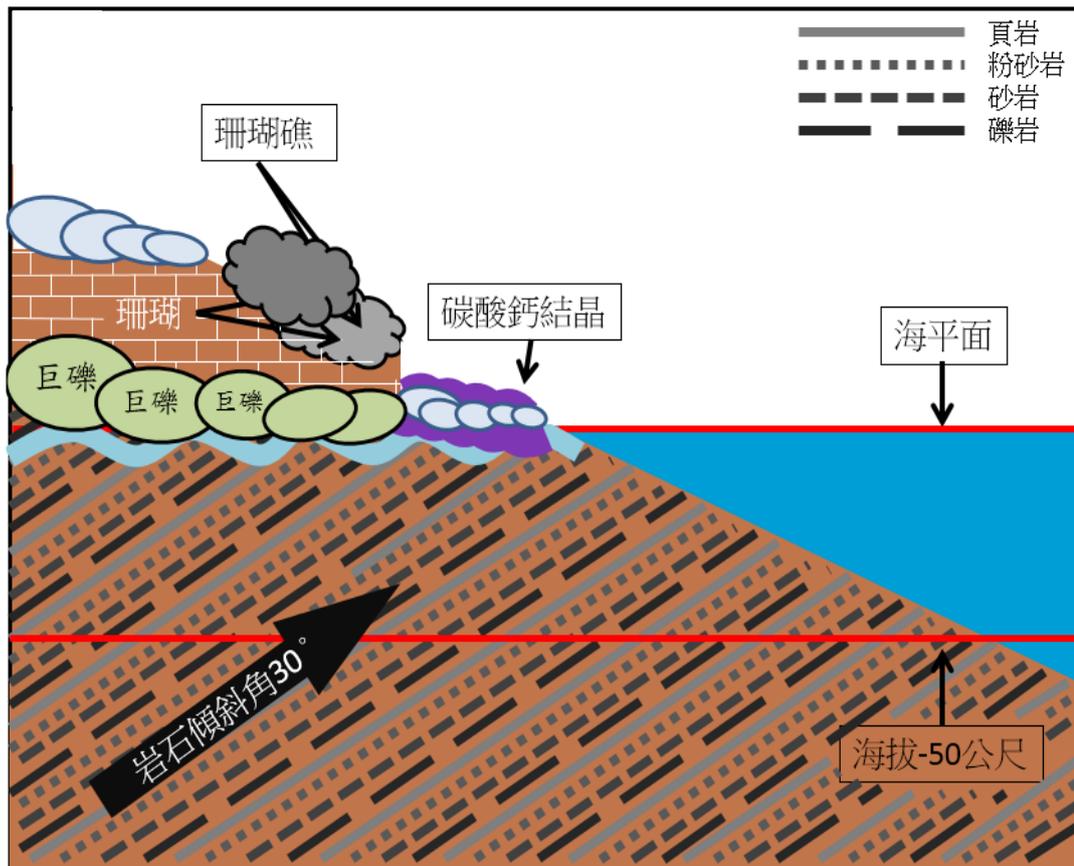


花蓮縣第 64 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書



圖說：花蓮七星潭灘岩形成示意圖

科 別：地球科學科

組 別：國中組

作品名稱：花蓮七星潭灘岩形成機制探討

關鍵詞：TDS、碳酸鈣膠結、灘岩

摘要

本研究 2023 年 12 月至 2024 年 3 月進行，目的是為了解七星潭灘岩的形成機制，我們透過多次實地考察七星潭地質況，並四次收集七星潭的地下水；以研究何種地質環境及地下水質會造成灘岩之形成。

研究結果發現，酸性溶液可溶解礫石中碳酸鈣，當蒸發結晶後形成較多的碳酸鈣，可增加灘岩的膠結度；而七星潭灘岩環境，下覆有米崙鼻礫岩層平台，上有古珊瑚礁層，灘粒中也富含大理石顆粒，經過弱酸性的地下水溶解珊瑚礁及大理石後，產生碳酸鈣膠結物進而形成灘岩。

壹、研究動機

2023 年暑假我們參加學校暑假的地質營隊，我們到了七星潭的海灘去進行地質考察，發現在七星潭的岸邊有許多砂礫都膠結在一起，還有一層一層的沉積物，不知道是被什麼東西膠黏在一起。經過我們詢問老師後才了解，這就是所謂的灘岩地形，於是引發我們的好奇，開始進行有關灘岩的研究。

貳、研究目的

- 一、考察七星潭灘岩地形
- 二、了解灘岩形成的機制
- 三、探討何種水質可使砂礫膠結
- 四、探討七星潭地下水如何形成灘岩

參、研究設備及器材

- 一、程式軟體：Microsoft Excel、Microsoft Word、小畫家、Google Earth
- 二、實驗器材：器材說明如照片 1-12

			
照片 1：PH 計	照片 2：TDS 計	照片 3：鹽度計	照片 4：電子磅秤
			
照片 5：烤箱	照片 6：本生燈	照片 7：輸液管	照片 8：水晶杯

			
照片 9：研鉢和研杵	照片 10：地質錘	照片 11：篩網	照片 12：挖砂鏟

肆、研究流程及方法

一、研究流程：

(一) 研究流程，如圖 1：

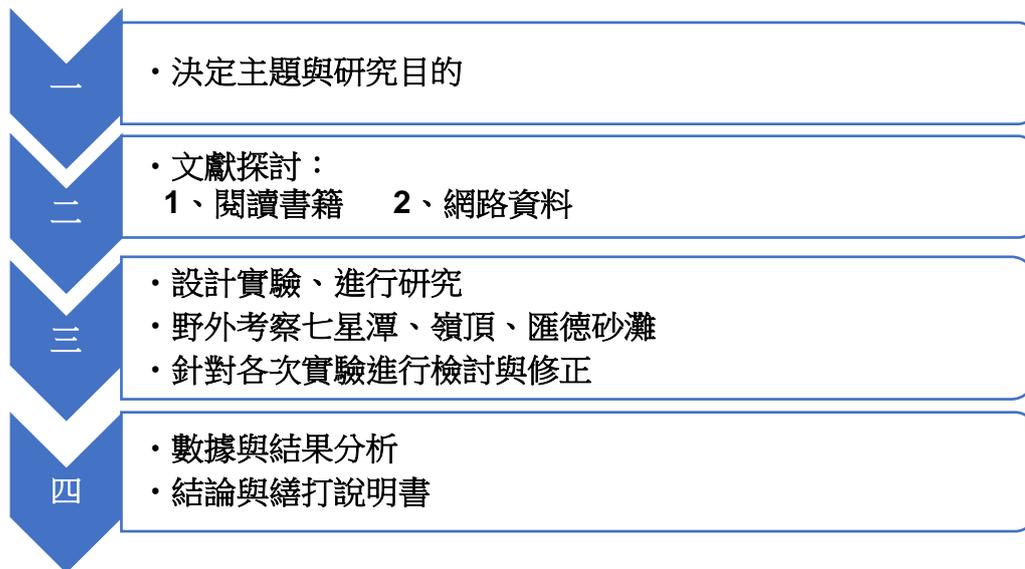


圖 1：研究流程圖

(二) 我們的研究共分為四個階段，如上圖 1 所示。首先討論想要進行研究的題目。接著在第二階段，透過閱讀書籍和網路資料了解和題目相關的資訊。接下來前往我們本次實驗主要的研究地點:七星潭、嶺頂、匯德砂灘，實地採集所需地下水及砂石和海水。並進行實驗設計，記錄下完成實驗以後的數據。最後討論實驗結果並分析得出結論。

二、文獻探討

(一) 灘岩地形介紹

在台灣灘岩地形非常特殊，主要在澎湖縣的吉貝嶼、北縣石門鄉的老梅海灣及花蓮縣的七星潭有灘岩地形。在澎湖吉貝嶼的先民均稱它為「汕」(照片 13,14)，也就是灘岩，吉貝嶼周遭沿海如：棺材灣海岸線、內溝南邊海岸線均可看見一道一道灘岩。台北石門鄉的老梅灘岩是一塊孤立的灘岩(照片 15)，全長約 820 公尺，寬約 20 至 30 公尺。遠看灘岩上部平坦，近看則散布著許多大大小小的壺穴，甚為壯觀。而花蓮七星潭海岸位於三棧溪與米崙台地之間(照片 16,17)，有發育良好的礫灘，現灘礫多為來自中央山脈的變質岩，主要由北方的三棧溪和立霧溪供給，少部分來自南方的米崙台地，台地上有珊瑚礁層，受雨水及地下水溶蝕後，富含碳酸鈣的水在階面上礫灘析出結晶，進而形成灘岩。

