

ソウジソコミジンコ (新称) *Amphiascus* sp.
(カイアシ亜綱, ソコミジンコ目) による
ノリ糸状体培養カキ殻の付着珪藻除去効果

三根 崇幸,^{1*} 川村 嘉広,¹ 上田 拓史²

(2005年1月24日受付, 2005年5月2日受理)

¹佐賀県有明水産振興センター, ²愛媛大学沿岸環境科学研究センター

Ability of *Amphiascus* sp. (Copepoda, Harpacticoida) to remove fouling
diatoms on conchocelis-bearing oyster shells in nori culture

TAKAYUKI MINE,^{1*} YOSHIO KAWAMURA¹ AND HIROSHI UEDA²

¹Saga Prefectural Ariake Fisheries Research and Development Center, Ogi, Saga 849-0313, ²Center for Marine
Environmental Studies, Ehime University, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan

Shell-boring conchocelis of nori *Porphyra* was incubated for 6 weeks with a harpacticoid copepod *Amphiascus* sp., which is sometimes observed to propagate in cultivation tanks of the conchocelis, to evaluate the ability of the copepod to remove fouling diatoms on the shells. In the control tank without the copepod, diatoms on the shells increased exponentially and changed the white color of the shells to brown during the experiment. The density of the copepods including nauplii on the shells increased to 5.3 animals/cm² for 6 weeks of culture. They suppressed the amount of fouling diatoms to about 1/6 of that in the control tank at the end of the experiment and the shell color was not changed except for the marginal area of the shell. Conchocelis after 6 weeks of culture was significantly longer in the experimental tank than in the control tank although its length was not different between the tanks for the initial 5 weeks. The nutrient concentrations such as PO₄ dropped more in the control tank. These results indicate that the copepod can effectively remove fouling diatoms from conchocelis-bearing shells, and so adding this copepod in conchocelis-culture tanks may reduce shell-cleaning labor in nori culture.

キーワード: ノリ, *Amphiascus* sp., *Porphyra yezoensis*, カキ殻糸状体, 生物的防除, ソコミジンコ, 付着珪藻

ノリ養殖は成熟したノリ糸状体から放出される殻胞子を網糸に付着させることによって開始される。有明海では、糸状体は一般に3月にカキ殻に穿孔させ、成熟する9月まで培養する。培養を開始して約2週間後から、糸状体が穿孔したカキ殻上に付着珪藻が目立ち始め、約1ヶ月後には表面全体を覆うようになる。カキ殻表面が付着珪藻に覆われると、光が遮られたり海水中の栄養分が奪われたりするため、糸状体の生長は抑制され、カキ殻の洗浄作業が月に2度は必要となる。佐賀県では、1シーズンに約7百万個のカキ殻に穿孔した糸状体(以下、カキ殻糸状体)が培養されており、カキ殻糸状体の洗浄には大変な作業労力が必要となっている。

佐賀県のノリ養殖業者の間では、このカキ殻糸状体を

培養する水槽にしばしば多数の小さな甲殻類が繁殖し、カキ殻表面の付着珪藻を除去することが知られている。この甲殻類はソコミジンコ Harpacticoida の1種で、長井ら(未発表)によれば、第5胸肢および生殖節の小棘列の有無等から *Amphiascus* 属の新種と考えられている。本種の付着珪藻除去行動を利用できれば、ノリ養殖糸状体培養におけるカキ殻洗浄作業の大幅な軽減が期待される。これまでソコミジンコが漁業と関わりあった例はあまり多くない。有害な例として、ソコミジンコによる養殖ワカメの食害¹⁾や、増殖稚ナマコの餌となる付着珪藻の食害²⁾がある。有益な例としては、*Tigriopus japonicus* が大量培養され、³⁾ マダイを始めとする多くの海産魚の初期餌料として利用されていることが知られて

* Tel : 81952-66-2000. Fax : 81952-66-4443. Email : mine-takayuki@pref.saga.lg.jp

いる。しかし、ソコムジンコを生物的防除の目的で利用した例はない。また、ノリ養殖のカキ殻洗浄に生物を利用した例もない。

ここでは、カキ殻糸状体培養水槽に繁殖する *Amphiascus* sp. をソウジソコムジンコ（新称）と呼び、そのカキ殻付着珪藻除去効果を明らかにすることを目的に、カキ殻糸状体培養水槽におけるソウジソコムジンコと付着珪藻量、培養海水の水質およびノリ糸状体の生長量との関係について実験を行った結果を報告する。

