

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

080513

深層崩壞的祕密

學校名稱：臺南市新化區 薌拔國民小學

作者：	指導老師：
小五 蔡沁鴿	許崑泉
小五 張魁元	
小五 陳偉傑	
小五 黃如羚	
小五 蔡沁蓉	
小五 李紫菁	

關鍵詞：方解石、擦痕、風化

深層崩壞的祕密

摘 要

本次研究發現深層崩壞真的是世紀的大山崩，主要的山崩原因有超級雨量、溫度、岩石容易風化、斷層、數量很多的方解石脈斷裂擦痕、順向坡及坡腳破壞等。獻肚山的野外調查發現頁岩非常的容易風化，加上非常多的岩石擦痕及方解石脈，是頁岩和砂岩塊再次嚴重破裂的重要原因。另外，深層崩塌的岩石材料會有來源區、輸送區和堆積區等類似土石流的情形也是很少見到的奇特現象。

研究發現深層崩塌更加速風化的速度，目前看起來好像已經穩定，但是大岩塊碎裂的小碎粒，如果沒有植物保護，可能會有再次崩塌的危險。

關鍵詞：方解石、擦痕、風化

壹、研究動機

我們學校因參加教育部防災教育深耕實驗，所以有機會常常到戶外觀察各類災害。記得去年全國科展有一個題目「高屏溪沙很大」，讓我們想一探這些大量的河床沙土是來自於哪裡？與老師討論後，大家決定前往神秘的「獻肚山」，看看是什麼原因造成這些大量的土石崩落，讓河床產生嚴重堆積。

研究過程中，我們期待這個神秘的地方，那裡可以學到自然與生活科技課本「地層、岩石與礦物」的延伸內容，可以找到一些山崩的蛛絲馬跡，於是我們帶著敬畏的心，和指導老師一起前往這座「世紀大山崩」的現場，準備解開它的神秘面紗。

貳、研究目的

- 一、調查獻肚山地質現況。
- 二、了解深層崩塌的原因。
- 三、查出獻肚山的地質脆弱的證據。
- 四、觀察岩石的風化速度。
- 五、告訴居民如何避開這些危險地區。

參、研究設備及器材

甲仙地質圖、Google Earth、繪圖軟體 Paint、皮尺、岩樣、澆水器、塑膠盆
地質錘、採集袋、放大鏡、顯微鏡、相機、稀鹽酸

肆、研究過程與結果

一、文獻探討：

(一)深層崩壞是什麼？

日本 NHK 電視台在莫拉克風災後一年，與京都大學合作來到高雄小林村做調查，認為一般的土石流是三公尺以內的土石被刷下來，而深層崩壞是大約在 25 度的平緩山坡，因超大雨量加上較深的岩石破壞及碎裂，在雨量超過 400 毫米後，會使破碎的岩盤整個泡在水中，並有浮出的現象，瞬間向下滑動造成深層的大山崩，日本稱「深層崩壞」是新型態的災害。

(二)鹽水坑頁岩層：

它是深灰色頁岩所組成，有時候會夾一些凸鏡狀的粉砂岩和砂岩。因為缺乏頁理面，所以頁岩的大部很像泥岩。在石灰質的頁岩中還會發現一些化石、紅色鐵質結核和小的方解石脈，本層的全厚約 200 至 250 公尺。

(三)糖恩山砂岩層：

屬於灰色細粒的砂岩是組成本層的主要岩石，砂岩大多是塊狀，有不規則的節理，常常形成陡崖或深谷，岩層的層理不明顯。有時含有不少的泥質，所以有時是泥質砂岩或砂質泥岩。砂岩常夾有許多厚層的深灰色頁岩和灰色砂質頁岩，全層厚度為 450 至

500 公尺。

二、獻肚山走一回(地質概況)

(一)出發前我們先找一下 Google Earth，了解一下它的崩壞情形，計畫怎麼接近這個神祕的地方。(如圖一)



圖一 我們在獻肚山的研究區域

(二)我們也找了中央地質調查所的線上地質圖，想要看看獻肚山附近到底是什麼樣的地層，發現崩塌區主要為頁岩地層。(地層分佈如圖二)



圖二 中央地質調查所查到的獻肚山地質圖

(三)大家來算算獻肚山的崩塌面積



圖三 獻肚山衛星空照圖近似梯形可算出崩塌面積

獻肚山的崩塌區看起來很像梯形，於是我們把它的衛星圖(如圖三)印下來(A4 大小)，從比例尺算出它的上底、下底和高，面積計算列於下面：

1.先算比例尺

$$600\text{m} : 5.5\text{cm} = 60000\text{cm} : 5.5\text{cm} = 10909 : 1$$

2.上底實際長度

$$5\text{cm} \times 10909 = 54545\text{cm} = 545.45\text{m} \approx 545\text{m}$$

3.下底實際長度

$$11\text{cm} \times 10909 = 119999\text{cm} = 1199.99\text{m} \approx 1200\text{m}$$

4.高的實際長度

$$22\text{cm} \times 10909 = 239998\text{cm} = 2399.98\text{m} \approx 2400\text{m}$$

5.利用梯形公式算出崩塌的大約面積

$$(545 + 1200) \times 2400 \div 2 = 2094000 \text{ m}^2 \approx 209 \text{ 公頃}$$

新聞報導獻肚山的崩塌面積有 70 公頃，而我們算出約有 209 公頃，怎麼差異這麼大！經過大家的討論後，可能是下方的堆積區被我們多算了，但實際的崩塌範圍真的很大，我們一天來回只能走不到一半的距離！

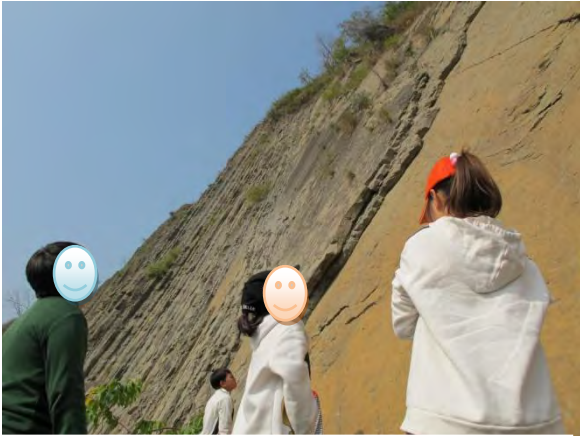
(四)獻肚山目前的地質地形

我們從去年到今年為止已四次進入獻肚山調查，每次到這裡都有不同的發現，為了安全考慮，一定要找不會下雨的時間進入，以下是我們現場看到的獻肚山地質介紹。

1.獻肚山對面地層的現況

獻肚山上半部的地層可以看到面向西邊的地層層面，對岸的地層剛好相反，地層非常陡

峭，而且是面向東邊。溪流的兩邊地層遙遙相對，所以小林村應該是位在一個向斜構造上。(如照片 1、2)



