

東京都内湾全域の底生動物の現況と浄化量の検討

木村賢史 川井利雄* 三好康彦
 嶋津暉之 曾田京三**
 (* 水質保全部 ** 現多摩環境保全事務所)

1 はじめに

下水道の整備が進み、また工場等の発生源対策を中心とする水質汚濁防止対策が進展する中で、さらに一層の水質浄化を図り、快適な水辺環境を創造していくためには、自然本来が有する浄化機能を回復させ、かつ高めることが重要となる。そこで、筆者らは、人工干潟(海浜)や自然干潟を対象に、昭和63年度から4年間にわたり海浜・干潟の自然浄化機能の検討を行い、底生動物を中心とした浄化能やいくつかの浄化要因を明らかにし、報告¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾した。今回、都内湾の沖合部を中心に底生動物の生息状況の把握と、これらによる浄化量の検討を行ったので報告する。

2 調査方法等

(1) 調査地点

調査は、都内湾全面を約2kmメッシュ毎に設けた30地点で行った。現地調査は、水質監視課と分担(水質監視課10地点、研究所20地点)して行った。

(2) 調査項目等

調査項目は、底生動物の出現種の種類・個体数・湿重量及び地点水域の水深、水温、pH、塩分、DO(溶存酸素量)、底質評価項目として、底質COD、強熱減量、全硫化物、酸化還元電位(ORP)、粒度組成、窒素、りんを測定した。

調査期間及び回数は、底層水域環境が最も悪化する夏季(7~9月)、底層水域環境が安定しつつある初冬(11月)、及び一部の地点ではあるが底層水域環境が悪化する前の春季(5月)の計3回調査した。

(3) 試料の採取方法及び分析方法

採取方法は、沖合部はスミス・マッキンタイヤ型採泥器で1地点3回(採泥面積0.15m²)、沿岸部はエクマンバーシ型採泥器で1地点3回(採泥面積0.12m²)採泥し、1mmメッシュのふるいにかけた。回収された底生動

物を約7~8%のホルマリンで固定し、測定用試料とした。また、同時に底質分析用の汚泥を採取した。分析方法は、粒度組成がJIS A 1204、他の項目は底質調査法IIに記載された方法で分析した。

3 結果と考察

(1) 底層水域環境の現況

表1 底層水域環境の概要

項目	水域	都内湾(葛西人工海浜を除く。)29地点	都内湾の海浜・干潟等の浅瀬(5地点)*	葛西人工海浜 ⁹⁾ (西なぎさ)
		平均(最小~最大)	平均(最小~最大)	平均(最小~最大)
底質COD(mg/g)		35.2 (17~56)	3.1(0.2~9.2)	1.3(0.6~3.0)
強熱減量(%)		11 (6.4~14.6)	2.3(1.2~3.4)	2.2(1.6~3.1)
全硫化物(mg/g)		1.2 (0.3~2.3)	0.07(0.01~0.14)	0.06(0.03~0.11)
T-N (mg/g)		2.54(1.34~3.59)	--	0.11(0.04~0.32)
T-P (mg/g)		0.86(0.64~1.78)	--	0.26(0.17~0.42)
沙+粘土(%)		92 (73~99)	11(1.3~31.9)	9 (2~14)
ORP (mv)	夏季	-403~-237(19地点)	-60~-+175	+55~-+147
	冬季	-403~-272(")	--	+95~-+180
底層水DO mg/l	夏季	<0.1~7.9	飽和状態	飽和状態
	冬季	3.4~6.7	--	飽和状態

* 水質監視課が独自に調査している地点の調査結果

底層水域環境の概要を表1に示す。ここでの底層水域環境とは、海底の砂泥と砂泥の直上海水(海底から約1m)を含めたものをいう。底質の状況を見ると、都内湾に僅かに残る三枚洲や葛西人工海浜(西)などの干潟・海浜では、平均でCOD 1~3mg/g、強熱減量2%前後、全硫化物0.1mg/g未満、窒素0.1mg/g、りん0.2mg/g前後と良好な値を示している。一方、これらを除く水域では、平均でCOD 35mg/g、強熱減量11%、全硫化物1.2mg/g、窒素2.5mg/g、りん0.9mg/gと極めて高く、前者の水域のCODの20倍弱、強熱減量5倍強、全硫化物10倍強、窒素25倍、りん4.5倍と都内湾

のほぼ全域が有機物や窒素、りんに富んだ底質となっている。

吉田⁹⁾は海域を栄養階級の度合いによって数ランクに区分し、最悪の腐水域の底質の項目では、硫化物 1.0 mg/g 以上、COD 30 mg/g 以上としている。この基準に照らし合わせてみると、図 1 に示すように、沖合部を中心に都内湾の大半の部分が腐水域の底質にランク付けされる。また、水産用水基準⁷⁾では、有機物による汚濁が進行しているか否かの境界基準として底質 COD 20 mg/g、硫化物 0.2 mg/g とし、有機物により汚濁された底質 COD と硫化物の基準を、それぞれ 30 mg/g、1.0 mg/g としている。この基準と比べても、都内湾は沿岸域の一部や人工海浜を除いて、都内湾のほとんどの底層水域環境は、有機物による汚濁が進んでいるといえる。

その他、砂泥中のシルト+粘土分は干潟・海浜で 10% 前後に対して、他の水域は 90% 以上、砂泥の酸化還元電位では干潟・海浜で概ね酸化的であるのに対して、他の水域は通年、還元状態にあり、底生動物にとっては、厳しい生息環境といえる。しかも、海底の直上海水が、夏季には貧酸素状態となる水域も存在していた。

(2) 底生動物の生息状況

底生動物の多様性をみるために、地点毎の種類数を春季、夏季、初冬の 3 季別に図 2 に示した。底層水域環境が安定し、また底生動物の繁殖時期でもある春季が、最も種類数が多く 10 地点合計で、93 種類を確認した。しかも底層水域環境が比較的良好に保たれている沿岸・河口水域や頻繁に浚渫を繰り返す運河部の航路水域に多種出現する傾向が見られた。しかし、底層水域環境の悪化する夏季には、30 地点の合計で 32 種類と約 1/3 に減少し水深 10 m 以深の沖合部の海底は無生物域あるいは、貧生物相域となることが明らかとなった。

以上のことから、都内湾の底層水域環境は、底生動物にとって極めて不安定な環境といえるが、沿岸・河口水域や運河部の航路水域では、潜在的に 90 種類程度の出現を可能にする能力を有しているともいえる。一方、現存量(湿重量を現存量とした。以下同じ)では、地点数の違いはあるものの、種類数同様、春季が 1 m² 当たり 158 g (10 地点平均)、夏季 88.9 g (30 地点平均)、初冬 33.0 g (20 地点平均) と春季が最も大きな現存量を維持していた(表 2)。

また、現存量を、水深 10 m 以深の沖合部でみると、10.

