

第2節 垂直護岸におけるムラサキガイの懸濁態窒素のトラップ機能について

矢持 進・佐野雅基・有山啓之

大阪府下の垂直護岸や消波ブロック護岸にはムラサキガイ (*Mytilus galloprovincialis*) が大量に付着し、その分布量は夏季に軟体部湿重量で約 5500 t と、湾全域のマクロベントス現存量の 1/4 から 1/5 に匹敵することを第3章第2節において報告した。また、ムラサキガイは野外において1個体当たり1時間に 2.5–4.6 l もの海水を濾過し、その中に含まれる懸濁態有機物を餌として摂取することが知られている (Walne, 1972; Vismann, 1990)。これらのことは、府下の垂直護岸や消波ブロック護岸に分布する本種個体群が、護岸前面海域の懸濁態有機物濃度の低下に寄与していることを推察させる。

ムラサキガイについては、我が国の内湾の人工構造物に付着する最優占生物の1種であることや原子力・火力発電所などの冷却水導入管の閉塞を引き起こす汚損生物であることなどから、その出現生態に関する調査・研究が比較的進んでいる (Kajiwara and Oka, 1980; 坂口, 1987; 坂口・梶原, 1988; 細見, 1989)。また、欧米では本種が重要な養殖対象生物であるためか、その生理・生態について精力的な研究が古くから行われている (Dare, 1976; Bayne and Scullard, 1977; Kiorboe and Nohr, 1981; Rosenberg and Loo, 1983; Mallet and Carver, 1989; Ardisson and Bourget, 1991)。しかしながら、本種の個体群動態を海の環境浄化との関連において捉え、ムラサキガイによる渚の浄化機能について考察した調査・研究は比較的少ない。わずかに、堀江 (1987) および細川 (1990; 1991) が、粒状物の生物濾過とそのトラップ効果に基づく貝類の水質浄化作用に着目し、渚でのアサリやムラサキガイなどの濾過作用が東京湾全体の COD 値の改善に及ぼす効果について試算しているが、この場合も貝類の現存量と濾過速度に関するデータを主な生物学的パラメータとして用い、成長・死亡・脱落などの生物生産動態と関連する因子については全く考慮されていない。

そこで、ムラサキガイの成長・死亡・脱落などが護岸周辺環境に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、赤潮発生や底層水の貧酸素化など海域環境の悪化する夏季に護岸近傍において酸素濃度の垂直分布を調べるとともに、本種の窒素濃度を部位別に測定し、その生産と死亡・脱落量について検討した。

方 法

1. 酸素濃度の測定

1990年7月23–25日に図4に示す15定点でDOメータ(長島商事社製ND-10型)を用い、表層から海底まで1m間隔で酸素濃度を測定した。各定点の水深と護岸形状を表3に示す。なお測定は、垂直護岸・消波ブロック護岸並びに石積み護岸それぞれについて護岸から10–30m離れた所で実施した。

