

[特 集]

夏季における堆積物食生物マナマコ (*Stichopus japonicus*) の生物攪拌

北野倫生¹・上月康則²・倉田健悟³・村上仁士⁴・
山崎隆之¹・芳田英朗⁵・水谷雅裕⁶

¹学生会員 修(工) 徳島大学大学院工学研究科博士後期課程 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

²正会員 博(工) 徳島大学助教授 大学院工学研究科 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

³正会員 博(理) 島根大学助教授 汽水域研究センター (〒690-8504 島根県松江市西川津町1060)

⁴フェロー会員 工博 徳島大学教授 大学院工学研究科 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

⁵学生会員 学(工) 徳島大学大学院工学研究科博士前期課程 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)

⁶国土交通省四国地方整備局高松港湾空港技術調査事務所 (〒760-0017 香川県高松市番町1-6-1)

沿岸域の環境修復の目標の一つとして、懸濁物を起点とした物質循環が円滑に作用する生態系を再生することが挙げられる。本研究では堆積物の生物攪拌について、内湾の表在性の堆積物食生物マナマコを対象に、活動が鈍化する夏季に実験を行なった。得られた結果を次に示す。1) 水温上昇に伴い不活性化して摂食行動は行われず、堆積物中の有機物濃度に有意な差は見られなかった。2) 匍匐行動によって還元型硫化物濃度は減少し、その影響は表層から深さ2cmにまで及んだ。3) 生物攪拌は埋性性の懸濁物食性二枚貝の個体数を増加させるように作用し、その結果マナマコの餌環境が向上することが示唆された。

Key Words : bioturbation, deposit-feeder, material cycle, sediment, benthos

1. 緒論

1970年代初頭から沿岸域の環境の改善に向けた施策が講じられてきた結果、瀬戸内海ではCOD負荷量が1994年には1968年と比較して63.4%減少し¹⁾、海水中のTNとTPは1990年代には1980年代と比較してそれぞれ22%、13%程度減少した²⁾と報告されている。しかし、環境をより改善するためには負荷量の削減だけではなく、植物プランクトンによる内部生産を抑制することが必要であると指摘されている^{1), 2)}。これは対象とする汚濁物質の流入負荷の削減やその場からの変質や除去による濃度の低下を“浄化”とする従来の考え方の限界を意味しており、今後の施策立案においては生態系内での物質の存在量とその移動、変化量といった物質循環を重視しなければならない。ここで対象とする生態系は、懸濁物を起点とする物質循環が、異なる生活型の生物の相互作用により機能する系を想定している^{3), 4), 5)}。これまで懸濁物を濾過するアサリ、シジミ、ムラサキイガイなどの懸濁物食生物を対象にして、その摂食機能の定量化に関する研究が数多く行われてき

た。これらの懸濁物食生物の排泄物を含む堆積物の物質循環については、物理的な巻き上げなどの作用に加えて、堆積物の表面や内部に生息する生物の作用も無視できない。堆積物食生物の生物攪拌作用は直接堆積物を摂食して排泄することと、掘進や匍匐などの運動や巣穴や棲管などの造巣活動に伴う物理的な攪拌とに大別される³⁾。摂食および排泄機能についてはゴカイ類などの生物を対象に研究され、多毛類⁶⁾の有機物分解量が求められている。また、物理的な堆積物攪拌機能についてはゴカイ類^{7), 8), 9)}、アナジャコ¹⁰⁾やスナモグリ¹¹⁾などの生物について研究されており、それらは堆積物中の酸化還元電位、硫化物濃度、有機物濃度、粒度組成の他に、他の生物種の現存量に影響を及ぼすことが知られている^{12), 13), 14)}。

このように生物攪拌作用についていくつかの研究が報告されてきたものの、対象とされた生物には埋性性の種が多く、堆積物表面を匍匐する表在性のウニやマナコなどの生物についての研究は少ない。マナコは富栄養化した海域で貧酸素化しない限り、内湾に広く分布しており、大阪湾周辺での昭和30

年から平成 11 年の約 40 年間における年平均漁獲量は約 100 t であるという報告がある¹⁵⁾。このことから、マナマコは富栄養化した海底における代表的な表在性の堆積物食生物であり、物質循環を検討するにはその生物攪拌作用は無視できない。沿岸域の富栄養化現象の問題解決にあたっては、植物プランクトンを起点とする物質循環を把握することに加え、表在性生物の生物攪拌作用の知見が不足している。

