

## 북동태평양 KODOS-97지역 주상 퇴적물의 층서 및 고해양학적 연구

박정희 · 김기현  
한국해양연구소 심해저자원연구센터

### Stratigraphy and Paleoceanography of deep-sea core sediments from the Korea Deep Ocean Study (KODOS)-97 Area, Northeast Equatorial Pacific

JEONG-HEE PARK AND KI-HYUNE KIM

Deep-Sea Resources Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute,  
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

한국심해연구지역(KODOS)-97 퇴적물은 색깔, 화학적 특성, 물리적 특성 등에 의해 깊이에 따라 상부로부터 Unit I, II, III로 구분된다. 깊이별로 산출되는 방산충 군집의 변화와 방사성 동위원소인  $^{10}\text{Be}$ 와의 대비를 통하여 연구지역의 층서를 확립하고 이를 토대로 이 지역의 고해양환경을 분석하였다. 중기 에오세에서 제 4기까지의 시대범위를 가지는 방산충들이 산출되었으며 대부분의 깊이에서 제 3기와 제 4기 종들이 섞여 나와 방산충을 포함한 퇴적물의 재동작용이 활발한 지역임을 나타낸다. 방산충들은 퇴적물 상부에서 하부로 갈수록 점점 용해의 정도가 심해지며 Unit III에서는 대부분의 방산충이 용해되어 산출되지 않는다. 정점에 따라 일정하지는 않지만 Unit I의 중간정도의 퇴적구간이 *Collosphaera invaginata* Zone에 속하는 층으로 약 0.21 Ma의 연령을 가진다. Unit II는 *Stylatractus universus*가 절멸하는 시기인 0.42 Ma보다 젊은 층으로 *Collosphaera tuberosa* Zone에 속한다. Unit III는 후기 에오세보다 오래되지 않는 제 3기 층으로 Unit III와 그 상부 퇴적층 사이에는 최소한 300만 년 이상의 퇴적결층이 존재한다. 퇴적결층의 시기는 중기마이오세 말기와 플라이오세 기간이며 그 기간 중 강화된 남극저층해류가 퇴적결층의 원인으로 작용한다. 방산충을 이용한 연령추정과 방사성 동위원소  $^{10}\text{Be}$ 을 이용하여 추정된 퇴적물의 연령대비가 잘 된다. 본 연구지역의 제 4기 동안의 퇴적율은 약 0.15~0.5 mm/kyr로 아주 낮은 퇴적율을 나타내고 지역에 따른 퇴적작용의 변화가 다양하다. 전 코어를 통해 산출되는 방산충들은 대부분 난류종들로 기후에 따른 종조성의 변화를 보이지 않았다.

Sediment core samples recovered from the Korea Deep Ocean Study (KODOS)-97 area were divided into two or three units according to their distinct changes in sediment colors and chemical and physical properties. Analyses of radiolarian faunas in the sediments and  $^{10}\text{Be}$  ratios in each unit were performed to reveal stratigraphic and paleoceanographic history of the study area. In the upper part of the sediments, Tertiary radiolarians were mixed at various proportions with Quaternary assemblages probably by reworking process of bottom current and benthic animals. Dissolution of radiolarians was severe in deeper depth and in the Unit III, only few of the fragments of corroded Tertiary radiolarians were detectable. The mid layer of the Unit I belonged to *Collosphaera invaginata* Zone, the time period of 0.21 Ma. The Unit II belonged to *Collosphaera tuberosa* Zone with the time period younger than 0.42 Ma which was observed above the *Stylatractus universus* Zone. The Unit III is assigned to Tertiary, which is younger than the Late Eocene. Composition analyses of radiolarian assemblage and  $^{10}\text{Be}$  ratio data indicated hiatus periods of more than 3 My between late of Middle Miocene and Pliocene resulting from erosion and dissolution caused by Antarctic Bottom Water. Stratigraphic evidence from radiolaria was well correlated with  $^{10}\text{Be}$  data. Sedimentation rate during Quaternary can be suggested as 0.15—0.5 mm per 1000 years. Dominance of warm-water radiolaria species and the results reflected minimum climatic changes of tropical conditions.

서론

한국해양연구소에서는 1989년이래 북동태평양 클라리온-클리퍼톤 균열대 지역(Clarion-Clipperton Fracture Zone, C-C지역)에서 망간단괴 개발을 위해 광범위한 탐사를 수행, 1994년 UN으로부터 15만 km<sup>2</sup>의 단독광구를 할당받은 후 C-C지역 내의 한국심해연구(Korea Deep Ocean Study, KODOS)지역에서 최종 개발광구 7.5만 km<sup>2</sup>를 확보하기 위한 정밀탐사를 수행중이다(상공자원부, 1994; 통상산업부, 1995; 해양수산부, 1996, 1997). C-C지역은 평균 수심이 4,500 m 이상으로 탄산염 보상심도(CCD)보다 깊은 곳에 위치하고 있으며 표층 퇴적물은 규질연니가 지배적이고, 그외에 규질과편, 점토광물, 장석류, 철-망간 산화물 또는 미세망간단괴 등으로 구성되어 있다(해양수산부, 1996; 정 등, 1997). 이 곳의 해저면 지형은 수많은 해저산 등에 의해 복잡하게 나타나고 수 km이내의 좁은 지역에서도 기복이 심한 해저면 지형이 보고되며 퇴적물의 변화가 심하다(Johnson and Johnson, 1970; Moore, 1970). 또한 저층에 남극저층해류(AABW)가 흐르고 있어 이로 인한 퇴적물의 재동작용이 활발하다(Halbach et al., 1988). 이처럼 지역적 퇴적작용의 변화가 다양하고 생물교란과 저층해류에 의한 퇴적물의 재퇴적 작용이 활발한 심해지역 퇴적물 내에서 산출되는 미화석은 복잡한 심해 퇴적물의 퇴적작용을 이해하는데 유용한 매체로서 널리 이용되어 왔다.

KODOS지역의 퇴적물 내에서는 석회질 미화석들이 대부분 용해되어 산출되지 않으며 방산충, 규조류, 규편모류 등 규질 미화석만 관찰되고, 특히 방산충류가 풍부하게 산출된다. 방산충은 규조나 규편모충류에 비해 골격이 크고 단단하여 상대적으로 용해에 강하기 때문에(Johnson, 1974) 보존이 용이하다. 방산충류는 석회질 미화석들이 용해되는 CCD 보다 깊은 심해 퇴적물 분석에 유용하게 사용되며(Moore, 1978), 적도 지역에서 규질 퇴적물은 물론 석회질 퇴적물에서도 광범위하게 산출되어 저위도 지방에서 퇴적역사와 생층서를 밝히는데 훌륭한 도구로 이용된다(Wolfart, 1988).

KODOS지역에서 기존에 보고된 방산충 산출양상에 의하면 퇴적물이 아주 낮은 반면 저층에서 생물활동이나 해류의 교란에 의한 퇴적물 교란작용 때문에 상부 퇴적물에서 *Collosphaera invaginata*나 *Collosphaera* sp. A 등 제 4기의 상부를 대표하는 표준화석들이 서로 혼합되어 나타나 제 4기 상부를 세밀하게 구분할 수 없었다(김 등, 1994; 박과 김, 1997). KODOS-97 탐사에서는 기존의 박스코어나 피스톤코어에서 상부가 교란되는 단점을 보완한 멀티플코어를 도입하여 시료를 채취하였다. 본 연구에서는 97년도에 채취한 자료와 기존의 자료를 비교, 보강하여 제 4기의 생층서를 세분하고자 한다. 또한 생층서와 긴 시간의 반감기를 갖는 방사성 동위원소 <sup>10</sup>Be과의 대비를 통하여 연구지역의 층서를 확립하고 이를 근거로 본 연구지역의 퇴적환경 및 고환경을 유추하고자 한다.

