

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 地球科學科

第一名

探究精神獎

030503

觀音火山熔岩與其礦物比例分析

學校名稱：臺北市立明德國民中學

作者： 國二 林新原	指導老師： 陳好蓁
---------------	--------------

關鍵詞：觀音山、火山岩、鐵鎂質岩漿

得獎感言

田調中不放過一絲線索，修正地質圖外也做火山噴發動畫

這件作品能站上全國科展的舞台，賽前無數次的集訓、無數次的田調、觀察、實驗和討論，才有這篇作品說明書的誕生。

在台北市科展獲得特優後與評審教授請益的過程中發現他對作品的觀點和我們想的完全不一樣。於是為了這件作品，又再去實地考察，頂著烈陽，只為了心中那份對地質的熱愛，份作品說明書都大翻新，一路走來找到答案時的開心，又遇到挫折的難過，悲喜交錯，但我們依然不斷為這份研究努力著。在調查的過程中，有些採樣地點非常艱辛，在荒郊野外，只有掃墓用的水泥小路能夠到達，路面狹窄且凹凸不平，隨時會掉入水溝的恐懼。另外有些露頭更是在墓園之內，或一眼望去的草叢，像是烏山頭，原本規劃的路線已經被芒草覆蓋，不知道進去會發生什麼，只好轉去一個灌木叢裡找露頭，那時下起了雨，冷風颼颼，身邊都是人面蜘蛛。在調查的過程中要仔細觀察身邊的事物，一顆含有普通輝石的地磚也能成為重要的線索。

我們花了很多時間想更了解觀音山，像是從dem提取觀音山地形圖、空拍觀音山的所有重要山頭，花了一堆時間，結果壓根沒用到.....

還有火山噴發的動畫，動畫軟體的學習前後花了一個多月，全靠自學，沒想到動畫在市賽起了關鍵的作用。

台南科展為期五天，最終因為颱風而取消實體比賽，沒想到科教館宣布改為線上評審，內心受到非常大的衝擊，因為比賽策略得全部打掉重練。

由於teams線上軟體搭配pdf檔是第一次接觸，原先以為口頭報告改為線上應該很簡單，但是實際操作時發現報告就是沒有那麼聽話，所以經過不斷地練習報告，花了很多時間在練習，比賽當天評審問的問題都是務實的題目，在回答問題也沒有出錯；比完賽後跟指導老師分享比賽的過程，老師說前三名非我們莫屬。

到了線上頒獎典禮的那一天，到了「國中組地球科學組」的頒獎畫面出現時，看到榮獲探究精神獎，心涼了一半，接著聽到... 第三名... 第二名...」心想怎麼會是這樣的結果，心中非常失望。直到看到「第一名... 030503 台北市明德國中！」我們先傻住了幾秒，接著就拿著手機歡呼大叫，接踵而來的是一連串的恭禧聲如雪片般飛來！總會有人說，「台北市資源多贏不了其他縣市的！」但這一次，我們做到了，我們在全國菁英中脫穎而出，拔得頭籌！

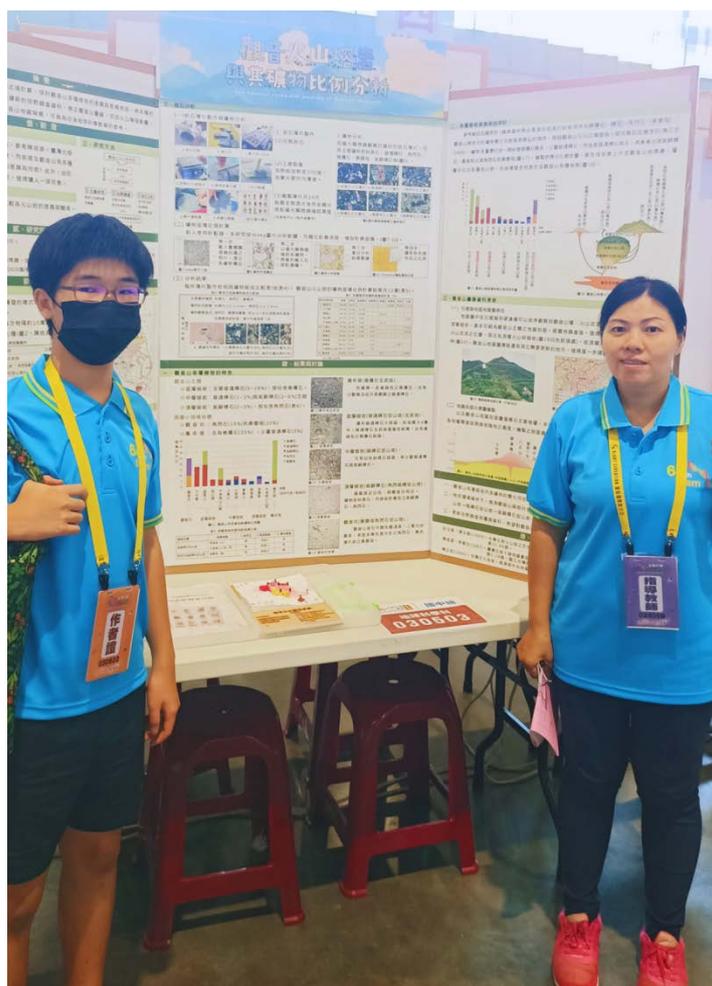
感謝在研究過程中幫助的所有人，來自於父母與指導老師的全程陪伴、支持與貢獻，又或著是教授們的專業指導。最重要的是對地質的熱愛才能堅持地走完這一年多來的科展研究。這個第一名，得來不易，不只是我們，還有好多人的貢獻，這個第一名，是屬於有關這個研究的所有人！



觀音山田野調查的照片



製作岩石薄片的過程



全國科展在台南的佈展

摘要

本研究透過親手磨製岩石薄片及數據化的礦物比例資料，探討觀音火山熔岩的差異與其分化關係。根據相關前人研究得知觀音火山經過五次噴發，共有七種不同的火山岩，比對地質圖於各地層分佈區域尋找新的出露地點共 17 處，進行田野調查記錄與空拍、採集標本，並磨製岩石薄片共 14 片，進行岩相觀察與礦物面積比例計算。

本研究觀察到觀音山熔岩有漸變關係，從普通輝石橄欖石玄武岩→普通輝石玄武岩→普通輝石安山岩→兩輝石安山岩→紫蘇輝石安山岩→黑雲母角閃石安山岩，符合鮑氏反應序列。並依據新的田野調查資料，修正觀音山圖資；建立火山噴發歷程模擬動畫；製作立體地形模型以瞭解地質地貌關係，皆可做為日後觀音山地球科學教育的參考。

壹、前言

一、研究動機

在地球科學課本中，提到台灣北部豐富有趣的火成岩地質，為了親身探訪這些台灣的火山，參考陳培源教授 1987 年撰寫之〈台灣北部十大地質調查路線〉之第一條路線，也就是觀音山路線，內容提及觀音山有多種的安山岩與玄武岩，這麼多樣的火山岩是如何形成的呢？其差異與分化關係，值得讓人一探究竟。

二、研究目的

- (一) 更新觀音山野外地質資料，採集手標本與環境觀察。
- (二) 將礦物組成比例數據化，比較各種火山岩的差異。
- (三) 配合文獻研究，探討觀音山各期熔岩之關係。
- (四) 修正觀音山地質圖與繪製詳細的剖面圖
- (五) 建立噴發順序模擬動畫與製作立體地質地質地形模型。

三、研究方法

研究課題建立後，從文獻研究、田野調查、岩石分析三個方法進行研究（圖 1）。

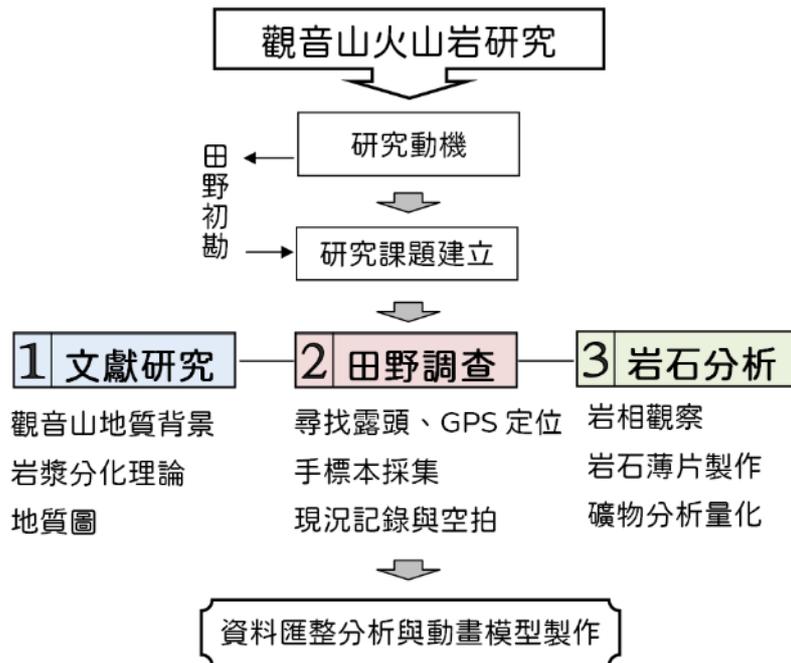


圖 1 研究方法與流程圖

四、研究設備

- (一) 採樣工具：地質錘、比例尺、傾斜儀。
- (二) 磨片設備：器材說明見圖 2a-e。
- (三) 其它設備：偏光顯微鏡、實體顯微鏡、空拍機（符合飛航管制條件下使用）、3D 列印機、雷射切割機。
- (四) 程式軟體：ImageFiji / Weka（圖片分析）、QGIS（地圖製作）、map2stl.com（3D 地形）、Google Earth（地形疊圖）、Houdini（動畫）、威力導演（後製）。

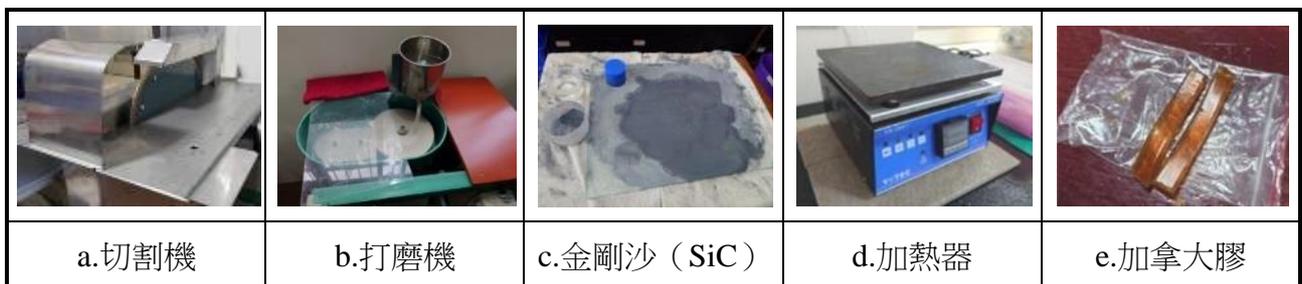


圖 2 磨片設備（作者拍攝）

貳、文獻回顧

觀音火山群是台灣北部之火山單元，位於淡水河南岸，主體為單一中心噴發的複式火山（Hwang and Lo, 1986），加上觀音坑、萬年塔與福隆山地區，整體範圍約 30 平方公里，受風化侵蝕作用影響，火山外形已不完整。

觀音山火山岩的組成（圖 3），火山主體分為三層：底層為普通輝石安山岩、普通輝石玄武岩，中層為兩輝石安山岩，頂層為紫蘇輝石安山岩、紫蘇輝石—角閃石安山岩，惟本研究現場採集之頂層熔岩標本中並未發現角閃石成份，故將頂層熔岩分為紫蘇輝石安山岩與紫蘇輝石安山岩火山碎屑岩。另有其他小規模岩體，觀音坑之紫蘇輝石黑雲母—角閃石安山岩，以及萬年塔之橄欖石玄武岩，共七個地層單位（陳培源 1987）。

觀音山地區火山活動之年代，依據莊文星、陳汝勤（1989）鉀-氬定年測定結果，觀音坑岩脈為六十三萬年前，底層安山岩五十三萬年前，中層四十三萬年前，頂層安山岩三十四萬年前，萬年塔玄武岩二十萬年前。依噴發年代編號整理火山岩地層資料（表 1）。對於文獻中提及觀音山的各種火山岩，本研究將對照地質圖於分佈區域一一採樣。

研究調查範圍另包括觀音山部份沉積岩。觀音山地區之沉積岩層分為基盤岩層與上覆沉積層（陳培源 1987）：

- 1 火山岩覆蓋下方之基盤岩層：濱海相之觀音山層、淺海相之大南灣層。
- 2 上覆沉積層：林口層、火山泥流。

表 1 觀音山火山活動年代與火山岩地層資料

編號	火山活動年代	地層名稱	地層組成	出露地點
V	二十萬年前	萬年塔玄武岩	橄欖石玄武岩	萬年塔
IV	三十四萬年前	頂層熔岩 頂層火山碎屑岩	紫蘇輝石安山岩 紫蘇輝石安山岩火山碎屑岩	硬漢嶺，牛港稜山頂 凌雲禪寺
III	四十三萬年前	中層熔岩	兩輝安山岩	大掘湖、華富山
II	五十三萬年前	底層熔岩	普通輝石安山岩 普通輝石玄武岩	下牛寮 福隆山、烏山頭
I	六十三萬年前	觀音坑岩脈	黑雲母角閃石安山岩	觀音坑

參、研究過程

一、野外地質調查與手標本採集

由於觀音山地貌常因人為或自然因素改變，早期研究之露頭地點已消失或因無定位資料難以尋找，本研究參考地質圖，重新尋找各地層出露處，記錄 GPS 定位、進行田野調查與手標本採集，及在符合飛航管制條件下使用空拍機進行地形地貌的觀察。本研究之調查地點，按火山岩地層分為五區與沉積岩地區。採樣地點共 17 處標示見圖 4。

