

# 國立中山大學海洋地質及化學研究所

# 碩士論文

### 高屏峽谷與南海北部沈積物收集器的有孔蟲組合

## 及其穩定同位素之季節性變化

Seasonal Variations of the Planktonic Foraminiferal Assemblages and Stable Isotopic Compositions: Sediment Trap Results from the Kao-ping Submarine Canyon and Northern South China Sea



### 中華民國 九十二 年 六 月

#### 誌 謝

本論文能順利的完成首先要感謝恩師林慧玲博士在學業研究上悉心 指導與教誨以及生活上的關心及照顧,在此獻上由衷的謝意。亦感謝汪 中和教授及鍾玉嘉教授對本文提供寶貴的意見與指正。感謝海科中心洪 國瑋博士提供論文所需的資料。

在學期間感謝所上諸位老師在學業上的指導及生活上的關心,以及 所辦莊姐、康兄、王姐及圖書室許姐等人的協助。同時感謝實驗室伙伴: 黛君姐、千裕學長、妙真姐、麗文學姐、巧如學姐、智謙學長、盛淵及 學妹:愛蘋、燕子在生活上及實驗上的幫忙,讓我在中山的三年充滿許 許多多美好的回憶;同窗好友奕蓁、阿吉、宗恩、慧貞、育田、季儒、 啟榮以及靜怡、瓊詒、貞慧在課業上的相互切磋與生活上互相鼓勵。

最後感謝爸媽在這三年來的支持及妹妹的鼓勵,讓我能在求學過程 中無後顧之憂,全力以赴。三年來的研究所生涯讓我成長了許多,也學 習到了許多未曾經歷及體驗的生活,很高興這三年來過得很充實,並希 望在畢業之後帶著眾人的祝福,勇敢迎向未來的旅途。

來高雄三年有了,不長不短的日子,原本想說終於要走了,但在離 開之際,心中有萬般不捨......

I

#### 摘要

本論文工作係分析施放於高屏峽谷和南海的沈積物收集器的子樣品,分析 項目包含粗顆粒、有孔蟲種屬的鑑定以及浮游性有孔蟲殼體的碳、氧同位素組 成。

高屏峽谷收集串列的子樣品組成,除了粗顆粒含量及有孔蟲豐度變化有很大的差異以及受颱風影響之外,其他不同生物源顆粒各項參數變化量都非常有限。另外在颱風過境時底棲性有孔蟲豐度比浮游性有孔蟲豐度高,可見側向傳輸對該區顆粒沈降的影響。高屏峽谷收集串列的浮游性有孔蟲主要以副熱帶常見的種屬為 Globigerinoides aequilateralis、Globigerinoide ruber、 Globigerinoides sacculifer 和 Neogloboquadrina dutertrei,同時在峽谷內也發現低緯區罕見的冷溫種屬 Globigerina bulloides 的殼體,顯示在沿岸地區營

養鹽供應的效應。

南海北部收集器的記錄顯示沈積物的粗顆粒含量及有孔蟲豐度變化在 1 月及 3 月皆有增高的趨勢,推測與表水生產力提高有關。浮游性有孔蟲大致可 歸納出兩大族群:一為適合在冷溫環境下生長種屬 G. bulloides 和 N. dutertrei, 多出現於 1 月份;一為適合在暖溫環境下生長的種屬 G. aequilateralis、G. ruber、G. sacculifer 和 Pulleniatina obliquiloculata,多出現於 3 月份。

南海北部 M1s 和 M2 站三個浮游性有孔蟲種屬殼體的碳同位素有顯著差 異。大致上以 Orbulina universa 最重, G. sacculifer 次之, G. ruber 最輕。 浮游性有孔蟲殼體氧同位素值季節性變化大於種屬之間的變化, 三個種屬殼體 的氧同位素值在 10 月份皆輕於 1 月和 3 月,應該是表水溫度所造成。從有孔 蟲殼體氧同位素值與水文資料比較發現, G. ruber 在南海北部是生存在較淺的 水層(~10m);其次為 G. sacculifer(~25m),而 O. universa 則生存在較深的水 層(~70m)。另外浮游有孔蟲 G. ruber 的碳同位素組成及豐度皆與顆粒通量有 明顯的負相關。

Ш

#### Abstract

The carbon and oxygen isotopes of planktonic foraminifera, faunal assemblage, and coarse fraction of trap materials were analyzed in this study. The sediment traps were deployed in two lacations. One was in the Kao-ping submarine canyon and the other was in the northern South China Sea.

Variations of the individual concentrations from Kao-ping submarine canyon are small throughout the deployment interval except for the period when the Typhoon Chi-Te invaded southern Taiwan in July 2000. The results that benthic foraminifer abundances (#/g) are higher than that of planktonic foraminifera after typhoon invasion reflect the influence of particle settling by lateral transport. In addition, the major planktonic foraminifera found in canyon are *Globigerinoides aequilateralis*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, and *Neogloboquadrina dutertrei*. At the same time, we also found *Globigerina bulloides* that usually lives in the high latitudes and cold temperature. It reveals the effect of nutrient supply along coastal region.

The coarse fraction contents and foraminiferal abundances collected by the traps in the northern South China Sea are both increasing in January and March. It could be associated with the enhanced surface productivity. The planktonic foraminifera divided into two groups based on their preferrence. The *G. bulloides* and *N. dutertrei* live in cold environment while *G. aequilateralis, G. ruber, G. sacculifer,* and *Pulleniatina obliquiloculata* preferr warm areas. In this

Ш

study, *G. bulloides* and *N. dutertrei* were found in January whereas *G. aequilateralis, G. rubber, G. sacculifer,* and *P. obliquiloculata* were mostly in March.

The difference of carbon isotopes of planktonic foraminifera between species are distinct. *Orbulina universa* is the heaviest and *G. ruber* was the lightest. Foraminiferal  $\delta^{18}$ O are depleted in October and enriched in January and March. It is suggested that sea surface temperature might be responsible for the variations of planktonic foraminiferal oxygen isotopes. Comparisons of foraminiferal  $\delta^{18}$ O with the hydrographic data provide some informations. The results show that *G. ruber* lives in shallow water (~10m), *G. sacculifer* lives in 25m on average, and *O. universa* lives in deeper water layer (~70m) in northern South China Sea. Moreover, both the carbon isotopes and foraminiferal abundance of *G. ruber* show a negative correlation with the particles fluxes.

# 目 錄

| 誌謝            | I  |
|---------------|----|
| 中文摘要          |    |
| 英文摘要          |    |
| 目錄            | IV |
| 圖目錄           | V  |
| 表目錄           | VI |
| 壹 前言          | 1  |
| 1-1 研究背景      | 1  |
| 1-2 前人研究      | 2  |
| 1-3 研究目的      | 4  |
| 1-4 研究區域      | 4  |
| 貳 材料及方法       | 6  |
| 2-1 樣本的採集     | 10 |
| 2-1-1 沈積物收集器  | 10 |
| 2-1-2 拖網      | 10 |
| 2-2 分析方法      | 13 |
| 2-2-1 粗顆粒含量分析 | 13 |

| 2-2-2   | 2 總碳、總有機碳及碳酸鈣含量分析  | 14  |
|---------|--------------------|-----|
| 2-2-3   | 3 生物源矽質含量分析        | 14  |
| 2-2-4   | L 顆粒態有機碳、氮的測定      | .15 |
| 2-2-5   | 5 拖網標本處理           | 16  |
| 2-2-6   | 6 浮游性有孔蟲碳、氧同位素     | .16 |
| 2-2-7   | 7 種屬鑑定與豐度          | .17 |
| 參 結果與討論 | 扁                  | 18  |
| 3-1 高屏  | 峽谷                 | 18  |
| 3-1-1   | 各項參數的分析結果          | .18 |
| 3-1-2   | 2 有孔蟲豐度變化          | .22 |
| 3-2 南海: | 北部                 | .28 |
| 3-2-1   | 粗顆粒含量時序變化          | .31 |
| 3-2-2   | 2 浮游性有孔蟲豐度變化       | 35  |
|         | A. 南海北部 M1s站       | .39 |
|         | B. 南海北部 M2站        | .44 |
|         | C. 總浮游性有孔蟲豐度比較     | 51  |
| 3-2-3   | 3 浮游性有孔蟲豐度與顆粒通量的關係 | 53  |
| 3-2-4   | L 浮游性有孔蟲碳、氧同位素的變化  | 55  |
|         | A. 碳同位素的季節變化       | 58  |

| B. 氧同位素的季節      | 變化65                         |
|-----------------|------------------------------|
| 3-2-5 浮游性有孔蟲棲息  | 深度                           |
| 3-2-6 南海北部與拖網的浮 | <sup>2</sup> 游性有孔蟲碳、氧同位素比較75 |
| 3-2-7 浮游性有孔蟲碳、氧 | 同位素與顆粒通量的關係78                |
| 肆 結論            |                              |
| 參考文獻            |                              |
| 中文部分            | 85                           |
| 英文部分            |                              |
| 附錄一             |                              |
| 附錄二             |                              |

## 圖目錄

| 圖一 研究區域位置圖                           | 7     |
|--------------------------------------|-------|
| 圖二 高屏峽谷各項參數隨收集杯的變化情形                 | 20    |
| 圖三 高屏峽谷浮游性有孔蟲豐度的變化情形                 | 24    |
| 圖四 高屏峽谷沈積物收集器(A)浮游性有孔蟲豐度 (B)底棲性有孔蟲豐度 | (C)總有 |
| 孔蟲豐度的變化                              |       |
| 圖五 高屏峽谷浮游性有孔蟲主要種屬相對含量                |       |
| 圖六 南海北部 M2 站第一、二次收集串列顆粒通量時序變化        | 29    |
| 圖七 南海北部六個主要優勢種屬                      | 30    |
| 圖八 M2站收集器中生物源顆粒隨深度的變化                | 33    |
| 圖九 M1s、M2 的粗顆粒含量時序變化                 | 34    |
| 圖十 南海北部浮游性有孔蟲六個主要種屬相對豐度季節性變化         | 37    |
| 圖十一 南海北部 M1s 站浮游性有孔蟲豐度的變化            | 41    |
| 圖十二 南海北部 M1s 站浮游性有孔蟲主要種屬相對含量         | 43    |
| 圖十三 南海北部 M2 站浮游性有孔蟲豐度的變化             | 48    |
| 圖十四 南海北部 M2 站浮游性有孔蟲主要種屬相對含量          | 50    |
| 圖十五 南海北部 M1s 站與 M2 站總浮游性有孔蟲豐度        | 52    |
| 圖十六 南海北部 M2 站浮游性有孔蟲豐度與通量之關係          | 54    |
| 圖十七 M1s 及 M2 站各深度收集杯之浮游性有孔蟲碳同位素      | 56    |
| 圖十八 M1s 及 M2 站各深度收集杯之浮游性有孔蟲氧同位素      | 57    |
| 圖十九 南海北部浮游性有孔蟲碳同位素的變化                | 63    |
| 圖二十 南海北部 M2 站溫度資料                    | 64    |
| 圖二十一 南海北部浮游性有孔蟲氧同位素時間的變化             | 68    |
| 圖二十二 南海北部 M1s 及 M2 站衛星影像照片           | 69    |
| 圖二十三 南海時間序列 SEATS 計畫中 S1 測站溫鹽資料      | 70    |
| 圖二十四 浮游性有孔蟲氧同位素值與計算的氧同位素理論值的比較       | 74    |
| 圖二十五 南海北部和拖網的浮游性有孔蟲碳、氧同位素的比較         | 77    |
| 圖二十六 M2 站浮游性有孔蟲殼體碳、氧同位素與顆粒通量關係(未排除風  | 颱風    |
| 效應)                                  | 80    |
| 圖二十七 M2 站浮游性有孔蟲殼體碳、氧同位素與顆粒通量之關係(排除風  | 颱風    |
| 效應)                                  | 81    |
|                                      |       |

## 表目錄

| 表一 | 錨錠資料                               | .8  |
|----|------------------------------------|-----|
| 表二 | 拖網資料                               | .9  |
| 表三 | 分析的收集杯及日期                          | 11  |
| 表四 | 各個站位分析參數項目                         | .12 |
| 表五 | 1998 年 4 月 517 航次 D3 站水文資料及海水氧同位素值 | .73 |

#### 壹、 前言

1-1 研究背景

近年來沈積物收集器已普遍成為海洋研究工作上的採樣工具, 主要在採集海洋中沈降顆粒,藉以瞭解顆粒物質在海中傳輸方向及 顆粒物質在沈降的過程中,發生了哪些生物地球化學的作用,並提 供顆粒通量與組成的季節性變化,是現今唯一可以長時間、連續地 收集海洋中沈降顆粒的工具 (*e.g.*, Honjo and Doherty, 1988; Nair *et al.*, 1989; Ittekkot *et al.*, 1991; Deuser *et al.*, 1995; Colombo *et al.*, 1996; Hung *et al.*, 1999; Monaco *et al.*, 1999)。

海洋沈積物中的浮游性有孔蟲是目前被用作重建古海洋最有效 的工具之一,因為它們可以將過去表層海水中有關古氣候的訊息做 有效的記錄,如浮游性有孔蟲族群的分佈和其殼體中穩定碳、氧同 位素組成的變化等環境因子保存在殼體中。根據 Bé (1960)與 Fairbanks et al. (1980)研究指出,在不同的海洋環境下浮游性有孔 蟲會有不同族群的組合,而浮游性有孔蟲族群上的分佈主要受控於 海水溫度及水團特性,所以可以藉由族群分佈來分辨出不同的海洋 環境。例如浮游性有孔蟲殼體碳同位素可用來重建海洋中表水初級 生產力和大氣或探討海水二氧化碳交換情形(e.g., Spero et al., 1991; Spero, 1992)。浮游有孔蟲氧同位素組成則被廣泛用來估算 海水古溫度或冰體的改變(e.g., Shackleton, 1967; Thunell et al., 1999)。所以建立浮游性有孔蟲族群及其殼體中之穩定碳、氧同位素 組成與環境之關係甚至和氣候變化之間的關聯,就能對古環境有更 進一步的認識與瞭解。

