

동해의 부유성, 저서성 유공충을 이용한 종 다양성 연구

Study of East Sea planktonic and benthic
foraminifera species diversity

1997. 12

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “동해의 부유성, 저서성 유공충을 이용한 종 다양성 연구” 의 보고서로 제출합니다.

1997. 12월

연구책임자: 신임철

연구원: 한상준, 이희일, 신동혁, 석봉출

요약문

I. 제목

동해의 부유성, 저서성 유공충을 이용한 종 다양성 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 동해의 풀리지 않은 문제들 중 (1) Subarctic Front Zone 이 한반도 기후에 미친 영향, (2) 탄산염 보상심도의 깊이 변화, (3) 종 다양성에 미치는 환경변수 등이 있다. 이를 위해 코어에서 채취한 시료의 유공충 연구는 위의 문제를 풀 수 있는 중요한 정보를 담고 있다. 동해의 역사를 살펴보면 과거 빙하기, 간빙기 중 Subarctic Front Zone 의 이동 (shift) 은 한반도의 기후 및 환경에 직접적인 영향을 준다. 유공충 종을 사용하여 Subarctic Front Zone 의 shift 정도를 연구하며 예측하는 일은 중요하다. 탄산염 보상심도 또한 Subarctic Front Zone 의 shift 와 직접적인 관계가 있다. 사질 및 탄산염질 유공충의 존재여부로서 현재 및 과거의 탄산염 보상심도의 깊이변화를 연구할 수 있다.

종 다양성 또한 환경변화에 민감하게 반응한다. 현재 종 다양성의 변화에 미치는 환경변수들은 온도, 염도, 수괴, 해저지형, 포식, 경쟁, 용해, 퇴적물조성 등이 있다. 하지만 환경변화 (폐기물)가 종 다양성에 직접적인 영향을 미친다는 최근 몇 편의 연구들의 보고가 되고 있다.

본 연구의 목적은 코어에서 수집한 시료의 유공충에 관한 종 다양성을 연구 하므로써 종 다양성이 환경변화에 어떻게 반응하는지를 연구하기 위함이다. 또한 본 연구에서 수집한 자료 는 미래에 위에 언급한 동해의 Subarctic Front Zone 의 이동 및 탄산염 보상심도 깊이 변화에 대한 기초자료를 제공 할 것이다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

동해의 종 다양성을 이용한 환경변화에 관한 연구는 현재까지는 한국에는 없다. 특히 종 다양성 지수가 해양에 버린 폐기물에 어떻게 반응하는지에 관한 연구는 국내에는 없을뿐더러 국외에서도 최근에

몇 편의 논문이 보고된 초보단계의 미래에 각광받을 연구 분야이다.

본 연구과제의 표층 및 코어 퇴적물에서 수행한 연구의
중요범위와 내용은 다음과 같다.

- (1) 표층 퇴적물의 조립질 퇴적물의 함량
- (2) 표층 퇴적물 10g 에 함유된 저서성 유공충의 수
- (3) 표층 퇴적물 10g 에 함유된 사질 유공충의 수
- (4) 표층 퇴적물 10g 에 함유된 부유성 유공충의 수
- (5) 표층 퇴적물 10 g 에 함유된 총 유공충 (부유성+저서성)의 수
- (6) 표층 퇴적물에 함유된 깨어진 유공충의 상대적인 수
- (7) 표층 퇴적물에 함유된 부유성/저서성 유공충의 비율
- (8) 표층 퇴적물10g 에 함유된 부유성 유공충 *Globorotalia menardii* 의
수
- (9) 표층 퇴적물에 함유된 저서성 유공충의 종 다양성 [S, H(S), E]
- (10) 코어에 함유된 조립질 퇴적물의 상대적인 양 (%), 깨어진
부유성 유공충의 상대적인 양 (%), 부유성/저서성 유공충의
비율 (%), 퇴적물 10g 에 함유된 저서성, 사질, 부유성 및 총
유공충 의 수
- (11) 퇴적물 100g 에 함유된 부유성 유공충 *Globorotalia menardii* 의 수
- (12) 코어 퇴적물에 함유된 저서성 유공충의 종 다양성 지수 [S,
H(S), E]
- (13) 표층 및 코어 퇴적물에 함유된 저서성 유공충의 종류 및
그들의 상대적인 양 (%)

IV. 연구개발 결과

유공층의 종 다양성 지수 [S, H(S), E], 부유성 및 저서성 유공층의 수는 해양 투기장 해역 및 인근 지역에서 차이를 보인다. B, B' 해양투기장 해역에서는 유공층 종의 수가 적게 나오며 조립질 퇴적물, 저서성 및 부유성 유공층의 수 또한 주변해역에 비해 낮은 값을 보인다. J' 투기장 해역에는 인근의 다른 지역과는 다르게 비정상 적으로 매우 많은 저서성 (약 300,000 개체 /10 g dried sediment) 및 부유성 (약 300,000 개체/10 g dried sediment) 유공층이 나타난다. 이러한 이유는 아마도 해역에 버린 폐기물이 영양분의 역할을 했을 가능성도 있다. J 해역은 B, B' 해역과 마찬가지로 다른 해역과 비교해 상대적으로 낮은 종 다양성 지수 [S, H(S)]를 보인다. 또한 J 해역의 코어 퇴적물에서는 저서성 유공층의 수가 표층에서 코어 하부로 갈수록 감소한다. 이러한 사실들은 J 해역이 stress를 받고있는 환경임을 의미한다. J', J2 및 J6 해역에는 매우 높은 종 다양성 지수 [S, H(S)]를 보이는데 이는 이러한 해역이 매우 안정된 (stable) 환경임을 의미한다. 본 투기장 해역 및 인근해역에서 병 (biological disease) 에 걸린 유공층 이나 stress가 극심한 환경에 나타나는 이상 (abnormal) chamber를 가진 유공층은 현재까지는 발견되지 않는다.

본 연구지역에서 B 지역을 제외한 6 개의 표층 퇴적물 모든 지역에서 깨어진 부유성 유공층의 비율은 매우 낮은 값을 보이며 부유성/저서성 유공층의 비는 일정한 값을 보인다. 이는 투기장 해역에 버린 폐기물의 유기물 분해 (organic matter decay) 가 저층수를 부식성이 강하게 하지 않았음을 의미한다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

이 연구결과는 여러 가지 활용계획에 응용될 수 있다. 우선적으로 동해의 해양투기장 해역에 버린 폐기물이 미래에 환경, 특히 부유 및 저서생물에 어떤 영향을 미쳤는지를 알고자 할 때 본 연구 자료와 미래에 구할 연구자료를 비교하므로써 보다 정확한 결론을 유추해 낼 수 있다.

두 번째로 본 연구에서 구한 종다양성 [S, H(S) E]의 값은 앞으로 동해를 포함한 한국인근 해역 (서해, 남해) 및 동중국해에서 미래에 연구된다면 이러한 지역들의 수괴 및 환경의 안정성을 서로 비교 평가하는데 중요한 자료가 될 것이다.

세 번째로 이 연구결과는 해양물리, 해양지질, 해양화학, 해양생물 분야에 응용될 수 있다. 종 다양성이 환경 및 수괴의 특성 (수온, 염도, 용존 산소의 양), 해저지형, 퇴적물의 종류, 경쟁, 포식, 영양분, 생산성 등에 의 해 영향을 받는다고 알려져 있는 점을 감안할 때 미래의 종 다양성 연구는 해양의 역사를 종합적으로 이해하는데 커다란 기여를 할 것이다.

네 번째로 이 연구결과는 전 세계적으로 추진 수행되고있는 과거 지구환경 변화 연구 (Past Global Changes: PAGES) 의 프로그램에 직접 활용될 수 있다.

또한 이 연구결과는 제4기의 고기후, 퇴적학, 고해수면 및 표층수, 저층수의 특성을 연구하는 고해양 연구에 중요한 정보를 제공할 것이다.

SUMMARY

I. Title

Study of the East Sea planktonic and benthic foraminifera species diversity

II. Significance and Objectives

There are several unsolved problems in the East Sea. These are: (1) the impact of Subarctic Front Zone on the climatic changes, (2) the depth changes of the calcium carbonate compensation (CCD) depth, and (3) the controlling environmental variables of species diversity. The shifts of the Subarctic Front Zone and the CCD depths changes during the glacial and interglacial periods affect the climatic and environmental changes in the Korean Peninsula. The study of foraminifera from the surface and core sediments will help to solve these unsolved problems.

The species diversity of foraminifera respond very sensitively to the climatic and environmental changes. The controlling factors for the species diversity are temperature, salinity, water masses, predation, competition, carbonate dissolution, sediment composition. However, several papers report the environmental changes due to the waste disposal affect the species diversity distribution patterns of foraminifera.

The purpose of this paper is to investigate the environmental changes of the waste disposal areas in the East Sea by use of the species diversity distribution patterns and the absolute and relative abundances of planktonic and benthic foraminifera.

III. The scope of the study planning

There is no study of the environmental changes by the species diversity distribution patterns of foraminifera in Korea. Moreover, there is no study of the environmental impact of the waste disposal dumped in the ocean on the species diversity of foraminifera. Only a few papers reported that the environmental impact of waste disposal to the foraminifera species diversity in the foreign countries. Therefore, the study of species diversity is a promising area to evaluate the environmental changes due to the waste disposal dumped in the ocean or rivers in the very near future, or even at the present time.

The following data are collected from the surface and core sediments to evaluate the environmental impact of waste disposal dumped in the East Sea.

- (1) Coarse fraction content from the surface sediment in each box core,
- (2) Number of benthic foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core,
- (3) Number of arenaceous foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core,
- (4) Number of planktonic foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core,
- (5) Number of planktonic plus benthic foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core,
- (6) Relative abundances of broken planktonic foraminifera from the surface sediment in each box core,
- (7) Planktonic/benthic foraminifera ratio from the surface sediment in

- each box core,
- (8) Number of planktonic foraminifera *Globorotalia menardii* in the 10 grams of dried surface sediment in each box core,
 - (9) Species diversity indices [S, H(S), E] from the surface sediment in each box core,
 - (10) Downcore distribution patterns of coarse fraction (%), relative abundances of broken planktonic foraminifera (%), planktonic/benthic foraminifera ratio (%), number of benthic, arenaceous, planktonic, planktonic plus benthic foraminifera in the 10 grams of dried sediment, and the number of planktonic foraminifera *G. menardii* in the 100 grams of dried sediment in the box core J,
 - (12) The benthic foraminifera species diversity indices from the core sediment, and
 - (13) The benthic foraminifera identification and their relative abundances (%) from the surface and core sediment.

IV. Results

The species diversity indices [S, H(S), E] of foraminifera and the total number of foraminifera show significant differences in the ocean waste disposal areas and in the adjacent areas of the waste disposal areas. Ocean waste disposal areas B and B' show not only smaller number of foraminifera species but also lower values of coarse fraction content in the sediment and the number of benthic and planktonic foraminifera than the surrounding areas. Ocean disposal area

J' contains abnormally greater number of planktonic foraminifera (approximately 300,000 individuals/10g dried sediment) and benthic foraminifera (approximately 300,000 individuals/10g dried sediment) compared to those of the adjacent areas. The waste dumped at Station J' probably acts as a nutrient causing the greater number of foraminifera. Station J contains low species diversity indices [S, H(S)]. The number of benthic foraminifera decreases from the surface to the downcore at the Station J. These indicate that Station J is under stress. However, Stations J', J2, and J6 are under the stable conditions as evidenced by the greater species diversity indices [S, H(S)] compared to other stations. No foraminifera found with biological disease or foraminifera with abnormal chambers, which commonly occur in extremely stressed environment, at both the ocean disposal and adjacent areas.

All six stations, except Station B, contain lower ratios of broken planktonic foraminifera and constant planktonic/benthic foraminifera ratios. These indicate that the organic matter decay caused by wastes dumped at the study areas does not make the corrosive bottom water conditions.

V. Usefulness of the results

The results from this study can be used in various disciplines. Firstly, the results and data from this study will provide valuable informations to predict more accurately that the environmental impact of

dumped wastes on the oceanic biosphere. Secondly, the species diversity indices collected from this study can be applied to other areas (Yellow Sea, South Sea of Korea, and East China Sea) to investigate the differences and similarities, and stabilities of water masses. Thirdly, the results from this study can be applied to the physical, geological, chemical, and biological oceanography because the species diversity indices are affected by the characteristics of the water masses (temperature, salinity, and dissolved oxygen), bottom topography, sediment composition, competition, predation, nutrient, and productivity. Fourthly, this study directly applied to the PAGES (Past Global Changes) Program which has hot attention to the internationally at the present time. Furthermore, the results from this study will provide valuable informations in the areas of Quaternary paleoclimatology, sedimentology, paleo sea-level, and paleoceanography.

목 차

| | |
|-----------------------|----|
| 제출문 | 1 |
| 요약문 | 3 |
| SUMMARY | 7 |
| 목 차 | 13 |
| Contents | 15 |
| List of Figures | 17 |
| List of Tables | 19 |
| 서 론 | 21 |
| 재료 및 방법 | 22 |
| 결 과 | 24 |
| 표층 퇴적물 | 24 |
| 코어 퇴적물 | 26 |
| 토 의 | 27 |
| 표층 퇴적물 | 27 |
| 종 다양성 | 33 |
| 코어 퇴적물 | 35 |
| 결 론 | 39 |
| 표층퇴적물 | 39 |
| 코어 퇴적물 | 40 |
| 참고문헌 | 42 |

CONTENTS

| | |
|----------------------------|----|
| Summary | 7 |
| Contents | 15 |
| List of Figures | 17 |
| List of Tables | 19 |
| INTRODUCTION | 21 |
| MATERIALS AND METHOD | 22 |
| RESULTS | 24 |
| Surface Sediments | 24 |
| Core Sediments | 26 |
| DISCUSSION | 27 |
| Surface Sediments | 27 |
| Species Diversity | 33 |
| Core Sediments | 35 |
| CONCLUSIONS | 39 |
| Surface Sediments | 39 |
| Core Sediments | 40 |
| REFERENCES | 42 |

LIST OF FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1. Location map of the box core site. | 53 |
| Figure 2. Coarse fraction content from the surface sediment in each box core. | 54 |
| Figure 3. Number of benthic foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core. | 55 |
| Figure 4. Number of arenaceous foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core. | 56 |
| Figure 5. Number of planktonic foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core. | 57 |
| Figure 6. Number of planktonic plus benthic foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core. | 58 |
| Figure 7. Relative abundances of broken planktonic foraminifera from the surface sediment in each box core. | 59 |
| Figure 8. Planktonic/benthic foraminifera ratio from the surface sediment in each box core. | 60 |
| Figure 9. Number of planktonic foraminifera <i>Globorotalia menardii</i> in the 10 grams of dried surface sediment in each box core. | 61 |
| Figure 10. Species diversity indices [S, H(S), E] from the surface sediment in each box core. | 62 |
| Figure 11. Downcore distribution patterns of various environmental parameters in the core core B | 63 |
| Figure 12. Downcore distribution patterns of various environmental parameters in the core core J | 64 |

Figure 12. continued. 65

Figure 13. Number of species in the box core B at the surface, 10-11
cm, 20-21 cm, and 30-31 cm downcore depth. 66

Figure 14. Species diversity indices [S, H(S), E] in the box core
J at the surface and 10-11 cm downcore depth 67

LIST OF TABLES

| | |
|--|----|
| Table 1. Locations, water depths, years collected, and lengths of cores. | 71 |
| Table 2. Benthic foraminifera species list and percentage data | 72 |
| Table 2. continued. | 73 |
| Table 3. Various environmental parameters for each core | 74 |
| Table 4. Downcore values of various environmental parameters for core B | 75 |
| Table 5. Downcore values of various environmental parameters for core J | 76 |

서론

본 연구의 목적은 동해의 해양투기장 해역 및 인근 해역 (Fig. 1)에서의 해양 폐기물이 유공충의 분포에 미치는 영향을 조사하기 위함이다. 유공충은 동물성 플랑크톤의 일종으로서 전 해양에 걸쳐서 풍부히 나타나며 환경에 민감하게 영향을 받기 때문에 해양 폐기물이 환경에 미친 영향을 평가하는데 아주 유용하게 사용되어질 수 있다. 유공충은 부유성 (planktonic) 및 저서성 (benthic) 이 있다. 부유성 유공충은 일반적으로 물 표면에서부터 약 200 m 깊이에 살기 때문에 표층수의 환경을 연구하는데 아주 좋은 장점을 가지고 있다. 반면에 저서성 유공충은 탄산염 보상심도 (calcium carbonate compensation depth) 보다 얕은 해저에 풍부히 서식하므로 저 층의 해양환경을 연구하는데 많은 장점을 가지고 있다.

유공충 각은 탄산칼슘 (calcium carbonate) 으로 구성되어있다. 하지만 어떤 저서성 유공충은 주변에 있는 외부물질 (foreign material) 인 탄산칼슘이나 실리카 (silica)를 각에 붙여 사는데 이를 사질 유공충 (arenaceous foraminifera) 이라 부른다.

