

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 地球科學科

探究精神獎

030503

石灰岩的華麗轉身-不同化石密集層特性與鐘乳  
石形成之探討

學校名稱：臺南市立後甲國民中學

作者：  國一 鍾昀璋	指導老師：  林承賢  陳聰智
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：石灰岩、化石密集層、鐘乳石

## 摘要

本研究主要是針對牛山-龜重溪河床生物碎屑石灰岩層、六甲地區-水流東扇貝石灰岩層、高雄田寮區-大崗山生物碎屑石灰岩層與花蓮秀姑巒溪口-紅色生物碎屑石灰岩層四個不同化石密集層所形成的石灰岩層進行野外調查，並採集現場標本進行後續實驗。首先是透過鹽酸溶蝕來確認四個位置的碳酸鈣含量比例，發現大崗山與牛山石灰岩的含量非常高，而由文獻知道透過鎂含量可以判斷古環境氣溫的高低與海水鹽度的變化狀況，所以進一步由成分分析儀器來定量出四個位置的鎂元素含量，並推測出四個地區古環境氣候造成生物大量死亡的原因。題目中的石灰岩的華麗轉身指的就是鐘乳石，所以報告最後嘗試探討天然鐘乳石的形成機制與製作出紅色-類鐘乳石的樣品。

## 壹、研究動機

暑假時的一天，我從書櫃拿出了三本我過去科展比賽的報告書，一頁頁回憶著當時每一滴的汗水與每一次的實驗，看著裡面一張張野外調查的照片，我突然發現，當時研究的地點很多都有石灰岩呢!這些石灰岩會不會有什麼共通點呢?我是不是可以將這些石灰岩做比較看看呢?正當我思考時，忽然瞥見櫥窗中擺著幾塊去年做科展研究時，到大崗山鐘乳石洞穴中撿到的一根幾乎透明的鐘乳石，與一小塊爺爺以前採集回來的紅色石灰岩，這又讓我想起，鐘乳石不就是石灰岩溶解再析出形成的嗎?那我是不是也能用紅色石灰岩做出一塊紅色鐘乳石呢?於是我開始實踐腦海中的想法，並在老師與家人的指導下，開始了這一年的科展研究。

## 貳、研究目的

- 一、訓練野外地質調查的能力
- 二、不同區域石灰岩層-碳酸鈣的比例分析
- 三、石灰岩成份分析與古環境推演
- 四、探討鐘乳石形成的機制



## 參、研究設備及器材

### 一、設備儀器：

空拍機、數位顯微鏡、電子秤、游標尺、烘箱

### 二、採樣工具：

筆記本、夾鏈袋、棉布袋、一字螺絲起子、地質錘、小鏟子、標籤紙、油性筆、塑膠盤、稀鹽酸、酒精、小塑膠盒、地質圖、計時器、培養皿、比例尺、游標尺、剪刀、標籤紙、小刷子、碟子

				
電子顯微鏡與EDS	電子秤	地質錘與游標尺	空拍機	烘箱

## 肆、文獻探討與研究流程圖

### 一.文獻與相關資料

我們根據所想要了解的問題，查得下列相關資訊：

#### 1.石灰岩的定義

石灰岩（灰石）（ $\text{CaCO}_3$ ），簡稱灰岩，又稱作石灰石，如圖4-1左圖所示，是以方解石為主要成分的碳酸鈣岩。石灰岩主要是在淺海的環境下形成的。石灰岩按成因可劃分為粒屑石灰岩（流水搬運、堆積形成）；生物骨骸石灰岩和化學、生物化學石灰岩。石灰岩是喀斯特地形(如圖4-1右圖所示)的主要構成成分，是一種在海、湖水盆地中生成的灰色或灰白色沉積岩。石灰岩中混入白雲石、石膏、菱鎂礦、黃鐵礦、蛋白石、玉髓、石英、海綠石、螢石等。[\(參考文獻1\)](#)。



圖4-1. (左)含有化石貝殼的石灰岩；(右)喀斯特地形。

在上面章節的敘述中已將石灰岩做了很明確的定義，進一步深入探究石灰岩內的成分或組成，以下有個分類表4-1([參考文獻2](#))，表裡的說明，可讓您對石灰岩有更深一層的認識。

表4-1. 石灰岩分類表



在噴發型的火山活動中，噴發末期常有較小的物質隨岩漿噴出，它們會被拋到較遠的距離，這些小塊的噴出物叫做火山灰，有時甚至小到似塵埃般，當它們開始沉降掉落時，有些會掉落到具豐富生物的海域，當多量的火山灰有如沉積作用般掉落、堆積在海域中時，會與生物遺骸混在一起，而生物遺骸中的硬體構造如骨骼、外殼、或多或少都含有碳酸鈣，這時火山灰就有機會形成碳酸鈣質的火山灰，這是石灰岩的類型之一，台灣地區就有這種地區。含有碳酸鈣的火成岩或石灰岩，若受到溫度或壓力的作用使其成分重新組合或排列，這種變質作用常會形成我們所說的結晶石灰岩(或稱大理石、大理岩)，這種受過變質作用的石灰岩，或稱為變質石灰岩也是石灰岩的一種。

沉積岩中的石灰岩，有很多的形成原因與生物的遺骸關係密切，生物遺骸中的硬體構造或外殼常含有碳酸鈣，這些材料與一般岩石或礦物的碎屑一起堆積而形成沉積岩中的石灰岩，這種例子相當多，而且也很普遍，俗稱為生物碎屑石灰岩。沉積岩有相當多是屬於碎屑沉積，這是由陸地高區因侵蝕而出現的岩石碎屑或礦物碎屑，被搬運到低地水域如湖泊、溪流或海域，經停留堆積而成，若堆積的低地有眾多的生物，則非常有機會形成石灰岩，尤其是海域的堆積區，原來即有種類與數量均多的生物，大量的碎屑沉積物在堆積時除了可加入生物遺骸，有時也掩埋了不少的生物，這些生物的硬體構造和外殼有機會混入沉積物中，形成碳酸鈣的沉積，即是石灰岩。這樣的過程告訴我們，生活於水域如湖泊、溪流或海域的生物，尤其是海域中的，若含有硬體構造或外殼，牠們的沉積作用形成石灰岩時是一個很重要的事實；碎屑石灰岩中的碳酸鈣成分，有很高的比例是源自生物遺骸，雖說有生物遺骸未必形成石灰岩，但沒有生物遺骸，碎屑石灰岩就沒有機會形成。

## 2.化石密集層 (參考文獻3)

化石密集層內含有多量的化石，在探討化石現象時，地層中化石層的空間位置也不可忽略。



## 2-1. 均勻地層出現化石密集層

就沉積作用而言，均勻岩層即表示此地的沉積條件並無盆地深淺或沉積物性質產生變化的問題，既然生存條件未有變化，何以生物大量死亡形成化石，或許可從下面的現象來推論其原因。每年秋天台灣常有寒流來襲，寒流對養殖魚類的傷害很大；到了炎夏，台灣核三廠出水口附近的珊瑚會出現白化、死亡的現象，這種大冷大熱的變化並未影響沉積盆地的深淺及沉積物的性質，部分生物同樣會大量死亡，此現象也許是均勻地層內化石密集形成的可能原因之一，如圖 4-2 左圖所示。

## 2-2. 兩種沉積層分界上的化石密集層

我們可以由沉積作用了解這些化石區上、下部地層的岩性為何不同：其一是沉積物的來源、距離和材料不同，影響生物生存的海洋；其二是砂岩為淺海的沉積，泥岩、頁岩是較深區的沉積，環境由淺變深，已不適原生存於淺海的生物生存，因而造成生物大量死亡形成化石層。生存海環境深淺的變化可能與地殼運動關係較密切，與海平面的變化也有關，如圖 4-2 右圖所示。



圖 4-2. 左:均勻地層的化石密集層；右: 兩種岩性交界上的化石密集層

## 2-3. 化石密集層的厚度意義

在調查新化丘陵牛稠內、六甲水流東及雲林古坑之石鯪坑溪河床等扇貝化石區時，較令人不解的是化石密集層中化石互相堆疊與厚度的問題。這可運用地質學沉積作用的觀念來推理。在沉積作用與地層厚度關係上，假設沉積速率固定，則厚地層沉積時間較長，薄地層沉積時間較短。所以化石密集層若有一定的厚度，則表示這些化石層並非短時間內的停積形成，而是長時間的停積。

依此狀況分析，某海域在一段不短的時間內有很多生物連續分批死亡，且不斷停積達某一厚度，如此才有化石堆疊狀產生。然而若依生物的生存條件而言，上述推理似乎無法自圓其說，因為生物條件而造成生物大量死亡，必然是短暫時間裡同時發生，然後遺骸及相互停積。另一種可能應是大範圍內生物同時死亡而搬運至該處停積，古水流搬運需費一些時間才能完成。

延續上述分析來探討化石層，有些現象可以繼續追蹤：生物無法適應生存環境改變，在短時間內大量死亡停積，形成快速沉積，在此條件下可以想像，若大小體型一起停積，其淘選

一定沒有規則性；若大範圍內同時死亡在經搬運而停積，則必受水流淘選，那麼化石層內的化石形態必有一定的大小，而且有其方向性，由淘選及方向性的計測應可以研判出某一厚度化石密集層的停積條件。

### 3.X射線能量散佈分析儀原理(EDS) (參考文獻4)

電子顯微鏡中X射線的生成一共有兩個步驟。在第一步電子束撞擊樣品並將部分能量轉移到樣品的原子上，這種能量可以被原子的電子用來“跳躍”到具有更高能量的能量軌道，或者是脫離原子。如果發生這樣的轉變，電子就會留下一個空位。空位相當於一個正電荷，而這個過程的第二步，空位會吸引來自高能量軌道的電子填補進來。當這樣一個高能量軌道的電子填滿了低能量軌道的空位時，這種轉換的能量差能夠以X射線的形式釋放出來，如圖4-3左圖所示。X射線的能量是通過這兩個軌道之間能量差的特徵所展現出來的，它取決於原子序數，原子序數是每個元素唯一的屬性。所以說，X射線是每個元素的“指紋”，可以用來識別樣品中存在的元素的類型，一般分析畫面的呈現如圖4-3右圖所示。

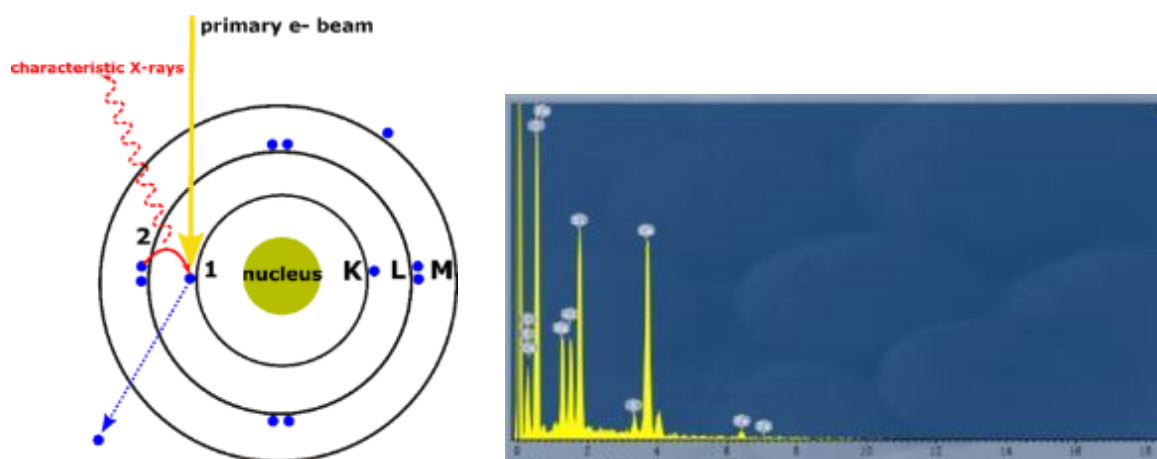


圖4-3. 左:EDS原理示意圖；右:EDS元素分布圖

### 4.鐘乳石形成和種類 (參考文獻5)

鐘乳石由碳酸鈣和其他礦物質的沉積形成。石灰岩是一種碳酸鈣岩石，被含有二氧化碳的水分解後，生成碳酸氫鈣溶液。這個反應的化學方程式為：



水溶液順岩石而下，直到抵達邊緣。如果岩石在洞穴頂部，水將滴下。當溶液和空氣接觸，產生逆向的化學反應，碳酸鈣被沉澱出來。逆向的化學方程式為：



鐘乳石每年平均增長率為 0.13 毫米。快速增長的鐘乳石的水溶液中往往富含碳酸鈣和二氧化碳，並且流動很快，這種鐘乳石每年可以增長 3 毫米。所有的鐘乳石都是由開始於一滴載有

礦物的水滴。當水滴落下，留下了很薄的一點方解石圈。接下來的水滴繼續留下新的方解石圈。如圖 4-4 所示，透過上述的自然化學反應可以形成鐘乳石(上方)與石筍(下方)，當鐘乳石與石筍成長變長而連結在一起就會變成石柱。(參考文獻 6)