1-2 前人研究

許多沈積物收集器試驗結果說明,一般開放性大洋中深海沈降 顆粒物質主要來自生物成因的碳酸鹽顆粒,佔總顆粒通量的 50~60%以上,其中以浮游性有孔蟲殼體為主要成分(Honjo, 1982; Thunell *et al.*, 1983; Wiesner *et al.*, 1996)。因此可藉由研究收集 器所收集浮游性有孔蟲通量瞭解海洋中表層生產力的控制因素,或 是從季節與年際間變化情況來探討水文環境的影響,以做為古海洋 學上的解釋基礎。

在南海地區已有許多浮游性有孔蟲殼體的碳、氧同位素分析相 關研究報導(e.g., Wang et al., 1986;王律江, 1992;翦知湣等人, 1998;游智謙, 2002)。但至今為止,南海地區水層中的現生浮游 有孔蟲的碳、氧同位素相關研究卻非常的有限。德國與中國大陸雙 方面自 1987 年以來曾在南海北部和中部連續施放沈積物收集器(陳 文斌等人, 1993;Wiesner et al., 1996;陳建芳等人, 1998;陳榮 華等人, 2000),結果顯示一年當中有兩個顆粒通量高值期,並且在 時間上大致與東北季風(10月中旬至次年 3月中旬)和西南季風 (6~8月)的盛行期相對應,此外還發現浮游性有孔蟲各別種屬的通 量呈現出明顯的年際變化。根據 Wiesner et al. (1996) 於 1987 年 9 月至 1988 年 10 月在南海海盆北部 (18.47 <sup>№</sup>, 116.02<sup>°</sup>E) 的收集 器錨碇結果顯示,淺層(水深 1000m)沈積物收集器收集的沈降顆 粒通量約為 11 181 mg /m<sup>2</sup> -day, 顆粒的主要成分包括碳酸鈣(33 67%)與陸源物質(22 60%),及其他少量的生物源矽質(0.4 2.5%) 有機質(6 11%)和總氮量(0.4 1.1%),各組成皆於 9、10月出現高值。而深層(水深 3350m)沈降顆粒通量約為 35  $121 \text{ mg/m}^2$ -day,除了陸源物質外,所有組成的平均通量皆低於 淺層。深層收集杯中的碳酸鈣含量減少為淺層收集杯中碳酸鈣含量 的 19%、生物源矽質 33%和有機質 48%,反而陸源增加 10%,作 者並認為水體中的沈降顆粒通量與表水生產力和季風有相互的關 係。另外陳文斌與徐魯強(1993)也利用同一次施放所得到的樣本, 探討浮游生物通量隨季節變化,研究顯示各浮游生物通量的季節變 化在淺層有十分明顯的趨勢, 矽藻高值出現在1月、2月和11月, 鞭毛藻高值出現在1月、2月和10月底,有孔蟲高值出現在10月 至 12 月 , 放射蟲高值出現在 1 月與 11 月 , 翼足類高值則出現在 11 月至隔年2月,結論認為秋末和冬天浮游生物產量高,其他月份、

特別是夏季與秋季,浮游生物產量則偏低。

1-3 研究目的

瞭解現今水層中浮游有孔蟲的生態條件與其殼體的碳、氧同位 素組成之間的關係是研究古環境參數之間關係的重要基石,因此本 論文研究工作主要是藉由施放於高屏峽谷及南海北部沈積物收集器 所收集的顆粒、浮游性有孔蟲族群和浮游性有孔蟲穩定同位素隨季 節的變化情形,希望對南海地區的古海洋研究,進一步提供闡釋岩 心沉積物時間序列的資訊。

1-4 研究區域

根據陳民本(1998)研究顯示,在澎湖群島以南有一被動型大陸 邊緣的海底地形,水深從一百多公尺到高雄外海的 200 公尺水深的 棚界,再往南則為坡度介於 3°與 16°之間的大陸斜坡,稱為「高屏 斜坡。在這大陸斜坡上最大的特色就是高屏峽谷,高屏溪所挾帶的 砂泥,使這個峽谷愈切愈深。而西南海域的高屏斜坡上目前已知有 一系列的海底峽谷,由西北至東南依次為澎湖、壽山、高雄、高屏、 枋寮及紅柴峽谷。海底峽谷本身由於其陡峭及狹窄之地形而構成了 特有之水文、地質及生物性質,為了探討高屏峽谷是否沈積物傳輸 的通道(source)或是最終去處(sink),可藉由在峽谷內施放沈積物收 集器以便於瞭解沈積物的傳輸機制。

南海就地理位置而言,南起赤道,北至台灣海峽南端,呈東北-

西南走向,橫跨經度 15 度(105 ℃ 至 120 ℃),面積約為 350 萬平 方公里,被西南中國大陸、越南與眾多大小島嶼所包圍,呈半封閉 狀態,僅以幾個狹窄的開口與鄰近的東海、西菲律賓、蘇祿海及爪 哇海相通,是西太平洋最大的邊緣海。南海對外的通道深度大多不 到一百公尺的陸棚區,除巴士海峽較深約 2200 公尺外,其餘深度 皆未超過五百公尺,因此巴士海峽為南海和外界海水交換的主要通 道(Sverdrup *et al.*, 1942; Chu, 1972; Shaw, 1989)。由於東南亞 地區季風的盛行,整個南海在夏季西南季風的吹拂下,表水由西南 向東北流,冬季則在東北季風的影響下,由東北向西南流動(Wyrkti, 1961; Fang *et al.*, 1998)。

#### 貳、材料及方法

本論文工作係利用海研一號及海研三號研究船分別於高屏峽谷 與南海北部等測站所佈放的沈積物收集器來收集樣品,以及於 2002 年3月利用海研三號研究船在高屏峽谷進行浮游生物拖網標本,相 關的採樣位置如圖一所示,詳細錨錠資料如表一,拖網資料如表二。

高屏峽谷(Kao-ping Canyon; KP)的沈積物收集器係自 2000年 6月 20日到7月 20日施放於峽谷中央、水深 291公尺(北緯 22°24.782、東經 120°23.789、離岸約5公里;如圖一所示)的位置, 分別於水深 181公尺和 231公尺處各有 12個收集杯,每個收集杯 的收集時間為 2.5天。沈積物收集期間曾有"啟德"颱風過境 (2000.7.6-2000.7.9)。分析項目包含顆粒的總碳、總有機碳、碳酸 鈣、碳/氮比值、粗顆粒含量和生物源矽質含量的測定,另外還進行 了有孔蟲種屬的鑑定分析,以提供生物源沈積顆粒傳輸的相關訊息。

南海北部的 M1 及 M2 兩測站各有兩次的施放時間,本論文工 作主要分析及討論收集器串列為南海的 M1 second (M1s)、M2、 M2 second (M2s)站,收集時間分別為 2001 年 9 月 22 日到 2002 年 3 月 20 日、2000 年 10 月 14 日到 2001 年 4 月 1 日和 2001 年 12月 16 日至 2002 年 6 月 13 日;每個串列各分為 4 個深度施放 (T1,



圖一 本論文研究區域位置圖。

KP:高屏峽谷沈積物收集器

M1s、M2:南海北部沉積物收集器

S1:國家海洋科學研究中心在南海時間序列的測 站位置

D3:1998年4月517航次站位,取自林清芬(2000)

|                 |                               | 站位   |               |  |
|-----------------|-------------------------------|--|---------------|--|
| 收集器編號           | KP                            | M1s  | м             | 2&M2s  |
| 位置              | 22°24.782 'N<br>120°23.789 'E | 21°30.860 'N<br>119°27.873 'E              | 19'<br>117'   | °01.04 'N<br>°31.495 'E  |
| 水深(m)           | 291                           | 2943                                       |               | 3743   |
| 收集<br>深度<br>(m) | Upper: 181<br>Lower: 231      | T1: 374<br>T2: 925<br>T3: 1925<br>T4: 2702 | (M2)<br>(M2s) | T1: 240<br>T2: 1240<br>T3: 2240<br>T4: 3240<br>T1: 447<br>T2: 1248<br>T3: 2249<br>T4: 3250 |
| 收集<br>時間<br>起迄  | 06/20/2000<br>᠈<br>07/20/2000 | 09/22/2001<br>≀<br>03/20/2002              | (M2)<br>(M2s) | 10/14/2000<br><sup>2</sup><br>04/01/2001<br>12/16/2001<br><sup>2</sup><br>06/13/2002       |

#### 表一 錨錠資料

|         | 拖網                            |
|---------|-------------------------------|
| 站位      | KP                            |
| 位置      | 22°24.701 'N<br>120°16.163 'E |
| 拖網深度(m) | 120                           |
| 收集日期    | 03/09/2002                    |
| 底深(m)   | 146                           |

#### 表二、拖網資料

T2、T3、T4, 見表一)施放、收集期均為半年,收集杯的收集時段 則為 15 天。南海北部(M1)及(M2)測站受限於低的顆粒通量(Mass Fluxes),所以無法取得完整的時間序列子樣品進行預定的分析項 目,只能就每個串列選取3個收集杯 (M1s 站:10月、1月、3月; M2 站:12月、1月、3月)。而為了探討年際間的變化,同時選擇 同一站位第二次施放的 M2s 站:1月、3月、5月三個月份的標本, 所有子樣品的分析項目包含粗顆粒含量、有孔蟲種屬的鑑定、浮游 性有孔蟲殼體的碳、氧同位素分析。詳細選取杯號及日期如表三, 各個站位所分析的參數項目如表四。

2-1 樣品的採集

2-1-1 沈積物收集器

本研究所使用的沈積物收集器是由本所鍾玉嘉教授實驗室所有 PPS-3/3(Piege a Particules Sequentiel, Model 3/3)的柱狀時序收 集器。PPS-3/3 主要由流線型外層保護殼(protection hull)、內層收 集殼(collecting hull)、時序(time-series)控制器、錨錠桿(mooring bar)、轉盤(carousel)與收集杯等主要原件所構成。其詳細儀器組成 及使用方式請參閱 Heussner *et al.* (1990)及蔡(2002)。

2-1-2 拖網

現生浮游性有孔蟲的收集係利用300μm 網目的浮游生物採集

### 表三、選取的收集杯及日期

| 收集器編號 | 選取的收集杯日期起迄 |            |            |  |
|-------|------------|------------|------------|--|
| M1s   | 12/06/2001 | 01/05/2002 | 03/06/2002 |  |
|       | 12/20/2001 | 01/19/2002 | 03/20/2002 |  |
|       | (第 6 杯)    | (第 8 杯)    | (第 12 杯)   |  |
| M2    | 10/14/2000 | 01/12/2001 | 03/13/2001 |  |
|       | 10/28/2000 | 01/26/2001 | 03/27/2001 |  |
|       | (第 1 杯)    | (第 7 杯)    | (第 11 杯)   |  |
| M2s   | 12/31/2001 | 03/01/2002 | 05/15/2002 |  |
|       | 01/14/2002 | 03/15/2002 | 05/29/2002 |  |
|       | (第 2 杯)    | (第 6 杯)    | (第 11 杯)   |  |

| 子樣品來源             | 高屏峽谷(KP) | 南海北部(M1)                              | 南海北部(M2. M  | 2s) |
|-------------------|----------|---------------------------------------|---|-----|
| 分析項目              |          | , , , , , , , , , , , , , , , , , , , | יייי (יי <u>י</u> י נוין אם טוי <del>ב</del> י נוין ייי | ,   |
| тос               | *        | -                                     | -   |     |
| CaCO <sub>3</sub> | ~        | -                                     | -   |     |
| Opal              | ~        | -                                     | -   |     |
| Coarse fraction   | ~        | ~                                     | ~   |     |
| C/N ratio         | ~        | -                                     | -   |     |
| 有孔蟲種屬與            | ~        | v                                     | ~   |     |
| 豐度計算              |          |                                       |   |     |
| 有孔蟲               |          | v                                     | v   |     |
| 碳、氧同位素測定          | -        |                                       |   |     |

### 表四、各個測站所分析的參數項目

網,於北緯22°24.701',東經120°16.163'地區進行採集。拖網作業係 利用研究船將採集網下放至深度120公尺,並以兩節船速進行採集浮 游性有孔蟲,進行拖網時間約30分鐘左右,之後在甲板上立即以蒸餾 水將篩網上的生物沖洗到乾淨的玻璃瓶中,加入雙氧水(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>),並把 玻璃瓶放進冰箱冷藏保存,回到實驗室後再進行溼篩的工作。 2-2 分析方法

將鍾玉嘉教授實驗室已分樣完成的子樣品的沈積物及海水倒入 離心管中,將離心機轉速設定為 3000 rpm 離心 5 分鐘後取出,將 上層澄清液倒掉,重複上述步驟直到分樣瓶中的沈積物完全收集完 成,之後以冷凍乾燥的方式去除水分,再繼續以下的處理步驟。

2-2-1 粗顆粒含量(Coarse fraction, > 63 μm)分析

將沈積物樣品冷凍乾燥後,取部份樣品秤重。將秤重後的樣品 浸泡在去離子水 (Deionized Distilled Water; DDW)後,在 63µm 篩網下進行清洗,留在篩網上的沈積物樣品先行烘乾再予與稱重, 經計算可求得大於 63µm 沈積顆粒相對於原樣的重量百分比,其計 算方式如下:

