

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 地球科學科

佳作

040505

苗栗後龍磚場有孔蟲化石與古氣候之研究

學校名稱：臺北市立成功高級中學

作者： 高二 王羚原 高二 黃昭元	指導老師： 謝莉芬
-------------------------	--------------

關鍵詞：有孔蟲、鎂鈣比、碳氧同位素

摘要

苗栗後龍磚場地區屬於頭料山層中的一部份，上半部棕灰色砂岩，下半部為灰色泥岩，採樣點皆位於此；有一層薄層深灰色泥夾在下半部泥岩之中，其附近發現的有孔蟲數量較其他採樣點來的多。

標本進行採集、處理後，鑑定出 21 種有孔蟲化石。經過 Mg/Ca 換算，得出溫度；*Globigerinoides ruber*(簡稱 *G. ruber*)的鎂鈣值範圍介在 3.94~5.12mmol/mol；海表溫度介在 27.0~29.9°C。測出的 *Globigerinoides sacculifer*(簡稱 *G. sacculifer*)則介在 3.72~4.77 mmol/mol 之間；30-50m 水深的溫度介在 25.6~29.1°C。由苗栗後龍磚場地區鎂鈣值測出較高的溫度，顯示有孔蟲結殼時為更新世的暖期。

海洋岩芯 ORI801-8 *G. ruber*得知海表溫度約為 29.5°C，藉由 *G. sacculifer* 得知較深的 30~50m 溫度約為 23.6°C，此外海洋岩芯多測了次表層水的 *Pulleniatina Obliquiloculata*(簡稱 *P. obliquiloculata*)海底溫度約為 20.9°C。

由海洋岩芯 ORI801-8 中 *G. ruber*所測之近 1 千年的海表溫度較苗栗後龍磚場地區約 1.24~0.46 Ma 為高，*G. sacculifer*所測之水深 30-50m 溫度較苗栗後龍磚場地區為低。

苗栗後龍磚場地區測出的 *G. ruber* 的殼體 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值範圍介在 -2.35~-3.71‰。測出的 *G. sacculifer* 的殼體 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值範圍介在 -2.22~-3.21‰。藉由 *G. ruber* 和 *G. sacculifer* 溫度及 $\delta^{18}\text{O}_c$ 之換算測出的 $\delta^{18}\text{O}_w$ 值範圍約為 -1.3~0.2。 $\delta^{18}\text{O}_w$ 與鹽度呈現正相關的趨勢，因此可以用其殼體來代表鹽度的變化，故可由其 $\delta^{18}\text{O}_w$ 之差異了解鹽度高低的比較。 $\delta^{18}\text{O}_w$ 值為負值，代表海水較淡，鹽度較低，造成的原因可能為淡水注入或強降水所致。代表 1.24~0.46 Ma 當時此地區有孔蟲結殼時為正常至較低的鹽度。

壹、 研究動機

高一基礎地球科學課本第七章「地球環境變遷」中，曾提到可以藉由冰層、沉積物、樹輪、珊瑚等研究，重建地球歷史中的氣候變化，就覺得這是一項很不可思議的研究，但也覺得很富挑戰性。

而在地科教室有許多以前學長們留下來的苗栗後龍白沙屯貝類化石標本，我們想到當地有那麼多貝類化石，在沈積物中應該也會有許多微體化石包括有孔蟲的標本，閱讀相關參考資料後，發現後龍一帶除了白沙屯之外，還有許多地點也有貝類化石和有孔蟲的記載，但大部分都僅著重在分類和鑑定。

於是我們到龍港和磚場進行地質考察，帶回沈積物標本，除了對有孔蟲進行分類、鑑定之外，並希望藉由化學分析(例如 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 及 Mg/Ca 比)，來了解該地區古氣候的變化。

目前在探討古氣候的議題上，許多的科學家都嘗試從海洋岩芯的沈積物進行研究，由其中有孔蟲的化學分析，了解古氣候的變化。因此我們也以苗栗後龍有孔蟲化學分析的結果與海洋岩芯有孔蟲化學分析的結果做比對，了解數十萬年前陸地沈積物有孔蟲所測出的溫度與一千年海洋岩芯沈積物有孔蟲所測出溫度的差異。

貳、 研究目的

- 一、將苗栗後龍龍港和磚場地區有孔蟲化石予以分類鑑定。
- 二、探討苗栗後龍磚場地區浮游性有孔蟲化石殼體 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 及 Mg/Ca 比與當時海洋溫度及鹽度的關係。
- 三、利用海洋岩芯頂部沈積物中的浮游性有孔蟲來重建現今(一千年來)的海表溫度。
- 四、以苗栗後龍磚場地區與海洋岩芯之有孔蟲去了解 1.24~0.46 Ma 與一千年來的溫度差異。

參、 研究地點

一、陸上標本

(一) 位置

1. 苗栗後龍龍港

苗栗縣後龍鎮龍港的考察地點位於後龍溪入海口之南岸，可從福爾摩沙高速公路下後龍交流道，沿六號省道往西至西部濱海快速公路，越過龍港火車站附近之鐵軌往西行，至海邊 (圖一、二)。

2. 苗栗後龍磚場

苗栗縣後龍磚場位於苗栗縣後龍鎮十班坑橋東北方，福爾摩沙高速公路下

後龍交流道到六號省道，沿六號省道直行，左轉往西北到一號省道和六號省道的交叉口，再沿一號省道（至 114 公里標示處）左轉往西南，看到左方有一'信揚窯業'長形招牌的往下的小叉路，往下就可看到磚場（圖一、二、三）。

(二)區域地質

根據張憲卿(1990)指出苗栗位於台灣西部麓山帶地質區之西緣，主要地層由晚第三紀及第四紀之卓蘭層、頭料山層以及未固結之紅土臺地堆積層、階地層等構成。

由李慶蘭(2000)得知：後龍地區當中所沈積的地層屬於更新世早期之地層，整合覆蓋於卓蘭層之上，於西部麓山帶分布甚廣。頭料山層在苗栗地區可分成下部之香山相與上部之火炎山相，彼此間的關係為漸變關係。苗栗白沙屯地區出露地層屬於香山相，岩性特徵為青灰至棕灰色、細至粗粒砂岩，夾層灰色頁岩層。根據鈣質超微化石與有孔蟲化石的生物地層關係，苗栗白沙屯地區之頭料山層的地質年代應為更新世早期，絕對年代為 1.24-0.64Ma。

苗栗後龍龍港與磚場均在李慶蘭(2000)苗栗白沙屯地區頭料山層之年代地層與沈積環境的研究區域內，故以其定年的結果做為本研究年代的參考。

(三)地質概況：

1.苗栗龍港

李慶蘭(2000)指出此龍港剖面出露於後龍溪出海口之南岸，岩層出露於海邊潮間帶，經海水浸蝕，多已風化，無法採到較新鮮標本，且化石保存不良。出露岩層厚度約一百多公尺，但大部分在海水面下，且岩層走向為北偏東 54 度，向西北傾斜 32 度。上部岩層以砂岩為主。

2.苗栗後龍磚場

李慶蘭(2000)指出此磚場剖面為向東傾斜之露頭，屬於頭料山層之香山相。地層走向為北偏東 10 度，岩層傾斜角度平緩，向東傾斜約 10 度。岩層出露約 15 公尺，下部 8 公尺之深灰色泥岩及上部 7 公尺之棕色砂岩。下部泥岩嵌有薄層含碳物質且化石沉積數量較豐富。