3 g/m² と都内湾平均 (61.0 g/m²) の約 1/6 であり、現存量の多くは、水深 10 m 以浅の沿岸域で占められていた(表 3)。特に、夏季の沖合部は、全現存量の 3~4% を占めるにすぎず、底生動物の生産は極めて貧弱である。このような現象は、城⁸⁾が大阪湾で、風呂田⁹⁾は羽田・千葉・姉ヶ崎の沖合部で確認している。

次に、出現種を見ると、汚濁に強い種が多く出現している。とりわけ汚濁に強い耐性を有する種として代表的なハナオカカギゴカイ (*Ancistrosyllis hanaokai*)、*Lumbrineris longifolia*、*Paraprionospio* sp. Type A、シズクガイ (*Theora lata*) 計 4 種の全現存量に占める比率は、夏季 59%、初冬 77%、春季 21% と、夏季と初冬では 6~7 割を占め、都内湾の底生動物の現存量は、汚濁に強い種によって維持されているのがよく分かる。

これらの種は、①生活環が短く(1 年未満が多い) ②環境条件がやや回復するといち早く定着し、高い繁殖力によって優占する③種間競争に弱く、多くの種の侵入・生育により衰退する④出現は一過性で個体群の変動が大きいのなどの属性を有しており、都内湾の現存量が季節別に大きく変動するのうなづける。

なお、菊池¹⁰⁾ は、貧酸素水域の指標種として、シズクガイ、チヨノハナガイ (*Raeta rostralis*)、*Paraprionospio* sp. Type A の 3 種を掲げ、瀬戸内海や博多湾、鹿島港などの貧酸素水域で優占していると述べている。しかし、都内湾では、他の 2 種と比べてチヨノハナガイの出現量は極めて少なく、春から夏季でも全現存量の 1~4% 程度を占めているにすぎない。しかも、出現水域は、貧酸素水域となる沖合部ではなく、比較的底層水域環境の良い水深 10 m 以浅の多摩川河口や三枚洲などの水域に僅かに出現するのみであり、貧酸素水域の指標種とは言い難い傾向を示した。風呂田¹¹⁾ は、チヨノハナガイを汚濁海底の上位から 3 ランク目の弱汚濁海底指標種に位置付けている。

ちなみに、比較的良好的な底層水域環境に生息する種としてシオフキガイ (*Macra Veneriformis*) やマテガイ (*Solen strictus*) が知られるが、都内湾では、春季、夏季、初冬を通して、葛西人工海浜とその沖合の 2 地点でシオフキガイが確認されたのみである(なお、水質監視課¹²⁾ では、城南島の干潟でシオフキガイ、マテガイを確認している)。