Coarse fraction( wt % ) = (  $WT_B / WT_A$ ) × 100 %

WT<sub>A</sub>:經冷凍乾燥後於清洗前的沈積物重量。

WT<sub>B</sub>:經清洗後留在篩網上的沈積物樣品乾燥重量。

2-2-2 總碳、總有機碳及碳酸鈣含量分析(TC、TOC、CaCO<sub>3</sub>)

取 0.1g 已完全乾燥並研磨成粉的沈積物樣品,加入濃度 2N 的 鹽酸數滴至無氣泡產生為止,為了去除樣品中的碳酸鹽類(無機 碳),之後倒入去離子水並利用抽氣式幫浦以抽水過濾的方式洗去鹽 酸,並靜置於烘箱中加熱(約 50°C)去除水分,待坩堝及樣品完全 乾燥後以碳硫分析儀測定樣品有機碳含量(TOC wt%)。而總碳含 量(TC wt%)則直接由碳硫分析儀測定乾燥的沈積物樣品,碳酸鈣 含量(CaCO<sub>3</sub> wt%)則以總碳含量扣除有機碳含量後校正得之,其 計算方法如下:

TC wt % = TIC wt % + TOC wt %

 $CaCO_3$  wt % = (TIC wt % /12) × 100

TC wt %:沈積樣品中總碳含量。

TOC wt %:沈積樣品中有機碳含量。

TIC wt %:沈積樣品中無機碳含量。

 $CaCO_3$  wt %: 沈積樣品中無機碳含量的碳酸鈣重量百分比。

2-2-3 生物源矽質含量 (Biogenic Opal)分析

矽質的萃取方法分為兩個部份,第一部份為萃取,第二部份為 呈色。蛋白石萃取方法的主要原理是利用鹼性萃取液,在此為 0.5N NaOH,在高溫 (85℃)下,將生物源矽質自沈積物中溶出後,加入 鉬酸銨與還原劑,待矽酸鹽形成藍色鉬酸化合物之後,再利用 Hitachi U-2000型光度計 (spectrophotometry)以及比色法決定沈積 物中蛋白石的濃度。其詳細的呈色與萃取步驟請參閱(丁,1997)。 計算原理是利用工作標準樣本的矽濃度對應其吸收度做回歸線,再 以內插法求得沈積物標本之矽濃度,及相對的生物源蛋白石的含量 百分比。

沈積物中蛋白石的重量百分比可由下列公式計算:

%Si<sub>opal</sub> = 100 x(Cs / M) x(28.09g / mol) x0.0381(l) x

(1000mg / g) x(mol / 1000mmol)

Cs:沈積物樣本之矽濃度 (ppm)

M:標本重量(mg)

註:28.09g/mol 為砂 (Si) 的原子量;0.0381 (I) 為矽質萃取實驗 過程中所加入的鹼性萃取液 (0.5 N NaOH)的體積。

2-2-4 顆粒態有機碳氮的測定(C/N ratio)

顆粒態有機碳、氮係委託本所洪佳章教授實驗室協助完成測 定,顆粒態有機碳、氮樣品測定之前,先秤取 3-5 mg 樣品,將樣 品中之無機碳去除。無機碳之去除係以 2N 的鹽酸溶液滴在樣品上, 再將滴完酸之濾紙置入烘箱中,以 50℃ 烘 24 小時以去除殘餘之鹽 酸溶液及水氣,最後將烘乾之樣品以錫盒包裹置入高溫石英管中燃 燒及分析,詳細分析方法請參閱(洪,2001)。

2-2-5 拖網標本處理

將先前利用浮游生物採集網所採集的標本,經處理過後放進冰箱 冷藏,回到實驗室後再進行溼篩的工作。在溼篩過後,將大於63µm 的收集放至培養皿中,放入溫度設定為50°C烘箱烘乾,之後再於顯 微鏡下挑出有孔蟲殼體。主要在分析所收集的現生有孔蟲殼體的碳氧 同位素組成。

2-2-6 浮游性有孔蟲之碳、氧同位素

浮游性有孔蟲之碳、氧同位素(δ<sup>13</sup>C、δ<sup>18</sup>O)的分析,主要挑選種 屬為熱帶性水團表水種 Orbulina universa, Globigerinoides sacculifer, Globigerinoides ruber 三種,同時為排除生命效應(Vital effect; Berger *et al.*, 1978; Spero *et al.*, 1991)的影響,所以將殼 體大小限制於一定的範圍內,分別為 O. universa: 710~600 μm、 G. sacculifer: 355-300 μm、G. ruber: 300-250 μm。 挑出的有孔蟲殼體於分析同位素前均予清洗,步驟如下:

(1) 先將待分析的有孔蟲裝入清洗過的標本瓶中。

(2) 將甲醇(AR grade methanol)注入標本瓶中,讓殼體完全被浸泡住,再以強度調至最弱的超音波震盪器清洗約 10~12 秒鐘

後,吸出甲醇,此一步驟重複進行兩次,以去除可能附著在殼 體上的碎屑物。

- (3) 用 D.D.W 清洗三次。
- (4) 將標本瓶放進設定為 50°C 的烘箱中烘乾。

本論文研究工作分析之浮游性有孔蟲殼體穩定同位素組成係委 託 Professor H. J. Spero 位於加州大學 Davis 分校的實驗室協助完 成,相關處理程序如 Spero *et al.* (1997)所述,分析前先將標本置入 375°C 真空烘燒,以去除殘餘有機質。浮游性有孔蟲殼體穩定同位 素乃使用 Fisons Optima 質譜儀測定。實驗分析後所得的碳同位素 值精確度為 ±0.05%、氧同位素值 ±0.06%,所分析的浮游性有 孔蟲殼體碳、氧同位素數據列於附錄一。

#### 2-2-7 種屬鑑定與豐度

浮游性有孔蟲族群的鑑定係將溼篩過後所得的粗顆粒(大於 63 μm) 樣品篩選大於 150μm 以上之標本,加以鑑定計數。浮游性有 孔蟲的豐度部分則是將所鑑定出的種屬計數後,經計算求得每公克 沈積物乾重中之浮游性有孔蟲個體數單位以 #/g 表示。浮游性有孔 蟲主要種屬計數數據列於附錄二。

#### 參、結果與討論

3-1 高屏峽谷部分

以下為高屏峽谷沈積物收集器的子樣品顆粒分析的結果,因為 沈積物收集器施放期間曾有"啟德"颱風過境 (2000.7.6-2000.7.9),在之後相關結果的圖示中會以陰影的區塊標 示出颱風的時間。

3-1-1 各項參數的分析結果

雖然絕大部分的收集杯在回收之後發現有"溢杯"(overflow) 的情形,在本文測量結果以相對的重量百分比的方式表達,理論上 應可大幅減少"低估"通量的可能性。圖二 a-e 分別為各收集杯總有機 碳、碳酸鈣、生物源矽質、碳/氮原子比值、粗顆粒含量的連續變化 情形。在施放期間所得到的總有機碳含量約 0.4~0.6%、碳酸鈣含 量約 4~5%;生物源矽質含量約 2~2.5%;總有機碳/氮原子比 8~10;粗顆粒含量約 5~30%,由總有機碳、碳酸鈣、生物源矽質、 總有機碳/氮原子比來看其變化量都非常有限。但是粗顆粒的含量卻 有很大的變化,粗顆粒含量的高值出現在颱風來襲的前後,同時淺 層的收集杯的訊號比深層的早了一個收集時段(2.5天),而深層的粗 顆粒訊號則有延遲恢復低值的現象。相對地碳酸鈣和生物源矽質在 颱風來襲的前後並未出現異常的高低值,而總有機碳/氮原子比普遍

在颱風過後的值比之前的值略高,颱風期間總有機碳含量可能受大量<br/>量無機顆粒的稀釋作用影響,而有稍微下降的現象。

總有機碳/氮原子最主要是用來區分出沈積物屬於陸相來源或 是海相來源,根據 Meyers (1994)研究顯示,代表海相來源沈積物 的碳/氮比值約 4~10,代表陸相來源沈積物的總有機碳/氮比值約 20 或大於 20,所以從高屏峽谷沈積物收集器中總有機碳/氮原子比來 看,其介於 8-10 之間,上層收集杯並在颱風來襲時有明顯提高,可 能是來自於海相環境的顆粒增加所引起。下一節則會討論在颱風期 間有孔蟲豐度是否也會有特別的訊號出現。





圖二 各項參數隨收集杯的變化情形。分別為(a)總有機碳 (b)碳酸鈣 (c)生物源矽質 (d)碳/氮原子比值 (e)粗顆粒含量。圖上方的陰 影標示啟德颱風過境的期間。



圖二(續)

3-1-2 有孔蟲豐度變化

高屏峽谷有 2 個施放深度,每個收集杯的收集時間 2.5 天,由 於上層第二與第三個收集杯經沈積物收集後且經過濕篩無法得到粗 顆粒的含量,導致無法進行有孔蟲的鑑定及計數,所以這兩個收集 杯無法做有孔蟲相對含量的比較。由處理過後的粗顆粒樣品中所觀 察到的生物殼體主要為有孔蟲和極少量的介形蟲。有孔蟲的豐度變 化如圖三所示,高屏峽谷主要的優勢種屬有以下幾種: Globigerina bulloides (豐度 0~1.7 #/g)、Globigerinoides a equilateralis (豐度 0~0.45 #/g)、Globigerinoides ruber (豐度 0~1.4 #/g)、

Globigerinoides sacculifer (豐度 0~3.5 #/g)與 Neogloboquadrina dutertrei (豐度 0~1.7 #/g)。高屏峽谷的浮游性有孔蟲是以副熱帶常 見的種屬為主,但也發現在低緯度地區罕見的冷溫(湧升流指示種) 種屬 G. bulloides 的殼體,顯示在沿岸地區營養鹽供應的效應 (Divakar Naidu et al., 1993)。

圖四分別為高屏峽谷沈積物收集器中浮游性有孔蟲豐度、底棲 性有孔蟲豐度、總有孔蟲豐度隨時間的變化。浮游性有孔蟲豐度約 2~8 #/g、底棲性有孔蟲豐度約 2~8 #/g、總有孔蟲豐度約 2~14 #/g。 不管是底棲或浮游的有孔蟲豐度都呈現很大的變化趨勢,值得注意 的是在大部分的收集杯中都有底棲性有孔蟲的殼體,在粗顆粒含量

增高的時段裡,有孔蟲的豐度也有隨之增高的趨勢,尤其在颱風過 境的時段(圖四,第6、7、8收集杯),底棲性有孔蟲豐度不但比浮 游性有孔蟲豐度高,而且以下層收集杯比上層收集杯多,在此除了 有表生種(epifauna)的底棲性有孔蟲之外、甚至還有不少的內生種 (infauna)底棲性有孔蟲殼體,由於深層收集杯距離海床底部還有 60公尺,推測這些底棲性有孔蟲的殼體應該是來自鄰近的表層沈積 物,藉由側向傳輸或是底層沈積物受到擾動,經再懸浮作用將這些 底棲性生物殼體自海底向上帶到收集杯。

圖五為高屏峽谷沈積物收集器中浮游性有孔蟲之相對含量 (Relative Abundance), 最主要是想藉由種屬之間相對含量變化來瞭 解種屬數量上的差異。五個種屬(G. bulloides、G. aequilateralis、 G. ruber、G. sacculifer與 N. dutertrei)的相對含量總和高達全部有 孔蟲總數的 50~100%, 顯示出在收集期間係以此五個種屬為主要優 勢種屬。另外由上、下層收集杯的相對含量來看,下層收集杯的有 孔蟲表現大致都以五個主要優勢種屬為主,而上層收集杯中這五個 主要種屬所佔的含量並不是很高,而實際上上層收集杯中所收到的 有孔蟲殼體主要以形體較小的幼蟲為主,由於進行有孔蟲的鑑定及 計數,主要篩選大於 150μm 以上之標本為主,這些小殼體的數值 並未列入計算,造成所呈現的上層收集杯豐度反而較低的結果。



圖三 高屏峽谷浮游性有孔蟲(A) G. bulloides (B) G. aequilateralis (C) G. ruber豐度的變化。圖上方的陰影標示啟德颱風過境的期間。



圖三續 高屏峽谷浮游性有孔蟲(D) G. sacculifer (E) N. dutertrei 豐度的變化。圖上方的陰影標示啟德颱風過境的期間。



圖四 高屏峽谷沈積物收集器(A)浮游性有孔蟲豐度 (B)底棲性有孔 蟲豐度 (C)總有孔蟲豐度的變化。圖上方的陰影標示啟德颱風過境 的期間。


圖五 高屏峽谷沈積物收集器各收集杯中浮游性有孔蟲主要種

屬相對含量。

3-2 南海北部分析結果

國家海洋科學研究中心 - 高雄實驗站於南海北部 M1 和 M2 測 站 (如圖一) 各施放兩串收集器, 分別每半年各施放一串, SCS-M2 第一次收集日期為 2000 年 10 月至 2001 年 4 月,沈降顆粒通量並 不高(圖六;收集期為半年、通量為 65~1100 mg/m<sup>2</sup>-day, 國家海 洋科學研究中心 - 高雄實驗站提供;張, 2002)。SCS-M1s 第二次 收集日期為 2001 年 9 月至 2002 年 3 月; SCS-M2s 第二次收集日 期為 2001 年 12 月至 2002 年 6 月,二次施放所收集的沈降顆粒通 量也都不高 (收集期均為半年、M2s 通量為 9~1076 mg/m<sup>2</sup>-day: 圖六)。由於原先收集器佈放的設計主要是為了瞭解沈降顆粒的放射 性地球化學研究(張, 2002), 以及受限於各收集杯低的顆粒通量, 因而無法取得完整的時間序列的子樣品進行連續序列的分析,本論 文的工作只能就每個串列選取具季節代表性的收集杯,針對所選取 的收集杯進行有孔蟲種屬的鑑定(如圖七),以及殼體的碳、氧同位 素分析,詳細選取杯號及收集日期如表三。



