

砂浜や泥浜に優占する底生生物の底質浄化能力

——ニホンスナモグリとヤマトオサガニ——

矢 持 進*・岡 本 庄 市**・小 田 一 紀***

1. ま え が き

大都市近郊の海では埋め立てや湾港整備などの沿岸開発によって天然の干潟や砂浜が消失し、一般市民が自由に自然と親しめる海辺が少なくなった。干潟や砂浜は海水浄化の場として知られているが（例えば、運輸省第五港湾建設局, 1981）、浅海域は魚介類幼稚仔の保育場としても重要であり、現にクロサギ・メジナ・クロダイなどは大阪湾南部の砕波帯周辺を稚魚期の生息場として利用している（辻野ら, 1995）。しかしながら、1989年に大阪府下について実施した調査では、全海岸の95%がコンクリート性の垂直護岸や消波ブロック護岸などによって占められており、砂浜や岩礁などから成る自然海岸や半自然海岸（環境庁, 1988）は5%ほどしか残っていない（睦谷ら, 1993）。

大阪湾は閉鎖的で富栄養化が進んでいるためか、中北部域の垂直護岸には外来性の二枚貝であるムラサキガイが大量に繁殖し、これが夏季の高水温等によって死亡したのち海底へ落下し腐敗・分解するため、護岸近傍の底質が悪化している（矢持ら, 1995）。また、河合・来田（1994）はバクテリアによる海水浄化を垂直護岸、消波ブロック護岸、砂浜について調べ、透視断面あたりの浄化能力は砂浜が他の二者に比べ優れていると報告した。このように砂浜は親水空間としての役割とともに垂直護岸に比べ高い浄化能力を有し、内湾の環境保全に大きな役割を担うと考えられることから、近年、劣化した沿岸生態系の修復策として都市近郊の海岸において人工海浜などの造成が積極的に行われており、水質と底質の改善効果を把握するための継続的な調査が実施されている。しかしながら、環境諸要素の改善は、多くの場合生物作用が介在した結果を反映したものであるにも係わらず、環境浄化に果たす生物の役割に的を絞った調査・研究は比較的少ない。

そこで本研究においては、底質浄化の担い手である底生生物のうち、メガロベントス（大型底生生物）による

底質改善効果を明らかにすることを目的として、大阪湾南部の海浜の優占動物であるニホンスナモグリとヤマトオサガニを実験的に飼育し、底質中の有機汚濁物質濃度の推移を調べることによって底生生物が底質の浄化に果たす役割について検討した。

2. 実験方法

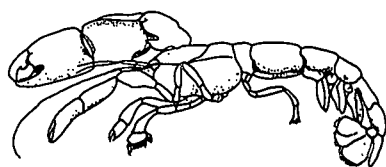
2.1 供試生物と砂・泥の採取

ニホンスナモグリ (*Callinassa japonica*) は北海道から九州までの内湾の砂地に穴居する体長約60 mmの甲殻類で（図-1）、大阪湾南部の砂浜では41-3109個体/m²の生息密度で分布し（有山ら, 1993）、その潜砂行動により底質が攪拌されると言われている（岡田, 1965）。また、ヤマトオサガニ (*Macrophthalmus japonicus*) は短尾類スナガニ科に属する甲幅40 mm程度のカニで（図-2）、我が国各地の内湾や河口の潮間帯に生息し、潮が満ち引きする時間帯に底土表面に堆積した有機物を摂餌する特性がある（酒井, 1976）。

大阪府阪南市の砂浜において1994年7月22日に砂とニホンスナモグリを、また同泉南郡岬町の泥浜で1995年5月18日と8月25日に泥とヤマトオサガニをそれぞれ採取した。ニホンスナモグリとヤマトオサガニは実験開始まで流水式水槽で飼育し、また妨害生物の駆除のため実験に先立ち砂は8日間、泥はゴミや小石を除去したのち1週間以上冷凍処理した。

2.2 実験装置

実験にはアクリル水槽（60×30×36 cm）2組に現場の砂または泥を7-10 cmの厚さで敷いたものを使用し、潮間帯での潮の干満を真似て、ニホンスナモグリの場合は



10 mm

図-1 ニホンスナモグリ（新日本動物図鑑より）

* 農博 大阪府立水産試験場
 ** 国際航業(株)
 *** 正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科

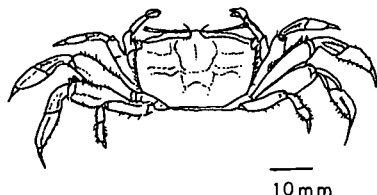


図-2 ヤマトオサガニ (日本産蟹類より)

