

マクロベントスの群集型を用いた魚類養殖場環境の評価

横山 寿^{†1}, 西村昭史², 井上美佐³

Evaluation of Fish Farm Environments by Identifying Community Types of the Macrobenthos

Hisashi YOKOYAMA^{†1}, Akifumi NISHIMURA² and Misa INOUE³

In order to evaluate the fish farm environments, a quantitative survey of the macrobenthos was conducted in 22 fish farms along the coast of Kumano-nada, middle Japan. Six macrobenthic communities were recognized by cluster analysis. These communities were classified into three groups in the gradients of fish production and an index "ED", which was defined in the previous report to indicate the topographic conditions of the sampling site. These groups consisted of a group with high density and high diversity, a group characterized by an impoverished fauna and an azoic site group, which indicated conditions as healthy, cautionary and critical, respectively. As fish production increased, habitat of the assemblage at the cautionary zone shifted to the offshore, deeper areas with smaller ED values, suggesting the influence of aquacultural activities on the macrobenthos. We can evaluate environmental conditions of the fish farm by identifying community types of the macrobenthos that may lead us to decide the appropriate location of the farm and the proper fish production for sustainable aquaculture.

Key words: cluster analysis, community type, fish farm, macrobenthos, species composition

はじめに

現在、日本の海面魚類養殖業は自家汚染に伴う環境問題に直面しており、その解決策として漁場環境を的確に評価する手法や漁場の環境容量を推定する手法を開発することが求められている。移動性の少ないマクロベントスは局所的な個々の場所の指標性に優れる。この特性を利用して、マクロベントスの生息状況に基づいた増養殖漁場における種々の環境基準が提案され(玉井, 1990, 1995; 和野ほか, 1997; 鈴木ほか, 2000), マクロベントスを生物指標とした魚類養殖場のモニタリング調査や環境評価が行われるようになってきた(e.g. Gowen *et al.*, 1991).

魚類養殖場では全世界的な汚濁指標種である多毛類の *Capitella* sp. がしばしば優占的に出現する (Brown *et al.*,

1987; Findlay *et al.*, 1995; Tsutsumi, 1995; Yokoyama, 2002). また、宮城県下のギンザケ養殖場では多毛類の *Schistomeringos* spp. や甲殻類の *Nebalia bipes* および *Melita* sp. が特異的に高密度で分布することが報告されている(佐々木ほか, 2002). しかし、これらの知見は1~数カ所の養殖場から得られたものがほとんどで、環境条件や養殖規模が異なる多くの試料に基づいて養殖活動がマクロベントス群集に及ぼす影響を総合的に解析した例は見当たらない。

前報(横山ほか, 2002)では、養殖規模や地形が異なる熊野灘沿岸の22カ所の養殖場から夏季のマクロベントスと水質・底質の試料を得て、マクロベントスの群集パラメータと養殖生産量、養殖場の物理的環境要素の指標とした内湾度指数EDおよび化学的諸環境要因との相互の関係を解析した。本報では、同漁場で行った冬季調査の結果を加え、マクロベントス群集の種組成に及ぼす内湾度指数と養殖活動の影響を解析し、群集型の判別により漁場環境を評価するとともに、持続的な生産を可能にする適正養殖量を推定することを試みた。

材料および方法

調査水域、調査地点、調査方法および分析項目は前報の通りである。調査は、前報で報告した1998年8月24日~9月4日に加え、1999年2月17日~25日に行った。マクロベン

2001年12月21日受付, 2002年5月2日受理

¹ 水産総合研究センター養殖研究所

National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Nansei, Mie 516-0193, Japan

² 三重県栽培漁業センター

Mie Prefectural Fish Farming Center, Hamajima, Mie 517-0404, Japan

³ 三重県科学振興センター水産研究部尾鷲水産研究室

Owase Fisheries Laboratory, Fisheries Research Division, Mie Prefectural Science and Technology Promotion Center, Owase, Mie 519-3602, Japan

[†] hyoko@fra.affrc.go.jp

トスについては種を同定し、夏季調査時の種別個体数組成より51地点間の類似度指数 $C\pi$ (Kimoto, 1967) を求め、平均連結法によりクラスター分析した。これより、類似度が相互に高い地点をまとめ、それぞれの区域における夏季と冬季の群集型と物理化学的環境要因および養殖生産量との関係を検討した。なお、養殖場の物理環境要素を示す指標として前報 (横山ほか, 2002) で示した内湾度指数 ED を用いた。