지역개관

연구지역은 북동태평양 C-C지역에 위치한 KODOS지역중 한

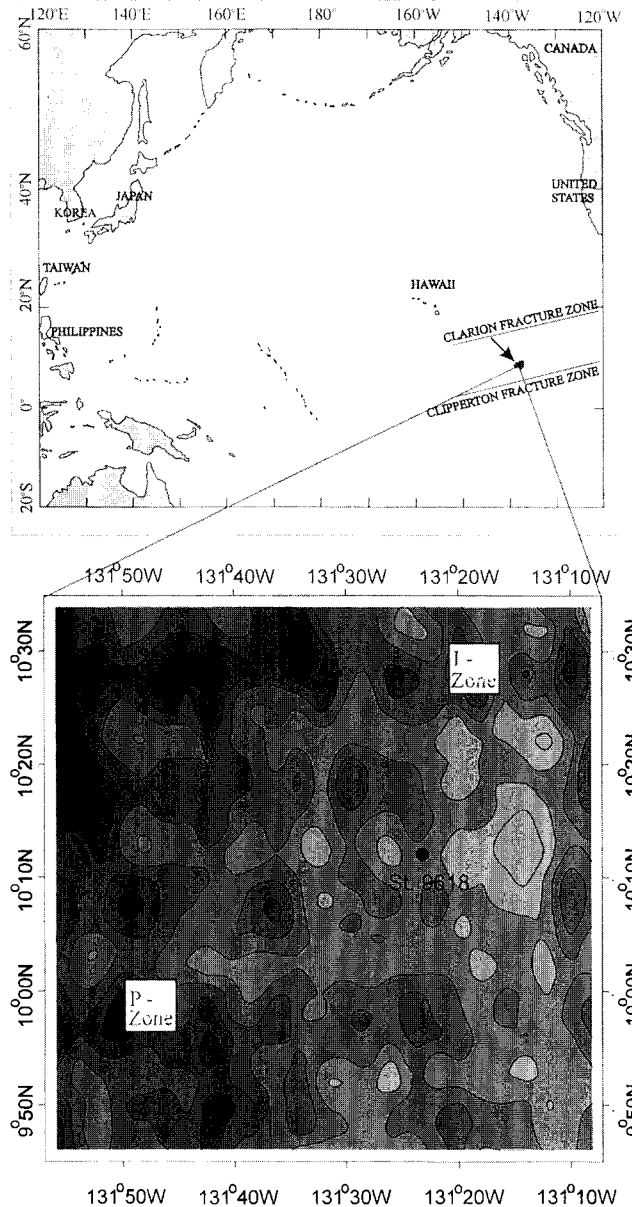


Fig. 1. Location map (up) and regional bathymetry down of the study area.

국심해환경연구(Korea Deep-Sea Environment Study, KODES) 지역으로 북위 9°50'~10°30', 서경 131°10'~133°50'에 위치하고 (Fig. 1), 남쪽의 클리퍼톤 균열대에 근접해 있다. 평균 수심은 약 4,900 m이고, 연구지역 동부에서 서부로 갈수록 전반적으로 깊어진다. KODES지역은 기존의 연구자료에 의거해, KODOS 지역 중 높은 망간단괴 부존밀도를 지니고 평탄한 지형을 이루며 가능한 탄산질 연니가 출현하지 않을 것으로 예측되는 지역으로 선정되었고 저층 충격실험(Benthic Impact Experiment, BIE) 장소선별을 목적으로 조사된 지역이다.

탄성파 및 DSDP 시추자료에 의하면 북태평양의 퇴적층은 3개의 층으로 구성되어 있다. 최하부에 Line Islands층, 그 위에 석회질 층인 Marquesas(혹은 San Blas)층, 최상부에 규질이 우세한 Clipperton층으로 덮여있고 후기 두 층은 서로 부정관계를

이루고 있다(Hayes *et al.*, 1972; van Andel *et al.*, 1973). 이러한 퇴적층의 변화는 동태평양해령으로부터 태평양 지각이 점차적으로 이동하고 침강하는 동안 해저면이 CCD하에 위치하게 되고 이에 따라 탄산염이 용해된 결과이다(Berger, 1973). 표층 퇴적상은 적도에서 북쪽으로 갈수록 석회질 연니, 규질 연니, 적점토로 구성되어 있고(Listzin, 1972; Horn *et al.*, 1973) 퇴적층에는 저층해류에 의한 재동작용으로 결층들이 존재한다(Johnson and Johnson, 1970; Saito *et al.*, 1974; Kadkho, 1985).

KODOS지역의 표층 퇴적물은 대부분 갈색의 규질 퇴적물로 덮여있고 규질 퇴적물은 규질과편, 점토광물(주로 자생의 Fe-rich smectite와 육성기원의 illite), 장석류, 철-망간 산화물 또는 미세망간단괴 등으로 구성되어 있다(해양수산부, 1995, 1996). 퇴적물은 깊이에 따라 색상차에 의해 두 개 혹은 세 개의 Unit로 나누어지는데, 최상부의 Unit I은 갈색(10YR 4/4, Munsell, 1988)의 퇴적층으로 생물교란 작용이 심하고, 높은 함수율(300% 이상)과 낮은 전단응력(10 g/cm<sup>2</sup> 이하)을 가진다. 중간의 Unit II는 밝은 갈색(10YR 6/4-6/6)을 띠며 깊이가 증가함에 따라 함수율이 감소하고 전단응력은 증가한다. 최하부 Unit III는 흑갈색(10YR 4/3-3/3)의 퇴적층으로 함수율이 급격히 감소하고 전단응력이 40 g/cm<sup>2</sup> 이상으로 다소 고화되어 있으며 가장자리

에 밝은 황색의 테가 둘러진 형태의 보존이 양호한 구혈(haloed burrows)(Donahue, 1971; Berger *et al.*, 1979)들이 다수 관찰된다. 각 Unit 별로 퇴적물의 금속함량, 미세망간단괴 함량, 점토광물의 함량비 등이 변한다(정희수, 1994; 해양수산부, 1996; 정등, 1997). 색상변화의 깊이는 정점별로 일정치 않고, 정점에 따라 세 종류의 Unit가 모두 나타나는 경우도 있고 한가지 혹은 두 가지 Unit만 나타나는 경우도 있다. 각 Unit마다 생물에 의해 형성된 것으로 보이는 다양한 크기와 모양을 가지는 구혈들이 다수 관찰된다.

## 시료채취 및 분석방법

KODES지역 내에서 환경보존 지역(Preservation Zone, P-zone)과 환경충격 지역(Impact Zone, I-zone)으로 나누어서 시료를 채취하였다(Fig. 1). 퇴적물 시료 채취는 25×30 cm와 50×50 cm 면적의 상자형 박스코어와 교란이 최소화된 직경 9 cm의 부코어 8 개를 동시에 채취할 수 있는 멀티플코어를 이용하였다.

방산층 분석은 지형에 따른 퇴적양상의 변화를 보기 위해 상부 지역과 경사진 지역, 하부 지역의 정점을 선정하였다(Fig. 2, 3). 일정 간격으로 시료를 취했으며 Sanfilippo *et al.*(1985)의 방

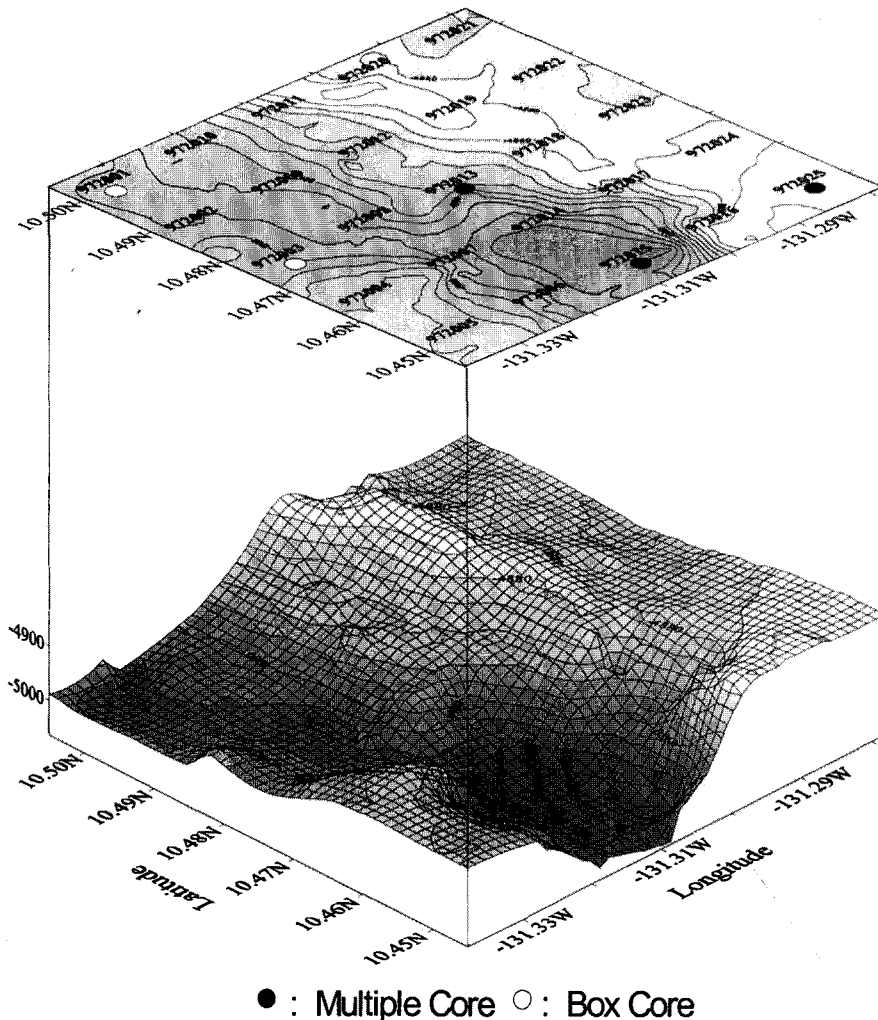


Fig. 2. Sampling stations in the I-Zone.

