

한국심해연구해역 시추퇴적물내 방산충과
자기특성을 이용한 고해양환경 복원

The Reconstruction of Paleoenvironment using Radiolarians
and Magnetic properties from Core sediments
in KODOS(Korea Deep Ocean Study) Area

1995. 3.

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “한국심해연구해역 시추퇴적물내 방산총과 자기특성을 이용한 고해양환경 복원”의 최종 보고서로 제출합니다.

1995년 3월

연구책임자 : 김 기 현

연 구 원 : 박 정 기

박 정 희

요 약 문

I. 제 목

한국심해연구해역 시추퇴적물내 방산층과 자기특성을 이용한 고해양환경 복원

II. 연구의 내용 및 결과

본 연구에서는 북동태평양 클라리온-클리퍼톤 균열대내 94한국심해연구해역에서 채취한 박스코어와 피스콘코어 퇴적물에서 산출되는 방산층에 대한 미고생물학적인 연구와 퇴적물의 고지자기 및 암석자기 특성을 이용한 퇴적물의 고해양환경특성을 규명하는데 그 목적이 있다.

본 조사해역에서 채취된 방산층 시료들은 제 4기종들이 주를 이루고, 상대적으로 용해에 강한 제 3기종들이 소량 협재된 상태로 산출되었다. 관찰된 대부분의 4기종들은 보존상태가 양호하고 깊은 퇴적심도에서도 용해되기 쉬운 종들이 나타나는 것으로 보아 제 4기동안 본 연구해역의 퇴적환경은 생물교란이나 저층해류의 작용이 활발하지 않은 비교적 안정한 상태로 유지되었음을 추정할 수 있다.

제 3기층 상부에서는 수차례에 걸친 퇴적결층이 나타나는데 이는 당시 강한 저층해류의 작용으로 인한 제 3기 퇴적물들의 침식이나 방산층 균집의 용해에 기인하는 것으로 사료된다.

온대종과 열대종의 상대적 산출비를 이용한 Radiolarian climatic index(T_R)값을 사용하여 고기후 변화에 따른 방산층의 균집변화를 알아본 결과, 본 해역은 저위도에 위치하고 있어 제 4기동안 방산층 균집전체는 빙하기와 간빙기의 기후변동에 큰 영향을 받지 않았으며, 오늘날과 유사한 온난수괴 환경하에서 퇴적작용이 이루어진 것으로 관찰되었고 제 4기동안에 비교적 높은 생물생산성을 시사하고 있다.

본 조사해역에서 채취한 코어퇴적물에 대해 고지자기 및 암석자기 연구를 수행한 결과, 퇴적물에 기록되어있는 잔류자화는 대부분 안정한 일차잔류자화이다. 조사해역의 퇴적률은 상부 Brunhes Normal Chron의 범위에서는 $1.1 - 1.3 \text{ mm}/10^3\text{년}$ 이며, 하부 Matuyama Reverse Chron에서 Jaramillo Normal Subchron까지는 $1.7 - 5.3 \text{ mm}/10^3\text{년}$ 으로 나타났다. 이와같은 결과로 보아 퇴적시기는 주로 플라이스토세와 플라이오세 후기에 퇴적되었음을 보여준다. 퇴적층하부에서 자기적으로 불안정한 자화층이 나타나는 것은 특정한 기원물질의 변화가 없는 속성기작의 영향으로 사료된다.

SUMMARY

I. Title of Study

The reconstruction of paleoenvironment using radiolarians and magnetic properties from the sediment cores in KODOS (Korea Deep Ocean Study) area

II. Abstract

This research was undertaken as part of the KODOS project designed to gain a more complete understanding of the distribution of manganese nodules in Clarion-Clipperton fracture zone.

The aim of this study is to clarify the characteristics of paleoenvironments using radiolarians, paleomagnetic and rock-magnetic properties in sediment with depth.

In the study area, radiolarian faunas consist mostly of Quaternary species and trace amount of reworked Tertiary species resistant to dissolution. Well-preserved and fragile Quaternary species in the lower layer of the sediment cores indicate that the Quaternary depositional environment has been relatively quiet without the activities of strong bottom currents and benthic animals.

Some hiatuses recognized in the upper Tertiary sediment layer are assumed to have been caused by significant erosion and dissolution of Tertiary deposits.

The paleoclimatic change of this area inferred by the radiolarian climatic index suggests that radiolarian fauna were seldom influenced by climate event. The radiolarian assemblage indicate that the study area has been located beneath the productive warm water during Quaternary, similar to the present condition.

In the paleomagnetic and rock-magnetic study, paleomagnetic results show that the most of Natural Remanent Magnetization(NRM) components recorded in sediments is a stable remanent magnetization. The sedimentation rates are estimated by correlating the normal and reverse interval with the geomagnetic time scale. The accumulation rate of the upper part (Brunhes normal chron) of the piston cores range from 1.1 mm to 1.3 mm/10³ years. Whereas the rates for the lower part

(below Brunhes-Matuyama boundary) are 1.7 mm to 5.3 mm/10³ years. Our results suggest that the age of the sediments is pleistocene and late pliocene.

The magnetically unstable layer in lower part of the cores was characterized by a decrease in the magnetic intensity and deterioration of the quality of NRM directional data with depth. It may be concerned that these effects were caused by diagenetic processes in sediments with depth.

CONTENTS

요 약 문	3
SUMMARY	5
CONTENTS	7
LIST OF TABLES	9
LIST OF FIGURES	11
I. 서 론	13
II. 지질 및 퇴적환경	13
III. 생층서 (Biostratigraphy) 및 자기층서 (Magnetostratigraphy)	15
III-1. 코어퇴적물 내에서 산출된 방산층 균집	15
III-1-1. 연구의 필요성	15
III-1-2. 재료 및 방법	16
III-1-3. 결과 및 고찰	18
III-2. 코어퇴적물의 고지자기 및 암석자기 특성	25
III-2-1. 연구의 필요성	25
III-2-2. 연구방법	26
III-2-3. 결과 및 토의	27
IV. 결 론	35
V. 사 사(ACKNOWLEDGEMENT)	37
VI. 참고문헌	38
VII. PLATES	62

LIST OF TABLES

TABLE III-1-1. Sediment samples for radiolarian fauna analysis in the KODOS94 area	16
TABLE III-1-2. Occurrence of radiolarian taxa in KODOS94 area	53
TABLE III-1-3. Stratigraphic range of radiolarian species which are observed in KODOS94 area	60

LIST OF FIGURES

Figure II-1. Map showing the study area discussed in this text. The distribution of sediment age and facies of the surrounding region are also shown (the distributional redrawn after Hays et al. (1969) is adopted).	43
Figure III-2-2. Zijderveld plots for the upper and the lower part in each cores	44
Figure III-2-3. Magnetic susceptibility and Fe content of st. 19, 23 and 31	45
Figure III-2-4. Alternating field demagnetization curves for the upper part and the lower part in each cores. The normalized intensity is plotted versus the peak alternating demagnetization field	46
Figure III-2-5. Paleomagnetic results and inferred magnetic polarity for st. 19	47
Figure III-2-6. Paleomagnetic results and inferred magnetic polarity for st. 23	48
Figure III-2-7. Paleomagnetic results and inferred magnetic polarity for st. 31	49
Figure III-2-8. Magnetostratigraphies for the piston cores. The geomagnetic time scale is that of Beggren et a. (1985)	50
Figure III-2-9. Depth versus time relation. The geomagnetic time scale modified after Berggren et al. (1985) is adopted	51
Figure III-2-10. Magnetic anisotropy profiles of st. 19, 23 and 31. (Above results were measured by Anisotropy of Magnetic Susceptibility)	52

I. 서 론

해양자원에 관한 관심이 증대되고 있고 지구의 지질학적 제현상과 기구를 이해하는데 해양저 퇴적물의 중요성이 크게 부각되고 있는 실정에 비추어 해양저 심해퇴적물의 퇴적작용과 퇴적층서 및 퇴적환경을 이해하는 것은 매우 중요하다. 특히 퇴적물이 퇴적될 당시의 정확한 시대를 확인함으로써 그 당시의 심해퇴적환경이나 퇴적기작을 이해하는 것이 가능하기 때문에 층서대비는 필수적이라 할 수 있다.

한국심해 연구해역은 과거 수년동안 해양연구소에서 꾸준히 조사되었지만 국지적인 지형상의 변화가 심하고 저층해류와 저서생물의 작용에 의한 퇴적물의 교란이 활발하여 지역간의 정확한 층서대비가 힘든 상황이었다. 또한 방산층을 주요대상으로 한 생층서에 주로 의존하였기 때문에 생물교란등의 작용으로 인한 퇴적물 혼합 (mixing)에 의해 야기되는 해석상의 난점을 보정하기 위한 자료가 부족하였다. 따라서, 본 연구에서는 전지구적으로 동시기에 일어나는 고지자기의 변화와 미화석의 생존과 절멸시기를 이용한 생분대를 대비하여, 보다 정확한 층서대비를 확립하고 한국심해연구해역의 제 3기층에서 빈번히 관찰되는 퇴적소극의 시기를 규명하여 과거 지질시대를 통한 심해환경과 퇴적작용의 변화, 저층해류의 변화등을 유추하고 이를 통해 심해 유용광물이 형성될 당시의 환경을 이해하는데 기본토대를 마련하고자 한다.

II. 지질 및 퇴적환경

조사해역은 경도 $130^{\circ} 35' - 132^{\circ} 25' W$, 위도 $09^{\circ} 05' - 11^{\circ} 35' N$ 에 위치하는 94한국심해연구 (KODOS94)해역이다 (Fig. II-1). 지형적 특성은 전반적으로 특정한 단층이나 기반암의 노출이 없는 수심 4,800 m전후의 심해저 평원 (Abyssal plain)이 주를 이루며, 지역적으로는 조사해역 남단과 북단에서 수심 5,000 m이상의 대규모 심해저곡 (Abyssal trough)이 나타난다. 또한 심해저 평원과 심해저곡을 연결하는 사면이 북동-남서 방향으로 발달하여 동-서 방향으로 요철형의 지형을 이루는데 동쪽 사면은 급격한 구배를 이루며, 이와는 반대로 서부사면은 완만한 구배를 형성하고 있다. 이러한 지형특성은 동태평양 해령 (East

Pacific Rise)에서 발원하는 해저확장에 따른 지구조운동 (Tectonic movement)으로 인하여 퇴적층 하부에 있는 기반암의 불균질한 응축과 침강이 그 주된 요인으로 보인다.

퇴적층후는 80 - 200 m이며, 층후의 발달은 경도 132° W를 기준으로 동부로 가면서 두꺼워지며, 조사해역내 남동부해역이 북부해역보다 층후가 두껍게 나타난다. 이러한 층후를 결정하는 요인은 기반암의 형태에 따라 상부를 피복하고 있는 퇴적층의 피복양상과 과거 지질시대를 거치면서 지구조운동과 저층류의 유입등의 영향으로 선택적인 침식과 퇴적이 활발해지면서 특징지워진다.

지구물리 탐사에 의해 획득된 탄성파 자료 (해양연구소, 1994)와 DSDP 160 시추자료 (van Andel and Heath, 1973)에 의하면, 조사해역을 이루고 있는 퇴적층은 크게 기저로부터 합다금속 (Polymetallic)의 라인아일랜드층, 탄산질층인 마퀘사스층과 규질 및 점토질이 우세한 클리퍼튼층으로 천이하며, 층간의 경계는 부정합으로 이루어져 있다. 최상부에 해당하는 Unit I은 클리퍼튼층 (Clipperton Formation)의 상부로 마이오세에서 제4기에 해당하며, 이시기에 남극저층수 (Antarctic Bottom Water:AABW)의 유입이 활발해짐에 따라 주로 방산층 연니와 Zeolitic clay와 같은 퇴적물이 선택적으로 퇴적된 것으로 보인다. 또한, 음파특성상 산란 반사층에 의해 음파투명층 (Acoustic transparent layer)이 주를 이루며, 부분적으로 불연속적인 내부반사층 (Internal reflectors)이 나타나는 것은 퇴적시기에 국부적인 침식작용이 있었음을 시사하고 있다. Unit I하부에 나타나는 Unit IIA는 클리퍼튼층의 Cyclic unit와 마퀘사스층 (Marquesas Formation)이 혼재되어 나타나는데, 클리퍼튼층의 Cyclic Unit은 형성시기가 올리고세에서 마이오세에 해당하며 방산층 연니와 탄산질 미화석 연니층이 교호되어 나타난다. 마퀘사스층은 에오세에서 올리고세에 형성된 음파투명층으로 주 구성퇴적물은 탄산질연니이다. Unit IIB는 Unit IIA와 현무암질 기반암 (Basement)사이에 협재되어 나타나며, 주로 방산층 연니와 탄산질 미화석 연니와 갈색점토로 구성되어 있다.

연구해역의 퇴적상은 위도 9° N와 11° N사이에 위치함으로 생물기원 퇴적물대 (Corliss & Hollister, 1979)에 속하며, 클리퍼튼 균열대 이하에서 나타나는 탄산염 퇴적상이 연구해역 남단에서 나타남으로 전이적인 퇴적상대 (Sedimentological zonation)의 특징을 보여주고 있다 (Fig. II-1).

III. 생층서 (Biostratigraphy) 및 자기층서 (Magnetostratigraphy)

III-1. 코어퇴적물 내에서 산출된 방산층 군집

III-1-1. 연구의 필요성

해양미생물들은 환경변화에 민감하게 반응하기 때문에 대양의 플랑크톤 분포는 일반적으로 표면수괴의 분포양상과 일치하며 (Casey, 1971a, b; Casey et al., 1981; Petrushevskaya, 1972), 이런 플랑크톤에서 기원된 퇴적물 내의 미화석의 분포도 그들이 발견되는 지역 상부수괴의 특성을 잘 반영한다 (Casey et al., 1982; Johnson and Nigrini, 1980, 1982; Kling, 1976; Petrushevskaya, 1971a, b; Weinheimer et al., 1986). 따라서 해저 표층퇴적물 내에서의 미화석 분포는, 퇴적후 용해나 퇴적물에서의 생물고란을 고려한다 하더라도 그들이 생존할 당시의 표면수괴와 밀접한 연관성이 있어 퇴적물 심도에 따른 미화석 군집의 변화를 연구함으로써 과거 수괴분포의 변화를 추론하는 것이 가능하다. 때문에 오래전부터 여러 미생물의 잔해를 이용하여 광역적인 층서대비와 지구환경변화의 해석을 시도하려는 연구들이 많이 진행되어 왔다 (Hays et al., 1969; Howard & Prell, 1984; Moore, 1978; Moore et al., 1981; Morley & Hays, 1979; Patterson et al., 1990).

본 연구지역의 주상시료에서 산출되는 화석중 초미화석과 구조는 식물성 플랑크톤으로 모두 유광대에 서식하고 유공층 또한 수심 300 m보다 깊은 곳에서는 그 수가 급격히 감소하여 이들 종들은 주로 표면수괴의 환경변화 만을 반영한다. 반면, 방산층은 해구를 포함한 넓은 범위의 수심에서 존재하고 각 깊이 별로 산출되는 종이 제한되어 있어 유광대 이상의 깊이의 수괴에 미치는 환경변화의 유추에도 매우 유용한 도구로서 사용될 수 있다. 또한 방산층은 골격이 비정질의 opaline silica로써 용해에 강하기 때문에 탄산염 용해가 높고 생산력이 큰 연근해 지역이나 극지역, 유공층을 비롯한 석회질 미화석들이 용해되는 CCD (carbonate compensation depth)대 하부의 심해퇴적물에서 유용하게 사용되며 유공층보다 다양도 (diversity)가 훨씬 높다 (Moore, 1978). 따라서 방산층에 대한 미고생물학적 접근은 저위도 심해퇴적물의 층서와 고환경 해석에 훌륭한 지시자가 될 수 있다

본 연구는 KODOS 94 지역에서 채취된 퇴적물중에 포함된 규질 미화석중 산출상태가 양호한 방산층 군집을 주요 대상으로 하여 조사지역의 유기물 생산성 정도, 퇴적물의 퇴적시기 및 퇴적속도를 규명하고 본 연구지역의 생층서와 고환경을 밝히는데 목적이 있다.

III-1-2. 재료 및 방법

KODOS 94 지역에서 채취된 6개의 상자형 주상 시료와 3개의 피스톤형 주상 시료 퇴적물 내에서 산출되는 미화석중 방산층을 주요 대상으로 하여 총 112개 시료를 분석하였다 (Table III-1-1).

Table III-1-1. Sediment samples for radiolarian fauna analysis in the KODOS 94 area.

Station No.	Location (Latitude/Longitude)	Water Depth(m)	Core Type
46	9° 31' N/131° 17' W	4,940	Box core
74	9° 45' N/130° 48' W	4,870	Box core
79	10° 26' N/130° 35' W	4,760	Box core
15	9° 55' N/131° 47' W	4,965	Box core
51	9° 45' N/131° 03' W	4,730	Box core
54	10° 15' N/131° 03' W	4,701	Box core
19	09° 12' N/131° 50' W	5,050	Piston core
23	09° 26' N/131° 34' W	4,904	Piston core
31	10° 45' N/131° 33' W	5,050	Piston core

채취된 주상시료 중 비교, 분석이 가능한 정점을 선정하여 일정한 간격으로 시료를 취했으며 미고생물 분석을 위한 박편제작 과정은 다음과 같다.

1) 약 15 g의 시료중 1/3은 보관하고 2/3는 분석용 시료로 분리하여 250 ml 비이커에 넣는다.

2) 약 50 ml의 10% 과산화수소수 (H₂O₂)를 첨가하여 퇴적물을 산화시켜 분해하고 그 안에 들어 있는 유기물을 제거시킨다. 이 과정으로 퇴적물이 충분히 분해되지 않으면 0.02% Sodium Pyrophosphate를 첨가하여 약한불에 가열한다.

3) 시료가 충분히 분해되었으면 60 μ m의 체로 걸러서 과산화수소수 성분을 제거시킨 후, 남은 시료에 다시 10% 염산 (HCl)을 첨가하여 약 3시간 가량 가열시켜 탄산칼슘 성분을 제거시킨다.

4) 화학처리가 끝난 시료는 증류수로 3회 이상 세척한다. 이때 시료가 충분히 침전되도록 15분 이상을 방치시킨다.

5) 60 μ m의 체를 이용하여 한번더 거른후 방산충이 포함된 잔류물을 채취하여 50 ml의 용기에 약 10 ml의 증류수와 함께 담는다.

6) 일회용 피펫을 사용하여 용기로부터 2-3 방울 정도의 시료를 취하여 75×25 mm 슬라이드 위에 떨어뜨려 골고루 퍼뜨린 후 약 20℃의 가열판 위에 올려놓고 건조시킨 다음 Xylene을 한 두 방울 첨가시켜 화석속의 공기를 제거시킨다.

7) 적당량의 캐나다 발삼 (Canada Balsam)을 건조된 슬라이드 글라스 (slide glass) 위에 첨가시킨 후 기포가 생기지 않도록 주의하면서 22×25mm 덮개유리 (cover slip)를 덮어서 박편을 제작한다.

8) 완성된 박편은 약 2주 가량 저온 (약 60℃)의 건조로에서 건조시킨다.

시료처리 과정을 거쳐 제작된 각 슬라이드는 다양하게 나타나는 종들의 형태학적 변화, 군집의 보존상태 등을 분석하기 위해 Leitz photomicroscope를 이용하여 관찰하였다. 동정된 종들 중 시대구분과 환경해석을 위해 주요한 종들만 선정하여 도식화하였으며 (Table III-1-2) 방산충 군집의 산출상태가 비슷한 양상을 보이는 정점들은 (정점 79와 15, 정점 54와 74) 각 한 정점씩만 도식화하였다. 총서적으로 주요한 종들은 사진촬영을 하였다 (Plate III-1-1~III-1-5).

표에서 symbol로 표시된 것의 의미는 다음과 같다.

A+: 매우 풍부 (25개체 이상). A: 풍부 (16 - 20개체).

C: 보통 (11 - 15개체). F: 드물 (6 - 10개체).

R: 희귀 (2 - 5개체). +: 1개체.

-: 산출되지 않음

Abundance: A (abundant), C (common), F (few), R (rare)

Preservation: G (good), M (moderate), P (poor)

III-1-3. 결과 및 고찰

III-1-3-1. 생층서학적인 연구

연구해역에서 채취된 퇴적물층에는 정점에 따른 차이는 있으나 올리고세부터 제 4기까지의 시대구분이 가능한 방산충이 130 종 이상 산출되었다. 분석한 모든 주상시료 퇴적물 내의 방산충 군집들은 제 4기종이 주류를 이루어 산출되며 제 3기종들이 생물교란 작용이나 저층해류로 인한 재동작용에 의해 혼재된 상태로 관찰되었다. 출현종중 층서적으로 주요한 종의 지질연대 범위는 Table III-1-3에 도식화하였다.

제 4기 상부의 표준화석인 *Collosphaera invaginata*와 *Collosphaera tuberosa*의 출현에 의해 제 4기의 상부까지의 경계는 비교적 인지하기가 용이했다. 용해에 아주 약한 *C. invaginata*나 *Theoconus hertwigii*가 퇴적물 하부에서도 보존이 좋은 상태로 관찰되는 것으로 보아 본 조사지역은 제 4기 동안 저층해류의 작용이 비교적 약하고 퇴적율이 높았을 것으로 판단된다.

각 정점별 방산충 군집의 산출양상은 다음과 같다.

