

# 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 地球科學科

團隊合作獎

080503

綠色組合巨石之謎

學校名稱：宜蘭縣礁溪鄉四結國民小學

作者：  小六 翁士原  小六 靳少程  小四 吳立楷  小四 戴奕勝	指導老師：  許淑蘭  黃瓊瑤
---	-----------------------------

關鍵詞：岩屑崩滑、碳酸鈣、綠色片岩

# 摘要

本研究研究場域位於宜蘭縣南澳鄉中央山脈向東延伸濱海的餘脈，故運用中央地質調查所網站建立地質圖、地形圖，再將圖層套疊到 GOOGLE 平台測量坡地坡度及崩地面積等。

接著以現地調查及空拍機拍攝方式探究研究場域。

調查結果發現：該區屬綠泥石片岩，有石英、黃鐵礦、雲母等礦物，雖未發現變質石灰岩，但本研究推測氣候、岩性、地形等因素，使得變質石灰岩被因溶蝕作用而導致岩屑崩滑，造成有趣的地質現象，如岩屑崩滑、碳酸鈣膠結綠泥石、鈣華現象、方解石外生礦等。

最後，經由實驗設計及操作，希望能描述碳酸鈣膠結綠泥石的經過，解釋其機制，複製其現象。

## 壹、研究動機

2022 年夏天，我們暫時揮別 COVID-19 疫情的陰影，到南澳海邊享受陽光、沙灘、海水還有海產，看著海浪拍擊海岸，心情特別舒暢。

走著走著，前面有一顆綠色巨石阻擋去路。這顆綠色組合巨石的粒徑約有 6.2 公尺，12 個人手牽手的腰圍，真的好大顆。往前仔細觀察，這顆巨石是由無數大大小小的石頭組合而成的，石頭組合的方式不像石頭屋是很平整排列上去，卻像是巧克力杏仁脆片，雜亂無章橫七八豎矗著。

仰看這顆組合巨石驚嘆不已時，大家又有新的發現。大大小小石頭邊緣都有乳白色物質，乳白色物質像是黏著劑，把大大小小石頭黏在一起變成巨石。

為什麼這裡的石頭都是綠色的、無數大大小小的石頭會散落在沙灘上，又為什麼會被黏起來形成組合巨石。乳白色物質是什麼黏著劑，效果這麼好，可以無數石頭黏的牢牢的。

這個區域有好多有趣的謎，我們請自然老師指導我們探究，綠色巨石偵查隊出發。我們要搜集現場線索，還原現場樣貌，解開現場謎團。

## 貳、研究目的

- 一、運用各項系統平台取得研究場域相關資訊
  - (一) 界定研究場域之範圍。
  - (二) 簡述研究場域地質、地形、氣候、地震頻度等。
- 二、了解研究場域地質構造與地質現象
  - (一) 調查並描述岩層中組成礦物及地質構造。
  - (二) 調查並描述研究場域地質現象。
- 三、探究岩屑崩滑區\_堆積段、落石區之性狀及成因。
  - (一) 描述岩屑崩滑區\_堆積段、落石區之性狀。
  - (二) 推測岩屑崩滑之成因。
  - (三) 推測岩屑崩滑發生之時間序。
  - (四) 揭開研究場域中綠色組合巨石之謎
- 四、綠色組合巨石\_碳酸鈣物質之形態與成因的探討
- 五、描述研究場域中的鈣華現象
- 六、操作人造綠色組合石塊之實驗

## 參、文獻探討

### 一、綠色片岩

別名：綠泥片岩 (Chlorite Schist)

礦物組成：綠泥石、綠簾石、石英、方解石。

特性：綠色片岩為台灣變質岩中重要岩種，呈深綠或暗綠色之片狀岩石，具有良好片理，為細粒或中粒，組成礦物一半以上為綠泥石，另一半為綠簾石、黝簾石、石英及方解石。綠色片岩中亦有含白色條紋之帶狀，多由方解石、石英及斜長石組成，綠泥石及綠簾石為綠色部分主要礦物。

產狀：多數綠色片岩係由基性火成碎屑岩變質而成，部分則原為基性火成岩，多以層狀夾於石墨片岩及結晶石灰岩中，亦有和角閃石、石英片岩相伴者。綠泥片岩與其上下岩層一般以鮮明之境面相接，但有時亦漸移為上下岩層。

料來源：台灣礦物局

### 二、水與山崩的關係為何

山崩常發生在長期降雨或暴雨期間或降雨之後，斜坡飽合含水時發生。水對斜坡上的土石材料的穩定性有雙重的影響：

#### (一)增加材料的重量

水由於增加了斜坡上材料的重量而成為山崩的驅動力。暴露在斜坡上的穩定的土石材料內含有 10%至 35%體積的孔隙，在乾燥時，這些孔隙大都為空氣，但在在長期的降雨後，這些孔隙可能完全被水填滿而增加了沈積物的重量，因而增加了驅使沈積物向下坡移動的力量。

#### (二)減低岩石強度

水通過某些岩石的孔隙，溶解易溶的膠結物質例如碳酸鈣，減低了凝聚力，使顆粒容易向下坡移動。水可軟化頁岩層，甚至引起某些種類的粘土礦物膨脹，降低岩層間的摩擦力。地下水循環通過疏鬆且粗細混雜的土石材料，沖刷細粒物質，造成斜坡後方土石材料掏空現象。岩石裂隙間的水結冰時施加於孔隙壁的作用力可將岩石沿層面、節理或其他裂縫崩解分離（冰楔作用），這些鬆疏的岩石材料接著可以向下坡移動。資料來源：經濟部地質調查所

## 肆、研究方法

### 一、運用各項系統平台探究南澳地區岩層與標示研究場域

#### (一)透過經濟部中央地質調查所網站查詢南澳地區岩層種類與環境地質

##### 1 確定地圖模式、範圍及比例尺

進入經濟部中央地質調查所網站，點擊查詢/宜蘭縣，切換至流域地質圖模式，調整地圖以南澳南溪流域為範圍，地圖比例尺為 1：35,000，如下圖。



## 2 加入鄉鎮區及等高線圖層

點選圖層/基本圖資，核取鄉鎮區界、等高線圖層，如下圖。



## 3 加入地質敏感區圖層

點選圖層/環境地質資料，核取地質敏感區圖層，如下圖。



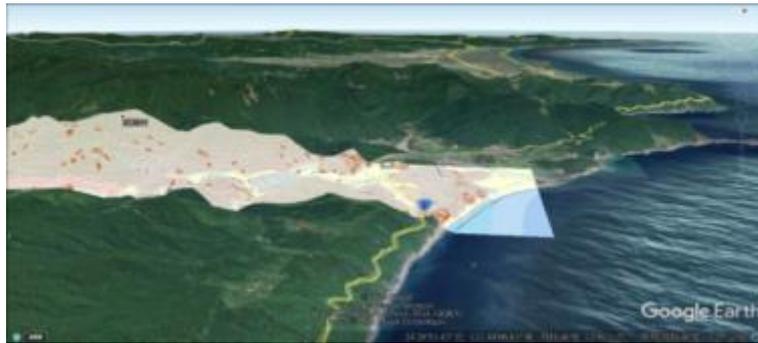
## 4 擷取 KMZ 圖檔



(二)於 GOOGLE EARTH 平台界定研究場域範圍及進行坡度與面積測量

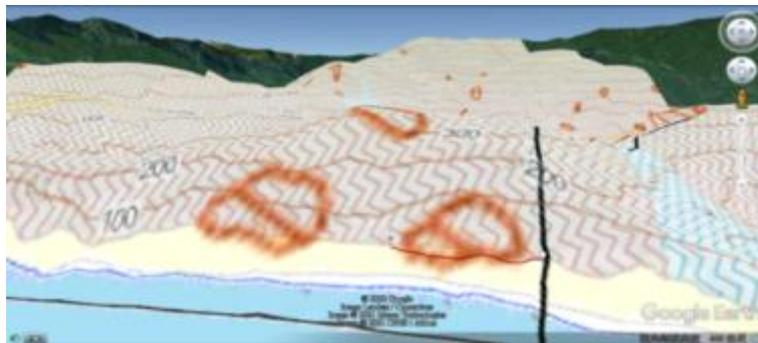
1 套疊 KMZ 圖層

將在經濟部中央地質調查所網站擷取的圖層套疊到 GOOGLE EARTH 平台，如下圖。



2 標示地面調查點地標與界定研究範圍

運用新增地標與新增路徑工具標示研究範圍及現地調查路線，如下圖。



3 運用各種測量工具進行測量



二、現地調查研究場域地質構造及地質現象

依據研究路線，以地面點狀、線狀調查方式進行。

(一)採集並觀察岩層中礦物組成之特性



(二)測量並觀察地質構造、地質現象

	
<p>觀察綠泥石片岩片理構造</p>	<p>觀察並拍照記錄岩層傾斜角度</p>
	
<p>觀察/測量岩層的節理構造</p>	<p>觀察岩屑崩滑堆積段的結構</p>
	
<p>測量膠結成岩岩塊粒徑</p>	

(三)檢測岩層水之性質

	
<p>採集岩壁流出的水</p>	<p>滴入檢測鈣離子試劑</p>



### 三、現地調查研究場域\_地質敏感區堆積段的結構

進行空拍機拍攝前，先使用 Drone Map App 查詢研究場域是否可以使用空拍機拍攝。如下圖所示，本研究進行調查的區位在南澳溪以南(如黃線之區域)，為空拍機可使用之範圍。