結果

2回の調査により総計350種を超える動物が採集された。そのうちいずれかの採集地点において採集個体数が第1位 (優占種) と第2位 (亜優占種) となった動物を Table 1 に示す。

Fig. 1に、夏季調査時におけるマクロベントスの種組成より求めたデンドログラムを示す。これより、 $C\pi$ がほぼ0.4以上で群別化され、共通の優占種を有する5群集 (A~E) と夏季に無生物となった地点グループ (F) を抽出した。夏季における優占種としてそれぞれ多毛類の *Chaetozone* sp. I (A群集), *Paradoneis* sp. (B群集), *Schistomeringos* sp. (C群集), *Scoletoma longifolia* (D群集), *Prionospio pulchra* (E群集) があげられる。

夏季調査により判別した5群集区と無生物となったF区における夏季と冬季の群集諸パラメータを Fig. 2に、生息密度が高かった上位3種を Table 2に示す。夏季には、B, C およびD群集区における現存量の平均値 (Fig. 2a) はそれぞれ 35 g m^{-2} 前後と多かったが、E群集区では 3.7 g m^{-2} と少なかった。A群集の現存量は平均 14 g m^{-2} とB~D群集より少なかったものの、生息密度 (Fig. 2b), 出現種数 (Fig. 2c), 均等度 J' (Fig. 2d) および多様度 H' (Fig. 2e) はB~D群集と同等の値を示した。

冬季にはいずれの群集区においても生息密度の増加がみられた。とくに、夏季に無生物となったF区での増加が顕著であり、生息密度は平均 24400 個体 m^{-2} となり、6区の中で最も高くなった。これは、主として多毛類の *Capitella* sp. の高密度出現 (Table 2) に負っている。F区では本種が全個体数の66%を占めて卓越的に優占したことを反映して均等度 J' が低く (平均0.35), かつ出現種数が少なかった (平均 17.5 種 0.04 m^{-2}) ために、多様度 H' は平均1.4 bitと3.0以上を示した他の群集より低かった (Fig. 2)。冬季にはE群集においても *Capitella* sp. が主要な構成種となり、現存量および生息密度が増加したが、増加の程度はF区のように著しくなかった (Table 2)。A群集区では冬季にかけて現存量、生息密度および出現種数が増加し、現存量と出現種数については6群集の中で最も高いレベルに達した。これは、端脚類の *Caprella californica*, *Aoroides* sp. や多毛類の *Polydora flava orientalis* など、夏季にはほとんどみられなかった多くの種が高密度で出現したことに起因している。

B群集, C群集およびD群集の現存量, 生息密度, 出現種数は、それぞれ群集区内において地点による値のばらつきはあったものの、平均をとると群集間の相違は少なく、かつ季節による変動も少なかった (Fig. 2)。また、B群集では *Paradoneis* sp., C群集では *Schistomeringos* sp., D群集では *Scoletoma longifolia* がそれぞれ夏季と冬季に共通した優

Table 1. List of main species collected from fish farms in Kumano-nada.

No.	Species
	Cnidaria
1	unidentified Cnidaria
	Nemertinea
2	unidentified Palaeonemertea
	Mollusca
3	<i>Ergalatax contractus</i> (Reeve)
4	<i>Petrasma pusilla</i> (Gould)
5	<i>Macoma incongrua</i> (Martens)
6	<i>Theora lubrica</i> (Gould)
	Polychaeta
7	<i>Haploscoloplos</i> sp.
8	<i>Paradoneis</i> sp.
9	<i>Polydora flava orientalis</i> Imajima & Hartman
10	<i>Prionospio (Prionospio) depauperata</i> Imajima
11	<i>Prionospio (Prionospio) paradisea</i> Imajima
12	<i>Prionospio (Prionospio) membranacea</i> Imajima
13	<i>Prionospio (Aquilaspio) krusadensis</i> Fauvel
14	<i>Prionospio (Minuspio) pulchra</i> Imajima
15	<i>Paraprionospio</i> sp. (form B)
16	<i>Mesochaetopterus</i> sp.
17	<i>Spiochaetopterus koreana</i> Bhaud, Koh & Hong
18	<i>Caurelliella</i> sp.
19	<i>Chaetozone</i> sp. I
20	<i>Chaetozone</i> sp. II
21	<i>Capitella</i> sp.
22	<i>Heteromastus</i> sp.
23	unidentified Capitellidae
24	unidentified Maldanidae
25	<i>Sthenolepis</i> sp.
26	<i>Micronephthys sphaerocirrata orientalis</i> Lee & Jae
27	<i>Eunice indica</i> Kinberg
28	<i>Scoletoma longifolia</i> (Imajima & Higuchi)
29	<i>Schistomeringos</i> sp.
30	<i>Asabellides</i> sp.
31	<i>Chone</i> sp.
	Crustacea
32	<i>Euphilomedes</i> sp.
33	<i>Nebalia bipes</i> Fabricius
34	<i>Zeuxo</i> sp.
35	<i>Caprella californica</i> Stimpson
36	<i>Seba</i> sp.
37	<i>Cerapus tubularis</i> Say

