

[ノート]

人工干潟における有機態窒素の無機化に対する二枚貝の寄与

宮崎 一*

Contribution of Clams to Mineralization of Organic Nitrogen in the Artificial Tidal Flat

Hajime MIYAZAKI*

Water Environment Division, Hyogo Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences, 3-1-27 Yukihiro-cho, Suma-ku, Kobe, 654-0037, Japan

The weight of individual group and population of clams, and inorganic nitrogen were monitored in the Amagasaki artificial tidal flat. They showed so high capacity to mineralize nitrogen that the concentrations in the sea water of ammonium or dissolved inorganic nitrogen increased under the abundant clams. When oxygen deficient water mass killed almost all of them there, the capacity got the severe damage, therefore the concentrations of them were decreased. It is necessary to build up the material circulation system supported by various creatures including seaweeds, fishes, and benthoses for the effective use of mineralized it to improve the coastal environment.

I はじめに

長年にわたり陸域からの大量の汚濁（栄養塩）負荷を受けてきた大阪湾は国内で最も富栄養化が進行した閉鎖性海域である。ここでは、栄養塩類の蓄積により植物プランクトンの過剰増殖が認められ、増殖後、枯死体として沈降することにより植物プランクトンは酸素を消費する有機汚濁負荷に変わり、底層の貧酸素化を引き起こす。貧酸素化は沿岸域の生物を大量にへい死させ、生物による物質循環を崩壊させる。また、沿岸に密集する垂直護岸は干潟等の自然海岸が本来保持する多様な生物の生息場を奪い物質循環の修復を困難にしている。

このような環境悪化に対する修復手法を研究するため、財団法人国際エメックスセンターが環境省の補助を受け、人工干潟を尼崎港内に造成し（以下、

人工干潟とする）、当センターを含む産学官の複数の機関の連携の下、環境修復のための実証試験がなされた¹⁾²⁾。

一連の試験の中で我々は、生物による物質循環の修復による環境修復を目的として、ろ過食性を通じて水質浄化に寄与する二枚貝であるアサリに着目し調査研究を行ってきたが、アサリが物質循環に寄与するもう一方の様式である栄養塩類の無機化については、過剰な栄養塩類が存在する人工干潟では未だ継続的な知見は少ない。

本報ではこのことに鑑み、人工干潟における溶存態窒素をモニタリングし、人工干潟内で自生しているアサリによる有機態窒素の無機化への寄与について検討したので報告する。

水質環境部

* 別刷請求先：〒 654-0037 神戸市須磨区行平町 3-1-27
兵庫県立健康環境科学研究センター
水質環境部 宮崎 一

II 調査方法

1. 人工干潟の概要

Fig.1 に調査地点および人工干潟概要図を示す。人工干潟の形状規模は長さ約 32m, 幅約 8m であり, 両岸をコンクリート壁の垂直護岸と石積み傾斜護岸に囲まれている。干潟前面に砂留潜堤 (OP ((OSAKA PELL; 大阪湾最低干潮位)) +0.3m) を設置し, OP+1.0m の高さまで 1/50 勾配にて砂を撒き造成したものである。このような形状から, 海水の交換は人工干潟の前面方向のみに起こる。

砂は 2002 年 3 月に新規に搬入した清浄な砂 (調査開始以降含泥率 3% 未満で推移) である。全リン, 全窒素等の栄養塩, および全有機炭素 (TOC; Total Organic Carbon), 強熱減量 (IL; Ignition Loss) の有機物指標値は, 貧酸素化が見られない播磨灘等の海域の底質と同程度に低く³⁾, 調査開始時には底質による大量の酸素消費は考えられない状態である。

2. 試料採取方法および分析方法

調査期間としては, 2004 年 10 月から 2006 年 6 月まで, 1 ヶ月に 1 回程度の頻度でモニタリング調査を行った。なお, 全調査期間を通じて人工干潟内で水深が 2m を超えることはなかったため, 水質調査の水深は表層とした。調査地点としては, 人工干潟において潜堤からの距離が 6m, 横方向から見た中間地点において採水および底質中のアサリの採取を行った。

