

陽明山國家公園管理處102-103年委託辦理計畫

大屯火山群火山監測展示計畫

(計畫執行時間：中華民國102年4月至103年12月)

計畫主持人：林正洪
(中華民國地球物理學會)

中華民國 103 年 12 月

目 錄

表 目	II
圖 目	III
第一章 緒 論	1
第二章 過去認知與最新發現	2
第三章 工作內容	5
第四章 初步成果	7
一、 大屯火山監測方法	7
(一) 火山氣體監測	7
(二) 地表溫度監測	11
(三) 地殼變形監測	14
(四) 地震活動監測	19
二、 菁山自然中心火山宣導動線規劃	24
三、 菁山自然中心火山宣導展板規劃	43
四、 親手做科學小實驗	49
(一) 模擬火山熔岩流	49
(二) 模擬火山噴發	50
參考文獻	51
附錄一	54
附錄二	56

表 目

表 1 工作預期進度.....	6
表 2 溫泉水採樣點.....	54
表 3 CO ₂ 土壤氣連續監測站	54
表 4 地表溫度測量點.....	54
表 5 GPS 監測點	55
表 6 地震監測點.....	55

陽明山國家公園

圖 目

圖 1 大屯火山觀測站 (TV0) 與主要山勢之相對地理位置圖	1
圖 2 火山噴發可能造成之多種災害示意圖	3
圖 3 大屯火山區主要氣體和溫泉採樣點分佈位置	8
圖 4 火山氣體監測站配置圖	9
圖 5 逸氣通量計算示意圖	11
圖 6 地表溫度測站全部將設置六處地溫點位	12
圖 7 溫度傳送器和溫度記錄器	13
圖 8 大油坑噴氣口溫度	14
圖 9 GPS 站分佈圖	15
圖 10 GPS 外觀	16
圖 11 傾斜儀外觀及設置	17
圖 12 Trimble Net R9	17
圖 13 計算地球上位置之參考座標示意圖	18
圖 14 四顆衛星即可解算出在地球上的位置	18
圖 15 井下傾斜儀裝設情形	19
圖 16 地震站點位分佈	20
圖 17 地震站外觀與主要儀器設備-寬頻地震儀	21
圖 18 3G 網路通訊系統	21
圖 19 一般微震產生之三向量地震記錄實例	22
圖 20 各種不同的地震波訊號	23
圖 21 菁山自然中心一樓平面圖	24
圖 22 大屯火山觀測站及監測方法簡介	25
圖 23 大屯火山觀測站建置之動機與目的	27
圖 24 全球火山分佈展板示意圖	31

圖 25 大屯火山區的高解析光達 (LiDAR) 地形圖	32
圖 26 台灣北部地質背景和演化過程海報	33
圖 27 地殼變形監測海報	34
圖 28 地球化學監測海報	36
圖 29 地震活動監測海報	38
圖 30 TVO 監測室	39
圖 31 牆上照片欣賞	42
圖 32 QRCode 好站連結	43
圖 33 地熱能源	44
圖 34 火山活動與災害	45
圖 35 火山氣體監測展板示意圖	46
圖 36 碳十四定年介紹	47
圖 37 臺灣的火成岩分佈	48
圖 38 火山熔岩流實驗操作流程圖	49
圖 39 模擬火山爆發操作流程圖	50

第一章 緒 論

大屯火山群位於台灣島最北端，南邊與台北盆地相鄰，是台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非常明顯。若大屯火山群再度活動，火山噴發之災害可能威脅不僅限於大屯火山區及鄰近地區，也很有可能影響台灣，甚至是周邊國家更廣泛的區域。事實上，大屯火山群之最高峰七星山，也是目前大屯火山活動最活躍的區域，距離大台北市中心（台北 101 大樓）僅十餘公里遠。所以，針對大屯火山的活動性之探討，不僅是一個值得深入研究的科學問題，更關係大台北地區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（圖 1），共同成立大屯火山觀測站（TVO：Taiwan Volcano Observatory - Tatun），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、台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。同時將所有大屯火山分析研究之成果，提供一般民眾與學生參觀，以達成更廣泛的科普教育功能。

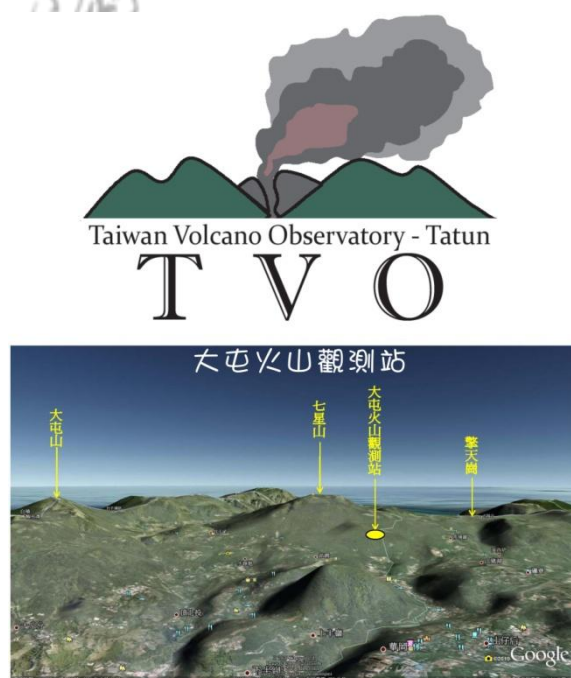


圖 1 大屯火山觀測站（TVO）與主要山勢之相對地理位置圖

第二章 過去認知與最新發現

雖然大屯火山群之火山地質特徵極為明顯，但過去一直認為它不會再度活動，主要原因是依據早期的火成岩定年分析研究，推估最後一次火山噴發可能發生於十到二十萬年前(莊文星、陳汝勤，1989; Song et al., 2000)。這結果建議大屯火山可能為休火山或死火山，也就是未來大屯火山群不會在發生任何火山噴發活動。因此，有些學者推論大屯火山群地表之火山地質特徵，也許屬於後火山作用所殘餘的現象。

最近十餘年來，多項研究分析結果，卻對上述大屯火山群的活動性提出強烈質疑。Yang et al. (1999, 2005) 首先針對大屯火山地區溫泉水及噴氣孔中的火山氣體之化學成份進行調查，結果發現氦同位素的比值，非常相似於國際間其他現生活山的特性。推斷大屯山地區應該有地函物質持續中補充，也就是上湧的岩漿或相關的物質，才可能觀測氦同位素如此高的比值。

其次，Lin et al. (2005a, 2005b) 仔細觀測大屯山地區的地震活動，清楚地發現在七星山及大油坑附近地區，淺部地殼有非常群集的微震活動，這些微震深度小於 5 公里內。並且有些微震發生常以“群震”之特性來表現，也就是短時間內局部地區發生多個地震大小相似的微震，但卻無明顯地較大規模之主震發生。這類“群震”為火山或地熱地區特有的地震活動，明顯地它們與一般活動斷層帶的微震活動極為不同。此外，仔細分析大屯山地區地震紀錄，也偶而會發現一些火山特有的地震。例如：單頻水滴狀、多頻螺絲釘狀及超長週期的火山地震。一般推論這些火山地震之發生原因，主要可能與火山之岩漿庫岩漿通道或地熱區內液態或氣態物質壓力增減有關。

最近幾年內，Murase et al. (2007) 在大屯山地震進行全面性高精確度的水準量測。發現有部分局部地區附近有明顯的抬升現象，平均每年約為 0.5 公分。故推斷大屯火山地區淺部地殼，仍有很大的壓力存在，方可造成如此的局部地殼抬升。為了進一步了解大屯火山最後一次的火山噴發之時間，科學家最近十年來

進行多項有關火山灰調查研究，其結果說明大屯火山最後一次的火山噴發並不在十萬或二十萬年前。首先在靠近大屯山地區台北盆地的鑽井岩心中，發現大約一萬八千年的火山噴發紀錄(Chen and Lin, 2002; Chen et al., 2010)。Belousov *et al.* (2010) 在大屯山地區的火山灰定年研究，更發現大屯山最後一次噴發，可能為五至六千年前。如此一來，大屯火山將符合國際火山學會，一般認定活火山的定義，即一萬年來曾有火山活動，便可歸納為“活火山”。依據上述的多項調查及研究發現，台灣地球科學界經過多次的討論，最後認為大屯火山群可能屬於“休眠活火山”，也就是未來再度噴發的可能性暫不可完全排除。

為了掌握火山活動的可能威脅，我們必須充分了解火山災害的種類(圖 2)。假設大屯火山未來若再度活動，首先火山噴發的高溫快速熱熔岩及碎屑流，可能直接對其流經地區造成毀滅性的破壞。可想而知，大屯火山南側的台北盆地必然首當其衝。假若火山熔岩進而流向關渡隘口，則有可能堵住淡水河出口，無法排放之河水可能迫使台北再度成為一個湖泊。此外，火山灰可能依當時氣候條件，飄向台灣全島及鄰近國家。火山地區降落的大量火山灰，也可能因下雨造成火山泥流災害，就如同台灣常見之土石流災害。以上這些不同形式的火山災害，均可能直接或間接造成許多不同程度的災害。

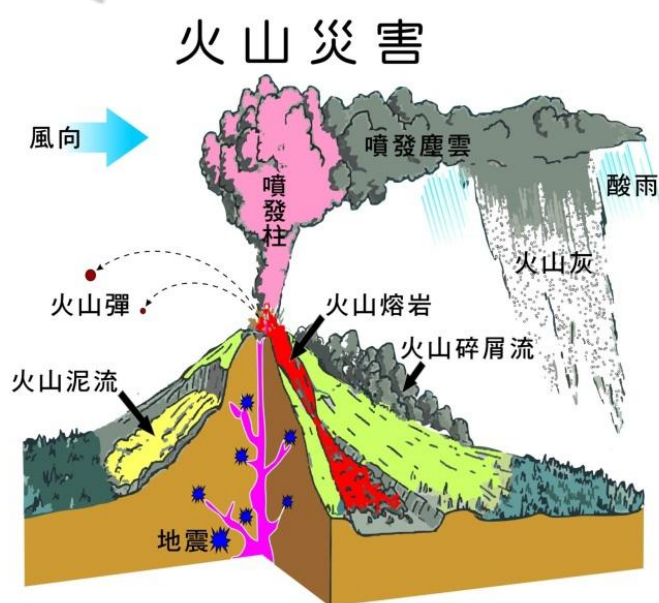


圖 2 火山噴發可能造成之多種災害示意圖

雖然火山噴發曾在歷史上造成許多災害，但是以現今的科技，若對可能的火山進行仔細的監測，可即時正確評估火山可能活動的特性。因為大多數火山在噴發前，必定會伴隨許多不尋常的現象產生，如火山地震數目大量增加，火山氣體與溫泉水成份改變，地表明顯變形及地溫增加等前兆。所以一般而言，若對可能再次活動的火山進行仔細的監測，火山之噴發活動通常是可預測的，包括可能噴發地位置，噴發的時間，甚至噴發的規模大小等，如此可提前對附近居民提供預警，以減少火山噴發所帶來的災害。根據日本、美國、義大利、紐西蘭和菲律賓等國家監測火山活動的經驗，想要掌握火山活動的特性，可同時採用多種不同科學方法來完成。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，均廣泛被應用在世界其他活火山之主要監測方法。

第三章 工作內容

本計畫分為 102 年、103 年工作項目分列如下：

一、102 年度工作項目

- (一) 蒐集大屯火山群各項研究監測資料，彙整園區內火山監測儀器位置（GPS）、數量、調查方式、監測目的及最新研究成果。
- (二) 提出菁山自然中心大屯火山監測 6 個宣導展板內容（3 個 210cm×140cm、3 個 100cm×140cm）及規劃菁山自然中心火山宣導動線。
- (三) 協助本處辦理國小、國中、高中地球科學教師研習活動，提供研習教材。
- (四) 提出火山地質保育宣導出版品-「大屯火山監測手冊（題目暫定）」架構及初稿。

二、103 年度工作項目

- (一) 蒐集大屯火山群各項研究監測資料，彙整園區內火山監測儀器位置
- (二) 編印火山地質保育宣導出版品-「大屯火山監測手冊（題目暫定）」2,000 本，以科普寫法編排，內容包含手冊製作企劃、文字撰稿及編校、照片拍攝、圖片繪製、美術編輯（含設計、完稿及彩色校印校對）、印製（含製版、曬版、印刷及裝訂等）、裝箱運送等相關事宜。

表 1 工作預期進度

日期 工作項目	102 年										103 年											
	04 月	05 月	06 月	07 月	08 月	09 月	10 月	11 月	12 月	01 月	02 月	03 月	04 月	05 月	06 月	07 月	08 月	09 月	10 月	11 月	12 月	
蒐集大屯火山群各項監測資料，彙整園區內火山監測儀器位置、數量、調查方式																						
宣導展板內容																						
宣導動線																						
協助辦理國小、國中、高中地科教師研習活動																						
提出宣導手冊架構及初稿																						
提出宣導手冊內文及照片初稿審查																						
提出宣導手冊及美編設計																						
完成美編及完稿審查																						
印製完成驗收																						

目前將工作內容依（表 1）列出，其中最新研究成果也於大屯火山觀測站 <http://tec.earth.sinica.edu.tw/TVO> 中顯示，提供有興趣的民眾查詢。

第四章 初步成果

一、大屯火山監測方法

目前大屯火山觀測站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、地溫監測及噴氣即時影像監測等。未來正積極規劃加入傾斜儀、重力、地磁、衛星影像等不同方法，以達到更完整之火山監測目的。目前主要即時監測如下：

(一) 火山氣體監測

1. 監測目的

火山活動和火山噴氣氣體成分的變化有重大的關連，藉由火山噴出的氣體變化可以推斷出此一火山的岩漿性質和活動性（e.g. Rose et al., 1986; Allard et al., 1991; Symonds et al., 1994; Giggenbach, 1996; Yang et al., 1999; Pecoraino and Giammanco, 2005）。定期現地採集火山氣體和溫泉水氣樣品是完整了解火山氣體組成，包括主要元素、微量元素，以及同位素組成等等的最好方法，並且也能達到長期監測火山活動的目的。

現地採樣雖然是監測火山活動最有效的方法之一，但是在採集樣品時經常要靠近火山噴發口位置，和其他方法相較之下有較大的危險性；最近對於活火山的監測，除了傳統的定期人工採集火山流體分析監測以外，另外也同時採用較為安全又能夠連續監測的土壤氣體分析方法，來同步監測可能的地下岩漿活動和火山活動。火山氣體中，去水後之氣體成份以二氧化碳含量較高，同時也是岩漿上升過程中，首先脫離的氣體之一。不論火山處於活動或休眠狀態，只要有岩漿活動，大量的二氧化碳就會由火山地區被釋放，除了經由噴氣口釋放到大氣之外，亦會經由鄰近地區的土壤逸散至大氣之中。一般來說，火山活動越活躍，二氧化碳的濃度也會增加，利用觀測土壤氣中二氧化碳的釋放，來監測火山活動，也是相當重要的火山預報機制之一。並可以讓科學家在安全的距離內監測火山活動，這樣的

優點，在火山噴發前和噴發期間更顯重要。

2. 監測儀器位置

目前大屯火山觀測站每個月會定期採集火山氣體以及溫泉水樣(圖3)，主要分析包括了成份組成以及氫、氫、氧等同位素等。此外，觀測站還選擇了兩處溫泉點，七股和八煙，每個星期採集溫泉水體樣品來進行監測研究。目前則建立了兩座土壤氣體監測站，分別在八煙和小油坑地區。