以上のことから、本研究では富栄養化海域の堆積物表面に生息するマナマコ (*Stichopus japonicus*) の生物攪拌作用に着目した。マナマコが活性化する冬季の知見は村上¹⁶⁾によって得られているが、不活性化する夏季の生物攪拌についてはわかっていない。そこで、マナマコが不活性化する夏季の生物攪拌作用を把握するために水路実験を行い、他の底生生物への影響について考察を加えた。

2. マナマコの生態と実験方法

(1) マナマコの生態

マナマコは古くから養殖を通してその生態について検討されており、近年では催¹⁷⁾の研究成果に一般的なマナマコの生態がまとめられている。マナマコは日本各地の水深 30m 以浅の内湾の泥質から岩礁に広く分布し、酸素飽和度約 40%までは正常な呼吸活動を行い¹⁸⁾、寿命は約 4 年と言われている。マナマコの生物攪拌は口縁触手と呼ばれる口器を用いてごく表面の堆積有機物を不選択的に取り込むことによって生じる¹⁷⁾。表-1 に文献から湿重量ごとのマナマコの摂食量についてまとめた。また、他の底生生物の生物攪拌による影響や摂食量は栗原⁹⁾、菊地と向井¹²⁾、Hall¹³⁾によってまとめられている。マナマコの生態的な特徴は、活性が水温に大きな影響を受けることである。水温が 18℃以下の期間に摂食を伴う活発な活動と繁殖を行い、水温の上昇に伴って活動が鈍化する。また、加藤と平田²⁰⁾は水温の高い不活性期にも行動は見られ、水温 12-17℃で 45-52m·day⁻¹、水温 18-25℃で 13-26m·day⁻¹と移動量について報告している。畑中ら²¹⁾は体長 40mm 以下のマナマコの幼体はヒトデ類によって捕食される確率が高くなることを報告しているが、それ以上のサイズになると主な捕食者は見あらず、個体群は維持されやすい。なおマナマコには黒、青、赤の体色をしたものがあり、それぞれ一般にクロ、アオ、アカマコと称されている。天然海域において、ク

表-1 冬季におけるマナマコの摂食量
(水温: 10±2℃)

個体の湿重量	摂食量 (day ⁻¹ ·ind ⁻¹)	参考文献
83g	34 dry g	16)
88g	16-19 wet g	17)
150g	31-36 wet g	17)
160g	19 dry g	16)
187g	15 dry g	16)

ロナマコは内湾の静穏な砂泥底に多く見られ、アオナマコは主に内湾の砂泥底に分布する。また、アカナマコは海藻の生えた岩礁帯に多く見られるなど生息環境がやや異なるが、その遺伝的特性に関する知見は乏しい。

(2) 実験方法

徳島県小松島港沖洲地区に面した臨海実験場の 6 つの水路で、2000 年 4 月 24 日から 2000 年 9 月 13 日の 141 日間実験を行った。底面 60×32cm の水路には同港で採取した堆積物を 1mm 目合いのふるいでふるった後、微生物やベントスを除去するために -21℃で数日間凍結処理した。水路には、実験開始時によく混合して均一にした堆積物を厚さ約 20cm になるように敷き詰め、水路ごとに性状の違いが生じないようにした。水路の規模はマナマコの漁場の個体群密度として報告されている 4-16 個体·m⁻²²²⁾を考慮して決めた。実験場に面した港内の DL-1m の位置からろ過などの処理をせずに海水を直接取水し、そのまま各水路に水位約 15cm と一定にして、5L·min⁻¹の流量で導水した。同港内で採取した 3 個体のアオナマコを水路に 1 個体ずつ入れ、残りの 3 水路にはマナマコを入れないコントロールとして実験を開始した。アオナマコはそれぞれ湿重量 102, 92, 74 g のものを用いた。なおここでは水路内での一次生産を抑制するために水路には終始蓋をし、暗条件とした。水路内の海水、堆積物、マナマコの湿重量などの測定は 2 週間ごとに以下の要領で行なった。

海水は、水温、塩分、DO (TOA 製, DO-21P)、SS、DN と DP について測定した²³⁾。試料は実験期間中を通して、表層から 1cm までの表層泥を木下ら²⁴⁾と同様に直径 1.6cm のプラスチック製シリンジを用いて採取し、含水率、Eh (TOA 製, RM-12P)、AVS (酸揮発性硫化物²⁵⁾、GASTEC 製, 801)、TOC と TN (CHN コーダ, YANACO 製, MT-5 型)を測定した。また 84 日目 (7 月 17 日)には同様に堆積物を採取

