

のり葉体及びのり網に着生する 珪藻の生態に関する研究*

大 貝 政 治

Studies on the Morphology and Ecology of Epiphytic
and Epilithic Diatoms in Nori Cultivation Grounds

By
Masaharu OHGAI

目 次

I. 緒言	38
II. のり養殖場の水質環境	39
1. 下関市地先ののり養殖場	40
2. 小野田市地先ののり養殖場	43
III. のり網及びのり葉体の着生藻類	45
1. のり網に着生する藻類	45
1-1. 種類	46
1-2. 着生珪藻の月別量変化	48
2. のり葉体に着生する藻類	54
2-1. 種類	54
2-2. 着生珪藻の月別量変化	55
2-2-1. 幼葉の着生珪藻	55
2-2-2. 成葉の着生珪藻	57
IV. 培養条件と着生珪藻の増殖	57
1. 温度	60
2. 照度	62
3. 塩素量	62
4. pH	63
5. 栄養塩類	66
6. アミノ酸	68

*水産大学校研究業績 第1057号, 1985年7月29日受理.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No.1057. Received July 29, 1985.

V. 珪藻の着生とのり養殖への害	72
1. 珪藻の着生部の微細構造	72
2. 着生過程及び粘着力	74
3. 着生珪藻の害作用	78
VI. 着生珪藻の増殖とその防除	79
1. 増殖要因	80
2. 防除	82
VII. 要約	83
引用文献	85
Summary	87

I. 緒 言

珪藻は有色植物門に属する単細胞の藻類で、中心目と羽状目に分けられ、現在世界で約200属10,000種が記載されている。中心目の珪藻はほとんどが浮遊性で、着生性の種類は非常に少ない。一方、羽状目の珪藻は浮遊性のプランクトンとしても出現するが、底生性、着生性の種類も多い。着生性の珪藻はこのように大部分が羽状目に属しており、主に海藻、漁網やのり網、ロープ、岩などの基物に着生して生育する。

のり養殖場に出現する着生珪藻は、一般にのり網を着生基物としている種類に *Melosira* spp., *Achnanthes* spp., *Navicula* spp. 及び *Nitzschia* spp. など、のり葉体に主に着生する種類として *Licmophora* spp., *Synedra* spp. 及び *Tabellaria* spp. などが観察されている。これらの着生珪藻はのり養殖の害藻で、のり網に着生するとその幼芽の生育と単胞子の着生を阻害する。また、のり葉体に着生した場合にはのりの生長を妨げるばかりでなくどたぐされ症を起こす原因にもなり、さらに製品に混入して品質を著しく低下させる。特に浮流し養殖においては、のり葉体やのり網に多くの珪藻が着生して種々の被害を与えており、着生珪藻はのりの品質やのり養殖の豊凶を左右する一つの要因となっている。

これらの着生珪藻については、これまで種類、季節の消長、着生水位、被害及び防除などに関する調査や研究が行なわれており、その主なものは岡村¹⁾、殖田²⁾によるのり葉体に着生する珪藻の種類、朝鮮総督府水試³⁾の *Synedra* 着生による凶作、加藤⁴⁾、加藤・河村⁵⁾ののり葉体に着生する珪藻の月別消長、着生水位及び防除、佐野・佐藤⁶⁾、東京都水試⁷⁾ののり養殖場にみられる珪藻の種類と着生量、

山口県内海水試⁸⁾のどたぐされ症を起こす *Licmophora* sp. の栄養生態などである。しかし、着生珪藻の種類と形態、着生量と着生機構、増殖要因及びのり養殖への害作用などの生態に関する一貫した研究は行われていない。また、着生珪藻の防除については、支柱養殖における高張り、浮流し養殖では自動干出装置によって干出させるなどの一時的な対策が行われているに過ぎない。

このようなことから、本研究はのり葉体やのり網に着生する珪藻について、その防除対策を立てる基礎的資料を得るため、その増殖要因や着生構造を明らかにする目的で行った。研究は1978年～1984年に下関市及び小野田市両地先ののり養殖場に出現する着生珪藻の種類とその消長及び水質環境を調査し、室内実験で珪藻の着生構造、増殖と環境諸要因との関係を明らかにした。さらにこれらの知見に基づいて着生珪藻の増殖要因を究明し、その防除対策について検討を加えた。本研究の一部⁹⁻¹¹⁾は既に報告したが、ここにこれまでの着生珪藻の研究結果を取りまとめ報告する。

本論文を作成するにあたり、始終御懇切な御指導を賜わり、御校閲下さった九州大学名誉教授塚原 博先生、並びに多大の御助言を頂いた九州大学奥田武男教授、同石尾真弥教授に心より感謝申し上げます。また、研究期間中種々の御指導を賜った水産大学校松井敏夫博士、広島大学・琉球大学名誉教授藤山虎也先生、水産大学校高井 徹教授、同鶴田新生教授、三重大学岩崎英雄教授、水産大学校武居薫教授、同前田 弘教授、同原田勝彦博士、長崎大学近藤寛樹博士に心から御礼申し上げます。さらに、本研究に対し御便宜をいただいた小野田市水圏公害研究所の所員の方々、才川漁業協同組合、王司漁業協同組合、王喜漁業協同組合、高泊漁業協同組合に深く感謝する。

II. のり養殖場の水質環境

野外調査を行ったのり養殖場としては、山口県の瀬戸内海における下関市と小野田市地先の2つの養殖場を選んだ。下関市地先ののり養殖場は、関門海峡の西部に位置し、沖合には東西流の速い潮流がある。しかし、養殖場内では潮の干満による南北流が支配し、沖合の東西流の支流が一部流れ込む漁場である¹²⁾。また、養殖場内には生活排水と農業排水を含んだ木屋川、神田川の両河川が流れ込んでいる。一方、小野田市地先ののり養殖場の海況は、筆者が調査した結果（未発表）、関門海峡の東流が直接養殖場の南東

部にある半島にあたり、西流は関門海峡に向って流れ、東西流が卓越している。養殖場内には厚狭川、有帆川が流入しており、両河川の流域には化学工場が多く、都市化も進んでいるので、工場排水並びに生活排水も多く流れ込んでいる。

のり養殖場の水質調査は、1981年4月から1983年3月まで毎月1回小潮の高潮時に表層水を採取して実施した。調査地点はFig. 1に示した下関市地先のSt. 1～9の9定点、小野田市地先のSt.10～16の7定点である。

分析項目は、水温、pH、塩素量、珪酸塩、亜硝酸態窒素（以下 $\text{NO}_2\text{-N}$ と略す）、硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）、アン

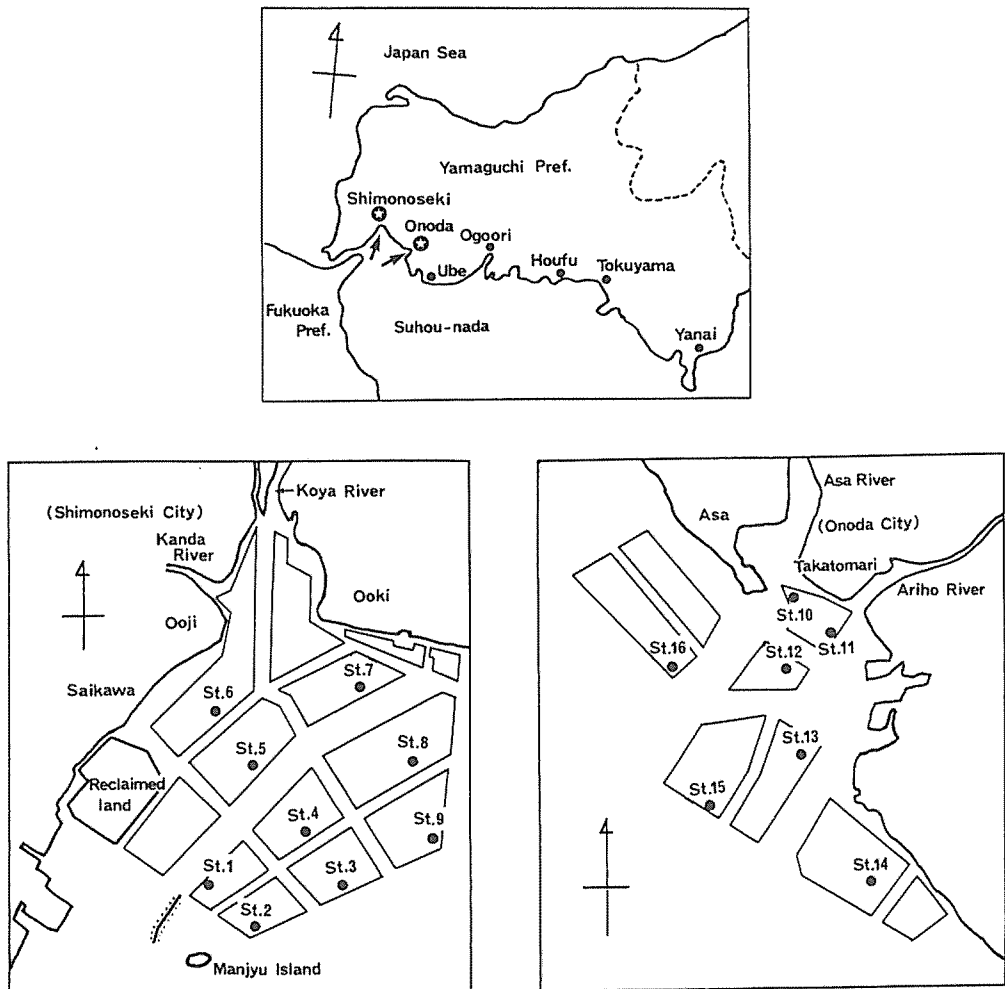


Fig. 1. Locations of Nori cultivation grounds and sampling stations in the Shimonoseki and Onoda coastal areas.

モニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$), 無機態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$) の総量 (DIN), 溶存性有機態窒素 (DON), 燐酸態燐 (DIP) 及び溶存性有機態燐 (DOP) である。分析方法は、塩素量、珪酸塩については、海洋観測指針¹³⁾に従った。 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ は STRICKLAND and PARSONS の方法¹⁴⁾を採用し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ はインドフェノール法のうち LIDDICOTT *et al.* の方法¹⁵⁾を一部変更したもので行った。DON はケルダール法で分解後、全窒素を測定し、その値から DIN を差し引いて求めた。DIP は新編水質汚濁調査指針¹⁶⁾のアスコルビン酸を用いる方法で、DOP は江角ら¹⁷⁾の過硫酸分解法で分解後、全燐を測定し、その値から DIP を引いて求めた。なお、分析項目のうち水温、pH、塩素量、珪酸塩、 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, DIN 及び DIP については、2年間における測定値が月ごとにほぼ同じであったのでその平均値で表わし、DON, DOP については1982年4月～1983年3月の測定値を示した。

1. 下関市地先ののり養殖場

この養殖場の水質調査は、各区画にほぼ一定点を設けて行った (Fig. 1)。これらの定点のうち St. 1, 2, 3, 4, 8, 9 は浮流し漁場、St. 5, 6, 7 は支柱漁場である。この調査に先立ち、筆者は1982年12月に村上¹⁸⁾, 平野¹⁹⁾の方法によって河川水の拡散状況を調べ、その結果を Fig. 2 に等積倍率線分布としてあらわした。これによって、この養殖場は、浮流し漁場で河川水の影響が弱い St. 1, 2, これらの定点よりやや強い St. 3, 4, 9, 影響が強い St. 8 の3水域、支柱漁場では河川水の影響が強い St. 5, 6, 7 の1水域の計4水域に分けられた。従って、それぞれの水域から St. 1, 3, 5, 8 の4定点を選び、この養殖場の水質環境を要約して述べる。

1-1. 水温, pH

のり養殖場の水温及び pH の周年変化を Fig. 3 に示した。水温は8月に26.4～27.4℃で最高を示し、2月に8.5～9.4℃で最低となった。のり養殖期 (10～3月) の水温は10月が約20℃で、その後次第に下降して翌年の2月に最低となり、3月から再び上昇した。

pH については、8.0～8.3の周年変化がみられ、各定点とも夏期に低く、冬期に高くなった。のり養殖期には8.1～8.3の間で変化しており、養殖中期以降に高くなった。なお、各定点の pH をみると、河川水の影響の強い St. 8 がやや低かった。

1-2. 塩素量, 珪酸塩

塩素量及び珪酸塩の周年変化を Fig. 4 に示した。塩素量は15.2～18.9%の間で変化し、のり養殖期には17.0～18.5%であった。各定点の塩素量は、養殖中期の1月以降にわずかに高くなる傾向があり、また4定点のうち St. 8 がやや低かった。

珪酸塩は、塩素量の変化と逆の関係がみられた。これは降雨によって多量の珪酸塩が陸から搬入されるためである。珪酸塩は2.0～19.5 $\mu\text{g-at/l}$ で周年変化し、のり養殖期には3.0～17.0 $\mu\text{g-at/l}$ で、養殖中期以降に低くなった。各定点の値をみると、St. 1 が低く、St. 8 が高かった。

1-3. 無機態窒素, 有機態窒素

$\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, DIN 及び DON の周年変化を Fig. 5 に示した。 $\text{NO}_2\text{-N}$ は0.2～0.8 $\mu\text{g-at/l}$ で周年変化がみられ、のり養殖期には各定点とも0.4～0.8 $\mu\text{g-at/l}$ の間を変化した。

$\text{NO}_3\text{-N}$ は各定点とも4～8月には1.2～4.3 $\mu\text{g-at/l}$ で

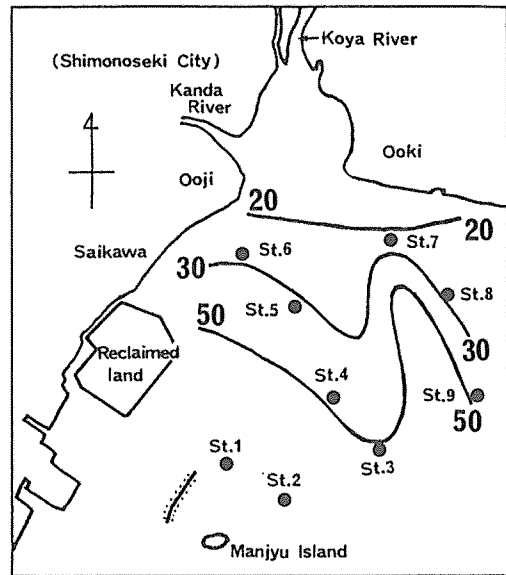


Fig. 2. Effect of river-water on the chlorinity of flood-seawater during neap tide in the cultivation ground of Shimomoseki coastal area on December 16th, 1980. Solid lines indicate the average dilute equimultiples, $\text{Cl}_\infty / (\text{Cl}_\infty - \text{Cl})$ of chlorinity in 20, 30 and 50 magnification, where Cl_∞ and Cl are the chlorinity in the offshore- and the station-seawater, respectively.

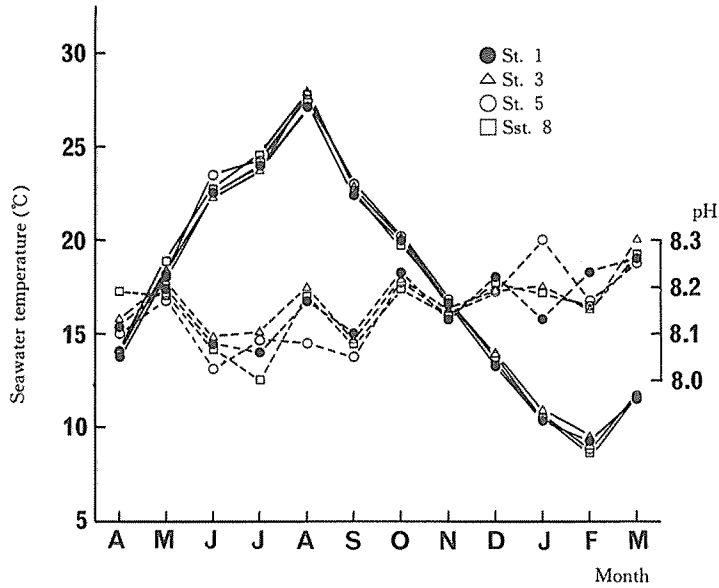


Fig. 3. Annual variations of temperature and pH of seawater in the cultivation ground of Shimonoseki coastal area. Solid and broken lines indicate temperature and pH, respectively.

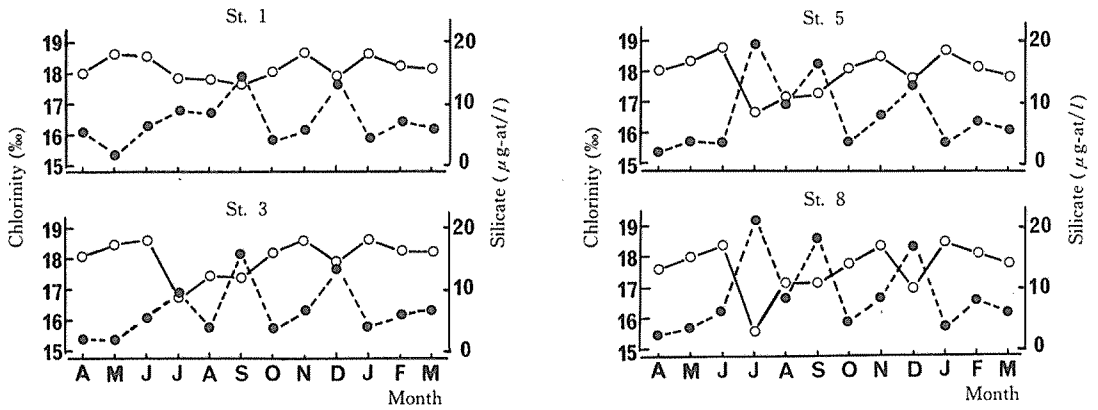


Fig. 4. Annual variations of chlorinity and concentrations of silicate of seawater in the cultivation ground of Shimonoseki coastal area. Solid and broken lines indicate chlorinity and concentrations of silicate, respectively.

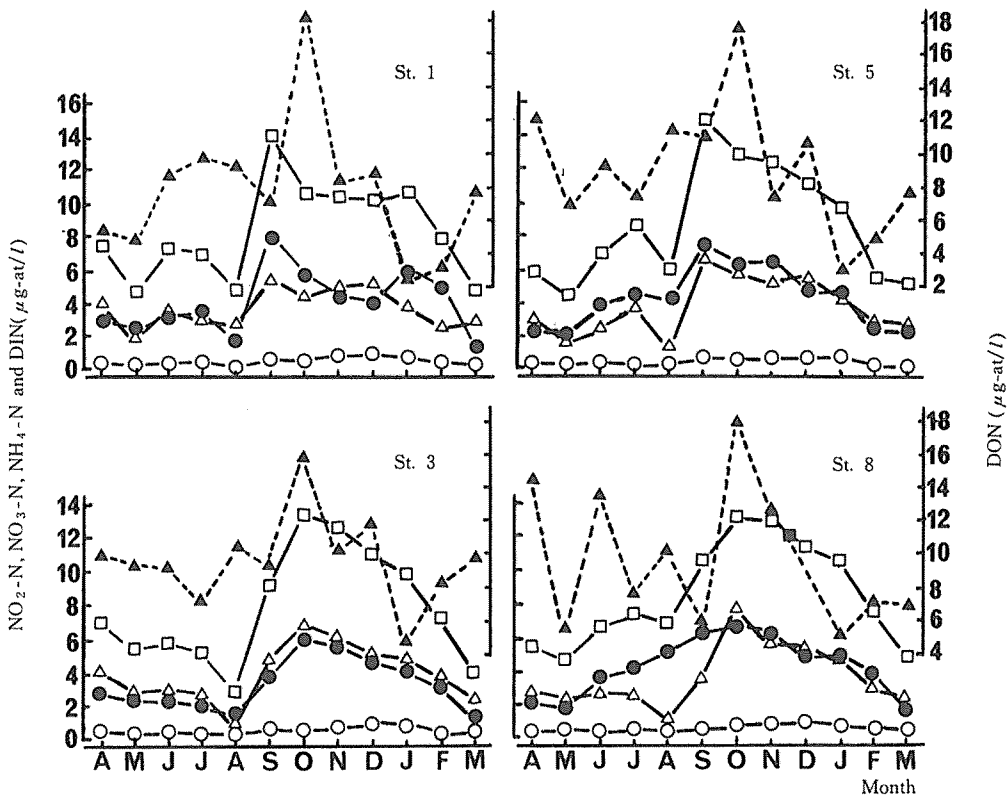


Fig. 5. Annual variations of concentrations of nitrite nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$), nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$), dissolved inorganic nitrogen (DIN) and dissolved organic nitrogen (DON) of seawater in the cultivation ground of Shimonoseki coastal area. $\text{NO}_2\text{-N}$ is symbolized as \circ , $\text{NO}_3\text{-N}$ as \triangle , $\text{NH}_4\text{-N}$ as \bullet , DIN as \square and DON as \blacktriangle , respectively.

変化し、のり養殖初期(10~11月)には $5.3\sim 7.2\ \mu\text{g-at/l}$ となつてほぼ最高を示し、その後次第に減少して3月に約 $3\ \mu\text{g-at/l}$ になった。各定点の値をみると、河川水の影響の弱いSt. 1が低く、より強い影響を受けるSt. 3, 5, 8が高かった。

$\text{NH}_4\text{-N}$ は各定点とも $1.8\sim 7.8\ \mu\text{g-at/l}$ で、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と類似の周年変化を示した。のり養殖期は $2.0\sim 6.5\ \mu\text{g-at/l}$ で、養殖初期に高く、中期以降になると次第に減少した。各定点の値をみると、St. 1, 3が低く、St. 5, 8が高かった。

DINは $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{NH}_4\text{-N}$ の総量で、その周年変化は $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ と類似の傾向を示した。すなわち、のり養殖初期には $10.5\sim 14.2\ \mu\text{g-at/l}$ でほぼ最高となり、その後減少して3月に約 $5\ \mu\text{g-at/l}$ で最低を示した。各定点の値は、 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ とほぼ同じように

St. 1, 3がやや低く、St. 5, 8が高かった。

DONは $2.5\sim 18.2\ \mu\text{g-at/l}$ の間を周年変化し、のり養殖初期には各定点とも $16.2\sim 18.2\ \mu\text{g-at/l}$ で最高を示した。その後は次第に減少して中期に $3.0\sim 5.2\ \mu\text{g-at/l}$ となって最低となり、終期(2~3月)には再び高くなる傾向を示した。また、DON値は各定点ともほとんど差がみられなかった。

1-4. 無機態磷, 有機態磷

DIP及びDOPの周年変化をFig. 6に示した。DIPは $0.02\sim 0.72\ \mu\text{g-at/l}$ で変化し、のり養殖期には $0.02\sim 0.70\ \mu\text{g-at/l}$ で、養殖初期に高く、終期に最も低くなった。各定点の値をみると、河川水の影響の強いSt. 5, 8が高かった。

DOPは $0.15\sim 0.55\ \mu\text{g-at/l}$ の間を周年変化しており、のり養殖期もほぼこの範囲であった。各定点における

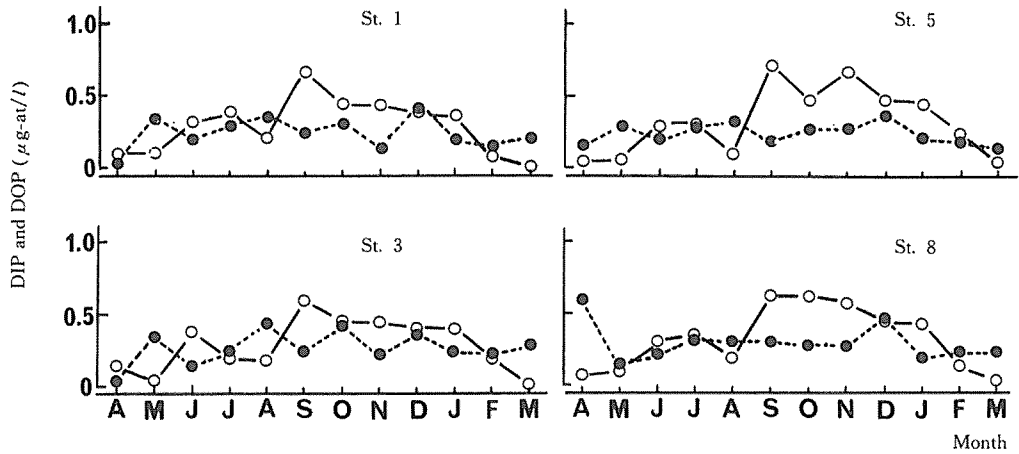


Fig. 6. Annual variations of concentrations of dissolved inorganic phosphate (DIP) and dissolved organic phosphate (DOP) of seawater in the cultivation ground of Shimonoseki coastal area. Solid and broken lines indicate DIP and DOP, respectively.