依據研究範圍，以空拍機平視、俯視方式拍攝進行調查。



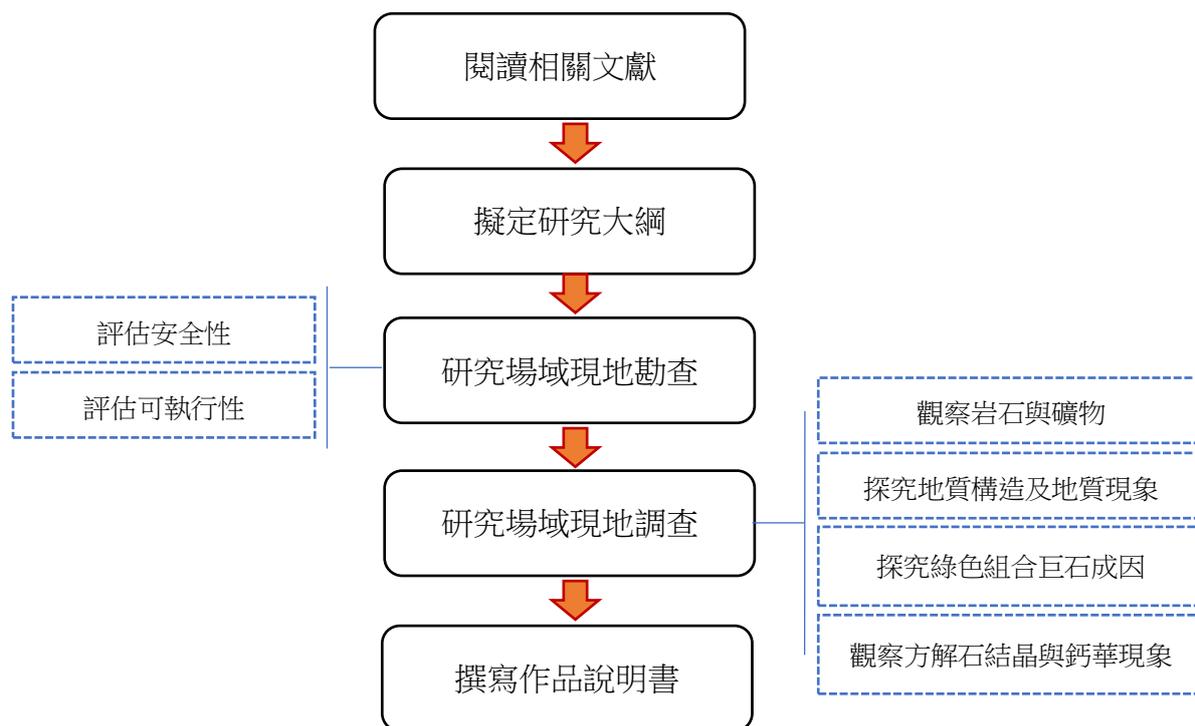
平視角度影像



俯視角度影像

## 伍、研究流程及工具

### 一、研究流程



### 二、研究工具

研究過程	研究工具	用途
運用各項網站系統平台	個人電腦	取得研究場域相關資料
現地調查研究場域	榔頭、起子	採集岩石與礦物
	含燈放大鏡	觀察岩石與礦物
	皮尺、傾度儀	觀察地質構造
	空拍機	觀察地質敏感區堆積段
	鈣試劑、PH 筆	檢測岩層水的性質

## 陸、研究進度

年度	111 年				112 年					
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6-7 月
研究進度										
文獻探討										
現地勘查										
現地調查										
實驗設計/操作										
撰寫作品說明書										

## 柒、研究過程與結果

### 一、研究場域岩層種類與環境地質

#### (一) 界定研究場域範圍

如研究動機所述，本研究欲探討海灘上的綠色組合巨石(如下圖綠色區域範圍)之成因，故設定以此區往前、往後延伸 50-60 公尺為研究路線(紅色線段)，研究路線之地面及山體(黃色區域)為研究範圍。如下圖。



#### (二) 簡述研究場域

##### 1. 地理位置

本研究場域為中央山脈往東延伸的一段餘脈(如上述界定之範圍)。東邊濱臨太平洋，西邊有南澳南溪，行政劃分屬宜蘭縣南澳鄉。

##### 2. 氣候特徵

當地氣候高溫多雨潮溼，以蘇澳測候站測得 2022 年年均溫 23.08°C，年雨量 6557mm，年降雨天數 207 天，年平均溼度 77.8%。(相關氣候資料聯結中央氣象局觀測資料查詢系統 V7.2)

##### 3. 地震頻度

運用交通部中央氣象局地震查詢系統，從 2020 年 1 月到 2022 年 12 月，南澳鄉發生地震頻度如下圖：



顯著有感地震 2 個，小區域地震 28 個，共 30 個，由此可知，研究場域地震頻度很高。

#### 4.地質地形

透過經濟部地質調查所網站可知，本研究場域之岩層屬大南澳片岩，為山崩或地滑地質敏感區(如圖一：地質圖)。再透過套疊至 GOOGLE EARTH 平台的資料可知，研究場域為海拔約 400 公尺，平均坡度為  $30^{\circ}$  - $35^{\circ}$  陡坡山丘，植被覆蓋率約 96% 以上，沒有任何人造物。如圖二：地形圖、圖三：坡度示意圖)



圖一：研究場域地質圖



圖二：研究場域地形圖



圖三：研究場域坡度示意圖

## 二、研究場域岩層組成礦物與地質構造

本研究以現地調查方式探究研究場域之岩層組成礦物、地質構造，調查結果如下：

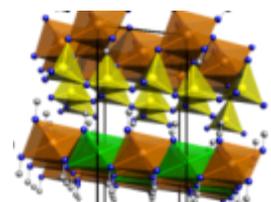
### (一)岩層組成礦物

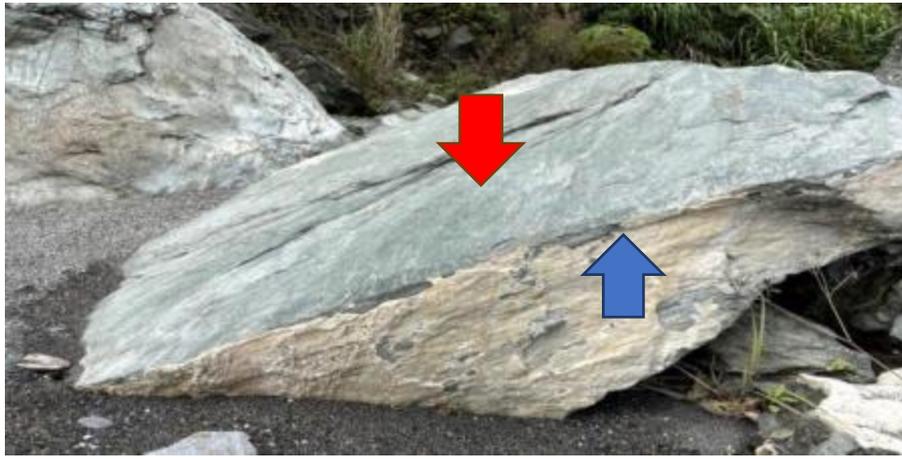
本研究區域以地質圖判讀為大南澳片岩，調查結果發現，岩層以綠色片岩為主，觀察到的礦物有綠泥石以及少量雲母、黃鐵礦，石英多以夾層出現。

### (二)地質構造

綠泥石片岩片理發達且明顯；另，調查發現，在一段長 3 公尺的地面露頭觀察到 17 條節理，故推測此區節理非常顯著。

下方為現地調查觀察到的礦物及地質構造，以圖文說明之。

	<p>細晶質的綠泥石，不易用肉眼觀察，但呈綠色或墨綠色，故很容易辨識。</p>
	<p>研究場域的綠泥石片岩，片理非常發達。下圖為綠泥石呈片狀的晶體構造圖。圖片來源：維基百科綠泥石</p> 
	<p>有些綠泥石片岩會漸移成上下岩層，從上下岩層中可觀察到接觸面非常平滑。</p>



圖中的綠泥石片岩為研究場域中掉落在海灘上的落石。  
紅色箭頭：光滑的片理岩面  
藍色箭頭：平整的節理



綠泥石岩層中節理構造十分明顯而且發達。



綠色片岩中的礦物\_雲母，呈片狀。



綠色片岩中的礦物\_黃鐵礦，呈正立方體狀。



綠色片岩中的礦物\_鐵質礦物，暴露在大氣中，因氧化使得表面呈現鏽色。在研究場域中的落石很容易發現。由此可知：綠泥石是由火成岩的鐵鎂礦物變質而成。



綠色片岩中的礦物\_石英，以近似透鏡夾層方式呈現(如圈起的部份)。



從蘇澳到南澳，有 3-5 間的水泥公司，圖為某家水泥公司開採的變質石灰岩礦區。



參觀某家水泥公司，圖中背景為開採經處理成塊的變質石灰岩。

小結：本研究依據研究路線，以地面點狀、線狀調查方式進行，調查結果發現：

- 此區綠色片岩之礦物組成 99%以上為綠泥石，石英次之，石英多以夾層方式出現。再者為鐵質及黃鐵礦，有少許雲母。
- 從文獻資料中顯示：綠色片岩常有變質石灰岩伴生。經上述調查，並沒有觀察到變質石灰岩，但參觀水泥公司時得知，蘇澳到南澳之間，變質石灰岩十分豐富。另外，我們使用鹽酸滴在組合巨石的膠結物上，看到許多細小的泡泡，可證明膠結物含有碳酸鈣，與變質石灰岩的成份相同。
- 此區綠泥石片岩的片理移成上下岩層與節理的現象非常發達。

### 三、研究場域\_地質敏感區的地質現象

研究場域\_地質敏感區以地質圖判讀為山崩或地滑之地質敏感區，調查結果發現：

(一)邊坡底層的組成材料為土石碎屑且排列凌亂(如圖片 1)，邊坡底層除了土石碎屑外，還有綠泥石石塊且孔隙有膠結物填充(如圖片 2)。

(二)海灘上有 15-20 顆大小不一膠結成石的綠泥石石塊，最大的粒徑約為 6.2 公尺(如圖片 3)。另外，也有數顆綠泥石片岩的岩塊，有些岩塊共同的特徵為斷面很整齊，像是刀切一般(如圖片 4)。



圖片 1：邊坡底層的組成材料為土石碎屑且排列凌亂。



圖片 2：邊坡底層的組成材料，也有綠泥石石塊且孔隙有膠結物填充。



圖片 3：海灘上有許多與綠色組合巨石相同的綠泥石膠結石塊。



圖片 4：因為節理發達，綠泥石片岩從岩層節理處斷裂而掉落在海灘。

小結：依據以上調查結果判斷及推測

- 觀察研究場域\_地質敏感區堆積段的材料，依經濟部地質調查所之分類，此區屬於岩屑崩滑(註 1)之崩地類型。

(註 1)岩屑崩滑：為風化的土層、岩屑或鬆軟破碎的地質材料，受到豪雨或地震引起崩落滑動。這些風化的地質材料通常在不同地層的交界面或者土層和岩層的交界面崩塌機率會比較大。

