

岸壁付帯式テラス型海岸構造物による ムラサキイガイ由来の汚濁負荷削減効果

REDUCTION OF ORGANIC CARBON LOADED FROM *Mytilus galloprovincialis*
BY NEW TERRACED QUAY WALL

三好順也¹・上月康則²・森正次³・亀田大悟⁴・矢間北斗⁴・倉田健悟⁵・村上仁士⁶
Junya MIYOSHI, Yasunori KOZUKI, Masashi MORI, Daigo KAMEDA, Hokuto YAZAMA,
Kengo KURATA and Hitoshi MURAKAMI

¹学生会員 修(工) 徳島大学大学院 工学研究科エコシステム工学専攻
(〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

²正会員 博(工) 徳島大学大学院助教授 工学研究科エコシステム工学専攻

³正会員 修(工) 日本建設コンサルタント株式会社 (〒105-0004 東京都港区新橋6-17-19)

⁴学生会員 徳島大学大学院 工学研究科エコシステム工学専攻

⁵正会員 博(理) 島根大学助教授 汽水域センター (〒690-8504 島根県松江市西川津町1060)

⁶フェロー 工博 徳島大学大学院教授 工学研究科エコシステム工学専攻

We proposed new terraced quay wall to restore the eutrophic inner bay and placed at the Amagasaki port in Hyogo prefecture, western part of Japan in March 2002. The purpose of this study was to place the horizontal terrace in rich dissolved oxygen layer that would facilitate suspended feeders to consume the suspended organic matter such as feces and pseudofaeces, and falling sessile organisms deposited on it, furthermore deposit feeder and carnivorous animal were expected to consume them. This means that the terrace urges to improvement through material cycle process from suspended solid to sediment. Sessile organisms changed seasonally and the mass of *Mytilus galloprovincialis* fell into the seabed in the summer of the year they adhere on the wall. Depositions derived from *M. galloprovincialis* would consume the dissolved oxygen and promoted the hypoxia. 50-64% of organic carbon loaded from *M. galloprovincialis* was reduced by new terraced quay wall and sessile organisms abounded on that. These results show material cycle originated from suspended matter would be activated by new terraced quay wall.

Key Words : Material cycle, terraced quay wall, *Mytilus galloprovincialis*, sessile organisms

1. 緒論

従来より内湾を囲む構造物の直立壁面にはムラサキイガイ (*Mytilus galloprovincialis*) などの二枚貝類が群体をなして大量に付着しており、貧酸素化する内湾では壁面から脱落する個体が大きな汚濁負荷となっていると指摘されている¹⁾。例えば兵庫県尼崎港ではムラサキイガイの死骸が海底に2m以上もの厚さで堆積しており、明らかに物質循環が滞っていることがわかる。また、ムラサキイガイは大量の糞や擬糞を排泄することが知られており²⁾、円滑な物質循環が行われるように環境を修復しなければならぬ。

具体的には、これらの脱落物や排泄物が食物連鎖の中に組み込まれれば、植物プランクトンを起点とする物質循環が活性化され、健全な生態系へと導か

れると考えられる。著者らはこのような観点から、既設の岸壁などに簡単に付設できる新しいテラス型の海岸構造物を提案し、わが国を代表する富栄養化海域の尼崎港で実証研究³⁾を行なってきた。本研究では海底への汚濁負荷削減効果の視点から、新しい構造物の環境改善機能の評価を行った。

2. 実験プラント概要と調査方法

(1) 調査地

岸壁付帯式の海岸構造物 (以下、実験プラント) を設置した尼崎港は、閉鎖的な海域である大阪湾の最も湾奥部に位置しており、港湾内は直立の岸壁に囲まれている (図-1)。港湾内は大型船による航跡波を除いて静穏であり、また懸濁物が多く、透明度も

