

內政部營建署陽明山國家公園管理處  
委託研究計劃報告

陽明山國家公園內古火山環境及噴發史的研究

執行單位：中國地質學會

主持人：宋 聖 榮

中華民國八十三年六月

陽明先生全集

# 陽明山國家公園內古火山環境及噴發史的研究

## 目 次

|           | 頁 數 |
|-----------|-----|
| 節 要       | 1   |
| 壹、緒 論     | 3   |
| 貳、火山的分布   | 8   |
| 參、構造種類及分布 | 26  |
| 肆、火山地質    | 37  |
| 伍、討 論     | 50  |
| 陸、結 論     | 72  |
| 柒、建 議     | 73  |
| 誌 謝       | 74  |
| 參 考 文 獻   | 75  |

## 附 圖

- 圖一：岩漿的生命循環史
- 圖二：陷落火山口的成因
- 圖三：沉陷火山口的成因
- 圖四：理想的火山岩相分佈圖
- 圖五：利用古地磁研究嵩山、大屯山及洪爐山等火山之熔岩流的流動方向
- 圖六：利用古地磁研究磺嘴山及七星山等火山之熔岩流的流動方向
- 圖七：陽明山國家公園內大屯火山群的火山分佈圖
- 圖八：台灣側視雷達影像圖
- 圖九：大屯火山群及其鄰近地區的線性分佈圖
- 圖十：由重力測量來決定金山斷層的位置
- 圖十一：大屯火山群及其鄰近地區的斷層分佈圖
- 圖十二：大屯火山群的溫泉及熱水換質地區分佈圖
- 圖十三：大屯火山群的地質圖
- 圖十四：大屯火山群的火山碎屑岩直接覆蓋於五指山層之上的露頭描繪
- 圖十五：三種火山碎屑岩的產狀及成因
- 圖十六：大屯火山群火山岩的年代分佈統計圖
- 圖十七：大屯火山群內主要火山的噴發年代分佈圖
- 圖十八：大屯火山群內火山與斷層的關係
- 圖十九：鑽探地熱井的岩石柱狀圖
- 圖二十：火山噴發氣體離溶的模式圖
- 圖二十一：水和岩漿比與噴發效率的關係圖
- 圖二十二：大屯火山群地下地質南北方向剖面圖。
- 圖二十三：大屯火山群地下地質東西方向剖面圖
- 圖二十四：大屯火山群及其鄰近地區的重力分佈圖
- 圖二十五：台灣及其鄰近地區的板塊構造模式圖
- 圖二十六：台灣板塊構造及弧陸碰撞的立體示意圖
- 圖二十七：應力場與岩漿活動的關係圖
- 圖二十八：模擬台灣附近應力場的分佈圖
- 圖二十九：台灣北部火成活動及其活動年代圖
- 圖三十：大屯火山群的火山演化史



## 節 要

陽明山國家公園內的大屯火山群共包含了竹子山、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、大尖後山及磺嘴山等十六座火山。依據分佈，這些火山大致可以分為兩群。一群是沿著金山斷層排列，包括了竹子山、嵩山、小觀音山、菜公坑山、烘爐山、面天山、向天山、南大屯山及大屯山等，顯現火山活動與金山斷層有相當大的關係。其餘的火山則形成了另一群，其與地表構造線並無直接的關係，可能與火山噴發早期所形成的陷落火山口相關。

大屯火山群的火山岩直接覆蓋在以第三紀沉積岩為主的基盤上，顯現在火山活動之前，本區域的沉積岩層已露出地表，接受風化侵蝕。本區的火山岩以熔岩流為主，火山碎屑岩甚少，表示本區火山的噴發能力較弱，火山噴發指數甚小，熔岩流中也並未發現代表水底下噴發的枕狀熔岩或玻璃凝灰岩。本區再積性火山碎屑岩分佈相當廣泛及厚層，可能為火山岩廣泛露出地表接受風化侵蝕所致。故綜合上述火山岩特性，指示大屯火山群的火山活動，從開始噴發至結束都是在陸上進行的。

從本區地熱探勘井所獲得的地下地質資料，顯示本區以大油坑、擎天崗及冷水坑等地為中心，各個火山頂為外圍，形成一陷落的凹槽，陷落的深度超過一千公尺以上。此一凹槽內的組成物質大部分為火山熔岩流，指示此一陷落作用的時間，可能早於火山活動或是與火山噴發同時，然後岩漿沿著陷落所形成的裂隙上升至地表，形成火山噴發，故此一陷落口乃是一沈陷火山口。

大屯火山群的火山演化史為：2.5百萬年以前，菲律賓海板塊向北俯衝至歐亞大陸板塊底下，形成島弧性岩漿。此時台灣處於弧陸碰撞的擠壓應力場下，岩漿不易上升至地表，所以只發生零星的火山活動。到了八十萬年左右，台灣北部因受沖繩海槽張裂西移的影響，由擠壓的應力場轉變為張裂的應力場，使岩漿容易上升至地表，並且形成一沉陷火山口。於七十萬年左右，岩漿大量的沿著陷落的裂隙，噴發至地表，形成現在所見到的火山排列。

# 壹、緒 論

## 1-1：簡介

陽明山國家公園位於臺灣北部大屯火山群內，相較於其他的國家公園，火山地質是陽明山國家公園範圍內最具特色的地質景觀，舉凡火山地形、後火山作用及火山物質都保存的相當良好，是以設立國家公園以保存這些豐富的自然資產。縱有良好的自然資產，而無深入的研究了解，則難以達到保育及教育的功能。故陽明山國家公園管理處為了提升保育解說及經營管理研究的需求，擬研究位於國家公園內大屯火山群在火山噴發時的環境以及噴發的歷史。本計劃基於此目的，據以有系統的野外調查和室內的分析工作，再配合前人的工作結果，以期建立陽明山國家公園內的火山，在噴發當時的環境，及火山活動演化的歷史。

## 1-2：前人工作

大屯火山群的地質調查工作很早就已展開；日人大島(Oshima, 1907)進行地形的初步研究，出口(Deguchi, 1912)、小笠原和大江(Ogasawara and Ooe, 1932)就有火山地形的調查報告及地質圖的繪製。

臺灣光復後，地質調查研究則更廣泛深入，包括有詳細的地質圖繪製、地層描述、火山學、火山岩岩石學、地球化學、地球物理、定年工作及地史的研究，使吾人對大屯火山群能有更進一步的了解。

地質圖的繪製有顏和陳(Yen and Chen, 1953)，顧等(Ku et al., 1959)，阮等(Juan et al., 1963)，陳和吳(Chen and Wu, 1971)，其中陳和吳(1971)所繪製的二萬五千分之一的火山地質圖，是大屯火山群火山岩最為詳細的一幅，為往後學者研究的基礎。

地層描述方面，陳與吳(1971)將本區安山岩分成十四種，熔岩流十五層以上；並把火山碎屑依區域性的上下層位關係及所含之岩塊分為三個岩石地層單位，即下部凝灰角礫岩，大屯山凝灰角礫岩及上部凝灰角礫岩。各類安山岩及凝灰角礫岩不整合地覆蓋在第三紀漸新世五指山層及中新世的木山層、大寮層、石底層、南莊層以及桂竹林層之上。

在岩石學和地球化學方面，阮等(Juan et al., 1963)、王(Wang, 1970)、陳(Chen, 1975, 1978a, 1978b, 1983)、劉與黃(Liu and Huang, 1983)、莊(Juang, 1988)、陳(Chen, 1989)等人利用火山岩中之礦物組成、礦物化學、主要元素、微量元素與同位素等資料，認為大屯火山群的火山可能是屬於大陸邊緣型高鋁玄武岩漿經角閃石、斜長石及少量磁鐵礦之結晶分化所形成。由氧化鉀含量推測大屯火山群的岩漿，是板塊隱沒於約一百五十公里深底下的地函，產生部份熔融而直接可形成安山岩質的岩漿。而由稀土元素分佈及鉛同位素成分等資料分析認為，包括烘爐山、草嶺山及觀音山等之更新世玄武岩是屬於島弧型火山活動的產物。根據實驗岩石學之證據，形成烘爐山及面天山等之岩漿庫淺於七十公里。

在地球物理方面，徐等(Hsu et al., 1966)、李等(Lee et al., 1985)、蔡(Tsai, 1985)、顏等(Yen et al., 1984)、蔡等(Tsai et

al., 1977)、劉與王(Liu and Wang, 1982)及謝(1990)等人利用古地磁、地震波、重力及磁力等方法研究本地區的岩石物理性質，推斷本地區岩脈之排列方向及熔岩流的流動方向。依據古地磁之磁偏角及磁傾角認為自大屯火山岩活動以後，台灣北部並無顯著的大地運動。依古地磁年代推斷竹子山、大屯山、紗帽山及七星山等熔岩流之噴發年代，應不早於0.73百萬年，而位於下部凝灰角礫岩之下的磺溪熔岩流可能屬於高斯(gauss)正向磁極年代(2.48~3.40 Ma)。由地表地熱現象及岩石化學特徵，推斷臺灣北部隱沒之菲律賓海板塊的西緣，可能切過大屯火山群的西側。另由台灣的地震分佈，可分為三個主要地震帶，其中的西部地震帶及北部地震帶的分界線，可能是通過本區大屯山下。葉義雄等人(Yer, 1990)利用微震等資料的研究，認為金山斷層可能還是一條活斷層。

在定年方面，莊與貝隆(Juang and Bellon, 1984)、劉(Liu, 1985)、王(Wang, 1989)及王和陳(Wang and Chen, 1991)等人利用鉀—氬定年及核飛跡定年方法，知本地區火山活動大約從2.8百萬年開始噴發，然後休眠一段長時間，到0.8百萬年再強烈的重新活動，一直持續至0.20百萬年，才結束其火山活動。

在地史方面，顏(Yen, 1958)認為台灣北部之火山，包括大屯火山群、基隆火山群及龜山島等為琉球島弧之西緣。鄧等人(Teng et al., 1992)認為大屯火山群的火山活動是菲律賓海板塊隱沒在歐亞大陸板塊之下，由東往西逐漸遷移所形成，故台灣北部的火山噴發有由東往西逐漸年輕的趨勢存在。

### 1-3：研究範圍及內容

- 1、以陽明山國家公園範圍內，大屯火山群之火山為主要研究範圍，其他範圍外的火山為輔。
- 2、調查陽明山國家公園範圍內古火山口的位置及分佈情形。
- 3、調查構造線（主要為斷層）與火山口的關係。
- 4、研究火山岩與其下基盤岩之關係。
- 5、研究火山噴發時的環境。
- 6、研究火山噴發史。
- 7、建立模式以解釋火山活動的演化。
- 8、撰寫報告。

#### 1-4：研究過程與方法

- 1、根據已發表的地質圖（陳肇夏和吳永助，1973；黃鑑水，1988）為基礎，來檢驗火山岩的分佈情形，以判斷潛在可能的火山位置。
- 2、由室內航照圖及地形圖的判讀，配合地質圖檢驗火山岩的分佈情形，尋找出可能的火山口位置。
- 3、由室內航照圖及地形圖的判讀，以尋找分佈於本區的線性排列構造，描繪註記於地形圖上。
- 4、由野外實地的地質調查，確定由航照圖、地形圖及地質圖上所判讀的火山口位置是否正確，及線性排列是由何種構造所形成；並調查火山岩與基盤岩之接觸關係。
- 5、確定火山口位置後，建立每一火山的噴發層序及分佈，然後配合前人研究所發表的定年與地球化學分析資料，以確定每一火山的噴發及岩漿演化歷史，若有不足之處，再取岩石樣本做定年和地球化學分析工作。

- 6、探討火山口與構造線的關係，以判定構造作用對火山噴發的影響。
- 7、建立火山噴發模式，以說明大屯火山群的古火山噴發環境及噴發史。
- 8、撰寫報告。

## 貳、火山的分佈

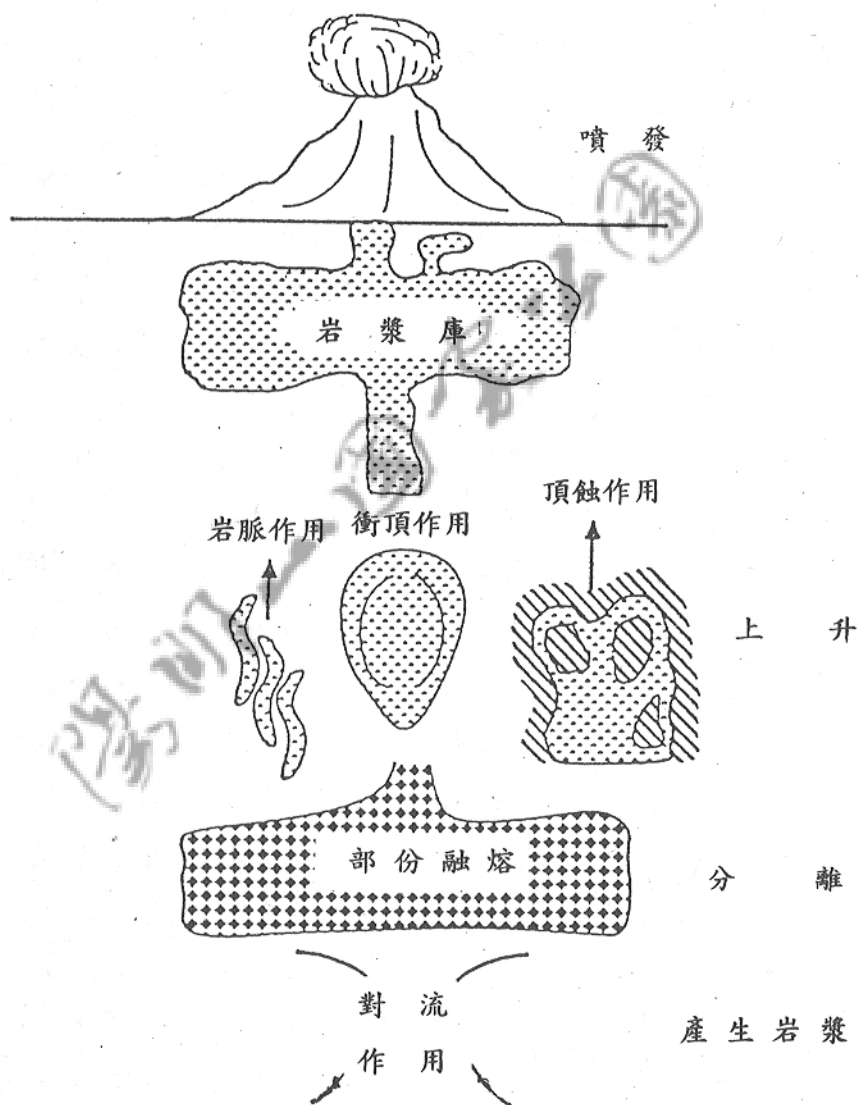
### 2-1: 火山的形成

“火山”顧名思義是會噴火的山。當地底深處的高溫岩漿，經由裂縫上升至地表噴發就形成了火山。故何處有火山噴發決定於地表深處是否有岩漿存在。

岩漿是一種高溫融熔的液體，隨著岩漿種類的不同，溫度也有所不同；一般而言，玄武質岩漿溫度較高，約 $1200^{\circ}\text{C}$ ；安山質岩漿約 $1050^{\circ}\text{C}$ ，花崗質岩漿約 $950^{\circ}\text{C}$ 。在地球內部，岩漿並不是隨處可見。地球上各地區的地溫梯度不同，能產生岩漿的條件也不同，故岩漿的產生與板塊運動息息相關。

火山活動與岩漿的生命史關係密切。岩漿的生命史可用圖一來解釋；當地球內部深處獲得熱源的供應，或是有液體加入降低岩石的熔點，將促使岩石發生部份融熔(partial melting)，產生岩漿，此時未分離的岩漿和未融熔的岩石組成似糊狀的物質(mush)；當融熔的程度超過百分之六以後，岩漿開始與未融熔的岩石分離。由於岩漿的比重較鄰近的岩石輕而往上升，上升的方式有三種：頂蝕作用(stopping)、衝頂作用(diapir)和岩脈作用(dikes)。頂蝕作用是將其上方的岩石慢慢融熔後上升；衝頂作用則是因本身較其周圍的岩石輕，藉著浮力而往上衝；岩脈作用則是沿著岩石的裂縫往上升。當岩漿上升到與其比重相似的岩石附近，即會停留，而底下新產生的岩漿仍不斷的往上升，於是在停留處形成岩漿庫。此時若有裂隙直通到地表面時，岩漿將不再停留，而直接噴至地表形成火山，此階段所產生的岩石較基性，接近玄武岩，噴發的行為較溫和。仍然停留在地底下岩漿庫的岩漿則開始演化，產生較酸性的岩漿；待在





圖一：岩漿的生命循環史。

岩漿庫的時間越久，則噴發後所產生的岩石越酸性，越接近安山岩和流紋岩，而噴發的行為較劇烈。

## 2-2: 火山的噴發方式

火山依其活動的情形，可分為三類：正在活動中的稱為活火山 (active volcano)；歷史上有噴發記錄，現在呈休止狀態，未來仍有可能再活動者稱為休火山(dormant volcano)；曾經噴發過但歷史上未記錄，且判斷其未來不可能再噴發者稱為死火山 (extinct volcano)(Booth and Fitch, 1979; Ollier, 1988)，但後兩者甚難分辨。例如，大屯火山群第一期噴發結束與第二期開始再噴發的時間間隔約為一百七十萬年 (Juang, 1988; Wang, 1989)，最後噴發截止的時間約距現在二十萬年前，未來可能再噴發，故大屯火山群可能是一死火山，也可能是一休火山，未來仍有再噴發的可能性。

依噴發的物質可把火山活動分為三種：岩漿噴溢(magmatic eruption)、蒸氣岩漿噴發(phreatomagmatic eruption)及蒸氣噴發(phreatic eruption)等。岩漿噴溢是指噴發出來的物質直接由岩漿所產生，不牽涉到外來的物質。蒸氣岩漿噴發是指地底下的岩漿上升噴發前，與外來水作用後再產生噴發。蒸氣噴發是指在噴發過程中，沒有岩漿本身物質的產生，而是把地下水加熱變成水蒸氣後再噴發，主要以噴氣為主。陽明山國家公園內的火山可能三種噴發型式都有。

火山依噴發的方式可分為三類：中心式噴發(central eruption)、裂縫式噴發(fissure eruption)及區域噴發(areal eruption)(Ollier, 1988)等。中心式噴發是岩漿從一中心管道噴發至地表，常形成壯觀、高聳的單一火山地形，大部分的岩漿都

以此種方式噴發，尤其是酸性岩漿，幾乎都屬於中心式噴發。裂縫式噴發是指岩漿沿一裂隙噴發至地表，常形成有規則或線性排列的一連串火山，此噴發方式常見於張裂性的玄武岩漿噴發。區域噴發是指火山在一區域裡，不局限於單一火山的噴發，而是不規則的散佈在一定範圍內且同時噴發，此一火山噴發方式常只噴發一期而已。陽明山國家公園內的火山大都屬於中心式噴發，形成壯觀的火山地形；局部如小觀音山到竹子山之間，可能屬於裂縫式噴發。

依火山的噴發劇烈程度，可把火山噴發方式分為夏威夷式(Hawaiian)、斯沖波利式(Strombolian)、火山島式(Vulcanian)、維蘇威式(Vesuvian)、培雷式(Peleian)、普林尼式(Plinian)等。其中夏威夷式噴發最溫和，以產生熔岩流(lava flows)為主；而最劇烈的普林尼式，其噴發高度可達到五十公里的高空，以產生火山碎屑岩為主。依現在的研究顯示，陽明山國家公園內的火山物質大都以熔岩流為主，只含少量的火山碎屑岩，顯示陽明山國家公園內的火山可能是以較溫和的方式噴發。

## 2-3: 確認火山的方法

確認一座火山的存在與否，所用的方法包括地形、地質與地球物理等，茲分述如下：

### 2-3-1：地形的的方法

火山噴發後，在地表上常形成特殊的景觀，其型態、規模及組成常因地而異，不易找出完全相似者。其規模有大至數千

平方公里者，如印度的德干高原；也有寬僅約數公尺，高數公尺的火山碎屑岩錐。故一般火山表現於地表可供辨認是否為火山的地形特徵為火山體及其伴隨的火山口。火山噴發產生的火山物質將形成火山體，但不一定會形成火山口，如穹隆作用(doming)所形成的火山體，常不具有火山口；或是因火山口位於火山體最頂端，很容易被侵蝕掉，而不具有火山口的地形。

### 2-3-1A：火山體

火山的外形，依火山噴發的型式和成份的差別，一般可分為三類：盾狀火山(shield volcano)、錐狀火山(cone volcano)及複式火山(composite volcano)。盾狀火山呈扁平低錐狀的山形，如平放地上的盾牌，以流動性較佳的玄武岩質岩漿為主，常沿裂隙或中心噴出而形成，例如夏威夷的火山。陽明山國家公園內無此種火山體。

錐狀火山具陡坡的圓錐形火山，如果是由爆發式所噴出的大量火山碎屑岩渣所堆成的，稱為火山渣錐(cinder cone)，其形狀像倒置的飯碗，頂上常有一寬大而陡峭的火山口。若是由黏滯性較高、流動性較差的中性或酸性熔岩所冷卻形成的，則常呈鐘狀的圓頂丘，不具有火山口。陽明山國家公園內的紗帽山、菜公坑山、七股山、大尖後山等可能屬於此種火山體。

複式火山呈圓錐狀，上部坡度較陡，而下坡則較緩，是由熔岩流和火山碎屑岩交替噴出互層所形成，又稱為層狀火山(strato-volcano)，常具有明顯的火山口地形。大部分的火山，尤其是發生於島弧的火山，都屬於此種火山體。陽明山國家公園內的火山，像七星山、小觀音山、大屯山、面天山、向天山、南大屯山、烘爐山、竹子山、嵩山、竹嵩山、大尖山及磺嘴山

