

ナマコを活用した底質改善効果の定量化に関する検討

村上仁士* ・上月康則**・鎌倉浩二***
岩村俊平****・豊田祐作*****

1. 緒 言

沿岸域環境の修復を目的に、礫間接触酸化法などを活用した種々の対策が講じられている。しかし、礫間接触酸化施設ではいったん捕捉した懸濁物質が底泥化し、栄養塩が溶出するといった現象も報告されている(村上ら, 1998)。また人工ラグーンでも親水性の高い内水面が創造される一方、底質は悪化しつつあるともいわれている。これらの事例は、どのような目的であっても、環境に影響をもたらす行為を行う場合には、長期的な視点を持ち、水質のみならず、底質の変化にも配慮しなければならないことを示している。

底質改善にも物理的なものをはじめ、さまざまな手法が提案されている。技術の開発や活用にあたっては、生態系に過度な影響を与えないことや省エネルギー・省資源的な点に留意する必要がある。著者らの視点は、生物が本来持つ懸濁物や底泥を摂餌する機能を活用し、物質が滞りなく循環する生態系を再構築するというものである。このような生態系工学的な手法は、現在各分野から着目されつつあるが、実際にはゴカイ類を活用した底質改善に関する、栗原(1980)、門谷ら(1998)の試みが見あたる程度である。著者ら(1998)も、ゴカイを用いた礫間接触酸化施設内の底泥除去に関する実証実験を行っているが、長期間の効果を期待するには、個体数の維持に課題がある、と既に述べた。このように生態系工学的な手法に関する検討は未だ緒についたばかりであり、実証実験を重ねる他にも、他の生物の機能に着目した検討も必要であると思われる。

そこで本研究では、ナマコが底泥を摂餌することに着目し、この機能を活用した底質改善効果の評価を試みた。ここで用いたナマコは全国の沿岸域で一般にみられる種であること、底質改善を対象とする環境から個体を採取するなど、実用化にあたって沿岸域環境に過度な影響を

与えないことにも配慮した。

2. 実験概要

2.1 ナマコによる底質改善手法の特徴

a) ナマコの種

本研究で用いたナマコの特徴、生態、本手法の有用性と問題点について、文献(荒川, 1990)から整理しておく。本研究で用いたナマコは、一般にマナマコ(*Stichopus japonicus*)と呼ばれる種である。環境中にはアカ、アオ、クロ色の体色をしたナマコが存在しており、その生態は若干異なるといわれるが、分類上は同一種とされている。餌は海藻、貝類、甲殻類、泥中の有機物とさまざまなものを利用している。また本種は清澄な岩礁砂礫地から汚濁の進んだ底泥まで幅広い環境中に生息しており、富栄養化が進んだ海域には体色がクロ色のナマコが主に生息し、底泥を摂餌しているらしい。このことから、本研究ではクロ色の体色をしたマナマコを用い、実験に供することとした。なお従来、マナマコの研究は水産価値の高いアカ、アオ色の養殖技術の開発を対象に行われており、クロ色のものに関する研究はほとんどなされていない。同様に環境修復を目的とした底泥摂餌機能の工学的な活用に関する検討も本研究が初めてである。

b) 本手法の特徴

マナマコを活用した底質改善手法には以下の点に有用性が見いだされる。環境の修復にあたっては、物質が循環され、最終的に対象除去物質が生物体となって系外に出されることを目標とすべきである。この点、マナマコは水産有用種であるので、漁獲による系外からの取り出しが期待できる。またマナマコの養殖技術は既に確立されており、個体の確保も容易である。清澄な環境から富栄養化した環境中にも生息していることから、底質の改善はもとより、清澄な環境の底質悪化の抑制にも活用できると考えられる。さらに他の堆積物捕食生物に比較して大型の生物であるために、成体での食害が小さく、かつ寿命が4年間程度と長いことから、長期間の底質改善効果も期待できる。

