

2017 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 180001
參展科別 地球與環境科學科
作品名稱 金山神祕海岸浮石事件解密
得獎獎項 大會獎：一等獎
女性地質學家協會獎

就讀學校 國立臺灣師範大學附屬高級中學
指導教師 洪逸文、王靖華
作者姓名 劉品蘭、歐叙鋒

關鍵字 浮石、化學組成、搬運方式

作者簡介



我是劉品蘭，來自台北市的師大附中。我喜歡閱讀、運動，也喜歡科學實驗。高中時，常與地科專研進行野外考察，讓我能夠對於當地地質景觀進行深入的瞭解，也開啟了我們對於金山神祕海岸浮石的專題研究。研究過程中，我除了學習到許多知識與實驗技巧，也體會到地球科學的奧妙，讓我更加喜愛地球科學！



我是歐叙鋒，來自台北師大附中。喜歡運動，喜歡音樂，更喜歡科學。我性格外向，喜愛交朋友，也樂於挑戰自己，在體育、學術等各項領域勇於發揮所長。在高中生涯裡，多次參加不論國內，甚至國外等各項大小比賽如 iGEM、全國科展、學科能力競賽等活動。平時，在課外之虞，則是以彈吉他、欣賞電影和游泳為我主要的休閒嗜好。

摘要

浮石是一種多孔的火山碎屑岩，氣孔佔總體積很高的比例，因此能浮在水上。本研究針對臺灣新北市金山區神祕海岸所出露沉積層中的浮石進行探討，藉由閱讀文獻、實地考察、採樣、實驗分析等方式，來瞭解浮石的化學組成、礦物種類及可能形成機制與搬運途徑。依照化學成份分析及礦物種類比較結果顯示神祕海岸的浮石與日本、菲律賓的浮石較無關聯，最可能是來自台灣地區並由台灣北部大屯火山系或觀音山噴發所造成。至於其搬運方式，沉積物粒徑大小分析的結果顯示浮石是經由力量強大的海洋搬運作用攜至當地沉積。綜合上述，我們認為金山神祕海岸的浮石最有可能的生成方式為：1867年，由與大屯火山有相同岩漿系統的海底火山噴發出，接著此火山爆發所引發的海嘯將浮石帶至神祕海岸進行沉積。

Abstract

The Western Pacific region is one of the most populous regions on Earth and also one of the most volcanically active regions. There are at least twenty-five active or dormant volcanoes within 1200 km of Taiwan. Most of the volcanoes are related to the subduction of the Philippine Sea Plate or the Pacific Plate beneath the East Asia continental margin. Subduction-related volcanoes are known to produce significant eruptions of pyroclastic material. Volcaniclastic (pumice) rocks are commonly found along the coastal areas of Taiwan, especially the northern margin. The precise origin of the pumice is unknown but anecdotal evidence and local folklore suggests that it was derived from distant volcanoes located in the Philippines or Ryukyu Islands and brought to Taiwan by means of ocean currents. Our investigation attempts to ascertain the likely provenance of the pumice. We collected 16 samples from two different locations (10 from Jinshan; 6 from Guoshengbu) along the northern coast of Taiwan and measured their whole rock geochemistry in order to compare their compositions to rocks from neighboring volcanoes. The pumice collected from Northern Taiwan has distinct chemical characteristics (SiO_2 and Mg\#) that distinguish them from the volcaniclastic rocks of Japan, Ryukyu Islands and the Philippines. Our results indicate that the pumice is most likely derived from the Tatun Volcano Group of Northern Taiwan. It is possible that the pumice was ejected from a volcanic crater during the main eruption event and landed in the East China Sea only to drift back to Taiwan and become a beach deposit.

壹、 研究動機

之前隨學校至新北市金山區獅頭山公園與神秘海岸一帶進行野外考察（如圖 1 黃色圈圈所示之處），在海岸的水窪中，發現浮於水面上的石頭，帶回比對確認該石為浮石。上網搜尋後我們發現，對於金山神秘海岸浮石的來源，有許多不同的說法。但根據課本對附近海流的敘述，我們覺得這些說法只描述出部分訊息，因此著手研究其成份及可能來源。

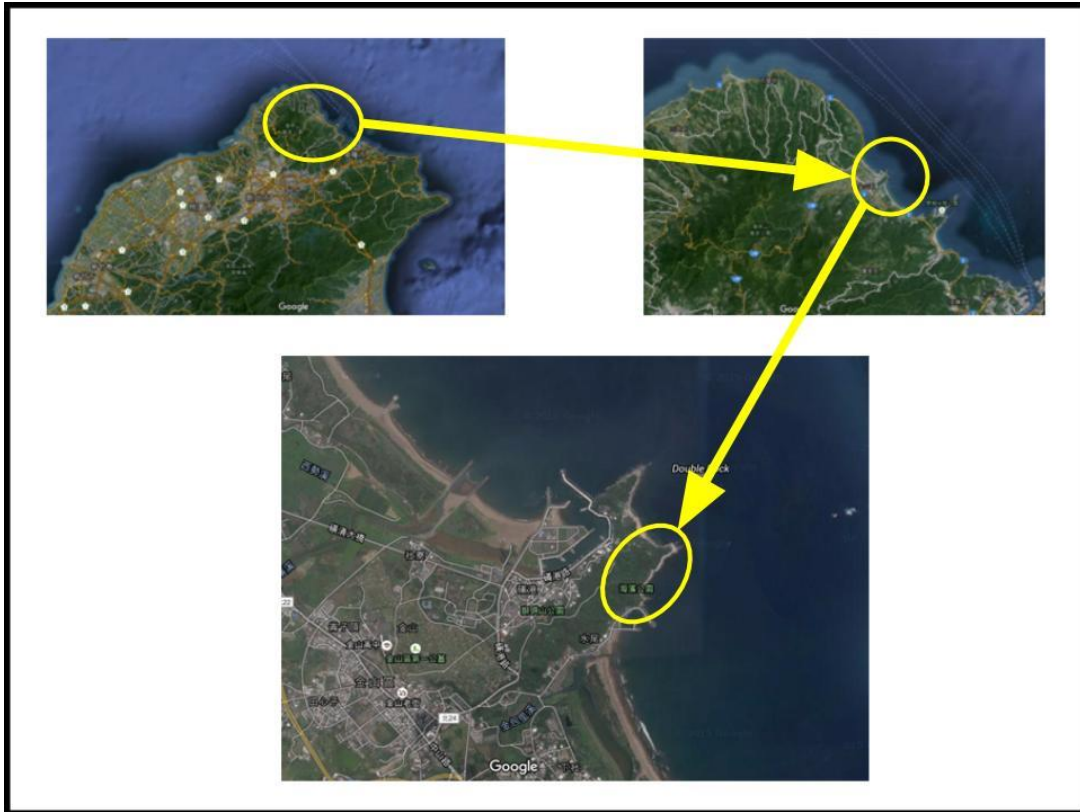


圖 1 獅頭山公園神秘海岸的地理位置

貳、 研究目的

- 一、瞭解金山岬的地質環境及相關可能的地質事件。
- 二、瞭解金山神秘海岸浮石的化學成分與所含礦物種類。
- 三、收集台灣鄰近國家火山浮石的相關資料，並進行比對。
- 四、推測這些浮石可能來源與搬運途徑。

參、 研究設備及器材

- 一、野外採樣：捲尺、鏟子、夾鏈袋
- 二、室內實驗分析：秤量紙、試鏡紙、三號及八號透明夾鏈袋、燒杯、鑷子、玻璃片、電子秤、彈簧秤、透明塑膠樣品罐、研鉢（不鏽鋼、瑪瑙）、篩網組、超音波震盪機、切割機、黏著劑、坩堝、去離子風扇、刮勺、精密天秤、燒餅機、X-ray Fluorescence (XRF) 機器、熱風循環烘箱、搖篩機、精密薄片切片研磨機、精密切割機、偏光顯微鏡
- 三、紀錄：電腦、壓克力尺、數位相機、手機

肆、 研究過程或方法

- 一、研究地區環境、採樣方式及 X-ray Fluorescence(XRF)原理介紹

(一) 研究地點環境介紹

神祕海岸位在金山沖積扇東側的海岬上，水尾漁港北側，獅頭山公園內。本研究地點位於新北市金山區的神祕海岸（東經 121 度 39 分 5.13 秒，北緯 25 度 13 分 36.51 秒），距離水尾漁港約 180 公尺，海岸邊岩壁上的表土沉積物中有浮石存在著（如圖 4-1, 4-2）。



圖 4-1 採樣地點地理位置



圖 4-2 採樣點附近環境

(二) 採樣方式

1. 浮石採樣

於神祕海岸表土沉積層出露浮石之處，以鏟子挖掘、採樣，然後放入水中確認其為浮石後，裝入夾鏈袋，並帶回實驗室進行外觀分析。採樣時間共兩次，第一次為 2015 年 11 月 14 日採集 10 顆；第二次為 2015 年 12 月 10 日採集 4 顆。

2. 沉積物採樣

於神祕海岸表土沉積處，由上而下，每間隔 10 吋以鏟子挖掘約 300 公克的沉積物，並裝入夾鏈袋，帶回實驗室進行分析。採樣時間為 2016 年 4 月 14 日，共採集約 2700 公克的沉積物。

(三) X-ray Fluorescence(XRF)機器原理介紹

1. 利用 X 光激發樣品中的原子核內層電子，使其躍升或游離，接著外層電子便會向內層遞補，並釋放每一種元素獨有的特徵能譜。
2. 根據特徵能譜的出現與否，可以判斷待測物是否含有此元素；而根據特徵能譜的強度，可以判斷此元素的含量多寡。