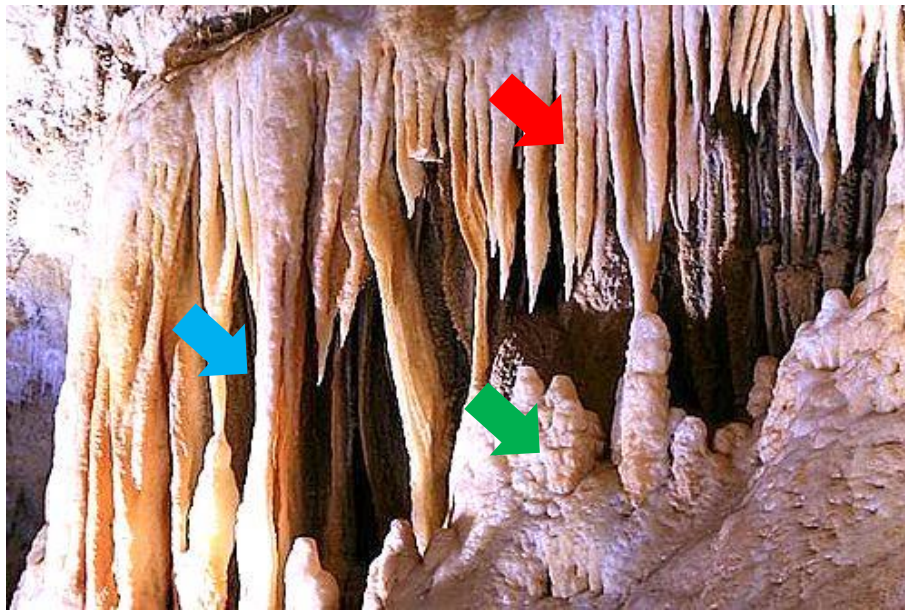
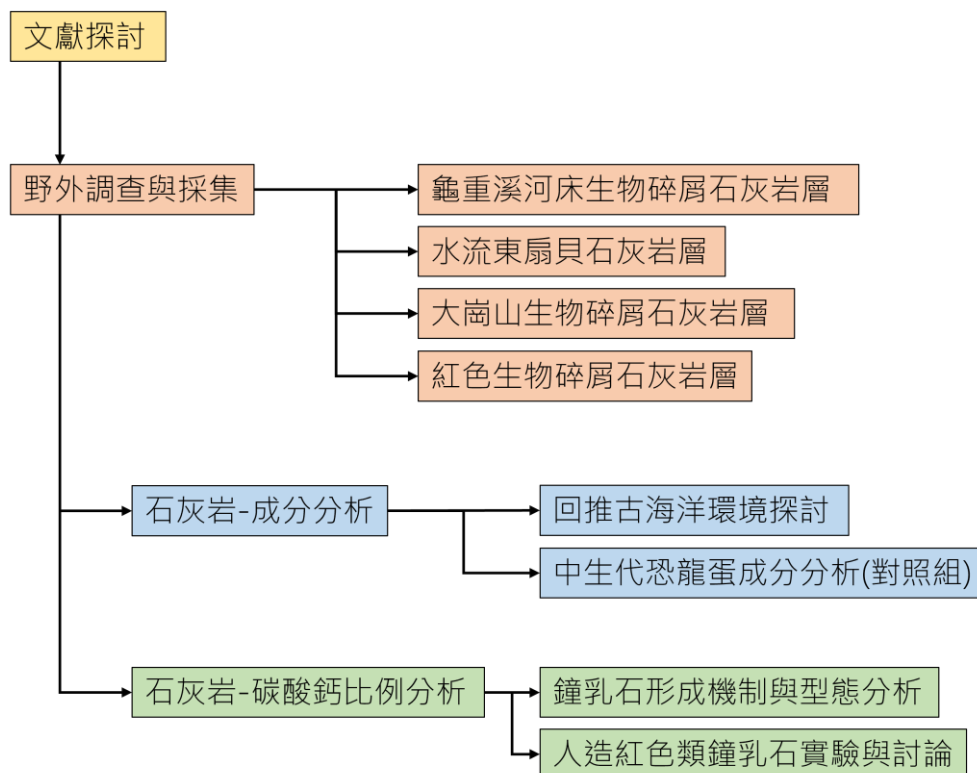


圖4-4. 鐘乳石(紅色箭頭)、石筍(綠色箭頭)與石柱(藍色箭頭)照片

## 二. 研究流程圖





## 伍. 【研究一】野外調查

本次研究野外調查的部份分為台南牛山地區-龜重溪河床生物碎屑石灰岩層、台南六甲地區-水流東扇貝石灰岩層、高雄田寮區-大崗山生物碎屑石灰岩層與花蓮秀姑巒溪口-紅色生物碎屑石灰岩層四個地區

### 一、牛山地區-龜重溪河床生物碎屑石灰岩層

牛山地區有一個非常特別的地質構造叫做牛山背斜，此背斜呈現一個中間隆起，四周圍下陷的穹丘構造(DOME)，圖 5-1 為地質雲網中的電子地質圖，而由電子地質圖可以看到此區域在牛山背斜構造的右邊有北勢坑斷層經過，左邊的為六甲斷層，近期此斷層更被定義為活動斷層，所以此區域也非常多的構造作用在交互影響，地層年代是屬於六重溪層，龜重溪蜿蜒的橫切過牛山地區，所以沿途有許多新的沖積層存在，此區域在早期為採油礦區，所以在河床上可以看到水中冒出油氣的特殊現象，如圖 5-2 左圖所示，甚至在河床邊還可以看到一個大的油氣噴發口，如圖 5-2 右圖所示。



圖 5-1. 台南市牛山地區-電子地質圖



圖 5-2. 左:龜重溪-油氣冒泡圖；右:龜重溪-主要油氣孔



本研究主要是探討龜重溪河床邊的一石灰岩層，此露頭可以由牛山地區南 103 鄉道的便橋往上游 30 公尺的左岸河床上看，即可以看到此裸露出來的石灰岩河床地層，特別去量測此區域的河水的酸鹼度，pH 值是呈現 8.0，所以是弱鹼性，一般碳酸鈣會微溶於水，而此處河水剛好是流過此石灰岩層，所以是水中含有微量碳酸鈣成分以使水呈現弱鹼性。其他現場現象的描述如下圖群說明所示：



圖 5-3. 龜重溪與河旁碎屑石灰岩層的全景圖，作者手指的位置即為碎屑石灰岩河床區，由圖可以觀察出該露頭是呈現兩層，作者腳踩踏的為下層，手指的為上層。



圖 5-4. 此為往下游觀察的視角，現場可以看到下層石灰岩層(紅色箭號區域)有部份是泡在河水中，遠方處可以看到南 103 鄉道便橋。



圖 5-5. 圖中的尺為 20cm，所以由此圖可以觀察出上層石灰岩厚度大約 30cm，因為現場沒有找尋到斷面，所以無法判斷下層石灰岩的厚度。

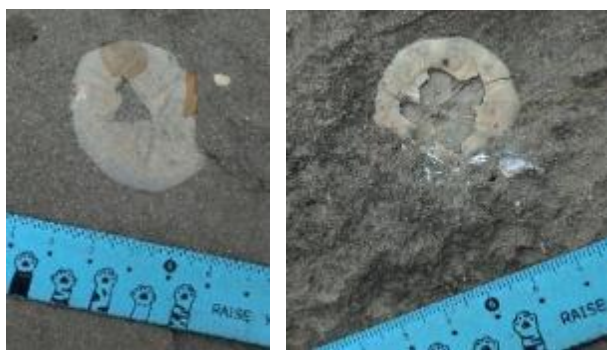


圖 5-6. 石灰岩層中發現較為完整海膽化石。



圖 5-7. 石灰岩層中有發現破碎的扇貝化石。



圖 5-8. 在石灰岩中有發現管螺的化石。

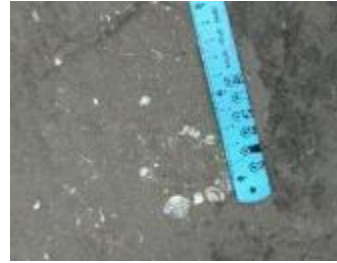


圖 5-9. 在岩層中，還可以發現許多碎屑化石，可推測當時的環境有強勁的水流。



圖 5-10. 石灰岩中有發現單體珊瑚的化石。



圖 5-11. 同時發現海膽化石與牡蠣化石。



圖 5-12. 從左上張圖中的黃色箭號指出有出現一條長長裂縫，而且一直延伸到河流，如右圖近距離觀察裂縫的寬度大約 5~10cm，因為裂縫有呈現開口狀，所以推測應該是張力裂縫。



圖 5-13. 由右圖可以觀察到上層的石灰岩層出現了數條近乎平行的裂縫，其中比較清楚可見的兩條裂縫如紅色箭號指出的位置，我們在其中的一條裂縫處發現了海膽化石被裂縫切過的現象，如右圖所示，由此可以推測這些裂縫應該是斷層所造成的。圖 5-12 出現的張力裂縫，如左圖中的黃色箭號所示，與斷層造成的裂縫，兩者呈現一個夾角關係。



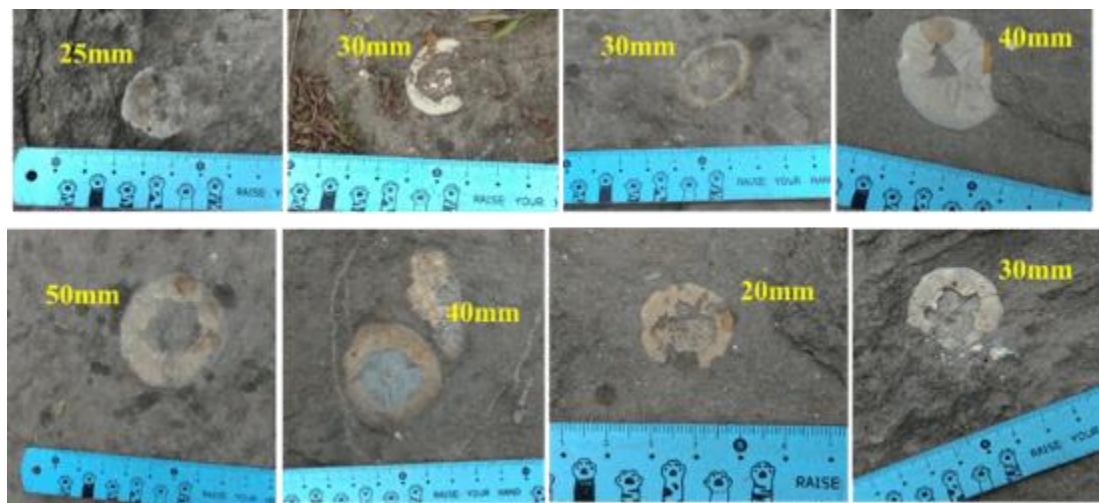


圖 5-14. 河床上可以觀察到非常多的海膽化石，但大部分都是**有破損**的現象，選擇較為完整的殼體進行體型的量測，發現直徑長度介於 20mm~50mm 之間。

## 二、六甲地區-水流東扇貝石灰岩層

圖 5-15 為六甲地區-水流東扇貝石灰岩層的電子地質圖，由圖中可以看出此區域為**崁下寮層**，左邊有六甲斷層，右邊有北勢坑斷層。民國 80 年間成大地理系鍾廣吉教授，接受農委會委託，進行六甲鄉水流東地區密集化石地質調查出書，當時他就曾呼籲希望這些相當難得的文化資產能夠好好加以保護，依據鍾教授的調查，此一化石區岩層為六雙層、二重溪層及崁下寮層，有些呈重疊狀態，這些約為 40 萬年前到 70 萬年前的化石，呈現的形體和線條，饒富學術研究和觀賞價值。六甲鄉水流東扇貝化石區，是台灣一百萬年來「陸浮」的最佳見證(參考文獻 7)。

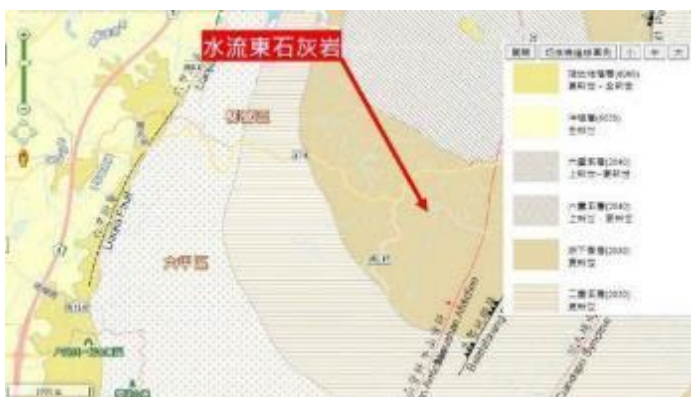


圖 5-15. 台南市水流東電子地質圖



圖 5-16. 水流東 google 地圖

由前人的科展報告(參考文獻 8)提到水流東扇貝密集層區有分為兩個露頭點，分別為聚落區與竹林區，如圖 5-16 所示。此區域的結構為化石岩層的厚度 30~50 公分，上層為砂岩，下層為泥質砂岩，如圖 5-17 左圖所示，於聚落區該報告提到現場的鄉民會利用堅硬的扇貝化石當作圍牆與駁坎，如圖 5-17 右圖所示，在聚落中隨處都可以見到扇貝化石密集分布的岩塊，而本報告研究的重點為竹林區，竹林區在聚落區下方處，所以彼此之間的化石層是延伸連結在一起的，相對位置示意圖如圖 5-16 所示，團隊將本次研究的竹林區再分為露頭 2-斷面與露

頭 3-密集層地表裸面，現場量測化石層為西北-東南走向，向西南傾斜約 10 度，竹林道路的某些路段，向下傾斜的坡度很大，與聚落區相比較，化石層位態已有變化，應有構造(皺褶或小斷層)作用，造成化石斷裂或錯移的應力。



圖 5-17. 左:含有扇貝化石的駁坎；右:扇貝化石岩塊

其他現場現象的描述如下圖群說明所示

<p>圖 5-18. 此為竹林區的入口處，路面傾斜近乎 35 度。</p>	<p>圖 5-19. 沿著陡峭小路，路邊可以清楚看到扇貝化石。</p>
<p>圖 5-20. 沿著小路往下走 15 公尺可以發現露頭 2-斷面，該斷面高有 180cm、寬有 150cm，推測為小河道，雨季時此處會形成小瀑布，因為長期流水沖蝕，露出很完成的地層截面。</p>	
<p>圖 5-21. 斷面正前方，最上層為石灰岩層，厚度大約 30cm，下方為泥質砂岩。</p>	<p>圖 5-22. 此為石灰岩層的上視圖，因為受附近構造作用的影響，所以龜裂為塊狀體。</p>