照片 1 獻肚山對面的岩壁陡峭，上部是頁岩層，下部是砂岩層。



照片 2 旗山溪的河床可以見到比較平緩的砂岩層，這裡應該是傳說中小林向斜的軸部。

2.目前的小林村現況

小林村目前完全看不出以前曾經是山中的小城，只有看到一顆又一顆的大塊岩石，河床清楚可見，地上的所有東西大部分都被大水沖走了。(如照片 3、4)



照片 3 獻肚山下的旗山溪河床堆積都不見了。



照片 4 小林村目前掉落許多頁岩大石塊，已看不出以前的模樣。

3.發現河階台地被土石覆蓋

從南側公路上山，可以發現舊的河階台地，有許多鵝卵石為證，上部已被獻肚山的落石覆蓋，我們終於知道這裡也曾是舊河流的路徑了。(如照片 5、6)



照片 5 獻肚山下的河階上有礫石堆積，是舊河道的證據。



照片 6 舊河道的上面已被獻肚山的落石覆蓋了。

我們沿著馬路進入獻肚山，沿路幾乎都是頁岩，查地質圖應該是鹽水坑頁岩層。走上河階是岩石的主要堆積區，堆滿了砂岩和頁岩，頁岩幾乎已碎裂成小碎塊。(如照片 7、8)



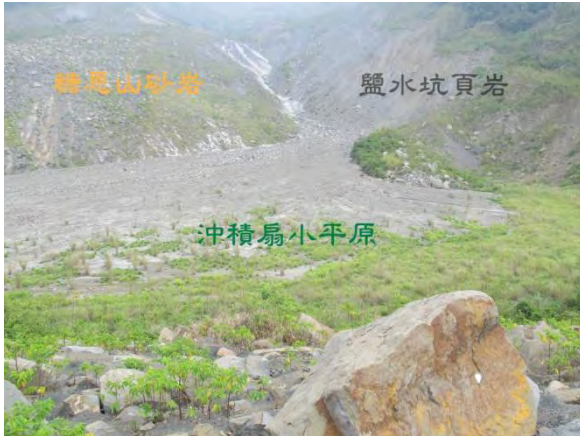
照片 7 獻肚山下道路入口處可以看到大片的鹽水坑頁岩層。



照片 8 階地堆積區堆滿了砂岩及頁岩碎塊。

5. 獻肚山中段的地質現況

我們爬了大約 1.5 小時終於到了中段的小平原，看起來是一個沖積扇，右邊有一大片頁岩蓋在砂岩層上，與地質圖上面的記載有些不一樣，這裡再往上就是真正的崩塌區，是一個標準的順向坡，為了安全著想我們就不再繼續往上爬了。(如照片 9、10)



照片 9 獻肚山中段有一沖積小平原，但是沒有什麼大石塊，應該是滑動區。



照片 10 獻肚山海拔約 600 公尺的地方可以看到頁岩覆蓋在砂岩層上，與地質圖上的記載不同。(地質圖為糖恩山砂

三、獻肚山地質為何脆弱？

(一)發現頁岩驚人的崩壞速度

1. 頁岩的崩解速度真的很嚇人，經過風吹日曬雨打，碎裂的情形就會更加嚴重。如果再加上大雨的沖刷，下次見的的情形可能都會不一樣。

2. 經查閱維基百科，知道頁岩多形成於靜水的環境中，泥沙經過長時間的沉積，所以經常存在於湖泊、河流三角洲地帶，主要是由黏土沉積經壓力和溫度形成的岩石。另外，頁岩節理很發達，再加上透水性比較差，在大雨及太陽照射時，我們推測它應該很容易碎裂。(如照片 11~14)



照片 11 頁岩風化碎成小顆粒



照片 12 頁岩碎塊的後面是獻肚山



照片 13 頁岩風化碎成小顆粒



照片 14 獻肚山北側的地面頁岩幾乎全部風化成小碎塊

3.發現球狀風化

球狀風化又稱為「洋蔥狀風化」，是受熱膨脹的結果，在獻肚山的下段及中段都可以見到頁岩層裡的球狀風化。一般在溫差很大的地方，溫度在白天升高，在晚間則急劇下降；岩石在日間受熱膨脹，在晚間冷卻收縮，好像從外向裡面施力，這個力量使外層的薄片特別容易剝落，推測：再加水氣的存在，會讓熱膨脹的效果更加強。(如照片 15、16)



照片 15 獻肚山中段的球狀風化



照片 16 獻肚山下段的球狀風化

(二)頁岩風化的實驗

根據以上的推測，於是我們進行了以下的實驗。

1.實驗目的

想了解頁岩風化的影響因素是什麼？這樣才能了解球狀風化是怎樣發生的。

2.實驗器材

無裂痕的頁岩塊 4 塊、塑膠杯、噴霧器

3. 實驗方法與過程

分室內及室外兩個實驗場所，並統一在下午 4 點拍照記錄。

(1) 室內實驗

實驗組：每天噴水兩次，每次噴 10 下，早上 8 點和下午 4 點各噴一次。

控制組：不噴水。











(2) 室外實驗(可以全日曬到太陽的地方)

實驗組：每天噴水兩次，每次噴 10 下，早上 8 點和下午 4 點各噴一次。

控制組：不噴水。





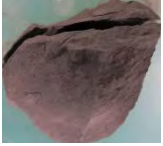



4. 實驗結果：如表 1 及表 2。

表 1 影響頁岩風化原因的實驗控制 (地點：室內)

日期	照片		結果記錄
	澆水	不澆水	
4 月 11 日			有澆水和沒澆水 都沒差別
4 月 12 日			有澆水和沒澆水 都沒差別
4 月 13 日			有澆水和沒澆水 都沒差別
4 月 14 日			有澆水有一點膨脹現象 沒澆水的沒什麼變化
4 月 15 日			有澆水有一點膨脹現象 沒澆水的沒什麼變化

說明：本實驗的日期都沒有下雨。

表 2 影響頁岩風化原因的實驗控制 (地點：室外)

日期	照片		結果記錄
	澆水	不澆水	
4月11日			有澆水沒變化 沒澆水沒變化
4月12日			有澆水的未見到變化 沒澆水沒變化
4月13日			有澆水的有一點點裂開 沒澆水沒變化
4月14日			有澆水的有明顯裂開 沒澆水沒變化
4月15日			有澆水的裂開更明顯 沒澆水一樣沒變化

