

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 地球科學科

**第二名**

080501

**HOP HOP 的扇貝-密集層土與水之探討**

學校名稱：臺南市東區勝利國民小學

作者：  小六 鍾昀臻  小六 林彥伶	指導老師：  陳聰智  黃喜美
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：扇貝、密集層、冰河時期

## 摘要

本研究對象為台南六甲水流東聚落和竹林、左鎮牛稠內和岡林車人溝等四處的扇貝化石密集層。透過野外調查、地層觀察與空拍露頭，分析扇貝化石層岩性系統與地質環境。

透過實測資料，我們分析扇貝外殼的長寬關係與停留堆積方向分布，並經由水槽模型實驗，分析扇貝停留堆積方向和水流方向的關係。我們也經由綠豆生長實驗，分析扇貝化石層下方土壤的肥沃度，以探討化石生物的糞化石性質；並進一步切割扇貝化石，透過高倍數位顯微鏡，分析扇貝外殼型態與龍骨構造的特性。

我們認為這些扇貝化石，可能都是因為冰河時期，環境變異等災難而大量死亡。我們也推翻前人研究中認為水流東是瀉湖的推測，這裡應該是一個靠近岸邊、適合形成堆積層的低窪淺海區。

## 壹、研究動機

在六上自然課本第三單元中，有提到水流作用和岩石、礦物與土壤，也提到有關化石的知識，使我們對地球科學中化石的奧妙產生興趣。

從網路youtube的影片中，我們看到突然從海底跳出，然後搖頭晃腦前進的扇貝，使我們對扇貝產生研究的興趣。我們從資料中查到台南六甲區有一處水流東扇貝化石區，那裏有滿山滿谷密集的扇貝化石，這種化石層自然景觀，在南台灣非常少見，具有相當的研究價值。於是，在老師的指導下，我們開始了扇貝的研究。

## 貳、研究目的

- 一、訓練我們做野外地質調查及觀察化石的能力。
- 二、探討化石生物生活與死亡的秘密－生存環境與冰川極冷天候
- 三、化石方向性的來龍去脈－計測停積方向性與水槽造浪模擬實驗之印證。
- 四、糞化石存在之可能性探討－另類型之糞化石。
- 五、根據分析結果，描繪出化石層古今的地理環境。






## 參、研究設備及器材

### 一、設備儀器：

顯微鏡、放大鏡、超音波洗淨機、實驗水槽、wp-40造波器、沉水馬達、切割台

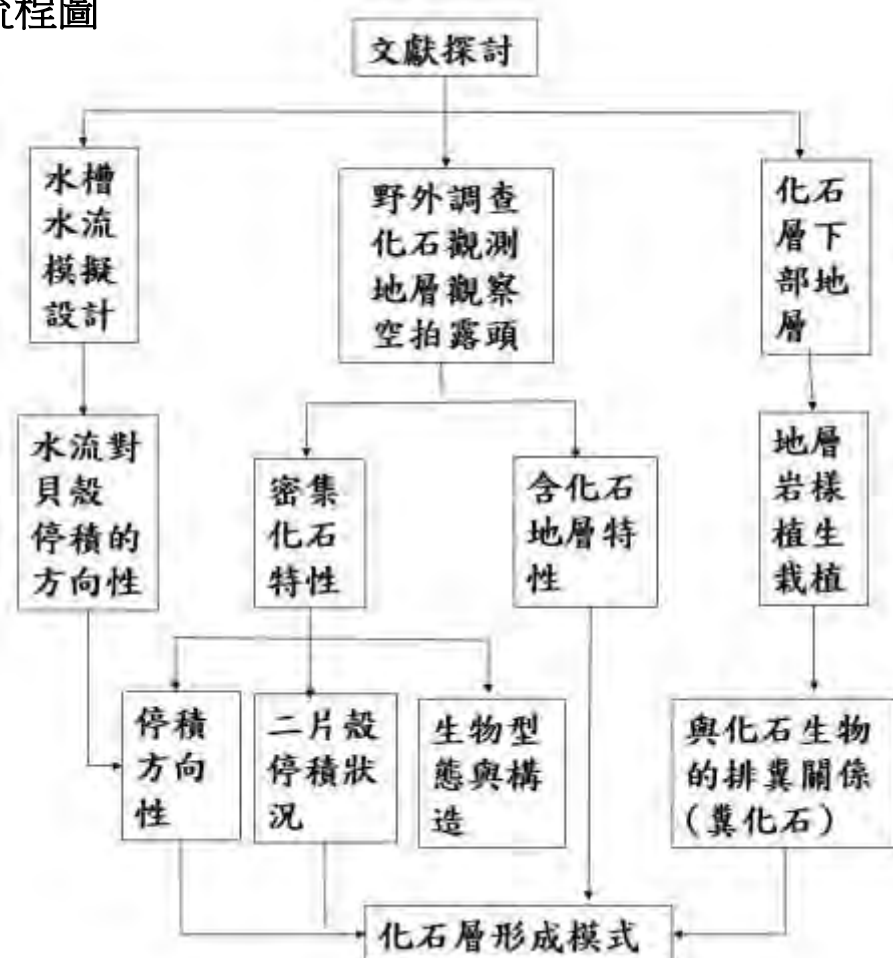
### 二、採樣工具：

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、篩網、塑膠盤、鹽酸、酒精、小塑膠盒、黏土、硬度1~7的礦物、蠟燭、砂紙、地質圖、計時器、鑷子、培養皿、比例尺、油標尺、剪刀、標籤紙、小刷子、描圖紙

					
空拍機	數位顯微鏡	超音波洗淨機	實驗水槽	wp-40造波器	切割台

## 肆、研究過程與討論

### 一、研究流程圖



## 二、文獻與相關資料

我們根據所想要了解的問題，查得下列相關的資料。

(一)扇貝的科學分類：(資料來源：維基百科)

界：動物界 (Animalia)

門：軟體動物門 (Mollusca)

綱：雙殼綱 (Bivalvia)

目：無齒目 (Dysdonta)

科：海扇蛤科 (Pectinidae Rafinesque, 1815)

屬：海扇蛤屬 (*Pecten*)



圖1：白碟海扇蛤

(二)扇貝基本解說：

台灣海扇蛤科(Pectinidae)貝類共 60 種，貝殼小型到大型，由扇形或類圓形的盤子和耳狀部構成，不等殼。殼色變異大，一般左殼顏色較深。足絲灣和絞合齒在幼貝時存在。許多種類在成長後行自由游泳生活。外韌帶在整個背緣。彈帶(開閉殼肌)完全內在，位於殼頂下方。殼表一般有發達的放射肋。幼貝外表偶爾會有2種微細雕刻（網目狀雕刻和條紋）。雙殼外層大部分由葉狀的方解石組成，內層由交叉薄片的霏石組成。然而冷水域許多種類在殼最內部再顯示有葉狀方解石構造。殼皮很薄。單肌，游泳的種類橫紋肌發達。絲型鰓 (Filibranch)外套膜緣有許多觸手和眼，心臟被直腸貫穿，某些種類雌雄同體。

(參考資料1：台灣貝類資料庫 [http://shell.sinica.edu.tw/chinese/shellfamily2.php?pageNum\\_Recordset1=0&Family=Pectinidae](http://shell.sinica.edu.tw/chinese/shellfamily2.php?pageNum_Recordset1=0&Family=Pectinidae))

(三)扇貝的生活方式：

扇貝為濾食性動物，藉助於鰓的濾水作用攝食浮游單胞藻及有機碎屑等。一般生活於乾潮線以下至水深約50米的未固結砂質沿岸海域，有時以足絲附著於岩礁、石礫、貝殼或其他外物上，以平殼朝上、凸殼朝下自由游泳生活於海底或以右殼固著於附著基上不再移動。海流是扇貝生活的重要因素。在水流較強場所的扇貝殼口常面向水流方向。當環境不適或遇到海星、紅螺等敵害動物侵襲時，扇貝常會脫掉足絲、遷移位置逃避。當兩殼張開時，海水自殼口腹緣進入外套腔，兩殼閉合時海水便從背緣前後側流出。連續啟閉兩殼可在殼背緣形成噴出水流，使貝體作游泳狀朝開口的方向前進(如圖2)，遇到適宜的處所便停下伸足分泌足絲重新附著。

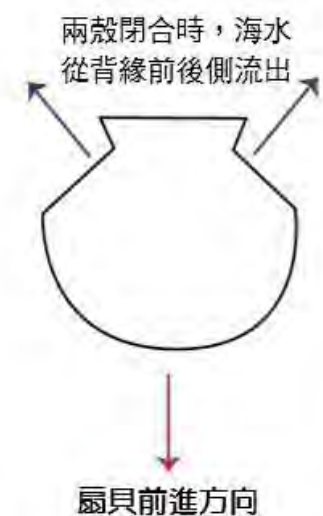


圖2：扇貝前進示意圖

(參考資料2：中國大百科 <http://163.17.79.102/%A4%A4%B0%EA%A4j%A6%CA%AC%EC/Content.asp?ID=15169>)

#### (四) 哪些人研究過台南山區的扇貝化石？

1. 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，這些十分堅硬的鈣質岩層，分布的扇貝化石厚度約30到50公分，有些且呈重疊狀態，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。

(參考資料4：中國時報2005/05/25陳炎生／六甲報導

<http://mypaper.pchome.com.tw/folkmit/post/1247485394>)

2. 民國81年台南縣南新國中蔡啟漳老師，針對六甲水流東海扇密集化石層進行調查研究，並推測該地區的海流作用是在略為快速的情況下造成，經災變後死亡的貝殼，沒有受到強烈的搬運和破壞的作用，而再經沉積物的覆蓋所堆積的環境，水流東地區古時候可能是一處潟湖。(參考資料13：台南縣六甲水流東海扇密集化石層沉積環境之初步探討)

3. 民國95年台南縣那拔國小許崑泉老師，針對新化丘陵牛稠內和岡林國小地區的扇貝化石展開調查研究，發現牛稠內扇貝化石的分佈範圍非常集中而且產狀具有相當規模，砂岩層上的扇貝化石完整度高且保存良好。扇貝化石於砂岩層密集度高，但破碎度則在表土層及泥岩層較高。扇貝的大量死亡成化石主要是環境的改變。(參考資料5：牛稠內古環境大搜密，中華民國第46屆科展作品)

### 三、研究項目

#### 【研究一】出露扇貝化石的位置與環境

##### (一) 決定採集化石的地點：

我們根據查到的文獻資料，並請教學者專家，決定了下列調查地點，利用暑假及假日，我們準備了採集工具與空拍機，前前後後一共進行十多次的化石調查。



## (二)出露扇貝化石的地層介紹與地質圖

(三)結果與討論：

1.六甲水流東聚落




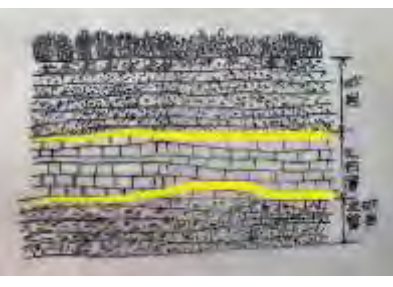




圖1-1:當地已經過人為的開發利用，所以形成階梯狀的聚落區地形，住宅等建築物在階梯平坦之處。黃色線條為出露扇貝化石層，若將該線上下左右延伸，應為整個化石層。



位置	六甲水流東	岡林車人溝	左鎮牛稠內
地質年代	更新世崁下寮層	更新世崎頂層岡林段	更新世崎頂層岡林段
絕對年代	約70-130萬年	約60~100萬年	約60~100萬年
主要岩性	泥質砂岩	泥岩夾砂岩	泥岩夾砂岩

水流東地區  
地質圖









<p>圖1-2:黃色線為扇貝化石岩層，長度大約是100公尺。</p>	<p>圖1-3:化石岩層呈西北-東南走向,向西南傾斜約8度。</p>	<p>圖1-4:化石岩層業道路截斷敲下，搬到住家後面做矮圍牆。</p>
		
<p>圖1-5:有些化石層橫向約間隔50公分有出現一個節理，可能是受到構造作用所產生。</p>	<p>圖1-6:化石岩層的厚度30~50公分，上層為砂岩，下層為泥質砂岩。</p>	<p>圖1-7:化石上有許多密集的有孔蟲，表示扇貝化石遺骸停積時應為海域環境。</p>
		
<p>圖1-8:化石岩層裡的有孔蟲化石，為貼捲型口蓋蟲類(<i>Operculina</i>)，當時應為淺海尚有些能量的流動海水</p>	<p>圖1-9:扇貝化石和有孔蟲化石膠結一起。</p>	<p>圖1-10:大部分的扇貝化石，凸面朝上，表面紋路部分就磨蝕了。</p>

## 2.六甲水流東竹林

		
<p>圖2-1:水流東竹林區有非常密集的扇貝化石層，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。</p>		
		
<p>圖2-2:道路從化石層中經過，扇貝化</p>	<p>圖2-3:我們採集化石岩層下方D1、D2</p>	<p>圖2-4:扇貝化石岩層的上方是細沙層</p>









石遭到築路工程破壞，分布在兩側。	兩層的細沙土做土壤實驗。	(U3)、風化土壤(U2)和竹林(U1)。
		
圖2-5:我們用50*50公分的大格子拍照，統計扇貝化石的方向	圖2-6:扇貝化石的分布非常密集，有完整的，也有破碎的。	圖2-7:可以看到呈覆瓦狀堆疊的扇貝化石，可能與海流作用有關
		
圖2-8:化石岩層中有許多有孔蟲化石，呈束狀的密集分布，可推測曾為淺海環境，且受海流影響而停積。	圖2-9:根據參考圖鑑，本區扇貝形狀近似粗鱗錦海扇貝 ( <i>Chlamys cf. sqmamata-Gmelin</i> )化石，有14~16條放射肋。	圖2-10:在竹林內部出現扇貝密集層，地層呈一條條壟狀排列，推測是水流搬運作用時，堆積形成的地形。

### 3.岡林車人溝



圖3-1:化石層在岡林國小西北側產業道路旁，大致南北走向，往西傾斜約25度，泥岩岩性均勻，呈淡灰色。黃色線條為出露扇貝化石層，被道路截成兩段，總長度約500公尺。

		
圖3-2:空拍圖可見化石岩層上方	圖3-3:化石層為砂岩之夾層，	圖3-4:西南側化石岩層已遭道







<p>植物生長茂盛，化石層延伸下方斜坡，植生下必也是化石層。</p>	<p>呈南北走向，向西傾斜，傾斜角約20度。</p>	<p>路截斷，人為破壞甚明顯。</p>
		
<p>圖3-5:完整的扇貝化石和碎屑混雜，可看出略具方向性。</p>	<p>圖3-6:化石岩層厚度30~50公分，下層為厚層砂岩夾薄層泥質砂岩</p>	<p>圖3-7:許多化石碎屑，可能是海水搬運作用或人為工程開發破壞</p>
		
<p>圖3-8:扇貝化石呈層狀，還有密集的底棲性有孔蟲化石，顯示當時是淺海且受海流影響的環境。</p>	<p>圖3-9:扇貝化石表面可以看到磨蝕掉生長紋路的痕跡。</p>	<p>圖3-10:扇貝化石表面為磨損的部分，尚可以明顯看到生長線及呈現錯移的斷裂。</p>

#### 4.左鎮牛稠內



圖4-1:產業道路斜坡上的黃色線條為出露扇貝化石層，南北走向，向西傾斜約30度，厚度約50公分，顯示扇貝曾有一段時間的連續停積，應是環境發生改變，導致扇貝大量死亡，然後持續一段時間的搬運與堆積。



<p>圖4-2:空拍圖可以看到兩條產業道路，切割了原為連續的黃色線條的化石層。</p>	<p>圖4-3:條產業道路斜坡中段出現密集層，長度約300公尺，而且一直向右延伸。</p>	<p>圖4-4:產業道路的西側為一廣大的泥岩凹地，對面的半面山，為虎啣口段的鈣質砂岩。</p>
		
<p>圖4-5:扇貝化石，有些呈現覆瓦狀排列,略具方向性。</p>	<p>圖4-6: 化石層被泥質砂岩所包圍。</p>	<p>圖4-7:在道路的中段路旁斜坡上，大量的出現。</p>
		
<p>圖4-8:泥質砂岩裡可以看到扇貝化石留下的遺骸。</p>	<p>圖4-9:化石中有許多碎屑,顯示當時環境水流能量較強；有孔蟲,文蛤與扇貝化石膠結一起，顯示牠們有相類似的淺海生存環境。</p>	<p>圖4-10:由各種扇貝化石，可以看到龍骨的強化作用，外殼頂端突出光滑有侵蝕現象，前端可以看到生長線，侵蝕較不明顯。</p>

<p>(1)六甲水流東聚落： 平捲之貼捲型為口蓋蟲類 (Operculina)</p>					
<p>(2)六甲水流東竹林：平捲之貼捲型為口蓋蟲類 (Operculina)</p>					
					

<p>(3)左鎮岡林國小車人溝：平捲的包捲型，網狀構造已被磨蝕，為希望蟲(Elphidium)</p>					
<p>(4)新化丘陵牛稠內：平捲的包捲型，網狀構造已被磨蝕，為希望蟲(Elphidium)</p>					
<p>發現與討論</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 照片中比例尺每一小格為0.1mm，放大倍率約150倍，對照圖鑑，這些有孔蟲為平捲型和貼捲型的口蓋蟲(Operculina sp.)和平捲包捲的希望蟲(Elphidium)。</li> <li>2. 口蓋蟲和希望蟲為底棲性有孔蟲，有些直接附著在扇貝的貝殼上面，顯示扇貝和有孔蟲一起生活於深度小於50公尺的淺海區，砂質海底，有強浪發生的環境。</li> </ol>				

