

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

第三名

(鄉土)教材獎

080505

一二三犇牛山，山上尋找古海灘-碎屑化石密集層與油氣環境之探討

學校名稱：臺南市東區勝利國民小學

作者： 小五 鍾昀璋 小五 陳勁宇 小五 林理業	指導老師： 陳聰智 黃郁雯
---	-----------------------------

關鍵詞：碎屑化石、孔隙率、密集層

摘要

本研究對象為台南市牛山剖面六重溪層內碎屑化石密集層，透過野外調查與模擬實驗，分析六重溪層上部化石密集層，與下部油氣儲集層關係，並推論牛山地區古今的地理環境。我們發現這些密集層的化石種類，具有相似的地質現象，因此重建碎屑化石密集層間的關係；並採集沙灘現生貝類與觀察碎屑分布，透過破壞實驗與水流實驗，了解貝類被破壞成碎屑的能量，與碎屑被搬運堆積的過程。

本研究針對岩塊孔隙率測量，提出獨創的浸沒白油法，並與專業儀器測得孔隙率之砂岩比較，證明具備準確性。透過高解析度的電腦斷層掃描圖，分析砂岩中孔隙的分布情形；並推測六重溪層下部油氣儲集層，其地層條件與上部碎屑化石密集層類似，為膠結較不緻密的鈣質砂岩地層。

壹、研究動機

在一次的家族聚會中，爸爸帶我去吃了北台南的特產「露水雞」，那家店家除了雞肉非常好吃之外，而且是位於一個很特別的地名---牛山，於是我上網查了相關資料，才知道牛山是風景非常漂亮的丘陵區，更有個很特別的地質構造---呈現碗公狀隆起的牛山背斜，而且在日治時期有產天然氣，只可惜現在已沒落了……。

飯後我們就到牛山風景區附近走走，沿途我看到山坡上一層一層的地層，當更靠近的觀察，竟發現許多的密集化石，但不是

像在海邊看到的貝殼，既漂亮又完整，而是被磨損過且不完整的化石碎屑，不過它們讓我感到非常的好奇，為什麼化石可以被磨損成碎屑？為什麼貝殼碎屑會那麼密集堆積在一起？於是我就邀了兩位夥伴，並在老師的指導下，開始了牛山地區的碎屑化石成因與油氣的研究。



圖1：牛山化石密集層google地圖

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、探討形成碎屑化石的原因—現生二枚貝外殼破壞實驗
- 三、探討形成碎屑化石密集層的原因—碎屑搬運堆積之水流模擬實驗
- 四、探討碎屑化石密集層砂岩與油氣儲集的關係—砂岩孔隙率實驗
- 五、根據分析結果，描繪出牛山地區古今的地理環境

參、研究設備及器材

一、設備儀器：

顯微鏡、實驗水槽、WP-40造波器、沉水馬達、空拍機、數位顯微鏡、篩網、電子秤、電動攪拌機、真空幫浦、抽氣瓶、游標卡尺、導電度計、pH計

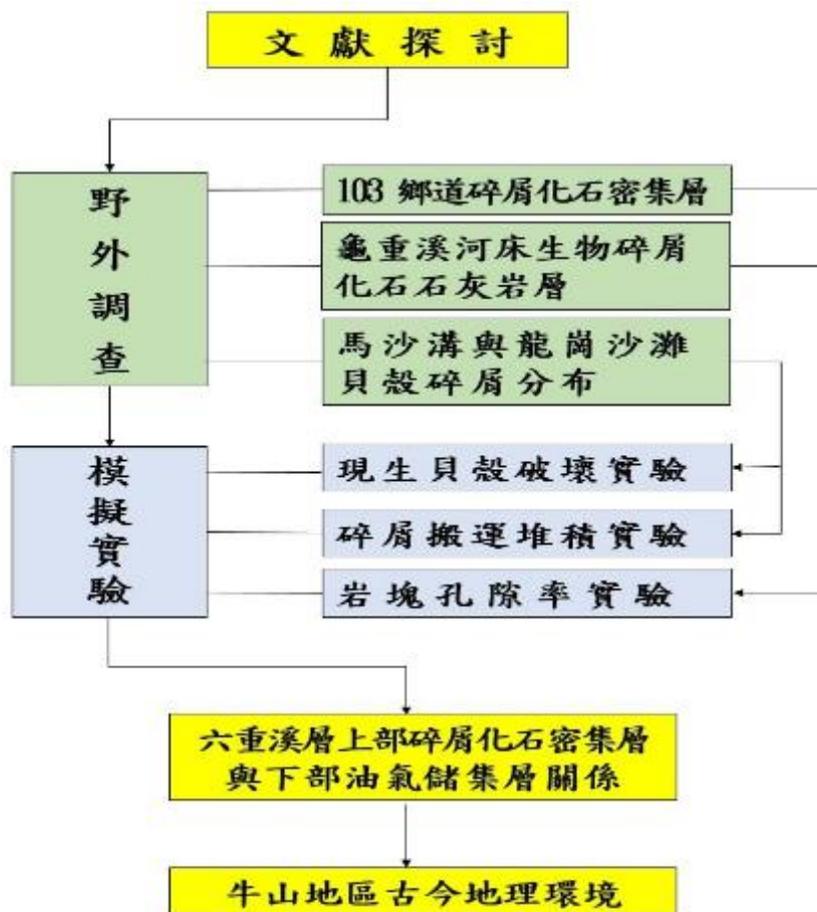
二、採樣工具：

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、稀鹽酸、酒精、小塑膠盒、黏土、砂紙、地質圖、計時器、鏟子、培養皿、比例尺、游標尺、剪刀、標籤紙、小刷子、描圖紙

					
導電度測量器	數位顯微鏡	篩網與電子秤	電動攪拌機	WP-40造波器	真空幫浦與抽氣瓶

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)牛山油礦的故事

牛山古名牛肉崎，位在台南市東山區水汙里，海拔約為兩百多公尺高，因山形望似一隻雄壯水牛而得名，日據時代在附近開採油礦，以牛山油礦而聞名。牛山油礦所產的天然氣，因1936年成功開鑿5號井，產量越增，便鋪設天然氣管，供應北台南一帶民宅使用。

日本石油株式會社管理期間，總共探勘了24口天然氣井，其中成功的有15口。牛山礦區所產的天然氣，占有台灣全島天然氣產量的二成。1973年起，牛山油礦油氣枯竭，產量銳減，1976年2月之後，牛山油礦廢棄，牛山油礦舊宿舍，今日化為一個一個的香蕉園。

(參考資料2：百年故事<https://hc.nccu.edu.tw/media/histroy3.php?id=175>)

(二)油氣探採-岩石的秘密

石油以液態存在時稱作原油，氣態存在時則稱為天然氣，探勘人員常稱兩種形態的石油為油氣。

。產出油氣的石油系統包含---1.生油岩：生成油氣的岩石，常是富含有機質的頁岩。2.儲集岩：把油氣儲集在孔隙中的岩石。3.蓋岩：覆蓋在儲集岩上的不透水岩層，使得油氣不隨時間逸散。

4.封閉構造：良好的封閉構造把分散的油氣聚集成油氣田，形成礦區。通常依岩性變化情況，在砂岩部分鑽取2~4枚水平岩心栓，測定孔隙率與滲透率。

孔隙率的大小決定岩石內部可容納的流體空間的大小，通常孔隙率大的岩石可蘊藏較多的水、油和空氣。（參考資料13：油氣探採-岩石的秘密：科技大觀園<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003?detailID=89f22bc9-e0af-4294-95ab-bacc72c541cf>）

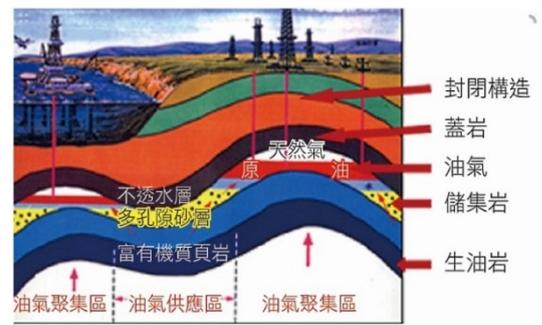


圖2：油田圖

(三)孔隙率的測定法：孔隙率（Porosity）定義為孔隙的體積與材料總體積的比率。

- 1.直接方法：測量多孔樣品的表觀體積和同質量無孔樣品的體積。
- 2.光學方法：因為對於隨機結構，整體的孔隙率應該和某一斷面的孔隙率相等，所以可以通過顯微鏡觀察材料斷面的孔隙率。
- 3.計算圖論方法：使用工業CT掃描的辦法，創立包括孔隙的樣品外在和內在幾何圖，然後使用計算機軟體進行缺陷分析。
- 4.浸沒法：在真空條件下，將多孔樣品浸入容易滲透入樣品孔隙的液體（純水）中。
- 5.氣體擴散法：已知表觀密度的樣品可以放入已知體積的容器中，該容器與另一個抽成真空的容器相連接，當兩容器之間的閥門打開時，氣體就會從樣品之中逸出，進入第二容器，兩容器之間會達到一種壓強平衡來測定。

（參考資料14：維基百科<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%AD%A6%E5%99%A4%E5%99%B7%E5%99%B7>）

三、研究項目

【研究一】出露化石的位置與環境

（一）決定採集化石與現生二枚貝的地點：

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。

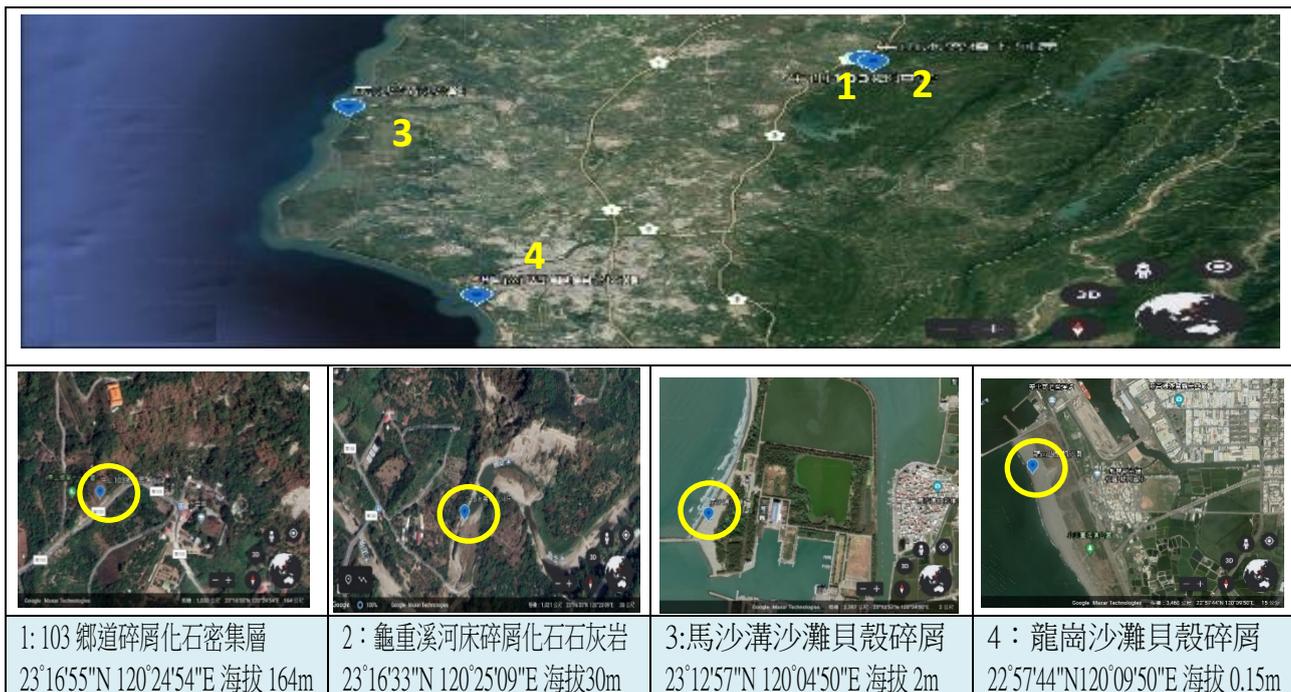


圖3：出露化石的位置空照圖

(二)出露化石的地層介紹與牛山背斜構造

位置	牛山區碎屑化石密集層	露頭描述
地質年代	更新世六重溪層	1.位置： 接近牛山牛肉崎派出所，應有公祠東側 103 鄉道路旁的陡崖面。
絕對年代	約180萬年前~130萬年前	
主要岩性	泥岩及砂岩	2.地層的位態： 牛山地區重要的構造為牛山背斜，此背斜為北北西—南南東，略向西彎曲的弧形狹長穹隆狀背斜，龜重溪幾乎切過軸部。露頭區在龜重溪北側，近軸部，地層近乎水平，在野外觀察到的地層位態略向西北向傾斜，但仍可視為水平。此崖面為建造道路開挖出來的剖面，雖為近似逆向坡，但並不明顯，呈層狀的地層，其界限幾乎可以水平延伸，道路由西漸向東呈緩傾斜，向東側呈近乎水平延伸。 (資料來源：參考資料3)
牛山地區地質圖 (中央地質調查所)		

圖4：出露化石的地層介紹

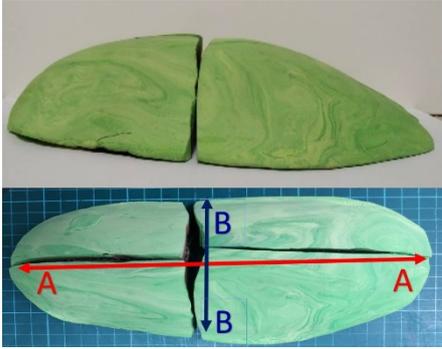
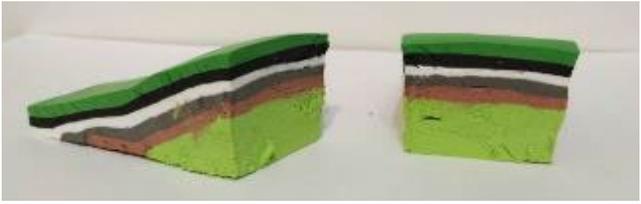
<p>一般背斜的型態，當順著俯視圖A-A方向剖開後，因為推擠力量來自左右兩側，所以地層由左至右依序為新地層、老地層與新地層，當順著B-B方向剖開後，可觀察到地層是呈水平堆積狀態(如左下圖)。</p> <p>本研究的牛山地區，雖然也是呈現一個背斜構造，但此區的特殊背斜構造稱為穹丘(Dome)，推擠力量是來自四個方向，所以會形成中間突起，類似於倒蓋碗公的形狀，當順著牛山背斜的A-A方向剖開或是B-B方向剖開，都可以從看到標準的背斜構造(如右下圖)，牛山背斜的特殊構造，是台灣僅有的。</p>	 <p>側視圖 俯視圖</p> <p>牛山背斜DOME構造模型</p>
 <p>一般背斜 A-A 剖面</p>	 <p>牛山背斜 A-A 剖面</p>
 <p>一般背斜 B-B 剖面</p>	 <p>牛山背斜 B-B 剖面</p>

圖5：牛山背斜構造說明

(三)野外調查記錄：

1.103鄉道碎屑化石密集層



圖6：103鄉道旁為牛山背斜的軸部構造區，地層約水平，但仍呈東北-西南走向，鄉道旁斜坡向東南傾斜60~70度，有三個位置明顯看到出露化石(電桿編號：671716,671717,671718)。



圖7:化石碎屑層在103鄉道旁斜坡上，長度大約150公尺。



圖8:化石岩層共有三層，水平分佈，以碎屑為主(占80%)。



圖9:用梯子爬上去觀察，可以看到有層狀的鐵質砂岩。



圖10:發現貝、螺、有孔蟲等多種類的碎屑化石。



圖11 :碎屑化石層，大部分呈密集堆積，少部分零散分布。



圖12:我們在岩層中看到許多砂棒型生痕化石。



圖13:化石上滴稀鹽酸會冒泡，代表有生物碎屑及碳酸鈣的膠結。



圖14:敲下岩塊的剖面，可以明顯地看到一層一層水平層理。



圖15: 化石數量較多，表示當時海浪水流能量強，營養源豐富。

2. 龜重溪河床生物碎屑化石石灰岩層



圖16:我們從牛山過水橋，往龜重溪上游看，在高遠處有三個露出來的牛山背斜地層(黃色圈)，因位在軸部呈水平狀，龜重溪右岸為六重溪層(紅色圈)，多為泥岩，龜重溪右岸消波塊處，有一個大量冒出天然氣與泥水的出口(橘色圈)，有濃濃硫磺味。



圖17:遠處露出來的地層幾乎水平，屬於牛山軸部。



圖18:在圖16紅色圈處採集六重溪層夾層的泥質砂岩。



圖19: 在圖16橘色圈處，有一處消波塊的空隙，有很大的天然氣和泥水一起冒出來。



圖20: 我們用排水集氣法蒐集河床上石縫中冒出來的油氣，點火有可燃性。



圖21: 在牛山便橋往下游30公尺的左岸，有一大片長方形石灰岩質化石層。



圖22: 石灰岩質化石層厚度約1公尺，長約70公尺，寬約10公尺，表層可看到破裂面。



圖23:石灰岩層中的海膽化石，保存相當完整。



圖24:化石量密集，螃蟹、二枚貝、單體珊瑚、有孔蟲等，完整或碎屑都有。



圖25:採集石灰岩層附近河水，pH值平均8.0，為弱鹼性。

3.馬沙溝沙灘貝殼碎屑

		
<p>圖26:沙丘坡面，看到密集的貝殼碎屑層。</p>	<p>圖27:貝殼碎屑分層存在，顯示為不同時期的堆積。</p>	<p>圖28:沙灘上密布鑽洞的痕跡，顯示穴居生物活動頻繁。</p>
		
<p>圖29: 當水流動能減小，貝殼碎屑就堆積在沙灘上呈零散分布(黃色圈)。</p>	<p>圖30: 撿拾現生的貝類外殼，做為室內實驗的材料。</p>	<p>圖31: 把馬沙溝的貝殼，帶回學校清洗並分類。</p>
		
<p>圖32: 將採集的化石圍岩泡水一天後取出。</p>	<p>圖33: 用細針剔除雜質後取出碎屑化石。</p>	<p>圖34: 將碎屑化石洗淨晾乾，確認種類。</p>

4.龍崗沙灘貝殼碎屑

		
<p>圖35: 海灘貝殼碎屑，越靠近海岸，堆積的貝殼粒徑越大。</p>	<p>圖36: 箭頭為水流方向，可以看到貝殼堆積也有方向性。</p>	<p>圖37: 當水流的動能減小，貝殼碎屑就密集的堆積在一起。</p>
		