一方、環境中では生息密度が、0.5 個体/m²と比較的小さいこと、アカ色のマナマコは水温 25°C 以上になると夏

* 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

** 正 会 員 博(工) 徳島大学大学院助教授 工学研究科

*** 正 会 員 修(工) (株)日建技術コンサルタント

**** 学生会員 徳島大学大学院 工学研究科

***** 正 会 員 (株)テトラ

眠することなど、技術化にあたっては検討すべき課題も残されている。

2.2 実験方法

a) 水槽実験

浄化槽の付いた長さ 50 cm, 幅 20 cm, 深さ 20 cm の循環水路に底泥を厚さ 3 cm にわたって敷設した。海水滞留時間 50 分の水路 1 本ごとに乾燥重量の異なるマナコを 1 個体づつ入れ、23 日間にわたって、水質、底泥の性状変化、マナコの重量、排泄物の量と成分を測定した。用いた 3 個体のマナコの平均含水率は 97%, 乾燥重量は、2.5 g (A), 4.8 g (B), 5.6 g (C) であった。光条件は、藻類の内部生産の影響を無くすこと、餌を底泥中の有機物とするために、光を遮断した環境下で実験を行った。測定項目は海水については TOC, TN, TP, DO, pH, 水温、塩分、底泥およびマナコの排泄物については上記の項目に加え、AVS, 好・嫌気性細菌数とした。水温は、マナコの適温に近い $10 \pm 2^\circ\text{C}$ に設定した。対照系としてはマナコを入れない水路も用意した。底質試料の採取は表層 1 cm の部分から行い、分析に供した。またマナコの排泄物は毎日除去しており、本文中での底泥中の物質濃度には、排泄物中の物質は含まれていない。

b) 排泄物の性状に関する実験

排泄物と底泥を取り出し、酸素消費測定装置内に静置した。水温は 20°C , 好気的環境に維持されている。初期の排泄物と底泥中の AVS 濃度はそれぞれ 0.03 mg/g, 0.45 mg/g, 同様に TOC 濃度は 6.2 mg/g と 5.8 mg/g, TN 濃度はいずれも 0.5 mg/g であった。実験では各試料の酸素消費量を連続的に 60 時間測定し、適宜試料の一部を取り出し AVS 濃度を測定した。

3. 実験結果

3.1 底質の変化

図-1 の a) から e) は、それぞれ底泥中の AVS, TOC, TP, 好気性および嫌気性細菌数の変化を示している。なお海水中の塩分は 31 p.s.u., pH は 7.6~8.1, DO は 7.1~9.8 mg/l の範囲にあった。

図から、AVS はマナコを添加した系ではいずれも実験開始後 15 日目から ■印の対照系と差異が生じ始め、23 日後には初期値よりも若干増加したものの、32~45% の抑制効果がみられた。また対照系の底質中 TOC 濃度に変化はみられなかったものの、マナコ添加系では底質中濃度は低下した。TP も、TOC ほどに明確な減少傾向はみられなかったが、対照系と比較すると底質中濃度は低くなったことがわかる。ただし、マナコの大きさと改善効果の間に明確な関係を見いだすことはできなかった。またここでは示さなかったが、TN はいずれの系にお