5.有孔蟲化石(參考資料6：微型有孔蟲圖解目錄)

【研究二】扇貝化石的長寬關係與停積方向分析

(一)研究步驟：

- 1.我們以化石最密集的水流東竹林扇貝化石為研究對象。
- 2.將水流東竹林區的扇貝化石層，分成10個區塊。
- 3.我們由現場大多數扇貝覆瓦狀堆積的方式，定義**扇貝前緣到耳部中點的方向**(黃色箭頭)為水流可能的搬運方向，並以此為**測量扇貝停積的方向**(如圖2-1)。

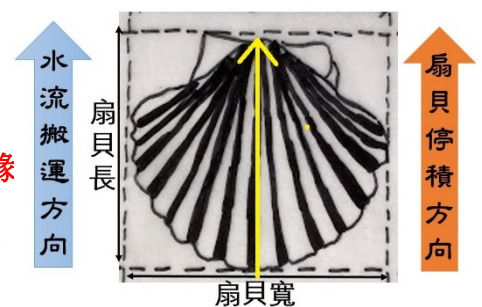


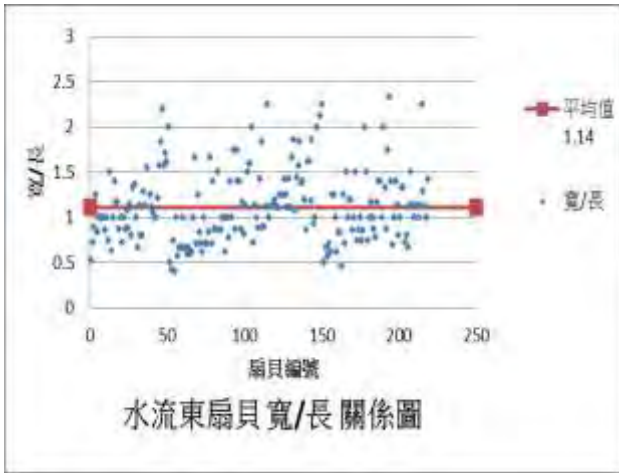
圖2-1

- 4.以邊長50cm\*50cm的大格子放在化石上方，以指北針定方位，拍照並現場量測扇貝的長寬與停積方向並記錄。

- 5.回學校將拍攝圖片列印，再次量測驗證實地測量的長與寬數值，與停積方向。

- 6.總計採用扇貝化石個數355個，依量測資料繪出其數量百分率關係圖、寬/長比值關係圖、停積方向分布關係玫瑰圖。

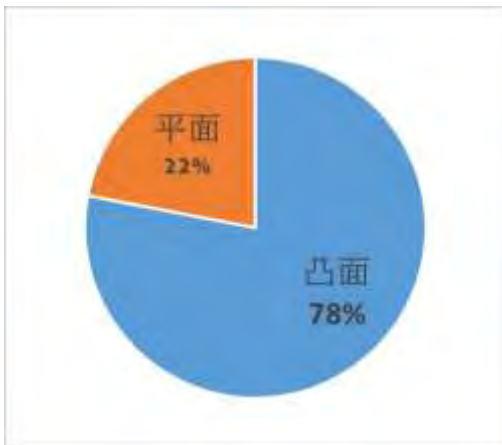




討論2：

- (1)由關係圖中，扇貝化石的型態係數  $P = \text{寬}(W)/\text{長}(L)$  的平均比值為1.14。
- (2)若P值過大，太寬的外型將有可能阻礙前進的趨勢，對避難不利，可能導致扇貝過重而不易移動。
- (3)若P值過小，則略呈長形，因為扇貝以排水游泳方式前進，太長可能前進時不易穩定，不好控制方向。
- (4)推測型態係數P大約為1.14時，是扇貝開閉殼口噴出水柱移動與開閉殼口覓食時最順暢的結構，所以扇貝的構造，可以說是一種有功能的形態，有促成群體活動的好處。

3.圖3-1.扇貝化石平面凸面停積方向扇狀圖



4.圖3-2.扇貝化石八方位停積數量玫瑰圖



5.討論：

- (1).由圖3-2扇貝化石八方位停積數量玫瑰圖，發現朝北17%、朝南18%，共35%，根據台灣附近海域冬夏兩季的海流圖(如右圖3-3)，推測扇貝死亡後，在夏季受到南向北的沿岸流、冬季受到北向南的沿岸流的搬運作用較明顯，可能因而呈現較多的南北向停積。

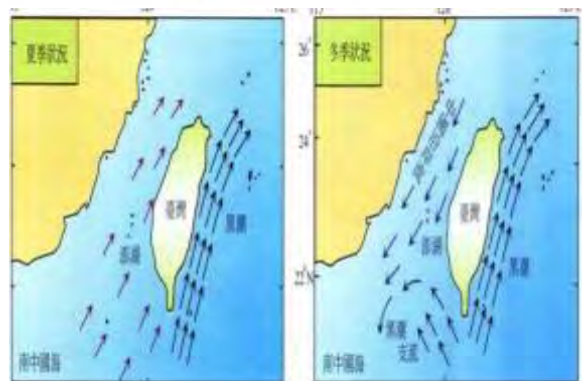


圖3-3(參考資料15)

(2).潮汐或海浪的效應，也會造成沿岸流的現象。當**海浪的波前線與海岸線形成一個夾角的狀況時，會產生離岸流與沿岸流**(如右圖3-4)。潮水的效應會使扇貝化石的停積方向與海岸線平行，依台灣的海岸線走向，即呈現為南北向，所以這也可能是影響扇貝化石停積方向的原因。

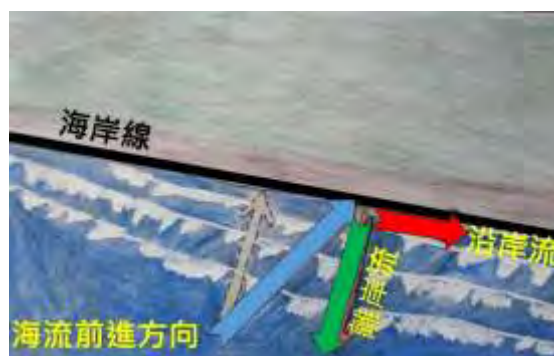


圖3-4

(3).扇貝化石的停積數量**朝東12%、朝西13%，此部分共佔25%**，我們推測扇貝原生長在沿岸淺海的砂質海底，遇災難死亡後，可能是受到**潮汐與西向東的海浪拍打與東向西回流**海浪搬運，而呈現東西向停積(如右圖3-5)。

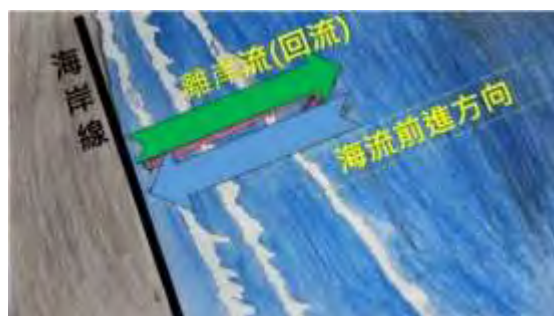


圖3-5

(4).扇貝化石有部分停積方向為**東南(8%)、東北(9%)、西南(12%)、西北(11%)**，我們在水流東扇貝密集層發現有一大片的低壠狀小地形，我們推測可能是向岸來回浪與沿岸流等**多方向的海流相互干擾或局部小地形**(如圖3-6)後改變流向，因而造成這些方向性的堆積。



圖3-6

(5).由圖3-1，發現有**78%的扇貝化石，呈現凸殼向上的停積**。我們認為在搬運過程中，平殼易伏貼海床比較不易被搬運，故水流東看到平殼的不多。我們將進一步進行水槽水流實驗，模擬扇貝受海流搬運作用時，凸殼翻轉的方向與停積方向的分布關係。

### 【研究三-1】扇貝停積方向水槽模擬實驗一（人工造浪）

(一)研究步驟：

- 1.實驗模型：長方形壓克力水箱，長\*寬\*高=120\*30\*40公分。
- 2.模擬扇貝：大、中、小三種類。
- 3.人工造浪方式：將壓克力板垂直放入壓克力水箱，向前平推20公分，再配合波浪回流波的週期，再次向前平推20公分，頻率約2.3秒/次，造浪次數20次。
- 4.砂質海底坡度：我們至台南鯤鯓沙灘採集海砂，將海沙放入壓克力水箱，先以人工造

浪30次的方式形成自然斜坡，斜坡長：高=60公分:9公分，以量角器實測坡度約為9度，斜坡前段為扇貝放置處。

5.實驗水深：我們測試不同的水深，在所採取的人工造浪20次以後，可以對砂質海底的扇貝，產生搬運作用至穩定停積的最適合水深，決定實驗水深為10公分。

6.每次取16-40個扇貝，採取(1)全部正面(2)全部反面(3)正面反面各半等三種起始擺放方式，人工造浪後，在海底侵蝕區計算扇貝停積方向總和，採八方位法，紀錄並繪圖。

		
以壓克力板人工造浪	水深與砂質海底斜坡	大中小三種模擬扇貝
		
大型扇貝-實驗前	中型扇貝-實驗前	小型扇貝-實驗前
		
大型扇貝-實驗後	中型扇貝-實驗後	小型扇貝-實驗後

## (二)研究結果與討論：(實驗記錄詳研究日誌)

- 1.在停積正反面數量上，**扇貝呈現凸面向上的占86~100%**，這與我們在水流東發現貝化石停積的方向一致，顯示扇貝凸型外殼的流線型構造，在水流搬運作用時，受到水流的阻力最小，所以會以凸面向上的方式停積。
- 2.人工造浪時，南為造浪方向，西南、東南為造浪之偏向；北為回浪方向，西北、東北為回浪之偏向；在停積方向比率分布上，大、中、小型的扇貝，彼此在分布在各方位的比率沒有一致性。
- 3.我們認為用人工造浪的穩定度與次數都不足，決定改用水族箱專用的造浪機造浪，並



且增加扇貝的數量，重新改進實驗的各項變因，繼續進行實驗。

## 【研究三-2】水槽模擬實驗二（機器造浪）

(一)研究步驟：

1.造浪方式：我們採用水族箱的WP-40造浪器，模式flowH8，造浪時間10分鐘。

實驗水深：為配合造浪器，從原來的10公分增加至17公分，其他步驟與研究三-1相同。

		
WP-40造浪器造浪	控制面板flowH8水流模式	實驗後扇貝堆積呈現方向性

(二)研究結果與討論：(實驗記錄詳研究日誌)

1.圖1-A：停積方向扇狀圖

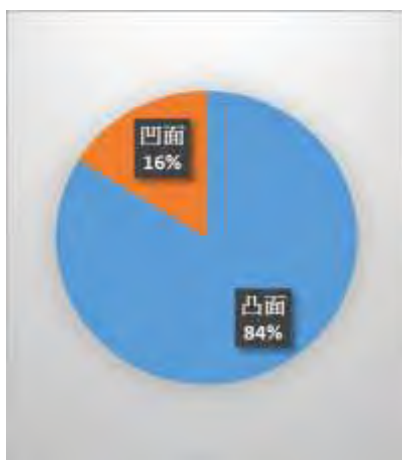


圖1-B：八方位停積數量玫瑰圖



2.從圖1-A，扇貝呈現**凸面向上的占84%**，與研究3-1之圖3-1有一致的趨勢。

3.從圖1-B，在停積方向比率分布上，已**呈現南北向與西南向**的方向性，其中**朝南14%、朝北19%，共占33%**；**現場實測值為35%**，與研究3-1很接近，但與圖3-2玫瑰圖相比較，仍然可以看到有受到干擾的差異。

4.我們認為，雖然改用較穩定的機器造浪方式，但是因為實驗水槽長只有120公分，距離較短，使得前進的水流與回流的水流互相衝擊，造成水流的方向紊亂，這可能是造成分布沒有一致方向性的原因。

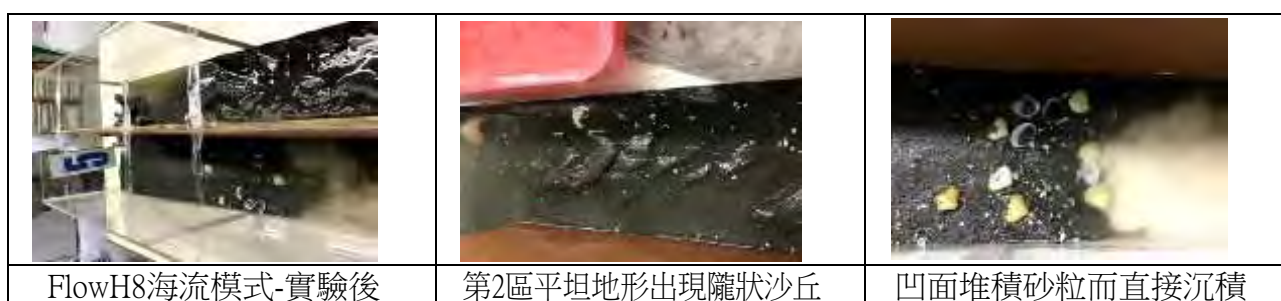
5.我們討論後決定改良實驗配置，在水槽長邊中間增加一塊隔板，引導水流沿著順時

針方迴轉流動，於是，我們重新改進實驗的各項變因，繼續進行實驗。

### 【研究三-3】水槽模擬實驗三（機器造浪加導流隔板）

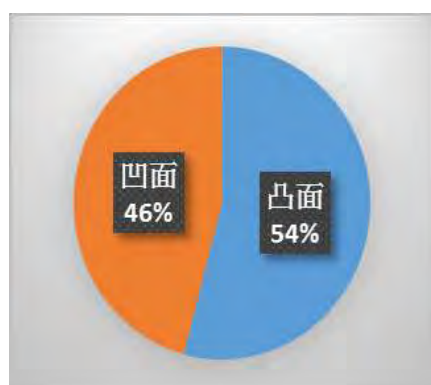
#### (一)研究步驟：

- 1.導流隔板：我們在水槽長邊中間增加一塊隔板，長\*寬\*高=90\*40\*30公分，引導水流沿著順時針方迴轉流動。
- 2.砂質海底坡度：隔板將水槽分割成兩個區域，接近造浪器的第一區斜坡長：高=60公分:9公分，坡度為9度；遠離造浪器的第二區平鋪一層海沙作為底層，高度約1公分。
3. 其他研究步驟同研究三-2。



#### (二)研究結果與討論：

##### 1.圖1-A：停積方向扇狀圖



##### 圖1-B：八方位停積數量玫瑰圖



2. 從圖1-A，在斜坡沙灘扇貝呈現**凸面向上的占54%**，我們認為因為水族箱底部鋪砂，水流作用會揚起海砂，水中含砂量過高，使得凹面處容易堆積砂粒而直接沉積。
3. 從圖1-B，在停積方向比率分布上，增加導流板之後，**朝南24%、朝北12%、朝西南28%，共占64%**，顯示當水流方向較一致時，扇貝分布的方向性也會較一致，但與圖3-2玫瑰圖相比，仍然可以看到有受到干擾的差異。
- 4.我們發現，第2區平坦海砂地形，經過**水流作用後，出現壟狀沙丘**，而且許多扇貝密集的埋在海砂內部，這與我們在水流東扇貝密集區看到的壟狀地形一致。
- 5.我們討論後決定再改良實驗配置，水箱底部不鋪海砂，與第一區扇貝實驗區單邊鋪

海沙，以減少水流中的含砂量，同時增長實驗時間，繼續進行實驗。

## 【研究三-4】水槽模擬實驗四 (單邊鋪海沙)

(一)研究步驟：(同研究三-3)

(二)研究結果與討論：

1.圖1-A：停積方向扇狀圖

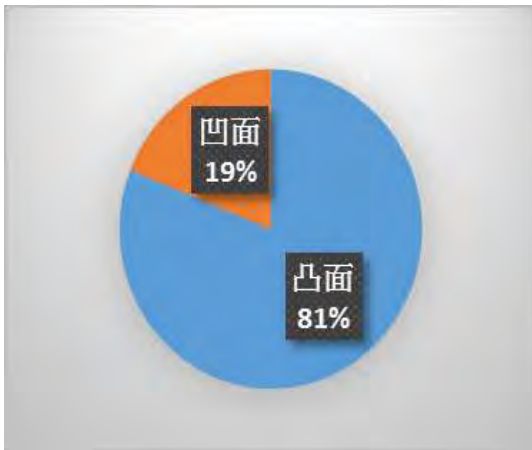


圖1-B：八方位停積數量玫瑰圖



2. 從圖1-A，扇貝呈現**凸面向上的占81%**，呈現凹面向上的只有19%，我們認為扇貝凸面向上的外型，擁有流線型的曲線，使得扇貝因為水流搬運作用，而呈現凸面向上的停積方式，這也與我們在水流東扇貝化石密集區的調查一致。

3. 從圖1-B，在停積方向比率分布上，單邊鋪海沙作用下，**朝南20%、朝北12%、朝西南18%，共占50%**，與研究三-3一致，顯示都有達到50%以上的一致性。

4. 從圖1-B八方位玫瑰圖上發現，在單一方向水流條件下，扇貝停積方向，仍然是各個方位都有，顯示海中的水流或海浪，對死亡後扇貝的搬運作用，是很複雜且多方向的。

5.總結研究三-1~三-4，在水槽造浪模擬實驗之印證方面，我們發現：扇貝死後雙殼分離，受到水流搬運作用，扇貝的凸殼約有80%會呈現凸面向上；當受到單一來自南方的水流作用時，約有50%以上的外殼會朝南北向或西南方向停積，我們認為這是扇貝凸殼流線型的曲線構造，受到水流的作用力後的穩定型態。