<p>圖38: 沙灘上堆積的貝殼碎屑。</p>	<p>圖39: 塔螺的外觀比較完整。</p>	<p>圖40: 堆積的層面與生物鑽的洞。</p>

(四)結果與討論

1. 103鄉道碎屑化石密集層方面：

- (1)化石層共有三層，水平分佈，以碎屑為主(占80%)。
- (2)碎屑化石層，有的密集有的分散，表示在不同環境條件下形成，而且生物條件也不同。
- (3)分析碎屑化石，發現較細粒的碎屑化石成束狀膠結在一起，可觀察到有孔蟲、櫛齒類貝殼、螺、二枚貝等多種類化石，多為不完整的碎屑，以游標尺測量69片碎屑，其平均長度為5.24mm。
- (4)我們在砂岩層中，看到許多砂棒型生痕化石，長度大約20公分以下，顯示古環境為近海域的淺海或沙灘區，且穴居生物活動頻繁。
- (5)此地層大致為粗粒砂岩，我們分別採集了含碎屑化石較多、和含碎屑化石較少的砂岩，將進一步測量其孔隙率。

2. 龜重溪河床生物碎屑化石石灰岩層方面：

- (1)在牛山便橋往上游50公尺的右岸河床，有看到一個很大的天然氣和泥水流出，我們用排水集氣法蒐集河床上石縫中冒出來的油氣，點火有可燃性。
- (2)在牛山便橋往下游30公尺的左岸(水汴大橋上游左岸)，有一大片石灰岩質化石層，表面約10公分，呈一層棕色薄層，為略硬且較純的方解石質石灰岩，此化石層下方為化石密集層的鈣質砂岩，較上方的石灰岩鬆散，也是靠化石內溶析出的碳酸鈣膠結。
- (3)化石層的化石有海膽、螃蟹、二枚貝、單體珊瑚、有孔蟲等；化石量密集，完整個體或碎屑都有，化石層已達石灰岩的程度。
- (4)與周圍的六重溪層相比，化石層很堅硬，形成好像鋪了水泥的河床一般，我們採集了石灰岩層附近河水，pH值平均8.0，為弱鹼性。
- (5)此層應是103鄉道，碎屑化石密集層的另一層化石及其碎屑密集層。於龜重溪河道內，此層上部的夾層砂岩，被長時間的水流作用侵蝕、搬運帶走了，使得石灰岩層露出。

3. 馬沙溝沙灘貝殼碎屑方面：

表 1：馬沙溝沙灘貝殼碎屑分布表

項目	牡蠣殼	小貝殼	中貝殼	櫛齒類貝殼	螺殼	文蛤殼
重量(公克重)	955(人工)	25	445	15	20	170(人工)
形狀						

- (1)因為牛山103鄉道碎屑化石密集層，在台南曾文溪北側，所以我們選擇曾文溪北側的馬沙溝海邊採集貝類外殼，把撿到的貝殼帶回學校清洗並分類(如表1)。
- (2)扣除人工養殖的牡蠣殼和人為食用蒐集的文蛤殼，有發現櫛齒類貝殼、螺等多種類，與牛山103鄉道發現的碎屑化石相似。
- (3)海灘的沙丘坡面，看到密集的貝殼碎屑分層存在，與沙灘上密布鑽洞的痕跡，與牛山103鄉道發現密集的碎屑化石、砂棒生痕化石，都很接近。

4. 龍崗沙灘貝殼碎屑方面：

- (1)海灘的貝殼碎屑，越靠近海岸，堆積的貝殼粒徑較大。
- (2)發現當水流的動能減小，貝殼碎屑就密集的堆積在一起，也有一些呈零散分布。
- (3)這裡發現比較多現生塔螺，其結構比較堅硬，所以外觀都比較完整。
- (4)挖開沙灘，可以看到剖面上有一層層堆積的層面與生物的鑽洞，顯示沙灘上鑽洞的生物活動頻繁，與牛山區密集的砂棒生痕相比，推測古今有類似的生活環境。

5.比較龜重溪、水流東與滴水山三處化石密集石灰岩層，我們發現：

- (1)牛山地區龜重溪河床發現的石灰岩層，主要是由各種型態的生物碎屑所堆積而成的。
- (2)石灰岩為碳酸鈣成分很高的岩石，這些碳酸鈣主要來自於生物死後變成化石的成分，因此我們推測這些石灰岩層，其古環境必定有大量的生物存在。
- (3)我們查了資料，發現台南市的其他地區，也存在這樣的古生態環境所形成的石灰岩層，為了進一步了解石灰岩的成因，並與本研究區域比較，我們另外選擇六甲水流東扇貝密集層區(參考資料9)，與滴水山珊瑚礁區(參考資料10)，如下表所示：

表2：龜重溪、水流東與滴水山三處化石密集石灰岩層比較表

地點	牛山水沄大橋上游 龜重溪左岸河床 生物碎屑化石石灰岩	六甲水流東 扇貝化石密集層石灰岩	牛山水沄大橋東邊 滴水山 珊瑚礁石灰岩
地層	六重溪層 (更新世早期)	崁下寮層 (更新世中期)	崁下寮層 (更新世中期)
厚度與岩性	1~2公尺，僅上部10~20公分厚度呈石灰岩質，下部即為略疏鬆之碎屑化石密集層。	未被破壞，尚可辨認之單片或雙片扇貝殼約80%以上，全厚度達70~150公分與砂粒膠結呈較堅硬的生物化石石灰岩。	由多塊呈錐狀體的群體珊瑚組成的石灰岩，上部各錐體呈獨立，下部則為相連續的石灰岩，上下部的厚度可達6公尺。
化石性質	軟體動物貝類碎屑達60%左右，尚有圓平板狀海膽，單體珊瑚，蟹類，有孔蟲(以底棲性為主)。各類化石及碎屑，未見呈規則性分佈，亦未見呈明顯之方向性。	以扇貝化石為主(90%以上)，肉眼可見成束狀分佈的底棲性有孔蟲密集及零散的其他二枚貝化石。扇貝化石呈覆瓦狀排列甚為明顯，受水流搬運影響。	全為完整的群體珊瑚礁，偶爾也可見到少量貝類呈零散分佈。各珊瑚的群體向上方生長，未見有受搬運作用而使得珊瑚非向上生長的狀況。
化石指示的古生態	化石顯示生物物種略多些，當時之海域有多樣性生物，上部石灰岩質應與氣候冷熱令碳酸鈣易溶及易結晶均發生，應與冰期的發生有關。環境日照充足，有藻類可供海膽食用。	扇貝以二片殼上下拍打，使體內水由後耳孔擠出游泳前進。冰期的發生造成無海水供游泳，產生災難性的大量死亡，間冰期的海浪扮演搬運停積作用，此化石石灰岩層指示了冰期的存在。	群體珊瑚的存在，表示當時海水為清澈的透光帶、非河口區，鹽度35‰，水溫18℃~25℃之間，適合珊瑚生長的條件。
現場照片			

【研究二】現生二枚貝破壞模擬實驗

我們想透過滾動、撞擊等方式，模擬貝類等生物，在水流搬運過程中，外殼破碎的情形。

【實驗二~1】階梯滾落實驗

(一)實驗步驟

1. 依設計比例分別裝定量的二枚貝貝殼，於球體鐵罐和圓柱體鐵罐內。
2. 將鐵罐從角度50度、水平40公分、垂直45公分的木板斜坡頂放下，滾下12階的階梯，總高度225(180+45)公分，總水平長度400(360+40)公分。
3. 完成設計的滾動次數後，打開鐵罐，觀察破裂的情形。
4. 分別將完整與有破碎的貝殼秤重，並計算破裂率。



圖41：階梯實驗示意圖



圖42:把貝殼依照比例放入球體和圓柱體鐵罐內。

圖43：利用引導板和階梯進行貝殼破碎實驗。

圖44:把撞擊後的貝殼分成破碎和完整並秤重。

(二)實驗結果

表3：階梯實驗紀錄表

實驗	外罐 (公克重)	內容物 (公克重)	滾落階梯 次數	破裂殼 (公克重)	完整殼 (公克重)	破裂率 (%)
A	球體鐵罐 (100)	1.文蛤殼(50) 2.中貝殼(50)	20	25	75	25
B	球體鐵罐 (100)	1.文蛤殼(50) 2.中貝殼(50)	40	65	35	65
C	圓柱體 鐵罐(125)	1.牡蠣殼(50) 2.文蛤殼(50)	20	*60	*40	*60

*：圓柱體鐵罐會在半途的階梯上停止。

(三)結果討論

1. 由表3實驗A、B中發現，當滾落階梯次數加倍時，球體鐵罐內，二枚貝破裂的比率，由25%增加到65%，增加了40%。
2. 滾落階梯時，鐵罐內的二枚貝，受到類似水流搬運作用的滾動與撞擊作用，當作用次數增加時，二枚貝的破裂也會增加。
3. 因為破裂的碎片有大有小，難以正確判別破碎的程度，接下來我們要改用篩分析，並計算平均粒徑的方法，以正確比較破裂程度。
4. 實驗C中，圓柱體鐵罐會在半途的階梯上卡住或停止；球體鐵罐可以順暢滾落階梯，比較適合做實驗；接下來我們要改用球體鐵罐來做實驗。
5. 本實驗中，利用階梯滾落的方式，模擬水流搬運作用，階梯實驗需要跑上跑下，很沒有效率。所以我們將階梯實驗分成撞擊實驗與滾動實驗，更有效率的進行實驗模擬。

【實驗二~2】撞擊實驗

(一)實驗步驟

- 1.我們設計一個撞擊台，撞擊高度為130公分，取代階梯實驗中只有15公分的撞擊高度，如圖45。
- 2.重物：將螺帽用塑膠袋與膠帶包裹，分成500公克重與1000公克重兩種重物，放在控制桿上，使它自由落下。
- 3.貝殼：將牡蠣殼200公克重，用布製標本袋包裹，置於底部鐵箱內，上面再覆蓋一片鐵板，以平均撞擊力。
- 4.將重物用鐵桿控制，以自由落體的方式掉落，撞擊鐵板與底下的貝殼袋。
- 5.每回撞擊10次後，取出標本袋，將破碎的貝殼進行篩分析，連續撞擊三回。
- 6.採取的篩網為銅製，共分五層，孔目大小分別為 1：25.4 mm；2：9.52 mm；3：4.75 mm；4：2.00 mm；5：0.0 mm(底盤)，合力兩人握住銅篩，上下垂直震動三分鐘。
- 7.繪製累積通過百分比曲線圖，並計算平均粒徑= $(1號篩網孔目大小 * 停留1號篩網重量 + \dots + 底盤篩網孔目大小 * 停留底盤篩網重量) / (全部篩網停留總重量)$ 。

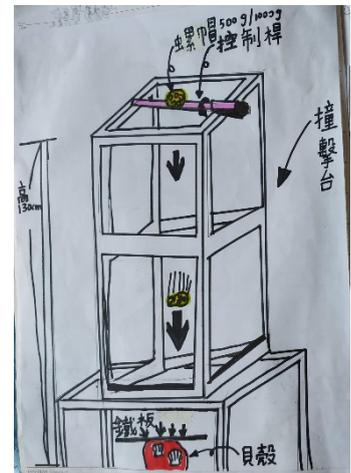


圖45：撞擊實驗示意圖

		
<p>圖46：重物放在控制桿上，使其自由落下。</p>	<p>圖47：將牡蠣殼用標本袋包裹，置於底部鐵箱內。</p>	<p>圖48：撞擊10次後，取出標本袋，將牡蠣殼倒入篩網。</p>
		
<p>圖49：合力兩人握住銅篩，上下垂直震動三分鐘。</p>	<p>圖50：篩分析後，各篩網的牡蠣分布情形。</p>	<p>圖51：各篩網分別秤重。</p>

(二) 實驗紀錄(實驗數據詳見實驗紀錄簿)

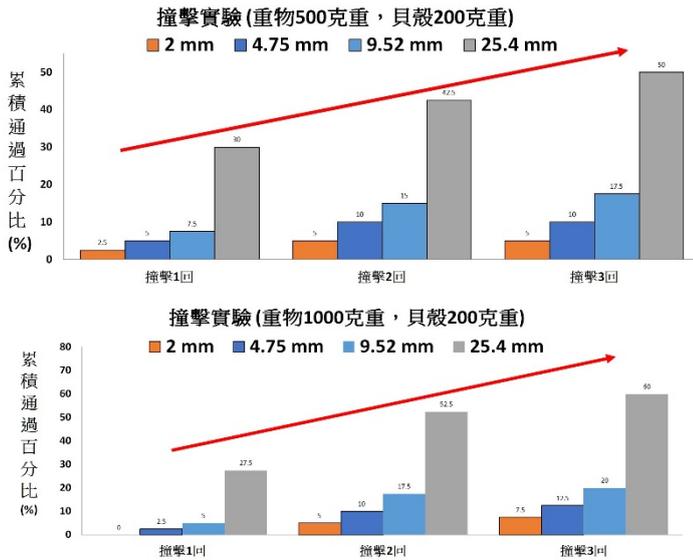


圖52：撞擊實驗粒徑分析圖

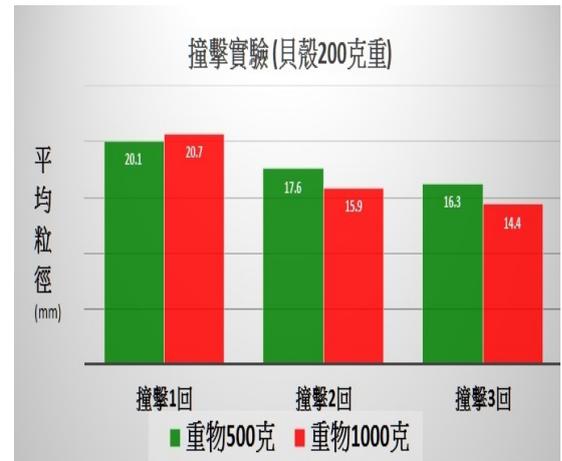


圖53：撞擊實驗平均粒徑圖

(三) 結果討論

- 1.由圖53，當重物撞擊力為500公克重時，第三回的平均粒徑16.3 mm，比第一回20.1 mm減少19%；當撞擊力為1000公克重時，第三回的平均粒徑14.4 mm，比第一回20.7 mm減少30%。
- 2.由圖52，無論重物撞擊力為500或1000公克重，三回實驗(每回撞擊10次)中，第二回的粒徑減小量最多，可能是因為經過第一回的10次撞擊，大多數貝殼已經裂開，受力面積加大，使得第二回的破碎會較明顯。
- 3.第二回和第三回的差異卻變小了，因為第二回實驗後，貝殼已經碎得很小了，很難再繼續破碎。
- 4.我們發現撞擊力加倍時，三回撞擊後的粒徑減小率從19%增加到30%，顯示當撞擊力越大時，貝殼就越破碎。

【實驗二~3】滾動實驗

(一) 實驗步驟

- 1.我們利用電動攪拌機(利明牌減速機，0.75千瓦)，設定攪拌頻率每分鐘約200轉，每次轉動時間10分鐘，如圖54。
- 2.滾動容器：經測試後發現用球體的容器滾動最順暢，我們採用直徑12公分的球體鐵罐。
- 3.貝殼：取二枚貝殼100公克重，塔螺100公克重、螺帽3顆106公克重，分成(1)貝殼組；(2)貝殼+螺帽；(3)塔螺；(4)塔螺+螺帽等四種組合，放入鐵罐內，密合後外面再加兩層膠帶固定，以避免在滾動過程中裂開。
- 4.每次放入兩個鐵罐，分別放在電動攪拌棒兩側，啟動滾動開關。
- 5.滾動10分鐘後，取出破碎的貝殼進行篩分析，連續三次。
- 6.採取的篩網為銅製，共分五層，孔目大小分別為1：25.4 mm；2：9.52 mm；3：4.75 mm；4：2.00 mm；5：0.0 mm (底盤)，合力兩人握住銅篩，上下垂直震動三分鐘。
- 7.繪製累積通過百分比曲線圖，並計算平均粒徑=(1號篩網孔目直徑*停留1號篩網重量+...+底盤篩網孔目直徑*停留底盤篩網重量)/(全部篩網停留總重量)。



圖54：滾動實驗示意圖

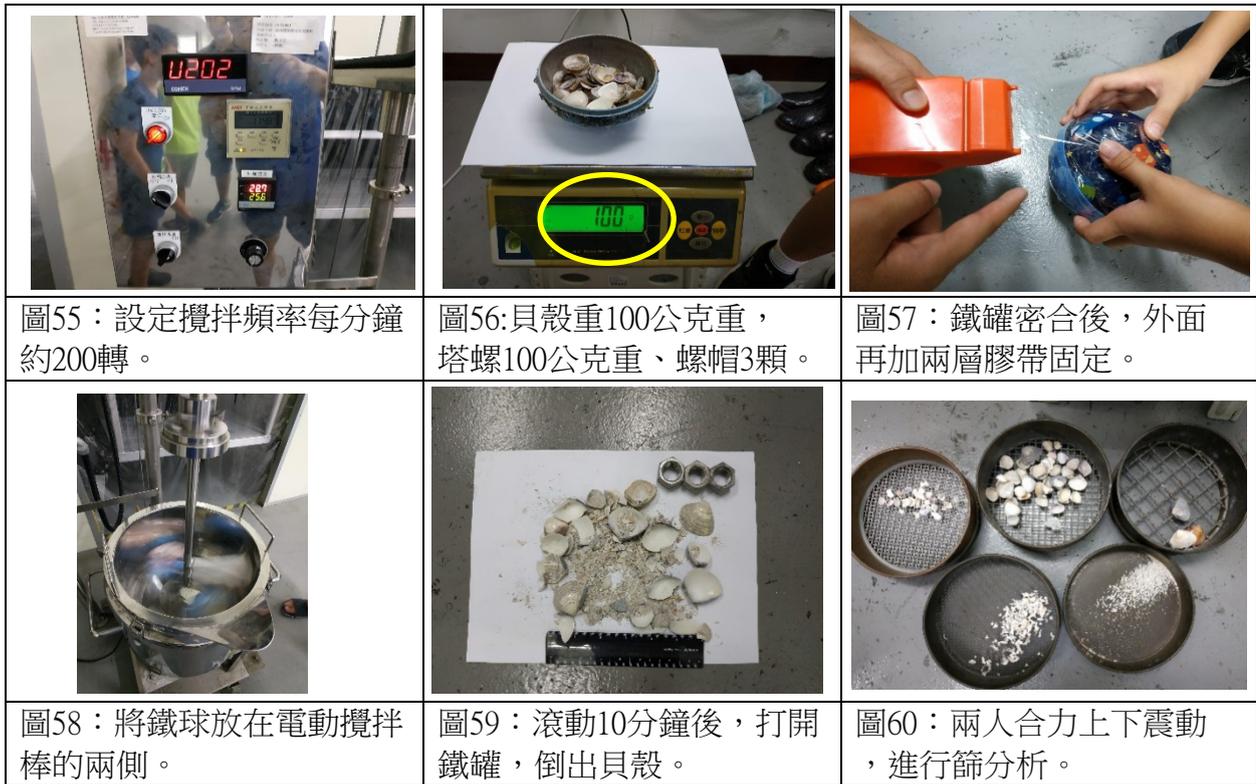


圖55：設定攪拌頻率每分鐘約200轉。

圖56：貝殼重100公克重，塔螺100公克重、螺帽3顆。

圖57：鐵罐密合後，外面再加兩層膠帶固定。

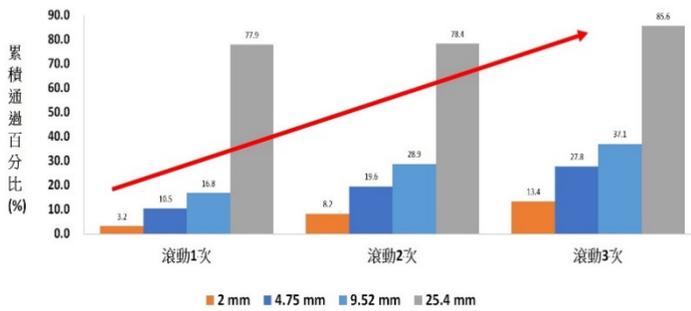
圖58：將鐵球放在電動攪拌棒的兩側。

圖59：滾動10分鐘後，打開鐵罐，倒出貝殼。

圖60：兩人合力上下震動，進行篩分析。

(二)實驗紀錄(實驗數據詳見實驗紀錄簿)