DON 値には、ほとんど差がみられなかった。

2. 小野田市地先ののり養殖場

この養殖場の水質調査は、Fig. 1 に示した調査地点で行い、そのうち St.10~12は支柱漁場、St.13~16は浮流し漁場である。この調査に先立ち、本養殖場でも下関市地先の場合と同様に河川水の拡散を調べ、その結果を Fig. 7 に等稀釈倍率線分布として表わした。これから支柱漁場の St.10~12は河川水の影響が強い定点、浮流し漁場の St.13, 14は河川水の影響をやや受ける定点、St.15, 16は影響が最も弱い定点の3水域に分けられた。以下、各水域から St.10, 13, 15の3定点を選び、この養殖場の水質環境を要約して述べる。

2-1. 水温, pH

のり養殖場の水温及び pH の周年変化を Fig. 8 に示した。水温は8月に26.7~27.3℃で最高となり、2月に7.5~8.3℃で最低を示した。のり養殖期(10~3月)には10月に約20℃、その後次第に下降して2月に最も低くなり、3月に再び上昇した。

pH は8.0~8.3で周年変化し、のり養殖期には8.1~8.3で、養殖中期(12~1月)以降に高くなる傾向がみられた。各定点の pH は、河川水の影響が強い St.10がやや低かった。

2-2. 塩素量, 珪酸塩

塩素量及び珪酸塩の周年変化を Fig. 9 に示した。塩素量は15.0~18.5%の間を変化し、のり養殖期には16.5~

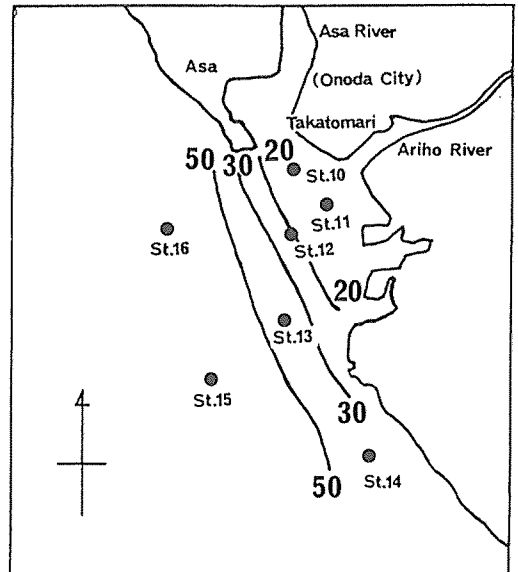


Fig. 7. Effect of river-water on the chlorinity of flood-water during neap tide in the cultivation ground of Onoda coastal area on January 14th, 1981. Solid lines indicate the average dilute equimultiples, $Cl_{\infty} / (Cl_{\infty} - Cl)$ of chlorinity in 20, 30 and 50 magnification, where Cl_{∞} and Cl are the chlorinity in the offshore- and the station-seawater, respectively.

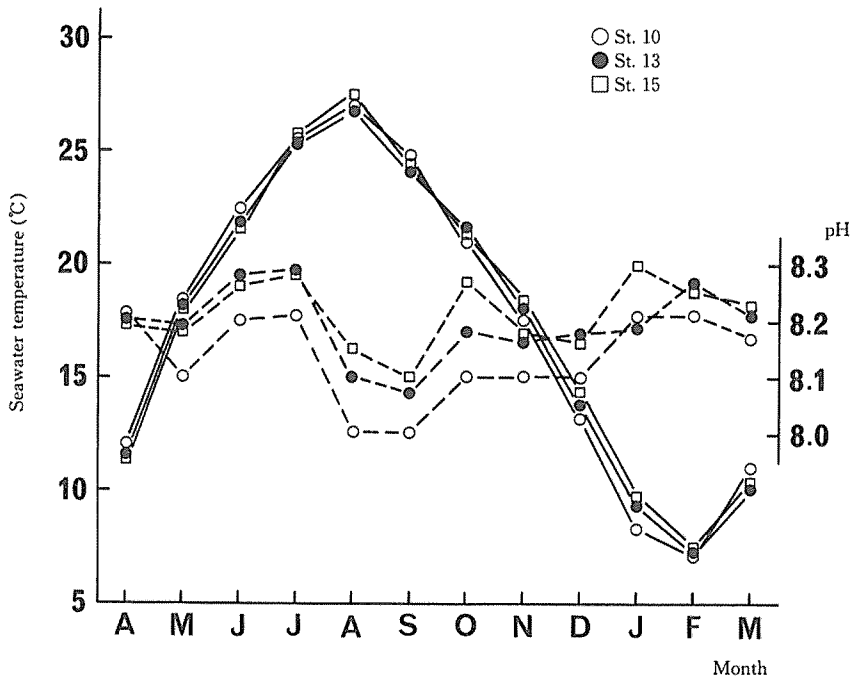


Fig. 8. Annual variations of temperature and pH of seawater in the cultivation ground of Onoda coastal area. Solid lines indicate temperature and pH, respectively.

18.0%で、養殖初期（10～11月）から徐々に高くなる傾向がみられた。各定点の値をみると、St.10が低く、St.13, 15がやや高かった。

珪酸塩は3.5～20.0 $\mu\text{g-at/l}$ で周年変化し、のり養殖期には4.3～17.8 $\mu\text{g-at/l}$ であった。また定点別では河川水の影響の強い St.10で高く、塩素量と逆の関係がみられた。

2-3. 無機態窒素, 有機態窒素

$\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, DIN 及び DON の周年変化を Fig. 10 に示した。 $\text{NO}_2\text{-N}$ は0.1～0.4 $\mu\text{g-at/l}$ で周年変化しており、のり養殖期にもこの範囲で変化し、定点間の差はほとんどみられなかった。

$\text{NO}_3\text{-N}$ は1.5～7.0 $\mu\text{g-at/l}$ の間を周年変化し、のり養殖期には1.0～6.0 $\mu\text{g-at/l}$ で、養殖初期に高く、中期以降次第に減少し終期（2～3月）に最も低くなった。各定点の値をみると、河川水の影響を受ける St.10, 13が高く、塩素量の高い沖合の St.15が低かった。

$\text{NH}_4\text{-N}$ は $\text{NO}_3\text{-N}$ と同じような周年変化がみられ、のり養殖期には1.3～6.9 $\mu\text{g-at/l}$ で変化し、養殖初期に最も高く、その後次第に減少して終期に最も低くなった。定点

別の値でも St.10, 13が高く、St.15が低かった。

DIN の周年変化は $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ とほぼ同じ傾向を示した。のり養殖期の初期には9.5～13.2 $\mu\text{g-at/l}$ で、その後減少して終期には3.6～6.1 $\mu\text{g-at/l}$ となって最も低くなった。各定点の値をみると、St.10が最も高く、次いで St.13, 15の順であった。

DON は2.8～17.3 $\mu\text{g-at/l}$ の間を周年変化し、のり養殖初期には約17 $\mu\text{g-at/l}$ で最高となり、中期以降急激に減少して終期には2.8～5.8 $\mu\text{g-at/l}$ となった。また、各定点の値をみると、養殖初期には各定点ともほぼ同じ値で推移したが、終期になると St.10, 13が低く、St.15がやや高かった。

2-4. 無機態リン, 有機態リン

DIP 及び DOP の周年変化を Fig. 11 に示した。DIP は0.02～0.70 $\mu\text{g-at/l}$ の間を周年変化しており、のり養殖期には0.02～0.48 $\mu\text{g-at/l}$ で、養殖初期に高く、中期以降急激に低くなった。各定点の値をみると、河川水の影響の強い St.10が高く、河川水の影響が次第に弱くなる St.13, 15がやや低かった。

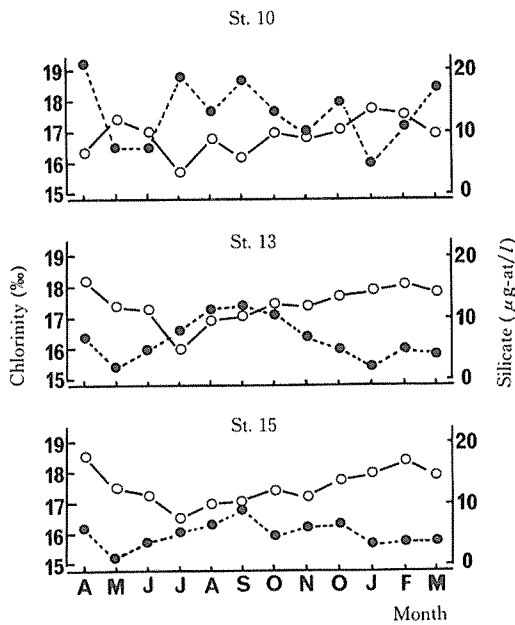


Fig. 9. Annual variations of chlorinity and concentrations of silicate of seawater in the cultivation ground of Onoda coastal area. Solid and broken lines indicate chlorinity and concentrations of silicate, respectively.

DOPは0.22~0.65 $\mu\text{g-at/l}$ で周年変化し、のり養殖期には0.22~0.60 $\mu\text{g-at/l}$ で変化した。各定 points の値をみると、沖合の塩素量の高い St.15が低く、また各定 points ととも養殖初期に高く、中期以降に低くなった。

以上の水質調査結果から、下関市及び小野田市両地先ののり養殖場の水質環境は、塩素量の変動域に若干の違いがみられたほかは、水温、pH、栄養塩類などほぼ同じであった。

Ⅲ. のり網及びのり葉体の着生藻類

下関市、小野田市両地先ののり養殖場におけるのり網やのり葉体に着生する藻類の同定を行い、その着生量を調査した。着生珪藻の同定は、日本海洋プランクトン図鑑^{20,21)}を参照し、既往の文献^{22,25)}などで検索した。

1. のり網に着生する藻類

下関市地先ののり養殖場において、水質環境でも述べた

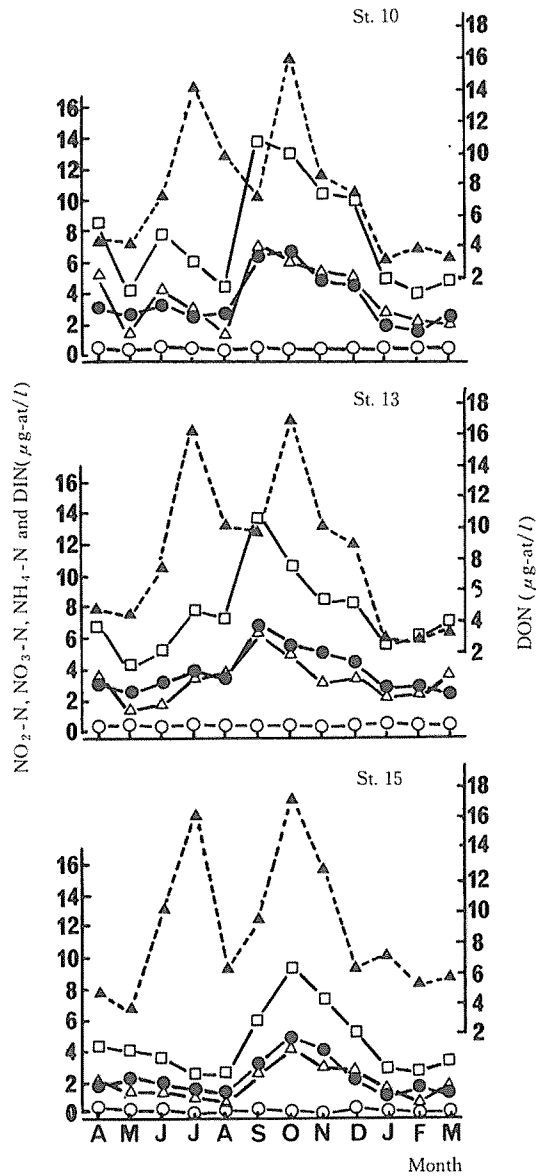


Fig. 10. Annual variations of concentrations of nitrite nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$), nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$), ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$), dissolved inorganic nitrogen (DIN) and dissolved organic nitrogen (DON) of seawater in the cultivation ground of Onoda coastal area. $\text{NO}_2\text{-N}$ is symbolized as \circ , $\text{NO}_3\text{-N}$ as \triangle , $\text{NH}_4\text{-N}$ as \bullet , DIN as \square and DON as \blacktriangle , respectively.

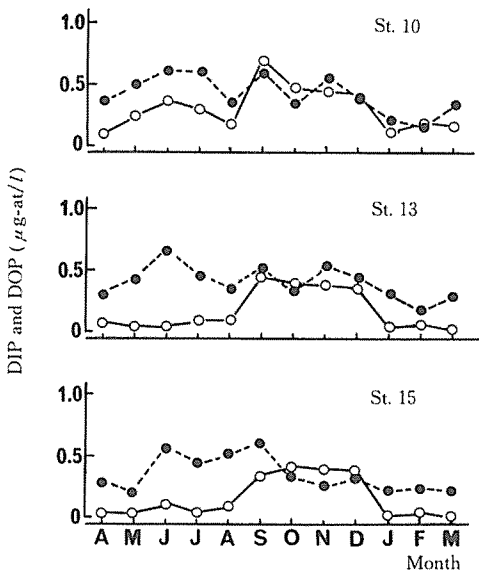


Fig. 11. Annual variations of concentrations dissolved inorganic phosphate (DIP) and dissolved organic phosphate (DOP) of seawater in the cultivation ground of Onoda coastal area. Solid and broken lines indicate DIP and DOP, respectively.

ように、浮流し漁場から河川水の影響の弱い St. 1、これよりやや強い影響を受ける St. 3、影響の強い St. 8 と支柱漁場の St. 5 の 4 定点、小野田市地先ののり養殖場において支柱漁場の河川水の影響の強い St. 10、浮流し漁場から河川水の影響をやや受ける St. 13 の 2 定点を選び、1981年10月～1982年3月及び1982年10月～1983年3月にのり網に着生する藻類を採取して、その種類を同定した。また、これらの着生藻類のうち、珪藻については1982年10月～1983年3月に、1.5×1.0 m のクレモナ 5 号網を各定点に張込んで1カ月ごとに張替え、各月の珪藻の着生量を調査した。

1-1. 種類

のり網に着生する藻類は、大部分が珪藻で占められ、その他に緑藻、紅藻、藍藻が観察された。これらの着生藻類を定点及び月別で下関市地先については Table 1 に、小野田市地先については Table 2 に示した。また、両養殖場に出現する珪藻のうち、主な種類15種の写真を Fig. 12 と 13 に示した。

下関市地先の養殖場で出現した着生藻類は、珪藻が16属23種、緑藻が4属4種、紅藻が2属2種、藍藻が1属1種

で、総計23属30種であった。珪藻については St. 1 で *M. nummuloides*, *Skeletonema costatum*, *Tabellaria* sp., *L. abbreviata*, *L. paradoxa*, *L. flabellata*, *S. gracilis*, *Asterionella japonica*, *C. scutellum*, *N. directa prox.*, *N. distans prox.*, *Navicula* spp., *B. paradoxa*, *Ni. closterium* 及び *Ni. longissima* など14属21種、St. 3 で *M. nummuloides*, *Sk. costatum*, *Tabellaria* sp., *L. abbreviata*, *L. paradoxa*, *S. gracilis*, *A. longipes*, *N. directa prox.*, *N. distans prox.*, *Navicula* spp., *Ni. closterium* 及び *Ni. longissima* など15属21種、St. 5 で *M. nummuloides*, *L. abbreviata*, *L. paradoxa*, *S. gracilis*, *A. longipes*, *N. directa prox.*, *N. distans prox.*, *Navicula* spp. 及び *Ni. closterium* など6属11種、St. 8 で *M. nummuloides*, *Sk. costatum*, *L. abbreviata*, *L. paradoxa*, *S. gracilis*, *S. surperba*, *A. longipes*, *Gyrosigma fasciola*, *N. directa prox.*, *N. distans prox.*, *Navicula* spp., *Ni. closterium* 及び *Ni. longissima* など11属16種が観察された。珪藻の種類数は支柱漁場の St. 5 より浮流し漁場の St. 1, 3, 8 が多く、また浮流し漁場の中でも河川水の影響の比較的弱い St. 1, 3 が河川水の影響の強い St. 8 より多かった。

緑藻はヒビミドロ、アオノリなどが出現し、St. 1 で3属3種、St. 3 で2属2種、St. 5 で3属3種、St. 8 で2属2種がみられた。緑藻の各定点における種類数はほぼ同じであったが、月別では1～3月に多くなる傾向にあった。また、支柱漁場の St. 5 ではアオノリが養殖期を通して観察された。紅藻はイトグサの一種が4定点で、ウシケノリが St. 3, 5 でみられた。藍藻は *Lyngbya* sp. の1属1種が4定点で観察され、各定点とも養殖期を通して出現した。上述のように着生藻類の月別出現種類数は、のり養殖初期(10～11月)に少なく、中期(12～1月)以降多くなる傾向があった。

小野田市地先の着生藻類は、Table 2 に示したように、下関市地先と同じ種類が多く、珪藻が16属24種、緑藻が4属4種、紅藻が1属1種、藍藻が1属1種で、総計22属30種であった。珪藻の定点別出現種は St. 10 で *M. nummuloides*, *L. abbreviata*, *L. paradoxa*, *S. gracilis*, *S. surperba*, *C. scutellum*, *A. longipes*, *N. directa prox.*, *N. distans prox.*, *Navicula* spp. 及び *Ni. closterium* など14属19種、St. 13 で *M. nummuloides*, *Sk. costatum*, *Rhabdonema adriaticum*, *Grammatophora oceanica*, *L. abbreviata*, *L. paradoxa*, *L. flabellata*, *C. scutellum*, *Asterionella* sp., *A. longipes*, *N. directa prox.*, *N. distans prox.*, *Navicula* spp., *Ni. closterium* 及び *Ni. longissima* など15属22種で、浮流

し漁場の St.13での種類数が支柱漁場の St.10より多かった。

緑藻はアオノリ類が St.10で3属3種, St.13で4属4種が観察された。その月別出現状況は、両定点とも養殖中期(12~1月)以降に多くなった。紅藻はウシケノリが St.10で3月に出現し、藍藻は *Lyngbya* sp. が St.10, 13で養殖期を通して観察された。

この結果から、小野田市地先における着生藻類の月別出現種類数は、下関市地先とほぼ同じように両定点とも養殖

中期の1月以降に多くなった。

以上のように、下関市及び小野田市地先ののり養殖場の着生藻類は、ほぼ同じ種類が出現し、また珪藻が大部分を占めていた。珪藻については両養殖場の出現状況から、河川水の影響の強い St.5, 8, 10では *A. longipes*, *Synedra* spp., *Licmophora* spp. 及び *Navicula* spp., 河川水の影響の比較的弱い St.1, 3, 13では *Licmophora* spp., *Tabellaria* sp., *Navicula* spp. 及び *Nitzschia* spp. が多く出現する傾向

Table 1. Monthly changes of algal species attached to Nori nets in the cultivation ground of Shimonoseki coastal area.

Station	St-1					St-3					St-5					St-8									
	O	N	D	J	F	M	O	N	D	J	F	M	O	N	D	J	F	M	O	N	D	J	F	M	
Bacillariophyceae																									
<i>Melosira nummuloides</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
<i>Skeletonema costatum</i>	○	○	○		○	○				○	○	○						○	○				○		
<i>Coccinodiscus</i> sp											○												○		
<i>Rhizosolenia</i> sp					○						○														
<i>Grammatophora oceanica</i>					○						○														
<i>G. marina</i>					○																				
<i>Tabellaria</i> sp.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○											○	○			
<i>Licmophora abbreviata</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
<i>L. paradoxa</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
<i>L. flabellata</i>	○	○		○	○					○	○	○													
<i>Synedra superba</i>											○					○		○	○	○	○	○	○		
<i>S. gracilis</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
<i>Cocconeis scutellum</i>	○	○									○												○		
<i>Asterionella japonica</i>					○	○	○					○												○	
<i>Achnanthes longides</i>	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
<i>Gyrosigma fasciola</i>					○	○					○										○	○			
<i>Navicula directa</i> prox.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
<i>N. distans</i> prox.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
<i>Navicula</i> spp.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
<i>Amphora</i> sp.					○																				
<i>Bacillaria paradoxa</i>	○	○																							
<i>Nitzschia closterium</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
<i>N. longissima</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Chlorophyceae																									
<i>Ulothrix implexa</i>					○	○										○	○	○	○						
<i>Enteromorpha</i> sp.					○						○		○	○	○	○	○	○				○	○		
<i>Ulva pertusa</i>					○						○														
<i>Urospora</i> sp.																○	○	○					○		
Rhodophyceae																									
<i>Bangia fusco-purpurea</i>											○											○			
<i>Polysiphonia</i> sp.					○	○	○					○	○	○				○	○	○	○	○	○		
Cyanophyceae																									
<i>Lyngbya</i> sp	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
Total numbers	16	15	15	16	21	14	12	12	14	17	18	16	11	12	12	14	14	16	13	14	15	17	18	14	

がみられた。

1-2. 着生珪藻の月別量変化

のり網に着生する藻類は両地先とも30種類で、これらのうち下関市地先では23種類が、小野田市地先では24種類がそれぞれ珪藻であった。これらの珪藻は、他の藻類に比して着生量が極めて多く、また養殖期間中定点別及び月別に優占種の変化がみられた。このため、ここでは両養殖場に出現する各珪藻の着生量を調べ、着生量の多い種類につい

て月別量変化を検討した。着生量は、のり網1 cm 当りに着生する細胞数で示した。まず、両養殖場に出現する着生珪藻を属または種類ごとに分け、それらの着生量を1定点の1カ月当たりの細胞数に換算した。その結果を細胞数の多い順に並べ替えて、下関市地先についてはFig. 14、小野田市地先については Fig. 15 に示した。これらを見ると両養殖場とも同じ傾向で、最も多いのが *Navicula* spp. であった。次いで *Licmophora* spp., *Nitzschia* spp., *M.*

Table 2. Monthly changes of algal species attached to Nori nets in the cultivation ground of Onoda coastal area.

