

②魚の生息環境と富栄養化問題

島中潤一郎

一——魚のへい死事故

「澄んだ水が上がってくる。運河の底も見える程だ。でも、ガニなんかはわかるんだらう、水面から出ている棒杭に登って、水の中から逃げてしまう。棒の上に群がっているよ。そのうちに魚がプカリ、プカリと浮き上がり始めるんだ。水は澄んでいるようだけれど、船の金具なんかすくぐに黒ずんでしまうんだよ」。

金沢区平潟町で貸ボート業を営むH氏から、そんなお話を伺ったのは、昭和五十年の八月であった。「ハゼの釣り場として人に知られた平潟湾が、オバケハゼの出現で騒がれたうえに、こんな事故がたびたび起きていては、釣り人の足も遠のいてしまう。早く、何とかして欲しい」ともいわれた。役所に勤めて聞かない私の目の前の海は、学生時代に実習を重ねた海とはあまりに懸け離れたものであった。ただ、話の中にあつた浮上事故の様子と、本で読んだことのある「青潮」

の記載と一致するのが強く印象に残った。平潟湾の褐色の海面を目の前にし、「青潮」の原因やその背景を考えあわせると、H氏の願いが実現するとしても、

長い道のりを経なければならぬように思え、気が重くなつた。それから七年経って、ヨコハマの海についても少し知識は増えた。夏になって陸から海に向つて風が吹いたりすると「魚が浮くかも知れない」などと予想するようになつた。

平潟湾には頻繁に調査に出かけるようになり、顔見知りの人もできた。しかし、魚類の浮上事故は相変わらず発生する。今年（昭和五十七年）の八月十六日にもハゼやボラが夥しく浮上へい死したという。一〇日ほどたつて、毎月一度の環境調査に出かけた時に付近に住む親父さんが教えてくれたのだ。「いままで、だいたいの役所に知らせていたけれどね、たいがい死因は酸欠（水中の溶存酸素が足りずに魚が窒息死する）で片付けられちゃつてねえ。…バタバタ浮いたけど、知らせな

かつた」というのである。事故の原因や背景についての知識は七年間で確かに増えた。だが問題は殆ど解決していない。

二——魚類へい死事故の背景

河川や海岸線が人工化され、市民と水辺のふれあい疎遠になると、水の中で起る「異常事態」も知られにくくなる。平潟湾の場合のように「異常」が認められながらも、あきらめが伴つて、「異常」として扱われなくなってしまう場合もある。そのようなことを念頭に置きながら表1を見て頂きたい。昭和五十六年

度に横浜市内の河川・海域で発生した魚類へい死事故のうち公害対策局に報告されているものである。一二件のうち、九件の原因が赤潮、酸欠とされている。酸欠とは、水の中に溶けている酸素の濃度がきわめて低くなり、魚がエラを使って呼吸できなくなった状態をいう。このような状態がしばらくの間続くと、魚類は

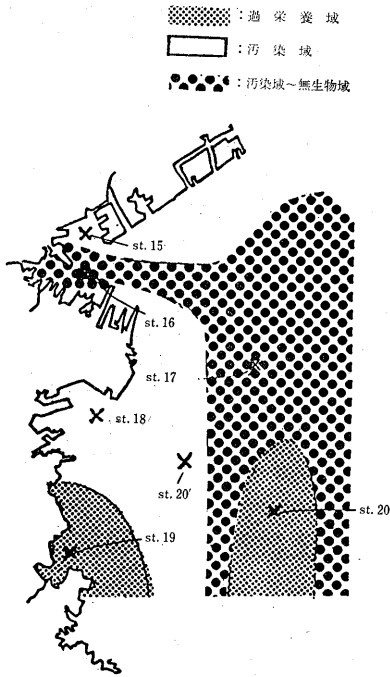
- 一——魚のへい死事故
- 二——魚類へい死事故の背景
- 三——水中の有機物の内容
- 四——植物性プランクトンの増殖と栄養塩類
- 五——富栄養化の影響
- 六——これまでの水質浄化対策
- 七——海岸線の影響

