

論文

人工海浜（干潟）の浄化能について

木村賢史 三好康彦
 嶋津暉之 紺野良子
 赤澤豊 大島奈緒子
 (非常勤研究員) (芝浦工業大学)

要 旨

人工海浜の浄化能を把握するために昭和63年度から4年間、一部実験を含め葛西人工海浜（葛西海浜公園）、稲毛・検見川人工海浜及び自然干潟である三番瀬、盤洲干潟を対象に調査研究を進めてきた。その結果、

- ① 人工海浜、自然干潟では、COD値が沖合部に比べて概ね低く、海浜部の浄化能が認められた。
- ② 底生動物は、底質の強熱減量が2%前後で、水深4m付近までの海浜部に多く生息していた。
- ③ 人工海浜は自然干潟と比べて、底生動物の種類数等が少なく、底生動物により海浜・干潟から除去される有機物量は年間に、葛西人工海浜で119g/m²、稲毛・検見川人工海浜で103g/m²、三番瀬干潟で337g/m²、盤洲干潟で366g/m²と、人工海浜の浄化能は、自然干潟の約1/3であった。
- ④ 海浜部の砂泥中の微生物によるTOC浄化速度実験では、好氣的な葛西人工海浜や三番瀬のSt. 2の砂泥が、嫌氣的でシルトや粘土分を多く含む三番瀬St. 12の砂泥よりも高い値を示した。
- ⑤ 0.15～7mmまでの粒径の砂礫による浄化実験では、粒径の大きい順にCOD除去能が高かった。

1 はじめに

筆者らは、海水の浄化には、自然の浄化機能を回復させ、かつ高めることが重要であるとの視点から、その一環として海浜・干潟（海浜部と記す。以下同様）の浄化能を把握するための調査研究を行った。昭和63年度は、江戸川区地先の葛西人工海浜を対象に水質面からの浄化能の検討を行い、報告した。また、平成元年度は、同海域における底生動物の生息状況の把握と浄化能について検討を行い、報告した。さらに、平成2年度は、比較する意味から稲毛・検見川人工海浜、盤洲干潟の底生動物相の現況と浄化能について調査するとともに、底質による水質浄化能力の相違を模擬海浜実験装置により検討し、報告した。今回の報告は、これまでの調査結果に平成3～4年にかけて実施した模擬海浜実験装置での実験結果と三番瀬干潟の調査結果及び屋内浄化実験結果を加え、総括したものである。

平成3～4年度は千葉県船橋市の三番瀬干潟について調査した。海浜の概況を表1に示した。なお、同表には平成元年～3年度に実施した葛西人工海浜、稲毛・検見川人工海浜、盤洲干潟の概況も併せて掲げている。図1～4には、これらの海域の調査地点図を示した。

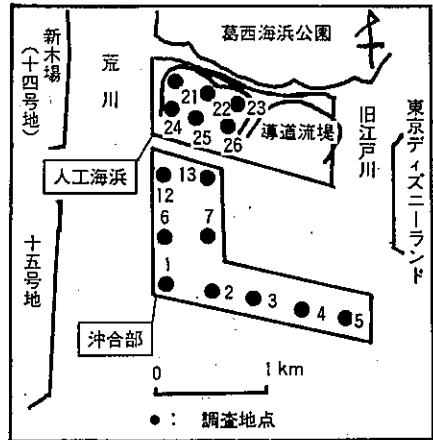


図1 調査地点図（葛西人工海浜）

2 海浜や干潟の水質浄化能

(1) 調査海浜及び調査地点

表1. 各海浜の概況

	葛西人工海浜	稲毛・検見川人工海浜	盤洲干潟	三番瀬
成因	人工海浜	人工海浜	自然干潟	自然干潟
流入河川	荒川 旧江戸川	——	小櫃川	江戸川放水路
(海浜干潟)面積	約25ha (導流堤内側)	約50ha	約1200ha	約1200ha
調査月・日	昭和63年10, 11月 平成元年5月	平成2年7, 10月	平成2年7, 10月	平成3年11月 平成4年7月
場所	江戸川区	千葉市	木更津市	船橋市
周辺の状況	市街地に近接	市街地に近接	周辺は、民家田園地帯	市街地に近接
備考	親水施設	親水施設	アサリ、バカガイ採貝、のり漁業	アサリ採貝、のり漁業

(2) 調査項目及び試料の分析方法

既報と同様の調査項目及び分析方法で行った。

(3) 結果と考察

海浜部の浄化能の評価は、海浜部の水質と沖合部の水質の比較から行った。ただし、開放系の水域では、海流や波浪、河川の流入等の影響もあり、海浜部の水質を正確に把握するには難しい面もある。そこで、海浜部の水質の把握では、水深約2mまでの水域で、かつ沖合の水質の影響が及ばない沿岸の地点に限定して行った。すなわち、葛西人工海浜(図1)では、海浜部はSt.21~26, 沖合部はSt.1~7, 12, 13である。稲毛・検見川人工海浜(図2)では、海浜部はSt.13~15, 沖合部はSt.1~3, 5, 8~12である。盤洲干潟(図3)では、海浜部はSt.10~15, 19~21, 沖合部はSt.1~9, 16~18, 22である。三番瀬(図4)では、海浜部はSt.1~7, 沖合部はSt.8~19である。表2にこれらの水質調査結果を示す。いずれの海域でも海浜部のCODは、沖合部に比べて平均値で0.3~1.4mg/l程度低い値を示している。海浜部でのCODの低下は、①流入河川水による希釈②海浜部の浄化機能のいずれかが考えられる。図5~8に