유공충은 다음의 해양 역사를 연구하는데 광범위하게 사용되어왔다: (1) 표층수 및 저층수 의 흐름, (2) 생태학 및 동물지리학, (3) 고해양학, (4) 고기후학, (5) 해양지질학, (6) 석유지질학. 하지만 최근에 오염물질이 환경에 미친 영향을 평가하는데 유공충이 사용되기도 한다 (Bates and Spencer, 1979; Ellison et al., 1986; Reinhardt et al., 1994; Yanko et al., 1994; Alve, 1991, 1995; Bresler and Yanko, 1995; Collins et al., 1995; Culver and Buzas, 1995; Hallock et al., 1995; Schafer et al., 1995; Scott et al., 1995; Sloan, 1995).

재료 및 방법

총 7 개의 box core 가 해양 투기장 해역 (B, B', J, J') 및 인근 지역 (J2, J6, H) 에서 1997 년 3 월 및 9 월 에 채집되었다 (Table 1 and Fig. 1). 각 core 의 위치, 수심, 길이가 Table 1 에 있다. B 및 B' 해역은 포항동방 약 125km 공해 상에 위치해있으며 J 및 J' 해역은 부산동방 약 90km 공해 상에 위치해있다 (한국해양연구소, 1996).

모든 정점의 표층 퇴적물 (0-1 cm)에서 다음에 열거한 data 가 수집되었다.

- (1) 저서성 유공충의 종
- (2) 조립질 퇴적물 (coarse fraction) 의 상대적인 양 (%)
- (3) 건조시료 10 g 에 함유된 저서성, 부유성, 사질 유공충의 수
- (4) 깨어진 부유성 유공충 (broken planktonic foraminifera) 의 상대적인 양 (%)
- (5) 부유성 및 저서성 유공충의 비율 (planktonic/benthic foraminifera ratio) (%)
- (6) 건조시료 10 g 에 함유된 부유성 유공충 *Globorotalia menardii* 의 수
- (7) 종 다양성

이 이외에도 정점 B의 10-11 cm, 20-21 cm, 30-31 cm 그리고 정점 J 의 10-11 cm 에 함유된 저서성 유공충이 감별되었다 (Table 2). 조립질 퇴적물 의 상대적인 양을 구하기 위해 일정양 의 젖은 시료를 60° C oven 에 약 48 시간 건조시킨 후 무게를 재었다. 그리고 건조된 시료를 63 μ m sieve 하에서 썰은후 63 μ m 보다 입자가 큰 퇴적물을 oven에 말린 후 무게를 재었다. 63 μ m 보다 입자가 큰 퇴적물 의 무게를 sieve 하기전 의 건조시료 무게로 나눈 후 100을 곱한 값이 조립질 퇴적물

의 상대적인 양이다.

퇴적물 에 함유된 유공충의 연구를 위하여 약 10-30 g 의 건조된 시료를 63 μm sieve 하에서 씻은후 Otto Microsplitter를 사용하여 저서성 유공충이 300 개체가 될 때까지 split 하여 유공충을 동정 한후 각종의 상대적인 양 (%)을 계산하였다. 각종의 상대적인 양은 Table 2 에 있다. 부유성/저서성 유공충의 비율을 구하기 위해 퇴적물 에 함유된 유공충 100 개체를 count 했다.

깨어진 부유성 유공충의 상대적인 양은 150 μm 큰 size fraction 의 퇴적물을 사용했으며 150 μm 보다 큰 size fraction을 사용한 이유는 깨어진 유공충의 duplicate counting을 피하기 위함이다. 부유성 유공충 *Globorotalia menardii* 는 일반적으로 size 가 250 μm 보다 크므로 퇴적물을 250 μm sieve를 사용하여 sieve 한후 관찰하였다.

종다양성 지수에는 3 가지종류가 있다: (1) Simple Species Diversity (S), (2) Shannon-Wiener Information Function [H(S)], Equitability (E). Simple Species Diversity 는 각 시료당 유공충 300 개체속에서 나오는 종의 수이다. Shannon-Wiener Information Function [H(S)] 은 $H(S) = -\sum P_i \times \ln P_i$ 로 정의된다. 여기서 S 는 시료 속에 있는 유공충의 수이며 P_i 는 시료 속에 있는 ith 종 의 proportion 이다. 본 Information Function 의 장점은 sample size (퇴적물 의 양) 의 영향을 거의 받지 않으며 extremely abundant 하거나 rare 한 종 에 의해서도 거의 영향을 받지 않고 commonly 나타나는 종에 의해서 영향을 받는다 (Gibson and Buzas, 1973). 이론적으로 최대의 H(S) 값은 모든종 이 골고루 분포할 때 나타난다. Equitability (E) 는 $E = e^{H(S)}/S$ 로 정의되며 H(S) 는 Shannon-Wiener Information Function 이며 S 는 시료당 들어있는 유공충의 종의 수이다 (Buzas and Gibson, 1969; Gibson and

Buzas, 1973). E 값은 항상 1 보다 작으며 시료에 있는 유공충이 complete equitability 상태에서 어느 정도 떨어져 있는지를 측정한다. 모든 종이 균일하게 (equally) 분포되었을 때 E=1.0 이다. E 값이 적음은 유공충 종이 균일하게 분포되어 있지 않음을 의미한다.

결과

표층 퇴적물

조립질 퇴적물의 양은 수심이 제일 깊은 (1,500 m) B core에서 가장 적은 값 (0.08 %)을 보인다. B core 는 유공충 이외에 이매패 (bivalve), 석영, 패충아강 (ostracode), 방산충아강 (radiolaria), 규조류 (diatom), sponge spicules을 함유하고 있다. 조립질 퇴적물의 최대 값은 (94.12 %) H core에서 나타난다. H core 는 많은 양의 석영 및 sponge spicule을 함유하고 있다. B' core 에서는 이매패류 조각 및 식물 (plant) 조각들이 나타난다. J 및 J' core 에서는 석영, 패충아강, sponge spicule 이매패류 조각 등이 나타난다. J2 core 에서는 패충아강류, 석영, 이매패류, J6 core 에서는 석영, sponge spicule 등이 나타난다. 해양 투기장 내의 4 개의 core (B, B', J, J')에서는 J' core (44.11 %) 를 제외하고는 낮은 조립질 퇴적물의 양을 보인다. 해양 투기장 내에서 조립질 퇴적물의 양은 B B' J J' core 로 갈수록 (즉 수심이 얕아 질수록) 증가한다 (Table 1 and Fig. 2).

전조시료 10 g 당 들어있는 저서성 유공충의 수는 수심이 제일 깊은 B core에서 가장 적게 (460 개체) 나타나며 J' core에서 가장 많이 나타난다 (약 300,000 개체) (Table 3 and Fig. 3). J2 (약 70,000 개체) 및 J6 (약 30,000 개체) core 에서도 비교적 많은 양의 유공충이 나타난다

(Table 3 and Fig. 3).

건조시료 10 g 당 들어있는 사질 유공충의 수는 J2 core에서 가장 많이 나타난다 (772 개체). 수심이 제일 깊은 B core 에서도 상대적으로 많은 수 (134 개체) 의 사질유공충이 나타난다 (Table 3 and Fig. 4). 해양투기장 해역인 B 및 B' core 에서는 사질유공충이 나타나며 J 및 J' core 에서는 나타나지 않는다 (Table 3 and Fig. 4).

건조시료 10 g 당 들어있는 부유성 유공충의 수는 J' core에서 최대치 (약 300,000 개체)를 보이며 B 및 B' core에서 최소치를 (약 300 개체) 보인다 (Table 3 and Fig. 5). 해양투기장 해역에서는 J' core를 제외하고는 소량의 부유성 유공충이 나타난다.

건조시료 10 g 당 들어있는 총 유공충 (저서성+부유성+사질) 의수는 J' core에서 가장 많이 (약 600,000 개체) 나타난다. 해양 투기장 해역인 B 및 B' core에서 가장 적은 수 (약 1,000 개체)의 유공충이 나타난다 (Table 3 and Fig. 6).

건조시료 10 g 당 들어있는 깨어진 부유성 유공충의 상대적 인 양은 모든 core에서 10 % 이하로 나타난다 (Table 3 and Fig. 7). B core 에서는 150 μ m 보다 큰 퇴적물에서 충분한 양의 부유성 유공충이 나오지 않으므로 깨어진 부유성 유공충을 count 하지 않았다.

부유성/저서성 유공충의 비율은 B 와 B' core를 제외한 다섯 개의 core (J, J', J2, J6, H)에서 각 core 당 약 50 % 정도 나타난다 (Table 3 and Fig. 8). B 및 B' 퇴적물에서는 충분한 양의 부유성, 저서성 유공충이 나타나지 않아 부유성/저서성 유공충의 비율을 계산할 수 없다.

건조시료 10 g 당 들어있는 부유성 유공충 *Globorotalia menardii* 는 J2 core에서 가장 많이 나타나며 (74 개체) B 및 B' core 에서는 나타나지 않는다. *Globorotalia menardii* 는 J 에서, J', J2 로 갈수록

증가하는 경향을 보인다 (Table 3 and Fig. 9).

저서성 유공충의 종의 수는 J2 core에서 가장 많이 나타나며 (42 종) H core 에서는 가장 적은 (25 종) 수가 나타난다 (Table 2 and Fig. 10). 투기장 해역인 B, B', J에서 일반적으로 낮은 종의 수가 나타난다. Shannon-Wiener Information Function [H(S)] 은 J6에서 가장 높은 값 (2.96)을 보이며 B, B', 및 H core에서 가장 낮은 값을 보인다. 투기장 해역에서는 비교적 낮은 H(S) 값을 보인다 (Table 2 and Fig. 10). Equitability (E) 값은 B' core에서 가장 낮은 (0.36) 값을 보이며 다른 core 들은 서로 비슷한 값 (0.44-0.50)을 보인다.

코어 퇴적물

B core에서 downcore 의 조립질 퇴적물 (coarse fraction) 의 양은 0-0.08 % 로 매우 적은 값을 보인다 (Table 4). 조립질 퇴적물 의 양은 코어 하부 (약 10 cm-33 cm) 가 상부 (0-10 cm) 보다 큰 값을 보인다 (Figure 11). 건조시료 10 g 당 들어있는 저서성 유공충의 수, 사질 유공충의 수, 및 총 유공충의 수는 퇴적물 표층에서 2 cm 까지 급격히 감소하며 2 cm에서 코어의 최하부 퇴적물까지는 매우 적은 수가 나타난다 (Table 4 and Fig. 11). 부유성 유공충의 수는 표층, 24 cm, 26 cm에서 많은 양이 나타난다.

J core에서 건조시료 10 g 당 들어있는 조립질 퇴적물, 저서성 유공충의 수, 및 깨어진 부유성 유공충의 수는 표층에서 코어의 퇴적물 최하 부로 갈수록 증가한다 (Table 5 and Fig. 12). 사질 유공충은 12 cm에서 건조시료 10 g 당 268 개체가 나오며 다른 코어 깊이 에서는 나타나지 않는다. 부유성 유공충, 총 유공충의 수 및 부유성 유공충 *Globorotalia menardii* 는 표층에서 10 cm 까지 증가하며 10 cm에서

퇴적물 하부로 갈수록 감소하는 경향을 보인다 (Fig. 12) B core에서 유공충 종의 수는 표층퇴적물에서 가장 많으며 J core에서는 표층 및 10-11 cm 깊이에서 큰 변화를 보이지 않는다 (Fig. 14).

토의

표층 퇴적물

조립질 퇴적물의 양은 탄산염 칼슘의 용해정도를 나타내는 지시자로 사용 할 수 있다 (Keir, 1980; Williams et al., 1985). 소량의 조립질 퇴적물은 용해 (dissolution)를 많이 받은 곳에서 나타난다 (Backman and Shackleton, 1983/1984; Williams et al., 1985). 본 연구지역에서 코어 B는 조립질 퇴적물의 양이 0.08 %이며 (Table 3 and Fig. 2) 이렇게 낮은 값은 수심이 깊은 관계로 (1,500 m) 인하여 탄산염 칼슘이 용해되었기 때문이다. 또한 저서성 유공충의 존재여부는 탄산염 보상심도 깊이 (calcium carbonate compensation depth) 및 용해비약수심 (lysocline)의 깊이를 나타낸다 (Kennett, 1982). 1,500 m 깊이인 코어 B에서 저서성 유공충이 건조시료 10 g 당 460 개체수가 나온다 (Table 3 and Fig. 2). 이는 다른 표층 퇴적물에 비해 상당히 적은 숫자이다.

그러므로 본 연구 지역에서 용해비약수심의 깊이는 약 1,500 m 근처에 위치해있다. 해양투기장 해역인 J, J'가 B, B'에 비해 조립질 퇴적물의 양이 많은데 이는 J, J'지역이 B, B'지역에 비해 수심이 낮기 때문이다.

단위 g 당 들어있는 저서성 유공충의 수는 물깊이가 깊어질수록 그리고 해안 가에서 멀어 질수록 증가한다 (Polski, 1959). 하지만 투기장 해역인 J'의 표층 퇴적물이 인근지역에 비해 상당히 많은 양의 저서성 유공충의 수를 함유하고 있다 (Table 3 and Fig. 3). 많은 수의 저서성

유공층은 clay-silt 함량이 높을 때 일반적으로 많이 나타난다 (Sen Gupta, 1979). 예를 들어 투기장 해역인 J, J'를 비교해보면, 두 지역은 수심이 비슷하며 J가 해안으로부터 멀리 떨어져있다 (Table 1 and Fig. 1). 하지만 J의 표층 퇴적물에서는 건조시료 10 g 당 약 8,000 개체의 저서성 유공충을 함유하고 있으며 J'에서는 J보다 약 40 배정도 높은 300,000 개체의 저서성 유공충을 함유하고 있다 (Table 3 and Fig. 3). Clay-silt 함량 또한 J가 훨씬 높게 나타난다; 즉 J의 표층 퇴적물의 조립질 퇴적물이 J'보다 상대적으로 낮으므로 J가 J'보다 많은 양의 clay-silt를 함유하고 있다 (Fig. 2). 그러므로 해안으로부터의 거리 및 퇴적물의 종류는 본 해양투기장 해역에서는 저서성 유공충의 수를 control 하지는 않는다. 일반적으로 표층수의 온도, 염도, 및 용존산소의 양은 유공충의 수에 영향을 미치는 것으로 알려져있다. 하지만 투기장 해역인 J, J'에서 위에 언급한 수괴의 물리적인 특성은 커다란 차이가 나지 않는다. Oxygen minimum zone 또한 저서성 유공충의 수를 control 한다. 예를 들어 태평양에서 적은 수의 유공충이 shallow oxygen minimum zone (150-400 m) 및 deep oxygen minimum zone (900-1,700 m)에서 나타난다 (Ingle and Kolpack, 1980). 하지만 J 및 J' 지역은 물깊이가 비슷하며 물속에 녹아있는 용존산소의 양은 큰 차이가 나지 않으리라 생각된다. 퇴적율 (sedimentation rate) 또한 유공충의 수에 많은 영향을 미친다. 많은 수의 유공충은 퇴적율이 낮을 때 많이 나타난다 (McGlasson 1959). 이유는 퇴적율이 높으면 희석 (dilution) 효과로 인해 상대적으로 유공충의 수가 적어진다.

그러면 J'의 표층퇴적물에서 저서성 유공충이 건조시료 10 g 당 많이 나오는 이유는 무엇인가? 많은 양의 유공충은 해수의 용승작용 (upwelling) 이 일어나는 곳에서 나타난다 (Phleger, 1964). 이유는

용승작용으로 인해 중층수의 영양염이 풍부한물이 표층수에 공급되어 유공충의 먹이가 되는 식물성 플랑크톤의 양을 증가시키기 때문이다. 본 해양투기장 해역중 J' 가 J 보다 용승작용이 강하게 일어나는 것 같지는 않다. 이유는 만약 J' 가 J 보다 용승작용이 강하다면 용승작용이 일어나는 곳에 많이 서식하는 저서성 유공충 속인 *Bolivina* 나 *Uvigerina* 가 풍부히 나타나야한다. 하지만 Table 2 에서 보여지는바와 같이 J 및 J'에서 *Bolivina* 및 *Uvigerina* 가 많이 나타나지 않는다.

한국해양연구소에서 발행한 보고서 (1996) 에 의하면 B, B', J, 및 J' 에 배출되는 해양 폐기물은 해수 중에서 쉽게 분해, 확산되는 무독성의 수용성, 유기성 폐기물을 주 대상으로 하고 있으며 1996 년 1월부터 9 월까지 버린 폐기물의 종류는 다음과 같다.