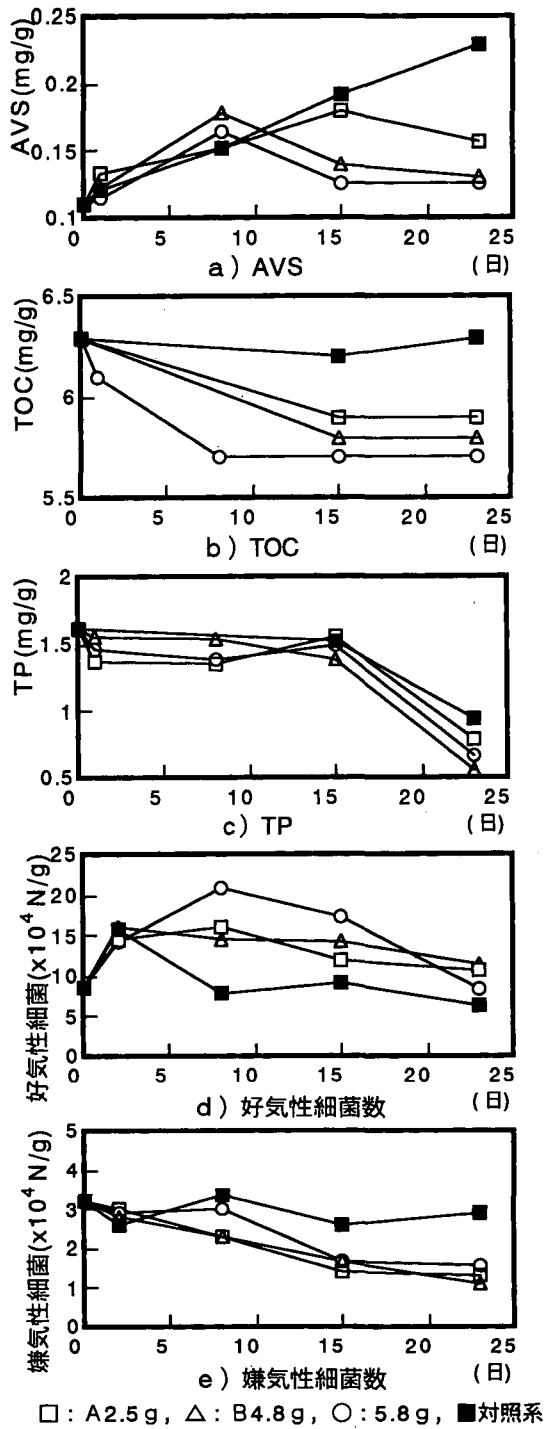


図-1 底質の変化

いても、明確な底質中濃度に変化はみられなかった。以上の結果から、マナコを添加すると、対照系に比べ、23 日目には AVS では 32~45%, TOC で 6.3~9.5%, TP で 17~40% の底質悪化の抑制あるいは改善効果があ

ることがわかる。

ここでマナマコによる底質改善効果について考える。AVSとTOCは、マナマコの摂餌による除去も考えられるが、底質上を這い回ることによって、底泥内に酸素が供給され、好気的な環境が形成された影響も大きいと思われる。特に有機物については、図のd)に示すように、マナマコを添加した系では好気性細菌数が増加し、嫌気性細菌数も減少していることが図のe)からもわかる。一方、対照系では好気性細菌数は初期には増加するものの、その後減少し、嫌気性細菌数にも減少する傾向はみられなかった。以上のことより、マナマコの底質攪乱作用により、底質中で有機物の好気性分解が促進されたことがわかる。なお、TN含有量に変化がなかった理由は明らかではないが、今後窒素態の変化や脱窒作用などについても検討するつもりである。

3.2 マナマコの排泄物と性状変化

マナマコによる底質改善効果を明らかにするためには、底質中の物質の循環速度を求める必要がある。このためには底質中の物質が体内を通して排出されるものと、同化される物質をまず把握しなければならない。ここでは、排泄物の量と成分に着目し、検討を行った。図-2に各マナマコの排泄物の累積乾燥重量を示す。

図中のプロットがいずれも増加傾向を示していることから、実験期間中はいずれのマナマコからも一定の排泄物が出されていたことがわかる。日平均排泄物乾燥重量は、マナマコの乾燥重量が小さい順から、33.9g, 18.6g, 15.4gであった。本実験では摂餌量を正確に測定することはできなかったものの、少なくともこれらの値と同量の底泥が摂餌されていたことがわかる。

ここで、排泄物と底泥の物質濃度を比較すると、窒素については両濃度にはほとんど差異は認められなかったが、AVS, TOC, TPについては図-3に示すように、概ね排泄物内の物質濃度の方が、底泥に比較して、小さかった。これは底泥中の各物質が体内を通る間に、同化され

