

북동 태평양 심해저 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 군집구성

김 동 성
한국해양연구소 해양생물연구부

The faunal composition of meiobenthic community in the deep-sea sediment, northeastern Pacific Ocean

DONGSUNG KIM
KORDI, 1270 Sadong, Ansan 425-600, Korea

북동 태평양 심해저 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 군집구성 및 분포양상을 보기 위하여, 다중 주상 시료 채취기(Multiple corer) 및 상자형 시료 채취기(Box corer)를 사용하여 10개 정점에서 시료를 채집하였다. 전 정점에서 18개 분류군이 출현하였다. 각 군집의 비율을 보면 *Sarcomastigophora*가 가장 우점하여 35.8%, 그 다음 *Nematoda*가 30.8%, *Crustacea*의 *Nauplius larvae*가 그 다음으로 11.9%의 조성비율을 보였다. 또, benthic *Harpacticoida*, *Ciliophora*가 주요 생물군으로 이 5개의 주요 동물군이 전 정점의 중형저서동물 전체의 약 90%를 차지하였다. 총 개체 수는 정점 4(수심 4960 m)에서 가장 높은 196 inds./10 cm²을 보였고 정점 1(수심 4969 m)에서 가장 낮은 85 inds./10 cm²을 보였다. 각 정점의 평균 개체 수는 1.34×10^5 inds./m² 이었다. 수평분포는 수심의 증가에 따라 서서히 감소하는 경향을 보였고, 수직분포는 표층 0~1 cm에서 집중적으로 분포하고 퇴적물내의 심도의 증가에 따라 서서히 감소하는 경향을 보였다.

This study was carried out to investigate the faunal composition and distribution pattern of meiobenthic community in the deep sea sediments of northeastern Pacific Ocean. Faunal samples were collected at 10 stations using a multiple corer and a spade type box corer during May 1996. A total of 18 meiofaunal groups were found, and *Sarcomastigophora* was the most dominant group which accounted for 35.8% of total meiofaunal abundance. *Nematoda* (30.8%), *Nauplius larvae* of *Crustacea* (11.9%), *Ciliophora* (6.8%) and *Harpacticoida* (3.0%) which were also important components of the meiofaunal community. All of these five faunal groups comprised more than 90% of total meiofauna. The highest density of 195 ind./10 cm² was found at St. 4 (4960 m water depth), but the lowest one, 85 ind./10 cm² at St. 1 (4969 m water depth). The overall mean density of meiofauna was estimated as 1.34×10^5 ind./m². The abundance of meiofauna showed a slow decreasing trend along the water depth. The highest density was observed in the upper 1 cm and density decreased drastically with increasing depth from the surface.

서 론

중형저서생물 (Meiobenthos)은 Mare(1942)에 의해 반세기 정도 전에 정의되어진 저서생물의 크기에 따라 구분되어진 생물군 중의 하나이다. 이 말의 어원(meio=smaller)이 가르키는 바와 같이 이 동물군은 아주 소형으로 일반적으로 1 mm의 체를 통과하여 32 μm의 체에 걸러지는 저서생물의 총칭이다. 이 생물군은 소형이기 때문에 연구를 하기에 무척 많은 노력과 곤란이 있어(Uhlig *et al.*, 1973), 그 생태는 대서양의 한정된 지역을 제외하고는 그다지 알려져 있지 않다(McIntyre, 1969; Thiel, 1983). 태평양 심해역에 있어서 중형저서생물에 대한 연구는 1980년 이전에는 단편적인 연구가 2편 정도 있음에 지나지 않는다(Thiel, 1975). 그 후 Shirayama(1982, 1983, 1984a, b), Kim (1996)에 의해 서부 태평양에서의 몇 개의 연구가 보고되고 있을 뿐이다.

중형저서생물의 크기구분에 들어가는 생물군은 다양하여

22개의 동물 문을 차지하고 있다. 이들 생물군은 현존량으로 말하면 대형저서생물과 거의 같은 수준이지만, 1개체의 크기가 작기 때문에 단위 체중당 생리활성은 무척 높고(Gerlach, 1971) 생산량도 크기 때문에 저서생물 생태계에 그들이 차지하는 비중은 무척 크다고 할 수 있다. 특히 심해의 생태계에서는 보다 대형의 저서생물이 수심의 증가에 따라 급격히 감소하는 것에 비해 중형저서생물의 현존량은 거의 감소하지 않기 때문에(Thiel, 1975, 1983), 중형저서생물이 상대적으로 보다 중요한 심해 저서생물생태계의 요소라 할 수 있겠다.

