

國立臺灣大學地質學研究所碩士論文

指導教授：陳 正 宏 博士

臺灣北部大屯火山群之
火山地質及核分裂
飛跡定年研究

研究生：王 文 祥

內政部陽明山國家公園委託研究
營建署

中華民國八十年一月

摘 要

大屯火山群的噴發活動年代可分為兩個階段：第一個階段是約在2.8~2.5 Ma.左右，此時的噴發活動以岩漿體衝開基盤之活動性質為主，東西兩部份的活動皆產生了大量的火山碎屑岩。第二階段是約自0.8 Ma.到0.35 Ma.左右，此時各亞群皆陸續有劇烈的噴發活動，產生了大量的熔岩流及火山碎屑岩，構成複式火山；在第二階段的噴發活動中，各亞群皆起始於0.7 Ma.左右，而停止噴發的順序是由東而西：丁火朽山亞群（ 0.61 ± 0.10 Ma.），涌子山亞群（ 0.62 ± 0.09 Ma.），磺嘴山亞群（ 0.52 ± 0.05 Ma.），七星山亞群（ 0.47 ± 0.06 Ma.），大屯山亞群（ 0.40 ± 0.07 Ma.）。

本區內的火山碎屑岩依其中所夾的岩塊，地層層序及定年資料可區分成八層，除其中的F層及D層因為噴發年代相近，可稱為『下部凝灰角礫岩』外，其他各層不僅成因上迥異，且年代亦不一致，不宜再以『上部凝灰角礫岩』稱呼之。另外可供作進一步研究的火山碎屑岩有兩層：A層是屬於七星山亞群，其中的碎屑岩流是堆積層，屬於火山岩渣流動堆積層（scoria flow deposits），體積約0.16立方公里，年代為 0.50 ± 0.09

Ma. ; B層是屬於大屯山亞群，其中的碎屑岩流堆積層是屬於岩塊與火山灰碎屑岩流動層(block-and ash-flow deposits)，體積約為 0.192立方公里，年代約為 0.63 ± 0.09 Ma.，A層與B層皆是非膨脹性之碎屑岩流，其噴發型式是伏堪能式噴發(Vulcanian eruption)，其噴發環境皆是陸上噴發。

根據火山碎屑岩之核飛跡定年分析顯示：銼石定年資料多呈雙峰或多峰分佈，而最年輕的高峰則代表著真正的噴發年代，其他的高峰年代則是代表著擷獲的基盤銼石年代，或是銼石的部分癒合年代。在大屯山亞群外圍之紅土台地上分析出的銼石核飛跡最年輕的高峰呈現出兩組年代（附錄A-15），為 0.48 Ma. 及 0.65 Ma.，這種年代分佈表示此紅土台地不是火山熔岩或火山碎屑岩直接淋餘產生的，而極可能是火山物質侵餘搬後淋餘所產生的。

本區的安山岩中磷灰石鈾濃度分佈大致均勻（2~8 ppm.），與劉（1985）對紗帽山及貴子坑的標本所測得之磷灰石鈾濃度結果一致。而銼石的平均鈾含量大致在 300 到 800 ppm. 之間，顯示銼石具有極強的吸收鈾元素能力（即其對鈾元素有相當大的分配係數）。

將本研究之各亞群最後停止年代配合上臺灣北部其他火山岩之定年資料，可得到一個年代與地理位置之線性關係，稱之

為火山活動停止線，其代表包括大屯火山群在內之臺灣北部火山活動由東向西之停止順序是由於沖繩海槽張裂，並向西移動所致。

陽明山國家公園

目 錄

	摘 要	i
第一章	緒 論	1
一、	簡 介	1
二、	前人工作	2
三、	研究動機及目的	5
第二章	研 究 方 法	7
一、	野外調查及採樣工作	7
二、	實驗室工作	8
第三章	岩 象 學	13
一、	核飛跡分析之標本描述	13
二、	火山熔岩之偏光顯微鏡研究	17
三、	火山碎屑岩之偏光顯微鏡研究	18
第四章	火 山 地 質	25
一、	地質關係	25
二、	火山分佈	26
三、	火山熔岩流	27
四、	火山碎屑岩之對比	30

第五章	核飛跡定年分析結果	52
一、	核飛跡年代計算及測定法	52
二、	中子通量之測定	54
三、	磷灰石分析結果	55
四、	鋁石分析結果	61
五、	定年礦物之鈾濃度含量	64
第六章	討 論	68
一、	核飛跡年代之意義	68
	(一)、大屯火山群之噴發活動年代	70
	(二)、火山碎屑岩之核飛跡年代意義	72
	(三)、火山外圍紅土台地之核飛跡年代意義	77
二、	火 山 學	80
	(一)、噴發環境	80
	(二)、噴發型式	81
	(三)、關於本區火山碎屑岩命名之討論	86
三、	大屯火山群之活動史	89
四、	大屯火山群停止活動年代之板塊構造意義	97

第七章	結	論	-----	100
參 考	文	獻	-----	103
附 錄	A		-----	110
附 錄	B		-----	139
附 錄	C		-----	141
附 錄	D		-----	143
誌	謝			

附 圖

圖二-1	核飛跡定年礦物之分離步驟	10
圖二-2	銻石核飛跡分析步驟	11
圖二-3	磷灰石核飛跡分析步驟	12
圖三-1	核飛跡定年標本採樣位置圖	14
圖三-2	火山碎屑岩基質之組成分佈圖	21
圖四-1	陽明山國家公園地形分類圖	28
圖四-2	火山噴發剖視圖	31
圖四-3	三種火山碎屑岩堆積層	32
圖四-4	火山碎屑堆積層之生成示意圖	34
圖四-5	A 層剖面分佈位置圖	35
圖四-6	A1及A2剖面柱狀圖	36
圖四-7	A3及A4剖面柱狀圖	38
圖四-8	A5及A6剖面柱狀圖	39
圖四-9	A 層剖面之高度對比圖	40
圖四-10	B 層剖面分佈位置圖	42
圖四-11	B1及B3剖面柱狀圖	43
圖四-12	B2剖面柱狀圖	44
圖四-13	B4及B5剖面柱狀圖	46
圖四-14	B6剖面柱狀圖	48

圖四-15	B 層剖面之高度對比圖 (Q-Q')	49
圖四-16	B 層剖面之高度對比圖 (P-P')	50
圖六-1	大屯火山群各亞群之定年資料	71
圖六-2	MC-2 之核飛跡年代資料分佈統計曲線全圖	74
圖六-3	T-160 之核飛跡年代資料分佈統計曲線全圖	75
圖六-4	T-170 之核飛跡年代資料分佈統計曲線全圖	79
圖六-5	火山碎屑岩流之結構及理想堆積層示意圖	82
圖六-6	三種主要火山碎屑岩流之理想剖面	83
圖六-7	大屯火山群之噴發活動演變圖 (2.8 - 2.5 Ma.)	90
圖六-8	大屯火山群之噴發活動演變圖 (0.7 - 0.6 Ma.)	91
圖六-9	大屯火山群之噴發活動演變圖 (0.6 - 0.5 Ma.)	92
圖六-10	大屯火山群之噴發活動演變圖 (0.5 - 0.35 Ma.)	93
圖六-11	火山活動停止線示意圖	98
附 表		
表三-1	核飛跡分析之標本描述	15
表三-2	火山碎屑岩基質之組成成份 (%)	20
表五-1	磷灰石核飛跡分析結果 (第一次照射)	56
表五-2	磷灰石核飛跡分析結果 (第二次照射)	57
表五-3	核飛跡分析中子通量測定結果-磷灰石 (第一次)	58
表五-4	核飛跡分析中子通量測定結果-磷灰石 (第二次)	59

表五-5	核飛跡分析中子通量測定結果-錯石(第一次)	--- 60
表五-6	核飛跡分析年代比較表	----- 62
表五-7	同一岩石標本不同礦物之核飛跡年代比較表	---- 63
表五-8	定年礦物之鈾濃度測定結果	----- 67
附 錄 - A	錯石核飛跡分析結果	-----110
附 錄 - B	觀音山錯石核飛跡分析結果	-----139
附 錄 - C	“大屯火山群之火山碎屑岩分佈圖”說明	--141
附 錄 - D	核飛跡年代資料分佈統計曲線繪圖程式	----143

第一章 緒 論

一、簡介

大屯火山群位於台灣北部，東面及北面至海，西止於淡水河，東南以嵌腳斷層為界，總面積約二百五十平方公里，其與觀音山，草嶺山等皆為更新世島弧型火山活動所形成（Yen, 1958; Chen, 1983）。本區因為鄰近台北市，故交通相當便利，以陽金公路為主要交通動脈，另外更有次要省道及產業道路縱橫其間。

本區早在清朝即開始開採硫磺礦，至今在大油坑仍有硫磺礦場。另外因為有充足的地熱資源，溫泉遍布北投與金山間，在日據時即已大量利用以設立溫泉旅舍，民國二十四年日本政府曾將本區列入三處國立公園預定區之一，後因中日戰爭爆發而中止，臺灣光復後重新規劃，直到民國七十四年才正式成立為陽明山國家公園。

本區內的火山岩體係不整合覆蓋於中新世地層上，約有二十個火山岩體及火山錐，其中以七星山（標高1,120公尺）為最高，大部份火山體的外形均不甚完整，其分佈約沿本區的兩條主要構造線（金山斷層及嵌腳斷層）呈東北—西南方向的線

性排列。區內的河流包括瑪鍊溪，磺溪，八連溪，雙溪等依火山地形呈放射狀分佈。除了火山熔岩外，另有大量的火山碎屑岩覆蓋其上，其形成原因至今未十分清楚，在淡水到萬里的海岸線上，則有數階海成台地發育於熔岩流及火山碎屑岩上。

二、前人工作：

本地區的研究工作早在民國前即由日人大島 (Oshima, 1907) 開始進行初步之地形研究，其後有出口 (Deguchi, 1912)，小笠原與大江 (Ogasawara and Ooe, 1932) 針對火山地形的觀察及地質圖的繪製，開展了大屯火山群研究的序幕。

光復後，一般性的地質調查及繪圖工作主要有顏與陳 (Yen and Chen, 1953)，顧等 (Ku et al., 1959)，阮等 (Juan et al., 1963)，陳與吳 (Chen & Wu., 1971)，其中陳與吳 (1971) 所繪二萬五千分之一的地質圖極為詳確，為本研究據以進行野外工作之藍圖。顏 (Yen, 1958) 對本地區之地史與岩性作詳細之描述，認為台灣北部之火山，包括大屯與基隆兩火山群，及龜山島等為琉球島弧之西緣。傅 (Fuh, 1968) 與陳 (Chen, 1965) 討論七星山、竹子山及竹子湖等地區熔岩流中所夾之沈積岩的產狀及因熱力變質所產生之礦物相。陳與吳 (1971) 將本區安山岩劃分成十四種，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約略分三個岩石地層單位，即：下部凝灰角礫岩(T1)，大屯山凝灰角礫岩(Tt)及上部凝灰角礫岩(Tu)。各類安山岩及凝灰角礫岩不整合地覆蓋在漸新世五指山層及中新世的木山層大寮層、石底層、南莊層及大埔層上，並自野外資料建立火山噴發次序，完成一幅二萬五千分之一的地質圖。

在岩石學及地球化學方面，阮等(Juan et al., 1963)在烘爐山及觀音山發現高鋁玄武岩，認為其與鹼性橄欖石玄武岩之關係要比與拉斑玄武岩密切些。王(Wang, 1970)由氧化鉀含量推測在本區域下之隱沒板塊於約一百五十公里深產生地函物質之部份熔融可得今大屯火山群之安岩質岩漿。陳(Chen, 1975, 1978a, 1978b, 1983)認為本區的火山岩除少量的高鋁玄武岩外，尚可依安山岩中鐵鎂礦物之相對含量將其分為六種，即兩輝安山岩、含角閃石兩輝安山岩、夾橄欖石角閃兩輝安山岩、角閃兩輝安山岩、紫蘇輝石角閃安山岩及角閃安山岩，而大屯火山群極可能是從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；另外自噴發時代、稀土元素分佈及鉛同位素成份資料，認為包括烘爐山、草嶺山、觀音山等之更新世玄武岩屬於島弧型火山活動之產物。根據實驗岩石學之證據，劉與黃(Liu & Huang, 1983)認為造成烘爐

山、面天山等火山之岩漿庫淺於七十公里。

在地球物理方面，徐等 (Hsu et al., 1966) 對台灣之火成岩進行過古地磁之研究。李等 (Lee et al., 1985) 及蔡 (Tsai, 1985) 依古地磁之磁偏角及磁傾角認為自大屯火山群活動之後，本區並無顯著之大地運動，並依古地磁世代推斷竹子山、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 Ma ，而位在下部凝灰角礫岩之下的磺溪熔岩流可能屬於高斯 (Gauss) 正向磁極世代 ($2.48 \sim 3.40 \text{ Ma}$)；另外，更以古地磁磁場方向及古地磁磁極位置推論出各熔岩流之大致活動順序。顏等 (Yen et al., 1984) 認為大屯火山群的噴發管道與金山逆衝斷層有密切之關係。蔡等 (Tsai et al., 1977) 將台灣的地震分佈分成三個主要地震帶，其中的北部地震帶及西部地震帶之分界通過大屯山下。劉與王 (Liu & Wang, 1982) 由地表地熱現象及岩石化學特徵，推斷台灣北部隱沒菲律賓海板塊西緣切過本火山群之西側。

在定年方面，莊與貝隆 (Juang & Bellon, 1984) 以鉀氬定年法將大屯火山群的活動時代分為三期，即： 2.5 Ma. (上新世)， 0.75 Ma. (更新世) 及 0.5 Ma. (更新世)。劉 (Liu, 1985) 則以核分裂飛跡定年法決定出紗帽山的年代為 $0.82 \pm 0.11 \text{ Ma.}$ ，及北投貴子坑的黑雲母—角閃石凝灰角礫岩的年代為 $0.64 \pm$

在上述三種方法中，野外地質調查是最根本的方法，但當其產狀及其與圍岩關係不清楚時，便須利用其他方法加以解決。地物方法則有較多控制變因須加以考慮，是屬於較間接之方法。放射性同位素定年法是過去較常用的方法，也是最能直接提供其絕對年代之方法。

在火山活動的年代方面，莊與貝隆 (Juang & Bellon, 1984) 及莊 (1988) 等曾對本區內的火山熔岩完成一些鉀氬定年的資料，但是因為大屯火山群內的火山體大都是屬於層狀火山，前述資料並沒有火山體本身的層位控制及岩性描述，若要使用以討論大屯火山群的活動史，實有困難。另外，此一方法極易受到外來熱液換質，及風化作用之影響，而大屯火山群的熱液及硫氣作用相當旺盛，所以可能會使得出之資料有顯著之誤差。所以本研究的另外一個主題便是利用較不受換質作用影響之核分裂飛跡定年法，分析已有精確層位控制之火山熔岩及火山碎屑岩標本，期能提供另一種定年資料，而有助於本地區火山活動歷史之解釋。

第二章 研 究 方 法

一、野外調查及採樣工作

本研究是利用五千分之一的地形圖，及陳與吳(Chen & Wu, 1971)所發表之地質圖，沿公路、產業道路、登山道路，以及溪谷作一般性之地質調查並全面密集採樣。由於本地區受到不同程度之熱水換質及硫化作用，在野外觀察中，對不同的安山岩種及火山碎屑岩內所夾岩塊(lithics)之分辨並不容易，尤其是分佈範圍及不同岩種間界限的認定尤為困難，往往得先藉由室內偏光顯微鏡之鑑定觀察後，再次於野外作更進一步的調查工作。火山碎屑岩(pyroclastic rocks)的採樣工作較為複雜，首先得確定此層是否為單一岩類(monolithologic)，或是非均質岩類(heterolithologic)。若是單一岩類，則採樣較單純；若是非均質岩類，須先確定此層是以何種岩類為主，有幾種岩石，產狀如何，並估計各岩種所佔之百分比，然後每種岩類均須採集。另外也採集火山碎屑岩岩塊之基質，以進行實驗室鑑定工作。

對於核分裂飛跡定年研究所需之標本選定條件，主要依野外工作所劃定之安山岩及火山碎屑岩層位分層採樣，期能涵蓋

整個大屯火山群的空間（所有可以區分之岩種）及時間（岩性層位）分佈，共選取35個足量（5~10公斤）標本做核分裂飛跡定年之研究。

二、實驗室工作

（一）、岩象學研究

岩象學研究方法主要是用偏光顯微鏡鑑定熔岩和火山碎屑岩的斑晶種類與其組織，再用點計數器（point counter）計算礦物的百分比。使用的是西德萊茲 Lobourlux POL12 型偏光顯微鏡（Leitz Lobourlux POL12 Polarized Microscope）。

（二）、核飛跡分析：

A. 核飛跡定年礦物之選擇

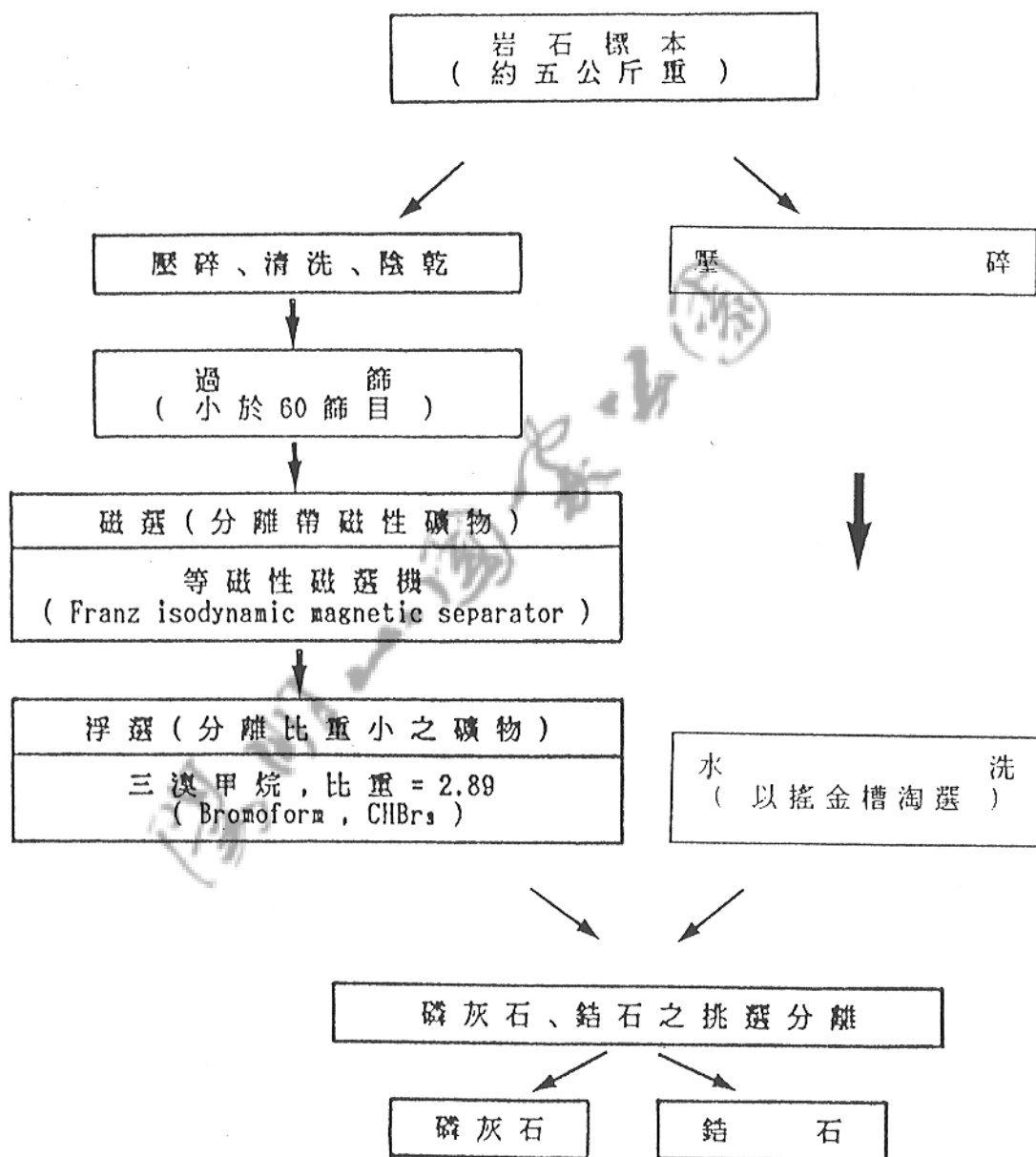
雖然理論上除了礦石礦物外，所有絕緣性造岩礦物都可以做為核飛跡定年的材料，但是一般造岩礦物的鈾濃度太低，很難得到統計學上有意義的足夠自發核飛跡數目；另一方面，礦物中鈾濃度的均勻性以及核飛跡的可辨認性，亦大大影響一個礦物能否作為核飛跡定年的材料。由於大屯火山群的年代在上新—更新世範圍，故在本研究中選用鈾濃度較高之礦物——磷灰石（apatite）及鋯石（zircon），作為定年礦物。另外，磷灰

石開始記錄核飛跡的封存溫度 (closing Temperature) 較低 ($135^{\circ} \pm 20^{\circ}\text{C}$, 劉, 1982), 且鈾濃度較為均勻, 是用來研究未受熱液作用之火山碎屑岩噴發年代的最好材料。

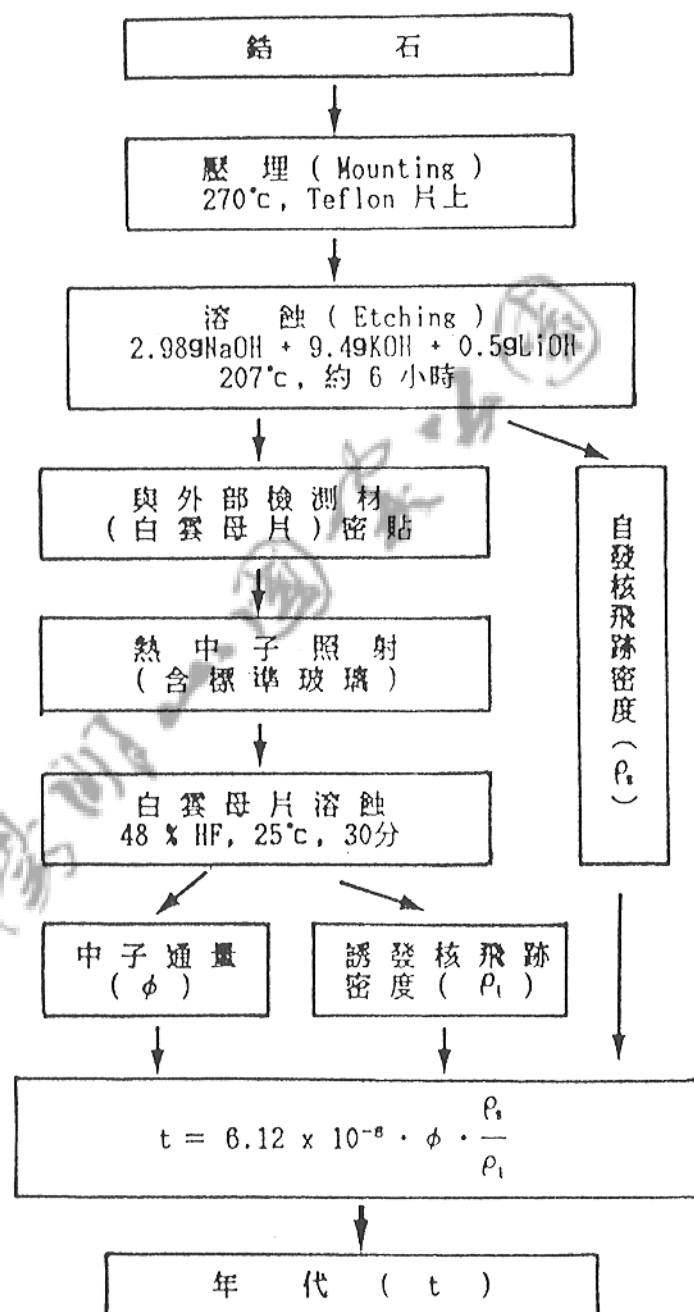
B. 分析步驟

整個分析步驟可以分為四大部份：一、定年礦物之分離與挑選；二、定年礦物之埋膠 (mounting) 及研磨、打光；三、熱中子照射及溶蝕 (etching)；四、核飛跡之計數。由於不同的定年礦物材料有不同處理及測定方法，故須分開來討論。本研究中，整個標本處理及分析流程，可以由圖二-1，圖二-2，圖二-3 (楊, 1987) 簡單表示出來。

一般說來，鈾-238之自發性核分裂速率是一定的，故若能計算出自發核分裂的鈾原子比例，即可算出其年代；但是礦物內所累積的自發性核飛跡數目，是與鈾含量成正比的，故必須計算出自發性核飛跡數目外，還必須算出鈾濃度。利用鈾-235以熱(慢)中子撞擊，令其產生誘發性的核分裂，然後計算其所產生之核飛跡數目，即可得鈾濃度含量。由自發核飛跡與誘發核飛跡密度的比值，以及照射之中子通量，便可以計算出標本的年代。有關核飛跡年代計算公式之導出與討論詳見劉 (Liu, 1982)。



圖二-1:核飛跡定年礦物之分離步驟



圖二-2: 結石核飛跡分析步驟

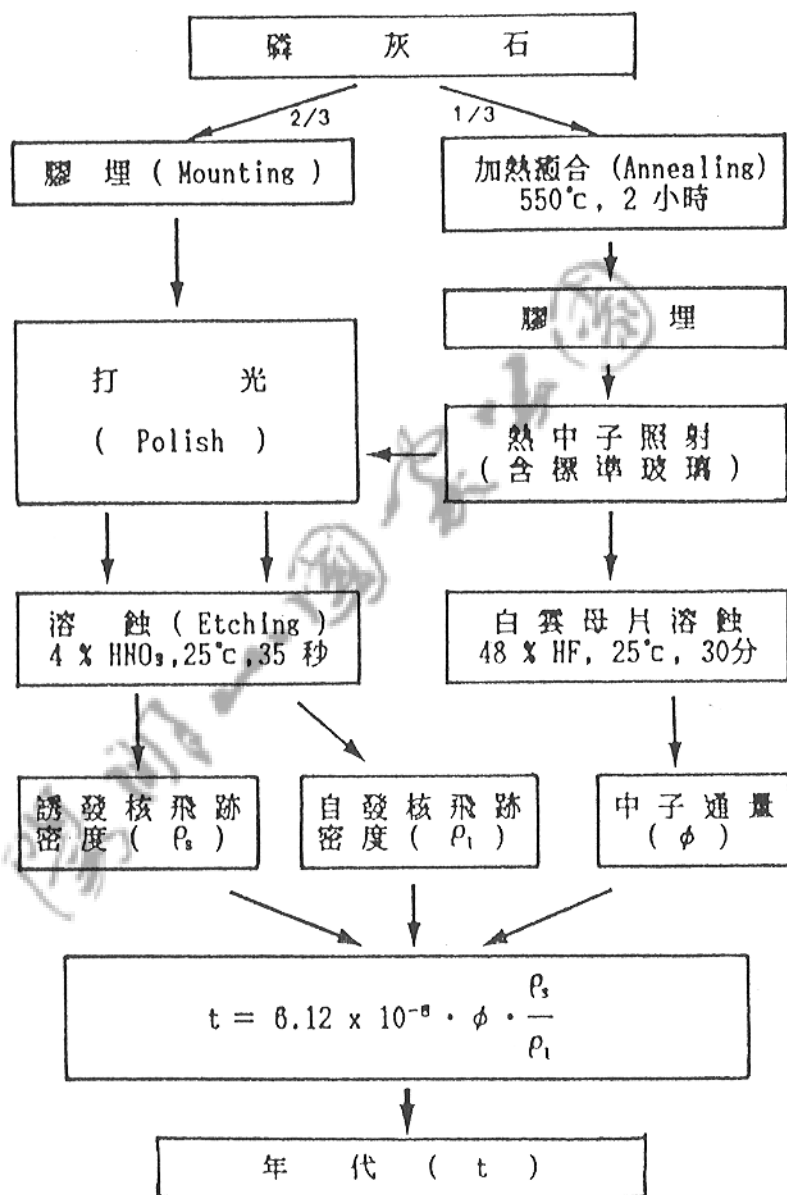


圖-3: 磷灰石核飛跡分析步驟

第三章 岩 象 學

一、核飛跡分析之標本描述

本研究共在三十五個地點（見圖三-1）採集足量的標本（約 5~10 公斤）以進行核飛跡定年分析，包括二十個火山熔岩標本，十四個火山碎屑岩標本及一個紅土標本。圖三-1中的數字與表三-1中的標本編號前之數字相同，在本文後面各章節之編號皆沿用之。表三-1中提供了採樣位置、岩性、產狀及偏光顯微鏡下所鑑定出之主要組成礦物，其岩性的命名係依陳與吳（Chen and Wu, 1971）及陳（Chen, 1977）。

在標本的選取上，由於新鮮的火山熔岩相當堅硬，要分離出足量磷灰石及鈾石殊為不易，所以儘量選取稍受風化的標本，但是卻不能挑選受到太過度熱液換質之標本，因為熱液的溫度有時可能超過磷灰石之封存溫度。另外在火山碎屑岩的選取上得注意到標本的粒度性質，即最好選取 2 公分以下的火山碎屑岩，且最好選取氣孔較多之原生火山碎屑堆積物，因為火山碎屑岩堆積後冷卻速度太快，雖然噴發時可達 600~700°C 以上，但在數星期內即可冷卻到鈾石及磷灰石之封存溫度下，較大粒度（>2 公分）的附屬岩塊（accessory lithics）中的鈾石

表三-1核飛跡分析之標本描述

標本編號	採樣位置	岩性	產狀	主要礦物
01 CS101	小油坑	火山碎屑堆積層 (pyroclastic deposits)	彈落堆積物 (fall deposits)	ho+hy+pl
02 CS100	小油坑	火山碎屑堆積層	流動堆積物 (flow deposits)	ho+hy+pl
03 MC-3	菁山路旁	火山碎屑堆積層	彈落堆積物	ho+hy+pl
04 CS130	七星山頂	紫蘇輝石角閃石 安山岩	厚層熔岩流 (lava flow)	ho+hy+pl
05 CS132	馬槽	兩輝角閃安山岩	厚層熔岩	ho+au+hy+pl
06 Tt202	新北投	火山碎屑堆積層	流動堆積物	bi+hy+ho+pl
07 T-160	惇敘高工旁	火山碎屑堆積層	流動堆積物	au+hy+pl
08 T-142	陽明山 觀園樓旁	火山碎屑堆積層	湧浪堆積物 (surge deposits)	hy+au+pl
09 T-132	面天山頂	兩輝角閃安山岩	厚層熔岩流	ho+au+hy+pl
10 THS07	八斗子山 河溝內	角閃石安山岩	岩塊 (block)	ho+au+hy+pl
11 THS04	八斗子山 河溝內	角閃石安山岩	岩塊	ho+hy+pl
12 THS06	八斗子山 河溝內	火山碎屑堆積層	岩塊	ho+au+hy+pl
13 THS05	滿子山	角閃石安山岩	厚層熔岩流	ho+hy+pl
14 HKY01	小觀音山	兩輝安山岩	厚層熔岩流	au+hy+pl
15 THS01	丁火朽山 山麓	夾橄欖石角閃石 安山岩	厚層熔岩流	ol+ho+hy+pl
16 HTZ01	頂中股	夾橄欖石角閃石 安山岩	厚層熔岩流	ol+au+ho+hy+pl
17 HTZ02	冬瓜山	夾橄欖石角閃石 安山岩	岩塊	ol+au+ho+hy+pl
18 CS133	明德樂園內	兩輝角閃安山岩	厚層熔岩流	ho+au+hy+pl

19 YMS-1	仰德大道 福音園後	兩輝角閃安山岩	厚層熔岩流	ho+au+hy+pl
20 YMS-2	燒 庚 寮	兩輝角閃安山岩	厚層熔岩流	ho+au+hy+pl
21 HTZ00	明德樂園內	火山碎屑堆積層	流動堆積物	au+hy+ho+pl
22 CS131	馬槽翠林橋	兩輝角閃安山岩	厚層熔岩流	ho+au+hy+pl
23 HKY04	核一廠旁	火山碎屑堆積層	細粒火山灰層	au+hy+pl
24 T-126	後山公園 入口	火山碎屑堆積層	流動堆積物	au+hy+ho+pl
25 HKY02	竹子山頂	兩輝安山岩	厚層熔岩流	au+hy+pl
26 CS104	擎天崗草坡	火山碎屑堆積層	湧浪堆積物	hy+ho+pl
27 MC-2	菁山路旁	火山碎屑堆積層	流動堆積物	hy+ho+pl
28 CS107	竹 子 湖 環湖公路	火山碎屑堆積層	流動堆積物	hy+ho+pl
29 CS103	小 油 坑 陽金公路旁	兩輝角閃安山岩	厚層熔岩流	ho+hy+pl
30 T-128	黃 箕 湖	角閃兩輝安山岩	厚層熔岩流	ho+au+hy+pl
31 T-133	烘 爐 山 百拉卡公路	高鋁玄武岩	岩 塊	ol+au+pl
32 T-152	大磺嘴底部	火山碎屑堆積層	流動堆積物 (夾砂岩岩塊)	qtz+au+ho+pl +py
33 THS02	丁火朽山頂	兩輝角閃安山岩	厚層熔岩流	ho+au+hy+pl
34 HKY03	麟 山 鼻	兩輝安山岩	厚層熔岩流	au+hy+pl
35 T-170	北 新 莊 往三芝路旁	紅 土 層	紅 土	he+mag+py

au:普通輝石 hy:紫蘇輝石 ol:橄欖石 pl:斜長石 ho:角閃石

qtz:石英 py:黃鐵礦 he:赤鐵礦 mag:磁鐵礦

及磷灰石於噴發前原有之自發核飛跡較不易完全癒合，如此所記錄出來的年代便不是噴發的時代。

二、火山熔岩之偏光顯微鏡研究

本區域火山熔岩已先後有許多人做過詳細的岩象學研究，其中以陳與吳（1971）最為詳細，但為研究便利起見，本研究的火山熔岩岩象學分類部份主要依照陳（1977）並參考陳與吳（1971）的分類，將本區域的火山熔岩劃分為六種：兩輝安山岩（Two pyroxene andesite）、含角閃石兩輝安山岩（Hornblende-bearing two pyroxene andesite）、含橄欖石兩輝安山岩（Olivine-bearing two pyroxene andesite）、角閃石兩輝安山岩（Hornblende two pyroxene andesite）、紫蘇輝石角閃石安山岩（Hypersthene hornblende andesite）、角閃石安山岩（Hornblende andesite）及高鋁玄武岩（High-alumina basalt）。這些火山熔岩的組成礦物主要為：斜長石、角閃石、直輝石、斜輝石、黑雲母及橄欖石，一般的區分標準皆以鐵鎂礦物的種類及含量多寡而定。這些火山熔岩的組織（texture）一般以粗面組織（Trachytic texture）、交織組織（Pilotaxitic texture）及斑晶組織（Porphyritic texture）為主，形成斑晶的礦物多為自形晶（euhedral crystal）及半自形晶

(subhedral crystal), 少數則有球狀斑晶 (glomeroporphyritic texture) 組織及連續不等粒組織 (seriate texture) 出現。而晶體本身也有一些特殊的結構, 如斜長石通常都具有環帶 (zoning) 產生, 輝石及角閃石常有雙晶 (twin) 伴生, 角閃石的邊緣有時有熔蝕 (resorption) 現象發生, 以上這些現象都指出晶體生成時是處於化學上不平衡的狀態。在擄獲岩 (xenolith) 方面, Tt-x1 為含角閃石結核 (amphibole-rich nodule) (圖版一), 陳 (1978) 曾對此種結核作過詳細的研究, 其中的主要礦物為次矽質角閃石 (subsilicic amphibole), 鈣質斜長石 (calcic plagioclase: An 94--81) 及磁鐵礦, 並指出此種角閃石結核係玄武岩質母岩漿在水壓甚高條件下結晶之聚合體。其他有關火山熔岩的岩象學描述請參看陳與吳 (1971)、陳 (1977) 及陳 (1978)。

三、火山碎屑岩之偏光顯微鏡研究

本研究之一重要目的便是要利用火山碎屑岩中所夾岩塊種類及基質 (matrix) 所含的礦物組成及數量將本區內廣泛分佈之火山碎屑岩加以區分, 據以進行火山學之研究。本區內的火山碎屑岩多半因為後期的硫氣或熱液換質作用, 大部份基質中的玻璃質破片都已被換質成粘土礦物, 同時有些鐵鎂礦物也已

被換質，所以在顯微鏡下計數時，若有此現象者皆以殘留下來的
外形判定之。岩塊及基質中所含的斑晶成份主要有角閃石、
黑雲母、橄欖石、普通輝石、紫蘇輝石、斜長石及磁鐵礦，另
外也有自基盤岩層所捕捉到的少數石英擲晶(xenocryst)。以
下就偏光顯微鏡下所計數出來的結果及所觀察到的組織作進一
步描述：（計數結果請看表三-2及圖三-2）

A層：屬於七星山亞群

其最上部份（CS104，圖版二；CS110M）為細粒的湧浪堆
積物(surge deposits)，大部份（58.8%）為含紫蘇輝石角閃
石之岩塊，少部份為晶體（8.9%），基質部份不規則形狀的空
洞及具銳角外緣的晶體表示出是直接由火山噴發所堆積的。A
層的下部所含岩塊多半是紫蘇輝石角閃石安山岩，所含的火山
岩渣的主要組成礦物係以紫蘇輝石、角閃石及斜長石為主，此
為A層的主要特徵。

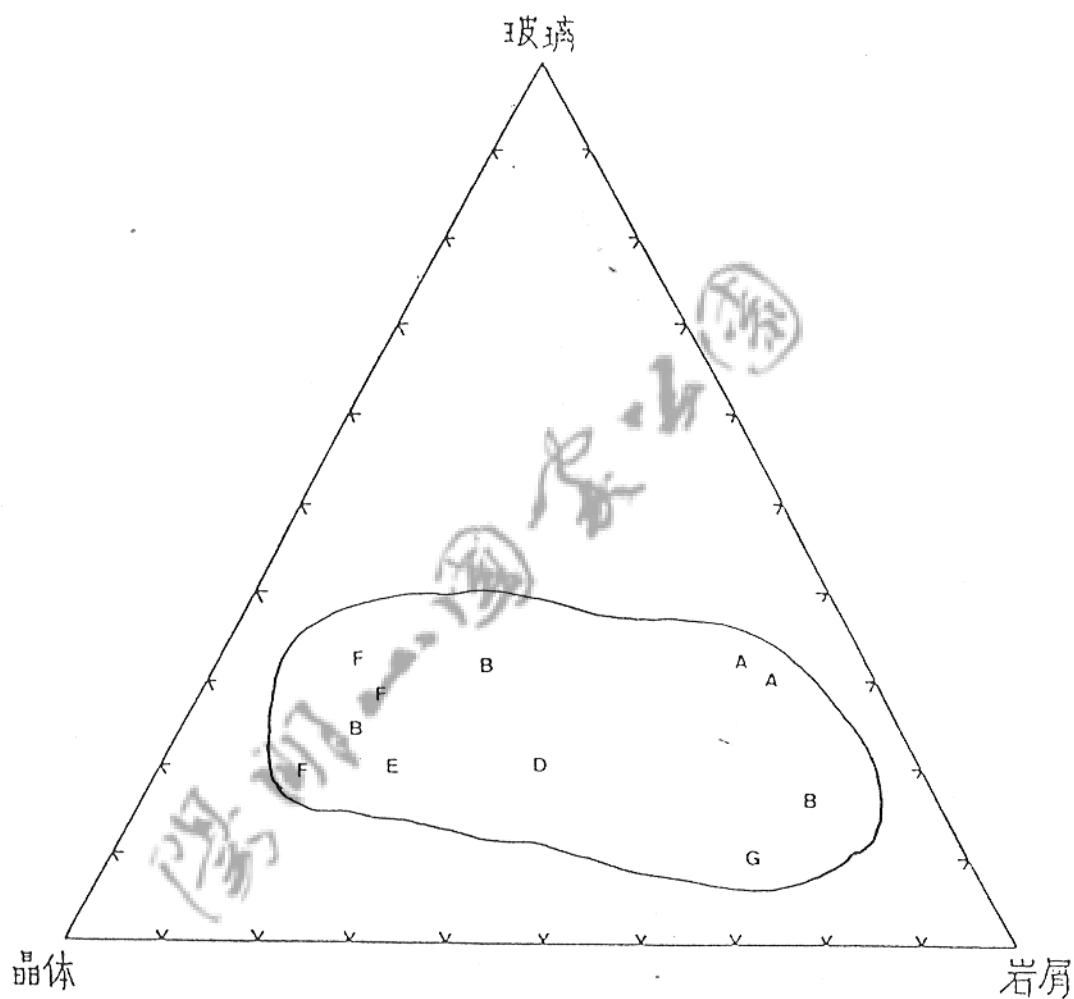
B層：屬於大屯山亞群

其所含的岩塊主要有三種：橄欖石兩輝安山岩，兩輝安
山岩及黑雲母兩輝安山岩。黑雲母兩輝安山岩主要是分佈在新
北投貴子坑及淡水海中天第二停車場，其餘兩種在B層中皆可
發現。將B層中較細粒的基質加以切片計數（T-141，圖版三
；T-142，T-160，圖版四）發現晶體含了39.2%，岩屑只佔了