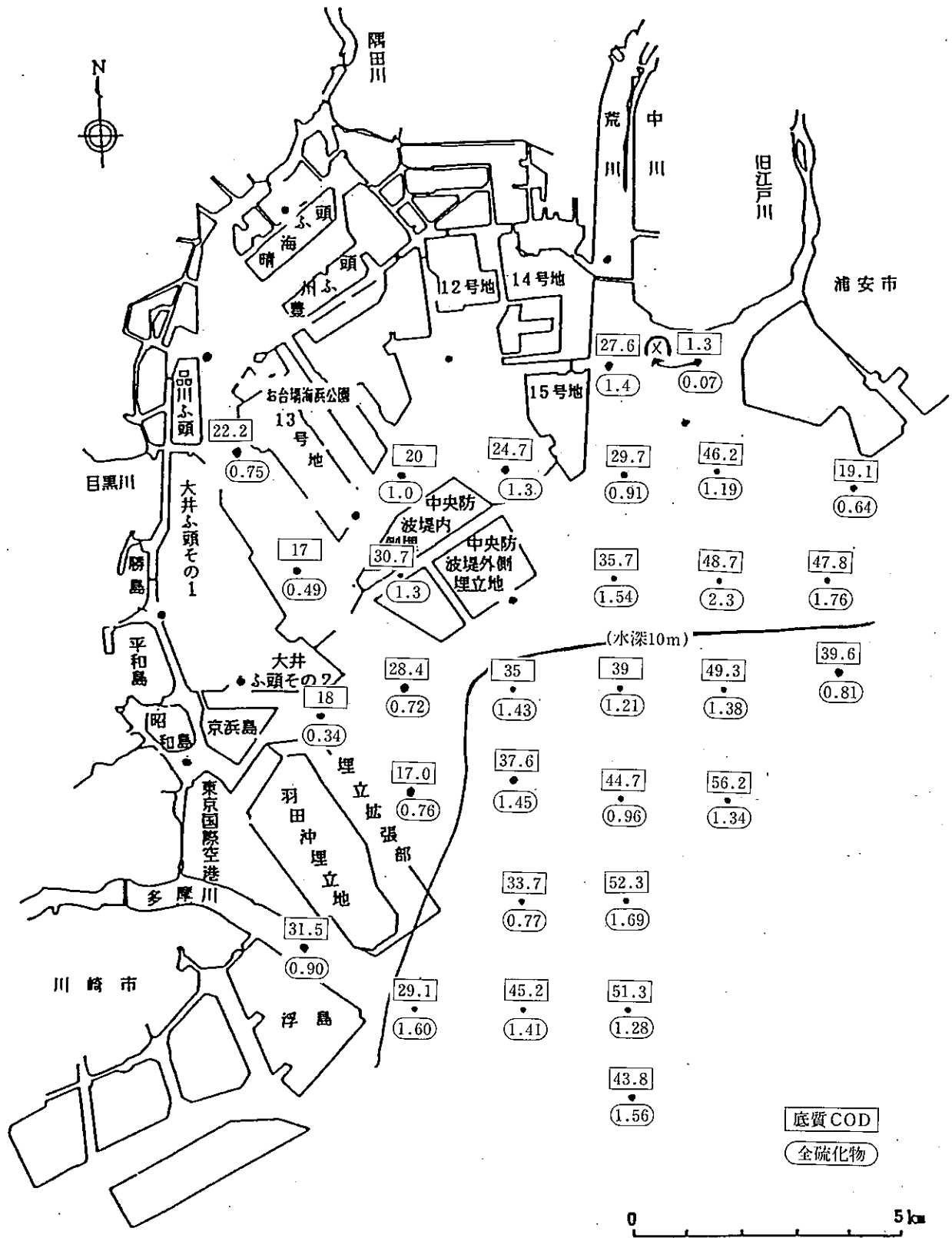


図1 底質COD, 全硫化物の濃度分布 (平均値: mg/g)

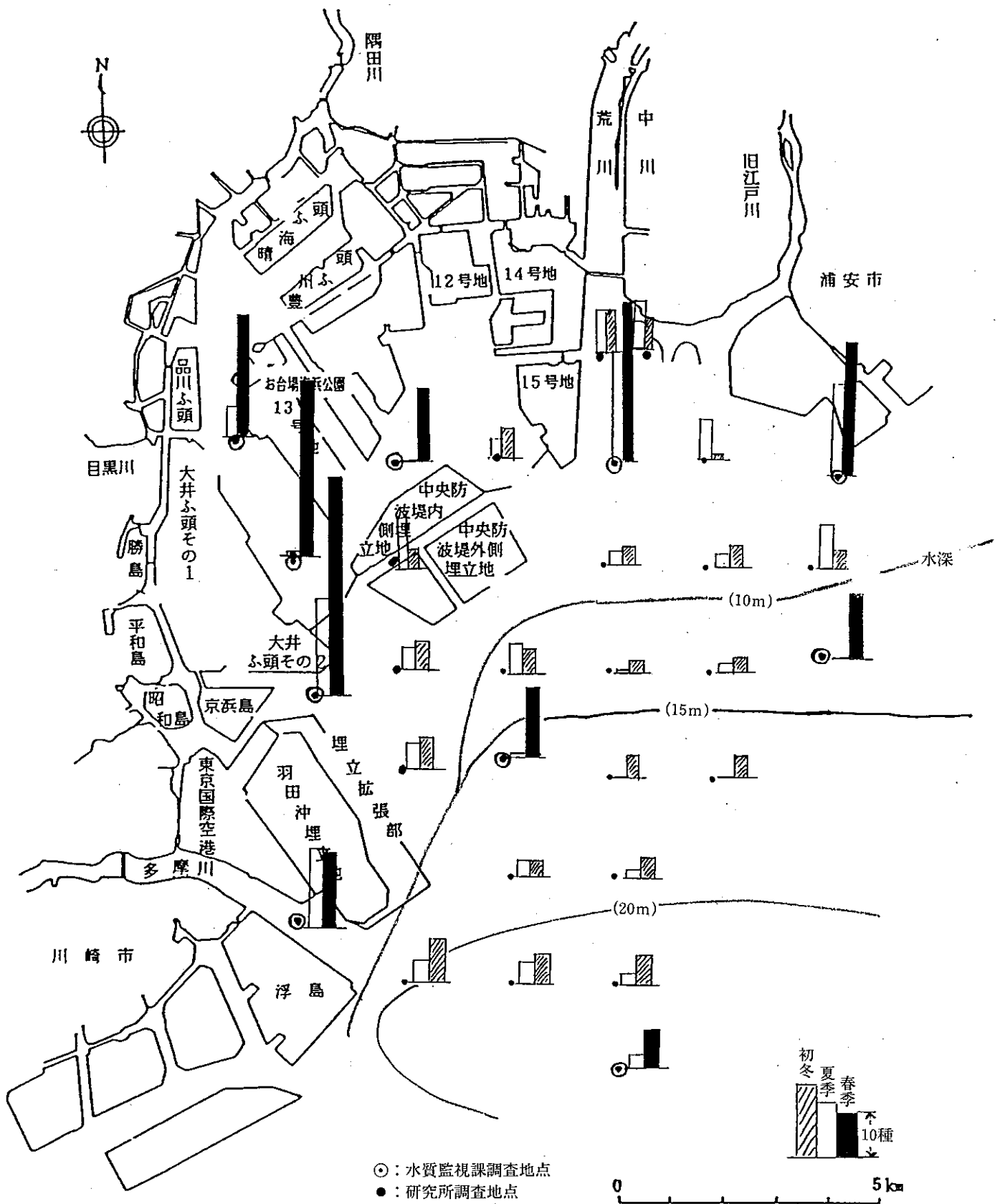


図2 季節別・地点別の出現種類数

表2 底生動物の門別現存量と構成比率

(g/m²)

	春季(10 地点)	夏季(30 地点)	冬季(20 地点)
環形動物 (多毛類等)	332 (21%)	1074 (40.2%)	456 (69.2%)
軟体動物	1171(74.2%)	1583(59.3%)	192 (29.1%)
その他の動物	76 (4.8%)	12 (0.5%)	11 (1.7%)
合計	1579(100%)	2668(100%)	659 (100%)
地点平均	158.0	88.9	33.0

表3 浄化量の試算結果

項目	単位	都内湾(全域)			都内湾沖合部(水深10m以深)			葛西人工海浜 ¹³⁾ (西郷島)	
		夏季	初冬	平均	夏季	初冬	平均		
底生動物現存量	g/m ²	88.9	33.0	61.0	5.8	14.8	10.3	84	
年間生産量	g/m ²	133	50	92	9	22	15	125	
軟体類	組成比	%	59	30	44	8	4	6	91
	可食部生産量	g/m ²	20	4	10	<1	<1	<1	29
多毛類等	組成比	%	41	70	56	92	96	94	9
	生産量	g/m ²	55	35	52	8	21	14	11
有有機物量	有機体生産量	g/m ²	75	39	62	8	21	14	40
	エネルギー消費量	g/m ²	150	78	124	16	42	28	79
排泄量	g/m ²	275	143	227	29	77	51	147	
摂取有機物量	g/m ²	500	260	413	53	140	93	266	
年間摂取COD量	多毛類等	g/m ²	26	16	24	4	9	7	2
	軟体類	g/m ²	63	12	32	1	1	1	83
合計 摂取COD量	g/m ²	89	28	56	5	10	8	85	
C浄O化D量	有機体生産量	g/m ²	13	4	8	1	2	2	13
	エネルギー消費量	g/m ²	27	8	17	1	3	2	26
水質(COD)*	mg/l	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	3.7	
底質のCOD	mg/g	35.1	36.3	35.7	45.7	39.8	42.7	3.7	
底質の強熱減量	%	10.6	11.6	11.1	12.6	12.9	12.7	3.4	