說明：本實驗的日期都沒有下雨。

5. 討論

(1) 變因：室內有澆水和不澆水




經過一個星期的實驗，發現頁岩澆水後有膨脹的現象，但沒有裂開，可能與實驗的天數有關，需要再更長期的觀察。

(2) 變因：室外有澆水和不澆水

經過一個星期的實驗，發現頁岩澆水又被太陽照射有慢慢裂開的現象，可能與熱脹冷縮有關，而且熱脹冷縮如果有水分的話，會更加速風化的發生。如果要裂成像野外看到的碎塊，可能需要較長時間的實驗和觀察。

(三)經過現場的調查及風化實驗，發現頁岩的風化過程大概整理如表 3。

表 3 獻肚山頁岩在風吹日曬雨打之後的風化順序

順序和說明	頁岩的風化照片
NO.1 岩石因日曬雨淋，邊緣有膨脹現象，開始產生破裂。	
NO.2 裂痕增加，雨水更容易滲入，可以看到一些碎塊。	
NO.3 大石塊表面已經有比較多的小碎塊。	

(四)發現數量多到驚人的砂岩殘塊及化石

1.砂岩塊數量龐大

這裡的崩塌岩塊除了有頁岩外，也有許多砂岩碎塊，最大的砂岩塊幾乎有教室一半的大小，可以想像當時大山崩的恐怖景象。砂岩塊目前已暫時穩定下來，如果遇到大雨還是會有崩塌的危險。(如照片 17、18)

2.發現糖恩山砂岩層的指標化石-扇貝

我們為什麼認為這裡的砂岩崩塌是來自於糖恩山砂岩層？

最主要是發現數量龐大的扇貝化石，牠是糖恩山砂岩層的指標化石，在甲仙化石館有許多採自這個地層的標本。在旗山溪的另一邊南化水庫東邊也有類似的扇貝化石，地層都屬於糖恩山砂岩層。(如照片 19~22)



照片 17 獻肚山的砂岩崩坍數量及體型都很龐大。



照片 18 碎裂的砂岩塊多得讓人難以置信。



照片 19 砂岩層裡可以發現許多扇貝化石，是糖恩山砂岩的指標化石。



照片 20 糖恩山砂岩層裡的扇貝化石，條紋清晰可見。



照片 21 南化水庫東邊的砂岩層也有大量的扇貝化石密集層。



照片 22 旗山溪兩邊砂岩層裡的扇貝很類似，應該是屬於同一個地層。

四、方解石追緝令

獻肚山的深層崩壞除了頁岩地層外，是否還有其他因素，所以找出崩山的原因是我們來這裡調查的最主要目的。

(一)斷裂的岩塊為何都有方解石？

1.方解石岩脈多集中在中段的堆積區

在獻肚山的中段堆積區有大量的斷裂岩塊，切割得很整齊，仔細觀察都是沿著方解石脈斷裂的。因硬度只有 3，所以可以用鐵鎚刻出痕跡，而且它是屬於碳酸鹽類礦物，很容易隨著地下水滲入岩層當中，慢慢產生結晶後就夾在岩層裂縫中。

中段的崩塌區應該是最主要的堆積區，搬運距離不遠，露出的方解石未被破壞，還可以看到許多完整的結晶，它很特別，所以很吸引我們喔！（如照片 23~26）



照片 23 岩塊上白色部分都是方解石岩脈。



照片 24 砂岩塊可以看到平行斷裂，中間充填許多方解石。



照片 25 砂岩塊上的方解石用鐵槌輕輕敲打就會掉下來。



照片 26 裂開的砂岩有一大片方解石結晶。

2.下段的堆積區方解石脈已較少見到了

堆積區的下段也是有不少塊狀的砂岩和頁岩，但是方解石大多已經掉落，能看到還黏在岩石上的方解石已經不多了，但是可以在獻肚山入口處的頁岩碎屑區檢到一些方解石。(如照片 27、28)



照片 27 下段的堆積區有砂岩和頁岩的大石塊，但已很難看到大片的方解石。



照片 28 頁岩碎屑堆積區可以檢到許多掉落的方解石。

3.我們的推論

(1)我們推測這些砂岩是來自於糖恩山砂岩的上部，被常夾有薄層頁岩，砂岩受外力作用後產生裂縫。因砂岩層裡有扇貝化石及生痕化石等，表示這裡以前海底有許多生物，帶有豐富的碳酸鈣物質，長時間隨著地下水在岩石裂縫慢慢生成方解石。在莫拉克風災時因雨量太大，雨水滲入較深層的岩層，產生砂岩和頁岩的嚴重錯動，失去支撐力後全部隨著順向坡滾入小林村。

(2)方解石因硬度低，在搬運過程中經過嚴重的撞擊或摩擦，方解石就非常容易掉落，所以滾落到山下的時候，多數的方解石已掉落在碎石塊裡了。

(二)方解石到底是如何生成的？

在這次的研究中，查閱資料知道臺灣很多地方都有出現方解石，研究期間我們也參加了許多次戶外考察活動，都常發現一些方解石，可以和獻度山做一個比較。

1.方解石的來源分析

(1)查閱資料我們知道方解石是屬於次生礦物，主要是水溶液中生成的，但它的出現的環境不一樣，結晶的方式也會不一樣。

(2)方解石結晶都有它的來源，一般是生物或碳酸鈣沉積物造成，為了比較一下它的生成環境，特別把我們到過的地方做一個比較。(如表 4 及照片 29~36)

表 4 方解石出現地點比較

地點	岩層種類	發現的古生物種類	有無岩層斷裂情形
甲仙獻肚山	砂岩層(厚)、頁岩層(厚)	扇貝、生痕	有明顯裂縫
左鎮草山月世界	砂岩層(薄)、泥岩層(厚)	貝類化石	有部分裂縫
六龜寶來 河谷岩壁	砂岩層(薄)、頁岩層(厚)	未發現	有明顯裂縫
桃源 高中檢查哨	火成岩(枕狀熔岩)	未發現	有裂縫但不規則



照片 29 方解石夾在頁岩裂縫當中。
地點：獻肚山



照片 30 方解石在砂岩夾層慢慢剝落。
地點：獻肚山



照片 31 長枝坑頁岩層(斷層)附近有
方解石夾層。
地點：六龜寶來河谷



照片 32 夾在頁岩層的鱗片狀方解石。
地點：六龜寶來河谷



照片 33 泥岩夾層裡的方解石。
地點：草山月世界



照片 34 具有玻璃光澤的方解石夾在
薄層砂岩的裂縫中。
地點：草山月世界



照片 35 枕狀熔岩也有裂縫可以充填
方解石。
地點：桃源高中檢查哨



照片 36 枕狀熔岩把方解石包起來了！
地點：桃源高中檢查哨

2. 方解石常在岩層的斷裂處出現

不同的方解石在不同的地方會有不同的結晶方式，我們在這次的研究中到過不少地方，透過資料的查詢及現場考察，發現沉積環境不一樣，晶形也不太一樣，以下共有四種方解石的生成環境：（如照片 37~42）