低い。夏季には底層から慢性的な貧酸素水塊が発生し⁴⁾、約5ヶ月間以上続く。そのため生物の多様性は劣化しており、極度に偏った生物相が形成されている⁵⁾。

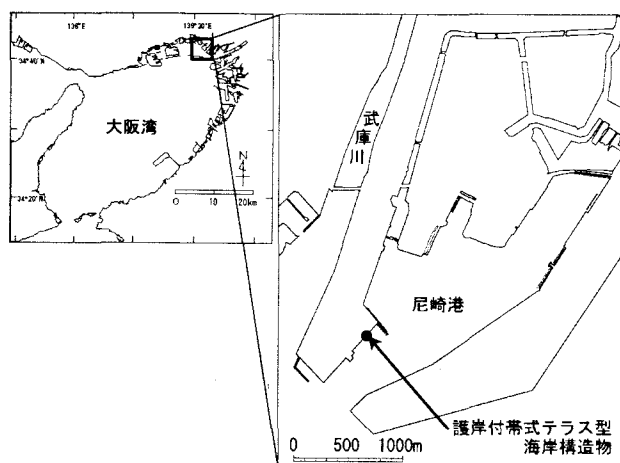


図-1 兵庫県尼崎港

(2) 岸壁付帯式テラス型海岸構造物の概要

実験プラントは既設の直立護岸に付帯する形式で、断面形状はL字型をしており、1基は横幅3.0m、海側に1.5mの大きさを持つ(図-2)。夏季に発生する貧酸素の影響の受けないと思われる高さDL-0.5m, DL-1.0m, DL-1.5mに床をそれぞれ設置し、type A, B, Cとした。なお3種類の構造物の間に生じた50cmの段差には部材を積み重ね連続性を保つようにした。床には底生生物の生息場となるように礫と球状PCを用いた。礫は30~50cm, PCは骨材粒径15~20mmを持つ15cmの球状のものである。部材を敷き詰める厚さは30cm程度とし、表層部に礫、下層部に球状PCを置いた部分とそれらの順を入れ替えた部分の2通りの方法で敷設した。

(3) 調査方法

a) 生物相調査

生物調査は、坪刈り調査、目視観察および水中カメラを用いた撮影観察を行った。坪刈り調査は、

2002年8月, 11月, 2003年2月, 8月に直立護岸の壁面DL+1.0m~D.L.-3.0m間の1m間隔を剥ぎ取り(33×33cm), 採取した。実験プラントは部材の礫とPCを各3個ダイバーにより採取し、PCについては実験室内で破壊し、生物を採取した。礫については表面を剥ぎ取り、生物を採取した。直立護岸および実験プラント海底はコドラート(50×50cm)を用いて堆積物を採取し、1mmメッシュのふるいでふるった後、残存生物を分別した。採取された生物サンプルは分類後、種類の同定を行い、個体数、湿重量を測定した。また直立護岸および実験プラントを対象に目視観察を行い、水中カメラを用いた観察も同様に行った。

b) 脱落生物調査

2002年8月, 2003年8月のそれぞれ1ヶ月間にわたり、直立護岸の海底および実験プラントにそれぞれプラスチックコンテナ(49×33×31cm)を壁面に沿うように設置し、脱落生物を採取した。その後実験室内において4mmメッシュのふるいでふるった後、残存生物を分類し、種類の同定、湿重量と主要生物の個体数を測定した。なお個体の生死については確認できなかったために、死亡して脱落したのか、脱落して死亡したのかについては明らかにできなかった。

3. 結果および考察

1) 付着および脱落生物相

表-1に実験プラントにおける主要生物の重量優占率、図-3に主要生物の優占率と生物分布をそれぞれ示す。なお表-1の陰影部はそれぞれの最優占種を示す。実験プラント床上ではPCと礫との部材間では優占種に明確な違いはなかったものの、季節間では優占種は異なっており個体数の変動も大きかった。同様に直立護岸壁面でも優占種の変化と水深帯によっても生物種が異なり、潮間帯ではアメリカフジツボ(*Balanus eburneus*), コウロエンカワヒバリガイ(*Limnoperna fortunei*), ウスカラシオツガイ(*Petricola*