滾動實驗 (滾動時間每次10分鐘，貝殼100克重)



滾動實驗 (滾動時間每次10分鐘，貝殼100克重+螺帽)

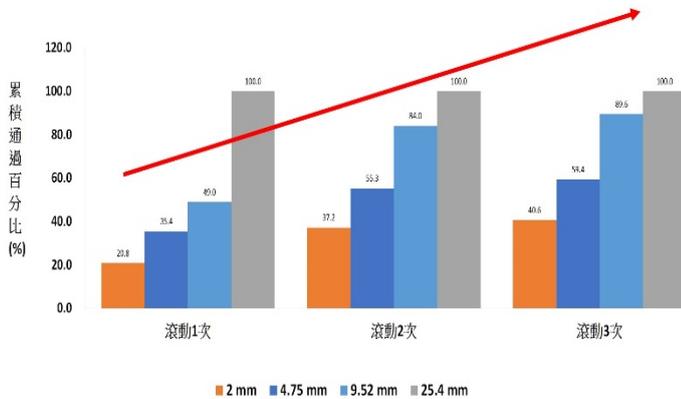


圖61：滾動實驗粒徑分析圖

滾動實驗 (每次10分鐘，貝殼100克重)

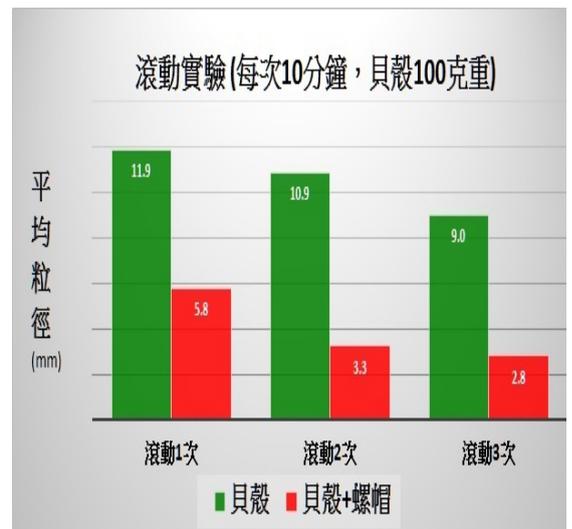


圖62：滾動實驗平均粒徑圖

(三)結果與討論

- 1.由圖62，當滾動貝殼三次時，平均粒徑從11.9 mm減小到9.0 mm，減少24%；當加入螺帽時，滾動三次，平均粒徑從5.8 mm減小到2.8 mm，減少52%。
- 2.由圖62，比較沒有加螺帽組和有加螺帽組滾動第一次的結果，顯示當加入螺帽一起滾動十分鐘後，貝殼的平均粒徑，從11.9 mm降低到5.8 mm，非常明顯的變小了。
- 3.由圖61，顯示加入螺帽的實驗結果，使得撞擊、滾動與摩擦力增大，對於貝殼產生很大的破碎力量，而且在第二回實驗後，貝殼已經碎得很小了。
- 4.我們認為加螺帽一起滾動的實驗模式，可以模擬貝類與海底石塊之間的撞擊、翻滾與摩擦等作用，產生的碎屑與現生海岸堆積的碎屑、碎屑化石層的碎屑最相似。
- 5.實驗中發現，塔螺結構較堅硬，只有尖段斷裂，大部分完整的停留在二號篩(9.52 mm)的篩網上；而二枚貝比較容易破碎，且大部分破碎的位置，都是在貝殼的前緣。
- 6.我們將現生貝類與螺類的破壞情形，與我們在化石密集層中，用針挑法取出的化石碎屑比較分析後發現：

(1)圖63中，圖黃1與黃2分別為扇貝的上視圖與側視圖，因為扇貝殼生長的模式，會使殼前緣的尖端處(紅色框區域)，因為較薄而變成較脆弱的地方，當外力破壞時，紅色框區域就很容易產生破裂，因此於化石密集層中，可以找到大量的扇貝殼前緣處的碎屑化石(如圖63中黃3與黃4所示)；在我們做的現生二枚貝-滾動實驗中，也可以發現很多貝殼前緣碎屑，如圖黃5所示。

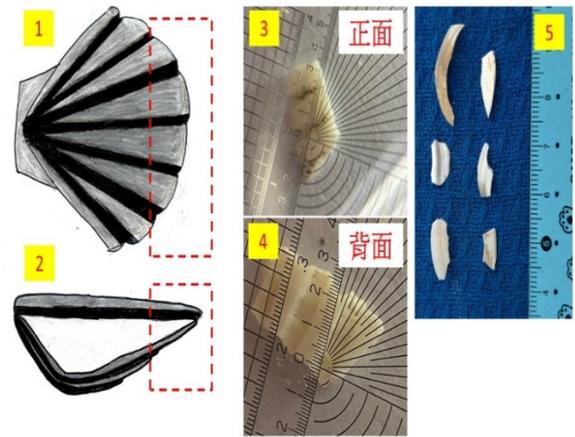


圖63：碎屑化石分析1

(2)圖64中，在化石密集層中，有發現螺類的碎屑化石，但比較特別的是外殼已全部被破壞，而只留下上方的軸部處(紅色框區域)，造成此現象的原因，可能是下方的軸部，具有較堅固的旋轉結構支撐，所以當搬運過程中遇外力來時，會將上方的軸部與外殼破壞，使這部分產生斷裂。

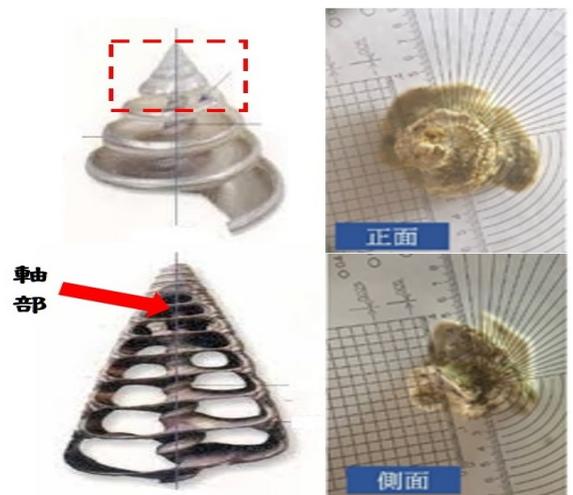


圖64：碎屑化石分析2
(螺殼圖片來源:參考資料15)

- 7.我們推測貝類與螺類外殼破壞的位置，和本身構造的強弱，有相當的關係，在搬運過程的撞擊滾動和摩擦作用下，貝類與螺類較薄、較脆弱的地方，會較容易破碎。

【研究三】碎屑搬運堆積之水流模擬實驗

我們在研究二中，是用重物撞擊與攪拌機滾動的方式，模擬貝類生物受到不同能量的外力作用時，外殼破碎的程度。本研究想透過水槽的水流實驗，模擬出不同粒徑的貝類，在水流搬運作用的過程中，其外殼與碎屑停積的情形。

【實驗三~1】水流實驗1

(一)實驗全景配置(圖65)

- 1.實驗水槽:長方形壓克力水箱，長*寬*高=120*40*30公分，分成造浪區、放置區與堆積區三大區域。
- 2.儲水桶:長方形塑膠水桶，長*寬*高=75*55*50公分，負責供水與儲水。
- 3.沉水幫浦:兩台CAP-3000(抽水量每小時3000公升)的幫浦，一台於儲水桶抽水至實驗水槽(進水管路)，一顆於實驗水槽抽水至儲水桶(排水管路)。

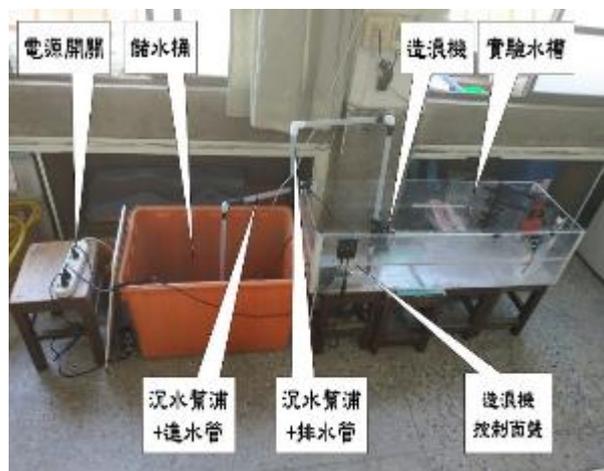


圖65：水流實驗全景配置圖

- 4.流量控制：我們採用WP-40造浪機的造流模式(H-flow)，模擬水流前進的情形，再由控制面盤燈號，調整水流能量強度。
- 5.實驗水深：經過多次實測最佳水流模式，採用水深15公分。
- 6.造浪時間：至實驗用的貝殼完全堆積不再移動位置為止，每次約20分鐘。
- 7.流速計算：



- (1)將氣球灌水成水球，放於水槽中，讓它載浮載沉隨水流前進。
- (2)在水槽的水面處，橫向貼布尺，方便讀出水球位置座標。

表4：造流模式對應的流速表

- (3)用手機錄影，錄下水球的流動影片，如圖66。
- (4)以Potplayer軟體，擷取水球流動的圖片，時間間隔0.2秒，計算水球移動距離，如圖67，圖68。
- (5)公式：速率=距離/時間，計算三種顏色的水球流速，取其平均值為水流流速。
- (6)造流模式對應的流速表如表4：

模式	第一次 (cm/sec)	第二次 (cm/sec)	第三次 (cm/sec)	平均流速 (cm/sec)
大能量海流模式 (flowH8)	20.00	25.00	20.00	21.67
小能量海流模式 (flowH5)	15.00	15.00	15.00	15.00

當造浪機的水流能量越大時，水流流速越快。

(二)水槽實驗的四種模式：

	水槽各區配置圖	主要改變項目
1. 沙質海底模式		<ol style="list-style-type: none"> 1.在造浪機下方墊一塊30公分寬的壓克力板。 2.設置砂質海底坡度長：高=45：6(公分)坡度約8度。
2. 水流分隔板模式		<ol style="list-style-type: none"> 1.設置水流分隔板長*寬*高=100*1.5*30公分，上面再加兩塊固定橫板。 2.在水流轉彎處，放置消波塊，以減少亂流。
3. 減少回流模式		<ol style="list-style-type: none"> 1.分隔板斜放，以喇叭狀擴大到第一堆積區，經過迴流區後，再擴大到第二堆積區。 2.貝殼粒徑改變：放置區放細粒徑貝殼碎屑。
4. 減少亂流模式		<ol style="list-style-type: none"> 1.把造浪機放到造浪區的最前端。 2.在水槽右側迴流區，加兩塊斜隔板(兩邊比10:17公分，30-60-90度角)，可以減少角落的漩渦亂流。

圖69：實驗水槽配置圖

(三)實驗結果與討論

1.沙質海底模式實驗

		
圖70：造浪區WP-40造浪機。	圖71:造浪機下方墊壓克力板。	圖72:右側堆積區設置海沙。
		
圖73：中段為貝殼放置區。	圖74：貝殼堆積在砂質海底前端。	圖75:貝殼有少部分堆積在後端。

(1).我們發現水槽水流先水平前進，碰到尾端的壓克力板後，會向下回流。有些回流到造浪機底部附近沉積。

(2).我們認為水流搬運貝殼前進，碰到向上斜坡時，會因水深變淺，流速變慢而較容易堆積；而部分貝殼隨著回流，被搬運到造浪機下方堆積。為了讓水流長度變長，以方便觀察貝殼堆積情形，我們決定在水槽中間加一個分隔板，繼續進行水流實驗。

2.水流分隔板模式

		
圖76:分隔板上加兩塊固定板。	圖77：造浪區長20公分。	圖78：第一堆積區長40公分。
		
圖79：在迴流區放置消波塊，以減少亂流。	圖80：利用篩網，採用兩種中等粒徑混合做實驗。	圖81：加了水流分隔板後，水流可以不斷循環。
		
圖82：許多貝殼被回流到造浪機底部。	圖83：大部分貝殼堆積在第一堆積區。	圖84：第二堆積區的底層海砂呈壟狀堆積。

表5：水流分隔板模式碎屑堆積分布表

模式	造浪區(%)	第一堆積區(%)	第二堆積區(%)
水流模式(flowH5)	30	65	5

- (1).由表5，大部分的貝殼(65%)密集堆積在第一堆積區，顯示此區水流的動能減低，使得中粒徑的貝殼，密集的堆積下來。
- (2).第二堆積區的底層有少量的貝殼堆積(5%)，底部海砂呈壟狀堆積，與我們在沙灘上看到水流的水紋路一致，都是水流的搬運作用造成的沙痕。
- (3).加了水流分隔板後，雖然水流可以不斷循環，但是造浪區還是有水流回流現象；雖然放置消波塊，在水流轉彎處的迴流區，仍有流速不穩定的現象。我們將繼續改進實驗配置，讓水流更穩定；並採用更細、更輕的貝殼碎屑，觀察搬運堆積的情形。

3.減少回流模式

		
圖85：取出停留於孔徑2 mm 篩網的細貝殼碎屑100克。	圖86：將分隔板斜放，使水道擴大呈喇叭狀。	圖87：在角落放消波塊以減少漩渦亂流。
		
圖88：74%碎屑在第一堆積區 (紅色虛線為分隔板)。	圖89：少量的碎屑(11%)分散在造浪區。	圖90：撈起碎屑後，再曬乾秤重。

表6：減少回流模式碎屑堆積分布表

模式	造浪區(%)	第一堆積區(%)	第二堆積區(%)
水流模式(flowH8)	11	74	15

- (1).實驗顯示，當把水流分隔板斜放，讓水道漸漸放寬，水流可以較慢而穩定前進，較有利於堆積。由表6，第一堆積區堆積的碎屑貝殼達74%，比前一次的65%增加。
- (2).當把水流分隔板斜放，讓水道漸漸放寬，同時也減少了回流，回流到造浪區的碎屑貝殼剩下11%，也比前一次的30%減少了。
- (3).本模式中，雖然放置消波塊，但是在水流轉彎處的迴流區，仍有流速不穩定的亂流現象；我們將繼續改進實驗配置，讓水流搬運能力更強，並比較細、中、粗三種粒徑貝殼的搬運堆積情形。

4.減少亂流模式

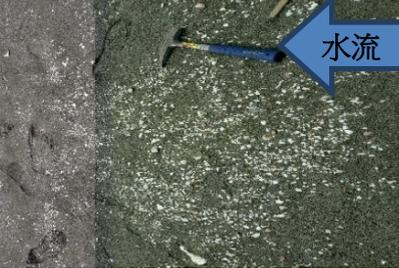
		
<p>圖91：在迴流區，加兩塊斜隔板(30-60-90度角)，減少轉彎處的亂流。</p>	<p>圖92：用水球測試，水流更順暢，沒有停止或旋轉的現象。</p>	<p>圖93：當造浪機往前移，水流推力增強，實驗後大部分的顆粒堆積在一起。</p>
		
<p>圖94：細粒徑73%密集堆積(中心線36公分處)。</p>	<p>圖95：中粒徑65%密集堆積(中心線32公分處)。</p>	<p>圖96：粗粒徑60%密集堆積(中心線28公分處)。</p>
		
<p>圖97：沙灘貝殼碎屑被海浪搬運堆積情形。</p>	<p>圖98：實驗水槽粗、中、細粒徑貝殼，密集堆積情形。</p>	<p>圖99：龍崗沙灘貝殼粒徑較粗的，會先堆積。</p>

表7：減少亂流模式碎屑堆積分布表

水流模式(flowH8)	造浪區(%)	密集堆積區(%)	分散堆積(%)
細粒徑(停留在孔目2.00mm篩)	8%	73%(中心線36cm)	19%
中粒徑(停留在孔目4.75mm篩)	4%	85%(中心線32cm)	11%
粗粒徑(停留在孔目9.52mm篩)	3%	60%(中心線28cm)	37%

- (1).由圖91到圖92，在迴流區加兩塊斜隔板(30-60-90度角)，可以減少轉彎處的亂流，使水流更順暢，沒有停止或旋轉的現象。
- (2).由表7，發現當將造浪機往前移動，實驗後大部分(60%~83%)的顆粒，密集堆積在第二堆積區的位置，顯示水流的動能，在此區已經減弱，因此碎屑貝殼會堆積下來。
- (3).由圖94到圖97，顯示在水流搬運作用下，水流的能量隨著距離而減低，使得相同粒徑的碎屑貝殼，會堆積在一起，粒徑越細，密集堆積的距離越遠。
- (4).比較圖98與圖99，可以看到實驗水槽粗、中、細粒徑貝殼，堆積的順序和野外沙灘上的堆積順序相當類似。粒徑較粗的，會在近處堆積；粒徑較細的，會在遠處堆積。

