

彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼及基隆嶼之地質與地形資源

何恭算¹，王士偉^{1,3}，戴昌鳳²

¹國立自然科學博物館地質學組；²國立臺灣大學海洋研究所；³通訊作者 E-mail:
wsu@mail.nmns.edu.tw

[摘要] 臺灣東北海域之彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼和基隆嶼 (簡稱北方四島)，是上新世晚期至更新世火山噴發所堆積而成的島嶼。彭佳嶼有四期火山產物，包括最早期之凝灰岩和火山礫凝灰岩，第二期之矽質玄武岩和高鋁玄武岩熔岩流，第三期之火山渣與凝灰岩，以及最晚期之高鋁玄武岩岩脈，在該島東側海崖有完整的火山噴發層序出露；棉花嶼火山活動與彭佳嶼相當，但未見高鋁玄武岩熔岩流與岩脈；花瓶嶼則主要由矽質玄武岩所組成。基隆嶼全島由石英安山岩所構成，具有典型的斑狀組織，在岩性上與其它三島明顯不同。北方四島有相當完整的火山地形，如火山口、火山錐，以及多樣而優美的海蝕地形資源，包括海崖、海蝕洞、海蝕平台、海蝕溝、海蝕凹壁、海蝕柱、壺穴、蜂窩岩等。由於這些島嶼具有極高的觀光與教育價值，本文建議未來能夠規劃成為國家級的「火山地質公園」。

關鍵字：彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼、基隆嶼、地質與地形資源

Geological Formations of Pengjia, Mianhua, Huaping, and Keelung Islands

Kung-Suan Ho¹, Shih-Wei Wang^{1,3} and Chang-Feng Dai²

¹Department of Geology, National Museum of Natural Science, ²Institute of Oceanography, National Taiwan University, ³Corresponding author E-mail: *wsu@mail.nmns.edu.tw*

ABSTRACT Pengjia, Mianhua, Huaping, and Keelung Islands (PMHK) located offshores of northeastern Taiwan consist of late Pliocene to Pleistocene volcanics. The volcanics in Pengjia Island can be divided into four episodes: the first is mainly composed of tuff and lapilli tuff; the second is represented by tholeiitic and high-Al basaltic flow; the third scoria and tuff; and the fourth a high-Al basaltic dike which crosscuts the surrounding rock and represents the latest volcanic activity. These volcanic sequences are well-exposed on the eastern cliff of the Pengjia Island. Except the high-Al basaltic flow and dike that were not found, the Mianhua Island is essentially characterized by volcanic suites similar to those of Pengjia Island. In Huaping Island, the dominant volcanics are tholeiites. In comparison with other islets of the PMHK volcanic province, Keelung Island is composed entirely of massive quartz andesites with typical porphyritic texture. Volcanic rocks with well-developed volcanic topography as well as diverse and interesting marine erosional landscape were found in the PMHK volcanic province. These landscapes contained volcanic crater, volcanic cone, sea cliff, sea cave, marine erosion platform, notch, sea stack, pothole, and honeycombed rock. These islets are significant for tourism and nature education, and based on the results from this research this area is suggested to be established as a national volcanic geological park.

Keywords: Pengjia, Mianhua, Huaping, Keelung, geological and geomorphic resources

前言

彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼和基隆嶼位於臺灣東北海域，為火山噴發產物所堆積島嶼，和臺灣北部陸地之大屯火山群、基隆火山群、觀音山火山群、草嶺山及宜蘭外海之龜山島構成「臺灣北部火山岩區」（圖 1）。根據地震研究，顯示琉球弧隱沒帶向西延伸至臺灣北部；因此，這些第四紀的火山岩體，在成因上可能與菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊邊緣有關（顏滄波等 1981）。

過去針對調查區域之相關地質地形的報導，除了早期有幾篇關於棉花嶼鳥糞石的調查報告（如：盛康 1914，澁谷紀三郎 1915），以及一般對地形特徵概述外，大多著重在火成岩之地球化學和噴發層序的探討（如：國府健次 1927, Hu and Chen 1978, Chen and Lin 1979, 顏滄波等 1981, 莊文星與陳汝勤 1989, 陳正宏 1990, 楊燦堯等 1990, Juang 1993, Wang *et al.* 2000, 2004）。至於面積最小的花瓶嶼，由於四周岩壁陡峭，船舶無法停靠，目前仍無詳細地質地形調查資料。

本研究著重四個島嶼的地質與地形資源調查，經由野外觀察與量測、標本採樣、岩樣鑑定與分析，以期建立臺灣東北海域之島嶼地質地形基本資料庫。

研究方法

一、野外調查及岩樣採集

由於調查區域屬於年輕火山島嶼，岩體大面積裸露，可仔細觀察特殊地形地貌，以探究可能的形成原因；並於野外調查各岩體產狀及其與不同岩層或捕獲岩間之接觸關係，記錄火山活動的先後順序；同時採集鑑定分析所需的新鮮樣品。

針對彭佳嶼火山口地形與出露地層之量測工作，係採用雷射測距儀、捲尺，以及傾斜儀等進行；另於調查期間，搭乘快艇繞島，對不易到達海岸進行數位拍照紀錄。野外岩樣採

集地點位置，則以攜帶式衛星定位儀進行定位。

二、岩象學研究

分析樣品先切割至 2.1 x 3.5 cm 大小，利用 LOGITECH 廠牌 PM2A 型自動磨片機製作岩石透光薄片，再以偏光顯微鏡（LEICA DMLP）及影像擷取系統（LEICA DFC490）進行礦物組成及岩象組織等之觀察、鑑定與影像拍攝，藉以了解岩樣的新鮮程度，以作為化學分析時選樣的參考依據。

三、X 光粉末繞射分析

樣品經岩象觀察後，挑選斑晶及特殊礦物磨成粉末，並利用自然科學博物館設立之 X 光繞射儀（RIGAKU 廠牌 D/Max IIC 型）進行繞射分析。繞射條件為：採用鈾靶放射源，鎳濾波片，電壓 40 KV，電流 30 mA，以 1 度發散，0.001 吋接收孔隙及每分鐘 1 度之掃描速率，照射角度 (2θ) 從 5-60 度。

四、全岩主要和微量元素分析

岩樣經研磨、酸溶後，利用自然科學博物館設置之感應耦合電漿原子發射光譜分析儀（Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry，簡稱 ICP – AES；Perkin Elmer Optima 2000 型）來測定樣品的 Al_2O_3 、 ΣFeO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 MnO 等主要元素和 Ba 、 Co 、 Cr 、 Cu 、 Li 、 Ni 、 Rb 、 Sc 、 Sr 、 V 、 Y 、 Zn 、 Zr 、 La 、 Ce 、 Dy 、 Yb 、 Lu 等微量元素之含量，並以美國地質調查所研製之 AGV-1、BHVO-2、BCR-1、W-1、G-2，以及日本地質調查所研製之 JB-1 等標準岩樣，配製標準溶液。而岩樣之 SiO_2 含量，係採鹼溶法配製成溶液，再利用 ICP-AES 測定之。此外，將樣品粉末置入瓷坩堝內，以高溫爐加熱至 1000°C 持續 1 小時，以測定水分及其它揮發成分之含量，簡稱為燒失量（L.O.I.）。

結果與討論

一、彭佳嶼

彭佳嶼又名大峙山嶼或草萊嶼，當地漁民也稱之為大嶼，與臺灣本島最近距離約 56 km，是臺灣地區的最北點。彭佳嶼的地形略呈梯形，南北和東西向最長距離均約 1.3 km，面積約為 1.14 km² 左右，為北方四島中面積最大，且地勢較為平坦的島嶼。

島嶼之東、南及北側均為斷崖，西側地勢稍緩，但沿岸多礁石，在西南岩岸有人工碼頭，以供船隻停靠。此外，在島的東北方雖無碼頭設施，但亦可供靠岸登陸，稱為後碼頭；唯從該處登岸上島，必須行走陡峭小徑，途經懸崖峭壁的狹窄路面上，相當危險。