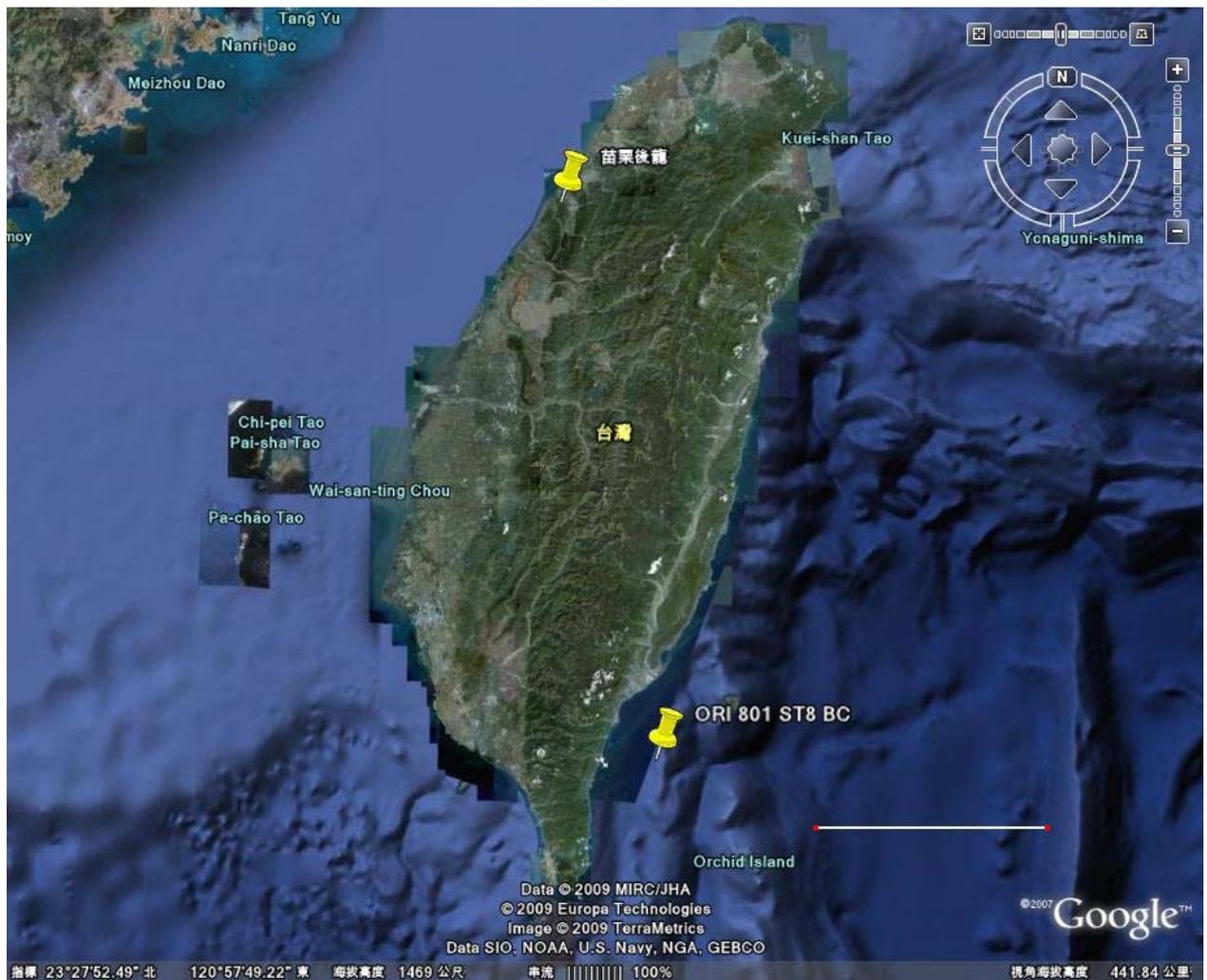
二、海洋岩芯 ORI801-8

(一)位置

岩芯取於 22°29'59.97"N，121°15'00.01"E (圖一)。

(二)深度

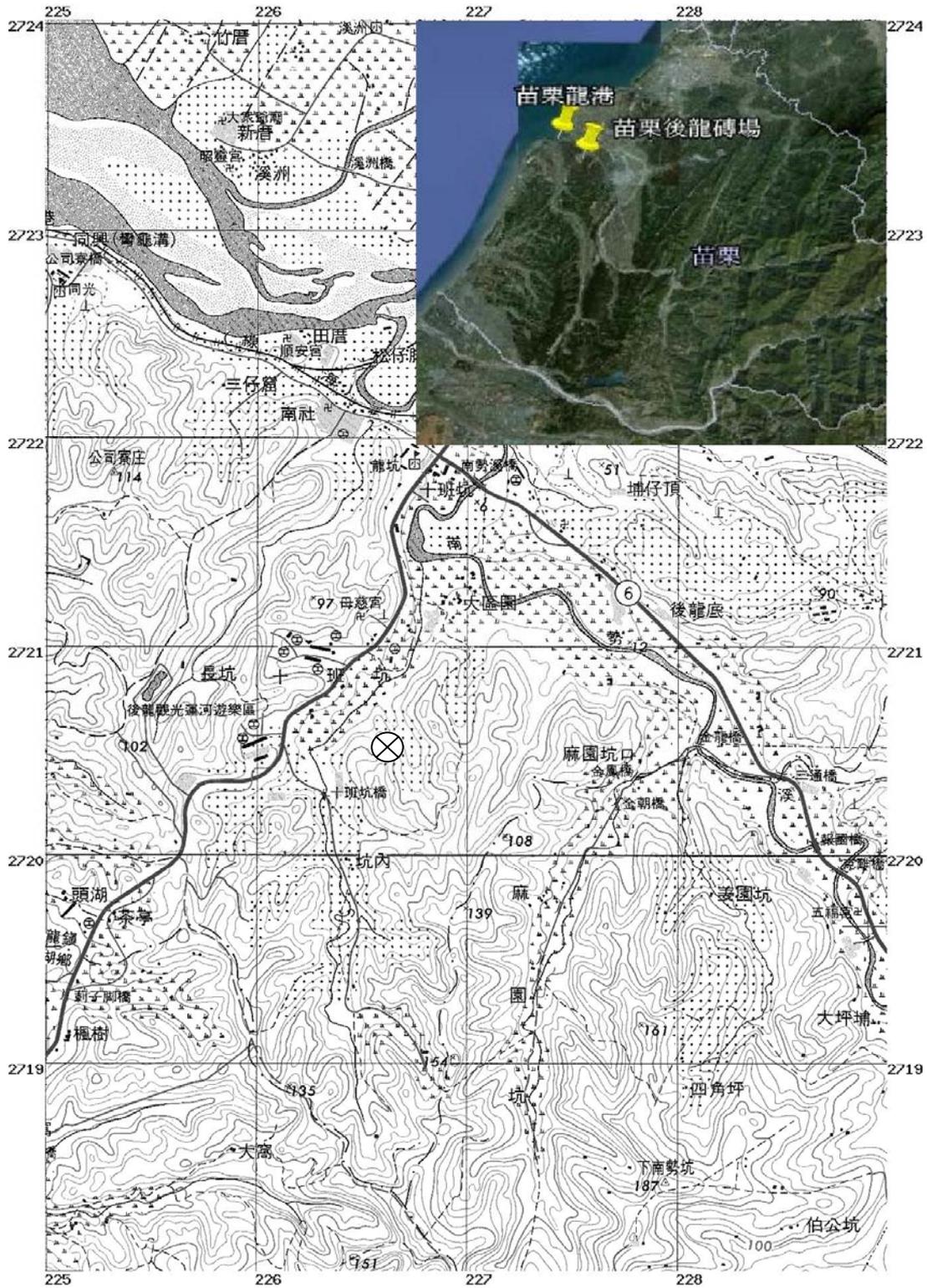
水深 532 公尺，因取岩芯頂部 1~2 公分的沉積物，代表該沉積物沉積時間為近一千年。



圖(一)陸地及海洋岩芯 ORI801-8 標本取樣位置。海洋岩芯 ORI801-8 取於 22°29'59.97"N，121°15'00.01"E 之表層沉積物，圖右下角的尺標為一百公里的 比例尺。圖片取自 Google Earth。



