

(35) 海水礫間接触法における濾過食性動物による浄化

PURIFICATION OF COASTAL WATER BY FILTER FEEDER USING THE GRAVEL CONTACT METHOD

福永和久*・芳我幸雄**・尾島啓介***・坂田守生*

Kazuhisa FUKUNAGA*・Yukio HAGA**・Keisuke OJIMA***・Morio SAKATA*

ABSTRACT: As a method of improving water quality in enclosed coastal seas, the gravel contact method is highlighted. Recently, this method has been applied to the purification of river water, still more the study of coastal water treatment by the gravel contact method is going to be at an early stage. To compare with river water treatment, coastal water treatment is extremely difficult because of existence of attached organism and filter feeder. Although these filter feeders have an adverse affect on the apparatus, they can also be expected to have an effect on purification. In this paper, the purification rate was calculated from the pilot plant test data. COD purification rate and oxygen utilization rate were expressed as a function of water depth. And they were compared to total purification rate and total oxygen utilization rate including the effects of microorganisms.

KEYWORDS: Enclosed coastal sea, Filter feeder, Biodeposition, Gravel contact method, Attached organism, Purification rate.

1. 結 言

閉鎖性海域の水質改善策の一つとして、礫間接触酸化法が注目されている。この方法は、自然の浄化作用を応用したもので、礫表面の生物膜中の微生物の摂食作用によって、汚水中の有機物を除去する技術で、下水処理の有効な手段として普及してきたものである。最近では、河川水の浄化方法としても、適用が進み実施例¹⁾が報告されている。

しかし、低汚濁の海水については、最近になりようやく研究が開始された状況である。小田ら²⁾は、大阪港の実海水を用いた水槽実験により、礫間生物膜の基本的な浄化特性を明らかにしている。又、田澤ら³⁾も実海水を利用した連続通水実験により、礫間接触酸化法により捕捉されるSS量や、圧力損失等を調査している。又、赤井ら⁴⁾は、礫間接触酸化法とは若干異なるが、潮位変化のある水域に礫や捨石で築堤した透過性の堤体を設置し、潮位差により出入りする往復流を利用した海域の直接浄化についても研究している。

このように、閉鎖性水域の大量・低濃度の汚濁海水を浄化する方法として、礫間接触酸化法や透過性礫堤の様な礫を利用した浄化方法は、非常に有効と考えられる。しかし、実施適用の進む河川浄化との大きな違いは、フジツボやゴカイ・ムササキガイ等の海洋付着生物の存在であり、その扱いである。

これら海洋大型付着生物は、礫間の詰まりや配管・機器類への付着等、悪影響をもたらす一方で、濾過食性動物としての浄化効果はかなり期待できるものであり、微生物同様、海水礫間接触酸化法の浄化に寄与している。一般に、濾過食性動物は、海水を濾過し、海水中的の餌を濾し取って摂餌し、糞として排出する、あ

* 新日本製鐵(株)技術開発本部 (Technical Development Bureau, Nippon Steel Corp.)

** (株)東京久栄 技術センター (Tokyo Kyuei Co., Ltd. Technical Center)

*** 新日本製鐵(株)堺製鐵所 (Sakai Works, Nippon Steel Corp.)

るいは、食べられないものは糞で濃し分け、直ちに粘液で固めて凝糞として排出する機能を持つもので、Biodeposition⁵⁾と呼ばれる懸濁物の沈殿作用によって、浄化を図ることができる。

汙過食性動物の汙水量や排泄量については、近年研究が行なわれつつあるが、主流は、水産分野での養殖環境の適正化を狙ったものである。例えば、荒川ら⁶⁾のカキ養殖場におけるマガキやムラサキガイのBiodepositionの研究や、梶原ら⁷⁾のシロボヤの生長に関する研究、楠木⁸⁾によるマガキの汙過水量の研究がある。本論文では、海水礫間接触法において、汙過食性動物による浄化がどの程度なされ、微生物も含めた全体の浄化の中で、どの程度寄与しているのか調査することを目的に、汙過食性動物による浄化量を陸上に設置した礫間接触酸化テストプラントと海域柱状カラムに付着した生物の固体数・生息密度の水深方向分布から算出し、微生物による浄化効果との比較を行った。

2. 実験及び調査方法

2. 1 実験装置と実験方法

実験は、下記2つのテストプラントにより行った。

(1) 礫間接触酸化テストプラント

テストプラントは、1 m巾×3 m長×1.2 m高の鋼板製水槽の内部に粒径50～150 mmの礫を築堤したものである。実験は、Fig. 1に示す様に、実海域の汚濁海水をポンプアップし、連続通水することにより行った。海水を取水するための水中ポンプは、浮きに固定し、海域水位が変動しても、常に水面以下0.5 mの位置から取水できる様にしている。取水した生海水は、原水貯槽内に散水供給される際、DOが高められ、ほぼDO飽和状態で、礫間接触酸化水槽に送られる。従って、礫間接触酸化水槽内は特に曝気していない。又、水槽は、光合成による藻類の増殖を抑制するため、暗条件にした。又、生物や汚泥のサンプリング・観察のため、入側・中央・出側の3箇所・壁側20 cm巾に、テストモジュール（金網かご：0.2 m巾×0.5 m長×1.2 m高×6ヶ）を設置した。

