The Journal of the Korean Society of Oceanography
Vol. 30, No. 5, pp. 442-457, October 1995

한국산 빗살거미불가사리 3종의 서식처 지위
-특히 *Ophiura sarsi vadicola* Djakonov의 분포를 중심으로-*

홍재상 · 유재원 · 박흥식**
인하대학교 해양학과
**한국해양연구소 해양생물연구부

Niche characterization of the three species of genus *Ophiura* (Echinodermata, Ophiuroidea) in Korean waters, with special emphasis on the distribution of *Ophiura sarsi vadicola* Djakonov.

JAE-SANG HONG, JAE-WON YOO AND HEUNG-SIK PARK**
Department of Oceanography, Inha University, Inchon 402-751, Korea
***Biological Oceanography Division, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*

한국산 빗살거미불가사리 속의 3종, *Ophiura kinbergi, O. sarsi* 그리고 *O. sarsi vadicola*의 서식처를 파악하고, 남황해에 존재하는 생태적 장벽의 실체를 규명하기 위하여 무기 환경요인을 이용한 서식처 지위에 관한 연구를 수행하였다. 이들의 분포를 지배하는 환경인자의 추출과정에서, 대상이 되어진 7가지 환경요소, 즉 수심, 저층 수온, 저층 염분도, 밀도, 저층 용존산소량, 퇴적물의 평균 입도, 그리고 분급도 중 저층 수온, 염분도 그리고 수심 등이 서식처의 차이 규명에 유의한 설명력을 갖는 것으로 나타났다. 무기 환경 요소의 공간 위에서 이들 3종은 저층수의 수온과 염분도 그리고 수심 등에 대해 각기 다른 분포 범위의 폭을 나타내었다. *O. sarsi vadicola*를 중심으로한 서식처 지위의 분석에서, 우선 저층수의 염분도와 수온의 공간에서는 그 적정 서식처 범위(약 6~10°C, 31~33.5‰)가 황해 저층 냉수괴와 잘 일치하였으며, 수심에 대해서는 천해와 깊은 곳을 제외한 100~200m 범위에서 높은 존재 확률값이 나타났다. 한편, 본 연구에서 채집된 *O. kinbergi*와 *O. sarsi*는 *O. sarsi vadicola*의 적정 서식처 범위 밖에 서식하는 것으로 나타났으며, 황해산 *O. sarsi vadicola*의 분포 패턴에 관한 자료 분석의 결과로부터 이른바 황해에서의 저서성 무척추동물 분포의 남방 한계선을 형성하는 생태적 장벽의 실체는 북위 33°의 황해 남단에서 겨울철(12월)에 발생하는 황해 난류(약 34‰<, 18°C)인 것으로 밝혀졌다.

The relationships of environmental factors to the distribution patterns of the three species of ophiuroids, *Ophiura kinbergi, O. sarsi* and *O. sarsi vadicola* from Yellow Sea southeast seas and East Sea of Korea were studied to characterize their habitat niches. These three species chosen for study illustrated distinct niche and patterns according to their various preferences mainly for bottom water temperature, bottom water salinity and depth from seven environmental variables which were depth, bottom water temperature and salinity, density, bottom water oxygen content, grain size of the surface sediment, and sediment sorting coefficient. The results of habitat niche study mainly dealing with *O. sarsi vadicola* suggested that the optimum habitat ranges were approximately 6°C~10°C in bottom temperature and 31‰~33.5‰ in bottom water salinity which also corresponded with the characteristic ranges of Yellow Sea Bottom Cold Water and higher probabilities of occurence(more than 70%) were found in depth ranging from 100 to 200 m. In addition, the habitats of *O. kinbergi* and *O. sarsi* were compared with that of *O. sarsi vadicola*. Their ranges of habitat niches were found to have different niches in physical space of bottom water tem-

*본 연구는 1994년도 교육부 해양수산과학분야 학술연구 조성비의 지원에 의해 수행되었음.

perature, bottom water salinity and depth. Based on the distribution pattern of *O. sarsi vadicola* in the Yellow Sea, the ecological barrier which confined the distribution of benthic macro-invertebrates in southern Yellow Sea was determined to be the Yellow Sea Warm Current (approximately 34‰< and 18°C in December) which occurs between 33° and 34°N of southern Yellow Sea in winter time.

서 론

한국산 극피동물, 거미불가사리강(Echinodermata, Ophiuroidea)의 빗살거미불가사리, *Ophiura* 속의 *O. kinbergi*와 *O. sarsi vadicola*는 분류학적 단계에서 한국과 중국 및 러시아 분류 학자들 사이에 이견을 안고 있는 분류군이다. 우선, 중국에서는 劉와 徐(1963) 및 Liu *et al.*(1983)의 연구까지만 하더라도 황해의 저층 냉수괴에 분포하는 빗살거미불가사리를 *O. sarsi*라고 보고하였다. 그 후의 劉(1990)와 러시아(D'yakonov, 1954)에서는 *O. sarsi*의 아종으로 *O. sarsi vadicola* Djakonov를 인정하고 있으나, 국내에서는 황해산을 *O. kinbergi*(해양연구소, 1987; Yi and Irimura, 1987)로, 동해 및 동해 남부산을 *O. sarsi*(신, 1984)로 분류하고 있다. 그러나 최근 유 등(1995)은 이들 3종의 수리분류학적 연구 결과로부터 황해산은 *O. kinbergi*가 아닌 *O. sarsi vadicola*로서 *O. sarsi*의 아종임을 인정해야 한다는 중국과 러시아 측의 견해가 타당한 것으로 밝힌 바 있다.

한편, 황해에 서식하는 *O. sarsi vadicola*는 Liu *et al.*(1983, 당시에는 *O. sarsi*로 보고하였다)에 의해 황해저층냉수괴(YSBCW, Yellow Sea Bottom Cold Water)의 지표종인 것으로 제시되었으며, 북위 34°에는 황해 냉수괴의 특징종들의 분포를 제한하는 수온이 생태적 장벽으로 작용하는 것을 암시하고 있으나, 정량적인 분석이 수행되지 않아 구체적으로 입증되지 않았다.

따라서, 본 연구의 목적은 일차적으로는 *Ophiura* 속에 속하는 3종이 적어도 아종(亞種)으로라도 분류해야할 정도의 서식처 지위에 차이가 있음을 증명하는 것이며, 둘째는 이들이 보여주는 뚜렷한 이소성(異所性, allopatry)의 원인이 무엇인가를 찾아내고, 마지막으로 황해의 저서 동물 군집에 대한 연구를 수행한 Liu *et al.*(1983)과 한반도 주변 해역의 연체동물의 분포에 관하여 연구한 제(1993) 등이 제안한 바 있는 황해에 존재하는 생태적 장벽의 실체를 규명하는 데 있다.

재료 및 방법

1. 자료의 수집

한국산 빗살거미불가사리 속에 속하는 3종, *Ophiura sarsi*와 *O. sarsi vadicola*, 그리고 *O. kinbergi*의 출현 양상 및 환경 요소에 관한 자료는 현재까지 발표된, 1993년 5월 남동해역(해양연구소, 1994b)과 1993년 10월의 강릉 부근 안인 앞바다의 해양조사(해양연구소, 1994a) 등의 기존의 문헌과 직접 채집한 1989년 3월과 9월의 경기만 자료(Yoo, 1992), 1992년 5월과 9월의 황해 자료(인하대학교, 1993) 그리고 1994년 2월의 연평도 일대 조사 자료(웅진군, 1994) 등을 이용하여 분석하였다(Fig. 1). 환경 요인에 대한 자료로는 상기 해양조사 문헌에 제시된 저층 수온(°C), 염분도(‰), 밀도(σ-t), 용존 산소량(*ml/l*), 수심(m), 그리고 퇴적물의 입도 조성(평균 입도 ϕ와 분급도) 등을 이용하였다.

2. 자료의 분석

자료의 처리에는 SAS(Statistical Analysis System, 1987)를 이용하였고, 생물의 출현 양상과 유의한 관계를 갖는 환경 변수의 추출에는 단계적 판별 분석(Stepwise discriminant analysis)을 이용하였으며, 서식처의 지위에 대한 분석에는 범주형 자료 분석(PROC CATMOD, Categorical data modeling procedures)의 가우스 로지트 회귀분석(Gaussian logit regression analysis)을 이용하였다. 환경 요소에 따른 분포 양상의 차이를 통계적으로 검정하기 위하여 F-test(분산의 검정)와 t-test(평균의 검정)를 수행하였다.

단계적 판별 분석을 이용한 환경 요소의 추출과정

*아직까지 황해산 *Ophiura sarsi*를 *Ophiura sarsi vadicola*로 인정해야 한다는 중국학자들의 구체적인 분류학적 연구 결과는 없으나 중국의 저서 생물 생태학자들이 이를 인정하여 쓰고 있고(劉, 1990), 이를 확인하기 위하여 1995년 7월 중국과학원 해양연구소를 방문 거미불가사리의 분류를 전공하는 Y. Liao 교수를 접촉한 결과 그도 역시 황해산과 우리나라의 동해산은 형태적 차이가 없으며, 이전의 황해산 *Ophiura sarsi*는 *Ophiura sarsi vadicola*로 본다는 의견을 분명하게 제시하였다.