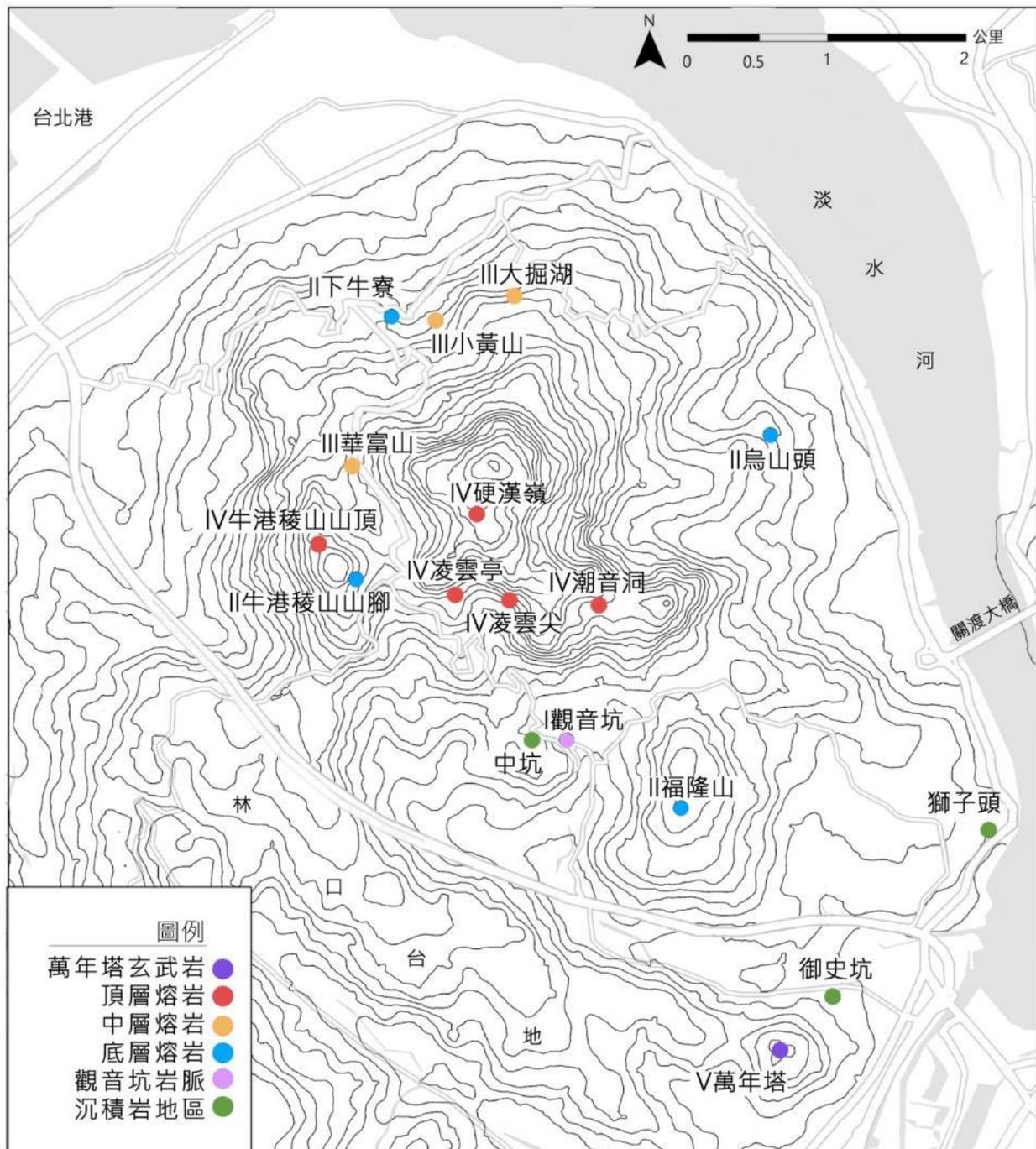


圖 4 觀音山地區採樣地點位置圖（底圖 Google Earth 觀音山地區等高線圖）

採樣詳細地點如下，現場記錄與照片見田野調查紀錄表 2~9。

I 觀音坑岩脈：觀音坑（表 2）。

II 觀音山主體底層熔岩：下牛寮（表 3），福隆山、烏山頭、牛港稜山山腳（表 4）。

III 觀音山主體中層熔岩：小黃山、大掘湖、華富山（表 5）。

IV 觀音山主體頂層熔岩：硬漢嶺、凌雲亭、牛港稜山山頂(表 6)，凌雲尖、潮音洞(表 7)。

V 萬年塔玄武岩：萬年塔（或稱五股花園墓園）（表 8）。

沉積岩地區：獅子頭的大屯火山泥流、中坑的觀音山層砂岩、御史坑火山泥流（表 9）。

表 2 觀音坑岩脈田野調查紀錄表（照片為作者拍攝）

I 觀音坑岩脈			
地層組成	黑雲母角閃石安山岩	地層類型	侵入岩脈
採樣地點	觀音坑（福隆山 1 巴士站）25°07'05.5"N 121°25'46.7"E		
採點描述	觀音坑山被數條發源自觀音山的溪流所環繞，而周邊的福隆山、林口台地使其呈現一劇場形之特殊地貌，其中心部分有一處角閃石安山岩入侵岩脈，露頭分布在福隆山巴士站附近。		
			
a. 觀音坑空拍（向西北攝）	b. 觀音坑露頭	c. 觀音坑手標本	

表 3 底層熔岩-普通輝石安山岩田野調查紀錄表（照片為作者拍攝）

II 觀音山主體：底層熔岩-普通輝石安山岩			
地層組成	普通輝石安山岩	地層類型	熔岩
採樣地點 1	下牛寮 25°08'37.7"N 121°25'06.9"E		
採點描述	下牛寮為觀音山北方之熔岩階地，呈明顯台地狀。		
			
a. 下牛寮熔岩階地空拍圖（向西攝）	b. 露頭照片	c. 下牛寮手標本	

表 4 底層熔岩-普通輝石玄武岩田野調查紀錄表（照片為作者拍攝）

II 觀音山主體：底層熔岩-普通輝石玄武岩			
地層組成	普通輝石玄武岩	地層類型	熔岩
採樣地點 1	福隆山 25°06'55.8"N 121°26'14.5"E		
採點描述	福隆山由三部分組成，第一期熔岩分布於頂部，下層為觀音山層、東側有大屯山火山碎屑。此露頭風化狀況較為特殊，其岩石零散分布於土壤中，標本表面均有一層厚約 1~2mm 之風化層。因其位於表層且年代久遠，推測其地層已受到嚴重之土壤化作用。		
			
a. 福隆山空拍（向東攝）	b. 露頭照片	c. 福隆山手標本	
採樣地點 2	烏山頭 25°08'13.0"N 121°26'32.8"E		
採點描述	烏山頭山體呈錐狀，為一被扇狀火山碎屑流包圍之第一期熔岩流岩體。本研究推測曾經被火山碎屑流覆蓋後經差異侵蝕而突出。本地點環境惡劣，即使深入墳區後方森林仍未發現露頭。		
			
d. 烏山頭空拍（向北拍攝）	e. 採集現場圖	f. 烏山頭手標本	
採樣地點 3	牛港稜山山腳 25°07'44.7"N 121°25'02.1"E		
採點描述	牛港稜山山腳之露頭約位於海拔 420 公尺處，屬於底層熔岩，普通輝石、橄欖石明顯、易辨認。底層熔岩之地層約由海拔 390 公尺處延伸至 450 公尺，厚度 60 公尺左右。牛港稜山之山體細長，本研究推測原本與觀音山主體相連，後因河川侵蝕分離。		
			
g. 牛港稜山（觀音山遊客中心攝）	h. 露頭	i. 手標本	

表 5 中層熔岩田野調查紀錄表（照片為作者拍攝）

III 觀音山主體：中層熔岩			
地層組成	兩輝安山岩	地層類型	熔岩
採樣地點 1	小黃山 25°08'38.1"N 121°25'26.6"E		
採點描述	小黃山為一大型之裸露岩體，呈塊狀風化，地形崎嶇，故稱小黃山。主體為兩石柱，右側石柱向右繼續延伸。此處採集之標本色黑，孔隙多。		
 <p>a. 小黃山外觀</p>		 <p>b. 岩壁近照</p>	
 <p>c. 小黃山手標本</p>			
採樣地點 2	大崁里 25°08'49.1"N 121°25'38.4"E		
採點描述	大崁里在觀音山未設置為國家風景區前，為一採石場，開採第二期的兩輝安山岩作為建材使用，後來被迫關閉。目前有廢墟位於大崁里別墅區內		
 <p>d. 採石場遺跡</p>		 <p>e. 露頭節理多樣</p>	
 <p>f. 大崁里手標本</p>			
採樣地點 3	華富山 25°08'10.2"N 121°24'59.9"E		
採點描述	此露頭位於華富山路旁，為第二期熔岩分布之較高處。因道路開發而露出，所採之標本結晶豐富，斜長石與基質對比度高，白色點狀如雪餅一般。		
 <p>g. 華富山路旁之露頭</p>		 <p>h. 岩壁近照</p>	
 <p>i. 華富山手標本</p>			

表 6 頂層熔岩田野調查紀錄表（照片為作者拍攝）

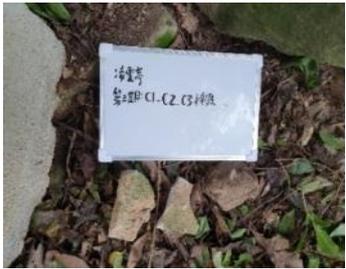
IV 觀音山主體：頂層熔岩			
地層組成	紫蘇輝石安山岩	地層類型	頂層熔岩
採樣地點 1	硬漢嶺 25°08'10.1"N 121°25'32.4"E		
採點描述	硬漢嶺為頂層熔岩之主要分布區域，此區域之熔岩質地較軟（與凌雲亭相比）推測是因風化較嚴重。由硬漢嶺山頂觀景台下切，約 50 公尺後可發現一區具有明顯熔岩流向之紫蘇輝石安山岩，約呈南北走向。		
			
a. 硬漢嶺與五八山空拍（向東北拍攝）	b. 硬漢嶺區熔岩流向露頭		c. 硬漢嶺手標本
採樣地點 2	凌雲亭 25°07'40.4"N 121°25'21.8"E		
採點描述	此露頭位於凌雲亭旁，節理發達，標本質地堅硬，不易採集。其露頭之型態異常，大塊之岩石互相堆疊，多縫隙，不排除人為堆疊之可能性。		
			
d. 露頭圖片	e. 岩石堆疊不自然		f. 採集之手標本
採樣地點 3	牛港稜山山頂 25°07'51.2"N 121°24'51.4"E		
採點描述	牛港稜山山頂與山腳為不同地層，有一層厚約 20 公尺之紫蘇輝石安山岩，斜長石斑晶密集，頂部岩石多呈洋蔥狀風化之岩塊。		
			
g. 牛港稜山空拍（向西拍攝）	h. 洋蔥狀風化		i. 採集之手標本

表 7 頂層火山碎屑岩田野調查紀錄表（照片為作者拍攝）

IV 觀音山主體：火山碎屑岩			
地層組成	紫蘇輝石安山岩火山碎屑岩	地層類型	頂層火山碎屑岩
採樣地點 1	凌雲尖 25°07'44.1"N 121°25'29.7"E		
採點描述	頂層火山碎屑流構成了尖山、凌雲尖、鷹仔尖等觀音山群峰，地質鬆軟、地形崎嶇。有多崩塌岩壁的特性。硬漢嶺登山口路旁有一處露頭，可見許多頂層火山碎屑岩之大塊岩塊。		
 <p>a. 大岩壁空拍（向東北拍攝）</p>		 <p>b. 火山碎屑之露頭</p>	
 <p>c. 使用空拍機拍攝岩壁表面</p>			
採樣地點 2	潮音洞 25°07'30.6"N 121°25'55.0"E		
採點描述	潮音洞位於尖山、鷹仔尖之間，為一觀察火山碎屑岩的絕佳地點。		
 <p>d. 潮音洞口</p>		 <p>e. 火山碎屑岩壁</p>	
 <p>f. 潮音洞內部火山碎屑層</p>			

表 8 萬年塔玄武岩田野調查紀錄表（照片為作者拍攝）

V 萬年塔玄武岩			
地層組成	橄欖石玄武岩	地層類型	熔岩
採樣地點	萬年塔（五股花園墓園）25°07'40.4"N 121°25'21.8"E		
採點描述	萬年塔山發現之露頭有 2 處。在西雲禪寺旁可發現些許富含橄欖石的大型岩塊，上有氣泡痕跡。		
 <p>a. 萬年塔與御史坑空拍（向東南）</p>		 <p>b. 路旁之玄武岩塊</p>	
 <p>c. 萬年塔手標本</p>			

表9 沉積岩地區田野調查紀錄表（照片為作者拍攝）

沉積岩地區			
地層組成	大屯火山泥流	地層類型	火山泥流
採點描述	獅子頭 25°06'40.8"N 121°27'23.0"E		
採點描述	獅子頭露頭稀少，唯一露頭發現於龍米路旁的烤玉米店，為火山碎屑地層，多角礫，標本整體泛紅，質地緻密。獅子頭為大屯山噴發之產物，和竹圍埔頂屬相連地層，呈平台狀，淡水河從中切過。		
 <p>a.獅子頭空拍（向西北）</p>		 <p>b.獅子頭、萬年塔空拍(向西南)</p>	
 <p>c.獅子頭火山碎屑層</p>			
地層組成	觀音山層砂岩	地層類型	沉積岩
採樣地點	中坑 25°07'10.9"N 121°25'41.6"E		
採點描述	中坑地區之觀音山層砂岩，為觀音山之底層岩石，為本區最古老者。因觀音山爆發被擠出地表，皆有不同程度之傾斜。		
 <p>d.砂岩露頭</p>		 <p>e.傾斜之地層</p>	
 <p>f.傾斜的地層</p>			
地層組成	安山質火山碎屑堆積	地層類型	火山泥流
採樣地點	御史坑（中友公司停車場）25°06'08.3"N 121°26'47.9"E		
採點描述	御史坑火山泥流位於林口層之上，質地鬆軟。標本呈現深黑色，多氣孔，根據觀察採集標本之顯微薄片，角礫內部分布零散斜長石。周圍也有多處林口層露頭。		
 <p>g.火山碎屑層與林口層</p>		 <p>h.御史坑露頭</p>	
 <p>i.御史坑手標本多角礫</p>			