(2) 海域柱状カラム

海域テストは、1 m×1 m×5 m高のSUS製金網(22 mm目)を張ったカラムの中に粒径50～150 mmの礫を充填したものを用いた。このカラムを、礫の上部がHWLになる様に実海域内に吊り下げた。カラム内の礫に付着した汙過食性動物の観察やサンプリングは、大型レッカーでカラムを吊り上げることににより行った。

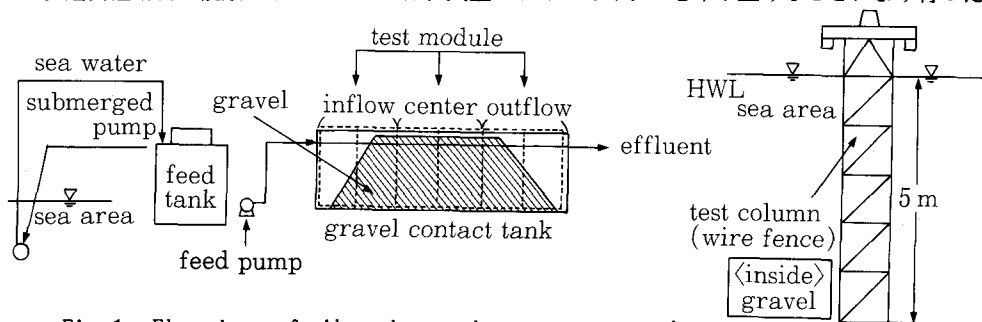


Fig. 1 Flow sheet of pilot plant and sea area test column

2. 2 実験及び調査項目

(1) 実験期間

平成3年8月にテストプラントを据付け、平成3年9月より通水、実験を開始した。通水後、平成4年5月までの9ヶ月間は、水槽内HRT（水学的滞留時間）を2時間に固定し、微生物及び大型生物の付着期間とした。平成4年6月には、微生物や大型付着生物がかなり繁殖し、礫表面を覆うようになった。その後、平成4年の6月から8月にかけて、HRTを2～3週間ごとに、2・1.5・1.0・0.5時間に順次変化さ

せ、テストを行った。水質分析は、各テスト期間に数回行い、その平均値を代表値とした。尚、付着生物の目視観察・坪刈り調査は平成4年8月に実施した。

(2) 礫間接触酸化槽のCOD浄化速度係数

実験は、水槽内HRTを変化させ、連続通水時の原水と処理水の水質を測定した。

今回の対象となる海水は、原水COD濃度が低く、その分解過程を一次反応式⁹⁾で仮定した。

即ち、下記(1)式により、COD浄化速度係数 μ_{COD} (1/hr)を算出した。

$$\mu_{\text{COD}}(1/\text{hr}) = \frac{1}{t1} \ln \left(\frac{C_{\text{COD}}}{C_{\text{COD}t}} \right) \dots\dots (1)$$

ここに、 $t1$ はHRT(hr)、 C_{COD} は原水COD濃度(mg/ℓ)、 $C_{\text{COD}t}$ は処理水COD濃度(mg/ℓ)である。

(3) 礫間接触酸化槽内汚泥のDO消費速度

DO消費速度 μ_{DO} (1/hr)の測定は、水槽入側と出側の任意に選んだ25cm×25cm枠内の礫表面上の汚泥(微生物及び浮遊食性動物混合汚泥)をサンプリングし、海水で3倍に希釈後、下水試験方法¹⁰⁾にもとずき、強制エアレーション後のDO値の経時変化から、下記(2)式により算出した。

$$\mu_{\text{DO}}(1/\text{hr}) = \frac{1}{t2} \ln \left(\frac{C_{\text{DO}}}{C_{\text{DO}t}} \right) \dots\dots (2)$$

ここに、 $t2$ は、DO減少経過時間(hr)、 C_{DO} は、初期DO濃度(mg/ℓ)、 $C_{\text{DO}t}$ は、最終DO濃度(mg/ℓ)である。尚、測定時のMLVSSについても測定をおこなった。

(4) 柱状カラム内汚泥のDO消費速度

柱状カラムについては、柱状カラムを海域より引き上げ、高さ1m間隔に、25cm×25cmの枠内の礫表面上の汚泥(微生物及び浮遊食性動物混合汚泥)をサンプリングし、上記(3)同様、下水試験方法にもとずき、強制エアレーション後のDO値の経時変化から、(2)式により、カラム鉛直方向別DO消費速度を算出した。

(5) 柱状カラム設置位置での環境測定

柱状カラム設置位置での海域環境測定として、水深1m、2m、3m、5mにおいて、照度、水温、DO、COD、塩分濃度を測定した。尚、測定は、海洋環境調査法¹¹⁾にもとずき行った。

(6) 付着生物の目視観察

海域柱状カラム及び礫間接触水槽について、付着生物の目視観察を行った。海域柱状カラムは、レッカーにて空中に引き上げ、高さ1m間隔に、金網上と内部礫上に付着する生物の種類・種類別被度を目視観察した。又、陸上礫間接触水槽については、事前に入側・中央・出側の3箇所に設置したテストモジュールを引き上げ、柱状カラムと同様、金網上と内部礫上に付着する生物の種類・種類別被度を目視観察した。