圖(二)苗栗後龍龍港考察位置。圖右下角的尺標為 500 公尺的比例尺。圖片取自 Google Earth。



圖(三) 苗栗後龍磚場標本採集位置。

苗栗磚場考察地點位於十班坑橋東北 ⊗ 處，圖中一格區域皆表示為一公里。圖片取自聯勤經建版第三版地形圖。

肆、研究設備及器材

一、採集過程所需設備及器材：

地質槌、傾斜儀、夾鍊標本袋、相機、野外紀錄本、鉛筆、尺、地圖、小刷子、鑿子、放大鏡、衛生紙。

二、處理標本所需設備及器材：

烤箱、篩網、小刷子、水盆、毛筆、解剖顯微鏡、有孔蟲圖鑑、燒杯、試管、試管架、鐵氟龍燒杯、超音波震盪機、真空吸管、超微氣相比例質譜儀(IRMS)、感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)、電子顯微鏡(SEM)。

伍、研究方法

一、標本採集

(一)2008年3月至苗栗龍港進行地質考察，並採集標本(照片一~二)。

(二)2008年4月至苗栗後龍磚場地區進行地質考察，並採集標本，採樣點如圖四之A~I。(照片五~照片八)。

二、標本處理與鑑定

(一)將採集標本浸泡水中數星期，使之軟化。再用分析篩水洗(孔徑大小為1.19mm、0.42mm、0.21mm)，再烘乾數天(照片九~十)。

(二)利用解剖顯微鏡與毛筆挑出各種的有孔蟲化石。

(三)龍港沈積物標本中有孔蟲化石含量極少，故無法繼續進行化學分析，但苗栗後龍磚場有孔蟲化石含量較豐富，故從標本中挑出大小250~355微米 *Globigerinoides ruber*(簡稱 *G. ruber*)及 *Globigerinoides sacculifer*(簡稱 *G. sacculifer*)二種各20~30隻，進行鎂鈣比及碳氧同位素之研究。

(四)在臺大地質系魏國彥教授所提供的海洋岩芯 ORI801-8 標本中挑出大小為300~355微米 *G. ruber*、*G. sacculifer* 以及355~425微米 *Pulleniatina Obliquiloculata*(簡稱 *P. obliquiloculata*)三種各100隻，做鎂鈣比及碳氧同位素之研究，並與磚場對照出年代與溫度的差異。

三、鎂鈣同位素原理與處理

(一)原理

楊順中(2007)敘述有孔蟲碳酸鈣殼體的鎂元素含量的變化(Mg/Ca)被視為一個古海水溫度變化的指標，因為鎂鈣比的比值主要受控於海水溫度的變化，對其他環境因子的變化則較不敏感。鎂鈣比是一種代用指標，是藉由間接的方法來得到古溫度，根據 Steinke et al.(2005) 和 Anand et al.(2003)對於現生有孔蟲的鎂鈣比與溫度之間的關係已經建立了一個經驗式，於是利用鎂鈣比來當作古溫度的指標，並藉此來得知古海表溫的變化。

$Mg/Ca = 0.38e^{0.089 \times SST}$ for *G. ruber* Steinke et al.(2005)

$Mg/Ca = 0.347e^{0.090 \times SST}$ for *G. sacculifer* Anand et al.(2003)

(二)處理

1.洗蟲步驟 (楊順中,2007) (照片十三~十四)

取苗栗後龍磚場地區 *G. ruber* 及 *G. sacculifer* 二種各 20 隻、海洋岩芯 ORI801-8 的 *G. ruber*、*G. sacculifer* 以及 *P. obliquiloculata* 三種各 100 隻，將殼體壓碎混勻後，置入 1.5 毫升的鐵氟龍燒杯內，並依照 Barker et al.(2003)之清洗流程：

- (1)加入 0.45 毫升乙醇並以超音波震盪 20 分鐘，以減少有孔蟲殼體碎片之表面張力，方便後續步驟藥劑能進入殼體孔隙。
- (2)加入 3%的過氧化氫(H₂O₂)溶液 0.45 毫升，並以 70°C 的溫度加熱 2 小時，以將殼表的有機物和硫化物氧化。
- (3)加入 1M 之氯化銨(NH₄Cl)溶液 0.45 毫升，並以攝氏 70 度之溫度加熱 20 分鐘，去除殼體表層能以離子交換方式去除之附著物。
- (4)加入 0.01M 之醋酸鈉脛胺(NH₂OH • CH₃COONa)溶液 0.45 毫升並以 70°C 加熱 3 小時。
- (5)加入 5x10⁻⁴M 之硝酸(HNO₃)溶液 90 μL，並以 70°C 的溫度加熱 5 分鐘，去除在清洗過程中吸附於殼體表面之雜質。

2.質譜儀分析：使用國立臺灣大學地質學系的質譜儀(ICP-MS)。

3.將 Mg/Ca 帶入公式，換算其溫度。

$$\text{Mg/Ca} = 0.38e^{(0.089 \times \text{SST})} \quad \text{for } G. \text{ ruber} \quad \text{Steinke et al.}(2005)$$

$$\text{Mg/Ca} = 0.347e^{(0.090 \times \text{SST})} \quad \text{for } G. \text{ sacculifer} \quad \text{Anand et al.}(2003)$$

四、碳氧同位素處理與方法

(一)原理

同位素之間的分化作用(fractionation)，使同位素在物理、化學作用過程中相對富集。浮游有孔蟲殼體主要是由碳酸鈣(CaCO₃)組成，某些種類的有孔蟲殼體氧同位素會與海水之氧同位素達到平衡，因此可利用其殼體氧同位素數值來推算當時海水狀況。氧同位素比值以 $\delta^{18}\text{O}$ 表示，定義如下：

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standard}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standard}}} \times 1000$$

當有孔蟲形成碳酸鈣質體殼時，若溫度較高，較輕的 ¹⁶O 會比 ¹⁸O 更易遷移進入生物造殼，使殼中 ¹⁸O 含量相對減少；¹⁶O 比 ¹⁸O 容易蒸發，因此當海表蒸發量增加、鹽度升高時，海水 $\delta^{18}\text{O}$ 亦隨之升高，進而影響生物造殼之同位素值；各類生物造殼所抓取同位素的習性不一，即使是同種生物，受到個體發生、新陳代謝等生機效應的影響會使殼體 $\delta^{18}\text{O}$ 值有所差異；此外造殼時海水的碳酸根濃度以及酸鹼值對殼體同位素值也有影響。

$$\Delta F = \Delta G + \Delta T + \Delta S + \Delta V + \Delta D$$

ΔF : 有孔蟲殼體個體間氧同位素數值差異

ΔG : 冰川效應 ΔT : 溫度效應

ΔS : 鹽度效應 ΔV : 生機效應 ΔD : 溶解效應

生機效應主要受控於有孔蟲的種屬與個體發生階段，因此選定特定大小之有孔蟲進行殼體分析藉以排除生機效應的影響，再扣除冰川效應所產生的氧同位素差異，可推得溫度及鹽度變化。但不可避免的海洋溶解作用(dissolution)對有孔蟲殼體之影響，溶解作用首先會溶去有孔蟲殼體較薄或較輕的外殼，剩下 $\delta^{18}\text{O}$ 值較高的房室，而造成海洋訊息的錯誤。可以SEM檢查。

採用 $\delta^{18}\text{O}$ 的公式根據：

$$\text{Bemis et al. (1999)} \quad T(^{\circ}\text{C}) = 14.9 - 4.8x(\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w) \quad \text{for } G. \textit{ruber}$$

$$\text{Erez and Luz (1983)} \quad T(^{\circ}\text{C}) = 16.9 - 4.2(\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w) \quad \text{for } G. \textit{sacculifer}$$

先利用鎂鈣比所得知的海溫代入式子中，再帶入所測得的 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值即可求得 $\delta^{18}\text{O}_w$ ，其代表的是當時的有孔蟲結殼時的海水氧同位素值，根據林玉詩(2005)可以推得， $\delta^{18}\text{O}_w$ 與鹽度呈現正相關的趨勢，因此可以用其殼體來代表鹽度的變化，雖然沒有實際的數字能夠代表鹽度，但仍可利用其 $\delta^{18}\text{O}_w$ 之差異了解鹽度高低的比較(尤柏森，2000；邱子虔，2000；陳致維，2003；林玉詩，2005)。

(二)處理

1.洗蟲步驟(尤柏森，2000；邱子虔，2000；陳致維，2003)