試料および方法

供試カキ殻糸状体の培養方法 実験に供したカキ殻糸状体は、室内でスサビノリ *Porphyra yezoensis* のフリー糸状体を 6 個体/cm² となるようにカキ殻に撒きつけ、糸状体の主枝の長さが約 2 mm となったものを用いた。培養はカキ殻の内面が上になるように並べた平面式で行い、SEA LIFE（マリンテック社製）に補強栄養塩として改変 SWM-Ⅲ⁴⁾ と Na₂SiO₃ を添加した人工海水を用いて、水温 20°C、光強度 8 μmol/sec/m²、12 時間明期：12 時間暗期のもとで行った。ソウジソコムジンコの培養実験も同様の条件で行った。

実験方法 コンテナ（41 cm×36 cm×深さ 17 cm）に 12 L の人工海水を満し、その中に表面積約 30 cm² のカキ殻糸状体を 30 枚並べ、佐賀県有明水産振興センターで飼育保存しているソウジソコムジンコを 100 個体/L となるように入れ、実験区とした。実験開始時の本種の発育段階組成はノープリウスが 64%、コペポダイト幼体および成体が 36% であった。また、ソウジソコムジンコ未添加の対照区を設けた。両区とも 6 週間培養し、7 日間毎にカキ殻上の本種個体数および発育段階組成、カキ殻表面の付着珪藻量、糸状体の生長、および水質を調べた。3 週目くらいからカキ殻表面上にソウジソコムジンコの緑色の糞が目立ち始めたので、3 週目以降 7 日間毎にカキ殻を手で軽く振って糞をカキ殻表面から落とした。計測方法は次の通りである。

カキ殻表面上のソウジソコムジンコ個体数および発育段階組成：実験区、対照区からそれぞれ無作為にカキ殻 3 枚を抽出し、殻表面に付着したソウジソコムジンコを水道水で流し落とし、これを目合い 30 μm のミューラーガーゼで濾して採集した。ホルマリン固定後、ノープリウス、コペポダイト幼体、成体を識別して計数した。カキ殻表面（内面）の面積は、複写機（FUJI XEROX DC352FS）でカキ殻を紙に複写し、複写された部分の紙の重量から換算して求めた。

カキ殻表面の付着珪藻量と糸状体の生長：ソウジソコムジンコの計数のために抽出したカキ殻の表面の付着珪藻をブラシで剥ぎ取り、ガラスファイバーフィルター（ワットマン、GF/C）で濾過した後、海洋観測指針の

抽出蛍光法⁵⁾によりクロロフィル a 量を求めた。それら 3 枚のカキ殻に穿孔した糸状体からそれぞれ大型の上位 10 個体の主枝の長さをノギスを用いて測定した。測定を終えたカキ殻はそれぞれ元の位置に戻した。

水質：実験区、対照区の海水の pH は pH メーター（東亜電波社製、HM-30S）を、栄養塩（NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、PO₄-P、および SiO₂-Si）濃度の測定にはオートアナライザー（BRAN-LUEBBE 製、TRAACS2000）を用いて測定した。

結 果

カキ殻表面上のソウジソコムジンコの個体数および発育段階組成 実験区のカキ殻表面上のソウジソコムジンコ個体数は 1 週目に 1.1 個体/cm² であり、その後増加し、6 週目には 5.3 個体/cm² になった（Fig. 1）。ノープリウス（Fig. 2A）の割合は 2 週目に最大 50.5% になったが、6 週目には 30.8% に減少した。コペポダイト幼体（Fig. 2B）は 3 週目に最大 50.6% になり、その後減少し 6 週目に 22.5% になった。成体（Fig. 2C）は日数とともに増加し、6 週目に 46.8% に達した。なお、本種はカキ殻表面だけでなく水中にも確認され、定量的ではないが培養海水の一部を吸い取り計数した結果、密度は 1 週目（30 個体/L）を除いて 60-80 個体/L で、日数とともに増える傾向はなかった。対照区ではカキ殻表面および水中にソウジソコムジンコが発見されることはなかった。

カキ殻表面の付着珪藻量 カキ殻表面の付着珪藻は両区とも長軸が 10 μm 前後の羽状目珪藻類であった。クロロフィル a 量は、両区とも 2 週目から増加が認められた（Fig. 3）。対照区では、2 週目以降 5 週目まで毎週 2 倍以上に増加したが、次の 6 週目までの 1 週間の増加は 1.3 倍で、全体として S 字形の増加になった。実験区