死亡してしまう。「赤潮」が原因とされているものも、魚の種類などからすれば、報告された事故の殆どは、最終的には酸欠でへい死したものと考えられる。

水中の酸素が少なくなると、魚が頭を上にして水面に向つて立つような状態になることがある。これを鼻上げ現象と呼ぶ。おびただしい数のキスやアナゴなどの魚類が岸壁近くのやや青みがかった海面に一斉に鼻上げしている姿は、一種異様なものである。窒息して、体の自由を失っているため魚は簡単に網ですくい上げることができる。

魚は水の中に溶けている酸素（溶存酸素）を消費しながら生きていく。たくさん魚を容量の小さい水槽で、酸素を十分に補給せずに飼育すれば、たちまちのうちに酸欠状態に陥つてしまう。それでは海の中の酸欠事故も魚が多すぎるためであるのかというと、そうではない。河川水あるいは海水中の酸素消費の主役はバクテリア類などの微生物なのだ。多くの

図-2 底生動物による汚染判断図



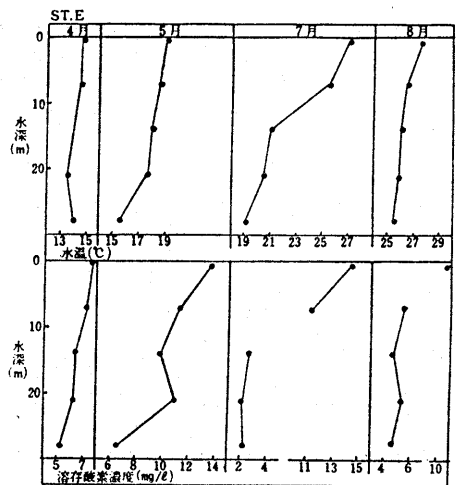
出典 「横浜市内河川・海域の水質汚濁と生物」

表-1 魚の浮上事故と被害魚種・原因

No.	年月日	事故現場	被害魚種	事故原因
1	56. 5. 15	本山池 緑区奈良町	ヘラブナ コイ, モツゴ	細菌性疾患
2	56. 5. 25	鶴見川 緑区川向町	ギンブナ コイ	酸欠
3	56. 5. 28	鶴見川(恩田川) 緑区長津田町	ギンブナ コイ	橋脚工事に伴うアルカリ性のコンクリート排水
4	56. 6. 5	宝運河 神奈川区恵比須	コノシロ ボラ	赤潮
5	56. 6. 8	帷子川(石崎川) 西区中央町	ギンブナ	酸欠
6	56. 6. 16	横浜港 山下公園岩壁	ハゼ	赤潮
7	56. 7. 27	平潟湾 金沢区六浦町	ハゼ ボラ	赤潮
8	56. 8. 12	大岡川 磯子区森町	ハゼ	赤潮
9	56. 8. 13	平潟湾 金沢区六浦町	ハゼ ボラ	赤潮
10	56. 8. 22	大岡川 西区蒔田町	ハゼ	ヘドロ浮上による酸欠
11	56. 8. 25	鶴見川(矢上川) 港北区日吉町	コイ ギンブナ	酸欠
12	56. 12. 22	鶴見川(恩田川) 緑区恩田町	コイ ギンブナ	不明

出典「公害との戦い」(昭和56年版・公害対策局)

図-1 横浜市沿岸海域での水温及び溶存酸素の分布



出典 横浜市公害研究所報第3号(1978年12月)

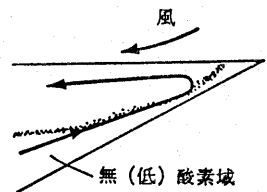
バクテリア類は酸素を使って、炭水化物、蛋白質、脂質などの複雑な形の有機物を分解し、その途中で生ずるエネルギーを利用して、増殖、その他の生命活動を行うのである。植物プランクトンなど海産生物の死骸、河川から流入する汚水、工場排水などはその有機物の供給源といえる。河川からの汚水には尿管その他の家庭排水に由来するものも含まれている。

水中に有機物が殖えると、バクテリア類は盛んに酸素を消費しながら増殖する。水中の酸素が使われると、水面から空气中の酸素が溶け込んで補給される。しかし、有機物の量が多く、酸素の使われ方が激しいと、水中の溶存酸素の濃度は低下することになる。

