

國立中山大學海洋地質研究所碩士論文

指導教授：陳鎮東 博士
汪中和 博士

苗栗白沙屯過港貝化石層內
軟體動物化石之碳氧同位素研究

Oxygen and Carbon Isotopic Studies of Fossil Mollusca
in the Guohgaang Shell Bed, Paishatung, Miaoli

研究生：彭宗仁 撰

中華民國七十八年五月三十一日

摘 要

本研究分析了苗栗白沙屯過港貝化石層內軟體動物化石，及臺灣南、北部沿海地區現生軟體動物之碳、氧同位素組成。從X光繞射，碳、氧同位素分析的結果，及其出露的產狀顯示，本區的軟體動物化石為保存度極佳之原生化石。

在全殼分析方面，根據化石的穩定同位素資料，顯示這些軟體動物化石過去是生活在開放性海洋的環境。不論是化石或現生軟體動物，腹足類的碳或氧同位素分布範圍似乎都要較斧足類為廣，這可能是不同型態的生活方式，或者是種屬效應 (species effect) 所造成。比較化石和現生軟體動物之同位素分布範圍，軟體動物化石顯示著較重的氧同位素和較輕的碳同位素組成，這表示他們過去可能是生活在較冷的冰河期氣候環境；而經 ^{14}C 定年結果顯示過港貝化石層當時正處於更新世最後一次冰期。由於 ^{14}C 定年結果與前人所認為之頭崙山層之年代範圍並不相符，故本區之層位問題尚待進一步研究才能決定。

在生長紋分析方面，*Meretrix lusoria*、*Cyclotellina remies* 和 *Pecten byoritsuensis* 之碳、氧同位素隨生長紋變化的研究結果，可歸納如下：*M. lusoria* 是生活在淺海區且靠近河口環境的貝類，它的生命期大約為六個月，而且是在夏天死亡。*C. remies* 是棲息在較深且穩定的水域，但因其氧同位素記錄變化的幅度很小，所以無法判斷它的生命持續多久。*P. byoritsuensis* 是生活在穩定的淺海底環境，或浮游在開放性海洋的表層海水中，生命期約為六至九個月，且在秋冬之時死亡。

Oxygen and Carbon Isotopic Studies of Fossil Mollusca in the Guohgaang Shell Bed, Paishatung, Miaoli

ABSTRACT

Oxygen and carbon isotopic compositions have been determined in fossil molluscan shells from the Guohgaang Shell Bed and in modern shells from coastal areas in northern and southern Taiwan. Fossil molluscs have been well preserved based on evidences of X-ray diffraction, stable isotopic data and their occurrence in the field.

The stable isotopic data of whole fossil shells indicate that they lived in an open sea environment. Isotopic values of gastropods seem to have wider isotopic ranges than those of pelecypods, probably due to species effect or different living mode. Heavier oxygen and lighter carbon isotopic ratios of these fossils relative to modern ones both indicate that these fossil molluscs grew in a glacial period, as indicated by the ^{14}C dating results. Because the dating results are not in agreement with previous studies, the exact stratigraphy of Guohgaang Shell Bed needs further studies.

The environmental and ecological characteristics of *Meretrix lusoria* (modern), *Cyclotellina remies* (modern) and *Pecten byoritsuensis* (fossil) revealed from stable isotopic data sampled in profiles study are summarized as follows: *M. lusoria* was shallow habitant and lived near the river mounth. *M. lusoria* had a life span of about six months and died at summer time. *C. remies* was deep habitant. It experienced very small temperature variation so its life span can not be determined. *P. byoritsuensis* lived in the shallow bottom or swam in the surface layer of the open sea. *P. byoritsuensis* had a life span of about six to nine months and died in the fall or winter season.

目 錄

	頁
誌謝.....	I
中文摘要.....	II
英文摘要.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VII
一、前言.....	1
1.1 化石採樣區之地理、地形與地質.....	1
1.2 前人之研究.....	1
1.2.1 軟體動物碳、氧同位素研究	
1.2.2 軟體動物化石研究	
1.3 碳、氧同位素研究之背景.....	5
1.3.1 影響貝殼中氧同位素組成之因素	
1.3.2 影響貝殼中碳同位素組成之因素	
1.4 貝類之生態環境和生活習性.....	9
1.5 研究目的.....	9
二、材料與方法.....	11
2.1 分析材料.....	11
2.2 分析方法.....	11
2.2.1 標本處理	
2.2.2 碳、氧同位素分析	
2.2.3 貝殼內礦物成分之鑑定	
三、結果與討論.....	17
3.1 碳、氧同位素分析之精確度.....	17

	頁
3.2 礦物成分鑑定之結果.....	17
3.2.1 化石標本內同位素的保存度	
3.3 全殼分析之結果.....	22
3.3.1 生長環境之推測	
3.3.2 斧、腹足類比較及異常值之意義	
3.3.3 古氣候之推測	
3.4 生長紋分析之結果.....	39
3.4.1 <i>Meretrix lusoria</i>	
3.4.2 <i>Cyclotellina remies</i>	
3.4.3 <i>Pecten byoritsuensis</i>	
3.5 ¹⁴ C 定年結果及過港貝化石層之層位問題.....	54
四、結論.....	61
參考文獻.....	63
附錄.....	69
圖版及圖版說明.....	71

圖目錄

	頁
圖一	過港貝化石層地理位置及採樣地點圖..... 2
圖二	白沙屯附近地質圖..... 3
圖三	不同環境和貝殼同位素組成間之理想關係圖..... 8
圖四	標本處理及碳、氧同位素分析實驗流程圖..... 12
圖五	真空系統管路圖..... 14
圖六	化石標本內斧、腹及掘足類之碳、氧同位素分布比較圖... 23
圖七	現生標本內斧、腹足類之碳、氧同位素分布比較圖..... 27
圖八	氧同位素在蒸發、降雨過程中分化之情形..... 28
圖九	本研究之化石與現生標本的碳、氧同位素分布和 Keith 等 人 (1964) 的研究之比較圖..... 30
圖十	Keith 等人 (1965) 研究密西西比河沿岸及墨西哥灣內各種 不同沈積環境之貝類的碳、氧同位素分布圖..... 31
圖十一	本研究之化石與現生標本的碳、氧同位素分布與圖九之比 較圖..... 32
圖十二	化石及現生之斧足類標本的碳、氧同位素分布比較圖.... 33
圖十三	化石及現生之腹足類標本的碳、氧同位素分布比較圖.... 35
圖十四	所有化石及現生標本的碳、氧同位素分布比較圖..... 38
圖十五	<i>Meretrix lusoria</i> 的氧同位素組成隨生長紋變化之圖.... 41
圖十六	<i>Meretrix lusoria</i> 的碳同位素組成隨生長紋變化之圖..... 42
圖十七	<i>Cyclotellina remies</i> 的氧同位素組成隨生長紋變化之圖.. 45
圖十八	<i>Cyclotellina remies</i> 的碳同位素組成隨生長紋變化之圖.. 46
圖十九	<i>Pecten byoritsuensis</i> 右殼的氧同位素組成隨生長紋變 化之圖..... 50

	頁
圖二十 <i>Pecten byoritsuensis</i> 右殼的碳同位素組成隨生長紋變化之圖	51
圖二十一 <i>Pecten byoritsuensis</i> 左殼的氧同位素組成隨生長紋變化之圖	52
圖二十二 <i>Pecten byoritsuensis</i> 左殼的碳同位素組成隨生長紋變化之圖	53
圖二十三 <i>M. lusoria</i> , <i>C. remies</i> 和 <i>P. byoritsuensis</i> 氧同位素組成隨生長紋變化之比較圖	55
圖二十四 <i>M. lusoria</i> , <i>C. remies</i> 和 <i>P. byoritsuensis</i> 碳同位素組成隨生長紋變化之比較圖	56
圖二十五 所有 <i>M. lusoria</i> , <i>C. remies</i> 和 <i>P. byoritsuensis</i> 取樣點之碳、氧同位素分布比較圖	57

表 目 錄

	頁
表一 白沙屯附近出露地層表.....	4
表二 校準標本的分析結果與標準偏差.....	18
表三 過港貝化石層內軟體動物化石的碳、氧同位素及礦物成分 之分析結果.....	20
表四 現生貝類之碳、氧同位素分析結果.....	25
表五 <i>Meretrix lusoria</i> 生長紋之碳、氧同位素分析結果.....	40
表六 <i>Cyclotellina remies</i> 生長紋之碳、氧同位素分析結果.....	44
表七 <i>Pecten byoritsuensis</i> 右殼生長紋之碳、氧同位素分析結果..	48
表八 <i>Pecten byoritsuensis</i> 左殼生長紋之碳、氧同位素分析結果..	49
表九 採樣點 α 、 β 、 γ 之高度、 ^{14}C 年代及可能上升速率.....	59

一、緒 言

1.1 化石採樣區之地理位置、地形與地質背景

白沙屯過港貝化石層位於苗栗縣的後龍溪與大安溪間，露頭出現的位置約在通霄鎮白沙屯北方2公里左右，縱貫鐵路沿線的區域(圖一)。在圖一中， α 、 β 、 γ 為本區軟體動物化石的主要出露地點。

在地形上本區是屬於臺灣西部丘陵帶之西苗栗臺地，在野外仍可看到一些海階存在，說明本區是經過海底隆起的臺地。在地質上本區是屬於第四紀頭嵙山層之南窩段(圖二)，主要由未固結的頁岩、砂質頁岩、砂岩及礫岩構成(胡，1987)。

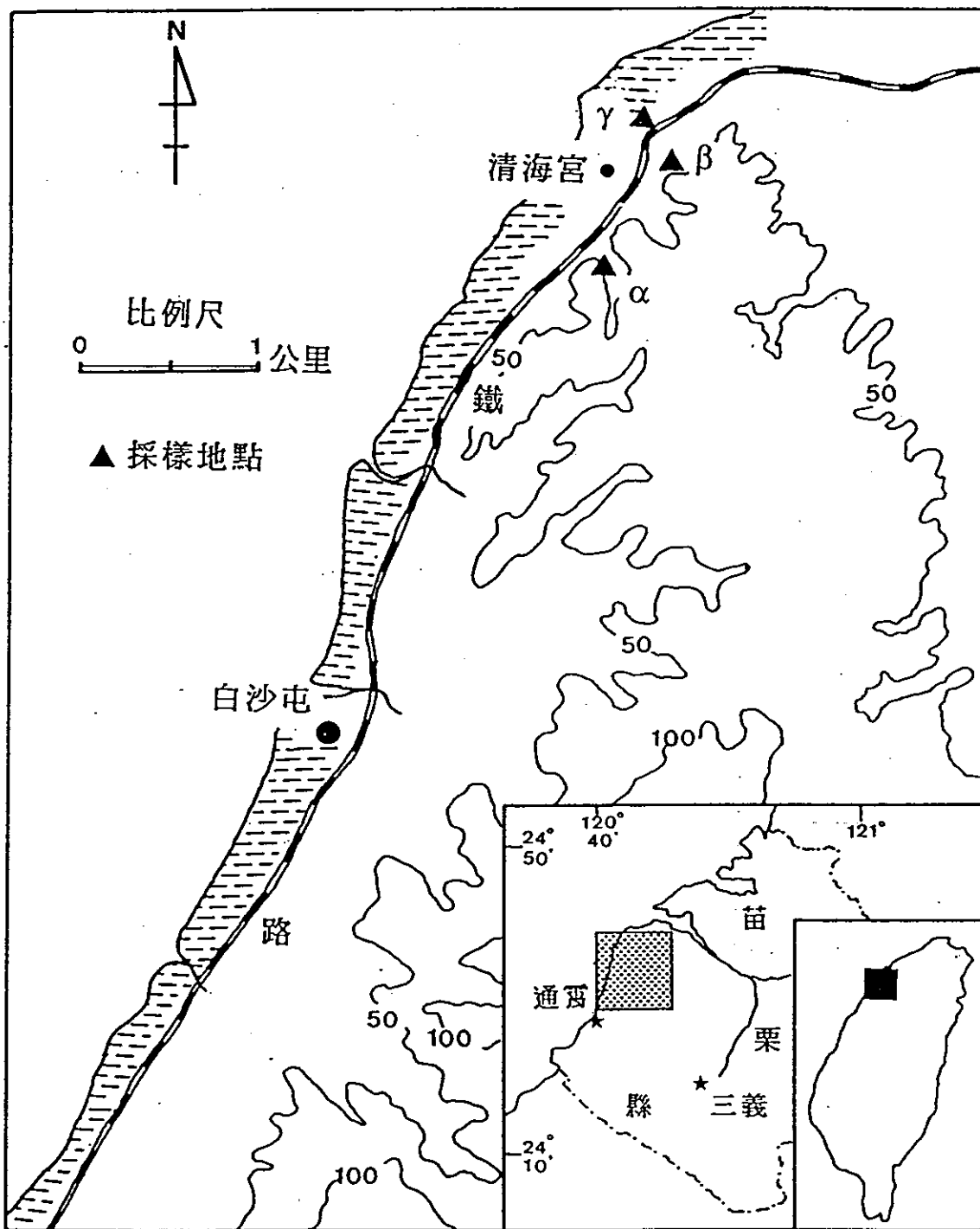
南窩段厚約310公尺，下部之30公尺為棕灰色至黃灰色之中粒至粗粒鬆軟砂岩，夾砂岩及頁岩互層，偶含礫石；中部245公尺為含豐富的貝化石層，其下半以深灰色砂質頁岩為主，含有泥質砂岩及砂岩互層，上半為棕灰色砂岩與深灰色頁岩之互層(林，1963)。

劉平妹自1978年以來，對臺灣中、南部各更新世地層，從事一系列之花粉對比研究，結果認為頭嵙山層之年代範圍應比林朝榮(1963)所估計的還要年輕(表一)。

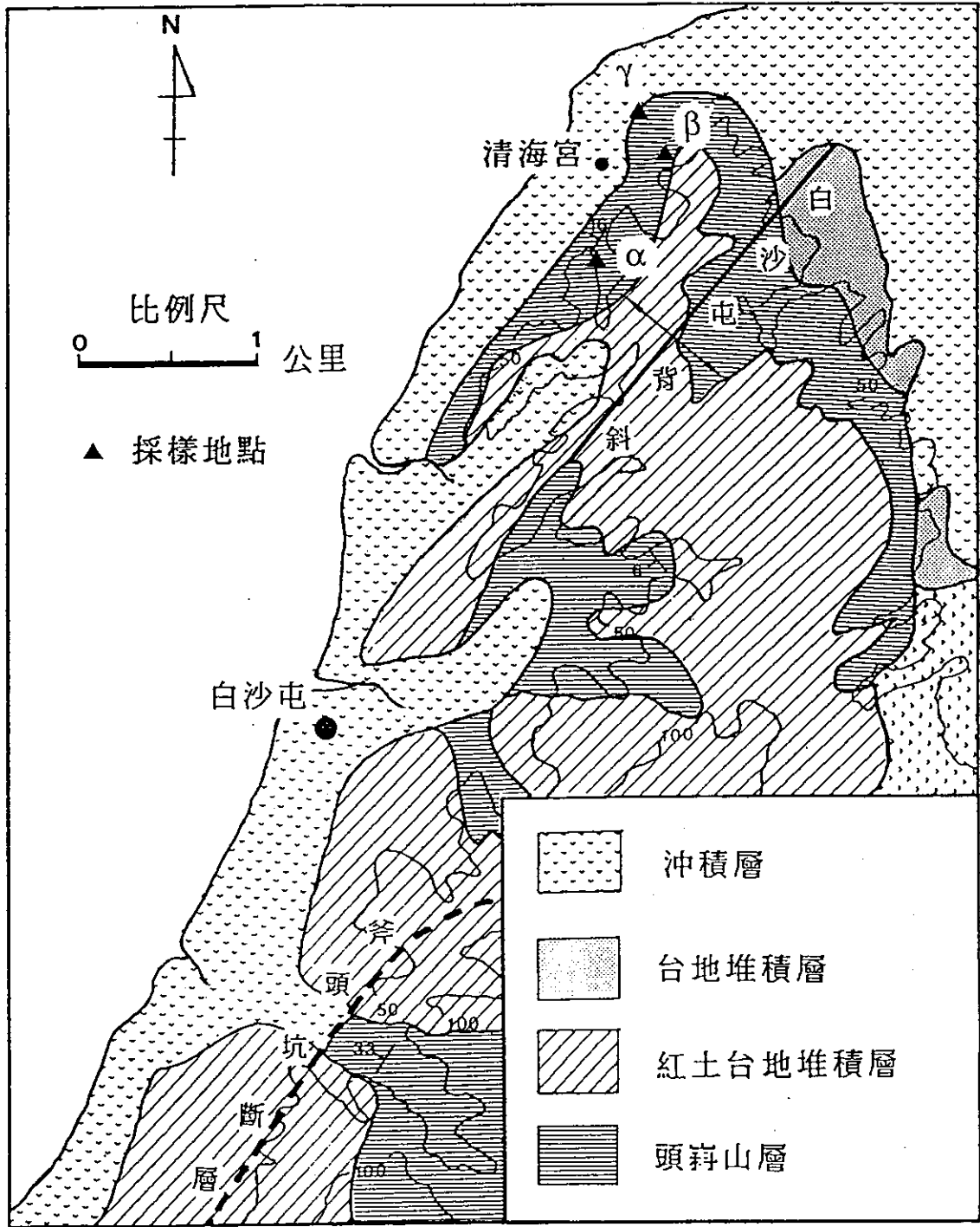
1.2 前人之研究

1.2.1 軟體動物碳、氧同位素研究

過去三十年來，國外有不少學者從事現生、或化石的淡水及海洋



圖一 過港貝化石層地理位置及採樣地點圖



圖二 白沙屯附近地質圖

表一 白沙屯附近出露地層表

地質時代		地層		(林, 1963)	
				苗栗縣海岸	
新 生 代	第 四 紀	全新世		龍港層	
		更 新 世	晚 期	北 勢 層	砂泥段
					底礫段
				(缺)	
		中 期	林口層		
			(缺)		
			早 期	頭 嵛 山 層	火炎山層
		通 霄 層			
				▲南窩段	
			烏眉坑段		
第 三 紀	上 新 世		卓 蘭 層		

▲ 採樣點層位

性生物貝殼之碳、氧穩定同位素研究。無論是做全殼或生長紋系列的分析，其目的主要是想藉由碳、氧同位素的研究，來探討軟體動物生存時的氣候 (Taira, 1976; Abell, 1982, 1985)、生態環境的特徵 (Lloyd, 1964; Keith et al., 1965; Krantz et al., 1987) 生長速率的推測 (Bianucci, 1982; Schifano, 1982; Schifano et al., 1983)、種屬間生活習性的異同 (Stevens et al., 1981; Jones et al., 1986) 以及對考古遺址貝塚的研究 (Shackleton, 1973; Killingley, 1981)。

1.2.2 軟體動物化石研究

苗栗通霄地區富產貝類化石，日據時代曾有多位學者對本區之貝類化石做過調查，其中以橫山又次郎和野村七平二人之調查最為詳盡 (陳, 1977)。陳信茂 (1977) 研究通霄地區貝類化石，根據貝類之棲息深度推測南窩段之沈積環境為較深之淺海，依化石群生存的緯度判斷上新—更新世頭嵙山層當時之氣候可能較現在寒冷，或有一古冷流 (old cold current) 通過本區。

1.3 碳、氧同位素研究之背景

所謂同位素就是同一元素具有相同之質子數，而中子數目不同。元素的化學性質主要是決定於它所具有的質子數，所以同位素參加化學反應時，雖然性質上大致上是一樣的，但仔細測量時，仍有輕微的差異存在，這種微異的現象就叫作同位素效應。因為不同重量的同位素結合所產生的基本振動位能不同，由量子論關係式： $v \propto \sqrt{1/M}$ (v 為分子內原子間之振動頻率，而 M 為分子內原子之質量)，可知質量越大者，振動頻率越低，其基態位能也較低，所以要打破重同位素間的化學鍵，所需要的能量也較大，而輕同位素之基態位能較高。

穩定同位素不像放射性同位素那樣，會放出高能量的 α 、 β 、 γ 射

線而很容易的被偵測出來，一直要到 1930 年代有了質譜儀以後，才能分辨而測定出不同的穩定同位素。因為不同來源的同一元素它們所經歷的物理化學環境各異，所以經過同位素效應的分化以後，元素中同位素間的比率也就不同了。在自然界中，氧有三種穩定同位素， $^{16}\text{O}=99.763\%$ ， $^{17}\text{O}=0.037\%$ ， $^{18}\text{O}=0.1995\%$ ；而碳有二種穩定同位素 $^{12}\text{C}=98.89\%$ ， $^{13}\text{C}=1.11\%$ (Hoefs, 1980)。

1.3.1 影響軟體動物氧同位素組成之因素

貝殼中氧同位素的研究，首先是 Urey (1947) 發表論文，認為從水中沈澱下來的碳酸鈣，會因水溫的不同而改變本身 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 的比值。繼而 McCrea (1950) 在實驗室裡以不同的溫度條件將碳酸鈣沈澱出來，然後分析其結果，證實了 Urey 所提出之理論。Epstein 等人 (1951, 1953) 更進一步從海中採取現生貝類培養做研究，他們利用已知的貝類生長溫度和海水的氧同位素值，得到了貝類生長環境的水溫和貝殼之碳酸鈣間的關係式：

$$T (^{\circ}\text{C}) = 16.5 - 4.3 (\delta^{18}\text{O}_{\text{C}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{W}}) + 0.14 (\delta^{18}\text{O}_{\text{C}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{W}})^2$$