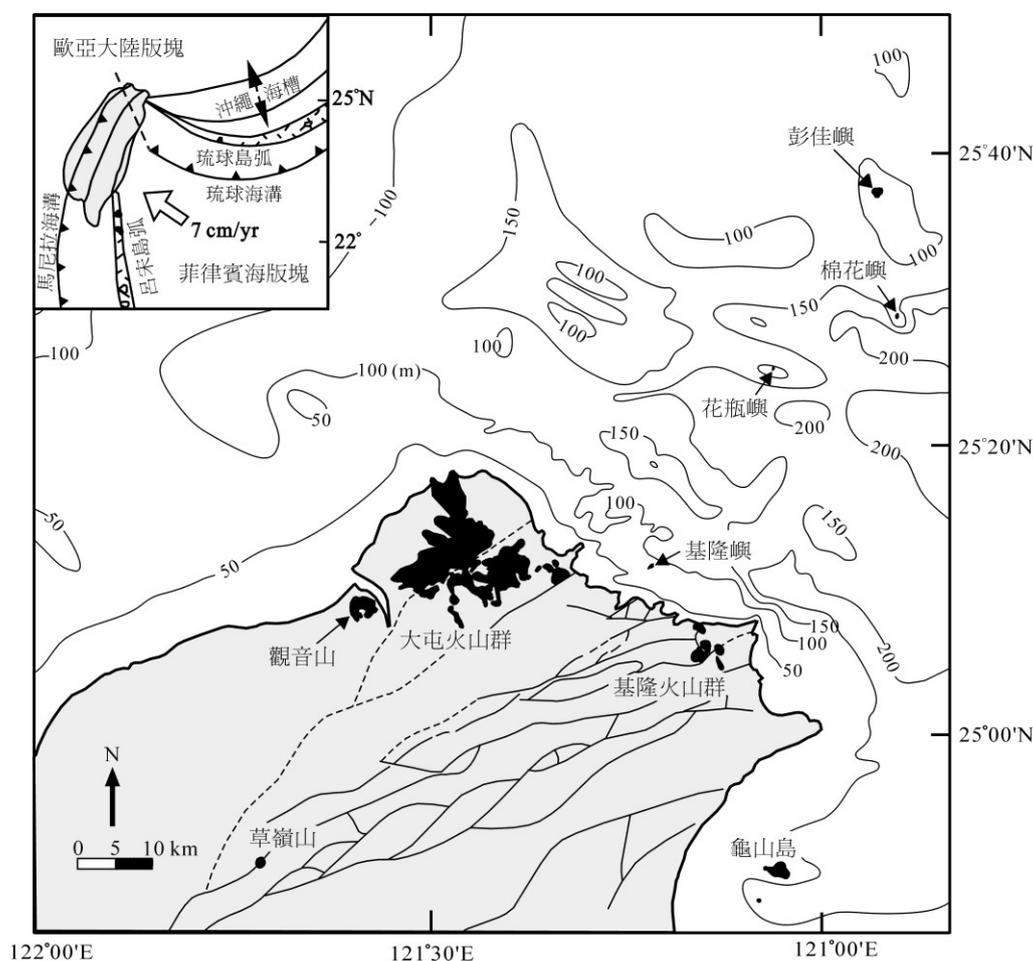


圖 1. 彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼和基隆嶼等火山島嶼的地理位置圖；這些島嶼與基隆火山群、大屯火山群、觀音山、草嶺山、龜山島等同屬「臺灣北部火山岩區」(修改自 Juang 1993)；左上圖為臺灣及其鄰近地區板塊構造模式。

1. 海蝕地形

搭船繞行彭佳嶼，可清楚辨識許多海蝕地形。主要的海蝕地形包括海蝕洞、海蝕溝，以及海蝕平台等。

大型海蝕洞共有 7 個，從碼頭出發逆時針繞島一周，依觀察順序將海蝕洞編為第一至第七號。第一、二、三號海蝕洞位於南岸的凝灰岩岩層內，該岩層具有近乎平行至微傾斜的層理。其中，第一、二號海蝕洞近似圓狀，第二號海蝕洞頂部還有薄層熔岩流覆蓋；第三號海蝕洞外形呈扁長狀，且是 3 個之中最高和最深的。第四、五號海蝕洞比鄰而立，均位於島嶼東北角的玄武岩內；至於該處海蝕洞的方形外觀，乃是由於玄武岩岩體具有相當發達之垂直柱狀節理，再受海浪長年沿著節理面侵蝕所致。第六及第七號海蝕洞位於北岸之凝灰岩岩層內；其中，第七號海蝕洞外形呈圓弧狀，洞口寬度估算達 20 餘公尺，為該島最大的海蝕洞。

海蝕平台及海蝕溝均位於東北的海岸邊；海蝕平台是凝灰岩受海浪侵蝕而成，因地勢較為平坦，鄰岸邊也近海面，所以被作為替代碼頭之用。而在該處之凝灰岩與玄武岩岩體交界處，被海浪侵蝕成海蝕溝，深入島嶼內部達 30 餘公尺。

2. 火山地形

全島地勢大致東高西低，最高點位於東北方，為火山碎屑物堆積而成，海拔 162 m。在島上最高點和次高點之間，有一沿火山碎屑物堆積和熔岩流之交界處所發育的侵蝕溝，此溝向北延伸至海邊，是雨季來臨時，雨水匯聚流動的通道。

該島中央略為偏北的高點上設有一座燈塔，在燈塔南、北兩側各有一處低窪地形，從四周岩層之位態向內傾斜來看，呈現出火山口的特徵。經現地勘查與量測結果顯示，南側火山口之外形大致呈橢圓狀，火山口之南北向長約 82 m，東西向寬約 67 m，東面砌有水泥牆堵住約 20 m 寬的缺口；火山口內部低窪處近乎圓形，徑長約為 46-48 m，已被整平建蓋房

舍。北側火山口也呈橢圓狀，但在西北側有寬約 23 m 之缺口，現有人工堤構築以防風化土壤流失。該火山口的東西向寬約 59 m (量至人工堤為止)，南北向長約 75 m，火山口內部低窪處也近乎圓形，直徑約 43 m，地勢略由東向西傾斜。根據保存完整之火山口地形來研判，該島應屬年輕的火山島嶼。

3. 岩層剖面與地質資源

過去針對彭佳嶼火山岩的研究結果，有的學者認為是安山岩 (Yen 1949, Chen and Lin 1979, 陳正宏 1990, 莊文星與陳汝勤 1989)，有的稱之為玄武岩 (楊燦堯等 1990, 莊文星 1992)。

不過，一般安山岩大多為淺灰色或深灰色，具斑狀結構，且因岩漿黏度高，流動不易，往往會形成錐狀地形；玄武岩顏色則常為灰黑、深黑或墨綠色，質地均勻細緻，且岩漿黏度相對較小，易漫流。

彭佳嶼火山熔岩所構成的地形較為低平，其岩體多呈灰黑色，常見的斑晶有橄欖石和普通輝石，部分含有古銅輝石。它與基隆嶼石英安山岩最大的差別在於沒有發現石英、黑雲母、角閃石，且斑晶粒徑較小，一般約 0.5-1 mm，石基則多由斜長石、橄欖石、輝石和鈦鐵氧化物所組成。從岩石產狀及岩象特徵來看，彭佳嶼火山岩似乎與玄武岩的特性較為相近。

根據野外調查結果顯示，全島是由熔岩流、火山岩脈和火山灰、火山渣、火山礫等火山碎屑物所構成。過去 Juang (1993) 曾利用鉀—氬定年法測得各岩層之全岩年代分別為：最底層之火山礫和火山碎屑岩為 2.1-1.6 Ma，分佈最廣之熔岩流為 1.00-0.81 Ma，位於東北海岸邊之岩脈則為 0.29 Ma。從火山噴發產物與形式，以及岩層間上下之關係，再結合這些岩層所測得之噴發年齡，便可建立彭佳嶼之火山噴發歷史。

依照前人研究資料 (楊燦堯等 1990, Juang 1993) 及現地調查結果，可將該島的火山活動概分為四期 (附圖 1)：

第一期火山噴發以火山碎屑為主，包括火山灰 (Ash) 及火山渣 (Scoria)，並夾雜一些原生的玄武岩質火山礫。其噴發的年代介於 2.1-1.6 Ma 之間，為構成島嶼最底部的岩層。由這些火山碎屑所組成之凝灰岩 (Tuff) 和火山礫凝灰岩 (Lapilli tuff)，除岩礫呈現黑色外，其餘的細粒組成物質以褐黃色為主，並作層狀堆積。主要分布在該島的南部、東部及北部近海岸處，其中以南部及東部出露面積較大，北部的分佈範圍相對較小。

第二期以含橄欖石和輝石之玄武岩質熔岩流為主，噴發的年代介於 1.0-0.81 Ma 之間。本期岩體是經多次噴發之熔岩流堆疊而成，並直接覆蓋在第一期火山碎屑物之上，流狀構造明顯，節理發達，通常位居上層者氣孔較多。在島嶼之東北方海崖、氣象觀測站東南海邊和西南方碼頭附近等多處均可觀察到第一、二期之層位關係。由於彼此接觸面並不平整，說明熔岩流動當時係沿著古地形面向低窪處漫流，導致各地之熔岩流的厚度並不一致。本期噴出之熔岩分布面積廣，可說是該島火山活動最盛期，不但是島上最主要的岩石種類，同時也確立了彭佳嶼現今的大致樣貌。此外，根據岩石之化學成分差異 (詳見本節末段分析數據)，可將此期之熔岩流再細分為高鋁玄武岩 (High-Al basalt) 和矽質玄武岩 (Tholeiite) 兩大類，前者的 Al_2O_3 、 CaO 含量較高，斑晶以橄欖石和普通輝石為主；後者則有較高之 MgO 含量，除了橄欖石和普通輝石外，普遍含有不少的古銅輝石斑晶。高鋁玄武岩主要分佈在島嶼中央至東側一帶，而矽質玄武岩多分佈在島嶼西部及北部沿岸。

第三期以噴發火山渣和火山灰為主，前者呈錐狀堆積在島上東邊最高山頭及其附近，構成明顯的火山渣錐 (Scoria cone)，在東側剖面中可以發現，堆積的厚度超過 100 m。一般火山渣多孔、質輕，除了玻璃質外，並含有少量細粒之橄欖石和斜長石。而組成顆粒的粒徑變化也相當大，多數介於 1-8 cm 之間，但少數直徑可達 10 cm 以上，甚至還有呈紡錘狀之火

山彈 (Bombs) 錯落其間。火山彈的產出為火山噴發時濺出的岩流，在空中迅速旋轉所造成，其冷卻的時間介於濺出之後與墜落地面之前。此外，位於東北側的火山渣因受到氧化作用影響，幾已全成紅褐色，所以從遠處觀之特別顯眼。另一處是在火山口附近出露的凝灰岩，它是主要由火山灰及火山礫等碎屑物所組成，含有少量火山渣。在本期噴出的產物中僅在東側有一個定年資料報導，其鉀—氬定年結果為 0.50 Ma (莊文星 1992)，顯示活動年代較熔岩流要晚些。此外，從噴出物覆蓋在第二期熔岩流上方的層位關係來看，亦可清楚判斷彼等噴發的先後順序。