表三-2 火山碎屑岩基質之組成成份(%)

標本編號	玻璃	岩屑	晶體	層位
CS110	32.3	58.8	8.9	A
CS104	33.1	56.5	10.4	A
T-160	17.3	69.2	13.5	B
T-142	32.2	28.6	39.2	B
T-141	24.7	25.6	49.6	B
WL-1a	23.5	19.3	57.2	F
WL-1b	28.4	14.4	57.2	F
HTZ00	19.3	16.2	64.5	F
HKY04	19.9	23.4	56.7	E
T-152	20.6	47.2	32.2	D
THS06	10.4	63.5	26.1	G

(層位描述請看正文)



圖三-2 火山碎屑岩基質之組成分佈圖

(符號標示如表三-2)

28.6%，非晶質部份佔了32.2%，應是屬於結晶質凝灰岩。(crystal tuff)。但是碎屑岩流中(T160)的基質部份，岩屑則高達69.2%，所含礦物除了主要的斜輝石、，直輝石及斜長石，也有相當大的外來石英粒，推測是來自底部的砂岩層（詳情見第四章），且晶體外緣沒有明顯的磨蝕現象。

C層：屬於大屯山亞群

此層中所含岩塊的特徵是斑晶很少，呈現粗粒組織，主要含斜輝石、角閃石及斜長石。無細粒的凝灰岩層(圖版十三)。夾有富含角閃石之結核(amphibole-rich nodule)。Tt-x1(圖版一)，主要含次砂質角閃石，鈣質斜長石及磁鐵礦。

D層：屬於大屯山亞群

此層中的岩塊(47.2%)除了安山岩外，也包含了砂岩岩塊(圖版十四)，同時在基質中攪進了很多邊緣尖銳的石英粒，由於硫氣作用，鐵鎂礦物及基質都已被換質，只留下原有晶體外形。

E層：屬於竹子山亞群

此層中的基質部份以晶體為主(56.7%)，岩屑較少(23.4%)，玻璃質佔了19.9%。大部份的斜長石皆已被後期的熱液作用所換質，但鐵鎂礦物仍大部份保留下來，以普通輝石及紫蘇輝石為主，角閃石很少，為此層的特徵。

F層：位在磺嘴山亞群，丁火朽山亞群及湍子山亞群的下部

此層分佈極廣，但其中所夾的岩塊多為兩輝角閃石安山岩，少數岩塊含有橄欖石及黑雲母。在明德樂園中，有良好出露之剖面。其中細粒的基質組成部份以晶體為主（64.5%），次為岩屑（16.2%）。玻璃質（19.3%）可能因為時間較久，受到的換質作用較為強烈，所以含量相當少。值得注意的是，所夾岩塊本身的組織大部份是連續不等粒組織（*seriate texture*）。而在磺溪下游，此層所含夾岩塊中，橄欖石兩輝角閃石安山岩數量增多。

G層：屬於湍子山亞群

此層基質中主要含大於 2公分的兩輝角閃石安山岩岩塊嵌於基質中，岩塊中角閃石皆呈橄欖綠，是其特徵。基質中岩屑佔了 63.5%，晶體 26.1%，玻璃質 10.4%。

H層：屬於丁火朽山亞群

此層火山碎屑岩受極為強烈的硫氣作用，只留下晶體的外形，岩屑的外貌已不可分，故沒有計數資料，但所含岩塊與丁火朽山之火山熔岩岩性相近。

將表三-2中的火山碎屑岩基質（*matrix*）之組成繪成三相圖（圖三-2），就各碎屑岩層之分佈而言，沒有明顯的線性趨向，或依各火山碎屑岩層之基質組成一晶體、玻璃、岩屑一未顯示

第四章 火 山 地 質

一、地質關係

大屯火山群之火山岩與中新世基盤岩層多以交角不整合的關係接觸，如圖版六所示，貴子坑的火山碎屑岩流直接覆蓋於五指山層的臥倒褶皺 (*recumbent fold*) 上。自各底盤岩層極不規則的傾斜走向可看出底盤不止由於受到第四紀蓬萊運動所影響，而且也受到火山熔岩侵入噴發所影響。在大磺嘴溫泉區，木山層的傾斜走向即明顯構成一個圓丘形 (*dome*)，(陳與吳，(1971)之地質圖及附錄C)，顯示當時在此有過潛在的火山活動。底盤岩層與火山岩的接觸面十分不規則，且沒有後期水平沈積層覆蓋於其上，這顯示在初期噴發時底盤岩層是出露於水面上，受到侵蝕作用，據此可推論大屯火山群的噴發活動開始時即在陸上活動。

本區的構造線以兩條大斷層為主，一條是嵌腳斷層，自萬里延伸經過嵌腳，幾乎是在火山岩與南邊中新世底盤岩層的交界上；另一條是金山斷層，自金山向西南延伸經過大屯火山群的中心部位，兩條斷層皆有小斷層衍生，而本區內的許多主要溫泉即沿這些小斷層分佈。

本區的火山是屬於層狀火山，火山熔岩與火山碎屑岩層層相疊，且各亞群的火山岩也彼此交錯，使得火山體的結構十分複雜，所出露的露頭多不完整，皆賴野外的追蹤對比，才得以窺其全貌。火山岩中火山熔岩多以厚層熔岩層 (massive lava layer, 圖版七) 出露，厚度自十數公尺到數百公尺皆有之，但卻鮮有特別薄或特別厚的熔岩層。火山碎屑岩的出露受到後期的旺盛的硫氣或熱液作用所影響，多被換質而難以辨識。本研究主要的剖面多在一些新的道路開挖面尋得，火山碎屑岩厚度皆在數米到十數米間，顯示當時噴發活動並不劇烈。

二、火山分佈

本區內約有20個火山及火山丘 (陳興吳, 1971)，其所構成的熔岩流多於15層 (陳興吳, 1971)，主要的火山亞群依據野外的層位及岩性關係分為六個亞群，由東至西為：

丁火朽山亞群：丁火朽山

湍子山亞群：湍子山、八斗子山

橫嘴山亞群：大尖山、荖寮湖山、八煙山、橫嘴山、大尖後山、鹿崛坪山、冬瓜山

七星山亞群：七星山、紗帽山、內寮山、七股山

竹子山亞群：竹子山、小觀音山

大屯山亞群：南大屯山、西大屯山、大屯山、面天山、燒
庚寮、烘爐山、果公坑山、百拉卡山、中正
山

其中主要的火山口 (crater) (圖四-1) 有磺嘴山、大尖後山、竹篙山、七星山、七股山(?)、小觀音山、竹子山(?)、問天山。大型的火山臼 (caldera) 有小觀音山上的凹口 (林, 1957) 及由大屯山、西大屯山、南大屯山及中正山所構成之凹口，其開口向南。由熔岩流形成的火山丘 (volcanic domes) 有七股山、紗帽山、菜公坑山、烘爐山、百拉卡山、南大屯山、面天山等，而竹子山可能是由裂隙噴發所形成之火山體。

火山體的分佈基本上是分佈於金山斷層兩側，顏等 (1984) 認為火山活動之管道與金山逆衝斷層有密切關係。但大多數火山體並非分佈於斷層線上，且在各熔岩流及火山碎屑岩上並沒有任何明顯的構造線，故可能金山斷層及其衍生之小斷層只提供了岩漿通過的孔道，而非斷層活動啟發了火山活動。

三、火山熔岩流

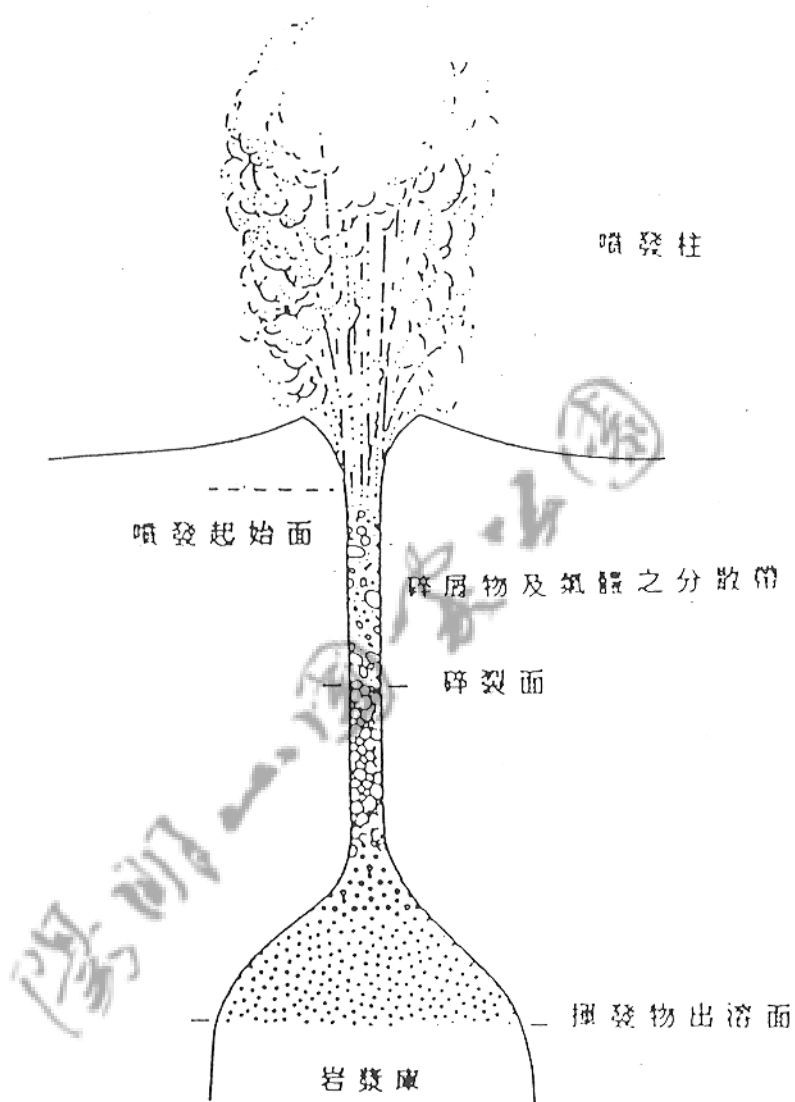
本區的火山熔岩流依據陳與吳 (1971) 依鐵鎂礦物含量可區分為 14 種岩性，並包括了至少 15 個熔岩流，而陳 (1977) 則將之簡化為六種岩性 (詳見陳與吳 (1971) 及陳 (1977))。這些

熔岩流的厚度，除了火山丘外，單層熔岩流最厚的可達二百米左右（馬槽熔岩流），而竹子山亞群之上部熔岩流（至少自二坪頂到麟山鼻，圖版八）則可能更厚，只是野外露頭不好不易判斷是否為同層，若就前者（馬槽熔岩流）而言，以平均厚度100米計算，其體積約為3.6立方公里，而後者（麟山鼻熔岩流）以平均厚度150米計算，其體積至少為12立方公里，在厚層熔岩流中常可見到厚十幾公分到一米的板狀解理（*platy joint*），如頂中股（圖版九），這是由於熔岩流流動時，因冷卻收縮所形成的，大都平行於冷卻表面，通常後面的熱熔岩流會推擠前面已冷卻之熔岩流，使得整個板狀解理變得十分複雜，截然不同於因大地應力所產生之解理。熔岩流因為黏滯性較高，所以自火山口流出時常形成火山丘（*volcanic dome*），如紗帽山極可能是由兩次時間極相近之熔岩流活動所形成，其本身即是七星山之一寄生火山（林，1957）。若是熔岩流的黏滯性較小、在古地形坡度稍陡的情況下，會沿低窪地形流出，若因流出量太高或多次流出，將窪地填滿後，便易在其上形成一平台，稱之為熔岩平台（*lava terrace*），本區中多個階地地形，如小坪頂，二坪頂等皆是如此所形成之階地，在路面開挖的露頭上常可見厚層火山熔岩上只覆蓋厚度1~2米的紅土，延伸面積極廣。

四、火山碎屑岩之對比

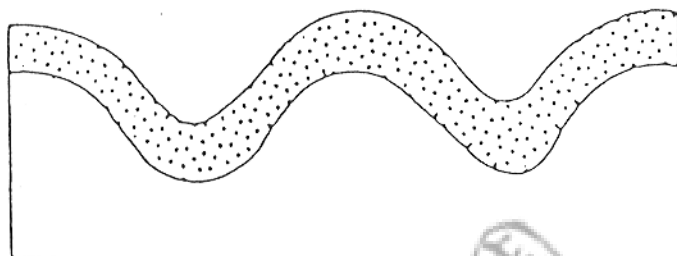
在進行火山碎屑岩之對比前，須先了解形成火山碎屑岩之機制及其堆積形態。

在火山噴發之前，岩漿庫會因為長期的累積或有外來揮發物源之供應，使岩漿庫中的揮發物含量逐漸增加，直到與圍壓相當或甚至超過時，便有噴發的可能。在某個時間達到上述情況後便如圖四-2中所示的，其中爆發口的蓋岩 (cap rocks) 首先被爆開四射，巨大的能量向上瞬時釋放，帶動周圍的空氣成為蕈狀的噴發柱，所產生的堆積物純粹是彈道式激射的火山灰、火山礫、火山彈等，由於風力的淘選使此種堆積物形成沿地面起伏之覆蓋層理 (圖四-3)，這些拋射礫大小可自數米的岩塊到很細粒的火山灰 ($1/16\text{mm}$ 以下)，同時因為受到風的淘選作用，所以淘選度通常都很良好，並且會構成顆粒支持 (clastic supporting) 的堆積層，統稱為火山碎屑彈落堆積層 (pyroclastic fall deposits)。當噴發能量漸小，不足以支撐高達數百公尺到數公里的噴發柱 (eruption column) 時，噴發柱便會崩潰，在順風或順坡方向形成火山碎屑岩流 (pyroclastic flow) 及火山碎屑湧浪 (pyroclastic surge) 形式之堆積層，兩者皆隨地形而充填 (圖四-3)，頂部大多為平緩的坡面。碎屑

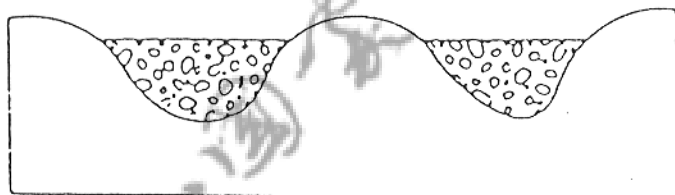


圖四-2 火山噴發剖視圖

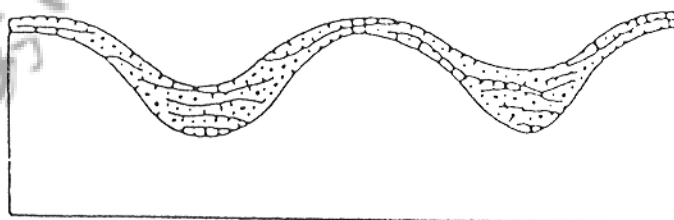
(a) 火成碎屑岩彈落堆積層



(b) 火成碎屑岩流動堆積層



(c) 火成碎屑岩湧浪堆積層

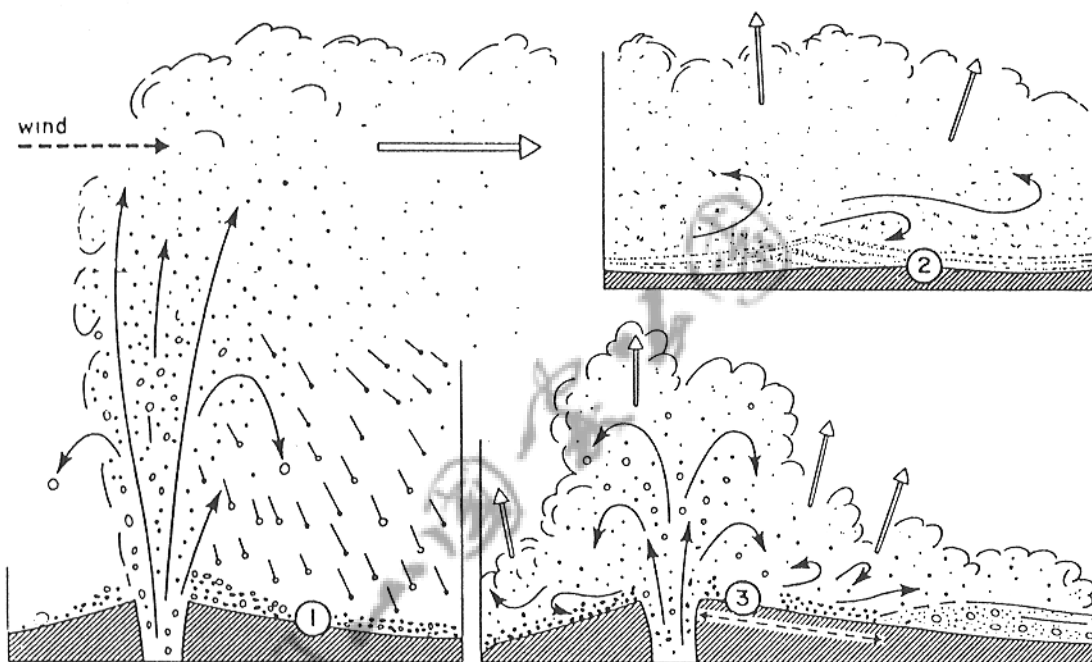


圖四-3 三種火成碎屑岩堆積層

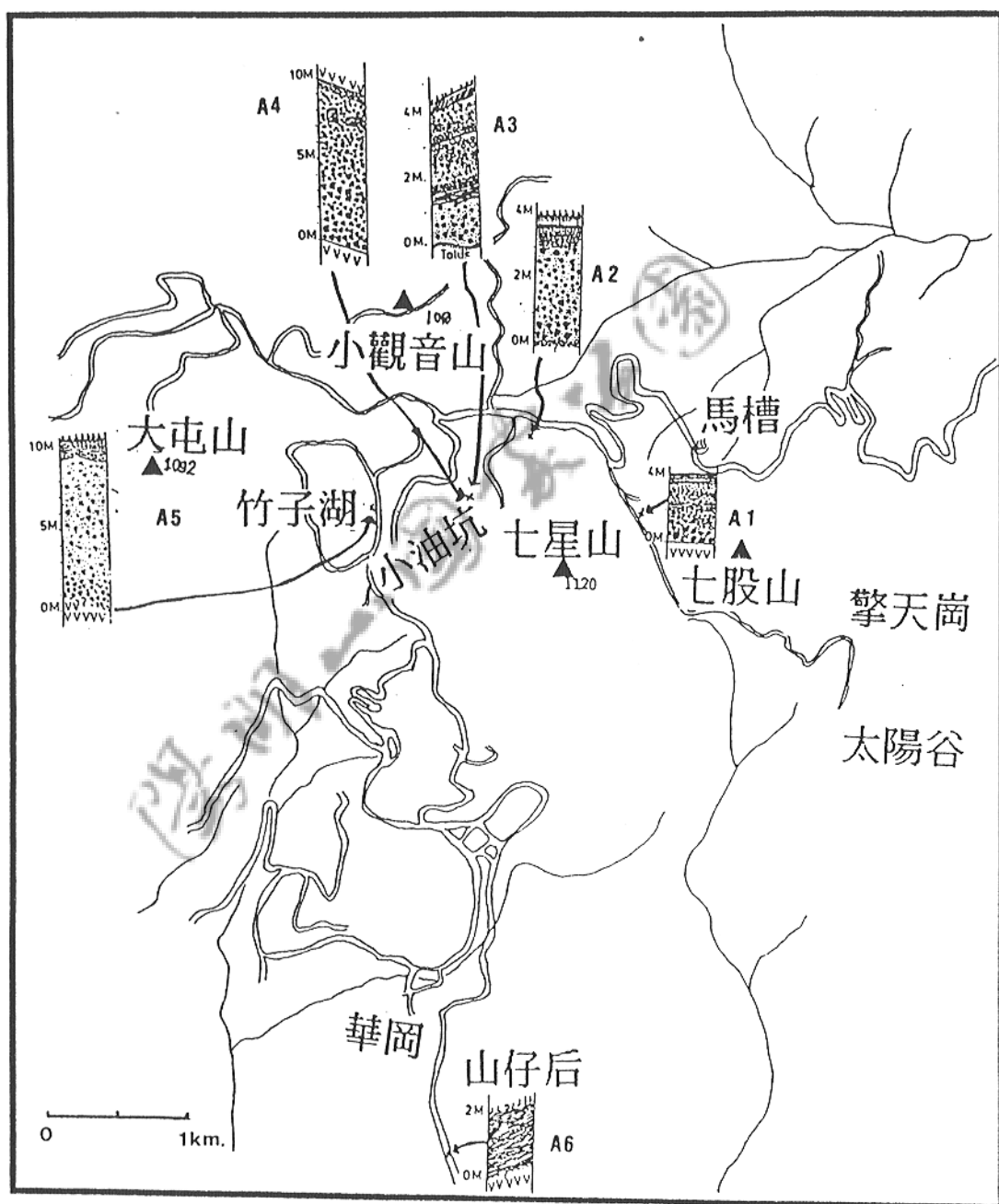
岩湧浪堆積層略有層理且略隨地面起伏，碎屑岩流堆積層則包括了各種粒度的火山灰到火山彈，甚至崩落的大塊岩石皆夾雜其中，沒有明顯的層理結構，主要是充填在地表凹陷處，其堆積構造特徵則是基質支持 (matrix supporting)。圖四-4 (Walker, 1983) 簡單地描述這三種碎屑岩堆積層形成的機制，其中1所產生的是彈落堆積層，2所產生的是湧浪堆積層，3所產生的是碎屑岩流動堆積層。

本區中的火山碎屑岩的分佈相當廣泛，依據其中所夾的安山岩塊類別及野外露頭的相變關係可區分為 8 層，但是能有數個剖面以資對比分析的只有 A、B 層，現依地層柱描述如下：

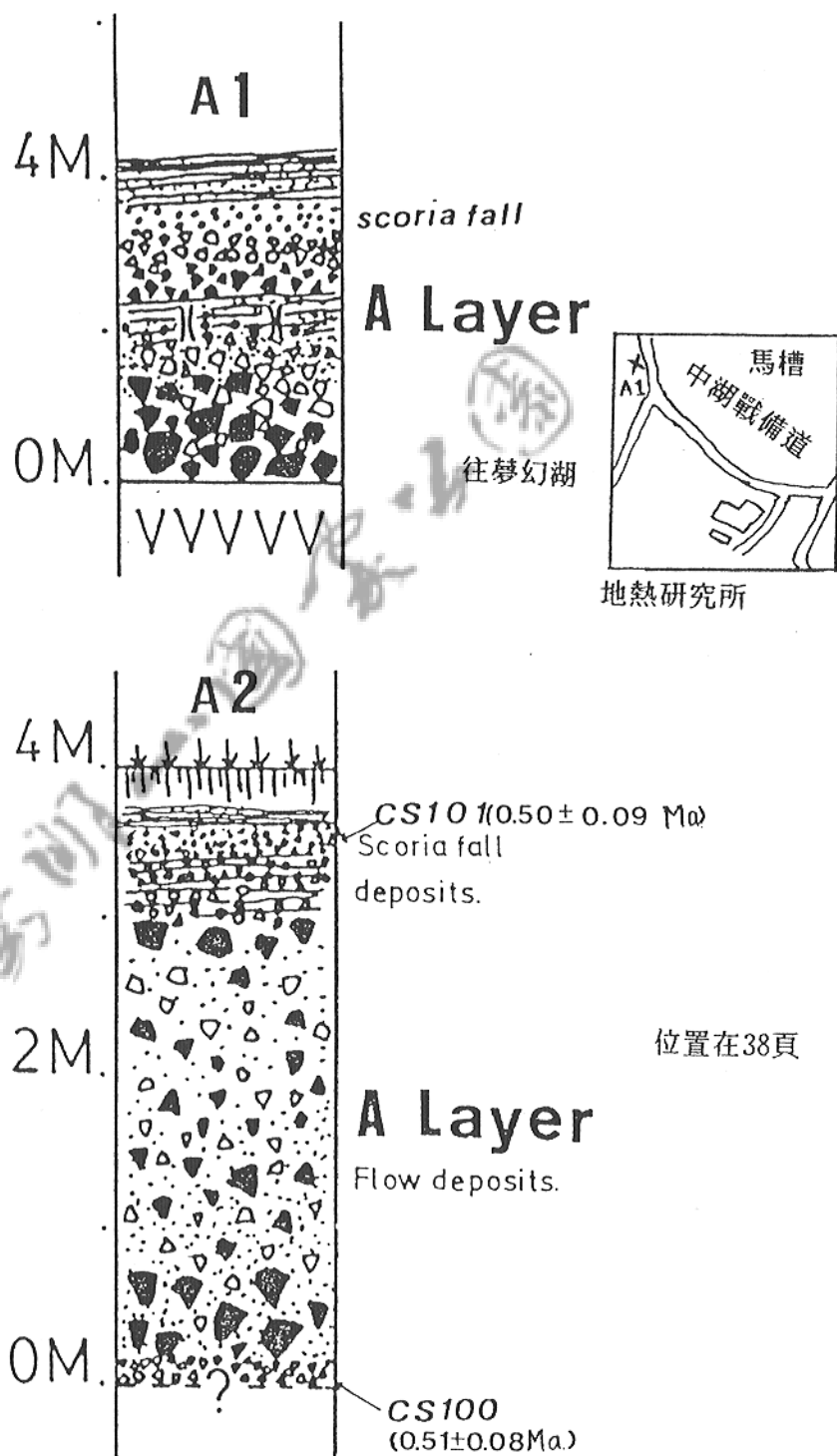
A 層：屬於七星山亞群，環繞七星山的主峰出露，主要含紫蘇輝石角閃石安山岩塊。本層共有 6 個剖面 (圖四-5)。
A1 (圖四-6) 是位於中湖戰備道上，順七星山東坡與水平夾約 35 度，此剖面上層主要是由火山岩渣 (scoria) 所形成的彈落堆積層，為本層的近極相 (proximal facies)，厚度約 4 米。中間及上層有兩層較細粒的火山灰層，其間夾一薄層碎屑岩流。同一彈落層中附屬岩塊大都位在下部，粒度向上變細，岩渣量漸漸增加。A2 剖面 (圖四-6) 位在七星山北側的陽金公路上，上層主要是火山岩渣的彈落堆積層，下層則是岩塊與岩渣均勻分散之碎屑岩流，最下方則以岩渣為主之彈落堆積薄層。A3



圖四-4 火山碎屑堆積層之生成示意圖(修改自 Walker, 1983)



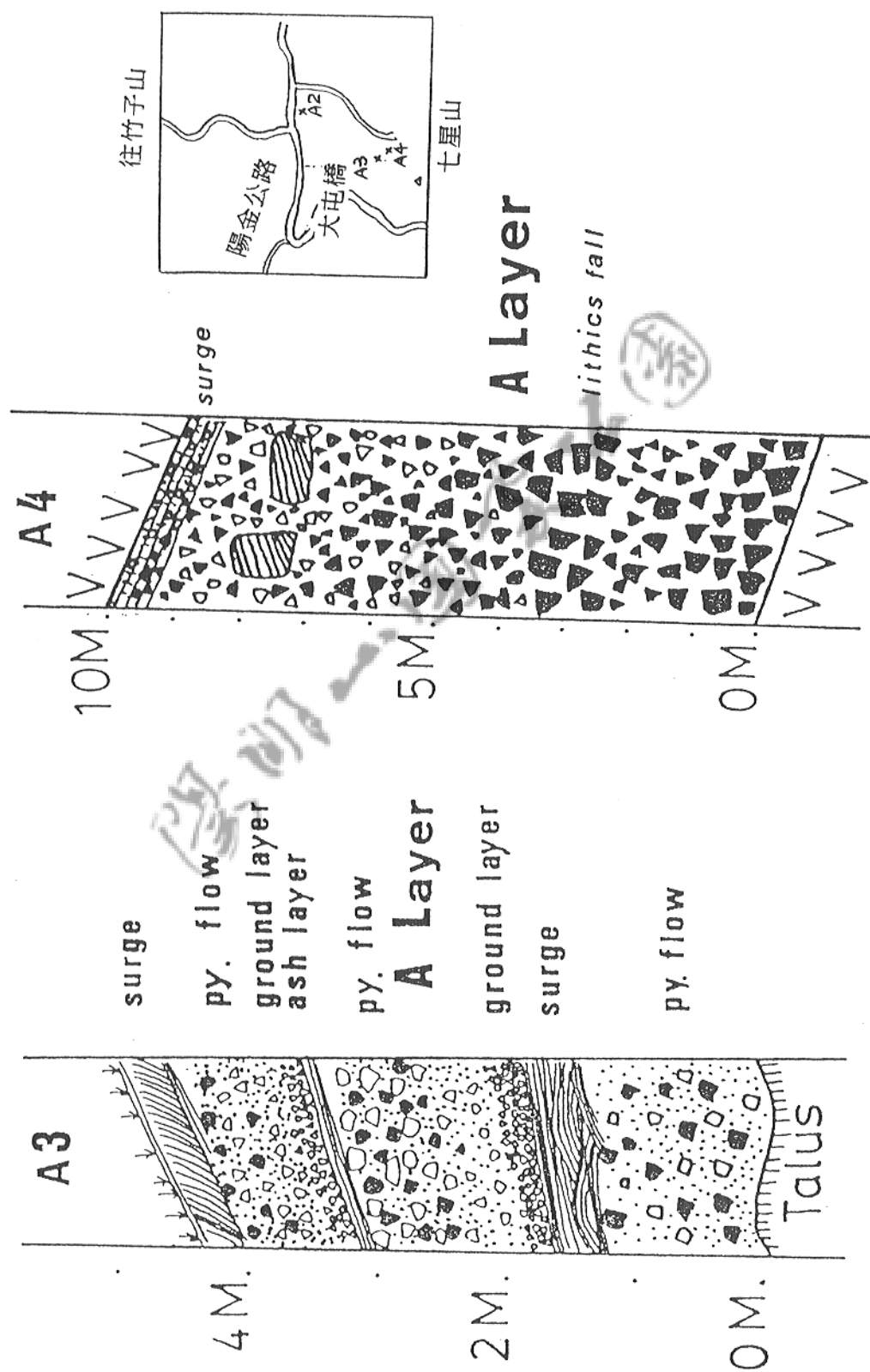
圖四-5 A 層剖面分佈位置圖



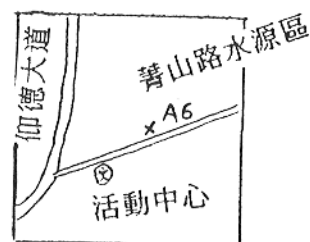
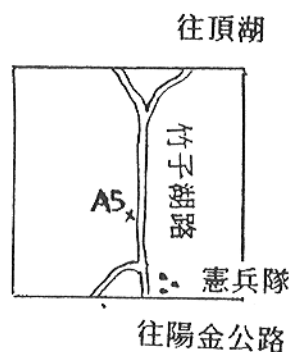
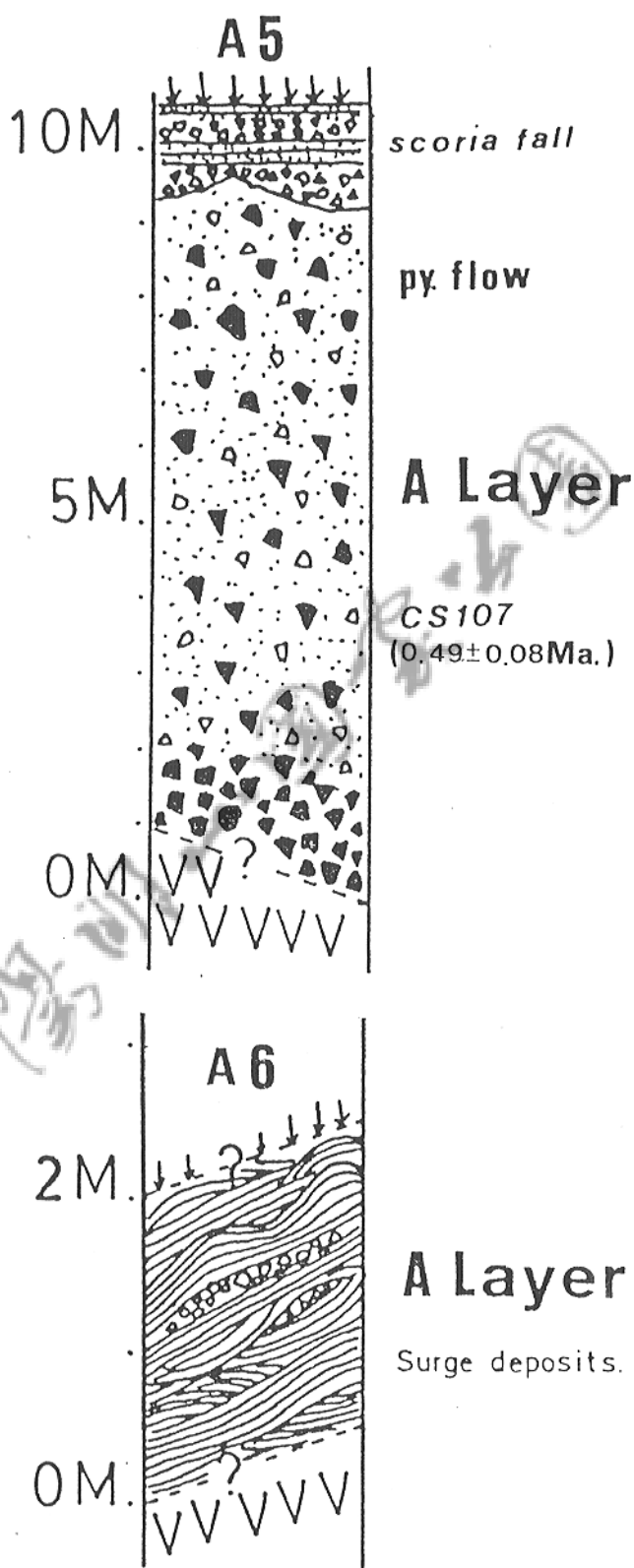
圖四-6 A1及A2剖面柱狀圖

及A4 (圖四-7) 則位在小油坑上，其上方覆蓋七星山最後一次活動所產生之熔岩流。A3主要是以薄層的碎屑岩流及碎屑岩湧浪互層為主(圖版十一)，其中有一厚約20公分的火山灰層極可能是由碎屑岩流流動時，上方的火山灰雲 (ash cloud) 所堆積的。A4剖面在A3剖面隔一小河溝相對，但除了最上層 1米左右的湧浪層外，其他主要都是由直徑 0.1米到0.8 米的岩塊及岩渣所堆積，成為顆粒支持的彈落堆積層。這些彈落堆積物應是上層湧浪層的前一次噴發所造成。A5 (圖四-8) 位在竹子湖內環湖公路近頂湖處，上層也是以熔渣彈落及湧浪堆積層為主，下層則是厚約 8米的碎屑岩流動堆積層為主，最大徑粒度約 0.5 米。由於竹子湖位置較低，所以同一層碎屑岩流可以堆積較厚，其最下部則是以岩塊為主的彈落層。A6(圖四-8)是位在仰德大道往菁山路的交界開挖面上，厚約 2米的湧浪層順坡堆在下面的熔岩上，其間夾有薄層透鏡狀2~5公分大小的岩渣層，湧浪層的粒度在 1公分以下，單層的淘選度良好，所形成的波浪狀層理之波長約 1米左右。

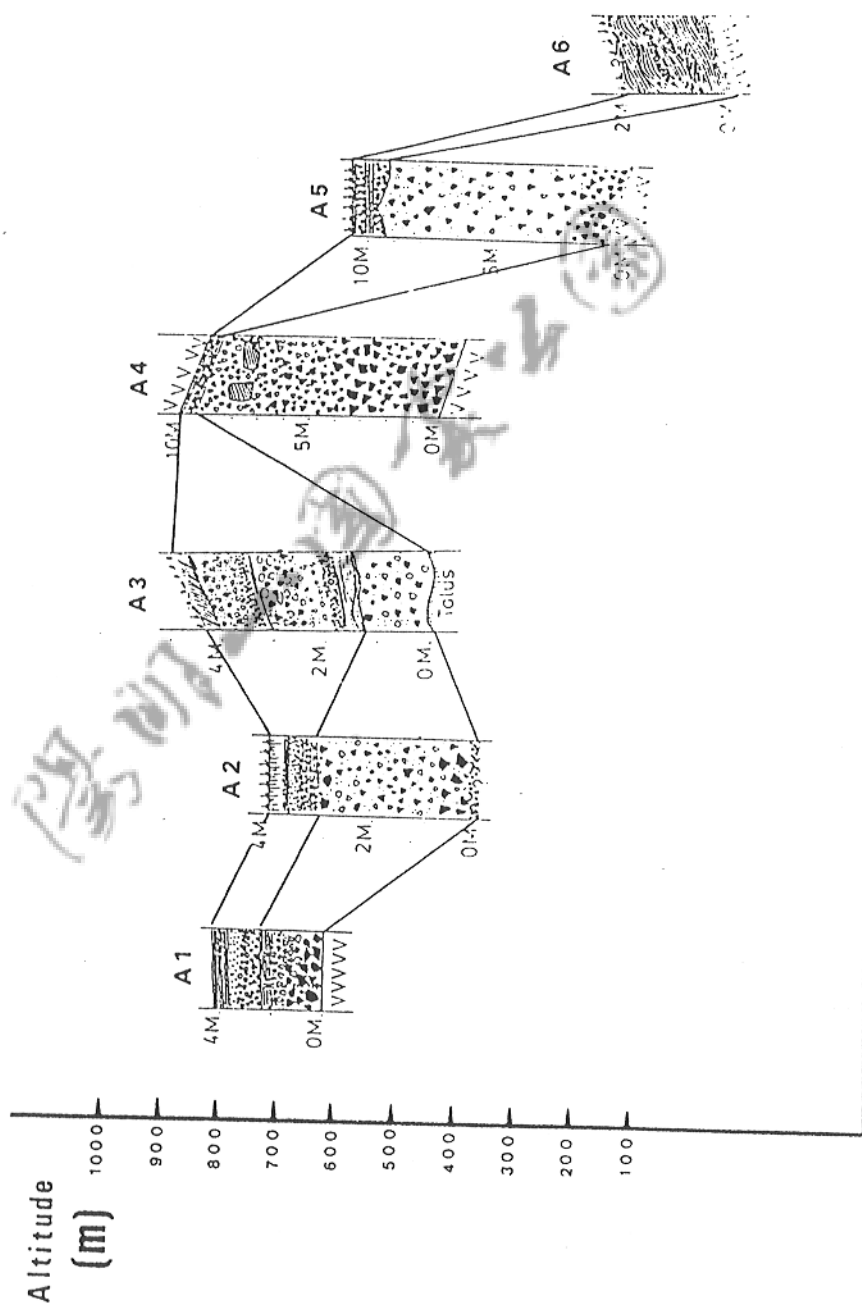
將以上A1到A6數層依逆時針拉直排列，配合上高度 (圖四-9)，可看出除A4的下層可能是前一次噴發所殘留的或是同一期噴發的較早階段所產生之外，其餘皆可利用碎屑岩之產生機制加以對比，其中A1到A4所代表的是近極相 (proximal facies)



