

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物及地球科學科

佳作

031736

岩石球狀風化的探討

學校名稱： 臺北縣立海山高級中學

作者： 國二 曾滌庸 國二 陳若瑄 國二 潘庭熙 國三 陳亭延	指導老師： 王聰章 陳紹祥
---	---------------------

關鍵詞：葉狀剝離、均質、膨脹率

# 岩石球狀風化的探討

## 研究摘要

研究之初我們先踏查大台北附近出現球狀風化岩石聚集區，再選定地點做形成原因的探討。做法是仔細調查球狀風化區，岩石的數量、種類、層數及厚度、岩性、氣候條件等。另將岩石及風化物帶回實驗室，利用自行設計的方法，研究其膠結程度、熱脹冷縮、均質程度、含不含水體積變化、受力產生節理方向等，用來應證、分析自然環境的影響情形。

我們也應用模擬及實地測量歸納出：岩性均質且風化速率較快的岩石，容易形成葉狀或球狀風化物層而剝離母岩；在水分乾、濕變化大情況下，易使風化物形成層狀；溫差大易使岩石呈片狀剝離。最終求證出溫差與水分兩因素是最直接影響風化物的層數與風化層的厚度。

## 壹、研究動機

有次假日我們去爬中和圓通寺後山時，見到一群小學生正圍在步道旁研究東西，其中有位同學喊著「好漂亮的石洋蔥！」此刻才吸引我注意到步道旁都是一顆顆像洋蔥的石頭，這使我想起了『在上康軒版自然科學第五冊第五章侵蝕、風化作用的課堂時，地科老師曾提過這是岩石強烈風化的結果』。於是引起想研究的動機，隔天找同學們求教於地科老師，懇請老師帶我們做更深入、有趣的研究。

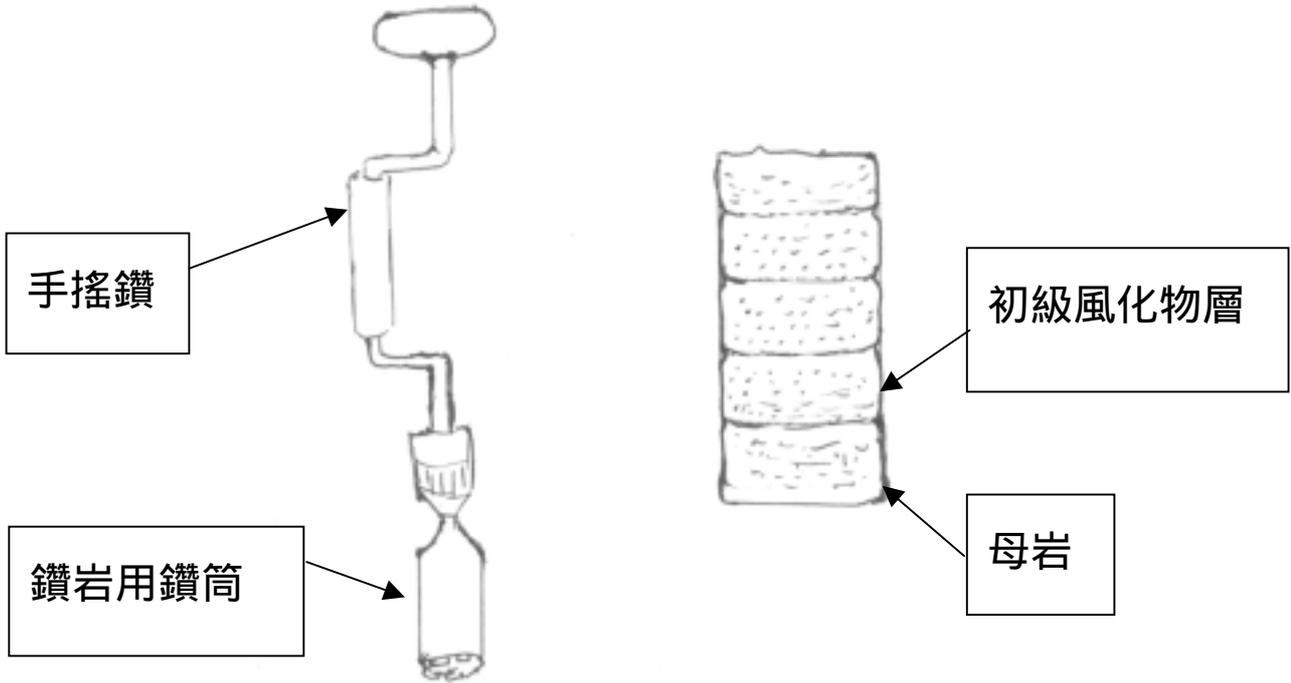
## 貳、研究目的

- 【1】熟悉地形及地質調查的各種方法。
- 【2】了解岩石風化的原因。
- 【3】探討哪些種類岩石較易形成球狀風化，並研究其形成的原因。
- 【4】應用岩層鑽探技術及密度測量方法，研究岩石與風化物間的改變。
- 【5】研究節理、溫度、水分、膠結程度等對岩石出現球狀風化的影響。
- 【6】設計實驗探討岩石風化現象，與實地風化情況是否相同？

## 參、設備及研究器材

- 【1】地形及地質的調查：捲尺、直尺、地圖、榔頭、指北針、坡度計、照相機、望遠鏡。
- 【2】岩石膠結程度的調查：硬度筆、摩氏硬度盒。
- 【3】岩石及風化物厚度及密度的測量：燒杯、量筒、天平、岩石鑽孔機（構造如圖（一））。
- 【4】熱脹冷縮實驗：電窯、電子溫度計、燒杯、量筒、體積膨脹測量器（裝置如圖（二））。
- 【5】岩石受力產生解理的研究：黏土、照相機。
- 【6】岩石風化環境的紀錄：岩石樣品、溫度計、自製地表層土壤溫度測量器（構造設計如圖（三））。
- 【7】解理內黑色物分析：試管、酒精燈、天平、氧化銅、澄清石灰水、 $p^H$ 儀、鹽酸。（檢驗裝置如圖（四））

圖(一)



圖(二)

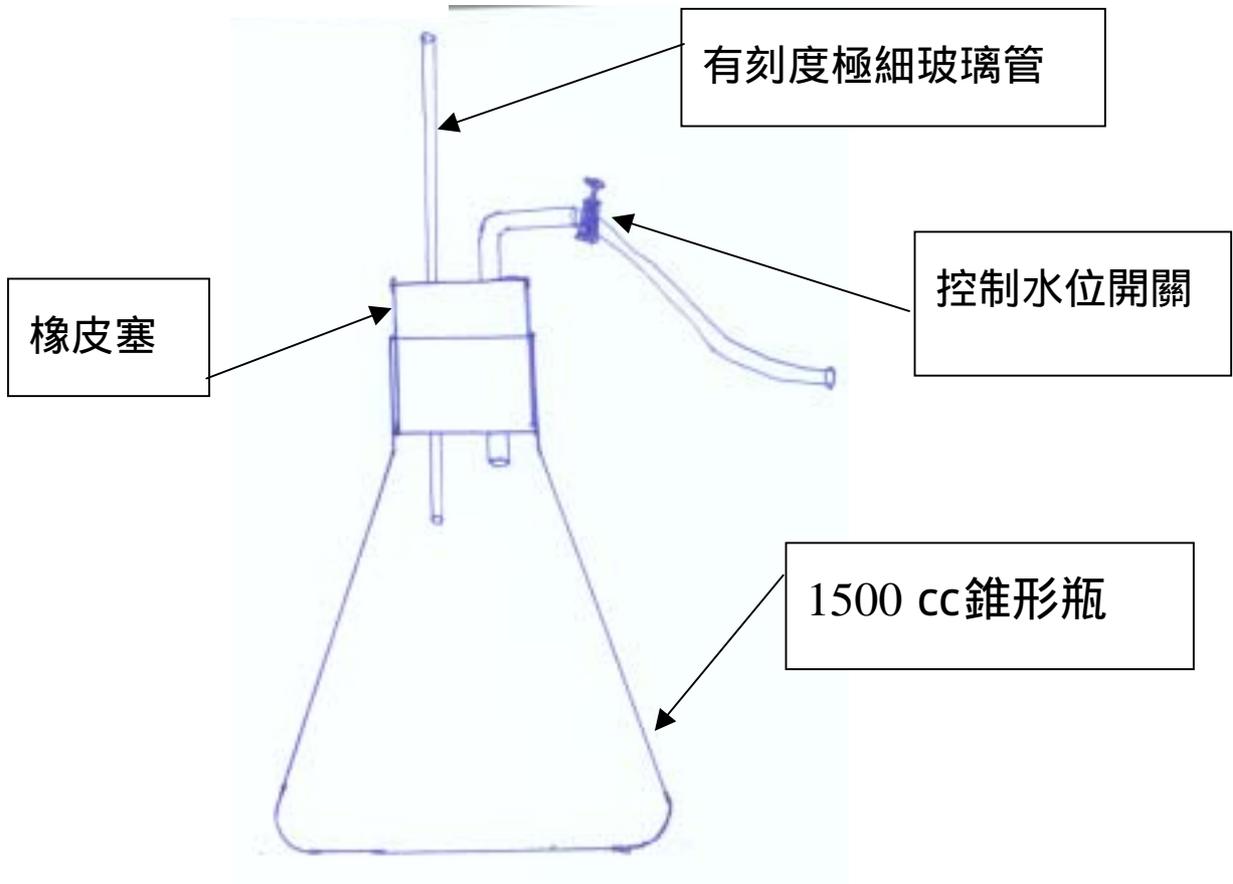


圖 (三)