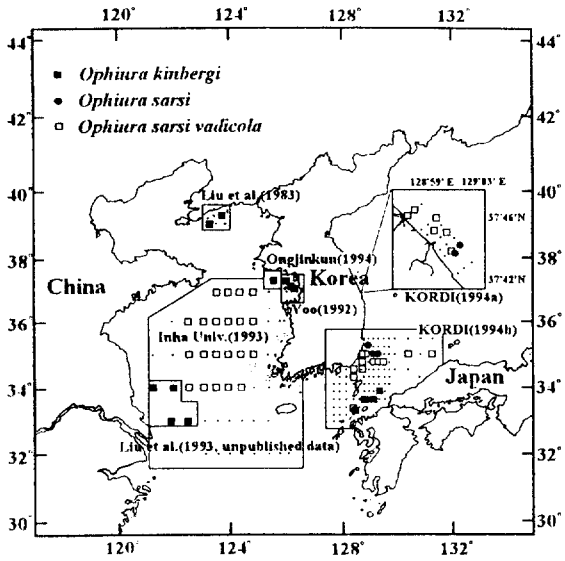

Fig. 1. Comparisons of mean and ranges in various environmental factors among *O. kinbergi*, *O. sarsi*, *O. sarsi vadicola*, and absences; (a) Yellow Sea and (b) Southeast Sea of Korea.

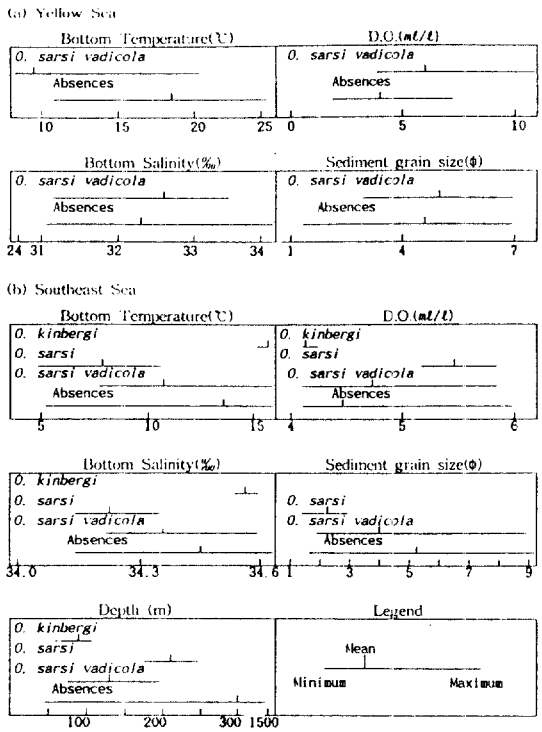

Fig. 2. Comparisons of mean and ranges in various environmental factors among *O. kinbergi*, *O. sarsi*, *O. sarsi vadicola* and absences; (a) Yellow Sea and (b) Southeast Sea of Korea

에서는 본 연구의 분석에 이용된 모든 자료들이 동일한 환경 변수들을 측정하지 않았고, 또한 일부 조사에서 결손값이 발생한 관계로 이들 3종의 분포에 유의한 설명력을 갖는 환경 요소들을 추출하기 위하여 해역에 따라 가능한 5가지의 비교 조합(Yellow Sea-1. *Ophiura sarsi vadicola*-Absences, Southeast Sea-2. *Ophiura kinbergi-Ophiura sarsi-Ophiura sarsi vadicola*-Absences, 3. *Ophiura kinbergi-Ophiura sarsi-Ophiura sarsi vadicola*, 4. *Ophiura sarsi-Ophiura sarsi vadicola*-Absences, 5. *Ophiura sarsi-Ophiura sarsi vadicola*)을 만들어 매 조합마다 분석을 수행하였다. 그리고 이때 추출된 각 변수의 유의성은 ASCC(Average Squared Canonical Correlation, 선택된 변수에 대한 그룹들의 평균이 같다는 귀무가설을 검정하는 다변수 통계량인 Pillai's trace와 관련된 것이며, 그룹의 분리 정도가 높을수록 1에 가깝다)를 측정, Pillai's trace와 관련된 F-통계량으로 검정하였으며, 유의 수준은 95%($p<0.05$)로 하였다(SAS, 1987). 최종적으로 집단간(*Ophiura kinbergi-Ophiura sarsi-Ophiura sarsi vadicola*-Absences)의 분포에 유의한 설명력을 갖는 변수는 단계적 판별 분석의 결과와 피어슨 상관 계수 그리고 환경 요인별 집단의 분포 형태(Fig. 2) 등을 관찰한 후 선정하였다.

서식처 지위에 관한 분석에서는, 우선 모형의 신뢰성 여부가 자료의 양에 따라 판가름나므로, 비교적 자료가 풍부하여 출현 빈도에서 약 75%의 비중을 차지하는 *O. sarsi vadicola*를 중심으로 분석하였으며, 나머지 두 종(*O. kinbergi*와 *O. sarsi*)과의 비교에서는 동일한 차원의 공간에서의 산포 형태만으로 관찰하였다. *O. sarsi vadicola*의 출현 자료(Occurrence data)로부터 이 종의 모집단에 관한 정보의 추정과 각 환경 요인에 따라 분포 양상을 예측하고, 일정 확률을 threshold로 간주하여 그 확률에서의 분포 형태를 관찰, 이러한 패턴의 종간 차이의 존재 유무를 규명하기 위하여 범주형 자료 분석(PROC CATMOD)의 가우스 로지트 회귀분석(Gaussian logit regression analysis)을 수행하였다. 가우스 로지트 회귀 모형을 이용한 서식처의 특징화(habitat characterization)는 대체로 1변량 또는 2변량의 공간에서 선형 또는 표면의 형태에 따라 해석한다(Jongman *et al.*, 1987). 본 분석에서도 그러한 방법을 취하고 있으나, 결과에서

와 같이 3개의 변량이 선택되었을 때에는 이를 동시에 고려한 부피의 차원에서 결과를 제시하고, 해석하는 것이 바람직하다고 판단되어 여러 개의 변수를 동시에 모두 고려하는 joint approach에 의한 분석을 실시하였다. 그러나, 자료의 개수가 부족한 관계로 수렴이 되지 않아 무한(infinite)으로 간주되는 모수(parameters)들이 나타났으며, 이는 많은 수의 교호작용(interaction) 항을 포함하는 일부 2변량 적용 모형의 경우에도 마찬가지였다. 본 연구에서는 수 차례의 진단 과정(diagnostic procedures)으로부터 2변량의 조합(수온×염분, 수온×수심, 염분×수심)과 1변량 경우에서의 유의한 모형을 제시하였다. 각 조합마다 포화 모형(saturated model)으로부터 출발하여 null parameters 또는 nonsignificants를 제거하는 방식으로 모형을 진단하였다. 이때, 모수의 추정 방법으로는 최대우도 추정법(maximum likelihood estimation method)을 이용하였고, 카이제곱 분포에서 계산되는 p-값으로 유의성을 검정하였다(허, 1989). 모형의 선정 기준으로는 추정된 계수의 유의성뿐만 아니라, 모형이 나타내는 경향과 실제 자료간의 일치하는 정도의 주관적 관찰 결과와 모수 절약의 원칙(the principle of parsimony) 등을 고려하였다.

결 과

1. 한국산 빗살거미불가사리류의 분포를 결정하는 무기 환경 요인: 저층수의 수온, 염분도, 수심

Table 1은 *Ophiura*속 3종의 분포를 지배하는 환경 요인을 추출하기 위하여 단계적 판별 분석을 수행하고, ASCC(Average squared canonical correlation)와 F-통계량을 이용하여 추출된 각 변수의 유의성을 검정한 결과이다. 우선, 7가지 환경 요소, 즉 수심, 저층 수온, 저층 염분도, 밀도, 저층 용존 산소량, 평균 입도, 그리고 분급도 등의 비교가 가능한 조합으로부터 *O. sarsi vadicola*의 출현 양상과 관련한 변수를 추출할 수 있었는데, 이들은 각각 저층 수온($p<0.0001$)과 저층 용존산소량($p<0.0001$) 등인 것으로 나타났다(Table 1의 (a)). 한편, 남해의 경우에는 수심, 저층 수온, 저층 염분도, 그리고 저층 용존 산소량 등 4가지 환경 요소를 이용하여 3종의 출현 양상과 이들이 모두 출현하지 않은 곳을 비교할 수 있었는데, 이 때에는 저층 염분도($p<0.0001$)와 수심($p<0.0001$), 그리고 저층 용존 산소량($p<0.0001$) 등이 유의한 환경 요소로 선택되었다(Table 1의 (b)).

이들 3종간의 서식처에 대한 환경의 차이를 알아보기 위한 조합에서는 역시 4가지 동일한 환경 요소가 비교 가능하였으며, 이 때에는 저층 수온($p=0.0002$)과 수심($p<0.0001$) 등이 매우 유의한 것으로 나타났다(Table 1의 (c)). 환경 요소 중 평균 입도가 포함되었을 때에 비교 가능한 종은 각각 *O. sarsi*와 *O. sarsi vadicola*이었으며, 이 때 이들 종이 모두 출현하지 않은 곳을 포함시켰을 경우에는 저층 염분도($p=0.0022$)와 수심($p<0.0001$), 그리고 평균 입도($p<0.0001$)가 유의한 것으로 선택되었고(Table 1의 (d)), 이를 포함시키지 않은 경우에는 수심($p=0.0485$)과 저층 수온($p=0.0234$)이 유의한 변수로 선택되어진 것으로 나타났다(Table 1의 (e)).