(7) 付着生物の坪刈り調査

海域柱状カラム及び礫間接触水槽について、付着生物の坪刈り調査を行った。海域柱状カラムは、垂直1m間隔5ヶ所(0.75~1m, 1.75~2m, 2.75~3m, 3.75~4m, 4.75~5m)において、金網上と内部の礫表面で25cm×25cmの坪刈りを行い、1mm目の篩を通過しない全ての動植物について、種の同定、計数、湿重量の測定を行った。又、代表的な浮遊食性動物については、最大で30個体までの大きさ及び重量を測定した。礫間接触水槽の入側・中央・出側のテストモジュールについても、同様の坪刈り調査を行った。

3. 実験結果

3.1 礫間接触酸化槽のCOD浄化速度係数とDO消費速度

HRT 1Hrの時の、原水COD濃度 C_{COD} が5.6mg/ℓ、処理水COD濃度 $C_{\text{COD}t}$ が1.8mg/ℓであった。この数値を(1)式に入れると、COD浄化速度係数 μ_{COD} は、1.14(1/hr)となる。

Table 1は、流入部と流出部の呼吸速度測定結果とDO消費速度を示したものである。DO消費速度は、COD濃度により大きく変化することがわかる。この2つのデータから指数回帰により、近似式を求めるに

は、問題があるが、ここでは、大略の値を求める目的で、DO消費速度の減衰を $\mu_{DO} = a C_{COD}^b$ と仮定し、指数回帰により、定数 a 、 b を求めた結果が(3)式である。

$$\mu_{DO}(C_{COD}) = 0.53 C_{COD}^{1.78} (1/hr) \dots\dots (3)$$

3. 2 COD浄化速度係数とDO消費速度の水深補正式

Table2は、柱状カラムの各水深別にサンプリングした汚泥の呼吸速度測定結果とDO消費速度を示したものである。水深1m以上においては、水深方向に対する減衰を考慮し、2m, 3m, 4mの値から指数回帰により、求めた式が(4)式である。

$$\mu_{DO}(C_{COD}, h) = 0.595 C_{COD}^{1.78} h^{-0.411} (1/hr) (h \geq 1 m) \dots\dots (4)$$

水深1mの位置では、生物量MLVSSが大きな値を示しながら、 μ_{DO} の値は小さな値となっている。そこで、水深1m以下においては、MLVSS値を正として、水深2mの μ_{DO} 値を用い、 μ_{DO} 一定と仮定した。従って、この1m付近では、不連続な曲線となる。Fig. 2は、実測データと回帰式を比較したものである。

Table 1 Measurement result of DO consumption rate in pilot plant

	C O D (mg/ℓ)	C _{DO} (mg/ℓ)	C _{DO,t} (mg/ℓ)	t 2 (sec)	μ _{DO} (1/hr)
inflow	5.6	6.0	3.5	170	11.414
outflow	1.8	6.0	4.6	633	1.511

Table 2 Measurement result of DO consumption rate in sea area test column

	C _{DO} (mg/ℓ)	C _{DO,t} (mg/ℓ)	t 2 (sec)	μ _{DO} (1/hr)	μ _{DO} /μ _{max}
1 m	6.1	5.5	206	1.809	—
2 m	6.0	3.0	133	18.762 μ _{max}	1.0
3 m	4.8	2.5	155	15.151	0.808
4 m	6.0	3.5	186	10.432	0.556

トータルのDO消費量は、(4)式に、初期DO値と対象となる柱状カラム比表面積(カラム全表面積÷625cm²)を乗じることにより求められる。

COD浄化速度係数についても、DO消費速度同様の水深補正式が成立すると仮定し、陸上礫間接触酸化テストプラントで得られたCOD浄化速度係数から、水深補正式を算出すると、(5)式になる。

$$\mu_{COD}(h) = 1.26 h^{-0.411} (1/hr) (h \geq 1 m) \dots\dots (5)$$

トータルのCOD浄化量については、この(5)式に、初期COD値を乗じることにより求められる。

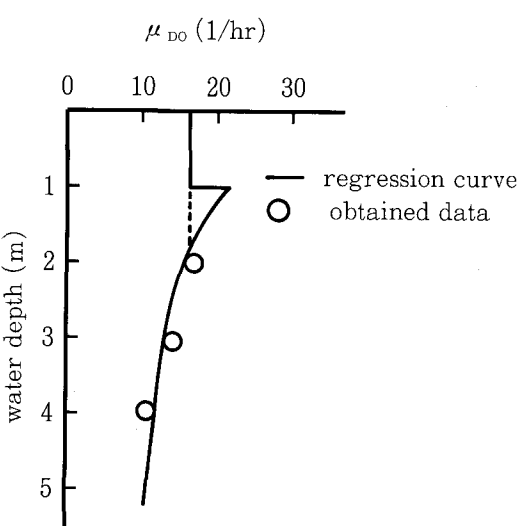


Fig. 2 DO consumption rate and water depth

3. 3 付着生物相・被度及び坪狩り調査結果

Table3は、柱状カラム設置位置での環境測定結果である。COD濃度は、表層部の方が高い値を示している。逆に塩分濃度は、表層部の方が低い値となっている。これは、本閉鎖水域への河川水の流入の影響と思われる。又、照度は、水深が深くなるに従い、急激に小さくなっている。水温・DOについては、水深方向に大きな差はなかった。この様な一つ一つの環境項目の変化が、柱状カラムの生物相や被度に大きく影響している。

Table4は、目視観察による陸上礫間接触水槽テストモジュールと、海域柱状カラムに付着した生物相と被度を示したものである。又、各々について、更に礫上と金網上に付着した生物を分類している。