* 都内湾の水質(COD)は、平成5年度水質測定結果(水質監視)の都内湾の上下層及び巡回部の年度平均値から求めた。

(3) 底生動物と底層水域環境との関係

底生動物の生息にとって致命的な制限因子は、DOである。DOが豊富に存在すれば、有害物質が無いかぎり、底質のCODや強熱減量が多少高めであっても、通常問題とはならない。泥質干潟がその良い例である。しかし、多くの場合は、底質のCODや強熱減量等の多少が底生動物の生理機能や直上水及び底質中のDO濃度、硫化物の生成等に影響を与え、底生動物の種類や現存量を制約

する。

DO濃度と種類数・現存量との関係(図3)を見ると、種類数は概ねDO濃度の上昇とともに増加しているが、現存量は種類数ほどDO濃度との関連性は強くない。すなわち、貧酸素水域では、種の単純化が進む一方、量的には、貧酸素に耐える汚濁種が爆発的に繁殖・優占し、DOの豊富な水域と遜色無い現存量を維持している水域もあることを示している。

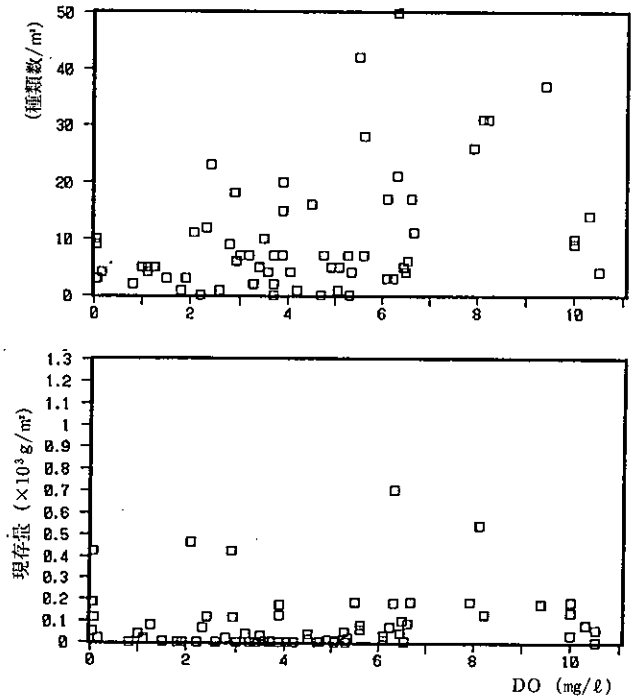


図3 DO濃度と種類数・現存量との関係

ただし、水深10m以深の沖合部では、(2)で述べたように夏季に無生物域あるいは、貧生物相域が発生し、1m²当たりの平均現存量は、激減する。この原因として東京湾を調査した堀越¹³⁾は、夏季の水温躍層の形成とこれに伴う底層の貧酸素化を挙げ、そして、躍層の形成が水深10m付近であることから、水深10m以深での無生物域の発生を示唆している。

そこで、夏季に貧生物相域となる都内湾の沖合地点(東京灯標付近)の水温とDO濃度の垂直分布(図4)を見ると、水温躍層の形成はあまり明確ではないが、DO濃度は水深2m付近から急速に減少し、水深10~11m付近で激減して、無酸素状態となり、堀越の結果とほぼ一致していた。

また、底質の強熱減量、COD、全硫化物と種類数・現存量(図5~7)との関係を見ると、いずれの底質項目も値の上昇とともに、種類数が全般的に減少する傾向にあり、強熱減量で14%、COD 50 mg/g、全硫化物 2 mg/g前後では種類は出現するものの、量的にはほとんど存在していないことが分かる。特に、底生動物の種類数・現存量は、全硫化物の濃度変化に最もシャープに反応しており、貧酸素化とともに、全硫化物の増加が底生動物の減少に強く影響していると考えられる。

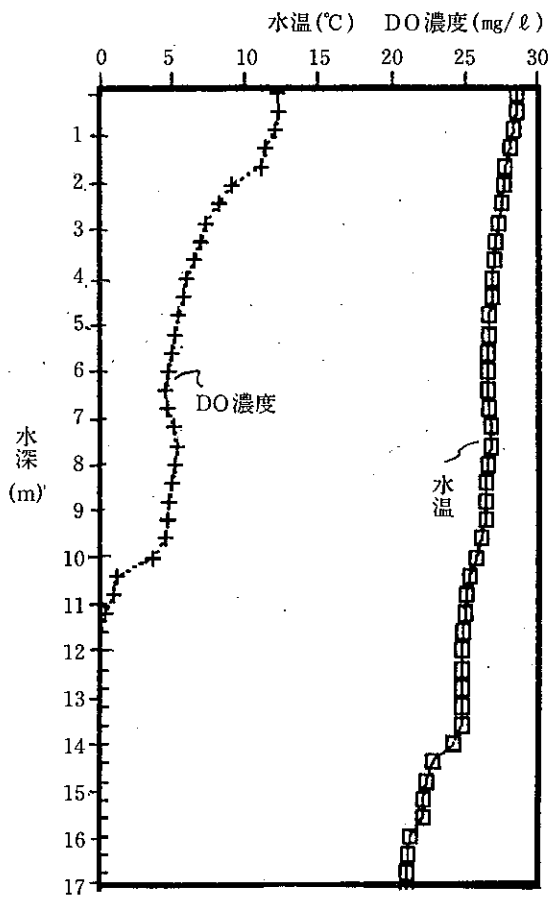


図4 沖合地点(東京灯標付近)の水温・DO濃度の垂直分布
(平成6年8月 基盤研究部 森・安藤測定)

