

干潟底質環境に及ぼすヤマトオサガニの 生物攪拌作用に関する基礎的実験

A Fundamental Experiment on the Bioturbation of Sediment by
Macrophthalmus japonicus in tidal flat

大谷壮介¹・上月康則²・酒井 孟³・石山 哲³
笹岡宏光³・澳津賀仁³・安葉映宏³・村上仁士⁴

Sosuke OTANI, Yasunori KOZUKI, Hajime SAKAI, Tetsu ISHIYAMA, Hiromitsu SASAOKA
Yoshihito OKITSU, Akihiro YASUBA and Hitoshi MURAKAMI

Bioturbation of sediment by the dominant deposit-feeding species of *Macrophthalmus japonicus* in muddy tidal flat have been studied. Microphytobenthos biomass was measured in response to manipulation that varied population of *M. japonicus* in the field and laboratory experiment. It was observed that ingestion activity of *M. japonicus* had decreased Chl *a* of sediments. In addition, concentrations of sulfide with in the depth of 2 mm therefore, ingestion activity of *M. japonicus* maintain aerobic environment of sediments. These results imply that bioturbation by *M. japonicus* may influence to material cycle.

1. 緒 論

干潟の底生生物が藻類の摂餌や巣穴を掘ることなどで堆積物を攪拌することを生物攪拌といい、堆積物の物理的、化学的性状を大きく変化させることが知られている(菊池・向井, 1994)。生物攪拌については、従来、多毛類に関する研究は数多くなされている(Kikuchi, 1987; Holmer ら, 1997)が、砂ダンゴを無数に作るスナガニ類の生物攪拌に関する検討はほとんどなされていなく、矢持ら(1997)が泥干潟で優占するヤマトオサガニについて、底質環境改善効果を示している程度である。また、これまでの干潟の物質循環に関してはアサリを中心とした砂質干潟の物質循環に関するものが多く、泥質干潟の物質循環機能についての研究事例は数少ない(畑ら, 2006)。

そこで、本研究では多くの泥干潟で優占するヤマトオサガニに着目し、生物攪拌の一つである摂餌活動が底質の性状に及ぼす影響を現地実験、室内実験で検討し、考察を加えた。

2. 調査および実験方法

徳島県勝浦川河口干潟(図-1)にて、2006年10月にゲージを用いた現地実験を行った。まず現地でスコップで穴を掘り、全面を1mmメッシュの網で覆った直方体型

のゲージ(33cm×33cm×60cm)を深さ30cmまで埋設し、15ケース設置した。ゲージは、カニ密度大の系(6個体/ゲージ)、カニ密度小の系(現地と同じ生息密度、3個体/ゲージ)、カニなしの系のゲージを用いて5ケースずつ設けた。堆積物に関しては、デイスボシリンジ(Φ30mm)を用いて1ゲージにつき5回採取し、堆積物表層1mmのChl *a*量(Whitney and Darley, 1979)を4週目まで測定し、同期間中のヤマトオサガニの成長量も測定した。また、ヤマトオサガニ以外の大型の生物の侵入を防ぐために、ゲージには1mmメッシュの網でふたをした。

室内実験は、潮汐を再現した干潟実験水槽(60cm×60cm×90cm、日東機材(株)製、図-2)を用いて、現地と同様の実験を行った。現地では表層泥の巻き上がりなどの影響が生じるものの、室内実験ではヤマトオサガニの生物攪拌の影響のみを見ることができる。まず、勝浦川河口干潟より採集した泥を実験室に持ち帰り、深さ20cmになるまで干潟実験水槽に投入した後に、干潟実験水槽内の水を循環し、泥を数日間静置させ、ヤマトオサガニを投入した。それぞれの水槽に投入したカニの個

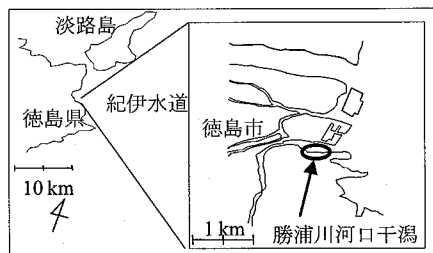


図-1 調査地域

- | | | |
|---------|------|--------------------------|
| 1 学生会員 | 修(工) | 徳島大学大学院工学研究科 |
| 2 正 会 員 | 博(工) | 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部教授 |
| 3 学生会員 | | 徳島大学大学院先端技術科学教育部環境創生工学専攻 |
| 4 フェロー | 工博 | 徳島大学環境防災研究センター客員教授 |