濾過海水 10 l, またヤマトオサガニでは同 3 l をそれぞれ弱く通気しながら 1 日 2 回, ローラポンプを用いて換水した。実験に際して, 1 組の水槽には試験水槽として底生生物を 20 個体 (ニホンスナモグリ) か 10 個体 (ヤマトオサガニ) 入れ, 残り 1 組には対照水槽として底生生物を入れなかったが, 両水槽とも有機物負荷として稚エビ用配合飼料を 1-3 g/日 (有機炭素に換算すると 0.29-0.88 gC/日) 添加した。実験期間は 30 日間, 温度は 23.8-27.7°C で, 1-6 日ごとに水槽内の 9 カ所からテフロンチューブか塩化ビニールチューブを用いて 5 cm 深または 2 cm 深までの底質を採取し, 酸化還元電位, 全有機炭素濃度, 全窒素濃度をそれぞれ測定した。

2.3 分 析

酸化還元電位は酸化還元電位差計 (東亜電波工業社製 RM-1 K 型) を用いて測定した。また, 全有機炭素 (TOC) と全窒素 (TN) については沿岸環境調査マニュアル (日本海洋学会, 1986) に準じて CHN コーダー (柳本製作所製 MT-5 型) により分析した。なお本論文では, 泥または砂中の窒素については少量のアンモニアが含まれている可能性があるため全窒素 (TN) と, 炭素については酸処理して無機の炭素を除去したため全有機炭素 (TOC) とそれぞれ表現した。

3. 実験結果

3.1 酸化還元電位の変化

底質の酸化還元電位の推移を図-3 に示す。ニホンスナモグリを入れた試験水槽の電位は実験開始 6 日目に 128 mV まで低下したが, その後は比較的安定で 75-150 mV の範囲を維持した。これに対し対照水槽では 6 日目に -53 mV と, 底質が還元状態となり, 以後 -13 mV から 52 mV の低い値で経過した。

ヤマトオサガニを入れた水槽では底質の酸化還元電位は -292 mV から -19 mV の範囲を, 対照水槽では -351 mV から -43 mV の範囲をそれぞれ示した。また試験水槽では電位が 15 日目から -250 mV 付近で安定したのに対し, 対照水槽の電位は 6-9 日目を除き徐々に低下する傾向が見られ, 実験終了時には試験水槽の電位よりも 126 mV 低い値となった。実験期間を通じて, ニホンスナモグリまたはヤマトオサガニを入れた試験水槽の電位は

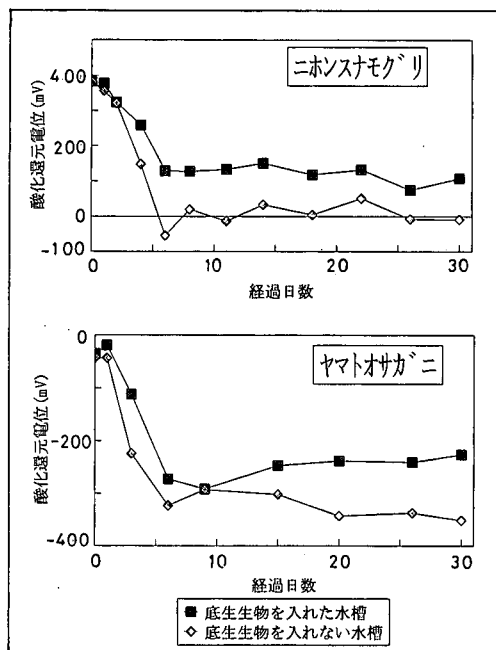


図-3 酸化還元電位の推移

底生生物が生息しない対照水槽の電位を下回ることにはなかった。

3.2 全有機炭素 (TOC) 濃度の変化

図-4 に底質の全有機炭素濃度の推移を示す。底生生物としてニホンスナモグリを入れた水槽の濃度は 0.73-0.88 mgC/g 乾砂を, 入れない水槽では 0.70-1.16 mgC/g 乾砂の範囲で各々変化した。ニホンスナモグリを入れた水槽と入れない水槽を比較すると, 前者は値が安定しており, 日数が経過しても濃度がそれほど増加しないのに対して, 後者は濃度の変動が大きく, 6 日目以後はニホンスナモグリを入れた水槽の濃度よりも常に高い値を示した。