1) 정점 46

보존상태가 양호하고 비교적 풍부한 양의 방산충 군집들이 표층부터 13 cm 퇴적심도 까지 산출된다. 심도 16 cm 이상에서는 보존도와 산출도가 불량해져 화석군집에 용해의 흔적이 나타나기 시작하고, 심도 30 cm 이상에서는 방산충의 개체수가 급격히 감소하며, 용해에 강한 *spyrid* 속들과 제 3기종들이 관찰되는데 이들도 보존이 좋지 않은 조각들이거나 거의 마모되고 침윤된 외관을 나타내 정점 46에서는 16 cm 부근과 30 cm 부근에서 퇴적층의 경계를 보여준다.

제 4기 상부인 *Collosphaera invaginata* Zone에 국한되어 전세계적으로 동시기에 산출되는 *C. invaginata*가 13 cm까지 산출되어 13 cm와 16 cm의 경계부근이 *Collosphaera invaginata* Zone에 해당하는 층으로 추정된다. 25 cm까지 제 4기종이 다양하게 산출되며 최하부인 43 cm에서도 제 4기 상부 *Collosphaera*

tuberosa Zone에 국한되어 산출되는 *C. tuberosa*가 관찰된다. 그 외 제 4기에 국한되어 산출되는 종인 *Lamprocyrtis nigrinae*, *Theoconus hertwigii*, *Theocorythium t. trachelum*, *Acrosphaera trepanata* 등이 최하부에서 관찰된다. 후기 마이오세에서 중기 플라이오세까지 산출되는 *Phormostichoartus doliolum*과 *Anthocyrtidium jenghisi*, 마이오세종인 *Cyrtocapsella tetrapera*, 올리고세에서 마이오세 까지 산출되는 *Artostrobus pretabulatus*, *Botryopyle dictyocephalis*, *Theocyrtis annosa*, 올리고세 종인 *Theocyrtis tuberosa* 등이 상부에서도 소량으로 그리고 간헐적으로 산출되는 것으로 보아 생물교란작용과 저층해류에 의한 재동작용에 의해 퇴적물이 부분적으로 교란되었음을 시사해 준다. 정점 46은 표층부터 하부까지 제 4기 종이 우세하게 산출되며 제 3기종이 소량 혼재된 상태로 나타나며 전 퇴적물 깊이를 통해 플라이오세에만 국한되어 산출되는 *Spongaster pentas*, *Stichocorys peregrina*, *Lychnocanoma grande* 등이 관찰되지 않아 플라이오세 동안의 퇴적결층을 암시해 준다.

2) 정점 74

정점 46과는 달리 뚜렷한 퇴적경계는 나타나지 않고 주상시료 상부 부터 최하부까지 방산층 군집이 서서히 산출도와 보존도가 나빠지기는 하지만 급격히 불량해지는 경계는 없다. 제 4기 상부인 *Collosphaera invaginata* Zone에 국한되어 산출되는 *C. invaginata*가 13 cm까지 산출되어 13 cm와 16 cm의 경계부근이 *Collosphaera invaginata* Zone에 해당하는 층으로 추정된다. *Collosphaera tuberosa* Zone에 국한되어 산출되는 *C. tuberosa*와 *Sphaerozoum punctatum*이 최하부 퇴적깊이인 42 cm 까지 고르게 관찰된다. 전 심도를 통해 제 4기종이 주류를 이루며 최하부까지 관찰되고, 올리고세에서 초기 마이오세까지 산출되는 *Artophormis gracilis*와 *Theocyrtis annosa*, 올리고세 종인 *Theocyrtis tuberosa*가 간헐적으로 상부에서 소량 관찰되며, 심도 40 cm에서 플라이오세에 국한되어 산출되는 종인 *Stichocorys peregrina*가 관찰되어 생물교란작용이나 재동작용을 받았음을 시사해 준다.

정점 74는 전 심도를 통해 제 4기 종이 주류를 이뤄 고르게 산출되며, 혼재된 고기종이 많지 않아 퇴적물 교란이나 저층해류에 의한 재동작용이 활발하지 않은 비교적 조용한 환경에서 퇴적되었음을 나타내 주며, 전반적으로 정점 46보다는

산출되는 종의 개체수가 적어 상대적으로 낮은 생물 생산성을 보여준다. 또한 정점 74는 마이오세에서만 국한되어 산출되는 *Cryptocapsella tetrapera*, *Cryptocapsella japonica*, *Cryptocapsella costata*, *Cryptocapsella serrata*, *Stichocorys wolffii* 등이 산출되지 않아 마이오세 동안의 퇴적결층을 암시해 준다.

3) 정점 54

정점 54에서의 방산층 산출양상은 정점 74와 비슷하며 제 4기의 상부에 속하는 층으로 13 cm와 16 cm경계까지 제 4기의 상부인 *C. invaginata* Zone에 해당하고 그 이하의 심도는 제 4기층이 주류를 이루며, 부분적으로 퇴적물 교란으로 인해 올리고세에서 플라이오세까지의 종들이 혼재된 상태로 산출된다. 제 4기 동안의 퇴적율은 비교적 높은 것으로 추정된다.

4) 정점 79

보존상태가 양호하고 비교적 풍부한 양의 방산층 군집들이 표층부터 퇴적심도 13 cm까지 산출되며 16 cm부터는 산출도와 보존도가 나빠지기 시작하고 35 cm 이하의 심도에서는 방산층 군집의 산출량이 급격히 줄어들어 비교적 용해에 강한 *spyrinid* 속들도 산출되지 않고 몇 종만 조각상태로 산출된다. 이는 강한 저층해류에 의한 방산층의 용해현상이나 생산성의 감소를 암시해 준다. 1 cm에서 10 cm까지 제 4기 상부인 *Collosphaera invaginata* Zone에 국한되어 산출되는 *C. invaginata* 가 관찰되고 20 cm까지 제 4기 *Collosphaera tuberosa* Zone에서 산출되는 *C. tuberosa* 가 관찰된다. 최하부까지 제 4기종인 *Pterocorys minithorax*, *Lamprocyrtis nigrinia*, *Acrosphaera trepanata*가 산출된다. 플라이오세 종인 *Lychnocanoma grande*와 후기마이오세에서 중기플라이오세까지 산출되는 *Anthocyrtidium jengnisi*, 마이오세 종인 *Cryptocapsella tetrapera*, 올리고세에서 마이오세까지 산출되는 *Artophormis gracilis*, *Artostrobus pretabulatus*, 올리고세 종인 *Lithocyclia angusta* 등이 상부층에서도 산출되긴 하지만 일정한 경향이 없이 소량으로 산출되어 생물교란이나 재동작용에 의해 부분적으로 혼재된 것으로 보인다.

정점 79는 10 cm과 13 cm 경계까지 제 4기의 상부층인 *C. invaginata* Zone에 해당하고 그 이하의 심도는 제 4기층이 주류를 이루며 제 3기종이 부분적으로 협재되어 나타난다. 관찰된 주상시료 퇴적물중 방산층 군집 산출량이 가정 적어 정점 79는 타 지역에 비해 상대적으로 낮은 생산성과 저층해류에 의한 퇴적물의 지속적인 노출을 암시해 준다.

5) 정점 15

정점 15는 정점 79와 비슷한 방산층 산출양상을 보이며, 제 4기 층으로 20 cm 까지 제 4기의 상부에 해당한다. 25 cm보다 깊은 심도에서는 강한 저층해류의 작용으로 인해 방산층들이 용해되거나 침식되어 나타나지 않은 것으로 사료되며, 타 정점에 비해 혼재된 제 3기종의 비율이 높게 나타난다.

6) 정점 51

표층부터 최하부층까지 보존상태가 양호한 다양하고 풍부한 양의 제 4기 방산층들이 산출된다. 표층부터 20 cm까지 *Collosphaera invaginata* Zone에 국한되어 산출되는 *C. invaginata*가 관찰되고 최하부층까지 *Collosphaera tuberosa* Zone에서 산출되는 *C. tuberosa*와 *C. huxleyi*, *Sphaerozoum punctatum*이 규칙적으로 관찰된다. 마이오세에 산출되는 종들이 간헐적으로 미량이 관찰되긴 하나 출현종의 수가 적다. 전 퇴적물 깊이를 통해 플라이오세에만 국한되어 산출되는 *Spongaster pentas*, *Stichocorys peregrina*, *Lychnocanoma grande* 등이 관찰되지 않아 플라이오세 동안의 퇴적결층을 암시해 준다. 정점 51은 제 4기의 상부에 속하는 층으로 혼재된 제 3기종의 비율이 낮아 저층해류나 퇴적물의 교란이 심하지 않은 곳에서 빠르게 퇴적되었음을 나타내 준다. 특히, 정점 51은 타 정점에 비해 방산층 군집 산출량이 가장 많고 용해에 약한 *T. hertwigii*가 최하부까지 관찰되어 방산층 군집이 낮은 용해도를 보임으로써, 제 4기 동안의 높은 생물 생산성을 시사해 준다.

7) 정점 19

1 cm 깊이를 제외하고는 종의 보존도와 산출도가 양호하지 못한 편이다. 6 cm까지만 방산층이 산출되고 8 cm부터는 간헐적으로 산출되다가 60 cm이하의 퇴적깊이에서는 화석이 전혀 관찰되지 않는다. 화석이 산출되는 마지막 깊이인 55 cm에서도 플라이오세 상부에서 제 4기까지 산출되는 *Pterocorys minithorax*와 *Theoconus junonis*가 관찰된다. 올리고세 종인 *Artophormis gracilis*가 core상부에서도 소량 관찰된다. 특이할 점은 다른 정점에서 흔히 관찰되는 마이오세종이 관찰되지 않는 점이다. 이는 산출되는 방산층의 부족으로 정확한 해석을 하기는 어려우나, 마이오세 종들보다 보존이 더 약한 제 4기종이 산출되는 것이나 더 고기의 종들이 나타나는 것으로 보아, 마이오세 기간동안의 퇴적결층으로 추정된다. 정점 19는 약 55 cm까지 플라이오세에서 제 4기에 해당되는 층으로 추정되며, 화석이 드물게 산출되기는 하나 종의 보존도는 아주 불량한 편이 아니어서 화석의 낮은 산출도가 화학적 용해적용이 아닌 생산성의 감소나 육상퇴적물에 의한 희석, 또는 강한 저층해류에 의한 퇴적물의 침식등에 기인한 것으로 판단된다. 60 cm이상의 깊이에서는 화석이 전혀 산출되지 않아 본 정점의 정확한 시대추정이나 환경해석에는 어려움이 있다.

8) 정점 23

정점 23은 탄산염 연니 지역으로, 산출되는 방산층 군집들이 보존상태가 불량하고 산출양도 적다. 조각상태로 많이 관찰되며 용해에 강한 *spyrid* 형태들이 상대적으로 다수 관찰된다. 표층부터 35 cm까지 보존이 나쁜 화석들이 낮은 산출도를 보이고 나타나나 40 cm부터는 보존도가 다소 좋아지고 산출양도 증가하는 경향을 보인다. 전 core를 통해 마이오세종들이 우세하게 산출되며 제 4기에만 국한되어 산출되는 종은 관찰되지 않았다. 플라이오세에서 제 4기까지 산출되는 *Acrosphaera cyrtodon*과 플라이오세에서 산출되는 *Lychnocanoma grande*가 표층부터 최저층까지 일정하게 산출되고 올리고세 상부에서 마이오세까지 산출되는 종들이 10 cm보다 깊은 곳에서 core하부로 갈수록 증가하는 양상을 보이며 나타난다. 그러나 올리고세종인 *A. gracilis*, *L. angusta*등이 관찰되지 않는 것으로 보아

정점 23은 후기 올리고세보다 젊은 층임을 알 수 있다. 상부에서 제 4기 종이 전혀 관찰되지 않은 것과 40 cm보다 깊은 곳부터 마이오세종의 산출량이 증가하는 것으로 보아 정점 23은 마이오세 동안 CCD 하부에 위치하다가 제 4기로 오면서 탄산염의 높은 퇴적율로 인해 CCD 상부에 노출되어 siliceous성분이면서 껍질이 아주 약한 현생 방산충이 모두 용해된 것으로 추정된다.

9) 정점 31

표층부터 6 cm 까지 보존이 양호한 방산충이 관찰되며 8 cm부터 16 cm까지 보존도와 산출량이 불량해지다가 20 cm부터는 화석이 산출되지 않고 몇 종의 *spryid* 형태들도 모두 내부가 충전되고 마모된 상태로 나타난다. 화석의 산출이 희박해서 정확한 시대추정을 하기 어려우나 대체로 올리고세에서 제 4기까지의 종이 혼합된 상태로 나타나며 생물교란작용에 의해 에오세의 종들이 일부 섞여서 산출된다.

III-1-3-2. 고기후 해석

고기후 및 고환경을 추정하기 위해 Johnson & Knoll (1974), Nigrini (1970), Petrushenskaya (1971a, b, 1972a, b) 등에 의해 분류되어진 열대종, 온대종, 한대종, 광역분포종들의 산출양상을 조사해 보았다. Nigrini (1970)는 Radiolarian Climatic Index ($T_R = X_w / X_w + (X_t + X_c) \times 100$, X_w : 열대종의 개체수, X_t : 온대종의 개체수, X_c : 한대종의 개체수)를 계산하여 이들 값이 저위도 태평양에서 유용하게 사용됨을 보고한 바 있다. 본 연구지역에서 동정되어진 종들 중 열대종은 *Euchitonia elegance*, *Pnartus tetrathalamis tetrathalamus*, *Eucyrtidium hexagonatum*, *Spongogaster tetras tetras*, *Laprocyclas maritalis polypora*, *Theocorythium trachelium trachelium* 등이고 온대종은 *Euchitonia furcata*, *Pnartus t. coronatus*, *Eucyrtidium acuminatum*, *Spongogaster t. irregularis*, *Laprocyclas m. maritalis*, *Theocorythium t. diana* 등이다. 이들은 같은 종이지만 위도, 즉 기후에 따라서 형태적 변이가 나타나 아종으로 분류된 종들이다. 그 외 다수의 열대종들이 관찰되었으며 미소량이나 전형적인 온난 서식종인 규질편모충

*Dictyocha*도 관찰되었다. 그 외 *Cornutella profunda*, *Artostrobos annulatus*, *Lithomitra arachnea*, *Theocalyptra bicornis*, *T. davisina*, *Helotholus histricosa* 등의 광역분포 종이 관찰되었다. *Polysolenia arktios*, *Pterocanium korotnevi*, *Antarctissa atrelkovi*, *Antarctissa denticulata*, *Lithelius nautiloides*, *Spongostrochus gracialis*, *Phortidium clevi* 등과 같은 전형적인 한대종들은 산출되지 않았다. KODOS 94지역에서는 관찰결과, 산출되는 대부분의 종들은 열대종이었으며 core깊이에 따른 변화양상을 보이지 않았고 T_R 값도 평이해 제 3기나 제 4기의 기후변동에 두드러진 영향을 받지 않았고 오늘날과 같은 온난수괴의 영향 아래서 퇴적작용이 이루어진 것으로 관찰되었다. 이는 일차적으로 본 시료채취 지역이 저위도에 위치하고 남적도 해류가 지나가는 지역이어서 기후변동의 영향을 다소 적게 받은 까닭으로 사료된다. Casey (1971a, b)에 의해 분류된 방산층 생지리구역 (Biogeographic zone)에 의하면 본 지역은 적도지역에 해당한다. Morley and Hays (1979)는 남대서양에서 연구결과 빙하기때 온도변화가 가장 심했던 지역은 subantarctic과 subtropical gyre의 동쪽지역에 해당한다고 보고한 바 있다. 방산층 군집을 이용한 기후변동에 관한 대부분의 연구는 북태평양이나 남극해에서 이루어졌고, Boltovskoy (1991)는 적도지방에서 이들 군집을 이용해 기후해석을 수행하였는데 방산층 분석결과, 기후에 따른 한대종과 열대종 개체의 산출양에 뚜렷한 차이는 없음을 보고했다. 본 조사지역에서 다수 산출되는 열대종들은 비교적 보존이 양호한 편인데 Casey and Mcmillen (1977)에 의하면 저위도에서 방산층의 양호한 보존을 위해서는 높은 생산력 (High productivity)과 해수중 저용해력 (Low dissolution potential of waters), 방산층의 빠른 퇴적 (Rapid radiolarian sedimentation), 낮은 저서생물 활동도 (Relatively low benthonic activity), 퇴적물중 저용해력 (Low dissolution potential in sediments), 육성기원 퇴적물의 빠른 공급속도 (High rate of terrigenous sedimentation)의 6가지 조건을 제시한 바 있다. 본 지역의 보다 정확한 기후해석을 위해서는 화석내에서 존재하는 동위원소의 비와 방산층 군집의 산출양상을 비교하는 것이 요구된다.

III-2. 코어퇴적물의 고지자기 및 암석자기 특성

III-2-1. 연구의 필요성

자기층서학 (Magnetostratigraphy)에 있어서 퇴적층내에 기록되어 있는 퇴적물의 잔류자화는 과거 지구자기장의 변화와 시기에 따른 퇴적환경 특성에 따라 좌우된다. 퇴적물내에 분포하는 자성광물은 일차적으로 퇴적물과 동일한 퇴적기작 (Depositional processes)을 겪게 되는데, 이와 같은 퇴적기작은 고기후변화에 의한 대기순환 특성에 따라 육성기원 퇴적물의 유입정도 (박 등, 1992; Doh, 1989), 저층류의 강도 (Corliss et al., 1986)와 생산력 (Productivity)에 따른 퇴적을 변화 등의 시기적 특성에 따라 대별된다. 이차적으로는 퇴적후, 생물층서교란 (Bioturbation)과 같은 물리적인 기작과 자성광물의 형성 및 matrix내 점토광물과 magnetofossils과의 숙성기작에 의해 퇴적물의 자기특성이 결정되는 지화학적 기작 (Karlin and Levi, 1983; Petersen et al., 1986; Vali et al., 1987; Vali and Kirschvink, 1989; Karlin, 1990)에 의해 특징지어진다.

본 조사해역이 포함된 북동 태평양 일대 퇴적환경은 매우 안정된 환경을 이루고 있다. 이것은 대륙주변부와 같이 해류와 지형에 의한 분급퇴적 (Winnowing deposits)의 영향을 받는 것과는 달리 지형적으로 특별한 단층대 (Faulting zone)나 해저산 (Seamount)이 나타나지 않는 심해저 평원 (Abyssal plain)이 주를 이루며, 강한 해류가 존재하지 않음으로 오히려 특정시기에 저층류의 유입이나 지구조운동에 의한 퇴적결층 (Hiatus)의 존재가 지사대비의 지표로 이용되기도 한다. 이러한 안정한 퇴적환경을 이루는 곳에서 퇴적물의 고지자기 연구는 퇴적될 당시의 지자기 방향으로 입자의 배열이 일어남으로 효과적인 지층대비의 방법으로 이용되어 왔다. 특히, 조사해역의 퇴적물과 같이 화석에 의한 생층서 대비가 어려운 퇴적물에 있어서는 더욱 효과적인 지층대비의 방법이다. 그러나 이러한 잔류자화 성분은 과거 지자기장 변화 기록과 함께 2차적으로 변화된 자화성분도 함께 기록하고 있음으로 퇴적물이 언제, 어디서, 어떻게 잔류자화 성분을 획득하였으며, 퇴적후 자화성분이 어떻게 변화되었는가를 먼저 이해하여야만 한다. 다시 말해서 자기층서를 확립하는데 있어서 고지자기 연구 (Paleomagnetic study)는 반드시 암석자기연구 (Rock-magnetic study)와 병행함으로 퇴적층내에 기록되어 있는 잔류자화의 기록이

효과적인 잔류자화성분에 의한 것인지의 유무를 판별하여야만 한다. 본 조사해역과 같이 안정된 퇴적환경과 낮은 퇴적율을 이루고 있는 Suboxic 퇴적환경의 경우는 퇴적될 당시의 초기 숙성기작 (Early diagenesis)의 영향을 크게 받으며, 퇴적된 후 퇴적층이 형성되는 과정에서 화석의 존재 유무 등에 따른 숙성기작의 지속성 정도가 광물의 조성과 자화성분 변화를 좌우하기 때문에 암석자기적 특성변화가 고지자기 기록에도 영향을 미칠 수 있다. 본 연구의 목적은 94한국심해연구 (KODOS94) 해역에서 채취한 피스톤코어 퇴적물에 대한 고지자기 특성연구의 일환으로 자기층서를 확립하여 이를 이용한 지층대비 및 퇴적율 추정에 있다.

III-2-2. 연구방법

본 조사해역에서 채취한 퇴적물의 고지자기 연구를 위해 대자율 측정기 (Bartington MS-2 Susceptibility Meter)를 이용하여 전체 코어시료에 대한 대자율을 측정한 후, 실험실에서 동일한 방향성 유지를 위해 선상에서 설정한 기준선 (Oriented line)을 따라 절개한 후 8cc 비자성 플라스틱 시료박스로 197개의 동일방향의 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 고려대학교 지구환경과학과에 있는 교류소자기를 이용하여 교류소자실험을 수행하였다. 교류소자실험은 퇴적물의 특성 및 암상변화에 따라 기준시료 (Pilot sample)를 선정하여 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 Oe 단계별로 3축 소자 (Demagnetization)시킨후, 컴퓨터와 연결된 회전반자력계 (Spinner magnetometer)에서 4방향으로 측정한 결과를 평균하여 편각 (Declination), 북각 (Inclination)과 자화강도 (Magnetic intensity)를 측정하였다. 측정한 결과는 Vector diagram (Zijderveld, 1967)을 이용하여 단계별로 측정한 잔류자화 성분이 일정한 방향성을 갖고 원점을 향하여 감소하는지를 판별한 후, 소자준위를 결정하여 나머지 시료들에 대한 단계별 소자실험을 실시하였다. 여기서 방향 편차가 심하고 원점을 향하지 않는 시료는 분석에 이용하지 않았다. 교류소자실험이 끝난 시료는 다시 대자율 측정기를 이용하여 각각의 시료에 대한 대자율 (Susceptibility of cubic sample)을 측정하였다.