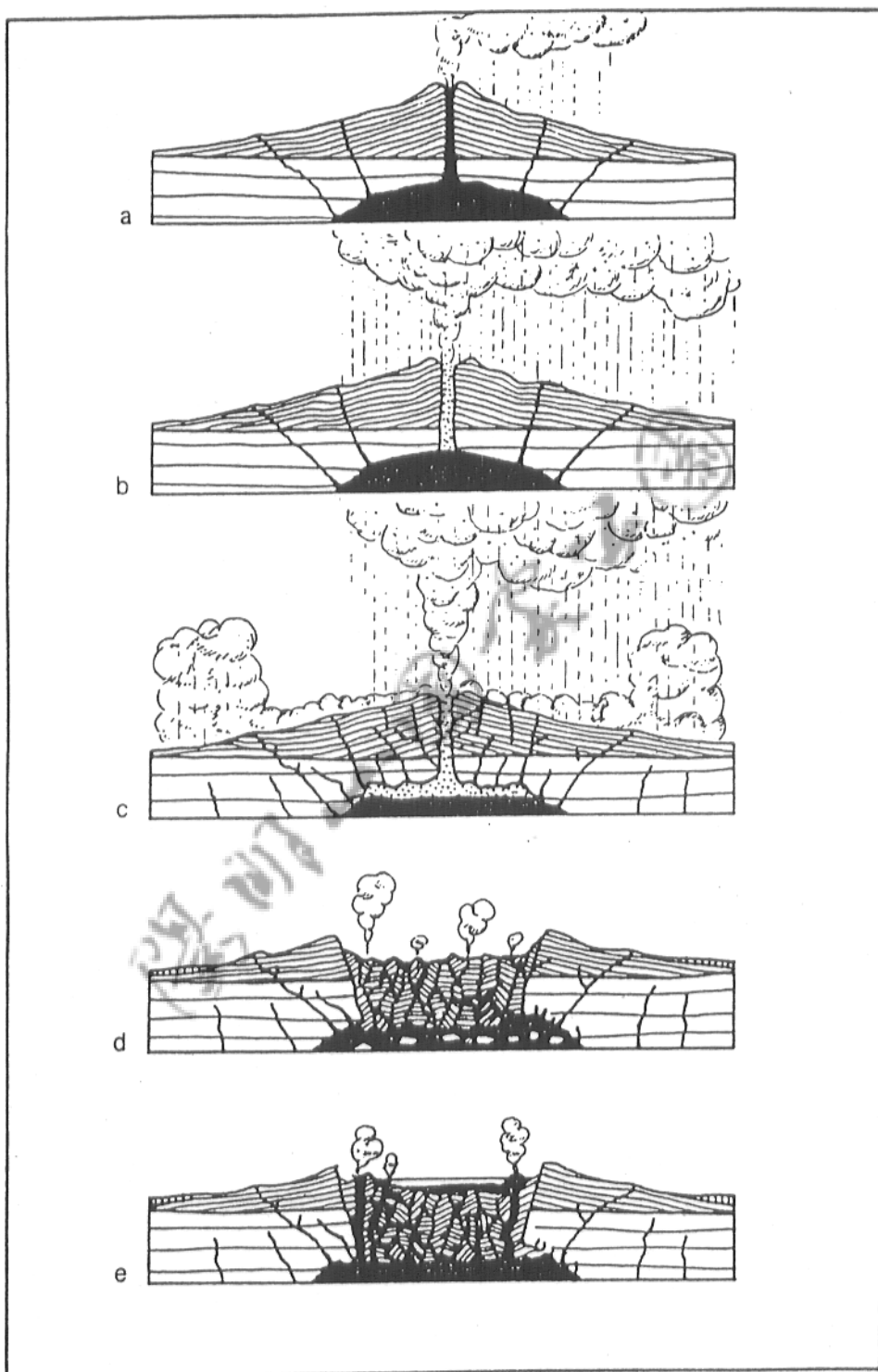
等皆屬此種火山體。關於各個火山的地形特徵，將於下節詳細描述之。

### 2-3-1B、火山口

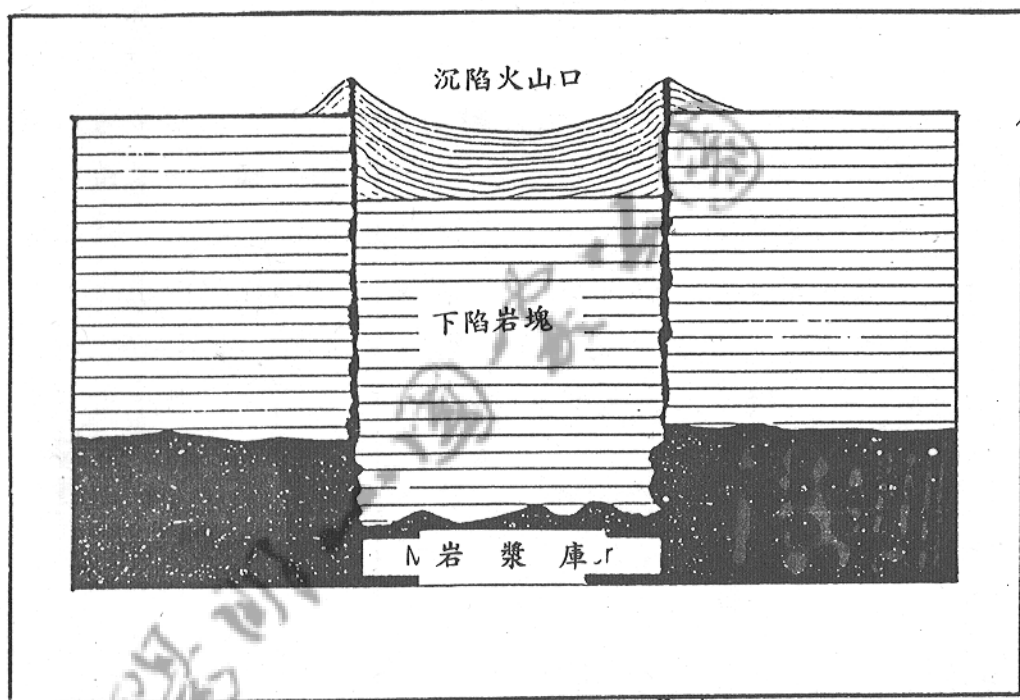
火山在噴出管道的頂端，常形成一盆狀的凹陷地形，稱之為火山口，其大都位於火山體的頂端；火山口內常積水成湖，稱為火口湖。火山口依形成機制的不同可分為三種；爆裂火山口(crater)、陷落火山口(caldera)及沉陷火山口(cauldron)。爆裂火山口是火山把噴出管道頂端爆開，形成一凹陷所形成。陷落火山口是火山噴發後期，岩漿庫的岩漿掏空，無法承受上覆岩石的壓力，而發生陷落所形成，岩漿庫可從新獲得岩漿的補充，故在一火山體內陷落火山口可重複形成（如圖二）。沉陷火山口則是火山開始噴發前，岩漿上升的同時發生陷落所形成，然後岩漿沿著下陷所形成的裂隙噴出（如圖三）。陽明山國家公園內現所見的火山口都屬於爆裂火山口，不過在第二期火山剛開始噴發時，可能有形成一沉陷火山口，將在後面的章節中討論之。

### 2-3-2：地質的方法

具有似火山體的山形，或有似火山口凹陷地的地形，未必都是火山，進一步的確認，必須仰賴地質調查。在三大岩石種類中，火山岩是最易辨認的，也是最容易與其他岩石分開的。故經由地形學方法判斷可能為火山地形後，配合地質岩石種類的判定，則可百分之百的確認火山的位置。但要進一步的判定其是否為火山口，則須辨認火山岩的種類及產狀，因各個火山



圖二：陷落火山口的成因及噴發過程；(a)火山開始溫和的噴發；(b)增加噴發能力，岩漿下沉至岩漿庫中；(c)噴發達到頂點，岩漿繼續下沉，支撐能力減弱；(d)火山下陷，形成陷落火山口；(e)岩漿沿著裂隙再噴發(Williams, 1941)。



圖三：沉陷火山口的成因；火山噴發前就發生陷落，岩漿沿著裂隙上升，形成噴發(Ollier, 1988)。

口噴出的火山岩性可能有所不同，藉由岩性的鑑別，可幫助確定火山口的位置。利用火山岩岩相的分析及岩相組合（如圖四），也可幫助判定火山中心的位置。

### 2-3-3：地球物理的方法

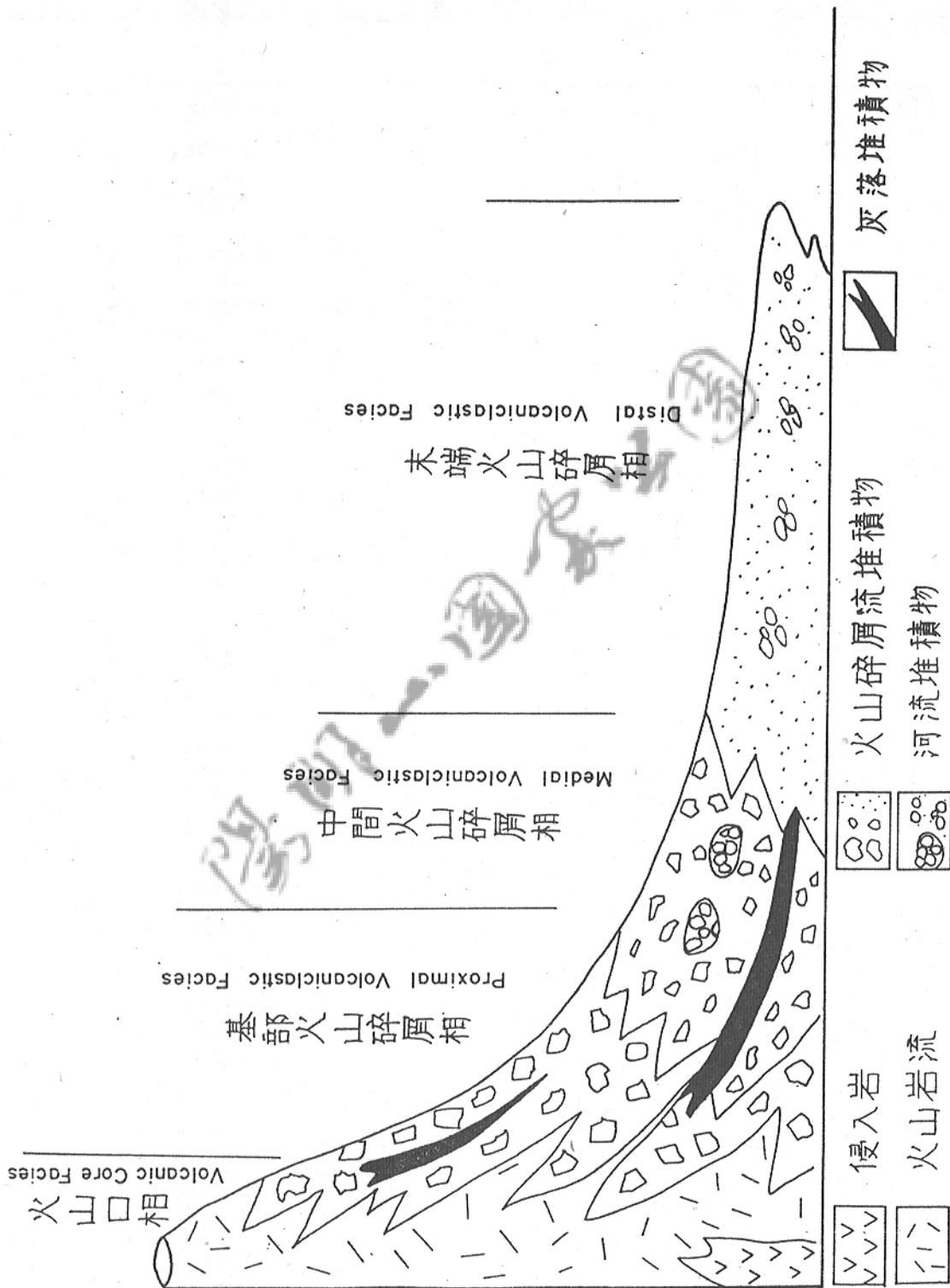
地球物理的方法主要是古地磁的方法。當岩漿溢出火山口時，會向四面八方流動，在流動過程中，磁性礦物如磁鐵礦，會沿著流動方向排列，成一強磁性的方向。研究此一磁性方向，可推斷熔岩流流動的方向，並將這些方向描繪於紙上，即可判定火山口的位置。由圖五及圖六來推測，七星山、紗帽山、大屯山、烘爐山、嵩山及磺嘴山等可能為火山體中心或火山口的位置。

### 2-4：大屯火山的分佈

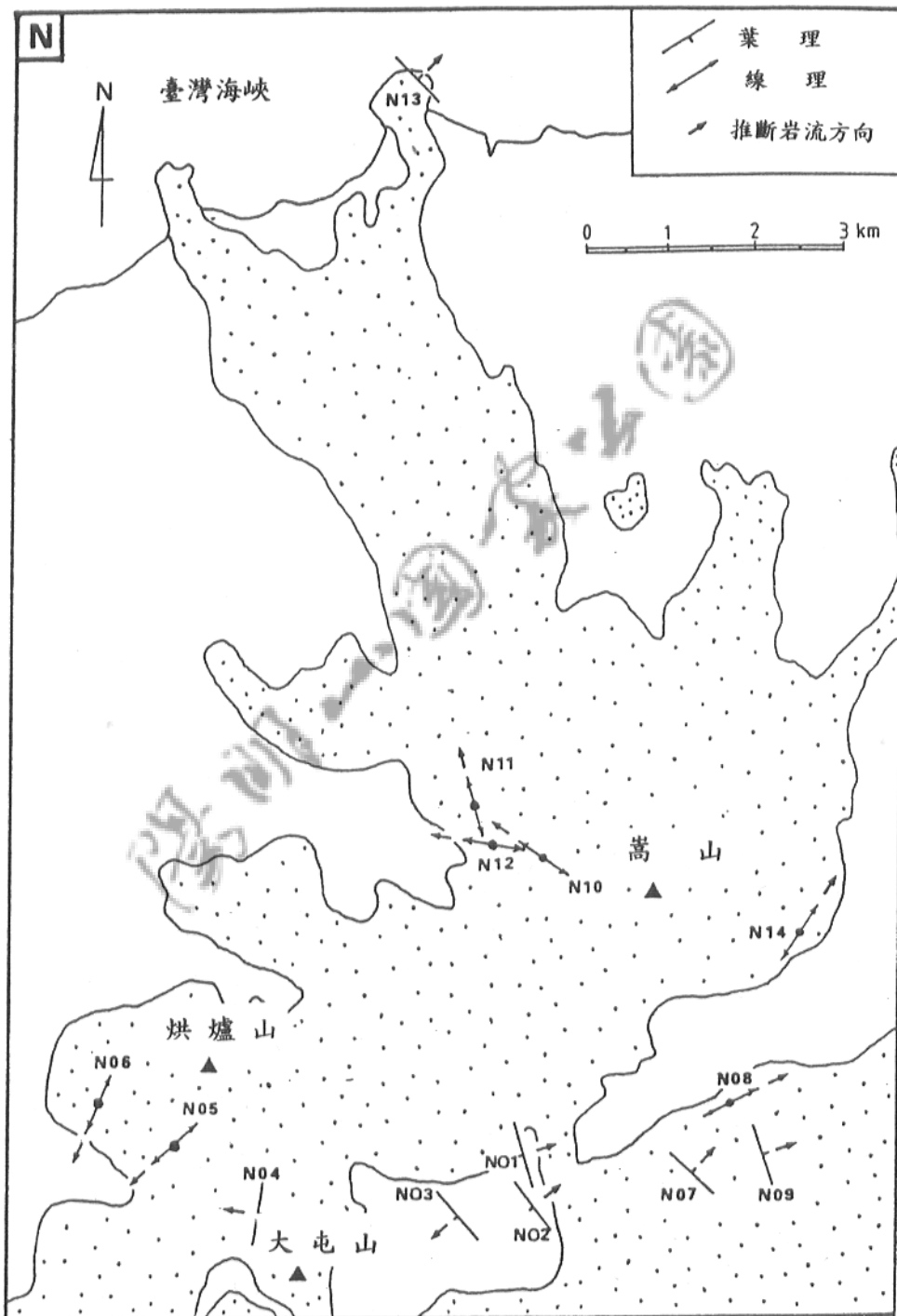
依上述地形、地質及地球物理等方法來研判，陽明山國家公園內的火山計有竹子山、嵩山、小觀音山、菜公坑山、烘爐山、面天山、向天山、南大屯山、大屯山、紗帽山、七星山、七股山、內寮山、大尖山、大尖後山及磺嘴山等十六座火山（如圖七），茲詳述如下：

(1)竹子山：為本區最北之火山體，標高1103公尺，是大屯火山群中之第二高峰，與嵩山和小觀音山相連，缺乏明顯的界線，可能為一系列的裂縫噴發所形成。岩性以兩輝安山岩為主，是一複式火山體。竹子山南側的半圓形谷地，似為火山

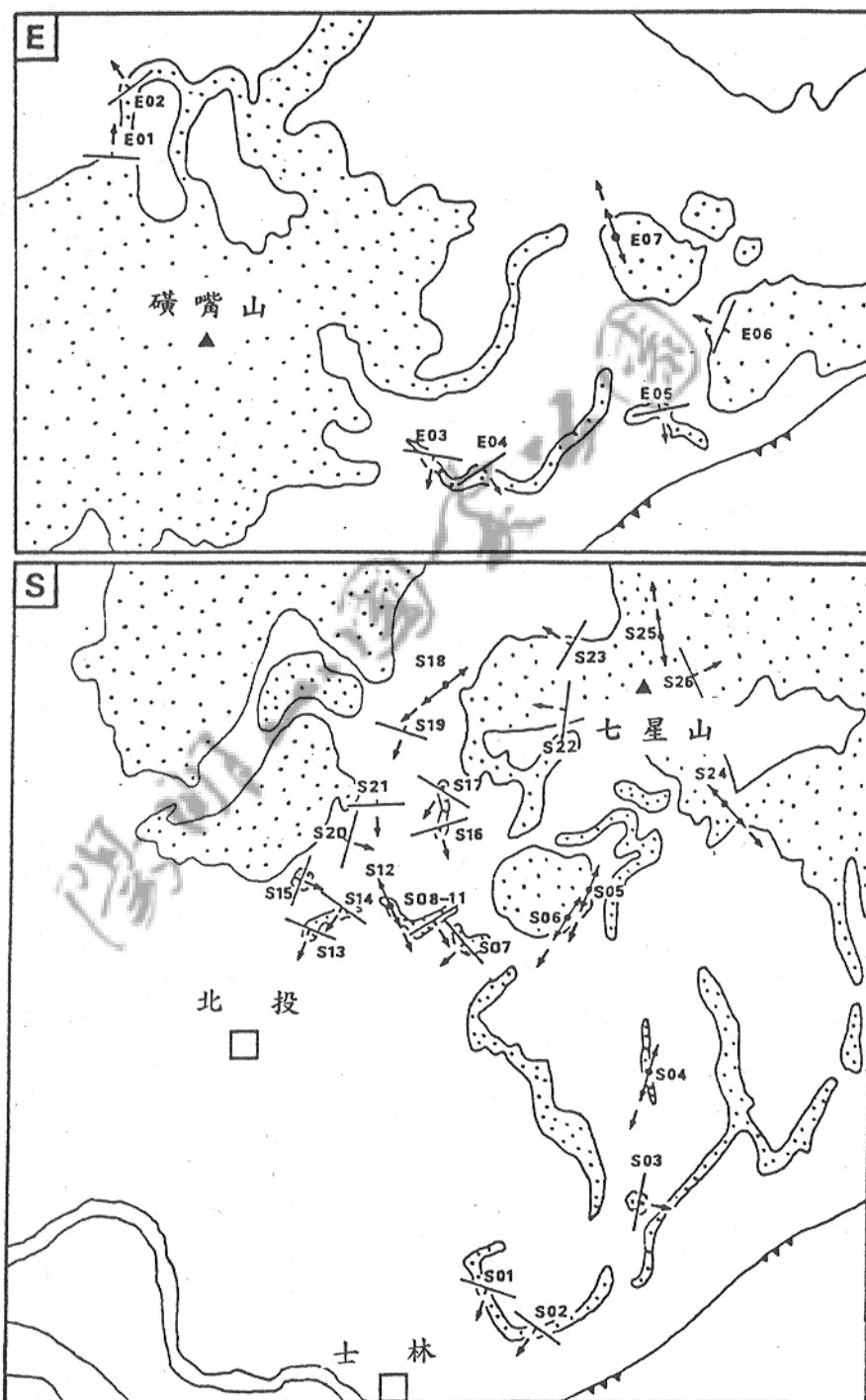




圖四：理想的火山岩相分佈圖，修正自 Vessell and Davis, 1981。

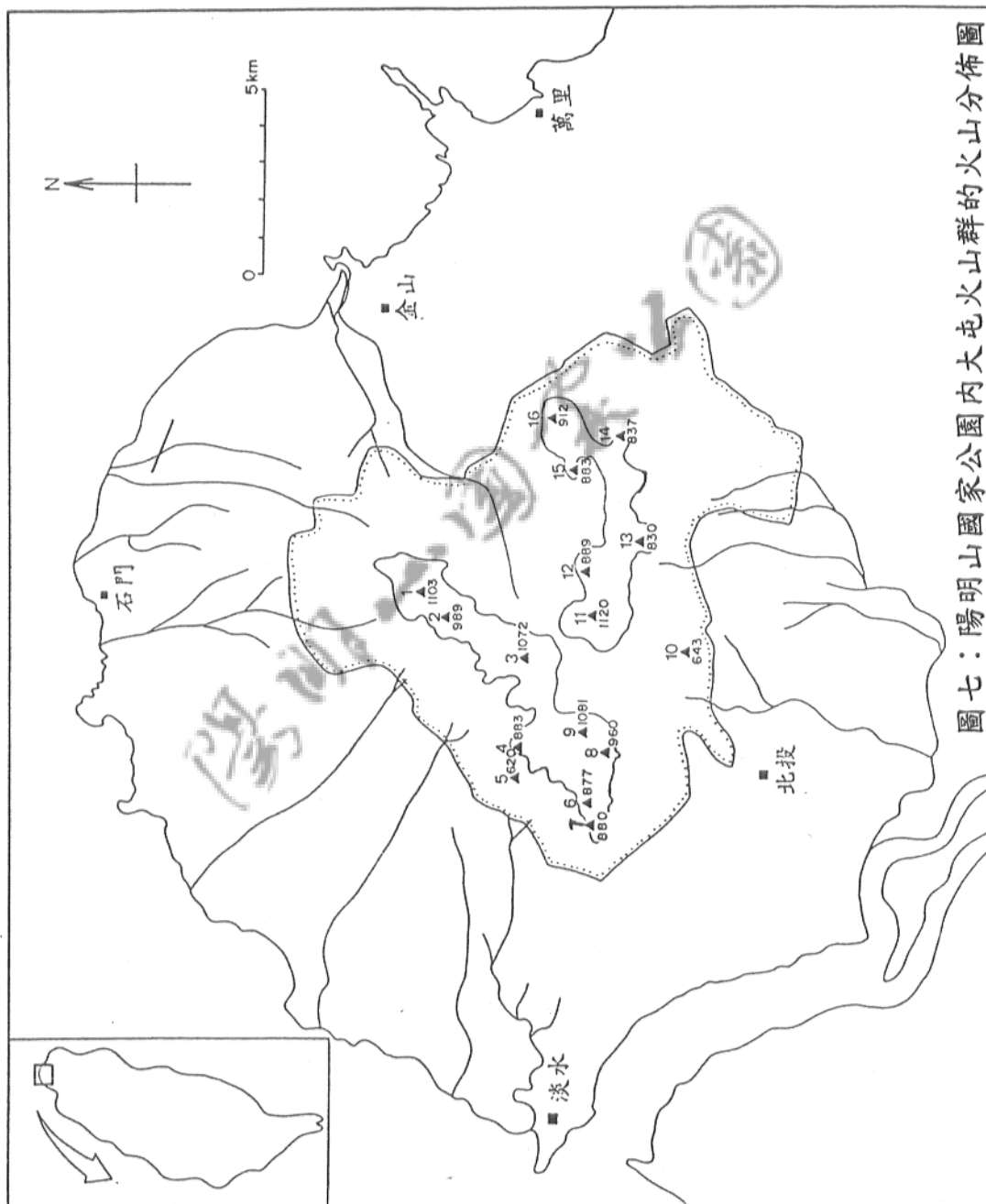


圖五：利用古地磁研究嵩山、大屯山及烘爐山等火山之熔岩流的流動方向(Tsai and Lee, 1988)。



圖六：利用古地磁研究礮嘴山及七星山等火山之熔岩流的流動方向(Tsai and Lee, 1988)。

1. 竹子山
2. 嵩山
3. 小觀音山
4. 菜公坑山
5. 烘爐山
6. 西天山
7. 向天山
8. 南大屯山
9. 大屯山
10. 紗帽山
11. 七星山
12. 七股山
13. 內寮山
14. 大尖山
15. 大尖後山
16. 磺嘴山