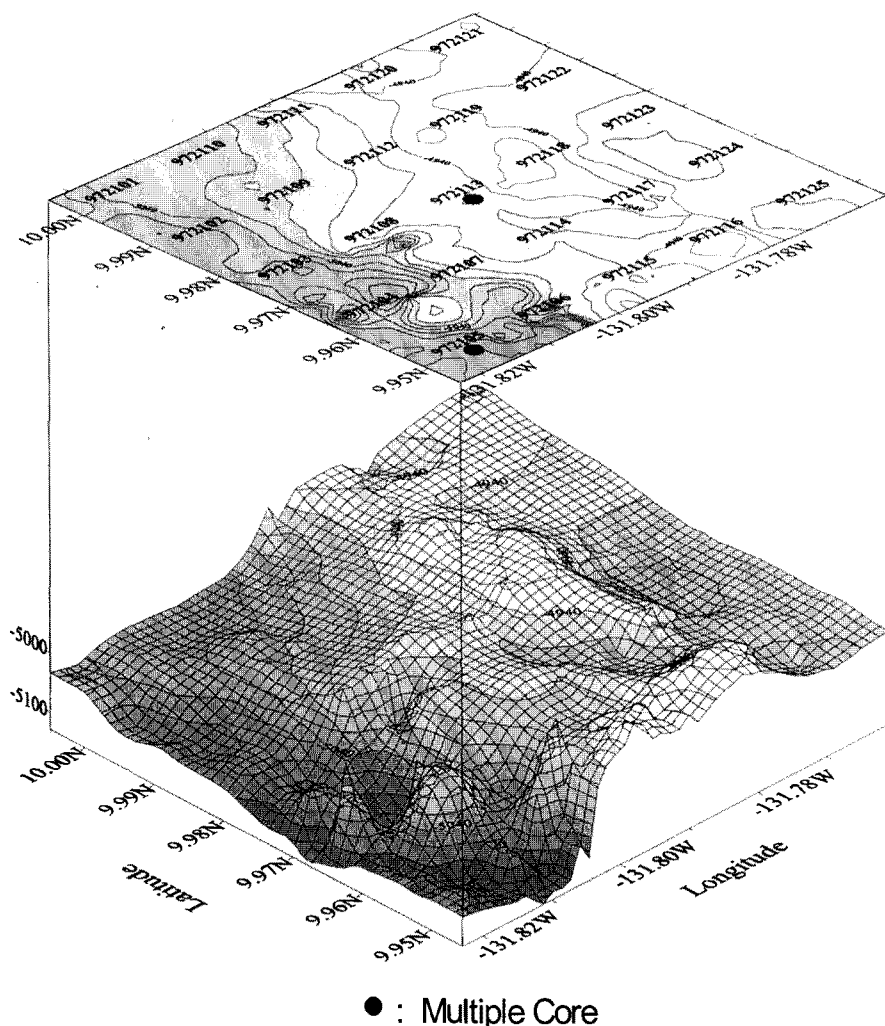


Fig. 3. Sampling stations in the P-Zone.

법을 수정하여 방산층 화석을 채취하였다. 먼저 약 10 g의 퇴적물 시료를 250 ml 비이커에 넣고 10% 과산화수소수를 첨가하여 약한불로 약 24 시간 정도를 가열해서 퇴적물 내 유기물을 제거하였다. 60  $\mu\text{m}$ 의 체로 걸러서 과산화수소수 성분을 없앤 후, 걸러진 시료에 다시 10% 염산을 첨가하여 약 20 시간 가열하여 탄산칼슘 성분을 제거하였다. 화학처리가 끝난 시료는 증류수로 3 회 이상 세척했고 이때 시료가 충분히 침전하도록 30 분 이상 방치하였다. 60  $\mu\text{m}$ 의 체를 이용하여 한번 더 거른 후, 방산층이 포함된 잔류물을 채취하여 10 ml의 용기에 약 5 ml의 증류수와 함께 담았다. 일회용 피펫을 사용하여 용기로부터 0.1~0.2 ml 정도의 시료를 취하여 76×26 mm 슬라이드 위에 균일하게 도포한 후 약 20°C의 가열판 위에 올려놓고 수분을 증발시켰다. 건조된 슬라이드 글라스 위에 크실렌을 한 두 방울 첨가하여 화석속의 공기를 제거한 후 적당량의 캐나다 발삼을 첨가하여 기포가 생기지 않도록 주의하면서 22×40 mm 덮개유리를 덮어서 박편을 제작하였다. 완성된 박편은 약 2 주 가량 저온(약 60°C)의 오븐에서 건조시켰다. 각 박편은 종들의 형태학적 변화, 군집의 보존상태 등을 분석하기 위해 Zeiss photomicroscope를 이용하여 관찰하였다. 2/3 이상 보존된 것은 1 개체로 보았다.

Be분석은 KODOS지역에서 채취된 퇴적물 시료 중 각 Unit 별로 전형적인 특징을 지니는 몇 개의 시료를 선택하여 뉴질랜드 Institute of Geological and Nuclear Sciences에 분석을 의뢰하였다. 시료는 80°C에서 4 일 동안 건조 후 분말화 시켰다. 약 5 g의 시료에 6N 염산을 넣어 100°C에서 한시간 가량 녹인 후 원심분리 하여 Be을 추출하였다. 상부의 용액을 따라내고 6N 염산으로 두 번 더 원심분리한 후 따라낸 시료들을 혼합하여 2 ml를 취하였다.  $^{10}\text{Be}$ 와  $^{9}\text{Be}$ 은 질량가속분석기(AMS)와 ICP-AES(Induced Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)를 이용하여 측정하였다.

오팔분석은 Mortlock and Froelich(1989)의 방법을 따랐다.

### 연구결과

#### 생층서연구

KODOS-97 퇴적물 내에서는 정점에 따른 차이는 있으나 중기 에오세부터 제 4기까지의 시대구분이 가능한 방산층이 약 200 종 이상 산출되었다(Tables 1, 2). 분석한 모든 주상시료 퇴적물 내에서는 깊이에 따라 다르기는 하나 제 4기종과 제 3기종들이 혼합되어 있었다. 시대를 지시하는 주요종을 중심으로 층



Table 1. continued

EPOCHS	E		O		EM				MM		LM		P			Q				
Radiolaria Zones	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
<i>Spongogaster t. irregularis</i>																				
<i>Spongogaster t. tetras</i>																				
<i>Lamprocyrtis neoheterporos</i>																				
<i>Theocorythium t. diana</i>																				
<i>Theocorythium t. trachelium</i>																				
<i>Collosphaera huxleyi</i>																				
<i>Acrosphaera trepanata</i>																				
<i>Dictyocoryne truncatum</i>																				
<i>Lamprocyrtis nigrinae</i>																				
<i>Theoconus hertwigii</i>																				
<i>Collosphaera sp. A</i>																				
<i>Sphaerozoum punctatum</i>																				
<i>Polysolenia lappacea</i>																				
<i>Collosphaera tuberosa</i>																				
<i>Collosphaera invaginata</i>																				

EPOCHS

EE: Early Eocene, ME: Middle Eocene, LE: Late Eocene, O: Oligocene, EM: Early Miocene, MM: Middle Miocene, LM: Late Miocene, P: Pliocene, Q: Quaternary.