湖や陸地に大きく入り込んだ湾などは、地形その他の制約を受けて、水の動きが小さくなる傾向がある。そのような水系では、夏になると、表面近くの水が暖められて軽くなり、水底近くの比較的水温の低い、比重の大きな水とは混合しにくくなる。その結果、下層の水にはまず酸素は供給されなくなってしまう。

プランクトンの大量の有機物の増加、有機物の分解に伴う酸素消費、夏の東京湾奥部の海底付近の溶存酸素濃度は極めて低下する。昭和五十二年の五月から八月にかけて、公害研究所は横浜市沿岸海域の水温と溶存酸素濃度の分布を調査している。その結果の一部を図1に示す。水深が増すにつれて、表面との水温の差が

図-3 青潮の生成機構



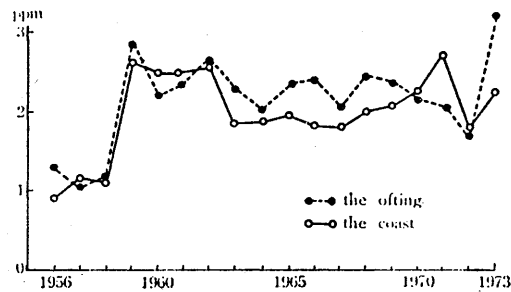
拡大し、溶存酸素濃度が低下していることがわかる。

海底近くの溶存酸素がきわめて乏しくなると、硫化水素など有害物質も発生するようになる。バクテリア類を除いて、高等な底生生物類はすっかり姿を消してしまふ。昭和四十八年八月に実施した公害対策局の調査では横浜港内から金沢沖にかけて、図2に示すように、「無生物域」の海底が存在することが認められている。夏の間に海底で形成されている貧(無)酸素水塊は、風の作用、潮流の変化を受けると、しばしば沿岸に向かって移動することがある(図3)。その際、移動先に生息する魚貝類のへい死事故が発生する。夏の酸欠事故の多発にはそのような背景があるのだ。このとき、海水は比較的透明なものの、青みがかったり、白みを帯びて見える。そのため、「すみ潮・青潮・白潮」などとよばれている。河川でも、流れがゆるやかで、流れ込む有機物の量が多いところでは水温の高い季節を中心に、またたく間に水中の溶存酸素が欠乏することがある。

三 水中の有機物の内容

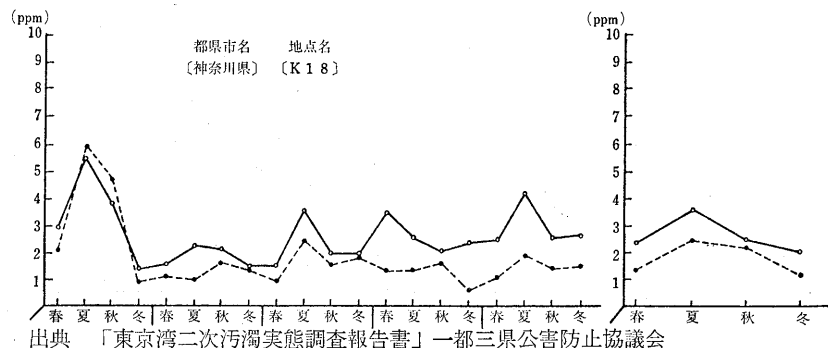
水中の有機物が過剰になると、先に述べたような好ましからざる問題が生ずる。COD(化学的酸素要求量)値はそ

図-4 東京湾におけるCODの経年変化(千葉県内湾水域)



のような水中の有機物の量の目安として用いられる。有機物の量が多くなればCOD値も増加する。図4は昭和三十一年から昭和四十八年にかけての東京湾内湾のCOD値の推移を示したものである。昭和三十四年を境に急激にCOD値が上昇している。図5は昭和五十年三月から五十四年二月までの東京湾内湾部(富津岬と観音崎を結ぶ線より内側)の横浜沿岸の海域のCOD値の推移を示したものである。下層水は二PPMを中心に安定しているのに対し、上層水の値は高めで、平均すると三〜四PPMとなっている。そして、春から夏にかけて上昇する

図-5 東京湾内のCOD測定値の変動(昭和50年3月~54年2月) 実線上層水 破線下層水



ことが認められる。これは春から夏にかけて海面近くに植物プランクトンが増殖するためだ。東京都公害研究所の江角氏らの研究によれば、夏季の東京湾では海水中の全有機物の八〇%以上、プランクトン増殖の