資料來源：國家災害防救科技中心

網址：國家災害防救科技中心/災害主題/山崩、土石流

- 依上述地質所之說明，此類型崩地為地質材料在不同地層交界面形成的。因此，我們推測：研究場域中，岩屑崩滑發生的位置在：綠泥石片岩岩層與變質石灰岩岩層交界面。

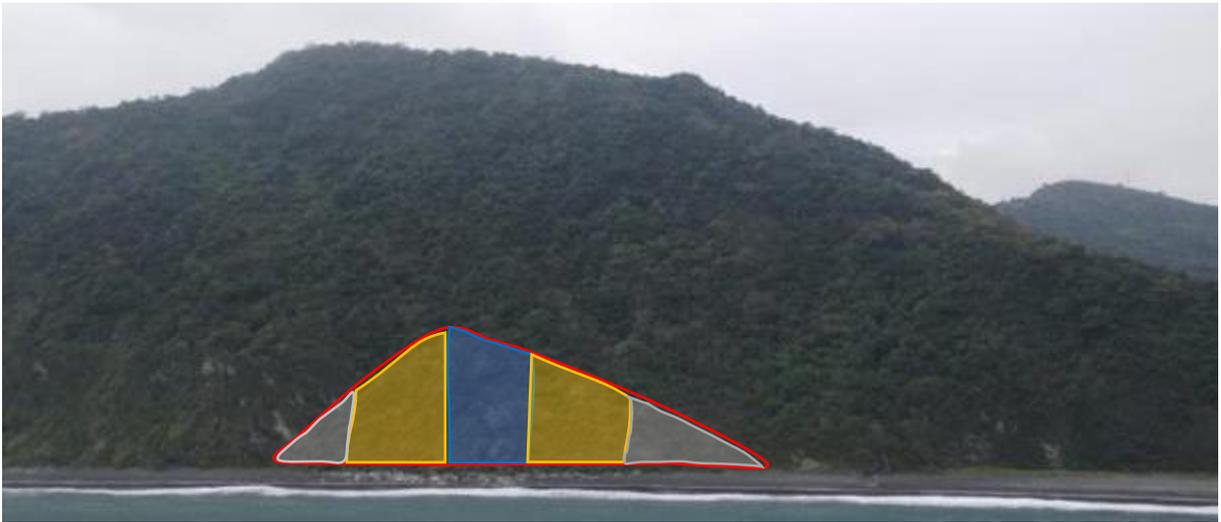
#### 四、岩屑崩滑區\_堆積段、落石區之性狀

經過上述調查知道：研究場域中，綠泥石岩層與變質石灰岩交界面，可能是岩屑崩滑位置。變質石灰岩的組成成份中有碳酸鈣，而綠色組合巨石是綠泥石片岩被碳酸鈣膠結而成的。因此，我們要繼續探究：研究場域中，

變質石灰岩岩層如何轉化成碳酸鈣膠結物，將綠泥石膠結起來形成巨石？

以及這些組合巨石為什麼會分布在沙灘上？

為了滿足好奇心，我們使用空拍機拍攝岩屑崩滑區\_堆積段及落石區的樣態，以了解堆積段的結構及落石的分布。說明如下：



研究場域\_岩屑崩滑區堆積段，如上圖紅色範圍之區域，從空拍影像中，我們發現：

(一)堆積段有三種不同的性狀，土石碎屑(圖一)、土石混綠泥石(圖二)、膠結綠泥石(圖三)。這三種不同的性狀的堆積物，如上圖分布在不同的區位，膠結綠泥石(藍色區塊)在中間，兩側依序為土石混綠泥石(黃色區塊)及土石碎屑(灰色區塊)。

(二)落石的性狀有二種不同的性狀，綠泥石落石、膠結組合綠泥石落石。綠泥石落石大致分布黃色區塊(土石綠泥石堆積段)範圍的海灘上，膠結組合綠泥石大致分布在藍色區塊(膠結綠泥石堆積段)的海灘上。以下圖文說明。



圖一\_土石碎屑：此區(灰色區塊)的堆積段，大多是土壤及小岩石碎屑。海灘上落石較少，如下圖紅色區域。



圖二\_土石混合綠泥石：此區(黃色區塊)的堆積段，多是綠泥石石塊的縫隙中摻混土石碎屑。海灘上綠泥石落石密布，粒徑大約 3~5 公尺，如下圖紅色區域。



膠結綠泥石\_圖三：此區(藍色區塊)的堆積段，全部都是被碳酸鈣膠結的綠泥石石塊。海灘上有綠泥石膠結成岩的石塊，也有綠泥石落石，粒徑不一，大大小小都有。



小結：

- 沙灘上的綠色組合巨石與與堆積段膠結綠泥石的性狀相似，綠泥石的縫隙中都有碳酸鈣膠結物。
- 沙灘上的綠色組合巨石與其他綠泥石膠結成石的石塊，都只出現在膠結綠泥石堆積段的海灘上，其他區位沒有發現。

## 五、推測岩屑崩滑之成因及發生時間序

### (一)岩屑崩滑之成因

我們將崩地地質圖套疊至 GOOGLE EARTH 加以測量，測得研究場域岩屑崩滑區的面積約為 1.67 公頃。如此大面積之崩地是如何形成的？

根據研究歷程綜合判斷，我們提出以下說明：

- 1.降雨豐沛且高溫潮溼**，有利植物生長。植物死亡後快速腐爛，腐植土深厚，釋放出 CO<sub>2</sub> 溶解在降水中，使水含有碳酸質。
- 2.地形陡峭**，降水容易形成逕流，沖刷邊坡土壤岩屑。
- 3.岩層節理顯著**，現地調查中，發現此區片岩的節理十分發達，豐沛的降水滲入並流動於岩層節理或縫隙中，增加了岩層的重量，豪雨發生時，受到重力影響產生崩滑。
- 4.變質石灰岩岩層發達**，上述含碳酸的水，入滲到岩層可溶蝕變質石灰岩，使變質石灰岩層積存飽和碳酸氫鈣 Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 水溶液(化學反應如下)，增加岩層重量而下滑。或因積存變質石灰岩岩層的水溶液下滲導致岩層中空，造成上部岩層坍塌。

化學式： $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

### (二)推測岩屑崩滑發生時間序

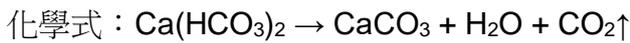
從空拍圖判斷，岩屑崩滑\_堆積段大致分為土石碎屑、土石混綠泥石、膠結綠泥石。膠結綠泥石在堆積段的中間區位，土石混綠泥石及土石碎屑依序在兩側呈對稱分布。海灘上的落石也有相對應的分布。因此，我們從堆積段不同地質材料的區位分布及面積，推測研究場域岩屑崩滑之時間序，說明如下。

- 1.早期階段**：從上述調查中，我們發現堆積段\_土石碎屑區分布區位最大最廣。再加上，從蘇澳測候站測得 2022 年資料可知，該區年雨量 6557mm，年降雨天數 207 天。因此推測，在研究場

域某處邊坡受到強降雨，雨水入滲不及，形成地表逕流，沖蝕土壤及岩屑導致淺層岩屑崩滑，使土壤及岩屑分布在整個堆積段。

2.第二階段：在早期階段產生崩滑的地方，因沒表土覆蓋而露出綠色片岩岩層，此區的降水，長期從岩層節理或岩層破碎帶入滲，達到入滲飽合，岩層水壓增加，再加上綠色片岩片理構造，導致大規模深層綠泥石滑動崩落。綠泥石布滿在堆積段藍色及黃色區塊，有的甚至掉落在藍色、黃色區域海灘上，形成綠泥石落石。

3.最三階段：此區的降水，如第二階段之情形，同樣入滲變質石灰岩層，變質石灰岩被溶蝕掏空，或岩層中蓄積大量碳酸氫鈣水溶液，上部岩層因下層中空而斷裂崩落，碳酸氫鈣水溶液大量流出，填充堆積段\_藍色區塊綠泥石空隙中。碳酸氫鈣水溶液不穩定，溫度較高就可分解成碳酸鈣、水及氣態二氧化碳，化學反應如下：

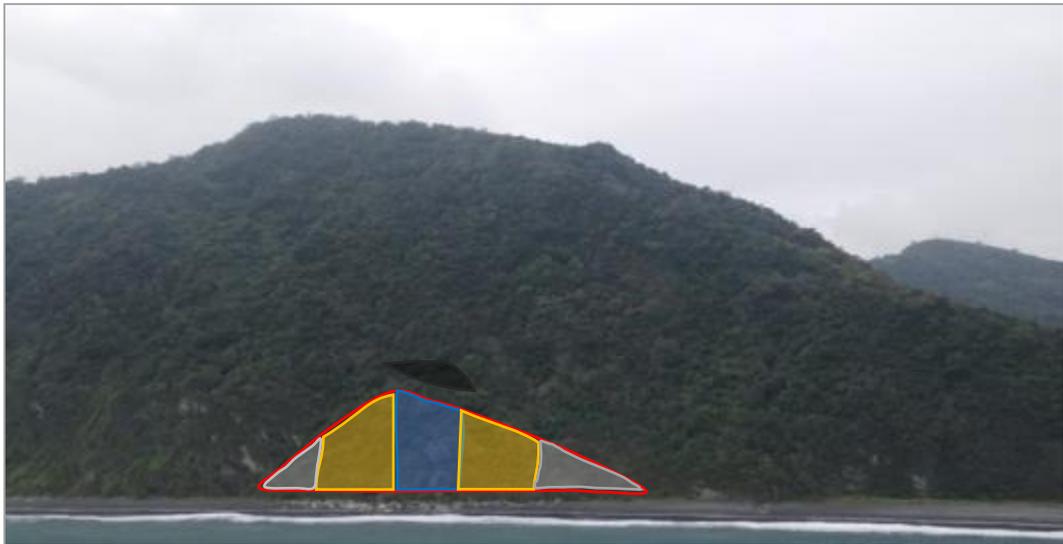


水份蒸發後，碳酸鈣就形成研究場域中的膠結物，將綠泥岩片岩膠結起來。

4.最後階段：堆積段\_藍色區塊膠結綠泥石，可能因地震、強降雨或颱風等外力因素而剝離，掉落在海灘上。

小結：

- 變質石灰岩層位置：調查研究場域岩層組成礦物時，不論是地面調查或是使用空拍機拍攝，我們都沒有發現變質石灰岩岩層。以空拍機探究土石崩滑堆積段的結構後，我們推測變質石灰岩岩層位置大約在下圖黑色區域(堆積段\_膠結綠泥石上方)。