Radiolaria Zones

1: *Bekoma bidartensis* Zone, 2: *Buryella clinata* Zone, 3: *Phormocyrtis striata striata* Zone, 4: *Theocotyle cryptocephala* Zone, 5: *Dictyoprora mongolfieri* Zone, 6: *Thyrsocyrtis triacantha* Zone, 7: *Podocyrtis ampla* Zone, 8: *Podocyrtis mitra* Zone, 9: *Podocyrtis chalara* Zone, 10: *Podocyrtis goetheana* Zone, 11: *Thyrsocyrtis bromia* Zone, 12: *Theocorytis tuberosa* Zone, 13: *Dorcadospyris atechus* Zone, 14: *Lychnocanoma elongata* Zone, 15: *Cyrtocapsella tetrapera* Zone, 16: *Stichocorys delmontensis* Zone, 17: *Stichocorys wolffii* Zone, 18: *Calocycletta costata* Zone, 19: *Dorcadospyris alata* Zone, 20: *Diartus petterssoni* Zone, 21: *Didymocyrtis antepenultima* Zone, 22: *Didymocyrtis penultima* Zone, 23: *Stichocorys peregrina* Zone, 24: *Spongaster pentas* Zone, 25: *Pterocanium prismatum* Zone, 26: *Anthocyrtidium angulare* Zone, 27: *Anthocyrtidium ypsilon* Zone, 28: *Collosphaera tuberosa* Zone, 29: *Collosphaera invaginata* Zone.

구분을 시도하였다. 정점 P-13은 전 구간이 Unit III로 화석이 거의 산출되지 않아 시대구분을 위한 보충자료로만 사용하고 표에서 제외시켰다.

**Collosphaera invaginata의 최초 출현시기에 의한 연령측정**

*Collosphaera invaginata*는 진화적으로 안정되어 시대를 지시하는 표준화석이 드문 제 4기의 대표적인 표준화석으로 제 4기 상부를 지시해준다. *C. invaginata*의 최초출현은 약 0.21 Ma (Johnson & Knoll, 1975), 0.2 Ma(Cault, 1979), 0.17 Ma(Johnson et al., 1989)로 보고되고 있다. 이는 Nigrini(1971)의 Zone 1(*C. invaginata* Zone)의 기저에 해당하고 전세계적으로 인정되는 동시기적인 사건이다. KODOS-97지역에서는 각 정점에 따라 일정치는 않으나 *C. invaginata*가 2~8 cm구간에서 관찰되었다 (Table 2). 그러나 *C. invaginata*는 골격이 아주 약해 퇴적 후 쉽게 용해되는 단점이 있기 때문에 이 한 종만으로 층서를 결정하기에는 타당성이 부족하며 다른 표준화석과의 종합적인 연구가 필요하다.

**Collosphaera sp. A(Knoll and Johnson, 1975)에 의한 연령 측정**

Knoll & Johnson(1975)은 동태평양 시료에서 관찰결과 *Collosphaera sp. A*가 형태적인 변이를 거치면서 *C. invaginata*로 진화했으며 변이의 연령을 고지자기 자료와 비교해본 결과 약 210,000±20,000 yr으로 보고했다. 이들의 결과는 제 4기의 생층서를 좀 더 세분화 할 수 있는 기준을 마련해 주었으며, 제

4기의 대표적 표준화석인 *C. invaginata*가 산출빈도가 낮고 보존이 나빠 퇴적물 내에서 드물게 관찰됨으로 인해 발생하는 층서적 문제를 해결하는데 도움을 주었다.

멀티플코어로 채취된 정점(P-5, I-13, I-15, I-25)의 3~12 cm에서 *C. sp. A*가 산출되었고 *C. invaginata*와는 산출되는 퇴적깊이가 구분되었지만 박스코어로 채취된 정점(I-1, I-3)에서는 두 종이 섞여나와 층서구분이 불가능하였다. 멀티플코어로 채취된 정점의 결과에 기준해 생층서 구분을 하면 KODOS-97지역은 정점에 따라 다르지만 2~10 cm까지가 *C. invaginata* Zone에 속하는 퇴적층으로 약 0.21 Ma이후에 퇴적된 층이다. Unit I의 하부가 이에 해당한다(Table 2, Fig. 4).

**Collosphaera tuberosa의 최초 출현시기에 의한 연령측정**

*Collosphaera tuberosa*는 *C. invaginata*와 더불어 제 4기의 대표적 표준화석이다. Johnson & Knoll(1975)은 *C. tuberosa*의 최초출현을 약 0.37 Ma로 보고하였고 Johnson et al.(1989)은 0.58 Ma, Cault(1979)는 약 0.65 Ma로 보고하였다. 이는 *Stylatractus universus* Zone의 기저에 해당하고 전세계적으로 동시기적인 사건이다. 본 연구시료에서 *C. tuberosa*의 최초출현은 6~36 cm에서 관찰되었다. 이는 모두 Unit II의 중간이거나 기저부분이다. *C. tuberosa* Zone에 한정되어 산출되는 *Sphaerozoum punctatum*, *Polysolenia lappacea* 등도 *C. tuberosa*와 같은 출현양상을 보였다. 정점에 따라 Unit II의 중간보다 깊은 곳에서 *C. tuberosa*가 관찰되지 않은 곳(P-5, I-13, I-25)도 있었다. 이는 퇴적 후 용해된 것으로 추정되는데 만일 용해받은 것이 아니라 Unit II 하부



Table 2. continued

Station No.	Depth (cm)	<i>Collosphaera</i>	<i>Collosphaera tuberosa</i>	<i>Sphaerozoum</i>	<i>Collosphaera sp. A</i>	<i>Polysolenia lappacea</i>	<i>Amphirhopalum</i>	<i>Theoconus herwigii</i>	<i>Lamprocyrtis nigrimiae</i>	<i>Collosphaera luxleyi</i>	<i>Theocorythium t. trachelium</i>	<i>Pterocorys zancleus</i>	<i>Anthocytidium</i>	<i>Theocorythium vetulum</i>	<i>Anthocytidium</i>	<i>Anthocytidium hengshisi</i>	<i>Lithopera bacca</i>
I-15	1	F	R	F	-	R	C	R	C	-	C	F	-	-	F	F	-
	2	F	R	F	-	F	F	-	F	F	F	R	-	-	C	F	R
	3	R	-	-	-	F	F	-	F	-	F	R	-	-	F	F	-
	4	R	R	R	-	F	F	-	R	-	R	R	-	-	C	F	-
	6	R	F	R	-	-	R	R	C	R	-	F	-	-	F	F	-
	8	-	F	F	R	R	F	-	F	-	-	R	-	-	F	F	-
	10	-	F	F	R	-	C	-	F	F	F	R	-	-	R	R	-
	12	-	R	F	F	-	F	-	R	-	-	F	-	-	F	-	-
	14	-	R	F	F	-	R	-	C	F	R	R	-	-	C	R	-
	16	-	-	F	R	R	-	-	R	-	-	-	-	-	F	R	-
	18	-	-	F	-	-	-	-	-	R	-	R	-	-	C	-	-
	20	-	F	F	-	-	-	-	-	-	R	-	R	-	C	-	-
	22	-	-	R	-	-	-	R	-	-	-	-	-	-	F	F	-
	24	-	R	R	-	-	-	-	-	-	R	R	-	-	C	-	R
	16	-	-	F	-	-	F	-	-	-	R	R	-	-	-	-	-
	18	-	-	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	R
	20	-	R	R	R	-	-	-	-	-	-	F	R	-	F	F	-
	22	-	-	F	-	-	F	-	-	-	-	-	-	-	C	-	-
	24	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	R	F	-	C	R	-
	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	F	-	-
28	-	R	R	-	-	-	-	-	-	-	F	-	-	F	-	-	
30	-	R	R	-	-	-	-	-	R	-	F	-	-	-	-	-	
32	-	-	F	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
34	-	-	F	-	-	-	-	R	-	R	R	-	-	-	R	-	
36	-	R	F	R	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-	
I-25	1	F	C	F	-	R	F	R	F	R	F	F	-	-	F	R	-
	2	F	F	F	-	R	F	-	R	R	F	R	-	-	C	R	-
	3	-	F	R	R	F	F	-	F	-	F	R	-	-	F	F	-
	4	-	R	F	R	R	F	-	F	R	F	R	-	-	C	R	-
	6	-	F	R	-	R	F	-	R	-	F	F	-	-	C	-	R
	8	-	R	R	F	F	F	-	C	R	F	R	-	-	C	R	-
	10	-	R	R	R	F	F	R	F	-	F	R	-	-	F	-	-
	12	-	R	F	R	F	R	-	F	-	F	F	-	-	C	-	-
	16	-	F	F	-	R	R	-	F	-	F	R	-	-	R	R	-
	20	-	C	C	-	-	F	-	F	F	R	-	-	-	R	-	-
	22	-	F	F	-	R	R	-	F	F	R	-	-	-	R	R	R
	24	-	R	R	-	-	R	-	F	R	C	R	-	-	-	-	-
	26	-	-	R	R	F	R	-	F	-	F	-	-	-	R	F	-
28	-	-	-	-	-	-	-	R	R	F	-	-	-	-	-	-	
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	R	-	-	

C: Common, F: Few, R: Rare, -: Absent.

