

2019 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 180018
參展科別 地球與環境科學
作品名稱 *Schaubcylindrichnus* 生痕化石化學分析與
生成環境探討
得獎獎項 大會獎：四等獎

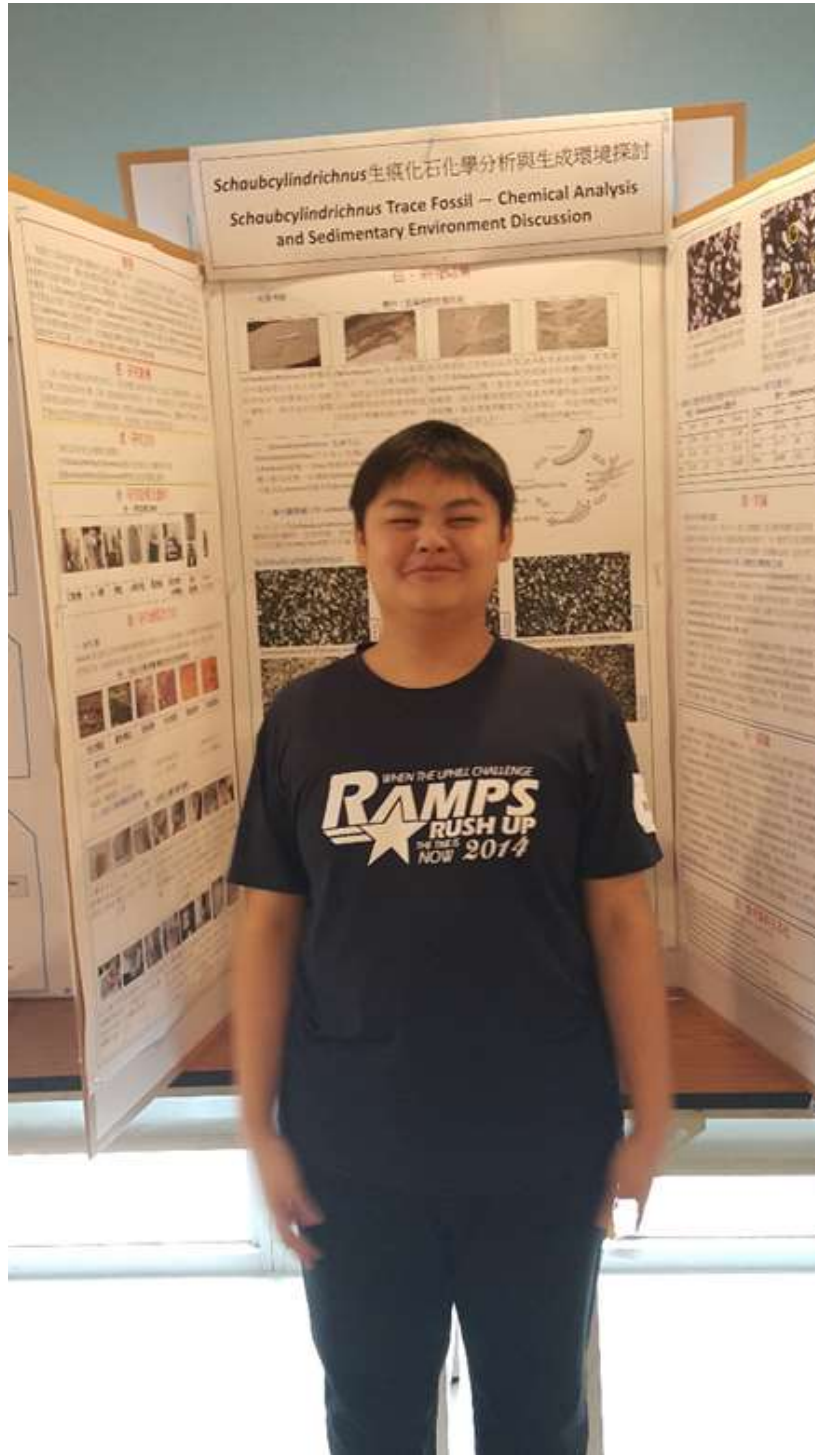
就讀學校 臺北市立成功高級中學
指導教師 Ludvig Lowemark、謝莉芬
作者姓名 楊皓勛、韓祥宇

關鍵詞 *Schaubcylindrichnus*、生痕化石、化學分析

作者簡介



我是楊皓勛，來自成功高中。平時喜歡打球、跳舞、音樂，也喜歡科學。平時喜歡用許多挑戰來充實自己的生活，在學術及社團領域都有不錯的發展。學術方面，常參加各項學科能力競賽和北市科展、青培計畫；社團領域則是參加熱舞社，平常以音樂和跳舞來當作調劑。



大家好，我是就讀成功高中的韓祥宇，平常的興趣就是觀察奇怪的事物，可以為了研究其原理查資料一整天，尤其是一個恐龍迷，不管什麼恐龍展都會去參觀。因此，在高二要參加科展時，看到生痕化石的題目，了解到生痕化石和實體化石一樣可以提供來自古代留存的線索，就此激起了我的興趣。

摘要

根據在北海岸地質考察所觀察到生痕化石種類分布，大部分生痕化石生成於濱海帶，可以推測大寮層及南港層在尚未抬升時，沉積於濱海帶的砂層沉積。另外，石底層雖然同為海相，但屬於海退時期，生物活動區域相對於海進時期較為深，因此生痕化石數量較少。將地質考察採集到 *Schaubcylindrichnus* 進行初步的外形觀察，推測其為 *S.coronus* 型態以及 *S.formosus* 型態，並將 *Schaubcylindrichnus* 與 *Ophiomorpha* 製成薄片進行比較，發現 *Schaubcylindrichnus* 與 *Ophiomorpha* 都是由石英與有機物組成，但 *Schaubcylindrichnus* 的顆粒比 *Ophiomorpha* 小且較為密集，而在 *Schaubcylindrichnus* 與 *Ophiomorpha* 中，管壁中與管壁內外的有機物含量有明顯差異，*Schaubcylindrichnus* 管壁中的有機物較管壁內外少，而 *Ophiomorpha* 管壁中比較多，且可以發現大塊有機物包裹數塊石英的壁襯結構。

Abstract

Our program is about a trace fossil called *Schaubcylindrichnus*. It is the place where the worms live. In our research, those trace fossils we found in northeast coast was made in the littoral zone, so we speculate that the formation in northeast coast was also sedimented in the littoral zone. We cut them into thin section and use a microscope to observe the mineral, we found that both of them were made up of quartz. We also found some Goethite and Glauconite in *Ophiomorpha*. Comparing the two trace fossils we found, the minerals in *Schaubcylindrichnus* is smaller than that in *Ophiomorpha*. The matrix in two trace fossils is also different. We use an application program called Image J to calculate the area of mineral and matrix in two trace fossils.