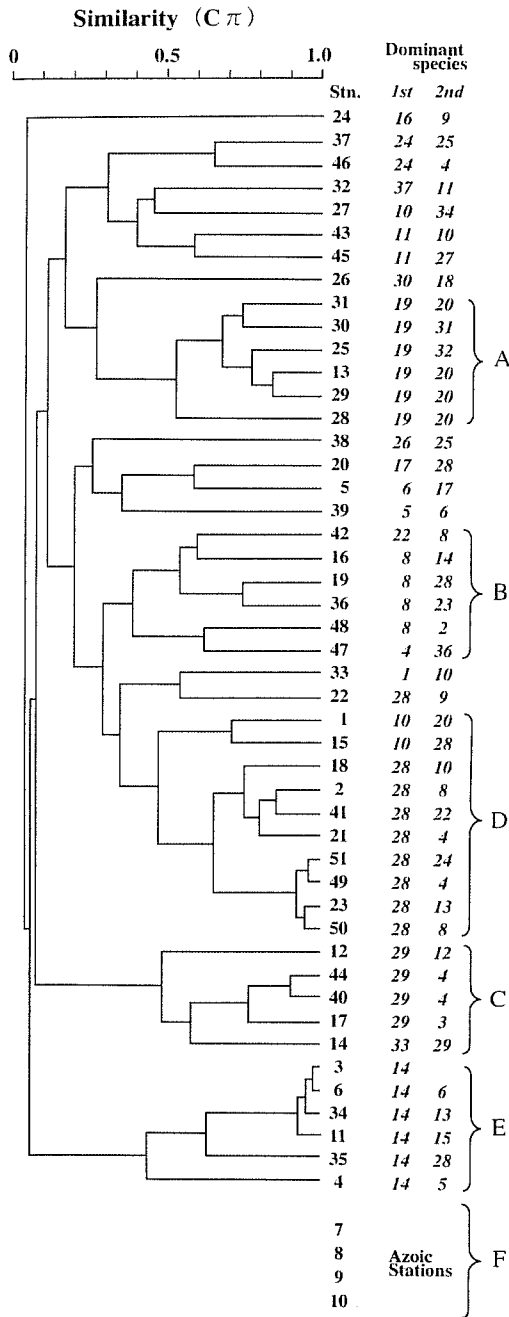


Figure 1. Cluster analysis of the macrobenthos in the study area, showing five station groups (A-E) and azoic stations (F). The two species which were ranked highest numerically in each station are shown as numerals (see Table 1).

占種あるいは亜優占種となっており、種組成に関しても他の群集に比べ安定していた (Table 2).

以上のように、当調査域のマクロベントス群集はA群集、B~D群集およびE群集と無生物区 (F) に大別される。このような群集の類型化は水質・底質の傾度とよく対応していた (Fig. 3)。すなわち、A群集区では堆積物中の有機物量