Table5は、坪刈り調査結果である。又、Table6は、動物個体別の計測結果を整理したものである。まず、柱状カラムについてみると、礫上の生物付着量は金網上と比較すると明らかに少ない。これは、付着生物の着生・成長には、ある程度の流れが必要なため、柱状カラムが海中に浸漬された状態では、水の流れが金網の中にある礫まで進出しにくく水の動きの良い金網上の方が有利であることによるものと思われる。出現した汙過食性動物としては、環形動物の定在目・軟体動物の二枚貝綱節足動物のヨーロッパフジツボ、原索動物の単体ホヤ類等がみられた。特に、二枚貝綱のムラサキガイの占める割合が高く、鉛直的には、水深2～3mの位置に集中してみられた。

陸上礫間接触テストモジュール内には、ホトトギスガイ、コウロエンカワヒバリガイ、ムラサキガイ等の二枚貝類が特に多くみられた。テストモジュール内の付着生物量は入口側が中央部や出口側と比較して非常に多かった。これは、付着生物の幼生を含んだ海水が礫の内部に入るに従って、海水の乱流が整えられ幼生の着生に必要な適度な乱れ¹²⁾がなくなってしまうことと、COD濃度・DO濃度の減少によるものと考えられる。

海域柱状カラムと礫間接触テストモジュールの付着生物相にも違いがみられた。礫間接触テストモジュールにみられて、柱状カラムにみられなかったものは、ホトトギスガイ等である。逆に、海域柱状カラムにみられて、礫間接触テストモジュールにみられなかったものは、フジツボ類、礫上のマガキ等であった。これらの違いは、ポンプで汲み上げられた海水が常に礫の間を浸透していき、一定の水位が保たれている陸上礫間接触水槽と、海域に浸漬され、潮汐によって海面が上下するだけで、強制的に海水が礫の間に送りこまれることのない柱状カラムの基質の環境条件の違いによって生じたものと考えられる。

4. 汙過食性動物による浄化能力

4. 1 汙過食性動物の有機物摂取速度

今回の坪刈り調査で出現した汙過食性動物について、文献調査を行い有機物摂取速度をまとめた。

(1) マガキ

荒川ら⁶⁾は、9～12月に13個の2年生マガキ(殻高5～9cm)を用いて、汙水量を測定し、4.7～101.1ℓ/個体/日というデータを報告している。又、楠木⁶⁾は、10月に平均肉湿重量6.6gのマガキ10個体を直接法により調査し、汙水量1.8ℓ/肉湿重g/時(11.7ℓ/個体/時)、捕捉率40～50%と報告している。

今回、柱状カラムでみられたマガキは、1年生であり、文献値とはサイズが異なる。大きさが正確に分かり、単位体重当たりの値になっている楠木の数値を用いて、1年生マガキ(肉食重0.655g)の汙水量を計算すると28.3ℓ/個体/日となる。又、P-CODを2.2mg/ℓ、マガキの汙水時の有機物捕捉率を40%とすると、マガキの有機物摂取速度は、COD換算で25mg/個体/日となる。

(2) イガイ科—ムラサキガイ

イガイ科の中で、今回出現したのは、ムラサキガイとコウロエンカワヒバリガイ・ホトトギスガイである。ムラサキガイの汙食に関する報告は多い。荒川ら⁶⁾は、殻高3～5cm程度のムラサキガイの平均汙水量を測定し、10ℓ/個体/日のデータを報告している。Chappuisら¹³⁾は、殻長6cmのムラサキガイの

Table 3 Water quality and environment in sea area

	Lunimous intensity (Lx)	Water temperature (°C)	DO (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	Salinity (%)
1 m	5,920	26.3	2.5	6.8	2.2
2 m	3,981	26.2	3.1	4.9	2.8
3 m	2,098	24.2	2.8	2.8	3.0
4 m	—	—	—	—	—
5 m	969	23.9	2.9	2.1	3.0

Table 4 Cover degree of filter feeder

		Pilot plant module			Sea area test column				
		inflow	center	outflow	0~1m	1~2m	2~3m	3~4m	4~5m
Gravel	<i>Haliplanella lineata</i> タテジマイソギンチャク				R				
	ACTINARIA イソギンチャク目	R	R	R					
	ERRANTIA 遊在目					R	R	R	
	Serpulidae カンザシゴカイ科	R	R	R				R	1
	SEDENTARIA 定在目	R	R					1	
	<i>Musculista senhousia</i> ホトトギスガイ	2	R	R					
	<i>Mytilus edulis</i> ムラサキイガイ	R	R	R		1	1	1	R
	<i>Limnoperna fortunei kikuchii</i> コウロエンカワヒバリガイ	R	R	R	R	R	R		
	<i>Crassostrea gigas</i> マガキ				R~1	3			
	<i>Balanus amphitrite</i> タテジマフジツボ				R				
	<i>Balanus improvisus</i> ヨーロッパフジツボ				R	1			
	<i>Hemigrapsus penicillatus</i> ケフサイソガニ				R				
Wire fence	ACTINARIA イソギンチャク目						1	1	1
	Serpulidae カンザシゴカイ科							1	1
	SEDENTARIA 定在目							1	1~2
	<i>Bugula neritina</i> フサコケムシ							R	R
	<i>Crepidula onyx</i> シメノウナギ							R	R
	<i>Mytilus edulis</i> ムラサキイガイ	1				4~5	2~5	R~2	R
	<i>Limnoperna fortunei kikuchii</i> コウロエンカワヒバリガイ	1				R	R		
	<i>Crassostrea gigas</i> マガキ	R			R~1	3			
	<i>Balanus amphitrite</i> <i>amphitrite</i> タテジマフジツボ				R				
	<i>Balanus improvisus</i> ヨーロッパフジツボ				R	1			
	<i>Ciona intestinalis</i> ユウレイボヤ			R					
	<i>Styela plicata</i> シロボヤ							R	R