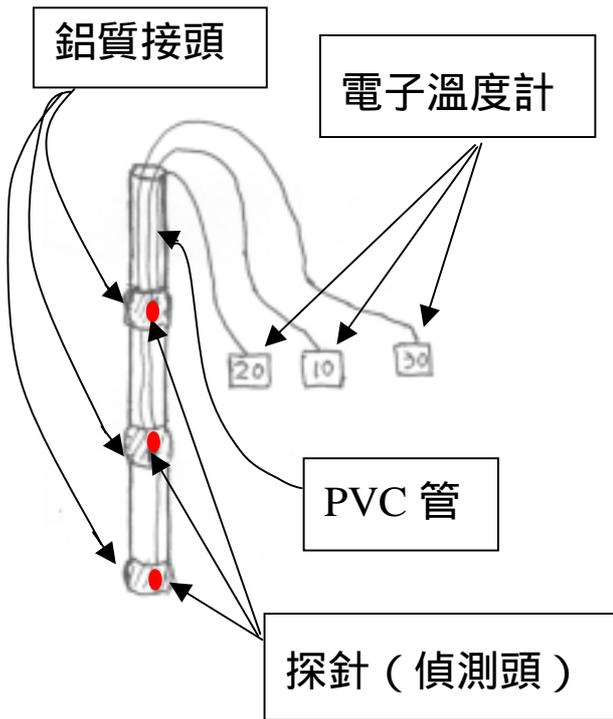
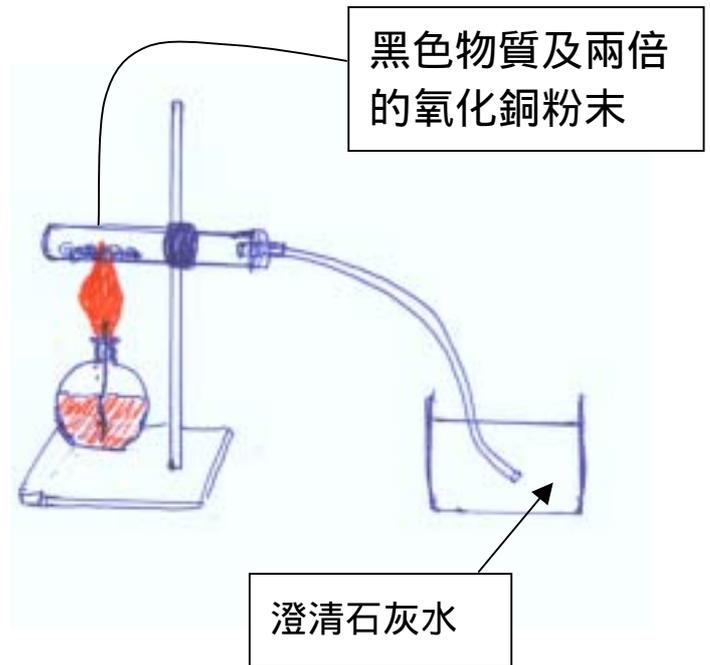


圖 (四)



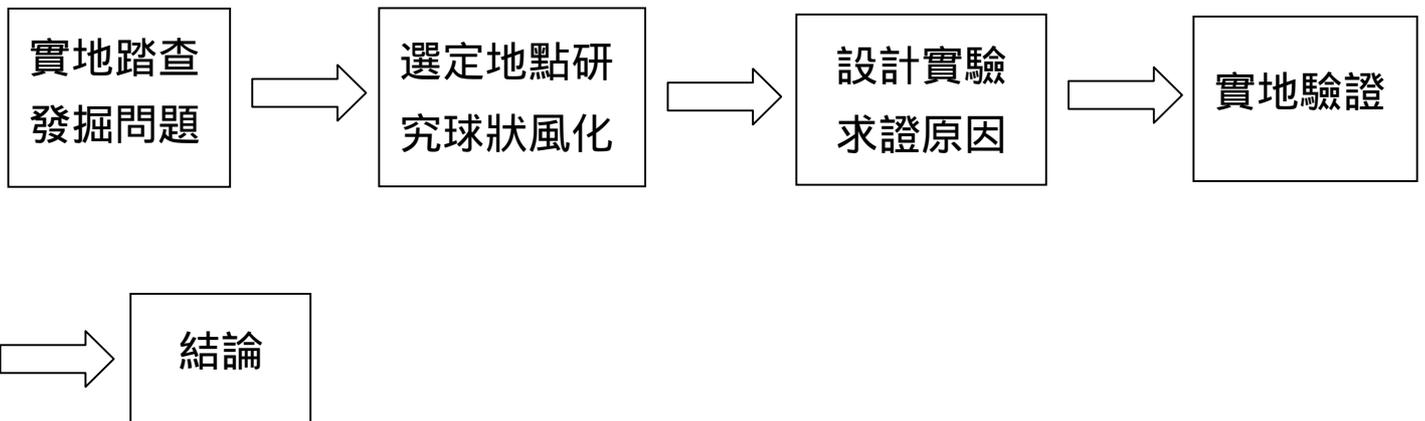
### 肆、研究的主題

經過我們多次到國旗嶺仔細觀察及討論後，共同提出了下列幾項想研究的主題是：

- 【A】大台北地區有哪些地方的岩石易出現球狀風化層的富集區？
- 【B】富集區域內有那些種類岩石會形成洋蔥狀風化？
- 【C】岩石風化物呈球狀剝落其原因及營力何來？
- 【D】同地點、同環境下不同岩石風化物的崩解及發育過程有何差異？
- 【E】實驗室模擬風化與實地風化的情形比較？

因此我們就以上述的問題為核心，擬出下面的研究流程！

### 伍、流程



## 陸、研究過程及結果分析

### 【A】藉由踏查選定研究岩石球狀風化成因的地點

#### ◎研究方法：

- 【1】收集資料找出大台北地區曾有記錄岩石球狀風化的地點。
- 【2】排定時間至找出的地區做岩石種類、球狀風化的位置、風化程度、土壤種類、地形、地層構造等調查及紀錄。
- 【3】統計露岩區域邊長5公尺正方形面積內，岩石出現球狀風化的數量。
- 【4】將調查結果製成圖表比較後，再選定三個地點做更進一步研究。

#### ◎結果分析：

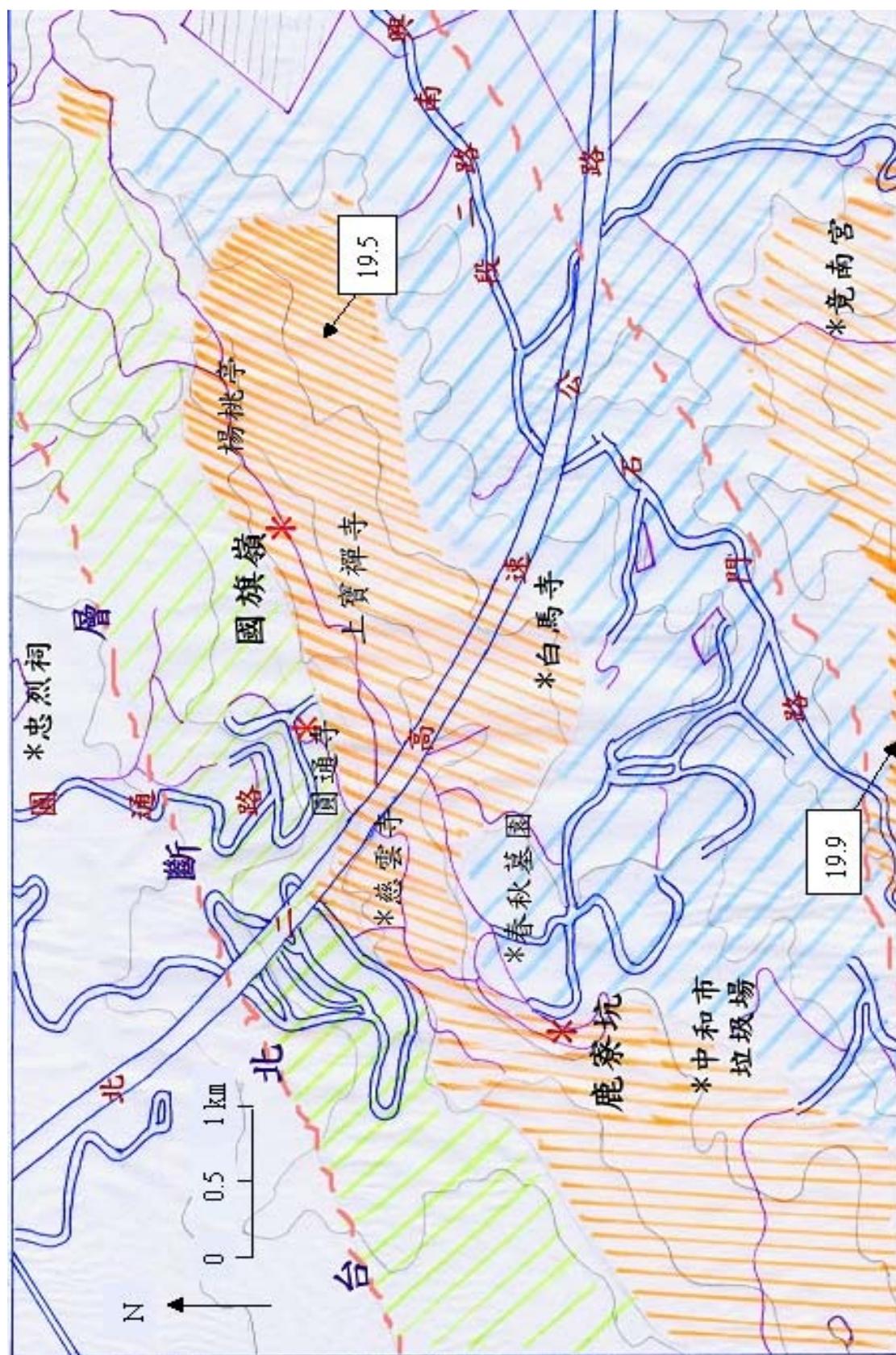
- 【1】由資料搜尋得知，大台北地區附近出現球狀風化岩石富集的地方有：1 中和國旗嶺 2 北投硫磺谷 3 木柵貓空溪谷 ④ 三峽東滿步道 5 二格山產業道路等。
- 【2】經過踏查後得統計圖如下表 (A-1)：