菊池¹⁰⁾は、夏季に激減した底生動物の回復が底層の酸素条件の回復より4カ月遅れることを指摘し、これは底泥中の硫化物が酸化され正常に復する期間と一致するとしている。また、細川¹⁴⁾もParaprionospio sp. Type Aの生息実験から、夏季の死滅は、単に酸素欠乏による窒息死よりも、同時に底泥中から生成される嫌気性毒物(主に硫化物)による影響が大きい可能性があるとしている。

る。酸化還元電位と種類数・現存量との関係(図8)では、いずれも-150~-100 mV前後にピークがあり、都内湾では汚濁に強い種によって質・量ともに構成されていることが、この図からもわかる。特に汚濁に強いLumbrineris longifoliaとParaprionospio sp. Type A(図9)を例

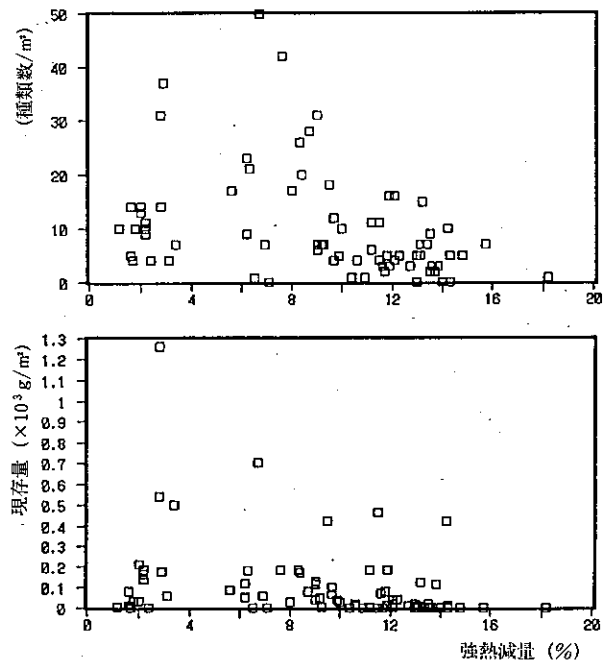


図5 強熱減量と種類数・現存量との関係

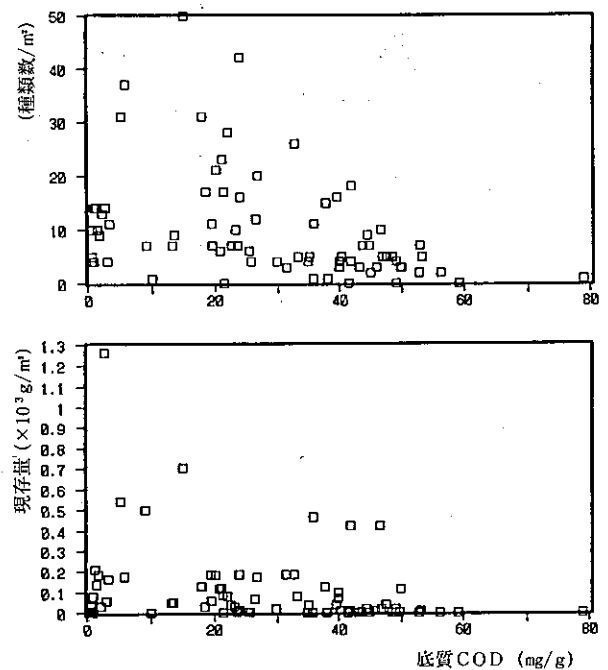


図6 底質CODと種類数・現存量との関係

にとると、前者が-200 mV 前後にピークがあるのに対して、後者は、さらに還元的な-350~-300 mV 付近にピークがあり、後者は汚濁種間でもより厳しい環境で種の保

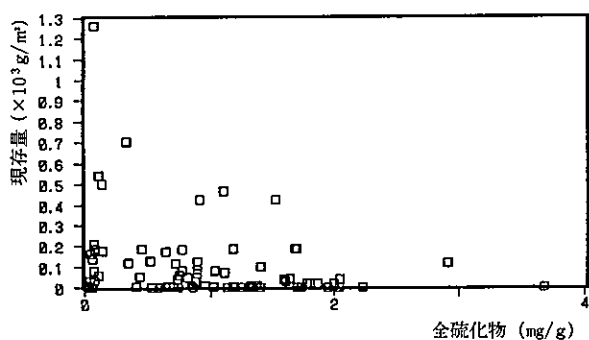
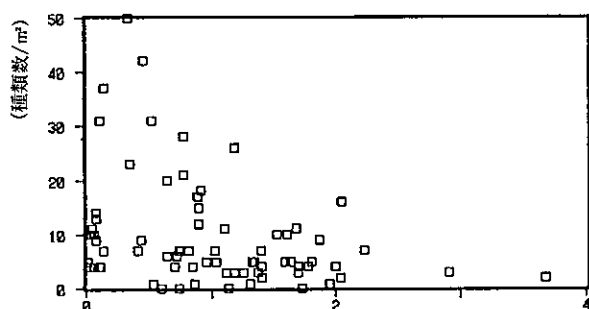


図7 全硫化物と種類数・現存量との関係

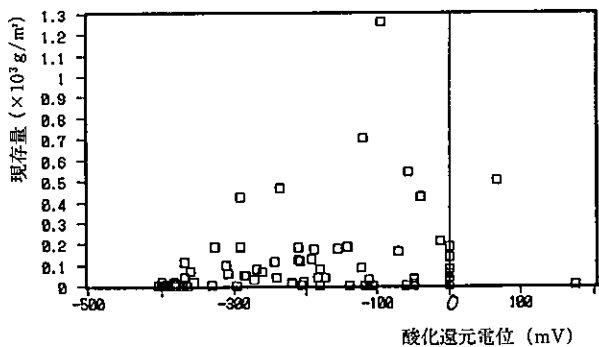
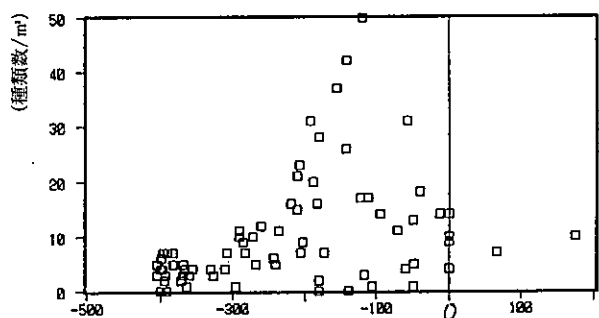