一方, ヤマトオサガニを入れた試験水槽の濃度は 8.2-10.2 mgC/g 乾泥, 対照水槽では 9.4-11.0 mgC/g 乾泥をそれぞれ示した。また, 試験および対照水槽とも全有機炭素濃度は実験開始当初に増加したが, 6 日目以降は次第に減少する傾向を示し, 終了時には試験水槽で 8.2 mgC/g 乾泥, 対照水槽で 9.6 mgC/g 乾泥となった。なお, ヤマトオサガニを入れた水槽の濃度は 15 日目を除き対照水槽のそれを上回ることにはなかった。

3.3 全窒素 (TN) 濃度の変化

底質の全窒素濃度の推移を図-5 に示す。ニホンスナモグリを入れた試験水槽の濃度は 0.16-0.20 mgN/g 乾砂, 対照水槽では 0.17-0.25 mg/g 乾砂で推移した。実験開始 1 日目以後終了時まで, 対照水槽の濃度は試験水槽より高く, また対照水槽では日数の経過とともに濃度が

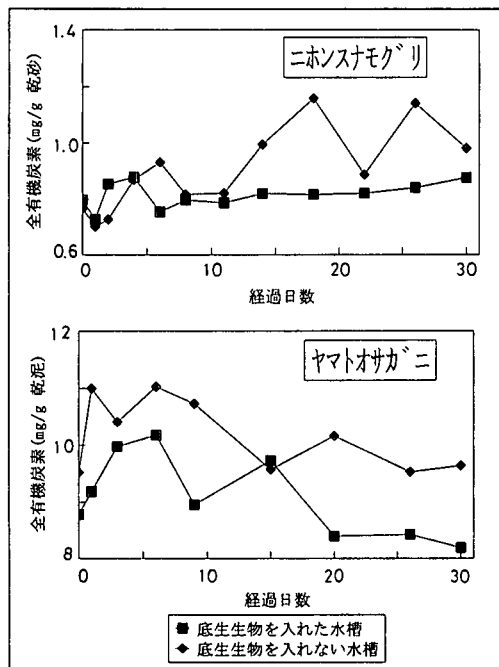


図-4 全有機炭素濃度の推移

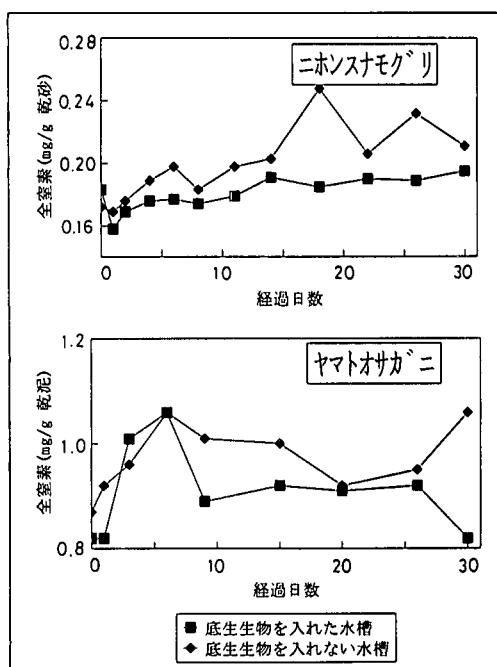


図-5 全窒素濃度の推移

やや増加したのに対してニホンスナモグリを入れた水槽では僅かな増加にとどまった。

ヤマトオサガニについては試験水槽では0.82-1.06 mgN/g 乾泥, 対照水槽では0.87-1.06 mgN/g 乾泥の値であった。この底生生物に関する実験では、試験および対照水槽とも濃度の変化に明瞭な傾向が見られないものの、試験水槽の9日目以降の濃度は対照水槽より低い値で経過した。

4. 考 察

菊地・向井 (1994) は底生生物による泥中有機物の摂餌と底土表面への排泄, 巣穴の形成に伴う底土の攪乱など, 底生生物の生物攪拌 (Bioturbation) により底土と上水との間の物質移動が促進され, 結果として干潟が浄化されると報告している。また, 堤・門谷 (1993) はイトゴカイが底泥の摂食や攪拌を通じて有機物の分解を促進したことから, 魚類養殖場直下の海底に蓄積した有機汚泥を底生動物によって浄化することを提案している。

本実験においても, 底生生物を入れた試験水槽の底質の酸化還元電位は対照水槽のそれよりも高く, ニホンスナモグリの潜砂行動やヤマトオサガニの巣穴の形成により底質の還元化が抑制されることがわかった。また, 全有機炭素と全窒素濃度についても, 試験水槽は対照水槽の値よりも低く推移したことから, この両種には底質への有機物の蓄積を抑える能力があることが示唆された。