地點	地質	位置	洋蔥狀風化數 (粒/25m <sup>2</sup> )	分布面積 (m <sup>2</sup> )
國旗嶺	下層砂岩為木山層。 公館凝灰岩在上，南勢角附近是最厚沉積層 (100m 以上)。	南北向稜線的東面坡地皆有分布。	12 粒 / 25m <sup>2</sup>	到處都有分布，以國旗嶺至楊桃亭附近最多 (100000 m <sup>2</sup> )。
硫磺谷	以五指山砂岩層為主，間有安山岩分布。	谷地溫泉蒸氣口及迎風坡。	2 粒 / 25m <sup>2</sup>	蒸氣吹襲的坡地零星出現 (40x50 m <sup>2</sup> )。
二格山 步道	南港層砂岩與頁岩互層。	步道旁面東樹蔭下的岩壁。	總數各為： 15 粒及 20 粒	桫寮產業道路 0.5K 及 0.7K 處 (10x2.5 m <sup>2</sup> 及 8x5 m <sup>2</sup> )。
貓空 溪谷	與二格山是同一山系。	步道旁樹蔭下的岩壁。	總數各為： 15 粒及 20 粒	天恩寺後山步道側 (15x3 m <sup>2</sup> 及 10x5 m <sup>2</sup> )。
東滿 步道	地質多屬第三世紀始新世，砂、頁岩互層為主。	步道旁面東樹蔭下的岩壁。	總數為： 30 粒	東滿步道觀瀑橋附近。(150x6 m <sup>2</sup> )

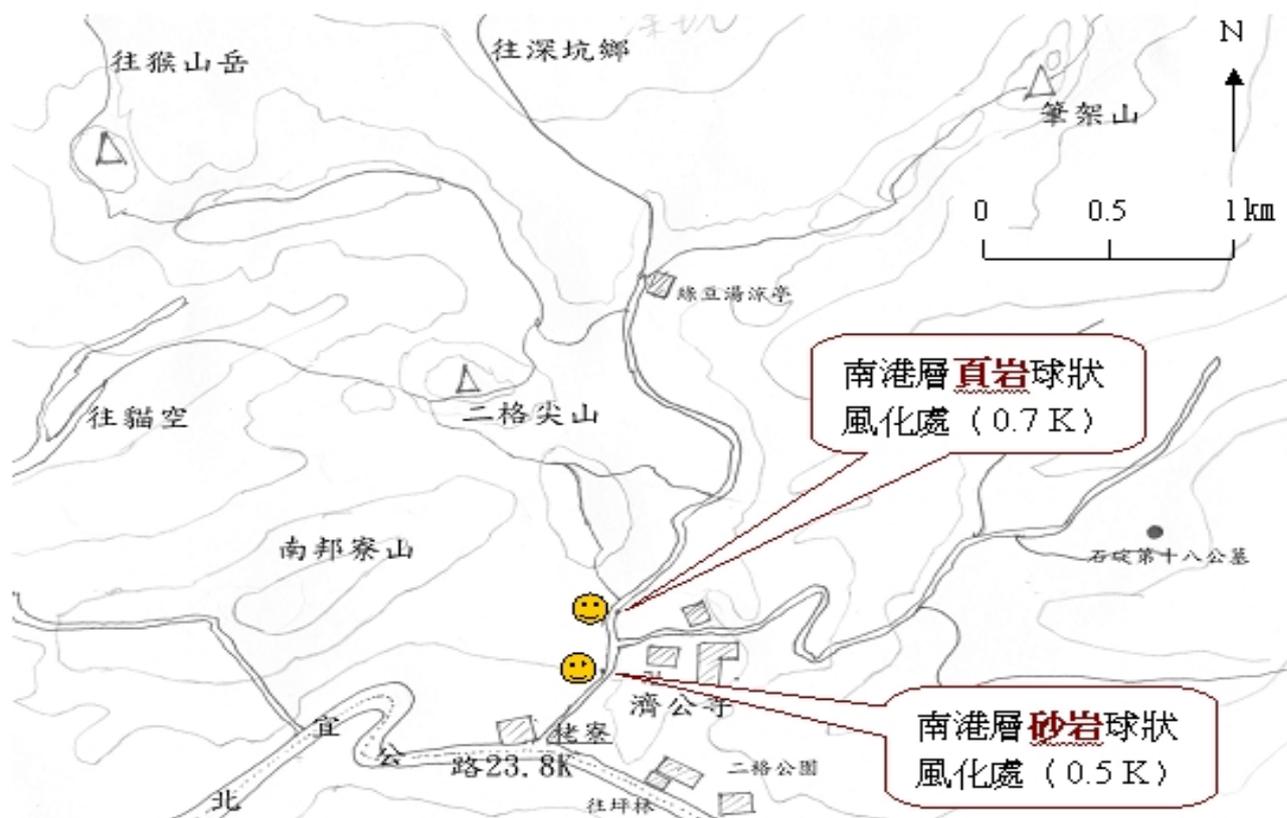
【3】最後我們選定中和國旗嶺 (出現數量最多)、石碇二格山產業步道及北投硫磺谷 (成因可能較複雜) 做為研究地點。

【4】經仔細踏查後再繪出三個選定地點的地質、地形圖如下頁 圖 (五)、圖 (六)、圖 (七)。

圖(五) 國旗嶺附近地質圖



大寮層 木山層 公館凝灰岩。框內數字代表鉀-氬法定年結果，單位：百萬年（取自何春葆，1969）。  
 斷層 主要斷層



圖(六) 二格山桫寮產業道路 0.5K 及 0.7K 處的球狀風化出現地點



圖(七) 北投硫磺谷谷地的地質圖

資料來源：臺灣博物，61期，大屯火山群及北部濱海地質簡介。

※長期被溫泉蒸氣吹襲的迎風坡易出現零星球狀風化，而木山層露岩多為礫岩，較不易出現球狀風化現象。

## 【B】富集區域內那些種類的岩石較易形成洋蔥狀風化

### ◎研究方法：

- 【1】由收集的資料歸納出洋蔥狀風化物富集區域的岩層或岩石種類。
- 【2】實地踏查找出洋蔥狀風化物的母岩種類。

### ◎結果分析：

- 【1】中和國旗嶺附近一帶以公館凝灰岩會有洋蔥狀風化物出現（何春蓀及林政雄，1965；何春蓀，1969b）。（照片 B-1）、（照片 B-2）



照片 (B-1) 國旗嶺凝灰岩風化

照片 (B-2) 鹿寮坑洋蔥狀風化岩石

- 【2】二格山柘寮產業道路旁砂岩及頁岩有洋蔥狀風化物形成（第三紀更新世南港層）。



照片 (B-3) 二格山砂岩球狀風化



照片 (B-4) 二格山頁岩洋蔥狀風化

- 【3】陽明山硫磺谷中砂岩及安山岩有洋蔥狀風化物出現（第三紀漸新世五指山層）

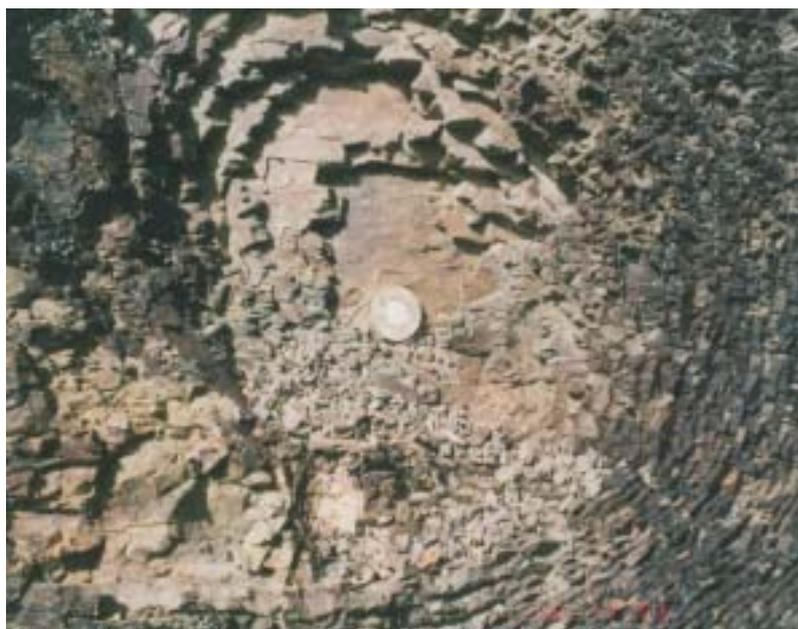


照片 (B-5) 硫磺谷安山岩球狀風化



照片 (B-6) 硫磺谷砂岩球狀風化

【4】三峽東滿步道旁砂岩層有洋蔥狀風化物形成。



照片 (B-7) 東滿步道砂岩球狀風化



照片 (B-8) 東滿步道砂岩球狀風化

### 【C】研究選定區內岩石風化物呈球狀其成因及營力何來

有關洋蔥狀風化成因的報導眾說紛云且無從得知正確原因，因此我們從選定的研究區攜回各種岩石樣本，利用自行設計的實驗方法做詳細的探討。各項實驗的方法如下：

實驗 ( I )：樣品膠結程度調查。

實驗 ( II )：岩石及風化物密度探討。

實驗 ( III )：岩石及風化物受熱後體積的脹縮變化探討。

實驗 ( IV )：岩石及地層溫度 (地溫) 變化的探測

實驗 (V)：岩石受外力產生節理的探討。

實驗 (VI)：岩石及風化物與空氣、水分作用的探究。

希望我們能藉這些實驗探討出岩石出現球狀風化的原因。

### 實驗 (I)：樣品的硬度 (膠結程度) 調查

#### ◎研究方法：

摩氏硬度標準本是應用在造岩礦物上，我們這裡拿來應用在岩石上，用意是因岩石的硬度大小與膠結程度間有相對關係，比較出硬度大小就知其膠結程度。

【1】將各種岩石敲下未風化部分，以摩氏硬度計比較膠結程度。(照片 C-1)

【2】敲下岩石表層風化物，也利用摩氏硬度計估計風化物膠結程度。

【3】利用改良的冷氣管鑽孔器來鑽取球狀風化物層，攜回實驗室做不同風化層間的硬度測量分析。(照片 C-2)

【4】紀錄測得的各種物質硬度，繪成圖表再加以比較分析。



照片 (C-1) 測膠結程度



照片 (C-2) 鑽孔器取風化物層

#### ◎結果分析：

【1】摩氏硬度標準盒測試結果：國旗嶺粗粒砂岩硬度約為 2~3、灰色凝灰岩硬度約 5~6、頁岩硬度約為 4~5；二格山細粒砂岩硬度約為 3.5~5、頁岩硬度約為 3~4；硫磺谷砂岩硬度約為 4.5~5.5、安山岩硬度約為 4~5.5。

