

富山湾氷見市沿岸のテングサ場における付着珪藻 *Arachnoidiscus ornatus* Ehrenb. の発生状況

砂 澤 洋 平・鈴 木 秀 和・能登谷 正 浩・藤 田 大 介

〒108-8477 東京都港区港南4-5-7 東京海洋大学海洋科学部

Occurrence of *Arachnoidiscus ornatus* in *Gelidium* beds of Himi City, Toyama Bay

Youhei Sunazawa, Hidekazu Suzuki, Masahiro Notoya and Daisuke Fujita

Faculty of Marine Science, Tokyo University of Marine Science and Technology,
Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan

Abstract

An attached diatom, *Arachnoidiscus ornatus* Ehrenb., has been known as a fouling organism on the commercially important agarophyte, *Gelidium elegans* Kütz. in Japan. When *Gelidium* thalli heavily covered with *A. ornatus* were dried before shipment, they turned grayish green from red (original thallus color) because of the discoloration of *A. ornatus*, resulting in the reduction of their commercial value. In this study, the occurrence of *A. ornatus* on *G. elegans* was monitored seasonally and quantitatively by collecting *G. elegans* at three sites along the coast of Himi City, Toyama Bay from 2004 to 2006. Coverage of *A. ornatus* on *G. elegans* was measured using the scanned photographs (600 dpi) of *G. elegans* thalli. In 2004 and 2005, higher coverage appeared from summer to autumn (up to 20 to 40%), namely the harvest season of *G. elegans*, while coverage was lower in the winter and spring. In 2006, as our previous studies showed that common gastropods in the *Gelidium* beds never affected the abundance of *A. ornatus*, effects of water temperature and nutrients were examined by culturing the fouled *Gelidium* branches in surface seawater, deep (i.e., nutrient-rich) seawater (DSW) and three levels (25, 50 and 75% DSW) of mixed seawaters at 10, 20 and 30°C. The number of attached *A. ornatus* increased in 50 to 100% DSW at 10 and in 25 to 100% at 20°C but decreased in every culture medium at 30°C. These results show that the abundance of *A. ornatus* is highly dependent on nutrient levels and the temperature of the Himi coastal waters (ca. 10–27°C).

Key index words: *Arachnoidiscus ornatus*, attached diatom, fouling, *Gelidium elegans*, nutrients, phenology

はじめに

小型多年生紅藻マクサ*Gelidium elegans* Kütz. が優占するテングサ場は、寒天原藻の漁場として、あるいはイセエビやサザエの幼稚保育場として重

要な藻場である。一方、マクサは古くから珪藻の着生基質としても知られてきた (Takano 1961)。特に、大型の付着珪藻*Arachnoidiscus ornatus* Ehrenb. (珪藻綱, 中心目) が大量に付着したマクサは、乾燥すると灰緑色の粉を塗したような外観となり商品価値が下がるため、地方によって、アオクサ、青ベト、墨草、青黴天草などと呼ばれ、全国各地でしばしば問題となってきた (藤田 2003,

2004)。

*Arachnoidiscus ornatus*について、近年、形態観察に基づく分類学的研究 (小林ら 1998) や増大胞子形成の観察 (Kobayashi *et al.* 2001) が行われている。しかし、本種の生態については知見が乏しい。約100年前、静岡県伊豆半島で調査を行った岡村 (1908) は、*A. ornatus*が付着していてもマクサは成熟し胞子を形成することを報告した。その後、北海道で調査を行った大野 (1935) は、「五月乃至六月 (稀に七―八月に及ぶ) に亘っては珪藻の一種*Arachnoidiscus ornatus* Ehr. の過度に附着し為めに植物体一面に黄色を呈することがある。併し夏季に入れば此のもの漸次消失し…中略…*Arachnoidiscus ornatus* Eher. は沿岸に淡水の停滞する時期に夥しく発生するものである。要するに夾雑物の附着はテングサの伸張旺盛なる時期の前後にして冬期は全く其の附着を見ぬ。」と記述した。木下・渋谷 (1951) も同様の内容を述べているにすぎない。そしてその後、*A. ornatus*の生態に関する研究は見当たらない。すなわち、これまでにテングサ場における*A. ornatus*の発生状況が定量的に調べられたことはなく、それを踏まえた増殖要因の検討も行われていない。