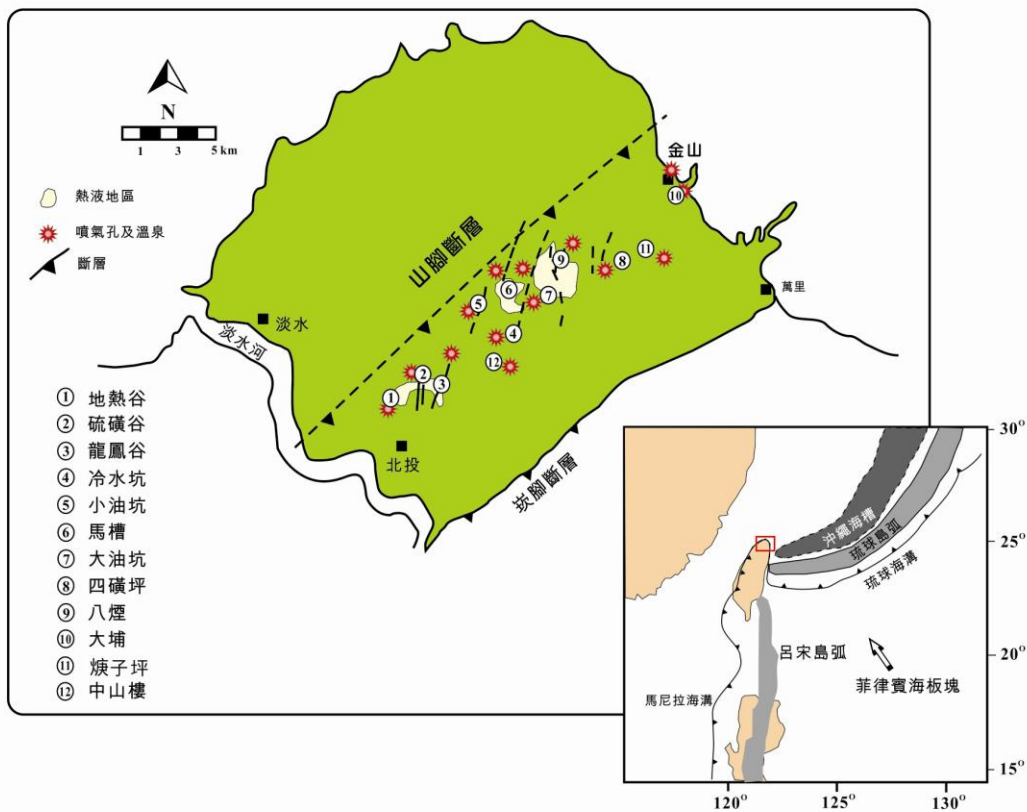


圖3 大屯火山區主要氣體和溫泉採樣點分佈位置

3. 監測研究設備

土壤氣體監測站(圖4)的設置原理為近年來最常被使用的密閉式氣罩法(Chiodini et al., 1998)，而主要設備由三部分組成：(1)二氧化碳分析儀、(2)密閉氣罩、(3)定時抽氣泵浦。二氧化碳分析儀(EDINBURGH)使用NDIR紅外線感測器，偵測的濃度範圍為0-30%，機器本身內建有抽氣泵浦，其流速約為1 L/min。密閉氣罩需要計算總體積，目前使用的氣罩為

11245 立方公分，為了避免內部壓力過大而影響氣體通量的變化，在容器上加裝毛細管以維持內外壓力平衡，免除壓力造成的影響。土壤氣體藉由擴散作用向上擴散至地表，利用鐵桿提供一順暢的逸氣通道使氣體可以在短時間內逸散至地表以利進行分析，除此之外還可以定期採集土壤氣體回實驗室進行成份分析。目前監測站除了分析二氧化碳為主之外，目前也裝設有氬氣分析儀。此外，由於二氧化碳密度較空氣大，易沈降於低處而造成濃度不均勻，因此於容器內部裝置一轉速固定的風扇，用以均勻混合空氣與二氧化碳。為防止水氣進入儀器造成損壞或誤差，容器管線連接至儀器前加裝一乾燥劑，氣體在進入二氧化碳分析儀後，出氣端再將氣體導回密閉容器形成一迴路（詳細的設置如圖 4 所示）。同時，我們也關心環境因子對土壤二氧化碳逸氣通量的影響，因此加裝土壤溫度計；本研究使用 Testo 175-T2 的數位式溫度記錄器，本機型除了主機內部有溫度感應器之外還可以再外加一支探棒 20 公分以測量土壤溫度，溫度測量範圍主機部分為-35°C 至 70°C；探棒部分為-40°C 至 120°C。

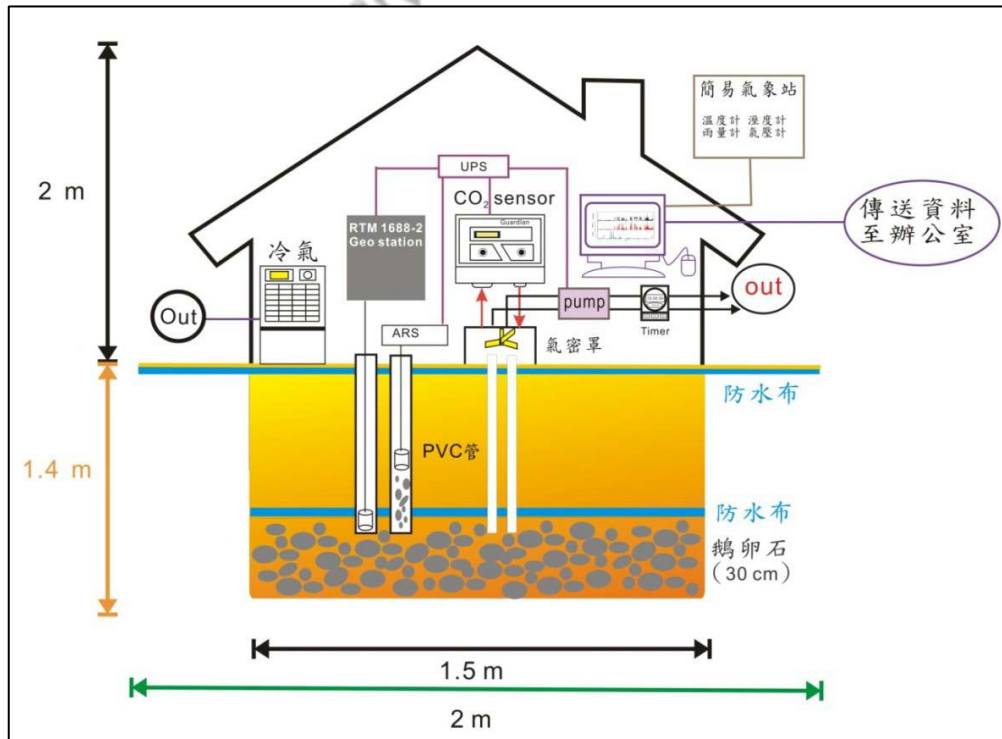


圖 4 火山氣體監測站配置圖

4. 監測方法原理

火山噴氣組成中，通常含有大量的水、二氧化碳，以及硫化物等，而根據各個不同的火山特性，則還有 CH_4 、 H_2 和 HCl 等成分含量不同的差異。目前世界各地的火山氣體研究學者普遍利用吉氏採樣瓶（Giggenbach bottle，容積約 300 ml 的圓底長頸玻璃瓶）來採集火山氣體並分析其氣體成份（Giggenbach, 1975）；同位素的分析則是使用兩端有閥門的鉀玻璃容器來收集樣品。

直接現地採樣方法為，首先在吉氏採樣瓶中置入調配好的 4N NaOH 溶液 50ml，將採樣瓶抽成真空後倒置，避免空氣進入污染。在採集火山樣品時，使用約一米長的鈦金屬管直接插入火山噴氣口，先將管線內空氣抽離後，待火山氣體充滿導管後再打開閥門收集火山氣體。使用鉀玻璃容器收集火山氣體的方法亦相似，只是其中並沒有加入任何液體或藥品。把樣品攜回實驗室後，吉氏採樣瓶標本先使用載配火焰離子化偵測器（FID, Flame Ionization Detector）及熱傳導偵測器（TCD, Thermal Conductivity Detector）的氣相層析儀分析（GC, 型號 SRI 8610C）來分析，而之後的溶液部分則經處理後以離子層析儀（IC, Metrohm 790 Personal）和滴定儀（Metrohm 702 SM Titrion）來分析。

而監測站的原理是前章節提到的密閉式氣罩法，目前監測站之分析系統中設定分析時間為每 5 分鐘一筆資料，可 24 小時連續分析。而每 1 小時會定時開啟氣罩外接的抽氣泵浦將內部的氣體排出，排氣時間為 10 分鐘，之後泵浦便停止不再抽氣，使得容器內部的氣體可以繼續累積。我們利用回歸線可以得到二氧化碳每分鐘的通量變化。由於我們設定整點啟動抽氣泵浦，因此在第五分鐘和第十分鐘所紀錄到的二氧化碳濃度的數據應該要呈現下降趨勢；而氣罩從第十五分鐘開始累積二氧化碳，直到六十分鐘為止為一個循環。我們利用線性迴歸方式，求得此段時間內（第十五分鐘到

六十分鐘) 二氧化碳增加的回歸方程式, 該方程式中的斜率即代表此段時間內二氧化碳的通量 (圖 5)。再經過單位換算, 我們可以得到國際間常用的通量單位數值 (如 $\text{mole m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 或 $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)。

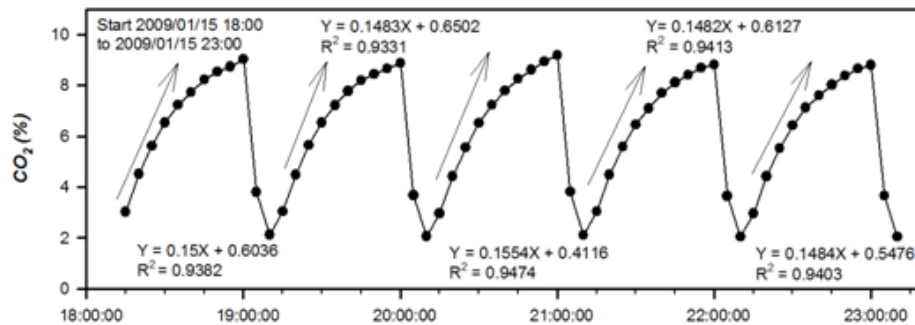


圖 5 逸氣通量計算示意圖。每 5 分鐘記錄一筆資料, 而我們讀取第 15 分鐘至 60 分鐘間的 10 筆數據, 計算其增加速率經換算得出每小時的逸氣通量。

(二) 地表溫度監測

1. 監測目的

地溫監測是探討火山活動的主要研究工作之一 (Tilling, 1989), 如果火山地區地底下有岩漿庫、殘餘的岩漿或有後火成活動, 則通常在地表附近可發現較高的地溫, 地底下的地溫梯度也會偏大, 並呈現較高的熱流值 (Zeni et al., 2007), 然而測量這些溫度參數並無法探討火山的活動性, 要了解地底下火山的活動情形, 必須對地表的地溫做長期的監測, 從溫度的變化趨勢才能進一步推測地下火山活動的異常變化 (Sudo and Hurst, 1998)。監測地溫的變化除了有學術上的研究價值外, 若能將監測資料隨時展示在公共場所 (如遊客中心), 讓遊客可以隨時了解這些訊息, 亦是一項富有教育意義的工作。

2. 監測儀器位置

地表溫度測站 (98 年 6 月) 起於小油坑進行監測噴氣孔溫度監測, 一結果發現噴氣孔的溫度約 95.4°C , 溫度的變化與氣溫、雨量沒有明顯的關連, 但有 12 輕微的小時週期出現, 可能跟地潮有關, 為進一步了解 (99

年)於大油坑增設一處噴氣孔溫度監測系統，其噴氣孔比小油坑的規模還大，噴氣的聲音隆隆震耳，周圍積滿硫磺結晶，現場仍遺留許多以前開採、提煉硫磺的器具和設施，大油坑有活躍的後火成活動，是理想的溫度監測地點。

技術逐步成熟後，目前 TVO 和小油坑資料由網路訊號即時傳輸回大屯火山觀測站進行監測。大油坑即時傳輸部份也已進入最後階段，不久的將來，即可在大屯火山觀測站的監測螢幕上展示。另外再選三處(圖 6)八煙，四磺坪，煥子坪等測站加入地溫監測，此三處之傳輸線，感測器，記錄器，GSM 傳輸介面等硬體設備已送達。供電設備，密封儀器箱，材料和施工等，於記錄儀器完成溫度校正後再進行設站事宜。

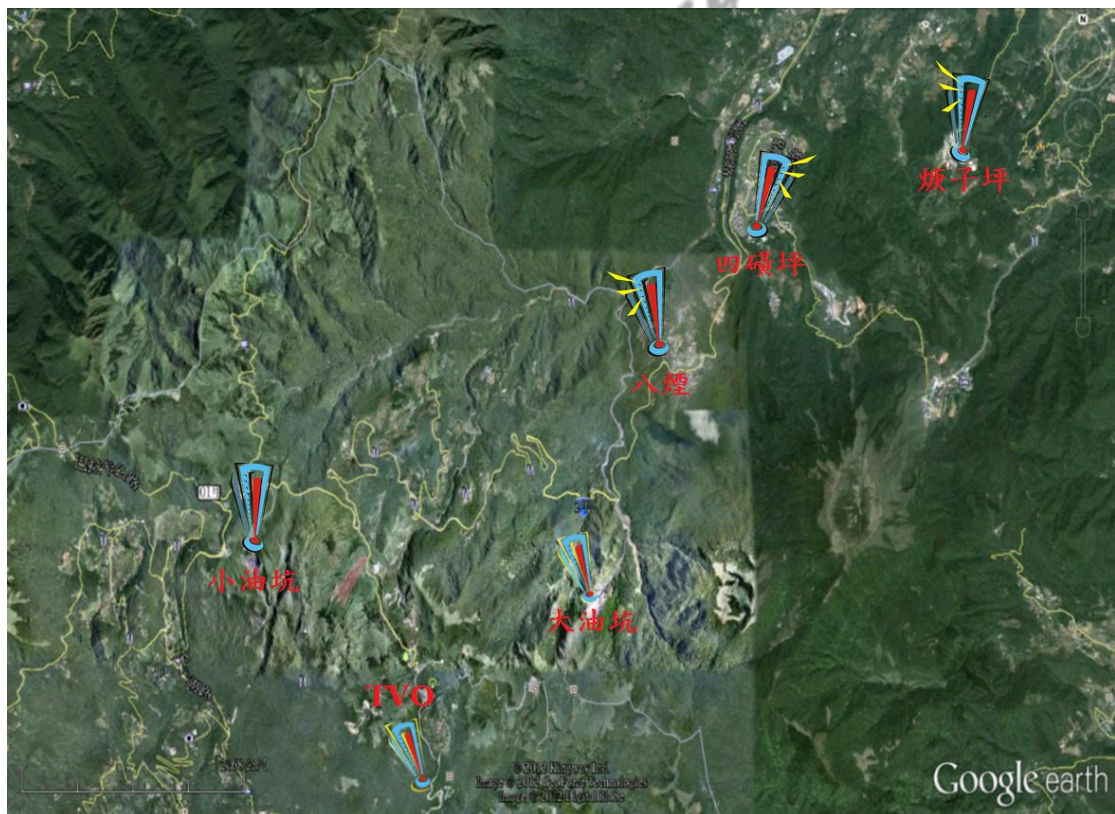


圖 6 地表溫度測站全部將設置六處地溫點位

3. 監測研究設備

本套地溫監測系統主要分成兩個部分：溫度感應器以及資料儲存設備，溫度感應器係一白金電阻，由於電阻與溫度有一定之關係函數，若能測得

電阻的變化即能得知當時之溫度大小，白金電阻穩定性高，以溫度解析度 0.1°C 而言，並不需要經常進行溫度校正，溫度感應器感應到的溫度資料，可經由電纜線傳到溫度記錄器內，其運作方式是記錄器在電纜線中傳出一固定電流，量測流經白金電阻兩端之電壓即可得知白金電阻的大小，再將電阻大小換算成溫度值，記錄在儲存設備內，本研究使用的溫度記錄器（圖 7）為台灣大學海洋研究所自行研發的微小型熱探針，該熱探針已多年使用於台灣附近深海進行地熱探測，熱探針將電源和電路系統縮小在直徑 2.2 公分、長 24 公分的鈦合金圓柱管內，電路系統耗費的電量非常低，以一顆 15KWhr 的 1 號電池裝設在外加的電源供應座上來說，可維持整個監測系統運轉所需的電力約 10 年，記錄器使用電流差分概念，配備精密的參考電阻，可使溫度的解析度高達 0.0001°C ，可記錄溫度細微的變化。