【2】各種岩石風化物硬度結果如下：國旗嶺灰色凝灰岩剛風化物 (第一層) 3~4，最外層風化物 0.5~1、頁岩風化物 (剛風化) 硬度約為 1~3；二格山細砂岩 (剛風化) 硬度約為 2~3、頁岩風化物 (剛風化) 約 2~3；硫磺谷砂岩及安山岩風化物硬度約為 1~1.5。

【3】由上比較可知①岩石的膠結程度：國旗嶺凝灰岩 > 硫磺谷砂岩 > 硫磺谷安山岩 > 國旗嶺頁岩 > 二格山砂岩 > 二格山頁岩 > 國旗嶺砂岩。②岩石風化物的膠結程度 (剛風化)：國旗嶺凝灰岩風化物 > 二格山砂岩、頁岩風化物 > 硫磺谷砂岩、安山岩風化物。

【4】由數據的分析及踏查的紀錄可得知：岩石的膠結程度與岩石是否會出現球狀風化之間，沒有明確的關係存在。也就是無論岩石膠結程度如何，都有可能出現球狀風化。

## 實驗 ( II ) : 岩石及風化產物密度的探討

### ◎研究方法：

- 【1】從研究區取回不同塊岩石及其風化物，在實驗室利用排水法測出樣品的密度。
- 【2】在研究區選同一塊石頭上敲下不同部位的岩塊，攜回實驗室測出密度加以分析。
- 【3】將實驗 ( I ) 中鑽孔器取回的同一石塊上風化層，測出密度再加以比較分析。
- 【4】比較同一顆岩石上不同部位的球狀風化層密度的異同。(照片 C-4) (照片 C-3)



照片 ( C-3 ) 測密度



照片 ( C-4 ) 鑽得的風化物層

### ◎結果分析：

- 【1】不同種類岩石及風化產物的密度如下：

#### 1 中和國旗嶺附近 表 ( C-1 )

種類	淺色粗砂岩	灰色凝灰岩	頁岩	淺色粗砂岩風化物	灰色砂岩風化物	頁岩風化物
密度	1.96~2.61	2.39~2.57	2.49~3.01	1.31~1.68	1.54~2.41	1.51~2.13

密度的比較結果是：頁岩 > 凝灰岩 > 淺色粗砂岩 > 凝灰岩風化物 > 淺色粗砂岩風化物 > 頁岩風化物。

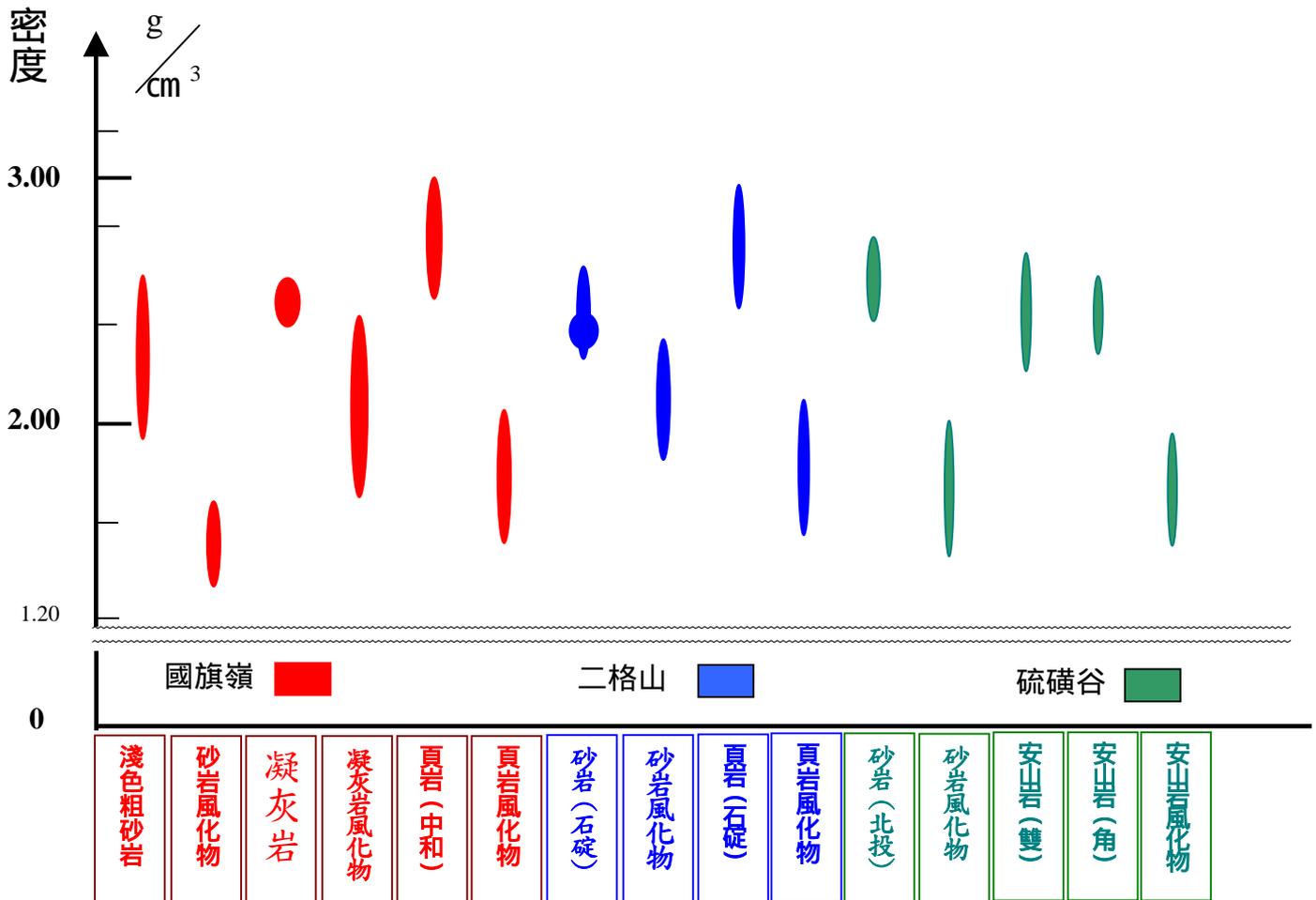
#### 2 石碇二格山產業道路旁 表 ( C-2 )

種類	砂岩	頁岩	砂岩風化物 (剛風化)	頁岩風化物
密度	2.20~2.69	2.44~2.93	1.71~2.32	1.50~1.95

#### 3 北投硫磺谷 (龍鳳谷) 表 ( C-3 )

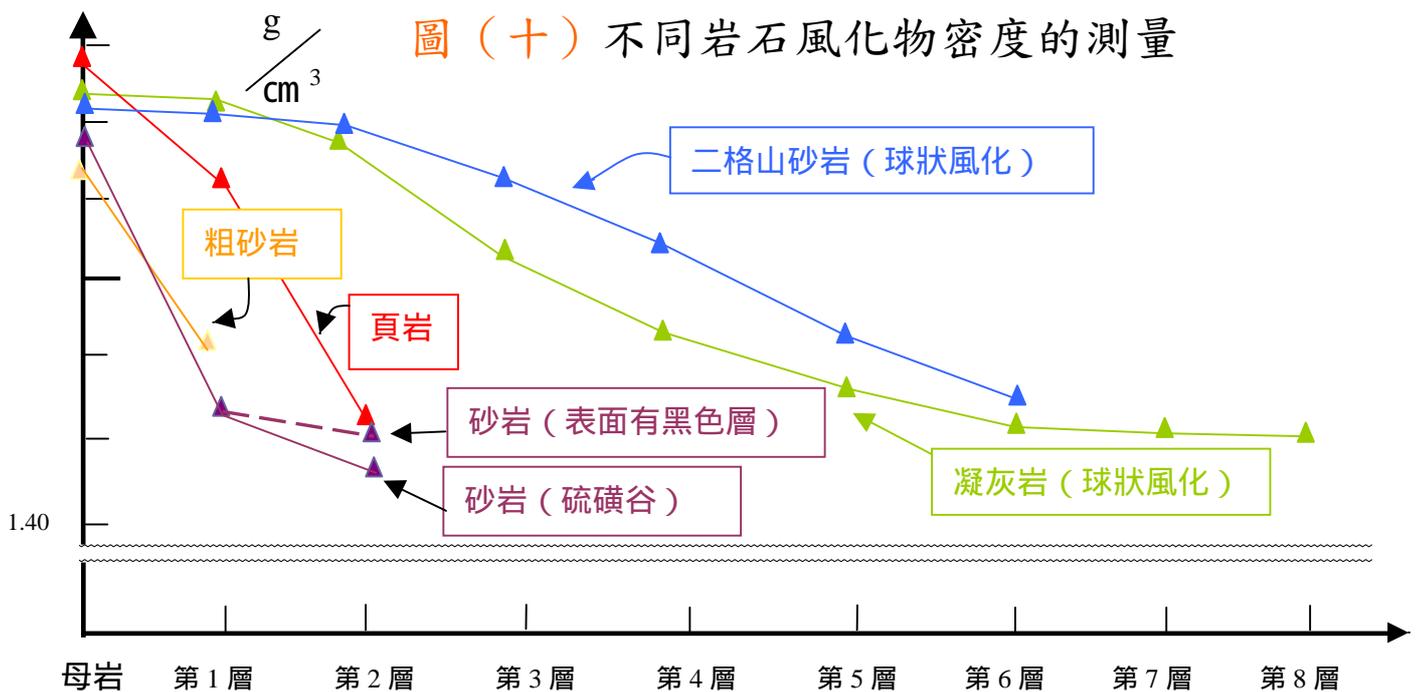
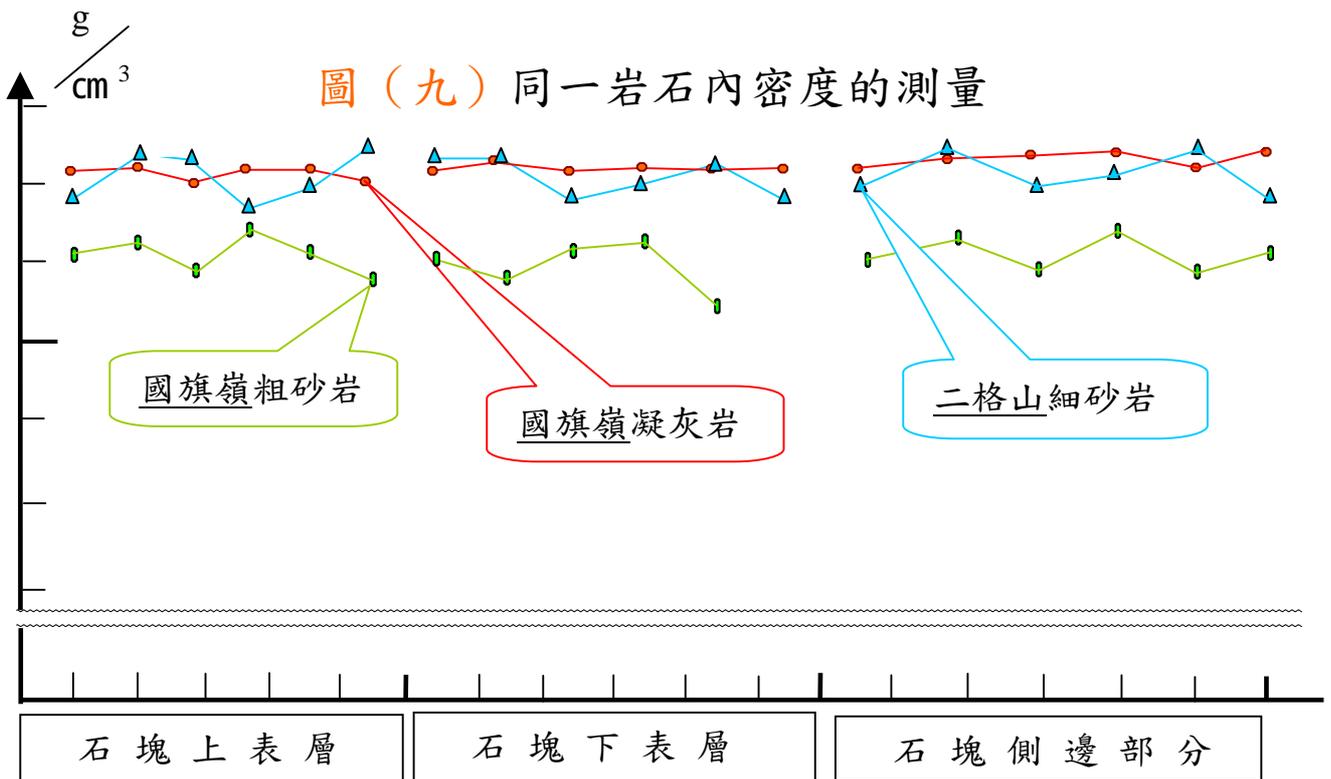
種類	砂岩	安山岩 (雙輝)	安山岩 (角閃)	砂岩風化物	安山岩風化物
密度	2.41~2.77	2.14~2.59	2.20~2.51	1.33~1.89	1.46~1.87