재료 및 방법

본 연구해역은 북동 태평양의 Clarion-Clipperton Fracture Zone 중남부 해역으로 서경 131° 30' - 132° 10', 북위 9° 50' - 10° 30'에 위치하며 위경도 40분내에서 격자상으로 25개 정점이 선

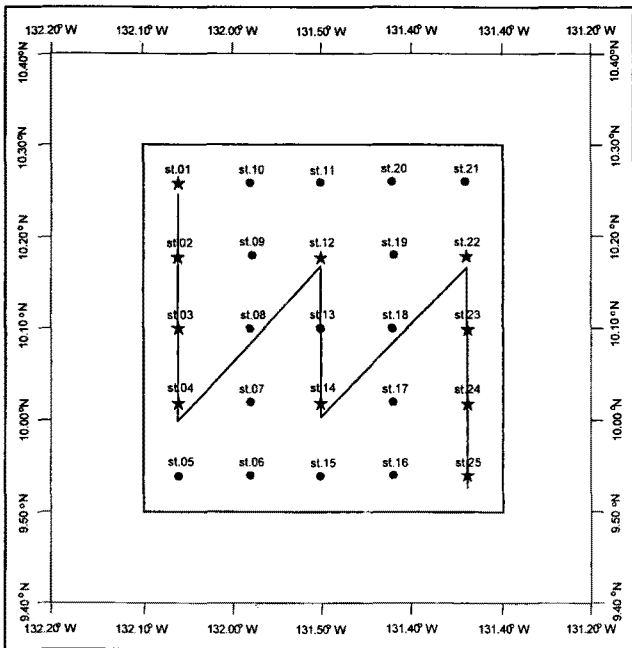


Fig. 1. The study area and sampling sites for meiobenthos.

정되었다(Fig. 1).

해저 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 생물상, 밀도, 현존량 및 그들의 수직·수평적 분포 등을 조사하기 위해 각 정점에서 상자형 시료 채취기(Box corer) (50×50 cm 및 20×30 cm)와 다중 주상 시료 채취기(Multiple corer)를 사용하여 퇴적물을 채집하였다.

각 정점에서 정점 1에서 대형 상자형 시료 채취기(50×50 cm)를 사용하였고, 정점 3에서는 다중 주상 시료 채취기를, 그리고 나머지 정점에서 소형 상자형 시료 채취기(20×30 cm)를 사용하였다. 조사지역의 전 범위를 커버하기 위하여, 생물 시료 채취가 비교적 성공한 것중 St. 1, 2, 3, 4, 12, 14, 22, 23, 24, 25의 생물시료를 분석하였다(Fig. 1). 정점 수심의 범위는 4810 m~5030 m였고, 채집된 퇴적물 속에 있는 중형저서생물을 채취하기 위하여 직경 3.4 cm 크기의 아크릴 관을 사용하여 각 정점당 3개의 시료를 얻었다. 각각의 부시료는 10개층 즉, 0~1 cm층, 1~2 cm층, 2~3 cm층, 3~4 cm층, 4~5 cm층, 5~6 cm층, 6~7 cm층, 7~8 cm층, 8~9 cm층, 9~10 cm층으로 나누어서 퇴적물 시료를 취했다. 각각의 층으로 나눈 시료들은 rose bengal을 혼합한 5% 중성 포르말린용액으로 고정했다.

연구실에서 연구실까지 시료의 운반은 냉동표본에 한 하여는 냉동 상자에 넣어 운반하였다. 각 층으로 나뉘어졌던 생물시료는 실험실 운반되어 1 mm, 500 μm, 250 μm, 125 μm, 63 μm, 37 μm 등 6가지 망목의 체로 크기별로 걸러내어 광학현미경하에서 분류 및 계수를 하였다. 또 각 그룹의 건조중량은 Shirayama(1983)의 방법을 사용하여 추정하였다.

