

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

大谷壮介¹・上月康則²・仲井薫史³
石山 哲⁴・村上仁士⁵

本研究では底生微細藻類量とヤマトオサガニの個体群密度の経月変化を4年間計測し、藻類からヤマトオサガニへの物質循環量およびヤマトオサガニが藻類量に及ぼす影響について考察した。安定同位体分析からヤマトオサガニは底生珪藻を主な餌資源としており、ヤマトオサガニの活動期には一次生産量の5.2%を二次生産に利用していることがわかった。また、藻類量は冬期に最大値が認められ、ヤマトオサガニの個体群密度の増減と対応関係にあった。以上のことより、洪水などの物理的な作用と同時に摂餌活動に伴う底質の生物攪拌作用も底生微細藻類量に影響を与えており、その結果、夏期の底生微細藻類量を減少させていることが考えられた。

1. 緒 論

底生微細藻類が水中の栄養塩を摂取し、有機物を生産することから始まる生物生産機能は、特に干潟では卓越している。従来より、このことに着目した研究が数多くなされてきた (MacIntyre ら, 1996) が、微細藻類が餌となり底生生物に転換される二次生産過程について、実際に調査検討が行われたものは、門谷 (1999) がアサリを対象に検討したものがみあたる程度である。干潟にはアサリの他にも、その場で優占する生物種は多く、なかでもスナガニ類は大型の底生生物で、かつ現存量で優占することも珍しくない。スナガニ類は摂餌の他に、造巢、砂団子をつくるといった生物攪拌作用も大きく、干潟の生物生産機能や物質循環作用に及ぼす影響も無視できないと考えられる。

そこで本研究では、一次生産活性が高い泥干潟で優占することの多い、ヤマトオサガニに着目し、一次生産から二次生産への物質の転換量を求め、さらにヤマトオサガニが底生微細藻類に及ぼす影響について考察した。

2. 調査および実験方法

(1) 現地調査

本研究では、徳島県を西から東に流れ、紀伊水道に面する勝浦川河口干潟を対象とし、2002年9月から2006年3月まで現地調査を行った(図-1)。本河口干潟の泥質域ではヤマトオサガニが優占しており、生物相としてはヤマトオサガニ以外にヘナタリが多く認められる。ヤマトオサガニの現存量調査では、13地点において

50×50×30 cm のコドラート枠を用いて、枠内の砂泥を深さ20 cm まで採取したのち、2 mm 目のふるいで採取した砂泥をふるい、ふるい内に残ったヤマトオサガニを採取した。また調査地点内の泥をディスクリッジ(φ15 mm)を用いて1地点につき3回採取した。これを6地点で行った。採取した試料は、表層から2 cm までの泥を0.5 cm 間隔で順にスライスし、それぞれの試料中のChl *a* 濃度をWhitney・Darley(1979)に従って、測定した。

(2) 底生珪藻による光強度および温度別の一次生産速度

勝浦川河口干潟に一年中優占する底生珪藻種 *Navicula* sp. を単離培養し、酸素消費量測定実験装置 (O₂UP TESTER 6C, TAITEC 社製) を用いて、Montani ら (2003) の方法に従って一次生産速度について定式化を行った。

(3) 安定同位体比の測定

ヤマトオサガニの餌資源を推定するために、ヤマトオサガニとその餌資源と考えられる河川水および海水中の懸濁物、堆積物、ヨシ、底生珪藻類などの安定同位対比を測定した。特に藻類については、Carol A. Couch (1989) の方法に従い、珪藻の走光性を利用して、現場で採取した砂泥中から分離した。

また懸濁物については、海水中的のものと河川水中のものを区別して採取した。海水は、図-1に示す St.1~St.

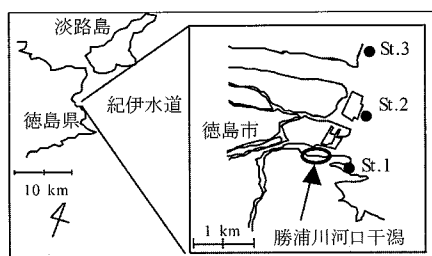


図-1 調査地域

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助教授
3 徳島大学大学院工学研究科
4 学生会員 徳島大学大学院工学研究科
5 フェロー 工博 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部教授