- 揭開研究場域中綠色組合巨石之謎：經過抽絲剝繭的研究歷程，我們終於解開綠色組合巨石的謎團。原來是綠色片岩岩層中有變質石灰岩夾層，變質石灰岩受到碳酸質溶蝕成碳酸氫鈣水溶液蓄積在岩層中。地震、豪雨、颱風等作用力，造成變質石灰岩與綠泥石片岩交界面產生岩屑崩滑，碳酸氫鈣水溶液從岩層流出，流入綠泥石堆積段空隙，碳酸氫鈣遇熱又變回碳酸鈣，將大大小小的綠泥石膠結起來。日積月累，被膠結的綠泥石從堆積段剝離掉落到海灘上，就是我們看到的綠色組合巨石啦。



## 六、膠結綠色組合巨石\_碳酸鈣物質之形態與成因

解開了綠色組合巨石形成之謎後，我們接著想要探究膠結綠色組合巨石的物質\_碳酸鈣。在研究過程中，我們持續搜尋相關文獻如下：

### 石灰岩洞穴

當雨水降落或滲入地下時，常會和空氣中、土壤裡或岩隙中的二氧化碳結合，使水中含有碳酸質，而以碳酸鈣為主要成分的石灰岩岩層較易溶於酸性的水中；因此，地層中的石灰質常被溶解帶走，稱為溶蝕作用。而含有碳酸質的地下水，在石灰岩的裂隙中長期溶蝕擴大，就會形成地下溶洞。當溶有石灰質的地下水，一旦從溶洞中的岩壁滲出，加上因水分蒸發或是溶解質達到飽和便會結晶析出，使得溶液中的石灰質沉澱出來（若有晶形者即為方解石。

科博館數位典藏學術研究資源網 - 自然與人文數位博物館

### 霏石

霏石與方解石為同質異像體(成份相同但物理性質有差異).....。霏石是高壓下平衡的碳酸鈣礦物結構，在常壓下，此礦物是以方解石的結構存在。

教育部大百科全書

方解石是碳酸鈣  $\text{CaCO}_3$  的穩定形態，在地球分布廣泛，石灰岩和大理岩中都含有方解石。透過文獻探討及研究結果推測，膠結綠色組合巨石之碳酸鈣物質為方解石，且屬外生礦(exogenetic deposit)(註 2)，觀察到的晶體形狀可分為 2 種。一種呈層狀微/隱晶狀；另一種呈簇狀集合體。以下分別說明其形態並探討其成因。

(註 2)外生礦床：在地球表面因風化作用形成的產物通過流水、風等作用力之搬運後又發生沉積，使礦物成分聚集起來而形成。

資料來源：國家教育研究院

### (一)層狀微/隱晶狀

稱為石灰華，因碳酸氫鈣水達到飽和流出地表後沉澱形成的，因為結晶速度快，以不緊密方式固結，所以結構疏鬆而多孔隙。

#### 1 晶體性狀

顏色白色、淡黃色。層狀結構。條痕白色。硬度 3-4。



## 2 分布

研究場域堆積段土石材料縫隙、海灘上落石的表面。(包含綠泥石片岩岩塊及膠結成岩的石塊)

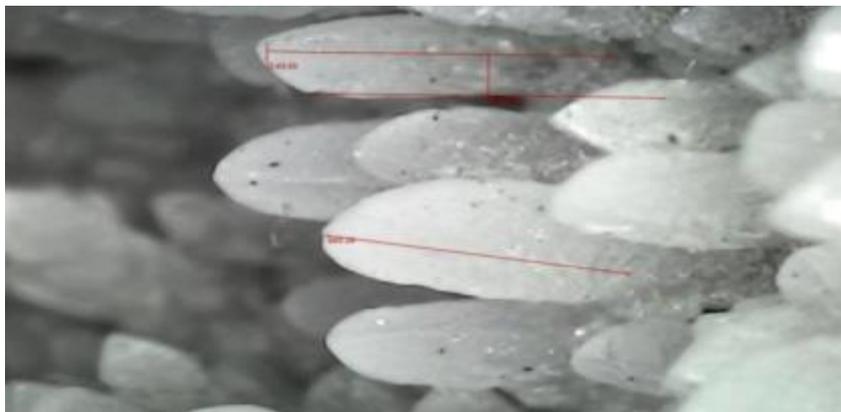
## 3 層狀方解石隱/微晶形成原因

綜合研究過程所述，研究場域因為岩層特性、氣候因素、地形陡峭等，造成了岩屑崩滑的地質現象。岩屑崩滑後，原來積存在岩層中的碳酸氫鈣水溶液大量流出地表，因為壓力變小、溫度升高，碳酸鈣沉澱後迅速結晶，形成了方解石隱/微晶。

## (二)簇狀集合體



此區方解石簇狀集合體晶體肉眼可辨識，採集後使用電子顯微鏡觀察，如下圖。晶體長度約 6mm~10mm 之間。



### 1 晶體性狀

顏色白色；呈簇狀集合體。

### 2 分布

堆積段岩塊圍起的空間及海灘上膠結成岩岩塊圍起的空間，且長在層狀微/隱晶之上。如下圖。



層狀微/隱晶



層狀微/隱晶

### 3 成因推測：

此區方解石簇狀集合體晶體生長在層狀微/隱晶之上，我們推測：溶有變質石灰岩的飽和碳酸氫鈣溶液從結構疏鬆而多孔隙的層狀隱晶滲出時，簇狀集合體在層狀晶體上慢慢成長，形成肉眼可識的簇狀晶體。

## 七、研究場域中的鈣華現象

研究場域降水豐沛，現地調查時，我們看到一處有水從岩層裂縫流出地表。在這裡可以觀察到多孔隙沉積物、膠結沉積物等，都可以證明此區有變質石灰岩層，以下是我們調查及測量結果。

(一)多孔隙沉積物：從岩壁中流出的未飽和碳酸氫鈣水，在常溫時容易產生碳酸鈣固體沉澱。固態碳酸鈣與岩壁上的苔蘚、地衣等生物殘體凝結而成。因為常混入雜質，故呈淺褐色到淺黃色。如圖。



(二)膠結沉積物：未飽和碳酸氫鈣水流到地表後發生碳酸鈣沉澱並膠結地表沙土，厚度約 1-2 公分。



(三)未飽和碳酸氫鈣水



當雨水降落或滲入岩層時，常和空氣中、土壤裡的二氧化碳結合，使水中含有碳酸質。此區以碳酸鈣為主要成分的變質石灰岩岩層較容易溶於酸性的水中，產生溶蝕作用。溶蝕作用使積存在岩層中的水形成或飽和或不飽和的碳酸氫鈣水溶液。現地調查時，我們使用鈣試劑及 PH 筆檢測岩層水的性質。結果如下：  
鈣離子濃度：最低(豐水期)120ppm、最高(枯水期)1200ppm；PH 值：最低 8.21、最高 8.52。

## 八、操作組合綠色石塊之實驗

綜合研究歷程六~七之結果，我們得知，膠結綠泥石的碳酸鈣形態為層狀方解石隱/微晶。因此，如果我們可以製備飽和/未飽和碳酸氫鈣水溶液，是否可以像在自然環境中，經由實驗設計及操作將綠泥石/砂子膠結起來，製作出綠色組合石塊。於是我們擬定了以下的研究步驟：

步驟一、探究碳酸鈣膠結綠泥石及砂土機制之文獻。

步驟二、製備飽和碳酸氫鈣水溶液

步驟三、設計及操作實驗並記錄

### (一)探究文獻

方解石是構成石灰岩的主要成分，大部分的石灰岩碎屑物都是由方解石晶體膠結在一起，...。除石灰岩之外，也有許多砂岩的膠結物也是方解石。臺灣地質知識服務網-地質百科-方解石

方解石是石灰岩和大理岩的主要組成礦物，其最大的用途為製造水泥。...**水泥**（是一種建築材料，與水混合後會凝固硬化。水泥不常單獨使用，而是用來與沙、礫（骨料）接合。水泥與細緻的骨料混合後形成砂漿，可用來接合磚塊）。維基百科

根據有限的文獻，雖然還是無法知道膠結的機制，但了解膠結的材料是砂子。砂子組成成份為矽。因此，我們推測綠泥岩的成份中也一定有矽的元素。

**綠泥石**(英文：**chlorites**)為片狀矽酸鹽礦物，....。維基百科

吔，果然如此，矽不矽就可以作為膠結實驗的變項。

### (二)製備碳酸鈣水溶液

由研究歷程七的結果可知，岩壁水流出的為碳酸氫鈣水溶液，鈣離子經檢測最低 0.12g/L，最高濃度 1.2g/L。我們以最高濃度為標準，將 1 公克的碳酸鈣粉末加入裝有 850c.c.純水的容器中，利用氣泡機打入二氧化碳。靜置 12 小時後，即可製成碳酸氫鈣水溶液，製程說明如下圖。

使用電子微秤秤得 1 公克的碳酸鈣粉末	將碳酸鈣粉末倒入 850c.c.的容器中並打入二氧化碳	打入二氧化碳後，容器中的碳酸氫鈣(呈混濁狀態)	靜置 12 小時後，碳酸氫鈣水溶液呈透明狀態
			

### (三)矽對結晶作用的影響之設計及操作實驗

#### 1. 實驗器材與操作步驟

將綠泥石放入並鋪滿直徑 9 公分的培養皿中，再倒入 65 公克的備製碳酸氫鈣水溶液，淹蓋培養皿內的材料。待皿中的水溶液蒸發後，再加入水溶液。



將石墨放入並鋪滿直徑 9 公分的培養皿中，再倒入 65 公克的備製碳酸氫鈣水溶液，淹蓋培養皿內的材料。待皿中的水溶液蒸發後，再加入水溶液。



#### 2. 實驗結果

- 5/8~5/31 進行實驗，共 24 天，綠泥石培養皿水溶液完全蒸發 5 次，倒入 6 次水溶液。大約 0.45 克鈣酸鈣。
- 發現 4 處有明顯的碳酸鈣結晶，1 處是石塊裂縫處，另 1 處是石塊平滑面較低可積水的地方。其餘 2 處都在方解石微/隱晶上結晶(紅色圈處)。
- 培養皿底部沒有白色粉末(藍色箭頭處)。



- 5/8~5/31 進行實驗，共 24 天，石墨培養皿水溶液完全蒸發 4 次，倒入 5 次水溶液。大約 0.38 克鈣酸鈣。
- 未發現碳酸鈣結晶，培養皿底部有白色粉末，我們推測是碳酸鈣粉末及顆粒(藍色箭頭處)。



- 由以上實驗結果得知：製備的碳酸氫鈣可在綠泥石上形成碳酸鈣結晶，無法在石墨上形成結晶。
- 另外，我們發現：綠泥石培養皿中的水溶液，在實驗第二天，幾乎就少了一半，不是正常的蒸發現象。我們認為，綠泥石在火成岩形成中是由火山灰組成，火山灰顆粒很

