

## 2. 海 域



## 海域環境の概要

東京湾は関東平野に入り込んだ海湾である。その区域は、東の房総半島の洲崎と、西の三浦半島の鰐崎の二点間を結ぶ線の北側の海面である。さらに、この東京湾のうち、房総半島の富津岬と三浦半島の鰐音崎を結ぶ線より北側の海域を内湾、南側を外湾と称している。内湾は南北61km、東西34kmの楕円形で、湾口はわずかに6km、海岸線の延長170km、面積1200km<sup>2</sup>である。広大で静穏な水域であり、平均15mの浅い水深を有している。一般に東京湾といえば、この内湾を指している。そして、横浜市は、この東京湾の南部西岸に位置している。(図-1)その海岸線は、北が鶴見川河口北側の鶴見区安善町から、南の金沢区野島町まで、直線距離にして約20Kmのあいだに、入り組んで展開している。

東京湾のような内湾の海水は、陸から流入する淡水によって、塩分が低く、磷や窒素などの栄養塩類を多く含んだ状態となっている。このような水を沿岸水と呼ぶ。東京湾内湾の場合、冬期は夏期に比べ、淡水の流入量が半分以上に減少するとされている。即ち、6~10月の夏期は $26\sim 44\times 10^6\text{m}^3/\text{日}$ 、12月~3月の冬期は $11\sim 16\times 10^6\text{m}^3/\text{日}$ の量が河川水として東京湾へ流出すると推定されている。河川水の流入する湾では、上層水が海側へ、下層水は陸側へ向って流れる、循環流が発達することが知られている。従って、冬期は沿岸水が東京湾内湾に封じこめられる形となり、外洋水の影響が沿岸に及ぼされやすくなっている。また、東京湾内湾の潮流は、流入河川水以外にも、潮汐、季節風、外洋水等の影響を受けて、季節的に特徴のある恒流を形成することが知られている。湾内での長期連続測定によれば、下層水での冬期における時計回りの還流、夏期の反時計回りの還流の存在が特に顕著に認められている。また、横浜市を含む神奈川県側の沿岸では、上層に強い南下流が夏期、冬期とともに存在することも知られている。

東京湾の沿岸地域及びその後背地には人口3千万人を超える首都圏が形成されている。この圏域に活動する事業場の排水や、そこに居住する住民の生活排水は、河川や下水道を通じて、その大部分が東京湾への流入する。東京湾への汚濁物質の流入推定量を表-1、2に示す。CODは、海水を直接汚濁させる有機汚濁物質の指標であり、昭和59年度には1日当り413トンの流入があった。このCOD物質の流入負荷量を削減するために、東京湾の沿岸地域では、事業場等の排水に対するCOD総量規制が実施されており、COD物質の流入量は、平成元年度には365トン/日にまで削減することが目標として掲げられている。窒素や磷が水域へ流入すると、その水域は富栄養化状態となり、植物性プランクトンが増殖し、それ自体の有機物によって有機汚濁がひきおこされる。従って、窒素や磷は水域の有機汚濁の間接的な原因物質とも言える。これら窒素、磷の東京湾への昭和59年度の流入量はそれぞれ334.4トン/日、及び30.4トン/日である。窒素、磷に対しても、排出量削減対策が実施され、平成元年度には窒素が331.5トン/日に、磷が28.3トン/日にまで削減する目標が立てられている。横浜市沿岸の、環境基準B類型が適用される海域各測定点におけるCOD値の変動を図(図-2)、(図-3)で示す。CODの環境基準に対する適合状況はCOD75%値により評価されるものであるが、図-2に示すとおり、横浜市沿岸の測定点では、毎年、一部環境基準に適合しているところもあるものの、全測定点で適合するまでには至っていない。また、図-3に示すとおり、CODには、季節変化が見られ、横浜市の沿岸では、植物性プランクトンの増殖が著しい夏季を中心に、COD値が上昇する。また、赤潮発生の目安とされる栄養塩濃度は磷が0.015mg/l、窒素が0.1mg/lといわれているが、東京湾及び相模湾における

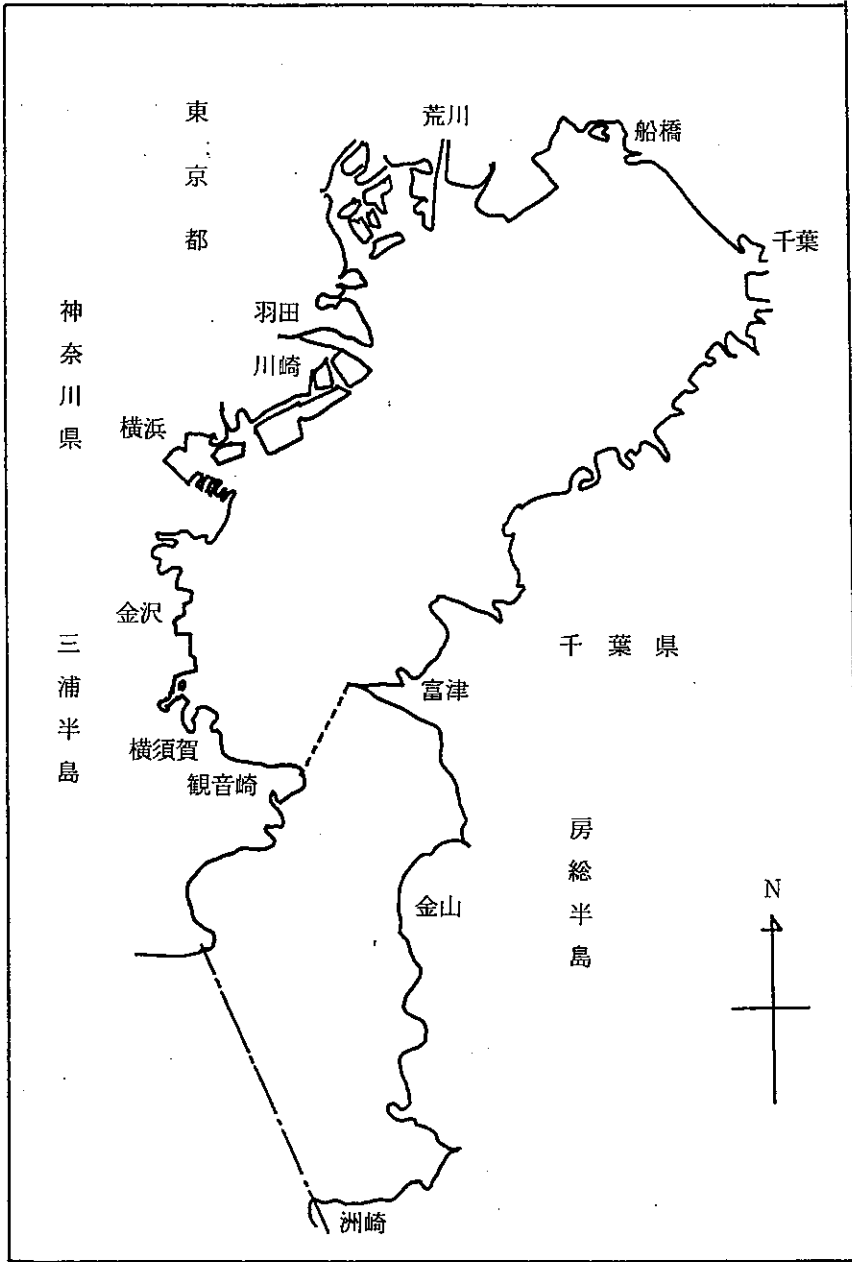


図-1 東京湾の概況

表-1 汚濁負荷量 (COD) の削減実績と目標 (単位: トン/日)

地域	54年度 (実績)			59年度 (実績)			64年度 (目標)		
	生活系	産業系	その他	生活系	産業系	その他	生活系	産業系	その他
東京湾全域	324	115	38	290	83	40	249	78	38
神奈川県	52	23	5	44	16	6	34	15	6
計	477	477	477	413	413	413	365	365	365

横浜環境白書 昭和62年版より (横浜市公安局)

表-2 リン・窒素負荷量の削減実績と目標 (単位: トン/日)

項目	54年度 (実績)			59年度 (実績)			64年度 (実績)		
	生活系	産業系	その他	生活系	産業系	その他	生活系	産業系	その他
リ	24.9	9.5	7.0	17.6 (19.4)	6.4 (7.8)	6.4 (7.0)	16.2	6.0	6.1
ン	2.4	1.3	0.6	1.5 (1.7)	0.7 (1.0)	0.5 (0.6)	1.4	0.6	0.5
窒	200.8	96.4	67.9	186.7 (197.2)	82.5 (95.0)	65.2 (67.0)	188.5	78.9	64.1
素	17.8	6.4	5.5	16.8 (17.7)	3.5 (6.0)	5.6 (5.5)	16.8	3.4	5.5
計	365.1	365.1	365.1	334.4 (359.2)	334.4 (359.2)	334.4 (359.2)	331.5	331.5	331.5

59年度 ( ) 内は54年度に対する目標値

横浜環境白書 昭和62年版より (横浜市公安局)

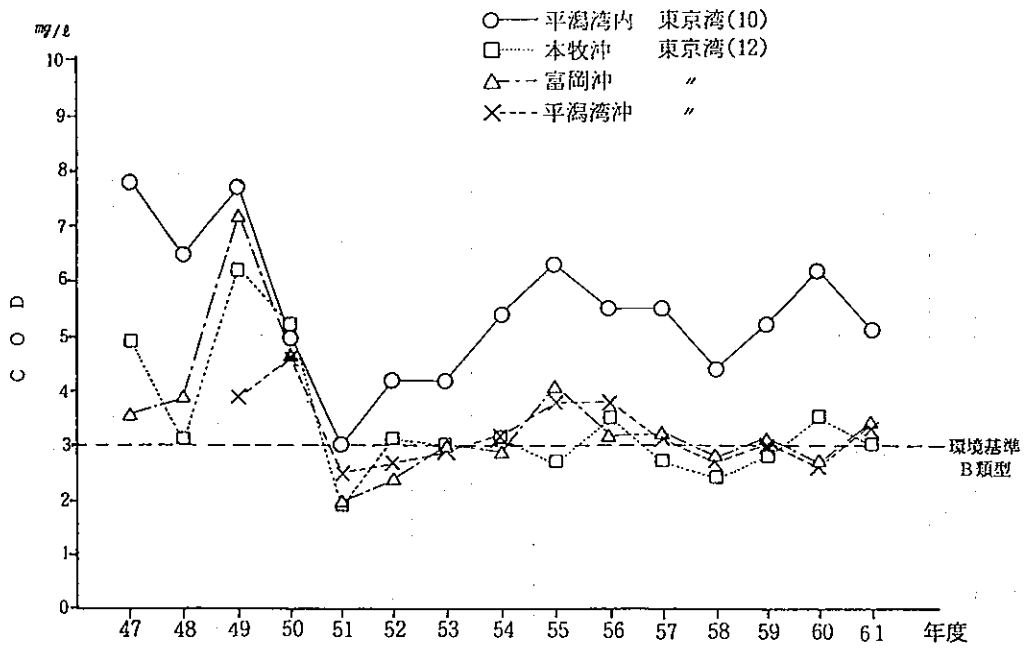


図-2 東京湾水域のCOD75%値経年変化図  
 横浜環境白書 昭和62年版より(横浜市公害対策局)

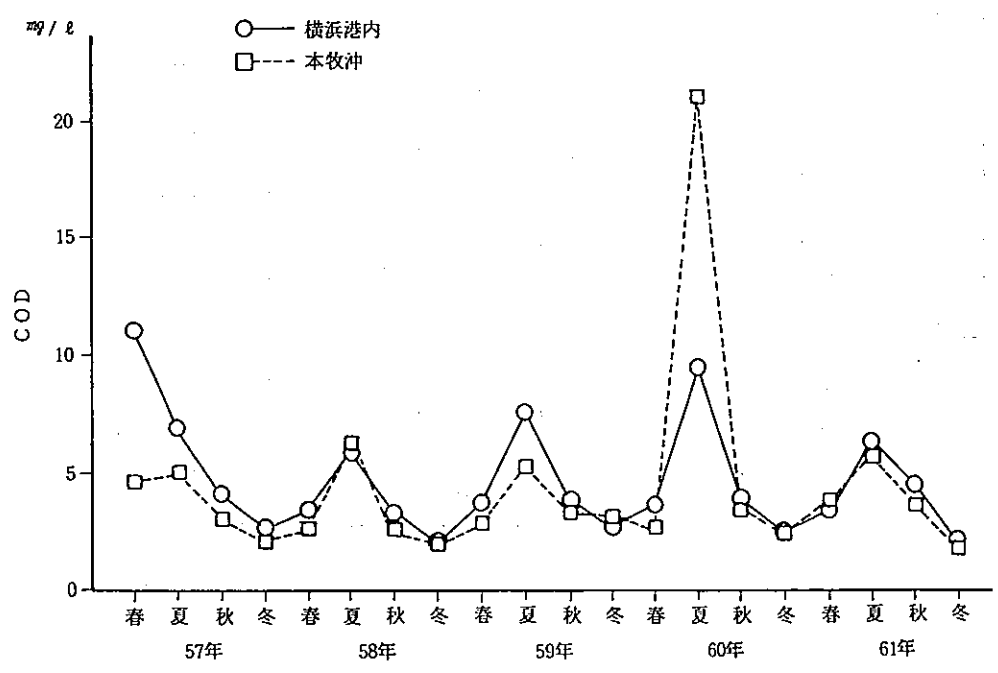


図-3 東京湾, 横浜港内, 本牧沖COD値(上層)季節変化図  
 横浜環境白書 昭和62年版より(横浜市公害対策局)

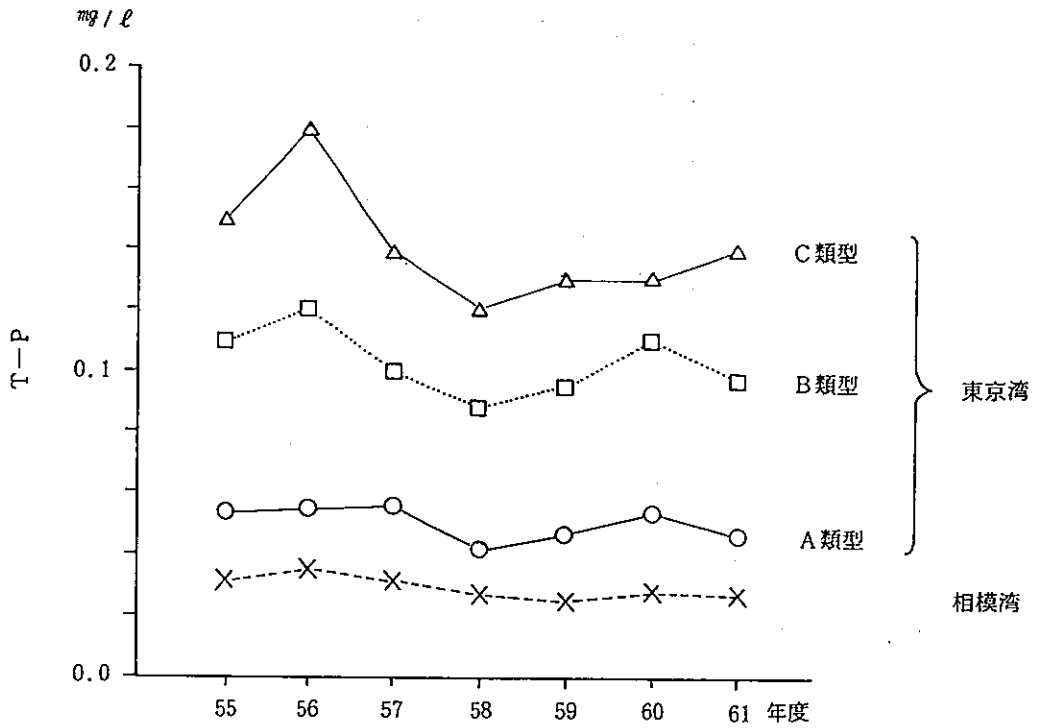


図-4 東京湾神奈川県沖における全リン (T-P, 上層) の経年変化図  
 横浜環境白書 昭和62年版より (横浜市公害対策局)

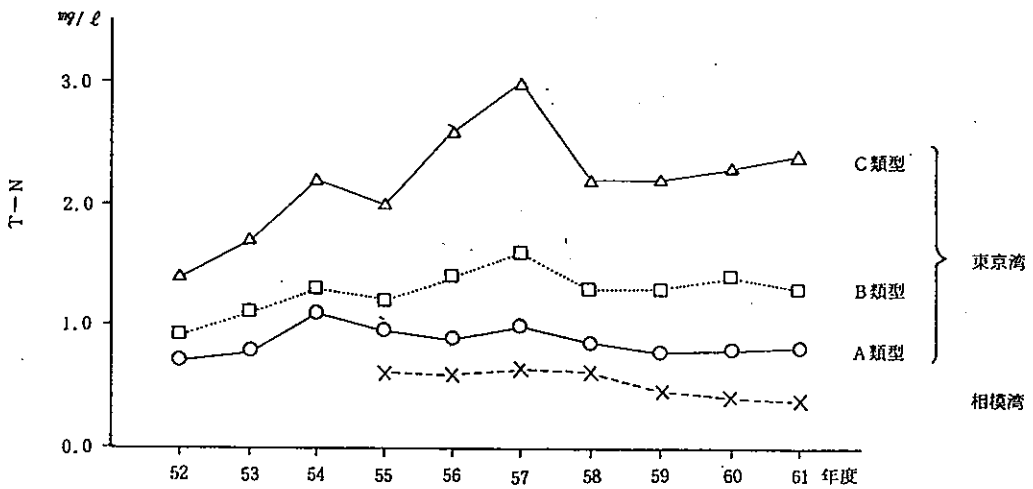


図-5 東京湾神奈川県沖における全窒素 (T-N, 上層) の経年変化図  
 横浜環境白書 昭和62年版より (横浜市公害対策局)

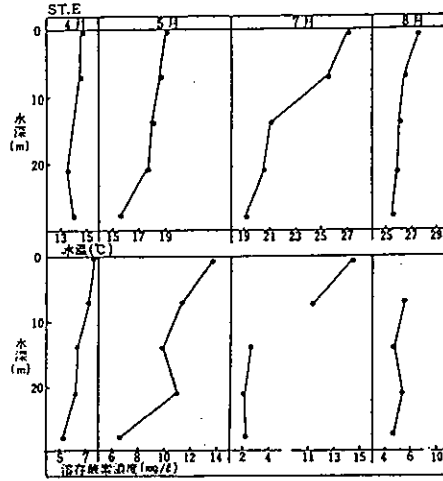


図-6 昭和58年4月から8月にかけての横浜市扇島沖の水温と溶存酸素の垂直分布

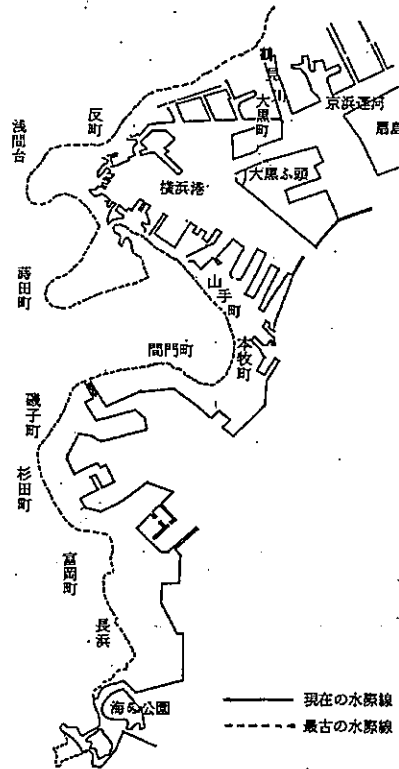


図-7 横浜市の海岸線の変化



表-3 横浜市沿岸海域の底質等の概要

調査区域		地点	水深	底質	その他	
沖合	根岸湾口域	磯子沖	10~20m	泥・ヘドロ		
		本牧沖	15~30m	泥・ヘドロ		
		富岡沖	20~30m	泥・ヘドロ		
沿岸	鶴見川河口域	1	3m前後	泥・ヘドロ	鶴見曹達工場岸壁	
		2	20~50cm	泥・ヘドロ	低潮時干潟を形成する。 障害物あり	
		3	20~60cm	泥・貝殻	貝殻捨て場 障害物あり	
		4	10cm	泥	低潮時干潟を形成する。 障害物あり	
		5	20~60cm	泥	障害物あり	
		6	10~60cm	泥	低潮時干潟を形成する。 ガマ、ヨシの群落がある。	
	横浜港 (山下公園岩壁)		0.3~2m	砂泥・ムラサキガイ		
	堀割川河口域	1	0.2~1m	泥・捨て石	低潮時干潟を形成する。 アサリ、ホトトギスが多い	
		2	10~50cm	泥~砂泥, 捨て石	障害物あり	
	金沢湾岸域	1	I	0.5~3m	泥~砂泥 岩壁部にムラサキガイ	柴港岸壁
			II	20~50cm	泥	柴港内船だまり 障害物あり
		2	0~80cm	砂泥・転石	冬期にノリヒビが立つ。 アマモ場あり, 干潟形成	
		3	10~80cm	砂泥~砂	低潮時干潟を形成する。 自然海岸線(乙舩海岸)	
		4	0.2~1m	砂泥~砂	平潟湾と金沢湾を結ぶ水路。 障害物あり	
		5	1m前後	砂泥~砂	上記水路からのびた堤防	
6		0~80cm	砂泥~砂・転石	冬期にノリヒビが立つ。 自然海岸線(野島海岸)		
7	0.5~5m	砂泥・築石~岸壁	夏島日産自動車工場岸壁下。			
平潟湾	1	60cm前後	泥・ヘドロ	障害物あり		
	2	20~60cm	泥・ヘドロ			
	3	20~80cm	泥~砂泥	障害物あり		
	4	20~60cm	泥	ホトトギスが多く泥上を覆う。 低潮時干潟を形成		
	5	10~20cm	泥	小河川の流れ込み 低潮時干潟を形成する		

横浜市沿岸域における環境変化と魚類相(昭和54年12月:横浜市公害対策局)より

全磷、全窒素の測定値を環境基準の類型ごとにまとめて示した図-4、図-5の両図でも明らかなように、各年とも赤潮発生の目安とされる窒素・磷の濃度を大幅に超えた値が記録され続けている。即ち、現状では、横浜市付近の海域を含めて、東京湾は富栄養化が著しく進行し、その結果、有機汚濁も継続している状態にあるといえる。また、春から夏にかけては、海水表面の温度が日射によって上昇すること、降雨の影響により表層の海水の塩分濃度が低下することから、高温、低塩分の表層水と低温、高塩分の下層水とに分離することがある。このような海水の成層化は特に沿岸水域で発達する傾向がある。成層化したときの海底には、表層水中から沈降してくる植物性プランクトン等の遺骸が堆積する。これらの遺骸が微生物等によって分解されてゆく際に、下層水中の溶存酸素が消費される。しかし、成層化した状態では、表層水から下層水に向っての溶存酸素の移動が少なくなるため、下層水中の溶存酸素が著しく減少し、多くの魚介類にとって生息が困難な酸欠状態が作り出される。極端な場合、水中の溶存酸素が全くなり、有毒な硫化水素の発生さえ見られることもある。東京湾では、下層の貧酸素水が潮の動きに伴って移動し、魚介類のへい死事故をひき越す、千葉県船橋沖の“青潮現象”が有名である。横浜市付近の沿岸でも下層水の溶存酸素の減少は認められる。調査結果の一例を図-6に示す。春から夏に向って表層の水温が上昇するに伴って、下層水中の溶存酸素が減少してゆく傾向が認められる。

沿岸の生態系に大きく影響を与える因子としては、以上のような水質の影響のほかに、沿岸の形態がある。かつて、東京湾の遠浅な砂浜には、そこに生息する豊かな、生物を中心として複雑な生態系が構成されていた。しかし、その後、東京湾の臨海部は大規模な埋立地が造成され、港湾施設や工場・倉庫群、そして高層住宅が林立しわが国でも最も開発の進んだ地域となった。このような海岸線の変化は（図-7）水質の変化以上に、そこに生息する生物相へ影響を与える。なお、本市海岸部で実施される生物相調査の調査地点の水深線の形態を表-3に示す。岩壁等の人工的形態をもつ本市の海岸線であっても、一部、砂浜や干潟等がみられる箇所もいまだわずかに残されている。

## 参考文献

- 1) 横浜市公害対策局 横浜市沿岸域における魚類相の変化(1979)
- 2) " 横浜の川と海の生物(第4報)(1986)
- 3) " 横浜市環境白書(昭和62年版)
- 4) " 横浜の川と海のいきものたち(1987)
- 5) 畠中潤一郎 横浜市沿岸海域における貧酸素水塊の発生と分布に関する調査、横浜市公害研究所報 3, 89~98(1978)
- 6) 堀越増興他 日本の自然/日本列島をめぐる海, pp.299(岩波書店 1987)
- 7) 菊池利男 東京湾史-環境科学ライブラリー -8-, pp.214(大日本図書 1974)
- 8) 山本修司 東京湾の海洋構造 港湾都市 No.2, 75~79(1982)

(畠中 潤一郎:横浜市公害研究所)

# 横浜市沿岸域生物（沿岸魚類）にみる指標性について

林 公 義

## 1. はじめに

陸水環境の評価に対する生物学的な指標種として魚類、とりわけ淡水魚類が利用されているがその活用にあたっては今だ多くの利点と難点が残っていると見えよう。近年では環境庁をはじめとして各地方行政機関が市民、団体に広く身近な自然環境の保全と保護を目的として河川に生息する淡水魚や河口・汽水域に生息する沿岸魚も環境や水質評価の対象としてとりあげられることが多くなっている。たしかに水系環境の評価に対する指標種として従来より用いられている大腸菌群、付着藻類、水生昆虫、水生植物などと比較すると、魚類はその個体の大きさや数量において他の生物群よりも一般的に親しみやすい生物群であるといえる。河川に分布する淡水魚については多くの専門書や調査手引書などに利用され、水質階級別に種の住み分けが確立している例が報告されており、今や種と水質の関係がスタンダード化されつつある傾向がある。しかし専門家の間では水質調査指標種としての淡水魚の取扱いについては妥当性の再検討が必要であるといわれている。結論的にいえば魚類のみを指標種として用いることはできないが、他の指標生物群との総合的な判定に用いることによってより精度の高い活用価値があるということになる。今回主に河口から沿岸域に分布する魚類によってその沿岸域の水質指標となりうるべき種類の選定を試みたわけであるが、淡水魚類と同様に分布の問題、移動性の問題、生態の多様性の問題などからやはり画一的な設定は極めて困難であった。横浜市沿岸域は東京湾の湾奥に位置する海域であり、東京湾のもつ近代的イメージとしての汚染海域にも相当する海域といえる。「江戸前のマハゼ」とひと口にしても昔と今ではマハゼが同じ場所に分布していたとしても、その体内に蓄積されている汚染物質の濃縮度は極端に異なるであろうし、そのような環境変化が個体と個体群と生態系に与える影響がそれぞれ微妙に異なっている。また時間的な蓄積経過もそれぞれの地域毎に異なるのでマハゼ一種をとりあげてみても東京湾と相模湾とでは指標とする基準が全く異なるので、沿岸魚の場合も淡水魚と同様に画一的な指標性の設定は極めて困難である。本報では昭和51年より継続的に実施されている横浜市沿岸域魚類相調査の経過報告から主として分布種および優占種を選定し、水質環境資料と比較しながら沿岸域にみられる指標種の選定を試考してみた。

## 2. 横浜市周辺の沿岸魚類相

### 2-1. 沿岸魚類相の物理的背景と歴史的背景

横浜市沿岸域の魚類相調査として本格的に取り組みされた報告書は横浜市公害対策局<sup>1)</sup>(1978)による根岸湾周辺の底生魚類相の記録が代表的なものであり、それより以前では東京湾としての数多くの報告書の一部に横浜市金沢区以北の漁獲物として取扱われてきた。東京湾は古くから豊沃度の高い海域であったことは多くの文献にも書かれている通りで、特に「江戸前の・・・」と前置きされるほど特有な水産物の名所でもあった。東京湾の内湾（横須賀市観音崎と千葉県富津を結んだ線より北側の内湾）の沿岸には、地形のおいたちから干潟が幅広く発達し、陸上のデルタや沖積低地と連っている。この干潟地形も

現在では東京湾の西側に2箇所残すのみとなったが、かつて東側の沿岸一帯は広く干潟が発達していた。内湾の中心は水深が20~40mの平坦な砂泥質の海底であるが、湾口附近になると急に水深が大きくなり、海底地形は複雑になる。また東京湾の水温は潮流の出入と関係が深く、表面では房総半島沿いに水温が高く、三浦半島側の水温が低い。このことは黒潮の支流が房総半島側を北上し東京湾に流れこみ、河川水などが混入した湾内の冷たい海水が三浦半島側を南下し、外洋に出るといふ半時計廻りの還流のためである。湾の入口に位置する浦賀水道はその狭まった距離の関係から湾内の水交換をかなり複雑にしていることは明らかである。従って湾奥の水循環は季節によってはそこに生息する海洋生物にとって不利な状況をもたらすこともあるといえる。近年では沿岸域の造成工事が進み、大部分といってよい程自然海岸は消失した。特に東京湾の西側では横浜港をはじめとする港湾整備が、東側では工業地帯の造成による海浜の変化が著しく、結果的に水質や底質の悪化現象をつくり出してきたといえる。このような理化学的な環境変化は多くの水産物の分布や繁殖に悪影響を及ぼしてきたことは事実で、今日の主要な漁獲産物と過去の漁獲産物を比較するとその傾向が明瞭である。とりわけ潮流の出口に相当する横浜市沿岸域では水質や底質の変化量がめまぐるしかったと推測される。

詳しい生物群集の歴史の変遷を記述はできないが、東京湾の漁法は天正から慶長（1593~1614年）までに関西地域から発達した漁具、漁法が移入され、特にイワシ漁業の本場とされていた。東京湾には内湾において東44ヶ浦、西40ヶ浦という漁村が成立し、これらの漁村は漁業上の紛争が発生しないように、相互に申し合せて操業していた程で、神奈川県側での参会により認められた漁法は38種類（内海三十八職とよんだ）で、近年まで各漁村によって使用できる漁法が定められていた。このことは湾内の水産物の乱獲を防ぐための方針であったともいえよう。いまではもう獲れることのないシラウオの漁場も湾奥にあったようで、隅田川から多摩川まで4ヶ所があり、明治の頃の乱獲と昭和に入ってから水質汚濁により数が減少し続け、江戸川では昭和34（1959）年頃から、多摩川では昭和28（1953）年頃から漁獲がなくなった。シラウオが漁獲対象の魚種として完全に姿を消してしまったのは一例で、魚種が少なくなると当然乱獲も始まり、定められた38種類の漁法は地域の約束など無視されるようになり、次第に明治維新頃からは制度もくずれ始めた。また海況の変化は河川改修による淡水の流入量の変化、湾奥のお台場の設置工事、大正12（1923）年の関東大地震による海底の変動、湾の東側（千葉県側）の埋立地の増加などにより、沿岸魚種は年々減少の道をたどってきた。また近年では都市・工場排水など規制の少なかった頃の水質汚濁の影響が今でも尾をひいている。東京湾漁場調査による資料を菊地<sup>2)</sup>（1974）か

表-1 東京湾の漁獲対象魚の変遷

年	激減した魚類	年	激減した魚類
大正12年	カマス	昭和26年	サヨリ・ダツ
昭和初期	サワラ・イナダ・シイラ	28年	ヌメリゴチ
昭和10年	サバ	33年	イシモチ・シログチ・マアナゴ
15年	マアジ	35年	ツバクロエイ
22年	ヒラメ・（イカ・タコ・クルマエビ）		
25年	メナダ・イワシ・（ガザミ・ジャコ）		

注1) 東京付近ではブリの体長40cm前後のものを呼ぶ  
注2) 魚類以外の水産漁獲物  
(菊地, 1974より改変)

ら引用すると明治頃の湾内への沿岸魚類進入限界を知ることができる。湾奥部から順にサヨリ・ボラ・コノシロ・アジ・カタクチイワシ・サワラ・イワシ・サバ・ブリ・ソウダガツオ・カツオまでが進入しており、横浜市沿岸域ではわずかにカツオを除いて、あと全ての魚種が進入可能な海域であったことがわかる。さらに大正・昭和の年代になるとこれらの魚類を初めとして表-1にあげたような魚種の漁獲が激減した。しかしクロダイ・スズキ・ボラ・マコガレイ・ウナギ・マハゼ等は現在でも漁獲されているが、油臭のはげしいことから出荷を控えているものもあるのが現状で、例年漁獲量は減少の傾向にあるといつてよい。

## 2-2. 沿岸魚類相の現況と特徴

横浜市沿岸域の魚類相とその生態的特性については近年横浜市公害対策局による委託調査が行われており、現在までに加山ほか<sup>1)</sup>(1978)、岩田ほか<sup>3)</sup>(1979)、酒井<sup>4)</sup>(1981)、横浜市港湾局<sup>11)</sup>(1984)、工藤ほか<sup>5)</sup>(1986)などにより詳細な報告がある。著者も昭和62年度にこれら上記の報告にある横浜市沿岸域の調査を行う機会を得、従来の報告書には未記録だった魚種も含めて37科65種(昭和62年4月~12月まで)を確認することができた。本調査における結果内容については未発表であるが、前述の1978年から1986年までの一連の調査結果を要約し、現況と特徴的傾向を述べる。

最近10年間の傾向では横浜市沿岸域からは173種類の汽水・海産魚が報告されており、著者の調査によってさらに8種類が新たに加った。工藤ほか<sup>5)</sup>(1986)によればこの10年間における出現した魚種について、期間を3期にわけ(昭51~52年、54~58年、59~60年)魚類相を比較している。これによると3期にわたって出現した魚種は72種で、出現が1期のみに限られたものは64種である。1期だけに限って出現した種類は、出現回数でも1回の場合が多く、季節的な遇来種と見なすことができ、沿岸域に対する依存度は極めて低いといえる。3期にわたって出現した72種については著者の昭和62年度内における調査でもそのほとんどが記録されており、これらの魚種は生活生態が移動性あるいは定着性であっても、横浜市沿岸域では現状の通年定住種ということができる。また2期にわたる出現種の中で前期(昭和51~58年まで)まで確認ができたが、近年になって確認されなくなった種類(例サビハゼ・ホウボウ・タマガンゾウビラメ・ショウサイフグなど)については底質や水質の汚染との関連が推測される。根岸湾沖のように各魚種の生活空間を失わせるような環境の変化は顕著に見られないが、水質や底質のような理化学的变化はやはり経年的な調査を行うと漁獲量にその種類の特性が現われ始めているといえる。沖合で漁獲される主要魚種はハタタテヌメリ・テンジクダイ・シログチ・マコガレイ・マアナゴ・コモチジャコ・スジハゼ・アカハゼなどで、以前までは同じ主要魚種であったシログスやイシガレイが姿を消し、かわりにマハゼやアイナメなどが増加の傾向にある。岩田<sup>3)</sup>ほか(1979)はマコガレイの急増とイシガレイの減少については、浅海域の埋立てとそれともなる泥底質の拡大との関連を推測している。現状においてもマコガレイの漁獲はイシガレイとの差を大きくしつつある。シログスは砂質の海底を好み、逆にマハゼやコノシロなどは泥質を好むので、ここでも底質環境の変化が魚種の生存と深いかわりを示しているといえる。さらに著者の調査結果ではハタタテヌメリの漁獲量がさらに増え、カワハギやウマヅラハギのような泥質内湾の生息環境を好む種類も急増している。横浜市沿岸の造成工事の進行は北から南へ向って発展し、魚類相の変化も人為的環境の変化が及ぼした影響の程度や時間の経過とはほぼ対応していると考えられる。

### 2-3. 調査法の概要

水域生物指標としての沿岸魚を選定するための目的で直接的な調査を行うことはなかったが、横浜市公害対策局より委託された昭和62年度の横浜市沿岸域の魚類調査を進めてきたなかで、過去の資料と比較しながら指標性の傾向を検討してきたので、ここでは沿岸域調査法の概要を記すことにする。

#### 2-3-1 調査地点

調査地点は、横浜市沿岸域という条件で選定し、過去の調査結果と比較することを考慮し、小型底曳網による調査では根岸湾口域、金沢湾沖、本牧沖の3区域（図-1のa~c域）、手網採集や釣り採集による調査では、鶴見川河口域（図-1-A）、掘割川河口域（図-1-D）、金沢湾岸域（海の公園海域・図-1-F）及び平潟湾岸域（図-1-G）の各海域で1から2地点の調査地を設定した。

