

鬼斧神工的風化窗

國中組地球科學科第三名

高市師院附中國中部

作者：王懷鵬、劉懿璇

張嘉文、江信怡

指導教師：胡金印

一、研究動機

大自然是一本多變化且內容豐富的百科全書，不論是無垠的沙漠，浩瀚的大海，都孕藏了許許多多的奧秘，因此激起我們接近她的興趣。在一次老師領導的墾丁國家公園自然景觀實察中，發現了許多形狀變化多端，猶如一個一個窗戶排列在岩石上的小洞穴景觀，經過老師的指點及查閱資料後，明白這就是「風化窗」地形景觀，在好奇心及對環境景觀的關心下，我們決定同心協力地深入探討她的奧秘。

二、研究設備及器材

- 1 野外：傾斜儀、相機、筆、皮尺、直尺、採集袋、鐵鎚、地形圖、硬度計、風向儀、稀鹽酸、紀錄表格。
- 2 室內：皺紋紙、跳高架、相機、鐵絲、電風扇、筆、直尺、紀錄表格。

三、研究過程及方法

- 1 我們首先觀察海邊種種的風化地形，將「風化窗」定義如下：岩石表面上，洞口面積大於1公分但尚未前後貫穿的洞穴。又將「蜂窩岩」定義如下：孤立岩塊，其上風化窗遍布，有如蜂窩，稱為蜂窩岩。
- 2 我們以恒春半島的佳樂水、青蛙石兩站作為觀測地點，實地觀察佳樂水砂岩、頁岩上之蜂窩岩及青蛙石礫岩上之蜂窩岩，並抽測

一百六十個風化窗的平均直徑、平均深度、密度（單位面積內洞數），以歸納出同一種岩石，不同時期風化窗的特徵。

3. 實地觀察風化窗，而後提出對風化窗形成原因的假設：(1)風蝕程度，(2)岩石組織，(3)岩石硬度，(4)生物影響，(5)空曠程度，對風化窗的形成有否影響？更進一步的加以測量實驗驗證：
 - (1)設計風成實驗：測量風速、風向、風化窗的面積、洞底延伸方向，以證實風蝕程度對風化窗的影響。
 - (2)測量不同的岩石組織和風化窗的洞口平均直徑、深度，發達程度的關係，以證實岩石組織對風化窗的影響。
 - (3)測量不同硬度的岩石和風化窗的洞口平均直徑、平均深度的關係，並觀察各種硬度的岩石有無特殊景觀，以證實岩石硬度對風化窗的影響。
 - (4)找尋岩石上的生物遺跡，並觀察有無風窗穿插其間，或是遺跡上已有風化窗的雛形，以證實生物對風化窗的影響。
 - (5)將地形分為空曠地形及不空曠地形，並測量其間風化窗的平均直徑、平均深度、密度，以證實空曠程度對風化窗的影響。
4. 實地觀察蜂窩岩上各種風蝕地形與風化窗地形的關係，並加以攝影，收集資料，並根據對風化窗成因的研究結果，以推斷蜂窩岩的發育過程。