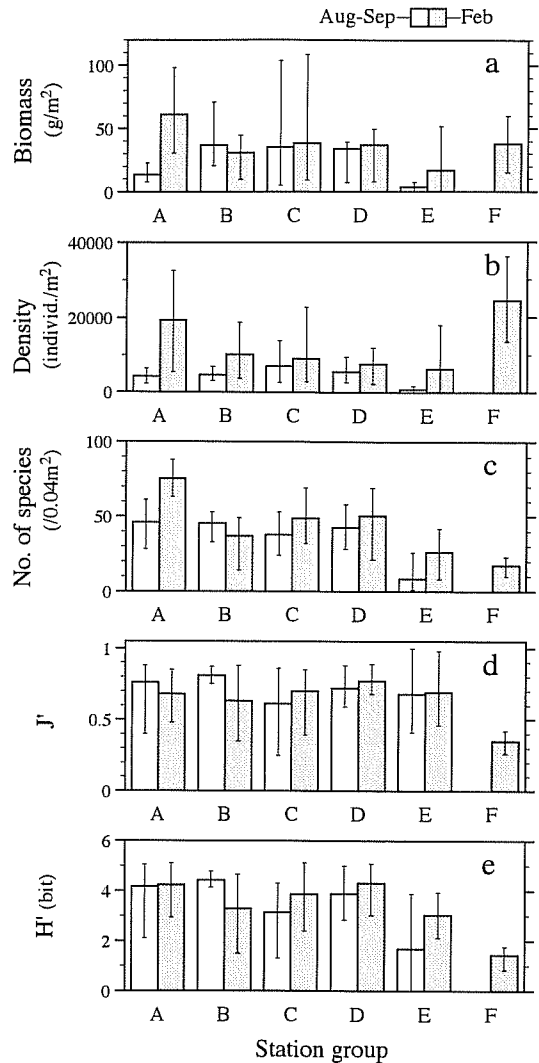


Figure 2. Community parameters in six stations groups. Bars represent the range of values.

(TOC, TN, TP, COD) は6区の中で最も少なく、夏季における底層水のDOは飽和状態で、堆積物中のAVS-Sは 0.15 mg g^{-2} 以下と少なかった。一方、F区では堆積物中の有機物量が最も多く、夏季における底層水は無酸素であり、AVS-Sは最多 ($1.9 \sim 3.9 \text{ mg g}^{-1}$, 平均 2.4 mg g^{-1})であった。E群集区では堆積物中の有機物量とAVS-S (平均 1.2 mg g^{-1})はF区に次いで多く、DO (平均 3.5 mg/l)はF区に次いで少なかった。B~D群集区における化学的分析項目の平均値はE区とA区の間位置していた。なお、冬季には、DOはいずれの群集区においても飽和状態となっており、E群集区およびF区におけるAVS-S (平均値それぞれ $0.7, 1.2 \text{ mg g}^{-1}$)は夏季に比べ半減した。

5群集区と無生物区に属する地点を養殖生産量と内湾度指数EDの座標軸のなかにプロットした (Fig. 4)。A~Fの各区の地点はEDにおおよそ対応して配列しており、主とし

Table 2. Dominant and subdominant species in six communities (A–F). Three species which ranked highest in abundance, and their densities (N: individuals m^{-2}) and biomasses (W: $g m^{-2}$) in terms of wet weight excluding shell are presented.

Station group	August–September 1998			February 1999		
	Species	N	W	Species	N	W
A	<i>Chaetozone</i> sp. I	1420	2.79	<i>Caprella californica</i>	3380	5.71
	<i>Chaetozone</i> sp. II	246	0.33	<i>Polydora flava orientalis</i>	2510	3.50
	<i>Chone</i> sp.	96	0.38	<i>Aoroides</i> sp.	1050	0.95
B	<i>Paradoneis</i> sp.	733	2.89	<i>Capitella</i> sp.	3730	5.82
	<i>Petrasma pusilla</i>	421	2.58	<i>Schistomeringos</i> sp.	2380	6.38
	<i>Seba</i> sp.	317	0.14	<i>Paradoneis</i> sp.	575	2.23
C	<i>Schistomeringos</i> sp.	3980	5.96	<i>Schistomeringos</i> sp.	3750	7.48
	<i>Nebalia bipes</i>	400	0.61	<i>Capitella</i> sp.	665	0.36
	<i>Petrasma pusilla</i>	235	1.46	<i>Aoroides</i> sp.	480	0.33
D	<i>Scoletoma longifolia</i>	1930	17.20	<i>Scoletoma longifolia</i>	1300	6.40
	<i>Prionospio depauperata</i>	385	0.59	<i>Schistomeringos</i> sp.	505	0.76
	<i>Petrasma pusilla</i>	220	1.84	<i>Haploscoloplos</i> sp.	360	1.53
E	<i>Prionospio pulchra</i>	492	0.13	<i>Capitella</i> sp.	2600	3.76
	<i>Prionospio krusadensis</i>	33	0.01	<i>Schistomeringos</i> sp.	900	1.11
	<i>Scoletoma longifolia</i>	25	0.08	<i>Prionospio pulchra</i>	300	0.17
F	azoic			<i>Capitella</i> sp.	16100	21.68
				<i>Caprella californica</i>	3440	7.79
				<i>Nebalia bipes</i>	2930	3.28