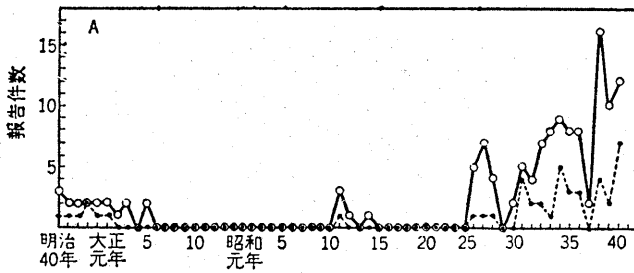
四 植物プランクトンの増殖と栄養塩類

植物プランクトンは文字通り植物の一種である。光エネルギーを利用して、水と二酸化炭素をもとに、光合成の働きで炭水化物やその他の有機物を作ることができる。成長し、増殖するためには陸上の植物が必要とする栄養塩類—チッ素・リン等をやはり必要とする。ところが、通常の海水中ではチッ素やリンなどは欠乏きみなもので、これらの栄養塩類の寡多が植物プランクトンの成長、増殖を支配する。海水中の栄養塩類が豊富になると植物プランクトンの増殖が促進されるのである。このような現象は富栄養化とよばれる。

プランクトンが一時的に大増殖すると、海水が真っ赤に着色するようなことがある。そのような状態を赤潮とよぶ。プランクトンの種類によっては海水が緑色になることもあるが、そのような場合も一括して赤潮とよんでいる。このような赤潮も、海水中の栄養塩類が豊富など

抑さえられる冬場は五〇%の有機物が、植物プランクトンによるものだといふ。他の調査でも似たような結果が得られている。有機物による水質汚濁には植物プランクトンの増殖が絡んでいるわけだ。

図-6 東京湾における赤潮発生件数の推移 ●は被害件数 ○は総件数



出典 「赤潮」 柳田友道著 講談社

表-2 各種汚濁源別にみた東京湾へのN、Pの流入量(単位:t/日)

	昭和33年										(小倉紀雄, 1975)			
	家庭下水		工場廃水		家畜廃水		田畑・山林		合計		比率(%)			
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P		
東京都	51.3	3.36	12.2	0.28	3.3	0.46	2.6	0.08	69.4	4.18	49	45		
神奈川県	12.4	0.87	6.5	0.12	1.9	0.21	1.4	0.04	22.2	1.24	16	13		
埼玉県	5.1	0.36	0.5	0.02	6.1	0.74	12.8	0.29	24.5	1.41	17	15		
千葉県北部	6.0	0.84	0.4	0.07	4.6	0.65	2.9	0.06	13.9	1.52	10	17		
千葉県南部	1.6	0.10	0.1	0.02	6.7	0.78	3.0	0.07	11.4	0.97	8	10		
計	76.4	5.53	19.7	0.51	22.6	2.84	22.7	0.54	141.4	9.42	100	100		
	(54)	(59)	(14)	(5)	(16)	(30)	(16)	(6)	(100)	(100)				

	昭和45年											
	家庭下水		工場廃水		家畜廃水		田畑・山林		合計		比率(%)	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
東京都	70.4	4.62	40.4	0.87	4.4	0.73	2.6	0.08	117.8	6.30	47	46
神奈川県	21.7	1.50	41.6	0.69	2.1	0.48	1.4	0.04	66.8	2.71	27	20
埼玉県	8.7	0.61	4.7	0.12	4.6	0.88	12.8	0.29	30.8	1.90	12	14
千葉県北部	10.5	1.43	9.1	0.33	1.5	0.39	2.9	0.06	24.0	2.21	10	16
千葉県南部	2.0	0.14	2.1	0.04	3.6	0.38	3.0	0.07	10.7	0.63	4	4
計	113.3	8.30	97.9	2.05	16.2	2.86	22.7	0.54	250.1	13.75	100	100
	(45)	(60)	(39)	(15)	(7)	(21)	(9)	(4)	(100)	(100)		

出典 「赤潮」 柳田友道著 講談社 (昭和51年4月)

