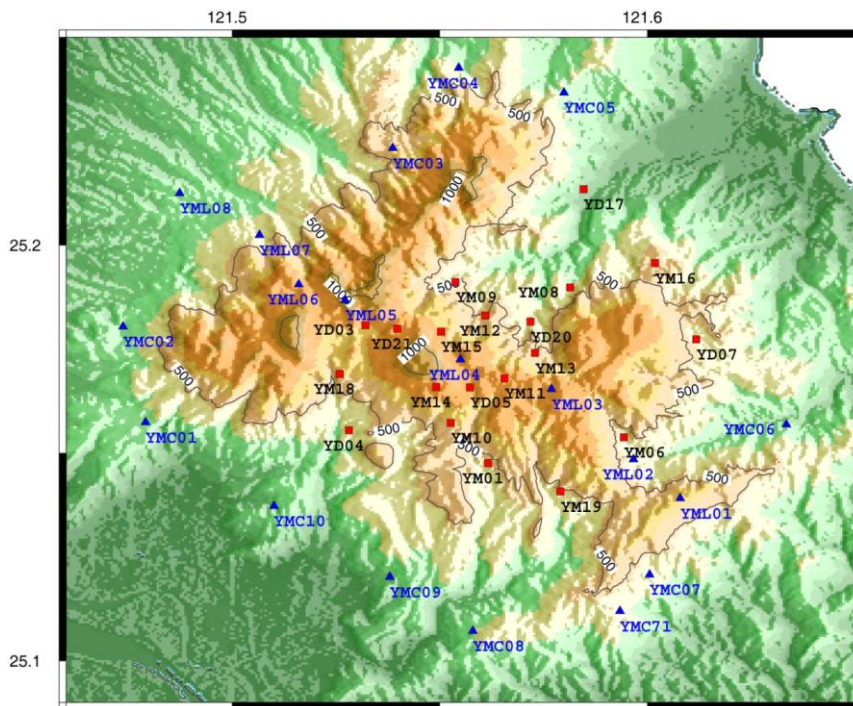
- (1) 大台北地區微震觀測：2004年起中央地質調查所在大台北地區進行「大台北地區特殊地質災害調查與監測」計畫，此計畫的重點即在大台北地區廣泛、密集的裝設新一代高性能的數位式寬頻地震儀，設置地點除了涵蓋都會區地震災害潛能較高的斷層區域外，也將鄰近大台北地區的大屯火山群與宜蘭外海龜山島的火山活動納入觀測的範圍(圖一)。此項工作是由中央研究院地球科學研究(簡稱地球所)所負責執行，在歷經2004年至2007年「地球物理微震調查與監測」與2008年至2011年「大屯火山群與台北盆地之地震地質調查與監測」的兩期計畫後，共完成有6口座落於台北盆地內的井下長期寬頻站，4個位於大屯火山群外圍區域與2個位於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。



圖一 大台北地區寬頻地震觀測網的測站位置分佈，核能一廠、二廠、四廠與協和電廠的地點亦標示於圖上。綠色方塊是大屯火山觀測網的測站位置，粉紅色方塊是7個井下站(101B為地球所所設立)，黃色實心圓是19個地表站。每個測站旁的字母代表站碼。其中TB30、31、32、33、36與37是本計畫建立的地表固定站，餘為地球所提供。本年度我們新加入TB09、TB22與TB42三個地表站。