- 분뇨 및 정화조 오니
- 폐수배출 시설중 음, 식료품제조시설 및 해산물 판매장 시설에서 발생하는 유기성 오니
- 수질오염방지시설 중 생물학적 처리시설에서 발생하는 유기성 오니
- 수산물 가공 잔재물
- 하수 및 정수 오니
- 준설토 및 폐각류 등
- 폐산, 폐알칼리 (pH 2.0 이하, 12.5 이상)

해양폐기물 배출지역의 하나인 J'에서 저서성 유공충이 많이 산출되는 이유는 해양에 버린 폐기물이 유공충이 번식하기에 좋은 영양분의 역할을 한 것으로 생각되지만 이에 대한 확고한 결론을 내리기 위해서는 해양투기장 배출해역을 포함한 인근 해역에서 더많은 표층퇴적물에 함유된 유공충의 연구가 필요하다. 배출해역의 하나인 J 에서도 만약 해양폐기물이 저서성 유공충의 수에 영향을 미쳤다면

건조시료 10 g 당 들어있는 저서성 유공충 수 또한 J' 에서처럼 많이 산출되어야 할 것이다. 하지만 J 에서는 J'에 비해 매우 적은 양의 저서성 유공충이 산출된다. 유공충의 수는 일반적으로 지역마다 많은 차이를 보인다 (patchiness). 하지만 유공충의 수에 있어서 J' 가 J 에 비해 약 40 배 이상 많은데 이를 patchiness 의 결과로 설명하기는 어렵다. 이에 대한 이유는 현재로는 정확히 알 수 없다. 이의 연구를 위해 J, J' 투기장 해역내의 더많은 표층퇴적물의 유공충 수의 자료가 필요하다. J 및 J' 투기장 해역의 북동쪽에 위치해있는 B, 및 B' 투기장 해역에서는 매우 적은 수의 저서성 유공충이 산출된다. B 지역에서 저서성 유공충이 많이 나오지 않는 이유는 앞에서도 언급했듯이 수심이 깊어서 (1,500 m) 유공충이 용해된 것 같다. 하지만 B' 코어는 수심이 949 m 임에도 불구하고 많은 양의 저서성 유공충이 나타나지 않는다. 이에 대한 이유는 원래 B, B' 지역이 J, J' 지역에 비해 고위도에 위치한 관계로 차가운 물이 존재하므로 유공충이 원래 많이 살지 않았을 가능성이 있다. B, B' 지역을 포함한 주변지역에 출판된 유공충의 수 (density) 에 관한 논문이 없는 관계로 B, B' 지역이 원래 유공충이 많이 살지 않는지에 대해서는 현재로서는 알 수 없다.

B, B' 지역이 J, J' 지역에 비해 유공충이 많이 살지 않는 또 다른 이유는 투기장에 버린 폐기물의 종류가 달라서 일지도 모른다. B, B' 지역에는 1996년 1월부터 9월까지 1,499,248 톤의 폐기물이 버려졌으며 같은 기간동안 J, J' 지역에는 1,061,194 톤의 폐기물이 버려졌다 (한국해양연구소, 1996). 하지만 버려진 폐기물의 종류는 다르다. B, B' 지역에는 100,533 톤의 분뇨 및 111,273 톤의 폐수가 그리고 J, J' 에는 909,118 톤의 분뇨 및 142,662 톤의 폐수가 버려졌다. 이외에도 B, B' 지역에는 폐산 (197,840 톤), 폐수 오니 (919,661 톤), 하수 오니 (98,384

톤), 기타오니 (47,835 톤), 무기성오니 (16,470 톤), 수산가공 잔 재물 (7,252 톤) 등이 버려졌다. 하지만 J, J' 지역에는 폐산 (83 톤), 폐수 오니 (5,422 톤), 하수 오니 (5 톤), 수산 가공잔재물 (3,904 톤) 등이 버려졌으며 기타오니, 무기성 오니 등은 버려지지 않았다 (한국해양연구소, 1996). 이러한 버려진 폐기물의 양 및 종류가 투기장 내에 서식하는 유공충의 수에 영향을 미치는지에 대해서는 아직 연구가 되어있지 않기 때문에 어떠한 결론을 내리기가 힘들며 미래에 연구되어야 할 사항이다.

건조시료 10g 당 들어있는 사질 유공충의 수는 J2 표층퇴적물에서 가장 많이 나온다. 사질유공충의 분포 와 환경과의 관계에 관한 많은 연구가 있다 (Kaminski, 1985; Milam and Anderson, 1981; Kellogg, 1976; Lindberg and Auras, 1984; Pujos-Lamy, 1984; Theyer, 1971; Hofker, 1972; Lohmann, 1978; Corliss, 1979) 사질유공충의 분포에 영향을 미치는 요소에는 물 깊이, 수괴의 특성, 저 층의 특성 (Milam and Anderson, 1981), 온도 (Hofker, 1972), 물 속에 용존된 산소의 양 (Lohmann, 1978), 탄산염 칼슘의 저 포화 (undersaturation) 정도 (Corliss, 1979) 등이 있다. 사질유공충의 분포는 온도, 염도, 물깊이 에 의해서 영향받기보다는 해양의 지리적인 위치 (geographic position) 에 의해서 더 영향을 받는다는 보고도 있다 (Lindberg and Auras, 1984). Milam 과 Anderson (1981) 은 탄산염 칼슘의 양이 사질 유공충의 분포에 더 영향을 미친다고 했다. 이러한 예에서 보듯이 사질유공충의 분포에 미치는 정확한 인자는 알려져 있지 않지만 많은 양의 사질 유공충은 조립질로 이루어진 저 층 퇴적물에서 많이 나타난다 (Polski, 1959; Finger and Lipps, 1981). 본 연구지역에서 많은 양의 조립질 퇴적물을 함유하고있는 J2 코어 (74.46 %) 에서는 사질 유공충이 많이 나타나나 (772 개체/10 g) H 코어 는 조립질 퇴적물의 양이 94.12 %를 차지함에도 불구하고 건조시료 10 g 당

22 개체의 사질 유공충이 나온다 (Table 3 and Fig. 4). B, B' 해양투기장 해역에서는 사질 유공충이 발견되나 J, J' 투기장 해역에서는 발견되지 않는다 (Fig. 4).

본 연구지역의 B를 제외한 6 개의 저 층 퇴적물에서 깨어진 부유성 유공충의 상대적인 양은 (%) 매우 낮은 값을 보인다 (10 % 이하) (Fig. 7). 깨어진 부유성 유공충의 양은 탄산염 칼슘의 용해정도를 측정하는데 사용될 수 있다 (Phleger et al., 1953; Berger, 1970; Thunell, 1976; Vincent and Berger, 1981; Balsam, 1982). Berger (1970) 는 탄산염 칼슘의 용해가 증가하면 깨어진 부유성 유공충의 수도 증가한다고 했다. 본 연구지역에서 깨어진 부유성 유공충의 수가 매우 낮음은 저층수가 부식성이 강하지 않음을 의미한다. B 코어에서는 150 μ m 보다 큰 퇴적물 입자에서는 충분한 양의 부유성 유공충이 나오지 않기 때문에 깨어진 부유성 유공충의 상대적인 양을 count 하지 못했다. Chen 과 Wang (1995) 의 연구에 의하면 동해안에서 calcite 의 undersaturation 깊이는 1,300 m 보다 깊은 곳에서 나타난다. 깊이가 1,500 m 인 B 코어에서 부유성 유공충이 많이 나타나지 않는 이유는 부식성이 강한 저층에 의해서 유공충이 용해된 것 같다.

부유성/저서성 유공충의 비율은 (P/B ratio) 고수심 (paleobathymetry) 을 해석하는데 사용되어졌다 (Parker and Berger, 1971). P/B ratio 는 수심이 얕은 곳에서 깊은 곳으로 갈수록 증가한다. P/B ratio 는 또한 탄산염 칼슘의 보존정도를 나타내며 유공충이 퇴적된 후 선택적 용해 (selective solution) 에 의해서 영향을 받는다 (Berger, 1968, 1973). 본 연구지역에서 B, B' 코어를 제외하고, P/B ratio 는 약 50 % 정도의 값을 갖는다 (Fig. 8). 이는 5 개의 (J, J', J2, J6, H) 정점의 수심이 비슷해서 비슷한 P/B ratio를 갖는 것으로 해석할 수 있다. 또 다른

중요한 해석은 해양투기장 해역 (J, J')을 포함한 인근 해역 (J2, J6, H) 의 저층수가 부식성이 강하지 않았음을 시사한다. 이는 J 및 J' 해역에 버린 유기물의 decay 가 저층수를 corrosive 하게 하지 않았음을 시사한다.

건조시료 10 g 당 들어있는 부유성 유공충 *Globorotalia menardii* 의 수가 Figure 10.9 에 있다. *G. menardii* 는 따뜻한 물에 (tropical to subtropical) 사는 종이며 (Beard, 1969; Tolderlund and Be 1971; Oba et al., 1991) 해수의 온도가 17.2-29.5 °C, 염도가 35.75-36.63 ‰ 인 곳에 가장 풍부히 나타난다 (Tolderlund and Be, 1971). 본 종은 수심이 약 82-100 m 인 water column에 사는 종이다 (Polski, 1959; Frerichs, 1971). 본 연구지역에서 *G. menardii* 는 J2, J', J, H 로 향할수록 감소하는 경향을 보인다 (Fig. 9). 이는 쿠루시오 (Kuroshio) 의 영향이 J2, J', J, H 로 향할수록 감소하기 때문이다. J 의 인접지역인 J6 에는 매우 적은 수 (1 개체/10 g) 의 *G. menardii* 가 나타나는데 이는 이마도 warm Kuroshio 가 J6 지역에는 많이 도달하지 않았음을 시사한다. B, B' 지역에는 *G. menardii* 가 나타나지 않는데 이는 warm Kuroshio current 가 B, B' 지역까지 거의 도달하지 않았거나 아니면 B, B' 지역의 깊은 수심 때문에 *G. menardii* 가 용해되어 없어졌기 때문인 것으로 생각된다.

종 다양성 (Species Diversity)

지역마다 종 다양성이 다르다는 사실은 오랫동안 많은 박물학자들 사이에 잘 알려진 사실이다 (Gibson and Buzas, 1973). 하지만 어떤 환경요인이 종다양성을 control 하는지에 대해서는 아직도 완전히 알려져 있지 않다. 왜 지역마다 종 다양성이 다른지에 대해서는 많은 학설이 있다. 시간 (time), 기후변화 (climatic changes), 환경의 안정성 (environmental stability), 수괴의 공간적인 균일성 (spatial heterogeneity

of water masses), 경쟁 (competition), 포식 (predation), 생산성 (productivity), 해양의 지리적 및 지형학적인 형태 (geographic and topographic features), 영양분 (resources) 등이 현재까지 지역마다 종 다양성이 다른 이유를 설명하는데 사용된 학설들이다.

많은 연구들에 의하면 종다양성 또한 위도에 따라 변한다 고했다 (Fischer, 1960; Simpson, 1964; Valentine, 1966, Cook, 1969; Kiestler, 1971). 종 다양성은 또한 수심에 따라 증가한다는 보고도 있으며 (Hessler and Sanders, 1967; Buzas and Gibson, 1969) 탄산염 칼슘의 양 및 lithology 에 의해 영향받는다는 보고도 있다 (Watkins, 1989). 이러한 많은 이론들 중에 기후의 안정성 (climatic stability) 이 종 다양성에 가장영향을 미친다는 주장도 있다 (Klopfer, 1959; Fischer, 1960).

본 연구지역에서 warm water 종인 *G. menardii*. 가 가장 많이 나타나는 J2 코어에서 가장 많은 종의 수가 나타난다 (42 종). 이는 Simple Species Diversity 는 부분적으로 해수의 온도에 의해서 control 됨을 의미한다. 해수의 온도가 높은 곳에서 많은 종이 서식한다는데 에 대한 많은 보고가 있다 (Berggren, 1969; Stehli et al., 1972; Williams et al., 1985; Wise 1988; Erba, 1992; Huber and Watkins, 1992). B, B' 해양투기장 해역이 해수의 온도가 낮음에도 불구하고 J 보다 종의 수가 많이 나오는 이유는 B, B' 해역이 수심이 깊기 때문인 것으로 생각된다. 즉 수심이 깊은 지역은 물리적인 요소 (온도, 염도, wave activity), 의 변화 (fluctuation) 가 수심이 얇은 지역에 비해 작기 때문에 많은 종이 서식한다 (Hessler and Sanders, 1967; Sanders, 1968).

B 시료에서는 충분한 양 (300 개체)의 저서성 유공충이 나오지 않으므로 H(S) 및, E 값은 계산하지 못했다. J', J2, J6에서 가장 높은 S, H(S) 값을 갖는다 (Fig. 10). 이는 J', J2, J6 지역의 저층수가 가장

안정된 상태에 놓여 있음을 의미한다. 해양투기장 해역인 B', J 가 J' 에 비해 낮은 S, H(S) 값을 갖는다 (Fig. 10). 이는 B' 및 J 해역이 J' 해역에 비해 불안정한 (unstable) 저 층 상태임을 의미한다.

유공층의 Equitability (E) 값을 control 하는 factor 는 많은 연구가 되어 있지 않다. 본 연구 투기장 해역인 B' 지역에서 가장 낮은 E 값을 갖는다. 이는 B' 지역의 유공층 분포가 다른 지역에 비해 균일하게 분포 되어있지 않음을 의미한다. 일반적으로 균일한 유공층의 분포는 수심이 깊은 곳에서 나타난다. B'를 제외한 다른 지역은 거의 비슷한 E 값을 갖는데 이는 유공층 분포의 균일 도가 거의 비슷함을 의미한다. 또한 투기장해역인 J, J' 도 투기장해역이 아닌 지역과 비교해서 유공층 분포의 균일 도는 비슷하다 (Fig. 10).

코어 퇴적물

앞에서 언급했듯이 조립질 퇴적물 (coarse fraction) 의 양은 탄산염 칼슘 (calcium carbonate) 의 용해정도를 해석하는데 사용할 수 있다 (Keir, 1980; Williams et al., 1985). 탄산염 칼슘의 용해가 증가하면 조립질 퇴적물의 양은 감소한다 (Williams et al., 1985). 조립질 퇴적물의 양은 또한 퇴적물의 퇴적형태를 지시한다. 많은 양의 조립질 퇴적물은 이동된 퇴적물 (transported sediment)에서 나타난다 (Douglas, 1973; Yamashiro, 1975; Berger and Killingley, 1977). 조립질 퇴적물의 짧은 기간동안의 변화를 해석하기는 어렵지만 (Backman et al., 1986) B 코어의 약 10 cm에서 표층퇴적물까지 조립질 퇴적물의 양은 증가하는데 이는 저층수의 부식성정도가 10 cm에서 표층으로 향할수록 감소하였기 때문이거나 아니면 bottom current activity 가 증가했기 때문인 것이다. 또한 코어퇴적물 12 cm부터 저층퇴적물 (33 cm) 가지는 표층부터 11 cm

보다 조립질 퇴적물의 양이 많고 (작은 차이이기는 하지만) 변동 (fluctuation) 이 적다. 이는 bottom current activity 가 하부퇴적물 (12 cm-33 cm) 이 퇴적되는 동안이 상부퇴적물 (0-11 cm) 이 퇴적되는 동안보다 약간 강했으며 또한 current velocity 의 변동도 적었음을 의미한다 (Fig. 11).

저서성 및 사질유공층의 수는 2 cm 보다 깊은 곳으로 갈수록 급격히 감소한다. 이는 pore water 가 상당히 carbon dioxide 가 풍부해서 유공층이 용해 (dissolution) 되었기 때문인 것으로 생각된다. 종의수 (Figure 10.13) 또한 저층에서보다 표층에서 많이 나타나는데 이는 저 층 퇴적물이 용해를 받아 용해에 약한 종이 녹아 없어졌기 때문이다. 부유성 유공층이 약 22 cm부터 저 층 (33 cm) 의 구간까지 증가한다 (Fig. 11). 이에 대한 몇 가지 가능성이 있다. 첫 번째 가능성은 22 cm부터 저 층 구간까지 퇴적물이 퇴적되는 동안에 유기탄소 (organic carbon) 의 양이 증가했을 가능성이 있다. Ortiz 와 Mix (1992) 의 연구에 의하면 유기탄소의 양이 증가하면 부유성유공층의 수도 증가한다 고했다. 두 번째 가능성은 식물성 플랑크톤의 생산성이 높거나 (Tolderlund and Be, 1971) chlorophyll 의 함량이 높을 때 부유성유공층의 수가 증가한다 (Fairbanks and Wiebe, 1980). 이에 대한 검증을 하기 위해서는 유기탄소의 양 및 chlorophyll data 가 필요하다. 마지막 가능성은 B 지역의 22-33 cm 구간이 퇴적되는 동안 Kuroshio 의 영향이 컸을 것이다. 즉 Kuroshio current 가 부유성유공층을 많이 carry 했을 가능성이 있다. 이의 가설을 검증하기 위해 B 지역에 나타나는 부유성유공층의 분류가 필요하다.

J 지역의 조립질퇴적물의 함량은 코어 저 층 (18 cm)에서 표층으로 향할수록 감소하는 경향을 보인다 (Fig. 12). 이는 bottom

보다 조립질 퇴적물의 양이 많고 (작은 차이이기는 하지만) 변동 (fluctuation) 이 적다. 이는 bottom current activity 가 하부퇴적물 (12 cm-33 cm) 이 퇴적되는 동안에 상부퇴적물 (0-11 cm) 이 퇴적되는 동안보다 약간 강했으며 또한 current velocity 의 변동도 적었음을 의미한다 (Fig. 11).

