

Article

북동 태평양 심해저에 서식하는 중형저서동물 군집의 위도별 분포 특성

민원기^{1*} · 김동성¹ · 김용서²¹한국해양연구원 해양생물자원연구본부²한국해양연구원 해저환경 · 자원연구본부

(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

Distribution of Meiobenthic Communities in the Deep-sea Floor of Northeastern Pacific Seafloor Along a Latitudinal Transect

Won-Gi Min^{1*}, Dong-Sung Kim¹, and Woong-Seo Kim²¹Marine Living Resources Research Division, KORDI²Marine Geoenvironment and Resources Research Division, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : This study was conducted to investigate the community structure and distributional pattern of meiobenthos in the deep-sea bottom of the Clarion-Clipperton Fracture Zone of the northeastern Pacific during July 2003. The samples were collected using the multiple corer at 13 stations along the transects from 5°N to 17°N. The most abundant meiobenthos was nematodes and followed by sarcomastigophorans; these two taxa comprised more than 70% of the total abundance at all stations. For size distribution analyses showed that animals which fit into the sieve mesh size of 0.063 mm were abundant. The maximum density of meiobenthos was 147 inds./10 cm² at station located in 7°N, and the minimum density was 6 inds./10 cm² at station located in 14°N. More than 60% of meiobenthos were distributed at surface sediment layer within 1.0 cm, and the peak abundance was found at 0~0.25 cm layer. The latitudinal distribution pattern of meiobenthos in the study area seemed to be related with the primary productivity of the surface water that is also connected to the water circulation pattern of the Pacific Ocean near the Equator, diverging at latitude of 8°N and converging at 5°N.

Key words : 중형저서동물(Meiofauna), 군집구조(Community structure), 북동태평양(Northeastern Pacific), 심해저(Deep-sea bed)

1. 서 론

심해는 전체 해양에서 매우 넓은 면적을 차지하고 있지만 접근하기가 어려운 이유로 비교적 늦게 연구가 이루어져, 20세기 후반에 이르러서야 심해 탐사기술과 장비의 개발로 심해에 서식하는 생물에 관한 본격적인 접근과 연구가 시작되었고, 특히 Multiple Aberdeen corer와 같은 개량된 장비의 개발과 새로운 실험방법의 적용은 심해에

대한 시각을 변화시키는 계기를 마련해 주기도 하였다 (Giere 1993).

심해의 퇴적물에 서식하는 중형저서동물은 대형저서동물에 비해 크기가 매우 작고, 단위 체중당 생리활성이 높으며, 생산량도 크기 때문에 수심의 증가에 따른 생물량 감소 기울기가 다소 완만한 편이다(Gerlach 1971; Shirayama 1994). 이 때문에 심해 저서생태계에서 중형저서동물의 중요성은 상대적으로 연안에 비하여 크게 부각되어, 이와 관련된 연구가 최근 들어 활발하게 이루어지고 있다. 1970년 이전에 수행된 대륙붕 이하의 심해 중형저

*Corresponding author. E-mail : wgmin@kordi.re.kr

서동물에 관한 연구는 1964년에 북아메리카의 해안의 대륙사면 상부에서와 1966년 동아프리카의 심해저에서의 연구가 전부였다(Soltwedel 2000). 그 이후로 다양한 환경의 넓은 지역에서 각 대양을 대상으로 심해 중형저서동물에 대한 연구자료가 축적되기 시작되었는데, 주로 대서양과 지중해에 관한 연구가 주를 이루었으며(Gooday and Lamshead 1989), 태평양의 심해 연구는 주로 서태평양에서 중형저서동물의 분포특성과 환경요인에 관한 몇 편의 연구(Shirayama 1983, 1984a, 1984b, 1990; Snider et al. 1984; Alongi and Pichon 1988; Alongi 1992)와, 북동태평양에서는 최근 들어 해저광물자원 채취와 관련된 저층생태계의 서식환경변화와 교란에 대한 영향을 평가하는 연구가 이루어졌다(Renaud-Mornant and Gourbault 1990; Thiel and Schriever 1993; Ahnert and Schriever 2001; Lamshead et al. 2001, 2003).

한편, 국내 해역에서 이루어진 심해 중형저서동물에 대한 연구는 김 등(2002)이 수행한 독도 부근 대륙사면에서의 분포 연구 한편을 제외하고는 전무한 실정이며, 국외지역에 대하여는, 1994년 UN으로부터 채광을 위해 할당받은 북동태평양의 CCFZ(Clarion-Clipperton Fracture Zone)에서 중형저서동물의 분포 연구가 수행되어 왔다(김 1997; 김 등 2000; 해양수산부 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2004).

본 연구의 대상지역인 CCFZ는 적도를 중심으로 흐르는 남적도 해류나, 북적도 반류, 북적도 해류가 계절에 따라 또는 시기에 따라 그 범위가 유동적으로 변하는 지역으로, 변화 양상에 따라 해수중의 생물이나 그에 영향을 받는 저서생물의 분포 및 서식양상도 달라질 수 있다. 그러므로, 주변 해역에 대한 광범위한 조사는 차후 망간단괴 채광지역에서의 채광시 좋은 보조 자료로써, 주변해역 환경변화의 분석, 즉 해양의 전체적이고 유기적인 상관관계를 파악하는 데에 도움이 되리라 생각된다. 현재까지 CCFZ에서 수행된 중형저서동물의 연구는 주로 채광지역인 CCFZ의 북위 6~16° 범위 내에서 부분적으로 수행되었는데, 본 연구는 좀 더 광범위한 지역의 중형저서동물의 군집 특성을 위도별로 파악하고자 북위 5~17°의 조사지선을 중심으로 각 위도별 분포 특성을 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

심해저 광구 지역의 북위 5도에서 17도에 이르는 조사지선을 중심으로 중형저서동물의 서식밀도, 생물상, 생체량, 수직적인 분포특성 등의 생태학적인 특성을 분석하기 위하여, 북위 5도에서 17도에 이르기까지 각 위도당 정점인 N05, N06, N07, N08, N09, N10, N11, N12, N13,