가 *C. tuberosa*의 출현시기보다 이전에 퇴적된 층이라면 *C. tuberosa*가 출현된 이후에 절멸하는 *S. universus*가 이 퇴적층에서 산출되어야 하는데 그렇지 않기 때문에 Unit II는 *S. universus*가 절멸하는 시기인 0.42 Ma 보다 젊은 층으로 *C. tuberosa* Zone에 속하는 것으로 추정된다(Table 2, Fig. 4).

그 외 종들에 의한 연령층정

본 연구지역에서는 퇴적물의 상부에서도 제 3기 종들이 소량으로 그리고 간헐적으로 섞여 나온다. 이들은 플라이오세종인 *Lychnocanoma grande*와 마이오세에서 플라이오세까지 산출되는 *Phormostichoartus doliohum*, *Calocycletta caepa*, 마이오세의

대표적인 속인 *Calocycletta*속들에 속하는 종들, 올리고세에서 마이오세까지 산출되는 *Artostrobos pretabulatus*, *Botryopyle dictyocephalis*, *Theocyrts annosa*, *Didymocyrtis prismatica*, 후기 에오세에서 올리고세 기간중 산출되는 *Theocyrts tuberosa* 등이다. 산출되는 제 3기 종들은 대부분 조각이거나 보존상태가 불량해 하부 퇴적층이나 인근 오래된 퇴적층에서 유입되어 제 4기 퇴적물과 혼합된 것임을 알 수 있다. 본 연구지역의 Unit III층에서는 화석이 거의 산출되며 않으며 드물게 내부가 퇴적물로 충전된 제 3기 종의 조각이나 *spyrids*속들, *Calocycletta*속들의 머리(cephalis)부분 등 용해에 강한 종의 조각들만 몇 개체 관찰된다. 따라서 화석을 이용하여 Unit III층의 연령을 정확히



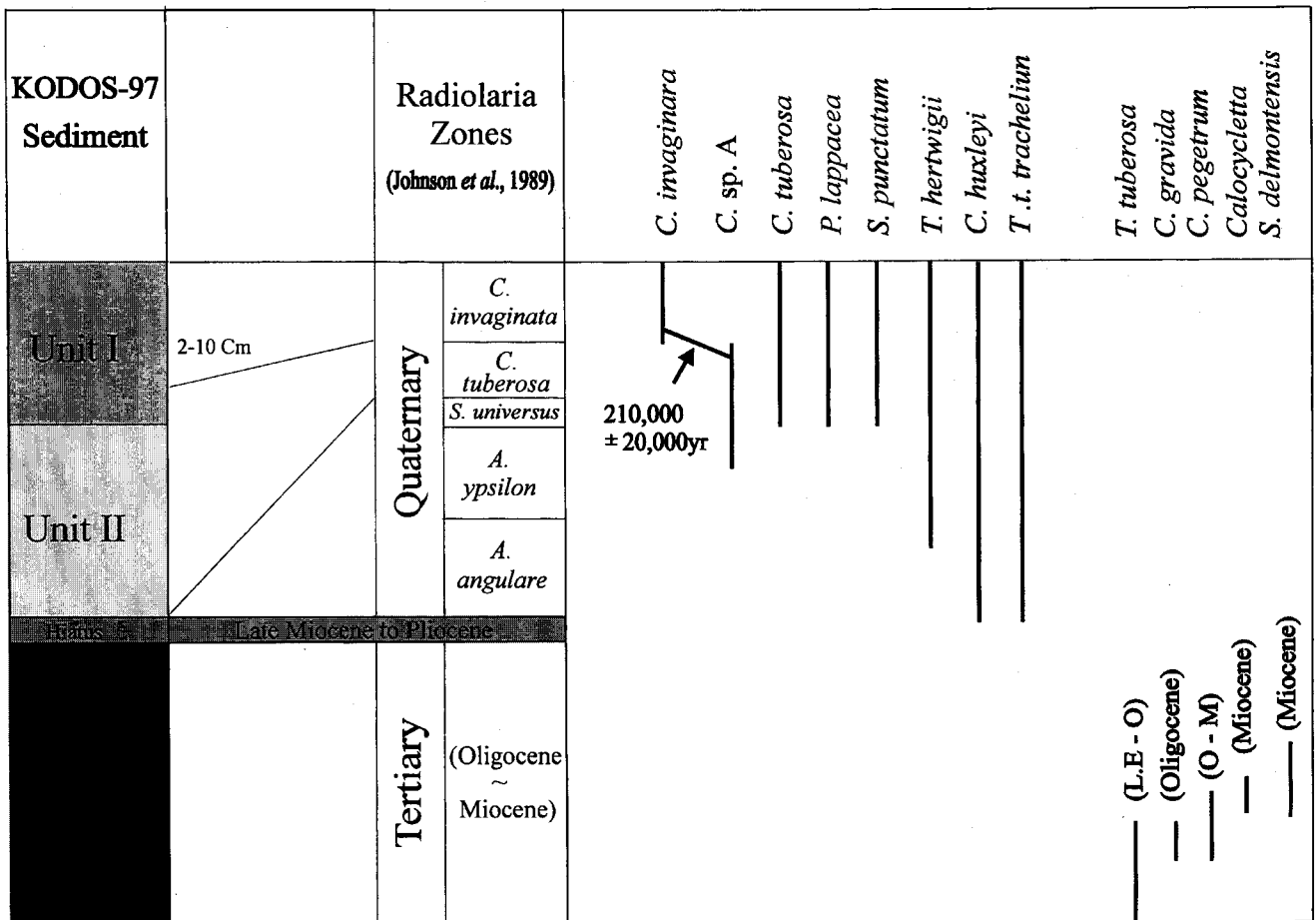


Fig. 4. Summary description of stratigraphic history from the KODOS-97 area.

추정하기는 어려우나 위에서 언급한 종들이 하부층(Unit III)에서 유입되었다는 가정이 타당하다면 Unit III층은 후기 에오세 보다는 오래되지 않은 제 3기층으로 올리고세와 마이오세 사이에 퇴적된 것으로 추정된다.

**<sup>10</sup>Be과 생층서와의 대비**

보다 정확한 퇴적물 연령 추정을 위해 방산층과 더불어 보조 자료로써 방사성 동위원소인 <sup>10</sup>Be의 값을 분석하였다. <sup>10</sup>Be은 우주기원의 방사성 동위원소로 150만 년의 긴 반감기를 가지기 때문에 KODOS지역과 같이 퇴적속도가 매우 느린 지역에서 유용하게 사용된다(Kim et al., 1997).

분석결과 Unit I과 Unit II에서는 <sup>10</sup>Be의 값의 차이가 없다 (Fig. 5). 이는 <sup>10</sup>Be의 반감기가 150만 년임을 감안할 때 Unit I과 II 모두 <sup>10</sup>Be이 한번 반감하는 150만 년보다 젊은 층임을 나타낸다. Unit III는 Unit I이나 Unit II에 비해 <sup>10</sup>Be이 약 두 번 붕괴한 값을 보인다(Fig. 5). 따라서 Unit III와 그 상부 퇴적층 사이에는 약 300만 년의 연령차가 생긴다. 이 차이를 퇴적결층으로 이해할 수 있는데 KODOS지역의 퇴적물 특성상 전 코어깊이를 통해 상하부의 퇴적물이 상당부분 섞여있는 것을 고려하면 Unit III와 그 상부 퇴적물의 연령차는 300만 년보다 훨씬 더 커짐을 예상할 수 있다. 이는 방산층에 의한 연령추정과도 일치하는 결과이다.