【研究四】砂岩孔隙率實驗

由前面的研究，我們認為牛山碎屑化石密集層的古環境，可能是較強勁的水流，將貝殼碎屑和中粗粒砂，搬運來這裡沉積，形成孔隙率較大的地層。我們從中油的鑽探資料中(參考資料4)，知道這裡是背斜地形的構造高區，底下有許多高孔隙率的油氣儲集層，因此我們決定進行砂岩孔隙率的測量實驗，來驗證我們的想法。

【實驗四~1】孔隙率實驗 1(水)

(一)實驗步驟：

1.岩塊之乾重量測

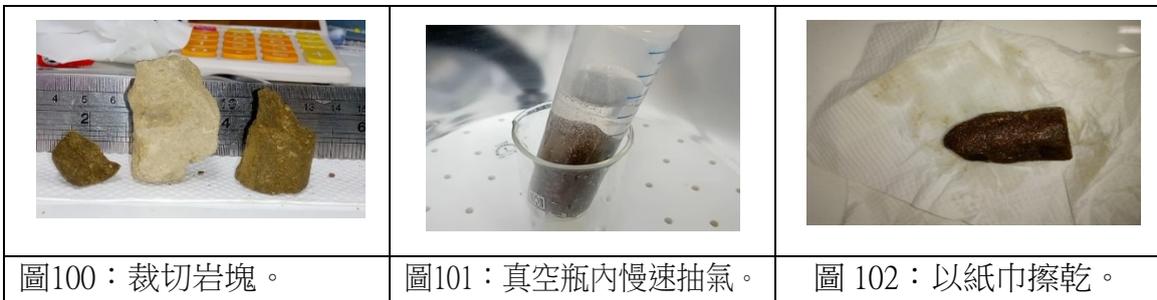
- (1)先取 103 鄉道旁砂岩 2 塊，裁切至長寬高各約 2~5 公分大小的岩塊，以毛刷去除外部粉塵後，放置於電子秤稱重，如圖 100。
- (2)將岩塊置於 120°C 的烘箱烘烤 3 小時，每 24 小時量測一次重量，連續測 72 小時以上至其重量變化小於 0.2% 為止，其最終乾重量為①。

2.岩塊體積量測

- (1)將 400 ml 燒杯裝入 200 ml 蒸餾水。
- (2)將烘乾冷卻後之岩塊置入此燒杯裡，並立刻記錄水位上升刻度，以計算岩塊體積為②。

3.岩塊之濕重量測

- (1)將裝有岩塊的燒杯，放入真空乾燥瓶進行慢速抽氣。
- (2)反覆抽氣後直到幾乎沒有氣泡冒出，如圖 101。
- (3)破真空後，取出岩塊，以紙巾擦乾外部多餘水分(如圖 102)，立即將岩塊置於電子秤稱重，其數據為③。
- (4)因水密度為 1g/cm^3 ，所以③及①的差值可視為孔隙體積。
- (5)孔隙率=(岩塊孔隙體積/岩塊體積)×100%， $[(③-①) / ②] \times 100\%$



4.實驗流程圖

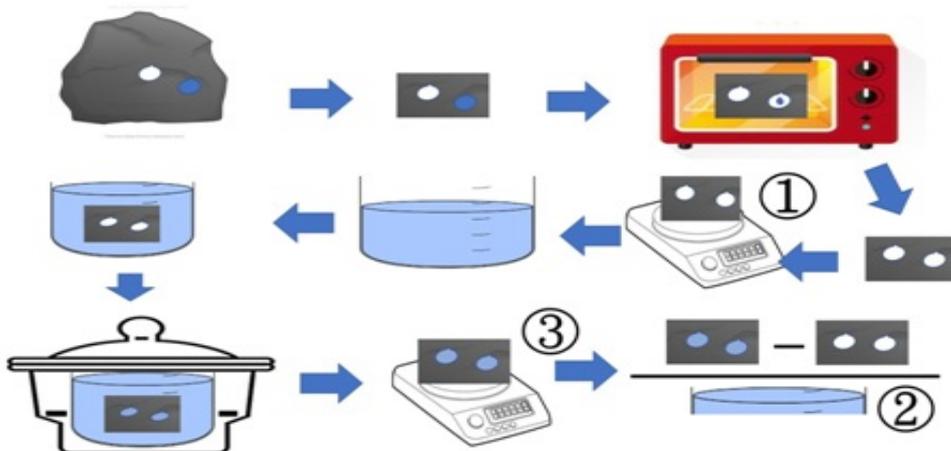


圖 103：孔隙率實驗 1 流程圖

(二)實驗記錄

表 8：孔隙率實驗 1 岩塊孔隙率表

項目	烘乾前重(g)	第一天岩塊重(g)	第二天岩塊重(g)	第三天岩塊重(g) ①	岩塊體積(ml) ②	濕重(g) ③	孔隙率(%)
小岩塊	66.09	64.81	64.73	64.72	34	73.56	25.9
大岩塊	74.43	73.07	73.03	72.93	38	79.02	16



圖104：將岩塊置於水內抽真空，過程中岩塊崩解裂開。

圖105：從油井地質構造圖，想到用針車油取代水。

圖106:岩塊浸於針車油內抽真空，可維持完整無崩解。



圖107：油田地質構造圖

<https://blog.xuite.net/leejpme/blog/30552461>

(三)結果討論

1. 從表 8 中，小岩塊孔隙率 25.9%，大岩塊孔隙率 16%，兩者有相當差距；本實驗是用同一塊砂岩敲出大小塊，孔隙率應該相近，我們認為可能是因為在抽真空的過程中，岩塊會崩解裂開(圖 104)，造成測量上的誤差。
2. 另一個可能的誤差，就是測量岩塊乾重後，用排水法測量體積，可能會有少量的水滲入岩塊孔隙內而產生誤差。所以我們決定下次實驗先測量岩塊濕重，當孔隙內被液體充滿時，再用排水法測量體積，以減少誤差。
3. 因為牛山有油礦開採的歷史紀錄(參考資料 1)，所以我們從油田地質構造圖(圖 107)中發現，含有油氣的砂岩層是浸泡在油氣中的，所以我們決定將砂岩浸泡在針車油內，用針車油取代水進行實驗，看看是否能減少崩解。
4. 實驗結果顯示，當岩塊浸於針車油內，放入真空乾燥瓶抽真空，可維持完整無崩解(圖 105、圖 106)。
5. 由於市面上售出的針車油，我們無法取得密度、成分等相關資料，我們透過專業機構取得基礎白油，將進一步進行砂岩浸沒水與浸沒白油的比較實驗。

【實驗四~2】砂岩浸沒水與浸沒白油比較

(一)實驗步驟

1.導電度量測：

(1)取三塊野外採集的砂岩：

編號 2：龜重溪夾層砂岩(含泥量高)

編號 3：103 鄉道砂岩(含碎屑化石多)

編號 4：103 鄉道砂岩(含碎屑化石少)

(2)將三塊砂岩分別浸泡於自來水中，一杯無浸泡砂岩的自來水為對照組(編號 1)，浸泡 72 小時，如圖 108。

(3)用導電度量測器(suntex EC-210)測量編號 1~4 的水溶液導電度，圖 109、圖 110。

(4)用 2 顆 1.5V 的乾電池，串聯小型 LED 燈泡，利用燈泡的亮度，來比較水溶液的導電度，如圖 111。

2. 浸泡白油：

- (1) 我們採用的白油(圖 116)。名稱：基礎白油(white oil)，CAS NO：64742-54-7，成分百分比：觸媒脫蠟石蠟油 100%，密度：0.843 克/立方公分。
- (2) 將與導電度量測步驟(1)相同位置採集的三塊砂岩分別浸泡於白油中，浸泡 72 小時後，與浸泡自來水 72 小時的三塊砂岩做比較，觀察其崩解情形。

			
圖 108：砂岩分別浸泡於自來水中。	圖 109：測量水溶液導電度。	圖 110：導電度測量器(suntext EC-210)	圖 111：LED 燈泡比較水溶液導電度。
			
圖 112：浸泡於自來水中 72 小時。	圖 113：浸水產生不同程度的分解。	圖 114：浸泡於白油中 72 小時。	圖 115：浸泡油中完整沒有分解。

(二) 實驗結果與討論

表 9：導電度測量

水溫 28°C	1. 自來水	2. 龜重溪夾層砂岩 (含泥量高)	3. 103 鄉道砂岩 (含碎屑化石多)	4. 103 鄉道砂岩 (含碎屑化石少)
導電度(ms/cm)	0.47	0.76	0.50	0.56
LED 燈泡亮度	比較不亮	比較亮	比較不亮	比較不亮

1. 由圖 112 與圖 113，可看到編號 2 砂岩完全崩解成泥狀，編號 3 的砂岩保持完整無崩解，編號 4 的砂岩則部分崩解。我們取出崩解的顆粒洗淨曬乾，編號 2 龜重溪夾層砂岩，用手指搓揉會有光滑的感覺，顆粒比指紋小，加水可搓成小泥球；編號 4 砂岩用手指搓揉會有顆粒的感覺，顆粒比指紋大。我們認為龜重溪的夾層砂岩含泥量較高，屬泥質砂岩，容易在水中崩解；103 鄉道砂岩，則為較粗的砂岩顆粒所形成。
2. 由表 9，在導電度和 LED 燈泡亮度方面，測量結果是 2>4>3(砂岩編號)，顯示導電度和砂岩在水溶液中崩解的程度有關。
3. 為了更準確檢測砂岩水溶液分解物，我們將 103 鄉道砂岩浸泡 RO 水，把水溶液拿去專業機構，進行 **ICP(感應耦合電漿)- MS(質譜儀)檢測**，結果如表 10：
 - (1) 水中鈣金屬濃度最大(24.6 ppm)，推測是砂岩中碳酸鈣成分溶解於水，可**證明砂岩主要是碳酸鈣膠結而形成**。
 - (2) 水中鈉金屬、鎂金屬濃度，分別為 12.0 ppm、13.2 ppm，推測是砂岩塊中的氯化鈉鹽、氯化鎂鹽溶解於水，可**證明砂岩形成於古海水環境**。

表 10：ICP-MS(質譜儀)檢測表

金屬-ICP(T25)		
Na	Mg	Al
ppm	ppm	ppm
12.0	13.2	ND
1	1	1
		ND<1
K	Ca	Fe
ppm	ppm	ppm
1.6	24.6	ND
1	1	1
		ND<1

(3)我們推測牛山地區古環境的生物，或生物遺骸的數量豐富，使得沉積物形成鈣質砂岩；因為六重溪層的砂岩中，不同位置的含泥量和碳酸鈣膠結程度不同，因此造成砂岩水溶液不同程度的崩解。

4.由圖 114 與圖 115，三塊浸泡白油 72 小時的砂岩，均非常完整無崩解。經過多次測試，我們採用基礎白油(white oil)(圖 116)，(CAS NO.): 64742-54-7，成分百分比：觸媒脫蠟石蠟油 100%，密度：0.843 克/立方公分(25°C)。

5.我們認為在真空乾燥瓶，抽真空的過程中，因為瓶內外的壓力差，使得水的滲透作用，破壞了岩塊的膠結，造成岩塊的崩解；而基礎白油的成分，不會在滲透過程中破壞膠結，使砂岩塊保持完整，適合用來測量孔隙率。

6.我們查了中油與其他機構的岩塊孔隙率實驗方法，大多是用專業孔隙率測定儀，用水、氣體等為通過孔隙的流體；我們發現砂岩塊浸泡油不會崩解，可以用抽真空法簡易的測量出孔隙率。



圖116：基礎白油

7.將岩塊浸沒於白油中來測量其孔隙率，是前人研究中沒有人做過的；接下來的實驗，我們將用此方法，比較各種不同岩塊的孔隙率。

【實驗四~3】孔隙率實驗 2(白油)

(一)實驗步驟

1. 岩塊乾重量測：

(1)採集四種牛山六重溪層的砂岩：

- I. 編號 H-103 鄉道旁砂岩(含碎屑化石較多)
- II. 編號 K-103 鄉道旁砂岩(含碎屑化石較少)
- III. 編號 L-龜重溪河岸夾層砂岩(含泥量高)
- IV. 編號 T-龜重溪河床生物碎屑化石石灰岩
- V. 驗證用-專業機構砂岩樣本-Daley dale

(直徑 2.45 cm 高 1.42 cm 體積 6.69 cm³，如圖 117)



圖117：砂岩樣本Daley dale

(2)用鋸子和砂紙，切割研磨成長寬高各約 3 公分大小之岩塊，以毛刷去除外部粉塵後，放置於電子秤稱重。

(3)稱原始岩塊重，將岩塊置於 120~130°C 的烤箱烘烤 3 小時，每 24 小時量測一次重量，連續 72 小時以上，至其重量變化小於 0.2%，此重量值為乾岩塊重①。

2. 岩塊濕重量測：

(1)將乾岩塊放入 2 個裝滿白油 500 ml 燒杯內。

(2)將燒杯放入真空乾燥瓶，用真空幫浦(圖 124)進行慢速抽氣，使瓶內接近真空。

(3)抽真空過程中，因為白油進入岩塊內，岩塊孔隙中的空氣會大量湧出(圖 126)。

(4)反覆抽真空，直到岩塊孔隙沒有氣泡冒出。

(5)破真空後，取出孔隙充滿白油的岩塊，以紙巾擦乾外部多餘白油，立即將孔隙充滿白油的濕岩塊稱重，其數值為③。

3. 岩塊體積量測

- (1) 以游標尺測量圓柱形量筒的直徑為 4.67 cm，計算其底面積(半徑*半徑*3.14)。
- (2) 將圓柱形量筒桶裝入基礎白油至高度 16 cm。
- (3) 用工具將濕岩塊輕輕放入白油內，要完全浸入。
- (4) 記錄白油上升之高度，岩塊總體積②=量筒底面積*白油上升高度。

4. 孔隙率計算

- (1) 根據檢驗報告(詳實驗記錄)，在 25°C 時，白油密度為 0.843 g/cm³，所以
孔隙體積④=(濕岩塊重③-乾岩塊重①)/0.843。
 - (2) 孔隙率=(岩塊孔隙體積/岩塊總體積)×100%，(④/②)×100%。
5. 每次取 9 塊六重溪層砂岩，重複步驟 1~4，完成孔隙率實驗。

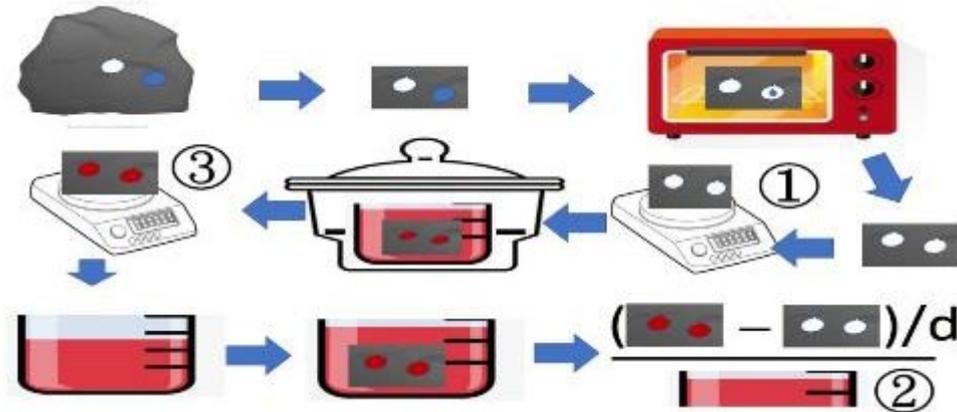
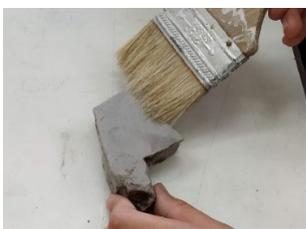


圖 118：孔隙率實驗 2 流程圖

			
圖119:切割研磨砂岩。	圖120:去除外部粉塵。	圖121:烤箱烘烤。	圖122:測量砂岩乾重。
			
圖123:將砂岩放入裝滿白油500 ml燒杯內。	圖124:燒杯放入真空乾燥瓶。	圖125:以真空幫浦進行慢速抽氣。	圖126:抽真空時孔隙中的空氣湧出。
			
圖127：取出岩塊以紙巾擦乾多餘白油。	圖128：將孔隙充滿白油的濕岩塊稱重。	圖129：用游標尺測量量筒內徑。	圖130：用排油法記錄上升高度。

(二)實驗記錄

表 11：岩塊孔隙率實驗 2 紀錄表

位置	編號	前一次乾重	乾重(克)(1)	二次乾重誤差%	排油上升高度(公分)	總體積(立方公分)(2)	濕重(克)(3)	孔隙體積(立方公分)(4)	孔隙率(%)
103鄉道旁砂岩-含碎屑化石多	H11	48.02	47.92	0.21	1.20	20.54	51.8	4.60	22.40
	H12	90.02	90.00	0.02	2.10	35.95	92.22	2.63	7.32
	H13	130.58	130.48	0.08	3.40	58.21	140.54	11.93	20.50
	H21	63.44	63.34	0.16	1.45	24.82	64.56	1.45	5.83
	H22	59.12	59.06	0.10	1.50	25.68	59.88	0.97	3.79
	H23	95.82	95.68	0.15	2.30	39.38	98.68	3.56	9.04
	H31	64.50	64.50	0.00	1.65	28.25	66.84	2.78	9.83
	H32	45.84	45.84	0.00	1.10	18.83	48.96	3.70	19.65
	H33	77.53	77.52	0.01	2.05	35.10	82.62	6.05	17.24
103鄉道旁砂岩-含碎屑化石少	K11	85.76	85.74	0.02	2.20	37.66	90.36	5.48	14.55
	K12	78.68	78.64	0.05	2.00	34.24	83.54	5.81	16.98
	K13	63.32	63.30	0.03	1.70	29.10	67.1	4.51	15.49
	K21	33.12	33.08	0.12	1.85	31.67	34.90	2.16	6.82
	K23	33.86	33.80	0.18	1.00	17.12	37.20	4.03	23.56
	K31	81.66	81.66	0.00	1.95	33.38	86.38	5.60	16.77
	K32	79.44	79.44	0.00	1.95	33.38	84.06	5.48	16.42
龜重溪夾層砂岩(含泥量高)	L1	125.48	125.44	0.03	2.90	49.65	127.32	2.23	4.49
	L2	157.02	156.98	0.03	3.50	59.92	158.84	2.21	3.68
	L3	75.32	75.22	0.13	1.70	29.10	76.94	2.04	7.01
	L31	111.90	111.90	0.00	2.50	42.80	114.26	2.80	6.54
	L32	59.22	59.22	0.00	1.25	21.40	60.80	1.87	8.76
龜重溪碎屑化石石灰岩	L33	66.22	66.22	0.00	1.50	25.68	67.74	1.80	7.02
	T1	69.08	68.96	0.17	1.50	25.68	71.10	2.54	9.89
	T2	82.82	82.74	0.10	2.00	34.24	86.42	4.37	12.75
	T3	55.14	55.10	0.07	1.40	23.97	58.38	3.89	16.23
D.Dale專業機構樣本		14.30	14.28	0.14	---	6.69	15.08	0.95	14.19