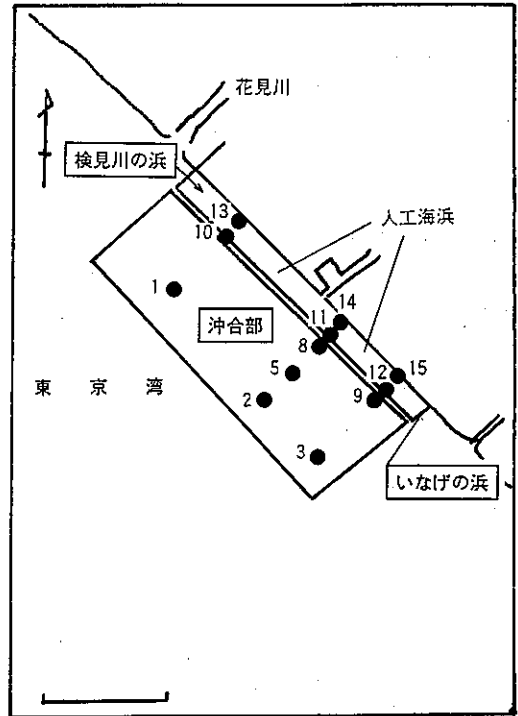


図2 調査地点図(稲毛・検見川人工海浜)

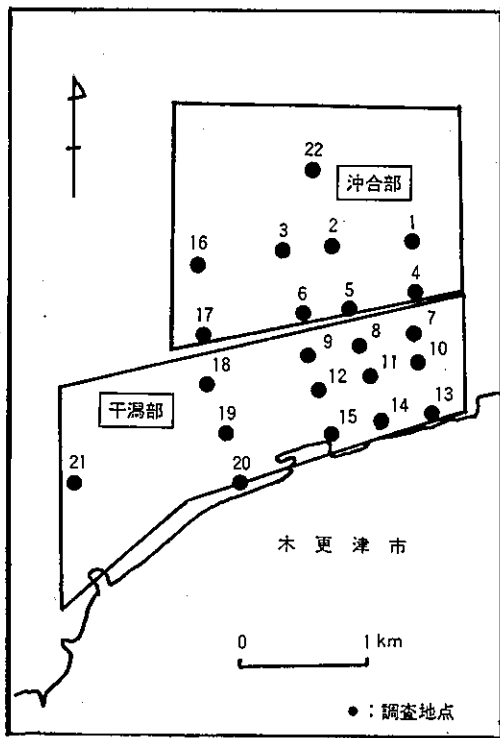


図3 調査地点図(盤洲干潟)

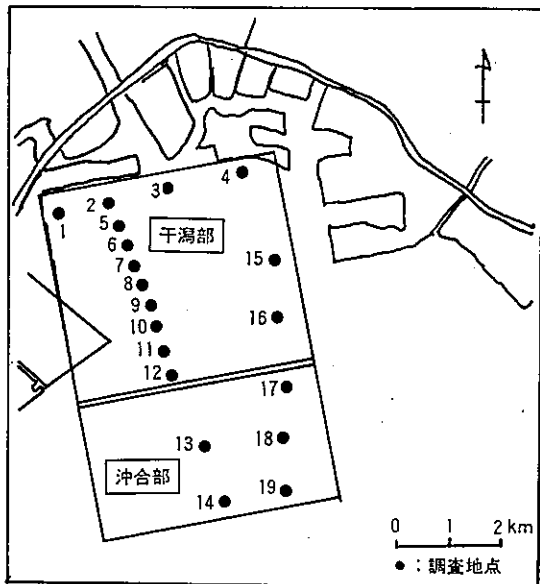


図4 調査地点図(三番瀬)

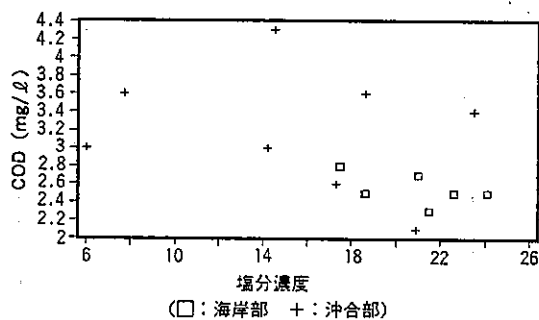


図5 葛西人工海浜のCODと塩分濃度との関係

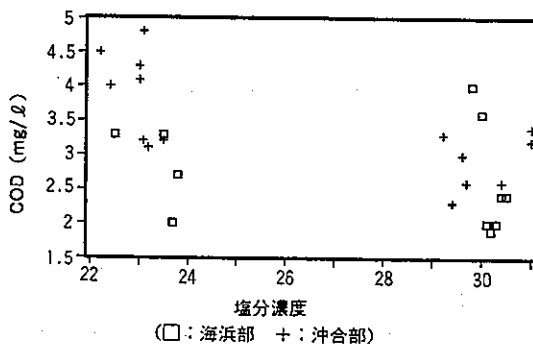


図6 三番瀬のCODと塩分濃度の関係

各海域の測定点における塩分濃度とCOD値との関係を図示した。葛西人工海浜(図5)、三番瀬干潟(図6)は、塩分濃度の等しいもので比較すると海浜部のCODは、沖合部のCODよりも傾向として低い。盤洲干潟(図7)では、塩分濃度が沖合部でやや低く、流入河川である小櫃川の影響が沖合部に現れていると考えられた。しかし、小櫃川のCODは、 $4.9\text{mg}/\ell$ (小櫃橋:年度平均値)と沖合部のCODより全般的に低く、沖合部の

CODに対する河川の影響は少ないとみられる。以上から、海浜部のCODが沖合部より概ね低くなっているのは、流入河川の希釈作用によるものではなく、海浜部の浄化作用によるものと考えられる。稲毛・検見川人工海浜(図8)については、①海浜部のデータが少ないこと②人工海浜の奥域が約100mと狭いことなどから海浜部と沖合部とでCODの差が明確に現れなかった。