저서성 및 사질유공층의 수는 2 cm 보다 깊은 곳으로 갈수록 급격히 감소한다. 이는 pore water 가 상당히 carbon dioxide 가 풍부해서 유공층이 용해 (dissolution) 되었기 때문인 것으로 생각된다. 종의수 (Figure 10.13) 또한 저층에서보다 표층에서 많이 나타나는데 이는 저 층 퇴적물이 용해를 받아 용해에 약한 종이 녹아 없어졌기 때문이다. 부유성 유공층이 약 22 cm부터 저 층 (33 cm) 의 구간까지 증가한다 (Fig. 11). 이에 대한 몇 가지 가능성이 있다. 첫 번째 가능성은 22 cm부터 저 층 구간까지 퇴적물이 퇴적되는 동안에 유기탄소 (organic carbon) 의 양이 증가했을 가능성이 있다. Ortiz 와 Mix (1992) 의 연구에 의하면 유기탄소의 양이 증가하면 부유성유공층의 수도 증가한다 고했다. 두 번째 가능성은 식물성 플랑크톤의 생산성이 높거나 (Tolderlund and Be, 1971) chlorophyll 의 함량이 높을 때 부유성유공층의 수가 증가한다 (Fairbanks and Wiebe, 1980). 이에 대한 검증을 하기 위해서는 유기탄소의 양 및 chlorophyll data 가 필요하다. 마지막 가능성은 B 지역의 22-33 cm 구간이 퇴적되는 동안 Kuroshio 의 영향이 컸을 것이다. 즉 Kuroshio current 가 부유성유공층을 많이 carry 했을 가능성이 있다. 이의 가설을 검증하기 위해 B 지역에 나타나는 부유성유공층의 분류가 필요하다.

J 지역의 조립질퇴적물의 함량은 코어 저 층 (18 cm)에서 표층으로 향할수록 감소하는 경향을 보인다 (Fig. 12). 이는 bottom

current activity 가 저 층 퇴적물에서 표층퇴적물로 퇴적되는 기간동안 감소했음을 의미한다. 또한 J 지역 하부 (약 10 cm-18 cm) 에서의 조립질 퇴적물의 함량이 상부 (0-10 cm) 보다 높다 (Fig. 12). 이는 B 지역과 마찬가지로 하부의 퇴적물이 퇴적되는 동안 bottom current 가 상부의 퇴적물이 퇴적될 때보다 강했기 때문이다.

저서성 유공충의 수 및 깨어진 유공충의 수는 B 코어와는 달리 코어 하부로 향할수록 증가하는 경향을 보인다 (Fig. 12). 이는 bottom water 의 부식성이 (corrosiveness) 코어 상부에서 하부로 향할수록 강해짐을 의미한다. 표층에서 약 10 cm 까지, 저서성 유공충, 부유성 유공충, 및 저서성 + 부유성유공충의 수는 점진적으로 감소한다. 이는 유공충의 수가 코어 상부에서 하부로 향할수록 감소하는 일반적인 경향과는 반대의 경향을 보인다. 여기에 대해서는 두 가지 가능성이 있다. 첫 번째 가능성은 투기장해역에 버린 폐기물이 표층수 및 저층수에 영향을 주어 표층퇴적물에서 저서성 및 부유성 유공충의 수가 코어 하부퇴적물에서보다 감소한다. 두 번째 가능성은 폐기물의 영향과는 관계없이 코어상부에서 하부로 향할수록 유공충의 생산성 (productivity)이 감소했기 때문이다.

부유성 유공충 *G. menardii* 는 코어퇴적물 6 cm에서 표층으로 향할수록 감소하는 경향을 보인다. 이는 쿠루시오 current 의 영향이 퇴적물 6 cm에서 표층까지 퇴적되는 시간동안 점진적으로 감소했음을 의미한다. *G. menardii* 의 양이 6 cm부터 퇴적물 저 층 (18 cm) 까지는 많은 차이가 나지 않는데 이는 J 지역에 퇴적물 6 cm에서 18 cm 가 퇴적되는 동안 쿠루시오 유입이 비교적 일정했음을 의미한다.

총 다양성지수 [S, H(S), E] 는 표층 및 10-11 cm 깊이의 퇴적물에서 비슷한 값을 보인다 (Fig. 13). 이는 저 층의 안정성 정도가

표층 및 10-11 cm 가 퇴적되는 동안에 비슷했음을 의미한다.

결론

표층퇴적물

- (1) 해양투기장 해역인 B, B' 표층퇴적물은 소량의 조립질 퇴적물, 저서성 및 부유성 유공충의 수가 나타나는데 이는 B, B' 지역이 적어도 용해비약수심(lysocline) 내에 위치해있는 것으로 생각된다.
- (2) 해양투기장 해역 (B, B', J, J') 중 J'에서 매우 많은 양의 저서성 및 부유성 유공충이 나타난다. 하지만 J 해역에서는 많은 양의 유공충이 나타나지 않는다. 왜 같은 투기장 해역 (J, J') 내에서 J'가 J 보다 매우 많은 양의 저서성 및 부유성 유공충이 나타나지는 현재로서는 정확한 이유를 알 수 없다.
- (3) 깨어진 유공충의 수는 투기장 해역을 포함한 인근지역에서 매우 낮은 값을 보인다. 이는 투기장 해역에 버린 폐기물의 유기물 분해 (organic matter decay) 가 저층수를 부식성이 강하게 하지 않았음을 의미한다.
- (4) 투기장 해역인 J, J'를 포함한 인근 해역에서 부유성/저서성 유공충의 비율은 큰 변화를 보이지 않는다. 이는 투기장 해역에 버린 폐기물이 부유성 유공충의 분포에 큰 영향을 미치지 않았음을 시사한다.
- (5) 투기장 해역인 B, B' 지역이 다른 지역과 비교해 적은 수의 유공충 종이 나타난다. 이는 B, B' 지역이 깊은 수심에 위치해 있는 관계로 용해에 약한 저서성 유공충 종이 선택적으로 녹아 없어졌거나 아니면 투기장 해역에 버린 폐기물의 영향으로 인하여

선택적으로 환경에 적합하지 않은 종이 살지 못하기 때문이다.

- (6) 투기장 해역인 B' 및 J 지역이 다른 지역과 비교해 낮은 H(S) 값을 보인다. 이는 B' 및 J 지역의 저층수가 인근 지역과 비교해 불안정 (unstable) 함을 의미한다.
- (7) J', J2, J6 지역에서 가장 높은 S, H(S) 값이 나타나는데 이는 J', J2, J6 지역의 저층수가 다른 지역에 비해 가장 안정되었음을 의미한다.
- (8) 부유성 유공충 *G. menardii* 의수는 J2에서, J', J 로 향할수록 감소하는 경향을 보인다. 이는 warm Kuroshio 의 영향이 J2에서 J', J 로 향할수록 감소하기 때문으로 해석된다. J2, J', J 해역과 바로 인접해역인 J6 및 H 에서는 매우 소량의 *G. menardii* 가 나타나는데 이는 Kuroshio current 가 J6 및 H 해역에는 J2, J', J 해역에 비해 약하게 영향을 미쳤기 때문이다.

코어 퇴적물

- (1) 투기장 해역인 B 및 J 해역에서 bottom current activity 의 양상이 다르다. J 해역이 B 해역에 비해 조립질 퇴적물의 양이 많은데 이는 수심이 얕은 이유도 있지만 bottom current activity 가 또한 강하다고 할 수도 있다. B 해역에서는 조립질 퇴적물의 양이 10 cm에서 표층으로 갈수록 증가하는데 이는 bottom current speed 가 증가함을 의미한다. 또한 12-33 cm 의 퇴적물이 퇴적되는 기간 동안 의 bottom current speed 가 0-11 cm 까지의 퇴적물이 퇴적되는 기간 보다 빨랐으며 bottom current activity 는 변동(fluctuation) 이 심 하지 않았다. 반면에 J 지역에서는 bottom current activity 가 코어 최하부에서 최상부 로 향할수록

감소했다.

- (2) B 해역에서는 저서성 유공충의 수가 코어 하부로 향할수록 급격히 감소하는데 이는 아마도 pore water 가 corrosive 해서 저서성 유공충이 용해되었기 때문인 것 같다. 하지만 J 해역에서는 오히려 저서성 유공충의 수가 서서히 증가하는 경향을 보이는데 이는 저서성 유공충의 생산성이 증가했기 때문인지 아니면 해역에 버린 폐기물 의 영향인지는 현재로서는 정확히 알 수 없다. 이를 알기 위해서는 해역 및 주변해역에 더 많은 퇴적물의 분석이 필요하다.
- (3) 깨어진 유공충의 수는 표층에서 코어 하부로 향할수록 증가하며 이는 pore water 의 corrosiveness 가 하부 코어로 향할수록 증가하기 때문이다(diagenesis).
- (4) J 해역에서 Kuroshio current 의 유입정도가 코어 깊이당 차이가 있다. 약 6 cm 코어 깊이에서 표층까지의 퇴적물이 퇴적되는 동안 Kuroshio 의 유입(영향)이 감소하는 경향을 보인다. 약 6 cm 코어 깊이에서 저 층 (18 cm) 퇴적물이 퇴적되는 동안 Kuroshio 의 영향은 일정했다. J 해역에서 종다양성 지수 [S, H(S), E] 는 표층 퇴적물 및 10-11 cm 퇴적물 깊이에서 큰 변화를 보이지 않는다. 이는 표층 및 10-11 cm 깊이의 퇴적물이 퇴적되는 동안 저 층 안정도에는 큰 변화가 없었음을 의미한다.

참고문헌

- 한국해양연구소, 1996. 해양환경 감시 및 평가기술 (해양투기장 해역의 환경모니터링 기술), 제2단계 1차년도 연차보고서. BSPN 00304-946-4, 373 pp.
- Alve, E., 1991. Benthic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sorfjord, western Norway. *J. Foraminiferal Research*, v. 21, p. 1-19.
- Alve, E., 1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: A review. *J. Foraminiferal Research*, v. 25, p. 190-203.
- Backman, J., and Shackleton, N.J., 1983/1984. Quantitative biochronology of Pliocene and early Pleistocene calcareous nannofossils from the Atlantic, Indian and Pacific oceans. *Marine Micropaleontology*, v. 8, p. 141-170.
- Backman, J., Pestiaux, P., Zimmerman, H., and Hermelin, O., 1986. Palaeoclimatic and palaeoceanographic development in the Pliocene North Atlantic: Discoaster accumulation and coarse fraction data. In: Summerhayes, C.P., and Shackleton, N.J., (eds.), *North Atlantic Palaeoceanography*, Geological Society Special Publication, no. 21, p. 231-242.
- Balsam, W.L., 1982. Carbonate dissolution and sedimentation on the mid-Atlantic continental margin. *Science*, v. 217, p. 929-931.
- Bates, J.M., and Spencer, R.S., 1979. Modification of foraminiferal trends by the Chesapeake-Elizabeth sewage outfall, Virginia beach, Virginia. *J. Foraminiferal Research*, v. 9, p. 125-140.

- Beard, J.H., 1969. Pleistocene paleotemperature record based on planktonic foraminifers, Gulf of Mexico. *Transactions-Gulf Coast Association of Geological Societies*, v. XIX, p. 535-553.
- Berger, W.H., 1968. Planktonic foraminifera: Selective solution and paleoclimatic interpretation. *Deep-Sea Research*, v. 15, p. 31-43.
- Berger, W.H., 1970. Planktonic Foraminifera: Selective solution and the lysocline. *Marine Geology*, v. 8, p. 111-138.
- Berger, W.H., 1973. Deep-sea carbonates: Pleistocene dissolution cycles. *Jour. Foram. Res.*, v. 3, p. 187-195.
- Berger, W.A., and Killingley, J.S., 1977. Glacial-Holocene transition in deep-sea carbonates: selective dissolution and the stable isotope signal. *Science*, v. 197, p. 563-566.
- Berggren, W.A., 1969. Rates of evolution in some Cenozoic planktonic foraminifera. *Micropaleontology*, v. 15, p. 351-365.
- Bresler, V., and Yanko, V., 1995. Chemical ecology: A new approach to the study of living benthic epiphytic foraminifera. *J. Foraminiferal Research*, v. 25, p. 267-279.
- Buzas, M.A., and Gibson, T.G., 1969. Species diversity: Benthic foraminifera in western North Atlantic. *Science*, v. 163, p. 72-75.
- Chen, C.-T. A., and Wang, S.-L., 1995. Carbonate chemistry of the Sea of Japan. *J. Geophysical Research*, v. 100, p. 13,737-13,745.
- Collins, E.S., Scott, D.B., Gayes, P.T., and Mediolli, F.S., 1995. Foraminifera in Winyah bay and north inlet marshes, south Carolina: Relationship to local pollution sources. *J. Foraminiferal*

- Research, v. 25, p. 212-223.
- Collins, E.S., Scott, D.B., Gayes, P.T., and Medioli, F.S., 1995. Foraminifera in Winyah Bay and north inlet marshes, south Carolina: Relationship to local pollution sources. *J. Foraminiferal Research*, v. 25, p. 212-223.
- Cook, R.E., 1969. Variation in species density in North American birds: *Systematic Zoology*, v. 18, p. 63-84.
- Corliss, B.H., 1979. Recent deep-sea benthonic foraminiferal distribution in the southeast Indian Ocean: Inferred bottom water routes and ecological implications, *Marine Geology*, v. 31, p. 115-138.
- Culver, S.J., and Buzas, M.A., 1995. The effects of anthropogenic habitat disturbance, habitat destruction, and global warming on shallow marine benthic foraminifera. *J. Foraminiferal Research*, v. 25, p. 204-211.
- Douglas, R.G., 1973. Planktonic foraminiferal biostratigraphy in the central north Pacific Ocean. Initial Rept., Deep-Sea Drilling Project, v. 17, p. 673-694.
- Ellison, R.L., Broome, R., and Ogilvie, R., 1986. Foraminiferal response to trace metal contamination in the Patapsco river and Baltimore harbour, Maryland. *Marine Pollution Bulletin*, v. 17, p. 419-423.
- Erba, E., 1992. Calcareous nannofossil distribution in pelagic rhythmic sediments (Aptian-Albian) Piobbico core, central Italy). *It. Paleont. Strat.*, v. 97, p. 455-484.
- Fairbanks, R.G., and Wiebe, P.H., 1980. Foraminifera and Chlorophyll maximum: Vertical distribution, seasonal succession, and

- paleoceanographic significance. *Science*, v. 209, p. 1524-1526.
- Finger, K.L., and Lipps, J.H., 1981. Foraminiferal decimation and repopulation in an active volcanic caldera, Deception Island, Antarctica. *Micropaleontology*, v. 27, p. 111-139.
- Fisher, A.G., 1960. Latitudinal variations in organic diversity: Evolution, v. 14, p. 64-81.
- Frerichs, W.E., 1971. Planktonic foraminifera in the sediments of the Andaman Sea. *J. Foraminiferal Research*, v. 1, p. 1-14.
- Gibson, T.G., and Buzas, M.A., 1973. Species diversity: Patterns in modern and Miocene Foraminifera of the eastern margin of North America. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 84, p. 217-238.
- Hallock, P., Talge, H.K., Cockey, E.M., and Muller, R.G., 1995. A new disease in reef-dwelling foraminifera: Implications for coastal sedimentation. *J. Foraminiferal Research*, v. 25, p. 280-286.
- Hessler, R.R., and Sanders, H.L., 1967. Faunal diversity in the deep sea: Deep-Sea Research, v. 14, p. 65-78.
- Hofker, J., 1972. Primitive agglutinated foraminifera, E.T. Brill, Leiden, Netherlands, p. 1-95.
- Huber, B.T., and Watkins, D.K., 1992. Biogeography of Campanian-Maastrichtian calcareous plankton in the region of the southern Ocean: paleogeographic and paleoclimatic implications. *The Antarctic Paleoenvironment: a perspective on global change*, Antarctic Research Series, v. 56, p. 31-60.
- Ingle, Jr., J.C., and Kolpack, R.L., 1980. Benthic foraminiferal biofacies, sediments and water masses of the southern Peru-Chile Trench

- area, southeastern Pacific Ocean. *Micropaleontology*, v. 26, p. 113-150.
- Kaminski, M.A., 1985. Evidence for control of abyssal agglutinated foraminiferal community structure by substrate disturbance: Results from the Hebble area. *Marine Geology*, v. 66, p. 113-131.
- Keir, R.S., 1980. The dissolution kinetics of biogenic carbonates in seawater. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, v. 44, p. 241-252.
- Kennett, J.P., 1982. *Marine Geology*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, 813 pp.
- Kellogg, T.B., 1976. Late Quaternary climatic changes: Evidence from deep-sea cores of Norwegian and Greenland seas. In: R.M. Cline and J.D. Hays (eds.), *Investigation of Late Quaternary Paleoceanography and Paleoclimatology*, *Geol. Soc. Am. Mem.*, v. 145, p. 77-110.
- Kiester, A.R., 1971. Species density of North America amphibians and reptiles: *Systematic Zoology*, v. 20, p. 127-137.
- Klopfer, P.H., 1959. Environmental determinants of faunal diversity. *Am. Nat.*, v. 93, p. 337-342.
- Lindberg, H.G., and Auras, A., 1984. Distribution of arenaceous foraminifera in depth of the Southern Ocean (Kerguelen Plateau area). *Palaeoceanography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 48, p. 61-106.
- Lohmann, G.P., 1978. Abyssal benthic foraminifera as hydrographic indicators in the western South Atlantic Ocean. *J. Foram. Res.*,

v. 8, p. 6-34.