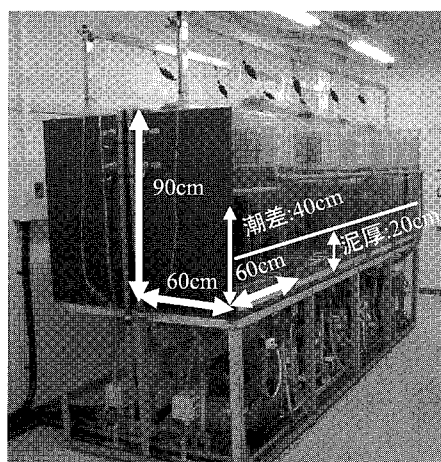


図-2 干潟実験水槽

体数は、20 個体（カニ密度大の系と同じ）、10 個体（カニ密度小の系と同じ）、0 個体（カニなしの系と同じ）とした。

堆積物に関しては、ディスクシリンジ（ $\phi 30$ mm）を用いて 1 水槽につき 3 回採取した表層 0.5 mm の Chl *a* 量、TOC（Thermo Finigan 社製 FLASH EA1112 元素分析装置）、AVS、酸素生産および消費速度を測定した。Chl *a* 量、TOC、酸素生産および消費速度は実験開始から 2 週間毎に測定し、AVS については、実験開始から 1 週間毎に測定した。また、実験開始 7 週間目には深度 3 mm まで堆積物を 0.5 mm 間隔に Chl *a* 量および AVS を測定した。実験は 12 週間実施し、実験期間中の水温は 20℃、塩分は 30 psu、照明は点灯、消灯をそれぞれ 12 時間、潮汐による干満は 6 時間周期とした。なお、ゲージおよび実験水槽に投入したカニは、毎月行っている勝浦川河口干潟現存量調査から得られたヤマトオサガニの生息密度より決定した。また、ゲージおよび実験水槽に投入した泥は、予め 5 mm ふるいを用いて大型底生生物を除去した後に投入した。一度攪拌した泥の藻類量は 3～4 日で元の状態に戻る（Byers, 2000）ことから、泥を投入してから数日間静置した後に、初期値の試料を採取した。

3. 調査結果

(1) 現地実験結果

まず、ゲージ内外における物理的要因の影響を検討するために、石膏球を用いた実験を行った。ゲージ内外の石膏球の減少量には、統計的有意差が認められ（U-test, $P < 0.01$, $n = 9$ ）、ゲージ内外での流速や底質の巻き上がりが異なっていることが示された。次に、現地ゲージ実験における Chl *a* 量の変化を図-3 に示す。実

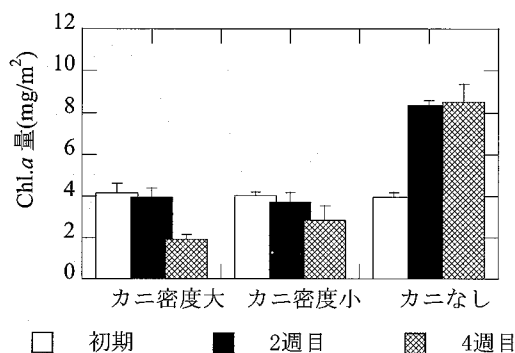
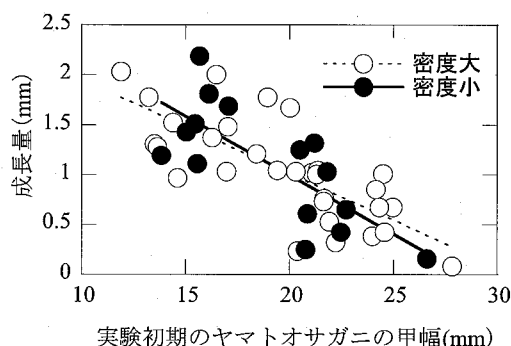
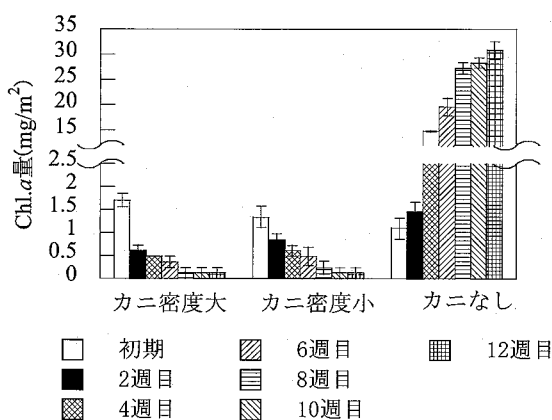
図-3 現地ゲージ実験における Chl *a* 量の変化（平均値±標準誤差）