3の海岸で3L採水し、分析に供した。以下、これをMPOM (Marine-produced Organic Matter) と表記する。河川水中の懸濁物は、潮止めの堰堤上流で採水した。これを陸起源有機物としてTPOM (Terrestrial Organic Matter) と表記する。炭素・窒素同位体比の測定は、それぞれ前処理を行った試料を凍結乾燥機で24時間乾燥させ、デシケータ内で塩酸蒸気に24時間曝し、さらに凍結乾燥機で24時間乾燥させた後、炭素・窒素同位体元素分析計 (Thermo Finigan FLASH EA1112) に接続された質量分析計 (Thermo Finigan DELTA Plus Advantage) にて分析を行った。

3. 結果

(1) Chl. *a* 量の季節変化

気象条件とChl. *a* 量の経月変化を図-2に示す。Chl. *a* 量は観測開始後、2003年3月に90.2 mg Chl. *a*/m²と大きな値を示したが、その後急減した。4月以降再度増加し、2003年6月にピークを示したが、その値は冬期の半分程度であった。翌年の2004年1月には再びChl. *a* 量は増加した。また2005年冬期には増加傾向は認められなかったが、2005年7月にはChl. *a* 量は若干増加を

示し、2006年2月には再び65.7 mg Chl. *a*/m²と2002~2003年の冬に次ぐ大きな値を示した。

このようにChl. *a* 量は冬期に年間の最大値を示す傾向にあり、その量は5.8~90.2 mg Chl. *a*/m²の間で変動し、年平均は22.7 ± 14.8 mg Chl. *a*/m²であった。通年にわたって計測されたChl. *a* 量の事例には次のようなものがある。Montaniら(2003)が香川県の春日川・新川河口干潟で計測した値は27.7~120 (72.3 ± 27.1) mg Chl. *a*/m², Colijn・de Jongeら(1984)がオランダのEms-Dollardで計測した値は33~184 mg Chl. *a*/m², Gotoら(2000)が愛知県の一色干潟で計測した値は83~149 (112.4 ± 41.5) mg Chl. *a*/m²であった。これらの値を当勝浦川河口干潟のChl. *a* 量と比較すると、本干潟のChl. *a* 量は数分の一と少なく、かつ年間の最大量も夏期に示される点などで異なる点があった。

(2) 底生珪藻の一次生産量の推定

底生微細藻類の一次生産量推定のために、本干潟に優占する底生珪藻種 *Navicula* sp. の温度と光強度に対する一次生産速度の検討を行った。水温20℃では、底生珪藻 *Navicula* sp. の一次生産速度は光強度が高くなるほど増加し、光強度179 μmol/m²/sで一次生産速度は7.7