또한 현미경 사진과 영구보존을 위하여 글리세린, 에탄올, 증류수를 혼합한 용액으로 고정액을 치환시켜 60°C 건조기에 넣어 서서히 증발시킨 후에, 채습기안에 넣어 완전히 수분을 증발시킨 후에 H-S slide (Shirayama et al., 1993)에 소형의 유리구슬

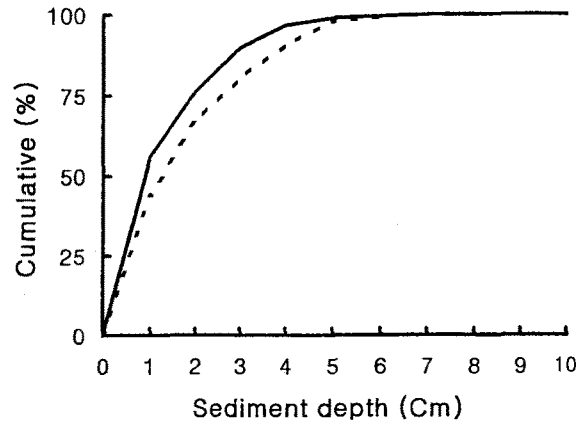


Fig. 2. The cumulative percentage composition of the number of individuals collected by Multiple corer at St. 3 with respect to the sediment depth. (—: sample A, ---: sample B).

(glass beads)과 canadian balsam을 사용하여 영구보존 생물시료를 만들었다.

퇴적물 내의 생물의 수직적 분포 등을 밝히기 위하여 생물시료 채취가 가장 좋았던 정점 3의 시료를 분석한 결과 퇴적물내의 깊이에 따른 중형저서생물 개체수의 누적 백분율을 보면 표층 5 cm안에 전체의 98%이상을 나타내어(Fig. 2) 전 정점시료를 0~5 cm까지 처리하였다. 정점 3은 다중 주상 시료 채취기로 채집한 시료로, 일반적으로 다중 주상 시료 채취기가 상자형 시료 채취기에 비해 퇴적물 1 cm의 차이로 효율이 높다는 점 (Shirayama & Fukushima, 1992 ; Bett et al., 1994)을 생각해 볼 때 다른 시료는 6 cm까지의 처리라 할 수 있겠다.

결과 및 고찰

군집조성 및 주요 생물군

각 정점별 나타난 중형저서동물의 군집조성을 보면, 중형저서동물의 총 18개의 분류군이 출현하였다(Table 1). 각 군집의 비율을 보면 중형저서동물에서는 Sarcomastigophora와 Nematoda가 탁월하게 출현하여 전 정점에서 약 35.8, 30.8%를 차지했다. 그 다음으로 Nauplius larvae가 우점하여 전 정점에서 11.9%의 조성비율을 보였다. 또, benthic Harpacticoida, Ciliophora가 주요생물군 이었다. 앞의 6개 주요 동물군이 전 정점의 중형저서동물 전체의 약 90%를 차지하고 있다(Fig. 3).

일반적으로 심해의 중형저서생물로써는 Nematoda나 Foraminifera, Harpacticoida가 탁월하게 출현한다고 알려져 있어 (Shirayama, 1982), 본 조사결과와 차이를 보이지 않았다고 보여진다. 심해뿐만 아니라 천해역에서도 우점하는 생물군으로서 Foraminifera, Nematoda, Harpacticoida가 알려져 있어(Kim & Shirayama, 1996), 중형저서생물의 조성은 거의 같다고 이야기할 수 있다.

본 조사정점 해역에서 출현한 중형저서생물은, 다른국가의 인근해역에서의 심해조사(일본의 금속광업사업단, 독일의 DISCOL등)에서 발견된 생물군을 거의 포함하고 있어, 구성 생물군 조성에 커다란 차이가 없었다.

Table 1. The individual number of meiobenthos collected at each station.

Meiobenthos	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 12	St. 14	St. 22	St. 23	St. 24	St. 25
Nematoda	15	34	69	48	35	39	56	71	30	26
Sarcomastigophora	46	29	33	94	37	37	95	17	45	41
Harpacticoida	4	10	5	4	2	5		2		4
Nauplius larvae	14	13	54	9	18	12	8	8	9	12
Ciliophora	3	9	9	18	10	7	10	22	3	4
Polychaeta		2		5	4		3	2	2	
Bryozoa		1		5	8		8	2	4	1
Entoprocta						1		2		
Rotifera			2		1					
Loricifera			5							
Isopoda						4		2		
Cnidaria					2					
Pripauilda								2		
Halacaroida				1				7		
Tardigrada						1				
Turbellaria	1	1		4						
Mollusca										
Others	2	6	5	8	11	9	4	10	10	9
Total	85	105	182	196	128	115	184	147	103	97