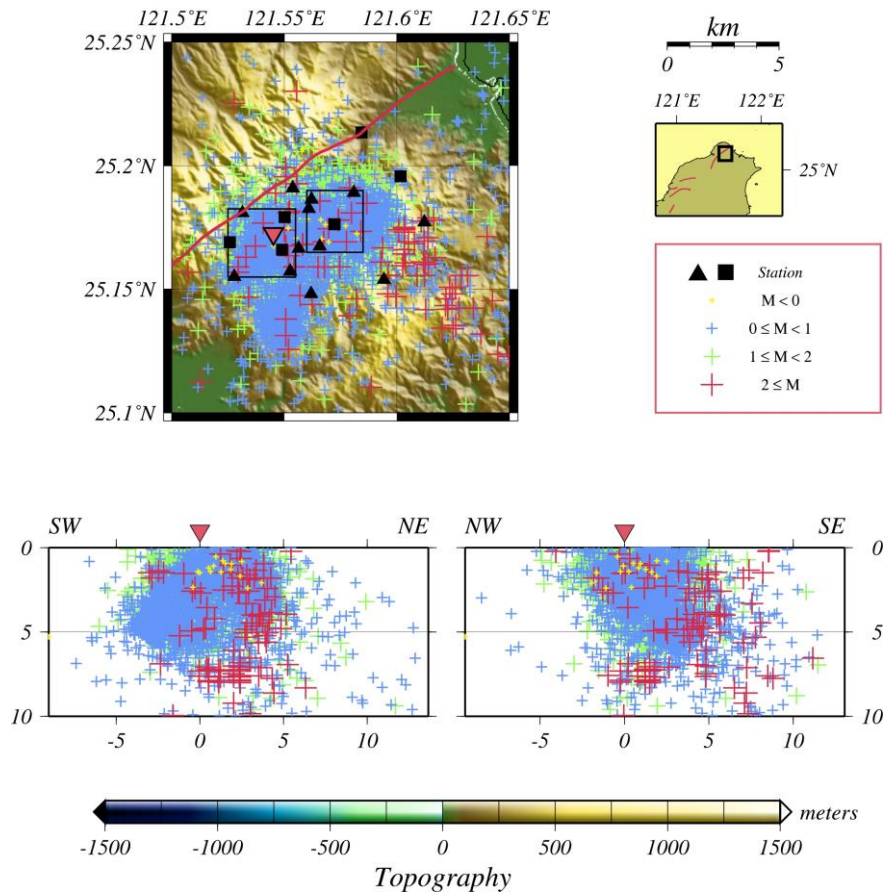
(2) 大屯山地區地震觀測:

過去長期在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，2003年開始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(林，2007)。近年來更在經濟部中央地質調查所(地調所)的支持下，地球所於 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 個長期性地震站(YM13 至 YM18)，目前在大屯山地區總共已經設置完成 20 個長期性地震站(圖二)。大屯山地區的資料處理，從 2003 年起，截至 2014 年七月份以前，總共觀測到一萬多個微震(如圖三)。



圖二 大屯火山群寬頻地震觀測網的測站分佈圖。紅色方形為大屯火山固定站的地震站，藍色三角形為今年度新增的臨時地震站。

2008/05-2014/07



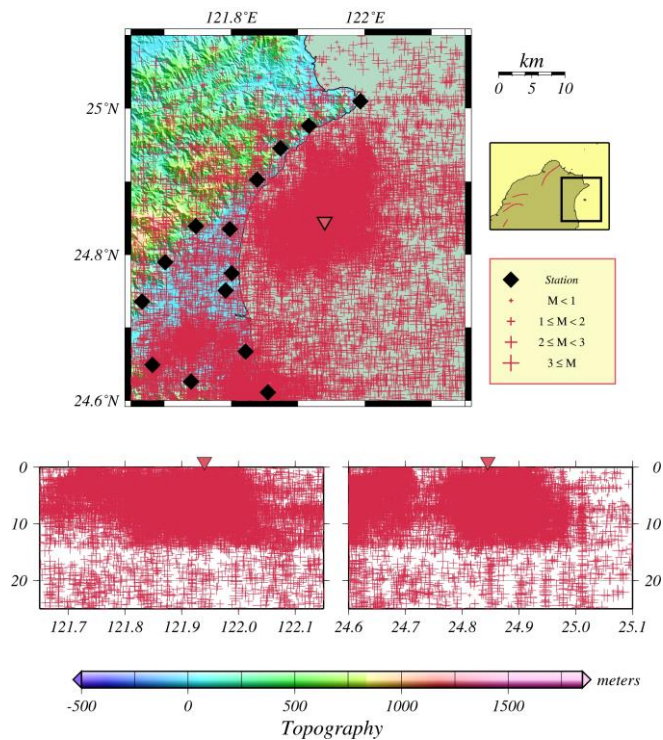
圖三 大屯山地區過去數年中之微震活動分布。於左上圖中的兩個黑框分別表示七星山（西邊）與大油坑（東邊）地區。倒三角形為七星山的位置，紅色線段表示山腳斷層的位置，十字形表示微震震源位置，而十字形的大小與顏色表示微震規模的大小，微震站以三角形和四方形表示。下圖為微震分布的剖面，分別為東北-西南和西北-東南方向的微震分布剖面，剖面的橫軸表示相對於七星山的距離，其單位為公里；縱軸為深度，朝地心方向為正號，單位亦為公里。