壹、研究動機

在高一在地科課程時曾學習生痕化石，其在台灣北海岸非常常見。在高二的地質考察中，也發現了一些石頭上有坑坑洞洞的凹槽，仔細一看發現各種不同的形式，其中一種是管狀化石，我們好奇是甚麼生物在這裡建造這個的管子，經過資料查詢後，發現此為 *Schaubcylichnus* 化石，是蠕蟲的居住構造，但是，我們發現這些管狀和其他種類的生痕化石有些許不同的地方，開起了生痕化石的研究之旅。

貳、研究目的

- 一、了解北海岸生痕化石種類與沉積環境。
- 二、分析 *Schaubcylichnus* 與 *Ophiomorpha* 管壁中及管壁內外之礦物成分差異。
- 三、推論 *Schaubcylichnus* 與 *Ophiomorpha* 礦物成分與生成環境之關係。

參、研究設備及器材

- 一、野外地質考察: 地質圖、傾斜儀、夾鏈袋、小鏟子。
- 二、實驗切割標本:

切割機: 將大型石頭切割成易磨薄的小塊石頭以製作生痕化石薄片。

A、B 膠: A 膠為環氧樹脂，B 為硬化劑。為 4:1 之比例調配。

磨盤: 用來磨去灌膠後化石樣本外層的膠，以利後續顯微鏡之觀察，才不會因為膠而造成觀察面模糊不清。

金鋼砂盤: 表面佈滿金鋼砂粉，而金鋼砂粉顆粒細，硬度高，用以做化石樣本之細修。

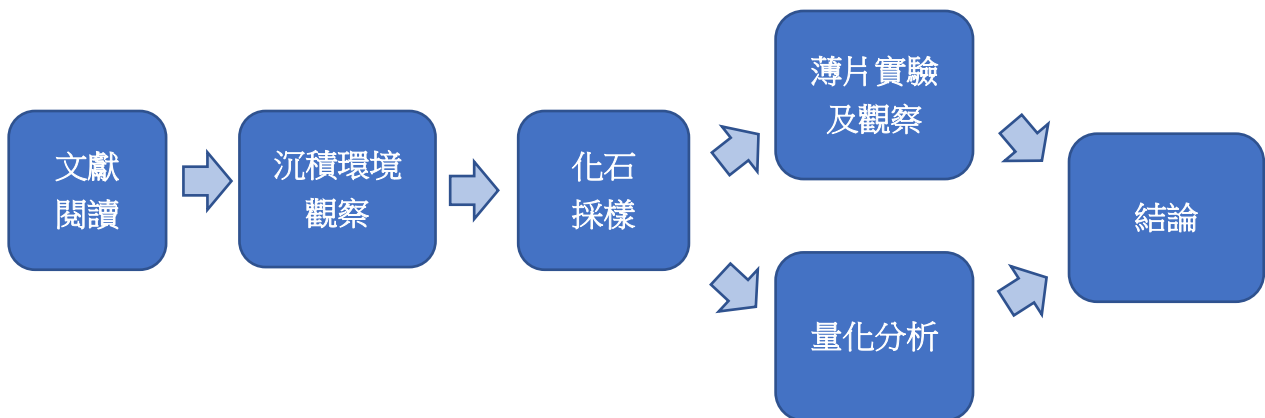
震盪儀: 將以金鋼砂粉細磨完的化石樣本做震盪，確保金鋼砂粉並不殘留於石頭孔隙中，以免影響觀察。

精密薄片切片研磨機：具有切割及研磨兩種功用，主要是在黏在載玻片上的化石樣本之切割及細磨。

三、觀察標本:

偏光顯微鏡:利用兩片偏光片成光柵互相垂直的排法放置，於是可以觀察到礦物經過光柵後的光，進而得知礦物顏色。

肆、研究過程或方法



一、生痕化石文獻探討(網站：阿山的地科教室)

Seilacher 首先提出以生物的運動形態作為分類依據，因生物的活動模式與環境有密切關係。不同的生物會有相同的習性與行為，也就是不同種類的生物會造成相似的痕跡。因此建議以生物的運動行為作為分類的依據並提出 6 種行為模式：居住構造、覓食痕跡、攝食構造、休息痕跡、匍匐痕跡、脫逃痕跡。

(一)、居住構造

居住構造的形狀一般為豎管或 U 型等簡單形式的垂直管。由底棲或半底棲性的攝食性生物建造永久性或半永久性的居住構造。住所若建於凝聚性較差的沉積物中，為防止管洞四周砂層崩塌生物會分泌出膠質物或利用泥球做為壁襯來強化管壁，如圖（八）。

(二)、攝食構造

由半底棲或底棲性的攝食生物在海床表層沈積物中攝取食物時所挖掘或爬行的痕跡，具有各種不同型態的結構如管狀、螺旋狀等並與層面呈平行或斜交。其所挖掘的管道也成為永久性或半永久性的居住構造，如圖(九)。

(三)、匍匐構造

底棲性生物於海床上行進時遺留連續無間斷的痕跡。移動方式有走、跑、爬行或蠕行等行為，形成淺凹型的槽狀爬痕，無方向性，無分叉且會重疊；具有直線型與弧狀彎曲型，如圖(十)。