따라서, 이상의 결과로부터 일차적으로 이들 3종의 분포를 설명하는 변수들로는 수심, 저층 수온과 용존 산소, 염분도, 그리고 평균 입도 등이 가능한 것으로 나타났다. 이들 변수들을 가시적으로 관찰하기 위하여 종별 및 해역별로 제시한 그림이 Fig. 2이며, 각 변수의 평균값과 최소, 최대값을 나타내었다. 우선, 상부의 황해 자료에 관한 그림을 보면, 유의한 평균의 차이를 나타내는 변수들은 저층 수온과 용존 산소임을 알 수 있다(Fig. 2의 (a)). 그러나, 황해에서의 이들 2가지 변수들은 비록 약하긴 하나 유의한 상관관계($r=-0.44397$, $p=0.0011$)를 갖는 것으로 나타났다. 한편, 남동해역에서는 저층 수온과 용존 산소의 변수들이 매우 유의한 상관관계($r=-0.90964$, $p<0.0001$)를 갖는 것으로 나타났고, 단계적 판별 분석으로부터 선택된 변수들 가운데 저층 수온이 3 종간 뚜렷한 차이를 갖는 것으로 나타났으며, 그 밖에 저층 염분도 그리고 수심이 매우 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 2의 (b)). 결론적으로, 현재까지의 변수 추출 과정을 종합해 볼 때, 이들 3 종의 분포를 설명할 수 있는 환경 요인으로는 저층수의 수온과 염분도 그리고 수심을 들 수 있다.

2. 빗살거미불가사리 3종의 분포와 환경 요인과의 관계

이들 3종의 분포 양상을 앞서의 분석에서 추출된 변수의 공간 위에서 관찰한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 우선, Fig. 3의 *O. sarsi vadicola*의 수온 분포 범위에서, 20.24°C의 이상치로 간주할 정도의 높은 온도가 측정되었는데, 이는 인하대학교(1993)의 정

Table 1. The result of stepwise discriminant analysis. Multivariate discrimination was made among *O. kinbergi, O. sarsi, O. sarsi vadicola* and absences

(a) Yellow Sea-(*Ophiura sarsi vadicola*-Absences)

Variables	Selected Variables	Significance of Average Squared Canonical Correlation
Depth(m)	Bottom temperature	p<0.0001
Bottom temperature(°C)	Bottom D.O.	p<0.0001
Bottom salinity(‰)		
Bottom water density(σ-t)		
Bottom D.O. (m*l*/*l*)		
Sediment grain size(ϕ)		
Sediment sorting Coeeff.		

(b) Southeast Sea-(*Ophiura kinbergi-Ophiura sarsi-Ophiura sarsi vadicola*-Absences)

Variables	Selected Variables	Significance of Average Squared Canonical Correlation
Depth(m)	Bottom salinity	p<0.0001
Bottom temperature(°C)	Depth	p<0.0001
Bottom salinity(‰)	Bottom D.O.	p<0.0001
Bottom D.O. (m*l*/*l*)		

(c) Sohtheast Sea-(*Ophiura kinbergi-Ophiura sarsi-Ophiura sarsi vadicola*)

Variables	Selected Variables	Significance of Average Squared Canonical Correlation
Depth(m)	Bottom salinity	p=0.0002
Bottom temperature(°C)	Depth	p<0.0001
Bottom salinity(‰)		
Bottom D.O. (m*l*/*l*)		

(d) Southeast Sea-(*Ophiura sarsi-Ophiura sarsi vadicola*-Absences)

Variables	Selected Variables	Significance of Average Squared Canonical Correlation
Depth(m)	Bottom salinity	p=0.0022
Bottom temperature(°C)	Depth	p<0.0001
Bottom salinity(‰)	Sediment grain size	p<0.0001
Bottom D.O. (m*l*/*l*)		
Sediment grain size(ϕ)		

(e) Southeast Sea-(*Ophiura sarsi-Ophiura sarsi vadicola*)

Variables	Selected Variables	Significance of Average Squared Canonical Correlation
Depth(m)	Depth	p=0.0485
Bottom temperature(°C)	Bottom temperature	p=0.0234
Bottom salinity(‰)		
Bottom D.O. (m*l*/*l*)		
Sediment grain size(ϕ)		

점 E-09이며, 수온 구배가 수심 38 m의 천해임에도 불구하고 매우 급격한 곳으로 나타나, 이곳이 황해 저층 냉수괴의 가장자리에 해당하는 것으로 생각할 수 있었다. 황해 저층 냉수괴의 규모가 계절적으로 수축, 팽창함을 고려해 볼 때, 그 부근을 냉수괴와 연안역 간의 점이지역으로 간주할 수 있고, 따라서, 해당 수온에서 *O. sarsi vadicola*가 채집된 것은 가능한 일이라 생각할 수 있다. 이 관찰값은 차후의 서식처

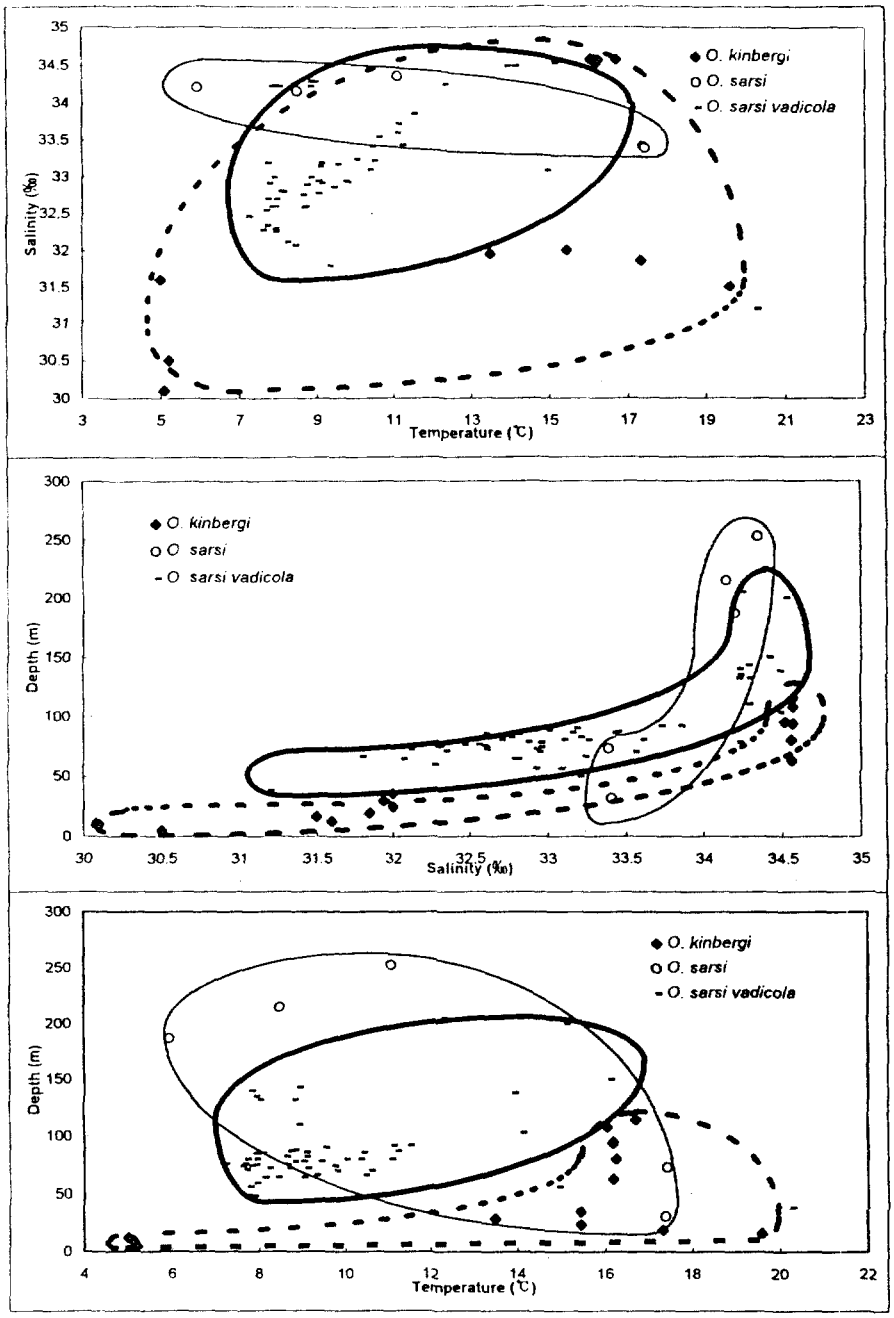

Fig. 3. Distribution patterns of *O. kinbergi*, *O. sarsi* and *O. sarsi vadicola* on the 2-dimensional space of environmental variables

지위 분석에 포함을 시켜 분석을 수행하였다.

염분도와 수온의 공간 위에 *Ophiura*속 3종의 산포도를 나타낸 Fig. 3의 상부의 그림을 보면, 대체로, *O. kinbergi*가 3종 중에서 가장 넓은 광온성(5~20℃)과 광염성(30~34.5‰)의 분포 특성을 나타내었으며, 반면, *O. sarsi*가 *O. kinbergi*와 유사한 정도의 광온성

Table 2. The results of F- and t-tests for the distribution pattern of *O. kinbergi*, *O. sarsi* and *O. sarsi vadicola*

Species	Mean ± S.D. Bottom water temperature(°C)	Bottom water Salinity(‰)	Depth(m)
O. kinbergi	13.87±4.92	32.77±1.69	50.36±40.33
O. sarsi	12.07±5.20	33.90±0.46	151.80±95.23
O. sarsi vadicola	9.80±2.67	33.18±0.80	88.57±33.22
	F-test of variances ($\sigma_a^2=\sigma_b^2$)		
Species	Bottom water temperature(°C)	Bottom water Salinity(‰)	Depth(m)
O. kinbergi-O. sarsi	0.7813	0.0227*	0.0155*
O. sarsi-O. sarsi vadicola	0.0172*	0.3048	0.0001*
O. kinbergi-O. sarsi	0.0015*	0.0001*	0.3142
	t-test of variance ($\mu_a<\mu_b$ or $\mu_a>\mu_b$)		
Species	Bottom water temperature(°C)	Bottom water Salinity(‰)	Depth(m)
O. kinbergi-O. sarsi	0.2497	0.0186*	0.0373*
O. sarsi-O. sarsi vadicola	0.1930	0.0253*	0.1062
O. kinbergi-O. sarsi	0.0046*	0.1976	0.0002*

* denotes the significant p-values($p<0.05$).