圖七：陽明山國家公園內大屯火山群的火分佈圖

口，直徑700公尺，深270公尺，北側火口緣大致等高(約1025公尺)，南側火口緣已受顯著切割，火口瀨朝向南方，為北磺溪一支流之源頭。其熔岩流分佈到北海岸的富貴角和麟山鼻。

(2)嵩山：介於竹子山及小觀音山之間，三者缺乏明顯的界線，此三個火山可能是一系列的裂縫噴發所形成。標高989公尺，岩性和竹子山相似，都是兩輝安山岩。無明顯的火山口，可能已被侵蝕殆盡，為一複式火山。

(3)小觀音山：標高1072公尺，以兩輝安山岩之熔岩流及集塊岩、火山灰等成層組成，屬成層的複式火山體，具有大屯火山群中最大之火山口。火山口位在頂部，大致呈圓形，直徑約1200公尺，深300公尺，以前稱為「大凹崁」。火口瀨朝向西北，為大屯溪之源頭之一。南側呈半圓形的火口緣，大致同高，約1025公尺。

(4)菜公坑山：位於大屯山北方，由角閃石兩輝石安山岩構成，屬錐狀火山。由其火山形貌、岩性及相關位置，可能是大屯火山之寄生火山。山頂包括三個小山頭，北方者又名草凹山，標高886公尺；位西方者稱百卡拉山，又名枕頭山，標高911公尺；東方者標高901公尺。其火山口位在菜公坑山(886公尺)、百卡拉山(911公尺)與901高地之間；直徑500公尺，深50公尺，因火口緣受顯著切割，乃形成上述三個山峰及朝向西北的火口瀨。

(5)烘爐山：位於菜公坑山西北方，標高620公尺，為本區惟一由玄武岩構成之火山。此玄武岩應是來自於岩漿庫中，演化較少，位於較深的地方，然後由主要火山體側邊上升噴發，故其可能也是大屯火山體的另一個寄生火山，屬錐狀火山。山

頂有火山口，呈圓形，直徑180公尺，深25公尺，底部積水成小水池。火口緣大致等高，呈平台狀，惟西南側較低，為火口瀨所在，但不明顯。

(6)面天山：位於大屯山西方，標高977公尺，屬複式火山。火山體的底部直徑600公尺，比高約200公尺。主要由角閃石兩輝安山岩構成。其熔岩流覆蓋於大屯火山熔岩流之上，顯示其形成於大屯火山之後。由附近火山之分佈研判，可能是大屯火山噴發中心向西移後噴發所形成的火山。其火山口位於山頂南側，呈圓形，直徑250公尺，深100公尺，火口瀨朝向西南西，已受顯著切割。火口緣形成三個山丘，北側為面天山(977公尺)，西側為949高地，南側為火燒山。

(7)向天山：標高880公尺，亦屬複式火山。錐體底部直徑1800公尺，比高580公尺，主要由角閃石兩輝安山岩構成。由附近火山之分佈研判，可能也是大屯火山噴發中心向西移後噴發所形成的火山。火山口位於山頂東南側，呈漏斗狀，直徑約370公尺，深130公尺，火口緣以東側最高(949公尺)，西南側最低。火口瀨的高度為820公尺，底部平坦，豪雨時積水成池，稱向天池（亦稱面天池），略呈橢圓形，池的長寬各約100公尺；雨季時池水高漲，乾季時池水低落，甚至乾涸，面積變化很大。

(8)南大屯山：位於大屯山西南方約一公里處，包括南峰(960公尺)及西峰(985公尺)，為一複式火山，底部直徑2200公尺，比高680公尺，主要由含角閃石兩輝安山岩構成。火山口位於大屯西、南兩峰之間，呈圓形，直徑400公尺，深95公尺，火口瀨朝向東北。

(9)大屯山：位於七星山西方，標高1081公尺。其活動是由拋出安山岩屑開始，集塊岩分佈至關渡附近，嗣後噴出角閃石紫蘇輝石安山岩與兩輝角閃石安山岩。屬成層的複式火山，呈南北延長。山頂寬平，四周坡度大，切割較七星山顯著。上有凹谷數個，可能因形成時間較早，火山口已被侵蝕殆盡，留下殘缺不全的地形。

(10)紗帽山：位於七星山南25度西約三公里的山腹，為七星山的寄生火山，標高643公尺。火山體全由兩輝角閃石安山岩構成，屬錐狀火山。因形狀如中國古時官員的烏紗帽而得名，又名香山。山頂凹地並非火山口，係熔岩流冷卻收縮下陷而成。基底直徑約1100公尺，基底標高四百公尺左右，相對高度二百多公尺，但其南緣受南磺溪支流之切割，比高已達三百公尺。

(11)七星山：為大屯火山群的最高峰，標高1120公尺。上部凝灰角礫岩把本區熔岩流分為上、下兩層，上層岩性為角閃石紫蘇輝石安山岩，下層岩性為紫蘇輝石角閃石安山岩，為標準的複式火山。形狀如錐形，底部直徑2100公尺，比高570公尺。山頂上有七個風化侵蝕殘餘的鐘形穹丘，因而得名。其火山口直徑370公尺，深70公尺，火口緣已受蝕成為七個鐘形穹丘，圍繞一窪地，火口瀨朝向南和西北。所噴溢的熔岩流向南延流八公里，遠及士林芝山岩一帶，許多熔岩台地因而形成，如山仔后、永福、苗圃等台地。整個火山體切割不明顯，多噴氣孔，為大屯山火山群中活動最晚之火山。噴氣孔順沿山體東西兩側的斷層線分佈，東側噴氣孔已不再活動，西側噴氣孔仍相當活躍。

(12)七股山：緊臨於七星山東側，標高889公尺，岩性為普通輝石紫蘇輝石角閃石安山岩。由其岩性、火山地貌和與七星山的相關位置研判，可能為七星山之寄生火山。其北側即是熱水換質作用強烈和常發生大規模山崩的馬槽，故外形已不完整，但仍具錐狀，又名麻瘋山。其火山口位於山頂，直徑120公尺，深20公尺，火口瀨朝向南方。

(13)竹篙山：位於七星山東南方2.5公里處，標高830公尺，為由含角閃石兩輝安山岩所組成的複式火山，又名內寮山或水井尾山。火山體底部直徑1300公尺，比高330公尺。其熔岩流向南延伸至鵝尾崙。竹篙山火山口相當明顯，位於山頂部，直徑750公尺，深120公尺，北側火口緣呈半圓形，火口瀨朝向南方，為雙溪一支流之源頭。

(14)大尖山：位於大尖後山東南方1.5公里處，標高837公尺，底寬2.4公里，比高約330公尺，為一較老火山，山形尖聳而得名。由普通輝石角閃石紫蘇輝石安山岩所組成。其火山口位於大尖山與五指山（北五指）之間，直徑1150公尺，深240公尺。北側火口緣呈半圓形，火口瀨朝向東南，為瑪鍊溪之源頭。

(15)大尖後山：位於竹篙山東北方2.5公里處，標高883公尺。與磺嘴山相伴發生，可能是磺嘴山火山噴出口遷移所形成的。屬複式火山，由含橄欖石角閃石安山岩所組成。底部直徑約1400公尺，比高150公尺，又名冬瓜山。其火山口位在山頂，略呈圓形，直徑360公尺，深40公尺，火口瀨朝南。火口緣已受切割而參差不齊。



(16)礮嘴山：位於大尖後山東南北方一公里處，標高912公尺，為一複式火山，底部直徑約二公里，比高約180公尺。由角閃石兩輝安山岩所構成，是大屯火山群中熔岩台地保持最好的一座火山。頂部有明顯的火山口，是大屯火山群中保存最完整的火山口，顯示其可能形成較晚。火山口形狀大致呈圓形，直徑450公尺，深85公尺，火口瀨朝向北北東，目前該處以人工築成一公尺高的土石堤，阻水形成長約130公尺，寬30公尺的水池，稱為礮嘴池。南側呈馬蹄形的火口緣，高約900公尺，呈平台狀。北緣已為員潭溪源頭切穿成火口瀨。

從陽明山國家公園內火山的分佈圖(圖七)，可得知火山大致依兩種方向排列；一是東北-西南，包括的火山有竹子山、小觀音山、菜公坑山、烘爐山、面天山、向天山、南大屯山及大屯山等；另一是大致圍成一個開口向東北的橢圓形，包括的火山有竹子山、嵩山、小觀音山、南大屯山、大屯山、七星山、七股山、內寮山、大尖山、大尖後山及礮嘴山等。此兩種火山排列與區域的地質構造及應力息息相關，將在以後的章節中詳細討論。

## 參、構造種類及分佈

### 3-1:概述

在地質學上，廣義的構造是指所有岩層或組成岩層的顆粒彼此在空間上的排列關係；狹義的構造僅指地層經過各種運動或運動後所產生的位移或變形，如褶皺、斷層和節理等。本章所探討的構造種類主要是斷層構造，其他種類的構造對於火山噴發的影響較小，此章不予討論。

斷層(fault)是指岩石在地殼變動中，受張力或壓力的作用，發生斷裂與相對位移所產生的構造。斷層的位移可小到幾公分，也可大到數公里或數千公里。斷層可發生在各種岩性上，但以發生在沉積岩上最容易辨認，因沉積岩的層理較其他種岩類的層理發達，其斷裂和位移較容易識別。斷層發生後，在斷層面上方的岩塊，稱為上盤(hanging wall)，下方者稱為下盤(foot wall)。分離上下岩塊的面，稱為斷層面(fault plane)。

斷層一般可分為正斷層(normal fault)、逆斷層(thrust fault)及平移斷層(strike-slip fault)等三種。正斷層是對下盤而言，上盤顯示向下運動的斷層構造。它的運動似乎是重力的原故，故又稱為重力斷層。逆斷層與正斷層剛好相反，相對於下盤而言，上盤是往上移動的斷層構造。平移斷層是上下岩盤的位移只有水平方向，而無上下的相對移動。一般而言，岩漿在正斷層與平移斷層的應力作用下，較易上升至地表；而在逆斷層的應力作用下，岩漿較不容易上升至地表上。

## 3-2: 研究方法

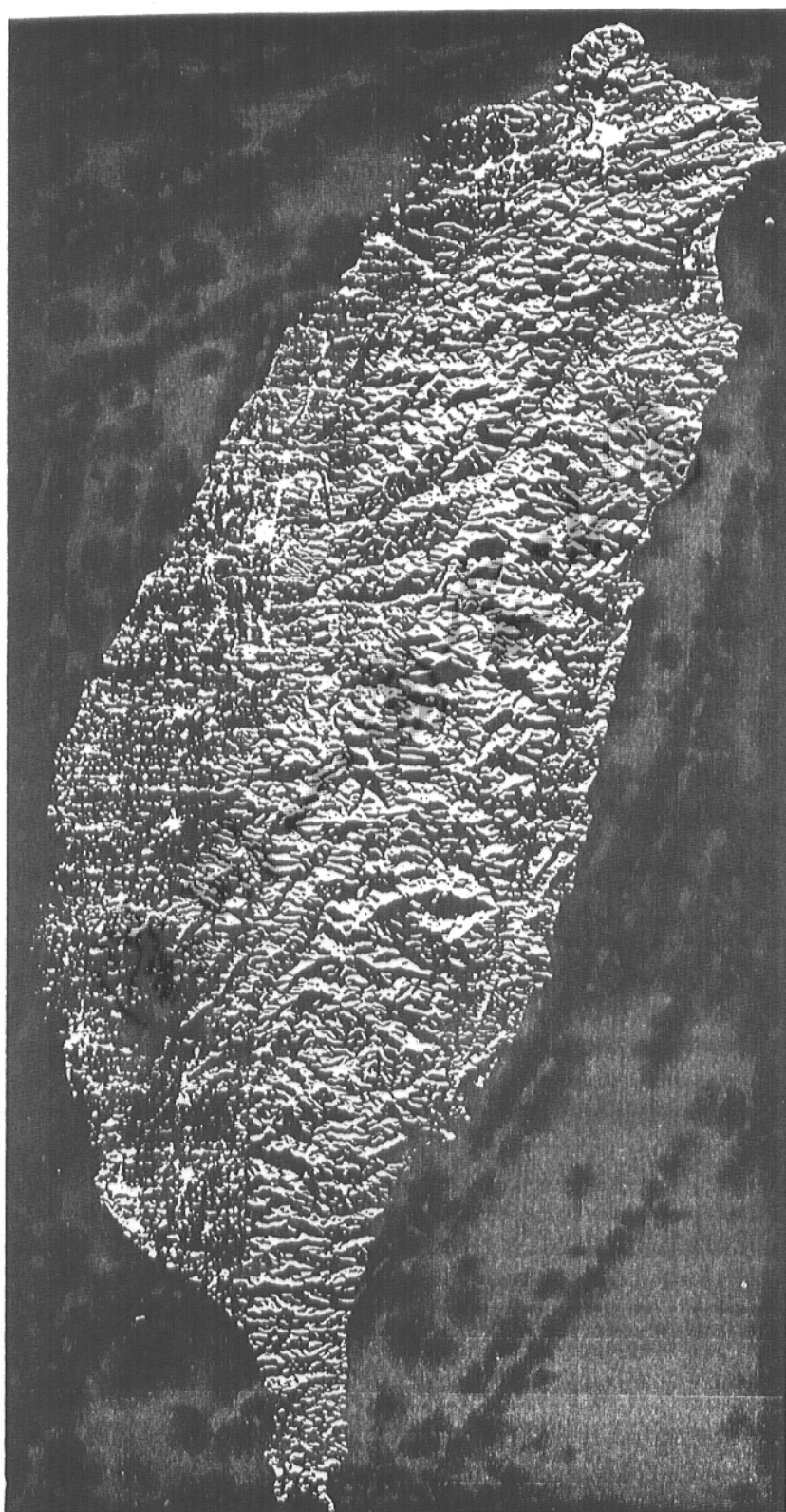
構造表現於地表，常現出顯著的線性構造，稱之為構造線：例如美國西部的聖安地斯斷層(San Andres fault)，其表現於地表的是綿延數百公里的線性構造。研判構造線通常是研究一區域內的線性分佈。而研究的方法包括航照圖判讀、地形圖判讀、地質圖判讀、地球物理方法和實地野外地質調查等。

### 3-2-1：航照圖判讀

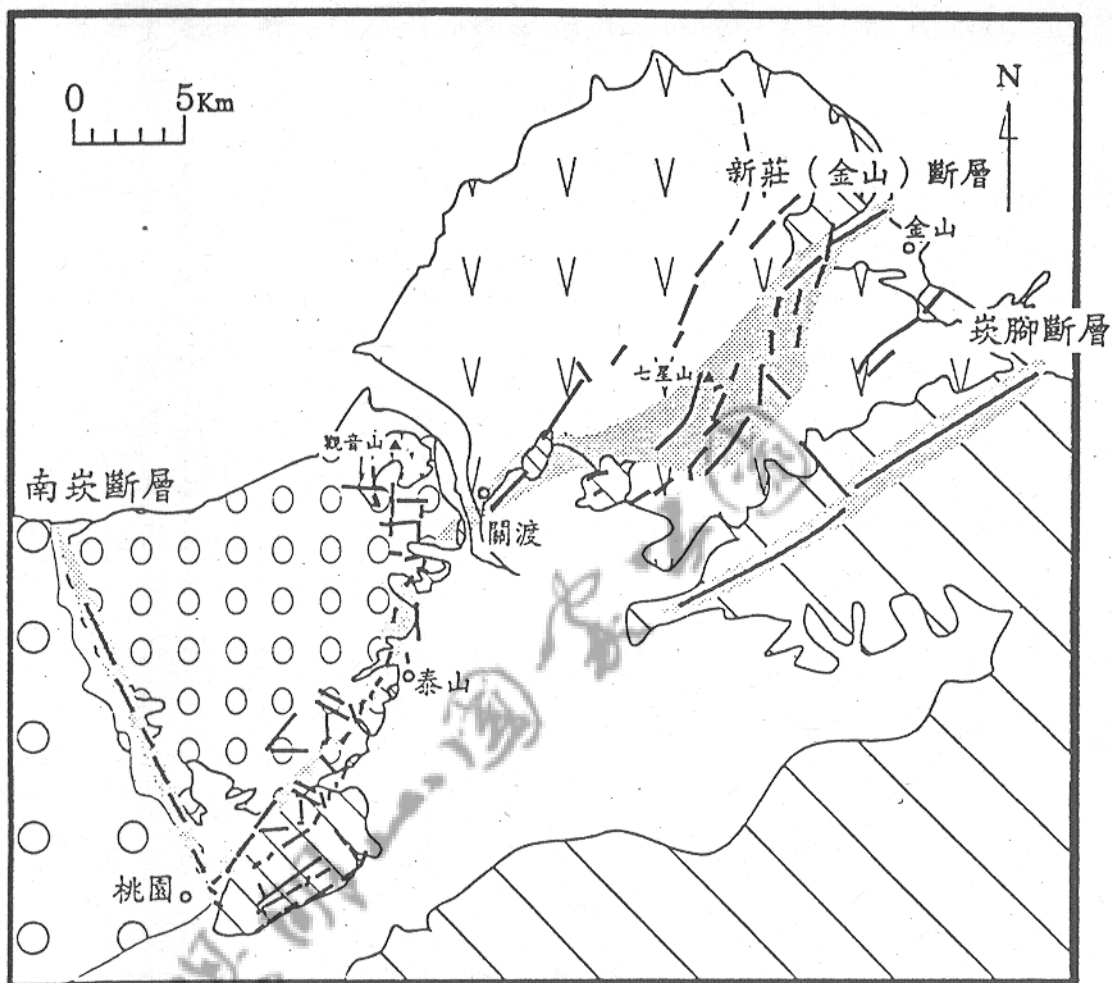
航照圖判讀法是直接判讀衛星所拍攝到的衛星圖，以及聯勤所出版的黑白航照圖（比例尺約為二萬分之一）。經由立體鏡的觀察，然後覆蓋透明紙於航照圖上，描繪出可能的線性分佈，再轉繪於五萬分之一的地形圖上，得到一張可能的構造線性分佈圖。觀察航照圖時，必須注意光源方向與地形的關係，以避免因陽光所造成的錯覺。在描繪線性時，必須注意許多人文或地形現象的延續，常會與含有地質意義的線性混淆，盡可能排除與地質現象無關者，才能避免錯誤，並減少野外地質調查時所花費的時間。

斷層在航照上常顯線性或在照片上形成顯而易見的斷崖，此外如成一條線排列的樹林、直線狀河道、河流中的大小瀑布、或在一直線方向上有斷續分佈的湖沼等類，都是斷層特徵。有時在一河系中，上下游之水系型式或方向有明顯差別，亦因由斷層產生的岩性差別所致。

圖八為臺灣側視雷達影像圖，圖九則是由航照圖所描繪的線性分佈圖。從圖中可看出在大屯火山岩區中，東西各有一條東北-西南方向很顯著的線性構造，西邊的線性構造可能為金山斷層，而東邊的線性構造則可能為炭腳斷層。中間凹陷區則有