四、實察實驗結果

(一)風化窗的分類及其特色（圖 1、2）

我們以風化窗洞口的直徑及洞的深度分為三期（表 1）

表 1 風化窗的分類

型 期	幼年期	壯年期	老年期	
	小型	中深型	大深型	（礫岩）
		中淺型	大淺型	（砂岩）

- 1 幼年期—根據圖 1、2，我們把佳樂水 a 區，青蛙石 d 區定為幼年期。

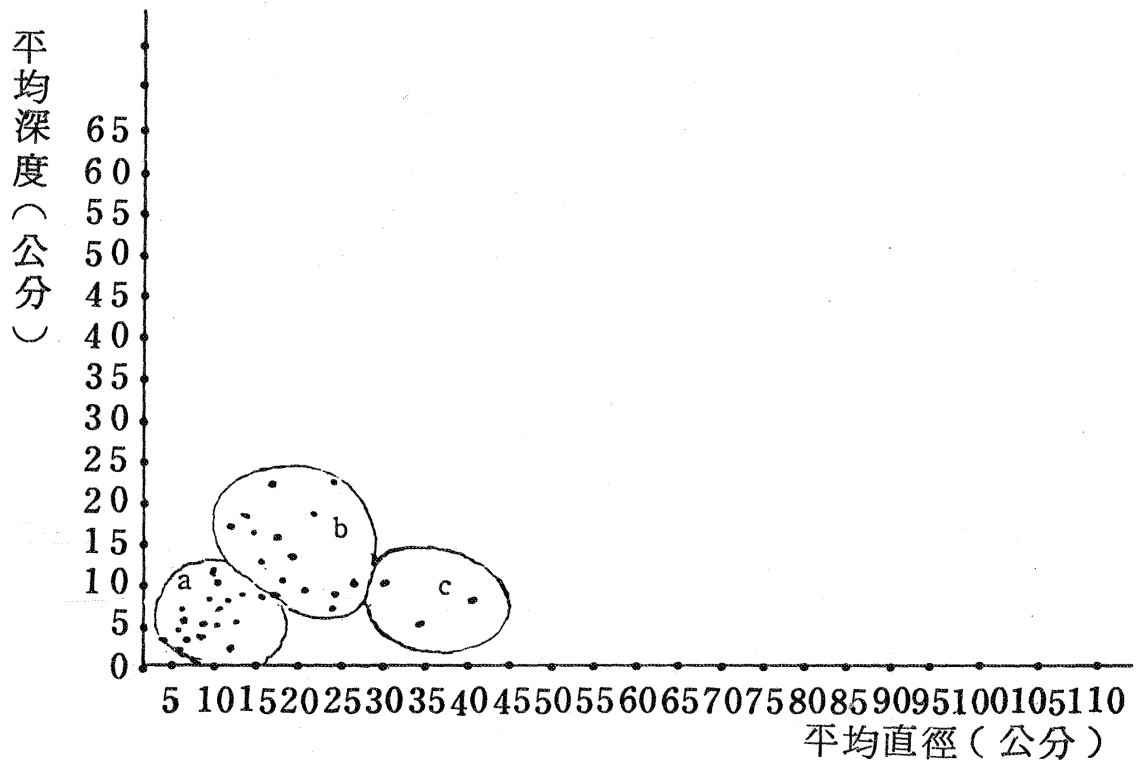


圖 1 佳樂水風化窗之分類

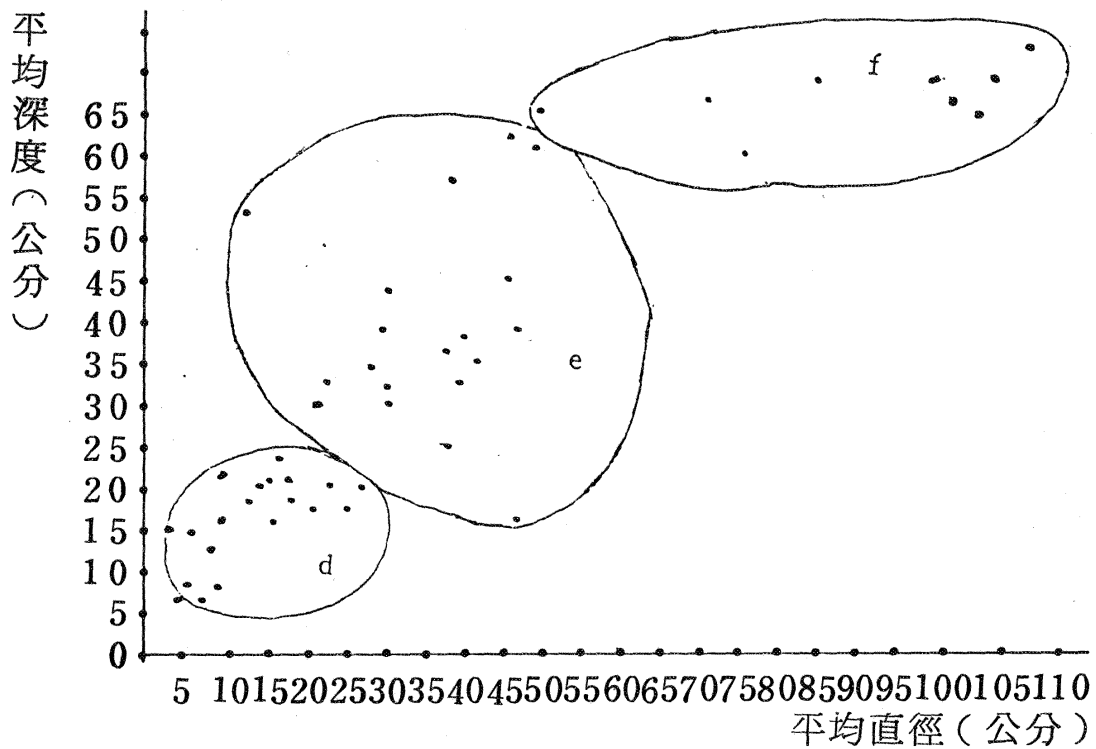


圖 2 青蛙石風化窗之分類

特徵：(1)洞口直徑小，洞口直徑和深度約略相等（圖 1、2、表 2）。

(2)洞形多為圓形。

(3)洞底多與洞口平面呈垂直方向延伸。

表 2 幼年期風化窗洞口直徑和深度之比較

	最大(公分)	最小(公分)	平均(公分)
直 徑	25.0	1.0	13.0
深 度	22.0	2.0	12.0

2 壯年期—根據圖 1、2，我們把佳樂水 b 區，青蛙石 e 區定為壯年期。

特徵：(1)洞深且直徑大，但洞口深度大於洞口直徑（圖 1、2，表 3）。

(2)洞形多樣化，有長方形、多邊形、橢圓形（表 4）。

(3)洞底有向上或向左右方向發展之趨勢。

(4)洞和洞之間間隔較小。

表 3 壯年期風化窗洞口直徑和深度之比較

	最大(公分)	最小(公分)	平均(公分)
直 徑	50.0	12.0	31.0
深 度	70.0	7.0	38.5

表 4 壯年期洞形比例

	長方形	多邊形	橢圓形	其 他
個數(%)	23	30	43	4

3. 老年期—根據圖 1、2，我們把佳樂水 c 區，青蛙石 f 區定為老年期。

特徵：(1)洞口直徑大、深度淺，洞口直徑比洞口深度大（圖 1、2，表 5）。

(2)礫岩洞形多為橢圓，砂岩為多樣化。

表 5 老年期風化窗洞口直徑和深度之比較

	最大(公分)	最小(公分)	平均(公分)
直 徑	117.0	32.0	74.5
深 度	80.0	5.0	42.5

(二) 風化窗的形成原因：

1. 風蝕程度

證據(1) 風化窗洞中有沙粒，幼年期風化窗中沙粒最少，壯年期次之，老年期最多。

(2) 老年期的風化窗，有風蝕刻痕、凹壁地形。

(3) 迎風坡較發達，背風坡及反射坡較不發達。

(4) 洞底多向上延伸，向其他方向延伸較少（表 6）。

(5) 佳樂水和青蛙石皆位於海邊，年平均風速高達 $3.68 \text{ m} / \text{sec}$ ，11 月高達 $5.36 \text{ m} / \text{sec}$ ，有助於風蝕作用。