李思根(2018)在研究太魯閣砂卡礑步道地質時，發現河道上的灘岩，跟上述海岸上的灘岩不同，河邊有因雨水溶解大理岩所帶來的碳酸鈣成分，將砂石膠結成灘岩；呂程業(2024)在花蓮舊時光 FB 發佈太魯閣流芳橋舊照，立霧溪河道上有灘岩地景，灘岩上也是大理石的地層(照片 18)。

		
照片 13：澎湖灘岩	照片 14：澎湖灘岩	照片 15：台北老梅灘岩
		
照片 16：七星潭灘岩	照片 17：七星潭灘岩	照片 18：流芳橋灘岩

(二) 灘岩形成原因探討 (黃昱翔、簡志桓, 2016)

七星潭灘岩是因酸雨溶解珊瑚礁後，水體富含碳酸氫鈣，下滲地層後在美崙鼻礫岩層滲出，造成結晶，其上方小礫石膠結成富含碳酸鈣的灘岩層，圖 2

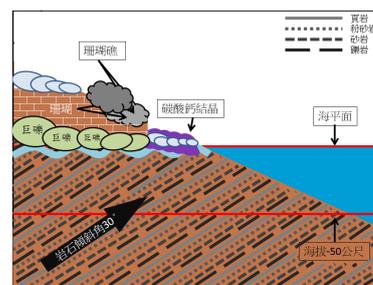


圖 2：灘岩形成原因示意

(三) 海邊的風吹砂怎麼會膠結？(張孟淞等, 2008)

風吹砂的砂粒中含有大量的碳酸鈣，當帶有酸性的雨水和濱海植物根部釋出的物質溶於水中，就會侵蝕碳酸鈣，並沈澱於顆粒的細縫中，形成灰白色、半透明和黃褐色的細小顆粒，將風吹砂顆粒膠結起來，這些細小顆粒就是膠結的介質。風吹砂顆粒的膠結需要一種介質，將顆粒與顆粒膠結在一起，若介質的聚合力越強或介質和顆粒間的接觸面積越大，膠結就越緊密。

(四) TDS：Total Dissolved Solids，指溶解性總固體質，是測量水的純度，TDS 越低，水的純度越高，TDS 越高，水的雜質越高。

(五) 研究區域地質圖：

本研究區域位於花蓮市北端之美崙台地，東臨美崙鼻燈塔之海崖，西至七星潭望海樓岸邊，灘岩沉積於古海階上，此七星潭海岸地區所出現之美崙鼻礫岩層、巨礫層、古珊瑚礁層、海相砂石層及現代沖積層詳述如下，如圖(3)：

1. 美崙鼻礫岩層：美崙台地最底部之地層，只出露於台地北側七星潭之沿岸，多為直徑 10-20 cm 的變質岩礫所組成，岩層為東西走向，向南傾斜 0-30 度。
2. 花蓮層：為全新世早期之花蓮期地層，分佈於花蓮港區及古美崙河流域地區，在花蓮港區由下而上可再細分為底礫段、花蓮珊瑚礁段及含化石砂段；在美崙河流域區由下而上可分黑色含砂泥段及砲台山砂丘砂段（民意里砂丘）。
3. 北濱層：全新世晚期之北濱期地層，主要分佈於花蓮港區，含浮石層、貝殼層、泥、砂等海相沈積，由下而上可在細分為車輪藻川蜷泥段、含貝類礫石段。
4. 現沖積層：為現代河床沖積扇沈積層及海濱砂礫所構成。(徐彥哲, 2011)

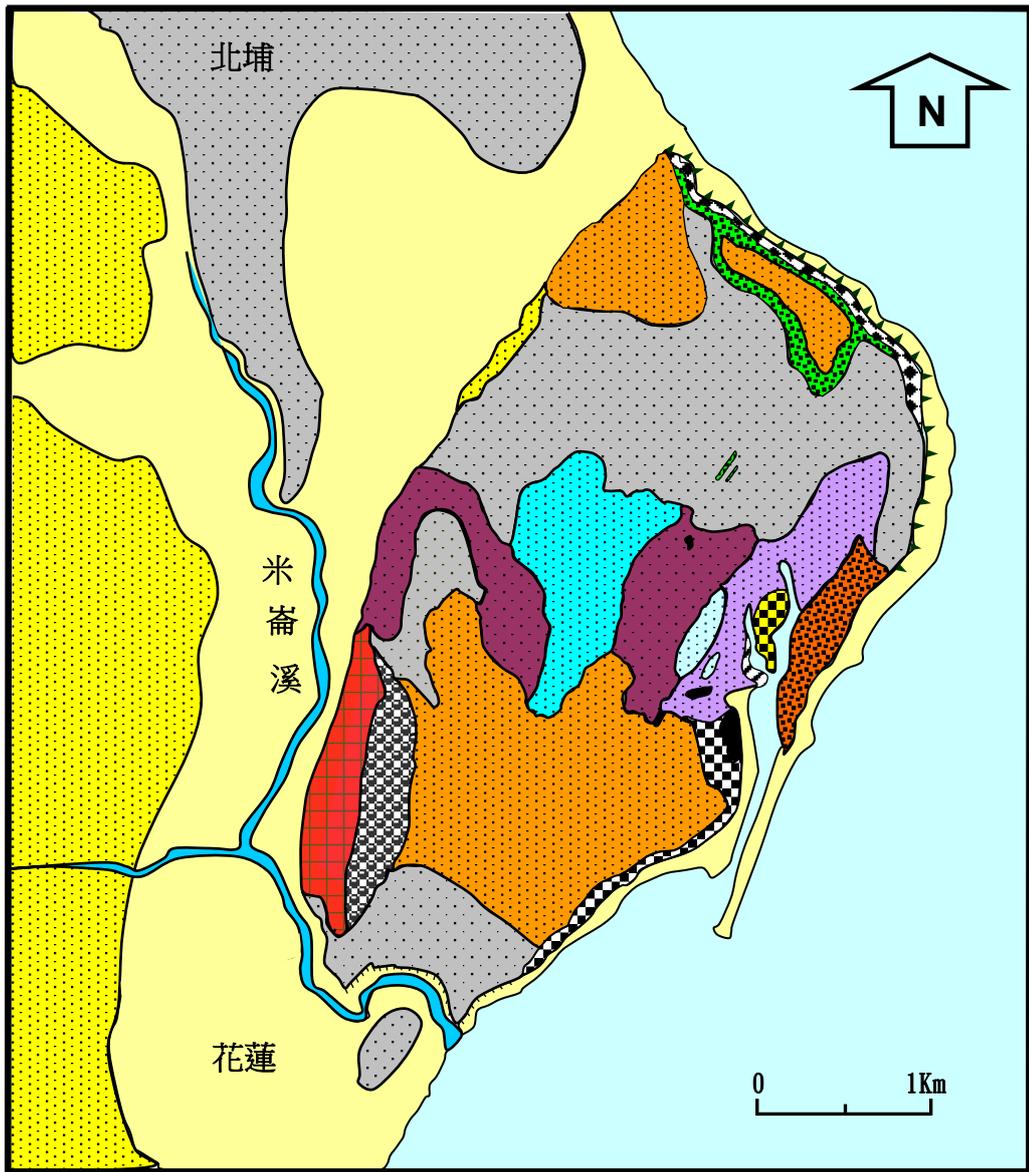
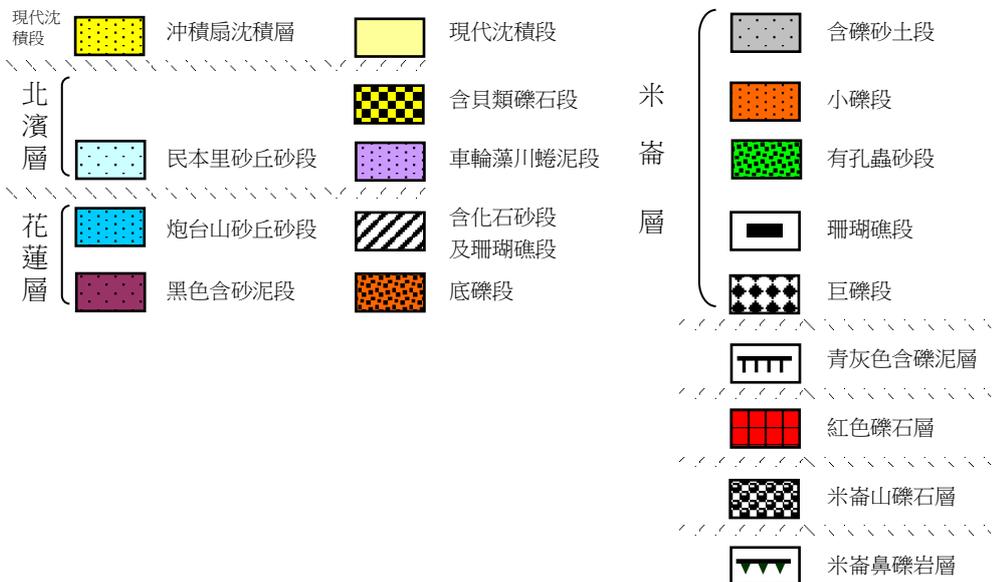