圖四-7 A3及A4剖面柱狀圖



圖四-8 A5及A6剖面柱狀圖

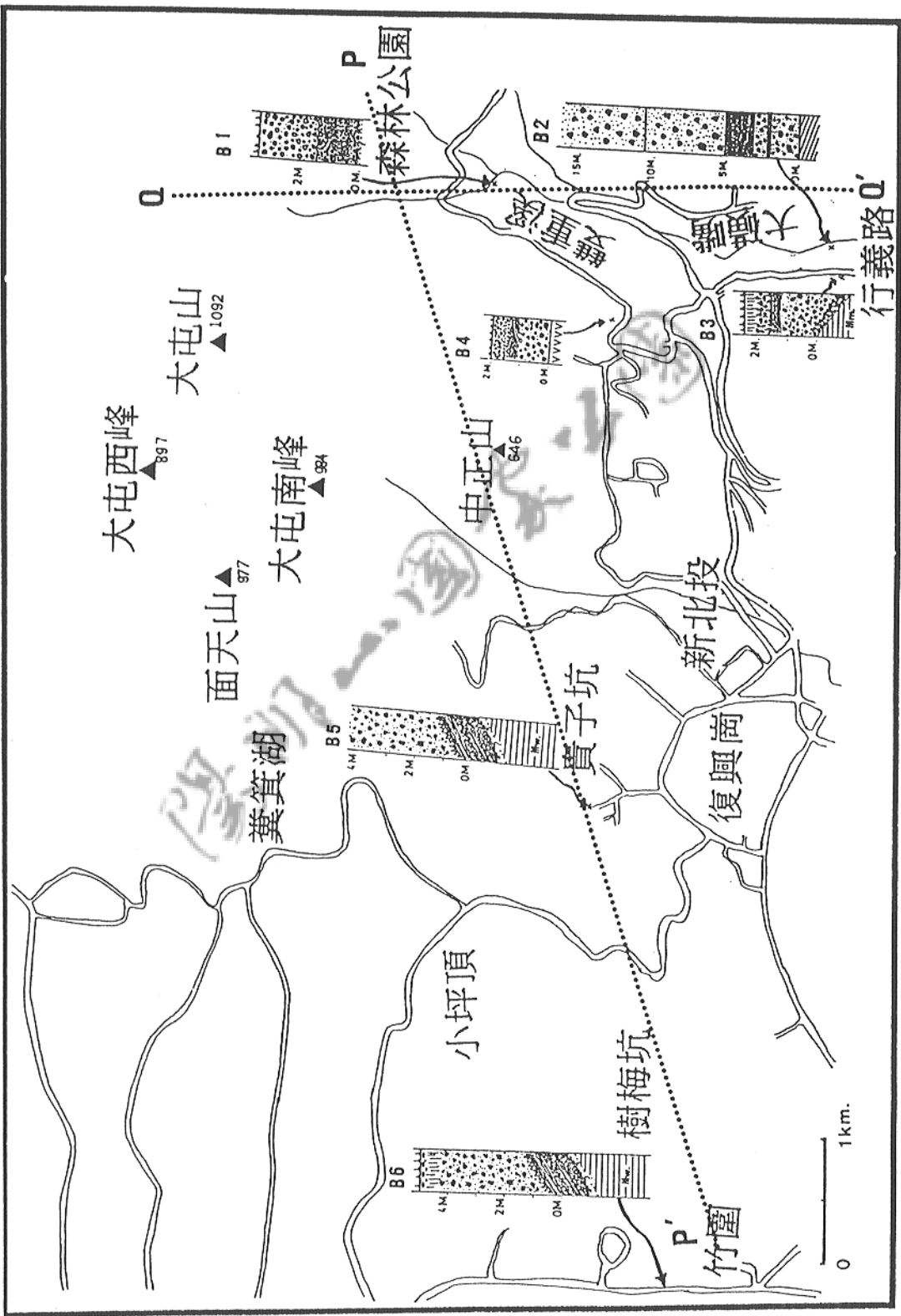


圖四-9 A 層剖面之高度對比圖

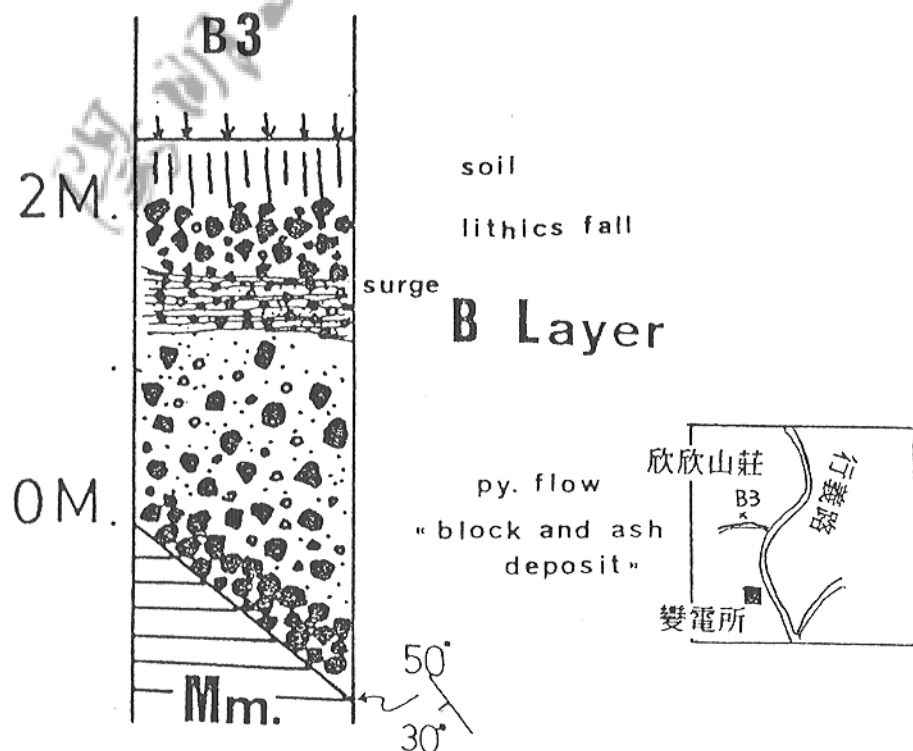
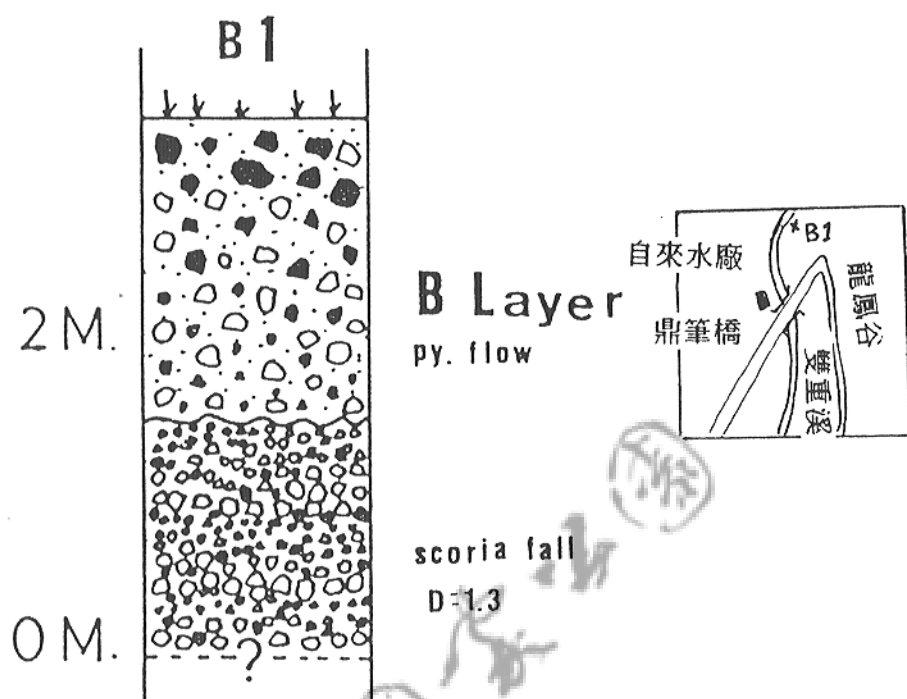
，A5代表的是中間相 (middle facies)，而A6則代表著遠極相 (distal facies)。可看出近極相的堆積層以粗粒的彈落層為主，中間相則是由動能極大的碎屑岩流為主。但因地形關係其分佈多以地形上低窪處為主，而遠極相則以細粒的火山灰彈落層及湧浪層為主，因其較易被風所攜帶，且較不受地形起伏影響。以平均厚度 4米計算A層所佔的體積至少有0.16立方公里，熔渣的比重約為1.6~2.0。

B層由岩性上推斷是屬於太屯山亞群，但由於較後期的多次熔岩流活動及茂盛的植被生長使此層的露頭並不多見，其中所含的岩塊主要有三種：含橄欖石兩輝安山岩、兩輝安山岩及含黑雲母兩輝安山岩。本研究現就所知之 6個剖面加以描述，其詳細位置見圖四-10：

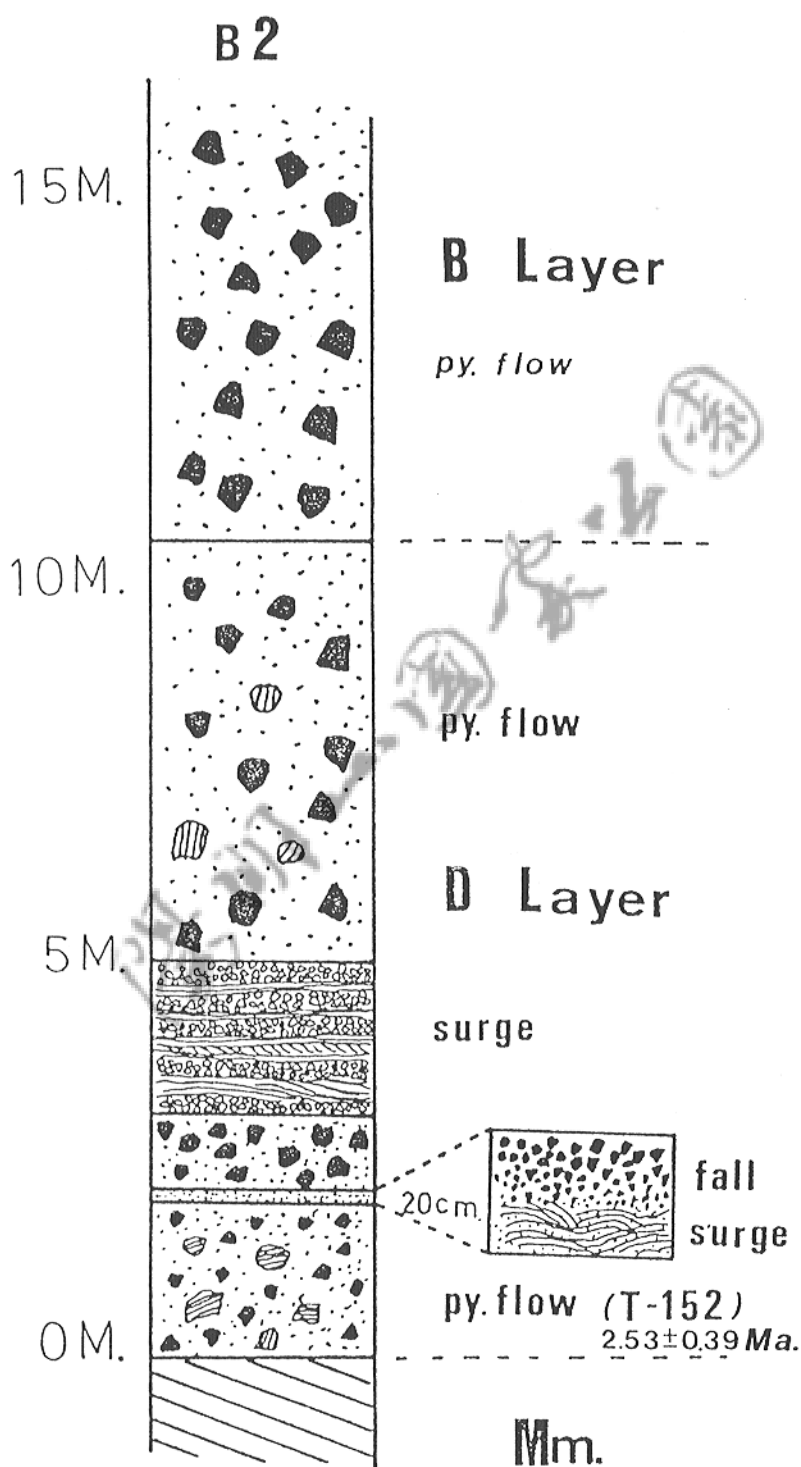
B1 (圖四-11)位在雙重溪中游，上層是安山岩塊及岩渣以 1:1比例分佈於以晶體為主的基質中，成為厚約 2米的碎屑岩流，岩塊有向上變粗的逆粒級層 (reverse grading)，最大徑粒度為 0.7米，下層以一侵蝕面緊鄰上層，此面代表著當時碎屑岩流流動時刮蝕地表。此層所夾岩塊主要是兩輝安山岩，及少量含橄欖石兩輝安山岩，岩渣的平均比重為 1.3。B2 (圖四-12)位在大磺嘴溫泉區中，整個剖面屬於B層的部份只佔了約 6 米，以一被崖錐 (talus)蓋住的面覆蓋於D層上，主要是以



圖四-10 B 層剖面分佈位置圖

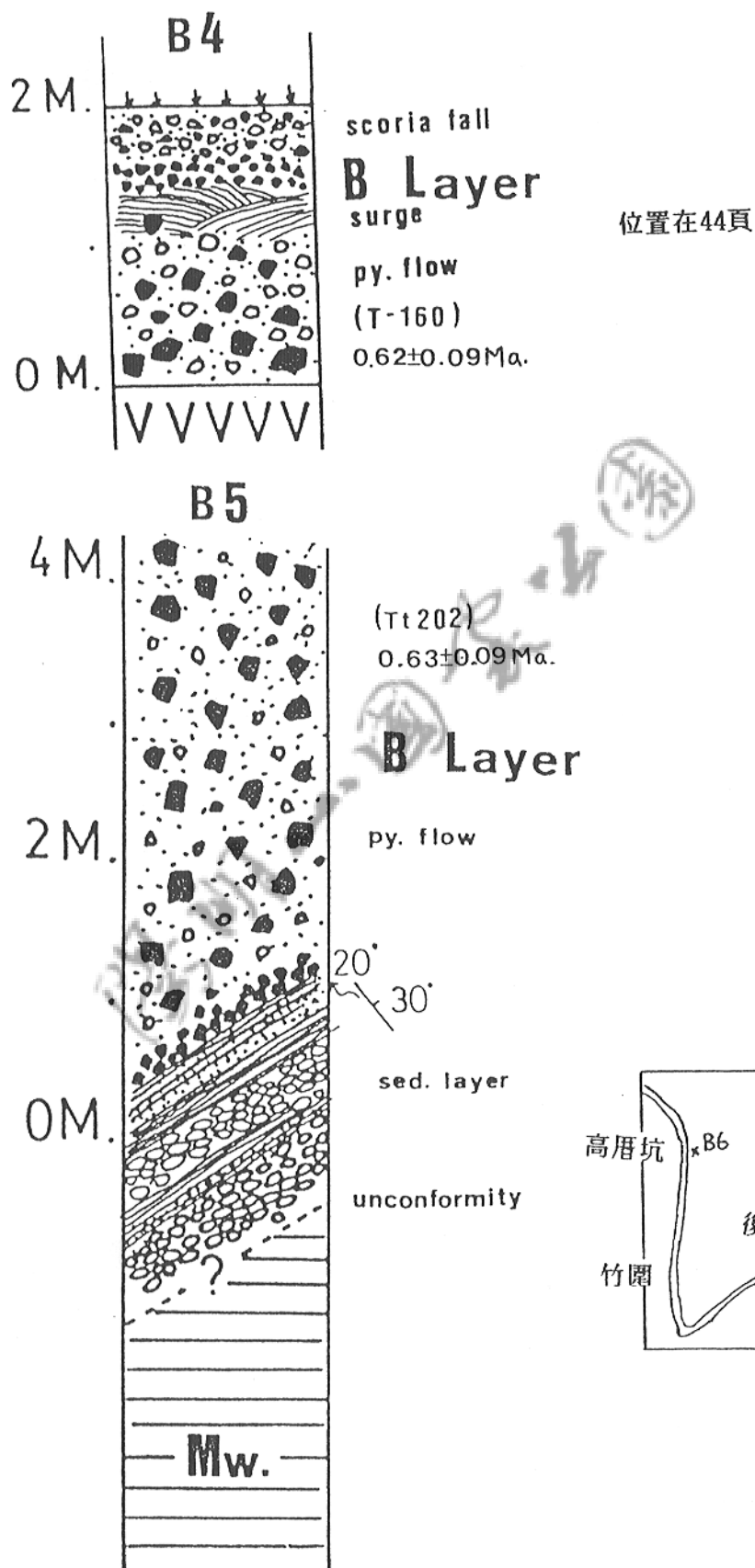


圖四-11 B1及B3剖面柱狀圖



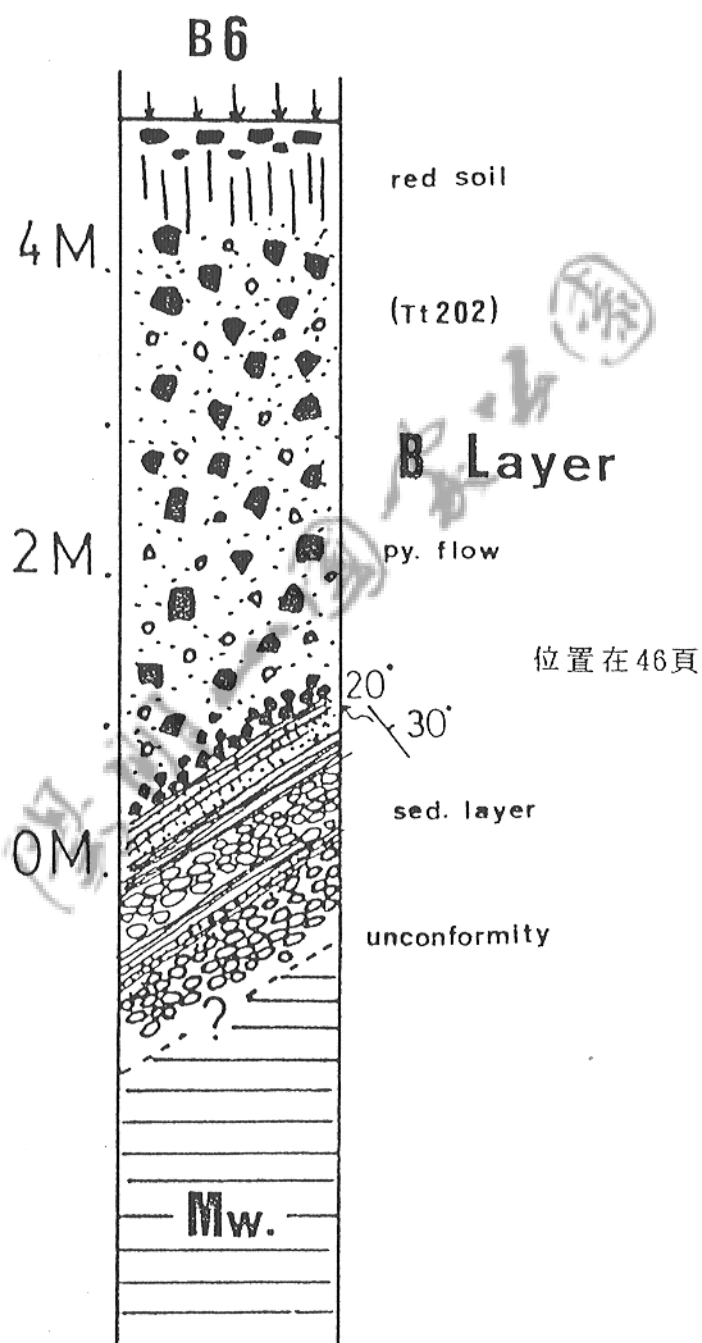
圖四-12 B2剖面柱狀圖

以兩輝安山岩為主要岩塊之碎屑岩流。D層蓋於中新世木山層上，厚約11米，記錄了三層的碎屑岩流，間夾著兩層湧浪層及彈落層互層，湧浪波形之波長約二米，最上及最下的碎屑岩流都夾有砂岩岩塊，直徑可達0.6米，基質受到嚴重的硫化及白化作用，但是仍可辨識以岩屑為主，這夾有砂岩的上下兩層碎屑岩流表示是最初期的噴發，衝開了基盤，並使周圍的沈積岩之走向傾斜呈現一圓丘形構造（見本研究之地質圖附錄C），表示岩漿體曾嘗試在此地噴發。D層中所夾岩塊以兩輝安山岩為主。B3（圖四-11）剖面在行義路旁欣欣山莊停車場出露，這是本層最標準露頭，由下而上為木山層基盤，以走向 $N 50^{\circ} E$ ，傾斜 $S 30^{\circ}$ 的接觸面上覆以兩輝安山岩為主及少量夾橄欖石兩輝安山岩岩塊之底層，接著是厚約1.2米的碎屑岩流，岩塊大小為0.2米到0.5米，熔渣較小，在0.1米以下，且數量只佔了20%，基質則以晶體佔多數。上面是一層湧浪層，間夾有10公分大小的岩塊及熔渣，最上方則是一層彈落層，厚約0.5米。這樣的層序，由於其各單層間幾乎沒有什麼時間間斷，代表著多次的連續噴發，但噴發威力並不大。B4（圖四-13）位在惇敘高工上之陽明觀光果園上，其層序與欣欣山莊的B3剖面相同，只是受到大磺嘴硫氣作用使表面硬化膠結成硬殼，其中的碎屑岩流並夾有富含角閃石之結核。值得注意的是，中間的一

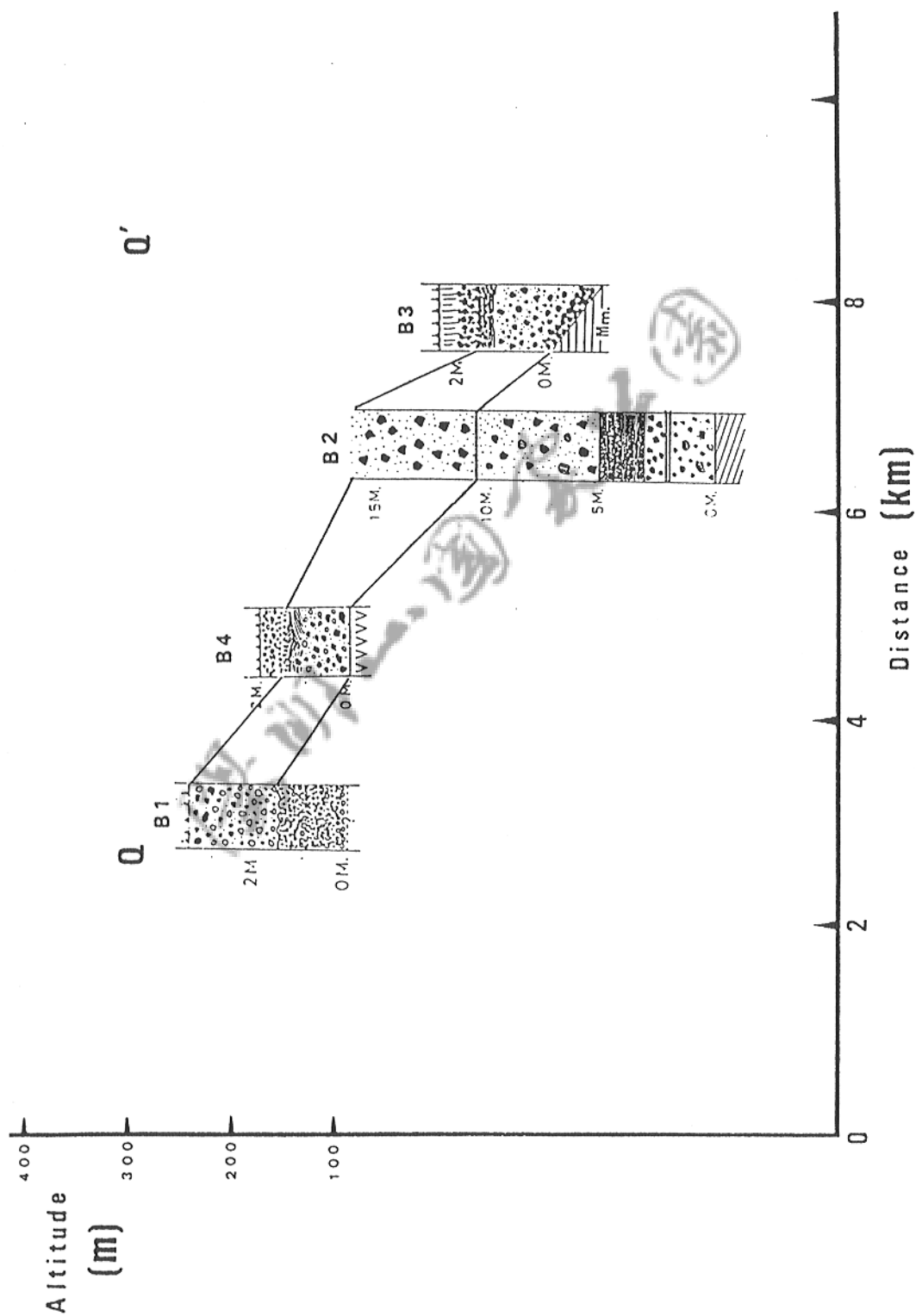


圖四-13 B4及B5剖面柱狀圖

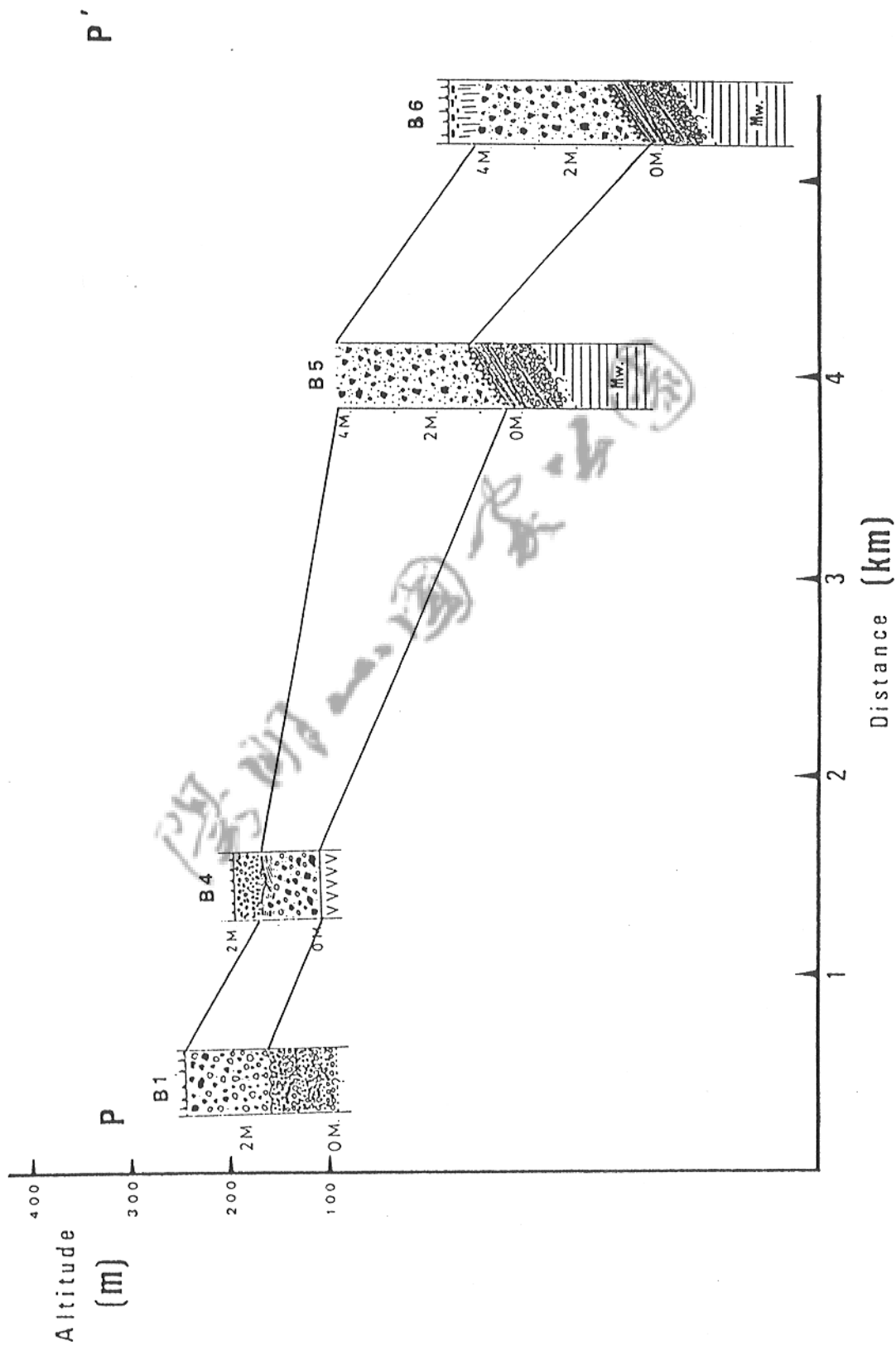
層湧浪層在B3及B4都只厚約 0.5米。且有明顯之層理，但追蹤到龍鳳谷及陽明山觀園附近則轉變成厚度達三米，無層理之湧浪堆積層。根據 (Wohletz and Sheridan, 1979) 這是因為湧浪在流動時易在較低窪處堆積成厚層，而在較高處則是掃過，只留下薄層的堆積物，但事實上是屬於同一次的堆積事件。B5 (圖四-13)及B6 (圖四-14)分別分佈在新北投貴子坑及海中天第二停車場內，其分佈層序及各單層厚度皆極相近，其間所夾之岩塊頗特別，以兩輝安山岩為主，但卻有含黑雲母兩輝安山岩，這特殊岩塊的來源尚不清楚，但由所含的兩輝安山岩及野外層序關係仍可推論其屬於B層。這兩個剖面順序皆自中新世五指山層基盤開始，在貴子坑有良好的露頭，顯示一個臥倒褶皺 (recumbent fold) 上有一以交角不整合覆蓋的河相或海灘相的沈積層。沈積層有兩層主要的礫石層，其間的礫石皆為石英砂岩 (quartzite)，岩層走向為 $N20^{\circ} W$ ，傾斜 $30^{\circ} N$ 。沒有任何火山岩，其間夾有一層黃土色粗砂，在礫石層上先蓋著粗粒砂層，接著是一層灰白的泥層，泥層最上部則可辨識出一薄層火山灰層，將泥層作成顯微薄片 (圖版五)，其中有大量的角閃石及黑雲母晶體，與下部純以石英、斜長石與粘土礦物的泥層不同，但泥層上下部份是整合的，表示逐漸沈積。上部的火山灰組成代表火山物質堆積的起始面，換言之，此沈積層的沈



圖四-14 B6剖面柱狀圖



圖四-15 B 層剖面之高度對比圖 (Q-Q')



圖四-16 B 層剖面之高度對比圖 (P-P')

山灰組成代表火山物質堆積的起始面，換言之，此沈積層的沈積年代與火山灰噴出之年代極相近。泥層上則整合接觸以碎屑岩流底層及碎屑岩流主體（圖版十二）。在B6層上則再蓋著紅土。紅土中夾有大塊安山岩礫層，這些安山岩礫以疊瓦狀構造排列著，顯示受過水流作用，亦即是B6剖面最上部受過水流侵蝕堆積，至於是否為海階面則有待進一步之研究。

B層分佈的區域（圖四-10）中沿兩個方向QQ'（圖四-15）及PP'（圖四-16）依所在之高度進行對比，各代表著兩個碎屑岩流的行進路線，其中QQ'的海拔自250米到100米左右，剖面B1代表的是近極相，B4、B2及B3則代表中間相。碎屑岩流主體厚度相差不大，只在B2剖面因地形較低而變得較厚些，另外PP'線則代表較大的落差，自250米到20米，但可看出100米高度以下的碎屑岩流厚度便極相近，且層序保留良好。雖因上部已受侵蝕不知其原有厚度，但在標高20米處仍有4米厚，所以此層碎屑岩流可能流到現在的海岸線外，也可能流過古淡水河進入現今觀音火山的範圍內。大略估計此層的體積約為 0.192Km^3 。

第五章 核飛跡定年分析結果

本研究中分別於三十五個位置（圖三-1）採取足量標本，各約五到十公斤重，於實驗室中進行礦物分離工作（分離步驟見圖二-1），共計有二十五個磷灰石定年及十五個鋯石定年資料。其測定結果，依照納塞等（Naeser et al., 1979）所推薦的核飛跡資料標準化表列於表五-1、表五-2及附錄A中，並於下文中詳加說明之。

一、核飛跡年代計算公式及測定法

核飛跡年代計公式如下（公式之導出見劉（1982））：

$$t = \frac{1}{\lambda_D} \ln \left(1 + \phi \cdot I \cdot \sigma \cdot \frac{\rho_s \lambda_d R_i}{\rho_s \lambda_f R_s} \right) \dots (1)$$

上式中 t = 年代

ρ_s = 樣本內部自發核飛跡密度（核飛跡/公分²）

ρ_i = 樣本內部誘發核飛跡密度（核飛跡/公分²）

λ_d = U^{238} 之總蛻變常數 1.551×10^{-10} /年

λ_f = U^{238} 之自發核分裂蛻變常數 6.85×10^{-17} /年

σ = U^{235} 受熱中子照射誘發核分裂的截面積常數

$$580 \times 10^{-24} \text{ cm}^{-2}$$

I = 現在的鈾天然同位素比值

$$U^{235}/U^{238} = 7.252 \times 10^{-3}$$

ϕ = 熱中子通量 (中子/公分²)

R_s = 可溶蝕的自發核飛跡長度 (微米)

R_i = 可溶蝕的誘發核飛跡長度 (微米)

將以上常數代入 (1) 式中, 得

$$t = 6.45 \times 10^9 \cdot \ln \left(1 + 9.52 \times 10^{-18} \cdot \phi \cdot \frac{\rho_s R_i}{\rho_i R_s} \right) \dots (2)$$

在同一溶蝕條件下, 通常 $R_i = R_s$, 又若 $t \leq 10^8$ yr. 則

$$t = 6.12 \times 10^{-8} \cdot \phi \cdot \frac{\rho_s}{\rho_i}$$

故核飛跡年代可由自發 (ρ_s) 與誘發 (ρ_i) 核飛跡密度及中子通量 (ϕ) 三項求得。但依試樣的種類與特性不同, 而有不同求得 ρ_s 與 ρ_i 的方法。一般求 ρ_i 的方法有 "內部檢測材法" (Internal detector method); 及 "外部檢測材法" (External detector method)。一般鈾濃度大致均勻, 自發核飛跡密度低, 且樣本粒數較多之磷灰石, 可以用 "內部檢測材法"; 而鈾濃度均勻且含量較高之鋁石試樣則以外部 (雲母) 檢測材法可以較容易獲得誘發核飛跡密度。

核飛跡年代的測定法, 亦可分為 "集團法" (Population

method) 及 "各粒法" (Grain by grain method) 兩大類。集團法又可分為 "各粒子全面積集團法" 與 "定面積集團法"；各粒法亦可分為 "顆粒對應法" 與 "總面積顆粒法"。一般鈾濃度分佈均勻，自發核飛跡少的試樣，以 "各粒子全面積集團法" 較適宜；當核飛跡密度較大，樣本較少時，則可以用 "各粒法" (詳情見劉 (1982))。

在本研究中，鈳石定年是採用 "顆粒對應法" 及 "雲母外部檢測材法" 計算，並由於火山熔岩及火山碎屑岩中的鈳石鈾濃度相當均勻，另外以總面積顆粒法計算出年代以相互比較之；而磷灰石則是採用 "各粒子全面積集團法"，其誘發核飛跡密度則是以 "內部檢測材法" 測定的。

二、中子通量之測定

為產生誘發核飛跡，須將試樣置於核子反應爐以熱中子照射，而熱中子通量 (ϕ) 大小的選擇，則視自發核飛跡密度與試樣的鈾濃度而定，一般以使 $\rho_i \gg \rho_s$ ，且 ρ_i 在 $1 \times 10^3 - 1 \times 10^7$ 核飛跡/公分² 的範圍為原則。

中子通量 (ϕ) 通常以一小塊已知鈾濃度的標準玻璃來測定。將標準玻璃與低鈾濃度的白雲母片密接，再和試樣一起放入核子反應爐內接受熱中子照射。其計算公式為：

$$\phi = k \cdot \rho_{im}$$

ρ_{im} = 白雲母片所記錄的標準玻璃誘發核飛跡密度

本研究所使用之標準玻璃為美國國家標準局的 NBS610 (鈾濃度 = 461.5ppm, $U^{235}/U^{238} = 2.39 \times 10^{-3}$), NBS612 (鈾濃度 = 37.38ppm, $U^{235}/U^{238} = 2.39 \times 10^{-3}$) 及 NBS962 (鈾濃度 = 37.38ppm, $U^{235}/U^{238} = 2.39 \times 10^{-3}$)。不同的標準玻璃有不同的 K 值, 其中 NBS610 的 K 值為 4.54×10^8 , NBS612 及 NBS962 的 K 值為 5.6×10^9 。表五-3、五-4、五-5 分別為本研究各試樣之中子照射結果。

三、磷灰石分析結果

本研究共分析了二十五個磷灰石標本, 對於 ρ_s 及 ρ_i 的測定是採用“各粒子全面積集團法”。在鈾濃度完全均勻的理想狀況下, 單位面積 (A) 內發現核飛跡數 (N) 的機率可以包生分佈 (Poisson distribution) 表示, 此時核飛跡密度 $\rho (N/A)$ 之標準差 (Standard deviation) 可用下式表示:

$$\sigma(\rho) = \frac{\sqrt{N}}{A}$$

若我們將 (ρ_s), (ρ_i) 與中子通量 (ϕ) 之誤差一併考慮, 則最後核飛跡年代之總誤差為:

表五-1 磷灰石核飛跡分析結果 (第一次照射)

SAMPLE	As	Ns	ρs	Ai	Ni	ρi	$\rho s / \rho i$	Φ	Age (Ma)	Cu
NAME	10^{-2}cm^2		10^3cm^{-2}	10^{-3}cm^2		10^0cm^{-2}	10^{-3}	10^{18}cm^{-2}		ppm
01 CS101	3.013	32	1.062	2.222	856	3.852	2.757	2.96	0.50 ± 0.09	5.0
02 CS100	4.444	51	1.147	2.666	1016	3.810	3.010	2.79	0.51 ± 0.08	4.9
03 MC-3	6.666	63	0.945	6.666	2212	3.318	2.848	3.00	0.52 ± 0.07	4.0
04 CS130	8.888	79	0.889	2.222	779	3.506	2.537	3.00	0.47 ± 0.06	4.2
05 CS132	6.666	94	1.410	2.666	1107	4.151	3.397	3.00	0.62 ± 0.06	5.0
06 Tt202	3.644	64	1.756	2.666	1370	5.138	3.418	3.00	0.63 ± 0.09	6.2
07 T-160	6.666	52	0.780	3.555	756	2.216	3.669	3.00	0.67 ± 0.10	2.6
08 T-142	4.444	43	0.968	2.222	612	2.754	3.515	3.00	0.65 ± 0.11	3.3
09 T-132	8.888	64	0.720	2.222	715	3.218	2.237	3.00	0.41 ± 0.06	3.9
10 THS07	4.337	60	1.383	2.889	1176	4.071	3.397	2.96	0.62 ± 0.09	5.0
11 THS04	8.888	77	0.866	2.666	620	2.325	3.725	3.00	0.68 ± 0.09	2.8
12 THS06	5.333	68	1.275	2.844	1032	3.628	3.514	3.00	0.65 ± 0.09	4.4
13 THS05	8.888	93	1.046	4.444	1184	2.644	3.926	3.00	0.72 ± 0.08	3.2
14 HKY01	4.444	41	0.922	2.666	729	2.734	3.372	3.00	0.62 ± 0.10	3.3
15 THS01	6.844	69	10.08	7.999	516	6.451	15.63	2.96	2.83 ± 0.39	7.8
16 HTZ01	8.888	125	1.406	2.222	869	3.911	3.595	2.96	0.61 ± 0.07	5.0

A: 計數面積 N: 核飛跡數 ρ : 核飛跡密度 Φ : 中子通量 (中子/cm²)

s: 誘發核飛跡 i: 自發核飛跡 Cu: 鈾濃度

表五-2 磷灰石核飛跡分析結果 (第二次照射)

SAMPLE	As	Ns	ρ_s	Ai	Ni	ρ_i	ρ_s/ρ_i	Φ	Age(Ma)	Cu	
NAME	10^{-2}cm^2	10^3cm^{-2}	10^3cm^{-2}	10^{-3}cm^2		10^5cm^{-2}	10^{-3}	10^{19}cm^{-2}		ppm	
17	HTZ02	8.888	143	1.609	2.666	1824	6.841	2.352	3.63	0.52 ± 0.05	6.8
18	CS133	8.888	130	1.462	3.555	1558	4.384	3.340	3.63	0.74 ± 0.08	4.3
19	YMS-1	8.888	127	1.429	3.555	1565	4.402	3.246	3.63	0.72 ± 0.08	4.4
20	YMS-2	8.888	138	1.552	3.555	1673	4.076	3.300	3.63	0.73 ± 0.07	4.7
21	HTZ00	8.888	458	5.513	3.555	1470	4.135	12.46	3.63	2.77 ± 0.20	4.1
22	CS131	8.888	106	1.192	3.555	1348	3.792	3.145	3.63	0.70 ± 0.08	3.8
23	HKY04	8.888	92	1.035	3.555	1125	3.165	3.271	3.63	0.73 ± 0.09	3.1
24	T-126	8.888	61	0.686	3.555	825	2.321	3.007	3.63	0.67 ± 0.09	2.3
25	HKY02	8.888	79	0.889	4.444	1251	2.815	3.518	3.63	0.70 ± 0.09	2.8