Station	St-10					St-13						
	O	N	D	J	F	M	O	N	D	J	F	M
Bacillariophyceae												
<i>Melosira nummuloides</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Skeletonema costatum</i>				○			○	○	○	○		
<i>Rhizosolenia</i> sp.									○			
<i>Rhabdonema adriaticum</i>				○				○	○			
<i>Grammatophora oceanica</i>							○		○			
<i>G. marina</i>				○					○			
<i>Tabellaria</i> sp.								○	○	○	○	○
<i>Licmophora abbreviata</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>L. paradoxa</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>L. flabellata</i>										○	○	
<i>Synedra surperba</i>	○	○		○		○		○	○	○	○	
<i>S. gracilis</i>	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○
<i>Thalassionema nitzschioides</i>											○	
<i>Cocconeis scutellum</i>		○	○					○	○	○		
<i>Asterionella japonica</i>					○							
<i>Asterionella</i> sp.		○					○	○	○			
<i>Achnanthes longipes</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Navicula directa</i> prox.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>N. distans</i> prox.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Navicula</i> spp.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Cymbella</i> sp.	○									○		
<i>Bacillaria paradoxa</i>	○											
<i>Nitzschia closterium</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>N. longissima</i>					○	○					○	○
Chlorophyceae												
<i>Ulothrix implexa</i>				○	○	○				○	○	○
<i>Enteromorpha</i> sp.	○	○	○	○	○	○				○	○	○
<i>Ulva pertusa</i>											○	
<i>Urospora</i> sp.				○	○	○				○	○	
Rhodophyceae												
<i>Bangia fusco-purpurea</i>						○						
Cyanophyceae												
<i>Lyngbya</i> sp.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Total numbers	14	14	12	17	15	16	14	13	15	21	19	18

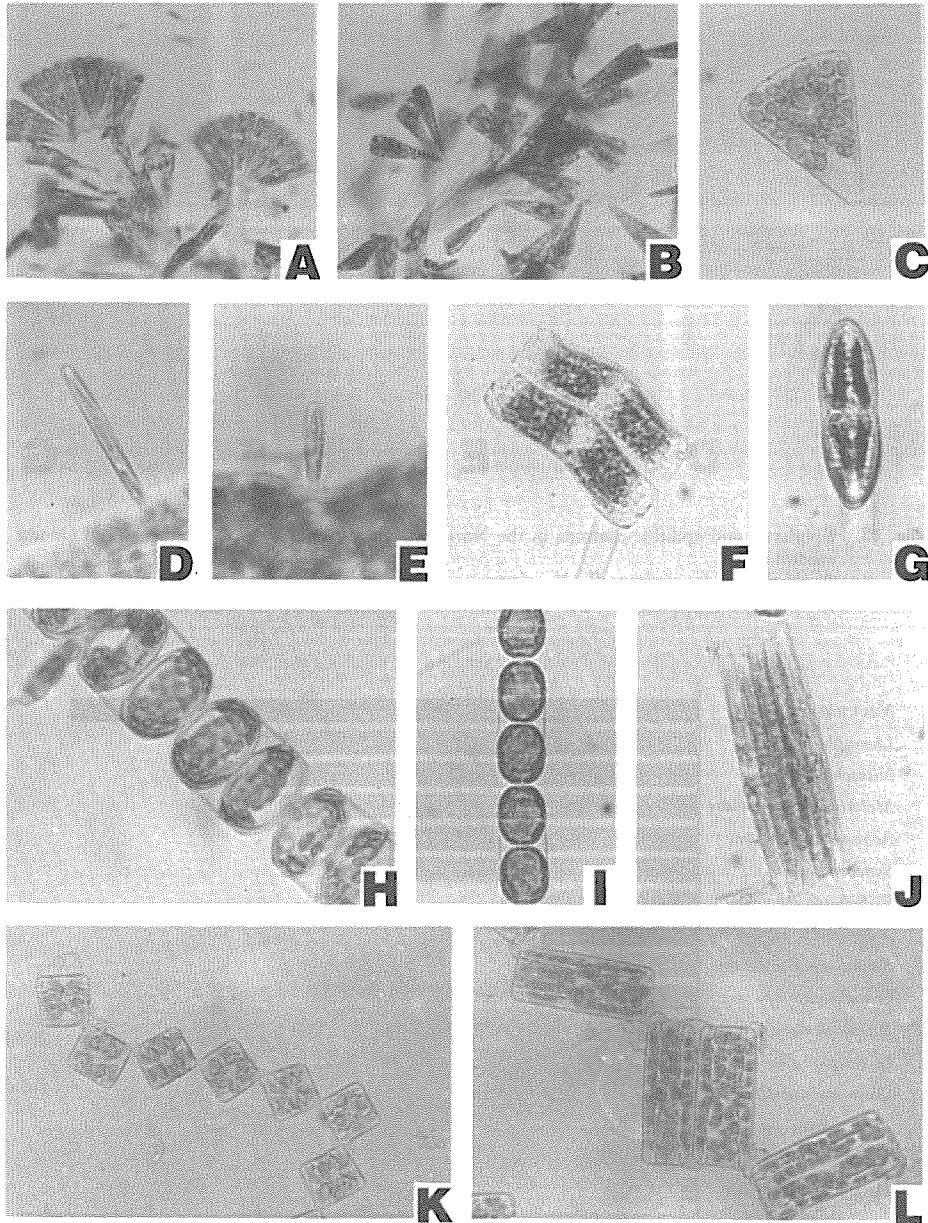


Fig. 12. Epiphytic and epilithic diatoms in the Nori cultivation grounds of Shimonoseki and Onoda coastal areas.

A, *Lichophora flabellata*; B, *L. abbreviata*; C, *L. paradoxa*; D, *Synedra surperba*; E, *S. gracilis*; F, *Achnanthes longipes*; G, valve view of *A. longipes*; H, I, *Melosira nummuloides*; J, *Bacillaria paradoxa*; K, L, *Tabellaria* sp.
(A, $\times 120$; C, $\times 460$; B, D-L, $\times 350$)

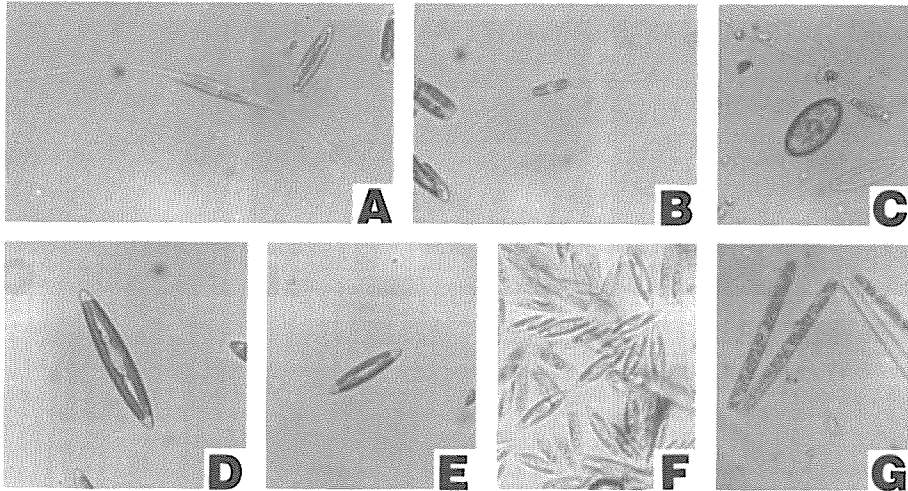


Fig. 13. Epiphytic and epilithic diatoms in the Nori cultivation grounds of Shimonoseki and Onoda coastal areas.

A, *Nitzschia longissima*; B, *N. closterium*; C, *Cocconeis scutellum* prox.; D, E, *Navicula directa* prox.; F, *Navicula* sp.; G, *Thalassionema nitzschioides*. (A—G, $\times 350$).

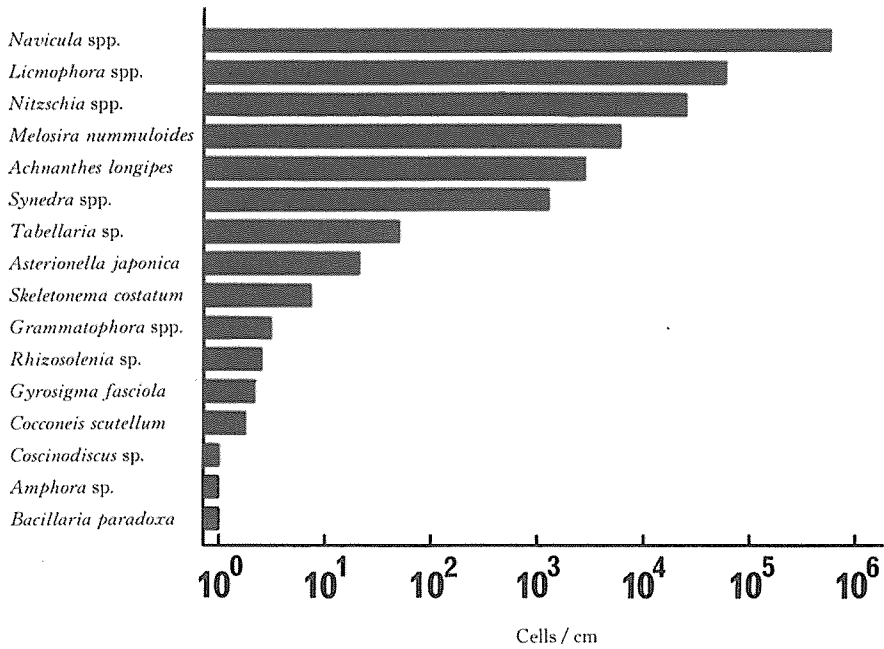


Fig. 14. Average cell-number of diatoms attached to Nori nets at four stations observed once a month from October, 1982 to March, 1983 in the Nori cultivation ground of Shimonoseki coastal area.

nummuloides, *A. longipes*, *Synedra* spp. の順で, *Tabellaria* sp.その他は少なかった。この結果から, 1,000細胞/cmを超える *Synedra* spp. 以上を優占種とし, それらの着生量の月別変化を下関市地先については Fig. 16, 小野田市地先については Fig. 17 に示した。

下関市地先ののり養殖場では, *Navicula* spp. *Licmophora* spp. 及び *Nitzschia* spp. のように水温低下に伴って増加傾向を示すものと, *M. nummuloides*, *A. longipes* 及び *Synedra* spp. のように減少傾向を示すものに大別された。増加傾向を示す種類の着生量は浮流し漁場の St. 1, 3, 8 で多く, 支柱漁場の St. 5 では少なかった。しかし, 減少傾向を示す種類は, 各定点ともほぼ同様な着生量であった。これらの詳細については, のり養殖期を初期 (10~11月), 中期 (12~1月), 終期 (2~3月) に分け, 種類ごとにその変化を述べる。

Navicula spp. の着生量は, 浮流し漁場の St. 1, 3, 8 で養殖初期の11月に急激に増加し, 終期まで増加傾向を示した。一方, 支柱漁場の St. 5 では初期から終期にかけて徐々に増加したが, St. 1, 3, 8 の着生量と比較すると非常に少なかった。

Licmophora spp. は, 塩素量の高い St. 1 で最も多く, その月別量変化をみると養殖初期の11月から急激に増加し, 中期から終期にかけてもやや増加した。また, 河川水の影響を受ける St. 3, 8 は, いずれも初期から終期にかけて着生量が徐々に増加した。しかし, 支柱漁場の St. 5 は養殖初期に増加傾向がみられたが, 中期以降になると次第に減少した。

Nitzschia spp. は St. 1, 3 で養殖中期から急激に増加して終期に最も多くなり, *Navicula* spp. や *Licmophora* spp. の月別量変化とやや異なった。St. 5 は St. 1, 3 と同じような傾向を示したが, 着生量が最も少ない定点であった。一方, St. 8 は河川水の影響の強い定点で, その着生量は養殖初期から中期にかけて増加傾向を示したが, 終期になるとやや減少した。

これに反して, *M. nummuloides* の着生量は各定点とも養殖初期に最も多く, その後次第に減少した。各定点の減少傾向は, 支柱漁場の St. 5 の方が浮流し漁場よりも顕著であった。

A. longipes は, St. 3, 5, 8 で養殖初期の11月から減少したが, 中期以降の減少が急激であった。また, 河川水

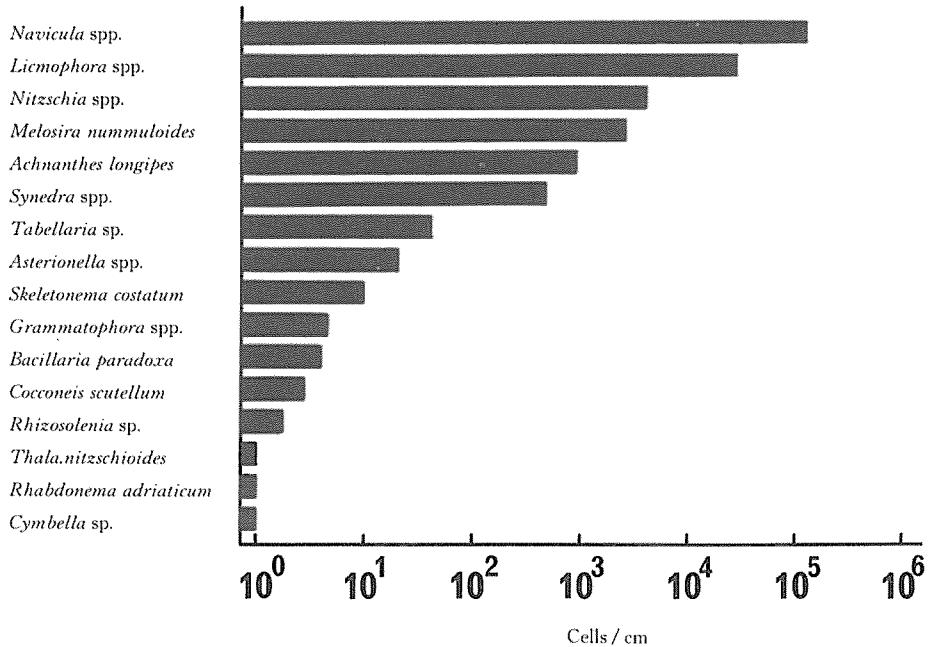


Fig. 15. Average cell-number of diatoms attached to Nori nets at two stations observed once a month from October, 1982 to March, 1983 in the Nori cultivation ground of Onoda coastal area.

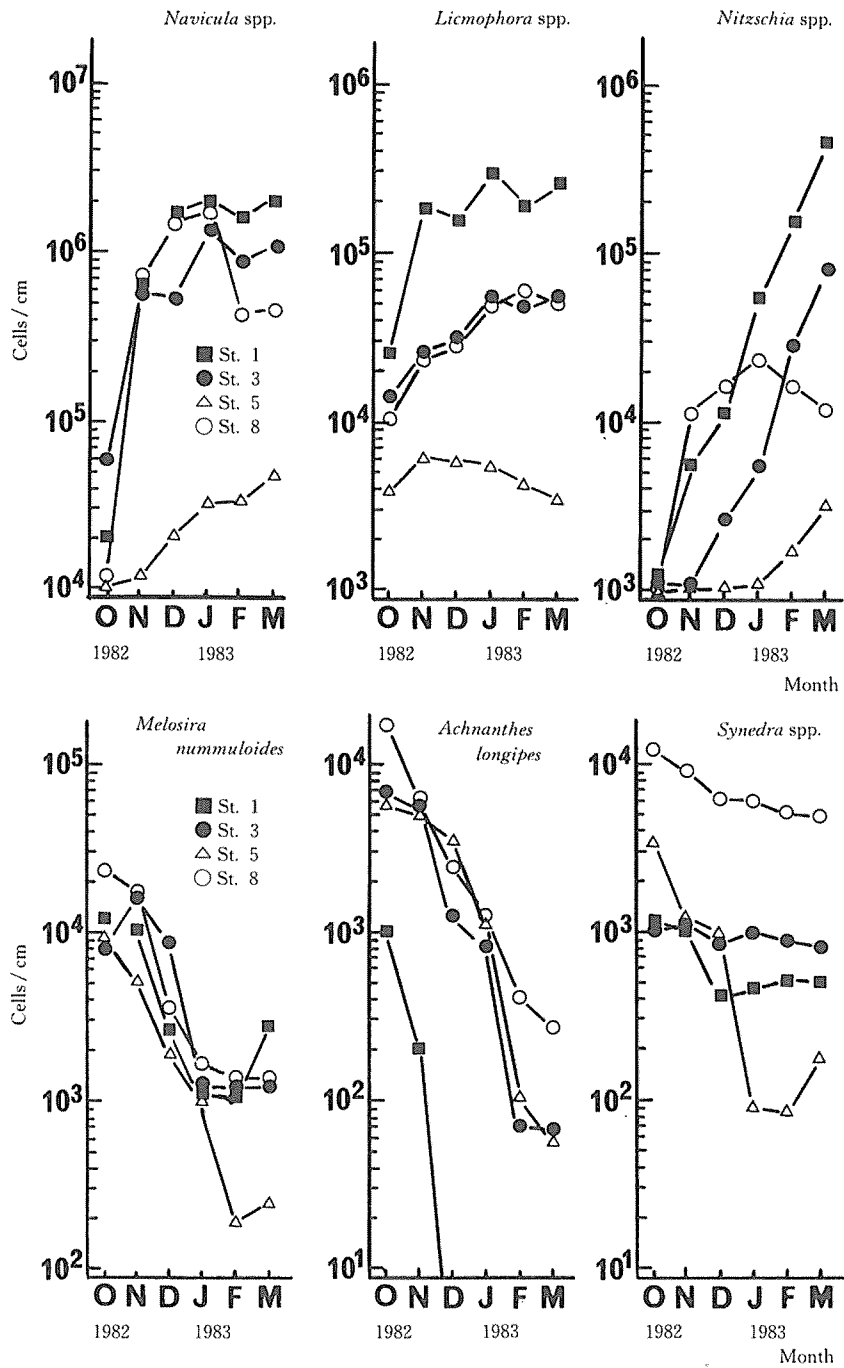


Fig. 16. Monthly change of cell-number of each predominant diatoms attached to Nori nets in the cultivation ground of Shimonoseki coastal area.

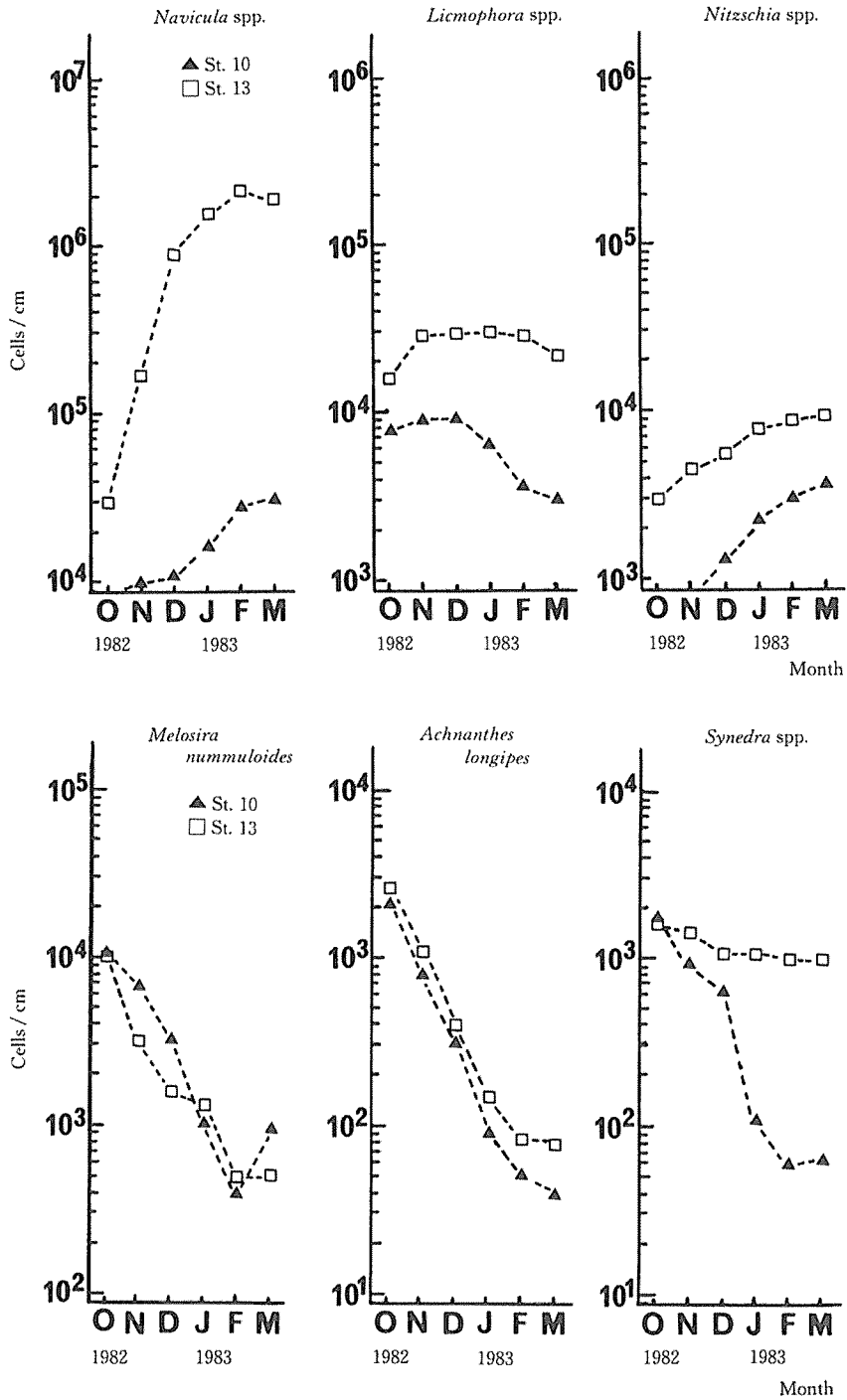


Fig. 17. Monthly change of cell-number of each predominant diatom attached to Nori nets in the cultivation ground of Onoda coastal area.

の影響の弱い St. 1 では、養殖初期に観察されたのみであった。各定点の着生量をみると、河川水の影響の強い St. 8 で最も多かった。

Synedra spp. は、St. 1, 3, 8 で養殖初期の11月から既に減少傾向がみられたが、中期から終期にかけてはわずかに減少するか、またはほとんど変化しなかった。このような減少傾向は、*M. nummuloides* や *A. longipes* の傾向と異なっていた。しかし、支柱漁場の St. 5 は初期にはわずかな減少したが、中期以降になると急激に減少した。各定点の着生量をみると、河川水の影響の強い St. 8 で最も多かった。

小野田市地先ののり養殖場における着生珪藻の月別量変化は、Fig. 17 に示したように下関市地先とほぼ同じような傾向がみられた。すなわち各珪藻の着生量は、水温低下に伴って増加傾向を示す *Navicula* spp. や *Nitzschia* spp. 及び変化の少ない *Licmophora* spp. と *M. nummuloides*, *A. longipes*, *Synedra* spp. のように減少傾向を示すものに分けられた。

Navicula spp. の着生量は、支柱漁場の St. 10, 浮流し漁場の St. 13 とも養殖終期に最高となり、特に St. 13 では中期以降急激に増加した。

Licmophora spp. は St. 10 で養殖中期から次第に減少したが、St. 13 では初期から中期にかけてやや増加傾向を示し、中期以降はほとんど増減がみられなかった。

Nitzschia spp. は、St. 10, 13 とも養殖初期から終期にかけて徐々に増加した。また、両定点の着生量は、浮流し漁場の St. 13 が多かった。

一方、*M. nummuloides* と *A. longipes* の着生量の変動は、両者とも類似の傾向で、両定点と養殖初期から減少し、終期に最も少なくなった。

Synedra spp. は、支柱漁場の St. 10 では養殖初期から減少したが、浮流し漁場の St. 13 では変化が少なく、ほぼ同じような着生量で推移した。

以上の結果から、両養殖場ののり養殖期における着生珪藻は、水温低下に伴い増加傾向を示す *Navicula* spp., *Licmophora* spp. 及び *Nitzschia* spp. と減少傾向を示す *M. nummuloides*, *A. longipes* 及び *Synedra* spp. に大別された。これから前3者は水温低下に伴って着生量が増加するので冬型の着生珪藻、後3者は養殖初期に着生量が多く、水温低下に伴って着生量が減少するので秋型の着生珪藻といえる。各定点の種類別の着生量をみると、養殖初期には河川水の影響の強い St. 5, 8, 10 では *A. longipes*, *Synedra* spp., *Licmophora* spp. 及び *M. nummuloides* が多く出現し、

河川水の影響の弱い St. 1, 3, 13 では *Navicula* spp. や *Licmophora* spp. が多くなる傾向にあった。しかし、中期から終期になると、各定点とも *Navicula* spp., *Licmophora* spp. 及び *Nitzschia* spp. が優占した。従って珪藻の着生量は、定点によって異なっていたが、その優占種は両養殖場とも秋型から冬型に変化することを認めた。また、支柱漁場の St. 5, 10 における珪藻の着生量は、浮流し漁場の St. 1, 3, 8, 13 のそれより少なかったが、これは従来から一般にいわれているように珪藻が干出に弱いことを示している。

このように、下関市及び小野田市地先ののり養殖場において、のり網の着生珪藻の月別量変化はほぼ同じ傾向で変化しており、他ののり養殖場をみても東京湾⁷⁾、松島湾⁶⁾ では養殖初期には *Melosira* spp. や *Achnanthes* spp. が優占種となり、中～終期にかけては *Navicula* spp. や *Nitzschia* spp. に変化すると報告され、本結果ともほぼ一致した。これらの結果が示すように、各養殖場における着生珪藻の優占種が類似しているのは、各養殖場とも内湾にあって、水質環境がほぼ同じであることに基づくものと考えられる。

2. のり葉体に着生する藻類

のり葉体の着生藻類は、のり網の場合と同様に下関市地先においては浮流し漁場の St. 1, 3, 8, 支柱漁場の St. 5, 小野田市地先においては支柱漁場の St. 10, 浮流し漁場の St. 13 の6定点において、1981年10月～1982年3月、1982年10月～1983年3月に、種類とその着生量を調査した。

2-1. 種類

のり葉体に着生する藻類はすべて珪藻で、のり網に着生する種類数より非常に少なかった。各定点及び各月に出現した種類を下関市地先については Table 3 に、小野田市地先については Table 4 に示した。下関市地先に出現する着生珪藻は6属9種で、各定点とも同じような種類であった。特に多かったのは *L. abbreviata* で、その他に *L. paradoxax*, *S. gracilis*, *S. surperba* 及び *Tabellaria* sp. などがみられた。各定点の種類数は、St. 1 で4属7種、St. 3 で4属7種、St. 5 で4属6種、St. 8 で4属6種であった。また、St. 1 で1月に *Navicula* sp., St. 3, 5 で11月、10月に *M. nummuloides*, St. 8 で11月に *A. longipes* が着生したが、これらの着生量は極めて少なかった。

小野田市地先における着生珪藻の種類は、Table 4 に示したように下関市地先とほぼ同じで、5属8種が観察された。出現した種類の中では *L. abbreviata* が最も多く、*L.*

Table 3. Monthly changes of the species in diatoms attached to Nori fronds in the cultivation ground of Shimonoseki coastal area.