在上式中， $\delta^{18}\text{O}_{\text{C}}$ 是貝殼中碳酸鈣的氧同位素值， $\delta^{18}\text{O}_{\text{W}}$ 為貝類生長時水中的氧同位素值。

海水中的 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比值主要受到 H_2^{16}O 的蒸氣壓大於 H_2^{18}O 之故，也就是說當水從海洋表面蒸發時，水蒸氣內會富含 ^{16}O ，在 25°C 時，水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 值會比空氣中的 $\delta^{18}\text{O}$ 值大了約 9.2%。同時水蒸氣與水之間的分化因子 (fractionation factor) 也受溫度影響，溫度越小，其間之分化因子越大。但區域性的環境因素也有影響，例如河水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值較小，所以海洋中如有河水加入，則會降低海洋中的 $\delta^{18}\text{O}$ 值；蒸發作用則會增加海水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 值。

在海中沈澱出來的碳酸鈣與海水之間的氧同位素分化因子亦會受

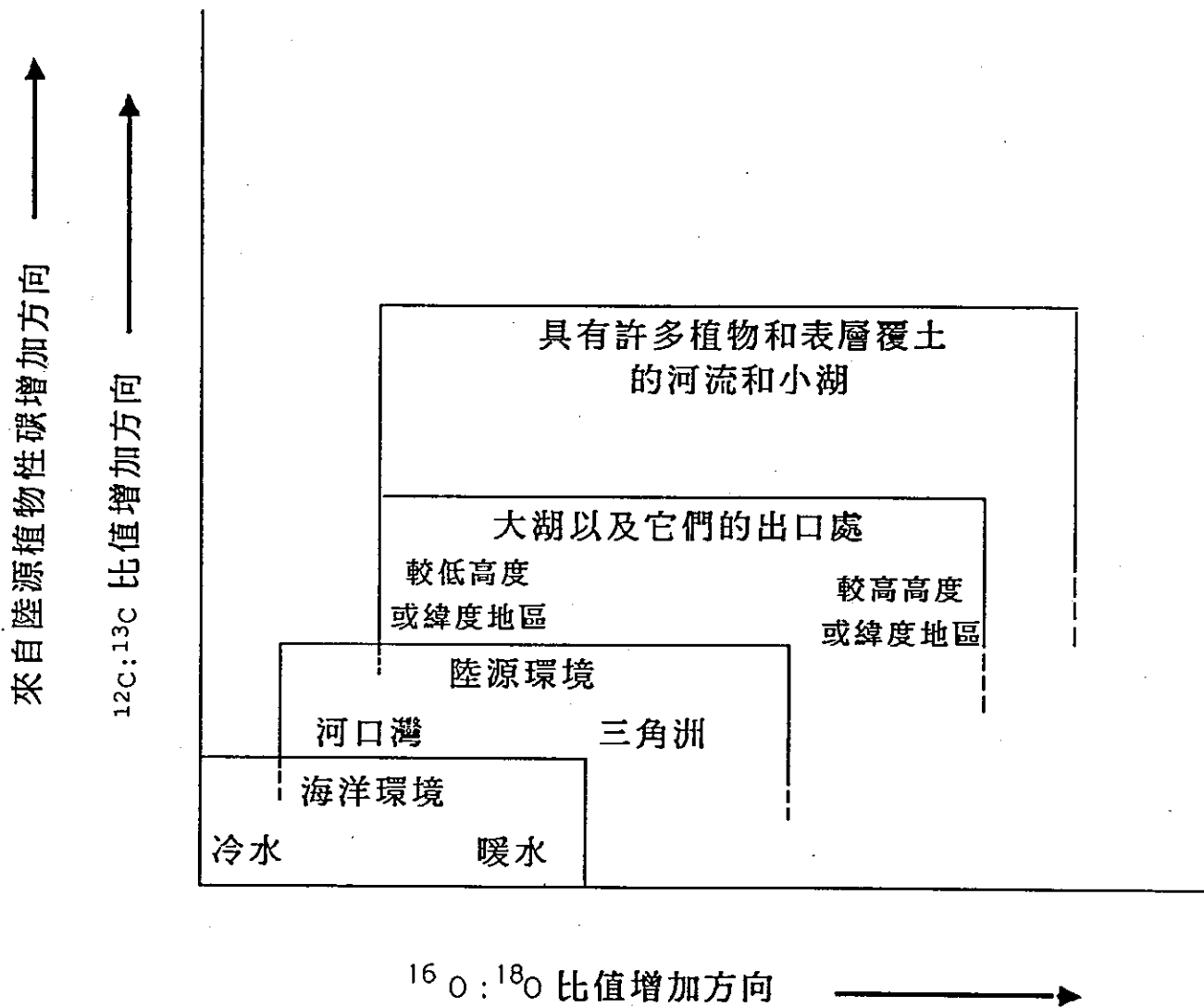
水溫的控制，Clayton(1961)指出在25℃時，海水中沈澱出的碳酸鈣 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 的比值會比海水高28.5%，在7℃時則高約32.7%。

1.3.2 影響軟體動物碳同位素組成之因素

影響海水中碳同位素組成的因素，主要是大氣與海洋中二氧化碳的交換作用，及海水中有機碳含量的變化；溫度則對碳同位素組成的效應很小。

Lloyd(1964)研究佛羅里達州海灣內貝殼的同位素組成發現愈靠近陸地河口處，貝殼或水中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值愈低。這是因為當地的有機遺骸或碎屑氧化後，產生較低 $\delta^{13}\text{C}$ 值的二氧化碳，這種二氧化碳和水中的碳酸氫根達成平衡後，則此碳酸氫根的 $\delta^{13}\text{C}$ 值會較一般低些，如果貝殼在此等水域形成，則它們的 $\delta^{13}\text{C}$ 值就會偏低。Keith等人(1964)指出該區海水 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏低的原因，主要是因為受陸上植物根部的呼吸作用，及其腐爛所產生的二氧化碳，或是海洋有機生物體等的影響。海洋有機生物體的 $\delta^{13}\text{C}$ 值為-13%，陸上植物或腐爛物所產生之二氧化碳平均之 $\delta^{13}\text{C}$ 值為-25%，這都比海洋中碳酸氫根的-2%值低很多，一旦這低 $\delta^{13}\text{C}$ 值的有機生物體和海洋的碳酸氫根達成平衡後，被生物貝殼吸收，這就是造成在該區岸邊、淺灣內及三角洲之海洋貝殼 $\delta^{13}\text{C}$ 值較低的原因(Keith et al., 1964)。

是故，不同的沈積環境因有不同的環境因子所影響，軟體動物它們所形成的殼體內之碳、氧同位素組成也會有所差異。Keith等人(1964)綜合多位學者的研究，歸納出不同環境和不同地點軟體動物之碳、氧同位素組成分布關係圖(圖三)，此分布圖的主要目的是要描述不同環境和不同地點間碳、氧同位素組成的變化趨勢，但有許多複雜的因子和例外的情形，所以並未標上確實的碳、氧同位素值。



圖三 不同的環境和貝殼同位素組成間的理想關係圖
 (摘自 Keith *et al.*, 1964)

1.4 貝類之生態環境和生活習性

海洋貝類的生態環境依海水的深度可分為潮間帶、淺海區和深海區；依底質特性可分為岩石、珊瑚礁等的硬底質，和泥沙的軟底質環境。這些環境因子交互作用加上氣候的影響，可以使生態環境變得十分複雜。

在潮間帶區域，由於每天只有部分的時間是浸沒在海水中，而且浸沒的程度每天都會有所不同，同時溫度的變化範圍也較大，所以對貝類生物而言，潮間帶可說是一個複雜多變的生態環境。

淺海區通常是指潮間帶以下至水深五十公尺左右之區域而言，在這個區域珊瑚礁發達，海藻豐富，因此貝類的種類和數量均特別多。

深海是指淺海以下或是大陸棚以下的海底地區，在這種深度因光線不易穿透，海洋生物變少，因此貝類數量也變少。

海洋貝類的生活習性隨著各種屬本身的喜好而有所差異，例如有棲息在乾淨底質環境的，也有的鑽孔穴居在泥質的底質環境，有的喜歡附著在潮間帶的岩石或珊瑚礁上，也有的行游泳生活 (Keith et al., 1964)。

1.5 研究目的

白沙屯過港貝化石層之軟體動物化石出露地點從南到北約2000公尺，化石含量極為豐富(圖版一、圖版二及圖版三)。本區域之軟體動物化石其表面易被磨損的文飾都保存完整，也發現有兩瓣相連的二枚貝(圖版二.B及圖版三.B)，表示這些化石都是未經長遠搬運且保存極佳的原生化石，所以本區之軟體動物化石是研究第四紀軟體動物化石的極佳地點之一。

早期對於臺灣地區之軟體動物化石的研究大都著重於分類鑑定方面，以及利用群聚分析的方法來探討貝類之生態環境。本研究之最主

要目的就是要利用碳、氧同位素這新的工具來研究貝類。在本研究中，不僅分析白沙屯過港貝化石層內軟體動物化石的碳、氧同位素組成，同時也分析了淡水、新竹、白沙屯、恆春半島等地區已知生態環境的現生海洋生物貝殼之碳、氧同位素值。藉由現生值作為參考，比較國外所做之結果，期能更瞭解過港貝化石層內軟體動物化石的古生態、古環境及古氣候。

二、材料和方法

2.1 分析材料

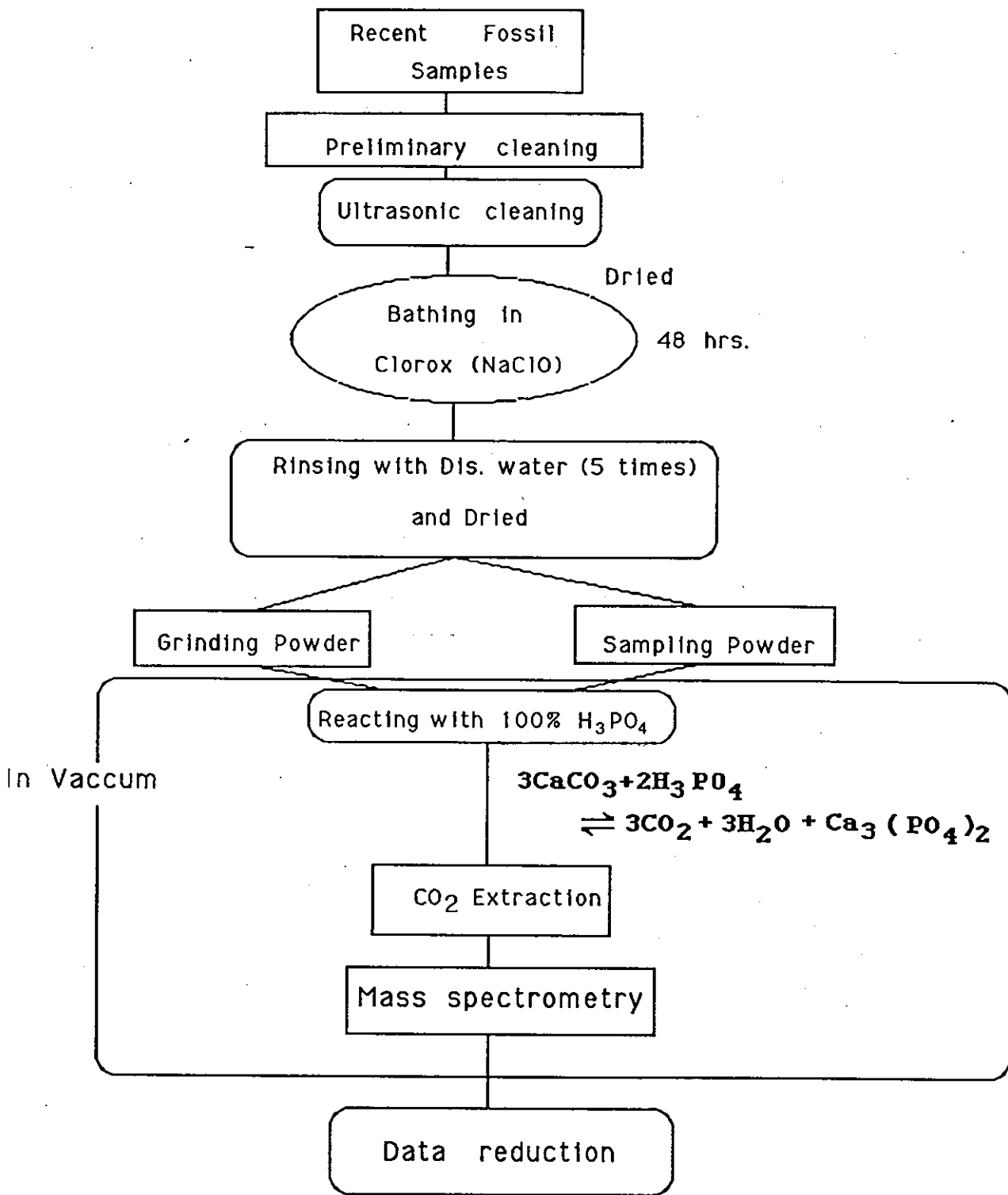
本研究之軟體動物化石標本係採自苗栗白沙屯之過港貝化石層，計有斧足類標本16個，腹足類23個，掘足類2個，共有26種41個標本；現生軟體動物標本則分別採自北部地區的淡水、新竹、白沙屯和南部恆春半島之萬里桐、佳樂水、鵝鑾鼻、墾丁、檳榔腳等地，計有斧足類標本11個，腹足類標本29個，共有33種40個標本。

2.2 分析方法：

本研究之分析實驗主要分為：(1) 標本處理；(2) 碳、氧同位素分析及(3) X-光繞射(X.R.D.)分析三大部分，其中只有化石標本才做X.R.D.之分析。實驗流程如圖四所示。

2.2.1 標本處理

- 1、將所採集之軟體動物化石標本浸泡於清水中，以刷子輕刷、清洗其表面土質。現生標本除去肉質部分。
- 2、然後將這些標本置於清水中，以超音波振盪除去附著於貝殼表面之微細異質。
- 3、將已清洗乾淨之標本置於50℃之烤箱內烘乾，然後予以分類鑑定。



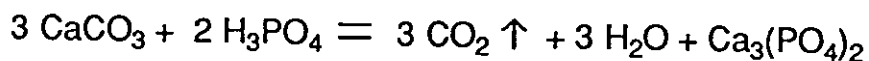
圖四 標本處理及碳、氧同位素分析實驗流程圖

- 4、將已鑑定之標本，置於燒杯內，以Clorox(NaClO) 浸泡至少四十八小時，以除去有機物。浸泡Clorox 期間，不時予以超音波振盪，以去除附著於殼體上之碎屑物。
- 5、倒出燒杯內之 Clorox 後，用蒸餾水清洗標本至少五次以上，再將標本置於50℃之烤箱內烘乾。
- 6、欲做貝殼生長紋痕變化之標本，則沿其最長軸剖半，然後以牙科鑽孔機鑽取適量粉末，裝瓶後置於乾燥箱保存。其餘欲做全殼分析之標本研磨成粉末後裝瓶，置於乾燥箱內保存。

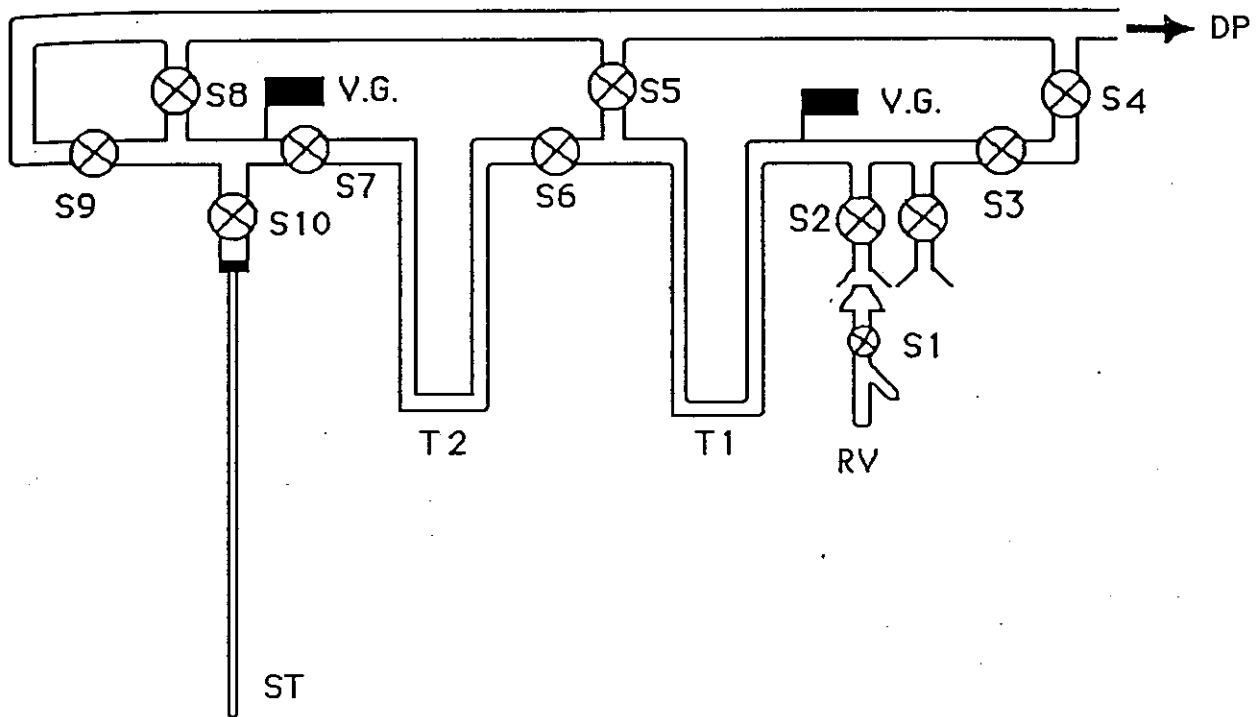
2.2.2 碳、氧同位素分析：

1、純化及收集二氧化碳

- (1) 秤取粉末標本約10毫克，而牙科鑽孔機所鑽取之粉末量較少，故每次實驗約秤取2毫克左右，放在反應管(RV)之底部。
- (2) 將約1～2毫升的100%磷酸(H₃PO₄)置於反應管之支臂內。
- (3) 將反應管掛在真空系統(圖五)中抽至高真空(<10⁻⁴ torr)，至少持續一小時以上。
- (4) 取下保持高真空狀態之反應管，置於50℃的恆溫槽內，約十五分鐘後，將支臂內的磷酸傾入到底部的粉末標本中，使其在恆溫槽內反應至少十分鐘以上，其反應式如下所示：



- (5) 將反應完全的反應管掛回真空系統上，藉CO₂和H₂O間不同的冷凝溫度進行萃取、純化、收集等步驟；如圖五，由右至左所進行之步驟如下：



S : stop cock
T : trap

RV : reaction vessel
VG : vacuum gauge
ST : sample tube

圖五 真空系統管路圖

- a. 打開S2，抽掉S1與S2間之空氣。
- b. 關S3、S5、S6，開S1，T1處放置液態氮，此時液態氮會將CO₂及H₂O冷凝至T1之U型管內。
- c. 以乾冰加M17有機溶劑之混合溶液置於T2處，開S6，此時真空系統會抽去不冷凝之氣體。
- d. 關S2、S8、S9，在ST處放置液態氮，然後取下T1處之液態氮，此時以溫水暖化T1之U型管，則U型管內之CO₂和H₂O會經由S6進入T2之U型管中。
- e. 因T2處放置乾冰加M17之混合溶液，故H₂O會被保留在T2之U型管內，而CO₂則經S10進入ST。
- f. 此時因ST處早已置放液態氮，所以CO₂會被凍結在ST之底部。以火焰燒封ST上段，則CO₂就被封存在ST中。

每次實驗掛有七個待分析的標本及三個已知碳、氧同位素值之檢驗標本 (checking standard)，使他們保持在相同狀況下分析，以校正在真空系統操作上所產生的誤差。

2、質譜儀分析

本研究實驗使用中央研究院地球科學所之V.G.SIRA-10型比值質譜儀來測定已收集好之CO₂氣體。質譜儀所測得的同位素比值，通常是以樣品與標準間的差值來表示，並以 δ 來代表這個差值，其定義用數學式表示為：

$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{(^{18}\text{O} / ^{16}\text{O})_{\text{樣品}}}{(^{18}\text{O} / ^{16}\text{O})_{\text{標準}}} - 1 \right] \times 1000$$

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{(^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{樣品}}}{(^{13}\text{C} / ^{12}\text{C})_{\text{標準}}} - 1 \right] \times 1000$$

其單位為 ‰ (per mil) 。

3、數據處理

由質譜儀分別測得每個 CO_2 標本之 $\delta^{45}(\text{CO}_2)$ 及 $\delta^{46}(\text{CO}_2)$ ，經由聯結質譜儀之電腦，換算成相對於 PDB (Pee Dee Belemnite, 國際標準碳酸鹽) 的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值。