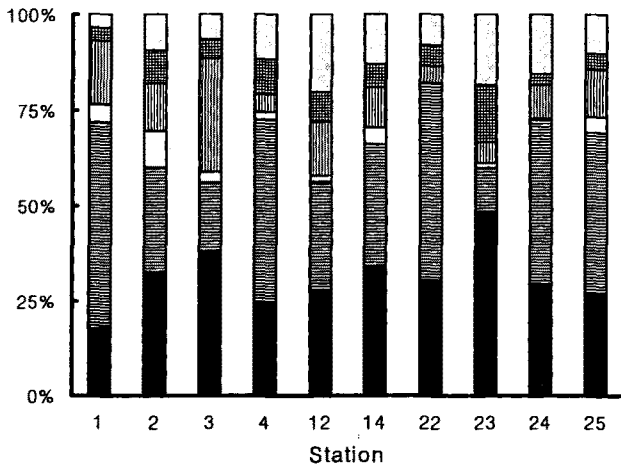


Fig. 3. Composition of the dominant group of meiofauna at each station. ■ Others ▨ Ciliophora ▩ Nauplius larvae □ Harpacticoida ▧ Sarcomastigophora ■ Nematoda

출현 개체 수

탐사 해역의 각 조사정점에서 출현한 중형저서동물의 총 개체 수는(Table 1), 정점 1에서 가장 낮은 85 inds./10 cm²을 보였고 St. 4에서 가장 높은 196 inds./10 cm²을 보였다. 각 정점의 평균 개체 수는 1.34×10^5 inds./m² 이었다. 즉 이 지역의 중형저서동물은 1평방미터당 평균 13만개체정도 분포하고 있었다. 이 값은 태평양에서 보고되어진 $3.7 \times 10^4 \sim 1.3 \times 10^6$ inds./m²(Shirayama, 1984a) 값의 중간치에 해당하는 값이었다.

개체수 밀도와는 다르게 중형저서동물의 현존량을 측정하는 것은, 동물이 무척 작다는 것로부터 쉽다고 이야기 할 수 없다. 현미경하에서 1개체씩 체적을 측정하는 것은 무척이나 시간과 노력이 필요하기에 현실적이라 말하기 힘들다. 또 체중 1 μg 전후의 동물의 습중량을 정확히 측정하는 것은 수분의 증발 등의 문제점이 있고, 일반 건중량의 측정에 사용한 시료는 다른 연

구(특히 분류학)에 사용할 수 없다. 이러한 문제에 대하여 Shirayama(1983)는, 중형저서동물을 분별하기 위하여 사용하는 체를 여러 단계로 나누어 퇴적물 및 생물을 걸러낸후, 각 단계에서의 동물의 평균체중을 사용하는 것에 따라 현존량을 거의 정확히 추정하는 일을 가능하게 하였다. 이 방법을 사용하여 측정 한 현존량은 0.08~0.12 g ash free dry weight m⁻²로, 서태평양에서 보고된 0.1 g ash free dry weight m⁻²와 비슷한 값을 나타냈다.

각 조사 정점에서의 각 분류군별 평균 개체 수는 Nematoda, Sarcomastigophora가 무엇보다 높아 10 cm² 당 각각 42, 45개체를 나타냈다. 그 다음으로는 Nauplius larvae가 17 inds./10 cm², Ciliophora, Harpacticoida 순이었다. 그 외에도 이들 주요 분류군에 비해 개체 수는 적지만 10 cm² 당 2, 3개체의 밀도를 보여주는 것으로는 Polychaeta, Isopoda, Turbellaria 등 총 18개의 분류군이 나타났다.

대형저서동물에 포함되는 생물군은 어느 정점에서도 거의 나타나지 않았다. 크기별 출현상황을 보면 250~32 μm의 중형저서동물이 거의 90%이상 차지하고 있었다. Polychaeta는 평균 2 inds./10 cm²로 1평방미터당으로 환산하면 2,000개체의 서식밀도를 보인다. Polychaeta에 의한 생물교란은 퇴적물내의 간극수 산소농도에 커다란 기여를 해 다른 생물의 분포에도 영향을 미친다고 알려져 있다(금속광업사업단, 1992). 또 이들 저서동물에 의한 생물교란의 작용이 적은 해역에서는 망간단괴, 채광에 따른 재퇴적물의 침전에 따라 파괴된 생물군집의 회복도 늦어진다고 이야기되어지고 있다(금속광업사업단, 1992).