圖 3：美崙台地的地質圖（徐彥哲，2011 改繪自鍾令和，2004）



三、實驗設計

(一) 室外考察

1. 考察花蓮七星潭灘岩，觀察灘岩地形及了解七星潭的地質環境(照片 19-21)。

		
照片 19：了解膠結作用的成因	照片 20：在膠結物上滴鹽酸，觀察反應情形	照片 21：敲擊膠結物觀察岩層的組成

2. 找到七星潭海灘上地下水滴落處，蒐集進行實驗時所需的地下水。利用水桶，蒐集實驗時需要的海水(照片 22-24)。

		
照片 22：蒐集地下水	照片 23：蒐集地下水	照片 24：水桶裝海水

3. 海岸山脈嶺頂灘岩：我們在海岸山脈北段嶺頂考察時，也發現灘岩地形，以稀鹽酸測試膠結物，有冒泡反應，應該是碳酸鈣，此地被膠結的沉積物顆粒粒徑較大，顆粒圓球度不佳，材質以石英、大理石及黑色片岩居多，其中包含紅色及綠色安山岩顆粒，應來自都鑾山層(照片 25-27)。

		
照片 25：海岸山脈嶺頂灘岩	照片 26：海岸山脈嶺頂灘岩	照片 27：海岸山脈嶺頂灘岩

4. 匯德砂灘灘岩：此地位於台九線匯德隧道北口休息站下方海灘，以稀鹽酸測試膠結物，有冒泡反應，應該是碳酸鈣，此地被膠結的顆粒較大，顆粒圓球度不佳，甚至有稜角的岩塊，沉積物石英及大理石居多，研判可能是上游崩落的石塊，經暴漲的河水搬運沉積於此(照片 28-30)。

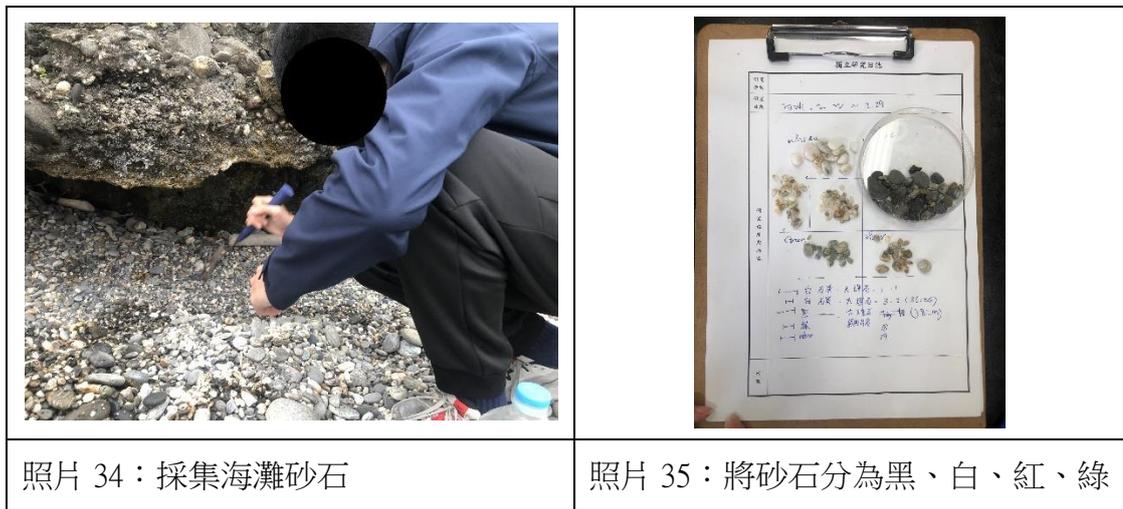


5. 東澳武塔砂灘灘岩：這是我們老師到宜蘭南澳研習時發現的灘岩，膠結物經測試為碳酸鈣，甚至有明顯的方解石結晶出現，沉積物以綠色片岩、石英及大理石居多，顆粒大小不一，且圓球度極差，應是山崩石塊被碳酸鈣膠結(照片 31-33)。



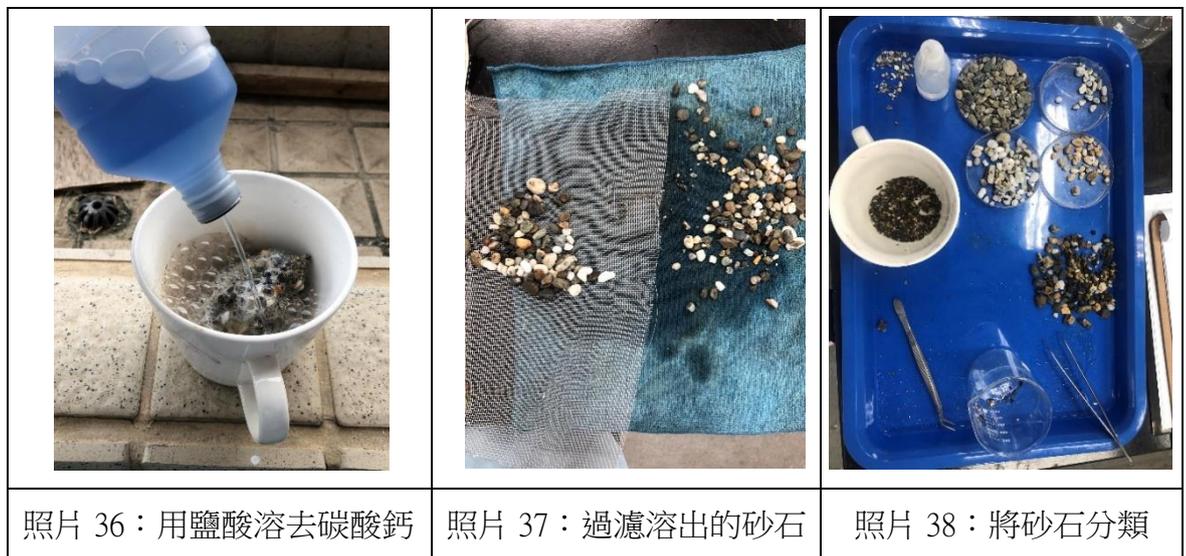
(二) 室內實驗

1. 計算七星潭砂礫種類個數 (陳文山，1997)
 - (1) 採集七星潭海灘砂石(照片 34)。
 - (2) 將砂石分為黑、白、紅、綠四種主要顏色(照片 35)。
 - (3) 白色砂石再依滴鹽酸是否冒泡分為大理石或石英。
 - (4) 利用樣區法計算種類間的數值比。



2. 計算灘岩內砂礫種類

- (1) 採集七星潭灘岩。
- (2) 利用鹽酸浸泡溶解膠結的碳酸鈣(照片 36)。
- (3) 以砂網過濾鹽酸內的砂石(照片 37)。
- (4) 將砂石分為黑、白、紅、綠四種主要顏色(照片 38)。
- (5) 利用樣區法計算種類及個數。