し、表層から 1cm ごとに切断した後、各深さごとの試料を上記の項目について分析した。AVS として検知される硫化物は H_2S や HS^- 、 FeS などの還元型硫化物である²¹⁾。TOC、TN の分析には炭酸塩除去法²³⁾に従って前処理を行った。なお、堆積物の採取地点を記録しておき、重複して採取することがないようにした。また、シリンジの側面からの目視観察を行いながら、採取した堆積物の構造を崩壊しないように試料を採取した。また、試料の採取場所による測定値のばらつきを考慮し、堆積物の採取は 1 回ごとに 1 水路につき 3 箇所で行った。また、海水を入れたプラスチック製容器にマナマコを入れ、数値が安定するまで繰り返しマナマコの湿重量を秤量した。

3. 結果

(1) 水質

図-1 に水路内の水温と DO の経時変化を示す。水温は実験開始時では 13℃であったが、その後徐々に上昇し、8 月 24 日には最高値 26℃を示した。DO は実験開始時には $8.7mg \cdot l^{-1}$ で、7 月上旬頃には $4mg \cdot l^{-1}$ 前後に低下したものの死亡や忌避するマナマコはみられなかった。表-2 に 4 月 24 日～9 月 13 日の測定結果を示す。港湾内では赤潮などの現象はみられず、塩分、SS、DN、DP には実験期間中大きな変動は見られなかった。

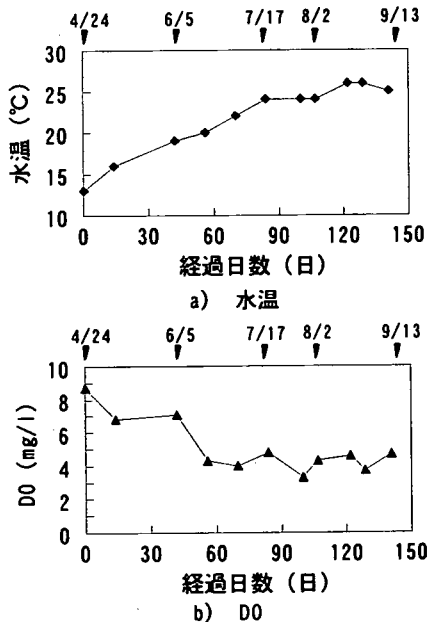


図-1 水温とDOの変化

表-2 水路内の海水

測定項目	測定値
塩分 (psu)	30-34
SS (mg/L)	2.9-3.7
DN (mg/L)	1.7-2.5
DP (mg/L)	0.04-0.07

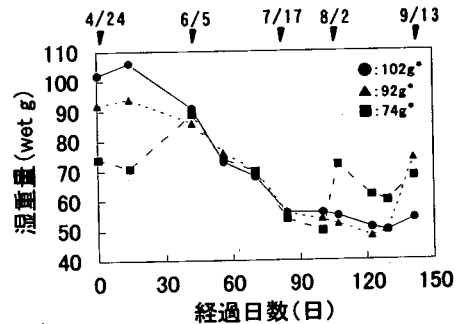


図-2 マナマコの湿重量の変化
(*: 実験開始時の重量)

(2) マナマコの湿重量の経時変化

図-2 に実験開始から 141 日目 (9 月 13 日) までのマナマコの湿重量の変化を示す。マナマコの湿重量は実験開始時から減少を始め、8 月に最も低下し、その減少率は 44-53%であった。その後、大きな減少はみられず、実験終了時の湿重量の減少率は大きな個体から 47、20、8%と小さな個体ほどその値は小さかった。最も高い減少率は自然海域での 5 月中旬から 10 月初旬にかけての値 (減少率: 45-65%¹⁷⁾) の範囲内にあることから、特に水路という人工的な環境によってマナマコが強くストレスを受けていたとは考えられない。なお、実験初期の 2 週間 (4 月 24 日～5 月 8 日) を除いてマナマコの糞塊は見られなかったが、匍匐行動は冬季に比べると少ないものの実験期間中終始行われていた。