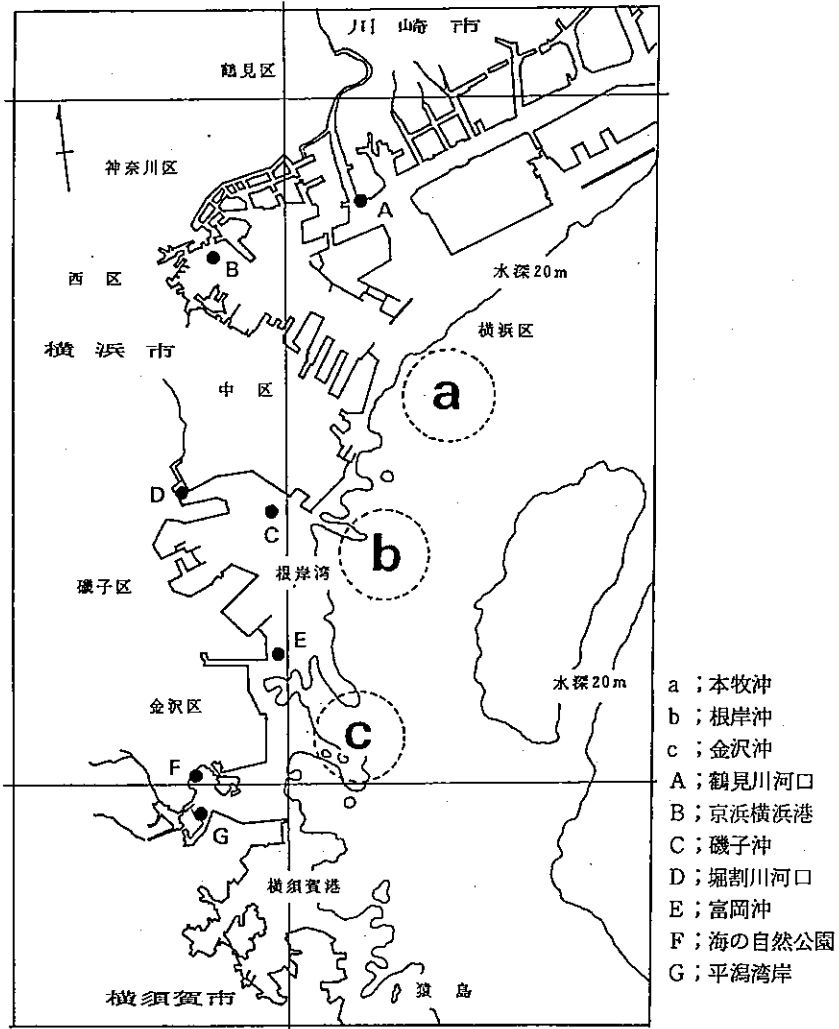


図-1 横浜市沿岸域魚類分布調査水域及び地点

表-2 調査方法一覧

調査区域		地点	採集方法と人員数	調査時間	備考
沖合	東京湾 (横浜沿岸域)	根岸沖	小型底曳網	60分	2~3ノットで曳網 5月
		柴沖	小型底曳網	60分	2~3ノットで曳網 10月
		磯子沖	小型底曳網	45分	2~3ノットで曳網 11月
沿	鶴見川河口域	1	手網 2名	60分	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12月
	堀割川河口域	1	釣り 4名	180分	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12月
手網 2名			60分	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12月	
岸	金沢湾岸域	1	手網 2名	60分	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12月
	平潟湾	1	手網 2名	60分	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12月
		1	手網 2名	60分	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12月

表-3 調査地点概況

調査区域		地点	水深	底質	その他
沖合	東京湾 (横浜沿岸域)	根岸沖	10~20m	泥質	
		柴沖	15~25m	砂質	
		磯子沖	10~20m	泥質	
沿	鶴見川河口域	1	20~60cm	泥質・ヘドロ	障害物あり
	堀割川河口域	1	2~8m	泥・砂泥質・捨て石	障害物あり
岸	金沢湾岸域	1	0.2~1m	砂質	人工海岸・堤防あり
	平潟湾	1	20~80cm	泥質・ヘドロ	低潮時に干潟を形成
		2	20~60cm	泥質・ヘドロ	障害物あり

表-4 各調査水域での水質調査項目とその測定値

場所 季節	測定項目 (単位)	水温 ℃	透明度 m	COD mg/ℓ	溶存O <sub>2</sub> 量 mg/ℓ	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N mg/ℓ	塩分濃度 ‰
平 潟 湾 内	春 期	13.4	1.63	4.5	5.66	1.12	25.09
	夏 期	23.5	1.10	8.7	9.20	0.47	20.93
	秋 期	21.3	1.73	5.2	6.20	0.47	25.85
	冬 期	10.0	2.60	3.5	7.17	0.62	30.41
	年平均値	17.1	1.77	5.5	7.06	0.67	25.57
鶴 見 川 河 口	春 期	14.8	1.63	6.9	7.23	2.73	23.81
	夏 期	24.3	1.40	7.5	8.90	1.67	25.05
	秋 期	23.2	2.30	4.5	6.33	0.61	27.86
	冬 期	12.2	3.70	3.5	7.83	1.52	28.81
	年平均値	18.6	2.26	5.6	7.57	1.63	26.38
磯 子 沖 合	春 期	12.7	3.27	2.9	9.13	0.36	31.17
	夏 期	22.9	1.64	6.8	9.40	0.15	30.24
	秋 期	21.6	3.32	3.2	7.17	0.14	30.33
	冬 期	11.2	3.99	2.5	6.98	0.31	32.22
	年平均値	17.1	3.06	3.9	8.17	0.24	30.99
富 岡 沖 合	春 期	12.8	3.00	2.5	9.50	0.30	31.34
	夏 期	22.8	2.03	5.1	10.57	0.04	30.62
	秋 期	21.4	3.36	2.8	7.57	0.08	30.82
	冬 期	11.0	4.77	2.5	9.20	0.21	32.46
	年平均値	17.0	3.29	3.2	9.21	0.16	31.31
本 牧 沖 合	春 期	12.7	2.83	2.7	9.50	0.30	31.18
	夏 期	22.7	1.60	6.7	11.00	0.09	30.12
	秋 期	21.5	3.33	4.3	7.33	0.12	30.42
	冬 期	10.7	4.53	2.5	9.60	0.26	32.32
	年平均値	16.9	3.07	4.05	9.36	0.19	31.01

(測定値は1983～85年度、横浜市公害研究所資料による)



### 2-3-2 調査方法

各調査地点ごとの調査方法と調査時間及び人員数などは表-2に示すとおりである。小型底曳網は小型機船底曳網漁船(約5t)による手操第2種の操業を行った。浅海域における手網採集(網目は1辺が2.4mm、網口面積約800cm<sup>2</sup>)は各地点で平均1時間行い、釣り採集は竿数が5本で平均3時間の採集調査を行った。

### 2-3-3 調査地点概況

各調査地点の概況については表-3に示した。また生物指標種としての沿岸魚類と水質との関連を検討するために横浜市公害研究所の各調査海域(平潟湾内、鶴見川河口、磯子沖合、富岡沖合、本牧沖合)での水質調査項目の中から昭和58~60年度に測定された数値を活用した。水質調査項目としてとり上げた測定項目は水温、透明度、COD(化学的酸素要求量)、溶存酸素量、アンモニア性窒素、塩分濃度などである。各海域での測定項目の数値(3年間における平均値)は表-4に示した。

## 3. 横浜市沿岸域に生息する魚類

昭和51(1976)年から昭和62(1987)年までに横浜市沿岸域から記録された魚種は80科180種であり、この種類数をもって東京湾における横浜市沿岸域に生息する魚類リストとする。なお、これらのリストの中で各4期(昭和51~52、54~58、59~60、62~63年)に区分して各魚種ごとの出現状況を表-5(1-4)に示した。

## 横浜市沿岸域魚類目録

(1978~1987年度調査による)

AGNATHA	無顎綱
MYXINIFORMES	メクラウナギ目
Eptatretidae	スタウナギ科
1. <i>Eptatretus burgeri</i>	スタウナギ
CHONDRICHTHYES	軟骨魚綱
LAMNIFORMES	ネズミザメ目
Triakididae	ドチザメ科
2. <i>Mustelus manazo</i>	ホシザメ
RAJIFORMES	エイ目
Dasyatidae	アカエイ科
3. <i>Dasyatis akajei</i>	アカエイ

Gymnuridae	ツバクロエイ科
4. <i>Gymnura japonica</i>	ツバクロエイ
Myliobatididae	トビエイ科
5. <i>Myliobatis tobijei</i>	トビエイ
<b>OSTEICHTHYES</b>	<b>硬骨魚綱</b>
<b>CLUPEIFORMES</b>	<b>ニシン目</b>
Clupeidae	ニシン科
6. <i>Sardinops melanostictus</i>	マイワシ
7. <i>Sardinella zunasi</i>	サッパ
8. <i>Konosirus punctatus</i>	コノシロ
Engraulididae	カタクチイワシ科
9. <i>Engraulis japonicus</i>	カタクチイワシ
<b>ELOPIFORMES</b>	<b>カライワシ目</b>
Elopidae	カライワシ科
10. <i>Elops hawaiiensis</i>	カライワシ
<b>ANGUILLIFORMES</b>	<b>ウナギ目</b>
Anguillidae	ウナギ科
11. <i>Anguilla japonica</i>	ウナギ
Congridae	アナゴ科
12. <i>Conger myriaster</i>	マアナゴ
13. <i>Conger japonicus</i>	クロアナゴ
14. <i>Anago anago</i>	ゴテンアナゴ
<b>SALMONIFORMES</b>	<b>サケ目</b>
Plecoglossidae	アユ科
15. <i>Plecoglossus altivelis</i>	アユ
<b>CYPRINIFORMES</b>	<b>コイ目</b>
Cyprinidae	コイ科
16. <i>Pseudorasbora parva</i>	モツゴ

17. <i>Carassius auratus langsdorfii</i>	ギンブナ
Cobitidae	ドジョウ科
18. <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	ドジョウ
SILURIFORMES	ナマズ目
Plotosidae	ゴンズイ科
19. <i>Plotosus lineatus</i>	ゴンズイ
MYCTOPHIFORMES	ハダカイワシ目
Synodontidae	エソ科
20. <i>Saurida wanieso</i>	ワニエソ
21. <i>Saurida undosquamis</i>	マエソ
22. <i>Saurida elongata</i>	トカゲエソ
BELONIFORMES	ダツ目
belonidae	ダツ科
23. <i>Strongylura anastomella</i>	ダツ
Hemiramphidae	サヨリ科
24. <i>Hyporhamphus sajori</i>	サヨリ
Exocoetidae	トビウオ科
25. Exocoetidae sp. 1	トビウオ科の1種
26. Exocoetidae sp. 2	トビウオ科の1種
Adrianichthyidae	メダカ科
27. <i>Oryzias latipes</i>	メダカ
CYPRINODONTIFORMES	メダカ目
Poeciliidae	カダヤシ科
28. <i>Gambusia affinis</i>	カダヤシ
SYNGNATHIFORMES	ヨウジウオ目
Fistulariidae	ヤガラ科
29. <i>Fistularia petimba</i>	アオヤガラ
Syngnathidae	ヨウジウオ科

30. <i>Syngnathus schlegeli</i>	ヨウジウオ
31. <i>Urocampus nanus</i>	オクヨウジ
32. <i>Hippocampus coronatus</i>	タツノオトシゴ
GADIFORMES	タラ目
Moridae	チゴダラ科
33. <i>Physiculus maximowiczi</i>	エゾイソアイナメ
LOPHIIFORMES	アンコウ目
Antennariidae	イザリウオ科
34. <i>Phrynelox tridens</i>	イザリウオ
35. <i>Histrio histrio</i>	ハナオコゼ
BERYCIFORMES	キンメダイ目
Trachichthyidae	ヒウチダイ科
36. <i>Gephyroberyx japonicus</i>	ハシキンメ
Monocentrididae	マツカサウオ科
37. <i>Monocentris japonica</i>	マツカサウオ
PERCIFORMES	スズキ目
Atherinidae	トウゴロウイワシ科
38. <i>Hypoatherina bleekeri</i>	トウゴロウイワシ
Mugilidae	ボラ科
39. <i>Mugil cephalus cephalus</i>	ボラ
40. <i>Liza haematocheila</i>	メナダ
41. <i>Liza affinis</i>	セスジボラ
42. <i>Liza macrolepis</i>	コボラ
43. <i>Crenimugil crenilabis</i>	フウライボラ
Sphyraenidae	カマス科
44. <i>Sphyraena pinguis</i>	アカカマス
Percichthyidae	スズキ科
45. <i>Lateolabrax japonicus</i>	スズキ
46. <i>Acropoma japonicum</i>	ホタルジャコ

Serranidae	ハ タ科
47. <i>Epinephelus septemfasciatus</i>	マハタ
Priacanthidae	キントキダイ科
48. <i>Priacanthus macracanthus</i>	キントキダイ
Apogonidae	テンジクダイ科
49. <i>Apogon lineatus</i>	テンジクダイ
50. <i>Apogon semilineatus</i>	ネンブツダイ
51. <i>Apogon doederleini</i>	オオスジイシモチ
Sillaginidae	キ ス科
52. <i>Sillago japonica</i>	シロギス
Carangidae	ア ジ科
53. <i>Trachurus japonicus</i>	マアジ
54. <i>Seriola dumerili</i>	カンバチ
55. <i>Caranx sexfasciatus</i>	ギンガメアジ
Leiognathidae	ヒイラギ科
56. <i>Leiognathus nuchalis</i>	ヒイラギ
57. <i>Leiognathus rivulatus</i>	オキヒイラギ
Lobotidae	マツダイ科
58. <i>Lobotes surinamensis</i>	マツダイ
Gerreidae	クロサギ科
59. <i>Gerres oyena</i>	クロサギ
Sciaenidae	ニ ベ科
60. <i>Nibea mitsukurii</i>	ニ ベ
61. <i>Argyrosomus argentatus</i>	シログチ
Mullidae	ヒメジ科
62. <i>Upeneus bensasi</i>	ヒメジ
63. <i>Upeneus tragula</i>	ヨメヒメジ
Pempheridae	ハタンボ科
64. <i>Pempheris xanthoptera</i>	ミナミハタンボ
Girellidae	メジナ科
65. <i>Girella punctata</i>	メジナ
66. <i>Girella melanichthys</i>	クロメジナ
Kyphosidae	イスズミ科

67. <i>Kyphosus lembus</i>	イスズミ
68. <i>Kyphosus cinerascens</i>	テンジクイサキ
Pomadasyidae	イサキ科
69. <i>Parapristipoma trilineatum</i>	イサキ
70. <i>Plectorhynchus cinctus</i>	コショウダイ
71. <i>Plectorhynchus pictus</i>	コロダイ
72. <i>Hapalogenys nigripinnis</i>	ヒゲダイ
Teraponidae	シマイサキ科
73. <i>Rhyncopelates oxyrhynchus</i>	シマイサキ
74. <i>Terapon jarbua</i>	コトヒキ (ヤガタイサキ)
75. <i>Terapon theraps</i>	ヒメコトヒキ
Sparidae	タ イ科
76. <i>Acanthopagrus schlegeli</i>	クロダイ
77. <i>Acanthopagrus latus</i>	キチヌ
Scorpididae	カゴカキダイ科
78. <i>Microcanthus strigatus</i>	カゴカキダイ
Chaetodontidae	チョウチョウウオ科
79. <i>Chaetodon ephippium</i>	セグロチョウチョウウオ
80. <i>Chaetodon auriga</i>	トゲチョウチョウウオ
81. <i>Chaetodon vagabundus</i>	フウライチョウチョウウオ
82. <i>Chaetodon lineolatus</i>	ニセフウライチョウチョウウオ
83. <i>Chaetodon lunula</i>	チョウハン
84. <i>Chaetodon auripes</i>	チョウチョウウオ
85. <i>Chaetodon melamotus</i>	アケボノチョウチョウウオ
Oplegnathidae	イシダイ科
86. <i>Oplegnathus fasciatus</i>	イシダイ
87. <i>Oplegnathus punctatus</i>	イシガキダイ
Embiotocidae	ウミタナゴ科
88. <i>Ditrema temmincki</i>	ウミタナゴ
Pomacentridae	スズメダイ科
89. <i>Pomacentrus coelestis</i>	ソラスズメダイ
90. <i>Abudefduf sordidus</i>	シマスズメダイ
91. <i>Abudefduf vaigiensis</i>	オヤビッチャ

Labridae	ベラ科
92. <i>Stethojulis interrupta terina</i>	カミナリベラ
93. <i>Halichoeres tenuispinnis</i>	ホンベラ
94. <i>Halichoeres poecilopterus</i>	キュウセン
Ammodytidae	イカナゴ科
95. <i>Ammodytes personatus</i>	イカナゴ
Scombridae	サバ科
96. <i>Scomber japonicus</i>	マサバ
Trichiuridae	タチウオ科
97. <i>Trichiurus lepturus</i>	タチウオ
Acanthuridae	ニザダイ科
98. <i>Prionurus scalprus</i>	ニザダイ
99. <i>Acanthurus</i> sp.	クロハギ属の1種
Siganidae	アイゴ科
100. <i>Siganus fuscescens</i>	アイゴ
Centrolophidae	イボダイ科
101. <i>Psenopsis anomala</i>	イボダイ
Gobiidae	ハゼ科
102. <i>Parioglossus dotui</i>	サツキハゼ
103. <i>Priolepis boreus</i>	ミサキスジハゼ
104. <i>Acentrogobius pflaumi</i>	スジハゼ
105. <i>Favonigobius gymnauchen</i>	ヒメハゼ
106. <i>Cryptocentrus filifer</i>	イトヒキハゼ
107. <i>Mugilogobius abei</i>	アベハゼ
108. <i>Pseudogobius masago</i>	マサゴハゼ
109. <i>Rhinogobius brunneus</i>	ヨシノボリ
110. <i>Tridentiger obscurus</i>	チチブ
111. <i>Tridentiger brevispinis</i>	ヌマチチブ
112. <i>Tridentiger trigonocephalus</i>	シマハゼ
113. <i>Chasmichthys dolichognathus</i>	アゴハゼ
114. <i>Chasmichthys gulosus</i>	ドロメ
115. <i>Chaenogobius castaneus</i>	ピリンゴ
116. <i>Chaenogobius heptacanthus</i>	ニクハゼ

117. <i>Acanthogobius flavimanus</i>	マハゼ
118. <i>Acanthogobius lactipes</i>	アシシロハゼ
119. <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	アカハゼ
120. <i>Amblychaeturichthys sciistius</i>	コモチジャコ
121. <i>Sagamia geneionema</i>	サビハゼ
122. <i>Pterogobius zacalles</i>	リュウグウハゼ
123. <i>Eutaeniichthys gilli</i>	ヒモハゼ
124. <i>Luciogobius guttatus</i>	ミミズハゼ
125. <i>Periophthalmus cantonensis</i>	トビハゼ
Mugiloididae	トラギス科
126. <i>Parapercis sexfasciata</i>	クラカケトラギス
127. <i>Parapercis multifasciata</i>	オキトラギス
Blenniidae	ミシマオコゼ科
128. <i>Uranoscopus japonicus</i>	ミシマオコゼ
Uranoscopidae	イソギンボ科
129. <i>Pictiblenius yatabei</i>	イソギンボ
130. <i>Omobranchus elegans</i>	ナベカ
131. <i>Omobranchus fasciolatoceps</i>	トサカギンボ
132. <i>Omobranchus punctatus</i>	イダテンギンボ
133. <i>Petroscirtes breviceps</i>	ニジギンボ
Stichaeidae	タウエガジ科
134. <i>Dictyosoma burgeri</i>	ダイナンギンボ
Pholididae	ニシキギンボ科
135. <i>Pholis crassispina</i>	タケギンボ
136. <i>Pholis nebulosa</i>	ギンボ
SCORPAENIFORMES	カサゴ目
Scorpaenidae	フサカサゴ科
137. <i>Sebastes inermis</i>	メバル
138. <i>Sebastes schlegeli</i>	クロソイ
139. <i>Sebastes pachycephalus</i>	ムラソイ
140. <i>Sebastes hubbsi</i>	ヨロイメバル
141. <i>Sebastes marmoratus</i>	カサゴ



142. <i>Scorpaena miostoma</i>	コクフチカサゴ
143. <i>Apistus carinatus</i>	ハチ
Congiopodidae	ハオコゼ科
144. <i>Hypodytes rubripinnis</i>	ハオコゼ
Aploactinidae	イボオコゼ科
145. <i>Erisphex potti</i>	アブオコゼ
Hexagrammidae	アイナメ科
146. <i>Hexagrammos agrammus</i>	クジメ
147. <i>Hexagrammos otakii</i>	アイナメ
Platycephalidae	コチ科
148. <i>Cociella crocodila</i>	イネゴチ
149. <i>Platycephalus indicus</i>	コチ
150. <i>Sugggrundus meerdervoorti</i>	メゴチ
Cottidae	カジカ科
151. <i>Furcina ishikawae</i>	サラサカジカ
152. <i>Pseudoblemius cottoides</i>	アサヒアナハゼ
153. <i>Pseudoblemius marmoratus</i>	アヤアナハゼ
Triglidae	ホウボウ科
154. <i>Chelidonichthys spinosus</i>	ホウボウ
155. <i>Lepidotrigla microptera</i>	カナガシラ
<b>GOBIESOCIFORMES</b>	<b>ウバウオ目</b>
Callionymidae	ネズッコ科
156. <i>Repomucenus richardsonii</i>	ネズミゴチ
157. <i>Repomucenus beniteguri</i>	トビスメリ
158. <i>Repomucenus valenciennesi</i>	ハタタテヌメリ
<b>PLEURONECTIFORMES</b>	<b>カレイ目</b>
Paralichthyidae	ヒラメ科
159. <i>Paralichthys olivaceus</i>	ヒラメ
160. <i>Pseudorhombus pentophthalmus</i>	タマガンゾウヒラメ
Pleuronectidae	カレイ科
161. <i>Verasper variegatus</i>	ホシガレイ

162. <i>Pleuronichthys cornutus</i>	メイタガレイ
163. <i>Pleuronectes yokohamae</i>	マコガレイ
164. <i>Kareius bicoloratus</i>	イシガレイ
165. <i>Eopsetta grigorjewi</i>	ムシガレイ
Cynoglossidae	ウンノシタ科
166. <i>Paraplagusia japonica</i>	クロウシノシタ
167. <i>Cynoglossus interruptus</i>	ゲンコ
168. <i>Cynoglossus joyneri</i>	アカシタビラメ
<b>TETRAODONTIFORMES</b>	<b>フグ目</b>
Triacanthodidae	ベニカワムキ科
169. <i>Triacanthodes anomalus</i>	ベニカワムキ
Balistidae	モンガラカワハギ科
170. <i>Canthidermis maculata</i>	アミモンガラ
Monacanthidae	カワハギ科
171. <i>Stephanolepis cirrhifer</i>	カワハギ
172. <i>Paramonacanthus japonicus</i>	ヨソギ
173. <i>Thamnaconus modestus</i>	ウマヅラハギ
174. <i>Rudarius ercodes</i>	アミメハギ
Tetraodontidae	フグ科
175. <i>Takifugu niphobles</i>	クサフグ
176. <i>Takifugu poecilonotus</i>	コモンフグ
177. <i>Takifugu vermicularis</i>	ショウサイフグ
178. <i>Takifugu pardalis</i>	ヒガンフグ
179. <i>Lagocephalus wheeleri</i>	シロサバフグ
180. <i>Arothron hispidus</i>	サザナミフグ

表-5 昭和51(1976)年から昭和62(1987)年までの各魚種の出現状況(1)

年代		S.51~52	S.54~58	S.59~60	S.62~63	年代		S.51~52	S.54~58	S.59~60	S.62~63
調査者		岩田ほか (1979)	酒井 (1981) 港湾局 (1984)	工藤ほか (1986)	林ほか (未発表)	調査者		岩田ほか (1979)	酒井 (1981) 港湾局 (1984)	工藤ほか (1986)	林ほか (未発表)
魚種		魚種									
メダカ		○						○			○
カタヤシ		○			○			○		○	○
アオヤガラ		○	○	○	○			○	○	○	○
ヨウジウオ		○	○	○	○			○	○	○	○
オクヨウジ		○			○			○			
タツノオトシゴ		○			○			○			○
エゾインアイナメ		○	○	○	○			○	○	○	○
イザリウオ		○	○	○	○			○	○	○	○
ハナオコゼ		○	○	○	○			○	○	○	○
ハンキンメ		○	○	○	○			○	○	○	○
マツカサウオ		○	○	○	○			○	○	○	○
トウゴロウイウシ		○	○	○	○			○	○	○	○
ボラ		○	○	○	○			○	○	○	○
メナダ											
セズジボラ											
コボラ											
フウライボラ											
アカカマス											
スズキ											
ホタルジャコ			○								
マハタ			○								
キントキダイ				○							●
テンジクダイ				○							○
ネンブツダイ				○							○

○：出現魚種，●：昭和62年度の調査により新しく出現した魚種

表一5 昭和51(1976)年から昭和62(1987)年までの各魚種の出現状況(2)

年代		S. 51~52	S. 54~58	S. 59~60	S. 62~63
調査者		岩田ほか (1979)	酒井 (1981) 港湾局 (1984)	工藤ほか (1986)	林ほか (未発表)
魚種		魚種			
	ヒメコトヒキ		○	○	○
	コトヒキ	○	○	○	○
	クロダイ	○	○	○	○
	キチヌ	○	○	○	○
	カゴカキダイ	○	○	○	○
	セグロチヨウチヨウウオ	○	○	○	○
	トゲチヨウチヨウウオ	○	○	○	○
	フウライチヨウチヨウウオ	○	○	○	○
	ニセフウライ	○	○	○	○
	チヨウハン	○	○	○	○
	チヨウチヨウウオ	○	○	○	○
	アケボノチヨウチヨウウオ	○	○	○	○
	イシダイ	○	○	○	○
	イシガキダイ	○	○	○	○
	ウミタナゴ	○	○	○	○
	ソラスズメダイ	○	○	○	○
	シマスズメダイ	○	○	○	○
	オヤビッチャ	○	○	○	○
	カミノリベラ	○	○	○	○
	ホソベラ	○	○	○	○
	キュウセン	○	○	○	○
	イカナゴ	○	○	○	○
	マサバ	○	○	○	○
	タチウオ	○	○	○	○
	オオスジイシモチ				
	シロギス				
	マアジ				
	カンパチ				
	ギンガメアジ				
	シイラ				
	オキヒイラギ				
	ヒイラギ				
	マツダイ				
	クロサキ				
	ニベ				
	シログチ				
	ヒメジ				
	ヨメヒメジ				
	ミナミハタンボ				
	メジナ				
	クロメジナ				
	イスズミ				
	チンジクイサキ				
	イサキ				
	コショウダイ				
	コロダイ				
	ヒゲダイ				
	シマイサキ				

○：出現魚種, ●：昭和62年度の調査により新しく出現した魚種

表-5 昭和51(1976)年から昭和62(1987)年までの各魚種の出現状況(3)

魚種	年代		S.54~58		S.59~60		S.62~63			
	調査者	岩田ほか (1979)	酒井 (1981) 港灣局 (1984)	工藤ほか (1986)	林ほか (未発表)	調査者	岩田ほか (1979)	酒井 (1981) 港灣局 (1984)	工藤ほか (1986)	林ほか (未発表)
ニザダイ			○	○	○	○	○	○	○	○
クロハギ属の1種			○	○	○	○	○	○	○	○
アイゴ			○	○	○	○	○	○	○	○
イボダイ			○	○	○	○	○	○	○	○
サツキハゼ			○	○	○	○	○	○	○	○
ミサキスジハゼ			○	○	○	○	○	○	○	○
スジハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヒメハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
イトヒキハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
アベハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
マサゴハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヨシノボリ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヌマチチブ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
チチブ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
シマハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
アゴハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ドロメ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヒリンゴ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ニクハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ウキゴリ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
スミウキゴリ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
マハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
アシシロハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
アカハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
コモチジャコ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
サビハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
リュウグウハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヒモハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ミズハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
トビハゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
クラカケトラギス		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ホキトラギス		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ミシマオコゼ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
イソギンポ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ナベカ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
トサカギンポ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
イダテギンポ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ニジギンポ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ダイナンギンポ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
タケギンポ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ギンポ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
メバル		○	○	○	○	○	○	○	○	○
クロソイ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ムラソイ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヨロイメバル		○	○	○	○	○	○	○	○	○
カサゴ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
コクチフサカサゴ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ハチ		○	○	○	○	○	○	○	○	○

○：出現魚種，●：昭和62年度の調査により新しく出現した魚種

表-5 昭和51(1976)年から昭和62(1987)年までの各魚種の出現状況(4)

年代	S.51~52	S.54~58	S.59~60	S.62~63	年代	S.51~52	S.54~58	S.59~60	S.62~63
調査者	岩田ほか (1979)	酒井 (1981) 港灣局 (1984)	工藤ほか (1986)	林ほか (未発表)	調査者	岩田ほか (1979)	酒井 (1981) 港灣局 (1984)	工藤ほか (1986)	林ほか (未発表)
魚種					魚種				
ハオコゼ		○			アカシタビラメ		○		
アブオコゼ		○		●	ベニカワムキ		○	○	○
クジメ	○	○	○	○	アミモンガラ	○		○	○
アイナメ	○	○			ヨソギ	○		○	○
メゴチ	○	○	○		カワハギ	○		○	○
イネゴチ	○	○	○	○	ウマヅラハギ	○		○	○
コチ	○	○	○	○	アミメハギ	○		○	○
サラサカジカ	○	○	○	○	クサフグ	○		○	○
アサヒアナハゼ	○	○	○	○	コモンフグ	○		○	○
アヤアナハゼ		○		●	ショウサイフグ	○			
ホウボウ	○	○			ヒガンフグ	○			○
カナガシラ	○	○	○		シロサバフグ			○	
ネズミゴチ	○	○	○		サザナミフグ				
トビヌメリ	○	○	○						
ハタタチヌメリ	○	○	○						
ヒラメ	○	○	○	○					
タマガンゾウビラメ	○	○	○						
ムシガレイ	○	○	○						
ホシガレイ	○	○	○						
メイタガレイ	○	○	○	○					
マコガレイ	○	○	○	○					
イシガレイ	○	○	○	○					
クロウシノシタ	○	○	○						
ゲンコ	○	○	○						

○：出現魚種、●：昭和62年度の調査により新しく出現した魚種

## 4. 沿岸魚類の指標性

### 4-1. 生物学的指標としての妥当性について

沿岸魚類は磯遊びや釣りなどを通して一般的に親しみやすい生物群であることはよく知られている。しかし一般に環境評価を行うときに用いる生物学的指標の各生物群に共通な条件として次のようなことが考慮される必要がある。

1. 対象とする生物が一応全国的に分布していること
2. 対象とする生物の観察や識別が容易であること
3. 対象とする生物の季節的な変動や消長が少ないこと
4. 対象とする生物と水質の対応が明瞭であること
5. 対象とする生物の分布が固定的であること

以上の5条件は、主として陸水環境に生息する生物の指標性となりうるための諸条件(君塚<sup>6)</sup>, 1987)であるが、海洋生物においても比較的河口や沿岸水域においてはこれらの諸条件の妥当性を満足することが望ましいと思われる。

#### 4-1-1 指標活用としての利点

河川に生息する淡水魚類と同様に、沿岸魚類についても比較的大型の水生動物であるので、よく目につきやすい。磯遊びや遊漁などで直接手にふれることができ、実物を観察しやすい。また直接的な水質環境の変化を魚類の動態によって観察しやすい。例えば数量の増減や死亡による浮上数や情報の確認が得やすい。目視観察による種類の同定がしやすい。また組合や專業者からの直接的情報も得やすく、大がかりな調査用具を必要としない。また単なる魚捕りとしての初期の動機が将来的には水環境全体に生息する生物への関心をもたせる効果も期待できる。以上の点では直接的な指標種としての効果よりもむしろ環境を自己評価するための動機づけ的な有効性が望める。

#### 4-1-2 指標活用としての難点

魚類の水環境に対する指標性生物としての取扱いは、従来淡水魚類によって代表されてきた。上流から下流、河口までの水質変化の傾向(主に化学的指数としてはBODが主体)にともなう魚類相の変化と出現量による検定が主体であり、このような方式から各都道府県では水環境への感心を深めるための普及啓蒙的な印刷物が多く出版されている。しかし専門書となると指標種としての有効性は存在するが画一的な設定は、現状把握されているだけの見解からは無理であるとしている。沿岸魚類については上中下流などと明瞭に流程区分できる生息環境とはちがって、かなり広い生活空間に分布し、かつ複雑な生息場所に分散しているので、その点では陸水環境よりも一層基準を設定することは困難であるといえる。特に魚類は大きさの大小にかかわらず遊泳生活が主体であるので、何らかの理由で場の移動がかなり自由にできる生物群である。移動性の少ない、あるいは全くない水生昆虫や付着生物などと比較してきわめて環境に対する定着性のない生物群であることが選定しにくい理由のひとつである。また嫌忌反応が強いので、水質の変化や汚染物質の増減に極めて敏捷に反応する。温度変化や有機化学物質の濃度変化に対する魚類の耐性については、方法として半数の試験生物が時間内に死亡する汚染物質の濃度で示すTLm(半数致死濃度)実験がある。工場排水による魚類の致死原因を調べるために用いられたいりする手法であり、沿岸魚類についても実験データが多く報告されているので、各魚種についての耐忍限界値を検討すれば定量的な基準を各魚種毎に定めることは可能である。しかしこの試験は閉鎖空間の中で行われているので、実際の海域では事前の嫌忌反応により場の移動を行うのが普通なので、TLm値

による生存率に準拠することも不自然といえる(清水<sup>7)</sup>, 1972)。

分布上の問題点としては、きわめて全国的に均一に分布する沿岸魚類はあまり多いたとはいえない。むしろ日本全体として考えると南北に長い地理的条件と潮流などの関係から物理的な水温差が大きく、分布種にむしろ多様性があるのが特徴といえる。また現状同一種と同定されているものも細胞遺伝学的に地域種を比較すると、専門家でなければ査定できない場合がある。主として取扱う環境が内湾的要素であるか外洋に面した環境であるかにより沿岸魚のすみわけがあるので、種の均一な分布は期待できないなどの選定のしにくさがある(林<sup>8)</sup>, 1979)。

移動性の問題としては生息環境水の化学的变化に敏感に反応する結果として起こる場の移動と、環境水の物理的変動ともなる場の移動との区別が判断しにくい。とりわけ河口・汽水域については潮の干満運動と密接な関連があり、毎日の生活時間帯の中でも移動は頻繁に行われていると考えてよい(林・長峯<sup>9)</sup>, 1981)。また種類によってはその種の生活史のなかで場の移動を行い、季節的に大移動をするものも少なくない。とくに成長期での接岸や離岸、産卵のための小あるいは大回遊などがある(岩田ほか<sup>3)</sup>, 1979)。また生活環境の半強制的改変による場の移動が考えられる。自然海岸と人工海岸(護岸や造成により改変された海岸)による種の多様性の相異は、主にこの生活環境の変化による移動現象である。これらの点についての種組成の違いがむしろ環境指標としての魚類の有効性と見られるわけであるが、この場合にも環境が改変される以前の魚類相などが明瞭にわかる資料の蓄積がないと比較がしにくいといえる。ここではその一例として東京湾の漁業生物相変化の機構を示した各生物の生態と環境悪化との関連を表-6に掲げた。

#### 4-2. 指標生物としての沿岸魚類の評価

上述した通り、実際に活用する点においては一般的に取扱いやすい対象生物であるが、指標性としての難点を無視した応用はできない。淡水魚類と同様に地域性に富んだ魚類相や生態系が確立しているので、現状では各地域単位ごとに指標のモデルを試作することが望ましいといえる。できれば沿岸魚類だけを独立させて水質基準と対応させることはさけて、沿岸底生あるいは付着生物などと、それぞれの従属資料として位置づけるべきであろう。

##### 4-2-1 横浜市沿岸域での指標基準の設定

###### ○指標生物としての沿岸魚類の選出基準

横浜市沿岸域から記録された魚類については173頁~176頁に記述した通り、昭和51(1976)年から昭和62(1987)年までの期間に180種である。東京湾の西側沿いに生息する魚類が中心であるが、東京湾の現環境から推測して比較的少量の沿岸魚類が生息しているといえよう。しかしこれらの記録種の中には表-5からもわかる通り、ある年に限って記録されたものも少なくなく、全ての種類が通年あるいはここ10年間で全て記録されているわけではない。そういう点では最近の情報と経年的な出現の傾向に変化の極めて少ないもの、つまり最近では見られなくなった種類や稀に見られる種類は全て除外することとした。その結果、昭和51(1976)年から昭和62(1987)年までを4期に分け、最低3期以上の記録のあった71種類を選出した(表-7-1, 2)。

生活生態的な観点では林<sup>8)</sup>(1979)が東京湾猿島で記録された魚類について行った生活型の区分や林・長峯<sup>9)</sup>(1981)が三浦半島の河口域魚類について行った生活型の区分を考慮しながら、主としてある生活環境に年間を通して定住している生活型の魚種を対象とした。またアユやシロギスなど季節的な移動



表-6 東京湾に生息する海洋生物の生態と環境悪化との関連

分類 <sup>1)</sup>	生物名 <sup>2)</sup>	産卵への影響 <sup>3)</sup>		成育への影響 <sup>3)</sup>		以前との漁獲 <sup>4)</sup> の比較
		貧酸素	埋立て	貧酸素	埋立て	
A	マハゼ	○	○	○	○	○
	イシガレイ	○	○	○	○	○
	マコガレイ	○	○	△	●	△
	シロギス・アオギス	○	○	△	●	●
	イカナゴ	○	●	○	○	●
	(アサリ)	○	○	○	○	○
	(ハマグリ)	●	△	△	●	●
	(マダコ)	△	△	○	○	△
	(イイダコ)	○	○	△	△	△
	(クルマエビ)	○	○	△	●	●
	(シバエビ)	○	○	△	●	●
コチ	○	○	●	△	●	
B-a	サヨリ	○	○	○	○	○
	コノシロ	○	○	○	○	○
	(ガザミ)	△	○	●	●	●
B-b	ヒラメ	○	○	●	○	●
	マアナゴ	○	○	○	△	△
	ウナギ	○	○	○	●	●
	スズキ	○	○	○	○	○
	クロダイ	○	○	○	○	○
	ボラ	○	○	○	○	○
	イシモチ	○	○	△	○	○
B-c	サワラ	○	○	○	○	●
	マイワシ	○	○	○	○	●