二、岩石薄片製作

觀音山地區採集共 38 件火山岩標本（圖 5），由標本中心各切取 2 片石片，挑選其中風化不嚴重、具代表性者 14 片進行岩石薄片磨製（圖 6）。



圖 5 採集之手標本（作者攝，磁磚大小為 20*20cm）



圖 6 岩石薄片成品共 14 片，右下為試作（作者攝）

製作過程分為切割、上膠、磨製等三個步驟，詳述如下：

（一）切割：將挑選後的岩石標本切成長寬約 30×20mm，厚度 2~3mm 之小石片（圖 7a 和 b），及實體顯微鏡觀察用的厚切片（圖 7c）。

（二）上膠：加熱石片和玻片至攝氏 100 度，使其水份完全蒸發乾燥（圖 8a）。利用玻片的熱度使加拿大膠條融化，將膠均勻薄塗於玻片上，以 45 度角放上石片並用竹筷前後推動擠出氣泡（圖 8b 和 c）。

（三）磨製：在輪盤上粗磨至稍微透光（圖 9a），後利用金剛沙（SiC）精細調整厚度。極細的金剛沙加少許水後呈泥狀（圖 9b），打磨時用偏光顯微鏡來回確認厚度，直到正交偏光下看到斜長石顯示灰白色（厚度 0.03mm），便停止打磨，貼上標籤後完成（圖 9c）。

在製作過程中遇到的問題：

1. 打磨時手部施力不均，常造成玻片破裂或歪斜，完成的標本由於各處厚薄不同，限制了偏光顯微鏡可觀察的範圍。

2. 礦物在磨製過程中有掉落的問題。大顆的礦物如橄欖石等會留下一個具有外框的孔洞，小顆輕薄的如黑雲母等礦物則直接消失無痕跡。在打磨前先將石片泡環氧樹脂可改善此問題，但泡膠後標本硬度增加，需更多時間磨製到正確厚度。



圖 7 切割岩石標本（本研究拍攝）

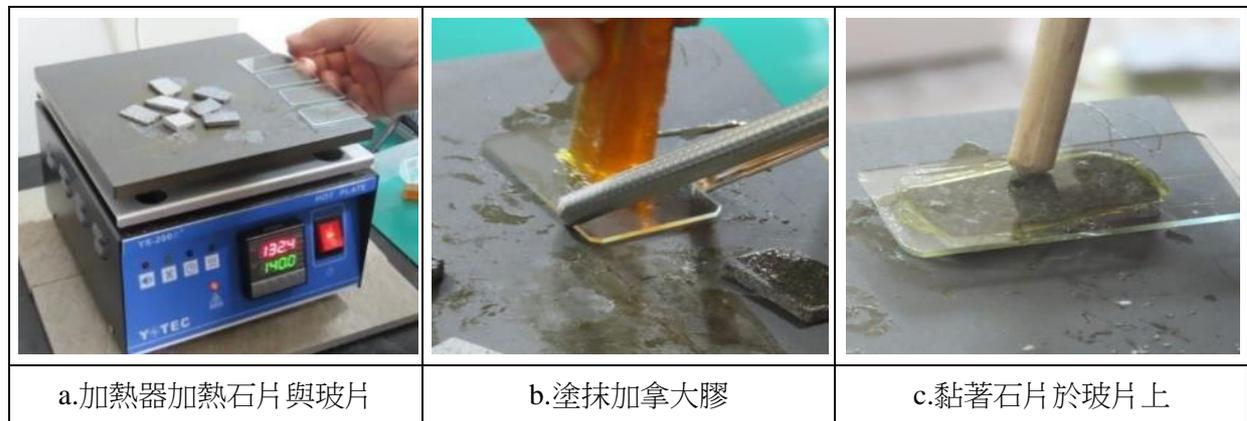


圖 8 上膠黏著至玻璃片（本研究拍攝）



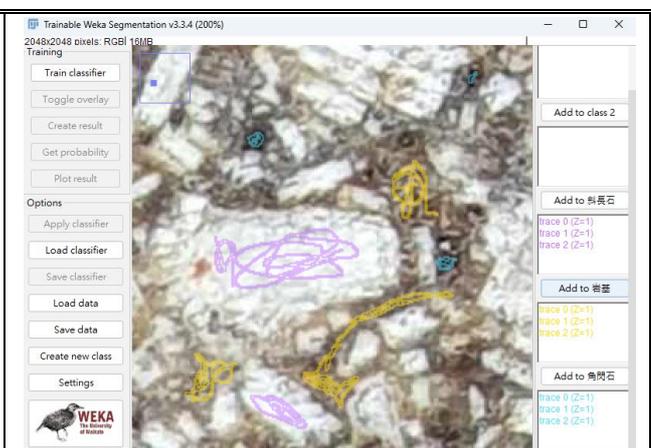
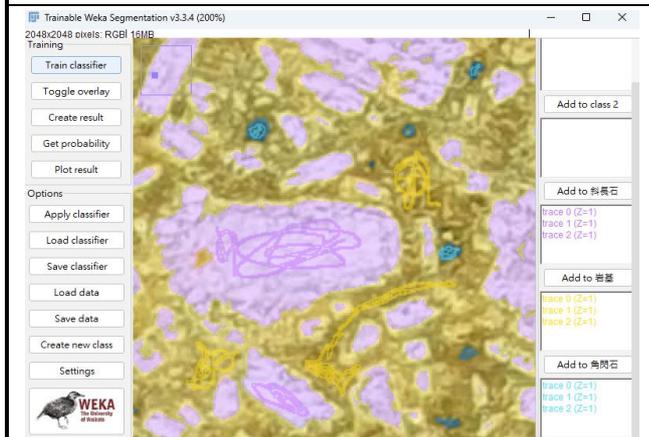
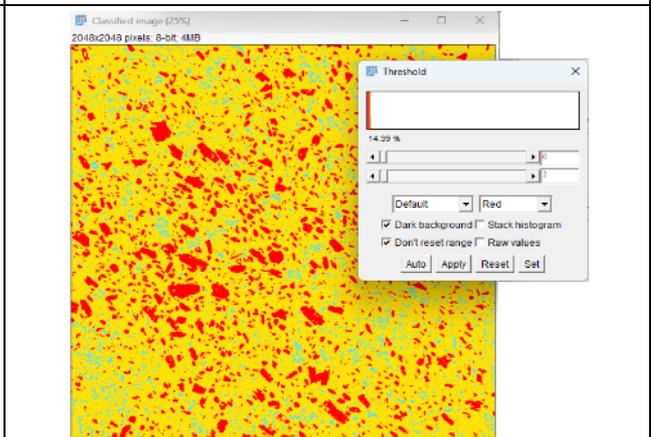
圖 9 磨製岩石薄片（本研究拍攝）

三、圖片分析軟體與礦物比例計算

前人在計算礦物比例時使用點計數器，林育嘉（2015）首度採用人工圈選面積計算，標本若含如斜長石等較小之結晶，因面積小且數量多，圈選相當繁複，其薄片樣本數量 8 筆。

本研究運用 Fiji ImageJ 的 WEKA 程式，進行圖片自動分析來計算觀音山的礦物比例，可簡化計算流程與提高精準度。以實體顯微鏡拍攝之岩石照片，搭配偏光顯微鏡確認礦物種類，依每種礦物的辨識難度，畫記多筆面積資料做為分析依據。薄片樣本數量 14 筆。以下使用華富山取得之兩輝安山岩標本為例，依序說明圖片分析之四個步驟（表 10）。

表 10 礦物圖片分析電腦執行畫面與步驟說明（作者截圖）

 <p>a. weka 操作介面</p>	 <p>b. 礦物色塊畫記</p>
<p>第一步：使用 Fiji ImageJ 開啟 WEKA 插件，載入實體顯微鏡拍攝照片。於右側建立各種礦物欄位。</p>	<p>第二步：偏光顯微鏡確認礦物外觀，將單一礦物結晶圖形內部使用筆刷劃記，並將資料加入右側對應的欄位，重複以上步驟建立資料。</p>
 <p>c. 礦物分布辨識</p>	 <p>d. threshold 讀取礦物比例</p>
<p>第三步：執行圖片分析，產出分析結果與礦物數據。</p>	<p>第四步：使用 image>threshold 功能，讀取各色塊比例，記錄計算結果。畫記之資料可套用在礦物成分相近之標本。範例顏色：黃色：基質；紅色：斜長石；綠色：輝石與角閃石。</p>

肆、研究結果

一、岩相觀察

打磨好的岩石薄片，在偏光顯微鏡下大致可見到基質、礦物、孔隙三大類，孔隙為熔岩冷卻過程中氣體留下之孔洞，礦物部份可見到斜長石、普通輝石、角閃石、橄欖石、黑雲母、紫蘇輝石等（圖 10）。各期標本以偏光顯微鏡觀察後，記錄岩相與礦物組成整理表 11~15。

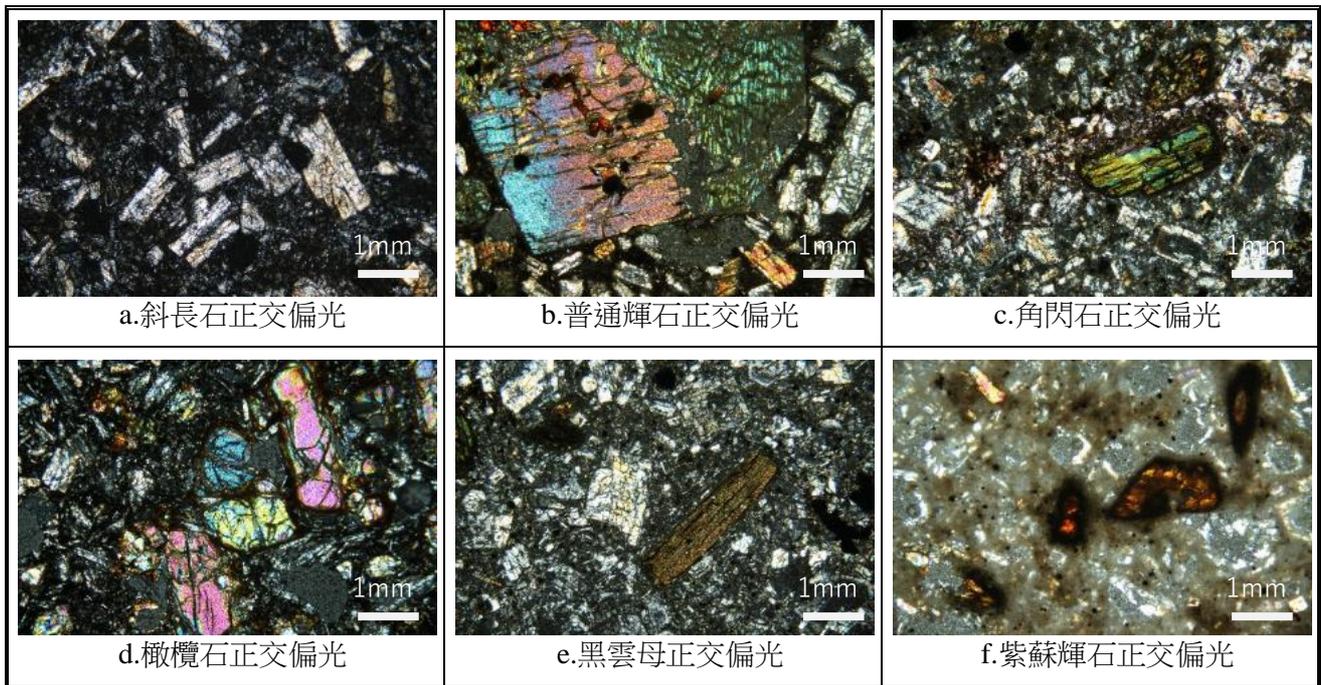
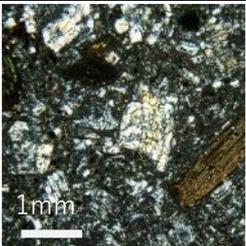
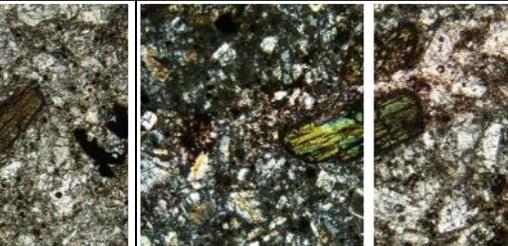


圖 10 偏光顯微鏡觀察之礦物照片（作者拍攝）

表 11 觀音坑岩脈礦物組成比較表（照片為作者拍攝）

I 觀音坑岩脈	觀音坑	主要礦物種類	斜長石、角閃石、黑雲母		
		礦物粒徑範圍	斜長石:0.2~3.2mm；角閃石:1.2~1.8mm		
		礦物觀察描述	角閃石、黑雲母豐富，約以 2:1 的比例散佈於表面，但黑雲母易剝落，薄片內僅發現 1 粒		
			 <p>a. 觀音坑手標本</p>	 <p>b. 黑雲母正交偏光照片（左） 與平行偏光照片（右）¹</p>	 <p>c. 角閃石正交偏光（左）與 平行偏光（右）</p>