3. 測量不同日期七星潭地下水之水質

- (1) 採集七星潭地下水並過濾。
- (2) 利用儀器測量其 PH 值、TDS、鹽度(照片 39-41)。

		
照片 39：測量 PH 值	照片 40：測量 TDS 值	照片 41：測量鹽度

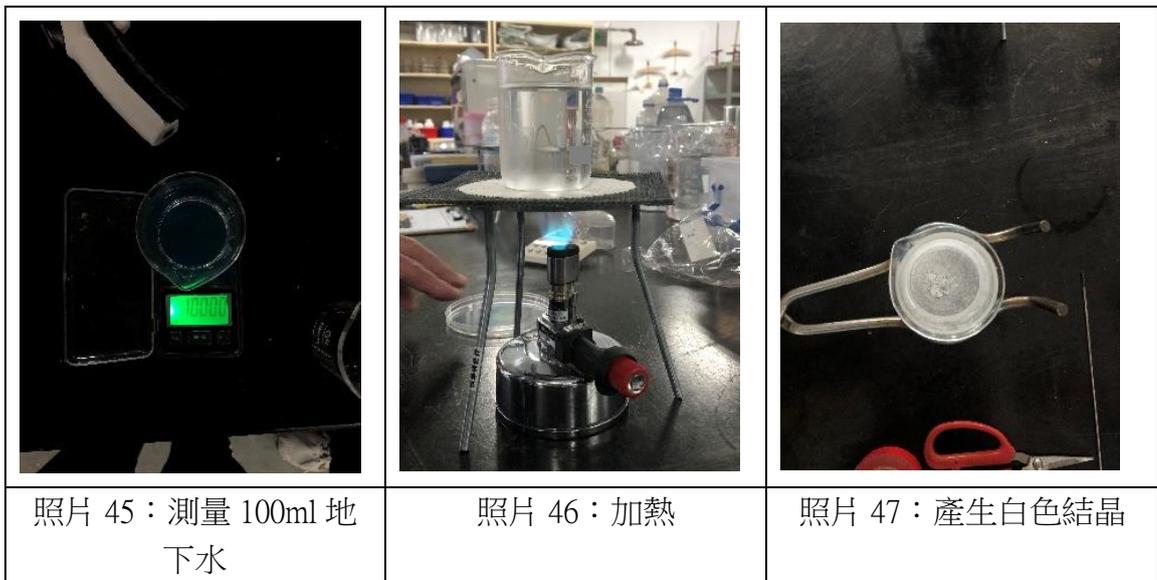
4. 探討七星潭地下水是否能讓灘礫膠結

- (1) 將寶特瓶埋在七星潭灘岩上，收集滴落的地下水。
- (2) 收集七星潭海岸上的砂礫(照片 42)。
- (3) 將砂礫裝在兩個不同的培養皿，加入 50ml 七星潭地下水直到培養皿填滿。
- (4) 將不同日期收集地下水重複上一個步驟，再放入烤箱加熱，加快蒸發進行。
- (5) 觀察烤箱中砂礫是否膠結(照片 43、44)。

		
照片 42：收集七星潭地下水	照片 43：加地下水	照片 44：烤箱加熱加速蒸發

5. 計算七星潭地下水含有多少碳酸鈣

- (1) 測量 100ml 的七星潭地下水，裝入燒杯(照片 45)。
- (2) 利用本生燈加熱(照片 46)。
- (3) 等水全部蒸發完，測量白色碳酸鈣結晶重量。
- (4) 每次增加 100ml 的地下水並重複以上動作。
- (5) 紀錄結晶增加量(照片 47)。



6. 探討七星潭地下水在常溫下蒸發後是否能形成膠結物

- (1) 將點輸液管插進寶特瓶，如照片(48)，在固定於水管上，如照片(49)。
- (2) 將七星潭的地下水持續滴在地板上，持續觀察下方凝結物，如照片(50)及圖 4。

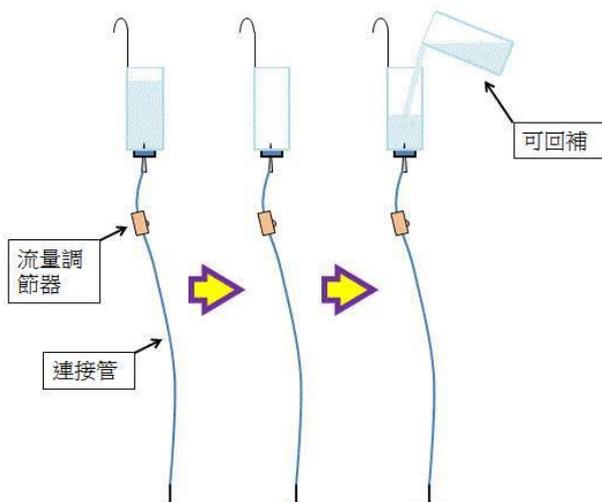


圖 4：輸液管滴水器

7. 探討不同溶液對灘岩膠結影響

(1) 將砂子過篩後秤出 10 份，每份 50g (照片 51)。

(2) 配置、收集所需的 10 種溶液各 25 毫升(照片 52、53)。

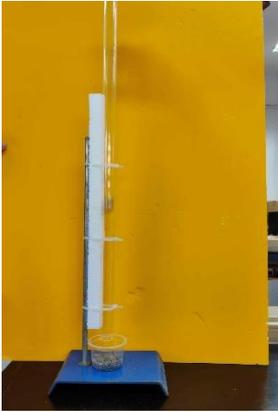
1. 醋酸稀釋溶液
2. 七星潭地下水
3. 鹽酸稀釋溶液
4. 水濂洞地下水
5. 雨水
6. 學校地下水
7. 海水
8. 小蘇打水
9. 澄清石灰水
10. RO 逆滲透水

(3) 測量每種溶液的 pH 值及 TDS 值(照片 54、55)。

(4) 將溶液倒入砂子內。

(5) 放置到太陽下曝曬風乾兩周(照片 56)。

(6) 以鋼球墜落測試膠結程度，鋼珠碎落深度越小，代表膠結程度越好(照片 59)。

		
照片 51：將沙子過篩	照片 52：收集所需水溶液	照片 53：共 10 種水溶液
		
照片 54：測量溶液 pH 值	照片 55：將溶液倒入砂子	照片 56：放置到太陽下曝曬
		
照片 57：測試工具	照片 58：掉落	照片 59：結果

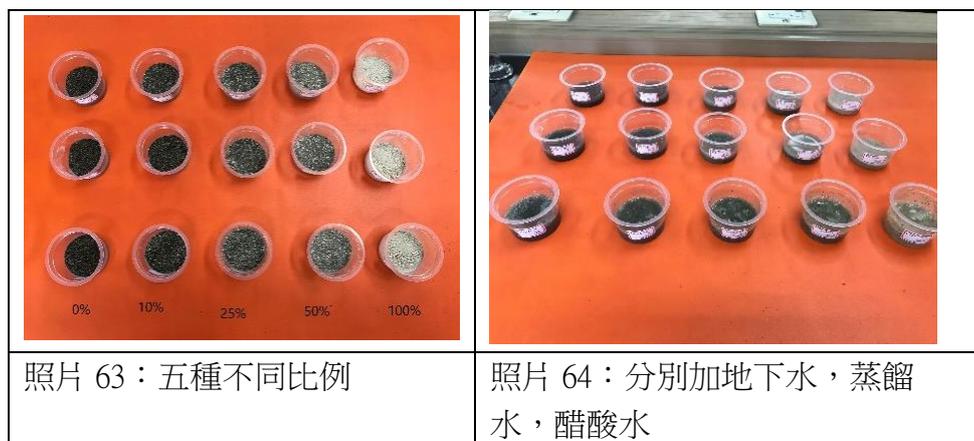
8. 比較膠結後的灘岩和尚未膠結的灘岩產生二氧化碳多寡(照片 60-62)

- (1) 將膠結後和膠結前的灘岩各秤 65g 。
- (2) 利用排水集氣法，將之裝入兩個錐形瓶，並裝橡皮塞及薊頭漏斗及橡皮管。
- (3) 將橡皮管放入裝滿水的廣口瓶，倒入稀鹽酸，收集產生的二氧化碳。
- (4) 最後將裡面的水利用量筒測量，算出二氧化碳體積。



9. 砂石顆粒中的碳酸鈣含量和膠結的關係(照片 63、64)