(松川, 1979より改変)

注

- 1) A 東京湾内で一生をおくる生物  
 B-a 産卵場が湾内で、成体になると湾を移動する生物  
 B-b 産卵場が湾外で、成長期を湾内で過ごす生物  
 B-c 産卵場も成育場も湾外であるが、季節的に一時期湾内を回遊する生物
- 2) ( )内の生物は魚類以外の生物
- 3) ● 重大な影響を受けた生物  
 ○ 重大な影響をあまり受けなかった生物  
 △ よくわからない
- 4) ● 漁獲が減少した生物  
 ○ 漁獲はほとんど変らなかった生物  
 △ よくわからない

表-7-1 沿岸魚類による指標性のモデリングと生態的特徴

魚種	BOD/COD	富栄養域			適栄養域			水域形態区分			季節	指標性		
		きれいな 1~3 ppm	やや汚れている 3~5 ppm	汚れている 5~10 ppm	非常に汚れている 10 ppm 以上	干潟	岸壁	内湾	春	夏			秋	冬
ヌタウナギ														
ホシガメ														
アカエイ														
アンバクロエイ														
トビエイ														
マイワシ														
カツバ														
コノシロ														
カタクチイワシ														
カラスイワシ														
ウナギ														
ゴチンアナゴ														
マアナゴ														
クロアナゴ														
アユ														
モツゴ														
ギンブナ														
ドジョウ														
ゴシヨウ														
マエソ														
トカゲエン														
ワニエン														
ダツ														
サトヒワ														
ヒラメ														
メダカ														
メダカ														
アヒ														
カマキリ														
アヒ														
ヨウジウオ														
オトコ														
タツノオトシ														
エソ														
イサリ														
ハナオコ														
ハシケン														
マツカサ														
トウゴ														
ボラ														
メナシ														
セナシ														
コボラ														
フウライ														
イボラ														
アカカマス														
スズキ														
ホタルジャコ														
マハタ														
キントキ														
テニク														
アツク														
アイ														



表-7-2 沿岸魚類による指標性のモデリングと生態的特徴

魚種	感覚評価 水質評価 (COD)	富栄養域				過栄養域				水域形態区分		季節	指標性	
		きれい 1~3 ppm	やや汚れている 3~5 ppm	汚れている 5~10 ppm	非常に汚れている 10 ppm以上	干潟	崖壁	内湾	春	夏	秋			冬
アイゴ														●
イボダイ														●
サツキハゼ														●
ミサキハゼ														●
スジハゼ														●
ヒメハゼ														●
イトヒキハゼ														●
アベハゼ														●
マサゴハゼ														●
ヨシノボリ														●
ヌマチチブ														●
チチブ														●
シマハゼ														●
アゴハゼ														●
ドロメ														●
ヒリンゴ														●
ニクハゼ														●
ウキゴリ														●
スミウキゴリ														●
マハゼ														●
アシシロハゼ														●
アカハゼ														●
コモチジャコ														●
サビハゼ														●
リュウグウハゼ														●
ヒモハゼ														●
ミズハゼ														●
トビハゼ														●
クラカケトラギス														●
オキトラギス														●
ミシマオコゼ														●
イソギンボ														●
ナベカ														●
トサカギンボ														●
イダチギンボ														●
ニジギンボ														●
グイナギンボ														●
タケギンボ														●
ギンボ														●
メバル														●



や生息水域の移動を行うものについても数種類を意識的に選出したが、これらの種類は水質あるいは底質の変化に極めて強い反応を示すと同時に、その種類の一般的な親しみ度合が高いことから対象としたものである。よって71種類の中からは一般に遊漁や磯遊び、または岸壁釣りなどでさらに観察することの機会が多い魚種を最終的に選定し、指標種とした。

#### ○水域形態の区分のモデル

横浜市沿岸域にみられる水域形態としては河口域、人工海岸域（岸壁など）および離岸域（沖合の水域）などがあり、いずれの環境も遊漁、磯遊びや釣りなどを目的として一般市民に広く活用されている場である。これらの水域形態を主に代表する場としてすでに調査対象となっている以下の地点をモデルとして取扱った。

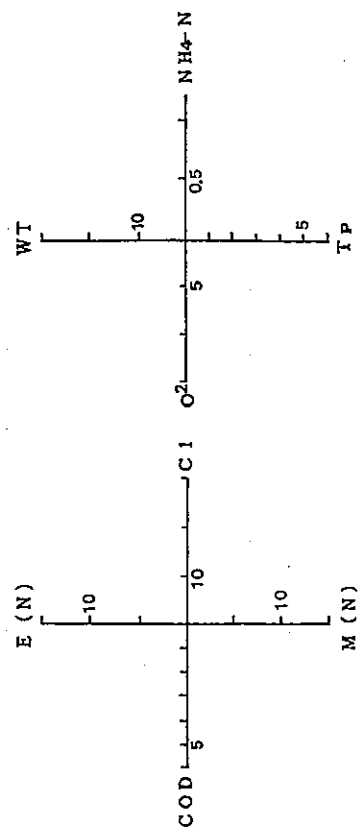
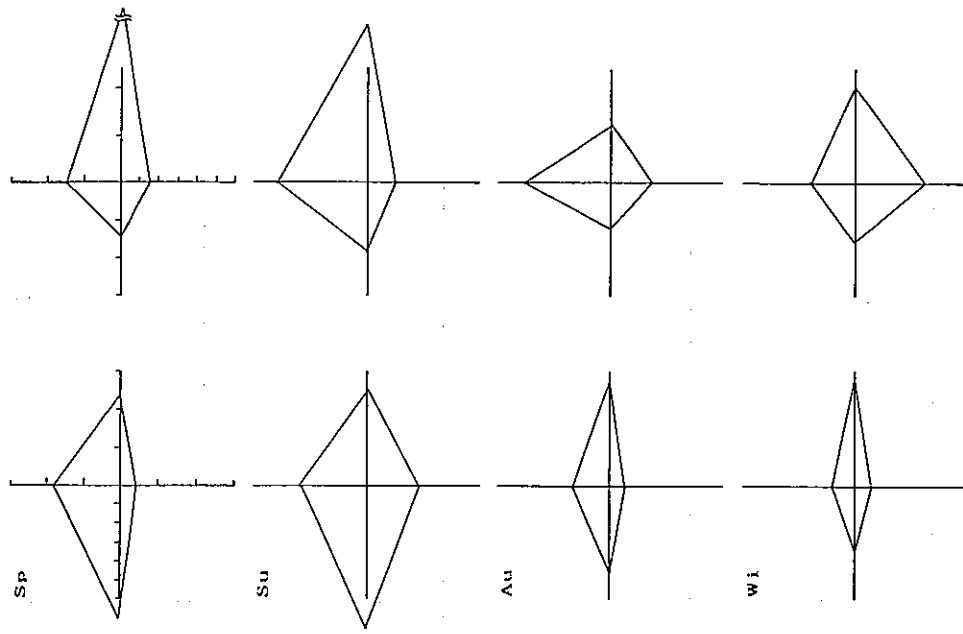
- ①河口・干潟：鶴見川河口、平潟湾内
- ②人工海岸域（岩壁）：横浜港、夏島海岸
- ③内湾・沿岸域：本牧沖、磯子沖、富岡沖

これらの調査対象地点はそれぞれに微妙な水質、底質の相違があり、そこに生息する魚類についてもその環境に特有な種が存在するので、場の任意選択により指標種が異なるものと考えた。

#### ○指標指数の設定

海域の汚れを示す水質項目としては多くの特定物質の分析値が利用されているが、沿岸魚類を利用した生物学的な水質判定にはCOD値を用いた。結果COD値（mg/l値をppm値にしたもの）による海域の栄養階級区分によって示され、どの海域がどの程度の年平均COD値を有する場であるのか、またその環境に優先して生息する魚類は何であるか、またどの程度（主に最高COD値）の栄養階級区分の海域から記録されることがあるのかという条件下で指標指数の範囲の想定を行った。前章でも述べたように魚類の多くは閉鎖空間でなければ事前の嫌忌反応により場の移動が可能なので、種の定性と水質判定の定量的関係がかならずしも均衡ではないことにはたえず留意すべきであろう。

代表的な水域形態にみる各海域の水質調査項目の関連は図-2-1～4に示した。これらの図からわかることは、まず周年移動型の沿岸魚（M）の種数は春（Sp）から冬（Wi）までの各季節ごとに大きく変動すること、本牧・磯子・富岡などの離岸域と鶴見川河口・平潟湾などの接岸域とでは年間を通してアンモニア性窒素（ $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ）の量に極端な差がみられること、透明度にも大差があること、周年移動型の魚種は接岸域には少なく、その傾向は接岸域の年平均で見るCOD値が離岸域と比較して高いなどの関連性のある傾向が認められた。このように各海域の水質調査項目の傾向と魚種数の変動傾向が年間でも小差を認めざるを得ないので、場における種の指標値についての有効度はかならずしも絶対的ではない。



E (N) . . . 周年定住型の沿岸魚 (種数) : M (N) . . . 季節移動型の沿岸魚 (種数)  
 COD . . . 化学的酸素要求量 (mg/l) : C1 . . . 塩分濃度 (%)  
 O<sub>2</sub> . . . 溶解酸素量 (Mg/l) : WT . . . 水温 (°C)  
 NH<sub>4</sub>-N . . . アンモニウム性窒素 (mg/l) : TP . . . 透明度 (m)  
 Sp . . . 春, Su . . . 夏, Au . . . 秋, Wi . . . 冬

図-2-1 水質調査項目別にみた鶴見川河口域の特性と魚類組成

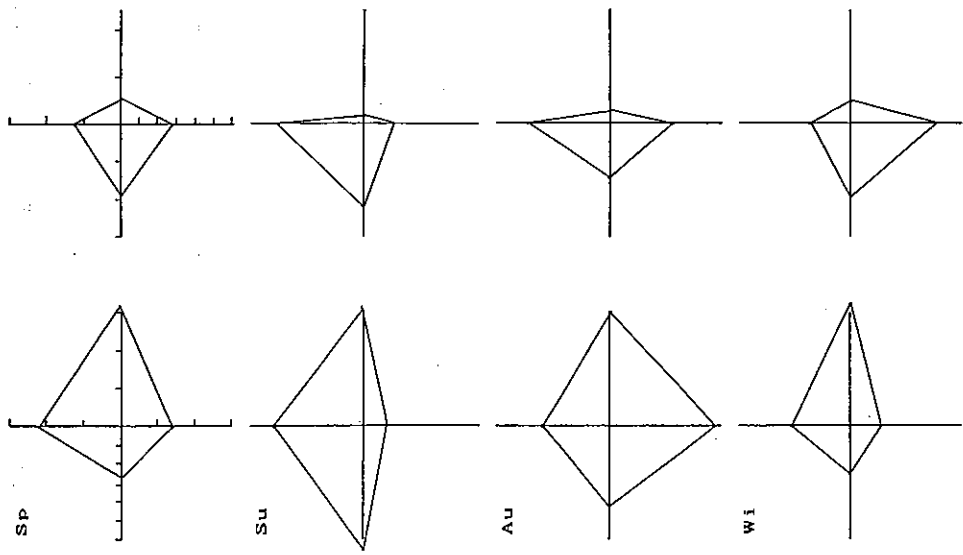


図-2-2 水質調査項目別に見た平潟湾内海域の特性と魚類組成

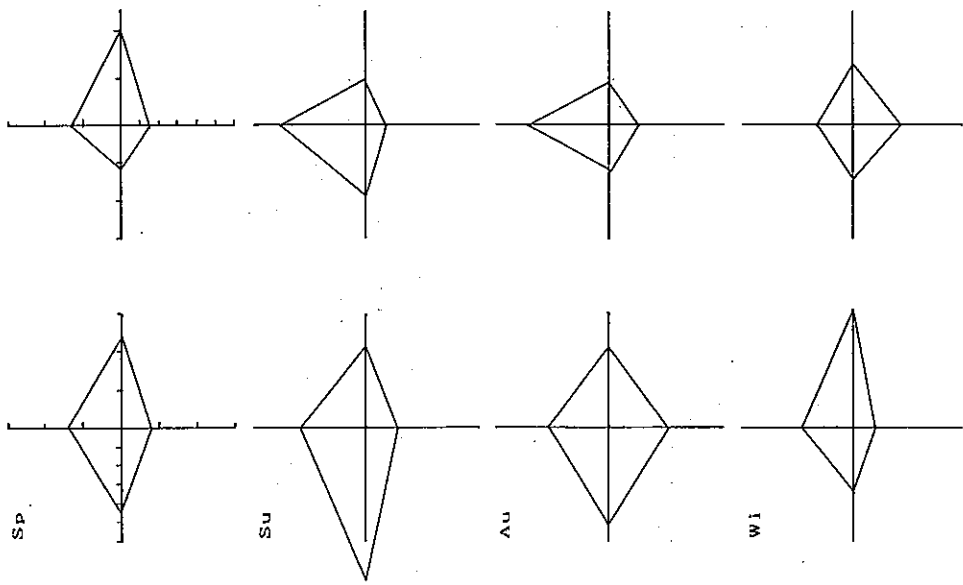


図-2-3 水質調査項目別に見た本牧沖海域の特性と魚類組成



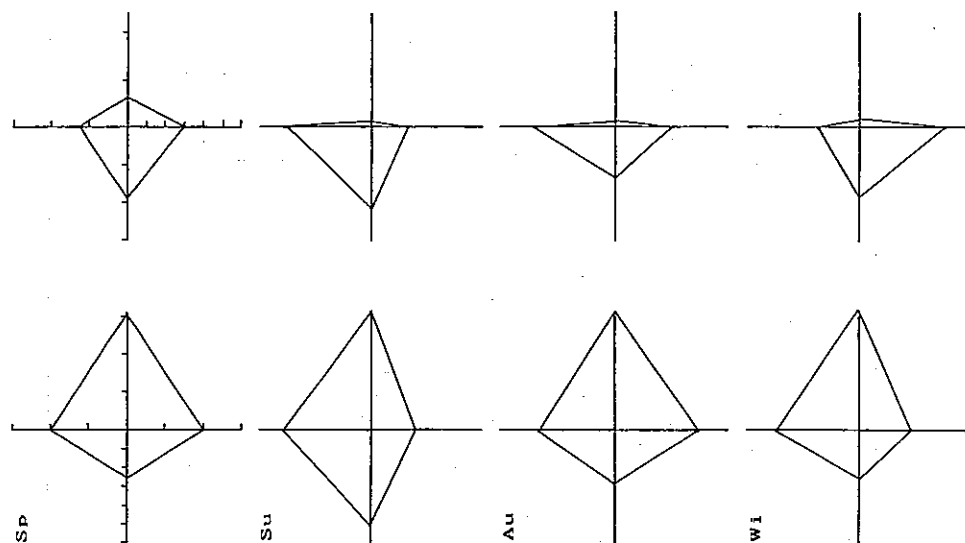


図-2-5 水質調査項目別にみた富岡沖海域の特性と魚類組成

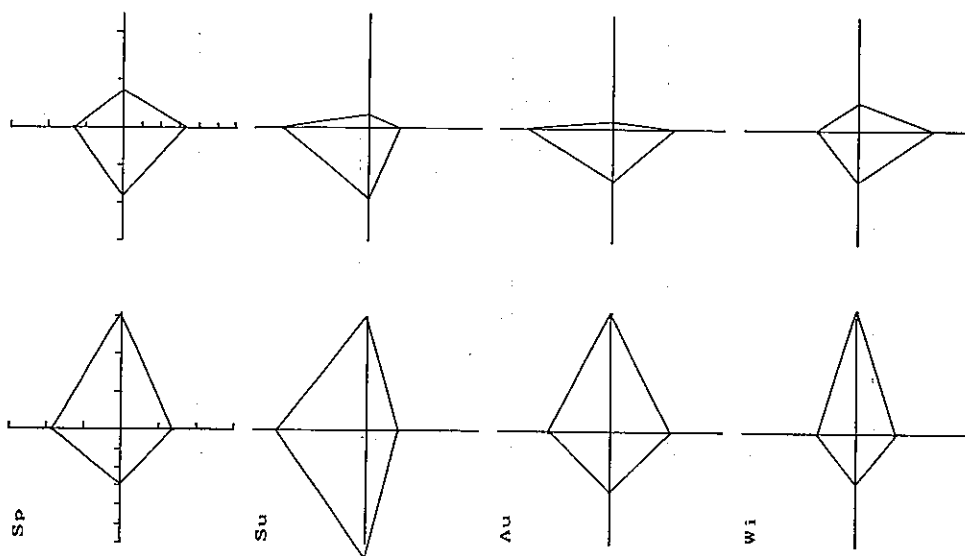


図-2-4 水質調査項目別にみた磯子沖海域の特性と魚類組成

## 5. 指標生物の選定

主に前4章で解説したような観点から横浜市沿岸域にみる魚類を指標生物として取扱った一例を水質評価COD値を用いて表-8に示した。

表-8 横浜市沿岸水域に生息する魚類の生物的指標性

1) 水域形態区分	2) 指標種	3) 感覚評価 水質評価 (COD)	富栄養域		過栄養域	
			きれい 1~3 ppm	やや汚れている 3~5 ppm	汚れている 5~10ppm	非常に汚れている 10ppm以上
干潟	ヨウジウオ					
	ビリンゴ					
	ミミズハゼ					
	コチ					
	クロサギ					
	シマイサキ					
	ヒメハゼ					
	マサゴハゼ					
	スジハゼ					
	チチブ					
	アシシロハゼ					
アベハゼ						
岸壁	ウミタナゴ					
	オヤビッチャ					
	ヒイラギ					
	キューセン					
	イソギンボ					
	ナベカ					
	ダイナンギンボ					
	クジメ					
アサヒアナハゼ						
内湾	アユ					
	シロギス					
	マアジ					
	スズキ					
	クロダイ					
	ネズミゴチ					
	マコガレイ					
	イシガレイ					
	カワハギ					
	ウマツラハギ					
ハタタテスメリ						
干潟・岸壁	クサフグ					
	コトヒキ					
	シマハゼ					
	ボラ					
干潟・内湾	アミメハギ					
岸壁・内湾	マハゼ					
	アイナメ					

- 1) 横浜市沿岸域に現存する水域環境（とくに海岸線の現況）の状態から形態区分を行った。また単一環境だけでなく複合する環境の場合は形態区分の組み合わせを行った。
- 2) 形態区分されたモデル水域に、調査の結果出現頻度の高い（年間調査による）魚種を選出し、さらにその中から一般的に親しみやすい種類をモデル水域での指標種とした。
- 3) 形態区分されたモデル水域の年間COD値を平均軸として、最大値と最小値の季節に出現する魚種の中から指標種に相当するもののCOD値の範囲を、生存可能範囲に設定した。この場合実線(—)は年間COD値の最小から平均値にかかわる範囲で、破線(---)は平均値から最大値に相当する範囲であり、指標種の場所の移動が予想される。

## 引用文献

- 1) 横浜市公害対策局：横浜の川と海の生物。横浜市公害対策局公害資料，(73)。1～164 (1978)。
- 2) 菊地利夫：東京湾史・環境科学ライブラリー⑧。1～214 (1974)。大日本図書。
- 3) 岩田明久・酒井敬一・細谷誠一：横浜市沿岸域における環境変化と魚類相。横浜市公害対策局公害資料，(82)。1～246 (1979)。
- 4) 酒井敬一：横浜市金沢湾の魚類相。横浜市公害対策局公害資料，(92)。255～282 (1981)。
- 5) 工藤孝浩・鴨川宗洋・伊藤俊弘：横浜市沿岸域の魚類相。横浜市公害対策局公害資料，(126)。181～225 (1986)。
- 6) 君塚芳輝：生物による水質調査指標としての淡水魚類。昭和61年度環境庁委託業務報告書（水質管理計画調査－水生生物による水質調査法改訂検討－）。環境庁水質保全局・（社）日本の水をきれいにする会，49～107 (1987)。
- 7) 清水 誠：海洋の汚染－生態学と地球科学の視点から－。78～97 (1972)。築地書館。
- 8) 林 公義：横須賀市、猿島沿岸の魚類。（財）観光資源保護財団・観光資源調査報告“猿島の自然・生物的自然に関する研究”，7。109～134 (1979)。
- 9) 林 公義・長峯嘉之：三浦半島淡水魚類調査追加記録と一考察。神奈川自然誌資料，(2)。23～28 (1981)。
- 10) 松川康夫：東京湾の環境と生物相変化の機構。日本科学者会議編・東京湾，43～55 (1979)。大月書店。
- 11) 横浜市港湾局：金沢地先埋立・海の公園造成に伴う人工海浜底生魚介類調査。昭和54年度～58年度調査のとりまとめ（案），1～75 (1984)。

（林 公 義：横須賀市自然博物館）



## 海岸環境指標生物

風呂田 利夫

### 1. 海岸環境指標生物の考え方

人間活動による海岸環境悪化は短期的なものとして埋め立てなどによる大規模な海域消失や改変と、慢性的なものとして排水などを通じて環境影響物質を海に供給しつづけることがある。横浜市の海岸は東京湾内湾部にあり、これら双方の原因により海岸の環境悪化は比較的進行した状態にある。

海岸環境の悪化はさまざまな要因の複合連鎖的な影響により生じるが、横浜市の海岸のように都市排水が多く、埋め立ての進行した海岸では表1のように大別できよう。これらの諸要因はいずれの要因においても、生物各種の耐性を越えた変化（過剰）、あるいは生活上の要求を満たされない（不足）という過程を経て、その海域で生活できる生物種数の減少すなわち群集の単調化、極端な場合には無生物状態となって観察される。

各要因について横浜市の海岸で予想される影響を述べてみたい。例えばシアン化合物や酸、石油など海洋生物への急性的な有害物の大量排出が生じた場合海洋生物の短期的死亡をもたらす。しかし有害物の排出規制と監視が進んだ現在ではこのような例は極めて少なく、むしろ酸素欠乏水や淡水の急激な流入等水質環境そのものの変化が生物生息に悪影響を与えている。

現在東京湾はリンや窒素などの無機栄養塩類の多量供給により植物プランクトンの大増殖が頻繁に生じ、有機物生産が盛んに行なわれている。海水あるいは海底への有機物供給の増加は、その有機物を直接利用できる低次消費者、たとえば懸濁態の有機物を利用するムラサキガイなどの優占的増加をもたらし、またバクテリアの増加とそれを食する動物の増加などを引き起こす。さらに極端な有機物の過剰供給は酸素欠乏水を形成し、これによる影響も観察されよう。

海水中の無機栄養塩類の増加は海岸の一次生産構造に大きな影響を与える。すなわち赤潮の発生にみられるように植物プランクトンが増殖し、透明度の減少による水中光量減少により海藻（海草）の生育を阻害する。また植物プランクトン由来の有機物増も生じる。

河川排水の集約化や都市排水口の設置、ならびに埋め立てなどによる海域面積減少と海域閉鎖性の増加は、淡水流入あるいは有機物の集約や酸素欠乏など、生物の生息に重大な影響をあたえる諸要因の変動幅を増加させ、変動周期性を不安定なものにする。生物は本来主として季節変化に起因する周期的な環境変化に対応した生活生態を持っているが、人為変化による予測できない環境変化には対応できないことが多い。とくに長命な生物ではその生活時間が長いゆえにその影響を強く受けやすい。

自然の海岸ではミクロ的に底質粒度組成、岩の凹凸や間隙など、またマクロ的には干潟、砂浜、転石、岩礁、タイドプールなど空間的多様性に極めて富んでいる。生物各種はこれらの空間的な環境の相違を微妙に使い分けて生活することが多く、環境的多様性は種の多様性と深い関係にある。一方埋め立て護岸など人工の海岸では、空間的多様性は極めて乏しくなり、生活できる生物種は減少する。特に繁殖期においては、卵や幼稚体の保護のため特定の空間を必要とする動物が多く、空間的多様性の減少はその海岸で繁殖できる動物種数の減少をもたらす。このように環境と生息生物種数とは密接な関係にあり、

海水の有機汚濁や人為的海岸改造は海岸生物種数の減少をもたらすであろう。

表2は生物的視野と人間的視野からみた環境変化の評価である。極端に環境が悪化した海岸では生物は全く生息できないのでここでは論外として、まだ生物が生息できる範囲内での環境悪化でどのような内容によりその環境を評価するかをまとめたものである。

生物的視野を総合すると、海藻（海草）とそれを食べる草食者、高次の捕食者の数、またそこで繁殖している種がそれぞれ多いほどよい海岸環境であり、外観的には適当量多種の生物が生息し、その中には海藻（海草）がよく繁茂し、大型生物が目立つことがその指標となろう。これは人間的視野にたった場合、親水性の面でやや一致しない面もあろうが、横浜市の海岸のようにもともと小規模な岩場と、砂浜、干潟という親水性の高い海岸が生物的にみても良い海岸であったことを配慮すると、生物的と人間的にみた環境評価はほぼ一致するとみなされよう。

これとは逆に、環境悪化の進行した海岸では、生物的視野で見ると生物量はある程度までは増加することもあるが最終的には減少し、懸濁物や沈殿物を食べる小型で短命な動物が優占しており、外観的には、植物プランクトンなどにより海水の透明度が低く、海藻類のほとんどみられない、種類数の少ない状態として観察されよう。人間的視野からみて親水性のない人工海岸では生物的視野においても環境の悪い海岸であることがほとんどであり、生物にとって悪い環境は人間にとっても同様な評価となるといえよう。

これらのことを総合的に判断すると、多種の生物が長期的に安定して生活している海域ほど良好な海岸となり、環境が悪化するにしたがって生息できる種の数が減少するため出現種の数が環境の良し悪しを判定するのに好都合な情報であると結論されよう。

表-1 人間活動に関係した海岸環境悪化

要因	海域への影響
埋め立て	海域面積の減少、生物量の減少、海岸地形の単調化、生物多様性の減少、海底環境の物理的不安定さ増大、有害物・栄養物の排出増、海水浄化能力の低下
有害排出物	生物量の減少、生物多様性の減少
栄養物排出	海水の富栄養化促進、植物プランクトンの増殖、海水透明度の低下、海底酸素量の減少、少量の場合生物量は増加するが多量な場合は減少、生物多様性の減少

## 2. 横浜市および周辺の海岸生物相調査

横浜市の海岸は東京湾内湾部に位置する。その海岸地形のほとんどはコンクリート垂直護岸、鉄板パイル、テトラポッドなどからなる人工護岸である。また一部には自然のまま比較的広く残った、もしくは閉鎖的な人工護岸の入江部に形成された小規模な干潟が存在する。

東京湾内湾部固形物海岸の潮間帯における付着動物は内湾海面に面したところでは上部にイワフジツボ、下部にムラサキイガイが優占的に出現することで共通しており、横浜市の海岸においてもこの2種が優占することには変わりはなく、同時にコガモガイ、エゾカサネカンザシ、マガキ、サンカクフジツボ、タテジマフジツボ、アメリカフジツボ、ヨーロッパフジツボも観察されている（古瀬・風呂田 1985）。

横浜市やその周辺海岸の生物相をより詳細に調査する目的で、海岸線幅約10m内に出現する海岸生物相調査を行なった。調査は12の海岸において1987年5月から1988年2月にかけて各季節ごとの大潮干潮時に行なった。この調査で出現した生物のリストと海域環境別出現範囲を表3に示す。海域の環境は出現生物の多様性と各種の環境選好性、各海域の経験的水質により区分した。富栄養域としては横浜市外ではあるが大型海藻類が成育し外洋性の動植物相が多い東京湾口部の観音崎とたたら浜、過栄養域のうちやや汚れている海岸は外洋性の生物の出現が見られる、もしくは干潟の底質の黒色還元化がほとんどない馬堀と野島、汚れている海岸は付着性二枚貝類と緑藻類の生育がみられる本牧、山下公園、大黒埠頭、橋本町、鶴見大橋、そして非常に汚れている海岸は付着性二枚貝の生育が見られず、干潟の底質が顕著に黒色化している浅野、安善、村雨橋とした。確認された生物種数は、富栄養域では61、やや汚れている過栄養域では53、よごれている過栄養域では30、非常に汚れている過栄養域では13種となり、環境が悪化するにつれて減少した。

表-2 生物的視野と人間的視野からみた環境評価

	良好な環境	劣悪な環境
(生物)		
種多様性	大	少
生物現存量	中	から 大 のち 少
大型動物	多	少
大型海藻	多	少
植物プランクトン	少	多
(人間)		
接近度	易	難
海岸地形の多様性	多	少
生物観察採集	易	難
海水透明度	良	悪
海岸の水平的広さ	大	少

表-3-1 横滨市内及び周辺に生息する海岸生物リリストと指標性 (●:指標種としてすぐれてる, △:ややすぐれてる)

魚種	感度評価 水質評価 (COD)	富栄養域			過栄養域			水域形態区分	季節	指標性							
		きれい 1~3 ppm	やや汚れている 3~5 ppm	汚れている 5~10ppm	非常に汚れている 10 ppm 以上	干潟	岸壁				内湾	春	夏	秋	冬		
(海綿類)		-----	-----	-----								●				●	
ムラサキイソノカイメン		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
ダイダイイソノカイメン		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
イソノカイメンの1種		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
カイメンの1種		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
(腔腸動物)		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
ヨロイイソノギンチンチャク		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
ミドリイソノギンチンチャク		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
タテジマイソノギンチンチャク		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
イソノギンチンチャクの1種		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
ヒドロ虫類		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
(多毛類)		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
ゴカイ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
アシナガゴカイ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
ミスヒキゴカイ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
カンザシゴカイの1種		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
(苔虫類)		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
チゴケムシ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
(甲殻類)		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
カメノテ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
タテジマフジツボ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
ドロフジツボ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
シロスジフジツボ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
アメリカフジツボ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
ヨーロップバフジツボ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
イワフジツボ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
アカフジツボ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
オホアカフジツボ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
クロフジツボ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		
フナムシ		-----	-----	-----								●●	●●	●●	●●		



表-3-2 横浜市内及び周辺に生息する海岸生物リストと指標性

魚種	富栄養域		過栄養域			水域形態区分		季節	指標性
	きれい 1~3 ppm	やや汚れている 3~5 ppm	汚れている 5~10 ppm	非常に汚れている 10 ppm 以上	干潟 内湾	沿岸 内湾			
モエビの1種	-	-	-	-	-	●	●	●	●
イシガニ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
イソガニ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
ケフサイイソガニ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
ショウジンソガニ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
ホサガニ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
ニホンスナモグリ ( 腹足類 )	-	-	-	-	-	●	●	●	●
ヒザラガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
ケハダヒザラガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
アメフラシ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
コカモガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
マツバガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
カサガイの1種	-	-	-	-	-	●	●	●	●
コシダカガンバラ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
アラレタマキビガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
タマキビガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
シマメノウフネガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
イボニシ ( 二枚貝類 )	-	-	-	-	-	●	●	●	●
ホトトギスガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
コウロエンカワヒバリガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
ムラサキイガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
ミドリガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
マガキ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
アサリ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
マテガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
カガミガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
シオフキガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●
バカガイ	-	-	-	-	-	●	●	●	●

表-3-3 横浜市内及び周辺に生息する海岸生物リストと指標性

魚種	感覚評価 水質評価 (COD)	富栄養域				過栄養域			水域形態区分		季節		指標性
		きれ 1~3 ppm	やや汚れている 3~5 ppm	汚れている 5~10 ppm	非常に汚れている 10 ppm 以上	干 高	岸 壁	内 湾	季節				
									春	夏 秋 冬			
(ホヤ類)							●	●	●	●	●	●	●
シロボヤ													●
エボヤ													●
ホヤの1種													●
群体ホヤ類													●
(緑藻類)													●
アオサ類													●
アオノリ類													●
(褐藻類)													●
ワカメ												●	△
フクロノリ													
(紅藻類)													
カヤモノリ													
タンバノリ													
ツノムカデ													
ヒラムカデ													
イボツノマタ													
ツノマタの1種													
ベニスナゴ													
アサクサノリの1種													
石灰藻類													●
紅藻類													

表-4 水域形態別の生物指標

水域形態区分	指標種 感覚評価 水質評価 (COD)	富栄養域		過栄養域	
		きれい 1~3 ppm	やや汚れている 3~5 ppm	汚れている 5~10ppm	非常に汚れている 10ppm以上
岩壁	ヨロイイソギンチャク				
	カメノテ				
	マツバガイ				
	アラメ				
	石灰藻類				
干潟	ダイダイイソカイメン				
	オサガニ				
岩壁	ヒザラガイ				
岩壁	コシダカガンガラ				
干潟	マテガイ				
干潟	バカガイ				
岩壁	ワカメ				
岩壁	紅藻類※1				
岩壁	タテジマイソギンチャク				
岩壁	イソガニ				
干潟	ニホンスナモグリ				
岩壁・内湾	コウロエンカワヒバリガイ				
岩壁・内湾	ムラサキイガイ				
干潟	シオフキガイ				
岩壁	シロボヤ				
全域	アオサ類				
全域	アオノリ類				
干潟	ゴカイ				
全域	アシナガゴカイ				
干潟	ミズヒキゴカイ				
岩壁・内湾	フジツボ類※2				
全域	ケフサイソガニ				
岩壁・内湾	タマキビガイ				
岩壁・内湾	マガキ				
干潟・内湾	アサリ				

注1) タテジマフジツボ, ドロフジツボ, シロスジフジツボ, アメリカフジツボ, ヨーロッパフジツボ, イワフジツボ

注2) カヤモノリ, タンパノリ, ツノムカデ, ヒラムカデ, イボツノマタ, ベニスナゴなど

これらの種から年間を通して出現頻度が比較的高く、同定が比較的容易な種を海岸環境指標生物として選別した(表-4)。紅藻類は種の同定が困難なことから、フジツボ類については同様な理由とさらに各種の塩分、波当たりの強さなど水質汚濁とは別な自然的要因で生息種が異なることからグループのうちいずれの種でも指標種として扱えるようにした。

### 3. 海岸環境指標生物調査法

#### 1) 用具

磯金、ビニール袋、シャベル、70%アルコール

#### 2) 採集法

大潮の干潮時に海岸線約10mのなかに出現する指標生物を記録する。転石の下やまたは泥の中にある生物も調査する。種名の分からない海藻はなるべく冷やして持ち帰り、動物は70%アルコールに入れて、できるだけ早く同定する。

#### 3) 指標生物の出現を記録する。各種の生息できる最も悪い海岸環境に着目し、それらの環境のうち最もよい環境を調査海岸の環境とする。

#### 例) 出現した生物

カメノテ(富栄養域)、ワカメ(きれいな過栄養域)、ムラサキガイ(やや汚れている過栄養域)、タテジマフジツボ(汚れている過栄養域)。

(判定) この海岸は富栄養域の生物も生き残れる程度にしか汚れていないから、海岸環境は富栄養海域と判定される。

#### 注意

- ・海岸は危険なため、複数の人数で調査を行なう。
- ・海に落ちたらすぐに上がれないようなところでは救命胴衣を着ける。
- ・潮見表(釣り具屋にある)により大潮の日と、時間を調べてから調査する。
- ・標本を残したい場合は、動物はアルコール中でよいが海藻は10%ホルマリンに漬けた後乾燥標本としなければならない。

#### 参考文献

古瀬浩史・風呂田利夫：東京湾奥部における潮間帯付着動物の分布生態、付着生物研究、5：1-6 (1985)

(風呂田 利夫：東邦大学理学部)

## 底生動物からみた生物指標

桑 原 連

### 1. はじめに

砂泥域に分布する海産底生動物のうち、0.5~1.0 mmの篩に残存する所謂マクロベントスにおいては、水質汚濁とくに有機汚濁または富栄養化の指標種とされている種類が多く知られている。底生生物の調査結果におけるこれらの汚濁指標種の出現は、一般にその水域の汚濁を意味するものと受取られる。しかし、多くの場合、沿岸海域ではあまりにも多くの汚濁指標種が出現するために、かえってその取扱いや意味の解釈に疑問を感じる事がしばしばである。著者らによる最近の多摩川感潮域・河口域<sup>1)</sup>、横浜市金沢区の平潟湾<sup>2)</sup>、同・金沢湾<sup>3)</sup>、横浜市沿岸域<sup>4)</sup>の各調査結果では何れも11~17種の有機汚濁指標種が見出され、これまでに知られている31種<sup>5-7)</sup>の35~55%がこれらの区域に出現したことになる。このような状況では、調査結果を相互比較して汚濁の程度を推測するにしても、格差をつけにくく、各汚濁指標種の出現量(分布密度など)をどのように解析するかもむずかしい問題になってくる。この反対に、例えば少数の汚濁指標種が二つの調査結果のうち一方にのみ出現し、他方に全く出現しなければ解釈は容易である。このように、指標種による汚濁状況の評価の限界、およびその結果としての水域区分の可能性などについては、検討すべき多くの問題が残されていると思われる。