第四期玄武質熔岩流是以岩脈方式產出，約在 0.29 Ma 前貫穿第一、二及三期噴出之火山產物，並幾乎到達全島最高之東北山頭的最頂部。岩脈寬約 1-2 m，由於岩石質地堅硬，比周圍之火山碎屑物更耐侵蝕而突出地表。而從該島之東北海面觀之，更可清楚看見此期岩脈宛如巨龍般從海面向上攀升的景象。

綜觀島上四期的火山產物大致是在第四紀噴發，由於該島並無類似大屯火山群和龜山島具有諸如溫泉和硫氣噴發等之後火山作用現象；因此，這個火山島嶼可說是死火山的遺跡。但是值得注意的是日本軍艦曾於 1916 年 4 月 18 日，在彭佳嶼東北方約 70 km 海域處 (東經 $122^\circ 27'$ ，北緯 $26^\circ 11'$) 發現有蒸氣噴發，而美國商船 Aurora 號在 1927 年 6 月 1 日又在同一地點發現海水變色的現象，並且有特別強烈的巨浪 (林朝榮 1957)，暗示該區附近之海底仍有火山活動的可能。

本研究為鑑別島上岩石類型，並進一步探討岩石化學特性，篩選 21 件不同岩層之樣品進行全岩之主要及微量元素測定。從分析結果 (表 1) 顯示，第一期火山碎屑物中，岩礫的 SiO_2 含量介於 51.48-52.90 wt.% 之間， $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 的含量為 3.34-3.46 wt.%，應存礦物含量 (CIPW Norm) 具有石英端成分，係屬矽質玄武岩。第二期熔岩流依其化學成分又可區分為兩大群：第一群具有高鎂 (MgO : 7.11-7.99

wt.%)、低鋁 (Al_2O_3 : 14.79-15.58 wt.%)和低鈣 (CaO : 9.00-9.48 wt.%)的特性。而第二群的鋁和鈣含量相對較高 (Al_2O_3 : 17.05-18.43 wt.%; CaO : 9.58-10.84 wt.%)，鎂含量則相對較低 (MgO : 5.17-5.74 wt.%)。一般在玄武岩中若 Al_2O_3 成分大於 17 wt.%者，又稱為「高鋁玄武岩」(陳正宏 1990)。所以第二群熔岩流屬於高鋁玄武岩，而第一群熔岩流的 SiO_2 含量在 52.03-53.18 wt.%之間， Na_2O+K_2O 的含量為 3.50-3.91 wt.%，依其應存礦物組成落入

石英—紫蘇輝石—透輝石範圍內，可歸類為(石英)矽質玄武岩。在第三期的火山碎屑中，本研究選取灰色火山渣進行分析，它的 SiO_2 含量是所有分析樣品中最高者 (54.39 wt%)，就化學成分而言，已達玄武質安山岩 (Basaltic andesite)的範疇。至於最晚期活動的岩脈， SiO_2 含量為 51.74-51.98 wt.%， Al_2O_3 含量 (17.53-17.66 wt.%)亦超過 17 wt.%，其它主要成分與第二期之第二群相若，亦屬高鋁玄武岩。

表 1. 彭佳嶼 (PCH) 火山岩之主要和微量元素含量

樣品編號	PCH-11 ^a	PCH-12 ^a	PCH-14 ^b	PCH-15 ^b	PCH-16 ^b	PCH-17 ^b	PCH-19 ^b
岩石種類	TH						
(wt.%)							
SiO_2	51.48	52.90	52.03	52.38	52.06	52.84	53.18
Al_2O_3	14.09	14.41	15.58	15.00	14.93	14.79	15.15
ΣFeO	10.64	10.38	9.69	9.73	10.44	9.79	9.39
MgO	8.72	7.44	7.44	7.84	7.51	7.99	7.11
CaO	8.82	8.78	9.41	9.18	9.13	9.00	9.35
Na_2O	2.85	2.97	2.81	2.83	2.89	2.83	2.81
K_2O	0.49	0.49	1.07	0.96	0.51	0.95	0.98
TiO_2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
P_2O_5	1.41	1.50	1.31	1.31	1.56	1.30	1.28
MnO	0.209	0.18	0.302	0.282	0.214	0.275	0.292
L.O.I.	0.95	0.18	0.17	0.17	0.44	0.06	0.13
Total	99.809	99.381	99.962	99.832	99.834	99.975	99.822
(ppm)							
Ba	131	115	230	196	127	188	226
Co	37	36	31	31	36	32	30
Cr	477	425	362	410	425	412	323
Cu	61	58	39	37	60	41	41
Li	4.9	5.3	6.6	6.7	5.9	6.9	6.5
Ni	232	162	85	110	148	118	74
Rb	17.8	16.5	30.3	26.4	16.5	26.0	29.0
Sc	22.4	23.2	27.7	25.7	23.9	25.1	26.3
Sr	271	223	365	283	259	284	355
V	158	170	186	173	169	165	189
Y	20.3	22.5	23.9	22.2	28.8	22.9	23.5
Zn	99	107	92	90	109	91	91
Zr	80	83	89	85	87	89	90
La	7.0	4.1	6.9	6.0	4.9	6.1	7.2
Ce	19.3	15.2	19.1	16.9	16.3	17.3	19.5
Dy	4.03	4.23	4.48	4.20	4.83	4.31	4.38
Yb	1.82	1.91	2.08	1.94	2.29	2.02	2.04
Lu	0.40	0.40	0.39	0.37	0.42	0.39	0.38

a：第一期噴發火山岩分析樣品

b：第二期第一群噴發期火山岩分析樣品

TH：矽質玄武岩

表 1. 彭佳嶼 (PCH)火山岩之主要和微量元素含量 (續)

樣品編號	PCH-20 ^b	PCH-21 ^b	PCH-01 ^c	PCH-02 ^c	PCH-04 ^c	PCH-07 ^c	PCH-08 ^c
岩石種類	TH	TH	HAB	HAB	HAB	HAB	HAB
(wt.%)							
SiO ₂	52.75	52.04	49.35	49.60	51.59	52.31	51.98
Al ₂ O ₃	14.85	15.44	18.03	17.99	17.81	17.05	17.05
ΣFeO	9.53	9.72	9.61	9.49	9.30	9.11	9.30
MgO	7.43	7.62	5.17	5.60	5.46	5.35	5.74
CaO	9.11	9.48	9.58	10.59	10.52	9.91	10.02
Na ₂ O	2.86	2.82	2.45	2.47	2.78	2.84	2.81
K ₂ O	0.88	1.09	1.21	1.35	1.59	1.33	1.40
TiO ₂	0.14	0.15	0.15	0.16	0.15	0.14	0.15
P ₂ O ₅	1.33	1.30	1.20	1.16	1.18	1.26	1.25
MnO	0.272	0.302	0.407	0.482	0.417	0.393	0.369
L.O.I.	0.83	0.17	2.05	0.93	0.39	0.27	0.01
Total	99.982	100.132	99.207	99.822	101.187	99.963	100.079
(ppm)							
Ba	195	229	434	348	322	290	294
Co	32	31	27	27	26	27	28
Cr	388	328	43	38	40	77	93
Cu	32	42	36	35	36	35	35
Li	6.4	6.6	8.2	6.8	7.5	7.5	5.7
Ni	117	79	16	15	15	23	27
Rb	24.9	30.6	19.3	29.7	43.1	36.6	38.4
Sc	25.9	27.2	31.6	31.8	30.2	28.9	28.9
Sr	289	368	478	521	519	459	456
V	180	191	237	230	235	224	222
Y	21.2	23.7	23.4	21.8	23.1	23.6	24.0
Zn	94	94	92	89	92	93	94
Zr	89	89	94	94	92	94	93
La	5.0	7.4	10.1	9.3	9.5	8.6	9.1
Ce	15.5	19.8	23.4	22.8	22.5	21.9	22.4
Dy	4.06	4.39	4.47	4.24	4.41	4.31	4.43
Yb	1.94	2.06	2.23	2.15	2.18	2.12	2.18
Lu	0.38	0.38	0.39	0.37	0.37	0.37	0.39

b：第二期第一群噴發期火山岩分析樣品

c：第二期第二群噴發期火山岩分析樣品

TH：矽質玄武岩； HAB：高鋁玄武岩

彭佳嶼四期的火山噴發序列，在東北角的海崖一覽無遺，島上之火山地質與地形資源，呈現多樣面貌且保存完整，實為最佳的火山地質地形戶外教室。

二、棉花嶼

棉花嶼距離鼻頭角約 43 km，島嶼呈狹長狀，在北方四個火山島嶼中，面積比花瓶嶼大

些，但較彭佳嶼和基隆嶼小。全島的地勢以東部和南部較高，西北部較為低平，最高點位於東部火山錐頂，標高 61 m。而在西北角有一地勢稍緩小灣，為登岸上島的最佳地點。島上目前並無人居住，僅在西北角海灣有一座「萬應公廟」，鄰近小山丘則豎立一座小型的銅質地標，上面標示該島有關歷史人文、地形地質、氣象水文、動物植物等方面的簡要介紹。