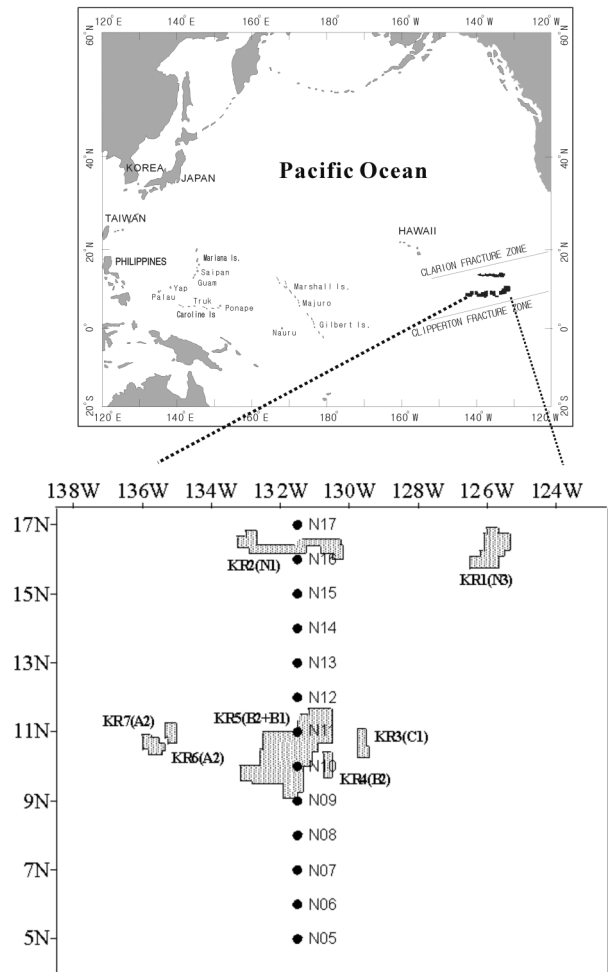


Fig. 1. A map showing the study area and sampling stations for meiobenthos near the CCFZ of Northeastern Pacific during July 2003.

N14, N15, N16, N17의 총 13개 조사정점에서 중형저서생물시료를 채집하였다(Fig. 1). 시료채취는 2003년 7월 3일부터 8월 1일까지 한국해양연구원의 해양종합조사선 온누리호를 이용하여 M.C.(Multiple corer)로 해저의 퇴적물을 채취하였으며, 이중 정점 N11, N15에서는 표층에 분포하는 다량의 망간단괴의 영향으로 정량시료 채취에 실패하였고, 정정시료만 채집 가능하였고, 나머지 11개의 정점에서는 정량 및 정성시료를 채취하였다(Table 1). 전 정점에서 채집된 퇴적물로부터 중형저서동물을 채취하기 위하여 외경 3.6 cm 크기의 아크릴 코어를 사용하여 부시료를 채취하였다. 지난 몇 년간의 연구결과 등(김 1997; 김 등 2000)으로부터 중형저서동물이 퇴적물의 표층에서는 아주 다양한 변화를 보이고 있어 이를 보다 중점적으로 조사하기 위하여, 시료를 표층은 보다 세분화하여 총 15개 층 즉, 퇴적물의 표층으로부터 1 cm는 0.25 cm 두께로 절단하고(0~0.25, 0.25~0.5, 0.5~0.75, 0.75~1.0 cm), 1~3 cm

Table 1. The information of the sampling station in Northeastern Pacific.

Station	Location		Depth	Time (G.M.T.)	Gear	Sample		
	(N)	(W)				Label	Volume	Fixative
N05	05°00.937	131°30.000	4324 m	2003/07/25 10:54	MC	Quan. A/B~B/B	10 cm ² ×1 cm×10	5% rose bengal formalin sol.
N06	06°01.940	131°30.079	4090 m	2003/07/24 16:39	MC	Quan. A/B~C/C Qual. A/A	10 cm ² ×1 cm×10 50 cm ² ×5 cm	5% rose bengal formalin sol. 5% formalin
N07	07°01.790	131°30.952	4601 m	2003/07/23 06:37	MC	Quan. A/B~C/C Qual. A/A	10 cm ² ×1 cm×10 50 cm ² ×5 cm	5% rose bengal formalin sol. 5% formalin
N08	08°01.771	131°30.011	5080 m	2003/07/22 14:28	MC	Quan. A/B~C/C Qual. A/C~B/B	10 cm ² ×1 cm×10 10 cm ² ×10 cm	5% rose bengal formalin sol. 5% formalin
N09	08°58.959	131°31.292	4871 m	2003/07/21 06:15	MC	Quan. A/B~B/B Qual. A/C~B/B	10 cm ² ×1 cm×10 10 cm ² ×10 cm	5% rose bengal formalin sol. 5% formalin
N10	09°59.539	131°30.100	4945 m	2003/07/19 14:35	MC	Quan. A/B~B/B Qual. A/C~B/B	10 cm ² ×1 cm×10 10 cm ² ×10 cm	5% rose bengal formalin sol. 5% formalin
N11	11°01.301	131°29.226	4938m	2003/07/09 22:16	MC	Qual. A/C~C/C	50 cm ² ×5cm	5% formalin
N12	12°00.018	131°30.236	5015 m	2003/07/11 09:24	MC	Quan. A/C~C/C Qual. A/C~C/C	10 cm ² ×1 cm×15 10 cm ² ×10 cm	5% rose bengal formalin sol. 5% formalin
N13	13°01.268	131°29.206	4964 m	2003/07/12 06:21	MC	Quan. A/C~C/C Qual. A/C~C/C	10 cm ² ×1 cm×15 10 cm ² ×10 cm	5% rose bengal formalin sol. 5% formalin
N14	14°00.124	131°30.199	4997 m	2003/07/13 09:53	MC	Quan. A/A Qual. A/C~C/C	10 cm ² ×1 cm×10 10 cm ² ×10 cm	5% rose bengal formalin sol. 5% formalin
N15	15°00.120	131°30.108	5006 m	2003/07/14 13:16	MC	Qual. A/D~D/D	10 cm ² ×10 cm	5% formalin
N16	15°58.147	131°31.064	5035 m	2003/07/15 03:43	MC	Quan. A/B~B/B Qual. A/C~C/C	10 cm ² ×1 cm×10 10 cm ² ×10 cm	5% rose bengal formalin sol. 5% formalin
N17	16°58.784	131°31.025	4833 m	2003/07/16 14:42	MC	Quan. A/B~B/B Qual. A/C~B/B	10 cm ² ×1cm×10 10 cm ² ×10cm	5% rose bengal formalin sol. 5% formalin

까지의 퇴적물은 0.5 cm 두께로 분리하였으며(1.0~1.5, 1.5~2.0, 2.0~2.5, 2.5~3.0 cm), 나머지 시료는 1 cm 두께로 잘라서 분별 채취하였다. 각각의 층으로 절단한 퇴적물 시료들은 로즈벵갈(Rose Bengal)단백질 염색제를 혼합한 5% 중성 포르말린으로 고정했다. 연구실로 운반되어진 생물 시료는 연구실에서 각 크기의 체(1 mm, 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, 63 μ m, 37 μ m)로 크기별로 걸러내어 광학현미경 하에서 분류 및 계수하였다. 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 밀도 및 수직분포는 10 cm까지 처리한 시료의 분석에서 전 생물군의 출현개체수가 표층 3 cm안에 90% 이상을 차지하고 있기 때문에 본 연구에서는 3 cm까지의 분석 자료를 사용하여 각 정점의 대표 값으로 표현하였다. 또한 현미경 사진과 영구보존을 위하여 글리세린, 에탄올, 증류수를 혼합한 용액으로 고정액을 치환시켜 건조기에 넣어 서서히 증발시킨 후에, 제습기 안에 넣어 완전히 수분을 증발시켜서, H-S 슬라이드(Shirayama *et al.* 1993)에 작은 유리구슬과 canadian balsam을 사용하여 영구보존 생물시료를 만들었다.