A: 計數面積 N: 核飛跡數 ρ : 核飛跡密度 Φ : 中子通量 (中子/ cm^2)

s: 誘發核飛跡 i: 自發核飛跡 Cu: 鈾濃度

表五-3：核飛跡分析中子通量測定結果－磷灰石（第一次）

岩樣	標準玻璃	K 值	照射時間	面積	核飛跡數	ρ_{im}	Φ
		10^3		10^{-2}cm^2		10^5cm^{-2}	10^{15}cm^{-2}
CS101	NBS962	5.6	20分鐘	6.00	3174	5.29	2.96
CS100	NBS612	5.6	20分鐘	6.67	3321	4.98	2.79
MC-3	NBS612	5.6	20分鐘	6.22	3330	5.35	3.00
CS130	NBS612	5.6	20分鐘	6.22	3330	5.35	3.00
CS132	NBS612	5.6	20分鐘	6.22	3330	5.35	3.00
Tt202	NBS612	5.6	20分鐘	6.22	3330	5.35	3.00
T-160	NBS612	5.6	20分鐘	6.22	3330	5.35	3.00
T-142	NBS612	5.6	20分鐘	6.22	3330	5.35	3.00
T-132	NBS612	5.6	20分鐘	6.22	3330	5.35	3.00
THS07	NBS962	5.6	20分鐘	6.00	3174	5.29	2.96
THS04	NBS612	5.6	20分鐘	6.22	3330	5.35	3.00
THS06	NBS612	5.6	20分鐘	6.22	3330	5.35	3.00
THS05	NBS612	5.6	20分鐘	6.22	3330	5.35	3.00
HKY01	NBS612	5.6	20分鐘	6.22	3330	5.35	3.00
THS01	NBS962	5.6	20分鐘	6.00	3174	5.29	2.96
HTZ01	NBS612	5.6	20分鐘	6.67	3321	4.98	2.79

表五-4：核飛跡分析中子通量測定結果－磷灰石（第二次）

岩樣	標準玻璃	K 值	照射時間	面積 10^{-3} cm^2	核飛跡數	ρ in 10^5 cm^{-2}		Φ 10^{15} cm^{-2}
						10^5 cm^{-2}	10^{15} cm^{-2}	
HTZ02	NBS612	5.6	20分鐘	6.67	4321	6.48		3.63
CS133	NBS612	5.6	20分鐘	6.67	4321	6.48		3.63
YMS-1	NBS612	5.6	20分鐘	6.67	4321	6.48		3.63
YMS-2	NBS612	5.6	20分鐘	6.67	4321	6.48		3.63
HTZ00	NBS612	5.6	20分鐘	6.67	4321	6.48		3.63
CS131	NBS612	5.6	20分鐘	6.67	4321	6.48		3.63
HKY04	NBS612	5.6	20分鐘	6.67	4321	6.48		3.63
T-126	NBS612	5.6	20分鐘	6.67	4321	6.48		3.63
HKY02	NBS612	5.6	20分鐘	6.67	4321	6.48		3.63

表五-5：核飛跡分析中子通量測定結果 - 銑石（第一次）

岩樣	標準玻璃	K 值	照射時間	面積	核飛跡數	ρ in	Φ
		10^3		10^{-3}cm^2		10^5cm^{-2}	10^{14}cm^{-2}
CS130	NBS610	4.54	210秒	2.71	3940	14.54	6.59
CS104	NBS610	4.54	210秒	2.71	3940	14.54	6.59
MC-2	NBS610	4.54	210秒	2.71	3940	14.54	6.59
CS107	NBS610	4.54	210秒	2.71	3940	14.54	6.59
CS103	NBS612	56.0	210秒	29.1	3524	1.21	6.79
CS133*	NBS612	56.0	210秒	35.5	4056	1.14	6.42
T-128	NBS612	56.0	210秒	24.5	3604	1.47	6.95
T-160	NBS612	56.0	210秒	24.5	3604	1.47	6.95
T-133	NBS612	56.0	210秒	24.5	3604	1.47	6.95
T-152	NBS612	56.0	210秒	24.5	3604	1.47	6.95
THS01	NBS612	56.0	210秒	24.5	3604	1.47	6.95
THS02	NBS612	56.0	210秒	29.1	3524	1.21	6.79
THS06	NBS610	4.54	210秒	2.71	3940	14.54	6.59
HKY03	NBS612	56.0	210秒	29.1	3524	1.21	6.79
T-170	NBS610	4.54	210秒	2.71	3940	14.54	6.59

*: 第二次

$$\frac{\sigma(T)}{T} = \left\{ \left[\frac{\sigma(\rho_s)^2}{\rho_s} \right] + \left[\frac{\sigma(\rho_i)^2}{\rho_i} \right] + \left[\frac{\sigma(\phi)^2}{\phi} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

表五-1，五-2即為本研究磷灰石核飛跡分析結果。

四、鋯石分析結果

本文中利用各粒對應法分析了十五個鋯石核飛跡樣本，其結果列於附錄A中各表，由於火山熔岩及火山碎屑岩之鋯石鈾含量相當均勻，在各表的最後一列中將其中 (ρ_s/ρ_i) 值相近者加以總和，使用總面積顆粒法據以計算其年代，特別是在火山碎屑岩標本方面，以“米”表示出 (ρ_s/ρ_i) 值相近之鋯石顆粒；另外使用電腦程式（列於附錄B）根據包生分布以決定出鋯石統計曲線高峰年代，由此將磷灰石年代，鋯石年代，鋯石統計曲線高峰年代列於表五-6。而 (ρ_s/ρ_i) 之作圖則分列於附錄A中，大部份的 ρ_s/ρ_i 值皆相同，沒有太大的偏差。另外，並將同一岩石標本不同礦物之核飛跡年代列於表五-7中比較之，自表三-7中可看出除了THS06之外其他四個標本的磷灰石及鋯石核飛跡年代皆相當一致，所以在本研究中所定出之核飛跡年代應未受到火山活動後期熱活動所影響。

利用“各粒法”雖然可以避免各粒間鈾濃度不同所造成之誤差，但因是用雲母外檢測法測誘發核飛跡密度，也增加了其

表五-6：核飛跡分析年代比較表

岩 樣	鋁石統計曲線 高峰年代 (Ma)	鋁石核飛跡年代 (Ma)	磷灰石核飛跡年代 (Ma)
CS101			0.50 ± 0.09
CS100			0.51 ± 0.08
MC-3			0.52 ± 0.07
CS130	0.48	0.47 ± 0.06	0.47 ± 0.06
CS132			0.62 ± 0.07
Tt202			0.63 ± 0.09
T-160	0.61	0.62 ± 0.09	0.67 ± 0.10
T-142			0.65 ± 0.11
T-132			0.41 ± 0.06
THS07			0.62 ± 0.09
THS04			0.68 ± 0.09
THS06	0.75	0.76 ± 0.12	0.65 ± 0.09
THS05			0.72 ± 0.08
HKY01			0.60 ± 0.10
THS01	2.60	2.63 ± 0.29	2.83 ± 0.39
HTZ01			0.61 ± 0.07
HTZ02			0.52 ± 0.05
CS133	0.75	0.76 ± 0.11	0.74 ± 0.08
YMS-1			0.72 ± 0.08
YMS-2			0.73 ± 0.07
HTZ00			2.77 ± 0.20
CS131			0.70 ± 0.08
HKY04			0.73 ± 0.09
T-126			0.67 ± 0.09
HKY02			0.70 ± 0.09
CS104	0.50	0.48 ± 0.06	
MC-2	0.54	0.56 ± 0.08	
CS107	0.49	0.49 ± 0.08	
CS103	0.71	0.71 ± 0.08	
T-128	0.56	0.56 ± 0.10	
T-133	0.40	0.40 ± 0.07	
T-152	2.60	2.53 ± 0.39	
THS02	0.61	0.61 ± 0.08	
HKY03	0.75	0.77 ± 0.10	
T-170	0.59	0.61 ± 0.10	

表五-7 同一岩石標本不同礦物之核飛跡年代比較表

產地	岩性	標本號碼	磷灰石 (Ma)	鋁石 (Ma)
七星山頂	紫蘇灰石角閃石 安山岩	CS130	0.47 ± 0.06	0.47 ± 0.06
陽明山 觀光果園	火山碎屑岩	T-160	0.62 ± 0.09	0.67 ± 0.10
八斗子山	火山碎屑岩	THS06	0.76 ± 0.12	0.65 ± 0.09
丁火朽山	兩輝角閃石 安山岩	THS01	2.63 ± 0.29	2.83 ± 0.39
明德樂園	兩輝角閃石 安山岩	CS133	0.76 ± 0.08	0.74 ± 0.08

它誤差來源（如礦物與白雲母間之污染，礦物與白雲母不一樣之溶蝕係數等）。格林（Green, 1981）在核飛跡定年測定法統計上之研究中，對於“各粒法”提出了另一誤差計算公式：

$$\text{平均密度} \quad \frac{\rho_s}{\rho_i} = \sum \frac{(\rho_s / \rho_i)_j}{n}$$

$$\text{標準偏差} \quad \sigma\left(\frac{\rho_s}{\rho_i}\right) = \frac{\{\sum (\rho_s / \rho_i)^2 - [\sum (\rho_s / \rho_i)]^2\}^{1/2}}{n(n-1)}$$

其中 n 為所分析之礦物顆粒個數。

若是我們再加上中子通量（ ϕ ）可能之誤差則其最後之誤差可以下式表示之：

$$\frac{\Delta T}{T} = \left\{ \left[\frac{\sigma(\rho_s / \rho_i)}{(\rho_s / \rho_i)} \right]^2 + \left[\frac{\sigma(\phi)}{\phi} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

五、定年礦物之鈾濃度含量

礦物中鈾濃度之測定可以用白雲母片檢測材，與已磨平打光之定年礦物密接，經熱中子照射後，由白雲母片所記錄礦物之誘發核飛跡密度，即可求得相對或絕對的鈾濃度含量。式（3）即為鈾濃度之測定公式（Sun, 1971）：

$$Cu(\text{ppm}) = (Ds/Dx)(Rs/Rx)(Is/Ix)(\rho_x/\rho_s)Cus(\text{ppm}) \dots (3)$$

其中： D = 測定材料密度

R = 可溶蝕之核飛跡平均密度

I = U^{235} / U^{238} 之同位素比值

ρ = 外部雲母檢測材所記錄之誘發核飛跡密度

(若試樣用內部檢測材法，則 ρ_s 須乘以兩倍)

Cus = 標準玻璃的鈾濃度含 (ppm)

s : 表示標準玻璃 (standard glass)

x : 表示測定之試樣

依劉 (1982) 及劉 (1985) 所得之鈾濃度計算公式為：

$$\text{磷灰石: } Cu = 3.6 \times 10^{10} \times \frac{i \rho_i}{\phi} \text{ (ppm)} \dots\dots(4)$$

$$\text{鈷石: } Cu = 3.8 \times 10^{10} \times \frac{i \rho_i}{\phi} \text{ (ppm)} \dots\dots(5)$$

其中 $i \rho_i$ 為內部檢測材法所記錄之誘發核飛跡密度。

又，鈾濃度之計算誤差則依包生分佈

$$\frac{\sigma(Cu)}{Cu} = \left\{ \left[\frac{\sigma(\rho_s)}{\rho_s} \right]^2 + \left[\frac{\sigma(\phi)}{\phi} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

表五-8即為本文中定年礦物之鈾濃度測定結果。由表五-8之結果可發現大屯火山群之火山岩及火山碎屑岩的磷灰石鈾濃度分佈大致均勻 (2~8ppm)，與劉 (1985) 對紗帽山及貴子坑的標本所測得之磷灰石鈾濃度結果相當一致。而鈷石的平均鈾含量

大致在300到800ppm 之間，顯示鉻石在低鈾濃度環境，仍有極大吸收鈾元素之能力（即其對鈾元素有相當大的分配係數）。

陽明大學圖書館

表五-8 定年礦物之鈾濃度測定結果

岩 樣	鈾石鈾濃度 Cu+1 σ (ppm)	Er (%)	磷灰石鈾濃度 Cu+1 σ (ppm)	Er (%)
CS101	826 $\pm$ 43	5.17	5.0 $\pm$ 0.30	6.06
CS100			4.9 $\pm$ 0.29	5.90
MC-3			4.0 $\pm$ 0.22	5.43
CS130			4.2 $\pm$ 0.26	6.21
CS132			5.0 $\pm$ 0.29	5.83
Tt202	464 $\pm$ 24	5.27	6.2 $\pm$ 0.35	5.68
T-160			2.6 $\pm$ 0.16	6.18
T-142			3.3 $\pm$ 0.21	6.43
T-132			3.9 $\pm$ 0.24	6.24
THS07			5.0 $\pm$ 0.29	5.79
THS04	568 $\pm$ 30	5.38	2.8 $\pm$ 0.18	6.41
THS06			4.4 $\pm$ 0.26	5.89
THS05			3.2 $\pm$ 0.19	5.78
HKY01	182 $\pm$ 10	5.52	3.3 $\pm$ 0.21	6.22
THS01			7.8 $\pm$ 0.52	6.66
HTZ01	292 $\pm$ 16	5.35	5.0 $\pm$ 0.30	6.04
HTZ02			6.8 $\pm$ 0.38	5.52
CS133			4.3 $\pm$ 0.24	5.61
YMS-1			4.4 $\pm$ 0.25	5.60
YMS-2			4.7 $\pm$ 0.26	5.57
HTZ00			4.1 $\pm$ 0.23	5.64
CS131			3.8 $\pm$ 0.22	5.69
HKY04			3.1 $\pm$ 0.18	5.82
T-126			2.3 $\pm$ 0.14	6.09
HKY02			2.8 $\pm$ 0.16	5.74
CS104	453 $\pm$ 23	5.16		
MC-2	473 $\pm$ 25	5.21		
CS107	335 $\pm$ 18	5.27		
CS103	357 $\pm$ 18	5.16		
T-128	373 $\pm$ 20	5.36		
T-133	592 $\pm$ 31	5.23		
T-152	293 $\pm$ 18	6.08		
THS02	377 $\pm$ 20	5.21		
HKY03	283 $\pm$ 15	5.24		

第六章 討 論

一、核飛跡年代之意義：

一般放射性定年法能夠成功地測試出試樣生成年代 (formation age) 的先決條件在於其生成後即為一封閉系統 (close system), 尤其不可有測定法中所使用元素之交換。在核飛跡定年法中, 最重要之假設為試樣在記錄核飛跡之後, 其所含之鈾濃度含量便保持一定。關於此點假設, 可由諸多實驗結果得到證明。絕大多數物質在其能開始記錄核飛跡後之鈾濃度並未改變 (Fleisher et al., 1975)。故在使用核飛跡定年法時毋須考慮外在因素 (如風化作用、換質作用及變質作用) 所可能造成化學變化的問題, 這使核飛跡定年法得以廣泛應用。

定年物質所記錄的核飛跡雖然在常溫下能夠相當穩定長久的保存下來, 不因其他因素 (如壓力、水溶液、離子放射性作用等) 有明顯的影響; 但卻受溫度 (熱) 影響而造成核飛跡癒合作用 (annealing) 之現象 (Wanger, 1979)。每一種礦物各有其因受熱而癒合之溫度範圍, 且癒合的程度依其所受熱作用之溫度高低及受熱時間之長短有所不同。在火山定年上, 本研究所以分析年代的礦物是磷灰石及鋯石, 其封存溫度 (block

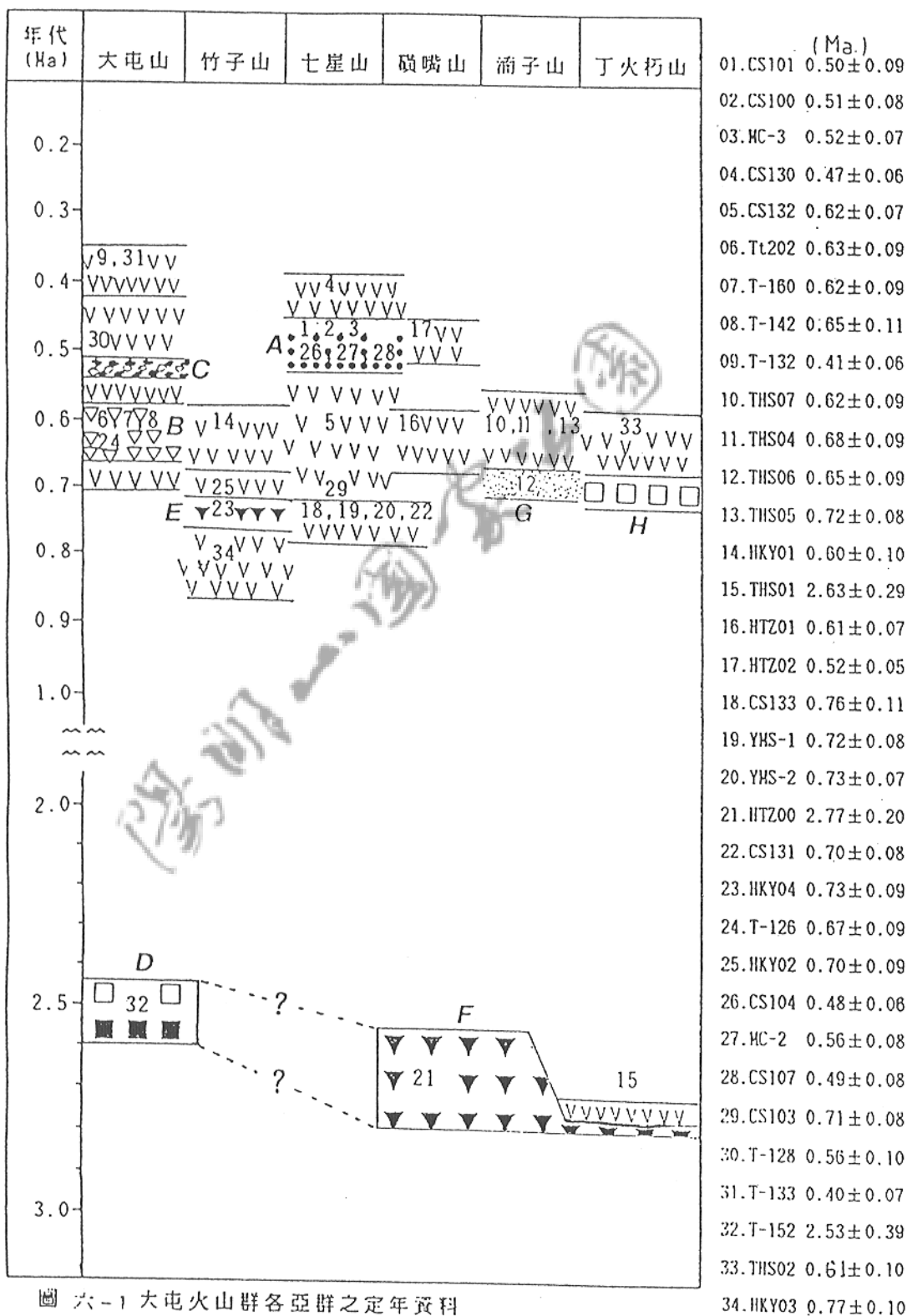
-ing temperature) 磷灰石為 $135 \pm 20^{\circ}\text{C}$ ，鋁石為 $235 \pm 50^{\circ}\text{C}$ (Liu, 1982)，在火山噴發時所產生的熔岩流高溫下（最低約 800°C ）核飛跡便會完全被癒合，又因為熔岩流的冷卻速率相當快，通常數日到數年間便冷卻到磷灰石的封存溫度下，所以在熔岩中所分析出的核飛跡年代便極接近真正噴發活動的時代。另外，火山碎屑岩的噴發溫度較低（約 $500 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 左右），同時也常夾有前次噴發產生的岩塊或基盤岩塊，其冷卻速率又常比熔岩流來得迅速，所以不易將其內的鋁石核飛跡完全癒合，在此情況下，火山碎屑岩的鋁石年代分佈便呈多峰分佈（polypeak-distribution），關於其意義將於下文中詳加討論，但是其最年輕的高峰年代應如熔岩流的情況，極接近噴發時代。

陳與楊（1984）自大屯火山區一口地熱井發現於深度 1120 公尺處所記錄的溫度為 210°C ，此溫度低於鋁石的封存的溫度，故不會對鋁石核飛跡有所影響，而比較鋁石與磷灰石之年代（表五-7），在五個標本中這兩種礦物的核飛跡年代皆極相近，此足以證明在地表上採取之標本所定出之礦物核飛跡年代並未受到熱液作用的影響。

以下分別對本地區核飛跡年代之意義作更進一步之討論：

(一)大屯火山群的噴發活動年代

將表五-8的磷灰石及鈾石核飛跡年代資料依由東到西的亞群分佈—丁火朽山亞群、湊子山亞群、磺嘴山亞群、七星山亞群、竹子山亞群及大屯山亞群，以及年代順序作圖（圖六-1），發現大屯火山群的噴發活動史可區分為兩個階段。第一個階段是約在 $2.8 \sim 2.5$ Ma.左右，此時廣泛堆積了大量的火山碎屑岩，這便是所謂的『下部凝灰角礫岩』。在此階段，大屯火山群西半部的噴發活動主要是岩漿體衝開基盤岩層，分佈於大屯山亞群，在大磺嘴溫泉區有良好的出露剖面，但表層多已長期受到硫氣作用而膠結變硬，唯由其中所夾的砂岩岩塊及堆積結構可得知係火山碎屑岩流。而在東半部，則於岩漿體衝破基盤岩層後，繼之以大規模的噴發活動，在磺嘴山、丁火朽山、及湊子山亞群底部堆積了厚達二十公尺以上的火山碎屑岩，此層在明德樂園內有良好剖面出露。同時，在丁火朽山亞群形成了一些火山熔岩（ 2.63 ± 0.29 Ma.）。由於露頭出露不良，不足以看出東西兩部份之噴發活動有否關聯性，第二階段的噴發活動可能約在 0.8 Ma.左右時開始，竹子山亞群首先噴發，其後各火山亞群便相繼同時噴發，一直持續到 0.4 Ma.左右，構成了今日大屯火山群各火山體之雛形。由於各亞群均可發現一到數層



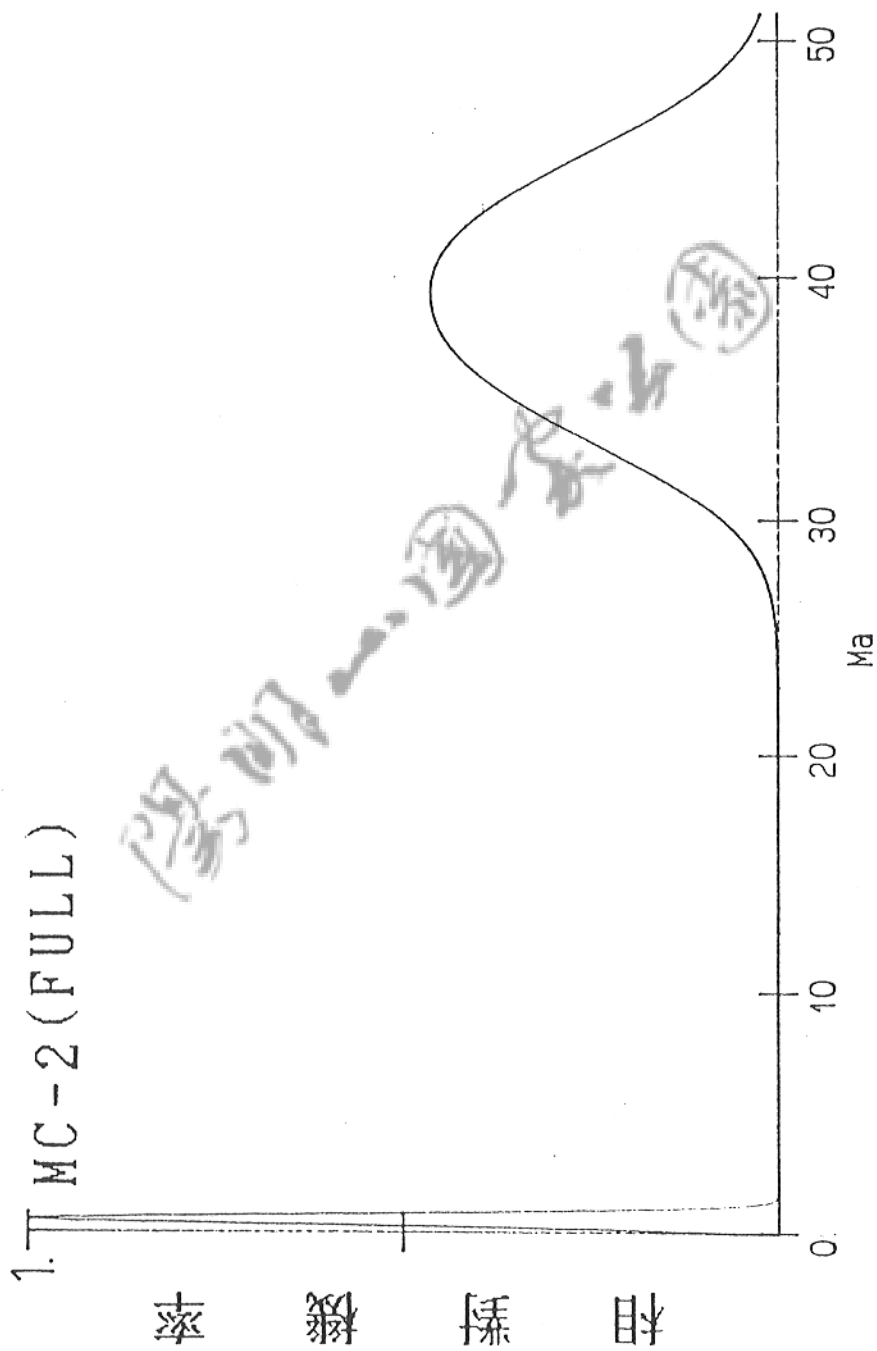
時代不同之火山碎屑岩層夾於火山熔岩間，因此『上部凝灰角礫岩』並不適於作為本階段火山層序之準繩。同時，自圖六-1可看出各亞群之上部火山碎屑岩層生成年代並不一致：大屯山亞群的是在 0.56 Ma. 左右（估計的）及 $0.63 \pm 0.09 \text{ Ma.}$ 左右各有一層；竹子山亞群的是在 $0.73 \pm 0.09 \text{ Ma.}$ 生成；七星山亞群是在 $0.50 \pm 0.09 \text{ Ma.}$ 左右生成；湳子山亞群是 $0.65 \pm 0.09 \text{ Ma.}$ 左右；丁火朽山亞群的則是在 $0.77 \pm 0.10 \text{ Ma.}$ 之前，就火山活動的時間而言，彼此生成年代也有相當的差距，故也可據以推論『上部凝灰角礫岩』一詞並不適用於本階段火山層序地層單位。

另外本研究皆在各火山亞群之最上層火山熔岩採集標本進行分析，以定出各亞群之最後一期火山活動年代，可看出除了竹子山亞群（ $0.60 \pm 0.10 \text{ Ma.}$ ）外，其他各亞群停止活動之順序大致是由東面的丁火朽山亞群（ $0.61 \pm 0.10 \text{ Ma.}$ ）及湳子山亞群（ $0.62 \pm 0.09 \text{ Ma.}$ ），向西經磺嘴山亞群（ $0.52 \pm 0.05 \text{ Ma.}$ ），七星山亞群（ $0.47 \pm 0.06 \text{ Ma.}$ ），至大屯山亞群（ $0.40 \pm 0.07 \text{ Ma.}$ ）。

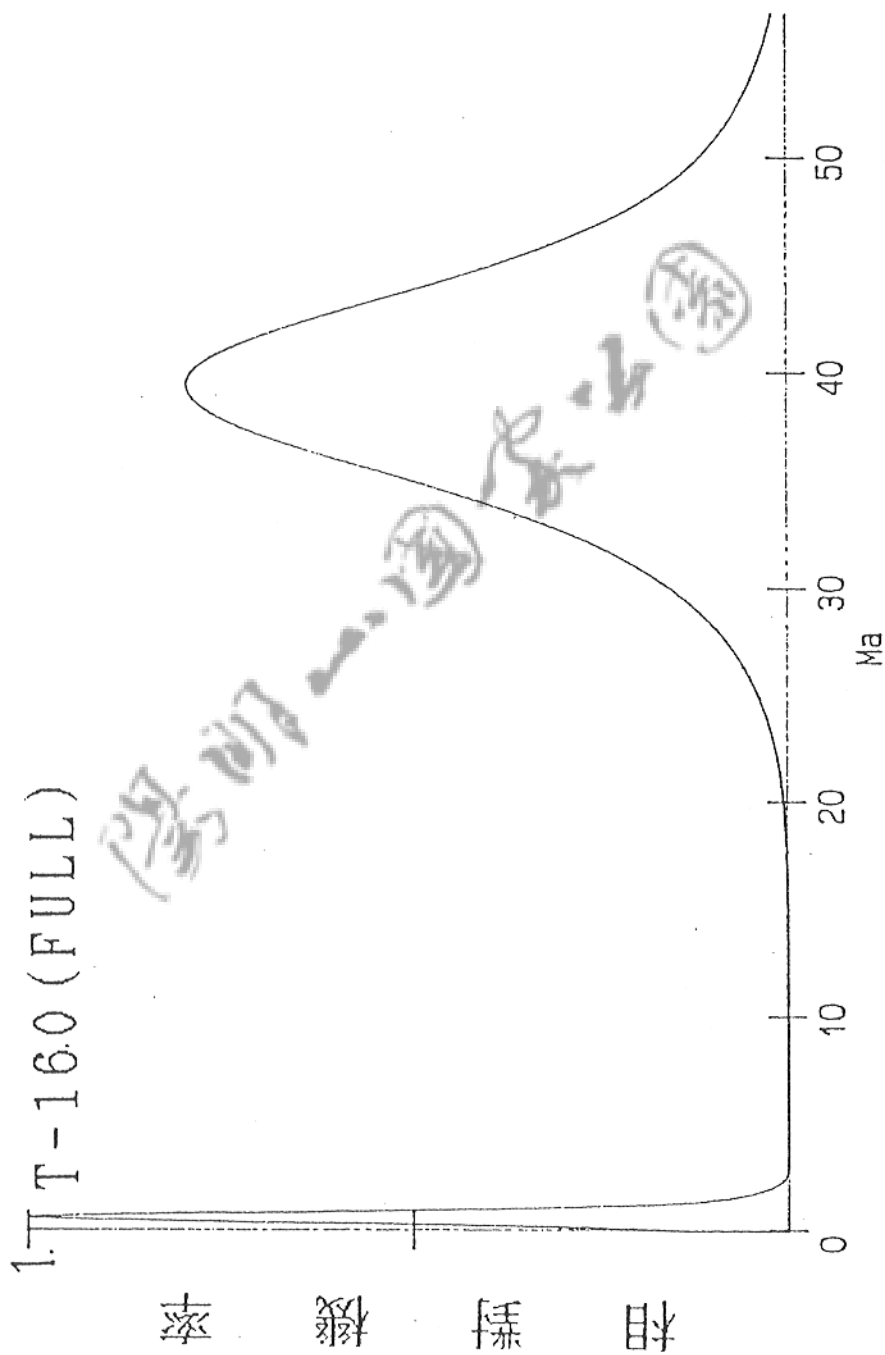
（二）、火山碎屑岩之核飛跡年代意義

火山噴發時所造成的火山碎屑物可覆蓋火山體本身及外圍

時代不同之火山碎屑岩層夾於火山熔岩間，因此『上部凝灰角
的廣大地區，並由於火山噴發所造成的火山碎屑物具有等時性
的意義，長久以來即被作為地層對比及定年的良好工具。以往
對火山碎屑物的定年都只限於火山灰層（如 Naeser et al.,
1973; Seward, 1979等），因其由風或海中洋流所攜帶而可廣
泛分佈，至於其中用來定年的材料則多半是使用其中的玻璃碎
片（glass shards）及鈾石以核飛跡定年法或鉀氬定年決定其
噴發年代。但是在太屯火山群中，細粒的火山灰層並不多見，
一方面可能是噴發型式並不適合於火山灰大量噴出，或是後期
的侵蝕及換質作用使得火山灰層消失殆盡，取代其而大量出現
的是火山碎屑流動及火山碎屑湧浪堆積層。所以本研究所分析
的十四個火山碎屑岩標本除了MC-3, CS101及HKY04是屬於彈落
堆積物（fall deposits）中的火山熔渣及火山灰以外，其他的
皆為湧浪或流動堆積物。而將這些火山碎屑的鈾石年代以包生
分佈（Poisson distribution）作出統計曲線，便呈現多峰分
佈之現象。以MC-2（圖六-2），T-160（圖六-3）及T-152（圖A-
10）為例，曲線圖皆呈雙峰分佈，因為解析度的關係，事實上
，可查照附錄 A-3, A-8及A-10 的鈾石年代分析資料，MC-2年
代較老的高峰是在40 Ma.左右，T-152 年代較老的高峰是在12
Ma.左右，T-160 的則是在40~44 Ma.左右。另根據附錄其他



圖六-2 MC-2之核飛跡年代資料分佈統計曲線全圖



Peak is at .6 Ma

圖六-3 T-160 之核飛跡年代資料分佈統計曲線全圖

各表可發現，年代大的第二高峰通常落在 20, 40, 80, 120 Ma. 附近，這現象與基盤沈積岩層中沈積物來源有關。根據熔岩流及碎屑岩中的砂岩攜獲岩多含變質砂岩 (metasand-stone) 岩屑觀之，應是木山層及五指山層為主，而根據陳等 (Chen et al., 1989) 及劉 (1989)，臺灣北部中新統及漸新統地層中之鋯石年代應不年輕於 120 Ma.，所以本研究中小於 120 Ma. 之鋯石年代則極可能代表著這些鋯石曾受到部分癒合作用 (partial annealing) 使其年紀變輕。

由於火山爆發時，火山碎屑岩本身的溫度高達 600~700°C，遠高於鋯石的封存溫度，理論上所有的鋯石核飛跡皆應完全癒合，但是火山碎屑岩的冷卻速率太快，在數月到數天內即可冷卻到鋯石之封存溫度下，所以自基盤沈積岩所攜的鋯石便來不及完全癒合，至多只有部份癒合，於是便會產生鋯石年代的多峰分佈現象。由於在噴發時岩漿庫中有原生的鋯石，待噴發後冷卻到封存溫度下即開始記錄年代，所以多峰分佈中最年輕的一個高峰年代便應是代表噴發年代。在本文中這些最年輕的高峰年代與磷灰石年代比較亦極為相近，同時將作出高峰年代的每個鋯石依 ρ_s 對 ρ_i 作圖，皆可發現呈線性分佈，此兩點足以證明多峰分佈中最年輕的高峰年代即是噴發年代之論點。至於磷灰石則無此現象，因為磷灰石不若鋯石般耐磨，在沈積物

侵蝕與搬運過程中極易受磨蝕而消失，同時其封存溫度較低（ $135 \pm 20^{\circ}\text{C}$ ），亦極易在高熱環境下（ 550°C 以上）數小時內核飛跡完全癒合，所以不至於有多峰分佈。

在附錄 A 中，火山碎屑岩的分析資料表上 "米 T" 是代表 ρ_s 對 ρ_i 值呈線性關係且年代相近之鋯石群，由於其鈾濃度相近，便總和以集團法計算出一個年代，以與統計曲線年代或磷灰石年代相比較（表五-8）。而火山熔岩的分析資料表則以 "T" 代表以集團法算出之年代，並也和統計曲線年代或磷灰石年代相比較（表五-8）。

（三）、火山外圍紅土台地之核飛跡年代意義

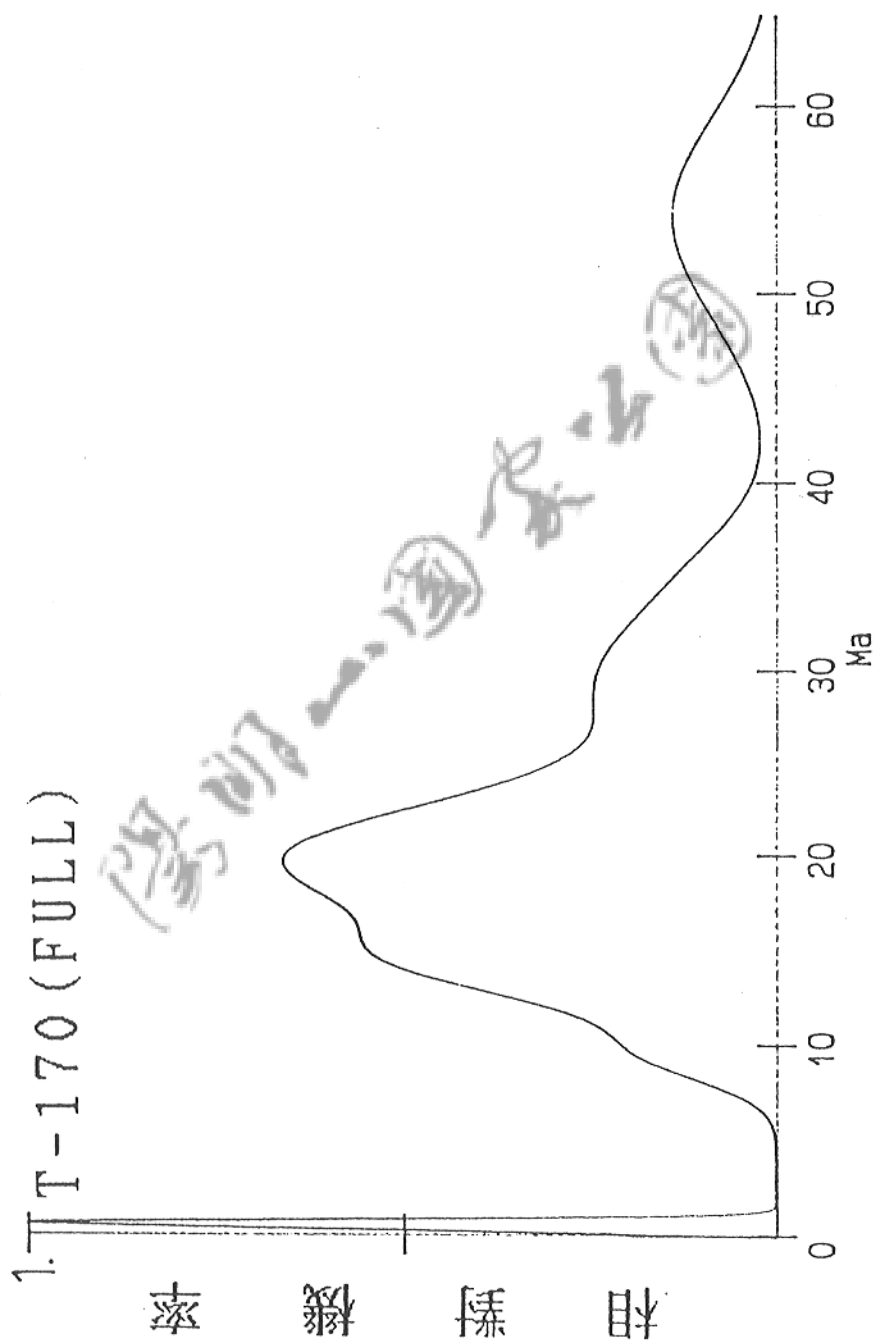
在許多有關沈積物來自火山之沈積岩核飛跡定年的論文中（如 Kowallis et al., 1986; Hurford et al., 1984）都曾指出，由鋯石年代的多峰式分佈曲線可以得出兩個結論：

- （1）通常最年輕的高峰時代大概是沈積時的年代；
- （2）由高峰年代的分佈可找出沈積盆地與周圍地區之古地地理關係。

關於第一個結論有個限制，即是這些來自火山之沈積物源應是直接來自飄浮空中的火山灰，或在噴發後不久立即搬運堆積，其中的礦物仍保持原來噴發時的尖銳外形，而非一再地搬

運而變得圓滑。

本研究在大屯火山群外圍自北新莊往三芝公路旁紅土台地採集了五公斤的紅土標本，加以分析得出銼石定資料如附錄A-15，並依包生分佈繪出高峰年代分佈圖線（圖六-4）。此標本共分析20顆銼石，其高峰年代有6組：0.58 Ma., 9.44 Ma., 14 Ma., 20 Ma., 30 Ma., 54 Ma.，而在最年輕的高峰年代中，自附錄A-15中可分成兩組：0.48 Ma及0.65 Ma，對照圖六-4及考慮火山熔岩的分佈，這些銼石可能來自大屯山或竹子山亞群（小觀音山）。由這兩組銼石年代上的差異，並可推論大屯山群西北部三芝外圍的紅土台地應不是火山熔岩或火山碎屑直接淋餘產生，而極可能是火山物質侵蝕搬運後淋餘所產生，或是在更高處形成的紅土搬運下來經海浪作用而形成紅土台地。但在採集處附近找到一層延伸甚廣之角礫狀（angular）火山岩岩塊層，岩性上以兩輝安山岩（24%）及角閃兩輝安山岩（76%）為主，其表面並沒有明顯的淋餘作用，並有一些沈積同時的細粒泥層旋捲構造（convolute structure），這些證據顯示在此區中的紅土台地是由他處紅土經過搬運及海浪作用而形成紅土台地，而且形成年代應不是在接近火山噴發活動時期，應是最近數萬年，這有待進一步之研究。至於其他的高峰年代則可能指示這些銼石大部分是來自火山噴發時自基盤沈積岩中所