表 1. 彭佳嶼 (PCH)火山岩之主要和微量元素含量 (續)

樣品編號	PCH-09 ^c	PCH-10 ^c	PCH-13 ^c	PCH-18 ^c	PCH-03 ^d	PCH-05 ^e	PCH-06 ^e
岩石種類	HAB	HAB	HAB	HAB	BA	HAB	HAB
(wt.%)							
SiO ₂	50.66	50.82	51.11	48.45	54.39	51.98	51.74
Al ₂ O ₃	17.57	17.52	17.74	18.43	14.81	17.66	17.53
ΣFeO	9.34	9.23	9.29	9.71	9.05	9.27	9.12
MgO	5.36	5.26	5.37	5.58	6.62	5.35	5.33
CaO	10.21	10.31	10.59	10.84	8.79	10.29	10.30
Na ₂ O	2.61	2.73	2.68	2.52	2.72	2.73	2.74
K ₂ O	1.60	1.58	1.51	1.33	1.12	1.58	1.59
TiO ₂	0.15	0.15	0.15	0.16	0.14	0.15	0.15
P ₂ O ₅	1.20	1.21	1.20	1.17	1.21	1.19	1.17
MnO	0.423	0.404	0.410	0.445	0.331	0.415	0.410
L.O.I.	0.48	0.17	0.45	1.37	0.26	0.29	0.64
Total	99.603	99.384	100.500	100.005	99.441	100.905	100.720
(ppm)							
Ba	312	315	311	360	244	319	320
Co	26	26	25	28	29	26	26
Cr	46	43	41	40	295	39	42
Cu	32	35	34	36	37	36	35
Li	6.2	6.5	6.7	7.7	7.9	7.6	7.5
Ni	16	15	14	16	64	14	14
Rb	42.2	43.1	39.4	24.6	32.7	44.9	42.5
Sc	29.8	29.9	30.0	33.3	26.7	30.6	30.3
Sr	489	496	488	563	368	496	487
V	226	233	229	256	188	234	233
Y	22.2	23.4	22.9	21.1	23.1	23.0	22.8
Zn	90	90	85	95	89	90	88
Zr	92	93	90	97	89	93	93
La	8.9	9.4	9.5	8.8	8.4	9.4	9.5
Ce	21.9	22.8	22.5	22.8	21.0	22.8	23.0
Dy	4.24	4.36	4.24	4.19	4.34	4.27	4.33
Yb	2.13	2.16	2.12	2.13	2.03	2.16	2.17
Lu	0.37	0.38	0.36	0.39	0.36	0.37	0.37

c：第二期第二群噴發期火山岩分析樣品

d：第三期噴發火山岩分析樣品

e：第四期噴發火山岩分析樣品

HAB：高鋁玄武岩； BA：玄武質安山岩

1. 海岸與海蝕地形

棉花嶼四周主要都是陡峭的岩岸，僅在西北方海灣地勢低平處有岩礫堆積而成的礫灘，以及由一些崩落岩體所構成的崖錐地形。海蝕地形主要包括壺穴、海蝕柱和海蝕拱門等。

壺穴位於西北角海灣塊狀熔岩中，洞口呈橢圓狀，穴深約 50 cm，其形成的原因是海

水夾帶石礫陷入岩石凹陷處，由於石礫受到海浪的沖擊而不斷的轉動與磨蝕，經長時間作用下，從小凹穴而逐漸加深變大，如今仍然可見被磨蝕的長形光滑石礫陷在壺穴裡。在臺灣地區也有不少壺穴地景，例如：基隆河流域、花蓮石梯坪等，是長時間受河水沖刷，或是因海浪沖擊所造成。就單一壺穴而言，以正圓形或橢圓形居多，棉花嶼的壺穴形狀即為橢圓形。

屏風岩位於主島東北方近岸處，高約 25 m；岩體呈扁平狀，東西向寬約 20 公尺，南北向較薄，僅厚 2-3 m 左右，外形像屏風，也像船帆。從野外產狀觀之，該岩體過去似與主島相連，後來經海浪侵蝕而孤立海中，可稱之為「海蝕柱」。屏風岩因有發達的裂理和節理，部分近海面的岩體已被侵蝕、崩落而成方形「海蝕拱門」孔洞；該拱門很小，但在海浪長期侵蝕下，未來仍會不斷擴大。

2. 火山地形

在島嶼之東、南及西南方各有一座火山錐，規模不大，但也是島上地勢較高的地方。位在東方及南方的火山錐，圓錐狀外形仍保存相當完整；西南側火山錐則因靠近海邊，部分岩體已被海浪侵蝕而崩塌，火山錐體的內部結構裸露在外，實為觀察火山錐體之內部結構與火山碎屑物質堆積的最佳野外露頭。

3. 噴發層序與地質資源

棉花嶼的岩層組成與彭佳嶼頗為類似，但未見最晚期之岩脈；從層位上來看，凝灰岩位於最底層，雖於地表未見出露，但在東側海崖下方清楚可見，此一黃褐色層狀堆積之凝灰岩係由細粒火山碎屑物所組成。而直接覆蓋在第一期凝灰岩之上的是相對分布面積較廣的熔岩流，岩體呈灰黑色，局部因受氧化作用而呈紅褐色。此一多氣孔的熔岩流岩石，具斑狀結構，主要由橄欖石—古銅輝石玄武岩所組成(陳正宏 1990)，斑晶以橄欖石及古銅輝石居多，斜長石含量少且顆粒細，石基則以斜長石和玻璃物質為主。島上熔岩流以塊狀熔岩(Block lava)和繩狀熔岩(Pahoehoe lava)兩種型態產出，顯示這些熔岩流是在陸上以溢流的方式噴發(Wang *et al.* 2000)，另在部分熔岩表面呈現角礫化現象，可能是流動冷卻作用所形成(宋聖榮 2007)。繩狀熔岩的產出為該島熔岩流的一大特色，此種熔岩之表面結成平滑狀且扭曲似繩索的流動狀態，代表噴出地表時，外表或邊緣部分已經固化，內部仍在流動所形成的中空隧道形狀。而覆於熔岩流上方的則是火山碎屑堆積，是該島最晚期的活動產物，主

要分佈於中央至南岸一帶，在東側海崖可見明顯的層狀堆積現象；一般火山碎屑顆粒大小不一且顏色多樣，並以灰白、黑灰至紅褐色者居多。此外，在四周海崖處均可見崩落的岩塊堆積。而在屏風岩和棉花嶼主島東南方的岩石表面上，由於經常有海鳥棲息，均佈滿了白色鳥糞。

棉花嶼的定年資料相當少，且都是集中在分佈較廣的二期熔岩流；Juang (1993)曾利用鉀—氬定年法測得 2 件全岩之年代為 0.53-0.44 Ma，顯見該島此期熔岩流較彭佳嶼之第二期熔岩流(1.00-0.81 Ma)更晚噴發。但Wang *et al.* (2000)利用氫—氬定年法，測定 1 件熔岩流岩樣所得的噴發年代卻是 2.6 Ma，明顯高出許多。兩種定年結果差異相當大，究竟何者才是接近真實的火山活動年代，仍有賴日後進一步的調查與更多精準的分析數據來驗證。

棉花嶼火山岩之 SiO₂ 含量為 52.05-52.85 wt.%，Na₂O+K₂O 的含量為 3.54-3.70 wt.% (表 2)，應存礦物組成具有石英端成分，這些岩石可歸入矽質玄武岩的範疇。若與彭佳嶼同類岩石(即第二期第一群)相比，兩者的化學成分十分相近，僅棉花嶼火山岩之 CaO、Sc、Sr、V 含量略低，Na₂O 含量稍高，此一差異顯示該島矽質玄武岩內有較多的斜長石，斜輝石含量則較少。

過去曾有學者對棉花嶼玄武岩之主要及微量元素和同位素地球化學的討論，其中以Wang *et al.* 分別於 1999、2000 及 2004 年所發表之文章最具代表性。Wang *et al.* (2000)基於全岩之主要元素組成中，相對於矽含量(SiO₂：52.7-54.5 wt.%)，其鎂含量(MgO：5.9-8.1 wt.%)有偏高的現象，推論棉花嶼玄武岩係因歐亞大陸板塊邊緣拉張活動所形成的產物，而拉張作用極可能是導因於北臺灣碰撞造山帶的拉張崩解，因而造成軟流圈上湧導致岩漿噴出地表。

三、花瓶嶼

花瓶嶼因遠望像花瓶而得名。該島位於基隆東北方外海，距離鼻頭角約 31.72 km，它是由一座小島和許多岩礁所組成，主島長度雖不超過 180 m，寬度也在 80 m 左右，但最高點可達 53 m，顯見島嶼四周地勢相當陡峻。由於島上地勢崎嶇，山頂地形似鋸齒狀，所以當地漁民也稱它為「尖閣嶼」。

全島面積約 0.0308 km²，為北方四小島中面積最小者，除頂部有零星蘆荻族群生長外，幾無植被覆蓋。

1. 海蝕地形

海蝕地形包括海崖、海蝕凹壁和海蝕柱。島嶼四周海岸均是懸崖峭壁，陡峭的地形，加上近岸多岩礁，船隻無法靠近，登岸困難，這也是該島目前尚無詳細地質調查報導的主要原因；海蝕凹壁位於該島的東方海崖處，因岩體有相當發達的節理和裂理，導致在凹壁上方有崩塌現象；海蝕柱則位於該島東方，因受海浪侵蝕導致與主島一分為二，高聳的柱體矗立海中，與主島近在咫尺。