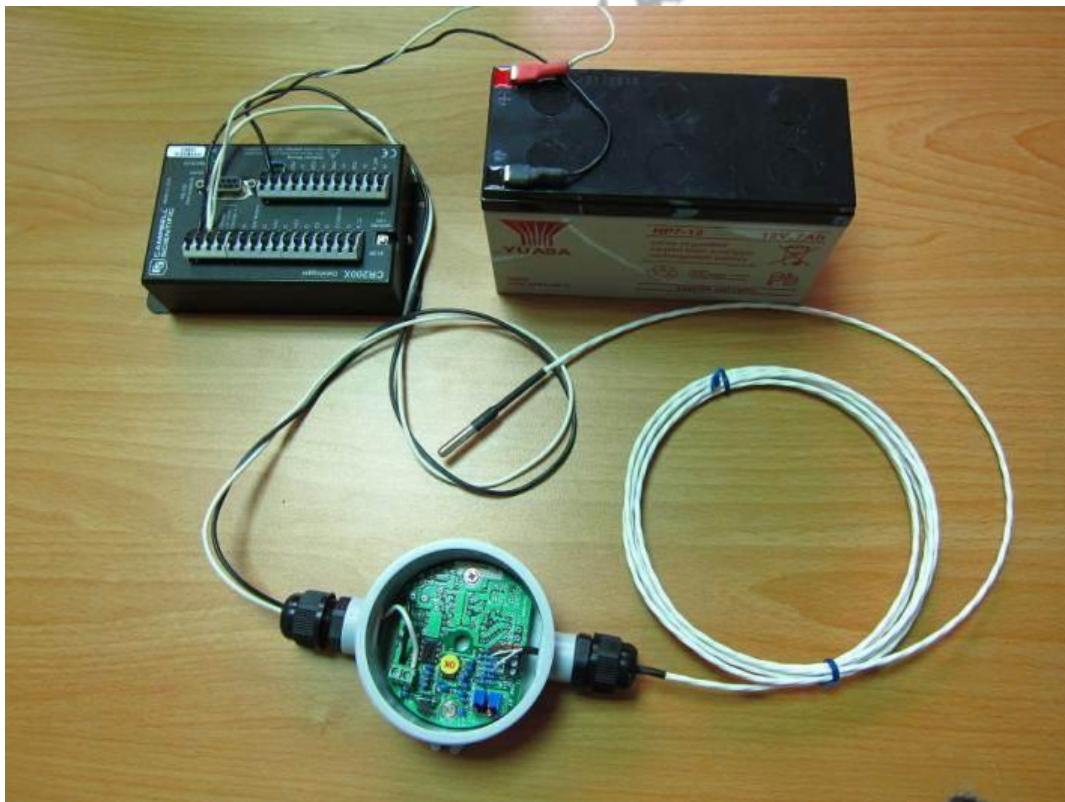


圖 7 溫度傳送器和溫度記錄器

4. 監測方法原理

噴氣孔的溫度可能都在 90°C 以上（圖 8），一般電子式的溫度記錄器無法耐此高溫，因此溫度感應器和溫度記錄器、資料儲存設備等必須分開。記錄器每三分鐘測錄噴氣孔溫度一次，記憶模組可連續記錄資料時間約 2 年，工作人員每一至兩個月前往現場收取資料並維護儀器設備，溫度資料可用 excel 程式繪圖，察看溫度隨時間的變化情形，同時也會進行頻譜分析，以了解溫度的變化是否有週期性出現，若有雨量、氣溫、微震等資料，也會進行資料的對比，以釐清各資料間的關係。



圖 8 大油坑噴氣口溫度

(三) 地殼變形監測

1. 監測目的

以精密的全球定位系統儀器，測量微小地殼變形。所謂全球定位系統（Global Positioning System，通常簡稱 GPS）是一個中距離圓型軌道衛星導航系統。它可以為地球表面絕大部分地區提供準確的定位。GPS 系統擁有如下多種優點：全天候，不受任何天氣的影響；全球覆蓋（高達 98%）；三維定速定時高精度；快速、省時、高效率；應用廣泛、多功能；可移動定位。

2. 監測儀器位置

目前於陽明山國家公園內設置一共有七個地殼變形觀測站，並利用中

研院的 GPS (S101) 作為基準站來監測七星山附近之火山活動可能引起之地殼變動 (圖 9, 詳細點位資訊見附錄一之表)。包括於竹子湖 (YM01)、菁山 (YM02)、萬里 (YM03)、八煙 (YMN4)、冷水坑 (YM05), 並於 2013 年 3 月增設馬槽 (YM06) 與小油坑 (YM07) 兩站, 其中又以冷水坑 (YM05)、馬槽 (YM06) 與小油坑 (YM07) 搭配 10 米深井下傾斜儀作為地表傾斜的量測紀錄。

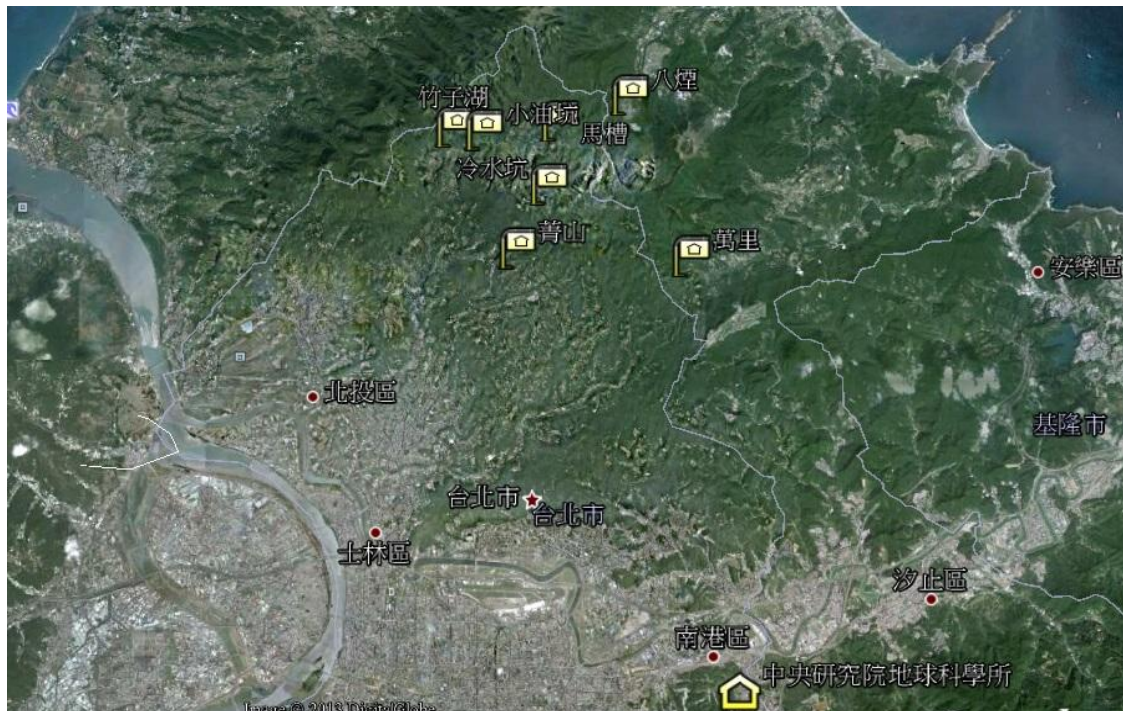


圖 9 GPS 站分佈圖

3. 監測研究設備

本套地殼變形監測系統主要分成兩個部分：全球定位系統與井下傾斜儀。全球定位系統又可分為三小部分：天線盤、天線罩以及接收儀，並用 LMR400 型導線與其連接 (圖 10)。而井下傾斜儀設在全球定位系統旁，利用 RS-232 接頭將資料傳到全球定位系統接收儀裡並記錄下來 (圖 11)，再利用網路，將全球定位系統資料連同井下傾斜儀資料一併傳回實驗室進行分析、解算與繪圖。

全球定位系統建置方法：在設置前，為提高資料穩定性與準確性，會先於選定場址打入鋼棒至地下，直到岩盤為止後再行焊接固定其地表的天線盤基座與腳架，接著以水泥灌漿覆蓋其腳架。待數日水泥乾固後再確定天線盤、天線底座與天線罩三者的正北方向和調整水平後，將天線盤與鋼棒焊接起來，確保不會移動、轉動導致資料誤差。

井下傾斜儀建置方法：於鑽 10 米深井，埋設 4 吋管（內徑 100mm）厚 3mm 以上之 PVC 套管，於 PVC 和裸孔之間用無收縮性水泥填塞，自井底灌漿至 PVC 套管底部，及套管與孔壁之間空隙完全填滿直至地面，並確定內部乾燥不會有滲水，將傾斜儀放入井內，並調整正北與水平後填沙固定，保持傾斜儀方位及水平。



圖 10 GPS 外觀



圖 11 傾斜儀外觀及設置

4. 監測研究方式原理

I. GPS 定位原理

Trimble Navigation Ltd started 於 1978 年創立，跟美國海軍合作進行相關導航定位的產品設計開發，而 Trimble Net R9（圖 12）為針對大地工程與公共建設所設計，並廣泛運用於監測邊坡滑動與建物、地殼變形上。

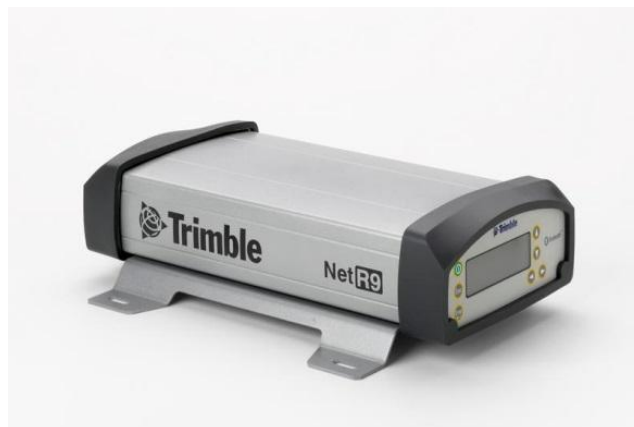


圖 12 Trimble Net R9

以地心為三度空間座標上原點（圖 13），XY 軸在赤道平面上，X 軸貫穿經度 0 度與 180 度，Y 軸貫穿東西經 90 度，Z 軸貫穿南北兩極，距離地心半徑 R 的球體方程式如下：

$$X^2+Y^2+Z^2=R^2$$

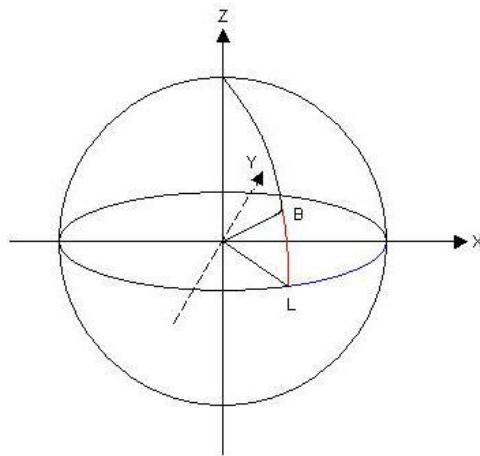


圖 13 計算地球上位置之參考座標示意圖

利用全球 GPS 導航衛星，在地球上任何地方只要能接收四顆衛星資料，就可以計算出在地球上的位置（圖 14）。GPS 衛星傳遞的訊號包括衛星自身（a, b, c）座標資料以及發射時間，那麼 GPS 接收儀就可以利用這些資訊計算位址，經過長時間的資料累積解算與分析回歸，最高精度可達 0.1 毫米。

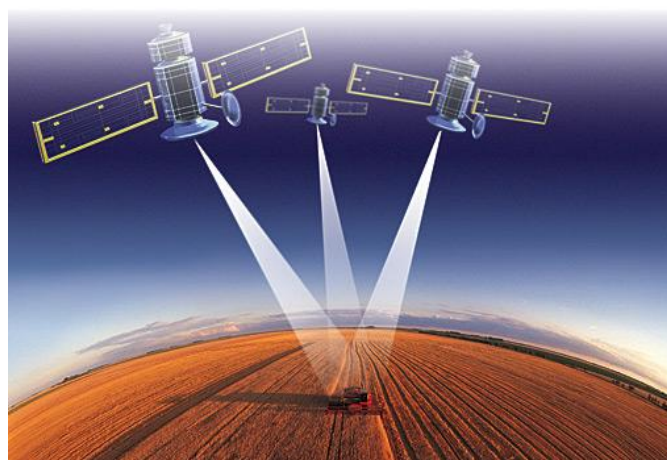


圖 14 四顆衛星即可解算出在地球上的位置

II. 傾斜儀量測原理

AGI-Lily 井下傾斜儀是專為火山和構造研究所設計，並能針對地下變形過程作監測，運用在學界與工程界領域已有 25 年的經驗(圖 15)。AGI-Lily 屬於雙軸傾斜儀可量測東-西向與南-北向的傾斜方向，其中包含兩個電極傳感器 (X 與 Y 傾斜軸)，當儀器傾斜時，會產生的電阻變化給傳感器，而傳感器輸出轉換成使用率定對應的相對目標量，得到數位化的傾斜角度，最高精度可達 $<5 \times 10^{-9}$ 弧度。

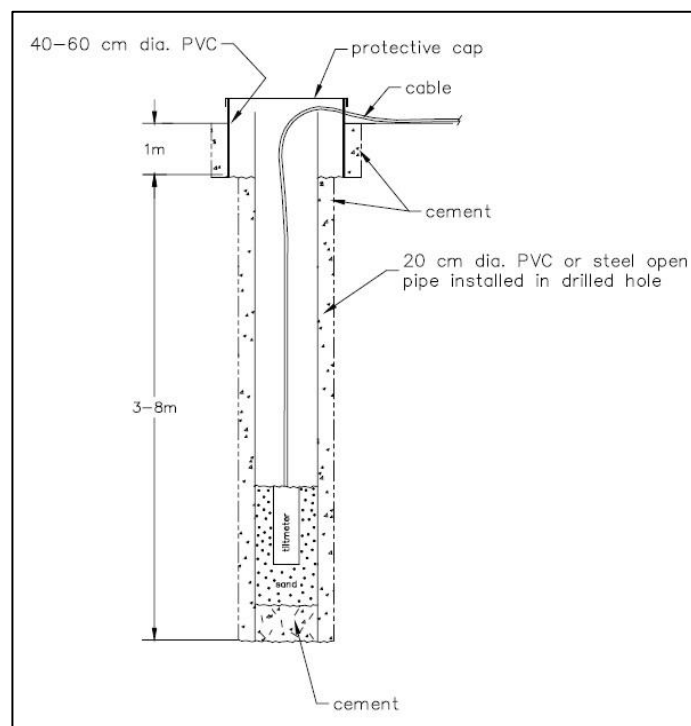


圖 15 井下傾斜儀裝設情形

(四) 地震活動監測

1. 監測目的

為了更進一步了解大屯山的火山活動度，自民國九十二年起，中央研究院地球科學研究所，在國科會、中央地質調查所與陽明山國家公園管理處的資助下，於大屯山地區建立一個小型精密地震觀測網，每一地震站安裝有感應器、記錄器及全球定位系統等主要地震儀器，並以 24 小時連續記錄方式，來測量任何微小地震的時空分佈。透過長期持續性微震觀測與研

究，並配合其他地球化學與地球物理之觀測方法，以達到監測與預警的功能。

2. 監測儀器位置

大屯山地區小型精密地震觀測網，至民國 102 年共有 19 個點位(圖 16)，各測站點位精確之座標詳見附錄一之表。

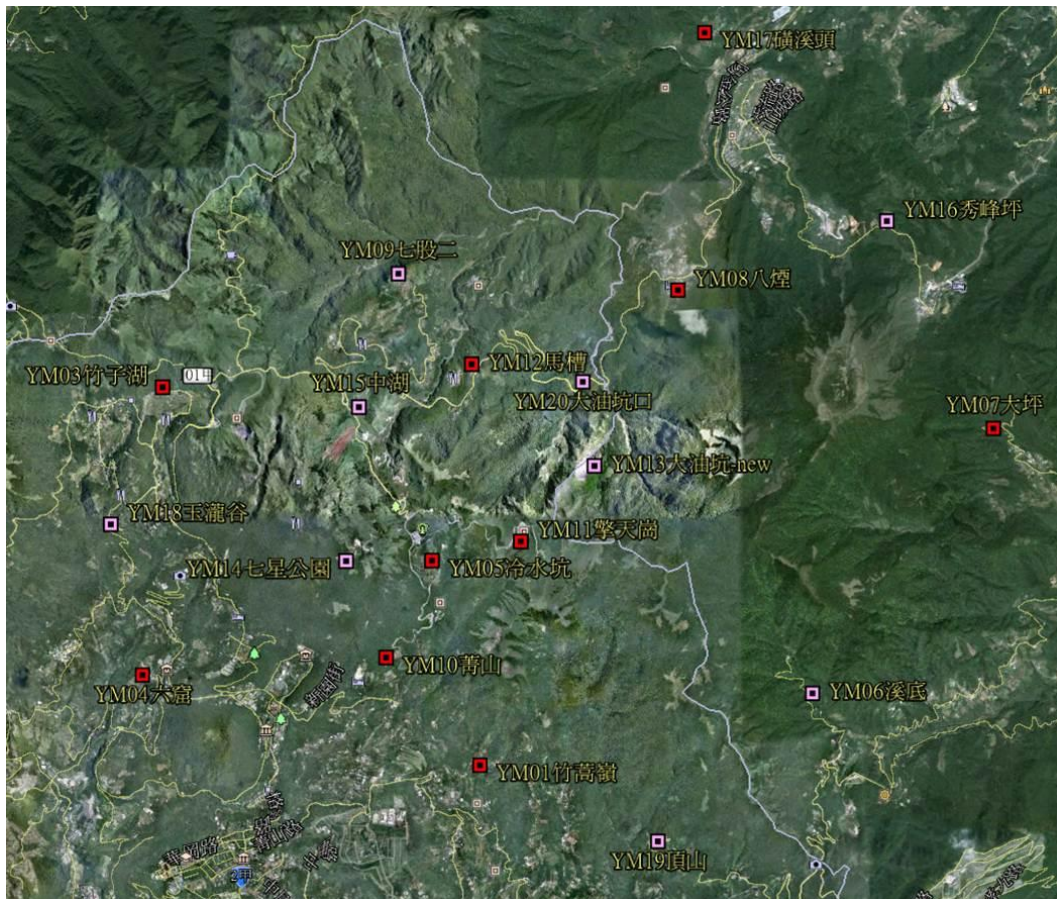


圖 16 地震站點位分佈

3. 監測研究設備

微震觀測站的基座以混泥土建成，而外罩是以玻璃纖維強化塑膠製成，站房內儀器為英國 GURALP 公司所生產的寬頻地震儀（圖 17），可記錄的最長週期訊號為 30 秒，故不僅可以記錄一般高頻之微震訊號，也同時可監測大屯火山群特有之長週期火山地震能量。