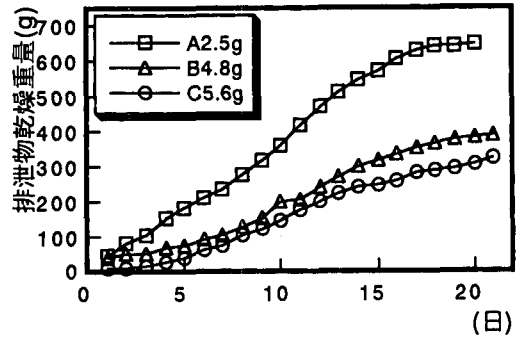


図-2 累積排泄物乾燥重量

たことを示している。

一方、同図中のTOCとTPでは、排泄物中の濃度が底泥中濃度よりも大きい値を示すものもあるが、これは排泄物量以上に底泥を摂餌していることを示唆している。一般に、同化効率は肉食動物で高く、生物の遺骸を食する動物は最も低く、40%以下であるといわれている(關ら, 1997)。この値は餌とする物質や齡によっても異なるが、先にも述べたように、マナマコの場合、長期間にわたって生存することや環境によって餌も異なることを考えると、種々の環境条件下での同化率を求めておく必要があろう。

また、排泄物の酸素消費量を測定した結果を図-4に示す。この結果、初期の12時間の酸素消費量は底泥よりも少ないものの、それ以降のプロットの傾きは同程度であり、酸素消費は同じように行われていたことがわかる。これは排泄時には細菌数は少ないものの、時間の経過とともに排泄物中の有機物が分解され、底泥と同程度の酸素消費速度を示すようになったと考えられる。

同様に図-5にAVSの変化も示すが、底泥中のAVSは4日目までは急激に減少するものの、それ以降減少傾向は緩やかになった。この値が排泄物中のAVS値と等しいものになるには、好気的環境下においてもさらに時

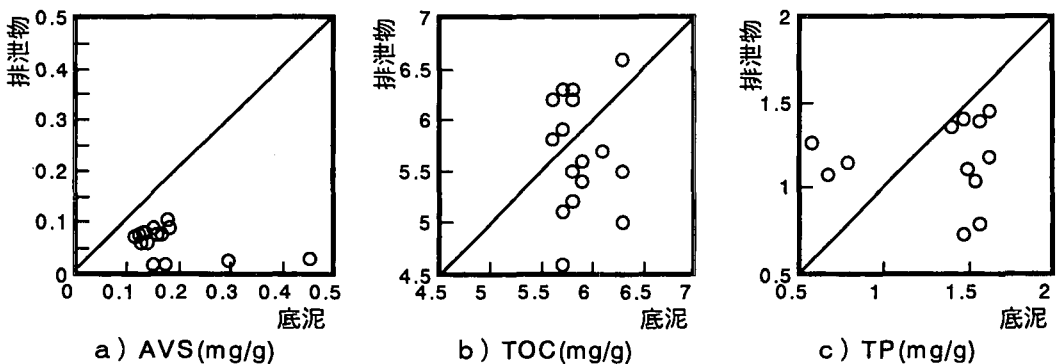


図-3 排泄物と底泥中の成分比較

間を要すると考えられることから、マナコの底質浄化効果がわかる。

以上のことから、マナコの摂餌、排泄作用によっても底質中の物質は効率的に変化し、特に硫化物の除去には有効であることがわかる。他にも堆積物食者による未消化の有機物を含む物質の排出は、底質の粒径を小さくし、図-4に示したように、これに微生物が棲み込むことにより再び食物に適したものになるなど、底質中の微生物相の代謝に変化を与える。これらの作用を堆積物食者の gardening (Levinton, 1979) といわれるが、いずれにせよ排泄物が供給されることの底生生態系に与える影響は無視できないことがわかる。