図8 酸化還元電位と種類数・現存量との関係

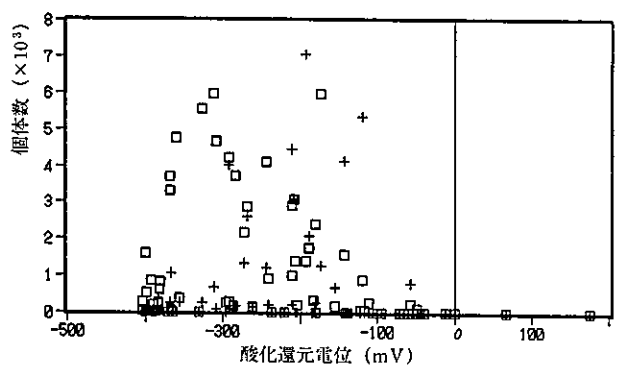


図9 酸化還元電位と代表的な強汚濁種との関係

全を図っている。

都内湾のように底質の汚濁が著しい水域では、表層からの酸素供給量とも関連ある水深が、底生動物の生息に大きな影響を与える。隅田川等5大河川が流入する都内湾では、河川から多量の汚濁物質が流入するが、汚濁物質のなかでも比重の小さいものは沖合部に沈積する傾向がある。

水深と強熱減量・全硫化物・COD との関係(図10)を見ると、全硫化物については、あまり関係が見られないものの、強熱減量とCOD は、水深20m付近まで水深の増加とともに緩やかに上昇しており、水深20m前後までは深くなるほど底質が悪化する傾向が見られた。それに伴い、底生動物の現存量(図11)は、7m付近をピークにして、水深10mを境に激減しており、現在の都内湾では水深10mが、底生動物が生息できる限界水深ともいえる。

以上の結果に、水質監視課が調査した汚泥堆積分布図¹⁵⁾(図12)を重ね合わせると、都内湾底層水域環境は、水深10mを超え、かつ汚泥の堆積が1mを超える水域(都内湾沖合部)では、底質のCOD、強熱減量の値が上昇し、底生動物の現存量も激減して、夏季には無生物相域あるいは貧生物相域となることが判明した。この原因として、夏季の水温躍層の形成や有機質に富む底泥に起因する底層の貧酸素化とこれに伴う底泥中の硫化物の生成などが指摘できる。

(4) 底生動物による浄化量の検討

底生動物による浄化量は、年報²⁴⁾で報告した底生動物の生産量からの有機物浄化量と底生動物の摂餌量からの

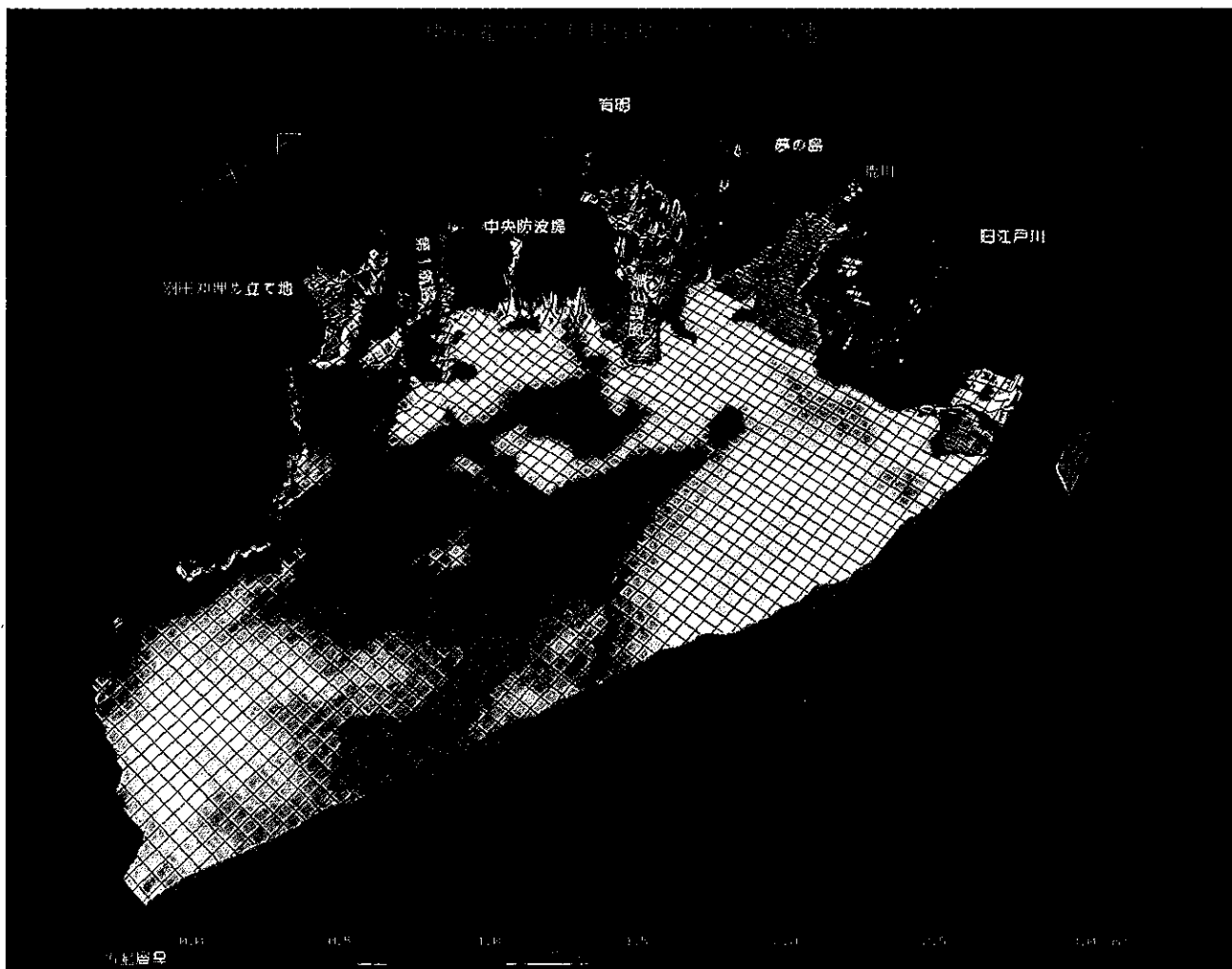


図 12 東京都内湾の汚泥堆積分布図 (水質監視課調査)