圖 17 地震站外觀與主要儀器設備-寬頻地震儀

基於觀測可以更快速的有效取得資料，近期已裝設其網路設備以利於即時傳輸並向台灣電力公司申請交流電源，其目的是增加網路傳輸所需電力的穩定性而避免傳輸中斷的現象。網路傳輸設備包含了網路數據機與橋接器（圖 18）。為了彌補固定網路不足的地方，某些測站使用了 3G 訊號較強的網路通訊系統以增加測站的資料取得，所以 3G 系統只需要使用 3G 網卡、網路分享器與橋接器。

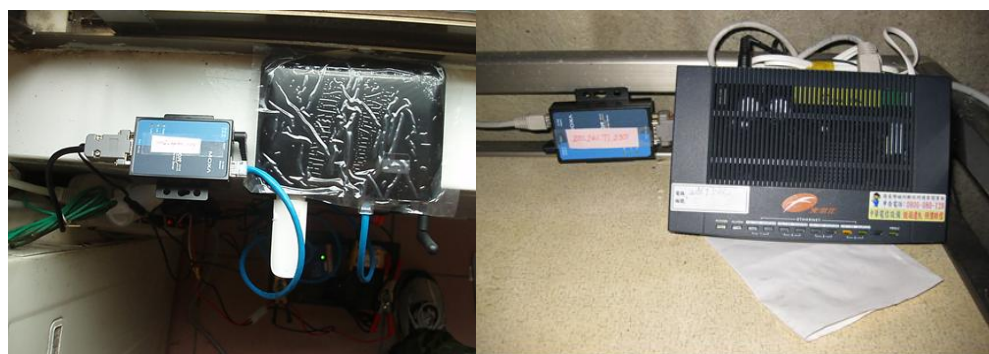


圖 18 3G 網路通訊系統

4. 監測方法原理

火山微震特性與一般斷層滑動產生的地震相同，均可清楚地辨識其 P 波與 S 波的到達時間(圖 19 和圖二十 a)，並且其地震波是由非常複雜的多種不同頻率訊號所組成。這種密集的微震現象與地球上其他許多活火山的微震活動非常類似，故可能意味著大屯火山底下依舊存在有明顯的能量或熱源。

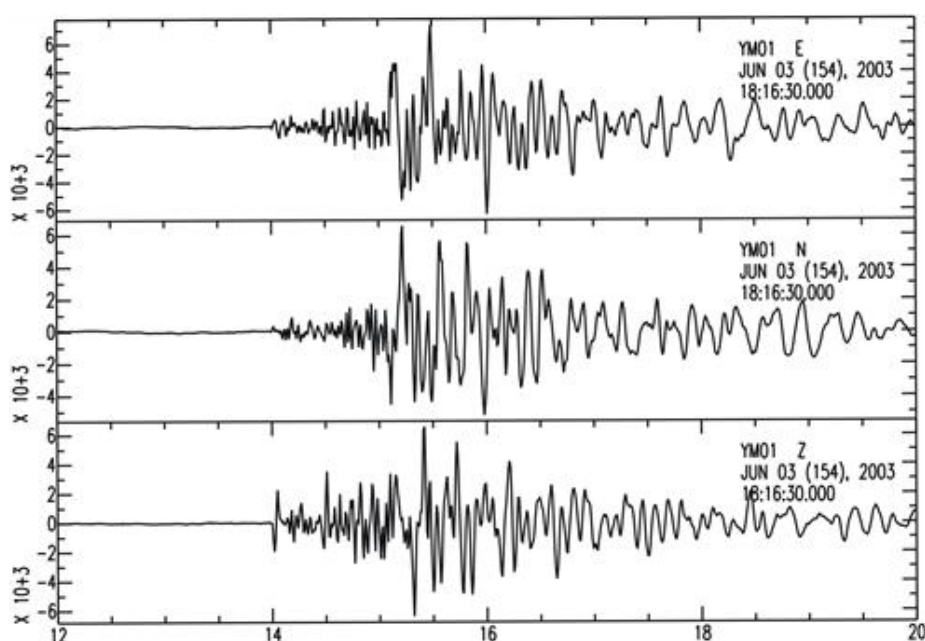


圖 19 一般微震產生之三向量地震記錄實例

仔細分析微震監測網的連續記錄中，亦可發現一些地震波形非常特殊的訊號，如圖 20(b)。這類地震的波包形狀類似水滴狀，其振動時間很短，僅約十秒左右。從這些地震訊號中，無法辨識其 P 波與 S 波的到達，故有別於一般因斷層錯滑動所產生的地震波。並且這些水滴狀地震訊號的頻率組成也很特殊，主要頻率落於 3.4 赫(Hz)附近。根據全世界其他國家火山地區的觀測與研究經驗，一般認為這些單頻水滴狀地震訊號的產生原因，最可能是由岩層裂縫中液態或氣態物質共振所引起，這現象與一般樂器(例如吉他弦或鋼琴鍵)所產生的單一音階振動的原理相似。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的振動有關。

我們也發現另一種地震波形的外觀類似螺絲釘一樣，如圖 20 (c)。一般火山地震學家以西班牙文的螺絲釘 (Tornillos) 稱之。這些螺絲釘狀的火山地震訊號的振動時間，明顯大於單頻水滴狀火山地震訊號，可長達數十秒。根據一般火山地震觀測的經驗，這些螺絲釘狀多頻的火山地震訊號，極可能代表該火山活躍性很強。並且，曾於中美洲的有些火山噴發前，常可發現這些所謂螺絲釘狀的地震記錄。故大屯山地區亦有類似的記錄，非常值得我們注意與深入研究探討。

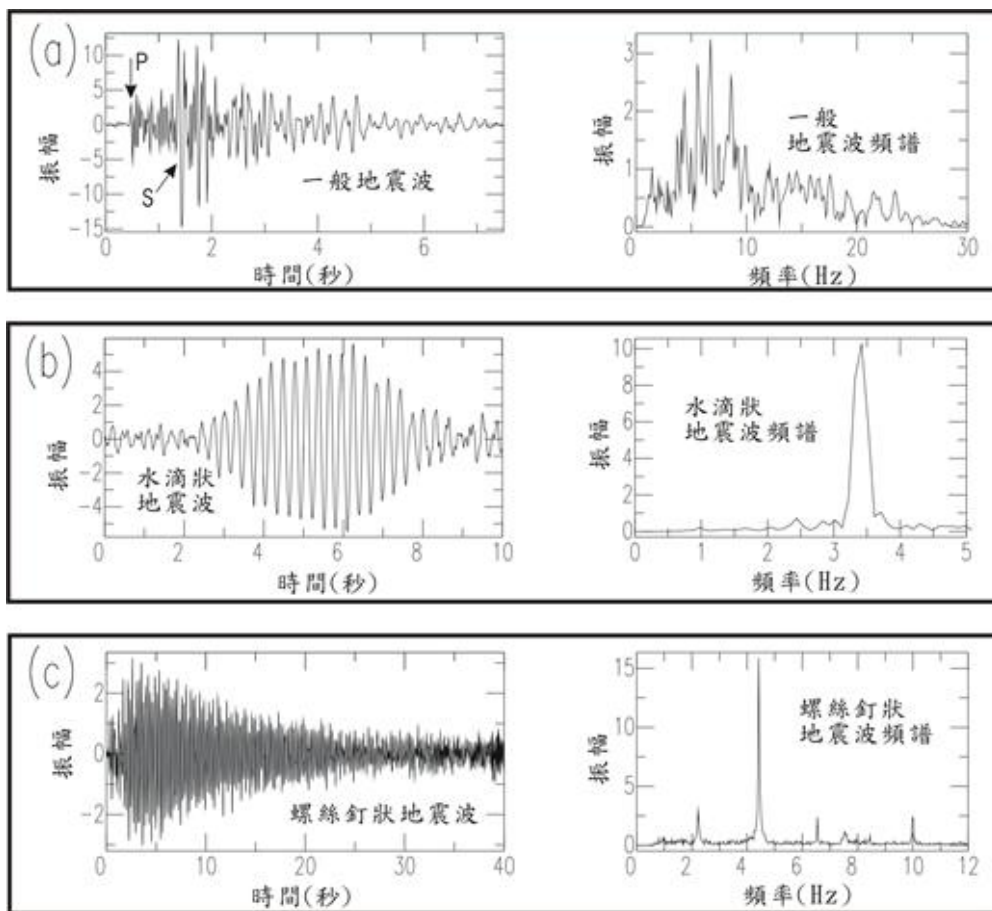


圖 20 各種不同的地震波訊號。(a) 一般斷層滑動造成的地震波，(b) 單頻水滴狀火山地震訊號及 (c) 螺絲釘狀的火山地震訊號（左側）及其頻譜分析結果（右側）

二、菁山自然中心火山宣導動線規劃

目前有關於參觀位在菁山自然中心的大屯火山觀測站宣導動線規劃，初步以菁山自然中心一樓平面圖（圖 21）做規劃，以順時鐘方向導覽。導覽人數以 30 人為單位，時間約 1 小時。假如參觀團體人數多於 30 人，則需分成幾個小隊參觀。尚未導覽的小隊，可至研習教室欣賞影片及親手做科學小實驗，或至「野生動物標本展示館」參觀，以錯開導覽時間。假如參觀團體時間有限，則以導覽大廳海報（①②）和 TVO 監測（⑫）室為主，其他展示板等採取自由參觀。參觀動線中包含了 6 個（⑭~⑰）新的宣導展板內容規劃，分別有二種尺寸，3 個 210cm×140cm（大）及 3 個 100cm×140cm（小）。但是其中⑮⑯⑰展板的內容，是以輔助解說展板②為主。導覽時將不詳細介紹這些輔助展板內容，有興趣的民眾可自行參觀。

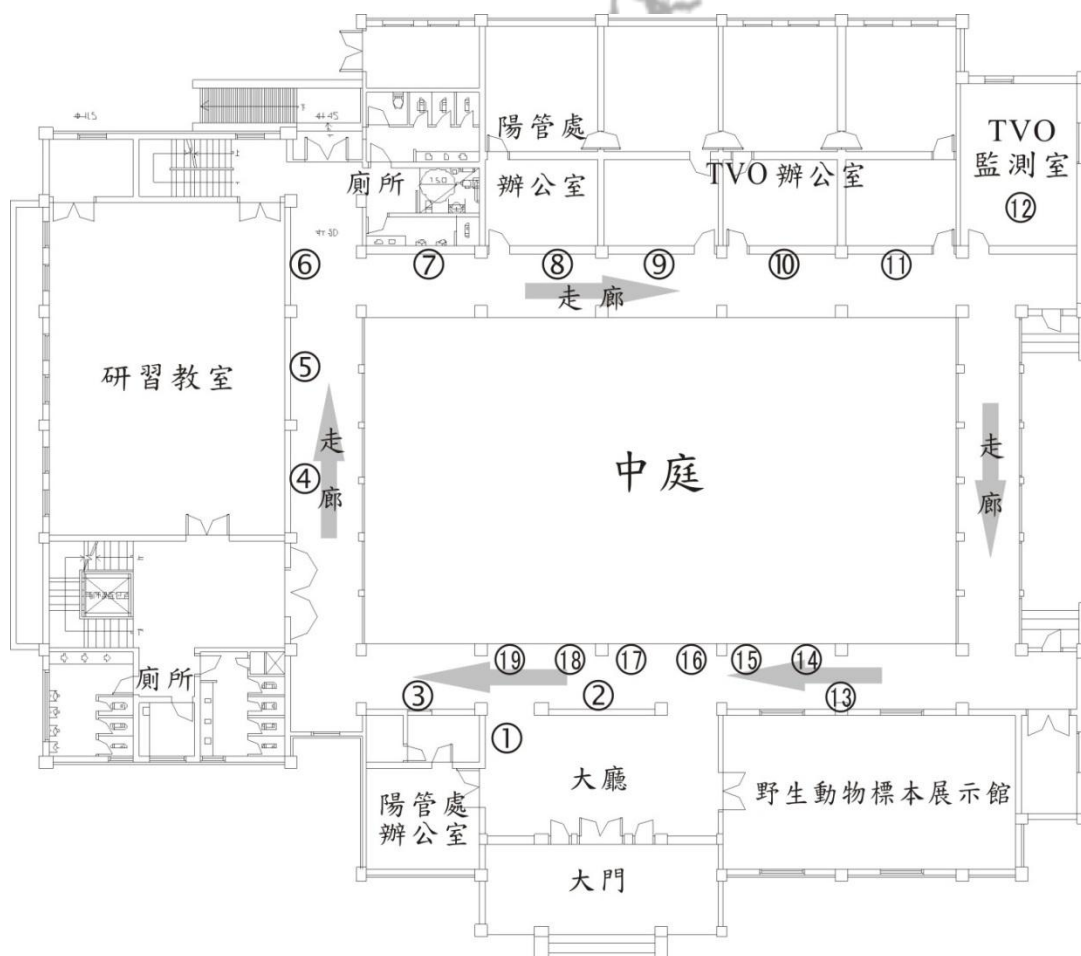


圖 21 菁山自然中心一樓平面圖

導覽動線中，各個展板內容簡介如下。

① 大屯火山觀測站及監測方法簡介（圖 22）

大屯火山觀測站

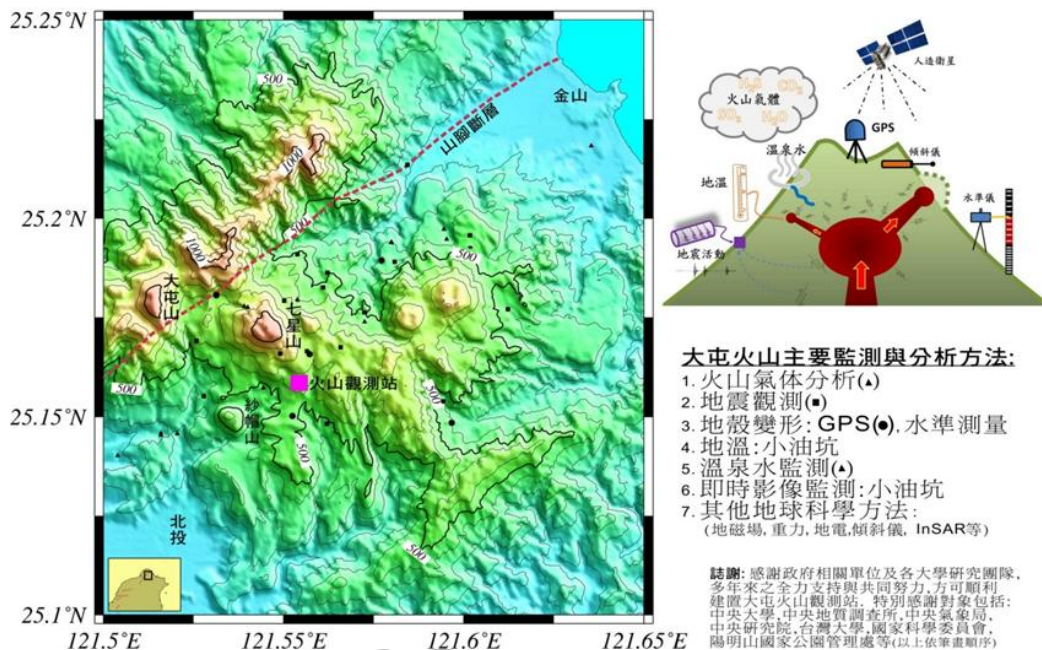


圖 22 大屯火山觀測站及監測方法簡介

大屯火山群位於台北盆地北方，地質年代屬於第四紀火山，經過數次噴發後覆蓋在第三紀沈積岩之上。依據經濟部中央地質調查所於民國 99 年 7 月 30 日舉辦了「大屯火山群火山活動性及活火山芻議」的專家學者諮詢討論會結果，把大屯火山群歸類為「休眠活火山」。台北盆地附近另一個重要的地質構造為山腳斷層，從林口台地延著台北盆地西緣，往東北方切穿過大屯火山群，於新北市金山區入海（圖 22）。根據經濟部中央地質調查所於西元 2010 年公佈的台灣活動斷層分佈圖（<http://fault.moeacgs.gov.tw/TaiwanFaults/>），山腳斷層屬於第二類活動斷層（距今十萬年內曾經發生錯移之斷層）。有鑑於台北市為台灣的政經中心，加上台北盆地及其附近居住及活動人口眾多，在國科會等跨部會的幫忙協助下，於民國 100 年 10 月 17 日成立大屯火山觀測站。