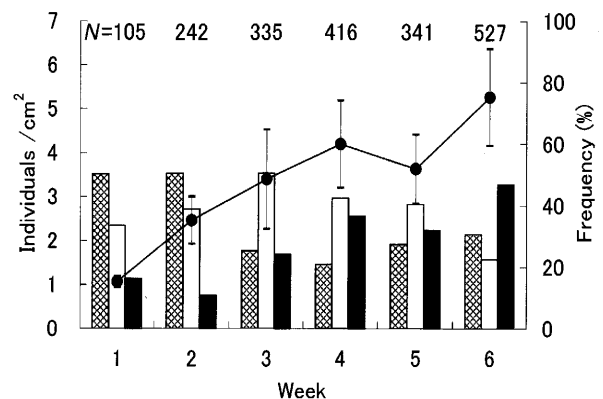


Fig. 1 Changes in the number of *Amphiascus* sp. on oyster shells and their developmental stage composition. ●, Number of *Amphiascus* sp.; ▨, Nauplii; □, Immature copepods; ■, Adult copepods. Vertical bars show standard deviations.

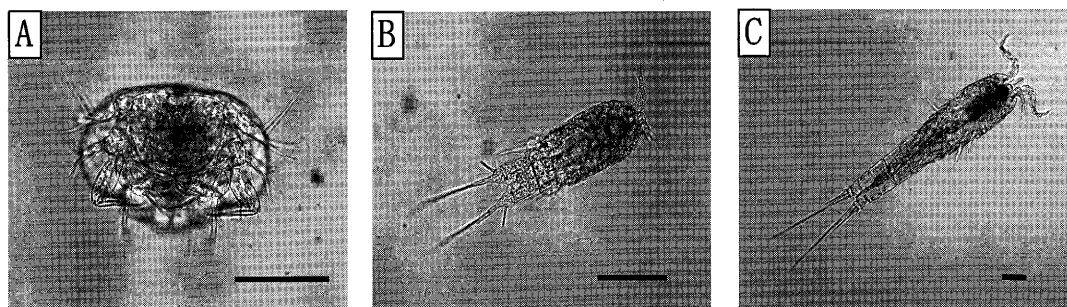


Fig. 2 Developmental stages of *Amphiascus* sp. (A) Nauplius, (B) Copepodite, (C) Adult male. Scale bar = 100 μm .

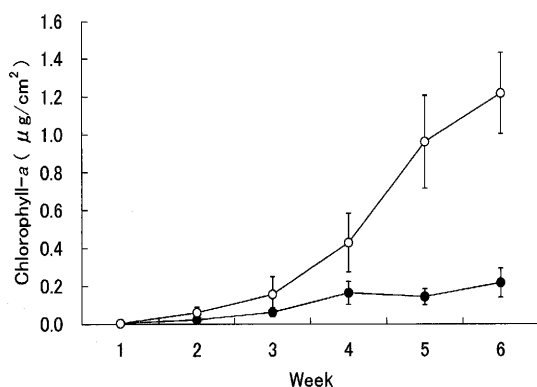


Fig. 3 Changes in the amount of chlorophyll-a on oyster shells. ●, Experimental tank (with copepods); ○, Control tank (without copepods). Vertical bars show standard deviations.

ではクロロフィル a 量の増加は少なく、4 週目以降は $0.2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 前後を推移し、6 週目では対照区 ($1.2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) の約 1/6 の量であった。6 週目、対照区のカキ殻は表面全体が付着珪藻で覆われて茶色に着色していたのに対し、実験区のカキ殻は縁部以外、付着珪藻による着色がほとんどなかった (Fig. 4)。