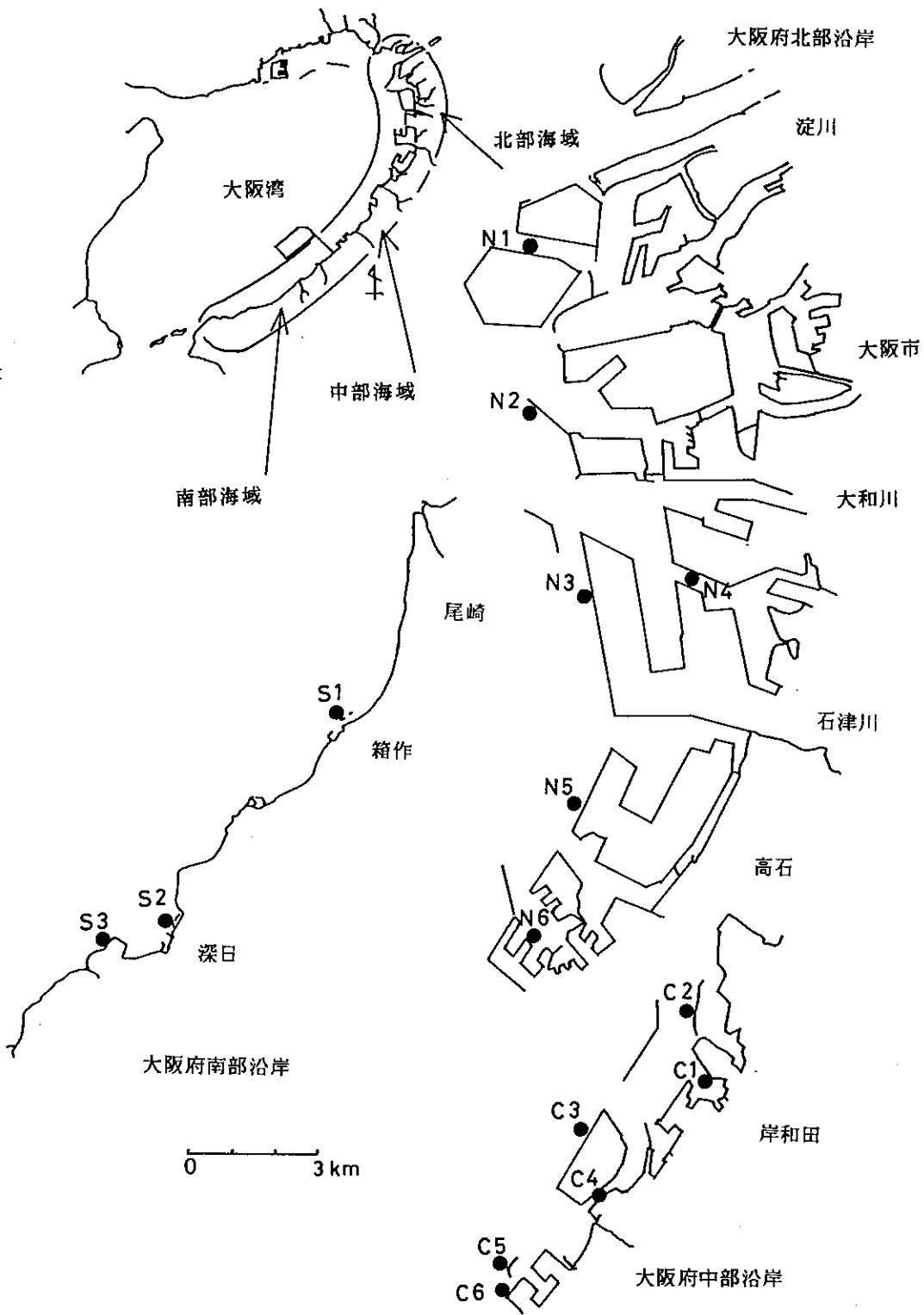


図4 酸素濃度の測定定点

表3 酸素濃度測定定点の海岸形状と水深

海 域	定点名	位 置	海岸形状	水深 (m)
北部海域				
	N 1	大阪 8 区北港南地区北護岸	垂直護岸	11
	N 2	南港南防波堤	垂直護岸	10.5
	N 3	堺第 7 区埋立地西護岸	消波ブロック護岸	5
	N 4	堺第 2 区埋立地南護岸	石積み護岸	5.5
	N 5	泉北 1 区埋立地西護岸	消波ブロック護岸	5.5
	N 6	堺泉北第 5 区汐見埠頭	垂直護岸	6.5
中部海域				
	C 1	岸和田木材泊地	石積み護岸	6
	C 2	阪南港岸和田新西防波堤	垂直護岸	5
	C 3	阪南 4 区埋立地北護岸	消波ブロック護岸	10.5
	C 4	阪南 6 区埋立地南護岸	石積み護岸	6
	C 5	阪南港泉佐野沖防波堤	垂直護岸	8
	C 6	佐野漁港食品港不二製油北護岸	消波ブロック護岸	6.5
南部海域				
	S 1	箱作地先防波堤	消波ブロック護岸	3
	S 2	深日港	石積み護岸	5
	S 3	関西電力多奈川第 2 発電所西護岸	垂直護岸	9.5

2. ムラサキガイの生産と死亡・脱落量

1990年5月から9月にかけての尾崎地先の垂直護岸におけるムラサキガイの生産量と死亡・脱落量については成長量逐次計算法（玉井，1988）に基づき推定した。なお，生産量を求めるに際して，1990年5－9月の期間は日数の経過に伴う個体数の減少と個体重の増加が比較的明瞭であったため，第3章第4節の1とは異なりデータの補正は行わなかった。

3. ムラサキガイの部位別窒素濃度の測定

試験には，1991年5月22日・7月17日および10月2日に大阪府尾崎地先で採取したムラサキガイの0才群と1才群と考えられるものをそれぞれ用いた。供試個体は実験室に持ち帰ったのち，両年齢群ともそれぞれ10－30個体を肉質・生殖腺・足糸・貝殻に分け，湿重量と乾重量（80℃で恒量になるまで乾燥）を測定した。窒素濃度については，肉質・生殖腺・足糸部とも乾燥させた10－30試料のうち6試料を，また貝殻は濃塩酸溶液中に1昼夜浸漬することによりCaCO₃を除去したのち再乾燥させた同じく6試料を各々CHNコーダ（柳本製作所製MT-5型）により分析した。

結 果

1. 酸素の垂直分布

北部海域6点 (Sts. N1-N6), 中部海域6点 (Sts. C1-C6), 南部海域3点 (Sts. S1-S3) の各護岸近傍における酸素濃度の垂直分布を図5 a-cに示す。北部海域では、赤潮発生のため水深0m層の値は135-187%と過飽和であるが、酸素濃度は1-3m層において減少し、海底付近は9-42%と貧酸素化が顕著である。特に、最も湾奥に位置し水深が10m以上のSt. N1では10m層と海底近傍の値がそれぞれ16%, 9%と著しく低い。ただ、5m層の値を用いて北部各点を比較すると、汐見埠頭内に位置するSt. N6が最も低く(23%), その他の定点は33-54%とやや高い飽和度を示した。中部海域においても下層水の貧酸素化は著しく、海底近傍の値(6-27%)は湾奥海域のそれよりむしろ低いくらいである。とりわけ、St. C3では水深3m以深から海底近傍(水深10m層)までが飽和度25%以下と酸欠状態を呈している。また、中部海域ではSt. C2を除き0m層の酸素濃度が著しい過飽和とならず、岸和田木材泊地内のSt. C1や泉佐野沖防波堤前面のSt. C5では各々72%, 80%とやや酸素不足気味であった。湾南部の消波ブロック護岸・石積み護岸ならびに垂直護岸前面海域にそれぞれあたるSt. S1, St. S2, St. S3では著しい貧酸素は認められず、表層から底層まで比較的一様な濃度分布を示した。これらのことは、盛夏に大阪湾の中北部海域の護岸近傍は護岸形状を問わず中層から下層にかけ酸素濃度が著しく低下することを示している。