きに頻発するので、その発生の頻度は海域の「富栄養化」の一つの目安になる。図6は明治四十年から昭和四十年まで東京湾における赤潮発生件数の推移で増加している。昭和二十五年以降、発生頻度が増している。東京農工大の小倉氏は東京湾に一日に流入するチッ素・リンの量について、昭和三十三年及び四十五年の推定をしている。それが表2の数値である。先に掲げた赤潮発生件数の図では、昭和二十五年

ごろから、東京湾の富栄養化の兆候が現われているが、さらに、それより以降の昭和三十三年から四十五年の一二年間で、五倍の伸びを見ている。とりわけ、高度成長期を背景とした工場廃水に由来する流入量の伸びは凄じく、窒素で五倍、

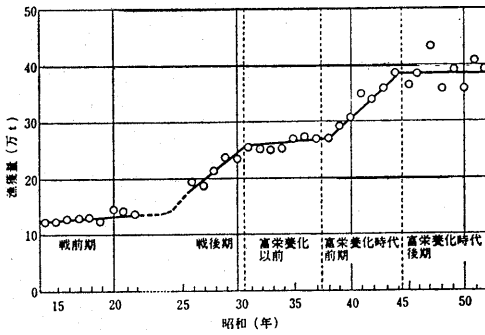
リンで四倍の伸びを見ている。東京湾の富栄養化進行の原因は他にもある。人口の増加は見逃せない。それに伴う、尿尿や生活排水の増加は、直接、間接的に、富栄養化を促進した。農業における化学肥料使用の増加も関係している。尿尿などの自給肥料は後退し、施肥強度が増し

五——富栄養化の影響

富栄養化が進行すると、その水域では魚貝類の餌となるプランクトン類の増殖を通じて漁獲量などの面から好ましい効果を発揮することがある。事実、瀬戸内海では富栄養化の進行し始めた昭和三十七年ごろから漁獲高は増大して昭和四十五年ごろには年間漁獲高は四〇万トンにも達するようになって、富栄養化進行前の約一・七倍である(図7)。しかし、過度の進行はやはり問題である。赤潮の発生、貧酸素水の生成、あるいは漁獲組成の変化が表われてくるのだ。悪環境に強い魚貝類は多く獲れるものの、商品価値の高い、環境の変化に適応しにくい魚は姿を消してしまふ。表3は、昭和四十年から四十九年にかけての一〇年間の東京湾における漁獲量の変遷である。東京湾の場合、埋立による漁場のそう失ということもあって、富栄養化による水質汚濁ばかりが漁獲量変動の原因とはなりに

たため、畑地などからの肥料流出が、河川を通じて海域を富栄養化させた。合成洗剤の使用など生活用式の変化も一役を担っている。有リン合成洗剤の使用最盛期には、家庭排水中に含まれるリンのうち三〇〜四〇%が合成洗剤に由来していた。

図-7 瀬戸内海における海面漁業、漁獲量の推移



出典 「生活排水の規制」村上彰男 産業公害
1982.9 vol.18

六 これまでの水質浄化対策

富栄養化現象は湖沼など閉鎖性の強い水域でも自然に進行する。しかし、東京湾や瀬戸内海、あるいは琵琶湖などでの人為的富栄養化は進行のテンポが比喩にもならないほど早く、その結果、水域の生態系にカストロロフィックな変化をひき起こしてしまっているのだ。

富栄養化現象は湖沼など閉鎖性の強い水域でも自然に進行する。しかし、東京湾や瀬戸内海、あるいは琵琶湖などでの人為的富栄養化は進行のテンポが比喩にもならないほど早く、その結果、水域の生態系にカストロロフィックな変化をひき起こしてしまっているのだ。

表-3 東京湾における漁獲量(漁業種別および魚種別)