- 【2】將前項選定區取回岩石及其剛被風化物質所測出的密度範圍繪成圖 (八) 如下頁：



分析上圖可發現：

- 1 同一區域內不同的石塊中，以國旗嶺的粗砂岩密度值差異最大，灰色凝灰岩最小。相反的風化物以國旗嶺的凝灰岩最大，粗砂岩最小。
  - 2 密度變化不大的岩石（中和國旗嶺的凝灰岩），最容易有球狀風化物形成。
  - 3 母岩與剛被風化的岩石兩者間密度相差不大者（有重疊者），會有球狀風化物出現（國旗嶺的凝灰岩、二格山的細砂岩）。
  - 4 硫磺谷中砂岩、安山岩皆可找到球狀風化物，形成原因可能較特殊。
- 【3】下頁圖（九）中同一塊凝灰岩的不同部位，其密度幾乎是相同，也就是岩石本身是均質的。粗粒砂岩不是很均質就不會有球狀風化出現。二格山的細砂岩整塊密度變化大，僅有少數在路旁蔭涼區的露岩（若是均質）也會出現球狀風化，但是頁岩雖然不均質也會出現此種風化。因此岩石是否均質並不是形成此種風化的唯一條件，可能還有其他因素也必須考慮的。
- 【4】同一顆岩石及風化物，利用排水法測出密度如下圖（十），圖形分析如下：
- ① 公館凝灰岩及二格山的砂岩，其風化物與母岩間的密度相差較少且變化較和緩。
  - ② 頁岩風化物通常呈小塊狀，最終才成細粉狀。
  - ③ 硫磺谷的球狀風化物最多僅兩層，若外層顏色不同其密度也不同。



### 實驗 (III)：岩石及風化物體積脹縮變化量的探討

- ◎研究方法：本實驗是研究岩石及風化物，受熱後體積的變化情形。方法如下：
- 【1】將測量體積膨脹量的儀器及水，置於 25°C 電窯中一段時間後，在玻璃管上畫一記號，再以 15°C 為間隔測至 85°C，最後利用所得數據算出水的視膨脹率。
  - 【2】接著換岩石來做實驗，依步驟【1】做岩石在水中的總膨脹率。(照片 C-5)
  - 【3】相同的方式，再探討風化物在水中對於水溫變化而改變的體積。

◎結果分析：

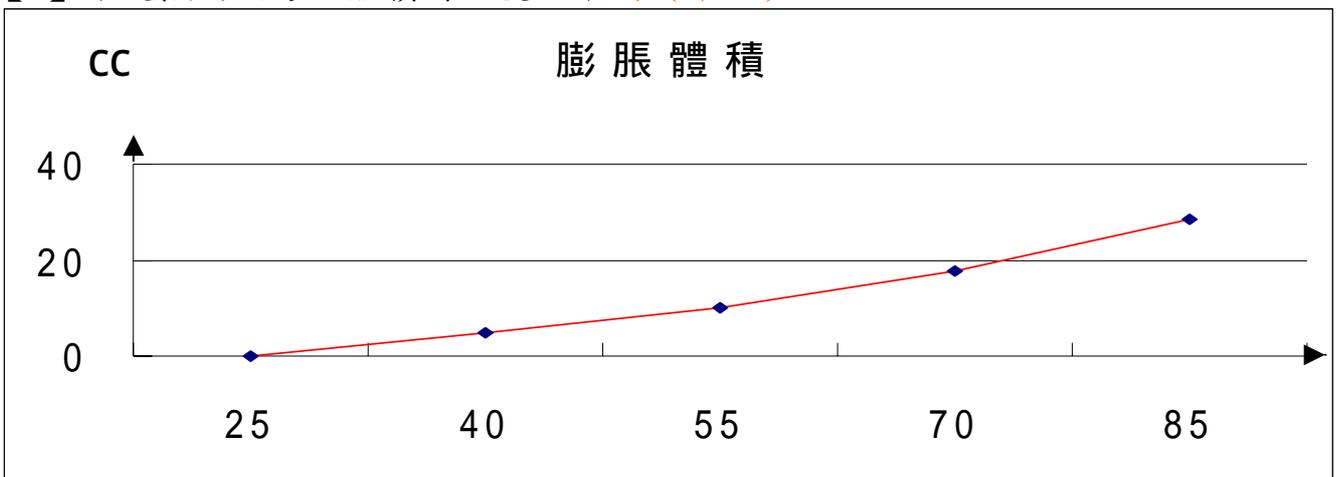
※水及岩石視膨脹體積求法如下：

說明：我們以頁岩的溫度由 25°C 升至 55°C 為例來解說（升 30°C）

① 1482.5c.c.的水 溫度升高 30°C，測出體積視膨脹 10.0c.c.，視膨脹率為  $10.0/1482.5=6.7/1000$ 。

② 1237.5c.c.的水 + 245.0c.c.頁岩 = 1482.5，若溫度也升高 30°C，視膨脹體積為 9.60c.c.， $1237.5 \times \text{千分之} 6.7 = 8.29\text{c.c.}$ ， $9.60 - 8.29 = 1.31\text{c.c.}$  即 245.0c.c.頁岩的視膨脹體積是 1.31 c.c.。

【1】水受熱的視膨脹體積對溫度如下圖（十一）：



※因岩石及其風化物熱脹體積變化很小，此說明僅求出 25°C 升至 55°C 的視膨脹率

【2】溫度由 25°C 升至 55°C 時，將視膨脹體積除以原體積，可算出 1 水的膨脹約千分之 6.7 2 岩石約千分之 1 3 風化物約千分之 3。岩石中以頁岩比其他岩石大些，風化物中以凝灰岩的膨脹率較大。



照片 (C-5) 電窯內的恆溫



照片 (C-6) 測地溫梯度

## 實驗 (IV)：岩石及地層溫度 (地溫) 變化的探測

### ◎實驗步驟：

- 利用自製測溫度儀器測出不同天候、氣溫下，地表層土壤不同深度的溫度變化，並將測得數據繪製成圖再做分析及比較。(照片 C-6)
- 在未風化岩石鑽一深 10 公分左右的小洞，由岩石外表淋下冷水，利用電子溫度計同時測出洞內及表面的溫度變化情形。(照片 C-7)、(照片 C-8)

### ◎實驗結果分析：

- 我們選擇了午後陣雨、晴天、陰天三種天候，紀錄灰色砂岩的表面溫度、岩石內部溫度、及附近的土地表層溫度 (地溫)，所得結果繪製如下頁圖 (十二)、圖 (十三)、圖 (十四)：