(四)、覓食構造

底棲性生物為了有效的攝取沉積物，因此在海床表面覓食時的爬痕具有彎曲的痕跡且不會相互重疊；此種行為出現於食物缺乏的半深海至深海環境，如圖(十一)。

(五)、休息構造

生物在海床表面作短暫停留時造成淺凹型的槽狀印痕，如圖(十二)。

(六)、脫逃痕跡

由於被掠奪者追捕或因環境突然改變造成生物逃跑所遺留的痕跡。環境造成的災害通常發生於突發性的環境變遷，如暴風時強勁的海流造成海床表層沈積層快速的沉積或侵蝕，迫使居住在表層沉積層中的生物向下或往上脫逃，如圖(十三)。



圖(八)居住構造(阿山的地科教室)



圖(九)攝食構造(阿山的地科教室)



圖(十)匍匐構造(阿山的地科教室)



圖(十一)覓食構造(阿山的地科教室)



圖(十二)休息構造(阿山的地科教室)



圖(十三)脫逃痕跡(阿山的地科教室)

二、地質考察

本次實驗進行了三次地質考察:

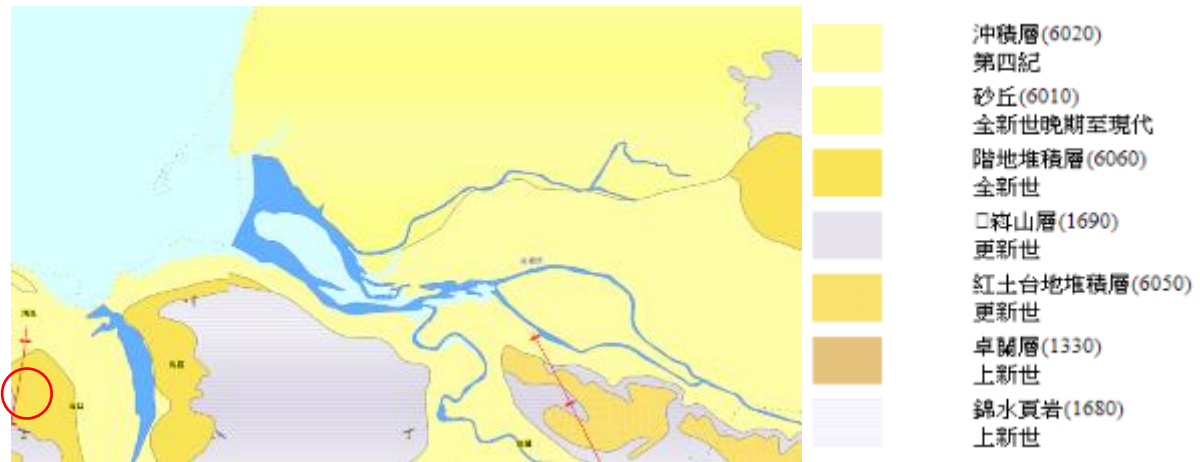
(一)2017.7.22 苗栗(後龍龍港、西湖、白沙屯等地)



圖(十四)台灣地圖及考察地點位置(maps-taiwan)



圖(十五)苗栗考察地點之地圖(google earth)



圖(十六)過港貝化石層考察地點之地質圖(中央地質調查所)

苗栗頭崙山層地質介紹(網站：地質目錄)

頭崙山層上部地質岩性是以礫岩為主，大多為厚層構造，並夾有砂岩其間呈互層，偶有粉砂岩、頁岩；下部則是以砂岩為主的岩性，有砂岩會與粉砂岩、頁岩互層，偶有泥質砂岩。由於表層裸露的地層是頭崙山層的上部構造，露出的礫石是其最大特徵，常在山路旁、河岸邊可見，例如國道一號行經大安溪可見火炎山，以及國道六號行經烏溪可見九九峰，兩者皆有大量崩落的礫石堆積而成的扇狀堆積地。

(二)2017.12.06 北海岸(八斗子、番仔澳等地)

2017/12/06 前往八斗子(八斗里)及番仔澳(深澳里與濂新里)共 4 點，如圖(如圖十四、十七、十八)觀察生痕化石及採取研究樣本。以下為考察地點之經緯度：

考察地點 1 25.146506, 121.799422 八斗里 202 基隆市中正區

考察地點 2 25.135181, 121.805325 深澳里 224 新北市瑞芳區

考察地點 3 25.135319, 121.823614 深澳里 224 新北市瑞芳區

考察地點 4 25.123960, 121.869866 濂新里 224 新北市瑞芳區



圖(十七)基隆市八斗里及新北市瑞芳區空拍圖 (google earth)



圖(十八)新北市瑞芳區空拍圖 (google earth)

北海岸地質介紹(網站：地質目錄)

八斗子與番仔澳位於北部海岸，地層為大寮層(2200~2000 萬年前)、石底層(2000~1850 萬年前)、南港層(1850~1350 萬年前)，屬於海相地層，由厚層塊狀砂岩和頁岩所組成。

大寮層:

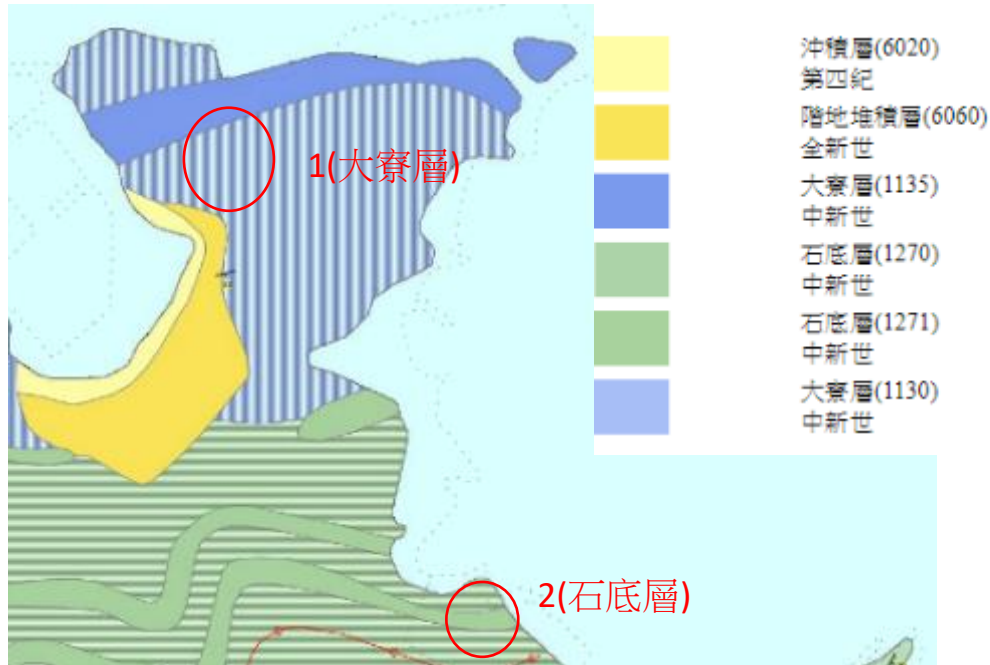
大寮層由厚層塊狀砂岩和頁岩或砂岩、頁岩互層所組成。其中夾有凝灰岩層，是由玄武岩、火山碎屑岩或熔岩流和凝灰質沉積岩組成。過去文獻將此凝灰岩層稱為公館凝灰岩層，是木山層沉積晚期到大寮層沉積期止的火山活動所形成的。