桑原⁵⁾が行った盤洲干潟における浄化量の概算結果で

表2. 葛西人工海浜等の水質の概況

	葛西人工海浜 (西なぎさ)		稲毛・検見川 人工海浜		盤洲干潟		三番瀬干潟	
	海浜部	沖合部	海浜部	沖合部	海浜部	沖合部	海浜部	沖合部
PH	8.0 (7.8~8.2)	8.0 (7.5~8.2)	8.2 (7.8~8.5)	8.3 (7.8~8.6)	8.0 (7.8~8.3)	8.1 (7.3~8.4)	8.4 (7.9~9.2)	8.7 (8.3~9.1)
水深	0.5 (0.5~1.4)	3.6 (1.1~5.1)	1.5 (1.3~1.6)	5.4 (1.5~11.0)	1.1 (0.9~1.5)	4.2 (0.9~10.7)	1.9 (1.2~2.5)	5.1 (1.7~14.5)
塩分	21.6 (17.2~23.6)	20.6 (11.5~26.4)	30.6 (29.7~32.0)	30.4 (29.5~31.9)	30.7 (29.8~31.2)	29.5 (28.1~31.1)	26.8 (22.5~30.5)	26.5 (22.2~31.0)
COD	2.7 (1.2~3.7)	3.4 (2.1~4.4)	3.4 (1.8~4.8)	3.7 (1.5~5.5)	3.2 (1.7~5.0)	4.6 (1.6~5.6)	2.6 (1.9~4.0)	3.4 (2.3~4.8)
T-N	1.91 (1.38~2.35)	2.03 (1.26~3.68)	0.48 (0.69~0.93)	0.71 (0.73~1.01)	0.71 (0.66~0.91)	0.96 (0.68~1.26)	1.41 (0.92~2.04)	1.81 (0.74~4.88)
NH ₄ -N	—	—	0.13 (0.05~0.24)	0.11 (0.02~0.35)	0.13 (0.06~0.17)	0.12 (0.04~0.23)	0.42 (0.14~0.72)	0.62 (0.07~3.03)
NH _x -N	—	—	0.21 (0.16~0.28)	0.21 (0.12~0.34)	0.25 (0.16~0.39)	0.37 (0.18~0.54)	0.63 (0.49~0.77)	0.65 (0.36~0.79)
T-P	0.15 (0.1~0.2)	0.14 (0.12~0.16)	0.12 (0.07~0.17)	0.17 (0.09~0.85)	0.12 (0.07~0.20)	0.13 (0.07~0.22)	0.14 (0.09~0.18)	0.13 (0.06~0.24)
PO ₄ -P	—	—	0.04 (0.01~0.08)	0.04 (0.01~0.08)	0.05 (0.03~0.06)	0.04 (0.01~0.06)	0.10 (0.07~0.13)	0.08 (0.03~0.17)

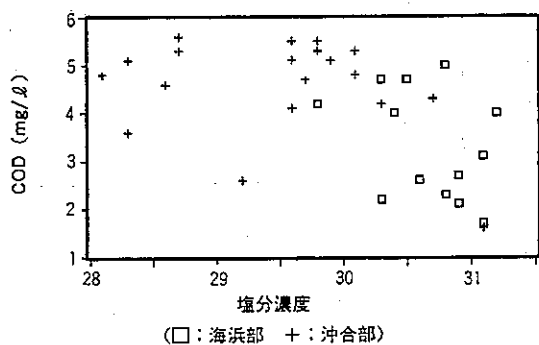


図7 盤洲干潟のCODと塩分濃度との関係

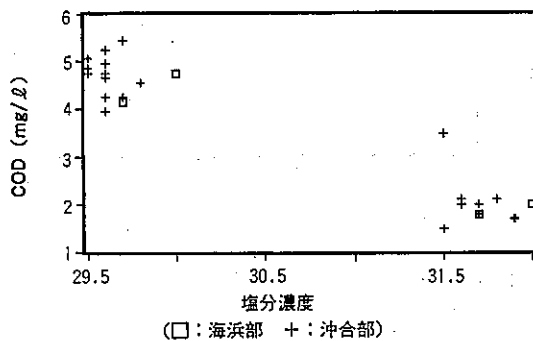


図8 稲毛、検見川人工海浜におけるCODと塩分濃度との関係

は、T-N、PO₄-Pの減少が著しいという。しかし、今回の調査では、T-Nの平均値が海浜部でやや低いものの全般的には確認できなかった。

また、PO₄-Pについても特に傾向はみられなかった。

3 底生動物による浄化能の検討

(1) 調査海浜及び調査地点

平成3~4年度は、三番瀬干潟について調査した。調査地点は、St. 2, 5~18である。なお、葛西人工海浜はSt. 2, 4, 7, 24, 26, 稲毛・検見川人工海浜はSt.

表3. 底生動物相の概要

遊域	葛西人工海浜海城	稲毛・検見川人工海浜海城	整洲干潟海城	三番瀬干潟海城
季節	春 季	夏 季	秋 季	冬 季
時間	平成元年5月	平成2年7月	平成2年10月	平成4年7月
測点数	10	11	8	10
種数	全種類	59	33	41
	平均	15	14	13
	範囲	9~30	1~16	7~19
個体数 (個体/0.12㎡)	平均	295	111	1027
	範囲	48~541	13~330	51~4123
汚濁量 (g/0.12㎡)	平均	5.69	6.45	21.08
	範囲	0.36~17.46	0.18~22.16	0.44~107.88
主要種：出現個体数	アサリ :92	<i>Paraprionospio</i> sp. type A :25	<i>Paraprionospio</i> sp. type A :157	<i>Corophium</i> :5139
上位5種	<i>Pseudopolydora</i> sp.:38	<i>Paraprionospio</i> sp. type A :12	アサリ :30	<i>Pseudopolydora</i> sp. :2586
注：数字は遊域合計個体数	ヤマトスビオ :28	アサリ :20	<i>Amphithoe</i> sp. :12	<i>Paraprionospio</i> sp. :140
(個体/0.12㎡)	<i>Corophium</i> sp. :15	<i>Mediomastus</i> sp. :9	<i>Mediomastus</i> sp. :4	ニホンフトロコエビ :88
	シズクガイ :14	ヤマトスビオ :8	<i>Lumbrineris longifolia</i> :44	アシナガゴカイ :63
		アシナガゴカイ :4	ハナオカカゴカイ :17	
生物相の特徴	・個体数が豊富	・種類数が貧困	・多毛類が卓越して出現 ・貝類も多く出現	・生物量が豊富 ・貝類が多く出現
		・種類数が貧困	・種類数が豊富 ・甲殻類が多く出現	・生物量が豊富 ・貝類が多く出現
			・多毛類が卓越して出現 ・貝類も多く出現	・貝類が多く出現