大屯火山觀測站位置在陽明山國家公園的菁山自然中心內，由大門往外看，正對面為紗帽山，左前方為文化大學，右前方遠處為觀音山。正右方則是七星山，標高 1120 公尺，是大屯火山群最高的山，同時也是台北盆地周圍最高的山。經由許多研究學者在多年研究下，發現大屯火山群的地熱、微震等火山相關活動，主要集中於七星山、大油坑及山腳斷層沿線。因此，目前大屯火山觀測站所設置的相關科學監測儀器，主要也是集中在七星山和大油坑周圍，及山腳斷層沿線。

目前大屯火山群主要的監測及分析方法有火山氣體分析、地震觀測、地殼變形、地表溫度、溫泉水監測、即時影像等方法。由圖 22 右上角的卡通示意圖可知，假如岩漿從地殼深部延著通道往淺部地殼移動時，藉由地表多種科學儀器觀測，同時發現到多種觀測結果皆出現異常變化時，則可大致推估岩漿深度變化及可能火山噴發規模，可提前至少一星期以上告知軍警、政府相關災防等單位，協助疏導民眾撤離，以減少人員等相關損失。

②大屯火山觀測站建置之動機與目的（圖 23）

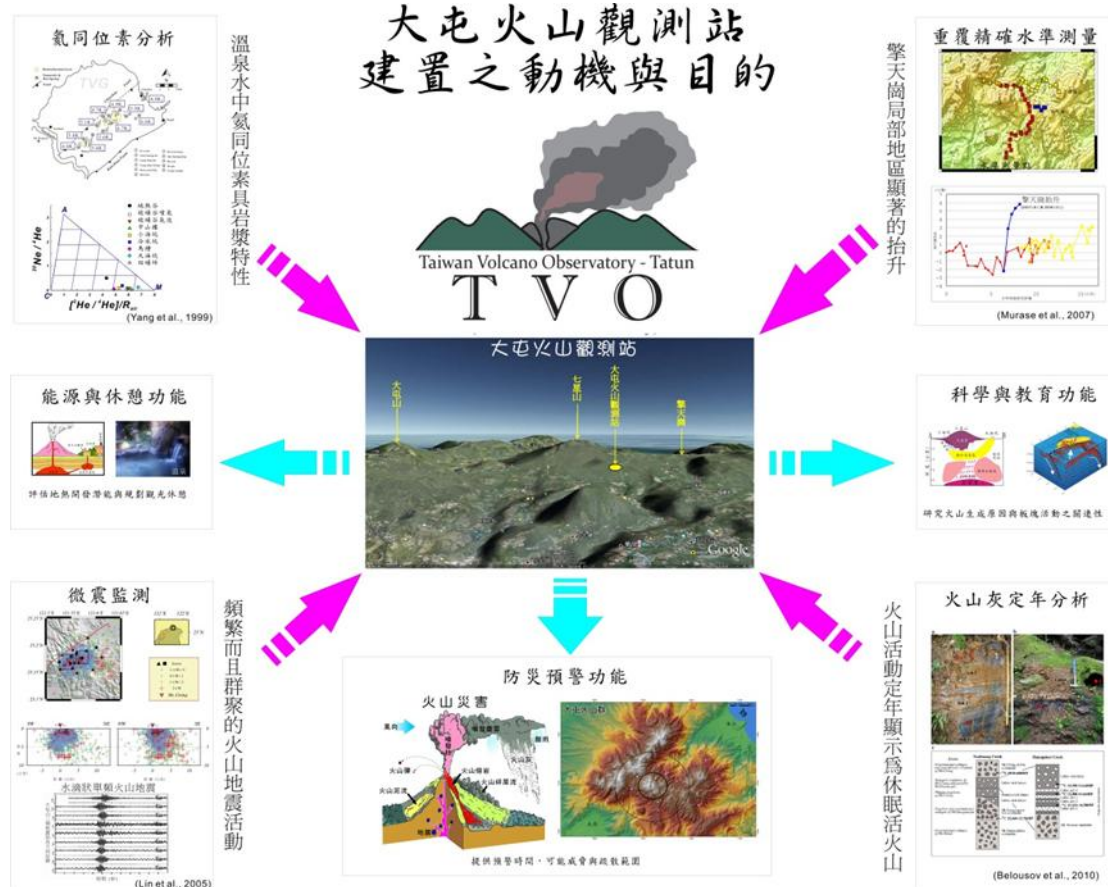
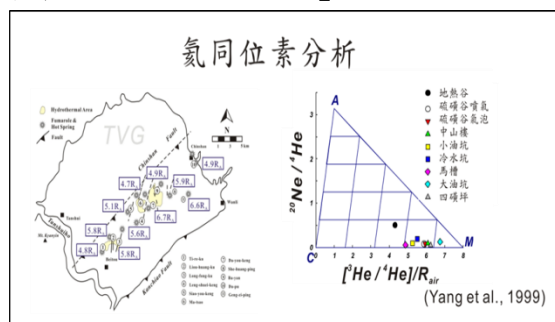


圖 23 大屯火山觀測站建置之動機與目的

國際火山學會對於活火山的定義有以下兩項：(1) 最近一萬年內曾經有噴發等火山活動；(2) 偵測出火山地區地底下仍有岩漿庫存在。大屯火山觀測站的建置主要是根據近年來的四項研究顯示，大屯火山群符合國際火山學會對於活火山的定義（圖 23）。再加上經濟部中央地質調查所於民國 99 年 7 月 30 日舉辦了「大屯火山群火山活動性及活火山芻議」的專家學者諮詢討論會，結果也把大屯火山群歸類為「休眠活火山」。

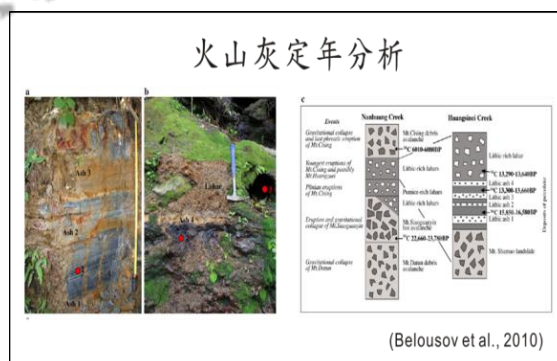


氬同位素： ^3He 和 ^4He 是氬氣在自然界中最重要的兩個同位素。一般認為 ^3He 是在地球剛生成時的原始氬成份，並且被保存在下部地函中；而 ^4He 則

經由地殼中礦物衰變產生。一般說來，地球經過脫氣作用後，加上地殼中有很豐富的鈾及釷元素，故而地殼中所含 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值通常會很小（0.1~0.01 倍大氣比值；0.1~0.01RA, RA 為大氣比值）；而像是夏威夷與黃石公園的岩漿與溫泉的氦同位素比值則顯示有相當大量的地函物質（8~32 RA）。因為氦同位素 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值在大氣、地殼、地函物質中的差異極大，且氦氣在空氣中的濃度低、溶解度極低且不易與其他物質產生化學反應，最能直接反應出源自於地函的岩漿源組成訊號。

自從 1999 年開始，台大地質系楊燦堯教授的研究團隊就開始研究分析大屯火山氣體中的氦同位素。右邊的三角圖的三個端成分分別是 A：空氣；C：地殼；M：地函。由圖中可以看出大屯火山地區的氣體中氦氣超過 60% 來自地函成分，顯示底下可能還存在一岩漿庫。而左圖為氦同位素比值的分布圖，大油坑地區是大屯火山地區中氦同位素比值最高的地方（6.7RA），因此也是岩漿庫最可能存在的地方。

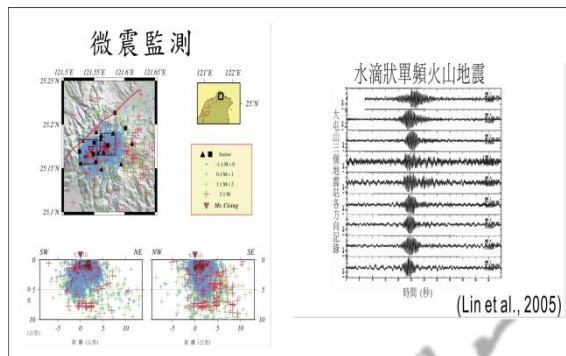
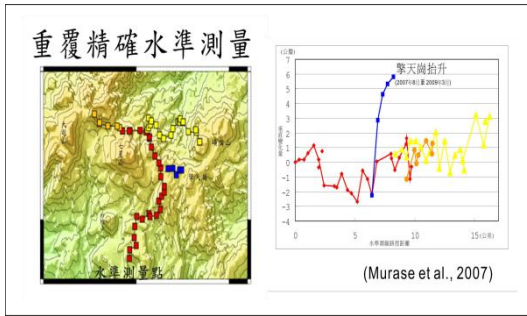
火山灰定年： 由火山噴發記錄來看的話，大屯火山最後一次噴發是在十萬年前，這意味大屯火山群已經沉寂長久，傳統的活火山定義為在一萬年之間有過歷史噴發紀錄，因此依此定



義可將其歸類為休眠火山。然而現在地表的地熱活動還是非常明顯。除此之外在台北盆地岩心的沉積物中發現有原生的火山灰，由礦物成分推論為鄰近大屯火山群噴發的產物，並由地層層序控制推論此一噴發事件年輕於 2 萬年前。而最新的定年相關研究結果紗帽山附近古湖泊的火山灰年代介於 11.6~19.5 千年，甚至年代可年輕至 6 千年左右。因此根據氦同位素的分析結果，大屯火山地區的微震資料，以及最新的定年結果，都指示了大屯火山群仍是一座活火山，只是目前火山並沒有噴發傾向。

水準測量：

此部份是 Murase et al. (2007) 所發表在大屯火山區利用水準測量結果，每年測量一次，以了解地表高程垂直向變化。此結果顯示，大屯火山區每年地表會有些微變化，在 ± 3 公釐之間。比較特別的是，擎天崗附近有比較大的地表變形量，可達 8 公釐左右。代表大屯火山群並非死火山，地表還是會因地底岩漿流動等小規模火山活動，產生些微高程變化。



微震監測：

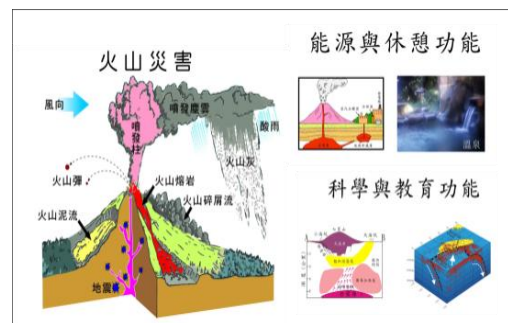
此為在大屯火山區觀測到的地震活動 (Lin et al., 2005b)。地震主要集中在七星山及大油坑底下，深度從地表到 5 公里範圍內，規模在 0-1，個數

每月平均約有 50 個。除了傳統上可見 P 波和 S 波的地震之外，也觀測到活火山地區才有的火山型地震。火山型地震並沒有明顯可見的 P 波和 S 波，地震波形狀有水滴狀和螺絲釘狀等。

火山災害及帶來的能源、休憩、教育功能：

火山爆發雖然是可怕的天然災害，劇烈的火山爆發常具有毀滅性的破壞力，並釋放出大量火山物質與氣體，其爆發前的預兆是相當明顯的，例如地震頻率增加、

火山氣體逸散至大氣、地表溫度上升及動物不能適應而遷移等。對氣候也會造成影響，短時間內，火山灰遮蔽陽光，地球上生物無法獲取所需的太陽能，造成嚴重的生態浩劫；長時間而言，火山噴出的二氧化碳、水氣及甲烷等氣體，增強了



溫室效應，使地球溫度上升。地球歷史中，有些生物大滅絕事件可能和火山爆發有關。科學家可以長期監測火山地區的地質活動，並藉由警告、疏散措施以及平時的防護演練，使災害減至最低。

火山碎屑流是火山災害的其中一種。火山碎屑流是高溫的氣體混和大量的碎屑以相當快的速度急速地掩蓋陸地上的一切，危及大自然動、植物的生命，例如義大利的維蘇威（Vesuvius）火山在公元 79 年的強烈噴發，在山腳下龐貝城的生命也倏然埋藏於六公尺厚的火山灰、熔岩和泥石流下。寧靜式的火山噴發也可能產生災害，因高溫的熔岩流（攝氏 1200 度以上）經過之處，所有動植物都被吞噬。

雖然火山爆發噴出的火山灰和氣體會帶來災害，然而火山噴發也提供人類有益的資源，例如海底火山所冒出的岩漿，冷卻凝固後形成岩石，若高出水面可形成島嶼，台灣澎湖群島就是這麼形成的；岩漿形成後可以聚集有用的金屬成為礦床，台灣北部金瓜石的金銅礦就是火山作用後的產物；地球內部的礦物質隨著熔岩或火山碎屑帶到地表，使土壤肥沃，作物生長茂盛；火山活動後岩漿只要能留在地表下，所產生的地熱，可開發成無污染的能源，最為人熟知的就是溫泉，不但可治療疾病和養生也提供休憩娛樂的價值。所以，如何利用現代化的科技，對這些具有威脅性的活火山進行持續性的監測與研究，是人類一項重要的防災工作，以期降低未來可能火山災害。

③全球火山分佈圖（圖 24）

基礎概念是以世界地圖為基底（須購買有版權之高解析世界地圖），在圖上標註世界主要火山分布（圖 24）。參考資訊(<http://www.volcano.si.edu/index.cfm>) 每周或每月更新火山活動，製作小型火山磁鐵（或圖形）標註正在活動的火山，並在旁提供該火山的相關資訊（可更換式）。另外使用 LED 燈泡標註一些世界上著名的火山，燈泡顏色可依不同區域或不同性質區別（例：島弧火山/熱點）。



圖 24 全球火山分佈展板示意圖

④歷史著名火山活動

針對歷史上世界著名的火山活動所造成的災害等做簡介，如：西元 79 年義大利維蘇威火山突然噴發，造成龐貝城整個被掩埋。

⑤⑥近代著名火山活動

針對近代世界著名的火山活動做簡介，如：夏威夷火山、冰島火山、日本火山等。

⑦高解析光達（LiDAR）地形展示（圖 25）

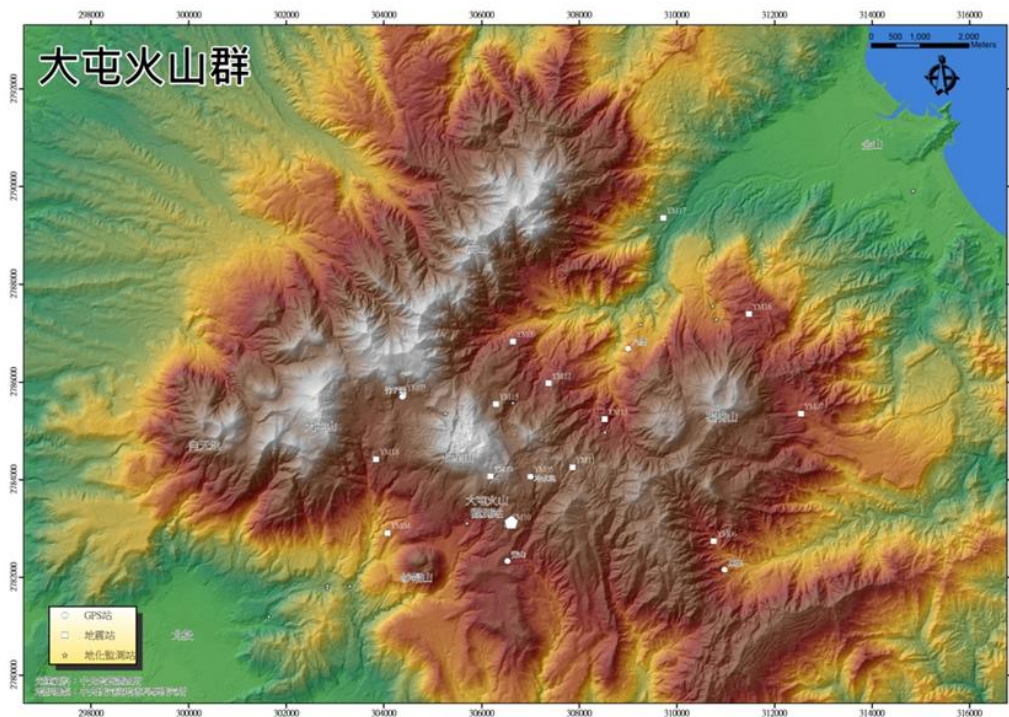


圖 25 大屯火山區的高解析光達（LiDAR）地形圖

圖 25 為大屯火山區的高解析光達（LiDAR）地形圖，光達資料來自經濟部中央地質調查所，由中研院地球所詹瑜璋副研究員繪製提供。此張大屯火山區光達地形圖的解析力高達 2 公尺，所以可以清楚看到早期藉由航照圖所繪製的地形圖，所不能看到細微的地形構造，如磺嘴山的火山口及熔岩流台地，小油坑清楚的塌陷等，還有一些過去因為受到植被影響而無法看到的清晰火山口。圖中並且標示了目前大屯火山區內的地震站以及氣體和溫泉採樣點位。