圖 5-23. 岩層中也可以發現有孔蟲化石(白色點狀物)。



圖 5-24. 此為右邊層面，竹竿指示的為石灰岩層面。

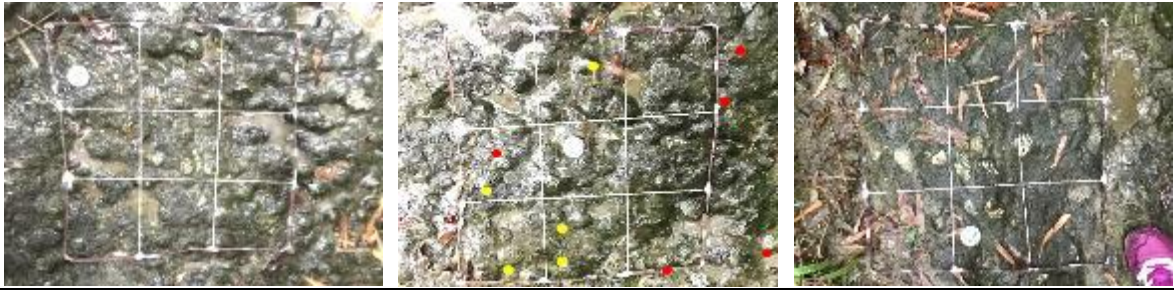


圖 5-25. 露頭 3 扇貝化石分布狀況，此處扇貝化石密集層直接裸露在地表上，而且數量非常多，彼此層疊在一起，可以觀察到 1.大部分都是凸殼向上，2.凸殼數量遠多於平殼數量，本研究報告主要是聚焦於石灰岩層的特性，所以此處扇貝的堆積行為就不進一步的研究了。

### 三、高雄田寮區-大崗山生物碎屑石灰岩層

大崗山地區分為大崗山與小崗山兩個區域，本研究主要是聚焦於大崗山地區，圖 5-26 為該區域的地質雲網-電子地質圖，大崗山是珊瑚礁隆起形成的方山狀台地，上部為石灰岩、下部為泥岩，東西寬約 2 公里，南北長約 4 公里，最高處海拔約 312 公尺，地勢由西往東傾斜，東西二側為石灰岩陡崖。台灣西南部的隆起珊瑚礁分布於高雄市西側至北緣一帶，有大崗山、小崗山、半屏山、柴山、壽山、鳳山，下部均有古亭坑層泥岩為海相地層，形成於上新世-中新世，泥岩上覆蓋的珊瑚礁體受地體抬升在晚更新世形成石灰岩層，西側有小崗山斷層經過，所以此區珊瑚礁隆起可能與小崗山斷層有關(參考文獻 9)。

電子地質圖中的紅點位置，為之前嘉新水泥的採礦區，石灰岩為水泥的主要原料，也可以得知大崗山擁有非常豐富的石灰岩礦藏，由專家提供的 1992 年嘉新水泥公司和環球水泥公司，延長礦權申請委託報告中(參考文獻 10)，曾進行大崗山石灰岩礦區的岩心鑽探，貫穿整個石灰岩至底部，再加 2~3 公尺的泥岩，由岩心的照片圖 5-27 所示，上段為石灰岩層，中段為碎屑化石層，下段為泥岩層，報告中 2 個區域 10 個鑽探位置裡的上中下段的厚度都不一致，可以得知該區域的石灰岩厚度很不均勻，根據前人的報告資料(參考文獻 11)可以得知該區域越往高處石灰岩層越厚，如圖 5-28 所示，所對應的地質年代關係如表 5-1 所示，上中下層是由不同的材質所構成，本次研究所採集標本的位置為上段的石灰岩層，而野外調查的位置有露頭 1-田寮區崗安路旁、露頭 2-一線天風景區與露頭 3-軍用洞穴。

表 5-1. 大崗山地質年代表(參考文獻 11)

大崗山地層	地層名稱	地層成分	地質年代	絕對年代
上段石灰岩	大崗山石灰岩	珊瑚礁	更新世中期	約 46 萬年前
		石灰岩	~更新世晚期	~1.17 萬年前
中段生物碎屑石灰岩	崎頂層	砂泥岩互層	更新世早期	約 90 萬年前
		夾石灰岩	~更新世中期	~46 萬年前
下段泥岩	古亭坑層	泥岩	中新世晚期 ~更新世早期	約 700 萬年前 ~90 萬年前



圖 5-26. 高雄市大崗山地質雲網-電子地質圖



圖 5-27. 大崗山-岩心照片(參考文獻 10)

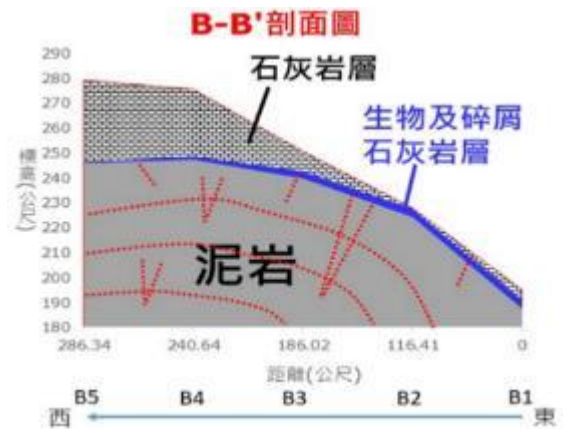


圖 5-28. 大崗山 B 位置地形示意圖(參考文獻 11)

其他現場現象的描述如下圖群說明所示



圖 5-29. 露頭 1-崗安路旁，沿著小路走進去可以看到小斜坡上佈滿了一段段的石塊，如紅色箭號所指示，這些石塊滴下鹽酸都會冒泡，所以都是石灰岩塊。





圖 5-30. 露頭 2-一線天，岩壁到處都可以看到水流過的痕跡，所以布滿了鐘乳石與石柱。



圖 5-31. 露頭 3-軍用洞穴，在洞穴的頂部可觀察到許多的水滴滴落下來，此為形成鐘乳石的方式。沒有雜質的鐘乳石顏色是半透明的白色，有雜質的鐘乳石一般是呈現黃色。



圖 5-32. 現場量測鐘乳石小柱長度，範圍大約 3cm~11cm，均勻分布在洞穴內的各個區域。





圖 5-33. 在洞穴中的岩壁上，發現許多水流過的痕跡，與一線天的鐘乳石岩壁類似。

圖 5-34. 洞穴內連地面也有石筍的存在。

#### 四、花蓮秀姑巒溪口-紅色生物碎屑石灰岩層

圖 5-35 是秀姑巒溪口的電子地質圖，秀姑巒溪由大港口注入太平洋，分布於出海口處的火山碎屑，顆粒比較粗大，而在河口左岸岩壁上，還夾著一層淡粉紅色的石灰岩，此處即為很著名的紅色石灰岩區，此區是屬於港口石灰岩層，如圖 5-35 所示。根據參考文獻 2 中第 45 頁的說明此區域的岩性為前文的描述的當多量的火山灰有如沉積作用般掉落、堆積在海域中時，會與生物遺骸混在一起，這時火山灰就有機會形成碳酸鈣質的火成岩。

由前人的報告(參考文獻 12)中提到會產生紅色的原因是因為含有紅藻球，如圖 5-36 所示，形成機制為秀姑巒溪、三富川及水母汀北溪剖面的港口石灰岩，沉積於礁體或礁前等淺海環境，由於沉積時因為構造性抬升，把沉積於淺水的礁體及礁前的石灰岩露出海面，發生天水成岩作用。之後大概因停止抬升，或島弧崩陷使相對海面上升，隨著海水面持續上升，石灰岩再次沒入海中，並可能因而已白雲岩化的石灰岩上，沉積紅藻球。最後，由於碳酸鹽沉積速率小於沉陷速率，而發生淹溺現象(drowning)，停止沉積石灰岩，並進入半深海，被大港口層覆蓋。



圖 5-35. 花蓮秀姑巒溪口-電子地質圖

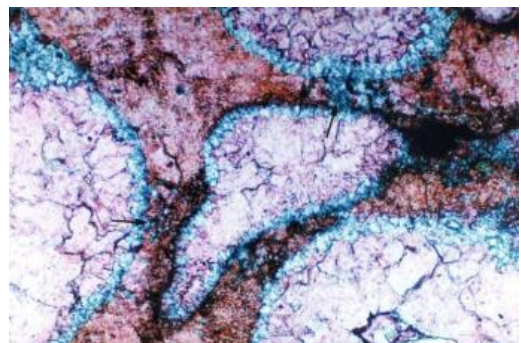


圖 5-36. 港口石灰岩光學顯微鏡照片



其他現場現象的描述如下圖群說明所示



圖 5-37. 採集紅色石灰岩地點的全景圖，此位於秀姑巒溪出海口旁(黃色方框)。



圖 5-38. 於秀姑巒溪上可以看到很多體積非常大的白色石灰岩岩塊，如黃色箭號所示。



圖 5-39. 秀姑巒溪口往上游視角，河水呈現乳白色，推測應該是水中含有鈣質礦物質。



圖 5-40. 接近河水面可以同時發現紅色石灰岩體(紅色箭頭)與一般石灰岩體(黃色箭頭)。



圖 5-41. 在露頭位置現場，即發現一塊崩落的紅色石灰岩，為保持現場樣貌我們只取下該落石的一部分當作研究標本。

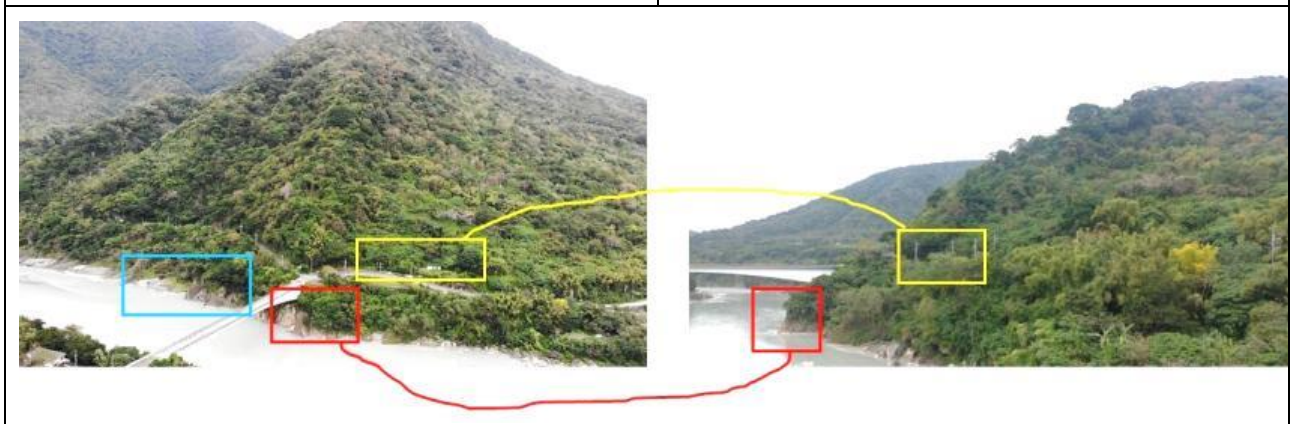


圖 5-42. 野外現地觀察到黃框區與紅框區都有出現紅色石灰岩，雖然出現在不同位置，但

透過彼此的相對關係，可以推測這一個坡面應該都是紅色石灰岩體，因為開路的原因，而出現了黃色區塊的裸露面，但藍色區塊卻是一般石灰岩體，所以紅色石灰岩區範圍並不大。



圖 5-43. 在紅色石灰岩表面可以觀察到非常多的生物碎屑化石。

## 陸. 【研究二】石灰岩-碳酸鈣比例實驗

根據參考文獻 2 第 18 頁所描述，石灰岩的主要成分為碳酸鈣，而碳酸鈣所構成的礦物有方解石與霰石，但一般均以方解石狀態存在，因為霰石較不穩定，因此方解石為石灰岩的主要礦物，此成分的成因有原生的，也有次生的；有化學沉澱的，也有生物形成的。就化學成分而言，方解石通常不是很純的碳酸鈣，有時也含有碳酸鎂，及低鎂方解石。高鎂方解石主要出現於現代海洋沉積物中，而高鎂方解石不穩定，在成岩作用過程中容易轉換為低鎂方解石。根據上述的描述本研究即著手去分析四個採集位置的石灰岩中碳酸鈣含量比例，並嘗試由其中找出一些古環境的資訊。

### 一、實驗步驟:

1. 先分別秤出三個玻璃碟子的重量並編號。
2. 從石灰岩塊上各取下些許碎片並分成三堆放入玻璃碟子中一起秤重。
3. 將步驟二所秤出的結果減去步驟一秤出的結果，可得知各個碟子中石灰岩碎屑的重量。
4. 將鹽酸倒入碟子中並等待大約一天的時間，碟子中的溶液不再冒泡。
5. 測量三張濾紙的重量，並將濾紙套在燒杯的瓶口。
6. 接著將碟子中的溶液攪拌均勻後，再慢慢將其倒入掛上濾紙的燒杯裡。
7. 等到大部分水溶液皆通過濾紙後，再額外加入少量水，清洗濾紙周圍，使其完整過濾。
8. 把剩下的雜質與濾紙一起放入烘箱中烘乾(90 度，約 20 分鐘)。
9. 20 分鐘過後將其拿出並確認水分已完全乾了，再放置約 5 分鐘讓乾燥的濾紙吸收空氣中的水氣。
10. 秤出濾紙與雜質的重量，再將秤出的重量減去步驟 5-濾紙重量的數據，即可得知雜質重量。
11. 碳酸鈣百分比計算方式:(濾紙+雜質)-濾紙重=雜質重，石頭重-雜質重=碳酸鈣重，(碳酸鈣重/石頭重)×100%=碳酸鈣重量百分比。

實驗流程照片如圖 6-1 所示，不管哪一個樣本，滴入鹽酸後，碟子內都會迅速產生二氧化



碳而冒泡，如圖 6-2~圖 6-5 所示，因為滴入的為鹽酸，所以經過濾製程所蒐集下來的是氯化鈣水溶液，如圖 6-6 與圖 6-7 所示，四個位置的氯化鈣水溶液因為含有雜質而呈現黃褐色，就連紅色石灰岩所過濾下來的氯化鈣水溶液，也是黃褐色不是紅色的。