2. ムラサキガイの夏季における生産量と死亡・脱落量

表4に成長量逐次計算法を用いて求めた1990年5月から9月にかけてのムラサキガイの生産量と死亡・脱落量を示す。夏季および秋季の尾崎地先の垂直護岸ではムラサキガイ個体群は主として0才群(1990年群)と1才群(1989年群)によって構成されることから、0才群と1

表4 1990年5月から9月にかけての大阪府尾崎地先の垂直護岸におけるムラサキガイの生産と死亡・脱落量*

年齢	月日	個体数 (n/m ²)	個体重 (g/mussel)	平均個体数 (n/m ²)	増重量 (g/mussel)	生産量 (g/m ²)	死亡・脱落量 (g/m ²)
0	5月16日	3852	0.015				
	7月17日	3360	0.117	3606	0.102	367.8	32.5
	9月25日	136	1.868	1748	1.751	3060.7	3199.8
	5-9月					3428.5	3232.3
1	5月16日	760	9.418				
	7月17日	686	11.888	723	2.470	1785.8	788.3
	9月25日	156	14.175	421	2.287	962.8	6906.7
	5-9月					2748.6	7695.0

*: 基本水準面(CDL)下0.8m層の値

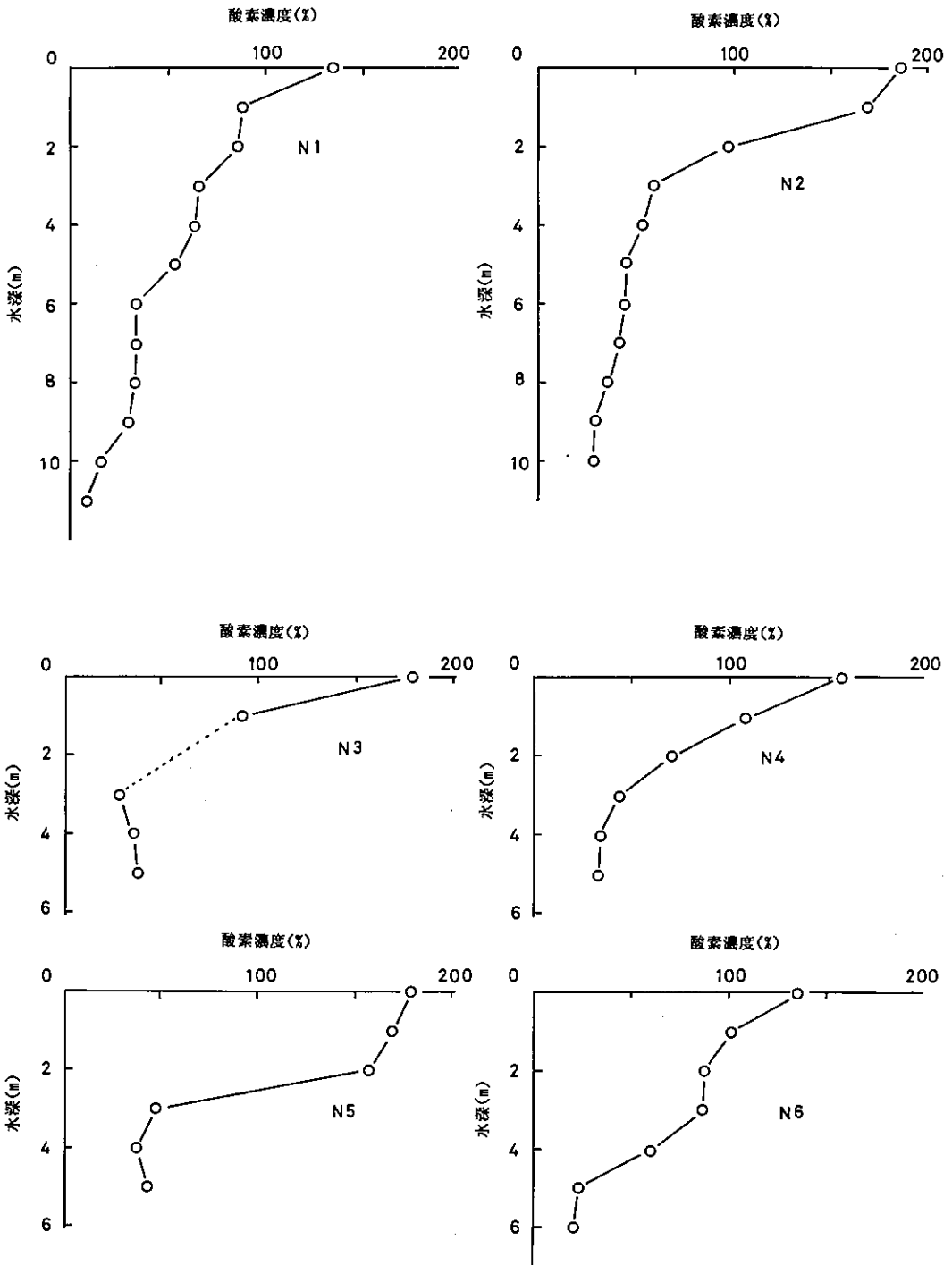


図 5 a 酸素濃度の垂直分布

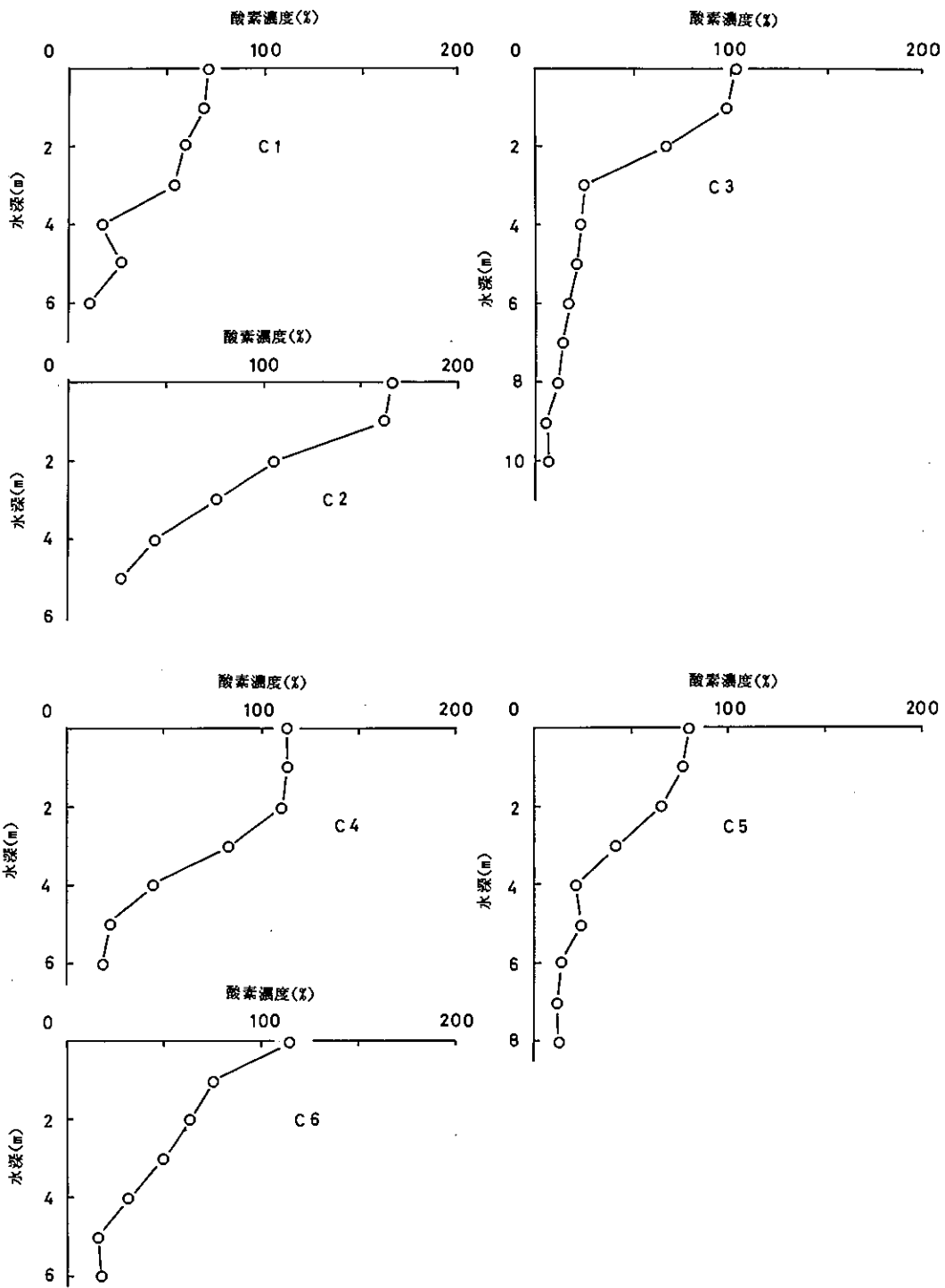


図5b 酸素濃度の垂直分布 (続き)

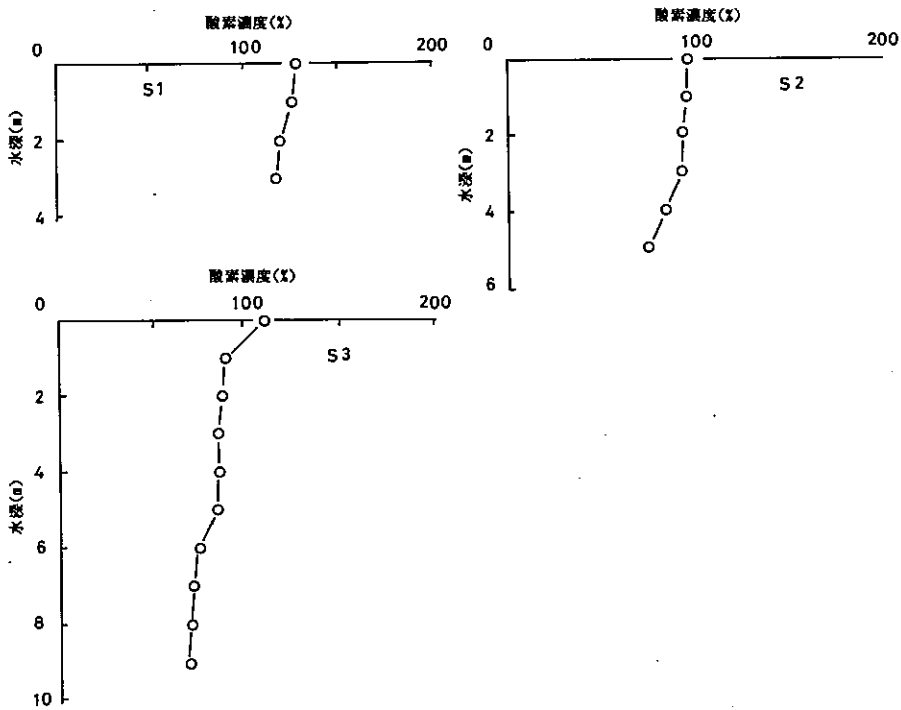


図5c 酸素濃度の垂直分布 (続き)