2.2.3 貝殼內礦物成分之鑑定

將軟體動物化石標本取出適量之粉末，置於 X-光繞射儀分析，鑑定其礦物組成為霏石 (Aragonite) 或者是方解石 (Calcite)。

參、結果和討論

3.1 碳、氧同位素分析之精確度

本研究之碳、氧同位素分析實驗，每次取出重量約10毫克的標本粉末，每個標本重覆分析二至三次，所得結果之平均標準偏差均要求在0.1%以內。因使用牙科鑽孔機所取得之標本粉末量較少，故做貝殼生長紋之實驗，每次秤取標本粉末重量約為2毫克，每個標本分析一或二次，視所鑽取得之粉末量多寡而定，而重覆分析所得之平均標準偏差值最大達0.12%。

為了校正系統上所產生的誤差，每次實驗均使用三種已知碳、氧同位素值的檢驗標本 (checking standard)，分別為HPM-400, Hanawa 以及Merck 隨同貝殼粉末標本一起分析。每次質譜儀所分析之結果是使用四個 HPM-400 的碳、氧同位素平均值 (其平均標準偏差值在0.05%以內) 來校正其它實驗標本；而重覆分析 Hanawa 及 Merck 所得之結果和標準偏差分別列於表二。

由 Hanawa 和 Merck 二個校準標本的標準偏差中取最大值代表整個研究實驗的精確度，可知其對 $\delta^{18}\text{O}$ 而言為0.06%，對 $\delta^{13}\text{C}$ 而言為0.05%。然而以上分析的精確度係分析之標本對質譜儀的參考氣體 (MBS) 而言，而中研院地球科學所質譜儀分析所使用的參考氣體 (MBS) 對標準碳酸鈣的分析，其 $\delta^{18}\text{O}$ 及 $\delta^{13}\text{C}$ 的標準偏差均在0.06%以內 (Liu and chen, 1983)。

3.2 礦物成分鑑定之結果

表二 檢驗標本的分析結果與標準偏差
(單位：‰)

Hanawa		Merck		
$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$	
-6.98	4.53	-15.97	-24.58	
-6.96	4.52	-15.90	-24.49	
-6.88	4.49	-15.98	-24.59	
-6.95	4.52	-15.94	-24.45	
-6.88	4.55	-15.90	-24.46	
-6.96	4.48	-15.88	-24.48	
-6.93	4.54	-15.94	-24.57	
-7.02	4.50	-15.90	-24.45	
-6.85	4.47	-16.02	-24.60	
-6.93	4.50	-15.96	-24.60	
-6.94	4.55	-15.92	-24.54	
-6.94	4.55	-16.00	-24.59	
-6.96	4.53	-16.01	-24.56	
-6.87	4.51	-16.00	-24.43	
-6.91	4.53	-15.98	-24.52	
-6.96	4.51	-15.86	-24.54	
-6.93	4.51	-15.94	-24.57	
-6.92	4.55	-15.94	-24.62	
-7.00	4.52	-16.04	-24.57	
-6.93	4.54	-15.97	-24.58	
-6.92	4.53	-15.89	-24.57	
-6.96	4.52	-15.99	-24.55	
-6.99	4.50	-15.89	-24.53	
-6.95	4.51	-15.95	-24.58	
-6.96	4.54	-15.96	-24.57	
-6.91	4.53	-15.91	-24.54	
-6.87	4.51	-15.95	-24.55	
-6.92	4.48	-15.93	-24.55	
-6.89	4.42	-16.03	-24.64	
-6.88	4.51	-15.83	-24.54	
-6.96	4.38	-15.90	-24.51	
-6.90	4.45	-15.91	-24.54	
-6.85	4.51	-15.96	-24.55	
-6.95	4.51	-15.95	-24.51	
-6.98	4.53	-15.85	-24.51	
-6.92	4.50	-16.03	-24.56	
		-15.91	-24.54	
平均值：	-6.93	4.51	-15.95	-24.54
標準偏差：	0.04	0.04	0.06	0.05

軟體動物化石經X光繞射之結果列於表三內。A代表含100%的霏石組成，C代表100%的方解石組成，Cm則表示大部分為方解石，只含少量的霏石質的成分，A=M表示所含方解石與霏石之量大致相等，而“-”則表示因標本粉末量太少，故未測定。

鑑定碳酸鈣化石礦物成分之目的，是為了提供另一項證據證明化石是否有受過再結晶作用，而改變了化石原來的碳、氧同位素組成。因為霏石是一種不穩定的礦物，它很容易發生再結晶作用而變成方解石，由表五X光繞射之結果顯示，絕大部分的化石標本都是100%的霏石組成，只有少部分化石含有方解石的成分，而含方解石成分之化石標本都是屬於Pecten屬的二枚貝。

3.2.1 化石標本內同位素的保存度

Buchard(1977)曾指出化石殼內之同位素組成可能會受到下列三種作用方式的影響：

- (1) 溫度升高時，發生溶解--再結晶之現象；
- (2) 在含較輕的碳、氧同位素組成之天水環境內，所發生的溶解再結晶作用；
- (3) 發生固態擴散(solid diffusion)作用。

從過港貝化石層之未固結沈積物的性質來看(林, 1963; 胡, 1987)，此區應未受過深埋後所產生之高溫高壓作用，所以因地溫梯度而造成之再結晶作用可不考慮。

因天水所含之碳、氧同位素組成較輕，所以如果化石有與天水反應過，則會變成方解石且其碳、氧同位素值也會變的較輕(Buchard, 1977)。Clayton(1959)也指出，與淡水反應過的碳酸鈣，其氧同位素值大約會等於-7‰，且會非常均勻一致，而碳比氧更能抵抗沈積後

表三 過港貝化石層內軟體動物化石的碳、氧同位素及礦物成分之分析結果

標本*	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	礦物成分**
斧足類			
5-1-A (右)	0.17	0.96	A
5-1-A (左)	-0.87	1.21	A
5-1-B	0.17	1.06	A
5-1-H	0.40	1.05	A
5-1-K	0.38	0.77	A
5-1-L	-0.25	1.32	A
5-2-A (右)	-0.43	1.36	Cm
5-2-A (左)	0.27	0.36	C
5-3-B	-0.53	1.32	A=C
11-A	-0.74	0.30	A
11-C	-0.49	0.79	C
11-D	-0.33	0.87	A
11-E	-0.50	1.30	A
11-R	0.61	0.66	A
9-C	0.51	0.71	A
9-E	-0.17	0.05	-
腹足類			
5-1-C	-0.93	0.95	A
5-1-D	-0.23	1.40	A
5-1-E	0.16	2.86	A
5-2-B	-0.48	0.15	A
5-2-C	0.09	2.92	A
5-2-D	-0.61	1.37	A
5-2-E	-0.94	1.03	A
5-3-A	-0.22	2.81	A=C
11-B	0.09	1.28	A
11-F	-0.54	0.32	A
11-G	-1.13	-0.04	A
11-M	-0.38	1.33	A
11-N	-0.36	1.38	A
11-O	-1.09	1.05	A
11-S	-0.29	1.29	A
11-T	0.22	2.93	A
9-A	0.06	2.77	A
9-B	-0.67	1.27	A
9-D	-0.98	-0.20	A
9-F	-1.32	0.94	-
9-G	-0.50	0.34	A
9-H	-1.18	0.22	A
9-I	-0.52	-0.12	A

(續表三)

標本*	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	礦物成分**
掘足類			
11-K	-0.26	1.41	A
11-L	-0.09	0.72	A

說 明：

* : 標本學名請參照附錄。

** : A:100% 霏石; C:100% 方解石; Cm:大部分為方解石;

A=C: 霏石之含量幾乎等於方解石之含量; "-": 未測。

的換質作用。從本研究碳、氧同位素的分析結果可看出，所分析之化石標本並未與天水作用過。

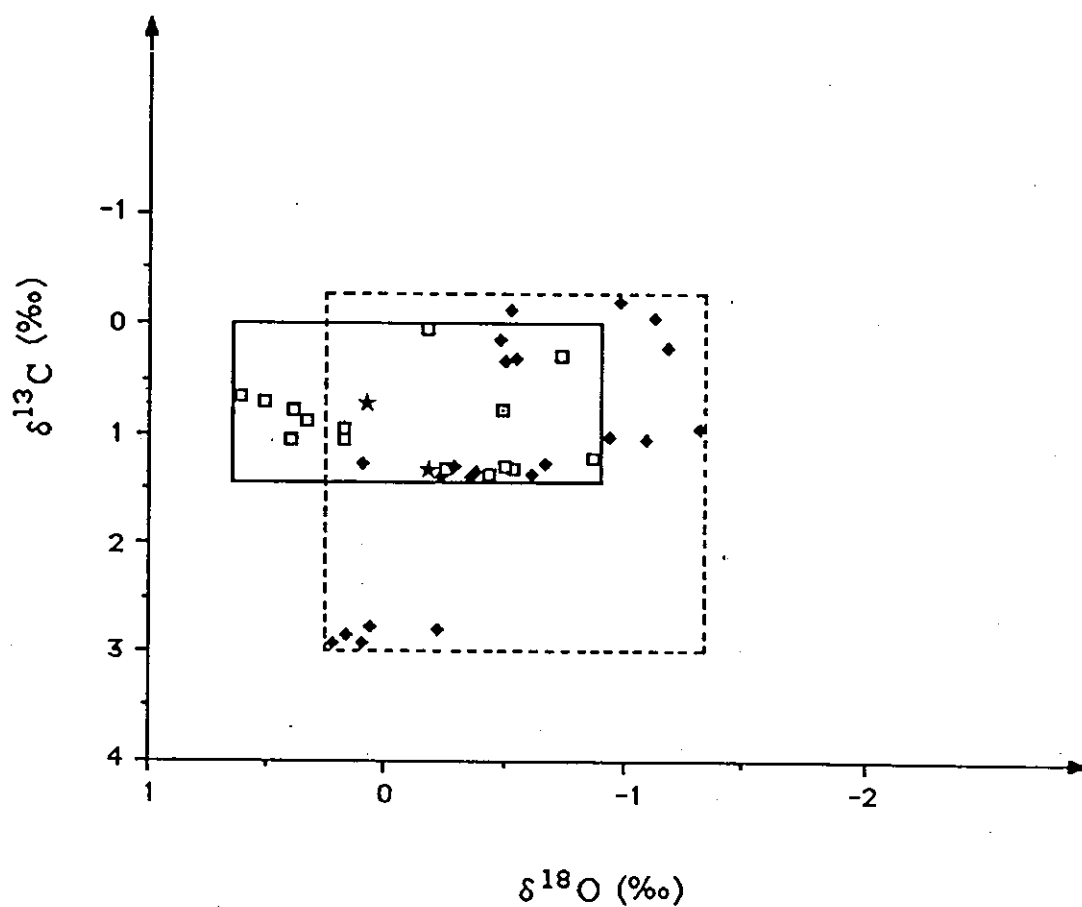
根據X光繞射的分析結果顯示，此區之貝類化石都還保留其原來的霏石組成，表示此區之化石並沒有再結晶之現象，少部分化石種內含方解石之情形不能視為發生過再結晶作用，可能為原來貝殼本身所分泌形成之方解石。在表三中也可以發現，含方解石的軟體動物化石都是屬於相同Pecten屬之標本。同時Buchard(1977)也提到，化石若有發生變質作用，則會是整個區域性的發生，少數之異常現象並不能視為該區之化石有受過變質作用。

一般來說固態擴散作用的現象較難察覺，根據Pilkey和Goodell(1964)所做化石及現生軟體動物微量元素的比較，證明有中新世，上新世及更新世霏石質之貝類化石，其沈積後微量元素並未隨地質時間而有所改變。一般咸信，能影響微量元素濃度的作用機制必然也會影響到同位素的組成(Curtis et al., 1965; Buchard, 1977)。Lowenstam(1961)在做化石及現生之腕足類動物研究時甚至發現，自寒武紀以來，Sr、Mg和 ^{18}O 的組成，幾乎保持不變。所以由以上各點理由可支持過港貝化石層內軟體動物化石之碳、氧同位素，幾乎是保存他們原來的組成。

3.3 全殼分析之結果

過港貝化石層部分

過港貝化石層內軟體動物化石之碳、氧同位素分析結果列於表三， $\delta^{13}\text{C}$ 對 $\delta^{18}\text{O}$ 之作圖繪於圖六。斧足類之 $\delta^{13}\text{C}$ 值範圍在0.05%與1.36%之間，變化幅度為1.31%。而 $\delta^{18}\text{O}$ 值在-0.87%與0.61%之間，變化幅度為1.48%；腹足類之 $\delta^{13}\text{C}$ 值範圍在-0.20%與2.93%之間，變化幅度為3.13%。而 $\delta^{18}\text{O}$ 值在-1.32%到0.22%之間，變化幅度為1.54%。圖六中“*”者為掘足類標本，其碳、氧同位素的組成在斧足類標本的



- 斧足類化石 □ 斧足類化石標本之
碳、氧同位素範圍
- ◆ 腹足類化石 ◆ 腹足類化石標本之
碳、氧同位素範圍
- ★ 掘足類化石

圖六 化石標本內斧、腹及掘足類之碳、氧同位素分布比較圖

範圍內。

現生軟體動物部分

各區現生軟體動物之碳、氧同位素分析結果列於表四， $\delta^{13}\text{C}$ 對 $\delta^{18}\text{O}$ 之作圖繪於圖七。斧足類之 $\delta^{13}\text{C}$ 值介於 0.57% 到 2.44% 間，變化幅度為 1.87%。而 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 -2.09% 到 -0.70% 之間，變化幅度為 1.39%；腹足類之 $\delta^{13}\text{C}$ 值範圍從 -1.96% 到 3.07% 間，變化幅度為 5.03%。而 $\delta^{18}\text{O}$ 值分布在 -3.73% 到 -0.53% 間，變化幅度為 3.20%。

3.3.1 生長環境之推測

如前所述，貝殼之氧同位素組成除了受溫度影響外，另一個主要因素就是所生存環境水的氧同位素組成。Epstein 等人 (1953) 認為地表水有不同氧同位素組成的主要原因，是受氣候的蒸發和降雨所致，圖八則說明了這種分化過程。較輕的 H_2^{16}O 比 H_2^{18}O 容易蒸發形成水蒸氣，當水蒸氣遇冷凝結下雨時， H_2^{18}O 較 H_2^{16}O 容易先沉落，如果是一系列降雨過程如圖八之情況，則對 ^{18}O 來說是一種持續消耗作用，越晚落下之水，其雲內所含 ^{18}O 之量，較早先所降下雨水所含之量要少，這也說明了為什麼陸上淡水其氧同位素組成會較海水為低之原因。貝類生物如果生活在較輕氧同位素組成的陸上淡水環境，如河流、池塘等，就會形成含較輕氧同位素組成的殼體。同樣地，在陸上淡水環境中，因陸上植物根部的呼吸作用，及其腐爛所產生的二氧化碳，或是有機質分解等作用，所產生較輕的碳同位素組成，進入河流或池塘中，所以貝類生物如生活在這種環境，也會形成較輕之碳同位素的殼體。

Keith 等人 (1964) 曾一系列分析了淡水、及海洋性現生種軟體動

表四 現生貝類之碳、氧同位素分析結果

標本*	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
北區		
斧足類		
HS-1	-1.32	0.57
HS-2	-1.23	1.58
HS-3	-1.11	0.71
DS-1	-0.70	2.00
DS-2	-1.16	2.44
腹足類		
B-1	-1.40	0.44
B-3	-2.48	-1.38
B-4	-0.53	1.89
B-5	-1.90	1.64
B-6	-1.83	0.63
B-7	-2.52	-0.89
南區		
斧足類		
E-1	-1.62	1.42
K-1	-2.09	2.30
K-3	-1.20	2.05
K-5	-0.80	2.10
K-8	-1.28	1.21
K-9	-1.18	2.17
腹足類		
W-2	-1.25	1.74
W-3	-1.11	0.40
W-4	-0.95	2.25
W-5	-3.73	-1.96
W-6	-1.31	1.06
W-7	-1.13	0.96
E-3	-1.08	2.14
C-1	-1.07	3.07
C-3	-1.25	2.07
C-4	-2.90	-1.62
S-2	-1.15	1.70
S-3	-1.08	1.99
S-4	-0.61	1.28
L-3	-1.44	1.59
L-4	-1.29	2.41
L-5	-0.91	2.03
L-6	-0.82	1.84
L-8	-0.94	2.46
L-9	-1.57	2.36

(續表四)

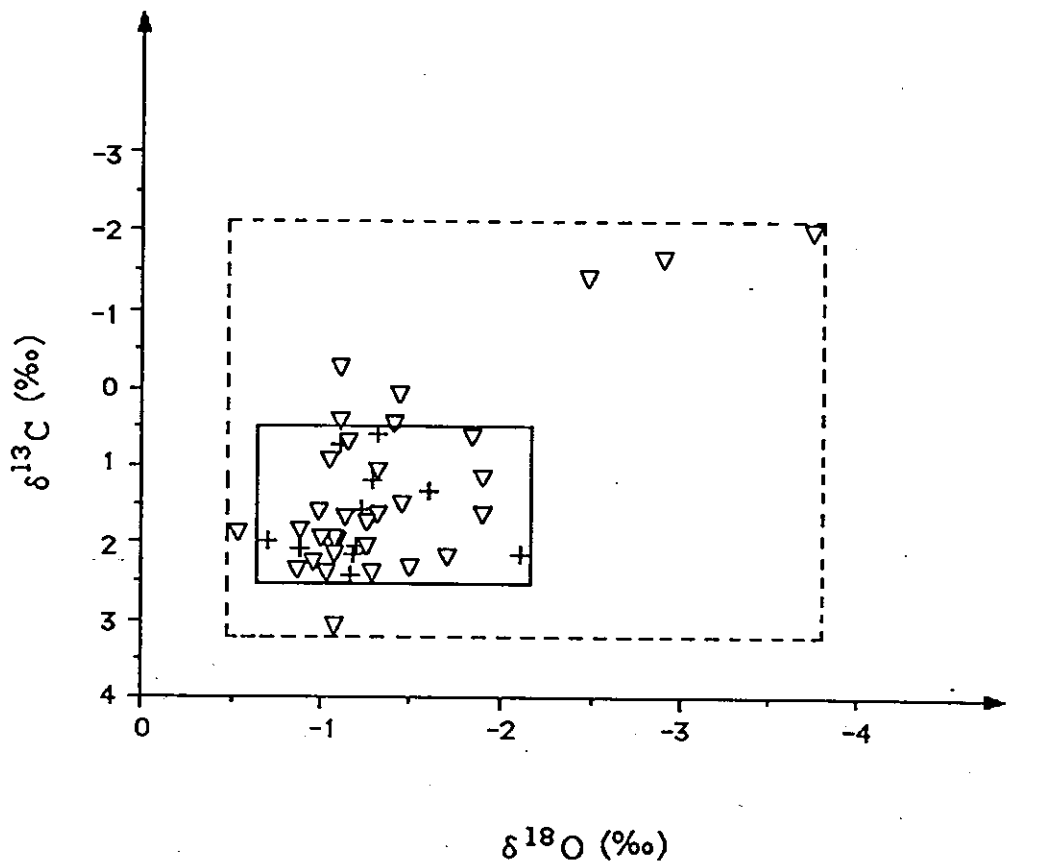
標本	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
L-10	-0.77	2.47
K-2	-1.42	1.56
K-4	-1.06	-0.26
K-6	-0.98	1.61