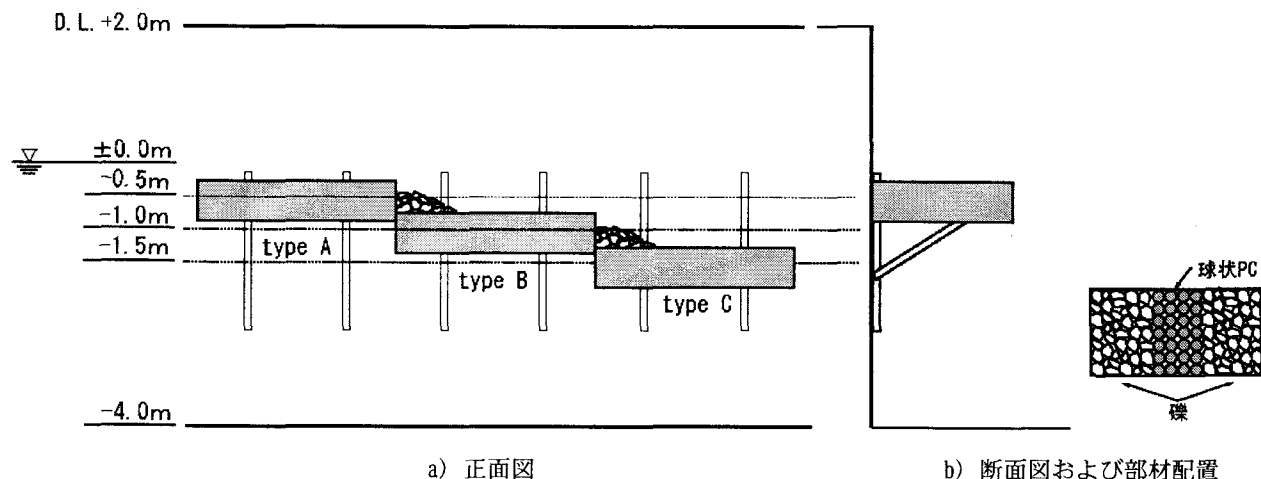


図-2 護岸付帯式テラス型海岸構造物の正面図, 断面図, 部材配置

sp.), 潮間帯の下ではミドリイガイ (*Perna viridis*), ムラサキイガイとなっていた。このような付着生物相の鉛直分布や優占種の大きな変化は東京湾でも観測されており⁶⁾, 内湾の一般的な傾向だと思われる。また実験プラント床上の部材と直立護岸壁面の同水深帯 (DL-0.5~1.5m) の最優占種を比較すると, 2002年8月はウスカラシオツガイ, 11月はミドリイガイ, 2003年8月はムラサキイガイと一致していた。しかし2003年2月には実験プラントの優占種はコウロエンカワヒバリガイであったのに対し, 直立護岸では同種は第2優占種であった。このように, 直立護岸壁面と礫状部材ではその基質は異なるが, 生物相は類似しており, 付着生物相には基質の種類よりも水深に大きく依存することがわかった。

表-2に2002年8月と2003年8月の脱落生物種組成とその重量を示す。両年を通じて直立護岸前面の海底とtype C床上では, ともにムラサキイガイが最も多く脱落していた。特に2002年8月の直立護岸でのムラサキイガイの現存量は小さかったものの, 実際脱落した生物量は他の生物よりも多く, 着定, 成長しても比較的容易に脱落してしまう種であることが示唆される。

表-1 実験プラントの床部材における重量優占率(%)