(3) 表層～深さ 1cm の表層堆積物の性状の経時変化

図-3 に堆積物の表層から深さ 1cm までの含水率、Eh、AVS、TOC、TN の経時変化を示す。図-3a および 3b から堆積物の含水率と Eh には測定日ごとに変動し、マナマコの有無による違いは見られなかった。

AVS (図-3c) は、実験開始から 42 日目 (6 月 5 日) からマナマコ有りの水路の堆積物の方が低くなり、この傾向は実験期間中ほぼ継続していた。有機物濃度では TOC (図-3d) に明らかな違いは見られず、TN 濃度 (図-3e) に 84 日目 (7 月 17 日) までマナマコ有りのほうが高い傾向が見られたが、その後は明確な違いはなかった。

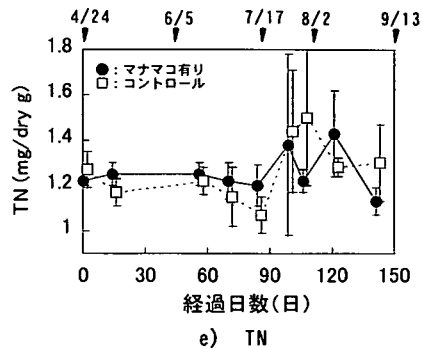
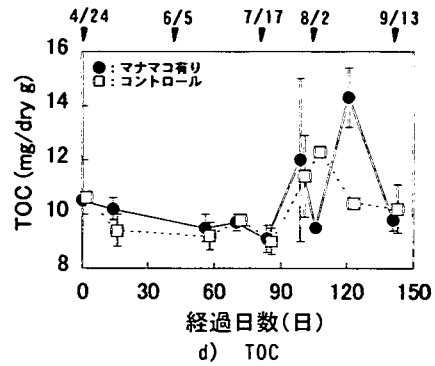
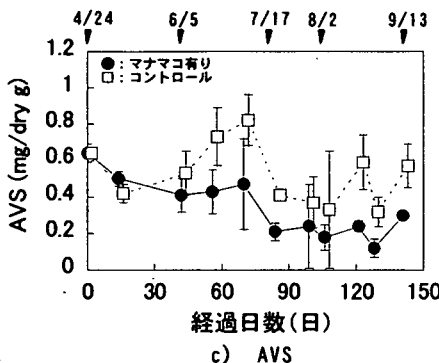
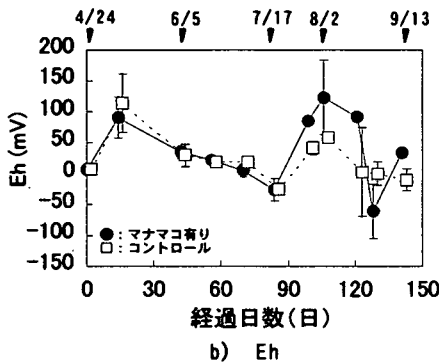
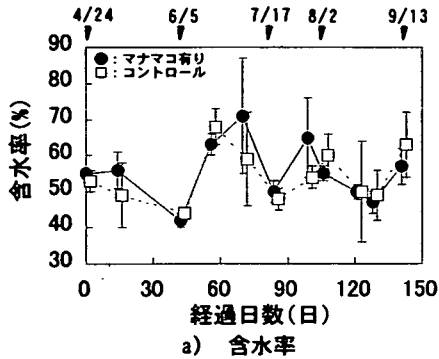
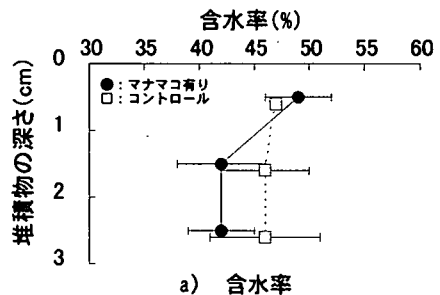


図-3 堆積物表層 (表層～深さ1cm) の性状変化 (平均±標準偏差)

(4) 堆積物の深さ方向の性状変化

図-4 に実験開始 84 日目 (7 月 17 日) に採取した堆積物の深さ方向の含水率、Eh、AVS、TOC、TN の測定結果を示す。含水率 (図-4a) と Eh (図-4b) では、マナマコの有無による明確な違いは見られなかった。AVS (図-4c) ではマナマコ有りの方が表層から深さ 2cm までにおいて有意に低かった (U-test, $p < 0.05$)。TOC (図-4d) と TN (図-4e) はともにコントロールとの間に統計的な有意差はなかった。