細，吸水能力佳，石墨則沒有吸水的現象。

- 綜合上述，我們從實驗過程中驗證，碳酸鈣可在含矽元素的礦物及岩石上結晶，且這個礦物或岩石必須具有吸水的能力。

#### (四)晶核對結晶作用的影響之設計及操作實驗

##### 1. 實驗器材與操作步驟

重複上述(三) 矽對結晶作用的影響的操作實驗，持續將碳酸氫鈣水溶液倒入綠泥石培養皿中。實驗操作時間：6月1日至6月12日，共12天，完全蒸發2次，倒入3次水溶液。

##### 2. 實驗結果

有晶核：新的晶體在晶核上持續形成且速度很快，2-3天就可形成，且用肉眼即可觀察到。	無晶核：新的晶體除上述(三) 矽對結晶作用的影響的操作實驗中，有發現的2處外。另還發現多處，都是在石塊縫隙、凹處、邊緣較薄的地方發現結晶，成長速度慢。約10天，才能用肉眼觀察到。
	
	

由以上實驗得知：

- 新的晶體在晶核處結晶，速度比無晶核的快。
- 無晶核的晶體，大多在岩塊的縫隙、凹處、邊緣較薄的地方結晶。

#### (五)實驗小結：

- 在進行組合石塊操作實驗之前，我們只知道，碳酸氫鈣水溶液填充在綠泥石堆積段空隙，將大大小小的綠泥石膠結起來。操作實驗之後，我們更清楚的了解，碳酸氫鈣水溶液以毛細現象浸濕綠泥石，綠泥石飽含水溶液，所以碳酸鈣結晶在堆積段材料的上、下、左、右，各個面向都有結晶形成。
- 從操作實驗過程中，我們發現：晶核從飽含飽和水溶液的綠泥石之縫隙、凹處、邊緣較薄的地方晶出，晶體再以晶核表面持續成長，成長速度較慢。從原有的晶體長出來的簇狀晶體，生長速度較快。因此，我們推測：研究場域中，層狀方解石微/隱晶與簇狀晶體形成的時間不同。層狀方解石微/隱晶時間序較早，簇狀晶體時間序較晚。

## 捌、結論

### 一、研究場域簡述

本研究場域為中央山脈往東延伸至海濱的一段餘脈，屬宜蘭縣南澳鄉。該區氣候溫暖潮濕、地震頻度高、地形陡峭。

### 二、研究場域岩層組成礦物及地質構造

(一)此區綠色片岩之礦物組成 99%以上為綠泥石，石英次之，石英多以夾層方式出現。再者為鐵質及黃鐵礦，有少許雲母。

(二)從文獻資料中顯示：綠色片岩常有變質石灰岩伴生。經上述調查，並沒有觀察到變質石灰岩，但參觀水泥公司時得知，蘇澳到南澳之間，變質石灰岩十分豐富。另外，我們使用鹽酸滴在組合巨石的膠結物上，看到許多細小的泡泡，也可證明膠結物含有碳酸鈣，與變質石灰岩的成份相同。

(三)此區綠泥石片岩的片理移成上下岩層與節理的現象非常發達。

### 三、地質敏感區\_地質現象

#### (一)地質現象

根據現地調查結果發現：

- 邊坡底層的組成材料為土石碎屑且排列凌亂，邊坡底層除了土石碎屑外，還有綠泥石石塊且孔隙有膠結物填充。
- 海灘上有 15-20 顆大小不一膠結成岩的石塊，最大的粒徑約為 6.2 公尺。另外，也有數顆綠泥石片岩的岩塊，有些岩塊共同的特徵為斷面很整齊，像是刀切一般。

#### (二)依據以上調查結果判斷\_

- 觀察研究場域\_地質敏感區堆積段的材料，依經濟部地質調查所之分類，此區屬於岩屑崩滑之崩地類型。
- 依上述地質所之說明，此類型崩地為地質材料在不同地層交界面形成的。因此，我們推測：研究場域中，岩屑崩滑發生的位置在：綠泥石片岩岩層與變質石灰岩岩層交界面。

#### 四、岩屑崩滑區\_堆積段、落石區之性狀

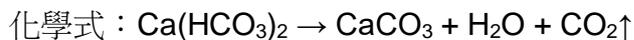
- 堆積段有三種不同的性狀，土石碎屑、土石混綠泥石、膠結綠泥石。這三種不同的性狀的堆積物，大約分布在不同的區位，膠結綠泥石在中間，兩側依序為土石混綠泥石及土石碎屑。
- 落石的性狀有二種不同的性狀，綠泥石落石、膠結組合綠泥石。

#### 五、推測岩屑崩滑之成因

- **降雨豐沛且高溫潮溼**，有利植物生長。植物死亡後快速腐爛，腐植土深厚，釋放出 CO<sub>2</sub> 溶解在降水中，使水含有碳酸質。
- **地形陡峭**，降水容易形成逕流，沖刷邊坡土壤岩屑。
- **岩層節理顯著**，現地調查中，發現此區片岩的節理十分發達，豐沛的降水滲入並流動於岩層節理或縫隙中，增加了岩層的重量，豪雨發生時，受到重力影響產生崩滑。
- **變質石灰岩岩層發達**，上述含碳酸的水，滲入到岩層可溶蝕變質石灰岩，使變質石灰岩層積存飽和碳酸氫鈣 Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 水溶液(化學反應如下)，增加岩層重量而下滑。或因積存變質石灰岩岩層的水溶液下滲導致岩層中空，造成上部岩層坍塌。

#### 六、推測岩屑崩滑發生時間序

- **早期階段**：從上述調查中，我們發現堆積段\_土石碎屑區分布區位最大最廣。再加上，從蘇澳測候站測得 2022 年資料可知，該區年雨量 6557mm，年降雨天數 207 天。因此推測，在研究場域某處邊坡受到強降雨，雨水入滲不及，形成地表逕流，沖蝕土壤及岩屑導致淺層岩屑崩滑，使土壤及岩屑分布在整個堆積段。
- **第二階段**：在早期階段產生崩滑的地方，因沒表土覆蓋而露出綠色片岩岩層，此區的降水，長期從岩層節理或岩層破碎帶入滲，達到入滲飽和，岩層水壓增加，再加上綠色片岩片理構造，導致大規模深層綠泥石滑動崩落。綠泥石布滿在堆積段藍色及黃色區塊，有的甚至掉落在藍色、黃色區域海灘上，形成綠泥石落石。
- **最三階段**：此區的降水，如第二階段之情形，同樣入滲變質石灰岩層，變質石灰岩被溶蝕掏空，或岩層中蓄積大量碳酸氫鈣水溶液，上部岩層因下層中空而斷裂崩落，碳酸氫鈣水溶液大量流出，填充堆積段\_藍色區塊綠泥石空隙中。碳酸氫鈣水溶液不穩定，溫度較高就可分解成碳酸鈣、水及氣態二氧化碳，化學反應如下：



水份蒸發後，碳酸鈣就形成研究場域中的膠結物，將綠泥岩片岩以結晶的方式膠結起來。

- **最後階段**：堆積段\_藍色區塊膠結綠泥石，可能因地震、強降雨或颱風等外力因素而剝離，掉落在海灘上。

七、揭開研究場域中綠色組合巨石之謎：經過抽絲剝繭的研究歷程，我們終於解開綠色組合巨石的謎團。原來是綠色片岩岩層中有變質石灰岩夾層，變質石灰岩受到碳酸質溶蝕成碳酸氫鈣水溶液蓄積在岩層中。地震、豪雨、颱風等作用力，造成變質石灰岩與綠泥石片岩交界面產生岩屑崩滑，碳酸氫鈣水溶液從岩層流出，流入綠泥石堆積段空隙，碳酸氫鈣遇熱又變回碳酸鈣，將大大小小的綠泥石以結晶的方式膠結起來。日積月累，膠結的綠泥石從堆積段剝離掉落到海灘上，就是我們看到的綠色組合巨石。

## 八、研究場域中的鈣華現象

### (一)鈣華現象

#### 1 多孔隙沉積物

#### 2 膠結沉積物

(二)成因：當雨水降落或滲入岩層時，常和空氣中、土壤裡的二氧化碳結合，使水中含有碳酸質。此區以碳酸鈣為主要成分的變質石灰岩岩層較容易溶於酸性的水中，產生溶蝕作用。溶蝕作用使積存在岩層中的水形成或飽和或不飽和的碳酸氫鈣水溶液。

現地調查時，我們使用鈣試劑及 PH 筆檢測岩層水的性質。結果如下：

鈣離子濃度：最低(豐水期)120ppm、最高(枯水期)1200ppm；PH 值：最低 8.21、最高 8.52。

九、研究場域中，膠結綠色組合巨石之碳酸鈣物質為方解石，且屬外生礦，觀察到的晶體形狀可分為 2 種。一種呈層狀微/隱晶狀；另一種呈簇狀集合體。探究其形成原因，除了當地變質石灰岩發達、氣候潮濕多雨、地形陡峭等因素外，經實驗結果得知：綠泥石含有矽元素且吸水性強之岩石特性，使得碳酸鈣晶核從綠泥石的縫隙、凹處、邊緣較薄的地方晶出，形成層狀的微/隱晶。方解石層狀的微/隱晶形成速度較慢，我們推測：應是同一時期岩屑崩滑，飽和的碳酸氫鈣水溶液流出結晶而成的。簇狀集合體生長在層狀微/隱晶之上，經實驗結果得知：，形成速度較快，我們推測：研究場域又發生岩屑崩滑，飽和的碳酸氫鈣水溶液再次流出結晶而成的。

## 玖、建議及改進

### 一、建議

本研究場域如研究報告所述，可觀察到綠泥石片岩片理構造及所組成的礦物，如石英、變質石灰岩、方鐵礦等。另外還有外生礦床-2 種形態的方解石結晶(層狀微/隱晶及簇狀集合體)。

除了礦物，也可觀察到岩屑崩滑之地質現象；海灘上有從節理面斷裂如刀切般的落石，更有趣的是膠結了大大小小石塊而成的巨石。巨石的縫隙中可觀察到外生礦\_2 種形態的方解石結晶(層狀微/隱晶及簇狀集合體)