※) cover degree

5 : 81~100%	4 : 61~ 80%	3 : 41~ 60%	2 : 21~ 40%	1 : 5~ 20%	R : ~4%
-------------	-------------	-------------	-------------	------------	---------

Table 5 Population numbers of filter feeder

		Sea area test column										Pilot plant model u			
		1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	inflow		center		outflow				
		Weight numbers (wet)	Weight numbers (wet)	Weight numbers (wet)	Weight numbers (wet)	Weight numbers (wet)	Weight numbers (wet)	Weight numbers (wet)	Weight numbers (wet)	Weight numbers (wet)	Weight numbers (wet)	Weight numbers (wet)			
POLYCHAETA	Spionidae														
		1	0.00	5	0.02	19	0.08								
	Polydora sp.														
	Cirrifomia tentaculata														
	Capitellidae									1	0.06				
	Capitella capitata									20	0.14				
	Terebellidae														
	Terebella sp.														
	Terebellidae														
	Terebellidae														
Sabellidae															
Serpulidae															
	<u>Protyphloides elegans</u>														
	<u>Hydroids ezoensis</u>														
	Serpulidae														

Unit) Population numbers : inds./25cm×25cm

※ 1mの坪狩り位置は、0.75~1m. 以下同様。2mは1.75~2m, 3mは2.75~3m, 4mは3.75~4m, 5mは4.75~5mの位置で坪狩りしている。

Weight (wet) : g/25cm×25cm

Table 6 Measurement result of filter feeder

		Crassostrea gigas マガキ						Mytilus edulis (2m) ムラサキガイ					
		shell length (mm)	shell height (mm)	shell weight (g)	wet flesh weight (g)	dry flesh weight (g)	shell length (mm)	shell height (mm)	shell weight (g)	wet flesh weight (g)	dry flesh weight (g)		
Sampling numbers	n	24	24	24	24	24	30	30	30	30	30		
Standard deviation	Su	4.62	7.43	0.519	0.406	0.084	1.91	3.33	0.082	0.086	0.015		
$1.96 \times S_u / \sqrt{n}$		1.85	2.97	0.208	0.163	0.034	0.69	1.19	0.029	0.031	0.005		
Average $\bar{x}$		19.43	26.20	0.857	0.655	0.130	9.99	16.33	0.160	0.145	0.025		

		Mytilus edulis (inflow) ムラサキガイ						Musculista senhousia (inflow) ホトトギスガイ					
		shell length (mm)	shell height (mm)	shell weight (g)	wet flesh weight (g)	dry flesh weight (g)	shell length (mm)	shell height (mm)	shell weight (g)	wet flesh weight (g)	dry flesh weight (g)		
Sampling numbers	n	24	24	24	24	24	30	30	30	30	30		
Standard deviation	Su	2.71	4.70	0.065	0.042	0.021	1.02	2.47	0.062	0.080	0.014		
$1.96 \times S_u / \sqrt{n}$		1.09	1.88	0.026	0.017	0.008	0.37	0.89	0.022	0.029	0.005		
Average $\bar{x}$		6.55	11.00	0.057	0.039	0.010	8.67	17.50	0.142	0.182	0.028		

		Limnoperna fortunei kikuchii (2m) コウロエンカンフヒバリガイ						Capitella capitata		Terebella sp.		Terebellidae フサゴカイ科		Serpulidae カンザシガイ科	
		shell length (mm)	shell height (mm)	shell weight (g)	wet flesh weight (g)	dry flesh weight (g)	body length (mm)	body length (mm)	wet weight (g)	body length (mm)	wet weight (g)	body length (mm)	wet weight (g)	body length (mm)	wet weight (g)
Sampling numbers	n	30	30	30	30	30	7	3	3	4	4	8	8	8	8
Standard deviation	Su	1.89	3.98	0.114	0.075	0.015									
$1.96 \times S_u / \sqrt{n}$		0.68	1.43	0.041	0.027	0.005									
Average $\bar{x}$		8.56	16.47	0.219	0.149	0.023	7.47	22.00	0.113	18.35	0.083	20.49	0.016	20.49	0.016

平均濾水量として、30ml/湿重g/時の値を報告している。又、細川ら¹⁴⁾は、殻長30～55mmのムラサキガイについて、濾水量が80～210ml/個体/時、有機物摂取速度が、COD換算で、5～22μg/個体/分であったと報告している。

ここでは、COD換算の有機物摂取速度で示されている細川の値を用いる。但し、報告例のムラサキガイのサイズは、坪刈りサンプルよりも大きいため、Hughesの報告しているムラサキガイの殻長と鰓面積との関係¹³⁾を用いて補正した。Hughesの調査結果によれば、細川らの報告例にあるムラサキガイ殻長の中

中央値43mmのものの鰓面積が約20cm²なのに対し、坪刈りサンプルの殻長10mmのものの鰓面積が1cm²である。

従って、細川らの報告する有機物摂取速度5~22μg/個体/分の中央値13.5μg/個体/分に1/20を掛け、1日分の有機物摂取速度を計算すると、COD換算で、1mg/個体/日になる。