¹若標本含二種主要礦物，則將各礦物之正交偏光照片(左)與平行偏光照片(右)併置

表 12 底層熔岩礦物組成比較表（照片為作者拍攝）

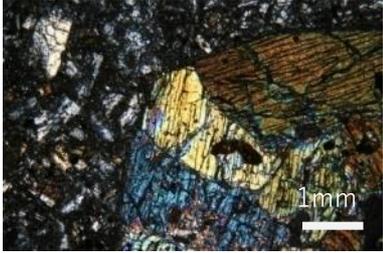
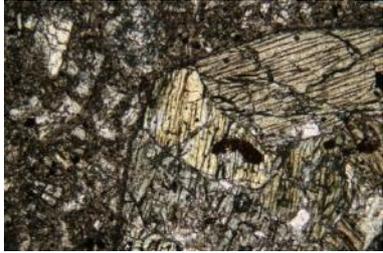
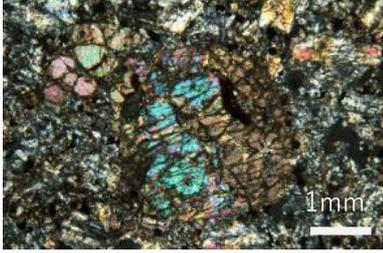
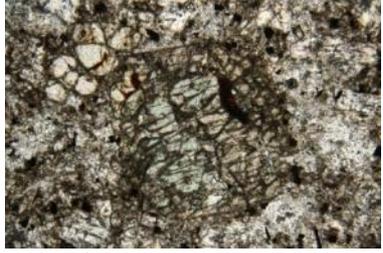
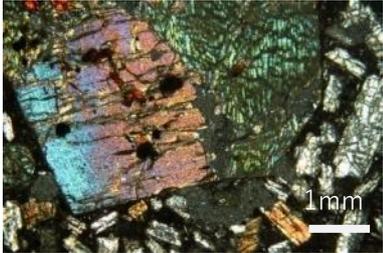
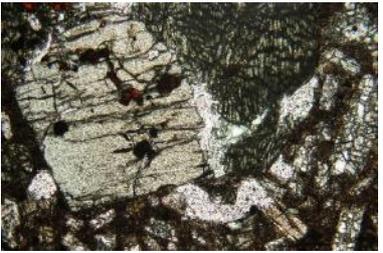
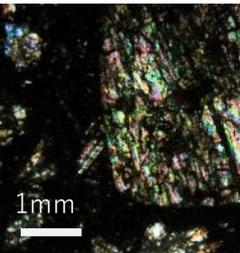
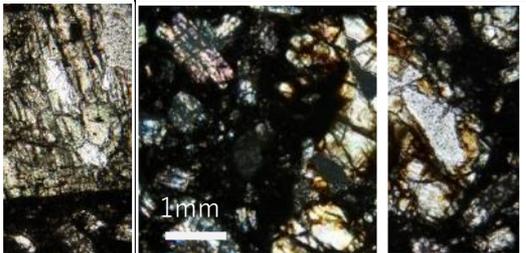
II 底層熔岩 普通輝石 安山岩	下牛寮	主要礦物種類	斜長石、普通輝石		
		礦物粒徑範圍	斜長石：0.8~1.6mm；普通輝石：3.6~6.4mm		
		礦物觀察描述	普通輝石零散分布		
		 <p>a. 下牛寮手標本</p>	 <p>b. 普通輝石正交偏光</p>	 <p>c. 普通輝石平行偏光</p>	
II 底層熔岩 普通輝石 玄武岩	福隆山	主要礦物種類	斜長石、普通輝石、橄欖石		
		礦物粒徑範圍	斜長石：0.4~0.8mm；普通輝石：2.8~8.0mm；橄欖石：0.7~0.8mm		
		礦物觀察描述	普通輝石斑晶大、多，於內部發現數量少之橄欖石		
		 <p>d. 福隆山手標本</p>	 <p>e. 普通輝石、橄欖石正交偏光</p>	 <p>f. 普通輝石、橄欖石平行偏光</p>	
II 底層熔岩 普通輝石 玄武岩	烏山頭	主要礦物種類	斜長石、普通輝石		
		礦物粒徑範圍	斜長石：0.4~1.6mm；普通輝石：2.0~4.4mm		
		礦物觀察描述	普通輝石零散分布		
		 <p>g. 烏山頭手標本</p>	 <p>h. 普通輝石正交偏光</p>	 <p>i. 普通輝石平行偏光</p>	
II 底層熔岩 普通輝石 玄武岩	牛港稜山 山腳	主要礦物種類	斜長石、普通輝石、橄欖石		
		礦物粒徑範圍	斜長石：0.4~0.8mm；普通輝石：2.4~8.0mm；橄欖石：1.2~2.4mm		
		礦物觀察描述	多大孔隙，於內部發現數量多之橄欖石		
		 <p>j. 牛港稜山山腳手標本</p>	 <p>k. 普通輝石正交偏光（左） 與平行偏光（右）</p>	 <p>l. 橄欖石正交偏光（左）與 平行偏光（右）</p>	

表 13 中層熔岩礦物組成比較表 (照片為作者拍攝)

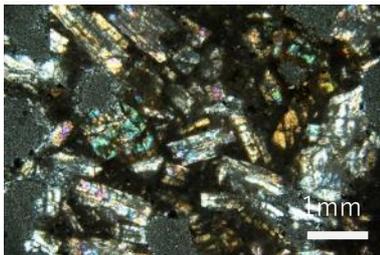
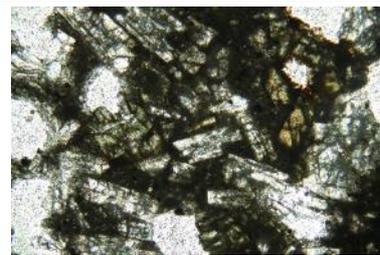
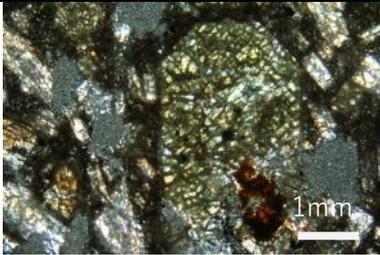
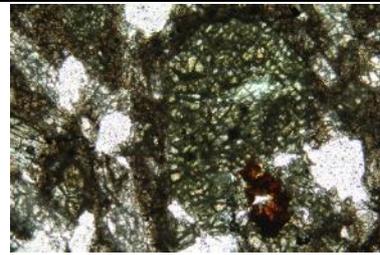
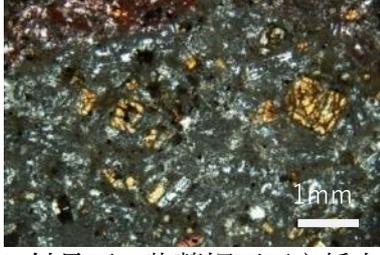
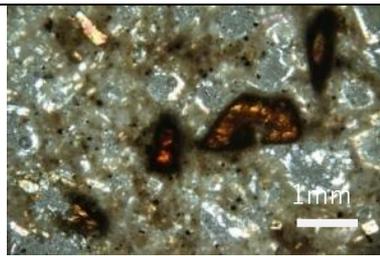
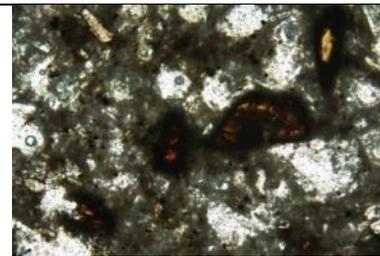
III 中層熔岩	小黃山	主要礦物種類	斜長石、普通輝石、紫蘇輝石		
		礦物粒徑範圍	斜長石：0.8~1.6mm；普通輝石：0.4~2.8mm；紫蘇輝石：0.4~0.8mm		
		礦物觀察描述	孔隙密集，多斜長石與普通輝石，少量紫蘇輝石		
					
		a. 小黃山手標本	b. 普通輝石正交偏光	c. 普通輝石平行偏光	
		主要礦物種類	斜長石、普通輝石、紫蘇輝石		
		礦物粒徑範圍	斜長石：0.4~1.6mm；普通輝石：0.4~0.8mm；紫蘇輝石：0.8~2.0mm		
		礦物觀察描述	孔隙密集，多斜長石與紫蘇輝石，有少量普通輝石		
		大掘湖			
	d. 大掘湖手標本	e. 普通輝石正交偏光	f. 普通輝石平行偏光		
	主要礦物種類	斜長石、普通輝石、紫蘇輝石			
	礦物粒徑範圍	斜長石：10~100mm；兩輝石：20~40mm			
	礦物觀察描述	此標本結晶率高，礦物種類多，兩輝石含量較低，不易從外表察覺			
	華富山				
	g. 華富山手標本	h. 斜長石、紫蘇輝石正交偏光	i. 斜長石、紫蘇輝石平行偏光		

表 14 頂層熔岩礦物組成比較表 (照片為作者拍攝)

IV 頂層熔岩	硬漢嶺	主要礦物種類	斜長石、紫蘇輝石		
		礦物粒徑範圍	斜長石：0.4~1.6mm；紫蘇輝石：0.8~0.4mm		
		礦物觀察描述	斜長石結晶小、零散，有少量紫蘇輝石		
					
	a. 硬漢嶺手標本	b. 紫蘇輝石正交偏光	c. 紫蘇輝石平行偏光		

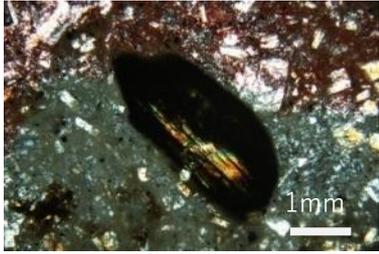
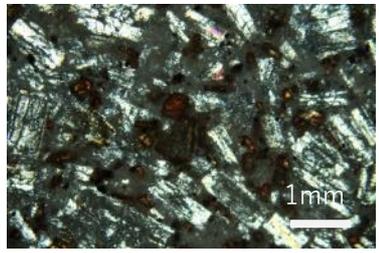
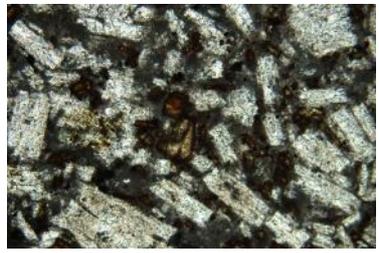
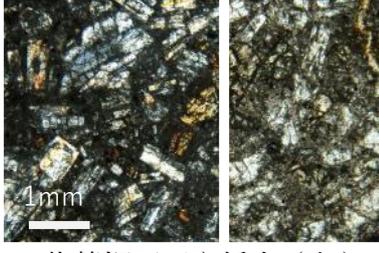
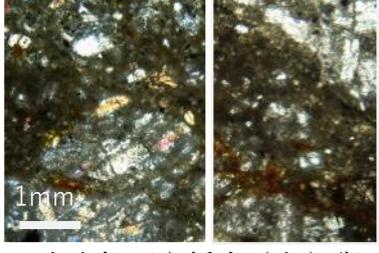
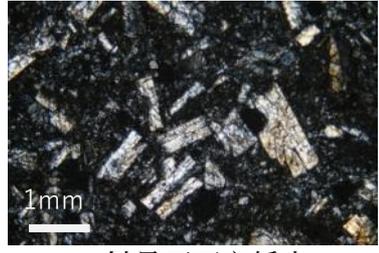
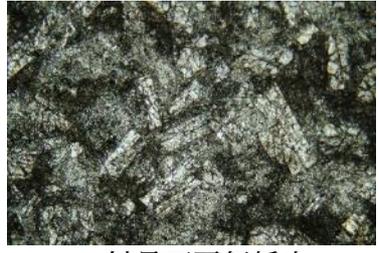
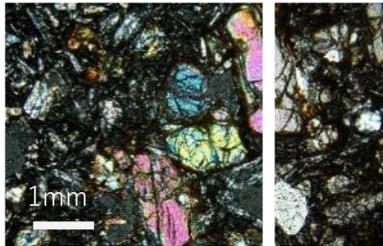
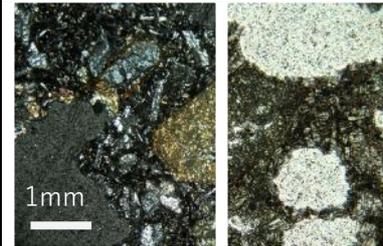
IV 頂層 熔岩	凌雲亭	主要礦物種類	斜長石、紫蘇輝石		
		礦物粒徑範圍	斜長石：0.2~0.4mm；紫蘇輝石：0.4~2.0mm		
		礦物觀察描述	結晶率高，紫蘇輝石結晶大		
					
		d.凌雲亭手標本	e.紫蘇輝石正交偏光	f.紫蘇輝石平行偏光	
		牛港稜山山頂	主要礦物種類	斜長石、紫蘇輝石	
		礦物粒徑範圍	斜長石：0.4~1.6mm；紫蘇輝石：0.08~0.8mm		
		礦物觀察描述	有許多微小之紫蘇輝石平均分布，有少量較大者		
					
		g.牛港稜山山頂手標本	h.紫蘇輝石正交偏光	i.紫蘇輝石平行偏光	
IV 頂層 火山 碎屑岩	凌雲尖	主要礦物種類	斜長石、紫蘇輝石		
		礦物粒徑範圍	斜長石：0.4~1.2mm；紫蘇輝石：0.8mm		
		礦物觀察描述	角礫內有極少之紫蘇輝石		
					
		j.凌雲尖手標本	k. 紫蘇輝石正交偏光（左）與平行偏光（右）	l.火山灰正交偏光（左）與平行偏光（右）	
		潮音洞	主要礦物種類	斜長石（風化程度不一）、紫蘇輝石	
		礦物粒徑範圍	紫蘇輝石：0.4~1.2mm		
		礦物觀察描述	紫蘇輝石薄片無發現，推測已風化，有斜長石斑晶		
					
		m.潮音洞手標本	n.斜長石正交偏光	o.斜長石平行偏光	

表 15 萬年塔玄武岩礦物組成比較表（照片為作者拍攝）

V 萬年塔玄武岩	萬年塔	主要礦物種類	斜長石、橄欖石、普通輝石			
		礦物粒徑範圍	斜長石：0.12~2.0mm；橄欖石：0.8~3.2mm；普通輝石：0.8~2.0mm			
		礦物觀察描述	結晶豐富，多橄欖石，斜長石小而密集，有少數普通輝石。			
		 <p>a. 萬年塔手標本</p>		 <p>b. 斜長石、橄欖石正交偏光（左）與平行偏光（右）</p>		 <p>c. 普通輝石正交偏光（左）與平行偏光（右）</p>

二、礦物比例計算結果

相較於前人用化學分析為主，本研究以礦物分析的方法，將各標本內各礦物面積比例數據化，以觀察各時期岩漿內礦物間的轉變。由於計算方式的改善，可更有效率的取得多筆數據。整理觀音山火山岩的礦物面積比例結果為表 16。