3. 결과 및 고찰

군집구성 및 주요 생물군

2003년 7월의 동경 131도 30분 지선상의 북위 5도에서 17도까지의 11개의 중형저서동물 조사정점 퇴적물에서 출현한 중형저서동물의 군집 구성을 보면 모두 총 10개의 동물그룹이 출현하였다(Table 2). 이러한 출현 분류군 수는 2001년에 인근지역에서 수행된 해양수산부(2002)의 2001년 출현 분류군 수와 같은 값을 나타내었으나, 15개 전후의 동물그룹 출현했던 1996년부터 2000년까지의 조사 결과에 비해 다소 낮은 출현 분류군의 수이다(해양수산부 1996, 1997, 1998, 1999, 2001). 거의 모든 위도에서 선충류(Nematodes), 저서유공충류(Sarcomastigophorans), 저서성 요각류(Harpacticoid copepods) 및 갑각류의 유생(Nauplius)이 출현하였고, 다모류(Polychaetes), 패충류(Ostracods), 완보동물류(Tardigrades) 등이 저위도를 중심으로 출현하였으며, 동문동물류(Kinorhynchs)가 북위 7도에서, 이매패류가 북위 6도와 12도에서 나타났고, 해양수

Table 2. Number of meiobenthos at each stations of CCFZ in the Northeastern Pacific.

(unit : No. of Inds./10 cm²)

Station	N05 (%)		N06 (%)		N07 (%)		N08 (%)		N09 (%)		N10 (%)		N12 (%)		N13 (%)		N14 (%)		N16 (%)		N17 (%)		
Nematodes	41	47.1	64	50.8	89	60.5	54	49.1	54	58.7	58	55.2	41	43.6	47	58.0	4	66.7	2	25.0	17	37.8	
Sarcomastigophorans	20	23.0	35	27.8	24	16.3	32	29.1	22	23.9	27	25.7	27	28.7	27	33.3	2	33.3	2	25.0	18	40.0	
Harpacticoids	16	18.4	11	8.7	8	5.4	5	4.5	11	12.0	9	8.6	12	12.8	3	3.7			2	25.0	5	11.1	
Nauplius	2	2.3	6	4.8	5	3.4	13	11.8	4	4.3	7	6.7	9	9.6	2	2.5			2	25.0	5	11.1	
Polychaetes	4	4.6	3	2.4	12	8.2	2	1.8			1	1.0	2	2.1									
Ostracods	1	1.1	1	0.8	2	1.4					1	1.0	1	1.1	2	2.5							
Tardigrades	1	1.1	1	0.8			2	1.8			1	1.0	1	1.1									
Kinorhynch					3	2.0																	
Bivalves			1	0.8										1	1.1								
Loriciferans											1	1.0											
others	2	2.3	4	3.2	4	2.7	2	1.8	1	1.1													
Total	87	100.0	126	100.0	147	100.0	110	100.0	92	100.0	105	100.0	94	100.0	81	100.0	6	100.0	8	100.0	45	100.0	

산부(2002)의 2001년 탐사에서 북위 10도 부근의 정점에서 처음으로 서식이 확인된 분류군인 동갑동물(Loriciferans)이 북위 10도의 N10정점에서만 발견되어서, 북위 10도 부근의 제한된 지역에서의 분포 특성을 시사하였다. 동갑동물은 비교적 최근인 1983년에 R.M. Kristensen에 의하여 발견된 동물문이다(Giere 1993). 정점별 출현 분류군수는 정점 N06, N10, N12에서 8개로 가장 많이 나타났고, N14에서는 2개의 분류군 밖에 출현하지 않았으며, 다른 정점에서는 4~7개 정도의 분류군이 출현하였다(Table 2). 대체로 저위도에서 많은 분류군이 출현하는 양상이 나타났다.

각 정점별 각 군집의 서식밀도의 비율을 보면, 북위 17도를 제외한 모든 위도의 정점에서 선충류가 우점하여, 44~67%의 우점양상을 나타냈다(Table 2). 가장 높은 선충류의 서식 비율을 보인 정점은 정점 N14로 전체의 67%를 차지하고 있었으며, 그 다음이 정점 N07의 61%, 정점 N09의 59%이었다. 두 번째로 우점한 분류군은 저서유공충류로 16~40%의 우점양상을 보였으며, 가장 높은 서식 비율을 보인 정점은 N17로 전체의 40%를 차지하고 있었고, 그 다음이 정점 N13의 33%, 정점 N08의 29%였다. 전체 출현 분류군 중에서 선충류와 저서유공충류 두 그룹이 차지하는 비율이 91~50%를 나타냈는데, 해양수산부(1998)의 70~82%, 해양수산부(1999)의 56~73% 보다는 높고, 김 등(2000)의 57~97%, 해양수산부(2002)의 73~96%와 비슷한 우점양상을 나타냈다. 그 다음으로 우점한 저서성 요각류의 경우는 정점 N05에서 18%로 가장 높은 서식 비율을 나타냈으며, 정점 N06의 13%, 정점 N09의 12%로 나타났다. 그 외의 정점에서는 4~11%의 우점양상을 보였으나, 정점 N14에서는 단 한 개체의 저서성 요각류도 출현하지 않았다. 그 다음으로 갑각류의 유생이 우점하는 양상을 보여 2~12%의 조성비를 나타냈다.

일반적으로 심해의 중형저서동물로는 선충류나 저서유공충류, 저서성 요각류가 탁월하게 출현한다고 알려져 있고(Shirayama 1983), 해양수산부의 1996년~2001년의 CCFZ 해역의 조사 결과도 이를 뒷받침하고 있다는 것을 생각할 때 본 연구의 분류군 조성비는 종전의 일반적인 심해저의 분류군 조성비와 비슷한 결과라고 볼 수 있다. 정점별로 출현하는 우점 분류군의 조성비를 비교해보면, 저서유공충류와 저서성 요각류의 개체수는 정점별로 큰 차이가 없는데 반하여, 가장 우점하는 선충류의 출현 개체수의 차이가 정점별 조성비의 차이를 가져오는 주요한 원인으로 보인다(Table 2).