(3) イガイ科-コウロエンカワヒバリガイ

コウロエンカワヒバリガイについては、報告例がないため、ムラサキイガイの数値で代表させる。

(4) イガイ科-ホトトギスガイ

細川ら¹⁴⁾は、ホトトギスガイの有機物摂取速度として、COD換算で、2.1~2.2μg/個体/分としている。今回は、この中央値2.15μg/個体/分の値を用い、1日あたりの有機物摂取速度に換算し、3.1mg/個体/日を用いる。

(5) 原索動物門尾索綱単体ホヤ

荒川ら⁸⁾は、全長10~26mmのシロボヤの平均汙水量として、70ℓ/個体/日であったと報告している。出現した単体ホヤの大きさは変動が大きいため、シロボヤの数値を単位重量当たりの値に変換して用いた。荒川らが汙水量の測定に用いたシロボヤの全長が20mm前後である。梶原⁷⁾が報告しているシロボヤの体長と体重の関係を用いて、このサンプルの湿重量を推測すると、約3g程度と考えられる。そこで、荒川らの報告値を単位重量当たりの数値に直すと、23.3ℓ/g湿重量/日となる。いま、P-CODを2.2mg/ℓ、シロボヤの汙水時の有機物捕捉率を50%とすると、シロボヤの有機物摂取速度は、COD換算で26mg/g湿重量/日となる。

(6) フジツボ科-ヨーロッパフジツボ

フジツボは、採取する時に壊れてしまうため、坪刈りサンプル中のヨーロッパフジツボの大きさは測定していない。湿重量は7個体で0.03g(1個体平均4.3mg)であった。

細川ら¹⁴⁾は、イワフジツボのCODに対する摂取速度として、0.1~0.2μg/個体/分の値を報告している。ヨーロッパフジツボについては、報告例がなく、このイワフジツボの値を用いる。但し、ヨーロッパフジツボの方がかなり大きいため、イワフジツボの数値の中央値0.15μg/個体/分を4倍し、0.6μg/個体/分とした。この値を1日分に換算すると、ヨーロッパフジツボの有機物摂取速度は、COD換算で0.86mg/個体/日となる。

(7) 多毛綱定在目

Terebella sp.・フサゴカイ科・カンザシゴカイ科等の多毛綱定在目については、有機物摂取速度に関する報告がみあたらず、今回出現した数もそれほど多くなかったため、浄化効果の予測には、考慮しなかった。

4. 2 汙過食性動物の酸素消費速度

汙過食性動物の酸素消費速度を報告した例は少ない。日本水産資源保護協会¹⁵⁾によれば、マガキの酸素消費速度を $1.98 \times 10^{-8} \times e^{0.0693t}$ (g/sec/肉湿重g, tは水温℃)で表している。夏季水温を25℃とすると、マガキの酸素消費速度は、0.403mg/内湿重g/時間となる。Shumwayら¹⁶⁾は、定在目ケヤリ科について0.147mg/肉湿重g/時間の酸素消費速度値を報告している。又、西原ら¹⁷⁾は、遊在目イソゴカイについて、0.2~0.3mg/肉湿重g/時間の酸素消費速度値を報告している。これらの報告データは、非常に似通った数値であった。従って、今回は高い方の数値である0.4mg/肉湿重g/時間を、代表的な汙過食性動物の酸素消費速度値として用いる。

4. 3 汙過食性動物による有機物除去量

Table 7, 8は、4. 1で調査した汙過食性動物1個当たりの有機物摂取速度に、坪刈り調査で得られた個体数を掛け合わせ、汙過食性動物によるCOD浄化効果を試算したものである。Table 7は、海域柱状カラムにおける結果を、Table 8は、陸上礫間接触プラントにおける結果を整理したものである。

Table 7 Organic matter consumption rate by filter feeder (sea area test column)

		Test column				
		1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
MOLLUSCA PELECYPODA 軟体動物門二枚貝綱						
Mytilidae イガイ科 (<i>Mytilus edulis</i> , <i>Limnoperna fortunei</i> <i>kikuchii</i>)	Population numbers (Population numbers/m ²)	176	85,216	12,688	80	16
	Organic matter consumption rate (mg/m ² /日)	176	85,216	12,688	80	16
Crassostrea gigas マガキ	Population numbers (Population numbers/m ²)	384				
	Organic matter consumption rate (mg/m ² /日)	9,600				
ARTHROPODA CRUSTACEA Balanidae 節足動物門甲殻綱フジツボ科	Population numbers (Population numbers/m ²)		112			
	Organic matter consumption rate (mg/m ² /日)		96			
PROTOCHORDATA ASCIDIACEA simple ascidians 原索動物門尾索綱単体海鞘	Weight(wet) (g/m ²)			19.20	248.00	22.08
	Organic matter consumption rate (mg/m ² /日)			499	6,448	574
Total	Organic matter consumption rate (mg/m ² /日)	9,776	85,312	13,187	6,528	590

Table 8 Organic matter consumption rate by filter feeder (pilot plant module)