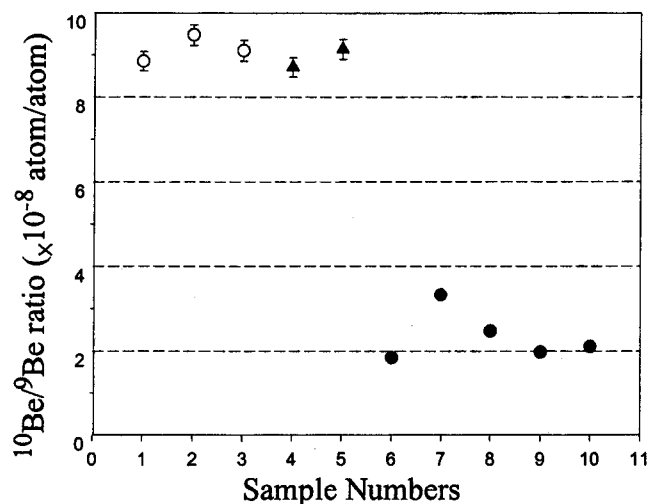


Fig. 5. <sup>10</sup>Be/<sup>9</sup>Be ratios in the KODOS sediments. Sample numbers are in random order (○: Unit I, ▲: Unit II, ●: Unit II).

**고환경 연구**

**퇴적환경**

연구지역의 퇴적물에서 각 Unit 별 방산층 군집의 산출양상을 살펴보면 Unit I에서는 보존이 양호하고 풍부한 양의 방산층들

이 산출된다. 퇴적물 깊이가 증가하면서 점진적으로 방산층의 보존상태가 불량해지고 산출량이 감소하기는 하나 Unit I과 Unit II사이에는 종조성에 변화를 보이지 않고 점진적으로 퇴적된 양상을 나타낸다. Unit III에서는 화석의 산출량이 급격히 감소하여 일반적으로 용해에 강하다고 알려진 *Spyrida*속들이나 *Calocycletta*속의 목부분 등만 드물게 산출되고 그의 종들은 관찰되지 않아 Unit III와 그 상부 퇴적층 사이에는 급작스런 퇴적 환경 변화가 있었음을 암시해 준다.

방산층 산출양상에 의하면 본 연구지역에서는 대부분의 정점에서 플라이오세에만 한정되어 산출되는 종들이 아주 드물게 관찰되거나 전혀 관찰되지 않았고, 정점에 따라 마이오세에서 플라이오세의 연령을 가지는 종이 관찰되지 않았다. 모든 정점에서 중기 마이오세의 말기와 후기 마이오세를 지시하는 종이 관찰되지 않았다. 따라서 KODOS-97지역에서는 중기 마이오세의 말기부터 플라이오세 사이에 퇴적결층이 있었음을 나타낸다. 퇴적결층의 위치는 정점별로 일정하지 않았다. 본 연구지역에서 *C. invaginata* Zone을 기준으로 하여 제 4기 동안의 퇴적율을 계산해 보면 약 0.15~0.5 mm/kyr이다.

### 고기후

고기후를 추정하기 위해 열대종, 온대종, 한대종, 광역분포종의 산출양상을 조사해 보았다. 기후 지시종들은 Johnson & Knoll(1974), Petrushevskaya(1971a, b; 1972a, b), Nigrini(1970) 등의 문헌을 참고로 하였다. 본 연구해역의 전 코어에서 산출되는 방산층 군집 중 기후를 지시하는 종으로는 *Euchitonia elegance*, *Pnartus tetrathalamus tetrathalamus*, *Eucyrtidium hexagonatum*, *Spongogaster tetras tetras*, *Laprocyclas maritilis polypora*, *Theocorythium trachelium trachelium* 등 주로 열대종들이거나 광역분포종들이 다수이고, *Euchitonia furcata*, *Pnartus t. coronatus*, *Spongogaster t. irregularis*, *Theocorythium t. dianae* 등 온대종들도 드물게 관찰되었지만 한대종들은 한 종도 관찰되지 않았다. 규편모류도 전형적인 난류나 온난 수괴에서 서식하는 특성을 보이는 *Dictyocha*속에 해당하는 것들만 몇 종 관찰되었다. 퇴적물 깊이에 따른 종조성 변화가 보이지 않았고  $T_R$ (radiolaria climate index, Nigrini, 1970)값도 평이하게 나타났다. 이는 본 연구해역의 방산층 군집이 제 3기나 제 4기의 기후변동에 큰 영향을 받지 않았음을 나타낸다.

### 고찰

북동 태평양 C-C지역 내에 위치하는 KODOS지역의 퇴적물은 깊이에 따라 색상차에 의해 Unit I, II, III로 구분된다. 각 Unit마다 퇴적물의 금속함량, 미세망간단과 함량, 점토광물의 함량비, 퇴적물의 연령 등이 규칙적으로 변한다. 색상변화의 깊이는 정점별로 일정치 않으며, 정점에 따라 세 종류의 Unit가 모두 나타나는 경우도 있고 한 종류 또는 두 종류의 Unit만 나타나는 경우도 있다(정희수, 1994; 정 등, 1997).

Unit I 퇴적층은 미고생물학적인 연구와 동위원소 분석에 의하면 생물교란작용이나 저층해류로 인해 퇴적물이 재동되어 상하가 수직으로 균일하게 뒤섞인 층으로 보고되었다(정희수,

1994; 박과 김, 1997; Kim *et al.*, 1997). 박스코어 및 멀티플코어 두 종류의 코어로 KODOS-97지역에서 채취한 시료를 분석한 결과 박스코어로 채취된 정점에서는 Unit I 내에서 *C. invaginata*와 *C. sp. A*가 섞여나왔지만 멀티플코어로 채취된 정점에서는 두 종의 산출깊이가 구분되었다. 이는 두 종류의 코어가 퇴적물을 채취하는 과정에서 상부에 교란을 주는 정도가 다르기 때문으로 추정할 수 있다. 그러나 동 지역에서 분석한 미생물자료에 의하면 박스코어로 채취한 시료는 표층 1 cm 정도의 퇴적층이 심하게 교란됨을 보여준다(현 등, 1998). 또한 KODOS지역은 표층 퇴적물이 지속적으로 저층해류의 영향을 받고 있고, 퇴적물 내의 생물교란 정도 및 지역적인 퇴적작용의 변화가 다양하기 때문에(Halbach *et al.*, 1988; Jung *et al.*, 1989) 지역적인 특성을 배제하기 어렵다. 이는 향후 좀 더 많은 지역의 멀티플코어 자료의 분석을 통해 해결해 나갈 문제이다.

KODOS-97지역에서는 Unit III와 상부 퇴적층 사이에서 중기 마이오세 말기와 플라이오세에 이르는 퇴적결층이 나타난다. 퇴적결층은 KODOS지역의 전반에 걸쳐 인지되는 현상이다(김 등, 1994; 정희수, 1994; 박과 김, 1997; Jung *et al.*, 1998). 심해저에서 퇴적결층의 요인은 저층해류에 의한 침식이나 용해, 또는 표면 생산력의 저하로 인해 퇴적이 이루어지지 않은 것(van Andel *et al.*, 1975)인데 본 연구지역의 퇴적결층은 저층해류가 원인인 것으로 추정된다. 중기 마이오세와 플라이오세 동안 남극에 강한 빙하가 도래했고 이때 형성된 남극저층해류가 북태평양의 퇴적물에 영향을 미쳐 이 지역에 제 3기와 제 4기 사이의 퇴적결층을 형성하였다(Johnson, 1972; van Andel *et al.*, 1975; Piper and Blueford, 1982; von Stackelberg, 1982). 퇴적결층의 형성시기 동안 방산층을 포함한 퇴적물들의 퇴적이 이루어지기는 했으나 오랜 시간을 지나면서 탄산염 퇴적물을 비롯한 많은 퇴적물들이 용해되었고 특히 오판은 산소가 풍부한 환경에서도 잘 용해되는 특성이 있기 때문에 오판성분을 가진 방산층들이 산소가 풍부한 남극저층해류의 지속적인 영향으로 용해되어 이 시기에 퇴적결층을 형성했으리라 생각된다. Unit III에서는 방산층이 급격히 감소함과 동시에 스�멕타이트의 양이 증가하는 현상(해양수산부, 1996, 1997)을 보인다. 이는 방산층의 골격성분인 오판이 용해됨으로써 나온 silica성분들이 스�멕타이트로 전이된 것들로 추정된다. 오판의 농도 또한 표층에서는 약 20% 정도이지만 깊이에 따라 감소하는 양상을 보이다가 Unit III에서 급격하게 감소하여 약 4%로 일정한 값을 나타낸다(Fig. 6). 오판성분을 가진 생물들의 용해는 퇴적물 깊이나 또는 퇴적연령에 비례(Johnson, 1976; Berner, 1980)하는데 본 연구지역에서는 깊이에 상관없이 Unit III에서는 방산층 화석이 급격히 감소하기 때문에 그들의 용해가 퇴적깊이 보다는 퇴적연령의 차이에 의한 것으로 이해할 수 있다.