(1) 砂岩層裡的方解石脈：

在獻肚山出現的方解石脈，我們多數是在砂岩層或頁岩層的裂縫發現的，這些方解石的附近有扇貝及生痕等，表示這裡的古環境是淺海或海灣的泥砂質海底，海水清澈及含鹽量較高的海水裡，形成的方解石部分來自海水，部分是來自化石被溶化，慢慢在岩石裂縫間形成結晶。

(2) 頁岩層的方解石脈：

在獻肚山的地層發現糖恩山砂岩位於鹽水坑頁岩的下面，表示沉積環境由「淺海

或近岸」變到「深海或遠岸」。因頁岩的組成成分是深海泥，顆粒比較細，當海洋環境很穩定時，較細的顆粒慢慢沉積就會變成頁岩。在獻肚山和六龜寶來所發現的方解石都是魚鱗狀，是不是與沉積的岩性或溫度有關，需要進一步研究。

(3)泥岩層裡的方解石脈：

在草山月世界看到的方解石有兩種型態，第一種是在泥岩層裡，遠看像破碎的瓷碗，近看是片狀的白色礦物，有摩擦的痕跡，應該有受過高壓高熱影響；第二種方解石是在泥岩層裡的薄層砂岩塊縫隙中生成，晶形呈菱形，查閱資料應該是在比較低溫的環境形成，晶形比較漂亮。

(4)火成岩裡的方解石脈：

在桃園高中檢查哨附近的枕狀熔岩裡也發現了白白的礦物，我們用稀岩酸滴在白色礦物上，有起泡沫，所以它也是另一種晶形的方解石，在火成岩區的方解石一定受過高溫，結晶形狀也會不一樣。



照片 37 獻肚山崩塌區的鱗片狀方解石。
(砂岩層或頁岩層裡)



照片 38 獻肚山南邊河谷的半透明雪花狀方解石。
(砂岩層裡)



照片 39 草山月世界的方解石屬於比較深海或遠岸的沉積，晶形很漂亮。
(泥岩層的薄層砂岩裡)



照片 40 草山月世界在溫度比較低的環境形成菱形的方解石。
(泥岩層的薄層砂岩裡)



照片 41 六龜寶來河谷有長枝坑層的雪花狀方解石，與獻肚山很相似。
(頁岩的夾層裡)



照片 42 桃源高中檢查哨附近有白色雪花狀的方解石，很漂亮！
(火成岩的夾層裡)

五、發現滿山的岩石擦痕

(一)為何獻肚山崩塌區有很多岩石擦痕

我們爬上獻肚山的沿路除了發現很多的岩石崩塌外，還發現了許多岩石擦痕！剛開始我們並不知道它是如何發生的，大家好奇的邊走邊摸，甚至拿鐵鎚敲敲看，想要知道它是怎麼發生的？

我們查閱資料知道：斷層擦痕是指斷層兩個盤面相對錯動時留下的痕跡，會產生溝槽狀細微的平行刻痕。組成斷層擦痕的擦溝或擦槽往往一端寬且深，另一端窄而淺並逐漸消失，根據它的延長方向及擦槽形狀，可以判別斷層兩盤相對運動的方向。手摸斷層擦痕，有光滑感的方向代表斷層另一盤滑動的方向。

(資料來源：百度百科 <http://baike.baidu.com/view/1538906.htm>)

1. 岩石擦痕的種類

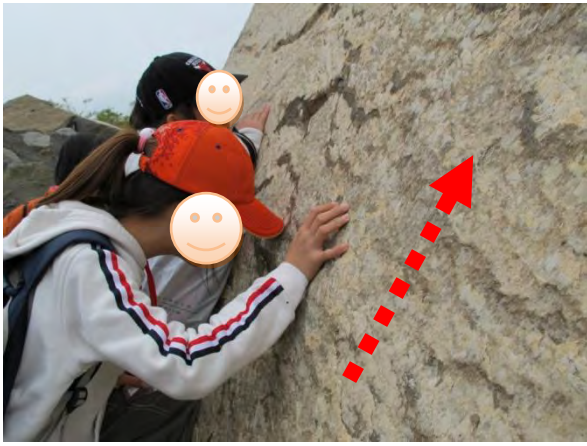
我們在獻肚山所發現的岩石擦痕大概有兩種：第一種是沒有方解石的擦痕，要用手摸或者靠近一點看才會知道。第二種是有方解石的擦痕，比較容易分辨。(如照片 43~46)



照片 43 我們在砂岩塊上面刻畫擦痕的錯動方向。(沒有方解石的擦痕)



照片 44 我們用手摸摸看，有一個方向比較平滑，相反的方向有刺刺的感覺。



照片 45 好大一片的岩石擦痕，大家來仔細研究一下。(有方解石的擦痕)



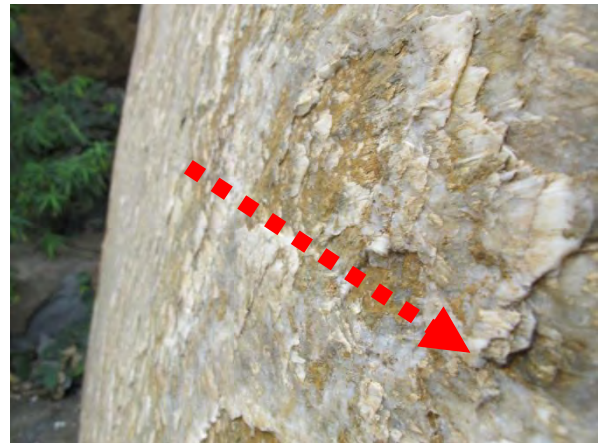
照片 46 方解石擦痕的左邊有扇貝化石喔！

2.發現擦痕有方向性

岩層斷裂後會產生摩擦，我們知道順著擦痕方向用手摸，感覺光滑的方向就表示另一面岩石的滑動方向。如果錯動裂開的兩塊岩石就在附近的話，就可以知道這兩塊岩石擦痕的方向是剛好相反的。(如照片 47~50)



照片 47 我們發現原來的大岩塊錯開時的兩個反方向擦痕(機會很難得哦！)