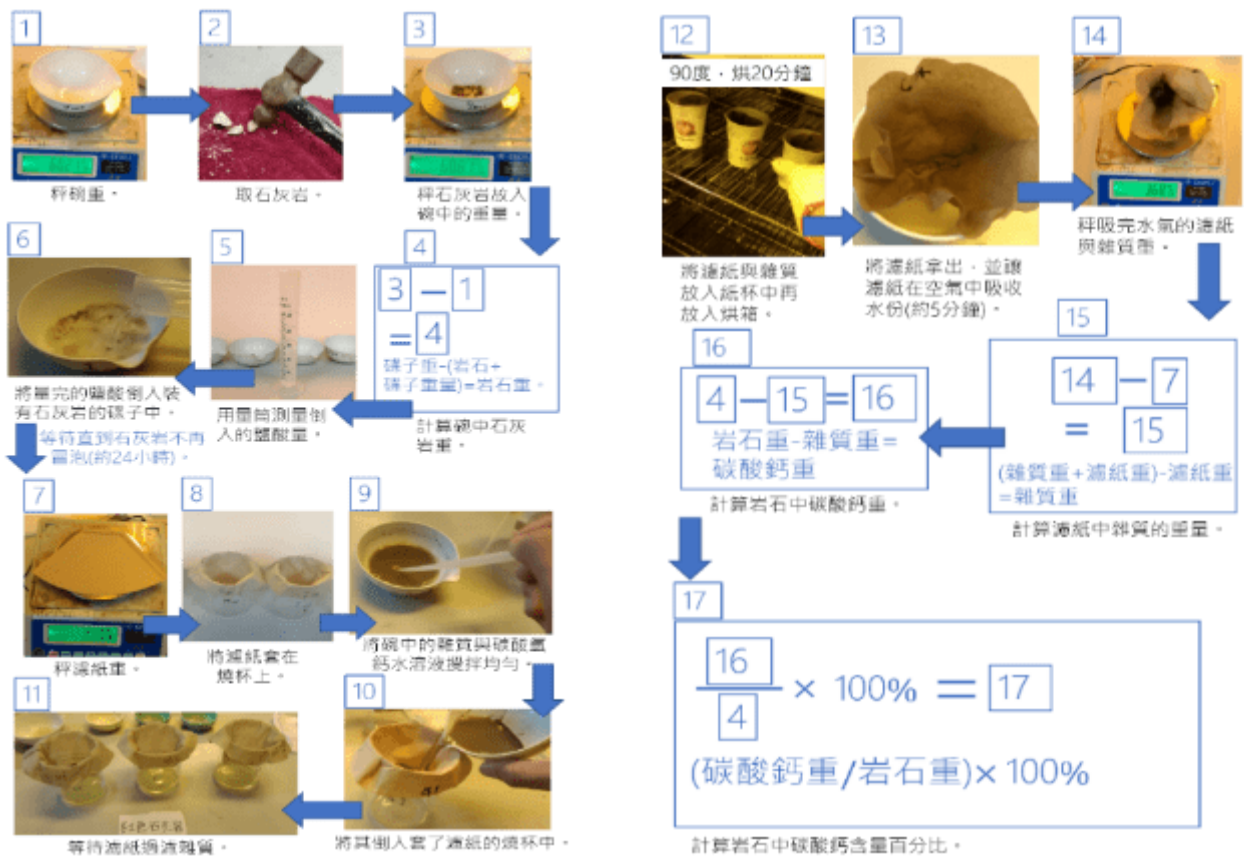


圖 6-1. 實驗步驟流程圖照片



圖 6-2. 此為紅色石灰岩的樣本，最左邊的樣本為滴入鹽酸後冒泡的狀況。



圖 6-3. 此為水流東石灰岩的樣本，最左邊的樣本為滴入鹽酸後冒泡的狀況。



圖 6-4. 此為大崗山石灰岩的樣本，中間與最右邊的樣本為滴入鹽酸後冒泡的狀況。



圖 6-5. 此為牛山石灰岩的樣本，最左邊的樣本為滴入鹽酸後冒泡的狀況。



圖 6-6. 氯化鈣水溶液，左:牛山石灰岩；  
右:紅色石灰岩。

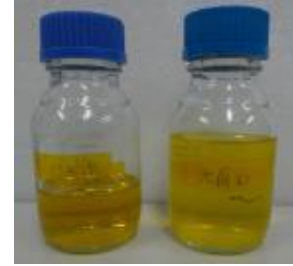


圖 6-7. 氯化鈣水溶液，左:水流東石灰岩；  
右:大崗山石灰岩。

## 二、實驗記錄

表 6-1. 石灰岩-碳酸鈣成分比例實驗原始數據表

地點	編號	礫子重	礫子+石灰岩重	石灰岩重	鹽酸重	鹽酸+礫子重	礫子重	碳酸鈣重	碳酸鈣百分比	
紅色石灰岩	D	60.07	69.26	9.19	30.00	1.16	8.59	7.43	1.76	19.15%
	E	60.20	67.17	6.97	30.00	1.15	7.31	6.16	0.81	11.62%
	G	60.82	68.86	8.04	30.00	1.15	7.37	6.22	1.82	22.64%
	T	60.21	74.80	14.59	30.00	1.16	13.02	11.86	2.73	18.71%
	U	51.62	69.20	17.58	30.00	1.15	15.59	14.44	3.14	17.86%
	V	58.98	70.75	11.77	30.00	1.15	9.65	8.50	3.27	27.78%
	AJ	119.69	133.26	13.57	30.00	1.14	7.90	6.76	6.81	50.18%
	AK	108.21	128.77	20.56	30.00	1.17	11.07	9.90	10.66	51.85%
	AL	108.12	127.44	19.32	30.00	1.15	10.65	9.50	9.82	50.83%
	1	60.37	67.03	6.66	30.00	1.16	3.81	2.65	4.01	60.21%
2	60.81	64.67	3.86	30.00	1.17	2.34	1.17	2.69	69.69%	
3	51.60	56.29	4.69	30.00	1.15	2.05	0.90	3.79	80.81%	
H	60.37	64.41	4.04	30.00	1.16	2.86	1.70	2.34	57.92%	
Q	129.03	138.87	9.84	30.00	1.15	8.49	7.34	2.50	25.41%	
R	108.24	122.87	14.63	30.00	1.15	13.26	12.11	2.52	17.22%	
S	119.75	132.42	12.67	30.00	1.13	11.34	10.21	2.46	19.42%	
AG	51.60	69.72	18.12	30.00	1.18	3.98	2.80	15.32	84.55%	
AH	59.85	82.36	22.51	30.00	1.17	4.98	3.81	18.70	83.07%	
AJ	128.99	141.31	12.32	20.00	1.15	3.60	2.45	9.87	80.11%	
7	108.28	114.94	6.66	30.00	1.15	4.86	3.71	2.95	44.29%	
8	108.19	115.36	7.17	30.00	1.15	5.19	4.04	3.13	43.65%	
9	129.05	135.13	6.08	30.00	1.15	3.92	2.77	3.31	54.44%	
I	51.60	54.35	2.75	30.00	1.15	1.91	0.76	1.99	72.36%	
N	59.87	74.61	14.74	30.00	1.15	13.07	11.92	2.82	19.13%	
O	60.37	75.99	15.62	30.00	1.15	13.64	12.49	3.13	20.04%	
P	60.09	78.77	18.68	30.00	1.15	17.13	15.98	2.70	14.45%	
AD	58.97	77.05	18.08	30.00	1.16	5.20	4.04	14.04	77.65%	
AE	60.82	75.11	14.29	30.00	1.15	4.11	2.96	11.33	79.29%	
AF	60.08	73.63	13.55	30.00	1.17	3.93	2.76	10.79	78.63%	
A	128.99	134.21	5.22	20.00	1.16	4.80	3.64	1.58	30.27%	
B	108.10	114.77	6.67	20.00	1.16	5.66	4.50	2.17	32.53%	
J	60.19	63.99	3.80	30.00	1.17	4.40	3.23	0.57	15.00%	
K	62.24	75.96	13.72	30.00	1.15	11.72	10.57	3.15	22.96%	
L	51.44	65.37	13.93	30.00	1.16	11.65	10.49	3.44	24.69%	
M	60.83	71.23	10.40	30.00	1.16	8.73	7.57	2.83	27.21%	
AB	60.19	74.96	14.77	30.00	1.17	13.43	12.26	2.51	16.99%	
AC	62.23	74.26	12.03	30.00	1.14	10.90	9.76	2.27	18.87%	

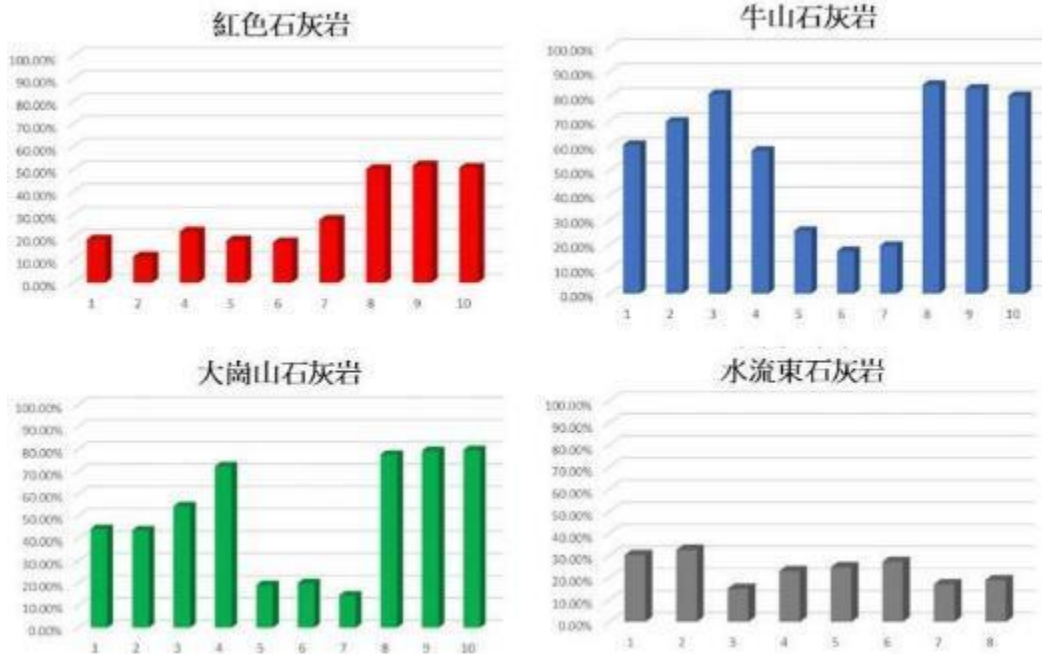


圖 6-8. 四個位置石灰岩的碳酸鈣含量百分比圖。



### 三、結果與討論

1. 表 6-1 為原始數據，進一步將之轉為柱狀圖，如圖 6-8 所示，四個位置的石灰岩所含的碳酸鈣成分都是不均勻的，水流東石灰岩碳酸鈣含量大約介於 15%至 32%之間，水流東的石灰岩是由扇貝化石密集層所形成的，就現場環境觀察密集層中扇貝化石的數量非常多，但透過本實驗流程，獲得的碳酸鈣比例卻只有三分之一左右的含量，蠻出乎人意料之外。
2. 在水流東野外現場的標本，有分成兩種，一種是佈滿扇貝化石的岩體，如圖 5-24 所示，另一種是表面幾乎看不到扇貝的岩體，如圖 5-21 所示，本研究是採集第二種的岩體當作標本，此種岩體形成的機制為原本的扇貝殼體已被大自然環境中的酸給溶蝕掉後，又再結晶析出成碳酸鈣，所以應該是由生物體的碳酸鈣轉變為化學沉澱的碳酸鈣，最後再跟含二氧化矽成分的砂顆粒膠結成石灰岩體，這種岩體比一般的無碳酸鈣成份的砂岩體來說是非常的堅硬，所以現場透過地質捶敲擊採集時非常困難與耗時。
3. 紅色石灰岩是屬於含有碳酸鈣成份的火成岩體，也就是火山灰落入含有生物碎屑-碳酸鈣的沉積環境中，因此碳酸鈣比例不會非常的高，採集岩體標本時，整體看起來生物碎屑化石的分布量不多，如圖 5-41 所示，而且表面摸起來非常的粗糙，因為有碳酸鈣的膠結，所以敲擊採樣時岩體也是非常的堅硬。
4. 大崗山石灰岩的碳酸鈣分布非常不均勻，但有些標本碳酸鈣的含量卻非常高，主要是此區域早期是水泥公司，對於石灰岩這樣的礦藏是有需求，所以碳酸鈣的成分比例較高可以讓此區的石灰岩更有開採價值。
5. 另一個讓本研究很意外的是牛山石灰岩的碳酸鈣成分比例也有非常高的標本存在，但由岩體表面觀察並沒有非常多的生物碎屑，所以推測該區域在古環境時出現了生物大量死亡並堆積在一起的狀況，也因此保留下來的碳酸鈣比例會非常高。

### 柒. 【研究三】石灰岩成份分析

- 一、延伸前一章節的討論，本章節更進一步討論石灰岩內所有成分的比例關係，如前人的研究報告([參考文獻 13](#))所提及化石標本因為不同元素的含量會有不同的古環境意義，
  1. 小塔螺(*Turritella fliliola*)：鈣為軟體動物的硬殼之主要成分，其含量常呈較穩定者，一般而言，同一種生物對同一元素之吸收能力應是相同的，其含量之所以有差別，可以歸因於生存之海水的差異，若假定其他的條件均為固定，則可以相信四溝層推積時的沿海應比崎頂層者之鈣含量高。
  2. 陳民本陳汝勤(1973)指出鎂在生物被掩埋後，可被間隙溶液中之鈣離子所取代。Dodd 認為海水鹽度降低則鎂含量增加，與溫度為正關係。已知四溝層者受過汙染，故間隙溶液中之鈣應有取代部分之鎂，鎂之原含量應高於 0.06%，而此區鈣含量不可能低鹽度，故促使鎂含量高者應為較高海水溫度，故可認為堆積時四溝層區海水溫度高於崎頂層。
  3. Amiel, Friedman 和 Miller(1973)指出生物硬殼中之鈉可能吸自海水，一部分結於結晶方