底生動物を中心とする生物指標性の意義および問題点については、すでに「横浜の川と海の生物、第4報<sup>4)</sup>」において若干述べたが、指標生物を設定する目的の一つには、全生物相を調べる労力を省くと同時に、設定された種の出現状況からその場の環境条件や環境の変化を推量することにあると思われる。そのためには、むしろ分布密度が高く、またそれが全域的でなく片寄りを示す方が都合よい。これまでに設定された指標種も多くはそのような傾向を示している。この分布生態上の特性に価値が置かれたために、反面、近い種との区別に要する顕微鏡下の複雑な操作や、経験者でないと同定できなかつたりする不便さを併せ持つ結果となっている。

底生生物指標種による環境評価の利点は、i) 要因を総合的にとらえる、ii) 広域のおよび長期間にわたり要因の進行・蓄積を知る<sup>8)</sup>、iii) 底生生物は定着性であるから、水質のような一過性の環境因子の累積的影響を反映する底質とむしろ密接に関連する。iv) 汚濁・富栄養化が進むと、きれいな環境を好む種類は消滅し、耐性の強い種類が残って優占する典型的な変化がしばしば認められること、などであろう。同時に欠点として問題になるのは、i) 指標種は必ずしも汚濁・富栄養域だけで優占するものではないこと、ii) 採集地点の僅かの違いでも分布量のバラツキが大きく、採集を回復しないと数量的に精度が上がらず種類数もふえないこと。iii) 季節的变化が著しいので季節を適切に選ぶか年間の採集回数を多くする必要があり、iv) 多毛類や微細な甲殻類など分類学的研究が未だ不十分な動物群に指標種が集中していることなどの諸点である。このように指標種の設定は便利ではあるが、設定に際しての様々な困難と、指標種の出現を単純に解釈できない多くの問題があることのジレンマを伴う。

ここでは、指標種の多産という横浜市沿岸域の底生動物相の特性を前提として、その中から有効・適切な汚濁指標種を撰定することが目的であり、そのために、前記4ヶ所の調査結果を用いて底生動物群

集中の汚濁指標種の位置、各指標種の出現状況、環境諸項目との関連性などについて種々解析した。これらを基に種々の過程を経て検討した結果、最終的に当水域の汚濁指標とし得る指標種の抽出を行うことが出来た。なお、生物指標性と環境区分の問題についても本委員会でも若干論議した経緯があるので、これについても見解をまとめておいた。

## 2. 横浜市および周辺域の底生動物調査の沿革

横浜市沿岸域の外海に相当する東京湾内湾域のマクロベントス分布については、昭和18年の増井<sup>9)</sup>の報告以来、昭和20年代の川口<sup>10)</sup>、島津・山根<sup>11)</sup>、北森<sup>12)</sup>、昭和40年代の堀越ら<sup>13)</sup>、昭和50年以降の原口<sup>14,15)</sup>、風呂田<sup>16,17)</sup>、などによる調査結果が順次報ぜられ、近年の東京都<sup>18)</sup>による各調査のまとめや風呂田の概説<sup>19)</sup>などにより、一応の分布パターンが整理・確定した経緯が見られる。この中で、分類学の進まなかった昭和20年前後の各調査結果は別として、種類数については東京都の127種<sup>18)</sup>および原口<sup>15)</sup>の169種に網羅されているが、風呂田の64種<sup>16)</sup>および84種<sup>17)</sup>、著者による昭和60・61年の内湾域調査の98種<sup>20)</sup>などの記録から通常100種程度は産出するものと思われる。

東京湾の西南部にあたる横浜市沿岸域については、昭和48・49年の51種・74種類の記録<sup>21)</sup>以後、前記の多摩川感潮・河口域における昭和58・59年の調査による82種<sup>1)</sup>、平潟湾における昭和57・58年の56種<sup>2)</sup>、金沢湾における昭和58・59年の97種<sup>3)</sup>、横浜市沿岸域に関する昭和59・60年の82種<sup>4)</sup>などの記録があり、沿岸部においても凡そ100種近くは見出されている。ただし、昭和56年に報告された小櫃川河口干潟の26種および新浜人造湖における19種の例<sup>22)</sup>のように干潟や閉鎖性の強い小規模の水域では種類数が激減し、上記の平潟湾の場合もややその傾向が見られる。

各調査結果を通じた出現種の比較については、その時点における分類学の現状や調査・研究者の専門分野の別などにより、むずかしい問題が多い。よって、本文では資料を著者の行った横浜市周辺域の調査報告のみに限定し、次章でその水域別出現状況を述べることにする。

## 3. 横浜市および周辺域に生息する海産底生動物

横浜市周辺沿岸域のマクロベントス調査報告の最近年のものは、著者が実施した前記4調査<sup>1~4)</sup>に限られる。それらの調査区域・調査の概要、種類数などを図-1、表-1に示す。また、全出現種と水域別出現状況を表-2に一括した。各区域の出現種はそれぞれの調査において100種弱であったが、全資料を一括すると185種となり、これまで最多種を記録した原口<sup>15)</sup>の169種を越える。各区域の出現種を、金沢湾を含む横浜市沿岸域の結果につきその分を金沢湾に移行して整理すると、最多種出現域は金沢湾で115種となり、閉鎖性の強い平潟湾と横浜港はそれぞれ56種、53種となり、種類の豊富な金沢湾の約1/2に減少する。

表-2においては同時に、各区域の全延調査測点において優占順位第1位・第2位を占めた種を優占種として区域毎にまとめてあらわした。その結果、優占種は4区域を通じて9~18種となり、出現種数の少ない区域では優占種数も少なくなり、出現種数に対する優占種数の比率では16.1~22.0%と区域間で大差のない傾向を示した。4区域を通じて優占種となった種は *Sigambra hamaokai* ハナオカカギゴカイ1種のみであり、次いで3区域で優占種となったのは *Musculista senhousia* ホトトギスガイ1種のみであった。

出現種は腔腸動物、扁形動物、紐形動物、星口動物、環形動物、軟体動物、節足動物甲殻類、節足動物昆虫類、棘皮動物、原索動物の10群に及び、最も種類数の多かった動物群は環形動物で96種を含み、次いで節足動物甲殻類の45種、軟体動物の27種が多くの種を含む群であった。優占種は環形動物で22種

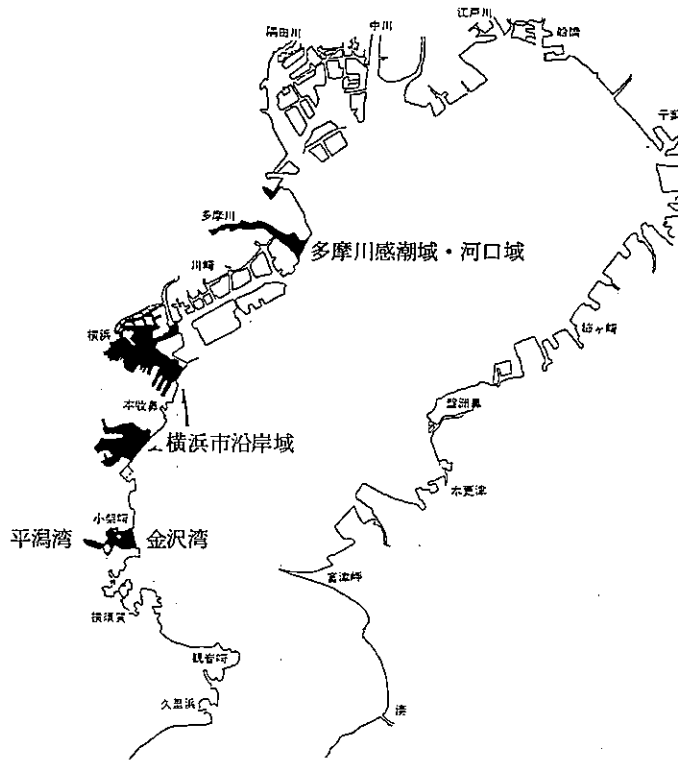


図-1 資料とした横浜市周辺4ヶ所の調査区域 (昭和57~59年)

表-1 底生生物調査資料と種類数・有機汚濁指標種数の出現状況

調査区域	調査期間	時期・測点数	出現種数	汚濁指標種数
多摩川感潮・河口域	昭58.5~59.1	年3回, 8測点	82	11
横浜市沿岸域	昭59.7~60.4	年2回, 6~9測点	82	16
平潟湾	昭57.4~58.1	年4回, 8測点	56	17
金沢湾	昭58.5~59.2	年4回, 7測点	97	17

試料総数：96

表-2 横浜市周辺域の海産底生動物出現種および出現状況

出 現 種	多摩川感潮 域・河口域	平 潟 湾	金沢湾 <sup>註1)</sup>	横浜港 <sup>註2)</sup>
<i>Coelenterata</i>				
<i>Pennatulida</i> sp.			●	
<i>Bolocerooides mcMurrichi</i>				●
<i>Epiactis japonica</i>				●
<i>Actinaria</i> spp.	●	●	●	●
<i>Plathelminthes</i>				
<i>Polycladida</i> spp.	●	●		
<i>Nemertinea</i>				
<i>Nemertinea</i> spp.	●	●		
<i>Sipuncula</i>				
<i>Dendrostomum minor</i>			●	
<i>Sipunculidae</i> sp.	◎ <sup>註3)</sup>			
<i>Amelida</i>				
<i>Harmothoe imbricata</i>	●	●	◎	●
<i>H. forcipata</i>	●			
<i>Eunoe yedoensis</i>		●		
<i>Lepidasthenia maculata</i>			●	
<i>Amphinome rostrata</i>			●	
<i>Eteone longa</i>	●	●	●	
<i>Eulalia viridis</i>	●	●	●	●
<i>E. bilineata</i>			●	
<i>Eumida sanguinea</i>	●			
<i>Phyllodoce japonica</i>		●		●
<i>Amphiduros setosus</i>		●	●	●
<i>Hesionidae</i> sp.	●			
<i>Sigambra hanaokai</i>	◎	◎	◎	◎
<i>Langerhansia rosea</i>			●	
<i>Syllis gracilis</i>			●	
<i>Odontosyllis</i> sp.			●	
<i>Platynereis bicanaliculata</i>	●	●		
<i>Neanthes japonica</i>	●		●	
<i>N. caudata</i>		●		
<i>N. succinea</i>	●	●	●	●
<i>Nectoneanthe soxypoda</i>				●
<i>N. latipoda</i>	●	●	◎	●
<i>Nereis nichollsi</i>		●	●	
<i>N. neoneanthes</i>			●	
<i>N. multignatha</i>		●		
<i>Nephtys polybranchia</i>	●	●	◎	
<i>Glycera gigantea</i>	●			
<i>G. alba</i>	●		●	●
<i>G. tessellata</i>	●			
<i>G. chirori</i>				●
<i>G. prashadi</i>			●	
<i>G. concoluta</i>			●	●
<i>G. rouxi</i>			◎	●
<i>Eunice antennata</i>		●		
<i>E. australis</i>				●
<i>E. indica</i>			●	
<i>E. vittata</i>			●	
<i>Lysidice collaris</i>			●	
<i>Dioparta sugokai</i>	●		●	



表-2 続き-1

出現種	多摩川感潮域・河口域	平潟湾	金沢湾	横浜港
<i>Lumbrineris nipponica</i>			○	
<i>L. longifolia</i>	●	●	○	○
<i>Dorvillea matsushimaensis</i>	●	●	●	●
<i>Aonides oxycephala</i>	●		●	
<i>Nerinides yamaguchii</i>	●			
<i>N. sp.</i>			●	
<i>Polydora armata</i>			●	
<i>P. ciliata</i>	○	●		
<i>P. sp.</i>	●			
<i>Pseudopolydora kempii japonica</i>	○	●	○	●
<i>Polydorella sp.</i>	●			
<i>Prionospio cirrifera</i>	○	○	●	●
<i>P. marmgreni</i>	●	●	●	●
<i>P. steenstrupi</i>			●	
<i>P. japonicus</i>	○		●	
<i>P. sexoculata</i>	●			
<i>P. sp. 1</i>	○			
<i>P. sp. 2</i>	●			
<i>Paraprionospio Form A</i>	●	●	●	
<i>P. Form C I</i>			●	○
<i>Streblospio sp.</i>	●			
<i>Spiophanes bombyx</i>		○	●	
<i>Spio sp.</i>			●	
<i>Spionidae sp.</i>	●			
<i>Cirratulus cirratulus</i>			○	
<i>Cirriformia tentaculata</i>	●	●	○	●
<i>Chaetopterus variopedatus</i>			●	
<i>Naiereis laevigata</i>			●	
<i>Aricidea sp.</i>			●	
<i>Paraonides nipponica</i>			●	
<i>Armandia lanceolata</i>			●	
<i>Cossura coasta</i>		●	●	
<i>Capitella capitata</i>	○	○	●	●
<i>C. c. japonica</i>	●			
<i>Notomastus latericeus</i>	○	●	○	●
<i>Paraheteromastus sp.</i>	○			
<i>Scyphoproctus gravieri</i>			●	
<i>Arenicola brasiliensis</i>			●	
<i>Praxillella affinis</i>			●	
<i>P. gracilis</i>			●	
<i>Microclymene caudata</i>			●	●
<i>Maldanidae sp.</i>	●		●	
<i>Lagis bocki</i>	●		●	○
<i>Ampharete sp.</i>			●	●
<i>Amphitrite sp.</i>	●			
<i>Terebellides stroemi</i>			●	
<i>Thelepus setosus</i>				●
<i>T. toyamaensis</i>		●		
<i>Lomia medusa</i>			●	
<i>Chone teres</i>			○	○
<i>Euchone alicaudata</i>	●	●		
<i>Hydroides norvegica</i>	●	●	●	●
<i>Serpula vermicularis</i>	●			
<i>Amphichaeta spp.</i>	○			
<i>Naididae sp.</i>	●			
<i>Enchytraeidae sp.</i>	●			
<i>Oligochaeta spp.</i>		●		

表-2 続き-2

出 現 種	多摩川感潮 域・河口域	平 潟 湾	金 沢 湾	横 浜 港
<i>Mollusca</i>				
<i>Lepidozona coreanica</i>			●	
<i>Crepidula onyx</i>	●	●	●	
<i>Mitrella bicincta</i>			●	
<i>Hinia festiva</i>		●	●	
<i>Philine argentata</i>			●	
<i>Sigaretorus planus</i>	●			
<i>Barbatia virescens obtusoides</i>			●	●
<i>Scapharca</i> sp.	●			
<i>Mytilus edulis</i>		◎	●	◎
<i>Musculista senhousia</i>	◎	◎	◎	●
<i>Raetellops pulchella</i>	◎	●	●	●
<i>Nitidotellina nitidula</i>			●	
<i>N. minuta</i>			●	
<i>Macoma tokyoensis</i>			●	
<i>M. incongrua</i>			●	●
<i>M.</i> sp.	●			
<i>Theora fragilis</i>	◎	●	◎	◎
<i>Protothaca jedoensis</i>			●	
<i>Phacosoma japonicum</i>		●		
<i>Ruditapes philippinarum</i>	◎	●	●	●
<i>Antigona lamellaris</i>	●			
<i>Irus ishibashianus</i>			●	
<i>Veneridae</i> sp.	●			
<i>Trapezium bicarinatum</i>				●
<i>Anisocorbula venusta</i>			◎	
<i>Asthenoihaerus sematana</i>			●	
<i>Cultrensis attenuatus</i>	●			
<i>Crustacea</i>				
<i>Nebalia bipes</i>		◎	●	●
<i>Leucon varians</i>	◎			
<i>Diastylis tricineta</i>	●			
<i>Cumacea</i> sp.			●	
<i>Anatanais normani</i>			●	
<i>Paranthura japonica</i>			●	
<i>Gnathia</i> sp.			●	
<i>Amperisca brevicornis</i>			●	
<i>A. diadema</i>			●	●
<i>Harpinia</i> sp.	●			
<i>Pontocrates altamarinus</i>	●			●
<i>Erichthonius pugnax</i>	●			
<i>Melita dentata</i>		●		
<i>Maera serratifalpa</i>			●	
<i>Eurystheus japonicus</i>			●	
<i>Ampithoe valida</i>			◎	
<i>Jassa falcata</i>		●	◎	●
<i>Corophium insidiosum</i>			●	◎
<i>C. uenoi</i>		◎	●	◎
<i>C.</i> sp.	●			
<i>Grandidierella japonica</i>	◎		●	
<i>Cerapus tubularis</i>			◎	
<i>Aora</i> sp.	●	◎		
<i>Microdeutopus</i> sp.		●		●
<i>Caprella scaura</i>			◎	●
<i>C. s. hamata</i>		●		
<i>C. gigantochir</i>		●		
<i>Gammaridea</i> sp.	●			

表-2 続き-3

出現種	多摩川感潮域・河口域	平 潟 湾	金 沢 湾	横 浜 港
<i>Leptochela gracilis</i>			●	
<i>Palaemon serrifer</i>		●		
<i>Crangon affinis</i>		●		
<i>Upogebia major</i>	●			
Pagridae sp.				
<i>Philyra pisum</i>	●			
<i>Arcania undecimspinoso elongata</i>			●	
<i>Pyromaia tuberculata</i>				●
<i>Pugettia quadridens</i>			●	
P. sp.			●	
<i>Actumnus squamosus</i>			●	
<i>Hemigrapsus penicillatus</i>	●	●	●	
Grapsidae sp.	●		●	
<i>Pinnixa rathbuni</i>			◎	◎
P. heamatosticta			●	
<i>Tritodynamia horvathi</i>	●		●	
<i>Megalopa larva</i>	●			
Insecta				
Chironomidae sp.	◎			
Echinodermata				
<i>Amphioplus ancistrotus</i>			●	
<i>Ophiophragmus japonicus</i>			●	
<i>Ophiura kinbergi</i>			●	●
Ophiuroidea sp.	●		●	
<i>Asterias amurensis</i>	●	●	●	
<i>Cucumaria chronhjelmi</i>			●	
Protochordata				
<i>Ciona intestinalis</i>				●
<i>Corella japonica</i>	●	●		●
出現種数	82	56	115	53
優占種数	18	9	20	10
優占種数/出現種数(%)	22.0	16.1	17.4	18.9

註1：横浜市沿岸域調査（横浜の川と海の生物、第4報<sup>4</sup>）のうち、金沢湾測点（St.8）の結果をこれに加えた。

註2：横浜市沿岸域調査（横浜の川と海の生物、第4報<sup>4</sup>）のうち、金沢湾測点（St.8）の結果を除外した。

註3：◎印の種は、優占順位第1位および第2位を同種が占める調査測点があったものについて記した。

と最も多く、甲殻類で11種、軟体動物で6種に及ぶ。

#### 4. 底生動物群集における生物指標性

##### 4-1. 単独指標種と群集組成指標

単独指標種の設定は一群集内の種類数と個体数（分布密度など）を取扱う群集組成指標より古くから試みられている。とくに陸水性昆虫に関しては、海洋生物の各分野に比べて目ざましい進展があった。しかし、設定された指標種の別域での出現に意味を持たせるとしても、経験的な趨性の累積に過ぎない生物現象であり、その根拠を別の科学的手段によって証明することはむずかしい。指標種の存在が、結果的に目的とする現象に適合した場合はそれでよいが、もし指標種の出現がそれを説明し得なかったときに、何故かという問に対して論理的な答えを提供することができない。冒頭で述べたように、汚濁域以外で優占する汚濁指標種も現実に存在するのである。

単独指標種設定の努力とは別に、群集組成の解析を数理的に進めることにより群集および出現の場の比較を試みる方向があり、底生動物群集の分野でも広く適用されかつ改良されて来ており、その実例も多い。この分野が発展したのは、数値計算の汎用性と客観性が説得力を持つことによるとと思われるが、データに用いる種の査定に専門家の個人差が生ずるので、結果の数値も大きく異なってくる危険性を伴う。

群集組成を取扱うものの中で最も簡単なものとしては、i) 優占する複数種で判断し、例えば「A-A' 群集」のように表現する。陸上植物群集ではよく使われる方法だが、貝類・カニ類などを用いて海浜生物相や底生動物の分布を論じた例をとときどき見掛ける。

ii) 種・群組成率、例えば甲殻類・軟体類の比率によってもある程度は富栄養化の指標となる。網尾<sup>23)</sup>による備讃瀬戸の節足動物（甲殻類）(C)の個体数に対する軟体動物(M)および環形動物(A)の個体数の比は

$$C : M : A = 1.0 : 2.5 : 35.1 \text{ (12月)}$$

$$\text{(同上)} = 1.0 : 1.6 : 5.3 \text{ (6月)}$$

となり、12月におけるAの値はCの約35倍で、一般の瀬戸内海海域の10~15倍の値より3倍も高く、有機物の多い海域であると推測されている。一方、6月のAの値は5.3と低く、マダイ稚魚にとって好適な生息環境と見られる8.0前後の値に近付いていると云う。日本の一般的な内湾海域で1/20m<sup>2</sup>程度の面積を採泥する小型採泥器（エクマンバース型；田村式；その他）で採集される生物の種類数・分布密度の約30%は環形動物多毛類、別の30%は軟体動物（貝類）の二枚貝類、さらに30%は節足動物甲殻類のとくに端脚類によって構成されるのが大体の傾向である。よって、この3者の比率はおおよそその場所の底生動物群集の全体的特徴を代表し得ると思われる。

iii) 一つの地域群集における種類数と個体数（分布密度など）もそれなりに意味を持ち、一般的に汚濁水域では種類数が減り、個体数が増加する傾向がある。そのため、総個体数(N)を種類数(S)で割った値を Biotic Index と呼び、多様性の尺度とする方法も行われている<sup>7)</sup>。ただし汚濁が極度に進んだ場合に総個体数が反対に減少する傾向も見られるので、画一的に用いるわけには行かない。また、出現種類数は重汚濁域では明らかに減少するが、重汚濁域のまわりで多い例もあり、汚濁の減少に対して比例的に増加するとは限らない。

iv) 前項の欠点を改良して、著者は多毛類指数を試案した。砂泥域のマクロベントスを代表する多毛

類、軟体類、甲殻類の中で、多毛類には概して有機汚濁耐性の強い種が多いが、有機汚濁の進行により特定種の編組比率が増加し、さらに有機汚濁が進むと遂にはそれも減少し無生物状態になる。この関係を連続的にとらえるために、多毛類個体数（あるいは分布密度）の全個体数に対する編組比率の逆数をなわち、

$$1 / \frac{\text{多毛類個体数}}{\text{総個体数}} \times 100$$

によって表わすことにした。数値の小さい方が多毛類が多いことになる不都合があるが、これによってその場合と無産域の値0とは一方向の傾向として把えることができる。図-2にその1例を示す。

v) 種類数の増加は個体数の対数の変化に対応するという Gleason の式に基づいて、Margalef が植物プランクトンについて提示した多様度指数<sup>24)</sup>は、

$$d = \frac{S - 1}{\log_e N}$$

ただし、Sは出現種類数、Nは総個体数である。この値は総個体数に対して種類数が多いほど大きい値になる。すなわち、試料の大きさに影響され依存度は個体数が少ないときに強く、実際には  $N < 100$  のときには使えない。現在は後述のようにそれ以上のものが提示されているので、底生動物群集についてもあまり用いられていない。

vi) 群集サンプルから任意に2個を取り出した場合、それが同種になる確率によって多様性を表現しようとする Simpson の指数は

$$\lambda = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$$

で表わされ、nは試料中の各種類の個体数、Nは総個体数である。この逆数式  $\beta = N(N-1) / \sum n_i(n_i-1)$  ( $n_i$ : i番目の種の個体数)<sup>25)</sup>。この場合も種類数が少なく特定種のみ優占する単純な群集では低い値となり、種類数が多く種間の比率に大きな差異のない群集では高い値を示す。多様度の高さは群集の自然状態における自然性の高さ、または環境の総合的な好適さを示すものと考えられ、多様度が低い場合には反対に汚濁その他の環境ストレスが群集に加わっており、ストレスに強い特定種のみが残存する不適な環境と見なすことになる。

vii) 群集の安定性すなわち「或る一つの種のアバンダンス変動が多種のアバンダンスに及ぼす影響の小さいこと」(McArthur, 1955)に基づいて多様性を表わす関数は情報理論における Shannon-Weaver 関数すなわち、

$$H' = - \sum p_i \log_2 p_i$$

以外にないとされている（その証明は滝沢、1972）。ただしNが十分に大きいときは  $p_i = n_i / N$  (Pielou, 1966)、ここで  $n_i$ は各種類の個体数、Nは総個体数である。多様性を全多様度と相対多様度に区別するときは、 $H'$ が全多様度となり、相対多様度（または平坦度） $J'$ は次の式で示される。

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\log_2 S}$$

Shannon-Weaver 関数の  $H'$ において、種類数Sである同じ群集において  $H'$ が最大値をとるとき、すなわち  $H'_{\max}$ は  $n_1 = n_2 = \dots = n_s$  のとき  $\log_2 S$ の値をとる。このとき頻度分布は平坦となる。

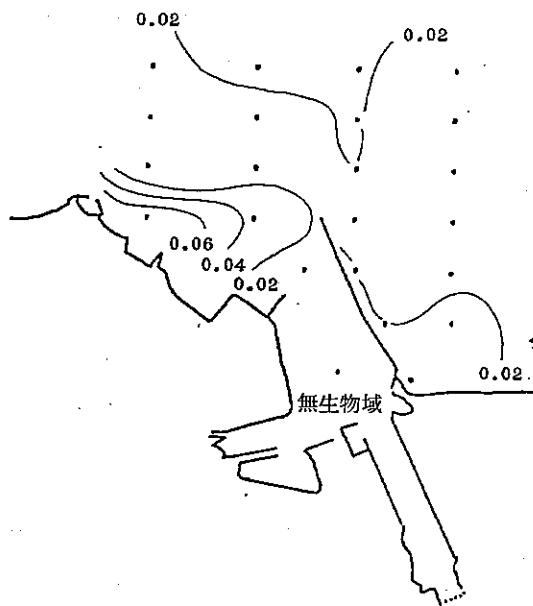


図-2 多毛類指数

$$\left(1 \frac{\text{多毛類個体数}}{\text{総個体数}} \times 100\right) \text{ 分布の一例}$$

J'はこれと実際の群集H'との比である<sup>25)</sup>。今日、多様性の指標としてH'は最も広く用いられており、底生動物群集に関する報文でも大抵の場合H'による解析が行なわれている現状にある。しかし多様性指数は種の豊富さを抽象的に捉えるだけで、その内容については何も知らせてくれないし、個々の種の分布が表わす連続性や境界について総括的な結果を表わすに過ぎない。種多様性に対する批判は、a)種類数と均一性を併せた漠然とした概念でしかなく<sup>26)</sup>、b)指標としては使えるが、群集の安定性や質など生物学的意味とは結びつけられず<sup>27)</sup>、c)汚濁以外の要因でも変動しやすい<sup>28)</sup>などさまざまである。

多様度のような1地点の数量的評価とは別に、複数地点の相互比較を行うものに類似度がある。その中で、種類数のみを基礎として導かれる所謂、共通種数係数については次のようなものが比較的よく用いられる。

viii) 網尾<sup>23)</sup>の地点間の生物群集の出現率は、

$$C = \frac{c}{\sqrt{a \times b}} \times 100$$

ただし、a、bは2地点におけるそれぞれの出現種類数、cは共通種類数であり、浅海泥底のベントス群集に適用されている。

xi) Kendallの連合係数(Coefficient of association: T)は、

$$T_{ab} = \frac{c \cdot W - X \cdot Y}{\sqrt{(a \cdot U)(b \cdot V)}}$$

ただし、a、b、cは近接率の場合と同様であり、Sを全測点における種類数とするとき、

$U = S - a$ 、 $V = S - b$ 、 $X = a - c$ 、 $Y = b - c$ 、 $W = U - Y = V - X = S - a - b + c = S - b - a + c$ でそれぞれ規定される種である<sup>29)</sup>。この係数はアマモ帯の葉上動物群および底質中の底生動物群集について用いられる。

x) 正宗の相関率(PA)は<sup>25)</sup>

$$PA = \frac{1}{2} \left( \frac{c}{a} + \frac{c}{b} \right) = \frac{c(a+b)}{2ab}$$

ただしa、bは2地点の種類数、cは2地点に共通な種類数である。

x) 種類数と個体数を用いる指数としては、現在では次の重複度指数以上のものはないとされている<sup>25)</sup>。N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>をそれぞれの組のサンプル総数、n<sub>1i</sub>、n<sub>2i</sub>をそれぞれの組の第i番目の区分のサンプル数、Sを区分の組数(種の個体数)とするとき、

$$\text{Morishitaの指数: } C_\lambda = \frac{2 \sum_{i=1}^S n_{1i} \cdot n_{2i}}{(\lambda_1 + \lambda_2) N_1 \cdot N_2}, \quad 0 \leq C_\lambda \leq 1 (\pm) \quad \text{ただし} \quad \lambda_1 = \frac{\sum_{i=1}^S n_{1i}(n_{1i}-1)}{N_1(N_1-1)}, \quad \lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^S n_{2i}(n_{2i}-1)}{N_2(N_2-1)}$$

$$\text{Kimotoの指数: } C_\pi = \frac{2 \sum_{i=1}^S n_{1i} \cdot n_{2i}}{(\sum \Pi_1^2 + \sum \Pi_2^2) N_1 \cdot N_2}, \quad 0 \leq C_\pi \leq 1 \quad \text{ただし} \quad \sum \Pi_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^S n_{1i}^2}{N_1^2}, \quad \sum \Pi_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^S n_{2i}^2}{N_2^2}$$

この  $C_\pi$  は次のように書き直すことができる。

$$C_\pi = \frac{\sum_{i=1}^S n_{1i} \cdot n_{2i}}{N_1 \cdot N_2} \bigg/ \frac{\sum \Pi_1^2 + \sum \Pi_2^2}{2}$$

この式の前半の部分は総種類数が  $S$  種で、それぞれの種については  $n_{1i}, n_{2i}$  個である 2 群集からそれぞれ一つづつ取り出したときに、その二つの群集に応用したものである。後半は、森下は Simpson 指数を用いているが、木元は計算が面倒になるだけであまり利点はないと簡略化した。その意味は、同一群集から一つづつ 2 回取り出したときに、その二つが同一である確率の平均値である。第 1 組と第 2 組が全く同様である場合には  $C_\pi$  の値は 1 となり、共通種が全くないときは  $C_\pi = 0$  である。結果は多くの場合、数値マトリックスまたはデンドログラムによって表わされるので、生物群集分布の区分あるいは環境区分に適用し得る。

#### 4-2. 生物指標による環境区分

単独指標種あるいは複数種の数量による数理指標を用いるにせよ、生物指標設定の目的の一つは、それによる環境区分である。環境は生物群集の存続あるいは生態系を支える場であるから、生態系の区分と環境区分は表裏の関係にある。生物指標により環境区分を行う前に、先ず、生態系の区分が可能であることが望ましいが、信頼し得る生態系の区分は多くの場合に地球規模における大区分か或は極めて抽象的な区分であって、細区分および具体的には地域の区分には多くの困難を伴うのが常である。生態系の区分が目ざすものは大抵、生態系サブシステムの区分である<sup>30)</sup>。しかし、生物指標が求めるものは性質の互いに異なる具体的な場の区分である。すなわち、チャートで示される実際の場所であって、そこに個々の生態系が存在するものでなければならない。しかしながら生態系の質的な差異を常に要求に応じて常に提示することも非常にむずかしい問題である。そこで、生態系の変化とそれを支える場である環境の変化とは連動しているものと考えて<sup>31)</sup>、生物指標が指し示す生態系の差異は環境の差異として扱えると云う間接法によらざるを得ない。生物指標による環境区分はそのような前提条件の元に成り立っていると考えるべきであろう。

環境区分のために取扱われる「区分」とは、ある生物学的な意味を持つ概念を特定の実際的な場に適合させることである。また同時に、その範囲と境界を具えるものでなければならない。区分はその性質の一つとして傾度を持ち、また大区分から小区分へと細分されて行く性質のものである。また、区分は二つ以上なければ成立しないが、同時に通常のケースにおいて数10乃至100を越える区分が要求されることもない。多くの場合、数区から10区分程度に収まっているケースが大半である。指標によって規定される一つの区分の概念は、区分の中心的な意味を持つだけで、恐らく境界を決定するだけの力を持つものではない。と云うのは、境界を設けることは具体的な物・場所に対して最終決定を下すことでありながら、境界そのものはその概念以上に自然現象では流動的だからである。陸上では、森林などのように一時点における境界は存在するが、それでさえ長い時間で見れば移行的である。すなわち、進出、拡大、退行、縮小により変化する。海域では、とくに水の動きと同時的に移動するプランクトンの分布などでは、相対的には陸上と反対のように見えるが本質的には同一である。それでも瞬間的には境界は成

立するかも知れない。ただし、それでは人間活動のために適切な時間間隔では対応できない。よって、あくまでも「人間活動のための時間単位の中で成立する境界である」と云う条件付きである。このことは人間活動のさまざまな目的に合わせて取り決めておかなければならない大きな問題である。例えば、ある区分およびその境界が、何日間または何日まで継続して成立すればよいのか、1年か50年か、あるいは何日か何ヶ月か、季節的に数ヶ月成立し、更にそれが同一週期で毎年繰り返されることが望ましいのか、また年によって周期がずれることがあってもよいのかそうでないことを望むのか、等々である。合田<sup>32)</sup>は、おそらくこれらの不都合を整理する必要上と思われるが、水質指標において総合指標と一般個別指標を分けて、前者に向けての集約作業を提起したが、内容的には平均化へ向けての作業になるだろう。そのためのステップは、a)一般個別項目間の部分的集約、b)一般個別項目の時間的特性に関する集約、c)対象地域の空間特性に関する集約、d)項目全体の集約化によるゴールと対応付け、である。多分、全項目について整合を得ることは困難であると思われる。

境界決定のための作業は、調査の段階を含めて厳密に考えようとするともむずかしいものになるだろう。例えば、生物分布の境界を1段階厳密化するための補充調査を企てるとすれば、河川域に対して海域は数倍の測点を新たに付け加えなければならない(図-3)。しかし実際の問題として、環境区分のための生物指標に対する要求は、a)区分および指標概念が厳密であること、b)誰にでも理解できる一般的な指標種とその意義、であろうが、この対立する2目標を自然界で求め得るならば、かなり幸運な結果と云わざるを得ない。課題a)をあいまいにすると区分の結果そのものがくつがえされる危険があるので(後述)、おろそかには出来ない。そのために、分類群あるいは分野によっては、専門的なまたは稀種の探索に向かうことになる。したがって課題b)とは相反する結果になる。陸上・海域を問わず、環境区分のための生物指標を広めたいのは常であるが、b)なくしてa)は成立しても、a)なくしてb)は成立しない。海域における生物指標に基づく環境水準達成目標の例として、横浜市の資料<sup>33)</sup>についてこの問題を検討してみよう。図-4に見られる感覚指標は、基本的には「きれい」と「よごれている」の両者の判断を求めるためのものである。この二つが絶対的であれば問題は解決されるが、自然界における両者は移行的で、その何れかに断絶されるものではない。すなわち境界があいまいであることは潜在的に常に認められる事実である。そのために、「ややきれい」および「ややよごれている」のような中間的区分が必要になる。図-4にあげられている指標種の中で、マコガレイ、キス、ワタリガニ、トリガイの4種は汚濁指標区分の「大変きれいな水域」から「汚れている水域」までの4区分にまたがっており、これらの指標種が所属しないのは「非常によごれている水域」の1区分のみである。指標種選定の目的からすれば、図-4の5区分の何れか1区分を厳密に規定するものでなければならないが、実際にはむずかしい状況にある。もちろん、この4種がよく見出される管の中心的区分は併記されているが、現実これが広い区分域の両端で出現した場合、対照的な2区分のどちらを意味すればよいのか迷う事態が生ずる。また、指標種としてマダイやヤリイカのような主に漁業対象となる種も含まれており、それ以外の種とは観察する場所が異なる。したがって「誰にも判る一般的な指標種」としては、誰にでも名前が知られている点は判るが、実際にそれに接するための方法を含めて調査が必要になるであろう。

#### 4-3. 海産底生動物の指標種

マクロベントスに限れば、水質の指標とくに有機汚濁または富栄養化の指標種とされている種類は予想外に多く、文献中で提唱されたものは全体で31種に及ぶ(表-3)。この分野では、古くは宮地ら<sup>34)</sup>が富栄養化と内湾度とを結び付けた指標種を設定し、菊地<sup>35)</sup>によってさらに改良が加えられたが、一