(3) 宜蘭地區地震觀測

本計劃為了觀測龜山島及其附近微震與火山活動，過去幾年除了在龜山島上設置了4個地震站外(IL10至IL13)，已經在宜蘭海岸沿線地區（在北起三貂角，南至蘇澳港）分別設置了9個地震站(IL01至IL09)。同時為了使觀測網在空間分佈上更有利於地震監測的工作，本計畫在宜蘭山區也加設了5

個地震站(IL14 至 IL18)。這些位於山區的測站也提供了許多訊號清晰的觀測波形，十分有利於本研究中的波相識別與未來更進一步的運用。過去幾年發現宜蘭地區的微震(特別是龜山島附近的地震活動)十分頻繁。自 2007/09 至 2014/07 為止，在本研究地區，總共偵測到大約兩萬多個地震的事件。大多數的地震分佈主要都集中在龜山島及其附近的地方(圖四)。

2007/09-2014/06



圖四 宜蘭龜山島地區地震分佈圖。菱形為測站，倒三角為龜山島的位置，十字表示震源位置。

參、成果與討論

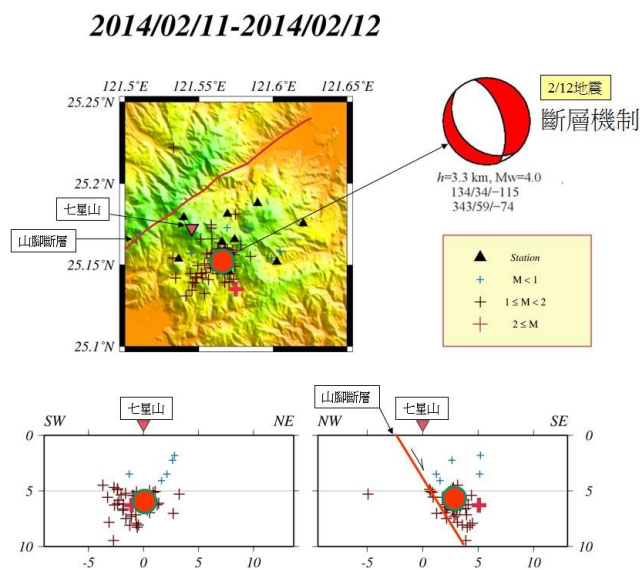
一、士林 0212 地震

2014 年 2 月 12 日凌晨 00:31 在台北市士林區，發生芮氏規模 4.0 的有感地震(以下簡稱 0212 地震)，由於震央位置和大屯火山群相當接近，因此引起許多民眾與政府相關單位的關注。根據中央氣象局的報導，這次 0212 地震的震央位置，位於北緯 25.14 度，東經 121.58 度，大約落在台北市士林區的竹篙嶺附近深度為 6.3 km。本次 0212 地震所造成的災情，僅有台北市士林區的平等國小校

舍內重 5 噸的水塔，因支架無法承受搖晃而傾斜，幼兒園天花板少量輕鋼架歪斜，並造成局部性的伸縮縫裂痕與磁磚掉落等現象，並沒有人員傷亡。

進一步根據中央氣象局網站公布的震源機制解分析結果，本次 0212 地震為正斷層帶走向滑移型式破裂，地震兩個可能斷層面走向，分別為北 38 度西及北 18 度東。雖本次 0212 地震的發震原因推測為正斷層型式的活動，但因其兩個可能斷層面的走向，明顯的與鄰近的山腳斷層的走向並不一致。而且本次 0212 地震也沒有在地表看到任何的破裂情形，因此初步排除與山腳斷層活動的關聯性。