石底層:

主要岩層為淺灰色至白色砂岩、灰色砂岩、灰黑色頁岩互層，本層含煤。

南港層:

主要由青灰色厚層至薄層細粒石灰質砂岩和深灰色頁岩構成，本層中有顯著的厚層塊狀砂岩，厚達五十餘公尺，常形成嶺線及峭壁懸崖。



圖(十九) 八斗子考察地點之地質圖(中央地質調查所)



圖(二十) 番仔澳考察地點之地質圖(中央地質調查所)

(三)台中大安溪及卓蘭峽谷

河床的地質由卓蘭層構成，為砂岩、粉砂岩和頁岩互層所組成。由於岩性鬆軟，遇水極易崩落，因而造成河床落差達 10 至 20 公尺，屬於不穩定危險區域。

三、 生痕化石樣本觀察

(一) 觀察及記錄樣本

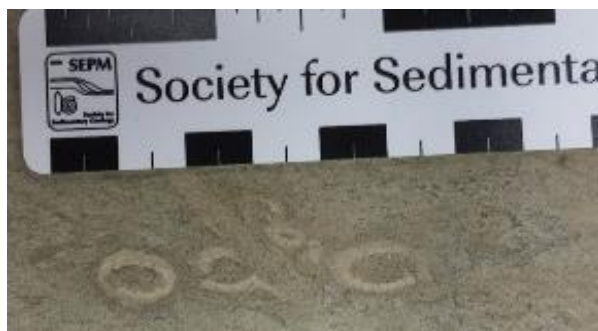
觀察和紀錄八斗子拾獲含有生痕化石的石塊，將岩石特性記錄下以作為後續推論的判斷依據，圖(二十一~二十六)為觀察到的圖片。