퇴적결층의 존재유무를 규명하기 위하여 퇴적물에 대한 자기 이방성 (Anisotropy of Magnetic Susceptibility : AMS)을 측정하였다. 연구방법의 원리는 $k = M/H$ (k : 대자율, M : 유도자화, H : 외부 자기장)로 설명할 수 있는데,

퇴적물에 작은 외부 자기장을 가하면 시료는 유도자기 (Induced magnetization : M)를 갖게 되며, 가해진 외부 자기장과 유도자기의 비로써 대자율 (Magnetic susceptibility)을 정의한다. 본 연구에서 측정한 대자율은 질량대자율 (Mass susceptibility, χ)이다. 대자율 값은 자성광물의 종류, 함량, 입자의 크기와 형태 등의 영향을 받게 된다. 가해진 자기장의 방향에 따라 대자율 값이 동일한 크기를 보이는 것을 자기 등방성 (Magnetic isotropy)이라고 하며, 그 반대인 경우를 자기 이방성 (Magnetic anisotropy)이라고 한다. 자기 이방성이 일어날 수 있는 요인은 자성광물 자체의 결정구조에 의한 자기결정 이방성 (Magnetocrystalline anisotropy)과 자성광물의 형태에 따른 형태 이방성 (Shape anisotropy)이 있다. 퇴적물내 자성광물의 자기 이방성의 요인은 일반적으로 운반 매개체인 해류의 영향에 의해 배열특성을 갖는 형태 이방성이기 때문에 (도, 1991) 퇴적물의 퇴적기작과 퇴적결층의 해석 및 고해류 방향추정 등의 연구에 많이 이용하였다 (Ellwood and Ledbetter, 1977 ; Ellwood, 1980 ; Hrouda, 1982 ; Rees et al., 1982 ; Flood et al., 1985 ; deMenocal, 1986).

· 측정방법은 채취한 시료를 대자율 측정기를 이용하여 24방향으로 각각의 대자율을 측정하였으며, 본 연구에서는 조직의 발달 등급을 나타내는 이방성의 크기변수 (Magnitude parameter : h)만을 이용하였다. 크기변수 (h)를 구하는 유도식은 다음과 같다.

$$h(\%) = [(k_{\max} - k_{\min}) / \{(k_{\max} + k_{\text{int}} + k_{\min}) / 3\}] * 100$$

(k_{\max} , k_{int} 와 k_{\min} 은 대자율 이방성 타원체 계산에 이용된 이계 대칭 텐서 (A second order symmetric tensor)이다 (도, 1991). 자기 등방성의 크기변수는 0이며, 이방성 형태가 발달하면 h값은 높아진다.

III-2-3. 결과 및 토의

III-2-3-1. 고지자기 특성

본 조사해역에서 채취한 피스톤 코어 퇴적물은 조사정점과 퇴적심도에 따라 특징적으로 대비된다. 이는 조사해역이 위도 9° N을 기준으로 탄산염 퇴적물과 규질성 퇴적물이 경계를 이루는 전이대 (Transition zone)에 속하므로 채취한 퇴적물도 정점 23과 같이 탄산염 퇴적물이 주를 이루는 퇴적층과 정점 19와 31과 같이 암갈색 또는 암회색을 띠는 퇴적층으로 대별된다. 또한 상부 갈색 (Brown)

퇴적층과 하부 암갈색 퇴적층의 경계부에서 생물교란작용에 의해 심하게 교란된 혼합층 (Mixed layer)과 전이층 (Transition layer)이 나타나며 (박 등 1994), 이러한 현상은 하부로 가면서 10 cm이후로는 점차 감소하면서 historic layer의 특성 (Berger et al., 1979)을 보이고 있다. 이와 같은 퇴적상에 따라 나타나는 고지자기 특성도 특징적으로 대별된다. Fig. III-2-2는 대표시료 (pilot sample)에 대한 단계별 교류소자 결과를 vector diagram (Zijderveld, 1967)에 도시한 것이다. 전반적으로 50 - 150 Oe의 낮은 소자단계에서 급격한 방향변화를 보인후, 그 이상의 소자단계에서는 원점을 향한다. 이러한 특성은 대부분의 시료들이 100-150 Oe의 비교적 낮은 소자단계에서 점성잔류자화 (Viscous remanent magnetization) 성분으로 사료되는 2차 잔류자화가 효과적으로 제거됨을 보여준다.

단계별 교류소자시 잔류자화 방향에 있어 정상상태 (Normal polarity)를 기록하는 퇴적물은 퇴적 당시에 기록된 1차 잔류자화성분과 동일한 방향의 2차 잔류자화 성분의 제거로 약간의 방향변화를 보여준다. 자화강도가 약한 시료는 소자단계를 높일수록 점진적으로 원점을 향하는 것이 아니라 분산된 방향성 (Random Direction)을 보여준다 (Fig. III-2-2). 정점 31의 83.7 cm이하의 역전상태 (Reverse polarity)를 기록하는 퇴적층은 퇴적 당시 1차 잔류자화와 반대방향인 2차 잔류자화성분의 제거로 100 Oe이하의 낮은 소자단계에서 방향변화가 일어난 후 점차 원점으로 향하는 특성을 보인다 (Fig. III-2-2).

잔류자화 강도 (Magnetic intensity)는 $0.3 - 12.0 \times 10^{-6} \text{ emu/cm}^3$ 의 범위를 보이며, 퇴적심도 (Core depth)에 따른 소자단계별 잔류자화강도는 정점 19는 500 Oe이상에서 $2 \times 10^{-6} \text{ emu/cm}^3$ 이하를 보이며, 정점 23은 200 Oe이상에서 $0.7 \times 10^{-6} \text{ emu/cm}^3$ 이하의 값을 나타내며, 정점 31에서는 900 Oe에서 $1.3 \times 10^{-6} \text{ emu/cm}^3$ 이하로 나타난다. 잔류자화강도 변화양상은 정상상태 (Normal polarity)를 나타내는 퇴적층인 정점 19의 13.7cm - 91.2cm에서는 100 Oe에서 초기 자화강도보다 70%감소하다 점차 완만하게 감소하는 특징을 보여주며 (Fig. III-2-4), 정점 31의 13.7 cm - 68.7 cm에서는 낮은 자기장인 300 Oe에서 초기자화강도 보다 50%로 감소함으로 안정한 성분에 의해 잔류자화가 기록됨을 보여준다 (Fig. III-2-4). 이와는 달리 정점 31의 83.7 cm - 181.2 cm의 역전상태 (Reverse polarity)나타내는 심도에서는 50 - 100 Oe에서 1차 잔류자화 방향과 반대방향인 2차 잔류자화의 제거로 자화강도가 일시적으로 증가하다가 감소하는 역전상태의 특징을 보여준다 (Fig. III-2-4).

자기적 안정도를 반영하는 성분인 자연잔류자화의 Mean Destructive Field (MDF) 분석결과, 정점 19와 31의 MDF는 일부시료들을 제외한 대부분의 시료들이 100-300 oe의 안정한 범위를 보이는 반면에 정점 23의 탄산염 퇴적물은 50 - 100 Oe의 낮은 자기적 안정도를 보여주고 있다. 퇴적심도 (Core depth)에 따라 안정된 1차 잔류자화를 나타내는 층과 불안정한 잔류자화 성분을 갖고 있는 층의 구분이 특징적이다 (Fig. III-2-4).

자극결정시 편각의 변화가 180° 내외의 편차를 보임으로 자극변화가 인지되는 정점 19의 93.7cm - 208.7 cm에서는 MDF가 75 - 100 Oe로 불안정하면서 100 Oe에서 초기 자화강도 보다 65% 정도 급격히 감소하다 그 이후로는 점진적으로 감소한다. 그러나 자극변화가 인지됨에도 불구하고 상부층과 동일한 양상을 보여준다 (Fig. III-2-4). 정점 23은 정점 19와 정점 31에서 나타나는 자화강도에 비해 20 - 30%의 낮은 값을 보이며, 낮은 소자단계에서도 1차잔류자화와 2차잔류자화 성분의 효과적인 분리가 일어나지 않는 전형적인 탄산염 퇴적물의 특성을 보여준다 (Fig. III-2-4). 이는 태평양 일대 코어 퇴적물 (Pelagic clay)에 대한 기존 연구결과에 비추어 볼 때, 표층 수십cm를 제외하고 2 - 3 m까지는 불안정한 자기특성을 갖는 결과 (Johnson et al., 1975; Yamajaki and Katsura, 1990)와 일치한다. 이러한 불안정한 자화층 형성에 대한 이론으로는 저온산화에 의한 자성광물의 조성과 입도변화 (Kent and Lowrie, 1974; Johnson et al., 1975), 자생 망간산화물의 영향 (Henshaw and Merrill, 1980)과 안정한 자화물질인 육성기원 물질의 유입에 의한 불안정 자화층과의 경계형성 (Prince, 1980; Heath et al., 1985)등이 제기되었으나, 아직도 형성기원에 대한 것은 불분명하다. 최근에 와서는 방산층과 같은 미화석 (Microfossil)이 출현하지 않거나 보존과 산출이 불량한 퇴적물과 화석의 산출과 보존이 양호한 퇴적물에서 나타나는 자기특성을 비교해 본 결과, 화석의 산출과 보존이 불량한 퇴적물에서는 속성기작과 자생기작에 의한 자성광물의 조성 및 입도변화가 그 주요요인으로 제기되었다. Karlin (1990)은 북태평양 Suboxic 퇴적물에서 시행한 자기특성연구를 통해 특정한 기원물질의 변화가 없고 퇴적율이 매우 낮은 퇴적층에서 자기특성을 좌우하는 것은 새로운 자성광물의 형성 또는 변질과 같은 속성기작의 영향에 의한 세립질 입자의 용해와 재결정이라고 하였으며, 이와 같은 특징은 퇴적물의 색상변화, 상하부층과의 교란과 암갈색 (Dark brown) 퇴적층의 존재가 산화-환원의 변화를 시사하는 일반적

특징이라고 하였다. 본 조사해역에서 나타나는 퇴적물의 경우, 규질퇴적물이 주를 이루는 생물기원대에 속함에도 불구하고 퇴적물내 자화성분의 기록을 보존하는데 완충역할을 하는 화석의 산출과 보존이 매우 불량하게 나타난다. 이는 본 연구에서 제기한 퇴적률과 앞으로 수행될 암석자기연구를 통해 자연잔류자화를 기록하고 있는 Carrier의 주 구성광물의 조성, 입도, Domain state등의 분석을 통해 더욱 면밀한 해석이 가능할 것으로 사료된다.

III-2-3-2. 대자율

퇴적깊이에 따른 대자율 (Susceptibility)은 상부 갈색퇴적층과 암갈색퇴적층의 경계부에서 변화가 인지되며, 전체적으로 $0.3 - 5 \times 10^{-6}$ Gcc/g Oe의 낮은 값을 갖는다. 대자율이 낮게 나타나는 것은 심해퇴적물에서는 일반적인 현상 (Løvlie et al., 1971)으로 그 요인은 자성광물의 양은 적은 반면에 점토광물과 같은 세립질의 상자성 (Paramagnetic)광물과 석영으로 대표되는 반자성 (Diamagnetic)광물이 주를 이룸으로 낮은 대자율 값을 보인다 (Fig. III-2-3)

III-2-3-3. 자극 (Magnetic polarities)변화

피스톤코어 시료는 수평방위방향 (Azimuthal orientation)을 알 수 없는 비방향성 시료로서 편각변화는 조사위치에서의 자기장의 절대방향 (Absolute direction)을 의미하는 것이 아니라 단지 상대적인 변화를 기록하고 있음으로 자극변화를 판단하기 위해서는 북각 (Inclination)과 편각 (Declination)의 상대적인 방향으로 결정하는데 본 조사지역과 같이 위도가 적도에 가까운 저위 도인 경우 북각변화에 의한 자극변화를 인지하기가 어렵기 때문에 앞서 설명한 상대적인 편각변화와 단계별 소자에 의한 잔류자화의 방향성분 및 자화강도 변화에 의해 자극변화를 결정해야 한다 (Hays et al., 1969). 편각방향은 자극변화가 인지되는 심도에서는 180° 내외의 편차를 나타내며, 이러한 편차가 나타나는 경계부에서 미약한 북각의 변화가 나타남으로 편각변화에 의한 자극변화를 기준으로 정하였다.

교류소자후, 피스톤 코어시료의 퇴적깊이 따른 편각, 북각과 자화강도 결과는 Fig. III-2-5, III-2-6, III-2-7에 도시하였다. 편각의 경우는 Azimuthal orientation을 모르나 퇴적층의 층리가 생물교란층과 같이 경계가 불분명한 상부

11.2cm를 제외하고, 특정한 층리가 인지되지 않는 수평성분을 보여줌으로 자극변화는 180° 내외의 변화와 복각 및 자화강도 결과에 의해 검은 부분은 정상상태 (Normal polarity), 흰부분은 역전상태 (Reversed polarity)로 도시하였으며, 상부교란층 및 손실층은 사선으로 표시하였다.

정점 19에서 첫번째 자극변화는 91.2 cm에서 나타나며, 186.2 cm에서 두번째 변화가 인지된다. 복각의 변화는 전반적으로 편차가 크게 나타나나 91.2 cm이후로 20° 에서 30° 내외로 변한다. 자화강도는 상부교란층과 46.2 cm에서 5 A/m 이상의 피크를 이루며 특정한 변화는 인지되지 않는다. 정점 23에서 편각변화는 63.7 cm에서 자극의 변화가 나타나며, 자극변화가 일어나는 위치에서 복각의 변화가 인지된다. 정점 31은 상부 11.2 cm에서 자극변화가 일어나며, 71.2 cm에서 하부 역전층을 이루는 층과의 경계부에서 Brunhes Normal polarity에서 Matuyama Reverse polarity로 역전

되기 전의 전이적인 특성을 보여주고 있다. 복각변화는 상부교란층에서 큰 편차로 변하다가 역전층이 나타나는 78.7 cm 위에서 결층 (Hiatus) 또는 전이층의 특징을 보이는 변화가 있음을 보여준다. 자화강도는 결층 또는 전이층의 특성이 나타나는 깊이를 기준으로 상부는 감소하는 양상을 보이고, 결층이하에서 최소를 나타낸다. 역전층에서는 하부로 가면서 증가하는 양상을 보여준다. 대체로 코어 최상부에서는 함수량이 높은 표층퇴적물의 교란 (Disturbance)에 의한 특징이 나타난다.

III-2-3-4. 자기층서와 퇴적을

각 코어의 자극변화는 복각의 경우, 현재 및 플라이스토세에 나타나는 복각 (20° 내외)변화와 유사하며, 자극변화양상이 Geomagnetic time scale의 플라이스토세와 후기 플라이오세 변화와 유사하고, 주변지역에서 나타나는 다른 연구결과에 의하면 10m이내 코어시료에서 나타나는 퇴적물의 연대는 대부분 플라이스토세와 하부 플라이오세에 해당한다는 결과에 비추어 볼 때 코어 상부에 나타나는 정상상태 (Normal polarity)가 Geomagnetic time scale의 Brunhes Normal Polarity에 해당함으로 Brunhes Normal Chron과 Matuyama Reverse Chron 경계 (0.73 Ma)와 Jaramillo Normal Subchron (0.91 - 0.98 Ma)을 기록하고 있으며, 그 이하에서 나타나는 시기는 인지되지 않는다. 정점간의 대비결과 상부 Brunhes

Normal Chron으로 가정한 심도 (Depth)와 그 하부의 Matuyama Reverse Chron과의 경계는 인지되나 정점 23에서 나타나는 Jaramillo Normal Subchron에 해당하는 심도가 정점 19와 31에서는 명확히 나타나지 않는다. 이와 같은 결과에 따라 조사지역 심도 2 m까지의 퇴적물은 플라이스토세와 플라이오세 후기에 퇴적되었음을 의미한다 (Fig. III-2-8).

각 정점간의 퇴적율을 대비한 결과, Brunhes Normal Chron에서 퇴적율은 정점 19, 23과 31에서 각각 $1.3 \text{ mm}/10^3\text{년}$, $0.9 \text{ mm}/10^3\text{년}$ 과 $1.1 \text{ mm}/10^3\text{년}$ 을 나타내며, 정점 19와 23에서 Jaramillo Normal Subchron상부까지 나타나는 Matuyama Reverse Chron (0.73 - 0.91 Ma)에서 퇴적율은 각각 $5.3 \text{ mm}/10^3\text{년}$ 과 $1.7 \text{ mm}/10^3\text{년}$ 으로 상부보다 높은 퇴적율을 보여주고 있다. 정점 19의 Normal polarity의 퇴적율은 정점 23과 정점 31의 동일 Polarity보다는 0.25 - 0.3배 높고, 정점 19의 Reverse polarity에서 퇴적률은 정점 23보다 0.7배 높게 나타남으로 큰 차이는 나타나지 않는다 (Fig. III-2-9). 이러한 퇴적율은 채취정점의 지형과 깊은 관련이 있는데, 정점 19와 31의 지형은 조사해역 북단과 남단에서 나타나는 심해저곡 (Abyssal trough)으로 침식보다는 퇴적이 상대적으로 활발한 지역이며, 정점 23은 심해저 평원과 심해저곡 사이의 경사구배가 큰 사면으로 상부표층부에서는 낮은 퇴적율을 갖는 환경임을 알 수 있다.

III-2-3-5. 자기 이방성 (Anisotropy of Magnetic Susceptibility)

퇴적물의 입자배열 특성에 의한 퇴적결층의 유무 (Hroudá, 1982; deMenocal, 1986)를 규명하기 위하여 자기 이방성을 분석하였다. 정점 31은 30 - 40 cm와 70 - 80 cm부근에서 편각의 변화가 일시적으로 변하는 것이 나타나는데 이는 30 - 40 cm는 퇴적물의 자기 이방성 (Anisotropy of Magnetic Susceptibility)에서 결층의 유무를 제시하는 변수 (Parameter) 분석시 결층을 지시할 만한 특성을 보여주지 않는다. 그러나 편각, 북각의 변화 및 자화강도가 약해지는 심도인 70 - 80 cm에서 퇴적물의 자기 이방성 분석결과는 이방성 크기변수인 Magnetic anisotropy (%)가 20%를 넘는 피크를 보이고 있어서 퇴적결층의 가능성을 시사하고 있다 (Fig. III-2-10). 정점 19에서는 북각과 자화강도 변화는 나타나지 않으나 편각의 변화가

일어나는 심도 (80 cm)에서 Magnetic anisotropy (%)가 20%를 넘고 있음을 보여준다. 이와 같은 결층의 가능성을 보이는 퇴적층에서는 오래된 퇴적물 교란흔적과 그보다 연령이 어린 퇴적물 교란흔적이 혼재하는 것이 특징이다.

III-2-3-6. 광물학적, 지화학적 특성

본 연구에서 편각, 복각 및 자화강도와 자기 이방성에 의한 고지자기 결과와 미고생물 특성과의 상관관계를 통해 정확한 퇴적물의 퇴적률과 연대측정을 위한 대비를 시도하고자 하였으나 방산층의 산출상태가 상부표층에 한정되어 나타나고, 하부층에서는 산출상태가 매우 불량하고 용해에 강한 일부종만이 나타나고 있다 (한국해양연구소, 1994). 이러한 특성은 크게 퇴적 당시 생물의 생산력이 매우 낮았던 시기적 특성과 퇴적후 퇴적물의 숙성기작의 영향을 받음에 따른 퇴적후 물리적, 지화학적 특성에 기인할 수 있다.

퇴적물내 세립질 퇴적물의 광물분석결과 (한국해양연구소, 1994), 상부 11.2 cm이하부터 자생스멕타이트의 함량이 높게 나타나고 이와는 상대적으로 육성기원 퇴적물의 함량은 매우 낮게 나타남에 따라 숙성기작에 의한 광물 형성 및 변질이 이루어졌음을 보여주고 있다. 또한, 퇴적물의 지화학적인 결과와 비교시 상부 표층에서의 변화를 제외하고 Fe함량은 정점 31의 경우 표층 10 cm까지는 2 - 6%의 변화를 보이며, 하부층에서는 6%내외의 균질한 양상을 보인다. 정점 23에서 Fe함량은 0.5 - 1.5%로 주변지역 연구코어 보다 낮은 함량을 보이며, 30 cm이하와 130 cm에서 일시적으로 증가하는 피크가 나타난다. 정점 19는 상부 생물교란층에서는 4 - 6%의 변화를 보이며 그 이하에서는 6%내외의 균질한 양상을 보이고 있다 (Fig. III-2-3). 퇴적심도에 따른 Fe 함량변화양상은 대자율의 변화양상과 일치하고 있다. 이러한 결과는 퇴적물 공급변화가 상부표층에 한정되었음을 의미하며, 그 하부층에서는 공급변화없는 숙성기작의 영향으로 사료된다. 태평양 일대 퇴적물에 대한 자기특성연구에서는 크게 두가지 양상으로 대별되는데 화석의 출현과 보존이 양호한 퇴적층과 이와는 반대로 화석의 출현과 보존이 불량한 퇴적층의 형성이 그것이다. 보존과 출현이 양호한 퇴적층에서는 화석 자체가 퇴적층의 산화-환원기작에 있어서 일종의 완충역할을 함에 따라 안정한 자기적 특성을 보이거나 화석의 보존과 출현이 불량한 퇴적층에서는 퇴적층

자체의 퇴적율이 극히 낮음에 따라 속성기작의 영향을 크게 받을 수가 있음으로 이러한 퇴적층에서는 방향의 분산이 크고, 자화강도 (Magnetic intensity)도 급격히 감소하는 불안정한 자화층을 이룸으로 점성잔류자화 성분의 영향을 크게 받는 결과를 나타낸다. 본 조사지역에서 나타나는 퇴적층은 후자의 경우로 사료되며, 이와 같은 영향은 퇴적물의 자기적 특성 (Magnetic properties)에 있어서도 자성광물의 조성, 입도, 기원 및 자화강도에도 큰 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

KODOS 94 지역의 퇴적물 내에서 관찰된 방산층 군집에 의하면 본 연구지역은 제 4기에 퇴적된 층으로 부분적으로 제 3기종들이 소량 협재된 상태로 관찰되었다. 대부분의 4기 종들은 보존상태가 양호하고 깊은 퇴적심도까지 용해에 아주 약한 종들도 산출되어 본 연구지역은 제 4기동안 생물교란이나 저층해류의 작용이 활발하지 않은 비교적 조용한 환경에서 퇴적되었음을 나타내 주며 평균 퇴적율은 약 0.9 mm/1000yr 정도이다.