	昭和40年	41	42	43	44	45	46	47	48	49
経営体数	10,081	9,908	9,501	10,019	9,145	8,485	8,050	6,844	5,521	4,348
総漁獲量(t)	96,772	100,927	67,894	72,267	74,480	95,759	72,309	43,055	41,324	42,844
採貝	81,806	85,574	55,267	55,150	59,509	85,945	65,389	34,354	33,168	34,791
あぐり網	2,142	1,738	1,593	5,228	2,338	1,525	1,453	1,800	1,094	1,731
小型機船底引網	5,118	6,453	3,729	3,701	8,014	4,791	2,828	2,115	2,545	2,816
刺網	1,478	1,321	2,009	2,841	917	461	347	710	211	325
はえなわ	476	556	731	1,027	905	858	343	543	243	122
海面養殖(ノリ)	11,750	16,630	19,389	19,645	12,353	20,684	22,486	16,418	16,346	21,532
魚類	5,762	5,647	6,122	11,640	6,899	4,763	4,343	4,351	3,526	4,384
カレイ類	1,227	1,250	1,506	1,391	1,322	981	808	324	999	1,492
クロダイ	16	25	40	35	3	7	1	10	1	6
スズキ	853	701	855	885	748	526	446	697	327	893
貝類	87,210	91,825	58,748	59,007	66,890	90,605	67,528	36,998	36,198	36,902
ハマグリ類	3,467	1,235	1,079	832	357	514	403	23	39	120
アサリ類	64,589	78,894	50,297	51,780	55,476	64,019	57,163	34,227	31,259	32,283
その他の水産動物	1,049	1,722	1,224	1,185	569	329	170	123	213	478
クルマエビ	109	112	86	47	9	7	16	29	21	31
カザミ類	7	28	12	1	4	3	—	—	61	200
コウイカ	37	28	14	25	8	1	—	13	3	24
海藻類	2,750	1,729	1,798	446	118	62	271	1,583	1,387	1,080

出典 「生活排水の規制」村上彰男 産業公害 1982.9 vol.18

る「総量規制」がそのものを規制する有機物の量、排出は、有機物濃度ばかりでなく、排出する有機物の量、そのものを規制する「総量規制」が

東京湾の水質汚濁が進行するにつれて、水産業などで問題が発生した。汚染に抗議する漁民が工場の排水口を封鎖するところまで事態はエスカレートしていった。このような状況の中で、水質環境基準が定められた。海域でも、その用途に応じて有機物の汚染の進行を抑制するようCOD値に基づいた基準が設定された。水質汚濁防止法や公害防止条例が定められ、この基準を達成するよう、工場排水に

それから三年後、昭和五十七年七月、東京湾周辺の六都府市(埼玉、千葉、神奈川県)は「東京湾富栄養化対策指導指針」を作成し、広域的に東京湾に富栄養化対策を実施することになった。下水道の整備、合成洗剤の無リン化、工場等に対する窒素・リンの排出削減指導などが考えられている。東京湾へ流入する栄養塩類の総量として見たとき、リンについては昭和五十四年度に比べて一八%、同じく窒素については二%の削減を目標としている。先の、表2では昭和四十五年の東京湾へ流入する窒素の量は、二五〇

東京湾沿岸地域には導入されるようになった。しかし、これらの対策は、海水中のプランクトン増殖の原因となる窒素やリンなどの栄養塩類に対しては全く関係していなかった。昭和五十四年十月、滋賀県は「琵琶湖の富栄養化の防止に関する条例」を制定した。根強い住民運動の盛り上りを背景に、当時使用されていた合成洗剤の主流「有リン合成洗剤」の販売、使用を禁止するなどが、内容に盛り込まれていた。特に、その部分が注目されたが、それにとどまらず、窒素・リンの排水量削減、畑畑の施肥に関する基準、下水道への高度処理技術の導入検討なども内容には含まれていた。

tあまり、リンは一三・七五tとなつて
いる。それに対し、五十四年の推定値は
それぞれ、三七二・四t、四五・二tで
ある。富栄養化が昭和四十五年当時に進
行していることは、赤潮の発生件数のと
ころでも既にふれたとおりである。また
水質の変動も図に示したとおりCOD値
は昭和三十四年以降、高くなつてい
る。このようなことを考えれば、東京湾の窒
素・リン削減を通じての浄化対策はまだ
緒に着いたばかりといえないだろうか。
従つて解決していかない問題もある。

下水処理場は有機性の汚濁物質の除去
には極めて効率がよい。現在広く用いら
れている活性汚泥法による二次処理で
は、排水中にある有機物のうち九割、あ
るいはそれ以上が分解、除去される。し
かし、窒素やリンなどは五割から七割は
除去されず、処理水に含まれたまま河川
や海域に放流されてしまう。そこで、こ
れらをさらに除去する高度処理技術が検
討されるのだが、技術的困難さ、処理コ
ストの高さ、などによって、現在のところ
実行されるには至らないようである。
さらに、処理の過程で新たに発生する廃
棄物の処理が新たな問題となるようであ
る。