圖六 南海北部 M2 站第一次及第二次收集串列顆粒通量時序變化。 圖中黑色方框標示出的部份為本論文中所選取的收集杯號。(取自國 家海洋科學研究中心 - 高雄實驗站提供;張, 2002)。









G. ruber



G. sacculifer



N. dutertrei







圖七 南海北部六個主要優勢種屬。(放大倍率為 32 倍)

3-2-1 南海收集器粗顆粒含量時序變化

南海 M1s 和 M2 站位,經鑑種、計數後,發現不但有孔蟲種屬 有明顯的季節性變化、同時種屬的組合在時間面的變化遠大於空間 位置的變化。此外在開放大洋環境下的 M1s 及 M2 站位並沒有像高 屏峽谷沈積物收集器一樣的收集到底棲性有孔蟲殼體,可見深海洋 流和近岸沈積環境的差異,由此可知高屏峽谷測站的側向通量影響 高於垂直通量,而南海站位的垂直通量遠比側向傳輸重要,可以推 測南海測站的沈積來源多來自表水的直接沈降,而高屏峽谷的沈積 來源有可能不是表水直接的沈降。

沈降顆粒的溶解效應可以藉由不同深度收集杯中碳酸鈣質的生物殼體完整性顯現,圖八是南海 M2 第一年收集器中三個不同時段 (2000/10、2001/01、2001/03)的收集杯原始標本在顯微鏡下的圖 片,放大倍率為 8 倍。由淺層至深層不同收集深度分別為 240m、 1240m、2240m、3240m,淺層收集杯大多為易溶霰石的翼足類, 由淺到深有明顯的溶解現象;愈深層的收集杯翼足類的含量愈少、 且多為破片。

為了探討並比較收集顆粒年際間的變化,所以以下的討論將 M2 與 M2s 的分析結果合併,同時為了方便比較同時段不同測站位置是 否會有差異,將 M1s 的結果放置在一起,以方便數據的呈現及討論。

圖九為 M1s、M2 收集杯中的粗顆粒含量變化,第一層(T1)含量約 50~80%;第二層(T2)含量約 20~50%;第三、四層(T3,T4)含量約 0~15%,可看出隨著收集深度的增加粗顆粒含量也有減少的趨勢, 這應該是如圖八所顯示的溶解效應所引起。另外從粗顆粒含量變化 來看,1月及3月的粗顆粒含量皆有增高的趨勢。

|       | 2000/10 | 2001/01 | 2001/03 |
|-------|---------|---------|---------|
| 240m  |         |         |         |
| 1240m |         |         |         |
| 2240m |         |         |         |
| 3240m |         |         |         |

圖八 M2 站收集器中生物源顆粒隨深度的變化。

(放大倍率為8倍)



圖九 M1s、M2 的粗顆粒含量時序變化。圖中方形代表第一層收集 深度(T1)、三角形代表第二層收集深度(T2)、圓形代表第三層 收集深度(T3)、六角形代表第四層深度(T4)。 3-2-2 浮游性有孔蟲豐度變化

在南海地區有孔蟲種屬的鑑定,主要有六個優勢種屬,分別為 G. bulloides, G. aequilateralis, G. ruber, G. sacculifer, N. dutertrei, Pulleniatina obliguiloculata。圖十為南海北部 M1s 和 M2 兩測站六個 優勢種屬相對豐度的變化情形。在南海北部 M1s 及 M2 站中發現 G. bulloides 的相對豐度在 1 月份收集杯皆為最高值,其次為 3 月、12 月,最低值為10月。G. aequilateralis 的相對豐度在3月份收集杯 皆為最高值,其次為12月、10月,最低值為1月。G. ruber的相對 豐度在 10 月份收集杯為最高值,其次為 3 月與 1 月,最低值為 12 月。G. sacculifer的相對豐度在3月份收集杯皆為最高值,其次為1 月和 10 月, 最低值為 12 月。N. dutertrei 的相對豐度在 1 月份及 12 月收集杯皆為最高值,其次為3月,最低值為10月。P. obliquiloculata 的相對豐度在3月份收集杯皆為最高值,其次為1月、12月,最低 值為10月。

由以上的結果大致可將有孔蟲的組合歸納出兩大族群:第一個族 群包含了適合在冷溫環境下生長種屬 G. bulloides 和 N. dutertrei,由 於這兩個種屬在1月份的收集杯中皆有較明顯的高值出現,根據 Prell and Curry (1981); Guptha et al. (1997)在印度洋地區, Sautter and Thunell (1991)在東太平洋地區的研究顯示, G. bulloides 為湧升流 地區的指標種屬或是冷溫的種屬。而因為南海北部 M1s 及 M2 站並 非屬於湧升流區,所以 G. bulloides 在1月份有較高的相對含量推測 可能是海水溫度降低所引起。另外根據 Chen et al. (1998)的研究顯 示 N. dutertrei 適合生長在海水混合很強烈地區、溫躍層或是湧升流 區,因為 M1 與 M2 並非湧升流區,所以 N. dutertrei 在 1 月份有較 高的相對含量,推測 N. dutertrei 所適合生長的溫躍層在1月份時其 所在深度的溫度有利於生存。第二個族群特徵為適合在暖溫環境下生 長的種屬,包括 G. aequilateralis、G. ruber、G. sacculifer 和 P. obliquiloculata 這四個種屬在3月份的收集杯中皆有較明顯的高值出 現,且由1月收集杯到3月收集杯有逐漸增高的趨勢,根據Liu et al. (2002)由模式計算,推測南海此時期正值冬季季風最強,使得海水的 上下混合良好,幫助深層營養鹽往上傳送,進而提升表水基礎生產 力。所以第二族群可能反映一個表水高生產力的環境。另外由 G. aequilateralis 和 G. ruber在 10 月份的收集杯中也有較明顯的高值出 現。



圖十 南海北部 M1s 及 M2 站沈積物收集器中浮游性有孔蟲六個主要 種屬相對豐度的變化 (G. bulloides, G. aequilateralis 和 G. ruber)。



圖十續 南海北部 M1s及 M2 站沈積物收集器中浮游性有孔蟲六個主要種屬相對豐度的變化 (G. sacculifer、N. dutertrei 和 P. obliquiloculata)。

A.南海北部 M1s 站浮游性有孔蟲豐度

南海北部 M1s 站收集串列所選取的收集杯分別為 2001/12、 2002/01、2002/03 ,進行有孔蟲種屬的鑑定、計算浮游性有孔蟲豐 度。大致上看來 M1s 站浮游性有孔蟲豐度在 2001 年 12 月份最低 , 2002 年 1 月份次之 ,2002 年 3 月份最高 ,與 M1s 粗顆粒含量變化 趨勢一致(圖九)。沈積物收集器中的浮游性有孔蟲種屬主要優勢種屬 以 G. bulloides (豐度 63~610 #/g)、G. aequilateralis (豐度 17~989 #/g), G. ruber (豐度 57~482 #/g), G. sacculifer (豐度 65~1187 #/g), N. dutertrei (豐度 320~1909 #/g)與 P. obliquiloculata (豐度 89~722 #/g) 六種為主 (圖十一)。根據 Bé (1977)與 Fairbanks et al. (1980) 等人研究 ,這幾個種屬是熱帶的太平洋西界洋流的特徵種屬 ,六個優 勢種屬中 ,又以 N. dutertrei 的豐度為最高。

雖然南海 M1s 站的沈積物收集器共分為 4 個深度來施放,但是 受限於第一層所收集的標本量不足,所以無法取得完整的子樣品進行 有孔蟲的鑑定及計數。所選擇的三個不同月份的收集杯中浮游性有孔 蟲主要種屬相對含量隨時間的變化如圖十二所顯示,上述的六個種屬 含量總和可達全部個數的 86~95%。南海北部依各月份來看 2001 年 12 月份以 N. dutertrei 的平均達 38% 最高,其次依序為 P. obliguiloculata (19%)、G. sacculifer (10%)、G. aeguilateralis (8%)、

G. bulloides (7%)和 G. ruber (6%), 2002 年 1 月份以 N. dutertrei 的 平均達 39% 最高,其次依序為 G. sacculifer (16%)、G. bulloides (13%)、P. obliquiloculata (10%)、G. ruber (8%) 和 G. aequilateralis(2%)。2002 年 3 月份以 N. dutertrei 的平均達 28% 最 高,其次依序為 G. sacculifer (18%)、P. obliquiloculata (12%)、G. aequilateralis (12%)、G. bulloides (9%) 和 G. ruber (9%)。

從 G. bulloides 及 N. dutertrei 相對含量的分佈來看,大致上在 1 月份收集杯的百分比含量相較於 12 月及 3 月份的收集杯皆有較高的 趨勢,推測可能與海水溫度變化有關。可能由於 1 月份為冬季季風最 強盛時,所以海水溫度較其他月份低,適合代表冷溫環境的 G. bulloides 及 N. dutertrei 之相對含量增高。而 G. ruber 及 G. aequilateralis 相對含量的分佈來看,大致上看來在 1 月份收集杯含 量相較於 12 月及 3 月份的收集杯皆有較少的趨勢, G. ruber 及 G. aequilateralis 屬於副熱帶暖水種屬,由於 1 月份海水溫度較低,不 適合暖水種屬的生長,所以呈現豐度的低值。





N. dutertrei (F) P. obliquiloculata 豐度的變化。



屬相對含量。

B.南海北部 M2 站浮游性有孔蟲豐度

南海北部 M2 站第一年收集串列所選取的收集杯分別為 2000/10、2001/01、2001/03;第二年收集串列所選取的收集杯為 2002/01 與 2002/03,分別進行有孔蟲種屬的鑑定、並計算浮游性有 孔蟲豐度。各種屬在不同季節的豐度如圖十三所示,主要優勢種屬包 括了 *G. bulloides* (豐度 0~2200 #/g), *G. aequilateralis* (豐度 0~2300 #/g)、*G. ruber* (豐度 0~10000 #/g)、*G. sacculifer* (豐度 100~3000 #/g)、*N. dutertrei* (豐度 100~4000 #/g)和 *P. obliquiloculata* (豐度 0~4100 #/g)等為主。如同 3-2-2 節 A 部分所敘述,根據 Bé (1977) 與 Fairbanks *et al.* (1980)研究指出這幾個種屬是熱帶的太平洋西界 洋流的特徵種屬。

為了比較年際間的變化情形,選擇南海北部同一測站 M2 第二年 所施放的 M2s 串列於 2002 年 1 月與 3 月的收集杯進行比較,兩個 月份的收集杯都以 *N. dutertrei* 的豐度為最高(100~4000 #/g),而同 一地點在 2000 年 10 月份的收集杯則是以 *G. ruber* 豐度為最高 (500~11000 #/g),由此可知季節性變化大於年際間的變化。圖十四 為 M2 站沈積物收集器中浮游性有孔蟲主要種屬相對含量,大致上在 同時段不同深度的收集杯之間的差異明顯小於時間序列的變化。而由 *G. bulloides* 等六個種屬的相對含量高達 67~91%來看,同樣地顯示 出在收集期間此六個種屬為主要優勢種屬的組合。南海北部 M2 站共 分為 4 個深度來施放,由於收集杯故障導致 2001 年 1 月的第三層 (2240m)和 M2s 站 2002 年整個第三層(2249m)收集失敗,所以沒有 樣品可以提供有孔蟲的鑑定及計數。

M2 站第一年浮游性有孔蟲豐度依各月份來看 2000 年 10 月份以 G. ruber 的平均達 48%最高,其次依序為 G. sacculifer (13%)、G. aequilateralis (6%)、N. dutertrei (4%)、G. bulloides (3%)與 P. obliquiloculata (1%)。 2001 年 1 月份以 N. dutertrei 的平均達 26% 最高,其次依序為 G. ruber (18%)、G. sacculifer (13%)、G. bulloides (9%)、P. obliquiloculata (9%)與 G. aequilateralis (2%)。 2001 年 3 月份以 G. ruber 的平均達 22% 最高,其次依序為 N. dutertrei (18%)、G. sacculifer (15%)、P. obliquiloculata (15%)、G. bulloides (7%)與 G. aequilateralis (2%)。

M2站第二年浮游性有孔蟲豐度 2002年 1 月份以 N. dutertrei 的 平均達 32% 最高,其次依序為 P. obliquiloculata (17%)、G. sacculifer (11%)、G. bulloides (10%)、G. ruber (4%)與G. aequilateralis (3%)。2002年3月份以P. obliquiloculata 的平均達 38% 最高,其次依序為G. sacculifer (18%)、G. ruber (13%)、N. dutertrei (9%)、G. bulloides (6%)與G. aequilateralis (6%)。

综合上述來看在 2000 年 10 月份的收集杯中主要以 G. ruber的 平均達最高,其次依序為 G. sacculifer和 G. aequilateralis,主要都 是以熱帶性種屬為主,而代表冷溫環境的種屬 G. bulloides 及 N. dutertrei 相對的含量在此時段中則有顯著的減少。而在 2001 及 2002 年 1 月份的收集杯中 N. dutertrei和 G. bulloides 在此時段中的相對含 量相較於同或次年的 3 月份皆有較高的豐度表現,推測可能與海水溫 度變化有關,由於 1 月份為冬季季風最強盛時所以海水溫度較其他月 份低,適合代表冷溫環境的種屬生存。