圖(二十一)*Schaubcylindrichnus* 正面俯視圖



圖(二十二)*Schaubcylindrichnus* 管徑區域 1



圖(二十三)*Schaubcylindrichnus* 管徑區域 2



圖(二十四)*Schaubcylindrichnus* 背面俯視圖



圖(二十五) *Schaubcylindrichnus* 管徑區域 3



圖(二十六)*Schaubcylindrichnus* 管徑區域 4

(二) 石頭上標記要切割之位置

以一個載玻片的大小，將欲觀察的生痕化石標記起來，標記位置盡量不相連，因為切割時刀片的厚度會磨損石頭會影響樣本，如圖(二十七)。



圖(二十七)切割位置標記

(三) 石頭塊上做好分類及命名

分類及命名有助於製成薄片後，還原化石薄片在原本石頭上的位置，如圖(二十八)。



圖(二十八)切割標記命名

(四) 切割機進行切割

將石頭輕輕從刀片前緣推過，切割時須預留空間以免傷及化石，如圖(二十九)。



圖(二十九)切割石頭

(五) 將小塊石頭背面寫上編號並烤乾

將石頭放置在高溫平台上烤乾，使石頭孔隙中的水分蒸發，並使孔隙擴大，以利灌膠，如圖(三十)。



圖(三十)石頭烤乾

(六) 調膠

膠分為 A、B 兩種，A 為環氧樹脂，B 為硬化劑。本實驗以 A:B 為 4:1 之比例調配，如圖(三十一)。



圖(三十一)調膠

(七) 灌膠並風乾 8 小時

本次實驗使用的石頭樣本為砂岩及粉砂岩性質之石頭，易有碎屑脫落。灌膠後，可以使石頭結構更堅固，也能使石頭碎屑不會脫落，如圖(三十二、三十三)。



圖(三十二)將樣本浸入 AB 膠



圖(三十三)AB 膠凝固後之樣本

(八) 磨平

此步驟為粗磨，將要用偏光顯微鏡觀察的那一面表面的膠去除，以免影響觀察，如圖(三十四)。



圖(三十四)砂盤粗磨

(九) 金鋼砂粉細磨

將樣本以顆粒較細、硬度較大的金鋼砂粉進行細磨，將殘留於表面的細小殘膠去除，如圖(三十五)。



圖(三十五)金鋼砂粉細磨

(十) 震盪

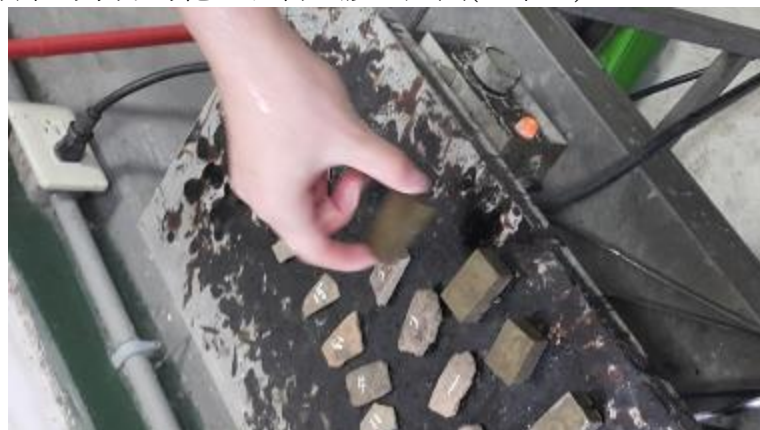
將石頭堆疊整齊並放入震盪機，將上一步殘留的金鋼砂粉震出，如圖(三十六)。



圖(三十六) 整齊放入震盪機中除去細微顆粒

(十一) 烤乾

再次將石頭中的水分烤乾，以利上膠，如圖(三十七)。



圖(三十七)烤乾

(十二) 上膠黏載玻片

將載玻片擦拭乾淨，以免上膠後脫膠，並將膠以滴的方式滴上石頭，再均勻塗抹，如圖(三十八、三十九)。



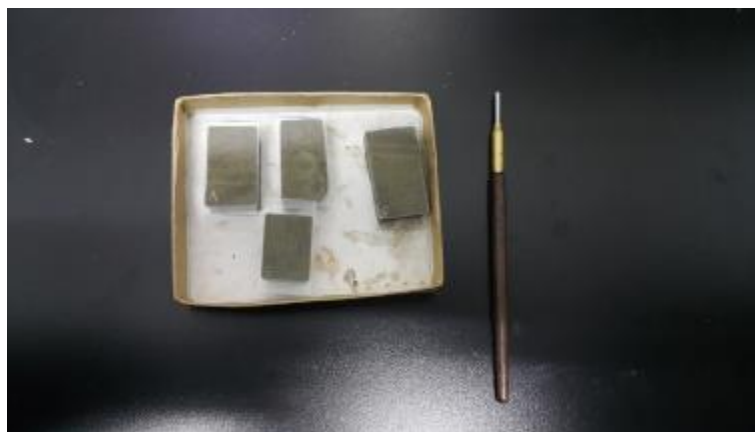
圖(三十八)拭鏡紙擦拭載玻片



圖(三十九)將 AB 膠塗抹於觀察面上

(十三) 用金剛筆標記

在蓋玻片上用金剛筆刮出標記，以利後續整理，如圖(四十)。



圖(四十)將載玻片蓋上

(十四)製作薄片

- 1.將載玻片一面平貼於真空機上，待抽真空後即可進行切割，如圖(四十一)。
- 2.將樣本推入金剛石刀片，進行樣本切割，如圖(四十二)。
- 3.使用調節輪調整化石樣本在刀片上的位置使其越切愈薄，如圖(四十三)。
- 4.將化石樣本吸附在真空機上，來回的在金剛盤上磨薄，如圖(四十四)。



圖(四十一) 以真空吸力吸住蓋玻片



圖(四十二)樣本切割



圖(四十三) 調整切割樣本的厚度



圖(四十四) 以金剛盤磨樣本至 100 微米

(十五) 細磨至 30 微米

將 100 微米的化石薄片細修至透光，並放入偏光顯微鏡觀察，若礦物呈現出單一色調，亦即此時厚度為一個礦物的厚度，即完成，如圖(四十五)。



圖(四十五)以金鋼砂粉細修

(十六) 完成品，如圖(四十六)。



圖(四十六)生痕化石薄片

伍、 研究結果

一、地質考察:

本次實驗所進行的實地考察分為苗栗和北海岸地區。

(一) 2017.7.22 苗栗西湖及後龍地質考察



圖(四十七)苗栗考察地點之地圖(google earth)

在苗栗西湖，主要觀察到的並不是本次實驗探討的生痕化石，是屬於實體化石的星盾海膽。在考察地點後龍亦有海膽化石分布，是位於頭嵙山層，但生痕化石不常見，如圖(四十八)。



圖(四十八)位於考察地點後龍的海膽化石

(二)2017.12.06 北海岸地質考察

此次北海岸地質考察地點為八斗子和番仔澳。



圖(四十九)八斗子考察環境



圖(五十)番仔澳考察環境



圖(五十一)番仔澳象鼻岩考察環境

圖(五十二~五十五)12/06 前往八斗子及番仔澳實地考察，所觀察到之生痕化石，有本次實驗樣本 *Schaubcylindrichnus*(圖五十二)、魷魚覓食痕跡(圖五十三)，由未知生物形成之管狀生痕化石(圖五十四)，以及蝦管化石(圖五十五)。

Schaubcylindrichnus 管壁構造沒有像蝦管化石有小泥球，是因為其生成環境位於波動干擾較少、較安定的沉積環境。如圖(五十二)。



圖(五十二)八斗子 *Schaubcylindrichnus*(考察地點 1)

魷魚會拱起牠們扁平的身體以製造向上的吸力來移除上層的沉積物，接著再將獵物從沉積物當中直接掘出，或是用嘴巴噴射出一道有力的液壓流將獵物沖出，如圖(五十三)。



圖(五十三)魴魚覓食痕跡(考察地點 1)

圖(五十四)生痕化石之型態介於 *Schaubcylindrichnus* 與蝦管化石，管徑接近蝦管，卻沒有蝦管壁的泥球結構，推測可能為貝類形成之居住痕跡。如圖(五十四)。



圖(五十四)管狀居住構造(考察地點 1)

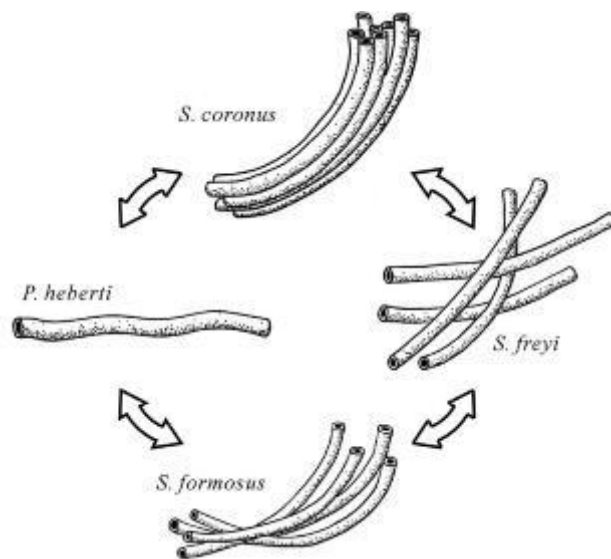
圖(五十五)甲殼類居住時所留下之生痕化石，大部分為蝦類所留下，所以又稱為蝦管化石。為防止四周管壁塌陷，分泌膠質物或利用排泄物做泥球當作壁襯來強化管壁，如圖(五十五)。