다른 심해조사 결과인 독일의 DISCOL조사(1989)는 Clipperton F. Z. 동쪽 (88° W, 7° S)에서 실시되어져, 본 조사에서도 사용되었던 채니기(독일제 다중 주상 시료 채취기)나 크기 범주(본 조사: 37 μm, DISCOL: 31 μm)가 거의 일치하고 있다. 이 조사에서의 총 개체 수는 134개체로 본 조사결과에서의 중형저서동물의 출현 개체 수와 커다란 차이를 보이지 않았다.

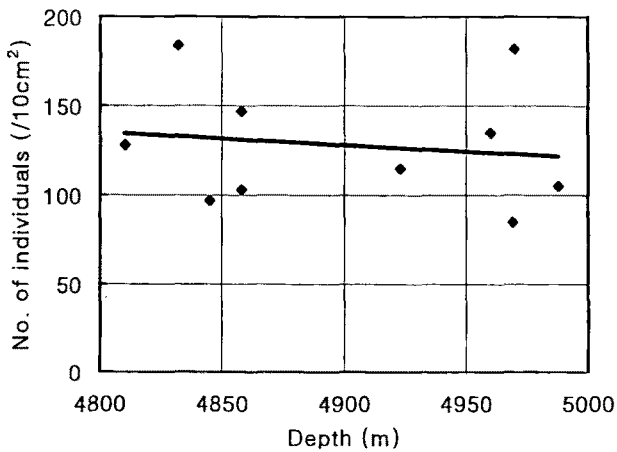


Fig. 4. Correlation between the density of meiobenthos and water depth.

수평 및 수직분포

각 조사정점별 총 개체 수를 보면 정점 3, 4, 22에서 최대치를 보이고, 정점 1, 25에서 가장 낮은 개체 수를 보이고 있다. 또한 정점 1에서 정점 4로 갈수록 총 개체 수는 증가하고, 정점 22에서 정점 25로 갈수록 총 개체 수는 감소하는 경향을 보였다. 일반적으로 수심의 증가에 따라 개체수는 감소한다고 보고되어 있어 본 해역에서 수심과 개체수간의 상관관계를 구한 결과 수심과 개체수간에 유의한 상관관계를 보이지 않았다($y = -0.0721x + 481.61, r = 0.14, p > 0.05$)(Fig. 4). 이와같이 본 조사해역에서 낮은 상관관계를 보이는 것은 심해역에서의 200 m 수심변화는 중형저서생물의 서식밀도에 영향을 미치지 않음을 보여준다 하겠다.

각 조사정점에서의 퇴적물 깊이에 따른 수직분포를 보면(Fig. 5), 그림으로부터 명확하게 보여진 것과 같이 중형저서생물의 분포는 현저하게 표층부에 밀집되어 있었다. 표층부에서의 집중적인 분포는 정점 22를 제외한 전 정점에서 볼 수 있다. 특히 다중 주상 시료 채취기로 시료채취가 이루어졌던 정점 3에서는 표층 0~1 cm에서의 출현량은 103개체로 1~2 cm의 37개체에 비해 3배 이상의 생물이 서식하고 있었다. 유광층으로부터 공급되어지는 아주 적은 유기물을 영양원으로 하는 심해저생물이 먹이를 위해 표층부에 집중되어있는 것은 충분히 예견할 수 있는 것으로써 종래의 일반적 인식과 일치하였다.

정점 3과 정점 12를 제외한 다른 정점에서 중형저서생물 전체의 분포는 퇴적물내의 수심이 깊어질수록 서서히 감소하는 경향을 보였다. 이러한 현상이 나타나는 한 요인으로 위의 환경요인 외에도 퇴적물의 입자크기가 퇴적물 내에서 수심에 따라 서서히 감소하는 것도 고려해 볼 수 있다. 또한 수직적인 분포의 차이 및 분포의 최대서식 깊이를 규정짓는 다른 한 요소로써 생각 할 수 있는 것이 간격수 중의 용존산소의 양이다. Swinbanks and Shirayama(1984)에 의하면 산소의 존재하는 최심층의 지표로 산화망간층과 중형저서생물의 출현 최심층간에 상관성이 있고, Reise and Ax(1979)는 중형저서생물의 출현 최심층은 간극수 중의 용존산소에 의해 결정되어진다고 보고되어진 것으로부터도 알 수 있다.