材料	季節	地点	ヨロツパン フジツボ	ムラサキイ ガイ	ミドリイ ガイ	コウロエン カワヒバリ ガイ	ウスカラ シオツガイ
P C	2002年5月	A	1.0	84.5			
		B	0.9	86.5			
		C	1.0	51.6			
	2002年8月	A	11.6		12.0	7.3	60.4
		B	2.8		7.9	2.3	76.2
		C	2.0		4.8		74.7
	2002年11月	A			75.6	13.6	5.7
		B			81.3	10.5	4.8
		C	0.8		45.5	6.6	25.9
	2003年2月	A				64.8	3.3
		B				33.6	36.9
		C				9.5	8.6
礫	2003年8月	A	64.7	9.5		2.0	
		B	8.9	83.5		0.2	0.2
		C		61.8			0.2
	2002年5月	A	0.8	91.0			
		B	0.8	77.9			
		C	1.5	79.8			
	2002年8月	A	1.1		36.2	21.1	0.5
		B	0.1		19.0	0.3	58.5
		C			2.5		53.9
	2002年11月	A			77.2	5.0	5.4
		B			77.2	12.1	5.1
		C	0.8		47.3	5.0	36.2
	2003年2月	A	0.6	0.3		75.8	3.4
		B		1.5		40.5	28.2
		C				12.5	9.4
	2003年8月	A	5	92.9		0.8	0.2
		B		81.7		4.7	
		C				97.2	