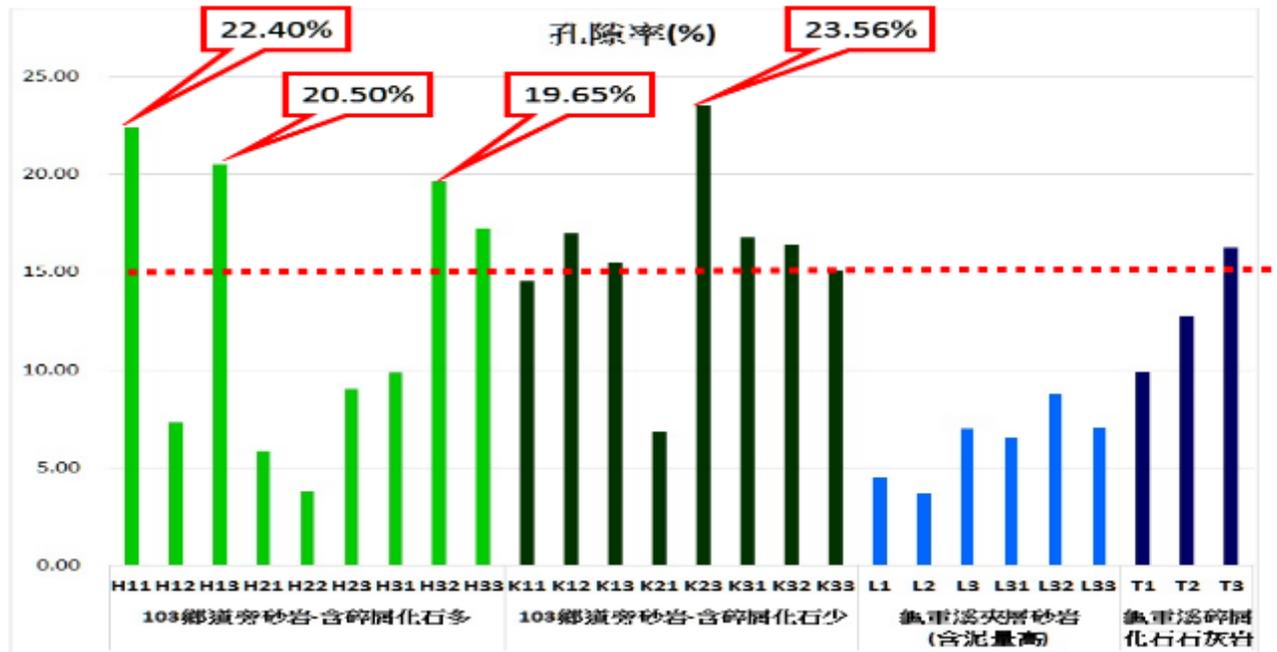
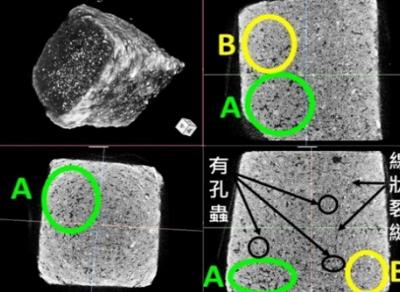
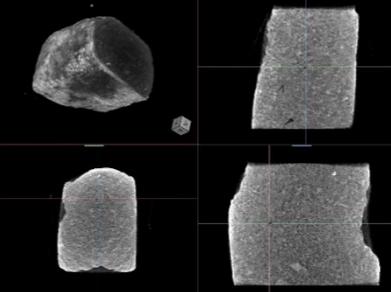


圖 131：岩塊孔隙率實驗 2 柱狀圖

(三)結果討論

1. 根據中油公司台灣油礦探勘報告(參考資料 4：油氣探採)：牛山油氣田主要產氣層，為 300 公尺層及 700 公尺層，為六重溪層的中部及底部，為塊狀、鬆軟砂岩，其平均孔隙率為 20~30%。
2. 由表 11 中，103 鄉道旁砂岩(H11,H13,H32,K23)，其孔隙率為 20%~24%；由圖 132 中發現砂岩 H11 與 H13 質地也較鬆軟，用鐵鎚敲擊，容易被敲裂，且位在六重溪層，**推測與牛山油氣田油氣儲集層的地質條件相似。**

- 由圖 131，位在 103 鄉道旁的 17 塊砂岩(K,H)，有 11 塊的孔隙率在 15%~24%，占 65%，其他的砂岩孔隙率較小。我們認為，可能是岩塊化石含量不均勻，或是化石堆積的條件不同，造成膠結程度不均勻。
- 龜重溪河床砂岩(T)，其孔隙率在 10%~16%，與其表面層碎屑化石石灰岩化有關，所以孔隙率略小於 103 鄉道的砂岩；龜重溪河岸夾層砂岩(L)，其孔隙率在 4%~9%，與其含泥量較高，砂岩顆粒較細較緻密有關。
- 由圖 133 與圖 134，透過數位顯微鏡放大約 100 倍，可看到碎屑化石砂岩中的有孔蟲化石、白色的石英、方解石和顆粒間黑色的孔隙；其中所含的化石碎屑和方解石的分布並不平均，也可以證明膠結程度不均勻的現象。
- 為了進一步分析砂岩內部孔隙率的分布情形，採取牛山砂岩中，我們測得孔隙率最高(22.4%)和最低(3.79%)的兩塊砂岩，送請專驗機構進行**高解析度(3 微米)斷層掃描(CT)**，由圖 135，可以看到高孔隙率的砂岩(長*寬*高= 8.16*7.4*8.4mm)剖面，密集布滿黑色的孔隙、有孔蟲化石(橙色圈)與白色的石英或方解石的膠結。
- 由圖 136，可以看到低孔隙率的砂岩(長*寬*高= 8.47*9.09*6.78mm)剖面，黑色的孔隙減少很多，膠結的程度也比較緻密。
- 從圖 135 與圖 136，可看到孔隙(暗黑色部份)和岩屑或岩粒(灰黑色部份)。孔隙可分為兩類：**1.點狀、不規則形狀**---呈現群聚分布(綠色圈 A 區)與零散分布(黃色圈 B 區)，**2.線狀**---細微裂縫，顯示此區為牛山背斜 DOME 型褶皺區，受前大埔向斜與北勢坑斷層作用而產生裂縫。
- 這些孔隙，用專業儀器(氦氣)或白油偵測，都只能得到一個孔隙率數值；本研究透過電腦斷層掃描圖，可**看到砂岩中孔隙的形狀與分布情形，為技術上之突破**。
- 本實驗採用浸沒法測量砂岩的孔隙率，並採用白油取代純水，**方法簡便，也可以避免砂岩的崩裂**；並測得專業機構砂岩樣本孔隙率為 14.19%，專業機構以儀器測得孔隙率 14.90%，兩者幾乎相等，相差僅 0.71%，顯示**我們的測量法，具備準確性**。

		
<p>圖132：牛山砂岩 H11、H13，質地比較鬆軟，其孔隙率也較大。</p>	<p>圖133：顯微鏡下看到砂岩中的孔蟲化石(橙色圈)和黑色的孔隙。</p>	<p>圖134：顯微鏡下看到砂岩顆粒間黑色的孔隙和白色的石英或方解石。</p>
		
<p>圖135：高孔隙率砂岩的 CT圖中，可看見黑色孔隙群聚(A區)與零散分布(B區)、有孔蟲與線狀裂縫。</p>	<p>圖136：低孔隙率砂岩的 CT圖中，可看見黑色的孔隙減少很多，膠結的程度也比較緻密。</p>	<p>圖137：我們獨創的浸沒白油測量法，孔隙率量測結果經專業機構儀器驗證，具備準確性。</p>

【研究五】牛山地區古今地理環境

(一)古環境的研究與討論：

1：冰期與間冰期是地球冷暖交替的氣候形態。高緯度地區和高山地區長年由冰雪覆蓋時稱為冰期；冰期之間冰雪消融的暖期稱為間冰期。10億年來主要有4次的大冰期，大冰期中地球的氣候仍然是冷暖交替：冷的時候極區或大陸冰原往低緯度漫延，稱作冰期；較暖的時候冰川往高緯或是高山退卻稱為間冰期。中新世之前變化週期以2.3萬年至4.1萬年為主。中新世後變化週期則以10萬年為主(參考資料5)。

2：在冰期發生時，除了地表上覆蓋大量的冰河之外，海水面的變化也會相當顯著。由於地表上大量的水從海洋蒸發後，在陸地上降下白雪，堆積成冰河，卻沒有流回海洋，因此會造成海水面的降低。例如上次冰期的海面高度，就比今天低了約120公尺，在冰河期結束後，海面才漸漸回復到今天的水準，如圖138(參考資料6)。

3：第四紀更新世以來，全球氣候開始呈現規律性變動，260-100萬年前之間的氣候呈現4萬1千年的冷暖周期變化，100萬年前至今則轉變為10萬年的周期。冰河時期，全球溫度下降，南北極冰原以及高山冰川逐漸的擴大，導致海水減少而形成海面大幅的下降。末次最大冰期時冰原覆蓋地球面積約8%（佔陸地面積約25%），之後當間冰期氣候逐漸溫暖時，冰原逐漸融化縮小，現今覆蓋地球面積約3%（佔陸地面積約10%）；1萬8千年前之後，冰原逐漸的縮小也伴隨著海面上升，如圖139(參考資料7)。

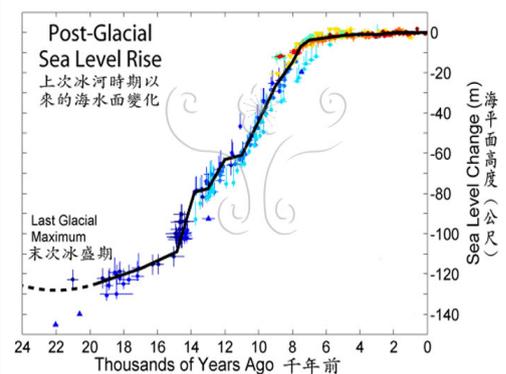


圖 138：上次冰河期以來的海水面變化

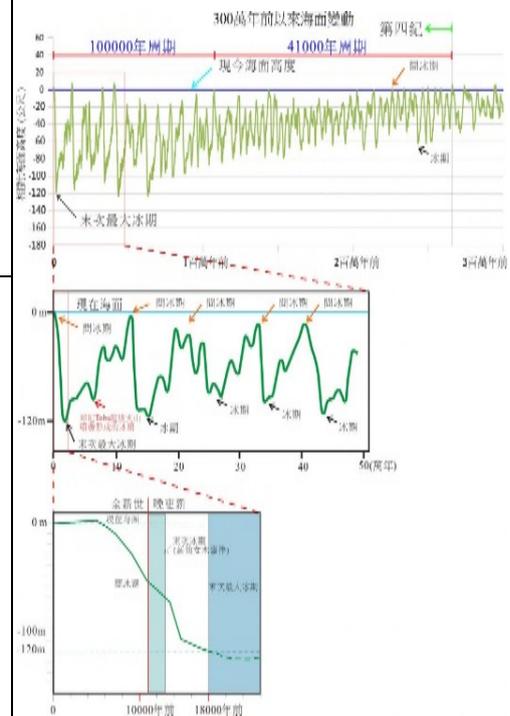
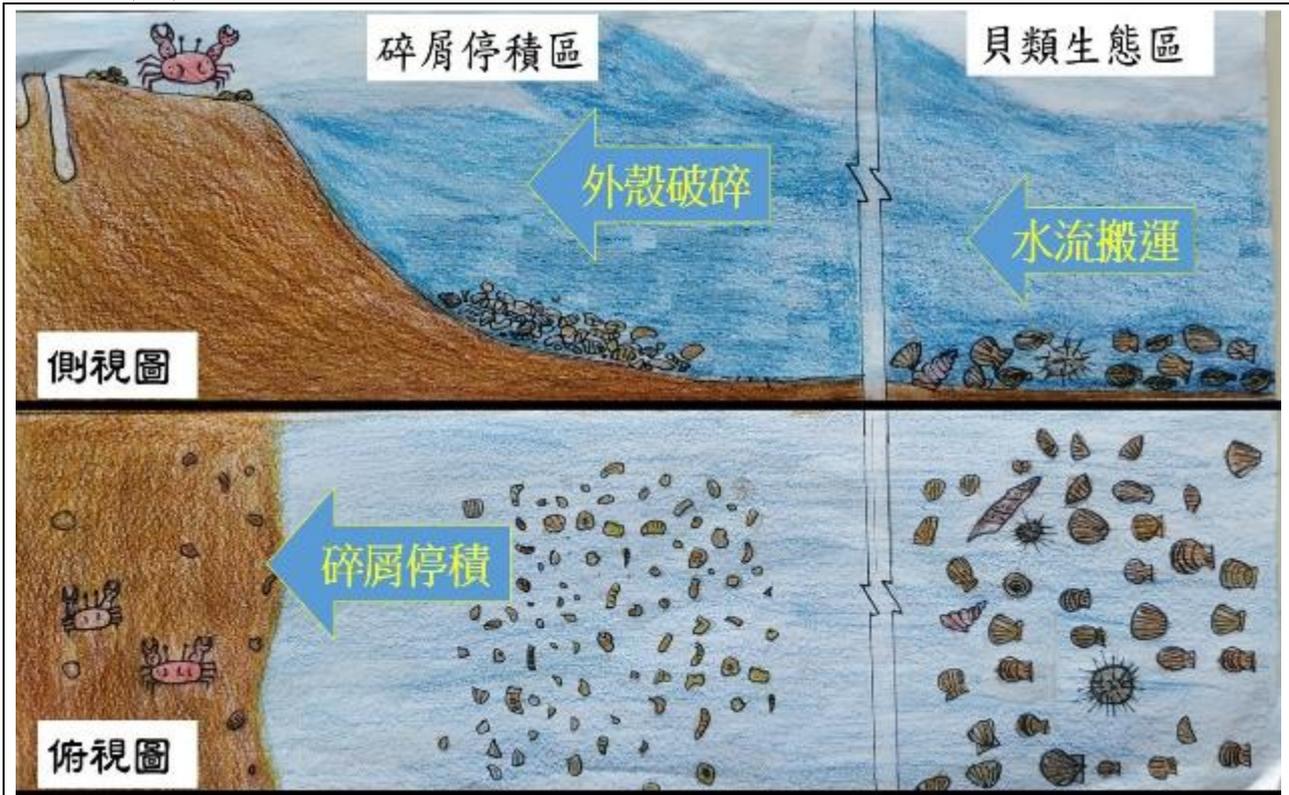


圖 139：300 萬年前以來的海面變動

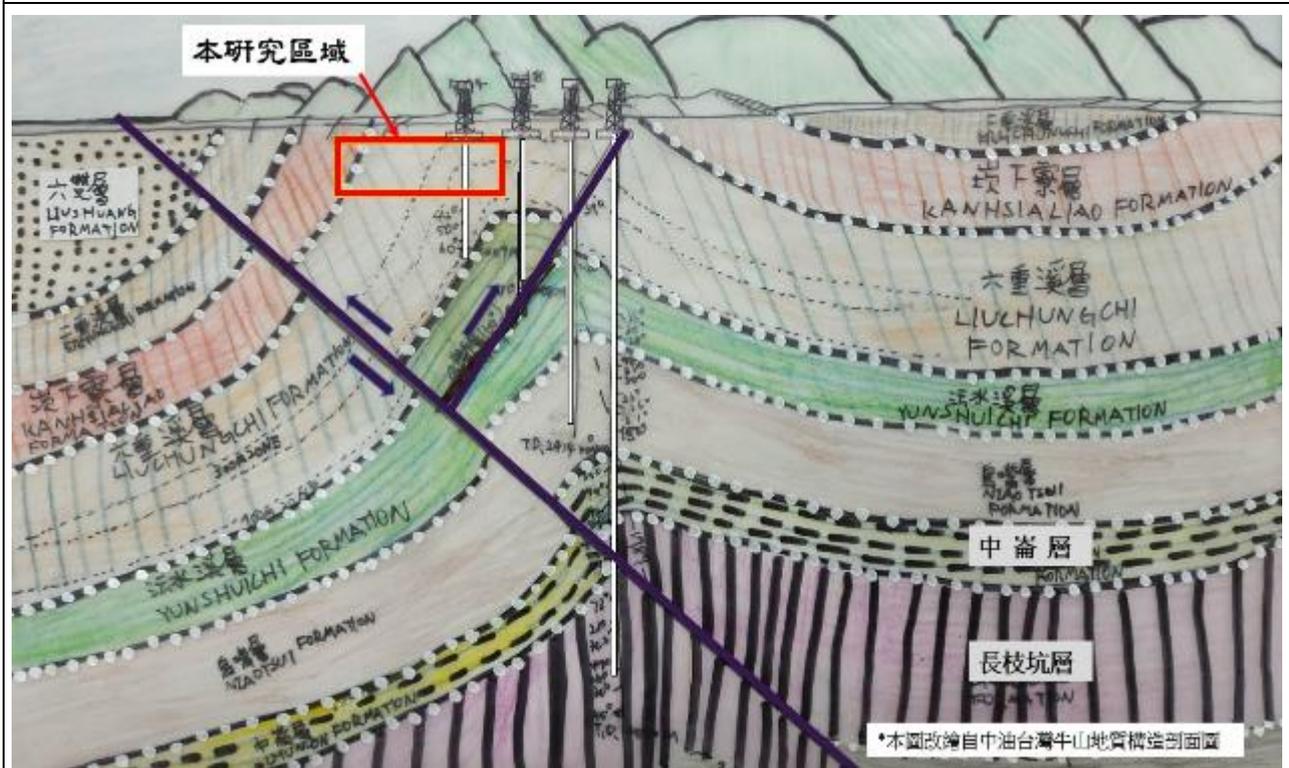
4：從以上資料可知，300萬年以來數次的氣候大變化，造成環境極大的改變。近期約每十萬年形成一次冰河期，可造成淺海地區生物災難性的大量死亡。由研究一到研究五的實驗討論，我們認為牛山地區碎屑化石密集層，與古環境的關係可推論如下：