另外從 M2 站沈積物收集器中 10 月的收集杯與 1 月、3 月收集 杯的各種屬相對含量做比較,發現 10 月份的種屬分佈主要以 G. ruber 為主,其他的種屬含量相對較少,相反的 1 月、3 月份的各種屬分佈 則比較平均,推測可能由於 1 月、3 月份時營養鹽的供應來源充足, 使得各種屬在生長時較不受到限制;而 10 月份由於營養鹽的供應來 源較缺乏,所以受到自然環境的限制,當時的環境只適合某個種屬的 生長,所以當時 G. ruber種屬的相對含量則會較高。

根據陳榮華等人(2000)研究顯示從南海中部所施放的沈積物收 集器連續兩年的時間序列來看,浮游性有孔蟲通量以 G. sacculifer、 G. ruber、 N. dutertrei和 Globigerinita glutinata 等種屬在東北季風 和西南季風時會出現高值,而 G. bulloides、 P. obliquiloculata 和

Globorotalia menardii 等種屬則在冬季東北季風盛行時出現高值,此 外還發現浮游性有孔蟲種屬的通量呈現明顯的季節性及年際變化,並 表示東北季風盛行時期表層初級生產力有隨之增高的趨勢。而本論文 工作得到的結果發現從浮游性有孔蟲種屬的豐度變化也有明顯的季 節性及年際的變化,且從有孔蟲相對含量變化發現在冬季季風盛行時 (1月份) G. bulloides 及 N. dutertrei 種屬也有明顯的高值出現,另外 從浮游性有孔蟲豐度變化也發現1月、3月皆有較高的豐度表現,推 測可能是表水生產力提高使得有孔蟲豐度有隨之增高的趨勢。由於本 論文工作所選擇的收集杯月份包括2000年10月、2001與2002年 (1月及3月)所以只能就冬季季風時期及年際變化予以比較。







圖十四 南海北部 M2 站沈積物收集器中浮游性有孔蟲主要

種屬相對含量。

C.南海北部 M1s 站與 M2 站總浮游性有孔蟲豐度比較

南海北部 M1s 站與 M2 站二者的總浮游性有孔蟲豐度變化如圖 十五。由南海北部 M1s 站 3 個深度總浮游性有孔蟲豐度:第二層的 豐度 893~6182 #/g、第三層的豐度 1218~4000 #/g 和第四層的豐度 764~3194 #/g ,可看出隨著收集深度的增加總浮游性有孔蟲豐度有 減少的趨勢。從總浮游性有孔蟲豐度變化來看,由1月至3月的有孔 蟲豐度皆有增高的趨勢。

南海北部 M2 站 4 個深度總浮游性有孔蟲豐度:第一層的豐度 895~9249 #/g、第二層的豐度 1330~23430 #/g、第三層的豐度 4213~5056 #/g 和第四層的豐度 2695~12714 #/g,可看出隨著收集 深度的增加總浮游性有孔蟲豐度也有減少的趨勢。從總浮游性有孔蟲 豐度隨季節變化來看,2000 年 10 月份收集杯的總浮游性有孔蟲豐度 最高,由於此時 G. ruber種屬豐度高出其他種屬甚多,所以在豐度的 表現上相對也較高。

南海北部 M2 站的浮游性有孔蟲總量高於 M1s 站,兩者含量分 佈趨勢與粗顆粒含量分佈相似(圖九),兩測站由 1 月份至 3 月份總浮 游性有孔蟲豐度有增高的趨勢,可能與冬季季風增強,海水的上下混 合良好、幫助營養鹽往上傳送、使其表水基礎生產力提高有密切的關 係。

0 T3: 1925m M1s ۲ T4: 2702m 7000 ົວ # 6000 Abundance of Plankton Foram. ( 5000 4000 3000 2000 1000 0 Jan.2002 Dec.2001 Mar.2002 **Collection Date** T1: 240m Δ T2:1240m M<sub>2</sub>s 0 T3: 2240m **M2** T4: 3240m ۲ 25000 ົວ Δ ŧ Abundance of 20000 Plankton Foram. 15000 € 10000 0 公 0 5000 Ô ۲ Δ 0 Jan.2001 Oct.2000 Mar.2001 Mar.2002 Jan.2002 **Collection Date** 

T2: 925m

Δ

圖十五 南海北部 M1s 站與 M2 站總浮游性有孔蟲豐度。

3-2-3 浮游性有孔蟲豐度與顆粒通量的關係

圖十六為南海 M2 站浮游有孔蟲豐度與顆粒通量的關係,浮游有 孔蟲 G. sacculifer 與 G. ruber 兩個種屬的豐度顯示出當通量低時、 浮游性有孔蟲的豐度高,反之當通量高時浮游性有孔蟲豐度則會減 少,且豐度與顆粒通量間還有明顯的負相關,尤其是浮游性有孔蟲 G. ruber的相關性為 0.9 (r<sup>2</sup>=0.81), 顯示出浮游性有孔蟲豐度並無隨 顆粒通量增高而有增加的趨勢。推測當浮游性有孔蟲豐度隨顆粒通量 的遞增則有顯著地以類似線性或指數的型態遞減的結果,與 Hung et al. (1999) 和 Sheu et al. (1999) 所觀察到的生物源組成顆粒態,包 括有機碳與生物源矽質含量隨顆粒通量增加而減少的趨勢一致,先前 的研究工作將這種現象解釋為生物源顆粒沈降時的氧化分解作用,以 及大量陸源顆粒側向輸入的稀釋作用引起。本論文中得到的結果推論 可能也是由於生物源顆粒量少於非生物源的顆粒,所構成的稀釋效 果,所以當浮游性有孔蟲的豐度增高,也代表著表水生產力提高所引 起,並與顆粒通量存在負性相關。綜合上論,可進一步推論在南海北 部的生物源顆粒與顆粒通量並不是呈現正相關性,而是呈現一負相關 性。





M2



圖十六 南海北部 M2 站浮游性有孔蟲豐度與顆粒通量之關係。

3-2-4 浮游性有孔蟲碳、氧同位素的季節變化

由南海北部 M1s 及 M2 站三個種屬(O. universa、G. sacculifer 與 G. ruber)所記錄的碳、氧同位素分析結果分別以相同的比例繪製 成圖十七與十八。O. universa 在四個水深中所記錄的碳同位素值範 圍介在 0.63~1.68 ‰、氧同位素值範圍介在-3.13~-0.55 ‰;G. sacculifer 在四個水深中所記錄的碳同位素值範圍介在 0.32~1.15 ‰、氧同位素值範圍介在-3.46~-1.89 ‰;G. ruber 在四個水深中所 記錄的碳同位素值範圍介在-0.2~0.89 ‰、氧同位素值範圍介在 -3.87~-1.85 ‰。以上三個種屬在同一收集時段的組成並不因為收集 杯的深度不同而碳、氧同位素值有明顯的差異(圖十七、圖十八), 因此在之後的討論則排除不同深度收集杯對浮游性有孔蟲殼體碳、氧 同位素的影響,只就三個種屬其殼體碳、氧同位素隨時間的變化情形 加以探討。

大致上看來浮游性有孔蟲的碳同位素值可區分出以 O. universa 最重, G. sacculifer 次之, G. ruber 最輕。而三個種屬之間的氧同 位素並無很大的差異性,其中 O. universa 的氧同位素並沒有因時間 不同而呈現不一樣的範圍,比較不能反映出季節性的變化趨勢。相反 的, G. sacculifer 與 G. ruber的氧同位素值則明顯地隨不同季節而有 不同的值,表現出明顯的季節性變化。



圖十七 M1s 及 M2 站各深度收集之浮游性有孔蟲碳同位素之比較。



圖十八 M1s 及 M2 站各深度收集之浮游性有孔蟲氧同位素之比較。

A.碳同位素的季節變化

一般認為浮游性有孔蟲殼體的碳同位素記錄可以作為海洋中指 示表水浮游生物生產力的指標(e.g., Broecker and Peng, 1982; Mix *et al.*, 1989)。浮游植物在表水透光層中偏好利用較輕的碳同位素(<sup>12</sup>C) 行光合作用,當生產力提高時,因浮游植物使用較多<sup>12</sup>C,導致表水 中的碳同位素組成相對富集較重  $^{13}$ C,  $\delta^{13}$ C 值也因此相對較重, 根據 Lin et al. (1999)分析南海北部海水中溶解態無機碳碳同位素的研究 結果顯示,表水透光層中與次表層水的 $\delta^{13}$ C差值可達 1‰以上。浮游 性有孔蟲在生成其殼體時,殼體的 $\delta^{13}$ C會與海水達成同位素分化平 衡,因此當表層海水的生產力提高時,相對變重的海水δ<sup>13</sup>C將被記錄 於浮游性有孔蟲的殼體中,反之當表水生產力降低時,有孔蟲殼體之  $\delta^{13}$ C 則相對變輕。現代開放大洋中海水的 $\delta^{13}$ C 的組成分佈幾乎與營 養鹽磷酸根的濃度成鏡像關係,表水磷酸根離子濃度因光合作用消耗 出現一極小值,對應深度亦因浮游植物光合作用消耗<sup>12</sup>C,<sup>13</sup>C相對 變多,δ<sup>13</sup>C 變重出現極大值(Broecker and Peng, 1982 ; Lin *et al*., 1999)。

圖十九是南海北部M1s及M2站的浮游性有孔蟲殼體碳同位素隨 季節的變化。南海北部M1s站O. universa的碳同位素值在2001年12 月分佈範圍介於0.76~1.09‰、2002年1月分佈範圍介於0.74~1.45

‰和 2002年3月分佈範圍介於0.76~1.43‰, G. sacculifer的碳同 位素值在2001年12月分佈範圍介於0.48~0.51 ‰ 2002年1月分佈範 圍介於0.32~0.63‰和 2002年3月分佈範圍介於0.37~0.64‰, G. ruber 的碳同位素值在2001年12月分佈範圍介於0.08~0.34‰ 2002 年1月分佈範圍介於0.21~0.42 ‰ 和 2002年3月分佈範圍介於 0.07~0.37 ‰ 由上述的分析結果大致歸納出:三個種屬以12月份的  $\delta^{13}$ C最輕、1月份次之、3月份最重,由於前述當表層海水的生產力提 高時,浮游植物大量使用<sup>12</sup>C,導致表水中的碳同位素組成相對富集 較重的<sup>13</sup>C,此時δ<sup>13</sup>C值也因此相對較重,而浮游性有孔蟲的殼體所 記錄到的 $\delta^{13}$ C重時,表示當時生產力高。所以推測M1s站3月份的 $\delta^{13}$ C 是最重,可能是由於表水生產力提高所引起。另外從三個種屬隨季節 性變化方面以G. sacculifer 較能反應出季節間的變化,而相對的O. universa 的 $\delta^{13}$ C 隋季節變化的情形並不明顯。

南海北部M2站O. universa的碳同位素值在2000年10月分佈範 圍介於0.94~1.39 ‰ 2001年1月分佈範圍介於0.92~1.27 ‰ 2001 年3月分佈範圍介於0.97~1.68 ‰ 2002年1月分佈範圍介於 0.63~1.35 ‰ 2002年3月分佈範圍介於0.82~1.23 ‰和2002年5月分 佈範圍介於0.96~1.28 ‰ G. sacculifer的碳同位素值在2000年10月 分佈範圍介於0.5~0.89 ‰ 2001年1月分佈範圍介於0.5~0.63 ‰

2001年3月分佈範圍介於0.6~0.84 ‰、2002年1月分佈範圍介於 0.32~0.5 ‰、2002年3月分佈範圍介於0.69~0.91‰和2002年5月分 佈範圍介於0.94~1.15 ‰。*G. ruber*的碳同位素值在2000年10月分佈 範圍介於0.33~0.79 ‰ 2001年1月分佈範圍介於0.23~0.31 ‰ 2001 年3月分佈範圍介於0.14~0.31 ‰、2002年1月分佈範圍介於 -0.2~0.12 ‰ 2002年3月分佈範圍介於0.07~0.36 ‰和2002年5月分 佈範圍介於0.61~0.89 ‰。

由上述南海北部M1s及M2站的碳同位素值隨季節性變化,綜合 歸納出3月份的δ<sup>13</sup>C皆是最重。根據Liu*etal*. (2002)由模式計算,在 南海地區在冬季時生產力相較於其他季節會有提高的趨勢,所以3月 份的δ<sup>13</sup>C最重有可能是由於表水生產力提高的結果。另外M2站與上 述之M1s相同,主要以*G. sacculifer*的δ<sup>13</sup>C變化較為明顯,不論在 2001年3月或2002年3月與5月,δ<sup>13</sup>C比起其他月份較重,而相對的 *O. universa*δ<sup>13</sup>C則沒有隨季節而改變。

碳同位素差值( $\Delta\delta^{13}$ C)為在同一個月份的收集杯中所取得同一種 屬所測得 $\delta^{13}$ C最大值減掉最小值,主要是想藉由 $\Delta\delta^{13}$ C來推論當時混 合層的厚薄。假設各浮游性有孔蟲種屬生活在固定的水層中其殼體所 反應會是水層中的 $\delta^{13}$ C,當混合層厚時 $\delta^{13}$ C的差值會較小,反之混合 層薄時 $\delta^{13}$ C 會較大,所以可藉由 $\Delta\delta^{13}$ C 間接的推論混合層的厚薄。從 浮游性有孔蟲殼體碳同位素差值來看, M1s 站 O. universa 的碳同位 素差值在 2001 年 12 月、2002 年 1 月和 3 月分別為 0.33、0.71 和 0.67 ‰; G. sacculifer 的碳同位素差值在 2001 年 12 月、2002 年 1 月和 3 月分別為 0.03、0.31 和 0.27 ‰; G. ruber 的碳同位素差值在 2001 年 12 月、2002 年 1 月和 3 月分別為 0.26、0.21 和 0.3‰