說 明：

*：標本學名請參照附錄。

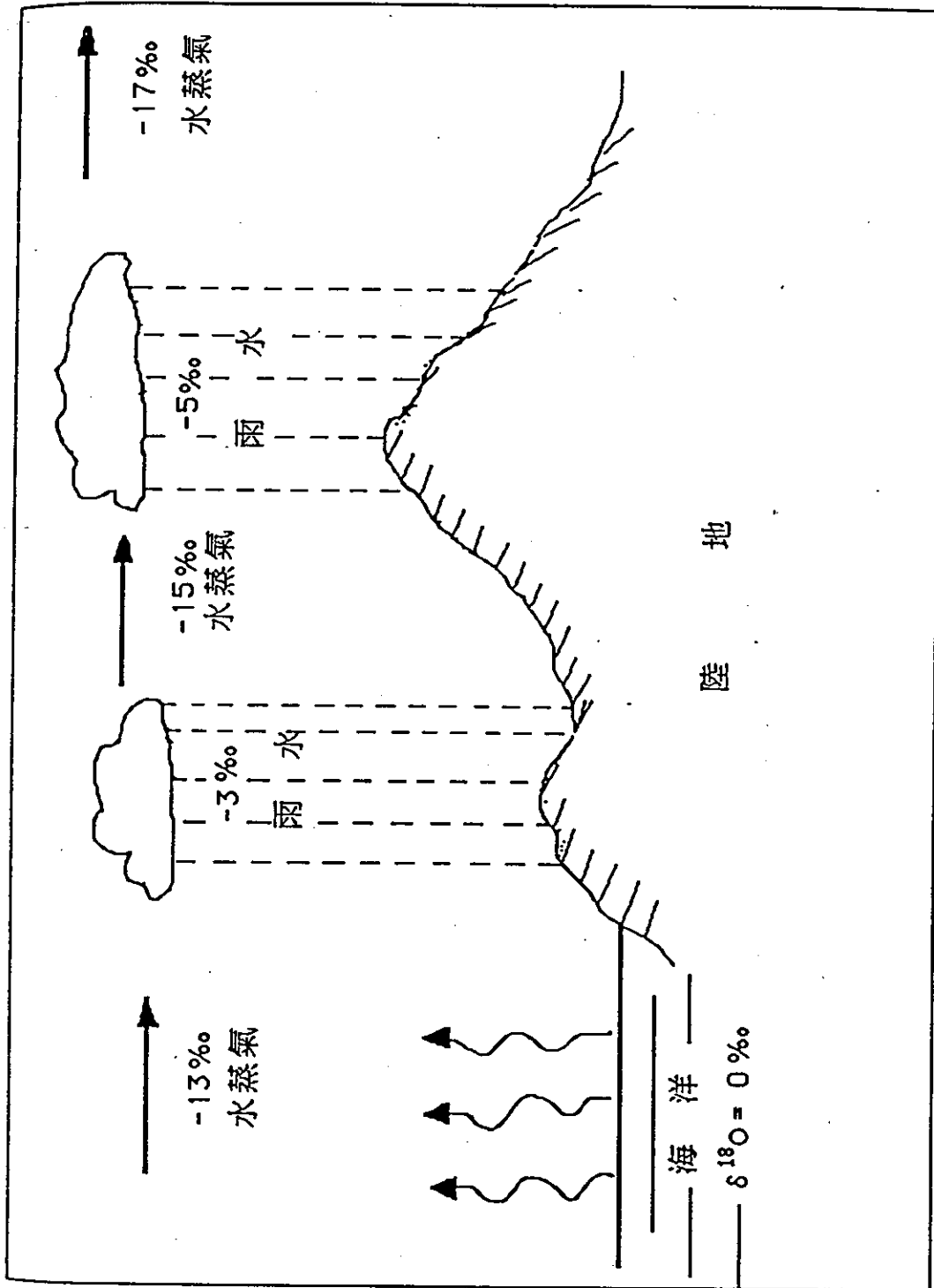
HS: 新竹; DS: 淡水; B: 白沙屯; K: 墾丁; S: 白沙;

C: 佳樂水; E: 鵝鑾鼻; W: 萬里桐; L: 檳榔腳。



- | | | |
|---------|---|----------------------|
| + 現生斧足類 | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">+</div> | 現生斧足類標本之
碳、氧同位素範圍 |
| ∇ 現生腹足類 | <div style="border: 1px dashed black; padding: 2px; display: inline-block;">∇</div> | 現生腹足類標本之
碳、氧同位素範圍 |

圖七 現生標本內斧、腹足類之碳、氧同位素分布比較圖



圖八 氧同位素在蒸發、降雨過程中分化之情形
(摘自 Hoefs, 1980)

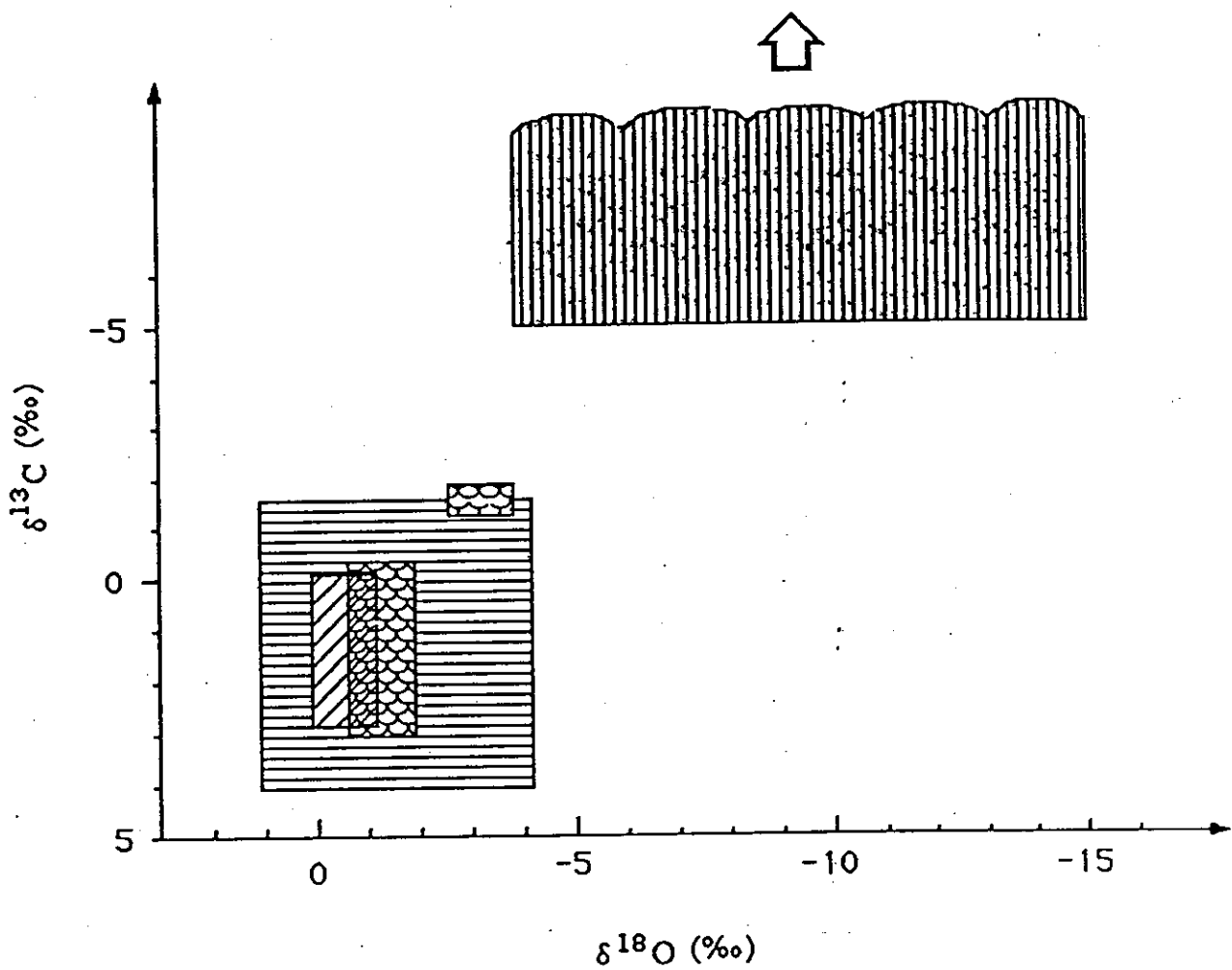
物的碳、氧同位素組成。海洋環境的軟體動物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值介於 -1.7% 到 4.2% 之間， $\delta^{18}\text{O}$ 值則大約在 -4% 到 1% 之間；淡水環境的軟體動物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值之範圍在 -15.2% 和 -0.6% 之間，而 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 -4.2% 以下。把本研究分析所得之現生和化石標本的碳、氧同位素結果，與 Keith 等人 (1964) 比較 (圖九)，本研究現生海貝的碳、氧同位素組成，均與 Keith 等人研究之結果相符。所以藉由碳、氧同位素組成會有顯著差異之現象，我們可用此來判斷所分析之軟體動物化石標本，是來自淡水或者是海洋環境。同時由圖九之比較，也說明了過港貝化石層內之軟體動物化石，過去是生活在海洋環境中。

Keith 等人 (1965) 曾分析墨西哥灣及密西西比三角洲地區各種不同沈積環境內，軟體動物的碳、氧同位素組成，其結果如圖十所示。河口灣 (Estuary) 和三角洲 (Delta) 地區因有河流所帶來含較輕碳、氧同位素組成的淡水，所以該區海水之 $\delta^{18}\text{O}$ 及 $\delta^{13}\text{C}$ 值會比在包含有潮間帶和陸棚區的開放性海灣 (Open gulf) 地區之值為低；潟湖 (Lagoon) 區海水的同位素組成，則主要受蒸發作用，以及其與開放性海灣地區海水的交換多寡而定，因此造成在不同的沈積環境內，貝殼之碳、氧同位素組成的分布範圍也會有所差異。將本研究所分析之化石及現生標本的結果與 Keith 等人 (1965) 比較 (圖十一)，除符合本研究現生標本之生存環境外，也顯示出過港貝化石層內之軟體動物化石，過去是生活在屬於開放性的海洋生態環境。



3.3.2 斧、腹足類比較以及異常值之意義

由圖六及圖七發現，不論是化石或現生軟體動物，腹足類的碳或氧同位素的分布範圍要較斧足類為廣，這可能是不同型態的生活方式，或者是種屬效應 (species effect) 所造成。


圖十二為所有化石及現生斧足類標本之碳、氧同位素分布比較圖。化石標本內斧足類 $\delta^{18}\text{O}$ 之平均值為 -0.09%， $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值為 0.92%。



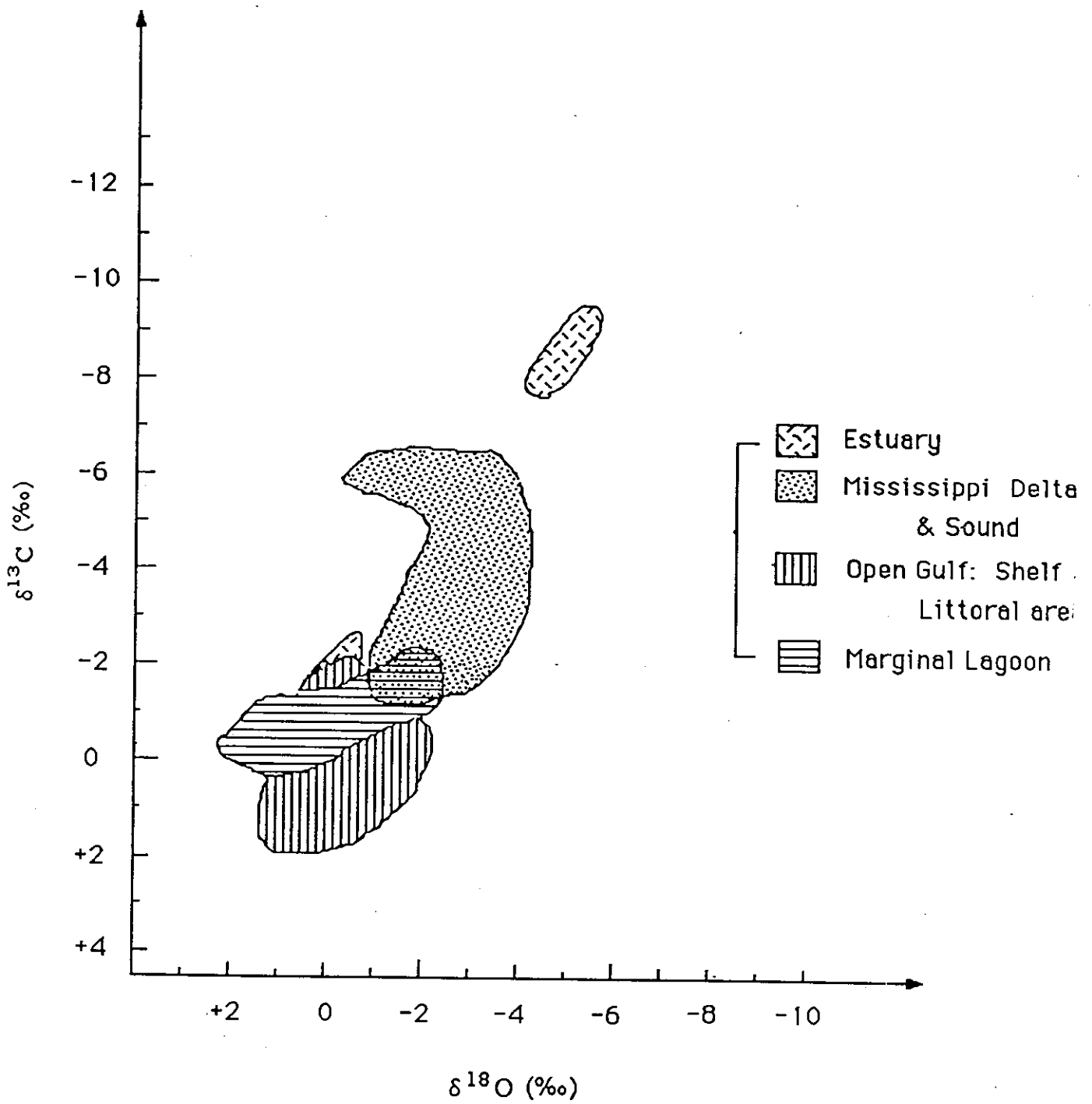
Keith 等人
(1964) 之
研究

-  海洋環境貝類
-  淡水環境貝類

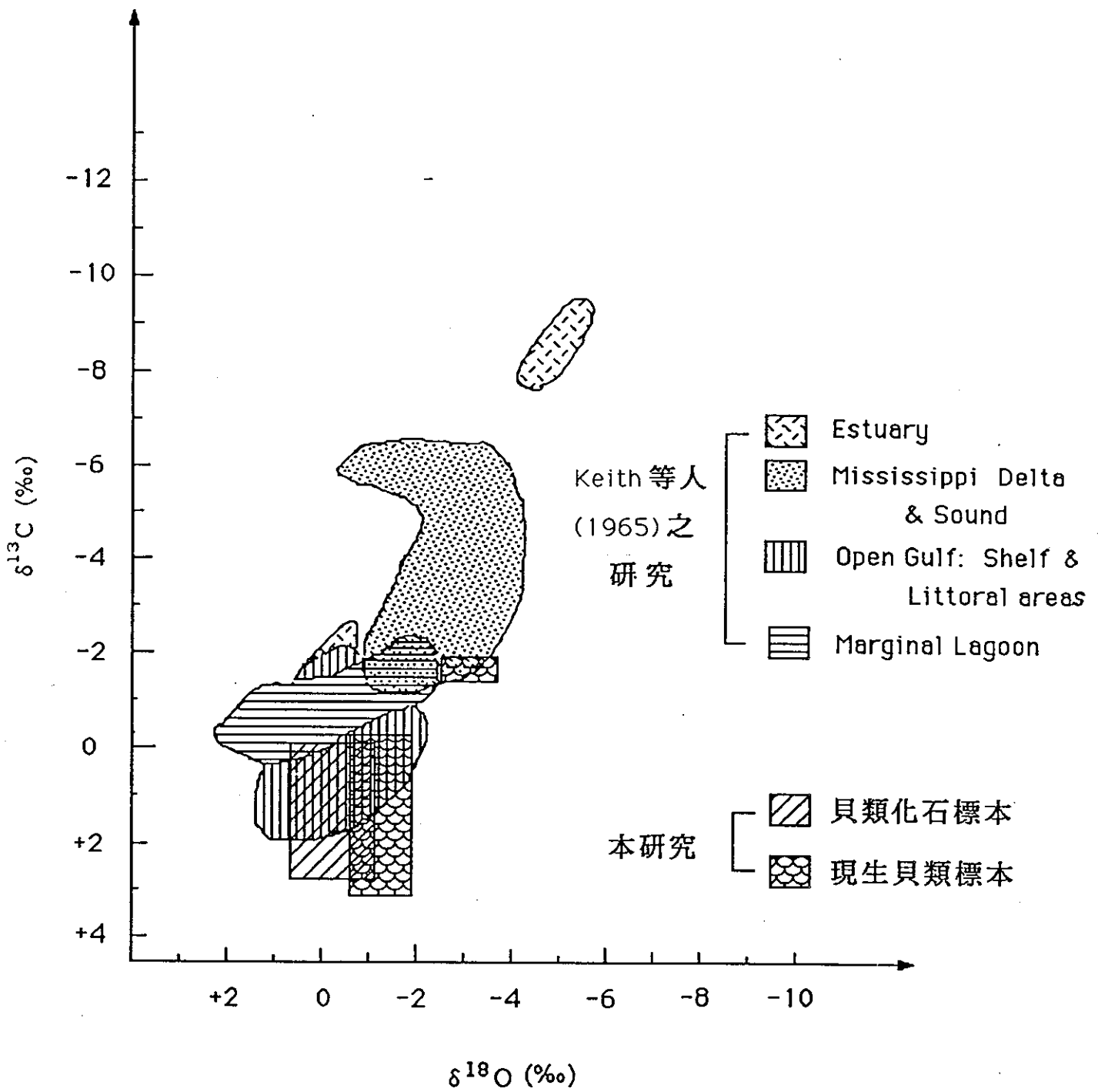
本研究

-  貝類化石標本
-  現生貝類標本

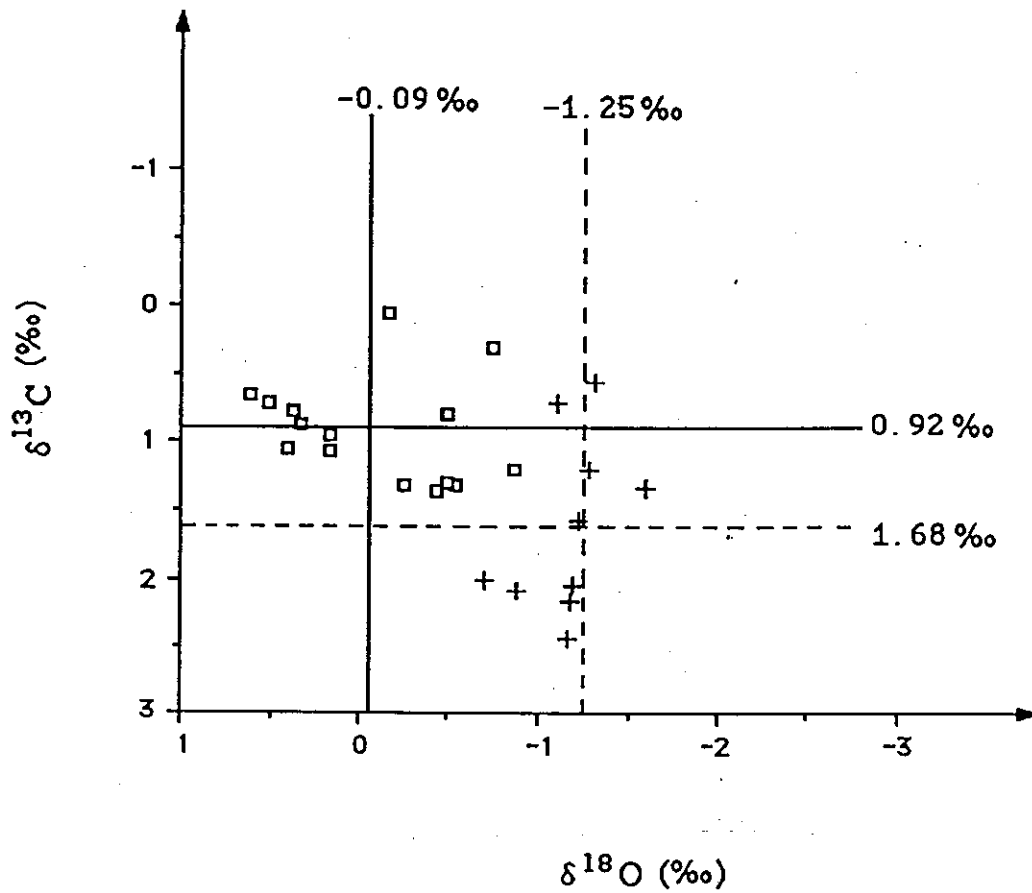
圖九 本研究之化石與現生標本的碳、氧同位素分布和Keith等人(1964)的研究之比較圖



圖十 Keith 等人(1965)研究密西西比河沿岸及墨西哥灣內各種不同沈積環境之貝類的碳、氧同位素分布圖



圖十一 本研究之化石與現生標本的碳、氧同位素分布
與圖十之比較圖



- | | | |
|-----------|-------|-----------------------|
| □ 化石斧足類標本 | —— | 化石斧足類標本之
碳、氧同位素平均值 |
| + 現生斧足類標本 | - - - | 現生斧足類標本之
碳、氧同位素平均值 |