近年、富山湾、特に富山県氷見市沿岸のテングサ場においても、*A. ornatus*が頻繁に発生するようになっている (藤田 2001, 藤田・小善 2002)。藤田・小善 (2002) は、*A. ornatus*が高密度でマクサ藻体を被覆する様子を示している。そこで、筆者らは、この沿岸における*A. ornatus*の発生状況と増殖の要因を探る目的で、2004～2006年に氷見市のテングサ場において定期的なマクサのサンプリングを行い、マクサ上の*A. ornatus*の被度を調べ、加えて水温・栄養塩が*A. ornatus*の増減に及ぼす影響を調べるための室内培養試験を行ったので報告する。

材料と方法

採集は、2004年5月24日、7月24日、10月1日、11月18日、2005年4月20日、6月22日、9月1日、11月17日、2006年4月27日、6月16日、8月24日、11月2日の計12回、Figure 1に示した富山県氷見市の唐島 (水深1m, 3m, 5m)、間島 (水深2m)、阿尾 (水深1m, 3m) のマクサ群落で行った。いずれの地点も、海底は岩盤で、間島と阿尾では岩盤の上に生息するイワガキ*Crassostrea nippona*もマクサの着生基質となっていた。このうち、唐島は湊川、間島は余川、阿尾は阿尾川からの淡水流入の影響を受ける。唐島の水深5m以深はガラモ場、間島の水深2m以深と阿尾の水深3m以深はアマモ場となっており、いずれもテングサ場は分布していない。マクサの採集は50×50cmの方形枠を用いて各地の

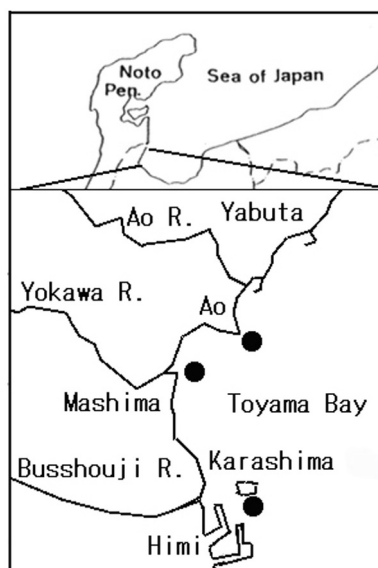


Fig. 1. Map showing the sampling sites (solid circle), Karashima, Mashima and Ao in Himi City, Toyama Prefecture, Japan.

岩盤で行った。ただし、阿尾の水深1mはコンクリートブロック (サザエ増殖用、3×3×1.5～2m、天端面に傾斜あり) から採集し、唐島の水深1mでは、マクサのパッチ (群叢) の大きさが50×50cmの方形枠よりも小さかったため、25×25cmの方形枠を用いて採集した。

採集したマクサ藻体は、現場において10%ホルマリンで固定後、東京海洋大学の実験室に持ち帰り、湿重量および*Arachnoidiscus ornatus*の被度を測定し、湿重量から現存量 (g/m^2) を算出した。今回観察された*A. ornatus*の被殻長は100～130 μm 前後で肉眼でも認められる状態であったため、その被度は、マクサをおしぼ標本とした後、マクサ藻体の画像をスキャナー (600dpi) でパソコンに取り込み、画像処理編集ソフトPhotoshop 4.0 (ADOBE SYSTEMS INC. San Jose, USA) を用いて、*A. ornatus*が付着したマクサの面積 (GA) および*A. ornatus*のみの面積 (A) を測定し、 $A/GA \times 100$ の数式を用いて求めた。被度の算定は、各地点各水深につき、附着器を有するマクサ5個体を用いて、それぞれ1藻体 (全体)、基部 (附着器から5cmの範囲)、先端部 (先端から5cmの範囲) の3通りについて行った。