주요 우점종에 대한 수직분포를 보면 Nematoda는 표층 0~1 cm에 가장 많이 분포하고 전체적으로 퇴적물 내의 깊이가 깊어질수록 감소하는 경향을 보였다. 정점 1, 4, 14를 제외한 정점에서 적은 개체 수이지만 4~5 cm 층에도 서식하고 있음을 보여주었다. 또한, 정점 3, 14에서는 표층 0~1 cm에 비해 1~2 cm 층에서 급격히 감소함을 나타냈다. 한편 benthic Harpacticoida는 출현하지 않은 정점도 있지만 출현한 정점에서 보면 표층 0~1cm에 주로 서식하고 있음을 알 수 있다. benthic Harpacticoida는 중형저서생물 그룹 안에서 환경요인, 특히 용존산소의 변화에 민감하다고 알려져 있다(Coull et al., 1981). 그러한 그들의 생태적 특성이 용존산소가 비교적 풍부한 표층역에서 높은 분포를 나타낸다고 할 수 있을 것이다.

조사 및 분석방법의 검토

중형저서생물을 채집, 분석하기 위하여 상자형 시료 채취기와 다중 주상 시료 채취기를 사용하는 것은 가장 유용한 방법으로 알려져 있다. 최신장비로써 B상자형 시료 채취기의 단점을 보완한 다중 주상 시료 채취기가 중형저서생물의 채집에는 가장 최선의 시료 채취기라 할 수 있다. 본 조사는 1995년과는 다르게 심해 중형저서생물을 보다 더 정확하고 정밀하게 조사하기 위하여 채집기로서는 가장 신뢰도가 높은 다중 주상 시료 채취기를 사용하였으나, 채취기에 문제가 발생하여 사정상 정점 3에서만 생물시료를 얻을 수 있었다. 일반적으로 다중 주상 시료 채취기와 상자형 시료 채취기의 차이는 생물서식의 면에서 볼 때 퇴적물 표층 1 cm의 채집여부에 있어서 차이를 보인다고 알려져 있다(Shirayama & Fukushima, 1992). 또한 심해에서는 저서생물의 다양성이 높고(Jumars, 1975; Carney et al., 1983), 분포도 균일하지 않기 때문에(Jumars, 1975; Sinider, 1984), 구성하는 생물군을 파악하기 위해서는 충분한 채집면적을 필요로 한다. 따라서 과거에는 상자형 시료 채취기를 사용하였으나 최근에는 다중 주상 시료 채취기가 상자형 시료 채취기에 비해 개체 수 및 분류군의 채집효율이 2.9~4.9배나 높다고 보고되고 있어(금속광업사업단, 1992), 심해저 중형저서생물연구에는 다중 주상 시료 채취기가 주된 채집기로 사용되고 있다. 차후 조사에는 보다 많은 정점에서 다중 주상 시료 채취기를 사용한 생물채집을 계획하고 있고, 또한 비교를 위해 같은 정점에서 상자형 시료 채취기에 의한 채집도 계획하고 있어 보다 더 정확한 자료가 얻을 수 있고 또 이들 자료와의 비교가 가능하리라 기대된다.

또한 본 연구에서는 중형저서생물의 수직구조를 밝히기 위하여 1 cm씩의 수직 표본처리를 하였지만 중형저서생물은 그 크기가 작고 자그마한 환경변화(퇴적물의 입도크기, 온도, 유기물, 용존산소등)에도 민감하게 반응하는 그룹으로, 대형저서생물에 비해 보다 더 좁은 간격으로 변화를 일으킬 수 있음을 충분히 예견 할 수 있다. 따라서 차후에는 표층 1 cm를 0.5 cm 나 0.25 cm로 나누어 채집할 필요가 있다고 생각된다.

분석상의 문제점으로서 선별, 계수 및 분류상의 문제점을 들 수 있다. 선별의 작업에서 무엇보다도 문제가 되는 원생동물, 특히 각을 갖고 있지 않는 유공충의 취급이다. 유공충류는 중형저서생물의 우점종이나, 작고 깨지기 쉽기 때문에 선별과 계수