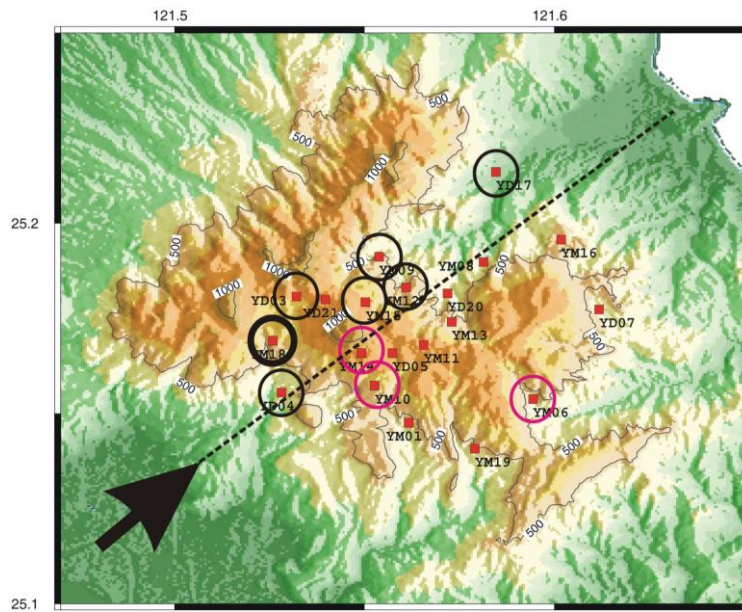
此外因為本次 0212 地震震央就發生在大屯火山群內，因此台灣許多民眾與媒體，都曾經直接的懷疑與討論，大屯火山即將爆發的可能性。然而參照國際間多年的火山觀測經驗，清楚的說明如果火山有明顯的活動或噴發現象，可以在不同的監測項目同時發現多重異常的現象，例如地震的個數明顯的增加，地震震源深度逐漸變淺，火山的噴氣溫度與溫泉溫度，也會逐漸升高等現象。仔細檢視最近大屯火山地區最近兩年的監測結果，清楚的呈現火山氣體、溫泉水質的成分均在平均值附近，無明顯變化。同時地溫的監測結果，亦顯示地表到地下數百公尺的溫度變化穩定。雖然本次 0212 地震後 8 小時內，大屯火山地區偵測到百餘個微震(圖五)，但是這與一般火山爆發伴隨成千上萬之火山地震相差甚遠。仔細分析主震後十天內之所有餘震，基本上多集中於主震附近。因此從本次 0212 地震的位置與大屯火山地區的微震分布關係研判，本次 0212 地震雖然可能與大屯火山活動有關，然而其他火山活動觀測值並無明顯變化，所以推估大屯火山群之活動處於相對穩定的狀態。士林 0212 地震前後一年半(2013/1-2014/7)之每日地震個數統計分析，清楚發現這個地震所激發的相關餘震，持續大約一至兩個月時間。



圖五 大屯火山地區士林 0212 地震系列兩天內的分布與地震震源特性。

二、大屯山地區地下構造推估的初步結果

本計畫利用新竹地區的一個有感地震的觀測資料，分析該地震產生的P波，在大屯山地區觀測網紀錄的到時先後，將這些到時隨地震震央距離作圖，可以非常清楚的看到初達波到時，明顯的分為兩群。其中有三個地震站(YM06, YM10, YM14)記錄到的地震波到時，非常的明顯比其他地震站記錄到的地震波到時，大約較晚0.2~0.3秒。仔細的檢查這些地震站的位置，全部位於地震網的東南側地方(圖六)。這結果非常明顯地說明，大屯山地區地下速度構造可能有一些差異。根據簡單的解釋，可以推斷大屯火山地區的東南側地震站，觀測到的地震波路徑，可能存在的明顯的速度異常帶，也就是地殼可能存有低速度帶。