본 연구지역은 제 3기층과 제 4기층 사이에 수차례에 걸친 퇴적결층이 인지되었는데 이는 당시 강한 저층해류의 작용에 의해 방산층 군집의 용해나 퇴적물의 침식에서 기인한 것으로 사료된다.

본 연구지역의 방산층 군집들은 제 4기의 기후변동에 두드러진 영향을 받지 않았으며 오늘날과 유사한 온난수괴의 영향 아래서 퇴적작용이 이루어진 것으로 관찰되었고 제 4기동안에 비교적 높은 생물생산성을 시사해 주었다.

94한국심해연구해역에서 채취한 피스톤 코어퇴적물에 대한 고지자기 분석결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

첫째, 퇴적물내 자성광물의 양, 입도 및 조성 등을 알 수 있는 대자율 분석결과는 본 조사해역의 퇴적물내 강한 자성을 띠는 광물의 양이 적으며, 상자성 광물과 반자성광물의 분포가 주를 이루고 있음을 시사하고 있다.

둘째, 퇴적물에 기록되어 있는 잔류자화는 대부분 낮은 자기장에서 점성잔류자화 성분이 효과적으로 제거되는 안정한 1차 잔류자화 성분이다.

셋째, 퇴적심도에 따른 자극변화는 퇴적시기를 명확히 인지할 수 있는 좋은 결과를 보여주며, 퇴적시기는 주로 플라이스토세와 플라이오세 후기에 퇴적되었음을 보여준다.

넷째, 고지자기 분석결과 나타난 조사해역의 퇴적율은 0.7 mm-5.3 mm/10³년으로 주변 조사해역에서 연구된 결과 (Lisitzin, 1972)와 유사한 낮은 퇴적율을 기록하고 있다.

다섯째, 자성광물에 대한 암석자기 특성 중 자기 이방성 분석 결과 특정심도에서 퇴적결층을 지시할 만한 결과가 나타나나 다른 성분의 변화가 뚜렷이 인지되지 않음으로 퇴적환경변화 외에도 생물교란작용의 영향과 이에 따른 미세립질 자성광물의 용해 결과로도 해석될 수 있다.

여섯째, 퇴적층 하부에서 자기적으로 불안정한 자화층이 인지되는데 이는 특정한 기원물질의 변화가 없는 숙성기작의 영향으로 사료되며, 이에 따른 자성광물의 입도, 조성등에도 변화가 있었음을 시사한다.

V. 사 사(ACKNOWLEDGEMENT)

본 연구는 해양연구소의 기본과제로서 수행되었으며, 연구시료는 1994년도 태평양 심해저 광물자원 정밀탐사에서 획득된 것이다. 본 연구가 결실을 맺을 수 있도록 헌신적으로 도와주신 한국해양연구소 심해저 사업단원과 관계자 분들께 깊이 감사드립니다.

VI. 참고문헌

- 도성재, 1991. 대자울 이방성과 이의 지질학적 응용. J.Korean Inst. Mining Geol., 24(1):71-79
- 박정기, 김기현, 강정극, 1994. 북동태평양 KODOS91-1지역 퇴적환경 연구. 한국해양학회지, 29(1):17-27
- 한국해양연구소, 1994. 94심해저 광물자원 탐사 보고서(광구탐사편)
- Berger, W.H., A.A. Edkale and P.P. Bryant, 1979. Selective preservation of burrows in deep-sea carbonates. Mar. Geol., 32:203-230
- Berggren, W.A., D.V. Kent, J.J. Flynn, and J.A. van Couvering, 1985. Cenozoic geochronology. Geol. Soc. of Am. Bull., 96:1407-1418
- Boltovskoy, D., 1991. Holocene-Upper Pleistocene radiolarian biostratigraphy and paleoecology of the equatorial Pacific. Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 86 : 227-241
- Casey R.E., M.J. McMillen, 1977. Cenozoic Radiolarians of the Atlantic basin and margins. Rice University, Houston, Texas : 521-544.
- Casey, R.E., 1971a. Distribution of poycystine radiolarian in the oceans in relation to physical and chemical condition. In: The Micropaleontology of oceans, Eds. by B.M. Funnel and W.R. Riedel, Cambridge University Press, Cambridge, : 151-159
- Casey, R.E., 1971b. Radiolarians as indicators of past and present water-masses. In: The Micropaleontology of oceans, Eds. by B.M. Funnel and W. R. Riedel, Cambridge University Press, Cambridge, : 331-349
- Casey, R.E., A. Leavesley, J. M. Spaw., K. McMillen, and J. Sloan., 1981. Radiolarian species composition, density and diversity as indicators of water structure and circulation on the South Texas Shelf. Transactions-Gulf Coast Association of Geological Society 31: 257-263.
- Casey, R.E., J.M. Spaw and F.R. Kunze, 1982. Polycytine Radiolarian distributions and enhancements related to oceanographic conditions in a hypothetical ocean. Transactions-Gulf Coast Association of Geological Societies 32 : 312-332.

- Corliss, B.H., and C.D. Hollister, 1979. Cenozoic sedimentation in the Central North Pacific. *Nature*, 282:707-709
- deMenocal, P., 1986. A magnetic signature of bottom-current erosion. MS thesis. Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island. p198.
- Doh, S.J., 1989. Stratigraphic and Sedimentological Implications of Rock-magnetic Properties of Marine Sediments from the Northwest Pacific. *J. Geol. Soc. Korea*, 25(2):137-151
- Ellwood, B.B., and M.T. Ledbetter, 1977. Antarctic bottom water fluctuations in the Vema Channel: evidence of velocity variations from measurements of anisotropy of magnetic susceptibility and mean silt sizes. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 35:189-198
- Ellwood, B.B., 1980. Application of the anisotropy of magnetic susceptibility method as an indicator of bottom water flow direction. *Mar. Geol.*, 34:83-90
- Flood, R.D., and D.V. Kent, A.N. Shor, and F.R. Hall, 1985. The magnetic fabric of surficial deep-sea sediments in the HEBBLE area (Nova Scotian continental rise). *Mar. Geol.*, 66:149-167.
- Hays, J.D., T. Saito., N.D. Podyke., and L.H. Burckle, 1969. Pliocene-Pleistocene Sediments of the equatorial Pacific: Their paleomagnetic, biostratigraphic and climatic Record. *Geological Society of America Bulletin* 80 : 1481-1514.
- Heath, G.R., D.H. Rea, and S. Levi, 1985. Paleomagnetism and accumulation rates of sediments at sites 576 and 578, Deep Sea Drilling Project leg 86, Western North Pacific, Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj., 86:459-502
- Henshaw, P.C., and R.T. Merrill, 1980. Magnetic and chemical change in marine sediments. *Rev. Geophys.*, 18:483-504
- Howard, W.R., and W.L. Prell, 1984. A comparison of Radiolarian and Foraminiferal paleoecology in the Southern Indian Ocean: New Evidence for the interhemispheric timing of climatic change. *Quaternary Research* 21: 244-263.
- Hrouda, F., 1982. Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics. *Geophys. Surv.*, 5:38-82.

- Johnson, D.A., and A.H. Knoll, 1974. Radiolaria as Paleoclimatic indicators: Pleistocene climatic fluctuations in the equatorial Pacific Ocean. *Quaternary Research* 4: 206-216.
- Johnson, H.P., H.Kinoshita,R.T. Merril, 1975. Rock Magnetism and Paleomagnetism of Some North Pacific Deep-Sea Sediments. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, 86:412-420
- Jonhson, D.A., and C. Nigrini, 1980. Radiolarian Biogeography in surface sediments of the Western Indian Ocean. *Marine Micropaleontology* 5: 111-152.
- Jonhson, D.A., and C. Nigrini, 1982. Radiolarian biogeography in surface sediments of the Eastern Indian Ocean. *Marine Micropaleontology* 7: 237-281.
- Karlin. R., 1990. Magnetic Mineral Diagenesis in suboxic sediments at Bettis site W-N, NE Pacific Ocean. *J. of Geophys. Res.*, 95(B4):4421-4436.
- Karlin.R. and S.Levi,1983. Diagenesis of magnetic minerals in recent hemipelagic sediments, *Nature*, 303:327-330
- Kent,D.V., and W.Lowrie,1974. Origin of magnetic instability in sediment cores from the central North Pacific deep-sea sediments. *J. of Geophys.Res.*, 79:2987-3000
- Kling, S.A., 1976. Relation of radiolarian distribution to surface hydrography in the North Pacific. *Deep-Sea Research* 23: 1043-1058.
- Lisitzin,A.P.,1972. Sedimentation in the World Ocean(English Translation). *Soc. Econ. Paleon. Min., Spec. Publ. No.17*, p.218
- Løvrie.R.,W.Lowrie and M.Jacobs, 1971. Magnetic properties and Mineralogy of four Deep-sea Cores. *Earth and Planet. Sci. Lett.*,15:157-168
- Moore, T.C. Jr., 1978. The distribution of radiolarian assemblages in the modern and Ice-age Pacific. *Marine Micropaleontology* 3: 229-266.
- Moore, T.C. Jr., W.H. Husten, N. Kipp, J.D. Hays, W. Prell, P. Thompson and G. Boden., 1981. The biological record of the Ice-Age Ocean. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 35: 357-370.
- Morley, J.J. and J.D. Hays, 1979. Comparison of glacial and interglacial oceanographic conditions in the South Atlantic from variations in calcium carbonate and radiolarian distribution. *Quaternary Research* 12: 396-408.

- Nigrini, C.A., 1970. Radiolarian assemblages in the North Pacific and their application to a study of Quaternary sediments in Core. V20-130. In: Geological investigations of the North Pacific, Ed. by J.D. Hays, Geol. Soc. Am. Mem. 126: 139-183.
- Patterson, R.T., C.A. Brunner, R. Capo, and J. Dahl, 1990. A paleoenvironmental study of early to middle Pleistocene Foraminifera of the Santa Barbara formation at Santa Barbara, California, J. Paleontol. 64: 1-25.
- Petersen, N., T. von Debenneck, and H. Vali, 1986. Fossil bacterial magnetite in deep-sea sediments from the South Atlantic Ocean, Nature, 320:611-615
- Petrushevskaya, M.G., 1971a. Spumellarian and Nasselarian Radiolaria in the Plankton and bottom sediments of the central Pacific. In: The Micropaleontology of Oceans, Eds. by B.M. Funnell and W.R. Riedel, Cambridge University Press, Cambridge, 309-317
- Petrushevskaya, M.G., 1971b. Radiolaria in the Plankton and recent sediments from the Indian Ocean and Antarctic. In: The Micropaleontology of Oceans, Eds. by B.M. Funnell and W.R. Riedel, Cambridge University Press, Cambridge, 319-329
- Petrushevskaya, M.G., 1972a. Biostratigraphy of Deep-Water Quaternary deposits from Radiolarian analysis. Zoological Institute, USSR Academy of Science, Leningrad, 534-545.
- Petrushevskaya, M.G., 1972b. Some aspect of radiolarian analysis of Deep-Water bottom deposits. Zoological Institute, USSR Academy of Sciences, Leningrad. 534-545.
- Prince, R.A., G.R. Heath, and M. Kominz, 1980. Paleomagnetic studies of central North Pacific sediment cores: Stratigraphy, Sedimentation rates, and the origin of magnetic instability, Geo. Soc. of Am. Bull., Part II, 91:1789-1835
- Rees, A.L., C.M. Brown., E.A. Hailwood, and P.J. Riddy, 1982. Magnetic fabric of bioturbated sediment from the northern Rockall Trough: comparison with modern currents. Mar Geol., 46:161-173

- Sclater, J. G., Anderson, R. N., and Bell, M. L., 1971. Elevation of ridges and evolution of the central eastern Pacific. *J. Geophys. Res.* 76(32): 7888-7915.
- Vali, H., O. Förster, G. Amarantidis and N. Petersen, 1987. Magnetotactic bacteria and their magnetofossils in sediments. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 86:389-400
- Vali, H., and J.L. Kirschvink, 1989. Magnetofossil dissolution in a palaeomagnetically unstable deep-sea sediment. *Nature*, 339:203-206
- Van Andel, J.J.H., and G.R. Heath, 1973. Geological results of Leg16: the central equatorial Pacific west of the East Pacific Rise: In: Initial Report of the Deep Sea Drilling Project, Van Andel, J.J., Heath, G.R. et al., editors, U.S. Govt. Printing office, 16:937-949
- Weinheimer, A.L., T.L. Carson, C.R. Wegley and R.E. Casey, 1986. Radiolarian responses to Recent and Neogene California EL NIÑO and Anti-EL NIÑO evidence. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 53: 3-25.
- Yamajaki, T., and I. Katsura, 1990. Magnetic Grain Size and Viscous Remanent Magnetization of Pelagic Clay. *J. of Geophysical Res.*, 95(B4):4373-4382
- Zijderveld, J.D.A., 1967. AC demagnetization of rocks: Analysis of results. In collinson, D.W., Creer, D.W., and Runcorn, S.K. (eds) *Method in Paleomagnetism*. Elsevier Amsterdam p.254-286.

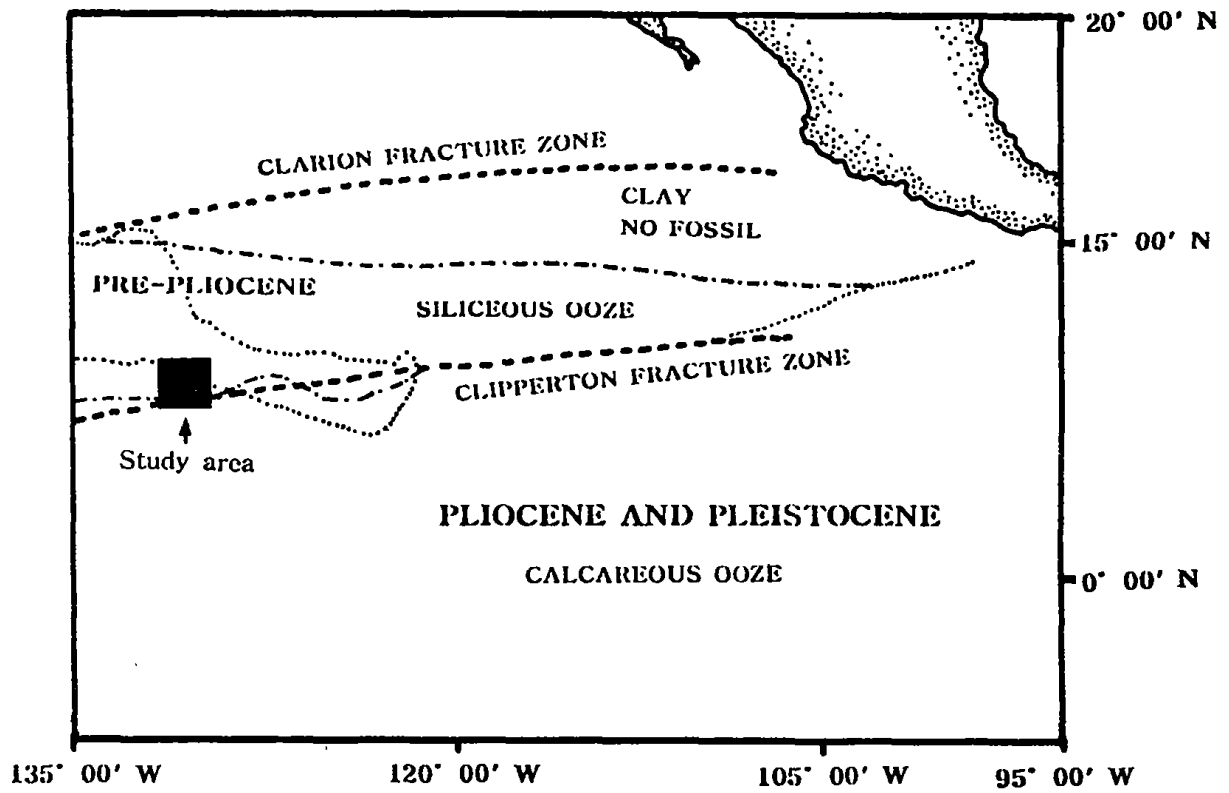


Figure II-1. Map showing the study area discussed in this text. The distribution of sediment age and facies of the surrounding region are also shown (the distributional map redrawn after Hays et al. (1969) is adopted)

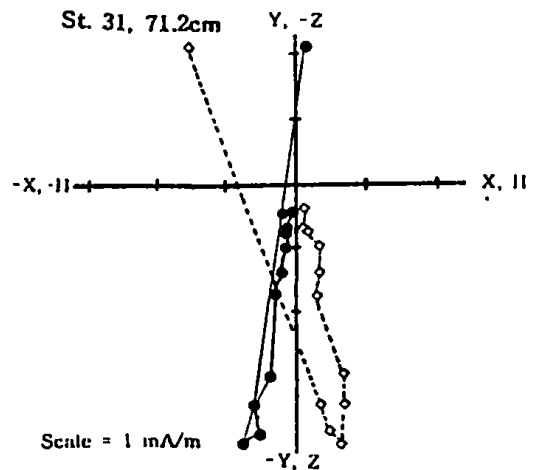
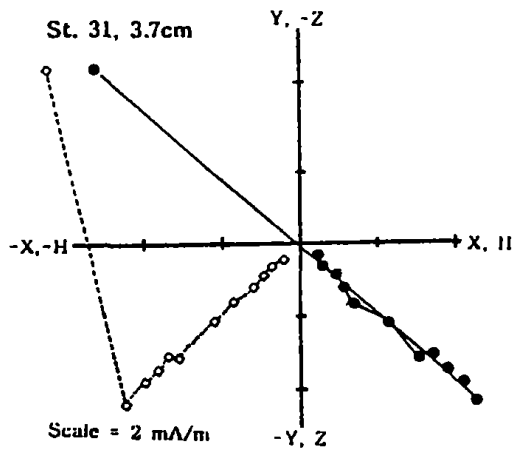
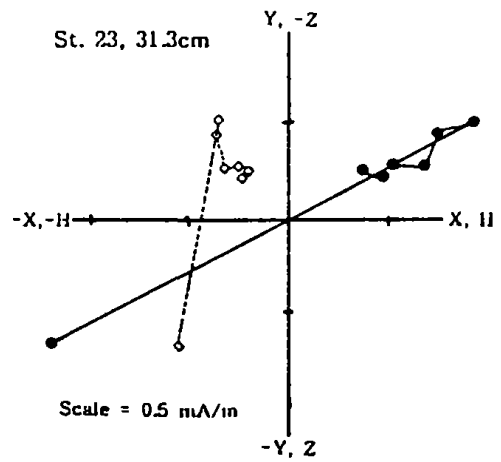
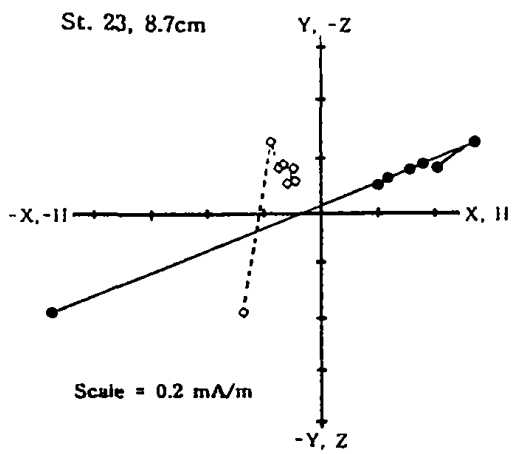
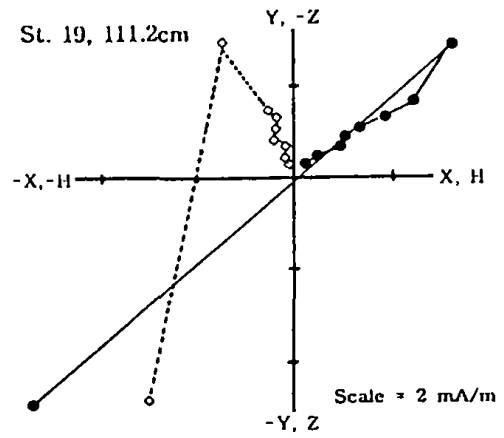
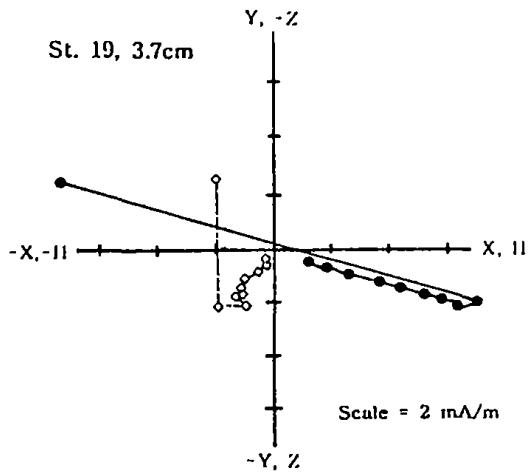