河川などの水系の人工化も、窒素・リ
ンを効率的に流入させるといふことで、

海域の富栄養化を助長しているようであ
る。河川などの豊富な生物群に利用され
ていた栄養塩類も十分に利用されないま
ま、海域へ流入してしまふのである。海
域への栄養塩の流入は直接目に見える過
程だけでなく、間接的にも、土地利用の
変遷、産業形態の変化、生活様式の変化
など多くの機構がからんでいる。そうい
つた意味で栄養塩の削減による海水の浄
化には多くの困難がつきまとうように思
われる。

七——海岸線の影響

今までのところは、魚類等の生物の生
息に「富栄養化」が少なからず影響する
ことを中心に話を進めて来た。それでは
もし、さまざまの工夫や努力によって、有
機物や無機栄養塩の流入量を、昭和三十
三年当時のレベルに削減したとしたら、
東京湾の水質は回復するであろうか。生
物の種類も量も回復させられるであらう
か。それについては懐疑的な意見が多
い。その根拠の中心となるものは埋立事
業による干潟や遠浅な海岸の喪失、地形
の改変などである。

干潟は流入河川によって運ばれた土砂
で形成される。陸地に近いたために、干潟
を洗う海水中の無機栄養塩類は多く、プ

ランクトンの生産力は高い。また、陸上
からの流入有機物の量も多い。だが、干
潟は汐の干満によってふつう一日に二
回、干出と水没を繰り返す。従つて土砂
のかなり深い層まで酸素が供給されるの
で、有機物の分解も多量のバクテリアに
よりスムーズに行われる。深い海域の海
底のような硫化水素の発生も比較的少な
い。高い生産力と十分な酸素条件という
恵れた環境の中に多種多様な生物が集
り、高密度な生物社会が成立する。陸上か
らの有機物も海水中で生産された有機物
も直接バクテリアで分解され尽してしま
うよりも、バクテリアを含めて餌とし
て、ゴカイ、アサリ、あるいは魚類とい
つたり高等な生物に利用され、除去さ
れる部分が多くなる。いわば天然の浄化
能力を有している。遠浅の海底について
も同じことがいえる。風や波によって水
が攪拌され海底近くまで酸素が溶け込む
からである。東京湾において、第二次大
戦後三〇年間で埋立ての行われた面積は
およそ二万ヘクタールであり、内湾部の
五分の一にもなるという。その結果、海
の自浄作用を担う干潟や遠浅の海がかな
り減少してしまつた。

江戸川の浦安に人工干潟がつくられた
のは、そのようにして、姿を消した海の
自然環境を少しでも回復しようという努

力の一つといえよう。埋立事業が進行す
る際にも、このような干潟の重要性は自
然保護を唱える人々によって指摘されて
きた。それらの干潟や海岸の多くが姿を
消した現在、清水潮氏は彼の著書「海の
微生物」のなかで干潟の効用を述べ、荒
された海岸をつくり変えることの意義を
説く。岩波新書「干潟は生きてい」で
栗原康氏は人工干潟の浄化作用やその他
の機能が環境へ波及する効果を検討し、
人間社会と自然の共存の道を求めようと
している。

金沢区野島には数百メートルの砂浜が
ある。これは横浜市に残された唯一の自
然海岸である。砂浜にはアサリが多く、
季節ともなれば多くの人が汐干狩りに訪
れる。夏ともなれば海水はやや褐色が
かるが、水遊びに興ずる人の数は平日でも
千人は軽く超えるようだ。ピキニ姿の女
性さえ見ることが出来る。一時は荒れ果
てていたレストハウスの跡も今は青少年
研修センターとなり、海岸へ遊びに来る
人相手の売店も作られた。身近な自然と
して海や河川は人々の要求に応える能力
をまだまだ有している。そのためにも、
水はもっときれいになる方が望ましい
し、その形も自然の要素が多く見られる
必要があるようだ。

〈公害対策局公害研究所水質部門〉