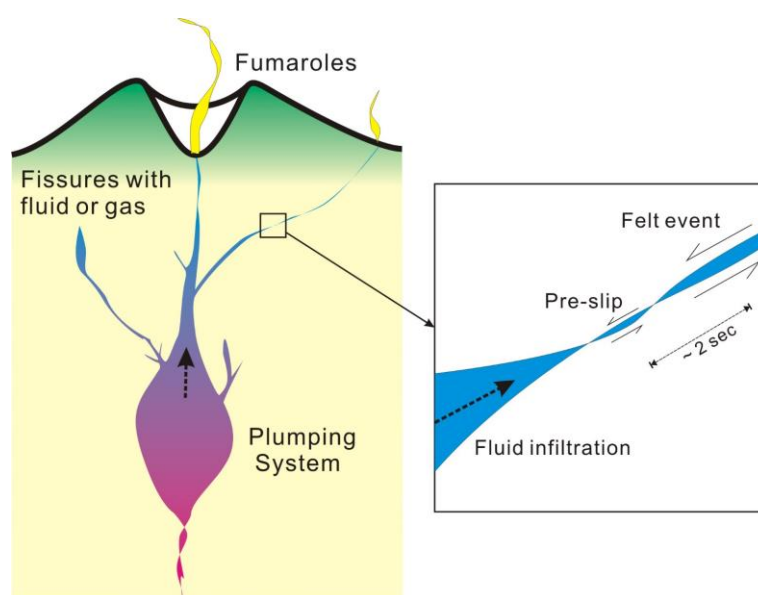
圖六 新竹地震入射方向(箭頭)與各測站到時先後。黑色圈圈代表較早到達的地震測站，紅色圈圈代表較晚到達的地震測站。

三、有感地震前微小滑移

2009年十月二十日陽明山地區曾經發生一群有感地震，其中三個規模較大

的地震，他們的地震規模大概在 3 左右，分別是 3.19 、3.10 與 3.02。仔細分析這些有感地震的地震波紀錄，有些可以清楚的發現 P 波到達之前，有些細微的訊號。放大地震波在三個方向的地震紀錄，進行仔細的分析，可以明確的辨識，在兩個有感地震發生之前，大約兩秒鐘左右，另一個微小的地震發生。仔細檢查這個有感地震與兩秒鐘前的微小地震，在陽明山地震觀測網的紀錄，可以清楚發現有感地震與微小地震，到達每一個地震站的時間差幾乎是相同的。這樣的結果清楚的說明，有感地震與小地震兩者可能發生在同一個地震震源地區。仔細將兩者在地震波型進行比對，更可以清楚的發現兩者的地震波形非常的相似。充分顯現這點的地震雖然規模不一樣，但是他們的震源機制、地震路徑、站址效應等等幾乎都是一樣。

這樣的結果可能與火山地區的高壓熱水作用有一定的關係（圖七）。第一個微小地震的滑動，讓火山地區可能存在的高壓熱水，快速的滲透進入附近的另一個較大的斷層面上，瞬間降低原本斷層面上的摩擦阻力，進而產生有感地震的發生。