二、研究方法及過程

本研究流程分為六個步驟，分別是文獻閱讀、野外浮石及沉積物採樣、浮石的基本物理性質測量、浮石 XRF 化學組成分析、沉積物粒徑大小分析、實驗數據分析及製圖對比。分項說明如下流程圖（參見圖 4-3）：

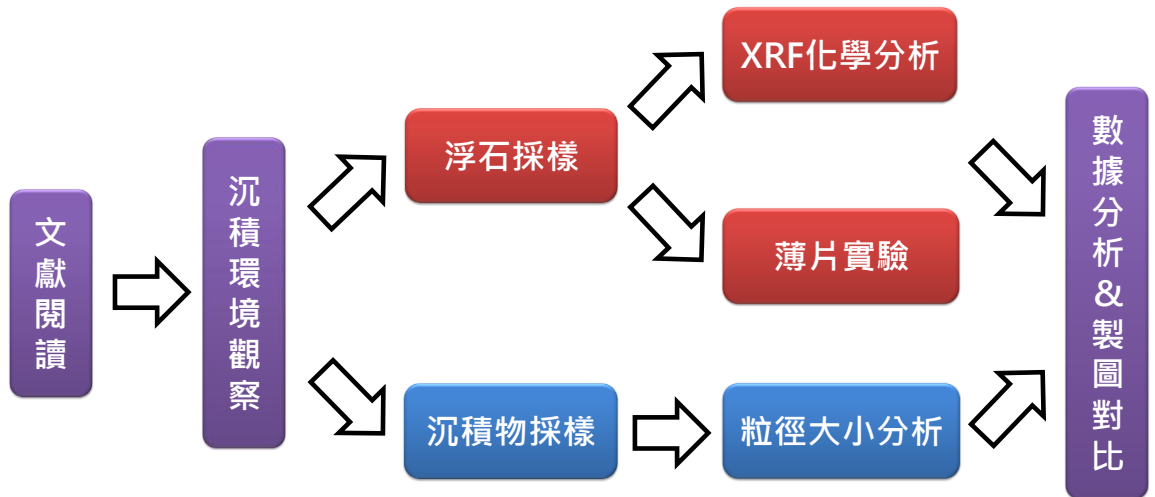


圖 4-3 研究流程

(一) 文獻閱讀

1. 書籍：閱讀有關金山神祕海岸以及五指山層的書籍與期刊。
2. 搜尋網路資源：使用 Google 學術搜尋和師大圖書館電子資料庫的 Science Direct On-line(SDOL)資源搜尋有關日本、菲律賓以及其他鄰近國家的浮石之學術論文。
3. 數據製圖：將得到的台灣、日本和菲律賓的浮石資料輸入 Excel 表格，製成折線圖，以比較各化學組成含量。

(二) 野外浮石及沉積物採樣

1. 採樣點環境的觀察：探索表土沉積物和當地地層之間的關係。
2. 浮石採樣：表土沉積層中離地表大概 150 公分高處，挖掘鑲嵌於表土沉積物之浮石。確認後將浮石以夾鍊袋封好帶回實驗室。

3. 沉積物採樣：在表土沉積層，由上往下，每隔 5 或 10 吋挖取約 300 公克的沉積物，並以夾鏈袋封好，帶回實驗室。
4. 採樣相關照片，請參見圖 4-4。

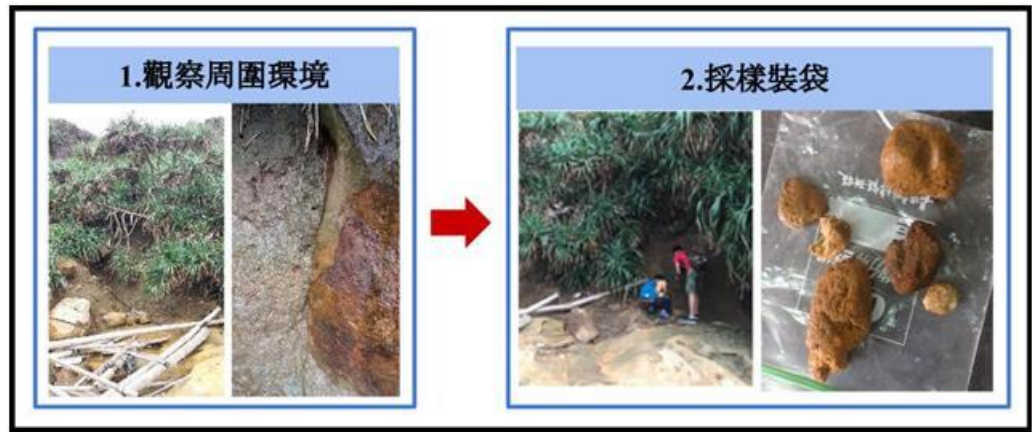


圖 4-4 野外浮石採樣

(三) 浮石的基本性質測量

1. 將浮石編號並測量其大小：以牙刷與超音波震盪機清洗浮石後，再將浮石編號，以尺測量其長寬、半徑，並觀察其顏色，請參見圖 4-5。

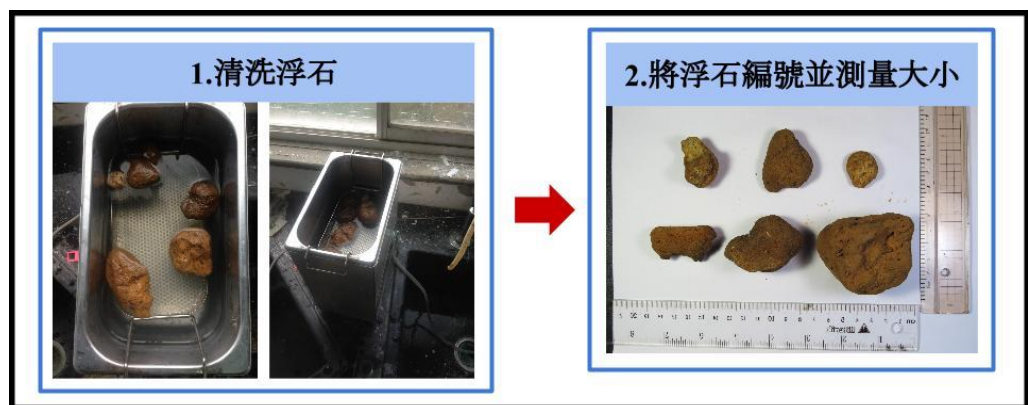


圖 4-5 浮石的基本性質測量

(四) 浮石 XRF 化學組成分析

1. 去除風化部分：將浮石以切割機削掉外層被風化的部分，只留下內層的部

分，再將切割後的浮石放到 110°C 的烤箱烘乾。

2. 研磨成粉末狀，並過篩：將烤乾的浮石裝入兩個三號透明夾鏈袋，再用不鏽鋼研鉢敲碎成小碎片。接著將浮石碎片從夾鏈袋中取出，裝入瑪瑙研鉢內磨成粉末狀。而後將浮石粉放入 63 微米的篩網內搖動，並將過完篩的粉末裝入樣品罐。
3. 將黏著劑與浮石粉末混和：以精密天秤秤量 6 克黏著劑和 0.6 克烘烤過的浮石細粉，並裝入經過去離子風扇吹拂的樣品罐，並混合均勻。
4. 燒成玻璃圓餅：將混和好的粉末放入燒餅機，燒製成硼玻璃圓餅。
5. XRF 分析：將硼玻璃圓餅放入 XRF 機器裡，分析內含元素成分。