M2 站 O. universa 的碳同位素差值在 2000 年 10 月、2001 年 1 月和 3 月、2002 年 1 月、3 月和 2002 年 1 月、3 月及 5 月差值分別 為 0.45、0.35、0.71、0.72、0.41、0.32 ‰, G. sacculifer 的碳同位 素差值在 2000 年 10 月、2001 年 1 月、3 月和 5 月分別為 0.39 0.13 0.24、0.18、0.22、0.21 ‰, G. ruber 的碳同位素差值在 2000 年 10 月、2001 年 1 月、3 月和 2002 年 1 月、3 月及 5 月分別為 0.46、 0.08、0.17、0.32、0.29、0.28 ‰

南海北部兩個測站的浮游性有孔蟲殼體碳同位素差值1月份的 差值小於10月、3月及5月,可能是由於1月份海水的混合層較厚。 利用研究船海研三號於2001年的682及691航次(分別為2月及3 月)和2002年的764航次(3月),以及研究船海研一號於2002年的 632 航次(分別為12月)在南海北部M1s和M2站所收集的水文資料 分析顯示(圖二十),當時混合層厚度最深可達80公尺。由於2001 及2002年1月份沒有南海北部M1s或M2站鄰近海域的研究航次,

於是利用 2001 年 2 月及 2002 年 12 月的航次所得的水文資料來代表 這兩年的 1 月份,並從溫度剖面發現 2001 及 2002 年 1 月份混合層 厚度皆比同年的 3 月份厚,藉此更進一步支持此項說法。


圖十九 南海北部 M1s及 M2站浮游性有孔蟲碳同位素的時間變化。圓形代表 O. universa; 三角形代表 G. ruber; 六

角形代表 G. sacculifer。



圖二十 南海北部 M2站溫度資料 空心點代表 2001年, 實心點 2002 年。圓形及三角形分別代表 1 月及 3 月。

B.氧同位素的季節變化

海水中的氧同位素(õ<sup>18</sup>O)組成受淡水輸入量、溫度、降雨及蒸發 所影響(Riley, 1975)。而有孔蟲在形成設體時,殼體與海水達成同位 素平衡(Isotopic equilibrium),同時記錄所處環境海水的氧同位素組 成,因此可以藉由有孔蟲殼體的同位素回推當時海水同位素的組成 (e.g., Spero and Lea, 1996; Thunell, 1998; Thunell *et al.*, 1999)。 由南海北部 M1s 及 M2 站的浮游性有孔蟲殼體氧同位素隨季節的變 化 (圖二十一)來看,南海北部 M1s 站 *O. universa* 的氧同位素值在 2001 年 12 月分佈範圍介於 -2.05 ~ -0.55 ‰ 2002 年 1 月分佈範圍 介於 -2.13 ~ -1.51 ‰和 2002 年 3 月分佈範圍介於 -2.07 ~ -0.97 ‰,相同的時段 *G. sacculifer* 的氧同位素值介於 -2.35 ~ -1.99 ‰ -2.05 ~ -1.97 ‰ 和 -2.33 ~ -1.92 ‰, *G. ruber* 的氧同位素值則分別 分佈於-2.46 ~ -2.2 ‰ -2.26 ~ -1.85 ‰ 和 -2.61 ~ -2.24 ‰之間。

南海北部M2站O. universa的氧同位素值在2000年10月分佈範 圍介於 -3.13 ~ -2.22 ‰、 2001年1月分佈範圍介於 -2.66 ~ -2.03 ‰、 2001年3月分佈範圍介於 -2.38 ~ -2.01 ‰、 2002年1月分佈範圍 介於-2.3 ~ -1.61 ‰ 2002年3月分佈範圍介於 -2.11 ~ -1.1 ‰和2002 年5月分佈範圍介於 -1.95 ~ -1.58 ‰, 相同的時段G. sacculifer的氧 同位素值介於 -3.46 ~ -2.85 ‰、 -2.35 ~ -2.3 ‰、 -2.23 ~ -2.11‰

65

-2.16~-2.04‰、-2.14~-1.89‰和-2.57~-2.14‰, *G. ruber*的氧 同位素值則分別分佈於-3.87~-3.47‰、-2.76~-2.61‰、-2.71~ -2.42‰、-2.42~-2.01‰、-2.42~-2.07‰和-3.02~-2.57‰

從浮游性有孔蟲 O. universa, G. sacculifer, G. ruber 三個種屬 的氧同位素值隨季節的變化來看,南海北部 M2 站在 2000 年 10 月 份皆輕於 2001 年 1 月和 3 月(圖二十一),輕的δ<sup>18</sup>O 可能由高水溫或 低鹽度的表水所造成,而利用海水表水衛星照片比較(圖二十二),我 們發現 10 月份南海地區的表水溫度的確高於 1 月及 3 月,顯示浮游 性有孔蟲殼體的δ<sup>18</sup>O 所反映的是表水水溫狀況的變化。更進一步利 用研究船海研三號於 1999 年的 561 航次 2000 年的 600 航次及 607 航次 (分別為 1 月及 3 月)在國家海洋科學研究中心在南海時間序列 (South East Asia Time-series Station, SEATS)計畫中的 S1 測站(位置 見圖一) 及鄰近海域所收集的水文資料(圖二十三),藉以評估溫度及 鹽度對δ<sup>18</sup>O 值的影響。根據 Bemis *et al.* (1998)計算公式如下:

 $T(^{\circ}C) = 16.5 - 4.8 * (\delta_{c} - \delta_{w})$ 

δ<sub>c</sub>表示浮游性有孔蟲殼體所記錄的氧同位素值,δ<sub>w</sub>表示海水的氧 同位素值。由公式中得知海水溫度約4.8 °C會影響浮游性有孔蟲殼體 的氧同位素約1‰,並由水文資料顯示海水溫度最低溫為1月份最高 溫為9月份,將最高值減掉最低值其差值約為3.94°C,經計算後發現 溫度效應對於浮游性有孔蟲殼體氧同位素值影響約0.82%。而海水 鹽度約1個單位的改變會造成浮游性有孔蟲殼體的氧同位素約0.48 ‰的差異,水文資料顯示海水鹽度最低為9月份,最高為1月份中間的 差值為0.5個單位,計算後發現鹽度效應對於浮游性有孔蟲殼體氧同 位素值影響約0.23%,由此可知δ<sup>18</sup>O受溫度效應的影響約為鹽度的4 倍。



圖二十一 南海北部 M1s 及 M2 站浮游性有孔蟲氧同位素的時間變化。圓形代表 O. universa; 三角形代

表 G. ruber; 六角形代表 G. sacculifer。



圖二十二 南海北部 M1s 及 M2 站衛星影像照片。由左至右分別為 2000 年 10 月、2001 年 1 月及 2001 年 3 月。



圖二十三 南海時間序列 SEATS 計畫中 S1 測站溫鹽資料。方形代表 ORIII-CR561 航次;三角形代表

ORIII-CR600 航次; 圓形 ORIII-CR607 航次。

3-2-5 浮游性有孔蟲棲息深度

根據 Ravelo and Fairbanks (1992)與謝英宗(1993)研究指 出,浮游有孔蟲 O. universa 是生存在斜溫層附近的種屬,而浮游有 孔蟲 G. ruber 和 G. sacculifer 則是生存在表層的混合層中。本論文 的工作則是藉由研究船海研一號於 1998 年 517 航次,在南海北部 的 D3 站(圖一)所得到的海水氧同位素值及船測所得的溫鹽資料,假 設浮游性有孔蟲殼體的碳酸鈣與海水的氧同位素是達成平衡的狀 態,計算得出δ<sub>c</sub>,藉以探討浮游性有孔蟲的棲息深度。取自 Bemis et al. (1998) 公式如下:

 $T(^{\circ}C) = 16.5 - 4.8 * (\delta_{c} - \delta_{w})$ 

海水氧同位素值(δ<sub>w</sub>) 取自林清芬 (2000), δ<sub>w</sub>校正方法必須先將標 準海水 (Standard Mean Ocean Water, SMOW)轉換成標準碳酸鹽 (Pee Dee belemnite carbonate standard the Pee Dee Formation, South Carolina, PDB), 將 SMOW 轉換成 PDB 則需再扣除 -0.27 ‰ 計算結果詳列於表五。

將南海北部 M1s 及 M2 站浮游有孔蟲三個種屬 G. ruber、G. sacculifer與 O. universa 殼體氧同位素值的實測值利用與海水氧同 位素值所計算的δ。值標示於圖二十四,本文所測的值顯示 G. ruber 是生存在較淺水層的浮游有孔蟲(~10m),其次為 G. sacculifer

(~25m),而 O. universa 則生存在較深的水層(~70m),而且比較南 海北部 M1s及 M2站的三個種屬皆顯示出 G. ruber為最淺水層的種 屬而 O. universa 則為生存在較深水層且分佈範圍較廣的種屬。 表五 1998 年 4 月 517 航次 D3 站水文資料及海水氧同位素值

(取自林清芬, 2000)。

### 1998年4月 517 航次 D3 站

#### (19°00.00'N; 117°00.17'E)

| Depth(m) | Temperature(°C) | Salinity | d <sup>18</sup> O <sub>SMOW</sub> | V <sub>SMOW</sub> to<br>V <sub>PDB</sub> | d <sub>c</sub> |
|----------|-----------------|----------|-----------------------------------|--|----------------|
| 2        | 28.20           | 33.91    | 0.09                              | -0.18                                    | -2.61          |
| 100      | 18.42           | 34.72    | 0.37                              | 0.10                                     | -0.30          |
| 200      | 13.04           | 34.51    | 0.19                              | -0.08                                    | 0.63           |
| 500      | 8.18            | 34.42    | 0.12                              | -0.15                                    | 1.58           |
| 1000     | 4.58            | 34.50    | -0.08                             | -0.35                                    | 2.13           |
| 1500     | 3.00            | 34.57    | 0.00                              | -0.27                                    | 2.54           |
| 2000     | 2.50            | 34.60    | -0.16                             | -0.43                                    | 2.48           |
| 3000     | 2.35            | 34.61    | -0.03                             | -0.30                                    | 2.64           |

 $\delta_w$  Correction ( V<sub>SMOW</sub> to V<sub>PDB</sub>)需扣除 -0.27 ‰



### 圖二十四 浮游性有孔蟲氧同位素值與計算的氧同位素理論值的比較。

3-2-6 南海北部 M1s、M2 站和拖網的浮游性有孔蟲碳、氧同位素比

較

圖二十五是南海北部 M1s、M2 浮游性有孔蟲碳、氧同位素和 高屏峽谷拖網的浮游性有孔蟲碳、氧同位素值分佈情形。由浮游性 有孔蟲殼體氧同位素值來看,O. universa、G. sacculifer 以及 G. ruber 三個種屬殼體的氧同位素並無顯著差異。由 2 個測站來看南 海北部 M1s 站 2001 年 12 月及 2002 年 1 月和 3 月並無明顯的差 異,其分佈範圍介於 -0.05 ~ -2.61 ‰; M2 站 2000 年 10 月份其 分佈範圍介於 -2.22 ~ -3.87 ‰, 2001 年 1 月、3 月與次年同時段 並無明顯的差異其分佈範圍介於 -1.1 ~ -2.76 ‰, 2002 年 5 月份其 分佈範圍介於 -1.58 ~ -3.02 ‰;高屏峽谷拖網於 2001 年 3 月分 佈範圍介於 -1.63 ~ -2.28 ‰。綜合上論,發現 M2 站 2000 年 10 月份和 2002 年 5 月份皆輕於 M1s(12 月、1 月、3 月)、M2 (1 月、 3 月)及拖網(3 月),顯示出季節性的變化大於地區性的變化。

三個種屬殼體的碳同位素則有顯著差異, O. universa 於南海北部 M1s 站其分佈範圍介於 0.74~1.45‰, M2 站其分佈範圍介於 0.63~1.68‰, G. sacculifer 於南海北部 M1s 站其分佈範圍介於 0.32~0.64‰, M2 站其分佈範圍介於 0.32~1.15‰, G. ruber 於 南海北部 M1s 站其分佈範圍介於 0.07~0.42‰, M2 站其分佈範圍

75

介於 -0.2~0.89‰。大致上可區分出 3 個種屬中以 O. universa 最重, G. sacculifer 次之, G. ruber 最輕。顯示出浮游性有孔蟲殼體的碳同位素會受到不同種屬或不同生長時期生命效應的影響。

由上述來看南海北部 M1s、M2 站和高屏峽谷的拖網三個站位 的有孔蟲碳、氧同位素組成並無明顯的的差異,可見得同一時期的 有孔蟲同位素訊號並不會因採集方式以及不同深度的收集杯之間而 有所差異。