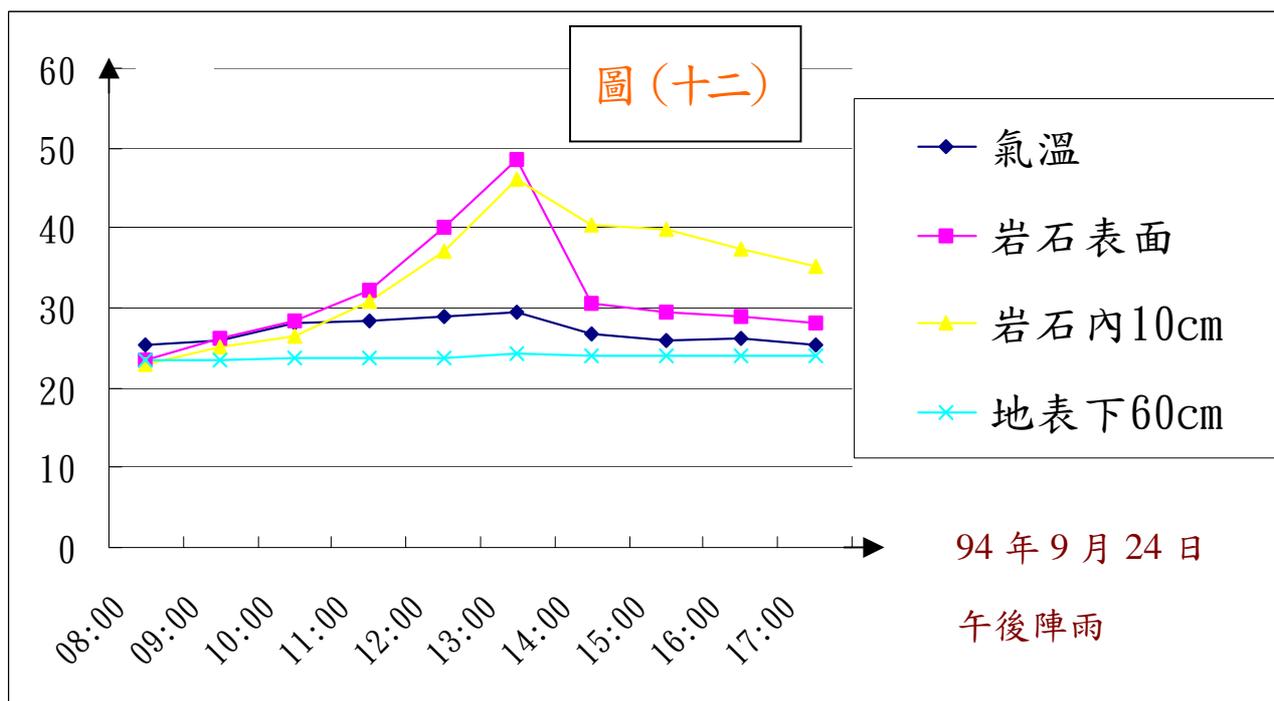


圖 (十三) 94年9月16日 晴天

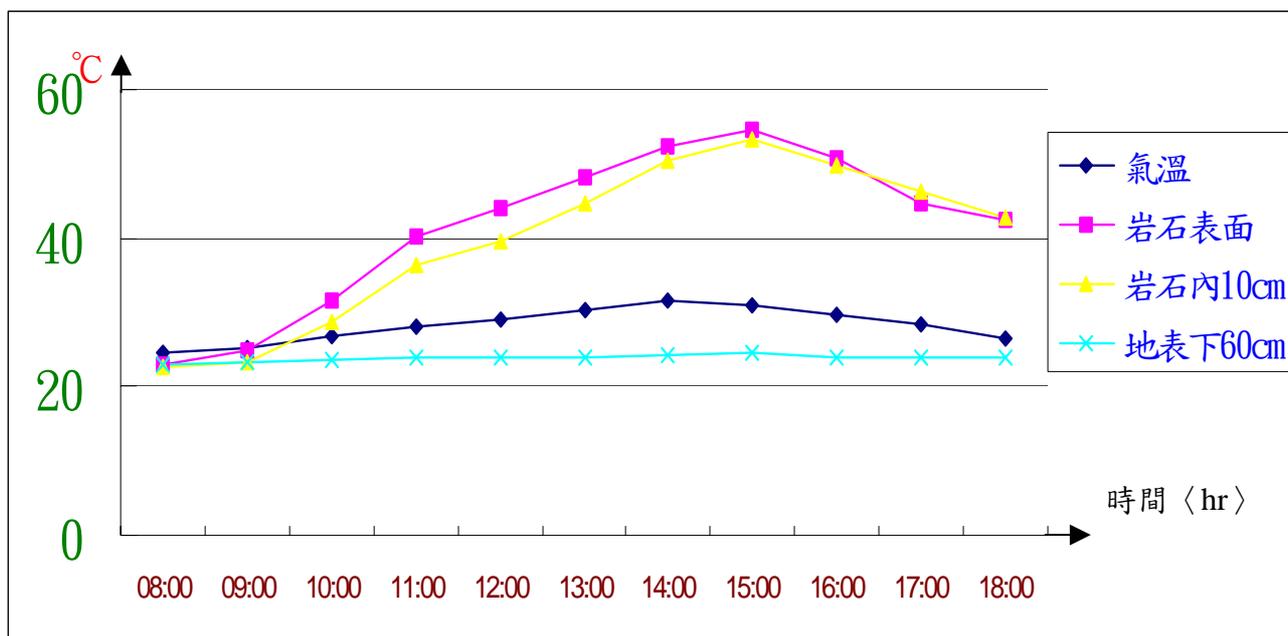
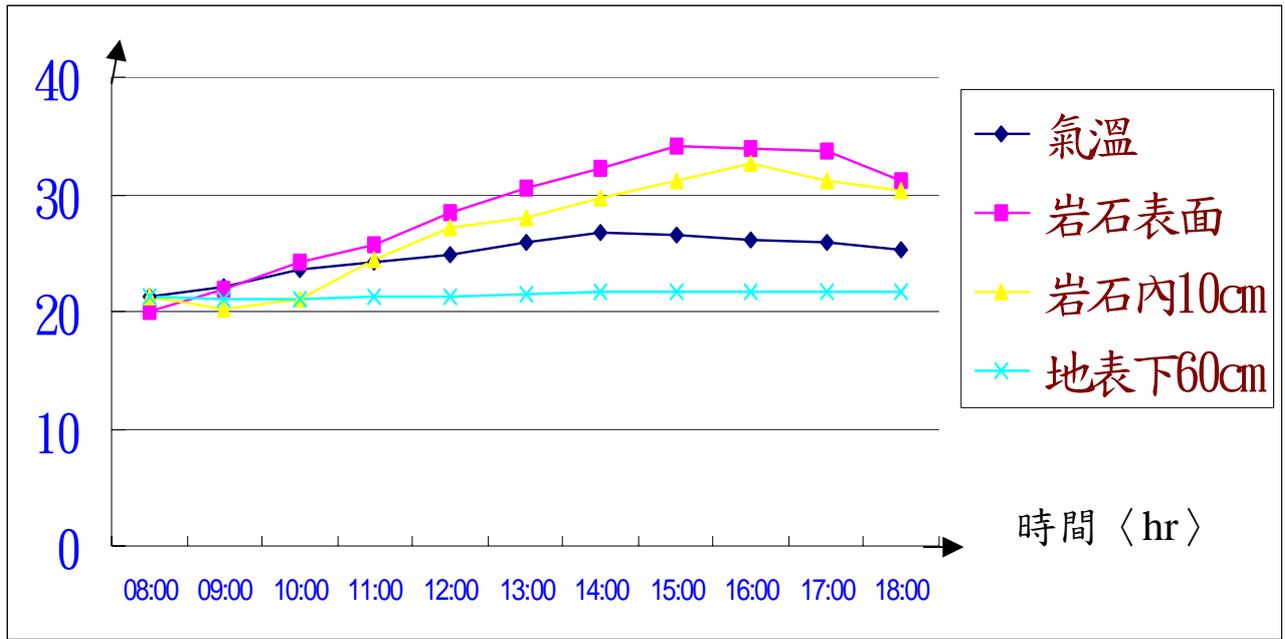


圖 (十四) 94 年 10 月 10 日 陰 天



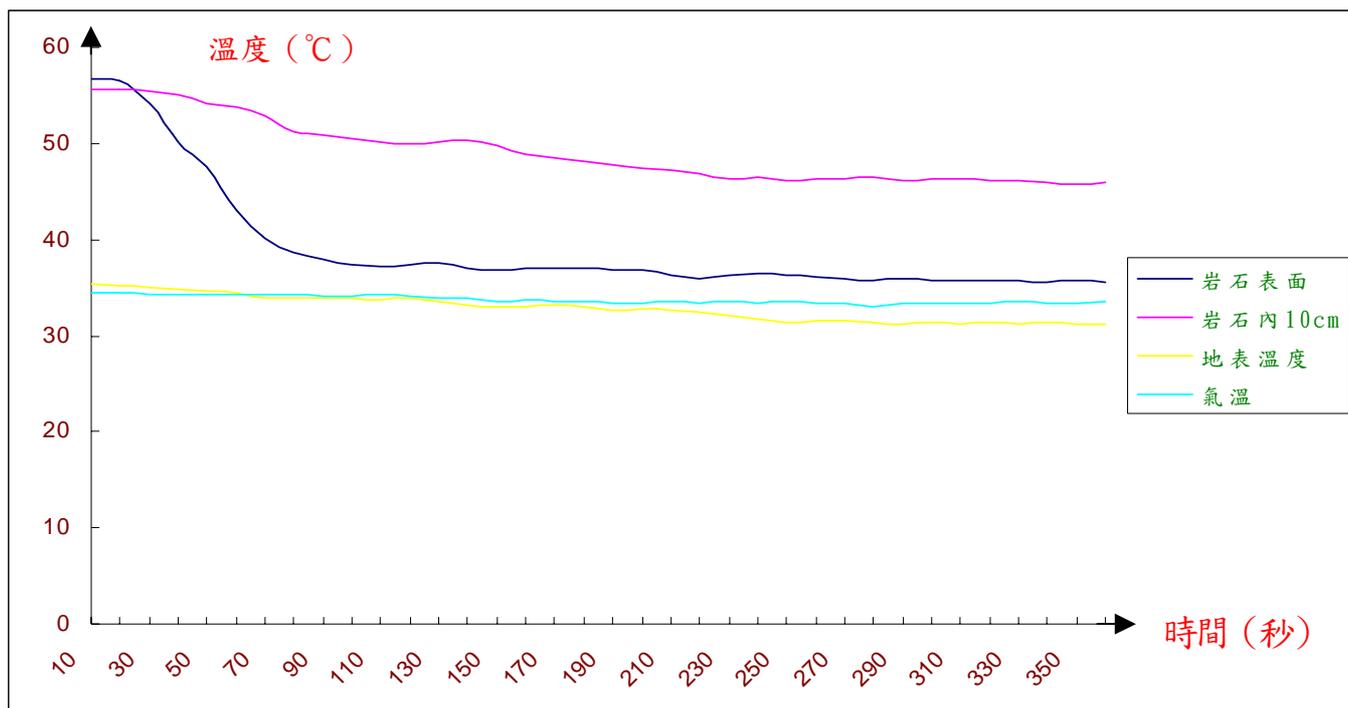
照片 (C-7) 測岩石表面溫度



照片 (C-8) 測岩石內部 (10 cm) 溫度

【2】測岩石內部的溫度，我們是選擇了日曬充分，凸露出地面不多的一塊大岩石（灰色砂岩）。在整個測量過程中，測得岩石表面最高溫是在 94 年 7 月 31 日 早上十一點，當地氣溫是 31.4°C，岩石表面溫 59.8°C，岩石內 10 公分處 53.8°C，相差有 6°C 之多。若有辦法將岩石鑽得更深的話，岩石內部溫度與土壤的地溫應更接近！