才群の生産量と死亡・脱落量を求めることによって、ムラサキイガイ個体群全体の生産と死亡の概要を知ることができると考えられる。0才群と1才群の5-9月における生産および死亡・脱落量は、0才群の生産量が 3429 g/m^2 、同死亡・脱落量は 3232 g/m^2 であり、1才群では生産量が 2749 g/m^2 、死亡・脱落量は 7695 g/m^2 となった。このように、0才群については期間中の生産と死亡・脱落量がほぼ同等であるのに対し、1才群では死亡・脱落量が生産量を2.8倍上回る結果が得られた。また、0才群では生産と死亡・脱落とも7月から9月にかけて卓越したが、1才群では生産は5月から7月に高く (1786 g/m^2)、死亡・脱落は7月から9月にかけて著しかった (6907 g/m^2)。

3. ムラサキイガイの部位別の窒素濃度

肉質・生殖腺・足糸および CaCO_3 を除去した貝殻部それぞれの窒素濃度 (乾重1g中の窒素含有量, %) を表5に、ムラサキイガイの総窒素含有量に対するこれら部位別の窒素含有量の割合を図6に示す。0才の個体の平均窒素濃度は、肉質で8.8-9.9%、生殖腺で8.3%、足糸で6.3-12.8%、貝殻で9.1-15.2%を、また1才では肉質が7.8-9.8%、生殖腺が6.1-8.1%、足糸が11.8-12.7%、貝殻が14.2-15.2%の範囲をそれぞれ示し、足糸と貝殻の窒素濃度が比較的高いことがわかった。また0才と1才の濃度を比較すると、5月に0才個体の足糸と貝殻部の値が1才個体より低くなる現象が見られたが、これ以外は両者に著しい差異が認められなかった。

表5 尾崎地先から採取したムラサキイガイの部位別窒素濃度

年齢	採取年月日	殻長 (mm)	個体湿重量 (g)	肉質部	窒素濃度 (%)		
					生殖腺	足糸	貝殻
0才	1991.5.22	13-20 (16.2)	0.18-0.67 (0.35)	9.3-10.3 (9.8)	—	4.6-8.2 (6.3) ^a	8.9-10.0 (9.1) ^b
	7.17	20-27 (22.8)	0.58-1.4 (0.98)	7.8-9.4 (8.8)	—	8.6-12.8 (9.8) ^a	12.6-15.6 (14.6)
	10.2	49-54 (52.0)	7.7-10.1 (8.8)	9.7-10.5 (9.9)	7.6-8.7 (8.3)	11.6-13.4 (12.8)	14.9-15.7 (15.2)
1才	5.22	51-59 (55.0)	9.1-13.3 (11.2)	8.0-9.6 (8.9)	6.6-8.2 (7.3)	10.1-13.7 (11.8)	14.3-15.8 (15.2)
	7.17	66-79 (71.2)	18.7-27.1 (22.7)	7.3-8.3 (7.8)	5.6-6.8 (6.1)	11.0-13.9 (12.7)	12.6-15.1 (14.2)
	10.2	69-79 (76.0)	22.6-29.8 (25.9)	9.4-10.5 (9.8)	7.7-8.7 (8.1)	8.8-13.4 (12.1)	14.1-15.4 (15.0)

*括弧内の値は6サンプルの平均値を示す。また、貝殻の窒素濃度はCaCO₃を除去したものの値

a: 5サンプルの平均値

b: 3サンプルの平均値

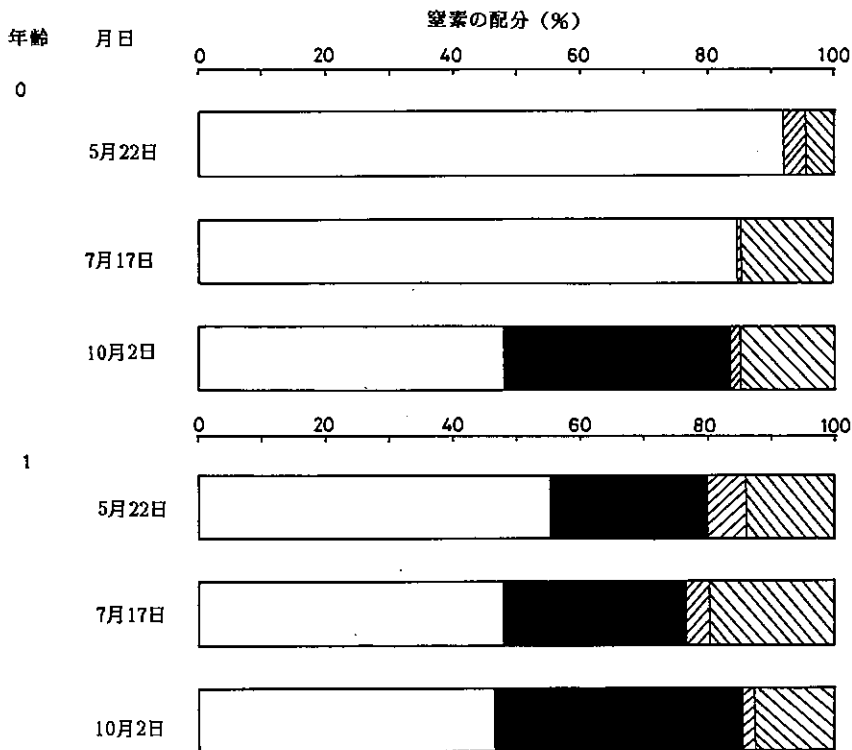


図6 ムラサキイガイの総窒素含量に対する部位別の窒素含量の割合
□: 肉質, ■: 生殖腺, ▨: 足糸, ▩: 貝殻

個体全体に対する各部位の窒素含有量の割合については、肉質と生殖腺を合わせた軟体部の窒素含有量が0才で全体の84-92%、1才では同じく77-86%を占め、全窒素量の3/4以上が軟体部に含まれることがわかった。また、貝殻にも0才が全体の5-15%、1才で13-20%の窒素が含まれているが、これは貝殻部の殻皮や靱帯中の硬蛋白質(コンキオリン)等に起因するものである(Rodhouse, 1984)。なお、足糸については窒素濃度が比較的高いものの、乾重量が1-92mgと僅かなため窒素量の全体に占める割合は1.2-5.7%に過ぎなかった。