水温・栄養塩に関する培養実験は、2006年6月に阿尾または唐島で採集したマクサのうち、100～200個体の*A. ornatus*が付着した全長10cm前後のマクサ3個体を選んで行った。マクサ藻体は1個体ず

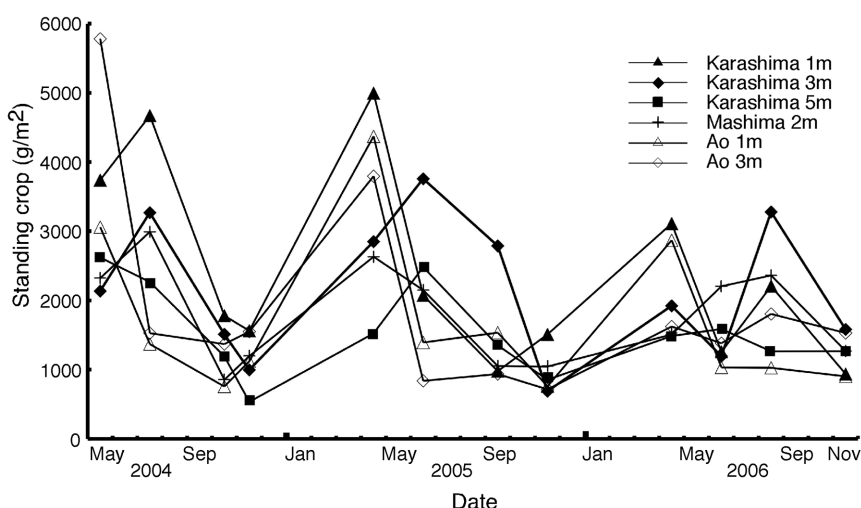


Fig. 2. Seasonal changes (2004-2006) in *Gelidium elegans* standing crops (g/m^2) collected from Karashima, (1, 3 and 5 m), Mashima (2 m) and Ao (1 and 3 m) in Himi City, Toyama Prefecture, Japan.

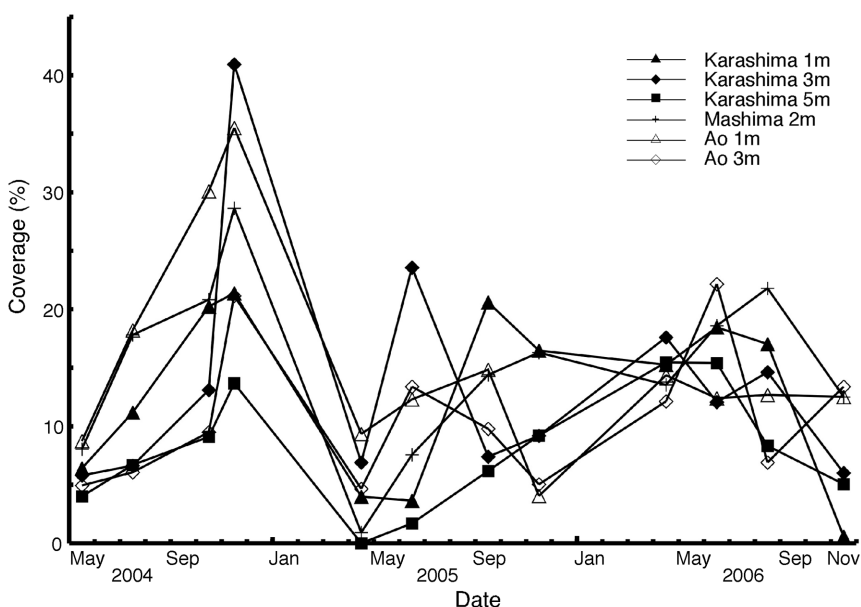


Fig. 3. Seasonal changes (2004-2006) in *Arachnoidiscus ornatus* coverages (% Total thallus) on *Gelidium elegans* collected from Karashima, (1, 3 and 5 m), Mashima (2 m) and Ao (1 and 3 m) in Himi City, Toyama Prefecture, Japan.