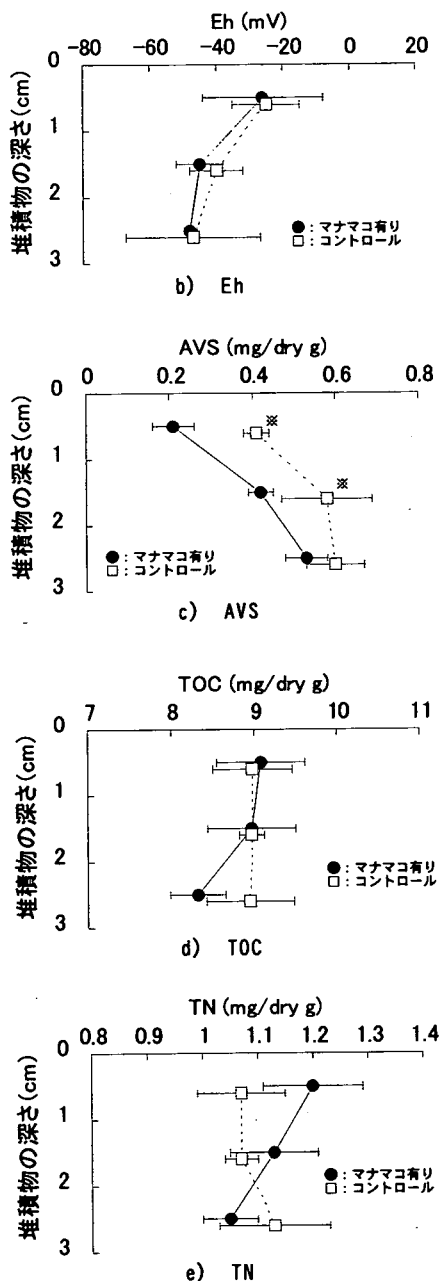


図-4 実験開始84日目の堆積物の深さ方向の性状変化 (平均±標準偏差, * : U-test, p<0.05)

4. 考察

(1) 有機物濃度の変化

有機物の性状変化を研究した例として、

Moriarty²⁶⁾ がサンゴ礁でマナマコと近縁のクロナマコ類の一種 (*Holothuria atra*) は微小藻類を含んだ栄養価に富む堆積物のごく表層部を摂食し、TOC や TN 量は減少したと報告している。また、Amon と Herndl²⁶⁾ は野外調査を行なった結果、クロナマコ類の一種 (*Holothuria thubulosa*) は摂食する堆積物の有機物濃度が低い場合 ($16\text{mg TOC}\cdot\text{g}^{-1}$ 以下) には糞の濃度は上昇するが、堆積物有機物濃度が高い場合は減少し、また、ある一定以上の栄養価でなければ同化できないと述べている。本実験でも糞塊から摂食行動の有無を判断すると、実験初期の6月初旬までは堆積物を摂食していたことは推察されるものの、堆積物の有機物濃度に差異は見られなかった。このことから、本実験で有機物の減少傾向が見られなかった理由として、実験に用いた堆積物の初期 TOC 濃度が $10.5\pm 0.2\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ と比較的良かったことや、分析に用いた試料の厚さよりも相当に薄い、堆積物のごく表層部を摂食していた可能性が考えられる。今後は、表層の数 mm オーダーの分析を行ってマナマコの有無による有機物濃度の違いを調べる必要がある。

(2) 還元型硫化物濃度の変化

6月中旬以降は糞塊は見られなかったものの、匍匐行動は観察され、マナマコを入れた水路で AVS 濃度に明確な減少傾向が見られた。生物攪拌によって堆積物表層部に酸素が供給されると、還元型硫化物が変化し、堆積物中の硫化物の酸化サイクルが高められること¹²⁾ が知られている。しかし、これらは巣穴を掘るゴカイ類²⁷⁾ やイトゴカイ類^{6), 9)} についてであり、匍匐型の生物についての研究事例は数少ない。著者らの冬季を中心に行なったマナマコの室内実験^{16), 28)} や野外実験²⁹⁾ では対照系に比較して AVS はおよそ 66-88%減少していた。これらの結果では匍匐行動と摂食の両作用の影響を区別していない。摂食行動の影響について、マナマコと同じ棘皮動物のウニ類では還元型硫化物濃度が減少することが報告されている³⁰⁾。しかし、本実験では摂食行動が実験初期に限られていたため、AVS 濃度の減少は摂食行動によるものではなく、主に匍匐行動によって間隙水が交換され、堆積物中に酸素が供給されて還元型硫化物が酸化されたと考えられる。