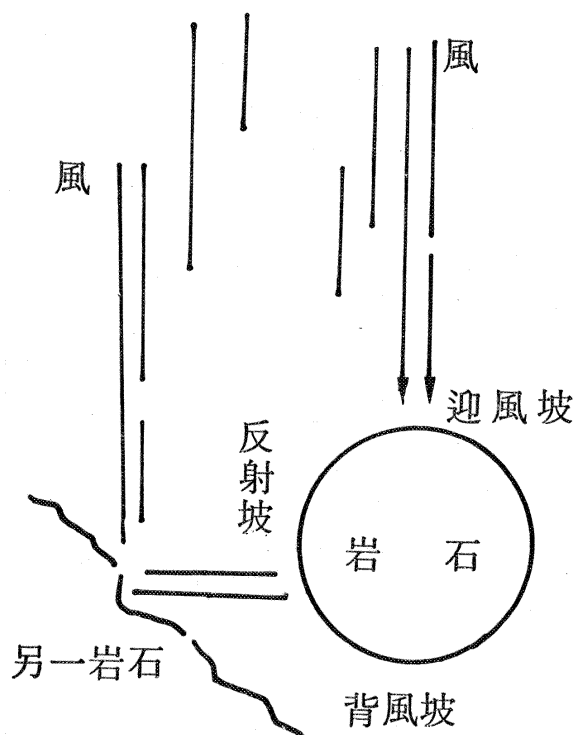


圖 3 迎風坡、背風坡、反射坡釋意圖（上視圖）

表 6 洞底延伸方向之比較

洞底延伸方向	向 下	平 直	左 或 右	向 上
個 數 (%)	6	16	26	52

2. 岩石組織：

證據(1) 風化窗在幼年期時都是沿著層理線先進行風化作用，致使部份岩石產生凹陷，有利於風夾帶砂石進行風蝕作用

並呈線狀發展，其後（壯年期、老年期）再往其垂直方向發展。

(2)礫岩岩石組成顆粒較大，其組成顆粒和膠結物之間的不連續面易因風化作用而使組成顆粒崩落，有利於風蝕的進成，而砂岩組成顆粒較小，故發達情況不一。

3. 岩石硬度：

證據：頁岩硬度 3.5，砂岩硬度 5，礫岩硬度 5.5，而頁岩風化窗最小，砂岩次之，礫岩最大（圖 4、5、6）。頁岩風化窗洞口平均面積 3.14 平方公分，砂岩洞口平均面積 54.08 平方公分，礫岩洞口平均面積 916.83 平方公分。

4. 生物影響：

證據：我們在海邊發現穿孔貝所鑿的洞上，有即將形成風化窗的雛形，也有的已形成了風化窗。

5. 空曠程度：

證據：空曠的地方，風化窗發展較發達，不空曠的地方較不發達（表 7）。礫岩在空曠地形下洞口平均面積為 2920.99 平方公分，在不空曠地形下為 200.96 平方公分。而砂岩在空曠地形下洞口平均面積為 113.04 平方公分，在不空曠地形下為 94.99 平方公分。