Figure III-2-2. Zijerveld plots for the upper part and the lower part in each cores
 (● : XY plot, ◇ : HZ plot)

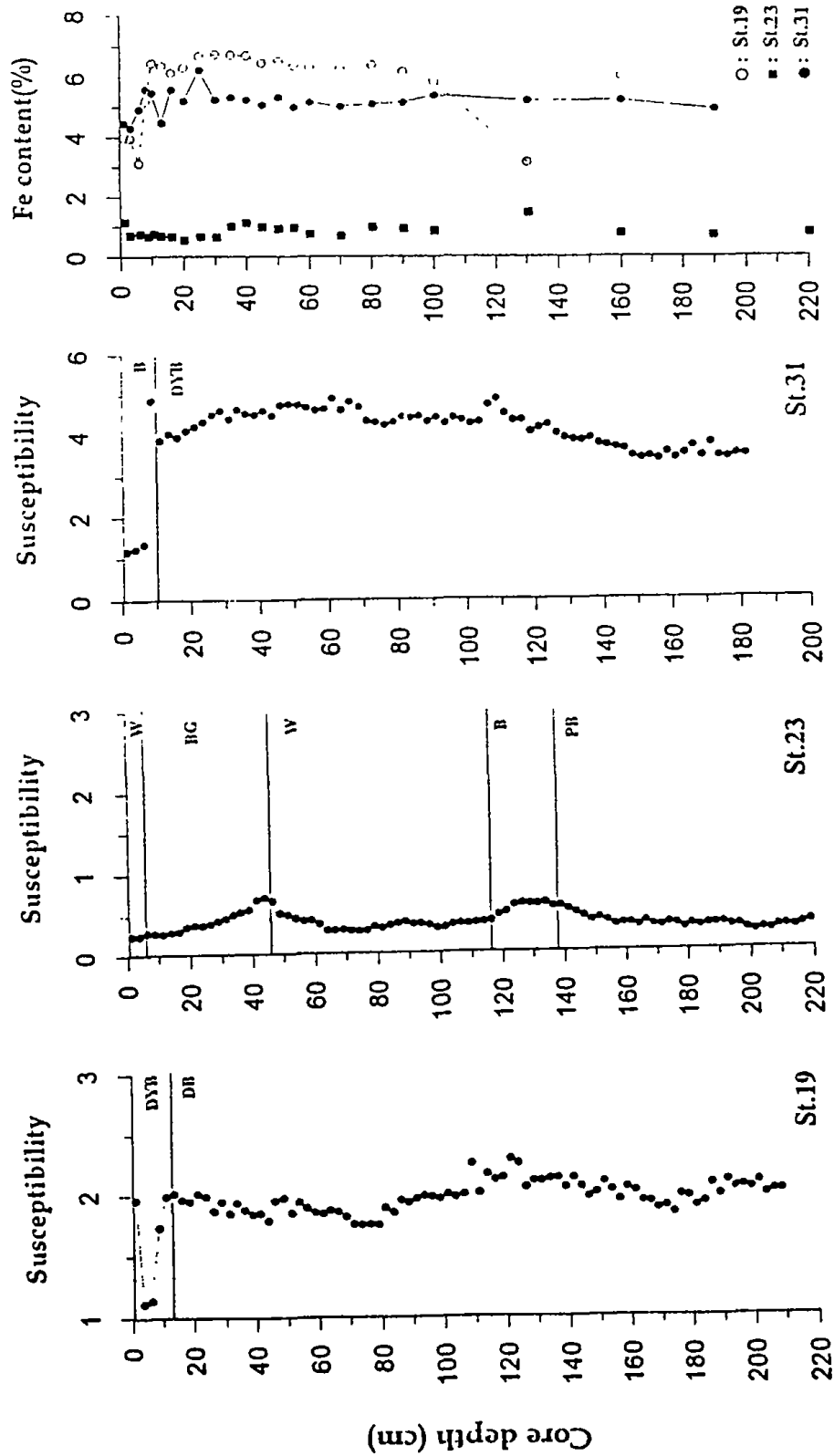


Figure III-2-3. Magnetic susceptibility(Unit : 10^{-6} Gcc/gOe) and Fe content of st. 19, 23 and 31 (Color index : DYB(Dark Yellowish brown), DB(Dark brown), W(White), BG(Brownish gray), B(Brown), PB(Pale brown))

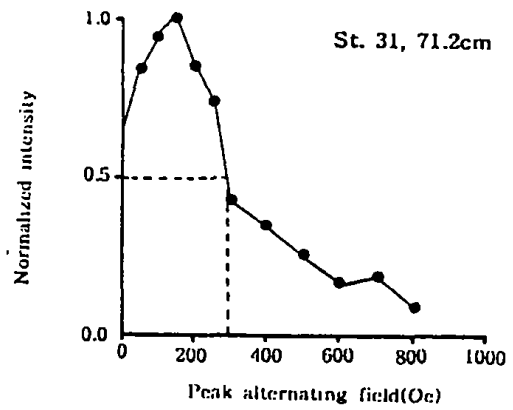
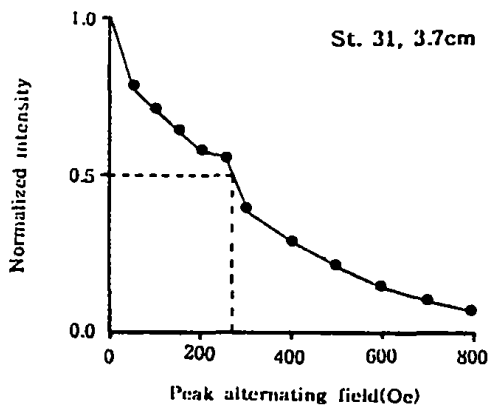
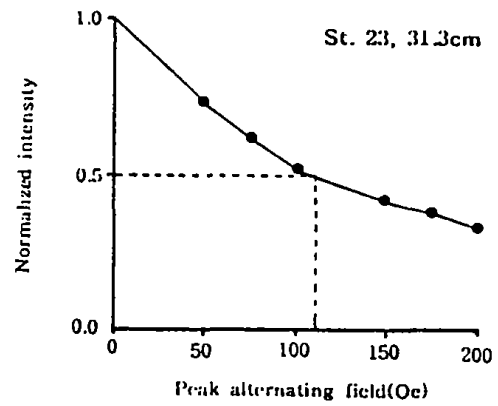
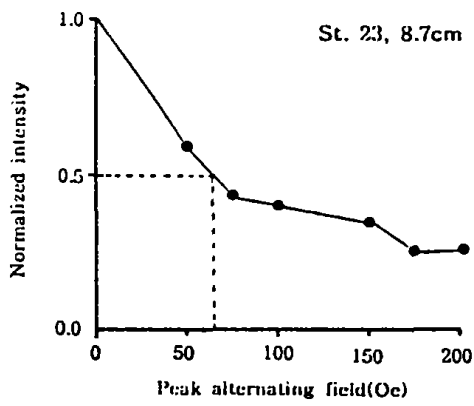
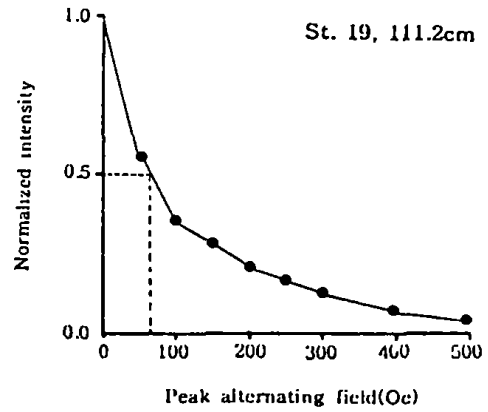
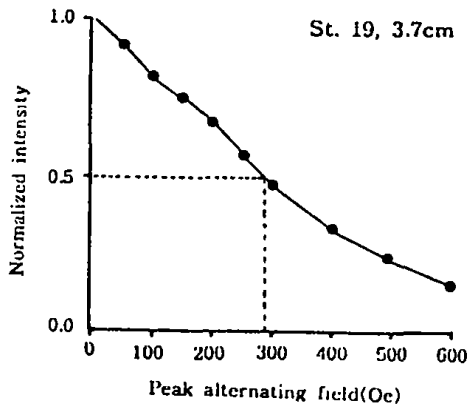


Figure III-2-4. Alternating field demagnetization curves for the upper part and the lower part in each cores. The normalized intensity is plotted versus the peak alternating demagnetization field.

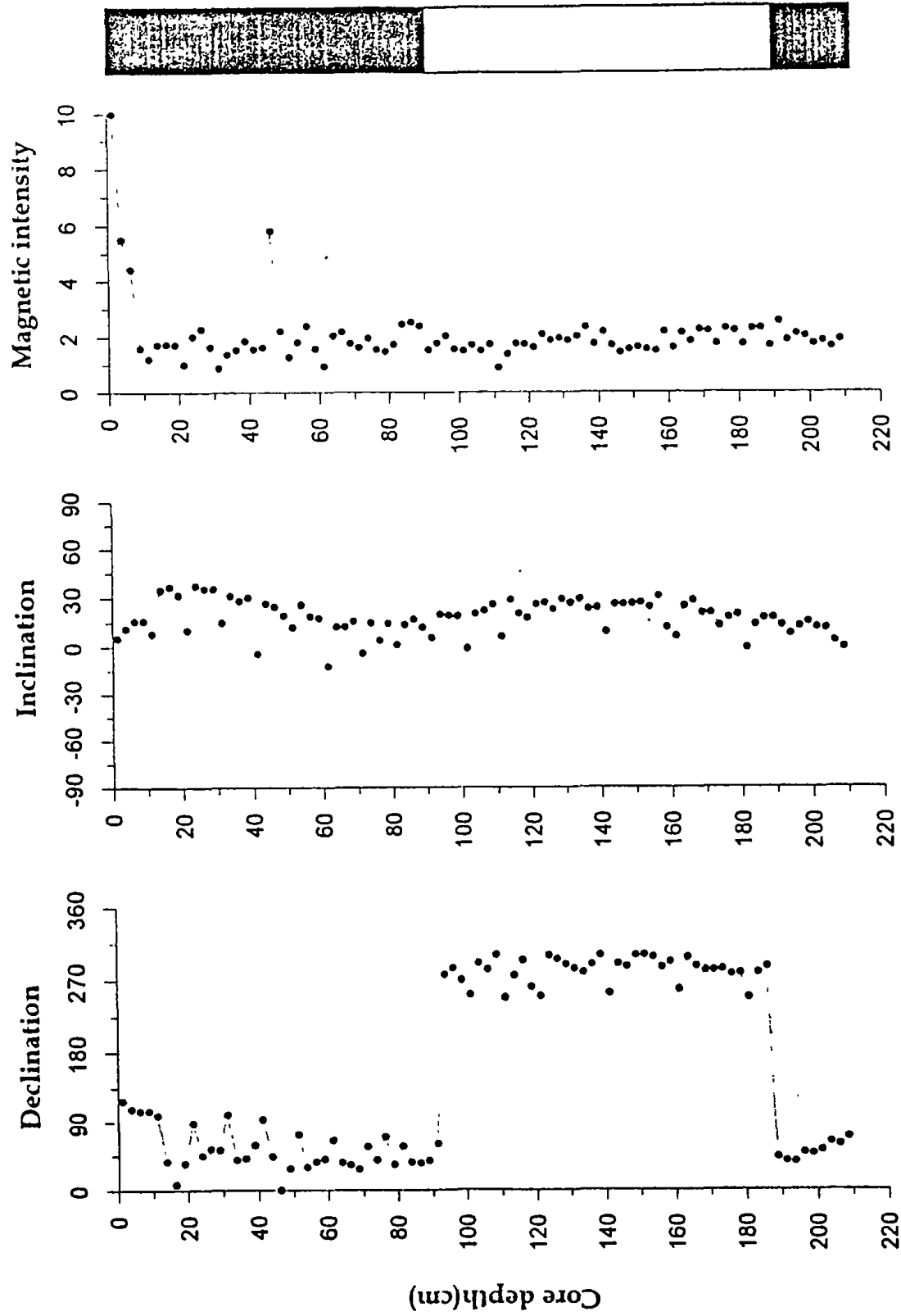


Figure III-2-5. Paleomagnetic results and inferred magnetic polarity for st. 19
 (The unit of magnetic intensity is 10^{-6} emu/cm³)

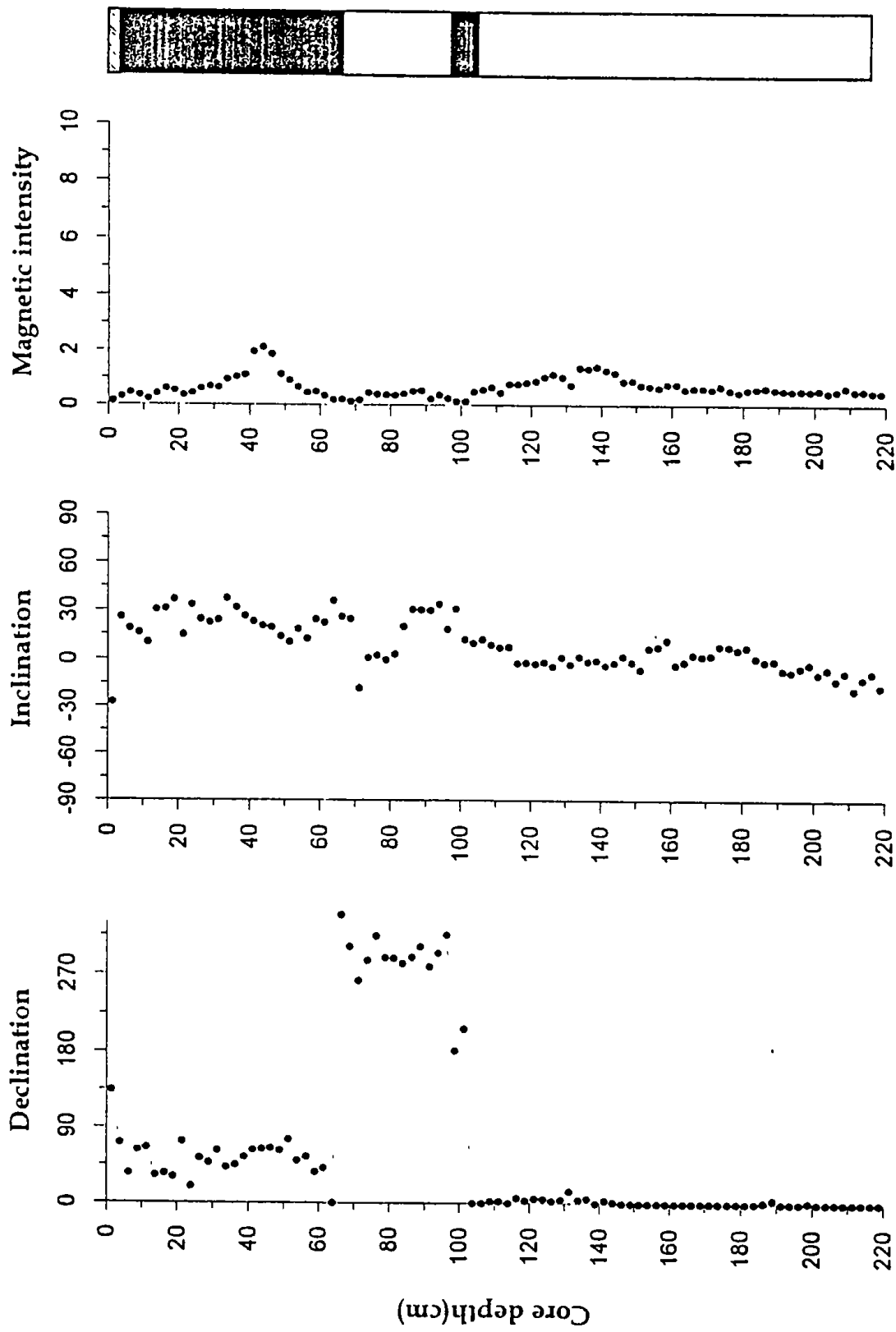


Figure III-2-6. Paleomagnetic results and inferred magnetic polarity for st. 23
 (The unit of magnetic intensity is 10^{-4} emu/cm³)

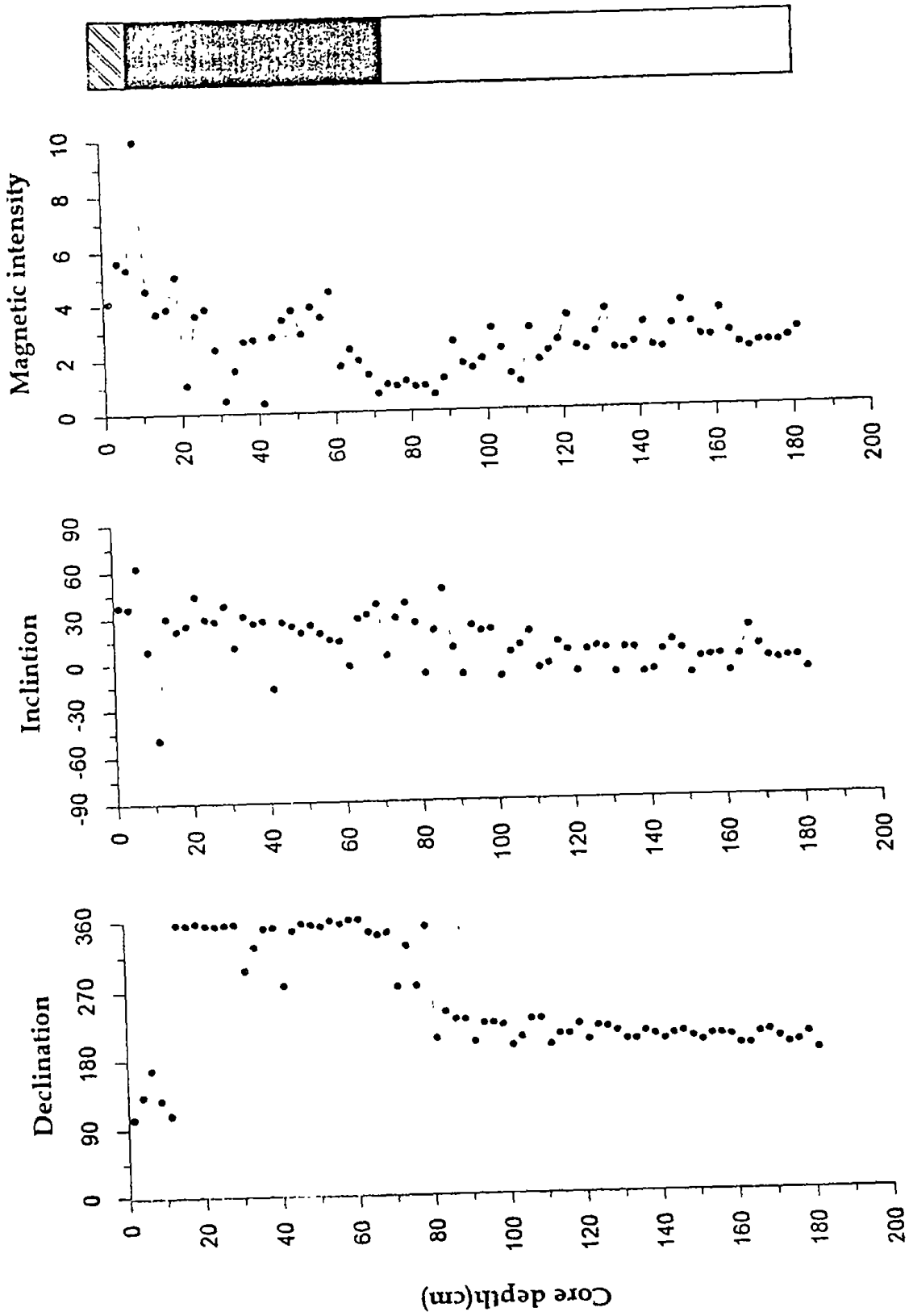


Figure III-2-7. Paleomagnetic results and inferred magnetic polarity for st. 31
 (The unit of magnetic intensity is 10⁻⁶ emu/cm³)

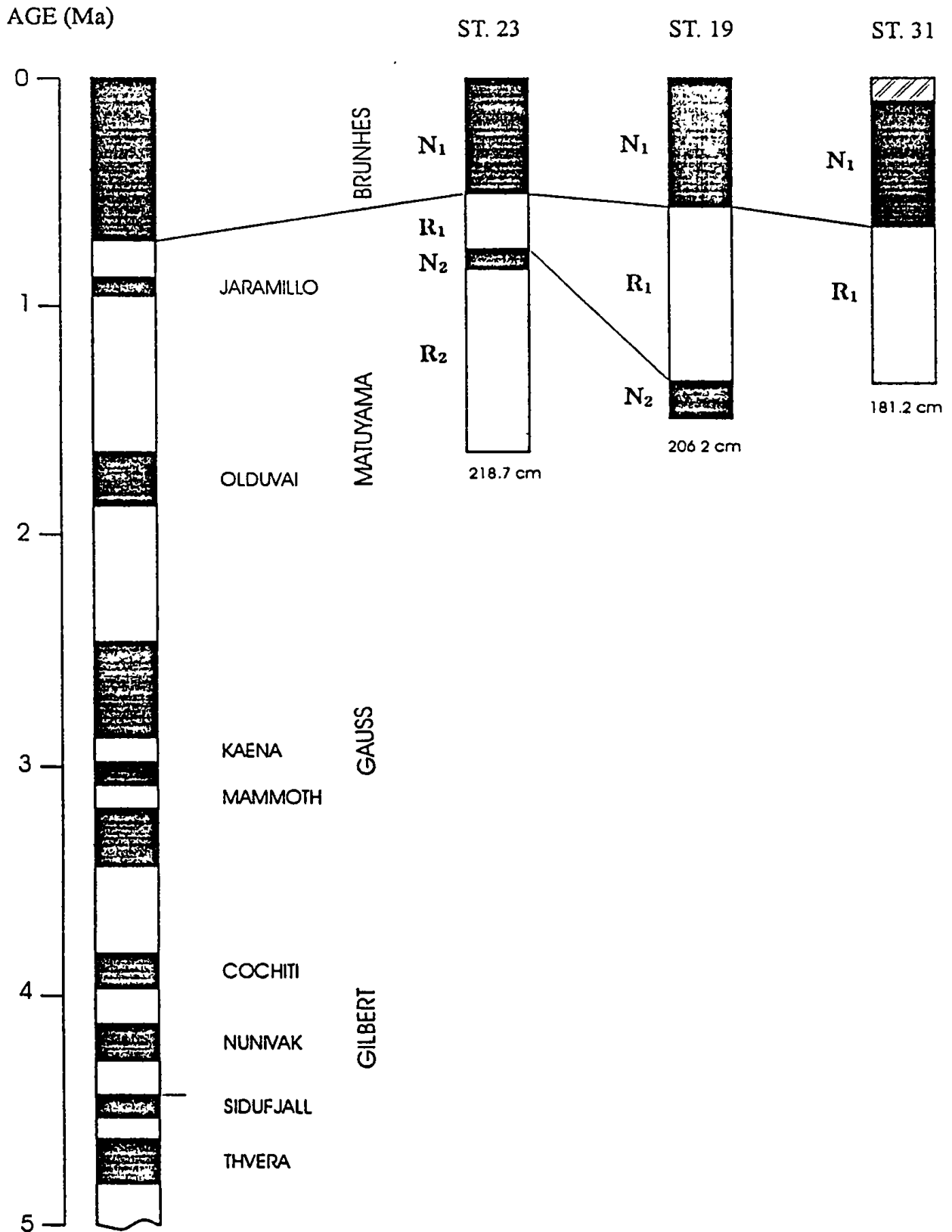


Figure III-2-8. Magnetostratigraphies for the piston cores. The geomagnetic time scale is that of Berggren et al. (1985).