圖八：台灣側視雷達影像圖；可看出臺灣北部大屯火山群附近有明顯的線性構造。



圖九：大屯火山群及其鄰近地區的線性分佈圖(朱建仁，1992)。

一些西北-東南方向較短的線性構造，此一類的線性構造可能為一些與火山作用有關的正斷層。

### 3-2-2：地形圖判讀

地形圖判讀法是使用聯勤所出版的五萬分之一及二萬五千分之一地形圖，直接於地形圖上判讀線性排列分佈，其方法似航照圖判讀。不過，地形圖不能顯現出立體，在判讀過程中易誤判。另近幾年來，由於人為的濫墾，使得最新出版的地形圖不能表現出原始的地形特徵，故利用地形圖判讀時，早年出版的地形圖比最新出版的地形圖可能提供更確實的地形資料。

### 3-2-3：地質圖判讀

一般地質圖都會標示出構造線的種類及分佈。我們將航照圖及地形圖所判讀出的線性，繪於地圖上，然後與地質圖相比較，可確定其他方法所判定的線性排列是否為構造線及屬於何種構造，相對地也可判定地質圖是否有所缺失。

### 3-2-4：地球物理的方法

地球物理的方法主要包括震測及重力的方法。茲分述如下：

#### 3-2-4A：震測研究

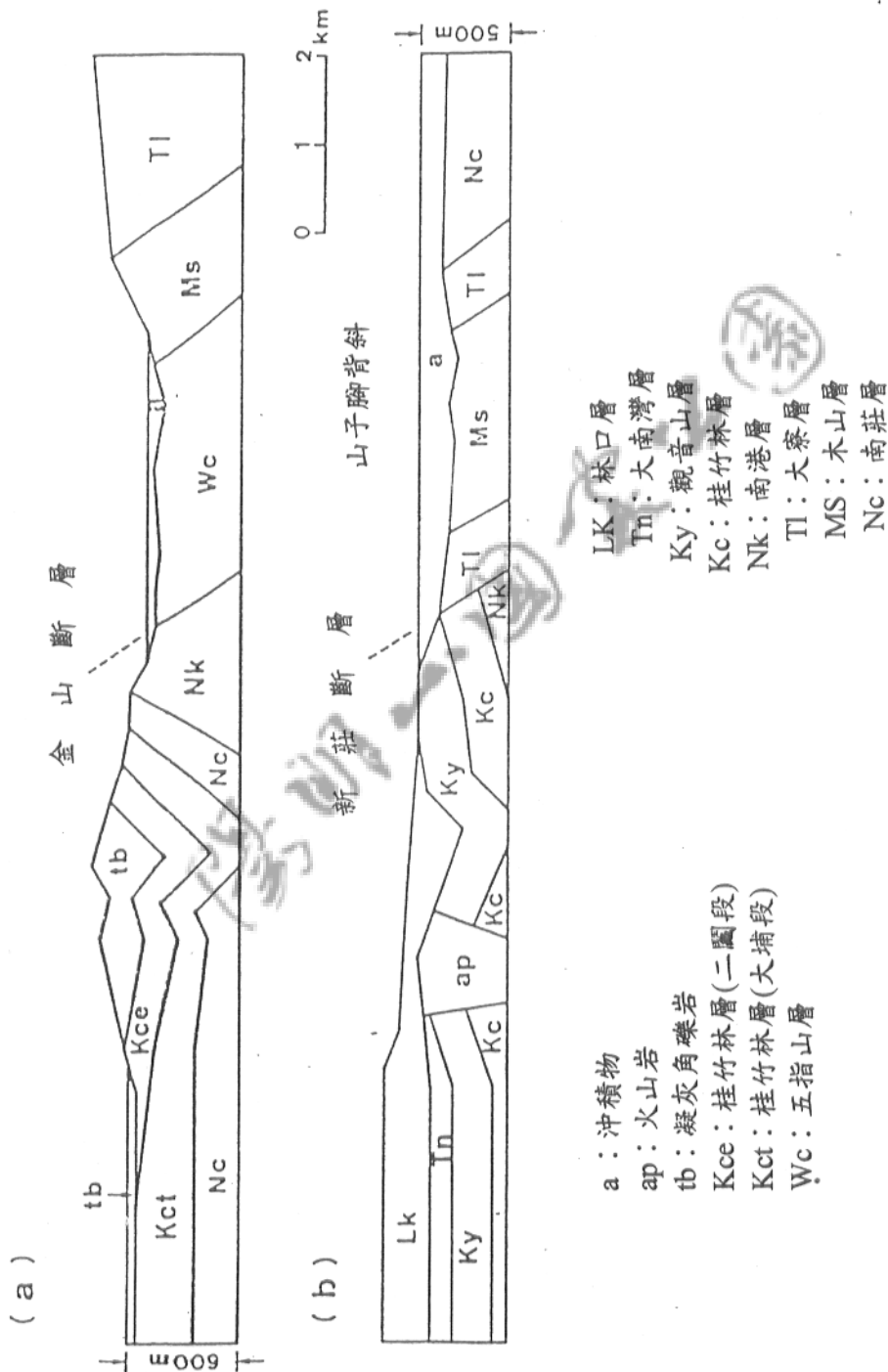
震波測勘是利用地下各種岩層具有不同的密度與速度，使傳經其中之震波不僅快慢速度有別，且能產生反射、折射等現象。因此經由觀測震波之傳播及發生反射、折射之時間，從而計算出地下地層之深度、速度，進而測繪出地下地質構造的形貌。在速度及密度變化顯著之地區，震波測勘法可提供精確之地質構造之形貌資料。

### 3-2-4B：重力研究

重力測量資料，可解析一地區地下岩層密度的分佈與變化，當地底下岩層有橫向密度變化時，地表將呈現不同的重力值，如火成岩的密度一般都大於沉積岩，所表現出來的重力值也就比沉積岩的重力值大。故由重力值的變化，可以解析一區域地下岩層的密度分佈，藉以推斷地下構造的形貌。若發現有突然的地下岩層密度改變，則表示此一區域可能有斷層存在。如圖十，我們發現在中間箭頭處，地下岩層的密度分佈及岩層的位態有突然的改變，顯示此區域可能有斷層存在，再配合其他方法得知，此一斷層即為金山斷層。

### 3-2-5：野外地質調查

用上述的方法所得到的地質構造，可能會有所偏差，要確實的了解是否有構造存在，以及屬於何種構造，必須仰賴實際的野外地質調查。對於大地構造運動所造成之野外露頭構造，必須詳細觀察，特別是中視構造之斷層所造成的滑痕，必須仔細判斷其位移滑動之方向。所謂的中視構造是指肉眼可見的斷



圖十：由重力測量來決定金山斷層的位置。



層，然後加以記錄其走向及位態，可幫助判斷此一斷層構造的分佈及延伸方向。

### 3-3:構造的種類、分佈及特徵

由以上各種方法所得到的結果，顯示陽明山國家公園內及其附近的構造，計有兩條東北—西南的逆斷層，西邊為金山斷層，東邊為炭腳斷層；及數條南北向和西北—東南向的正斷層（圖十一）（陳肇夏，1974）。

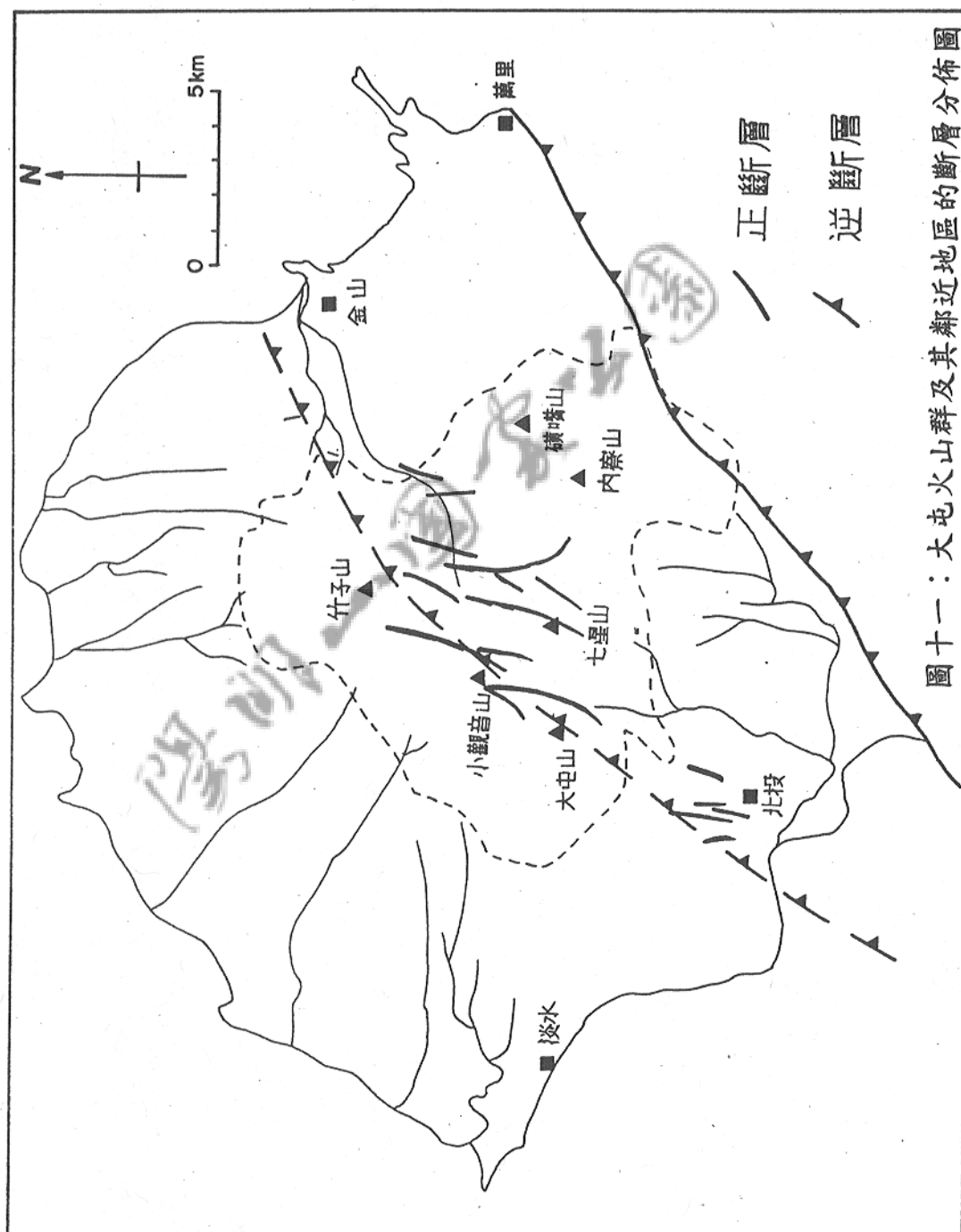
金山斷層為一呈東北—西南走向的逆斷層，向東南傾斜，傾角不詳。斷層之上盤為漸新世之五指山層，主要出露於金山突出海岬和北投貴子坑等局部地區；岩層呈東北走向，向東南傾斜12度。位於貴子坑之五指山有一西北翼倒轉之背斜構造，背斜軸走向為北15度東，此一背斜軸應與金山斷層之逆衝作用同時形成。其上覆蓋有火山凝灰角礫岩，而此一凝灰角礫岩並未有明顯的變形作用，顯示此一斷層作用應發生在火山作用之前，而火山作用形成凝灰岩之後，此一斷層未再活動。斷層之下盤露出部份屬於上新世之南莊層與桂竹林層，主要出露於金山三角洲平原西側及關渡地區。此岩層亦呈東北走向，並在跳石附近有一東北走向之向斜存在，此一向斜構造與金山斷層之形成有關，應屬同一應力場下的產物（黃鑑水等，1991）。依據斷層上下盤地層解析，金山斷層的落差可能有2800公尺以上。

斷層北段被極厚的磺溪溪谷沖積層所掩覆，根據電探的研究，此一沖積層的厚度可達200公尺（楊潔豪、陳洲生，1989），如此狹長且深的沖積谷地之形成，應與斷層作用有關。斷層的中段與南段，幾乎全部被火山岩所掩蓋，但根據地形線性分佈、地層落差以及地球物理方法，顯示此斷層應確實存在。此

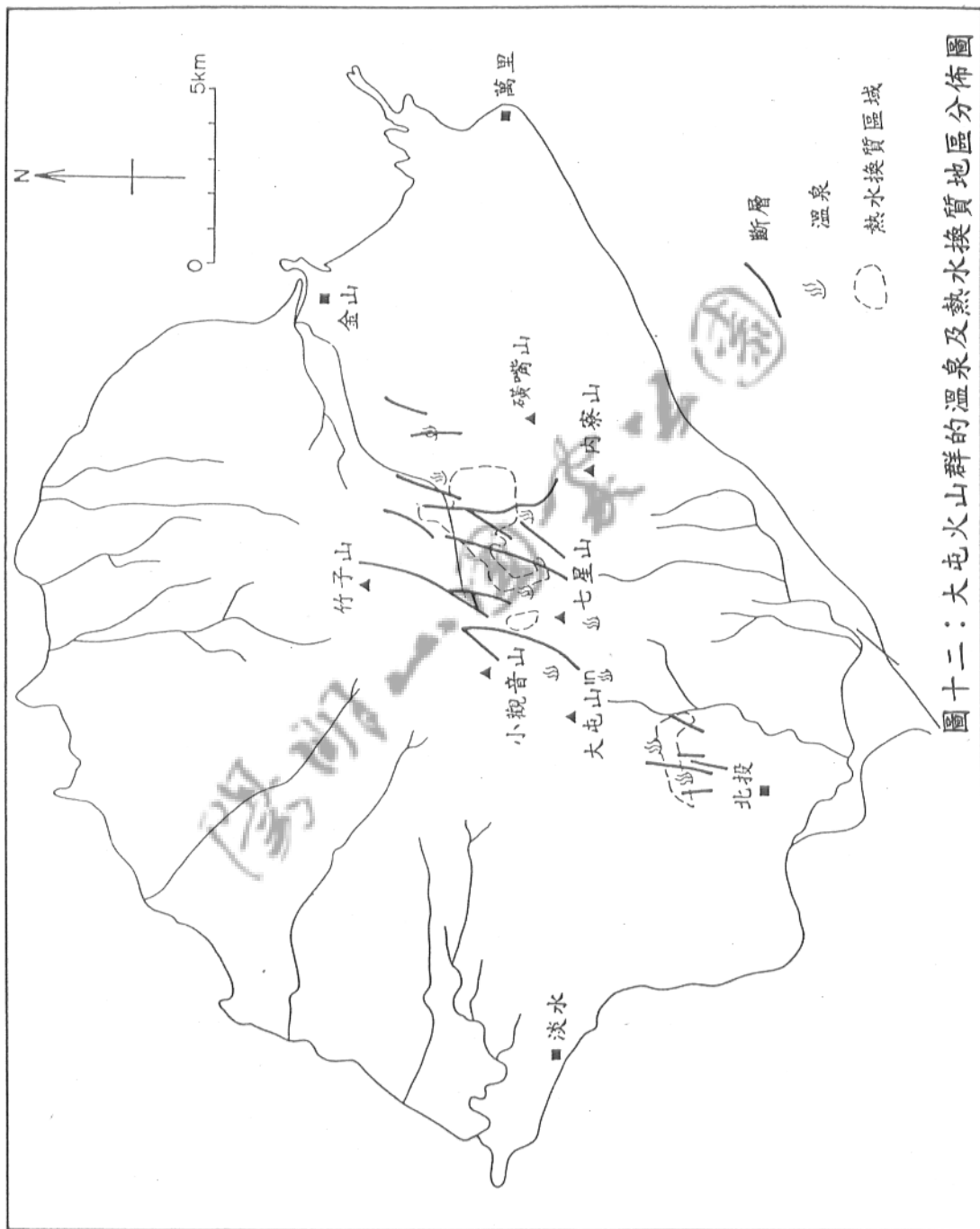
斷層可能向西南延伸，經竹子山和小觀音山東麓下方，於大屯山與南大屯山下方進入臺北盆地之西緣，而與新莊斷層相連，在北投復興崗北方所見之斷層可能屬於此斷層之一支。

炭腳斷層亦是一條逆斷層，位於大屯火山群之東南緣，呈東北—西南走向，向東南傾斜，斷層線大部分明顯露出，僅一小部分被沖積層與火山岩所掩蓋。本斷層之下盤露出部分屬於木山層、大寮層及石底層。上盤為五指山層，地層落差在外雙溪附近約為500公尺，在雙溪與瑪鋉溪之分水嶺附近與萬里附近約為2200公尺，均較金山斷層落差為小，且向臺北盆地方面有逐漸消失之趨勢。

在上述兩大逆斷層間，存在數條延伸不長的重力斷層，這些斷層與火山活動息息相關。七星山之東南側與西北側，以及磺嘴山附近，都有斷層分佈，且溫泉、噴氣孔與安山岩熱水換質作用區域大都沿這些斷層分佈(圖十二)。



圖十一：大屯火山群及其鄰近地區的斷層分佈圖



圖十二：大屯火山群的溫泉及熱水換質地區分佈圖

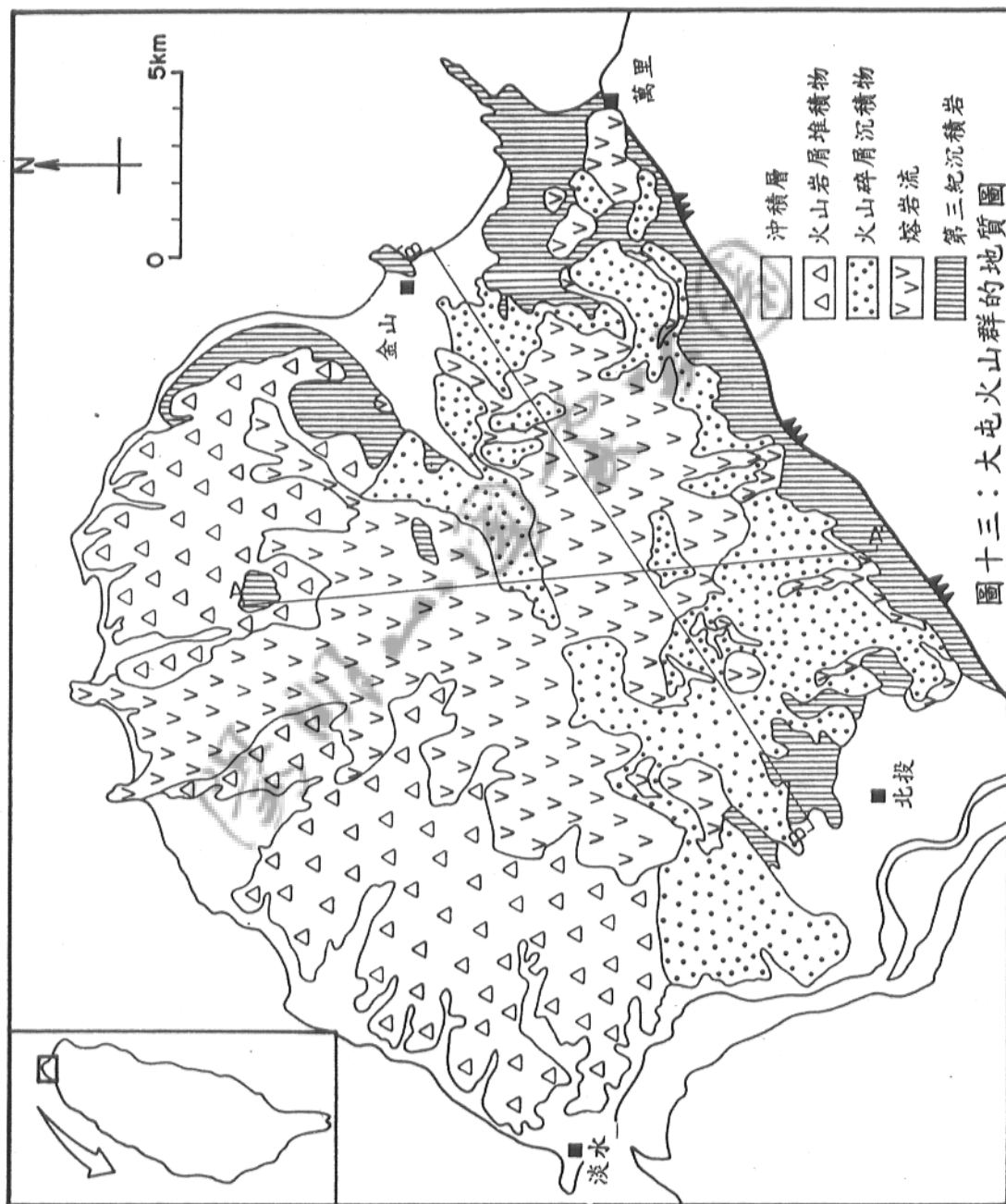
## 肆、火 山 地 質

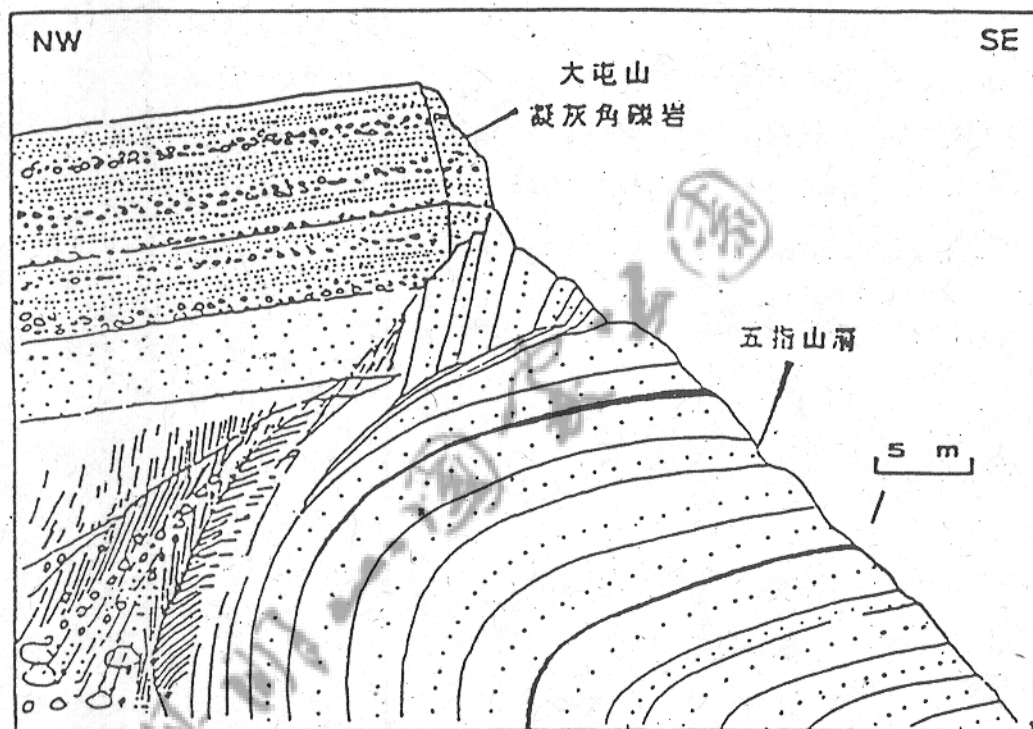
### 4-1：火山岩的基盤

陽明山國家公園內火山岩的基盤岩，主要是由第三紀的沉積岩所構成(圖十三)；岩層包括漸新世的五指山層，以及中新世的木山層、大寮層、石底層、南莊層和桂竹林層等。

#### 4-1-1：五指山層

五指山層在本區出露於金山海岬、北投貴子坑以及竹子山腳下等局部地區。金山海岬的五指山層以中粒至粗粒堅硬礫石質白砂岩為主，呈塊狀或厚層，具大型槽狀交錯層構造，間夾薄層頁岩，可能為三角洲沖積河道的沉積物。貴子坑的五指山層亦以中粒至粗粒堅硬礫石質白砂岩為主，唯夾中至薄層炭質頁岩及頁岩，並含薄層煤，具大型槽狀交錯層構造及粒級層構造，推測其可能為三角洲沖積平原及河道。此地之五指山層因受金山斷層逆衝之影響，形成一西北翼倒轉之背斜，岩層顯得相當破碎，上為火山凝灰角礫岩直接覆蓋(圖十四)。另一方面又受到後火山熱水蝕變的影響，使砂岩之膠結疏鬆，因而過去在此洗選白砂及黏土礦。出露於竹子山角下的五指山層，由數個巨大岩塊所組成，其不是被火山岩所包圍，就是以不整合的殘留於桂竹林之上，為金山逆衝斷層作用下的產物，實具地質意義，應加以保留。