照片 48 右側岩塊的擦痕方向其實就是照片 47 左側岩塊的運動方向。



照片 49 用手推發現比較光滑的方向是錯開時另一個岩石的運動方向。

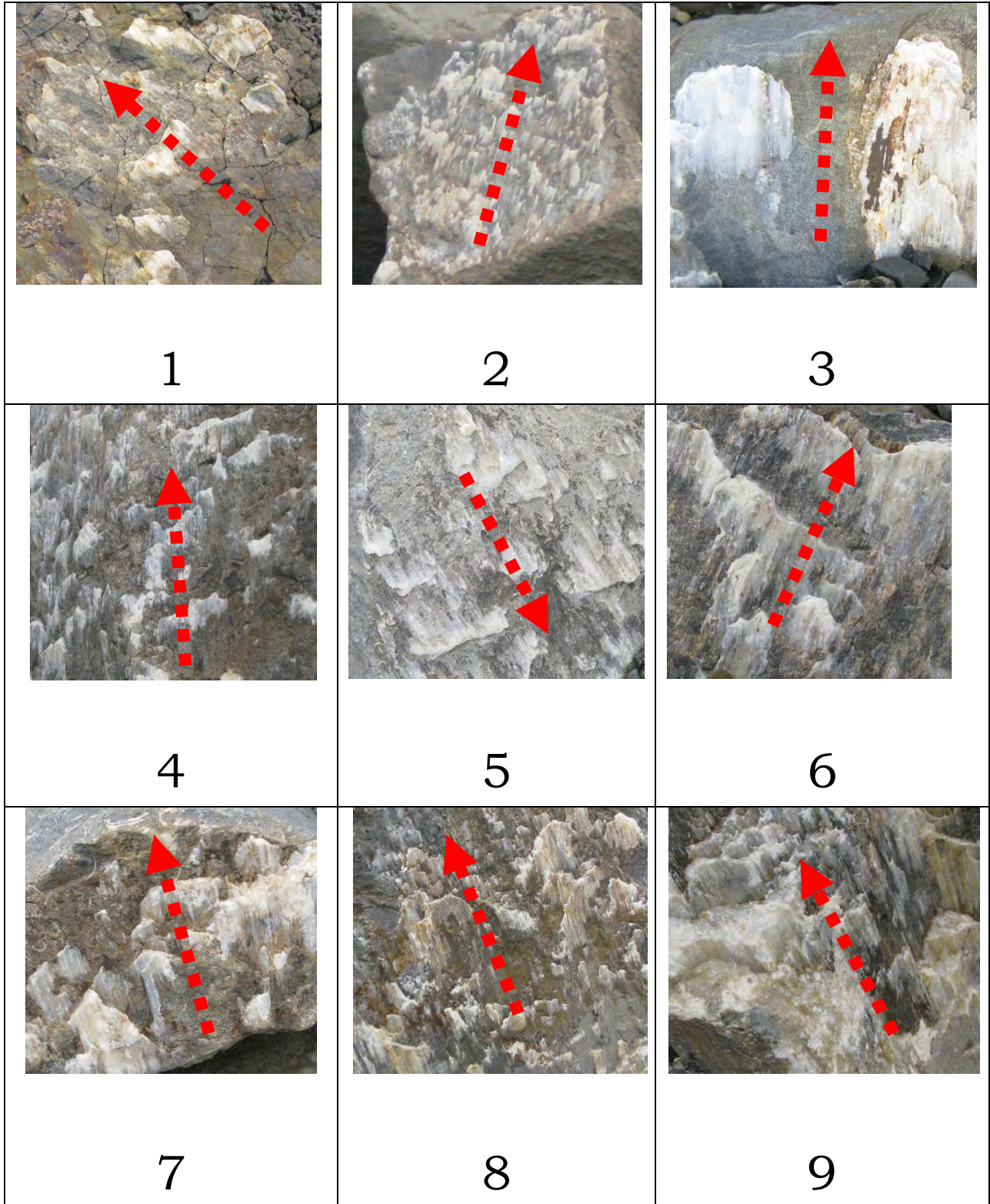


照片 50 用手推發現有刺刺感覺的方向是本塊岩石的運動方向。

3. 岩石擦痕大集合

我們一路從獻肚山的山腳下往上爬，沿路我們看到許多破裂的砂岩塊都有擦痕，這是我們在野外很少看到的現象，判斷的方法除了用手觸摸外，也可以觀察方解石的斷裂點，比較薄的點是起點，比較厚又有斷裂是終點。表5是我們所看到的部分岩塊擦痕的代表。

表5 砂岩塊堆積區的岩石擦痕與相對運動判斷



說明：紅色箭頭方向是另一半岩塊的運動方向喔！

4. 岩石未斷裂前是否有擦痕？

獻肚山的岩石擦痕是不是在還沒有崩塌前就已經發生了？

經過我們的尋找，發現只要方解石脈還沒裂開，都沒有找到擦痕的證據，但剛裂開的岩塊卻有兩種情況：有擦痕和沒有擦痕。(如照片 51、52)



照片 51 沒完全裂開的方解石脈沒有發現擦痕發生，但也可能是斷層造成。

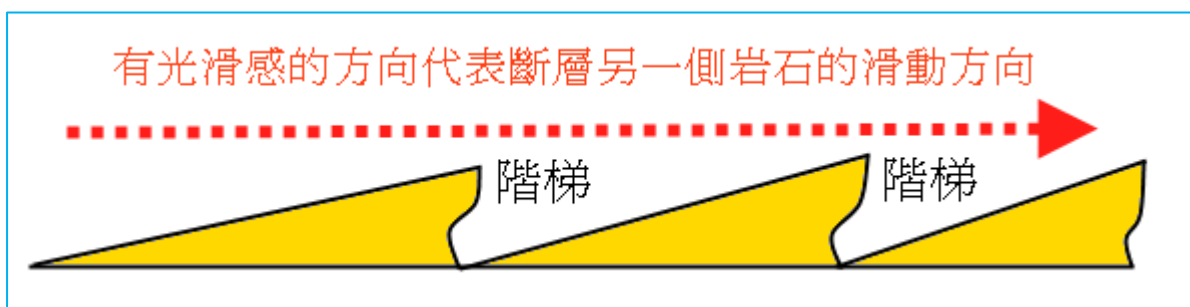


照片 52 剛裂開的方解石脈，有些沒發現有擦痕。

5. 討論

(1) 如何判斷擦痕的方向性

剛開始我們不知道擦痕是如何發生的，經資料查閱，發現「階梯(或稱階步)」可判斷另一側岩石的運動方向。擦痕的判斷是兩個岩石裂面的相對運動，產生拉扯造成層面摩擦和斷裂的情形。(如圖四)