(1)取磚場 *G. ruber* 及 *G. sacculifer* 二種，各點取 5~6 隻有孔蟲以甲醇(CH_3OH) 浸泡，並以超音波震盪 3 次，每次 5 秒。目的在清除附著在有孔蟲殼體上的細顆粒雜質。

(2)以去離子水蒸餾水清洗 7 次。

(3)以次氯酸鈉溶液(NaOCl)浸泡 24 小時，再以去離子蒸餾水反覆清洗 7 次。目的在於去除吸附於有孔蟲殼體上的有機物。

(4)置於 50°C 之恆溫箱中烘乾，約需 48 小時。

2.質譜儀分析：使用國立臺灣師範大學地球科學系的 Micromass 質譜儀。(IRMS)

3.將 $\delta^{18}\text{O}_c$ 代入公式，並配合 Mg/Ca 所轉換的溫度得出 $\delta^{18}\text{O}_w$ (尤柏森，2000；邱子虔，2000；陳致維，2003)。

$$T(^{\circ}\text{C}) = 14.9 - 4.8(\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w) \quad \text{for } G. \textit{ruber} \quad \text{Bemis et al. (1999)}$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 16.9 - 4.2(\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w) \quad \text{for } G. \textit{sacculifer} \quad \text{Erez and Luz (1983)}$$

陸、結果與討論

一、地質考察

(一) 苗栗龍港：

位於後龍溪出海口，岩層出露於海邊潮間帶，大多已風化，無法採到較新鮮的標本。此地區地層屬於頭嵙山層中的一部份。

(二) 苗栗後龍磚場：

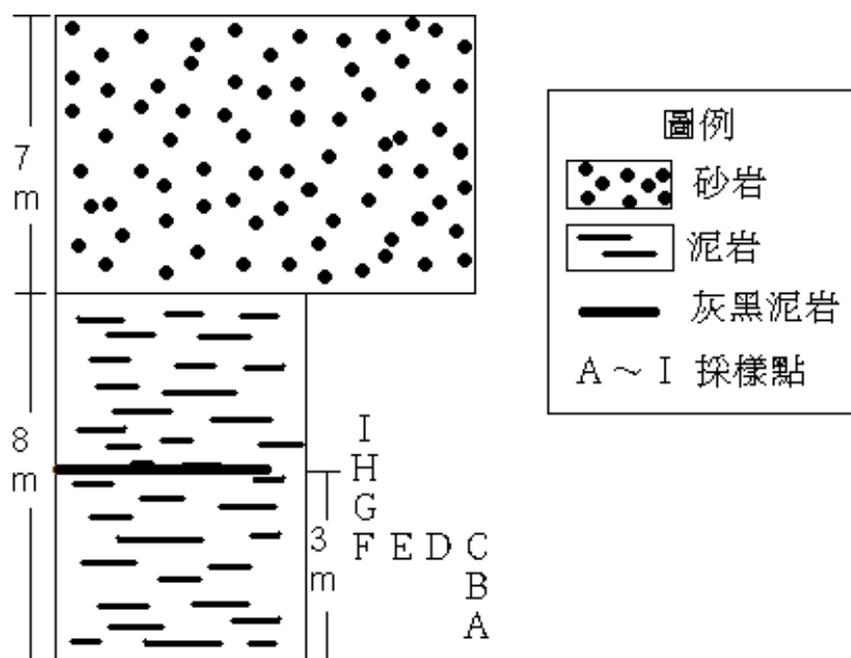
屬於頭嵙山層香山相中的一部份，高度約 15 公尺，上半部的 7 公尺顏色棕灰色，屬於砂岩，由於高度過高，所以未在此砂岩中採取樣本；下半部的 8 公尺之顏色較深，屬於泥岩，採樣點皆位於此；有一層薄層深灰色泥夾在下半部泥岩之中，高度約為 3 公尺，其中發現的有孔蟲數量較其他採樣點來的多。

二、分類與鑑定

(一) 苗栗龍港：沈積物中的有孔蟲標本數量極少。

(二) 苗栗後龍磚場：

標本採自於頭嵙山層香山相中的泥岩中(圖四、照片五~八)，表(一)為在磚場所找到 21 種有孔蟲的分布表(中：代表在 0.42mm 篩網上所得到的標本、下：代表在 0.21mm 篩網上所得到的標本、崩：代表在該採集點之崩積層中的採樣)。



圖(四)苗栗後龍磚場地區沈積柱狀圖。

表(一)苗栗後龍磚場地區有孔蟲化石分布表

	A 中	A 下	B 下	C 中	C 下	E 中	E 下	F 下	H	I 中	I 下	E 崩 中	E 崩 中	E 崩 中	E 崩 下	E 崩 下	E 崩 下	F 崩 中	
<i>Pseudorotalia indopacifica</i>	◎	◎		◎						◎		◎	◎	◎					◎
<i>Triloculina tricarinata</i>		◎		◎											◎	◎	◎		
<i>Bolivina textularioides</i>		◎			◎													◎	
<i>Hanzaia hoppoensis</i>																		◎	
<i>Quinqueloculina seminulum</i>			◎																
<i>Quinqueloculina lamarckian</i>			◎		◎														
<i>Orbulina universea</i>	◎									◎				◎					
<i>Trifarina bradyi</i>													◎						
<i>Globigerinoides ruber</i>		◎			◎			◎			◎		◎		◎	◎	◎	◎	◎
<i>Globigerinoides sacculifer</i>		◎	◎		◎				◎		◎				◎	◎	◎		
<i>Eponides repandus</i>	◎				◎		◎	◎				◎				◎			
<i>Pseudosaria laevigata</i>																◎			
<i>Melonic umbilicata</i>					◎											◎			
<i>Eponides tenura</i>								◎	◎										
<i>Triloculina reticulata</i>													◎						
<i>Elphidium advenum</i>	◎																		
<i>Elphidium hispidulum</i>												◎							
<i>Florilus japonicum</i>		◎																	
<i>Rotalia taiwanioa</i>						◎													
<i>Spireloculina communis</i>															◎				
<i>Textularia intosiana</i>												◎							

三、鎂鈣比的結果

(一)取樣

- 1、選擇台灣東南部海洋岩芯主要是利用岩芯頂部的沈積物裡的浮游性有孔蟲來重建現今(一千年來)的海表溫度。海洋岩芯 ORI801-8 的 *G. ruber*、*G. sacculifer* 比陸地標本較多且保存較好，故能較精確的測定近代的海溫。
- 2、各種有孔蟲當中，每一種的生活環境與習性有些不太相同，為了以防有孔蟲因為大小不同而導致抓取的元素不同進而影響實驗數據，於是我們採取成體數量較為豐富且大小相近的有孔蟲。250~355 微米 *G. ruber* 及 *G. sacculifer* 為 300~355 微米；*P. obliquiloculata* 為 355~425 微米。

- 3、*G. ruber* 又分為兩種型態，其一為 sensu stricto form(s.s.)，生活在淺於 30 公尺的淺海；另一為 sensu lato form(s.l.)，生活在 30~50 公尺海洋中。為避免混合不同型態的個體影響最後實驗結果，本研究只挑選 s. s. form 以去除生機效應產生的錯誤。
- 4、從圖版中可見放大的有孔蟲殼體並無再結晶作用或溶解作用造成的結果，樣本相當乾淨，故所測數據較能代表有孔蟲殼體生成時，海水鎂鈣比及 $\delta^{18}\text{O}$ ，而所測得之溫度和 $\delta^{18}\text{O}_w$ 會較為正確。