서식밀도

채집한 시료의 각 조사정점의 표층 퇴적물 3 cm내에서 출현한 중형저서동물의 전체 개체수를 보면, 조사정점 N07에서 147개체/10 cm²로 최대값을 나타내고, 그 다음으로 N06에서 126개체/10 cm²를, 정점 N08와 N10에서 각각 110개체/10 cm², 105개체/10 cm²의 서식밀도를 나타냈다. 그 외의 정점에서는 100개체/10 cm² 이하의 서식밀도를 보였고, 가장 낮은 서식밀도를 나타낸 정점은 N14와 N16으로, 6, 8개체/10 cm²로 나타났다(Table 2; Fig. 2). 김 등(2000)의 1998년 자료에 의하면, 북위 5도와 6도에서 300개체/10 cm² 이상의 높은 서식밀도를 나타냈고, 해양수산부(1999)의 1999년 조사결과에는 북위 5도와 6도 정점을 제외하고는 2003년의 개체의 서식밀도와 비교해서 약 50개체/10 cm² 정도 상회하는 서식밀도를 보인 것을 고려하면, 2003년 본 연구의 중형저서동물 서식밀도는 전반적으로 낮게 나타났다. 이러한 경향은 1998년에 발생한 엘니뇨에 의한 영향으로 인한 표층 해역의 일차생산량의 연도별 변동(해양수산부 2001)과 비슷한 경향을 나타내는

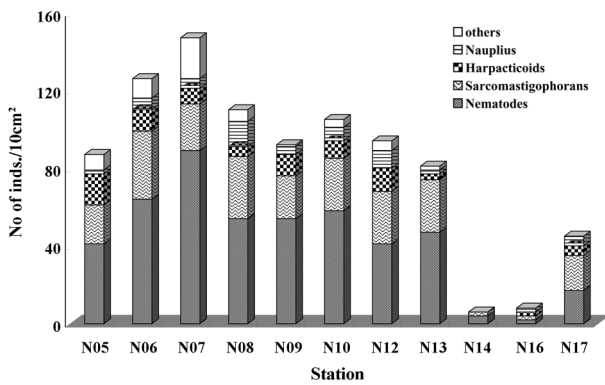


Fig. 2. Abundance of dominant meiobenthic groups at each station.

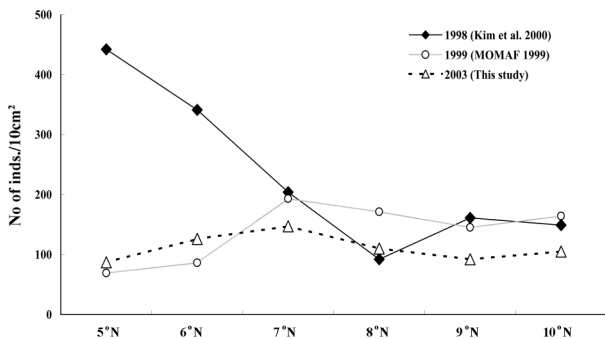


Fig. 3. Variation of meiobenthic density at the site of 5°N~10°N in the last several years.

결과로 표층해역의 생산량 변동이 직접적으로 저서생태계에 영향을 주었을 가능성을 시사한다(Fig. 3). 이러한 2003년의 낮은 서식밀도는 북위 5도에서 10도까지의 각 정점의 평균 서식밀도는 1.11×10^4 개체/m²로서, 서태평양에서 보고 되어진 $3.7 \times 10^4 \sim 1.3 \times 10^6$ 개체/m²(Shirayama 1984a), 북태평양에서의 2.0×10^6 개체/m²(Snider et al. 1984)와 비교해도 다소 낮은 범위의 값이라 할 수 있다.

분류군별로 보면 전 정점에서 가장 높은 선충류의 서식밀도 값을 나타낸 곳은 정점 N07로 89개체/10 cm²이며, 그 다음이 정점 N06의 64개체/10 cm², 정점 N10의 58개체/10 cm²로 나타났다(Table 2). 이는 각 정점별 중형저서동물의 전체 출현 양상과 같은 현상으로, 각 정점의 중형저서동물 전체 서식밀도를 좌우하는 분류군이 선충류임을 알 수 있다. 그 다음 우점한 그룹인 저서유공충류의 서식밀도 역시 선충류와 비슷한 양상을 보였는데, 정점 N06에서 35개체/10 cm², 정점 N08에서 32개체/10 cm²로 다른 위도에 비하여 상대적으로 높게 나타났으나, 선충류의 정점별 서식밀도차이에 비하여 미비한 차이를 나타내어서, 정점별로 서식양상에 큰 차이가 없는 것으로 보인다. 저서성 요각류의 경우는 정점 N05에서 16개체/10 cm²로 최대

서식밀도를 나타냈고, 저서유공충류와 마찬가지로 정점별 차이가 크게 나타나지 않았다. 중형저서동물에 속하는 분류군에서 비교적 크기가 큰 그룹에 속하는 다모류는 정점 N07에서 12개체/10 cm²의 비교적 높은 서식밀도를 보였으며, 동문동물 역시 정점 N07에서만 3개체/10 cm²의 밀도로 출현을 보였다. 그 외의 극소수로 출현한 분류군 역시 북위 12도 이하의 저위도의 정점들에서 출현하는 양상을 보였다. 출현분류군 수와 개체들의 서식밀도의 관점에서 보면, 북위 6~7도와 10~12도 사이의 지역에서 중형저서동물의 서식이 상대적으로 양호한 것으로 보인다. 일반적으로 외부에서의 물질 공급이 극히 제한적인 초심해저 지역(수심 6,000 m 이하의)에서는 10~100개체/10 cm²의 낮은 서식 밀도를 나타내며(Giere 1993), 먹이 입자의 공급이 매우 잘 되는 지역 즉, 계절적으로 식물플랑크톤의 대발생이 일어나는 아한도의 해역과 영구적으로 대륙사면의 기슭이나 쇄설물을 퇴적시킬 수 있는 흐름이 있는 지역에서는 서식밀도가 1,000개체/10 cm²에 달하고, 용승지역과 대륙판의 중앙해령 부근에서도 풍부한 영양분의 공급이 이루어져 중형저서동물의 밀도가 높게 나타나는 등의 연구 결과(Lambshhead et al. 2001)에서, 외부에서 공급되는 입자성 유기물 수지(sediment trap 혹은 저질의 유기탄소나 총 질소 값의 분석에 의한)가 심해의 중형저서동물의 분포를 좌우하는 가장 중요한 요인으로 알려져 있다(Giere 1993; Neira et al. 2001; Shimanaga and Shirayama 2000; Sommer and Pfannkuche 2000; Soltwedel 2000; Danovaro et al. 2002). 연구지역인 CCF지역의 북위 6도 부근에서 남적도 해류와 북적도 반류의 경계선이 있어서 양 해류가 만나 수렴하는 지역이며 수온약층은 그 위 위도해역보다 아주 폭넓게 깊은 곳까지 형성되어 있고, 용존 산소층도 다른 해역에 비해 깊은 곳까지 형성되어 있기 때문에 1차 생산량이 높게 나타났다는 점에서(해양수산부 2001, 2002, 2004), 중형저서생물의 먹이 공급이 원활하므로, 이러한 특징이 나타나는 북위 5도에서 7도 사이에 위치한 해역의 퇴적물에서 다른 정점들에 비해 아주 높은 서식밀도를 나타낸 것으로 보여진다(Fig. 4). 동일지역에서 조사된 저층 퇴적물내의 유기물량, ATP, Chl.a 분포 역시 중형저서동물의 서식밀도의 분포패턴과 유사한 경향을 보였다. 특히 퇴적물내의 박테리아의 현존량을 시사하는 ATP값($r=0.63$)과, 표층으로부터 침강된 식물성 쇄설물양을 지시하는 Chl.a 값($r=0.64$)은 중형저서동물의 서식밀도와 유의수준 5%이내의 상관관계가 나타났다(해양수산부 2004).