COD 浄化量の 2 つの方法で試算した (表 3)。

有機物浄化量(有機体生産量+エネルギー消費量の合計)では、都内湾全域の平均で年間 1 m²当たり 186 g であり、1992 年報⁹⁾で報告した葛西人工海浜 119 g/m²を上回っていた。

しかし、水深 10 m 以深の沖合部の有機物浄化量は、1 m²当たり 42 g と都内湾全域の 3 割弱の浄化量を示すにすぎず、都内湾の浄化量の 7 割以上は、水深 10 m 以浅の人工海浜や干潟等の沿岸域の浄化量に依存していることが判る。しかも、都内湾全般における浄化の主役は、底質の悪化にも耐え得る種が多い多毛類等である。葛西人工海浜が軟体類 91%、多毛類等 9% の構成比に対して、都内湾全域では軟体類 44%、多毛類等 56% と多毛類等が 6 倍以上の比率を示している。

一方、摂餌量から求めた COD (有機体生産量+エネルギー消費量の合計) 浄化量を見ると、都内湾全域でも年

間 1 m²当たり 25 g と葛西人工海浜 39 g/m² の約 6 割にとどまっている。また、水深 10 m 以深の沖合部では、1 m²当たり 4 g と内湾全域の 2 割弱、葛西人工海浜の 1 割を占めるにすぎず、有機物浄化量同様、都内湾の底生動物による COD 浄化量の 8~9 割以上は水深 10 m 以浅の沿岸域が担っていると推定された。

次に、都内湾全域での浄化量を試算してみた。都内湾の水域面積(旧江戸川河口と多摩川河口を結んだ線の内側の水域)は、埋立等の開発が進み、現在 6300~6400 ha といわれる。都内湾全域の年間 1 m²当たり有機物浄化量は平均 186 g であるから、年間 11700~11900 t の有機物が底生動物によって浄化されたことになる。同様に、底生動物の摂餌による年間の COD 浄化量を試算すると、1600 t になる。この値を自然干潟と比べてみる。例えば、自然干潟である千葉県盤洲干潟は、1 m²当たり年間 151 g の COD 浄化量⁹⁾を示す。盤洲干潟の水域面積が

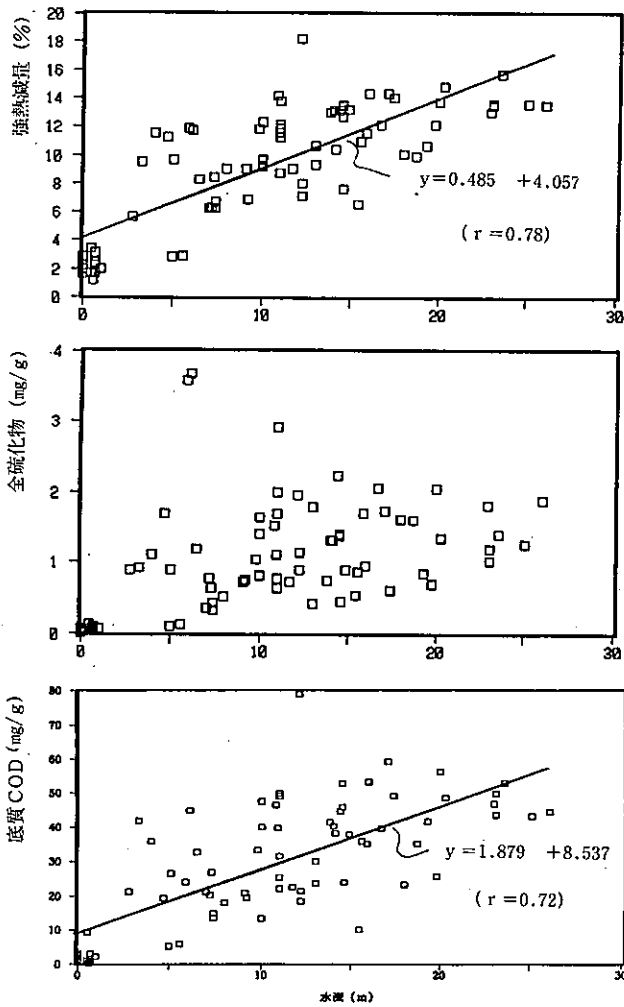


図10 水深と底質の強熱減量・全硫化物・CODとの関係

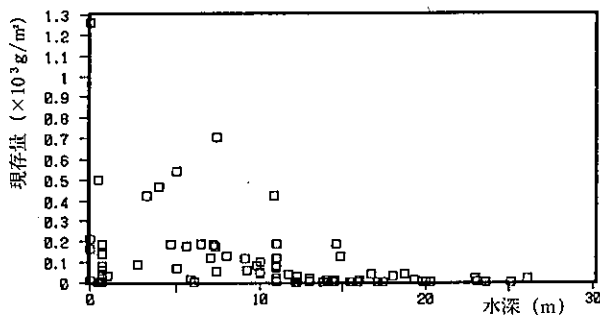


図11 水深と現存量との関係

約 1200 ha であるから、年間 1812 t の COD を浄化している計算になる。水域面積では都内湾の 2 割弱にもかかわらず、COD 浄化量は都内湾の 1.1 倍にも及び、自然干潟の浄化能がいかに優れているかが判る。