圖十四：大屯火山群的火山碎屑岩直接覆蓋於五指山層之上的  
露頭描繪(盧佳遇、李錫堤，1990)。

#### 4-1-2：木山層

木山層主要出露於本區北投、外雙溪以及金山沖積平原東部。本層以白色中粒至細粒石英砂岩為主，多呈厚層或塊狀，有時具有明顯之交錯層理及暗紅色氧化鐵結核。灰黑色頁岩為另一較發達之岩層，常與砂岩構成互層。因本層抗風化侵蝕能力較其他岩層強，故常見較為陡峭的岩壁，如外雙溪附近，沿著溪谷可看見相當陡峭的厚層砂岩岩壁，即為本層的出露。另本層出露於北投大磺嘴附近的岩層，因受後火山熱水蝕變的影響，使的砂岩膠結疏鬆，密度變小，而容易崩塌。

#### 4-1-3：大寮層

大寮層主要分佈於本火山岩區東南內雙溪以及東北的野柳附近。本層主要由厚層塊狀砂岩和厚度不等的頁岩，或砂岩和頁岩的互層所組成。砂岩大部份為淡灰色、淡青灰色或灰色細粒混濁砂岩；另有一部份為淡灰色或白灰色細至中粒石英砂岩，厚數公尺或數十公尺，常形成山脊或岩壁。頁岩為深灰色，在本層下部較為發達。

#### 4-1-4：石底層

石底層主要分佈於本區東邊內雙溪至萬里之間。岩層為淺灰色至白色細粒至中粒砂岩、灰色砂岩、灰黑色頁岩、以及白色粉砂岩或細砂岩與黑色頁岩所成之薄葉互層。砂岩以長石質砂岩為主，有時呈塊狀厚層，多見於本層之中部及底部。頁岩



為深灰色或黑灰色，常含有炭質物。砂岩中具有交錯層、波痕等淺水沉積構造，為濱海相的沉積物。

#### 4-1-5：南莊層

南莊層主要分佈於竹子山下、金山沖積平原的西側。岩層以白色塊狀至厚層中粒砂岩為主，夾有深灰色頁岩，淡青色泥岩，及砂岩和粉砂岩與頁岩的緻密薄葉互層。砂岩大部份為石英砂岩，一部份為長石質砂岩，膠結疏鬆。南莊層的另一特色為含有煤層。在不同的砂岩層內，白色砂岩的粒度常從細粒到中粒。砂岩多具交錯層及波痕等沉積構造，岩層中又夾有炭質物，顯示此層的沉積環境可能是陸相至濱海相。

#### 4-1-6：桂竹林層

桂竹林層的分佈和南莊層的分佈是一樣的，都是分佈在竹子山下、金山沖積平原的西側。依據岩性的不同，本層又可分為上、下兩段。下段稱為大埔段，主要以淡灰色厚層泥質砂岩，間夾薄層頁岩，砂岩中的泥質部份，常有大量的有孔蟲及貝類化石。上段稱為二圖段，由淡青灰色疏鬆厚層泥質砂岩、灰色或淡灰色粉砂岩、灰色頁岩以及互層所組成。泥質砂岩由岩屑質混濁砂岩構成，富含孔蟲及貝類化石，顯示本層為海相沉積物。

### 4-2：火山岩野外產狀

火山岩噴發過程中，岩漿中的氣體含量，以及在噴發過程中有無外界水的加入，都會影響火山的噴發行為及產物。一般而言，岩漿中的氣體含量越高，或在噴發時有外界水的加入，則火山爆發行為較劇烈，此種爆發以產生火山碎屑岩為最主要。反之，岩漿中的氣體含量越少，或是噴發時沒有外界水的加入，則不會有劇烈的火山爆發，此時所產生的火山產物以熔岩流為主。火山並非時時刻刻都在噴發，而是間歇的噴發；噴發的時間短，不噴發的時間較長，因此火山在暫時停止活動的時刻裏，就會發生風化侵蝕作用，形成再積性火山碎屑岩。所以陽明山國家公園內火山岩的野外產狀包括有熔岩流、火山碎屑岩及再積性火山碎屑岩等。

#### 4-2-1：熔岩流

熔岩流依其外形和成因可分為塊狀熔岩(massive lava)、阿丫熔岩(Aa lava)、塊熔岩(blocky lava)等。塊狀熔岩由厚層熔岩流或穹隆體(dome)噴出地表冷卻而成。陽明山國家公園內的火山岩野外產狀，以熔岩流佔絕大部份，顯示陽明山國家公園內的火山大都屬於較溫和的火山噴發。其中又以塊狀熔岩流為最多，形成顯著的熔岩臺地；如苗圃、馬槽、鹿堀坪、擎天崗、面天坪、興福、二坪頂、風坪和八煙等都是由厚層熔岩流冷卻所形成的。單層熔岩流的厚度變化很大，從數公尺到一、兩百公尺都有，如馬槽熔岩流的厚度可能有二百公尺，而大部份的熔岩流大都以二、三十公尺為最多，如柏園山莊、臺北小城、竹子山下、仰德大道旁等。單一層岩流的分佈，最遠約可達十公里左右，如竹子山岩流一直分佈至富貴角及麟山鼻。

熔岩流在岩漿庫演化過程中，其黏緻性(viscosity)會隨著二氧化矽的增加而增加；或是在火山活動晚期，隨著岩漿所含氣體的逸失而增加；或是在噴發過程中，隨著岩漿溫度的降低，也會使岩漿的黏緻性增加。當岩漿增加黏緻性後，使得岩漿的流動性變差，而以穹窿作用(doming)的方式噴出岩漿，形成穹窿(dome)，紗帽山其可能就是以穹窿作用而產生的。紗帽山為七星山的一個寄生火山(parasitic cone)，比較此兩個火山的火山岩，七星山火山岩之岩基(groundmass)完全由玻璃質所組成，顯示快速冷卻的組織，是岩漿快速噴出地表的結果；而紗帽山火山岩的岩基，則是由細粒的斜長石和普通輝石所組成，顯示其冷卻的速度相當緩慢，為穹窿作用所形成。

當岩漿在流動冷卻過程中，其中的氣體向上逸出，集中於冷卻較快的岩流表面，而表面下未凝固的岩漿仍在流動，於是產生剪力，破壞表面已冷卻的岩石，形成像煤渣的Aa熔岩，常見於厚層塊狀熔岩流的表面。陽明山國家公園內的火山岩形成至今已有相當年代，表面已被植物所覆蓋，故不易見到此種產狀的熔岩流。

塊熔岩是由於熔岩流的前緣已冷凝成固態，不易流動，而後面的熔岩流又不斷的往前推擠，或者前緣冷凝於陡坡上，致使岩體產生碎裂所形成。於頂中股斜坡上，因人為開挖而有塊熔岩的出露。

#### 4-2-2、火山碎屑岩

在火山噴發的過程中，岩漿所含氣體因減壓離溶、產生氣體，氣體體積膨脹產生剪力，使岩漿或上覆岩層碎裂；或岩漿與水作用產生碎裂，都會形成火山碎屑岩。其產物依堆

積方式可分為灰落堆積物(fall deposit)、湧浪堆積物(surge deposit)和火山碎屑岩流堆積物(pyroclastic flow deposit)等(圖十五)。灰落堆積物是火山物質被拋至空中後，因重力的緣故，使其掉落地面的一種堆積方式，此種作用所產生的火山物質因經過風的淘選，所以淘選度較佳，且常形成顆粒支持(clastic-supported)和粒級層(graded bedding)的構造。出露於小油坑的岩壁及擎天崗的侵蝕台階的細粒至粗粒的火山灰(ash)和火山岩礫(lapilli)，稍具水平層理和粒級層理，可能是屬於灰落堆積物。

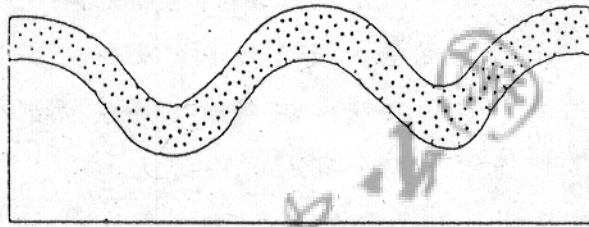
在噴發過程中，火山物質以流動的方式，沿著地形斜坡往下流動。若流動體的密度高、流動速度較低，則產生火山碎屑岩流堆積物；若流動體的密度低、流動速度較高，則以產生湧浪堆積物為主。火山碎屑岩流堆積物包含了各種粒度的火山灰、火山岩礫和火山岩塊(block)，沒有明顯的層理構造，以基質支持(matrix-supported)為其最主要的特徵，主要是充填於地形上的低地。出露於馬槽，陳肇夏(1973)所稱的下部火山碎屑岩，較不具層理，可能為火山碎屑岩流堆積的產物。

#### 4-2-3：再積性火山碎屑岩

再積性火山碎屑岩，為火山岩形成後，受風化侵蝕搬運作用，再堆積的產物。出露於貴子坑的河谷內、石門海邊以及陽明山國家公園西半部外圍等地，火山岩岩礫的圓度較圓，堆積層理較好的火山碎屑岩，都是屬於此種產物。

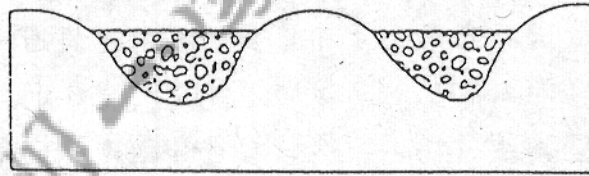
火山灰落堆積層

(a) (Pyroclastic-Fall Deposit)



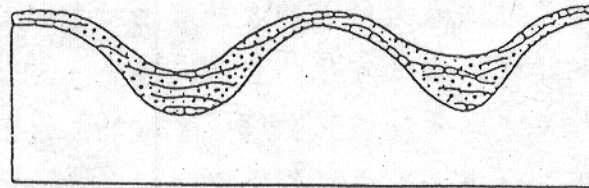
火山碎屑岩流堆積層

(b) (Pyroclastic Flow Deposit)



火山湧浪堆積層

(c) (Pyroclastic Surge Deposit)



圖十五：三種火山碎屑岩的產狀(Wright et al., 1980)。

### 4-3：火山岩的噴發年代

火山岩絕對時間定年的方法有很多，大部分的方法都是利用放射性元素的原理；如鉀—氬定年法(K-Ar)、氬—氬定年法(Ar-Ar)、核飛跡定年法(fission-track)、鉍—鋇定年法(Rb-Sr)、釷—釷定年法(Sm-Nd)及鈾—鉛定年法(U-Pb)等。而鉀—氬定年法、氬—氬定年法和核飛跡定年法等三種，常用於較年輕火山岩的定年。目前大屯火山群火山岩之絕對年代，都是利用鉀—氬定年法和核飛跡定年法所測得，而氬—氬定年法受限於儀器，還未有人運用此法，。

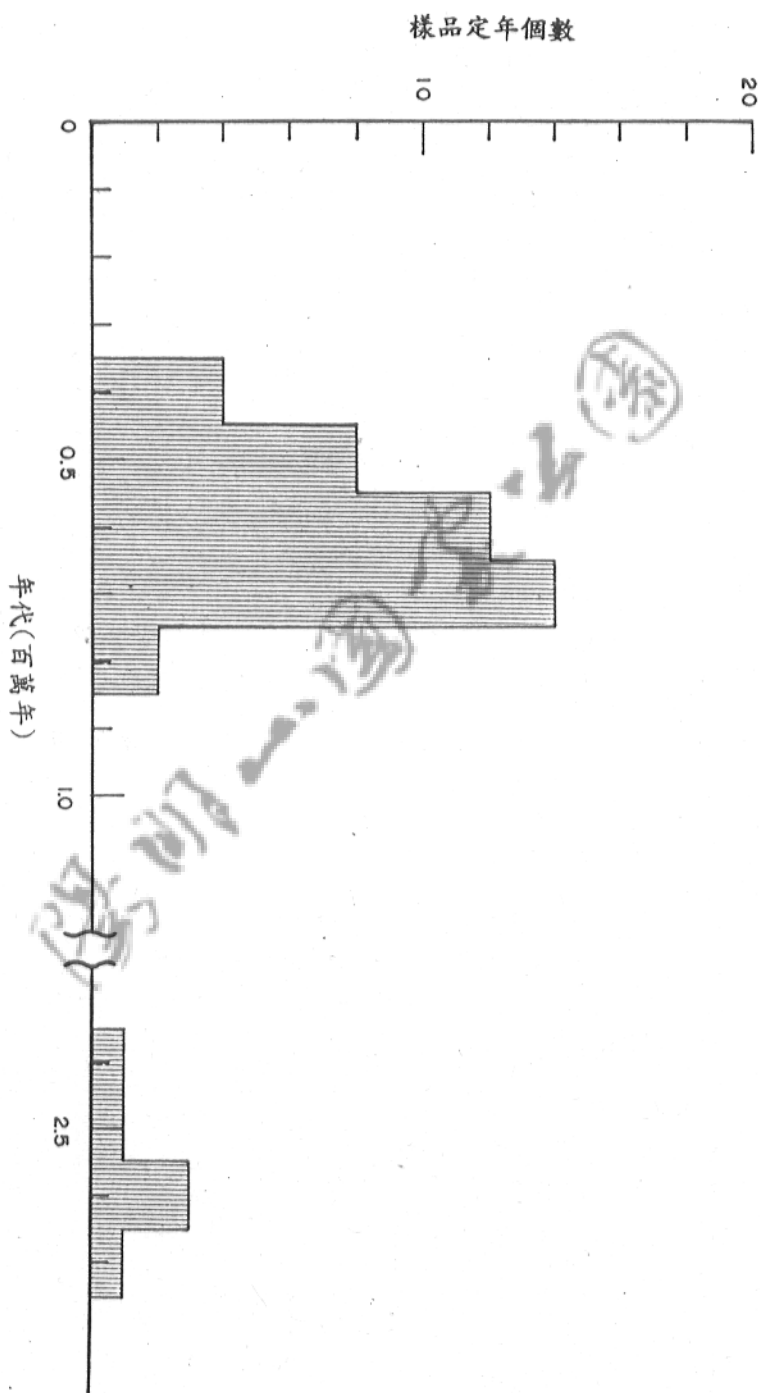
鉀—氬定年法是利用鉀的三個同位素 $^{39}\text{K}$ 、 $^{40}\text{K}$ 及 $^{41}\text{K}$ ，其中鉀—40具有放射性，而且有兩種蛻變方式：一是鉀—40經放出 $\beta$ 粒子而變為鈣—40，此部分占了鉀—40蛻變的百分之八十九，因岩石內鈣元素相當多，目前還沒有良好的方法把鈣同位素分離，故此鉀鈣蛻變不能用於定年的方法；另一種是鉀—40變為氬—40，雖然只有百分之十一的鉀—40可以蛻變為氬—40，但在岩石中氬元素含量相當的少，且分離氬同位素相當容易，故這是最有用的母子對定年元素，半衰期為13億年。此定年法最大的困難在於經由放射性蛻變所產生氬—40氣體的逃逸。當欲定年的岩石或礦物，曾經受過熱事件，如變質作用或熱水換值的影響，會擾動結晶格子，使得氬氣逃脫束縛。如果全部氬氣都逃脫的話，此一岩石或礦物將重新計時，於是此刻所得的年代為熱事件的年代。若氬氣只部分逃脫，那所得的年代將是介於岩石最初形成的年代與熱事件之間的年代。

核飛跡定年法是利用鈾元素的同位素鈾—238，可以自行分裂成兩個大小幾乎相等，以極快的速度分離的原子核。當礦物或玻璃中的鈾元素產生核分裂，分裂的原子核碎塊以高速在礦物內或玻璃內行進時，將破壞其行進周圍的原子，



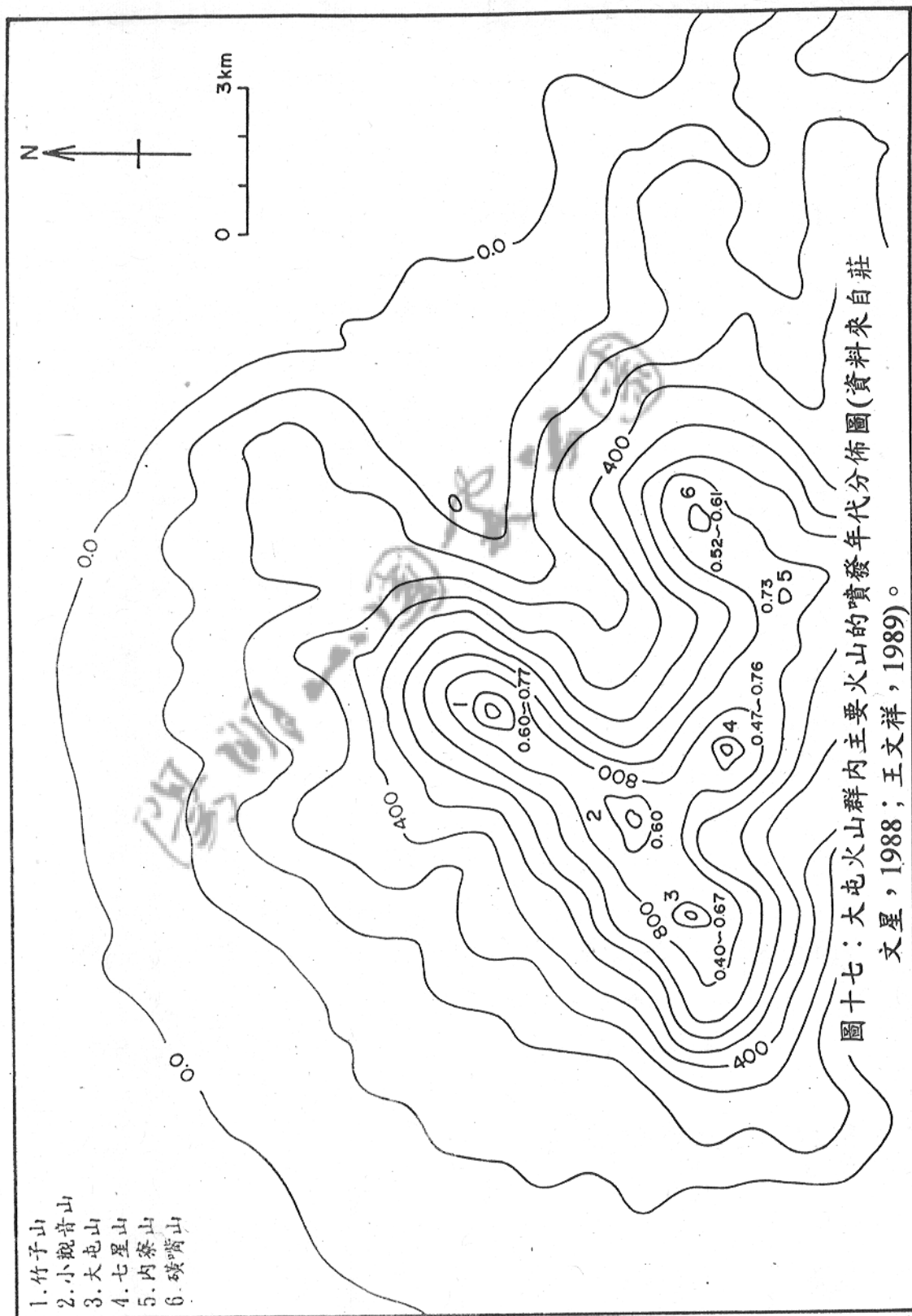
留下軌跡，即是核飛跡。隨著時間或鈾含量的增加，核飛跡的量會增加，只要知道鈾元素核分裂的半衰期、該礦物或玻璃的鈾含量和核飛跡的數目，就可以計算出這個礦物的形成年齡。並非所有的礦物都適合於做核飛跡定年法，必須此礦物含有相當量的鈾元素才適合，如鋯石、磷灰石等是最常用於核飛跡定年的礦物。