3.3 底質改善効果の評価

マナコによる底質の改善効果を23日間の水槽内から除去された AVS, TOC, TP 量で評価する。

まず実験期間中の水槽への流入, 流出水中の溶存物質, 懸濁物質中の TOC と TP, 底泥中および排泄物中の各濃度, さらに底泥減少量を積算し, 水槽内からの物質除去量を求めた。このうち排泄物中と底泥中の各物質濃度を比較し, 排泄物中濃度が低い場合には, その差をマナコに同化された量とした。このマナコに同化された量を直接効果とし, その他の量をマナコによる底質攪乱作用によって生じた除去量, つまり間接効果とする。図

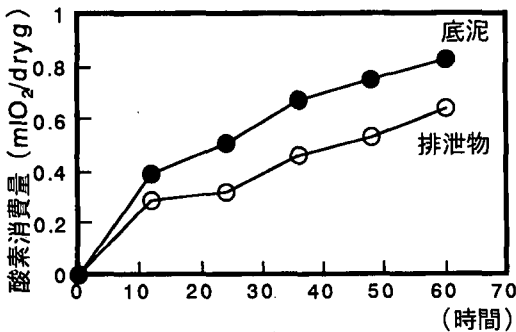


図-4 排泄物と底泥の酵素消費特性

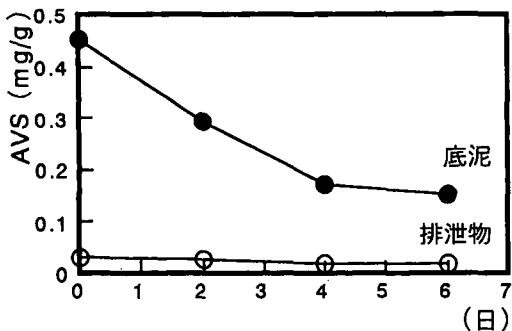
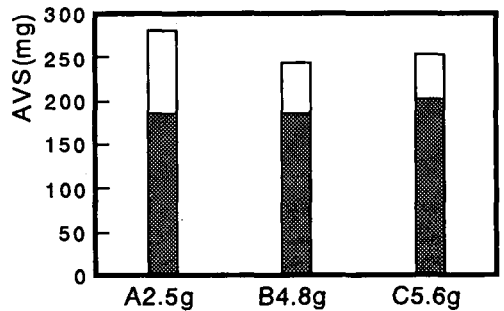


図-5 排泄物と底泥中の AVS 濃度の変化

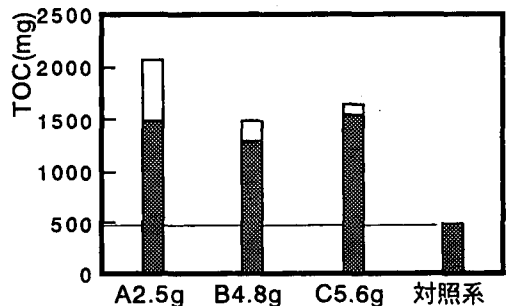
一6に各系での物質除去量を直接効果と間接効果に区別し, 対照系と併せて示す。なお AVS については23日目の対照系との差の値を改善効果とした。

図-6から, 1日平均して各物質が除去される量を求めると, それぞれ 10.6~12.2 mgS, 89.7~64.4 mgC, 73.8~91.9 mgP であった。例えば, AVS 除去量を用いて, 著者ら (1998) がゴカイを用いた同様の検討結果と比較すると, マナコ1個体の効果はゴカイ約64個体に相当することがわかった。

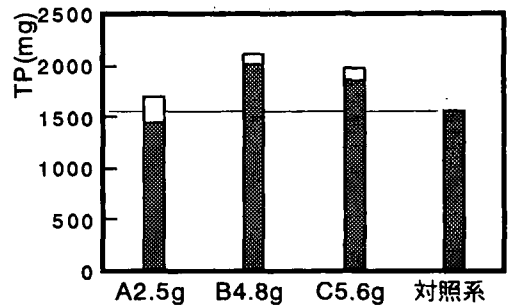
またここでは摂餌量を考慮していないために, 直接効果は実際より過小評価された値であるが, 全除去量に占めるマナコの直接的な効果は, AVS が最も大きく 20.7~34.1%, TOC で 5.7~28.3%, TP で 4.9~15.3% となり, これらの値は乾燥重量が小さいものから順に大