研究場域末段還可發現鈣華現象。因此我們認為：該區非常適合進行地質教材教學。

### 二、改進

本研究礙於篇幅及時間的限制，未能以實驗深究碳酸鈣結晶與膠結之機制。待日後再繼續研究，使報告更完整。

## 拾、參考資料

- 一、台灣礦物局 <http://gis.geo.ncu.edu.tw/mineral/07.htm>
- 二、經濟部地質調查所 <https://gis3.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-1/sys8/t3/index1.cfm>
- 三、國家災害防救科技中心 <https://www.ncdr.nat.gov.tw/>
- 四、數位典藏學術研究資源網 - 自然與人文數位博物館  
<http://digimuse.nmns.edu.tw/da/collections/gg/m0/ex/0b00000181f4c787/>
- 五、科博館數位典藏學術研究資源網 - 自然與人文數位博物館 ([nmns.edu.tw](http://nmns.edu.tw))
- 六、教育部大百科全書 <https://nrch.culture.tw/twpedia.aspx?id=9368>
- 七、國家教育研究院樂詞網 <http://terms.naer.edu.tw/>
- 八、臺灣地質知識服務網-地質百科-方解石 ([moeacgs.gov.tw](http://moeacgs.gov.tw))
- 九、維基百科

## 【評語】 080503

本研究對透過科學探究解釋綠色石塊形成及膠結過程。報告完整，不但使用仔細的野外觀察，並詳盡歸納可能作用。另外，為了證實野外岩石產狀的解釋，利用室內實驗再現所推論之過程，也瞭解結果與結論的限制。如能對採集樣品進行礦物鑑定就更好了。

# 作品海報

# 綠色組合巨石之謎

# 壹、研究動機

2022年夏天，我們暫時揮別COVID-19疫情的陰影，到南澳海邊享受陽光、沙灘、海水還有海產，看著海浪拍擊海岸，心情特別舒暢。

走著走著，前面有一顆綠色巨石擋住去路。這顆綠色組合巨石的粒徑約有6.2公尺，12個人手牽手的膜圍，真的好大顆。往前仔細觀察，這顆巨石是由無數大大小小的石頭組合而成的，石頭組合的方式不像石頭是很平整排列上去，倒像是巧克力杏仁脆片，雜亂無章橫七豎八豎著。

如看這顆組合巨石驚嘆不已時，大家又有新的發現。大大小小石頭邊緣都有乳白色物質，乳白色物質像是黏著劑，把大大小小石頭黏在一起變成巨石。

為什麼這裡的石頭都是綠色的，無數大大小小的石頭會散落在沙灘上，又為什麼會被黏起來形成組合巨石。乳白色物質是什麼黏著劑，效果這麼好，可以讓石頭黏得牢牢的。

這個區域有好多的謎，我們請自然老師指導我們探究，綠色巨石偵查隊出發，我們要搜集現場線索，還原現場樣貌，解開現場謎團。

# 貳、研究目的

- 運用各項系統平台取得研究場域相關資訊
  - 界定研究場域之範圍。
  - 簡述研究場域地質、地形、氣候、地震頻度等。
- 了解研究場域地質構造與地質現象
  - 調查並描述岩層中組成礦物及地質構造。
  - 調查並描述研究場域地質現象。
- 探究岩層崩滑區、堆積段、落石區之性狀及成因。
  - 描述岩層崩滑區、堆積段、落石區之性狀。
  - 推測岩層崩滑之成因。
  - 推測岩層崩滑發生之時間序。
  - 揭開研究場域中綠色組合巨石之謎。
- 描述研究場域中的鈣華現象

# 參、文獻探討

## 一、綠色片岩

別名：綠泥片岩(Chlorite Schist)

礦物組成：綠泥石、綠簾石、石英、方解石。

特性：綠色片岩為台灣變質岩中重要岩種，呈深綠或暗綠色之片狀岩石，具有良好片理，為細粒或中粒，組成礦物一半以上為綠泥石，另一半為綠簾石、黝簾石、石英及方解石。綠色片岩中亦有含白色條紋之帶狀，多由方解石、石英及斜長石組成，綠泥石及綠簾石為綠色部分主要礦物。

產狀：多數綠色片岩係由基性火成碎屑岩變質而成，部分則原為基性火成岩，多以層狀夾於石英片岩及結晶石灰岩中，亦有和角閃石、石英片岩相伴者。綠泥片岩與其上下岩層一般以鮮明之境界相接，但有時亦漸移為上下岩層。

資料來源：台灣礦物局 <http://gis.geo.ncu.edu.tw/mineral/07.htm>

## 二、水與山崩的關係為何

山崩常發生在長期降雨或暴雨期間或降雨之後，斜坡飽含水時發生。水對斜坡上的土石材料的穩定性有雙重的影響：

### (一)增加材料的重量

水由於增加了斜坡上材料的重量而成為山崩的驅動力。暴露在斜坡上的穩定的土石材料內含有10%至35%體積的孔隙，在乾燥時，這些孔隙大都為空氣，但在在長期的降雨後，這些孔隙可能完全被水填滿而增加了沈積物的重量，因而增加了驅使沈積物向下坡移動的力量。

### (二)減低岩石強度

水透過某些岩石的孔隙，溶解易溶的膠結物質例如碳酸鈣，減低了凝聚力，使顆粒容易向下坡移動。水可軟化頁岩層，甚至引起某些種類的粘土礦物膨脹，降低岩層間的摩擦力。地下水循環週道疏鬆且粗細混雜的土石材料，沖刷細粒物質，造成斜坡後方土石材料掏空現象。岩石裂隙間的水結冰時施加於孔隙壁的作用力可將岩石沿層面、節理或其他裂縫崩解分離（冰楔作用），這些鬆散的岩石材料接著可以向下坡移動。

資料來源：經濟部地質調查所 <http://twgcoref.moeacs.gov.tw/GisOpenWeb/Site.asp>

# 肆、研究方法

- 運用各項系統平台探究南澳地區岩層與標示研究場域
  - 透過經濟部中央地質調查所網站查詢南澳地區岩層種類與環境地質

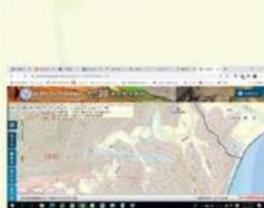
## 1. 確定地圖模式、範圍及比例尺

進入經濟部中央地質調查所網站，點擊查詢/宜蘭縣，切換至流域地質圖模式，調整地圖以南澳南澳流域為範圍，地圖比例尺為1:35,000，如下圖。



## 2. 加入鄉鎮區及等高線圖層

點選圖層/基本圖層，換取鄉鎮區界、等高線圖層，如下圖。

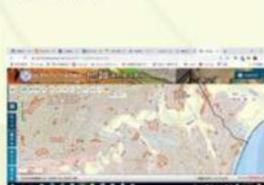


## 3. 加入地質敏感區圖層

點選圖層/環境地質資料，換取地質敏感區圖層，如下圖。



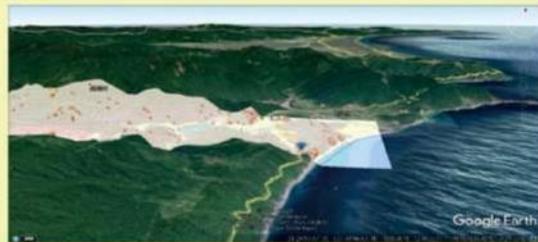
## 4. 擷取KMZ圖檔



## (二)於GOOGLE EARTH平台界定研究場域範圍及進行坡度與面積測量

### 1. 套疊KMZ圖層

將在經濟部中央地質調查所網站擷取的圖層套疊到GOOGLE EARTH平台，如下圖。



### 2. 標示地面調查點地標與界定研究範圍

運用新增地標與新增路徑工具標示研究範圍及現地調查路線，如下圖。



### 3. 運用各種測量工具進行測量



## 二、現地調查研究場域地質構造及地質現象

依據研究路線，以地面點狀、線狀調查方式進行。

- 採集並觀察岩層中礦物組成之特性



採集岩石



使用放大鏡觀察岩層中的礦物

## (二)測量並觀察地質構造、地質現象



觀察綠泥石片岩片理構造



觀察並拍照記錄岩層傾斜角度



觀察/測量岩層的節理構造



觀察岩層崩滑堆積段的結構



測量節結成岩岩塊粒徑

## (三)檢測岩層水之性質



採集岩壁流出的水



滴入檢測鈣離子試劑



鈣離子檢測-比色



檢測PH值

## 三、現地調查研究場域地質敏感區堆積段的結構

進行空拍機拍攝前，先使用Drone Map App查詢研究場域是否可以使用空拍機拍攝。如下圖所示，本研究進行調查的區位在南澳溪以南(如黃綠之區域)，為空拍機可使用之範圍。



依據研究範圍，以空拍機平視、俯視方式拍攝進行調查。



平視角度影像



俯視角度影像

# 伍、研究流程及工具

## 一、研究流程

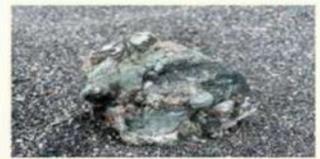


## 二、研究工具

研究過程	研究工具	用途
運用各項網站系統平台	個人電腦	取得研究場域相關資料
現地調查研究場域	藍頭、起子	採集岩石與礦物
	倉庫放大鏡	觀察岩石與礦物
	皮尺、鎖鑰機	觀察地質構造
	空拍機	觀察地質構造區域積段
	鈣試劑、PH筆	檢測岩層水的性質



綠泥石岩層中節理構造十分明顯而且發達。



綠色片岩中的礦物\_雲母，呈片狀。



綠色片岩中的礦物\_黃鐵礦，呈立方體狀。



綠色片岩中的礦物\_鐵質礦物，暴露在大氣中，因氧化使得表面呈現橘色。在研究場域中的落石很容易發現。由此可知：綠泥石是由火成岩的熾熱礦物變質而成。

# 陸、研究進度

任務	111年				112年		
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
研究進度							
文獻探討							
現地勘查							
現地調查							
撰寫作業說明書							

# 柒、研究過程與結果

## 一、研究場域岩層類與環境地質

### (一) 界定研究場域範圍

如研究動機所述，本研究欲探討海邊上的綠色組合巨石(如下圖綠色區域範圍)之成因，故設定以此區往南、往北延伸100公尺為研究路線(紅色線段)，研究路線之地面及山體(黃色區域)為研究範圍。如下圖。