図-4 ヤマトオサガニの成長量

図-5 室内実験における Chl *a* 量の変化（平均値±標準誤差）

験開始直後の Chl *a* 量は、それぞれのゲージで約 4 mg/m²と同様の値を示した。その後、2 週間目、4 週間目のカニなしの系の Chl *a* 量は、8.36 mg/m²、8.81 mg/m²を示し、これらを初期値と比べると約 2 倍増加していた（Kruskal-Wallis-test, $P < 0.01$ ）。また、カニ密度大の系の Chl *a* 量は、3.45 mg/m²、1.79 mg/m²、密度小の系では、3.72 mg/m²、2.94 mg/m²と初期値と

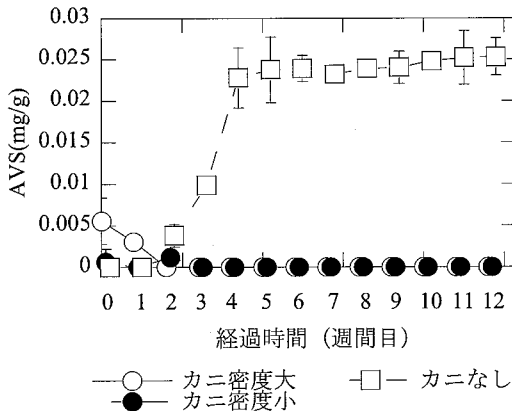


図-6 室内実験における AVS の変化
(平均値 ± 標準誤差)

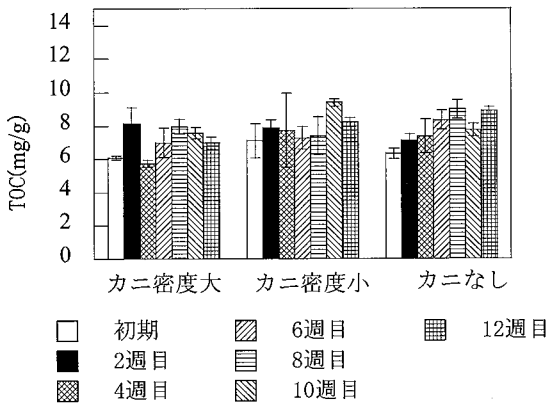


図-7 室内実験における TOC の変化
(平均値 ± 標準誤差)

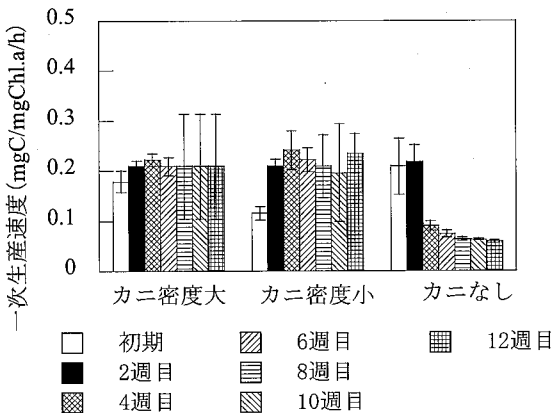


図-8 室内実験における一次生産速度の変化
(平均値 ± 標準誤差)

比べて徐々に減少し、カニ密度大の系では統計的な有意差が認められた (Kruskal-Wallis-test, $P < 0.01$) が、カニ密度小の系では認められなかった (Kruskal-Wallis-test, n.s.).

次に、同期間におけるカニの成長量を図-4 に示す。図-4 より、同時に測定したヤマトオサガニの成長量は、ゲージ周辺の現存量調査結果をもとに行ったコホート解析によるカニの成長量と同程度であり、ゲージ内での摂餌活性に及ぼすヤマトオサガニの競争などの影響は小さかったと思われる。さらに、ヤマトオサガニの生産量から有機物の固定量を求めると、カニ密度大の系では堆積物中からカニ 1 個体あたり 29.3 mgC/month/ind., カニ密度小の系では 29.2 mgC/month/ind. と同程度の量であった。