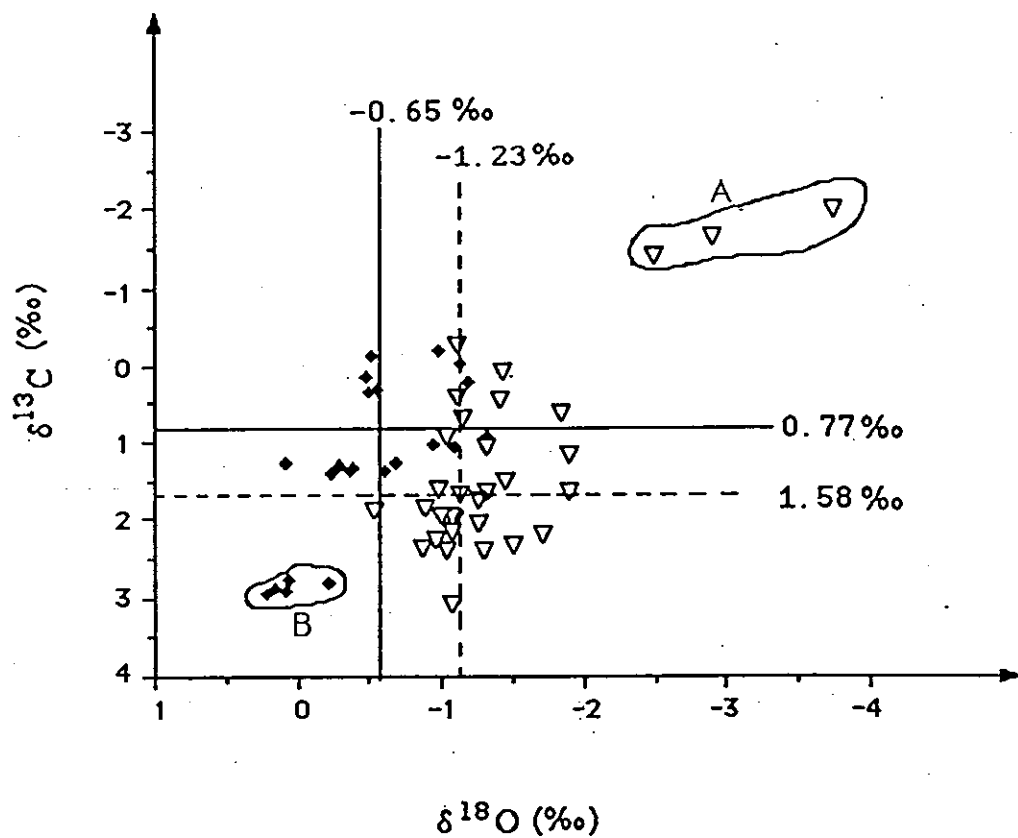
圖十二 化石及現生之斧足類標本的碳、氧同位素分布比較圖

；現生標本斧足類 $\delta^{18}\text{O}$ 之平均值為 -1.25% ，而 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值為 1.68% ，化石標本顯示有較重之 $\delta^{18}\text{O}$ 值和較輕之 $\delta^{13}\text{C}$ 值。

圖十三為所有化石及現生腹足類標本之碳、氧同位素分布比較圖。除去圖上右上方A處的三個現生，及左下方B處五個化石腹足類明顯異常值外，化石腹足類 $\delta^{18}\text{O}$ 之平均值為 -0.65% ， $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值則為 0.77% ；而現生腹足類 $\delta^{18}\text{O}$ 之平均值為 -1.23% ， $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值則為 1.58% ，同樣的，化石標本顯示有較重之 $\delta^{18}\text{O}$ 值和較輕之 $\delta^{13}\text{C}$ 值。

現生腹足類標本中，採自恆春半島萬里桐及佳樂水地區，標本編號為C-4及W-5，且屬於同一種屬的 *Nodilittorina pyramidalis* 是生活在高潮帶上之珊瑚礁體的凹穴中，此珊瑚礁體平時只有極短暫的時間是浸沒在海水裡，所以在 *Nodilittorina pyramidalis* 的生活環境中不僅有海水，可能還有含較輕碳、氧同位素組成的天水積聚在他們生活的凹穴環境中，而影響到他們殼體的碳、氧同位素組成。經同位素的分析結果，*Nodilittorina pyramidalis* 的碳、氧同位素組成確實比其它現生標本為輕(圖十三A處)，從圖九中也大略可以看出有淡水加入的現象。所以 *Nodilittorina pyramidalis* 之碳、氧同位素組成變輕的原因，並不一定是因生理效應(vital effect)所造成，而是有含較輕碳、氧同位素組成的天水加入所造成。

所謂生理效應一般是指貝類生物對於碳、氧同位素分化的機制與其它生物相異，使得它們的碳酸鈣質殼體內的碳、氧同位素和周遭水體並未達成平衡。Erez(1978)指出，部分珊瑚和有孔蟲因有共生藻的存在，使得它們所形成的殼體與周遭環境的水體之間，有同位素不平衡的現象。共生藻行光合作用的速率越快，有更多寄主新陳代謝所產生的 $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ 存在於周遭水體，故所形成殼體之碳、氧同位素組成會越輕。共生藻和寄主生物間的關係是，寄主生物獲得共生藻行光合作用所產生的養分產物，而寄主生物則提供共生藻一個能獲得陽光、養分、無機碳及微量元素的場所(Jones et al., 1988)。Jones 等人(1986)研究同一地區但不同種類的兩個貝類生物發現，有共生藻存在



- ◆ 化石腹足類標本
- ▽ 現生腹足類標本
- 化石腹足類標本之
碳、氧同位素平均值
- - - 現生腹足類標本之
碳、氧同位素平均值

圖十三 化石及現生之腹足類標本的碳、氧同位素分布比較圖

的 *Tridacna maxima* 比沒有共生藻存在的 *Terebra areolata* 顯示有較輕的 $\delta^{13}\text{C}$ 值，但是 $\delta^{18}\text{O}$ 值之分布卻無不同。但 Erez (1978) 也指出 Weber 等人則持相異的看法，認為有共生藻存在，會因其行光合作用而造成環境水域的 ^{12}C 減少，使得貝類會形成較重之碳同位素組成的殼體。實際造成此生理效應的作用機制並不完全為人所瞭解，而作用影響的結果之說法也有所差別。

在圖十三A處中的另一個現生腹足類標本，為採自白沙屯砂礫海灘，標本編號為B-3的 *Monodonta labio*，其同位素異常之情形是否有如上述之原因，則尚待進一步分析其它地區相同種類的標本，才能客觀的探究其異常之原因。

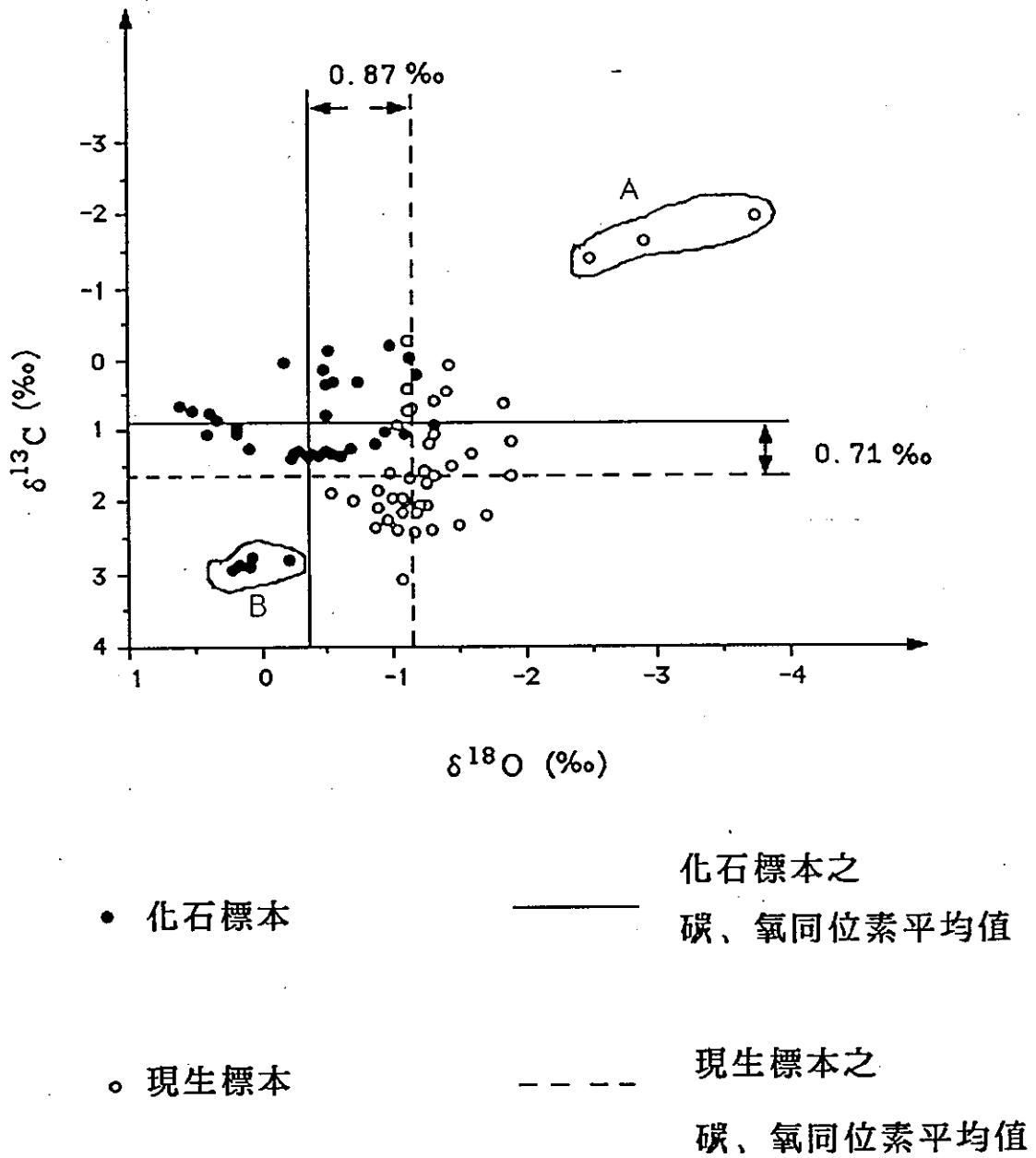
位在圖十三中B處之五個化石腹足類標本的 $\delta^{13}\text{C}$ 值，比其它化石標本要異常偏重，而 $\delta^{18}\text{O}$ 值卻相似。這五個標本均屬同一種類之 *Turritella kityoensis*，造成這種異常現象的原因，可能是因為上述所謂的生理效應，其對碳同位素的分化機制異於其它貝類化石所致；但可能也還有以下幾種原因：Tourtelot和Rye(1969)曾提到因貝類生物對食物種類的攝取有選擇性，所以會造成碳同位素組成會有所差異。但Fritz和Poplawski(1974)在貝類培養的研究實驗中，分別以不同種類的物質作為貝類之食物的研究後指出，影響殼體碳同位素組成主要的因素，還是水中碳酸氫根的 $\delta^{13}\text{C}$ 值，食物效應的影響極小。Steven(1981)也曾提出沈積物內之孔隙水的同位素組成，會因複雜的物理及化學作用，使得其碳或氧同位素組成變得較重，而造成生活在此環境之貝類，會形成較重之同位素組成的殼體的說法。*Turritella* 科之貝類是棲息在沈積物表層沙泥底裡，有可能是因為生活在含有這種較重同位素組成的孔隙水環境，造成 *Turritella kityoensis* 有較重的碳同位素組成的原因。但是，並沒有完整有關孔隙水內同位素組成的資料支持這種看法。

3.3.3 古氣候之推測

將所有本研究之現生與化石標本，同時作 $\delta^{13}\text{C}$ 對 $\delta^{18}\text{O}$ 的分布比較圖(圖十四)，除去A、B兩處異常之種類外，化石標本的氧同位素組成的平均值，比現生標本大約重了0.87%。而其碳同位素組成之平均值，則比現生標本約輕了0.71%。圖十二、十三和十四均說明了化石標本有較重的氧同位素、及較輕的碳同位素組成的現象。

較重的氧同位素組成記錄，表示這些化石標本過去是生活在較低的溫度，或是較重氧同位素的水域環境。如3.2.1節所述， H_2^{16}O 有較高的蒸氣壓，因此在蒸發的過程中，它會集中在水蒸氣裡，使得原來的海水會富含較重的 ^{18}O 。把這個氧同位素變化的過程應用到冰層的研究上，可以知道在冰河時期有大量的淡水結成冰層，造成海水面下降，同時也帶走許多海水裡的 ^{16}O ，相對的使剩餘的海水增多了 ^{18}O 。同時，水溫會影響在海中沈澱出來的碳酸鈣與海水之間的氧同位素分化因子，生活在較低水溫環境的貝類生物，也會形成含 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 值較高的殼體。這說明處在寒冷水域或氣候的軟體動物，會有二個同向的變化因子使它形成含較重氧同位素的殼體。

海水中碳同位素的組成，主要受到大氣與海洋中 CO_2 的交換作用，和海水中有機碳含量的變化所影響。冰期與間冰期兩者海水內之 $\delta^{13}\text{C}$ 值會有所差異，這是因為在間冰期時，氣候溫暖，陸上生物圈繁盛，光合作用盛行，而植物行光合作用時較喜 CO_2 中的 ^{12}C (Park and Epstein, 1960)，結果造成大氣中的 ^{13}C 相對的增多，經由大氣與海洋的交換作用，所以也使得海洋中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值也變的較重。在冰河時期，海水面下降，大片陸棚出露，陸地面積增多，因侵蝕、風化、分解等作用使得原先沈積在陸棚區的大量有機質被帶入海洋，大量有機質在海洋中分解會產生許多的 ^{12}C ，造成此時期海水的 $\delta^{13}\text{C}$ 值變輕 (Broecker, 1982)。Shackleton 等人 (1983) 研究東太平洋赤道附近，解析度極佳之岩心 v19-30 內的有孔蟲之碳、氧同位素，也發現冰河期海洋內的碳同位素組成確實比間冰期的海洋為輕。



圖十四 所有化石及現生標本的碳、氧同位素分布比較圖

所以，根據化石標本內含有較現生為重的氧同位素，及較輕的碳同位素組成，亦可說明他們過去是生活在較冷的冰河期古氣候環境。

3.4 生長紋分析之結果

生長紋系列之碳、氧同位素分析，對於研究軟體動物的生態環境是一非常有用之工具。利用這種方法，可偵測在貝殼的生命期中所發生過的事件，以及測知季節性的溫度變化範圍。

本部分之研究選擇二個現生標本，*Meretrix lusoria*，*Cyclotellina remies* 以及二個化石標本，即不屬於同一隻 *Pecten byoritsuensis* 的左、右兩殼。*Pecten byoritsuensis* 左殼殼緣部分有破損現象，故部分同位素記錄可能已遺失。

Meretrix lusoria 為俗稱文蛤的食用貝，活的標本於民國七十七年九月購自市場；*Cyclotellina remies* 為採自蘭嶼海邊的死貝，從其殼表紋路仍保持清晰來判斷，*Cyclotellina remies* 應該是屬於現代的貝類。*Pecten byoritsuensis* 為過港貝化石層內富集的大型原生化石之一，所以 *Pecten byoritsuensis* 具代表性且適合做生長紋的碳、氧同位素分析。

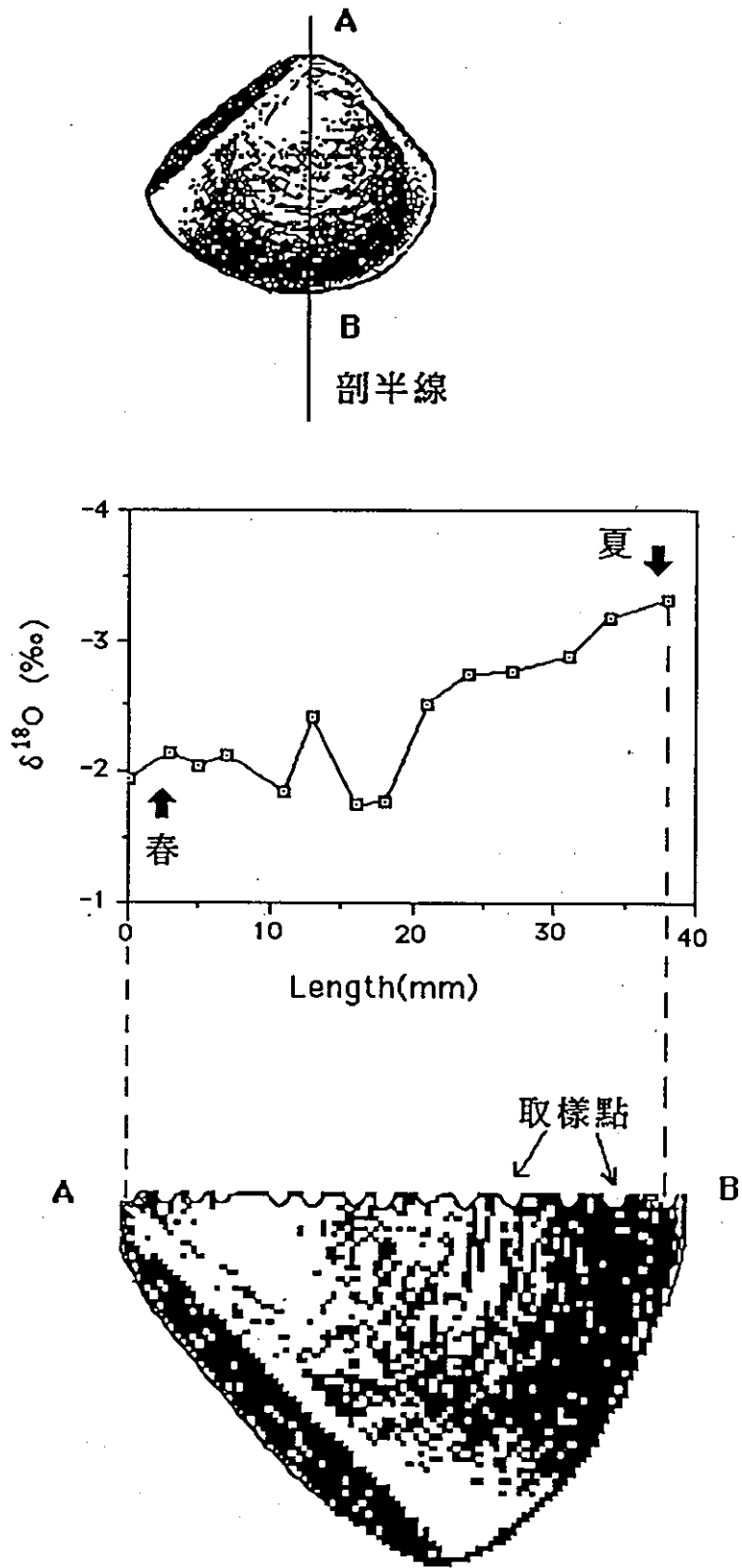
3.4.1 *Meretrix lusoria*

Meretrix lusoria 標本的碳、氧同位素分析結果列於表五，它的氧同位素隨生長紋變化之情形繪於圖十五，圖十六為其碳同位素隨生長紋變化之情形。*Meretrix lusoria* 殼長約38mm，它的 $\delta^{18}\text{O}$ 變化範圍從-3.31‰到-1.73‰，變化幅度為1.58‰， $\delta^{13}\text{C}$ 的變化範圍從-5.28‰到0.86‰，變化幅度為6.14‰。

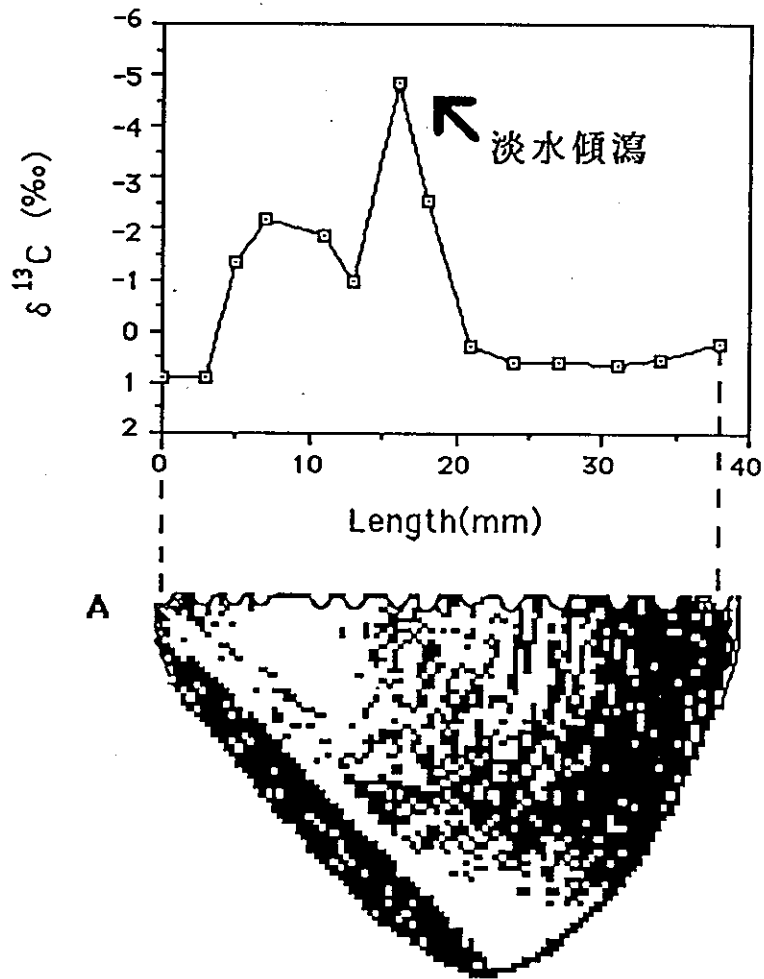
由圖十五的氧同位素變化圖知，氧同位素組成有季節性的變化， $\delta^{18}\text{O}$ 值在18mm 之前一直維持在-2‰左右，從此之後開始變輕，當

表五 *Meretrix lusoria* 生長紋之碳、氧同位素分析結果

長 度 (mm)	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
0	-1.91	0.86
3	-2.09	-1.09
5	-2.00	-1.54
7	-2.08	-2.42
11	-1.83	-2.11
13	-2.41	-1.15
16	-1.73	-5.28
18	-1.76	-2.86
21	-2.50	0.19
24	-2.75	0.54
27	-2.76	0.55
31	-2.89	0.60
34	-3.18	0.47
38	-3.31	0.15
<hr/>		
最大值 :	-1.73	0.86
最小值 :	-3.31	-5.28
最大差值 :	1.58	6.14