- McGlasson, R.H., 1959. Foraminiferal biofacies around Santa Catalina Island, California. *Micropaleontology*, v. 5, p. 217-240.
- Milam, R.W., and Anderson, J.B., 1981. Distribution ecology of recent benthonic foraminifera of the Adelie-George V, *Micropaleontology*, v. 6, p. 297-325.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T., and Takayama, T., 1991. Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 yrs. *Paleoceanography*, v. 6, p. 499-518.
- Ortiz, J.D., and Mix, A.C., 1992. The spatial distribution and seasonal succession of planktonic foraminifera in the California Current off Oregon, September 1987-September 1988. *Geol. Soc. America Special Publication*, no. 64, p. 197-213.
- Parker, F.L., and Berger, W., 1971. Faunal and solution patterns of planktonic foraminifera in surface sediments of the South Pacific. *Deep-Sea Research*, v. 18, p. 73-107.
- Phleger, F.B., 1964. Foraminiferal ecology and marine geology. *Marine Geology*, v. 1, p. 16-43.
- Phleger, F.B., and et al., 1953. Sediment cores from the North Atlantic Ocean. No 1. North Atlantic Foraminifera. *Reports of the Swedish Deep-Sea Expeditions, 1947-1948*, v. 7, p. 1-122.
- Polski, W., 1959. Foraminiferal biofacies off the north Asiatic coast. *J. Paleontology*, v. 33, p. 569-587.
- Pujos-Lamy, A., 1984. Foraminifères benthiques et bathymétrie: Le

- Cenozoique du Golfe Gascogne (Benthic Foraminifera and barhtmetry: The Cenozoic deposits of the Bay of Biscay. Palaeoceanography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 48, p. 39-60.
- Reinhardt, E.G., Patterson, R.T., and Schroder-Adams, C.J., 1994. Geoarchaeology of the ancient harbor site of Caesarea Maritima, Israel: Evidence from sedimentology and paleoecology of benthic foraminifera. *J. Foraminiferal Research*, v. 24, p. 37-48.
- Sanders, 1968. Marine benthic diversity: A comparative study. *Am. Nat.*, v. 102, p. 243-282.
- Schafer, C.T., Winters, G.V., Scott, D.B., Pocklington, P., Cole, F.E., and Honig, C., 1995. Survey of living foraminifera and polychaete populations at some Canadian aquaculture sites: Potential for impact mapping and monitoring. *J. Foraminiferal Research*, v. 25, p. 236-259.
- Scott, D.B., Schafer, C.T., Honig, C., and Younger, D.C., 1995. Temporal variations of benthic foraminiferal assemblages under or near aquaculture operations: Documentation of impact history. *J. Foraminiferal Research*, v. 25, p. 224-235.
- Sen Gupta, B.K., 1979. Foraminifera of south Atlantic/Georgia Bight. South Atlantic OCS Benchmark Program 1977 Report, v. 3, Texas Instruments, Inc., Dallas, p. 341-396.
- Simpson, G.G., 1964. Species diversity of North American recent mammals: *Systematic Zoology*, v. 13, p. 57-73.
- Sloan, D., 1995. Use of foraminiferal biostratigraphy in mitigating

- pollution and seismic problems, San Francisco, California. J. Foraminiferal Research, v. 25, p. 260-266.
- Stehli, F.G., Douglas, R.G., and Kafescioglu, I.A., 1972. Models for the evolution of planktonic foraminifera. In: T.J.M. Schopf (Ed.), Models in Paleobiology, Freeman, Cooper & Co., San Francisco, California, p. 116-128.
- Theyer, F., 1971. Benthic foraminiferal trends, Pacific-Antarctic Basin. Deep-Sea Research, v. 18, p. 723-738.
- Thunell, R.C., 1976. Optimum indices of calcium carbonate dissolution in deep-sea sediments. Geology, v. 4, p. 525-528.
- Tolderlund, D.S., and Be, A.W.H., 1971. Seasonal distribution of planktonic foraminifera in the western North Atlantic. Micropaleontology, v. 17, p. 297-329.
- Valentine, J.W., 1966. Numerical analysis of marine molluscan ranges on the extra-tropical northeastern Pacific shelf: Limnology and Oceanography, v. 11, p. 198-211.
- Vincent, E., and Berger, W.H., 1981. Planktonic foraminifera and their use in paleoceanography. Emiliani, C., (Ed.), The Oceanic Lithosphere (The Sea, V. 7): John Wiley, New York, p. 1025-1119.
- Watkins, D.K., 1989. Nannoplankton productivity fluctuations and rhythmically-bedded pelagic carbonates of the Greenhorn limestone (upper Cretaceous). Palaeogeol., Palaeoclimatol., Palaeoecol., v. 74, p. 75-86.
- Williams, D.F., Healy-Williams, N., and Leschak, P., 1985. Dissolution

- and water-mass patterns in southeast Indian Ocean, Part I: Evidence from Recent to late Holocene foraminiferal assemblages. *Geol. Soc. America, Bulletin*, v. 96, p. 176-189.
- Wise, S.H., 1988. Mesozoic-Cenozoic history of calcareous nannofossils in the region of the Southern Ocean. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, v. 67, p. 157-179.
- Yamashiro, C., 1975. Differentiating dissolution and transport effects in foraminiferal sediments from the Panama basin. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication*, no. 13, p. 151-159.
- Yanko, V., Kronfeld, J., and Flexer, A., 1994. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: Implications for pollution monitoring. *J. Foraminiferal Research*, v. 24, p. 1-17.

List of Figures

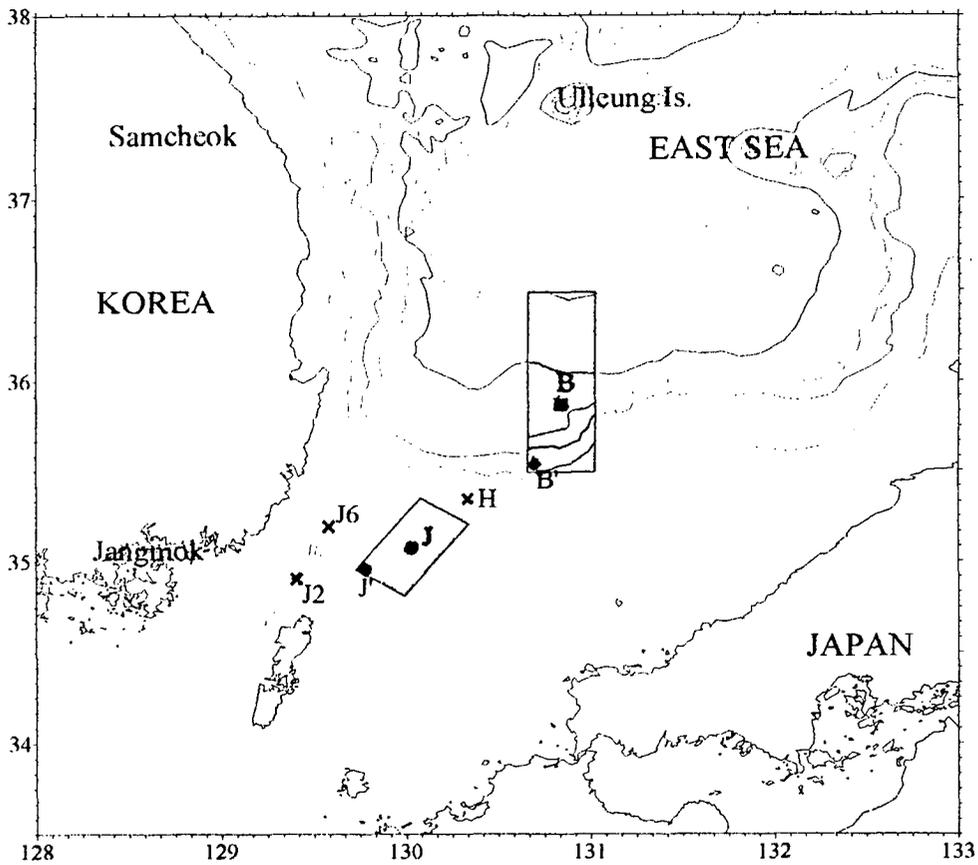


Fig. 1. Location map of the core site.

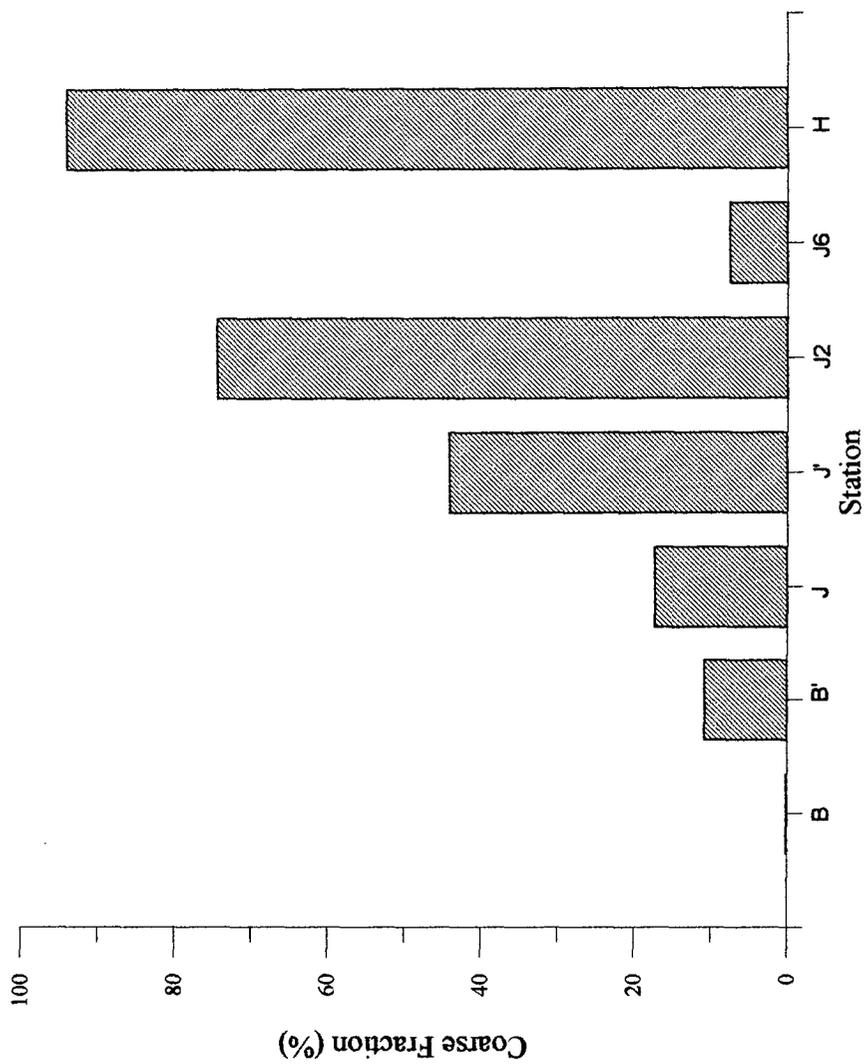


Fig. 2. Coarse fraction content from the surface sediment in each box core.

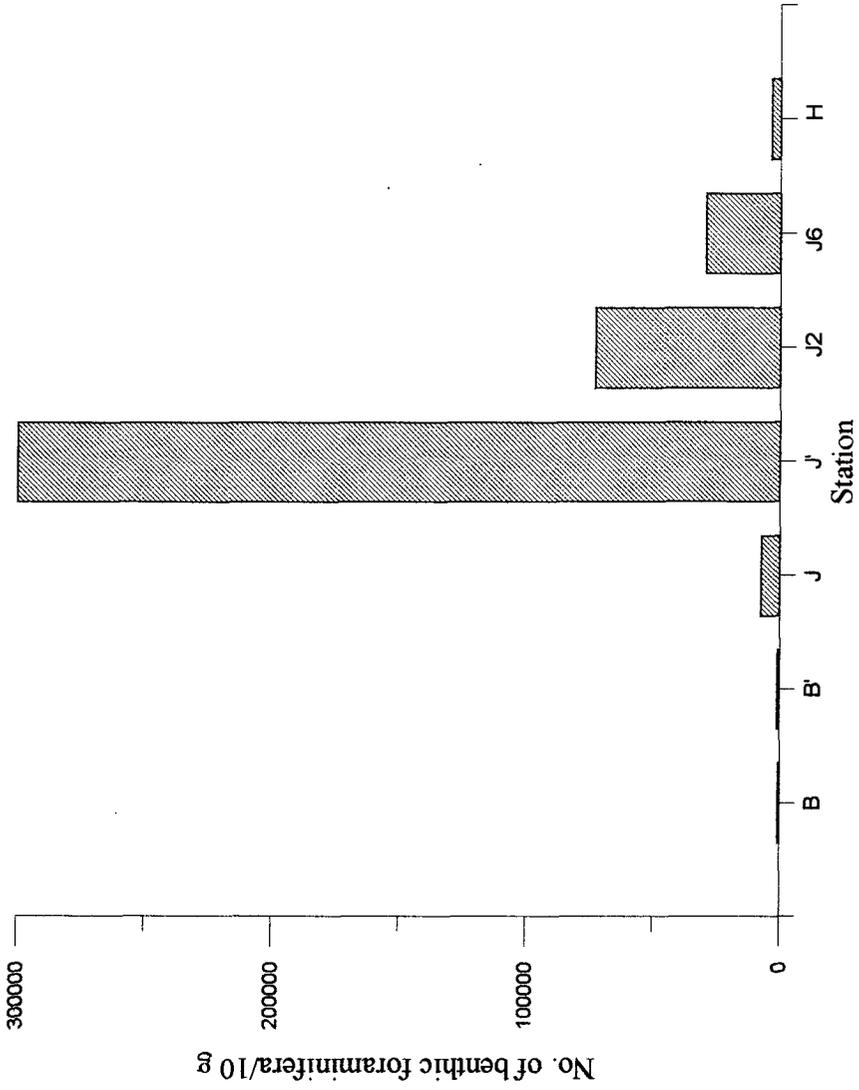


Fig. 3. Number of benthic foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core.

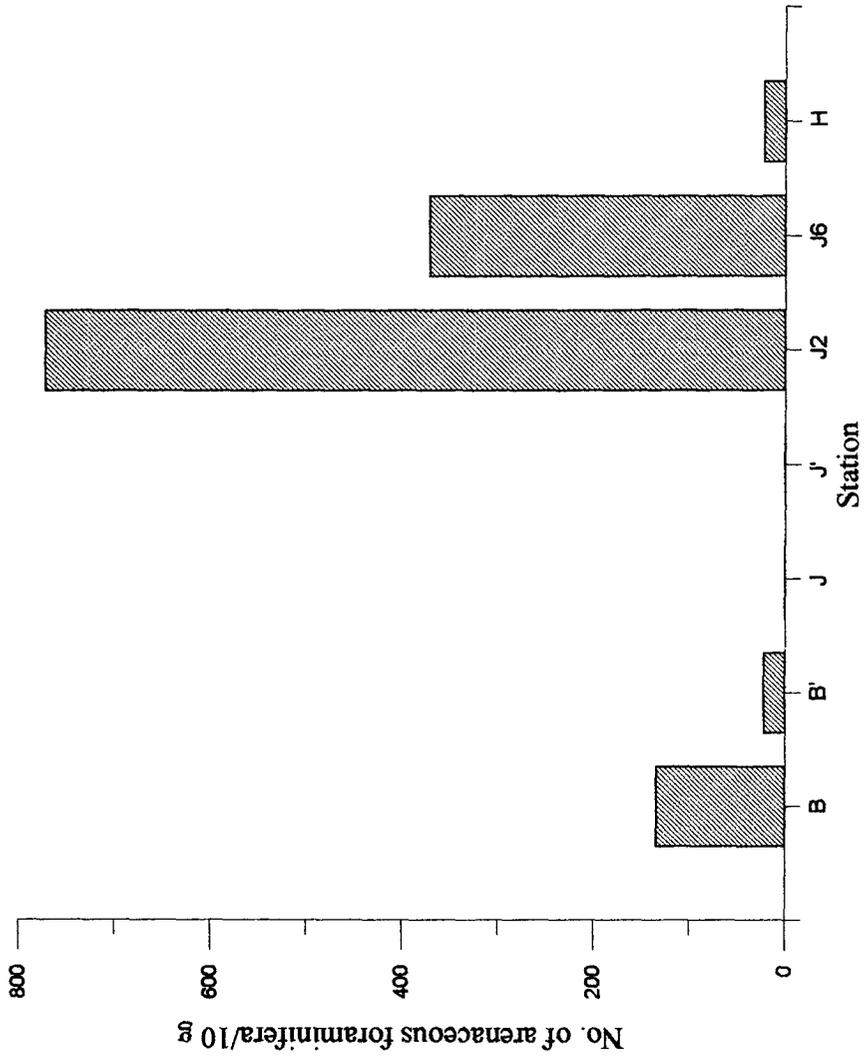


Fig. 4. Number of arenaceous foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core.