- (1) 把珊瑚礁磨成粉。
- (2) 將珊瑚礁粉和砂子混合，珊瑚礁粉佔比為 0%、10%、25%、50%、100%。
- (3) 分別加入醋酸水，地下水，和蒸餾水。
- (4) 靜置後觀察膠結情形。

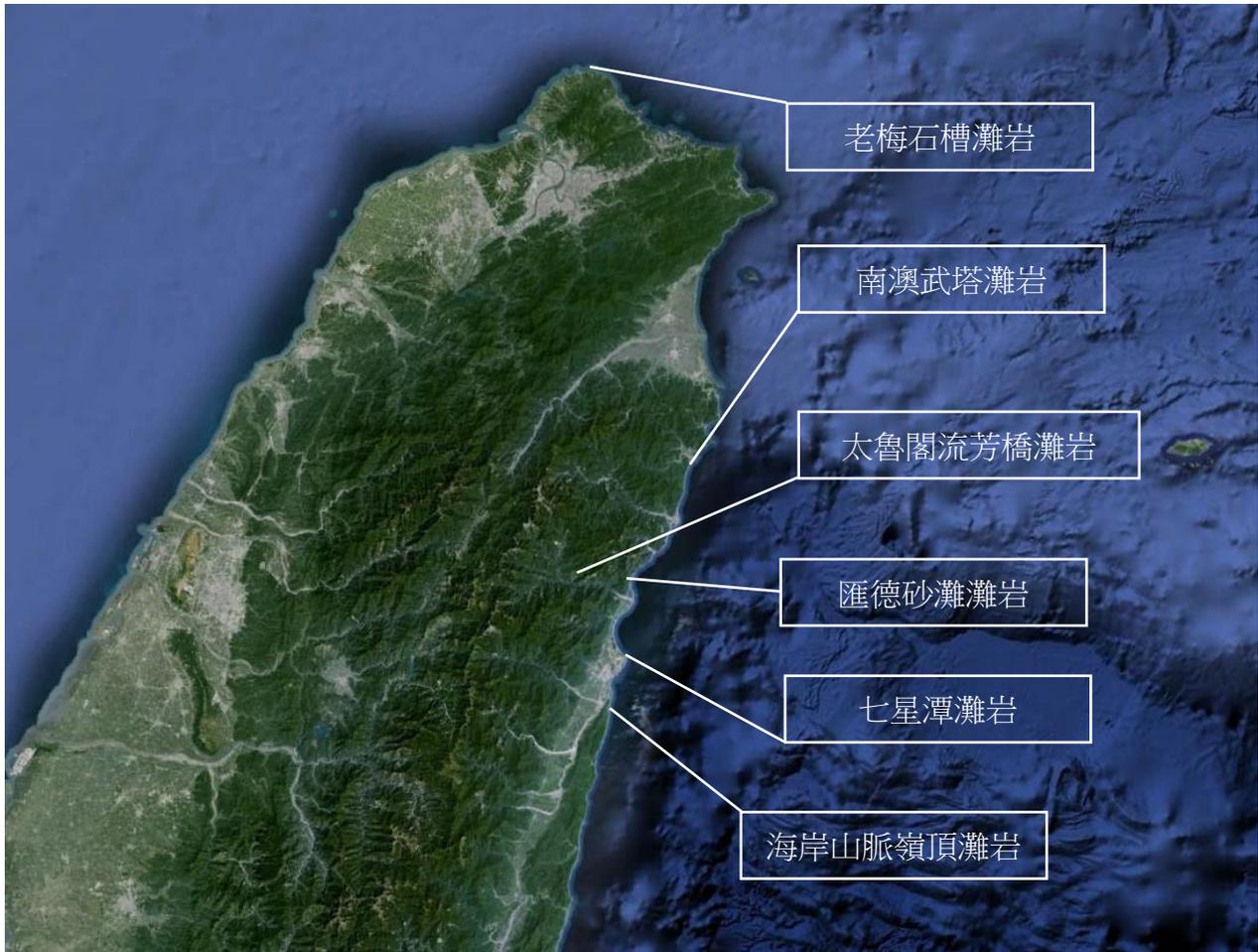


伍、研究結果與討論

一、室外考察：

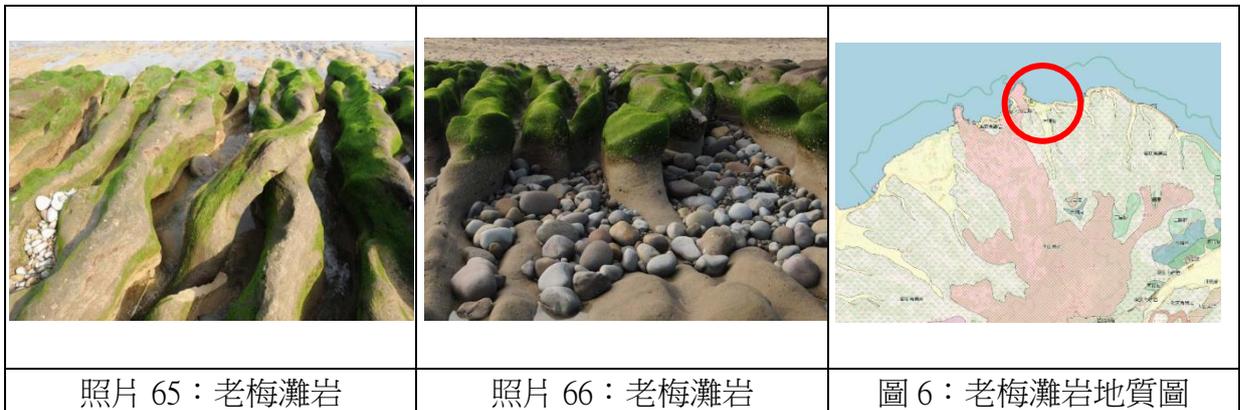
(一)本研究發現有灘岩分佈的區域，如圖 5。

圖 5：本研究所發現灘岩分布圖



(二)各區灘岩地形與地質圖：我們使用經濟部地質調查及礦業管理中心山崩雲網站調查各處地質圖

1. 老梅石槽灘岩(照片 65、66)



2. 南澳武塔灘岩(照片 67、68)

		
<p>照片 67：南澳武塔灘岩</p>	<p>照片 68：南澳武塔灘岩</p>	<p>圖 7：南澳武塔地質圖</p>

3. 太魯閣流芳橋灘岩(照片 69、70)

 <p data-bbox="220 976 616 1010">來源：呂程業(2024)在花蓮舊時光 FB</p>	 <p data-bbox="635 976 1023 1010">來源：太魯閣國家公園網站</p>	
<p>照片 69：流芳橋下灘岩</p>	<p>照片 70：流芳橋灘岩消失</p>	<p>圖 8：流芳橋地質圖</p>

4. 匯德砂灘灘岩(照片 71、72)

		
<p>照片 71：匯德砂灘灘岩</p>	<p>照片 72：匯德砂灘灘岩</p>	<p>圖 9：匯德沙灘地質圖</p>

5. 七星潭灘岩(照片 73、74)

		
<p>照片 73：七星潭灘岩</p>	<p>照片 74：七星潭灘岩</p>	<p>圖 10：七星潭灘岩地質圖</p>

6. 海岸山脈嶺頂灘岩(照片 75、76)

		
照片 75：海岸山脈嶺頂灘岩	照片 76：海岸山脈嶺頂灘岩	圖 11：嶺頂附近地質圖

(三)討論：

五處灘岩比較表，如表 1

表 1：五處灘岩比較表

分項 地點	地質	沉積物材 質	淘選度 圓球度	灘岩地形特性
1.老梅	火山岩流層 大埔砂岩層 如圖 6	安山岩 貝殼 石英	淘選度佳 圓球度佳	1.淘選及圓球度佳 2.沉積物有安山岩、貝殼及石英 3.春夏之交會有石蓴附生。
2.武塔	武塔黑色片岩 白楊綠色片岩 如圖 7	綠色片岩 黑色片岩 石英	淘選度差 圓球度差	1.綠色片岩居多內含大理岩薄層 2.圓球及淘選度差，應是山崩堆積物，推測形成年代較晚。 3.碳酸鈣膠層厚且有鮮白色，甚有方解石結晶，形成條件特別
3.匯德	九曲大理岩 白楊綠色片岩 如圖 9	大理岩 綠色片岩 石英	淘選度差 圓球度差	1.沉積物以大理岩居多。 2.圓球及淘選度差，應是山崩堆積，推測形成年代較晚。 3.碳酸鈣膠層如混凝土，和武塔灘岩相當不同。
4.七星潭	巨礫珊瑚礁層 米崙鼻礫岩層 如圖 10	石英 大理岩 黑色片岩	淘選度佳 圓球度佳	1.分布最廣，有一長形灘岩層 2.沉積物淘選及圓球度佳，分布於古海階上，形成年代較早。 3.沉積於傾斜的老岩層上，有交角不整合的地形，交接處常有地下水滲出，水質 TDS 極高。
5.嶺頂	都鑾山層 蕃薯寮泥岩層 如圖 11	安山岩 石英 大理岩	淘選度中 圓球度中	1.分布區域較小，有安山岩 2.附近無大理岩層及珊瑚礁 3.有明顯薄層碳酸鈣膠 4.推測形成年代較晚