6. 水槽造浪模擬實驗顯示，死亡後扇貝受到的水流搬運作用，影響其停積方向的因素是很複雜且多方向的，包括：

(1).時間因素：

我們模擬時間短，天然界海浪作用時間長，長時間作用下，原先變化慢的現象累積了一段時間可以有不同的結果，因此在短時間的模擬改變與野外相似者符合了，但略為改變者，久了應也符合。△是微量的變化(短時間實驗結果)，t 1是符合的時間，t 2是不符合的時間，則有下列的關係：

$$\Delta \times t_1 = \square \quad (\square \text{ 為與野外觀察統計符合的結果})$$

$$\Delta \times t_2 = \circ \quad (\circ \text{ 為與野外觀察統計部份不符合者})$$

(2).作用的位置差異

(a)海浪有來回的作用，來的浪作用的結果會被回去的浪再次作用，結果也應有偏差的機會，所以不可能完全一致。

(b)海岸有深度，海水面浪的作用力，海水面下浪的作用力應也不同，不同時間有不同強度的浪，不同強度的浪有不同的作用力，也有不同的深淺作用範圍，30~50公分厚且分佈有一定的範圍（也算廣濶的範圍），海浪的作用些微變化必有，但仍有一範圍的趨勢，研究上就是取此範圍來討論。

(c)水槽模擬實驗是在一小範圍，一甚淺的深度，製造出的浪也比天然的浪小很多，模擬實驗亦僅短時間，我們研究了：

(i) 浪(水流)在對二枚貝空殼有搬運，翻覆，旋轉方向的作用。

(ii) 水流對大小不同的空殼，也有不同條件的作用。

(iii) 空殼停留在不同的位置時，受到相同或不相同的水流作用。

#### 【研究四】扇貝外殼型態分析









我們所採集的扇貝外殼的構造為分為凸殼與平殼，根據參考資料的影片，可以看見現生扇貝活動時，平殼在上、凸殼在下，利用雙殼閉合排水的方式取得動力，以左右搖擺或撲撲跳的方式前進。



扇貝眼睛長在外殼前緣，上下有許多透鏡狀的球形眼睛	可以明顯看到雙殼閉合時，平殼在上，凸殼在下。	扇貝會將自己的身體埋在砂中以具隱蔽的效果。
		
粗粒未固結的砂質的海底，是利於隱蔽棲息的环境。	扇貝利用雙殼開口，濾食水中的浮游生物。	利用雙殼開合，將水由背後耳部排出，朝弧形方向前進

(參考資料7：<https://www.youtube.com/watch?v=5vRHIEep9iU> <https://www.youtube.com/watch?v=Cbo1juFwHc4>)

### (一)研究步驟：

			
1.將採集的扇貝化石浸水、清洗、曬乾清除表面砂土。	2.選出要切割的化石，在中央擬切割處畫上直線記號。	3.請專家用切割機，沿著切割線切開化石。	4.切開後的剖面形狀，可以看到有兩片外殼上下交疊。
			
5.用數位顯微鏡觀察剖面變化情形，並拍照紀錄。	6.將化石由切面向內，用細砂紙以圓圈方式磨片。	7.以超音波機清洗扇貝化石表面磨片的粉末。	8.重複前面5~7步驟，找出扇貝凸殼構造。

### (二)研究結果與討論：

#### 1.凸殼切面分析

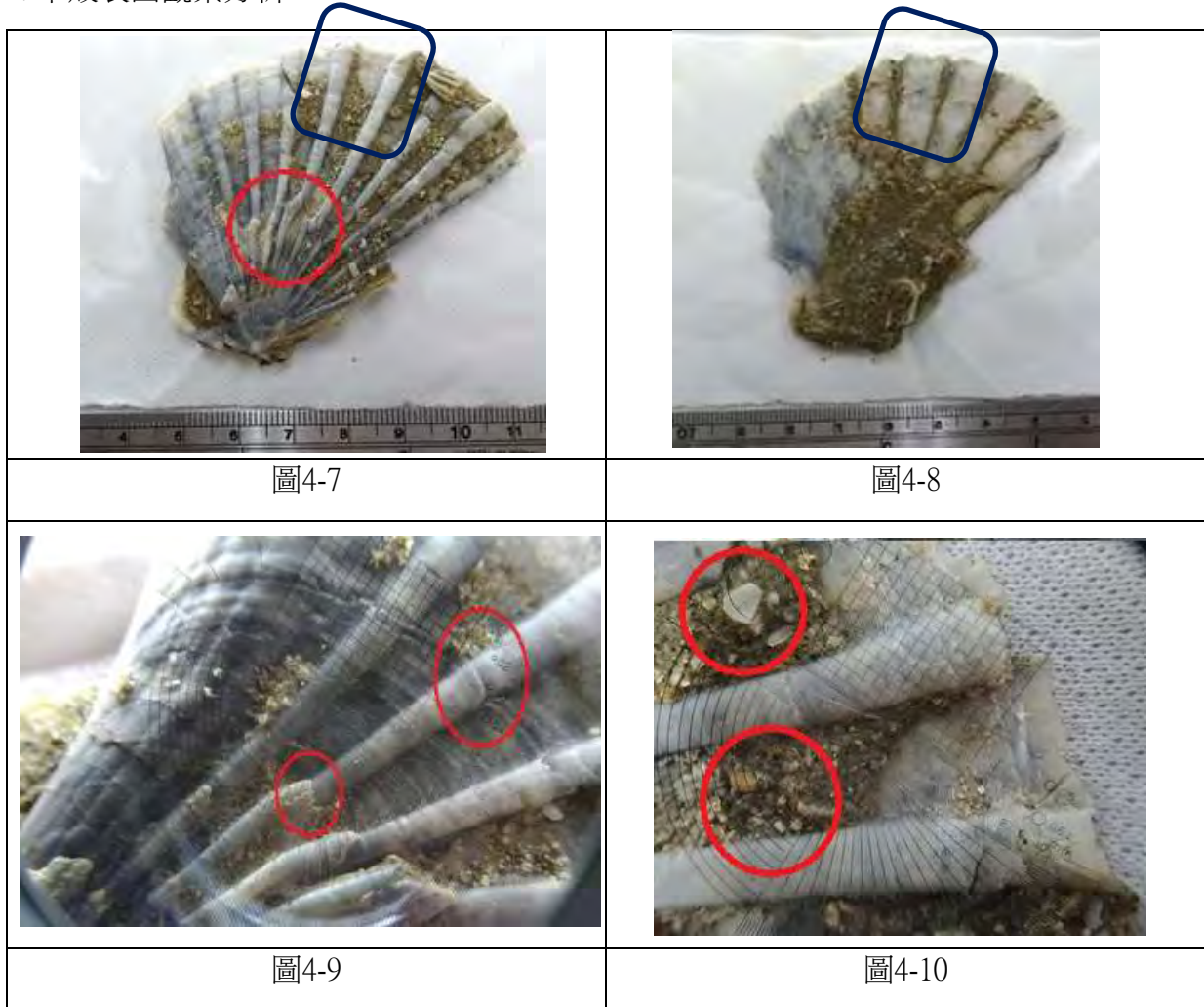




討論：

- (1)由圖4-1圓圈處，可看到一條條橫向紋路(生長線)；但前段的紋路則不明顯，有可能是受到水流搬運作用而磨損掉裂，亦有可能是形成時的材料有不同。
- (2)由圖4-2圓圈處，可看到埋積於地層後受到構造應力(牛山背斜或前大埔構造)及隨附產生之小斷層應力之作用，藉此亦提示化石區附近有構造存在。
- (3)由圖4-3圓圈處，可看到龍骨狀放射肋之凸區內強化構造，放射狀 $\Gamma$ 型龍骨構造有強化功能，內部再有如上圖之強化支撐構造，一方面保護伸縮進出的肉質觸手，一方面支撐 $\Gamma$ 型凸起的龍骨，也即暗示其生存在一定的深度有些水壓力的威脅。
- (4)由圖4-4圓圈處，可看到外殼的錯移小斷層，可能是堆積於地層的化石石化後，受到應力瞬間的作用，所產生的應變。
- (5)由圖4-5圓圈處，可看到垂直龍骨的切面，龍骨的上下厚度(照片中已被碳酸鈣充填)可認為是抗壓力強度的指標，亦即指生活在一定的深度，水深度的壓力尚不能破壞其外殼。 $\Gamma$ 型凸狀龍骨與凹狀區材料厚度，亦略有差異，可視為承受壓力之不同。
- (6)由圖4-6圓圈處，可看到生長層次的分支處，前端應是霏石，分支線為方解石，兩者的材料不同。
- (7)由圖4-1黃色箭頭處，可看到十幾條放射肋與凹槽，我們推測**扇貝開合在水中前進時，凹槽具有導流與減重的雙效果**，足見生物演化的奧妙。

## 2. 平殼表面觀察分析



### 討論：

- (1)由圖4-7圓圈處，可看到斷裂呈牽引現象而非明顯的錯移，表示承受斷裂的應力有延伸一段時間，推測是受到附近牛山背斜與前大埔構造的應力或一些小斷層的影響。
- (2)由圖4-7與4-8方框處，可看到內側構造與外側強化構造呈現凹凸相反的構造，淺口型龍骨內部也有部分器官，如觸手等需受強化的凸狀龍骨保護，內側無此物故呈光滑面。
- (3)由圖4-9圓圈處，可看到有生長線者為外側，看出生長線光滑面為內側(如圖4-8)，殼質應非晶質極細之奈米級或霰石的結晶，相對外側則為強韌、內側脆弱，外側面向下，未受磨損或較少受磨損，故生長線紋路尚存在。
- (4)由圖4-10圓圈處，可看到隨附粒狀沉積物呈次稜角，表示僅略受搬運或近距離搬運--可依此推論環境，應為適當能量強度的海流搬運停積後，尚未固結也未再受擾亂的平坦海域。

### 3. 生長線分析



圖4-14：切割面放大圖

討論：(1)從圖4-14，將28張數位顯微鏡照片連接的切割面，可以看到扇貝的外殼，**是一層一層由上到下，以扇形的方式延展生長**，而在殼面留下生長線。以描圖紙繪出生長線的生長軌跡，可以看到有**數條生長線，顯示出扇貝在不同時期的生長快慢**。

(2)從圖4-15，扇貝化石的外殼表面，橫向有一條條的生長線，與圖4-14對應；縱向也有一條條的龍骨構造，類似房屋樑柱具有強化構造功能(圖4-15)，**扇貝具有強化殼質的龍骨構造，能抗壓避免天敵的攻擊而破壞**，以利多量的生存呈群聚的生態，亦可稱為該生存環境的優勢種。



圖4-15

(參考資料8：<http://people.bath.ac.uk/abscjkw/LectureNotes/what-is-a-shell.pdf>)



## 【研究五】扇貝化石層下方土壤性質研究

### (一)研究步驟：

#### 1、土壤採集方法

- (一)在扇貝化石層下方的砂質泥岩區採土，分成上下二層採集，各挖掘兩處採土點。
- (二)在採土點上以鏟子挖掘土壤剖面長寬深，約為10cm x 10cm x 10cm的範圍後，將土壤樣本取出。
- (三)將同一層兩處採土的樣本混合後，裝入塑膠袋內，標示採集地點後帶回。
- (四)將每袋土壤平舖於乾淨的塑膠盒上，置於空氣流動的室外充分風乾，並標示上下層

#### 2.實驗方法

##### (一)實驗一：觀測土壤特性和酸鹼值

- (1).秤重量：以同樣體積的燒杯裝填土壤秤重量。
- (2).土壤顏色：用放大鏡觀察土壤的顏色。
- (3).觀察土壤硬度：用手指摳土塊感覺土壤的硬度。
- (4).用吹風機將土壤烘乾，用磨鉢將土壤磨成粉狀。
- (5).取50公克乾土倒入燒杯中，加入50ml的自來水，持續攪拌3分鐘後，等待土沉澱。
- (6).用滴管吸出燒杯中的水，滴在廣用試紙上，用廣用試紙和PH計測量土壤酸鹼值。

##### (二)實驗二：測量土壤滲水量

- (1).將砂質泥岩磨碎，將磨碎的土壤用粗紗網過篩，使土內沒有草和沒磨碎的石頭。
- (2).將篩過的土壤50公克，放入杯子中，並於每個杯子底下各放置量杯裝滲水。
- (3).觀察10分鐘，以碼錶記錄每隔2分鐘量出量杯內之總水量。
- (4).一開始以50ml的水由上方慢慢地注入杯子中。
- (5).比較各杯隔2分鐘的滲水量和平均滲水速率。

##### (三)實驗三：土壤粒徑篩分析

- (1).用吹風機將土壤烘乾，用磨鉢將土壤磨成粉狀，取出100公克的土壤做篩分析。
- (2).取篩號(#4、80、100、150、底罐等五種篩子，將土壤放入，以手握方式垂直震動四分鐘，然後依序秤出空皿重(克)與停留物重(克)50公克。
- (3).計算出停留物淨重(克)與累積停留物重(克)，然後換算成百分比，繪製土壤顆粒篩分析圖。

##### (四)實驗四：植物生長狀況

- (1).實驗植物：為了解地層的土壤是否適合種植物，我們選擇以綠豆為實驗植物，因為綠豆容易種植，所以用它們來試驗較為適合。
- (2).選擇對照組：另外我們為了比較地層的土質與一般土質種植的差異，選擇以學校草地的土壤作為對照組。
- (3).種植過程：
  - i.收集圓形塑膠杯，將底部鑽4個洞，做為栽植箱。每栽植箱底部再各放一個蒸發皿，以承接栽植箱流出的水。
  - ii.將土壤各放入栽培箱中，並將栽培箱依原來土壤編號。
  - iii.選取綠豆種子分別撒播，每盆各撒播10顆綠豆。
  - iv.每日固定中午以20ml清水澆灑植物一次，並每日觀察綠豆發芽與生長情形，測量長度並以紙筆紀錄。
  - v.觀測日數為10天。
- (4).綠豆生長測量法：10天後計算出每盆已發芽的綠豆數量。並將發芽的綠豆取出拉直，用直尺從土壤根量到最長的葉片交界度，取其平均值為綠豆的生長長度。

## (二)結果與討論：

### 1.表5-1.土壤特性

土壤	學校草地 (對照組)	水流東化石 層下方(上層)	水流東化石 層下方(下層)	岡林國小 車人溝
顏色	深土黃色	土黃色	土黃色	土黃色
土質	鬆軟	不容易剝落	不容易剝落	較容易剝落
PH計	7.7	8.7	8.6	8.6
廣用試紙	綠	深綠	深綠	深綠
酸鹼性	中性	弱鹼性	弱鹼性	弱鹼性

### 討論1：

(1)由表5-1，化石層下部的土壤顏色為淺土黃色，均為弱鹼性，非酸性土壤。我們也由文獻(參考資料16)中得知，**碳酸鈣可以中和被酸化的土壤**，本研究中的露頭所採集到土壤，會因為**化石密集層所形成的大量碳酸鈣**，而使密集層下方的土壤呈現鹼性，可知尚適合植栽。

(2)水流東的土塊不容易脫落，岡林的土塊較容易剝落，我們認為**水流東土塊顆粒較細**，所以**膠結作用較強**，我們將進一步再做篩分析驗證。

### 2.表5-2第一滴水滲出時間

土壤	學校草地	水流東化石層 下方(上層)	水流東化石層 下方(下層)	岡林國小 車人溝
第一滴水 滲出時間	18秒	35秒	30秒	22秒

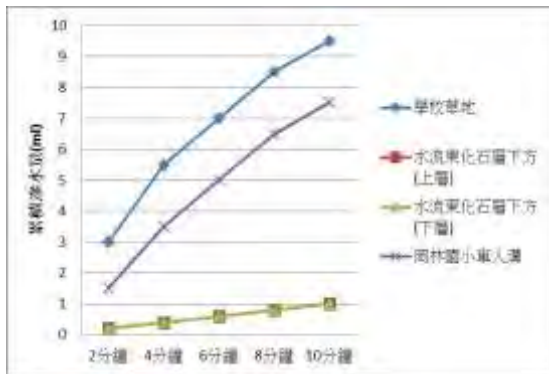


圖5-1：土壤滲水量比較圖

### 討論2：

(1)由表5-2，第一滴水滲出時間：水流東>岡林>草地，水流東最慢(35秒)，表示**水流東化石層下方土壤透水性較差**，較易涵水。

(2)由圖5-1，土壤滲水量：草地>岡林>水流東，草地土壤顆粒較粗，所以孔隙較大，滲水量大，滲水速率較快；**水流東土壤顆粒較細**，所以**孔隙較小**，滲水量小，滲水速率較慢。

(3)由圖5-1，學校草地與岡林國小變化線條平行，表示變化率相近；但是水流東則呈近乎水平，表示透水性變化小，易涵水。

(4)我們認為，**水流東與岡林國小之滲水量變化線差異大**，顯示**兩者沉積環境是不同的**。

### 3.

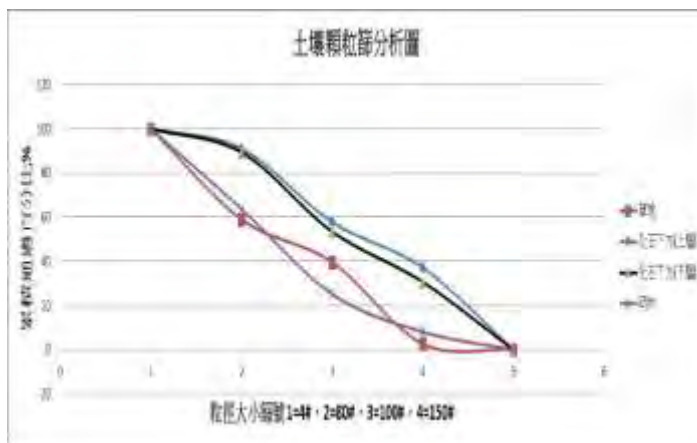


圖5-2：土壤顆粒篩分析圖

### 討論3：

(1)由圖5-2，水流東化石下方的土壤，約**有40%可以通過最細的150#篩**，而草地的土壤顆粒，幾乎完全無法通過。

(2)顯示**水流東的土壤顆粒**，屬於較細的**細砂**，亦較不透水，可涵水。

4.綠豆生長紀錄(生長時間：(第一次：75天)