菊地・栗原 (1988) はゴカイの巣穴では, 微生物が有機

物を分解しやすい環境となっており, 硝化と脱窒反応が巣穴付近の底泥で同時に行われ, 微生物による有機物の分解, 硝化・脱窒ならびに底泥中の物質の溶出などがゴカイの巣穴の存在と換水作用によって促進されると報告した。おそらく, ニホンスナモグリやヤマトオサガニを入れた試験水槽で対照水槽より底質の有機物濃度が低く推移したことについても, ほぼ同じような原因に基づくものと考えられる。

ここで, 実験開始時と終了時の底質と底生生物, 添加した餌ならびにカニの脱皮殻などの全有機炭素と全窒素濃度から実験中に水槽外へ排出された炭素と窒素量を試験水槽と対照水槽について次式により計算してみた。

$$F = (A + C) - (B + D + E)$$

ここに, A : 実験開始時の底質と水槽に入れた底生生物に由来する全有機炭素または全窒素量 (対照水槽では底生生物に由来する有機炭素と窒素は0とした), B : 分析のため採取した底質の全有機炭素または全窒素量, C : 配合飼料の添加に起因する全有機炭素または全窒素量, D : 実験終了時の底質と生存した底生生物に由来する全有機炭素または全窒素量 (対照水槽では底生生物に由来する有機炭素と窒素は0とした), E : ヤマトオサガニの試験水槽において脱皮殻に含まれた全有機炭素または全窒素量 (ニホンスナモグリでは0とした), F : 試験および対照水槽それぞれにおける全有機炭素と全窒素の減少量。

表-1 に底生生物を入れた水槽と入れない水槽の有機

表—1 底生生物の底質浄化促進効果

生 物 名	全有機炭素 の減少量 (gC/m ²)	全窒素の 減少量 (gN/m ²)	飼育尾数 (個体/m ²)
ニホンスナモグリ			
底生生物を入れた試験水槽	71.4	16.3	
底生生物を入れない対照水槽	48.7	11.1	
浄化促進効果	22.7	5.2	86
1尾当たりの浄化促進効果	0.26	0.06	
1g当たりの浄化促進効果	1.52	0.35	
ヤマトオサガニ			
底生生物を入れた試験水槽	114.4	14.2	
底生生物を入れない対照水槽	63.3	0.54	
浄化促進効果	51.2	13.7	56
1尾当たりの浄化促進効果	0.91	0.24	
1g当たりの浄化促進効果	0.59	0.16	

※ 浄化促進効果の算出に際して、ニホンスナモグリは実験開始時 (111 尾/m²) と終了時 (61 尾/m²) の平均値を使用した。

物の減少量 (水槽外への排出量) を示した。実験期間 30 日、温度 23.8–27.7°C の条件において、全有機炭素の減少量はニホンスナモグリを入れた場合が 71.4 gC/m²、入れない場合が 48.7 gC/m²、ヤマトオサガニでは同じく入れた場合が 114.4 gC/m²、入れない場合が 63.3 gC/m² となった。また、全窒素に関してはニホンスナモグリを入れた場合の減少量が 16.3 gN/m²、入れない場合が 11.1 gN/m²、ヤマトオサガニでは同じく入れた場合が 14.2 gN/m²、入れない場合が 0.54 gN/m² となり、底生生物が生息すると生息しない場合に比べ有機炭素や窒素が水槽外に多く排出されることがわかった。

そこで試験水槽と対照水槽の差を底生生物が関与した浄化促進量としてその値を 1 尾あたりについて求めると、ニホンスナモグリが炭素で 0.26 gC/m²、窒素で 0.06 gN/m²、またヤマトオサガニが炭素で 0.91 gC/m²、窒素で 0.24 gN/m² の値が得られた。このように 1 尾あたりでは底質の浄化促進効果はヤマトオサガニがニホンスナモグリを炭素で 3.5 倍、窒素で 4.0 倍それぞれ上回ったが、これを体重 (乾重) 1 g あたりで試算すると、ニホンスナモグリが炭素で 1.52 gC/m²、窒素で 0.35 gN/m²、またヤマトオサガニが炭素で 0.59 gC/m²、窒素で 0.16 gN/m² となり、ニホンスナモグリがヤマトオサガニより炭素で 2.6 倍、窒素で 2.2 倍多く底質浄化を促進する結果となった。これはヤマトオサガニがニホンスナモグリに比べて、甲羅に CaCO₃ を多く含む大型の生物であることに一因する。