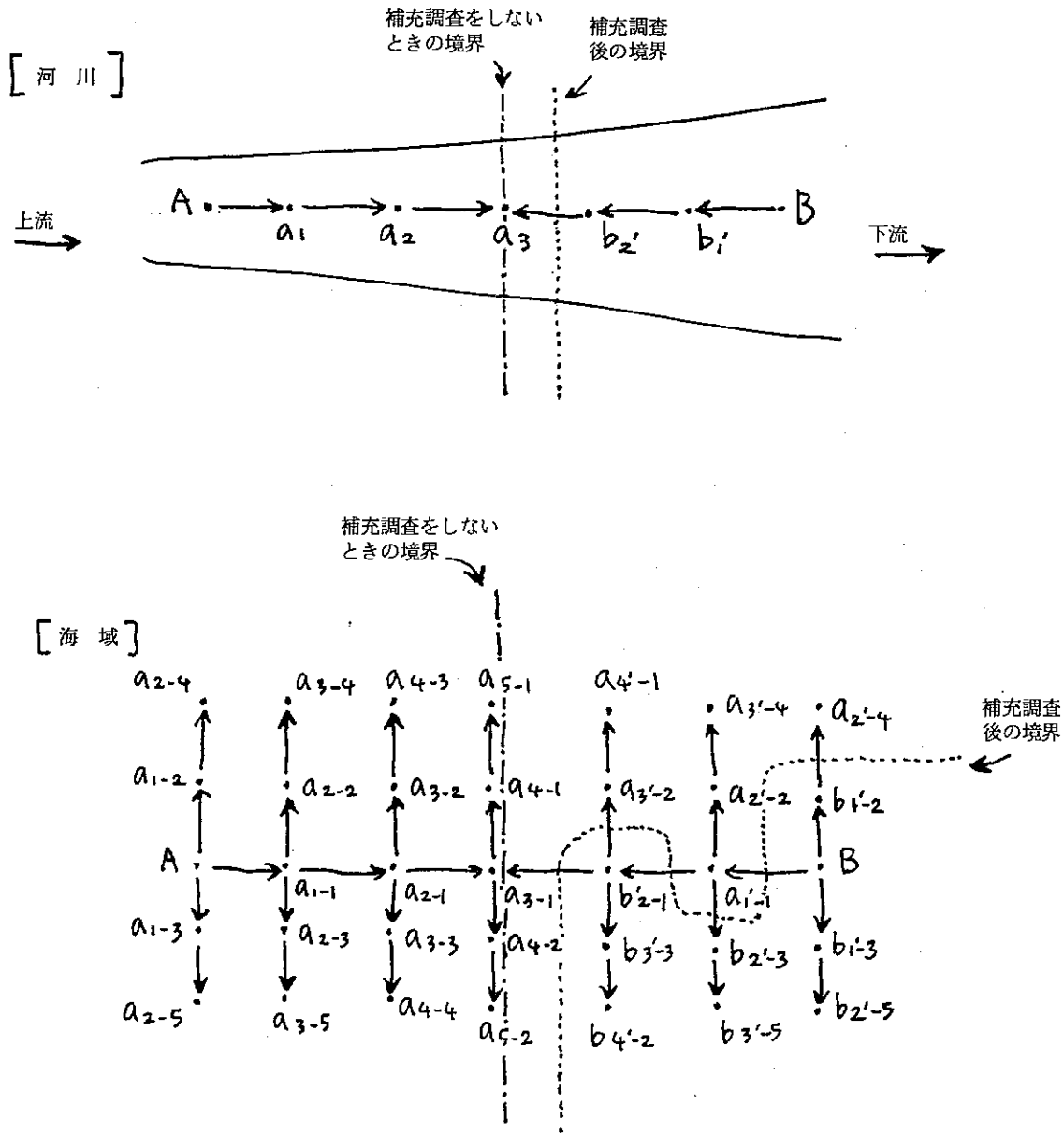
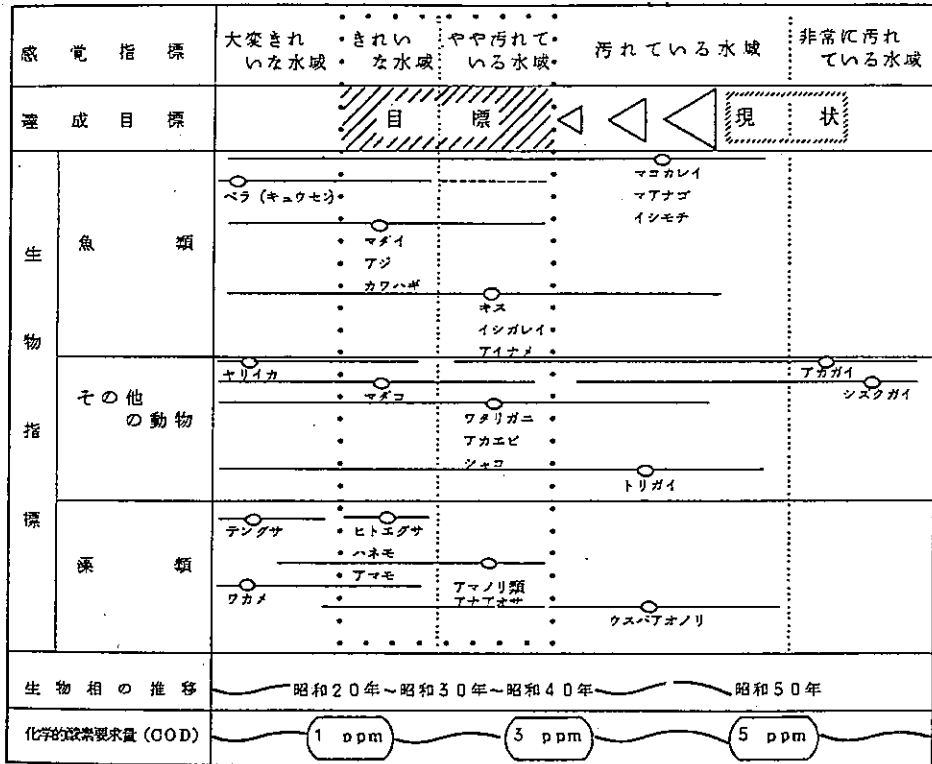


図-3 生物分布の境界を求める補充調査のステップにおける河川と海域の比較

3ステップの補充調査（海域では実際には5ステップになる）によって区分の境界を正確に決めたいとき、河川では5測点が追加されるのに対して、海域では33測点を必要とする。この方法では等間隔に調査測点を設けながら区域をうめて行く形をとっている。図中A、Bはそれぞれ異なる属性を持つ基点、 $a$ はAの性状、 $b$ はBの性状の発現を示す。

図-4 横浜市水域における生物指標 (昭和50年、海域) 33)



備考 1. 生物指標の欄に掲げる魚類、その他の動物及び藻類については、概ね○線の範囲において生息することを示し、○印の水域においてよく見られることを示す。但し、海産魚類の分布については、水質以外の水深、水温、底質及び潮流等に支配されることが多い。

2. 濃い破線で囲んだ部分は、横浜市の達成目標である。

般化され過ぎたために、必ずしも任意の本邦内湾に正確に適用し得るとは云えないように思える。一方、北森<sup>5-7)</sup>は瀬戸内海沿岸域における一連の底生生物調査結果を集成した汚濁指標の提示を行い、これに東京都環境保全局の見解<sup>18)</sup>を加えて示してものが表-3の各種類である。これらに何れも重度の汚濁域およびそれに準ずる区域に出現するが、著者による横浜市周辺域の各調査結果においては、必ずしもこれらの種類が重汚濁域に限定されるわけではなく、そのような分布傾向に一貫性がなかった。その理由の一つには、これら指標種の中に分布密度の増減が極端で不連続な、いわゆる「臨機応変型<sup>註4)</sup>」が含まれていることによるが、同時に、北森の資料が殆ど西日本地域に限られるところから、本邦内での地域的差異についても見直す必要があると思われる。冒頭で述べたように一つの調査において多数の汚濁指標種が出現する状況では、どの種類に注目すべきか迷う事態が生じ、また任意の調査区域において複数の汚濁指標種の出現にどのような序列や重み付けをすればよいかと云った問題も生ずる。この点については著者の調査結果を資料とした次節で述べる検討方法で一応の結論を示すことにする。

底生動物の指標種としては、有機汚濁指標種の他にも無機汚濁指標種の *Cossura coasta*<sup>7)</sup>、汽水・河川域に分布が進出する広塩分性指標種の *Nereis diversicolor* ゴカイ、*Polyora ciliata*, *Pseudopolydora kempii japonica*, ヤマトスピオ、シダレイトゴカイ、イトゴカイ、ニホンドロソコエビなどが知られているが<sup>1,37,38)</sup>、塩分を含めた環境項目との関係は未だ十分に検討されていない。また、汚濁指標種が概して内湾奥域に分布するのと対照的に、外海域指標種の存在も指摘されるが、外海域は内湾汚濁域に比べると莫大な数の種類が広域的に分布している。これらのある部分が検討すべき地点に出現すれば、相対的に外海域指標種とみなすことも可能である。横浜市沿岸域で最も外海的な生物相の見られる金沢湾について言えば、サラサウミケムシ、ウミイサゴムシなどがこれに相当するが<sup>3)</sup>、外海域および「きれいな海域」の指標種、生物指標性についても今後より詳細に研究すべきであろう。

## 5. 底生動物指標種の選定

### 5-1. 有機汚濁指標種の優占順位と優占種との関係

1 調査地点における底生動物群集組成は調査時期、採集回数などの差異によってほとんどの場合に同一ではなく、また特定の種が常時優占することも稀である。しかし、普通の内湾域では、汚濁指標種を含めてよく知られた普遍種の数種が優占度の上位を占めるのが常である。優占度そのものについても特定の表現手法が決められているわけではなく、数量組成の最も高い値を占める種から順に並べて累積組成表で示す表-4のような例も見られる。そこで、各測点の調査結果について求めた組成率優占順位が、集計の結果どのような傾向を示すか、および環境諸項目と関連があるか否か等について、著者が実施した横浜市周辺域の4調査、96測点の結果につき表-4と同様に数量組成率、累積組成率を求めて、その中に含まれる有機汚濁指標種と優占種との関係を種々検討した。

優占種と云う用語はかなり漠然とした表現に過ぎず、数量組成上の最大値を示し累積組成率の最上位に位置するものをそれと考えることもできるが、数量組成率の値の小さい種が多数存在し累積組成率が高くなってこない場合には、たとえ最上位にあっても疑問を感じないわけには行かない。反対に、慎重

註4：調査結果には Opportunistic species (臨機応変型の種)として知られる *Capitella capitata* が含まれているがこのような種類は他に比べると、a)著しい高密度を示す。b)単一種組成になりやすい。c)密度が径日的に著しく変化する。d)浚渫などにより、また無酸素による他種の死滅後の回復期に早期に進出して繁殖し、本来の多様な生物相に戻る頃には消滅する、などの特長を有するので<sup>36)</sup>、それ以外の種とは生態的に異なることを念頭において検討する必要がある。

表-3 有機汚濁・富栄養指標種一覧

多毛類	<p> <i>Ceratonereis erythraensis</i> モロテゴカイ  <i>Nereis vexillosa</i> エゾコカイ  <i>Neanthes oxypoda</i> ウチワゴカイ  <i>Neanthes succinea</i> アシナガゴカイ  <i>Neathes diversicolor</i> (= <i>N. japonica</i>) ゴカイ  <i>Platynereis bicanaliculata</i> ツルヒゲゴカイ  <i>Lumbrinereis brevicirra</i> (= <i>L. longifolia</i>, <i>L. nipponica</i> ?)  <i>Dorvillea matsushimaensis</i> (= <i>Stauronereis rudolphi</i>) アカスジイソメ  <i>Paramphinome grandis</i>  <i>Prionospio</i> A-type, CI-type ヨツバナエスビオ  <i>Prionospio malmgreni</i>  <i>Prionospio cirrifera</i>  <i>Pseudopolydora pauchibranchia</i>  <i>Mediomastus</i> sp.  <i>Notomastus</i> sp. (= <i>N. latericeus</i>) シダレイトゴカイ  <i>Capitella capitata</i>, <i>C. capitata japonica</i> イトゴカイ  <i>Owenia fusiformis</i>  <i>Polycirrus medius</i>  <i>Cirriformia tentaculata</i> ミズヒキゴカイ  <i>Paraonides lyra</i>  <i>Tharyx</i> sp.                 </p>
軟体類	<p> <i>Sithenothyra edogawaensis</i> エドガワミズゴマツボ  <i>Musculista senhousia</i> ホトトギスガイ  <i>Theora fragilis</i> シズクガイ  <i>Raeta rostralis</i> チヨノハナガイ  <i>Macoma incongrua</i> ヒメシラトリガイ  <i>M. tokyoensis</i> ゴイサギガイ  <i>Scapharca suberenata</i> サルボウ  <i>Ruditapes philippinarum</i> アサリ  <i>Lucinoma annulata</i> ツキガイモドキ                 </p>
甲殻類	<p> <i>Nebalia bipes</i> コノハエビ                 </p>

著者の調査結果<sup>2)</sup>を再検討し、最終的に *Sigambra hanaokai* ハナオカカギゴカイをこれに加えた。よって全体では32種となる。

表-4 多摩川感潮・河口域における底生動物優占度の計算例

St. 7における底生動物の種優占度

種	名	数量組成率 (%)	累積組成率 (%)
• <i>Prionospio cirrifera</i>		33.1	
	<i>Paraheteromastus</i> sp.	23.0	56.1
• <i>Paraprionospio</i> A-type		16.6	72.7
	<i>Nerinides yamaguchii</i>	4.5	77.2
	<i>Nephtys polybranchia</i>	3.8	81.0
• <i>Capitella capitata</i>		4.0	85.0

種類数=29, 個体数/m<sup>2</sup>=11175

Shannon-Weaver 式  $H' = 2.10$ , •印:有機汚濁指標種

St. 8における底生動物の種優占度

種	名	数量組成率 (%)	累積組成率 (%)
• <i>Prionospio cirrifera</i>		41.1	
	<i>Prionospio</i> sp.	37.0	78.1
• <i>Neanthes succinea</i>		3.2	81.3
	<i>Corophium</i> sp.	3.2	84.5
	<i>Gradiidierella japonica</i>	3.1	87.6

種類数=23, 個体数/m<sup>2</sup>=18700

Shannon-Weaver式  $H' = 1.62$ , •印:有機汚濁指標種

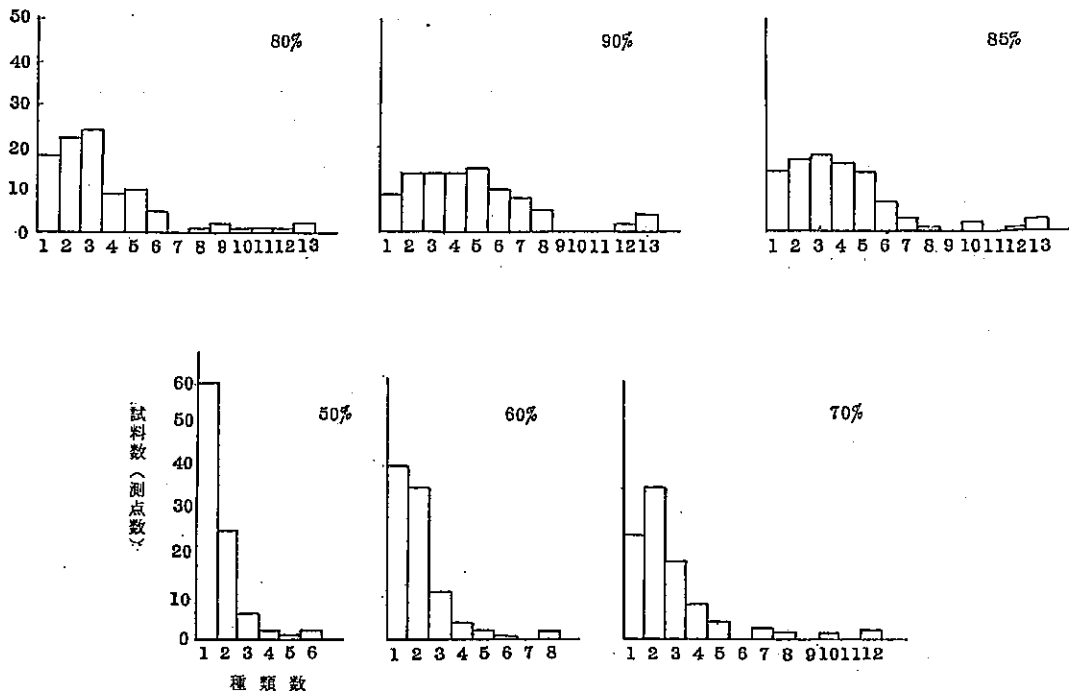


図-5 各々の数量組成%に達するのに要した種類数の頻度分布 (全試料数:96)

表-5 全データにみる有機汚濁指標種の優占状況

- 優占順位 1 位に汚濁指標種が入る測点数：57
  - その中で 1,2 位までを汚濁指標種が占める測点数：13
  - その中で 1,2,3 位までを汚濁指標種が占める測点数：6
- 優占順位 2 位以下に汚濁指標種が入る測点数：17
- 優占順位 3 位以下に汚濁指標種が入る測点数：7
- 汚濁指標種 1 種のみで 85% に達する測点数：6
- 汚濁指標種 2 種のみで 85% に達する測点数：3
- 汚濁指標種 3 種のみで 85% に達する測点数：0

データ数 (全測点数) : 96

を期する結果、数量組成率が50%以上を占める種類しか優占種と認めないと云うような事態も起こり得るであろう。したがって、群集組成上の優占種の位置を検討するためには、順位もさることながら累積組成率のどの値で打ち切るかが必要な条件になって来る。そこで、用いた全データについて累積組成率50%より10%ずつ高くなる各組成率に達するに要する種類数の頻度分布を求めて見ると、図-5のような結果となり80%までは何れもポアソン分布を示すが、90%ではそれが正規分布に変わって来る。この傾向はマクロベントス群集組成の具有する一つの性状と考えられるが、さし当たりこれを根拠に80%と90%の間をとって85%を累積組成率の検討範囲の下限とする。

累積組成率85%以内で有機汚濁指標種がどのような優占順位を占めるかを全データについて集計すると表-5のような結果が得られた。すなわち、全体中約60%の測点において有機汚濁指標種が優占順位1位を占め、第2位、第3位を占めるものを加えると全体の84%に達する。この限りでは横浜市周辺域が全般的に汚濁水域であることの印象をぬぐい切れない。ただし、第1位・第2位を共に有機汚濁指標種が占める測点は13.5%と少なく、第1位・第2位・第3位までを全て有機汚濁指標種が占める測点は6.3%に過ぎず、これほどの重汚濁域はやはり少数である。優占順位第2位に有機汚濁指標種以外の種が入る測点も多く、ある程度は汚濁指標種以外の種も上位を占めると云うことができる。数量組成の点から見れば、有機汚濁指標種のみで累積組成率85%に達する測点も僅かである。しかし、その中には有機汚濁指標種1種のみで85%に達する測点が最も多かったことから、「臨機応変型」の種類のような著しい高密度に達する性状を有する種が加わっているものと思われる。

数量組成に有機汚濁指標種が関与する様相をもう少し詳細に知るために、累積組成率85%以内に入る有機汚濁指標種の種類数と85%に達するに要する種類数との関係を求めると図-6のようになる。両者はある程度すなわち85%以内に入る種類数5~6種までは比例関係にあり、種類数がふえて生物相も豊富になると同時に有機汚濁指標種も多く含まれてくる。しかし、種類数がさらにふえてより豊富な生物相になると、有機汚濁指標種数はそれ以上ふえないか、または急激に減少するかの二つの方向を示すようになる。後者は理解できるが、前者については有機汚濁指標種を含みながら生物相が豊富になると云う意外な結果である。しかしながら、それは有機汚濁指標種が生物相の単純化する汚濁水域にのみ分布するものではないと云うことを裏付けている。このことを単に種類数のみでなく生物相の豊かさを表わす尺度の一つである Shannon - Weaver の多様度指数  $H'$  によって表わして見ると、図-7のようになり全く同様の傾向として捉えることができる。

次に、数量組成率の優占順位によって横浜市周辺域を代表する種を抽出し、かつそれが有機汚濁指標種であるか否かについて見ると表-6のようになり、優占順位第1位・第2位とも出現頻度の上位を占める種類は全て有機汚濁指標種である。したがって、少なくとも横浜市周辺域に関しては一般に良く知られた有機汚濁指標種を採択しても差支えなく、それらが最優占種となる場合を取り合えず汚濁域と判断してもよいであろう。しかし、この中からさらに適切な種を選定するためには環境項目との対応を多方面から解析して十分な根拠を示す必要があるし、その前に優占順位のみでなく、群集内の有機汚濁指標種の数量組成について量的に検討することが望まれる。この点について次節で若干述べることにする。なお、甲殻類の中で唯一の有機汚濁指標種とされている *Nebalia bipes* コノハエビは優占順位第2位で出現頻度の最下位にランクされた。すなわち96測点中で平潟湾の7月の調査測点1点にのみ優占した。マクロベントスの主要な3群すなわち多毛類、軟体類、甲殻類の中で甲殻類は比較的に汚濁に弱いと云われており、概して甲殻類を汚濁指標種に選ぶことには無理があるように思われる。また、外海性指標

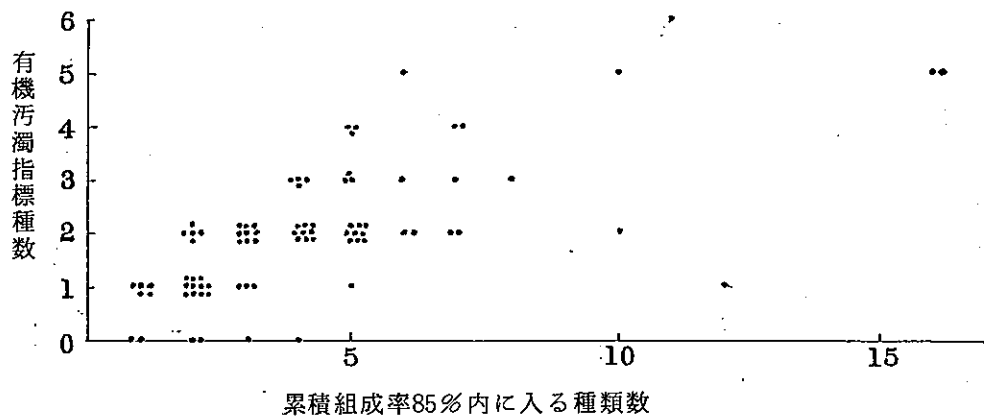


図-6 累積組成率85%以内に入る種類数とその中の有機汚濁指標種数との関係

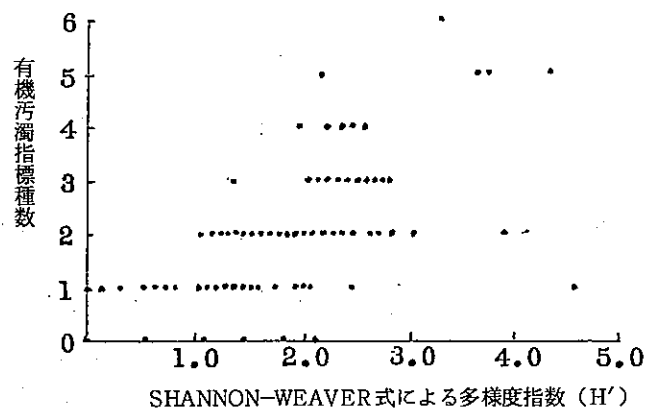


図-7 多様度指数と累積組成率85%以内に入る有機汚濁指標種数との関係



表-6 有機汚濁指標種の優占状況とその頻度

・優占順位1位が <i>Prionospio cirrifera</i>	である測点数 : 12
・ <i>Capitella capitata</i>	〃 : 10
・ <i>Theora fragilis</i>	〃 : 9
・ <i>Lumbrineris l., L.n.</i>	〃 : 8
・ <i>Paraprionospio CI</i>	〃 : 6
・ <i>Musculista senhousia</i>	〃 : 5
・ <i>Cirriformia tentaculata</i>	〃 : 3
・ <i>Notomastus latericeus</i>	〃 : 2
・ <i>Ruditapes philippinarum</i>	〃 : 1
・ <i>Raeta rostralis</i>	〃 : 1
・優占順位2位が <i>Lumbrineris l., L.n.</i>	である測点数 : 13
・ <i>Capitella capitata</i>	〃 : 8
・ <i>Prionospio cirrifera</i>	〃 : 7
・ <i>Cirriformia tentaculata</i>	〃 : 6
・ <i>Musculista senhousia</i>	〃 : 4
・ <i>Notomastus latericeus</i>	〃 : 4
・ <i>Paraprionospio A, CI</i>	〃 : 2
・ <i>Theora fragilis</i>	〃 : 2
・ <i>Ruditapes philippinarum</i>	〃 : 1
・ <i>Raeta rostralis</i>	〃 : 1
・ <i>Neanthes succinea</i>	〃 : 1
・ <i>Dorvillea matsushimaensis</i>	〃 : 1
・ <i>Macoma incongrua</i>	〃 : 1
・ <i>Nebalia bipes</i>	〃 : 1

種(菊地<sup>35</sup>)などを参照した)が優占順位において上位を占める測点が殆んど皆無であったことも、横浜市周辺域の一つの特徴と考えるべきであろう。

#### 5-2. 有機汚濁指標種個体数の群集組成に占める位置

すでに述べたようにマクロベントスの主要構成群である環形動物多毛類、軟体動物、節足動物甲殻類の3群の組成においては、汚濁が進むほど多毛類の比率が大きくなる値となり、反対に軟体動物および甲殻類の比率が小さくなる一般的傾向がある。そこで、全データから各有機汚濁指標種が優占順位第1位・第2位に位置する群集の主要構成群編組比率を指標種毎にまとめて見ると、図-8のような結果になった。なお、*Siganbra hanaokai* ハナオカカギゴカイはこれまで有機汚濁指標種として取り上げられたことはなかったが、著者の平潟湾調査結果<sup>2)</sup>において、他の何れの種類も分布しない最湾奥域にも出現しているところから、同じく平潟湾の優占種となっている有機汚濁指標種の *Prionospio cirrifera*, *Capitella capitata* より汚濁耐性が強いものと考えられた。よって、本節では有機汚濁指標種の候補として以後取り扱うことにする。全指標種のうち横浜市周辺域について優占種としてのデータが揃ったのは9種で、図-8では、多毛類が編組比率の最も高い方に集中し、対照的に軟体類・甲殻類が低くなる傾向が強いもの、また同時にデータのバラツキが小さく各群がよく分離しているものからそうでないものへ順次並べてある。これらは優占順位第1位・第2位を含めた結果であるが、図に見られるように第2位についてまとめた結果はバラツキが大きくなるので、優占種となった指標種に同時に群組成上の汚濁特性をも意味付けるなら、優占順位第2位のケースを除き、第1位の場合のみを取り扱うようにすべきである。

多毛類が編組比率で高い値を示す群組成上の汚濁特性を最もよく表わしていたのは *Cirriiformia tentaculata* ミズヒキゴカイが優占種となった場合である。これに次ぐものとしては *Paraprionospio* CI ヨツパネスピオ, *Lumbrineris longifolia* (含 *L. nipponica*), *Prionospio cirrifera* が優占する場合をあげることができる。*Siganbra hanaokai* ハナオカカギゴカイは、有機汚濁耐性は強いが、これが優占する群集では多毛類以外が高い編組比率を占める場合も多く含まれてくる。このことは同種が必ずしも重汚濁域にのみ分布するものではないことを意味していると思われる。軟体類二枚貝類の *Theora fragilis* シズクガイと *Musculista senhousia* ホトトギスガイが優占する群集では、それらの高い編組比率のゆえに多毛類の編組比率が著しく低下してしまう。よって、この2種類に関しては主要群組成比に見られる汚濁特性はあてはまらず、各比率も比較的広範囲にわたる。シズクガイの負酸素耐性の強い性質などを考えると、これらは有機汚濁指標種としては多毛類指標種とは別の視点から検討する必要があると思われる。

次に、有機汚濁指標種が何種類も含まれているような群集において、汚濁指標種の個体数(分布密度の合計は全個体数に対してどのような関係にあるかを調べた。すなわち、図-9に見られるように、第1位優占種となった各有機汚濁指標種の属する群集毎に各記号で表わし、有機汚濁指標種の合計個体数は累積組成率85%以内に入るもののみを取扱った。有機汚濁指標種は図-8に示した9種の他に群組成検討に際しデータが少ないために取り上げなかった2種を含む11種である。また、指標種以外の種が第1位となった場合の指標種合計個体数の比率を併せて示した。

結果においては、まず指標種別に見ない場合、総括的に有機汚濁指標種の合計個体数と総個体数との間に明らかな傾向は認められなかった。しかし、有機汚濁指標種でない種類が第1位優占種となった場合に比べると、指標種が第1位の場合の指標種合計個体数は常に総個体数の40%以上の高い比率となっている。このことから、単独あるいは複数にせよ有機汚濁指標種が群集内で高い比率を占める傾向は、或る有機汚濁指標種が第1位優占種となったときに強く現われることが判る。よって群集組成に有機汚

優占種となった  
有機汚濁指標種

編組比率

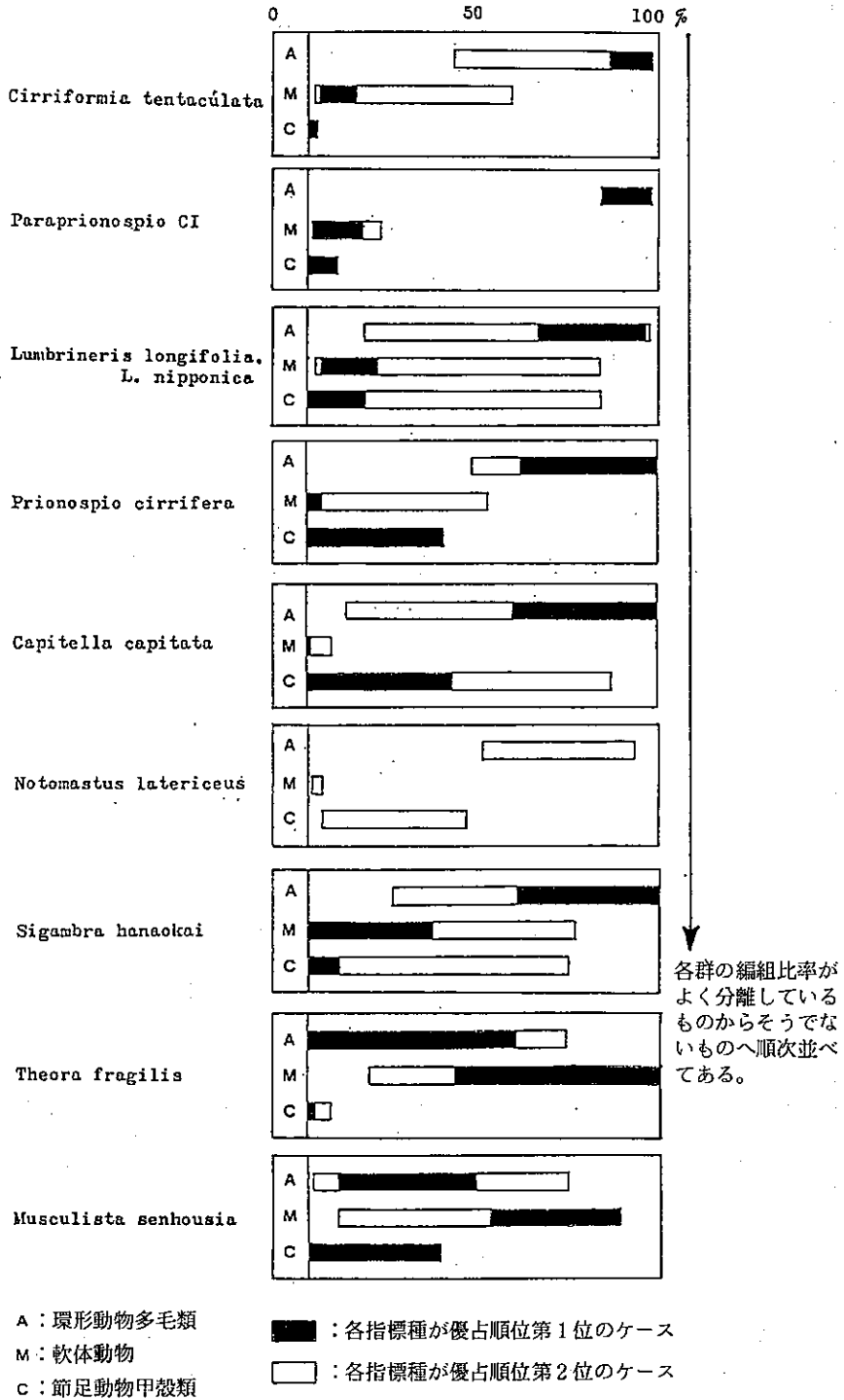


図-8 有機汚濁指標種が優占する群集における多毛類、軟体動物、甲殻類の編組比率  
(*Sigambra hanaokai*ハナオカカギゴカイを新たに有機汚濁指標種に加えた。)

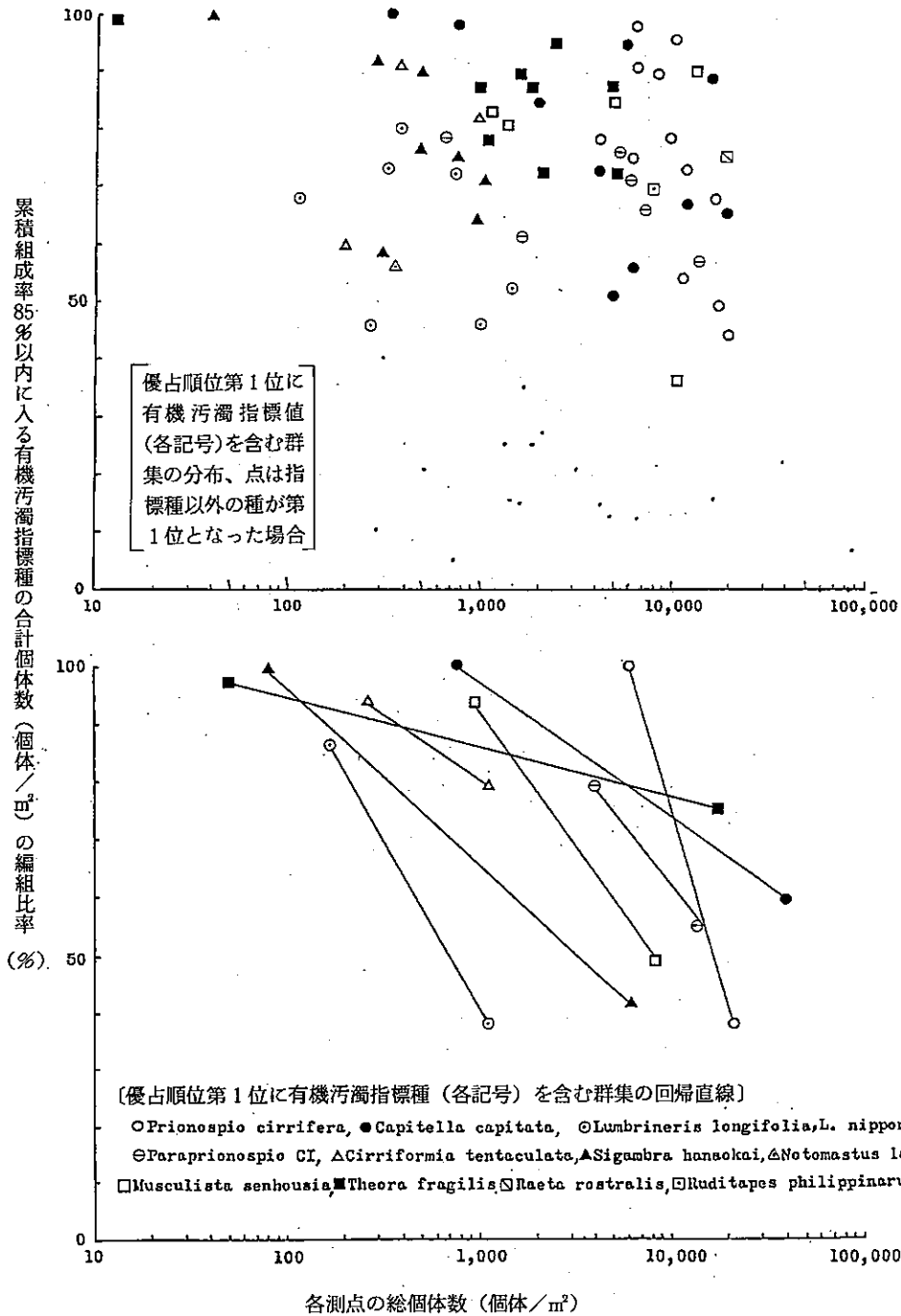


図-9 各々の有機汚濁指標種が優占する群集の総個体数と累積組成率85%以内に入る有機汚濁指標種の合計個体数の編組比率との関係

濁の徴候を求める場合には、第1位優占種が指標種であるケースを重視しなければならない。

同じ関係を各々の第1位優占種の属する群集について見るとき、何れの群集においても有機汚濁指標種の合計個体数は総個体数が少ないときに高い比率となり、総個体数が多いときに低い比率となっている。総個体数の幅は各群集によって異なるにも拘らず、この傾向は同じである、このことは、有機汚濁指標種は群集が低密度のとき卓越し、多くの種が増殖し群集が高密度化すると競争力が弱いために減少していく「臨機応変型の種」の一つの性質を或る程度兼ね具えていることを予想させる。臨機応変型種としてよく知られている *Capitella capitata* イトゴカイその他の種の生態については多くの研究が紹介されており<sup>39)</sup>、その性質についても再検討されて来ているが、この問題は個体群生態の分野を抜きにしては検討し難いので次の機会にゆずることにする。したがって、少なくとも、有機汚濁指標種は優占的ではあるが群集の高密度化に対して限度を有することを知っておくことは重要であろう。

### 5-3. 有機汚濁指標種の分布と環境因子との関係に基づく代表種の抽出

有機汚濁指標種を意味付けるための必要不可欠の条件は、その生息環境としての水・底質汚濁関連項目の分布を適切に代表し得ることである。これまでに知られている32種（新たにハナオカカギゴカイを加えた）の有機汚濁指標種については、必ずしもこの点が十分に検討されているとは限らず、分布上の経験則を含めて提唱されたものである。本文の目的は、結局これらの指標種の横浜市沿岸域における分布がどの程度環境項目の分布とよく適合するかにある。