Peak is at .58 Ma

圖六-4 T-170之核飛跡年代資料分佈統計曲線全圖

捕捉到的，也許有些曾經過部份癒合 (partial annealing)。

二、火山學

(一)噴發環境：

就B層而言，火山碎屑岩與其下底盤之接觸關係皆為交角不整合，而基盤的傾向走向也極為複雜，在兩者之接觸處，除了在B5及B6有沈積層外，其他的剖面如B3便是碎屑岩直接覆蓋在基盤上，這顯示噴發堆積時，基盤的表面起伏十分不規則。而B5及B6的沈積層依最上面的泥層看來是河相或極近陸之泥層，其中甚至夾有些火山物質如火山灰及完整之晶體，淘選良好，石英幾佔90%以上，而下層之黃色沙層則為海灘沙或是海邊近地表面，而此二剖面高度只100米，距其主峰1000米高度處尚有一段距離，這些證據顯示出B層是由陸上噴發而向下流到海或河邊，直接蓋在這些沈積層上。另外，其他各層火山碎屑岩與上下熔岩流接觸處也沒有沈積層，熔岩流產狀皆為厚層 (massive) 安山岩，沒有類似枕狀熔岩之產狀，甚至熔岩流及碎屑岩間所夾之攔獲岩也沒有任何未固結之沈積層或圓礫或土壤，大部份皆是超基性的富含角閃石結核，早一期之熔岩流或凝灰岩，或是已有輕度變質之基盤岩層，這也足以證明大屯火山群之噴發環境是位在水面上，而有一部份的碎屑岩流到海或河

邊，直接蓋於彼處之沈積層上，如B5及B6剖面所代表者。

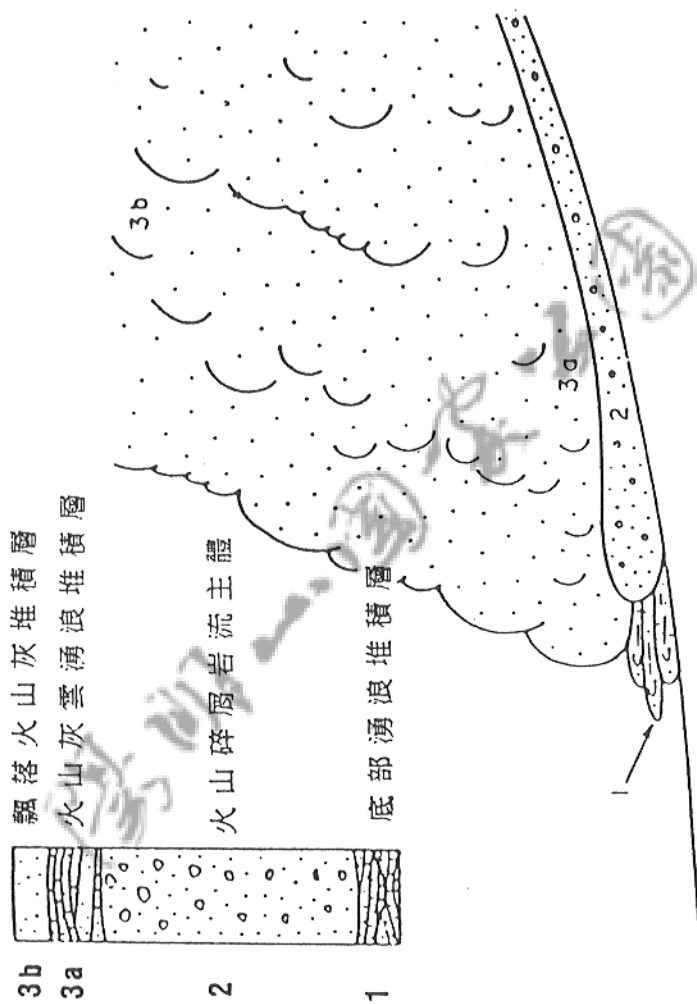
(二)噴發型式：

要說明本區中火山碎屑岩層序所代表之噴發型式，首先得先了解碎屑岩流動堆積層的構造，圖六-5便示意地表示其構造及理想化的堆積層。一次的碎屑岩流所造成的堆積物包括了三個部份：底部湧浪堆積物或底層(1, ground surge deposit or ground layer), 碎屑岩流主體(2, pyroclastic flow unit) 以及火山灰雲湧浪及飄落火山灰堆積物 (3a, ash-cloud surge deposit and 3b, air-fall ash deposit)。這樣子的層序在同次噴發中可以一或數層重疊出現 (Sparks et al., 1973; Sparks, 1976) 同時一個大型的碎屑岩流在前進時也可分成數個較小的碎屑岩流 (Smith, 1960)。不同期噴發形成的碎屑岩流可彼此交錯相疊，其界線通常是利用其他的碎屑岩層，如彈落或湧浪堆積物或次生外力碎屑堆積層 (reworked epiclastic deposits) 來劃分。

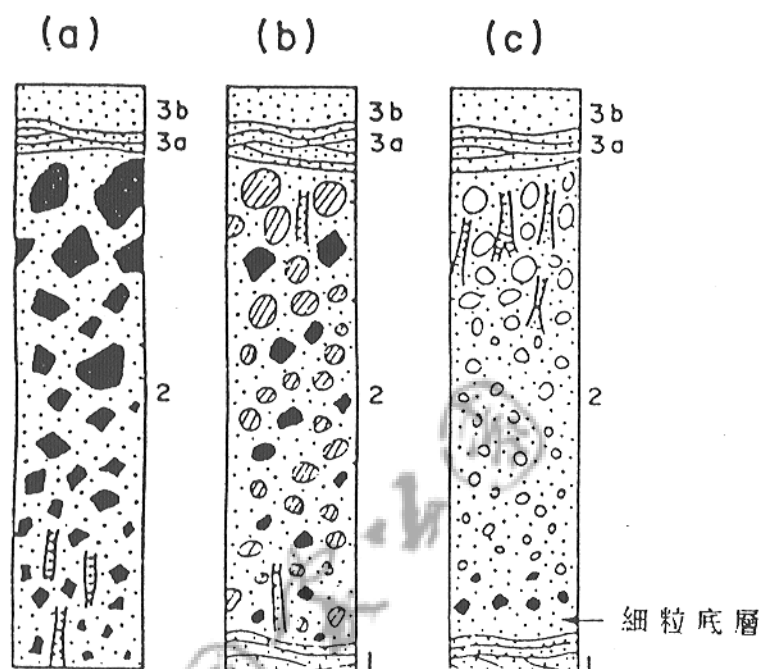
在現代的火山層序中主要有三種碎屑岩流堆積層 (Cas and Wright, 1987): (圖六-6)

a. 岩塊與火山灰流動堆積層 (block-and ash-flow deposits)

b. 火山岩渣流動堆積層 (scoria flow deposits)



圖六-5 火山碎屑岩流之結構及理想堆積層示意圖



- 同源安山岩塊
- ⊗ 具有氣孔之玄武岩質安山岩塊
- 浮石塊
- ⌈ 排氣管

圖六-6 三種主要火山碎屑岩流之理想剖面

c. 浮石流動堆積層或熔結凝灰岩 (*pumice flow deposits or ignimbrite*)

第一種岩塊與火山灰流動堆積層是由地形所控制，沒有被淘選的堆積層，具有火山灰基質及無氣孔的同源岩塊 (*Cognate lithic blocks*)，大小可達5 m，只含少量的小粒岩渣。岩塊幾乎是同一種岩性，常呈現逆粒級層 (*reverse grading*)，同時沒有焊熔 (*welding*) 的現象產生，岩塊上常出現急速冷卻產生之節理 (*chilling joint*)，排氣管 (*gas segregation pipe*) 較少。第二種火山熔渣流動堆積層也是由地形所控制，淘選不良之堆積層，具有不同數量的玄武岩質到安山岩質火山灰，多氣孔的火山礫及大到 1 米的熔渣質岩塊 (圖六-6)。有時含有大顆無氣孔之同源岩塊，常呈逆粒級層，也有少數的排氣管及碳化木頭，同樣的也沒有焊熔的現象。第三種是浮石流動堆積層或熔結凝灰岩，淘選度不佳，含不同數量之火山灰，圓的浮石礫及大至 1 米岩塊之厚層堆積物。通常在碎屑岩流主體的底部有細粒底層，且常出現一或數個焊熔帶。

在本研究中，A 層中之碎屑岩流主要的特性為：

1. 在近極相處有厚層的岩塊彈落層及熔渣彈落層 (A1 及 A4)
2. 越往外碎屑岩流越厚，在近極相，碎屑岩流大約只有 1 米厚 (A3)。

3. 碎屑岩流中岩塊有同源 (cognate) 之岩塊及岩渣，岩渣之比重大約為 1.6~2.0，粒度上。同源岩塊較大，可大到 0.8 米，而熔渣至多只有 0.2 米。值得注意的是，碎屑岩流中同源岩塊略呈逆粒級層，而在 A1 有排氣管出現，其他剖面沒有找到。

4. 碎屑岩流中同源岩塊與熔渣數量比大約是 1:1 至 2:1，熔渣的氣孔不很多，熔渣所含之主要礦物與同源岩塊皆為紫蘇輝石，角閃石及斜長石。

5. 根據威爾遜 (Wilson, 1980) 所作對碎屑岩流形式之分類，A 層之碎屑岩流所含岩塊皆為飄浮著，且沒有什麼級層排列，或略呈粒級層；底層只有一些岩塊以顆粒支持結構排列著，沒有明顯的層狀排列，這些都說明 A 層為剪力導向之級層排列 (shear-induced grading)，缺膨脹性 (expansion) 及高屈服強度 (yield strength) 而阻止了因重力所產生之粗尾級層 (coarse-tail grading)，其在增加氣流速度時之流動化行為 (fluidisation behaviour) 為非膨脹性的。

6. 只有 A3 有岩渣底層出現，其餘少有底層產生。在碎屑岩流上下常有薄層之彈落堆積層。

以上這些現象指出 A 層應是以小規模非膨脹性之熔渣流動堆積層為主，總體積約 0.16 立方公里，由於大部份的同源岩塊

少有冷卻時產生之節理，代表來自構成火山口岩壁之岩體，在某些露頭有大型岩塊(2~3米)具有麵包皮外殼 (bread-crust block)。據以造成此層之噴發型式極可能是伏堪能式噴發 (Vulcanian eruption)。

就B層而言，其所具有之特徵，大抵與A層相同，最大不同點是B層所含的岩渣較少，同源岩塊與熔渣之比例約為 3:1 到 4:1，在彈落層之熔渣較多，同時熔渣的粒度也較小，其比重約 1:3，氣孔較A層中的少。同樣的也是非膨脹性之碎屑岩流，沒有明顯之底層，其中之同源岩流略呈逆粒級層，此層較可能是岩塊與火山灰碎屑岩流所造成，體積約為0.192km³，由於具有大量之無氣孔同源岩塊，噴發型式和A相同，也應是屬於伏堪能式噴發。

(三)關於本區火山碎屑岩命名之討論

長久以來，用來稱呼本區火山碎屑岩之名詞包括了：集塊岩 (agglomerate)，凝灰角礫岩 (tuff breccia)，火山岩屑 (volcanic detritus)及火山角礫岩 (volcanic breccia)等，名詞使用上各家莫衷一是。基本上，根據 Cas & Wright (1987)，集塊岩是粗粒的火山碎屑堆積層，大部份為圓的流線型的火山彈(粒度大都 >64mm)，嚴格定義上是指一彈落堆積層，且應

靠近火山口。所以在使用此名詞以描述一火山碎屑岩時，最好能先判定其是否為靠近火山口之彈落堆積層。

凝灰角礫岩一詞則包括了兩個字—*tuff*及*breccia*，在命名上*tuff*一詞是指火山灰層成岩後之岩性—凝灰岩，其本身應是由火山噴發所直接形成，若是其中大於 2mm 的火山碎屑物，數量上大於 10% 便可使用火山礫凝灰岩 (*lapilli-tuff*) 一詞。角礫岩 (*breccia*) 一詞是指含粒度大於 2mm，角礫狀破碎的岩屑於細粒基質中，並膠結於其內的岩石，其岩屑及基質組成可為任何岩性及來源。在本區中除了碎屑岩流堆積層有此種角礫岩之特性外，其他如彈落及湧浪層大多為顆粒支持構造，而非如上所述之角礫岩基質支持構造，而且並未固結成岩，所以使用“凝灰角礫岩”一詞來統稱本區中的火山碎屑岩並不恰當。

火山角礫岩及火山岩屑兩詞在字意上皆只指出岩石組成上是源自火山物質，但在成因上並不限定於是只由火山噴發所形成，經過後期水流搬運堆積所形成之堆積物亦可以此二名詞稱呼之，所以雖然可用以使用其以稱呼本區中之火山碎屑岩，但仍無法對其有適當之描述作用。

由於本區中之火山碎屑岩並未固結，結構上仍十分鬆散，本文建議在命名上可依兩種原則——成因上的區分 (*genetic*

classification) 及岩性上的區分 (lithological classification) 來進行 (Cas and Wright, 1987)。在成因上火山碎屑岩可區分為火山碎屑彈落 (fall), 流動 (flow) 及湧浪 (surge) 堆積層並據以命名之 (詳見凱斯及萊特 (Cas and Wright, 1987))。在岩性上可依堆積層之粒度及全體粒度分佈, 組成物質以及焊熔程度來命名, 如以凝灰岩 (tuff), 火山礫凝灰岩 (lapilli tuff) 等, 本文則建議依這些原則來命名本區之火山碎屑岩:

1. 若可確定為原生 (primary) 堆積之火山碎屑岩, 則可依其成因命名為火山碎屑彈落堆積層 (pyroclastic fall deposits)、火山碎屑流動堆積層 (pyroclastic flow deposits)、及火山碎屑湧浪堆積層 (pyroclastic surge deposits); 或是依其岩性及粒度命名為凝灰岩 (tuff)、火山礫凝灰岩 (lapilli tuff)、火山角礫凝灰岩 (volcanic breccia tuff) 等。
2. 若不考慮成因或是無法確定是否為原生岩層, 則可只依岩性命名為凝灰角礫岩 (tuff breccia) 或凝灰質角礫岩 (tuffaceous breccia)、火山角礫岩 (volcanic breccia) 及火山岩屑 (volcanic detritus) 等。
3. 集塊岩 (agglomerate) 一詞應只限於用以描述靠近火山

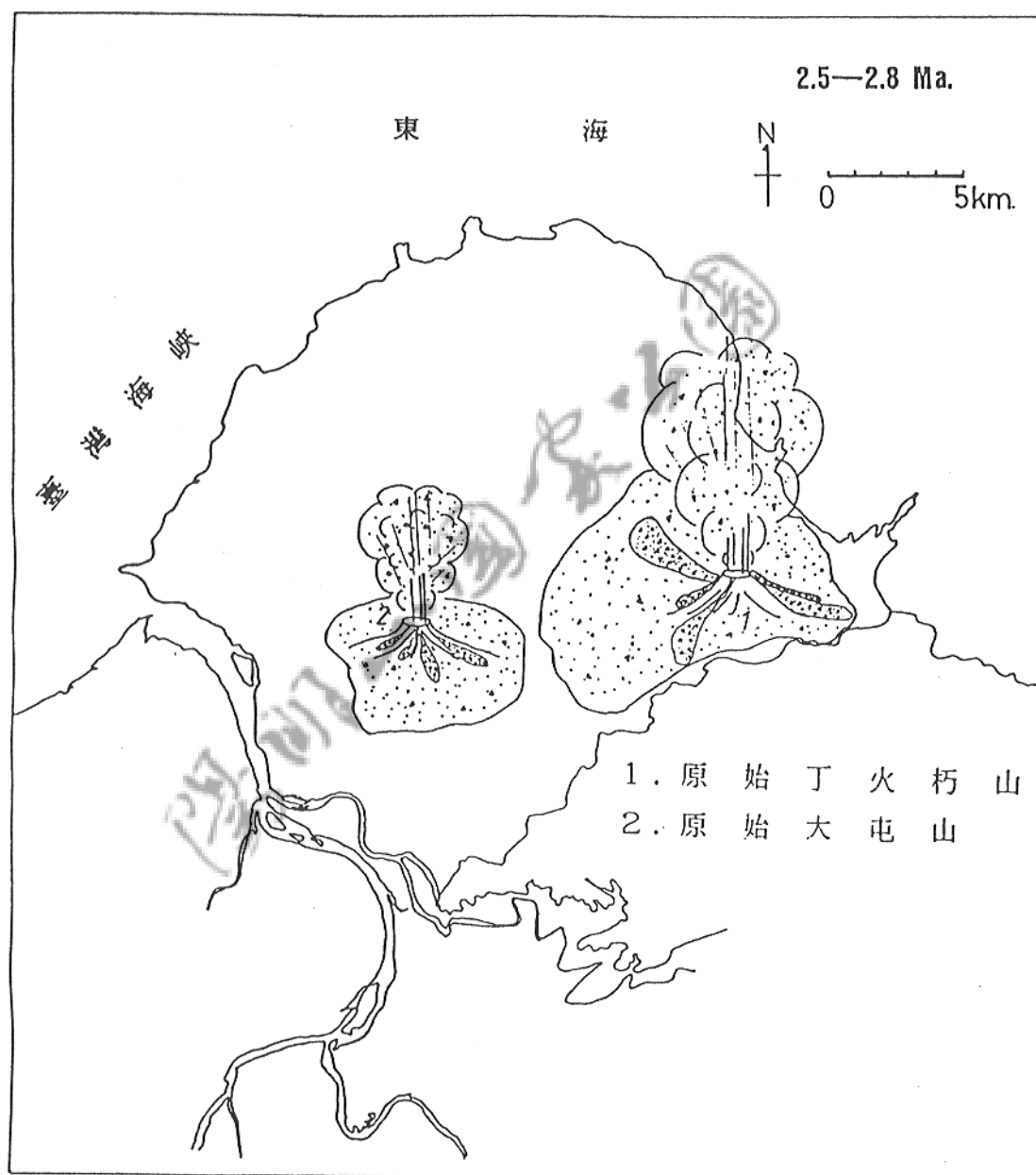
口之彈落堆積層，其組成大部分是粒度大於 64 mm. 之圓的流線型火山彈。

(三) 大屯火山群之活動史

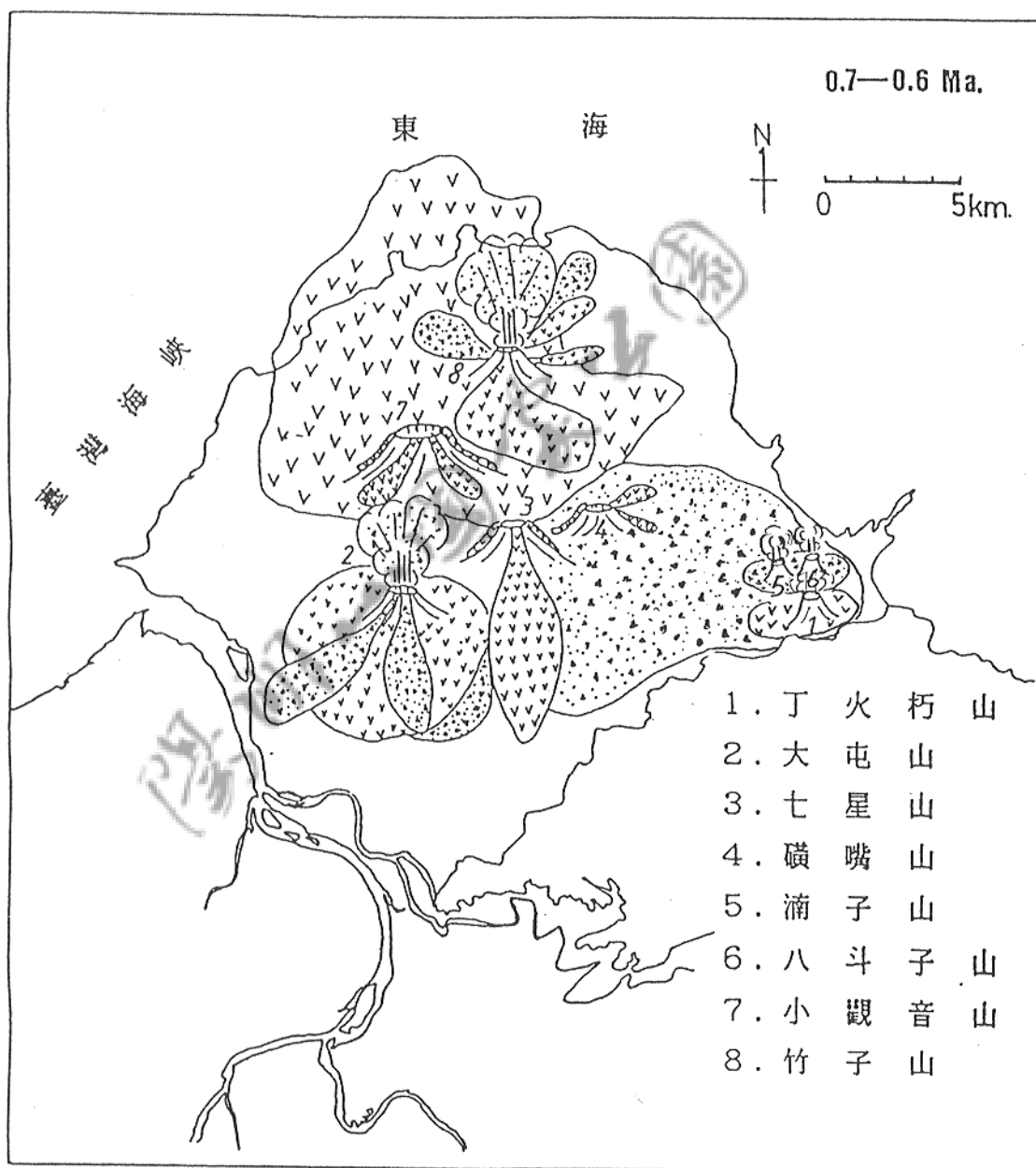
自前面有關大屯火山群之火山地質及火山岩層序之描述，配合上本研究所分析得到之核飛跡年代資料，可將大屯火山群的噴發活動史描述如下：(如圖六-7到圖六-10，其中的海岸線及河系係依現今之地圖所描繪，用以給予其中的火山一些參考座標)

第一階段之噴發：

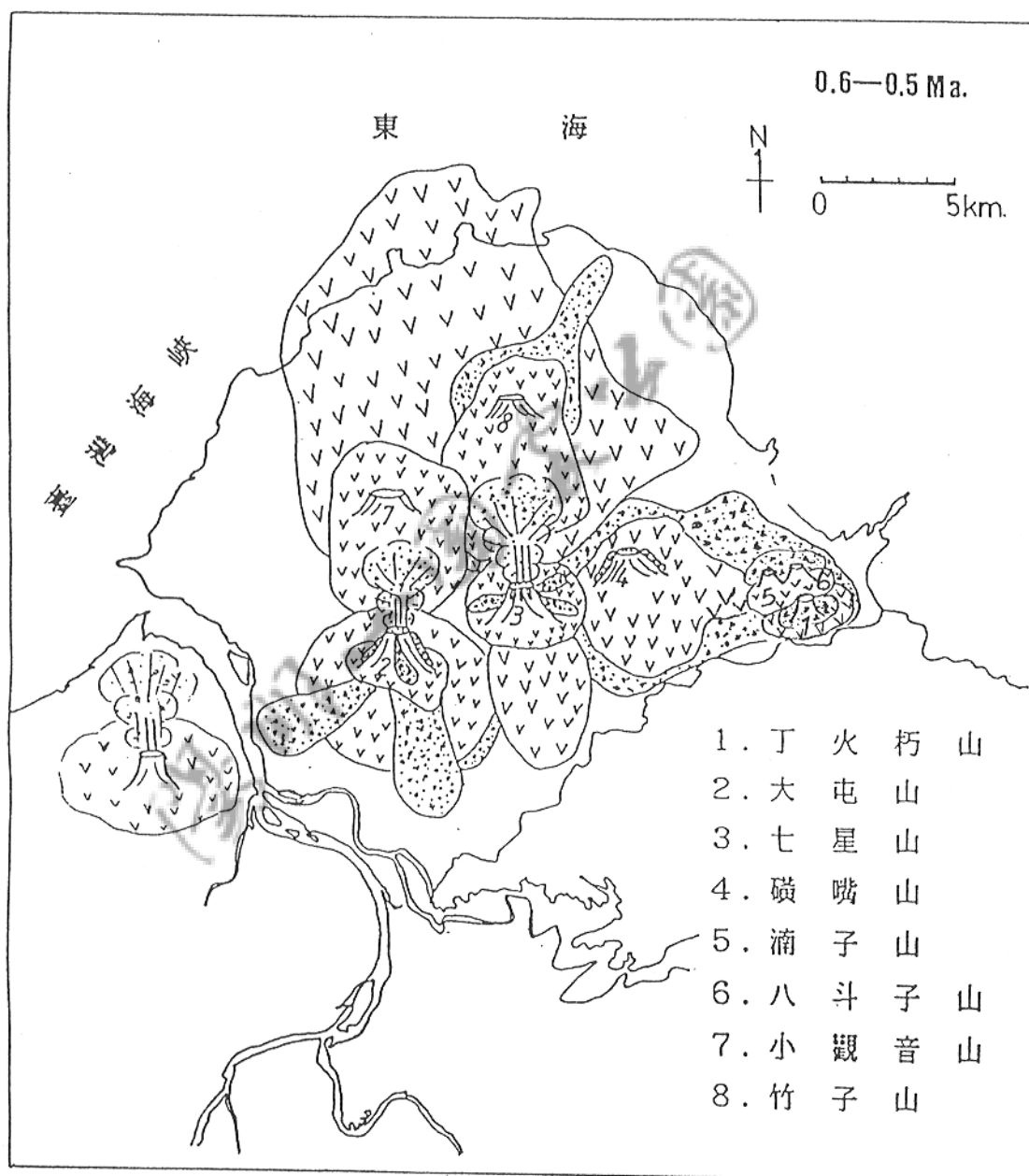
大約在 2.8 Ma. 左右，東部有座原始的丁火朽山，其大小可能比今日之丁火朽山大得多，且位置稍偏西邊一些，它在衝破底部的基盤岩層後，持續以強烈的噴發活動，大量的火山碎屑岩向四方湧入堆積，最北跨過了今日的金山逆衝斷層，東邊則直達今日之海岸線，向南因為中新世沈積岩的海拔頗高，只偶而有些快速奔湧的碎屑岩流強行流過嵌腳斷層，到達海拔約 600 米以上的中新世沈積岩上，這種接觸關係可在萬溪產業道路上找到，可見當時噴發之劇烈。這些火山碎屑岩主要產狀是基質支持結構的火山碎屑岩流動堆積層，在明德樂園內有良好的剖面顯示其與底部基盤的接觸為交角不整合接觸，接觸面不



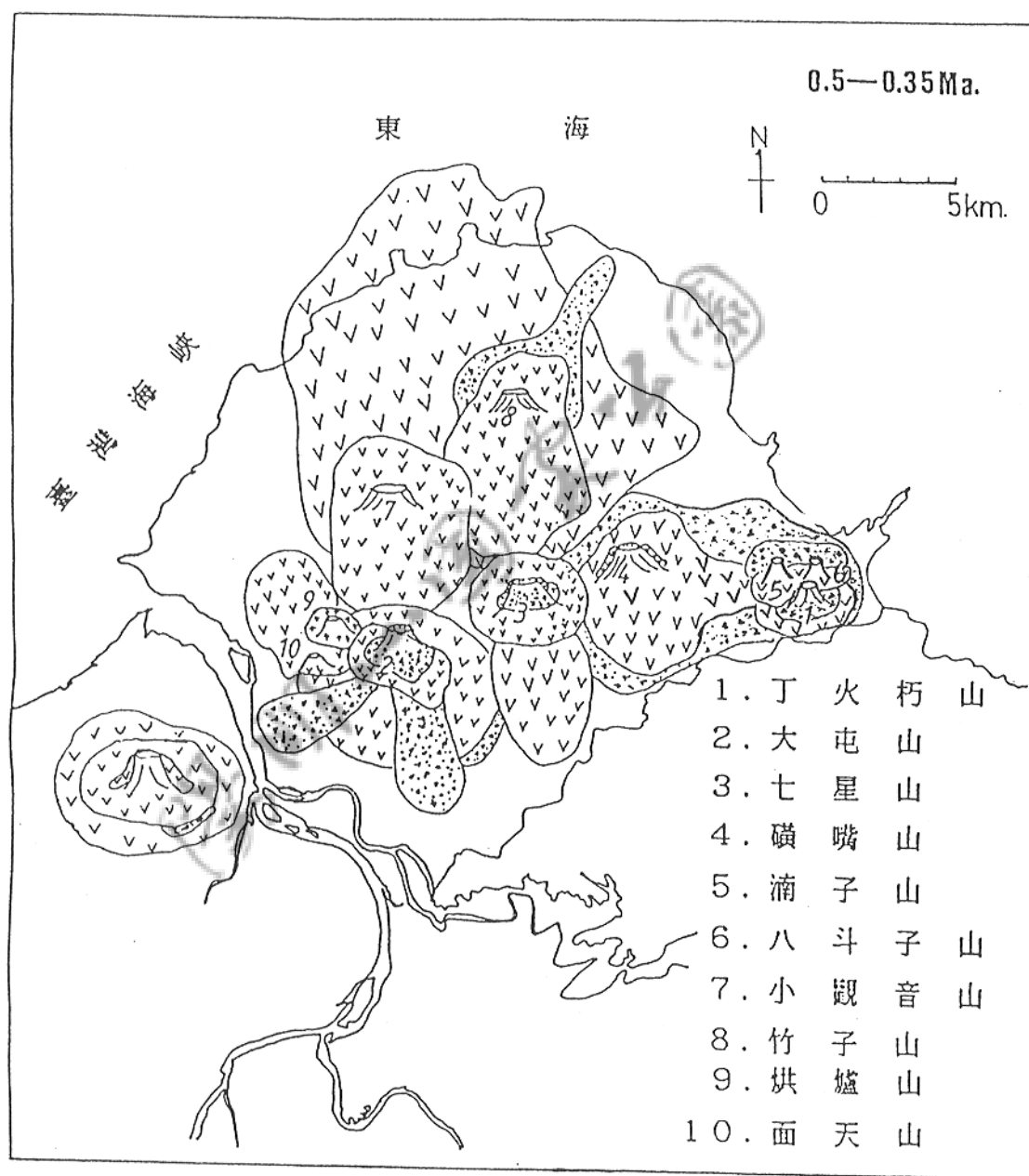
圖六-7 大屯火山群之噴發活動演變圖 (2.8-2.5 Ma.)



圖六-8 大屯火山群之噴發活動演變圖 (0.7-0.6 Ma.)



圖六-9 大屯火山群之噴發活動演變圖 (0.6-0.5 Ma.)



圖六-10 大屯火山群之噴發活動演變圖 (0.5-0.35 Ma.)

平整，顯示是陸上噴發。在大量碎屑岩覆蓋於大屯火山群東半部後，原始丁火朽山緩慢地流出一層厚約 50 米的夾橄欖石角閃石安山岩流。

在西半部，地底下的岩漿體多次嚐試衝開基盤岩層，這些可自大屯山亞群底部基盤之傾斜走向呈圓丘形排列看出來。終於在今日的大磺嘴附近有了一座想像的原始大屯山，於 2.5 Ma. 左右繼東半部之活動，西半部也有了噴發活動，但是可能基盤較厚，或是岩漿體在衝開東半部後無力再次於西半部有更劇烈的噴發，只形成了少量而局部的火山碎屑岩，其中所夾的具有尖銳稜角之砂岩岩塊便是來自基盤岩層（五指山層或木山層）。但是今日只在大磺嘴溫泉區留下可供研究之剖面，主要的安山岩岩塊是角閃石輝石安山岩。

第二階段之噴發：

根據本研究之資料，第二階段之噴發時期是自 0.8 Ma. 一直延續到 0.35 Ma.，為描述方便起見，本文約略將其劃分為三期，但事實上噴發活動本身在空間及時間上皆為連續的。

第一期事實上要源自 0.8 Ma. 左右，但是各亞群一起活動卻多在 0.7 Ma. 左右。在 0.8 Ma. 竹子山亞群首先發難，在竹子山亞群底部構成了一相當厚且分佈極廣泛分佈之熔岩流，極可能是裂隙噴發，代表岩性是富貴角及麟山鼻出露之兩輝安山岩。之

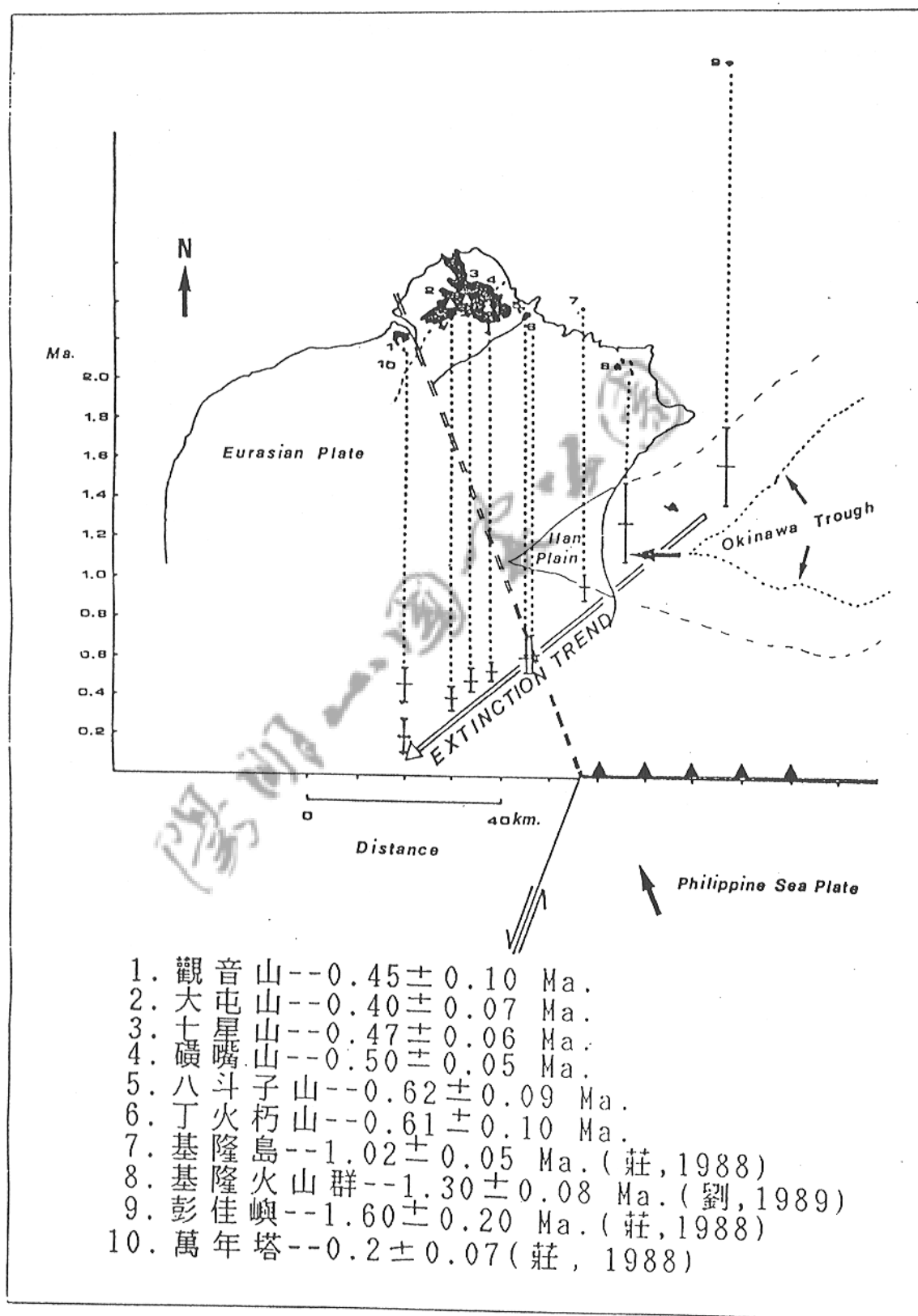
後，在 0.7 Ma. 左右，岩漿體沿金山斷層所衍生之裂縫及小斷層在丁火朽山亞群噴發造成了一層火山碎屑岩（H層），其上再覆蓋以兩輝角閃石安山岩流。在涵子山亞群則是岩漿體以排山倒海之勢衝破基盤，在地表鋪上一層碎屑岩後（G層），再蓋上夾黑雲母角閃石安山岩流。在七星山及小觀音山則是大量熔岩流靜靜地流出，前者構成了今日之華崗及仰德大道下之安山岩層，紗帽山也應是在此時自七星山側冒出（根據劉（Liu, 1985）之資料，紗帽山之年代為 0.82 ± 0.11 Ma.）；而後者相信在其熔岩流出前應有劇烈噴發，因為在北新莊的路旁有一層岩渣彈落堆積層，大小都在 64mm 以上，應是以火山彈形式噴出，由其岩性及地緣關係推測應係來自竹子山系，但由於後來的各期熔岩流覆蓋其上，而不能詳細追蹤之。在大屯山亞群則有極強烈之噴發，於早些時候流出之雙重溪熔岩流上堆積著 B 層碎屑岩，同時 B 層碎屑岩也向南及向西前進，在南邊的今日行義路上不整合蓋住木山層（剖面 B3），在西邊則衝入當時之海灘上，整合地蓋住當時的海灘，海灘堆積層下即是五指山層（剖面 B5 及 B6），在大屯山亞群原有的一個大火山（古大屯山，其可能是延續自第一階段所言之原始大屯山）因為此次的噴發在南邊炸出一個裂口，於是後來的兩輝安山岩流便向南流出，但由於前次的碎屑岩堆積太厚，便稍向西折流，形成今日之中正山熔岩流，

而古大屯山在炸開南面岩壁後，只餘留下了為當時為另外的岩壁之大屯山、南大屯山及西大屯山。此時竹子山也繼前一次之噴發，也再接著於原有的火山口再噴發一次，其所產生之碎屑岩(E層)遠抵今日之海邊，之後再流出大量的兩輝安山岩構成今日竹子山主體，蓋住E層碎屑岩，只有在核一廠的旁邊有部份出露，且因與海水作用變得難以辨認。

第二期則是自 0.6 Ma. 到 0.5 Ma.，此時各亞群因前次的噴發活動皆已具雛形，而此期的主角只餘下七星山及大屯山。七星山在 0.5 Ma. 左右有了一次大規模的噴發，在七星山主峰旁皆堆積了相當厚度之碎屑岩流，同時火山碎屑岩流動及湧浪更向西延伸進入竹子湖，將此山間低地與外隔絕，向南達仰德大道，在菁山路上仍有厚層湧浪堆積層（厚2米以上），向東則鋪成了擎天崗，之後，七星山最後一層紫蘇輝石角閃石安山岩熔岩流流出構成七星山的山頂。而大屯山此次的噴發規模較小，自原有的火山口所噴出火山碎屑岩只蓋住大屯山南側山麓，且因露頭不佳，只能勉強將其依所夾岩塊劃分出來。第三期是自 0.5 Ma. 到 0.35 Ma.，此期的劃分是由於核飛跡年代資料上得出烘爐山及面天山年代皆在 0.4 Ma. 左右，所以可能是延續著第二期大屯山的噴發活動而流出熔岩流成火山丘，嚴格言之並不足以構成一期火山活動。

四、大屯火山群停止活動年代之板塊構造意義

將本研究前文所論及之各亞群最後停止活動年代配合台灣北部其他火山岩之定年資料：觀音山-- 0.45 ± 0.10 Ma. (附錄)；基隆島-- 1.02 ± 0.05 Ma. (莊文星, 1988)；基隆火山群-- 1.30 ± 0.08 Ma. (劉聰桂, 1989, 個人交談)；彭佳嶼-- 1.60 ± 0.20 Ma. (莊文星, 1988)；及萬年塔-- 0.20 ± 0.07 Ma. (莊文星, 1988)，依地理位置及年代投影到菲律賓海板塊隱沒於歐亞板塊之界線上，則可得到一個年代與地理位置之線性關係(圖六-11)稱之為“火山活動停止線”。就本圖之地理位置而言，此線最東端是彭佳嶼，最西端是觀音山及萬年塔。最早的停止活動年代不超過 2.0 Ma. (Letouzey & Kimura, 1986)，而使島弧性火山活動逐步停止的原因不外是隱沒運動停止，隱沒運動改變方向，或是其他原因使岩漿供應中斷。前述兩個原因可因為菲律賓海板塊仍在活動而自動刪除，至於最後一個原因，則可考慮約在 2.0 Ma. 張裂之沖繩海槽，若將其位置繪於上述座標上，可清楚得出其與火山活動停止線間之關係：當沖繩海槽自約 2.0 Ma. 開始向南北張裂時，其西端也同