圖四 擦痕的方向判定方法

(2) 草山月世界也有方解石斷層擦痕

在草山月世界的野外調查，我們也發現一些斷層造成的擦痕，可能是岩性不一樣，災害規模也不一樣。因獻肚山在砂岩區和頁岩區，可能是岩性較堅硬，夾縫裡面的方解石相對脆弱，擦痕就非常明顯，也可能是斷層作用比較激烈！但是，草山月世界可能在泥岩區，泥岩在潮溼的時候比較軟滑、透水性差及黏稠狀，夾層裡的方解石相對比較堅硬，地層錯動時所

產生的擦痕規模也比較小，我們推測泥岩可能會吸收一些力量，或者是斷層作用比較不激烈，災害相對上就比較小。



照片 53 草山月世界泥岩裡的薄層砂岩夾層有小斷層的擦痕。



照片 54 草山月世界泥岩裡的薄層砂岩夾層有小斷層的擦痕，也發現有方解石。

(3) 崩落的岩塊會不會產生擦痕？

岩體崩落過程中應該不會產生擦痕，如果可以產生擦痕，也一樣可以在沒有斷層的崩坍位置找到，但事實上在沒有斷層的崩塌地並沒有發現斷層擦痕。

獻肚山發現很多崩落具有擦痕的岩塊，應該是來自斷層帶，也就是來自比較上面的「甲仙斷層」附近。

(4) 同一塊岩石擦痕為何會有多個方向性？

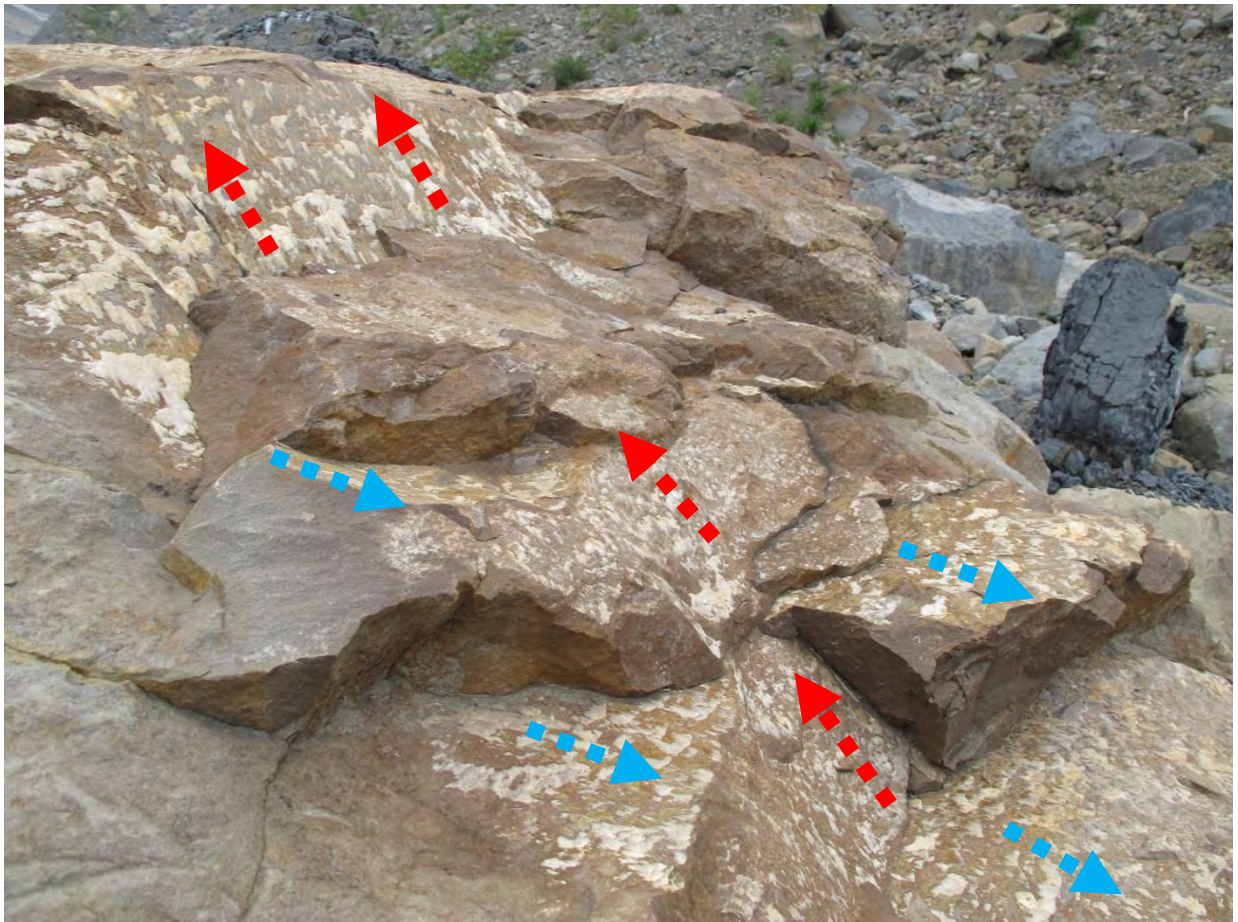
一般我們看到的岩石擦痕都是同一個方向，但是我們在獻肚山崩塌區的三角洲頂部，卻發現了一個從沒見過的奇特岩石擦痕，有多個方向(平滑的方向)，但主要為往上或往下，我們剛開始推測可能是岩石崩落造成，但事實上並非如此。為什麼呢？(如照片 55~57)