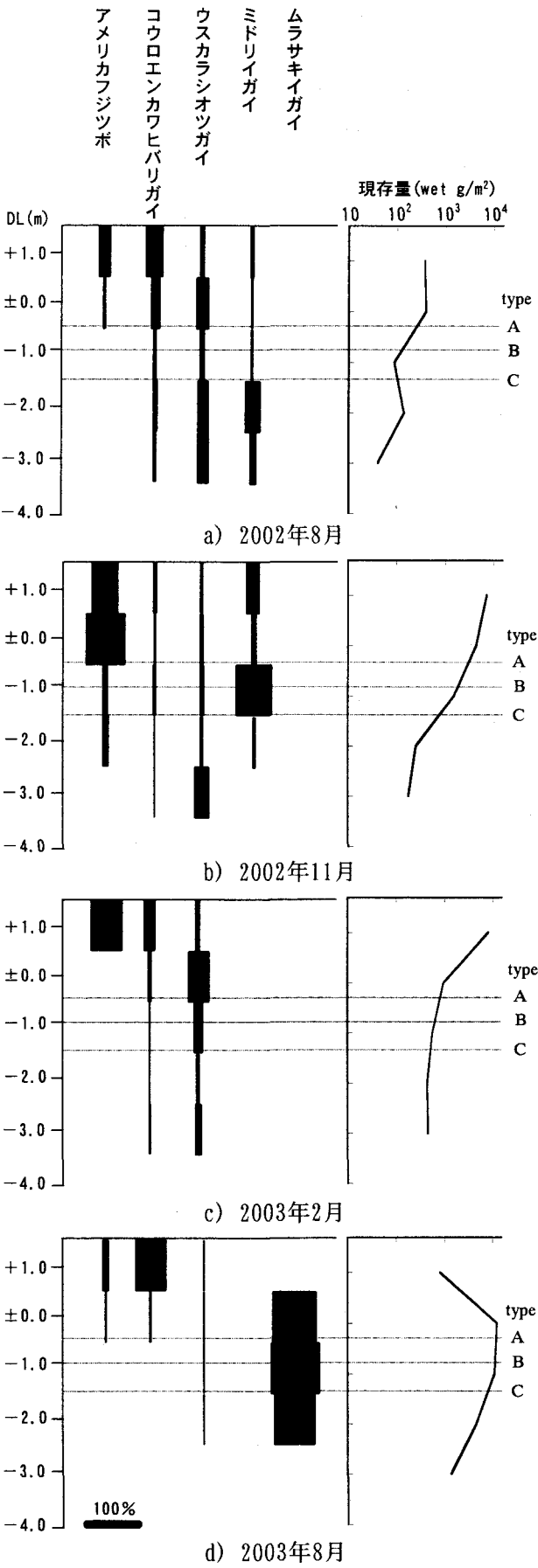


図-3 主要な直立護岸付着生物の優占率鉛直分布

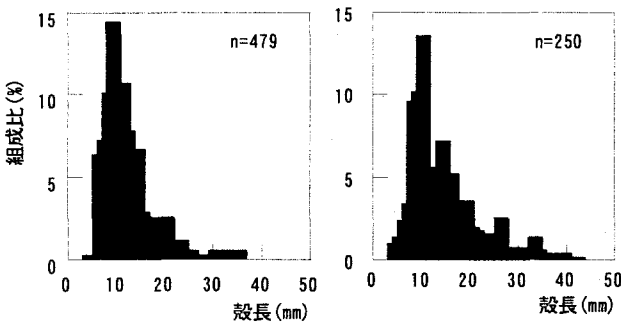
2) 夏季のムラサキガイ死亡、脱落の原因

ムラサキガイは、低酸素時には殻を閉じ、一定の期間外界との交流を完全に遮断するなど、高い無酸素耐性を示すことが知られている。平井ら⁹⁾は0.8ml/l以下の低酸素水中にムラサキガイを投入し、D0が0.5ml/l程度になると急激に酸素消費量が低下、D0が0.1ml/lになると呼吸量が0になったと報告している。このときムラサキガイは7日間から45日間以上生存していた。低酸素状態に加えて水温の影響が加わると、低水温時(10℃)の方が高水温時(20℃)の時よりも、ムラサキガイの生存率は高かった。実際に東京湾におけるムラサキガイは26℃以上でその成長が抑制されるという報告⁷⁾がある。塩分については、洞海湾の湾奥部において塩分20psu前後でムラサキガイがほとんど確認されていない⁸⁾ことなどから、低塩分下での生息は困難なようである。

現地観測から死亡、脱落の原因について、矢持ら¹⁾は夏季の高水温の干出時において体温が上昇し、生じたためと考察している。また、門谷ら⁸⁾は洞海湾におけるムラサキガイの大量死亡は、高水温によって酸素要求量が高まったことが要因であると指摘している。

以上のことからムラサキガイの死亡脱落の要因には、高水温、貧酸素化、低塩分の他に、波浪による攪乱、重量の増加、個体間の競争の激化など複数の要素が影響し、生じるものと考えられる。

尼崎港で2002年8月、2003年8月に脱落したムラサキガイは共に殻長10mm前後の個体を持つ最大殻長も45mm以下の比較的小さい個体であった(図-4)。これらの個体は越冬していないと考えられるサイズで¹⁰⁾、かつ冬季から春季にかけての成長停止線が確認されなかったことから、脱落個体のほとんどは0歳個体であると考えられる。当港でも長期間貧酸素化するが、脱落の原因を明らかにするためには、短期間の脱落生物調査を長期にわたって繰り返しつつ、さらに水温や塩分などの相互影響についても解析する必要があると考える。



a) 2002年8月 b) 2003年8月
図-4 脱落したムラサキガイの体長組成

3) ムラサキガイ由来の有機炭素汚濁負荷

春から夏にかけて優占していたムラサキガイの排泄量および脱落個体の含有炭素量を推算し、実験プラントによる海底への有機炭素負荷削減効果について推測した。二枚貝類は海水中の有機懸濁物を摂餌するため、その水質浄化機能^{11),12)}や生態に関する研究が数多く行われている。これらの既報から摂餌量に関するパラメータと調査結果から得られた数値を表-3にまとめた。なお、潮間帯であるDL+1.0mからDL±0.0mまでの冠水時間は18時間とした。脱落個体の軟体部有機炭素量と体長組成との関係については、図-5のように求めた。

図-6に2002年8月、2003年8月におけるムラサキガイの摂餌量、排泄量、脱落量の推定結果を示す。2002年8月における直立護岸の単位幅壁面に生息するムラサキガイ個体群は有機懸濁物から75.6gC/monthを摂餌し、45.6gC/monthを排泄する一方で、64.0gC/monthの個体が脱落していた。またtype Cよりも浅い(DL-1.5m以浅)水深帯には、ムラサキガイが300個体付着している。これらが摂餌、排泄しているものを床上で受け止めるとし、また脱落量は実測したものをを用いて算出すると、この個体群は55.5gC/monthを摂餌、33.3gC/monthを排泄し、21.8 gC/month脱落していたことがわかる。同様に2003年8月には直立護岸での摂餌量は15,810gC/month、排泄量は9,540 gC/month、脱落量は583gC/monthであった。またtype Cではそれぞれ10,080gC/month、6,089gC/monthとなった。前年の