圖二十五 南海北部 M1s、M2 站和浮游拖網的浮游性有孔蟲碳、氧同位素的比較。

3-2-7 浮游性有孔蟲碳、氧同位素與顆粒通量的關係

經過上一節討論浮游有孔蟲豐度與通量的關係,顯示出浮游有孔 蟲 G. sacculifer 與 G. ruber 兩種屬的豐度與顆粒通量間有明顯的負 相關(圖十六) , 為了更進一步想瞭解顆粒通量與浮游有孔蟲 G. sacculifer 與 G. ruber 殼體碳、氧同位素是否也有相關性,所以分別 將浮性有孔蟲殼體碳、氧同位素對顆粒通量做圖(圖二十六)。結果顯 示有孔蟲殼體碳、氧同位素與通量並無明顯的相關性。但是根據張 (2002)研究顯示, M2收集串的(T1)第一杯到第三杯 (2000/10/14~2000/11/27)的顆粒通量較同時期收集杯高出好幾倍,可 能是受象神颱風(2000/10/28~2000/11/02)及貝碧佳颱風 (2000/11/04~2000/11/08)過境所影響。本論文工作中 M2 收集串所選 取的收集杯剛好有第一個收集杯,為了排除象神颱風對於顆粒通量的 影響,所以將此一時期的通量排除、不列入考量,以更進一步尋求出 顆粒通量與碳同位素是否與有孔蟲豐度對顆粒通量同樣的關係存 在。圖二十七為修正後游性有孔蟲殼體碳同位素與該收集杯顆粒通量 的關係圖。將 2000 年 10 月份颱風過境時的通量排除後發現當通量 低時浮游性有孔蟲 $\delta^{13}$ C值則高,相反地,若通量高時浮游性有孔蟲  $\delta^{13}$ C 值則會減低,且即有明顯的負相關,尤其是浮游性有孔蟲 G. *ruber*的相關性達 0.83 ( $r^2$ =0.7), 顯示出浮游性有孔蟲 $\delta^{13}$ C 值並無隨

78

顆粒通量增加而有變重的趨勢,所以此結果與有孔蟲豐度對顆粒通量 一樣存有負相關。由此更進一步印證先前所提到由於稀釋的效果使得 生物源顆粒只佔了總通量的極低比例。



圖二十六 南海北部 M2 站浮性有孔蟲殼體碳、氧同位素與顆粒通量 關係(未排除颱風效應)。







圖二十七 南海北部 M2 站浮游性有孔蟲殼體碳同位素與通量之關係 (排除颱風效應)。

#### 肆、結論

- 施放於高屏峽谷收集串列的子樣品組成,除了粗顆粒含量變化有 很大的差異以及受颱風影響之外,其他不同生物源顆粒各項參數 變化量都非常有限。
- 高屏峽谷收集串列的浮游性有孔蟲主要以副熱帶常見的種屬為 G aequilateralis、G. ruber、G. sacculifer 和 N. dutertrei,同時在峽 谷內也發現低緯區罕見的冷溫種屬 G. bulloides 的殼體,顯示在沿 岸地區營養鹽供應的效應。
- 高屏峽谷沈積物收集器所收集的有孔蟲豐度有很大的變化,大部分的收集杯中都有底棲性有孔蟲的殼體,並與粗顆粒含量變化一致,尤其是颱風過境時底棲性有孔蟲豐度比浮游性有孔蟲豐度高,可見側向傳輸對該區顆粒沈降的影響。
- 南海北部 M1s 和 M2 站的粗顆粒含量變化可反映沈降顆粒的溶解 效應。另外粗顆粒含量變化在1月及3月皆有增高的趨勢,推測 與表水生產力提高有關。
- 南海北部 M1s 和 M2 站收集串列的浮游性有孔蟲主要有 G. bulloides, G. aequilateralis, G. ruber, G. sacculifer, N. dutertrei 與 P. obliquiloculata。六個優勢種屬當中除了 2000 年 10 月份的 收集杯中以大量的 G. ruber為主之外, 以 N. dutertrei 的豐度為最

高。

- 南海北部 M1s 和 M2 站收集串列的浮游性有孔蟲,大致可歸納出 兩大族群: G. bulloides 和 N. dutertrei 多出現於1月份;G. aequilateralis、G. ruber、G. sacculifer 和 P. obliquiloculata 多出 現於3月份。
- 7. 南海北部(M1s 和 M2 站)的浮游性有孔蟲豐度遠高出高屏峽谷(KP 站)許多,而浮游性有孔蟲豐度在 M2 站又高於 M1s 站,分佈趨勢 與粗顆粒含量相似。南海北部 M1s 及 M2 兩測站在 1 月份及 3 月 份其總浮游性有孔蟲豐度皆有增高的趨勢,推測可能由於表水生 產力提高所致。
- 南海北部 M1s 和 M2 站 3 個浮游性有孔蟲種屬殼體的碳同位素有 顯著差異。大致上以 O. universa 最重, G. sacculifer 次之, G. ruber 最輕。由碳同位素差值 (Δδ<sup>13</sup>C) 結果來看 1 月份的收集杯 皆小於 10 月、3 月及 5 月的收集杯,可能是 1 月份海水的混合層 較厚。
- 經由有孔蟲殼體氧同位素值與水文資料比較, G. ruber在南海北部 是生存在較淺的水層(~10m);其次為 G. sacculifer(~25m),而 O. universa則生存在較深的水層(~70m)。
- 10. 南海北部 M1s 和 M2 站浮游性有孔蟲殼體氧同位素值季節性變化

大於種屬之間的變化。由 M2 站的三個種屬δ<sup>18</sup>O 發現在 10 月份皆 輕於 1 月和 3 月,應該是表水溫度所造成。

11. 浮游有孔蟲 G. ruber 的碳同位素及豐度皆與顆粒通量有明顯的 負相關,可能由於稀釋的效果使得生物源顆粒只佔了總通量的極 低比例,並且通量的高低不足以反映表水生產力。

#### 伍、參考文獻

中文部分:

丁信中,1997,南海十五萬年來表水古生產力之變化,國立中山大

學海洋地質及化學研究所碩士論文,共100頁。

王律江, 1992, 南海北部晚第四紀氧同位素紀錄與盆地水體流通狀

況,南海晚第四紀古海洋學研究,青島,青島海洋大學出版社,

第195-205頁。

林清芬,2000,南海及呂宋海峽海水氧同位素組成之研究,國立中

山大學海洋地質及化學研究所碩士論文,共80頁。 洪佩瑩,2001,大鵬灣碳及營養鹽之生地化作用及通量研究,國立

中山大學海洋地質及化學研究所碩士論文,共 156 頁。

陳文斌,除魯強,T.C.Jennerjahn,1993,南海北部顆粒通量的初步

研究,南海海洋沈積作用過程與地球化學研究,北京,海洋出版

社,第191-201頁。

陳民本 , 1998 , 台灣四周海底地形與沈積物。 國際海洋年 「海洋、

海軍、科技」,民國八十七年,十一月十九日至二十日,高雄。

論文集,第1-14頁。

陳建芳,鄭連福, M.G. Wiesner, 1998, 基于沈積物捕獲器的南海表

層初級生產力及輸出生產力估算,科學通報 43(6),639-106頁。

85

陳榮華, 翦知湣, 鄭玉龍, 陳建芳, 2000, 南海中部浮游有孔蟲通

量的季節變化,同濟大學學報 28,73-77。 張慧貞,2002,南海北部海域之沈降顆粒及沈積物:顆粒通量與鉛

-210 之分佈,國立中山大學海洋地質及化學研究所碩士論文,

共64頁。

游智謙, 2002, 南海北坡晚第四紀沈積物有機碳碳同位素的變化,

國立中山大學海洋地質及化學研究所碩士論文,共83頁。 蔡康齡,2002,南沖繩海槽西端顆粒物質中鉛-210與針-210之不平

衡現象,國立中山大學海洋地質及化學研究所碩士論文,共 57 頁。

- 翦知湣,陳民本,林慧玲,汪品先,1998,從穩定同位素與微體化 石看南海南部末次冰消期古海洋學變化之階段性,中國科學(D) 輯,28(2),第118-124頁。
- 謝英宗,1993,台灣東部海域晚第四紀之古海洋,國立台灣大學海 洋研究所博士學位論文,共225頁。

英文部分:

- Bé, A.W.H. (1960) Ecology of recent planktonic foraminifera: Part II Bathymetric and seasonal distributions in the Sargasso Sea off Bermuda. *Micropaleontology*, 6, 373-392.
- Bé, A.W.H. (1977) An ecological, zoogeographic and taxonomic review of recent planktonic foraminifera, In (Ramsay, A.T.S. ed.), *Oceanic Micropaleontology*, 1-100, Academic Press.
- Berger, W.H., J. S. Killingley and E. Vincent (1978) Stable isotopes in deep-sea carbonates: Box core ERDC-92, west Equatorial Pacific, *Oceanologica Acta*, 1, 203-216.
- Bemis, B.E., H. J. Spero, J. Bijma and D. W. Lea (1998)
  Reevaluation of the oxygen isotopic composition of planktonic foraminifera: Experimental results and revised paleotemperature equations. *Paleocenography*, 13, 150-160.
- Broecker, W.S. and T. H. Peng (1982) Tracer in the Sea, Eldigio Press, Palisades, New York, 690. pp.
- Chen, M.T., H. W. Ho., T. D. Lai., L. Zheng., Q. Miao., K. S. Shea.,
  M. P. Chen., P. Wang., K. Y. Wei and C. Y. Huang (1998)
  Recent planktonic foraminifers and their relationships to
  surface ocean hydrography of the South China Sea. *Marine Geology*, 146, 173-190.
- Chu, T. S. (1972) A study on the water exchange between Pacific Ocean and the South China Sea, *Acta Oceanogr. Taiwanica*, 2, 11~24.
- Colombo J.C., N. Silverberg and J. N. Gearing (1996)

Biogeochemistry of organic matter in the Laurentian Trough, I. Composition and vertical fluxes of rapidly settling particles, *Mar. Chem.*, 51, 277-293.

- Deuser, W.G., T. D. Jickells, P. King and J. A. Commeau (1995) Decadal and annual changes in biogenic opal and carbonate fluxes to the deep Sargasso Sea. *Deep-Sea Research I*, 42, 1923-1932.
- Divakar Naidu, P. (1993) Distribution patterns of Recent planktonic foraminifera in surface sediments of the western continental margin of India. *Marine Geology*, 110, 403-418.
- Fairbanks, R.G., P. H. Wiebe and A. W. H. Bé (1980) Vertical distribution and isotopic composition of living planktonic foraminifera in the western North Atlantic. *Science*, 207, 61-63.
- Fang, G.H., W. D. Fang, Y. Fang and K. Wang (1998) A survey of the South China Sea upper ocean circulation. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 37, 1-16.
- Guptha, M.V.S., W. B. Curry, V. Ittekkot and A. S. Muralinath (1997) Seasonal variation in the flux of planktic foraminifera: Sediment trap results from the Bay of Bengal, Northern Indian Ocean, *Journal of Foraminiferal Research*, 27, 5-19.
- Heussner, S., C. Ratti and J. Carbonne (1990) The PPS 3 time-series sediment trap and the trap sample processing techniques used during the ECOMARGE experiment. *Cont. Shelf Res.*, 10, 943-958.
- Honjo, S. (1982) Seasonality and interaction of biogenic and Lithogenic particulate flux at the Panama Basin, *Science*, 218,

883-884.

- Honjo, S. and K. W. Doherty (1988) Large aperture time series sediment traps; design objectives, construction and application, *Deep-Sea Research*, 35, 133-149.
- Hung, J.J., C. S. Lin, G. W. Hung and Y. Chung (1999) Lateral transport of lithogenic particles from the continental margin of the Southern East China Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 49, 483-499.
- Ittekkot, V., R. R. Nair, S. Honjo, V. Ramasw, M. Bartsch, S. Manganini and N. B. Desai (1991) Enhanced particle fluxes in Bay of Bengal induced by injection of fresh water, *Natur*e, 351, 385-387.
- Lin, H.L., L. W. Wang, C. H. Wang and G. C. Gong (1999) Vertical distribution of d<sup>13</sup>C of dissolved inorganic carbon in the northeastern South China Sea. *Deep-Sea Research I*, 46, 757-777.
- Liu, K.K., S. Y. Chao, P. T. Shaw, G. C. Gong, C. C. Chen and T. Y. Tang (2002) Monsoon-forced chlorophyll distribution and primary production in the South China Sea: observations and a numerical study. *Deep-Sea Research I*, 49, 1387-1412.
- Meyers, P.A. (1994) Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, 144, 289-302.
- Mix, A.C. (1989) Pleistocene productivity: Evidence from oganic carbon and foraminiferal species. In: productivity of the Ocean: Present and Past, W. H. Berger, Smetacek, and G. Wefer

(Eds.), pp. 313-340.

Monaco A., X. D. de Madron, O. Radakovitch, S. Heussner and J. Carbonne (1999) Origin and variability of downward biogeochemical fluxes on the Rhone continental margin(NW Mediterranean). *Deep-Sea Research* I, 46, 1483-1511.

Nair, R.R., V. Ittekkot, S. Y. Manganini, V. Ramaswamy, B. Haake,
E. T. Degens, B. N. Desai and S. Honjo (1989) Increased
particle flux to the deep ocean related to monsoons, *Nature*, 338, 749-751.

Prell, W.L., and W. B., Curry (1981) Faunal and isotopic indices of monsoonal upwelling, Western Arabian Sea. Oceanologica Acta, 4, 91-98.

Ravelo, A.C. and R. G. Fairbanks (1992) Oxygen isotopic
composition of multiple species of planktonic foraminifera:
Recorders of the modern photic zone temperature gradient. *Paleoceanography*, 7, 815-831.

Riley, J.P. (1975) Analytical chemistry of sea water, *Chemical Oceanography*, 3, 2nd ed., Riley and Skirrow eds., Academic Press, New York, 193-514.