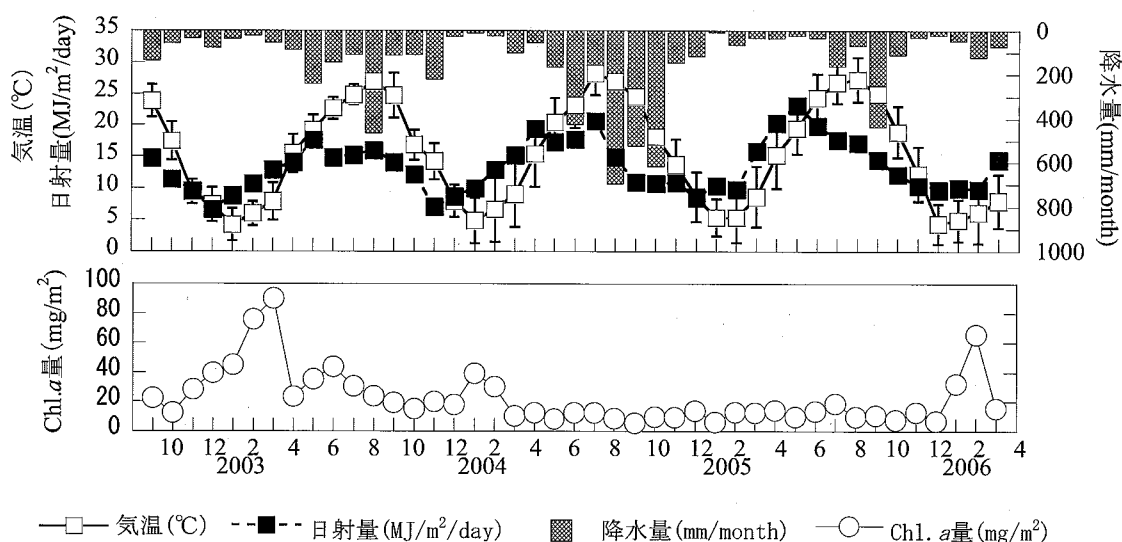


図-2 気象条件とChl. *a* 量の経月変化

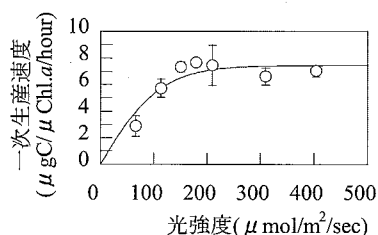


図-3 *Navicula* sp. の光強度と一次生産速度の関係

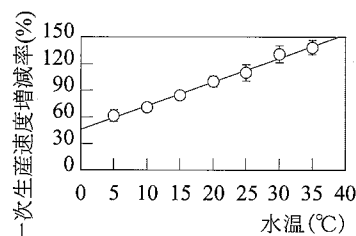


図-4 *Navicula* sp. の水温と一次生産速度の関係

$\mu\text{gC}/\mu\text{gChl. } a/\text{h}$ と最大値となり、それ以降は一定の値で安定していた (図-3)。Montani ら (2003) も同種で実験を行ったところ、光強度 $165 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で最大値 $7.9 \mu\text{gC}/\mu\text{gChl. } a/\text{h}$ を示したとあり、本実験結果と同様の値が得られていた。なお、以上の結果では底生珪藻の強光阻害は認められなかった。Raven・Richardson (1986) は珪藻や緑藻は藍藻類や鞭毛藻類に比較して強光阻害を受けにくいと指摘しているが、詳細については別途検討が必要と思われる。図-4 に、*Navicula* sp. の光強度 $336 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ における一次生産速度と水温との関係を示す。ここで一次生産速度増減率とは、水温 20°C における一次生産速度を 100% としたときの割合をいう。この図から、*Navicula* sp. の一次生産速度は、水温に伴い一定の傾きで増加することがわかる。以上の結果から、実験範囲内での、*Navicula* sp. の光強度および温度別の一次生産速度の関係は、以下の回帰式で表すことができた。

光強度と一次生産速度の関係

$$y = 7.5 \tanh(0.0089x) \quad R^2 = 0.81 \dots\dots\dots (1)$$

温度変化による一次生産速度増減率

$$\gamma = 45.9 + 2.68z \quad R^2 = 0.98 \dots\dots\dots (2)$$

y : 一次生産速度 ($\mu\text{gC}/\mu\text{gChl. } a/\text{h}$), x : 光強度 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), γ : 一次生産速度増減率 (%), z : 水温 ($^\circ\text{C}$)

これらの回帰式と Chl. a 量、干潟の泥温、水温の観測値の他、徳島県立農林水産総合技術センターが発表している潮汐観測資料、日射量を用いて、1 時間間隔での一次生産量を算出し、この合計値を 1 日の一次生産量とした。一次生産速度と一次生産量の経月変化の結果を図-5 に示す。図-5 より、Chl. a 単位量あたりの一次生産速度は、水温が高く、光量の強い夏期にピークを示すが、これに現存量を乗じた生産量は夏期とともに、冬期にも大きな値となった。生産量は 2002 年、2004 年、2005 年の冬期に急増していたが、2003 年、2004 年、2005 年の夏期には高い一次生産速度に応じるような、生産量の増加傾向は見られなかった。他の事例を参考に紹介すると、Montani ら (2003)、Colijn・de Jonge (1984) とともに、一次生産速度と生産量は夏期に最大値を示しており、そ

の生産量もそれぞれ $33 \sim 215$ (年平均: 89.4) $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{h}$, $1 \sim 120$ (年平均: 37.0) $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{h}$ と本干潟の一次生産量よりも高かった。

(3) ヤマトオサガニの餌資源、成長量および転換効率

ヤマトオサガニとその餌資源の安定同位対比を図-6 に示す。一般に $\delta^{13}\text{C}$ 値は食物連鎖を通じてほとんど変化せず、消費者の $\delta^{13}\text{C}$ 値は同化した餌の値とほぼ同じになる (Fry・Sherr, 1984)。実際に堆積物などの $\delta^{13}\text{C}$ 値はヤマトオサガニの $\delta^{13}\text{C}$ 値 ($\delta^{13}\text{C} = -15.9\%$) から大きく離れていた一方で、底生珪藻のみが近くにプロットされていた。また、ヤマトオサガニの消化管内を観察したところ、堆積物とともにデトリタスや底生珪藻などが確認された。以上のことから、ヤマトオサガニの主な餌資源は珪藻由来の有機物であると言える。