圖(五十五)象鼻岩蝦管化石(考察地點 3)

二、*Schaubcylindrichnus* 生痕化石

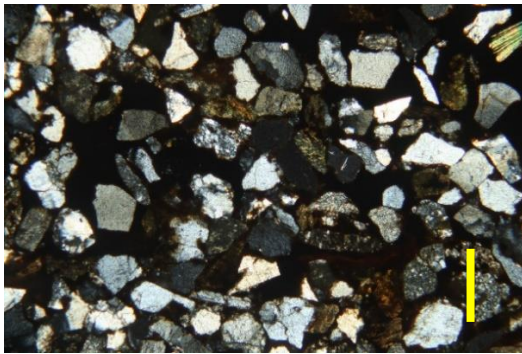
Schaubcylindrichnus 可大致分為圖(五十六)四種型態，結構較蝦管化石不複雜，此次實地考察所取得的樣本大致上是 *S.coronus* 型態以及 *S.formosus* 型態。



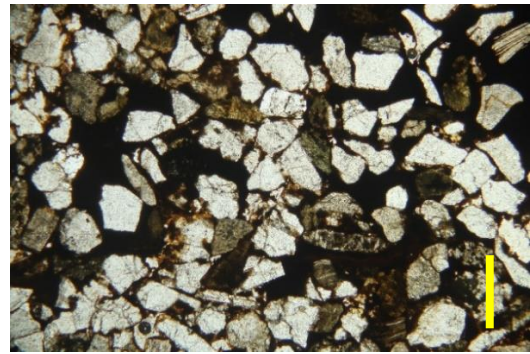
圖(五十六) *Schaubcylindrichnus* 常見型態示意圖(Ludvig Löwemark,2014)

三、偏光顯微鏡下的 *Schaubcylindrichnus* 與 *Ophiomorpha* :

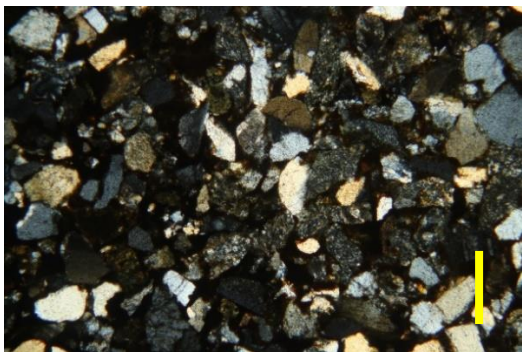
Ophiomorpha (比例尺為 0.5mm)



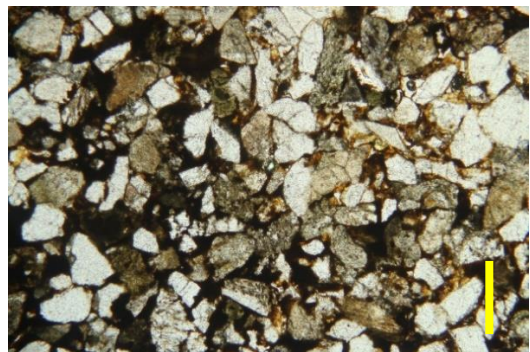
Ophiomorpha 管壁(cross nicol)



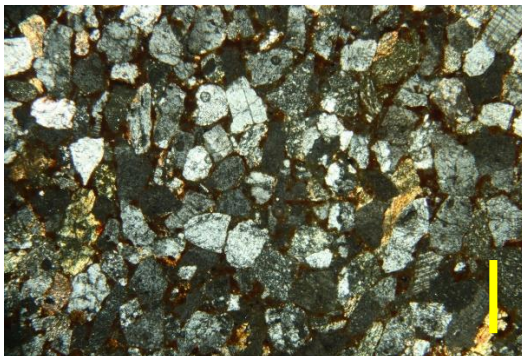
Ophiomorpha 管壁(open nicol)



Ophiomorpha 管壁及管壁外(cross nicol)



Ophiomorpha 管壁及管壁外(open nicol)

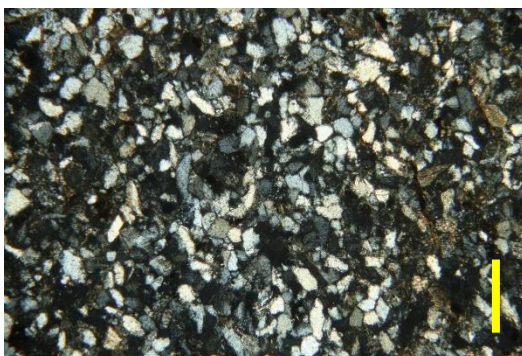


Ophiomorpha 管壁內(cross nicol)

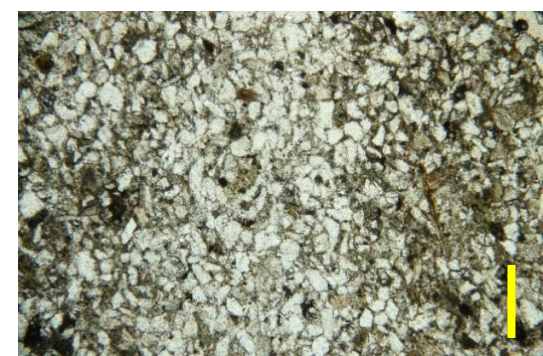


Ophiomorpha 管壁內(open nicol)

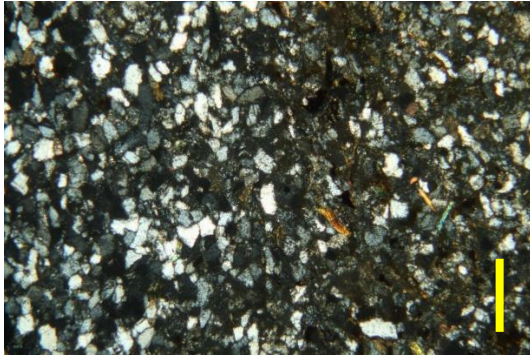
Schaubcylindrichnus (比例尺為 0.5mm)