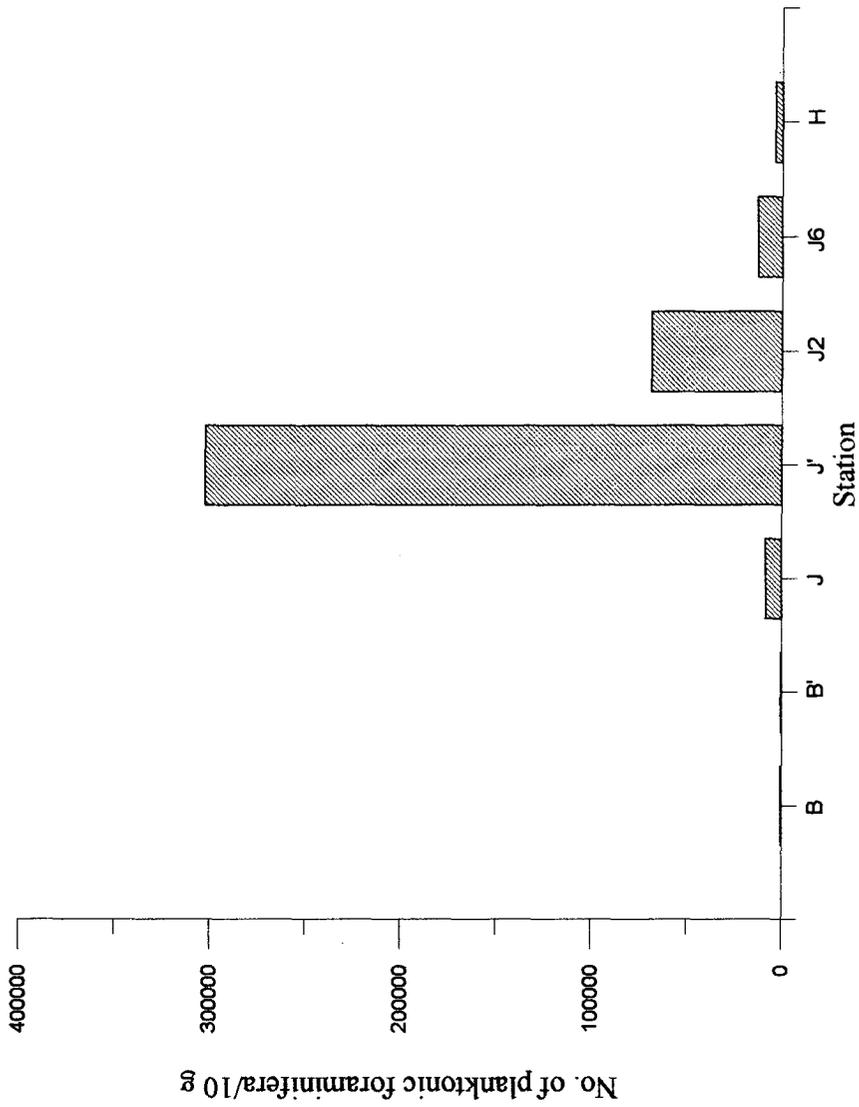


Fig. 5. Number of planktonic foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core.

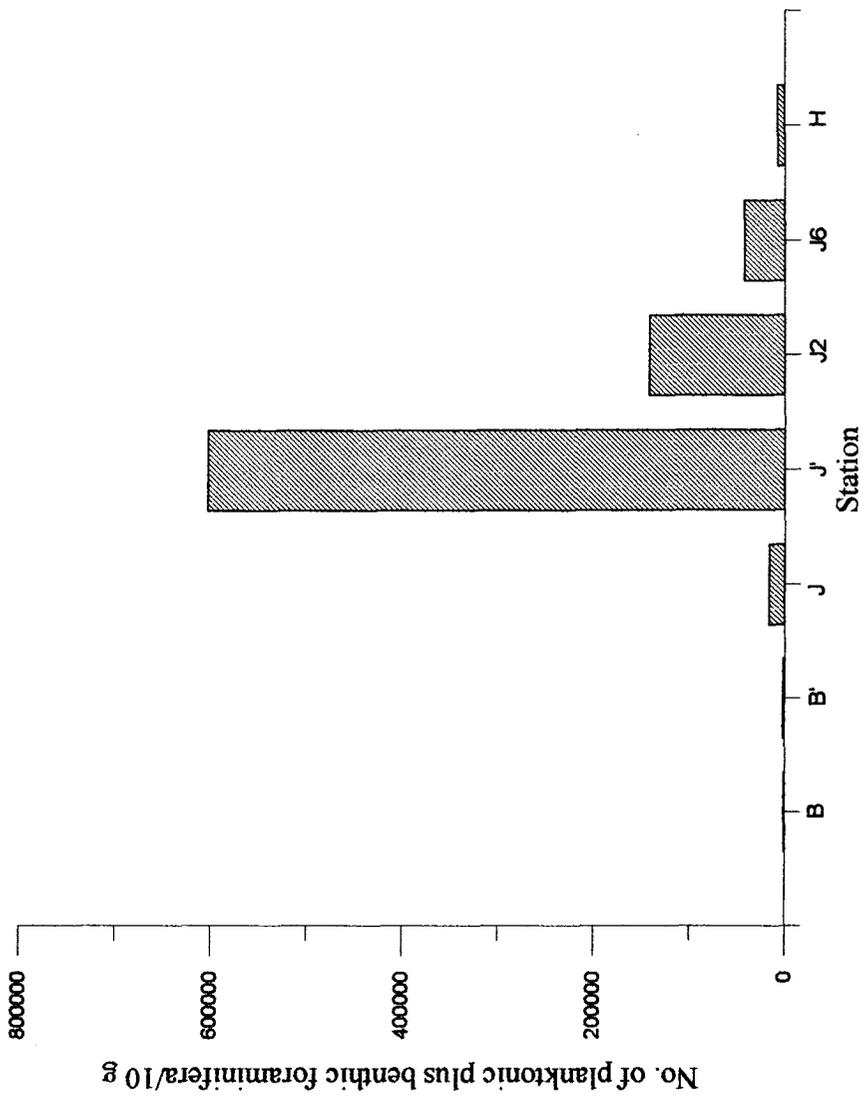


Fig. 6. Number of planktonic plus benthic foraminifera in the 10 grams of dried surface sediment in each box core.

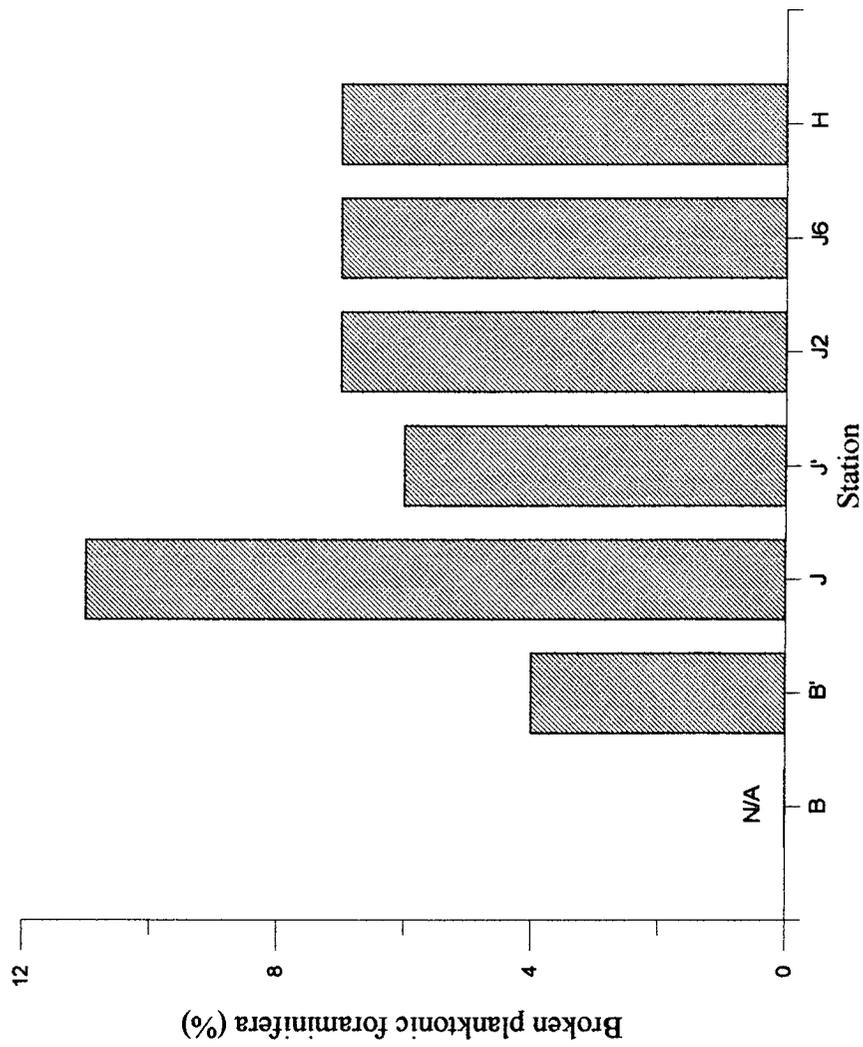


Fig. 7. Relative abundances of broken planktonic foraminifera from the surface sediment in each box core.

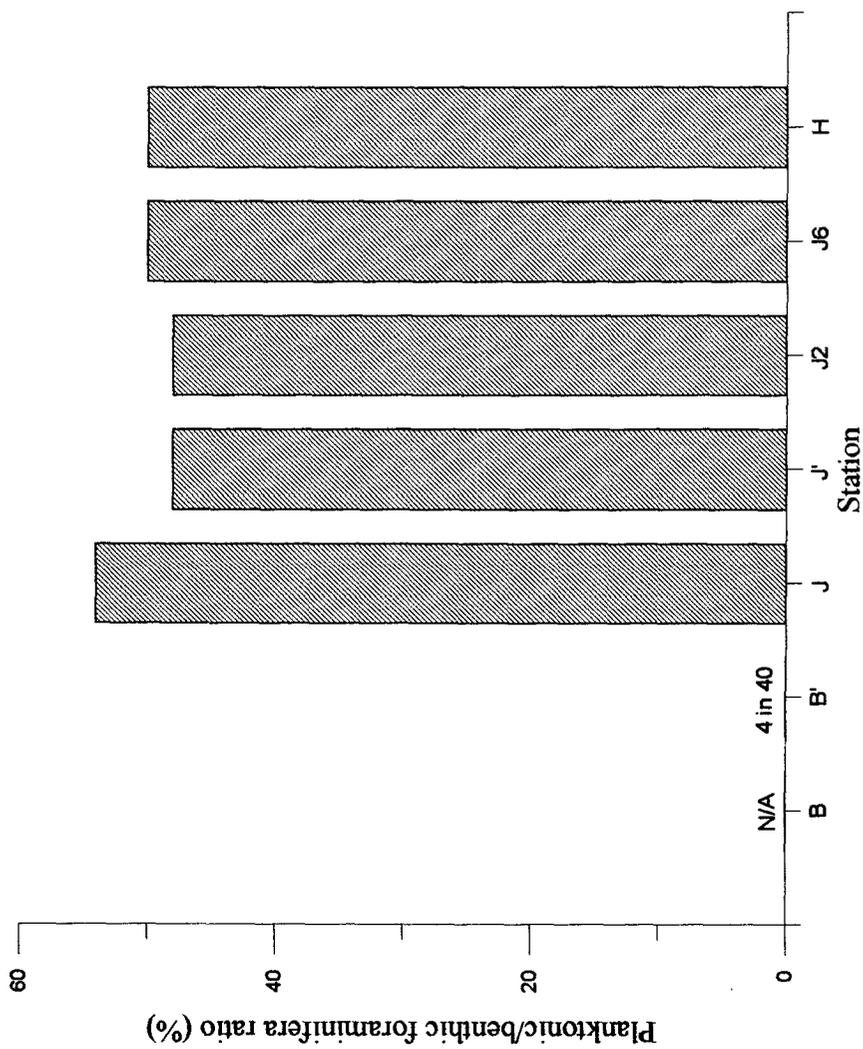


Fig. 8. Planktonic/benthic foraminifera ratio from the surface sediment in each box core.

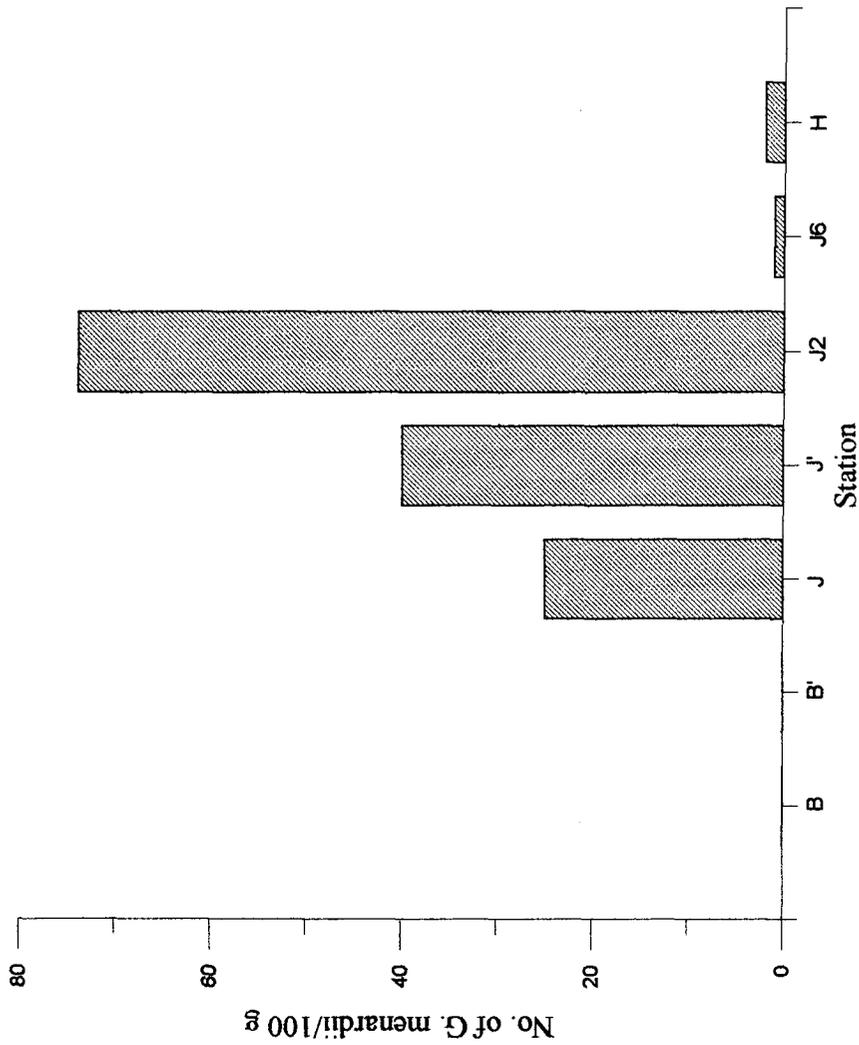


Fig. 9. Number of planktonic foraminifera *Globorotalia menardii* in the 10 grams of dried surface sediment in each box core.