 <p>第10天</p>	 <p>第39天</p>	 <p>第50天</p>
<p>圖5-4-1：第10天，發芽綠豆莖平均長度達12~14公分。</p>	<p>圖5-4-2：第39天，冒出花苞與花，莖長度達20-21公分。</p>	<p>圖5-4-3：第50天，花萎縮，豆莢從花的底部長出來。</p>
 <p>第60天</p>		 <p>上 下</p>
<p>圖5-4-4：第60天，一條條豆莢陸續長大，表皮呈綠色。</p>	<p>圖5-4-5：第70天，綠豆莢成熟，表皮由綠色變成黑色。</p>	<p>圖5-4-6：第75天，取出植株，測量莖長、與種子重量。</p>

5.綠豆生長紀錄(生長時間：(第二次：2月15日迄今)

		
<p>圖5-5-1：將綠豆種子盆栽，放進櫃子內，以提高溫度。</p>	<p>圖5-5-2：第10天，順利發芽，莖長度達10公分。</p>	<p>圖5-5-3：為了防止鳥害，製作戶外盆栽的保護紗網。</p>
		
<p>圖5-5-4：第10天起移植盆栽到戶外，葉子轉變為綠色。</p>	<p>圖5-5-5：第35天，高度19~24公分，上下層優於草地。</p>	<p>圖5-5-6：利用教室窗台種植，加紗網和黏鼠板保護。</p>
	 <p>化石 D1 D2</p>	
<p>圖5-5-7：迄今，十盆綠豆盆栽均長得欣欣向榮。</p>	<p>圖5-5-8：化石層下方，D1(上層60公分)，D2(下層30公分)</p>	<p>圖5-5-9：上層(左)，與稀鹽酸有較下層(右)，較多的冒泡反應。</p>

表5-3：綠豆生長高度與種子比較表

綠豆	草地	化石下方 (上層)	化石下方 (下層)
總生長株數量 (株)	7	11	11
<b>平均生長高度 (公分)</b>	<b>17</b>	<b>18.2</b>	<b>13.15</b>
綠豆豆莢數(個)	8	11	9
綠豆豆莢總重(公 克)	3.98	2.52	1.94
平均每個豆莢重 量(公克)	0.50	0.23	0.22
綠豆種子個數 (個)	56	14	7
綠豆種子總重(公 克)	3.12	0.77	0.24
<b>平均種子重 (公克/顆)</b>	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	<b>0.03</b>

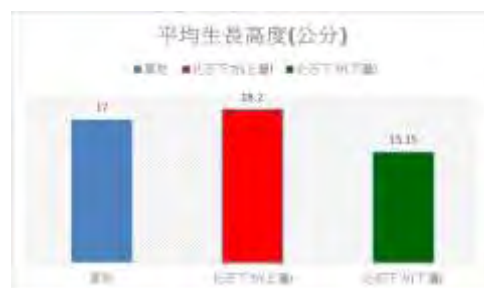


圖5-3：平均生長高度比較圖

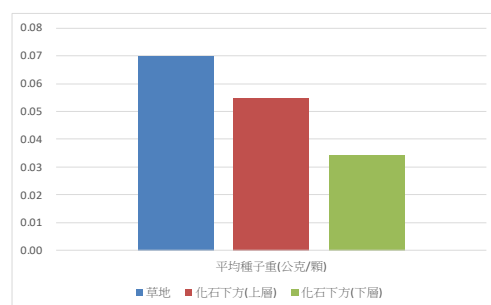


圖5-4：平均種子重量比較圖

### 討論5：

- (1)第一次實驗(三盆)，綠豆經過75天生長，比較表5-3的八個項目，雖然化石層下方土不是最肥沃，但是由豆莢的採收量可看出，土壤均有些許肥沃度了，且上層均優於下層(如圖5-3, 5-4)。我們認為可能是葉肥的氮(N)，花果肥的磷(P)和根肥的鉀(K)已有作用了。(參考資料9：植物營養教室<http://www.taihort.com.tw/2nutritn.html>)
- (2)第二次綠豆生長實驗(十盆)，由於氣溫較低，我們遇到很多次綠豆發芽失敗的狀況；後來我們查資料改採室內室外兩階段種植、並加紗網與黏鼠板，以預防鳥類和鼠類地破壞(圖5-5-1~5-5-7)，終於成功了，我們也因此更了解綠豆生長的習性。
- (3)第二次實驗，綠豆經過35天生長，發現化石層下方的土壤，種植綠豆成長的高度優於於草地的土壤(如圖5-5-5)，顯示化石層下方的土壤具有相當的肥沃度。
- (4)我們認為緊鄰化石層的土壤(圖5-5-8)，可能受到水流作用而吸收來自上方的化石生物碎屑或糞化石等微量元素，這些元素成分，有效提高了土壤的肥沃度。
- (5)我們分別用稀鹽酸滴，在上下層的細沙土顆粒，明顯看到上層碳酸鈣冒泡比下層多(如圖5-5-9)。我們從參考資料16中，查到化石層石灰岩中鈣的成分，可以被分解出來給植物吸收。所以除了糞化石，微量的碳酸鈣也可能有助於提高土壤肥沃度。
- (6)化石層下方的土壤，吸收來自化石生物族群的排泄物(糞)必多於化石。於堆積過程中，不同成份有不同的富集和分散狀況，也增加砂質土壤的肥沃度。因此，我們推測化石密集層下方的土壤，可能含有「非成塊狀糞化石」的微小糞化石，但仍需做更進一步的驗證。

## 【研究六】化石層地質年代的古環境分析

### (一) 有關古環境的研究與討論：

1：根據國立自然科學博物館的學習資料(參考資料11)化石中所含有的**氧-18同位素含量**，可以用來換算地球表面覆蓋冰層體積的大小。科學家利用底棲型有孔蟲化石的組成成分，碳酸鈣中所含氧-18同位素的比例所推估。大約在距今**43萬、35萬、25萬、14萬**，以及**2萬年前**，都是地表上覆蓋了大量冰層的「冰河期」(如圖6-1)。

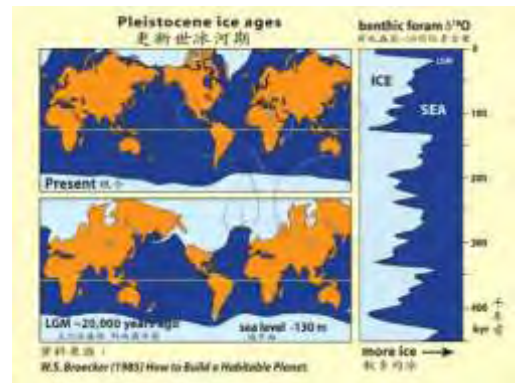


圖6-1

2：根據維基百科(參考資料12)，**更新世**冰河時期(第四紀冰河時期)，出現了**七次冰河期**(如圖6-2)，地球處於**冰期與間冰期**交替出現的旋迴。冰河時期中，**溫度下降**，**改變了地球表面的植物相和生物的生存環境**，許多生物因此面臨滅亡或被迫遷移，只有能夠適應環境的物種，才能倖存下來。

冰河期	更新世
沃龍冰期 Würm glaciation	11萬年前至1萬2千年前
里斯冰期 Riss	50萬年前至13萬年前
馬德冰期 Mindel	45萬5千年前至30/18萬年前
冰河冰期 Günz	68萬年前至82萬年前
多瑙第二冰期 Donau II	55萬年前至54萬年前
多瑙第一冰期 Donau I	60萬年前至58萬5千年前
佩-佩利翁冰期 Pe-Pelion glaciatio	130萬年前至80萬年前

圖6-2

3：根據學者彭宗仁、汪中和等(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**更新世頭嵙山層**之南窩段，地質年代與台南的扇貝化石年代相近。研究比較化石和現生貝類標本的碳、氧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**。



圖6-3

4：我們認為六甲區扇貝化石的地層為崁下寮層，新化丘陵區化石的地層為崎頂層底部的岡林段，二區的地質時間，崁下寮層較早，崎頂層岡林段略晚，但這群扇貝均**生活於冰期將至之前的冷海水期**，於冰河期海水下降環境變異死亡，再來的間冰期海水上升，將牠們的屍體外殼，搬運堆積到適合形成堆積層的低窪淺海區。

5：依此順序亦顯示**崁下寮層到崎頂層岡林段之間至少有冰期與間冰期、再冰期的發生**，也許重複不止一次的相間發生，因此崁下寮層之後與崎頂層岡林段之後，我們推測**可能也有化石密集層**的存在，但未必是扇貝化石。

6：從以上的研究與討論，我們認為台南六甲與新化丘陵二區，化石之相同性質及與冷海水之關係可推論如下：

(1)都是因為冰河時期，環境變異等災難而死亡的大量生物。

(2)此段地質時代都在冰期之內，更新世為冰河時期的另一化石證據。

(二)我們根據前面的研究，繪出扇貝化石的現在與古環境示意圖：

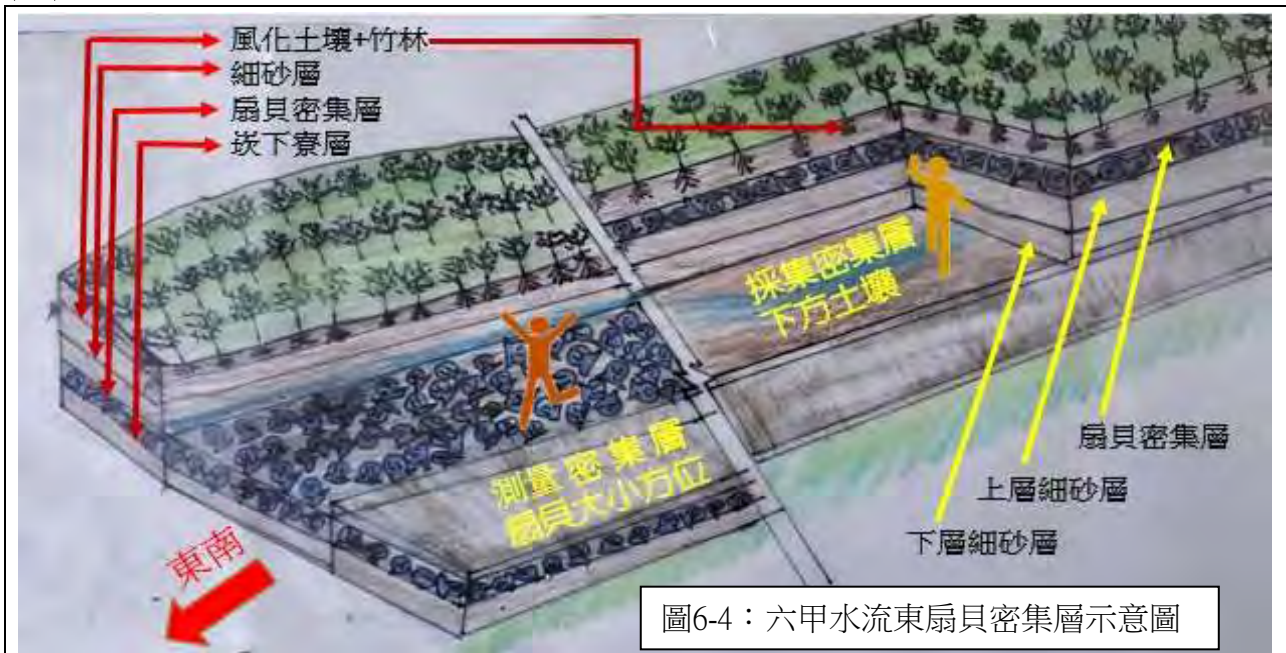


圖6-4：六甲水流東扇貝密集層示意圖

竹林底下，有一層厚約**50-100公分**的**密集扇貝化石層**，約呈14度角向東南傾斜，大部分都是兩片外殼分開，外殼幾乎都有大小不等的裂縫，**扇貝個體大小很均勻**呈鐘形分布，有孔蟲的數量很多，且都為**淺海包捲型的口蓋蟲**。推測在扇貝層堆積後，有受到地殼隆起等構造作用的橫向壓力而破壞，或**受到強大的擠壓而變形**，而形成現在的密集化石層。我們在上方採集**密集層下方的土壤**，**做肥沃度研究**；在下方測量密集層扇貝大小與分布方向。

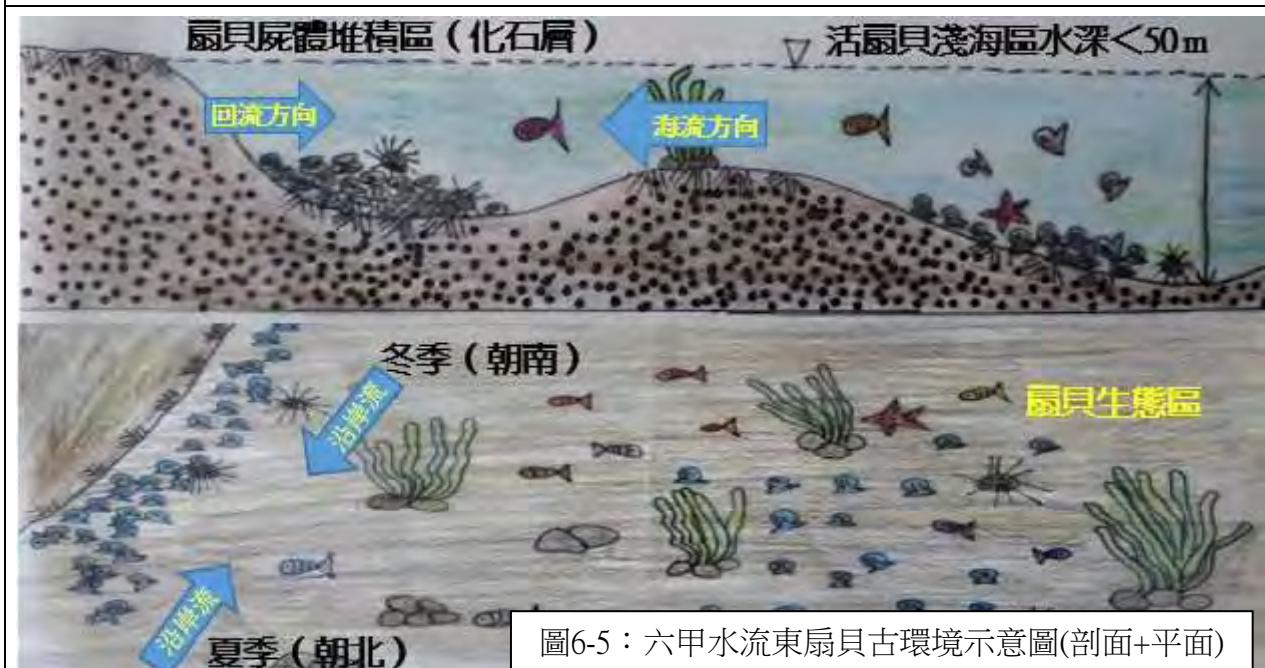


圖6-5：六甲水流東扇貝古環境示意圖(剖面+平面)

在地質年代更新世時期，水流東附近是一個水深小於**50公尺**的**淺海區域**，海底與四周布滿**透氣的粗砂層**，大量的扇貝為**優勢的生物族群**，還有海星、海膽與其他貝類共同生活著。後來可能遇到**冰河時期**的環境變異，造成**毀滅性災難**，使得扇貝大量死亡。死亡的扇貝軟體組織腐爛後，於間冰期時，受到海流、沿岸流等的**搬運作用**，而堆積於靠近岸邊的低窪處，形成**密集的堆疊**。另外，新化丘陵的岡林國小與牛稠內附近，也與水流東有相同的古環境，分布著扇貝族群，也有**相同種類的有孔蟲**，**都屬於淺海區的生態**。

## 伍、結論

一、本研究調查台南六甲聚落和竹林的扇貝化石密集層，與新化丘陵之岡林車人溝、左鎮牛稠內二區的扇貝化石密集層內的扇貝化石。在野外地質調查及觀察化石的能力方面，我們發現：

- 1.本區扇貝應屬於同種類、形狀近似粗麟錦海扇貝 (*Chlamys cf. sqmamata-Gmelin*)化石，都是具有功能相同型態，因此其生存環境及生態也應相同(如圖1-9、圖2-9、圖3-9、圖4-10)
- 2.與扇貝化石共同停積膠結的沉積物，都是粗粒次稜角的沉積物和密集的有孔蟲，因此其生存環境，應同為未固結的粗粒砂質淺海海底(如圖1-9、圖2-8、圖3-8、圖4-9)。
- 3.本區扇貝化石大多兩片殼分開，且外殼紋路略有磨損，顯示死亡軟體組織腐爛後，有受到能量不強的水流短距離搬運；而扇貝化石表面有出現裂紋，有些扇貝甚至被擠壓變形，顯示在地層隆起的過程，有受到構造作用的應力擠壓。

二、在探討化石生物生活與死亡的秘密方面，我們發現：

- 1.六甲水流東和新化丘陵(岡林車人溝與左鎮牛稠內)，原有粗粒未固結的沉積質海底，適宜扇貝自由自在的生活長到成年。
- 2.這些同種類的扇貝，應生存於冰河期來臨前的冷海水環境，於冰河期時海水結冰乾涸，或來不及逃難生存海域，而無海水可「游泳」，導致災難型的大量死亡。