てED値が2以下の養殖場にそれぞれA群集, B群集およびC群集が, ED値が1~4の養殖場にD群集が, ED値が3以上の養殖場にE群集がそれぞれ分布した。これらの群集は養殖生産量とは明確に対応していなかったが, E群集は生産量が多くなるにつれED値が低い場所に分布が移る傾向があった。A群集, C群集およびD群集についてもE群集ほど明瞭ではないものの, 同様の傾向があった。無生物となったのは養殖生産量が $1400 t year^{-1}$ と多く, ED値が5以上を示した養殖場であった。

考察

群集型による養殖環境の評価

一般的に, 内湾・沿岸域では有機汚濁の進行とともに, マクロベントスの出現種が減少するとともに, 特定の種が優占的に高密度で出現する結果, 生息密度が増加することが多い。しかしながら, さらに有機物負荷が増えると, 貧酸素化や硫化水素の発生により, 生息密度, 現存量が低下し, ついには無生物となる (Pearson and Rosenberg, 1978)。Gowen *et al.* (1991) は魚類養殖場においても投餌由来の有機物負荷が他の一般的な有機汚濁域と同様の現象を招くこ

とを多くの研究事例より明らかにしている。本研究でも, 夏季に無生物となった養殖場において冬季には汚濁指標種の*Capitella* sp.がきわめて優占的に出現したことが確認された。このことは, 魚類養殖場における有機汚濁の著しい進行をマクロベントス群集の側面から裏付けている。

クラスター分析により抽出したA~Fの各群集は内湾度指数EDにおおよそ対応して配列していたものの, E群集は生産量が多くなるにつれED値が低い場所に分布が移る傾向があった。A群集, C群集およびD群集についても, 同様の傾向があった。このことは, 養殖漁場のマクロベントス群集は地形的要素に第一義的な影響を受けるとともに養殖による有機物負荷にも影響を受けていることを示唆している。なお, これと同様の結果は群集パラメータと養殖生産量および内湾度指数との関係を解析した前報 (横山ほか, 2002) においても得られている。

マクロベントス群集の種組成や群集パラメータより各区域の環境を総合的に評価することが可能である。例えば, A群集区では種多様度が高く, 汚濁指標種がほとんど出現しなかったこと, また, B~D群集区では*Capitella* sp.以外に魚類養殖場に特徴的に出現する (佐々木ほか, 2002) こ

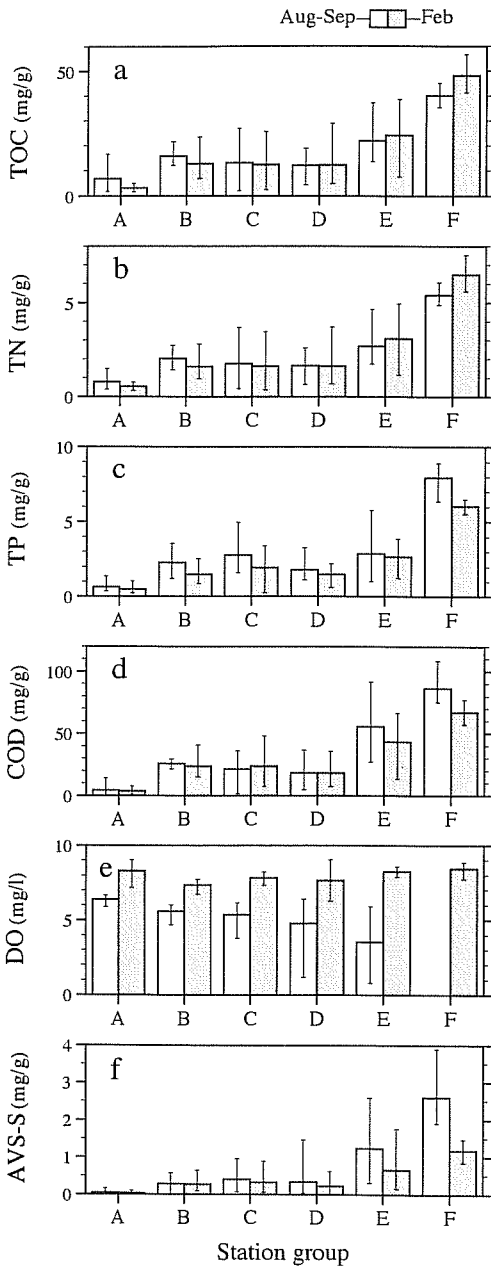


Figure 3. Environmental factors in six station groups. Bars represent the range of values.