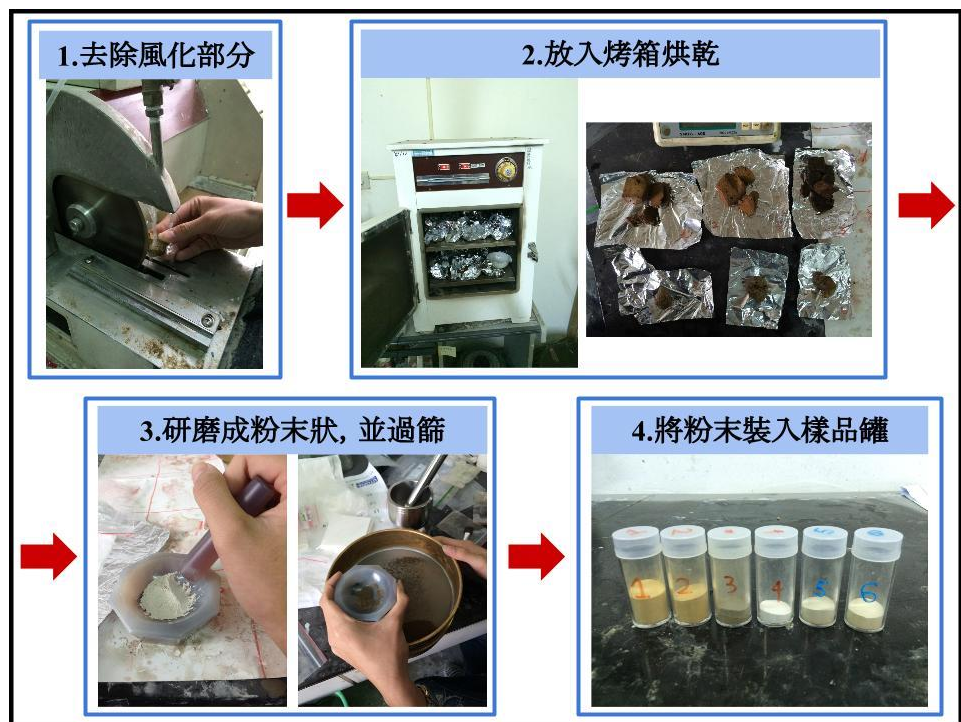


圖 4-6 XRF 化學組成分析之一

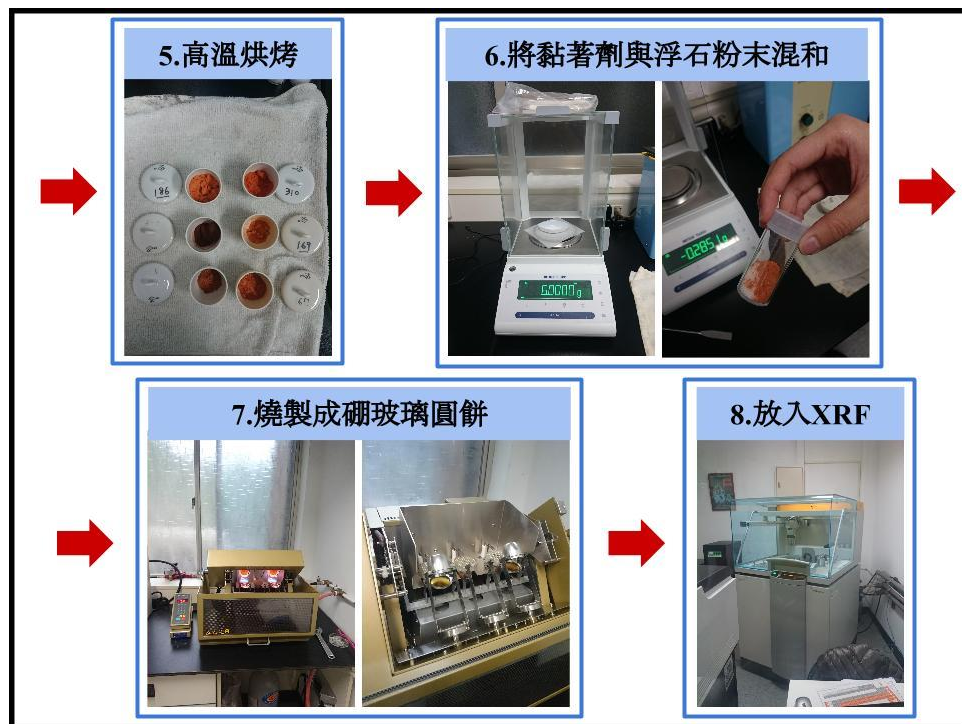


圖 4-7 XRF 化學組成分析之二

(五) 薄片實驗

1. 灌膠：將浮石整齊排放於紙盒中，並將除去氣泡的黏著劑加入至深約 1.5 公分，靜置約兩小時，直到其固化。
2. 切割研磨浮石：將各顆浮石以切割機分開，並分別切割至薄片大小，接著以砂紙與拋光機磨亮要貼片那一面，最後再烘乾浮石。
3. 貼片：將浮石與玻璃片皆放置於 150°C 加熱板上預熱，接著將液化的黏著劑以牙籤均勻塗抹在磨亮的浮石表面及玻璃片上，再快速用鑷子夾起浮石，覆蓋於玻璃片上，並以重錘加壓，靜置直到其固化。
4. 製作薄片：以精密切割研磨機將已貼片的浮石切薄，並磨到只剩約 30 μm 的標準厚度。
5. 觀察礦物結晶：使用偏光顯微鏡觀察灰色與白色兩種浮石的礦物結晶，並以相機記錄。

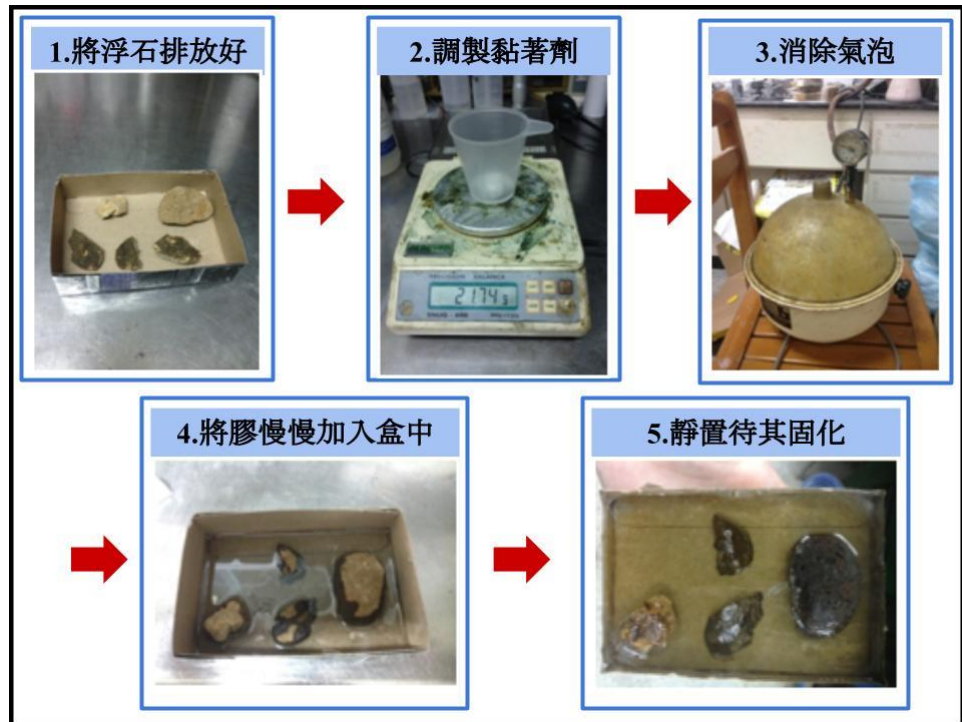


圖 4-8 薄片實驗-灌膠

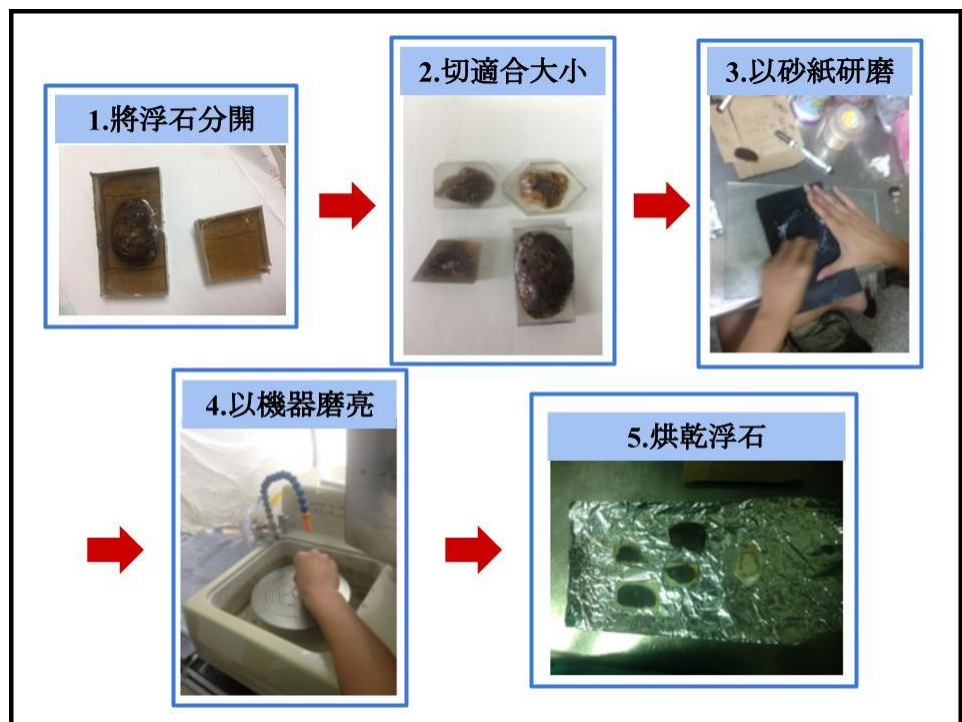


圖 4-9 薄片實驗-切割研磨浮石

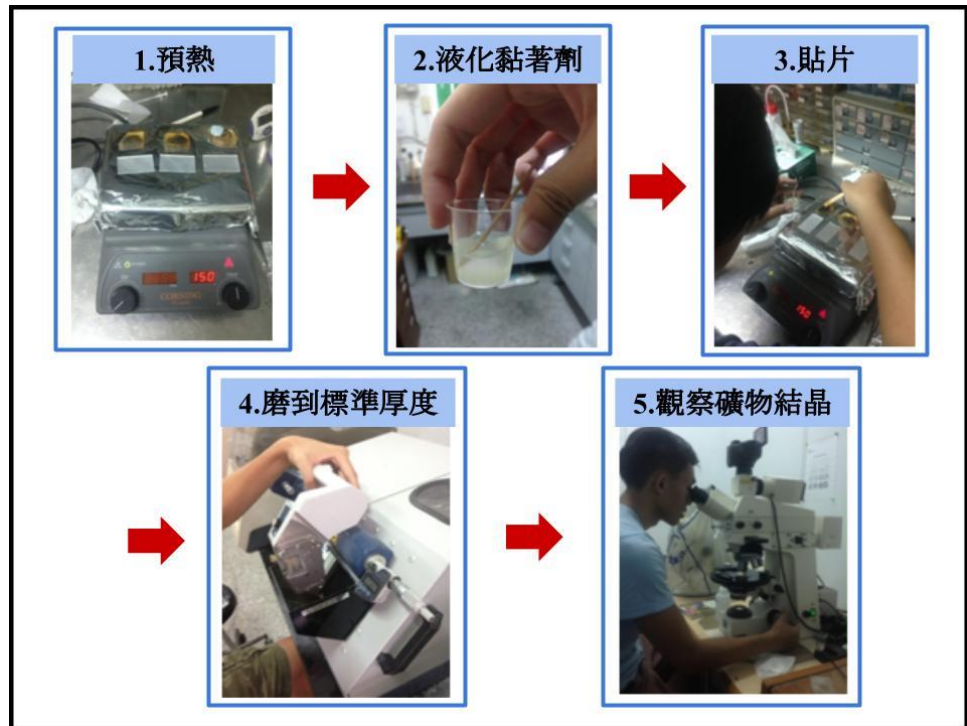


圖 4-10 薄片實驗-貼片、製作薄片、觀察礦物結晶

(六) 沉積物粒徑大小分析

1. 將沉積物編號：將採集回來的不同高度位置的沉積物，分別放入鋁箔烤盤，並在盤中放入標示的小紙片。
2. 將沉積物烘乾：將裝有沉積物的鋁箔烤盤放入熱風循環烘箱中烘烤，直到沉積物乾燥。
3. 將沉積物分離：一次取出一個高度的沉積物，放入篩網組，並放入搖篩機震動，使沉積物按照各粒徑大小分層。
4. 秤量各粒徑大小沉積物的質量：將各層的沉積物取出，置於電子秤上，測量其質量，並記錄數值。