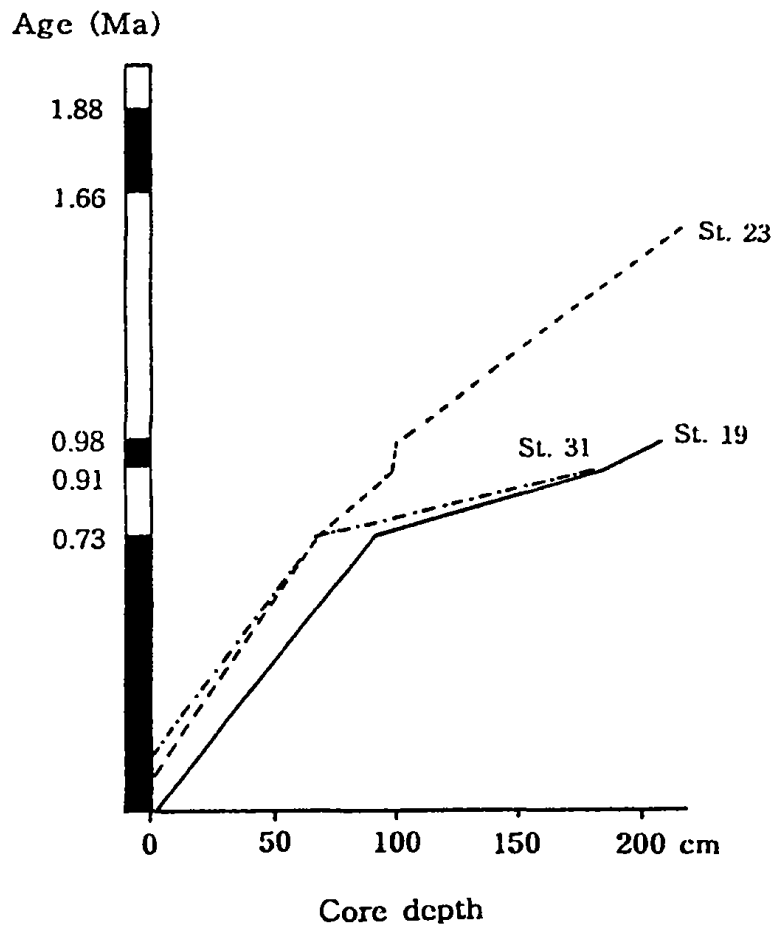


Figure III-2-9. Depth versus time relation. The geomagnetic time scale modified after Berggren et al. (1985) is adopted.

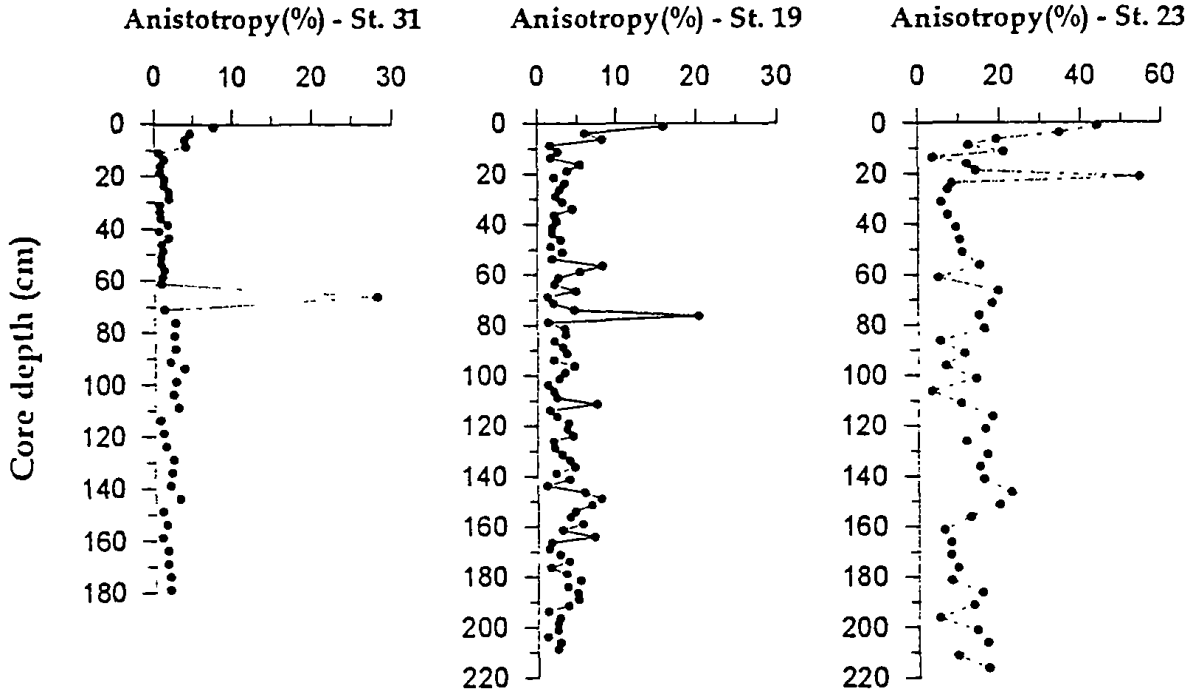


Figure III-2-10. Magnetic anisotropy profiles of st. 19, 23 and 31 (Above results were measured by Anisotropy of Magnetic Susceptibility).

Table III-1-2. Occurrence of radiolarian taxa in the KODOS 94 area.

Station NO	46														
Depth(cm)	1	2	3	4	6	8	10	13	16	20	25	30	35	40	43
Preservation	G	G	G	G	G	G	G	G	G	M	M	P	P	P	P
Abundance	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	F	R	R	R	R
<i>Collosphaera tuberosa</i>	+	F	F	F	F	R	F	R	-	-	-	-	-	-	+
<i>Collosphaera invaginata</i>	F	R	R	R	R	-	R	R	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polysolenia spinosa</i>	R	F	R	R	R	F	F	R	F	F	F	R	-	-	R
<i>Polysolenia lappacea</i>	R	R	R	R	R	+	F	R	+	-	+	-	-	-	-
<i>Collosphaera huxleyi</i>	R	F	R	F	R	F	R	R	R	+	R	-	-	-	-
<i>Acrosphaera cyrtodon</i>	-	R	+	+	R	+	R	F	R	R	F	F	-	-	R
<i>Acrosphaera murrayana</i>	R	F	C	R	R	+	+	R	R	R	R	-	-	-	-
<i>Acrosphaera trepanata</i>	R	C	R	R	F	+	+	R	R	+	R	-	-	-	+
<i>Panartus t.tetrathalamus</i>	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A	-	R	-	R
<i>Anthocyrtidium ophireuse</i>	A+	C	A	A+	C	C	F	A	C	A+	A	-	-	-	R
<i>Anthocyrtidium zanzebaricum</i>	R	R	R	R	R	R	+	R	+	+	-	-	-	-	+
<i>Spirocyrtis subscalaris</i>	C	C	F	C	R	R	F	R	F	+	R	-	-	-	-
<i>Spirocyrtis scalaris</i>	R	R	R	C	F	R	F	C	R	R	+	-	-	-	-
<i>Carpocanistrum</i> sp. A	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A	A+	A+	A+	C	-	-	-	+
<i>Theocorythium t. trachelum</i>	R	-	+	+	-	+	-	R	+	+	R	-	-	-	+
<i>Theocorythium t. diana</i>	+	R	R	-	-	R	-	+	-	+	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium acuminatum</i>	A	A	C	F	F	F	F	C	F	A	C	-	-	-	+
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	A+	A	A	A+	A+	F	F	F	F	F	C	-	-	-	R
<i>Lithocampe</i> sp	R	R	R	+	-	R	+	R	+	R	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	F	A	F	A	A+	F	F	R	F	F	F	-	-	-	-
<i>Lamprocyclus m. polypora</i>	R	-	R	R	R	R	+	R	+	R	+	-	-	-	-
<i>Lamprocyclus m. martalis</i>	+	+	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocanium thriolobum</i>	F	C	F	C	F	C	+	F	C	F	F	-	-	-	R
<i>Pterocanium t. eucolpum</i>	A+	C	A+	A+	A	C	R	F	C	C	F	-	-	-	R
<i>Pterocanium p. praetextum</i>	R	F	C	A+	A	F	F	F	F	F	C	-	-	-	-
<i>Amphirhopalum ypsilon</i>	R	F	F	R	F	R	R	F	C	F	R	-	-	-	R
<i>Euchltonia elegans</i>	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A	-	-	-	R
<i>Euchltonia furcata</i>	R	-	R	-	-	R	+	-	R	R	-	-	-	-	-
<i>Spongogaster t. tetras</i>	F	A	C	C	F	F	F	R	R	C	R	-	-	-	+
<i>Phormosthoartus doliolum</i>	-	R	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocorys munsthorax</i>	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	-	-	-	C
<i>Pterocorys zancleus</i>	F	F	R	R	F	R	F	R	R	R	R	-	-	-	+
<i>Theoconus hertwigi</i>	R	C	R	F	R	R	+	R	R	R	R	-	-	-	+
<i>Theoconus junonis</i>	F	R	R	R	R	+	+	R	R	R	R	-	-	-	R
<i>Dictyophimus hirundo</i>	A	A	F	C	F	R	F	R	+	R	R	-	-	-	+
<i>Lithomelissa campanulaeformis</i>	R	R	+	R	R	R	R	R	-	+	R	-	-	-	+
<i>Lithopera bacca</i>	+	R	+	+	R	-	+	R	-	-	+	-	-	-	R
<i>Lamprocyrtis nigrinae</i>	R	F	F	F	C	C	F	F	F	C	F	-	-	-	R
<i>Lamprocyrtis heteroporos</i>	R	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thecalyptira davisi</i>	A	C	A	C	C	C	C	A	F	C	F	+	+	+	R
<i>Theocorythium vetulum</i>	R	R	R	F	R	R	R	R	R	R	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium anomalum</i>	+	R	R	R	R	R	R	F	+	R	-	-	-	-	-
<i>Clathrocanium</i> sp.	R	R	+	R	R	+	R	R	R	-	+	-	-	+	-
<i>Saturnalis circularis</i>	R	+	+	R	R	R	R	R	R	R	+	-	+	-	-
<i>Dictyophimus gracilipes</i>	R	R	+	F	R	R	-	R	R	+	R	-	-	-	-
<i>Dictyophimus tetracanthus</i>	R	+	R	F	F	R	R	R	-	+	-	-	-	-	-
<i>Heliotholus hirsutosa</i>	-	R	R	-	+	R	R	-	-	R	+	-	-	-	+
<i>Artostrobium miralestense</i>	A+	A+	A	A+	A+	A+	A+	A+	A	A+	A+	-	-	-	F
<i>Larcospira quadrangula</i>	F	R	R	R	R	R	+	F	+	R	+	-	-	-	+
<i>Octopyle stenozona</i>	F	A+	F	F	C	R	R	F	F	R	R	-	-	-	-
<i>Tetrapyle octacantha</i>	A+	A+	F	C	C	R	F	F	F	R	F	-	+	-	+
<i>Sphaerozoum punctatum</i>	R	F	F	R	R	R	C	C	+	-	R	-	-	-	-
<i>Cryptocapsella tetrapera</i>	+	R	-	-	+	-	+	+	-	R	+	+	R	+	+
<i>Lophophaena cylindrica</i>	C	C	C	A	A+	F	C	A+	F	R	R	-	-	-	-
<i>Spongophyle osculosa</i>	+	C	C	R	+	R	+	R	R	R	R	-	-	-	-
<i>Anthocryndium jenghsu</i>	-	R	R	F	R	R	R	R	R	R	F	-	-	-	-
<i>Botryopyle dicycephalis</i>	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-
<i>Theocyrtis tuberosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Theocyrtis amosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-
<i>Artostrobium pretabulatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	+
<i>Stichocorys peregrina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-

Table III-1-2. Continued.

Station NO	74														
	1	2	3	4	6	8	10	13	16	20	25	30	35	40	42
Depth(cm)	G	G	G	G	G	G	G	G	M	M	M	M	G	G	M
Preservation	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	A	A	C
Abundance	R	R	-	R	+	R	+	F	R	R	R	R	R	R	-
<i>Collosphaera tuberosa</i>	R	R	-	R	+	R	+	F	R	R	R	R	R	R	-
<i>Collosphaera invaginata</i>	+	R	R	R	-	+	-	R	-	-	-	-	-	-	-
<i>Disolenia quadadrata</i>	R	+	R	-	-	-	-	+	R	R	-	R	+	+	-
<i>Polysolenia spinosa</i>	F	R	R	R	R	R	R	-	R	R	R	R	R	R	+
<i>Polysolenia lappacea</i>	+	R	-	-	-	+	-	-	R	-	-	-	-	-	-
<i>Collosphaera huxleyi</i>	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	R	R	R	+	+
<i>Acrosphaera cyrtodon</i>	R	-	R	R	-	+	+	R	R	-	F	R	R	R	+
<i>Acrosphaera murrayana</i>	+	-	+	F	+	-	-	-	R	R	+	R	R	+	R
<i>Acrosphaera trepanata</i>	F	R	+	+	+	+	+	-	R	+	+	R	-	R	-
<i>Panartus t.tetrathalamus</i>	A+	A+	C	A+	F	A+	C	C	A+	A+	A+	A+	A+	A+	C
<i>Anthocytidium ophirens</i>	F	F	R	R	R	R	+	F	F	F	F	F	A	F	R
<i>Anthocytidium zaquebaricum</i>	R	R	R	R	R	+	-	R	R	R	R	R	-	+	+
<i>Spirocyrtis subscalaris</i>	R	R	R	R	R	+	R	R	R	+	R	R	-	-	-
<i>Spirocyrtis scalaris</i>	R	R	R	R	R	R	-	R	-	R	+	R	F	-	-
<i>Carpocanistrum</i> sp A	A+	C	A	A+	F	F	C	A	A+	C	A+	A+	C	C	F
<i>Theocorythium t. trachelium</i>	-	-	+	+	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theocorythium t. diana</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	R	+	-
<i>Eucyrtidium acuminatum</i>	A	C	F	F	R	+	R	C	F	R	C	A	C	A+	F
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	A	R	F	F	+	R	+	R	R	R	R	F	R	R	R
<i>Lithocampe</i> sp	-	+	+	+	+	-	-	-	R	R	+	F	R	+	-
<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	F	R	R	F	R	F	F	R	F	F	C	R	F	R	-
<i>Lamprocyclas m. polypora</i>	R	+	+	R	-	-	-	-	+	-	-	R	F	+	-
<i>Lamprocyclas m. maritalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	R	-
<i>Pterocanium thriobum</i>	+	+	R	R	+	R	-	-	+	R	R	F	+	-	-
<i>Pterocanium t. eucolpum</i>	R	R	R	R	-	-	R	R	+	R	R	F	R	F	R
<i>Pterocanium p. praetextum</i>	C	F	R	F	R	R	R	R	+	R	R	F	F	C	R
<i>Amphirhopalum ypsilon</i>	R	R	+	F	-	-	-	-	R	+	+	F	R	R	C
<i>Euchitonia elegance</i>	C	F	F	A+	F	C	F	A	C	A+	A+	A	A	A+	C
<i>Euchitonia furcata</i>	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	R	-	-	-
<i>Spongogaster t. tetras</i>	R	R	R	F	+	-	-	+	F	+	R	C	+	R	R
<i>Pterocorys minithorax</i>	A+	A+	A+	A+	A	A+	A	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+
<i>Pterocorys zancleus</i>	F	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	-
<i>Theoconus hertwigi</i>	R	R	R	R	R	+	+	-	R	R	+	+	R	R	-
<i>Theoconus junonis</i>	R	R	R	R	R	R	+	-	+	R	+	+	R	R	-
<i>Dictyophimus hirundo</i>	-	-	-	R	-	R	+	R	R	-	F	R	+	F	-
<i>Lithomelissa campanulaeformis</i>	-	R	+	R	-	-	-	-	-	+	R	-	-	R	-
<i>Lamprocyrtis nigrinae</i>	F	F	R	R	R	R	R	+	F	R	C	F	R	C	F
<i>Lamprocyrtis heteroporos</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
<i>Thecalypta davisiana</i>	F	C	F	C	F	F	F	F	F	R	C	C	C	C	F
<i>Eucyrtidium anomalum</i>	R	R	-	-	R	R	-	+	+	R	+	R	R	R	-
<i>Clathrocanium</i> sp.	+	-	-	R	-	-	-	R	-	+	-	-	+	+	-
<i>Saturnalis circularis</i>	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	R	R	F	R	R
<i>Dictyophimus tetracanthus</i>	+	R	+	R	R	-	-	-	-	-	R	R	+	-	-
<i>Helotholus histicosa</i>	R	R	R	+	-	-	-	R	-	-	R	-	-	-	-
<i>Artostrobium miralestense</i>	C	C	R	F	R	R	R	F	A+	F	A+	A+	F	C	R
<i>Larospira quadrangula</i>	F	R	R	R	-	+	+	-	+	R	R	R	-	R	+
<i>Octopyle stenozona</i>	F	R	R	R	-	-	-	-	+	-	F	+	R	R	-
<i>Tetrapyle octacantha</i>	+	R	R	R	R	+	-	+	R	R	R	F	R	R	-
<i>Sphaerozoum punctatum</i>	R	R	F	R	F	F	+	R	R	R	R	R	R	R	R
<i>Lophophaena cylindrica</i>	R	C	F	F	F	R	R	F	R	F	R	F	R	R	F
<i>Spongophyle osculosa</i>	F	R	-	R	R	+	+	F	+	R	F	F	-	R	F
<i>Anthocrytidium jenghisi</i>	-	-	-	R	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-
<i>Botryopyle dictyocephalis</i>	+	R	R	R	F	+	R	R	R	+	+	+	R	+	-
<i>Theocyrtis tuberosa</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theocyrtis amosa</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stichocorys peregrina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-
<i>Lychmodictyum audax</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Calocycteta virginis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-
<i>Artophormis gracilis</i>	-	+	-	-	R	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+

Table III-1-2. Continued.