表 2. 棉花嶼 (MH)及花瓶嶼 (HP)火山岩之主要和微量元素含量

樣品編號	MH-02	MH-03	MH-05	MH-06	HP-03	HP-04	HP-05	HP-06
岩石種類	TH	TH	TH	TH	TH	TH	TH	TH
(wt.%)								
SiO ₂	52.47	52.05	52.52	52.85	50.91	51.28	51.83	51.59
Al ₂ O ₃	14.95	14.86	15.00	14.93	16.22	15.79	15.73	16.00
ΣFeO	9.68	9.90	9.65	9.97	9.68	9.64	9.79	9.76
MgO	7.80	8.21	8.60	8.05	7.45	7.93	8.27	8.14
CaO	8.43	8.49	8.52	8.53	10.84	10.52	10.51	10.74
Na ₂ O	3.11	3.05	3.00	3.11	2.80	2.81	2.72	2.75
K ₂ O	0.49	0.49	0.70	0.50	0.54	0.56	0.53	0.52
TiO ₂	0.14	0.14	0.14	0.14	0.16	0.15	0.15	0.15
P ₂ O ₅	1.49	1.51	1.44	1.53	1.24	1.26	1.23	1.24
MnO	0.229	0.135	0.208	0.131	0.140	0.153	0.174	0.169
L.O.I.	0.22	0.21	0.00	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00
Total	99.009	99.045	99.778	99.871	99.990	100.093	100.934	101.059
(ppm)								
Ba	148	143	198	149	145	143	144	141
Co	35	35	36	35	31	31	33	32
Cr	389	414	437	430	253	309	367	341
Cu	34	39	45	37	43	47	46	47
Li	7.6	7.0	8.0	7.3	6.9	7.4	7.5	7.4
Ni	142	145	193	148	65	88	100	90
Rb	16.2	15.1	22.6	16.5	12.2	12.5	12.2	12.1
Sc	21.9	19.9	22.1	21.5	31.4	30.7	30.6	30.9
Sr	142	126	207	129	421	380	412	398
V	142	139	149	140	183	193	201	195
Y	21.6	21.5	21.4	20.7	21.6	21.1	21.2	20.8
Zn	102	101	97	102	88	87	88	89
Zr	94	92	96	94	75	76	76	74
La	4.3	4.2	7.2	3.9	5.2	5.0	5.1	5.0
Ce	15.4	15.3	20.8	14.6	15.7	15.5	15.6	15.5
Dy	4.16	4.15	4.15	4.10	4.23	4.21	4.24	4.20
Yb	1.73	1.75	1.82	1.72	1.99	2.01	2.04	1.99
Lu	0.37	0.36	0.36	0.37	0.37	0.36	0.37	0.37

TH：矽質玄武岩

2. 火山地質特性

花瓶嶼由於沒有船隻可靠岸的地方，所以本研究分析的島上岩樣是游泳登岸採集，部分近岸標本則是由台大海研所戴昌鳳教授率領的團隊，在該島進行生物多樣性調查時潛入海中所取得的，極為珍貴。

該島岩體的顏色可從黑灰、白灰至紅褐色，尤其在島上頂部呈現大片紅褐色，在陽光照射下顯得通紅無比，相當引人注目。當靠近岸邊觀察可以發現，紅褐色多集中在山頂和岩壁凹陷的表面，而且分布並不均勻，推測是火山噴發後期的餘熱，使岩石與空氣中的氧發生熱氧化作用，導致岩石中的二價鐵轉變為三價鐵的結果（宋聖榮 2007）。在採集的標本中，有的呈黑灰略帶褐色，有的已呈紅褐色，觀察這些岩塊可清楚看出，在緻密處仍保持黑灰色，但在裂縫或氣孔邊緣已轉為紅褐色，說明後期的氧化作用是先從這些小裂隙或氣孔中發生。

從岩象學觀之，該島的岩石組織與其礦物組成與棉花嶼者類似，也是由橄欖石—輝石玄武岩所構成，具斑狀結構，斑晶以橄欖石和輝石為主，石基除斜長石外，也含有少量細粒之橄欖石和輝石；但花瓶嶼之石基粒徑普遍較棉花嶼者要大些，玻璃質含量卻少了許多。

此外，本研究篩選 4 件岩樣進行化學成分分析（表 2）。在主要元素組成中， SiO_2 的含量介於 50.91-51.83 wt.% 之間， Al_2O_3 在 16 wt.% 左右， ΣFeO （全量鐵）和 MgO 的含量分別為 9.64-9.79 wt.% 和 7.45-8.27 wt.%，在分類上，係屬矽質玄武岩。在化學性質上雖與棉花嶼之熔岩流相近，但花瓶嶼的 Al_2O_3 、 CaO 、 Sc 、 Sr 、 V 含量稍高，棉花嶼的 MgO 、 Ni 含量較多些，代表前者含較多量的斜輝石，而後者橄欖石含量較高。

四、基隆嶼

基隆嶼位於基隆市東北方約 6 km 的海域，與臺灣本島最近距離 3.8 km，從基隆、北海岸或東北角海岸線均可看見它的面貌。該島

嶼為一火山噴發形成的小島，地形略呈東北—西南方向延伸，長約 800 m，寬約 400 m，面積約 0.24 km^2 ，最高山頭海拔 182 m，大致位居該島的中央位置。

島嶼山頂有一座燈塔，沿步道攀頂途中可目睹東、西兩側美景。東側可見懸崖下方山巒起伏和遊艇進出的碼頭；向西可見海邊崩落的岩塊和礫石堆積，以及矗立在西北方海中名為「小乞礁」的大塊礁石。小乞礁又稱「小基隆嶼」，是基隆嶼近岸最大的岩體；最高點約 28.4 m，地形陡峭。另在基隆嶼北方也有幾塊出露海面的大礁石，其中以形狀酷似雞心的「雞心岩」（又稱北瑣小乞礁）最為知名。

1. 海岸與海蝕地形

基隆嶼係由石英安山岩所構成，除東南海灣碼頭一帶有狹窄平地，南岸至西岸海岸有崩落礫石堆積成礫灘外，四周沿岸或近岸均是陡峭的岩壁。

沿岸之海蝕地形，包括蜂窩岩、海蝕凹壁、海蝕洞等。海邊的岩石可見蜂窩岩，可能成因是原先安山岩表面上的小凹坑，因為常堆積海水，而海水乾了以後，便結晶出海鹽，這些海鹽會對小凹坑進行崩解溶蝕的作用，加上風浪的侵蝕，使得小凹坑逐漸擴大形成許許多多的小凹洞，因岩體的硬度較砂岩為大，所以蜂窩岩的發育與分布不如野柳地質公園壯觀。海蝕凹壁多在東北至北面海崖分布，有些沿著岩石之節理面發展，而呈長條狀凹陷。規模較大的海蝕洞位於碼頭南側岬角和該島北端，前者僅有一個洞口，後者則是三個海蝕洞緊鄰發育，洞口的高度由海面算起可從 5-10 餘公尺不等，是該島重要的海蝕地形。

2. 火山地形

在地形上，與彭佳嶼和棉花嶼相較，基隆嶼島上地勢顯得更為陡峭，90%面積的坡度超過 60%。究其原因，前兩座島嶼的骨幹主要是玄武岩，因玄武岩質熔岩流的黏性相對較小，所以堆積的地形較為平坦，島上最高山頭都是晚期的火山碎屑物質堆積而成；反之，由石英安山岩所構成之基隆嶼，因岩漿黏性大，

易形成圓錐狀、尖錐狀或地勢高聳的陡峭地形。

基隆嶼石英安山岩岩體有相當發達的節理；例如：在碼頭和檢查哨舍附近的岩體均有不同位態之節理；小乞礁也有一組近乎垂直的節理。當岩體受到風化、侵蝕時，這些節理均是脆弱面，會加速作用的進行。

3. 地質特性

基隆嶼所構成的岩體，不論是岩石產狀、礦物組成或是噴發時間均與臺灣東北角一帶的基隆火山群（包括基隆山、武丹山、本山、草山和雞母嶺）十分相似（陳正宏 1990），兩者絕大部分是由含有石英顆粒之安山岩所構成，曾被稱為石英安山岩（Dacite）或簡稱英安岩（Huh and Chen 1978, Chen and Huh 1982, Hwang and Meyer 1983）。但根據基隆安山岩之礦物成分及地球化學研究，研判其中所含之部分石英可能不是源於安山質岩漿，而是砂岩層混染的結果，因此，陳正宏（1990）建議採用「石英」安山岩（即含石英的安山岩，英文學名為 Quartz andesite）較為妥適。

基隆嶼石英安山岩具斑狀組織，除石英顆粒外，常見的斑晶包括黑雲母、斜長石、角閃石、輝石和磁鐵礦，基質則以斜長石為主。在該島安山岩中，含有大型黑雲母斑晶為其特徵之一，較大者可達 1-2 cm，在淺灰色石英安山岩中特別顯眼。一般結晶良好的黑雲母呈六角柱狀產出，因具有一組非常發達之解理，很容易剝成一張張薄片。此外，有些黑雲母斑晶內含有斜長石、磷灰石、紫蘇輝石及磁鐵礦等內含礦物，而其外側常出現由細粒之普通輝石和磁鐵礦組成之反應邊（reaction rim）；相對於黑雲母，角閃石和輝石的含量較少。