三、在計測停積方向性與水槽造浪模擬實驗之印證方面，我們發現：

- 1.受到水流搬運作用，扇貝的凸殼約有80%會呈現凸面向上；當受到單一來自南方的水流作用時，約有60%的外殼會弧形朝南北向或東北方向停積，我們認為這是扇貝凸殼流線型的曲線構造，受到水流的作用力後的穩定型態。
- 2.地質時代的海流，將這些災難死亡的扇貝屍體，搬運停積於當時的海岸，即現在的密集化石層，且略具方向性，乃是經歷了一段時間，水流多次來回作用的停積。

四、在糞化石存在之可能性探討，我們發現：

- 1.化石層下方的土壤，吸收來自化石生物族群的排泄物(糞)，於堆積過程中，不同成份有不同的富集和分散狀況，也增加砂質土壤的肥沃度；經由75天的綠豆生長實驗，顯示越靠近化石密集層下方的土壤，肥沃度越佳。
- 2.我們推測化石密集層下方的土壤，可能含有「非成塊狀糞化石」的微小糞化石；但仍需做更進一步的驗證。

五、在化石層古今的地理環境探討方面，我們發現：

- 1.扇貝生存的環境，一定不是岸邊：由前人研究得知，扇貝是生活在較冷的冰河期冷水水域。且扇貝的結構與運動方式必需水流穩定才好控制方向，有利生存。因此必須有一定深度，水流穩定之處，不會是在岸邊、亂流多的地方。
- 2.推測當時扇貝生存地離岸有一段距離。大規模死亡後，受間冰期海水搬運到水流東附近沉積，因平殼易貼於海底不易搬運，所以水流東扇貝化石凸殼多於平殼。

3.由水流東扇貝化石凸殼有方向性排列，推論當時扇貝沉積環境是近海低窪處，受南北向沿岸流的影響大於東西向的海浪流。因為如果是瀉湖地形，其南北向會有沙洲阻擋水流，少有南北向沿岸流的搬運作用。

4.由現今小島海岸貝殼堆積照片(圖6-6)可看出岸邊的貝殼是散亂不具方向性的堆積。可佐証當時的水流東並非在沙灘，而是離岸一段距離。

由以上論述，我們推翻前人研究中認為這裡是瀉湖的說法，這裡應該是一個靠近岸邊、適合形成堆積層的的低窪淺海區。



圖6-6

## 陸、參考資料及其他

- (一)參考資料1：台灣貝類資料庫，中央研究院生物多樣性研究中心。民國108年2月1日，擷取自：[http://shell.sinica.edu.tw/chinese/shellfamily2.php?pageNum\\_Recordset1=0&Family=Pectinidae](http://shell.sinica.edu.tw/chinese/shellfamily2.php?pageNum_Recordset1=0&Family=Pectinidae)
- (二)參考資料2：扇貝，中國大百科智慧藏。民國108年2月1日，擷取自：<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:eLsJWfj-163.17.79.102/%25A4%25A4%25B0%25EA%25A4%25A6%25CA%25AC%25EC/Content.asp%3FID%3D15169+&cd=1&hl=zh-TW&ct=clnk&gl=tw>
- (三)參考資料3：海灣扇貝，維基百科。民國108年2月1日，擷取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B5%B7%E6%B9%BE%E6%89%87%E8%B4%9D>
- (四)參考資料4：六甲鄉水流東化石區，中國時報 2005/05/25 陳炎生／六甲報導。民國108年2月1日，擷取自：<http://mypaper.pchome.com.tw/folkmit/post/1247485394>
- (五)參考資料5：張哲毓、蔡僊翊等，牛稠內古環境大搜密，第46屆全國中小學科展。
- (六)參考資料6：Kiyoshi Asano.,微型有孔蟲圖解目錄 F.R.M.S., ILLUSTRATED CATALOGUE OF JAPANESE TERTIARY SMALLER FORAMINIFERA, Tokyo, Japan, 1950
- (七)參考資料7: Must see: crazy Clam / Sea Scallop swimming / jumping underwater. 民國108年2月1日，擷取自：<https://www.youtube.com/watch?v=5vRHIEp9iU>
- (八)參考資料8: Shell structures, Chris J K Williams, University of Bath. 民國108年2月1日，擷取自：<http://people.bath.ac.uk/abscjkw/LectureNotes/what-is-a-shell.pdf>
- (九)參考資料9：植物營養教室，台和園藝企業股份有限公司。民國108年2月1日，擷取自：<http://www.taihort.com.tw/2nutritn.html>
- (十)參考資料10：范光龍，臺灣沿海的美麗與悲哀，台灣大學海洋研究所張瑞津。民國108年2月1日，擷取自：<http://ecology.org.tw/hotnews/2008ocean3.pdf>
- (十一)參考資料11：冰河期的出現，學習資源，國立自然科學博物館。民國108年2月1日，擷取自：<http://edresource.nmns.edu.tw/ShowObject.aspx?id=0b81a1fa1d0b81d9f9400b81d8c1780b81d8c17c>
- (十二)參考資料12：冰河時期，維基百科。民國108年2月1日，擷取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%A7%E5%86%B0%E6%9C%9F>
- (十三)參考資料13：蔡啟漳、陳政典，台南縣立南新國中，台南縣六甲水流東海扇密集化石層沉積環境之初步探討，81年6月30日。
- (十四)參考資料14：盧誌銘、王鑫，台灣西海岸冬季表層懸浮質漂沙之初步研究，工業技術研究院礦業研究所遙感探測應用研究報告之一，P1-33，1975。
- (十五)參考資料15：波浪與海岸地形，美瑠的地科教室。民國108年2月1日，擷取自：<https://www.youtube.com/watch?v=Ig-EZ-Nrk3w>
- (十六)參考資料16：地質雜誌第37卷 第3期，中華民國107年9月出刊。
- (十七)參考資料17：彭宗仁、汪中和、陳鎮東，苗栗白沙屯過港貝化石層內軟體動物化石之碳氧同位素研究，經濟部中央地質調查所特刊第四號，第307—322頁，民國79年12月。



## 【評語】 080501

主題清楚聚焦在研究台南地區扇貝化石在古環境的意義，並能以水流實驗研究扇貝如何受到海流而呈現不同的排列方向。另外以植物栽種來了解土壤性質以推測扇貝生存的沉積環境，輔以一些資料推論造成當時扇貝大量死亡的原因。實地調查、實驗驗證和科學推論與討論，能清楚回答問題。

# 壹 研究動機

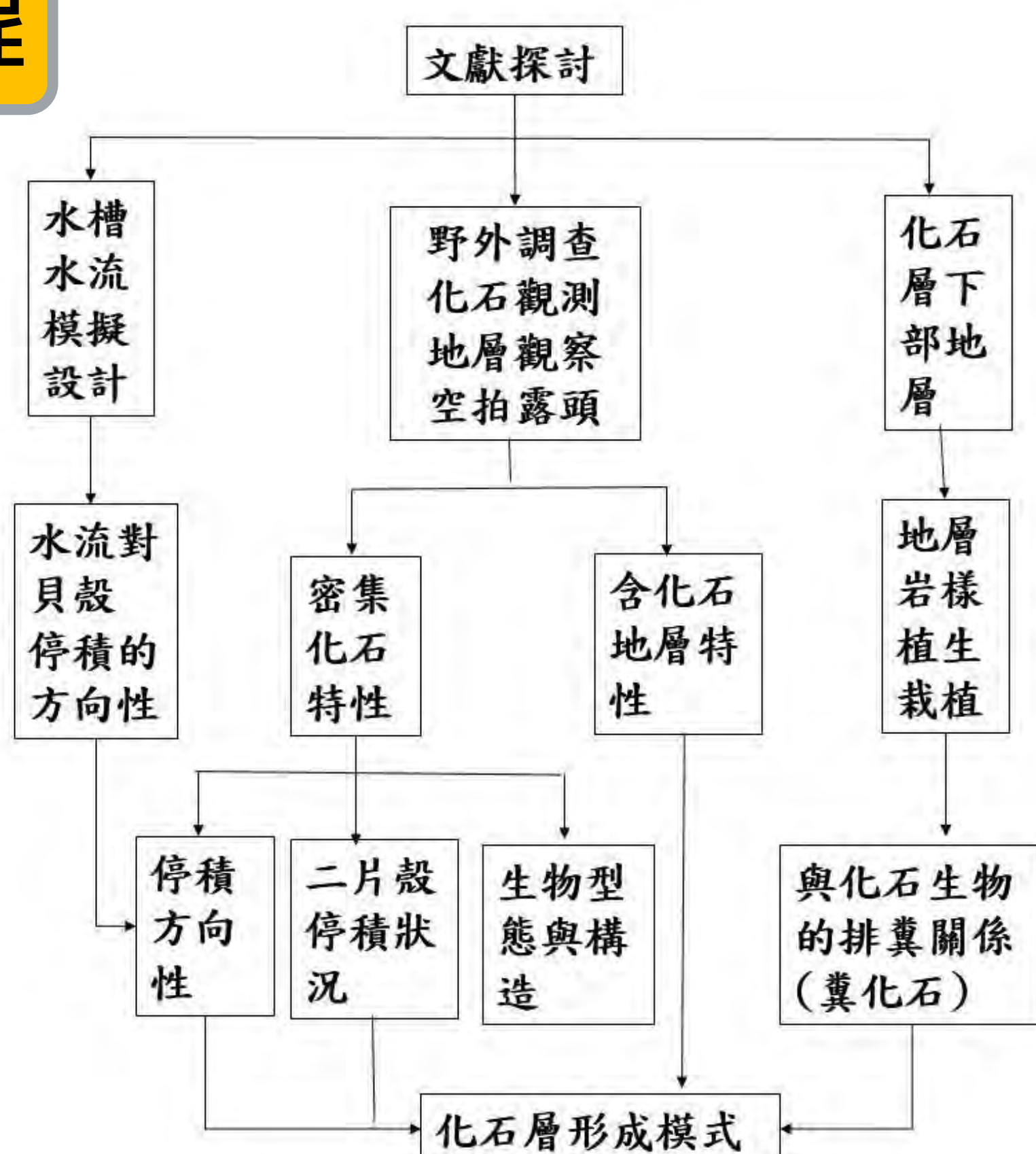
從網路Youtube的影片中，我們看到突然從海底跳出，然後搖頭晃腦前進的扇貝，使我們對扇貝產生研究的興趣。我們從資料中查到台南六甲區有一處水流東扇貝化石區，那裏有滿山滿谷密集的扇貝化石，這種化石層自然景觀，在南台灣非常少見，具有相當的研究價值。於是，在老師的指導下，我們開始了扇貝的研究。



# 貳 研究目的

- 一、訓練我們做野外地質調查及觀察化石的能力。
- 二、探討化石生物生活與死亡的秘密—生存環境與冰川極冷天候
- 三、化石方向性的來龍去脈—計測停積方向性與水槽造浪模擬實驗之印證。
- 四、冀化石存在之可能性探討—另類型之冀化石。
- 五、根據分析結果，描繪出化石層古今的地理環境。

# 參 研究流程



# 肆 研究過程與討論

## 【研究一】出露扇貝化石的位置與環境



位置	六甲水流東	岡林車人溝	左鎮牛欄內
地質年代	更新世埃下寮層	更新世崎頂層岡林段	更新世崎頂層岡林段
絕對年代	約70-130萬年	約60-100萬年	約60-100萬年
主要岩性	泥質砂岩	泥岩夾砂岩	泥岩夾砂岩

### 1.六甲水流東聚落



圖1-1:當地已經過人為的開發利用，所以形成階梯狀的聚落區地形，住宅等建築物在階梯平坦之處。黃色線標為出露扇貝化石層，若將該線上下左右延伸，應為整個化石層。



圖1-2:黃色線為扇貝化石層，長度大約是100公尺。

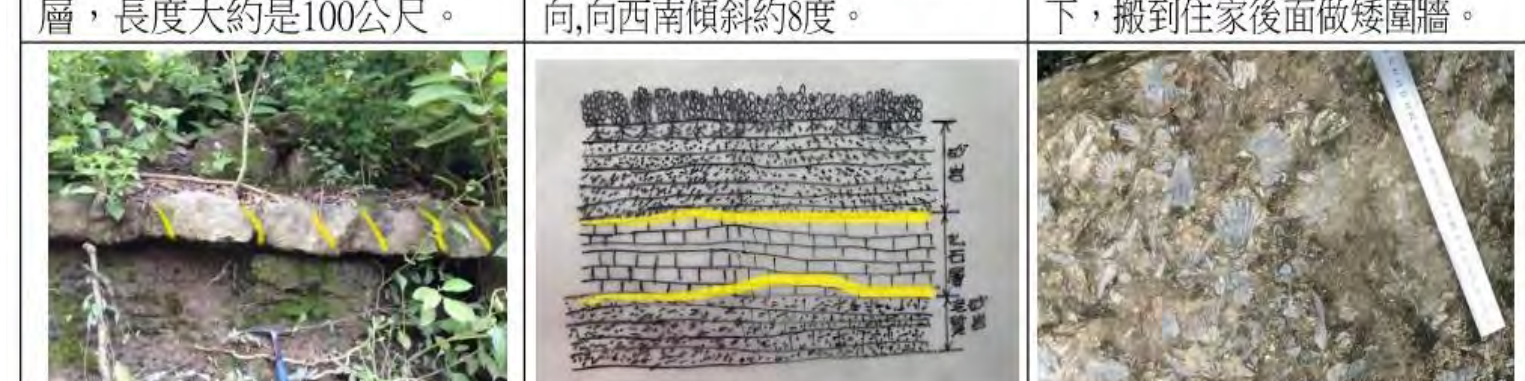


圖1-3:化石層呈西北-東南走向，向西南傾斜約8度。



圖1-4:化石層厚度約30-50公分，上層為砂岩，下層為泥質砂岩。

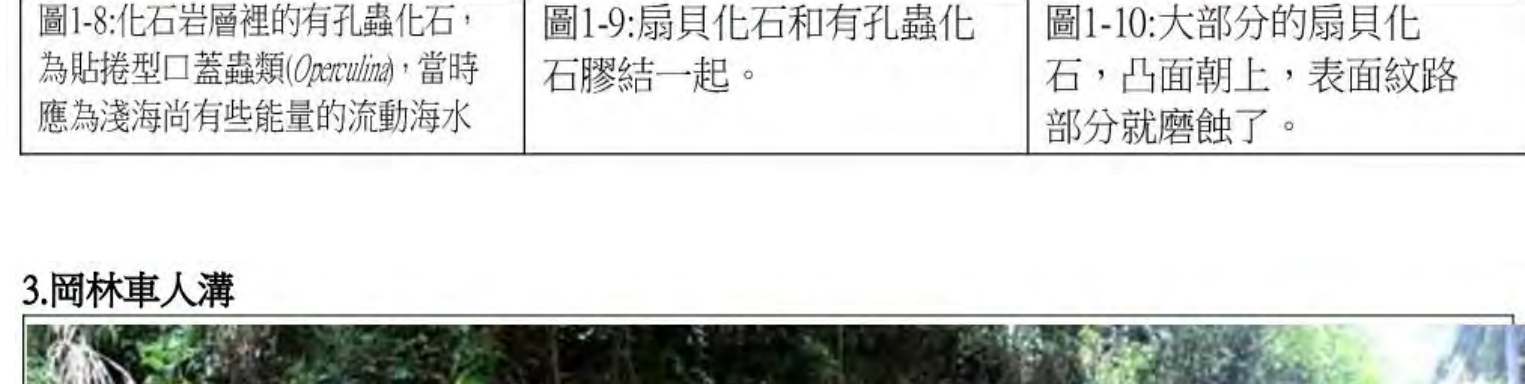


圖1-5:有些化石層間隔50公分有出現一個節理，可能是受到構造作用所產生。



圖1-6:化石層上有許多密集的有孔蟲，表示扇貝化石遺骸停積時應為海域環境。



圖1-7:化石上有許多密集的有孔蟲，表示扇貝化石遺骸停積時應為海域環境。



圖1-8:化石層裡有孔蟲化石，為黏捲型口蓋蟲類(Operculina)，當時應為淺海尚有些能量的流動海水。



圖1-9:扇貝化石和有孔蟲化石膠結在一起。



圖1-10:大部分的扇貝化石，凸面朝上，表面紋路部分就磨蝕了。

### 2.六甲水流東竹林



圖2-1:水流東竹林區有非常密集的扇貝化石層，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2-2:道路從化石層5y 經過，扇貝化石遭到築路工程破壞，分布在兩側。