- 【3】在測量的期間，我們也觀察岩石的外表改變情形，其中以午後陣雨（94年9月24日13:25開始下雨）石頭外表改變較明顯。這說明了岩石內外溫度改變速率愈快或溫差愈大時，岩石外表的改變也愈大。
- 【4】岩石導熱程度很差，當外面表層溫度快速降低後，內部熱量無法很快的釋出，造成內外溫差非常大，相對於岩石的內、外體積脹縮量差也就加大，促使在等溫梯度線（快速降溫較不均勻）上會產生平行的應力，夠大的應力就足以使外層岩石分離，而形成剝裂現象。
- 【5】94年7月31日我們在凝灰岩表面上淋下約25°C的水，實地所測得的岩石內、外溫度驟降變化情形如圖（十五）



圖上可知在第80秒時岩石表面與岩內10cm處，溫差最大有14°C左右，相差10°C以上的時間甚至可達20分鐘以上。在實地的操作過程中我們發現很快有微小裂痕出現，這說明在溫度驟降變化情形下岩石易出現裂痕。

## 實驗 (V)：岩石受外力產生節理的探討

### ◎研究方法：

- 【1】黏土在乾燥過程中受力的實驗：取研究地區出產的黏土，置於壓縮盒中如（照片C-9），在黏土逐漸乾燥過程中逐漸加壓，直至黏土完全乾燥，出現裂痕為止，然後觀察裂痕方向。

※本項實驗目的是探究斜坡上頁岩，受上方岩石或土體重量而產生節理情形。

- 【2】分別利用鐵鎚敲裂研究地區內各種岩石及風化物，並觀察比較裂開面的平滑程度。

### ◎結果分析：

- 【1】黏土上加壓乾燥是模擬斜坡上的岩石，承受上部土體重量下壓情形，面向外的部分受到應力較小，岩石表面是否會產生節理，又節理是否為球狀。由我們模擬實驗的結果可知岩石受此種力量作用下，不會形成球面狀的節理！而是向外輻射狀。
- 【2】由敲裂面來看：淺色粗砂岩表面很不平整且粗糙，並有許多細小碎顆粒岩石掉落，凝灰岩表面是光滑平整，頁岩是光滑平整但裂開是全部循同一個面。這表示岩石受風化作用後，淺色粗砂岩的風化物容易粉碎狀脫離，灰色凝灰岩是平滑塊狀脫離，而頁岩是稍具方形塊狀的分開。(照片 C-10)



照片 (C-9) 測風化物含水前後體積

照片 (C-10) 各種岩石裂面平滑程度

## 實驗 (VI)：岩石及風化產物與空氣、水產生作用的探究

### ◎研究方法：

- 【1】將各種岩石及風化物，置於藍色墨水中一小時後取出晾乾，再敲開比較顏色滲透入內層的情況。(照片 C-11)
- 【2】未風化岩石磨碎分多份測質量，取幾份置空氣中，另幾份密封不要接觸空氣，經 50 天再測出質量，比較空氣對岩石風化前後質量的改變。(照片 C-12)
- 【3】把【2】項樣品，置於水中一段時間，經過濾收集未溶物質烘乾後，量出樣品前後質量的變化，藉此探討水對岩石的影響。
- 【4】風化物含不含水體積的變化，本項做法是將風化物調同量的水，置於盒中等完全乾燥後，再量出體積改變量，比較乾、濕體積變化情形。

### ◎結果分析：

- 【1】第一項研究主要是利用有顏色墨水，在岩石及風化物中所滲透的深度大小，來比較水對岩石及風化物的滲透情形。結果是頁岩、凝灰岩無法測出滲透情形，

風化物中以砂岩塊狀風化物的滲透情形最明顯。



照片 (C-11) 墨水對岩石的滲透

照片 (C-12) 岩石在空氣及水中的風化實驗

- 【2】凝灰砂岩及頁岩放在空氣中的岩石粉末，重量略為增加少許。放入水中後密封的岩石增加了重量，原來置於空氣中的可能溶解反而重量減輕了一些；粗砂岩在這項研究的變化就很不明顯了，分析差別原因可能是在於岩石氧化、水解、水合等的差別。(照片 C-12)
- 【3】在 25°C 時凝灰岩的風化物，將不含水脹縮的體積除以含水時的體積，比例約為千分之 50，較其他岩石風化物含不含水的脹縮比例大很多。由此可說明一點：黏土礦物在水分乾、濕之間促成的體積變化，遠比岩石及其風化物因熱脹冷縮產生的體積變化為大。這可證明在岩石的球狀風化過程中，其風化物因水分蒸發而出現的體積變化，是影響岩石球狀層紋能否產生的最重要因素。(照片 C-13)、(照片 C-14)



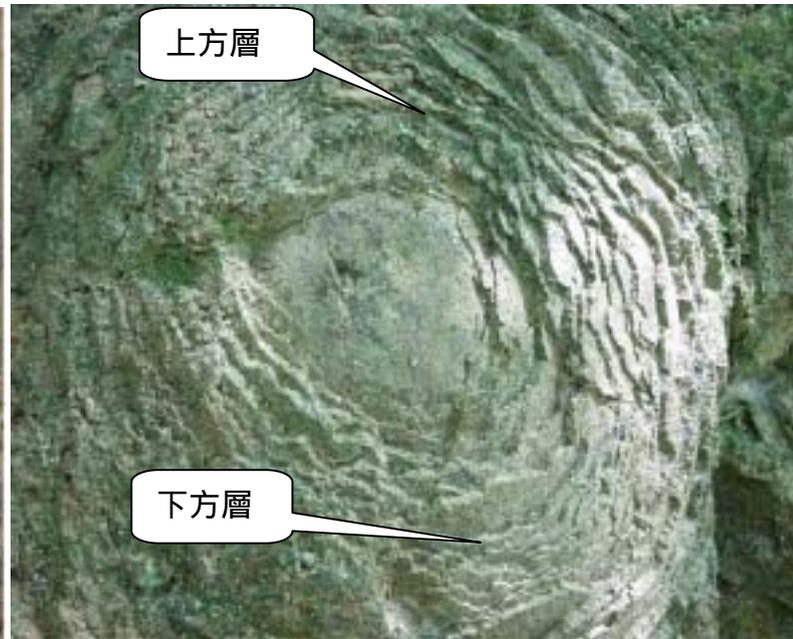
照片 (C-13) 泥裂現象

18 照片 (C-14) 風化物乾濕體積變化

【4】我們在研究過程中，發現斜坡上同一顆露岩上、下方的風化層數都不同。經過統計，圓通寺附近球狀風化岩上方層平均厚度為 0.75~0.82 cm，下方層則為 0.36~0.45 cm。在層數方面，下方比上方多 5~8 層。本項結果可印證因下方層含水量較多，乾溼膨脹頻率大，進而風化層相對較薄且多，水平面上及二格山砂岩調查的結果亦相同。照片 (C-15)、照片 (C-16) 照片 (C-17)、照片 (C-18)



照片 (C-15) 水平地上北方層紋較密



照片 (C-16) 下半部風化層數較多且薄



照片 (C-17) 下半部風化層數較多且薄



照片 (C-18) 球狀風化裡外同時進行

## 【D】同區、同環境下不同岩石的崩解及風化物發育過程探討

### ◎研究方法：

- 【1】風化物的模擬崩解情形：各種岩石的風化物調水製成塊狀，置於室外讓其自然崩解，每隔一段時間紀錄崩解情形並分析。
- 【2】利用不同孔徑篩網，將岩石的風化物依不同風化階段，分離出顆粒大小不同

的風化物及其所佔的比例。

【3】在選定的研究地點找出不同種岩石，觀察並紀錄其風化過程的差異。

◎結果分析：

【1】各種岩石的風化物經 50 天左右室外放置崩解情況如（照片 D-1）結果發現以



照片 (D-1) 風化物模擬崩解



照片 (D-2) 黏土模擬球狀風化

凝灰岩風化物的固結情況變化最少。我們又將凝灰岩風化成的黏土模擬成球狀的風化層，置於日曬不到的地方，經三個多月後也有球狀外層解理的出現。（照片 D-2）

【2】岩石風化物利用過篩法分離，顆粒大小粗略比例如下表 (D-1)：(照片 D-3) (照片 D-4)

表 (D-1) 岩石風化物顆粒大小 (左半是剛風化，右半是最終產物)

大小 風化物	剛風化				大小 風化物	最終產物			
	2 mm以上	1-2 mm	1-0.5 mm	0.5 以下		2 mm以上	1-2 mm	1-0.5 mm	0.5 以下
砂岩	0 %	0 %	86%	14%	砂岩	0 %	0 %	84.5%	15.5%
凝灰岩	96%	3 %	0.6%	0.4%	凝灰岩	6.4%	10.3%	12.1%	71.2%
頁岩	95%	4 %	1 %	0 %	頁岩	0.4%	1.8%	2.6%	95.2%
安山岩	65%	12%	2 %	21%	安山岩	25%	2.5%	5.5%	72%