表4. 葛西人工海浜等の底質の概況

		葛西人工海浜		稲毛・検見川人工海浜		盤洲干潟		三番瀬干潟	
		海浜部	沖合部	海浜部	沖合部	海浜部	沖合部	海浜部	沖合部
強風減量		3.4 (1.4~5.6)	2.9 (1.7~7.6)	2.3 (2.0~2.6)	4.7 (1.9~10.3)	1.5 (1.1~1.9)	1.7 (1.1~3.2)	2.1 (1.9~2.5)	6.5 (2.4~8.7)
粒度組成 (%)	礫分	0.1	4.3	0.1	0	0	0.5	0	0
	砂分	58.7	88.7	89.9	44.0	97.5	91.0	96.9	36.8
	シルト粘土分	41.2	7.0	4.0	56.0	2.5	8.5	3.1	63.2
中央粒径		0.10	0.19	0.23	0.09	0.24	0.18	0.17	0.04

1~3, 5, 8~15, 盤洲干潟が St. 2, 5, 7~15, 18~22である。

- (2) 調査項目及び試料の採取方法等
既報と同様の項目及び採取・分析方法で行った。
- (3) 結果と考察

ア 底生動物の生息状況

三番瀬干潟の底生動物相の概況を表3に示す。同表には、平成元年~2年度に行った葛西人工海浜、稲毛・検見川人工海浜、盤洲干潟の底生動物相の概況を併せて掲げる。種類数をみると、盤洲干潟が80~95種類と最も多く、当干潟の自然環境が良好に保たれていることを示している。ついで葛西人工海浜と三番瀬干潟が同程度の種類数であり、稲毛・検見川人工海浜は33~34種類と少ない。また、季節別の個体数をみても、盤洲干潟、三番瀬干潟、葛西人工海浜はいずれも秋よりも水温の上昇する春から初夏のほうが多いのに対して、稲毛・検見川人工海浜は、逆に秋に多くなっている。これは、春から夏にかけて稲毛・検見川人工海浜の底層の水域環境が悪化し、底生動物の繁殖を制約しているものと考えられる。表4は各海浜の底質の状況であるが、葛西人工海浜を除き、沖合部の強熱減量が海浜部の1.1~3.1倍、シルトと粘土分が3~20倍も高く、沖合部の底質悪化がうかがえる。海浜・沖合両水域への流入有機物量に大きな差がないの

で、海浜部の強熱減量が低いということは、海浜部の浄化能が高いことを示している。

底質の強熱減量と底生動物の種類数・湿重量の関係(図9, 10)をみると、強熱減量2%前後が種類数・湿重量とも高く、この程度の強熱減量レベルが底生動物の生息に適しているようである。また、水深と底生動物の種類数・湿重量の関係(図11~12)をみると、水深2~4m付近に湿重量(現存量)のピークがあり、水深の増加とともに減少している。種類数は、特に傾向はみられないが、全般的には沖合ほど汚濁に強い種が多く出現している。沖合での出現種は、主に汚濁に強い環形動物であり、特に汚濁に強い *paraprionosio sp. type A*, ハナオカカギゴカイが優占している。以上のことから、底質の強熱減量が2%前後で、干潮時には一部砂泥が露出する水深4m付近までの海浜部が底生動物の生息に適していることがわかる。

*平成2年度から砂泥中のシルトや粘土分の除去作業を実施しているため平成元年度調査当時と比べて、現在の底質は格段に改善されている。

イ 底生動物による除去有機物量

海浜部での底生動物の湿重量(現存量)が大きいかということ、当水域の有機物を餌として多量に取り込んで成長していることであり、当水域の浄化能力が高いこと

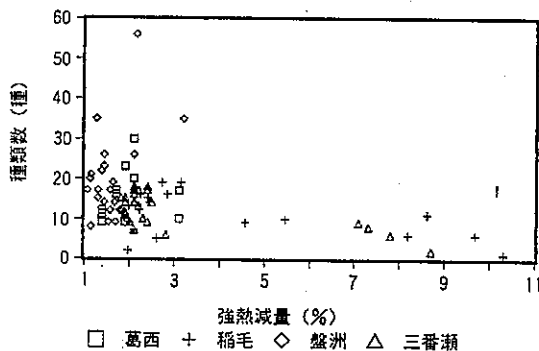


図9 底質の強熱減量と種類数との関係

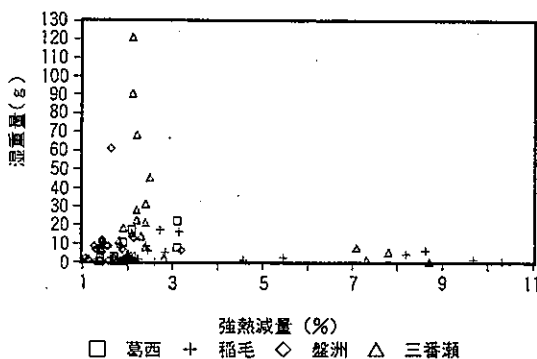


図10 底質の強熱減量と湿重量との関係

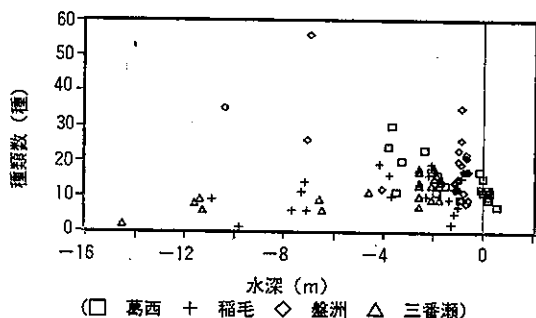


図11 水深と底生動物の種類数との関係

を示す。そこで、海浜(干潟)の底生動物による浄化能を把握するため、底生動物が摂取する餌の量と底生動物の生産量から既報の方法に従って年間除去有機物量を試算した(表5)。海浜(干潟)から除去される有機物量は年間に、葛西人工海浜で119g/m²、稲毛・検見川人工海浜で103g/m²、三番瀬干潟で337g/m²、盤洲干潟で366g/m²となり、自然干潟は人工海浜の約3倍の浄化能を示している。また、表1の各海浜(干潟)の面積から除