二、室內實驗

(一)計算七星潭砂礫種類個數-依顏色分類。(陳文山，1997)

1. 實驗結果：如表 2

表 2：七星潭砂礫種類個數

	白色(石英)	白色(大理石)	黑色	綠色	紅色(其他)
數量	36	24	38	18	19

2. 實驗討論：

- (1) 七星潭礫灘白色與深色礫石個數相當，白色礫石石英居多，大理石居次。
- (2) 礫石應來自北方立霧溪及三棧溪沖刷而來，大理石來自九曲大理岩。

(二)計算灘岩內砂礫種類

1. 實驗結果：如表 3、表 4

(1) 粒徑較大膠結物

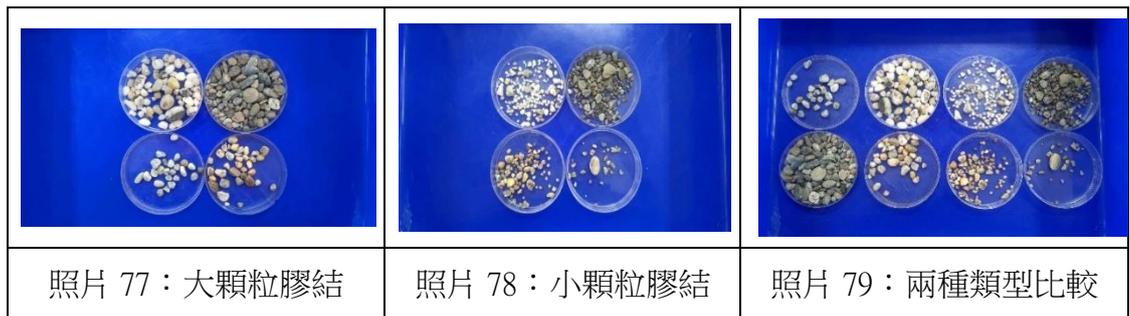
表 3：粒徑較大灘岩砂礫種類個數

	白色(石英)	白色(大理石)	黑色	綠色	紅色(其他)
數量	71	0	144	24	35

(2) 粒徑較小膠結物

表 4：粒徑較小灘岩砂礫種類個數

	白色(石英)	白色(大理石)	黑色	綠色	紅色(其他)
數量	141	0	242	32	82



2. 實驗討論：

- (1) 無論粒徑大或小的灘岩，深色礫石個數多於白色礫石個數(照片 77、78)。
- (2) 本次實驗使用鹽酸溶解膠結物中的碳酸鈣，可能也溶解了礫石中的大理石。
- (3) 或許灘岩在形成過程中，酸性地下水也會溶解礫石中大理石。

(三) 測量不同日期七星潭地下水及其他地區之水質

1. 實驗結果：如表 5

表 5：不同日期七星潭地下水及其他地區水質

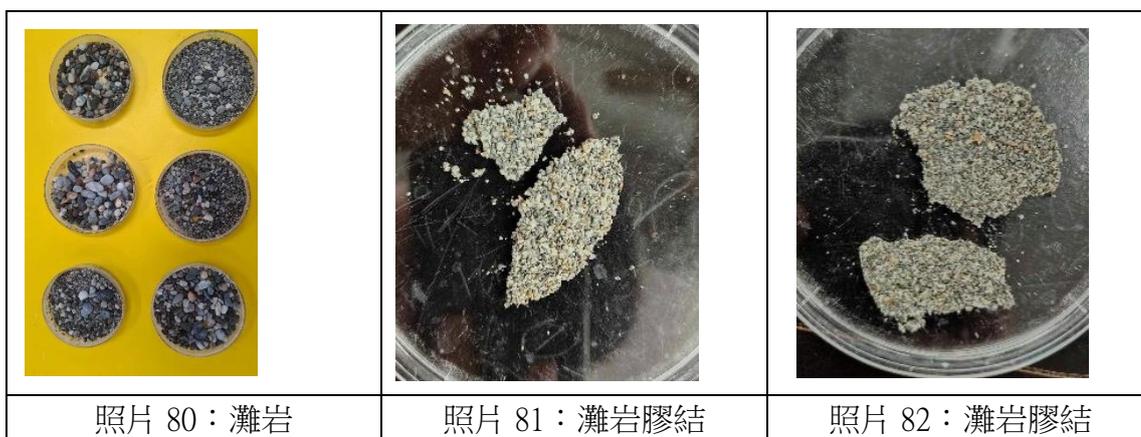
溶液名稱	PH	TDS	溫度	鹽度
1/17 七星潭地下水	6.70	742.8	25	5.8
1/24 七星潭地下水	6.67	710.2	25	5.2
2/21 七星潭地下水	6.50	689.2	18	5.8
4/01 七星潭地下水	6.20	976.0	27	5
2/21 學校地下水	5.94	175.6	22	5.4
3/23 水濂洞地下水	6.28	209.4	26	4.5
4/01 七星潭海水	7.04	1000+	26	39.8

2. 實驗討論：

- (1) 七星潭的地下水 PH 值 6.2-6.7 間偏弱酸性，TDS 值 742-976 間，雜質度高。
- (2) 七星潭的地下水 TDS 值相較於其他地區數值明顯高出許多。
- (3) 除海水外，其他溶液鹽度相當。

(四) 探討七星潭地下水是否能讓灘礫膠結

1. 實驗結果



		
照片 83：40 倍下小礫石上的碳酸鈣結晶	照片 84：40 倍下小礫石上的碳酸鈣結晶	照片 85：40 倍下小礫石上的碳酸鈣結晶
		
照片 86：40 倍下小礫石上的碳酸鈣結晶	照片 87：40 倍下小礫石上的碳酸鈣結晶	照片 88：40 倍下小礫石上的碳酸鈣結晶

2. 實驗討論：

- (1) 不同日期的七星潭地下水，經烤箱蒸發後，膠結作用較為明顯的都是裝有細砂的培養皿，推測是因為顆粒間差距以及縫隙都較為細小，因此若有產生些微的碳酸鈣結晶，比較能夠較輕易的將細砂彼此膠結在一起(照片 80~82)。
- (2) 雖然裝有小礫石的培養皿其膠結作用並沒有細砂明顯，但在深色石頭的表面，依舊可以輕易觀察到有一層碳酸鈣結晶(照片 83~88)。
- (3) 本研究使用不同日期七星潭地下水，由烤箱烘乾後觀察結晶物質，方形結晶物明顯可見。

(五) 計算七星潭地下水含有多少碳酸鈣

1. 實驗結果：(照片 89-93)

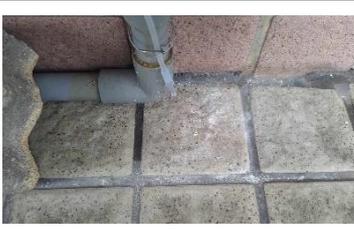
	250ml 空燒杯	100ml	200ml	300ml	400ml
總重	 照片 89：50.00g	 照片 90：51.00g	 照片 91：51.25g	 照片 92：51.31g	 照片 93：51.53g
淨重	0 g	1.00 g	1.25 g	1.31 g	1.53 g

2. 實驗討論：

- (1) 以本生燈快速蒸發七星潭的地下水後，會在燒杯底部看到一層白色的結晶。
- (2) 因為每次地下水的雜質量不相同，所產生的碳酸鈣結晶量也不太穩定。經過平均後，每 100 克的七星潭地下水，約能夠產生約 0.52 克的碳酸鈣結晶。