培養海水の水質 両区とも pH は日数の経過とともに上昇する傾向にあり、6 週目にはいずれも pH 8.5 を超えた (Fig. 5)。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は両区とも 4 週目までは減少したが、その後増加し、6 週目には実験区が $4.7 \mu\text{M}$ 、対照区が $3.6 \mu\text{M}$ になった。 DIN は対照区では 3 週目まではほとんど変化しなかったが、その後減少し、6 週目には $445.2 \mu\text{M}$ になった。実験区では 5 週目から減少し 6 週目に $459.2 \mu\text{M}$ になった。 $\text{PO}_4\text{-P}$ は両区とも 3 週目から徐々に減少し、6 週目には実験区が $18.9 \mu\text{M}$ 、対照区が $17.4 \mu\text{M}$ と同程度であった。 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は対照区が 3 週目から減少し、6 週目には $360.9 \mu\text{M}$ を示したのに対し、実験区は期間を通してほとんど変化せず、6 週目には $442.5 \mu\text{M}$ を示した。実験期間を通しての DIN 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、および $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 減少量 (初期値-終値) はそれぞれ対照区が、 82.5 、 7.5 、 $104.9 \mu\text{M}$ であったのに対し、実験区は 42.1 、 3.9 、 $-8.4 \mu\text{M}$ と低い値であった。

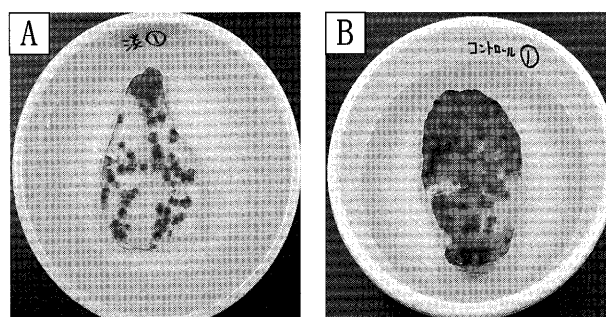


Fig. 4 Conchocelis-bearing oyster shells in (A) the experimental tank and (B) the control tank after six weeks of culture. Shell surface covered by fouling diatoms is brown and dark spots are shell-boring conchocelis.

糸状体の生長 5 週目までは両区とも同程度の生長を示し、主枝の長さは 1 週間に約 1 mm ずつ直線的に生長した (Fig. 6)。しかし、6 週目は、実験区ではそのまま生長を続け平均 7.9 mm になったのに対し、対照区では平均 6.8 mm と 5 週目からほとんど変わらず、そのため実験区のほうが有意に長くなった ($U\text{-test}$, $p < 0.05$)。

考 察

本研究の結果は、ソウジソコミジンコによってカキ殻上の大部分の付着珪藻が培養開始後 1 ヶ月以上にわたり除去されることを示している。したがって、ノリ糸状体培養水槽にソウジソコミジンコを添加し、増やすことによって、月に 2 度は行われるカキ殻洗浄作業が不要または大幅に軽減されることが期待できる。ソウジソコミジンコの付着珪藻除去は、糞粒が緑色を呈していることから、摂食行動によるものと考えられる。実験区では、実験開始時にカキ殻上の付着珪藻がまだ増殖していない状態でもソウジソコミジンコは直線的に増加し、また、6 週目のカキ殻表面には、肉眼的にはほとんど付着珪藻は認められなかったにも関わらず、カキ殻表面上のソウジソコミジンコの密度は $5.3 \text{ 個体}/\text{cm}^2$ と非常に高い密度に達した。これらの結果は、ソウジソコミジンコ