表層水はポリエチレン製ビンに直接採水し, クーラーボックス中で冷蔵保存の上, 試料水として実験室へ持ち帰った。試料水の 500ml をあらかじめ 450°C で 4 時間加熱処理したガラス繊維濾紙 (GF-C; Whatman 社製) によりろ過し, ろ過水を 3 態窒素 (アンモニア態窒素 (NH₄-N), 亜硝酸態窒素 (NO₂-N), 硝酸態窒素 (NO₃-N)) の分析に供した。水質に関しては, 水温, 塩分, 3 態窒素を測定した。

水温と塩分は, アレック電子 (株) 製クロロテック (model ACL208-DK) により現地測定を行った。

3 態窒素については工場排水試験方法 JISK0102 に従い分析を行った⁴⁾。また, 3 態窒素の和から溶存態無機窒素 (DIN; Dissolved Inorganic Nitrogen) を計算値として算出した。

アサリについては, 自然に近い生存様式での窒素の無機化に対する二枚貝の寄与を調査するため, かご内での飼育型養成は行わず, 2002 年度 9 月以降人工干潟内部で自生しているアサリを以下に記述する

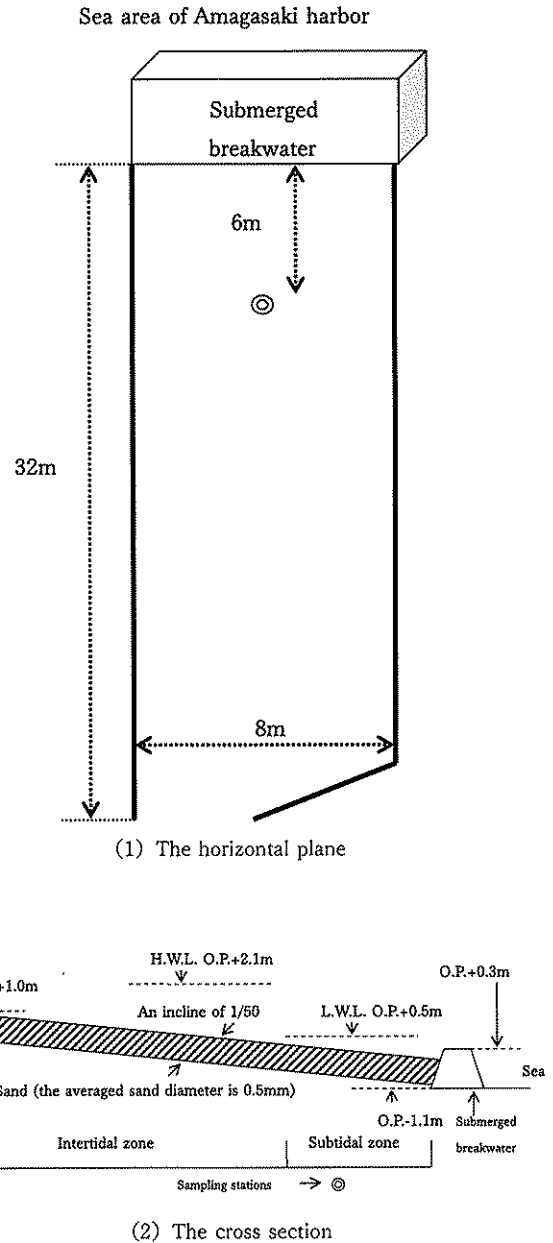


Fig.1 Schematic view of the artificial tidal flat in Amagasaki experimental site (O.P. means the lowest water level in Osaka bay.)