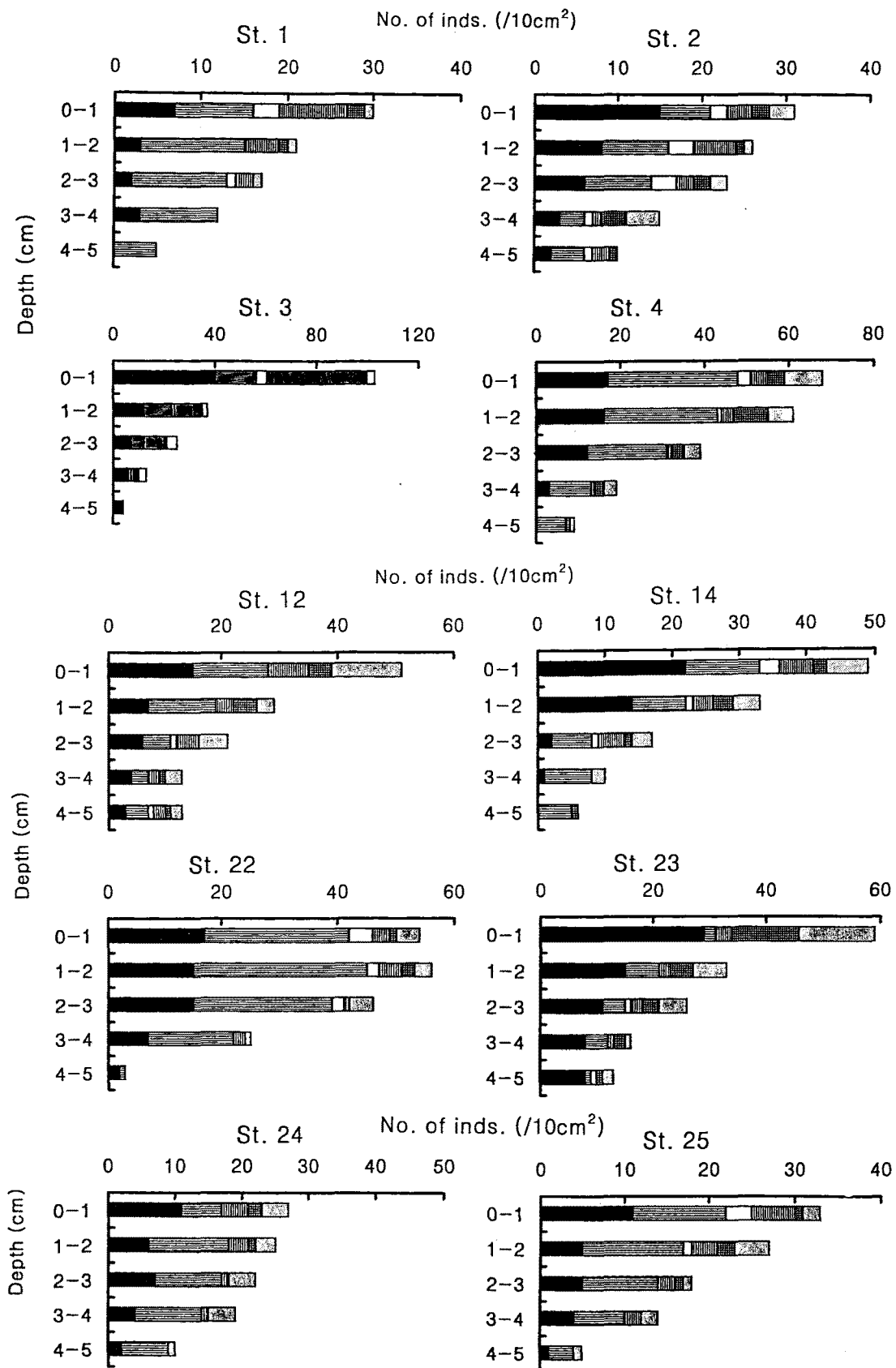


Fig. 5. The vertical distribution of meiobenthos with sediment depth at each station. ■ Nematoda ▨ Sarcomstigophora □ Harpacticoida ▩ Nauplius larvae ▤ Ciliophora ▦ Other

가 곤란하다. 이번 조사에서는 살아있는 개체라고 인정되는 것을 계수하기 위하여 rose bengal로 염색을 하였다. 중형저서동물에서 중요한 위치에 있는 선충류나 유공충류를 포함한 원생동물의 출현량을 파편수의 계수 뿐만 아니라 생체량이나 탄소량 등으로 파악해 나갈 필요가 있다고도 생각되어졌다.

심해저서생물, 특히 중형저서생물의 분류 및 생태적 연구는 아직까지 세계적으로 종 단위까지의 동정은 현실적으로 무척 어려운 실정이고, 자료도 아주 적은 상태이다. 따라서 속 이상의 상위수준에 있는 분류군에서의 생태적 연구가 진행되고 있다. 본 연구도 그 선상에서 이루어졌으나 차후 하위수준(종 단계)에서의 연구가 이루어지기 위하여 분류에 대한 문헌 및 자료의 수집등이 요구된다 하겠다.