		Pilot plant module		
		inflow	center	outflow
MOLLUSCA PELECYPODA 軟体動物門二枚貝綱				
Musculista senhousia ホトトギスガイ	Population numbers (Population numbers/m ²)	88,866	2,163	385
	Organic matter consumption rate (mg/m ² /日)	275,485	6,705	1,194
Mytilidae イガイ科 (<i>Mytilus edulis</i> , <i>Limnoperna fortunei</i> <i>kikuchii</i> etc.)	Population numbers (Population numbers/m ²)	30,162	3,276	660
	Organic matter consumption rate (mg/m ² /日)	30,162	3,276	660
PROTOCHORDATA ASCIDIACEA simple ascidians 原索動物門尾索綱単体海鞘	Weight(wet) (g/m ²)	22.27	28.43	2.75
	Organic matter consumption rate (mg/m ² /日)	579	739	72
Total	Organic matter consumption rate (mg/m ² /日)	306,226	10,720	1,926

Table7より水深の違いによる有機物浄化能力の違いが、よくわかる。ムラサキイガイ等のイガイ科が多くみられた2mで最も高い85g/m²/日(COD換算)を示し、同じくイガイ科が多かった3mの13g/m²/日、マガキが多かった1mの10g/m²/日がこれに続いていた。Table8から、礫間接触テストモジュールの流路上の場所の違いによる有機物浄化能力の変化がわかる。ホトトギスガイやその他のイガイ科が多かった入口側は、306g/m²/日(COD換算)で、中央・出口と比較して、圧倒的に高かった。

本調査で坪刈りを行った柱状カラムやテストモジュールは、実験開始後約1年しか経っておらず、実験期間は短い。付着がみられた生物の年齢は、マガキで約1年、ムラサキイガイで7～8ヶ月程度と推定される。

これら付着生物の成長によって、有機物除去能力は、今後更に増大するものと予測され、今後も引き続き、調査を継続していく必要がある。

4. 4 汙過食性動物によるCOD浄化及びDO消費の寄与率

汙過食性動物が、微生物も含めた全体のCOD浄化の中で、どの程度、COD浄化に寄与しているのか、又、微生物も含めた全体のDO消費の中で、どの程度、DO消費に寄与しているのかを調査する。

礫間接触テスト結果 (Table 8) より、テストプラントの入口から、中央・出口部にかけて、有機物摂取量が大きく減少していることがわかる。これは、付着生物の餌となる有機物が入口付近に多く生息する付着生物によって、大部分摂取され、中央・出口部と流下するに従って、有機物量が減り、生物量自体が減少しているものと推察される。この2つのデータから近似式を求めるには、問題があるがここでは、大略の値を求める目的で、有機物浄化量 q_1 がCOD濃度により減衰すると仮定し、Table 8の入口と出口2箇所での有機物浄化量及び Table 1の入口・出口のCOD濃度から、有機物浄化量 q_1 を指数回帰により求めると、(6) 式になる。

$$q_1 (C_{COD}) = 0.14 C_{COD}^{4.47} \text{ (g/m}^3\text{/日)} \cdots \cdots (6)$$

又、少ないデータから近似式を求めるのは問題があるが、大略の値を求める目的で、柱状カラムテスト結果より水深方向に対する有機物浄化量の変化を、水深1.75m (坪刈り2m位置の上端) 前後で、2つの分布関数を設定し、指数回帰により求めた水深補正係数が、(7) 式である。 $h \leq 1.75\text{m}$ の水深補正係数については、1m (測定位置 0.75m) と2m (測定位置 1.75m) の値より、 $h > 1.75\text{m}$ の係数については、2m (測定位置 1.75m) 、3m (測定位置 2.75m) 、4m (測定位置 3.75m) 、5m (測定位置 4.75m) の値より計算した。

$$\left. \begin{aligned} A_1 (h) &= 0.124 h^{3.74} \text{ (} h \leq 1.75\text{m の場合)} \\ A_2 (h) &= 16.5 h^{-4.660} \text{ (} h > 1.75\text{m の場合)} \end{aligned} \right\} (7)$$

汙過食性動物によるCOD浄化量 $q_{COD}(\text{mg/m}^3\text{/日})$ は、COD濃度に関する関数式(6) 式と、水深に関する関数式(7) 式を組み合わせることにより、決定できる。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} q_{COD}(C_{COD}, h) &= q_1(C_{COD}) \cdot A_1(h) = 0.0173 C_{COD}^{4.47} \cdot h^{3.74} \text{ (mg/m}^3\text{/日)} \text{ (} h \leq 1.75\text{m)} \\ q_{COD}(C_{COD}, h) &= q_1(C_{COD}) \cdot A_2(h) = 2.31 C_{COD}^{4.47} \cdot h^{-4.66} \text{ (mg/m}^3\text{/日)} \text{ (} h > 1.75\text{m)} \end{aligned} \right\} (8)$$

DO消費量については、代表的な汙過食性動物の酸素消費速度値として、4. 3に記載した0.4mg/g/時間の値を用い、COD浄化量の算定同様、Table 5の固体数に酸素消費速度値をかけあわせ、COD濃度関数式及び鉛直分布式を導き、これらを組み合わせることで算出した。その結果が(9) 式である。

$$\left. \begin{aligned} q_{DO}(C_{COD}, h) &= 0.0041 C_{COD}^{5.06} \cdot h^{3.13} \text{ (g/m}^3\text{/日)} \text{ (} h \leq 1.75\text{m)} \\ q_{DO}(C_{COD}, h) &= 0.0464 C_{COD}^{5.06} \cdot h^{-5.02} \text{ (g/m}^3\text{/日)} \text{ (} h > 1.75\text{m)} \end{aligned} \right\} (9)$$