つ300mLのフラスコに入れ、光量 $20\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、長日条件（明期14時間：暗期10時間）、温度 10°C 、 20°C および 30°C に設定した各インキュベーターで、表層海水、海洋深層水（以下、深層水）およびこれらの比率を変えた3段階の混合水（25:75, 50:50, 75:25）の5種類の培養液250mLを用いた15条件で、30日間、通気培養を行った。富山県入善町海洋深

層水取水施設で水深371mより連続取水され、冷蔵保存されたものを使用した。今回用いた深層水の栄養塩濃度は測定されていないが、深層水は一般に栄養塩が豊富で清浄な海水であり、富山湾では硝酸態窒素（ $14\sim 26\mu\text{mol L}^{-1}$ ）、リン酸態リン（ $1.2\sim 1.8\mu\text{mol L}^{-1}$ ）、ケイ酸態珪素（ $30\sim 38\mu\text{mol L}^{-1}$ ）で、表層海水（それぞれ $0\sim 3\mu\text{mol L}^{-1}$ 、 $0.03\sim 0.1$

$\mu\text{mol L}^{-1}$, $3\sim 9\mu\text{mol L}^{-1}$) と比べていずれも高濃度である (藤田・高橋 2006)。実験は3回ずつ繰り返し、*A. ornatus* の個体数は3日毎に実体顕微鏡下で全数を計数した。

なお、*A. ornatus* の発生状況を考察するために、調査期間中に継続して得られていた水温データとして、氷見市栽培漁業センターの海面で毎日1回観測されていた水温を用いた。

結 果

1. *Arachnoidiscus ornatus* の地点別・季節別・水深別発生状況

A. ornatus のマクサ藻体への付着は、唐島、間島および阿尾のいずれの地点でも確認された。Figure 2にマクサの現存量の推移、Figure 3に*A. ornatus*

の被度の推移を示した。このうち、マクサは、調査期間を通じて概ね春 (4~6月) から夏 (7~9月) に現存量が大きくなり、秋 (11月) には低くなる傾向が認められた。

これに対して、*A. ornatus* の被度は、調査期間中の2004年春から2005年春に最も明瞭な季節消長を示し、いずれの地点も5月に最小、その後、増加して11月に最大となった。特に、阿尾では各水深ともこの傾向が顕著で、被度は11月には水深1mで35%、水深3mで41%の値を示した。2005年と2006年には各地点とも25%未満で推移し、共通する顕著なピークは認められなかったが、2006年には4~8月に高く、11月にはむしろ低下した。複数の水深帯について調査を行った唐島と阿尾について水深別に*A. ornatus* の被度を比較すると、両地区とも水