(2) 室内実験結果

室内実験での実験開始から 12 週間目までの Chl *a* 量の変化を図-5 に示す。図-5 より、実験開始直後の Chl *a* 量は、カニ密度大の系、カニ密度小の系、カニなしの系において、それぞれ 1.71 mg/m², 1.34 mg/m², 1.10 mg/m² であった。その後、2 週目から 10 週間目までのカニ密度大の系、密度小の系における堆積物表層の Chl *a* 量は、現地実験同様、初期値から減少傾向を示した (Kruskal-Wallis-test, $P < 0.01$)。一方、カニなしの系の Chl *a* 量は、4 週間目に大きく増加し (14.7 mg/m²)、10 週目には初期値 (1.1 mg/m²) と比べ、約 30 倍 (28.4 mg/m²) となった。さらに実験開始直後から、カニ密度大の系と密度小の系の AVS は減少し、3 週目以降の AVS は 0 mg/g となったが、カニなしの AVS は 4 週目に急激な増加が認められた (図-6)。これは Chl *a* 量の増加にみられたように、堆積物上の底生微細藻類がマット化し、それが堆積物内への酸素供給を遮り、堆積物表層が嫌気化したためと考えられる。

室内実験での実験開始から 12 週間目までの TOC の変化を図-7 に示す。TOC は初期から 12 週間目まで、それぞれの水槽について、統計的な有意差は認められなく (Kruskal-Wallis-test, n.s.), Chl *a* 量のような増減はなかった。TOC は AVS でみられた Chl *a* 量の増減に伴う堆積物の性状に大きな変化はなく、底生微細藻類由来の有機物の増減は認められなかった。また、室内実験における一次生産速度の変化を図-8 に示す。カニ密度大の系、カニ密度小の系の Chl *a* 単位あたりの一次生産速度はともに、初期から 12 週間目まで、統計的な有意差は認められなかった (Kruskal-Wallis-test, n.s.)。一方、カニなしの系では一次生産速度は 4 週目に Chl *a* 量の増加に伴って、初期値の約半分にまで減少し (Kruskal-Wallis-test, $P < 0.05$)、Chl *a* 単位あたりの生産活性は低下していた。以上のように、カニなしの系の堆積物表層では、底生微細藻類を餌とするヤマトオサガニがいないために、Chl *a* 量および AVS の増加といった堆積物の性状の変化が認められた。

次に、室内実験における実験 7 週目の深さ方向の Chl

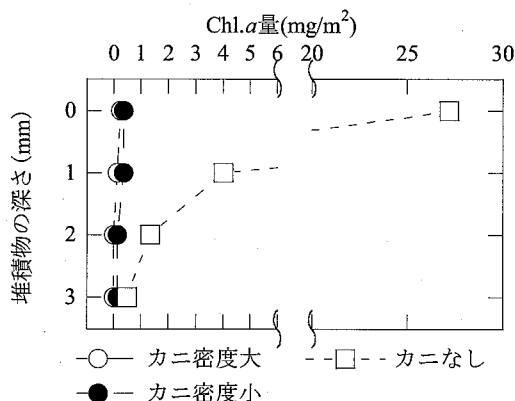


図-9 室内実験における実験7週目の深さ方向のChl. a量の鉛直分布 (平均値±標準誤差)

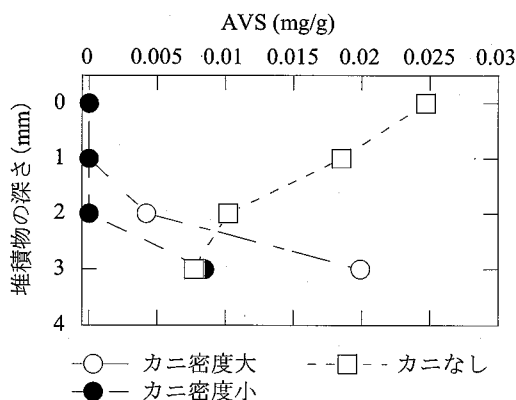


図-10 室内実験における実験7週目の深さ方向のAVSの鉛直分布 (平均値±標準誤差)

α 量の鉛直分布を図-9, AVSの鉛直分布を図-10に示す。堆積物の深さ3mmまでの鉛直分布について、室内実験でのカニ密度大の系、密度小の系のChl. a量はほぼ0 mg/m^2 の様な鉛直分布であった。また、AVSは堆積物の深さ方向に、カニ密度大の系では2mmから増加し、カニ密度小の系では深さ3mmから増加していた。その一方で、カニなしの系でのChl. a量とAVSの鉛直分布は、堆積物表層で高く、深くなるにつれて減少し、その影響は深さ2mm程度にまで及んでいた。なお、実験水槽でのヤマトオサガニの生産による有機物固定量は、5.59 $\text{mgC}/\text{month}/\text{ind.}$ (カニ密度大), 6.03 $\text{mgC}/\text{month}/\text{ind.}$ (カニ密度小)と現地値の約1/4と小さかったが、これは水槽内の栄養塩や光量の違いを反映したものと思われる。