Table 3. Indentified Gaussian multiple logit model equations with estimated parameters and p-values, based on the presence-absence data of *O. sarsi vadicola*. Parameters were estimated by maximum likelihood estimation method and significances were tested by χ_2 statistics(T=Bottom water temperature °C; S=Bottom water salinity ‰; D=Depth m)

$\log_e[p/(1-p)]=2.9872-0.0500\times D+0.000237\times D^2$
(p=0.0002) (p=0.0050) (p=0.0104)

$\log_e[p/(1-p)]=5.8177-1.3978\times T+0.0767\times T^2$
(p=0.0215) (p=0.0041) (p=0.0005)

$\log_e[p/(1-p)]=1346.2-81.5130\times S+1.2335\times S^2$
(p<0.0001) (p<0.0001) (p<0.0001)

$\log_e[p/(1-p)]=1090.2+0.0122\times T^2-66.1504\times S+1.0015\times S^2$
(p=0.0006) (p<0.0001) (p=0.0006) (p=0.0005)

$\log_e[p/(1-p)]=-2.3460+0.0371\times T^2+0.0001760\times D^2$
(p<0.0001) (p<0.0001) (p=0.0081)
$-0.0394\times TD$
(p=0.0069)

$\log_e[p/(1-p)]=70.0324-1.8871\times S-1.9457\times D$
(p<0.0001) (p=0.0054) (p<0.0001)
$+0.000179\times D^2+0.0550\times SD$
(p=0.1071) (p<0.0001)

(5~17 °C)과 협염성(33.5~34.5‰)의 분포 특성을 나타내었고, *O. sarsi vadicola*가 협온성(7~16°C)과 나머지 두 종의 중간 정도에 해당하는 염분도 범위(31.8~34.5‰)의 분포 특성을 나타내었다. 가운데 그림은 염분도와 수심의 공간에 나타낸 것인데, 수심에 따라서 *O. kinbergi*가 5~115 m, *O. sarsi*가 31~253 m 그리고 *O. sarsi vadicola*가 38~205 m의 분포 범위를 나타내어 그 양상이 뚜렷이 구분되어짐을 알 수 있다. 역시, 아래 그림에서도 수심과 수온의 범위에 따라서 3종의 분포 범위가 명확한 차이를 갖고 있는 것으로 나타났다. 이러한 분포 양상을 보다 정량적으로 파악하기 위하여 각 종의 평균과 편차 그리고 유의성을 Table 2에 나타내었다. 우선, 저층수의 온도에 대하여는 *O. sarsi vadicola*가 가장 좁은 분포범위(9.80±2.67 °C)를 갖는 것으로 나타났고, *O. kinbergi*와 *O. sarsi*의 경우에는 평균과 편차가 차이 없는 것으로 나타났다(*O. kinbergi*는 13.87±4.92°C, *O. sarsi*가 12.07±5.20°C). 염분도의 경우에는 *O. sarsi*가 가장 높은 평균치에 가장 좁은 편차(33.90±0.46‰)를 나타내어 고염의 협염성 종인 것으로 판단할 수 있었다. 반면, *O. kinbergi*는 다른 2종들과는 유의하게 구분되는 크기의 편차(32.77±1.69‰)를 갖는 것으로 나타나, 앞서 서술한 바와 마찬가지로 광염성의 특징을 가짐을 알 수 있다. 한편, 수심의 경우에서는 *O. sarsi*가 가장 넓은 분산을 나타내어 분포 폭의 넓음(약 152±95 m)이 나머지 2종과 뚜렷하게 구분되었으며, 평균치에 있어서는 *O. kinbergi*가 가장 낮은 것(약 50±40 m)으로 나타나 역시 *O. sarsi*와 *O. sarsi vadicola*에 비해 천해에 그 분포 범위가 국한되어 있음을 알 수 있었다.

3. 가우스 로지트 모형과 빗살거미붙가사리 3종의 서식처 지위

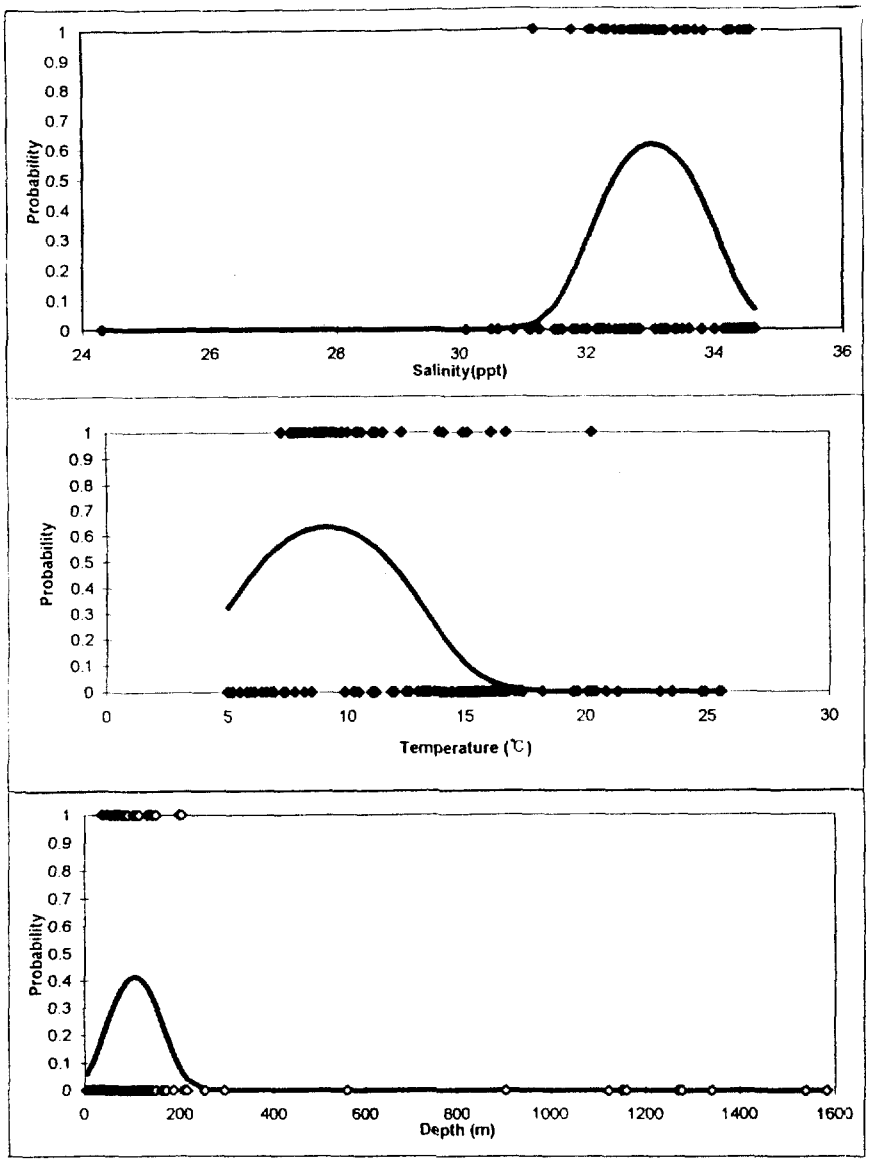

Fig. 4. Gaussian logit curves of probability of occurrence of *O. sarsi vadicola* against salinity(upper), temperature (middle) and depth(lower) in Korean waters

최종적으로 진단된 가우스 로지트 모형의 추정된 모수와 그 유의성을 Table 3에 제시하였다. 염분(S)과 수심(D) 간 모형에서의 D^2 항만을 제외하고는 대부분 99%의 신뢰 수준에서 유의함을 보였다. 저자 등은 유일하게 유의하지 않은 것으로 나타난 D^2 항 ($p=0.1071$)을 유의 수준에 접근한 것으로 보았으며, 대체로 모형 전체가 경향성을 잘 반영하고 있는 것으로 간주하였다. 이를 바탕으로 *O. sarsi vadicola*의 추정된 출현 확률의 분포 양상을 나타낸 그림이 Fig. 4와 5이다.