なお、都内湾への流入 COD 負荷量は 1 日当たり約 80 t¹⁵⁾、年間 29200 t になる。したがって、都内湾では、底

生動物により、流入 COD 量の約 5.5% が底生動物によって浄化されていることになる。

また、浄化に寄与する確実な要因のひとつとして、その水域での漁獲が挙げられる。平成 4 年度の都内湾での漁獲量¹⁷⁾ は 1158 t (アサリ 406 t、アナゴ 293 t、カレイ 99 t、スズキ 182 t、ボラ 49 t、その他 129 t) であるが、アサリの貝殻部分(重量で 3/4)を除くと、854 t の漁獲量となる。この量が、すべて都内湾内の餌(有機物)を食べた結果として生産された有機体量であると仮定し、また、有機体の生産のため、 $(854/0.15) \times 0.3 = 1708$ t の有機体がエネルギーとして消費されたとすると、漁獲により年間に、おおよそ $854 + 1708 = 2562$ t の有機物が水系外へ除去されたと考えられる。これは都内湾の底生動物による年間の有機物浄化量の約 22% に相当する。

4 おわりに

都内湾の底生動物を中心とした底層水域環境を調査した結果、次のことが明らかとなった。

① 底層水域環境が安定し、また底生動物の繁殖時期でもある春季に 93 種類を確認した。しかし、底層水域環境の悪化する夏季には、32 種類と約 1/3 に減少し、水深 10 m 以深の最沖合部の海底は無生物相域あるいは、貧生物相域となることが明らかとなった。

② 現存量では、地点数の違いはあるものの、種類数同様、春季が 1 m² 当たり 158 g (10 地点平均)、夏季 88.9 g (30 地点平均)、初冬 33.0 g (20 地点平均) と春季が最も大きな現存量を維持している。しかし、水深 10 m 以深の沖合部に限ってみると、都内湾の約 1/6 であり、現存量の多くは、水深 10 m 以浅の沿岸域が占めている。特に、夏季の沖合部は、全現存量の 3 ~ 4% を占めるにすぎない。

③ 汚濁に強い耐性を有しているハナオカカギゴカイ、*Lumbrineris longifolia*、*Paraprionospio* sp. Type A、シズクガイ計 4 種の全現存量に占める比率は、夏季 59%、初冬 77%、春季 21% と、夏季と初冬では 6 ~ 8 割を占め、都内湾の底生動物の現存量は、汚濁に強い種によって維持されている。

④ 底層水域環境と底生動物との関係を総括すると、都内湾底層水域環境は、水深 10 m を超え、かつ汚泥の堆積が 1 m を超える水域(都内湾沖合部)では、底質の COD、強熱減量が高まり、底生動物の現存量も激減して、

夏季には無生物相域あるいは貧生物相域となることが判明した。この原因として、夏季の水温躍層の形成や有機質に富む底泥に起因する底層の貧酸素化とこれに伴う底泥中の硫化物の発生などが指摘できる。

⑤ 底生動物の生産量から計算した有機物浄化量は、都内湾全域の平均で年間1㎡当たり186gと、1992年報で報告した葛西人工海浜119g/㎡を上回っていたが、都内湾の浄化量の7割以上は、水深10m以浅の人工海浜や干潟等の沿岸域の浄化量に依存していることが判る。その浄化の主役は、底質の悪化にも耐え得る種が多い多毛類等である。

⑥ 摂餌量から計算したCOD浄化量を見ると、都内湾全域でも年間平均1㎡当たり25gと葛西人工海浜39g/㎡の約6割であった。また、水深10m以深の沖合部では、1㎡当たり4gと内湾全域の2割弱、葛西人工海浜の1割を占めるにすぎず、浄化量の8～9割以上は水深10m以浅の沿岸域が担っていると試算された。

⑦ 都内湾における底生動物の摂餌による年間COD浄化量を試算すると、1600tになり、都内湾に流入するCOD負荷量の約5.5%に相当する。ただし、この値を自然干潟である盤洲干潟と比べると、水域面積では都内湾の2割にも満たない盤洲干潟が、COD浄化量では都内湾の1.1倍になり、自然干潟がいかに優れた浄化能を有しているかを示している。

参考文献

- 1) 三好康彦ら：人工海浜の浄化能について，東京都環境科学研究所年報1990,p.120-125.
- 2) 木村賢史ら：人工海浜の浄化能について(2)，東京都環境科学研究所年報1991,p.141-150.
- 3) 三好康彦ら：人工海浜の浄化能について(3)，東京都環境科学研究所年報1991-2,p.117-123.
- 4) 赤澤 豊ら：人工海浜の浄化能について(4)，東京都環境科学研究所年報報告書1991-2,p.124-134.
- 5) 木村賢史ら：人工海浜(干潟)の浄化能について，東京都環境科学研究所年報1992,p.89-101.
- 6) 吉田陽一：漁業環境アセスメント(日本水産学会監修，吉田多摩夫編，恒星社厚生閣(1983).
- 7) 日本水産資源保護協会：水産用水基準(改定版)，26-7(1983).
- 8) 城 久：大阪湾における富栄養化の構造と富栄養化が漁業生産におよぼす影響について，大阪府水産試験場研究報告，第7号(1986).
- 9) 風呂田 利夫：第9章東京湾IV生物，日本海洋学会沿岸海洋研究部会編，日本全国沿岸海洋誌，東海大学出版会(1985).
- 10) 菊池泰二：海域における富栄養化と底棲生物の指標性(水産学シリーズ，沿岸海域の富栄養化と生物指標，日本水産学会編)，恒星社厚生閣(1982).
- 11) 風呂田 利夫：東京湾千葉県内湾域の底生・付着生物の生息状況、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IV、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VIII、千葉県環境部環境調整課、pp 351-369
- 12) 東京都環境保全局水質監視課：水生生物調査結果(平成5年度).
- 13) 堀越増興：ベントスの指標性と地域生態系，堀部純男編，環境科学としての海洋学3，東京大学出版会(1979).
- 14) 細川恭史ら：ヨツバネスピオの貧酸素耐性と内湾海底における夏期無生物の発生条件(港湾技研資料，No 643)，運輸省港湾技術研究所(1989).
- 15) 東京都環境保全局：東京都内湾汚泥堆積状況調査報告書(平成4年度).
- 16) 汚濁総量管理システム負荷量集計結果(抜粋)：平成4年度，東京都環境保全局.
- 17) 東京都労働経済局農林水産課：東京都の水産(平成5年度).