Station NO	79													
	1	2	3	4	6	8	10	13	16	20	25	30	35	40
Depth(cm)	G	G	G	G	G	G	G	M	M	M	M	P	P	
Preservation	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	F	F	R	R
Abundance														
<i>Collosphaera tuberosa</i>	R	F	+	F	F	R	R	R	+	R	-	-	-	-
<i>Collosphaera invaginata</i>	-	R	-	R	+	+	R	-	-	-	+	-	-	-
<i>Polysolenia spinosa</i>	+	R	R	+	R	R	R	R	-	R	+	R	-	-
<i>Collosphaera huxleyi</i>	R	+	-	R	-	+	R	R	-	-	-	-	-	-
<i>Acrosphaera cyrtolon</i>	R	R	R	R	+	F	R	R	R	R	+	R	-	-
<i>Acrosphaera murrayana</i>	R	R	R	R	R	R	R	+	+	-	-	R	-	-
<i>Acrosphaera trepanata</i>	F	+	+	R	+	R	R	-	R	-	+	+	-	+
<i>Panartus t. tetrahalamus</i>	A+	A+	A+	A+	A	A+	A+	A+	C	A+	R	F	-	-
<i>Anthocytidium ophuense</i>	F	C	F	C	C	C	C	F	F	R	R	R	-	-
<i>Anthocytidium zaquebaricum</i>	+	R	R	R	-	R	R	R	R	R	R	R	-	-
<i>Spirocyrus subscalaris</i>	+	R	R	+	R	+	R	R	R	R	-	-	-	-
<i>Spirocyrus scalaris</i>	R	R	R	F	F	R	R	R	R	R	-	+	-	-
<i>Carpocanistrum</i> sp. A	A+	A+	A+	A+	A	A+	A+	A+	A+	C	F	F	-	-
<i>Theocorythium t. trachelium</i>	R	-	+	R	+	R	R	R	+	-	+	-	-	-
<i>Theocorythium t. diana</i>	+	-	+	+	-	+	R	R	+	+	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium acuminatum</i>	A	A	A+	A	A	A+	A+	A	F	F	R	R	-	-
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	F	A	R	R	F	F	C	F	R	R	+	+	-	-
<i>Lithocampe</i> sp.	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	F	F	F	C	F	F	F	R	R	R	+	R	-	-
<i>Lamprocyclas m. maritima</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	R	R	-
<i>Pterocanium thriobum</i>	R	+	R	R	R	R	R	+	R	R	R	R	-	+
<i>Pterocanium t. eucolpum</i>	F	F	R	F	F	F	R	R	R	F	-	+	-	-
<i>Pterocanium p. praetextum</i>	C	C	R	A	A	F	A	F	R	R	+	-	-	-
<i>Amphirhopalum ypsilon</i>	F	R	F	R	R	C	R	F	R	R	+	+	+	-
<i>Euchitonia elegans</i>	C	C	A	F	C	A	F	A	F	C	F	R	-	-
<i>Spongogaster t. tetras</i>	F	R	R	+	+	F	R	R	R	R	-	R	-	-
<i>Pterocorys minithorax</i>	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	-	F
<i>Pterocorys zancleus</i>	F	R	C	R	F	R	R	R	R	R	+	R	-	-
<i>Theoconus hertwigii</i>	+	-	R	R	R	+	R	R	-	-	-	-	-	-
<i>Theoconus junonis</i>	R	R	R	R	+	R	R	R	+	R	-	-	-	-
<i>Dictyophimus hirundo</i>	+	R	-	-	R	R	R	R	+	-	-	+	-	-
<i>Lithomelissa campanulaeformis</i>	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	R	-	-
<i>Lithopera bacca</i>	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lamprocyrus nigrinae</i>	R	F	F	R	F	R	R	R	R	C	R	-	-	+
<i>Theicalyptia davisiana</i>	R	F	R	R	F	F	R	C	F	R	R	R	-	-
<i>Theocorythium vetulum</i>	-	R	-	-	+	+	F	C	R	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium anomulum</i>	+	R	+	+	R	R	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>Clathrocanium</i> sp.	-	R	+	+	-	-	-	R	-	+	-	-	-	-
<i>Saturnalis circularis</i>	-	+	+	-	-	+	+	+	+	R	+	-	-	-
<i>Dictyophimus tetracanthus</i>	R	-	R	R	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Heliotholus histicosa</i>	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Artostrobium miralestense</i>	A	A	F	A	F	C	A	C	A	C	R	R	-	-
<i>Larospira quadrangula</i>	R	R	R	R	+	+	R	R	R	R	R	+	-	-
<i>Octopyle stenozona</i>	R	R	R	F	R	C	F	F	R	R	R	R	-	-
<i>Tetrapyle octacantha</i>	-	R	R	R	+	R	F	F	+	R	R	-	-	+
<i>Sphaerozoum punctatum</i>	+	R	R	R	R	+	R	R	-	+	-	-	-	-
<i>Cryptocapsella tetrapera</i>	-	+	+	-	+	+	R	R	+	-	-	-	-	-
<i>Lophophaena cyclindrica</i>	F	F	F	C	C	C	C	R	R	R	R	+	-	-
<i>Spongophyle osculosa</i>	R	R	R	R	R	R	R	-	R	R	+	R	-	-
<i>Anthocrytidium jenghisi</i>	R	+	+	R	R	R	R	-	-	+	-	-	-	-
<i>Botryopyle dictyocephalis</i>	-	R	-	-	+	+	+	R	+	-	-	-	-	-
<i>Theocyrus tuberosa</i>	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-
<i>Theocyrus annosa</i>	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-
<i>Artostrobus pretabulatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-
<i>Calocyclella virginis</i>	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	R	-	-
<i>Artophormis gracilis</i>	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-
<i>Stichocorys delmontensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
<i>Lychnocanoma grande</i>	-	+	-	-	-	-	-	R	+	+	-	-	-	-
<i>Lithocyclia angusta</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-

Table III-1-2. Continued.

Station No	51															
Depth (cm)	1	2	3	4	6	8	10	13	16	20	25	30	35	40	45	50
Preservation	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
Abundance	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A
<i>Collosphaera tuberosa</i>	F	F	R	R	F	R	R	C	R	R	R	R	R	R	+	+
<i>Collosphaera invaginata</i>	R	R	R	R	R	R	R	-	R	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polysolenia spinosa</i>	F	F	F	R	F	F	R	F	R	R	R	F	R	R	+	R
<i>Polysolenia lappacea</i>	R	+	-	R	R	-	+	+	+	-	+	R	+	+	+	+
<i>Collosphaera huxleyi</i>	+	-	+	-	+	R	R	+	-	+	-	+	+	+	+	+
<i>Acrosphaera cyrtodon</i>	F	F	R	F	R	+	R	+	+	+	R	R	R	R	R	R
<i>Acrosphaera murrayana</i>	C	F	R	F	F	R	+	R	+	R	R	R	F	F	+	+
<i>Acrosphaera trepanata</i>	F	C	R	C	C	R	+	R	+	R	R	R	R	R	+	+
<i>Panartus t. tetrathalamus</i>	A+	A+	A+	A+	A+	A	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	C	A+
<i>Anthocytidium ophurense</i>	A+	A+	A	A+	A	F	R	F	F	F	F	F	A	F	R	F
<i>Anthocytidium zaquebaricum</i>	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
<i>Spirocyrus subscalaris</i>	R	R	F	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	-
<i>Spirocyrus scalaris</i>	C	R	R	F	F	F	R	R	R	R	R	F	R	R	+	R
<i>Carpocanistrum</i> sp. A	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A	A	A+	A	A+	A+	A	A+	F	A+
<i>Theocorythium t. trachelium</i>	R	R	F	F	R	+	+	-	R	R	-	R	R	+	-	-
<i>Theocorythium t. diana</i>	+	+	+	+	-	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium acuminatum</i>	A	A	A	A+	A+	F	F	F	R	R	F	F	F	C	C	A+
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	A+	A	A+	A	A	C	F	F	F	F	C	R	C	F	R	F
<i>Lithocampe</i> sp.	R	R	+	R	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	A+	A+	A+	A	C	C	R	F	F	R	-	C	C	C	F	A
<i>Lamprocyclus m. polypora</i>	R	+	R	+	R	R	R	+	+	-	-	+	R	R	+	F
<i>Lamprocyclus m. maritimalis</i>	+	-	+	-	R	R	+	+	-	-	+	R	R	R	R	F
<i>Pterocanium thriobum</i>	C	R	R	R	R	R	R	R	-	R	R	R	R	R	R	F
<i>Pterocanium t. eucolpum</i>	F	C	C	F	R	R	R	R	R	R	+	+	R	R	R	F
<i>Pterocanium p. praetextum</i>	A+	A+	A+	A	A	F	F	C	R	F	C	F	C	R	R	C
<i>Peripyramis circumtexta</i>	R	R	R	F	F	F	R	F	R	R	R	R	R	R	R	R
<i>Amphirhopalum ypsilon</i>	F	F	F	F	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	F
<i>Euchitonia elegance</i>	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	C	A+	A+	A	A+	A+	C	A
<i>Euchitonia furcata</i>	+	+	R	R	R	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Spongogaster t. tetras</i>	A+	C	A+	A+	A+	C	F	F	C	F	C	A	C	A	R	A
<i>Pterocorys minithorax</i>	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+
<i>Pterocorys zancleus</i>	A	C	R	F	F	R	F	R	R	R	R	R	R	R	+	F
<i>Theoconus hertwigii</i>	R	+	R	R	R	+	R	R	R	+	R	R	R	R	R	+
<i>Theoconus junonis</i>	C	F	R	R	R	R	R	F	R	F	R	R	R	R	+	F
<i>Dictyophimus hirundo</i>	R	R	R	R	R	+	+	R	-	R	R	R	R	+	+	R
<i>Dictyophimus crisiae</i>	R	R	R	F	R	+	R	+	R	R	R	R	R	F	+	+
<i>Lithomelissa campanulaeformis</i>	R	R	+	R	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-
<i>Lithopera bacca</i>	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
<i>Lamprocyrtis nigrinae</i>	F	F	R	R	F	F	R	R	C	R	R	R	R	C	F	F
<i>Lamprocyrtis heteroporos</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Thecalyptra davisiana</i>	F	F	F	F	C	R	C	A	F	R	F	R	F	C	F	F
<i>Theocorythium vetulum</i>	+	R	-	R	+	R	+	+	-	R	+	+	+	+	-	-
<i>Eucyrtidium anomalum</i>	R	R	+	R	+	R	R	R	F	R	R	R	R	R	+	R
<i>Clathrocanium</i> sp.	+	R	-	-	+	+	+	-	-	R	R	R	+	+	+	-
<i>Satumalis circularis</i>	R	R	R	-	+	R	R	+	+	R	R	R	F	R	R	R
<i>Dictyophimus grasilipes</i>	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	+	R	+	-	+
<i>Dictyophimus tetracanthus</i>	R	+	R	+	+	+	R	+	R	+	R	+	R	R	-	+
<i>Helotholus hirsutosa</i>	R	+	R	R	+	+	-	+	-	-	-	R	R	R	-	+
<i>Artostrobium miralestense</i>	A	A+	A	A+	A+	C	F	C	F	F	C	C	A	C	C	C
<i>Larospira quadrangula</i>	F	F	F	R	R	R	F	F	R	R	F	R	R	R	-	R
<i>Octopyle stenozona</i>	C	C	R	F	R	R	R	R	R	R	F	R	R	R	-	R
<i>Tetrapyle octacantha</i>	C	F	F	C	R	R	R	F	R	R	R	R	F	F	R	F
<i>Sphaerozoum punctatum</i>	F	R	F	F	R	F	F	F	R	R	R	F	F	R	+	R
<i>Lophophaena cylindrica</i>	C	F	R	R	F	F	C	A	C	F	C	A	C	C	R	F
<i>Spongophyle osculosa</i>	R	R	R	R	F	R	R	+	R	+	R	R	R	R	+	R
<i>Anthocrytidium jeighsi</i>	A+	F	R	C	R	R	R	R	+	-	R	R	R	R	+	R
<i>Botryopyle dictyocephalis</i>	R	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Calocyclus virginis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Artophormis gracilis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Stichocorys delmontensis</i>	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-

Table III-1-2. Continued.

Station NO.	19																			
	1	3	6	8	10	13	16	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	100	130	160
Depth (cm)	G	M	M	M	M	P	P	M	M	M	M	M	P	M	P	P	P	P	P	P
Preservation	A	F	F	F	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Abundance	A	F	F	F	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
<i>Collosphaera tuberosa</i>	R	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Collosphaera invaginata</i>	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polysolenia spinosa</i>	F	R	R	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Collosphaera huxleyi</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acrosphaera cyrtodon</i>	-	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acrosphaera murrayana</i>	F	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acrosphaera trepanata</i>	F	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Panartus t. tetrathalamus</i>	A+	A+	C	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Anthocytidium ophirense</i>	C	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anthocytidium zaquebaricum</i>	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lithomitra arachnea</i>	R	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lithomitra liniata</i>	C	R	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Botryostrobus auritum</i>	A+	C	C	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Siphocampe cobula</i>	A+	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spirocyrtis scalaris</i>	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Botryocyrtis scutum</i>	A+	F	F	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Carpocanistrum papillo</i>	F	-	R	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Carpocanistrum sp. A</i>	C	+	R	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Carpocanistrum spp</i>	A	F	F	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Theocorythium t. trachelium</i>	-	-	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium acuminatum</i>	F	R	R	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	F	R	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	R	R	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-	-
<i>Lamprocyclas m. polypora</i>	R	R	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocanium thriobum</i>	R	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocanium t. eucolpum</i>	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocanium p. praetextum</i>	F	R	R	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Periphyramis circumtexta</i>	F	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cornutella profunda</i>	A+	R	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Artostrobos annulatus</i>	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amphirhopalum ypsilon</i>	R	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spongocore puella</i>	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Buchitonia elegance</i>	A+	C	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Buchitonia furcata</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spongogaster t. tetras</i>	C	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocorys minithorax</i>	A+	A+	F	+	R	+	-	+	+	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocorys zancleus</i>	R	R	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theoconus hertwigii</i>	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theoconus junonis</i>	R	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyocoryne profunda</i>	F	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hymeniastrum euclidis</i>	R	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyocoryne truncatum</i>	F	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyophimus hirundo</i>	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyophimus crisiae</i>	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lamprocorytis nigrinae</i>	+	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theocalyptra bicornis</i>	R	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Theocalyptra davisiana</i>	R	R	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium anomalum</i>	R	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Clathrocanium sp.</i>	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Saturnalis circularis</i>	R	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyophimus grasilipes</i>	-	R	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Artostrobium miralestense</i>	C	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Larospira quadrangula</i>	+	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Octopyle stenozone</i>	F	R	R	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tetrapyle octacantha</i>	R	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sphaerozoum punctatum</i>	R	R	R	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theopilum tricoctatum</i>	F	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spongophyle osculosa</i>	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyophimus infabricatus</i>	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lamprocyclas m. ventricosa</i>	R	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Artophormis gracilis</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table III-1-2. Continued.

Station NO.	23																						
Depth(cm)	1	3	6	8	10	13	16	20	25	30	33	40	45	50	55	60	70	80	100	130	160	190	220
Preservation	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	C	C	C	C	F	F	F	F
Abundance	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
<i>Polysolenia spinosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Collosphaera huxleyi</i>	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Collosphaera polygona</i>	-	-	-	+	-	-	R	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	R	R	R	R	R	+
<i>Collosphaera macropora</i>	-	-	-	+	-	-	-	R	-	R	-	R	R	R	+	+	+	+	+	+	R	R	+
<i>Acrosphaera cyrtodon</i>	R	F	R	R	F	R	+	R	R	R	R	R	R	R	F	F	R	C	C	C	R	R	R
<i>Acrosphaera murrayana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	R	+	+
<i>Anthocytidium ophirense</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anthocytidium zaquebaricum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	+	-	-	-	-	+	-	R	-	R
<i>Lithomitra arachnea</i>	-	-	-	R	-	-	-	-	-	R	+	R	+	R	-	-	-	R	-	+	+	+	+
<i>Lithomitra liniata</i>	R	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	R	-	-	-	-	-	+	+	+	R	+	R
<i>Botryostrobos auritum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Carpocanistrum</i> sp. A	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Carpocanistrum</i> spp	F	R	C	F	F	F	C	C	C	C	F	A+	A+	C	A+	F	A+	C	A+	A+	A	A+	A
<i>Periphyramis circumtexta</i>	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+
<i>Cornutella profunda</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hymeniastrum euclidis</i>	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	R	R	+	R	-	+	-
<i>Clathrocanium</i> sp.	-	-	+	-	-	-	R	+	-	-	+	F	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium calvertense</i>	R	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cryptocapsella tetrapera</i>	A+	A+	A	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+	A+
<i>Cryptocapsella japonica</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	+	R	R	R	R	R	+	+	R	+	+	R	R	R	R
<i>Lophosphaera cylindrica</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theopilum tricostatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Botryopyle dictyocephalis</i>	-	-	-	-	R	+	-	+	R	+	R	R	F	R	R	R	+	R	R	R	R	R	R
<i>Theocyrtis tuberosa</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Artostrobos pretabulatus</i>	R	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	R	+	+	-	-	-	-	-	+
<i>Lychnocanoma elongata</i>	R	+	-	R	+	R	R	-	R	F	R	+	F	F	F	F	C	A+	A+	C	C	F	F
<i>Lychnodictyum audax</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Cyrtocapsella cornuta</i>	+	R	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Calocyclletta virginis</i>	R	F	R	F	C	F	F	F	F	R	F	R	F	C	A+	A+	A	A+	A+	A	A+	A+	A+
<i>Stichocorys delmontensis</i>	R	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lychnocanoma grande</i>	R	F	R	C	A+	F	A	A	C	A	C	C	A	A+	A+	A+	A+	A+	A+	C	A	A+	A+
<i>Eucyrtidium diaphanes</i>	F	C	C	F	A+	C	A	A+	F	C	F	A+	A+	A	C	C	A+	A	A+	A+	A+	A+	A+
<i>Calocyclletta costata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theocorys spongoconum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-
<i>Dorcadospyrus forcipata</i>	+	R	R	-	R	-	R	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-
<i>Dorcadospyrus ateuchus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	R	+	R	+	-
<i>Dorcadospyrus simplex</i>	-	-	-	-	R	R	R	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	R	F	+	R	+	+
<i>Siphostichartus praecorona</i>	+	R	-	-	+	+	-	R	-	+	R	-	C	R	+	+	-	R	R	-	+	+	-
<i>Calocyclletta serrata</i>	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	R	+	+	+	+	R	F
<i>Cyclampterium pegetrum</i>	-	-	-	+	R	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	R	R	R	R	-	R	-
<i>Didymocyrtis prismatica</i>	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	R	F	R	+	R	F	F	F	R	R	R
<i>Dorcadospyrus tubaria</i>	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	R	-	+	+	R	R	R	R	+
<i>Calocyclletta caepa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Dorcadospyrus praeforcipata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+

Table III-1-2. Continued.

Station NO	31																			
Depth (cm)	1	3	6	8	10	13	16	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	100	130	160
Preservation	G	G	G	M	M	M	M	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Abundance	A	C	C	C	F	R	F	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	F
<i>Collosphaera tuberosa</i>	+	R	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Collosphaera invaginata</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polysolenia spinosa</i>	R	R	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Collosphaera huxleyi</i>	+	F	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acrosphaera cyrtodon</i>	F	F	R	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acrosphaera murrayana</i>	R	R	R	-	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acrosphaera trepanata</i>	R	R	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Panartus t. tetrathalamus</i>	A+	A+	C	F	R	+	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Panartus t. coronatus</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anthocytidium ophirens</i>	F	R	R	R	+	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anthocytidium zaquebaricum</i>	R	R	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lithomitra liniata</i>	F	+	R	R	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spirocyrtis subscalaris</i>	R	+	R	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spirocyrtis scalaris</i>	R	+	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Carpocanistrum sp. A</i>	C	A+	F	F	R	+	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Carpocanistrum spp.</i>	A	A	C	C	R	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium acuminatum</i>	C	C	R	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	R	R	R	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	F	F	-	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lamprocyclas m. polypora</i>	R	R	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocanium thriobum</i>	R	R	-	R	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocanium t. eucolpum</i>	R	R	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocanium p. praetextum</i>	F	F	R	R	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peripyramis circumtexta</i>	F	R	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cornutella profunda</i>	C	C	F	F	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amphirhopalum ypsilon</i>	R	R	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spongocore puella</i>	-	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euchitonia elegance</i>	C	C	C	F	+	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Euchitonia furcata</i>	R	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spongogaster t. tetras</i>	F	R	F	R	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocorys minithorax</i>	A+	A+	C	A	F	-	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pterocorys zancleus</i>	R	R	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theoconus junonis</i>	R	R	R	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyocoryne profunda</i>	F	F	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hymeniastrum euclidis</i>	F	F	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyocoryne truncatum</i>	F	R	R	R	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lamprocyrtis nigrinae</i>	R	R	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lamprocyrtis heteroporos</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theocalyptra bicornis</i>	R	R	+	R	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theocalyptra davisiana</i>	R	R	R	F	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyophimus tetracanthus</i>	+	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Artostrobium miralestense</i>	R	F	R	R	+	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Larcospira quadrangula</i>	R	R	R	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Octopyle stenozone</i>	R	R	-	R	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sphaerozoum punctatum</i>	R	R	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lophophaena cylindrica</i>	+	C	R	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anthocytidium jenghisi</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Botryopyle dictyocephalis</i>	R	R	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theocyrtis tuberosa</i>	C	F	R	F	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stichocorys peregrina</i>	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lithostrobis hexagonalis</i>	R	R	R	-	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lamprocyclas m. ventricosa</i>	R	R	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Calocycletta virginis</i>	R	R	-	R	R	+	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Artophormis gracilis</i>	F	F	R	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stichocorys delmontensis</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lychnocanoma grande</i>	R	R	R	R	R	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eucyrtidium diaphanes</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Theocorys spongoconum</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dorcadospyrus ateuchus</i>	R	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cyclampterium pegetrum</i>	+	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Didymocyrtis prismatica</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Calocycletta caepa</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table III-1-3. Stratigraphic range of radiolarian species which are observed in KODOS 94 area.