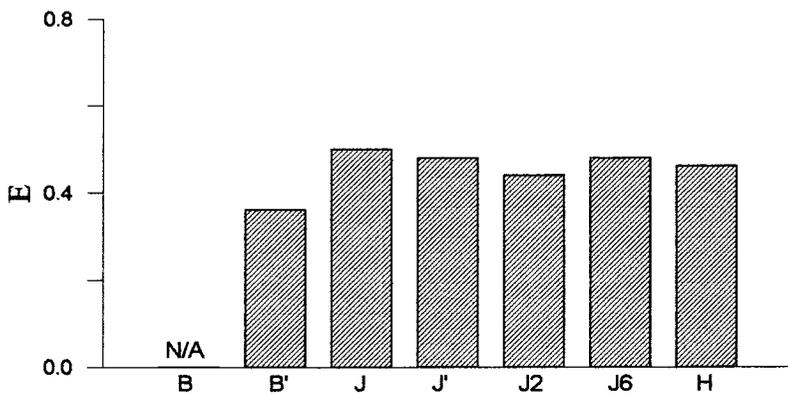
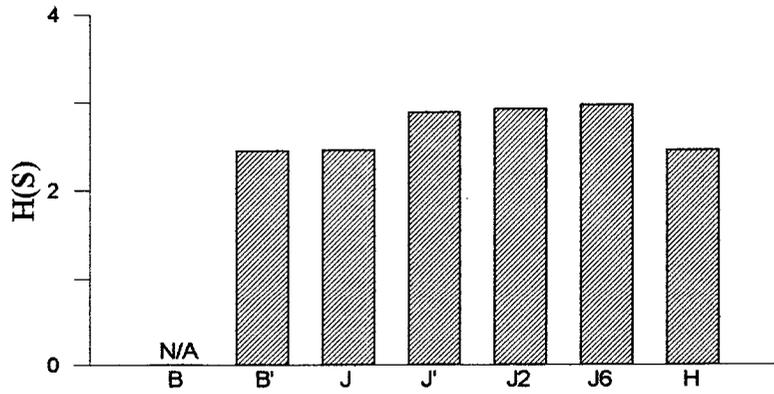
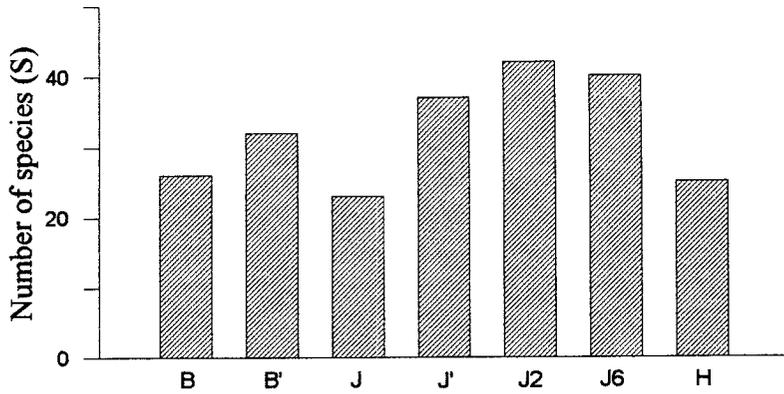


Fig. 10. Species diversity indices [S, H(S), E] from the surface sediment in each box core

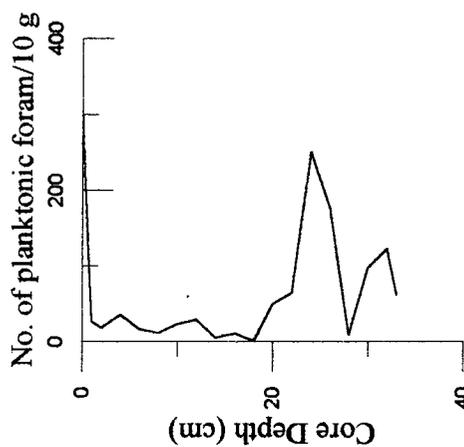
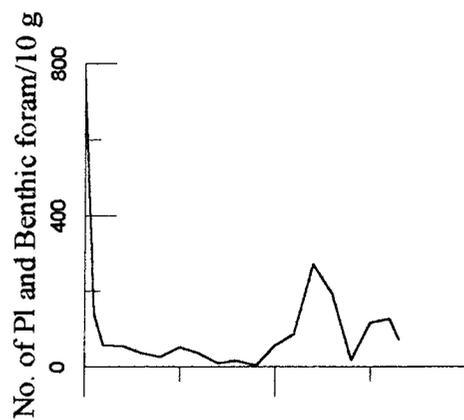
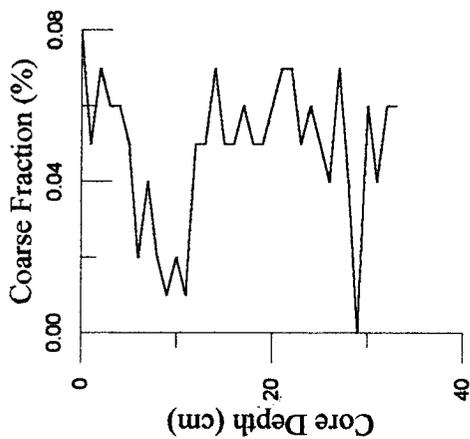
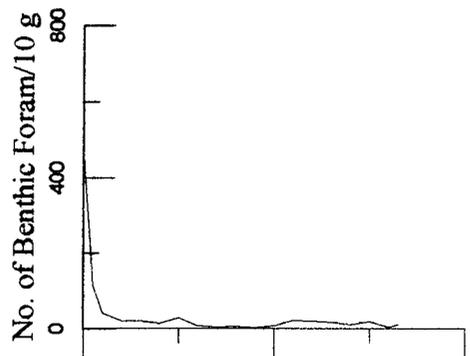
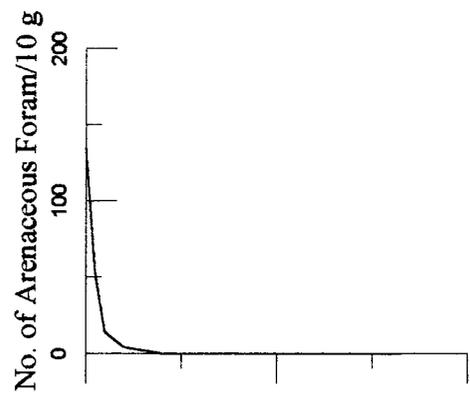


Fig. 11. Downcore distribution patterns of coarse fraction, number of benthic, arenaceous, planktonic, and planktonic plus benthic foraminifera in the box core B.

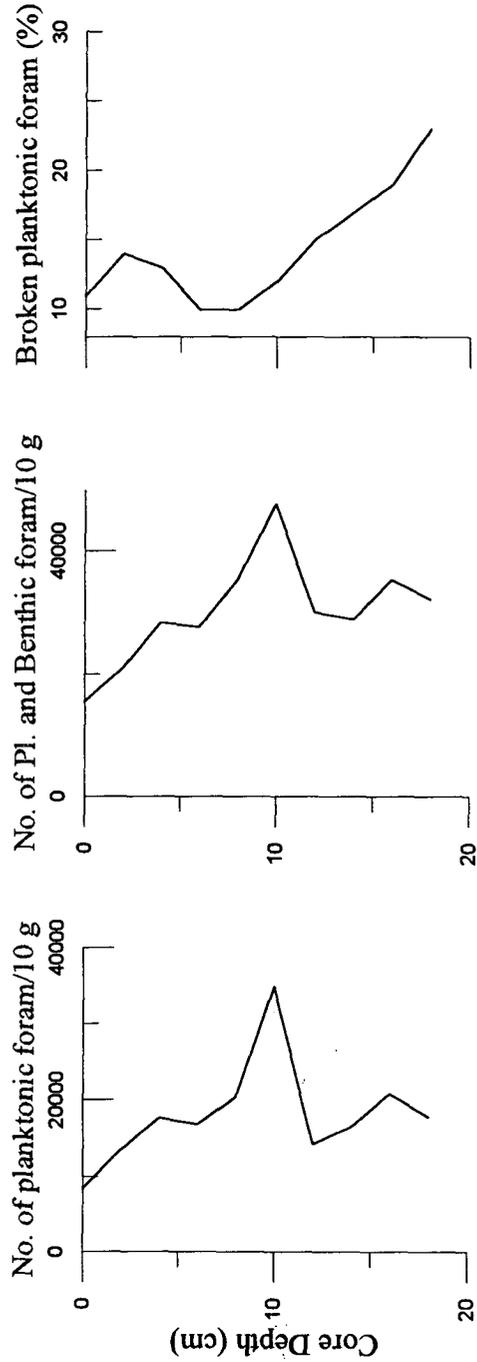
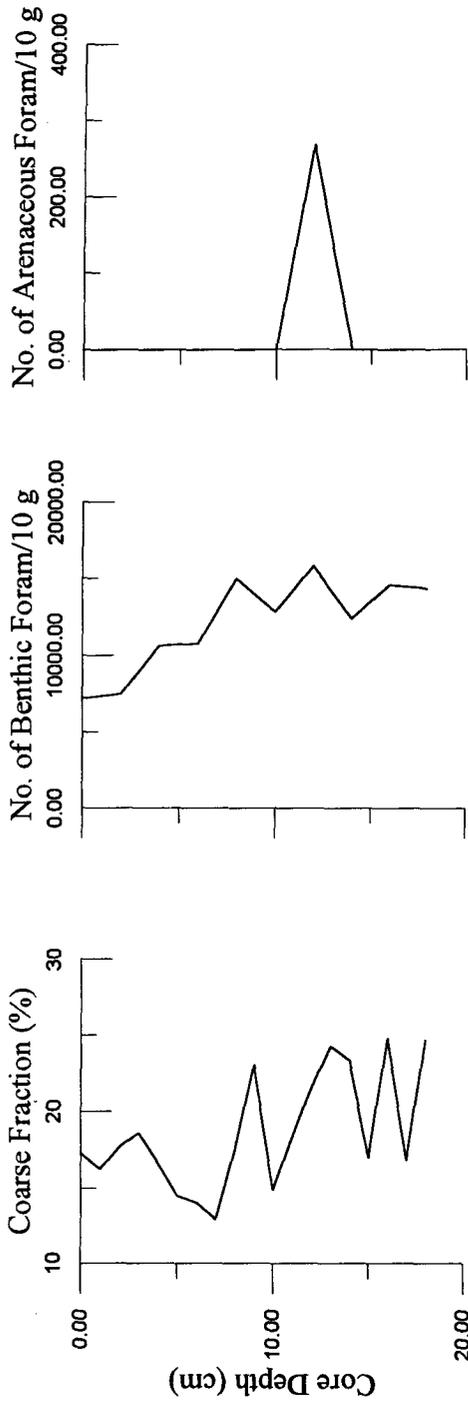


Fig. 12. Downcore distribution patterns of various environmental parameters in the core J.

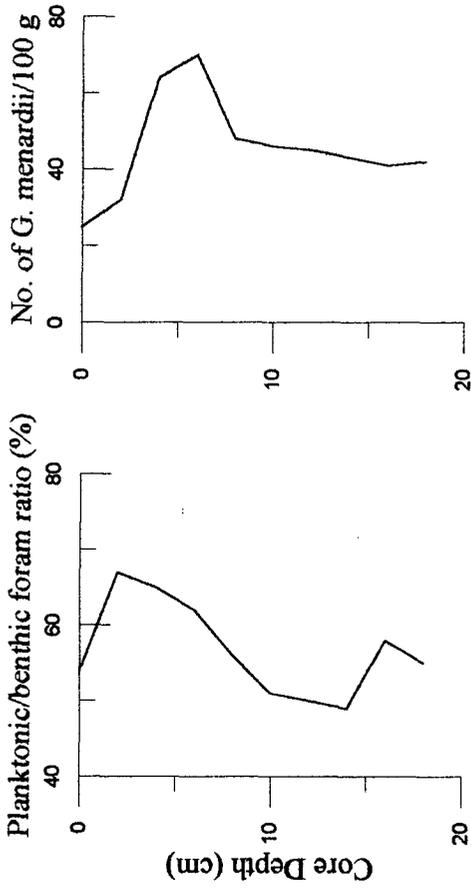


Fig. 12. continued.

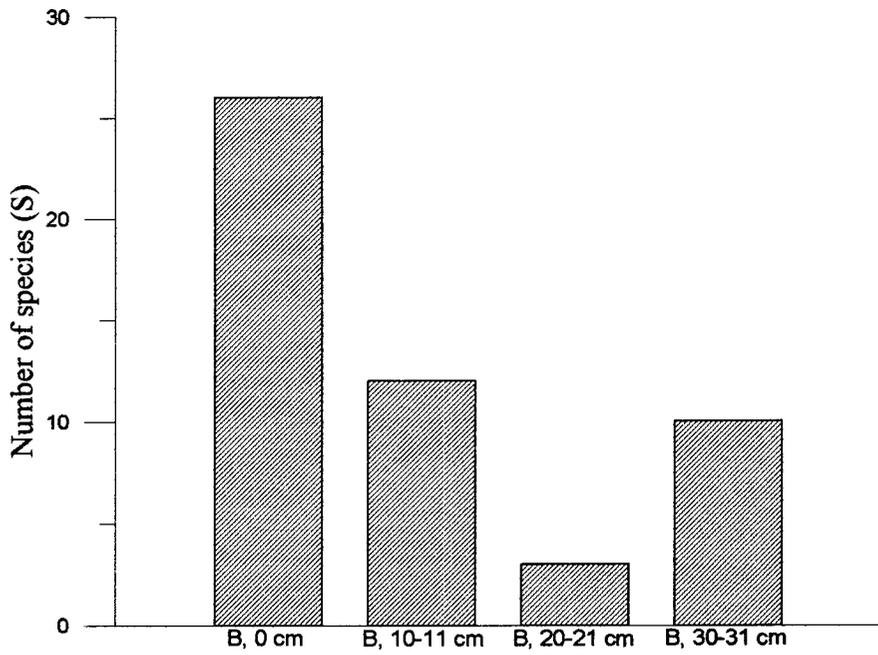


Fig. 13. Number of species in the box core B at the surface, 10-11 cm, 20-21 cm, and 30-31 cm downcore depth.

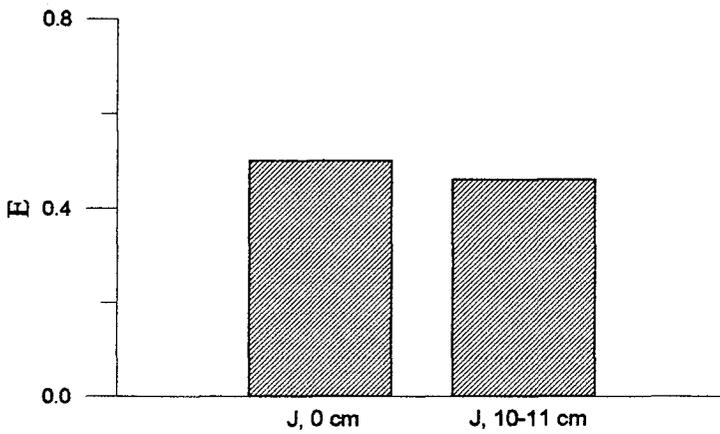
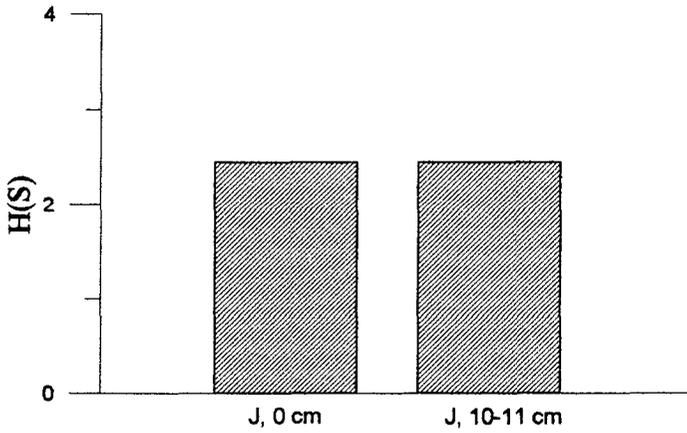
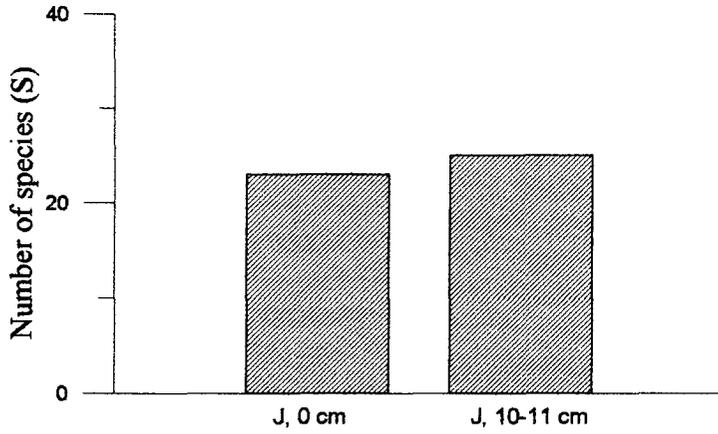


Fig. 14. Species diversity indices [S, H(S), E] in the box core J at the surface and 10-11 cm downcore depth.