⑧台灣北部地質背景和演化過程（圖 26）

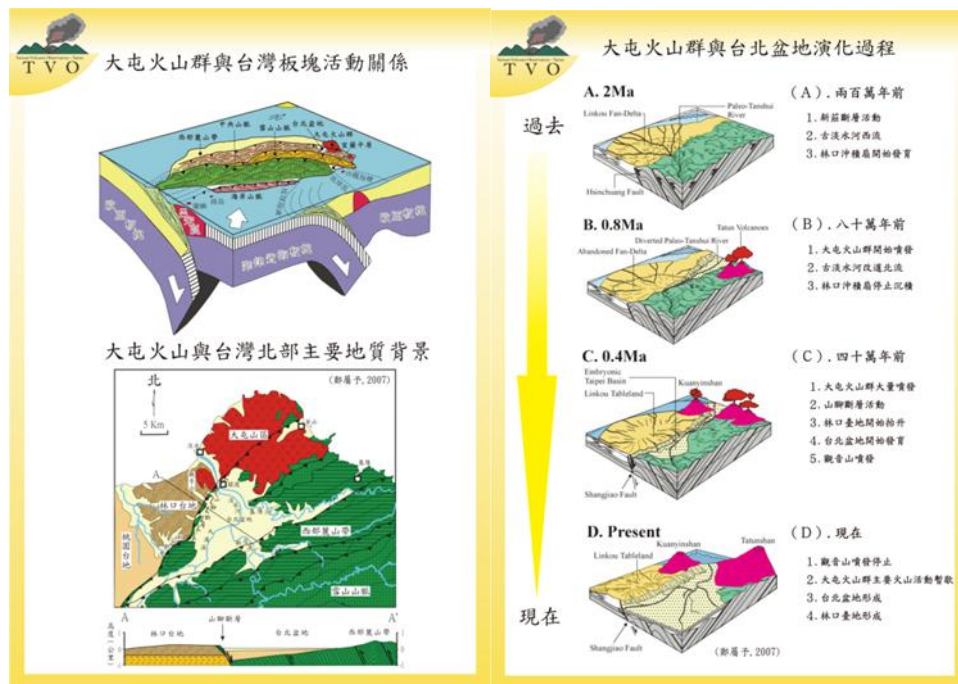


圖 26 台灣北部地質背景和演化過程海報

地質背景：

台灣位於歐亞板塊和菲律賓海板塊的交接處，有相當複雜的地質構造。過去大屯火山群被認為是琉球島弧向西的延伸，也就是說大屯火山群的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。然而近年的地球化學資料顯示，台灣北端火山群與真正琉球火山弧的產物不同，其火成岩中玄武岩的洋島性質比島弧性質要高，暗示北部火成岩有可能是因為板塊內部張裂所造成，Wang et al.(1999, 2004)的相關研究更是認為台灣北部的火山活動是由北台灣造山帶拉張崩毀所造成。根據大地應力研究 (Suppe, 1984)，呂宋島弧與歐亞大陸碰撞是由北向南，使得台灣北部的大地應場在更新世晚期由擠壓轉變成擴張。大屯火山群是因為張力陷落造成正斷層，而之後岩漿沿著斷層裂縫湧出所造成；如果一來，若是整個區域仍在繼續擴張中，也就是說火山形成的機制還繼續存在，那麼大屯火山便有可能再次活動。大屯火山群的分佈範圍大約涵蓋有 250 平方公里，東南方以崁腳斷層與漸新世沉積岩相

地殼變形監測又可區分為水準測量及 GPS 觀測。水準測量對於監測地表高程（垂直向）變化的精確度比 GPS 觀測高，每年固定對同一條路線做水準測量，則可得到相同路線每年的高程變化，但需花費大量的人力、物力及時間。圖 27 是 Murase *et al.* (2007) 發表在大屯火山區，在 4 條不同測線利用水準測量結果。發現大屯火山區每年地表會有些微變化，在 ± 3 公釐之間。比較特別的是，擎天崗附近有比較大的地表變形量，可達 8 公釐左右。GPS 觀測對於監測地表水平向變化的精確度比垂直向高。目前在陽明山地區，大屯火山觀測站架設 5 個固定 GPS 觀測站，而內政部也有一個觀測站 (YMSM)。挑選出西元 2005-2011 資料，把在大屯火山區外的中研院地球所 GPS 觀測站當成參考固定站，和這 6 個在大屯火山區的觀測站做相對距離解算，發現這 6 個分散在大屯火山區的 GPS 觀測站，每年往東南方移動約 3 公釐左右。藉由在大屯火山區的水準測量及 GPS 觀測結果，發現大屯火山群並非死火山，地表還是會因地底岩漿流動等小規模火山地熱活動，會產生些微地殼變形。

⑩地球化學監測（圖 28）



圖 28 地球化學監測海報

火山氣體：火山學家長久以來均認為存在於岩漿中的氣體是造成火山爆發相當重要的原因之一。只要有岩漿存在於地下，火山氣體就會一直經由擴散或是火山活動等形式上升到地表，無論是經由火山噴發、噴氣口或甚至是土壤等介質；在火山活動劇烈或是休眠時期，都可以觀察到異於空氣成份的火山氣體。因此火山氣體監測的目的在於了解火山氣體在火山活動時可能產生的變化，每一個火山活動對應的氣體變化都不盡相同，因此長時間的觀察其活動與變化才能精確掌握火山活動的狀態並進一步進行預警的工作。目前我們有在使用地球化學方法監測火山氣體的方法分別有 1.火山口直接採樣以及 2.土壤氣體通量測量。

火山口直接採樣分析是長期監測火山相當理想的方式，因為可以幫助我們了解特定火山口或是噴氣孔氣體的詳細成份與時間的變化；然而因為實驗室分析往往需要足夠時間才能得到結果，因此對於成份變化快速的火山並不適合用這個方式監測。此外，本方法對於需要相當靠近火山口採樣的科學家來說是較不安全的，特別在火山活動劇烈時。我們使用鈦管伸入噴氣孔，使用特製的容器將火山氣體

保存並攜回實驗室進行分析，若是溫泉氣泡則使用排水集氣法收集樣品。為了要區辨氣體的來源，除了分析火山氣體成份，還會分析氣體同位素，如之前提到的氮同位素。

土壤氣體顧名思義即是存在於地下的氣體，可能經由生物或是地質等作用（如火山活動或是斷層）產生。由於氣體密度低而經由土壤中的裂隙擴散至地表，又和大氣成分有明顯不同，因此可以藉由分析土壤氣體成分來了解當地相關的地質作用及其活動。在火山地區，主要影響土壤氣的地質作用為火山活動，測量土壤氣體的通量是一個相當適合的方式來監測火山。由於在火山氣體中除了水蒸氣之外，通常以二氧化碳含量最多，因此最常被用來作為監測的項目，其他如氬氣也是常用的另一項指標氣體。土壤氣監測站通常與噴氣孔有一段距離，因此可以讓科學家在安全的距離內監測火山活動；此外，藉由繪製通量等高線圖，可提供辨識火山特徵及未來可能噴發點的資訊。這樣的優點，在噴發前和噴發期間更顯重要。目前在大屯火山地區設置有兩座土壤氣連續監測站，分別在小油坑及八煙地熱區。

地溫和溫泉：除了氣體之外，其他如溫泉水質和溫度變化也會因為受到火山活動影響而改變。當岩漿上升，噴氣孔溫度以及地溫會直接受到高溫岩漿影響而造成溫度升高，因此溫度的改變也可以做為火山活動的指標。同樣的，溫泉水的水質（pH 值、導電度等）以及化學成分（陰、陽離子）也會因為受到火山活動影響而有所改變。大屯火山地區的溫泉約有 25 處之多，大致上沿著山腳斷層分布。大屯火山群溫泉水水質和水化學的變化，主要會受到 1.地下岩漿庫所釋放出的火山流體、2.降雨的天水、3.海水入侵（主要為金山地區）、4.地層間水（滲水）和 5.圍岩的影響，而使其有所變化。因為受到較多外在因素影響，溫泉水不像火山氣體會相當敏感的反映岩漿活動。然而溫泉水在受到岩漿所釋放出的流體影響時，相比平靜時期會有較大的變化起伏，反應來自地下的熱與氣體成分的改變，因此溫泉水仍是相當有效的火山活動的監測方法之一。

⑪地震活動監測（圖 29）

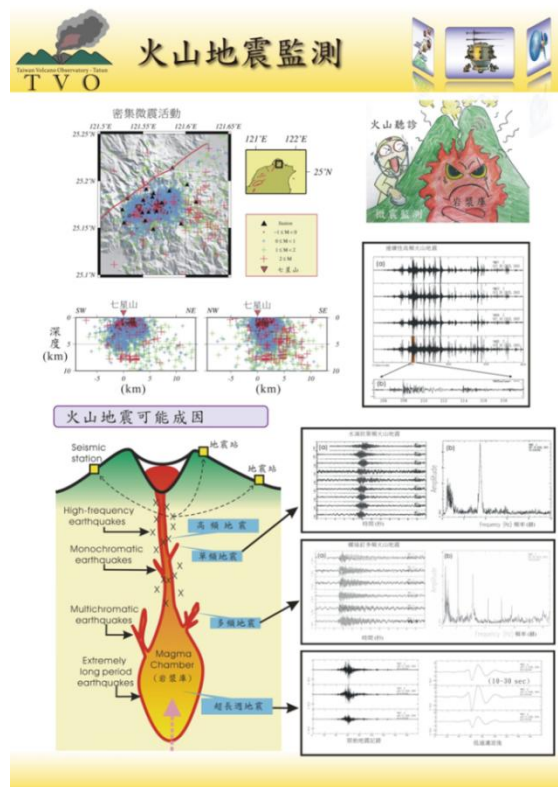


圖 29 地震活動監測海報

藉由在大屯火山區設立的 20 個寬頻地震站，除了有 10 個測站有網路傳輸，可以即時傳回連續紀錄之外，也會每個月固定到所有測站收集資料，以確保資料完整性。地震主要集中在七星山及大油坑底下，深度從地表到 5 公里範圍內，規模在 0-1，個數每月平均約有 50 個。除了傳統上可見 P 波和 S 波的地震之外，也觀測到活火山地區才有的火山型地震。火山型地震並沒有明顯可見的 P 波和 S 波，地震波形狀有水滴狀和螺絲釘狀等。不同形狀的火山型地震紀錄，所代表的地震發生深度位置不同。水滴狀單頻火山地震發生在近地表處，螺絲釘多頻火山地震發生在較深的地殼，而超長週期火山地震則發生在更深的岩漿庫。藉由監測到不同類型的火山地震，科學家藉此判斷岩漿所在深度位置，進一步可用來作為火山噴發預警。

⑫TVO 監測室（圖 30）



圖 30 TVO 監測室

在監測室中有四個展示電視，把各種不同野外測站的訊號，即時傳回大屯火山觀測站來監測火山活動。四個電視展示的內容分別為地殼變形監測、地震活動監測、地球化學監測及即時影像等監測。



地震活動監測：把有網路傳輸的 20 個地震站資料即時傳回，以掌控大屯火山區的地震活動。其中包含了大屯火山觀測站在大屯火山區內的 10 個地震站，還有交通部中央氣象局及經濟部地質調查所在大屯火山區外圍約 10 個地震站的資料即時傳回。



GPS 監測：地殼變形監測有 5 個 GPS 測點，分別展示每測點三分量（兩個水平向及一個垂直向）即時地表變形、接收衛星數目及所在空

中位置，與中研院地球所參考固定站間的相對位移。此外，也展示了冷水坑傾斜儀的測量結果，包含兩個水平向當天及一星期的傾斜角度變化，每小時傳輸資料且更新結果。

地化/地溫監測：螢幕的左半部顯示的是土壤氣體監測。

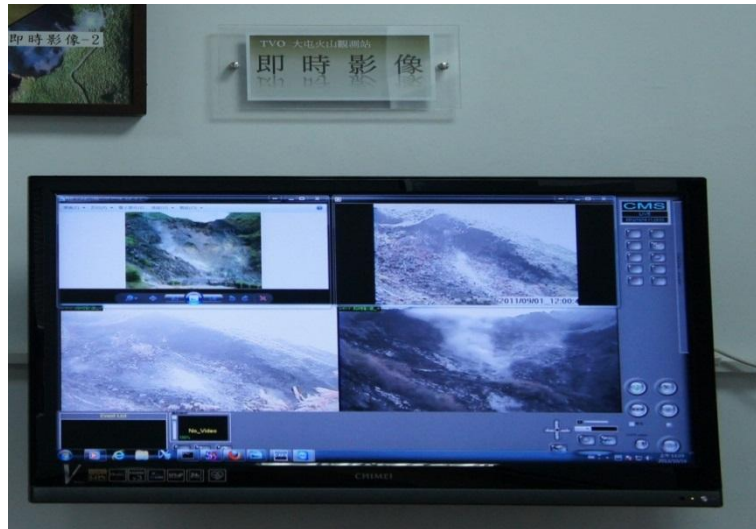
目前在大屯火山地區設置有兩個土壤氣體監測站，分別在八煙及小油坑地區。我們在野外架設分析儀連續分析，而資料可以即時透過 3G 傳送至後端系統。



這邊即時傳送回來的資料是土壤氣體中二氧化碳的濃度變化，監測土壤氣體中二氧化碳的原理是，只要有岩漿活動，二氧化碳就會經由噴氣口或鄰近地區的土壤逸散至大氣之中。通常火山活動越活躍，二氧化碳的濃度也會增加。在取得濃度資料後，我們仍須透過計算來得到每小時的通量。而除了二氧化碳之外，目前監測站內也架設氬氣分析儀，只是目前仍須人工下載資料，未來也會建設資訊即時傳送系統。

螢幕的右半部顯示的是地溫監測。

由於地球化學成分的變化和溫度常常有重大的關聯性，因此放在一起作展示。目前的兩個即時地溫資料傳輸設置在小油坑和菁山自然中心。小油坑是量測噴氣孔的溫度，溫度多維持在 95 度左右，相當穩定並不受到天候影響。菁山自然中心則是設置在地溫水井中，溫度會受到氣候和降雨的影響，變化較大。目前大油坑也已放置地溫監測的儀器，只是大油坑所處位置傳訊不便，目前即時傳輸工作正進行中。其他如煥子坪、八煙等地未來也會陸續增設地溫監測系統。



即時影像：在小油坑遊客中心戶外，正對著主要噴氣口的攝影機影像即時傳回。藉由簡易的目視噴氣口的噴氣量多寡，直觀的判定火山活動度。除此之外，也展示了今年（民國 102 年）初在菁山自然中心附近裝設的磁力儀所測得磁場結果。顯示一星期以來磁場變化，每天傳輸資料且更新結果。

火山灰擴散模擬（投影機）：

西元 2010 年冰島的艾雅法拉火山噴發，大量的火山灰癱瘓了歐洲的空中交通，造成經濟大損失。同年，印尼的梅拉皮火山噴發，上百人喪生。西元 2011 年日本地新燃岳火山多次噴發，嚴重影響當地機場運作及附近交通。因此國人對於大屯火山是否會在活動，以及如果活動的話火山灰會造成怎樣的災害非常感興趣。中央大學大氣系的王國英教授便利用西元 2011 年當時真實的氣候狀況，模擬大屯火山噴發時，火山灰其擴散範圍以及濃度現象。基本上，台灣冬天受到東北季風影響，如果噴發是發生在冬天，則火山灰主要會向南擴散。反之，夏天因為南風的關係，火山灰會向北方擴散。其他還必須考慮到火山灰噴發高度以及西風帶的影響等等參數。

⑬大屯火山群照片欣賞（圖 31）

在走廊旁的牆壁上展示 8 張大屯火山群照片，以提供民眾欣賞。



圖 31 牆上照片欣賞

三、菁山自然中心火山宣導展板規劃

菁山自然中心大屯火山監測 6 個 (⑭⑮⑯⑰⑱⑲) 新的宣導展板大小有二種尺寸, 3 個 210cm×140cm (大)、3 個 100cm×140cm (小), 其中⑮⑯⑰⑱⑲展板的內容, 是以輔助解說展板②為主, 以下為六面宣導展板內容:

⑭ QRCode 好站連結 (小展板)

基礎概念是提供相關資訊給對於想要更進一步了解和學習的民眾。現今社會智慧型手機及相關產品非常普及, 可以直接透過掃描 QR 碼將相關網站位置儲存, 提供一個便利的管道。相關網站主要以火山觀測及地質研究為主。

關於大屯火山觀測站

台灣位於環太平洋的『火環帶』上, 鄰近的國家, 如日本、菲律賓都受到火山的威脅, 幸運的是台灣本島的火山活動並不活躍, 除了台灣北部的大屯火山群仍有明顯的火山活動之外, 島上並無其他任何現生的火山存在。

大屯火山觀測站的成立宗旨是為了要掌握火山活動的特性, 同時採用多種不同地球科學方法來完成。目前站內建立各項即時火山監測系統, 主要包括地震觀測、火山氣體分析、地殼變形及地溫監測等, 以期達到火山監測與研究之目標。同時將所有大屯火山分析研究之成果於展示區呈現, 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。



在參觀我們的大屯火山觀測站之後, 相信大家對大屯火山的認識又更進一步。想要知道更多有關大屯火山觀測站的相關訊息嗎? 請拜訪大屯火山觀測站網頁, 有更詳細的介紹喔~~ 網址:<http://tec.earth.sinica.edu.tw/TVO/>

相關研究網站:

還覺得意猶未盡??