ヤマトオサガニは 4 月頃に産卵を行い、水温気温の上昇とともに活動も活発となるが、冬期には泥中で休眠する (小野, 1995)。本干潟環境では、新規加入の個体はその年の 6 月頃に体長 5 mm 程度の大きさとなって多数認められる一方で、冬期には大型の個体は、図-7 中の矢印にあるようにコホートが消滅していることから死滅する。また本調査期間中での個体群密度は、2004 年 8 月に $61 \text{ ind.}/\text{m}^2$ と最も高く、2003 年 1 月には $10 \text{ ind.}/\text{m}^2$ と最も低かった (図-8)。他にヤマトオサガニの個体を観測した調査事例 (Henmi, 1989) と比較すると、博多湾における成長量は、春から夏、秋期に向けて増加する傾向や個体群密度 ($29.2 \sim 66.5 \text{ ind.}/\text{m}^2$) は本干潟での結果と概ね同様であった。

次にこの結果から、成長量逐次計算法によって生産量を推定すると、ヤマトオサガニの生産量は $5.18 \sim 6.16 \text{ gC}/\text{m}^2/\text{year}$ 、年平均で $5.58 \pm 0.51 \text{ gC}/\text{m}^2/\text{year}$ であった。なお、香川県の春日川・新川河口干潟でのアサリの生産量は $26.5 \text{ gC}/\text{m}^2/\text{year}$ とヤマトオサガニの約 5 倍 (門谷, 1999) であった。またヤマトオサガニの活動状態を 4 月から 10 月までを活動期 (7 ヶ月間)、11 月から 3 月 (5 ヶ月間) までを休眠期と区分し、各期間内での底生微細藻類の一次生産量とヤマトオサガニの二次生産量を求めた。この値から底生微細藻類からヤマトオサ

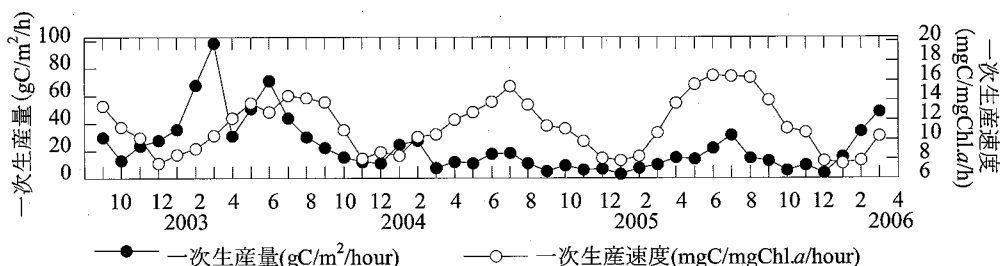


図-5 一次生産量と一次生産速度の経月変化

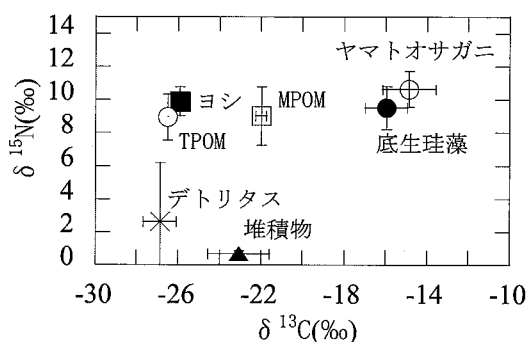


図-6 ヤマトオサガニと餌資源の安定同位対比

ガニへの転換効率を求めたところ、活動期の3年間の平均値は5.2%であった(表-1)。なお、門谷(1999)が計測した干潟での転換効率は12.5%であり、瀬戸内海全体での一次生産から二次生産への転換効率は28%との報告がある(上,1996)。

4. 考 察

(1) 底生微細藻類量の季節変動

本干潟の底生藻類量は冬期に最大値を示す傾向にあったが、他の研究(Colijn・de Jonge, 1984; Montaniら, 2003; 工藤ら, 2003)ではそのような結果は見られなかった。

一次生産速度は、気温が高く、光量も大きな夏期に最大となり、Colijn・de Jonge(1984)は一次生産量と堆積物表層砂泥(0~0.5 cm)のChl. *a*量との間に有意な