表-2 脱落生物組成とその重量

		2002年8月		2003年8月
種名/調査地点		直立護岸	type C	直立護岸
		(wet g/m ² /month)	(wet g/m ² /month)	(wet g/m ² /month)
ムラサキガイ	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	846.7	222.5	5883.4
コウロエンカワヒバリガイ	<i>Limnoperna fortunei</i>	86.5	35.0	435.0
フジツボ類	<i>Balanus</i> sp.	76.4	29.6	1309.4
ミドリイガイ	<i>Perna viridis</i>	137.3	37.6	8.5
ウスカラシオツガイ	<i>Petricola</i> sp.	48.2	15.5	12.9
その他	<i>others</i>	207.2	110.7	189.7

表-3 ムラサキイガイの摂餌、排泄に関するパラメータ

		DL+1.0		DL±0.0		DL-1.0		DL-2.0		DL-3.0	
		2002年8月	2003年8月	2002年8月	2003年8月	2002年8月	2003年8月	2002年8月	2003年8月	2002年8月	2003年8月
個体数	(ind./m ²)	200	620	40	13600	60	6400	60	6530	20	140
水温	(°C)	26.3	28.5	26.3	28.1	26.4	27.1	26.4	25.9	26.4	25.7
摂餌量推定式 (mg C/ind./day)		86.4× (0.0000496×L ^{2.72}) ^{0.77} ×Rt×POC (mg/l) , Rt=0.00326×T+1.78 (25<T≤30) ¹³⁾									
炭素同化率 (%)		39.6 ⁸⁾									

結果と比較するとムラサキイガイの個体数が増加したことから海底の方向に発生する有機炭素量は約20倍となった。また2003年8月の調査では、type C床上でのコンテナが流失してしまったために、脱落量を測定できなかったが、排泄量だけを比較してもtype Cを設置すると、直立護岸の64%に相当する量が床上で受け止められていたと考えられる。大阪湾奥部の港湾内でのムラサキイガイの脱落に関する先行研究¹⁾において、夏季に900gC/month脱落することが報告されている。これは本調査で得られた値、583gC/monthと比較するとやや大きい。大阪湾奥部ではこの程度のムラサキイガイが直立護岸から海底に脱落していると思われる。

両年8月のD0の分布を示した図-7から、DL-2.0m以深では貧酸素化しており、海底に負荷されるムラサキイガイ由来の有機炭素は生物に利用されることなく堆積し、さらに環境を悪化させる原因となっている。ここで、排泄量と脱落量を比較すると現存量の少ない2002年には脱落量の方が多かったが、現存量の多い2003年には排泄量の方が脱落量よりも16倍多かった。これまで貧酸素化する内湾では付着生物そのものが脱落することが問題視してきたが、現存量が多くなると摂餌活動していることも問題になることを本結果からわかる。