表 16 各層熔岩含礦物面積統計表（%）

編號	採樣地點	基質	斜長石	普通輝石	紫蘇輝石	橄欖石	黑雲母	角閃石	孔隙
I	觀音坑	45.99	29.01	-	-	-	9.8	15.2	-
II	下牛寮	49.26	33.38	17.36	-	-	-	-	-
	福隆山	62.80	6.13	18.96	-	12.10	-	-	-
	烏山頭	63.7	27.16	5.82	-	-	-	-	3.32
	牛港稜山山腳	70.46	12.12	12.38	-	5.04	-	-	-
III	小黃山	70.32	20.49	1.89	3.11	-	-	-	4.19
	大掘湖	54.32	21.44	2.80	5.20	-	-	-	16.24
	華富山	56.6	43.24	3.06	2.10	-	-	-	-
IV	硬漢嶺	63.92	32.95	-	3.13	-	-	-	-
	凌雲亭	69.52	23.25	-	7.23	-	-	-	-
	牛港稜山山頂	87.72	10.97	-	1.31	-	-	-	-
	凌雲尖	79.53	20.01	-	0.46	-	-	-	-
	潮音洞	98.58	-	-	1.42	-	-	-	-
V	萬年塔	43.69	10.71	3.06	-	35.7	-	-	6.84

-表示含量太低或無

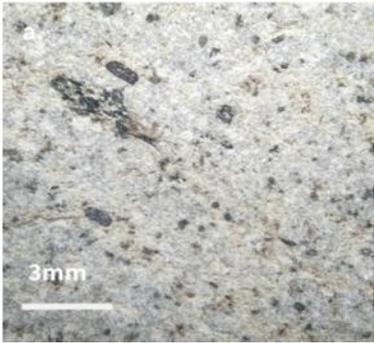
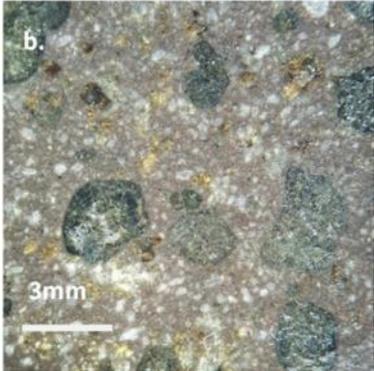
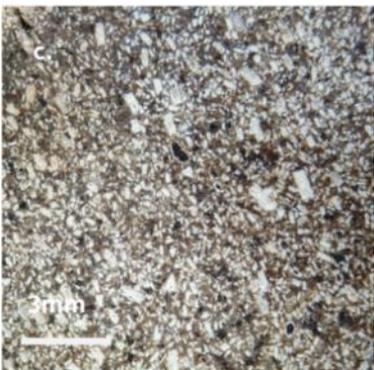
伍、討論

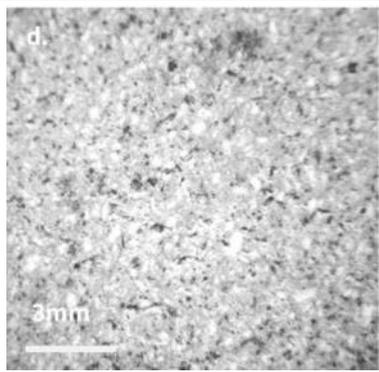
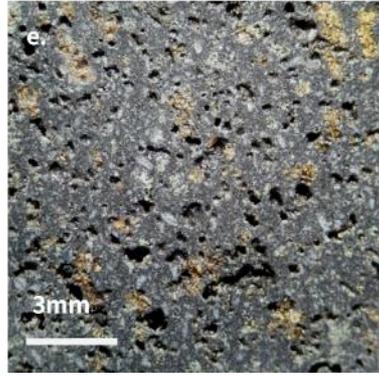
一、觀音山各層熔岩的差異

(一) 岩相觀察統整

依照岩相觀察結果，觀音山各層熔岩的差異，在於普通輝石、紫蘇輝石、角閃石、黑雲母、橄欖石等五種礦物的含量不同（表 17）。斜長石在觀音山的各期熔岩中都有出現，比例約占 6%~43%。基質顏色由淺到深為：觀音坑岩脈≡頂層安山岩>中層安山岩>底層安山岩>萬年塔玄武岩，基質顏色深淺間接表示熔岩之二氧化矽含量，含量高則顏色淺。

表 17 觀音山各層熔岩的差異比較（照片為作者拍攝）

實體顯微鏡照片	岩相描述	基質色
	黑雲母角閃石安山岩（觀音坑）： 觀音山所有岩石中顏色最淺者，二氧化矽最多，表面多黑色長方形之角閃石斑晶，另有結晶較小之黑雲母，外觀呈黑色六角形。	淺灰
	普通輝石安山岩/普通輝石玄武岩（底層熔岩）： 遍布普通輝石大斑晶，粒徑最大 8 毫米，呈墨綠色接近圓形，為觀音山岩石中礦物最大者。普通輝石經風化後會凸起於表面，肉眼可見呈顯眼之棕色或黑色。普通輝石玄武岩基質色較普通輝石安山岩黑，且有黃綠色之橄欖石結晶	深灰
	兩輝石安山岩（中層熔岩）： 外觀幾乎無任何深色礦物，切開後可見白色之斜長石斑晶，用偏光顯微鏡能發現少數普通輝石與紫蘇輝石，二氧化矽含量差異較大，可由白灰色（華富山）到深灰色（小黃山）。	灰

	<p>紫蘇輝石安山岩（頂層熔岩）：</p> <p>基質接近白色，與觀音坑相近。礦物多斜長石，與華富山之兩輝石安山岩的差異，在內部多了些許黑色之紫蘇輝石，粒徑相當小，最大者僅1.6mm。牛港稜山山頂之標本近乎無紫蘇輝石。</p>	淺灰
	<p>普通輝石橄欖石玄武岩（萬年塔）：</p> <p>萬年塔之普通輝石橄欖石玄武岩為觀音山岩漿偏基性者，色最黑，二氧化矽含量最低，斜長石多，但斑晶小，粒徑約0.12~2mm，多黃綠色之橄欖石，約佔36%，另有少數無法從外表觀察之普通輝石。在萬年塔採集之三樣本中，北側樣本多氣孔。</p>	黑

（二）同層熔岩之差異比較

1. 底層熔岩

牛港稜山山腳、烏山頭在地質圖上標示為普通輝石安山岩、普通輝石玄武岩，但依照觀察，牛港稜山山腳標本基質色黑，多橄欖石，接近福隆山(玄武岩)標本。烏山頭標本基質色灰，無橄欖石，與下牛寮(安山岩)標本接近 (表 18)，故將此兩區重新歸類。

表 18 底層熔岩採樣地點差異比較

熔岩名稱	採樣地點	1.橄欖石	2.結晶程度	3.基質深淺
普通輝石安山岩	下牛寮（北）	無	結晶少	淺
	烏山頭（東）	無	結晶少	深
普通輝石玄武岩	福隆山（南）	多（12%）	結晶大且多	深
	牛港稜山山腳（西）	多（5%）	結晶大且多	深

2. 中層熔岩

中層熔岩之小黃山與大堀湖位置接近，標本岩象幾乎相同，基質色較淺，結晶少孔隙多，華富山標本結晶度高，無孔隙，基質色較深 (表 19)。

表 19 中層熔岩採樣地點差異比較

熔岩名稱	採樣地點	1.結晶程度	2.基質深淺	3.孔隙
兩輝石安山岩	小黃山（北）	結晶少	淺	多（4%）
	大堀湖（北）	結晶少	淺	多（16%）
	華富山（西）	結晶多	深	無

3.頂層熔岩

頂層熔岩之硬漢嶺標本與牛港稜山山頂標本類似，結晶細小且質地軟，牛港稜山山頂之標本近乎無紫蘇輝石。凌雲亭標本堅硬，結晶大（表 20）。

表 20 頂層熔岩採樣地點差異比較

熔岩名稱	採樣地點	1.結晶程度	2. 標本硬度
紫蘇輝石安山岩	硬漢嶺（北）	結晶小	軟
	牛港稜山山頂（西）	結晶小	軟
	凌雲亭（南）	結晶大	硬

二、礦物組成與熔岩分化原因探討

將礦物統計數據，橫軸地點依噴發年代排序整理（圖 11），可見各層熔岩礦物組成：

（一）觀音山主體

- 底層熔岩：主要為普通輝石（5~20%），少量橄欖石（5~10%）。
- 中層熔岩：普通輝石（3%）與紫蘇輝石（2~5%）交錯。
- 頂層熔岩：紫蘇輝石（1~7%）。

（二）周圍小規模岩體

- 觀音坑：角閃石和黑雲母（約 15%及 10%）。
- 萬年塔：主要為橄欖石（約 40%），少量普通輝石（3%）。

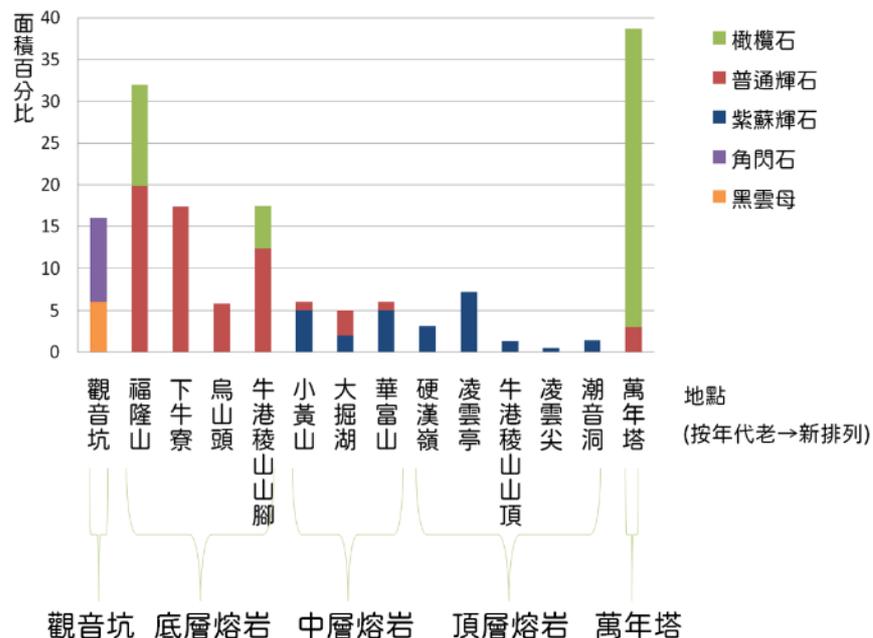


圖 11 觀音山各採樣地點礦物比例圖（作者製）

參考鮑氏反應序列理論，鐵鎂質岩漿在冷卻過程中，由高溫到低溫礦物結晶的順序為橄欖石→輝石→角閃石→黑雲母，觀音山熔岩中的礦物變化也能發現類似的順序（圖 12）。礦物含量變化從橄欖石為主→橄欖石+普通輝石→普通輝石為主→普通輝石+紫蘇輝石→紫蘇輝石為主→最後角閃石和黑雲母。

若觀音山火山之各期噴發為一個完整的反應序列（陳正宏 1990），在特定的環境條件下，推測觀音山熔岩分化序列從普通輝石橄欖石玄武岩→普通輝石玄武岩→普通輝石安山岩→兩輝石安山岩→紫蘇輝石安山岩→黑雲母角閃石安山岩，與鮑氏反應序列吻合。

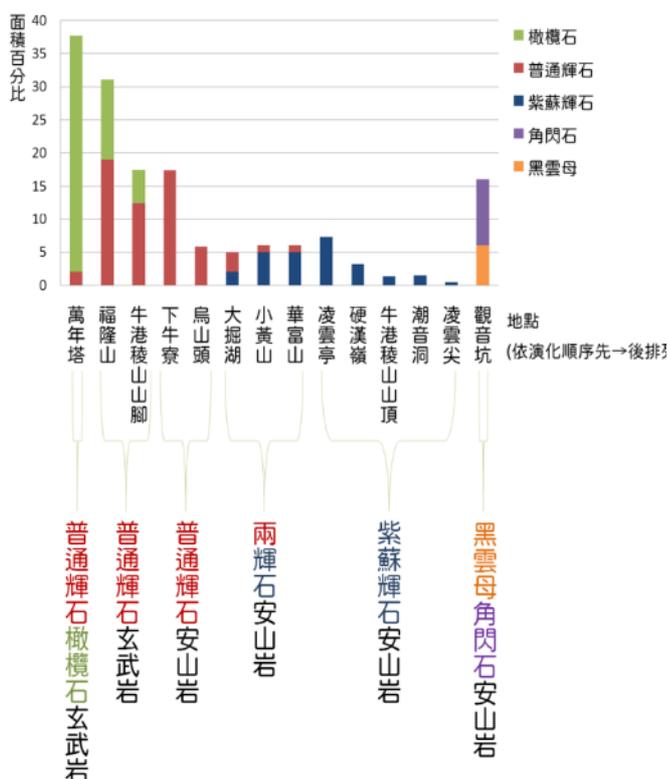


圖 12 觀音山熔岩礦物演化順序排列圖（作者製）



圖 13 觀音山岩漿分化理論概念圖（作者繪）

萬年塔山由最深層之基性母岩漿噴發而來，富含橄欖石與少量普通輝石。底層熔岩由玄武岩質岩漿分化而來，橄欖石變少，普通輝石含量明顯增多。中層熔岩介於底層熔岩與頂層熔岩之漸變帶，普通輝石變少，開始出現紫蘇輝石。頂層熔岩，僅剩紫蘇輝石。觀音坑岩脈應屬岩漿分化最後期之產物，富含角閃石與黑雲母，但和頂層熔岩之礦物分化層級相差較遠，可能是進行了更久的分化，或是由不同的母岩漿庫分化而來（林育嘉 2015）。

繪製觀音山岩漿分化概念圖（圖 13），母岩漿庫位於最深層處，基性岩漿上升至觀音山之岩漿庫，隨著岩漿成分的改變，層層分化各種安山岩，先後噴發至地表形成觀音山的各種地貌。