表-1 ヤマトオサガニの休眠期、活動期における一次生産量、二次生産量および転換効率

期 間	ヤマトオサガニの活動状態	一次生産量 (gC/m ² /month)	二次生産量 (gC/m ² /month)	転換効率(%)
02.11~03.03	休眠期	26.1	0.16	0.6
03.04~03.10	活動期	39.4	1.24	3.2
03.11~04.03	休眠期	8.6	-0.06	-0.7
04.04~04.10	活動期	12.5	0.89	7.2
04.11~05.03	休眠期	3.5	0.13	3.7
05.04~05.10	活動期	17.1	0.92	5.4

正の相関($r = 0.55$, $P < 0.01$)があると報告している。本結果でも、一次生産量とChl. *a*量の経月変化はよく一致し、両者の間に有意な正の相関($r = 0.85$, $P < 0.01$)が認められた。この結果から夏期に藻類の現存量が小さくなる理由は、藻類が激しく系外に流出するためであると考えられる。そこで、次に生産と系外流出の過程を物理的、生物的要因から検討する。

(2) 洪水の影響

2004年は観測史上、台風の上陸数が最大で大規模な洪水が頻発した年であり、それは図-2の当期間の降水量が多いことからわかる。その結果、他の年では生じていた6,7月の小さなピークも見られなかったと考えられる。その一方で、冬期に珪藻が増加する傾向にあったのは洪水がないこともその理由の一つとして考えられる。

(3) ヤマトオサガニによる摂餌圧の影響

ヤマトオサガニは主に底生珪藻を同化しているが、このヤマトオサガニの個体群密度や活性とChl. *a*量の変動

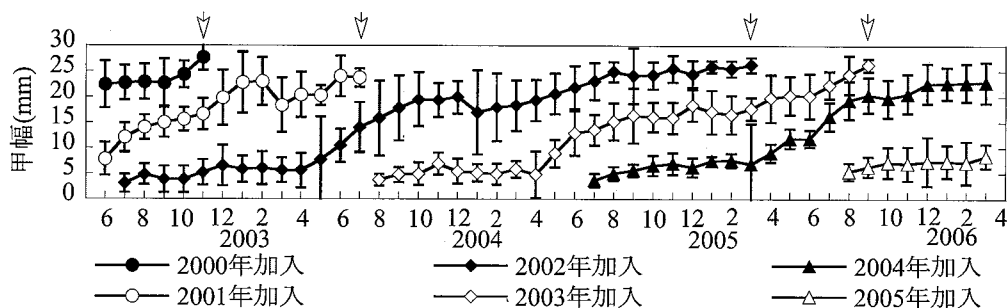


図-7 ヤマトオサガニの成長曲線

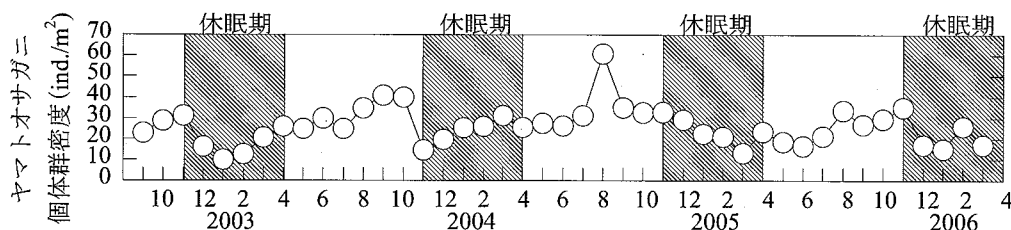


図-8 ヤマトオサガニの個体群密度の経月変化

は逆の増減傾向を示していた。

底生生物の種類と藻類量の増減について考えると、夏期に年間の藻類最大量を示す香川県の春日川・新川河口干潟で優占する生物種はアサリで、冠水時に水管を水中に突出し、干潟上の懸濁物を吸い込んで濾過摂食する生物であった。また砂泥質の干潟に分布する腹足類で、底質上を這いながら、堆積物を摂餌する摂餌様式を持つホソミミナが優占する干潟では、藻類量を減ずるように作用することを示唆する報告もある(児玉ら, 2002)。本調査干潟で優占するヤマトオサガニは、干潟表層堆積物をハサミですくい、口器に運び、砂団子を作りながら摂餌を行う(小野, 1995)種である。そのために、干出時には絶えず底質をひっくり返すように攪拌させ、大量の砂団子をつくっている。