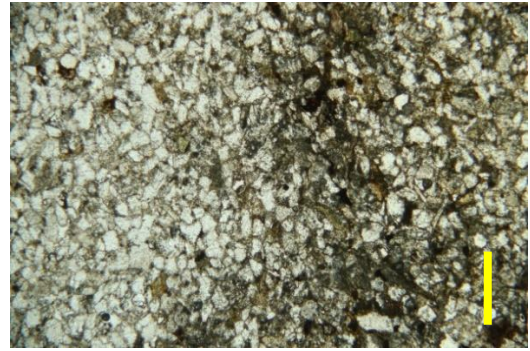
Schaubcylindrichnus 管壁(cross nicol)



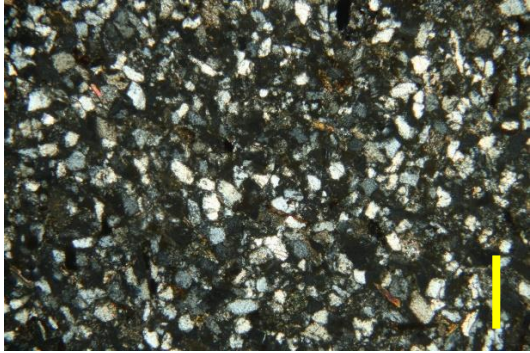
Schaubcylindrichnus 管壁(open nicol)



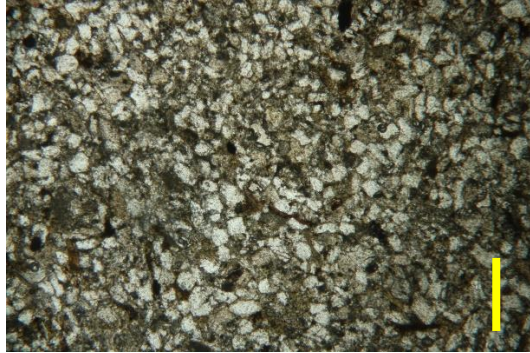
Schaubcylindrichnus 管壁及管壁外



Schaubcylindrichnus 管壁及管壁外

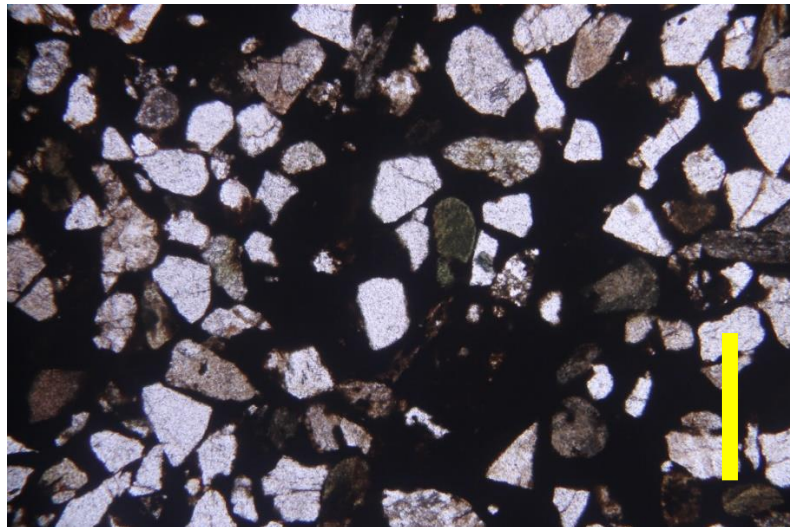


Schaubcylindrichnus 管壁內(cross nicol)



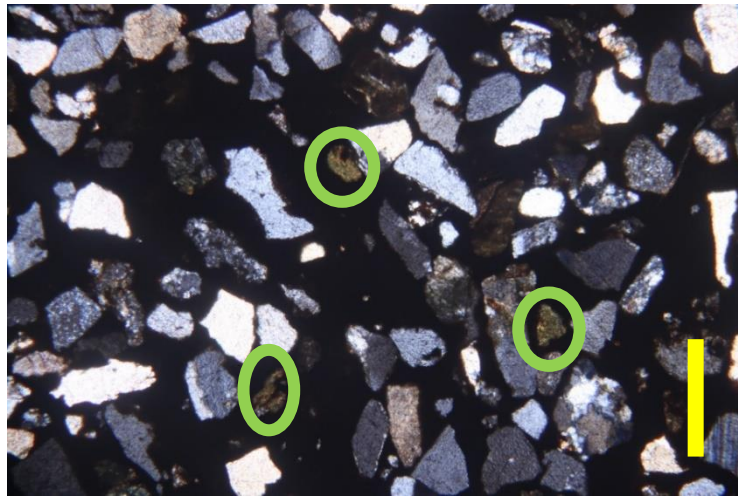
Schaubcylindrichnus 管壁內(open nicol)

在薄片標本中，發現除了石英以外的礦物。*Ophiomorpha* 的管壁壁瀾結構中觀察到針鐵礦，針鐵礦的出現顯示形成管壁時的環境為氧化狀態。(比例尺為 0.5mm)



Ophiomorpha 化石薄片中的針鐵礦

在 *Ophiomorpha* 薄片中還有發現海綠石，而海綠石一般是由無機礦物或有機物質轉化而來。在海水的長期浸泡下發生化學變化，最後變成粒狀海綠石。另外，生物排泄的糞團和粘土物質，也可在海洋環境的適宜條件下轉變為海綠石。(比例尺為 0.5mm)



Ophiomorpha 化石薄片中的針鐵礦

Image J 量化分析：

計算礦物以及膠結物在管壁及管壁內外的比例。

Schaubcylindrichnus

	Mean	Min	Max	%Area
wall	165.7	18	255	46.2
wall	148.9	17	250	42.7
inner	105.5	6	252	36.6
only wall	160.7	12	254	44.1
only host	135.5	11	254	32.5

Ophiomorpha

	Mean	Min	Max	%Area
wall 膠結物	103.5	5	254	31.7
wall 膠結物	113.1	4	255	28.7
oph host	125.0	6	252	47.3
oph host	141.5	11	254	52.5
oph inner	136.2	9	252	61.1