Station	St-1					St-3					St-5					St-8									
	O	N	D	J	F	M	O	N	D	J	F	M	O	N	D	J	F	M	O	N	D	J	F	M	
Bacillariophyceae																									
<i>Melosira nummuloides</i>	-						-	○					○						-						
<i>Tabellaria</i> sp.	-	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○					-		○	○	○	○	
<i>Licmophora abbreviata</i>	-	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	
<i>L. paradoxa</i>	-	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	
<i>L. flabellata</i>	-		○	○			-				○								-						
<i>Synedra surperba</i>	-		○						○				○					○	-	○	○	○	○	○	
<i>S. gracilis</i>	-	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	
<i>Achnanthes longipes</i>	-						-												-	○					
<i>Navicula</i> sp.	-			○			-												-						
Total numbers		4	5	6	5	4		6	4	4	5	4		6	4	3	3	3	4		5	5	5	5	4

Table 4. Monthly changes of species in diatoms attached to Nori fronds in the cultivation ground of Onoda coastal area.

Station	St. 10					St. 13											
	O	N	D	J	F	M	O	N	D	J	F	M					
Bacillariophyceae																	
<i>Melosira nummuloides</i>						○						-					
<i>Tabellaria</i> sp.											○	○	○				
<i>Licmophora abbreviata</i>						○	○	○	○	○	○	○	○				
<i>L. paradoxa</i>						○	○	○	○	○	○	○	○				
<i>L. flabellata</i>											○		-				
<i>Synedra surperba</i>											○	○					
<i>S. gracilis</i>						○	○	○	○	○	○	○	○				
<i>Achnanthes longipes</i>						○							-				
Total numbers						4	4	3	5	3	4						
													3	4	5	4	4

paradoxa, *S. gracilis*, *S. surperba* 及び *Tabellaria* sp. などみられた。各定点の種類数は、St.10, 13とも4属6種であった。

以上のように、のり葉体に着生する珪藻は、*L. abbreviata* が最も多く、その他に *L. paradoxa*, *Synedra* spp. 及び *Tabellaria* sp. が観察され、各地の養殖場での報告^{5, 26)}と同じであった。また、各定点の出現種をみると、両養殖場とも河川水の影響の強い St. 5, 8, 10には *Licmophora* spp. や *Synedra* spp., 河川水の影響の弱い St. 1, 3, 13には *Licmophora* spp., *Synedra* spp. 及び *Tabellaria* sp. が多くみられた。

2-2. 着生珪藻の月別量変化

下関市、小野田市両地先ののり葉体に着生する珪藻について、着生量の月別変化を検討した。この着生量は葉長5

cm以下の幼葉と10cm以上の成葉に分け、それぞれの先端部について調べ、葉体1cm²に着生する細胞数に換算して示した。

2-2-1. 幼葉の着生珪藻

幼葉については、1982年10月～1983年3月に調査し、各種類の着生量の月別変化を下関市地先については Fig. 18、小野田市地先については Fig. 19 にそれぞれ示した。のり養殖期を初期(10～11月)、中期(12～1月)、終期(2～3月)に分けて着生量の変化をみると、下関市地先では、*Licmophora* spp. は浮流し漁場の St. 1, 3, 8で養殖初期から増加して中期に最も多くなり、終期には水温低下に伴って次第に減少した。また、支柱漁場の St. 5でも養殖中期にやや多くなり、終期に減少したが、その着生量は浮流し漁場より非常に少なかった。各定点のうち着生量が最

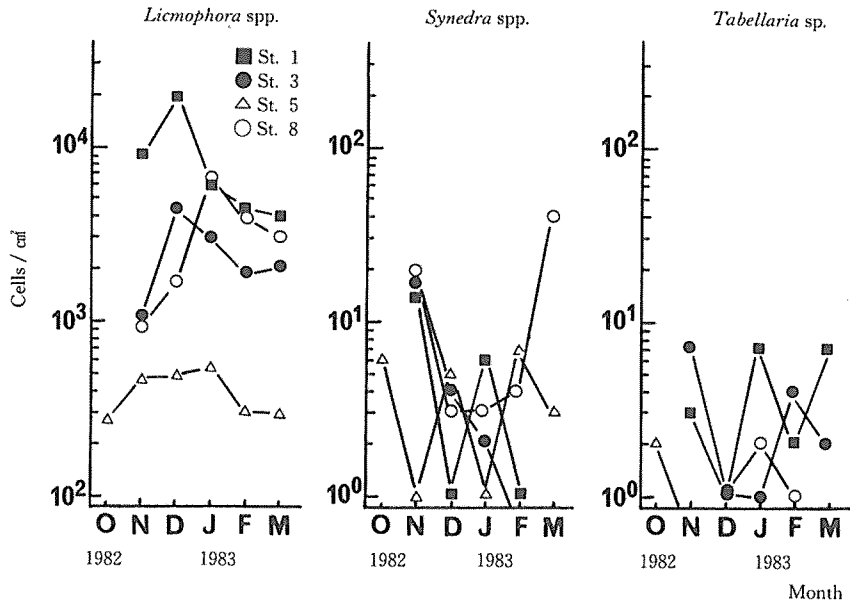


Fig. 18. Monthly change of cell-number of each epiphytic diatom attached to Nori fronds shorter than 5 cm in the cultivation ground of Shimonoseki coastal area.

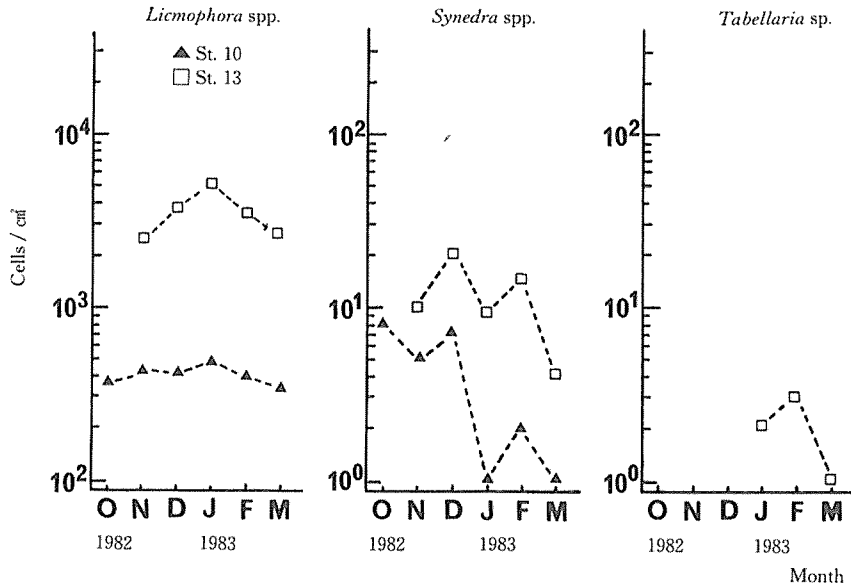


Fig. 19. Monthly change of cell-number of each epiphytic diatom attached to Nori fronds shorter than 5 cm in the cultivation ground of Onoda coastal area.

も多いのは、塩素量の高い St. 1 であった。*Synedra* spp. は河川水の影響の強い St. 8 で多く、*Tabellaria* sp. は河川水の影響の弱い St. 1 で多かった。しかし、両者とも着生量が少なく、月別量変化も一定の傾向を示さなかった。

小野田市地先における着生珪藻の月別量変化をみると、Fig. 19 に示したように *Licmophora* spp. の着生量は、浮流し漁場の St.13 で養殖初期から増加して中期に最も多くなり、その後次第に減少した。また支柱漁場の St.10 では、養殖初期から終期にかけてその着生量は変化があまりみられず、St.13 に比して非常に少なかった。*Synedra* spp. の着生量は、St.10, 13 とともに少なかったが、両定点とも水温低下に伴って減少した。*Tabellaria* sp. は、浮流し漁場の St.13 で 1～3 月に 1 cm² 当たり数細胞出現しただけで、着生量の変化は不明であった。

以上から、幼葉に着生する各珪藻の月別量変化は、下関市及び小野田市地先の両養殖場ともほぼ同じであることを認めた。最も着生量の多い *Licmophora* spp. は、のり養殖初期から中期にかけて増加し、終期になるとやや減少することが明らかになった。また、*Synedra* spp., *Tabellaria* sp. は着生量が少なく、これらのうち前者については養殖期の終期にかけてわずかに減少する傾向がみられたが、後者については一定の傾向が見出せなかった。各定点における珪藻の着生量をみると、*Licmophora* spp. はいずれの定点とも多かったが、*Synedra* spp. は河川水の影響の強い定点で、*Tabellaria* sp. は河川水の影響の弱い定点で多かった。

2-2-2. 成葉の着生珪藻

成葉に着生する珪藻の月別量変化については、1981年10月～1982年3月（以下前年度と略す）、1982年10月～1983年3月（後年度）に調査し、その結果をそれぞれ Fig. 20 と 21 に示した。下関市地先における着生量は、浮流し漁場の St. 1, 3, 8 で多く、支柱漁場の St. 5 で少なかった。*Licmophora* spp. は養殖初期から徐々に増加し、4 定点とも前年度には養殖中期の12月に最大となり、後年度には同じく中期の12月または1月に最も多くなったが、その後はいずれも次第に減少した。

Synedra spp. は着生量が少なく、その月別量変化も一定の傾向がみられなかった。しかし、各定点における着生量をみると、河川水の影響の強い St. 8 で多く、特に後年度ではその傾向が顕著であった。*Tabellaria* sp. は両年度とも着生量が少なく、その月別量変化には一定の傾向がみられなかったが、前者と異なりその着生量は、河川水の影響が比較的弱い St. 1, 3 で多かった。

小野田市地先における各珪藻の月別量変化は、Fig. 21 に示したように、*Licmophora* spp. が浮流し漁場の St.13 で両年度とも養殖初期から増加して中期の1月に最も多くなり、その後次第に減少した。支柱漁場の St.10 では前年度には養殖初期の11月に、後年度には中期の1月に最も多かった。

Synedra spp. の着生量は、両年度とも支柱漁場の St.10 が St.13 より多かったが、2 定点とも少なく、一定の月別変化はみられなかった。

Tabellaria sp. は養殖中期以降に St.13 のみで数細胞が観察されただけで、その月別量変化は検討できなかった。

以上の結果から、下関市及び小野田市地先の養殖場におけるのり葉体に着生する珪藻の月別量変化は、両養殖場ともほぼ同じであった。これは水質環境で述べたように、のり養殖期における両養殖場の水質環境がよく似ていたことに起因すると考えられる。また、幼葉と成葉の着生珪藻の量変化を比較すると、着生量は成葉の方が多かったが、その変化傾向は同じであった。すなわち、*Licmophora* spp. の着生量は、養殖初期から増加して中期に最も多くなり、終期にはやや減少した。また、*Synedra* spp. と *Tabellaria* sp. は着生量が少なく、その月別量変化についても一定の傾向がみられなかった。一方、各定点における珪藻の着生量は、浮流し漁場の St. 1, 3, 8 及び13の方が支柱漁場の St. 5, 10 より多かった。また、各定点とも *Licmophora* spp. が優占種であったが、その他の珪藻として *Synedra* spp. が河川水の影響の強い定点で、*Tabellaria* sp. が河川水の影響の弱い定点で多い傾向にあった。

このように、のり葉体に着生する珪藻は主に *Licmophora* spp. であったが、他の海産植物でも特定の珪藻が多数着生するという報告²⁸⁻³¹⁾がある。例えば褐藻の *Chordaria flagelliformis* に *Licmophora* spp.²⁸⁾、顕花植物の *Zostera marina* に *Cocconeis* spp.²⁹⁻³¹⁾ が多く着生し、それぞれの宿主は *Licmophora* type, *Cocconeis* type と呼ばれている。これに従えば、のり葉体は *Licmophora* type に入ると考えられる。

IV. 培養条件と着生珪藻の増殖

下関市と小野田市地先におけるのり養殖場の水質環境は良く類似しており、のり網やのり葉体の着生珪藻も種類とその量的変化について同様な傾向を示した。すなわち、のり網に着生する珪藻は水温低下に伴って増加傾向を示す *Navicula* spp., *Licmophora* spp. 及び *Nitzschia* spp. と反

対に減少傾向を示す *M. nummuloides*, *A. longipes* 及び *Synedra* spp. に大別された。のり葉体に着生する珪藻特に *Licmophora* spp. は、養殖中期に最も着生量が多くなった。また、河川水の影響が強く栄養塩類が多い場所には *M. nummuloides*, *A. longipes*, *Licmophora* spp. 及び *Synedra*

spp. などの着生量が多く、塩素量が高く栄養塩類がやや少ない地点には *Navicula* spp., *Nitzschia* spp., *Licmophora* spp. 及び *Tabellaria* sp. などが多い傾向にあった。

このように、水質環境によって着生珪藻の種類や着生量が異なるので、着生珪藻の増殖には水質が深く関与してい

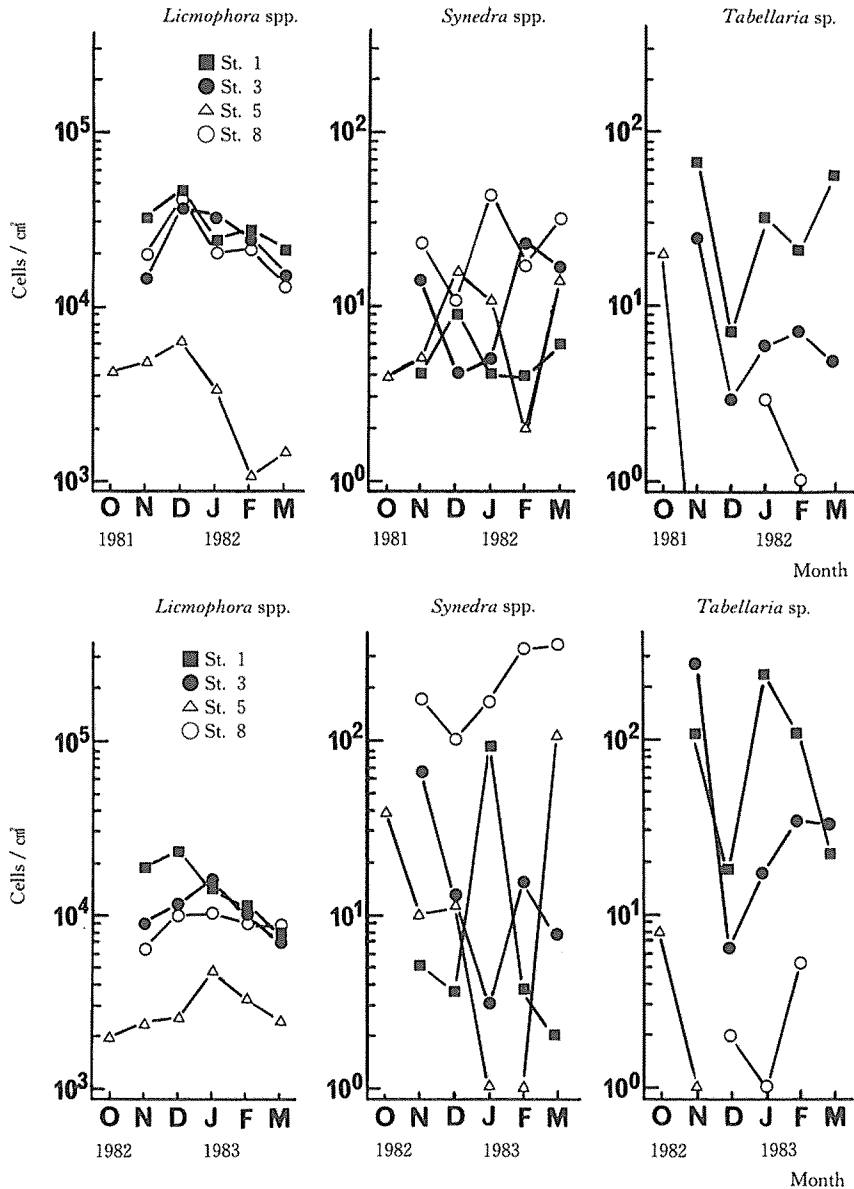


Fig. 20. Monthly change of cell-number of each epiphytic diatom attached to Nori fronds longer than 10 cm in the cultivation ground of Simonoseki coastal area.

ると考えられる。このようなことから、着生珪藻の増殖と水質環境との関係について室内培養実験から検討した。

室内培養実験は温度、照度、塩素量、pH、栄養塩類などの項目について行った。実験には、1979年3月～1982年3月に下関市地先ののり養殖場で採集した *L. abbreviata*,

L. paradoxa, *S. gracilis*, *M. nummuloides*, *A. longipes* 及び *N. directa prox.* を用いた。これらの珪藻はのり網の一部を切り取って実験室に持ち帰り、網及び葉体に着生している珪藻をピンセットで取りはずした後、ピペット法で洗浄し、PESSi (Table 5のSi添加のES enrichment³³⁾を海水

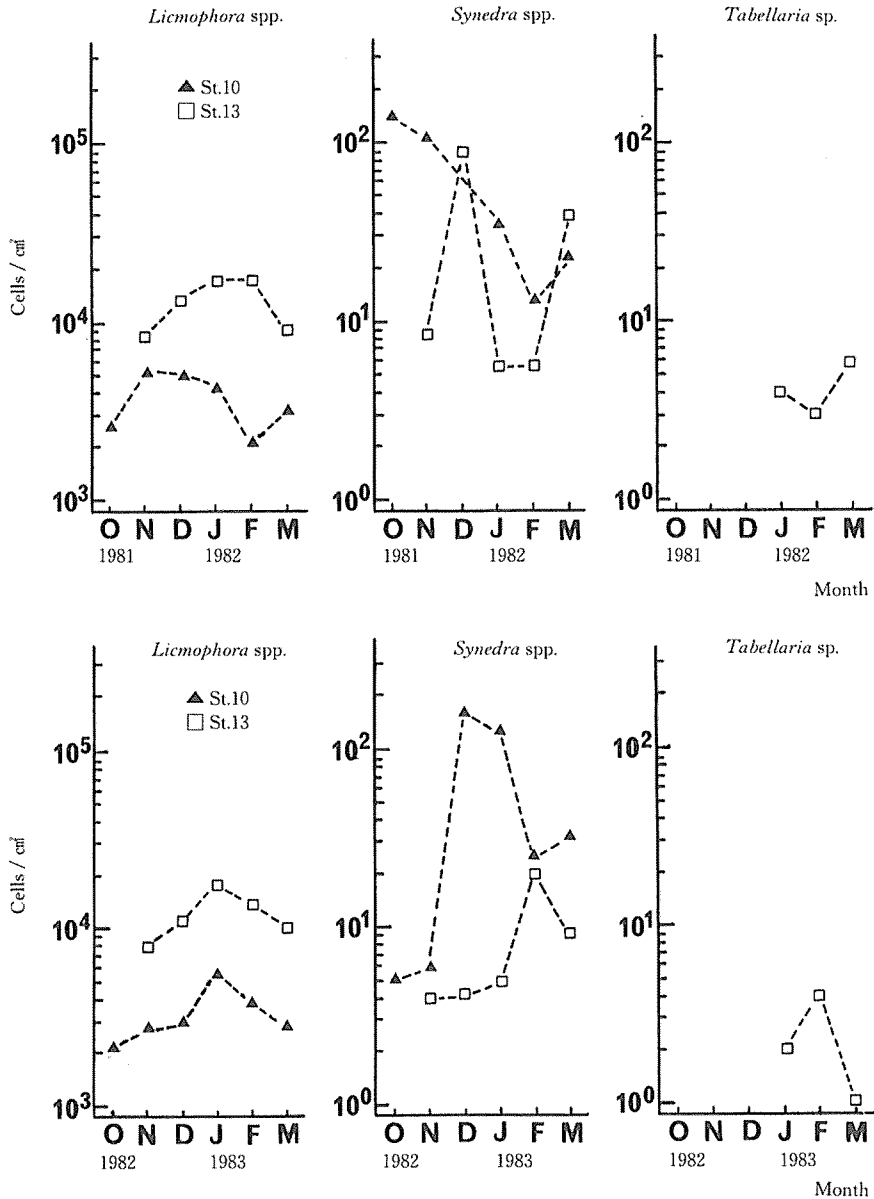


Fig. 21. Monthly change of cell-number of each epiphytic diatom attached to Nori fronds longer than 10 cm in the cultivation ground of Onoda coastal area.

100 ml 当たり 2 ml 加える) で培養して実験に供した。実験は径 18 mm, 高さ 150 mm のネジ口試験管に 10 ml の培養液を入れ, この中に *Licmophora* の 2 種と *A. longipes* が 10 細胞/ml, *S. gracilis* が 20 細胞/ml, *M. nummuloides* が 100 細胞/ml, *N. directa prox.* が 30 細胞/ml になるようにそれぞれ接種して, 一定期間後に細胞数を計測した。培養液は栄養塩類の実験には Table 6 に示した ASP₁₂³²⁾ を用いた他は, いずれも PESSi を使用した。培養は無菌条件で実施し, 細菌検査は STP 培地³⁴⁾ を用いて行った。培養期間は, 温度の実験については各温度での増殖量が定常期に達するまで行い, 照度, pH, 塩素量, 栄養塩類などの

Table 5. Composition of Provasoli's ES enrichment.

Distilled water	100 ml
NaNO ₃	350 mg
Na ₂ -glycerophosphate	50 mg
Fe-EDTA	2.5 mg
P II metals*	25 ml
Vitamin B ₁₂	10 μg
Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O	500 mg
TRIS	500 mg
pH	7.8

* One ml of P II metals contains: ethylenediamine tetraacetic acid, 1 mg; Fe (as Cl), 0.01 mg; B (as H₂BO₃), 0.2 mg; Mn (as Cl), 0.04 mg; Zn (as Cl), 0.005 mg; Co (as Cl), 0.001 mg.

Table 6. Composition of ASP₁₂ of artificial medium.