크기별 분포 특성

개체의 크기에 따른 중형저서동물의 각 정점에서의 분포 양상을 살펴보면, 모든 정점에서 망목 0.125 mm의 체

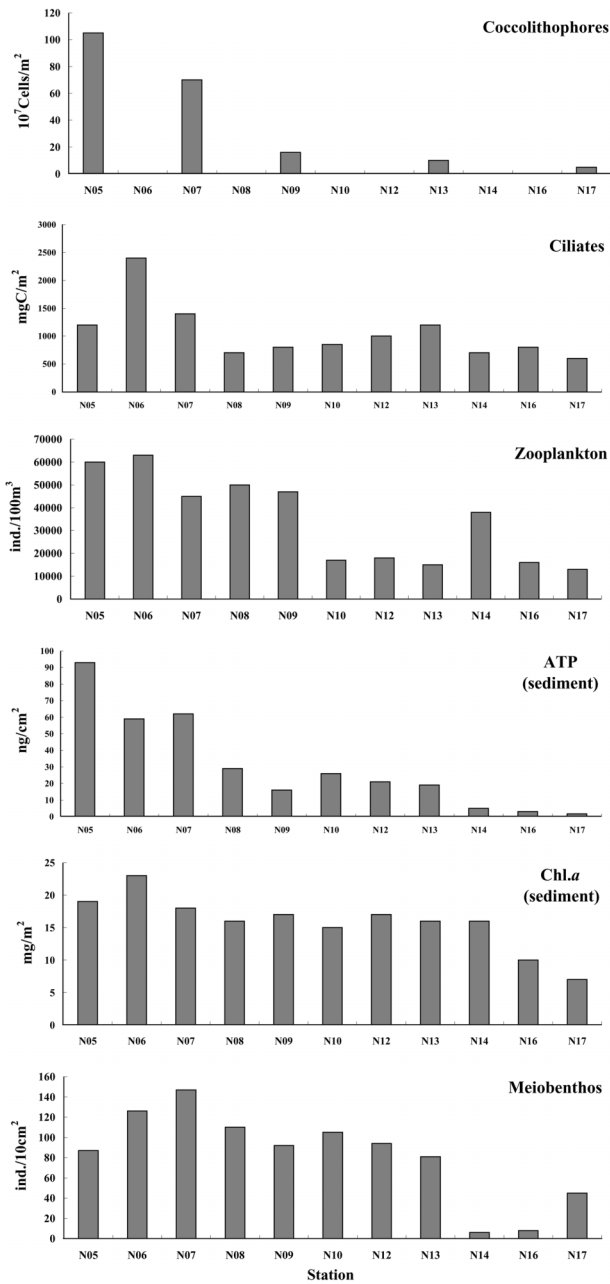


Fig. 4. Abundance of Cocolithophores, Ciliates, Zooplankton, ATP (in sediment), Chl.a (in sediment), Meiobenthos at each station (KORDI 2004).

를 통과하여 0.063 mm에 걸러지는 크기를 가진 개체들이 전체 크기별 서식밀도에서 41~51%로 가장 많이 분포하고 있었다(Fig. 5). 그 다음은 망목 0.063 mm의 체를 통과하여 망목 0.037 mm의 체 크기에 남는 크기의 개체들이 11~36%로 높은 비율로 나타나서 비교적 작은 크기를 가지는 개체들이 주로 분포하는 것으로 보인다. 위도별로 살펴보면, 북위 5도에서 8도에 이르는 지선에서 망목 0.25 mm 이상의 체에 남는 비교적 큰 크기를 가지는 개체

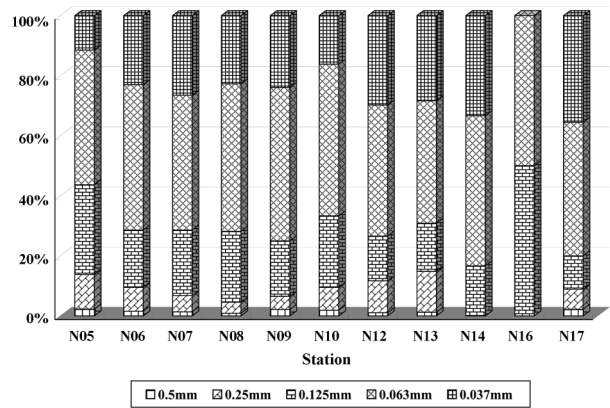


Fig. 5. Number of meiobenthos depending on mesh sizes at each station.

의 조성비가 위도의 증가에 따라 점점 감소하는 경향을 보이다가, 다시 증가하여 북위 13도에서 최대의 조성비를 나타냈으며, 북위 14도와 15에서는 전혀 나타나지 않았다 (Fig. 5). 이러한 크기에 따른 위도별 분포의 구배가 나타나는 이유는 심해의 특성상 제한된 먹이조건에서 에너지 수지(Energy budget)를 생각할 때 몸의 크기가 작은 것이 유리하기 때문에(Shirayama 1983), 표층수의 일차생산량이 낮은 고위도해역에서 저층으로 공급되는 영양물질이 제한됨으로 인해 이러한 몸 크기의 소형화가 반영되고, 일차생산량이 높아서 영양물질의 공급이 원활한 저위도 해역에서는 비교적 크기가 큰 개체들이 출현하는 것으로 사료된다.