먼저, Fig. 4에서 일변량의 결과를 보면, 전반적으로 *O. sarsi vadicola*의 존재 가능성을 나타내는 확률이 약 40~60%의 낮은 값을 나타내고 있다. 염분도의 경우에는 약 33‰의 범위에서 확률값이 가장 높은 적정 서식처가 되어짐을 알 수 있으며, 수온의 경우에는 약 8°C 부근에서 적정 서식처 범위가 나타나고

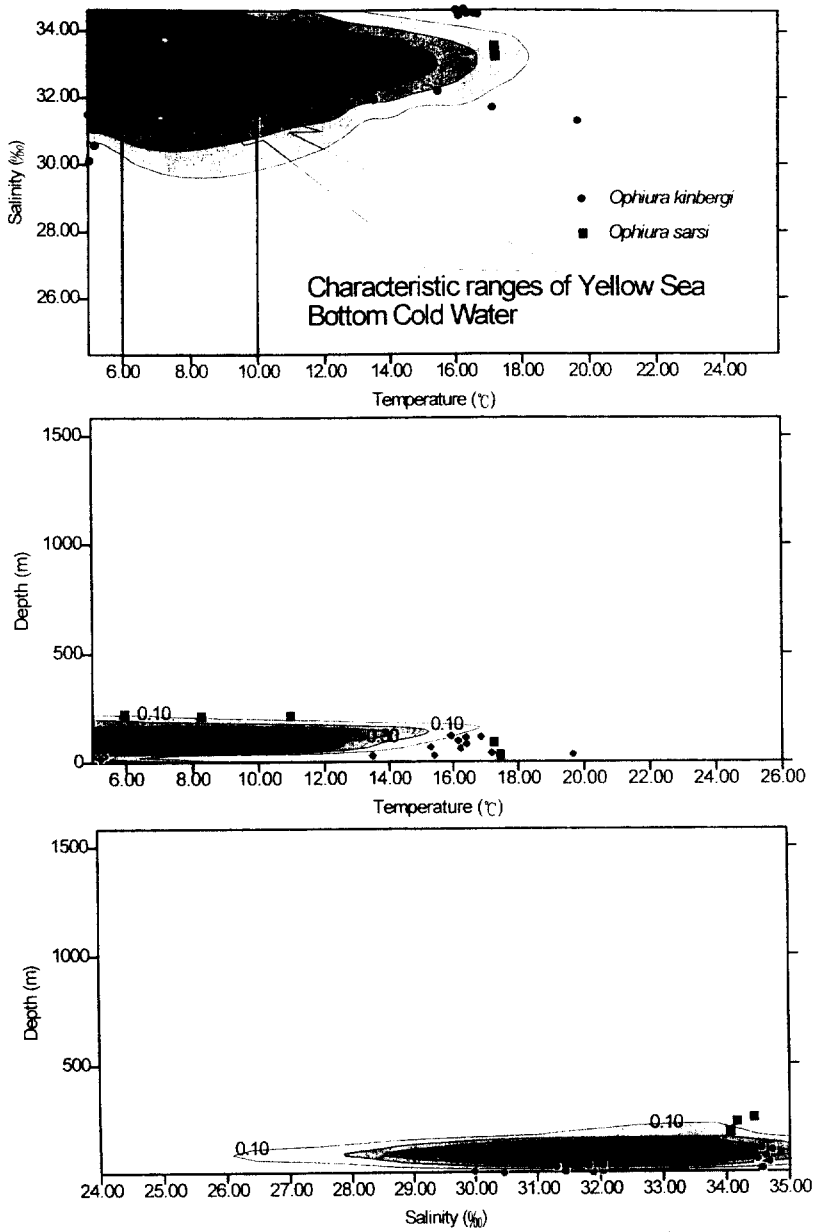

Fig. 5. Gaussian logit surface of *O. sarsi vadicola* against salinity temperature (upper). depth temperature (middle) and depth-salinity (lower). In addition, habitats of *O. kinbergi* (filled circle) and *O. sarsi*(filled square) were marked.

있다. 그러나, 수심의 경우에는 다소 낮은 수치인 50% 미만의 확률값이 나타나고 있으며, 적정 서식처는 100 m 정도인 것으로 나타나고 있다. 적정 범위를 중심으로 바로 인접한 그 상하양단에 부재(absence)의 값이 나타난 이유는 이 종의 서식처 선택이 다분히 한가지 요소로부터 만이 아닌 복합적 요인간 상호작용(multiple factor interaction)의 영향을 받고 있음을 나타내는 것이며, 이는 일변량으로 설정된 모형이 공통적으로 다소 낮은 확률값을 나타낸 이유와 같다.

Fig. 5는 2차원의 환경 변수 공간 위에 *O. sarsi vadicola*의 존재 확률을 나타낸 것인데, 모두 70% 이

상의 존재 가능성을 예측하는 것으로 나타났다. 우선, 저층 염분도와 수온의 공간 위에서 약 70% 이상의 확률값이 나타난 곳이 6~10°C의 수온 범위와 32.0~33.5‰의 염분도 범위 이내였는데, 이는 황해저층냉수괴(Yellow Sea Bottom Cold Water)의 특성과 잘 일치하는 것이다. 여기에서 이를 *O. sarsi vadicola*의 적정 서식처 범위로 간주한다면, *O. kinbergi*와 *O. sarsi*가 출현한 장소는 *O. sarsi vadicola*의 적정 범위밖에 해당하는 것임을 알 수 있다. 수심과 수온의 관계에서는 수심 약 50 m 이상과 300 m 이하에서 낮은 확률을 나타내고 있으며, 따라서, 이 종이 수심에 대해서도 예민한 경계를 형성하고 있음을 알 수 있다. 이 두 가지 환경 요소의 공간에서도 나머지 2종이 출현한 서식처는 적정 범위 밖에 위치하고 있는 것으로 나타났다. 한편, 수심과 염분도의 공간에서는 32~33‰과 100~200 m 이내에서 높은 확률값을 나타내고 있으며, 나머지 두 종의 서식처는 *O. sarsi vadicola*의 적정 서식처 범위에서 밖으로 벗어나 있음을 알 수 있다. 각각의 조합에 따라 다소 적정 서식처의 범위가 미소한 차이를 나타내는 것은 이들의 서식처의 추정에 3가지 변수를 동시에 고려하는 모형이 필요함을 나타내는 것으로 판단된다.

고 찰

1. 한국산 *Ophiura*속 3종의 분류학적 문제

서양에서는 일찌기 19세기말과 20세기초부터 방대한 규모의 거미불가사리류의 분류 및 분포에 관한 연구를 수행하였다. 이에 관한 대표적인 연구의 예가 Clark(1911)이다. 그는 북위 55°59′과 32°27′ 사이에 걸친 북태평양의 거의 모든 해역에서 출현했던 *Ophiura sarsi*를 북반구의 주요 종으로 보고하였고, 극동 지역에 출현하는 개체들이 다소 형태적인 변이성을 갖고 있음을 관찰하였다. 이러한 관찰은 극동 지역의 거미불가사리류의 분류에 관하여 연구한 Matsumoto(1941)에 의해서도 지적된 바 있다. D'yakonov(1954)도 극동 지역의 변이성을 띠는 개체들을 관찰하였는데, 그는 이 개체들이 *O. sarsi*가 3~3000 m의 수심 범위에 서식하는 것과는 다르게 주로 40~50 m의 부근에서 서식하는 것으로 나타나 이들이 비단 형태적인 차이뿐 만 아니라 서식처의 지위에서도 차이가 있는 것으로 판단하여 *O. sarsi vadicola*라는 아종(亞種)으로 구분하였다.

한편, 한국산 거미불가사리류에 관하여 연구한 신(1984), 신(1989) 등도 *O. sarsi*의 이러한 변이성을 관찰하였다. 그러나, 이들은 변이를 나타내는 형질의 차이가 고위도에서 저위도로 내려오면서 완전히 불연속적으로 변하지 않으므로 이러한 차이가 이들을 하나의 아종으로 독립시킬 수 있을 정도로 고정적이거나 절대적인지는 의문의 여지가 있다고 언급하였다. 따라서, 위의 두 연구 결과들은 일부 외부의 형질에 대한 정성적 관찰만으로 얻어진 것으로 추측된다.

그러나, 최근 유 등(1995)의 수리분류학적 연구에서는 황해에서 문제가 되었던 *O. kinbergi*는 말할 것도 없고, *O. sarsi*와 *O. sarsi vadicola*간의 경우에 있어서도 분포에 있어서의 뚜렷한 이소성과 더불어 완즐의 형태와 완즐 너비의 비율 등의 완즐과 관련된 3개의 변수들과 완즐 사이의 간격, 그리고 폭순의 첨도 등 총 20개의 형질 변수들 중 5개의 형질 변수에서 유의한 차이를 나타내었고, 이를 통하여 총 250개의 운영 분류 단위간에 단 1개의 오분류없이 구분되는 것으로 나타났다. 다만, 유일하게 강릉 주변 해역의 한 정점에서 *O. sarsi*와 *O. sarsi vadicola*의 2종이 출현하였는데, 각 계절별로 채집된 해당 정점의 표본들을 모두 검정한 결과 뒤섞임이 없이 93년 7월의 경우에는 *O. sarsi vadicola*가, 10월의 경우에는 O. sarsi가 각각 채집되어 계절적으로 분리되어 있는 것으로 나타났다. 또한, 비교적 지리적으로 인접한 동해 남부 역시 수온, 염분도 그리고 용존 산소 등의 무기환경 요인 등에서 구배가 형성되어 있는 해역이다(해양연구소, 1994b). 따라서, 유 등(1995)의 연구에서는 형질의 연속성 등은 찾아볼 수 없었으며, 특히 본 연구에서 제시된 바와 같이 *O. sarsi*와 *O. sarsi vadicola*간에서 나타난 뚜렷한 서식처 지위의 차이를 고려해 볼 때, 이들을 독립된 분류 단위로 구분해야 할 것으로 생각한다.

2. 한반도 주변 해역에서의 이들 3종의 분포와 저층 수온, 염분도, 수심 등의 환경요인과 관련한 서식처 지위

해산 저서 동물의 생물 지리적 분포의 연구에서는 퇴적상과 수온이 무엇보다도 중요한 요인인 것으로 받아들여지고 있다. 최근, Grebmeier *et al.*(1989)의 연구에 의하면, 북부 Bering해 및 Chukchi해의 대륙붕에 서식하는 저서 동물상의 분포는 퇴적상과 수온이 중요한 것으로 나타난 반면, 아르헨티나 대륙붕의

저서 동물 군집에 관하여 연구한 Bastida *et al.*(1992)의 결과에서는 각기 다른 온도와 기초 생산력의 특성을 갖는 해류의 영향, 즉 수온에 따라 군집의 특성(생물상과 종조성)이 구분되며, 이는 역시 수심과도 관련있는 것으로 나타났다. 그러나, Bastida *et al.*(1992)은 이 두 가지 환경 요인의 영향력이나 상호작용 등에 관한 설명보다는 대륙붕에서의 저서 동물 군집의 분포 양상과 군집간의 구분되는 생물상과 같은 특징에 초점을 맞추었다.