(二)苗栗後龍磚場地區

由表(二)、圖(五)可看出

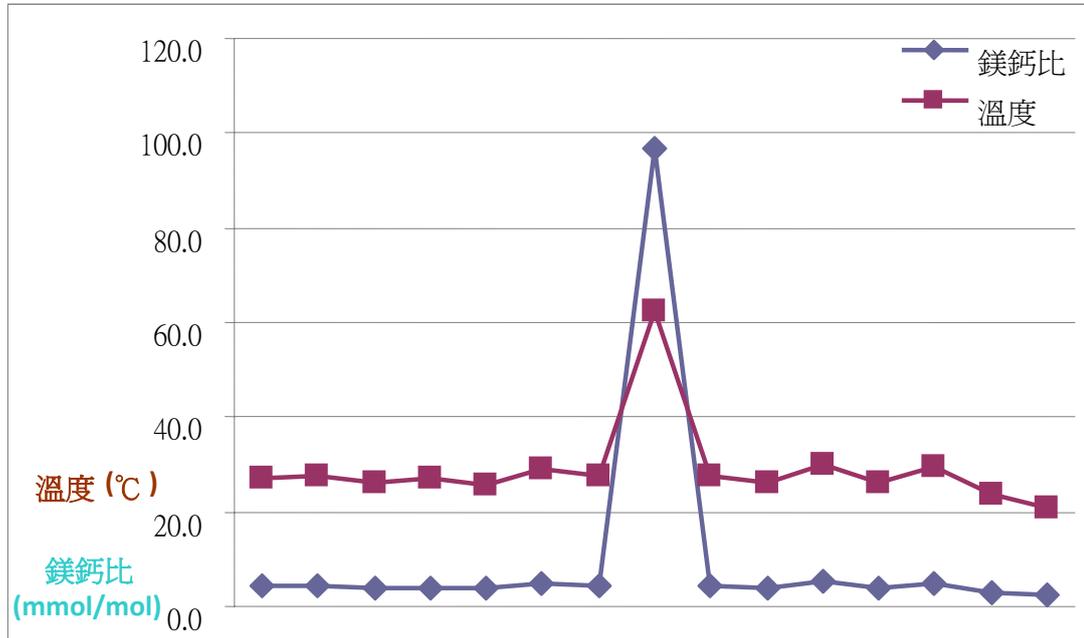
- 1、*G. ruber* 測出的鎂鈣值範圍介在 3.94~5.12 mmol/mol (不包括 C1)。求得 B1 鎂鈣比 3.94 mmol/mol，溫度約為 27.0°C。C1 鎂鈣比 96.71 mmol/mol，溫度約為 62.6°C。E1 鎂鈣比 4.22 mmol/mol，溫度約為 27.8°C。F1 鎂鈣比 4.33 mmol/mol，溫度約為 27.3°C。各標本鎂鈣比和溫度之關係如圖(五)。(其中樣本欄位中的 " 代表在同一採樣點採集的另一標本，EF 的標本來自崩積層，1 代表 *G. ruber*)
- 2、*G. sacculifer* 測出的鎂鈣值範圍則介在 3.72~4.77 mmol/mol 之間。A2 鎂鈣比 3.94 mmol/mol，溫度約為 26.3°C。B2 鎂鈣比 3.72 mmol/mol，溫度約為 25.6°C。C2 鎂鈣比 4.44 mmol/mol，溫度約為 27.6°C。E2 鎂鈣比 4.77 mmol/mol，溫度約為 29.1°C。E " 2 鎂鈣比 3.95 mmol/mol，溫度約為 26.3°C。I2 鎂鈣比 4.23 mmol/mol，溫度約 27.1°C。(其中樣本欄位中的 " 代表在同一採樣點採集的另一標本，EF 的標本來自崩積層，2 代表 *G. sacculifer*)
- 3、海洋岩芯 ORI801-8 的 *G. ruber*(GR2)鎂鈣值 4.92 mmol/mol，溫度約為 29.5°C。*G. sacculifer*(GS2)鎂鈣值 3.11 mmol/mol，溫度約為 23.6°C。*P. obliquiloculata*(PO2)鎂鈣值 2.45 mmol/mol，溫度約為 20.9°C。
- 4、C1 標本鎂鈣質高達 96.71 mmol/mol，造成的原因可能是 ICP-MS 質譜儀自動取樣時未抽取到底部溶液所致。
- 5、其中 A、B、C 的採樣點為磚場轉折處露頭的數據，A 為下層採樣點、B 代表中層採樣點、C 代表上層採樣點。A2 鎂鈣比 3.94 mmol/mol，溫度約為 26.3°C。B2 鎂鈣比 3.72 mmol/mol，溫度約為 25.6°C。C2 鎂鈣比 4.44 mmol/mol，溫度約為 27.6°C。故從數據中可看出同一露頭附近由下而上溫度為 26.3°C → 25.6°C → 27.6°C，溫度先降低再升高的變化。

(三)海洋岩芯

利用 Mg/Ca 換算 SST 的結果，可知由海洋岩芯 ORI801-8 中的 *G. ruber*(GR2) 得知海表溫度為 29.5°C，由 *G. sacculifer* 得知水深 30~50m 為 23.6°C。苗栗後龍磚場地區由 *G. ruber* 得知海表溫度平均約 28.0°C，由 *G. sacculifer* 得知水深 30~50m 平均約 26.9°C。

表(二)苗栗後龍磚場地區和海洋岩芯 ORI801-8 的 *G. ruber* 及 *G. sacculifer* 鎂鈣比、溫度和 $\delta^{18}\text{O}_c$ 的數據

樣本	Mg/Ca (mmol/mol)	$\delta^{18}\text{O}_c$	T(°C)	$\delta^{18}\text{O}_w$
B 1	3.94		27.0	
E # 1	4.22	-3.2	27.8	-0.5
F1	4.33		27.3	
C1	96.71	-2.8	62.6	7.2
A2	3.94	-3.1	26.3	0.2
B2	3.72	-3.2	25.6	-1.3
C2	4.44	-2.6	27.6	-0.2
E2	4.77	-2.2	29.1	-0.4
E # 2	3.95	-2.3	26.3	-0.2
I2	4.23	-2.5	27.1	-0.3
GR2	4.92		29.5	
GS2	3.11		23.6	
PO2	2.45		20.9	



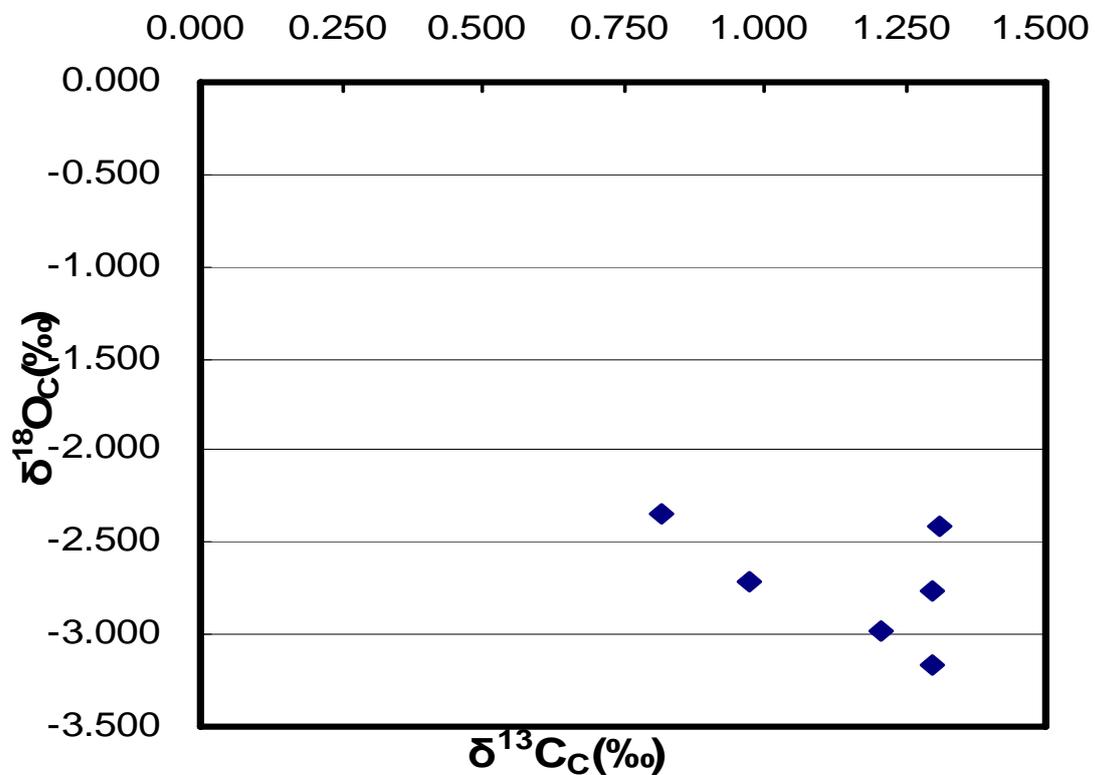
圖(五) 苗栗後龍磚場地區和海洋岩芯 ORI801-8 各標本鎂鈣比和溫度之關係