KODOS-97지역에서 퇴적결층의 깊이와 시기가 각 정점마다 일정치 않은 것은 심해저의 지형적 요인에 의한 것으로, 좁은 지역 내에서도 지형의 기복이 심하여 저층해류의 유속변화가 컸기 때문이다. 저층해류에 의해 이동되어진 퇴적물은 언덕사이의 움푹한 지점에 쌓이는데(Johnson and Johnson, 1970), 본 연구지역에서도 언덕부분에 해당하는 정점 I-25에서 *C. invaginata* Zone이 아주 짧게 나타난다(Table 2). 이러한 현상은 C-C지역의

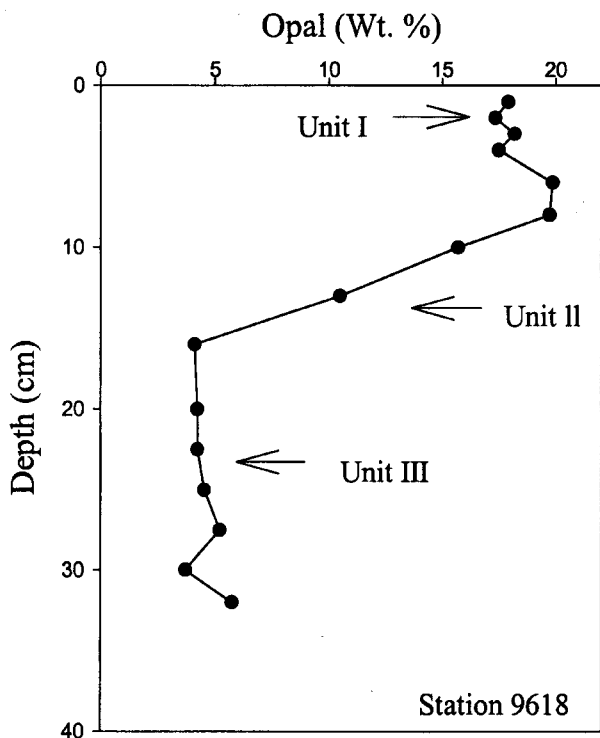


Fig. 6. A depth profile of opal contents in the sediment sample (KODOS-96, Station 18).

퇴적율이 0.06 mm/kyr~수 mm/kyr로 지역에 따라 다양하다는 기존의 보고(Piper and Williamson, 1977; Muller and Mangini, 1980; Halbach et al., 1988; Kim et al., 1997)와도 일치한다.

KODOS-97지역에서 온도를 지시하는 방산층 종들은 기후변화에 영향을 받지 않았고 오늘날과 유사한 온난수괴의 영향 아래서 퇴적작용이 이루어진 것을 나타냈다. Casey(1971a, b)에 의해 분류된 방산층 생지리구역(biogeographic zone)에 의하면 본 연구지역은 적도구역에 해당한다. 빙하기때 온도변화가 가장 심했던 지역은 subantarctic과 subtropical gyre의 동쪽지역에 해당한다는 보고(Morley and Hays, 1979)가 있고, Boltovskoy (1991)는 적도지방에서 방산층 균집을 분석한 결과 한대종과 열대종의 산출량상에 뚜렷한 차이는 없음을 보고했다. 본 연구지역에서 기후변동에 따른 방산층 균집의 변화가 크지 않은 것을 두 가지 요인이 복합적으로 작용했으리라 추측할 수 있다. 즉, 본 시료채취 지역이 저위도에 위치하여 기후변동의 영향을 중위도나 고위도에 비해 상대적으로 적게 받은 까닭이며, 또한 빙하기때 강한 저층해류의 작용으로 인해 상대적으로 소량인 한대종 조차도 용해되었거나 퇴적물의 침식작용을 받아 보존되지 않았을 것으로 추정된다.

## 결 론

KODOS-97지역의 퇴적물 내에서는 중기 에오세에서 제 4기까지의 다양한 시대범위를 갖는 풍부한 양의 방산층이 산출된다. 대부분의 깊이에서 제 3기와 제 4기종들이 섞여나와 방산층을 포함한 퇴적물의 재동작용이 활발한 지역임을 나타낸다. 멀

티플코어에 의해 획득된 자료에 의하면, 정점에 따라 일정하지는 않지만 Unit I의 중간정도인 2~10 cm의 퇴적구간이 제 4기의 최상부인 *C. invaginara* Zone에 속하는 층으로 약 0.21 Ma의 연령을 가진다. Unit II는 *C. tuberosa* Zone에 속하고 0.42 Ma보다 젊은 층이다. Unit III는 후기 에오세보다 오래되지 않는 제 3기 층으로 올리고세와 마이오세 사이에 퇴적된 것으로 추정된다. 방산층자료와  $^{10}\text{Be}$ 값을 대비해 보면 Unit III와 그 상부 퇴적층 사이에는 최소한 300만 년 이상의 퇴적결층이 존재한다. 퇴적결층의 시기는 중기 마이오세 말기와 플라이오세 기간중이며 이때 강화된 남극저층해류가 퇴적결층의 원인으로 추정된다. 본 연구지역에서는 방산층 생층서와 방사성 동위원소를 이용한 층서의 대비가 잘 된다. 방산층 화석을 이용하여 계산한 제 4기 동안의 퇴적율은 약 0.15~0.5 mm/kyr로 아주 낮다. 전 코어를 통해 산출되는 방산층들은 대부분 난류종들로 기후변동에 따른 종조성의 변화를 보이지 않았다.

## 사 사

시료채취와 분석과정에서 여러모로 도움을 주신 한국해양연구소 심해저자원연구센터 여러분들께 감사드립니다. 아울러, 논문의 심사와 교정에 귀중한 시간을 내주신 심해저자원연구센터 정희수 박사님과 충남대학교 윤혜수 교수님께도 깊이 감사드립니다.

본 연구는 '97 심해저광물자원 탐사사업(해양수산부)의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 김기현, 박정희, 박정기, 1994. 한국심해연구(KODOS) 94해역의 퇴적물 내에서 산출된 방산층 균집에 관한 연구. 한국고생물학회지, **10**: 257-275.
- 박정희, 김기현, 1997. 북동태평양 한국심해연구지역의 방산층 생층서와 고환경. 한국고생물학회지, **13**: 119-136.
- 상공자원부, 1994. 심해저 광물자원 탐사보고서. 1권, 708 pp.
- 정희수, 1994. 북동 태평양 KODOS 지역 퇴적물과 공극수 및 망간단괴의 지구화학적 특성. 서울대학교 이학박사 학위논문, 281 pp.
- 정희수, 박승현, 김동선, 최만식, 이경용, 1997. 한국심해환경연구(KODES) 지역 주상 퇴적물중 금속 및 희토류원소의 지구화학적 특성. 한국해양학회지「바다」, **2**: 125-137.
- 통상산업부, 1995. 심해저 광물자원 탐사보고서. 1권, 763 pp.
- 해양수산부, 1996. 심해저 광물자원 탐사보고서. 1권, 954 pp.
- 해양수산부, 1997. 심해저 광물자원 탐사보고서. 1권, 843 pp.
- 현정호, 김경홍, 지상범, 문재운, 1998. 북동적도 태평양 KODOS 97-2 해역 심해저 퇴적물 내의 ATP 분포양상. 한국해양학회지「바다」, **3**: 142-148.
- Berger, W.H., 1973. Cenozoic sedimentation in the eastern tropical Pacific. *Geol. Soc. of American Bulletin*, **84**: 1941-1954.
- Berger, W.H., A.A. Edkale, and P.P. Bryant, 1979. Selective preservation of burrows in deep-sea carbonates. *Marine Geology*, **32**: M205-M230.