斜長石在基隆嶼安山岩中是含量最為豐富的一種斑晶，呈白色，外形以板狀或長條狀居多，經常有雙晶出現，部分具有環狀結構。石英顆粒在安山岩內也相當常見，一般粒徑約 0.2-0.6 cm，普遍較基隆火山群者稍大些。雖然賴昱銘等（2005）進行基隆山安山岩之實驗岩石學研究時，認為石英可能是岩漿內自行結

晶的產物。但從石英顆粒外形多呈渾圓狀，內部常有凹陷，並有細小晶體聚集來看，可能經歷過高溫熔蝕作用，本研究贊成陳正宏（1990）對石英來源的看法。然而，為何混入之石英會如此均勻散布在岩體內？仍待進一步釐清。

不論是基隆嶼島上出露的岩體或是在北方海域的雞心岩，經常可以發現岩體內含有一些大小不等、顏色及岩象相異的捕獲包體（xenoliths），包括輝石角閃安山岩、橄欖石輝石玄武岩、砂岩及頁岩等，這些都是安山岩質岩漿在上升途中捕獲早期形成之火山岩或周圍沉積岩的證據。捕獲包體類型的多樣，也是基隆嶼石英安山岩的另一特色。

本研究篩選 8 件圍岩及 8 件火山岩質包體進行化學成分分析（表 3），其中圍岩之 SiO₂ 含量介於 57.77-59.52 wt.% 之間，Na₂O+K₂O 的含量為 4.70-5.05 wt.%，屬於典型的安山岩，因含有多量的石英斑晶，所以稱其為石英安山岩。在微量元素方面，基隆嶼石英安山岩較彭佳嶼等三島之玄武岩含有更高的 Ba、Rb 和 LREEs (Light rare earth elements)，但 Co、Cr 和 Ni 的含量則較低。至於火山岩質包體方面，SiO₂ 含量變化較大，從 47.24-54.63 wt.% 之間，在岩性上，屬於玄武岩和玄武質安山岩。

有關基隆嶼火山岩之年代測定數據，僅有一個利用鉀—氬定年法對安山岩中黑雲母斑晶所測得之 1.02 Ma 分析資料（莊文星與陳汝勤 1989），與臺灣陸地基隆山之噴發年代相當（Chen *et al.* 1993, 何恭算等 2006），指示這些安山岩可能是在更新世早期火山活動的產物。從野外岩石產狀調查與前人研究資料顯示，基隆嶼在約 1 Ma 前侵入沉積岩層成為淺成火山岩體，後因地殼隆升周遭之沉積地層遭剝蝕而露出地表。

結論

彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼和基隆嶼均為臺灣東北外海的火山島嶼，前三個島嶼除了噴發

火山灰、火山礫、火山彈等火山碎屑物質外，溢流的熔岩流屬於矽質玄武岩或高鋁玄武岩，推測係因歐亞大陸板塊邊緣因拉張活動造成軟流圈上湧，進而導致岩漿噴出地表的結果。

基隆嶼則是由石英安山岩所構成，在成因上與菲律賓海板塊在琉球弧向北隱沒所形成的岩漿有關，岩體含有大量石英斑晶，以及安

山岩、玄武岩、砂岩和頁岩之包體，乃是岩漿上升途中所捕獲的物質。這些火山島嶼有典型的火山地形，也有豐富多樣的海蝕地形，實為國內不可多得的火山地質地形資源寶庫。

本研究謹將北方四島之重要地質地形景觀資源，分別彙整於附圖 1、附圖 2、附圖 3 及附圖 4，以供參考。

表 3. 基隆嶼(KLY)石英安山岩及捕獲火山岩質包體之主要和微量元素含量

樣品類型	石英安山岩							
樣品編號	KLY01A	KLY02A	KLY02B	KLY03A	KLY03B-1	KLY04-1	KLY05	KLY06
岩石種類	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA	QA
(wt.%)								
SiO ₂	59.38	59.47	59.52	58.54	57.99	57.77	59.07	57.84
Al ₂ O ₃	19.04	18.83	18.73	18.37	18.86	18.82	18.62	18.89
ΣFeO	5.43	5.25	5.17	5.40	5.79	5.58	5.34	5.54
MgO	3.09	3.18	3.01	3.29	3.29	3.16	3.35	3.20
CaO	7.44	7.55	7.22	7.45	7.68	7.56	7.41	7.65
Na ₂ O	3.38	3.36	3.31	3.16	3.23	3.30	3.30	3.36
K ₂ O	1.67	1.64	1.74	1.54	1.61	1.66	1.57	1.65
TiO ₂	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13
P ₂ O ₅	0.43	0.42	0.45	0.41	0.45	0.43	0.43	0.44
MnO	0.224	0.210	0.214	0.224	0.238	0.232	0.207	0.228
L.O.I.	0.53	0.24	0.33	0.99	0.93	1.08	0.37	0.11
Total	100.734	100.270	99.804	99.494	100.188	99.712	99.797	99.038
(ppm)								
Ba	402	395	421	365	381	375	390	400
Co	11	10	11	11	11	11	10	11
Cr	16	21	19	30	17	16	17	21
Cu	45	37	58	48	45	48	36	42
Li	18.7	14.6	13.1	11.7	12.8	13.3	14.2	14.7
Ni	5	4	3	5	4	4	3	4
Rb	59.0	54.9	56.8	48.3	48.7	53.3	49.3	48.5
Sc	22.7	22.2	19.2	20.6	21.7	22.0	21.6	20.1
Sr	421	405	412	420	403	406	404	425
V	181	173	166	173	187	182	168	178
Y	14.5	14.0	11.9	12.2	12.7	12.5	13.6	12.4
Zn	58	50	48	44	49	49	51	54
Zr	41	43	42	40	37	38	38	44
La	14.5	13.8	13.2	13.4	13.0	12.5	13.0	13.5
Ce	22.6	21.6	20.5	20.0	20.5	20.2	20.8	21.1
Dy	3.04	2.95	2.67	2.81	2.86	2.96	3.19	2.97
Yb	1.77	1.71	1.54	1.58	1.64	1.63	1.70	1.65
Lu	0.24	0.23	0.21	0.22	0.23	0.22	0.22	0.23

QA：石英安山岩

表 3. 基隆嶼 (KLY) 石英安山岩及捕獲火山岩質包體之主要和微量元素含量 (續)

樣品類型	火山岩質包體							
樣品編號	KLY01B	KLY01C	KLY01D	KLY01E	KLY02C	KLY03B-2	KLY04-2	KLY07
岩石種類	BA	BT	BT	BA	BT	BA	BT	BT
(wt.%)								
SiO ₂	54.35	49.66	48.44	54.63	47.24	54.05	49.88	51.91
Al ₂ O ₃	20.26	18.39	18.68	15.50	17.80	18.11	18.14	17.22
ΣFeO	6.45	8.89	8.82	8.25	10.22	7.37	8.44	7.73
MgO	4.27	6.30	6.24	7.95	7.40	4.82	5.86	6.54
CaO	9.81	11.70	11.71	8.70	12.55	9.28	10.83	11.12
Na ₂ O	3.18	2.51	2.55	2.67	2.13	2.67	2.58	2.52
K ₂ O	1.42	1.40	1.38	1.09	1.16	1.42	1.08	1.29
TiO ₂	0.13	0.15	0.15	0.34	0.15	0.14	0.15	0.14
P ₂ O ₅	0.55	0.68	0.67	0.60	0.77	0.56	0.64	0.59
MnO	0.281	0.629	0.559	0.154	0.299	0.323	0.352	0.327
L.O.I.	0.33	0.81	0.66	0.18	0.33	1.71	1.05	0.35
Total	101.031	101.119	99.859	100.064	100.049	100.453	99.002	99.737
(ppm)								
Ba	400	299	296	289	256	333	300	309
Co	15	22	23	21	28	18	22	20
Cr	14	48	53	470	68	39	48	95
Cu	66	92	96	71	130	147	153	103
Li	14.5	14.8	15.2	15.4	9.0	14.6	14.6	12.9
Ni	7	14	15	187	17	10	12	16
Rb	47.9	45.0	45.8	35.9	29.7	43.7	32.2	36.9
Sc	35.3	48.2	50.1	31.6	54.0	35.4	44.4	43.1
Sr	488	457	456	234	424	402	419	436
V	289	340	347	177	411	262	314	279
Y	14.0	16.5	16.5	31.6	15.2	14.9	14.7	14.4
Zn	68	67	70	87	61	59	67	68
Zr	49	51	49	34	45	53	50	49
La	11.6	8.8	8.8	12.0	6.9	10.6	8.5	9.4
Ce	18.3	18.2	18.0	29.6	16.3	19.0	17.1	18.0
Dy	3.07	3.57	3.57	8.01	3.43	3.38	3.39	3.21
Yb	1.91	2.22	2.25	3.15	2.35	1.97	2.11	1.97
Lu	0.27	0.35	0.34	0.37	0.38	0.28	0.33	0.29