有相當多的學術單位、政府機關以及私人團體提供了更多資訊, 歡迎有興趣的朋友一同來學習~~

 中央大學地球科學系 網址: http://www.gep.ncu.edu.tw/		 臺灣大學地質科學系 網址: http://web.gl.ntu.edu.tw/	
 中央地質調查所 網址: http://www.moeacgs.gov.tw/		 Global Volcanism Program 網址: http://www.volcano.si.edu/index.cfm	
 中央研究院地球所 網址: http://www.earth.sinica.edu.tw/		 Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia 網址: http://www.ingv.it/it/	
 中央氣象局 網址: http://www.cwb.gov.tw		 Philippine Institute of Volcanology and Seismology 網址: http://www.phivolc.dost.gov.ph/	
 國家科學委員會 網址: http://web1.nsc.gov.tw/		 The Volcanological Society of Japan 網址: http://www.kazan-g.sakura.ne.jp/E/	
 陽明山國家公園 網址: http://www.ymnp.gov.tw/		 USGS Volcano Hazards Program 網址: http://volcanoes.usgs.gov/index.php	

*以上順序按中文筆劃排列

除了以上這些資訊之外, 還有相當相當多的資訊等待大家一起去發掘喔~~~

圖 32 QRCode 好站連結

⑮地熱能源（大展板）

近年來，由於全球暖化議題，綠色能源逐漸開始受到重視，地熱能源是其中之一。火山地區的地熱能源相當豐富，有些國家應用地熱能源來發電，如：美國、冰島、菲律賓等。台灣早在民國 66 年時，就成功在宜蘭清水地熱區利用地熱發電，但因管線腐蝕等問題，在民國 82 年停止發電。但是近幾年又開始重新評估、測試宜蘭清水地熱區，利用地熱發電的可能性。至於大屯火山區，由於大多位在陽明山國家公園管轄範圍內，目前尚未進行地熱探勘，評估未來可能的地熱發電規模。

地熱能源

地熱能為來自地球深處的可再生能源，估計地球中心的溫度有6,000°C以上，這是因為在地球內部深處存在大量放射性元素在不斷進行核反應，因此有這樣高的溫度；而在 80至100公里左右的深度時，溫度則會降至攝氏650度至1200度。這些熱能經過火山噴發、地震、溫泉、大地熱傳導等途徑，不斷地向地表散發，如此便產生了地熱能。地球表面每年散失的熱量高達 2.4×10^{17} 千卡，相當於燃燒 1.68×10^{10} (168億) 桶石油的熱量，這個數字是全世界一年所消耗能源的43%，並且僅僅只是估算地表逸散的熱能而言。

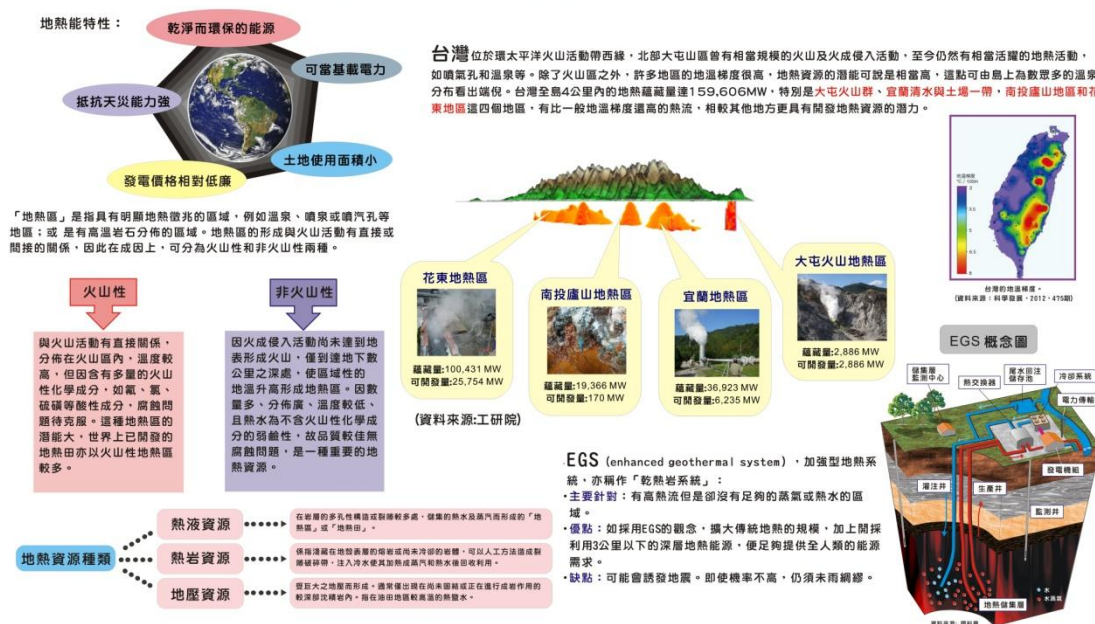


圖 33 地熱能源

⑩火山災害與預警（大展板）

火山噴發時所帶來的災害，依照噴發規模大小所影響的區域而有所差異。近距離所造成的災害以火山碎屑流最為嚴重，遠距離影響則主要是以火山灰為主。台灣目前尚未規劃完善的火山預警及疏散系統，是往後政府相關部門努力的重點之一。

火山熔岩流

為一高溫的熔融液體，溫度可能超過900°C以上，流經之處的所有物體將全被破壞殆盡。



Enta火山的熔岩流



1982年菲律賓馬尼拉火山噴發的熔岩流
資料來源：Brocken Imaging

火山泥流

- 類似一般人所熟悉的土石流。
- 為火山物質混雜大量的水，從火山向下流的泥石流或山崩。
- 速度高達每小時100公里，前進超過300公里，造成災難性的破壞。



1985年哥倫比亞的Nevado del Ruiz火山的泥流淹沒了城市阿梅納巴爾。

資料來源：Jeffrey Warron, USGS geologist.

火山彈

- 火山碎屑岩的一種。依其大小可分為：火山塵、火山灰、火山礫、火山塊、火山彈。
- 火山彈的外形與岩漿成分有關，基性岩漿以橢圓或紡錘狀為主。中性岩漿因其含的氣體多，易於炸裂，型態不完整成麵包皮狀。



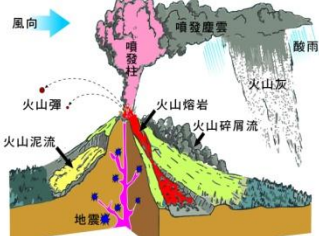
薩利山國家公園噴煙道內拍攝的麵包皮狀火山彈

火山碎屑流堆積

- 特點為溫度高且流速快。
- 因火山噴發柱崩塌，或熔岩窪丘崩塌所形成的。
- 最高溫度超過攝氏六百度。



1981年菲律賓馬尼拉火山噴發的火山碎屑流
資料來源：C. E. Newhall (1983)



其他災害

火山噴發可能引起地震、山崩和海嘯等災害；這些災害可能發生在火山噴發當時或噴發過後伴隨而來，也可能由其他作用所引發。



日本Otaoka山1983年的山崩和火山灰流
資料來源：T. C. Pierson (1983)



在火山灰流前進前，地震已使先鋒隊手槍壕崩潰
資料來源：G. A. Scott (1983)

火山灰落堆積

- 粒徑在2mm 以下的碎石和礦物質粒子。
- 火山灰噴至空中後，再掉落到地表堆積。
- 分布範圍相當廣，影響範圍也大。
- 會造成嚴重的飛安問題。



菲律賓奧斯達火山噴發時的火山灰堆積



薩利山國家公園的噴煙道

火山氣體

- 火山氣體，如SO₂、SO₃、H₂S、HCl等，可能對人體直接造成傷害。
- 硫化物等噴入高空，會使太陽光無法穿過大氣層到達地表而影響全球的气候。
- 形成酸雨。



薩利山國家公園上的Munozky火山噴發

火山帶來的利益

- 火山附近常有溫泉或熱泉，帶來觀光效益。
- 開發地熱能源。
- 帶來肥沃的土壤。
- 製造陸地。
- 礦產資源：如硫磺、金礦。
- 天然的氣候調整機制。

圖 34 火山活動與災害

⑰火山氣體監測（小展板）

氦同位素是火山氣體監測裡面一項相當重要的指標。透過此展板（圖 35）主要是讓民眾可以更加瞭解氦同位素的原理和應用。展板內容設計兩處可以讓民眾可以互動的地方。分別為 1.) 尋找氦躲在週期表的哪個角落，以及 2.) 尋找台灣（或其他地區）的氦同位素值為多少。

不小心 氦 到你~ 氦同位素的應用

氦氣是一種稀有氣體，為化學週期表的零族元素。由本身原子的電子排列結構，氦氣的化學性質極為不活潑，難以和其它元素形成化合物。

氦氣是強烈揮發性的氣體，除氫氣以外，是宇宙中最豐富的元素；然而在地球中其豐度卻極低。由於氦氣的稀少性、與「惰性」，使其成為很好的「追蹤劑」，可以用來作為討論有關的物理過程，而不涉及極為複雜的天然化學過程。氦在自然界中有兩種穩定同位素： ^3He 與 ^4He 。

^4He ：是由岩石和礦物中鈾和釷變產生。

^3He ：一般認為 ^3He 為原始地球形成時，即被儲存在地球內部。

$^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值在天然樣品中的變化很大。

地殼中有很豐富的鈾及釷元素，因此地殼中所含 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值通常會很小（ $0.1 \sim 0.01$ 倍大氣比值； $0.1 \sim 0.01 R_A$ ， R_A 為大氣比值）。

而地球剛生成時的原始氦成份，則被保存於下部地函中，故而源自於下部地函的物質通常有很高的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值（ $^3\text{He}/^4\text{He} > 30 R_A$ ）。另外分析大量源自於上部地函的海底洋中脊玄武岩（Mid Ocean Ridge Basalt），發現他們有非常均一的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值（ $8 \pm 1 R_A$ ），顯示地函是有分層的，可以分為下部地函與上部地函。

故由氦同位素比值，我們可以判斷物質是源自於：

- (1) 原始地函成分；包括下部地函（ $^3\text{He}/^4\text{He} > 30 R_A$ ）以及上部地函（ $8 \pm 1 R_A$ ）
- (2) 地殼成分（ $0.1 \sim 0.01 R_A$ ）
- (3) 空氣成分（ $1 R_A$ ）。

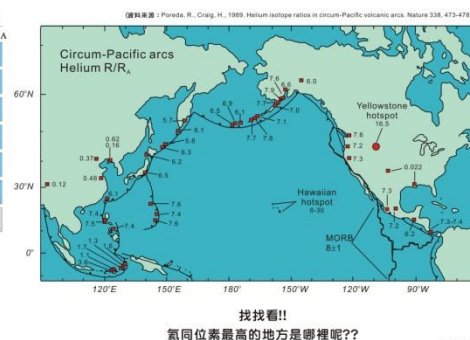
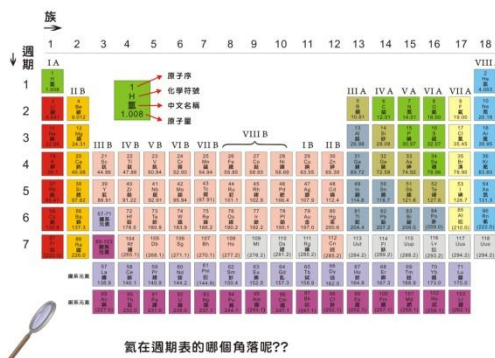
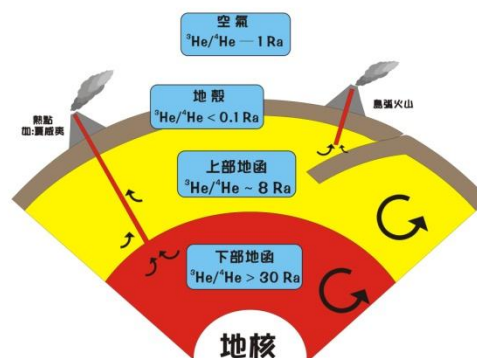


圖 35 火山氣體監測展板示意圖

⑱ 碳 14 定年法（小展板）

碳 14 定年是常見的地質定年法之一。利用在想要定年的地層中，尋找木材碎片等含碳相關物質，回實驗室中利用儀器測得碳 14 的半衰期，進一步推估所在地層的年齡。

請問貴庚??!!

碳十四定年的應用

我們的地球已經經歷了46億年的歲月了!!在這漫長的時間中，經歷了許許多多的變遷，而這些歷史的刻痕被記載在地層、冰層、樹輪、珊瑚...之中，靜靜地等待科學家們去發掘。為了重建地球演變的歷史，了解不同地質時代的古環境、古氣候以及大大小小的特殊事件，首先我們必須要做的是能夠斷定各種古環境發生的先後順序(相對年代)或實際年代，以下是地質科學家常使用的方法：1. 放射性定年法，2. 核飛跡定年法，3. 古地磁定年法，4. 相對定年法，5. 其它定年法。



這些都是定年的材料囉~~

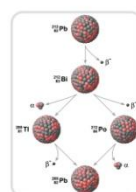
放射性定年法是最廣為使用的定年方法；由於自然界中含有許多放射性元素，這些放射性元素並不穩定，需要經過蛻變才能變成安定的元素。每一種放射性元素都有其固定的蛻變速率，稱作半衰期，就是指放射性元素蛻變到剩下原來質量或原子的一半所需的時間。放射性定年法有相當多種，而最廣為使用的是**碳十四定年法**以及**鉀-氬定年法**。

碳十四定年法：

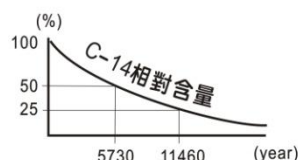
原理：生物體透過呼吸、進食等方式不斷地自外界攝入碳十四，最終在生物體體內的碳十四/碳十二的比值會與環境一致，而當生物體死亡後停止繼續攝入碳十四，體內的碳十四開始產生衰變，造成比值改變。透過測定此比值便可以測定該生物的死亡年代。

半衰期：5730 ± 40年。應用局限於5到6萬年。

缺點：因研究素材為碳，不能運用於無機物。



放射性衰變鏈之例：鉛-212 (212Pb)
轉為鉛-208 (208Pb)
圖片來源：維基百科網頁



碳14同位素的產生： $^{14}\text{N}_7 + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{14}\text{C}_6 + ^1_1\text{H}_2$