한편, 한국 근해의 심해산 거미불가사리 군집의 분포에 관하여 연구한 Shin and Koh(1993)의 견해로는 수온이 무엇보다도 중요한 작용을 하며, 수심에 따라서 나타난 생물상의 수직 분포는 이와 밀접한 관련을 갖는 수온 때문인 것으로 보았다. 본 연구 결과가 수적인 출현 양상을 바탕으로 행해진 것이 아니므로 직접적인 비교는 불가능하나, 다음의 3가지 이유에서 Shin and Koh(1993)의 결과와는 다른 해석을 해 볼 수도 있다. (1) 만약 수온과 수심이 동일한 설명력을 갖는다면, 본 연구 결과 중 수심과 수온의 공간에서 이들 3종들이 비례 관계의 선형에 가까운 산포 형태를 보여야하나 그 형태가 그러한 것으로 보기에는 어려운 것으로 나타났고, (2) 수심과 염분도의 차원에서 나타난 바와 마찬가지로 오히려 나머지 2가지 환경 요인, 즉, 저층 수온과 염분도와는 다르게 뚜렷이 구분되는 산포 형태를 나타내었으며, (3) 만약 수심과 수온이 동일한 설명력을 갖는다면 집단간 판별분석의 결과에서 무엇보다도 먼저 제외가 되었을 것이나, 2가지 변수 모두 *O. kinbergi-O. sarsi-O. sarsi vadicola*간의 집단 비교와 *O. sarsi-O. sarsi vadicola* 간의 비교에서 동시에 유의한 변수로 선택되었다는 점 등이다. 이상의 내용으로부터 수심과 수온은 서로 다른 설명력을 갖는다고 생각할 수 있다(Fig. 3과 Table 1).

*O. sarsi*는 북태평양의 주요 저서 동물종으로 알려져 있으며, 최근의 연구에 의하면, 태평양과 인접한 일본 북부에서도 200~600 m의 수심과 수평적으로 약 10 Km의 범위에 걸친 서식처에서 매우 높은 밀도의 균일 분포를 하는 것으로 알려져 있다(Fujita and Ohta, 1989). Fujita and Ohta(1990)는 일본의 북부 심해저 해역에서 살시빗살거미불가사리(*Ophiura sarsi*) 개체군의 밀도와 크기 구조에 관한 연구에서 이 종의 밀집 분포를 결정하는 환경 요인은 아마도 수온, 수력학적 조건, 먹이의 유입 등이 될 수 있을 것으로 추정하였다. 또한, 이들이 가장 높은 밀도로 분포하는 수심 200~600 m되는 곳의 환경요인을 보면, 퇴적물의 입도는 very fine sand로 되어 있고, 저층 수온은 2.5~4.0°C로 연중 거의 일정한 것으로 나타났다. 일반적으로 30~수백 개체/m²을 보이며, 수심 증가에 따른 밀도 분포는 324 m 부근에서 1,824개체/m²으로 최대값을 보인다고 한다. 크기-빈도 분포는 다봉형(polymodal)이며, 수심이 200~600 m의 해저 퇴적물은 거의 이 종류의 단일종으로 덮여 있다고 보고하였다. 한편, Shin and Koh(1993)의 결과에서도 이 종은 수심 49 m에서 2,000 m까지 분포하는 것으로 나타나고 있고, 본 연구에서도 *O. kinbergi*와 *O. sarsi vadicola*와는 뚜렷하게 구분되는 광수심성(eurybathic)의 특성을 갖는 종으로 볼 수 있다(Fig. 3과 Table 2). 한편, 劉와 徐(1963) 및 Liu *et al.*(1983)에 의하면 *O. sarsi vadicola*(당시는 *O. sarsi*로 보고되었음.)는 협염성 북온대종으로서 장소에 따라서 95개체/m²의 고밀도로 분포하며, 남으로는 북위 33°를 넘지 않고, 북으로는 발해만 입구까지에 이르는 대체로 황해저층냉수괴의 분포 범위와 일치한다고 하였다. 그러나, 이는 연안이 저염의 특성을 가지며, 중앙부가 상대적으로 높은 염분도의 특성을 갖는 황해 내에서의 비교만으로 얻어진 추측이라 생각되며, 이들의 서식처가 고염의 남동해나 강릉까지 이어짐을 생각해 볼 때에는 *O. kinbergi*보다는 좁으나, *O. sarsi*보다는 넓은 염분도 범위의 분포 특성을 갖는다고 할 수 있다.

본 연구의 결과에서는 *Ophiura*속의 3종 중 *O. sarsi*와 *O. sarsi vadicola*의 분포는 퇴적상과 관련지울 수 없는 것으로 나타났는데, *O. sarsi vadicola*의 경우에는 Fig. 1에서 다양한 퇴적상이 나타나는 황해 중심부에서 원형상의 분포 형태를 갖는 데서도 알 수 있다. 신(1989)은 *O. sarsi*가 퇴적 환경과 관련하여 퇴적물의 특성에 따른 출현 여부가 크게 제한되지 않음으로 그 적응 능력이 탁월하다고 언급하였다. 그는 *O. sarsi*가 주로 포식성이긴 하나 퇴적물 속의 유기 부니질도 섭취하는 잡식성 동물이기 때문인 것으로 볼 수 있다고 하였다. 그러나, *O. kinbergi*의 경우에는 연안에서 봄, 가을 모두 사질의 퇴적상(사질함량 80~90%)에서 채집되었으며(Yoo, 1992), 이는 Clark(1911)와 Clark and Courtman-Stock(1976) 등의 관찰과도 일치하는 것이다. 따라서, *O. sarsi, O. sarsi vadicola* 등과 *O. kinbergi*간의 서식처 지위의 차이

규명에 퇴적물의 축을 삽입하면, 보다 뚜렷하게 구분될 것임이 명백해진다.

평균 입도의 경우에는 황해의 자료 분석 결과와는 달리 남동해역의 결과에서 집단간 유의성을 갖는 것으로 나타났는데, 이는 Fig. 2의 결과로 보아 *O. sarsi*가 *O. sarsi vadicola*에 비해 비교적 조립한 곳에서 서식하는 것으로 나타났기 때문인 것으로 추측된다. 그러나, 이는 판별 분석에서 두 종이 모두 나타나지 않은 72 개의 정점이 포함되어 평균 입도를 비교할 수 있는 3개의 정점만이 포함된 *O. sarsi*와의 차이가 뚜렷해진 때문인 것으로도 생각해 볼 수 있다. *O. sarsi*의 경우에는 동해 및 북태평양 수심 600 m 이하의 매우 세립한 퇴적상에서도 발견되는 것으로 알려져 있고(Clark, 1911), 또한, Shin and Koh(1993)의 결과에서도 *O. sarsi*의 분포가 퇴적상과는 거의 무관한 것으로 나타났다. 이러한 점 등에서 남동해역의 경우에 있어서의 퇴적상이 유의한 변수로 선택된 것은 무시하는 것이 보다 타당한 것이라고 할 수 있으나, 이에 관련한 보다 구체적인 연구가 필요함을 보여주는 것이라고 생각된다.

한편, 저층수의 용존 산소의 경우에는 황해에서의 경우를 제외하면(그러나, 황해의 경우에도 역시, 유의한 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다($r=-0.44397$, $p=0.0011$)), 저층수의 수온과 높은 상관관계($r=-0.90964$, $p<0.0001$)를 갖는 것으로 나타나 판별 분석 과정에서 다중공선성의 문제(multi-collinearity problem)로 인해 두 가지 변수가 동시에 선택되지 않는 것으로 나타났으며, 황해와 동남 해역의 자료를 병합하였을 때에도 역시 유의한 상관관계($r=-0.49939$, $p<0.0001$)가 존재하는 것으로 나타났다. 이로부터 이 두 가지 변수들이 동일한 설명력을 갖고 있는 것으로 판단하여 이 중 저층수의 수온을 주요 환경 요소로 택하였다.

생태적 특징을 규정짓는 부분에 있어서도 다소 수정되어야 할 내용이 제안되었다. 현재까지 *O. kinbergi*는 인도-태평양종(Indo-Pacific species)으로 이 해역은 물론이며, 호주의 시드니나 남아프리카 등지에서 서식하고(Clark and Courtman-Stock, 1976), Matsumoto(1941)에 의해 북반구에서의 북방 한계가 정해지는 등, 주로 저위도의 온수성종(한국해양연구소, 1987), 열대종(신, 1984)인 것으로 설명되고 있다. 그러나, 본 연구 결과에 의하면 *O. kinbergi*는 그 분포가 수심에 따라 제한되며, 주로 연안에서 서식하고, 따라서 나머지 2종에 비해 더 넓은 변동폭의 수온 환경을 겪는 것으로 나타났다. 이는 북위 약 40°의 북황해 연안에서도 서식하고 있는 것으로 보고한 Liu *et al.*(1983)의 연구를 통하여도 알 수 있다. 한편, Clark(1911)에 의하면 *O. sarsi*의 분포를 설명하는 데에는 온도가 2차적인 요인에 그칠 정도로 넓은 온도 분포범위를 갖는다고 하였는데 본 연구에서는 *O. kinbergi*가 이와 유사한 정도의 넓은 편차를 갖는 것으로 나타났다(Table 2). 이상의 두가지 사항으로부터 *O. kinbergi*는 광온성 종으로 규정짓는 것이 보다 타당하며(Fig. 3), 또한 이 종의 분포의 북방 한계선에 관하여도 좀 더 연구해 볼 필요가 있다.