a) AVS



b) TOC



c) TP

□: マナコによる直接効果, ■: 間接効果

図-6 マナコによる底質改善効果

きくなっていた。

さらに対照系での除去量とマナマコを添加した系の間接効果を比較する。TPではマナマコを添加した系の方がやや高い値を示す程度となったが、TOCでは3.0~4.1倍マナマコを添加した系の方がより多く除去されていた。これは上述したように、マナマコが底質を攪乱することによって、底泥が好気的な環境に改変され、その結果、有機物分解が促進されたためと考えられる。

以上の結果より、マナマコによる一定の底質改善効果を明らかにすることができた。特に間接的作用と直接的作用を区別して検討したことから、改善効果における底質攪乱作用の大きさも示すことができた。

4. 結 言

マナマコの底泥摂餌機能を活用し、富栄養化した海域の底質改善効果について検討を行った。その結果、底泥中の硫化物、有機物、リンは除去されることが示された。特に硫化物の除去効果は顕著であり、それはマナマコが底泥を摂餌することと底質を攪乱することによる相乗効果によって生じたものである。また有機物は摂餌による効果の他に、底質攪乱によって溶存酸素が底質に供給され、好気性分解活性が高められることの効果も大きいことが示された。つまり、他の生物の活性にも影響を与え、底泥中の物質の循環を促しているといえる。一方、窒素については明確な効果を見ることはできなかったが、さらに脱窒作用や窒素態の変化などについて検討する必要がある。マナマコの排泄物は細菌をはじめとする生物によって再び利用されており、このことが底生生物の活性に影響を与えていることも示唆された。

以上は限られた条件下で得た結果であるために、一般性にはなお検討の余地を残すが、生態系工学的な手法において新たな生物の活用の可能性を示した点では発展性

があると考えられる。技術化にあたっては、比較的大型の動物であるというマナマコの特徴が有利になることもある。その一方では、効果面の不確実性も高くなることから、今後は生態系工学の視点からメカニズムの解明をも含めた検討が必要になろう。

謝辞：本研究は、通産省工業技術院中国工業技術研究所、競争特研「閉鎖性海域の環境修復・創造技術の開発と効果検証に関する研究」(代表：上嶋英機教授)の一部として行われた。生態系工学研究会(代表：辻田時美北海道大学名誉教授)およびエコポート研究会には、研究の遂行にあたってご支援を頂いた。またマナマコの飼育や基本的な生態については田崎真珠(株)田崎海洋生物研究所明楽秀作所長にご指導いただいた。マナマコの採取については、湯村清氏、ニタコンサルタント(株)三橋公夫氏に、固形試料のCHN分析には徳島大学化学応用工学科技官岡山恵美子氏のご協力を頂いた。各氏に対し、ここに記して謝意を表する。最後に、本研究は文部省科学研究費基盤研究(B)(代表：村上仁士)の助成を受けていることを明記する。

参 考 文 献

- 荒川好満(1990): ナマコ説本, 緑書房, 118 p.
 門谷 茂・堤 裕昭(1998): 魚類養殖場ヘドロのイトゴカイによる浄化法, 沿岸の環境圏, 平野敏行監修, フジテクノシステム, pp. 1097-1105.
 栗原 康(1980): 人工干潟の研究(3), 下水道協会誌, Vol. 17, No. 192, pp. 39-49.
 村上仁士・上月康則・鎌倉浩仁・北岡茂樹・孫 慶植・豊田祐作(1998): 堆積物捕食生物を活用した礫間接触酸化構造物内の底泥浄化手法について, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 996-1000.
 關 文威・長沼 毅(1997): 生物海洋学入門, 講談社, pp. 90-92.
 Levinton, J.S. (1979): Deposit-feeders, their-resources and the study of resource limitation, Mar. Pollut. Bull., 11, pp. 51-56.