上表是以孔徑不同的篩子分離出的四種岩石風化物，再以所佔質量算出百分比。由表我們可得知：四種岩石中淺色砂岩風化後，脫離母岩是以碎粒狀離開，經一段時間後風化物顆粒大小改變不大；灰色砂岩或凝灰岩以殼狀分離，最後大部分成為黃褐色黏土礦物；頁岩以方形大顆粒分離，後來幾乎都成為灰黑色黏土礦物；安山岩則形成淺白色的粉狀風化物。陽明山安山岩風化物中留篩最大顆粒大於 2 mm，幾乎是溫泉蒸氣較不能風化的黑色角閃石或輝石。



照片 (D-3) 頁岩風化物



照片 (D-4) 各種岩石及風化物

【3】國旗嶺附近有一小面積坡地，暑假期間因颱風崩塌，我們找到剛崩落的兩種岩石塊來做紀錄。約 2 個月後，由照片可知兩種岩石在相同環境、時間下風化速率的差異，其中凝灰岩表層大量剝離，粗砂岩上的刮痕幾乎沒有產生變化。(兩種岩石都在無遮蔭的空曠坡地上)(照片 D-5)(照片 D-6)；另在步道旁岩壁刮下表層淺色砂岩風化物，經過 65 天後觀察其風化速率。由上述兩組照片可證明砂岩比凝灰岩慢。(照片 D-7)(照片 D-8)



照片 (D-5) 凝灰岩與砂岩風化速率比較 21



照片 (D-6) 兩個月後的風化情形



照片 (D-7) 剛刮除表層風化物的砂岩



照片 (D-8) 90 天岩石表面的風化情形

## 【E】實驗室模擬風化與實地風化的差異情形比較

### ◎研究方法：

- 【1】本項研究是模擬岩石露出土壤部分，受較低溫夏季雷陣雨水淋澆的物理風化情形，做法是將整組樣品放入電窯中加熱溫度至  $60^{\circ}\text{C}$ ，取出後快速由上淋溫度約  $25^{\circ}\text{C}$  的水 5 分鐘，如此重覆多次，直至有明顯變化出現為止，最後利用這項變化做分析。
- 【2】國旗嶺東面斜坡的岩石風化紀錄：本項研究是以不同時期拍攝的相片來做分析比較。

### ◎結果分析：

- 【1】這項操作在實驗室經 80 次重複左右，岩石表層看來變化很大，岩石上更增加了許多節理，進而產生葉片狀（殼狀）剝離。實驗前後的照片 (E-1) 及照片 (E-2) 如下：



照片 (E-1) 實驗前的凝灰岩塊



22 照片 (E-2) 實驗 80 次後脹縮出裂縫

【2】在風化紀錄中拍攝到的照片（E-3）及照片（E-4）是相隔74天，由照片互相對照後可發現：埋在地層中風化層較薄的岩石，如果有天露出地面後，受到一次次日曬雨淋時，表面層非常容易出现殼狀剝落現象。如果原來已有均勻厚層風化物在表面層的岩石，露出地面後經一次次的水分乾、濕變化後，短時間內就會形成多層的風化層紋崩落。



照片（E-3）鹿寮坑崩落的凝灰岩



照片（E-4）經74天後的凝灰岩

【3】在長期對國旗嶺及二格山的研究紀錄中，我們發現較均質岩塊（凝灰岩）普遍共有現象是：①能呈現層層清楚球狀構造風化物的位置，皆在樹蔭下或東面半日照的斜坡附近。②日照充足地點附近的岩石較少有洋蔥狀風化物，僅少數在剛風化時呈葉片狀（殼狀）剝離母岩表面。（照片E-5）（照片E-6）



照片（E-5）樹蔭下風化層易呈球狀



照片（E-6）烈日下易呈小片狀剝離

經歸納其原因可能是：①樹蔭下或土壤中的凝灰岩石，其風化物的膠結程度較好，密度也和母岩相差不大，加上熱脹冷縮、含不含水時體積變化不多，因此可形成厚層風化物，等乾、濕度或溫度變化很大時才有機會出現明顯的剝離裂紋。②烈日下的均質岩石，因短期間溫差較大且破裂面較平滑，易形成一片片薄狀的風化物而剝離。至於頁岩因熱脹冷縮的節理發達且含不含水時體積變化大，所以容易形成方形小塊狀剝離。

※均質、脹縮、含水時體積變化可由【C】過程實驗（Ⅲ）、（Ⅵ）等證明。

## 柒、討論

在研究期間發現有幾項特別的現象，有些尚未找出真正原因，我們提出來討論如下：

- 【1】國旗嶺上的公館凝灰岩風化物層與層之間，常出現與風化物明顯不同的黑色物質。收集剝落層之間物質，利用①燃燒法（儀器如〈圖四〉）②加入鹽酸檢驗③對水的溶解三種方法鑑定後，推斷有下列幾種結果：（1）風化物層間是「碳的化合物沉積可能性最大」。（照片-甲）（2）慈雲寺後山風口附近表土風化物的黑色層是「強風吹襲土表生成氧化鐵硬殼層」。（照片-乙）（3）硫磺谷黑色顆粒狀表面風化物是「安山岩受硫化氫風化成硫酸鐵化合物，再經空氣氧化成氧化鐵」。（照片-丙）（照片-丁）



照片（甲）風化層間黑色物質

照片（乙）風化物表層黑色物



照片 (丙) 五指山層砂岩含鈣質



照片 (丁) 硫酸鐵氧化成黑色氧化鐵

【2】二格山兩個球狀風化富集處，在研究時發現其中一處(0.7K)，是南港層砂、頁岩互層的頁岩受上層重量，而向外凸出成球狀風化。但另一處(0.5K)是原已向外伸出的砂岩露頭再風化成洋蔥狀，若仔細觀察其球狀風化的核心，可發現幾乎是頁岩(節理不成球狀)而不是砂岩。依我們討論歸納原因，可能是在第三紀更新世南港層砂岩沉積時，塊狀的頁岩沉積其中造成的結果。(照片-戊)(照片-己)



照片 (戊) 核心是灰黑色頁岩風化物



照片 (己) 玄武岩球狀風化物的結核

## 捌、結論

### 【1】研究區域的岩石：

- ①不同種岩石的膠結程度：國旗嶺凝灰岩 > 硫磺谷砂岩 > 硫磺谷安山岩 > 國旗嶺頁岩 > 二格山砂岩 > 二格山頁岩 > 國旗嶺砂岩。
- ②不同種岩石的均勻度：國旗嶺凝灰岩 > 二格山砂岩 > 二格山頁岩 > 國旗嶺頁岩 > 國旗嶺砂岩。
- ③同一塊岩石本身的均勻度：國旗嶺凝灰岩 > 二格山砂岩 > 二格山頁岩 > 國旗嶺頁岩 > 國旗嶺砂岩。
- ④熱脹冷縮程度：頁岩 > 凝灰岩 > 砂岩。
- ⑤敲裂面的平滑程度：頁岩 > 凝灰岩 > 安山岩 > 砂岩。

### 【2】研究區域內的岩石風化物：

- ①初級風化物膠結度：國旗嶺凝灰岩 > 二格山砂岩 > 頁岩、安山岩。
- ②熱脹冷縮程度：凝灰岩風化物 > 頁岩風化物 > 砂岩風化物。
- ③母岩與剛被風化物密度差：凝灰岩最小，其次為二格山砂岩。
- ④風化物含不含水體積變化：凝灰岩 > 二格山砂岩 > 頁岩、安山岩。
- ⑤最終風化物的均勻程度：凝灰岩 > 頁岩 > 砂岩。

### 【3】研究區域內的岩石風化速率：

- ①中和南勢角 國旗嶺：公館凝灰岩 > 淺色粗砂岩（木山層）。
- ②石碇二格山 桫寮產業道路旁：頁岩 > 細砂岩（南港層）。

【4】均質岩石產生球狀風化的原因：①表面風化層較少的岩石，若在日曬充足區易產生薄殼狀脫落。②若處在使岩石風化因素變化較少區域，將形成均勻厚層風化物。當乾季來臨時，乾燥後的風化層因體積變化量大，易與母岩脫離而成為球狀層，包住了核心的母岩。

【5】在酸性溫泉區的岩石，因受蒸氣中  $H_2S$  及泉水等換質及溶解作用，非常快速的形成密度較小、較均勻風化物層，進而會出現少層（不超過兩層）的球狀（洋蔥狀）風化層構造。

【6】單獨裸露在外的頁岩，受熱脹冷縮影響會產生豐富的細小節理，風化物不易結成球狀層，但在砂、頁岩互層的露頭地方，因受上下層

土體重量擠壓產生向外營力，厚層頁岩會有球狀層風化物出現。

【7】其它種類岩石不易產生球狀風化的原因：①粗粒石英砂岩風化速率慢，風化物的石英顆粒多且膠結性很小（類似建築用的細砂），又受到外力作用而產生解理時，裂解面是非常的不平整而且風化物是以碎粒狀呈現，自行分散脫離而不易結成塊狀，因此很難有均勻層狀的風化物，所以風化物剝離時不會出現殼狀或層狀。②頁岩層與層之間阻力較小，每層在熱脹冷縮時更容易自行產生繁密的節理，風化物易形成不規則塊粒狀而崩離岩石表面，因此風化物也很難在原母岩上呈現殼狀或層狀。

【8】容易出現殼狀剝落的岩石，其風化物若富含黏土礦物就容易形成  
石洋蔥！

## 玖、參考資料

- 1 臺灣的地質現象（第一集）（民77）。經濟部中央地質調查所。
- ②陳文山（民86）。岩石入門。台北市：遠流出版公司。
- ③余炳盛、方建能（民89）。認識台灣本土礦產。國立台灣博物館。
- ④地質（民84）。第十五卷第二期。經濟部中央地質調查所。
- ⑤俞何興、陳汝勤（民85）。台灣海域之沉積盆地。國立編譯館。
- ⑥鄧屬予（民88）。台灣的沉積岩。經濟部中央地質調查所。
- ⑦何春蓀(1989)。普通地質學。台北：五南書局。
- ⑧丁驥（民74）。地形學。國立編譯館。

## 評 語

031736 岩石球狀風化的探討

本作品探討影響岩石生球狀風化之主要因素，包括溫度、岩石之均質性、岩石性質是否有裂縫等，本作品尚具學術意義。