圖十五 *Meretrix lusoria* 的氧同位素組成隨生長紋變化之圖



圖十六 *Meretrix lusoria* 的碳同位素組成隨生長紋變化之圖

到達最外緣的取樣點時， $\delta^{18}\text{O}$ 已減輕至 -3.31% 。如果 *Meretrix lusoria* 之同位素分化作用與周遭的水達成平衡的話， $\delta^{18}\text{O}$ 為 1.58% 的變化範圍是相當於溫度約 7°C 的變化幅度，表示 *Meretrix lusoria* 是生活在淺海區，水溫易受季節性變化所影響。18mm 之前顯示著較重的 $\delta^{18}\text{O}$ 值，表示這時候的水溫，比18mm 以後顯現較輕 $\delta^{18}\text{O}$ 值的水溫要低。因為這個標本在九月夏季之時死亡，這表示18mm 之前的殼體是在春天的時候所形成的，從18mm 以後進入夏季。這些由氧同位素所顯現出來的訊息，與臺灣西海岸 *Meretrix lusoria* 養殖場大約是在初春開始著苗，而在夏天採收，壽命大約是六至九個月的資料相當吻合(曾，1974；楊和丁，1974)。

在圖十六碳同位素方面， $\delta^{13}\text{C}$ 的變化情形並沒有像 $\delta^{18}\text{O}$ 那樣有規律，和 $\delta^{18}\text{O}$ 之間似乎也沒有關係。除了在16mm 處有個突降低值外，其餘各點所顯現的是一般海生貝類的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。這突降的 $\delta^{13}\text{C}$ 值意謂著在那時有大量的淡水，可能是經由河口進入沿海的養殖場，沖淡了當地海水的碳同位素組成，而這事件就被 *Meretrix lusoria* 記錄下來。這也說明了碳同位素本身受溫度的影響很小，主要還是受環境因子所影響。

3.4.2 *Cyclotellina remies*

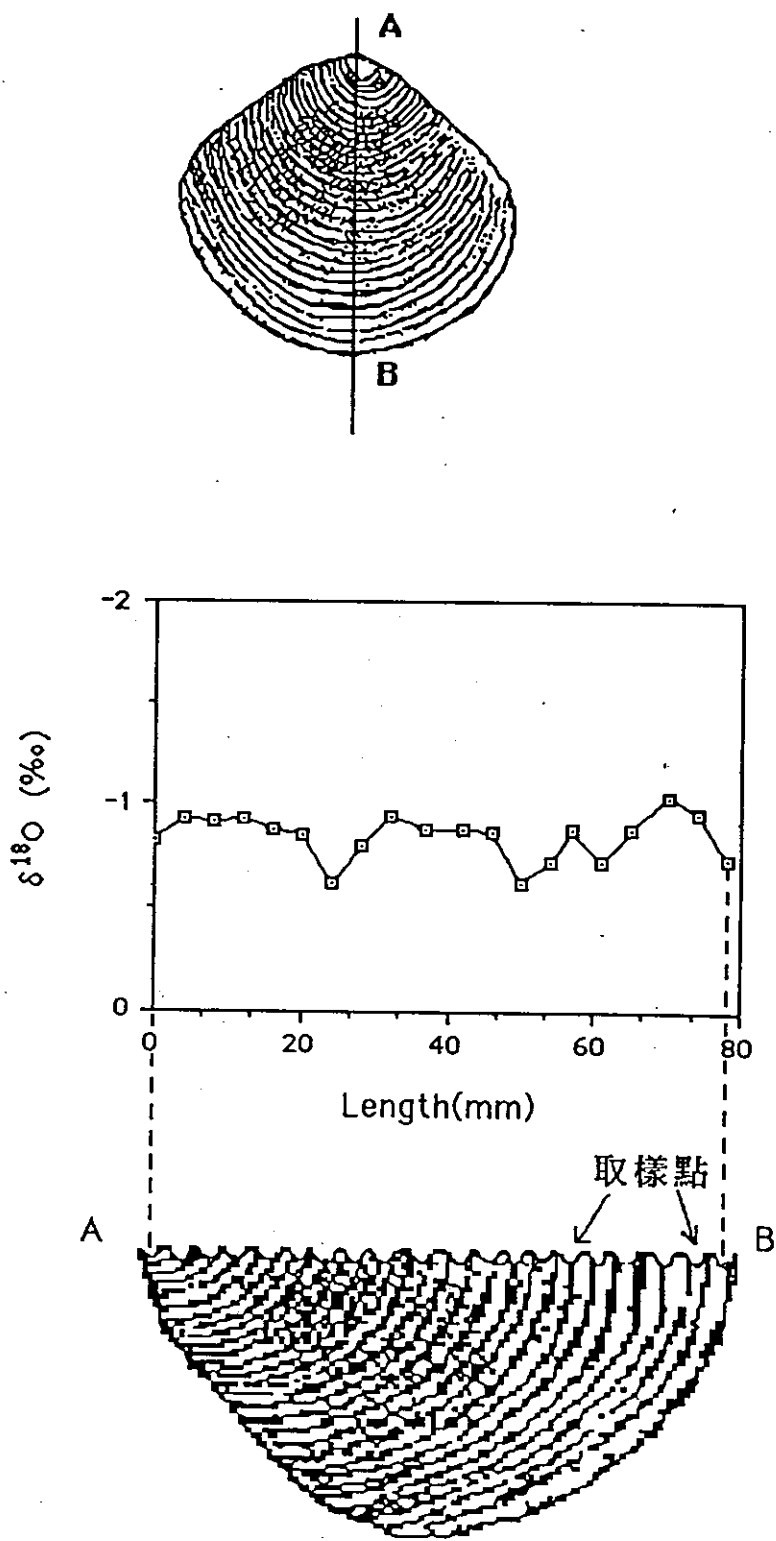
Cyclotellina remies 標本的碳、氧同位素分析結果列於表六，它的氧、碳同位素隨生長紋變化之情形，分別繪於圖十七與圖十八。*Cyclotellina remies* 的殼長約78mm，它的 $\delta^{18}\text{O}$ 變化範圍從 -1.03% 到 -0.61% ，變化幅度只有 0.42% ， $\delta^{13}\text{C}$ 變化範圍從 2.25% 到 3.39% ，變化幅度為 1.14% 。

$\delta^{18}\text{O}$ 變化幅度為 0.42% 。換算成溫度的話只有 2°C 的範圍，使用 Craig (1965) 修正 Epstein 的碳酸鈣溫度方程式，利用已知蘭嶼附近

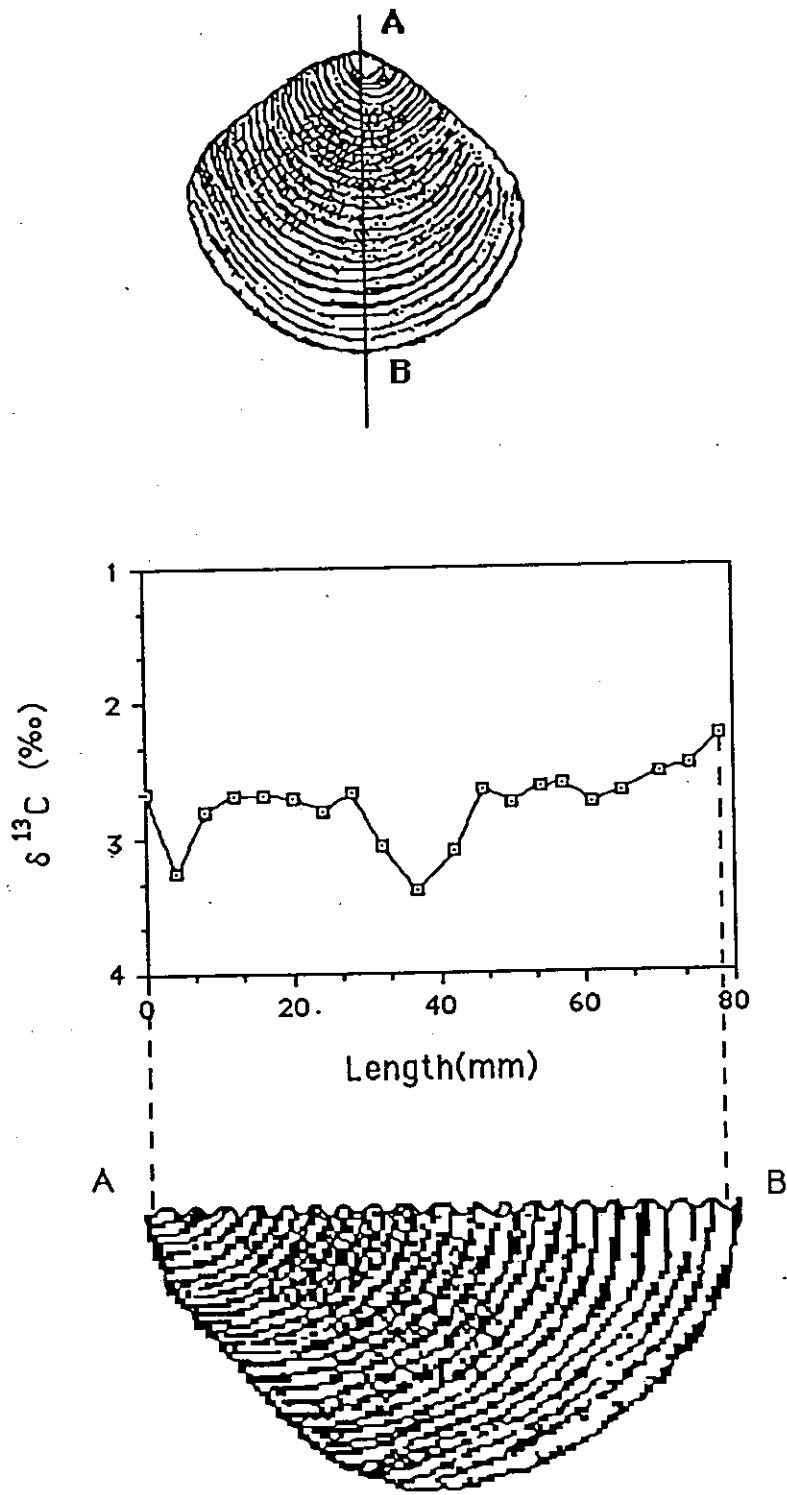
表六 *Cyclotellina remies* 生長紋之碳、氧同位素分析結果

長 度 (mm)	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
0	-0.82	2.67
4	-0.93	3.25
8	-0.91	2.81
12	-0.93	2.69
16	-0.88	2.68
20	-0.85	2.70
24	-0.61	2.81
28	-0.80	2.67
32	-0.94	3.06
37	-0.88	3.39
42	-0.87	3.09
46	-0.86	2.65
50	-0.62	2.74
54	-0.72	2.62
57	-0.88	2.61
61	-0.72	2.75
65	-0.88	2.66
70	-1.03	2.52
74	-0.95	2.48
78	-0.73	2.25

最大值： -0.61 3.39
 最小值： -1.03 2.25
 最大差值： 0.42 1.14



圖十七 *Cyclotellina remies* 的氧同位素組成隨生長紋變化之圖



圖十八 *Cyclotellina remies* 的碳同位素組成隨生長紋變化之圖

水域水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值為 +0.2%，所換算出來海水的溫度約為 23℃，由此可推知 *Cyclotellina remies* 是屬棲息地較深的貝類生物。也因為 $\delta^{18}\text{O}$ 的變化幅度非常小，所以不能從圖十七 *Cyclotellina remies* 的氧同位素資料，來判斷它的生命期到底持續多久。

在圖十八中，*Cyclotellina remies* 的 $\delta^{13}\text{C}$ 變化範圍從 2.25% 到 3.39% 的資料來看，它是一個典型的海生貝類，但變化幅度只有 1.14%，意謂著它生活在一同位素非常穩定的水域環境。比較圖十七及圖十八， $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 之間並沒有明顯之關係。

3.4.3 *Pecten byoritsuensis*

Pecten byoritsuensis 右殼殼長 60mm，它的碳、氧同位素分析結果列於表七， $\delta^{18}\text{O}$ 變化範圍從 -1.63% 到 0.76%，而 $\delta^{13}\text{C}$ 為 -0.43% 到 1.58%。左殼殼長 50mm，其碳、氧同位素分析結果列於表八， $\delta^{18}\text{O}$ 的變化範圍從 -1.45% 到 0.52%，而 $\delta^{13}\text{C}$ 為 0.50% 到 1.41%。圖十九及圖二十分別表示右殼的氧、碳同位素組成隨生長紋變化之情形；左殼的氧、碳同位素組成的變化則分別繪於圖二十一和圖二十二。

從圖十九及圖二十一右、左殼的 $\delta^{18}\text{O}$ 變化情況來看，它們和 *Meretrix lusoria* 一樣顯現著季節性的變化。右殼的 $\delta^{18}\text{O}$ 變化幅度為 2.39%，左殼的為 1.97%，這些變化幅度相當於 8 到 10℃ 的海水溫度變化，這個訊息和現今白沙屯過港貝化石層附近水域表水的季節性溫度變化雷同 (漁海況旬報, 1988)，這也說明了 *Pecten byoritsuensis* 是生活在淺海區的貝類，故能顯現出季節性的表水溫度變化。同時從圖十九和圖二十一氧同位素的變化圖判斷，*Pecten byoritsuensis* 約在秋冬之時死亡，生命期約為六至九個月，左殼因殼緣破損，故遺失這時期的記錄。

在碳同位素方面，左、右兩殼也顯示出一般海生貝類的 $\delta^{13}\text{C}$ 值，左、右兩殼的變化幅度非常小，分別為 0.91% 與 2.01%，這大幅度

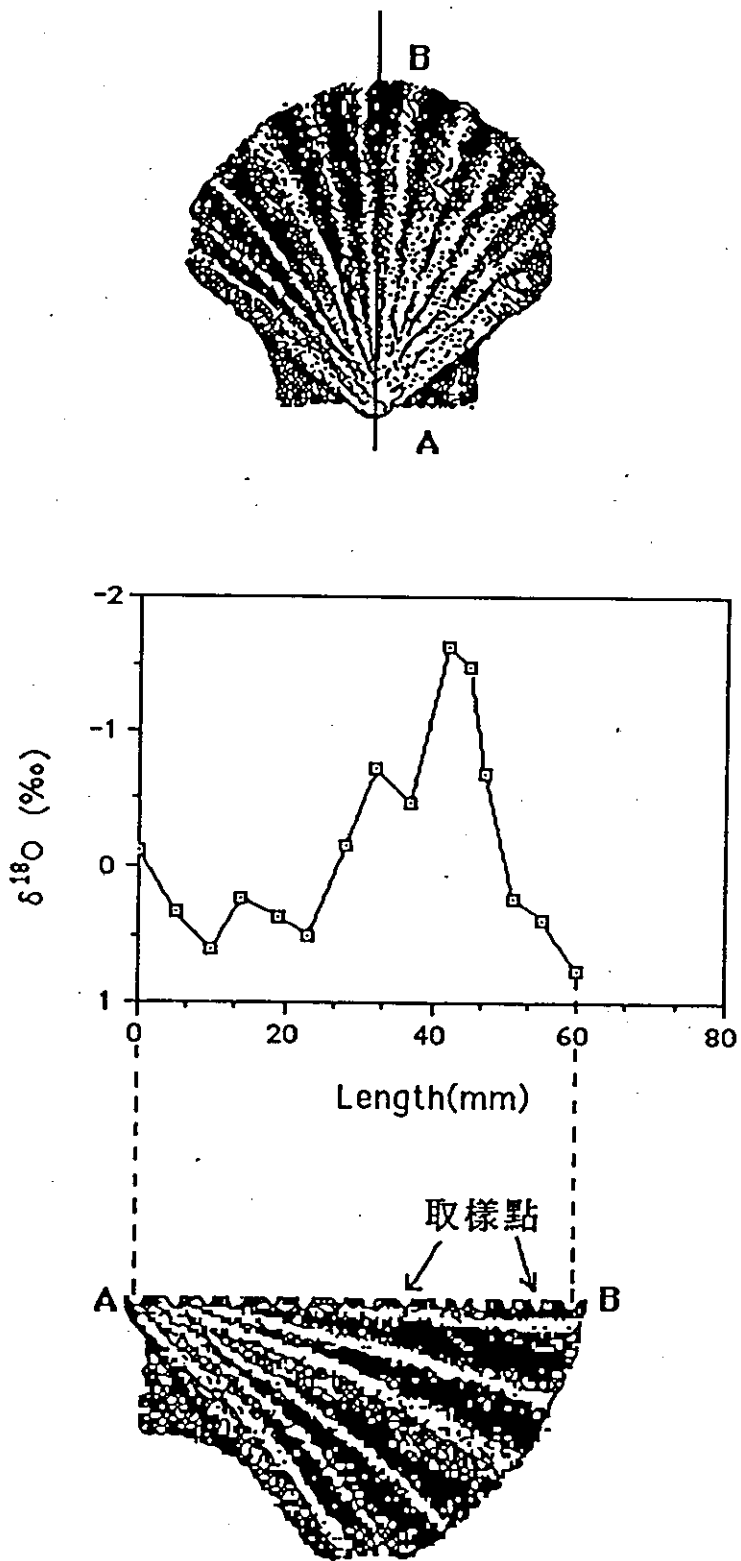
表七 *Pecten byoritsuensis* 右殼生長紋之碳、氧同位素分析結果

長 度(mm)	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
0	-0.11	1.03
5	0.33	0.62
10	0.61	1.58
14	0.24	1.32
19	0.38	1.18
23	0.50	0.97
28	-0.16	0.78
32	-0.73	0.73
37	-0.47	0.97
42	-1.63	0.17
45	-1.48	-0.25
47	-0.68	-0.43
51	0.24	0.32
55	0.39	-0.01
60	0.76	0.22

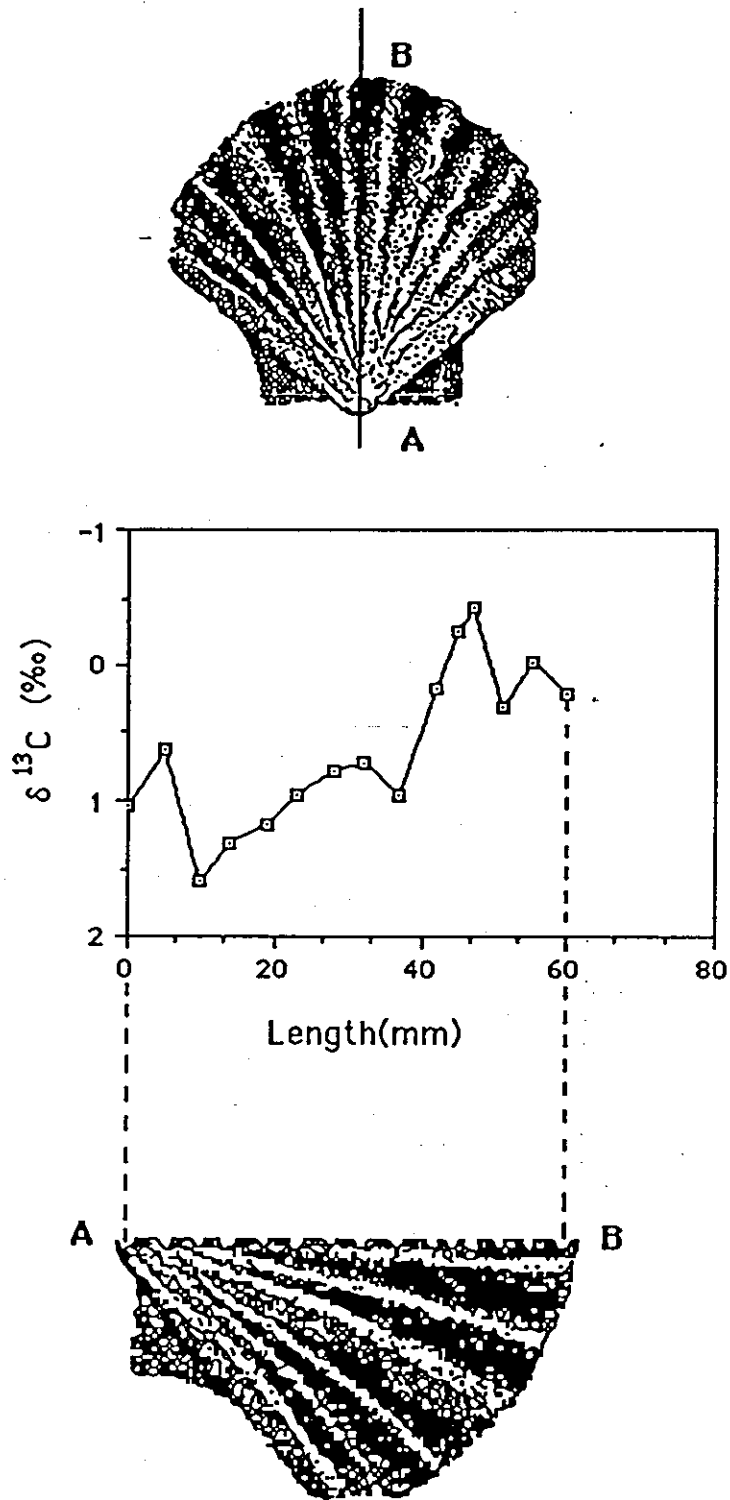
最大值 :	0.76	1.58
最小值 :	-1.63	-0.43
最大差值 :	2.39	2.01