圖2-3:我們採集化石層下方D1、D2兩層的細沙土壤實驗。



圖2-4:扇貝化石層上方是細沙層(U3)，風化土壤(U2)和竹林(U1)。

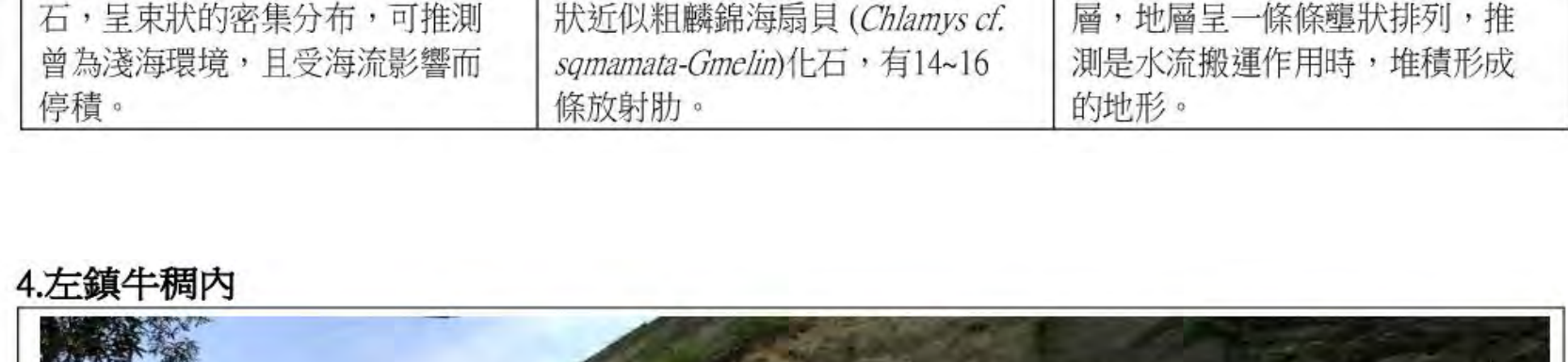


圖2-5:我們用50\*50公分的大格子拍照，統計扇貝化石的方向。



圖2-6:扇貝化石的分布非常密集，有完整的，也有破碎的。



圖2-7:可以看到呈覆瓦狀堆疊的扇貝化石，可能與海流作用有關。



圖2-8:化石層中有許多有孔蟲化石，呈束狀的密集分布，可推測曾為淺海環境，且受海流影響而停積。



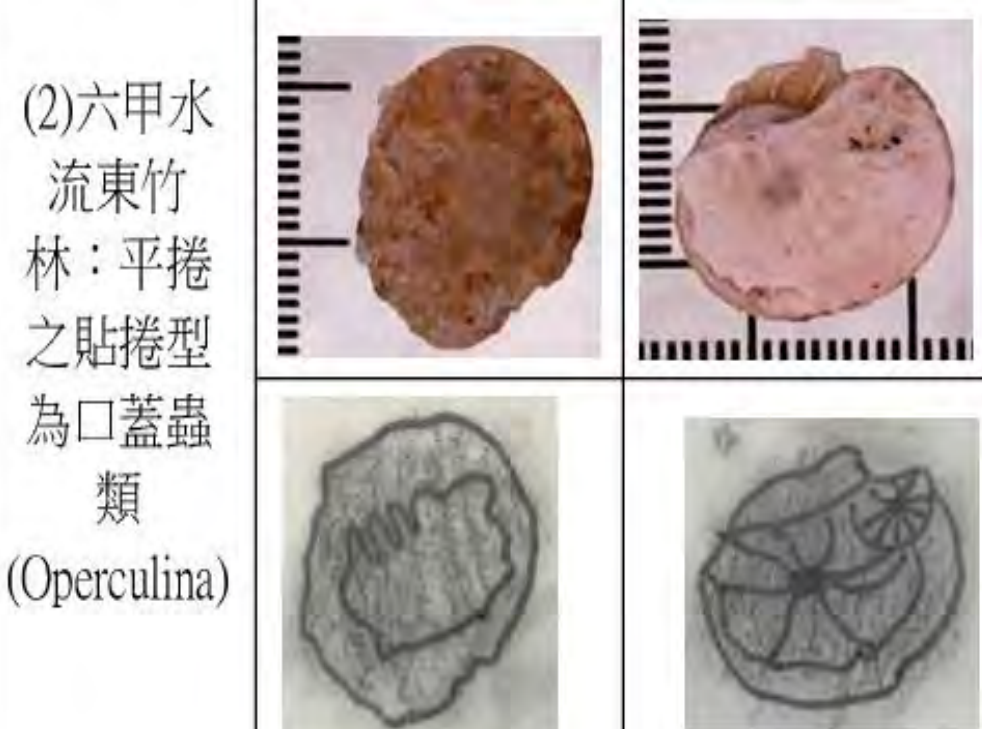
圖2-9:根據參考圖鑑，本區扇貝形狀類似粗刺海扇貝(Chlamys cf. samamata-Gmelin)化石，有14-16條放射肋。



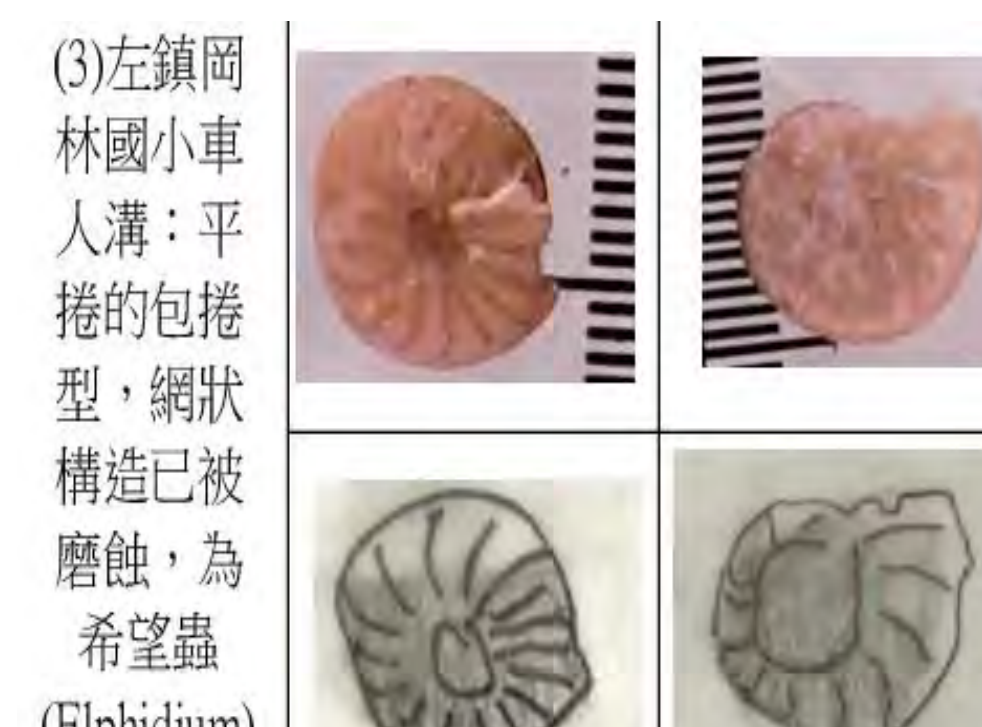
圖2-10:在竹林內部出現扇貝密集層，地層呈一條條狀排列，推測是水流搬運作用時，堆積形成的地形。



(1)六甲水流東聚落：平捲之貼捲型為口蓋蟲類(Operculina)



(2)六甲水流東竹林：平捲之貼捲型為口蓋蟲類(Operculina)



(3)左鎮岡林國小車人溝：平捲的包捲型，網狀構造已被磨蝕，為希望蟲(Elphidium)



(4)新化丘陵牛欄內：平捲的包捲型，網狀構造已被磨蝕，為希望蟲(Elphidium)

### 3.岡林車人溝



圖3-1:化石層在岡林國小西北側產業道路旁，大致南北走向，向西傾斜約25度，泥岩岩性均勻，呈淡灰色。黃色線標為出露扇貝化石層，被道路截成兩段，總長度約500公尺。



圖3-2:空拍圖可見化石層上方植物生長茂盛，化石層延伸下方斜坡，植生下必也是化石層。



圖3-3:化石層為砂岩之夾層，呈南北走向，向西傾斜，傾斜角約20度。



圖3-4:西南側化石層已遭道路截斷，人為破壞甚明顯。



圖3-5:完整的扇貝化石和碎屑混雜，可看出略具方向性。



圖3-6:化石層厚度30-50公分，下層為厚層砂岩夾薄層泥質砂岩。



圖3-7:許多化石碎屑，可能是海水搬運作用或人為工程開發破壞。



圖3-8:扇貝化石呈層狀，還有密集的底棲性有孔蟲化石，顯示當時是淺海且受海流影響的環境。



圖3-9:扇貝化石表面可以看到磨蝕掉生長紋路的痕跡。



圖3-10:扇貝化石表面為磨蝕的部分，尚可以明顯看到生長線及呈現錯移的斷裂。

### 4.左鎮牛欄內



圖4-1:產業道路斜坡上的黃色線標為出露扇貝化石層，南北走向，向西傾斜約30度，厚度約50公分，顯示扇貝曾有一段時間的連續停積，應是環境發生改變，導致扇貝大量死亡，然後持續一段時間的搬運與堆積。



圖4-2:空拍圖可以看到兩條產業道路，切割了原為連續的黃色線標的化石層。



圖4-3:條產業道路斜坡中段出現密集層，長度約300公尺，而且一直向右延伸。



圖4-4:產業道路的西側為一廣大的泥岩凹地，對面的半面山，為虎嘯口段的鈣質砂岩。



圖4-5:扇貝化石，有些呈現覆瓦狀排列，略具方向性。



圖4-6:化石層被泥質砂岩所包圍。



圖4-7:在道路的中段旁斜坡上，大量的出現。



圖4-8:泥質砂岩裡可以看到扇貝化石留下的遺骸。



圖4-9:化石中有許多碎屑，顯示當時環境水流能量較強；有孔蟲、文蛤與扇貝化石膠結在一起，顯示牠們有類似的淺海生存環境。



圖4-10:由各種扇貝化石，可以看到磨蝕的強化作用，外殼頂端突出光滑有侵蝕現象，前端可以看到生長線，侵蝕較不明顯。

## 【研究二】扇貝化石的長寬關係與停積方向分析

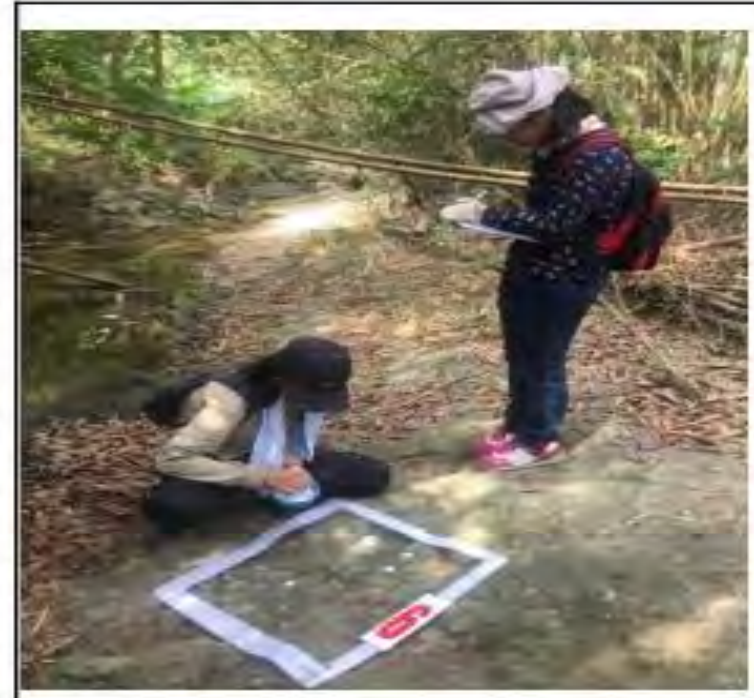
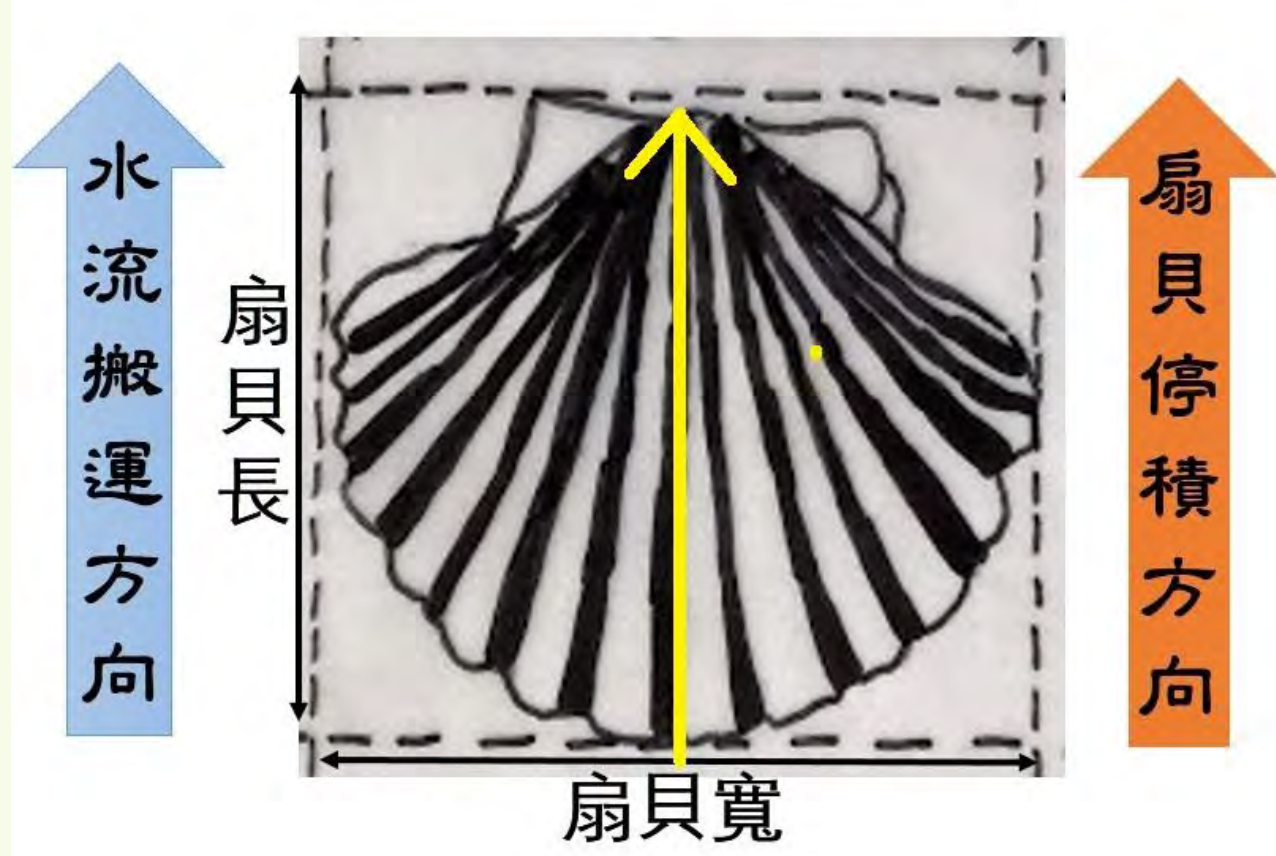