### (二) 簡述研究場域

- 地理位置：**本研究場域為中央山脈往東延伸的一段餘脈(如上述界定之範圍)。東連濱臨太平洋，西邊有南澳南澳溪，行政劃分屬宜蘭縣南澳鄉。
- 氣候特徵：**當地氣候高溫多雨潮溼，以蘇澳測候站測得2022年年均溫23.08°C，年雨量6557mm，年降雨日數207天，年平均溼度77.8%。(相關氣候資料請洽中央氣象局觀測資料查詢系統 V7.2 cwb.gov.tw)
- 地震頻度：**運用交通部中央氣象局地震查詢系統 (<https://www.cwb.gov.tw/VS/C/IE/index.html>)，從2020年1月到2022年12月，南澳鄉發生地震頻度如下圖：



顯著有感地震2個，小區域地震28個，共30個，由此可知，研究場域地震頻度很高。

### 4. 地質地形

透過經濟部地質調查所網站可知，本研究場域之岩層屬大南澳片岩，為山崩或地滑地質敏感區(如圖一：地質圖)。再透過查尋至GOOGLE EARTH平台的資料可知，研究場域為海拔約400公尺，平均坡度為30°-35° 陡坡山丘，植被覆蓋率約96%以上，沒有任何人造物。如圖二：地形圖、圖三：坡度示意圖)



## 二、研究場域岩層組成礦物與地質構造

本研究以現地調查方式探究研究場域之岩層組成礦物、地質構造，調查結果如下：

### (一) 岩層組成礦物

本研究區域以地質圖判讀為大南澳片岩，調查結果發現，岩層以綠色片岩為主，觀察到的礦物有綠泥石以及少量雲母、黃鐵礦，石英多以夾層出現。

### (二) 地質構造

綠泥石片岩片理發達且明顯；另，調查發現，在一段長3公尺的地面露頭觀察到17條節理，故推測此區節理非常顯著。

下方為現地調查觀察到的礦物及地質構造，以圖文說明之。

細品質的綠泥石，不易用肉眼觀察，但呈綠色或淺綠色，故很容易辨識。

研究場域的綠泥石片岩，片理非常發達。下圖為綠泥石呈片狀的晶體構造圖。  
圖片來源：維基百科綠泥石

有些綠泥石片岩會漸修成上下層層，從上下岩層中可觀察到接觸面非常平滑。

圖中的綠泥石片岩為研究場域中掉落在海灘上的落石。  
紅色箭頭：光滑的片理表面 / 藍色箭頭：平整的層理



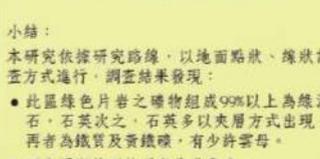
綠色片岩中的礦物\_石英，以近似透鏡夾層方式呈現(如圖紅圈部份)。



從蘇澳到南澳，有3-5間的水泥公司，因為某家水泥公司開採的變質石灰岩礦區。



參觀某家水泥公司，圖中背景為開採經處理成塊的變質石灰岩。



小結：  
本研究依據研究路線，以地面點狀、線狀調查方式進行，調查結果發現：  
● 此區綠色片岩之礦物組成99%以上為綠泥石，石英次之，石英多以夾層方式出現。再者為鐵質及黃鐵礦，有少許雲母。  
● 下岩層與節理的現象非常發達。

- 從文獻資料中顯示，綠色片岩常有變質石灰岩伴生。經上述調查，並沒有觀察到變質石灰岩，但參觀水泥公司時得知，蘇澳到南澳之間，變質石灰岩十分豐富。另外，我們使用鹽酸滴在組合巨石的膠結物上，看到許多細小的泡泡，也可證明膠結物含有碳酸鈣，與變質石灰岩的成份相同。
- 此區綠泥石片岩的片理移成上下岩層與節理的現象非常發達。

## 三、研究場域地質敏感區的地質現象

- 研究場域地質敏感區以地質圖判讀為山崩或地滑之地質敏感區，調查結果發現：
- (一) 邊坡底層的組成材料為土石碎屑且排列凌亂(如圖片1)，邊坡底層除了土石碎屑外，還有綠泥石石塊且孔隙有膠結物填充(如圖圖片2)。
  - (二) 邊坡植被多為五節芒或大戟科等坡地先驅樹種，與兩旁的柔荑、楠科、樟科植物截然不同。
  - (三) 海灘上有15-20顆大小不一膠結成岩的石塊，最大的粒徑約為6.2公尺(如圖圖片3)。另外，也有數顆綠泥石片岩的岩塊，有些岩塊共同的特徵為斷面很整齊，像菜刀切一般(如圖圖片4)。



圖片1：邊坡底層的組成材料為土石碎屑及大小不一的石塊且排列凌亂。



圖片2：邊坡底層也有綠泥石石塊且孔隙有膠結物填充。



圖片3：海灘上大小不一膠結成岩的綠泥石石塊。



圖片4：因為節理發達，綠泥石片岩從節理斷面而掉落在海灘。

- 小結：
- 依據以上調查結果判斷「觀察研究場域地質敏感區堆積段」的材料，依經濟部地質調查所之分類，此區屬於岩屑崩滑(註1)之崩地類型。
  - 海灘上膠結成岩的綠泥石石塊，有可能是地震或是風化等作用從崩地堆積段掉落。
  - 海灘上的綠泥石片岩岩塊，則是因為地震或風化作用等，使岩層從節理面斷裂而掉落到地面的落石。

(註1)岩屑崩滑：為風化的土層、岩層或較軟弱的地質材料，受到暴雨或地震引起崩落滑動。這些風化的地質材料通常在不同地層的交界面或土層和岩層的交界面崩落機率會比較大。資料來源：國家災害防救中心。網址：國家災害防救科技中心災害潛勢地圖網站 ([atlas.gov.tw](http://atlas.gov.tw))

## 四、岩屑崩滑區堆積段、落石區之性狀

經過上述調查，我們知道：綠色組合巨石是綠泥石被碳酸鈣膠結而成的，而變質石灰岩也是由碳酸鈣組成的。因此，我們要繼續探究，綠色片岩中的變質石灰岩岩層如何轉化成膠結物，於綠泥石膠結起來形成巨石。為了滿足好奇心，我們使用空拍機拍攝岩屑崩滑區堆積段及落石區的樣態，以了解堆積段的結構及落石的分布。說明如下：

研究場域岩屑崩滑區堆積段，如紅色範圍之區域，從空拍影像中，我們發現：

- (一) 堆積段有三種不同的性狀，土石碎屑(圖一)、土石混綠泥石(圖二)、膠結綠泥石(圖三)。或三種不同的性狀的堆積物，大約分布在不同的區位，膠結綠泥石(藍色區域)在中間，兩側依序為土石混綠泥石(黃色區域)及土石碎屑(綠色區域)。
- (二) 落石的性狀有二種不同的性狀，綠泥石、膠結組合綠泥石落石。綠泥石落石大致分布在黃色區域(土石混綠泥石堆積段)範圍的海灘上，膠結組合綠泥石大致分布在藍色區域(膠結綠泥石堆積段)的海灘上。以下圖文說明。





圖一\_土石碎屑：此區(綠色區域)的堆積段，大多是土壤及小岩石碎屑。海灘上落石較少，如下圖紅色區域。



圖二\_土石混合綠泥石：此區(黃色區域)的堆積段，多是綠泥石石塊的縫隙中摻混土石碎屑。海灘上綠泥石落石密布，粒徑大約3-5公尺，如下圖紅色區域。



圖三\_綠泥石：此區(藍色區域)的堆積段，全部都是由碳酸鈣膠結的綠泥石石塊。海灘上有綠泥石膠結成岩的落石，也有綠泥石落石，粒徑不一，大大小小都有。

### 五、推測岩層崩潰之成因及發生時間序

#### (一)岩層崩潰之成因

我們將崩地質圖套疊至GOOGLE EARTH加以測量，測得岩層崩潰區的面積約為1.67公頃。如此大面積之崩地是如何形成的。依地質所之分類，此類崩地之成因，為地質材料在不同地層交界面(此區域綠色片岩有石英及變質石灰岩夾層)受豪雨或地震影響所造成。除此之外，我們再提出4點成因說明。

1. 降雨豐沛且高濕潮溼，有利植物生長。植物死亡後快速腐爛，腐植土深厚，釋放出CO2溶解在降水中，使水含有碳酸質。
2. 地形陡峭，降水容易形成逕流，沖刷邊坡土壤層。
3. 岩層節理顯著，現地調查中，發現此區片岩的節理十分發達，豐沛的降水滲入並流動於岩層節理或縫隙中，增加了岩層的重量，豪雨發生時，受到重力影響產生崩潰。
4. 變質石灰岩夾層發達，上述含碳酸的水，滲入到岩層可溶蝕變質石灰岩，使變質石灰岩層積存飽和碳酸鈣Ca(HCO3)2水溶液，降低岩層的凝結力而下滑。或因積存變質石灰岩層的水溶液下滲導致岩層中空，造成上部地層坍塌。

#### (二)推測岩層崩潰發生時間序

從空拍圖判斷，岩層崩潰堆積段大致分為土石碎屑、土石混綠泥石、膠結綠泥石。

膠結綠泥石在堆積段的中間位置，土石混綠泥石及土石碎屑依序在兩側呈對稱分布。海灘上的落石也有相對應的分布。因此，我們從堆積段不同地質材料的區位分布及面積，推測研究區域岩層崩潰之時間序，說明如下。

1. 早期階段：從上述調查中，我們發現堆積段\_土石碎屑區分布區位最大。其次，從蘇澳測候站測得2022年資料可知，該區年雨量6557mm，年降雨天數207天。因此推測，在研究區域某處邊坡受到強降雨，雨水滲入不及，形成地表逕流，沖蝕土壤及岩層導致淺層岩層崩潰，使土壤及岩層分布在整個堆積段。
2. 第二階段：在早期階段產生崩潰的地方，因沒表土覆蓋而露出綠色片岩岩層，此區的降水，長期從岩層節理或岩層破碎帶滲入，達到入滲飽和，岩層水壓增加，再加上綠色片岩片理構造，導致大規模深層綠泥石滑動崩落。綠泥石布滿在堆積段藍色及黃色區域，有的甚至掉落在藍色、黃色區域海灘上，形成綠泥石落石。
3. 第三階段：此區的降水，如第二階段之情形，同樣滲入變質石灰岩岩層，變質石灰岩岩層被溶蝕掏空，或岩層中蓄積大量碳酸鈣水溶液，上部岩層因下層中空而斷裂崩落，碳酸鈣水溶液大量流出，填充堆積段\_藍色區域綠泥石空隙中。
4. 最後階段：堆積段\_藍色區域膠結綠泥石，可能因地震、強降雨或颶風等外力因素而剝離，掉落在海灘上。