각 분류군별로 살펴보면 선충류는 모든 정점에서 체 크기 0.125 mm의 체를 통과하여 0.063 mm에 걸러지는 크기를 가지는 개체들의 서식율이 매우 높은 것을 보여 주는데(Fig. 5), 해양수산부(2001)의 2000년 조사결과도 동일한 양상이 나타났다. 또한 두 번째 우점 분류군인 저서 유공충류에 있어서도 전 정점 퇴적물 층에서 0.125 mm의 체를 통과하여 0.063 mm에 걸러지는 크기를 가지는 개체들이 많이 서식하고 있었다. 그 다음으로 우점한 분류군인 저서성 요각류는 앞의 선충류 및 저서유공충류와는 다르게, 다소 큰 크기인 0.25 mm의 체를 통과하여 0.125 mm에 걸러지는 크기를 가지는 개체들이 많이 나타났다. 또한 전반적으로 퇴적물의 표층에서, 퇴적물의 심부층에 비해 다소 몸의 크기가 큰 개체들이 출현하는데, 이는 먹이조건이 천해에 비해 열악한 심해에서 먹이조건이 비교적 좋은 표층을 선호하기 때문이라고 보여진다(Sommer and Pfannkuche 2000). 전 정점에서 중형저서동물의 퇴적물시료에 포함된 대형저서동물크기의 생물군은 거의 나타나지 않았으며(해양수산부 2004), 크기별 출현상황을 보면 250~320 μm의 체에 걸리는 중형저서동물이 거의 90% 이상을 차지하고 있었다.

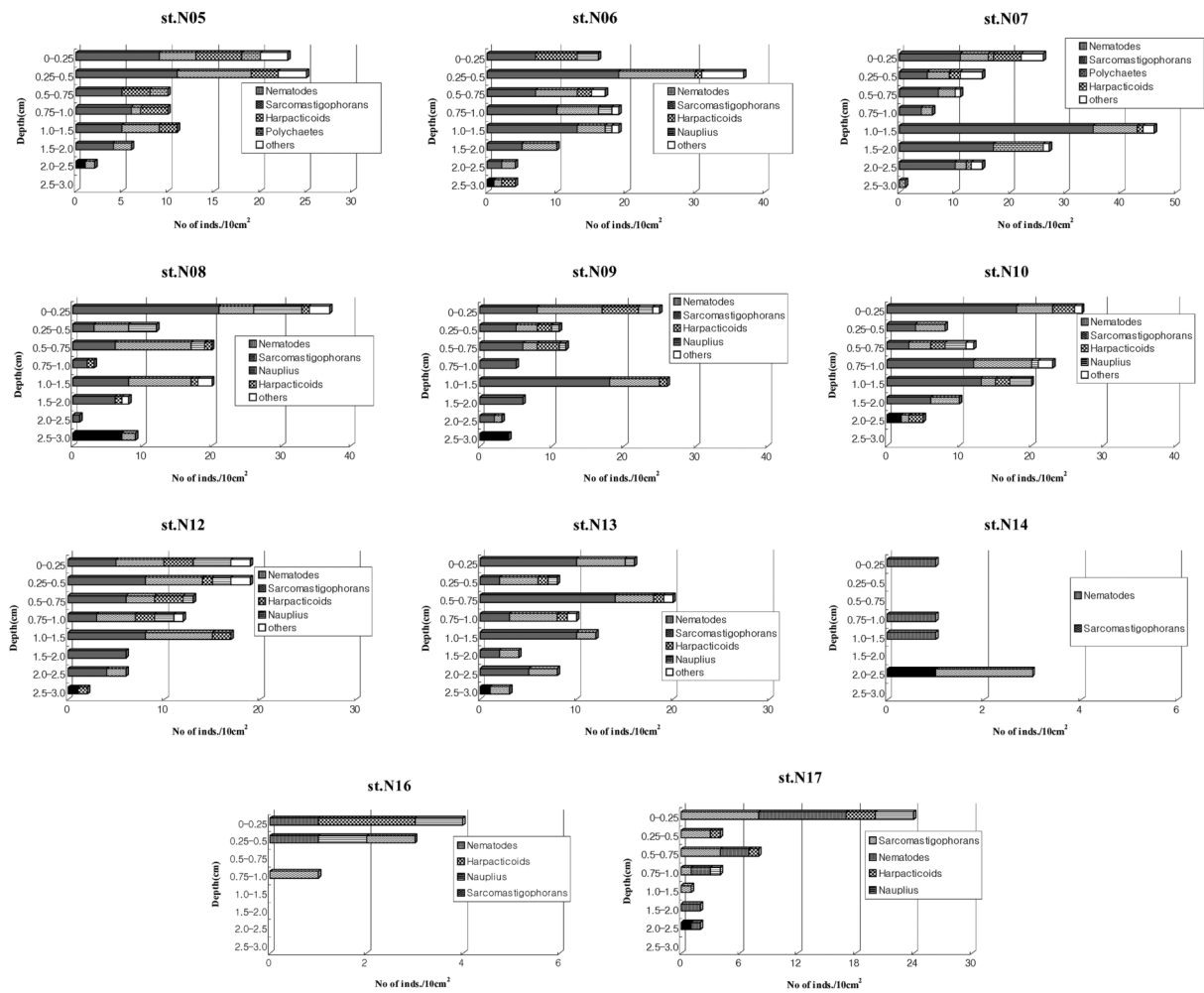


Fig. 6. Vertical distribution of dominant meiobenthic groups at each station.

수직 분포 특성

2003년 7월 북위 5도에서 17도에 이르는 각 위도별 정점의 중형저서동물의 퇴적물 내 수직분포를 살펴보면, 전반적으로 퇴적물의 깊이가 증가함에 따라 서식밀도가 전반적으로 감소하는 경향을 나타냈으나, 깊이별로 다양한 변화 양상이 나타났다(Fig. 6). 중형저서동물의 수직분포를 결정하는 원인은 여러 가지가 있으나, 심해에서 주로 나타난 수직분포의 제한요소는 먹이조건과 퇴적물의 간극수 중의 용존산소의 양으로, Swinbanks and Shirayama (1984)에 의하면 산소가 존재하는 최심층의 지표로 산화망간층과 중형저서동물의 출현 최심층간에 상관성이 있고, Reise and Ax(1979)는 중형저서생물의 출현 최심층은 간극수 중의 용존산소에 의해 결정되어진다고 하였다. 퇴적물의 깊이에 따른 감소 폭이 가장 큰 정점은 조사정점 중 매우 낮은 전체 서식밀도를 보였던 정점 N16으로 나타났으며, 깊이에 따른 서식밀도의 감소가 가장 완만한 정점은 전반적으로 높은 전체 서식밀도를 나타낸 저위도 정점

들로, 정점 N07의 경우 1 cm 이하의 깊이에서도 87개체/10 cm²의 높은 서식밀도를 보였다(Fig. 6). 이러한 수직분포 특성은 각 정점의 서식환경을 잘 반영하고 있는데, 표층 수괴로부터의 영양공급이 적은 고위도 지역의 정점들(정점 N13, N14, N16, N17)은 1 cm 이하의 퇴적물에서는 10 cm²당 20개체 이하의 낮은 서식 양상을 보이며, 이는 표층으로 침강되는 제한된 먹이로 인한 표층 퇴적물 선호 양상을 잘 나타냈다. 반면에 영양물질의 공급이 원활한 저위도 해역의 정점들(정점 N06, N07)에서는 1 cm 깊이 이하에서도 많은 수의 중형저서동물이 서식하고 있음을 명확히 볼 수 있다(Fig. 6).