Distilled water	100 ml
NaCl	2.8 g
MgSO ₄ 7H ₂ O	0.7 g
MgCl ₂ 6H ₂ O	0.4 g
KCl	0.07 g
Ca (as Cl)	40 mg
NaNO ₃	10 mg
K ₃ PO ₄	1 mg
Na ₂ -glycerophosphate	1 mg
Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O	15 mg
Vitamin B ₁₂	0.02 μg
Biotin	0.1 μg
Thiamine HCl	10 μg
P II metals* ¹	1 ml
S 2 metals* ²	1 ml
TRIS	100 mg
pH	7.8-8.0

*1 See table 5

*2 One ml of S 2 metals contains: Br (as Na), 1.0 mg; Sr (as Cl), 0.2 mg; Rb (as Cl), 0.02 mg; Li (as Cl), 0.02 mg; I (as Cl), 0.001 mg; Mo (as Na), 0.05 mg; Va (as Cl), 0.0001 mg

実験では設定温度区での増殖量がほぼ定常期に達する 10 日間とした。細胞数の計測は, 試験管中に先ず 0.5N の NaOH を 0.2 ml 加えてよく攪拌し, 24 時間放置して粘着力を低下させた。次に, 試験管に径 1 mm のガラス玉を 150~200 個入れて攪拌し, 試験管内壁に着いた珪藻をほぼ完全に脱落させた。これから一定量の液を取り, 顕微鏡下で細胞数を計測した。

1. 温 度

温度の実験は, 5~30°C の間に 5°C ごとの 6 温度区を設け, 照度 4,500~5,000 lx (光源は白色蛍光灯), 1 日 12 時間照明で行った。各珪藻の増殖と温度の関係を Fig. 22 に示した。

L. abbreviata の増殖は温度の上昇につれて活発になり, 5°C で 20 日, 10°C で 15 日, 15°C で 11 日, 20°C で 10 日, 25°C では 9 日間でそれぞれ定常期に達した。しかし, 本種は 30°C では 2~3 日後に死滅した。定常期に達した時の細胞数は, 5°C で約 7,000 細胞/ml, その他の温度区では 9,000~10,000 細胞/ml であった。

L. paradoxa は前者と同じように 30°C では 2~3 日後に死滅した。5~25°C の各温度区では, 5°C で 23 日以上, 10°C で 17 日, 15°C で 12 日, 20°C で 10 日, 25°C では 9 日間で定常期に達した。その時の細胞数は, 5°C で約 2,000 細胞/ml, 10~25°C では約 8,000 細胞/ml であった。*L. abbreviata* と比較すると, 本種は 5°C での増殖が極端に悪かった。

S. gracilis の増殖は温度の上昇に伴って活発になり, 5°C で 20 日以上, 10°C で 17 日, 15°C で 11 日, 20°C で 9 日, 25°C で 8 日, 30°C では 7 日間で定常期に達した。その時の細胞数は, 5°C で約 4,000 細胞/ml, 10~30°C では 18,000~20,000 細胞/ml であった。本種の増殖は, 上述の 2 者より高温区で活発であった。

M. nummuloides は 5°C での増殖が極めて悪く, 20 日経過しても細胞数は約 3,000 細胞/ml にすぎなかった。10°C 以上になると増殖が活発になり, 10°C で 17 日, 15°C で 11 日, 20°C で 10 日, 25°C で 9 日, 30°C では 9 日間で定常期に達した。各温度区での定常期の細胞数は, 10~25°C で 18,000~20,000 細胞/ml, 30°C では若干細胞数が少なく約 15,000 細胞/ml であった。

A. longipes は低温での増殖が著しく抑制され, 5, 10°C では 22 日以上経過しても定常期に達しなかった。その他の温度区では 15°C で 18 日, 20°C で 13 日, 25°C で 11 日, 30°C では 9 日間で定常期に達した。その時の細胞数は約

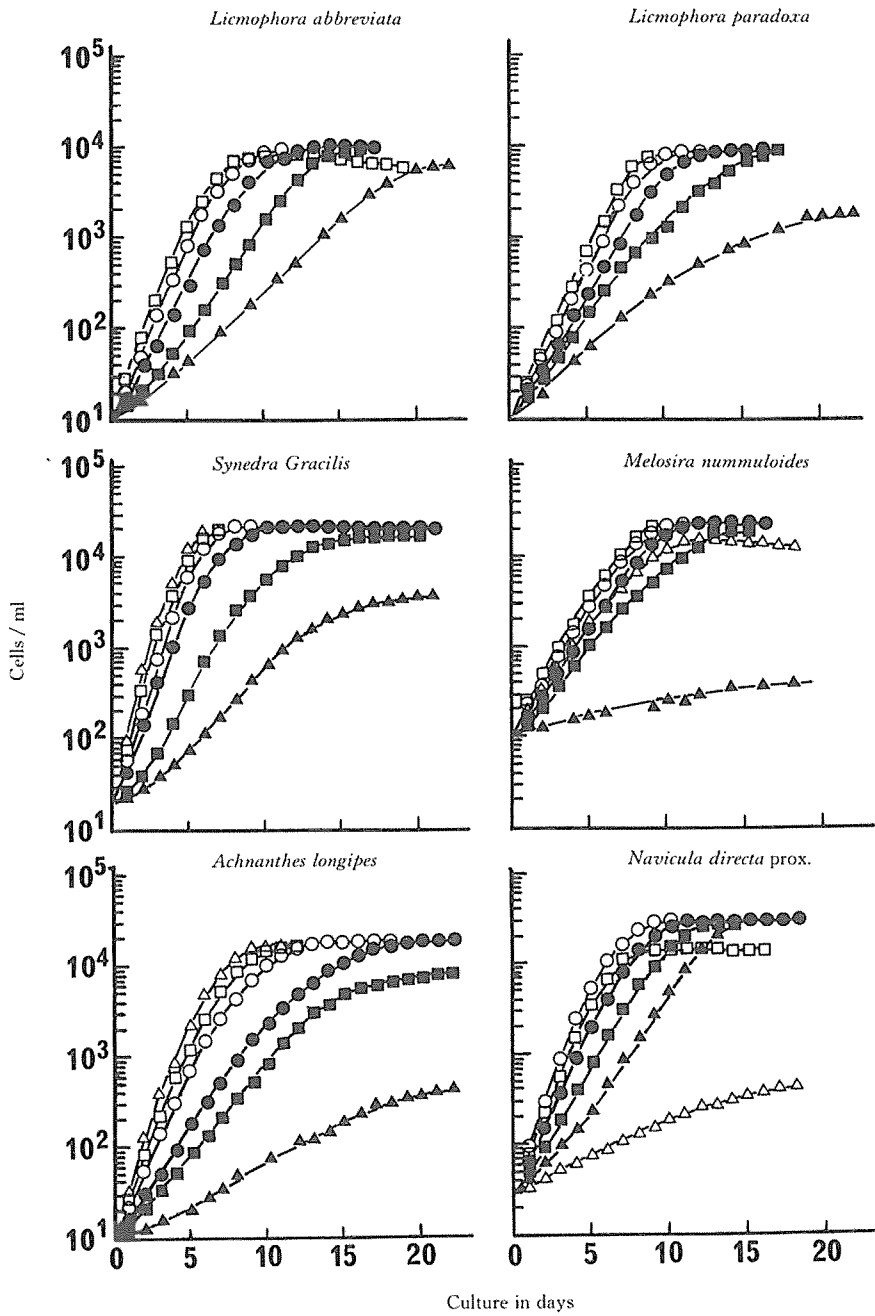


Fig. 22. Growth curves of six species of epiphytic and epilithic diatoms at different temperatures, 5°C (▲), 10°C (■), 15°C (●), 20°C (○), 25°C (□) and 30°C (△), respectively.

17,000細胞/mlであった。

N. directa prox. はこれまで行なった5種類の珪藻とは温度に対する影響が異なり、高温区での増殖が極端に悪かった。各温度区での定常期に達するまでの日数は5°Cで15日、10°Cで12日、15°Cで11日、20°Cでは9日間を要し、その時の細胞数は約28,000細胞/mlであった。25°Cになると8日間で定常期になったが、その時の細胞数は約13,000細胞/mlで、5~20°Cでの定常期のほぼ半分であった。30°Cになるとさらに増殖が低下し、18日間経過しても細胞数は約400細胞/mlにすぎなかった。

以上から、珪藻6種類の温度の影響が明らかになり、種類によって増殖の適温が異なることを認めた。すなわち、10°Cの低温では*N. directa prox.* の増殖が最も良く、*L. abbreviata* も比較的良かった。次いで、温度が高くなるにつれて*L. paradoxa*, *S. gracilis*, *M. nummuloides* の増殖が活発になり、30°Cの高温では*A. longipes* が最も良かった。これらから、下関市及び小野田市地先ののり養殖場の着生珪藻は、水温低下に伴って着生量が増加傾向を示す*Licmophora* spp., *Navicula* spp., 減少傾向を示す*M. nummuloides*, *A. longipes*, *Synedra* spp. に大別できた。

2. 照 度

照度の実験は15, 20°Cの温度区で、光源に300 Wのフトリフレクターランプを用い、光源からの距離を変えることによって0~20,000 lxの間に9照度区を作り、12時間ごとの明暗周期で行った。各珪藻の増殖と照度の関係をFig. 23に示した。

L. abbreviata は15°C区では8,000 lx以上で最も増殖量が多くなり、20,000 lxまではほぼ同じ増殖量であった。20°C区では5,000 lx以上で増殖量が最大となり、20,000 lxまではほぼ同じであった。

L. paradoxa は15°C区では前者とほぼ同じで、8,000 lx以上で最大の増殖量を示し、20,000 lxまではほぼ同じであった。20°C区では5,000~15,000 lxで最も増殖量が多かったが、20,000 lxになると増殖量が若干低下した。

S. gracilis と *M. nummuloides* も前2者と同じような傾向がみられ、15°C区では8,000~20,000 lx、20°C区では5,000~20,000 lxで最大の増殖量を示した。

A. longipes は上述の各珪藻の増加傾向と異なり、高い照度での増殖量が低下した。15°C区では8,000~10,000 lx、20°C区では5,000~10,000 lxで最大の増殖量を示し、両温度区とも15,000 lx以上になると増殖量が次第に減少した。

N. directa prox. は15°C区では5,000~20,000 lx、20°C区では3,000~20,000 lxで最も増殖量が多かった。本種ではこれまでの5種類に比して、両温度区とも低い照度で増殖の光飽和に達する傾向が見られた。

以上のように、各珪藻の増殖に好適な照度は、低温度区で高くなる傾向がみられた。のり養殖場では水温が養殖初期から低いので高い照度が必要になると思われるが、のり漁場では日中の照度が一般に数万 lx 以上あるので、照度不足による増殖阻害はまず生じないと考えられる。

3. 塩素量

塩素量の実験は、普通海水、70~80°Cで濃縮した海水及び蒸留水を用い、塩素量2.0~22.0‰の範囲内に9~10濃度区を設け、15, 20°Cの温度区で、温度の実験と同じ光条件で行った。各珪藻の増殖と塩素量の関係をFig. 24に示した。

L. abbreviata は両温度区とも13.0~18.0‰で増殖が活発で、そのうち15.0~16.5‰で特に増殖量が多かった。

L. paradoxa は前者と同じような傾向がみられ、両温度区とも塩素量12.0~18.0‰で良く増殖し、特に14.5~16.0‰で増殖量が多かった。

S. gracilis は両温度区とも14.0~18.0‰で活発な増殖を示し、特に14.0~16.0‰で最も良かった。この傾向は*Licmophora* 2種と類似していた。

M. nummuloides は上述の3者より低い濃度で増殖が活発であり、15°C区では11.0~16.0‰、20°Cでは9.0~16.0‰で普通海水の塩素量18.0‰より増殖量が多かった。最高を示したのは、両温度区とも11.0~14.5‰であった。

A. longipes については増殖に好適な塩素量範囲が広く、両温度区とも12.5~18.0‰での増殖量が多かった。

N. directa prox. は両温度区とも15.0‰以上で活発に増殖し、22.0‰まではほぼ同じ増殖量を示した。

以上から、各珪藻の増殖は*N. directa prox.* を除けば、いずれも普通海水(塩素量約18.0‰)より低い塩素量で活発であり、これまで報告された浮遊珪藻数種³⁵⁾ *Nitzschia*,³⁶⁾ *Thalassiosira*³⁷⁾ などについての増殖と塩素量の関係と一致した。この特性から、*L. abbreviata*, *L. paradoxa*, *S. gracilis*, *M. nummuloides* 及び *A. longipes* の分布は、沿岸及び内湾に限られており、*N. directa prox.* は塩素量の変化に広い適応性をもっているため、河口域から沖合まで広く分布できるものと思われる。のり養殖場における着生珪藻の分布をみると、河口域の塩素量の低い水域では *M. nummuloides*, *A. longipes* などが多く、沖合域に

なるにつれて *Navicula* spp. *Licmophora* spp. が多くなったが、この傾向は今回の実験結果とはほぼ一致した。

4. pH

pHの実験は、1 N HCl と 0.5 N NaOH を用いて 6.0 ~

9.0の間に10 pH区を作って行った。培養は15, 20°Cの温度区で行い、光条件を温度、塩素量の実験と同じにした。各珪藻の増殖とpHの関係を Fig. 25 に示した。

L. abbreviata は15°C区では pH 7.5以上で増殖が活発で、pH 9.0まではほぼ同じ増殖量を示した。20°C区では

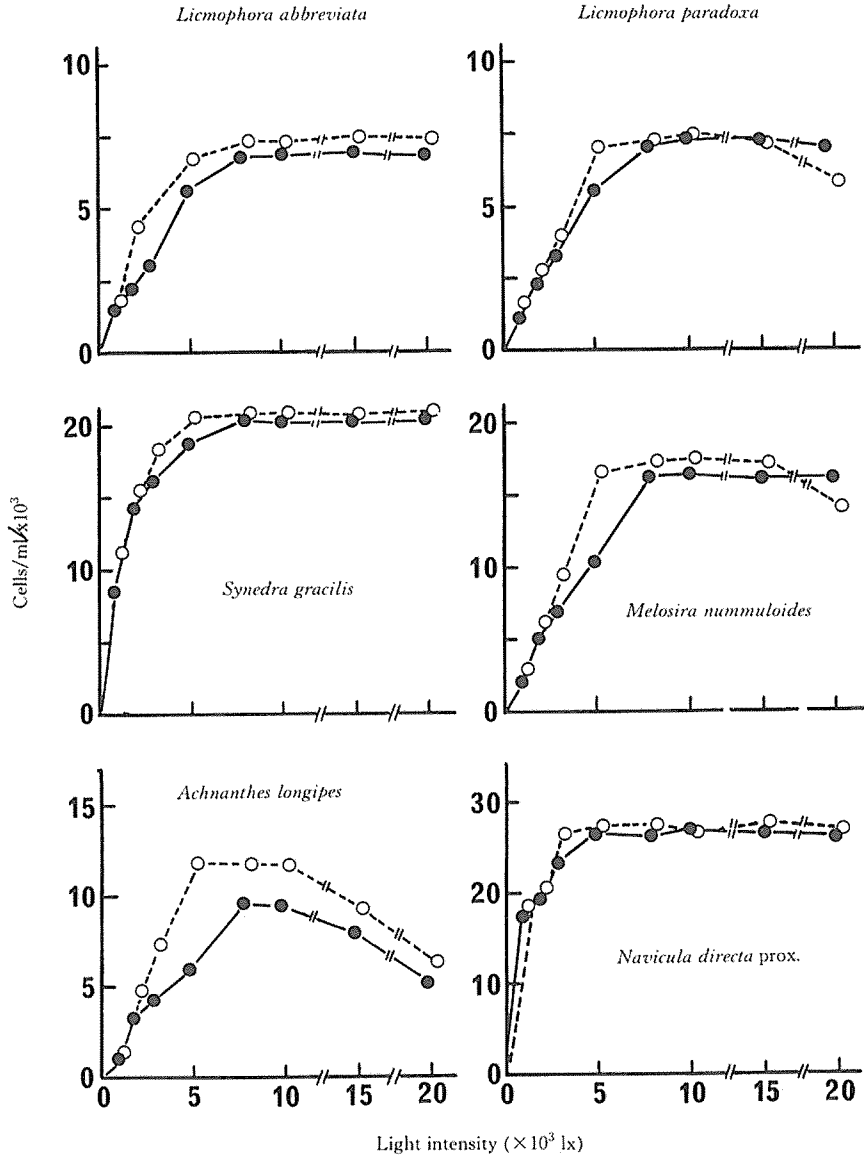


Fig. 23. Propagation of six species of epiphytic and epilithic diatoms under different light intensity after 10-day cultivation. Solid lines indicate propagation in the case of cultivation at 15°C, and broken lines at 20°C.

pH 7.0以上で増殖量が多くなり、pH 7.5~9.0が好適であった。

L. paradoxa は15, 20°C区とも同じような増殖傾向がみられ、pH 7.8~8.5で最も増殖量が多かった。前者と比較すると、本種の方が増殖に好適なpH域が狭くなる傾向を示した。

S. gracilis は両温度区ともpH 7.5~8.0で良く増殖し、この範囲外では増殖量が急減した。

M. nummuloides は両温度区ともpH 7.5以上で増殖量が多く、pH 9.0まではほぼ同じ傾向を示した。

A. longipes はこれまでの前4者とはやや異なり、低pH区での増殖が活発で、両温度区とも最適pHは6.5~8.0で

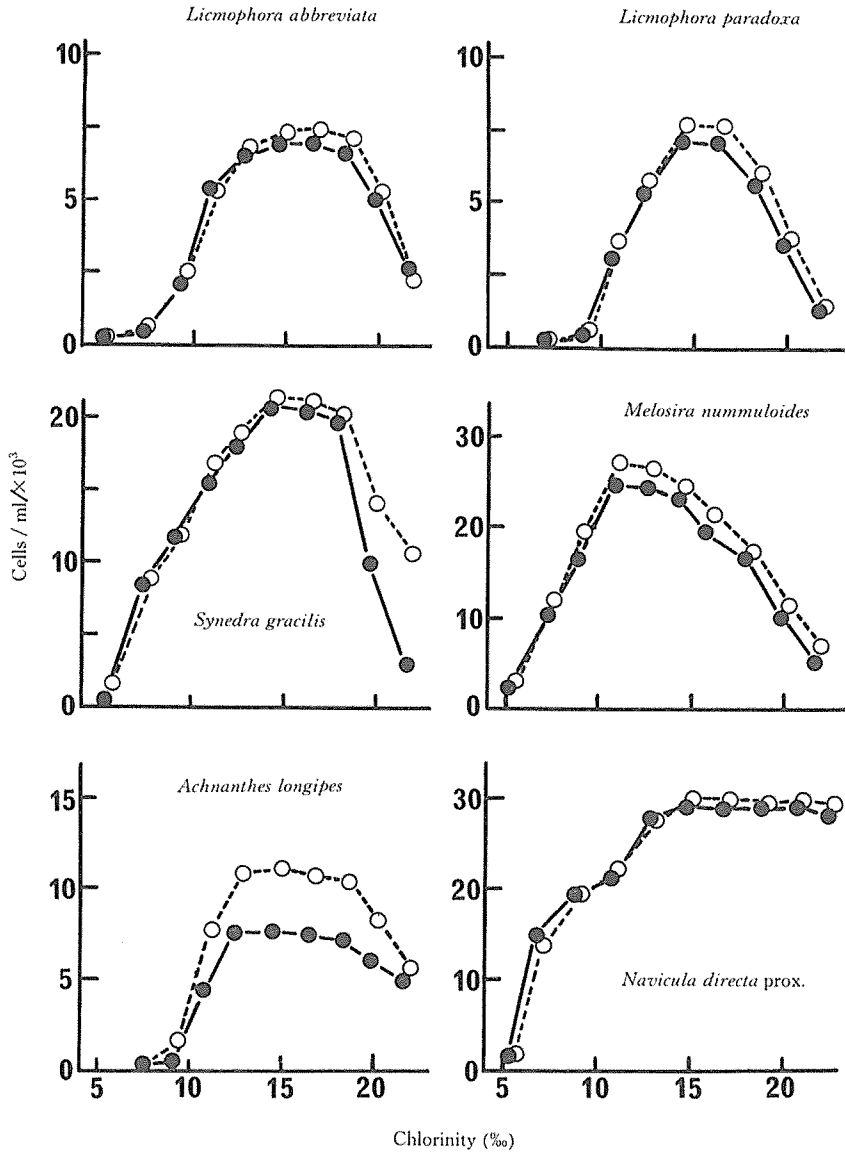


Fig. 24. Propagation of six species of epiphytic and epilithic diatoms at various chlorinity after 10-day cultivation. Solid lines indicate propagation in the case of cultivation at 15°C, and broken lines at 20°C.

あった。

N. directa prox. は両温度区とも pH 6.0 区での増殖量がわずかに低下したのみで、その他の pH 区では増殖が活発に行われ、ほぼ同じ増殖量を示した。

以上から、各珪藻の増殖に好適な pH 減は種によってやや異なっていることが明らかになった。のり養殖場の pH

は通常 8.0~8.3 の間を変動しているが、養殖中期の 12~1 月ではのり網が張られた養殖区域は pH が 8.3~8.5 まで上昇する場合もあると報告されている²⁷⁾。このような水域では、今回の結果から *S. gracilis* や *A. longipes* の増殖がやや抑制されるものと思われる。

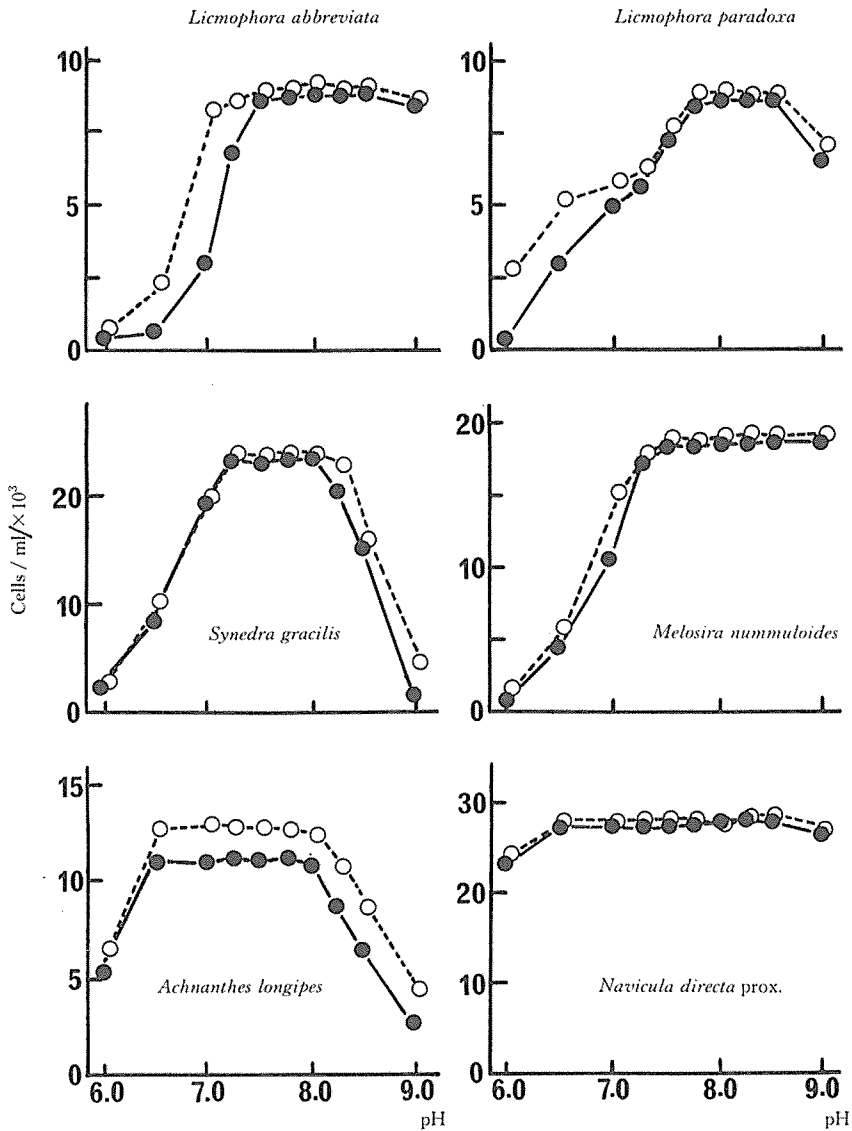


Fig. 25. Effect of pH on the propagation of six species of epiphytic and epilithic diatoms after 10-day cultivation. Solid lines indicate in the case of cultivation at 15°C, and broken lines at 20°C.