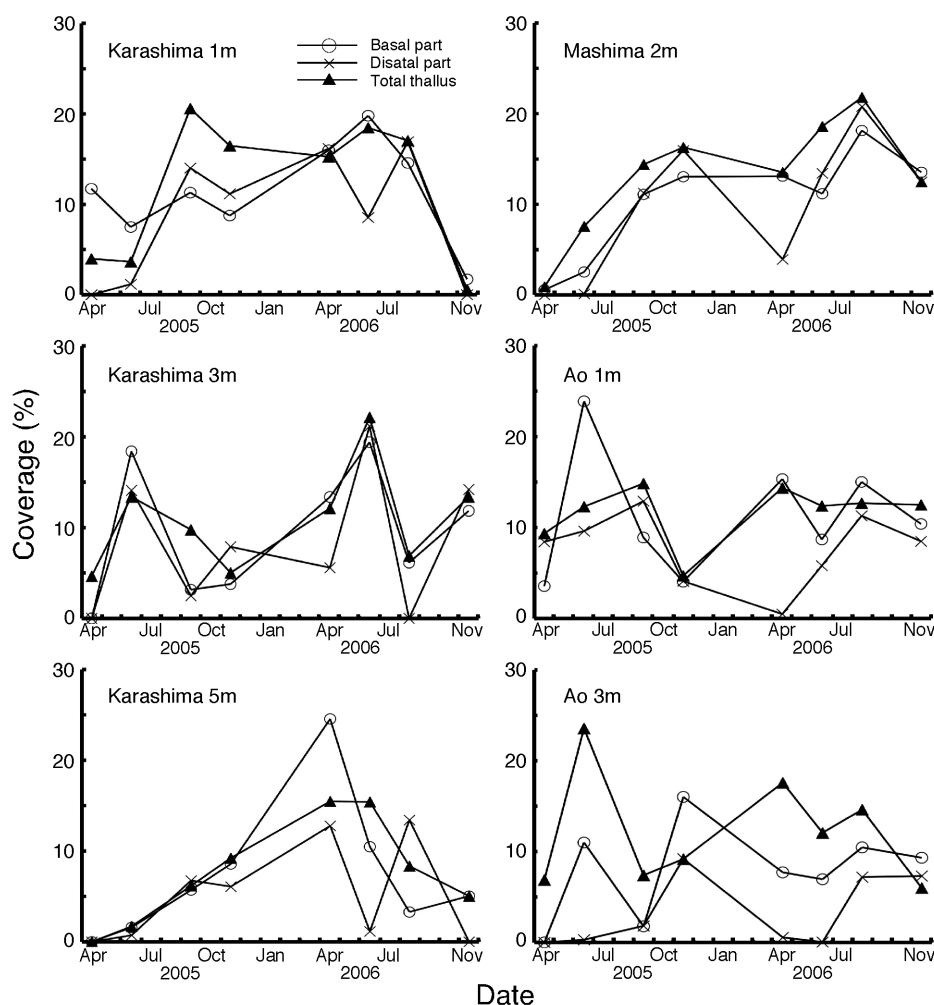


Fig. 4. Seasonal changes (2005-2006) in *Arachnoidiscus ornatus* coverages (%) on basal part, distal part and total thallus of *Gelidium elegans* collected from Karashima, (1, 3 and 5 m), Mashima (2 m) and Ao (1 and 3 m) in Himi City, Toyama Prefecture, Japan.

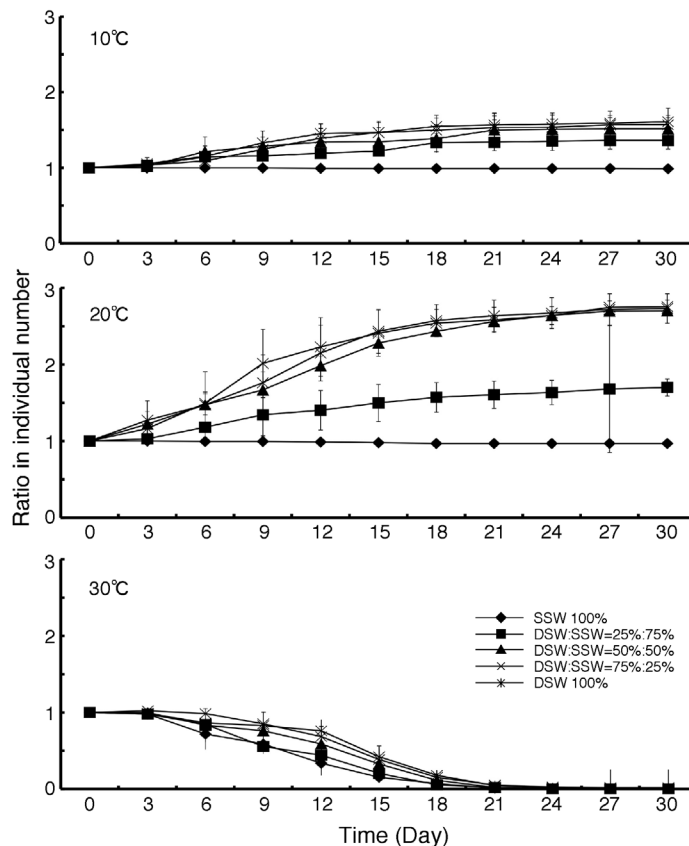


Fig. 5. Changes in individual number (ratio) of *Arachnoidiscus ornatus* attached on *Gelidium elegans* thalli cultured in surface seawater (SSW), deep seawater (DSW) and the mixing seawater (DSW:SSW=25:50, 50:50 and 75:25) at 10, 20 and 30°C.