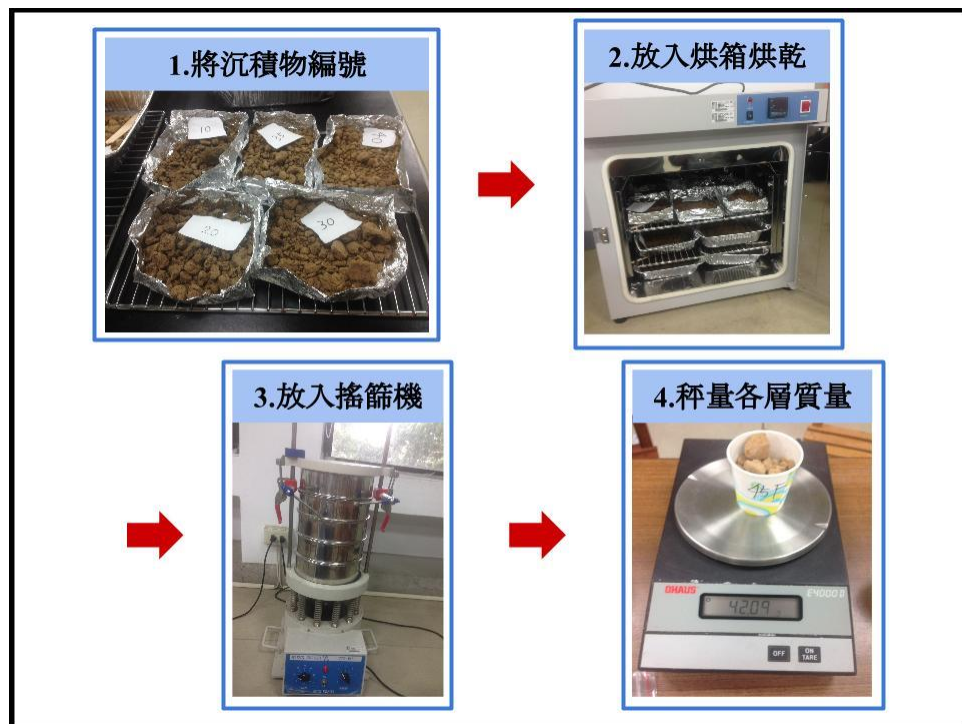


圖 4-11 沉積物粒徑大小分析

(七) 實驗數據分析及製圖對比

製成圖表：依據不同分析方法，將實驗數據以 Excel 軟體繪製不同圖表，並和文獻閱讀所得之浮石化學成分數據進行比較分析。

伍、 研究結果

一、金山神祕海岸地質環境與各地的浮石成分

(一) 神祕海岸的地質特徵

1. 從陳（2015）的文章中發現：神祕海岸位在的金山岬，當地出露的地層為北台灣地區最古老的沉積岩層—五指山層，形成於距今 3000 萬年的濱海環境。其岩性特徵以白色中粒至粗粒石英砂岩為主。
2. 從黃等（2008）的文章中發現：原本呈水平而深埋的五指山層，受造山運動推擠，來自東南方向的擠壓應力作用，形成背斜構造和一條逆衝斷層（金山斷層），且背斜軸由東北向西南沿伸。使東南側較老的五指山層向上逆衝，露出地表後受到侵蝕作用，使五指山層以上較古老的地層被侵蝕殆盡。

(二) 浮石的化學組成（參見表 5-1）

1. 依地區分類

(1) 臺灣

東部三仙台（表 5-1 中的臺 1）和東北部鹽寮（表 5-1 中的臺 2）皆有浮石出露。其中三仙台的浮石只有灰色；而鹽寮的浮石則有灰與白兩種，兩地浮石的 Fe_2O_3 含量普遍較高。

(2) 日本

九州中央熊本縣的阿蘇火山（表 5-1 中的日 1 灰）、東南方伊豆—小笠原島弧的海底火山（表 5-1 中的日 2 白）皆有浮石的出現。其中伊豆—小笠原島弧的海底火山的浮石是白色浮石，阿蘇火山的浮石則是灰色浮石，此地浮石的 TiO_2 含量較高。

(3) 菲律賓

菲律賓皮納圖博火山灰（表 5-1 中的菲 1 灰）、白（表 5-1 中的菲 1 白）兩種浮石皆含有。當地浮石在 TiO_2 和 MnO 的含量相較於其他

地區來得低。另外，與台灣以及日本地區浮石不同之處是除了 SiO_2 之外，白色浮石的 K_2O 含量較多。

2. 依顏色分類

(1) 灰色浮石

灰色浮石的 SiO_2 含量比白色浮石來的少，但其餘成分的含量都較白色浮石多，其中 TiO_2 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 K_2O 的含量差異較明顯。

(2) 白色浮石

菲律賓皮納圖博火山的白浮石在 Fe_2O_3 、 CaO 和 Na_2O 含量特別少，而 K_2O 的含量則特別多。

表 5-1 各地區浮石化學成分比較

	台 1 灰	台 2 灰	台 2 白	日 1 灰	日 2 白	菲 1 灰	菲 1 白
SiO_2	60.09	60.697	72.135	66.157	73.706	69.47	78.34
TiO_2	0.583	0.577	0.147	0.673	0.338	0.34	0.06
Al_2O_3	16.03	15.913	12.62	16.53	13.586	14.86	12.76
Fe_2O_3	5.323	5.21	3.205	1.37	0.91	1.2	0.38
FeO	0	0	0	2.1167	1.664	1.2	0.38
MnO	0.17	0.163	0.105	0.11	0.12	0.06	0
MgO	1.993	1.777	0.005	1.303	0.644	1.43	0.1
CaO	3.623	3.493	2.24	2.747	2.91	4.22	1.23
Na_2O	4.593	4.587	4.445	4.76	4.744	4.8	3.6
K_2O	4.38	4.26	1.135	3.857	0.816	3.14	2.42
P_2O_5	0.217	0.22	0.08	0.377	0.08	0	0

(三) 浮石的礦物與結構

1. 依地區分類

(1) 臺灣

灰色及白色浮石皆含有豐富的氣孔，斜長石、輝石及少量的紫蘇輝石是構成灰色浮石斑晶的主要礦物成分，而白色浮石則沒有斑晶。

(2) 日本

九州中央熊本縣的阿蘇火山浮石的斑晶主要構成礦物有斜長石、紫蘇輝石、角閃石、輝石及磷灰石等礦物。伊豆—小笠原島弧的海底火山也有豐富的氣孔，斑晶組成的礦物主要以斜長石（2%~6%）、石英（1%~3%）、斜方輝石（0.5%）為主。

(3) 菲律賓

白色浮石的斑晶主要含有礦物為斜長石和角閃石，而較多的結晶數目及較小的晶體則是灰色浮石的特色，內含許多破碎的結晶。

(四) 臺灣北海岸近期的地質事件

1. 大屯火山爆發

(1) 從自然與人文數位博物館與大屯火山觀測站的網頁中發現：大屯火山群噴發延續的時間約達二百萬餘年，其中可以分為早、中、晚三期。早期約在二百五十萬年前開始，並以東北角之丁火朽山亞群為代表。中期的活動約發生於七十五萬年前，為大屯火山活動之主要時期。晚期火山活動延續到約五十萬年前，噴發的火山包括磺嘴山火山及七星山。

(2) 另外，從科博館網頁中「大屯火山觀測站」的資料顯示：過去的地質調查顯示大屯山最近一次噴發約是一、二十萬年前。然而，最近的火山灰研究指出其最後一次噴發可能在五至六千年前，並發現地底下可能有岩漿庫存在。

2. 海嘯

(1) 從游等（2016）的論文中發現：目前在金山平原，發現了兩層特別的堆積層，它們原先應是沿岸砂洲的堆積物，後來被海嘯搬運到內陸河

川的氾濫平原上。目前推測可能是 1867 年基隆外海的海底火山所造成海嘯所導致，或是 1694 年台北盆地大地震所引起的海嘯所導致。



圖 5-1 金山平原上海嘯堆積層分布圖（取自游能悌等，2016）

- (2) 從游等（2015）的文章中發現：金山平原上的海嘯堆積物的砂土組成與獅頭山旁海岬類似，且其中含有圓形礫石浮石。
- (3) 從鄭（2014）的文章中發現：由歷史文獻資料顯示，1867 年 12 月 18 日臺灣北部發生地震，並引發海嘯。與神祕海岸相隔不遠的磺港與水尾處波高達到約 6 公尺，這與經濟部中央地質調查所於和平島平一路停車場開挖的槽溝，顯示海嘯高度達 6 公尺的研究成果一致。另外，歷史紀錄顯示在基隆和平島附近的桶盤嶼，有大量的浮石被沖至海灘，基隆附近的海面也可看到浮石飄浮。