このように事例は限られているものの、優占する底生生物の生物攪拌作用の大小は底生微細藻類量の季節変動に影響を与えていると考えられる。アサリなど堆積物を大きく攪拌しない生物種が優占する干潟では、底生微細藻類量は夏期と冬期に増加、夏期には年間最大値を示す。しかし、スナガニ類など大きな生物攪拌作用が認められる環境では夏期の藻類量は低く抑えられ、冬期に藻類量は年間最大となる。またヤマトオサガニへの転換率が活動期の夏期にあっても5.2%とそれほど大きくないにも関わらず藻類量は小さいことも、直接摂餌する量以上に、生物攪拌に伴う堆積物の不安定化が藻類量の増加を妨げているとの可能性を示唆している。

5. 結 論

1. 底生微細藻類量の指標である Chl. *a* 量は夏期には明瞭なピークは見られず、冬期に年間の最大値を示すように変動していた。他の研究事例では冬期にも増加するものの、年間の最大値は夏期に生じていた。
2. 一次生産速度が最も高い夏期にあるにも限らず、藻類量が増加しない理由は、当干潟から激しく藻類が流出しているためであった。2004年の結果から、洪水による物理的な流出作用が考えられた。
3. 藻類量に及ぼす生物的作用として次の理由から生物攪拌が大きく作用していることが示唆された。まずアサリが優占する干潟では、夏期にもピークを示すものの、生物攪拌作用が大きなヤマトオサガニが優占する環境では、一次生産活性の高い夏期の藻類量の顕著な増加は認められない。またヤマトオサガニの二次生産への転換効率が平均5.2%と他の事例に比較しても特に大きくないにも関わらず、藻類量が小さく抑えられていた。
4. このように生物的作用としては、直接藻類を摂餌

することの他にも、生物攪拌に伴う堆積物の不安定化が底生微細藻類量の増加を妨げ、年変動に影響を及ぼしていることが示唆された。今後ゲージを用いたヤマトオサガニ排除実験や同場所に優占するヘナタリについても同様に解析し、本仮説を確かめる必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたり有益なご助言をいただいた島根大学汽水域研究センターの倉田健悟助教授に謝意を表します。

参 考 文 献

- 上真一(1996)：基礎生産から魚類生産への転換、瀬戸内海の生物資源と環境、恒星社厚生閣, pp. 63-67.
- 小野勇一(1995)：干潟のカニの自然誌、平凡社、自然叢書 29, 271p.
- 工藤教男・児玉真史・徳永貴久・松永信博(2003)：干潟におけるアサリの消長が生物生息環境に及ぼす影響、海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1081-1085.
- 児玉真史・水田健太郎・松永信博(2002)：干潟における一次生産の空間分布、海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1106-1110.
- 徳永貴久・松永信博・工藤教男・宋孝士(2004)：過栄養海域に位置する干潟での水質変動特性、海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1016-1020.
- 門谷茂(1999)：沿岸浅海域における物質循環—潮下帯から河口干潟まで—、水環境学会誌, Vol.22, No.7, pp. 533-538.
- Carol A. Couch(1989)：Carbon and Nitrogen Stable Isotopes of Meiobenthos and their Food Resource, Coastal and Shelf Science, Vol.28, pp. 433-441.
- Colijn, F., V. N. de Jonge(1984)：Primary production of microphytobenthos in Ems-Dollard estuary, Marine Ecology Progress Series, Vol.14, pp. 185-196.
- Goto N, Mitamura O, Terai H (2000)：Seasonal variation in primary production of microphytobenthos at the Isshiki intertidal flat in Mikawa Bay, Limnology, Vol.1, pp. 133-138.
- Fry, B., Sherr, E. B. (1984)： $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. Contributions in Marine Science, Vol.27, pp. 13-47.
- Henmi, Y (1989)：Life-history patterns in two forms of *Macrophthalmus japonicus* (Crustacea: Brachyura), Marine Biology, Vol.101, pp. 53-60.
- MacIntyre, H. L., Geider, R. J., Miller, D. C. (1996)：Microphytobenthos: The Ecological Role of the "Secret Garden" of Unvegetated, Shallow-Water Marine Habitats. I. Estuaries, Vol.19, No.2, pp. 186-201.
- Montani S, Magni P, Abe N (2003)：Seasonal and interannual patterns of intertidal microphytobenthos in combination with laboratory and areal production estimates, Marine Ecology Progress Series, Vol.249, pp. 79-91.
- Raven, J. A., K. Richardson (1986)：Marine environment. In: Photosynthesis in Contrasting Environments, Baker, N. R. and S. P. Long, (eds.), Elsevier Scientific Publication, New York, pp. 337-396.
- Whitney, D. E., Darley, W. M. (1979)：A method for the determination of chlorophyll *a* in samples containing degradation products, Limnology and Oceanography, Vol.24, pp. 183-186.