去有機物量を試算すると、年間で葛西人工海浜が38t、稲毛・検見川人工海浜が52t、三番瀬干潟が4050t、盤洲干潟が4400tであった。既報で述べた方法でこれら有機物量をCODに換算すると、海浜部の底生動物による年間のCOD除去量は、1㎡当たり葛西人工海浜で39g、稲毛・検見川人工海浜で25g、三番瀬干潟75g、盤洲干潟で151gとなり、自然干潟の浄化能がいかに優れているかがよくわかる。

次に、底生動物のなかで浄化能力が高いといわれるアサリによるCOD除去量を上記と同様にして算定すると、海浜部1㎡当たり年間に葛西人工海浜で14g、稲毛・検見川人工海浜で11g、三番瀬干潟で24g、盤洲干潟で40gとなる。三番瀬干潟や盤洲干潟ではアサリの採貝漁業が盛んなことから、実際のアサリによる除去有機物量は、上記の試算値を上回ると考えられる。

*既報では、COD換算の際に各海域とも海水のCODを4mg/lとしたが、本報では懸濁性COD(各々の海域のCOD平均値×0.3)を用いた。

4 砂泥中の微生物による浄化能の検討

底生動物とともに微生物が水質浄化に果たす役割は非常に大きい。海域において微生物の最も多い場所は砂泥中である。通常の培養で得られる生菌数の数百倍の存在量を示すといわれている。そこで、現場の砂泥中の微生物がどの程度の水質浄化能を示すのかを室内実験によって推定した。

(1) 実験装置及び実験内容

実験は図13に示す4組の三角フラスコそれぞれに滅菌海水1ℓを注入し恒温槽で20度に保持した後、

① 対照(滅菌海水のみ)

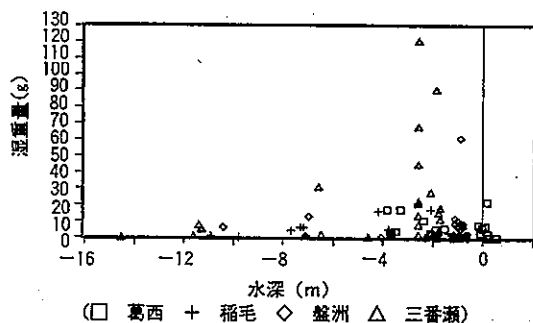


図12 水深と底生動物の湿重量との関係

表5. 海浜(干潟)別浄化能力の試算結果

項 目		単位	葛 西 人工海浜	稲毛・検見川 人工海浜	盤洲干潟	三番瀬干潟
底 生 動 物 現 存 量		g/m ²	84	57	296	210
" 年 間 生 産 量		g/m ²	125	86	444	315
軟 体 類	組 成 比	%	91	81	93	84
	生 産 量	g/m ²	114	68	429	270
	可食部の生産量	g/m ²	29	17	107	68
	殻の生産量	g/m ²	86	51	322	202
多 毛 類 等	組 成 比	%	9	19	7	16
	生 産 量	g/m ²	11	17	15	45
摂 餌 有 機 物 質		g/m ²	265	230	814	750
内 訳	有除機物量去	有機体生産量	g/m ²	35	122	113
		エネルギー消費量	g/m ²	69	244	225
		排 泄 ぶ ん 量	g/m ²	146	126	412
COD 摂 取 量		g/m ²	277	165	1054	534
内 訳	C除O D量去	有機体生産量	g/m ²	25	158	80
		エネルギー消費量	g/m ²	49	316	160
		排 泄 ぶ ん 量	g/m ²	152	91	580
底 質 COD		mg/ g.dry	3.7	3.7	3.4	3.4
底 質 強 熱 減 量		%	2.2	2.2	3.2	3.2
水 質 濃 度 (COD)		mg/ ℓ	3.7	3.6	3.9	3.0