二、神祕海岸的沉積環境概述

目前所挖掘的浮石層並非位於五指山層的砂岩中，而是在其上的表土層。表土層與砂岩層間有明顯的分隔，如圖 5-2 所示。表土層大約有 200 公分厚，離平均潮線約 18 公尺。含有較多浮石的浮石層離地高度大約 150 公分，厚度約 40 公分。

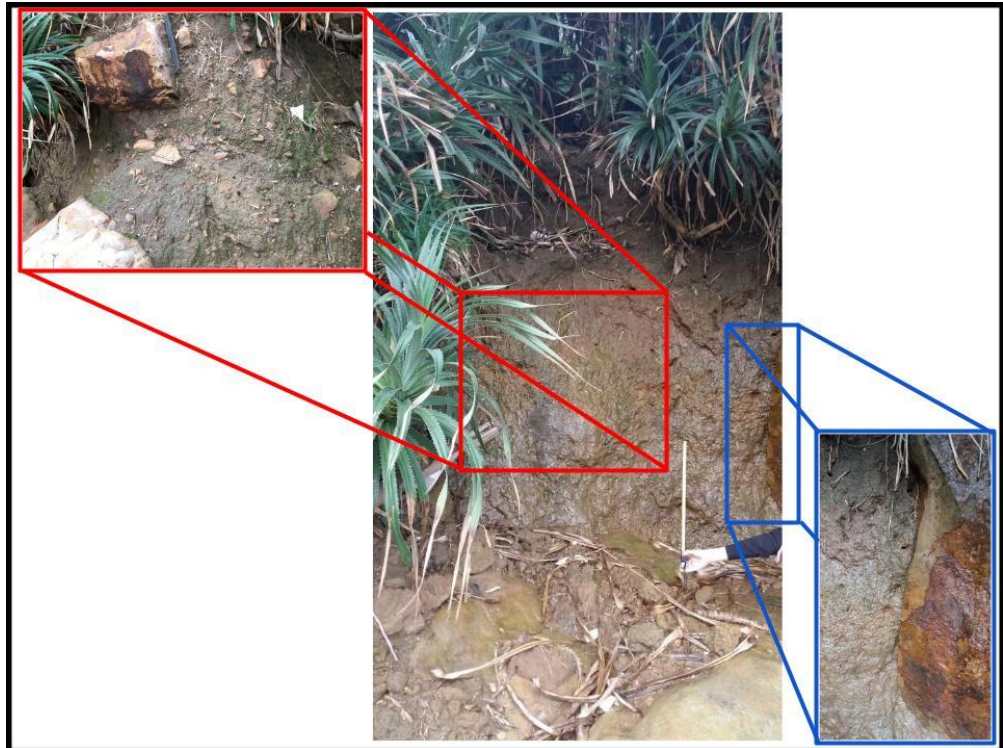


圖 5-2 浮石出露處的近照

三、浮石外觀描述

(一) 採樣標本一號

顏色呈現黃土色，清洗過後仍無法顯現原本顏色。外觀則大致為拳頭狀，直徑大約 7 公分，上面佈滿肉眼可見之大孔洞。質地較鬆軟，施加壓力便會碎成粉末狀。磨成粉後呈現黃豆色。(如圖 5-3, 5-9)



圖 5-3 採樣標本 1 號

(二) 採樣標本二號

顏色呈現黃土色，清洗過後仍無法顯現原本顏色。外觀則大致像破碎的橢圓，兩軸分別為 9 公分和 5 公分，上面佈滿肉眼可見之大氣孔洞，還有少許白色膠結物顆粒。質地較鬆軟，施加壓力便會碎成粉末狀。磨成粉後呈現黃豆色。(如圖 5-4, 5-9)



圖 5-4 採樣標本 2 號

(三) 採樣標本三號

顏色在清洗之後呈現深咖啡色。外觀呈不規則形，直徑大約4.5公分，表面氣孔較小，肉眼不易看見，但是含有相當多的白色長條狀斜長石。磨成粉後仍成呈現深咖啡色。

(如圖 5-5, 5-9)



圖 5-5 採樣標本 3 號

(四) 採樣標本四號

清洗過後露出內層白色的部分。外觀則呈扁圓狀，直徑大約 2.5 公分，表面較光滑，氣孔也較小，肉眼只能看見黑點。沒有明顯的膠結物，且很多裂痕。磨成粉後呈現乾淨的亮白色。(如圖 5-6, 5-9)



圖 5-6 採樣標本 4 號

(五) 採樣標本五

清洗過後大部分表面成黃土色，但有一些地方有露出白色的部分。外觀呈不規則形，直徑大約 4 公分，氣孔相當明顯。磨成粉後呈現米色。(如圖 5-7, 5-9)



圖 5-7 採樣標本 5 號

(六) 採樣標本六號

顏色大致成土色，外觀為缺了一角的球狀，缺角處的表面則呈白色。直徑大約為 4 公分，氣孔十分明顯，以黑點的形式分佈在表面。磨成粉後呈現米色。(如圖 5-8, 5-9)



圖 5-8 採樣標本 6 號



圖 5-9 磨成細粉後各採樣標本顏色

四、浮石的化學組成

(一) 從表 5-2 可以發現，六個採樣標本的 SiO_2 含量皆在 50% 以上，為酸性火成岩。

(二) 採樣標本 3 號與採樣標本 4 號的比較：

1. 標本 3 號的 SiO_2 含量較低，而 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 與 K_2O 含量則較高，屬於灰色浮石；標本 4 號則相反， SiO_2 含量較高，其他物質含量則較低，屬於白色浮石。
2. 由於鐵、鎂為熔點較高的元素，火山噴發初期形成的火成岩所含鐵、鎂百分比會較高。而標本 3 號的 Fe_2O_3 與 MgO 含量明顯高出標本 4 號許多，因此標本 3 號與標本 4 號相比應為更早期噴發的產物。

表 5-2 XRF 化學分析的結果

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6
SiO ₂ (%)	64.63	60.33	55.69	72.22	68.76	67.38
TiO ₂ (%)	0.22	0.44	0.84	0.16	0.4	0.47
Al ₂ O ₃ (%)	17.23	18.3	17.81	13.03	14.68	15.47
Fe ₂ O ₃ (%)	3.5	5.32	8.1	2.35	4.3	3.5
MnO(%)	0.09	0.1	0.21	0.09	0.12	0.14
MgO(%)	0.19	0.37	1.39	0.18	0.48	0.61
CaO(%)	1.49	2.05	2.86	1.92	2.62	2.53
Na ₂ O(%)	3.75	3.59	5.32	4.47	4.4	4.65
K ₂ O(%)	1.33	1.7	3.52	1.24	1.64	1.1
P ₂ O ₅ (%)	0.11	0.12	0.49	0.02	0.07	0.1
其餘(%)	8.02	7.92	3.54	4.79	3.16	4.71

五、浮石所含的礦物種類

- (一) 灰色浮石（採樣標本 3 號）和白色浮石（採樣標本 4 號）最主要礦物種類都是斜長石與輝石。但是在礦物顆粒大小及數量上，灰色浮石的結晶較小，數量較多，而白色浮石則相反。
- (二) 兩者在玻璃質結構上也可以很明顯的看出灰色浮石的氣孔較大，所受應力較小，為較早期的噴發產物。

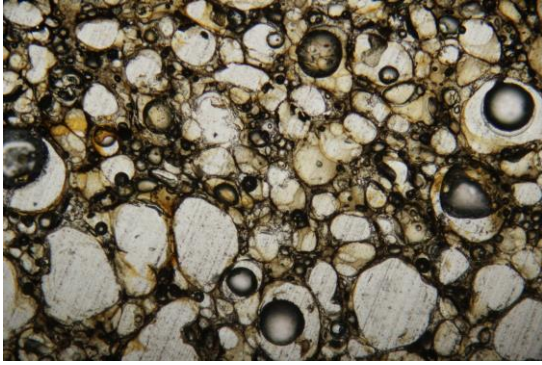


圖 5-10 灰色浮石之玻璃質 (x50)

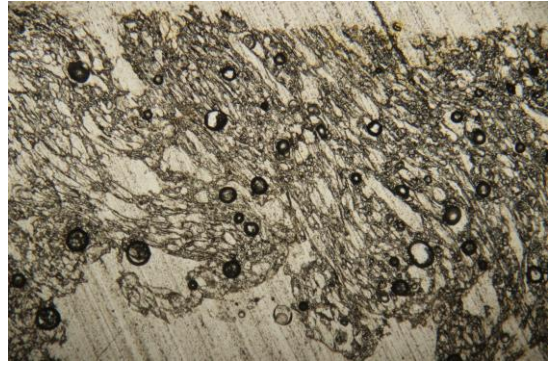


圖 5-11 白色浮石之玻璃質 (x50)

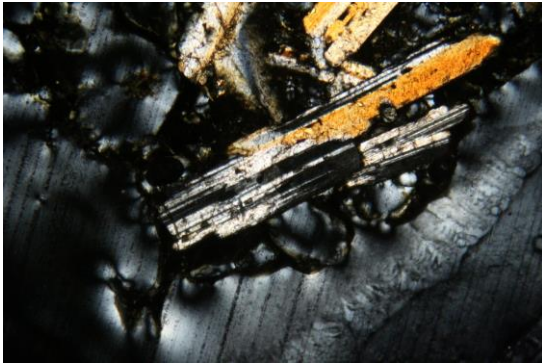


圖 5-12 偏光片下的灰色浮石之斜長石(x100)