方法で採取の上, 調査を行った。スコップを用いて縦 20cm, 横 20cm, 表層 5cm (体積 2,000cm³) の底質を 3 回採取 (採取面積 = 0.02m × 0.02m × 3 = 0.12m²) し, 網目が 1mm のふるいにかけた後, ふるい上に残ったアサリをポリ塩化ビニル製容器に入れクーラーボックス中で冷蔵保存の上, 実験室へ持ち帰った。実験室において個体数を計数し, 上皿天秤 (Shimadzu BX-320S) により殻付き湿重量を測定した。湿重量の合計値を測定月の個体群重量値 (g/0.12m²) とした。

III 結果

1. アサリの個体群重量・個体数量の経時変化

Fig.2 にアサリの個体群重量・個体数量と $\text{NH}_4\text{-N}$ および DIN の経時変化を示した。

アサリの個体群重量は、秋季（2004年10月）から冬季（2004年12月）への自然な減少（調査実施年度に着底、成長した新規個体（稚貝）の加入と複数年生存・成長した個体の死亡を通じての世代交代による減少）が認められた。春季（2005年2月）からは増加に転じ、2005年6月には年間最高値（449 g/0.12m²）に達した。しかしながら、当海域において例年夏季（7月または8月）に頻発する海水の貧酸素化によりアサリの大量死（Fig.2 中の破線により時期を示す。）が発生し、2005年8月に個体群重量は 0 g /m²にまで落ち込んだ。その後は、自然増殖による稚貝の加入のためゆるやかに増加したが、前年同月値までには回復できなかった。

アサリの個体数は個体群重量と同様の変化を示すが、大量死後の回復については、個体群重量と比較して早く、2006年6月には調査期間を通じて最高値であった2005年6月の106個体/0.12m²の92%である98個体/0.12m²にまで回復した。このことは、アサリは砂中に生息する移動性の少ない埋性生物であることから、個体数の回復は、成体の外部海域からの移入ではなく、卵の孵化により発生したアサリの浮遊幼生が人工干潟内へ着底することに由来する稚貝の自然増殖により起きることを意味している。

2. 溶存態窒素濃度の経時変化

$\text{NH}_4\text{-N}$ については、一定量のアサリの現存量（79 g/0.12m²または25個体/0.12m²）が認められた2004年10月から2005年6月まで0.76mg/Lを超える高い濃度を示した。しかしながら、大量死以後は、低濃度で推移し、前年同時期の濃度までの回復は認められなかった。一方、データは示さないが $\text{NO}_2\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ については、 $\text{NH}_4\text{-N}$ において認められたアサリの現存量との関係は認められなかった。このことは、アサリの排泄物中における $\text{NO}_2\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度が $\text{NH}_4\text{-N}$ と比較して微量であるため、これらの海水中の濃度変化はアサリの現存量と随伴しなかったことが理由であると考えられる。3態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ）の和から成る DIN については、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の影響で大量死前は高濃度で推移し、大量死後は低濃度に留まった。また、アサリの大量死の前後での溶存態窒素濃度を比較すると大量死後、明ら

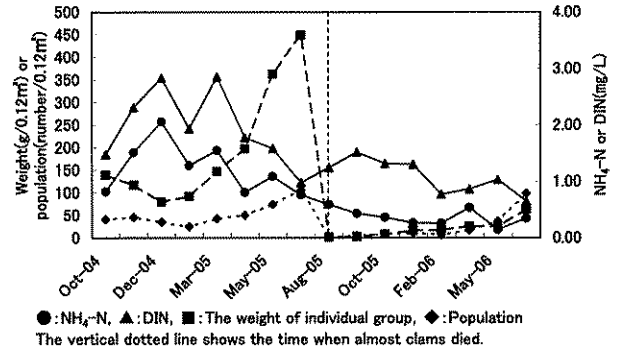


Fig.2 Change of the weight of individual group and population of clams, $\text{NH}_4\text{-N}$, and DIN in the artificial tidal flat