- ② 葛西人工海浜の砂泥
- ③ 三番瀬 ST. 2の砂泥
- ④ 三番瀬沖合 ST. 12の砂泥

を入れた各フラスコに人工下水を一定量投入し、海水中の有機物の分解速度を調べた。砂泥中の底生動物は事前に除いた。実験は表7の実験条件で16日間行った。

(2) 調査項目及び分析方法

調査項目は底質の粒度組成、強熱減量、水質のCOD、TOC、窒素、りんの6項目である。水質分析はJIS K 0102(工場排水試験方法)で行った。

(3) 結果と考察

実験は、各フラスコに人工下水を一定量投入し、海水中のCOD等の減少が、砂泥中の微生物によるとの前提

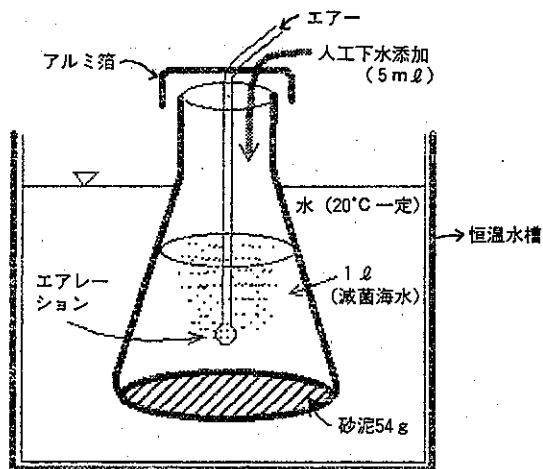


図13 底泥中の微生物による浄化実験概図

表 6. 底泥中の微生物による浄化実験条件

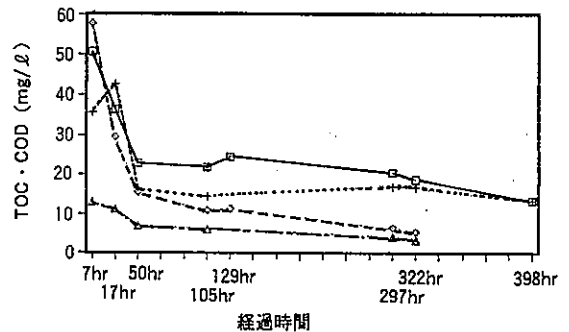
実験検体		対 照	葛 西 人工海浜	三番瀬干潟 St.2	三番瀬沖合 St.12
使用砂泥量(g) (表層から5cm採泥)		—	54	54	54
含 水 率 (%)		—	9.4	9.6	32.1
砂 泥 の 状 態		—	好 気 的	好 気 的	嫌 気 的
強 熱 減 量		—	2.0	2.1	7.8
粒 度 組 成	礫 分	—	1.0	1.0	1.0
	砂 分	—	93.4	90.0	17.3
	シルト 粘土分	—	5.6	9.0	81.5
使 用 海 水		滅菌海水1ℓ	" 1ℓ	" 1ℓ	" 1ℓ
ばっ気の有無		砂泥が攪拌されない程度にばっ気	左 同	左 同	絶対嫌気性を避けるため、採水毎に1分間ばっ気
添加した人工下水の組成 (5ml添加)			・デキストリン(11.6%) ・NaCl (2.5%) ・酵母エキス(28.2%) ・ペプトン(24.7%) ・MgSO ₄ (1.5%) ・KH ₂ PO ₄ (1.8%) ・肉エキス(24.7%) ・KCl (5.0%)		

で行った。その結果を図14に示す。CODは、当初59mg/ℓであったものが、7時間後、対照で13%の減少に対して、三番瀬干潟のST.2の砂泥は41%の減少を示している(坂本らは条件はやや異なるが、3時間で60%の除去率を得ている)。同じく、TOCも対照が12%の減少に対して、ST.2は80%も減少している。これは、人工下水の有機物が添加後、速やかに砂泥粒子に吸着され、砂泥中の微生物により分解されたためと考えられる。CODが20mg/ℓ未満に下がるまでのCOD分解速度を計算すると、対照が0.12mg/ℓ/hrに対して、ST.2は0.85mg/ℓ/hrと約7倍速い。同じく、TOCが10mg/ℓ未満になるまでの分解速度は、対照が0.20mg/ℓ/hrに対し、ST.2は1.2mg/ℓ/hrと6倍の速さでTOCを分解している。また、微生物の影響を除いたろ過水のTOC濃度の時間変化を図15に示す。対照を除き、他の3検体はいずれも50時間後にはTOCが10mg/ℓ未満になっているが、TOC分解速度は葛西人工海浜>三番瀬干潟ST.2>三番瀬沖合ST.12の順であり、嫌気的でシルトや粘土分の多いST.12の砂泥が最小の値を示した。

表 7. 浄化施設検討のための実験条件

槽名	容 量 (ℓ)	槽 内 の 充 填 物	空 隙 率 (%)	充 填 物 の 大 き さ	透 水 数 係 (cm/s)
A	212	Aラサキガイ等 ※(9kg)	—	3~5cm (殻長)	—
B	196	Aラサキガイ等 ※(6kg)	—	3~5cm (殻長)	—
C	408	礫 (273ℓ)	33	15mm (中央粒径)	7.7
D	389	礫 (288ℓ)	26	7mm (中央粒径)	3.2

※1.ムラサキガイ弊死後は、コウロエンカワヒバリ(殻長約2cm)をAB両槽に約1kg充填した。
 ※2.流入海水は、2900mℓ/分(年度平均)注入した。



(□ 対照COD + ST.2 COD ◇ 対照TOC △ST.2 TOC)

図14 三番瀬 (ST.2) 底泥の微生物によるCOD, TOCの経時変化

好気的な海浜部の砂泥内では、深層でも微生物の生存を可能とし、砂泥内30cmまでは顕著な個体数の減少は認められないといわれる。林や桑原らの調査によると、砂泥中の微生物量は年間あまり変動せず、砂泥内の有機物分解は1年中行われ、砂泥内に流入するCODの約80%が無機化されると言う。したがって、砂泥内の透水性が適度に保たれ好気的となるならば、砂泥中の微生物による浄化量は一層大きくなると考えられる。

5 底質中の砂礫の粒径と浄化能の検討

これまでの検討結果を基に、人工海浜の浄化能の向上という視点から、底質中の砂礫の粒径と浄化能との関係

を実験により検討した。詳細は既報に報告済。

(1) 実験装置及び内容等

実験は、6槽の実験槽 (No.1~6:各槽の大きさH 30cm×W30cm×L 5 m) にかくはん羽と散気管を設け、各槽に粒径の異なる砂礫を充てんし、波を起こすことにより槽内に滞留した海水中のCODや窒素等がどのような時間変化を示すのかを検討した。

(2) 結果と考察

① 中央粒径0.15~7mmまでの砂礫では、粒径の大きい順にCODの浄化が進んだ。この原因は、粒径が大きいほど透水係数も大きくなり礫層内の水交換が円滑に進み、礫層全体で好気性分解が行われたためと考えられる。

② NH₄-Nは、CODとほぼ同じような傾向を示し、中央粒径7mmの砂礫は、実験開始後4時間で硝化が完了している。このことは、硝化菌の菌体量も粒径の大きい順に増えていることを示す。

③ T-N及びPO₄-Pについても同様に調べたが、ほとんど変化がみられず、今回の実験では除去効果は確認できなかった。

④ 大腸菌群数はいずれの槽もおおむね減少した。とりわけ、好気性微生物の活動が活発な7mmの粒径の砂礫で大きく減少しており、大腸菌群数の浄化にも有効であった。

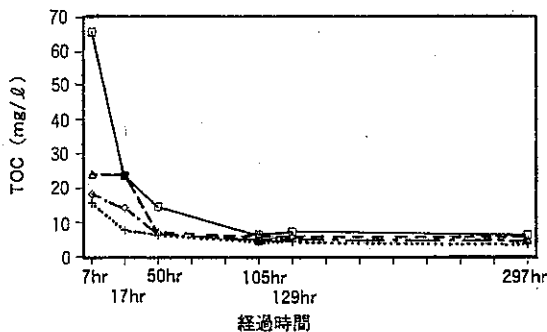
以上のことから、0.15~7mmの粒径の範囲内では、粒径の大きい順に好気性微生物の活動が盛んで水質浄化能力の大きいことがわかった。