深1mと3mでは大差がなく、唐島のみで調べた水深5mでは水深3mより浅くも低めで推移し、2005年4月のようにほぼ消失することもあった。以上のように、*A. ornatus*の被度は、地点、水深、年月によって大きく変動したが、全般的には、2004年から2006年までの3年間で、夏（7～9月）から秋（11月）にかけて被度が高くなる傾向が認められた。なお、2006年には、2004年および2005年と異なり、4月ないし6月に唐島の水深1m、3mおよび間島の水深2mで、マクサ体上に大量の褐藻フクロノリ *Colpomenia sinuosa* の着生がみられた。

2. 藻体部位別の *A. ornatus* 被度

2005年と2006年に調べた各地点のマクサ藻体部位別の *A. ornatus* の被度の変化をFigure 4に示した。*A. ornatus* の付着は、マクサ藻体の先端部、基部のいずれにおいても確認され、藻体部位別の被度と地点、季節、水深との間に明瞭な関係は認められ

なかった。ただし、概して、春（4～6月、マクサの生長期）に生長部位である先端部で低い被度を示す傾向が見られた。また、阿尾の水深3mでは、春以外にも先端部で著しく低い被度（2%以下）を示すことがあった。

3. 栄養塩濃度別の培養実験

海洋深層水（DSW）を用いた10°C、20°C、30°Cのいずれにおいても変化が確認された（Fig. 5）。10°Cでは、無添加の表層海水（SSW）で培養したマクサには *A. ornatus* の増殖がみられなかったが、深層水を混合したマクサでは増殖がみられ、表層水：深層水50:50、25:75および深層水100%の実験区では、培養18日後、*A. ornatus* の個体数が約1.5倍になったが、その後、ほとんど増殖しなかった。20°Cでは、無添加の海水で *A. ornatus* の増殖はみられなかったが、表層水：深層水50:50、25:75および深層水100%の各区では約2.8倍に増加し、表層水：

深層水75:25の区においても1.7倍まで増加した。30℃では、すべての条件で*A. ornatus*の個体数が減少し、24日後には細胞数が0になる実験区も認められた。なお、今回の培養試験では、培養中の珪藻の落下は観察されなかった。

考 察

2004年から2006年までの3年に及ぶ調査期間を通じ、富山県氷見市の各調査地区における*Arachnoidiscus ornatus*の被度は、水深あるいは季節によって複雑な消長を示したが、概して春(4~6月)に少なく、夏(7~9月)から秋(10~11月)にかけて高くなることが明らかになった。マクサの現存量の推移(Fig. 2)と比較すると、氷見市沿岸域においては、マクサの生長期の後半(夏)から衰退期(秋)にかけて*A. ornatus*の被度が高まる様子がうかがわれた。北海道のテングサにおいて5~6月に過度の付着がみられ夏季に消失するとした大野(1935)や木下・渋谷(1951)の記述と大きく異なり、少なくとも氷見市沿岸では水温が高くマクサが衰退する時期に*A. ornatus*が繁茂することが示された。氷見市沿岸におけるマクサの漁期は漁業調整規則上4~8月で(藤田 1994)、特に、梅雨明け後(7月以降)は乾燥に適しているだけでなく、冷菓(心太)としての市場における需要が高まるために、マクサの漁獲の最盛期を迎える。したがって、*A. ornatus*がマクサ藻体上に繁茂する時期が漁獲の最盛期と重なり、アオクサとして問題になりやすいと考えられた。

マクサ藻体の部位別にみると、*A. ornatus*は、マクサ藻体の先端部、基部に関わらず付着が確認された(Fig. 4)。マクサは頂端生長を行うので、藻体の先端部が最も若い部位、基部が最も老成した