格中，一部分則吸附，吸附者易被地下水或造岩作用所除去，在同一地區現生者含量高於化石者。四溝層者鈉含量高於崎頂層者表示四溝層堆積時的海水鈉含量已高於崎頂層者。

4. 鎂的含量四溝層者少於崎頂層者，Amiel, Friedman 和 Miller(1973)認為生物骨骼中 25%之鎂為吸附，易被淋漓或被鈣所取代，Dodd(1973)曾認為海水鹽度降低，則鎂含量增加，綜合此二意見可解釋為一方面海水鹽度高促使鎂含量減少，另一方面淋漓作用可減少鎂含量。故四溝層者少於崎頂層者。
5. 由以上訊可以整理出如表 7-1 的關係

表 7-1. 鎂成分與環境的關係比較表

鎂的含量	海水溫度:	海水鹽度:
高:	高	低
低:	低	高
判斷意義:	冰期與間冰期	乾季與雨季

## 二、綜合上述文獻討論，可得知：

1. 崎頂層堆積的條件為鹽度及溫度均低於四溝層，此二堆積地直線距離僅 100 公里左右，形成如此差異可歸於因堆積之淺海條件之差異:崎頂層區緊臨曾文溪之南，古曾文溪可帶入淤砂和淡水，使鹽度下降，淤砂可促成潟湖之形成，故得較低之鹽度。四溝層區沒有大河之影響，且適宜珊瑚礁之生長，先期隆起之珊瑚礁更增加海水鹽度。又暴雨亦可影響海水之岩度和溫度，故可認為更新世早期於崎頂層堆積時為暴雨期，在四溝層堆積時暴雨期已停止。小塔螺此類生物可生存於崎頂層和四溝層二不同鹽度和溫度之海區，可認為屬於廣忍受度生態的生物。
2. 鎂含量越高海水溫度也越高，但海水的鹽度就越低，所以鎂含量的高低可以判斷出古環境的氣候溫度與海水的鹽度狀況，進一步的由氣候溫度可以判斷出冰期與間冰期，由海水鹽度可以判斷出雨季與乾季。圖 7-1 為四個研究區域所採集的標本，進行的 EDS 分析的各元素能量分布之圖譜，將這些圖譜轉成各元素的比例含量，如表 7-2 所示，水流東與牛山地區石灰岩的含鎂比例非常低，所以推測當時的環境應該是冰河時期，也因為溫度降低造成生物大量的死亡，由參考文獻 8 也可以證明水流東地區的扇貝大量死亡主要是因為冰河時期海水溫度降低的原因，所以最後形成的扇貝密集層。
3. 更進一步的我們透過冰河時期的資料查詢可以對應出水流東-扇貝石灰岩層屬於更新世埃下寮層(70-130 萬年前)，可對應到前巴斯頓冰期(80-130 萬年前)；牛山石灰岩層屬於更新世六重溪層(130-180 萬年前)，此也可以對應到布拉莫頓冰期(155.5-180 萬年前)。由野外的化石型態也可以判斷出一些資訊，根據圖 5-14 所示，牛山地區河床上的海膽化石同時出現了小尺寸與大尺寸的型態，而根據圖 5-25 中間圖所示，水流東扇貝化石

圖上的黃色點標記是較大型扇貝殼體，而紅色點標記是較小型的扇貝殼體，與牛山河床有相同的現象，就是在同一區域內同時出現了小尺寸與大尺寸的化石型態，這樣的野外化石資訊顯示這兩個區域生物的大量死亡是屬於災難性，而此災難就是冰河時間的到來。

4. 大崗山地區可以判斷出海水比較溫暖，但鹽度也比較低，採集標本的地層是屬於崎頂層，如參考文獻 13 所描述崎頂層區緊臨曾文溪之南，更新世早期於崎頂層堆積時為暴雨期，所以雨季與乾季交互存在，容易造成近海與河口地區的鹽度變化，此也非常容易造成生物大量的死亡，這也許就是大崗山地區生物大量死亡形成碎屑密集層的原因。於最近的新聞資料(參考文獻 14)可以得知今年初大都屬於乾季的氣候狀況，但在五月底時雲林外海出現了大雨，使得近海地區的鹽度突然變化，此造成了台西地區的養殖文蛤的大量死亡，所以在古氣候環境中，因人類尚未出現的情形下，會造成海洋生物大量死亡的原因可能有冰期的出現與海水鹽度的大幅變化，推測大崗山地區應屬於第二個原因。
5. 紅色石灰岩是屬於含有碳酸鈣的火成岩體，也因此成岩的當下應該是有火山的行為發生，所以當時的海水溫度應該會較高，根據文獻(參考文獻 15)所描述，作者台大地質系陳文山教授提到從都鑾山層火山角礫岩轉變為港口石灰岩，代表另一次環境的大改變。火山活動時期，火山島四周海域是不會形成大規模的生物礁，因為火山噴發產生大量有毒氣體以及在鄰近海域中經常堆積大量的火山碎屑物，造成海水形成缺氧環境使得海底生物大規模死亡，或被大量沉積物掩埋而死亡，所以推測火山活動這可能是紅色石灰岩體形成的當下，造成生物大量死亡的原因。

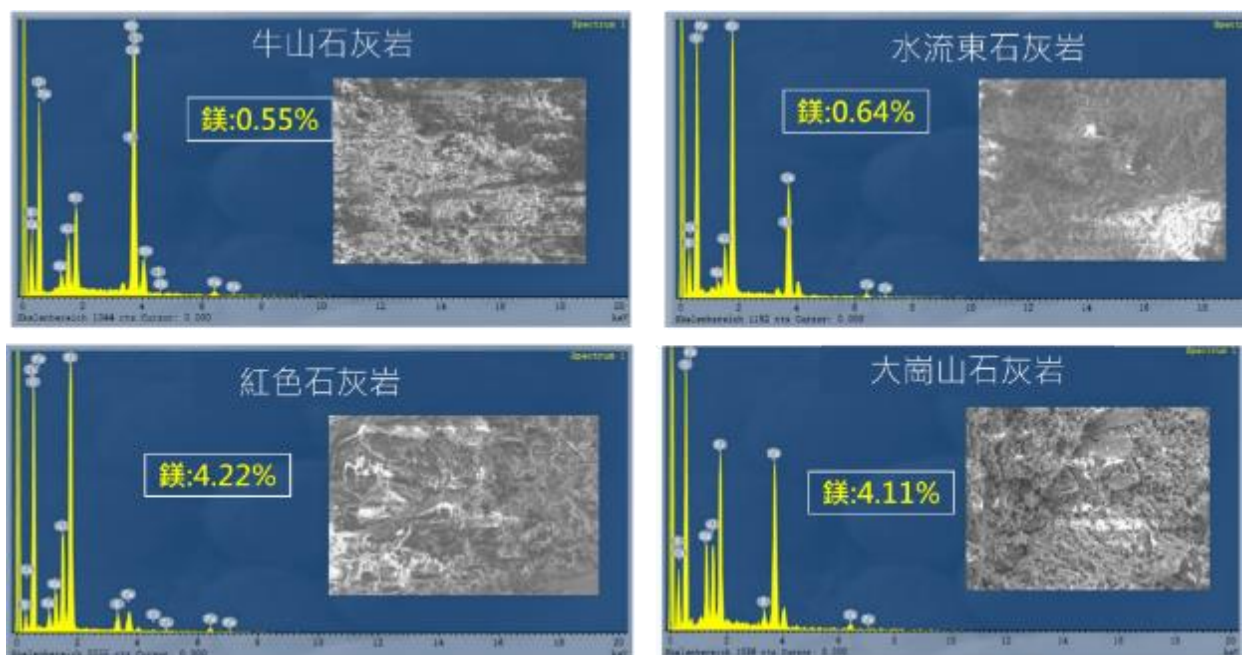


圖 7-1. 四個研究位置採集之標本的 EDS 分析圖與放大 1000 倍之微結構圖



表 7-2. 四個採集位置之標本所含的元素含量表

		採集位置									
		水流東石灰岩			牛山石灰岩			大崗山石灰岩		紅色石灰岩	
		A	B	C	1	2	3	1	2	A	B
元素	O	79.51	77.92	72.09	72.91	75.59	71.57	75.91	78.1	72.18	80.08
	Ca	11.29	6.83	5.86	2.43	15.71	10.27	8.62	7.51	1.58	8.41
	Mg	0.56	0.65	0.72		0.84	0.8	4.07	4.14	2.37	6.07
	Si	5.91	11.69	17.49	16.13	3.47	9.62	6.79	6.7	15.34	3.6
	Fe	1.14	0.59	1.33	2.41	0.56	1.58	0.71		0.81	0.55
	K		0.93	0.45	1.44	0.39	1.5	0.71	0.71	1.12	
	Al	1.58	1.93	2.07	4.69	2.27	4.67	3.18	2.84	4.98	1.28

6. 為了確認以鎂含量的多寡來當作古氣候環境的判斷指標，本次的研究幸運的由專家那邊獲得了一顆白堊紀時期的恐龍蛋，如圖 7-2 所示，所以依上述的透過鎂成分比例關係來作古氣候環境的判斷邏輯，也對恐龍蛋與夾在恐龍蛋外圍的土壤進行成份分析，其結果如圖 7-3 所示，結果發現蛋殼本體應該是很純的碳酸鈣成分，但土壤的成分中鎂的含量是非常高的，所以推測當時氣候環境溫度應該是屬於高溫環境，透過回查白堊紀時期的氣候資料(參考文獻 16)，發現當時的氣候溫度是高於現今氣候溫度大約有 4°C 左右，此也又證明透過鎂元素可以去判斷古環境氣候的狀況。



圖 7-2. 恐龍蛋 上視圖(左)與側視圖(右)

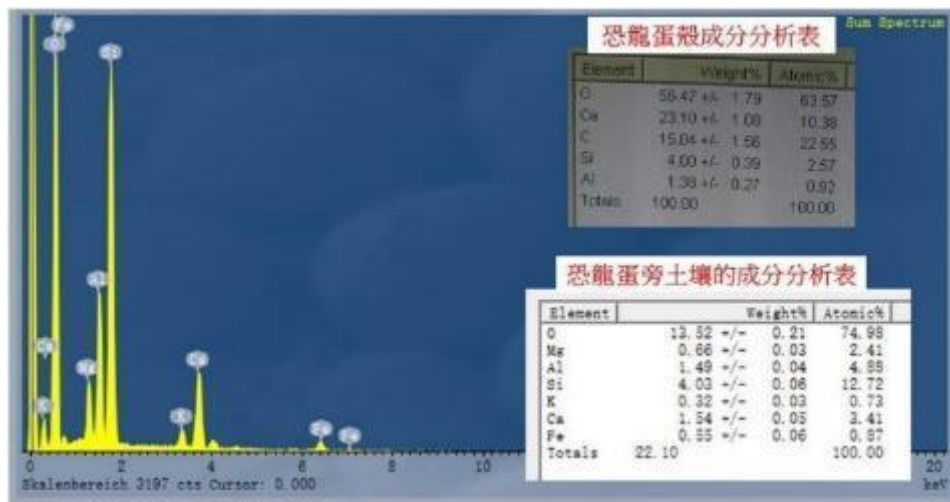


圖 7-3. 恐龍蛋成份分析圖



## 捌. 【研究四】鐘乳石形成特性之探討與模擬

本報告於前面章節對石灰岩的特性做了兩種化學分析，並獲得了一些古環境的資訊，但在大崗山地區出現的鐘乳石，讓我對此非常有興趣，所以決定繼續深入研究，如前面章節的描述，石灰岩是水泥的原料之一，但是水泥算是高污染的產業，而相同的石灰岩也是鐘乳石的原料，但是鐘乳石卻是天然寶石，所以水泥與鐘乳石是石灰岩的兩個極端產物，石灰岩的夕陽應用是指水泥，但本研究題目：石灰岩的**華麗轉身**，講的就是鐘乳石。

本章節除了討論野外鐘乳石的成因之外，也嘗試透過室內實驗進行模擬鐘乳石成長的行為，透過文獻搜索發現有團隊透過以碳酸鈉與氯化鈣反應出碳酸鈣的方法，並搭配經過設計的實驗設備，如圖 8-1 左圖所示，可以成長出人造鐘乳石(參考文獻 17)，如圖 8-1 右圖所示。參考文獻 17 的團隊是以化學反應來製作出人造鐘乳石，而本實驗希望取用天然石灰岩當作材料，模擬大自然形成鐘乳石的機制來製作人造鐘乳石，設計為將第六章實驗中，以鹽酸溶解天然石灰岩後所蒐集下來的氯化鈣水溶液，直接透過滴管將氯化鈣水溶液反滴玻璃板上，並透過高溫烘烤結晶析出氯化鈣，重複上述步驟直到可以成長出棒狀物為止，此棒狀物就稱之為類鐘乳石，雖然每次只有一滴的量，但透過多次的累積，仍是有機會成長成棒狀物的，而且這樣的成長行為比較類似大自然成長鐘乳石的機制。