圖 36 碳十四定年介紹

⑱ 台灣的火成岩分佈（大展板）

針對台灣地區火成岩分佈的區域，附註照片及解說。如：大屯火山區、龜山島、澎湖、基隆嶼、彭佳嶼、花瓶嶼、棉花嶼、綠島、蘭嶼、金門、馬祖等。

台灣的火成岩分布 除了北部的大屯火山群之外，台灣還有哪些地方可以看到現生的或是歷史的火成活動呢？

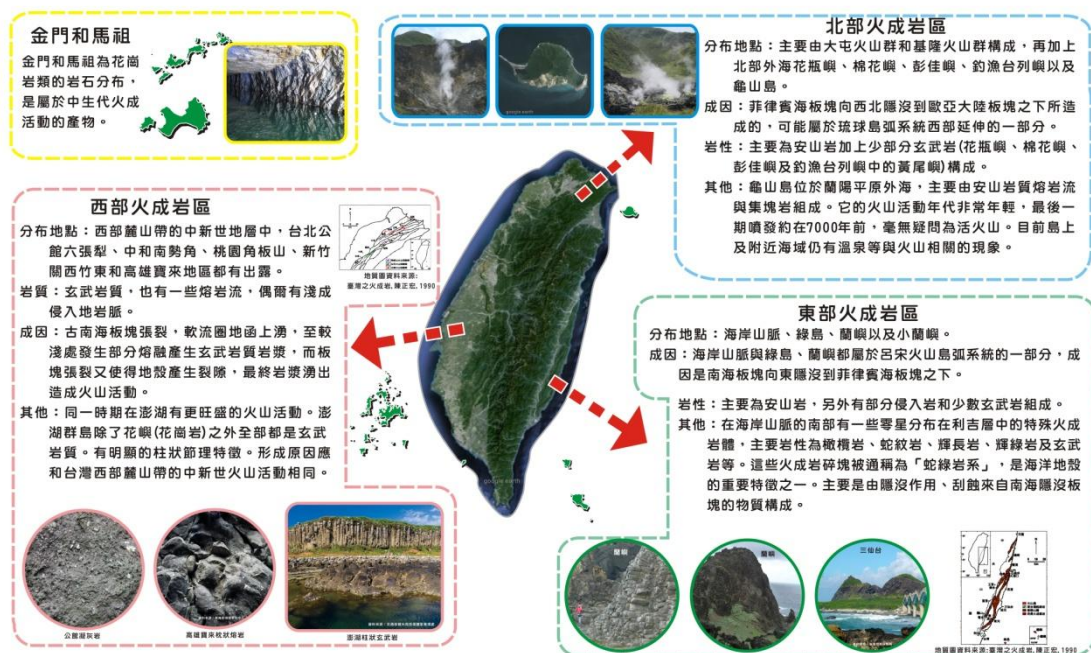


圖 37 臺灣的火成岩分佈

四、親手做科學小實驗

菁山自然中心火山宣導動線導覽主要以海報及展板為主，但是為了提高參觀民眾及小朋友的興趣，以下提供兩項活潑、生動有趣的科學小實驗，來呈現幾種監測之簡單原理。

(一) 模擬火山熔岩流（圖 38）

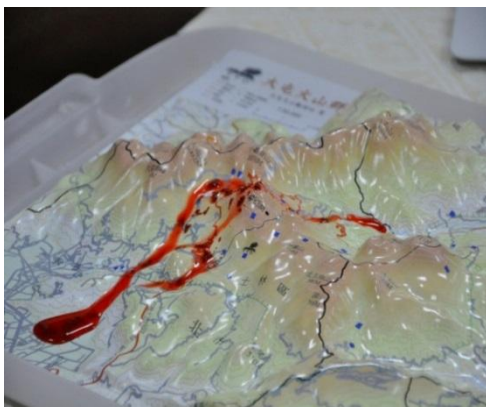
材料：紅色色素，洗碗精，空瓶子，滴管，火山 3D 立體圖



步驟一：將紅色色素與洗碗精倒入空瓶子中均勻混合。



步驟二：用滴管抽取調好之溶液，滴在 3D 立體圖上方之火山口，溶液滴得越多越快，代表火山熔岩流冒出得越快急。



步驟三：依據山形地勢，火山熔岩迅速地四處流竄，藉此實驗我們可仔細觀察、討論，一但岩漿冒出，影響的範圍、程度。

圖 38 火山熔岩流實驗操作流程圖

(二) 模擬火山噴發 (圖 39)

材料：乾冰，紅色色素，洗碗精，空瓶，夾子，拖盤，火山立體圖，水。



步驟一：事前將乾冰敲碎，置入保存罐中。將紅色色素與洗碗精調好之溶液待用。

<http://neic.usgs.gov/neis/education/volcano/>

免費下載火山立體圖

步驟二：將調好之溶液加水，然後置於火山立體圖下方，用夾子取適量乾冰放入火山口，經化學變化後即從火山口冒出微微紅紅的煙霧。隨著加入越多的乾冰,冒出的煙也就越多。



步驟三：火山口下的化學作用不斷，上方的煙霧亦不斷，此時我們可以人工吹氣代替風向，觀察變化。

圖 39 模擬火山爆發操作流程圖

參考文獻

- 莊文星、陳汝勤，1989，台灣北部火山岩之定年與地球化學研究，經濟部中央地質調查所彙刊，5, 125-166。
- 鄧屬予，2007，台灣第四紀大地構造，經濟部中央地質調查所特刊，第 18 號，第 1-24 頁。
- Allard, P., Carbonelle, J., Dajlevic, D., LeBronce, J., Morel, P., Robe, M. C., Maurenads, J. M., Faivre-Pierret, R., Martin, D., Sabroux, J. C., Zettwoog, P., 1991. Eruptive and diffusive emissions of CO₂ from Mount Etna. *Nature*, 351, 387-391.
- Belousov, A., Belousova, M., Chen, C.H. and Zellmer, G., 2010. Deposits, character and timing of recent eruptions and gravitational collapses in Tatun Volcanic Group, Northern Taiwan : hazard-related issues. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 191, 205-221.
- Chen, C.H., Lin, S.B., 2002. Eruptions younger than 20 ka of the Tatun Volcano Group as viewed from the sediments of the Sungshan Formation in Taipei Basin. *Western Pacific Earth Sciences* 2, 191-204.
- Chen, C.H., Burr, G.S., Lin, S.B., 2010. Time of a Near Holocene Volcanic Eruption in the Tatun Volcano Group, Northern Taiwan: Evidence from AMS Radiocarbon Dating of Charcoal Ash from Sediments of the Sungshan Formation in Taipei Basin. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* 21(3), 611-614.
- Chiodini G., Cioni R., Guidi M., Raco B., Marini L., 1998. Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas. *Applied Geochemistry*, 13, 543-552.
- Giggenbach, W.F., 1975. A simple method for the collection and analysis of volcanic gas samples. *Bulletin of Volcanology* 36, 132-145.
- Giggenbach, W.F., 1996. Chemical composition of volcanic gases. In : Scarpa, R., Tillin, R.I. (Eds.), *Monitoring and Mitigation of Volcanic Hazards*. Springer, Berlin, pp. 221-256.
- Lin, C. H., K. I. Konstantinou, H. C. Pu, C. C. Hsu, Y. M. Lin, S. H. You and Y. P. Huang, 2005a. Preliminary results of seismic monitoring at Tatun volcanic area of northern Taiwan, *Terr. Atm. Ocean.*, Vol. 16, No. 3, 563-577.
- Lin, C. H., K. I. Konstantinou, W. T. Liang, H. C. Pu, Y. M. Lin, S. H. You and Y. P. Huang, 2005b. Preliminary analysis of tectonic earthquakes and volcanoseismic signals recorded at the Tatun volcanic group, northern Taiwan, *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, No.10, L10313.
- Murase, M., Ishikawa, K., Lin, C., Lin, J., Pu, H., Kimata, F., Miyajima, R.,

- Nakamichi, H. and Suzuki, A., 2007. Estimated pressure source and vertical deformation in Tatun volcano group, Taiwan, detected by precise leveling in June 2006-August 2007. AGU Fall Meeting 2007, abstract V11C-0740.
- Pecoraino, G., Giammanco, S., 2005. Geochemical characterization and temporal changes in parietal gas emissions at Mt. Etna (Italy) during the period July 2000- July 2003. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* 16, 805-841.
- Rose, W. I., Chuan, R. L., Giggenbach, W. F., Kyle, P. R., Symonds, R. B., 1986. Rates of sulphur dioxide and particle emissions from White Island volcano, New Zealand, and an estimate of the total flux of major gaseous species. *Bulletin of Volcanology* 48, 181-188.
- Song, R.S., Yang, T.F., Yeh, Y.H., Tsao, S., Lo, H.J., 2000. The Tatun volcano group is active or extinct? *Journal of the Geological Society of China* 43, 521-534.
- Sudo, Y and Hurst, A.W., 1998. Temperature changes at depths to 150 meters near the active crater of Aso Volcano : preliminary analysis of seasonal and volcanic effects. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 81, 159-172.
- Suppe, J., 1984. Kinematics of arc-continent collision, flipping of subduction, and back-arc spreading near Taiwan. *Memoir of the Geological Society of China* 6, 21-33.
- Symonds, R.B., Rose, W.I., Bluth, G.S.J., Gerlach, T.M., 1994. Volcanic gas studies: methods, results, and applications. In: Carrol, M.R., Holloway, J.R. (Eds.), *Volatiles in Magma. Review of Mineralogical Society of America*, Washington DC, pp. 1-64.
- Tilling, R.I., 1989. Volcanic hazards : Short course in geology, volume 1.28th International Geological Congress, Washington, D.C., 123P.
- Wang, K.L., Chung, S.L., Chen, C.H., Shinjo, R., Yang, T.F., Chen, C.-H., 1999. Post-collisional magmatism around northern Taiwan and its relation with opening of the Okinawa Trough. *Tectonophysics* 308, 363-376.
- Wang, K. L., Chung, S. L., O'Reilly S. Y., Sun, S. S., Shinjo, R., and Chen, C.H., 2004. Geochemical constraints for the genesis of post-collisional magmatism and the geodynamic evolution of the northern Taiwan region. *Journal of Petrology* 45 (5) , 975-1011.
- Yang, T.F., Sano, Y. and Song, S.R., 1999. $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios of fumaroles and bubbling gases of hot springs in Tatun Volcano Group, North Taiwan. *Nuovo Cimento*, 22C, 281-286.
- Yang, T.F., Lan, T.F., Lee, H.F., Fu, C.C., Chuang, P.C., Lo, C.H., Chen, C.-H., Chen, C.T.A., Lee, C.S., 2005. Gas compositions and helium isotopic ratios of fluid samples around Kueishantao, NE offshore Taiwan and its tectonic implications. *Geochemical Journal* 39, 469-480.

Zeni, L., A. Minardo, Z. Petrillo, M. Piochi, R. Scarpa and R. Bernini, 2007.
Distributed optical fiber sensors : an approach for monitoring the thermal
gradient at the Campi Flegrei caldera, Geophy. Res. Abs., 9, 04074.



附錄一

目前園區內所使用的各式監測方法之詳細點位表，座標格式為經緯度 TWD97。

表 1-1 溫泉水採樣點

站名	位置	經度 (E)	緯度 (N)	性質
TRK	地熱谷	121.512181	25.138299	溫泉氣泡
LHK-1	硫磺谷 1	121.524105	25.143466	噴氣孔
LHK-2	硫磺谷 2	121.524166	25.143972	溫泉氣泡
LFK	龍鳳谷	121.528709	25.143901	噴氣孔
CSL-1	中山樓 1	121.552574	25.155442	噴氣孔
CSL-2	中山樓 2	121.552574	25.155442	溫泉氣泡
SYK	小油坑	121.548300	25.175735	噴氣孔
MT-1	馬槽 1	121.562010	25.177679	噴氣孔
MT-2	馬槽 2	121.562020	25.177651	溫泉氣泡
DYK	大油坑	121.580665	25.172127	噴氣孔
BY	八煙	121.588012	25.192076	噴氣孔
SHP	四磺坪	121.602723	25.195412	噴氣孔
DP	大埔	121.643555	25.216509	溫泉氣泡
GTP	煥子坪	121.603445	25.192917	噴氣孔

表 1-2 CO₂ 土壤氣連續監測站

站名	位置	經度 (E)	緯度 (N)	即時傳輸
SYK	小油坑	121.547240	25.176050	V
BY	八煙	121.588201	25.192256	V

表 1-3 地表溫度測量點

站名	位置	經度 (E)	緯度 (N)	即時傳輸
SYK	小油坑	121.547240	25.176050	V
DYK	大油坑	121.580665	25.172127	
BY	八煙	121.588201	25.192256	V
SHP	四磺坪	121.602723	25.195412	
GTP	煥子坪	121.603445	25.192917	

表 1-4 GPS 監測點

站名	位置	經度 (E)	緯度 (N)	高程 (m)	即時傳輸
S101	中研院	121.61385	25.04045	59	V
YM01	竹子湖	121.53954	25.17893	717	V
YM02	菁山	121.56069	25.14844	551	V
YM03	萬里	121.60492	25.14661	432	V
YMN4	八煙	121.58940	25.18792	346	V
YM05	冷水坑	121.56548	25.16406	750	V
YM06	馬槽	121.56945	25.18113	635	V
YM07	小油坑	121.54791	25.17803	801	V

表 1-5 地震監測點

站名	位置	經度 (E)	緯度 (N)	高程 (m)	即時傳輸
YM01	竹篙嶺	121.56985	25.14578	459	V
YM03	竹子湖	121.53959	25.17924	713	V
YM04	六窟	121.53638	25.15374	368	V
YM05	冷水坑	121.56546	25.16405	731	V
YM06	溪底	121.60256	25.15198	423	
YM07	大坪	121.62050	25.17547	452	V
YM08	八煙	121.58959	25.18802	326	V
YM09	七股二	121.56204	25.18939	522	
YM10	菁山	121.56087	25.15551	629	V
YM11	擎天崗	121.57403	25.16570	768	V
YM12	馬槽	121.56923	25.18130	553	V
YM13	大油坑	121.58118	25.17227	553	
YM14	七星公園	121.55739	25.16410	876	
YM15	中湖	121.55849	25.17744	726	
YM16	秀峰坪	121.61004	25.19391	480	
YM17	磺溪頭	121.59256	25.21173	108	V
YM18	玉瀧谷	121.53410	25.16729	615	
YM19	頂山	121.58728	25.13895	494	
YM20	大油坑口	121.58063	25.17959	405	

附錄二

附錄一所述之各點位之位置分布圖。

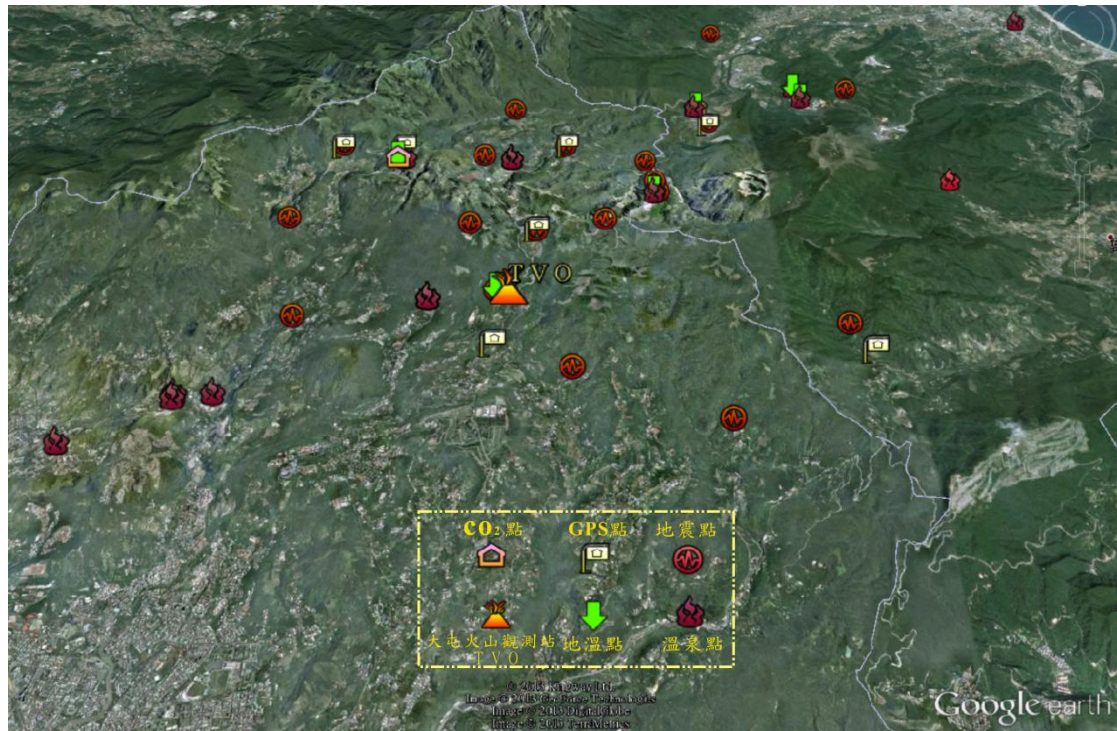


圖 2-1 統整園區內各式監測方法之詳細位置分佈圖