部位と考えられる。一般に、付着藻類は活性の落ちた基部の老成部位に多くなることが予想されるが、今回の調査では、マクサの生長期である4~6月を除いて部位による差はあまり見られなかった。砂澤(2007)によれば、*A. ornatus*は、マクサの幼体、匍匐枝および枯死体にも付着が確認され、マクサの全長に関わらず*A. ornatus*の被度はほぼ一定であったという。本研究および砂澤(2007)の報告を踏まえると、*A. ornatus*がマクサの藻体上の部位や年齢(寿命は3年程度)、あるいは生育状況に関わらず付着することは明らかである。なお、本研究では、*A. ornatus*以外には肉眼的なサイズの珪藻は検出されなかったため、スキャナーで取り込んだマクサ藻体表面の画像に認められた珪藻の増減は、本種の個体数の増減を直接的に表していたと考えてよい。

*A. ornatus*の大量発生に対する水温の影響を検証する際には、*A. ornatus*自身の増殖だけでなく、*A. ornatus*に及ぼす食害の影響や他の着生植物との競合なども考慮する必要がある。特に、マクサ群落には微小貝類が多産することが知られており(倉持 2001)、氷見市のマクサ群落でも35種の微小動物が確認されている(砂澤 2007)。しかし、*A. ornatus*に覆われたマクサと主要3種の植食性巻貝を同居させた飼育実験では、*A. ornatus*の生育に対する影響は全く認められなかった(砂澤 2007)。また今回の観察では、他の着生藻類との競合が考えられたのは、2006年4月のフクロノリの着生だけであった。2006年4月にフクロノリが繁茂した要因は定かではないが、氷見市の富山県栽培漁業センターで測定されていた水温の変化(Fig. 6)をみると、2006年は2004~2005年より冬の水温が低めに推移しており、冬季の低水温が2006年春のフクロノリ

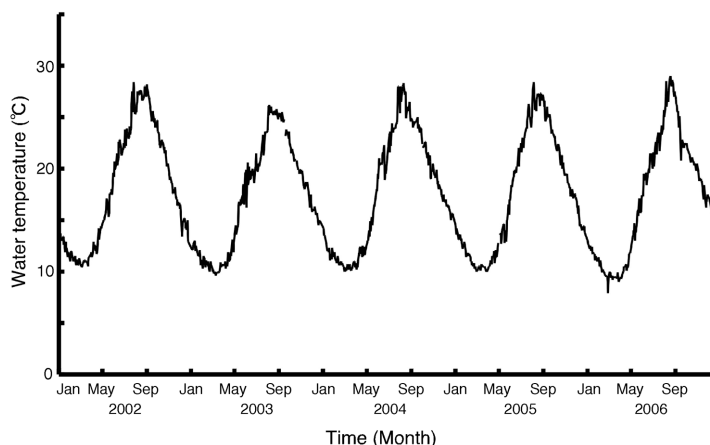


Fig. 6. Daily water temperature (°C) measured at Himi Sea Farming Center locating at Sugata, Himi City, Toyama Prefecture, Japan.

の繁茂に影響した可能性がある。しかし、*A. ornatus*の被度はむしろ2005年の方が低めに推移しており、両者の増減には明瞭な関係が認められなかった。ただし、砂澤（2007）は、上記の微小巻貝同居試験において、対照区（非同居区）では飼育容器の内壁面が*A. ornatus*以外の微小珪藻の繁茂により着色したのに対して、微小巻貝を同居させた試験区ではこのような微小珪藻による着色が全く認められなかったことを報告している。本研究においては、*Cocconeis*属や*Navicula*属などの微小付着珪藻の動向は詳細に調べていないが、少なくとも*Licmophora*属などの肉眼的な群体が密に被う現象（この場合は乾燥体が白くなりベトと呼ばれる）は観察されなかった。

一方、今回実施した水温別・栄養塩濃度別の培養実験（Fig. 5）では、10℃および20℃の実験区において、海洋深層水あるいはこれを表層海水に対して高い割合で混合した場合に*A. ornatus*が急速に増加し、30℃では顕著に減少したことから、少なくとも海域の水温や栄養塩が*A. ornatus*の個体数の変動の要因の1つであることが強く示唆された。このうち、水温については、今後、20～30℃の間の詳細な培養試験、栄養塩については主要成分（窒素、リン、珪素）毎の栄養塩添加実験が望まれるが、*A. ornatus*の増減は、生物間の相互作用よりも水温や栄養塩などの物理・化学的環境によって起こっている可能性が高いと考えられる。