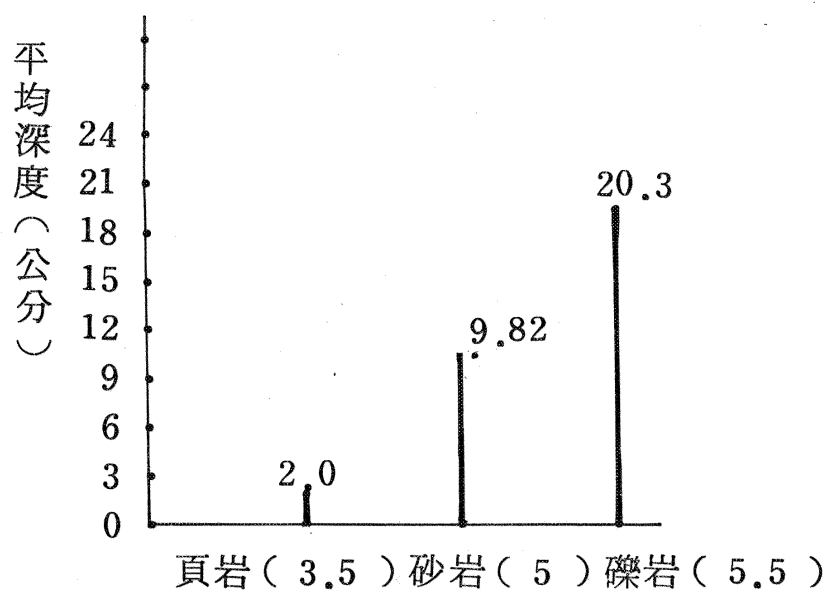


圖 4 岩石硬度和風化窗深度的關係

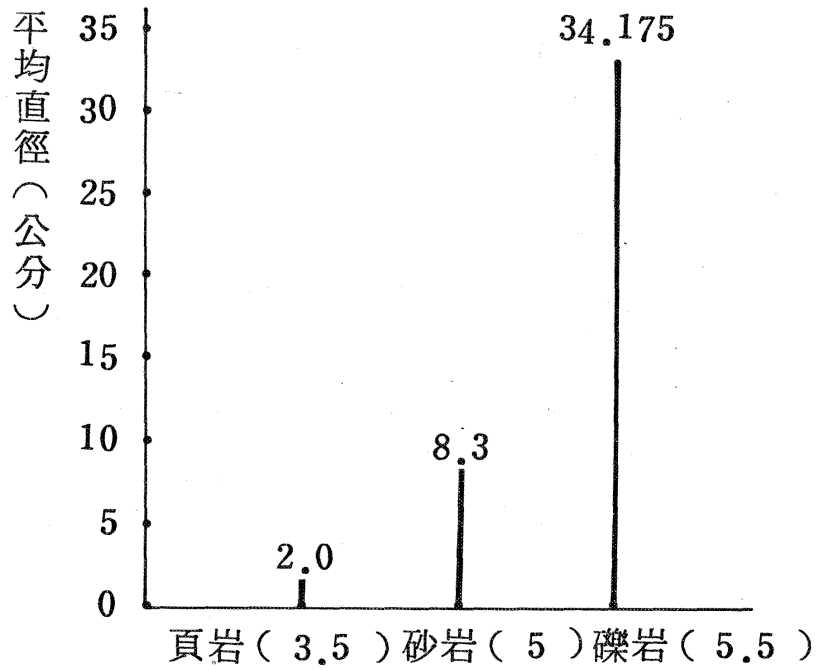


圖 5 岩石硬度和風化窗直徑的關係

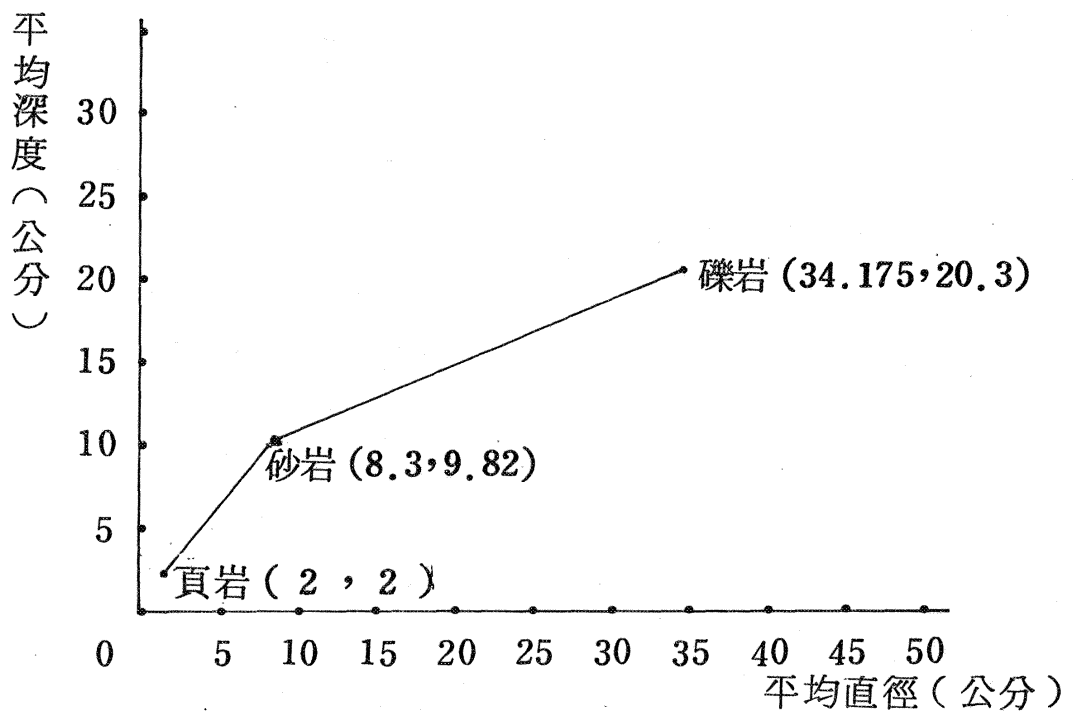


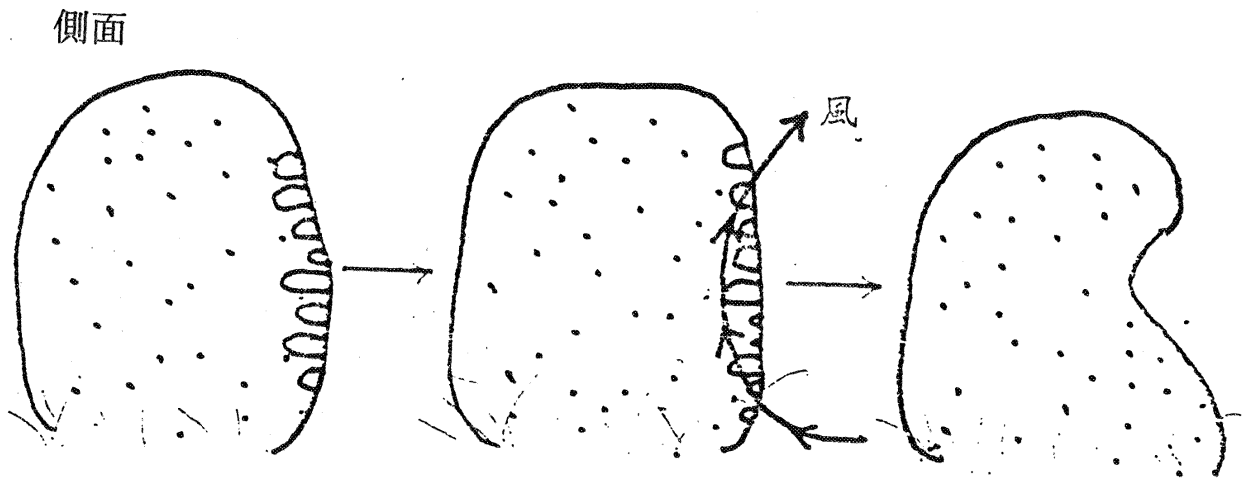
圖 6 岩石硬度和風化窗直徑與深度的關係

表 7 空曠程度對風化窗的影響

	青 蛙 石		佳 樂 水	
	空 曠	不空曠	空 曠	不空曠
平均深度 (公分)	53.0	20.0	9.0	8.0
平均直徑 (公分)	61.0	16.0	12.0	11.0

(三) 蜂窩岩發育過程：