圖2-2：竹林落葉清除後出現密集扇貝化石。



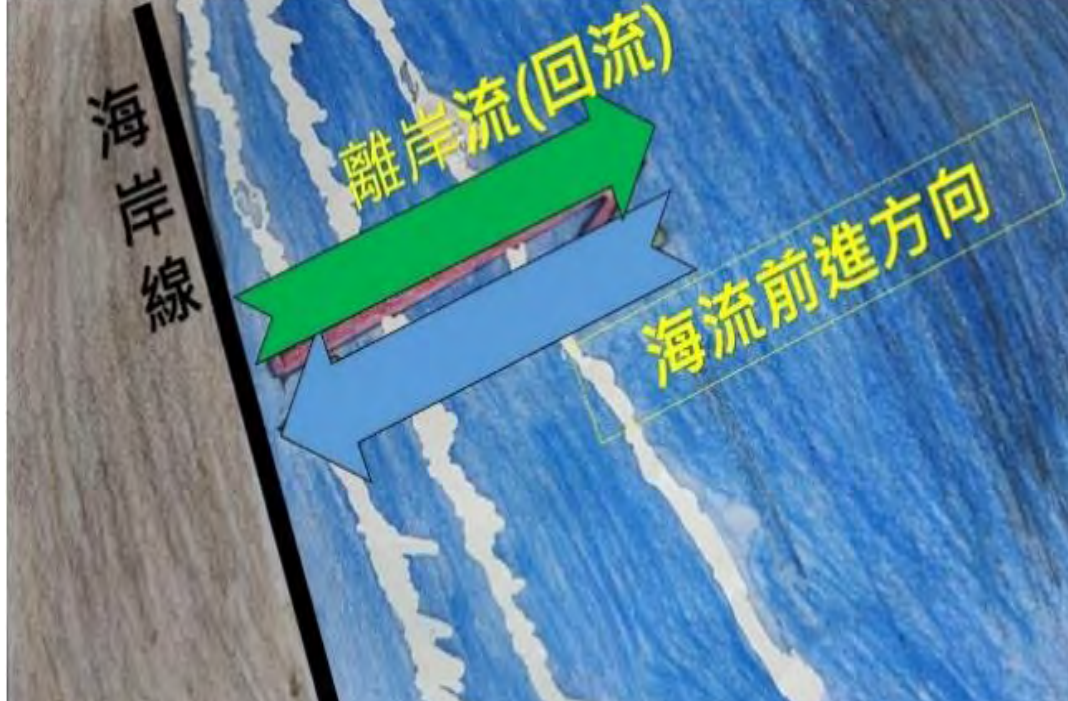
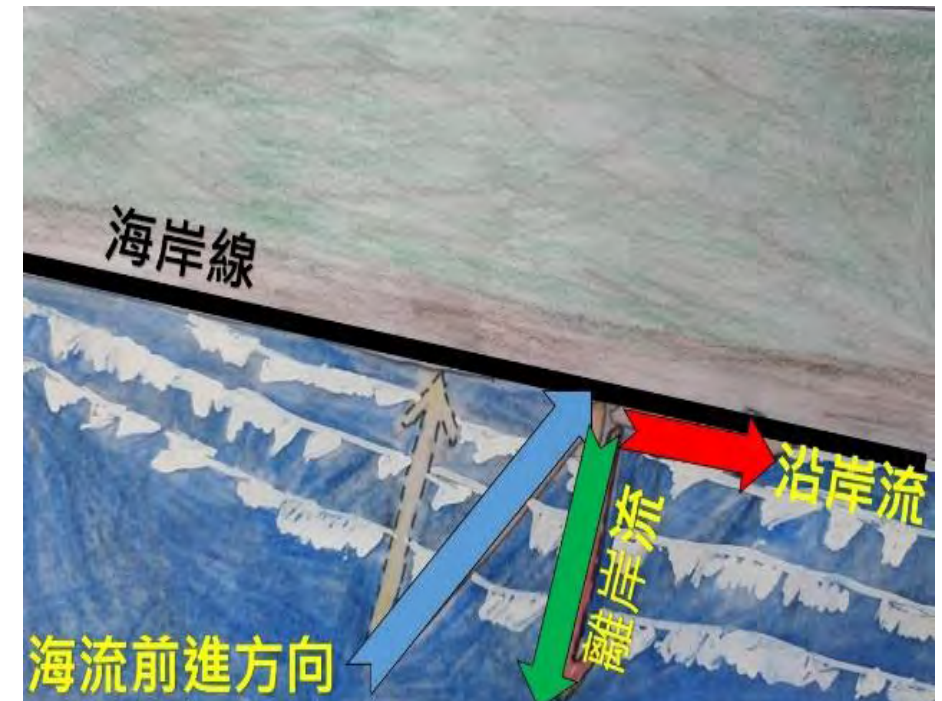
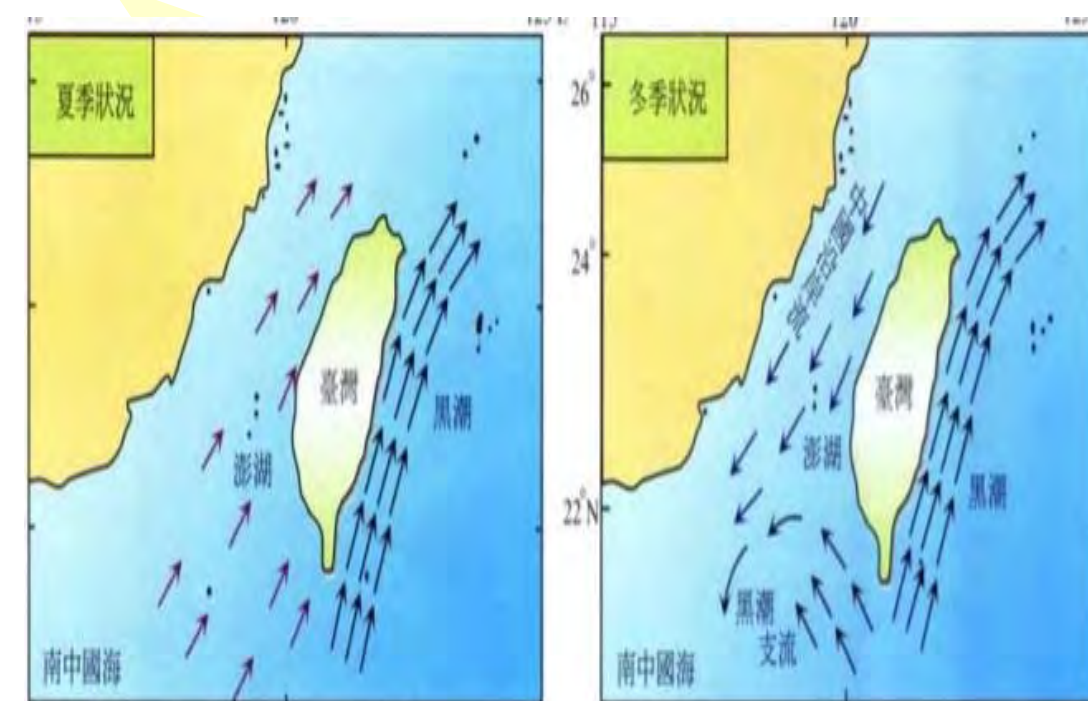
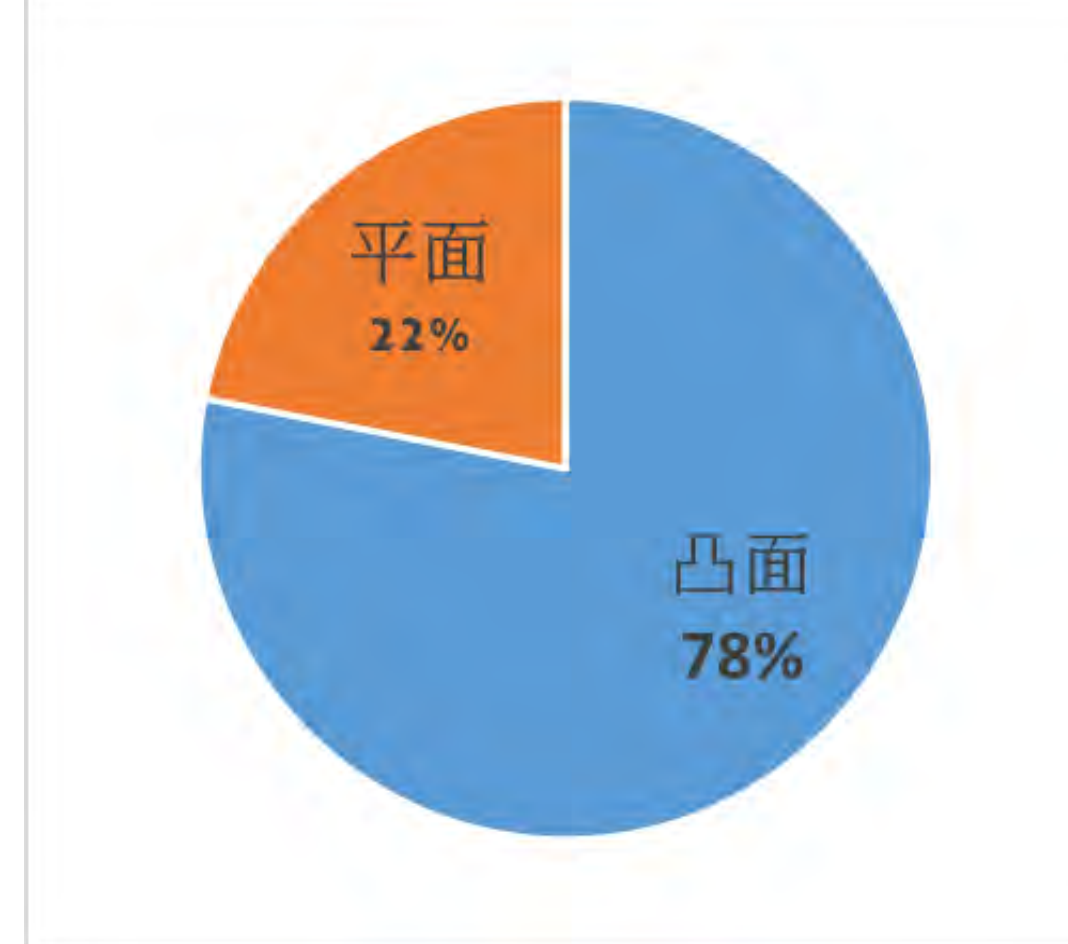
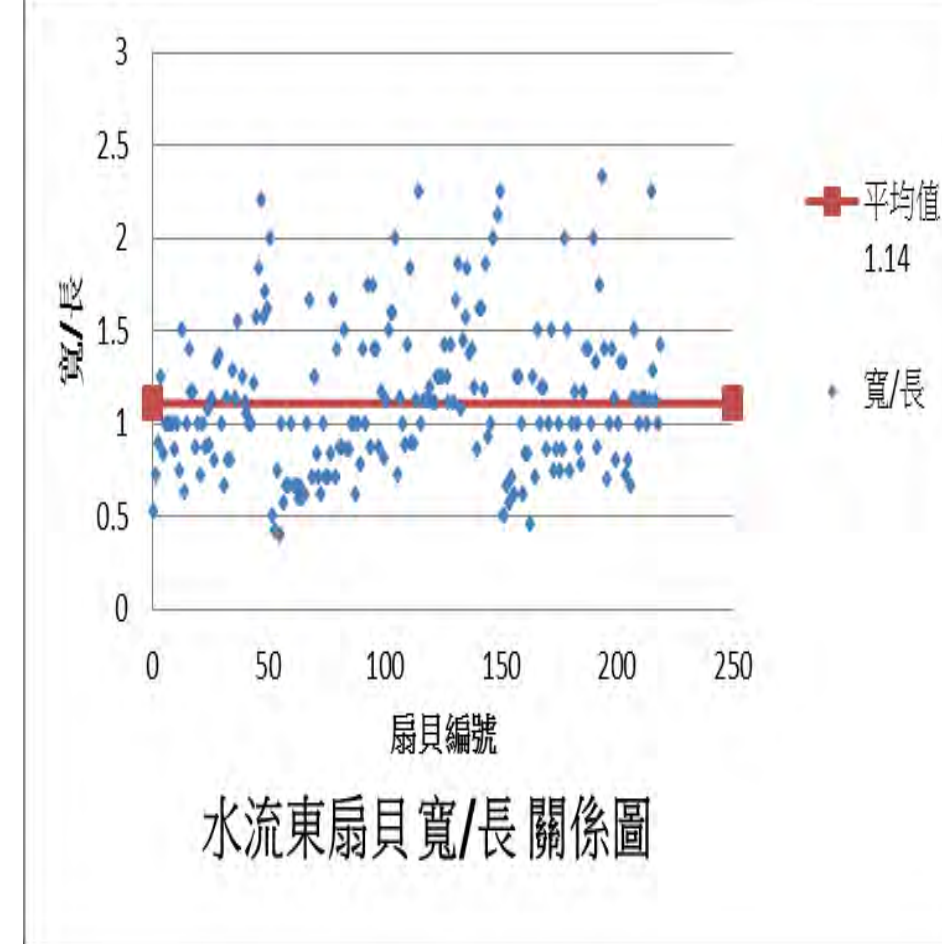
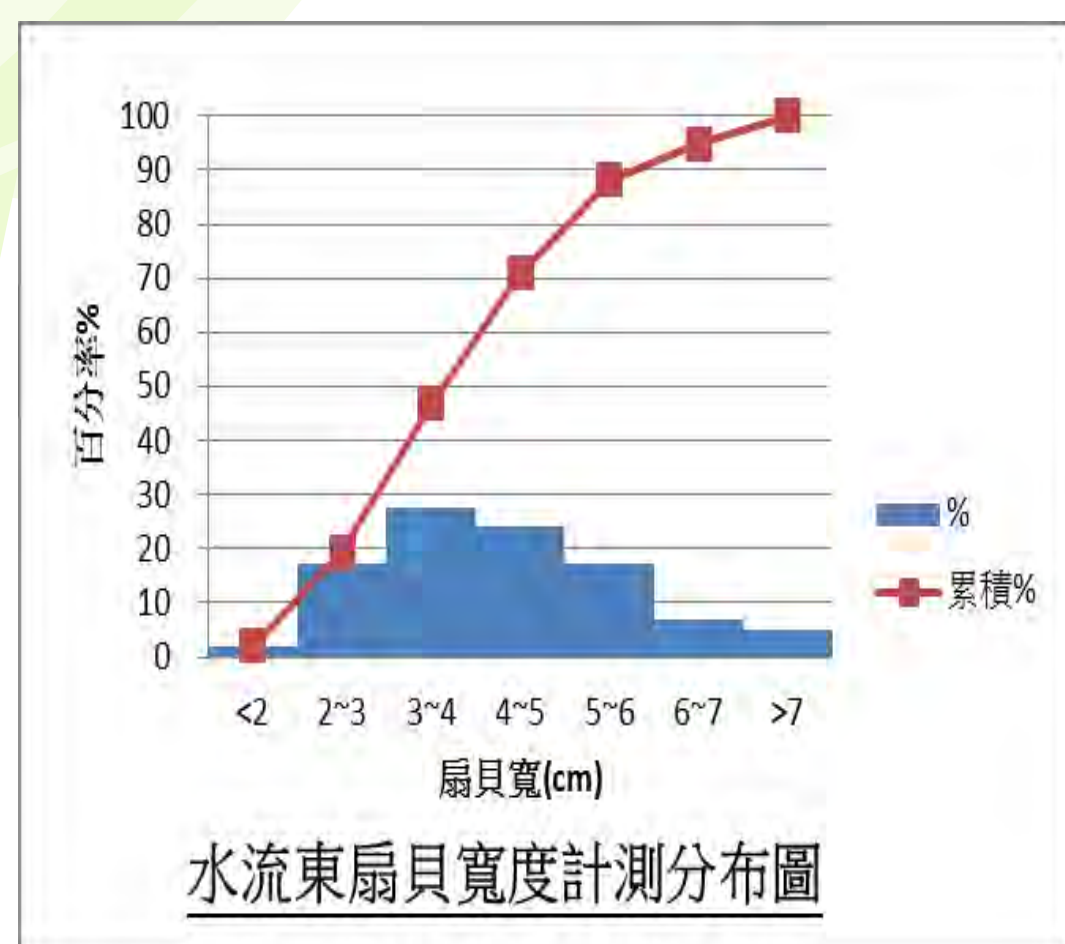
圖2-3：凸面向上，並有複瓦狀排列。