表八 *Pecten byoritsuensis* 左殼生長紋之碳、氧同位素分析結果

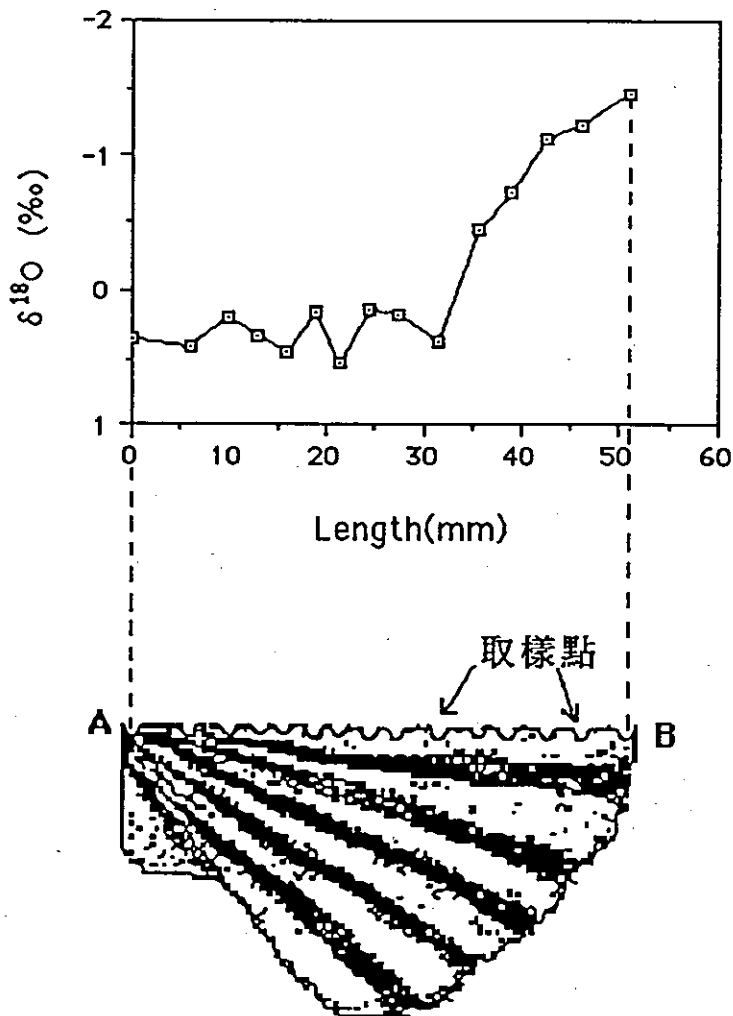
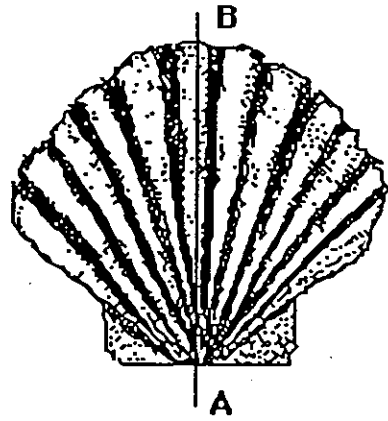
長 度(mm)	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
0	0.35	0.92
6	0.42	0.50
10	0.20	1.06
13	0.34	0.98
16	0.45	0.95
19	0.16	0.63
21.5	0.52	0.86
24.5	0.14	0.95
27.5	0.17	1.16
31.5	0.38	1.32
35.5	-0.46	1.41
39	-0.72	1.37
42.5	-1.11	1.13
46	-1.22	0.92
51	-1.45	0.84
<hr/>		
最大值 :	0.52	1.41
最小值 :	-1.45	0.50
最大差值 :	1.97	0.91



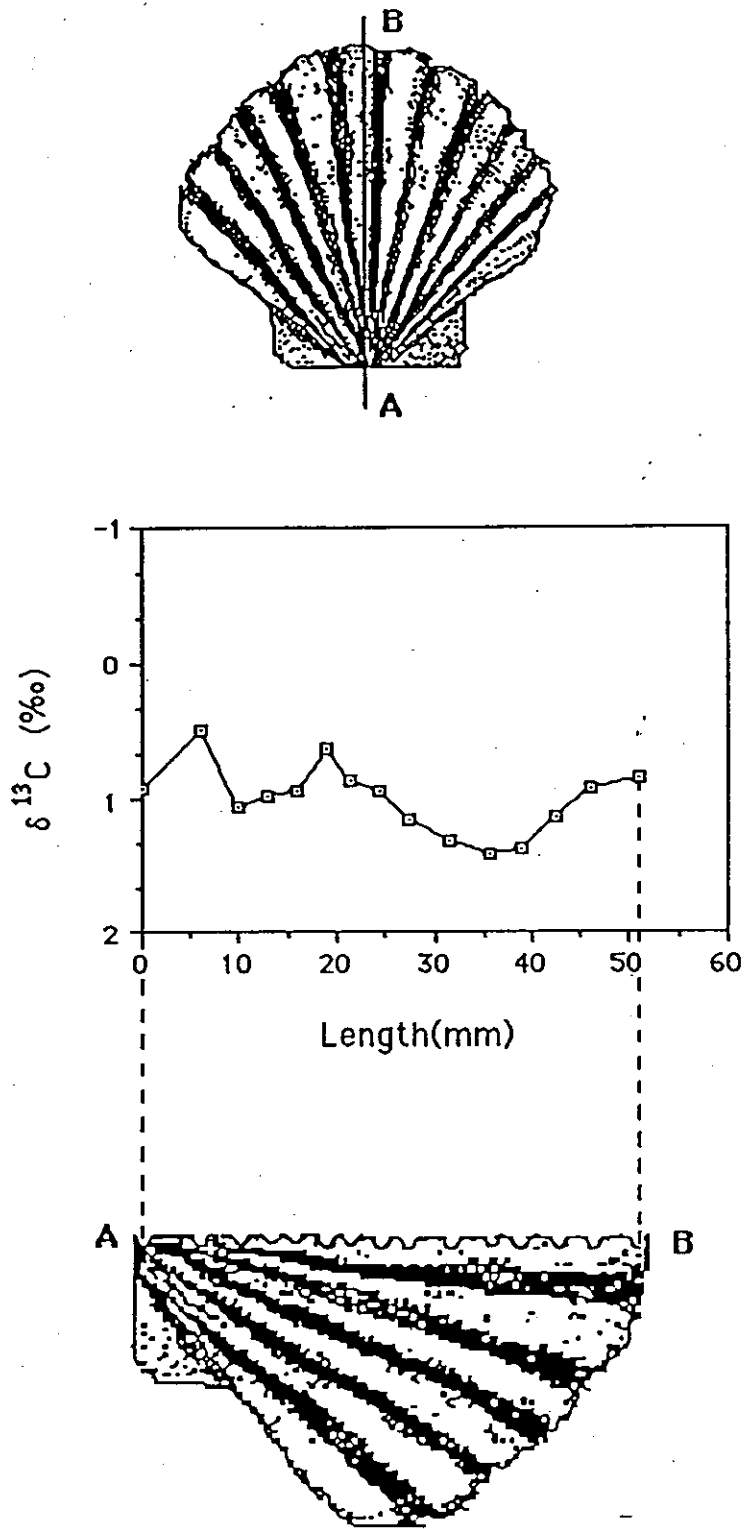
圖十九 *Pecten byoritsuensis* 右殼的氧同位素組成
隨生長紋變化之圖



圖二十 *Pecten byoritsuensis* 右殼的碳同位素組成
隨生長紋變化之圖



圖二十一 *Pecten byoritsuensis* 左殼的氧同位素組成
隨生長紋變化之圖



圖二十二 *Pecten byoritsuensis* 左殼的碳同位素組成
隨生長紋變化之圖

$\delta^{18}\text{O}$ 和小幅度 $\delta^{13}\text{C}$ 值的變化，說明 *Pecten byoritsuensis* 是浮游在開放性海洋的表層海水，或者是棲息在淺海的砂質底的生活方式。

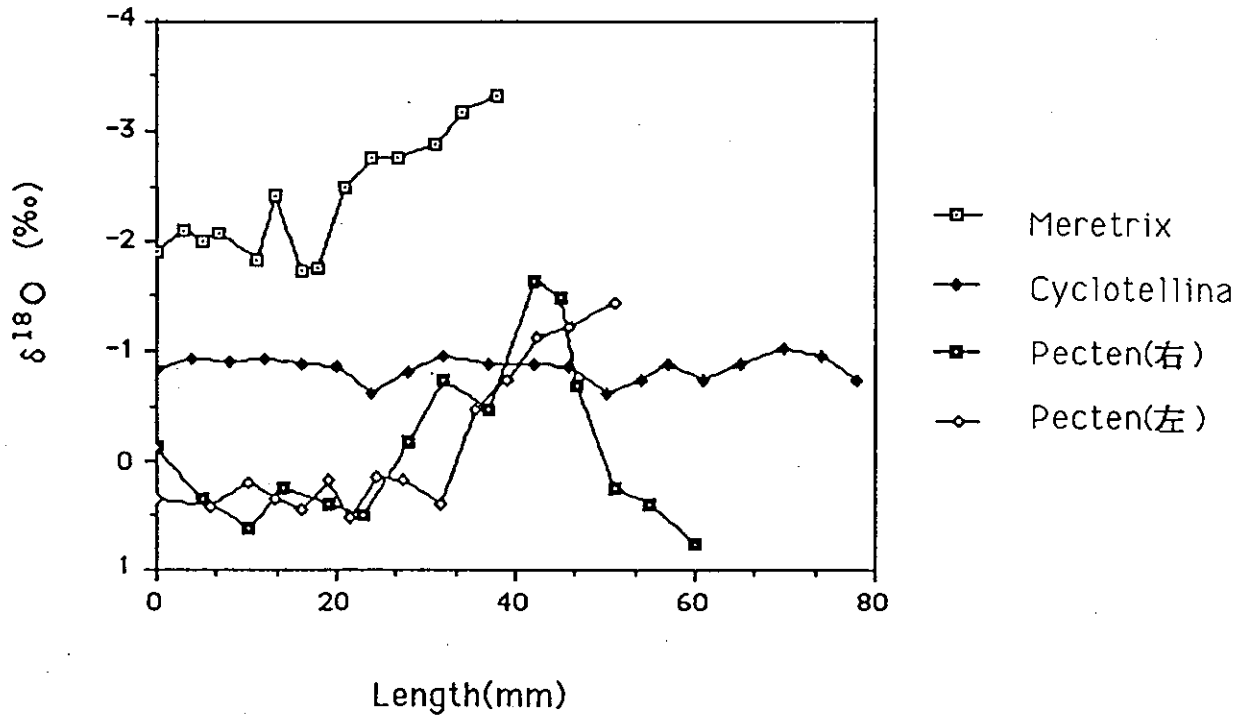
從圖二十三和圖二十四可以知道，*Pecten byoritsuensis* 比起現生標本，有較重的氧同位素和較輕的碳同位素組成，這和3.3.3節全殼分析所得到的結果相同。

比較 *Pecten byoritsuensis* 與 *Cyclotellina remies* 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值知 *Pecten byoritsuensis* 有較輕的碳同位素組成，造成這個差異的原因可能是由於種屬效應或者是不同沈積環境的因素，也可能是由於 *Pecten byoritsuensis* 生活在較輕 $\delta^{13}\text{C}$ 值的冰河期海洋。貝類生物在此等較輕的碳同位素組成的環境生長，就把這現象記錄下來，而這較輕的碳同位素記錄如同氧同位素記錄一樣，指示出 *Pecten byoritsuensis* 可能是生活在冰河期的海洋裡。

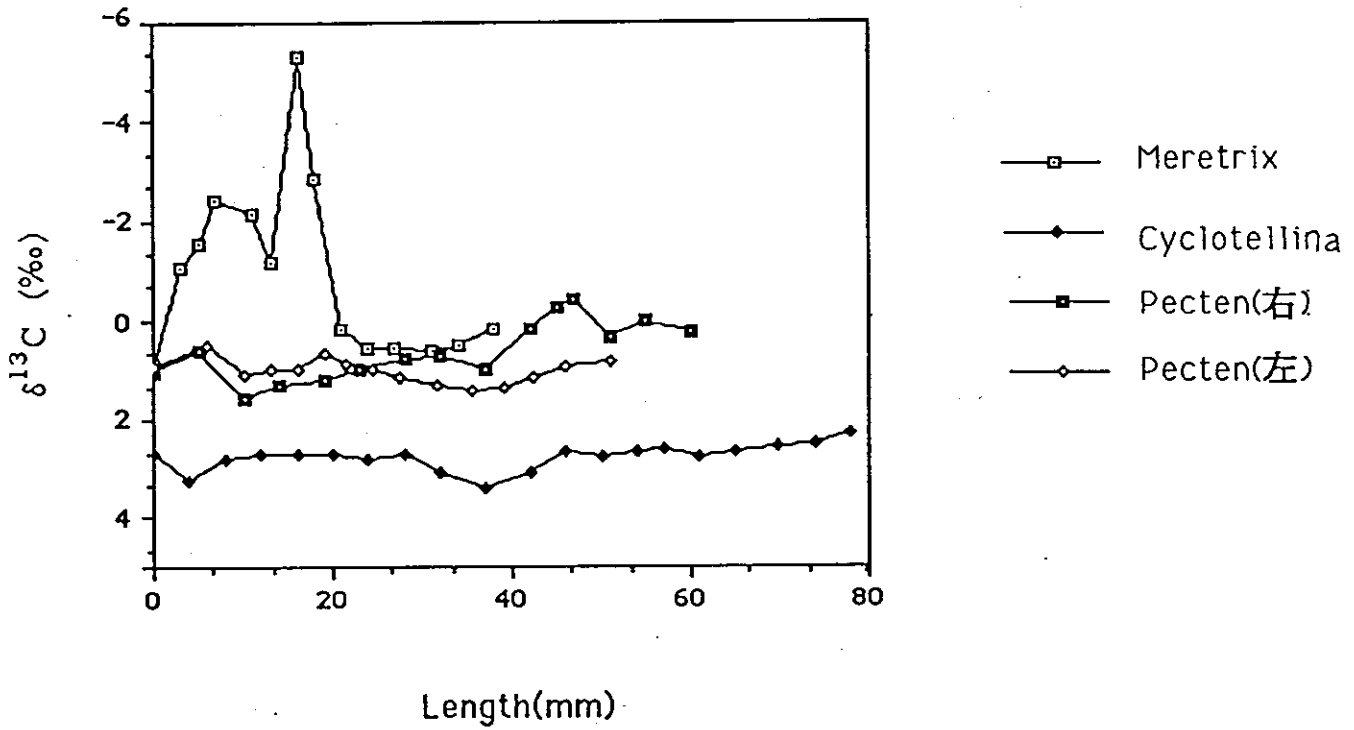
圖二十五為所有 *Meretrix lusoria*, *Cyclotellina remies* 和 *Pecten byoritsuensis* 取樣點碳、氧同位素的分布圖。此圖很清楚可看出它們之間生態環境的差異。*Meretrix lusoria* 的碳同位素變化非常大，意謂在它的生態環境有淡水的流入。*Meretrix lusoria* 和 *Pecten byoritsuensis* 的氧同位素有季節性的變化，顯示它們是生活在淺海的環境。*Cyclotellina remies* 和 *Pecten byoritsuensis* 的碳同位素變化幅度很小，表示他們是生活在很穩定的水域，可能是在開放性的海洋生態環境。*Cyclotellina remies* 的氧同位素變化很小，亦比 *Meretrix lusoria* 重，指出它可能生活在較深的海域。*Pecten byoritsuensis* 的氧同位素值要比 *Meretrix lusoria* 和 *Cyclotellina remies* 重，可能是這兩時期海洋海水的同位素組成或氣候上的差異所造成。

3.5 ^{14}C 定年結果及過港貝化石層之層位問題

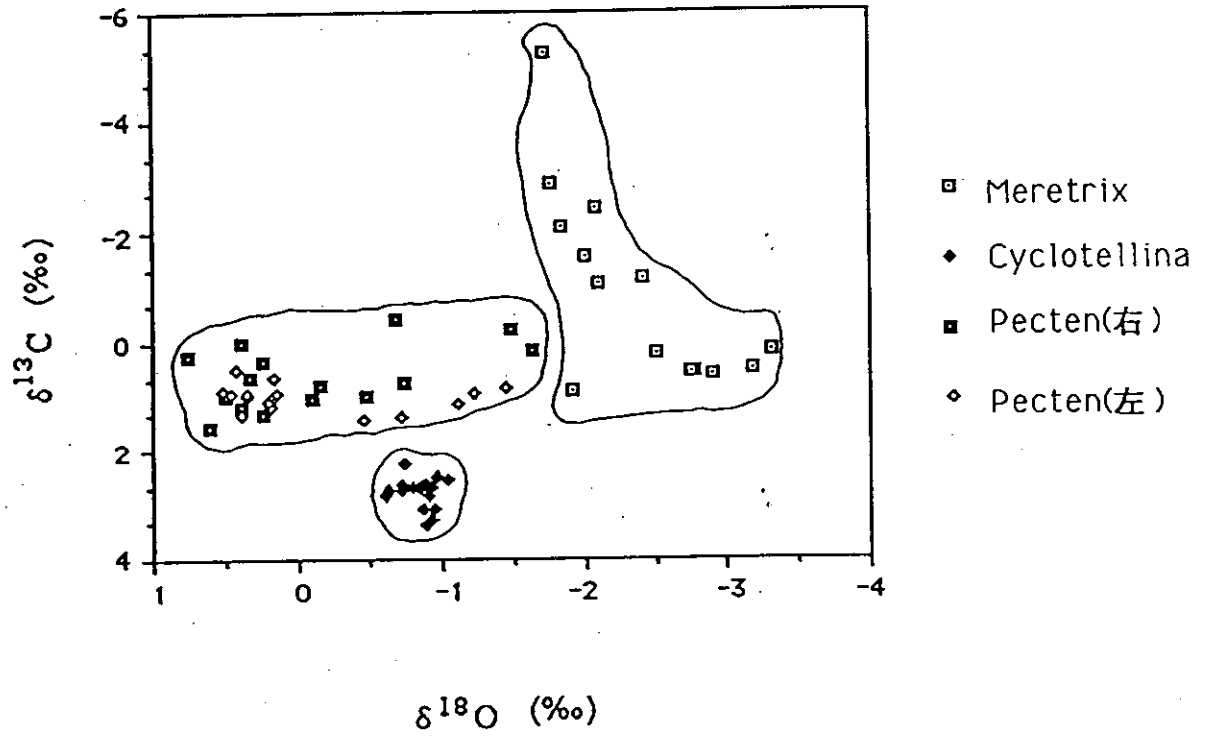
本研究將三個主要採集點 α , β , γ (圖一) 之 *Pecten*



圖二十三 *M. lusoria*, *C. remies* 和 *P. byoritsuensie*
 氧同位素組成隨生長紋變化之圖



圖二十四 *M. lusoria*, *C. remies* 和 *P. byoritsuensie*
 碳同位素組成隨生長紋變化之圖



圖二十五 所有 *M. lusoria*, *C. remies* 和 *P. byoritsuensie* 取樣點之碳、氧同位素分布比較圖

byoritsuensis 標本送至臺灣大學¹⁴C實驗室作¹⁴C定年，定年結果列於表九。從表九知過港貝化石層的¹⁴C年代範圍約在30000至45000年左右，此年代範圍正處於氧同位素階(Oxygen Stage)裡的第三階(Shackleton and Opdyke, 1973; 1976; Wang and Yeh, 1984)，也就是在更新世最後一次冰期內的一小暖期。這結果符合3.3.3節，根據軟體動物化石比現在之貝類生物，有較重之氧和較輕的碳同位素組成，而推測過港貝化石層之軟體動物化石過去是生活在冰河期的結果相吻合。

但若依¹⁴C定年結果所顯示過港貝化石層的年代，並不在Liew (1988)所認為頭嵛山層的年代範圍內(12Ka ~ 70Ka)，而是屬於更新世晚期的地層，而且這也和林朝榮(1963)，陳信茂(1977)，胡忠恆(1987)他們之看法不相符。產生這種差異之結果的主要癥結，還是¹⁴C之定年結果是否正確。導致¹⁴C定年會有所偏差之原因，可能是化石殼體內之C原子曾與含¹⁴C之地下水發生過換質作用，但在3.2.1節的討論中否定了本研究之軟體動物化石曾和地下水反應過。另一可能造成偏差之原因，就是有現代來源之¹⁴C附著在定年標本上，而並未完全被清除掉，使得定年結果比實際之年代還要年輕，但可以確定的是本研究之化石標本年代，絕不會比三萬年還要年輕。