圖七 造成有感地震可能簡單模型。火山地區高壓熱水快速的滲透進入附近的斷層面上，瞬間降低原本斷層面上的摩擦阻力，進而產生有感地震的發生。

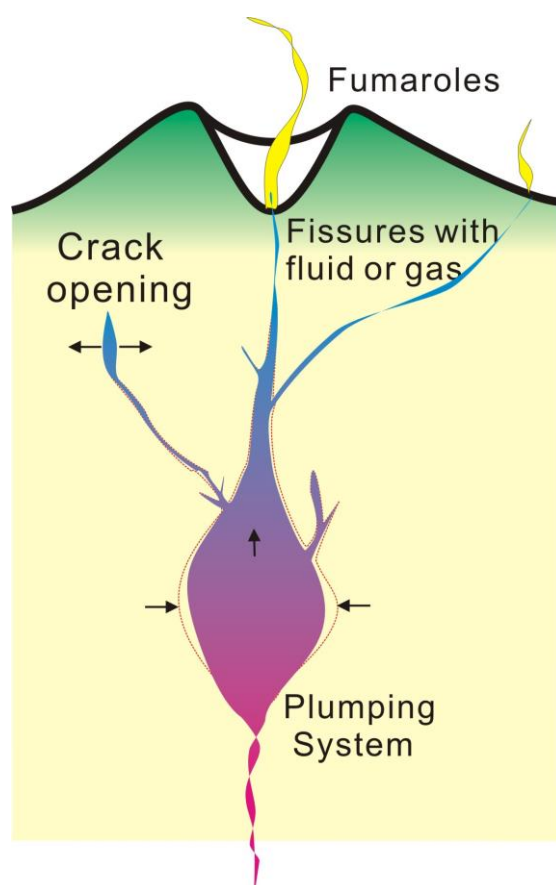
四、超長週期火山地震

陽明山地區除了上述非常密集的火山地震活動以外，偶而也可以發現一些超長周期的火山地震。這些超長周期的地震，經常伴隨着非常高頻率的地震訊號。仔細分析其中的一個超長周期的地震，可以明顯的發現地震的震源來自七星山的下方。首先根據兩個地震站的超長周期的地震振動紀錄，地震波的極化方向，同時

指向七星山的下方大約 1.5 km 的深度。將這樣的定位結果，計算地震波到各個地震車站的走時，基本上與地震波的觀測結果一樣。

除此之外，我們也仔細比較四個地震站垂直地震波的大小，可以清楚的發現，地震震源的東北和西南方向的地震站記錄的地震波，遠遠大於西北和東南的地震站記錄的地震波。這樣結果可以用一個簡單的從西北到東南方向張列的地震震源來作解釋。根據這樣的模式，我們進一步比對，地震波理論的計算與觀測結果，兩者結果非常的一致。

初步推斷造成這些超長周期的機制，可能和陽明山地區的大屯火山群存，地殼內淺部高壓熱水作用與深處鼓起的構造體 (Plumping system) 互相作用有關 (如圖八)。目前推斷簡單的物理模式，淺部高壓熱水或氣體可能來自更深處鼓起的構造體或是火山岩漿庫。當淺部高壓的熱水，進行釋壓的過程，必然產生高頻的地振動。同時因為壓力的減少，深部鼓起的構造體也會產生超長周期的震動。這些現象隱涵大屯火山群內淺部地殼可能存在高壓氣體或蒸氣，特別於大油坑與七星山等地區，應該注意類似今年日本御嶽火山之蒸氣噴發可能性。



圖八 地殼內深處鼓起的構造體 (Plumping system) 與淺部高壓熱水作用可能造成岩體張裂的超長周期地震。

肆、結果

本計畫今年(2014)目前除了已依規劃之進度完成兩個火山地區之微震觀測、台北井下地震網觀測，以及大屯山地區增設 21 個臨時地震站等工作外。並且根據觀測記錄推估，大屯山地區低速帶之初步地下構造特性與可能火山活動機制，簡單的主要結論如下。

利用新竹地區的一個有感地震的觀測資料，分析該地震產生的 P 波，在大屯山地區觀測網紀錄的到時先後，可以非常清楚的看到初達波到時，明顯的分為兩群。相同地現現也可以從菲律賓地區的一個遠震發現，P 波到時也可以非常清楚的看到有明顯的兩群。綜合上述兩個不同方向的地震波入射情況，以及到時先後的空間分布，可以初步的推斷大屯火山地區的速度異常帶，可能存在於東南側的地殼中。

有感地震前微小滑移的現象可能與火山地區的高壓熱水作用有一定的關係。第一個微小地震的滑動，讓火山地區可能存在的高壓熱水，快速的滲透進入附近的另一個較大的斷層面上，瞬間降低原本斷層面上的摩擦阻力，進而產生有感地震的發生。

超長週期火山地震的觀測，推斷造成這些現象可能和陽明山地區的大屯火山群，地殼內淺部高壓熱水作用與深處鼓起的構造體互相作用有關。目前推斷簡單的物理模式，淺部高壓熱水或氣體可能來自更深處鼓起的構造體或是火山岩漿庫。當淺部高壓的熱水，進行釋壓的過程，必然產生高頻的地振動。同時因為壓力的減少，深部鼓起的構造體也會產生超長周期的震動。這些現象隱涵大屯火山群內淺部地殼可能存在高壓氣體或蒸氣，特別於大油坑與七星山等地區，應該注意類似日本御嶽火山之蒸氣噴發可能性。