6 海浜・干潟の浄化機能を生かした浄化施設の実験例

海浜や干潟の持つ自然の浄化機能を生かした浄化施設を検討した場合、どの程度の浄化効果が得られるのか、小規模な実験装置で簡単な実験を行った。

(1) 実験装置及び内容等

上記5の実験と同じ場所で装置もほぼ同一である。ただし、実験条件は、前段でプランクトン等の懸濁性有機物を貝等の生物に捕食させ、後段の礫槽で残りの有機物を浄化する仕組みにした。生物槽では二枚貝等を、礫槽では上記5の実験結果で最も高い浄化能を示した粒径7mmとさらに粒径の大きい15mmの礫を図16及び表7のように充てんし、CODやTOC等の除去効果を検討した。実験では、原水を約8カ月間連続的に通水した。



(□ 対照 + 葛西人工海浜 ◇ ST.2 △ ST.12)

図15 各海浜部の底泥の微生物によるろ過 TOC の経時変化

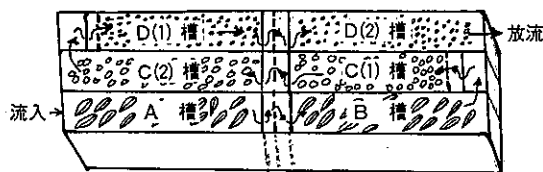


図16 浄化施設検討のための実験装置

(2) 結果及び考察

ア 生物槽での浄化

実験では、ムラサキガイ、カキ等15kgを投入し、通水実験を進めるなかで淘汰され、実験条件に見合った生物量が確保できると考えたが、実験開始から約2カ月後に塩分の急激な低下 (20前後が1.3に低下) によりカキの一部を残し死滅した。そこで、槽内をそのままの状態、低塩分に比較的強いコウロエンカワヒバリを約1kg投入し、通水実験を続けた。その結果、A、B槽でのCODの年間変化 (図17) をみると、貝の弊死した8月下旬から9月下旬、冬期の1~2月を除いて、おおむね流入海水より減少している。しかし、A、B槽内のCODの減少は、底生動物のほか槽内のバクテリアによる分解や沈澱による面も考えられた。そのため、実験終了時の底生動物量から生物によるCOD除去量を試算することにした。6カ月後の実験終了時に、A、B両槽で15種類、2438個体、湿重量 (現存量) 956.49gの底生動物が確認できた。底生動物の生息は、餌の量、塩分濃度、水温、外敵、寿命など様々な要因に支配されるため、どの時点が定常状態なのかを把握するのは難しい面もある

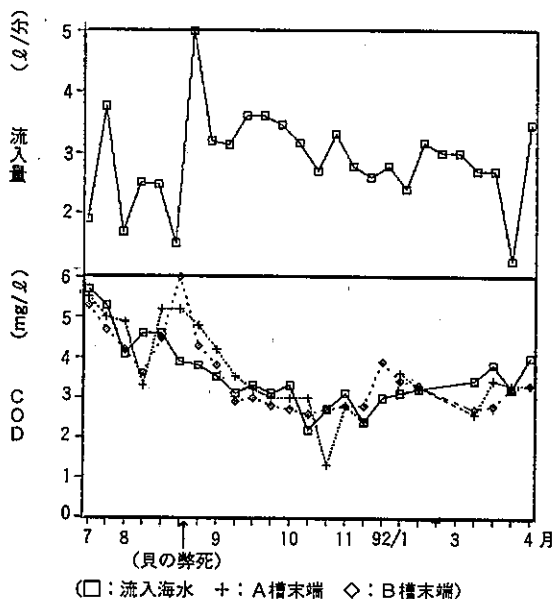


図17 A, B槽におけるCODの年間変化

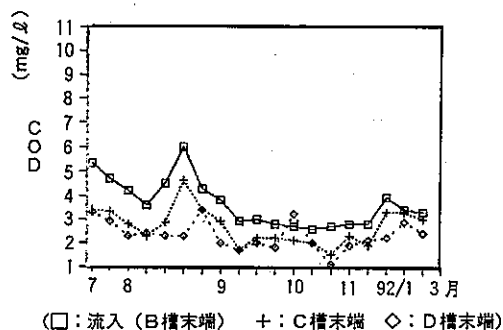


図18 C, D槽におけるCOD年間変化

が、実験終了時点での底生動物によるCOD浄化量を^{2,4)}既報の方法(事前に投入したカキとコロエンカワヒバリについては、現存量と文献5のCOD摂餌速度を参考に除去COD量を求めた)で試算すると、A, B両槽で半年間に259g(1㎡当たり159g)、1日当たり1.4gとなる。この量は、1日当たりの流入COD量の約10%に相当する。一方、水質面からの実験終了時のA, B槽でのCOD除去率は12%であった。即ち、12%の除去率のうち、10%が底生動物、残り2%がバクテリアや槽内の沈澱等により除去されると推定された。

底生動物の生息は、様々な要因に支配されるため、あらかじめ一定の浄化率が求められる浄化システムの構成

要因としては難しい面もあるが、施設の規模を大きくし、環境の変化に対する緩衝能力を大きくしたならば、浄化構成要因として一定の効果が得られると考えられる。

イ 礫槽での浄化

A, B槽を通過後、COD(図18)はC槽、D槽で急速に減少しており、年度平均でC槽19%、D槽末端までで26%削減されている。しかし、浄化に貢献する礫間の生物膜は、水温の影響を受ける。そこで、水温が大きく異なる夏期(7, 8月)と冬期(12~2月)のCODの変化をみると、夏期は、Cで30%、D槽末端で40%、冬期ではCで20%、D末端で35%の削減率を示した。単位当たりのCOD削減量をみると、C槽では礫1㎡(礫の厚さ25cmの場合)当たり夏期で5.2g/日、冬期で2.1g/日、同じくD槽1㎡当たり夏期1.7g/日、冬期で1.8g/日となり、C槽では冬期は夏期の3/5に浄化能が低下している。なお、D槽では逆に夏期の浄化能が低い、これは夏期に生物膜による礫間の閉塞が発生し、礫の浄化機能が十分働かなかつたことによる。

礫による浄化で最大の課題は、砂泥や生物膜による礫間の閉塞である。D槽で夏期に槽内のばっ気を停止した結果、10日間で礫間の閉塞が生じた。片面ばっ気をした8ヵ月間の実験期間中でも2回礫間の汚泥を引き抜く必要があった。したがって、今後、礫槽の全面ばっ気による生物膜等による閉塞の防止、はく離した生物膜等の沈澱池での回収を進めれば、浄化効率さらには高まると考えられる。