兩者比較

在 *Schaubcylindrichnus* 中，管壁的曠物面積約占管壁的 44%，管壁外及管壁內的比例則大約為 34%。兩者的石英礦物大小皆相似，可推知管壁的礦物組成較緊密，而蠕蟲在進行管壁礦物篩選時較偏好使用膠結緊密的礦物。

在 *Ophiomorpha* 中，管壁的礦物約占管壁的 70%，管壁外及管壁內的礦物比例約為 50% 及 60%。*Ophiomorpha* 管壁是由泥球構造搭建出來，可以在管壁中觀察到大量的針鐵礦，礦物的緊密度也較管壁內外高。

陸、討論

一、生痕化石分布多寡之差異

不同地層在尚未抬升之前，皆存在不一樣之沉積環境。當沉積環境是屬於海退時期，也就是地形抬升前，此處屬於陸相環境，則生痕化石種類及數量將相對較少。另一種情形是當沉積環境相對不平靜時，或是生存條件不利於生物時，使得生物為了減少受到傷害，而遠離此區域，造成生痕化石多寡的差異。

二、*Schaubcylindrichnus* 與 *Ophiomorpha* 比較

將兩種在北海岸常看到的生痕化石 *Schaubcylindrichnus* 和 *Ophiomorpha* 進行比較分析，其功能都是生物用來居住的生痕構造。但外型與結構上卻有極大不同，*Ophiomorpha* 摸起來較 *Schaubcylindrichnus* 粗糙，且容易有砂石脫落，推測其多位於土質較鬆散、流速較快的砂岩區域，因此居住環境必須較為堅固，所以 *Ophiomorpha* 在管壁外型上通常有顆粒狀的突起，為蝦子以泥球或排泄物所做的襯壁結構，而 *Schaubcylindrichnus* 摸起來較為順滑，推測其相較 *Ophiomorpha* 形成在水流較平緩的區域。

三、*Schaubcylindrichnus* 與 *Ophiomorpha* 薄片分析

Ophiomorpha 的顆粒大小較 *Schaubcylindrichnus* 大，推測 *Ophiomorpha* 可能是在海域較淺的地方所形成；另外，有機物質在兩者管壁成分與環境中比例存在明顯差異，*Ophiomorpha* 較高，*Schaubcylindrichnus* 較低，可能和生物的生活型態有所差異，*Ophiomorpha* 中有大塊有機物包裹數塊石英形成的構造，推測其功能就是用來支撐 *Ophiomorpha* 結構的壁襯。

柒、結論

一、根據在北海岸所觀察到生痕化石種類分布，大部分生痕化石為沉積於濱海帶的範圍，可以推測八斗子及番仔澳(大寮層、石底層、南港層)在尚未抬升時是沉積於濱海帶的砂層沉積。

另外，位於石底層的考察地點，雖然同為海相，但屬於海退時期，生物活動區域相對於海進時期較為海深，因此生痕化石數量較少。

二、Schaubcylindrichnus 的型態可分為四種，本次採集的 Schaubcylindrichnus 為 S.coronus 型態和 S.formosus 型態，結構簡單，且管壁較 Ophiomorpha 薄。

三、Ophiomorpha 在管壁外型上通常會有顆粒狀的突起，也就是偏光顯微鏡下的大塊有機物包住一些石英的構造，為蝦子以泥球或其排泄物所做成的襯壁結構，而 Schaubcylindrichnus 摸起來較為順滑，礦物顆粒大小較 Ophiomorpha 為密集，其相較 Ophiomorpha 形成在水流較為平緩、水域較深的區域。

四、在 Schaubcylindrichnus 中，管壁的礦物面積約占管壁的 44%，管壁外及管壁內的比例則大約為 34%。兩者的石英礦物大小皆相似，可推知管壁的礦物組成較緊密，而蠕蟲在進行管壁礦物篩選時較偏好使用膠結緊密的礦物。

五、在 Ophiomorpha 中，管壁的礦物約占管壁的 70%，管壁外及管壁內的礦物比例約為 50%及 60%。Ophiomorpha 管壁是由泥球構造搭建出來，可以在管壁中觀察到大量針鐵礦，礦物的緊密度也較管壁內外高。

捌、參考資料及其他

中央地質調查所-地質資料查詢 <http://gis.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-1/sys8/index.cfm>

地質目錄 <http://icontent.nkps.tp.edu.tw/naturesci/index.htm>

阿山的地科教室 <http://ashan.gl.ntu.edu.tw/chinese/index-GeoClass.html>

基隆與東北角景觀之旅 <http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2002/C0225200325/index.htm>

google earth <https://www.google.com.tw/intl/zh-TW/earth/>

[maps-taiwan https://www.globalsecurity.org/military/world/taiwan/maps.htm](https://www.globalsecurity.org/military/world/taiwan/maps.htm)

Ludvig Löwemark (2014) Evidence for targeted elasmobranch predation on thalassinidean shrimp in the Miocene Taliao Formation, NE Taiwan (Ludvig Löwemark)

Ludvig Löwemark, Yu-Chen Zheng, Subarna Das, Chung-Ping Yeh , Tzu-Tung Chen (2016)
A peculiar reworking of Ophiomorpha shafts in the Miocene Nangang Formation, Taiwan

Ludvig Löwemark , Chen Tzu-Tung (2017) Zoophycos: The World' s Strangest Trace Fossil

Ludvig Löwemark , Chen Tzu-Tung (2017) Trace Fossil, the Evidence of Past Biological Activities

Ludvig Löwemark , Yeh Chung-Ping , Pan Yu-Yen (2017) Clues to the Behavior of Juvenile Crustaceans from a Peculiar Trace Fossil-Ophiomorpha at Fanziao

【評語】 180018

本研究主要針對北海岸的生痕化石進行研究，並比較 *Schaubcylindrichnus* 與 *Ophiomorpha* 間的差異，兩者均是生物用來居住的生痕構造，藉由觀察兩者至外型與結構，可推測當時的土質狀態與環境流速等生長環境。除了野外調查，另有樣本薄片分析，觀察礦物組成與類型，是一個相當完整的研究。