とが知られている *Schistomeringos* sp. あるいは富栄養域に頻出する (風呂田, 1985; 桑原・清水, 1989) *Scoletoma longifolia* が主要な構成種となっていたものの, 夏季においても現存量が多く, 生息密度および種多様度が高かったことから, これらの群集は負荷有機物の分解が効率的に進み, 物質循環が正常に維持される健全な環境下の群集とみなせる. 一方, E群集は, 夏季には強汚濁域や貧酸素域に特徴的に出現する (風呂田, 1985; 桑原・清水, 1989; 横山, 1995) ことが知られている *Prionospio pulchra* (Imajima

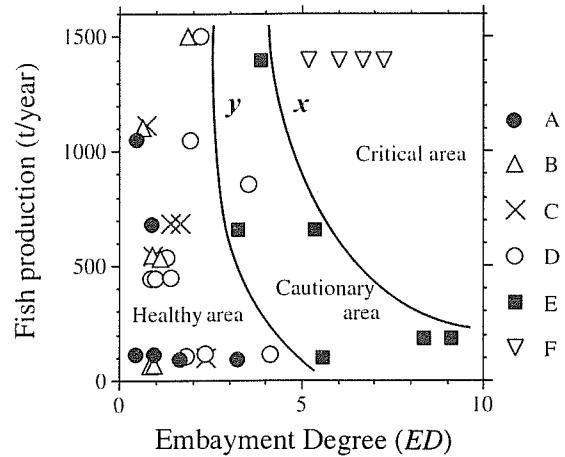


Figure 4. Distribution of six station groups (A-F) in gradients of ED and the aquaculture activity in terms of the fish production. The habitat is divided into the critical area, the cautionary area and the healthy area by the boundary lines x and y .

(1990) により *P. pulchra* として新種記載されるまでは *P. cirrifera* として報告されていた) が優占し, 出現種がわずかで現存量も非常に少なかったこと, 冬季には汚濁指標種の *Capitella* sp. が優占種となったことから, 有機汚濁による無生物化の直前にみられる群集型と判断され, この群集が分布する範囲を注意深く監視すべき区域とみなすことができる. 夏季に無生物となったF区はその時期にマクロベントスによる負荷有機物の分解が全く期待できないことから養殖場として危機的な環境とみなせる.

マクロベントスの群集型より判断した3区域間には水質・底質にも明瞭な相違があった (Fig. 3). これらの水質・底質項目も各区域を示す目安となるが, 各区域内での地点間で値のばらつきが大きく, 単一項目の分析値のみから各区域を特定できない場合がある. 漁場環境の正確な評価には化学分析項目とともにマクロベントス群集の分析が必要である.

適正養殖量推定の可能性

無生物となった地点は同一養殖場内の4地点のみであったため, Fig. 4において危機的な環境の領域を明示することはできない. ただし, E群集が分布する区域の右上方に危機的区域が広がっていると仮定すると, 養殖場として注意しなければならない要監視区域との間に境界線 x を引くことができる. 一方, 健全な環境を示すA~D群集の分布域と注意が必要な環境を示すE群集の分布域とはほとんど重複しないので, 両区域間に境界線 y を引くことができる.

夏季に無生物となった場合, Fig. 4上でその養殖場の位置から横軸方向下の境界線 x との交点より下方が無生物を回避できる生産量, 縦軸方向左の x との交点より左方のED値が無生物を回避できる湾内での位置を示すことにな

る。同様に、境界線 y より注意を要する環境から健全な環境へ移行させる生産量と湾内での位置を推定することができる。例えば、無生物となった熊野灘沿岸の養殖場において生産量を維持しつつ無生物を回避するには漁場を少なくともED値4の位置に移動させなければならず、または養殖場の位置を変えずに無生物を回避するには年生産量を600t前後に減少させなければならない。また、この漁場環境を健全なレベルに向上させるには養殖場をED値2の位置に移動させればよいが、養殖場の位置を変えずに生産量の調整により健全な環境を獲得することは難しい。このように、マクロベントスの群集型をEDと養殖生産量の座標軸のなかに位置づけることにより、各養殖場における地形的要素を考慮に入れた環境容量の推定が可能となると考えられる。ただし、Fig. 4で示された関係は海象の相似した同一地域内の動物群集から得られたものであり、他水域への適用性に関しては不明である。