4. 考 察

(1) 堆積物の表層の性状変化

本干潟では夏季に、ヤマトオサガニは藻類量を減ずる

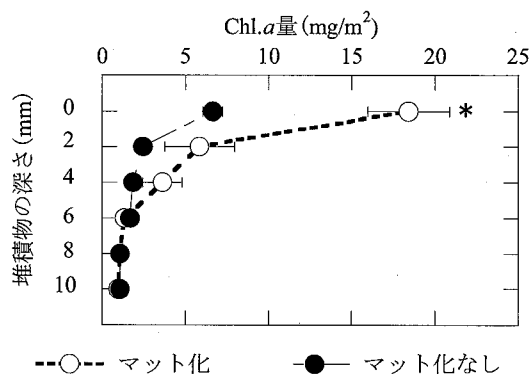


図-11 現地におけるマット化した堆積物とマット化なしの堆積物のChl. a量の変化 (平均値±標準誤差, *: U-test, $P<0.01$)

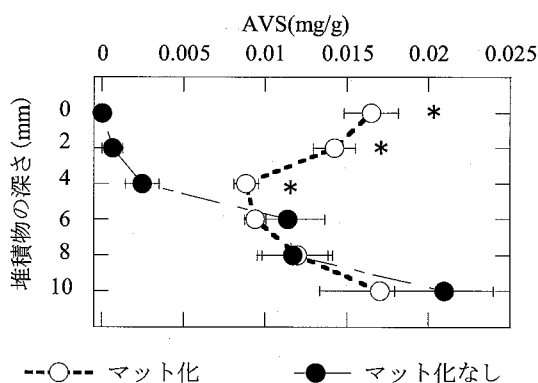


図-12 現地におけるマット化した堆積物とマット化なしの堆積物のAVSの変化 (平均値±標準誤差, *: U-test, $P<0.01$)

ように摂餌活動が作用しており、冬季にはヤマトオサガニの活性が低下することから藻類量が増加し、堆積物表層がマット化することが認められている(大谷ら, 2006)。そこで本研究では、現地実験結果および室内実験結果から、ヤマトオサガニの摂餌活動は、藻類量を減ずる作用があることを示すことができた。さらに、ヤマトオサガニは摂餌に伴い底質をひっくり返すように攪拌するため、摂餌と同時に底質内に酸素を供給し、干潟表層を好気的な状態に保っていることが推察される。つまり、カニの摂餌活動による泥の攪拌は、餌資源である底生微細藻類量を減少させるとともに、泥を直接的に空気に触れさせるように酸化させ、堆積物を好気的な環境に維持している。

したがって、泥を攪拌するようなスナガニがいなければ、極微細な底生藻類であっても、泥の表面を覆うようにマット化し、大型藻類のアオサ(柳川ら, 2004)同様に泥内への酸素の供給を遮り、AVSは増加し、堆積物は嫌気化する。特に、藻類の生産速度の高い夏季には、底生微細藻類の生産によって、藻類量も高くなると考え

られるが、底生藻類を摂餌するヤマトオサガニが優占する干潟では、底生微細藻類の一次生産速度を超え、その場の藻類量を減少させるほどに、ヤマトオサガニの摂餌活性は高く（大谷ら、2006）、そのことによって、底質環境の悪化は防がれていると言える。

（2）堆積物の鉛直分布の性状変化

室内実験の結果より、ヤマトオサガニの摂餌活動によって表層のみでなく、堆積物の鉛直方向の性状にも影響を与えている結果が得られた。ここで、現地においてマット化した堆積物とマット化なしの堆積物の Chl a 量（図-11）と AVS（図-12）の鉛直分布を示す。マット化なしとマット化した堆積物の Chl a 量は表層（1 mm）が高く、深度方向に減少しており、堆積物表層の Chl a 量は、両者の間で統計的に有意な違いが認められた（U-test, $P < 0.01$, $n = 5$ ）が、2 mm 以深の Chl a 量に関して、違いは認められなかった。