#### 小結：

變質石灰岩層位置：調查研究區域岩層組成礦物時，不論是地面調查或是使用空拍機拍攝，我們都沒有發現變質石灰岩層。以空拍機探究土石崩潰堆積段的結構後，我們推測變質石灰岩層位置大約在下圖灰色區域(堆積段\_膠結綠泥石上方)。因為我們使用空拍機拍攝時，在這個地方發現一個面積很大的陷落區域。



虛線以外的區域為陷落區

#### 揭開研究區域中綠色組合巨石之謎：

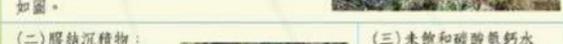
經過抽絲剝繭的研究歷程，我們終於解開綠色組合巨石的謎團，原來是綠色片岩岩層中有變質石灰岩夾層，變質石灰岩受到碳酸質溶蝕成碳酸鈣水溶液蓄積在綠泥石岩層中。地震、豪雨、颶風等作用力，造成綠泥石片岩崩落、堆積，碳酸鈣水溶液從岩層流出，流入綠泥石堆積段空隙，將大大小小的綠泥石膠結起來。日積月累，膠結的綠泥石從堆積段剝離掉落到海灘上，就是我們看到的綠色組合巨石啦。

### 六、研究區域中的鈣華現象

研究區域降水豐沛且有可溶性變質石灰岩，現地調查時，我們看到一處有水從岩層裂隙流出地表。在這裡可以觀察到多孔隙沉積物、膠結沉積物等，以下是我們調查及測量結果。

#### (一)多孔隙沉積物：

從岩壁中流出的未飽和碳酸鈣水，在常溫時容易產生碳酸鈣固體沉澱，因患碳酸鈣與岩壁上的苔蘚、地衣等生物地殼礦結垢而成。因為常混入雜質，故呈淺褐色到淡黃色。如圖。



#### (二)膠結沉積物：

未飽和碳酸鈣水流到地表後發生碳酸鈣沉澱並膠結地表沙土，厚度約1-2公分。



#### (三)未飽和碳酸鈣水

當雨水降落或滲入岩層時，常和空氣中、土壤裡的二氧化碳結合，使水中含有碳酸質。此區以碳酸鈣為主要成分的變質石灰岩岩層較容易溶於酸性的水中，產生溶蝕作用。溶蝕作用使積存在岩層中的水形成飽和或不飽和的碳酸鈣水溶液。

現地調查時，我們使用鈣試劑及PH筆檢測岩層水的性質。結果如下：  
鈣離子濃度：120-100ppm；PH值：8.21，鹼性。由測得的鈣離子濃度及PH值判，岩層中的碳酸鈣為未飽和水溶液(註3)。  
(註3)飽和碳酸鈣水溶液鈣離子濃度：160ppm；PH值：10。

## 捌、結論

### 一、研究區域簡述

本研究區域為中央山脈往東延伸至海濱的一段餘脈，屬宜蘭縣南澳鄉。該區氣候溫暖潮濕、地震頻度高、地形陡峭。

### 二、研究區域岩層組成礦物及地質構造

- (一)此區綠色片岩之礦物組成99%以上為綠泥石，石英次之，石英多以夾層方式出現。再者為鐵質及黃鐵礦，有少許雲母。
- (二)從文獻資料中顯示：綠色片岩常有變質石灰岩伴生。經上述調查，並沒有觀察到變質石灰岩，但參觀水泥公司時得知，蘇澳到南澳之間，變質石灰岩十分豐富。另外，我們使用顯微鏡在組合巨石的膠結物上，看到許多細小的泡孔，也可證明膠結物含有碳酸鈣，與變質石灰岩的成份相同。
- (三)此區綠泥石片岩的片理移成上下岩層與節理現象非常發達。

### 三、地質敏感區地質現象

#### (一)地質現象

根據現地調查結果發現：

- 邊坡底層的組成材料為土石碎屑且排列凌亂，邊坡底層除了土石碎屑外，還有綠泥石石塊且孔隙有膠結物填充。
- 邊坡植被多為五節芒或大戟科等坡地先驅樹種，與兩旁的桑科、楮科、樟科植物截然不同。
- 海灘上有15-20顆大小不一膠結成岩的石塊，最大的粒徑約為6.2公尺。另外，也有數顆綠泥石片岩的岩塊，有些岩塊共同的特徵為斷面很整齊，像是刀切一般。

#### (二)依據以上調查結果判斷

- 觀察研究區域地質敏感區堆積段的材料，依經濟部地質調查所之分類，此區屬於岩層崩潰(註1)之崩地類型。
- 海灘上膠結成岩的綠泥石石塊，有可能是地震或是風化等作用從崩地堆積段掉落。
- 海灘上的綠泥石片岩岩塊，則是因為地震或風化作用等，使岩層從節理面斷裂而掉落到地面的落石。

### 四、岩層崩潰區堆積段、落石區之性狀

- 堆積段有三種不同的性狀，土石碎屑、土石混綠泥石、膠結綠泥石。這三種不同的性狀的堆積物，大約分布在不同的區位，膠結綠泥石在中間，兩側依序為土石混綠泥石及土石碎屑。
- 落石的性狀有二種不同的性狀，綠泥石落石、膠結組合綠泥石。

### 五、推測岩層崩潰之成因

氣候高濕潮溼，有利植物生長。植物死亡後快速腐爛，腐植土深厚，釋放出CO2溶解在降水中，使水含有碳酸質，PH值大多低於5。

變質石灰岩夾層發達，上述含碳酸的水，下滲到岩層可溶蝕變質石灰岩，使變質石灰岩層積存飽和碳酸鈣Ca(HCO3)2水溶液，降低岩層的凝結力而下滑。或因積存變質石灰岩層的水溶液下滲導致岩層中空，造成頂部地層坍塌。

岩層節理顯著，依文獻探討所述，岩層的節理或縫隙約有10%-35%。再者，我們的現地調查也證實了此區的節理十分發達，豐沛的降水滲入並流動於岩層節理或縫隙中，增加了岩層的重量，豪雨發生時，受到重力影響產生崩潰。

地形陡峭，加速地表水補充到岩層中，有益於水的交替條件，使原來飽和碳酸鈣水溶液變成未飽和狀態，再溶蝕更多變質石灰岩層，產生更多飽和碳酸鈣Ca(HCO3)2水溶液。

#### 六、推測岩層崩潰發生時間序

早期階段：從上述調查中，我們發現堆積段\_土石碎屑區分布區位最大。其次，從蘇澳測候站測得2022年資料可知，該區年雨量6557mm，年降雨天數207天。因此推測，在研究區域某處邊坡受到強降雨，雨水滲入不及，形成地表逕流，沖蝕土壤及岩層導致淺層岩層崩潰，使土壤及岩層分布在整個堆積段。

第二階段：在早期階段產生崩潰的地方，因沒表土覆蓋而露出綠色片岩岩層，此區的降水，長期從岩層節理或岩層破碎帶滲入，達到入滲飽和，岩層水壓增加，再加上綠色片岩片理構造，導致大規模深層綠泥石滑動崩落。綠泥石布滿在堆積段藍色及黃色區域，有的甚至掉落在藍色、黃色區域海灘上，形成綠泥石落石。

第三階段：此區的降水，如第二階段之情形，同樣滲入變質石灰岩岩層，變質石灰岩岩層被溶蝕掏空，或岩層中蓄積大量碳酸鈣水溶液，上部岩層因下層中空而斷裂崩落，碳酸鈣水溶液大量流出，填充堆積段\_藍色區域綠泥石空隙中。

最後階段：堆積段\_藍色區域膠結綠泥石，可能因地震、強降雨或颶風等外力因素而剝離，掉落在海灘上。

#### 七、揭開研究區域中綠色組合巨石之謎：

經過抽絲剝繭的研究歷程，我們終於解開綠色組合巨石的謎團，原來是綠色片岩岩層中有變質石灰岩夾層，變質石灰岩受到碳酸質溶蝕成碳酸鈣水溶液蓄積在綠泥石岩層中。地震、豪雨、颶風等作用力，造成綠泥石片岩崩落、堆積，碳酸鈣水溶液從岩層流出，流入綠泥石堆積段空隙，將大大小小的綠泥石膠結起來。日積月累，膠結的綠泥石從堆積段剝離掉落到海灘上，就是我們看到的綠色組合巨石啦。

### 八、研究區域中的鈣華現象

#### (一)鈣華現象：1多孔隙沉積物 2膠結沉積物

(二)成因：當雨水降落或滲入岩層時，常和空氣中、土壤裡的二氧化碳結合，使水中含有碳酸質。此區以碳酸鈣為主要成分的變質石灰岩岩層較容易溶於酸性的水中，產生溶蝕作用。溶蝕作用使積存在岩層中的水形成飽和或不飽和的碳酸鈣水溶液。

現地調查時，我們使用鈣試劑及PH筆檢測岩層水的性質。結果如下：  
鈣離子濃度：120-100ppm；PH值：8.21，鹼性。由測得的鈣離子濃度及PH值判，岩層中的碳酸鈣為未飽和水溶液。

## 玖、建議及改進

### 一、建議

本研究區域如研究報告所述，可觀察到綠泥石片岩片理構造及所組成的礦物，如石英、變質石灰岩、方鐵礦等。另外還有外生礦床-2種形體的方解石結晶(層狀/隨晶及簇狀集合體)。

除了礦物，也可觀察到岩層崩潰之地質現象：海灘上有從節理面斷裂如刀切般的落石，更有趣的是膠結了大大小小石塊而成的巨石。

研究區域未段可發現鈣華現象。因此我們認為：該區非常適合進行地質教材教學。

### 二、改進

本研究礙於篇幅及時間的限制，未能探究外生礦床-2種形體的方解石結晶(層狀/隨晶及簇狀集合體)及方解石礦物的物理及化學性質。待日後再繼續研究，使報告更完整。

## 拾、參考資料

- 一、台灣礦物局<http://mis.geo.ncu.edu.tw/mineral/07.htm>
- 二、經濟部地質調查所<http://twgcoisef.moe.gov.tw/GipOpenWeb/wSite/mp>
- 三、國家農業資訊科技中心吳若潛勢地圖網站 ([nat.gov.tw](http://nat.gov.tw))
- 四、岩石-地質與礦物-臺灣地質科學數位典藏博物館 ([ntu.edu.tw](http://ntu.edu.tw))
- 五、數位典藏學術研究資源網 - 自然與人文數位博物館 ([nms.edu.tw](http://nms.edu.tw))