- Berner, R.A., 1980. Early Diagenesis, A Theoretical Approach. Princeton University Press, Princeton, 241 pp.
- Boltovskoy, D., 1991. Holocene-Upper Pleistocene radiolarian biostratigraphy and paleoecology of the equatorial Pacific. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **86**: 227-241.
- Casey, R.E., 1971a. Distribution of poeycistine radiolarian in the oceans in relation to physical and chemical condition. In: The Micropaleontology of Oceans, edited by Funnell, B.M. and W.R. Riedel, Cambridge University Press, Cambridge, 151-159 pp.
- Casey, R.E., 1971b. Radiolarians as indicators of past and present water-masses. In: The Micropaleontology of Oceans, edited by Funnell, B.M. and W.R. Riedel, Cambridge University Press, Cambridge, 331-349 pp.
- Caulet, J.P. 1979. Les dépôts à adiolaries d'âge Plioc ne supé rieur a Pleistocène dans l'océan Indien central: nouvelle zonation biostratigraphique. *Mem. Mus. natl. Hist. nat. Paris, ser. C*, **43**: 119-141.
- Donahue, J. 1971. Burrow morphologies in north central Pacific sediments. *Marine Geol.*, **11**: M1-M7.
- Halbach, P., G. Friedrich and U. von Stackelberg, 1988. The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 254 pp.
- Hayes, J.D., H.E. Cook, D.G. Jenkins, F.M. Cook, J.T. Fuller, R. M. Goll, E.D. Milow and W.N. Orr, 1972. Initial Report of Deep-Sea Drilling Project, **9**: 1205.
- Horn, D.R., B.M. Horn and M.N. Delach, 1973. Copper and nickel content of ocean ferromanganese deposits and their relation to properties of the substrate. In: The Origin and Distribution of Manganese Nodules in the Pacific and Prospects for Exploration, Valdivia Manganese Exploration Group, edited by Morgenstein, M., University of Hawaii and IDOE/NSF, Honolulu, 71-76 pp.
- Johnson, D.A., 1972. Ocean-floor erosion in equatorial Pacific. *Geol. Soc. of American Bulletin*, **83**: 3121-3144.
- Johnson, T.C., 1974. The dissolution of microfossils in surface sediment of the eastern tropical Pacific. *Deep-Sea Res.*, **21**: 851-863.
- Johnson, T.C., 1976. Biogenic opal preservation in pelagic sediments of a small area in the eastern tropical Pacific. *Geol. Soc. of American Bulletin*, **87**: 1273-1282.
- Johnson, D.A. and T.C. Johnson, 1970. Sediment redistribution by bottom current in the central Pacific. *Deep-Sea Res.*, **17**: 157-169.
- Johnson, D.A. and A.H. Knoll, 1974. Radiolaria as Paleoclimatic indicators; Pleistocene climatic fluctuations in equatorial Pacific ocean. *Quaternary Res.*, **4**: 206-216.
- Johnson, D.A. and A.H. Knoll, 1975. Absolute age of Quaternary radiolarian datum levels in the equatorial Pacific. *Quaternary Res.*, **5**: 99-110.
- Johnson, D.A., D.A. Schneider, C.A. Nigrini, J.P. Cault and D.V. Kent, 1989. Pliocene-Pleistocene radiolarian event and magnetostratigraphic calibration for the tropical Indian Ocean. *Marine Micropaleontol.*, **14**: 33-66.
- Jung, H.S., C.B. Lee, K.S. Jeong and J.K. Kang, 1998. Geochemical and mineralogical characteristics in two-color core sediments from the Korea Deep Ocean Studt (KODOS) area, northeast equatorial Pacific. *Marine Geol.*, **144**: 295-309.
- Kadkho, D. 1985. Late Cenozoic sedimentation and metal deposition in the north Pacific. *Geochimica Cosmochimica Acta.*, **49**: 651-661.
- Kim, D.S., J.H. Park and K.H. Kim, 1997. The determination of sedimentation rates by using cosmogenic <sup>10</sup>Be in a sediment core from the Korea Deep Ocean Study (KODOS) area Northeast Equatorial Pacific. *Ocean Res.*, **19**: 127-132.
- Knoll, A.W. and D.A. Johnson, 1975. Late Pleistocene evolution of the collosphaerid radiolarian *Buccinosphaera invaginata* Haeckel. *Micropaleontology*, **21**: 60-68.
- Listzin, A.P., 1972. Sedimentation in the world ocean. *SEPM Spec. Publ.* **17**: 218 pp.
- Moore, T.C., Jr., 1970. Abyssal hills in the central equatorial Pacific: Sedimentation and stratigraphy. *Deep-Sea Res.*, **17**: 573-593.
- Moore, T.C., Jr., 1978. The distribution of radiolarian assemblages in the modern and Ice-age Pacific. *Marine Micropaleontol.*, **3**: 229-266.
- 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 Res.*, **12**: 396-408.
- Mortlock, R.A. and P.N. Froelich, 1989. A sample method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments. *Deep-Sea Res.*, **9**: 1415-1426.
- Muller, P.J. and A. Mangini, 1980. Organic carbon decomposition rates in sediment of the Pacific manganese nodule belt dated by Th-230 and Pa-231. *Earth and Planetary Science Letters*, **51**: 94-114.
- Munsell, 1988. Soil color chart. McBeth Div., Kolmorgen Corp., Mayland.
- 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, edited by Hays, J.D. *Geol. Soc. America Inc. Memoir*. **126**: 139-183 pp.
- Nigrini, C.A., 1971. Radiolarian zones in the Quaternary of the equatorial Pacific Ocean. In: The Micropaleontology of Ocean, edited by Funnell, B.M. and W.R. Riedel, Cambridge University press, Cambridge, 443-461 pp.
- Petrushevskaya, M.G., 1971a. Spumellarian and Nasselarian radiolaria in the plankton and bottom sediments of the central Pacific. In: The Micropaleontology of Oceans, edited by Funnell, B.M. and W.R. Riedel, Cambridge University Press, Cambridge, 309-317 pp.
- Petrushevskaya, M.G., 1971b. Radiolaria in the plankton and recent sediments from the Indian Ocean and Antarctic. In:

- The Micropaleontology of Oceans, edited by Funnell, B.M. and W.R. Riedel, Cambridge University Press, Cambridge, 319–329 pp.
- Petrushevskaya, M.G., 1972a. Biostratigraphy of deep-water Quaternary deposits from radiolarian analysis. Zoological Institute, USSR Academy of Science, Leningrad, 57–70 pp.
- Petrushevskaya, M.G., 1972b. Some aspect of radiolarian analysis of deep-water bottom deposits. Zoological Institute, USSR Academy of Sciences, Leningrad. 534–545 pp.
- Piper, D.Z. and M.E. Williamson, 1977. Composition of Pacific ocean ferromanganese nodules. *Marine Geol.*, **23**: 285–303.
- Piper, D.Z. and J.R. Blueford, 1982. Distribution, mineralogy, and texture of manganese nodules and their relation to sedimentation at DOMES site A in the equatorial north Pacific. *Deep-Sea Res.*, **29**: 927–926.
- Saito, T., H. Burkle and J.D. Hays, 1974. Implications of some pre-Quaternary sediment cores and dredging. In: Studies in Paleooceanography, edited by Hays, W.W., *SEPM Spec. Publ.*, **20**: 6–36.
- Sanfilippo, A., M.J. Westberg-Smith and W.R. Riedel, 1985. Cenozoic radiolaria. In: Plankton Stratigraphy, edited by Bolli, H.M., J.B. Saunders and K. Perch-Nielsen, Cambridge University press, Cambridge, 631–712 pp.
- van Andel, T.H., G.R. Heath, R.H. Bennett, J.D. Bukry, S. Charleston, D.S. Cronan, M.G. Dinkelman, A.G. Kaneps, K. S. Rodolfo and R.S. Yeats, 1973. Initial Report of Deep-Sea Drilling Project, **16**: 411–449.
- van Andel, T.H., G.R. Heath and T.C. Moore., Jr., 1975. Cenozoic history and paleogeography of the central equatorial Pacific Ocean. *Geol. Soc. America Inc. Memoir*, **143**: 1–134.
- von Stackelberg, U., 1982. Influence of hiatus and volcanic ash rains on the origin of manganese nodules of the equatorial north Pacific (Valdivia cruises VA-13/2 and VA-18). *Marine Mining*, **3**: 297–314.
- Wolfart, R., 1988. Radiolarian biostratigraphy of the Cenozoic. In: The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean, edited by Halbach, P., G. Friedrich and von Stackelberg, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 115–118 pp.

---

1998년 8월 31일 원고 접수

1998년 12월 14일 수정본 채택