四、碳氧同位素

將鎂鈣比得到之溫度與 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值換算成 $\delta^{18}\text{O}_w$ 。

(一) *G. ruber*

- 1、測出的 *G. ruber* 的 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值範圍介在-2.3~-3.1‰。求得 E " 1 的 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值-3.16‰， $\delta^{18}\text{O}_w$ 值約為-0.5，其結果如圖（六）、表(三、五)。(其中 E 標本均採自該採樣點的崩積層中，" 和 " " 代表同一採樣點的另一標本，1 表 *G. ruber* 的標本，而 NO DATA 表示樣本數過少，無法測出量值造成)



圖(六)苗栗後龍磚場地區 *G. ruber* $\delta^{13}\text{C}_c$ 和 $\delta^{18}\text{O}_c$ 的散佈圖

表(三)苗栗後龍磚場浮游性有孔蟲 *G. ruber* 碳氧同位素數據

樣本	$\delta^{13}\text{C}_c$	誤差值	$\delta^{18}\text{O}_c$	誤差值
A1	1.21	0.004	-2.98	0.007
B1	NO DATA	NO DATA	NO DATA	NO DATA
C1	1.30	0.005	-2.77	0.009
E1	1.31	0.005	-2.42	0.011
F1	NO DATA	NO DATA	NO DATA	NO DATA
E # 1	1.30	0.007	-3.16	0.016
E # # 1	0.97	0.008	-2.72	0.019
H1	0.81	0.003	-2.35	0.005
I1	NO DATA	NO DATA	NO DATA	NO DATA

(二) *G. sacculifer*

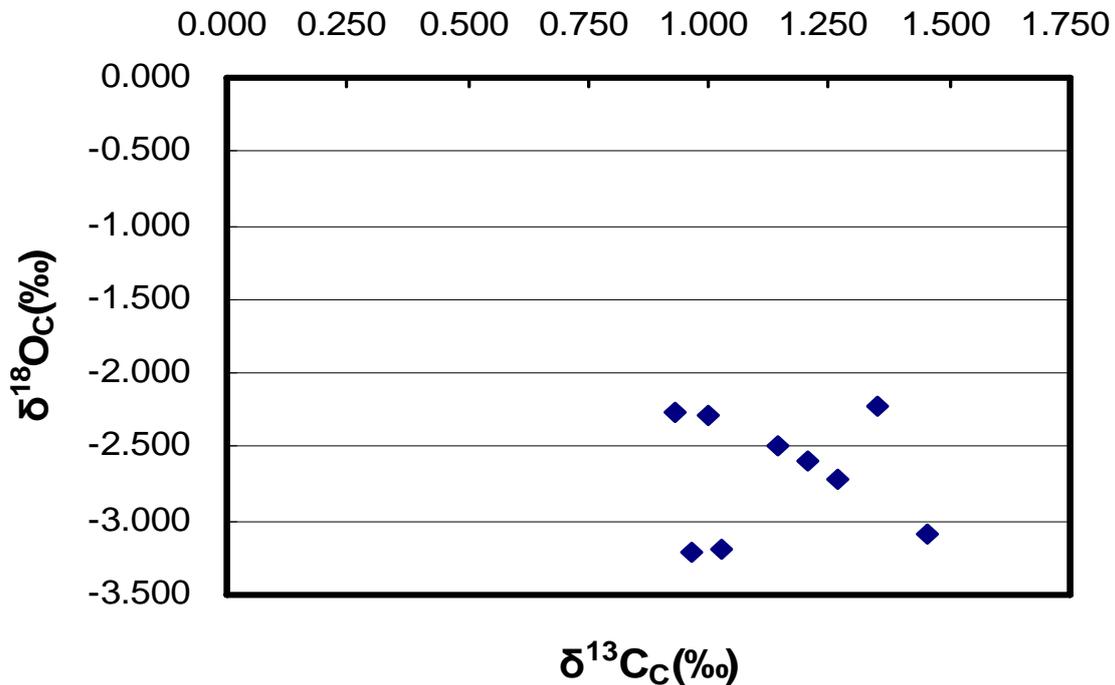
1、測出的 *G. sacculifer* 的 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值範圍介在-2.22~-3.21‰ (見表二、四、五)、圖(七)。求得 B2 的 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值-3.19‰, $\delta^{18}\text{O}_w$ 值約為-1.3。C2 的 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值-2.59‰, $\delta^{18}\text{O}_w$ 值約為-0.2。E2 的 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值-3.10‰, $\delta^{18}\text{O}_w$ 值約為-0.4。E # 2 的 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值-2.29‰, $\delta^{18}\text{O}_w$ 值約為-0.2。I2 的 $\delta^{18}\text{O}_c$ 值-2.50‰, $\delta^{18}\text{O}_w$ 值約為-0.3。(其中 E 標本均採自該採樣點的崩積層中, # 和 # # 代表同一採樣點的另一標本; 2 表 *G. sacculifer* 的標本),

表(四)苗栗後龍磚場浮游性有孔蟲 *G. sacculifer* 碳氧同位素數據

採樣點名稱	$\delta^{13}\text{C}_c$	誤差值	$\delta^{18}\text{O}_c$	誤差值
A2	1.35	0.001	-2.22	0.003
B2	1.03	0.015	-3.19	0.022
C2	1.21	0.004	-2.59	0.004
E2	1.45	0.006	-3.10	0.008
E # 2	1.00	0.013	-2.29	0.015
E # # 2	0.93	0.006	-2.27	0.006
F2	0.97	0.011	-3.21	0.011
H2	1.27	0.010	-2.72	0.019
I2	1.14	0.004	-2.50	0.009

表(五) 苗栗後龍磚場地區 *G. ruber* 及 *G. sacculifer*
碳氧同位素數據

樣本	$\delta^{13}\text{C}_c$		Sample	$\delta^{18}\text{O}_c$	
	<i>G. ruber</i>	<i>G. sacculifer</i>		<i>G. ruber</i>	<i>G. sacculifer</i>
A	1.21	1.39	A	-2.98	-2.22
B	NO DATA	1.03	B	NO DATA	-3.19
C	1.30	1.21	C	-2.77	-2.59
E	1.31	1.45	E	-2.42	-3.10
E''	1.30	1.00	E''	-3.16	-2.29
E''''	0.97	0.93	E''''	-2.72	-2.27
F	NO DATA	0.97	F	NO DATA	-3.21
H	0.82	1.27	H	-2.35	-2.72
I	NO DATA	1.14	I	NO DATA	-2.50