정점별로 살펴보면, 정점 N05에서는 퇴적물의 표면층에서 0.5 cm까지의 깊이에서 전체 서식밀도의 절반이상이 분포하는 수직분포의 특성을 보였으며, 퇴적물의 깊이가 증가하면서 점차로 감소하여 2.5 cm 이하의 층에서는 나타나지 않았다. 분류군 별로 살펴보면, 대부분의 분류군이 표층을 선호하는 경향이 보였으며, 선충류와 저서유공충

류가 우점 분류군이었다(Fig. 6). 이는 표층으로의 먹이의 공급에 따른 분포특성을 반영한 결과로 보여지며, 빈산소 환경에 민감한 그룹인 저서성 요각류의 분포는 표층에서 높은 밀도로 나타나며 1.5 cm 이하의 깊이에서는 거의 출현하지 않았다. Sommer and Pfannkuche(2000)의 아라비아 심해역에서의 연구결과에 의하면, 수층에서 공급되는 입자성 유기탄소의 공급량이 적은 지역에서는 공급이 많은 지역에 비하여 중형저서동물의 서식깊이가 감소했다. 정점 N06은 퇴적물의 표면층에서 0.25 cm까지의 깊이보다 그 바로 아래의 깊이인 0.25 cm에서 0.5 cm까지의 깊이에서 더 많은 중형저서동물이 출현했다. 퇴적물의 깊이가 증가하면서 점차로 감소하는 경향이 잘 나타났으며, 산소의 공급이 원활한 최상층에서 저서성 요각류의 출현율이 높았다. 정점 N07은 퇴적물의 표층부터 2 cm까지의 깊이까지 거의 균일한 분포양상을 보였으며, 특히 1~1.5 cm 층에서 서식하는 선충류의 서식밀도가 매우 높게 나타난 것이 특징이며, 그 바로 아래층에는 다모류의 서식이 역시 높게 나타났으나, 저서성 요각류는 표층에서 많이 출현하였다. 정점 N08은 최상층 즉, 0~0.25 cm 층에 가장 많은 중형저서동물이 서식하는 양상을 보였으며, 이는 선충류와 갑각류의 유생의 분포가 높게 나타났기 때문이었고, 저서유공충류의 경우에는 퇴적물의 깊이의 증가에 따라 3 cm 층까지는 불규칙하게 분포하는 특성을 보였다. 정점 N09는 정점 N07과 유사한 선충류의 수직 분포 패턴을 보여서, 다른 정점들과 달리 최상층 부근에 집중해서 분포하지 않고 그 이하의 층인 1~1.5 cm 층에 더 많은 분포를 보였다. 저서성 요각류는 표층을 선호하는 것이 잘 드러났으며, 그 외의 분류군은 1.5 cm 이하에서는 나타나지 않았다. 정점 N10은 퇴적물 표면에서 1.5 cm 층까지 거의 균일하게 분포하는 특성을 보였고, 각 분류군 역시 고른 수직분포 패턴을 나타냈다. 한편, 정점 N12와 N13은 퇴적물의 깊이가 증가함에 따라 서식밀도가 순차적으로 잘 감소하는 양상을 보여주었으며, 저서성 요각류의 분포는 표층에서 1.5 cm 층까지 거의 균일하게 나타났다. 정점 N14와 N16은 전체 정점에서 가장 낮은 서식밀도를 나타낸 정점으로, 수직분포특성 또한 매우 불규칙한 패턴을 보여서 중형저서동물의 서식 환경이 매우 불안정함을 시사하였다. 조사 정점중 가장 북쪽에 위치한 정점 N17 역시 최상층에 밀집된 수직분포 패턴을 보였으며, 극소수의 개체들만이 1 cm 이하의 깊이에서 발견되었다.

4. 결 론

2003년 7월의 동경 131도 30분 지선상의 북위 5도에서 17도까지의 13개의 중형저서동물 조사 정점의 0~3 cm 퇴적물에서 출현한 중형저서동물의 군집 구성을 보면 모두

총 10개의 동물그룹이 출현하여 2001년에 동일지역에서 수행된 해양수산부(2002)의 출현 분류군과 비슷한 양상을 보였으며, 서식밀도는 6~147개체/10 cm²로 나타났다. 정점 N06~N08에서 상대적으로 높은 서식밀도를 나타냈으나, 이 값은 2001년 이전에 조사된 북위 5도에서 7도에 이르는 지역의 서식밀도에 비하여 상당히 낮은 서식밀도 값으로, 중형저서동물 분포에 영향을 미치는 표층으로부터의 영양물질의 공급을 결정하는 표층수의 일차 생산량이 낮게 나타났기 때문이며(해양수산부 2004), 이 지역은 남적도 해류와 북적도 반류의 수렴하는 지역으로 표층의 일차생산력의 변화가 저층으로 잘 전달되는 특성을 보이는 것으로 표층수와 저층수 간의 물질순환이 이 지역의 서식환경을 결정하는 요인으로 사료된다. 반면에 북위 14도와 16도 정점에서는 매우 낮은 서식밀도를 보였는데, 이는 일반적으로 가장 서식밀도가 낮은 최심해지역의 서식밀도 값에 못 미치는 값으로(Danovaro et al. 2002), 심해저의 표층퇴적물 내의 입자성 유기탄소량과 ATP량 역시 낮게 나타나서(해양수산부 2004), 저서생물서식에 매우 불안정한 지역으로 판단된다. 각 위도별 정점에서의 수직분포 및 크기별 분포특성은 정점별로 상이하게 나타났는데, 퇴적물의 깊이에 따라 서식밀도가 급감하는 양상을 보였으며, 수층으로부터의 영양물질의 공급이 원활한 저위도 해역의 정점에서는 서식층의 두께가 비교적 두꺼운 반면에, 영양물질 공급이 극히 제한적인 고위도 해역에서는 최상층에 서식이 집중되는 현상이 잘 나타났다. 크기별 분포 특성은 전반적으로 망목크기 0.125 mm의 체를 통과하여 0.063 mm의 체에 걸리는 크기의 중형저서동물이 가장 많은 수를 차지하고 있어서, 심해환경에 적응하는 작은 크기의 선충류들이 우점하는 양상이 나타났다. 이상의 결과에서 북동태평양 C-C 해역 심해에 서식하는 중형저서동물의 위도별 분포특성은 각 위도별 일차생산량에 따라 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 차후에 물리 화학적인 환경 인자들과 지구 규모적 기후 변동의 영향을 고려하여 향후 좀 더 심도 깊은 접근과 고찰이 요구된다.