かに $\text{NH}_4\text{-N}$ と DIN に減少が認められ海水中の窒素濃度変化に対するアサリの影響の大きさが示された。

IV 考察

窒素は生物にとって必須の元素であることは、生体の構成物質であり、生化学反応の中樞を担う酵素の主成分であるタンパク質の構成元素であることから論を待たない。一方、今回調査フィールドとした人工干潟が位置する尼崎港内を含む閉鎖性海域では、産業や生活廃水に由来する陸域からの過剰な窒素の流入が、過剰なリンの流入と相伴って富栄養化を引き起こしている。このような両面性を有する窒素であるが正常な生態系においては、生物による利用と排泄を通じて停滞することなく循環している。軟体動物である二枚貝（アサリ）は、ろ過食性により植物プランクトン、デトリタスを捕食することで有機態窒素を取り込み、無機態の $\text{NH}_4\text{-N}$ として窒素を排出することで物質循環に寄与している。同様のことは島根県宍道湖における二枚貝であるヤマトシジミについて認められている⁹⁾。この窒素は藻類、植物プランクトンにより利用されることにより、生物による物質循環に取り込まれることになる。今回の結果から、アサリによる有機態窒素の無機化は人工干潟内でも機能していることが認められ、また、その無機化容量は窒素分の濃度が高い富栄養化海域の $\text{NH}_4\text{-N}$ および DIN 濃度に明瞭な変化を与えるほど大きいものであった (Table 1)。

なお、 $\text{NO}_2\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ については、アサリからの直接の排泄量が $\text{NH}_4\text{-N}$ と比較して微量であるため影響は認められなかった。しかしながら、富栄養化海域で頻発する貧酸素化によりアサリの大量死が起きると、無機化の担い手であるアサリがいなくなり $\text{NH}_4\text{-N}$ および DIN の減少が認められた。このこ

Table 1 Comparison of the mean concentration (mg/L) of NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, and DIN (dissolved inorganic nitrogen) in the sea water in the artificial tidal flat before and after the massive death of clams

| | NH ₄ -N | NO ₂ -N | NO ₃ -N | DIN |
|--------|--------------------|--------------------|--------------------|------|
| Before | 1.33 | 0.08 | 0.65 | 2.06 |
| After | 0.36 | 0.09 | 0.62 | 1.07 |

とから、生物の生存への脅威となる貧酸素化の防止の重要性が示された。また、無機化されたNH₄-Nが生物に取り込まれず、海水中に残留しては硝化細菌による硝化(NH₄-N → NO₂-N → NO₃-N)を通じた溶存酸素の消費が増大すること、あるいは植物プランクトンの異常増殖による赤潮の発生のような環境悪化に繋がるため、藻類、魚類、ベントス等を含めた多様な生物による物質循環の確立が必要である。

V まとめ

1. 尼崎港内において造成された人工干潟において、アサリによる有機態窒素の無機化が認められた。
2. 貧酸素化により無機化の担い手であるアサリの大量死が起きると、NH₄-NおよびDINの減少が認められた。
3. 無機化された窒素が有効に活用されるためには、藻類、魚類、ベントス等を含めた多様な生物による物質循環の確立が必要である。

文 献

- 1) 環境省補助事業, 2001年度環境技術開発等推進事業[実用化研究開発課題], 閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化(環境修復技術のベストミックスによる物質循環構造の修復)研究開発成果報告書, 6-8~6-10, 6-30~6-37, 6-79~6-107, 財団法人国際エメックスセンター(2002)
- 2) 環境省補助事業, 2002年度環境省委託業務結果報告書, 閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化(環境修復技術のベストミックスによる物質循環構造の修復)研究開発成果報告書, 5-1~5-7, 5-13~5-30, 財団法人国際エメックスセンター(2003)

- 3) 2001年度環境省委託業務結果報告書, 瀬戸内海環境情報基本調査-播磨灘・燧灘・別府湾-(資料編), 45-65, 77-93, 105-121, 社団法人瀬戸内海環境保全協会(2002)
- 4) 工場排水試験方法 JIS K 0102, 日本規格協会, 東京, 143-162, 166-184(1998)
- 5) 中村 由行:閉鎖性沿岸域の生態系と物質循環(10) 富栄養化した汽水域における栄養塩循環と水質分布に関わる懸濁物食性二枚貝の効果, 海洋と生物, 26(2), 168-176(2004)

謝 辞

本調査研究は(財)国際エメックスセンターが環境省から受託したプロジェクト研究「閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化」の一環として行いました。

なお、現地調査においては、地元関係者の方々のご理解とご協力を頂いたことに感謝します。