圖 5-13 灰色浮石之斜長石 (x100)

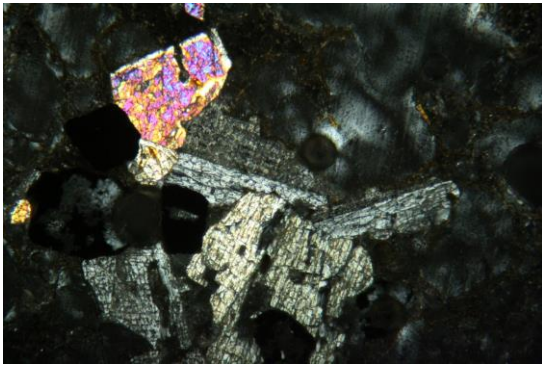


圖 5-14 偏光片下的灰色浮石之斜長石及輝石 (x100)

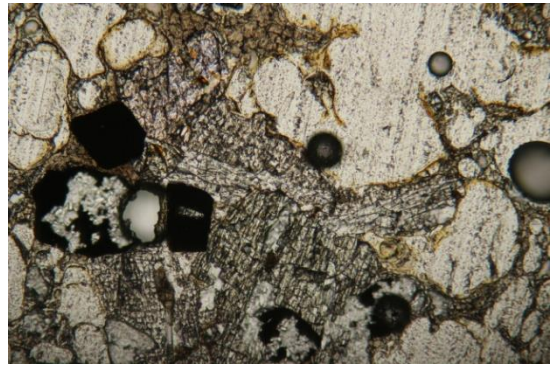


圖 5-15 灰色浮石之斜長石及輝石 (x100)



圖 5-16 偏光片下的白色浮石之斜長石 (x100)

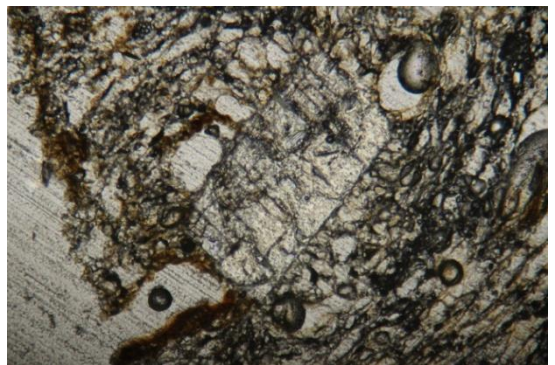


圖 5-17 白色浮石之斜長石 (x100)

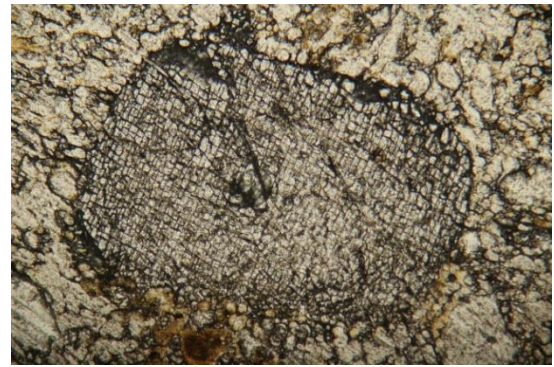
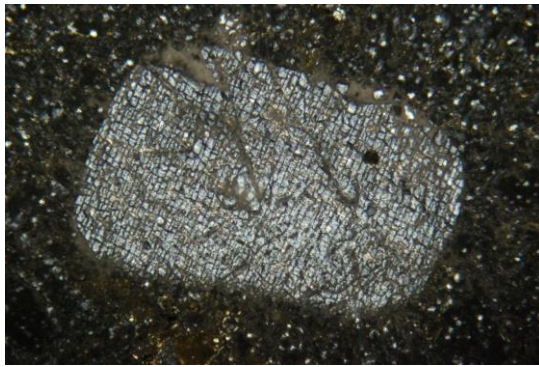


圖 5-18 偏光片下的白色浮石之輝石 (x100)

圖 5-19 白色浮石之輝石 (x100)

六、沉積物粒徑大小分佈

- (一) 表中離地高度 10 到 30 英吋與 60 到 70 英吋，其主要的沉積物粒徑大小為 0.5mm 到 0.062mm，其餘的極少，顯示這些可能為邊坡岩層被風化侵蝕後，被雨水帶下來的沉積物。(採用英吋為單位，是因為顧及到挖掘作業的便利性)
- (二) 含有較多浮石的浮石層離地高度約為 35 到 45 英吋，由表中可以看出其同時存在著不同粒徑大小的顆粒，不像前述只有粒徑偏小的，顯示其淘選度不佳，是因較大的外營力，例如暴潮和巨浪所帶來的。

表 5-3 沉積物粒徑大小百分比

粒徑大小 採樣高度	大於 2mm	大於 1.24mm	大於 0.5mm	大於 0.062mm	小於 0.062mm
10	3.44%	0.29%	16.99%	75.36%	3.91%
20	2.22%	0.45%	13.38%	80.26%	3.69%
30	2.31%	0.15%	8.38%	85.30%	3.86%
35	51.10%	2.51%	24.70%	20.31%	1.38%
40	53.38%	19.67%	12.32%	12.94%	1.69%
45	28.40%	6.99%	31.33%	30.57%	2.71%
50	16.78%	4.73%	20.69%	54.23%	3.57%
60	0.00%	0.10%	6.93%	85.77%	7.19%
70	0.39%	0.67%	10.34%	84.03%	4.57%

陸、 討論

一、浮石與沉積環境關係之探討

- (一) 金山岬的神秘海岸是屬於出露的五指山層一部分，也就是其岩性為沈積岩，但浮石是一種火成岩，所以神秘海岸的浮石不可能是當地自生源的。
- (二) 我們發現浮石所在的表土沈積物與五指山層砂岩層有明顯區隔，因此我們推斷浮石發生沉積的年代和五指山層有所不同，應該是五指山層形成後，再由某些特殊地質事件所帶來的。以地緣關係考量，浮石有可能是來自大屯火山直接噴發的產物，從空中直接落於表土層沉積物中。但我們在表土層中並無發現其他火成岩類，故此一推論的可能性偏低。
- (三) 另一個可能性則來自於水的搬運作用，也就是透過河流或海水的搬運作用。首先是探討關於河流搬運的可能性。源於大屯火山系的河流可能將浮石由上游搬運入海，再經海浪作用帶至岸邊沈積。但大屯火山系列最後一次噴發的時間，可能是在 5~6 千年前，其噴發方式不是屬於劇烈噴發，產生浮石的可能性偏低。
- (四) 接下來是討論海水搬運的可能性，從表土沈積層的粒徑分佈(見表 5-3)中，我們發現浮石所在的 35 到 45 英吋那一層，粒徑大於 2mm 的比例非常高，顯示有較為巨大的沈積營力所帶來的，可能為暴潮或海嘯等巨浪，底下將進一步探討。

二、可能的搬運方式進階討論

- (一) 浮石可能的搬運方式可以分成直接沉降和水力，其中水力又能分為河流、海流、海嘯三種。前述的討論中，我們認為若搬運的力道十分強大，如暴潮、海嘯等巨浪，則沉積物粒徑大小的分佈會較不平均，反之，則分佈較平均。
- (二) 在比較不同高度的表土層沉積物粒徑大小(圖 6-6)後，發現含有浮石的 35 至 45 吋處(圖 6-6 中紅色線的部分)，粒徑大小從 2mm 到 0.062mm 均存在，顯示淘選度不佳。另外，粒徑大於 2mm 所佔的比例皆高於 50%，顯示是經由較巨大的沈積營力所帶來的，應是巨浪所產生的。然而考慮到這些浮石發現地點離平均潮線約 18 公尺，離地高度大約 150 公分，暴潮可能較難觸及。另外，浮石為火山產物，若是外海有海底火山噴發，造成海嘯所帶來的可能性較高。

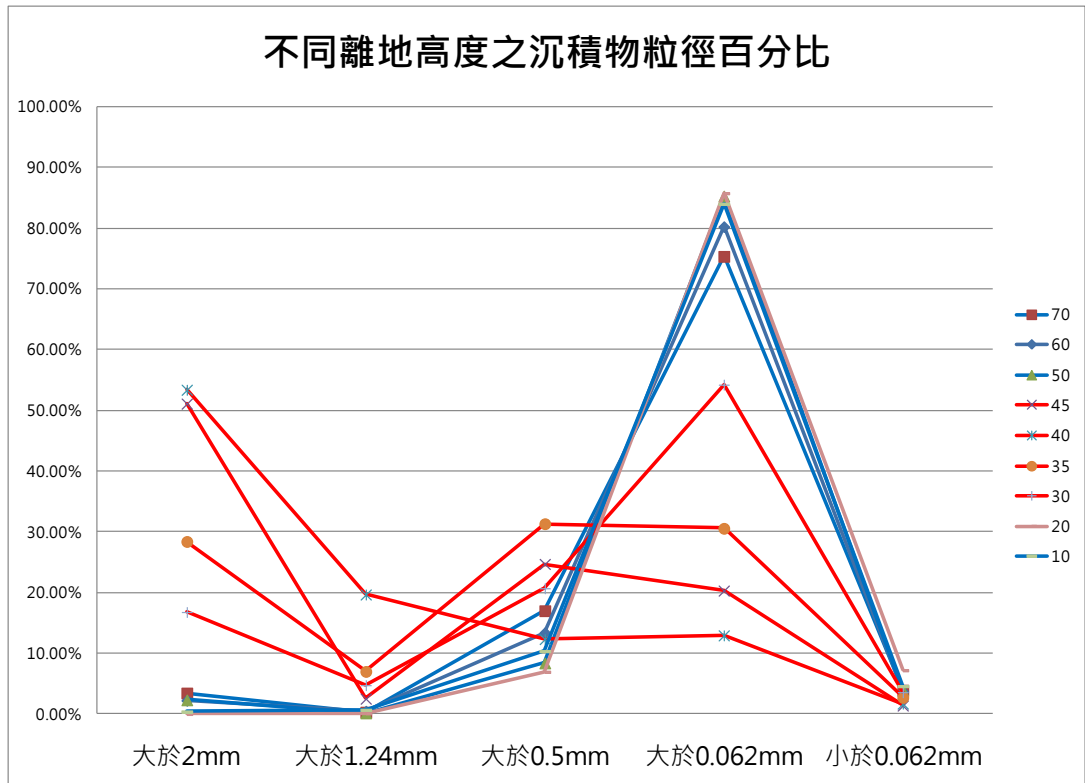


圖 6-6 不同高度之表土層沉積物粒徑大小百分比圖

三、化學成分與可能來源

神祕海岸浮石與臺灣、日本、菲律賓的浮石化學組成比較。(參見圖 6-1, 6-2, 6-3, 6-4)