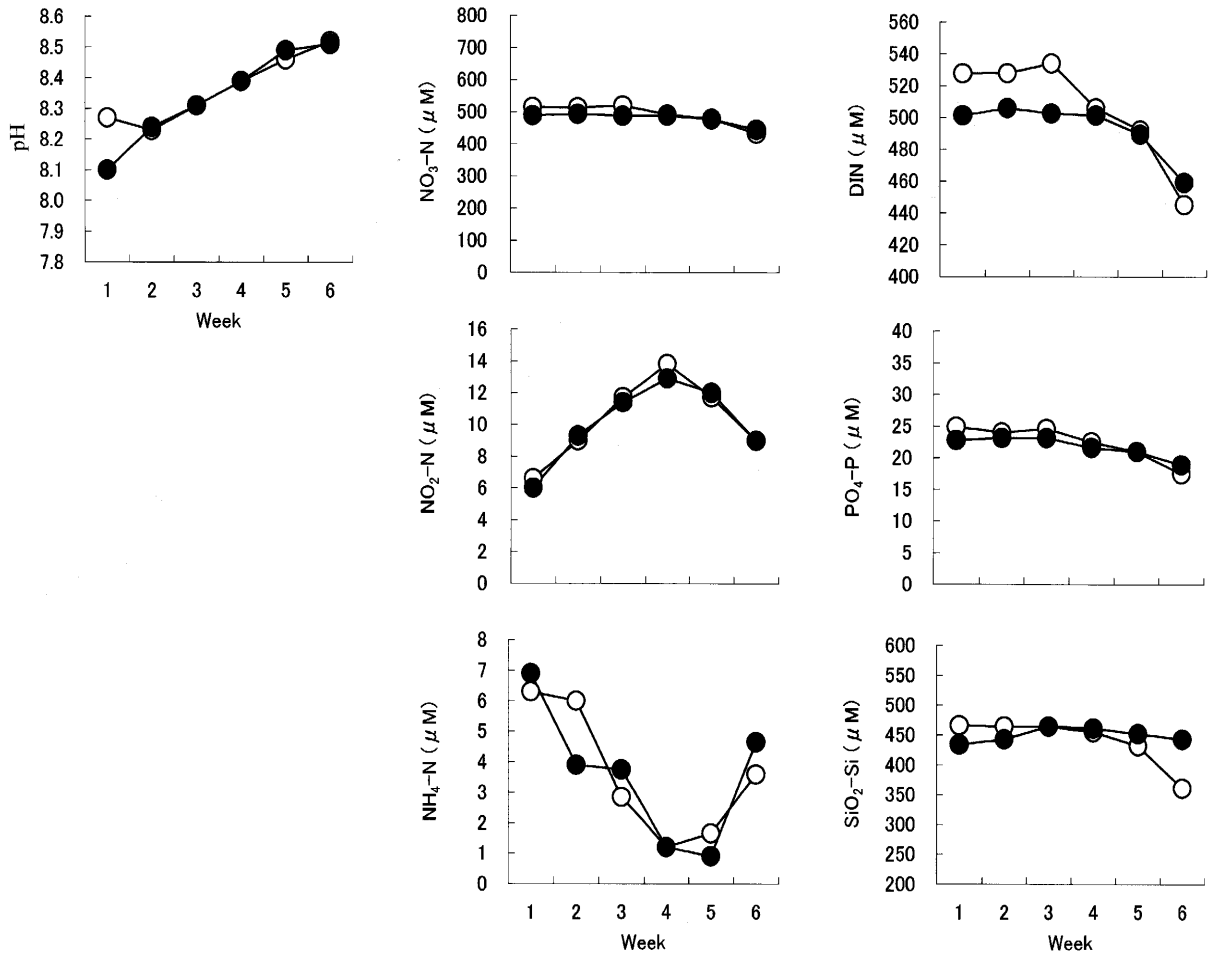


Fig. 5 Changes in pH and nutrients in the culture tanks. ●, Experimental tank (with copepods); ○, Control tank (without copepods).

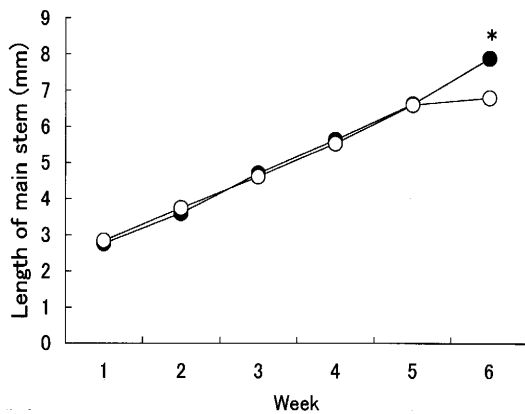


Fig. 6 Growth of shell-boring conchocelis. ●, Experimental tank (with copepods); ○, Control tank (without copepods). The asterisk indicates a statistically significant difference ($p < 0.05$) between the experimental and control tanks.

が付着珪藻以外の餌, 例えば, 自らの糞粒やその他の有機物を摂食可能であることを示している。ソウジソコミジンコは付着珪藻以外の餌の利用によって, 付着珪藻の量に関わらず個体密度を安定して維持することができ,

したがって, 付着珪藻の密度を低く抑え続けることができると考えられる。

カキ殻内部のノリ糸状体は, 実験区では実験終了の6週目まではほぼ直線的に生長したが, 対照区では5週目からの生長がほとんどなかった。対照区では, 5週目以降カキ殻表面全体が付着珪藻で覆われた状態になり, 5週目以降の生長抑制は付着珪藻で覆われたことによる光不足が推察される。古賀^{6,7)}は *Tigriopus japonicus* の増殖が順調かどうかはノープリウスの比率でわかり, 比率が高い時はさらなる増殖が期待でき, 低い時は増殖が期待できないとしている。本研究での培養6週目のノープリウス比率は30.8%と比較的高いことから, ソウジソコミジンコ個体数はさらに増加したと考えられる。したがって, 実験を6週間以上継続した場合, 実験区の付着珪藻の量は低い状態のまま抑えられ, 糸状体の生長も続いて, 対照区との差はさらに大きくなったと予想される。