マット化している堆積物の AVS は、表層から深度 4 mm 程度までは減少するものの、再び深度方向に増加した。マット化なしの堆積物の表層の AVS は 0 mg/g であり、深度方向に増加し、深度 10 mm では 0.02 mg/g を示した。さらに、深度別に両者間の堆積物の AVS は、表層から 4 mm までに関して、統計的な違いが認められ、それ以深の AVS に統計的な違いは認められなかった（U-test, n.s., $n = 5$ ）。このように、現地におけるマット化した堆積物とマット化なしの堆積物の鉛直分布の性状は表層部で有意な違いが認められた。現地では堆積物表層の底生微細藻類がマット化するによって、堆積物の嫌気化の影響は 4 mm 程度にまで及ぶことが示唆される。

（3）ヤマトオサガニの生物攪拌作用について

ヤマトオサガニは堆積物の 0.5 mm 程度の極表層の堆積物をつまみ、そこに含まれる微細藻類を餌とし、残りの砂をダンゴ状にして排出している（小野、1995）。このような摂餌活動が続けられることによって、堆積物表層の藻類量は減少し、堆積物の表層では一次生産活性は高められ、2 mm の深さまで好気的な状態が形成されていた。さらに、摂餌行動に伴う生物攪拌に造巣活動の作用を加えると、この効果は大きくなり、ヤマトオサガニの生物攪拌作用が泥干潟上の物質循環に及ぼす影響は無視できないことを示唆している。

5. 結 論

1) 現地実験と室内実験にて、ヤマトオサガニの生息密度を変化させ、摂餌活動が底生微細藻類量に与える影響を測定したところ、カニなしの系では藻類量は増加したが、カニの存在する系では藻類量は減少した。つまり、ヤマトオサガニの摂餌活動は底生微細藻類量を減ずるように作用することが示された。

- 2) 室内実験にて、堆積物の鉛直方向の性状変化を測定したところ、ヤマトオサガニの摂餌活動によって堆積物中の Chl a 量および AVS は減少し、その作用は 2 mm の深さにまで及んでいた。このことはヤマトオサガニの摂餌活動は干潟の底質環境を好气的にかつ一次生産活性を維持するように作用していることを示している。
- 3) 現地における底生微細藻類のマット化は、堆積物中への酸素の供給を阻害することによって、堆積物の嫌気化を促し、その影響は 4 mm 程度にまで及ぶことが示唆された。

謝辞：本研究を行うにあたり有益なご助言をいただいた阿南高専の大田直友助教に謝意を表します。

参 考 文 献

- 大谷杜介・上月康則・仲井薫史・石山 哲・村上仁士(2006)：干潟の底生微細藻類量の季節変動に及ぼすヤマトオサガニの摂餌圧の影響に関する考察，海岸工学論文集，第 53 巻，pp. 1056-1060.
- 小野勇一(1995)：干潟のカニの自然誌，平凡社，自然叢書 29，271p.
- 菊池永祐・向井宏(1994)：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.
- 畑 恭子・芳川 忍・石川知樹(2006)：泥質干潟域における浮遊系-底生系結合生態系モデルの開発，水環境学会誌，Vol. 29，No. 8，pp. 459-460.
- 柳川竜一・矢持 進・橘 美典(2004)：潟湖の地形を有した都市型塩性湿地造成における問題点と解決に向けた提案，海岸工学論文集，第 51 巻，pp. 1196-1200.
- 矢持 進・岡本庄市・小田一紀(1997)：砂浜や泥浜に優占する底生生物の底質浄化能力-ニホンズナモグリとヤマトオサガニ-，海岸工学論文集，第 44 巻，pp. 1176-1180.
- Byers, J.E.(2000)：Competition between two estuarine snails: implications for invasions of exotic species, Ecology, Vol. 81, No. 5, pp. 1225-1239.
- Kikuchi, E(1987)：Effects of the Brackish Deposit-Feeding Polychaetes *Notomastus* sp. (Capitellidae) and *Neanthes japonica* (Izuka) (Nereidae) on Sedimentary O $_2$ Consumption and CO $_2$ Production Rates, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 114, No. 1, pp. 15-25.
- Holmer, M., V.E.Forbes, T.L. Forbes(1997)：Impact of the polychaete *Capitella* sp. I on microbial activity in an organic-rich marine sediment contaminated with the polycyclic aromatic hydrocarbon fluoranthene, Marine Biology, Vol. 128, No. 4, pp. 679-688.
- Whitney, D. E., W. M. Darley(1979)：A method for the determination of chlorophyll a in samples containing degradation products, Limnology and Oceanography, Vol. 24, pp. 183-186.