三、觀音山地質圖與剖面圖更新

(一) 石壁腳地區地質圖修改

在實地踏查的過程中發現，陳培源 1987 年繪製之地質圖部分區域不符合現況（圖 22）。地質圖中從石壁腳到硬漢嶺可以依序觀察到觀音山層、火山泥流、底層熔岩、中層熔岩、頂層熔岩，基本可視為觀音山主體之地質剖面，但依照 2024 4/21 至石壁腳考察之結果，由石壁腳（確切起點位置:25°08'07.5"N 121°26'04.4"E），至硬漢嶺，沿路進行採樣及記錄位置，紀錄結果如表 21，發現地質圖上標示為底層熔岩、火山泥流之位置，現場實則為頂層火山碎屑岩。

表 21 石壁腳-硬漢嶺露頭紀錄表格（照片為作者拍攝）

地層名稱	頂層熔岩	中層熔岩	頂層火山碎屑岩	觀音山層
出露海拔(約)	608m~486m	486m~399m	399m~273m	273m~209m
紀錄露頭數	5	4	3	4
現場照片	 a.頂層熔岩標本	 b.中層熔岩標本	 c.頂層火山碎屑露頭	 d.觀音山層露頭

使用空拍機觀察火山碎屑之山峰及崩塌露頭發現，硬漢嶺山體上有一陡峭之突出部分（圖 14、圖 20 白色箭頭處），崩塌露頭為火山碎屑層（圖 15），岩體位置與踏查之 GPS 定位相符，確認石壁腳-硬漢嶺路線中段被火山碎屑岩體覆蓋（圖 20 綠色圖釘位置）。另外，石壁腳旁一連串之頂層火山碎屑崩壁（圖 16）在地質圖上標示為底層與中層熔岩，與現場不符。

為確認火山碎屑岩體覆蓋範圍，至觀音寶塔附近墓園（25°08'08.6"N 121°25'55.8"E）（圖 20 白色圖釘位置）進行調查，發現此區露頭情況如下：1.土壤與岩石混雜。2.岩石表面風化非常嚴重，邊角呈圓弧狀。3.岩石種類多樣，由頂層熔岩、中層熔岩、底層熔岩、觀音山層組成（圖 17~19）。由以上資料判斷，此區應為火山泥流堆積物，其為火山噴發後堆積之鬆散地層，經過大雨沖刷而崩塌，形成土石流，再堆積之地層（宋聖榮 2006）。在其中發現之大量底層熔岩岩塊，為上游存在底層熔岩地層之證明，但因無路線經過地層分布位置，無法調查底層熔岩之露頭。



圖 14 硬漢嶺山體上之岩體



圖 15 岩體上之火山碎屑露頭



圖 16 相連之火山碎屑崩壁



圖 17 因建墳墓挖開之露頭



圖 18 於火山泥流堆積層採集之標本，由左到右為觀音山層、底層熔岩、中層熔岩、頂層熔岩



圖 19 堆積層內頂層熔岩岩塊 (圖 14-19 作者拍攝)



圖 20 記錄到之露頭套用在 Google Earth 上之結果，白線為調查路線 (作者疊圖)



圖 21 地質圖修改之結果 (作者繪製，底圖為作者拍攝空拍圖)

總結，陳培源（1987）地質圖之石壁腳地區需加以修正，頂層火山碎屑岩之分布範圍應向東延伸，覆蓋部分硬漢嶺山體，而其餘部分維持一致（圖 21、23）。火山碎屑之岩體原應與其餘火山碎屑連峰（如凌雲尖、五八山等）於三十四萬年前同時形成，後因侵蝕與其餘連峰距離較遠，在硬漢嶺山體上形成一突出、陡峭之岩體。前人未發現此岩體之原因可能為：1.調查時路線未經過。2.崩壁近期才形成，當時無此露頭。

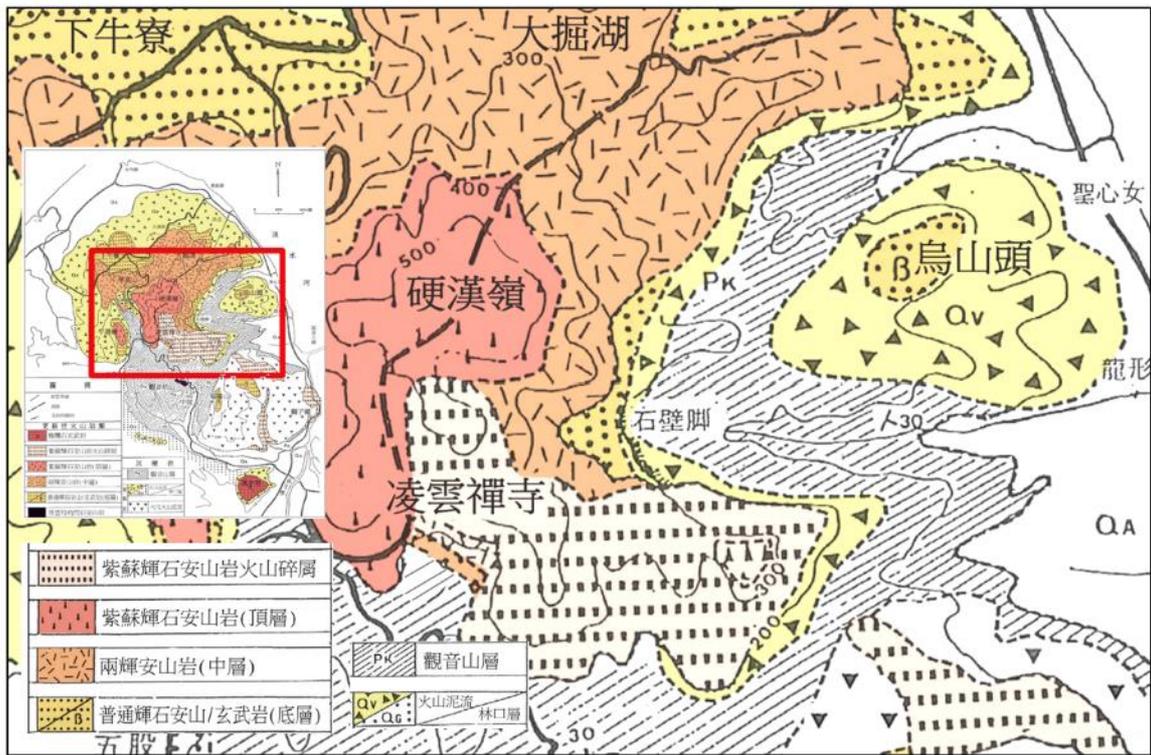


圖 22 陳培源（1987）地質圖之石壁腳部分

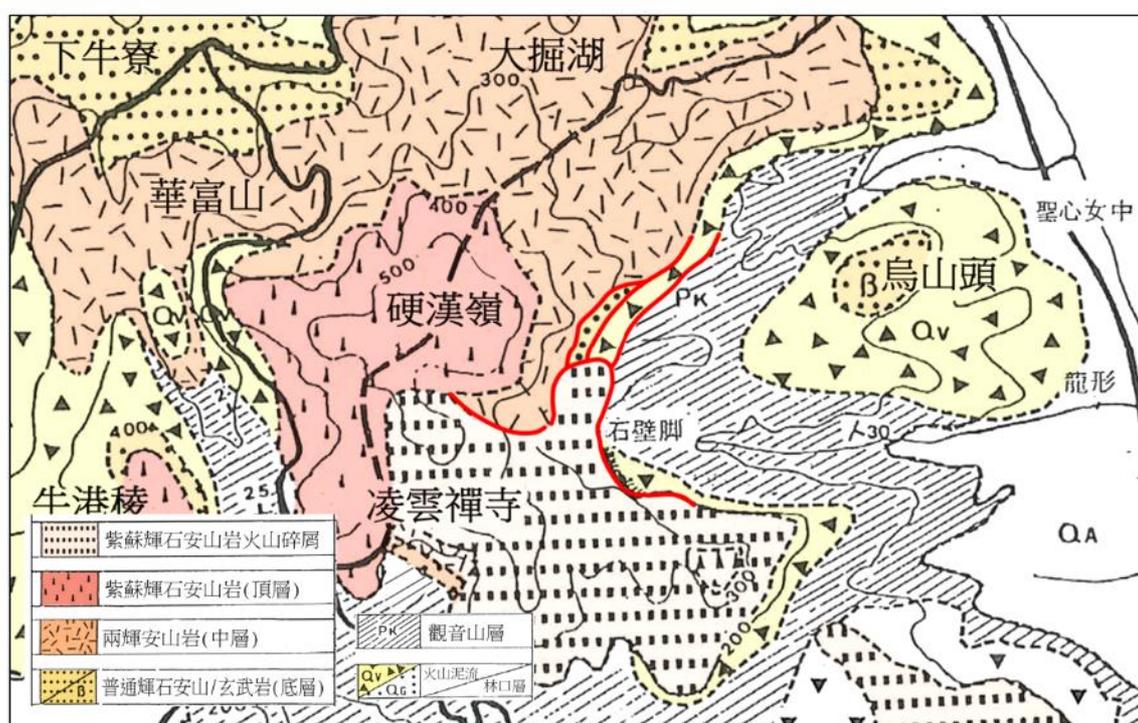


圖 23 本研究修改後之石壁腳部分地質圖，紅線為變更範圍（作者改繪）

(二) 觀音山地質剖面示意圖繪製

觀音山有多種火山岩與沉積岩分佈，目前所見之觀音山剖面圖僅簡略標示四個主要地層：觀音山火山岩、林口層、觀音山層、大南灣層等（林朝宗 1981）（圖 24）。本研究繪製觀音山剖面示意圖，進一步細分 6 種火山岩地層與多種沉積岩地層(圖 25)。

1. 觀音山地形剖面形狀：使用 Google Earth 之路徑地形高度剖面功能，選定一條由萬年塔至台北港之剖面線繪製。
2. 沉積岩：觀音山層為觀音山之基盤岩層，原為較深處之地層，因地層隆起抬出地表，觀音山層之上為台北沉積層和大南灣層（林朝宗 1981）。
3. 觀音山主體：觀音山為單一中心三層熔岩堆疊之複式火山。各地層厚度依照熔岩階地之階地高度繪製。

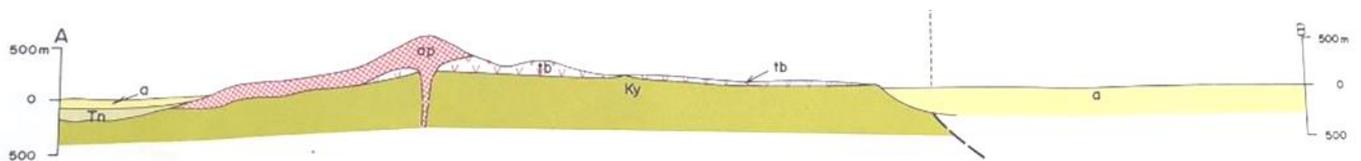


圖 24 林朝宗（1981）繪製之觀音山地區剖面圖（圖例 op 為兩輝安山岩 tb 為凝灰岩）

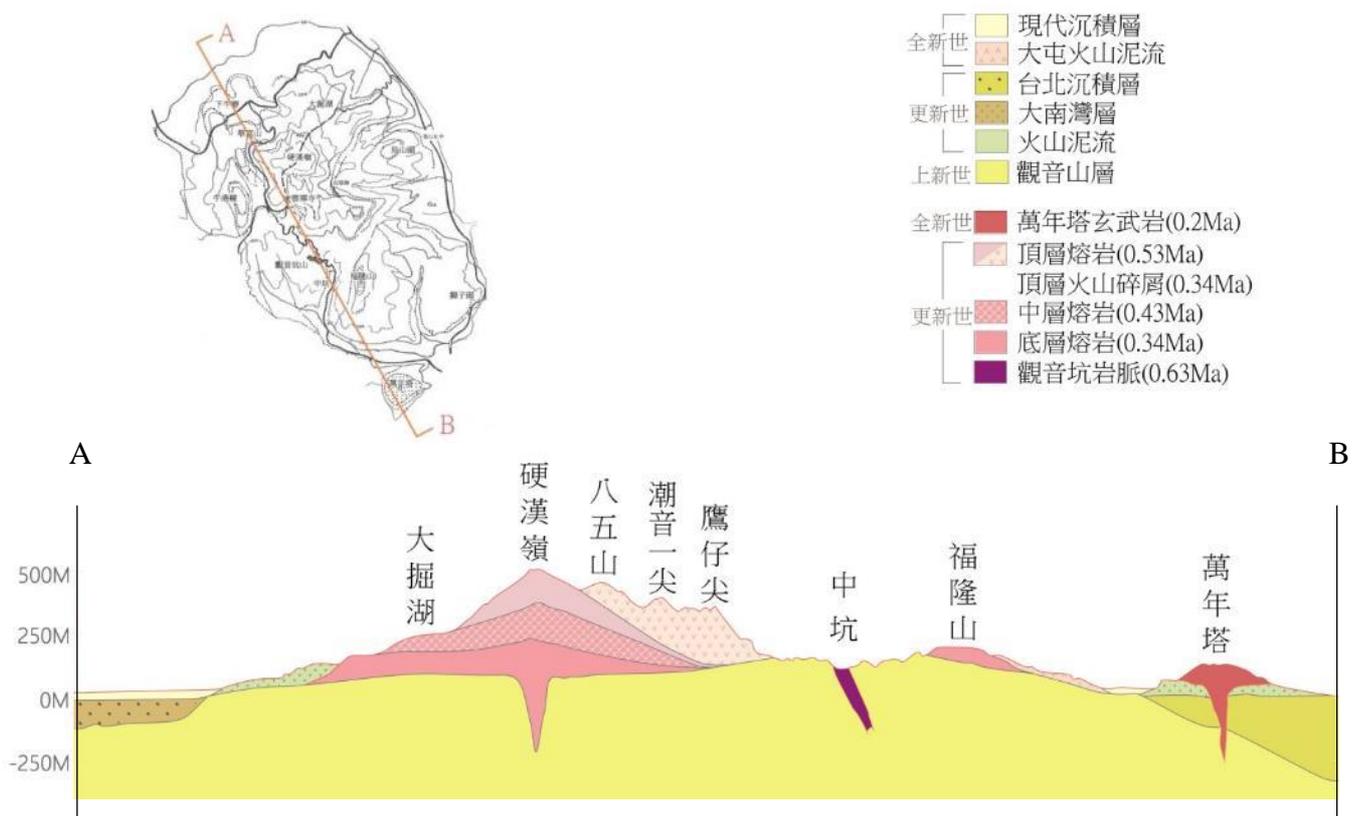


圖 25 觀音山地質剖面示意圖，剖面線 A-B（作者繪製，底圖參考 Google Earth 剖面）

四、觀音山火山噴發歷程電腦動畫

本研究首創電腦動畫，模擬觀音山火山噴發活動與地形地貌的關係，可對觀音山各期火山活動歷程有進一步的瞭解。動畫軟體 Houdini 適合製作精緻之地形模型，外加煙霧模擬器 Axiom。地形資料使用內政部 20 公尺精細度地形數值資料檔 (DEM)，對照地質圖各地層位置，使用 highfield paint 功能進行建模，搭配威力導演後製編排 (圖 26)。