- (1) 碎屑化石密集層地層為更新世的六重溪層，我們認為這群貝類、螺類等生物，生活於冰期將至之前的冷海水期，於冰期海水下降環境變異死亡，生物遺骸內軟體部份，腐爛後脫離硬體構造的骨骼，埋沒於海底。
- (2) 再來的間冰期，海水上升，牠們的屍體外殼，受到強勁水流來回搬運，有時與海底堆積的礫石碰撞，或相互碰撞而破損成碎片，再受向海岸前進的大小海浪搬運，隨著水流動能減小，搬運堆積到適合形成堆積層的的沙灘區。
- (3) 下次再來的沉積物即有機會將其埋沒，經過長時間的沉積作用，形成地層內的呈層密集化石，和不呈層零散分佈的化石。

(二)我們根據前面的研究，繪出牛山地區古今環境示意圖：



(古)在更新世的時期，本區域為沙灘地形。這群貝類、螺類等生物，生活於冰期將至前的冷海水期，於冰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沙灘區。經過長時間沉積作用，形成碎屑化石密集層。



(今)本究區域為台南牛山103鄉道路旁陡崖面(接近水汴派出所)之碎屑化石密集層，及龜重溪水汴橋上游河床之生物碎屑化石石灰岩層。位於六重溪層上部，牛山背斜構造的軸部，地質年代為更新世六重溪層。本區於民國前7年~65年間發現並開採19口天然氣井。

圖140：牛山地區古今環境示意圖

伍、結論：

本研究有兩項創新的發現：

- 1.發現含碎屑化石密集層的岩層，具備儲集油氣的條件。**
- 2.獨創以白油測量孔隙率的方法，可應用於中小學的科學實驗。**

一、在野外地質調查台南牛山地區碎屑化石密集層方面，我們發現：

1. 103鄉道碎屑化石密集層方面：

化石層共有三層，厚度1公尺~1.5公尺。水平分布，以碎屑為主(占80%)，有的密集有的分散，較細粒的碎屑化石成束膠結在一起，可觀察到有孔蟲、櫛齒類貝殼、螺、二枚貝等多種類化石，多為不完整的碎屑，平均長度約為5.24 mm。

2. 龜重溪河床的生物碎屑化石石灰岩層方面：

這一大片化石層化石有海膽、螃蟹、二枚貝、單體珊瑚、有孔蟲等；化石量密集，完整個體或碎屑都有，厚度約1公尺~1.5公尺。

3. 我們認為此二層化石具有相似的地質現象。我們整合此二化石層，重建堆積地層間的相互關係，繪製關係圖如圖141；同時我們還比較**本研究區域與水流東扇貝化石、滴水山珊瑚礁化石，共三處化石密集石灰岩層的差異性(詳如P.9表2)：**

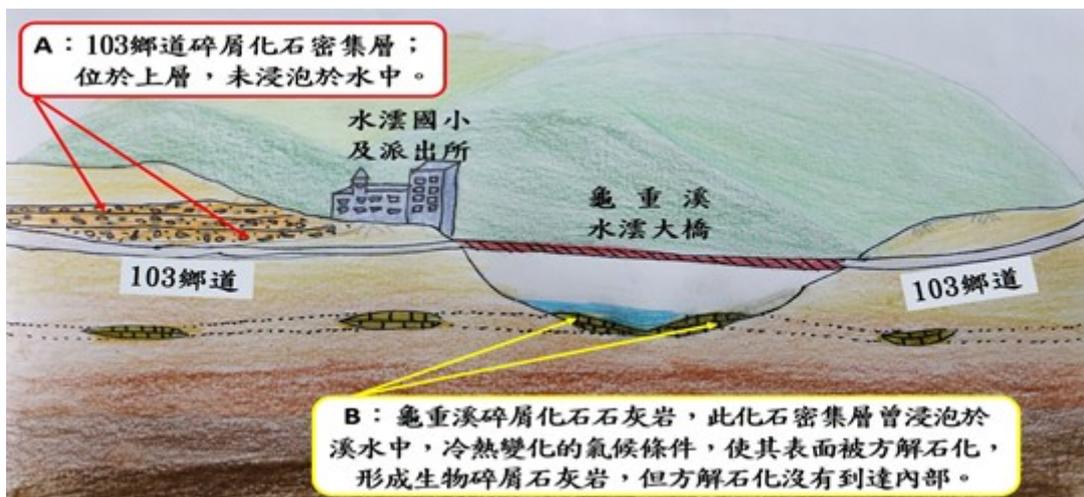


圖141：碎屑化石密集層堆積相互關係圖

二、在探討形成碎屑化石的原因—現生二枚貝外殼破壞實驗方面，我們發現：

1. 利用重物從高處落下，模擬水流搬運的撞擊作用，顯示當撞擊力越大，貝殼越破碎。
2. 利用**攪拌機滾動**，模擬水流搬運時的滾動、撞擊與摩擦作用，貝殼破碎成碎屑的情形，**最接近野外看到的碎屑形狀**。
3. 我們分析碎屑化石的平均粒徑為5.24 mm，與滾動實驗中二枚貝加螺帽滾動的平均粒徑5.79 mm相當，可推論搬運過程中的水流的能量相當大，使得二枚貝類外殼破碎。

三、在探討形成碎屑化石密集層的原因—碎屑搬運堆積之水流模擬實驗方面，我們發現：

1. 我們到現生海岸採集貝殼，經過四種不同模式的水流搬運模擬，發現當水流動能減弱時，貝殼碎屑會堆積下來，其中約**有60%~85%密集堆積，其餘零散分布**。
2. 水流搬運作用下，水流能量隨著距離而減低，使相同粒徑的碎屑貝殼，會堆積在一起，粒徑越細，密集堆積的距離越遠，和現生的沙灘，貝殼碎屑密集堆積的情形類似。

四、在探討碎屑化石密集層砂岩與油氣儲集的關係—砂岩孔隙率實驗方面，我們發現：

1. 經專業機構，進行砂岩水溶液的**ICP(感應耦合電漿)- MS(質譜儀)檢測**，證明了牛山地區砂岩主要是碳酸鈣膠結而形成，形成於古海水環境。
2. 牛山地區砂岩孔隙率測量結果顯示，103鄉道碎屑化石層及其上下層孔隙率最大，有65%的砂岩塊孔隙率在15%~24%，質地也較鬆軟，容易敲碎，位在六重溪層的上部，與牛山油氣田主要的產氣層(六重溪層下部)的儲集層地層條件相似。
3. 本實驗採用浸沒白油法，測量砂岩的孔隙率，方法簡便；所測量的牛山砂岩樣品，透過高解析度的**電腦斷層掃描圖**，讓我們更清楚的看到，砂岩中**孔隙的形狀與分布情形，為技術上之突破**；並與專業機構以儀器測得孔隙率之砂岩比較，證明本方法具備準確性。

五、在化石層古今的地理環境探討方面，我們發現：

1. 現今牛山地區六重溪層下部(300公尺和700公尺)的油氣儲集層，其地層條件與上部103鄉道的碎屑化石密集層類似，為**質地較鬆軟，含碎屑化石與粗砂，且膠結比較不緻密的鈣質砂岩地層**。
2. 在百萬年前更新世地質年代，這群貝類、螺類等生物，生活於冰期將至之前的冷海水期；之後因為環境變異等災難而死亡，埋沒於海底，受到海浪來回搬運作用，與海底礫石碰撞或相互碰撞而破損成碎片，再受到向海岸前進的大小海浪搬運，隨著水流的動能減小，而密集或零散的堆積在沙灘上。經過長時間的沉積作用，形成地層內，呈層密集化石，和不呈層零散分佈的化石。

陸、參考資料及其他

1. 參考資料1：東山水汙社區牛山覽勝分享，民國110年2月1日，擷取自：<https://aipolasfw.pixnet.net/blog/post/171599964>。
2. 參考資料2：百年故事，民國110年2月1日，擷取自：<https://hc.nccu.edu.tw/media/histroy3.php?id=175>。
3. 參考資料3：楊政儒，國三道東山休息站東邊雲母齒類貝殼化石之教學資源調查與推廣研究，教育部97年度中小學科學教育計畫專案年度報告。
4. 參考資料4：台灣石油及天然氣之探勘與開發，中油公司台灣油礦探勘處，中華民國60年6月1日。
5. 參考資料5：吳明進，冰期與間冰期，台灣大百科全書，民國110年2月1日，擷取自：<http://nrch.culture.tw/twpedia.aspx?id=3324>
6. 參考資料6：何謂冰河期，科普學習資源，國立自然科學博物館，民國110年2月1日，擷取自：<http://edresource.nmns.edu.tw/ShowObject.aspx?id=0b81af1d0b81d9f9400b81d8c178>
7. 參考資料7：末次最大冰期以來臺灣海陸變遷，國家地理雜誌，民國108年2月1日，擷取自：<https://www.natgeomedia.com/environment/article/content-6326.html>
8. 參考資料8：張憲卿，嘉義，五萬分之一圖幅第四十四號，台灣地質圖，經濟部中央地質調查所，中華民國97年7月。
9. 參考資料9：鍾昀臻、林彥伶，HOP HOP的扇貝-密集層土與水之探討，中華民國第59屆中小學科學展覽作品說明書，台南市東區勝利國民小學。
10. 參考資料10：鍾廣吉，台灣的石灰岩，遠足文化出版，台灣地理百科96，2008年。
11. 參考資料11：簡祐祥、龔慧貞，砂岩彈性行為與其組織結構之研究，國立成功大學地球科學研究所碩士論文，中華民國102年1月。
12. 參考資料12：劉頌、胡亞非、熊建軍，石墨多孔材料孔隙率測定方法研究，中國礦業大學電力工程學院，2010年。
13. 參考資料13：油氣探採-岩石的秘密，科技大觀園，民國106年6月5日，擷取自：<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=89f22bc9-e0af-4294-95ab-baccf2c541cf>
14. 參考資料14：孔隙率，維基百科，民國110年2月1日，擷取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%AD%94%E9%9A%99%E7%8E%87>
15. 參考資料15：譚美芳、李坤瑄，貝殼屋的建築師（2010），台中市，國立自然科學博物館。

【評語】 080505

【優點】

1. 研究主題立意佳，並藉由實地觀察對鄉土有較多認識並兼具情意。
2. 研究藉由現地觀察提出理論，並利用實驗推測過程。
3. 研究結果與現在的野外觀察相符（貝類碎屑的堆積環境）。

【建議】

1. 原有的研究假設和研究結果與結論關聯性較弱(孔隙率跟所觀察之油氣不一定有直接關係，跟滲透率比較相關)。另外此物理性質與實際油氣的觀察環境相關與否，需要進一步探討。
2. 孔隙率量測改良，須說明原由及與本研究的關係。
3. 所有實驗的圖片或照片應清楚標示大小尺度。
4. 變因的探討需要更加仔細，例如邊界的改變不全然符合自然觀察(Turbulence 的存在)。
5. 資料的引用需要出現在適當的地方(例如展示的地質模型圖)。

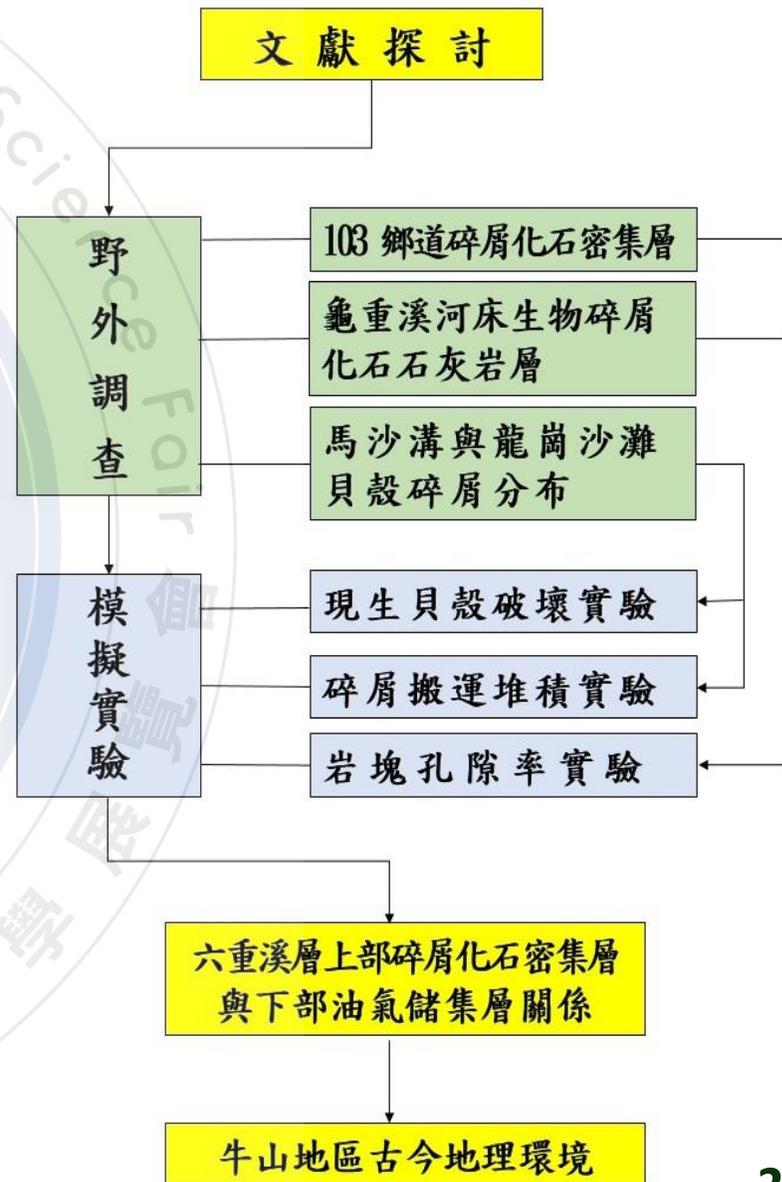
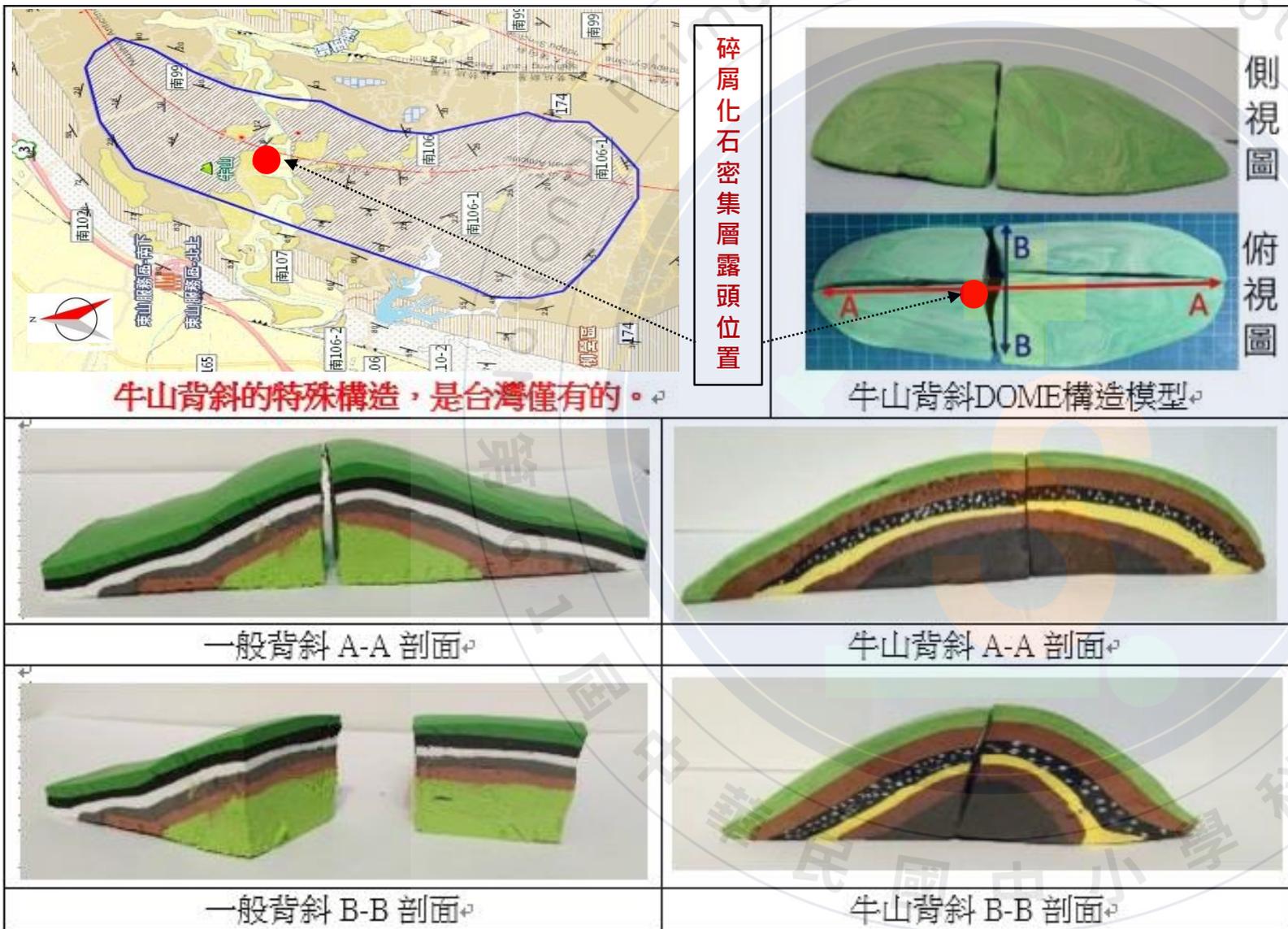
作品簡報