BA：玄武質安山岩； BT：玄武岩

誌謝

本研究感謝內政部營建署海洋國家公園管理處經費補助；兩位匿名專家審查本文，提供寶貴意見，謹此表示誠摯感謝。

引用文獻

何恭算、萬渝生、劉敦一、陳汝勤、周紅英、殷小豔。2006。基隆山安山岩之銻石離

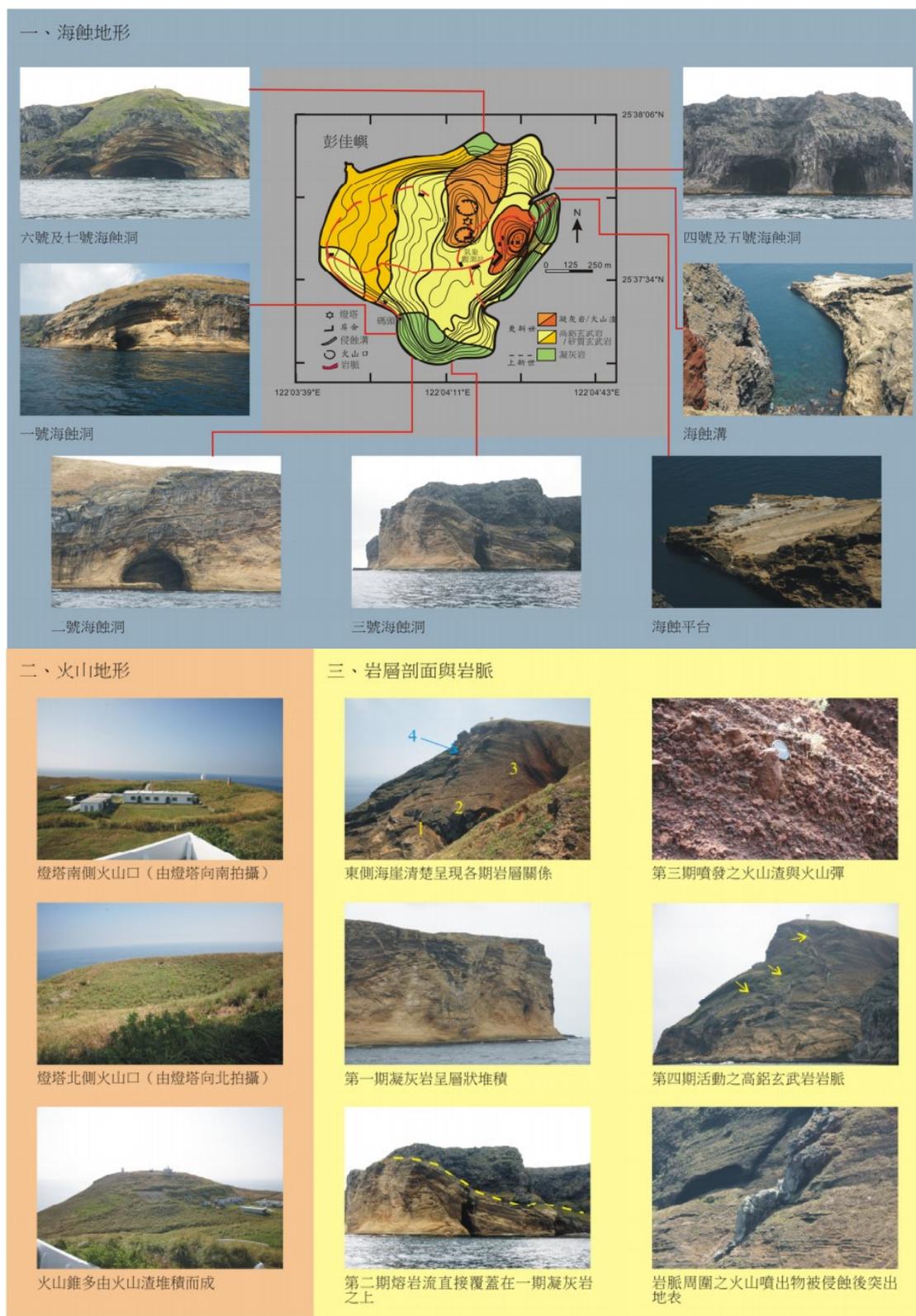
子探針鈾—鉛定年研究及其岩漿成因探討。中國地質學會九十五年年會暨學術研討會，苗栗。

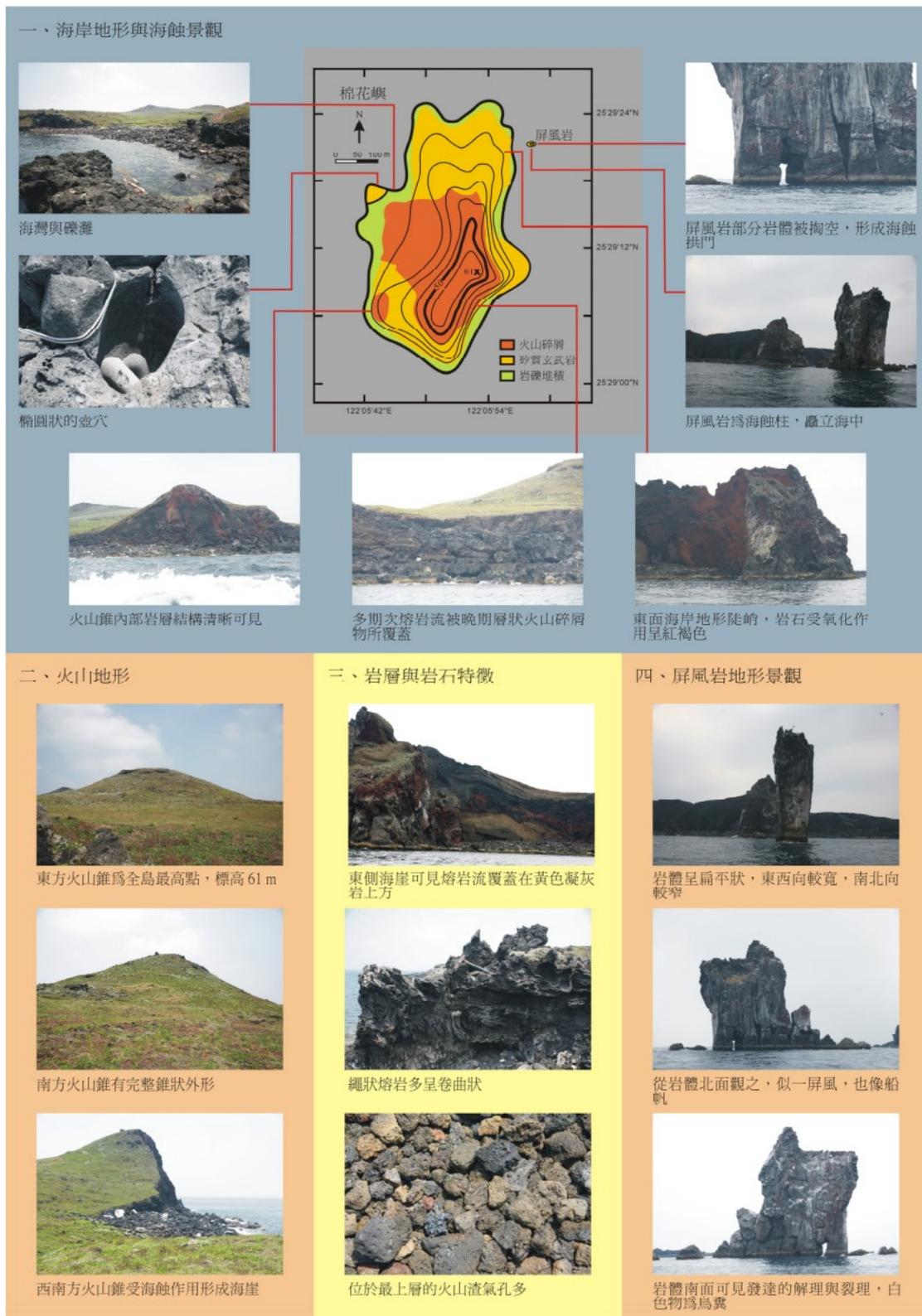
宋聖榮。2007。臺灣第四紀火山活動。經濟部中央地質調查所特刊 18:111-142。