動物プランクトンが排出する窒素は主にアンモニアであるが, 6週目の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は, 対照区が $3.6 \mu\text{M}$, 実験区が $4.7 \mu\text{M}$ と大きな差は見られなかった。岩崎⁸⁾は

培養海水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が $7100\ \mu\text{M}$ になると、糸状体の生長がわずかではあるが阻害されると報告している。培養6週目の実験区の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は $4.7\ \mu\text{M}$ ではるかに小さく、糸状体の生長に対する影響はないと考えられる。また、実験期間を通しての培養水の DIN 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、および $\text{SiO}_2\text{-Si}$ はいずれも対照区で顕著な減少がみられた。これら栄養塩は付着珪藻によって消費されたためと考えられ、付着珪藻の除去は糸状体の生長にとってより好ましい水質条件を作ることにもなるといえる。培養水のpHについては実験区、対照区とも同様であり、ソウジソコミジンコによるpHへの影響はないと考えられる。なお、右田⁹⁾は糸状体の生長はpH 8.8以上になると不良になると報告しており、また、カキ殻糸状体培養では培養海水がpH 8.5以上になった場合は換水すると良い結果が得られている。¹⁰⁾本研究では、6週目の培養海水のpHが両区とも8.5以上となったことから、換水は培養5週間に1回を目安にするかpH調整剤を入れる必要がある。

以上のことから、本研究からはノリ糸状体培養において、カキ殻洗浄のためにソウジソコミジンコを用いることの欠点は見あたらない。さらに、糸状体の付着珪藻除去に関しては、二酸化ゲルマニウム等を用いた薬剤処理では、薬剤が糸状体に与える影響を考慮する必要があるが、ソウジソコミジンコを用いた場合は糸状体に影響がないことから薬剤処理に比べて有効な方法と考えられる。平面式で培養した場合、日数とともに糞がカキ殻上に蓄積されてくるので、定期的に糞を除去する必要がある

が、糞はカキ殻表面や培養水槽に付着しないために容易に洗い流すことができる。ただし、糞はソウジソコミジンコ自身が摂食している可能性があり、また、糞とともにソウジソコミジンコも洗い流してしまう可能性もあるため、糞の除去方法については検討が必要である。また、実用化に向けて、本種の生活史や付着珪藻の摂食速度などを明らかにし、より効果的な利用方法を探ることが重要となる。

文 献

- 1) Ho JS, Hong JS. Harpacticoid copepods (Thalestridae) infesting the cultivated Wakame (brown alga, *Undaria pinnatifida*) in Korea. *J Nat Hist.* 1998; **22**: 1623-1637.
- 2) 伊藤史郎. マナマコの人工大量生産技術の開発に関する研究. 佐賀県栽培漁業センター研究報告 1995; **4**: 1-87.
- 3) 北島 力. コペポダの大量増殖の試験的試み. 日本プランクトン学会報 1973; **20**: 54-60.
- 4) 尾形英二. 新しい海藻培養液 SWM-III について. 藻類 1970; **18**: 171-173.
- 5) 気象庁編. 「海洋観測指針 (第1部)」財団法人気象業務支援センター, 東京. 1999; 118-121.
- 6) 古賀文洋. チグリオプスの培養法. 養殖 1981; **18**: 45-48.
- 7) 古賀文洋. 魚類の初期餌料としての動物プランクトンの探索と大量培養-V. 福岡県福岡水産試験場研究業務報告, 福岡県福岡水産試験場, 福岡. 1978; 124-132.
- 8) 岩崎英雄. アサクサノリの生理・生態に関する研究. 広島大学水畜産学部紀要 1965; **6**: 133-211.
- 9) 右田清治. ノリ糸状体の生長に及ぼす環境条件と培養液のpH変化について. 長大水研報 1959; **8**: 207-215.
- 10) 川村嘉応. 支柱式養殖のノリ生産基本マニュアル. 佐賀有明水振セ研報 1998; **18**: 37-52.