List of Tables

Table 1. Locations, water depths, years collected, and lengths of cores.

| Core Site | Latitude | Longitude | Water Depth (m) | Core Length (cm) | Year Collected |
|-----------|--------------|---------------|--------------------|------------------|----------------|
| B | 36° 00.85' N | 130° 48.99' E | 1,500 | 34 | 1997, 3 월 |
| B' | 35° 39.84' N | 130° 40.09' E | 949 | 40 | 1997, 9 월 |
| J | 35° 13.52' N | 130° 00.05' E | 147 | 19 | 1997, 3 월 |
| J' | 35° 08.10' N | 129° 42.02' E | 141 | 19 | 1997, 9 월 |
| J2 | 35° 00.00' N | 129° 30.03' E | 176 | 30 | 1997, 9 월 |
| J6 | 35° 22.07' N | 129° 33.00' E | 115 | 42 | 1997, 9 월 |
| H | 35° 30.05' N | 130° 17.86' E | 209 | surface | 1997, 9 월 |

Table 2. Benthic foraminifera species list and percentage data.

| STATION NUMBER | B | B | B | B | B' | J | J | J' | J2 | J6 | H |
|----------------------------------|-------|--------|--------|--------|------|------|--------|---------|--------|--------|------|
| CORE DEPTH (cm) | 0 | 10'-11 | 20'-21 | 30'-31 | 0 | 0 | 10'-11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| WATER DEPTH (m) | 1,500 | | | | 949 | 120 | | 141 | 176 | 115 | 209 |
| NO OF SPECIES (S) | 26 | 12 | 3 | 10 | 32 | 23 | 25 | 37 | 42 | 40 | 25 |
| H(S) | na | na | na | na | 2.44 | 2.45 | 2.45 | 2.88 | 2.91 | 2.96 | 2.44 |
| E | na | na | na | na | 0.36 | 0.5 | 0.46 | 0.48 | 0.44 | 0.48 | 0.46 |
| NUMBER OF SPECIMENS | 594 | 28 | 6 | 18 | 732 | 7193 | 12,832 | 299,660 | 72,821 | 29,104 | 3467 |
| IN 10 g DRIED SEDIMENT | | | | | | | | | | | |
| <i>Alveolophragmium angulosa</i> | | | | | | | | | | | 0.3 |
| <i>A. ringens</i> | 1 | | | | | | | | | | |
| <i>A. subglobosum</i> | | | | | 0.3 | | | | | | |
| <i>A. wiesneri</i> | 16 | | | | | | | | | | |
| <i>Ammonia beccarii</i> | | | | 4 | 0.3 | 5.2 | 0.7 | 1.4 | 1.0 | 1.0 | 7.0 |
| <i>Amphicoryna separans</i> | | | | | | | | | 0.3 | | |
| <i>Anomalina glabrata</i> | | | | | | | | | | 3.3 | |
| <i>Bolivina pacifica</i> | | | | | 5.2 | | | | | | |
| <i>B. simplex</i> | | | | | | 0.4 | | | | | |
| <i>B. spathulata</i> | | | | | 2.7 | | | 2.8 | 3.4 | 2.6 | |
| <i>B. spissa</i> | | 1 | | | 0.7 | | | 4.6 | 2.7 | 3.6 | |
| <i>B. subspinescens</i> | 1 | | | | | | | | 0.3 | 0.3 | |
| <i>B. sp.</i> | | | | | | | 0.4 | | | 0.3 | |
| <i>Buccella frigida</i> | | | | | | 0.7 | | | | 3.0 | 7.0 |
| <i>B. malciyamae</i> | | | | | | | | | 0.3 | | |
| <i>B. sp.</i> | | | | | | | | | 0.3 | | |
| <i>Bullimina exilis</i> | | | | | 0.3 | | | | | 2.3 | |
| <i>B. gibba</i> | | | | | | | | 0.4 | | 3.0 | |
| <i>B. notovata</i> | | | | 1 | | | | 0.4 | | | |
| <i>B. marginata</i> | 2 | | | | 1.0 | 3.0 | 4.8 | 5.3 | 4.0 | 6.6 | 0.3 |
| <i>B. pacifica</i> | 2 | | | | | | | | | | |
| <i>B. striata</i> | | | | | | | | | 0.3 | | |
| <i>Calcarina calcar</i> | | | | | | | 0.4 | | | | |
| <i>Cancris indicus</i> | | | | | | | | 0.4 | | | |
| <i>C. oblongus</i> | 1 | | | | | | | | | | |
| <i>C. sp.</i> | | | | | | | | 0.4 | | | |
| <i>Cassidulina carinata</i> | | | | | | | | 2.1 | | | |
| <i>C. crassa</i> | | | | | 25.1 | 15.0 | 13.0 | | | | |
| <i>C. cushmani</i> | | | | | | | | | | | 4.8 |
| <i>C. norvangi</i> | | | | | | | | 12.6 | 11.8 | 11.5 | 15.0 |
| <i>C. teretis</i> | | 1 | | 1 | 0.3 | 3.0 | 1.5 | | | 0.3 | |
| <i>C. translucens</i> | | | | | | | | | | | 25.2 |
| <i>Chrysalidina dimorpha</i> | | | | | | | | 0.4 | 0.3 | | |
| <i>Cibicides deprimus</i> | | | 3 | 2 | 3.4 | | 0.4 | 6.7 | 6.1 | 3.3 | 2.2 |
| <i>Cibicides lobatulus</i> | 16 | 1 | | | | | | 22.5 | 18.6 | | 8.0 |
| <i>C. refulgens</i> | 1 | | | | | | | | 0.4 | 0.7 | |
| <i>C. sp.</i> | 13 | | | | | | | | | 0.6 | |
| <i>Cyclammina cancellata</i> | 1 | | | | | | | | | | |
| <i>C. trullissata</i> | | | | | 1.0 | | | | | | |
| <i>C. sp.</i> | | | | | | | | | | | 0.6 |
| <i>Dentalina sp.</i> | | 2 | 1 | 1 | 1.4 | | | | | | |
| <i>Diacobinella convexa</i> | | | | | 1.0 | | | | | | 0.3 |
| <i>Discopulvinulina araucana</i> | | | | | | 0.7 | | | | | |
| <i>Discorbis candelana</i> | | | | | | | 0.7 | | 0.3 | | |
| <i>Eggerella bradyi</i> | | | | | 0.3 | | | | | | 1.0 |
| <i>Elphidium advenum</i> | 4 | | | | 0.7 | 11.2 | 5.2 | | 2.4 | 0.7 | 8.0 |
| <i>E. crispum</i> | | | | | | | | | | | 0.3 |
| <i>E. excavatum</i> | | | | | 5.2 | 10.1 | 12.3 | 11.6 | 5.1 | 14.8 | 10.2 |
| <i>E. gunteri</i> | | | | | | | | | | 1.6 | |
| <i>E. macellum</i> | | | | | | | | | | | 0.6 |
| <i>E. sp. (reticulosum ?)</i> | | | | | | | 1.9 | 2.5 | 7.1 | 0.3 | |
| <i>Epistominella exigua</i> | 3 | | | | 18.2 | 11.2 | 19.7 | 18.9 | 18.9 | 17.4 | |
| <i>E. naraensis</i> | | | | | 14.1 | 2.6 | 5.2 | 9.8 | 8.1 | 1.0 | |
| <i>Eponides tener</i> | | | | | | | | | | 1.0 | |
| <i>Fissurina annectens</i> | | | | 1 | | | | | | | |
| <i>F. laevigata</i> | | 1 | | | 0.3 | | | | 0.3 | | |
| <i>F. orbignyana</i> | 1 | | | | | | | | | | |
| <i>F. semimarginata</i> | | | | | 0.3 | | | | | | |
| <i>F. submarginata</i> | | | | | 0.7 | | | 0.4 | | | |
| <i>F. wiesneri</i> | | | | | | | | | | 0.3 | |
| <i>Fissurina sp.</i> | | | | | | | | 0.4 | | | |
| <i>Gaudryina sp.</i> | | | | | | | | 0.4 | | | |
| <i>Globbulimina pacifica</i> | | | | | | | | | | 0.3 | |

Table 2. Continued

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>Globocassidulina subglobosa</i> | 12 | | | | 3.4 | | 6.3 | 2.8 | 9.1 | 4.3 | |
| <i>Globulina minuta</i> | 1 | 1 | 1 | 2 | | | | | | | |
| <i>Guttulina pacifica</i> | | | | | | | | | 0.3 | | 1.0 |
| <i>G. sp.</i> | | | | | | | | | | | 0.3 |
| <i>Gyroidinoides kuwanoi</i> | | | | | 0.7 | | | | | | |
| <i>Gyroidinoides nipponica</i> | 2 | | | | 0.3 | | | 1.4 | 0.3 | 3.0 | |
| <i>Hanzawala nipponica</i> | | | | | | 5.6 | 0.4 | 1.4 | 1.7 | | |
| <i>Hoeglundina elegans</i> | | | | | | 2.3 | 3.7 | 0.7 | 1.0 | | |
| <i>Hyalinae balthica</i> | 2 | | | | 0.3 | 0.7 | 1.1 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | |
| <i>Lagena elongata</i> | | | | | | | | 0.4 | | | |
| <i>L. laevis</i> | | 1 | | | | | | | | 0.3 | |
| <i>L. striata</i> | | | | | | | | 0.7 | 0.3 | | |
| <i>L. sp.</i> | | 1 | | 1 | | | | | | | |
| <i>Lenticulina convergens</i> | | | | | | | | | | | 0.6 |
| <i>L. gibba</i> | | | | | | | 1.1 | | | | |
| <i>L. lucidus</i> | | | | | | 1.1 | | | | | |
| <i>L. sp.</i> | | 1 | | | 0.3 | | | 0.8 | | 0.3 | |
| <i>L. sagamiensis</i> | | | | | | 1.1 | | | | | |
| <i>Melonis affine</i> | 1 | | | | | | | | | | |
| <i>Miliolinella oblonga</i> | | | | | | | | | | 0.3 | |
| <i>Nodosaria sp.</i> | | | | | | | | | | 0.3 | |
| <i>Nonion bradyi</i> | | | | | | | | | 0.7 | | |
| <i>N. scaphum</i> | 3 | | | | | 0.4 | | 2.1 | | | 2.9 |
| <i>Nonionella atlantica</i> | | | | | | 1.5 | | | | | |
| <i>N. stella</i> | | | | | | | | | | 3.6 | |
| <i>N. turgida</i> | | | | | | | | | 0.3 | | |
| <i>Oolina apiculata</i> | | | | 1 | | | | | | | |
| <i>O. globosa</i> | 1 | | | | | | 0.7 | 1.4 | 1.7 | 2.6 | |
| <i>O. melo</i> | 1 | | | | | | | | | | |
| <i>Orodorsalis tener</i> | | | | | 0.7 | | | | 0.3 | | |
| <i>Parafondicularia advena</i> | | | | | | | | | | | 0.3 |
| <i>Patellinella inconspicua</i> | | | | | | | | | 0.3 | | |
| <i>Planularia australis</i> | | | | | | | 0.4 | | | | |
| <i>P. siddalliana</i> | | | | | | | | 0.4 | | | |
| <i>Pleurostomella sp.</i> | | | | | | | | 0.4 | | | |
| <i>Pseudononion japonicum</i> | | | | | 3.4 | | | | | 0.7 | |
| <i>Pullenia bulloides</i> | 1 | | | 1 | | 0.4 | 0.4 | | 1.0 | | |
| <i>P. quinqueloba</i> | 1 | | | | | 0.4 | | | | 1.0 | 0.6 |
| <i>Pyrgo laevis</i> | 1 | | | | | | | | | | |
| <i>Quinqueloculina elongata</i> | 1 | | | | | | | | | | |
| <i>Q. lamarckiana</i> | | 5 | | | | | | | | | |
| <i>Q. venusta</i> | | | | | | | | | 0.7 | | |
| <i>Robertinoides bradyi</i> | | | | | | | | | | 0.3 | |
| <i>Robulus pliccaenicus</i> | | 1 | | | | | | | | 0.3 | |
| <i>Robulus sp.</i> | | | | | | | | | | | |
| <i>Rosalina bradyi</i> | | | | | 1.0 | 0.4 | | | | | 1.0 |
| <i>R. globularis</i> | | | | | | | 0.4 | | | | |
| <i>R. sp.</i> | | | | | | | | | 0.3 | | |
| <i>Siphotextularia concava</i> | | | | | | | | | 0.3 | | |
| <i>Spiroloculina tenuiseptata</i> | | | | | 0.3 | | | | | | |
| <i>S. sp.</i> | | | | | | | | | 0.3 | 0.3 | |
| <i>Spirosigmollinella sp.</i> | | | | | | | | 0.4 | 0.7 | | |
| <i>Textularia goesii</i> | | | | | | | | | 1.3 | | |
| <i>Trochammina charlottensis</i> | | | | | | | | | | 1.0 | |
| <i>T. inflata</i> | 12 | 1 | | | | | | | | | |
| <i>T. japonica</i> | | | | | 1.4 | | | | | 0.7 | |
| <i>T. pygmaea</i> | | | | | | | | | | 0.3 | |
| <i>Uvigerina bifurcata</i> | | | | | | | 0.4 | | | 2.3 | |
| <i>Uvigerina canariensis</i> | | | | | | | | 1.8 | | | |
| <i>U. cushmani</i> | | | | | | | 0.4 | | | | 2.2 |
| <i>U. peregrina</i> | | | | | 7.2 | 0.4 | | | 1.3 | | |
| <i>U. sp.</i> | | | | | | | | 1.8 | | | |
| <i>Valvulinera aff. hamanaoensis</i> | | | | | | | | 1.8 | | | |
| <i>V. rugosa</i> | | | | | | | | | 3.0 | | |
| <i>Valvulinera sp.</i> | | | | | | | | | | 0.3 | |
| <i>Virgulina davisi</i> | | | | | | | | 0.4 | | | |

Table 3. Various environmental parameters for each core.

| Sample | CF(%) | Ben/10g | Are/10g | PI/10g | P+B/10g | BrPI(%) | P/B(%) | G. men/100g |
|--------|-------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|-------------|
| B | 0.08 | 460 | 134 | 299 | 759 | na | na | none |
| B' | 10.71 | 732 | 22 | 292 | 1024 | 4 | 4 in 40 | none |
| J | 17.27 | 7193 | 0 | 8479 | 15672 | 11 | 54 | 25 |
| J' | 44.11 | 299660 | 0 | 302550 | 602210 | 6 | 48 | 40 |
| J2 | 74.46 | 72821 | 772 | 68446 | 141267 | 7 | 48 | 74 |
| J6 | 7.53 | 29104 | 371 | 12698 | 41802 | 7 | 50 | 1 |
| H | 94.12 | 3467 | 22 | 3501 | 6968 | 7 | 50 | 2 |

Table 4. Downcore values of various environmental parameters for core B.

| Core depth (cm) | CF(%) | Ben./10g | Are./10g | Pl./10g | P+B/10g |
|-----------------|-------|----------|----------|---------|---------|
| 0 | 0.08 | 460 | 134 | 299 | 759 |
| 1 | 0.05 | 113 | 52 | 27 | 140 |
| 2 | 0.07 | 39 | 14 | 18 | 57 |
| 3 | 0.06 | | | | |
| 4 | 0.06 | 19 | 4 | 36 | 55 |
| 5 | 0.05 | | | | |
| 6 | 0.02 | 20 | 2 | 17 | 37 |
| 7 | 0.04 | | | | |
| 8 | 0.02 | 14 | 0 | 12 | 26 |
| 9 | 0.01 | | | | |
| 10 | 0.02 | 28 | 0 | 23 | 51 |
| 11 | 0.01 | | | | |
| 12 | 0.05 | 7 | 0 | 29 | 36 |
| 13 | 0.05 | | | | |
| 14 | 0.07 | 4 | 0 | 5 | 9 |
| 15 | 0.05 | | | | |
| 16 | 0.05 | 5 | 0 | 11 | 16 |
| 17 | 0.06 | | | | |
| 18 | 0.05 | 2 | 0 | 1 | 3 |
| 19 | 0.05 | | | | |
| 20 | 0.06 | 6 | 0 | 50 | 56 |
| 21 | 0.07 | | | | |
| 22 | 0.07 | 21 | 0 | 65 | 86 |
| 23 | 0.05 | | | | |
| 24 | 0.06 | 20 | 0 | 251 | 271 |
| 25 | 0.05 | | | | |
| 26 | 0.04 | 16 | 0 | 177 | 193 |
| 27 | 0.07 | | | | |
| 28 | 0.04 | 9 | 0 | 9 | 18 |
| 29 | 0 | | | | |
| 30 | 0.06 | 18 | 0 | 98 | 116 |
| 31 | 0.04 | | | | |
| 32 | 0.06 | 4 | 0 | 123 | 127 |
| 33 | 0.06 | 10 | 0 | 62 | 72 |

Table 5. Downcore values of various environmental parameters for core J.

| Depth (cm) | CF(%) | Ben./10g | Are./10g | PI/10g | P+B/10g | BrPI(%) | P/B(%) | G.men./100g |
|------------|-------|----------|----------|--------|---------|---------|--------|-------------|
| 0 | 17.27 | 7193 | 0 | 8479 | 15672 | 11 | 54 | 25 |
| 1 | 16.25 | | | | | | | |
| 2 | 17.68 | 7477 | 0 | 13584 | 21061 | 14 | 67 | 32 |
| 3 | 18.62 | | | | | | | |
| 4 | 16.65 | 10676 | 0 | 17752 | 28428 | 13 | 65 | 64 |
| 5 | 14.49 | | | | | | | |
| 6 | 14.03 | 10780 | 0 | 16921 | 27701 | 10 | 62 | 70 |
| 7 | 12.91 | | | | | | | |
| 8 | 17.48 | 14992 | 0 | 20332 | 35324 | 10 | 56 | 48 |
| 9 | 23.03 | | | | | | | |
| 10 | 14.92 | 12832 | 0 | 34903 | 47735 | 12 | 51 | 46 |
| 11 | 18.32 | | | | | | | |
| 12 | 21.56 | 15832 | 268 | 14312 | 30144 | 15 | 50 | 45 |
| 13 | 24.29 | | | | | | | |
| 14 | 23.32 | 12427 | 0 | 16576 | 29003 | 17 | 49 | 43 |
| 15 | 17.03 | | | | | | | |
| 16 | 24.77 | 14575 | 0 | 20846 | 35421 | 19 | 58 | 41 |
| 17 | 16.85 | | | | | | | |
| 18 | 24.68 | 14380 | 0 | 17841 | 32221 | 23 | 55 | 42 |