如果¹⁴C定年的結果是正確的，則就有二種可能。第一種就是過港貝化石層並不屬於更新世之頭嵛山層，而是屬更新世晚期之地層，則本區之區域地質有待重新調查，確認出正確之層位。另一種可能就是本研究區仍屬頭嵛山層，若是如此，則頭嵛山層之地質年代須往後移至屬更新世晚期之年代範圍。同時，對於臺灣各含貝之地層層位，可能需進一步研究，重新確認。

假若¹⁴C定年的結果是正確的話，可利用定年結果(T)，標本出露位置的高度(A)，以及當時海平面與現在海平面的高程差(E)，來推算最小平均上升速率： $(A+E)/T$ (Peng et al., 1977)，所謂最小上升速率，就是完全忽略標本生物當時所生存環境的深度，而推算出之上升速率。根據Moore(1982)綜合研究指出，距今二萬至五萬年前之間，當

表九 α 、 β 、 γ 採樣點之高度、 ^{14}C 年代及可能上升速率

位置	高度 A (m)	年代 T (yr)	海平面校正* E (m)	最小上升速率 (mm/yr)
α	35	44900 ± 1400	-40	1.6
β	25	36700 ± 600	-40	1.7
γ	20	30900 ± 300	-40	1.9

*: 根據 Moore (1982)

時平均海水面比現今低了40公尺左右；根據上述最小平均上升速率的推算法，可求得本研究區域之最小上升速率約在1.6 mm/yr~1.9 mm/yr左右(表九)。Peng等人(1977)依據隆起珊瑚礁及部分貝殼標本之 ^{14}C 定年結果，推算全新世早期(九千年前)以來，臺灣各區之最小平均上升速率分別為：恆春半島5.3mm/yr，臺南地區4.3mm/yr，東海岸地區5.0mm/yr，以及北海岸地區的5.3mm/yr。比較以上兩時期的上升速率推知，應有顯著之構造上升運動發生在過港貝化石層沈積之後。

四、結 論

- 一、過港貝化石層內軟體動物化石的保存度極佳。從其殼表清晰的紋路及有兩瓣相連的二枚貝出現，證明它們為原生化石。經由碳、氧同位素分析的結果顯示它們並未與天水反應過。分析 *P. byoritsuensis* 生長紋的氧同位素，仍保有季節性的溫度變化。經X光繞射的結果顯示，這些軟體動物化石標本並未發生再結晶作用。
- 二、本研究之軟體動物化石碳、氧同位素分析的結果，與Keith 等人 (1964, 1965) 的研究比對，說明本研究之軟體動物化石，過去是生活在開放性海洋的生態環境。
- 三、比較化石和臺灣南、北兩區現生貝類標本的碳、氧同位素，化石標本顯示著較重的氧同位素和較輕的碳同位素組成，表示過港貝化石層內的軟體動物化石過去可能是生活在較冷的冰河期氣候環境。而經¹⁴C定年結果顯示過港貝化石層當時確正處於更新世最後一次冰期。由於¹⁴C定年結果與前人所認為之頭嵛山層之年代範圍並不相符，故本區之層位問題尚待進一步研究才能決定。
- 四、不論是化石或現生軟體動物，腹足類的碳、氧同位素分布範圍似乎都要較斧足類為廣，這可能是不同型態的生活方式所造成，如 *Nodilittorina pyramidalis* 能生活在較乾旱且有天水影響的環境；或者是種屬效應的因素所致，如 *Turritella kityoensis* 有異於其它一般種類之碳同位素的分化機制。
- 五、*M. lusoria*, *C. remies* 和 *P. byoritsuensis* 碳、氧同位素隨生長紋變化的研究結果可歸納如下：*M. lusoria* 是生活在淺海區

且靠近河口環境的貝類，它的生命期大約為六個月，而且是在夏天死亡。*C. remies* 可能是棲息在較深且穩定的水域，因氧同位素記錄變化的幅度很小，所以無法判斷它的生命持續多久。*P. byoritsuensis* 是生活在穩定的淺海底環境，或浮游在開放性海洋的表層海水中，生命期約為六至九個月，且在秋冬之時死亡。

參考文獻

中文部分

- 林朝榮，1963，臺灣之第四紀。臺灣文獻，15(1-2)：1-91。
- 胡忠恆，1987，臺灣北部十條地質實習考察路線沿線地質簡介--苗栗縣通霄鎮白沙屯地質簡介。國立臺灣師範大學地球科學系編。197頁。
- 陳信茂，1977，苗栗通霄地區貝類化石之研究。中國貝誌，4：63-78。
- 曾文陽，1974，本省貝類養殖大量斃死調查與研究。臺灣省水產試驗所試驗報告，24：25-34。
- 楊鴻禧、丁雲源，1988，臺灣西海岸重要雙殼貝生活史及漁場環境之調查。臺灣省水產試驗所試驗報告，45：61-81。
- 臺灣省水產試驗所1988年漁海況旬報，第433-467期。

英文部分：

- Abell, P.I., 1982, Palaeoclimates at Lake Turkana, Kenya, from oxygen isotope ratios of gastropod shells, *Nature*, 297: 321-323.
- Abell, P.I., 1985, Oxygen isotope ratios in modern African gastropod shells: a data base for paleoclimatology, *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 58: 183-193.
- Bianucci, G. and A. Longinelli, 1982, Biological behaviour and accretion rates of *Patella coerulea* L. as indicated by oxygen isotope measurements, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 37: 313-318.
- Broecker, W. S., 1982, Ocean chemistry during glacial time, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 46: 1689-1705.
- Buchardt, B., 1977, Oxygen isotope ratios from shell material from the Danish Middle Paleocene (Selandian) deposits and their interpretation as paleotemperature indicators, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 22: 209-230.
- Chinzei, K., H. Koike, T. Oba, Y. Matsushima, and H. Kitazato, 1987, Secular changes in the oxygen isotope ratios of mollusc shells during the Holocene of Central Japan. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 61: 155-166.
- Clayton, R.N., 1961, Oxygen isotope fractionation between calcium carbonate and water, *J. Chem. Phys.*, 34: 724-726.
- Craig, H., 1953, The geochemistry of the stable carbon isotopes, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 3: 53-92.
- Curtis, C.D. and D. Krinsley, 1965, The detection of minor diagenetic alteration in shell material, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 29: 71-84.
- Donner, J. and A.G. Nord, 1986, Carbon and oxygen stable isotope values in shells of *Mytilus edulis* and *Modiolus modiolus* from Holocene raised beaches at the outer coast of the Varanger Peninsula, north Norway, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 56: 35-50.
- Emiliani, C., 1955, Pleistocene temperatures, *J. Geol.*, 63: 538-578.
- Emiliani, C. and T. Mayeda, 1964, Oxygen isotopic analysis of

- some molluscan shells from fossil littoral deposits of Pleistocene age, *Am. J. Sci.*, 262: 107-113.
- Epstein, S., R. Buchsbaum, H. Lowenstam and H.C. Urey, 1951, Carbonate-water isotopic temperature scale, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 62: 417-426.
- Epstein, S. and H.A. Lowenstam, 1953, Temperature-shell-growth relations of recent and interglacial Pleistocene shoal-water biota from Bermuda, *J. Geol.* 61: 424-438.
- Epstein, S. and T. Mayeda, 1953, Variation of ^{18}O content of waters from natural sources, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 4: 213-224.
- Epstein, S., R. Buchsbaum, H.A. Lowenstam and H.C. Urey, 1953, Revised Carbonate-water isotopic temperature scale, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 64: 1315-1326.
- Erez, J., 1978, Vital effect on stable-isotope composition seen in foraminifera and coral skeletons, *Nature*, 273: 199-202.
- Fritz, P. and S. Poplawski, 1974, ^{18}O and ^{13}C in the shells of freshwater molluscs and their environments, *Earth and Planetary Science Letters*, 24: 91-98.
- Hoefs, J., 1980, *Stable Isotope Geochemistry*, Springer-Verlag, Berlin, 207pp.
- Jones, D.S., I. Thompson and W. Ambrose, 1978, Age and growth rate determinations for the Atlantic Surf Clam *Spisula solidissima* (Bivalvia: Mactracea), based on internal growth lines in shells cross-sections, *Marine Biology*, 47: 63-70.
- Jones, D.S., 1981, Annual growth increments in shells of *Spisula solidissima* record marine temperature variability, *Science*, 211: 165-167.
- Jones, D.S., D.F. Williams and C.S. Romanek, 1986, Life history of symbiont-bearing giant clams from stable isotope profiles. *Science*, 231: 46-48.
- Jones, D.S., D.F. Williams and H.J. Spero, 1988, More Light on photosymbiosis in fossil mollusks: the case of *Mercenaria tridacnoides*, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 64: 141-152.
- Keith, M.L., G.M. Anderson and R. Eichler, 1964, Carbon and oxygen isotopic composition of mollusk shells from marine and fresh-water environments, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 28: 1757-1786.

- Keith, M.L. and J.N. Weber, 1964, Carbon and oxygen isotopic compositions of selected limestones and fossils, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 28: 1787-1816.
- Keith, M.L. and R.H. Parker, 1965, Local variation of ^{13}C and ^{18}O content of mollusk shells and the relatively minor temperature effect in marginal marine environments, *Mar. Geol.*, 3: 115-129.
- Killingley, J.S. and W.H. Berger, 1979, Stable isotopes in a mollusk shell: Detection of upwelling event, *Science*, 205: 186-188.
- Killingley, J.S., 1981, Seasonality of mollusk collecting determined from O-18 profiles of midden shells, *American Antiquity*, 46: 152-158.
- Krantz, D.E., D.F. Williams and D.S. Jones, 1987, Ecological and paleoenvironmental information using stable isotope profiles from living and fossil molluscs, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 58: 249-266.
- Liew, P.M., 1988, Quaternary stratigraphy in western Taiwan: palynological correlation. *Proceedings of the Geol. Soc. China.*, 31(1): 169-180.
- Liu, K.K. and M.S. Chen, 1983, Calibration of Ho-Pin marble as a standard for carbon and oxygen isotope analysis, *Bull. Inst. Earth Sci., Academia Sinica*, 3: 191-200.
- Lloyd, R.M., 1964, Variations in the oxygen and carbon isotope ratios of Florida Bay Mollusks and their environmental significance, *J. Geol.*, 72: 84-111.
- Lowenstam, H.A., 1961, Mineralogy, $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$ ratios, and strontium and magnesium contents of recent and fossil brachiopods and their bearing on the history of the oceans, *J. Geol.*, 69: 241-260.
- McCrea, J.M., 1950, On the isotopic chemistry of carbonates and paleotemperature scale, *J. Chem. Phys.*, 18: 849-857.
- Moore, W.S., 1982, Late Pleistocene sea-level history, in: *Uranium Series Disequilibrium: Applications to Environmental Problems*, M. Ivanovich and R.S. Harmon, ed., Clarendon Press, Oxford, 481-495.
- Park, R. and S. Epstein, 1960, Carbon isotope fractionation during photosynthesis, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 21: 110-126.

- Peng, T.H., Y.H. Li and F.T. Wu, 1977, Tectonic uplift rates of the Taiwan Island since the Early Holocene, *Mem. Geol. Soc. China.*, 2: 57-69.
- Pilkey, O.H. and H.G. Goodell, 1964, Comparison of the composition of fossil and recent mollusk shells, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 75: 217-228.
- Schifano, G. and P. Censi, 1983, Oxygen isotope composition and rate of growth of *Patella coerulea*, *Monodonta turbinata* and *M. articulata* shells from the western coast of Sicily, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 42: 305-311.
- Schifano, G., 1983, Allometric growth as influenced by environmental temperature in *Monodonta turbinata* shells, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 44: 215-222.
- Shackleton, N.J., 1973, Oxygen isotope analysis as a means of determining season of occupation of prehistoric midden sites, *Archaeometry*, 15: 133-141.
- Shackleton, N.J. and N.D. Opdyke, 1973, Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10^5 year and 10^6 year scale, *Quat. Res.*, 3: 39-55.
- Shackleton, N.J. and N.D. Opdyke, 1976, Oxygen-isotope and paleomagnetic stratigraphy of Pacific core V28-239 Late Pliocene to Latest Pleistocene, *Geol. Soc. Am., Memoir* 145: 449-464.
- Shackleton, N.J., M.A. Hall, J. Line and Cang Shuxi, 1983, Carbon isotope data in core V19-30 confirm reduced carbon dioxide concentration in the ice age atmosphere, *Nature*, 306: 319-322.
- Stevens, K.F. and P. Vella, 1981, Palaeoclimatic interpretation of stable isotope ratios in molluscan fossils from Middle Pleistocene marine strata, Wanganui, New Zealand, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 34: 257-265.
- Taira, K., 1976, Oxygen isotope analysis of mollusc shells from Pleistocene littoral deposits in Japan, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 19: 139-145.
- Tourtelot, H.A. and R.O. Rye, 1969, Distribution of oxygen and carbon isotopes in fossils of Late Cretaceous age, Western interior region of North America, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 80: 1903-1922.

Urey, H.C., 1947, The thermodynamic properties of isotopic substances, J. Chem. Soc., 1947: 562-581.

Wang, C.H. and H.W. Yeh, 1984, The Quaternary oxygen isotope records in marine sediments, Geol. Soc. China Mem., 6: 281-293.

附 錄

過港貝化石層內軟體動物化石標本

標 本	學 名
5-1-A(右)	<i>Pecten(Vola) byoritsuensis</i> Nomura
5-1-A(左)	<i>Pecten(Vola) byoritsuensis</i> Nomura
5-1-B	<i>Pecten(Mimachamys) satoi</i> Nomura
5-1-C	?
5-1-D	<i>Gemmula oxytiopsis</i> (Somerby)
5-1-E	<i>Turritella kityoensis</i> Nomura
5-1-H	<i>Crossolellites loebbeckei</i> (Kobelt)
5-1-K	<i>Anisocarbula scaphoides</i> (Hinds)
5-1-L	<i>Venericardia crenulicostata</i> Nomura
5-2-A(右)	<i>Pecten(Vola) byoritsuensis</i> Nomura
5-2-A(左)	<i>Pecten(Vola) byoritsuensis</i> Nomura
5-2-B	<i>Niothe gemmulatus</i> (Lamarck)
5-2-C	<i>Turritella kityoensis</i> Nomura
5-2-D	<i>Gemmula granosa</i> (Hebling)
5-2-E	<i>Gemmula oxytiopsis</i> (Somerby)
5-3-A	<i>Turritella kityoensis</i> Nomura
5-3-B	<i>Pecten(Vola) byoritsuensis</i> Nomura
9-A	<i>Turritella kityoensis</i> Nomura
9-B	<i>Gemmula oxytiopsis</i> (Somerby)
9-C	<i>Crossolellites loebbeckei</i> (Kobelt)
9-D	<i>Nassarius clathratus</i> (Lamarck)
9-E	<i>Venus(Chione) taiwanensis</i> Nomura
9-F	<i>Architectonica maxima</i> (Philippi)
9-G	<i>Nassi(Hima) fraterculus</i> Dunker
9-H	<i>Nassarius clathratus</i> (Lamarck)
9-I	<i>Pollia obliquicostata</i> (Reene)
11-A	<i>Arca sokeishiensis</i> Nomura
11-B	<i>Cymatium sinense</i> (Reeve)
11-C	<i>Pecten subsquamatus</i> Nomura
11-D	<i>Cardium(Trachycardium) unicolor</i> (Sowerby)
11-E	<i>Trisides(Epistris) semitorta</i> (Lamarck)
11-F	<i>Turris figrinaefermis</i> Nomura
11-G	<i>Natica rufa</i> Born
11-K	<i>Dentalium sexostatum</i>
11-L	<i>Dentalium(Fissidentalium) byoritsuensis</i>
11-M	<i>Gemmula oxytiopsis</i> (Somerby)
11-N	<i>Inquisitor jeffreysi</i> (Smith)
11-O	<i>Murex(murex) rarispina</i> Lamarck
11-R	<i>Crossolellites loebbeckei</i> (Kobelt)
11-S	<i>Gemmula granosa</i> (Hebling)
11-T	<i>Turritella kityoensis</i> Nomura

各區現生軟體動物

標本	學名
HS-1	<i>Meretrix lamarcki</i> Deshayes
HS-2	<i>Lioconcha castrensis</i> (Linne)
HS-3	<i>Mactra veneriformis</i> Reeve
DS-1	<i>Chlorostoma argyrostoma turbinata</i> (A.Adams)
DS-2	<i>Nerita (Theliostyla) albicilla</i> (Linnaeus)
B-1	<i>Lunella granulata</i> (Gmelin)
B-3	<i>Monodonta labio</i> (Linnaeus)
B-4	<i>Nerita albicilla</i> (Linnaeus)
B-5	<i>Nerita chamaeleon</i> (Linnaeus)
B-6	<i>Thais clavigern</i> (Kuster)
B-7	<i>Ruditapes philippinarum</i> (Adams & Reeve)
C-1	<i>Nerita costata</i> Gmelin
C-3	<i>Nerita undata</i> Linnaeus
C-4	<i>Nodilittorina pyramidalis</i>
E-1	<i>Periglypta reticulata</i> Linnaeus
E-3	<i>Nerita undata</i> Linnaeus
K-1	<i>Periglypta reticulata</i> Linnaeus
K-2	<i>Harpa</i> sp.
K-3	<i>Glycymeris reevei</i> (Mayer)
K-4	<i>Latirus turritus</i> (Gmelin)
K-5	<i>Tridacna maxima</i> (Reeding)
K-6	<i>Trochus stelluris</i> Gmelin
K-8	<i>Barbatia lima</i> (Reeve)
K-9	<i>Barbatia bicolorata</i> (Dillwyn)
L-3	<i>Drupa morum</i> Roeding
L-4	?
L-5	<i>Thais clavigera</i> (Kuster)
L-6	<i>Trochus maculatus</i> Linnaeus
L-8	<i>Mitra (strigatella) scutulata</i> Gmelin
L-9	<i>Nerita undata</i> Linnaeus
L-10	<i>Mitra zebra</i>
S-2	<i>Mitra zebra</i>
S-3	<i>Thais aculeata</i> Deshayes
S-4	<i>Morula granulata</i> (Duclos)
W-2	<i>Nerita costata</i> Gmelin
W-3	<i>Drupa ricinus</i> (Linnaeus)
W-4	<i>Thais echinata</i> (Blainville)
W-5	<i>Nodilittorina pyramidalis</i>
W-6	<i>Drupa vicinus</i> (Linnaeus)
W-7	<i>Cantharus undosus</i> (Linnaeus)

HS: 新竹; DS: 淡水; B: 白沙屯; K: 墾丁; S: 白沙;

C: 佳樂水; E: 鵝鑾鼻; W: 萬里桐; L: 檳榔腳。

圖版一說明

A. α 採樣點及化石出露圖

B. α 採樣點之 *Pecten byoritsuensis* Nomura 富集帶

圖版一



A



B

圖版二

第四 三期圖



A



B

圖版三



A



B

圖版二 說明

- A. β 採樣點及化石出露圖
- B. 在 β 採樣點出露之 *Pecten byoritsuensis* Nomura,
保持原生位置的產狀。

圖版三 說明

- A. γ 採樣點及化石出露圖
- B. 在 γ 採樣點出露之化石，保持原生位置的產狀，其中
1. *Niothe gemmulatus* (Lamarck)
 2. *Crossolellites loebbeckei* (Kobelt)
 3. *Pecten byoritsuensis* Nomura

圖版四 說明

斧足類化石

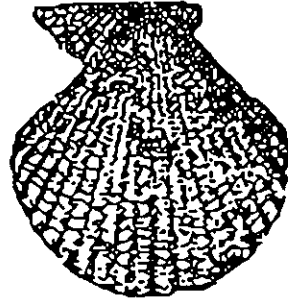
1. *Anisocarbula scaphoides* (Hinds)
2. *Pecten subsquamatus* Nomura
3. *Pecten byoritsuensis* Nomura (左殼)
4. *Pecten byoritsuensis* Nomura (右殼)
5. *Arca sokeishiensis* Nomura
6. *Venericardia crenulicosata* Nomura

(翻繪自胡, 1987)

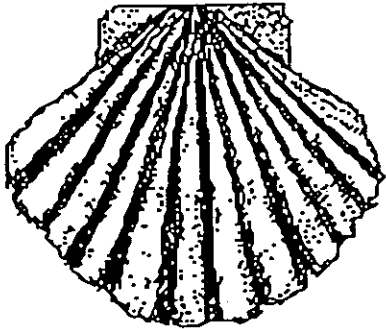
圖版四 斧足類化石標本



1



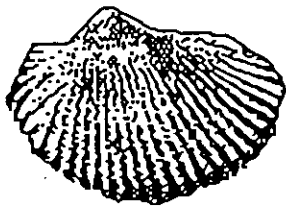
2



3



4



5



6

圖版五 說明

腹足類化石

1. *Turris figrinaefermis* Nomura
2. *Turritella kityoensis* Nomura
3. *Gemmula granosa* (Hebling)
4. *Mitra flammea* Quoy
5. *Pollicia obliquicostata* Reene
6. *Inquisitor clathratus* (Smith)
7. *Turcica corensis* Pease
8. *Natica rufa* Born
9. *Gemmula oxytiopsis* (Somerby)
10. *Cymatium sinense* (Reene)
11. *Niothe gemmulatus* (Lamarck)
12. *Nassarius clathyatus* (Lamarck)

(翻繪自胡, 1987)

圖版五 腹足類化石標本