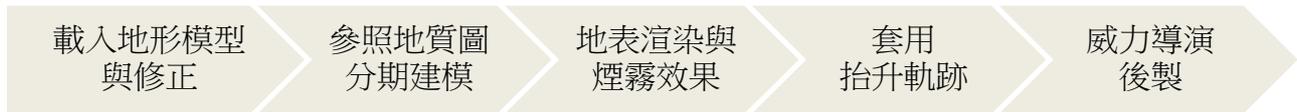


圖 26 動畫製作流程

觀音山主體多屬中偏酸性岩漿，二氧化矽含量高，黃文宗 (1983) 提出觀音山之岩漿含水量高，故模擬其噴發型態為類似聚合帶火山常見之伏爾坎寧式 (Vulcanian) 噴發。以下為各次噴發場景討論。

- (一) 觀音坑岩脈：形成原因有兩推論。一為火山錐經侵蝕擴大而成 (莊文星、陳汝勤 2008)，二為拱丘地形 (牧山鶴彥 1935)，故稱中坑拱丘 (圖 27)。
- (二) 底層熔岩：底層為目前觀察到唯一向南流之熔岩，分布範圍東及烏山頭，西及牛港稜山，南及福隆山，主要出露地點為下午寮 (圖 28)。
- (三) 中層熔岩：中層熔岩分布最廣，蓋過大部分底層熔岩 (圖 29)。
- (四) 頂層熔岩：頂層熔岩主要分布於硬漢嶺周邊，為觀音山最近期之噴發。本動畫將火山碎屑流與熔岩合併呈現 (圖 30)。
- (五) 萬年塔玄武岩：熔岩性質屬基性，因噴發形態不明，採用相同噴發效果 (圖 31)。
- (六) 與 Google Earth 疊圖後，可見各次噴發位置與現今地形地貌之關係 (圖 32)。



圖 27 觀音坑岩脈噴發(作者繪)

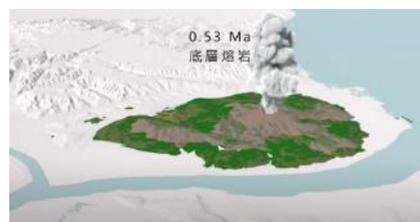


圖 28 底層熔岩噴發 (作者繪)

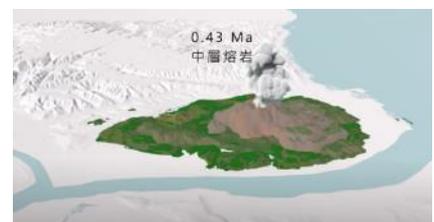


圖 29 中層熔岩噴發 (作者繪)

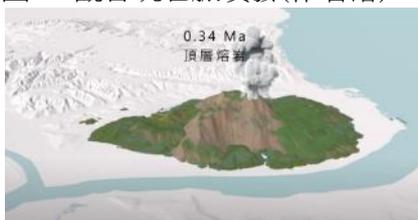


圖 30 頂層熔岩噴發 (作者繪)

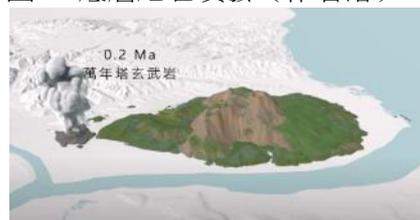


圖 31 萬年塔玄武岩噴發(作者繪)



圖 32 古今地形對照(作者疊圖)

五、地質地形立體模型

為連結觀音山地區的地質與地形，製作觀音山之地質地形立體模型。由 map2stl 網站下載觀音山之 STL 檔，此網站提供全世界之地形模形。模型主體使用 3D 列印機製作（圖 33），列印好後參照地質圖範圍著色，圖例板使用雷射切割機切割，最後列印解說文字與圖例貼上（圖 34、35）。



圖 33 3D 列印機列印中
(圖 33-35 作者拍攝)



圖 34 地點標號與著色



圖 35 模型成果

陸、結論

- 一、觀音山早期有多處採石場，停止開採後基地大多已回填，加上水木保持施作及自然風化影響等，早期的田野調查資料已不符合現況。本研究比對地質圖尋找新的露頭地點，詳細記錄地層資料並標註 GPS 位置，可做為觀音山研究之基礎資料。
- 二、本研究驗證觀音山各期熔岩中重要礦物的變化如下：角閃石和黑雲母（觀音坑岩脈）、橄欖石+普通輝石（底層熔岩玄武岩）、普通輝石（底層熔岩安山岩）、普通輝石+紫蘇輝石（中層熔岩）、紫蘇輝石（頂層熔岩）、橄欖石（萬年塔玄武岩），符合文獻中所描述的差異。其中底層熔岩之烏山頭、牛港稜山山腳二處岩石標示與地質圖不符。
- 三、經由礦物比例的計算，觀察到觀音山各熔岩隨著岩漿成份的改變，符合鮑氏反應理論。推論之分化順序為普通輝石橄欖石玄武岩→普通輝石玄武岩→普通輝石安山岩→兩輝石安山岩→紫蘇輝石安山岩→黑雲母角閃石安山岩。
- 四、陳培源（1987）繪製之觀音山地質圖中，頂層火山碎屑岩之分布範圍應向東延伸，覆蓋部分硬漢嶺山體，其餘部分維持一致。
- 五、繪製觀音山剖面示意圖、完成火山噴發動畫、立體地質地形模型，有助於瞭解觀音山的地質背景，希望對觀音山的地球科學教育有所助益。

柒、參考文獻

- 林朝宗（1981）。臺灣區域地質圖數值檔五萬分之一：林口。經濟部中央地質調查所。
- 林育嘉（2015）。臺灣北部觀音山鈣鹼質岩漿地球化學特性：結晶分化及岩漿起源之意涵。國立成功大學地球科學系碩士論文。
- 宋聖榮（2006）。台灣的火山。遠足文化。
- 牧山鶴彥（1935）。觀音山圖幅說明書。臺灣總督府殖產局。
- 莊文星（1999）。台灣之火山活動與火成岩。國立自然科學博物館。
- 莊文星、陳汝勤（1989）。台灣北部火山岩之定年與地球化學研究。經濟部中央地質調查所彙刊，第五號，第 31-66 頁。
- 莊文星、陳汝勤（2008）。北台灣火山地形多樣性之探討。經濟部中央地質調查所彙刊，第二十一號，第 107-141 頁。
- 陳培源、李春生（1987）。臺灣北部十條地質實習考察路線沿線地質簡介：臺灣地質野外實習指導手冊（一），第 5-28 頁。國立台灣師範大學地球科學系。
- 陳正宏（1990）。台灣之火成岩。經濟部中央地質調查所。
- 陳正宏、黃文宗（1982）。火山學簡介。科學月刊，第十三卷第十二期，第 26-31 頁。
- 黃文宗（1983）。觀音火山之地質與岩石化學。國立臺灣大學地質研究所碩士論文。
- Hwang, W.T. and Lo, H. J. (1986). Volcanological aspects and the petrogenesis of the Kuanyinshan volcanic rocks, northern Taiwan: Acta Geol. Taiwanica 24, 123-148.

【評語】 030503

本作品田野調查確實、通過實地檢驗，發現前人調查的不足，修訂地表地質圖與重新繪製詳細的剖面圖。本作品礦物分析採用薄片礦物面積對應於礦物成分，不失為簡單有效方法。對於觀音火山區採樣點礦物成分改變隱含的在地質意義可再深入討論。

作品簡報

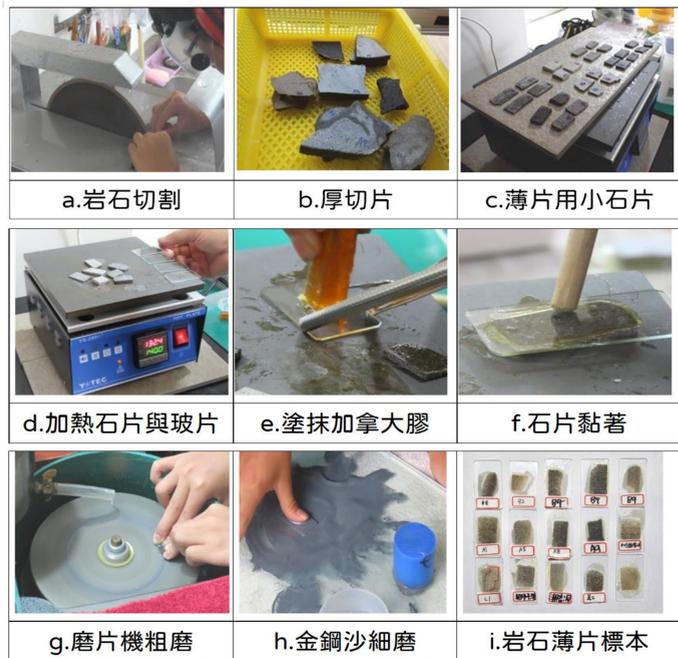


觀音火山熔岩 與其礦物比例分析

The volcanic rocks and minerals of Guanyin Mountain

三、岩石分析

(一) 岩石薄片製作與礦物分析



1. 岩石薄片製作

(1) 切割岩石

2. 礦物分析

用偏光顯微鏡觀察打磨好的岩石薄片，可見主要礦物有斜長石、普通輝石、角閃石、橄欖石、黑雲母、紫蘇輝石等(圖6)。

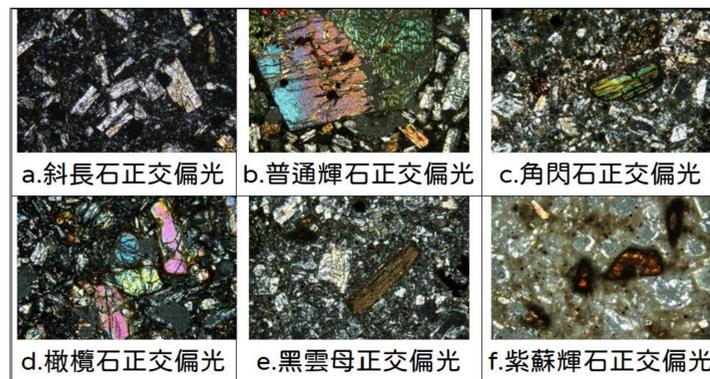


圖6 偏光顯微鏡觀察之礦物照片

(2) 上膠黏著

加熱板加熱至100度，加拿大膠均勻薄塗。

(3) 磨製薄片共14片

粗磨至微透光後用金鋼沙搭配偏光顯微鏡確認厚度。

(左側相片a~i為作者實作)

(二) 礦物面積比值計算

前人使用計點器，本研究採Weka圖片分析軟體，可簡化計算流程、增加計算面積。(圖7-10)。

第一步：載入實體顯微鏡拍攝之照片。建立各礦物欄位

圖7 weka操作介面

第二步：以偏光顯微鏡確認各礦物，將資料輸入右側對應欄。

圖8 礦物色塊畫記

第三步：產出分析結果數據

圖9 礦物分布辨識

第四步：讀取各色塊所佔之比例

圖10 threshold讀取礦物比例

(三) 分析結果

每件薄片製作岩相與礦物組成比較表(如表4)。 觀音山火山岩的礦物面積比例計算結果共12筆(表5)。

表4 觀音坑岩脈礦物組成比較表

觀音坑岩脈	主要礦物種類	斜長石、角閃石、黑雲母		
	礦物粒徑範圍	斜長石:0.2~3.2mm；角閃石:1.2~1.8mm		
	礦物觀察描述	角閃石、黑雲母豐富，約以 2:1 的比例散佈於表面，但黑雲母易剝落，薄片內僅發現 1 粒		
	a. 觀音坑手標本	b. 黑雲母正交偏光(左)與平行偏光照片(右)	c. 角閃石正交偏光(左)與平行偏光照片(右)	

表5 各層熔岩含礦物面積統計表 (%)

編號	採樣地點	基質	斜長石	普通輝石	紫蘇輝石	橄欖石	黑雲母	角閃石	孔隙
I	觀音坑	45.99	29.01	-	-	-	9.80	15.20	-
II	下牛寮	49.26	33.38	17.36	-	-	-	-	-
	福隆山	46.79	22.15	18.96	-	12.10	-	-	-
	烏山頭	63.70	27.16	5.82	-	-	-	-	3.32
	牛港稜山山腳	62.82	21.70	5.35	-	10.13	-	-	-
III	小黃山	70.32	20.49	1.89	3.11	-	-	-	4.19
	大掘湖	54.32	21.44	2.80	5.20	-	-	-	16.24
	華富山	56.60	43.24	3.06	2.10	-	-	-	-
IV	硬漢嶺	87.92	8.95	-	3.13	-	-	-	-
	凌雲亭	69.52	23.25	-	2.41	-	-	4.82	-
	牛港稜山山頂	69.13	28.97	-	1.9	-	-	-	-
V	萬年塔	43.69	10.71	3.06	-	35.7	-	-	6.84