5. 栄養塩類

栄養塩類の実験は、人工海水 ASP₁₂³⁷⁾ からそれぞれ主要な 1 要素を除いた培養液を作成し、それらの影響を各珪藻の増殖量から検討した。なお、培養時の温度及び光条件は塩素量や pH の実験と同じ条件であった。各珪藻の増殖と栄養塩類の関係を Fig. 26 に示した。

L. abbreviata は 20 °C 区での増殖が 15 °C 区よりやや良かったが、両温度区とも増殖傾向は同じであり、ASP₁₂ から NaNO₃、K₃PO₄、P II metals の 1 つを除いたもので増殖量が少なかった。特に、NaNO₃、P II metals を除くとほとんど増殖しなかった。一方、Na₂-glycerophosphate、ビタミン類を除いても増殖量の低下は比較的わずかであった。

L. paradoxa は前者と同じような関係を示し、15、20 °C 区とも NaNO₃、P II metals を除くとほとんど増殖せず、

K₃PO₄ を除いたものでも増殖が低下した。また、Na₂SiO₃、Na₂-glycerophosphate を除くと増殖がやや抑制されたが、ビタミン類を除去しても ASP₁₂ とほぼ同じ増殖量を示した。

S. gracilis も両温度区とも NaNO₃、Na₂SiO₃、P II metals を除くと増殖が抑制され、特に NaNO₃、P II metals を除くとほとんど増殖しなかった。また、ビタミン類を除いても増殖量は低下しなかったが、K₃PO₄、Na₂-glycerophosphate を除くと若干少なくなった。

M. nummuloides は両温度区とも NaNO₃、Na₂-glycerophosphate、Na₂SiO₃、P II metals を除くと増殖量が少なくなり、特に NaNO₃、Na₂SiO₃、P II metals を除いたものでは増殖が極端に低下した。また、K₃PO₄ を除くと増殖がやや抑制されたが、ビタミン類はほとんど影響を示さなかった。

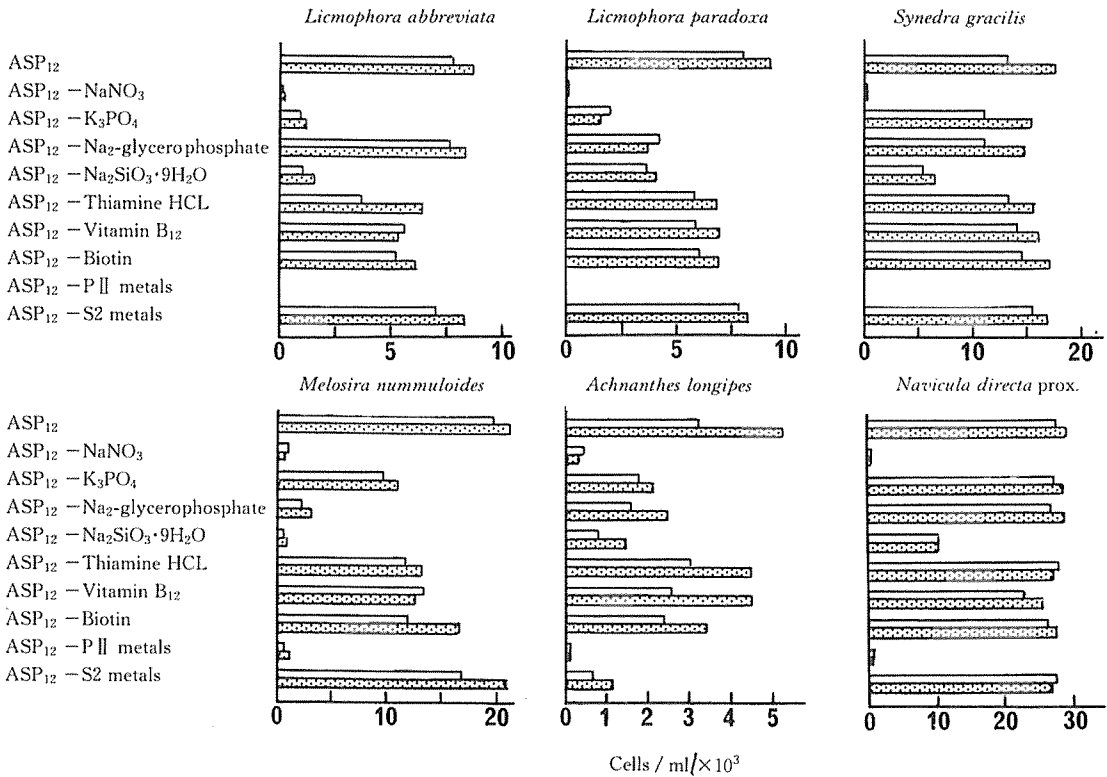


Fig. 26. Propagation of epiphytic and epilithic diatoms in ASP₁₂ media from which a certain nutrient was omitted previously. Propagation was attained after 10-day cultivation under 15 °C and 20 °C which were expressed by open and dotted bars, respectively.

A. longipes はこれまで行った各珪藻と同じように、両温度区とも NaNO_3 , K_3PO_4 , Na_2 -glycerophosphate, Na_2SiO_3 , P II metals, S2 metals を除くと増殖が低下した。特に影響が大きかったのは NaNO_3 , P II metals で、これらが欠除するとほとんど増殖しなかった。

N. directa prox. も各珪藻の結果とはほぼ同じで、両温度区とも NaNO_3 , Na_2SiO_3 , P II metals を除くと増殖量が少なくなり、特に NaNO_3 , P II metals が欠除するとほとんど増殖しなかった。

次に、P II metals の欠除は各珪藻の増殖を大きく低下させたので、P II metals に含まれる個々の金属についてその影響を調べ、その結果を Fig. 27 に示した。これによると、各珪藻の増殖は H_3BO_3 が欠除すると低下し、*L. abbreviata*, *L. paradoxa*, *S. gracilis*, *A. longipes* 及び *N. directa prox.* ではほとんど増殖がみられず、*M. nummuloides* もわずかに増殖しただけであった。その他の金属では Na_2 -EDTA を除くと *L. abbreviata*, *L. paradoxa*, *M. nummuloides*, FeCl_3 では *L. abbreviata*, ZnCl_2 では *A. longipes* の増殖がやや低下した。

以上の結果から、各珪藻の増殖には NaNO_3 , H_3BO_3 が特に必要で、 K_3PO_4 , Na_2SiO_3 などにも必要な要素であるこ

とを認めた。また、葉体に良く着生する *L. abbreviata*, *L. paradoxa* 及び *S. gracilis* と、網に着生する *M. nummuloides*, *A. longipes* 及び *N. directa prox.* には同じような栄養塩類が必要であり、着生基物の相違による差はみられなかった。

珪藻の栄養塩要求の報告をみると、無機態窒素、無機態磷、珪酸については種々の珪藻でその必要性が確かめられている。³⁸⁾ 硼酸は HERZINGER³⁹⁾ が珪藻の増殖を刺激すると報告し、藍藻の *Nostoc*,⁴⁰⁾ 緑藻の *Chlorella*⁴¹⁾ などの培養にも必要とされている。これらと同様に、今回の6種類の珪藻についても同じような作用を認めた。

珪藻は一般に磷を磷酸として蓄積し、外部環境に磷がなくなると貯蔵磷酸を使用して細胞分裂を行なうことが知られている。^{39,40)} 今回の結果から、無機態磷無添加区での増殖量が無機態窒素無添加区よりいずれも多かったのは、6種類の珪藻とも磷貯蔵能力を有しているためと考えられる。のり養殖場では養殖中期から終期になると、栄養塩類特に無機態の窒素と磷が減少してくる。各珪藻の消長をみると、*Licmophora* spp. や *Navicula* spp. などのように水温低下に伴い増加傾向を示すものと、*M. nummuloides*, *A. longipes* 及び *Synedra* spp. のように減少傾向を示すものに大

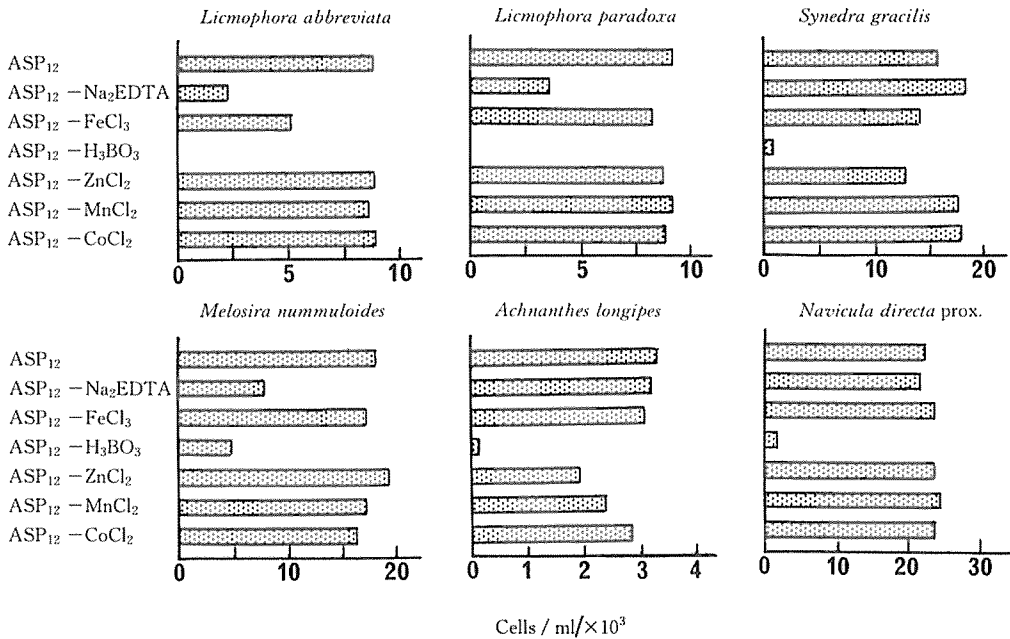


Fig. 27. Propagation of epiphytic and epilithic diatoms in ASP₁₂ media from which a certain metal was omitted previously. Propagation was attained after 10-day cultivation under 20°C.

別されたが、培養結果から各種類の増殖には無機態窒素の減少が無機態磷の減少より大きな影響を及ぼすことが明らかになった。このように、珪藻の増殖に無機態窒素が深く関与していると推察されることから、のり養殖場における DIN 量と各珪藻の着生量との月別変化を比較検討すると、増加傾向を示す *L. abbreviata* は DIN 量が $10 \mu\text{g-at/l}$ 以上、*N. directa prox.* は $5 \mu\text{g-at/l}$ 以上、減少傾向を示す *S. gracilis*, *M. nummuloides*, 及び *A. longipes* は $12 \mu\text{g-at/l}$ 以上で活発に増殖すると考えられる。

珪酸は珪藻の殻を構成する重要な要素であるが、JORGENSEN⁴⁴⁾ によれば *Bacillaria paradoxa* の増殖は珪酸の濃度が $1 \mu\text{g-at/l}$ あればほとんど影響を受けないとされている。この濃度は一般にのり養殖場でみられる最低値以下であるので、珪酸の減少が着生珪藻の増殖を低下させることは考えられない。また、硼酸も硼素として海水 1kg 中に 1mg 以上存在するので、養殖場では不足することはないと思われる。

6. アミノ酸

これまでの培養実験から、着生珪藻の増殖に及ぼす温度、照度、塩素量、pH、窒素、磷、ビタミン類及び微量元素の影響が明らかになった。しかし、のり養殖場では養殖中期から終期にかけての栄養塩類の減少期にも *Licmophora* spp. や *Navicula* spp. などの着生量が増加した。この要因について、筆者は海水中における栄養源としてのアミノ酸に着目し、各珪藻の増殖に及ぼすアミノ酸の影響を培養実験によって検討した。

従来から海藻は、生長の過程で代謝産物としての有機物を細胞外に放出することが知られている⁴⁵⁻⁴⁸⁾。のりについても同様に有機物質を細胞外に放出することが確かめられている⁴⁸⁾。のりからの有機物質の放出を調べるため、採集直後ののり(乾燥重量に換算して約 3g)を海水 1l 中に 12 時間浸し、その浸出液を分析したところ、アミノ酸が多量に含まれていることが認められた。この浸出液を海水に 10 , 1 , 0.1 , 0.01 , 0.001% それぞれ添加して *L. abbreviata* を 10 日間培養 (15°C , 照度 $5,000 \text{lx}$, 1 日 12 時間照明) したところ Fig. 28 に示したように、 1% 添加で増殖を飛躍的に促進させ、より少量の添加でも珪藻の増殖を活発にすることがわかった。次に、それぞれのアミノ酸の影響を調べるため、このアミノ酸を TSUKIDATE⁴⁸⁾ の方法で分析すると、Table 7 に示したように 16 種類のアミノ酸が認められ、そのうちアラニン、グルタミン酸、ロイシン、グリシン、リジン、ヒスチジンなどが多く含まれていた。

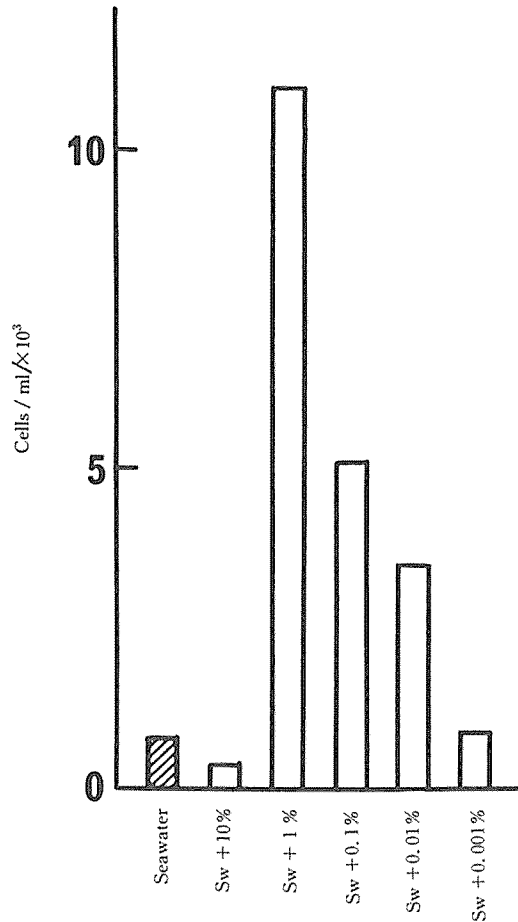


Fig. 28. Propagation of epiphytic diatom, *Licmophora abbreviata* in media with various concentrations of aqueous extract of Nori fronds. The cultivation was continued for 10 day at 15°C .

アミノ酸の実験は、Table 7 に示したアミノ酸について人工海水 ASP₁₂ 100ml 中にそれぞれ 1 , 3 , 10mg 添加した培養液を作成し、 15°C の温度区で照度 $4,500\sim 5,000 \text{lx}$ (光源は白色蛍光灯, 1 日 12 時間照明で 10 日間培養を行った。実験には *L. abbreviata*, *S. gracilis*, *M. nummuloides*, *A. longipes* 及び *N. directa prox.* の 5 種類を用いた。*L. abbreviata*, *S. gracilis* の増殖とアミノ酸の関係を Fig. 29, *M. nummuloides*, *A. longipes*, *N. directa prox.* についての結果を Fig. 30 に示した。

L. abbreviata の増殖は、グリシン、アラニン、メチオニン、フェニルアラニン、チロシン、ヒスチジンを添加したものが良く、基準培養液 ASP₁₂ の 3~4 倍の増殖量を示した。また、バリン、ロイシン、イソロイシン、プロリン、アスパラギン酸、グルタミン酸、アルギニンの添加によっても増殖がやや促進された。しかし、セリンは添加効果がなく、リジンは増殖を低下させた。アミノ酸の添加量はメチオニン、ヒスチジンは 10 mg で最も良かったが、他のアミノ酸はいずれも 1, 3 mg 添加で良好であった。

S. gracilis はグリシン、プロリン、ヒスチジンの添加で増殖量が ASP₁₂ の 1.5~2.0 倍になり、セリン、メチオニン、グルタミン酸ではかえって増殖量がやや低下した。その他のアミノ酸については添加効果がほとんどみられなかった。なお、添加量はいずれも 1 mg が良好で、10 mg では増殖量が低下した。

M. nummuloides はチロシン、アスパラギン酸、アルギニン、ヒスチジンなどの添加で増殖量がやや増加したが、その他のアミノ酸では ASP₁₂ での増殖量とほぼ同じで

Table 7. Contents of amino acids released from Nori fronds (2.94g as dry matter) into 1l seawater at 20°C.

Immersion hours	12 hours
Amino acids	μg/l
Glycine	88.6
Alanine	629.3
Valine	59.6
Leucine	105.0
Isoleucine	48.6
Serine	8.6
Threonine	15.8
Proline	40.8
Methionine	25.0
Phenylalanine	59.2
Tyrosine	45.2
Asparatic acid	21.8
Glutamic acid	131.6
Lysine	87.8
Arginine	7.4
Histidine	48.6

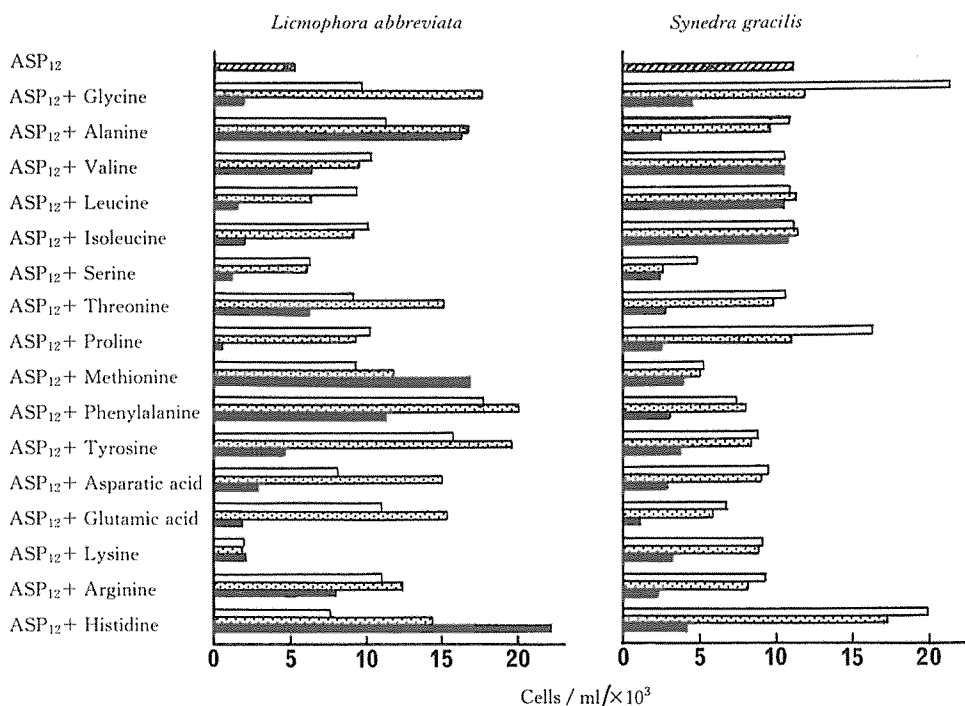


Fig. 29. Difference of propagation of *Licophora abbreviata* and *Synedra gracilis* of epiphytic diatoms in ASP₁₂ and various media which were prepared by adding each amino acid of 1, 3 and 10 mg to 100 ml of ASP₁₂ after 10-day cultivation at 15°C. The propagation in ASP₁₂ is symbolized as hatched and that in additional each amino acid 1 mg as dotted, 3 mg as solid and 10 mg as solid, respectively.

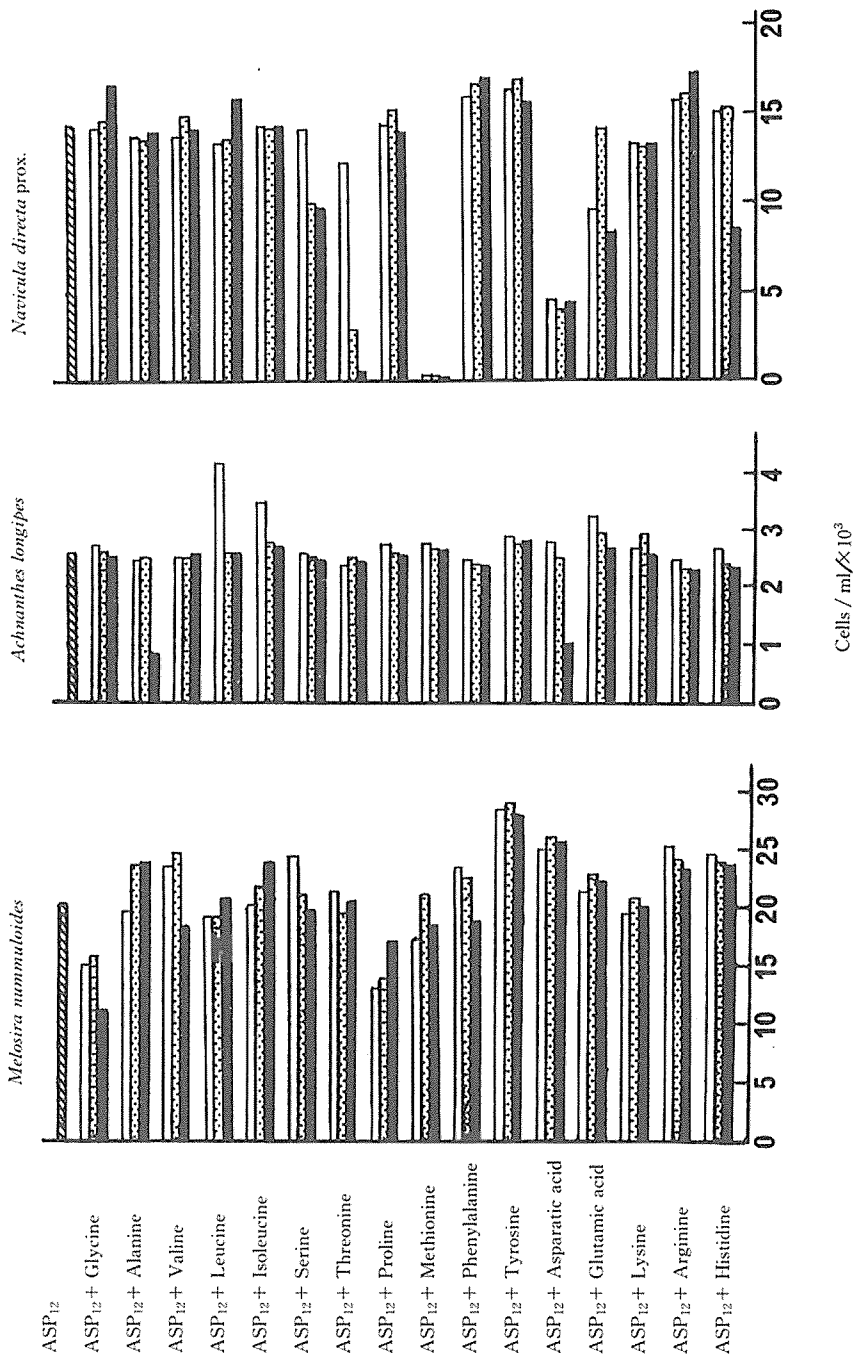


Fig. 30. Difference of propagation of *Melosira nummuloides*, *Achnanthes longipes* and *Navicula directa prox.* of epilithic diatoms in ASP₁₂ and various media which were prepared by adding each amino acid of 1, 3 and 10 mg to 100 ml of ASP₁₂ after 10-day cultivation at 15°C. The propagation in ASP₁₂ is symbolized as and that in additional each amino acid 1 mg as , 3 mg as , 10 mg as , respectively.