(六) 探討七星潭地下水常溫下蒸發後是否能形成膠結物

1. 實驗結果：(照片 94-99)

		
照片 94：地面	照片 95：第一周	照片 96：第二周
		
照片 97：第三周	照片 98：第四周	照片 99：第五周

2. 實驗討論：

- (1) 在利用輸液管觀察地面結晶實驗中，是希望模擬實況，以常溫的環境慢速滴下地下水，經觀察地下水蒸發後仍有些微的白色碳酸鈣結晶(照片 94~99)。
- (2) 七星潭地下水透過輸液管控流後，地面結晶的結果並不明顯，但有足夠的時間及足夠的地下水，就可以形成較多的結晶物。
- (3) 在利用輸液管觀察燒杯內結晶實驗中，燒杯的底部形成結晶和在本生燈上快速蒸發地下水實驗中，有相似的碳酸鈣結晶。

(七)不同溶液對灘岩膠結影響

1. 實驗結果：照片 100-111)

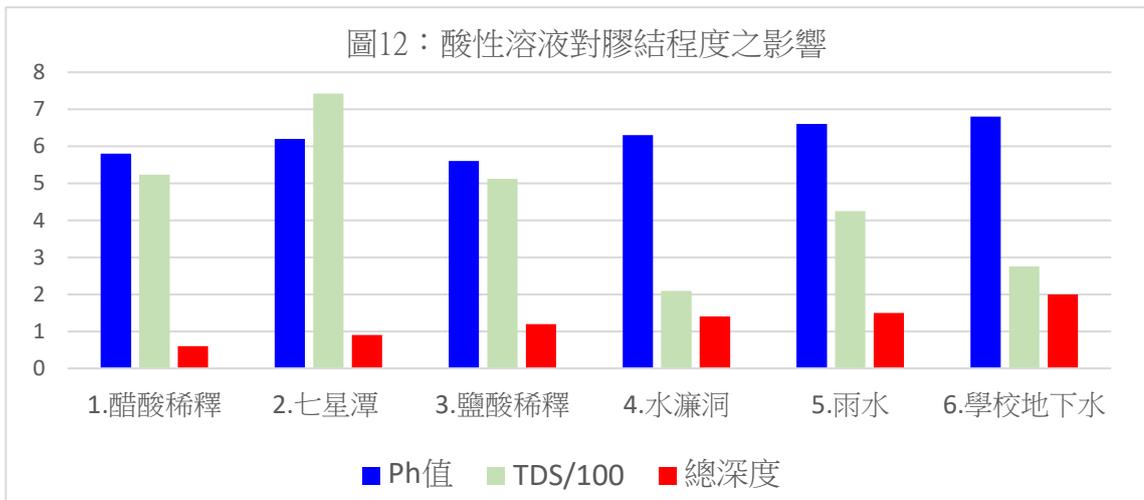
			
照片 100：裝置	照片 101：膠結物	照片 102：鹽酸	照片 103：醋酸
			
照片 104：氫氧化鈣	照片 105：水濺洞	照片 106：自來水	照片 107：雨水
			
照片 108：小蘇打水	照片 109：海水	照片 110：地下水	照片 111：RO 水

2. 實驗數據 1：如表 6

表 6：酸性溶液對灘岩膠結的影響

酸性溶液名稱	大球深度 cm	小球深度 cm	總深度	Ph 值	TDS/100
1.醋酸稀釋溶液	0.4	0.2	0.6	5.8	5.23
2.七星潭地下水	0.5	0.4	0.9	6.2	7.42
3.鹽酸稀釋溶液	0.7	0.5	1.2	5.6	5.12
4.水濂洞	0.8	0.6	1.4	6.3	2.09
5.雨水	0.8	0.7	1.5	6.6	4.25
6.學校地下水	1.1	0.9	2.0	6.8	2.76

3. 酸性溶液對膠結層度之影響分析圖，如圖 12

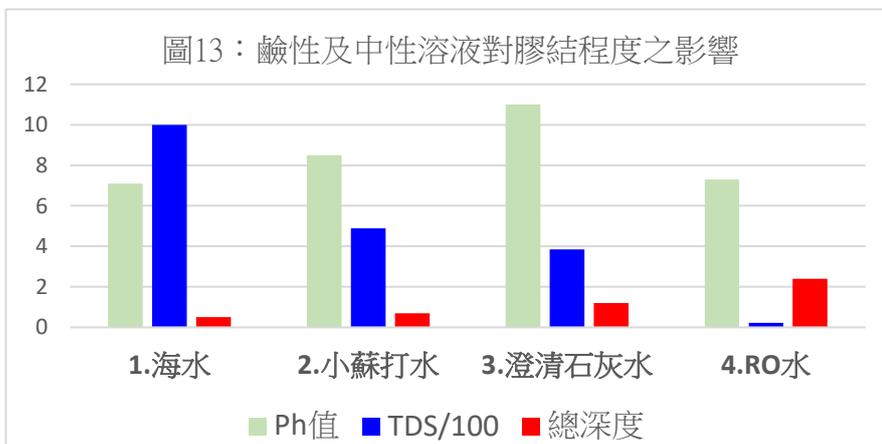


4. 實驗數據 2：如表 7

表 7：鹼中性溶液對灘岩膠結的影響

鹼中性溶液名稱	大球深度	小球深度	總深度	Ph 值	TDS/100
1.海水	0.3	0.2	0.5	7.1	10.0
2.小蘇打水	0.4	0.3	0.7	8.5	4.89
3.澄清石灰水	0.5	0.7	1.2	11	3.85
4.RO 水	0.9	1.5	2.4	7.3	0.22

5. 鹼中性溶液對膠結層度之影響分析圖，如圖 13



6. 實驗討論：

- (1) 表 6 為酸性溶液對灘岩膠結的影響，依圖表 12 來分析，可知酸性溶液所形成的膠結物較硬，可抵抗鋼珠震壓，所以深度較淺。TDS 含量無法推測出其與膠結程度的相關性。
- (2) 酸性溶液可溶解礫石中碳酸鈣，當蒸發結晶後形成較多的碳酸鈣，實驗中 PH6.2 的七星潭地下水，應容易使七星潭灘岩膠結。
- (3) 表 7 為鹼性及中性溶液對灘岩膠結的影響，依圖表 13 來分析，TDS 較高的溶液所形成的膠結物較硬，可抵抗鋼珠震壓，所以深度較淺。PH 值無法推測出其相關性。
- (4) 鹼性及中性溶液並無法溶解礫石中碳酸鈣，灘岩膠結物可能來自溶液中的離子結晶而來，如海水中的氯化鈉、小蘇打水裡的碳酸氫鈉、澄清石灰水的石灰，而 RO 逆透水含極少的離子，所以灘岩膠結度極差。

(八) 比較膠結後的灘岩和一般灘礫產生二氧化碳多寡

1. 實驗結果：

- (1) 膠結後的灘岩產生 218cm^3 二氧化碳氣體
- (2) 未膠結的灘岩產生約 56cm^3 二氧化碳氣體



照片 112：二氧化碳產量

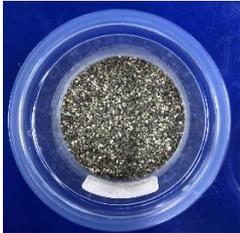
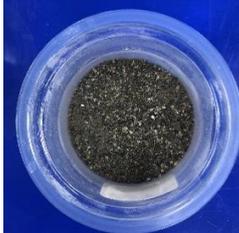
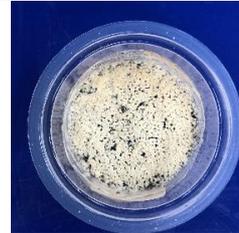
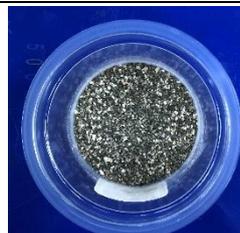
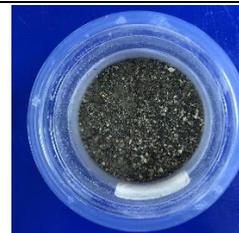
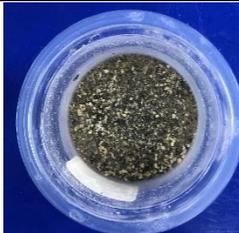
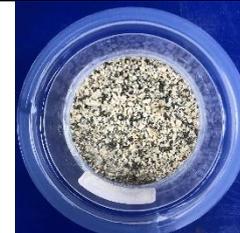
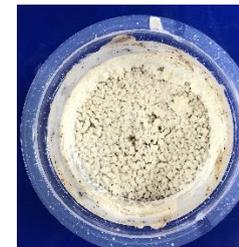
2. 實驗討論：