Fig. 3は、COD 6mg/lにおける微生物も含めた微生物・汙過食性動物トータルのCOD浄化量の鉛直分布と汙過食性動物だけのCOD浄化量鉛直分布を比較したものである。実線は、陸上礫間接触テストプラントから得られたCOD浄化速度係数と、柱状カラムから得られたDO消費速度より算定した微生物と汙過食性動物トータルのCOD浄化量である。破線は、坪

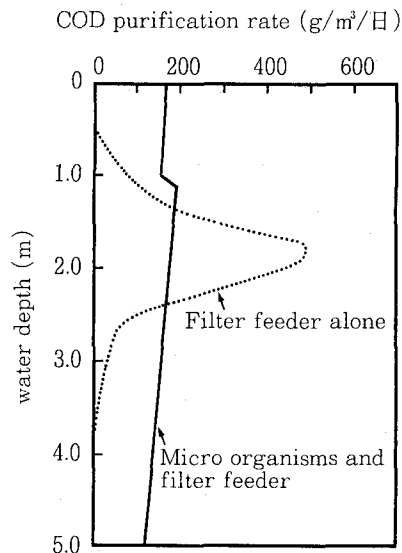


Fig.3 Comparison of COD purification rate by filter feeder and total COD purification rate

刈り調査結果と文献値から求めた汙過食性動物だけのCOD浄化量である。尚、DO消費量については、濾過食性動物だけのDO消費量に比べて、微生物・濾過食性動物トータルのDO消費量は90倍以上になり、非常に大きな値を示した。この結果については、今後更に検討していきたい。Fig. 3に見られる様に、水深1mから3mの間に、COD浄化量は、汙過食性動物の大きなピークが存在する。これは、汙過食性動物が、この付近に集中して分布した結果である。又、微生物の寄与と汙過食性動物との寄与を比べると、数値オーダーとして、大きな差はない。一方、微生物も含めたトータルのCOD浄化量は、緩やかな曲線でほぼ一様に分布している。これは、微生物が水深や光等にそれほど影響せず、鉛直方向に一様に分布しているためである。又、今回水深方向にDOや水温の変化がそれほどないことも要因かと思われる。

5. 結 論

汙過食性動物だけによるCOD浄化量及びDO消費量を、水深をパラメータとする関数式で表現し、微生物も含めたトータルのCOD浄化及びDO消費の鉛直分布と比較を行なった。その結果、COD浄化に関して微生物の寄与と汙過食性動物との寄与を比べると、数値オーダーとして、大きな差はなかった。汙過食性動物については、水深1mから3mの間に、COD浄化量は大きなピークが存在する。一方、微生物も含めたトータルのCOD浄化量はなだらかな曲線でほぼ一様に分布する結果となった。これは、微生物が水深や光等にそれほど影響せず、鉛直方向に一様に分布しているためと考えられる。

〔参考文献〕

- 1) 長内武逸：礫間接触酸化法による河川水の直接浄化，用水と廃水，Vol.32，No8，PP16～25，1990
- 2) 小田一紀・貫上佳則・重松孝昌・大屋博史・網潔之・倉田克彦：礫間生物膜の海水浄化効果と現地へのその応用に関する研究，海岸工学論文集，Vol.39，PP991～995，1992
- 3) 田澤龍三・佐藤弘・清水勝公・榎内孝信・吉ヶ江隆廣・浅見勝：生物汙過能を利用した低汚濁海水の水質浄化（その2），第27回日本水環境学会講演集，PP120～121，1993
- 4) 赤井一昭・上田伸三・和田安彦・上嶋英機：人工環礁（海洋の空）の機能について，海洋開発論文集，Vol.6，PP71～75，1990
- 5) 土屋誠：基質－水界面における底生動物によるBio-depositionと栄養循環，ベントス研連誌，19/20，PP1～19，1980
- 6) 荒川好満・楠木豊・神垣正昭：カキ養殖場における生物源堆積現象（Biodeposition）の研究，貝類雑誌（Venus），30(3)，PP113～128，1971
- 7) 梶原武：シロボヤの生長について，長崎大水産学部研報，No12，PP30～40，1962
- 8) 楠木豊：マガキの汙過水量の測定法について，日水誌，Vol43，No9，PP1069～1077，1977
- 9) 合葉修一・永井史郎：生物化学工学，科学技術社，PP153～192，1975
- 10) 日本下水道協会編，下水試験方法，PP288～289，1985
- 11) 日本海洋学会編，海洋環境調査法，666P，1985
- 12) 例えば、川合英夫編著：流れと生物と－水産海洋学特論－、京都大学学術出版会、410P、1991
- 13) Bayne, B.L., R. J. Thompson & J. Widdows: Physiology 1 in: Marine mussels, their ecology and physiology, PP121～206, Cambridge University Press, London, 1976
- 14) 細川恭史：生物作用を活用した浅海域の浄化手法，ヘドロ，No47，PP10～16，1990
- 15) 日本水産資源保護協会：水生生物生態資料（続），172P，1983
- 16) Shumway, S.E., C. Bogdanowicz and D. Dean: Oxygen consumption and feeding rates of the Sabellid Polychaete, Myxicola in fundibulum (Renier), Com. Biochem. Physiol. 90A, No3, PP425～428, 1988
- 17) 西原康・二宮秀輝・稲森悠平：人工干潟の研究，下水道協会誌，Vol.18，No207，1981