また実験開始時から 84 日目の計測では AVS の減少傾向が深さ 2cm に及んでいた (図-4c)。これまでも、マナマコの摂食と匍匐行動の両作用を受けて、酸化層が深さ方向に拡大することは著者らの実験^{28), 29)} や、同じ匍匐型の生物であるウニ類を

対象にした研究でも報告されている¹⁹⁾。これらは摂食行動、糞の排泄、埋め戻しの過程を経て、深さ方向に酸化された堆積物が拡がるためであると考えられたが、本実験の結果は、酸化層の形成には匍匐運動の影響も大きいことを示している。

以上の結果から、マナマコが不活性化し、摂食行動が見られなくなる夏季では、有機物濃度の変化は生じないものの、匍匐行動に伴う生物攪拌によって深さ方向への酸化層は拡大もしくは維持されていることが示唆された。

(3) 底生生物群集に及ぼすマナマコの生物攪拌作用

堆積物食者が生息することによる堆積物の変化に伴い生物相も変化し³¹⁾、同じ方法で摂食を行う生物では互いに競争する場合が見られる³²⁾。また、酸化層の厚さが増すとその底生生物の生息域が拡大するとともに他の生物の侵入を促すことが知られている¹²⁾。本実験と同様の装置を用いた水路実験から、底生生物群集はマナマコの生物攪拌作用によって影響を受け、マナマコを入れた水路では統計的な有意差は見られなかったものの(Mann-Whitney U-test, $p > 0.05$)、特に懸濁物食生物の二枚貝の個体数が多くなった³³⁾(図-5)。このことはマナマコの生物攪拌によって夏季を含めて通年酸化層を拡大する作用が加えられると、二枚貝の定着、成長に適した底質環境が形成されることを示唆している。つまり、マナマコの生物攪拌作用は、二枚貝類の生息に正の効果をもたらし、その効果は底生生物群集の組成ではなく、一部の機能的分類群に影響すると思われる。また二枚貝の存在する系と存在しない系でマナマコの成長を比較すると、付着性の二枚貝の存在する系の方がマナマコの成長速度が大きくなる

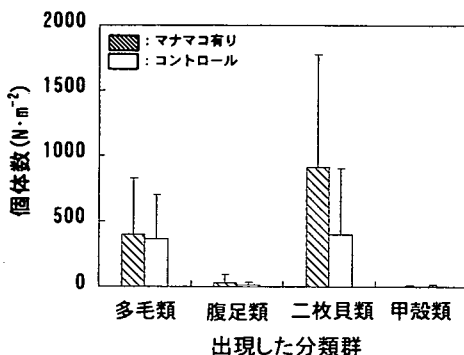


図-5 マナマコの有無による底生生物群集の比較 (平均±標準偏差)

ことが野外実験で明らかになっている³⁴⁾。これは二枚貝によって植物プランクトンを含む懸濁物がろ過、排泄された結果、TOC, TN, Chl-a といった餌の栄養価と堆積物量が高められたためと考えられている。これらのことから、マナマコの生物攪拌は埋在性の二枚貝の定着、成長を促し、さらに二枚貝の摂食、排泄活動によって自らの成長に有利な餌環境を形成する作用であることが示唆される。

5. 結論

本研究では富栄養化海域の表在性の堆積物食生物マナマコの生物攪拌作用について暗条件での水路実験を行い、次のような結果を得た。

- 1) 夏季においてマナマコは不活性化して湿重量は減少し、堆積物中の有機物の減少は見られなかった。また、有機物濃度は深さ方向でも対照系と有意な差が見られなかった。
- 2) マナマコの匍匐行動によって堆積物中の還元型硫化物濃度は減少し、その作用は深さ 2cm に及んでいた。
- 3) マナマコの活動が不活性化する夏季に酸化層を拡大する作用は、冬季と同様に埋在性の二枚貝の現存量を増加させる一方で、二枚貝の懸濁物の摂食、排泄によってマナマコの餌環境が向上させることが示唆された。