大屯火山群的火山岩的年代分佈如圖十六，可分為兩期噴發，早期的火山噴發年代為2.53~2.77百萬年，所形成的量相當的少，只零星分佈於大磺嘴、明德樂園即丁火朽山等地區。晚期噴發的年代為0.20~0.77百萬年，所形成的量不僅大，且熔岩流遍佈於大屯火山群的各個角落，陽明山國家公園內所有的火山，都是這一期的火山作用所形成的，而各個火山的主要年代大致都在0.45~0.70之間（圖十七），顯示晚期的火山活動，開始的時候噴發相當強烈，劇烈的火山噴發持續了約二十萬年，然後火山活動慢慢的減弱，於二十萬年前停止了火山噴發。



圖十六：大屯火山群火山岩的年代分佈統計圖(資料來自莊文星，1988；王文祥，1989)。





## 伍、討 論

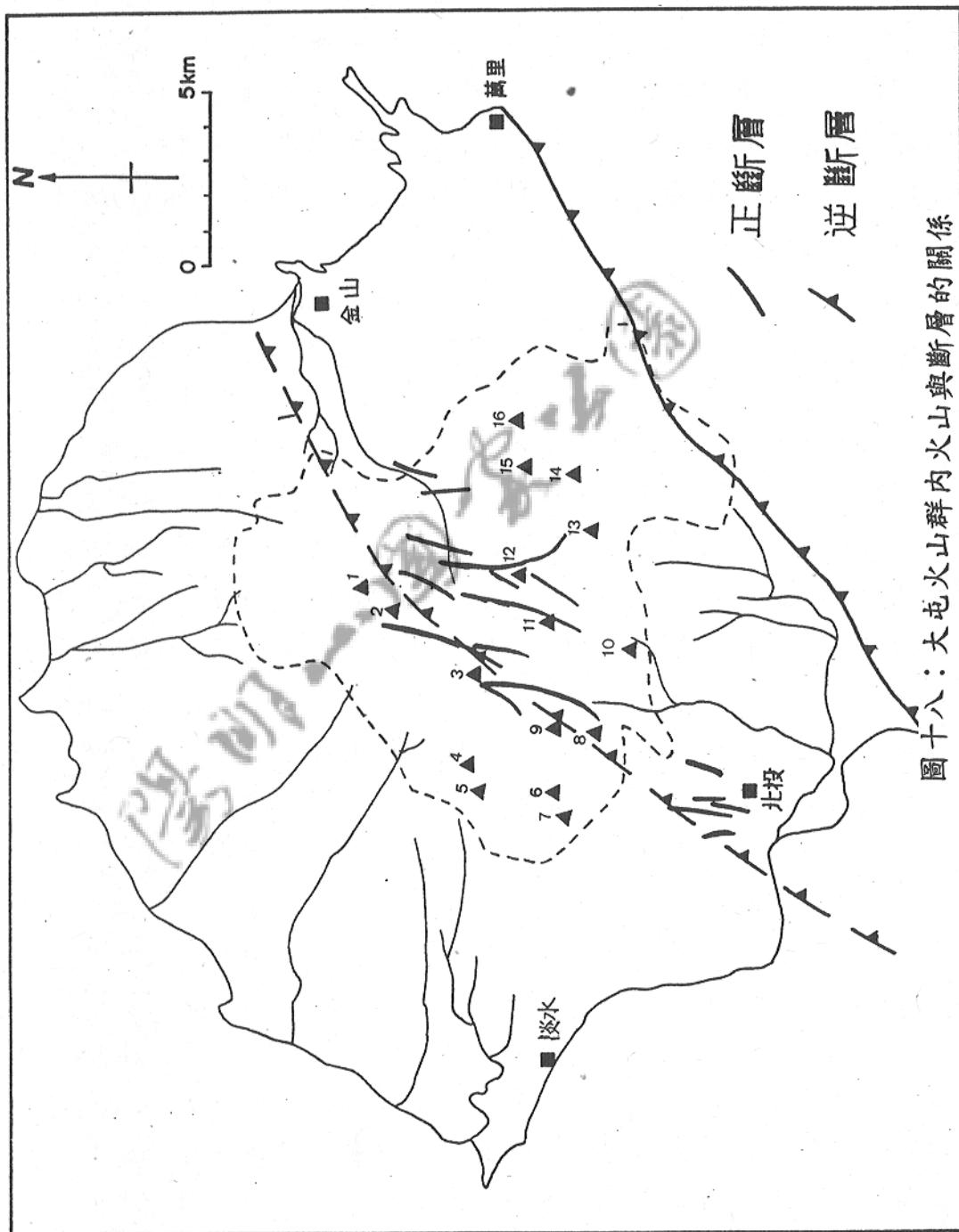
### 5-1：斷層與火山的關係

圖十八是把火山及斷層線的分佈描繪在同一張圖上，可清楚的看出火山的分佈，基本上可劃分為兩群。竹子山、嵩山、小觀音山、大屯山、南大屯山、萊公坑山、烘爐山、面天山和向天山等為一群自北北東—南南西排列的火山，主要是沿著金山斷層邊分佈，其形成的機制應該與金山斷層息息相關。萊公坑山、面天山、向天山和烘爐山等離金山斷層有一段距離，但前三座火山從其噴發年代、岩性及地理上來看都與大屯火山息息相關，可視為大屯火山的噴發口往西遷移的結果。而烘爐山火山的岩性與大屯火山群的其他火山有很大的不同，以玄武岩噴發為主，岩性較其他的火山基性，可能來自於大屯火山底下岩漿庫較深的部份，為岩漿從主體火山側邊噴發的火山。

另一群火山包括七星山、七股山、竹嵩山、紗帽山、大尖山、大尖後山及磺嘴山等，大致呈東北東—西南西方向排列，沒有與明顯的斷層線有關，只部份火山被火山噴發作用所形成的正斷層切過。這一群火山的排列受控於何種因素，將於沉陷火山口部份加以討論之。

### 5-2：火山噴發環境

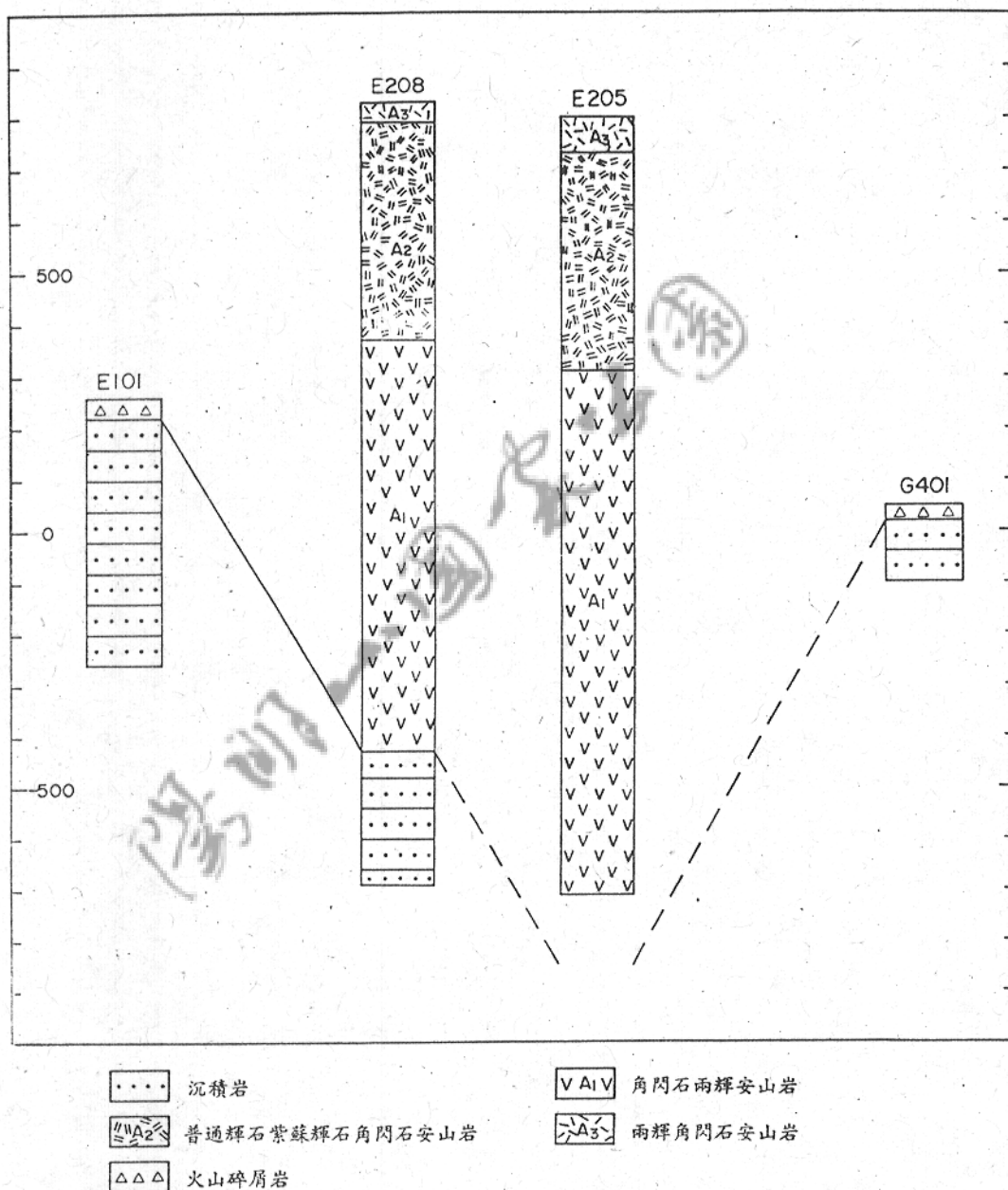
大屯火山群是屬於陸上或水底噴發？由以下的證據推測，應是在陸上噴發的。



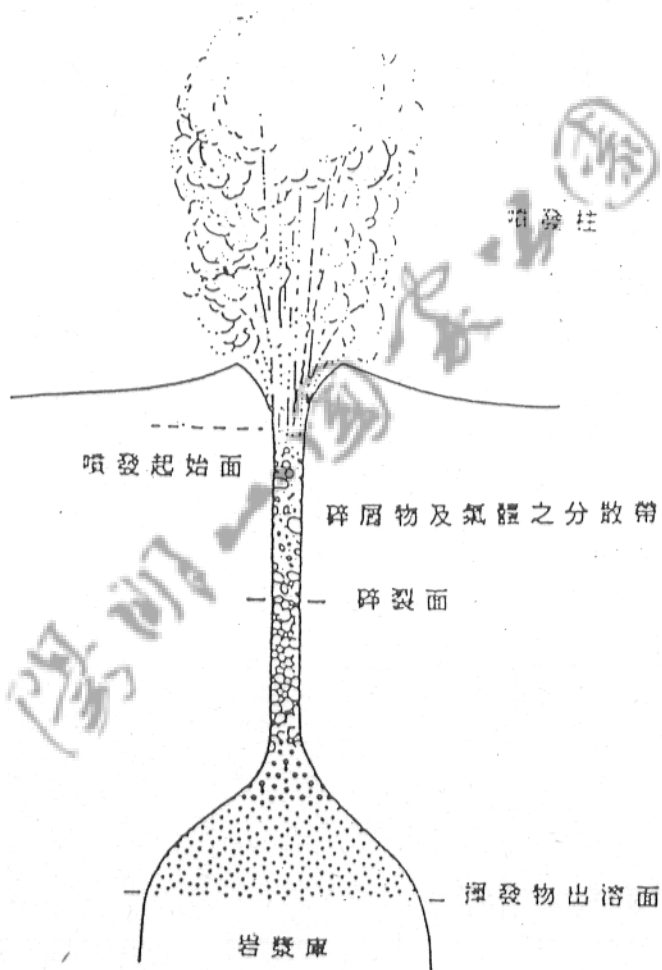
圖十八：大屯火山群內火山與斷層的關係

1. 大屯火山群的基盤岩為第三紀的沉積岩，從貴子坑、大磺嘴和竹子山下的野外露頭，以及為探勘地熱所鑽的鑽孔岩心資料顯示(圖十九)，大屯火山群的火山岩直接覆蓋在漸新世五指山層與中新世木山層之上，且火山岩中夾有相當多量的沉積岩捕獲岩，顯示在火山岩噴發之前，第三紀的沉積岩受到弧陸碰撞的作用，出露於地表接受風化侵蝕了一段長時間後，火山才開始噴發。

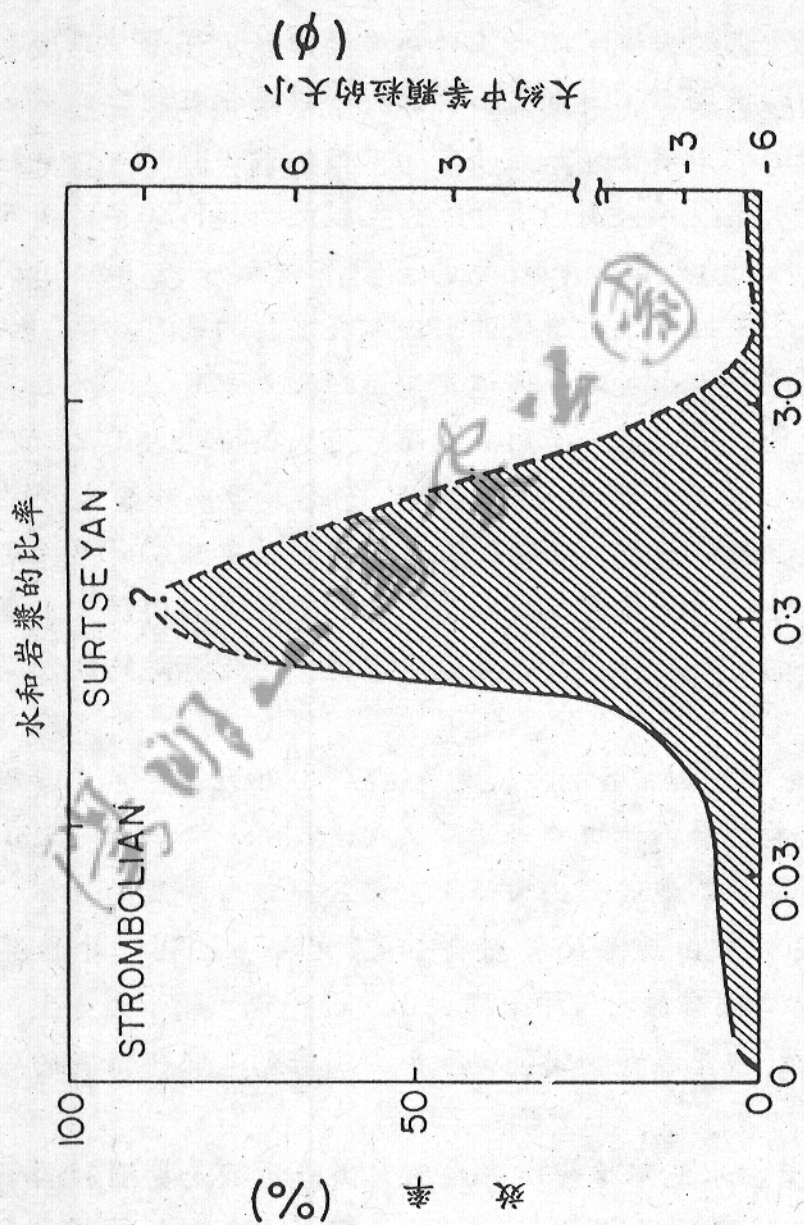
2. 描繪火山爆發的能力，一般是用火山爆發指數(volcanic explosivity index)(Newhall and Self, 1982)。所謂的火山爆發指數是：火山碎屑岩/火山碎屑岩+火山熔岩流。若指數高，表示火山的爆發能力強，可以把岩漿粉碎，變成小顆粒的火山碎屑岩。指數低則表示火山的爆發能力弱，不能把岩漿粉碎，主要以產生火山熔岩流為主。決定火山爆發指數的高低，主要有兩個因素：若在無外界水加入的情況下，發生火山噴發，則火山爆發能力受控於岩漿本身的氣體含量，以及岩漿因上升解壓、氣體離溶的速度(圖二十)。岩漿含氣體量越高、上升速度愈慢，有足夠的時間讓其離溶，則爆發能力越強。反之，岩漿氣體含量低或上升速度快，沒有足夠的時間讓其離溶，則火山的爆發能力將較弱。若岩漿在噴發之前，有外界水參與反應，則其噴發行為視外界水的多寡而有不同的反應。如圖二十一為模擬岩漿與水作用之下，火山噴發能力的表示圖；當外界水與岩漿的比例為0.3~3.0時，岩漿的熱能完全為水所吸收，使液態水迅速的轉變為水蒸氣，體積膨脹，火山的噴發能力因而變得相當強。當外界水低於0.3時，雖完全能把液態水轉變為水蒸氣，但體積膨脹量不足以使岩漿產生劇烈的爆發能力，故火山的噴發能力受外界水的影響甚小。而當外界水高於3.0時，岩漿中的熱能，完全為水所吸收，但不會使液態水轉變為水蒸氣，因而影響岩漿的噴發行為，故同樣地火山的噴發能力亦受



圖十九：鑽探地熱井的岩石柱狀圖(礦研所報告，1971)。



圖二十：火山噴發氣體離溶的模式圖(Wilson et al., 1980)。



圖二十一：水和岩漿比與噴發效率的關係圖(Wohletz, 1983)。



外界水的影響甚小，只不過此時所形成的火山岩以枕狀熔岩流為主。

大屯火山群火山岩的產狀是以熔岩流為主，在野外到處可見厚層的火山熔岩流，而火山碎屑岩的露頭不僅少，厚度也不大。此種特徵顯示，大屯火山群的火山爆發指數相當的低，屬於較溫和的火山噴發。一般而言，中性的火山岩中，含氣體含量較基性岩漿高，火山的噴發能力也較強，如1980年的美國聖海倫(St. Helen)火山和1991年的菲律賓皮納吐波(Pinatubo)火山，都是由中性岩漿所噴發的火山，其噴發的高度約為20~30公里的高空，火山灰的分佈遠在數百公里外都可見到，且其產物大都是由火山碎屑岩所組成。而大屯火山群的火山之所以為溫和的火山噴發之原因可能有二：一是岩漿中雖含大量的氣體，但上升的速度相當快，使岩漿來不及減壓離溶，累積足夠的氣體產生強烈的爆發，這和其是由沉陷火山口引發火山爆發是相吻合的。另一種原因是其發生在陸上，沒有足夠的外界水可與之反應，形成強烈的爆發。

3.大屯火山群噴發的年代約為0.77~0.20百萬年，在其附近相當年代的地層為林口礫岩(陳文福，1989)。若大屯火山群的噴發是屬於劇烈的火山噴發，火山灰應該會廣泛的分佈於林口礫岩裏。但由現今的資料得知(陳文福，1989；林淑芬，1990)，林口礫岩層內幾乎未有火山灰的發現，顯示大屯火山群應該是屬於相當溫和的噴發，和由火山岩的產狀所推測的結果是相一致的。

4.岩漿由水底下噴發所形成的火山岩，若是屬溫和的噴發則以形成枕狀熔岩(pillow lava)為主；若是以劇烈的爆發方式，則以形成玻璃碎屑岩(hyaloclastite)為主。觀察大屯火山群的火山岩產狀，並沒有枕狀熔岩流及玻璃碎屑岩出露，顯示大屯火山岩應不是在水底下噴發的。



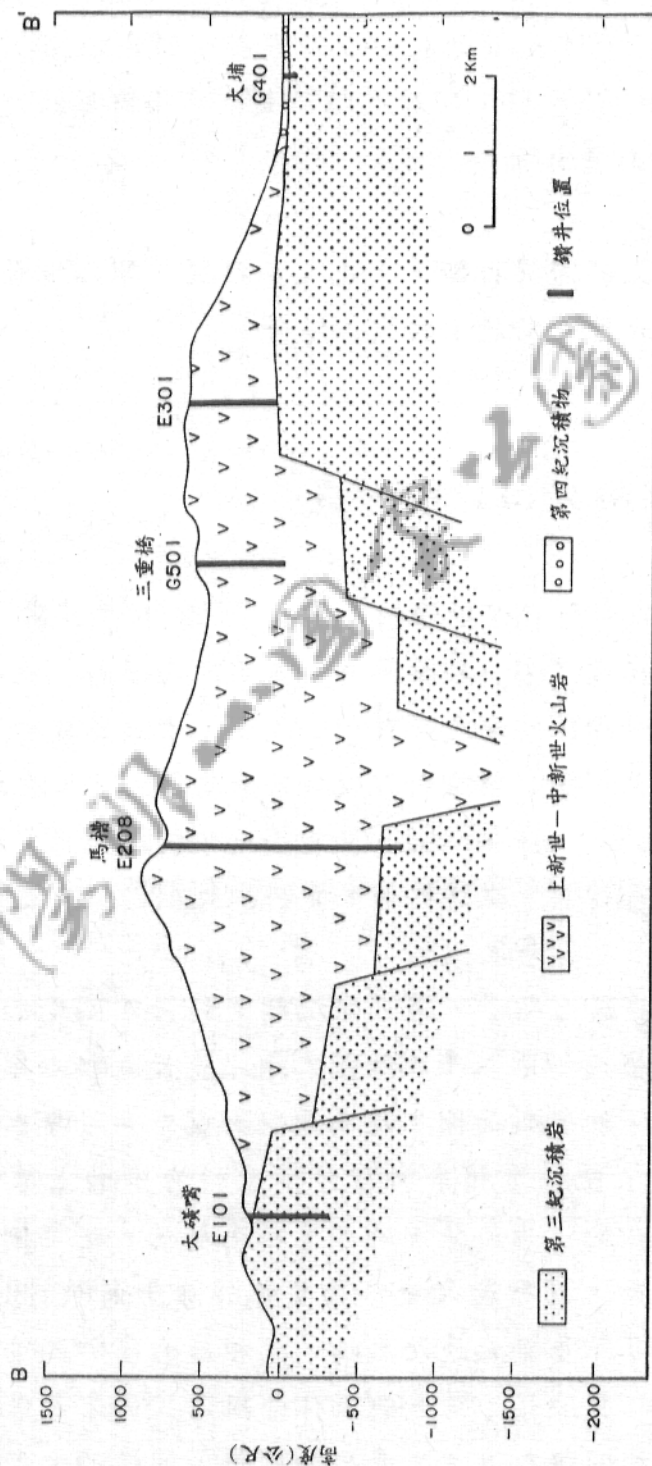
5. 在整個火山群的北方，如金山平原、淡水附近及北海岸出露相當大量且厚的再積性火山碎屑岩 (Volcaniclastic deposits)，這表示大屯火山岩形成當時和以後，受到相當快速的風化侵蝕作用，同時也顯示大屯火山群應該是在陸上噴發及堆積火山噴出物。