照片 55 從沒看過這麼奇怪的岩石擦痕。



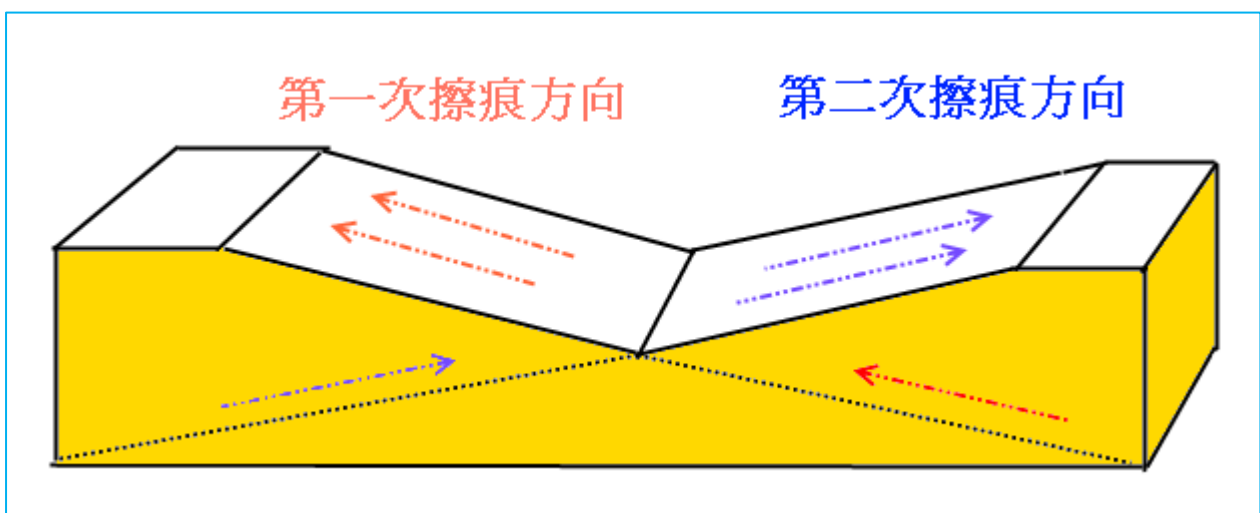
照片 56 擦痕的平滑方向可以看出岩石錯動的力量有多巨大！



照片 57 同一岩塊卻有不同的擦痕方向，但主要方向都是往上或往下，但不在同一個平面上。

我們經過仔細調查、專家諮詢及資料查閱，歸納如下：

一個地區的擦痕有多於一個方向，表示造成擦痕的斷層可能不是只有一次的錯動，所以造成的擦痕方向也可能會有不一樣的情況，如圖五的分析。

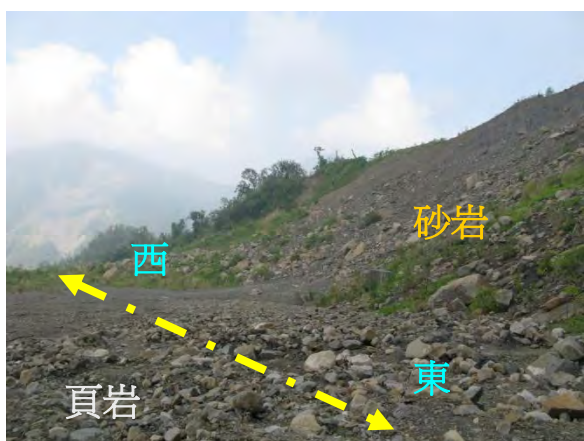


圖五 同一岩塊不同層面不同擦痕方向的作用力分析

(5)綜合以上分析，我們認為斷層引起上下岩體的破碎，雖然沒有擦痕，但方解石亦可充填成方解石脈，而沒有發生擦痕的現象。也有可能只有破碎沒有方解石脈充填，也沒有擦痕。所以，沒有錯動就沒有擦痕，甚至裂縫附近沒有碳酸鈣物質就不會有方解石的充填。

(二)獻肚山的崩塌區與斷層的關係

文獻上記載獻肚山有甲仙斷層和五里埔斷層經過，深層崩塌是不是與這兩條斷層有關係，從出現的許多岩石擦痕，多少可以看出一些答案，或許也可以從不同的岩石種類去判斷可能的斷層地點。(如照片 58、59)



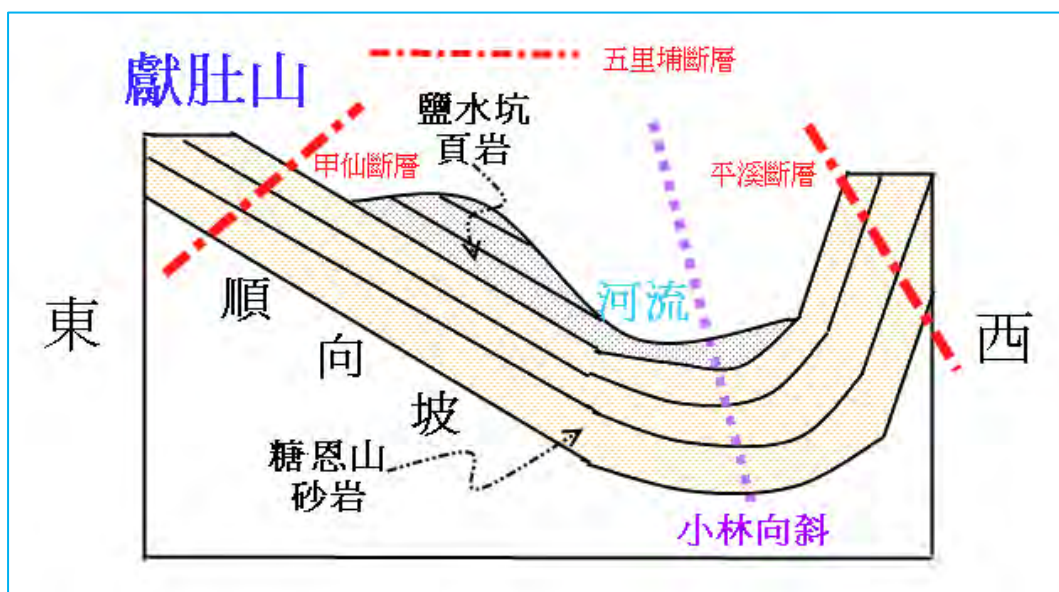
照片 58 五里埔斷層可能的方向。
(面向北邊拍攝的照片)



照片 58 甲仙斷層可能的方向。
(面向東邊拍攝的照片)

六、發現順向坡也是山崩的共犯

我們從五里埔往小林村的沿路，遠遠就可以看到世紀大山崩的現場-獻肚山。我們查閱資料，並展開現場調查，發現小林向斜是造成獻肚山順向坡的主要原因，因為有順向坡，所以坡地就更危險，詳細情形如圖六及照片 59~63。



圖六 獻肚山與順向坡示意圖 (面向南邊)