서식처 지위의 차이에 관한 정량적 연구는 Green (1971, 1972)과 비교적 최근의 Flint and Rabalais (1980) 그리고 Flint and Kalke(1986) 등이 있으며, 이들은 모두 Hutchinson(1957)이 제안한 N-dimensional hypervolume의 개념에서 한 단계 발전한 보다 실용적이고, 효율적인 도구인 다변량 판별 분석(Multivariate discriminant analysis) 방법을 이용하였다. 방법적인 측면에서는 이들의 것과 크게 다를 바 없으며, 이는 본 연구에서 제시된 환경 요소가 판별 분석의 모형을 최적화하는 데에 적합한 변수를 선정할 수 있도록 하여 주는 단계적 판별 분석 과정으로부터 추출된 것이기 때문이다. 저서 동물을 대상으로 한 그들의 연구 결과에서는 계절성(저층 수온)과 퇴적상 등의 무기 환경 인자도 중요하나 무엇보다도 종간 지위의 분화에는 먹이 획득 방법 등의 영양 관계(trophic relationship)가 중요함을 공통적으로 서술하였다. 특히, Flint and Kalke(1986)는 비교적 협소한 지리적 규모의 기수 지역에서도 우점종간은 물론이며, 형태적 또는 기능적으로 유사한 분류군 간에 더욱 현저한 지위의 차이가 나타났음을 보고하였다. 그러나, 이러한 현상을 좁은 공간 내에서는 자원 분배를 통한 경쟁적 배제(competitive exclusion)의 회피를 위한 것이라 해석할 수도 있으나, 본 연구와 같은 방대한 지리적 규모로부터의 결과 해석에 접목시키는 것은 다소 무리라 생각하며, 경쟁을 조절하기 위한 생태적 그리고 진화적인 조정(ecological and evolutionary adjustment) 등의 가능한 요인을 고려하여 해석해야 할 것이다.

Fujita and Ohta(1990)는 일본의 심해산 빗살거미불가사리류(*Ophiura*)의 분포에 관한 연구에서 특히 *Ophiura sarsi*와 *O. leptoctenia*의 수심에 따른 분

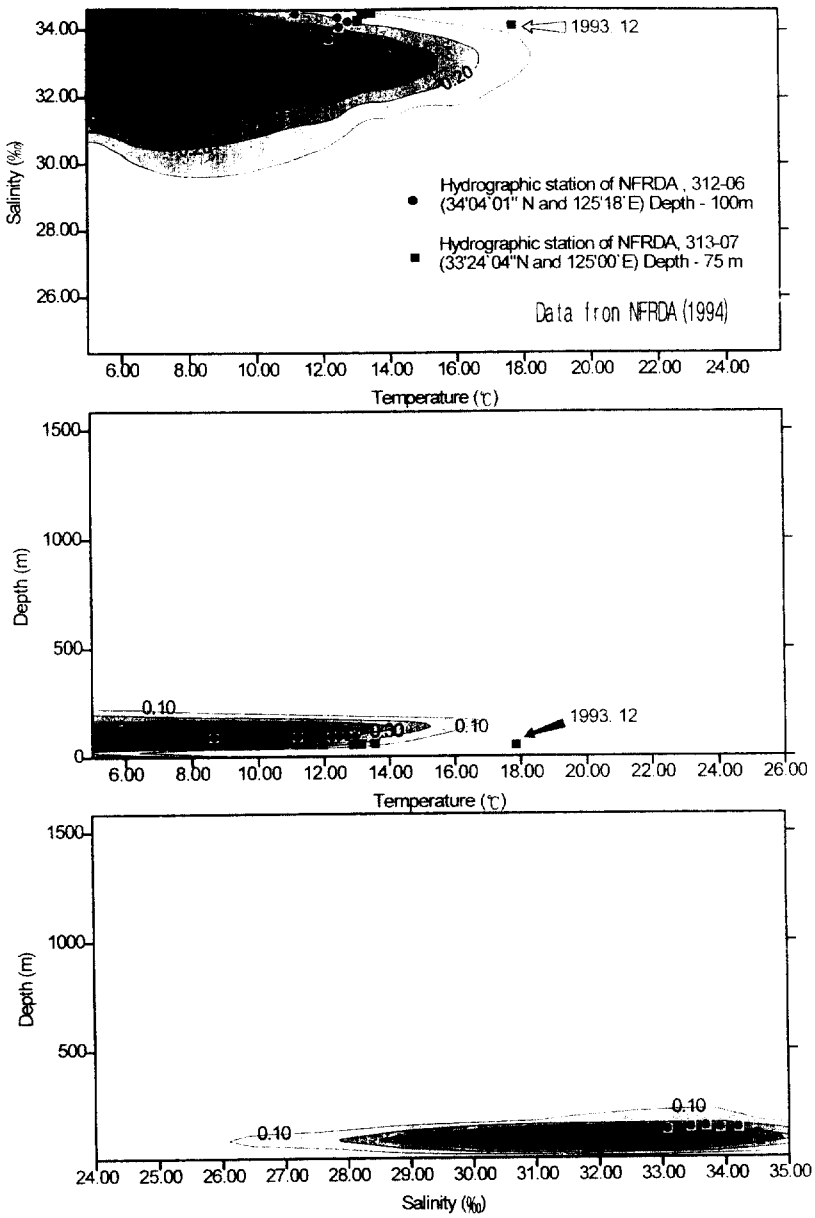

Fig. 6. Hydrographic data of 312-06 (filled circle) and 313-07 (filled square) transect bimonthly observed by National Fisheries Research and Development Agency in 1993 (NFRDA, 1994) were marked on the Gaussian logit surface of *O. sarsi vadicola* against salinity temperature (upper), depth-temperature (middle) and depth-salinity (lower).

포의 중첩을 종간 경쟁의 결과로 해석하였다. 즉, 일본의 동북 연안 Otsuchi 앞바다 심해저에서 조사한 결과를 보면, 살시빗살거미불가사리(*O. sarsi*)는 수심이 증가함에 따라 크기는 증가하며, 그러나 크기 구조(size structure)의 계절 변화는 감소한다고 하였다. *O. sarsi*는 상대적으로 수심이 낮은 200~300 m에서 크기 구조가 심한 계절 변화를 나타내며, 거의 이 종만으로 거미불가사리 군집이 형성되고 있는 이유를 높은 가입(recruitment)에 기인한다고 생각하였으며, 반면 수심이 400 m 이상인 곳에서는 작은 개체

는 거의 발견되지 않고 따라서 가입도 불량하고 또 일정하게 일어나지 않고 있다고 하였다. 한편, 수심이 300 m 이상인 곳에서는 *O. leptoctenia*가 매우 풍부하게 발견되며 상대적으로 *O. sarsi*의 작은 개체들은 거의 없다는 것을 밝혔는데 이는 이들 두 종의 종간 경쟁으로 인한 어린 개체의 높은 사망률 때문일 것으로 추정하였다. 따라서, 이들의 연구 결과는 특히 물리적인 요인만을 바탕으로 하는 심해산 저서생물의 서식처 지위에 관한 추정이 생물 상호간의 관계인 생물적 요인을 감안한 연구 및 그 결과 해석을 필요로 한다는 점을 시사하는 것으로 볼 수 있다.

3. 남황해에 존재하는 생태적 장벽의 실체는 무엇인가?

한반도 주변, 특히 황해와 우리 나라 남해의 저서동물 군집에 관하여 연구를 수행한 Liu *et al.*(1983)과 제(1993)는 동중국해 북부와 황해 남부 사이에 각각 난류종과 한류종의 분포를 가로막는 생태적 장벽이 있다고 하였다. Liu *et al.*(1983)은 이 곳에 별다른 지형적 장벽이 존재하지 않으며, 수온의 구배가 뚜렷하므로, 이는 수온에 의해 형성된 것으로 추측하였다. 한편, 제(1993)는 이 경계가 난·한류종의 경계라기 보다는 저염 해역으로 특징 지워지는 황해와 고염의 대마 난류 수괴권간에 형성되는 염분도의 구배가 가장 큰 제한 요인이 될 수 있을 것으로 보았다.

우리 나라의 남해는 쿠로시오 해류로부터 분지 되어 형성된 대마 난류가 대체로 연중 큰 변동없이 일정하게 흐른다. 겨울에는 강한 북서 계절풍의 영향으로 표층의 황해 중앙부로 침투하는 역풍류가 발생하여 황해 난류를 형성한다(승, 1992). Lie(1985)는 국립수산진흥원의 관측 정점을 이용한 겨울철 남황해의 수온과 염분도 특성에 관한 연구에서, 34‰ 이상의 염분도와 12월에 16℃ 이상 2월에 12℃ 이상, 그리고 4월에 13℃ 이상의 수온 범위를 갖는 수괴를 황해난류수(Hwanghae Warm Current Water)로 명명한 바 있다.