從以上的證據推斷，大屯火山群從一開始噴發到火山活動結束，都是發生於陸上的火山爆發。

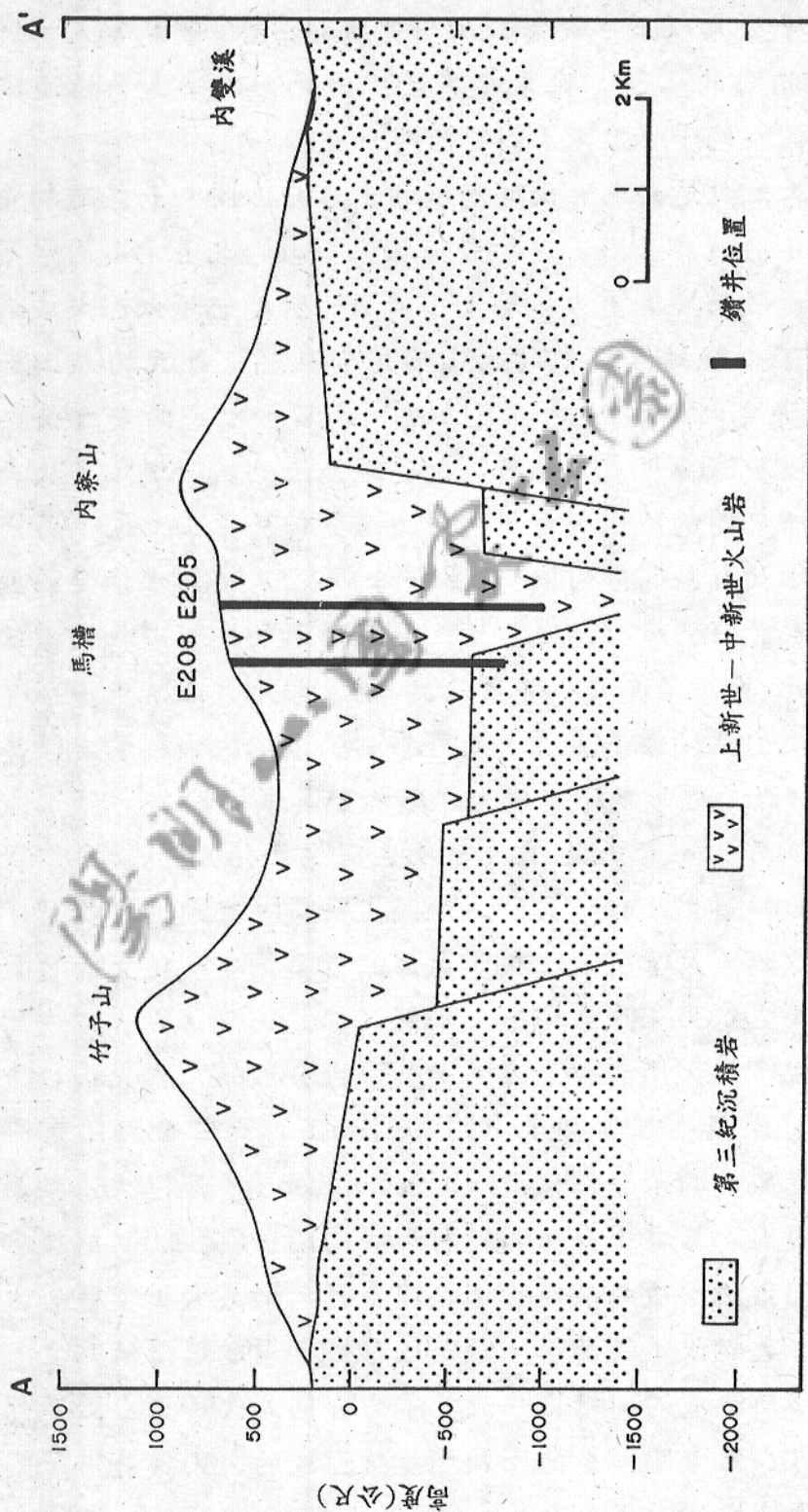
### 5-3：沉陷火山口的形成

工業技術研究院能礦所早期為了探勘地熱能源，在陽明山國家公園內鑽了不少的地熱井，尤其以馬槽附近為最多。這些地熱探勘井鑽探的深度從數十公尺至上千公尺都有。而這些鑽探井中，大部份只鑽探到火成岩岩層就停止了，有少數幾口井如馬槽E208、大磺嘴E101、三重橋附近的E301及大埔G401等幾口井鑽到基盤岩，從這些鑽井資料知大屯火山岩直接是覆蓋在漸新世的五指山層之上。

從地質圖上顯示，第三紀沉積岩的分佈高度約為海平面上二、三百公尺。圖二十二和圖二十三是大屯火山群內東西及南北兩條地下地質剖面圖。在南北剖面圖中，可看出從南邊的大磺嘴有第三紀的沉積岩出露於高度約海平面上二百公尺的地方，然後往北沉積岩分佈的高度越來越低，在馬槽附近，從鑽井資料得知，沉積岩的分佈高度低於海平面約600公尺左右，再往北到了三重橋北邊及大埔，沉積岩出露的高度又恢復到海平面上約二百公尺，此一剖面似乎顯示火山岩是裝在以沉積岩面為底部的凹槽內。從東西剖面圖中，同樣的也可看到此一凹槽的構造，不過在馬槽E205井鑽到海平面下將近一千公尺左



圖二十二：大屯火山群地下地質南北方向剖面圖。



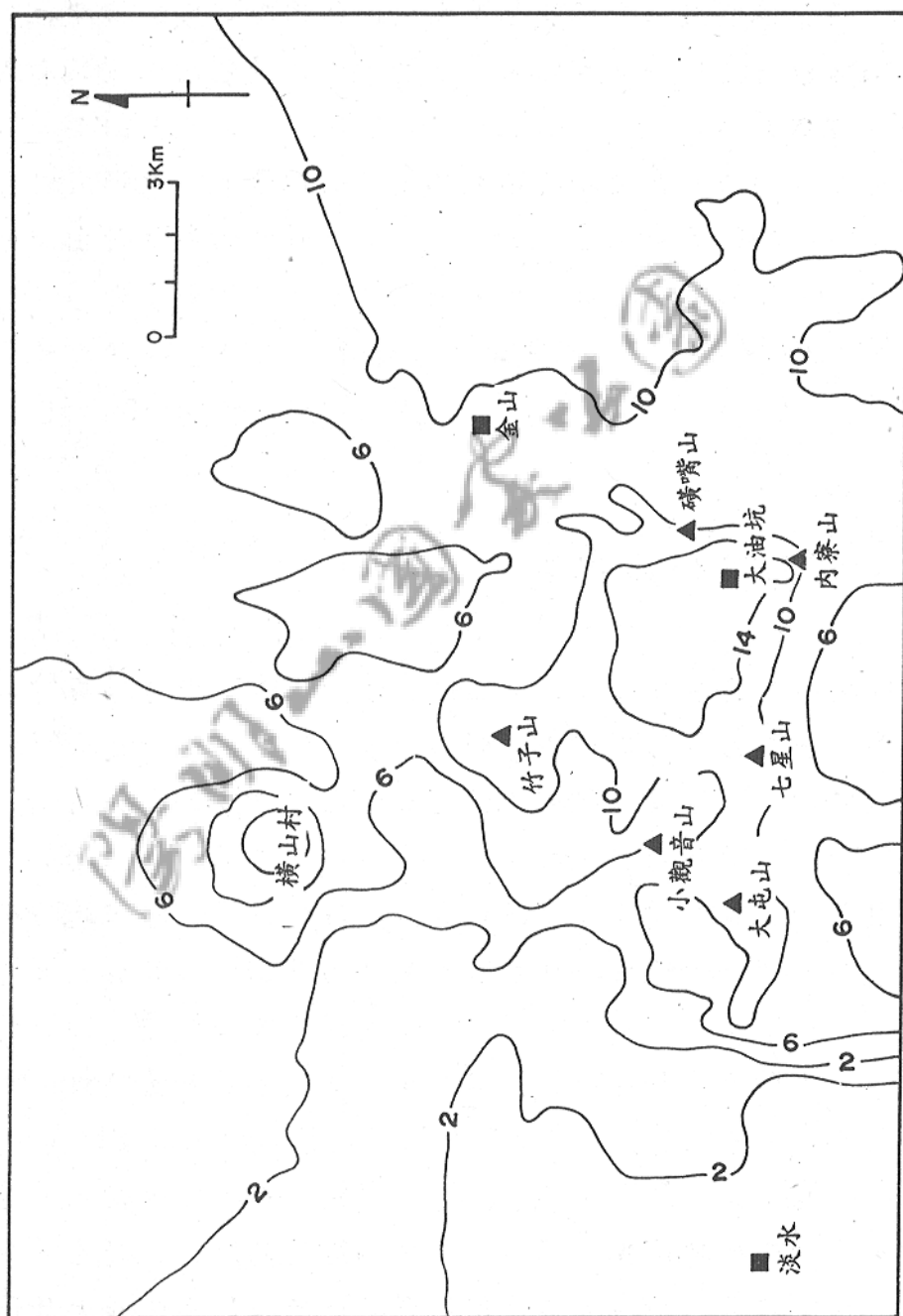
圖二十三：大屯火山群地下地質東西方向剖面圖。

右，還未鑽到沉積岩的基盤岩，顯示此一凹槽最大的深度可能超過一千公尺以上。從前人的研究資料裏(陳肇夏等人，1960)也得到相同的結果，陳等人甚至指出此一凹槽為一構造陷落帶，南北長約十公里，東西寬約兩公里。

圖二十四是大屯火山群附近的重力分佈圖。一區域的重力分佈表示區域內岩石密度的分佈狀況，同時也表示不同岩石的分佈。一般而言，重力值越大，岩石的密度也越大，火成岩的密度除了未膠結、鬆散的火山碎屑岩及富含氣孔的火山岩之外，其密度大都比沉積岩來的大，故顯示出來的重力值也較大。從圖中顯示，重力值最大的區域為大油坑附近，其次是各個火山所包圍的區域，最低的重力值分佈於火山外圍。另由安山岩熱水換質區的分佈圖中(圖十二)，可看出熱水換質最嚴重的區域也是分佈於大油坑附近，且最高溫的換質礦物同樣的也分佈於此(與陳肇夏先生的個人討論)，顯示大油坑底下確實是整個區域內溫度最高者。由此可推測，大屯火山群的岩漿庫可能是位於此一區域底下深處，與陷落帶區域相似。

一般而言，火山區域內會發生與火山活動有關的作用有二；一是陷落火山口，另一為沈陷火山口。在前面曾提到，陷落火山口為岩漿噴發後，把岩漿庫的岩漿掏空，使上面覆蓋的岩石失去支撐力而產生陷落，如圖二。此一陷落火山口內的火山岩組成，以火山碎屑岩為主，其重力分佈顯示出火山口中心的值較外圍高；且其後來所形成的火山，大都位於陷落帶中心，如夏威夷的基勞威火山(Kilauea volcano)。沈陷火山口為火山未噴發前，岩漿上升的同時所形成的陷落(圖三)。然後，岩漿沿著陷落所形成的裂隙管道快速上升，形成火山噴發，由於岩漿所含氣體來不及離熔，於是以形成大量的熔岩流為主，堆積於陷落所形成的凹槽內，故其重力分佈為火山口中心高外圍低。因火山沿著陷落裂隙上升，故所形成的火山常是沿著陷落帶邊緣分佈排列，且常是形成多個火山體。





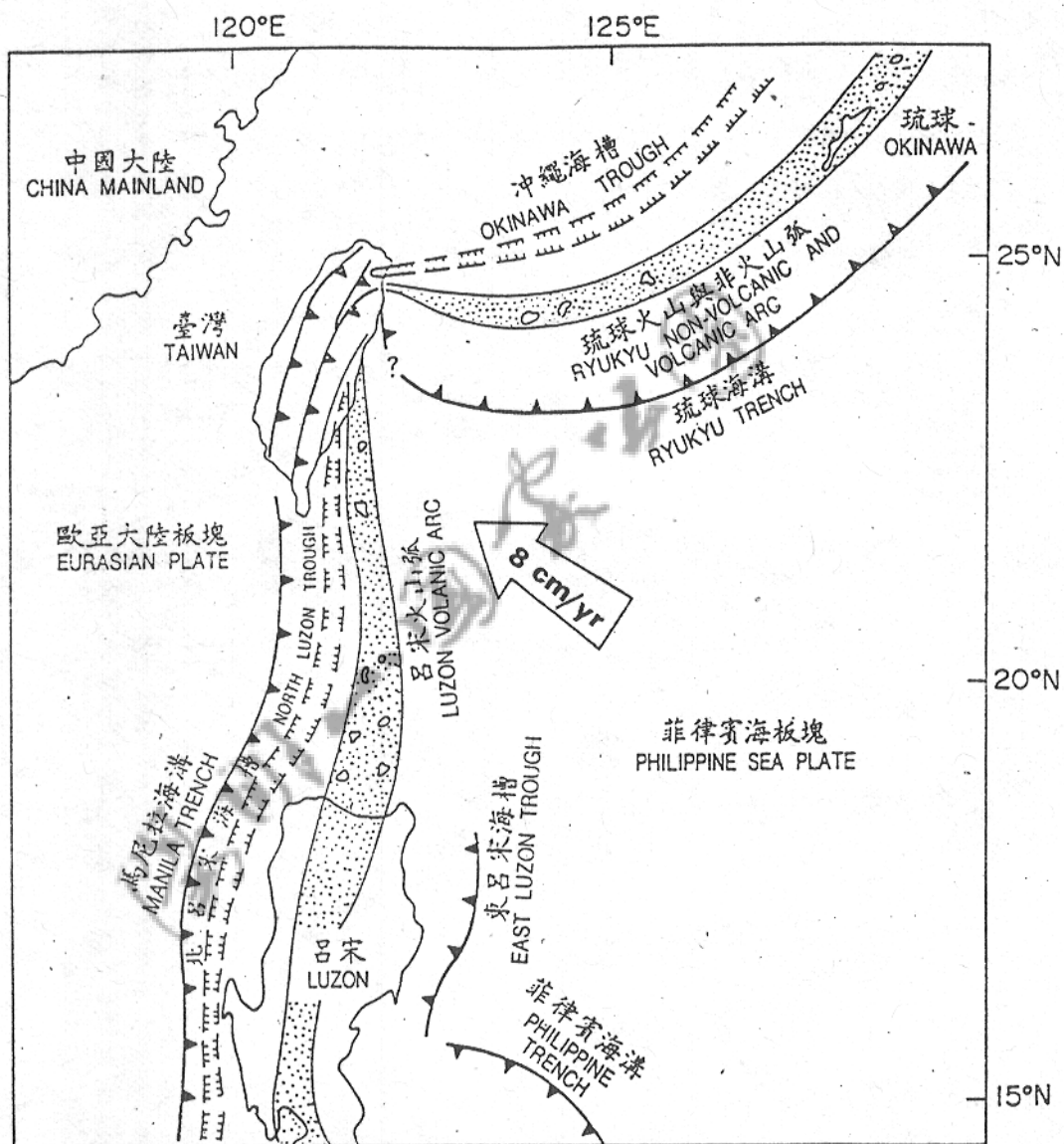
圖二十四：大屯火山群及其鄰近地區的重力分佈圖(謝泰祺，1990)。

地熱探勘井中的岩心資料顯示，此一陷落帶內的火山岩以熔岩流為主，火山碎屑岩的含量相當的少，和重力測量的結果一致，而且這些火山岩可能是早期火山作用所形成的，故推測此一陷落帶發生的時間應比火山活動早，或是與火山開始活動同時（陳肇夏，1960）。由上一節中也得知，大屯火山群的噴發速度相當的快，在地表所見大都是火山熔岩流。故形成於大屯火山群內的陷落帶，是一沈陷火山口，西邊的界限是金山斷層，其他部分的界限已被埋於火山岩之下，在地表上則不可見了。現今所觀察的火山分佈正是沿著此一沈陷火山口邊緣排列。

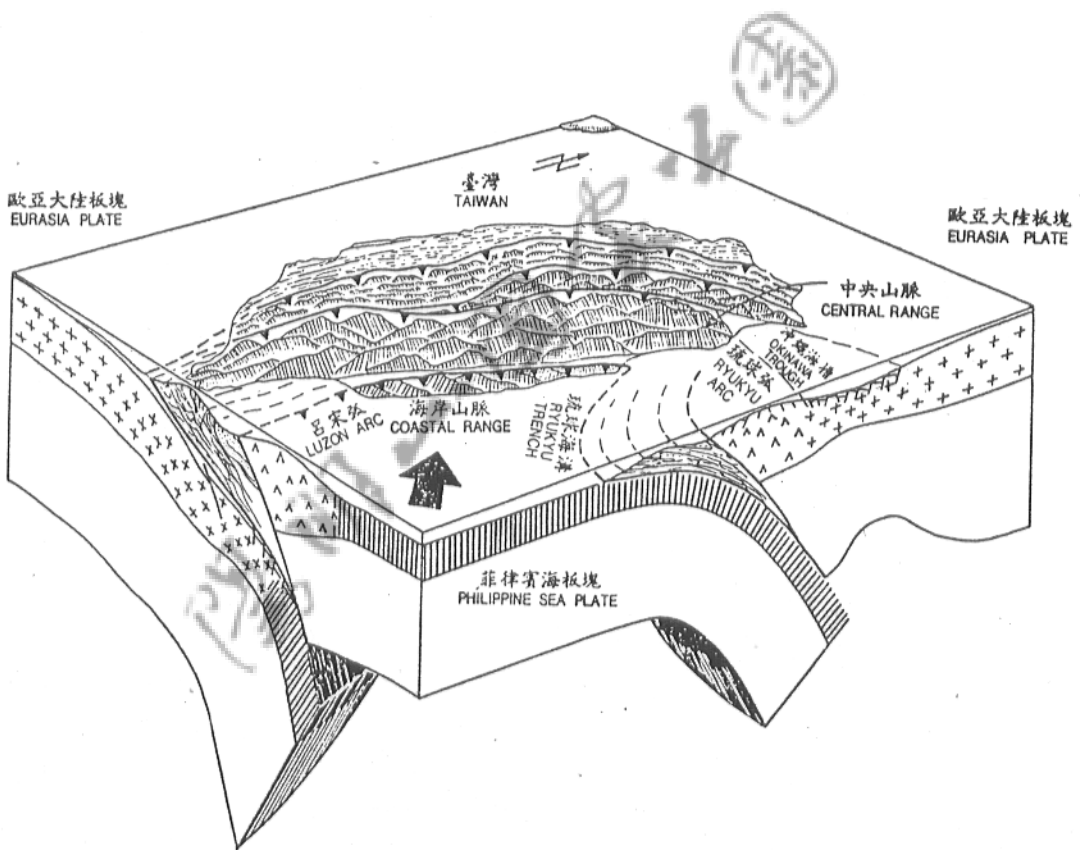
#### 5-4：火山噴發演化史

依板塊構造學說，台灣是位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的聚合與碰撞帶的界線上（圖二十五）。圖二十六是台灣與鄰近地區的三度空間立體圖，歐亞大陸板塊前緣的南海海板塊向東隱沒入菲律賓海板塊之下，形成了呂宋島弧，直到南海海板塊隱沒消耗掉，開始隱沒歐亞大陸板塊時，因大陸板塊密度較輕，不易隱沒，而使得北呂宋島弧的海岸山脈與歐亞大陸邊緣發生碰撞、抬升，形成今天的台灣。菲律賓海板塊向西北移動與歐亞大陸邊緣發生碰撞後，產生向北移動的分量隱沒於歐亞大陸之下，形成了今天台灣及其附近複雜的地體構造。

海板塊隱沒入大陸板塊之下，會因脫水作用把水排入大陸板塊之下的上部地函楔，降低上部地函岩石的熔點，發生部分熔融，產生岩漿，形成火山作用，這就是所謂的島弧或大陸邊緣的火山作用。台灣北部的火山包括了大屯火山群、基隆火山群、觀音山以及外島的彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼及基隆島，這