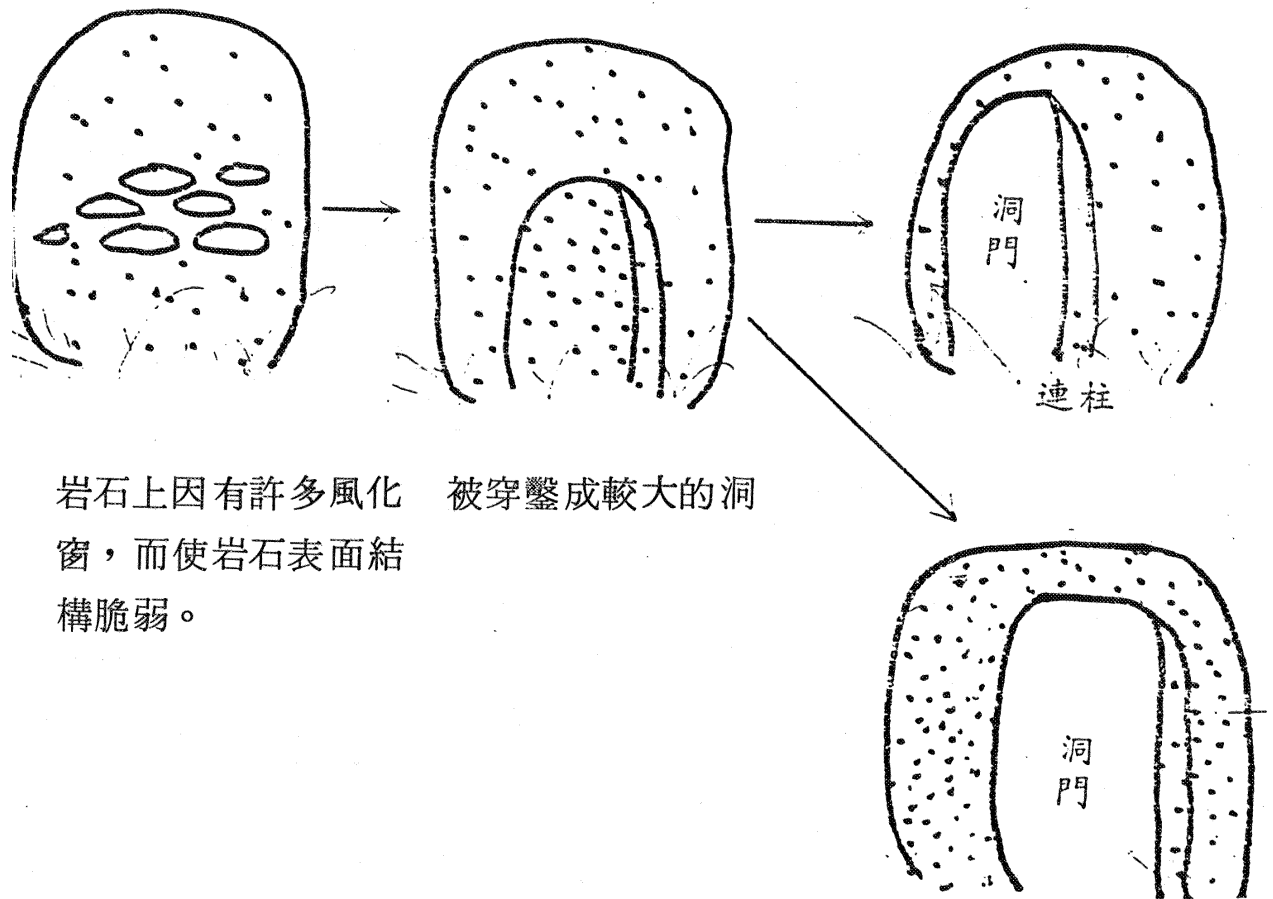
風化窗在剛形成的時候，多沿著層理凹陷的部分砂岩，或原本岩石的小洞和脆弱的地方，或岩石顆粒與膠結物之間的接觸面礫岩開始發展，有的是利用穿孔貝所鑿的洞再繼續擴大發展，而形成風化窗。首先形成風化窗的幼年期，再進而發展成為壯年期，最後發展成為老年期。在老年期就可發現不少奇妙的景觀，因為老年期的風化窗都十分的大且深或大且淺，有的形成凹壁（圖 7），有的形成了洞門，而洞門又有連柱和天然橋的區別（圖 8）。另外，老年期的洞中，仍會受到侵蝕再生成小洞，這就是洞中洞。有些老年期的風化窗因為洞口面積很大，洞壁又被侵蝕消失，致使原來的風化窗景觀盡失，而形成比原來岩石表面平滑的岩壁，因而又有新的風化窗沿著脆弱的地方，開始發育，回到幼年期景觀，這就是回春現象。