謝辞：本研究を実施するにあたり、湯村清氏（有）湯村器械）にマナマコの採取にご協力いただきました。調査、実験にあたり協力してもらった社会リスク工学研究室学生一同に感謝いたします。また、臨海実験室での実験を行うにあたりご協力いただきました国土交通省四国地方整備局小松島港湾空港工事事務所の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 清水徹, 駒井幸雄, 小山武信, 永淵修, 日野康良, 村上和仁: 瀬戸内海における汚濁負荷量と水質の変遷, 水環境学会誌, No.21/11, pp.780-788, 1998.
- 2) 星加章, 谷本照己, 三島康史: 大阪湾における富栄養化と内部生産有機物, 水環境学会誌, No.21/11, pp.765-771, 1998.
- 3) 菊池泰二: ベントスの働き 生物攪拌を中心に, 沿岸環境研究ノート, No.18/2, pp.67-77, 1981.

- 4) 上月康則：自立的な沿岸域の“自然再生”を促す海岸構造物の開発－生態系工学的アプローチによる海のバイオープづくり－, 水, No.9, pp.65-72, 2002.
- 5) 栗原康 編著：河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版, 1988.
- 6) 門谷茂, 堤裕昭：ベントスによる漁場底泥の環境修復, 生物機能による環境修復－水産における Bioremediation は可能か－, 日本水産学会監修, No.110, pp.65-78, 1996.
- 7) Kikuchi, E.: Effects of brackish deposit-feeding polychaetes *Notomastus* sp. (Capitellidae) and *Neanthes japonica* (Izuka) (Nereidae) on sedimentary O₂ consumption and CO₂ production rates, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol.114, pp.15-25, 1987.
- 8) Sayama, M. and Kurihara, Y.: Relationship between burrowing activity of the polychaetous annelid, *Neanthes japonica* (Izuka) and nitrification-denitrification processes in the sediments, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol.72, pp.233-241, 1983.
- 9) Holmer, M., Forbes, V.E. and Forbes, T.L.: Impact of the polychaete *Capitella* sp. 1 on microbial activity in an organic-rich marine sediment contaminated with the polycyclic aromatic hydrocarbon fluoranthene, *J. Mar. Biol.*, Vol.128, pp.679-688, 1997.
- 10) Aller, R.C. and Dodge, R.E.: Animal-sediment relations in a tropical lagoon Discovery Bay, Jamaica, *J. Mar. Res.*, Vol.32-2, pp.209-232, 1974.
- 11) Andrea, A. F. D. and Lopez, G. R.: Benthic macrofauna in a shallow water carbonate sediment: major bioturbators at the Dry Tortugas, *Geo-marine letters*, Vol.17, pp.276-282, 1997.
- 12) 菊地永祐, 向井宏：生物攪拌：ベントスによる環境改変（総説）, 日本ベントス学会誌, No.46, pp.59-79, 1994.
- 13) Hall, S.J.: Physical disturbance and marine benthic communities: Life in unconsolidated sediments, *Ocea. Mar. Biol.: an Ann. Rev.*, Vol.32, pp.179-239, 1994.
- 14) Snelgrove, P.V.R. and Butman, C.A.: Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect *Ocea. Mar. Biol.: an Ann. Rev.*, Vol.32, pp.111-177, 1994.
- 15) 日本水産資源保護協会 編集：大阪湾の海域環境と生物生産, 水産研究叢書, No.49, 2002.
- 16) 村上仁士, 上月康則, 鎌倉浩二, 岩村俊平, 豊田祐作：ナマコを利用した底質改善効果の定量化に関する検討, 海岸工学論文集, No.46, pp.1226-1230, 1999.
- 17) 権相：なまこの研究－まなまこの形態・生態・養殖－, 海文堂, 1963.
- 18) 山元憲一：マナマコの酸素消費に及ぼす低酸素と水温の影響, 水産増殖, No.40/3 号, pp.313-316, 1992.
- 19) Hollertz, K. and Duchene, J.C.: Burrowing behavior and sediment reworking in the heart urchin *Brissopsis lyrifera* Forbes (Spatangoida), *Mar. Biol.*, Vol.139, pp.951-957, 2001.
- 20) 加藤暁生, 平田八郎：水槽内におけるマナマコの日周性と水温, 水産増殖, No.38/1, pp.75-80, 1990.
- 21) 畑中宏之, 上奥秀樹, 安田徹：マナマコのイトマキヒトデによる食害に関する実験的研究, 水産増殖, No.42/4, pp.563-566, 1994.
- 22) 松宮義晴：長崎県大村湾におけるマナマコ資源の解析, 長崎大学水産学部研究報告, No.55, pp.1-8, 1984.
- 23) 日本海洋学会 編：沿岸環境調査マニュアル（底質・生物篇）, pp.57-59, 1986.
- 24) Kinoshita, K., Wada, M., Kogure, K. and Furota, T.: Mud shrimp burrows as dynamic traps and processors of tidal-flat materials, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 247, pp.159-164, 2003.
- 25) 寒川喜三郎, 日色和夫 編著：最新の底質分析と化学動態, 技報堂出版, pp.77-116, 1996.
- 26) Moriarty, D.J.W.: Feeding of *Holothuria atra* and *Stichopus chloronotus* on bacteria, organic carbon and organic nitrogen in sediments of the Great Barrier Reef, *Aust. J. Mar. Fres. Res.*, Vol.33, pp.255-263, 1982.
- 27) Amon, R.M.W. and Herndl, G.J.: Deposit feeding and sediment: decomposition of fecal pellets of *Holothuria tubulosa* (Holothurioida, Echinodermata), *Mar. Ecol.*, Vol.12/2, pp.175-184, 1991.
- 28) 富永明, 栗原康：河口干潟における底生生物と有機物分解活性, 日本ベントス研究会誌, No.32, pp.1-11, 1988.
- 29) 倉田健悟, 上月康則, 村上仁士, 仁木秀則, 豊田祐作, 北野倫生：内湾性水域におけるマナマコを利用した底質改善手法, 海岸工学論文集, No.47, pp.1086-1090, 2000.
- 30) Kurata, K., Kozuki, Y., Kitano, M., Otsuka, K. and Murakami, H.: Influence of sea cucumber on sediment improvement in a closed aquatic environment, *Ecov. Mono.*, in press, 2003.
- 31) Thorsen, M.S.: Microbial activity, oxygen status and fermentation in the gut of the irregular sea urchin *Echinocardium cordatum* (Spatangoida: Echinodermata), *Mar. Biol.*, Vol.132, pp.423-433, 1998.
- 32) Tsuchiya, M. and Kurihara, Y.: Effect of the feeding behavior of macrobenthos on changes in environmental