圖2-4：平面向上的數量比較少。



圖2-5：現場實際量測扇貝停積方向。



## 【研究三】扇貝停積方向水槽模擬實驗



### 研究三-2：機器造浪

1.圖1-A：停積方向扇狀圖

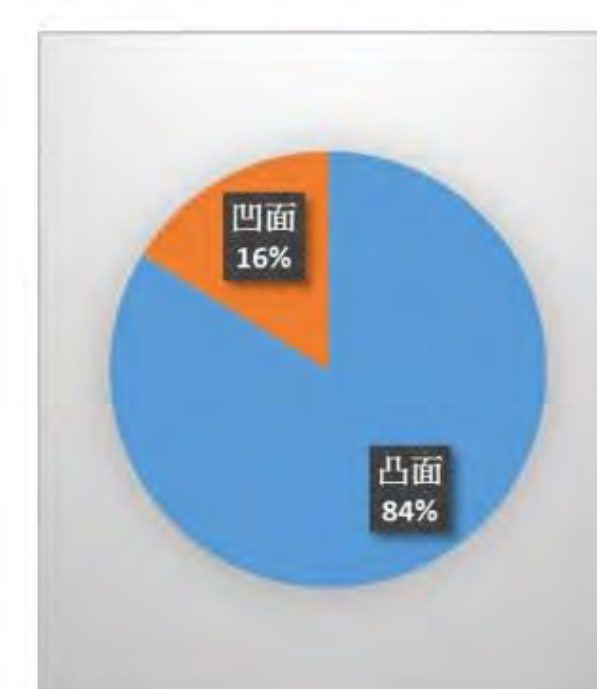


圖1-B：八方位停積數量玫瑰圖



### 研究三-3：加導流隔板

1.圖1-A：停積方向扇狀圖

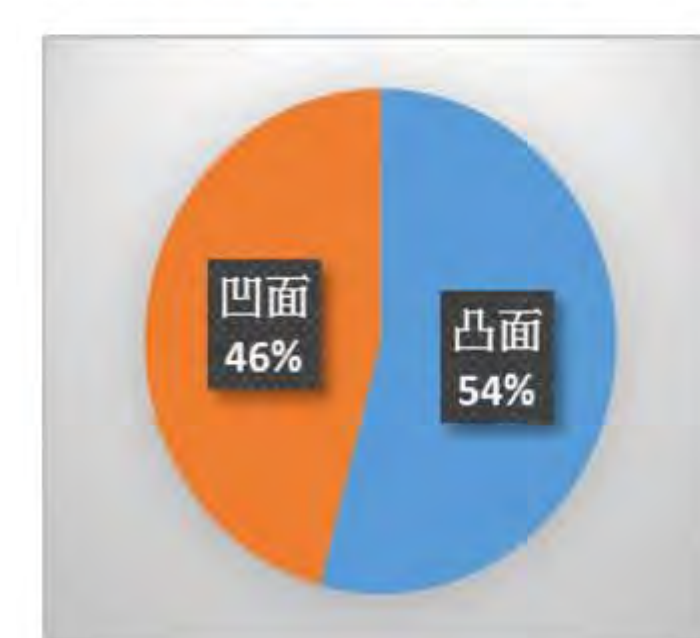


圖1-B：八方位停積數量玫瑰圖



### 研究三-4：單邊鋪海沙

1.圖1-A：停積方向扇狀圖

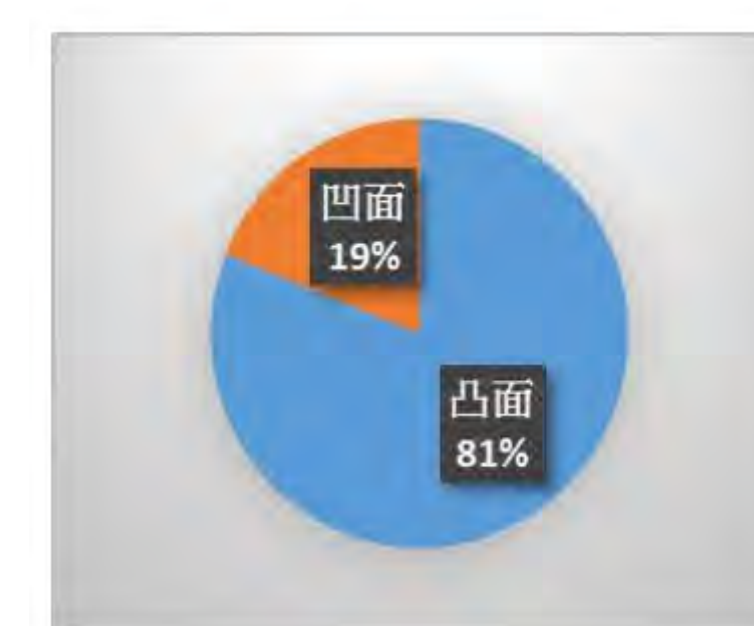
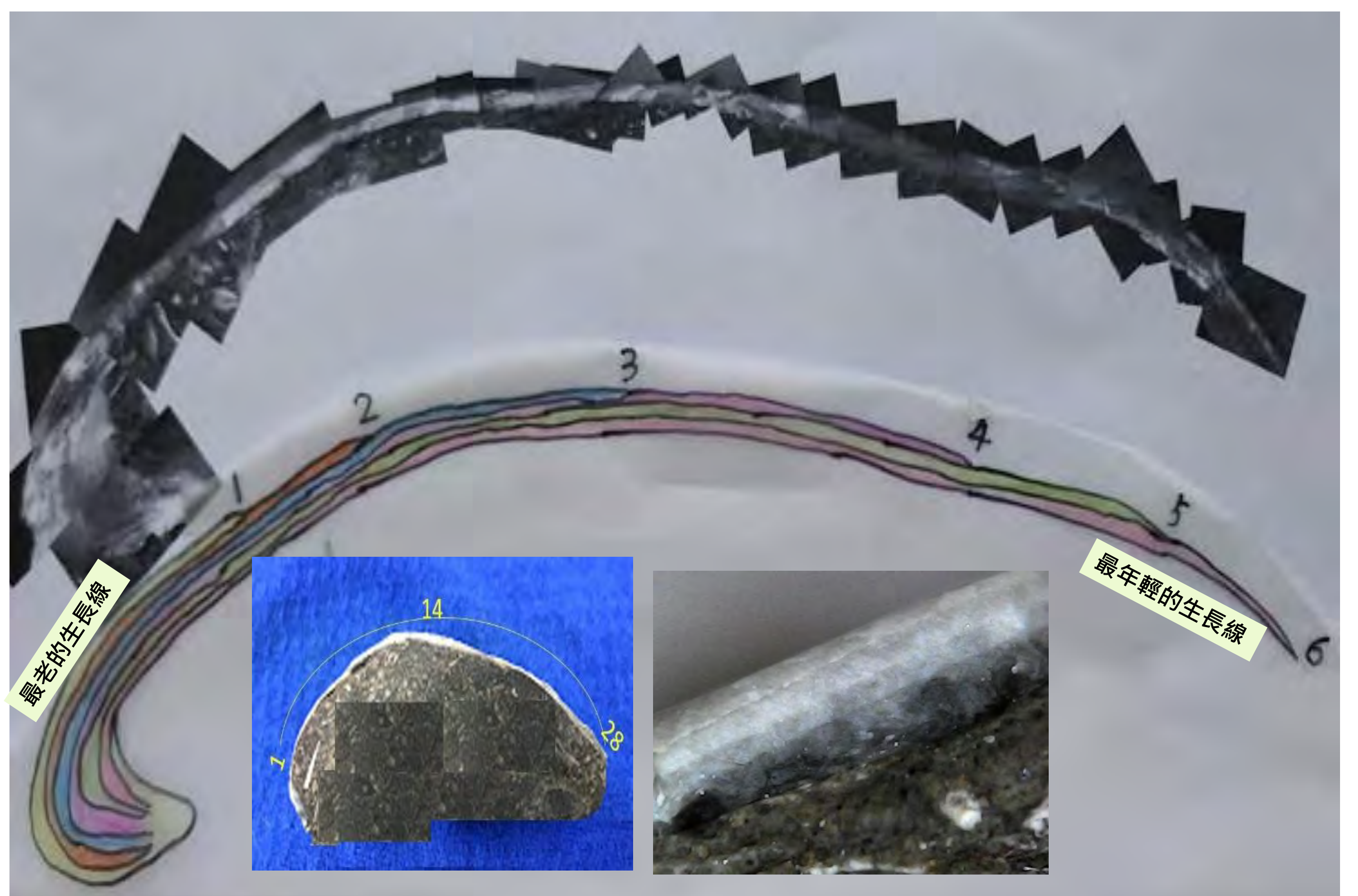


圖1-B：八方位停積數量玫瑰圖



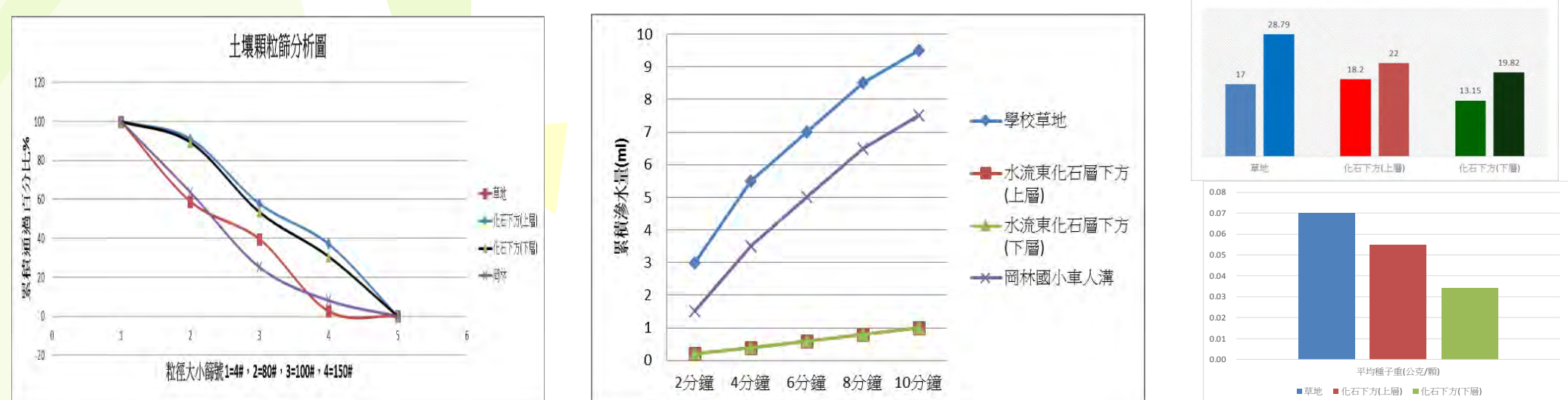
## 【研究四】扇貝外殼型態分析



### 討論：

- (1) 扇貝的外殼，是一層一層由上到下，以扇形的方式延展生長，而在殼面留下生長線。以描圖紙繪出生長線的生長軌跡，可以看到有數條生長線，顯示出扇貝在不同時期的生長快慢。
- (2) 扇貝化石的外殼表面，橫向有一條條的生長線；縱向也有一條條的龍骨構造，類似房屋樑柱具有強化構造功能。扇貝具有強化殼質的龍骨構造，能抗壓避免天敵的攻擊而破壞，以利多量的生存呈群聚的生態，亦可稱為該生存環境的優勢種。

## 【研究五】扇貝化石層下方土壤性質研究



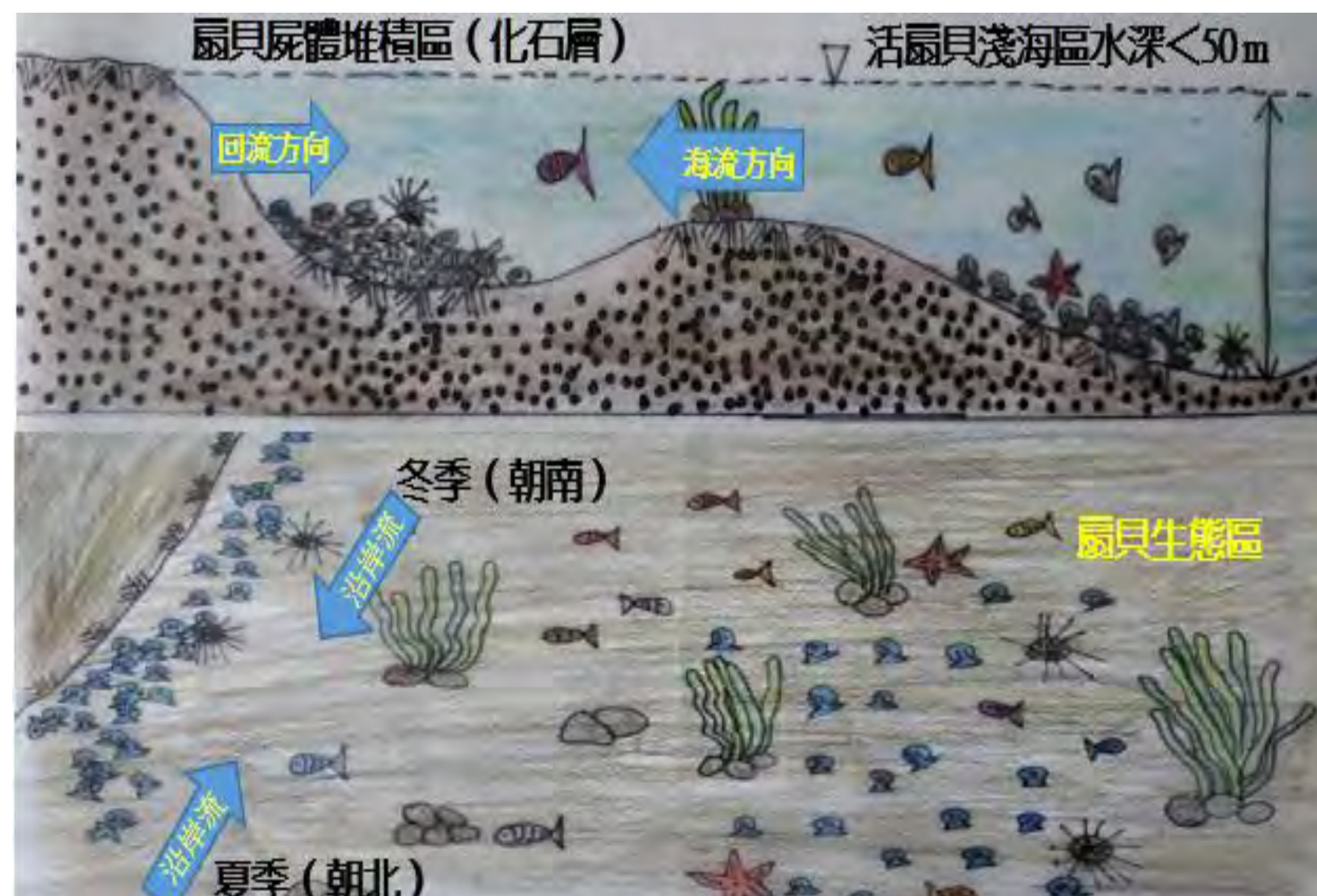
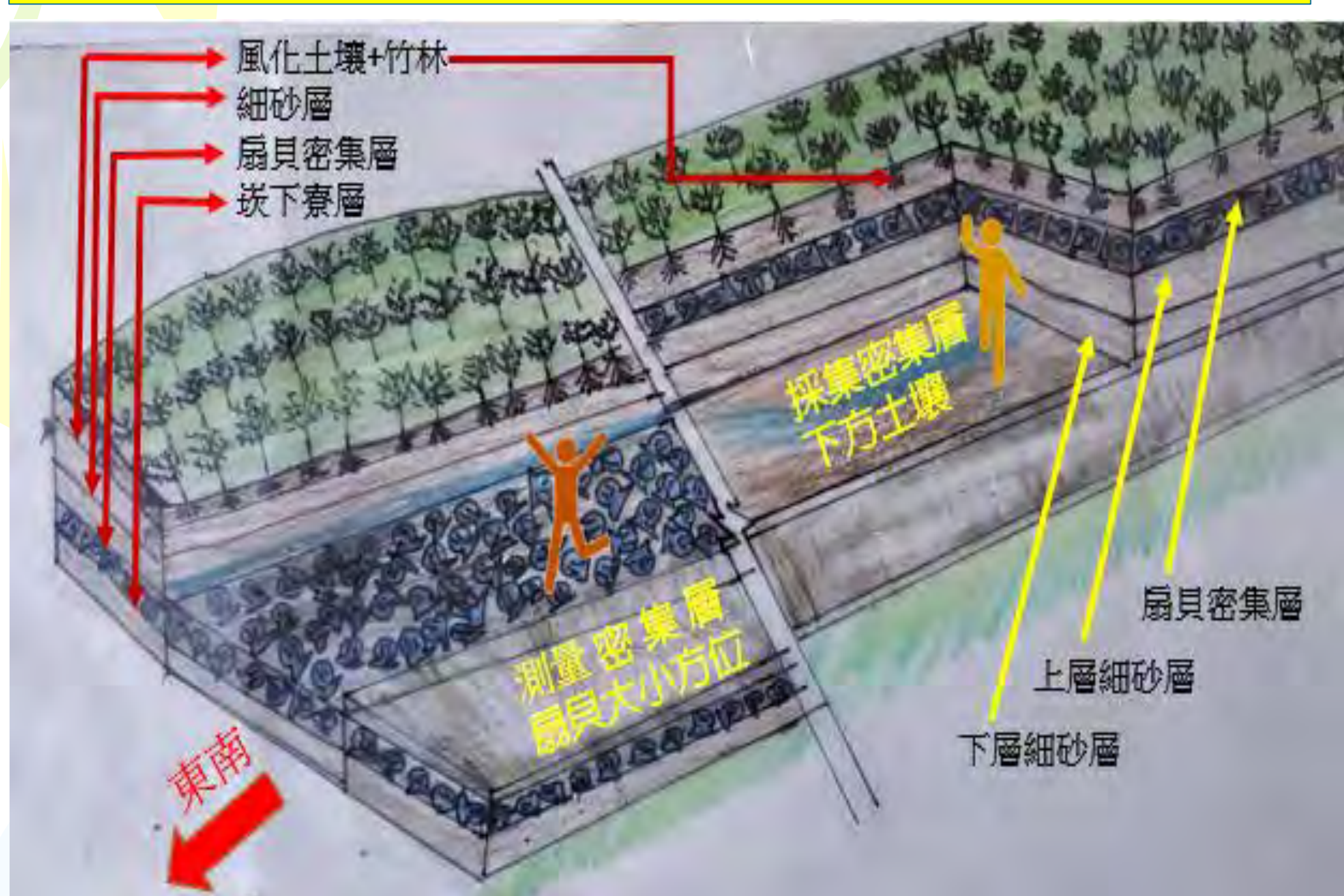
4.綠豆生長紀錄(生長時間：(第一次：75天)



5.綠豆生長紀錄(生長時間：(第二次：2月15日迄今)



## 【研究六】化石層地質年代的古環境分析



## 伍 結論

本研究調查台南六甲聚落和竹林的扇貝化石密集層，與新化丘陵之岡林車人溝、左鎮牛稠內二區的扇貝化石密集層內的扇貝化石。

- 一、在野外地質調查及觀察化石的能力方面，我們發現：
- 1.本區扇貝應屬於同種類、形狀近似粗麟錦海扇貝 (*Chlamys cf. sqmamata-Gmelin*) 化石，都是具有功能相同型態，因此其生存環境及生態也應相同。
  - 2.與扇貝化石共同停積膠結的沉積物，都是粗粒次稜角的沉積物和密集的有孔蟲，因此其生存環境，應同為未固結的粗粒砂質淺海海底。
  - 3.扇貝化石大多兩片殼分開，且外殼紋路略有磨損，有些甚至被擠壓變形，顯示死亡後，受到能量不強的水流短距離搬運，且在地層隆起的過程，受到構造作用應力擠壓。

- 二、在探討化石生物生活與死亡的秘密方面，我們發現：
- 1.六甲水流東和新化丘陵(岡林車人溝與左鎮牛稠內)，原有粗粒未固結的沉積質海底，適宜扇貝自由的生活長到成年。
  - 2.這些同種類的扇貝，應生存於冰河期來臨前的冷海水環境，於冰河期時海水結冰乾涸或來不及逃難生存海域，而無海水可「游泳」，導致災難型的大量死亡。

- 三、在水槽造浪模擬實驗之印證方面，我們發現：
- 1.受到水流搬運作用，扇貝的凸殼約有80%會呈現凸面向上；當受到單一來自南方的水流作用時，約有60%的外殼會弧形朝南北向或東北方向停積，我們認為這是扇貝受到水流的搬運作用後的沉積方向性與穩定型態。
  - 2.地質時代的海流，將這些災難死亡的扇貝屍體，搬運停積於當時的海岸，即現在的密集化石層且略具方向性，乃是經歷了一段時間，水流多次來回作用的停積。

- 四、在糞化石存在之可能性探討，我們發現：
- 1.化石層下方的土壤，吸收來自化石生物族群的排泄物(糞)，於堆積過程中，不同成份有不同的富集和分散狀況，也增加砂質土壤的肥沃度；經由75天的綠豆生長實驗，顯示越靠近化石密集層下方的土壤，肥沃度越佳。
  - 2.我們推測化石密集層下方的土壤，可能含有「非成塊狀糞化石」的微小糞化石；但仍需做更進一步的驗證。

- 五、在化石層古今的地理環境探討方面，我們發現：
- 1.扇貝生存的環境，必須有一定深度，水流穩定之處，不會是岸邊、亂流多的地方。
  - 2.扇貝生存地離岸有一段距離。大規模死亡後，受間冰期海水搬運到水流東附近沉積。
  - 3.由水流東扇貝化石凸殼有方向性排列，推論當時扇貝沉積環境是近海低窪處，受南北向沿岸流的影響大。
  - 4.由現今小島海岸貝殼堆積照片(右圖)可看出岸邊的貝殼是散亂不具方向性的堆積。可佐証當時水流東的堆積地形並非在沙灘，而是離岸一段距離。由以上論述，我們推翻前人研究中認為這裡是潟湖的說法，這裡應該是一個：離岸一段距離、適合形成堆積層的低窪淺海區。