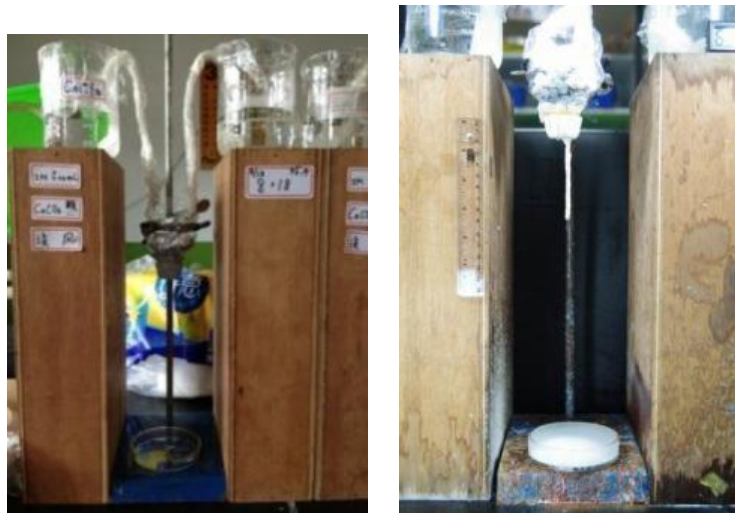


圖 8-1. 以化學反應法製作人造鐘乳石設備(左圖)與所形成的人造鐘乳石柱(右圖)

### 一. 實驗結果

發現透過人工逐滴的成長類鐘乳石型態的方式有幾個狀況發生了：

1. 成長類鐘乳石的基底表面非常關鍵，因為有些材質不易結成水珠，如果不結成水珠，就無法連續成長成棒狀物了，實驗試了幾種材質，最後以乾淨的玻璃表面最為恰當，更進一步地說，就是乾淨的玻璃基材表面是呈現親水性的。
2. 除了成長基材表面特性要親水性之外，基材的擺放要呈水平狀況，如果有傾斜，水珠容易因為流動而滴落，只要水滴一滴落，實驗就失敗了。

3. 實驗由天然石灰岩透過鹽酸腐蝕，所蒐集下來的為氯化鈣水溶液，不是碳酸鈣水溶液，因此氯化鈣膠結的效果並不好，只能長成 4~5mm 的長度，直徑也大約只有 2mm，無法像天然的鐘乳石長那麼長。
4. 實驗透過提高烘烤溫度來加速進行，但太高的溫度很容易因為水蒸發太快而造成斷裂，使類鐘乳石的成長機制瓦解，最後測試以 90°C 為最佳參數。

## 二. 結果與討論

透過滴水手法來成長類鐘乳石的實驗主要是在大崗山軍用洞穴中觀察到的結果，洞穴中的天花板佈滿了水珠與鐘乳石小柱，推測經過一段時間後，水珠乾掉的過程中會再逐漸的析出碳酸鈣結晶物，最後完全乾燥後，就會形成鐘乳石小柱。從前面的第 4-4 章節中提到大自然中的二氧化碳會微溶於水而形成酸度極低的碳酸水溶液，然後碳酸水溶液會逐步溶蝕天然的碳酸鈣，碳酸是非常弱的酸，所以溶蝕的時間會非常久，溶蝕後會產生碳酸氫鈣水溶液，而天然的碳酸氫鈣水溶液會透過結成水珠與乾燥過程，又還原成碳酸鈣，而且會形成棒狀的碳酸鈣岩體，就是我們看到的鐘乳石，整個成型的過程可以說是巧奪天工，對照前一段所描述的實驗室手法有一些差異處可以提出討論

1. 大自然是透過碳酸水溶液來溶蝕石灰岩，而實驗室是透過鹽酸水溶液來溶蝕天然石灰岩，雖然溶蝕的速度比較快，但只能形成氯化鈣水溶液，無法形成碳酸氫鈣水溶液。
2. 實驗室是透過加熱來加速氯化鈣水溶液的乾燥速度，所以只能獲得白色小柱體，如圖 8-2 左圖黃色箭號指示處所示，而大自然是透過自然乾燥再析出的方法成長出鐘乳石，也因為比較緩慢，所以於鐘乳石的橫切面上可以看到非常漂亮的晶體結構，如圖 8-2 右圖紅色箭號所示。
3. 大自然是將碳酸鈣溶解後又還原回碳酸鈣，而實驗室手法是將碳酸鈣溶解後卻是反應出氯化鈣，氯化鈣的膠結效果比較不好，所以不易形成又胖又長的柱狀體。



圖 8-2. 左:氯化鈣析出體(黃色箭號處)；右:天然鐘乳石

這次研究的四個位置，卻只有在大崗山地區的石灰岩層中發現鐘乳石，連碳酸鈣含量成分很高的牛山地區-龜重溪河床石灰岩層也沒有出現鐘乳石，進一步探討碳酸鈣的存在只是形

成鐘乳石的因素之一，另外幾個形成條件是：

1. 必須要有地層水的存在：大自然的水如果形成了碳酸水溶液，就可以對碳酸鈣岩體進行溶蝕作用，使之變成碳酸氫鈣水溶液，對於這個因素，本研究中四個區域都是可以在附近找到水源的。
2. 必須要在裂縫或是洞穴中：有了碳酸氫鈣水溶液後，必須要有成型與乾燥的環境，所以必須存在一個不受環境干擾的空間中，水流東、牛山龜重溪與秀姑巒溪口出現石灰岩層的地方，都是屬於一個開放的環境，只有大崗山地區一線天的鐘乳石是存在於裂縫中，而另一個位置-軍用洞穴也是非常好孕育鐘乳石的環境。
3. 石灰岩層要有足夠的厚度，因為水流經石灰岩的過程中，為主要溶解石灰岩的時機，所以當石灰岩層越厚，水流過的路徑也會越長，當然溶解的時間也會越長，這樣的條件下是越容易形成鐘乳石，本研究四個野外地區，就只有大崗山會有這樣的環境條件。

所以總和上述討論，生長環境是本研究於四個地區出現鐘乳石與否的主要因素。

### 三. 人造紅色鐘乳石

在大崗山的軍用洞穴中，有看到乳白色的鐘乳石小柱，也有看到呈現黃色的鐘乳石小柱，而本次研究很幸運的由專家那邊得到了一根的黃色鐘乳石柱，如圖 8-2 右圖所示，透過橫切面可以觀察到切面的中心處是呈現清晰透明狀的，而且可以很清楚看到方解石的晶面，但是在外圍的部份就出現了黃褐色的狀態了，所以推測原始的鐘乳石是由碳酸鈣所形成的，如前面 4-1 章節的描述碳酸鈣含有方解石的結晶，所以最純的鐘乳石應該是透明狀態的，會出現顏色主要是含有雜質，在前面第六章節的碳酸鈣含量實驗中，將紅色鐘乳石以鹽酸溶蝕後，所過濾下來的溶液是淡黃色狀態，如圖 8-3 左上圖所示，而殘存在濾紙上的雜質，是呈現紅色顆粒體的，如圖 8-3 左下圖所示，所以實驗進一步的將鹽酸添加到紅色石灰岩體使成溶液態，並再額外添加適量的氯化鈣水溶液，以此當作基礎溶液，再透過前面章節使用的水滴實驗手法嘗試成長出類鐘乳石小棒狀物，製作流程如圖 8-3 所示，結果成功的長出了長度為 0.8 公分左右的紅色-類鐘乳石小柱，如圖 8-4 圖所示。

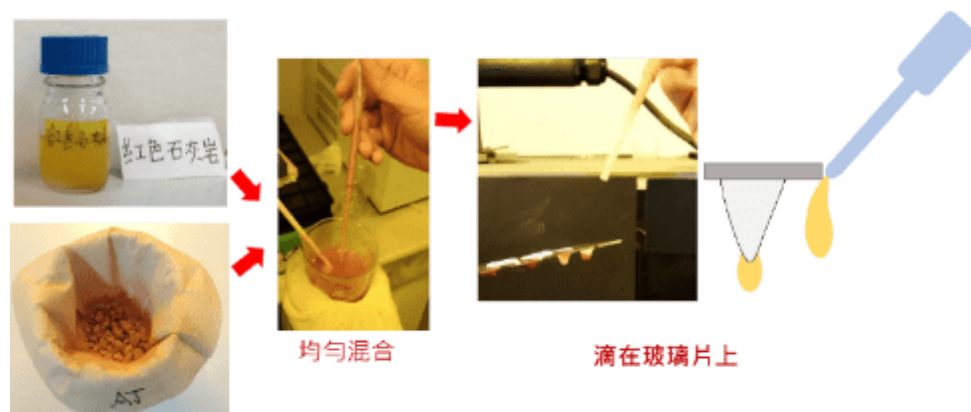


圖 8-3. 製作紅色類鐘乳石流程圖





圖 8-3. 紅色-類鐘乳石

綜合前面章節的描述，只要我能成功的製作出高濃度的碳酸水溶液，就可以在實驗室快速的以此溶液進行石灰岩的溶蝕作用來產生碳酸氫鈣水溶液，最後透過逐次乾燥的烘烤手法，就可以製作出紅色鐘乳石柱，但很可惜的高濃度的碳酸水溶液，是無法在實驗室合成出來的，雖然人類的科技發展非常的快速，但就像植物進行光合作用一樣，大自然仍存在很多現象是人類無法實現出來的，所以鐘乳石是大自然巧奪天工下的藝術品。

## 玖. 結論

### 一. 四個不同區域的石灰岩層特性比較

最大的創新點為我是第一個透過鎂成份分析，來回推台灣這四個石灰岩地區的古環境狀態。

地點		牛山地區- 龜重溪河床生物碎屑 石灰岩層		高雄田寮區- 大崗山生物碎屑石灰岩層		六甲地區- 水流東扇貝石灰岩層		花蓮秀姑巒溪口- 紅色生物碎屑石灰岩層			
野外調查		石灰岩體位於龜重溪河床邊，以生物碎屑為主的石灰岩體，可發現很多較完整的海膽化石與扇貝的外殼及碎屑等化石。由於此區域早期為油礦區，所以河流中有油氣冒泡的現象。		崗安路旁	可以看到很多塊狀的石灰岩體，此處為大崗山地區的標本採集區。	化學沉澱石灰岩	從生物形成的石灰岩溶解在析出所形成的石灰岩岩體非常堅硬。		區為台灣境內少數含有碳酸鈣成分的火成岩體，學名為港口層石灰岩，俗名又稱為紅色石灰岩，岩體可以清楚看到很多碎屑化石，由參考文獻知道紅色主要是因為岩體中含有紅藻球。		
				一線天	該區域可以在岩壁中看到許多鐘乳石。						生物形成的石灰岩
				軍用洞穴	洞穴內很多地方可以看到水流的痕跡，頂部可看到很多小柱狀的鐘乳石，地上有些地方也有可以找到石筍。						
碳酸鈣含量百分比	最高	80%	成分分布不均 數值較高	72%	成分分布不均 數值較高	32%	分布較均勻 數值較低	27%	分布較均勻 數值較低		
	最低	17%		14%		15%		11%			
生物大量死亡的原因		鎂：0.55%		鎂：4.11%		鎂：0.64%		鎂：4.2%			
		氣候溫度較低，所以推測可能為冰河時期造成的。		暴雨期造成鹽度急遽下降，使近海與河口鹽度發生變化，造成生物死亡。		氣候溫度較低，所以推測可能為冰河時期造成的。		火山的行為發生造成海水溫度較高，使得海底生物大規模死亡，或被大量沉積物掩埋而死亡。			

## 二. 鐘乳石成長機制探討

1. 比較天然鐘乳石與人工類鐘乳石的成長機制如圖 9-1 所示，天然鐘乳石形成的時間非常攏長，過實驗設計的人造類鐘乳石是可以快速成型出小柱體的。



1. 製作人造類鐘乳石，基底必需具有親水性，水珠才能有效的附著在表面。

3. 實驗是採用氯化鈣當作膠結劑，其黏著性比天然的碳酸鈣來得差，所以不易形成較長的人造鐘乳石。



2. 製作人造類鐘乳石基底必需水平，水珠才能佈滿整個基底，天然鐘乳石不需要此特點即可佈滿洞穴頂部。

4. 天然鐘乳石是自然乾燥，而人造鐘乳石是透過加熱來加速進行，所以結晶效果較差。

圖 9-1. 鐘乳石成長要件示意圖

2. 本研究將鹽酸添加到紅色石灰岩體使成溶液態，並再額外添加適量的氯化鈣水溶液以增加膠結物質於溶液中，以此當作基礎溶液，再透過前面章節使用的水滴實驗手法嘗試成長出類鐘乳石小棒狀物，結果成功的長出了紅色-類鐘乳石小柱。

## 拾. 參考文獻

- (1). 石灰岩-維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%9F%B3%E7%81%B0%E5%B2%A9>
- (2). 鍾廣吉，台灣的石灰岩，遠足文化出版，台灣地理百科
- (3). 鍾廣吉，台灣的化石，遠足文化出版，台灣地理百科

- (4). 能量色散 X 射線譜-維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%83%BD%E9%87%8F%E8%89%B2%E6%95%A3X%E5%B0%84%E7%BA%BF%E8%B0%B1>
- (5). 鐘乳石-維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%92%9F%E4%B9%B3%E7%9F%B3>
- (6). <https://blog.xuite.net/wxm3338/twblog/151921209>
- (7). 中國時報 2005/05/25 陳炎生／六甲報導 <http://mypaper.pchome.com.tw/folkmit/post/1247485394>
- (8). 鍾昀臻 林彥伶 陳聰智老師 黃喜美老師 台南市立勝利國小 HOP HOP 的扇貝-密集層土與水之探討 中華民國第 59 屆科展 地球科學國小組 第二名
- (9). 鍾廣吉，高雄地區的石灰岩洞與鐘乳石，地質期刊 9 卷 2 期，民國 78 年。
- (10). 大崗山石灰岩礦區岩層鑽探工程鑽探成果報告書，嘉新水泥股份有限公司，遠東鑽探工程股份有限公司，中華民國 81 年元月。
- (11). 鍾昀璋 陳勁宇 林理業 陳聰智老師台南市立勝利國小 泥岩上的石灰岩~大崗山地質環境之探討 中華民國第 62 屆科展 地球科學國小組 第一名
- (12). 袁彼得 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告 海岸山脈中段港口石灰岩中白雲岩的成因及機制
- (13). 鍾廣吉 台灣南部更新世地層兩種軟體動物化石之化學分析 台灣石油地質 第十八號 第 131-141 頁 民國 70 年 12 月
- (14). 自由時報 2023/05/23 黃淑莉/雲林 <https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/4310411>
- (15). 陳文山 阿山的地科研究室 海岸山脈地質解說-花東海岸(導覽篇一)  
[http://ashan.gl.ntu.edu.tw/chinese/GeoPark/SeacoastSierraGeology/SeacoastSierraGeology02/index-02\\_12main.htm](http://ashan.gl.ntu.edu.tw/chinese/GeoPark/SeacoastSierraGeology/SeacoastSierraGeology02/index-02_12main.htm)
- (16). 白堊紀-維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%99%BD%E5%9E%A9%E7%BA%AA>
- (17). 楊子萱 溫千藝 葉家瑜 王思琪老師 郭青鵬老師 台北市立蘭雅國民中學鐘年發福-探討模擬洞穴對鐘乳石生長之影響 中華民國第 54 屆科展 地球科學國中組 第二名