- conditions of intertidal flats, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol.44, pp.85-94, 1980.
- 33) Kotta, J., Orav, H. and Kilpi, E.S.: Ecological consequence of the introduction of the polychaete *Marenzelleria cf. viridis* into a shallow-water biotope of the northern baltic sea, *J. Sea Res.*, Vol.46, pp.273-280, 2001.
- 34) Kitano, M., Kurata, K., Kozuki, Y., Murakami, H., Yamasaki, T., Yoshida, H. and Sasayama, H.: Effects of deposit feeder *Stichopus japonicus* on algal flourish and organic matter contents on bottom of enclosed sea, *Mar. Poll. Bull. EMECS 2001, in press*, 2003.
- 35) 芳田英朗, 倉田健悟, 上月康則, 村上仁士: ムラサキイガイ (*Mytilus galloprovincialis*) の糞塊がマナマコ (*Stichopus japonicus*) の成長に及ぼす影響について, 日本ベントス学会要旨集, No.16, p.94, 2002.

(2003.1.22 受付)

BIOTURBATION OF DEPOSIT-FEEDING SEA CUCUMBER *STICHOPUS JAPONICUS* IN SUMMER

Michio KITANO, Yasunori KOZUKI, Kengo KURATA, Hitoshi MURAKAMI,
Takayuki YAMASAKI, Hideaki YOSHIDA and Masahiro MIZUTANI

One of the purpose of environmental restoration in coastal area is to revive an ecosystem in which the material cycle from suspended solid proceeds successfully. In this paper, we investigated bioturbation of sediment by the dominant deposit-feeding species of sea cucumber *Stichopus japonicus* in coastal sandy mud bottom.

Conclusions are as follows: 1) There were no feeding activity with a rise of water temperature, and concentrations of organic matter did not differ in respect with the presence of sea cucumbers. 2) Moving behavior of *S. japonicus* had decreased concentrations of reduced sulfide within the depth of 2 cm. 3) The effects of bioturbation by *S. japonicus* acted to increase the number of infaunal bivalves, which may increase the amount of food for *S. japonicus*.