EPOCHS	E			O		EM					MM		LM		P			Q				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
<i>Collosphaera invaginata</i>																						
<i>Collosphaera tuberosa</i>																						
<i>Polysolenia lappacea</i>																						
<i>Sphaerzoum punctatum</i>																						
<i>Theoconus hertwigi</i>																						
<i>Lamprocyrtis nigriuae</i>																						
<i>Acrosphaera trepanata</i>																						
<i>Collosphaera huxleyi</i>																						
<i>Theocorythium f. trachelium</i>																						
<i>Theocorythium t. diana</i>																						
<i>Spongogaster t. tetras</i>																						
<i>Pterocorys zancleus</i>																						
<i>Theoconus junonis</i>																						
<i>Lamprocyclus m. polypora</i>																						
<i>Lamprocyclus m. maritalis</i>																						
<i>Pterocorys minithorax</i>																						
<i>Theicalyptra davisiana</i>																						
<i>Panartus t. tetrathalamus</i>																						
<i>Anthocytidium zaquebaricum</i>																						
<i>Theocorythium vetulum</i>																						
<i>Pterocanium t. eucolpum</i>																						
<i>Pterocanium p. praetextum</i>																						
<i>Lamprocyrtis heteroporos</i>																						
<i>Amphirhopalum ypsilon</i>																						
<i>Anthocytidium ophirens</i>																						
<i>Acrosphaera cyrtodon</i>																						
<i>Spirocyrtis scalaris</i>																						
<i>Stichocorys peregrina</i>																						
<i>Lychnocanoma grande</i>																						
<i>Anthocytidium jenghisi</i>																						
<i>Spirocyrtis subscalaris</i>																						
<i>Lithomelissa campanulaeformis</i>																						
<i>Lithopera bacca</i>																						
<i>Artostrobium miralestense</i>																						
<i>Polysolenia spinosa</i>																						
<i>Phormostichoartus doliolum</i>																						
<i>Eucyrtidium acuminatum</i>																						
<i>Pterocanium thrilobum</i>																						
<i>Saturnalis circularis</i>																						
<i>Stichocorys delmontensis</i>																						
<i>Cryptocapsella tetrapera</i>																						
<i>Calocyctella virginis</i>																						
<i>Theocyrtis annosa</i>																						
<i>Euchitonia elegance</i>																						

Table III-1-3. Continued.

<i>Euchitoma furcata</i>																					
<i>Artostrobis pretabulatus</i>																					
<i>Lithocyclus angusta</i>																					
<i>Artophormis gracilis</i>																					
<i>Thyrsoyrtis tuberosa</i>																					
<i>Bostryopyle dictyocephalis</i>																					

EPOCHS

E Eocene O Oligocene, EM Early Miocene, MM. Middle Miocene,
LM. Late Miocene, P Pliocene, Q Quaternary

ZONES

- A. *Podocyrtis chalaris* Zone
- B: *Podocyrtis goetheana* Zone
- C: *Thyrsoyrtis bromia* Zone
- D: *Thyrsoyrtis tuberosa* Zone
- E: *Dorcadospyris ateuches* Zone
- F: *Lychnocanoma elongata* Zone
- G: *Cyrtocapsella tetrapera* Zone
- H: *Stichocorys delmontensis* Zone
- I: *Stichocorys wolffii* Zone
- J: *Calocyclella costata* Zone
- K: *Dorcadospyris alata* Zone
- L: *Diartus petterssoni* Zone
- M: *Didymocyrtis antepenultima* Zone
- N: *Didymocyrtis penultima* Zone
- O: *Stichocorys peregrina* Zone
- P: *Spongaster penras* Zone
- Q: *Pterocanium prismatium* Zone
- R: *Anthocyrtidium angulare* Zone
- S: *Anthocyrtidium ypsilon* Zone
- T: *Collosphaera tuberosa* Zone
- U: *Collosphaera invaginata* Zone

PLATE III-1-1

(Magnification \times 200 unless otherwise indicated)

- Fig. 1. *Collosphaera invaginata* KODOS 94-2-15, 2 cm
- Fig. 2. *Acrosphaera trepanata* KODOS 94-2-15, 2 cm
- Fig. 3. *Acrosphaera crytodon* KODOS 94-1-23, 1 cm
- Fig. 4. *Collosphaera tuberosa* KODOS 94-2-15, 3 cm
- Fig. 5. *Siphonosphaera polysiphonia* KODOS 94-2-15, 3 cm
- Fig. 6. *Lithopera bacca* KODOS 94-2-15, 4 cm
- Fig. 7. *Hymeniastrum euclidis* KODOS 94-2-15, 2 cm
- Fig. 8. *Amphirhopalum ypsilon* KODOS 94-2-15, 3 cm
- Fig. 9. *Carpocanistrum* spp KODOS 94-2-15, 4 cm
- Fig. 10. *Spongogaster tetras tetras* KODOS 94-2-15, 4 cm
- Fig. 11. *Lophophaena cyclindrica* KODOS 94-2-15, 3 cm
- Fig. 12. *Tessarastrim straussii* KODOS 94-1-74, 4 cm

PLATE III-1-1

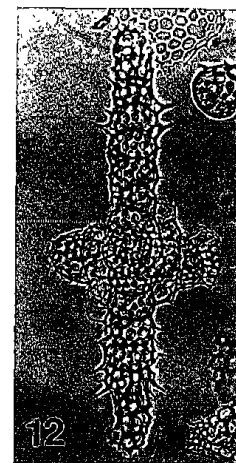
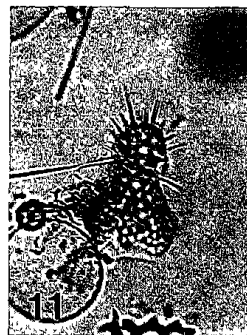
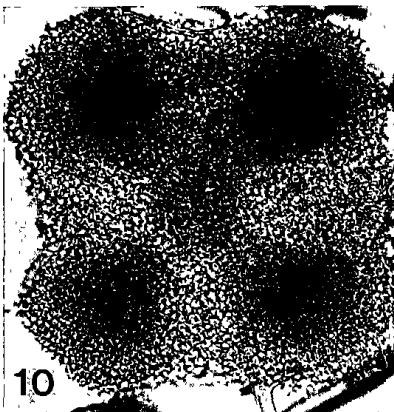
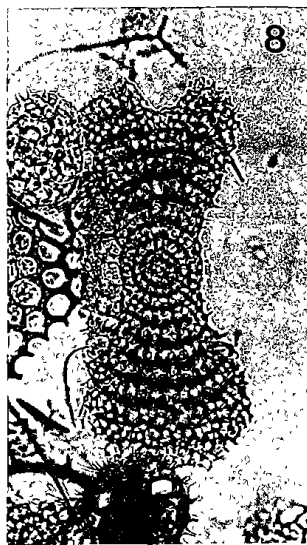
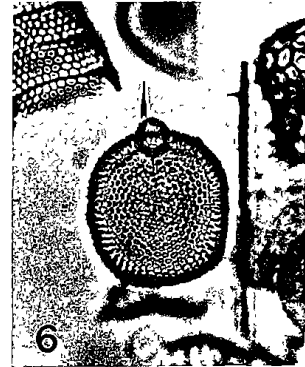
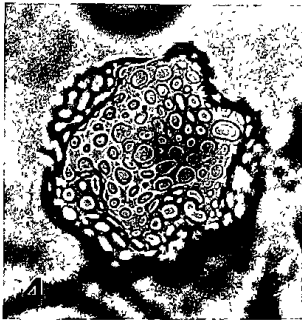
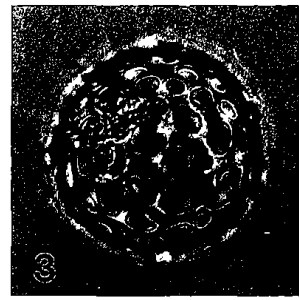
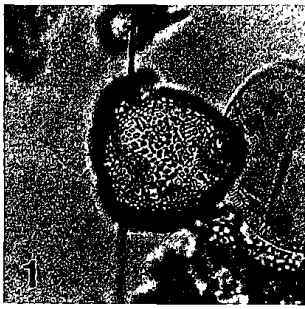


PLATE III-1-2

(Magnification × 200 unless otherwise indicated)

- Fig. 1. *Euchitonia elegance* KODOS 94-2-15, 3 cm
Fig. 2. *Botryocyrtis scutum* KODOS 94-2-15, 3 cm
Fig. 3. *Artostrobos annulatus* KODOS 94-1-23, 3 cm
Fig. 4. *Dictyophimus tetracanthus* KODOS 94-2-15, 6 cm
Fig. 5. *Centrobotrys thermophila* KODOS 94-2-15, 4 cm
Fig. 6. *Carpocanarium papillo* KODOS 94-1-46, 1 cm
Fig. 7. *Dictyophimus gracilipes* KODOS 94-2-15, 4 cm
Fig. 8. *Eucyrtidium hexagonatum* KODOS 94-2-15, 8 cm
Fig. 9. *Eucyrtidium acuminatum* KODOS 94-2-15, 4 cm
Fig. 10. *Lithostrobos hexagonalis* KODOS 94-2-15, 6 cm
Fig. 11. *Pterocorys minithorax* KODOS 94-2-15, 30 cm
Fig. 12. *Lamprocyclas maritalis ventricosa* KODOS 94-1-74, 31 cm
Fig. 13. *Theoconus hertwigii* KODOS 94-2-15, 3 cm
Fig. 14. *Theoconus hertwigii* KODOS 94-2-15, 3 cm
Fig. 15. *Coscinodiscus excavatus* var. *quadriocellata*
(Diatom, Early Oligocene) KODOS 94-2-15, 20 cm

PLATE III-1-2

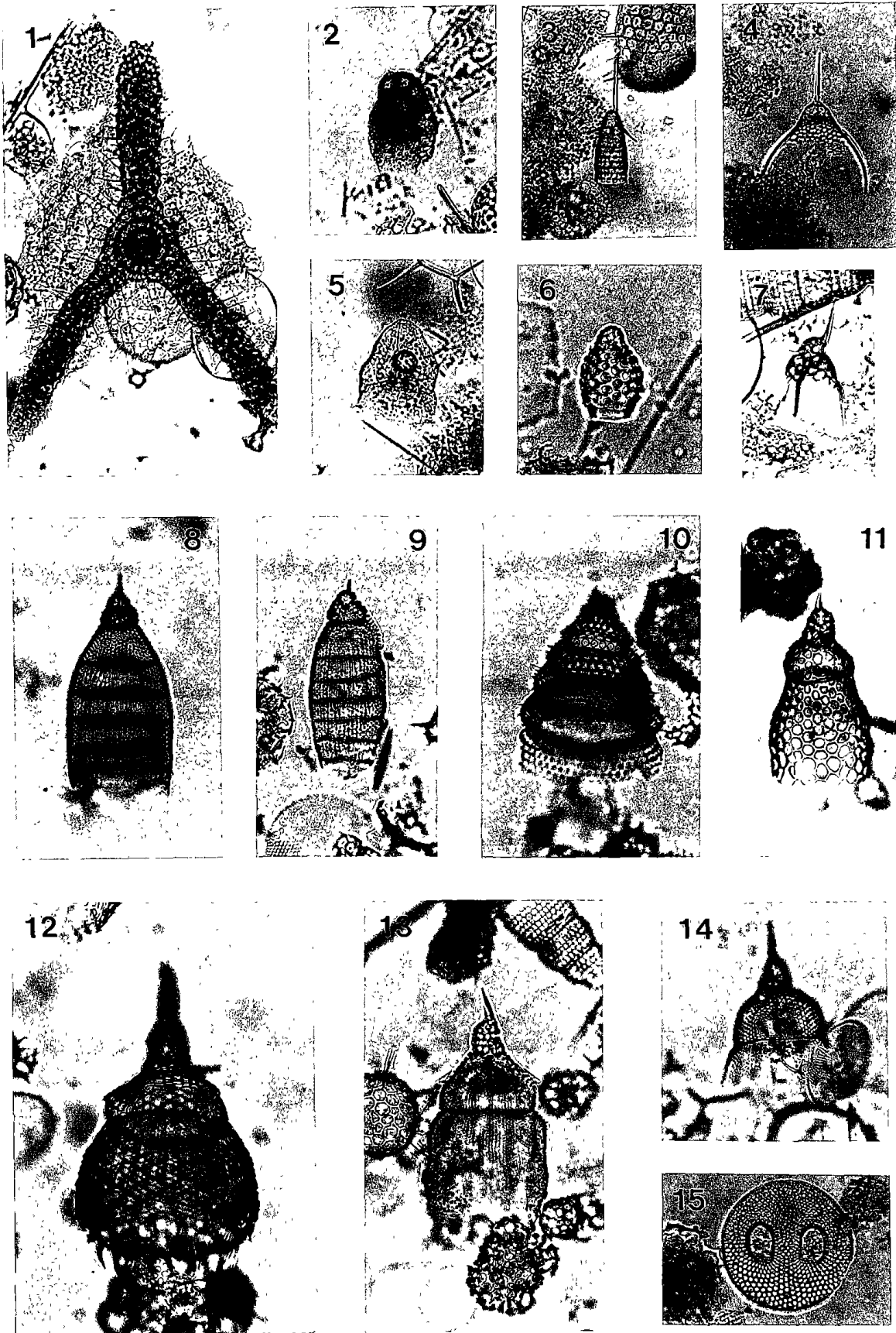


PLATE III-1-3

(Magnification \times 200 unless otherwise indicated)

- Fig. 1. *Theocorythium trachelium trachelium* KODOS 94-2-15, 4 cm
Fig. 2. *Pterocanium praetextum praetextum* KODOS 94-2-15, 3 cm
Fig. 3. *Anthocyrtidium jenghisi* KODOS 94-2-15, 1 cm
Fig. 4. *Anthocyrtidium zankebaricum* KODOS 94-2-15, 13 cm
Fig. 5. *Eucyrtidium anomalum* KODOS 94-2-15, 4 cm
Fig. 6. *Siphocampe cobula* KODOS 94-1-46, 4 cm
Fig. 7. *Botryostrobos auritum* KODOS 94-2-15, 1 cm
Fig. 8. *Spirocyrtis subscalaris* KODOS 94-2-15, 4 cm
Fig. 9. *Carpocanistrum* sp. A KODOS 94-2-15, 3 cm
Fig. 10. *Panartus tetrathalamus tetrathalamus* KODOS 94-2-15, 2 cm
Fig. 11. *Cyrtocapsella tetrapera* KODOS 94-1-23, 1 cm
Fig. 12. *Eucyrtidium diaphanes* KODOS 94-1-23, 16 cm
Fig. 13. *Artophormis gracilis* KODOS 94-1-74, 2 cm
Fig. 14. *Tetrapyle octatancha* KODOS 94-2-15, 1 cm
Fig. 15. *Eucyrtidium diaphanes* KODOS 94-1-23, 3 cm
Fig. 16. *Cyrtocapsella tetrapera* KODOS 94-1-23, 40 cm
Fig. 17. *Satarnalis circularis* KODOS 94-2-15, 3 cm

PLATE III-1-3

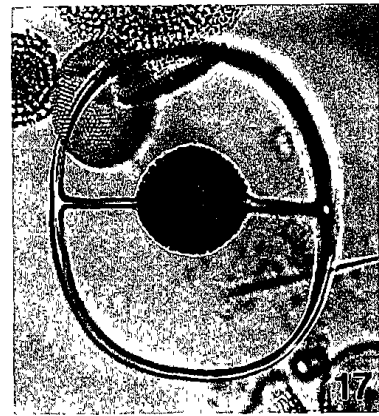
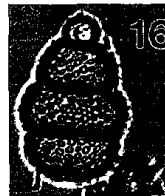
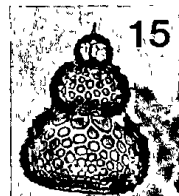
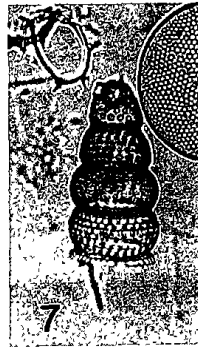
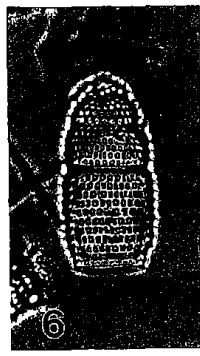
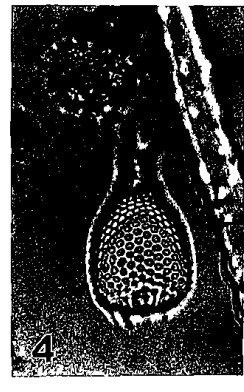
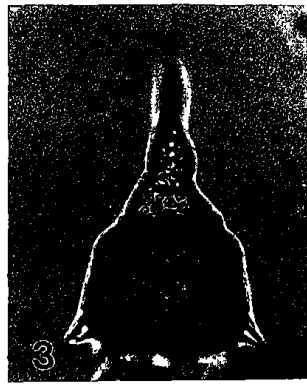


PLATE III-1-4

(Magnification $\times 200$ unless otherwise indicated)

- Fig. 1. *Dorcadospyris forcipata* KODOS 94-1-23, 3 cm
Fig. 2. *Dorcadospyris praeforcipata* KODOS 94-1-23, 70 cm
Fig. 3. *Dorcadospyris simplex* KODOS 94-1-23, 16 cm
Fig. 4. *Didymocyrtis prismatica* KODOS 94-1-23, 13 cm
Fig. 5. *Didymocyrtis tubaria* KODOS 94-1-23, 40 cm
Fig. 6. *Larcospira quadrangula* KODOS 94-1-79, 4 cm
Fig. 7. *Spongophyle osculosa* KODOS 94-2-15, 4 cm
Fig. 8. *Theocyrtis tuberosa* KODOS 94-2-15, 3 cm
Fig. 9. *Calocycletta virginis* KODOS 94-1-23, 30 cm

PLATE III-1-4

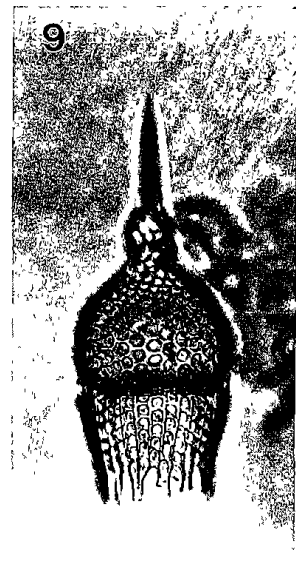
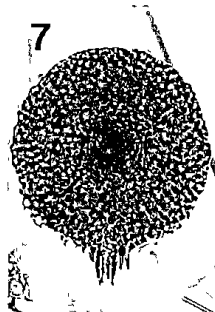
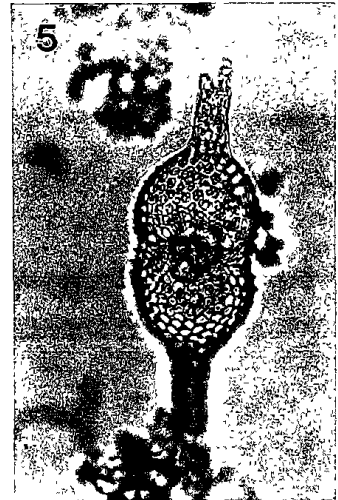
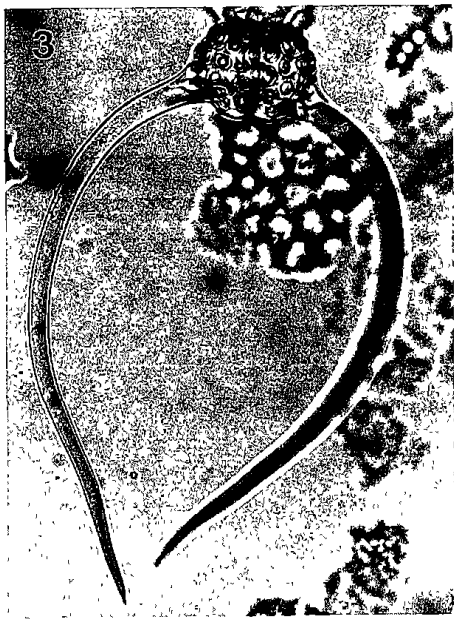
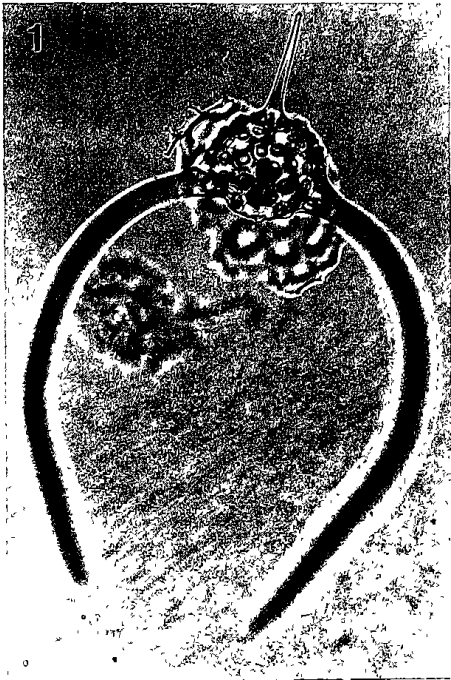


PLATE III-1-5

(Magnification $\times 200$ unless otherwise indicated)

- Fig. 1. *Calocycletta caepa* KODOS 94-1-23, 30 cm
Fig. 2. *Theocorys spongoconum* KODOS 94-1-23, 35 cm
Fig. 3. *Lithocyclia angusta* KODOS 94-1-79, 13 cm
Fig. 4. *Eucyrtidium hexastichum* KODOS 94-1-46, 16 cm
Fig. 5. *Phormostichoartus doliolum* KODOS 94-2-15, 10 cm
Fig. 6. *Artostrobos praetabulatus* KODOS 94-1-79, 13 cm($\times 400$)
Fig. 7. *Artostrobos praetabulatus* KODOS 94-1-79, 13 cm
Fig. 8. *Lithomitra liniata* KODOS 94-2-15, 1cm
Fig. 9. *Lithomitra arachnea* KODOS 94-2-15, 1 cm
Fig. 10. *Artostrobium miralestense* KODOS 94-2-15, 6 cm
Fig. 11. *Siphostichartus praecorona* KODOS 94-1-23, 3 cm

PLATE III-1-5