岩石上因為有風化窗，而使表面結構脆弱。
風因遇到阻擋而形成反射風。
經過長年累月的風蝕，再加上岩石本身脆弱，極易形成風蝕凹壁。

圖 7 風蝕凹壁形成示意圖

斜正面



岩石上因有許多風化窗，而使岩石表面結構脆弱。被穿鑿成較大的洞門。

圖 8 風蝕洞門形成示意圖

五、研究討論

- 1 以岩石硬度為操縱變因，則岩石越硬，風化窗體積愈大。（見圖 3、4、5）。
- 2 以時間長短為操縱變因，則岩石受侵蝕時間越久，風化窗愈大，形狀亦愈多樣化。
- 3 依據我們觀察的廿塊蜂窩岩中，可繪製如圖 9、10 之圖示，由此再與圖 11、12 比較，我們得知，風化窗的發達情況受風蝕影響極大，但是發現它和季風的關係却不很密切，可能和地區性風向有關，因為地區性風向隨著海陸分布，空曠度、植物的生長方向等之改變而改變，是故我們無法掌握有關局部地區風向的明確資料，而更深入探討風蝕對風化窗的影響。

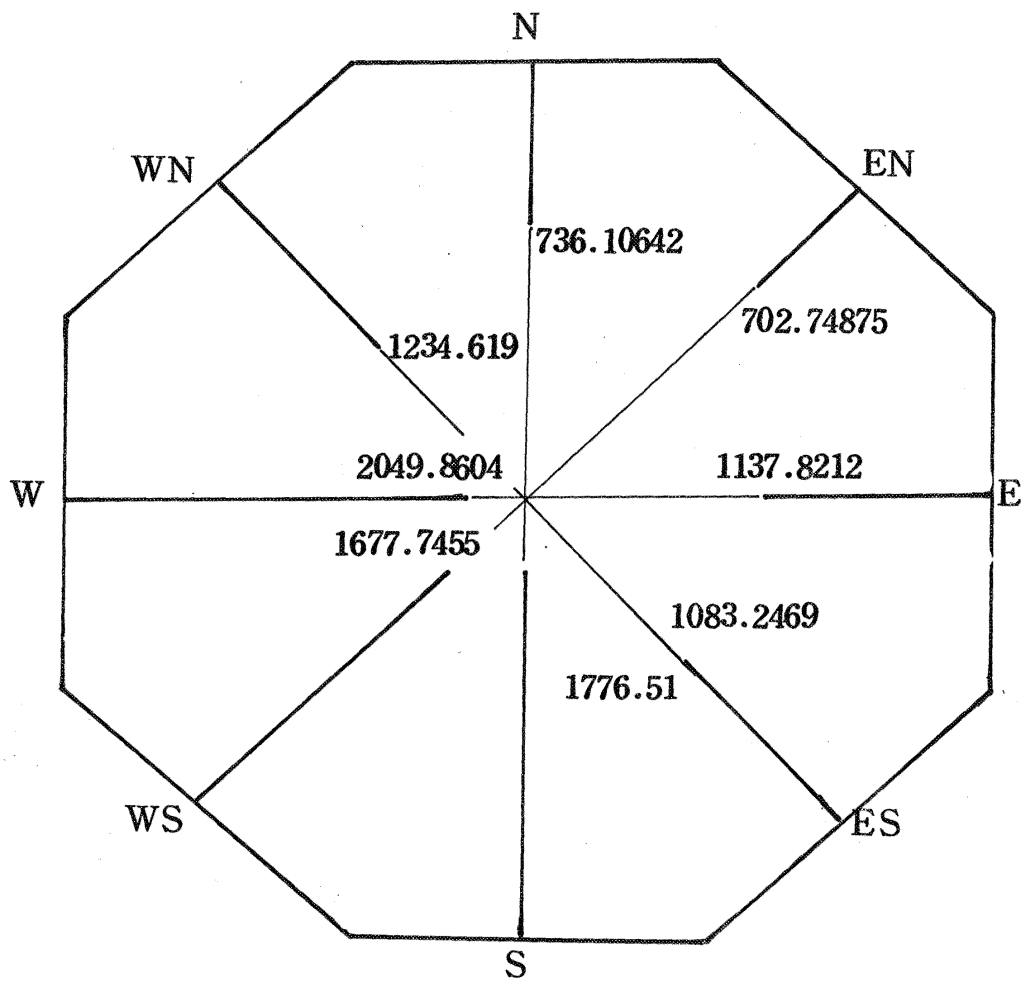


圖 9 青蛙石單位面積 (2400 cm²) 內各方面風化窗洞口面積之比較

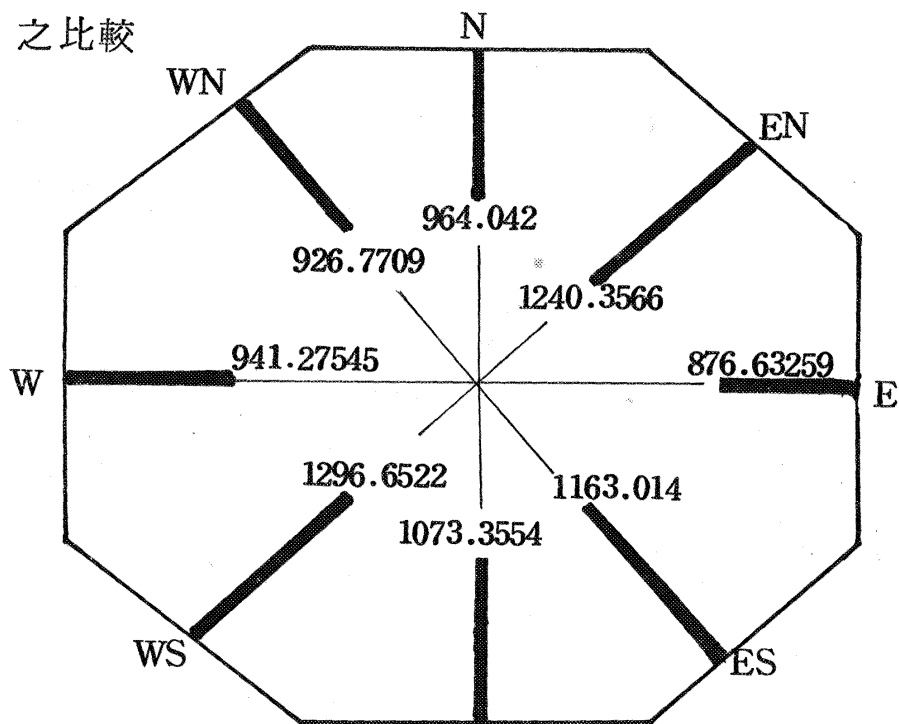


圖 10 住樂水單位面積內各方位風化窗洞口面積之比較

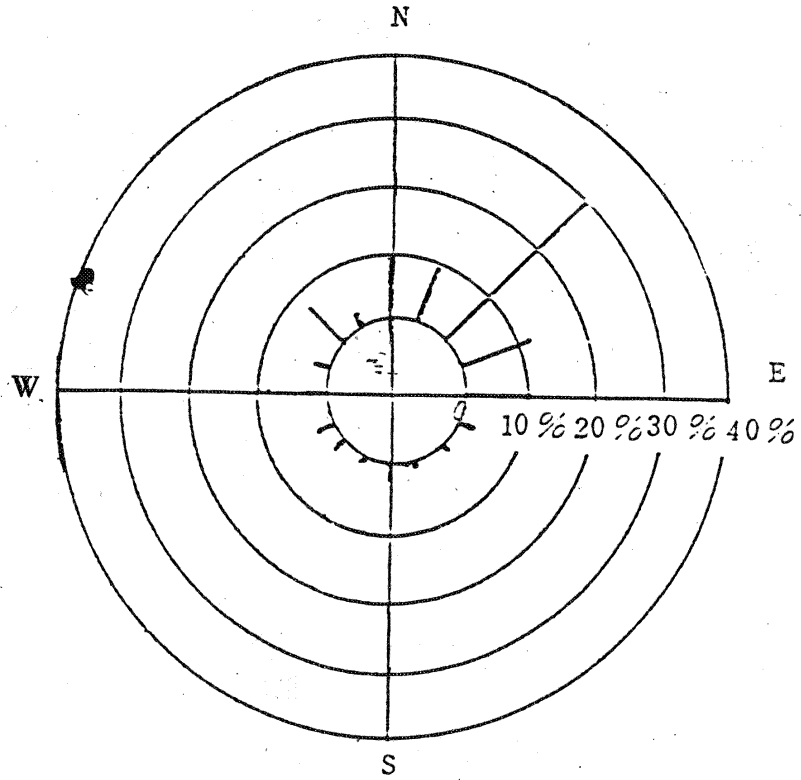


圖 11 恒春半島季風風向風花圖 (1971 ~ 1980 年平均)