## 【評語】 030503

研究的面向相當廣，但是比較缺乏聚焦在一個具體的科學目的。

沒有統計分析，用鎂當作指標只可作為證據之一，宜再參考同位素定年法。

時間及氣候的討論可以更加精細，野外觀測精細不錯。

## 作品海報



## 摘要:

本研究主要是針對牛山-龜重溪河床生物碎屑石灰岩層、六甲地區-水流東扇貝石灰岩層、高雄田寮區-大崗山生物碎屑石灰岩層與花蓮秀姑巒溪口-紅色生物碎屑石灰岩層四個不同化石密集層所形成的石灰岩層進行野外調查，並採集現場標本進行後續實驗。首先是透過酸溶蝕來確認四個位置的碳酸鈣含量比例，發現大崗山與牛山石灰岩的含量非常高，而由文獻知道透過鎂含量可以判斷古環境氣溫的高低與海水鹽度的變化狀況，所以進一步的由成分分析儀器來定量出四個位置的鎂元素含量，並推測出四個地區古環境氣候造成生物大量死亡的原因。題目中的石灰岩的華麗轉身指的就是鐘乳石，所以報告最後嘗試探討天然鐘乳石的形成機制與製作出紅色-類鐘乳石的樣品。

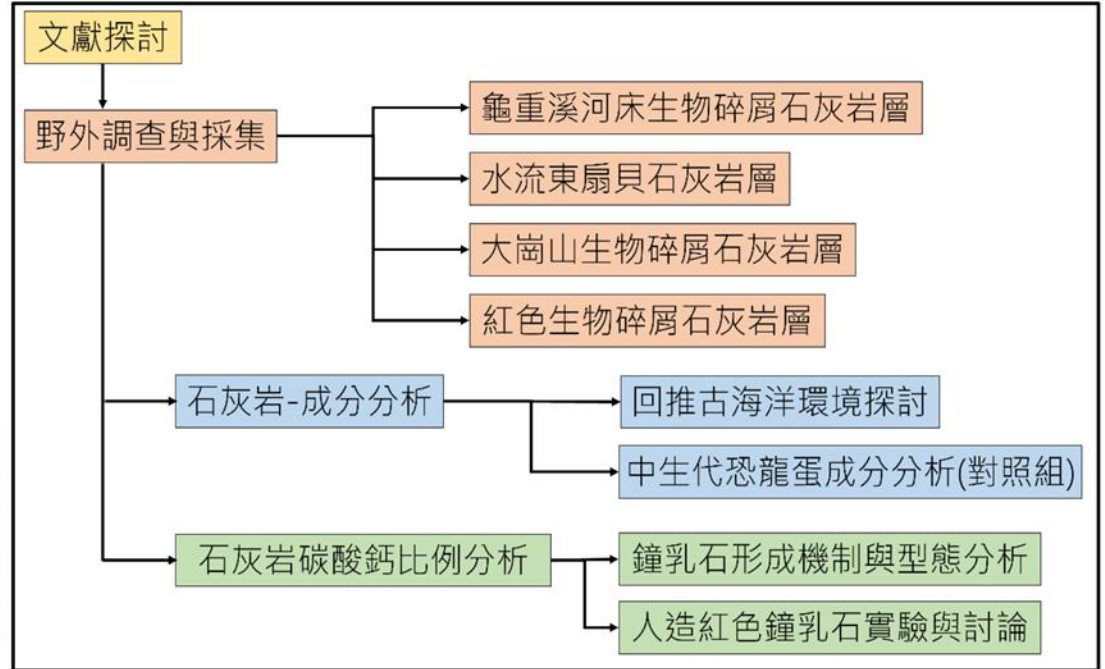
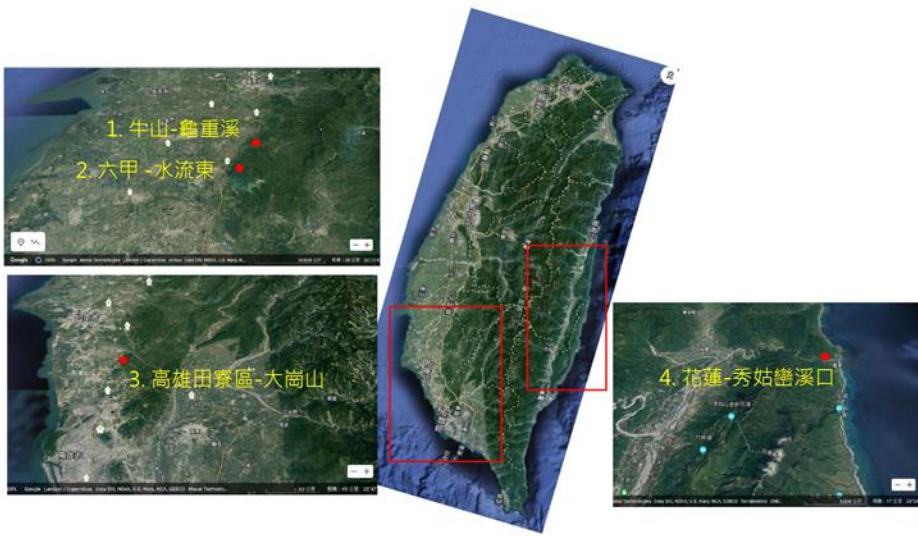
## 研究動機:

暑假時的一天，我從書櫃拿出了三本我過去比賽科展的報告書，一頁頁回憶著當時每一滴的汗水與每一次的實驗，看著裡面一張張野外調查的照片，我突然發現，當時研究的地點很多都有石灰岩呢！這些石灰岩會不會有什麼共通點呢？我是不是可以將這些石灰岩做比較看看呢？正當我思考時，忽然瞥見櫥窗中擺著幾塊去年做科展研究時到大崗山鐘乳石洞穴中撿到的一根幾乎透明的鐘乳石，與一小塊爺爺以前採集回來的紅色石灰岩，這又讓我想起，鐘乳石不就是石灰岩溶解再析出形成的嗎？那我是不是也能用紅色石灰岩做出一塊紅色鐘乳石呢？於是我開始實踐腦海中的想法，並在老師與家人的指導下，開始了這一年的科展研究。

## 目的:

- 一、訓練野外地質調查的能力
- 二、不同區域石灰岩層-碳酸鈣的比例分析
- 三、石灰岩成份分析與古環境推演
- 四、探討鐘乳石形成的機制

## 研究地點與流程圖:



## 研究內容

### 1. 牛山地區-龜重溪河床生物碎屑石灰岩層



#### 野外調查結果:

在石灰岩中可發現許多的生物遺骸，如：扇貝、海膽、管螺、單體珊瑚、牡蠣化石以及許多碎屑化石。

在石灰岩河床上發現了海膽化石被裂縫切過的現象，由此可以推測這些裂縫應該是斷層所造成的。



### 2. 六甲地區-水流東扇貝石灰岩層

#### 野外調查結果:

扇貝化石分布狀況:

- (1) 大部分都是凸殼向上。
- (2) 凸殼數量遠多於平殼數量。
- (3) 扇貝化石密集層直接裸露在地表上，數量非常多彼此層疊在一起。



### 3. 高雄田寮區-大崗山生物碎屑石灰岩層



岩心資料

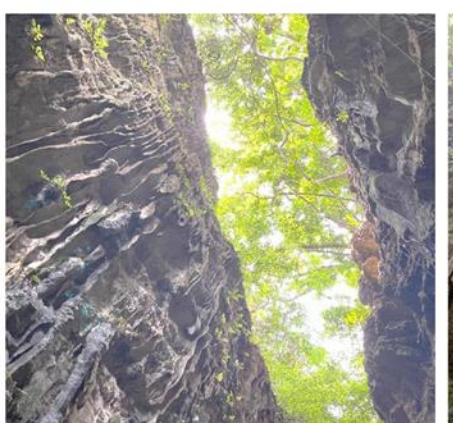
#### 野外調查結果:

在一線天的岩壁上，可以看到非常多的鐘乳石。

軍用洞穴中頂部的鐘乳石，長度大約3到5公分，沒有雜質的鐘乳石顏色是半透明的白色，有雜質的鐘乳石一般是呈現黃色。



此為石灰岩採集位置



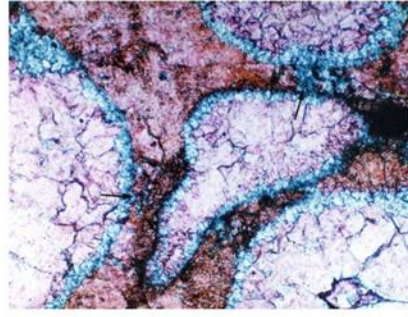
一線天



軍用洞穴



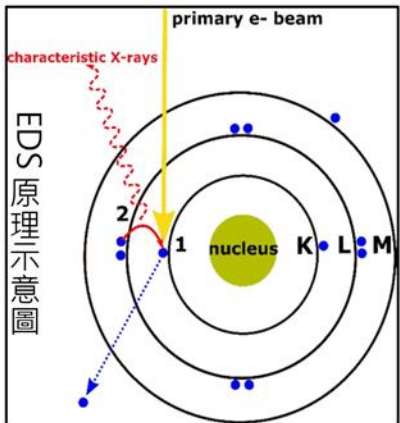
# 4.花蓮秀姑巒溪口-紅色生物碎屑石灰岩層



## 野外調查結果：

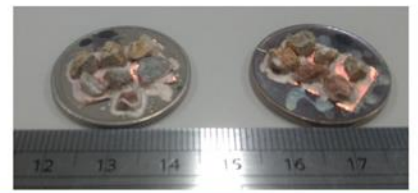
根據前人研究產生紅色的原因是因為含有紅藻球  
 紅色石灰岩表面可以觀察到許多的貝類化石及生物碎屑化石  
 黃框與紅框區都出現紅色石灰岩，但藍色區卻是一般石灰岩體

## 【研究三】石灰岩成份分析

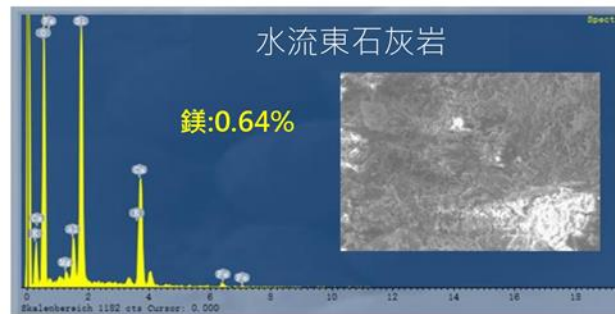
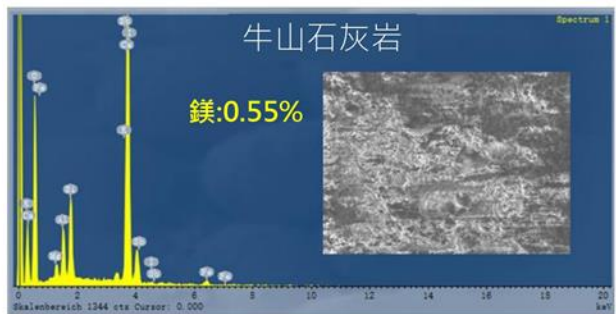


**第一步：**電子束撞擊樣品，並將部分能量轉移到樣品的原子上，這種能量可以被原子中的電子用來“跳躍”到具有更高能量的能量軌道，或者是脫離原子。如果發生這樣的轉變，電子就會留下一個空位，空位相當於一個正電荷。  
**第二步：**空位會吸引來自高能量軌道的電子填補進來。當這樣一個高能量軌道的電子填滿了低能量軌道的空位時，這種轉換的能量差，會以X射線的形式釋放出來。  
**第三步：**X射線的能量是通過這兩個軌道之間能量差的特徵所展現出來的，它取決於原子序數，原子序數是每個元素唯一的屬性，可以用來識別樣品中存在的元素的類型。

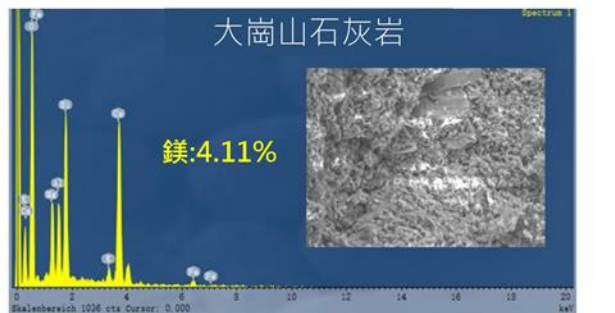
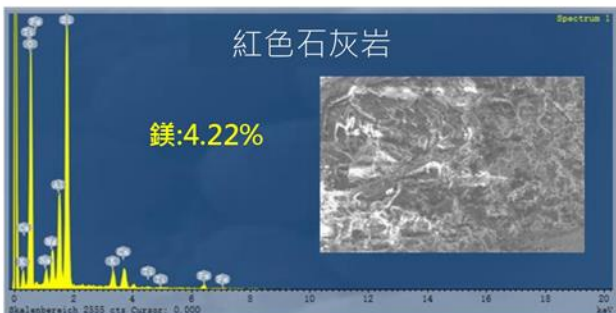
鎂的含量	海水溫度:	海水鹽度:
高:	高	低
低:	低	高
判斷意義:	冰期與間冰期	乾季與雨季