圖六-11 火山活動停止線示意圖

時更向西遷移，如此的張裂運動提供了供應給前述島弧火山體之岩漿一個新的移動路徑，也同時對原有之島弧火山岩漿流出管道進行扼擠，此二作用便可使島弧火山停止活動。當沖繩海槽逐漸西移，岩漿供應便逐步轉移，所以原有島弧火山體便因沒有岩漿供應而停止活動，此一現象隨沖繩海槽之西移而向西延伸，最後構成了圖六-11 所繪之火山活動停止線，而像龜山島則是代表著岩漿體轉移後在沖繩海槽中新生之火山體。

第七章 結 論

一、大屯火山群的噴發活動年代可分為兩個階段：第一個階段是約在2.8~2.5 Ma.左右，此時的噴發活動以岩漿體衝開基盤之活動性質為主，東西兩部份的活動皆產生了大量的火山碎屑岩。第二階段是約自0.8 Ma.到0.35 Ma.左右，此時各亞群皆陸續有劇烈的噴發活動，產生了大量的熔岩流及火山碎屑岩構成了複式火山。

二、在第二階段的噴發活動中，各亞群皆起始於0.7 Ma.左右，而停止噴發的順序是由東而西：丁火朽山亞群 (0.61 ± 0.10 Ma.)，湊子山亞群 (0.62 ± 0.09 Ma.)，磺嘴山亞群 (0.52 ± 0.05 Ma.)，七星山亞群 (0.47 ± 0.06 Ma.)，大屯山亞群 (0.40 ± 0.07 Ma.)。

三、本區內的火山碎屑岩依其中所夾的岩塊，地層層序及定年資料可區分成八層，其中的F層及D層因為噴發年代相，所以可稱為『下部凝灰角礫岩』外，其他各層不僅成因上迥異，且年代亦不一致，不宜再以『上部凝灰角礫岩』稱呼之，本文建議以凱斯及萊特 (1987) 所提之命名原則稱呼之。

四、本區內的A層是屬於七星山亞群，其中的碎屑岩流是堆積層屬於火山岩渣流動堆積層 (scoria flow deposits)，體積約 0.16 立方公里，年代為 0.50 ± 0.09 Ma.，B層是屬於大屯山亞群，其中的碎屑岩流堆積層是屬於岩塊與火山灰碎屑岩流動層 (block-and ash-flow deposits)，體積約為 0.192 立方公里，年代約為 0.63 ± 0.09 Ma.，A層與B層皆是非膨脹性之碎屑岩流，其噴發型式是伏堪能式噴發 (Vulcanian eruption)，其噴發環境皆是陸上噴發，而其餘各層依野外產狀及堆積形式，也應具有相同之噴發型式及噴發環境。

五、火山碎屑岩之核飛跡定年分析顯示：銻石定年資料多呈雙峰或多峰分佈，而最年輕的高峰則代表著真正的噴發年代，其他的高峰年代則是代表著擲獲的基盤銻石年代，或是銻石的部分癒合年代。

六、在大屯山亞群外圍之紅土台地上分析出的銻石核飛跡最年輕的高峰呈現出兩組年代 (附錄A-15)，為 0.48 Ma. 及 0.65 Ma.，這種年代分佈表示此紅土台地不是火山熔岩或火山碎屑岩直接淋餘產生的，而極可能是火山物質侵蝕搬運後淋餘所產生的。

七、本區的安山岩中磷灰石鈾濃度分佈大致均勻 (2~8 ppm.)，與劉 (1985) 對紗帽山及貴子坑的標本所測得之磷灰石鈾濃

度結果一致。而鈾石的平均鈾含量大致在 300 到 800 ppm. 之間，顯示鈾石具有極強的吸收鈾元素能力（即其對鈾元素有相當大的分配係數）。

八、將本研究之各亞群最後停止年代配合上臺灣北部其他火山岩之定年資料，可得到一個年代與地理位置之線性關係，稱之為火山活動停止線，其代表包括大屯火山群在內之臺灣北部火山活動由東向西之停止順序是由於沖繩海槽張裂，並向西移動所致。

參 考 文 獻

- 礦研所 (1969), 大屯火山群地熱探勘工作報告之一, 礦研所報告第 90 號。
- 礦研所 (1970), 大屯火山群地熱探勘工作報告之二, 礦研所報告第 102 號。
- 礦研所 (1971), 大屯火山群地熱探勘工作報告之三, 礦研所報告第 111 號。
- 礦研所 (1973), 大屯火山群地熱探勘工作報告之四, 礦研所報告第 126 號。
- 王執明等 (1985), 大屯火山群之熔岩及北部濱海地質簡介, 台灣省教育廳, 科學教育資料叢書(X)。
- 陳培源 (1961), 大屯火山群之熔岩及火山碎屑岩之後火山換質作用, 台大地質系研究報告, 第 9 號。
- 林朝棨 (1957), 臺灣地形, 臺灣省文獻委員會, 424頁
- 鄧國雄 (1988), 陽明山國家公園之地形研究, 陽明山國家公園管理處委託研究報告, 163 頁
- 蔡博富 (1985), 大屯火山群之古地磁學研究, 臺灣大學地質學研究所碩士論文, 175頁
- 楊燦堯 (1987), 臺灣東部海岸山脈奇美火成雜岩之岩石化學及核飛跡研究, 臺灣大學地質學研究所碩士論文, 123頁

- Cas, R. A. F. and Wright, J. U. (1987) Volcanic successions - Modern and ancient: Allen & Unwin, London, 528pp.
- Chen, Cheng-Hong (1975) Petrology and chemical study of volcanic rocks from Tatun volcano group: Proc. Geol. Soc. China, no.18, p.55-72.
- Chen, Cheng-Hong (1977) Geochemistry and origin of Pleistocene volcanic rocks from northern Taiwan: Ph. D. Dissertation Inst. Geol. Nat. Tai. Univ.
- Chen, Cheng-Hong (1978a) Petrochemistry and origin of Pleistocene volcanic rocks from northern Taiwan: Bull. Volcano., vol.41, p.514-528.
- Chen, Cheng-Hong (1978b) Significance of ultrabasic inclusions in Tatun volcano group, northern Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, no.21, p.86-91.
- Chen, Cheng-Hong (1982) Petrological and geochemical study of the shoshonitic rocks of the Kuangyinshan area, Northern Taiwan: Acta Geol. Taiwan., no.21, p.33-62.
- Chen, Cheng-Hong (1983) The geochemical evolution of Pleistocene obsidian, shoshonite and high-alumina basalt in northern Taiwan: Mem. Geol. Soc. China, no.5, p.85-96.
- Chen, Cheng-Hong and Lo, H. J. (1985) Petrology and andesitic dike and its cognate inclusions from Kuangyinkeng, northern Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, no.28, p.83-105.
- Chen, C. H., Jahn, B. M., Lee, T., Chen, C. H. and Cornichert, J. (1989): SM-ND isotopic geochemistry of sediments from Taiwan and implications for the tectonic evolution of SE China: Chemical Geology (in press).
- Chen, Chou-hsia (1978), Geology and Geothermal Power Potential of the Tatun Volcanic Region, Geothermics, SPECIAL ISSUE 2.

- Chen, Chao-Hsia and Wu, Y. T. (1971) Volcanic geology of the Tatun geothermal area, northern Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, no.14, p.5-20.
- Chen, C. H. and Yang, H. Y. (1984) Mineral paragenesis in the hydrothermal alteration of andesites as exemplified by a geothermal well in Tatun Volcanic Area, northern Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, no. 27, pp. 68-85
- Chen, P. Y. (1961) Post volcanic alteration of andesite lavas and pyroclasts in Tatun Volcanic Group, Taipeiien, Taiwan: Acta Geol. Taiwanica, no. 9, pp. 19-38
- Chen, P. Y. (1965) On the xenoliths of sandstone and shale in andesite from Chihsinshan, Tatun Volcanic Group, Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, no. 8, pp. 91-96
- Deguchi, Y. (1912) Report on the geology of the Tatun Volcano Group (in Jap.): Jour. Geol. Soc. Japan, Vol. 4, pp. 282-284
- Fuh, T. M. (1968) Sedimentary xenoliths from andesite in the vicinity of Chutzushan, Taiwan: Acta Geol. Taiwanica, no. 12, pp. 9-14
- Hsu, I. C., Kienzle, J., Scharon, L. and Sun, S. S. (1966) Paleomagnetic investigation of Taiwan igneous rocks: Bull. Geol. Surv. Taiwan, no. 17, pp. 27-81
- Hurford, A. J., Fitch, F. J. and Clarke, A. (1984) Resolution of the age structure of the detrital zircon populations of the two Lower Cretaceous Sandstones from the Weald of England by fission track dating: Geol. Mag. Vol. 121, no. 4, pp. 269-277
- Juan, U. C., Hsu, L. C. and Yao, T. S. (1963) High-alumina basalt from northern Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, no.6, p.67-71.
- Juang, W. S. and Bellon, H. The potassium-argon dating of andesites from Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, no.27, pp. 86-100.

- Kowallis, B. J., Heaton, J. S. and Bringham, K. (1986) Fission track dating of volcanically derived sedimentary rocks: *Geology*, 4, pp. 19-22
- Ku, T. L. et al. (1959) Geology of Tatun volcano 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) Paleomagnetic study of the Tatun Volcanic Group: *Bull. Inst. Earth Sci. Academia Sinica*, Vol. 5, pp. 137-150
- Letouzey, J. and Kimura, M. (1986) The Okinawa Trough: Genesis of a back-arc basin developing along a continental margin: *Tectonophysics*, 125, pp.209-230.
- Liu, T. C. and Huang, W. L. (1983) High pressure petrological study of Tatun volcanic rocks from northern Taiwan: *Mem. Geol. Soc. China*, no. 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., National Taiwan Univ., 95pp.
- Liu, T. K., Chen, Cheng-Hong and Jiang, S. H. (1986) Fission-track study of igneous rocks from northern Taiwan: A report to NSC (NSC72-0202-M002-03).
- 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*, no. 21, pp. 221-229
- Liu, T. K., Wang, Y. and Lu, H. Y. (1988) Fission track dating of the Hsuehshan Range: thermal record due to arc-continent collision in Taiwan: *Acta Geologica Taiwanica*, no. 26, pp.279-290

- McClelland, E. A. and Ruitt, T. H. (1989) Paleomagnetic estimates of emplacement temperatures of pyroclastic deposits on Santorini, Greece: *Bull. Volcanol.* 51, pp.16-27
- Naeser, C. W., Gleadow, A. J. . and Wagner, G. A. (1979) Standardization of fission-track data reports: *Nucl. Tracks*, Vol. 3, pp. 133-136
- Ogasawara, M. and Ooe, J. (1932) Explanatory text of the geological map of Taiwan: Daitonzan Sheet, Bur. Prod. Ind., Government-General of Taiwan, Pub. no. 653
- Oshima, S. (1987) Report on the geology of the Tatum Volcano Group (in Jap.): *Jour. Geol. Soc. Japan*, Vol. 1, pp. 28-43
- Self, S. and Sparks, R. S. J. (1981) *Tephra studies*: Dordrecht: D. Reidel.
- Sheridan, M. F. (1979) Emplacement of pyroclastic flows: A review: in "Ash-flow Tuff", *Geol. Soc. Am. Special Paper* 180, pp.125-134.
- Sheridan, M. F. and Marshall, J. R. (1983) Interpretation of pyroclast surface features using SEM images: *J. Volcano. Geotherm. Res.* Vol. 16, pp. 153-159
- Smith, R. L. (1960) Ash-flows: *Geol. Soc. Am. Bull.* 71, pp.795-842
- Sparks, R. S. J., Self, S. and Walker, G. P. L. (1973) Products of ignimbrite eruptions: *Geology* 1, pp. 115-118
- Sparks, R. S. J. (1976) Grain size variation in ignimbrites and implications for the transport of pyroclastic flows: *Sedimentology* 23, pp. 147-188
- Sparks, R. S. J. (1986) The dimensions and dynamics of volcanic eruption columns: *Bull. Volcanol.* 48, pp. 3-15.
- Sun, S. S. (1971) Fission track study of the Cheney Pond titaniferous iron ore deposits, Taham, New York: Ph. D. thesis Dept. Earth Sci. Washington Univ., 134pp.
- 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*, no. 2, pp. 13-41

- Wagner, G. A. (1979) Correction and interpretation of fission tracks. in Jager, E. and Hunzider, J. C. (eds.) Lectures in isotope geology: Springer-Verlag, New York, pp. 178-177
- Walker, G. P. L. (1971) Grainsize characteristics of pyroclastic deposits: J. Geology, 79, pp. 696-714.
- Walker, G. P. L. (1981) Generation and dispersal of fine ash and dust by volcanic eruptions: J. Volcano. Geotherm. Res. 11, pp. 81-92.
- Walker, G. P. L. (1983) Ignimbrite types and ignimbrite problems: J. Volcano. Geotherm. Res. 17, pp. 65-88
- Walker, G. P. L. (1985) Origin of coarse lithic breccias near ignimbrite source vents: J. Volcano. Geotherm. Res. 25, pp. 157-171.
- Walker, G. P. L., Wilson, C. J. N. and Froggatt, P. C. (1981) An ignimbrite veneer deposit: the trail marker of a pyroclastic flow. J. Volcano. Geotherm. Res. 9, pp. 409-421.
- Wang, Y. (1970) Variation of potash in the Pleistocene andesite from Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, no. 13, pp. 41-50
- Wilson, C. J. N. (1980) The role of fluidisation in the emplacement of pyroclastic flows: An experimental approach: J. Volcano. Geotherm. Res. 8, pp. 231-249
- Wilson, C. J. N. (1984) The role of fluidisation in the emplacement of pyroclastic flows, 2: experimental results and their interpretation: J. Volcano. Geotherm. Res. 20, pp. 55-84
- Wilson, C. J. N. & Walker, G. P. L. (1982) Ignimbrite depositional facies: the anatomy of a pyroclastic flow. J. Geol. Soc. Lond. 139, pp. 581-592.
- Wohletz, K. H. and Sheridan, M. F. (1979) A model of pyroclastic surge: Geol. Soc. America, Special Paper 180, pp. 177-194

- 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) Cenozoic volcanic activity in Taiwan: Taiwan Min. Indus., Vol. 10, pp. 1-39
- Yen, T. P., Tzou, Y. H. and Lin, W. H. (1984) Subsurface geology of the region of Tatun Volcanic Group: Petro. Geol. Taiwan, no. 20, pp. 143-154

附 錄 A

鉛石核飛跡分析結果

陽明大學圖書館

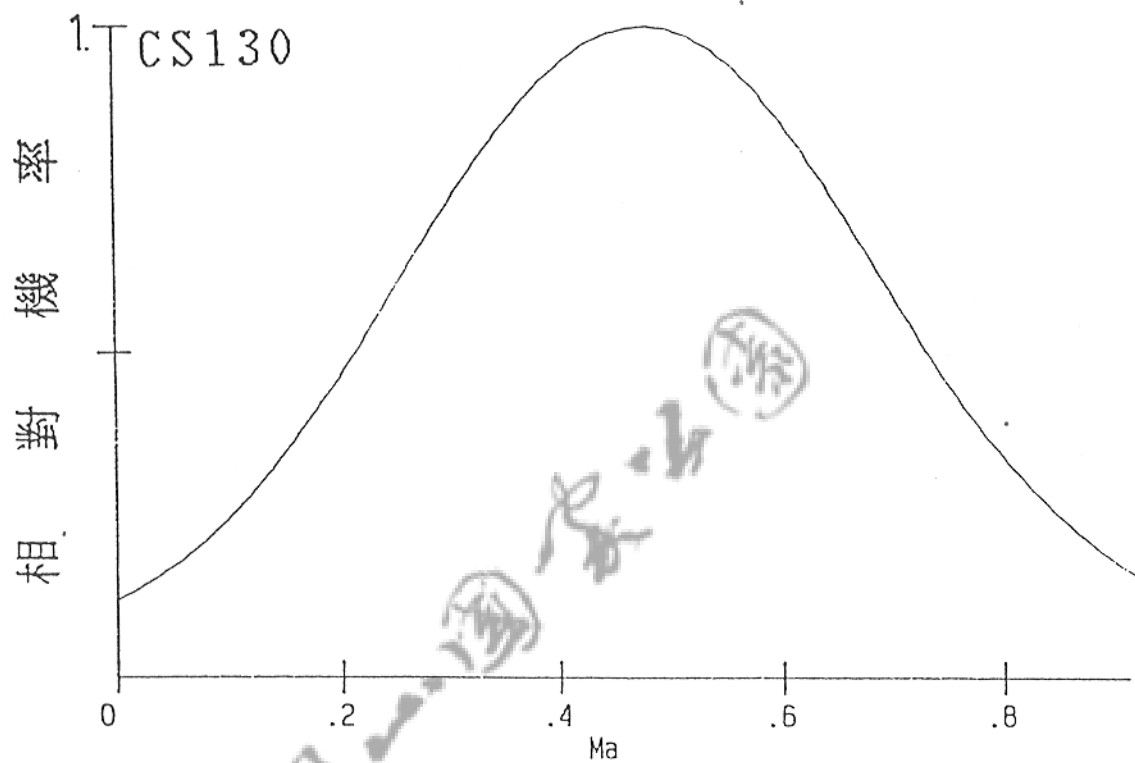
附錄 A-1 鋯石核飛跡分析結果-CS130

Grain No.	Gs	Ns	ρ_s 10^{-2}	Gi	Ni	ρ_i	ρ_s / ρ_i 10^{-3}	Age (Ma)	Cu ppm
01	100	5	5.00	100	735	7.35	6.80	0.27 ± 0.12	904
02	89	7	7.87	89	589	6.62	11.88	0.48 ± 0.18	814
03	74	4	5.41	74	351	4.47	11.40	0.46 ± 0.23	583
04	69	2	2.90	69	172	2.49	11.63	0.47 ± 0.33	306
05	65	2	3.08	65	169	2.60	11.83	0.48 ± 0.34	320
06	112	9	8.04	112	752	6.71	11.97	0.48 ± 0.16	825
07	100	11	11.00	100	928	9.28	11.85	0.48 ± 0.16	1141
08	77	8	10.39	77	677	8.79	11.82	0.48 ± 0.17	1081
09	70	7	10.00	70	527	7.53	13.28	0.54 ± 0.21	926
10	82	10	12.20	82	729	8.89	13.72	0.55 ± 0.18	1093
T10	838	65	7.76	838	5629	6.72	11.54	0.47 ± 0.06	826

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量 $=6.59 \times 10^{14}$
中子 / cm^2

s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈾濃度 T10:共10粒

註: T10 表示共有十顆鋯石可以集團法計算其年代, 本附錄中各表皆有此項, 詳見本文。



Peak is at .48 Ma

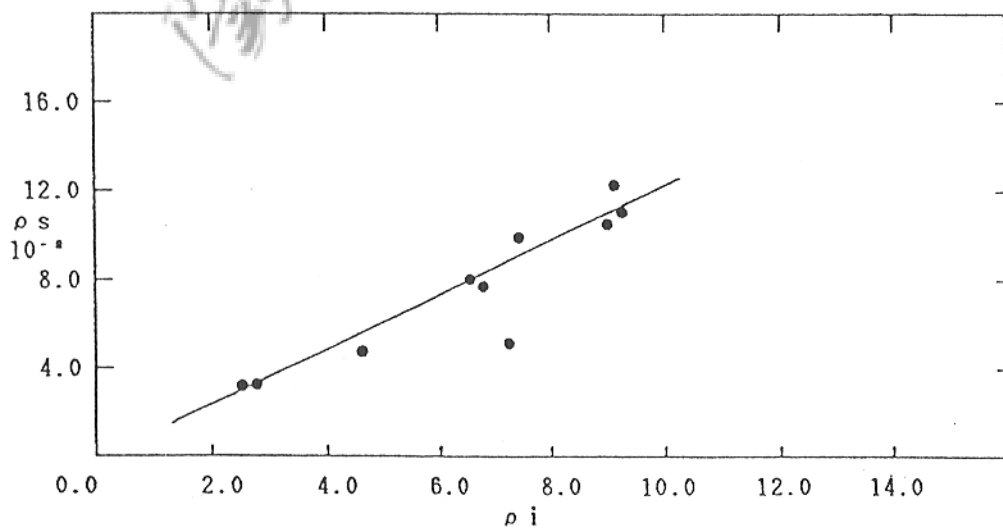
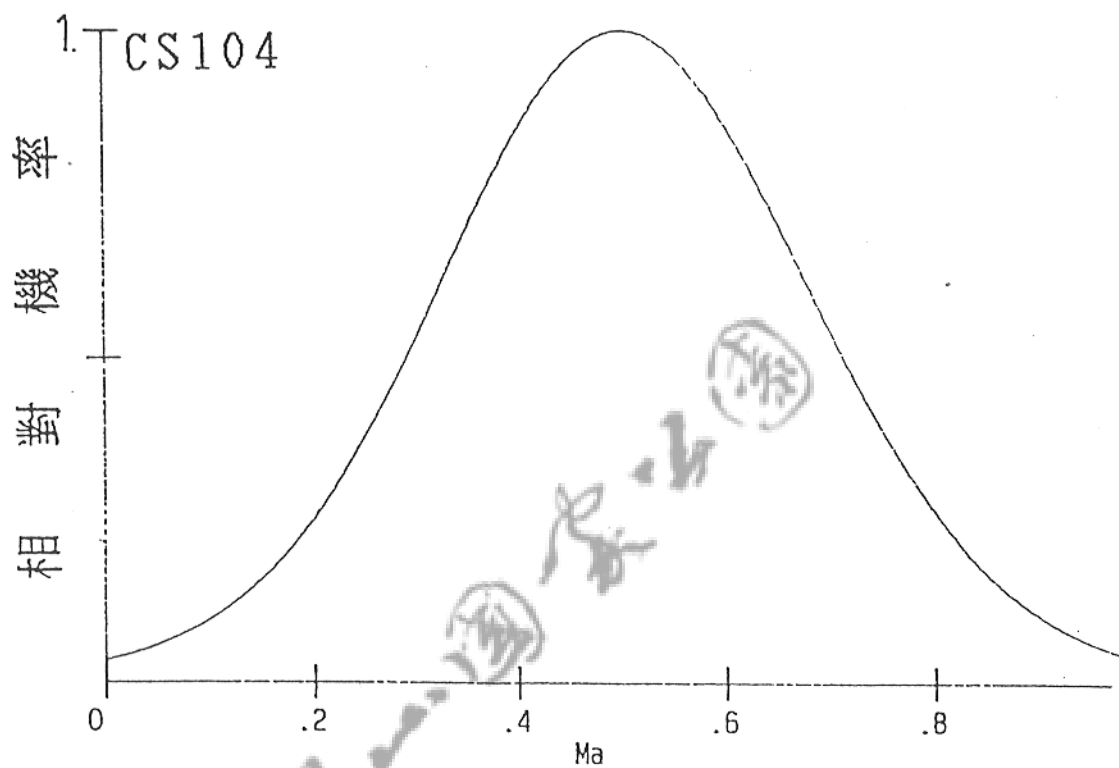


圖 A-1 : 鈾石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖-CS130

附錄 A-2 鋁石核飛跡分析結果-CS104

Grain No.	Gs	Ns	ρs 10^{-2}	Gi	Ni	ρi	$\rho s / \rho i$	Age(Ma)	Cu ppm
01	79	132	167.1	79	255	3.23	0.5182	20.87 ± 2.46	397
02*	82	4	4.88	82	332	4.05	0.0121	0.49 ± 0.25	498
03*	215	9	4.19	215	741	3.45	0.0123	0.49 ± 0.17	424
04	46	29	63.04	46	217	4.72	0.1342	5.39 ± 1.10	580
05	100	14	14.00	100	297	2.97	0.0478	1.90 ± 0.53	365
06*	317	11	3.47	317	901	2.84	0.0124	0.48 ± 0.18	349
07*	125	7	5.60	125	587	4.70	0.0119	0.48 ± 0.18	578
08*	350	14	4.00	350	1129	3.23	0.0124	0.50 ± 0.14	397
09	250	148	59.20	250	79	0.32	1.8733	75.55 ± 11.2	39
10	70	211	301.4	70	58	0.83	3.6382	146.7 ± 23.0	102
11	165	237	143.6	165	74	0.45	3.2035	129.2 ± 18.4	55
12	72	172	238.8	72	152	2.11	1.1321	45.63 ± 5.57	260
13*	212	12	5.66	212	876	4.13	0.0137	0.55 ± 0.16	508
14*	117	8	5.98	117	567	4.85	0.0141	0.57 ± 0.20	596
15*	250	9	3.60	250	804	3.22	0.0112	0.45 ± 0.15	396
*T8	1668	74	0.04	1668	6154	3.69	0.0120	0.48 ± 0.06	453

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量= 6.59×10^{14} 中子 / cm^2
s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈾濃度 *T8:共8粒



Peak is at .5 Ma

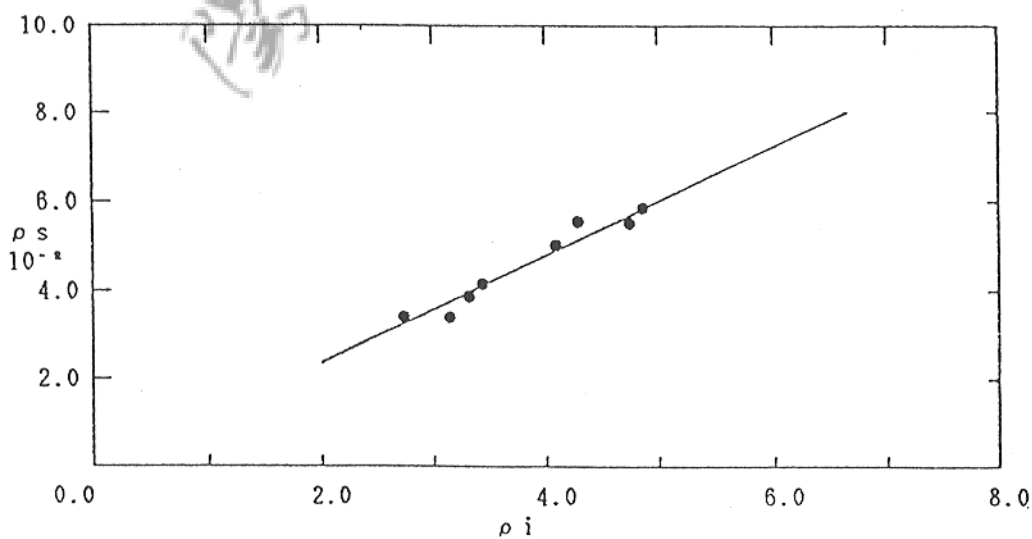
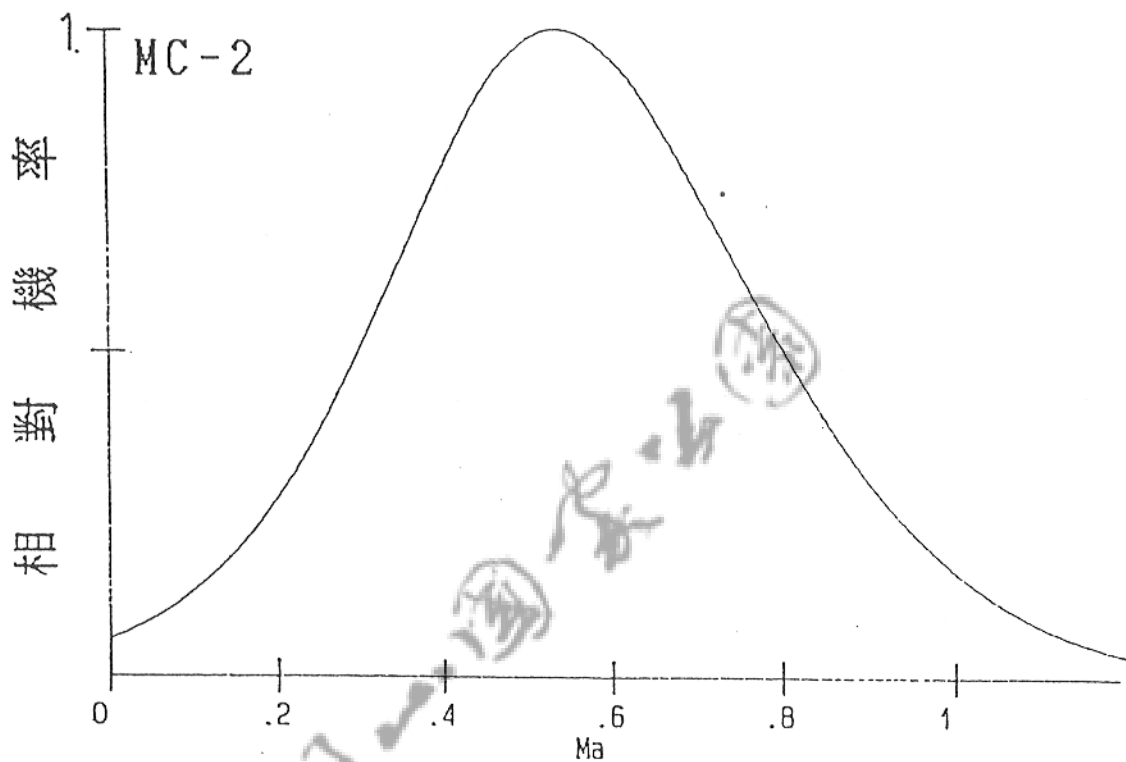


圖 A-2：銆石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖-CS104

附錄 A-3 銆石核飛跡分析結果 - MC-2

Grain No.	Gs	Ns	ρ_s 10^{-2}	Gi	Ni	ρ_i	ρ_s/ρ_i	Age(Ma)	Cu ppm
01*	124	8	6.45	124	605	4.88	0.0132	0.53 ± 0.19	600
02*	317	15	4.73	317	1209	3.81	0.0124	0.50 ± 0.13	469
03*	79	4	5.06	79	333	4.22	0.0120	0.48 ± 0.24	519
04	123	368	299	123	390	3.17	0.9436	38.06 ± 3.36	390
05*	68	4	5.88	68	328	4.82	0.0122	0.49 ± 0.24	593
06*	63	3	4.76	63	199	3.16	0.0151	0.61 ± 0.25	389
07*	210	11	5.24	210	848	4.04	0.0130	0.52 ± 0.16	497
08*	198	10	5.05	198	688	3.47	0.0145	0.59 ± 0.19	427
09*	74	5	6.76	74	340	4.59	0.0147	0.59 ± 0.27	565
10	128	357	279	128	350	2.73	1.0202	41.14 ± 3.72	336
11	98	484	494	98	467	4.77	1.0364	41.79 ± 3.42	587
12	100	428	428	100	396	3.96	1.0808	43.59 ± 3.74	487
13	83	372	448	83	420	5.06	0.8857	35.72 ± 3.18	622
14	215	274	127	215	319	1.48	0.8589	34.64 ± 3.34	182
15*	100	6	6.00	100	372	3.72	0.0161	0.65 ± 0.27	458
*T9	1233	66	5.35	1233	4742	3.85	0.0139	0.56 ± 0.08	473

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量 $=6.59 \times 10^{14}$ 中子 / cm^2
s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈾濃度 *T9:共9粒



Peak is at .54 Ma

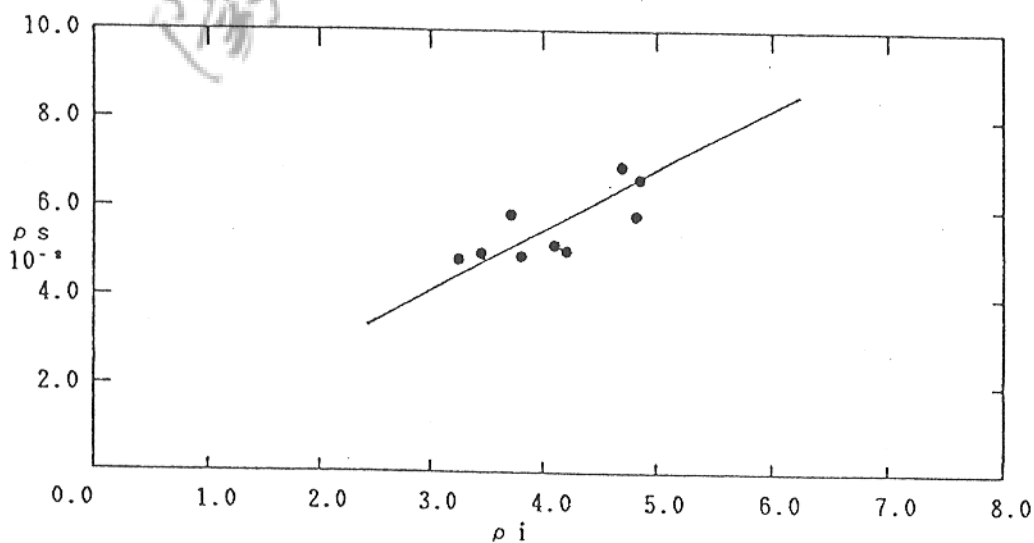


圖 A-3 : 鋁石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖-HC-2

附錄 A-4 鈳石核飛跡分析結果-CS107

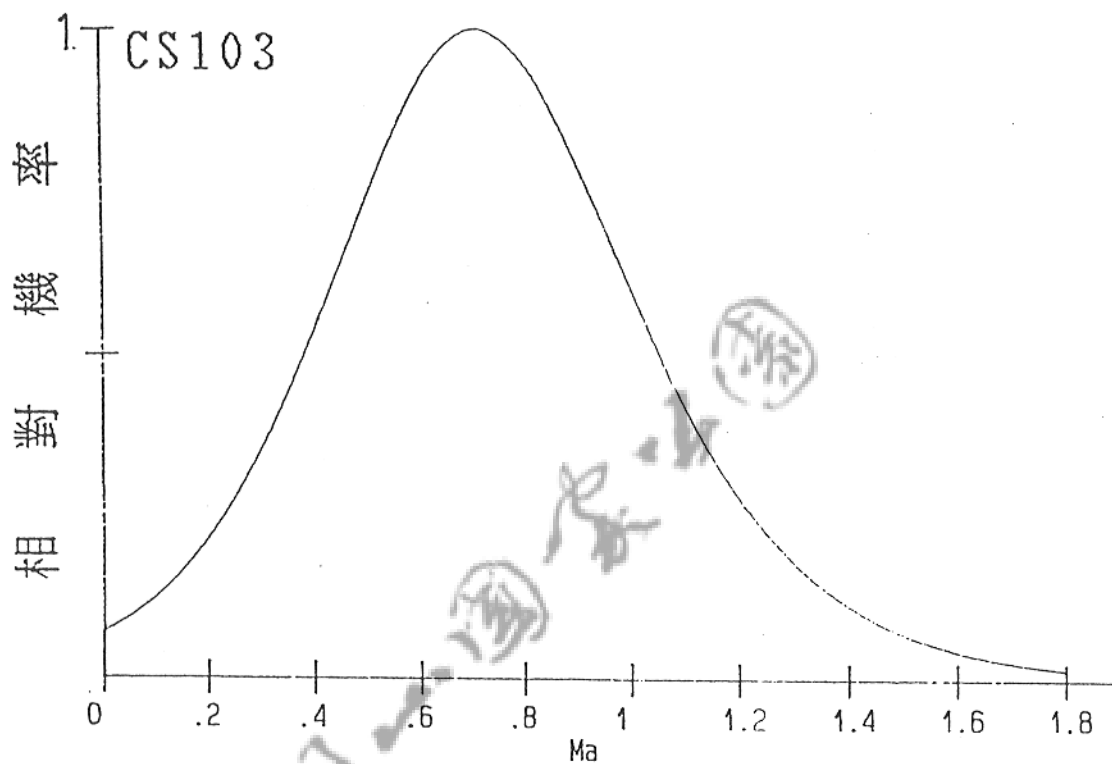
Grain No.	Gs	Ns	ρ_s 10^{-2}	Gi	Ni	ρ_i	ρ_s / ρ_i	Age(Ma)	Cu ppm
01*	329	10	3.04	329	825	2.51	0.0126	0.49 ± 0.16	309
02*	54	2	3.70	54	151	2.80	0.0132	0.53 ± 0.38	344
03*	47	2	4.26	47	222	4.72	0.0091	0.31 ± 0.22	575
04*	156	5	3.21	156	431	2.76	0.0116	0.47 ± 0.23	340
05*	112	2	4.46	112	403	3.59	0.0124	0.50 ± 0.22	442
06	207	68	32.9	207	667	3.22	0.1020	4.11 ± 0.56	396
07	92	11	11.9	92	72	0.78	0.1527	6.16 ± 2.02	96
08*	89	3	3.37	89	242	2.72	0.0124	0.50 ± 0.17	334
09*	152	4	2.63	152	312	2.05	0.0128	0.52 ± 0.17	252
10*	78	2	2.56	78	172	2.21	0.0116	0.47 ± 0.35	271
11*	59	3	5.08	59	231	3.92	0.0130	0.52 ± 0.28	482
12*	99	2	2.02	99	165	1.67	0.0121	0.49 ± 0.34	205
13*	79	4	5.06	79	332	4.02	0.0120	0.49 ± 0.24	517
14*	84	2	2.38	84	157	1.87	0.0127	0.51 ± 0.36	230
*T12	1338	44	3.29	1338	3643	2.72	0.0121	0.49 ± 0.08	335

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量= 6.59×10^{14} 中子 / cm^2
s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈳濃度 *T12:共12粒

附錄 A-5 鋁石核飛跡分析結果-CS103

Grain No.	Gs	Ns	ρ_s 10^{-2}	Gi	Ni	ρ_i	ρ_s / ρ_i	Age (Ma)	Cu ppm
01	52	5	9.61	52	275	5.29	0.0182	0.76 ± 0.34	631
02	78	8	10.33	78	439	5.63	0.0182	0.76 ± 0.27	671
03	64	4	6.32	64	221	3.45	0.0181	0.75 ± 0.27	412
04	112	6	5.37	112	372	3.32	0.0161	0.67 ± 0.28	396
05	178	9	5.14	178	524	2.94	0.0172	0.71 ± 0.24	352
06	85	5	5.93	85	319	3.75	0.0157	0.65 ± 0.30	448
07	100	5	5.00	100	270	2.70	0.0185	0.77 ± 0.35	322
08	210	8	3.79	210	451	2.15	0.0177	0.74 ± 0.27	256
09	64	3	4.68	64	129	2.80	0.0168	0.70 ± 0.41	334
10	190	11	5.81	190	652	3.48	0.0166	0.69 ± 0.21	416
11	32	3	9.44	32	143	4.47	0.0210	0.87 ± 0.51	533
12	250	10	4.00	250	588	2.35	0.0170	0.71 ± 0.22	280
13	315	15	4.82	315	889	2.82	0.0169	0.70 ± 0.18	337
14	100	6	6.00	100	380	3.80	0.0158	0.66 ± 0.27	453
15	54	4	7.42	54	216	4.00	0.0185	0.77 ± 0.39	477
16	80	7	8.85	80	410	5.13	0.0171	0.71 ± 0.27	611
T16	1964	109	5.50	1964	6338	3.23	0.0172	0.71 ± 0.08	357

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量= 6.79×10^{14} 中子 / cm^2
s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈾濃度 T16:共16粒



Peak is at .71 Ma

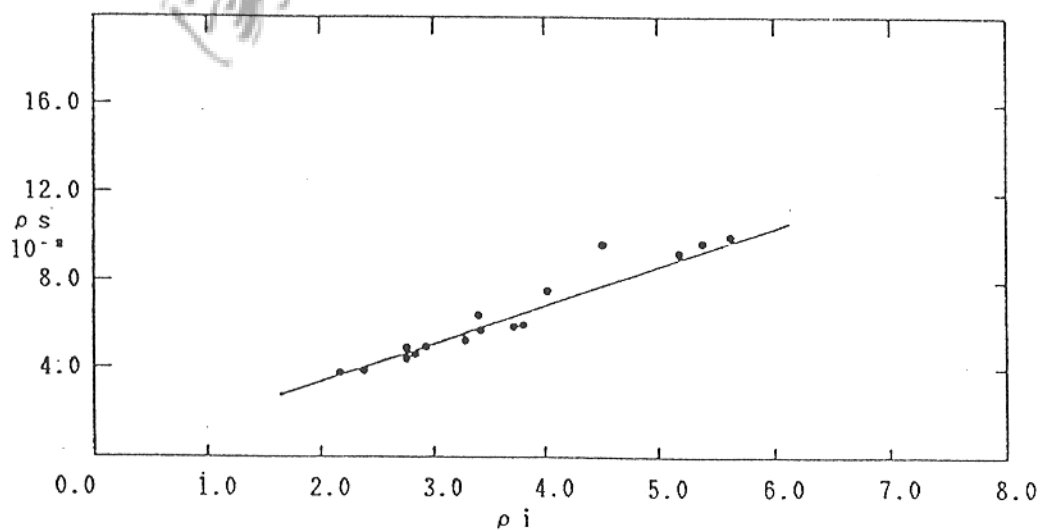


圖 A-5: 鈾石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖-CS103

附錄 A-6 銩石核飛跡分析結果-CS133

Grain No.	Gs	Ns	ρ_s 10^{-2}	Gi	Ni	ρ_i	ρ_s / ρ_i	Age(Ma)	Cu ppm
01	320	10	3.12	320	509	1.59	0.0196	0.77 ± 0.25	201
02	115	2	1.69	115	102	0.89	0.0196	0.77 ± 0.55	112
03	100	3	3.00	100	161	1.61	0.0186	0.73 ± 0.43	203
04	112	3	2.71	112	149	1.33	0.0201	0.79 ± 0.46	168
05	86	4	4.88	86	237	2.89	0.0168	0.66 ± 0.34	365
06	34	6	4.73	34	290	8.53	0.0207	0.81 ± 0.34	1076
07	128	6	4.68	128	315	2.46	0.0190	0.75 ± 0.31	311
08	175	12	6.94	175	621	3.55	0.0193	0.76 ± 0.22	448
09	125	7	5.58	125	369	2.95	0.0189	0.75 ± 0.29	373
T9	1191	53	4.45	1191	2753	2.31	0.0193	0.76 ± 0.11	292