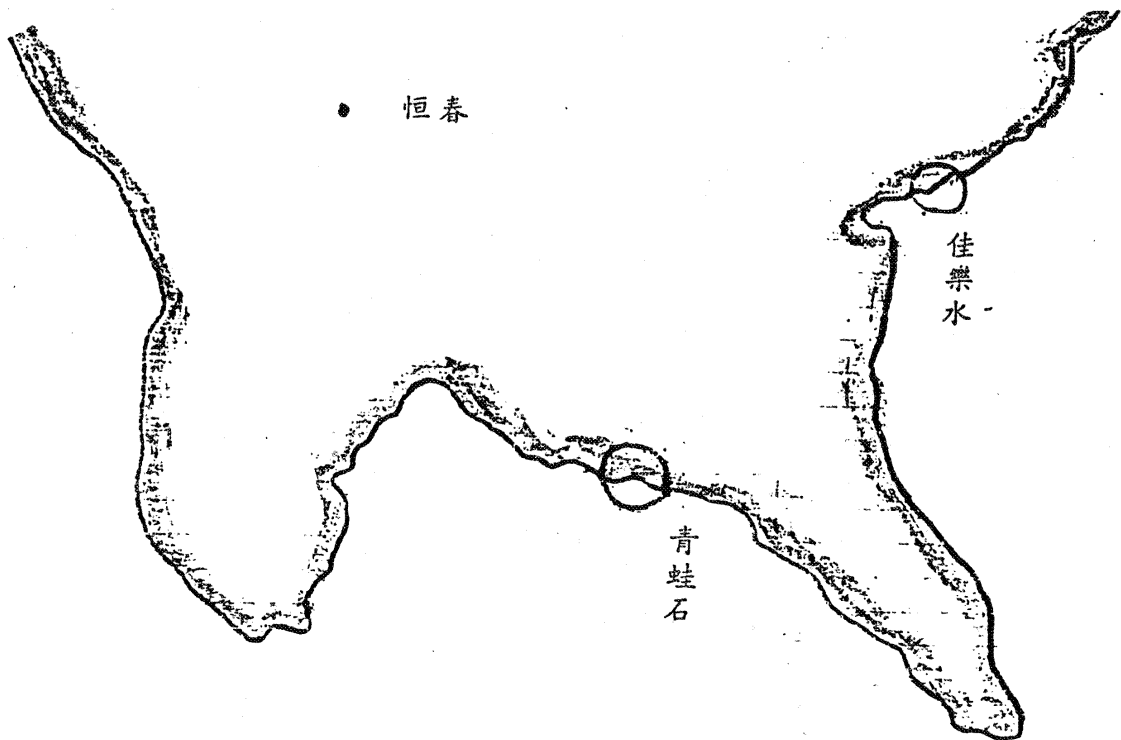
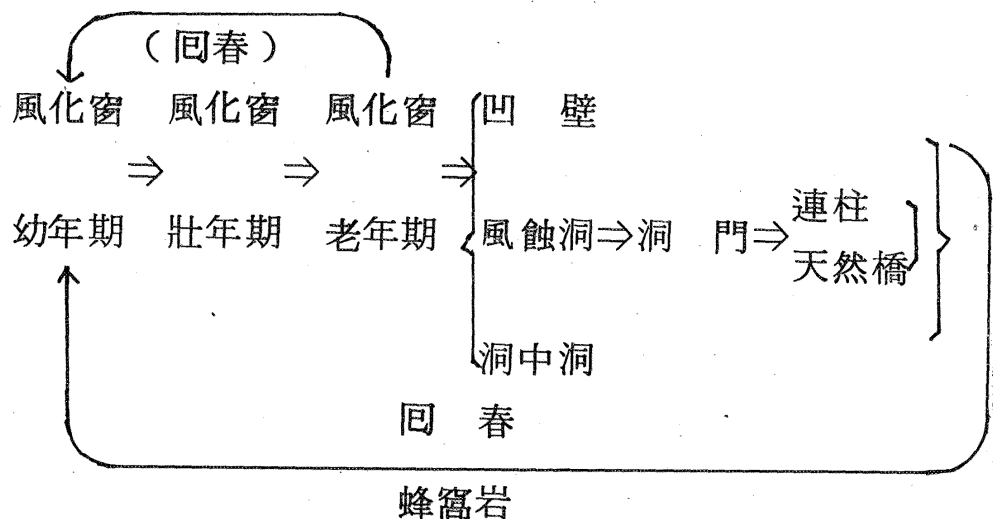


圖 12 佳樂水、青蛙石海陸分布圖

六、結 論

1. 風化窗可依洞口面積和深度而分為幼年期、壯年期、老年期之類。
 - 。幼年期洞口直徑略等於深度，多呈圓形；壯年期洞口直徑小於深度，洞形多樣化；老年期洞口直徑大於深度，洞形多為橢圓形。
2. 風化窗的成因經本研究結果可歸納如下：
 - (1) 風蝕程度愈強，風化窗發育愈旺盛。
 - (2) 岩石組成顆粒越大，顆粒越容易風化而崩落，風再沿崩落下的小洞周緣磨蝕而使風化窗越容易發育。
 - (3) 岩石的層理較岩石其它的部分脆弱且具有凹洞，風就較易沿著凹洞繼續發展擴大。
 - (4) 岩石越硬，因為岩壁較不易崩落，所以風化窗的體積愈大。
 - (5) 生物所穿鑿的洞，可促使風化窗更易發展。
 - (6) 地形愈高曠，風化窗愈發達。
3. 蜂窩岩微地形之發展過程：



七、參考資料

1. 石再添(一九七五)：台灣南端珊瑚礁海岸域的地形學計劃研究，師大地理研究所No 1，P 80 ~ P 81。
2. 何春蓀(一九八一)：普通地質學，五南圖書出版公司。P 163，P 316 ~ P 319。

3. 王鑫（一九八〇）：台灣的地形景觀，渡假出版有限公司。P97。
4. 內政部地政司（一九八二）：屏東縣圖，聯勤總部測量署。
5. 石再添（一九七三）：中山自然科學大辭典，台灣商務印書館股份有限公司。P 209。
6. 王鑫（一九八五）：漢聲小百科，英文漢聲出版有限公司。
P 48 ~ P 53。

評 語

優點：

- 1 題目生動適中，對自然現象有敏銳觀察力—「風化窗」現象。
- 2 對「風化窗」之觀察仔細，並作分類，符合科學精神。
- 3 研究內容資料表示簡明。
- 4 結論有條理且完整。

有待改進之處：

- 1 「風化窗」之大小形狀受岩質或氣候狀況何者之控制為重？應可進一步觀察分析。
- 2 節理與風化窗之關係未作足夠說明。
- 3 可作室內模擬實驗。