資料に用いた4調査結果において、同時に調べられた環境項目は水深、底層水（底面上1m）の水温および塩素イオン量、底泥の温度、pH、酸化還元電位、強熱減量、粒度組成（中央粒径を用いた）などである。これらの大半は観測および分析の迅速・簡便な項目に限られたため、有機汚濁を直接的に表わす項目たとえばCOD、BODなどについては調べられていない。しかしながら、各項目がマクロベントスの分布性状にどの程度係わるかを知るために、先ず主成分分析結果を表-8に示す。数値変換を行なう程の必要性はないと思われたので、とくにそれに留意していない。有機汚濁指標種に関する成分としては、先ず累積組成率85%以内に含まれる指標種数を取り上げたが、結果において最も高い相関を示したのは多様度指数H'のみであり、環境項目との相関は何れも低い値に留まった。主成分分析の結果は、固有値が1以上になる主成分の数は4と多く、第1主成分への寄与率も32.4%とかなり低かったので、項目を減らして主成分分析を繰り返す以前に、項目の選定に問題があるように思われる。有機汚濁あるいは富栄養化の直接的要因は、その根源であるN、Pまたは少なくともCOD、SSによって計量される値の増加にあるから、別途の資料によってでもこの点を関連付ける必要があろう。

横浜市沿岸域について比較的データ数が揃う有機汚濁因子は水のCODと透明度であるが、横浜港に関しては「昭和62年度横浜港水質浄化調査中間報告書<sup>40)</sup>」より底層水CODの現況シュミレーション結果を用いることにした。根岸湾・金沢湾については部分的に「昭和60~61年度横浜市・神奈川県環境調査」のデータがあるので、この中の横浜港に関する上記報告書との共通測点の値の較差を根岸湾・金沢湾に適用し修正した(図-10, a)。また、平潟湾については畠中らの調査結果<sup>41, 42)</sup>により平均的な値を用いた。横浜市が設定した水質汚濁段階とその評価基準は、「きれい」: COD 1~3 ppm, 「やや汚れている」: 同 3~5 ppm, 「汚れている」: 同 5~10 ppm, 「非常に汚れている」: 同 10 ppm 以上、であるのでこれに基づき上記のCOD分布より汚濁分図(図-10, b)を作成した。一方、有機汚濁指標種の分布に関しては、資料とした4調査結果のうち多摩川感潮域・河口域の分を除く3調査結果<sup>24)</sup>より各種類の分布密度を夏期、冬期に限り図11~19のように作成して環境COD区分図と参照した。ただし横

表-7 有機汚濁指標種数と環境項目の相関行列表

	NO. I. SP.	BIOMASS	NO. SP.	H'	DEPTH	TEMP	PH	REDOX	IL	MED. D	CHLORINI
NO. I. SP.	1.0000										
BIOMASS	-0.0798	1.0000									
NO. SP.	0.5529	0.4599	1.0000								
H'	0.7397	0.0579	0.7292	1.0000							
DEPTH	0.3201	-0.1238	0.0330	0.2192	1.0000						
TEMP	0.0613	-0.0510	-0.0767	0.0156	-0.0027	1.0000					
PH	0.1702	0.2936	0.4368	0.2763	0.1193	-0.3814	1.0000				
REDOX	0.0829	0.1091	0.1654	0.0844	-0.0248	0.3345	-0.1630	1.0000			
IL	0.1332	0.1517	0.1215	0.0785	0.4550	-0.1001	0.2047	-0.5052	1.0000		
MED. D	-0.2611	-0.1065	-0.2309	-0.1710	-0.2069	0.0348	-0.1899	0.4924	-0.5035	1.0000	
CHLORINI	0.4588	0.1141	0.4010	0.4974	0.3111	-0.2057	0.3625	-0.4393	0.4617	-0.6067	1.0000

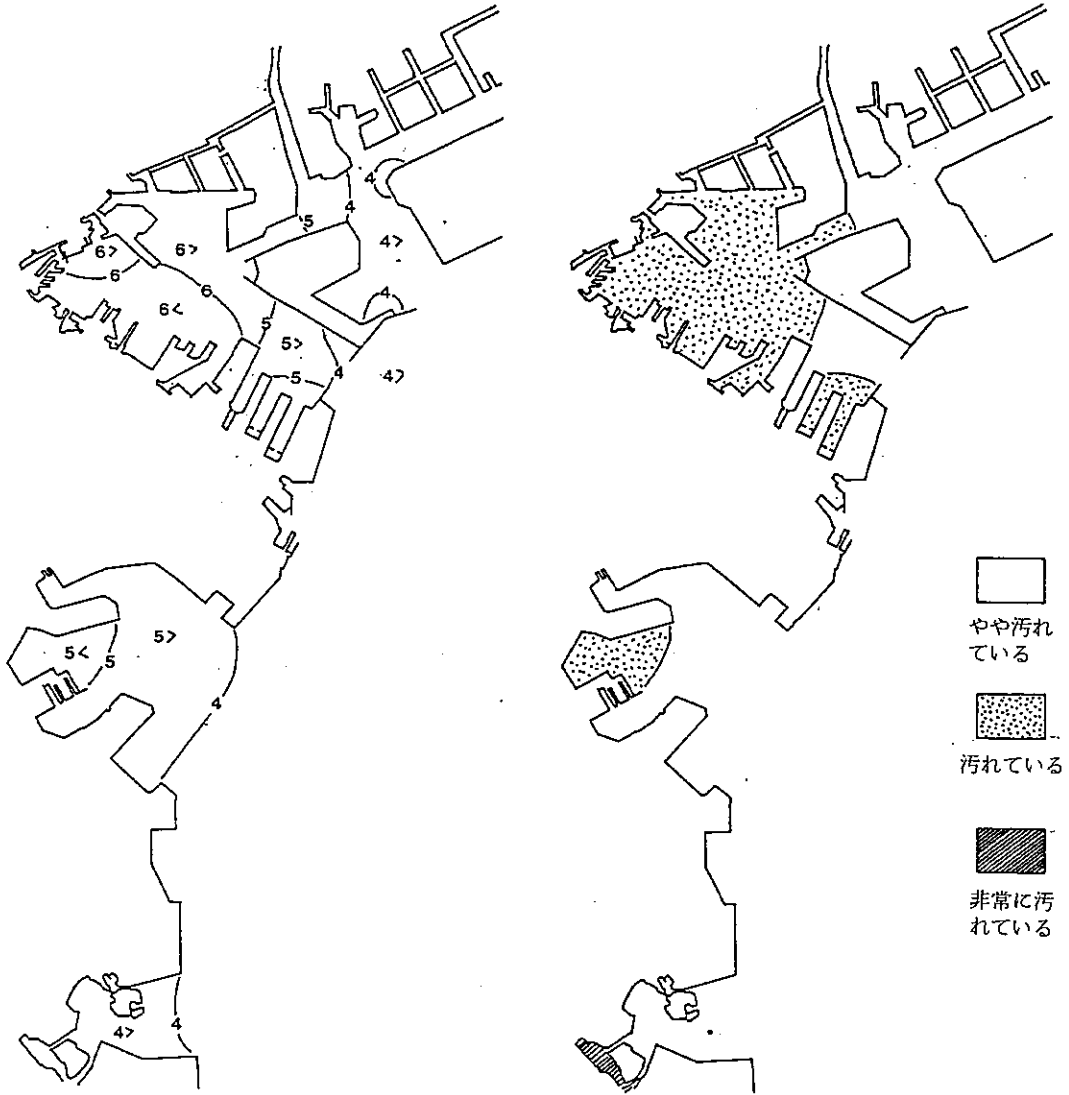
NO. I. SP. : 有機汚濁指標種の種数  
 BIOMASS : 分布密度 (個体数/㎡)  
 NO. SP. : 種類数  
 H' : Shannon-Weaver 指数  
 DEPTH : 水深 (m)  
 TEMP : 泥温 (°C)  
 PH : 水素イオン濃度指数  
 REDOX : 酸化還元電位 (mV)  
 IL : 強熱減量 (%)  
 MED. D : 底泥中央粒径 (mm)  
 CHLORINI : 底層水の塩素イオン量 (プロミル)

表-8 主成分分析結果

No	E - 1	E - 2	E - 3	E - 4
固有値	3.5628	2.0860	1.5264	1.0679
NO. I. SP.	0.3493	0.3145	0.3155	0.1695
BIOMASS	0.1319	0.1280	-0.5377	-0.5648
NO. SP.	0.3631	0.3921	-0.2252	-0.0963
H'	0.3692	0.3843	0.1335	0.1693
DEPTH	0.2247	-0.0883	0.4105	0.0108
TEMP	-0.1232	0.2219	0.4129	-0.6095
PH	0.2930	0.0087	-0.4261	0.2243
REDOX	-0.1862	0.5451	0.0415	-0.1153
IL	0.3061	-0.3661	0.0971	-0.3071
MED. D	-0.3408	0.2797	-0.0895	0.2892
CHLORINI	0.4432	-0.1297	0.0546	0.0351
寄与率	0.3239	0.1896	0.1388	0.0971
同累積値	0.3239	0.5135	0.6523	0.7494

浜港に関しては夏期調査はなく春期調査のみ行なわれているので、これを代用して類推することにした。これらの結果から、各指標種の各汚濁区分における分布、水域別・季節別出現状況、前記の群集組成上の特性を考慮した指標性の適性度などを集約したものが表-9である。

横浜市沿岸域の汚濁区分に適切な指標種としては、表-9の指標性欄の4種を候補にあげたが、不適な種として *Lumbrineris longifolia* (含む *L. nipponica*) と *Capitella capitata* イトゴカイを抽出除外した。その理由として、原則的に各汚濁区分を代表する種をそれぞれに配分しなかったため、*Lumbrineris* は同じ「やや汚れている」・「汚れている」の区分に入る *Paraprionospio* CI に比べると、「非常に汚れている」の区分にも進出し範囲が拡がり過ぎるため、この区分を後者に譲る。また同種は *L. longifolia* と *L. nipponica* を併せて取扱って、今後両種の分布を精査し再検討する必要がある。さらに、北森<sup>7)</sup>によると同種(彼においては *L. brevicirra*) は *Prionospio pinnata* (後に *Paraprionospio* CI 他4種に分



a) 底層水COD (ppm)の分布

b) CODに基づく汚濁区分

図-10 横浜市沿岸域における底層水CODの分布とそれに基づく汚濁区分

横浜港に関しては「昭和62年度横浜港水質浄化調査中間報告書<sup>40)</sup>」より、COD 2層(下層)、現況2を引用した。根岸湾・金沢湾については「昭和60~61年度横浜市・神奈川県環境調査」の結果による横浜港と根岸湾・金沢湾との較差を横浜港に適用し、これを基準にして推定した。平潟湾については島中<sup>41, 42)</sup>を参照し類推した。

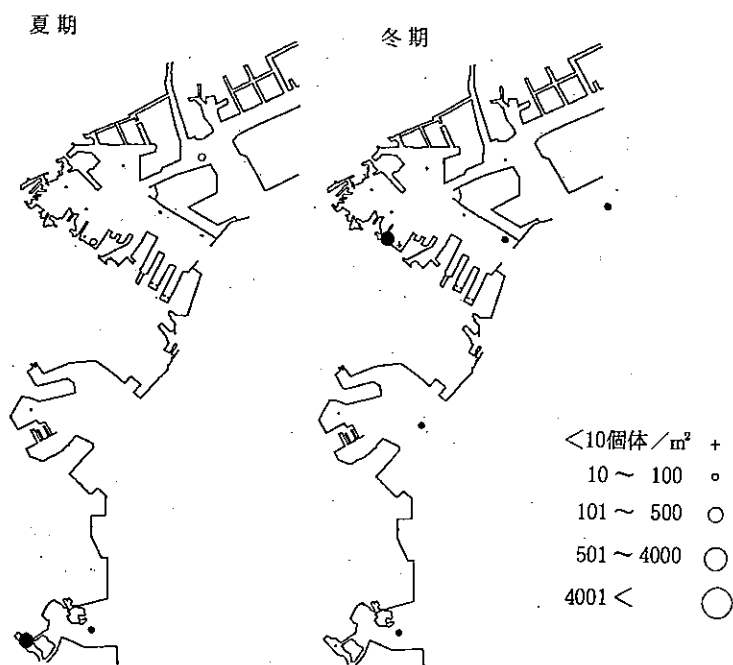


図-11 横浜市沿岸域における*Cirriformia tentaculata*の分布  
(昭和57~60年, 白丸印は春期のデータを示す)

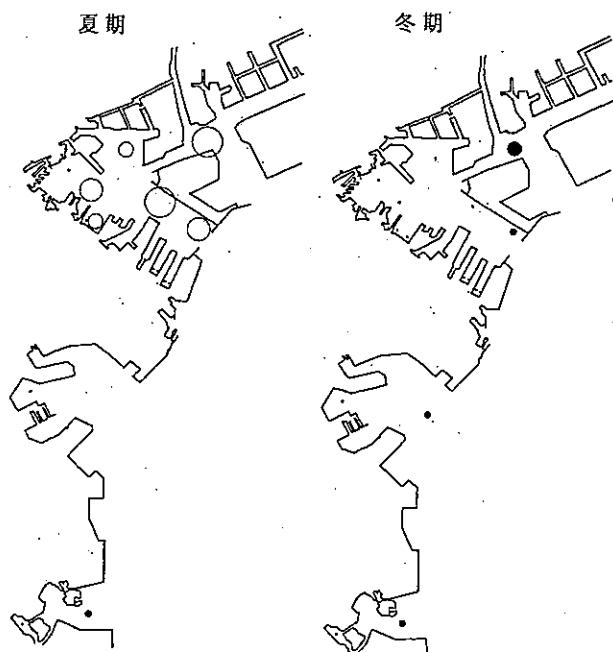


図-12 横浜市沿岸域における*Paraprionospio CI*の分布  
(昭和57~60年, 白丸印は春期, 数量表示は図-11に同じ)



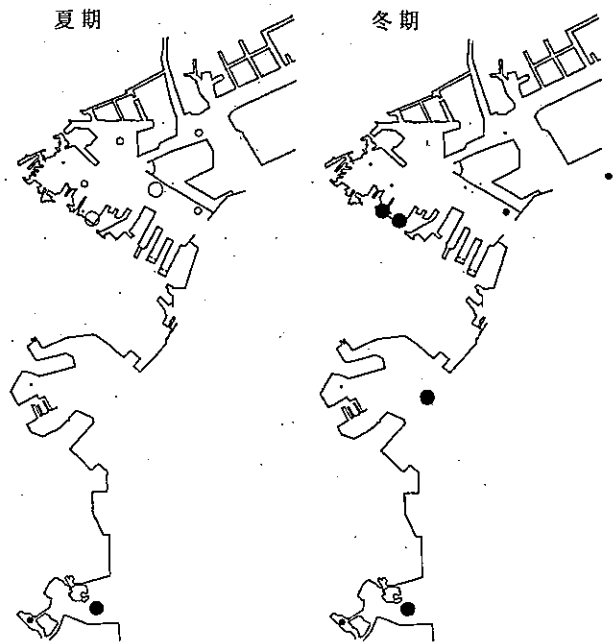


図-13 横浜市沿岸域における *Lumbrineris longifolia*, *L. nipponica* の分布  
 (昭和57~60年, 白丸印は春期, 数量表示は図-11に同じ)

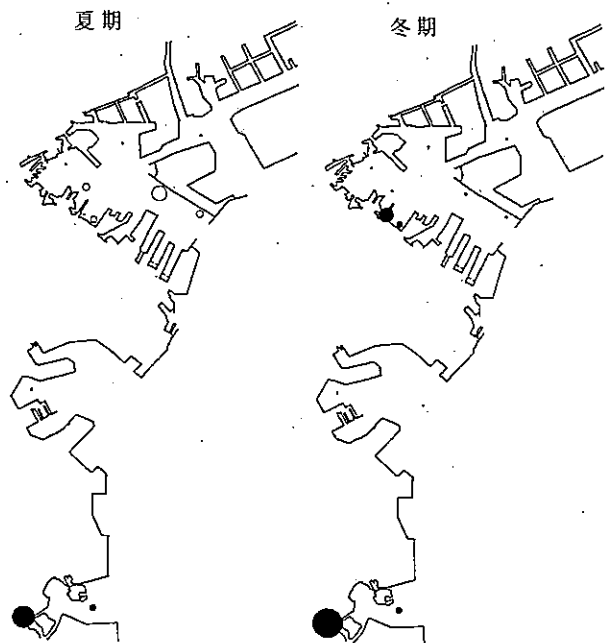


図-14 横浜市沿岸域における *Prionospio cirrifera* の分布  
 (昭和57~60年, 白丸印は春期, 数量表示は図-11に同じ)

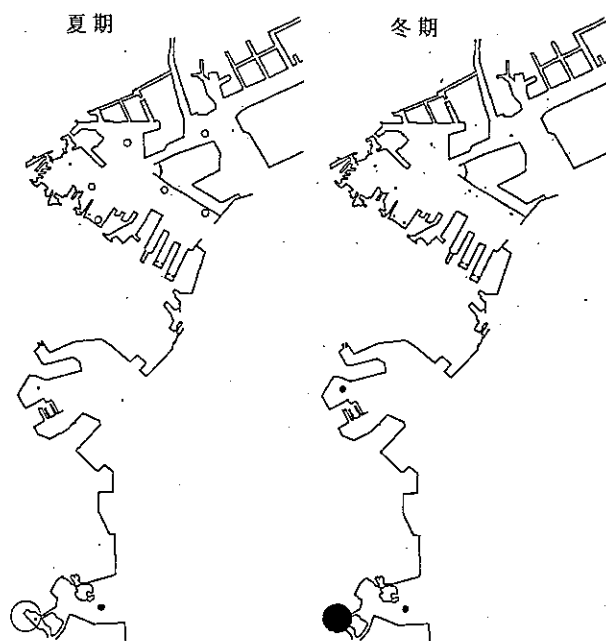


図-15 横浜市沿岸域における*Capitella capitata*の分布  
 (昭和57~60年, 白丸印は春期. 数量表示は図-11に同じ)

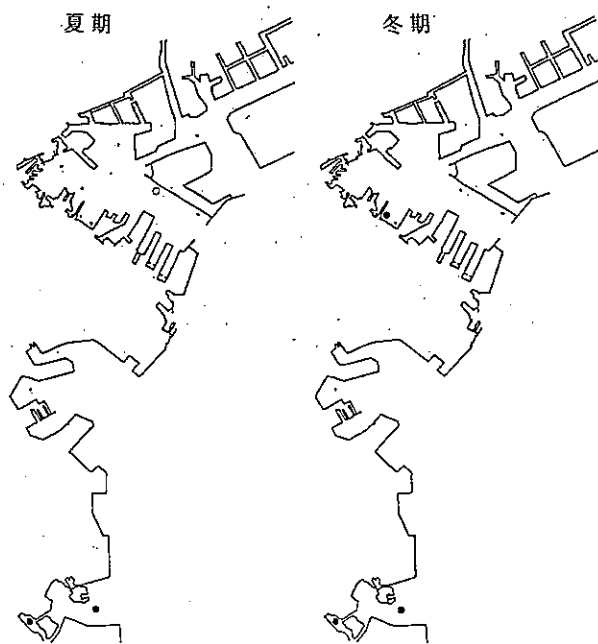


図-16 横浜市沿岸域における*Notomastus latericeus*の分布  
 (昭和57~60年, 白丸印は春期. 数量表示は図-11に同じ)

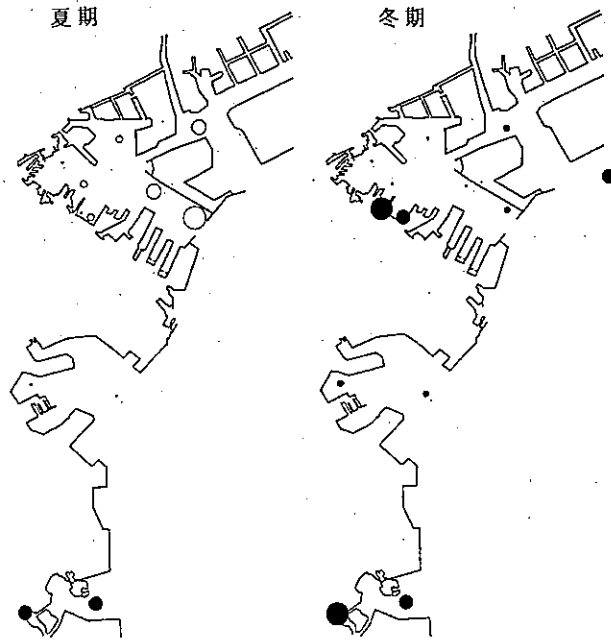


図-17 横浜市沿岸域における*Sigambra hanaokai*の分布  
 (昭和57~60年, 白丸印は春期, 数量表示は図-11に同じ)

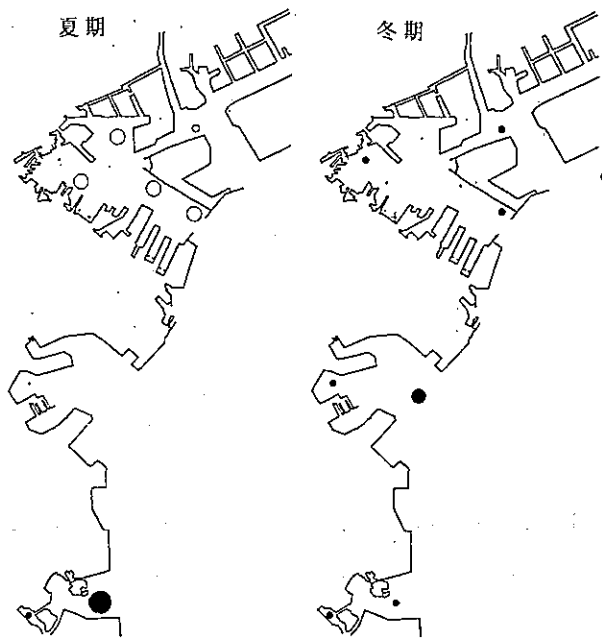


図-18 横浜市沿岸域における*Theora fragilis*の分布  
 (昭和57年~60年, 白丸印は春期, 数量表示は図-11に同じ)

けられた<sup>43)</sup> ) の分布と対照的に異なった分布傾向を示すので、*Paraprionospio* CI を採用するならむしろこれを避けておくことが望ましい。*Capitella capitata* は最上区分「非常に汚れている」に用いたいのが、同区分に入るもう一つの種 *Cirriformia tentaculata* ミズヒキゴカイに比べると、区分範囲は狭いものの季節的に出現が不規則のように感じられ、臨機応変種の性質である突発的な増殖が起こると解釈がむずかしくなるので、恒常的に指標種として取扱い難い。その他の指標性欄に取り上げなかった種については、i) 分布区分が拡がり過ぎて局在性がない、ii) 季節性の情報不明、iii) マクロベントス群集の特性の一つである汚濁傾向に基づく主要構成群の編組比率配分が明瞭でない、等の理由で除外した。

以上の各問題点を考慮した結果、各区分を代表する有機汚濁指標種としては、「非常に汚れている」：*Prionospio cirrifera* 「汚れている・非常に汚れている」：*Cirriformia tentaculata* ミズヒキゴカイ、および *Sigambra hanaokai* ハナオカカギゴカイ、「やや汚れている・汚れている」：*Paraprionospio* CI (ヨツバネスビオ) の4種を候補にあげることとする。「きれい」区分に適切な種がなかったこと、および「やや汚れている」と「汚れている」を分離して用いる指標種が見出せなかったことは、横浜市沿岸域のCOD分布状況や各指標種の分布状態によりやむを得ない結果であることをことわっておく。

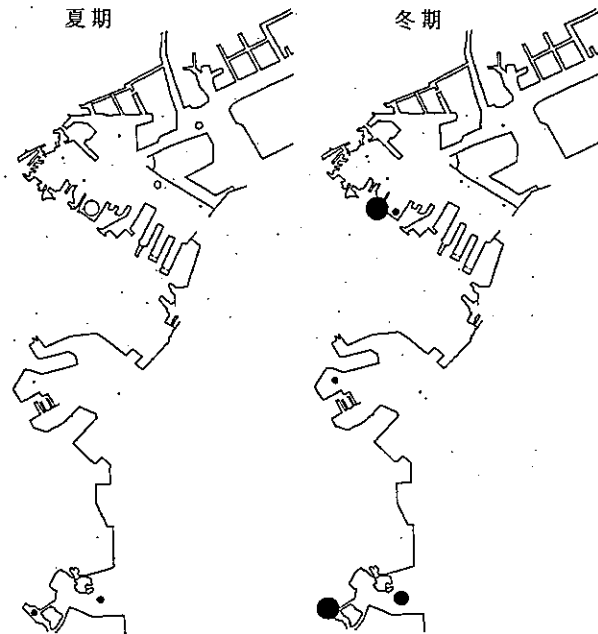


図-19 横浜市沿岸域における *Musculista senhousia* の分布  
(昭和57~60年, 白丸印は春期, 数量表示は図-11に同じ)

表一 9 マクロベントス有機汚濁指標種の指標化に要する分布特性 (横浜市沿岸域の場合)

種	感覚評価 水質評価 (COD)	富栄養域			過栄養域			水域形態区分 干潟 内湾	季節 春夏 秋冬	指標性
		きれい 1~3 ppm	やや汚れている 3~5 ppm	汚れている 5~10 ppm	非常に汚れている 10ppm以上					
<i>Cirriformia tentaculata</i> ミズヒキゴカイ						●		●	●	●
<i>Paraprionospio CI</i> ヨツバナネスビオ							●	●	●	●
<i>Lumbrineris longifolia, L.</i> <i>nipponica</i> ギボシイソメ 1種							●	●	●	○
<i>Prionospio cirrifera</i>							●	●	●	●
<i>Capitella capitata</i> イトゴカイ							●	●	●	○
<i>Notomastus latericeus</i> シダレイトゴカイ							●	●		
<i>Sigambra hanaokai</i> ハナオカカギゴカイ							●	●	●	●
<i>Theora fragilis</i> ミズクガイ							●	●	●	●
<i>Musculista senhousia</i> ホトトギスガイ							●	●	●	●

群集の汚濁特性  
(多毛類がふえて  
甲殻類が減少する。  
同時に各群の組成  
の範囲が小さく、  
傾向がバラツクかな  
い)の大きい方から  
順に並べてある。

群集の汚濁特性  
↓  
が減少

● : 指標性がよい, ○ : 指標性がやや悪い

## 6. ま と め

- (1) 昭和57～60年に著者らが行った横浜市周辺域4区域すなわち多摩川感潮域・河口域、平潟湾、金沢湾、横浜市沿岸域におけるマクロベントス調査結果の合計96測点分のデータを解析の資料とした。この4区域でこれまでに知られている有機汚濁指標種31種の35～55%が出現し、その多産ゆえに汚濁レベルの判断にむずかしい問題がある。
- (2) 横浜市沿岸域の外海に相当する東京湾内湾域のマクロベントス出現種は既往の文献を参照すると100種近くになり、横浜市沿岸域でも同様に100種弱ほど見出されている。しかし、平潟湾のように閉鎖性の強い小水域では種類数は激減する。
- (3) 横浜市沿岸域における種類数の最多出現域は金沢湾で115種を産し、平潟湾と横浜湾ではその半に減ずる。全データについて優占順位第1位・第2位を占めた種を優占種とすると、4区域を通じて9～18種となり、出現種数の16.1～22.0%を占める。4区域を通じての優占種は *Sigambra hanakai* ハナオカカギゴカイ、3区域を通じての優占種は *Musculista senhousia* ホトギスガイのみであった。最も種類数の多かった動物群は環形動物で96種を含み、その中で優占種も最も多く22種を算えた。
- (4) 群集組成指標について夫々解説したが、現在では Shannon - Weaver 式による多様度指数、木元の類似度指数  $C_{II}$  以上に適切なものはないようである。
- (5) 生物指標に基づく環境区分は厳密に考えると多くの問題があり、或る程度「あいまいさ」が残るのはやむを得ないが、なるべく設定した各区分の範囲を越える種を生物指標としないことが望まれる。
- (6) 横浜市周辺域のマクロベントス調査結果96測点分につき出現種の累積組成率50～90%に達するのに要する種類数の頻度分布を求めると累積組成率85%を境としてポアソン分布から正規分布に変わることが判った。このことから、累積組成率と85%以内で有機汚濁指標種がどのような優占順位を占めるかを調べた結果、全データの60%において優占順位第1位を占め、第2位・第3位を占めるものを加えると全体の84%に達した。累積組成率85%以内に入る有機汚濁指標種数を85%に達するに要する種類数または Shannon-Weaver の多様度指数とはある程度比例関係にあった。
- (7) 優占順位第1位で最も多くの測点に出現した種は *Prionospio cirrifera*、次に多かったのは *Capitella capitata* である。また、優占順位第2位で最も多くの測点に出現した種は *Lumbrineris longifolia* (含 *L. nipponica*)、次に多かった種は *Capitella capitata* である。優占順位第1位・第2位とも出現頻度の上位を占める種は全て有機汚濁指標種であった。
- (8) マクロベントス群集の主要構成群である環形動物多毛類、軟体動物、節足動物甲殻類の3群の組成においては、汚濁が進むほど多毛類の比率が大きくなり軟体動物、甲殻類の比率が小さくなる一般的な傾向がある。各有機汚濁指標種が優占順位第1位・第2位を占める群集の主要構成群組成についてまとめた結果、上記の汚濁特性を最もよく表わしていたのは *Cirriformia tentaculata* が優占種となった場合で、これに次ぐものは順次 *Paraprionospio* Cl, *Lumbrineris longifolia* (含 *L. nipponica*), *Prionospio cirrifera* となった。ただし優占順位第2位のケースでは各組成がやや広い範囲をとるようになるので、第1位のケースのみを取扱った方がよい。
- (9) 有機汚濁指標種が群集内で高い比率を占める傾向は、ある指標種が優占順位第1位を占める場合に強く現われる。

- (10) 累積組成率85%以内に入る有機汚濁指標種の合計個体数は、総個体数が少ないときほど高い比率となる。すなわち、有機汚濁指標種は群集が低密度のとき卓越し、高密度化すると後退する。
- (11) 主成分分析の結果、累積組成率85%以内に入る有機汚濁指標種数は現場測定による水・底質項目の価とは殆んど関連性がなく、やはりCOD等の分析項目との関係を重視する必要がある。
- (12) 別途資料より作成したCOD分布に基づく横浜市沿岸域の汚濁区分図と、新たに *Sigambra hanaokai* を加えた群集組成上の汚濁特性をよく表わす9種の有機汚濁指標種の夏期・冬期の分布状況とを対応させた。この結果と個々の種類の分布生態を参照して、横浜市沿岸域の汚濁区分にとって適切な4種を撰定し、「非常に汚れている」: *Prionospio cirrifera*, 「汚れている・非常に汚れている」: *Cirriformia tentaculata* ミズヒキゴカイ、*Sigambra hanaokai* ハナオカカギゴカイ、「やや汚れている・汚れている」: *Paraprionospio* CI (ヨツパネスピオ) を各汚濁区分の指標種に設定した。

## 参 考 文 献

- 1) 桑原 連・秋本 泰：多摩川感潮域および河口域の底生生物相、大田区の水生生物、53-78(1985)
- 2) 桑原 連：平潟湾の底生動物相とその分布・季節変化、横浜市公害研究所公害研資料、68, 67-90 (1986)
- 3) 桑原 連：金沢湾の底生動物相とその分布・季節変化、横浜市公害研究所公害研資料、68, 91-127 (1986)
- 4) 桑原 連：横浜市沿岸域の底生動物相、横浜の川と海の生物、第4報、横浜市公害対策局公害資料、126, 227-250(1986)
- 5) 北森良之介：海域における水質汚濁の生物学的判定、水処理技術、7(4), 1-7(1966)
- 6) 北森良之介：水質汚濁と底生動物、東水研業績集(さかな)、2, 51-56(1986)
- 7) 北森良之介：環境指標としての底生動物(2)、「指標生物を中心に」、環境と生物指標、2, 水界編、第2編、第7章、265-273(1975)、共立出版。
- 8) 松中昭一：指標生物、36-40(1975)、講談社サイエンティフィック。
- 9) 増井哲夫：東京湾の底棲群聚に就て、日本海洋学会誌、3(2),130-141(1943)
- 10) 川口正雄：東京湾の底棲動物に関する記録、京大理学部動物学教室・大津臨湖実験所生理生態学研究業績、58,1-7(1946)
- 11) 島津忠秀・山根謹爾：東京湾の底棲生物に関する研究(1)、湾内の泥温と底棲生物の季節変化に就て、日本水産学会誌、14(1),51-55(1948)
- 12) 北森良之介：東京湾底棲動物の研究、第2報、底棲動物の分布並季節の変化、日本水産学会誌、16(7),275-280(1950)
- 13) 堀越増興・今島 実・臼井 陽・松尾 豊：東京湾の小型マクロベントス生物量の分布、文部省特定研究・人間生存と自然環境、内湾生物と汚濁、47-51(1974)
- 14) 原口明郎：東京内湾、東京湾口及び相模湾の底生生物、神水試業績、No. 83-78,27-34(1984)
- 15) 原口明郎：東京内湾四季別底生生物の変化、神奈川県の水生生物、6, 97-132(1984)
- 16) 風呂田利夫：東京湾千葉県内湾域の底生・付着動物の生息状況、特に群集の衰退が海底の酸欠の指標となり得る可能性についての検討、V、酸素欠乏に伴う底生動物相の衰退と海底環境指標動物、千葉県臨海開発地域等に係る動物影響調査、Ⅹ、千葉県環境部環境調整課、123-132(1985)

- 17) 風呂田利夫：東京湾千葉県内湾域の底生・付着動物の生息状況、特に群衆の衰退が海底の酸欠の指標となり得る可能性についての検討、VI、酸欠期の底生動物相と海底環境指標生物、千葉県臨海開発地域等に係る動植物影響調査、VII、千葉県環境部環境調整課、351-369(1986)
- 18) 東京都環境保全局水質保全部：昭和57・58年度東京都内湾生物調査結果報告書、東京都環境保全局水質保全部、環境保全局関係資料、3-1-水-32,1-289(1985)
- 19) 風呂田利夫：東京湾の底生動物、分布から見た汚濁海域での個体群維持機構に関する考察、海洋と生物、7(5),346-352(1985)
- 20) 桑原 連・清水 誠：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、(印刷中)
- 21) 横浜市公害対策局：横浜市内河川・海域の水質汚濁と生物、横浜市公害対策局公害資料、No.53,1-168(1974)
- 22) 風呂田利夫：平潟のマクロベントスの群集構造、沿岸海洋研究ノート、18(2),78-87(1981)
- 23) 網尾 勝：マクロベントスと水産動物、高松市東部下処理場放流水の水産業への影響に関する調査報告書、2-3,59-86(1979).高松市東部下処理場放流水の水産業への影響に関する調査研究会.
- 24) Margalef, D.R.: Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. Perspectives in marine ecology, Buzzati-Traverso, A. ed., 323-347(1958). Univ. Calif. Press, Berkley.
- 25) 木元新作：動物群集研究法、I、多様性と種類組成、生態学研究法講座14,54-94 (1976). 共立出版、東京.
- 26) Green, R.H. and G.L. Vascotto : A method for the analysis of environmental factors controlling patterns of species composition in aquatic communities, Water Research, 12, 583-590 (1978)
- 27) Goodman, D : The theory of diversity-stability relationships in ecology, *Quart. Rev. Biol.*, 50, 237-266 (1975)
- 28) Holland, A.F. and T.T. Polgar. : Seasonal changes in the structures of an intertidal community, *Mar. Biol.*, 37, 341-348 (1976)
- 29) Orth, R.J. : Benthic infauna of eelgrass, *Zostera marina* beds, *Chesapeake Science*, 14 (4), 258-269 (1973)
- 30) 桑原 連：海洋環境、環境アセスメントマニュアル、第1部、第3章、第5節、124-145 (1978). 環境技術研究会、大阪.
- 31) 桑原 連：海産生物相による海域環境評価の手順、横浜市沿岸水域を例として、横浜市立大学総合研究(環境管理の研究)、2、93-109(1983).
- 32) 合田 健：総合指標と一般指標、水質環境指標、合田 健編、1・3、9-12(1979). 思考社、東京.
- 33) 横浜市：横浜市水域における水質環境目標、1-9(1975).
- 34) 宮地伝三郎・増井哲夫・渡辺忠重：内湾度と内湾の生物群集聚型に就て。京大生態研究、3、1-20 (1944)
- 35) 菊地泰二：海洋汚染とベントス、環境科学としての海洋学、3. 7・4、352-375(1979). 東京大学出版会.
- 36) Grassle, J.F. and J.P. Grassle: Opportunistic life histories and genetic systems in marine benthic polychaetes, *Jour. Mar. Res.*, 32(2), 253-284 (1974)
- 37) 津田松苗・北川礼澄：長良川下流域の底生動物、長良川流域の底生動物、(I)、木曾三川河口資源調査報告、



2, 467-473(1965)

- 38) Fauvel, P. : Polychaetes errantes, *Faune de France*, 5, 22-24 (1923)
- 39) 菊地泰二: 海底動物の世界, 162-168(1981). 中央公論社, 東京.
- 40) 横浜市公害対策局: 昭和62年度横浜港水質浄化調査中間報告書.
- 41) 畠中潤一郎・二宮勝幸・江口憲治: 夏季における平潟湾内水質の日変動について, 横浜市公害研究所報. 8, 89-95(1983)
- 42) 畠中潤一郎: 平潟湾および金沢湾の水質調査結果, 横浜市公害研究所公害資料, 68, 7-37(1986).
- 43) 玉井恭一: 西日本周辺海域に生息する *Paraprionospio* 属 (多毛類: スピオ科) 4 typeの形態的特徴と分布について, 南西水研報告, 13, 41-58(1982).