사 사

본 연구를 위하여 생물시료채집 등에 협조하여 주신 은 누리호 선생님 및 승조원 분들께 감사드립니다. 또한 연구 수행에 많은 도움을 주신 심해저자원연구센터 김기현 박사님, 저서생물실의 이재학 박사님께 감사드리며, 특별히 시료 분석에 함께 해주신 오제혁, 신재철 연구원님께 감사를 드립니다. 본 연구는 해양수산부의 '2003 심해저 광물 자원개발(PM19700)' 용역 사업의 일환으로 수행되었음을 밝힙니다.

참고문헌

- 김동성. 1997. 북동태평양 심해퇴적물에 서식하는 중형저서 생물의 군집조성. *한국해양학회지 '바다'*, 2, 42-47.
- 김동성, 민원기, 김용서. 2002. 독도 주변 해역에 서식하는 중형저서생물. *Ocean Polar Res.*, 24, 419-427.
- 김동성, 현정호, 최진우, 이경용. 2000. 북동태평양 심해 퇴적물에 서식하는 중형 저서 생물군집의 위도별 특징. *한국해양학회지 '바다'*, 5, 245-254.
- 통상산업부. 1995. '95 심해저 광물자원탐사 보고서(I). 763 p.
- 해양수산부. 1996. '96 심해저 광물자원탐사 보고서(I). 954 p.
- 해양수산부. 1997. '97 심해저 광물자원탐사 보고서(I). 843 p.
- 해양수산부. 1998. '98 심해저 광물자원탐사 보고서(I). 1209 p.
- 해양수산부. 1999. '99 심해저 광물자원탐사 보고서(I). 708 p.
- 해양수산부. 2001. 2000 심해저 광물자원탐사 보고서(I). 594 p.
- 해양수산부. 2002. 2001 심해저 광물자원탐사 보고서(I). 559 p.
- 해양수산부. 2004. 2003 심해저 광물자원개발 보고서(I). 770 p.
- Ahnert, A. and G. Schriever. 2001. Response of abyssal copepoda harpacticoida(crustacea) and other meiobenthos to an artificial disturbance and its bearing on future mining for polymetallic nodules. *Deep-Sea Res. II*, 48, 3779-3794.
- Alongi, D.M. 1992. Bathymetric patterns of deep-sea benthic communities from bathyal to abyssal depths in the western South Pacific (Solomon and Coral Seas). *Deep-Sea Res. Part A*, 39, 549-565.
- Alongi, D.M. and M. Pichon. 1988. Bathyal meiobenthos of the western Coral Sea: distribution and abundance in relation to microbial standing stocks and environmental factors. *Deep-Sea Res.*, 35, 491-503.
- Danovaro, R., C. Gambi, and N.D. Croce. 2002. Meiofauna hotspot in the Atacama Trench, eastern South Pacific Ocean. *Deep-Sea Res. I*, 49, 843-857.
- Gerlach, 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities. *Oecologia*, 6, 176-190.
- Giere, O. 1993. Meiobenthology. Springer-Verlag, 328 p.
- Gooday, A.J. and P.J.D. Lamshead. 1989. Influence of seasonally deposited phytodetritus on benthic foraminiferal populations in the bathyal northeast Atlantic: the species response. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 58, 53-57.
- Higgins, R.P. and H. Thiel. 1988. Introduction to the study of Meiofauna. Smithsonian Institution Press, Washington D.C. 488 p.
- Lamshead, P.J.D. et al. 2001. Phytodetritus and the abundance and biomass of abyssal nematodes in the central, equatorial Pacific. *Deep-Sea Res.*, 48, 555-565.
- Lamshead, P.J.D. et al. 2003. Biodiversity of nematode assemblage from the region of the Clarion-Clipperton fracture zone, an area of commercial mining interest. *BMC Ecology*, 3, 1.
- Neira, C., J. Sellanes, L.A. Levin, and W.E. Arntz. 2001. Meiofaunal distribution on the Peru margin: relationship to oxygen and organic matter availability. *Deep-Sea Res. I*, 48, 2453-2472.
- Reise, K. and P. Ax. 1979. A meiofaunal "thiobios" limit to the anaerobic system of marine sand does not exist. *Mar. Biol.*, 54, 225-237.
- Renaud-Mornant, J. and N. Gouboult. 1990. Evaluation of abyssal meiobenthos in the eastern Pacific(Clarion-Clipperton fracture zone). *Prog. Oceanogr.*, 24, 317-329.
- Shimanaga, M. and Y. Shirayama. 2000. Response of benthic organisms to seasonal change of organic matter deposition in the bathyal Sagami Bay, central Japan. *Oceanol. Acta*, 23, 91-107.
- Shirayama, Y. 1983. Size structure of deep-sea meio- and macrobenthos on the western Pacific. *Int. Revue Ges. Hydrobiol.*, 68, 799-810.
- Shirayama, Y. 1984a. The abundance of deep-sea meiobenthos in the western Pacific in relation to environmental factors. *Oceanol. Acta*, 7, 113-121.
- Shirayama, Y. 1984b. Vertical distribution of meiobenthos in the sediment profile in bathyal, abyssal and hadal deep-sea systems of the western Pacific. *Oceanol. Acta*, 7, 123-129.
- Shirayama, Y. 1990. Meiofauna in a cold-seep community off Hatsushima, central Japan. *J. Oceanogr.*, 46, 118-124.
- Shirayama, Y. 1994. Abundance of deep-sea meiobenthos off Sanriku, northeastern Japan. *J. Oceanogr.*, 50, 109-117.
- Shirayama, Y., T. Kaku, and R.P. Higgins. 1993. Double-sided microscopic observation of meiofauna using HS-slide. *Benthos Res.*, 44, 41-44.
- Snider, L.J., B.R. Burnett, and R.R. Hessler. 1984. The composition and distribution of meiofauna and nanobiota in a central north Pacific deep-sea area. *Deep-Sea Res.*, 31, 1225-1249.
- Soltwedel, T. 2000. Metazoan meiobenthos along continental margins: a review. *Prog. Oceanogr.*, 46, 59-84.
- Sommer, S. and O. Pfannkuche. 2000. Metazoan meiofauna of the deep Arabian sea: standing stocks, size spectra and regional variability in relation to monsoon induced enhanced sedimentation regimes of particulate organic matter. *Deep-Sea Res. II*, 47, 2957-2977.
- Swinbanks, D.D. and Y. Shirayama. 1984. Burrow stratigraphy in relation to manganese diagenesis in modern deep-sea carbonate. *Deep-Sea Res.*, 31, 1197-1223.
- Thiel, H. and G. Schriever. 1993. Environmental consequences of deep-sea mining. *Int. Challenges*, 13, 54-70.

Received Apr. 16, 2004

Accepted May 28, 2004