- (1) 在相同條件下，膠結後的灘岩所能夠產生的二氧化碳為尚未膠結的約四倍，因為在膠結物中，含有大量的碳酸鈣，因此當鹽酸在吸濾瓶中進行反應時，就能夠產生更多的二氧化碳。
- (2) 未膠結的礫石中有大理石存在，而膠結的灘岩中是否有大理石存在，仍要釐清，也許大理石被地下水溶解後，成為膠結物。
- (3) 我們敲碎已膠結的灘岩，將白色的礫石取出，再以鹽酸檢測，白色礫石以石英居多，大理石數量很少，可見許多大理石被地下水溶解後，成為膠結物。

(九) 砂石顆粒中的碳酸鈣含量和膠結的關係

1. 實驗結果：符號說明×未膠結、△部份膠結、○明顯膠結，如表 8。

表 8：風吹砂顆粒中的碳酸鈣含量和膠結的關係

膠結灘岩正面照	七星潭地下水	蒸餾水	醋酸水溶液
珊瑚礁粉末 0% 砂石 40g 珊瑚礁粉末 0g			
	△	×	○
珊瑚礁粉末 10% 砂石 36g 珊瑚礁粉末 4g			
	△	×	○
珊瑚礁粉末 25% 砂石 30g 珊瑚礁粉末 10g			
	△	△	○
珊瑚礁粉末 50% 砂石 20g 珊瑚礁粉末 20 g			
	○	△	○
珊瑚礁粉末 100% 砂石 0 g 珊瑚礁粉末 40 g			
×未膠結、 △部份膠結、 ○明顯膠結	○	○	○
	結晶顯微照片 113	結晶顯微照片 114	結晶顯微照片 115

膠結灘岩底面照	七星潭地下水	蒸餾水	醋酸水溶液
珊瑚礁粉末 0% 砂石 40 g 珊瑚礁粉末 0 g			
	×	×	○
珊瑚礁粉末 10% 砂石 36 g 珊瑚礁粉末 4 g			
	△	×	○ 結晶顯微照片 116
珊瑚礁粉末 25% 砂石 30 g 珊瑚礁粉末 10 g			
	×	×	○ 結晶顯微照片 117
珊瑚礁粉末 50% 砂石 20g 珊瑚礁粉末 20 g			
	○	×	○ 結晶顯微照片 118
珊瑚礁粉末 100% 砂石 0 g 珊瑚礁粉末 40 g			
	○	△	○

2. 膠結物結晶分析

(1)手機顯微鏡下 水晶杯正面 醋酸鈣結晶			
	照片 113	照片 114	照片 115
(2)手機顯微鏡下 水晶杯底面 醋酸鈣結晶			
	照片 116	照片 117	照片 118

3. 實驗討論：

- (1) 在所有溶液實驗組中，反應最激烈的是醋酸水溶液，而其次是七星潭的地下水，而蒸餾水的反應是所有實驗組中反應最不明顯的。
- (2) 倒入 3 種溶液，在碳酸鈣為 100%的情況下，水晶杯中的膠結情況是所有比例中最為明顯的，水晶杯中正面觀看的醋酸鈣結晶形狀完好，應該是有較好的結晶環境，如照片(113-115)；水晶杯中底面結晶成扁平狀，是因為受上層砂石壓力所致，如照片(116-117)，其中又以醋酸水溶液結晶物最為明顯。
- (3) 沒裝碳酸鈣的水晶杯中，加入醋酸水溶液，其表面仍也有些微白色結晶生成，可知七星潭的砂石中也含有碳酸鈣。
- (4) 由實驗得知，弱酸性溶液可溶解砂石中的大理石及碳酸鈣，當受長期蒸發後會有結晶物產生，這就是膠結物。
- (5) 經觀察，珊瑚礁粉末佔比 25%，也就是砂石 30 g 加上珊瑚礁粉末 10g，膠結程度最好，水晶杯倒扣後，膠結形狀完整，且正面及底面結晶完整。

陸、結論

- 一、室外考察台灣多處灘岩，以七星潭灘岩較為壯觀，分布較廣，灘岩顆粒淘選度及圓球度均佳，且分布於古海階上，下覆有米崙鼻礫岩層平台，上有珊瑚礁岩層，而現生礫灘中富含大理石顆粒，都是灘岩形成的良好條件與環境。
- 二、七星潭海灘砂礫黑色及白色數量相當，而白色以石英居多，大理石居次；而七星潭灘岩經鹽酸溶出膠結物後，發現黑色砂石的數量明顯大於白色砂石，白色砂石主要為石英，推測大理石已被溶解於鹽酸中，但經檢測灘岩中礫石，大理石含量極少，可知灘岩中大理石已被地下水溶解。
- 三、四次採樣七星潭地下水，經檢驗水質偏弱酸性，PH 值在 6.2-6.7 間，TDS 數值 710 - 976 間，較學校地下水及水簾洞地下水高出許多。
- 四、室內實驗四、五，分別以烤箱及本生燈蒸發七星潭地下水，實驗得知每 100 克地下水約有 0.52 克晶體，以稀鹽酸測試為碳酸鈣晶體，以手機顯微鏡觀察可見方形結晶形狀。
- 五、實驗六利用輸液管模擬地下水地面結晶實況，以常溫的環境慢速滴下地下水，經五周的觀察，地下水蒸發後有白色碳酸鈣結晶漸多。
- 六、實驗七探討不同溶液對灘岩膠結影響，酸性溶液可溶解礫石中碳酸鈣，當蒸發結晶後形成較多的碳酸鈣，可增加灘岩的膠結度；而鹼性及中性溶液無法溶解礫石中碳酸鈣，灘岩膠結物可能來自溶液中的離子結晶而來，如海水中的氯化鈉可膠結砂石，膠結度佳，而 RO 逆透水含極少的離子，所以膠結度極差。
- 七、實驗八比較灘岩和一般灘礫產生二氧化碳多寡，灘岩所產生的二氧化碳為一般灘礫約四倍，因為在膠結物中富含碳酸鈣，故能夠產生較多二氧化碳。我們也發現膠結的灘岩中大理石數量稀少，應是被地下水溶解，我們取出灘岩中的白色的礫石，以鹽酸檢測，白色礫石以石英居多，大理石數量很少，可見許多大理石被地下水溶解後，成為膠結物。
- 八、實驗九探討砂石顆粒中的碳酸鈣含量和膠結的關係，反應最明顯的是醋酸水溶液，其次是七星潭的地下水；而珊瑚礁粉末佔比 25%，也就是砂石 30 g 加上珊瑚礁粉末 10g，膠結程度最好，結晶明顯；七星潭灘岩環境，灘岩上有珊瑚礁，灘岩顆粒中也富含大理石顆粒，所以受弱酸性地下水溶解後，產生碳酸鈣膠結物。

柒、參考資料

- 一、陳文山（1997）。**岩石入門**。遠流出版社。
- 二、徐彥哲（2011）。**美崙台地巨礫沉積環境分析**。
- 三、黃昱翔、簡志桓（2006）。**探討花蓮溪流碳酸鈣鎂含量與日常生活中的硬水**。
- 四、張孟淞、趙元、陳威宇（2008）。**海邊的風吹砂怎麼會膠結成塊呢？**
- 五、蘇允恩（2016）。**藻礁？灘岩！老梅海岸之研究**。
- 六、李思根、李志成、陳怡禎（2018）。**太魯閣國家公園森林小學戶外教學模組之開發研究**。
- 七、山崩雲-**五萬分之一全島無接縫地質圖**，經濟部地質調查及礦業管理中心。
<https://landslide.geologycloud.tw/map>
- 八、澎湖海洋地質公園中心。**碎屑珊瑚礁灘岩**。<https://vrlife.com.tw/penghuevent/>
- 九、Easy天文地科站。**北海岸的綠寶石-老梅石槽**。<https://www.facebook.com/easyearthEXPO/>