考 察

大阪府尾崎地先の垂直護岸に生息するムラサキイガイの現存量は7月から9月にかけて著しく減少し、1989年と1990年9月の基本水準面下0.8m層における湿重量はそれぞれ7月の1/2.3(14.5kg/m²→6.2kg/m²)と1/3.7(9.3kg/m²→2.5kg/m²)に低下した。また、1990年7月と同年12月の大阪府沿岸8地点における本種の現存量を比較したところ、冬季の現存量は死亡・脱落によるためか夏季より明らかに低く、この低下は中部および北部海域において顕著であった(第3章第2節)。梶原ほか(1978)は大阪湾と同じく代表的な富栄養性内湾である東京湾横浜港の潮間帯においてムラサキイガイの付着・成長と死亡について調べ、8月に生物量の低下が起こるが、これは主として前年発生群の死亡に起因し、その外的要因としては日中の干出が深く係わりと報告している。このように東京湾横浜港と大阪湾尾崎地先でのムラサキイガイの夏季から秋季にかけての量的変化には類似の傾向が認められた。この夏季から秋季におけるムラサキイガイの海底への大量脱落は、底層での有機物の分解を引き起こし、護岸近傍での底層環境の悪化を招くことを懸念させる。

そこで、次にムラサキイガイの死亡・脱落について考察した。図7に尾崎地先の垂直護岸での1991年5月16日から9月25日にかけてのムラサキイガイ個体群の窒素収支を示す。この場合、数値はムラサキイガイ分布層(基本水準面下0.8m層)1m²当りの値であり、また、植物プランクトンや非生物的有機懸濁物の摂取による窒素の吸収量、並びに排ふん量や代謝老廃物と分泌物を通じての排せつ量などはRodhouse(1985)に準じて求めた。図から窒素の取り込み量は253.7g N/m²、排ふん量と代謝老廃物量はそれぞれ63.1g N/m²と125.7g N/m²と推定され、窒素に関する同化効率{(成長量+生殖物生産量+呼吸量*)/摂食量×100}は24.9%と計算された。この同化効率は、Rodhouse(1985)によるアイルランドのKillary湾に分布する天然のムラサキイガイについての値(34.2%)と比較的近似している。一方、期間中のムラサキイガイ0才群と1才群を合わせた成長量は34.9g N/m²、生殖腺形成にあてがわれた窒素量は30.0g N/m²と計算され、計64.9g N/m²がムラサキイガイの体内にトラップされたことになる。これに対して、死亡・脱落に伴う窒素の海底への沈積量は108.6g N/m²と、トラップ量の約1.7倍にも達し、このうち、89.6g N/m²(約83%)が易分解性であると考えられる軟体部由来のものであることがわかった。なお、脱落した貝殻や足糸に由来する窒素の沈積量は19.0g N/m²(約17%)