Sautter, L.R. and R. C. Thunell (1991) Planktic foraminiferal response to upwelling and seasonal hydrographic conditions: sediment trap results from San Pedro Basin, Southern California Bight. *Journal of Foraminiferal Research*, 21, 347-363.

Shackleton, N.J. (1967) Oxygen isotope analyses and Pleistocene temperatures re-assessed. *Nature*, 215, 15-17.

Shaw, P. T., (1989) The intrusion of water masses into the sea southwest of Taiwan, *J. Geophys. Res.*, 94, 18213-18226.

- Sheu D.D., W. C. Jou, Y. C. Chung, T. Y. Tang and J. J. Hung (1999) Geochemical and carbon isotopic characterization of particles collected in sediment traps from the East China continental slope and the Okinawa Trough northeast of Taiwan. *Continental shelf Research*, 19, 183-203.
- Spero, H.J., I. Lerche and D. F. Williams (1991) Opening the carbon isotope "vital effect" black box, 2, quantitative model for interpreting foraminiferal carbon isotope data. *Paleoceanography*, 6, 639-655.
- Spero, H.J. (1992) Do planktonic foraminifera accurately record shifts in the carbon isotope composition of seawater S CO<sub>2</sub> ? *Marine Micropaleontology*, 19, 275-285.
- Spero, H.J. and D. W. Lea (1996) Experimental determination of stable isotope variability in *Globigerina bulloides*: Implications for paleoceanographic reconstructions. *Marine Micropaleontology*, 28, 231-246.
- Spero, H.J., J. Bijma and D. W. Lea (1997) Effect of the seawater carbonate concentration on foraminiferal carbon and oxygen isotopes. *Nature*, 390, 497-500.
- Sverdrup, H.U., M. W., Johnson and R. H., Fleming (1942) The Oceans, Prentice Hall, New York, 1087pp
- Thunell R.C., B. C. Curry and S. Honjo (1983) Seasonal variation in the flux of planktonic foraminifera: Time series sediment trap results from the Panama Basin. *Earth Planet Sci Let*, 64,

44-55.

- Thunell. R. C. (1998) Particle fluxes in a coastal upwelling zone: Sediment trap results from the Santa Barbara Basin, California. *Deep-Sea Research*, 45, 1863-1884.
- Thunell, R.C., E. Tappa, C. pride and E. Kincaid (1999) Sea-surface temperature anomalies assciated with the 1997-1998 El Nino recorded in the oxygen isotope composition of planktonic forminifera. *Geology*, 27, 843-846.
- Wang, C.H., M. P. Chen, S. C. Lo and J. C. Wu (1986) Stable isotope records of late Pleistocene sediments from the South China Sea. Bull. Inst. Earth Sci., *Academia Sinica*, 6, 185-195.
- Wiesner, M.G.L., H. K. Zhang, Y. Wang Wong and W. Chan (1996)Fluxes of particulate matter in the South China Sea, in: ParticleFlux in the Ocean, John Wiley and Sons, New York, 91-154.
- Wyrkti, K. (1961) Physical oceanography of the South-East Asian water, Scientific results of marine investigations of the South China Sea and Gulf of Thailand, 1959-1961, Naga Report 2, 195pp.

# M2 站浮游性有孔蟲穩定同位素分析結果

| 收集器     | O <i>rbulina universa</i><br>(710~600 μm) |                | Globigerinoid<br>(355-30 | les sacculifer<br>)0 μm) | <i>Globigerinoides ruber</i><br>(300-250 μm) |                 |
|---------|---|----------------|--------------------------|--------------------------|--|-----------------|
| 位置編號    | $\delta^{18}O$                            | $\delta^{13}C$ | δ <sup>18</sup> Ο        | $\delta^{13}C$           | $\delta^{18}O$                               | $\delta^{13}$ C |
| M2-1-1  | -   | -              | -3.46                    | 0.81                     | -3.87  | 0.79            |
| M2-1-7  | -2.03 , -2.55                             | 0.95 , 1.27    | -2.30                    | 0.50                     | -2.76  | 0.23            |
| M2-1-11 | -2.08 , -2.38                             | 1.14 , 1.47    | -2.20                    | 0.80                     | -2.71  | 0.18            |
| M2-2-1  | -3.13 , -3.00                             | 1.39 , 1.26    | -3.41                    | 0.89                     | -3.54  | 0.42            |
| M2-2-7  | -2.31 , -2.39                             | 0.94 , 0.92    | -2.31                    | 0.63                     | -2.61  | 0.31            |
| M2-2-11 | -2.23 , -2.25                             | 1.19 , 1.68    | -2.13                    | 0.84                     | -2.69  | 0.31            |
| M2-3-1  | -3.00 , -2.76                             | 1.17 , 1.24    | -3.08                    | 0.50                     | -3.63  | 0.33            |
| M2-3-7  | -   | -              | -                        | -                        | -  | -               |
| M2-3-11 | -2.16 , -2.01                             | 0.97 , 1.18    | -2.11                    | 0.64                     | -2.70  | 0.14            |
| M2-4-1  | -2.48 , -2.22                             | 0.96 , 0.94    | -2.85                    | 0.69                     | -3.47  | 0.50            |
| M2-4-7  | -2.64 , -2.66                             | 1.18 , 1.23    | -2.35                    | 0.54                     | -2.61  | 0.27            |
| M2-4-11 | -2.29 , -2.11                             | 1.21 , 1.03    | -2.23                    | 0.60                     | -2.42  | 0.30            |

# M2s 站浮游性有孔蟲穩定同位素分析結果

| 收集器      | Orbulina universa<br>(710~600 μm) |                | Globigerinoid<br>(355-3         | des sacculifer<br>00 μm) | Globigerinoides ruber<br>(300-250 μm) |                 |
|----------|-----------------------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 位置編號     | $\delta^{18}O$                    | $\delta^{13}C$ | $\delta^{18}$ O $\delta^{13}$ C |                          | $\delta^{18}O$                        | $\delta^{13}$ C |
| M2s-1-2  | -1.83                             | 1.04           | -2.04                           | 0.50                     | -2.21 , -2.01                         | 0,-0.20         |
| M2s-1-6  | -2.11                             | 1.23           | -2.14                           | 0.80                     | -2.42                                 | 0.36            |
| M2s-1-11 | -                                 | -              | -2.14                           | 0.94                     | -2.57                                 | 0.89            |
| M2s-2-2  | -2.09 , -2.3                      | 0.99 , 1.35    | -2.13                           | 0.34                     | -2.40                                 | 0.12            |
| M2s-2-6  | -1.85                             | 1.14           | -2.04                           | 0.69                     | -2.09                                 | 0.07            |
| M2s-2-11 | -1.95                             | 1.28           | -2.39                           | 0.99                     | -2.86                                 | 0.61            |
| M2s-4-2  | -2.11 , -1.61                     | 1.29 , 0.63    | -2.16                           | 0.32                     | -2.31                                 | 0.07            |
| M2s-4-6  | -1.10                             | 0.82           | -1.89                           | 0.91                     | -2.07                                 | 0.31            |
| M2s-4-11 | -1.58                             | 0.96           | -2.57                           | 1.15                     | -3.02                                 | 0.70            |

## M1s 站浮游性有孔蟲穩定同位素分析結果

| 收集器      | O <i>rbulina universa</i><br>(710~600 μm) |                | Globigerinoid<br>(355-30 | <i>les sacculifer</i><br>00 μm) | Globigerinoides ruber<br>(300-250 μm) |                 |
|----------|---|----------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 位置編號     | $\delta^{18}O$                            | $\delta^{13}C$ | δ <sup>18</sup> Ο        | $\delta^{13}C$                  | $\delta^{18}O$                        | $\delta^{13}$ C |
| M1s-2-6  | -0.58                                     | 0.76           | -2.35                    | 0.48                            | -2.20                                 | 0.08            |
| M1s-2-8  | -2.13                                     | 1.45           | -2.05                    | 0.54                            | -2.26                                 | 0.33            |
| M1s-2-12 | -0.97 , -1.62                             | 1.09 , 0.97    | -1.92 , -2.33            | 0.51 , 0.58                     | -2.53                                 | 0.37            |
| M1s-3-6  | -2.05                                     | 1.09           | -2.32                    | 0.51                            | -2.31                                 | 0.34            |
| M1s-3-8  | -1.66                                     | 0.79           | -2.01                    | 0.34                            | -1.85                                 | 0.21            |
| M1s-3-12 | -1.58 , -1.55                             | 0.76 , 1.04    | -2.25 , -2.12            | 0.46 , 0.44                     | -2.24                                 | 0.17            |
| M1s-4-6  | -0.55                                     | 0.91           | -1.99                    | 0.48                            | -2.46                                 | 0.28            |
| M1s-4-8  | -1.51                                     | 0.74           | -1.97 , -1,99            | 0.63 , 0.32                     | -2.13                                 | 0.42            |
| M1s-4-12 | -2.07 , -1.80                             | 1.43 , 1.05    | -2.07 , -2.25            | 0.37 , 0.64                     | -2.43 , -2.61                         | 0.20 , 0.07     |

## 3月份拖網浮游性有孔蟲穩定同位素分析結果

| OR     | Orbulina universa<br>(710~600 μm) |             | <i>Globigerinoides sacculifer</i><br>(355-300 μm) |                 | Globigerinoides ruber<br>(300-250 μm) |                |
|--------|-----------------------------------|-------------|---|-----------------|---------------------------------------|----------------|
| 758 航次 | $\delta^{18}$ O $\delta^{13}$ C   |             | $\delta^{18}O$                                    | $\delta^{13}$ C | δ <sup>18</sup> Ο                     | $\delta^{13}C$ |
| 拖網     | 0.00 4.00                         | 4 4 4 4 47  | 0.00  | 0.74            | 0.07                                  | 0.40           |
| (150m) | -2.09 , -1.63                     | 1.44 , 1.47 | -2.38   | 0.74            | -2.27                                 | 0.12           |

| 附錄 | _ |
|----|---|
|----|---|

M2 站浮游性有孔蟲六種優勢種屬計數結果

| 栖木编驼    | G. bulloides | G. aequilateral | is G. ruber ( | G. sacculife | er N. dutertrei F | P. obliquilocula | ta<br><sub>物右斗</sub> 專興府 |
|---------|--------------|-----------------|---------------|--------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| 你个啊…    | (#/g)        | (#/g)           | (#/g)         | (#/g)        | (#/g)             | (#/g)            | 芯门儿蛆豆反                   |
| M2-1-1  | 8            | 14              | 544           | 132          | 69                | 14               | 895                      |
| M2-1-7  | 309          | 103             | 800           | 632          | 2322              | 477              | 6554                     |
| M2-1-11 | 135          | 135             | 870           | 1142         | 2208              | 3127             | 9249                     |
| M2-2-1  | 656          | 2262            | 10328         | 2773         | 583               | 109              | 23430                    |
| M2-2-7  | 611          | 95              | 764           | 573          | 993               | 525              | 4517                     |
| M2-2-11 | 758          | 114             | 2231          | 1359         | 1130              | 1087             | 7982                     |
| M2-3-1  | 112          | 224             | 2415          | 617          | 168               | 0                | 5056                     |
| M2-3-7  | -            | -               | -             | -            | -                 | -                | -                        |
| M2-3-11 | 249          | 142             | 960           | 690          | 697               | 512              | 4213                     |
| M2-4-1  | 754          | 865             | 3854          | 1173         | 363               | 111              | 9972                     |
| M2-4-7  | 286          | 69              | 645           | 414          | 553               | 192              | 2695                     |
| M2-4-11 | 439          | 175             | 1317          | 724          | 827               | 29               | 4765                     |
| M2s-1-2 | 738          | 127             | 235           | 451          | 3112              | 1680             | 8001                     |
| M2s-1-6 | 37           | 155             | 133           | 786          | 497               | 4146             | 6602                     |
| M2s-2-2 | 2184         | 722             | 790           | 1929         | 4062              | 1908             | 13187                    |
| M2s-2-6 | 134          | 140             | 332           | 274          | 122               | 175              | 1331                     |
| M2s-4-2 | 667          | 430             | 543           | 1610         | 3441              | 1857             | 12714                    |
| M2s-4-6 | 438          | 302             | 605           | 1119         | 529               | 2042             | 5521                     |

附錄二

## M1 站浮游性有孔蟲六種優勢種屬計數結果

| 栖木编驼     | G. bulloides | G. aequilateralis | G. ruber | G. sacculifer | <sup>.</sup> N. dutertrei | P. obliquiloculata | <b>滷右</b> 斗 |
|----------|--------------|-------------------|----------|---------------|---------------------------|--------------------|-------------|
| 尔个河间沉    | (#/g)        | (#/g)             | (#/g)    | (#/g)         | (#/g)                     | (#/g)              | 芯白儿蛆豆反      |
| M1s-2-6  | 62           | 95                | 56.      | 64            | 403                       | 127                | 894         |
| M1s-2-8  | 413          | 92                | 477      | 613           | 1440                      | 335                | 3792        |
| M1s-2-12 | 257          | 988               | 481      | 1187          | 1909                      | 722                | 6182        |
| M1s-3-6  | 93           | 87                | 71       | 146           | 549                       | 269                | 1298        |
| M1s-3-8  | 185          | 31                | 108      | 188           | 457                       | 118                | 1218        |
| M1s-3-12 | 609          | 393               | 384      | 612           | 993                       | 399                | 4000        |
| M1s-4-6  | 135          | 120               | 120      | 222           | 515                       | 406                | 1905        |
| M1s-4-8  | 94           | 17                | 57       | 114           | 319                       | 89                 | 764.3       |
| M1s-4-12 | 235          | 312               | 326      | 655           | 862                       | 434                | 3194        |