あった。また添加量については、各アミノ酸とも1, 3, 10 mgの間でほとんど相違が認められなかった。

A. longipes はロイシン, イソロイシン, グルタミン酸の添加で増殖量が増加し, その添加量は1 mgで最も良かった。その他のアミノ酸では, ASP₁₂での増殖量とほぼ同じであった。

N. directa prox. はグリシン, フェニルアラニン, アルギニンの添加で増殖量がやや多くなったが, メチオニン, アスパラギン酸ではかえって増殖が低下した。アミノ酸の添加量については, セリンが1 mgで良かったが, その他はほとんど差がなかった。

次にASP₁₂からNaNO₃を除去し, その代わりにアミノ酸を1 mg/100 ml (ASP₁₂) 添加して, 無機態窒素源の欠除した場合の着生珪藻のアミノ酸利用状態を調べた。用いたアミノ酸は, 前述の実験で増殖促進効果が認められた9種類である。また, 実験に用いた珪藻は, のり養殖場において無機態窒素源の豊富な11月に急激に減少した*A. longipes*を除いた, *L. abbreviata*, *S. gracilis*, *M. nummuloides*, *N. directa prox.*の4種類である。培養結果はASP₁₂の増殖量を100として, これに対する比でアミノ酸添加区を増殖量を表示し, それをTable 8に示した。

L. abbreviata はASP₁₂からNaNO₃を除くとほとんど増殖しなかったが, グリシン, アラニン, トレオニン, グルタミン酸, アルギニン, ヒスチジン添加したものではASP₁₂での増殖量とほぼ同じか, それ以上の増殖量を示した。しかし, メチオニン添加では増殖量がその半分程度にすぎず, フェニルアラニン, チロシンではさらに少なかった。

S. gracilis はアルギニン添加でASP₁₂のものと同様の増殖量を示し, ヒスチジンではその85%であった。しかし, 他のアミノ酸ではASP₁₂での増殖量の半分あるいはそれ以下であった。

M. nummuloides はグリシン, アラニン, アルギニン, ヒスチジンの添加でASP₁₂での増殖量とほぼ同じで, トレオニンではその82%であった。その他のアミノ酸添加では, 増殖量が非常に少なかった。

N. directa prox. はヒスチジン, アラニン添加で良く, ASP₁₂での増殖量とほぼ同じであった。また, トレオニンはASP₁₂のものとの85%の増殖量を示したが, その他のアミノ酸では, その半分あるいはそれ以下であった。

以上の結果から, のり葉体やのり網に着生する珪藻は, のりから放出されるアミノ酸を利用することが認められた。さらに, のり葉体に着生する*L. abbreviata*, *S. gracilis*は, 無機態窒素源が欠除した場合には窒素源として利用し, 豊富な場合もアミノ酸添加で増殖が高まった。これに反して, のり網に着生する*M. nummuloides*, *N. directa prox.*などは, 無機態窒素源が豊富な場合にはアミノ酸をほとんど利用せず, 無機態窒素源がなくなれば窒素源として利用することも認められた。

珪藻のアミノ酸利用については, これまでGUILLARD,⁴⁹⁾ WHEELER,⁵⁰⁾ LIU and HELLEBUST^{51, 52)}, NORTH and STEPHENS,⁵³⁾ 山田ら⁵⁴⁾によって海産の浮遊性珪藻, 底生性珪藻の数種について調べられている。GUILLARD⁴⁹⁾は底生性の珪藻がグルタミン酸を良く利用するとし, LIU and HELLEBUST⁵²⁾はアルギニン, グルタミン酸添加で*Cyclotella*の増殖が良好であったと報告し, また山田ら⁵⁴⁾は*Skeletonema costatum*

Table 8. Effect of individual amino acid on the propagation of epiphytic and epilithic diatoms in ASP₁₂ artificial seawater free from NaNO₃

Amino acids added (1mg/100ml)	<i>Licmophora abbreviata</i>	<i>Synedra gracilis</i>	<i>Melosira nummuloides</i>	<i>Navicula directa prox.</i>
ASP ₁₂	100 ^{**}	100 ^{**}	100 ^{**}	100 ^{**}
ASP ₁₂ omitted NaNO ₃	2	1	4	4
Glycine	102	28	101	9
Alanine	105	31	98	93
Threonine	101	8	82	86
Methionine	48	9	21	62
Phenylalanine	16	52	0.1	22
Tyrosine	12	62	4	12
Glutamic acid	103	55	6	43
Arginine	115	104	96	58
Histidine	122	85	103	102

※The cell-number grown in ASP₁₂ artificial seawater was estimated as 100.

が数種のアミノ酸を窒素源として利用することを報告している。これらと同様にのり養殖場に出現する着生珪藻もアミノ酸を利用していることがわかり、アミノ酸が着生珪藻の増殖に深く関与していることを認めた。従って、のり養殖中期以降の栄養塩類特に無機態窒素の減少期にも *L. abbreviata* *N. directa* prox. の着生量が増加するのは、のり産生のアミノ産を利用することによってこれらの増殖が継続されているためと考えられる。このようなことから、のり養殖場ではアミノ酸を含む DON 量と珪藻の増殖は密接な関係があると考えられるので、両者の月別変化を比較検討すると、*L. abbreviata* は DON 量が $8 \mu\text{g-at/l}$ 以上、*S. gracilis* は $12 \mu\text{g-at/l}$ 以上、*N. directa* prox. は $5 \mu\text{g-at/l}$ 以上でそれぞれの着生量が多くなっている。また、*M. nummuloides*, *A. longipes* については、DON 量が $12 \mu\text{g-at/l}$ 以上の養殖初期に着生量が多かったが、これらは水温低下に伴って急激に減少するので、水温低下時には DON の利用が少ないと考えられる。

V. 珪藻の着生とのり養殖への害

着生珪藻については、これまでに室内培養実験とのり養殖場での現場調査から、その増殖に及ぼす環境諸要因の影響を明らかにした。ここではのり葉体やのり網に着生する珪藻の着生部の微細構造、着生過程と粘着力及び着生がのり養殖に及ぼす害作用について室内実験と野外調査から検討した。

1. 珪藻の着生部の微細構造

実験に用いた着生珪藻は、下関市地元ののり養殖場で採集した *L. abbreviata*, *S. gracilis*, *M. nummuloides*, *A. longipes* 及び *N. directa* prox. の 5 種類で、室内培養実験の場合と同じように PESSi で培養したものを実験に供した。微細構造は、2% のグルタルアルデヒド (緩衝液は海水) で 1 時間固定し、海水で洗滌後アセトン系列で脱水し、金蒸着を施して走査型電子顕微鏡 (日本電子, JSM-200, 以下 SEM と略す) で観察した。

L. abbreviata: 本種の細胞は長さ $30\sim 100 \mu\text{m}$, 巾 $4\sim 8 \mu\text{m}$ である。殻環面は楔形で上縁部の隅角が丸い (Fig. 31, A, a)。蓋殻は棍棒状で、上縁部が大きく、下縁部が細くなる (Fig. 31, A, B)。着生部は蓋殻面の下縁にあり、長円形の小孔が $12\sim 14$ 個並んで粘液孔を形成している (Fig. 31, B-D)。また、本種は群体を作り、その際には粘液柄が出来る。

S. gracilis: 本種の細胞は長さ $50\sim 150 \mu\text{m}$, 巾 $4\sim 8 \mu\text{m}$ である。蓋殻は中央部がやや巾広くふくらみ、細長い形をしている (Fig. 32, A, B)。着生部は蓋殻面の片端に半月形の形でみられ、内殻、外殻に 1 個ずつある (Fig. 32, C, D)。

M. nummuloides: 本種の細胞は直径 $10\sim 40 \mu\text{m}$, 高さ $10\sim 14 \mu\text{m}$ の球形または菌形で (Fig. 33, A)、分裂直前に円筒形になる。細胞は寒天質の座で連絡し (Fig. 33, B)、長い鎖状群体をつくる。本種の蓋殻面は突出し、その上縁付近に環状に並んだ粘液孔がみられる (Fig. 33, D)。また、蓋殻には薄膜状の襟があり、殻面全体には微細な点紋がみられる (Fig. 33, C)。

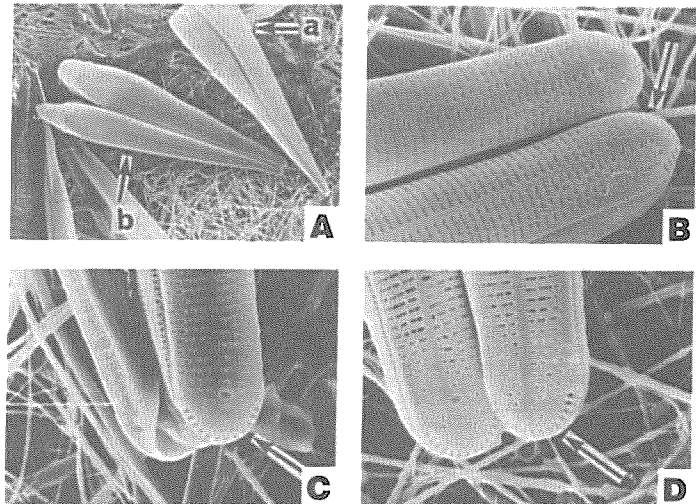


Fig. 31. Scanning electron micrographs of *Licmophora abbreviata*. A, girdle(a) and valve(b) view; B, C, D, end parts valve side, arrows indicate mucilage pores. (A, $\times 650$; B-D, $\times 3,200$).

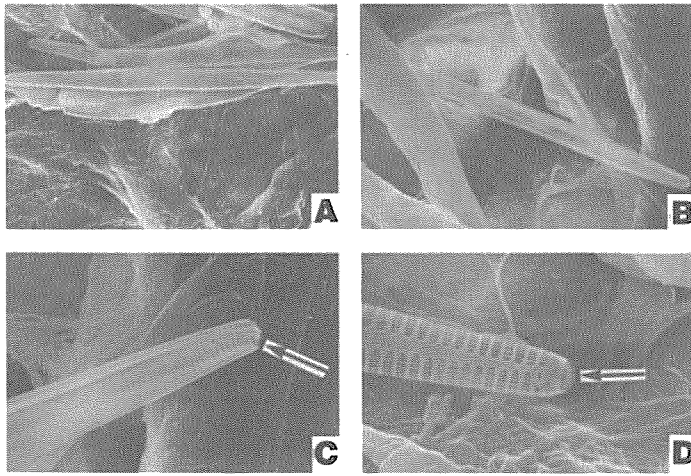


Fig. 32. Scanning electron micrographs of *Synedra gracilis*. A, valve view; B, girdle view; C, D, end parts of valve side, arrows indicate mucilage pores. (A, B, $\times 670$; C, $\times 1,650$; D, $\times 3,340$).

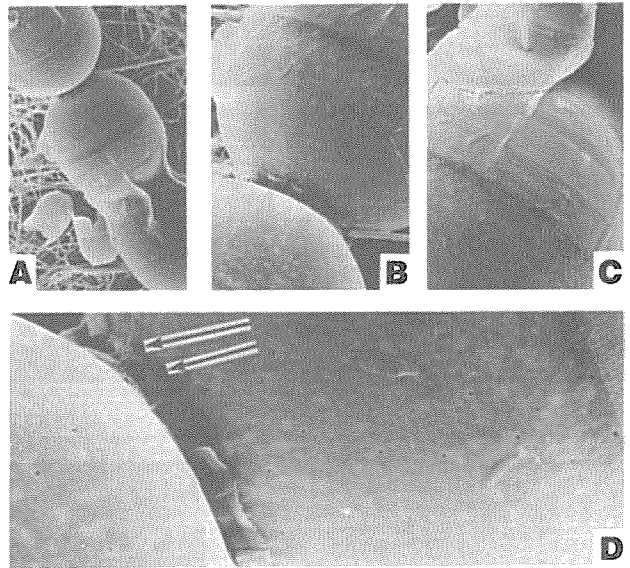


Fig. 33. Scanning electron micrographs of *Melosira nummuloides*. A, girdle and valve view; B, valve view; C, girdle view; D, valve side, arrows indicate mucilage pores. (A, $\times 1,200$; B, C, $\times 3,100$; D, $\times 18,500$).

A. longipes: 本種の細胞は長さ $50 \sim 200 \mu\text{m}$, 巾 $10 \sim 40 \mu\text{m}$ である。殻環面は「く」の字形の長四角形で (Fig. 34, A, B), 蓋殻はやや細長く中央部がくびれる。着生部は蓋殻面の片端または両端にあり, 内殻と外殻の片方あるいは両方に円形のやや大きい粘液孔がある (Fig. 34, C, D)。着生後は粘液柄を伸張させ, 細胞は粘液で1列に連絡する群体を作る。

N. directa prox: 本種の細胞は単独で, 長さ $60 \sim 100 \mu\text{m}$, 巾 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ である。蓋殻面は狭い柳葉形で, その先端は丸くなっている (Fig. 35, A)。殻環面は細長く, 先端

は丸くならない (Fig. 35, E)。細胞の縦構は真直ぐで, 切頂条紋はこれにほぼ垂直である (Fig. 35, A, C, D)。着生部は蓋殻面の両端で, そこには小さいほぼ円形の粘液孔がみられ, 内殻のどちらか一方に観察された (Fig. 35, A, C)。

以上の観察結果から, 着生珪藻には蓋殻面に粘液孔があることがわかり, 基物への着生は最初に蓋殻面の粘液孔のある部位で行われると考えられる。また, 粘液孔の形状は様々で *L. abbreviata*, *M. nummuloides* のようにほぼ円形の小孔が集まっている種類, *A. longipes*, *S. gracilis* のように大きな円形, 半月形をした種類, 運動性のある *N.*

directa prox. のように比較的小さな円形をした種類がみられた。

2. 着生過程及び粘着力

着生珪藻にはいずれも粘液を分泌する粘液孔があることが確かめられた。ここでは各珪藻の基物への着生と着生後の粘液の分泌状態及び粘着力を室内実験から検討した。

実験に用いた珪藻は、*L. abbreviata*, *S. gracilis*, *M. nummuloides* 及び *A. longipes* の4種類で、運動性のある

N. directa prox. は使用しなかった。

2-1. 着生過程

着生過程については、先づ鏡筒を水平に装着した実体顕微鏡を準備し、次に海水を入れた小型水槽内に45°の傾斜でガラス板を入れ、ピペットで珪藻5~10細胞を上から静かに落して、その落下状態と着生過程を実体顕微鏡で観察した。またガラス板に着生した珪藻は20°Cの温度区においてPESSiで数日間培養し、各珪藻の粘液の分泌状態などを染色液で染色して観察した。

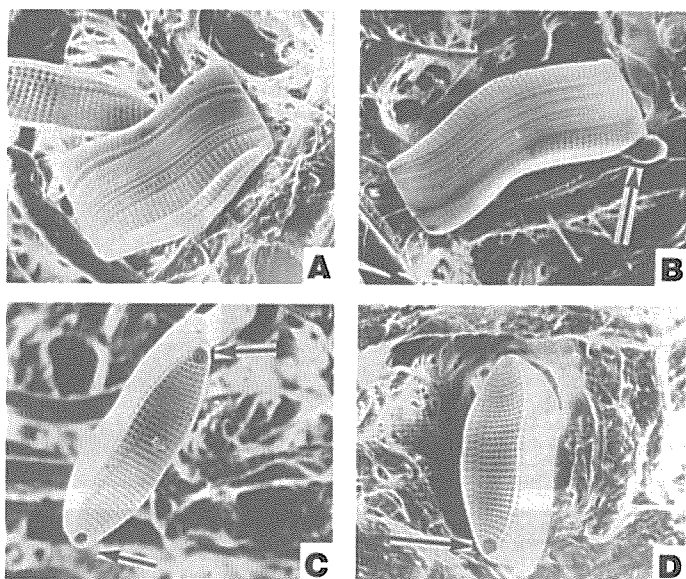


Fig. 34. Scanning electron micrographs of *Achnanthes longipes*. A, girdle view; B, girdle view, arrow indicates secretion of mucus from mucilage pore; C, D, valve views, arrows indicate mucilage pores. (A—D, $\times 780$).

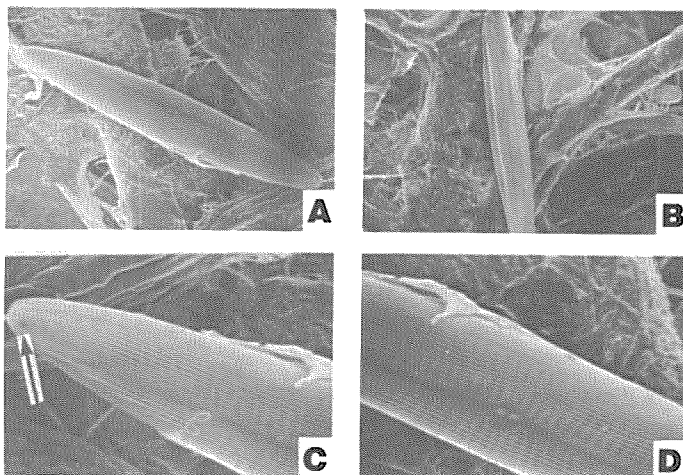


Fig. 35. Scanning electron micrographs of *Navicula directa prox.* A, valve view; B, girdle view; C, end part of valve side, arrow indicates mucilage pore; D, middle part of valve side. (A, $\times 700$; B, $\times 480$; C, D, $\times 1,700$).

珪藻4種類について、45°傾斜のガラス板上での着生過程をFig. 36に示した。*L. abbreviata*は、水中では緩やかに散らばりながら落下した。その際、下縁部の粘液孔付近が基物に接した時にはその場で着生し(Fig. 36, A), 上縁部から落下した時にはガラス面を滑り転がって最終的に前と同様に下縁部で着生した(Fig. 36, B-E)。その他の3種類の観察結果は、*S. gracilis*をFig. 36, F~Jに、*M. nummuloides*をFig. 36, K-Oに、*A. longipes*をFig. 36, P-Tに示した。これらの着生過程はいずれも*L. abbreviata*と同様であった。すなわち、各珪藻は水中を緩やかに散らばりながら落下し、下縁部の粘液孔の部分が基物に

ふれた時に着生した。

次に、各珪藻の着生後における粘液の分泌及び粘液柄などの形成状態について調べた。各珪藻の粘液は*S. gracilis*についてはムチカルミン、その他の珪藻ではメチレンブルーで良く染まったので、それぞれ染色して観察した。

*L. abbreviata*は粘液柄から離れると、直ちに粘液孔から粘液が分泌され始め(Fig. 37, A), 1日後には粘液が下縁部の粘液孔のまわりに円状に広がり(Fig. 37, B), 3日後には粘液柄が形成されるものもあり(Fig. 37, C, D), さらに5~7日後になると粘液柄の分枝がみられて(Fig. 37, E), 基物に強く固着した。

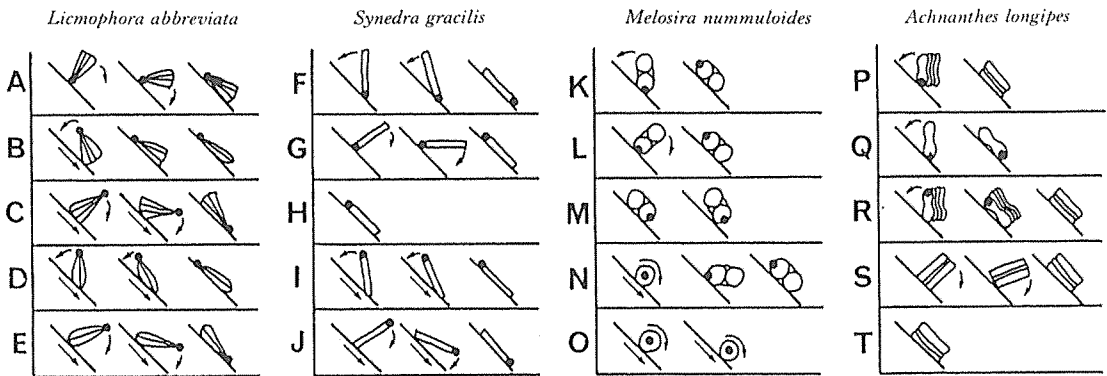


Fig. 36. Adhesive process of four diatoms to slide glass. Closed circles indicate parts of mucilage pores. A, F-H, K, L, P, Q and T show the cases of precipitation from parts of mucilage pores; B-E, I, J, M-O, R and S show the cases of precipitation from parts with the exception of mucilage pores.

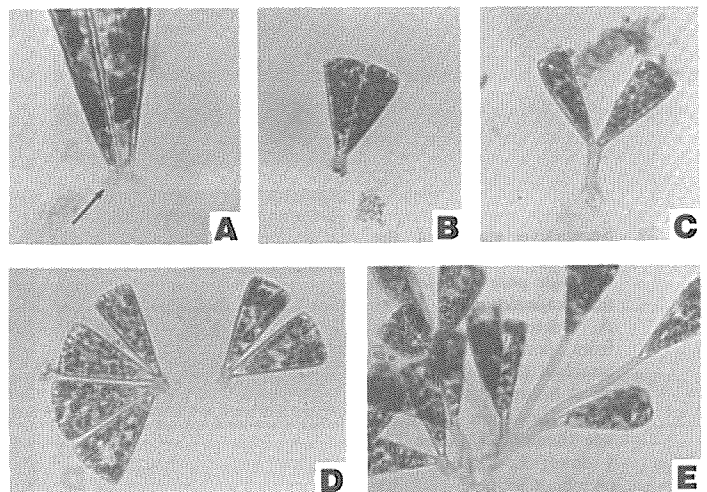


Fig. 37. Successive stages of the secretion of mucus from mucilage pores in *Licmophora abbreviata*.

A, secretion of mucus from pores of specimen attached to substratum after 1 hour; B, after 1 day; C, D, after 2 to 3 days, formation of mucilage stalk; E, after 6 days. (A, $\times 750$; B-E, $\times 280$).

S. gracilis は蓋殻面の上殻, 下殻の片端から粘液が分泌され(Fig. 38, A), 1日経過すると着生部のガラス面に粘液が長円形に広がり(Fig. 38, B), 3~4日後には粘液が

盤状になって強く固着した(Fig. 38, C, D)。

M. nummuloides は蓋殻面の突出した上縁のまわりの小孔から粘液が分泌され(Fig. 39, A), 2日後には分泌され

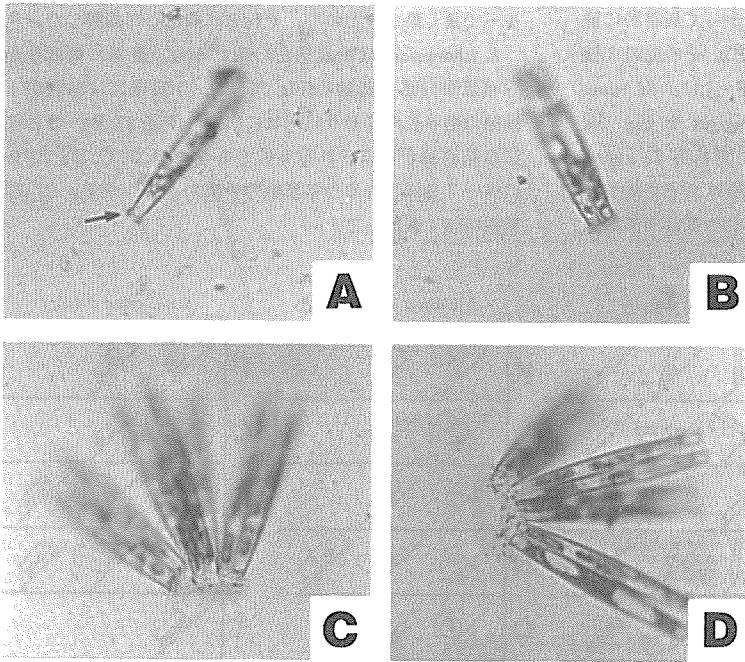


Fig. 38. Successive stages of the secretion of mucus from mucilage pores in *Synedra gracilis*. A, secretion of mucus from pores of specimen attached to substratum after 3 hours; B, after 1 day, formation of mucilage pad; C, D, after 3 days. (A-D, $\times 450$).

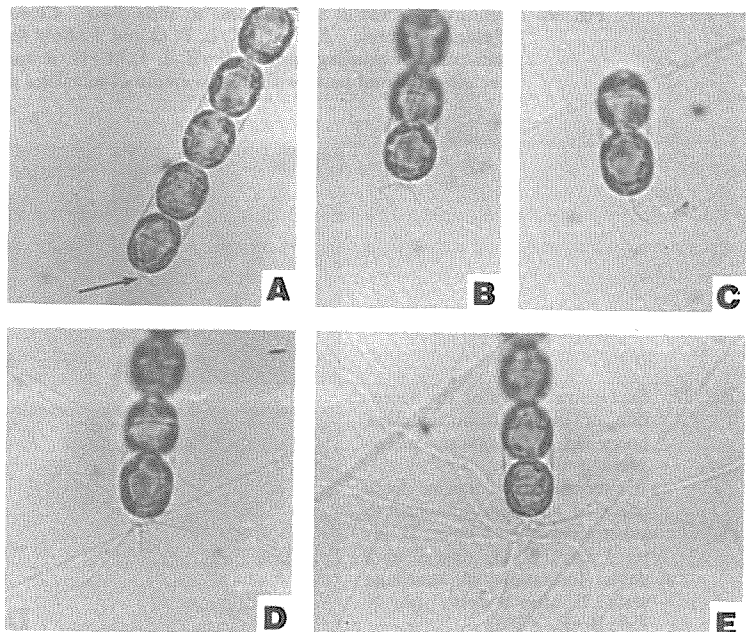


Fig. 39. Successive stages of the secretion of mucus from mucilage pores in *Melosira nummuloides*.