- (一) 經過比對採樣標本 3 號和採樣標本 4 號的化學組成及顏色後，可以推論得金山神祕海岸的浮石可以分成兩種類型：灰色浮石和白色浮石，這個顏色的性質和臺灣鹽寮以及菲律賓皮納圖火山的浮石一樣。
- (二) 進一步從參考文獻中發現，金山神祕海岸浮石的 Fe_2O_3 含量較其他國家高出許多。這個特性也出現在台灣東部三仙台以及東北部鹽寮發現的浮石，意即這些浮石可能是來自台灣地區。
- (三) 一般而言，火成岩的化學成分會跟其從岩漿冷卻的速率，也就是形成礦物的種類有關，因此我們接續從礦物種類與岩漿系統進行下一步的探討。

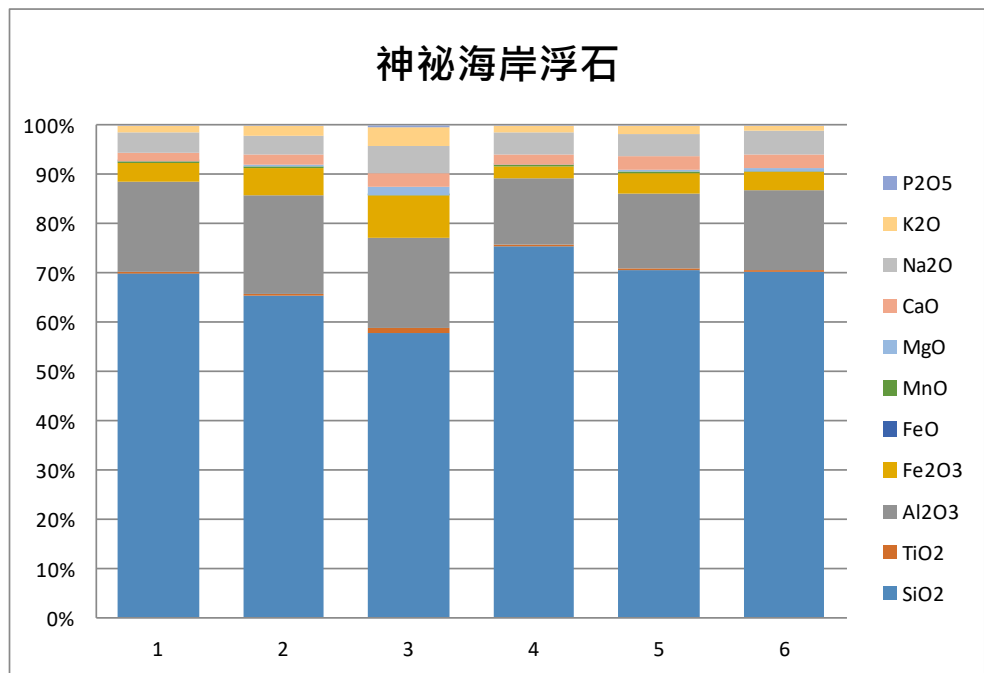


圖 6-1 神祕海岸浮石化學組成百分比圖

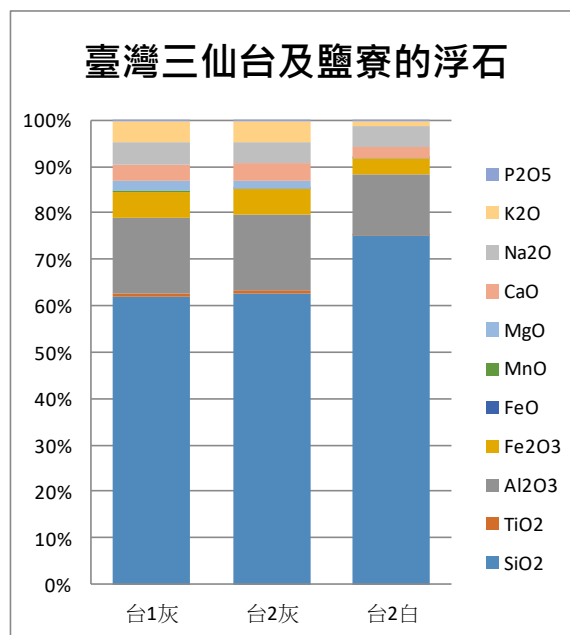


圖 6-2 臺灣三仙台及鹽寮的浮石化學組成百分比圖

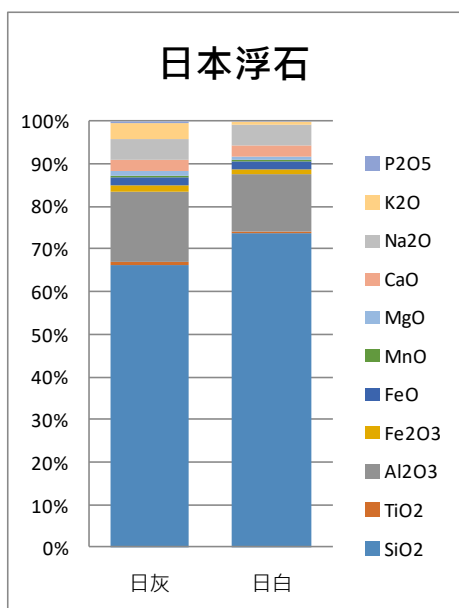


圖 6-3 日本浮石化學組成百分比圖

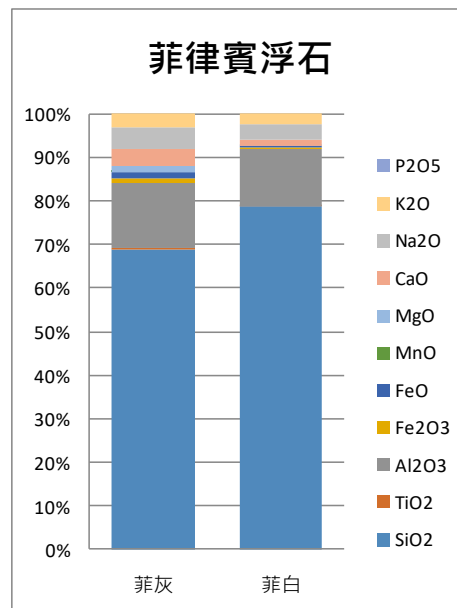


圖 6-4 菲律賓浮石化學組成百分比圖

四、礦物種類與可能來源

神祕海岸浮石與臺灣、日本、菲律賓的浮石礦物種類比較。

礦物的成分影響岩石的化學組成特性，同時也能代表形成岩石的外在條件。由結果七可知，神祕海岸的浮石所含有的礦物為斜長石和普通輝石居多。這與文獻中台灣三仙台及鹽寮地區的浮石所含有的礦物種類，最為接近，因此神祕海岸的浮石來自台灣地區的可能性越來越大。

五、浮石與台灣北部岩漿系統的探討

(一) 岩漿分異作用

根據岩漿分異作用，在同一個岩漿來源中所形成的火成岩，不論一般火成岩或是浮石，不同化學組成間雖有相互影響的關係。若將兩種火成岩相互比較，若兩地的岩石化學組成分佈在同一條趨勢線上，兩地岩石就能大致判定為來自相同的岩漿來源。

(二) 我們以 SiO_2 為橫坐標，鐵鎂指數為縱坐標作圖，可發現神祕海岸的浮石（圖 6-5 中的紅色點）會落在臺灣三仙台及鹽寮地區的浮石（圖 6-5 中的藍色點）及大屯火山火成岩（圖 6-5 中的粉紅色點）、觀音山火成岩（圖 6-5 中的紫色點）的

回歸線上，因此我們可以推測四者皆可能來自相同的岩漿系統。另一方面，日本伊豆 - 小笠原島弧的浮石、阿蘇火山的浮石和菲律賓皮納圖博火山的浮石，則和神祕海岸的浮石較無關係。

(三) 在岩漿冷卻的過程中，鐵鎂因其熔點較高，故會較早結晶析出，越晚析出的，鐵鎂含量相對越低。而神祕海岸浮石的鐵鎂值比鄰近的大屯火山群來得低，原因可能是因其形成時間最晚。