*:呼吸に用いられる窒素は0として計算した。

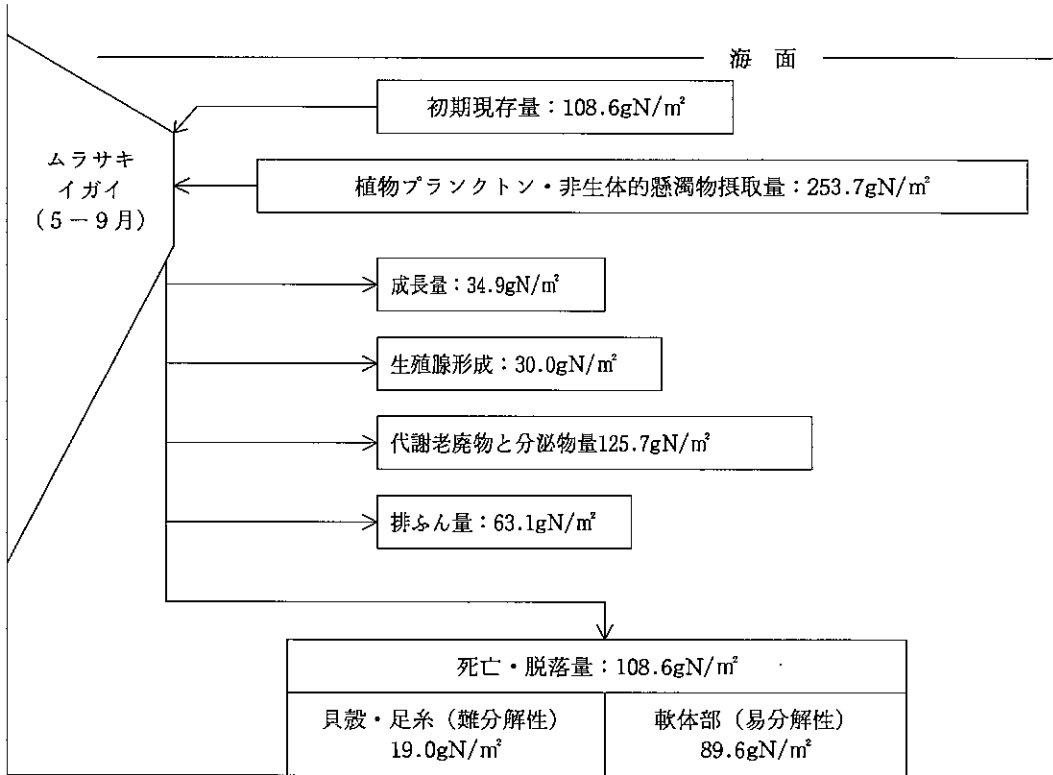


図7 1990年5月から9月にかけての尾崎地先の垂直護岸におけるムラサキイガイ個体群の窒素収支

で、これらはバクテリアなどにより徐々に分解されるものと思われる。ところで、期間中の窒素の沈積量 108.6 g N/m^2 を1日当りに換算すると、 $0.82 \text{ g N/m}^2 \cdot \text{day}$ となる。畑 (1979) は魚類養殖場における窒素の沈降量について調べ、表面積 1 m^2 の水柱あたり、 $0.1-0.2 \text{ g N/m}^2 \cdot \text{day}$ の速度で沈降すると報告している。護岸の垂直断面 1 m^2 と海表面 1 m^2 という差異はあるものの、両者の値を比べると、尾崎地先の垂直護岸でのムラサキイガイによる窒素沈積量は魚類養殖場のそれを4-8倍上回っている。

ところで、Walne (1972) は水温 $20-21^\circ\text{C}$ ・流速 200 ml/min の条件において、殻長 $40-70 \text{ mm}$ のムラサキイガイは平均で $3.51 \text{ l/個体} \cdot \text{h}$ の速度で海水を濾過すると報告している。また、1991年7月と9月に大阪府の渚近傍13定点の水深1および3m層で海水中のSS濃度と懸濁態窒素濃度を測定したところ、それぞれの平均値は 4.1 ppm と 0.18 mg N/l との結果**が得られた。今、1日の冠水時間を18時間と仮定し、上記の海水濾過速度とSS並びに懸濁態窒素濃度を用いると、期間中の尾崎地先の垂直護岸に生息するムラサキイガイ1才群 (大阪湾において夏季の殻長 $40-70 \text{ mm}$ の個体の大部分は1才に該当する) による懸濁物の濾過量は、SSで 19.2 kg/m^2 、窒素で 845 g N/m^2 となる。この値を1日当りに換算すると、SSは $145 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 、窒素で

**：矢持 進 未発表資料による。

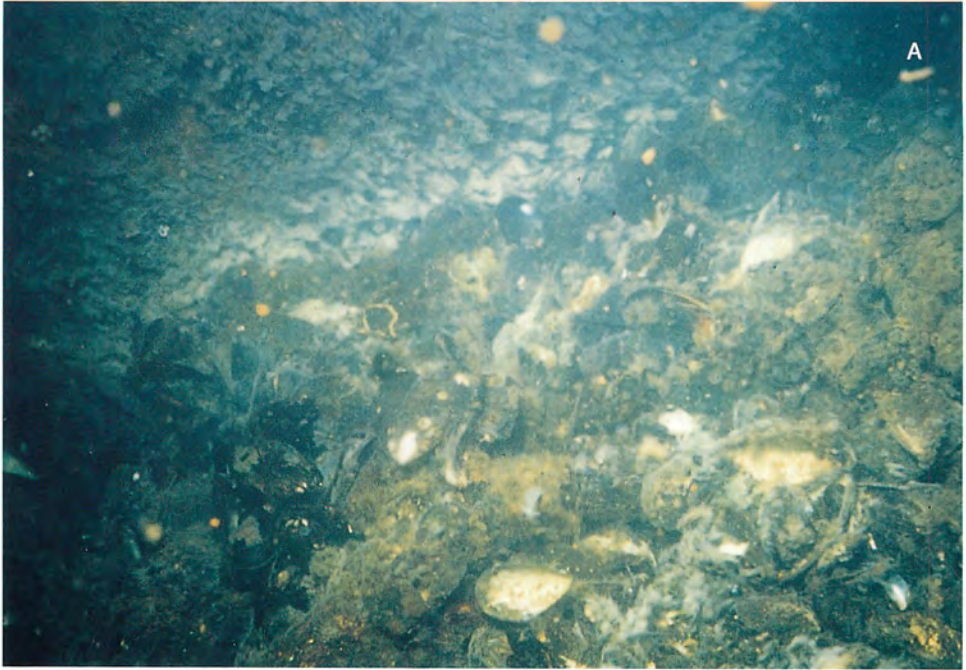


図8 1990年7月23日における大阪北港南地区北側の垂直護岸直近の海底(A)と堺第7区埋立て地西護岸地先のムラサキイガイベッド(B;水深2m層)

6.4 g N/m²・day となり、見かけ上かなりの懸濁物が海水中から除去されるように思われる。しかしながら、1才群のムラサキガイの窒素収支において、体内にトラップされるものは全体の11%に過ぎず、その他は排せつ・排ふんまたは死亡・脱落によって海水中や護岸直下の海底に負荷されることがわかっている。それゆえ、取り込んだSSについてもかなりの部分がふんとして、あるいは個体の死亡・脱落にともない海底に堆積するものと考えられる。以上のことから、富栄養化した内湾の垂直護岸に生息するムラサキガイについては、海中懸濁物の濾過とそのトラップ機能に基づく水質浄化作用よりもむしろ夏季の死亡・脱落・分解により護岸近傍の水質や底質に負の影響を与える動物と考えるべきであろう。