사 사

본 연구의 생물시료 채취에 있어서 도움을 주신 심해탐사 KO-DOS 96-1항해의 온누리호 김 대기 선장님과 승조원 여러분께 감사드리며, 조연을 해주신 한국해양연구소의 최 진우 박사님과 선상작업을 도와준 동 연구소 생물실의 신 상호군, 인하대학교 해양학과의 이 효진군, 이 효정양에게도 감사를 드립니다.

본 연구는 통상산업부의 심해저 광물탐사사업(PG00246-5)의 일환으로 수행된 연구결과의 일부임을 밝힙니다.

참고문헌

금속광업사업단, 1992. 1991년도 망간단괴 채광환경영향조사 보고서, 일본 금속광업사업단편, 143-157.

Bett, B. J., A. Vanreusel, M. Vincx, T. Soltwedel, O. Pfannkuche, P. J. D. Lamshead, A. J. Gooday, T. Ferrero, and A. Dinet, 1994. Sampler bias in the quantitative study of deep-sea meiobenthos. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **104**: 197-203.

Carney, R. S., R. L. Haedrich and G. T. Rowe, 1983. Zonation of fauna in deep-sea., In: *Deep-Sea Biology*, edited by Rowe, G. T., a Wiley-Interscience Publication.

Coull, B. C., G. R. F. Hicks and J. B. J. Wells, 1981. Nematode/Copepod ratio for monitoring pollution: A rebuttal. *Mar. Poll. Bull.*, **12**: 378-381.

Gerlach, S. A., 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities, *Oecologia*, **6**: 176-190.

Jumar, P. A., 1975. Methods for measurement of community structure in deep-sea macrobenthos, *Mar. Biol.*, **30**: 253-266.

Kim, D. S. and Y. Shirayama., 1996. Seasonal fluctuation of

meiobenthos inhabiting subtidal coarse sand in Otsuchi Bay, with special reference to free-living nematodes. *Bent. Res.*, **51**(1): 9-20.

Mare, M. F., 1942. A study of a marine benthic community with special reference to the microorganisms, *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom*, **25**: 517-554.

McIntyre, A. D., 1969. Ecology of marine meiobenthos, *Biol. Rev.*, **44**: 245-290.

Reise, K. and P. Ax., 1979. A meiofaunal "thiobios" limite to the anaerobic system of marine sand does not exist. *Mar. Biol.*, **54**: 225-237.

Shirayama, Y., 1982. Ecology of deep-sea meiobenthos in the sediment profile. D. Sc. Thesis, University of Tokyo, Tokyo, 85 pp.

Shirayama, Y., 1983. Size structure of deep-sea meio- and macrobenthos in the western Pacific. *Int. Revue ges. Hydrobiologia*, **68**: 799-810.

Shirayama, Y., 1984a. The abundance of deep-sea meiobenthos in the western Pacific in relation to environmental factors. *Oceanological 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, *Oceanological Acta*, **7**: 123-129.

Shirayama, Y., 1989. Ecology of deep-sea meiobenthos in the Western Pacific. *J. Ocean. Soc. Japan*, **45**: 83-93.

Shirayama, Y., and T. Fukushima., 1992. Comparisons of benthic properties between samples collected using a multiple corer and a box corer from bathya deepsea in Suruga Bay, central Japan. The 8th international meiofauna conference.

Shirayama, Y., T. Kaku and R. P. Higgins., 1993. Double-sided microscopic observation of meiofauna using an HS-slide. *Bent. Res.*, **44**: 41-44.

Sinider, L. J., B. R. Burnett and R. R. Hessler., 1984. The composition and distribution of meiofauna and nanobiota in central north Pacific deep sea area. *Deep Sea Res.*, **31**: 1225-1249.

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., 1975. The size structure of the deep-sea benthos, *Int. Revue ges. Hydrobiologia*, **60**: 575-606.

Thiel, H., 1983. Meiobenthos and nanobenthos of the deep sea. In: *Deep-sea Biology*, edited by G. T. Rowe, John Wiley and Sons, New York.

Uhlig, G., H. Thiel and J. S. Gray., 1973. The quantitative separation of meiofauna. *Helgolander wiss. Meeresunters.*, **25**: 173-195.