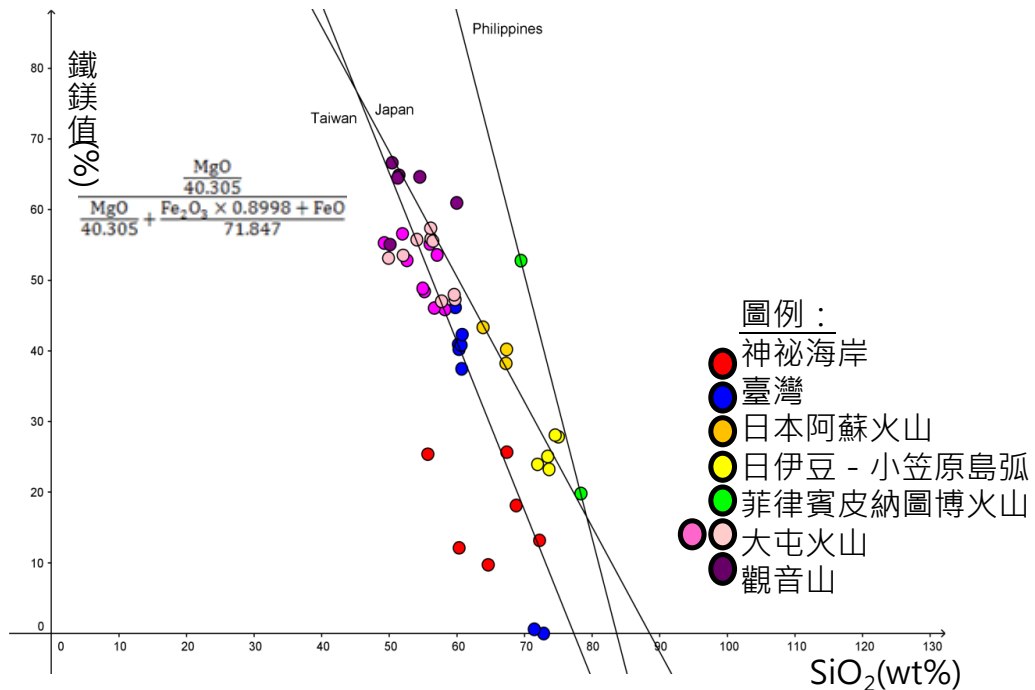


圖 6-5 以 SiO₂ 為橫坐標，鐵鎂值為縱坐標作圖所繪製的散佈圖

六、浮石從何而來的探討

根據上述的搬運方式與可能來源討論，我們認為金山神祕海岸的浮石最有可能的生成方式為：由與大屯火山有相同岩漿系統的火山噴發出，接著此火山爆發所引發的海嘯將浮石帶至神祕海岸當地進行沉積。而 1867 年所發生的基隆海嘯與此情形非常相似，依據文獻，金山神祕海岸也在當時海嘯的影響範圍內。海嘯發生時有大量浮石出現的記錄，而金山平原上海嘯沉積物中也有浮石的出現。另外，1867 年的基隆海嘯年代距今約 150 年，沉積於海岸上的浮石尚能保存而未風化侵蝕殆盡。因此我們認為此 1867 年的基隆海嘯事件極有可能與金山神祕海岸浮石的來源相關。

柒、 結論

- 一、金山岬的神祕海岸屬於五指山層，其岩性為沉積岩，而浮石為一種火成岩，再加上浮石所在的表土沉積物與五指山層間有明顯區隔，兩者沉積年代應有所不同，因此我們推估神祕海岸的浮石是五指山層形成後，再由某些特殊地質事件所帶來的。
- 二、考量當地並無發現其他火成岩，鄰近的大屯火山最後一次噴發的時間是在 5~6 千年前，且其噴發方式不是屬於劇烈噴發，因此我們推論浮石直接由大屯火山沉降與經由源於大屯火山系的河流帶至海洋，再搬運至神祕海岸的可能性較低。
- 三、浮石層的表土沉積物粒徑大小分布較平均，粒徑大於 2mm 所佔的比例皆高於 50%，顯示其沈積營力淘選度不佳，且力量十分巨大，應是巨浪所產生的。然而考慮到其沉積地點離海距離，與浮石為火山產物，我們推估外海有海底火山噴發，造成海嘯所帶來的可能性較高。
- 四、金山神祕海岸的浮石依顏色和化學組成可以分成灰色浮石與白色浮石兩種。而此些浮石 Fe_2O_3 含量較大的特性也出現在台灣東部三仙台以及東北部鹽寮的浮石，因此我們推估神祕海岸的浮石可能是來自台灣地區。
- 五、金山神祕海岸的浮石所含有的礦物為斜長石和普通輝石居多，此特性與台灣東部三仙台及東北部鹽寮所發現的浮石最為接近，因此又增加神祕海岸的浮石來自台灣地區的可能性。
- 六、以鐵鎂指數與 SiO_2 含量作圖，並加入大屯火山火成岩與觀音山火成岩進行考量。我們發現神祕海岸的浮石會落在台灣東部三仙台以及東北部鹽寮的浮石、大屯火山火成岩和觀音山火成岩的趨勢線上，因此推估四者可能來自相同岩漿系統，而與日本及菲律賓的浮石較無關係。
- 七、我們認為金山神祕海岸的浮石最有可能的生成方式為：1867 年，由與大屯火山有相同岩漿系統的海底火山噴發出，接著此火山爆發所引發的海嘯將浮石帶至神祕海岸進行沉積。

捌、參考資料及其他

一、書籍期刊

- (一) 黃鑑水、余炳盛、曹恕中 (2008) •台灣地質旅遊•臺北市：科技圖書。
- (二) 陳柏村(2015)•神祕海岸—北海岸地質探索 非讚不可的地質景點•地質, 34(1), 58-59。
- (三) 鄭世楠(2014)•由歷史文獻探討 1867 年基隆地震與海嘯的災害•地質, 33(3), 38-39。

二、網路資源

- (一) 陳中華 (2015 年 11 月 19 日) •台灣與日本之間的「火熱紅線」—琉球火山島弧鏈上的火山群•取自 http://scimonth.blogspot.tw/2010/09/blog-post_18.html
- (二) 游能悌、顏君毅、林佩禎 (2016 年 1 月 8 日) •狂潮何時再起：金山 – 基隆海嘯多久發生一次？•取自 <http://gst.org.tw/1747/%E7%8B%82%E6%BD%AE%E4%BD%95%E6%99%82%E5%86%8D%E8%B5%B7%EF%BC%9A%E9%87%91%E5%B1%B1-%E5%9F%BA%E9%9A%86%E6%B5%B7%E5%98%AF%E5%A4%9A%E4%B9%85%E7%99%BC%E7%94%9F%E4%B8%80%E6%AC%A1%EF%BC%9F>
- (三) 自然與人文數位博物館 (2016 年 10 月 29 日) •大屯火山群的礦物與岩石•取自 <http://digimuse.nmns.edu.tw/Default.aspx?tabid=369&ObjectId=0b00000181da545f&Domin=g&Field=ri&ContentType=Exhibit&Language=CHI&FieldName=>
- (四) 大屯火山觀測站 (2016 年 10 月 29 日) •認識大屯火山•取自 <http://tec.earth.sinica.edu.tw/TVO/free.php?link=sciedu/knowvol>
- (五) Song S. R., Chia-Mei Liu, Chen Chang-Hwa, Wei Lo. (2004). Pumice layers in marine terraces: implications for tectonic uplift rates on the east and northeast coasts of Taiwan. *Quaternary International*, 115-116, 83-92. (SCI). Retrieved December 7, 2015, from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618203000983>

- (六) Richard S. Fiske, Jiro Naka, Kokichi Iizasa, Makoto Yuasa, Adam Klaus. (2011, July) .Submarine silicic caldera at the front of the Izu-Bonin arc, Japan: Voluminous seafloor eruptions of rhyolite pumice. *Geological Society of America Bulletin*, v. 113, no. 7, 825-836. Retrieved December 28, 2015, from <http://gsabulletin.gsapubs.org/content/113/7/813.full.pdf+html>
- (七) Peter W. Lipman. (1976, August 7) . Mineral and Chemical Variations within an Ash-flow Sheet from Aso Caldera, Southwestern Japan. *Contr. Mineral and Petrol*, 16, 300-327. Retrieved December 28, 2015, from <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00371528>
- (八) Margherita Polacci, Paolo Papale, Mauro Rosi. (2001, February 17) . Textural heterogeneities in pumices from the climactic eruption of Mount Pinatubo, 15 June 1991, and implications for magma ascent dynamics. *Bulletin of Volcanology*, 63 (2), 83-97. Retrieved December 28, 2015, from <http://link.springer.com/article/10.1007/s004450000123>
- (九) A. Imai, E. L. Listanco, T. Fujii. (1993, August) . Petrologic and sulfur isotopic significance of highly oxidized and sulfur-rich magma of Mt. Pinatubo, Philippines. *GEOLOGY*, 21, 699-702. Retrieved December 28, 2015, from <http://geology.gsapubs.org/content/21/8/699.full.pdf+html>
- (十) Neng-Ti Yu, Jiun-Yee Yen, Wen-Shan Chen, I-Chin Yen, Jin-Hsing Liu. (2015, March 26) Geological records of western Pacific tsunamis in northern Taiwan: AD 1867 and earlier event deposits. *Marine Geology*, 372, 1-16. Retrieved March 9, 2016, from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025322715300694>

【評語】 180001

討論金山神秘海岸的浮石來源並從化學組成成分之分析，沉積物粒徑比較，環境變遷伴隨之可搬運式等歸納台灣浮石之特徵，並和日本、菲律賓的浮石特性進行比較，是很有探究內涵之作品，未來可以增加樣本，並進行定年分析可以增加支持論點之證據。