照片 60 五里埔遠望獻肚山。



照片 61 獻肚山的順向坡地層層面。



照片 62 走進順向坡尋找它的秘密。



照片 63 順向坡上的三道瀑布。

七、解開深層崩壞發生的秘密

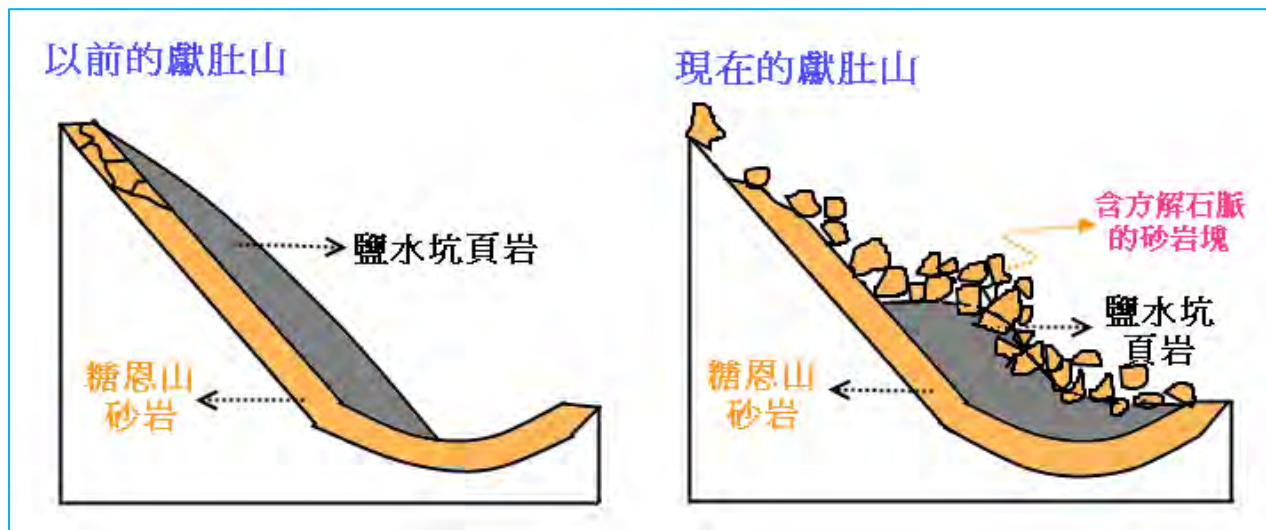
經過現場的調查與簡單實驗，我們已大概解開一些獻肚山發生深層崩壞的神秘面紗。

深層崩塌的原因大概有以下幾點：

- (一)雨量過大，雨水滲入比較深的地層，造成滑動。
- (二)頁岩地層容易風化，被侵蝕的速度比砂岩快很多。
- (三)有兩條斷層經過，造成岩石被擠壓形成較多的破碎。
- (四)崩落的岩塊有許多擦痕，表示斷層造成岩石破碎，崩塌更嚴重。
- (五)岩層裂縫充填許多方解石脈，應該是斷層的破裂面太多造成碳酸鈣的充填，因硬度低容易形成第二次的破裂。
- (六)因小林向斜而造成東邊獻肚山的危險順向坡。
- (七)有馬路經過山腰，可能也會破壞順向坡的坡腳。

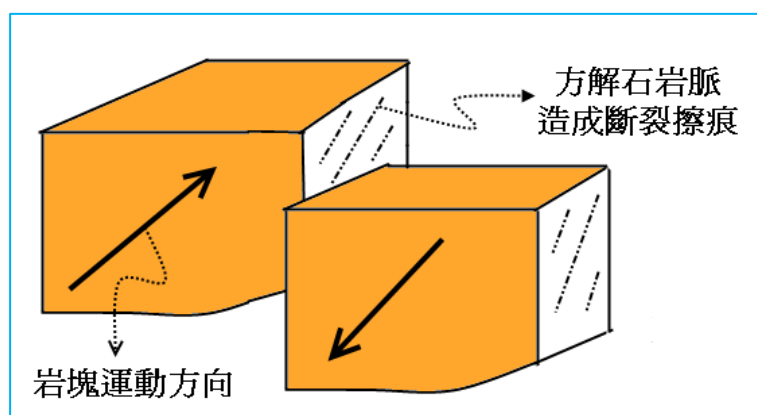
伍、討論

- 一、方解石是地球上一種分布很廣的礦物之一，在獻肚山的頁岩層和砂岩層裡也不例外，但是地層會因為方解石脈數量很多，而造成嚴重破壞的，在我們的戶外研究活動中，也是很少看到的奇妙現象。研究發現它的主要原因除了斷層外，可能是獻肚山上的頁岩層先大量崩壞，後來比較下面的破碎砂岩層因方解石脈硬度較低，所以才會有這麼嚴重的深層崩壞。(如圖七)



圖七 獻肚山深層崩壞的過程

- 二、獻肚山的深層崩壞，發現了許多岩石擦痕，我們與老師討論後認為：應該是斷層造成，在第一次斷裂時形成裂縫，後來有方解石充填，再發生第二次或第三次的斷裂，最後就形成帶有方解石的擦痕。(如圖八)



圖八 砂岩層裡的方解石脈擦痕示意圖

陸、結論

- 一、獻肚山崩塌面積範圍很大，經過計算大約超過 209 公頃。
- 二、獻肚山上層的崩塌主要是糖水坑頁岩層，但大多數已被侵蝕風化，還有部分來自

上層的糖恩山砂岩層，已碎成許多大小差不多的岩塊。

三、深層崩壞的主要原因有超級雨量、岩石容易風化、數量很多的方解石脈、順向坡、斷層及坡腳破壞等。

四、發現的岩石擦痕主要是斷層造成或是崩塌造成？經我們實地調查及資料查閱，判斷應該是斷層的多次錯動比較有可能。

五、發現同一岩塊有不同方向的擦痕，可能是斷層的多次錯動或運動方向不一致造成。

六、這次的崩塌區所見都是原地的岩塊，並沒有發現河階台地堆積的礫石(鵝卵石)，因此判斷為崩塌或崩壞，而不是土石流。

七、崩塌現象有崩塌材料的來源區、輸送區及堆積區等三區，也是很少見到的現象。

八、會不會有下一次的大山崩，以目前的地質條件應該已暫時穩定下來，但如果雨量過大，下段的堆積區可能還會崩落，所以目前路過獻肚山的道路已被封閉，以避免災害再次發生。

柒、參考資料

水利技師公會專案小組(民 99)。八八水災小林村紀實。(網路資料)

李錫堤、董家鈞及林銘郎(民 98)。小林村災變之地質背景探討。**地工技術**，**122**，87-94。

南一書局(民 99)。國小自然與生活科技(山河大地)。臺南市：作者。

教育部(民 100)。臺南東部丘陵區坡地崩坍災害之調查及探究式教學推廣研究。教育部 99 學年度南區科學教育專案計畫。

臺南縣地質，民 99 年 11 月 16 日，取自：

<http://edb.epa.gov.tw/localenvdb/TaiNan/geology.htm>

鍾廣吉(民 97)。臺灣的石灰岩。新北市：遠足。

鍾廣吉及蔡金郎(民 99)。臺南縣科學研究團隊野外考察資料。

【評語】 080513

優點：

1. 能探究天災發生的原因，進行許多的研究，並實地到野外考察。

缺點：

1. 實地野外考察應儘量詳實呈現，並事先規畫每次目的，以免流於走馬看花。
2. 實驗要充分準備，時間也要充足，以免達不到預期目的。