(Pollution indicators in marine macrobenthos Ren Kuwabara 東京大学農学部水産学科)



## 横浜市海域に生育する海産植物 (海藻・海草) の生物指標

田 中 次 郎

全世界的に海洋汚染の進行する中で、汚染が海藻(海草を含む)植生にどのような影響を及ぼすかについてさまざまな研究が行われている。特に個々の環境要因に対する海藻の生理学的特性に関する研究報告は多い。しかしそれらの結果をそのまま海藻の天然での生育状況の解析に用いることは難しい。実際の環境はいろいろな要因が複雑に絡まりあってきており、いくつかの生理特性だけを調べてもなぜそこに海藻が生育できうるのかについての解答は得られない。そこで最近ではこのような生理学的な研究をおこなう一方で、現場での海藻の生育状況から汚染状態を推定したり、逆に汚染の程度から海藻植生を推定する、といった海藻植生を環境の指標として用いる研究も行われはじめています。ここでは海藻と汚染に関する研究の現状と、横浜市海域での環境指標としての海藻植生についての知見を述べる。

### 1. 環境汚染と海藻の生育との関連

生活排水などの一般的有機汚染と海藻の生育との関連については様々な研究が行われている。特に緑藻類のアオサ類、褐藻類のコブ類やヒバマタ類はその形が平面的であり単純であるためか、実験材料に適しており汚染の研究の対象にあげられることが多い。今世紀初頭に、Cotton (1911) は緑藻アオサの一種 *Ulva latissima* (= *Ulva lactuca*) が汚染海域に大量に生育していることを報告している。しかし同時にこの種類の存在が汚染の指標となるかならないかは別問題であるともいっている。この研究をはじめとしてその後多くの研究がなされてきた。以下にそのいくつかの例を紹介する。

Wilkinson (1964) は、汚染海域のアオサ類はアンモニアや高温の窒素酸化物や硫化物を体内に蓄積すると報告している。

Bellan (1970) はフランスのマルセイユ港外で、都市排水のため褐藻類ホンダワラの種類 *Cystoseira stricta* が消失し、かわりに紅藻類サンゴモの種類 *Corallina officinalis* が大量に繁殖するようになったことを報告している。

Burrows & Pybus (1971) は、英国リバプール湾のいくつかの地点で採取した海水を用いて付近で採集される褐藻のコブの一種 (*Laminaria saccharina*) を培養しその成長の違いを比較した。その結果、汚染海域の海水で培養された個体の成長は著しく低かった。

Edwards (1972) は、大型藻類は汚染の指標生物として大変に有効であると述べている。汽水河川流域を調査した結果、上流の汚染度の高い水域には緑藻だけが生育しており、下流に向かって汚染度が低くなるにつれ褐藻、紅藻の順で生育可能となり、種の多様性も高くなると指摘している。また英国北部沿岸の汚染度の高い海域では、緑藻のヒトエグサ (*Monostroma oxyspermum*) とウミフシナシミドロ (*Vaucheria pilobaloides*) 褐藻のヒバマタ (*Fucus ceranoides*) の3種しか生育しておらず種の多様性は極めて低いと報告している。

汚染と海藻の関係を調べる研究の一つとして海藻の重金属の取り込みに関する実験がある。Sivalingam (1978) ; Sivalingam *et al.* (1981, 1982) は緑藻類のアオサやシオグサの暴露実験で体内に普通の数千倍の濃度の重金属が蓄積されることを報告している。このほか Bryan (1969) は褐藻のコンブの一種 (*Laminaria digitata*) を用いて、Hopkins & Kain (1971) はコンブの一種 (*Laminaria hyperborea*) で、Fuge & James (1974) は褐藻のヒバマタの一種 (*Fucus sp.*) で、Stewart (1977) は紅藻4種を用いて海藻体内に重金属が濃縮される同様の実験結果を得ている。

偏化海藻の問題も汚染と関連して社会問題となっている。一般に汚染度の高い海域は種の多様性は低く、それゆえ特定の種類が大量に生育できる環境であるとも言える。環境が一旦汚染されると、そこにはすぐに耐性のある海藻が侵略し繁殖する。その一例として、日本の特産物である褐藻類ホンダワラ属の一種タマハキモク (*Sargassum muticum*) はカナダ、米国太平洋沿岸及び英国の港湾部や英国海峡に帰化し大量に繁殖しているので、船の運行に支障をきたしたり、他の海藻の生育を阻害したりして大きな社会問題となっている。

温排水など水温変化による海藻植生の変化も全世界的に問題となっている。日本でもいくつかの原子力発電所では、温排水により海藻植生がかなり変化しているという報告がある。詳しくは次の項で述べる。

## 2. 日本での研究状況

最近になって日本でも海洋環境を評価する基準として海藻を用いた研究がなされてきた。そのいくつかを紹介する。

1) 広瀬ら(1971)は大阪湾で昭和40年以降汚染が進むと共に減少したのものとして次の種類をあげた。褐藻類ではエゾヤハズ、ネバリモ、イシモヅク、フトモヅク、ツルモ、トゲモク、ノコギリモク。紅藻類ではウミゾウメン、ナミノハナ、ハナフノリ、フクロフノリ、マフノリ、ネザシノトサカモドキ、トサカモドキ、オゴノリ、フツツナギ、コスジフツツナギ、アミクサ、イギス、エゴノリ、エナンダジア、ケブカダジア、クロソゾ。これらの海藻は環境汚染にきわめて敏感で耐性の小さい種類であるといえる。

2) 片田ら(1975)は三河湾において50種類の海藻指標種を選定し、湾内のいろいろな場所で採取し調査をして分布表を作った。この海藻の分布と水温、塩分濃度、および別に選定しておいた12種類の定着性動物の分布とを対応させることから内湾度、汚染度を導きだした。

3) 須藤(1983)は環境要因がどのように海藻(含海草)植生に関わってくるのかを既存のデータをもとに調べた。調査対象種として比較的同定のらくな大型の海藻90種を選定し、各海域でそれらの種の出現の有無、頻度等を調査し種々の環境要因と対応させることで、植生の変化から環境特性の変化を、また逆に環境特性の変化から植生の変化を推定できると考えた。調査対象域は日本全域の外海、内海、内湾である。ここではその結果の一部を紹介する。

i) 内湾部での汚染が海藻植生にどのような変化を与えるかの推定

内湾部での海藻の生育を制約する値として、1) 月平均水温の最高及び最低値 [WT (°C)]、2) 年平均塩分濃度の最低値 [Cl (%)]、3) 年平均CODの最高値(ppm)、4) 波高の最高及び最低値 [H1/3(n)] をあげ、伊勢・三河湾、東京湾、大阪湾、英虞湾での海藻植生との対応を求めた。

内海・内湾では奥ほど、1) 最低水温の低下、および最高水温の上昇、2) 塩分濃度の低下、3) 汚染の強化、透明度の低下、4) 波高の低下、がみられた。また深度の減少と底質の泥化も進行が早い。

一般にこれらの変化は急激なもので、それともなうって海藻植生も大きく変化する。特に種の多様性の低下や一部の種の大量繁殖等の現象が見られるようになる。

ii) 温排水などの水温変化と海藻植生の関連

北海道後志の泊発電所の出す温排水の付近の海域の海藻相に及ぼす影響を推定している。水温と各種の海藻の生育の関係や付近海域の海藻植生から見て、2℃の昇温で青森・秋田県の植生に近づき、褐藻エゾツノマタ、紅藻フィリタサが消失し、マメタワラ、ヤツマタモクなどの褐藻ホンダワラ類数種、紅藻カニノテ、フツツナギが出現すると予想した。また島根県の三隅発電所付近の海藻植生は、佐賀、長崎県のそれに近づき、紅藻ウップルイノリ、イギス、エゴノリ等の減少または消失し、緑藻ヒトエグサは増加すると予想している。

### 3. 横浜市及び周辺海藻植生

#### 1) 関東地方南部の海藻植生の状況、特徴

関東地方沿岸の環境は水質環境の変化と同程度に土木工事等による物理的環境の変化が顕著である。特に岩礁地帯が砂泥化する、または護岸工事で自然の海岸環境がなくなるなどの生育基質の変化による植生の変化が目立つ。海藻植生の変化は水質、水の動き、生育基質、光環境など、いくつかの要因が複雑に絡み合っているといえる。現在のところ以下のような知見が得られている。

i) 非汚染海域が最初に富栄養化して生育が旺盛になる種類として次のようなものがあげられる。緑藻類ではアナアオサ、ウスバアオノリ、スジアオノリ、他にシオグサ類、ハネモ類、ジュズモ類など。紅藻類ではハリガネ、カバノリ、オキツノリ、タンバノリ、ツルツルなど。褐藻類ではフクロノリ、ウミウチワ、など。三浦半島の南部や、西部の海岸のような、きれいだった海が汚れ初めて目立つようになった種類はアオノリ類、フクロノリ、オゴノリ、ムカデノリなど汚染されていない海にもよく生育する種類であり、汚染のため他の海藻が生育できなくなったのでそこに入り込んで大量に生育できるようになったと推定される。

ii) 汚染海域では潮間帯上部に生育する種類は水面に浮遊する汚染物質の影響を直接うけるためか、全般的に消失する傾向がある。(例：ヒトエグサ類、カヤモノリ、イワヒゲ、ハバノリ、イシゲ、イロロ、フクロフノリ、ハナフノリ)

表-1 環境区分および水質による植生の変化

環境区分	水質	きれい	→→→→→	汚れている
	砂 泥 石、小石の浜 岩 礁 (潮間帯)  (潮下帯)		アマモ類 (海草) フノリ類、ヒトエグサ類 多種 大型褐藻 (アラメ、カジメ、ホンダワラ類)	→

表-2 (1) 横浜市に生育する海産植物の種類とその指標性

species name	和名	きれい	やや汚れている	汚れている	汚れている 非常に	水域区分		季節			指標性	
						砂地	干潟 岩礁	春	夏	秋		冬
Spermatophyta	種子植物											
Helobiae	アハラモ目 アマモ目	←					●	●	●			●
Zosteraceae	Zostera marina	←							●			
Chlorophyceae	緑藻類	←										
Ulothricales	ヒビミドロ目 ヒビドロ科	←										
Ulothrix fiacca	ヒビドロ科	←										
Monostromataceae	ヒビドロ科	←										
Monostroma nitidum	ヒビドロ科	←										
Ulvales	アオサ目	←					●	●				
Ulvaceae	アオサ科	←										
Blidingia minima	アオサ科	←										
Enteromorpha compressa	アオサ科	←										
Enteromorpha intestinalis	アオサ科	←										
Enteromorpha linza	アオサ科	←										
Ulva pertusa	アオサ科	←										
Codiales	ミル目	←										
Bryopsidaceae	ミル科	←										
Bryopsis maxima	ミル科	←										
Bryopsis plumosa	ミル科	←										
Caulerpaceae	イワツタ目	←										
Caulerpa okamurai	イワツタ目	←										
Codiaceae	ワサ科	←										
Codium fragile	ワサ科	←										
Phaeophyceae	ミル目	←										
Scytosiphonales	カヤ目	←										
Seytosiophonaceae	カヤ目	←										
Colpomenia sinuosa	カヤ目	←										
Enarctachne binghamiae	カヤ目	←										
Petalonia fasciata	カヤ目	←										
Laminariales	コノメ目	←										
Laminariaceae	コノメ目	←										
Ecklonia bicyclis	コノメ目	←										
Ecklonia cava	コノメ目	←										
Alariaceae	アライ目	←										
Undaria pinnatifida	アライ目	←										
Fucales	ホンダ目	←										
Fuaceae	ホンダ目	←										
Hitiikia fusiforme	ホンダ目	←										
Sargassum muticum	ヒジキ目	←										
Sargassum horneri	ヒジキ目	←										

表-2 (2) 横浜市に生育する海産植物の種類とその指標性

pecies name	和名	きれい	やや汚れている	汚れている	非常に汚れている	水域区分		指標性	
						砂地	干潟 岩礁		
		春	夏	秋	冬				
Rhodophyceae	紅藻類								
Bangiales	ウケケノリ科								
Bangiaceae	ウケケノリ科								
<i>Porphyra yezoensis</i>	スサビノリ								
Gelidiales	テングサ目								
Gerardiaceae	テングサ科								
<i>Geridium amanusii</i>	カクレイト目								
Cryptomeniales	カクレイト目								
Hildenbrandiaceae	マダラ科								
<i>Hildenbrandia rosea</i>	マダラ科								
Cryptomeniaceae	カクレイト目								
<i>Carpobellis cornia</i>	ツノムカサ科								
<i>Carpobellis crispata</i>	ツノムカサ科								
<i>Carpobellis divaricata</i>	ヒメツマツ								
<i>Grateloupia filicina</i>	ヒメツマツ								
<i>Grateloupia livida</i>	ヒメツマツ								
<i>Grateloupia okamura</i>	ヒメツマツ								
<i>Grateloupia sparsa</i>	ヒメツマツ								
<i>Grateloupia turuturu</i>	ヒメツマツ								
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>	ツルツル								
<i>Pachymeniopsis lanceolata</i>	ツルツル								
Gigartinales	フダラ科								
Nemastomaceae	スギノリ目								
<i>Schizymenia dubyi</i>	ヒメツマツ								
Phacelocapaceae	ベニスナ科								
<i>Canilacanthus okamurai</i>	ベニスナ科								
Gracilariaceae	キジノオ科								
<i>Gracilaria gigas</i>	キジノオ科								
<i>Gracilaria textorii</i>	キジノオ科								
<i>Gracilaria verrucosa</i>	キジノオ科								
Gigartineae	オオオコノリ科								
<i>Chondrus ocellatus</i>	オオオコノリ科								
<i>Gigartina leedii</i>	オオオコノリ科								
Phyllophoraceae	ツノムカサ科								
<i>Stenogramma interrupta</i>	ツノムカサ科								
Rhodymeniales	ハス目								
Rhodymeniaceae	ハス目								
<i>Rhodymenia intricata</i>	ダルス科								
Ceramiales	マサコシシバリ								
Rhodymeniaceae	イギス目								
<i>Polysiphonia japonica</i>	フジマツモ科								
<i>Polysiphonia urceolata</i>	キョウウシヨウケノリ								

iii) 一般に汚染された海岸では、量的に緑藻が一番目だち、ついで紅藻、褐藻の順にその量は減少している。単位面積当りの緑藻/褐藻+紅藻〔生育面積(被度)〕は、簡単な環境評価の基準に使えそうである。

iv) いくつかの港湾域でみかける緑藻のミル (*Codium fragile*) やハネモ (*Bryopsis plumosa*) の大量繁殖も環境の汚染の進行と関係があるものと思われる。

## 2) 関東地方南部での海藻植生の変化予想

表-1では環境の変化を単純に水質の汚染だけに限定した場合のそれぞれの生育基質や環境形態ごとの植生変化を推定している。それぞれの生育基質により指標生物は全く違ったものになる。

## 3) 横浜市および周辺の海藻植生

横浜市内の海域は東京湾のほんの一部にしか過ぎず、その海岸線のほとんどが人工的な構造物(おもにコンクリート岸壁)からなっており典型的な都市性海岸となっている。海水も大なり小なり汚染されており海藻類の生育によい条件とはいえない。三浦半島の他の海域と比較するとそれほど多くの種類の生育は望めない環境と言える。

横浜市内3カ所、重汚染地域(金沢区平潟湾岸壁) 中汚染地域(横浜港山下公園) 軽汚染地域(金沢区野島公園前) およびこれらとの比較のため、より水質の良いと思われる東京湾の出口付近の横須賀市観音崎で季節ごとに海藻採集をおこなった結果、以下のような知見が得られた。

i) 横浜港山下公園岸壁には思いのほか多くの種類が生育している。春から夏にかけて最も多くの種類が生育する。しかし泥や油にまみれているものも多い。

ii) 金沢八景野島公園前は横浜市内では最も海藻の豊富な場所である。種類数も他所と比べると圧倒的に多く、ハスグサ、マクサ、ワカメなど汚染の少ない海域に生育する種類も確認できた。

表-3 水域形態別の生物指標

水域形態区分	指標種	きれい	やや汚れている	汚れている	非常に汚れている
干潟	アナアオサ	←-----	-----	-----→	
	ハネモ	←-----	-----	-----→	
	オゴノリ	←-----	-----→		
岸壁	ワカメ	←-----	-----→		
	スサビノリ	←-----	-----→		
	マクサ	←-----→			
	ムカデノリ	←-----	-----	-----→	



iii) 平潟湾内はヘドロと油にまみれてほとんど海藻類は生育していない。かろうじて糸状の緑藻類ヒミドロと小型の紅藻類イソダンソウが確認できたに過ぎない。この2種はかなり汚染された環境でも生育することができる種類である。

iv) 金沢湾海の公園は砂浜であり打ち上げられた海藻以外はほとんど生育していない。ただし砂浜の両端にある岸壁には少量の海藻類の生育がみられた。これらは野島公園前で採集される種類とほぼ同じである。

v) 横須賀市観音崎で採集された種類は横浜市内で最も種類数の多かった野島公園前に比べて比較にならないほど多かった。ここには外洋性の海藻が多く生育している。

各地点の生育種類リストと指標化を表-2に示す。

#### 4) 水域形態別の生物指標

海藻の水域形態別の生物指標を表-3に示す。

今後さらに東京湾や横浜付近の海藻植生を調査し環境指標として有効な種類を選定する必要がある。その際汚染の程度を細分化し出現種と対応させることでよりきめ細かなデータを得ていきたい。さらに他の地域での環境指標となっている種類と比較することで今回得られた種類の妥当性を検討したい。

#### 5) 指標生物の解説

以下の環境指標海藻を別紙で解説する。

緑藻類：アナアオサ、ハネモ

褐藻類：ワカメ

紅藻類：ベニスナゴ、マクサ、ムカデノリ、オオオゴノリ

#### 6) 簡易調査法の解説

i) 海藻は潮間帯に生育するものが多い。したがって月に2回、大潮の日の前後4-5日の干潮の時刻を見計らって採集に出かける。採集できる時間は3時間ぐらいであり手際よく採集する必要がある。

ii) 海藻は形態変異が大変に大きく見分けることがむずかしいことが多い。いくつかの図鑑や標本をよく見て種類を決めることが肝要である。採集の際にはビニール袋を持って行きそれぞれの海藻を混じらないように分けておく。また海藻類は腐りやすいので採集後すぐに押し葉標本にする。海藻の標本の作り方に関しては各種図鑑を参照のこと。種類名がわからないときには同じ種類と思われるものの押し葉標本をなるべくたくさん作っておき専門家に調べてもらう。その際必ず採集地と日付を記録しておくこと。

#### 参考文献

- Bellan, G. Pollution by sewage in Marseille. *Mar. Poll. Bull.* 1(4) : 59-60. 1970.
- Bryan, G. W. The absorption of zinc and other metals by the brown seaweed *Laminaria digitata*. *J. mar. biol. Ass., U. K.*, 49 : 225-243. 1969.
- Burrows, E. M. & Pybus, C. *Laminaria saccharina* and marine pollution in north east England. *Mar. Poll. Bull.* 2 (4) : 53-56. 1971.
- Cotton, A. D. On the growth of *Ulva latissima* in excessive quantity, with special reference to the *Ulva nuisance* in Belfast Lough. In Royal Commission on Sewage Disposal. 7th Rep. II (Appendix IV), 121-142. HMSO, London. 1911.

- Edwards, P. Benthic algae in polluted estuaries. *Mar. Poll. Bull.* 3 : 55-60. 1972.
- Fuge, R. & James. K. H. Trace metal concentrations in *Fucus* from the Bristol Channel. *Mar. Poll. Bull.* 5 : 9-12. 1974.
- 広瀬弘幸、根本幸人ほか 瀬戸内海沿岸、特に播磨灘、大阪湾沿岸を主とした工業発展に伴う水質、海況の変遷と海藻類植生と変遷の関係. 山陽放送学術文化財団レポート 13. pp. 26-36. 1971.
- Hopkins, R. & Kain, J. M. The effect of marine pollutants on *Laminaria hyperborea*. *Mar. Poll. Bull.* 2: 75-77. 1979.
- 片田実ほか 潮間帯生物の変動とその指標性に関する研究. 農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究. 362-364. 農林水産技術会議. 1975.
- Sivalingam, P. M. Effects of high concentration stress of trace metals on their biodeposition modes in *Ulva reticulata* Porskai. *Jap. J. Phycol.* 26 : 157-160. 1978.
- Sivalingam, P. M. & Ismail. R. *Cladophora* spp. as a prominent global algal monitor for trace metal pollutants. 1. High concentration stresses and modes of biodeposition. *Jap. J. Phycol.* 29 : 171-180. 1981.
- Sivalingam, P. M. & Ismail. R. *Cladophora* as a prominent global algal monitor for trace metal pollutants. 2. Long-term low concentration stresses, its biodeposition and depuration. *Jap. J. Phycol.* 30 : 23-30. 1982.
- Stewart, J. G. Effects of lead on the growth of four species of red algae. *Phycologia* 16 : 31-36. 1977.
- 須藤俊造 海域環境の生物指標としての海藻、海草植生. 日本水産資源保護協議会報告. 1983.
- Wilkinson. L. Nitrogen transformations in polluted estuary. *Adv. Water Poll. Res.* 23 : 405-420. 1964.

(田中次郎：国立科学博物館植物研究部)

## 海域の生物指標—プランクトン

鳥海三郎

### 1. はじめに

生物指標とは、物理、化学的な方法で水域の環境を表現することに代って、生物を用いて環境を表現するための一つの尺度である。指標生物を用いて、水域の環境を評価する試みが、河川や湖など淡水域を中心に進められてきたが、プランクトンを指標生物として海域の水質を評価する試みは植物プランクトンでは富栄養階級表を作成した山田等（1980、1982）と動物プランクトンを用いた例としては門田（1982）以外、あまりその例が見られない。

指標生物として微小のプランクトンを選定し、水質の評価を行うためには、種の同定と併せて、その種が適応する物理的、化学的環境要因の分析が必要であるが、これらをまとめるための資料は、本邦では十分に報告されているとはいえない。このようにに海域のプランクトンから指標生物選定するには幾多の問題点も存在するが、現在までの知見をもとに横浜市沿岸のプランクトンの指標性について検討した。

### 2. 横浜市沿岸の現状

#### 2-1 横浜市沿岸の水質

東京湾の横浜市沿岸側は、近年の埋め立てにより、海浜が殆んど姿を消して岸壁となり、砂浜は金沢区に作られた人工砂浜が唯一であり、海水の色は周年、常にどこかで変色が見られるという現状である。昭和62年度の横浜環境白書によれば、東京湾全域に流入する窒素、磷の量は1984年度にそれぞれ334.4トン/day、30.4トン/dayとされている。また、海水の有機的な汚染度を示すCOD（化学的酸素要求量）も、1956頃は1ppm以下であったが、10年後の1965年には沿岸、沖合ともに2ppmを超えている。最近の東京都（1985）の調査によれば、いずれの月も環境基準値の3ppmを超えており高い時には10ppmを超えることも稀ではなく、また、無機窒素2.52ppm無機磷0.162ppmといずれも大きい値を示しているのが現状である

#### 2-2 プランクトン相の特徴

あまり汚染の進んでいない海域でのプランクトンの出現には、季節的な周期性が見られるのが特徴の一つであると云える。すなわち、内湾などでは冬季には海水は貧栄養状態となり、外洋性種も見られ、夏季には富栄養的となるので、沿岸性種が増殖し、秋には、また、貧栄養化が進むので、プランクトンの数も減少し、ときに冷水種なども見られるという周期性がある。しかし、東京湾では、以前見られていたこのような周期性、例えば、春先には夜光虫（*Noctiluca miliaris*）が増殖し、その後に珪藻類が増え、次いで鞭毛藻類が増加していくという周期性がくずれ、いろいろなプランクトンがその都度、増殖しているのが現状である。丸茂（1962）によれば、東京湾は、今から50年前は潮の香りのするきれいな海であった。しかし、近年は富栄養化が進み、プランクトン現存量は増え、外洋種は浦賀水道から入らなくなった。例えば、1947年には湾内に *Chaetoceros atlanticum* var. *neapolitana*, *C. tetrastichon*, *Rhizosolenia*

*acuminata* などの外洋性珪藻種類が現われたが、今では全く見られない。珪藻の *Skeletonema costatum* は1927年には僅かに数 cells/ml出現していただけである、現在では、104-105 cells/mlと著しく増加し周年出現して赤潮のもとになっている。また、有色絨毛虫も1927年から1950年までには数cells/mlであったが、現在では102~109cells/mlと飛躍的に増加したとされている。

また、東京湾のプランクトン相の特徴の一つとして、最近、有毒プランクトンとして注目されていて播磨灘や三河湾、大船渡湾などで赤潮を形成する *Protogonyaulax catenella* や *P. tamarensis* が湾口を除いてはあまり見られていない。また、九州の海域ではじめて出現した *Gymnodinium nagasakiense* は、数年前には東京湾では観察されなかったが、最近では東京湾で見られるようになった。プランクトンの生態などはまだ不明の点が多く、指標生物として選定するための資料には乏しく検討しなければならない多くの問題点が残されている。

### 2-3 調査法の概要

横浜市沿岸のプランクトンの指標種の選定にあたり、沿岸に生息するプランクトンの調査を実施した。調査地点は、横浜市沿岸の扇島沖、本牧沖、金沢沖の3地点である。採集にあたってプランクトンネット(網目の大きさ20 $\mu$ m)を用いて、横浜市港湾局の「ひばり」の船上より、垂直曳きにより海底近くから、表層までを採集した。採集したプランクトンは、直ちに5%グルタルアルデヒドで固定し、実験室に持ち帰り種の同定を行った。採集は、春先と初夏の2回行ったが、資料の不足を補うために、前回実施した調査(鳥海、1985)と毎年実施されている東京都内湾赤潮調査報告書など数編を参考とした。

### 3. 東京湾に生息するプランクトン

東京湾に生息するプランクトンについては、村野(1980)が動物と植物に分けて詳細な発表を行っている。ここでは更に最近の知見を加えて、以下にまとめた。プランクトン相は浦賀水道と内湾ではかなり様子が異なるので、東京湾の内湾に生息する植物プランクトンのみをとり上げた。

#### 珪藻類

<i>Actinocyclus tenuissimus</i> Cleve	<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehrenberg.
<i>Actinoptychus undulatus</i> (Bailey)	<i>Arachnoidiscus ehrenbergii</i> Bailey
<i>Asterionella glacialis</i> Castracane	<i>Asterionella japonica</i> Cleve
<i>Biddulphia mobiliensis</i> Bailey	<i>Cerataulina bergonii</i> Peragallo
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder	<i>Chaetoceros debile</i> Cleve
<i>Chaetoceros didymum</i> Ehrenberg	<i>Chaetoceros loengianus</i> Grunow
<i>Chaetoceros socialis</i> Lauder	<i>Coscinodiscus angstii</i> Gran
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i> Ehrenberg	<i>Coscinodiscus gigas</i> Ehrenberg
<i>Coscinodiscus granii</i> Gough	<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey
<i>Chaetoceros pseudocurvisetum</i> Mangin	<i>Coscosira polychorda</i> Gran
<i>Cyclotella cryptica</i> Reimann, Lewin & Guillard	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing
<i>Cyclotella striata</i> (Kützing) Grunow	<i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow ex Van Hearn
<i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg	<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) Peragallo
<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve	<i>Melosira borneri</i> Greville
<i>Melosira nummuloides</i> Agardh	<i>Navicula ralinorum</i> Grunow

<i>Navicula elegans</i> W. Smith	<i>Navicula salinarum</i> Grunow
<i>Nitzschia closterium</i> Ehrenberg	<i>Nitzschia frigida</i> Grunow
<i>Nitzschia longissima</i> (Brebisson)	<i>Nitzschia pungens</i> Grunow
<i>Nitzschia seriata</i> Cleve	<i>Rhizosolenia fragilissima</i> Bergon
<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightrall	<i>Skeletonema costatum</i> (Grunow) Cleve
<i>Streptotheca conferta</i> Shrubsole	<i>Thalassiosira binata</i> Fryxell
<i>Thalassiosira conferta</i> Hasle	<i>Thalassiosira decipiens</i> (Grunow)
<i>Thalassiosira danicus</i> Cleve	<i>Thalassiosira diporocycclus</i> Hasle
<i>Thalassiosira hyalina</i> (Grunow)	<i>Thalassiosira guillardii</i> Hasle
<i>Thalassiosira lundiana</i> Fryxell	<i>Thalassiosira mala</i> Takano
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i> Cleve	<i>Thalassiosira pacifica</i> Gran & Angst
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Hasle & Heimdal	<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier
<i>Thalassiosira tenera</i> Proschkina-Lavrenko	<i>Thalassiosira weissflogii</i> (Grunow) Fryxell & Hasle
<i>Thalassiosira allenii</i> Takano	<i>Thalassiosira anguste-lineata</i> (A. Schmidt) Fryxell & Hasle
<i>Thalassiosira angstii</i> (Gran) Makarva	<i>Amphora coffeiofomio</i> (Agardh) Kützing
<i>Amphiprora alata</i> Kützing	<i>Thalassiosira nitzschioids</i> Grunow
渦鞭毛藻	
<i>Ceratium furca</i> (Ehr.) Clap.	<i>Ceratium fusus</i> (Ehr.) Dujardin
<i>Ceratium kofoidii</i> Jörgensen	<i>Dinophysis acuminata</i> Clap. et Lach.
<i>Dinophysis fortii</i> Pavillard	<i>Dinophysis infundibulus</i> Schiller
<i>Dinophysis norvegica</i> Clap. et Lach.	<i>Dinophysis rudgei</i> (Murray et Whittig) Abe
<i>Dinophysis rotundata</i> Clap. et Lach.	<i>Dinophysis tripos</i> Gownet
<i>Dinophysis ovum</i> Schütt	<i>Pyrophacus horologicum</i> Stein
<i>Protoberidinium excentricum</i> (Paulsen) Balech	<i>Protoberidinium pentagonum</i> (Gran) Balech
<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) Abe ex Dodge	<i>Prorocentrum dentatum</i> Stein
<i>Prorocentrum gracile</i> Schütt	<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg
<i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) Schiller	<i>Prorocentrum triestinum</i> Schiller
<i>Oxyphysis oxytoxioides</i> Kofoid	<i>Gymnodinium sanguineum</i> Hirasaka
<i>Noctiluca militaris</i> Suriray	
黄金色藻	
<i>Distephanus speculum</i> var. <i>octonarius</i> , <i>Ebria tripartite</i> (Schumann) Lemmermann, <i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg	
ラフィド藻	
<i>Heterosigma akashiwo</i> (Hada) Hada	
ミドリ虫類	
<i>Euglena</i> sp., <i>Eutereptiella</i> sp.	

現在までに東京湾においてみられた、植物プランクトン種について記した。(使用した文献は、斉藤, 1983, 高野, 1982, 1979-1984, 村野, 1980, 1985, 鳥海, 1986によった)。

以上、東京湾でみられる植物プランクトンは種類及量において、珪藻類が多く観察されている。

表1-1 昭和55年度 東京湾のプランクトンの月別出現表

種名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
<i>Skeletonema costatum</i>	4	131	217	234	76.5	80	11	10	3.3	99	16	365
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	0.14					0.04	0.005					
<i>Coscinodiscus gigas</i>												
<i>Coscinodiscus centralis</i>	0.09							0.3				
<i>Rhizosolenia setigera</i>							0.07					
<i>Leptocylindrus danicus</i>							0.002					
<i>Chaetoceros didymum</i>		0.33	57	0.3	0.14	0.05						
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	3		0.02	5	0.13					8		
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>		0.065		0.005	0.16	0.1	0.07	2	0.4	0.2		0.3
<i>Chaetoceros affinis</i>						0.06	0.02	1.2	0.8	4	0.3	0.3
<i>Chaetoceros decipiens</i>	0.01											
<i>Chaetoceros eibonii</i>		0.3								4	1	1
<i>Chaetoceros radicans</i>			20	0.36								

表1-2 昭和55年度 東京湾のプランクトンの月別出現表

種名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
<i>Chaetoceros debilis</i>		2	80	0.08								
<i>Eucampia zoodiacus</i>				1.6	0.07	10	0.12					
<i>Ditylum brightwellii</i>						0.2	0.1					
<i>Thalassiothrix frauenfeld</i>												
<i>Nitzschia pungens</i>	0.05	0.2	21									
<i>Nitzschia longissima</i>	5	259	21266	0.4	0.8	4	0.06	3	0.7	3	0.3	
<i>Chaetoceros castracanei</i>	0.01	3		0.08	0.006	0.06				2		
<i>Coscinosira polychorda</i>	10	2700										
<i>Leptocylindrus minimus</i>								0.4	0.004			
<i>Prorocentrum triestinum</i>						0.06		0.2	0.4			
<i>Prorocentrum minimum</i>	0.03			0.01	0.44		0.02					
<i>Noctiluca miliaris</i>							0.04		0.04			
<i>Gonyaulax</i> sp.						0.23						
<i>Euglena</i> sp.						0.002	0.07					

表2-1 昭和58年度 東京湾のプランクトンの月別出現表

種 名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
<i>Skeletonema costatum</i>	227	6344	2383		9642	2607	142	11800	3108	2220	30	87
<i>Thalassiosira rotula</i>	5	26										
<i>Chaetoceros danicus</i>	0.4	34	34									0.1
<i>Chaetoceros didymum</i>	11	46	67						24	50		
<i>Chaetoceros affinis</i>	36	1378	12									
<i>Chaetoceros debilis</i>	5	74	75		0.6						5	2
<i>Eucampia zoodiacus</i>	5	153	1452				42			28		0.2
<i>Nitzschia</i> sp. (cf. <i>pungens</i> )	4	260	2							249	5	
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>		10	3									
<i>Chaetoceros radicans</i>		288	1622									
<i>Ditylum brightwellii</i>			7									
<i>Rhizosolenia flagilissima</i>					8							



表2-2 昭和58年度 東京湾のプランクトンの月別出現表

種名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
<i>Nitzschia closterium</i>					3				187	18	5	0.02
<i>Ebria tripartita</i>					3		6					
<i>Rhizosolenia setigera</i>							5					
<i>Prorocentrum minimum</i>					20	16	370	31		26	0.5	0.04
<i>Peridinium minusculum</i>					28	2	42	17	50			
<i>Prorocentrum triestinum</i>						5	631	3	64			
<i>Dinophysis acuminata</i>						1		99				0.02
<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>						6		0.22				
<i>Leptocylindrus danicus</i>										21		
<i>Euglena</i> sp.					19	0.02	380	467	1113	25	9	0.2
<i>Noctiluca miliaris</i>												2
<i>Ceratium furca</i>												0.1

表 3-1 昭和60年度 東京湾のプランクトンの月別出現表

種 名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
<i>Cryptomonas</i> sp.	254	670	380	243	58	7516	2198	65149	417	549	166	183
<i>Skeletonema costatum</i>	1520	5133	5355	11938	164	2511	9052	1092	454	659	123	16
<i>Thalassiosira</i> sp. ( <i>cf. nodensioeldii</i> )	46											
<i>Thalassiosira</i> sp. ( <i>cf. rotula</i> )	100											
<i>Chaetoceros debilis</i>	718	420	36	32								
<i>Eucampia zodiacus</i>	175	259										
<i>Chaetoceros affinis</i>		249										
<i>Chaetoceros radicans</i>		246	34									
<i>Nitzschia</i> sp. ( <i>cf. pungens</i> )		232	67									
<i>Calycomonas</i> sp. ( <i>cf. ovalis</i> )			123									
<i>Calycomonas</i> sp. ( <i>cf. walffii</i> )			182		33						7	
<i>Cyclotella</i> sp.			27		110	34	44		347	884		
<i>Pyramimonas</i> sp.			135	30	67	10463	651	2706	42			
<i>Heterocapsa triquetra</i>			8									
<i>Cyclotella</i> sp. (A)			8									
<i>Cyclotella</i> sp. (Large size)				44							3	

表3-2 昭和60年度 東京湾のプランクトンの月別出現表

種名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
<i>Cyclotella</i> spp. (small size)				78								
<i>Thalassiosira</i> spp. (small size)				80		11						
<i>Rhizolenia fragilissima</i>				21		16		3786				
<i>Gyrodinium striatum</i>					399							
<i>Prorocentrum minimum</i>					398						0.6	29
<i>Protoberidinium bipes</i>					57							52
<i>Ebria tripartita</i>					262							4
<i>Chaetoceros</i> sp. (small size)					407							
<i>Euglena</i> sp.					76		153		264			
<i>Heterosigma akashiwo</i>						7004	273					
<i>Nitzschia closterium</i>							41					
<i>Pleurosigma</i> sp.							2					
<i>Chlamidomonas</i> sp.							355	99				
<i>Coscinodiscus granii</i>								3				
<i>Thalassiosira</i> sp. (cf. <i>binata</i> )									235			
<i>Prorocentrum triestinum</i>										3277		112