砂澤（2007）は、*A. ornatus*の付着が全く認められなかった千葉県館山産のマクサ藻体を水見市阿尾へ移植し、この藻体に*A. ornatus*の付着が見られたことから、珪藻の付着は増大胞子によって起こったことを示唆した。本種の増大胞子については、Yendo & Akatsuka（1910）以来、知見がなかったが、近年、Kobayashi *et al.*（2001）が詳細な観察を行っており、培養条件下では増大胞子が新たな上下半殻を形成するのに1カ月を要するとしている。今回の1ヶ月に及ぶ培養試験でも、培養中の珪藻の落下や再付着などは観察されていない。今後、浮遊した*A. ornatus*の再付着の有無や所要時間を確かめる必要はあるが、マクサ藻体上での*A. ornatus*の繁殖が増大胞子によるものとすれば、その繁殖には静穏な海況が必要と考えられる。富山湾沿岸では漁港や護岸の整備が進み、海域の静穏化が進行している（藤田・小善 2003）。静穏化は、海水流

動の停滞のみならず、河川由来の栄養塩の停滞（自然拡散の阻害）を引き起こす可能性があるため、これに起因する*A. ornatus*の大量発生が懸念される。

謝 辞

本研究の一部は科学研究費（20580197）の助成を受けたものである。記して感謝の意を表する。

引用文献

- 藤田大介. 1994. 富山の藻類（藤田大介・濱田仁・渡辺信編）. 62 pp. 富山県水産試験場, 滑川.
- 藤田大介. 2001. 水見市と高岡市の海藻と藻場. 66 pp. 水見漁業協同組合, 水見.
- 藤田大介. 2003. テングサ. In: 能登谷正浩（編）藻場の海藻と造成技術. pp. 145-160. 成山堂書店, 東京.
- 藤田大介. 2004. テングサ. In: 大野正夫（編）有用海藻誌－海藻の資源開発と利用に向けて. pp. 201-225. 内田老鶴圃, 東京.
- 藤田大介・小善圭一. 2002. 富山湾の漁場環境（2001）－水質・底質・藻場－富山湾漁場環境総合調査報告書. 174 pp. 富山県水産試験場, 滑川.
- 藤田大介・高橋正征. 2006. 海洋深層水利用学－基礎から応用・実践まで－. 209 pp. 成山堂書店, 東京.
- 小林 敦・田中次郎・南雲 保. 1998. 本邦産クモノスケイソウの一種*Arachnoidiscus ornatus* Ehrenb. の形態および分類学的研究. *Diatom* 14: 25-33.
- Kobayashi, A., Tanaka, J., Osada, K. & Nagumo, T. 2001. An auxospore of *Arachnoidiscus ornatus* Ehrenberg. In: Econmou-Amilli, A. (ed.) Proceedings of the 16th International Diatom Symposium. pp. 197-204. University of Athens, Greece.
- 大野磯吉. 1932. 北海道に於ける浅海利用増殖講話. 124 pp. 北海道水産会, 札幌.
- 木下虎一郎. 1951. 北海道浅海増殖害敵生物篇. 水産科学叢書第7輯. 64 pp. 左文字書店, 小樽.
- 倉持卓司. 2001. 相模湾のマクサ藻上にみられる貝類群集の季節変化と優占種の成長. 横須賀市博研報（自然）48: 23-34.
- 岡村金太郎. 1908. 伊豆沿岸テングサの減少する原因を論じ磯焼けに及ぶ（豫報）. 水産研究誌 3: 131-136.
- 砂澤洋平. 2007. 富山湾における珪藻*Arachnoidiscus ornatus*の発生状況とその増殖要因について. 平成18年度 東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科修士学位論文. 41 pp. 東京海洋大学, 東京.
- Takano, H. 1961. Epiphytic diatoms upon Japanese agar seaweeds. Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory 31: 269-274, pls 1-2.
- Yendo, K. & Akatsuka, K. 1910. Asexual mode of auxospore-formation of *Arachnoidiscus ehrenbergii* Bail. The Botanical Magazine, Tokyo 14: 47-51.