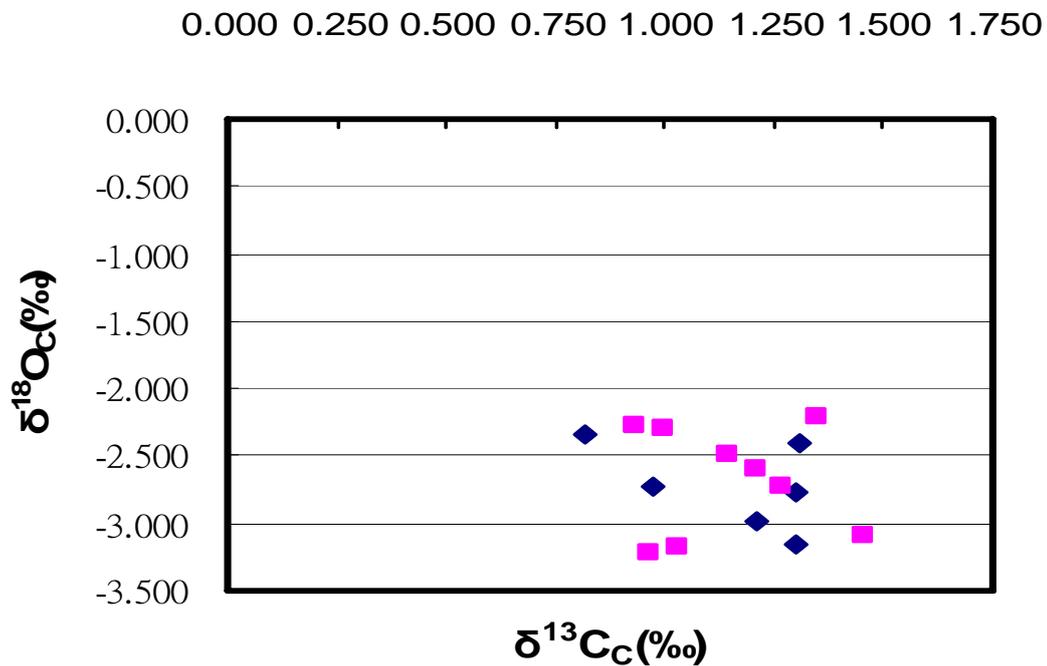
圖(七) 苗栗後龍磚場地區 *G. sacculifer* $\delta^{13}\text{C}_c$ 和 $\delta^{18}\text{O}_c$ 的散佈圖

(三) *G. ruber* 和 *G. sacculifer* 碳氧的比較

- 1、由圖(八)可見各樣本的 *G. ruber* 及各樣本的 *G. sacculifer* 其碳氧比例的分佈在一範圍內。

(四) $\delta^{18}\text{O}_w$ (表二)

- 1、以 *G. ruber* 總量作平均來說，其值為-0.1，*G. sacculifer* 則是-0.2。
- 2、 $\delta^{18}\text{O}_w$ 代表的是當時的有孔蟲結殼時的海水氧同位素值，與鹽度呈現正相關的趨勢，因此可以用其殼體來代表鹽度的變化，雖然沒有實際的數字能夠代表鹽度，但仍可利用其 $\delta^{18}\text{O}_w$ 之差異了解鹽度高低的比較。藉由 *G. ruber* 和 *G. sacculifer* 測出的 $\delta^{18}\text{O}_w$ 值範圍約為-1.3~0.2。 $\delta^{18}\text{O}_w$ 值為負值，代表海水較淡，鹽度較低，造成的原因可能為淡水注入或強降水所致。故可知 1.24~0.46 Ma 當時有孔蟲結殼時為正常至較低的鹽度。



圖(八) 苗栗後龍磚場地區 *G. ruber* 及 *G. sacculifer* $\delta^{13}\text{C}_c$ 和 $\delta^{18}\text{O}_c$ 的散佈圖(◆ 為 *G. ruber*，■ 為 *G. sacculifer*)

柒、結論

- 一、苗栗後龍磚場地區可見頭料山層的香山相，上方為棕灰色砂岩；下方為灰色泥岩，其中夾著一層深灰色泥，該層附近可發現較豐富的有孔蟲化石。
- 二、在苗栗後龍磚場地區共找到 21 種有孔蟲化石。
- 三、苗栗後龍磚場地區測出的 *G. ruber* 的鎂鈣值範圍介在 3.94~5.12mmol/mol；溫度介在 27.0~29.9°C。測出的 *G. sacculifer* 則介在 3.72~4.77 mmol/mol 之間；溫度介在 25.6~29.1°C。
- 四、由苗栗後龍磚場地區鎂鈣值測出較高的溫度顯示有孔蟲結殼時為更新世的暖期。

- 五、海洋岩芯 ORI801-8 中藉由 *G. ruber* 得知海表溫度約為 29.5°C ，藉由 *G. sacculifer* 得知較深的 30~50m 溫度約為 23.6°C ，此外海洋岩芯多測了次表層水的 *P. obliquiloculata* 溫度約為 20.9°C 。
- 六、海洋岩芯 ORI801-8 中 *G. ruber* 所測之近 1 千年的海表溫度較苗栗後龍磚場地區 (1.24~0.46 Ma) 為高，*G. sacculifer* 所測之 30-50m 溫度較苗栗後龍磚場地區為低。
- 七、苗栗後龍磚場地區測出的 *G. ruber* 的殼體 $\delta^{18}\text{O}$ 值範圍介在 -2.3~-3.7‰。測出的 *G. sacculifer* 的殼體 $\delta^{18}\text{O}$ 值範圍介在 -2.2~-3.2‰。藉由 *G. ruber* 和 *G. sacculifer* 測出的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$ 值範圍約為 -1.3~-0.2。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$ 值為負值，代表海水較淡，鹽度較低，造成的原因可能為淡水注入或強降水所致。故可得知 1.24~0.46 Ma 當時此地區有孔蟲結殼時為正常至較低的鹽度。

捌、誌謝

從做專題研究以來，明白了什麼是從無到有。

尋找方向、尋找主題、尋找題材、尋找根據、尋求幫助、尋求資源、尋求原理，無一是我們能靠自己的力量完成的。但我們的指導老師謝老師、以及臺大地質系所魏國彥教授與學長賴永翔、黃致展及莊智凱學長們卻指引著我們走向研究之路。

謝謝臺師大地科系所米泓生教授，在我們決定以有孔蟲為研究題材時，給我們的一些指引，並且讓我們和地科系的同學一起搭車至台中自然博物館參觀館藏的化石和礦物標本，以及到苗栗龍港考察，在該地點謝老師指導我們使用傾斜儀和採樣。雖然後來觀察有孔蟲的化石極其稀少，但對於野外考察有了第一次的接觸。

謝謝臺大地質系所魏國彥教授提供機會，讓我們與臺大地質系的同學搭車至苗栗後龍磚場考察，觀察露頭，採集標本，並且給予實驗操作方面的指導。

帶著分類鑑定好的標本，至臺大地質請學長指導化學分析。第一次，在顯微鏡下挑出一百隻特定的有孔蟲，但因為我們較沒經驗，錯誤率約有兩三成，於是我們就再也忘不了顯微鏡下有孔蟲的「長相」了。第一個星期日，感謝魏國彥教授允許使用無塵室，進行海洋岩芯鎂鈣洗蟲步驟。意料之外的是，竟然一待就待了七個小時，學長也就必須在旁指導好長的一段時間，幸虧第一次洗蟲還算順利。第二次鎂鈣洗蟲是陸地的標本，學長讓我們完全自己來操作。碳氧同位素的分析則必須感謝另一位學長的細心指導。

洗完蟲後，感謝臺大地質系所沈川洲教授的感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)提供我們進行鎂鈣比的分析；以及臺師大地科系所米泓生教授的超微氣相比例質譜儀(IRMS)供我們進行碳氧同位素的分析；最後則是臺大地質系所宋聖榮教授的電子顯微鏡供我們拍攝有孔蟲的照片。