林朝榮。1957。臺灣地形。臺灣省文獻委員會編纂組。

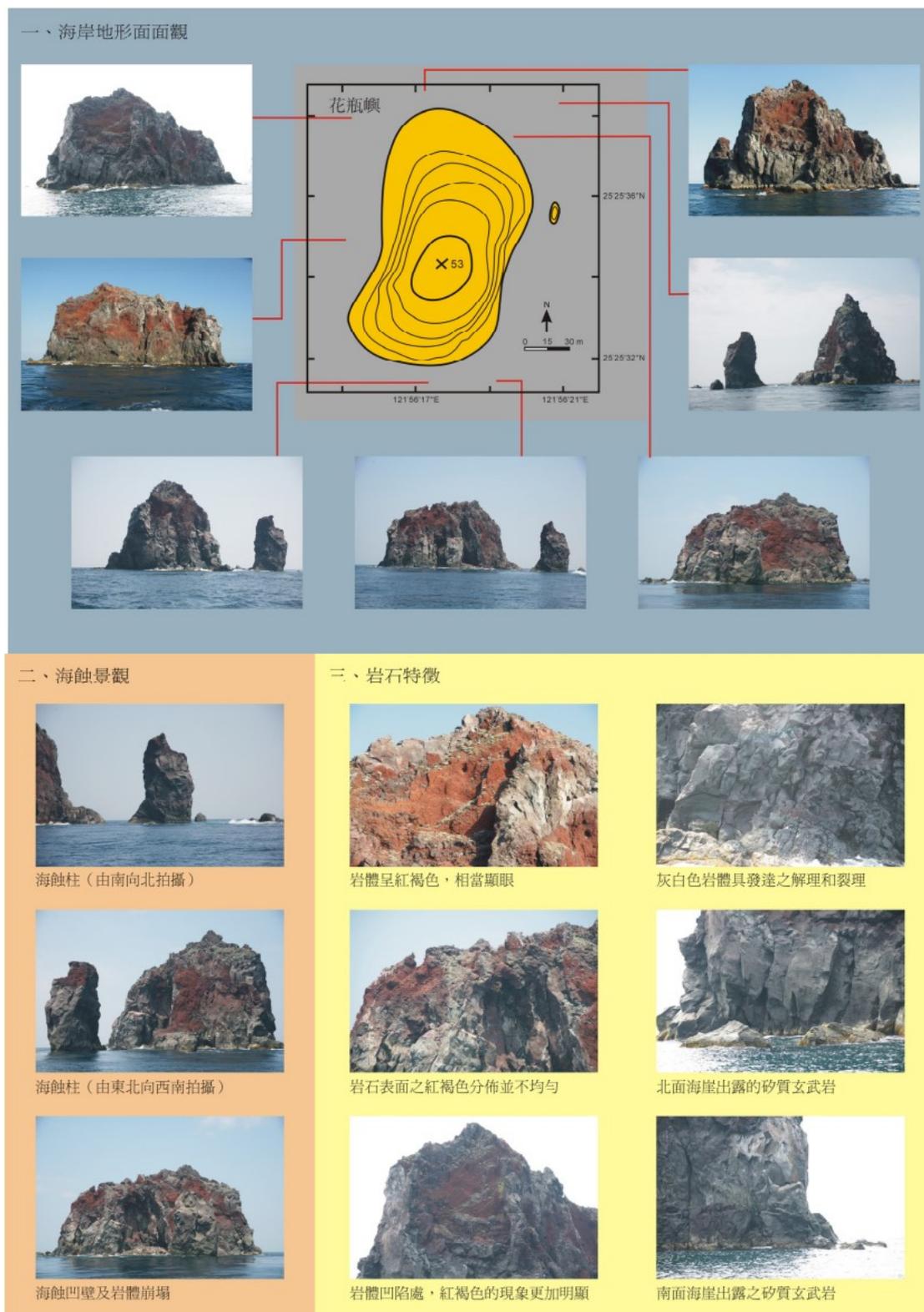
莊文星、陳汝勤。1989。臺灣北部火山岩之定年與地球化學研究。經濟部中央地質調查所彙刊 5:31-66。

- 莊文星。1992。臺灣之火山活動與火成岩。國立自然科學博物館。
- 陳正宏。1990。臺灣之火成岩。經濟部中央地質調查所。
- 國府健次。1927。臺灣彭佳嶼產玄武岩に就こ。臺灣鑛業會報 145:8-9。
- 盛康。1914。棉花嶼燐礦。臺灣鑛業會報 9:35-36。
- 楊燦堯、王文祥、陳中華、藍晶瑩、沈君山、游鎮烽、謝越寧、李太楓、陳正宏。1990。彭佳嶼之火山噴發層序。經濟部中央地質調查所特刊 4:372。
- 澁谷紀三郎。1915。臺北廳棉花嶼燐礦調查報告。臺灣總督府工業研究所報告 4:149-169。
- 賴昱銘、陳裕明、劉德慶、飯塚義之。2005。基隆山安山岩之實驗岩石學研究及其石英成因之探討。中國地質學會九十四年年會暨學術研討會，桃園。
- 顏滄波、陳汝勤、陳正宏。1981。臺灣北部更新世火山岩化學成分之空間變化。地質 3:95-104。
- Chen CH, LP Tan, RL Tien, SL Chung and TK Liu. 1993. Fission track age dating of igneous rocks and silicified sandstones from the Chilung Volcano Group, northern Taiwan: implication of mineralization events of the Chinkuashih gold-copper deposits. *Proceedings of the Geological Society of China* 36(2):157-174.
- Chen JC and CA Huh. 1982. Geochemistry of dacites from Chinkuashih area, northeastern Taiwan. *Proceedings of the Geological Society of China* 25: 67-81.
- Chen JC and PN Lin. 1979. Geochemistry of andesites from Pengchia Hsu. *Acta Oceanographica Taiwanica* 10:128-140.
- Huh CA and JC Chen. 1978. Geochemistry of dacites from Keelungtao, Northern Taiwan. *Acta Oceanographica Taiwanica* 8:63-79.
- Hwang JY and HOA Meyer. 1983. Dacite-andesite of the Chinkuashih region, northern Taiwan. *Memoir of the Geological Society of China* 5:67-84.
- Juang WS. 1993. Diversity and origin of Quaternary basaltic magma series in northern Taiwan. *Bulletin of the National Museum of Natural Science* 4:125-166.
- Wang KL, SL Chung, CH Chen, R Shinjo, TF Yang and CH Chen. 1999. Post-collisional magmatism around northern Taiwan and its relation with opening of the Okinawa Trough. *Tectonophysics* 308:363-376.
- Wang KL, CH Chen, SL Chung, LH Lin, CH Lo, TF Yang and Y Lee. 2000. Field occurrence, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating and petrochemical features of volcanic rocks in Mienhuayu off NE Taiwan. *Proceedings of the Geological Society of China* 43(2): 247-266.
- Wang KL, SL Chung, SY O'Reilly, SS Sun, R Shinjo and CH Chen. 2004. Geochemical constraints for the genesis of post-collisional magmatism and the geodynamic evolution of the northern Taiwan region. *Journal of Petrology* 45(5):975-1011.
- Yen TP. 1949. A note on the geology of the islets off Chilung. *The Formosan Science* 3(1):22-29

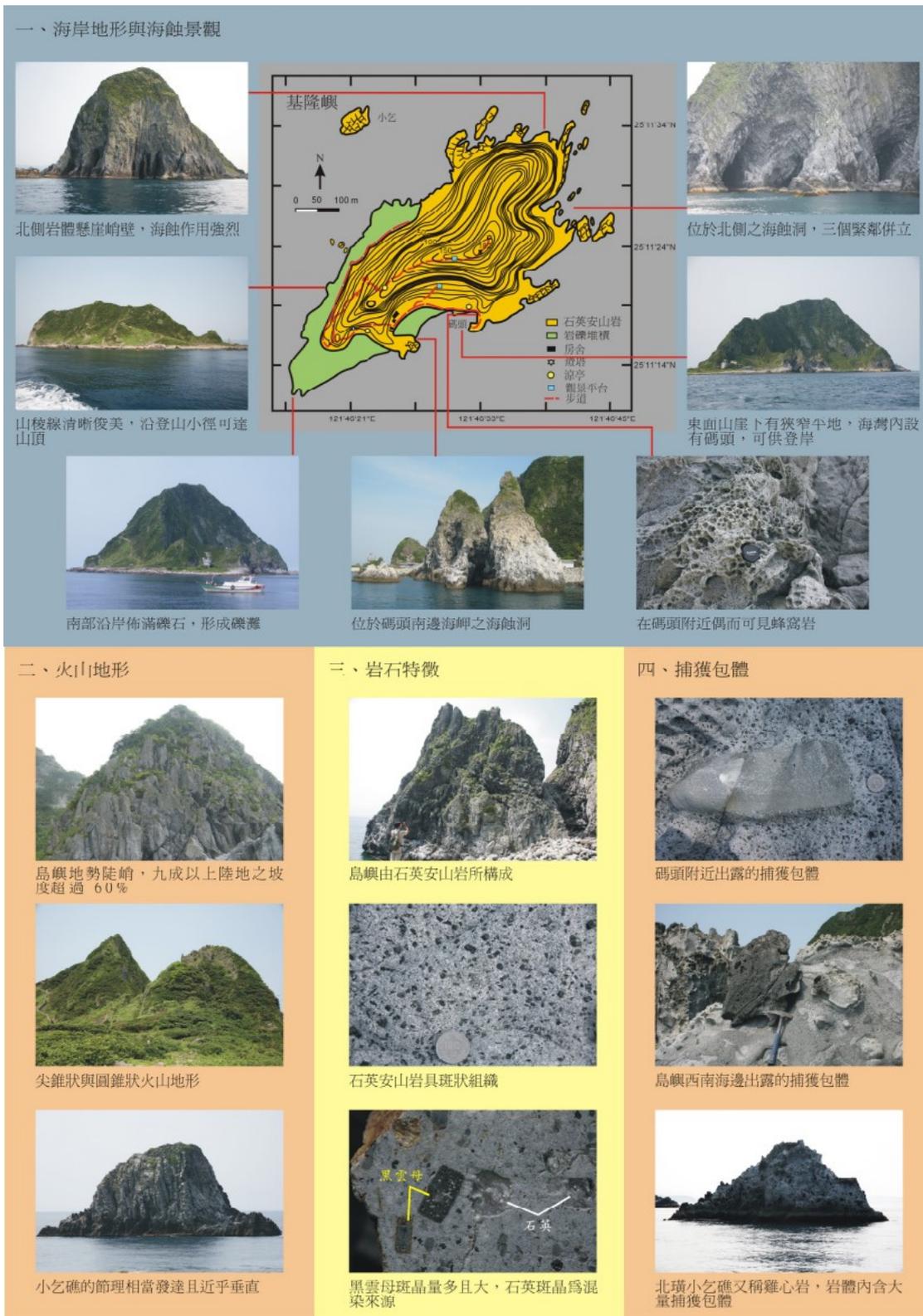




附圖 2. 棉花嶼地質與地形資源圖



附圖 3. 花瓶嶼地質與地形資源圖



附圖 4. 基隆嶼地質與地形資源圖