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量= 6.42×10^{14} 中子 / cm^2
s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:銩濃度 T9:共9粒

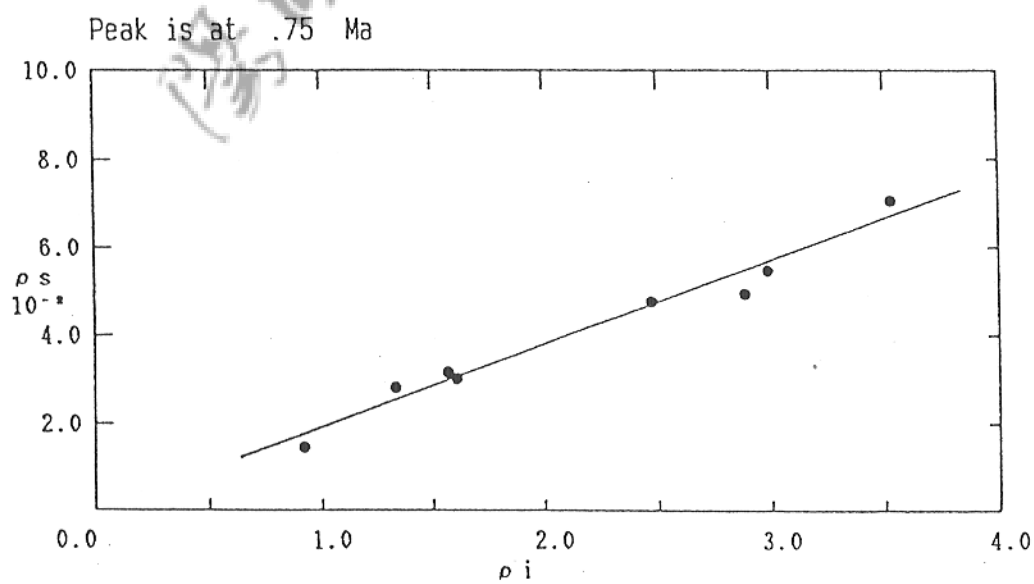
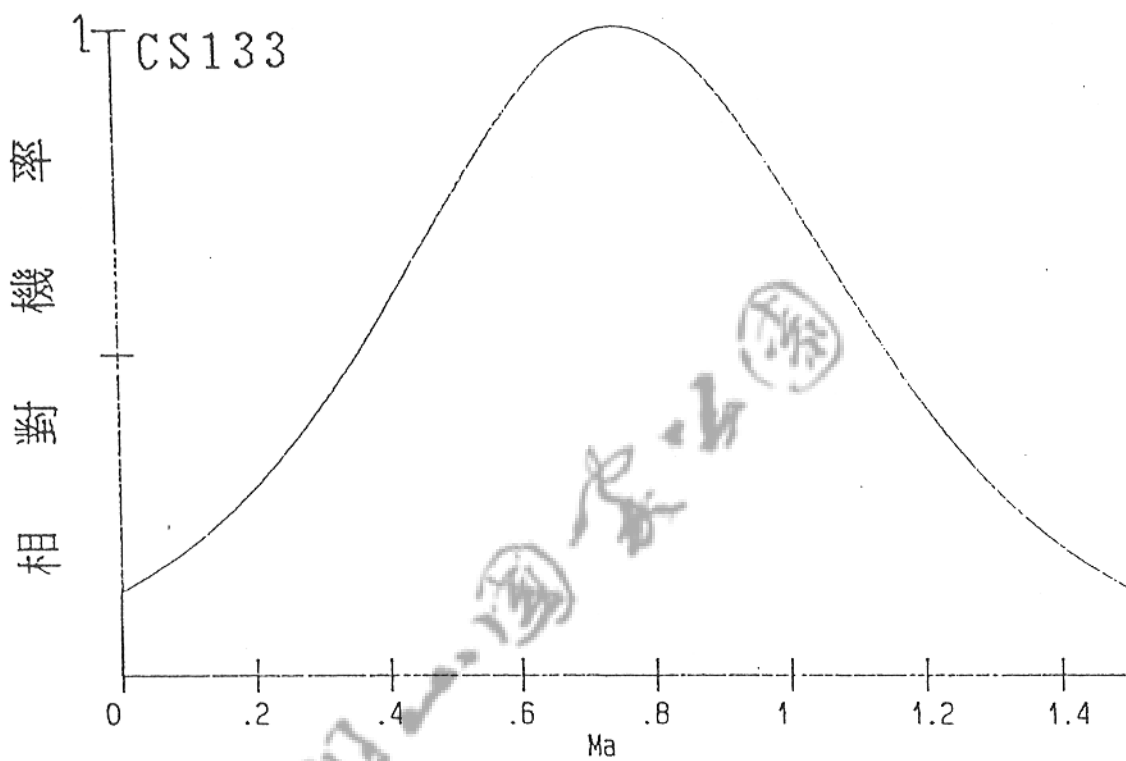
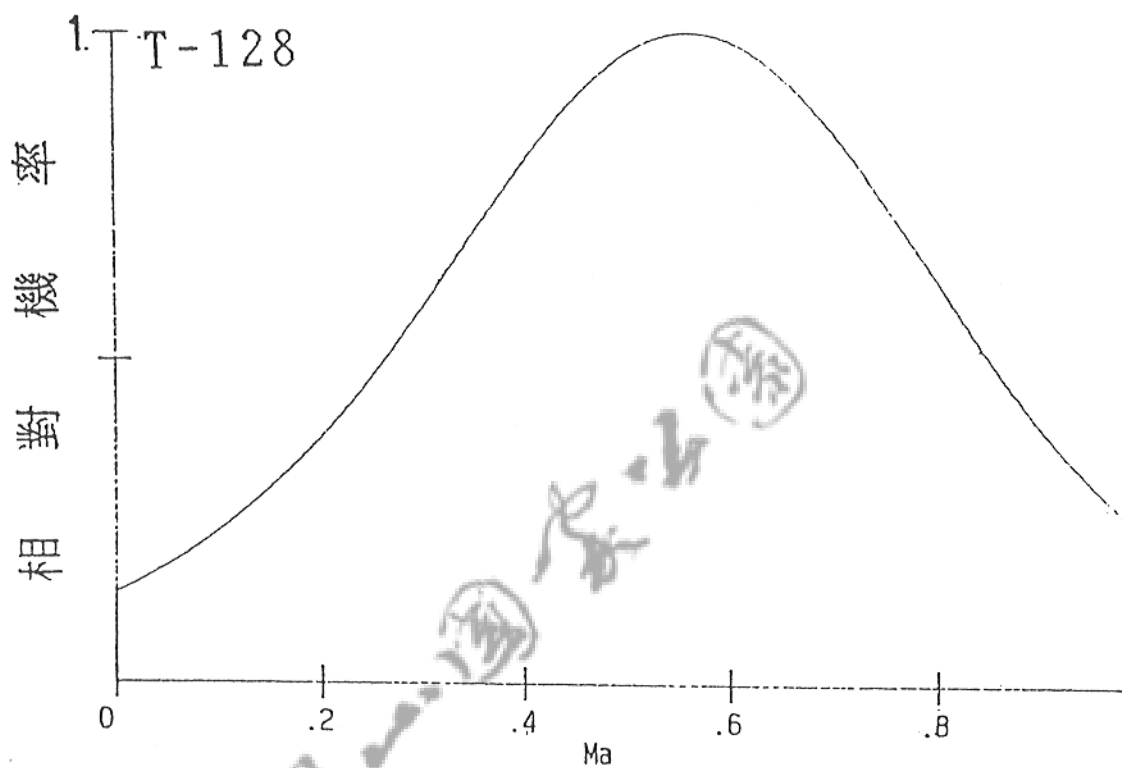


圖 A-6 : 鈾石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖 -CS133

附錄 A-7 鋁石核飛跡分析結果 - T-128

Grain No.	Gs	Ns	ρs 10^{-2}	Gi	Ni	ρi	$\rho s / \rho i$	Age (Ma)	Cu ppm
01	53	2	3.82	53	152	2.87	0.0132	0.56 ± 0.40	333
02	78	4	5.12	78	341	4.37	0.0117	0.50 ± 0.25	507
03	150	6	4.00	150	456	3.04	0.0132	0.56 ± 0.23	353
04	125	9	7.25	125	661	5.29	0.0136	0.58 ± 0.20	613
05	317	11	3.51	317	807	2.55	0.0136	0.58 ± 0.18	296
06	100	3	3.00	100	228	2.28	0.0132	0.56 ± 0.33	264
T6	823	35	4.25	823	2645	3.21	0.0132	0.56 ± 0.10	373

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量= 6.95×10^{14} 中子 / cm^2
s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈾濃度 T6:共6粒



Peak is at .56 Ma

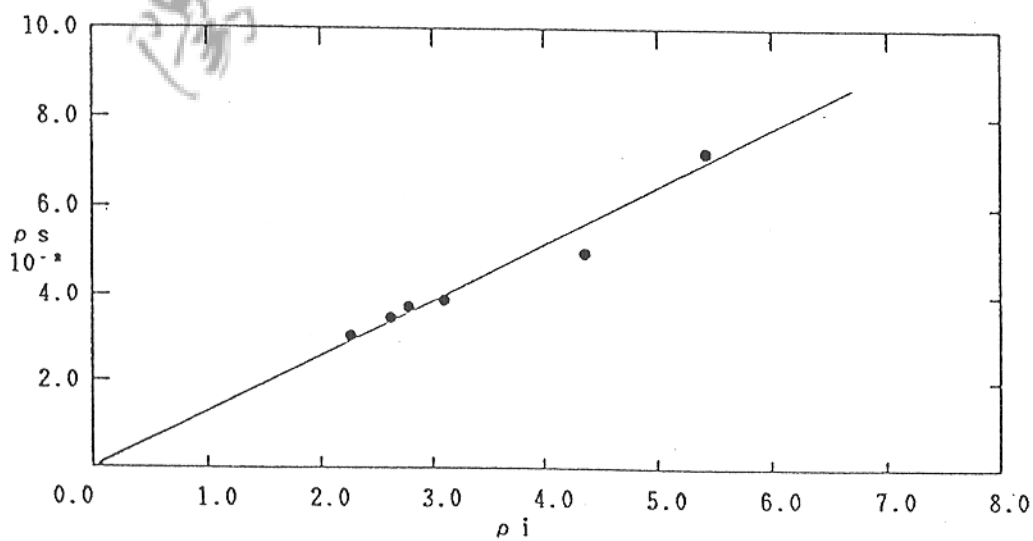


圖 A-7 : 鈹石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖-T-128

附錄 A-9 鋁石核飛跡分析結果 - T-133

Grain No.	Gs	Ns	ρs	Gi	Ni	ρi	$\rho s / \rho i$ 10^{-3}	Age (Ma)	Cu ppm
01	189	9	0.048	189	997	5.28	9.03	0.38 ± 0.13	617
02	45	3	0.063	45	312	6.93	9.62	0.41 ± 0.24	811
03	56	4	0.071	56	369	6.59	10.84	0.45 ± 0.12	771
04	65	4	0.062	65	365	5.62	10.96	0.46 ± 0.23	657
05	76	3	0.039	76	335	4.41	8.96	0.38 ± 0.13	516
06	215	9	0.042	215	1002	4.66	8.98	0.38 ± 0.13	545
07	78	4	0.051	78	373	4.78	10.72	0.45 ± 0.23	560
08	85	3	0.035	85	341	4.01	8.80	0.37 ± 0.13	469
09	48	2	0.042	48	243	5.06	8.23	0.35 ± 0.25	592
T9	857	41	0.048	857	4337	5.06	9.45	0.40 ± 0.07	592

G: 計數面積 N: 核飛跡數 ρ : 核飛跡密度 Φ : 中子通量 = 6.95×10^{14} 中子 / cm^2
 s: 誘發核飛跡 i: 自發核飛跡 Cu: 鈾濃度 *T7: 共9粒

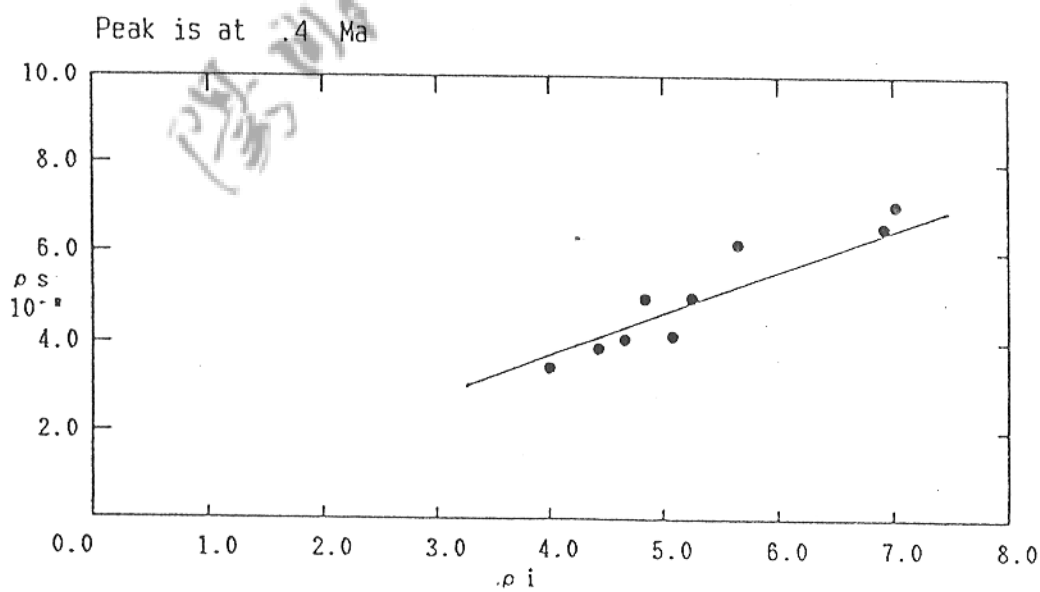
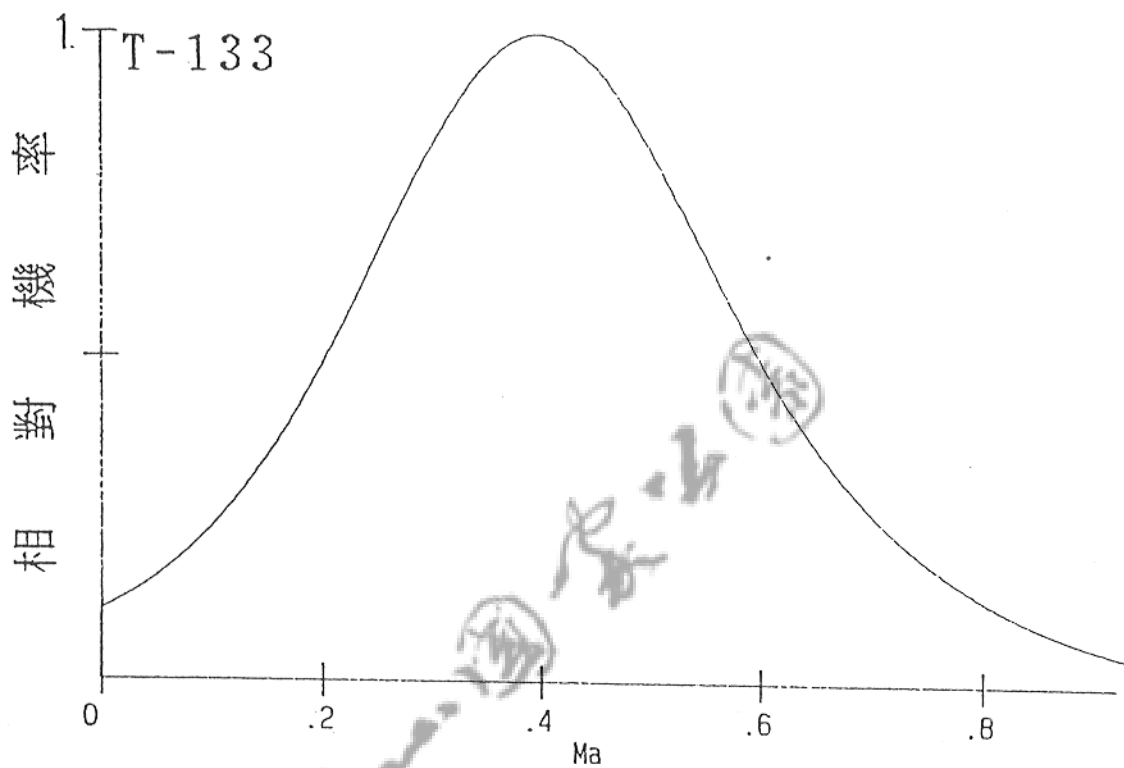
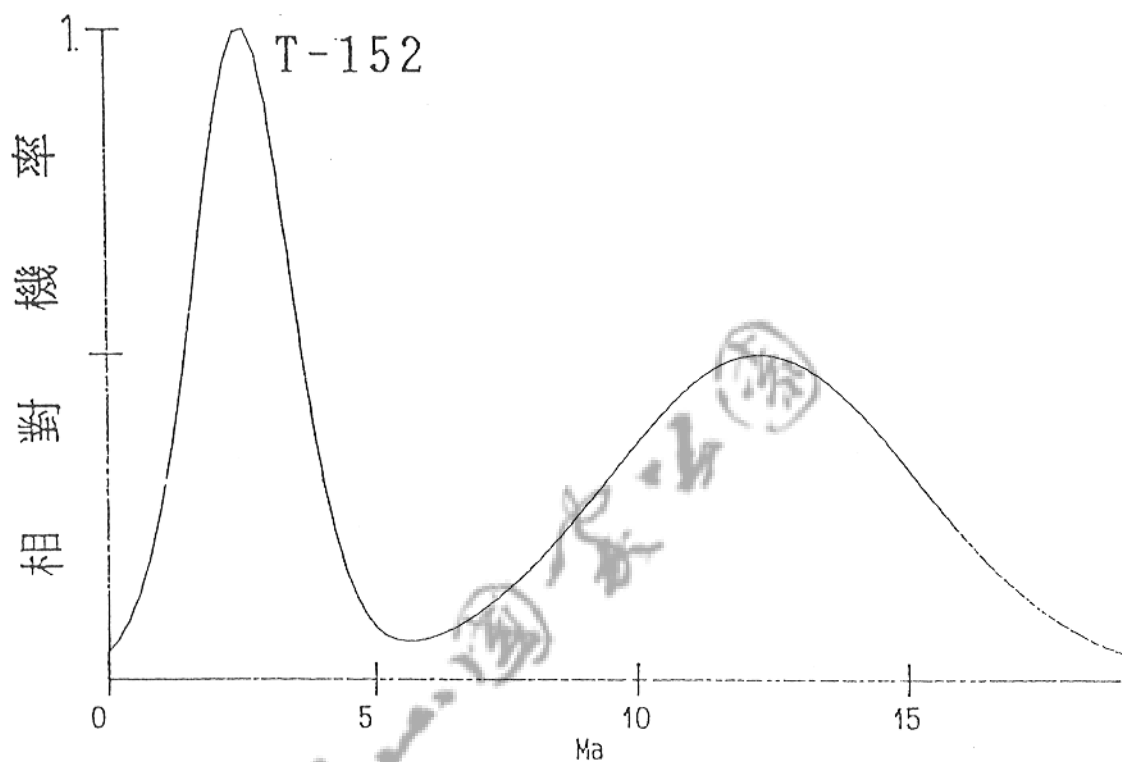


圖 A-9：鋁石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖-T-133

附錄 A-10 鋁石核飛跡分析結果 - T-152

Grain No.	Gs	Ns	ρs	Gi	Ni	ρi	$\rho s / \rho i$	Age (Ma)	Cu ppm
01*	40	6	0.150	40	101	2.525	0.0594	2.46 ± 1.04	301
02*	35	5	0.143	35	76	2.171	0.0658	2.73 ± 1.26	259
03	30	17	0.567	30	60	2.000	0.2833	11.77 ± 3.29	239
04*	72	10	0.139	72	166	2.306	0.0602	2.50 ± 0.85	275
05*	65	9	0.138	65	65	2.308	0.0600	2.49 ± 0.86	275
06*	55	7	0.127	55	115	2.091	0.0609	2.53 ± 0.99	249
07*	75	14	0.187	75	231	3.080	0.0602	2.52 ± 0.70	367
08	25	24	0.960	25	78	3.120	0.3077	12.79 ± 3.05	372
09	30	36	1.200	30	121	4.033	0.2975	12.36 ± 2.43	482
*T6	342	51	0.149	342	839	2.453	0.0608	2.53 ± 0.39	293

G: 計數面積 N: 核飛跡數 ρ : 核飛跡密度 Φ : 中子通量 = 6.79×10^{14} 中子 / cm^2
s: 誘發核飛跡 i: 自發核飛跡 Cu: 鈾濃度 *T6: 共6粒



Peak is at 2.6 Ma

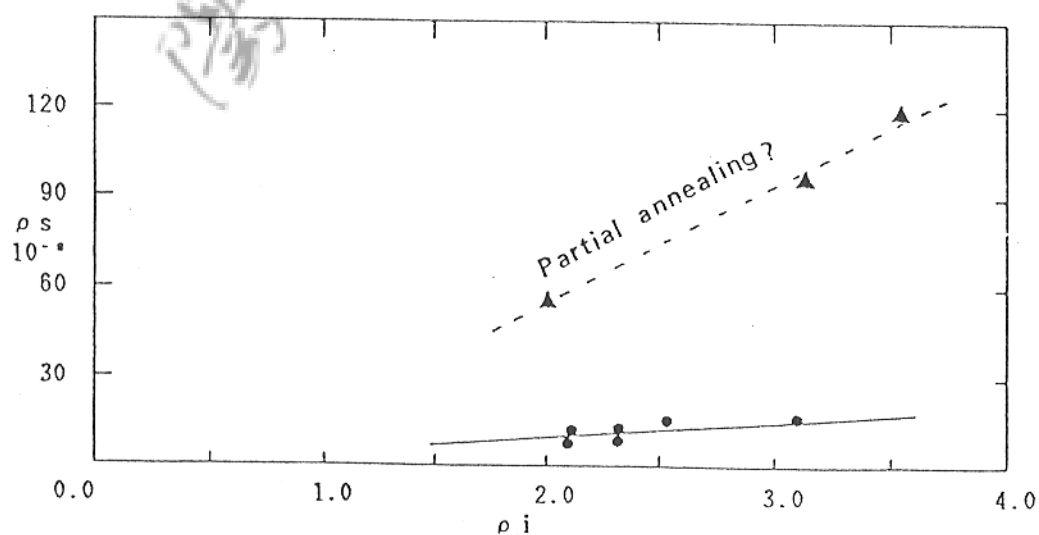


圖 A-10：鈹石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖-T-152

附錄 A-11 鈾石核飛跡分析結果 - THS01

Grain No.	Gs	Ns	ρs	Gi	Ni	ρi	$\rho s / \rho i$	Age(Ma)	Cu ppm
01	296	26	0.088	296	402	1.02	0.0647	2.73 ± 0.57	119
02	65	6	0.092	65	90	1.39	0.0667	2.82 ± 1.20	162
03	232	9	0.039	232	152	0.66	0.0592	2.50 ± 0.87	77
04	190	15	0.079	190	253	1.33	0.0593	2.50 ± 0.68	156
05	115	12	0.104	115	202	1.76	0.0594	2.51 ± 0.76	206
06	100	27	0.270	100	410	4.10	0.0659	2.78 ± 0.57	481
07	93	7	0.075	93	119	1.28	0.0588	2.48 ± 0.97	150
08	72	11	0.153	72	186	2.58	0.0591	2.50 ± 0.78	303
T8	1163	113	0.097	1163	1814	1.56	0.0623	2.63 ± 0.29	182

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量 $= 6.95 \times 10^{14}$ 中子 / cm^2
s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈾濃度 T8:共8粒

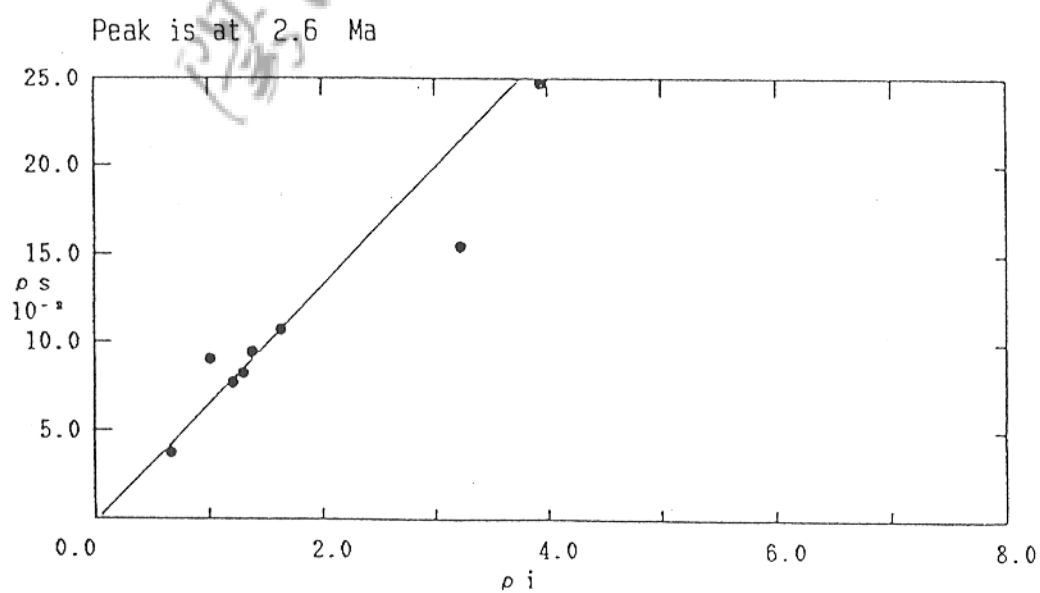
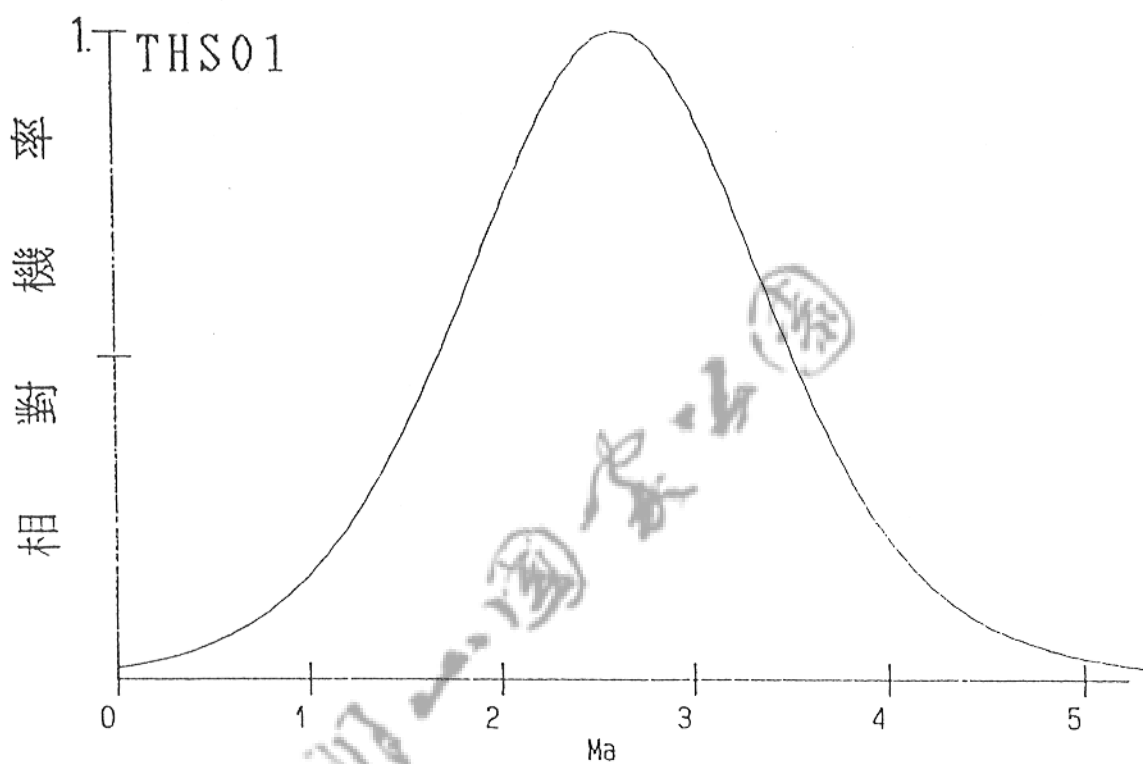


圖 A-11: 鉛石核飛跡分析之 ρs 對 ρi 作圖-THS01

附錄 A-12 鋁石核飛跡分析結果 - THS02

Grain No.	Gs	Ns	ρs	Gi	Ni	ρi	$\rho s / \rho i$	Age(Ma)	Cu ppm
01	120	6	0.050	120	412	3.43	0.0146	0.61 ± 0.25	410
02	78	5	0.064	78	328	4.21	0.0152	0.63 ± 0.29	502
03	215	9	0.042	215	672	3.13	0.0134	0.57 ± 0.19	373
04	68	4	0.059	68	281	4.13	0.0142	0.59 ± 0.30	493
05	100	4	0.040	100	325	3.25	0.0123	0.51 ± 0.26	388
06	100	4	0.040	100	291	2.91	0.0135	0.57 ± 0.29	347
07	50	3	0.060	50	191	3.82	0.0157	0.65 ± 0.38	456
08	65	4	0.062	65	227	3.49	0.0176	0.73 ± 0.37	417
09	150	7	0.047	150	521	3.47	0.0134	0.58 ± 0.21	414
10	210	6	0.029	210	419	1.99	0.0143	0.60 ± 0.25	238
11	70	4	0.057	70	278	3.97	0.0144	0.60 ± 0.30	474
12	250	13	0.052	250	719	2.88	0.0181	0.75 ± 0.21	343
T12	1476	69	0.047	1476	4664	3.16	0.0148	0.61 ± 0.08	377

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量= 6.79×10^{14} 中子 / cm^2
s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈾濃度 T12:共12粒

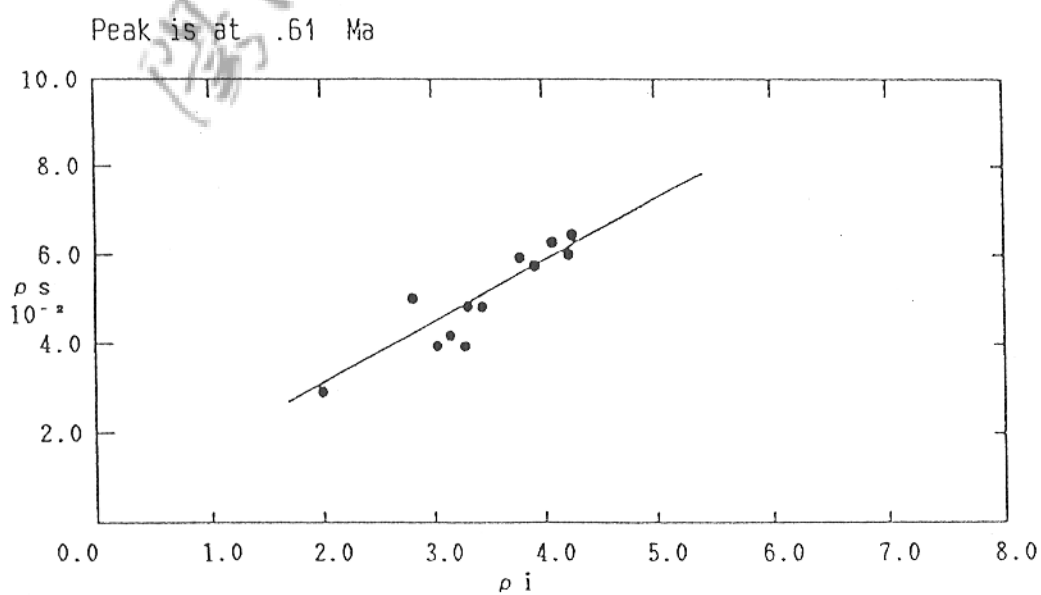
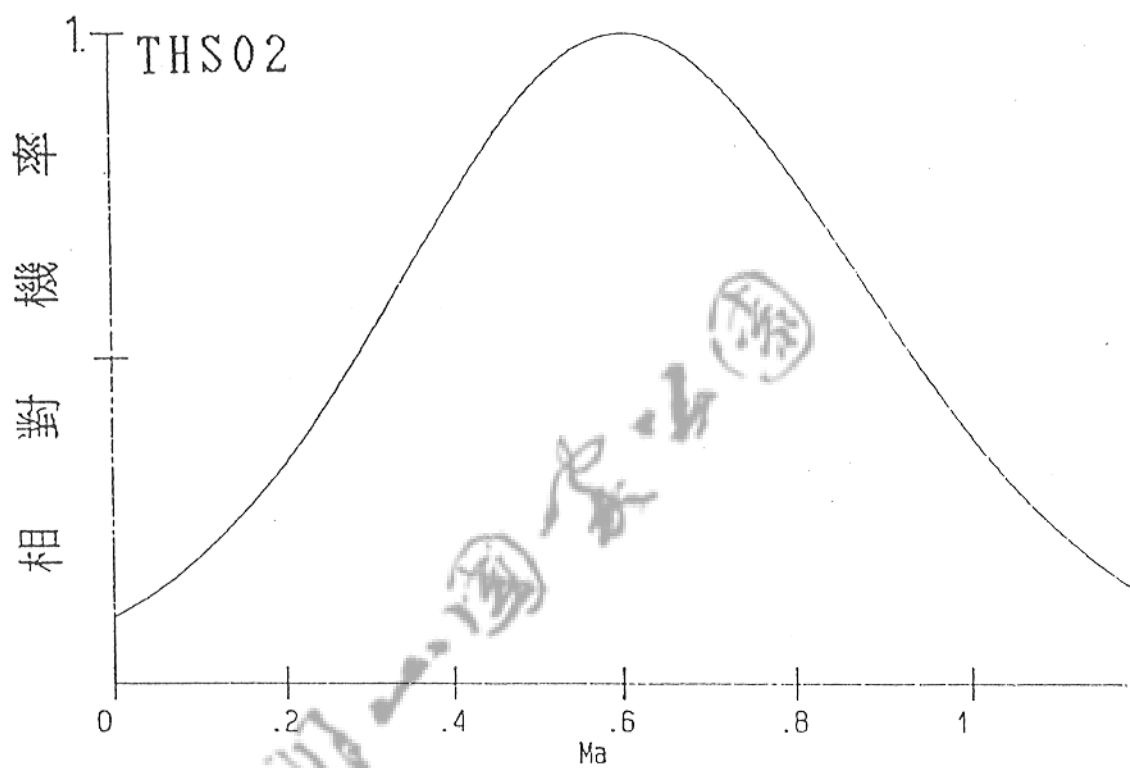
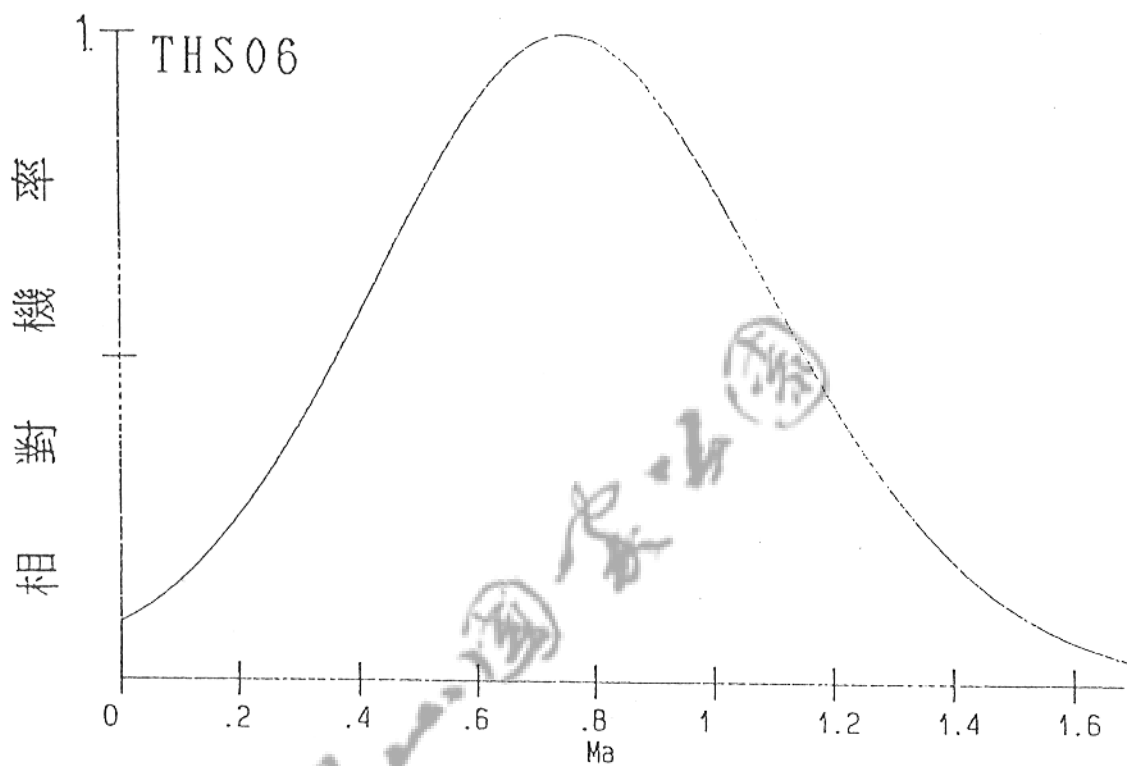


圖 A-12: 鋯石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖-THS02

附錄 A-13 鋁石核飛跡分析結果 - THS06

Grain No.	Gs	Ns	ρ_s	Gi	Ni	ρ_i	ρ_s/ρ_i	Age(Ma)	Cu ppm
01	47	4	0.085	47	231	4.91	0.0173	0.70 ± 0.35	604
02	79	3	0.038	79	182	2.30	0.0165	0.66 ± 0.39	283
03	100	8	0.080	100	376	3.76	0.0213	0.85 ± 0.31	462
04	41	6	0.146	41	402	9.80	0.0149	0.60 ± 0.25	1205
05	65	5	0.077	65	242	3.72	0.0207	0.83 ± 0.38	458
06	57	5	0.088	57	230	4.04	0.0217	0.88 ± 0.40	497
07	82	7	0.085	82	361	4.40	0.0194	0.78 ± 0.30	541
08	80	10	0.125	80	512	6.40	0.0195	0.79 ± 0.25	787
T8	551	48	0.087	551	2536	4.60	0.0189	0.76 ± 0.12	566

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量= 6.59×10^{14} 中子 / cm^2
s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈾濃度 T8:共8粒