本研究により、養殖漁場のマクロベントス群集は地形的要素に第一義的な影響を受けるとともに養殖による有機物負荷にも影響を受けていること、マクロベントスの群集型を判別することによりその漁場の環境を評価できることが示された。さらに、群集型を内湾度指数EDと養殖生産量の傾度の中に位置づけることにより各漁場の適正養殖量と養殖漁場の好適な位置の推定ができる可能性が示された。今後、他の養殖場での事例を重ね、本手法の汎用性を高める必要がある。

謝 辞

本研究をまとめる際に有益な助言をいただいた広島大学の松田治教授に厚くお礼を申し上げます。冬季に採集したマクロベントス試料の一部の分析は株式会社海洋生態研究所に委託した。なお、本研究は水産庁栽培養殖課の委託費により行われた。

引用文献

Brown, J.R., R.J. Gowen and D.S. McLusky (1987) The effect of salmon

- farming on the benthos of a Scottish sea loch. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **109**, 39–51.
- Findlay, R.H., L. Watling and L.M. Mayer (1995) Environmental impact of salmon net-pen culture on marine benthic communities in Maine: A case study. *Estuaries*, **18**, 145–179.
- 風呂田利夫 (1985) 東京湾の底生動物. *海洋と生物*, **7**, 346–352.
- Gowen R.J., D.P. Weston and A. Ervik (1991) Aquaculture and the benthic environment: A review. In: *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste*, eds. C.B. Cowey, C.Y. Cho, Fish Nutrition Research Laboratory, University of Guelph, Canada, 187–205.
- Imajima, M. (1990) Spionidae (Annelida, Polychaeta) from Japan III. The genus *Prionospio* (*Minuspio*). *Bull. Natn. Sci. Mus., Tokyo, Ser. A*, **16**, 61–78.
- Kimoto, S. (1967) Some quantitative analysis on the Chrysomelid fauna of the Ryukyu Archipelago. *Esakia*, **6**, 27–54.
- 桑原 連・清水 誠 (1989) 東京湾内湾のマクロベントス分布と水・底質環境. *沿岸海洋研究ノート*, **26**, 158–171.
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg (1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **16**, 229–311.
- 佐々木良・押野明夫・菊池亮輔 (2002) ギンザケ養殖生簀の直下海底における水質底質環境とベントスの蝸集. *宮城水産研報*, **2**, 17–26.
- 鈴木輝明・青山裕晃・中尾 徹・今尾和正 (2000) マクロベントスによる水質浄化機能を指標とした底質基準試案—三河湾浅海部における事例研究—. *水産海洋研究*, **64**, 85–93.
- 玉井恭一 (1990) 底生生物. *海面養殖と養殖場環境*, 渡辺競編, 恒星社厚生閣, 東京, 69–78.
- 玉井恭一 (1995) ベントスによる養殖漁場環境の評価. *魚類養殖対策調査事業報告書*, 全国かん水養魚協会, 55–59.
- Tsutsumi, H. (1995) Impact of fish net pen culture on the benthic environment of a cove in south Japan. *Estuaries*, **18**, 108–115.
- 和野信市・榛澤芳雄・長尾義三・近藤健雄・寺中啓一郎・古谷純一 (1997) 生物多様性を考慮した海底環境評価手法. *日本沿岸域学会論文集*, **9**, 17–29.
- 横山 寿 (1995) 大村湾のマクロベントス群集—II種組成と水域区分. *養殖研報*, **24**, 55–72.
- Yokoyama, H. (2002) Impact of fish and pearl farming on the benthic environments in Gokasho Bay: evaluation from seasonal fluctuations of the macrobenthos. *Fish. Sci.*, **68**, 258–268.
- 横山 寿・西村昭史・井上美佐 (2002) 熊野灘沿岸の魚類養殖場におけるマクロベントス群集と堆積物に及ぼす養殖活動と地形の影響. *水産海洋研究*, **66**, 149–157.