圖二十五：台灣及其鄰近地區的板塊構造模式圖(採自何春蓀，1986)。



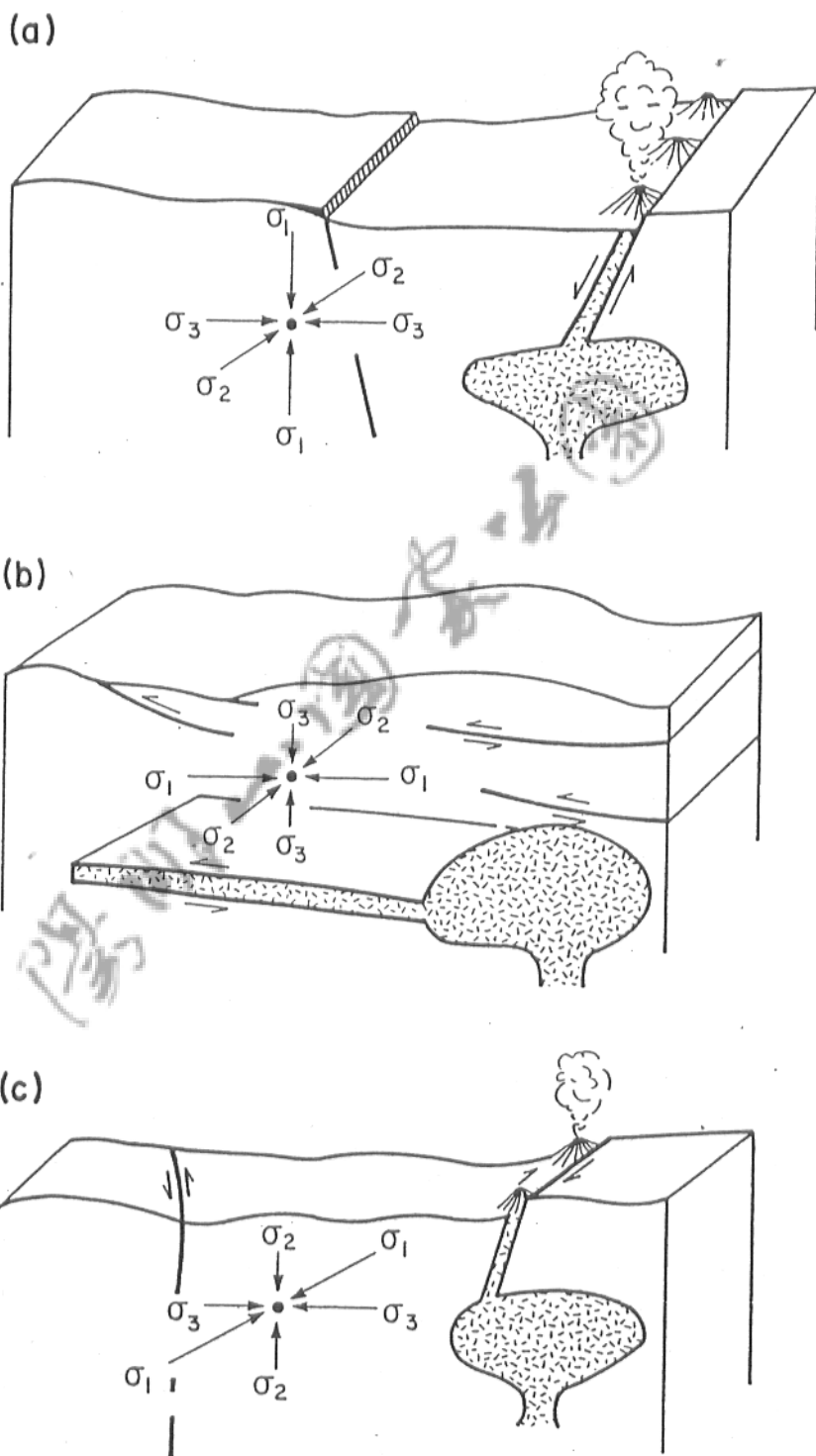
圖二十六：台灣板塊構造及弧陸碰撞的立體示意圖(採自何春蓀，1986)。



些都是因菲律賓海板塊向北隱沒入歐亞大陸板塊之下所形成的  
大陸邊緣的火山活動。

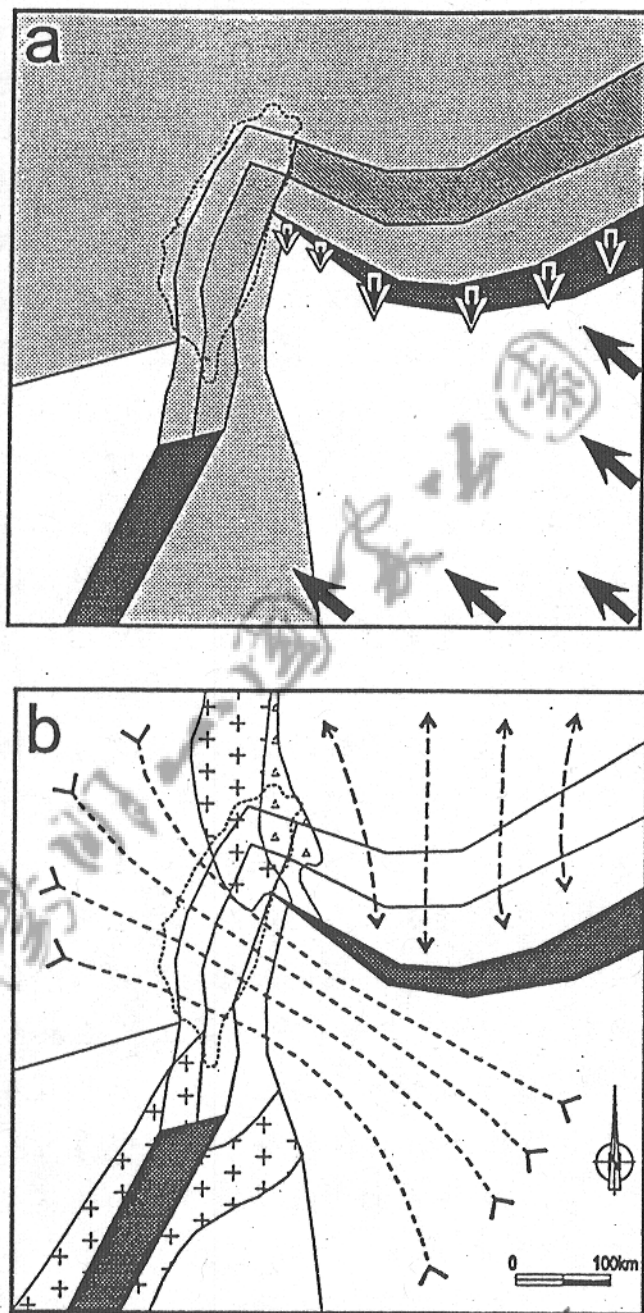
北呂宋島弧於五百萬年前與歐亞大陸發生碰撞，且一直作用到現在，使得台灣及其鄰近地區一直處於擠壓的大地應力作用下，不斷的發生抬升及變形。Shaw (1980)研究大地應力與岩漿活動的關係（圖二十七），發現在一地區的最大應力軸方向，容易使岩石產生破裂，如正斷層和逆斷層等，提供管道讓岩漿上升噴發。在圖二十七(a)中，若一地區的最大應力軸垂直於地表，是屬於張力的環境，容易形成正斷層通至地表，於是岩漿沿著此一破裂面移動，上升至地表，發生火山活動。故在張力的環境之下，岩漿容易上升至地表，形成火山活動。若一地區的最大應力軸是平行地表，如圖二十七(b)，是屬於壓縮的環境，容易形成逆斷層，此一逆斷層可能會延伸至地表，但岩漿若要沿此一破裂面上升至地表，其所需要走的路徑及克服的應力，都要比正斷層來得多且大，故較不易上升至地表而形成火山噴發，而是以形成深成侵入或淺成侵入者為最多。若一地區的斷層是屬於轉型斷層，如圖二十七(c)，其所形成的破裂面亦容易到達地表，岩漿亦容易上升至地表而形成火山活動。台灣從五百萬年以來，一直處於壓縮的應力環境之下，還有相當規模的火山活動，這意謂著在火山活動的前後，整個應力場已有了變化。

圖二十八是模擬台灣及其鄰近地區的應力場分佈情形 (Hu, et al., 1994)，所依據的是由台灣北部所量的微構造分佈、三角點測量、微震資料等，然後考慮現今存在於台灣附近的大地構造應力，如菲律賓海板塊向西北的作用力，以及沖繩海槽向南的張裂，所模擬的結果。若台灣附近只受到菲律賓海板塊向西移動的影響，則整個台灣將是完全處於擠壓的應力之下。若把沖繩海槽從兩百萬年以來，開始發生的南北張裂，以及其向西延伸張裂的應力，可得知桃園以北的地區，將轉變為張力的



圖二十七：應力場與岩漿活動的關係圖(a)正斷層；(b)逆斷層；  
(c)平移斷層(Shaw, 1980)。

# 隱沒—海溝退卻模式



彈性—塑性

圖二十八：模擬台灣附近應力場的分佈圖(Hu et al., 1994)。

應力場下，而使得岩漿有較大的機會上至地表，形成火山活動。

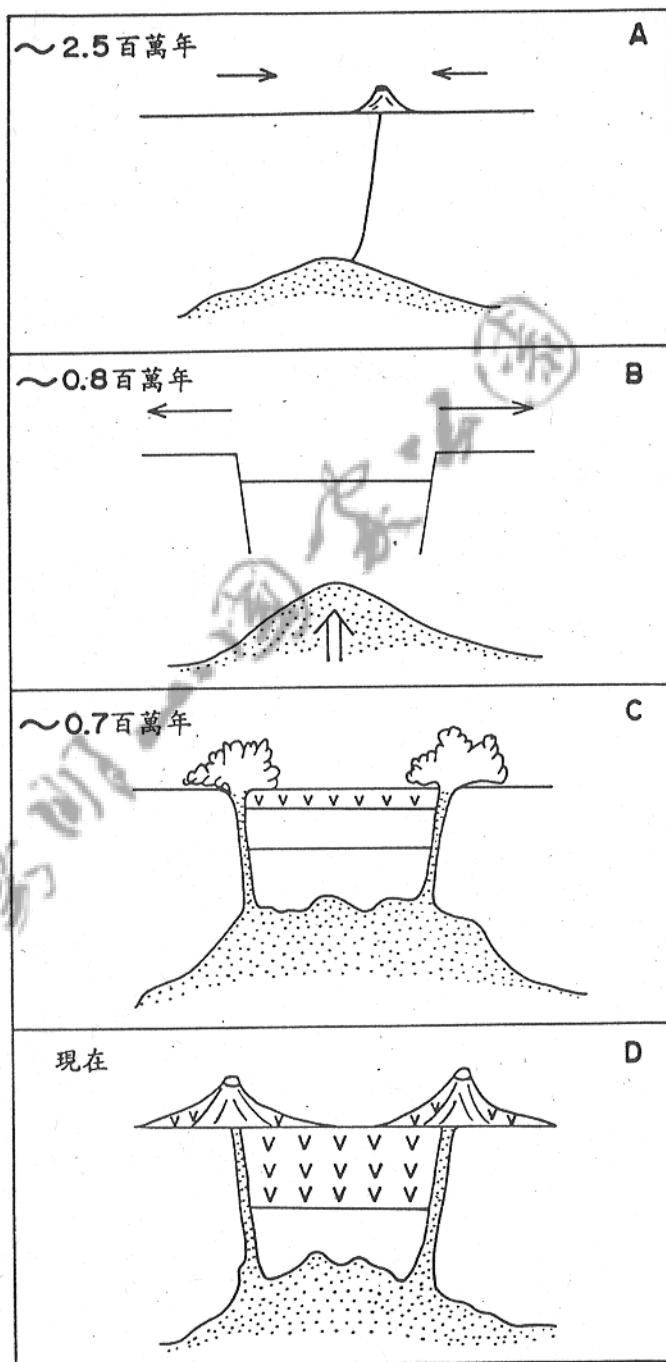
台灣北部陸上的火山，主要可分為兩群，一是東邊的基隆火山群，另一為西邊的大屯火山群。基隆火山群的岩石產狀，以淺成侵入的火山岩為主，只含少量的噴出岩，噴發的年代為0.81~1.40百萬年（圖二十九），顯示此一時期的大地應力可能為擠壓的應力環境，岩漿不容易上升至地表。西邊的大屯火山的岩石產狀為噴出的火山岩，火山活動的時間可分為兩期。早期約發生於2.53~2.77百萬年，此一時期的火山活動零星且噴發量相當的少，可能顯示大地應力仍處於擠壓的環境，岩漿不容易上升至地表。晚期約發生於0.20~0.77百萬年，此一時期的火山活動相當劇烈，火山岩的量也很多，顯示岩漿已經很容易的上升到地表，這時的大地應力可能已經由擠壓的環境轉變為張裂的環境。

從以上的分析，大屯火山群的火山演化史可由圖三十來表示；2.5百萬年以前（圖三十(a)），菲律賓海板塊向北隱沒到歐亞大陸板塊底下，因脫水作用把水排入大陸地殼底下的上部地函楔中，降低上部地函岩石的熔點，發生部分熔融，形成岩漿。此時台灣北部因弧陸碰撞，大地應力處於擠壓的環境，岩漿不容易上升，故只有少部分的岩漿上到地表形成火山噴發，大部分的岩漿可能以侵入岩為主。到了八十萬年左右（圖三十(b)），由於沖繩海槽張裂向西傳遞到台灣，改變台灣北部的大地應力，由擠壓作用轉變為張裂作用，使得大屯火山群的中心部分發生陷落，形成一陷落火山口。在七十萬年左右（圖三十(c)），此一陷落火山口所形成的裂隙，提供管道讓岩漿得以快速的上升，形成大規模的火山活動，幾乎所有的大屯火山群的火山，都沿著陷落火山口旁排列噴發，形成的熔岩流填滿了陷落凹槽。此一劇烈的火山活動持續約二十萬年，然後火山活動由強轉弱，直到約二十萬年前才停止了火山活動。



目前所看到的火山分佈，即是沿著陷落火山口旁排列（圖三十(d)）。





圖三十：大屯火山群的火山演化史。

## 陸、結 論

- 一、陽明山國家公園內共包含了十六個大屯火山群內的火山。
- 二、陽明山國家公園內的構造線共有兩條主要逆斷層，即金山斷層及炭腳斷層，以及數條較小的正斷層。
- 三、陽明山國家公園內的火山分佈是依照火山噴發前所形成的沉陷火山口邊緣排列。
- 四、大屯火山群內的火山從開始噴發到結束，都屬於陸上的火山噴發。
- 五、大屯火山群的火山活動可分為兩期，早期約發生於在2.53~2.77百萬年，然後暫時休止，晚期於八十萬年前又開始火山活動，一直持續了約六十萬年，於二十萬年前才停止了火山噴發。



## 柒、建議

- 一、陽明山國家公園內的火山地質景觀，如各個火山體與火山口，都保持的相當完整，尤其是磺嘴山火山口。站在地面，拍攝角度有限，不能把全景完全拍攝，期能從空中拍攝，將其美景表現出來，供大眾欣賞，並喚起大眾愛護自然美景之心。
- 二、製作火山立體模型，將目前已有的資料，填入立體模型中，不僅可作為研究規劃之用，更可當作解說教材。

## 誌 謝

本研究承蒙陽明山國家公園葉處長世文的鼎力支持，並蒙保育課陳再文先生及黃淑琚小姐在野外及行政方面的支援，以及曾秀美小姐在潤稿方面的幫忙，使得本研究能順利完成，在此一併誌謝。

## 參 考 文 獻

- 黃鑑水 (1988) 臺灣地質圖幅第四號，台北幅及說明書：經濟部中央地質調查所出版。
- 莊文星 (1988) 臺灣新生代晚期火山岩之定年與地球化學研究：國立臺灣大學海洋研究所博士論文。
- 陳中華 (1989) 臺灣新生代島弧火山岩之鉬、鋁及氧同位素地球化學研究：國立臺灣大學地質學研究所博士論文，198頁。
- 王文祥 (1989) 臺灣北部大屯火山群之火山地質及核分裂飛跡定年研究：國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，155頁。
- 謝泰祺 (1990) 大屯火山區地球物理與地下地質之探討：國立中央大學地球物理研究所碩士論文，101頁。
- 謝昭輝 (1990) 台北盆地西緣(五股、泰山)地區地下構造之震測研究：行政院國家科學委員會防災科技研究報告，第79-32號，67頁。
- 盧佳遇、李錫堤 (1990) 台北盆地及附近地區斷層分析：行政院國家科學委員會防災科技研究報告，第79-25號，28頁。
- Booth, B. and Fitch, F. (1979) Earthshook. New York: Walker and Co.
- Chen, C.H. (1975) Petrology and chemical study of volcanic rocks from Tatun volcanic groups: Proc. Geol. Soc. China, 18, pp.55-72.
- Chen, C. H. (1978a) Petrochemistry and origin of Pleistocene volcanic rocks from northern Taiwan: Bull. Volcano. 41, pp.514-528.

- Chen, C. H. ( 1978b) significance of ultrabasic inclusions in Tatun volcanic group, northern Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, 21, pp80-91.
- Chen, C. H. (1983) The geochemical evolution of Pleistocene absarokite, shoshonite and high- alumina basalt in northern Taiwan: Mem. Geol Soc. China, 5, pp.85-96.
- Chen, C.H., Tien, L.P., Chung, S.H. and Liu, T.K. (1993) Fission track age dating of igneous rocks and silicified sandstones from the Chilung Volcano Group, northern Taiwan: implication of mineralization events of the Chinkuashih gold-copper deposits: J. Geol. Soc. China, 36, no.2, pp.157-174.
- Deguchi, Y. (1912) Report on the geology of the Tatun Volcano Group (in Japan): Jour. Geol. Soc. Japan, 4, pp.282-284.
- Hsu, I.C., Kienzie, J., Sharon, L. and Sun, S. S. (1966) Paleomagnetic investigation of Taiwan igneous rocks: Bull. Geol. Surv. Taiwan, 17, pp.27-81.
- Hu, J.C., Angelier, J., Lee, J.C., Chu, H.T. and Byrne, D. (1994) Kinematics of convergence, deformation and stress distribution in the Taiwan collision area: 2-D finite-element numerical modeling. (in press).
- Juan, V.C., Hsu, L. C. and Yao, T. S. (1963) High- alumina basalt from northern Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, 6, pp.67-71.
- Juang, W. S. and Bellon, H. (1984) The potassium- argon dating of andesites from Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, 27, pp.86-100.
- Ku, T.L. et al., (1959) Geology of Tatun volcanic group and its adjacent area, Taiwan: Senior Thesis, Dept. of Geol. Nat. Taiwan Univ., unpublished.



- Lee, T.Q., Tsai, P.F. and Tsai, Y.B. (1985) Paleo- magnetic study of the Tatun volcanic group: Bull. Inst. Earth Sci. Academia Sinica, 5, pp.137-150.
- Liu, T. C. and Huang, W. L. (1983) High pressure petrological study of Tatun volcanic rocks from northern Taiwan: Mem. Geol. Soc. China, 5, pp.13-32.
- Liu, T. K. (1982) Fission-track study of apatite, zircon, and sphene from Taiwan and its tectonic implication: PhD. Thesis, Inst. Geol., Natl. Taiwan Univ., 95pp.
- Liu, T.K. and Wang, Y.(1982) Expression and petrochemical implications of western edge of the subducted Philippine sea plate underneath northern Taiwan: Acta Geol. Taiwanica, 21, pp.221-229.
- Newhall, C.G. and Self, S., (1982) The Volcanic Explosivity Index(VEI): an estimate of explosive magaitude for historical volcanism. J. Geophys. Res., vol.87, pp.1231-1238.
- Ogasawara, M. and Ooe, J. (1932) Explanatory text of the geological map of Taiwan: Daitonzan Sheet, Bur. Prod. Ind., Government-General of Taiwan, Pub. 653.
- Ollier, C. (1988) Volcano. Basil Blackwell Ltd. UK. p.228.
- Oshima, S. (1907) Report on the geology of the Tatun Volcano Group (in Japan): Jour. Geol. Soc. Japan, 1, pp.28-43.
- Shaw, H.R. (1980) The fracture mechanisms of magma transport from the mantle to the surface. In Hargraves, pp.201-254.
- Tsai, P.F. and Lee, T.Q. (1988) Magnetic susceptibilty anisotropy of the Tatun Volcanic Group: Proc. Geol. Soc. China, v.31, no.2, pp.73-86.

- Tsai, Y.B. (1985) A study of disastrous earthquakes in Taiwan, 1683-1895: Bull. Inst. Earth Sci. Academia Sinica, vol. 5, pp.1-44.
- Tsai, Y.B., Teng, T.L., Chiu, J. M. and Liu, H. L. (1977) Tectonic implications of the seismicity in the Taiwan region: Mem. Geol. Soc. China, 2, pp.13-41.
- Vessell, R.K. and Davies, D.K. (1981) Non-marine sedimentation in an active fore-arc basin. In Recent and ancient non-marine depositional environments: models for exploration, F.G. Ethridge and R.M. Flores (eds), 31-45, SEPM Spec. Publ. 31.
- Wang, W. S. and Chen, C.H. (1991) The volcanology and fission track age dating of pyroclastic deposits in Tatan volcano group, northern Taiwan, Acta Geol. Taiwanica, 28, pp.1-37.
- Wang, Y. (1970) Variation of potash content in the Pleistocene andesites from Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, no.13, pp.41-50.
- Williams, H. (1941) Caldera and their origin. Univ. California Publications in Geological Science 25, 239-346.
- Wilson, L., Sparks, R.S.J. and Walker, G.P.L. (1980) Explosive volcanic eruptions--IV. The control of magma properties and conduct geometry on eruption column behavior: Geophys. F.R. Astr. Soc. 63, pp.117-148.
- Wohletz, K.H. (1983) Mechanisms of hydrovolcanic pyroclast formation: grain size, scanning electron microscopy and experimental studies: J. Volcanol. Geotherm. Res., 17, pp.31-63.
- Wright, J.V., Smith, A.L. and Self, S. (1980) A working terminology of pyroclastic deposits: J. Volcanol. Geotherm. Res., 8, pp.315-336.

- Yang, C.H. and Chen, C.S. (1989) Application of the TEM method in the Chinshan fault area, Chinshan, Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, vol.32, no.4, pp.369-381.
- Yen, T. P. and Chen, P. Y. (1953) Geologic map of Taiwan, No. 5, Tatunshan sheet (with explanatory text ): Published by the Geol. Surv. Taiwan.
- Yen, T.P. (1958) Major structural features of Taiwan: Taiwan Mining Industry, vol.10, no.3, pp.10-14.
- Yen, T.P., Tzou, Y.H. and Lin, W.H. (1984) Subsurface geology of the region of Tatun Volcanic Group: Petro. Geol. Taiwan, 20, pp.143-154.

陽明先生全集



Handwritten text in a cursive script, possibly a signature or a name, written diagonally across the page. The text is written in dark ink on a light-colored, textured background.

統一編號

002254830050

陽明山

ISBN 957-00-4039-4