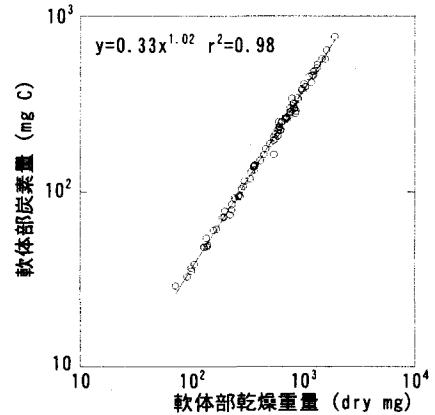


図-5 軟体部乾燥重量と軟体部炭素量の関係

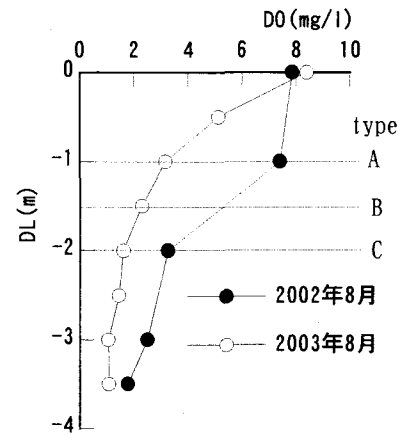
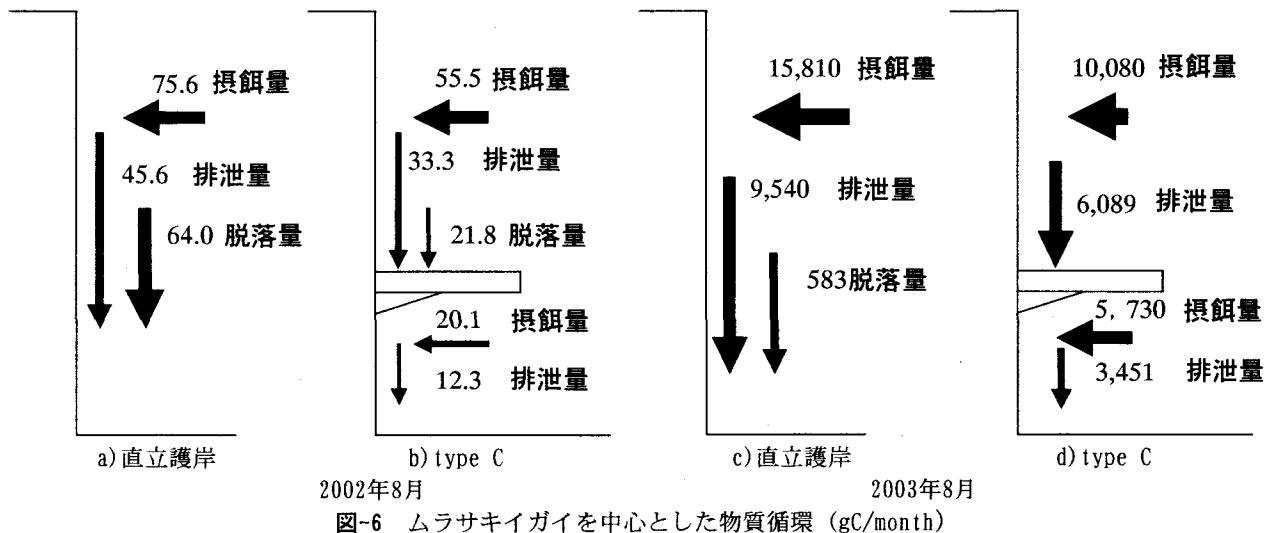


図-7 夏季におけるD0鉛直分布



4) 岸壁付帯式テラス型海岸構造物の環境改善効果

岸壁付帯式テラス型海岸構造物を設けると、前述したように直立護岸に付着するムラサキガイ由来の海底への有機物炭素負荷量を50～64%程度削減できることを述べた。しかし、これらは床上に堆積しており、これが好氣的に分解もしくは生物利用されなければ、懸濁物を起点とする物質循環が活性化させたとはいえない。図-7よりtype Cの床を設置したDL-1.5mのD0は、2002年には5.4mg/l、2003年では2.3mg/lであった。本水域では躍層がDL-1.5m付近にあるために、ここでのD0は不安定であるが、2002年には比較的D0が高く床上の有機炭素は好氣的に分解されていると思われる。

次に堆積物の生物利用については、2002年における直立護岸前面の海底には堆積物を食する堆積物食生物が560ind./m²程度で、死亡したムラサキガイなどを食する肉食生物が348ind./m²程度であった。一方type C床上では堆積物食生物が9,576ind./m²、肉食生物が1,376ind./m²と海底のそれに比較して約12倍も多く生息しており、床上の堆積物は餌として利用され、物質循環は活性化されていると考えられる。