한편, 본 연구에서 분석한 결과로부터 한국산 *Ophiura*속 3종에 대한 적정 서식처 범위에 대해서는 대체로 그 윤곽이 드러한 상태라고 생각할 수 있으며, 따라서 이들의 서식처 범위를 이용하여 이른바 '황해의 생태적 장벽'의 실체를 규명하는 것도 가능할 것으로 판단되었다. 이를 위하여, Liu *et al.*(1983)이 생태적 장벽이 위치하고 있을 것이라는 주장을 제기한 황해 남단 해역, 즉 북위 33°와 34° 사이에 위치하는 국립수산진흥원(1994)의 2개 정선 관측 정점(312-06과 313-07)에 대하여 수심에 대한 격월별 염분도와 수온을 표시하여 보았다(Fig. 6). 그 결과 수심과 염분도의 경우에서는 대체로 서식처의 범위에서 크게 벗어난 것으로 생각할 수 없었으나, 수온과 수심 그리고 염분도와 수온의 공간에서 1993년 12월의 관찰값이 10% 이하의 확률이 나타나는 범위 밖으로 벗어나 것이 관찰되었으며, 이는 수온(약 18℃)에 의한 것으로 판명되었다. 또한, 당시 북위 33°24′의 수산진흥원 관측 정선 313의 저층에서는 이러한 수온의 상승이 전반적인 것으로 관찰되었다. 따라서, 위의 결과들을 종합적으로 판단해 볼 때, 황해 남부에 존재하는 생태적 장벽은 대체로 그 위치가 북위 33° 부근으로 생각해 볼 수 있으며, 그 실체는 겨울철 특히 12월의 북서 계절풍에 의해 발생하여 유입되는 황해 난류라는 추정이 가능하다.

4. *Ophiura sarsi vadicola*의 분포와 관련한 연구 과제들

마지막으로 언급해야 할 부분은 *O. sarsi vadicola*가 이른바 생태적 장벽을 사이에 둔 황해와 한반도의 남동 해역, 동해 연안 등지에서 채집되었다는 사실이다. 유 등(1995)의 *Ophiura*속 3종을 대상으로한 수리분류학적 연구 결과에서 동해산과 황해산의 *O. sarsi vadicola*간에 전혀 형질의 차이를 찾아볼 수 없었던 것으로 밝혀져 이들 지역 개체군들은 gene pool이 서로 공유되고 있는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 gene pool의 공유 여부는 부유 유생에 의한 분산(planktonic larval dispersal)과 서식처의 연속성 등의 요인에 의해 좌우된다고 볼 수 있다. 전자의 경우에는 Thorson(1946)의 연구에서, *O. sarsi*가 부유유생시기를 가지며, 이 종의 유생이 그의 연구에서 실제로 채집된 바는 없으나, 같은 속의 *O. robusta*의 부유기의 유생들이 초봄에서 11월까지(플랑크톤 네트에 의해 채집되는 이들의 개체수는 여름 이후 변태 및 착저의 과정에 의해 급격히 감소)의 오랜 기간의 부유시기를 갖는다는 점에서 이를 통한 gene pool의 공유 가능성이 있을 것으로 보인다. 그러나, 해류에 의존적인 유생 분산의 특성을 고려해 보면, 황해에서 남해로의 유입 가능성은, 겨울철에 한국측 연안을 따라 남향하는 해류가 한반도의 서남단에 이른 후 어떻게 발전되는 가가 현재까지 미지수라는 승(1992)의 연구를 볼 때, 매우 낮을 것으로 생각할 수 있다.

따라서, 이 문제는 *O. sarsi vadicola*의 생활사적 차원에서의 개체군 생태학적 연구가 이루어져야 밝혀질 수 있으며, 특히 부유 유생 및 각 생활사 단계에서의 이동의 정도 등을 이 지역에서의 해류 패턴과 관련하여 연구하는 것이 요구됨을 시사하는 부분이다.

한편, 황해에서의 *O. sarsi vadicola*의 적정 서식처 범위는 황해 저층 냉수괴의 범위와 잘 일치(10 ℃ 미만)하였으며, 적정 서식처의 연구 자료에 포함된 황해 저층 냉수괴에 해당하는 수온 및 염분도 그리고 수심 등의 환경이 동해 및 남동해의 저층 환경에도 상당 부분 존재하는 것으로 나타났다. 따라서, 대마난류가 흐르는 남해의 저층에서도 이들의 서식에 적합한 환경이 존재할 가능성이 있으므로, 현재로서는 남해(특히, 제주도와 한반도 서남단 사이)에서의 *O. sarsi vadicola*의 존재 유무와 그 양적 분포 패턴을 파악하는 일이 무엇보다 중요하다.

사 사

본 연구는 인하대학교(1993)에서 수행한 한.중 국제 공동 연구, 한국해양연구소(1994)에서 실시한 한국 해역 종합 해양 환경도 작성 연구(대한해협편 BSPN 00227-733-3), 국립수산진흥원의 정선관측자료(1994) 등의 자료를 이용하여 분석하였음을 밝히는 바이며, 이 사업에 참여한 관계자 여러분과 논문을 심사해 주신 익명의 두 분 심사 위원들에게 심심한 사의를 표한다.

참고문헌

경기도 옹진군, 1994. 옹진군 해저 지형 및 서식생물상 조사보고서. 229 pp.

국립수산진흥원, 1994. 해양조사연보. 제 42권, 438 pp.

숭영호, 1992. 한반도 주변의 수괴와 해수순환. 한국해양학회지, **27**(4): 324-331.

신숙, 1984. 한국산 거미불가사리류(사미류, Ophiuroidea)의 계통분류학적 연구. 이화여자대학교 박사학위논문, 210 pp.

신형철, 1989. 한국 동해 대륙붕과 대륙사면에서의 거미불가사리의 분포. 서울대학교 석사학위논문, 59 pp.

유재원, 홍재상, 박홍식, 1995. 한국산 빗살거미불가사리속(빗살거미불가사리과, 거미불가사리아강)에 대한 분류학적 재검토. 한국동물분류학회지, **12**(4), 인쇄중.

인하대학교, 1993. 황해의 해양자원 개발연구. 827 pp.

제종길, 1993. 한국 주변해역의 연성저질에 서식하는 연체동물의 분포. 서울대학교 박사학위논문, 293 pp.

한국과학기술원해양연구소, 1987. 황해의 저서다모류에 대한 생태학적 연구. BSPE 00097-127-3, 153 pp.

한국해양연구소, 1994a. 영동 화력발전소 인근 어촌계 공동 어장 조사. BSPI 00181-697-2, 518 pp.

한국해양연구소, 1994b. 한국해역 종합 해양환경도 작성 연구 -대한해협(3차년도)-. BSPN 00227-733-3, 715 pp.

劉瑞玉, 1990. 중국의 황해 해양생태학에 관한 연구. 황해연구, **3**: 45-71.

劉瑞玉, 徐鳳山, 1963. 黃渤海 底棲動物 區系的 特点. 海洋與湖沼, **5**(4): 306-321.

Bastida, R., A. Roux and D. E. Martinez, 1992. Benthic communities of the Argentine continental shelf. *Oceanologica Acta,* **15**(6): 687-698.

Clark, A. M. and F. J. Courtman-Stock, 1976. The echinoderms of southern Africa. British Museum (Natural History), London, 277 pp.

Clark, H. L., 1911. North pacific ophiurans in the collection of the United States National Museum. Washington Government Printing Office, 302 pp.

D'yakonov, A. M., 1954. Ophiuroids of the USSR Seas. Acad. Sci. USSR., **55**: 1-136.

Flint, R. W. and R. D. Kalke, 1986. Niche characterization of dominant estuarine benthic species. *Estuar. Coast. Shelf Sci.,* **22**: 657-674.

Flint, R. W. and N. N. Rabalais, 1980. Polychaete ecology and niche patterns: Texas Continental Shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* **3**: 193-202.

Fujita, T. and S. Ohta, 1989. Spatial structure within a dense bed of the brittle star *Ophiura sarsi* (Ophiuroidea, Echinodermata) in the bathyal zone off Otsuchi, Northeastern Japan. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan,* **45**: 289-300.

Fujita, T. and S. Ohta, 1990. Size structure of dense populations of the brittle star *Ophiura sarsii* (Ophiuroidea: Echinodermata) in the bathyal zone around Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* **64**(1,2): 113-122.

Grebmeier, J., H. M. Feder and C. P. McRoy, 1989. Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi Seas. II. Benthic community structure. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* **51**: 253-268.

Green, R. H., 1971. A multivariate statistical approach to the Hutchinsonian niche: Bivalve Molluscs of Central Canada. *Ecology,* **52**(4): 543-556.

Green, R. H., 1972. Distribution and morphological variation of *Lampsilis radiata*(Pelecypoda, Unionidae) in some Central Canadian Lakes: A multivariate statistical approach. *Jour. Fish. Res. Bd. Canada,* **29**: 1565-1570.

Hutchinson, G. E., 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symp. on Quant. Biol.,* **22**: 415-427.

Lie, H. J., 1985. Wintertime temperature-salinity characteristics in the Southeastern Hwanghae (Yellow Sea). *Jour. Oceanogr. Soc. Japan,* **41**: 291-298.

Liu, R., Y. Cui, F. Xu and Z. Tang, 1983. Ecology of macrobenthos of the East China Sea and adjacent waters. In: Proc. Intern. Symp. on sedimentation rate of the continental shelf with special reference to the

East China Sea, edited by Acta Oceanologica Sinica, China Ocean Press, Beijing, 795-818.

Matsumoto, H., 1941. Report of the biological survey of Mutsu Bay. 36. Ophiuroidea of the Mutsu Bay and vicinities. *Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ.*, Ser. 4(Biol.), **16**: 331-344.

Shin, H. C. and C.H. Koh, 1993. Distribution and abundance of ophiuroids on the continental shelf and slope of the East Sea (southwestern Sea of Japan), Korea. *Mar. Biol.*, **115**: 393-399.

Thorson, G., 1946. Reproduction and larval development of Danish marine bottom invertebrates, with special reference to the planktonic larvae in the Sound (φresund). C.A. Reitzels Forlag, Kφbenhavn, 523 pp.

Yoo, J. W., 1992. The community structure and distribution of the benthic macrofauna in Han Estuary and Kyonggi Bay, Korea. M.S. thesis, Inha Univ., 100 pp.

Accepted January 15, 1996