-表示含量太低或無

肆、結果與討論

一、觀音山各層熔岩的特色

觀音山主體

- 底層熔岩：主要普通輝石(5~18%)，部份含橄欖石。
- 中層熔岩：普通輝石(1~3%)與紫蘇輝石(2~5%)交錯
- 頂層熔岩：紫蘇輝石(2~3%)，部份含角閃石(表6)。

周圍小規模岩體

- 觀音坑：角閃石(15%)和黑雲母(10%)
- 萬年塔：主為橄欖石(35%)，少量普通輝石(3%)

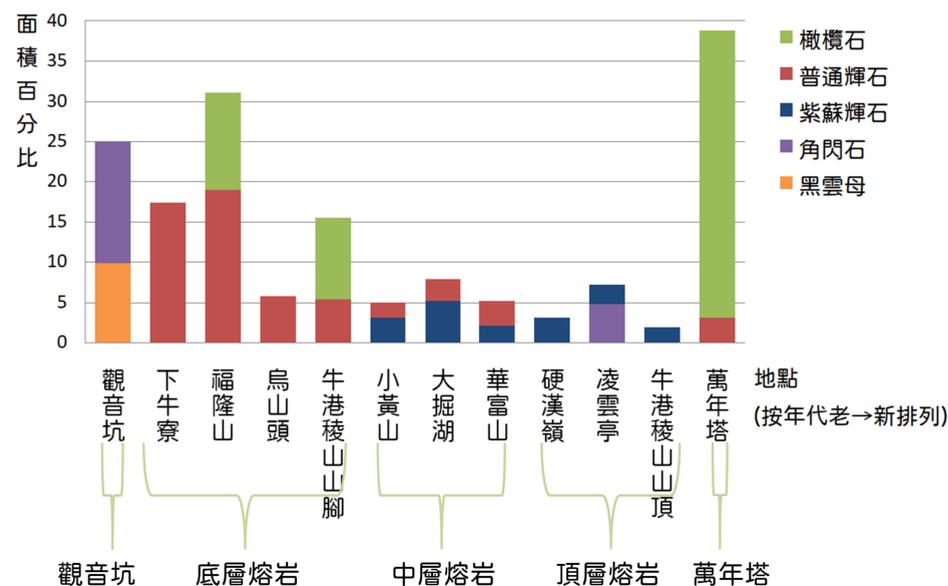


圖11 觀音山各採樣地點礦物比例圖

表6 頂層熔岩採樣地點差異比較

熔岩名稱	採樣地點	1.角閃石	2.結晶程度	3. 標本硬度
紫蘇輝石安山岩	硬漢嶺 (北)	無	結晶小	軟
	牛港稜山山頂 (西)	無	結晶小	軟
角閃石紫蘇輝石安山岩	凌雲亭 (南)	有	結晶大	硬

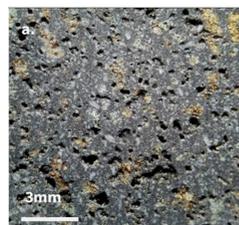


圖12 萬年塔玄武岩

萬年塔(橄欖石玄武岩)：

色最黑，多黃綠色之橄欖石，另有少數無法從外表觀察之普通輝石。

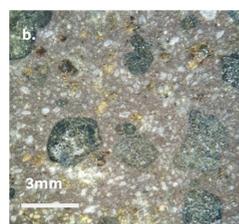


圖13 底層熔岩

底層熔岩(普通輝石安山岩/玄武岩)：

遍布普通輝石大斑晶，粒徑最大8毫米。普通輝石玄武岩基質色較黑，且有黃綠色之橄欖石結晶。

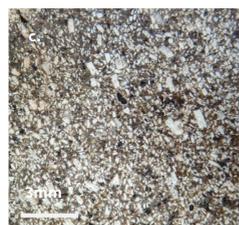


圖14 中層熔岩

中層熔岩(兩輝石安山岩)：

可見白色斜長石斑晶，有少數普通輝石與紫蘇輝石。

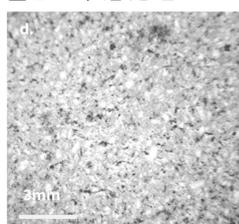


圖15 頂層熔岩

頂層熔岩(紫蘇輝石/角閃紫輝安山岩)：

基質接近白色，與觀音坑相近。礦物多斜長石，內部些許黑色之紫蘇輝石、角閃石。

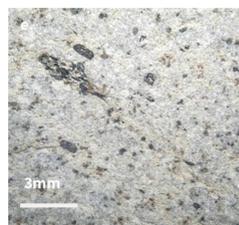


圖16 觀音坑岩脈

觀音坑(黑雲母角閃石安山岩)：

觀音山岩石中顏色最淺者，二氧化矽最多，表面多黑色長方形之角閃石、黑色薄片狀之黑雲母。

二、各層熔岩差異原因探討

參考鮑氏反應序列（鐵鎂質岩漿由高溫到低溫的結晶順序為**橄欖石**→**輝石**→**角閃石**→**黑雲母**），**觀音山**熔岩中的礦物變化也能發現類似的順序。假設**觀音山**火山之噴發為一個完整的反應序列(陳正宏 1990)，礦物含量變化從一開始是**橄欖石**最多，少量**普通輝石**。然後是**普通輝石**為主，再漸漸出現**紫蘇輝石**，最後則出現**角閃石**和**黑雲母**(圖 17)。繪製岩漿分化概念圖，**基性母岩漿**上升至**觀音山**岩漿庫，層層分化出各種安山岩，先後噴發至地表形成**觀音山**各種地貌(圖 18)。

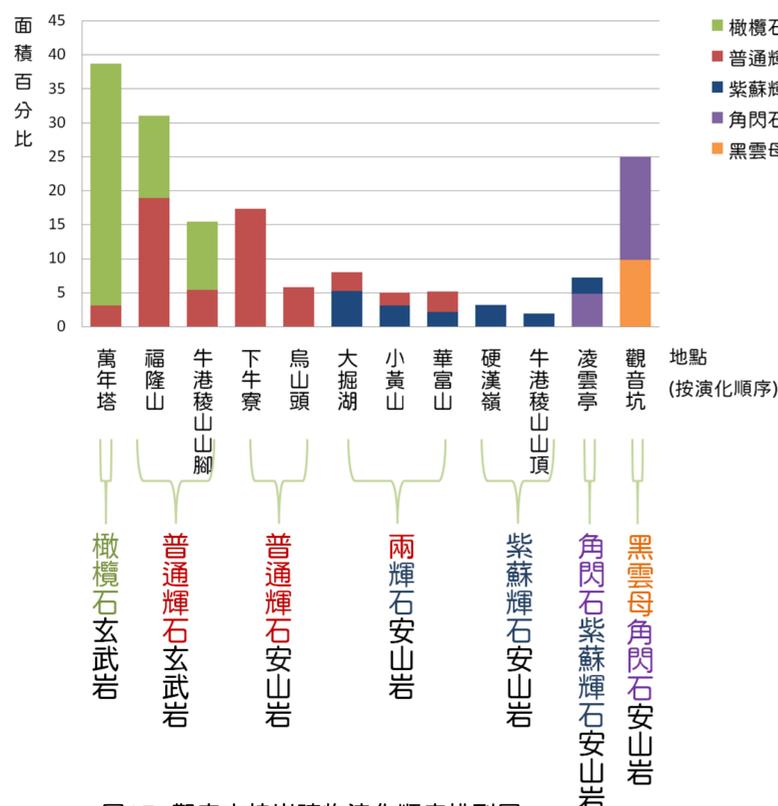


圖 17 觀音山熔岩礦物演化順序排列圖

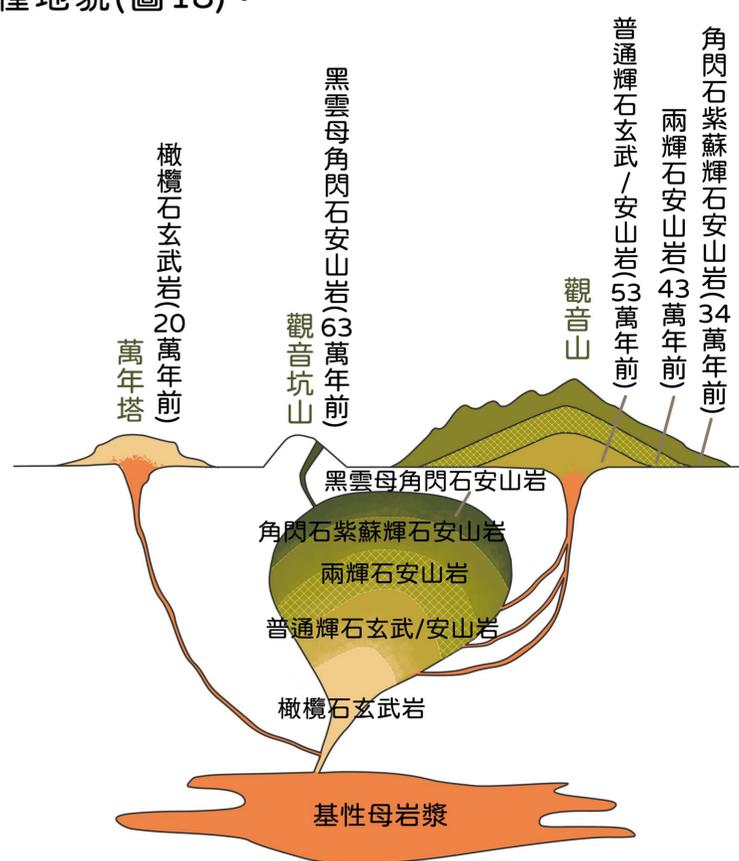


圖 18 觀音山岩漿分化概念圖 (作者繪製)

三、觀音山圖譜資料更新

(一) 石壁腳地區地質圖修改

地質圖中從石壁腳到硬漢嶺可以依序觀察到**觀音山**層、**火山泥流**、**底層熔岩**、**中層熔岩**、**頂層熔岩**，基本可視為**觀音山**主體之地質剖面。經實地調查後，發現地質圖上標示為**底層熔岩**、**火山泥流**之位置，現況為**頂層火山碎屑岩**(圖 19 白色箭頭處)，故**頂層火山碎屑岩**範圍應向東延伸(圖 20)。**觀音山**地質圖應該還有其它需要更新的地方，值得進一步踏查。



圖 19 實際勘察地層示意 (作者空拍)

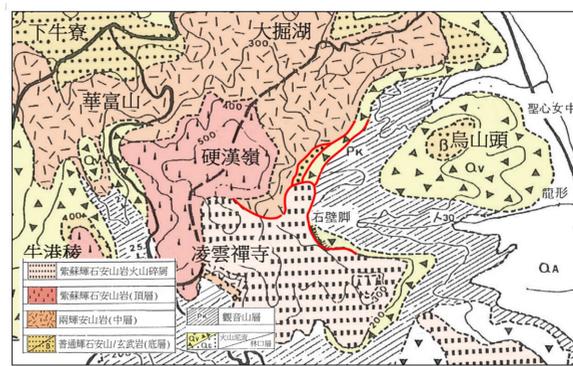
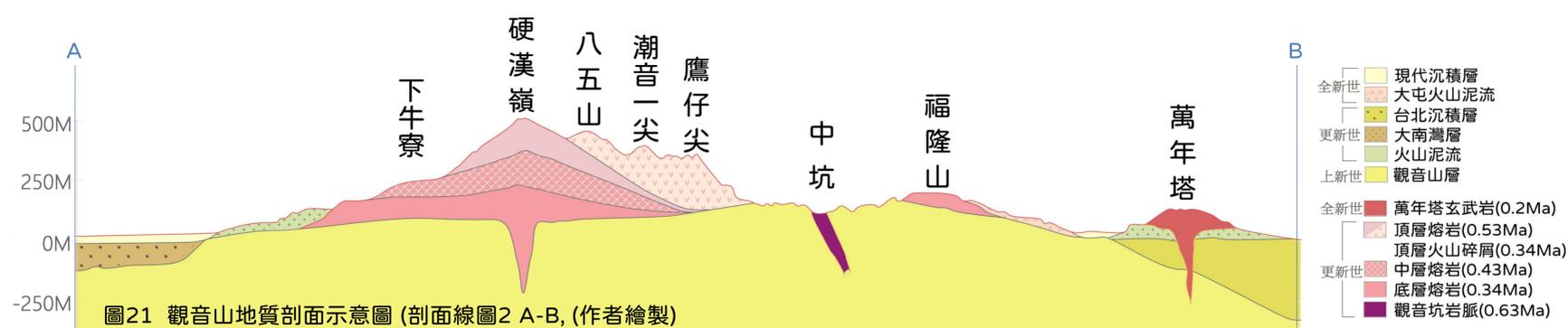


圖 20 修改後之石壁腳地質圖，紅線為變更範圍(底圖陳培源1987)

(二) 地質剖面示意圖繪製

以往**觀音山**地質剖面圖僅標示主要地層，本研究細分多種**火山岩**與**沉積岩**地層(圖 21)。各地層厚度依照熔岩階地之高度。繪製之剖面資料可做為**動畫模擬**之基礎。



伍、結論

- 一、**觀音山**各層熔岩內含礦物的變化符合**鮑氏反應序列**。
- 二、特定環境條件下，推測**觀音山**熔岩分化序列從**橄欖石玄武岩**→**普通輝石玄武岩**→**普通輝石安山岩**→**兩輝石安山岩**→**紫蘇輝石安山岩**→**紫蘇輝石角閃石安山岩**→**黑雲母角閃石安山岩**。
- 三、更新田野調查與圖譜資料，希望對**觀音山**的地球科學教育有所助益。

陸、參考文獻

- 莊文星、陳汝勤(1989)。台灣北部火山岩之定年與地球化學研究。經濟部中央地質調查所彙刊，第五號，第31-66頁。
- 陳培源、李春生(1987)。臺灣北部十條地質實習考察路線沿線地質簡介：臺灣地質野外實習指導手冊(一)，第5-28頁。國立台灣師範大學地球科學系。
- 陳正宏(1990)。台灣之火成岩。經濟部中央地質調查所。