Peak is at .75 Ma

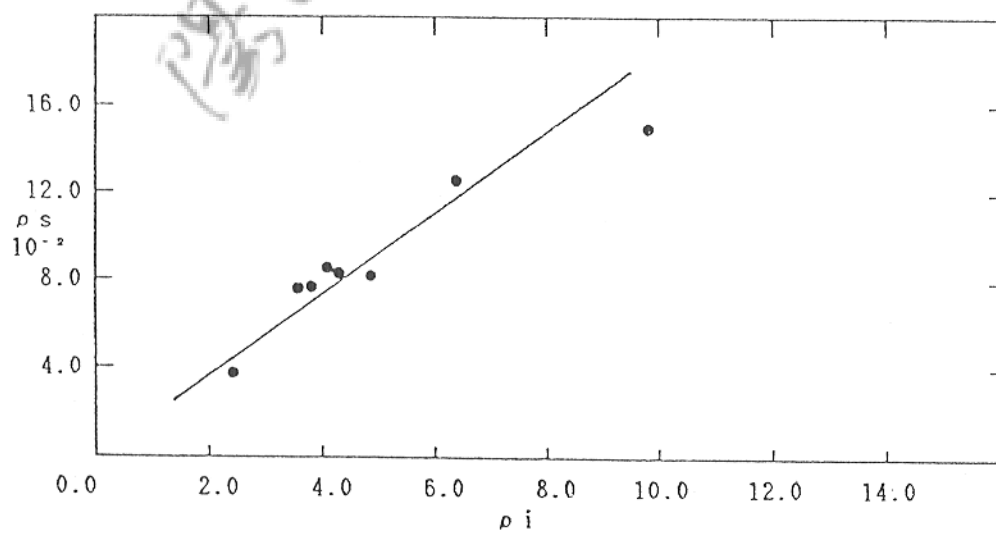


圖 A-13: 鈳石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖-THS06

附錄 A-14 鋁石核飛跡分析結果 - HKY03

Grain No.	Gs	Ns	ρs	Gi	Ni	ρi	$\rho s / \rho i$	Age(Ma)	Cu ppm
01	256	10	0.039	256	528	2.06	0.0189	0.79 ± 0.25	246
02	125	4	0.032	125	259	2.07	0.0154	0.64 ± 0.32	247
03	186	11	0.059	186	421	2.34	0.0261	1.08 ± 0.33	279
04	255	11	0.043	255	586	2.30	0.0188	0.78 ± 0.24	274
05	159	6	0.038	159	308	1.94	0.0195	0.81 ± 0.34	231
06	179	9	0.050	179	480	2.68	0.0188	0.78 ± 0.27	320
07	315	12	0.038	315	814	2.58	0.0147	0.61 ± 0.18	308
08	250	13	0.052	250	694	2.78	0.0187	0.78 ± 0.22	331
T8	1725	76	0.044	1725	4090	2.37	0.0186	0.77 ± 0.10	283

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量 = 6.79×10^{14} 中子 / cm^2
 s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈾濃度 T8:共8粒

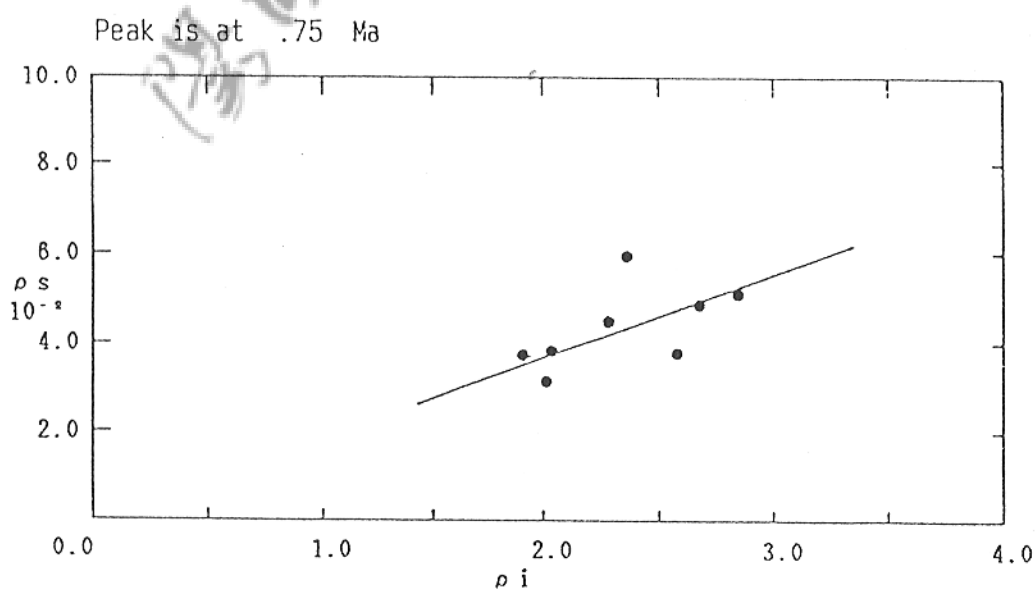
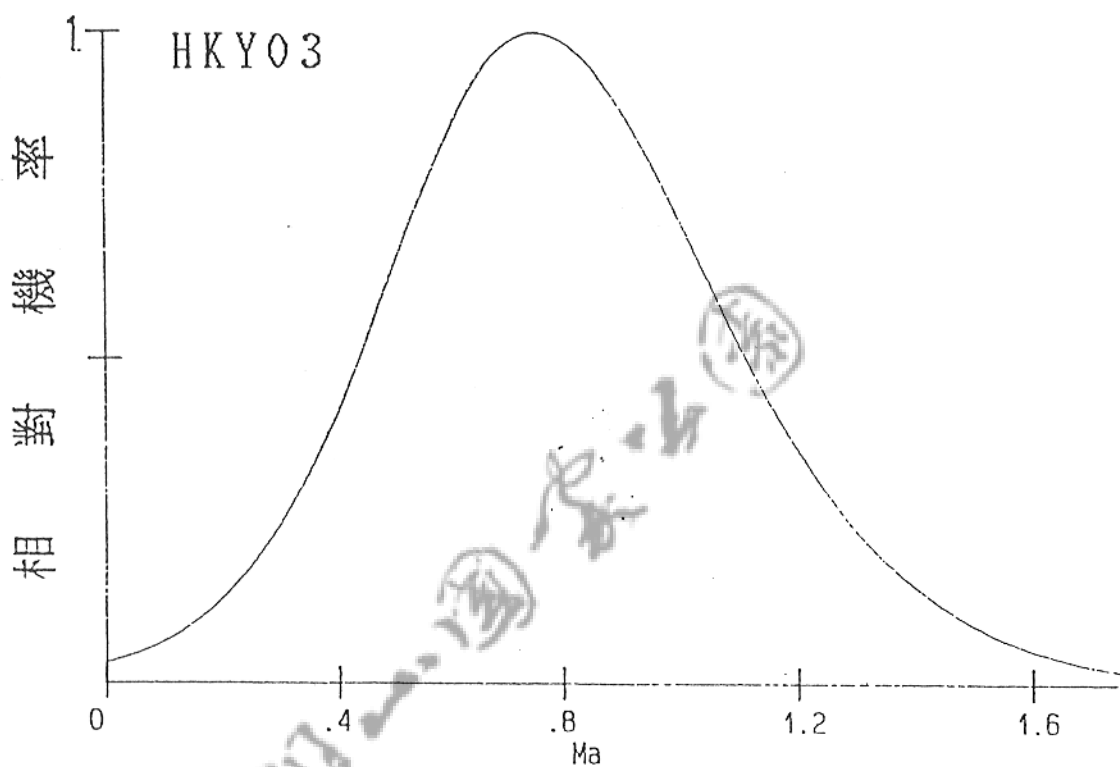
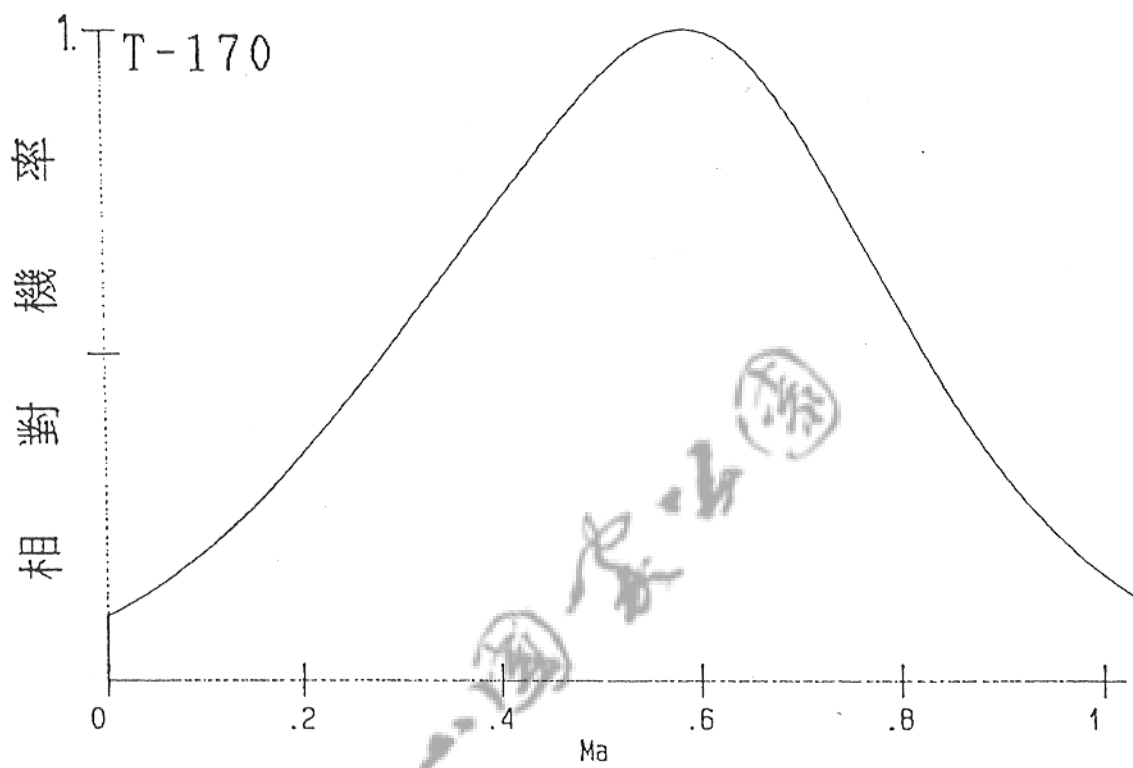


圖 A-14：鈾石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖-HKY03

附錄 A-15 鋁石核飛跡分析結果 - T-170

Grain No.	Gs	Ns	ρs	Gi	Ni	ρi	$\rho s / \rho i$	Age(Ma)	Cu ppm
01	123	53	0.432	123	104	0.846	0.5096	20.55 ± 3.62	104
02*	108	5	0.046	108	411	3.806	0.0122	0.49 ± 0.22	486
03*	100	3	0.030	100	255	2.250	0.0118	0.47 ± 0.28	277
04*	110	5	0.045	110	312	2.836	0.0160	0.65 ± 0.29	349
05*	140	4	0.029	140	342	2.433	0.0117	0.47 ± 0.24	300
06	36	46	1.282	36	87	2.417	0.5287	21.32 ± 4.03	297
07	60	177	2.950	60	215	3.583	0.8233	33.20 ± 3.76	441
08	250	308	1.235	250	230	0.920	1.3391	54.01 ± 5.43	113
09*	100	6	0.060	100	390	3.900	0.0154	0.62 ± 0.11	480
10	115	76	0.662	115	155	1.348	0.4903	19.78 ± 2.94	166
11	105	232	2.214	105	326	3.105	0.7116	28.70 ± 2.85	382
12	72	73	1.013	72	147	2.042	0.4966	20.03 ± 3.04	251
13	108	59	0.555	108	252	2.333	0.2341	9.44 ± 1.44	287
14	85	121	1.423	85	332	3.906	0.3645	14.70 ± 1.76	480
15*	92	4	0.043	92	362	3.935	0.0110	0.45 ± 0.23	484
16*	225	8	0.036	225	495	2.200	0.0162	0.65 ± 0.18	271
17*	75	14	0.191	75	856	11.41	0.0164	0.66 ± 0.18	1403
18	110	55	0.500	110	164	1.491	0.3354	13.53 ± 2.23	183
19	114	108	0.952	114	235	2.061	0.4596	18.54 ± 2.35	254
20	32	58	1.812	32	172	5.375	0.3372	13.60 ± 2.17	661

G: 計數面積 N: 核飛跡數 ρ : 核飛跡密度 Φ : 中子通量 = 6.59×10^{14} 中子 / cm^2
s: 誘發核飛跡 i: 自發核飛跡 Cu: 鈾濃度



Peak is at .59 Ma

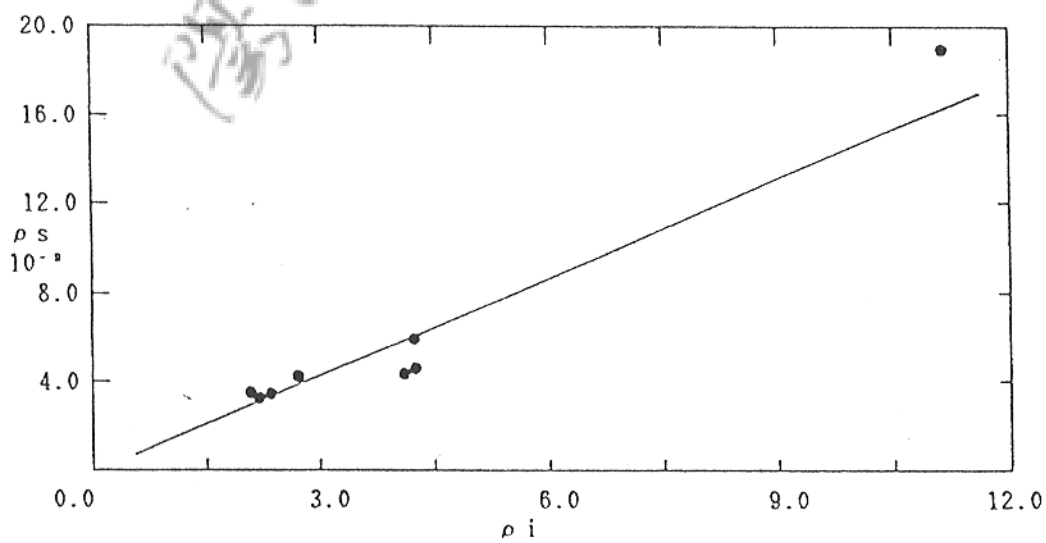


圖 A-15: 鈾石核飛跡分析之 ρ_s 對 ρ_i 作圖-T-170

附 錄 B

觀音山鉛石核飛跡分析結果

附錄 B-1 鋯石核飛跡分析結果 - KY-6

Grain No.	Gs	Ns	ρs	Gi	Ni	ρi	$\rho s / \rho i$	Age(Ma)	Cu ppm
01	27	17	0.030	27	822	30.44	0.0207	0.81 ± 0.20	3824
02	68	15	0.221	68	996	14.65	0.0151	0.59 ± 0.16	1848
03	92	5	0.054	92	342	3.72	0.0146	0.57 ± 0.26	469
04	115	7	0.069	115	525	4.57	0.0133	0.52 ± 0.20	576
05	42	10	0.238	42	653	15.55	0.0153	0.60 ± 0.19	1962
06	116	4	0.034	116	365	3.15	0.0106	0.43 ± 0.22	397
07	54	3	0.056	54	208	3.85	0.0144	0.57 ± 0.33	486
08	125	4	0.032	125	312	2.49	0.0128	0.50 ± 0.25	315
T8	639	65	0.102	639	4223	6.61	0.0154	0.60 ± 0.08	834

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量= 6.42×10^{14} 中子 / cm^2
 s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈾濃度 T8:共8粒

岩性:普通輝石安山岩
 地點:牛寮埔

附錄 B-2 鋯石核飛跡分析結果 - KY-7

Grain No.	Gs	Ns	ρs	Gi	Ni	ρi	$\rho s / \rho i$	Age(Ma)	Cu ppm
01	13	2	0.0132	13	108	8.31	0.0185	0.73 ± 0.52	939
02	190	12	0.1538	190	967	5.09	0.0124	0.49 ± 0.14	644
03	16	3	0.1875	16	221	13.81	0.0136	0.53 ± 0.31	1748
04	80	5	0.0825	80	605	7.56	0.0083	0.32 ± 0.15	457
T4	299	22	0.0736	299	1901	6.36	0.0116	0.45 ± 0.10	802

G:計數面積 N:核飛跡數 ρ :核飛跡密度 Φ :中子通量= 6.42×10^{14} 中子 / cm^2
 s:誘發核飛跡 i:自發核飛跡 Cu:鈾濃度 T4:共4粒

岩性:紫蘇輝石角閃石安山岩
 地點:凌雲禪寺

附 錄 C

”大屯火山群之火山碎屑岩分佈圖”說明

本圖係以陳與吳(Chen & Wu, 1971)所繪之地質圖為藍圖，依野外層序所夾岩塊岩性及基質之顯微鏡鑑定將本區之火山碎屑岩區分為八層(詳見第三章)：

A層--屬於七星山亞群，環繞七星山主峰分佈。

B層--屬於大屯山亞群，因被後期的熔岩流及火山碎屑岩所覆蓋，故多分佈於山麓。

C層--屬於大屯山亞群，分佈於本亞群南側。

D層--屬於大屯山亞群，因被後期的熔岩流及火山碎屑岩所覆蓋，只分佈於大磺嘴溫泉區。

E層--屬於竹子山亞群，因野外露頭不佳，故只標示一個點於阿里磅左側。

F層--分佈於丁火朽山、涌子山、及磺嘴山等亞群之下部。

G層--屬於涌子山亞群。

H層--屬於丁火朽山亞群。

附 錄 D

核飛跡年代資料分佈統計曲線繪圖程式

```

10 '#####
20 '
30 '          FISSION TRACK DATING
40 '          PROGRAMMED BY FU-HSUN WU  1988-10-5
50 '
60 '#####
70 '
80 '
90 '
100 DIM A(200),S(200),F(10000)
110 '-----
120 '          SCREEN MAIN MENU
130 '-----
140 CLS:SCREEN 0
150 PRINT TAB(21) "
160 PRINT TAB(21) "          Fission Track Dating          "
170 PRINT TAB(21) "
180 PRINT:PRINT:PRINT
190 PRINT TAB(25) "(1) Establish a data file"
200 PRINT
210 PRINT TAB(25) "(2) Data counting"
220 PRINT
230 PRINT TAB(25) "(3) Plot out the diagram "
240 PRINT
250 PRINT TAB(25) "(4) Exit this program"
260 PRINT:PRINT
270 INPUT"          Please enter your selection:",SL$
280 IF SL$="1" THEN GOTO 400
290 IF SL$="2" THEN GOTO 600
300 IF SL$="3" THEN GOTO 1590
310 IF SL$="4" THEN GOTO 1880
320 PRINT TAB(23) "Invalid selection, please select again."
330 INPUT"          << 1, 2, 3, or 4 ? >>",SL$
340 GOTO 280
350 '
360 '-----
370 '          ESTABLISH THE DATA FILE
380 '-----
390 '
400 CLS
410 INPUT"Please enter file name:",NA$
420 OPEN NA$ FOR OUTPUT AS #1
430 INPUT"How many groups of data?",N
440 PRINT #1,N
450 PRINT"Enter age(Ma)  &  s.d.(Ma):"
460 FOR I=1 TO N
470 INPUT A(I),S(I)

```

```

480 PRINT #1,A(I),S(I)
490 NEXT
500 CLOSE #1
510 PRINT
520 PRINT"Data file has been established."
530 INPUT"Press ENTER to go to main menu.",GM$
540 GOTO 140
550 '
560 '-----
570 '                               INPUT SELECTION
580 '-----
590 '
600 CLS
610 INPUT"Do you want to enter data from keyboard or file (k/f) ?",INS$
620 IF INS$="k" OR INS$="K" THEN GOTO 890
630 IF INS$="f" OR INS$="F" THEN GOTO 720
640 PRINT"Invalid selection, please select again."
650 INPUT"<< k or f ? >>",INS$
660 GOTO 620
670 '
680 '-----
690 '                               INPUT FROM FILE
700 '-----
710 '
720 CLS
730 M=0:K=0
740 INPUT"Enter file name?",NA$
750 OPEN NA$ FOR INPUT AS #1
760 INPUT #1,N
770 FOR I=1 TO N
780 INPUT #1,A(I),S(I)
790 IF A(I) <= M THEN GOTO 810
800 M=A(I):K=S(I)
810 NEXT
820 CLOSE #1
830 GOTO 1030
840 '
850 '-----
860 '                               INPUT FROM KEYBOARD
870 '-----
880 '
890 CLS
900 M=0:K=0
910 INPUT"How many groups of data?",N
920 PRINT"Please enter age(Ma) & s.d.(Ma):"
930 FOR I=1 TO N
940 INPUT A(I),S(I)

```

```

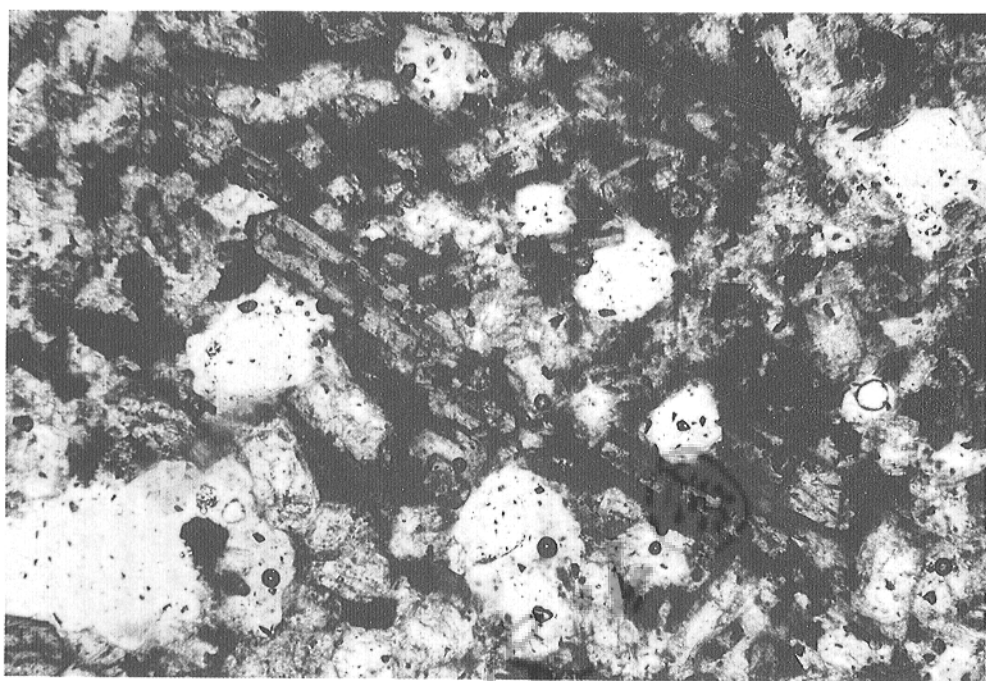
950 IF A(I)<=M THEN GOTO 970
960 M=A(I):K=S(I)
970 NEXT
980 '
990 ' -----
1000 '          CALCULATE THE ACCUMULATIVE FREQUENCY
1010 ' -----
1020 '
1030 CLS
1040 INPUT"Please enter the age interval for calculation:",AI
1050 FOR I=1 TO INT(M+2*K/AI)+1
1060 F(I)=0
1070 NEXT
1080 CLS:PRINT"calculating..."
1090 FOR I=1 TO N
1100 L=A(I)-4*S(I):U=A(I)+4*S(I)
1110 IF L<0 THEN L=0
1120 IF U>M+2*K THEN U=M+2*K
1130 L=INT(L/AI):U=INT(U/AI)+1
1140 LOCATE 2,1:PRINT I
1150 FOR J= L TO U
1160 F(J)=F(J)+.4*EXP(-.5*((J*AI-A(I))/S(I))^2)
1170 NEXT
1180 NEXT
1190 MAX=0:PK=0
1200 FOR J=0 TO INT((M+2*K)/AI)+1
1210 IF MAX >= F(J) THEN GOTO 1230
1220 MAX=F(J):PK=J*AI
1230 NEXT
1240 '
1250 ' -----
1260 '          DRAW THE DIAGRAM ON THE SCREEN
1270 ' -----
1280 '
1290 INPUT"Enter the age interval of scal axis:",XI
1300 CLS:SCREEN 2
1310 LINE (70,30)-(70,260): LINE -(620,260)
1320 LINE (65,30)-(75,30):LINE (65,145)-(75,145)
1330 UR=M+2*K
1340 XVN=INT(UR/XI)
1350 FOR I=0 TO XVN
1360 X=70+I*(550*XI/UR)
1370 LINE (X,255)-(X,265)
1380 LOCATE 20,INT(X/9)
1390 PRINT I*XI
1400 NEXT
1410 LOCATE 20,74:PRINT"Ma"

```

```

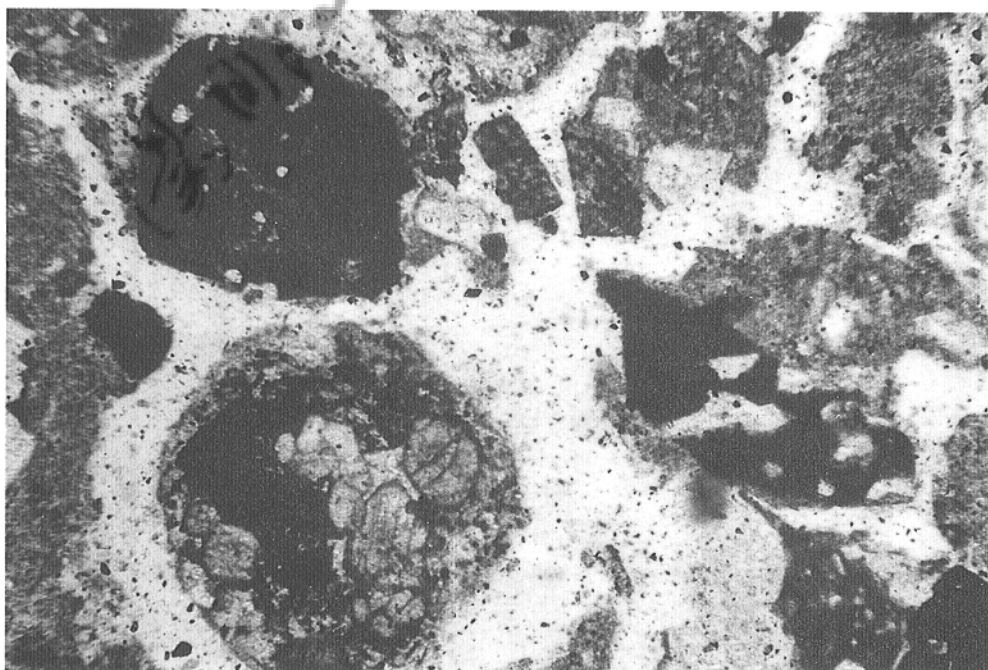
1420 PSET (70,260)
1430 FOR I=0 TO INT(UR/AI)+1
1440 XG=70+550*(I*AI/UR)
1450 YG=260-230*(F(I)/MAX)
1460 LINE -(XG,YG)
1470 NEXT
1480 LOCATE 22,9
1490 PRINT "peak is at ";PK;" Ma"
1500 INPUT"Do you want to change the age interval of scale axis ?",RDANS$
1510 IF RDANS$="y" OR RDANS$="Y" THEN GOTO 1290
1520 INPUT"Press ENTER to go to main menu.",GM$
1530 GOTO 140
1540 '
1550 '-----
1560 '          PLOT OUT THE DIAGRAM WITH PLOTTER
1570 '-----
1580 '
1590 OPEN "lpt2:" AS #1
1600 PRINT #1,"j1"
1610 PRINT #1,"m200,2200"
1620 PRINT #1,"d200,1200,1800,1200"
1630 PRINT #1,"m175,2200"
1640 PRINT #1,"d225,2200"
1650 PRINT #1,"m175,1700"
1660 PRINT #1,"d225,1700"
1670 FOR I=0 TO XVN
1680 X=200+I*(1600*XI/UR)
1690 PRINT #1,"m";X;"",1225"
1700 PRINT #1,"d";X;"",1175"
1710 PRINT #1,"m";X-50;"",1125"
1720 PRINT #1,"p";I*XI
1730 NEXT
1740 PRINT #1,"m950,1075"
1750 PRINT #1,"pMa"
1760 PRINT #1,"m200,1200"
1770 FOR I=0 TO INT(UR/AI)+1
1780 XG=200+1600*(I*AI/UR)
1790 YG=1200+1000*(F(I)/MAX)
1800 PRINT #1,"d";XG;"",";YG
1810 NEXT
1820 PRINT #1,"m200,950"
1830 PRINT #1,"pPeak is at ";PK;" Ma"
1840 PRINT #1,"j1"
1850 PRINT #1,"h"
1860 CLOSE #1
1870 GOTO 140
1880 END

```



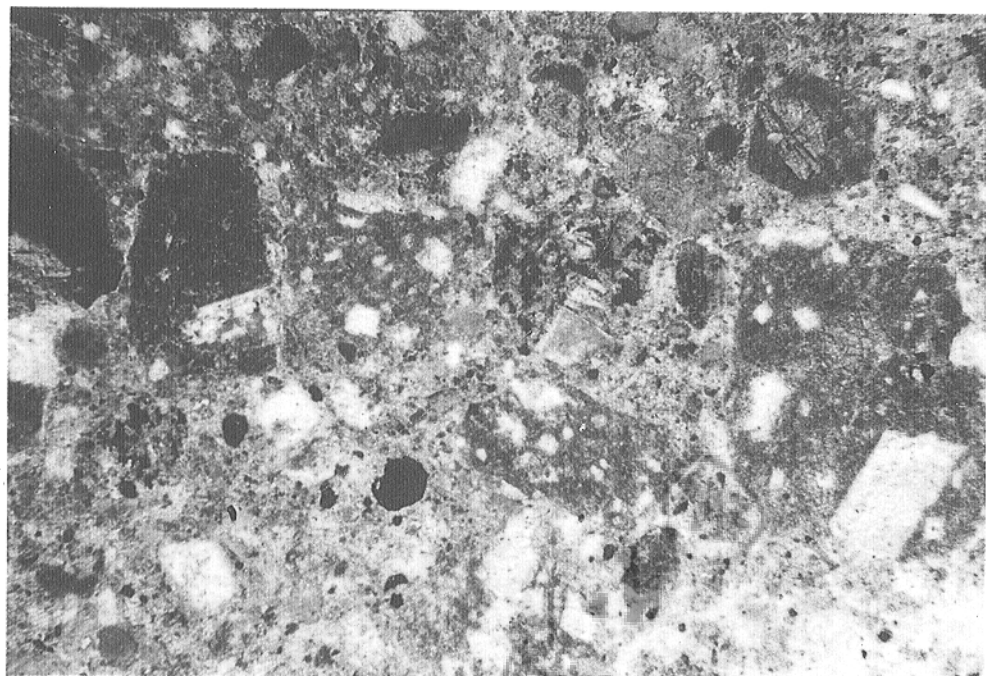
2 mm

圖版一：C層中的含角閃石結核(amphibole-rich nodule)Tt-x1之岩石薄片。



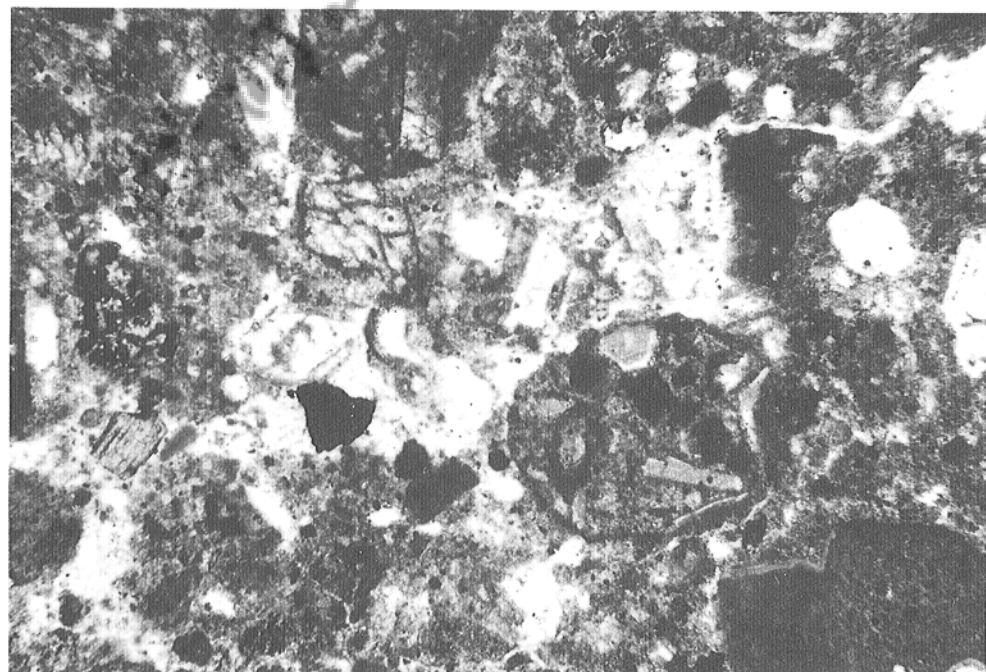
2 mm

圖版二：A層之細粒湧浪堆積層之岩石薄片，以含紫蘇輝石角閃石安山岩之岩屑為主。



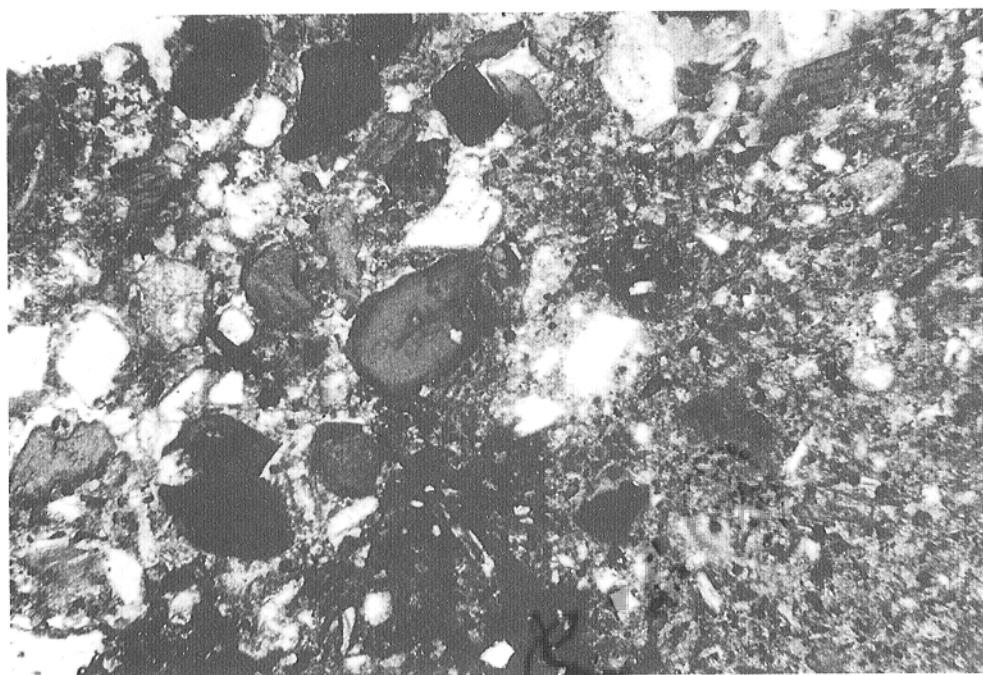
2mm

圖版三：B層 T-141 之岩石薄片，顯示以晶體為主之基質。



2mm

圖版四：B層細粒湧浪堆積層之岩石薄片，顯示以岩屑為主之基質。

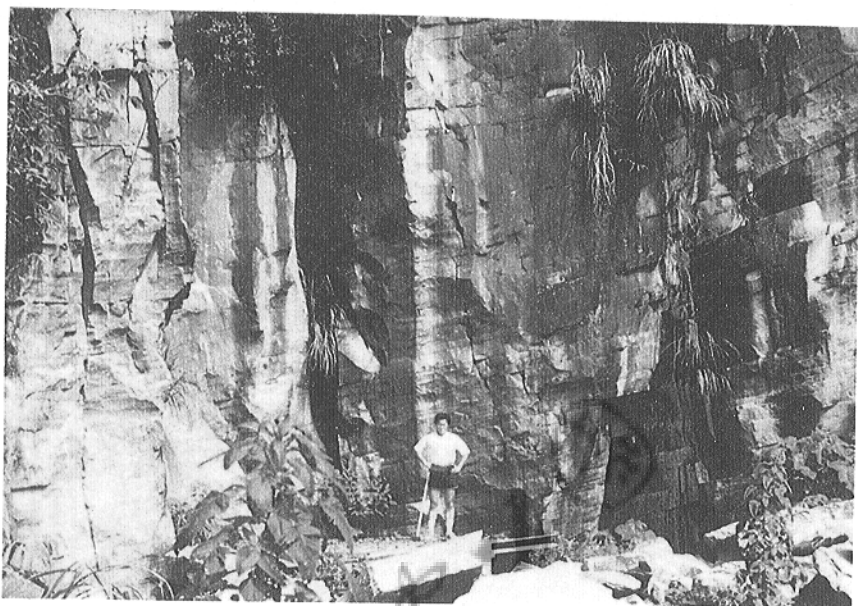


2mm

圖版五：貴子坑B層 Tt201之岩石薄片，顯示以晶體為主之火山灰直接蓋於陸相灰白色泥層上，代表火山噴發之起始面。



圖版六：B層之火山碎屑岩與五指山層之交角不整合接觸。



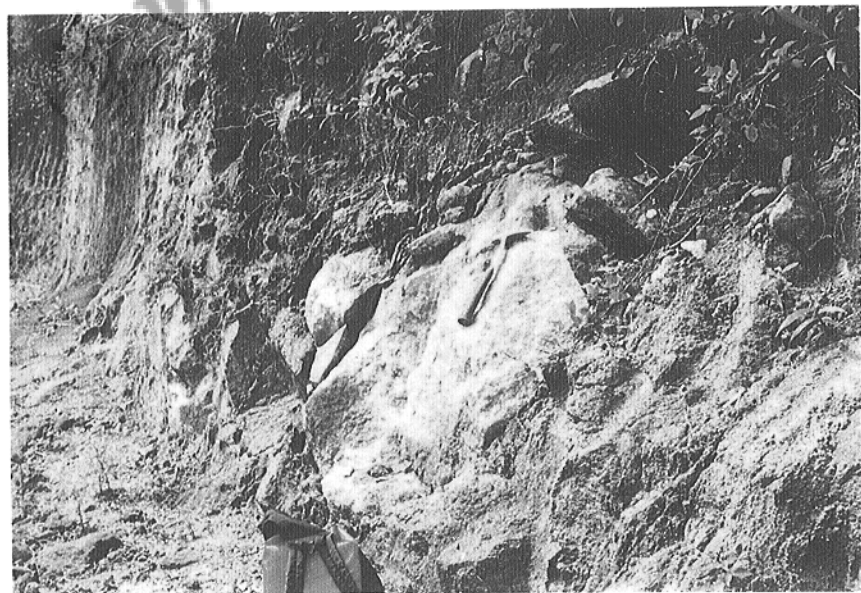
圖版七：在仰德六道福音園後山壁厚層
熔岩流 (YMS-1)。



圖版八：竹子山亞群熔岩流之柱狀解理
(column joint)。



圖版九：在頂中股極發達之火山熔岩板狀解理層
(platy joint)。



圖版一：小坪頂附近火山熔岩及上部所發育之紅土
，兩者呈漸變關係。



圖版十一：小油坑(A3剖面)的薄層火山碎屑岩
流及鴻浪堆積層互層。



圖版十二：海中天第二停車場B6剖面之沉積層
與火山灰接觸面。



圖版十三：C層tt-11之湧浪堆積層。



圖版十四：六福嘴剖面(D層)夾有砂岩岩塊
之火山碎屑岩流動堆積層。

誌 謝

本文研究期間，承蒙 恩師陳正宏教授在空間及時間上給予極大的便利，並且在論文撰寫期間大力斧正，作者衷心銘謝，謹致最高之謝忱。

在核飛跡分析過程中，感謝本所劉聰桂教授的耐心指導，使實驗得以順利完成。本所鄧屬子副教授在野外工作上，多次給予指正，譚立平教授、田沛霖教授、羅煥記教授、劉平妹教授在論文寫作期間對學生諸多關懷，在此深致謝意。

蒙陳文山、吳樂群、鍾孫霖、李寄嶠、楊燦堯、宋聖榮、曹恕中及楊金臻學長在野外的指導，袁美蘭小姐，田蓉禮小姐、陳文福、張士鈞、張國聖、鄭光倫、劉坤岩、何乃哲、朱健仁同學在野外的協助，吳富洵同學及邱淑芬小姐在電腦程式及中文打字上鼎力相助，以及李瑞妹小姐在生活上的關懷照顧，才使論文得以如期完成，謹致萬分謝意。

另外，陽明山國家公園管理處給予經費支持及野外工作之充份合作，劉慶男處長多次的關照，在此一併致謝。

最後，願將這份成果獻給父母。

有關本區內火山地形之保育研究及解說教育建議如下：

保育研究方面：

1. 建議在本文所提及之各層火山碎屑岩剖面，豎立告示牌提醒民眾注意，並附上解說文字及圖案，以向民眾說明形成之原因。
2. 建議在本區內一些地區，如大磺嘴、紗帽山、磺溪上游、面天山、烘爐山及大屯主峰，南峰及西峰交接處等地進行鑽探，以供進一步的火山層序關係之研究。
3. 建議在本區內進行火山岩之地球化學研究，以期進一步了解火山活動及地球化學演變之互動關係，而更深入了解本區內之火山作用。

解說教育方面：

1. 建議利用本文中四張火山活動演變圖，加上更活潑生動之說明，以進行解說教育。
2. 建議以本文所定出之年代資料，修正解說刊物中對火山活動年代之說法。

陽明先生全集