一二三，犇牛山，山上尋找古海灘 碎屑化石密集層與油氣環境之探討

科別：地球科學科
組別：國小組

獨特的牛山背斜構造

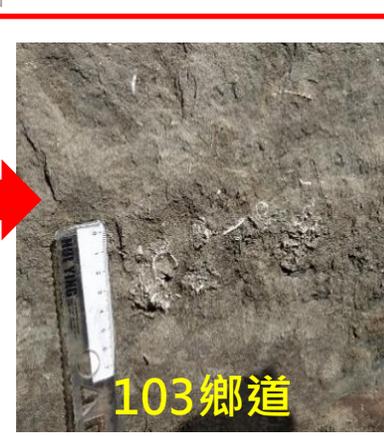
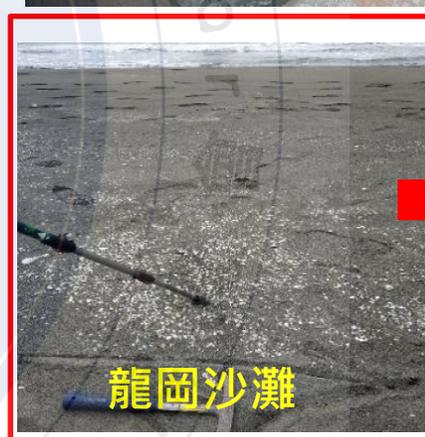
研究流程圖



【研究一】出露化石的位置與環境

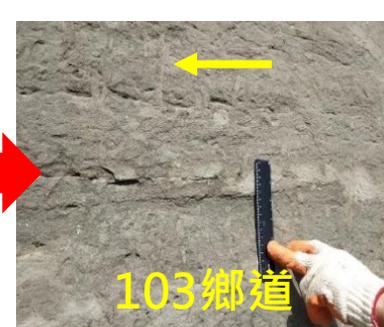
1. 103鄉道碎屑化石密集層

2. 龜重溪生物碎屑石灰岩層



主要發現:

我們在103鄉道與馬沙溝有看到許多類似的現象
所以推測牛山以前是一個淺海沙灘區。

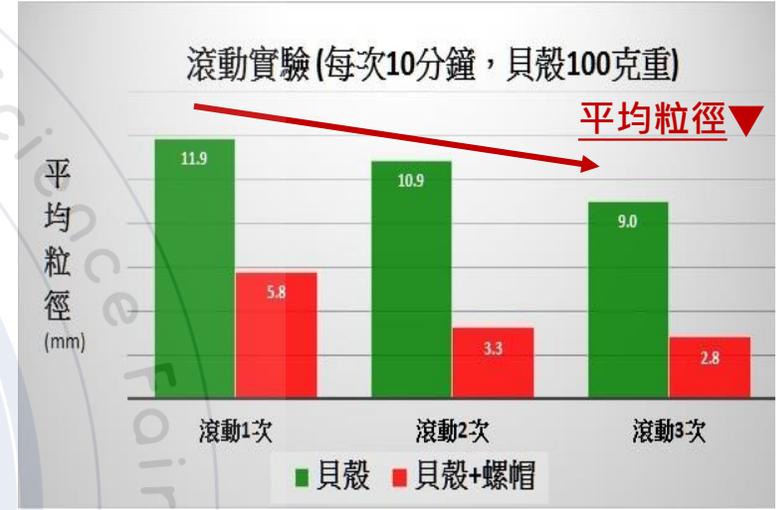


【研究二】現生二枚貝破壞模擬實驗

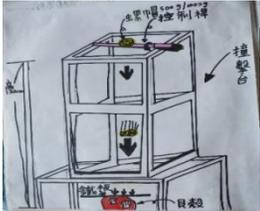
1. 階梯滾落實驗 3. 滾動實驗



【滾動實驗結果】

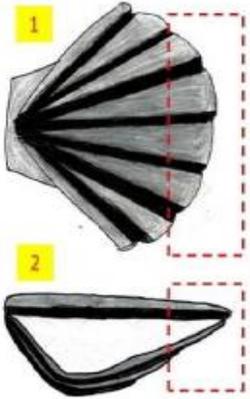


2. 撞擊實驗

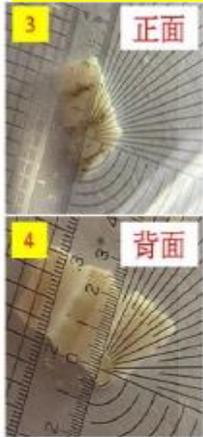


【碎屑觀察】

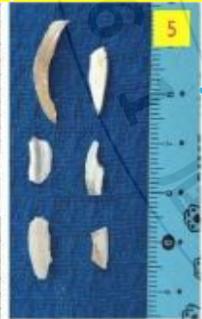
貝類



碎屑化石



實驗碎片



✓ 貝類:
實驗碎片大多為前緣部位
→ 與碎屑化石狀況相似

✓ 螺類:
主要從尖端斷裂
→ 與碎屑化石狀況相似

螺類



碎屑化石



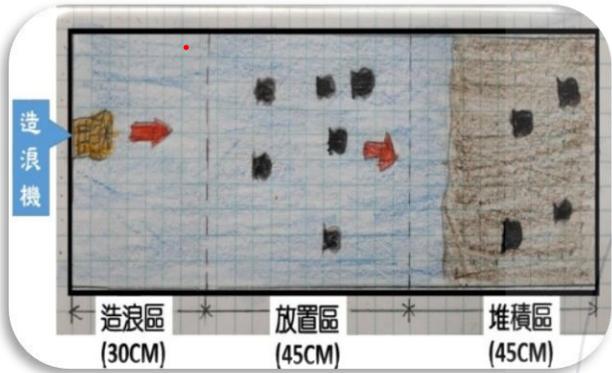
實驗碎片



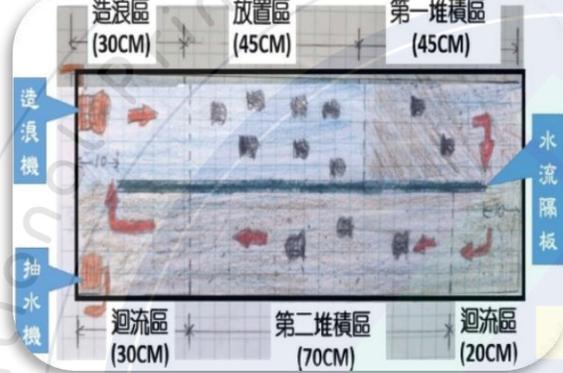
主要發現: 貝類與螺類外殼破壞的位置, 和本身構造的強弱, 有相當的關係。

【研究三】碎屑搬運堆積之水流模擬實驗

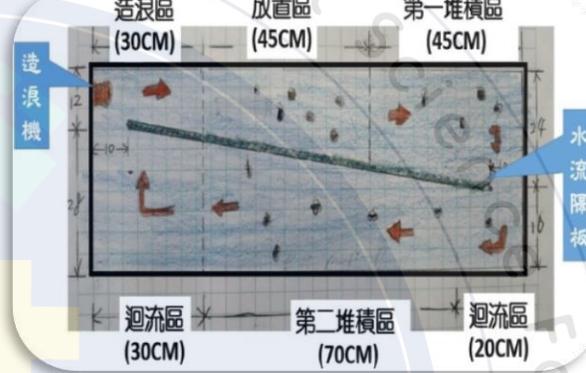
1. 砂質海底模式



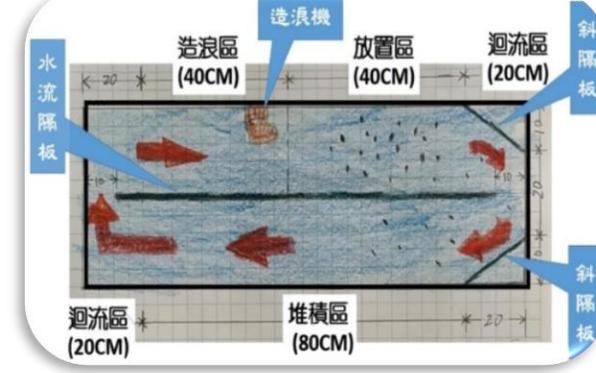
2. 水流分隔板模式



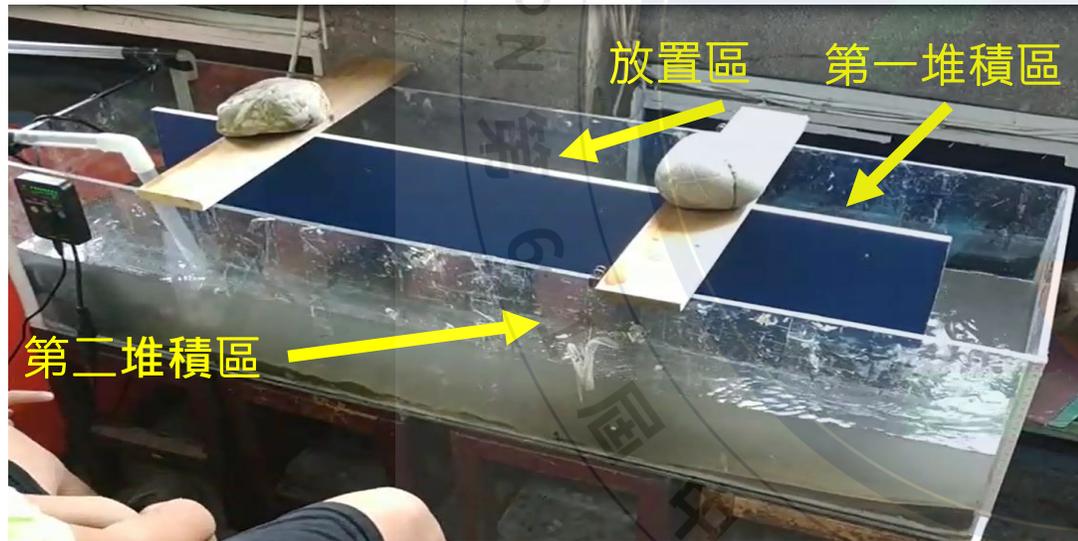
3. 減少回流模式



4. 減少亂流模式



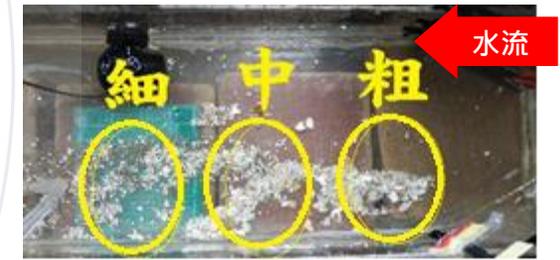
實驗配置圖



實驗水槽

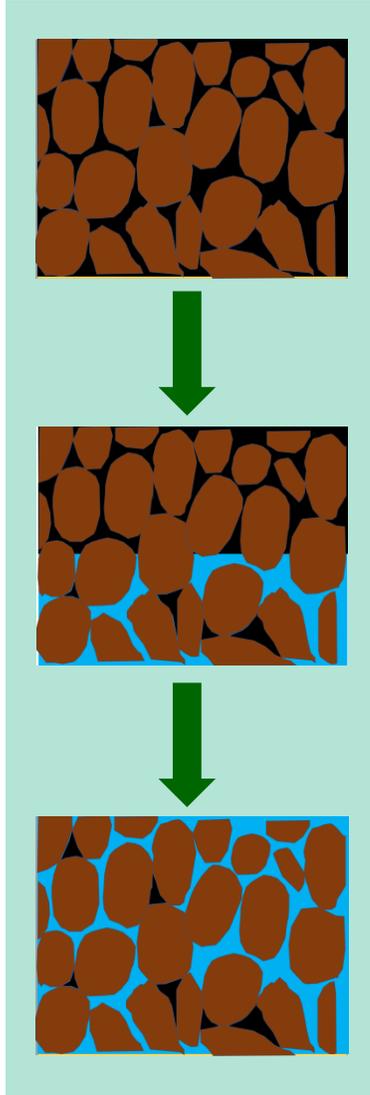


野外沙灘



主要發現：當水流動能減小，貝殼碎屑就會堆積下來形成粗、中、細順序的堆積，和大部分密集的堆積情形，這與野外沙灘上碎屑的堆積順序類似。

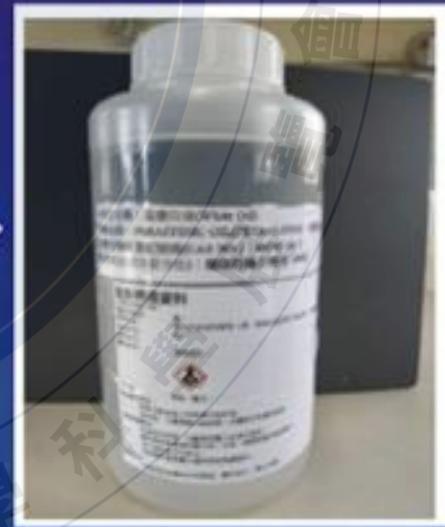
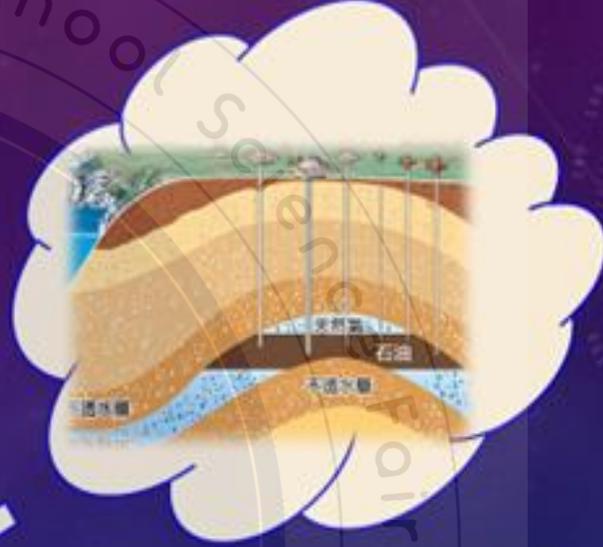
【研究四】 砂岩孔隙率實驗-孔隙率實驗1 (水)



岩塊置於
水內抽真
空，岩塊
崩解裂開

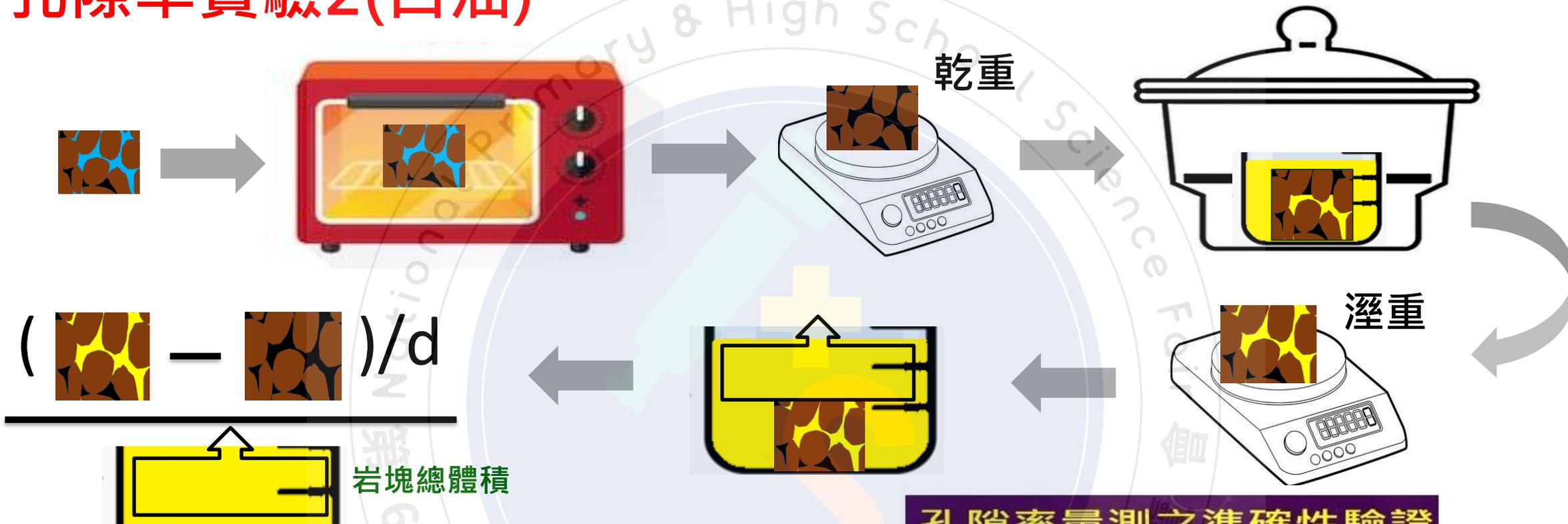


岩塊浸於
針車油內
抽真空，
可維持完
整無崩解。



基礎白油
(white oil) ·
CAS NO :
64742-54-7
密度 :
0.843克/
立方公分

孔隙率實驗2(白油)