次に長さ 1 km 幅 50 m 温度 25°C 前後の海浜で、底生生物による 1 日当たりの浄化促進効果を試算した。ニホンスナモグリとヤマトオサガニが野外での観察値に近い 86 尾/m² か 56 尾/m² の生息密度で分布するとした場合、ニホンスナモグリが存在によって全有機炭素が 37.9

kg、全窒素が 8.7 kg、ヤマトオサガニでは全有機炭素が 85.3 kg、全窒素が 22.8 kg それぞれ底生生物が生息しない場合に比べて多く分解されると考えられた。これを汚水量が 25000 m³/日、流入水の平均窒素濃度が 50 g/m³、窒素除去率が 30% の下水処理場 (星野, 1986) の 1 日の窒素処理量と対比すると、ニホンスナモグリだけで処理量の約 2%、ヤマトオサガニだけで同じく約 6% に相当した。さらに、海浜上での有機物の循環を考える場合、摂食による有機物の体内への取り込み効果 (トラップ効果) も重要であることから、上記の海浜でこれらの底生生物により夏季に保持される有機炭素と窒素量を求めると、ニホンスナモグリで 218 kg と 44 kg、ヤマトオサガニで 640 kg と 140 kg と各々推定された。

5. ま と め

本実験により、砂浜や干潟に底生生物が生息すると、その摂餌活動に伴い体内に有機物が保持されるとともに、バクテリアの有機物分解活性を高めることによって底質への有機物の蓄積を抑制し、海浜環境が保全される可能性が示唆された。ただ、自然の海浜ではニホンスナモグリやヤマトオサガニが単独で広い範囲にわたって優占することは少なく、複数の生物が競合あるいは共存して生活しているため、今回の実験値のみを用いて底生生物群集による底質改善効果を試算すると過大または過小評価する恐れがある。今後は対象とする地域の底生生物相の特徴を把握し、少なくとも優占種 5–10 種の底質浄化能を野外実験を含め検討することによって、精度の高い数値を推定する必要がある。

本稿を終えるに当たりニホンスナモグリ室内実験において献身的なご協力を賜った赤阪由里子氏に謝意を表します。

参考文献

- 有山啓之・矢持 進 (1993): ニホンスナモグリの湿重量および生産量, 渚の環境構造とその役割に関する調査研究報告書, 大阪府立水産試験場・近畿大学, pp. 86-100.
- 運輸省第五港湾建設局 (1981): 砂浜の浄化作用 (養浜工計画基礎調査報告書総集編), 302 p.
- 岡田 要 (1965): 新日本動物図鑑 [中], 北隆館, p. 633.
- 日本海洋学会編 (1986): 沿岸環境調査マニュアル [底質・生物篇], 恒星社厚生閣, pp. 57-59.
- 河合 章・来田秀雄 (1994): 護岸構造物とバクテリアによる海水の浄化作用, 瀬戸内海研究フォーラム in 大阪, pp. 15-18.
- 環境庁 (1988): 瀬戸内海の環境, 51 p.
- 菊地永祐・栗原 康 (1988): 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, pp. 65-77.
- 菊地永祐・向井 宏 (1994): 生物攪拌, ベントスによる環境改変, 日本ベントス学会誌, 第46巻, pp. 59-79.
- 酒井 恒 (1976): 日本産蟹類, 講談社, 380 p.
- 辻野耕實・安部恒之・日下部敬之 (1995): 大阪湾南部碎波帯に出現する幼稚仔魚, 大阪府立水産試験場研究報告, 第9巻, p. 11-32.
- 堤 裕昭・門谷 茂 (1993): 魚類養殖場下に堆積したヘドロ (有機汚泥) のイトゴカイによる浄化の試み, 日本水産学会誌, 第59巻, pp. 1343-1347.
- 星野芳夫 (1986): 所沢下水処理場, 用水と廃水, 第28巻, pp. 836-839.
- 睦谷一馬・矢持 進・鍋島靖信・有山啓之・日下部敬之・佐野雅基 (1993): 大阪府下における渚の衰退, 渚の環境構造とその役割に関する調査研究報告書, 大阪府立水産試験場・近畿大学, pp. 1-12.
- 矢持 進・有山啓之・日下部敬之・佐野雅基・鍋島靖信・睦谷一馬・唐沢恒夫 (1995): 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イガイの成長と脱落, 海の研究, 第4巻, pp. 1-10.