大阪府沿岸の人工護岸には夏季に個体湿重量で約12000 tものムラサキガイが分布し、さらに中北部の護岸近傍の底層は、夏季に貧酸素化が著しく進行する。このような大量のムラサキガイの貧酸素な海底への脱落とその軟体部の腐敗・分解は護岸近傍の海底付近の環境悪化をいっそう助長するものと思われる。図8に示したように、潮間帯にムラサキガイが濃密に分布する大阪北港南地区北側の垂直護岸(St. N1)で1990年7月に潜水観察したところ、海底にはムラサキガイの貝殻が沈積し、貧酸素の影響のためか貝を捕食する生物はほとんど見られなかった。これに対し同時期の堺第7区埋立地西護岸(St. N3)地先のムラサキガイベッド(水深2 m層)ではヒトデが本種を捕食し、また、採取したムラサキガイ群の間隙には小型多毛類が多数混在するのが観察された。これらのことから、ムラサキガイの落下とその後の分解による水質や底質の悪化を軽減し、本種の懸濁態有機物のトラップ機能に基づく水質浄化能を活用するためには、比較的好気的な水深2—3 m層にテラス状の平坦面を有する護岸や緩傾斜護岸を垂直護岸に代えて設置するのが有効かと思われる。このような護岸構造ではムラサキガイから捕食者や小型多毛類への有機物の回転が垂直護岸に比べ円滑で、多少とも生態系としての機能が回復すると期待される。

要 約

大阪府尾崎地先の垂直護岸に分布するムラサキガイ個体群の1990年5月から9月の窒素収支について検討し、本種個体群の死亡・脱落が護岸近傍の水質や底質に及ぼす影響について考察した。

その結果、夏季に成長並びに生殖腺形成などにより体内にトラップされる窒素は64.9 g N/m²であるのに対し、死亡・脱落により海底に沈積する窒素は108.6 g N/m²に達することがわかった。これらのことから夏季の貧酸素化した大阪湾中部および北部海域の護岸からのムラサキガイの落下とその後の分解は、護岸近傍の海底付近の環境悪化をさらに助長する考えられた。

文 献

Ardisson P. L. and E. Bourget (1991) Abundance, growth, and production estimation of the blue mussel *Mytilus edulis* on moored navigation buoys in the estuary and northwestern gulf of St. Lawrence. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48, 2408—2419.

- Bayne B. L. and C. S. Scullard (1977) Rates of nitrogen excretion by species of *Mytilus* (Bivalvia : Mollusca) . J. mar. biol. Ass. U. K. , 57, 355-369.
- Dare P. J. (1976) Settlement, growth, and production of the mussel, *Mytilus edulis* L., in Morecambe Bay, England. Fishery Investigations, 28, 1-25.
- 畑 幸彦 (1979) 底土における自浄作用. 水域の自浄作用と浄化. 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 36-53.
- 細川 恭史 (1990) 生物作用を活用した浅海域の浄化手法. ヘドロ, 47, 10-16.
- 細川 恭史 (1991) 浅海域での生物による水質浄化作用. 沿岸海洋研究ノート, 29, 28-36.
- 細見 彬文 (1989) ムラサキガイの生態学. 山海堂, 東京, 137 pp.
- 堀江 毅 (1987) 海域の物質循環過程のモデル化と浄化効果の予測手法について. 港湾技術研究所報告, 26, 57-123.
- 梶原 武・浦 吉徳・以東 信夫 (1978) 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. 日本水産学会誌, 44, 949-953.
- Kajiwara T. and M. Oka (1980) Seasonal occurrence of marine mussel plantigrades in Tokyo Harbor. Bull. Japan Soc. Sci. Fish. , 46, 145-148.
- Kiorboe T. and F. Mohlenberg and O. Nohr (1981) Effect of suspended bottom material on growth and energetics in *Mytilus edulis*. Mar. Biol. , 61, 283-288.
- Mallet A. L. and C. E. Carver (1989) Growth, mortality, and secondary production in natural population of the blue mussel, *Mytilus edulis*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. , 46, 1154-1159.
- Rodhouse P. G. , C. M. Roden, M. P. Hensey and T. H. Ryan (1984) Resource allocation in *Mytilus edulis* on the shore and in suspended culture. Mar. Biol. , 84, 27-34.
- Rodhouse P. G. , C. M. Roden, M. P. Hensey and T. H. Ryan (1985) Production of mussels, *Mytilus edulis*, in suspended culture and estimates of carbon and nitrogen flow : Killary Harbour, Ireland. J. mar. biol. Ass. U. K. , 65, 55-68.
- Rosenberg R. and L. Loo (1983) Energy-flow in a *Mytilus edulis* culture in western Sweden. Aquaculture, 35, 151-161.
- 坂口 勇 (1987) ムラサキガイの付着生態と対策時期. 電力中央研究所報告, U86029, 1-17.
- 坂口 勇・梶原 武 (1988) ムラサキガイの付着生態. 付着生物研究, 7, 23-29.
- 玉井 恭一 (1988) ベントスの生産量とその推定法. 海洋と生物, 58, 366-369.
- Vismann B. (1990) Field measurements of filtration and respiration rates in *Mytilus edulis* L. An assesment of methods. Sarsia, 75, 213-216.
- Walne P. R. (1972) The influence of current speed, body size and water temperature on the filtration rate of five species of bivalves. J. mar. biol. Ass. U. K. , 52, 345-374.