有效孔隙率公式

$$\frac{(\text{岩塊浸重} - \text{岩塊乾重}) / \text{白油密度}}{\text{岩塊總體積}} \times 100\%$$

孔隙率量測之準確性驗證

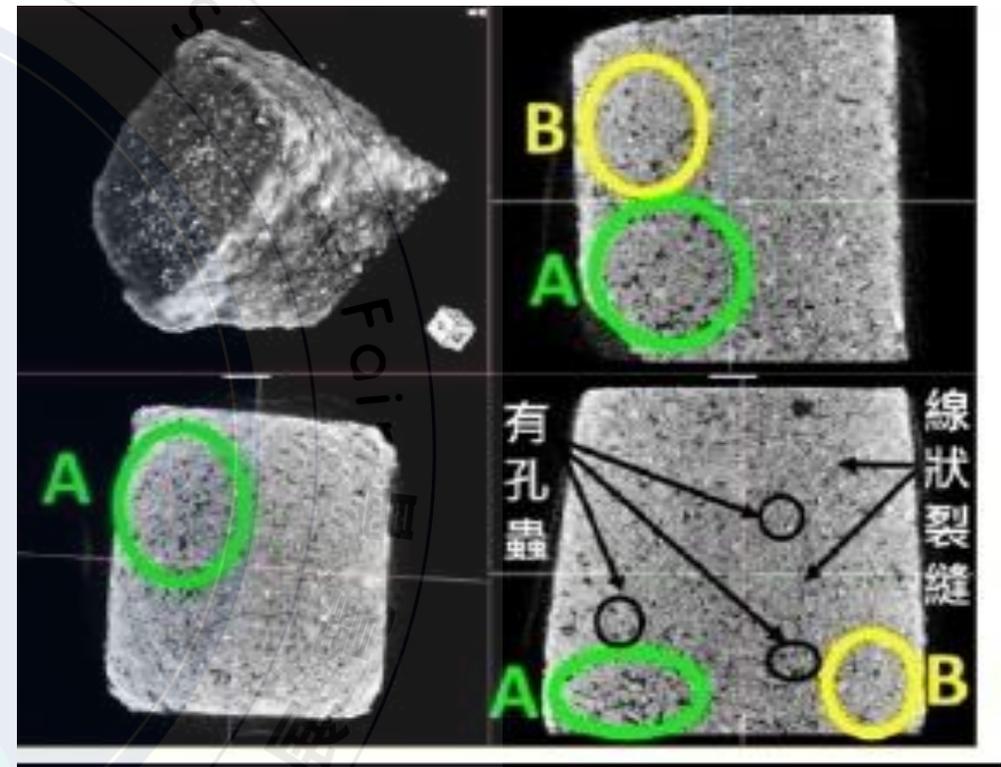
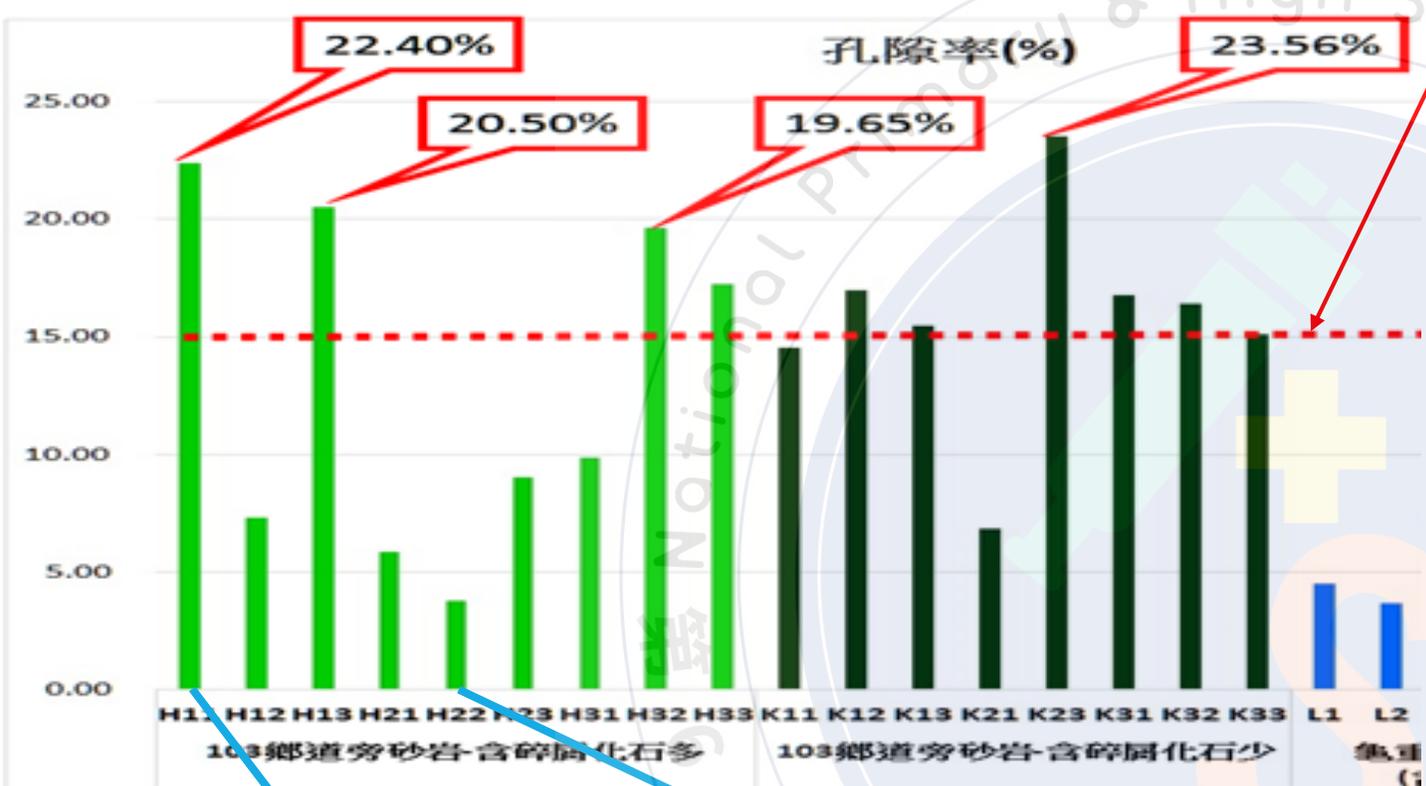
專業
機構
砂岩
樣本



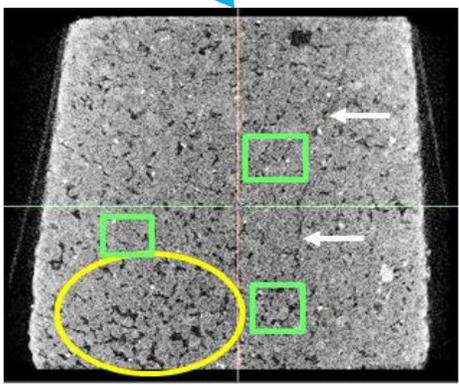
	孔隙率	差距
本量測方法	14.19%	0.71% < 5%
專業機構儀器量測	14.90%	

牛山103鄉道砂岩孔隙率比較圖

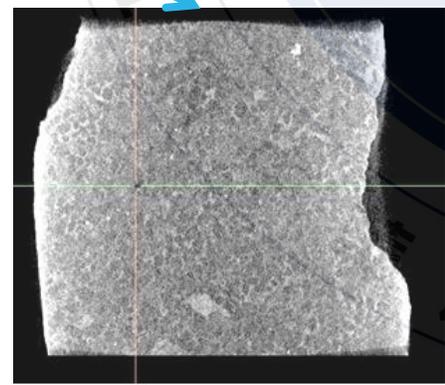
由孔隙率實驗的結果發現，有65%的孔隙率在15%~24%，質地也較鬆軟，與中油的探勘報告一致。



高孔隙率斷層掃描圖



高孔隙率H11 (22.4%)



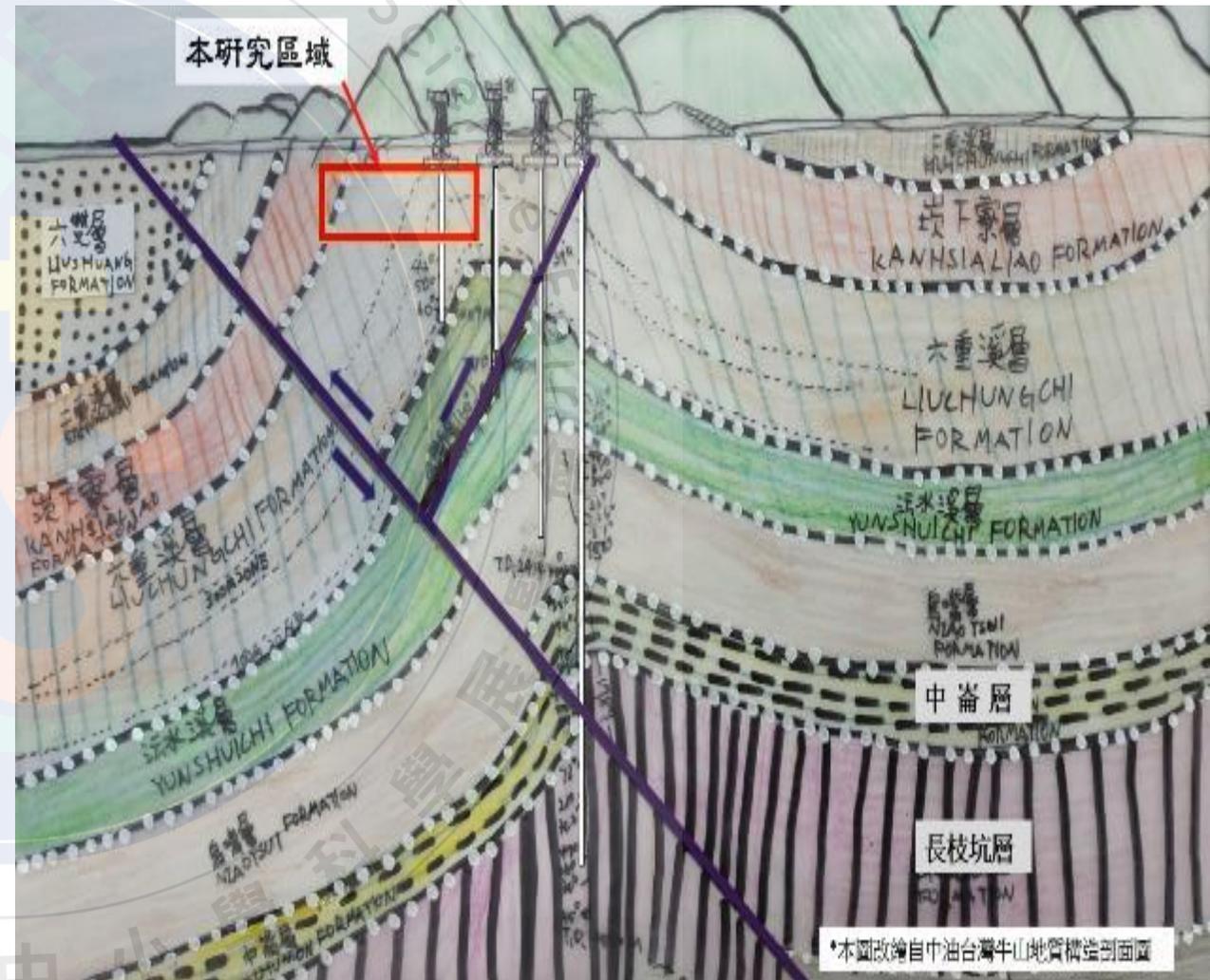
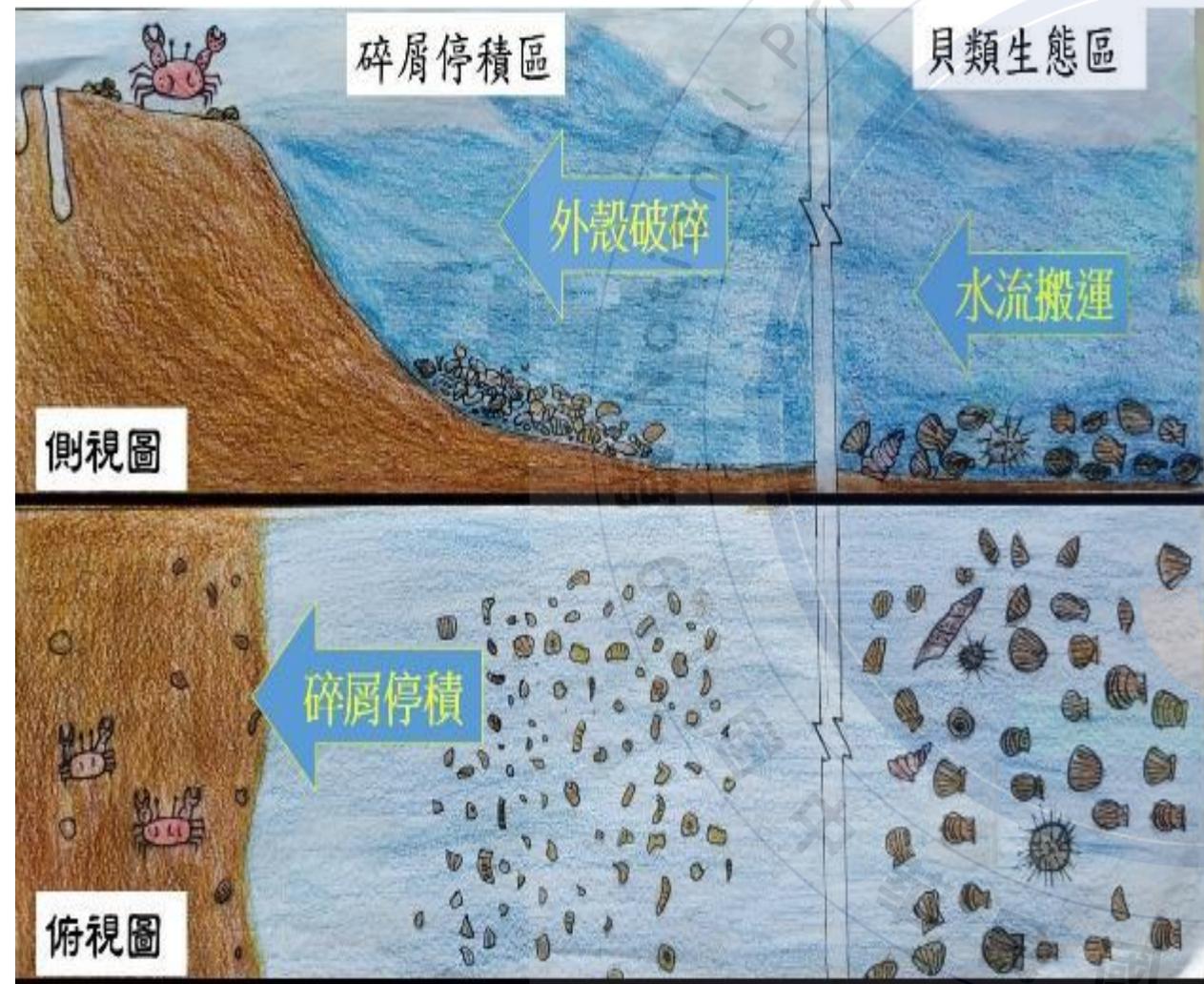
低孔隙率H22 (3.79%)

主要發現：
牛山鄉道旁碎屑化石密集層的地質條件與牛山油氣儲集層類似。

【研究五】牛山地區古今地理環境

古沙灘 (地質年代更新世時期)

今牛山(曾開採19口天然氣井)



結論：本研究得到兩項創新的發現與四項成果

1. 發現含碎屑化石密集層的岩層，
具備儲集油氣的條件。(★創新發現)
2. 獨創以白油測量孔隙率的方法，
可應用於中小學的科學實驗。(★創新發現)
3. 實地調查牛山地形的特徵。
4. 實驗驗證碎屑化石的成因。
5. 實驗找出貝類碎屑的停積情形。
6. 畫出牛山地區的古今地理環境。

孔隙率實驗主要發現



圖 1：高孔隙率砂岩 CT 圖中，看到許多底棲型有孔蟲化石，顯示古環境為淺海海岸。



圖 2：顯微鏡下看到砂岩中的有孔蟲化石 (橙色圈) 和黑色的孔隙。



圖 3：顯微鏡下看到砂岩顆粒間黑色的孔隙和白色的石英或方解石。

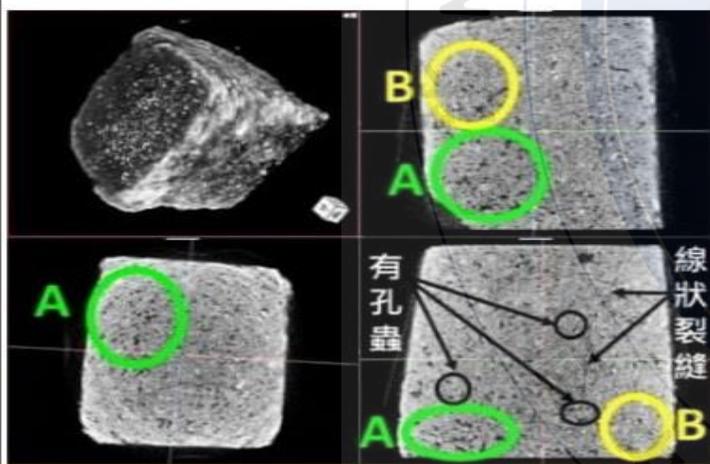


圖 4：高孔隙率砂岩 CT 圖中，黑色孔隙群聚分布(A)與零散分布(B)，有孔蟲與線狀裂縫。

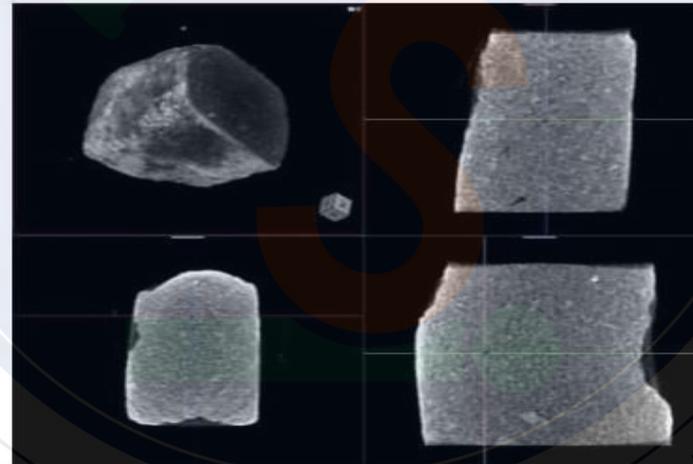


圖 5：低孔隙率砂岩 CT 圖中，黑色的孔隙減少很多，膠結的程度也比較緻密。

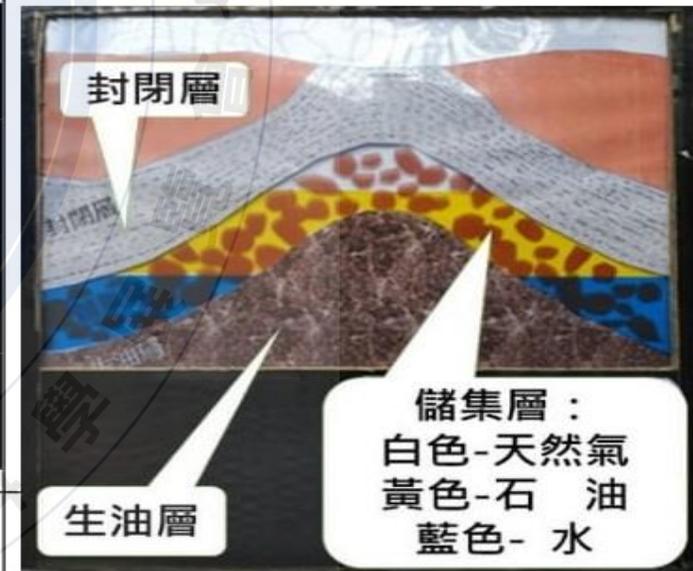


圖 6：油氣移棲示意圖

103鄉道碎屑化石密集層

牛山牛肉崎派出所

大量油氣冒出處

龜重溪河床生物碎屑化石石灰岩

A: 103鄉道碎屑化石密集層; 位於上層, 未浸泡於水中。

水溪國小及派出所

龜重溪
水溪大橋

103鄉道

103鄉道

B: 龜重溪碎屑化石石灰岩, 此化石密集層曾浸泡於溪水中, 冷熱變化的氣候條件, 使其表面被方解石化, 形成生物碎屑石灰岩, 但方解石化沒有到達內部。

牛山野外調查全景圖

碎屑化石密集層相關位置圖