3: 根據學者彭宗仁、汪中等(參考資料17), 研究分析了苗栗白沙屯過港貝化石層(如圖6-3), 該地層屬於更新世頭山層之南高段, 地質年代與台灣的扇貝化石年代相近。研究比較化石和現生貝類標本的鎂、氫18同位素, 發現過港貝過去可能是生活在較冷的冰河期氣候環境。  
 參考文獻8



因為鎂含量低推測當時的環境應該是冰河時期，因為環境變遷造成生物大量的死亡。



因為鎂含量高推測當時海水溫度是較高原因是火山活動造成生物大量死亡。

因為鎂含量高推測當時海水鹽度是較低的，地層屬於崎頂層，古環境是雨季與乾季交互存在，容易造成海水的鹽度變化大，這也許就是大崗山地區生物大量死亡形成碎屑密集層的原因。

因為鎂含量高推測當時氣候環境溫度應該是屬於高溫環境，透過回查白堊紀時期的氣候資料，發現當時的氣候溫度是高於現今氣候溫度大約有4°C左右，此也又證明透過鎂元素可以去判斷古環境氣候的狀況。

## 【研究二】石灰岩-碳酸鈣比例實驗

- 秤碗重
- 取石灰岩
- 秤石灰岩放入碗中的重量
- 計算碗中石灰岩重:  $3 - 1 = 4$
- 用量筒測量倒入的鹽酸量
- 將量完的鹽酸倒入裝有石灰岩的碟子中
- 秤濾紙重
- 將濾紙套在燒杯上
- 將碗中的雜質與氯化鈣水溶液攪拌均勻
- 將其倒入套了濾紙的燒杯中
- 等待濾紙過濾雜質
- 90度，烘20分鐘
- 將濾紙與雜質放入紙杯中再放入烘箱
- 將濾紙拿出並讓濾紙在空氣中吸收水份(約5分鐘)
- 秤吸完水份的濾紙與雜質重
- 計算濾紙中雜質的重量:  $14 - 7 = 15$
- 計算岩石中碳酸鈣重:  $4 - 15 = 16$
- 計算岩石中碳酸鈣含量百分比:  $\frac{16}{4} \times 100\% = 17$

天然石灰岩被鹽酸溶後所蒐集下來的氯化鈣水溶液

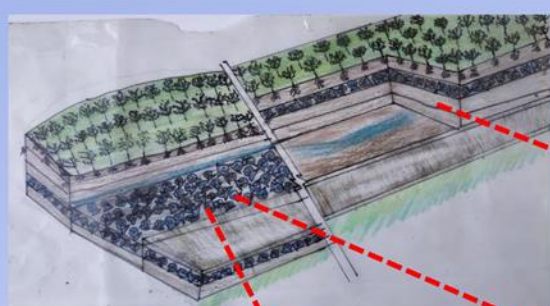
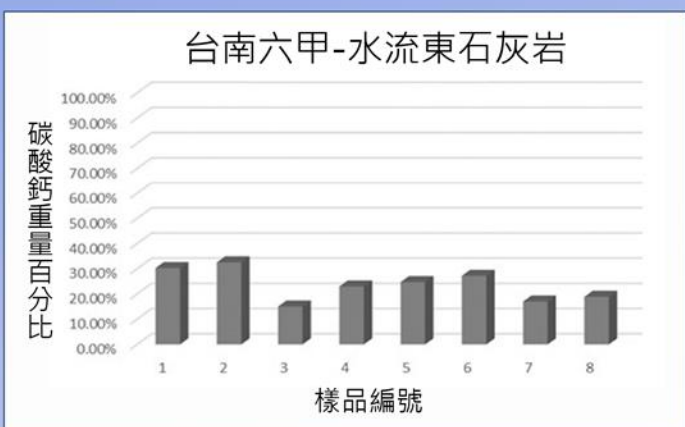
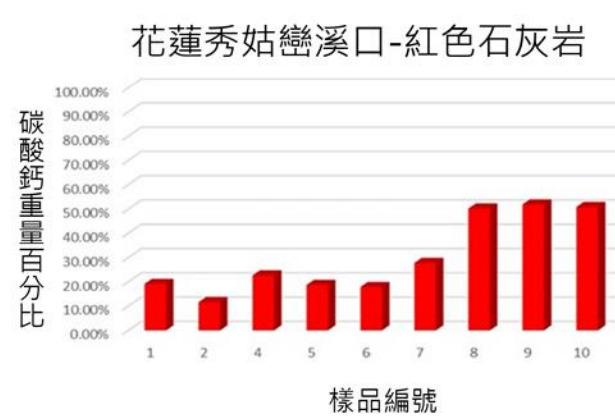
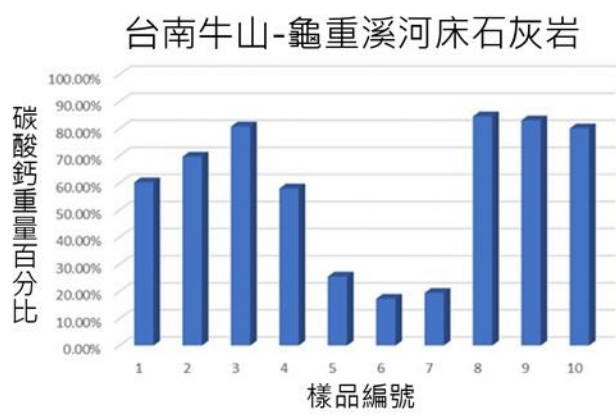
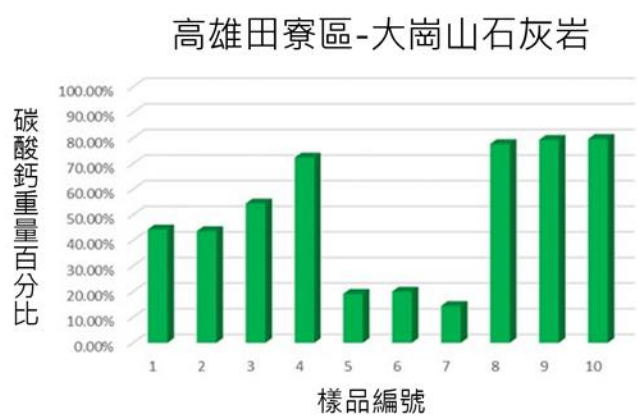
化學調配的氯化鈣水溶液

紅色石灰岩雜質

水流東石灰岩雜質



# 碳酸鈣含量百分比實驗結果



參考文獻8

在水流東野外現場的標本，有分成兩種，  
 (1)佈滿扇貝化石的岩體(生物遺骸組成的石灰岩)  
 (2)表面幾乎看不到扇貝的岩體(化學性石灰岩)  
 本研究是採集第二種的岩體當作標本，此種岩體形成的機制為原本的扇貝殼體已被大自然環境中的酸給溶蝕掉後，又再結晶析出成碳酸鈣，所以應該是由生物體的碳酸鈣轉變為化學沉澱的碳酸鈣，最後再跟含二氧化矽成分的砂顆粒膠結成石灰岩體

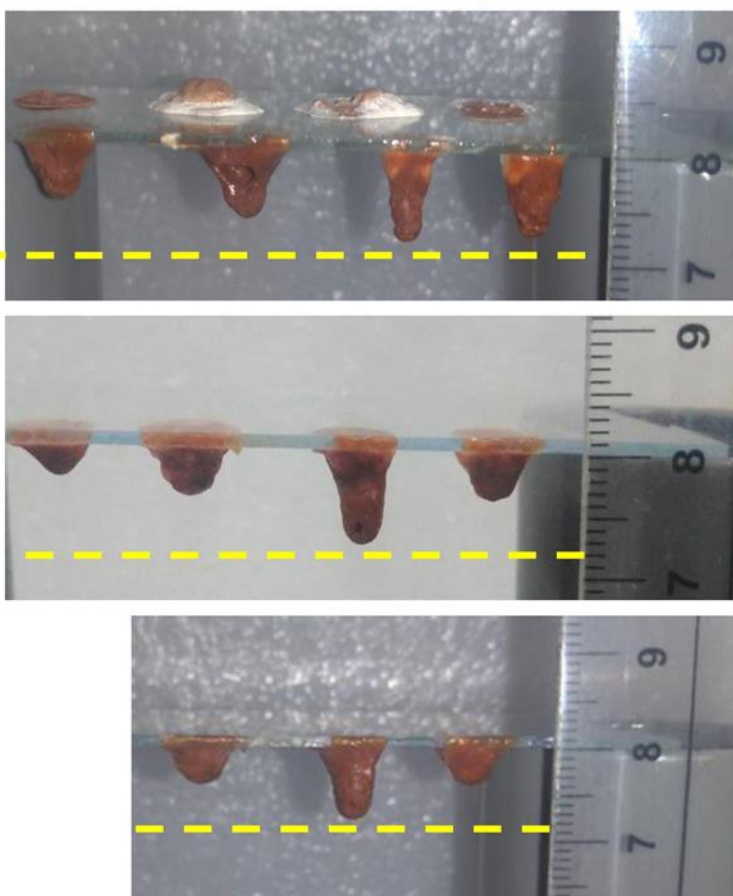
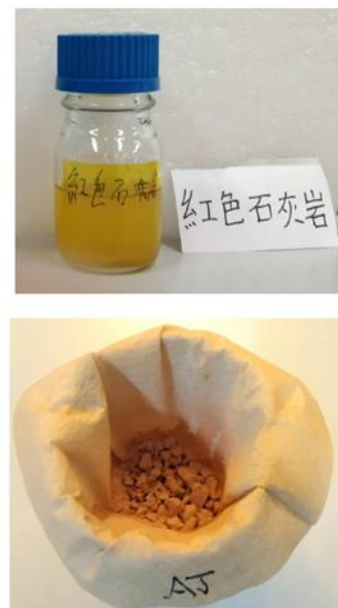
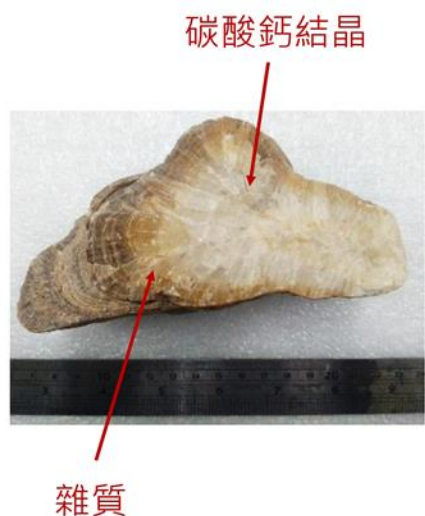
## 鐘乳石形成機制與型態分析

### 天然鐘乳石形成機制

現象	困難點
二氧化碳微溶於水 形成碳酸水溶液(酸度極低)	二氧化碳不易溶於水(耗時) 人工不易製作出碳酸水溶液
碳酸水溶液溶蝕天然碳酸鈣	弱酸溶蝕 時間攏長
溶蝕後形成碳酸氫鈣水溶液	人工不易製作碳酸氫鈣水溶液
碳酸氫鈣水溶液透過結水珠與乾燥過程 又還原成碳酸鈣(鐘乳石)	環境震動 水珠滴落 乾燥時間非常攏長

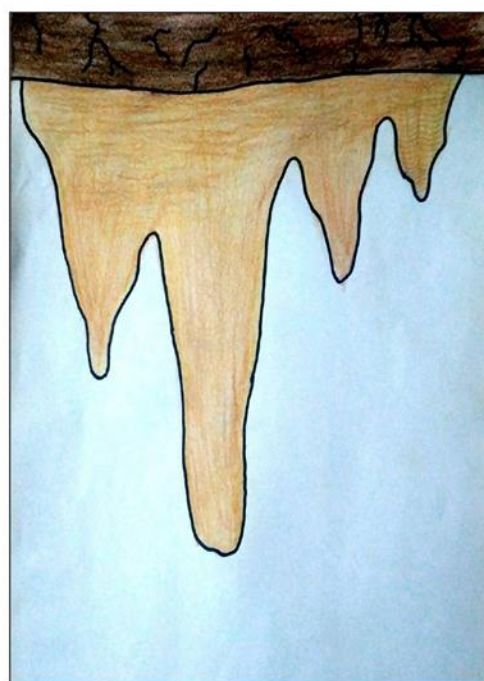
### 人造類鐘乳石形成機制

- 步驟1: 將研究二的氯化鈣水溶液放入烘箱，並濃縮至原來的一半。
- 步驟2: 在玻璃片上用滴管滴上濃縮過的水溶液。
- 步驟3: 每隔約兩小時滴兩滴到玻璃片上，再放入90度的烘箱中，滴十次後放入烘箱並將溫度改成50度讓結晶完全乾燥，重複以上的動作直到長出約5mm的人工鐘乳石。



### 透過模擬人工類鐘乳石，發現以下特性:

- 1.製作人造類鐘乳石，基底必需具有親水性，水珠才能有效的附著在表面。
- 3.實驗是採用氯化鈣當作膠結劑，其黏著性比天然的碳酸鈣來得差，所以不易形成較長的人造鐘乳石。



- 2.製作人造類鐘乳石基底必需水平，水珠才能佈滿整個基底，天然鐘乳石不需要此特點即可佈滿洞穴頂部。
- 4.天然鐘乳石是自然乾燥，而人造鐘乳石是透過加熱來加速進行，所以結晶效果較差。

本研究透過氯化鈣水溶液，加上紅色石灰岩的雜質，成功製作出了人工的紅色類鐘乳石，長度有8mm左右

**碳酸鈣可以是水泥的原料 但同時也可以用來組成鐘乳石 所以鐘乳石的形成可以說是大自然巧奪天工下所產生的一個藝術品!**