感謝所有幫助過我們的人。

玖、參考文獻

- 尤柏森 (2000), 南中國海"暖池區"晚第四紀古海洋與古氣候之研究(IMAGES 岩心記錄 MD972142), 國立台灣大學碩士論文。
- 李慶蘭 (2000), 苗栗白沙屯地區頭料山層之年代地層與沉積環境, 國立中央大學碩士論文。
- 邱子虔 (2000), 南海東南海域 MD972142 岩心晚第四紀浮游有孔蟲同位素地層及古海洋變遷, 國立台灣大學碩士論文。
- 陳致維 (2003), 西太平洋暖池晚第四紀浮游有孔蟲氧同位素地層紀錄, 國立台灣大學碩士論文。
- 張憲卿 (1990), 《五萬分之一臺灣地質圖說明書圖幅第十一號:白沙屯》, 經濟部中央地質調查所。
- 何信昌 (1994), 《五萬分之一臺灣地質圖說明書圖幅第十二號:苗栗》, 經濟部中央地質調查所。
- 楊順中 (2007), 鈣同位素可做為有用的古海洋學代用指標嗎?—以西赤道大西洋兩萬年來有孔蟲 $\delta^{44}\text{Ca}$ 為例, 國立台灣大學碩士論文。
- 羅立 (2007)七十四萬年來地軸傾角與西太平洋暖池擴張-收縮史, 國立台灣大學碩士論文。
- 林玉詩 (2005), 黑潮上游區全新世古海洋學研究, 國立台灣大學碩士論文。
- 龍騰文化 (2007)高中基礎地球科學全, 龍騰文化事業股份有限公司。
- 國立台灣師範大學地球科學系 (1987), 台灣北部十條地質實習考察路線圖沿線地質簡介。
- 國立台灣師範大學地球科學系 (1989), 台灣中部十條地質實習考察路線圖沿線地質簡介。
- 國立台灣師範大學地球科學系 (1990), 台灣南部十條地質實習考察路線圖沿線地質簡介。
- 國立台灣師範大學地球科學系 (1991), 台北市近郊十條地質實習考察路線圖沿線地質簡介。
- 廣東科技出版社 (1981), 南海北部大陸架第三紀古生物圖冊。
- Anand et al. (2003), Calibration of Mg/Ca thermometry in plank-tonic foraminifera from a sediment trap time series.
- Bemis (1998). Reevaluation of the oxygen isotopic composition of planktonic foraminifera.
- Barker et al.(2003), A study of cleaning procedures used for foraminiferal Mg/Ca paleothermometry.
- Erez and Luz (1983), Experimental paleotemperature equation for planktonic foraminifera.

Steinke, S. et al. (2005), Mg/Ca ratios of two *Globigerinoides ruber* morphotypes :
Implications for reconstructing past tropical/subtropical surface water conditions.

聯勤經建版第三版地形圖

Google Earth



照片一 於苗栗龍港使用傾斜儀測量地層的走向與傾斜。



照片二 苗栗龍港的砂岩中可見生痕化石等沈積構造。



照片三 苗栗後龍磚場地區位於福爾摩沙高速公路旁。



照片四 磚場地區東北方的地層分布狀態。



照片五 採集磚場地區轉折處露頭的標本(⊗表採樣點由下而上為A、B、C)。



照片六 磚場地區西南方地層分佈狀態(⊗表採樣點D)。



照片七 磚場地區西南方的地層分佈狀態 (⊗ 表採樣點E)。



照片八 採集頭料山層的沉積物 (⊗ 表採樣點由下而上為 F、G、H、I)。



照片九 將標本用水沖洗、過篩以去除過小的粒子及無法辨識的破碎標本。



照片十 將標本放入燒杯中，再置入烤箱烘烤至乾燥（烤箱上層）。



照片十一 挑出 20 隻有孔蟲放入 1.5 毫升的鐵氟龍燒杯中，並將之壓碎混勻。



照片十二 此為加入藥劑的過程，前方的機器為超音波震盪機。



照片十三 用真空吸管將鐵氟龍燒杯中的液體吸出



照片十四 加入純水洗去每個步驟加入的藥劑

圖版說明

Fig. 1a~c *Globigerinoides ruber*

1a : x 150 ; 1b : x 200 ; 1c : x 2250

電子顯微鏡照相

Fig. 2a~e 破碎的 *Globigerinoides ruber*

2a : x 125 ; 2b : x 750 ; 2c : x 6250 ; 2d : x 2000 ; 2e : x 4000

電子顯微鏡照相

Fig. 3a~b *Globigerinoides immaturus*

3a : x 150 ; 3b : x 650

電子顯微鏡照相

Fig. 4a~b *Globigerinoides sacculifer*

4a : x 125 ; 4b : x 575

電子顯微鏡照相

Fig. 5a~c *Amphicoryna scalaris*

5a : x 100 ; 5b : x 225 ; 5c : x 550

電子顯微鏡照相

Fig. 6a *Quinqueloculina lamarckina*

6a : x 150

電子顯微鏡照相

Fig. 7a~b *Bolivina* sp.

7a : x 100 ; 7b : x 400

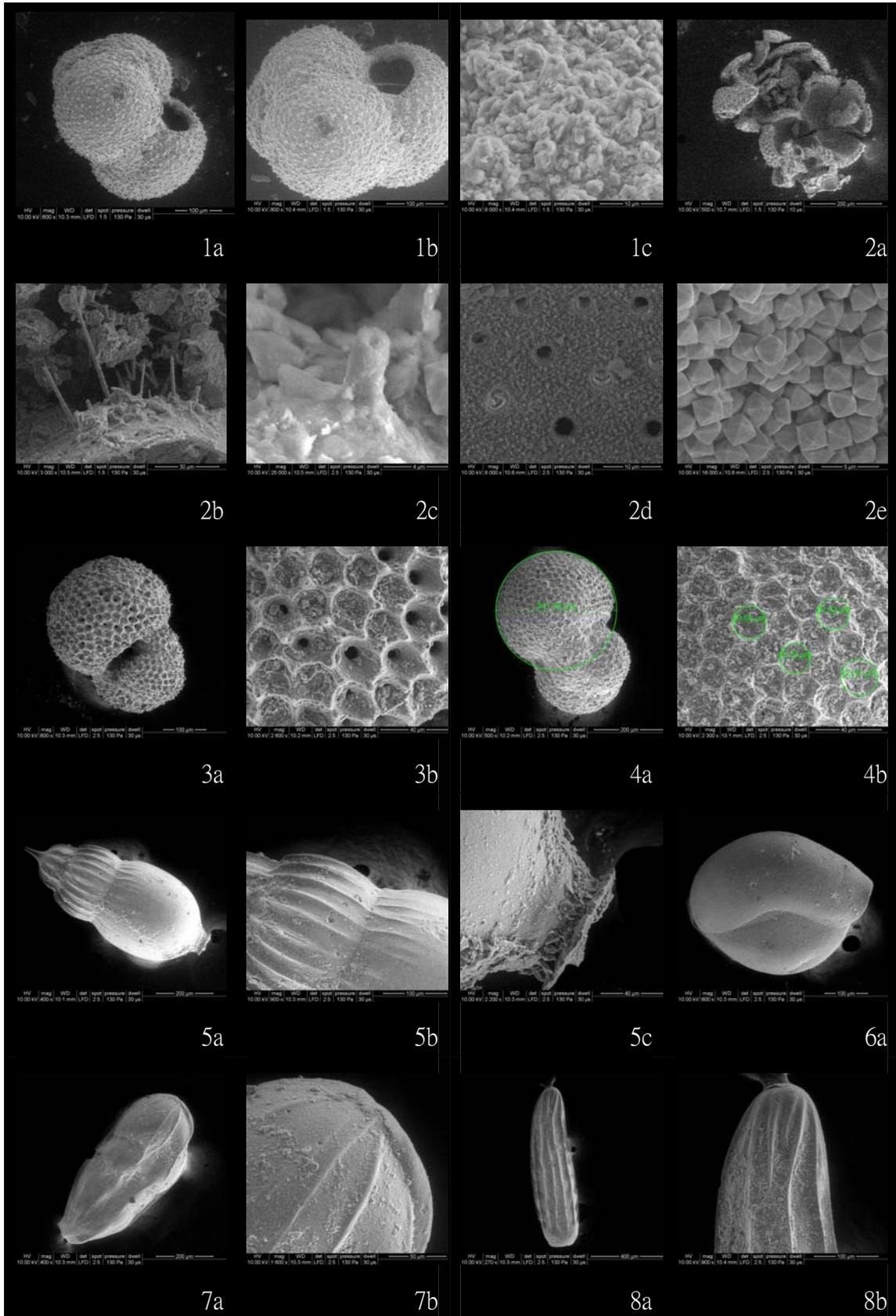
電子顯微鏡照相

Fig. 8a~b *Rectobolivina raphana*

8a : x 67.5 ; 8b : x 225

電子顯微鏡照相

圖版



【評語】 040505

本作品的主题頗具學術性，也有做硫氣同位素，但並沒有詳細說明其主要目的及應用，只是顯示數據，是很可惜的。同位素的誤差值是怎麼發生的，作者並不瞭解其是怎麼發生的。有孔蟲的樣本採樣數不夠，不足以解釋當地的古氣候。這些都有待加強，但本作品頗有發展空間，值得做人才培育。