表3-3 昭和60年度 東京湾のプランクトンの月別出現表

種名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
<i>Nitzschia</i> sp. (colony formation)										952	9	64
<i>Cyclotella</i> spp. (colony formation)											3	
<i>Chaetoceros calcitrans</i>											3	
<i>Chaetoceros didymum</i>											71	
<i>Cerataulina pelagica</i>												3
<i>Mesodinium rubrum</i>	1	0.03		240	607	0.3	13	0.4	10	0.2	1	0.003
<i>Tiarina fusus</i>	0.3	0.006	0.03	0.03						2.2	0.2	0.1
<i>Favella taraikaensis</i>	0.1											
<i>Helicostomella</i> sp. (cf. <i>subulata</i> )		0.7	0.1	0.02		0.5			0.4	0.3		
<i>Centropages abdominalis</i>												
<i>Oithona brevicornis</i>		0.07	0.03	0.008	0.06	0.5	2.0	0.3	0.6	0.06	0.02	
<i>Tintinnopsis kofoidi</i>			0.2									
<i>Nauplius</i> (larva)			0.04									
<i>Bracirionus calyciflorus</i>				0.001								0.01
<i>Noctiluca miliaris</i>												
<i>Paracalanus parvus</i>												0.03

表4 昭和55年, 58年, 60年度の水溫, 透明度, COD, DOの平均値

年度	項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
昭和五十五年度	水溫(°C)				13.5	20.3	24.1	24.2	24.2	24.9	21.5		
	透明度(m)				2.8	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.6		
	上層のCOD(ppm)				3.4	6.1	7.1	5.3	4.8	5.8	5.6		
	上層のDO(ppm)				6.9	8.7	8.1	6.8	7.8	7.3	9.2		
昭和五十八年度	水溫(°C)	7.5	6.8	8.5		20.2	20.9	22.1	25.4	23.8	20.4	15.8	14.2
	透明度(m)	4.9	1.9	2.0		2.0	1.6	2.2	1.2	1.7	2.4	4.8	5.2
	上層のCOD(ppm)	2.4	4.3	4.1		4.2	4.9	4.0	4.7	5.1	3.5	1.7	2.7
	上層のDO(ppm)	9.0	11.0	10.0		7.0	7.5	7.0	7.2	7.9	5.4	6.8	6.8
昭和六十年年度	水溫(°C)	8.5	8.1	9.9	18.0	21.4	19.2	21.0	28.1	23.2	19.2	15.2	11.8
	透明度(m)	3.1	2.0	2.0	2.96	1.8	1.2	1.5	1.1	2.0	1.8	3.6	3.4
	上層のCOD(ppm)	5.7	4.4	4.6	5.0	9.0	7.6	5.3	7.5	4.6	4.9	2.8	2.8
	上層のDO(ppm)	10.4	12.2	8.5	7.4	10.6	9.8	7.6	10.4	5.2	7.5	5.9	8.1

次に東京湾の月別プランクトンの出現状況を知るために、昭和55年度、58年度、60年度の東京都環境保全局関係資料3-1-(水質)2, 3-1-水26, 3-1-水48のそれぞれの資料を解析した。(表1-1.2, 2-1.2, 3-1.2.3)すなわち調査された各月の各地点のプランクトン総数(優占種10種)を単純平均し、その月の出現数とし、個体数の単位は[Cell/ml]に換算した。また、1~3月までは前年度のものを示してある。すなわち、昭和55年度1~3月は54年度に調査されたものであり、昭和58年度60年度の1~3月は59年の1~3月を示している。それぞれ、59年、61年の1~3月に調査されたものである。

また、水温、COD、DO値もそれぞれの地点の単純平均を求めた(表4)。

#### 4. 横浜市沿岸に生息するプランクトン

昭和55年度の東京都報告によると周年、東京湾で観察されるプランクトンとしては、珪藻の *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros lorenzianus*, *C. affinis*, *Nitzschia pungens* などを挙げる事ができる。この年の1月、2月、3月、11月、12月の水質の分析は行なわれていないが、COD値は4月が最低で3.4ppm、最高は6月の7.1ppmであり、富栄養から過栄養域の値を示している。

昭和58年度には周年観察されるものとしては、やはり珪藻の *Skeletonema costatum*, *Eucampia zodiacus*, *Nitzschia pungens* などがあげられる。この年のCOD値の最低は11月の1.7ppm、最高は9月の5.1ppmで、東京湾としては比較的低い値であった。この年の11月に増殖しているプランクトンは一般に数も少なく、*Skeletonema costatum* も最低数であり、他のプランクトンも水温は増殖に適していると思われるが、一般に細胞数は少ない。9月には *Skeletonema costatum* に続いて *Euglena* sp. が多く観察されている。

昭和60年度には周年観察される種として *Cryptomonas* sp. など微細藻類があげられているが、これ等のプランクトンは東京湾では以前にも優占種として、しばしば出現しているものであるが、光学顕微鏡レベルではその種の同定は難しいので、指標生物として用いるには、あまり適当でないと思われる。この年の周年観察された種は *Skeletonema costatum* であり、動物プランクトンとしては繊毛虫の *Mesodinium rubrum* を挙げる事ができる。また、この年のCOD値は11月と12月が最低でその値は2.8ppm、最高値は5月の9.0ppmであった。プランクトン数は11月と12月は共に少なく、5月も他の月に比較して、その数は余り多い月とは考えられなかった。

以上、3ヶ月間のプランクトンの出現の概要を前記の表よりまとめた。

#### 5. 生息プランクトンの指標性

東京湾でみられるプランクトンの出現を大別してみると、一年を通じて観察される種と、四季に応じて出現すると考えられる種と、ある時期に増殖して赤潮を形成する種という、3群に分けられるように考えられる。しかし、より詳細な調査を行えば、この範囲に入る種の増減に多少の差がでるとも考えられるが現段階では、東京湾で周年観察される種としては、珪藻の *Skeletonema costatum*, *Eucampia zodiacus*, *Nitzschia pungens*, *N. closterium*、繊毛虫の *Mesodinium rubrum* などをあげる事ができる。また、季節に応じて観察される種としては、珪藻の *Chaetoceros dibilis*, *C. affinis*, *C. curvisetus*, *Ditylum brightwellii* や黄金色藻の *Ebria tripartita* などをあげる事ができる。また一時期に急激に増殖して赤潮を形成する種としては、ラフィド藻の *Heterosigma akashiwo*、渦鞭毛藻の *Prorocentrum minimum*, *P. triestinum*

、ミドリムシの *Euglena (Eutreptiella)* sp. などあげることができる。

動物プランクトンについては、村野 (1980) によれば、動物プランクトンの *Oithona* は湾中央の最も多い所で 1 ℓ中に 200~800 個体、繊毛虫類は 20~50 個体とされており、植物プランクトンに比較して、東京湾では出現数が少ないので、指標生物としてあげるのは、前記の繊毛虫の *Mesodinium rubrum* を除いては記さない事とした。

山田ら (1980)、山田 (1982) は洞海湾など、西部日本の主要内湾に出現したプランクトンを検討して、植物プランクトンの富栄養階級表を作成した。以下にこれを記し、東京湾内で指標性を有すると思われる、前記の 14 種をその表にあてはめて、生息生物の指標性の表 5 を作成してみた。この表は山田 (1982) により COD 値は、横浜市の基準に従った。

ここにあげた東京湾で指標性のあると思われるプランクトンを山田 (1982) の表にあわせてみると、14 種のうちの半数の 7 種が山田の表にみられなかった。その種は珪藻類の *Chaetoceros dibilis*, *Nitzschia closterium* と黄色藻の *Ebria tripartita*, 渦鞭毛藻の *Prorocentrum minimum*, *P. triestinum*、ミドリムシの *Euglena (Eutreptiella)* sp. と繊毛虫の *Mesodinium rubrum* である。そこでこれらの種の生育環境を推計するために、東京湾で周年観察され、時に赤潮の原因種にもなる珪藻の *Skeletonema costatum* を検討してみた。図 1~3 に昭和 55 年、58 年、60 年度の *Skeletonema costatum* の細胞数と COD、DO 値との関係を示した。

#### 植物プランクトンの富栄養階級表 (山田ら (1980)、山田 (1982))

貧栄養性種	<i>O. splendidus</i>
藍藻	<i>Peridinium fallipes</i>
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	<i>P. longipes</i>
<i>T. thiebautii</i>	
渦鞭毛藻	珪藻
<i>Amphisolenia bidentata</i>	<i>Bacteriastrum elongatum</i>
<i>Ceratium arcticum</i>	<i>Chaetoceros atlanticus</i>
<i>C. carriense</i>	<i>C. borealis</i>
<i>C. contortum</i>	<i>C. coarctatus</i>
<i>C. extensum</i>	<i>C. messanensis</i>
<i>C. gracile</i>	<i>C. pendulus</i>
<i>C. incisum</i>	<i>C. peruvianus</i>
<i>C. palmatum</i>	<i>C. seychellarum</i>
<i>C. pentagonum</i>	<i>C. tetrastichon</i>
<i>C. praelongum</i>	<i>Climacodium biconcavum</i>
<i>C. sumatranum</i>	<i>C. frauenfeldianum</i>
<i>Ceratocorys horrida</i>	<i>Hemiaulus hauckii</i>
<i>Dinophysis miles</i>	<i>Planktoniella sol</i>
<i>Ornithocercus serratus</i>	<i>Rhizosolenia bergonii</i>

*R. castracanei*  
*R. styliformis*  
*Thalassiothrix delicatula*  
 富栄養性種  
 渦鞭毛藻  
*Ceratium furca*  
*C. fusus*  
*Dinophysis caudata*  
*D. ovum*  
*Gonyaulax catenella*  
*Gymnodinium breve*  
*G. nelsonii*  
*Noctiluca miliaris*  
*Peridinium conicum*  
*P. depressum*  
*Prorocentrum micans*  
 黄色鞭毛藻  
*Olisthodiscus* sp. (3,000細胞/ml>)  
 ラフイド藻  
*Chattonella antiqua*  
 珪藻  
*Asterionella glaciales*  
*Bacillasia paradoxa*  
*Bacteriastrum hyalinum*  
*B. varians*  
*Biddulphia sinensis*  
*Cerataulina bergonii*  
*Chaetoceros affinis*  
*C. brevis*  
*C. compressus*  
*C. curvisetus*  
*C. decipiens*  
*C. didymum*  
*C. lacinosus*  
*C. lorenzianus*  
*C. socialis*  
*C. van-heurckii*

*Corethron pelagicum*  
*Coscinodiscus asteromphalus*  
*Ditylum brightwellii*  
*Eucampia zoodiacus*  
*Guinardia flaccidia*  
*Leptocylindrus danicus*  
*L. minimus*  
*Nitzschia pungens*  
*Rhizosolenia alta*  
*R. delicatula*  
*R. fragilissima*  
*R. imbricata*  
*R. setigera*  
*Skeletonema costatum* (8,000細胞/ml>)  
*Stephanopyxis palmeriana*  
*Thalassionema nitzschioides*  
*Thalassiosira condensata*  
*T. nordenskiöldii*  
*T. rotula*  
*Tharassiothrix frauenfeldii*



表 5, 海-1 横浜市内および周辺に生育する生物 (海域のプランクトン) リストと指標化

種名	感覚評価 水質評価 (COD)	富栄養域			過栄養域			水域形態区分	季節			指標性	
		きれい 1~3 ppm	やや汚れている 3~5 ppm	汚れている 5~10ppm	非常に汚れている 10 ppm 以上	干岸	内湾		春	夏	秋		冬
珪藻類 <i>Chaetoceros affinis</i>							○						
<i>C. curvisetus</i>							○						
<i>C. dibilis</i> *							○						
<i>Ditylum brightwellii</i>							○						
<i>Eucampia zodiacus</i>							○		○	○	○	○	
<i>Nitzschia closterium</i> *							○						
<i>N. pungens</i>							○						
<i>Skeletonema costatum</i>							○		○	○	○	○	
ラフィド藻 <i>Heterosigma akashiwo</i>							○		○	○	○	○	
黄金藻 <i>Ebria tripartita</i> *							○		○	○	○	○	
過鞭毛藻 <i>Prorocentrum minimum</i> *							○						
<i>P. triestinum</i> *							○						
ミドリ虫 <i>Euglena (Eutereptiella) sp.</i>							○						
絨毛虫 <i>Mesodinium rubrum</i>							○		○	○	○	○	○

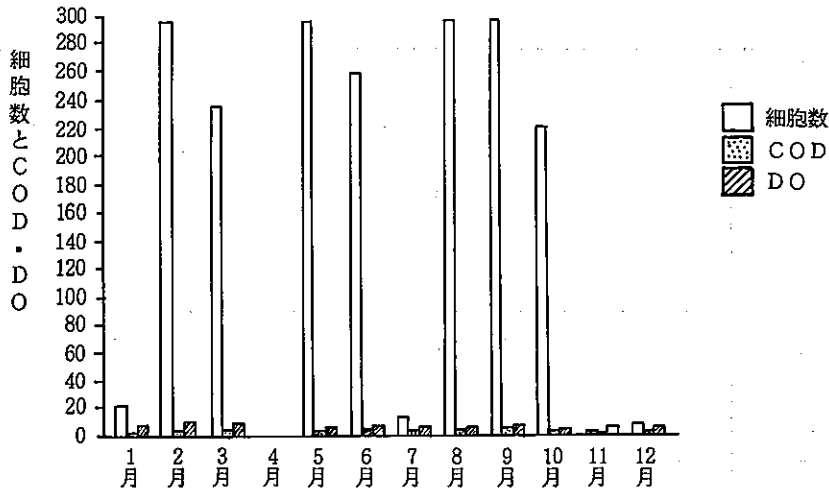


図1 昭和60年度の細胞数とCOD, DO

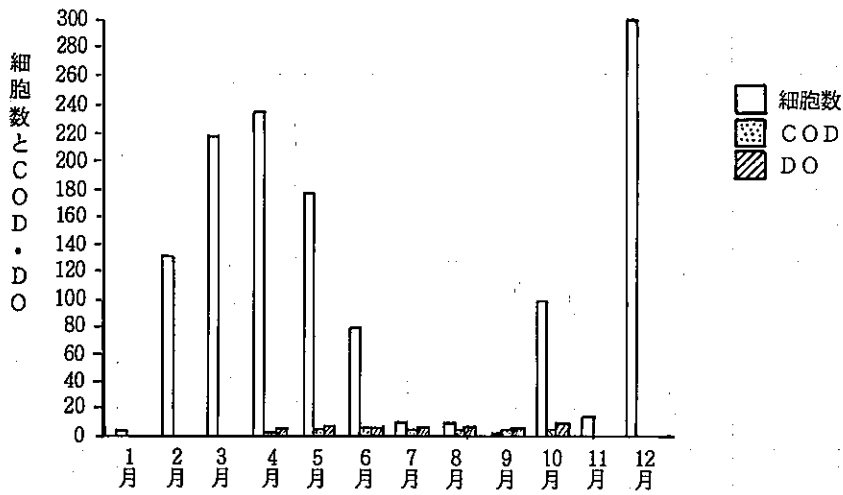


図2 昭和60年度の細胞数とCOD, DO

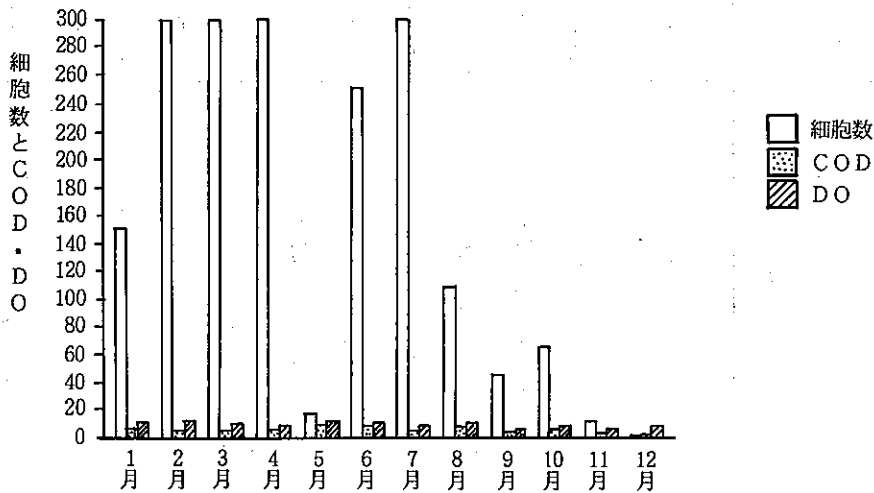


図3 昭和60年度の細胞数とCOD, DO

これらのグラフから、東京湾では *Skeletonema costatum* の細胞の増加はCOD、DO値とはあまり関係ないように考えられる。すなわちこの種は貧栄養域から過栄養域にわたって広く増殖可能であるという事である。また、飯塚(1982)によればこの種は低温部では0℃でも生育でき、自然環境下の普通の温度範囲ならどこでも生育が可能であり、このため東京湾では、夏期と冬期の2季に増殖の山が見られるとしている。また、鶴田ら(1985)はこの種を八代海、洞海湾で採集したもので、培養を行ない、高い分裂率を示す塩素量に相異がある事を報告し、水域の環境汚染指標種として取り扱い場合には、このような生理特性の存在に留意する必要がある事を述べている。

以上の事から、*Skeletonema costatum* は広い海域すなわち、貧栄養域から過栄養域に亘り、増殖可能な種であるとする事ができる。そこで山田らの表に見られない種について、その指標性を検討してみた。

珪藻の *Chaetoceros debilis* は昭和54年の2月、3月、昭和55年の4月、11月、12月の5ヶ月に亘って、優占種の中に観察されている。この時の水質分析の結果は示されていないので検討が不可能であるが、ここに記した58年度の表ではこの種は1月、2月、3月、5月、11月、12月の6回優占種として観察されている。この時の水質分析の値との関係は、1月には湾内の調査地点の各点ではほぼ同数の細胞数が観察されており、2月には3地点ではほぼ同数の細胞数が観察されているが、他の2地点では優占種の中に含まれていない。この種の出現している時のCOD、DO値の平均値は5ppm、11.1ppmであり、他の2点のそれは3.1ppm、11.1ppmで、COD値に2.0ppmの差がみられる。3月には各地点でやはり、ほぼ平均した細胞数がみられこの時のCOD、DO値の平均値は4.1ppm、10.0ppmである。5月には2地点で優占種として数えられており、他の3地点では優占種としてあげられていない。前者のCOD、DO値の平均値は3.3ppm、5.4ppmであり、後者はそれぞれ4.8ppm、8.2ppmである。

昭和60年度には、この種は1月、2月、3月と4月に優占種として観察されている。1月には8地点で平均した細胞数が観察されており、この時のCOD、DO値の平均値は5.7ppm、10.4ppmである。また、2月にも各地点ではほぼ平均した細胞数が観察されている。この時のCOD、DO値の平均は4.4ppm、12.2ppmである。3月には8地点中、3地点で優占種として観察され、他の5地点では優占種としてあげられていない。前者のCOD、DO値の平均は4.9ppm、7.3ppmであり、後者の場合は4.4ppm、7.3ppmであった。

以上を通して考察してみるとこの種が優占種として出現している時のCOD、DO値は、優占種として観察されない時の値が低く観察されている。すなわち、この種はCOD、DO値が低くなると減少していく種として考えられるので、過栄養性種として考えた、勿論、COD、DO値だけで生物種の特性を検討するという事は大胆過ぎる考えであるが、ここでは一応の目安を得るためである事を付しておく。

このように考えていくと、珪藻の *Nitzschia closterium* についても同様な傾向がみられるので、この種も過栄養種として評価した。

また、ラフィド藻の *Heterosigma akashiwo* は、東京湾では5月下旬頃に急速に増殖して赤潮を形成する種であるが、この種が増殖している時のCOD値はいずれも5.0ppm以上の大きな値を示しているため、この種は貧栄養域には適さない種と評価した。このような考えのもとで、山田らの表にない他の種 *Ebria tripartita*, *Prorocentrum minimum*, *Euglena(Eutereptiella)* sp., *Mesodinium rubrum* について表にまとめて横浜市内および周辺に生育するプランクトン種14種を示した(表-5, 海-1)。

## 6. 指標生物の選定

生物指標というには、物理、化学的な方法で水域の環境を表現することに代って、生物を用いて環境を表現するための一つの尺度である。

このような指標生物の条件としては

- (1) 生物の種類が同定が正確に容易にできること
- (2) 選定種と環境の物理的、化学的相互関係が明らかであること
- (3) 生物種が狭環境性であること

などの点が指標種のもつ条件としてあげられることができるが、プランクトンという微小生物を指標生物として、海域の水質の判定に用いる場合

- (1) 生物の同定を行うには顕微鏡が不可欠であり、容易にしかも、正確に種を同定することは難しいと思われる。
- (2) プランクトン種と環境との相互関係が明確なものはごく限られている。
- (3) 東京湾のみに成育する種は現在までみられない。

以上の観点から、東京湾の指標生物となる種を選定する場合、プランクトン種においては、その海域

表6 水域形態別の生物指標

水域形態区分	指標値	富栄養域		過栄養域	
		きれい 1~3 ppm	やや汚れている 3~5 ppm	汚れている 5~10ppm	非常に汚れている 10ppm以上
内湾	珪藻類 <i>Skeletonema costatum</i>				
	" <i>Eucampia zodiacus</i>				
内湾	渦鞭毛藻 <i>Prorocentrum triestinum</i>				
内湾	ラフィド藻 <i>Heterosigma akashiwo</i>				
内湾	繊毛虫 <i>Mesodinium rubrum</i>				

でその種が観察されたから、直ちにその海域がどうであるかという判定する事は難しく、細胞数や海水の着色の有無、透明度などを含めた総合的な判断が必要であると思われる。ここでの指標生物というのは、いわば、東京湾を代表するようなプランクトンで、しかも同定が容易な種という意味あいのもので種を選定したい。

前記のリストと指標化の表であげた14種の中で、顕微鏡を用いて観察した場合、比較的誤りなく種の同定が行なえるものとして、最終的に珪藻の *Skeletonema costatum*, *Eucampia zodiacus* 渦鞭毛藻の *Prorocentrum triestinum* と繊毛虫の *Mesodinium rubrum* の4種をあげたいと思う、これらのうち *Eucampia zodiacus* を除いては、東京湾でしばしば赤潮を形成する種である。また、*Eucampia zodiacus* は丸茂ら(1961)によれば、北海道から関東にいたる太平洋沿岸部のうち、黒潮の影響がある沿岸部で金華山以南に多く、親潮接岸水が三陸海岸に沿って南下している場合には、普通この種は其中で観察されず分布には常に海流と密接な関係が見られるとされている。また、本州東南海では、冬から春(3~5月)にかけてみられ、夏から秋にはほとんどみられないとされているが、この種は東京湾では他の3種と同様、ほぼ1年を通じてみられる種である。

## 7. 東京湾の赤潮

### 7-1 赤潮の定義

古くより海水の色が変色し、時に魚貝類に被害を与えることが知られており、慣習的にこれ等は赤潮といわれてきたが、その定義もあまりはっきりせず地方によっては、ニガシオ、クサレシオなどと呼ばれていたこともある。

1966年にはじめて赤潮に関する研究協議会がもたれた折に“海水中で微小な生物が異常に増殖して、そのために海水の色が変わる”現象を「赤潮」と総称するようになった。しかし、赤潮といっても海水の色が必ず赤くなるというものではなく、赤潮を構成する生物によって、赤褐色、褐色、緑色、黄緑色などさまざまな色相を呈する。しかし、東京湾などで比較的多くみられる懸濁物などによる物理的海水の変色などは、一般に赤潮と呼んでいない。

### 7-2. 赤潮の原因

自然界では時にバッタなどの生物が異常に大発生をして、農作物などに被害を与える事が知られてる。この原因については解らないことがたくさんあるが、一般的には、外的要因がその生物に生理的や物理的な刺激を与えて、その結果、大発生につながると考えられている、赤潮もこのようなことが、海で起る現象であると考えられる。また、自然界においては四季に応じて、動植物が産卵したり、開花するという周期性がみられる。水の中に生活する微小なプランクトンにおいても、その出現に周期性がみられるが、東京湾ではそのような周期性が破られて、極端に言えば、どこかの海域でプランクトンが異常に発生し、赤潮を形成することが四季の区別なく観察されるようになってきている。この事は柳田(1976)によれば、東京湾周辺の工業近代化がはじまった時期と一致するとされている。

このような赤潮の発生は一概にいけない複雑な現象であるが、化学物質的には窒素と磷の供給が赤潮発生の大きな原因の一つである事は、赤潮生物の培養実験などから確実視されているし、また降雨などにより、海水の塩分濃度が変化して、物理的域は生理的な刺激が与えられて、異常発生する事も知られているが、その異常発生の原因については、今後も更に研究の積み重ねが必要である。

### 7-3. 東京湾の赤潮生物

東京湾で最近の9ヶ年間にどのような赤潮プランクトンが発生したかを、東京都の調査資料をもとに、円グラフ化して表わした、(図4-1. 2. 3)。

このグラフでも解るように、常に優占種として表われるものは珪藻類である、中でも発生回数の多い珪藻は *Skeletonema costatum* である。この種に続いて発生回数の多い種は *Thalassiosira* 属である。また、珪藻の *Rhizosolenia fragilissima* による赤潮は、昭和59年、60年にそれぞれ1回ずつ記録されている。また、ラフィド藻の *Heterosigma akashiwo* 種による赤潮は昭和53年を除いた、各年に2回から、多い年は5回の発生が報告されている。渦鞭毛藻による赤潮は、東京湾ではほぼその種が決まっていて *Prorocentrum minimum*, *P. triestinum*, *P. micans* がほとんどで、最近ではこの3種に加えて、以前には東京湾ではみられなかった *Prorocentrum dentatum* が赤潮を形成するのが観察されるようになった。また、昭和50年代のはじめには東京湾では *Prorocentrum micans* による赤潮が主であったが、最近では *P. minimum* に変わり、更に現在では *P. triestinum* による赤潮が東京湾では主流になりつつある。緑藻類による赤潮は前記した種よりも現在では、東京湾での発生回数は増加している。東京湾では緑藻類よりもブラシノ藻やクリプト藻類による赤潮が増加しているが、これらはミクロプランクトンと呼ばれ、通常プランクトンネットではネットの網目を通過して採集する事ができず、また、同定も難しい。ミドリムシ類による赤潮は東京湾においては *Euglena* 属による赤潮より *Eutreptiella* 属によるものが多いが、この属のものも、ミクロプランクトンと同様に種の同定が難しい。この他に東京湾で赤潮を形成する種としては、夜光虫といわれる *Noctiluca miliaris* 繊毛虫の *Mesodinium rubrum* が知られている。

### 7-4. 赤潮生物の採集法

赤潮のプランクトンも一般のプランクトンのように大別すると、①細胞が小さく、通常のプランクトンネットでは網目を通過してしまう種 ②固定液を加えると細胞が破壊されてしまう種がある。東京湾で赤潮プランクトンとして知られるものの中で、①に該当する種としては、珪藻の *Thalassiosira mala* (この種は1951年東京湾千葉市側に夏期に大増殖して、二枚貝に被害を与えた種)、渦鞭毛藻の *Prorocentrum minimum*, *P. triestinum*、ヤクリプト藻の大部分の種があり、②に該当する種としては、繊毛虫の *Mesodinium rubrum* などがある。したがって、赤潮プランクトンの採集には海水を直接採水するのが良い。採水にはポリバケツのようなものに紐をつけて、岸壁などから海にバケツを投げて採水すればよい。しかし、夏季の気温が高い時には、採水して家に持ち帰る途中で死滅してしまう場合もあるので、このような時は魔法瓶などのような器具が必要である。春、秋の気温が適当な時は、室内に放置しておいても一週間近くは死なないので、その間に顕微鏡で観察をすればよい。

### 7-5. 赤潮生物の観察法

赤潮生物は生きてると活発に泳いでいる種と、ほとんど動きがみられない種がある。ほとんど動きのみられない珪藻類を観察するには、よく磨いたスライドガラスの上に、プランクトンを含む海水を一滴落とし、カバーガラスをかけて、通常顕微鏡観察と同じようにして観察すればよい。顕微鏡の倍率は400~600倍であれば、大体種の同定ができる。生物を観察したら生物の形や大きさを測定したり、最近では容易に顕微鏡写真がとれる顕微鏡が比較的安価に入手できるので、写真などの記録を残す事も大切である。

また、動きの早い生物を検鏡するには、いろいろ工夫されているが、最も手軽に行なえる事は、少しスライドガラスの上に試料を置き、生物が弱って運動をしなくなるような時をみて、検鏡するのがよい。また、生物の種類によっては、瓶を強く振る事により一時的に生物の運動を止める事もできるので、運動を止めてから検鏡してもよい。

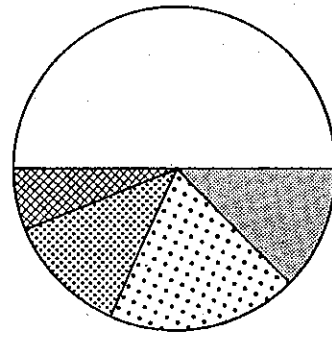
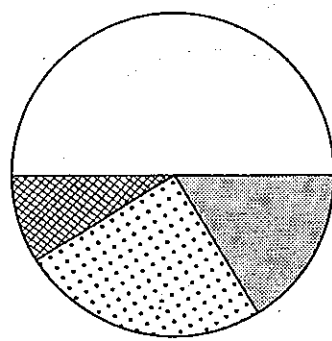
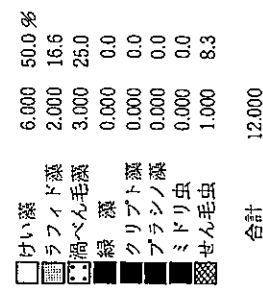
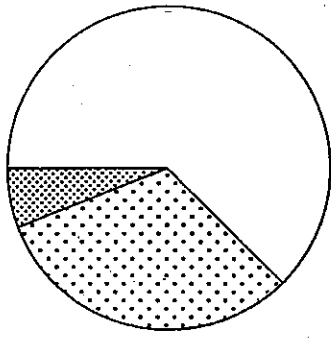
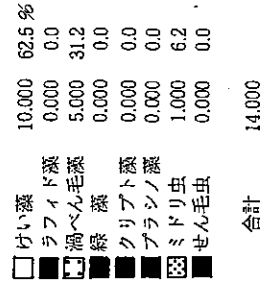
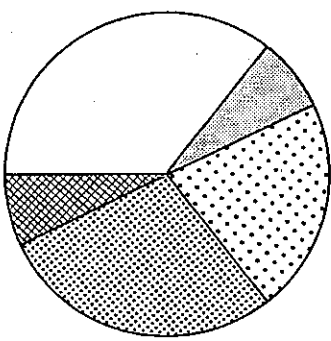
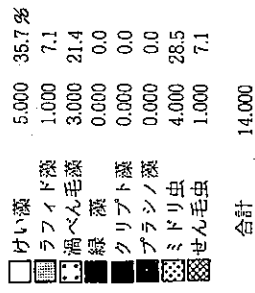


図4-1 年度別の東京湾の赤潮発生回数

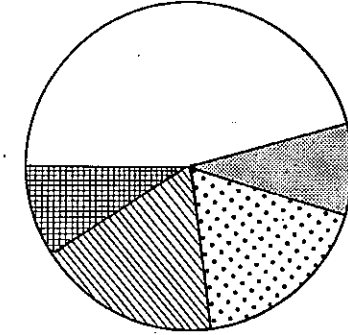
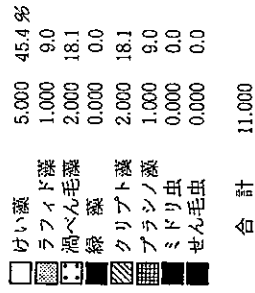
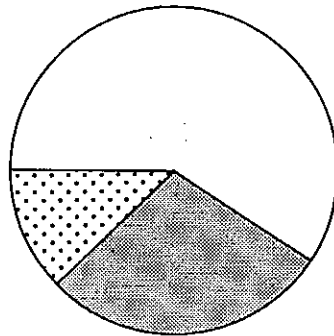
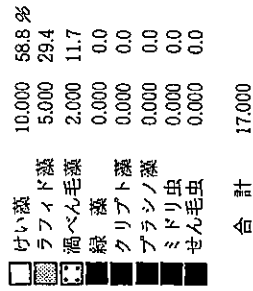
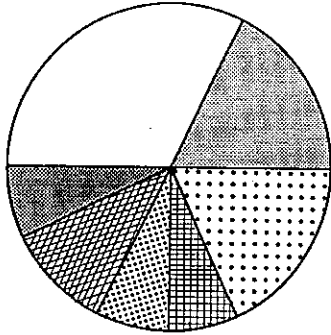
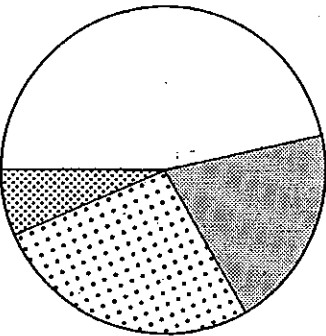
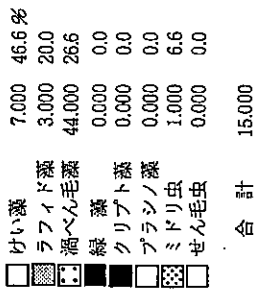


図4-2 年度別の東京湾の赤潮発生回数



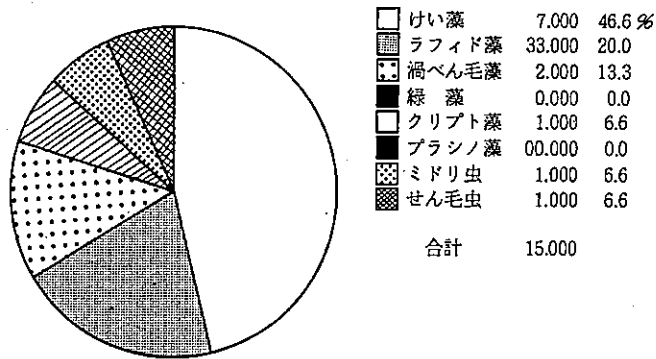


図4-3 年度別の東京湾の赤潮発生回数

#### 参考文献

- 1) 飯島昭二：環境汚染に対する生物適応試験種としての *Skeletonema costatum*, 海洋環境汚染と生物適応特性, 25—29文部省環境科学特別研究, 検討班S-607, 1982
- 2) 門田定美：富栄養化と動物プランクトンの指標性、沿岸海域の富栄養化と生物指標, 日本水産学会編, 59—74, 恒星社厚生閣, 1982
- 3) 斉藤 実：ミドリムシ類, 赤潮マニュアルⅣ, その他の藻類, PP, 197, 赤潮問題研究会, 分類班編1983
- 4) 鶴田新生, 大貝政治, 上野俊士郎, 山田真知子：浮遊珪藻 *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve の増殖に及ぼす塩素量の影響, 日本水産学会誌, 51(11), 1883—1886, 1985
- 5) 高野秀昭：生物指標としての植物プランクトン, 環境と生物指標2, 水界編. PP. 日本生態学会環境問題専門委員会編, 共立出版, 1975
- 6) 高野秀昭：赤潮マニュアルⅢ, 珪藻類：PP. 121, 赤潮研究会, 分類班編, 1982
- 7) 高野秀昭：赤潮生物シートNo.1—No.5, 水産庁1979—1984
- 8) 東京都環境保全局水質保全部：昭和55年度東京都内湾赤潮調査報告書, 環境保全局関係資料3-1-(水質) 2:1-108, 1980
- 9) 東京都環境保全局水質保全部：昭和58年度東京都内湾赤潮調査報告書環境保全局関係資料3-1-261-95, 1985
- 10) 東京都環境保全局水質保全部：昭和60年度東京都内湾赤潮調査報告書環境保全局関係資料3-1-481-101, 1987
- 11) 鳥海三郎：横浜市沿岸のプランクトン相, 横浜の川と海の生物(第4報), 1986
- 12) 丸茂隆三：環境物性と生物適応, —東京湾のプランクトン—, 海洋環境汚染と生物適応特性, 17—19, 文部省環境科学特別研究, 検討班S-607, 1982
- 13) 丸茂隆三, 朝岡 治, 唐牛公平：*Eucampia zoodiacus* Ehrenberg の分布と海況の関係 日本海洋学会誌, 17(1), 45—47, 1961

- 14) 村野正昭：東京湾のプランクトン，海洋科学，12 (11)，761-777，1980
- 15) 村野正昭，坂本和弘，丸山隆：多摩川河口域のプランクトン，大田区の水生物，PP，126，大田区自然環境保全基礎調査報告書，1985
- 16) 森下郁子：川の健康診断，清冽な流れを求めて，NHKブックス210，日本放送出版協会，1987
- 17) 横浜市公害局、横浜環境白書，pp. 230，横浜市公害対策局環境管理室編，1987
- 18) 山田真知子：富栄養化と植物プランクトンの指標性，沿岸海域の富栄養化と生物指標，日本水産学会編，27-40，恒星社厚生閣，1982
- 19) 山田真知子，鶴田新生，吉田陽一：植物プランクトンの富栄養階級表，日本水産学会誌，46 (12)：1435-1438，1980

(鳥海三郎：横浜市立東高等学校)