4. 結論

岸壁付帯式テラス型海岸構造物のプラント実験から得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 岸壁付帯式テラス型海岸構造物では直立護岸と同様に一年を通じて二枚貝が優占し、同水深帯においては生物基盤にかかわらず生物相は類似していたが、季節毎に個体数の変動が大きく、その優占種は変化していた。
- 2) 夏季には大量のムラサキガイが脱落し、脱落生物量の大半を占めていた。この脱落個体のほとんどが0歳個体であり、越冬していないものであった。これらの個体は海底の貧酸素化をさらに助長する要因になっていると考えられた。
- 3) 岸壁付帯式テラス型構造物を設置すると護岸壁面から負荷されるムラサキガイ由来の汚濁負荷の50～64%程度を床上で受け止めることが示唆された。またムラサキガイの現存量が多くなると脱落個体よりも排泄物に含有する有機炭素量の方が多くなることがわかった。
- 4) 岸壁付帯式テラス型海岸構造物では、堆積物食生物や肉食生物が直立護岸海底と比較して約12倍多く生息しており、ムラサキガイ由来の有

機炭素が餌として利用され、懸濁物を起点とする物質循環が活性化されていることが示唆された。

謝辞：本研究はエコポート研究会での共同研究および環境省平成13年度環境技術開発等推進事業として財団法人国際エメックスセンターの支援を受けて行われたものである。ここに記して、関係者各位に深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 矢持進, 有山啓之, 日下部啓之, 佐野雅基, 鍋島靖信, 睦谷一馬, 唐沢恒夫: 人工護岸構造物の優占生物が大阪湾沿岸域の富栄養化に及ぼす影響 1. 垂直護岸でのムラサキガイの成長と脱落, 海の研究, 4, pp. 9-18, 1995.
- 2) 栗原康: 海岸と港湾における環境保全のための生態学, 土木学会誌, Vol. 83, 11, pp. 22-28, 1998.
- 3) 上島英機: 閉鎖性海域における環境修復技術の効果検証と最適技術のパッケージ化, 土木学会論文集, No. 741, VII-28, pp. 95-100, 2003.
- 4) 辻野睦, 玉井恭一: 大阪湾の底質環境とメイオベントスの分布, 南西水研研報, No. 29, pp. 87-100, 1996.
- 5) 湯浅一郎, 村上和夫, 高橋暁, 山崎宗広, 田辺弘道: 大阪湾奥部水域における水質環境と底生生物相, 海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム発表論文集, Vol. 1, pp. 139-144, 2002.
- 6) 沼田眞, 風呂田利夫: 東京湾の生物誌, 築地書館, pp. 76-114, 1997.
- 7) 梶原武, 浦吉徳, 伊藤信夫: 東京湾の潮間帯におけるムラサキガイの付着, 成長および死亡について, 水環境学会誌, 44, pp. 949-953, 1978.
- 8) 門谷茂, 小濱剛, 徳永保範, 山田真知子: 富栄養化した水域の生態学的環境修復-北九州市洞海湾を例として-濾過食性二枚貝の生態的特性を利用した海洋環境修復技術の開発, 環境科学学会誌, 11(4), pp. 407-420, 1980.
- 9) 平井明夫, 林智草: 低酸素海水中におけるムラサキガイの酸素消費量と生存日数, 付着生物研究, *Mariae Fouling* 6 (1), pp. 31-34, 1986.
- 10) 細見彬文: ムラサキガイの生態学, 山海堂, p. 137, 1989.
- 11) 運輸省 第二港湾建設局: 東京湾自浄能力調査報告書, p. 195, 1980.
- 12) Flemming Mohlenberg, Hans Ulrik Riisgard: Efficiency of particle retention in 13 species of suspension feeding bivalves, *OPHELIA*, 17(2), pp. 239-246, 1978.
- 13) 磯野良介, 中村義治: 二枚貝による海水濾過量の推定とそれにおよぼす温度影響の種間比較, 水環境学会誌, 第23巻, 第11号, pp. 683-689, 2000.