T-Nについては、5の実験結果と同様、目立った改善はみられなかった。そこで、C, D槽のばっ気を停止し、嫌気状態にすることにより脱窒を期待したが、T-Nの減少は認められなかった。なお、Nは、C槽以降90%以上がNO_x-Nと、硝化は充分進んでいることから、Nの削減されない原因として、①槽内のDOが低下しない ②水素供与体の不足が考えられたが、充分検討するまでには至らなかった。また、大腸菌群数の変化では、A槽で上昇するものの、その後は減少しており、C, D槽での浄化傾向は5の実験結果とはほぼ一致している。

7 まとめ

これまでの調査結果をまとめると次のとおりである。

(1) 海浜部では、沖合部に比べてCODで0.3~1.4mg/l低く、海浜部での水質浄化が現象面からおおむね確認

された。

(2) 底生動物の生息状況をみると、①種類数では、盤洲干潟が80~95種と最も多く、順に葛西人工海浜、三番瀬干潟、稲毛・検見川人工海浜であり、稲毛・検見川人工海浜では33~34種と少ない。②生息環境では、底質の強熱減量2%前後で、干潮時には一部が露出する水深4m付近までの海浜部が適しているようである。

(3) 底生動物による除去有機物量は、葛西人工海浜で119g/m²、稲毛・検見川人工海浜で103g/m²三番瀬干潟で337g/m²、盤洲干潟で366g/m²となり、人工海浜は、自然干潟の約1/3の浄化能を示している。この値を各海浜(干潟)の面積から試算すると、年間にして葛西人工海浜で38t、稲毛・検見川人工海浜で52t、三番瀬干潟で4050t、盤洲干潟で4400tの有機物が底生動物により除去されている。

(4) 砂泥中の微生物による浄化能をろ過水のTOC分解速度でみると、葛西人工海浜>三番瀬干潟 ST.2>三番瀬沖合 ST.12の順であり、好氣的な葛西人工海浜や三番瀬 ST.2の砂泥が、嫌氣的でシルトや粘土分を多く含む三番瀬 ST.12の砂泥よりも高い値を示した。

(5) 底質の砂礫の粒径による浄化能は、中央粒径0.15~7mmの範囲内では、粒径の大きい順にCODの除去能が高かった。この理由として、粒径の大きい砂は間隙も多く透水係数が大きいため、効率のよい好気性微生物の活動がおお盛となり、高い浄化能を示すと考えられる。

(6) 自然の浄化機能を生かした浄化施設の実験例では、底生動物による浄化効果はみられるが、環境の変化を受けやすいという不安定な面がある。礫槽のCでは礫1m²(礫の厚さ25cmの場合)当たり夏期で5.2g/日、冬期で2.1g/日、同じくD槽1m²当たり夏期1.7g/日、冬

期で1.8g/日の浄化能を示したが、D槽では夏期に生物膜による礫間の閉塞が起り、浄化能が低下した。大腸菌群数についても、礫槽を通過することにより減少した。

以上の結果から、人工海浜は自然干潟と比べて、底生動物の種類数等が少なく、年間底生動物により海浜(干潟)から除去される有機物量は、自然干潟の約1/3であった。しかし、人工海浜の利点は海浜の基質(砂等)を選んで造成できることである。人工海浜の造成を水質浄化という視点からとらえた場合、砂と礫を組み合わせた水深4m付近までの海浜・干潟の造成、投入する砂礫中のシルトや粘土分の低減化、ムラサキガイ等の付着する岩場の整備により、多種多様な底生動物や好気性微生物等を豊かに生息させていくことが今後重要となる。

なお、調査を進めるに当たり、千葉県水産部をはじめ金田漁業協同組合、船橋漁業協同組合、都港湾局及び水質監視課晴海分室担当者らの多大な協力を得た。厚く感謝する。

参考文献

- 1) 三好康彦ら：人工海浜の浄化能力について、東京都環境科学研究所年報1990, p.120-125
- 2) 木村賢史ら：人工海浜の浄化能力について(2)、東京都環境科学研究所年報1991, p.141-150.
- 3) 三好康彦ら：人工海浜の浄化能力について(3)、東京都環境科学研究所年報1991-2, p.117-123.
- 4) 赤澤 豊ら：人工海浜の浄化能力について(4)、東京都環境科学研究所年報1991-2, p.124-134.
- 5) 環境庁：汀線変化環境影響評価調査報告書(昭和56年3月), p.167-175.
- 6) 運輸省：東京湾自浄能力調査報告書(昭和55年3月), p.119-121.

The Purification Ability of Artificial Tidal Flat

Kenshi Kimura, Yasuhiko Miyoshi, Teruyuki Shimazu
Ryouko Konno, Yutaka Akazawa * and Naoko Ohshima**

* Part-time researcher, **Sibaura Institute of Technology

(Abstract)

The purification ability of artificial tidal flat at KASAI, INAGE • KEMIGAWA and natural tidal flat at SANBANSE, BANZU in the period of 1988-1991 has been investigated.

Following results were obtained.

- (1) COD values of sea water on the surface of the tidal flat were lower than those on the off-shore. It was caused by the purification ability of the tidal flat.
- (2) A large number of macrobenthos were living in the sandy mud of about 2% at ignition loss and in the water of 4m depth.
- (3) A species of macrobenthos living in the man-made tidal flat are fewer than those of the natural tidal flat. Organic matters purified by macrobenthos were 119g • m⁻² at KASAI, 103g • m⁻² at INAGE • KEMIGAWA, 337g • m⁻² at SANBANSE and 366g • m⁻² at BANZU for a year. The purification ability of the man-made tidal flat was about 1/3 of the natural tidal flat.
- (4) The purification rate of TOC by bacteria in the aerobic sandy mud of KASAI and SANBANSE ST.2 was larger than the anaerobic sandy mud of SANBANSE ST.12 including silt and clay.
- (5) In the purification experiments used by the gravel with its particle size between 0.15-7mm, the purification of COD was increasing in proportion to the size of particles.