A, secretion of mucus from pores of specimen attached to substratum after 3 hours; B, C, after 2 days, formation of mucilage filament; D, after 3 to 4 days; E, after 7 days. (A-E, $\times 380$).

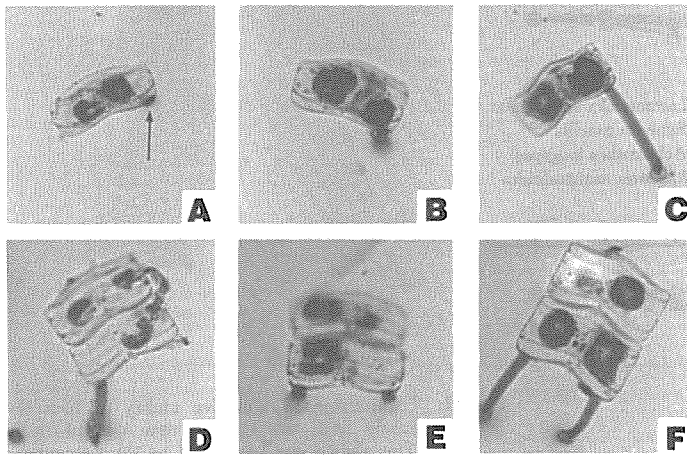


Fig. 40. Successive stages of the secretion of mucus from mucilage pores in *Achnanthes longipes*. A, secretion of mucus from pores of specimen attached to substratum after 3 hours; B, after 1 day; C, D, after 2 to 3 days, formation of mucilage stalks; E, secretion of mucus from two pores of valve side; F, after 2 to 3 days, foamation of two mucilage stalks. (A—F, $\times 280$).

た粘液は粘液糸となって放射状に広がり(Fig. 39, B, C), 2～3日後には粘液糸がさらに広がり強く固着した(Fig. 39, D, E)。

A. longipes は蓋殻面の片端に粘液の分泌がみられ(Fig. 40, A), その部分が基物にふれて着生し, 1～3日後には粘液柄が形成された(Fig. 40, B—D)。本種は蓋殻面の両端に粘液孔がある場合もあり, その場合には両端から粘液が分泌され, 2本の粘液柄が形成された(Fig. 40, E, F)。

このように, 着生珪藻は初期にはいずれも粘液孔から分泌される粘液で基物に着生し, 日数の経過とともに *L. abbreviata*, *A. longipes* では粘液柄, *S. gracilis* では粘液盤, *M. nummuloides* では粘液糸を形成して強く固着した。また, 4種類の珪藻はそれぞれ粘液孔の構造が異なっていたが, 粘液の分泌状態をみると, 小さい粘液孔が集まっている *L. abbreviata*, *M. nummuloides* では粘液柄や粘液糸が形成され, 1つの大きな粘液孔がある *S. gracilis*, *A. longipes* では粘液盤や粘液柄がつくられたように, 粘液孔の構造と粘液の分泌状態には, 一定の関係がみられなかった。

2-2. 粘着力

これまでの結果から, 着生珪藻は種類によって粘液孔の構造や着生後の粘液の分泌状態などが異なることを認めた。のり養殖場における *L. abbreviata*, *S. gracilis*, *M. nummuloides* 及び *A. longipes* の4種類の着生状況を見ると, 波浪や潮流によって常に浮動しているのり葉体には *L. abbreviata*, *S. gracilis*, のり葉体より固定されているのり網には *M. nummuloides*, *A. longipes* が多数着生していた。このように基物の違いによって着生珪藻の種類に相違がみ

られたことから, その原因を究明するため表面構造の異なる2種類の基物を用いて4種類の珪藻の粘着力を調べた。

粘着力については, 海水を満たしたシャーレの底に表面が平滑なガラス板と粗雑なスリガラス板を置き, 約100細胞の珪藻液を滴下した後に, 一定区画内の着生数を調べ, 10, 30分, 1, 1.5, 2, 6, 12, 24時間の静置後にそれらのガラス板を取り出して実験台上に30°の傾斜で架設し, 5 mlの海水を10 cmの高さからピペットで流して区画内に残った珪藻の数から着生率を求めた。その結果を Fig. 41, A, B に示した。平滑なガラス板に対する粘着力(Fig. 41, A)は *L. abbreviata* が最も強く, 10分後に50%, 2時間後にはほぼ100%が着生した。*S. gracilis* は *L. abbreviata* と比較すると着生初期に脱落するものが多く, 30分後に50%, 6時間後になると100%が着生した。また, *M. nummuloides*, *A. longipes* の両者はほぼ同じ傾向で, 粘着力が *S. gracilis* よりさらに弱く, 30分後に35～40%, 12時間後になってようやく大部分が着生した。

一方, スリガラス板での結果をみると, Fig. 41, B に示したように4種類の珪藻と粘着力の関係は, 平滑なガラス板と同じような傾向であった。しかし, 経過時間と着生率との関係は若干異なり, 各珪藻とも短時間で着生するものが多かった。すなわち, 各珪藻は1.5時間までの着生率が数%上昇し, 2時間経過後の着生率もやや高くなった。これから, 着生珪藻は表面が平滑なガラス板より, 粗雑なスリガラス板の方に良く着生することを認めた。

このように, 珪藻の粘着力は種類によってやや異なり, また時間の経過とともに徐々に強く固着することが確かめ

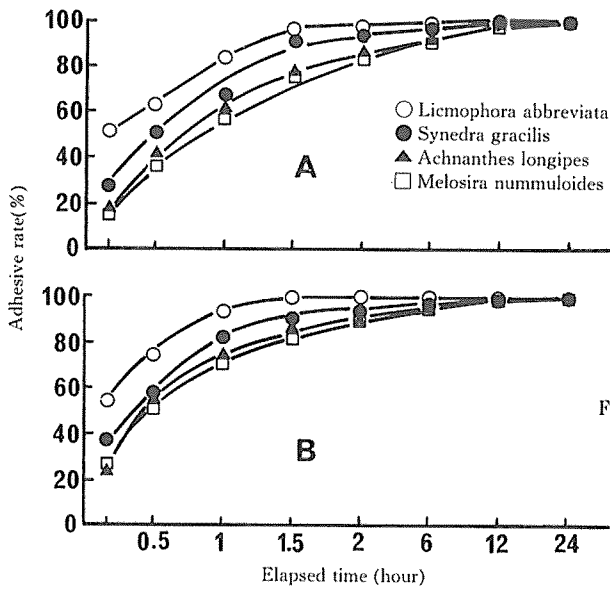


Fig. 41. Comparison of adhesive ability of four diatoms with the elapsed time on substrata. The ability was expressed as the percentage of cells remained on plate of either common slide glass (A) or frosted slide glass (B) declined with 30° after the impact test by dropping seawater from a height of 10 cm.

られた。種類別では *L. abbreviata* の粘着力が最も強く、次いで *S. gracilis*, *A. longipes*, *M. nummuloides* の順であった。珪藻の粘着力が種類によって異なるのは、珪藻の形態、粘液孔の構造及び粘液の性質などが相違するためと考えられる。また、*L. abbreviata* や *S. gracilis* が常に浮動しているのり葉体にも良く着生し、*A. longipes* や *M. nummuloides* がのり葉体より動きの少ないのり網に多く着生するのも粘着力の強さに関係があると思われる。

次に、着生珪藻は表面が平滑な基物より粗雑なものに良く着生した。従来から病気になったのりや生理障害を起したのりには、健全なのりより珪藻の着生量が多いといわれている。これは Fig. 42 にみられるように健全なのりと病

気なのりの表面構造の相違が原因の一つとして考えられる。赤くされ病や白くされ病などにかかったのりの表面構造 (Fig. 42, B) は、健全なのり (Fig. 42, A) より凹凸が多くなっている。従って罹病葉体に珪藻が着生すると脱落するものが少なくなり、そこで増殖も行なわれるので着生量も次第に増加すると考えられる。

3. 着生珪藻の害作用

着生珪藻は、いずれも粘液孔をもち、その粘液孔から分泌される粘液で基物に着生し、時間の経過とともに強く固着することが明らかになった。ここでは、珪藻着生に伴う種々の害をのり網とのり葉体について検討した。

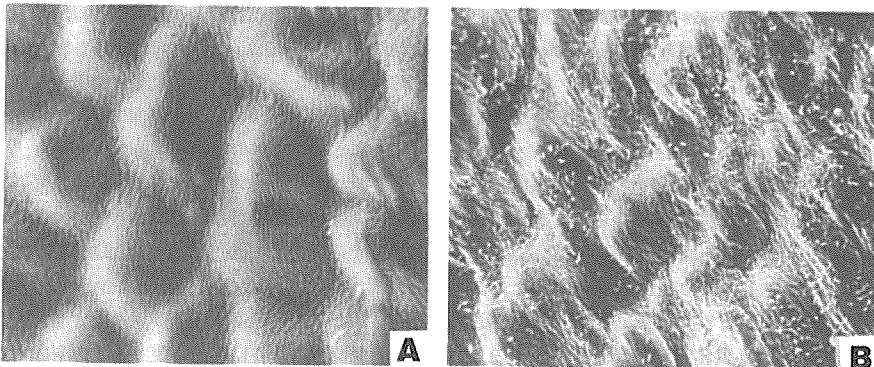


Fig. 42. Scanning electron micrographs of surfaces of Nori fronds. A, healthy Nori frond; B, unhealthy Nori frond. (A, B, X1,000).

のり網には、養殖初期（10～11月）に *M. nummuloides*, *A. longipes* などが多数着生して、海水の流通を妨げてのり幼芽の代謝作用を阻害して生長を低下させるほか、単胞子の着生面を占有して2次芽の増加を妨げる。中期（12～1月）から終期（2～3月）にかけては、*Navicula* spp., *Nitzschia* spp. 及び *Licmophora* spp. が多く着生するようになり、のりの摘採時に網から脱落して混入し、のりの製品価値を低下させる場合もある。

のり葉体については、養殖初期には葉体が小さく珪藻の着生量も多くないので、その害は比較的小さい。しかし、中期から終期にかけては *Licmophora* spp., 特に *L. abbreviata* が最も多い時期であり、その他に *Synedra* spp. や *Tabellaria* sp. もみられる。これらの珪藻は粘液孔から粘液を分泌して基物に着生するので、珪藻が着生したのりの葉面は、Fig. 43, A, B にみられるように粘液で覆われてしまう。従ってその部分は、海水と接触しなくなり栄養塩吸収が阻害され、のりの生長に悪影響を及ぼす。また、のり葉体に着生した珪藻は群体を作り、洗滌しても脱落しにくく、たとえ脱落しても Fig. 43, C, D にみられるように粘液跡、粘液柄が葉面に残り、のりの光沢・色調を悪くし、製品価値を著しく低下させる。

次に、珪藻の着生が多いのり（珪藻の着生量が 2×10^4 細胞/cm²以上）と少ないのり（ 3×10^3 細胞/cm²以下）について全窒素、全燐の含有量を分析した。試料は1982年12月、1983年11、12月に下関市地先ののり養殖場で採集し、クエン酸処理を行なって珪藻を死滅させた後、海水で洗滌

して珪藻をほとんど除去したものである。分析方法は全窒素がケルダール法、全燐が COOPER⁵⁵⁾ のプランクトン分析法に従って行い、ともに分光光度計を用いて定量した。分析結果を Table 9 に示した。珪藻の着生が多いのり (Table 9, A) は、少ないのり (Table 9, B) と比較して全窒素、全燐の含有量が減少しており、その差は全窒素0.5～0.9%、全燐では0.11～0.16%であった。また、N/P値では、珪藻が多く着生したのりはその値が高かった。奥田ら⁵⁵⁾、野田⁵⁷⁾はのりの全窒素、全燐量がのりの品質の指標になり、そりらの含有量が多いほど良質なのりであると報告している。これらから珪藻が多く着生したのりは全窒素、全燐の含有量がともに減少するので、品質も低下することが明らかになった。

VI. 着生珪藻の増殖とその防除

のり養殖に種々の害を与える着生珪藻の増殖については、これまでの室内培養実験及びのり養殖場での現地調査の結果、水温低下に伴って増殖の高まる *Navicula* spp., *Licmophora* spp., *Nitzschia* spp. と増殖が低下する *Melosira nummuloides*, *Achnanthes longipes*, *Synedra* spp. が認められた。増殖と栄養塩類の関係については、無機態窒素、珪酸、硼酸が欠除すると増殖が低下したが、特に無機態窒素、硼酸が欠けた場合には各珪藻ともほとんど増殖しなかった。しかし、養殖場では一般に硼酸は常に豊富に存在するので、無機態窒素の DIN の量が珪藻の増殖を左右すると考えら

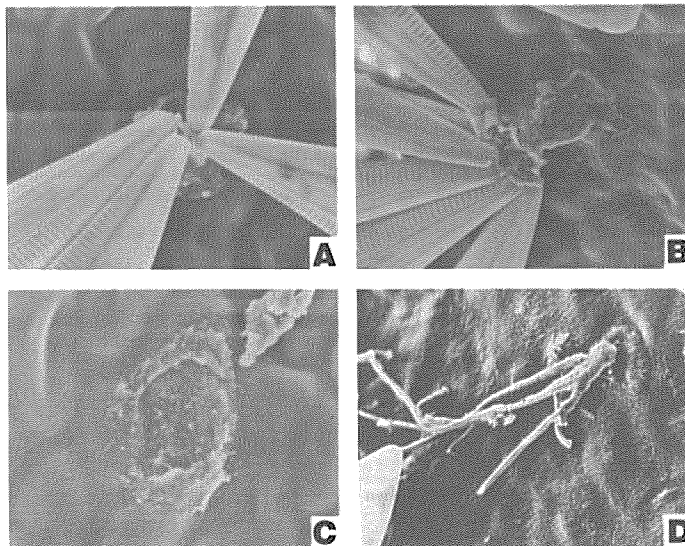


Fig. 43. Scanning electron micrographs of *Licmophora* spp. on the surfaces of Nori fronds.

A, B, *Licmophora abbreviata* on the surfaces of Nori fronds; C, mucilage mark of *Licmophora* sp.; D, mucilage stalks of *Licmophora abbreviata*. (A, B, $\times 760$; C, $\times 1,500$; D, $\times 450$).

れる。また、のりからは代謝産物として16種類のアミノ酸の放出がみられ、これらは *L. abbreviata*, *S. gracilis* の増殖を促進した。さらにこれらのアミノ酸は着生珪藻の増殖の窒素源として、のり養殖中期以降の DIN の減少に利用されることが認められた。

次に、pH が上昇すると *S. gracilis*, *A. longipes* の増殖を低下させ、塩素量が低くなると *M. nummuloides* の増殖が高まった。このように着生珪藻の増殖については、珪藻の種類によって環境諸要因の影響に相違が認められたので、これに基づいて *L. abbreviata*, *S. gracilis*, *M. nummuloides*, *A. longipes* 及び *N. directa* prox. の増殖要因を総合的に検討し、防除対策について二、三の考察を行った。

1. 増殖要因

室内培養実験とのり養殖場における野外調査の結果から、着生珪藻の種類別に増殖に関する環境要因の最適範囲を Table 10 に示した。以下、この表に従って着生珪藻の増殖要因を種類別に総括した。

Licmophora abbreviata : 本種は他の着生珪藻に比して粘着力が強く、常に浮動する基物にも良く着生し、のり葉体には最も多く着生した。のり養殖期における本種の月別量変化をみると、のり葉体では初期 (10~11月) にはやや少ないが、中期 (12~1月) に最も多くなり、終期 (2~3月) にはやや減少した。しかし、のり網では初期から徐々に増加して、終期に最も多くなった。

のり養殖初期は水温、DIN、DON などの水質環境が本種の増殖に適しており、さらにのり産生のアミノ酸を吸収

Table 9. Comparison of the Total-N and Total-P of Nori fronds on which (A) more than 2×10^4 cells/cm² and (B) less than 3×10^3 cells/cm² of diatoms were detected.

Date of sampling	Total-N (%)	Total-P (%)	N/P
Dec. 1982			
A	5.94	0.45	13.2
B	6.82	0.56	12.2
Nov. 1983			
A	7.40	0.54	13.7
B	7.94	0.69	11.6
Des. 1983			
A	7.63	0.71	10.8
B	8.53	0.87	9.8

The numbers show percent of nitrogen and phosphorous contents per dry matter.

し、活発に増殖して着生量が増加する。中期になっても水温低下に伴う増殖の低下はほとんどなく、DIN の減少時にはのり産生のアミノ酸を窒素源として利用するので、活発に増殖して着生量が最も多くなる。終期になると、水温が10℃以下となり増殖が低下して着生量が減少し始めるが、栄養塩類、特に DIN の減少時にはのり産生のアミノ酸を利用して増殖する。一方、のり網での本種の着生量は、のり葉体の場合と若干異なり養殖終期に最も多くなったが、のり網に着生したのものでのり葉体と同様の環境要因の影響を受けていると考えられる。終期にのり網への着生量が多いのは、季節風などによって浮動の激しいのり葉体に比

Table 10. The environmental conditions for the optimal propagation of epiphytic and epilithic diatoms.

	<i>Licmophora abbreviata</i>	<i>Synedra gracilis</i>	<i>Melosira nummuloides</i>	<i>Achnanthes longipes</i>	<i>Navicula directa</i> prox.
Water temperature (°C)	15-25	15-30	15-30	20-30	10-20
Chlorinity (‰)	15.0-16.5	14.0-16.0	11.0-14.5	12.5-18.0	15.0-22.0
pH	7.5-9.0	7.5-8.0	7.5-9.0	6.5-8.0	6.5-9.0
DIN* ¹ (μg-at/l)	10<	12<	12<	12<	5<
DON* ² (μg-at/l)	8<	12<	12<	12<	5<
Amino acids* ³	Glycine Histidine Phenylalanine	Glycine Proline Histidine	Glycine Arginine Histidine	Leucine Isoleucine	Alanine Histidine

*¹ dissolved inorganic nitrogens.

*² dissolved organic nitrogens.

*³ released from the Nori fronds, and kinds of amino acid which accelerated the propagation of diatoms.

して脱落する珪藻の量が少ないためと思われる。

このように、本種は養殖初期には主に DIN が $10 \mu\text{g-at/l}$ 以上、アミノ酸を含む DON が $8 \mu\text{g-at/l}$ 以上であれば増殖が活発になる。また、最も着生量が多い中期には、DIN が $5 \mu\text{g-at/l}$ 以下、DON が $3 \sim 5 \mu\text{g-at/l}$ に低下し、その後の本種の着生量は減少し始める。従ってのり養殖場では DIN、DON を測定することによって本種の増殖が予測できる。

Synedra gracilis : 本種は前者に比して粘着力が弱いため、のり葉体への着生量が少なかった。しかし、のり網には比較的良く着生し、着生量はのり養殖初期に最も多く、その後次第に減少した。のり網への着生量と水質の関係をみると、水温、pH、DIN、DON の 4 要因と密接な関係が認められたが、DIN、DON の豊富な時期に本種の着生量が減少し始めるので、4 要因の中では水温と pH との関係が大きいのと思われる。また、培養結果からのり産生のアミノ酸が、本種の増殖を活発にしたので、増殖とアミノ酸を含む DON との関係も大きいと考えられる。

のり養殖初期は一般に水質環境が本種の増殖に適した条件であり、中期以降になると、水温低下、pH の上昇などがみられるので、着生量は中期以降に次第に減少する。

このように、のり養殖場では主に水温が 15°C 以上、pH が 8.0 以下、DON が $12 \mu\text{g-at/l}$ 以上で増殖が活発になるので、これらを測定することによって本種の増殖が予測できる。

Melosira nummuloides : 本種は主にのり網に着生する珪藻で、のり葉体には養殖初期にわずかに着生するが、*L. abbreviata*、*S. gracilis* より粘着力が弱いので直ぐ脱落する。本種の月別量変化をみると、養殖初期の10月に最も多く、11月から既に減少傾向を示し、その後急激に減少した。

養殖初期は水温、DIN、DON などの水質環境が本種の増殖に適しており、特に河川水の影響の強い塩素量の低い場所では盛んに増殖する。しかし、中期以降になると水温の低下、栄養塩類の減少などによって増殖が低下し着生量が減少する。このように、本種の増殖と水質の関係については水温、DIN、DON、塩素量との関係が大きかったが、養殖中期において DIN、DON の栄養塩類の豊富な時期にもかかわらず水温 15°C 以下になると着生量が急激に減少するので、本種の増殖には水温が最も大きく影響すると考えられる。また、本種は低い塩素量で増殖が活発になったので、水温 15°C 以上の高温時に大量の降雨などによって塩素量が低下すれば、増殖がさらに促進されると思われる。

このように、のり養殖初期には水温 15°C 以上で増殖が

活発になり、また塩素量が 14.5% 以下になると増殖がさらに盛んになるので、水温と塩素量を測定することによって本種の増殖が予測できる。

Achnanthes longipes : 本種は主にのり網に着生する珪藻で、のり葉体には前者と同じく養殖初期にわずかに着生するが、粘着力が弱いので直ぐに脱落する。のり網への着生量は、養殖初期の10月に最も多く、11月からは既に減少傾向を示し、その後急激に減少した。

養殖初期には水質環境が本種の増殖に適しており、活発な増殖が行われ着生量が多い。本種の増殖に及ぼす各要因の影響については、DIN、DON の豊富な時期でも水温 20°C 以下になると着生量が減少するので、水温が最も大きいと考えられる。また、本種は pH 8.0 を超えると増殖が低下することから、*S. gracilis* と同じように養殖中期以降の pH の上昇は、その増殖に大きな影響を与える。

このように、のり養殖初期に水温が 20°C 以上、pH が 8.0 以下で本種の増殖が活発になるので、水温と pH を測定することによって本種の増殖が予測できる。

Navicula directa prox. : 本種はのり網に最も大量に着生する珪藻で、のり葉体にはほとんど着生しない。その着生量は、養殖初期から増加して終期に最も多くなった。

養殖初期は、水温が 20°C に低下すると活発に増殖し、中期以降になると水温低下とともにさらに増殖が高まる。水温が 10°C 未満になると増殖がやや低下するが、養殖終期の水温は 10°C をやや下回る程度であり、培養結果からみても増殖に大きな影響を及ぼさないで、終期にも着生量が多い。また、中期以降の DIN の減少時には、のり産生のアミノ酸を窒素源として利用するので増殖は低下しない。

このように、のり養殖場では本種の増殖を低下させるような環境条件はみられないので、のり養殖期間中における本種の増殖は常に活発である。本種は各環境要因に対する適応範囲が広いが、窒素源が欠乏すると増殖がほとんど行われず、またその欠除に際してはアミノ酸を窒素源として利用することから、DIN とアミノ酸を含む DON の量を測定することによって、本種の増殖傾向の判定はできる。しかし、本種はのり養殖期には網に多量に着生するが、葉体にはほとんど着生しないので、のり養殖への害は比較的小さい。

以上要するに、5 種類の着生珪藻のうち、水温が高めに推移するのり養殖初期には、のり網に着生する *M. nummuloides*、*A. longipes* の増殖が活発で、これらの珪藻によって幼芽の生育及び2次芽の増加が阻害される。また、

葉体に最も多く着生する *L. abbreviata* については、のり葉体がまだ小さく着生量も比較的少ないので、その被害は比較的小さいと考えられる。養殖中期以降は、のり葉体に着生する *L. abbreviata*, *S. gracilis* の増殖によって、のりの品質低下の害がみられる。特に *L. abbreviata* は、中期以降にはのり産生のアミノ酸で活発に増殖し着生量が最も多くなるため、のりの品質低下は主に本種の着生に基づいている。一方、のり網の着生珪藻である *M. nummuloides*, *A. longipes* は、水温低下に伴って着生量が減少し、また *N. directa prox.* は着生量が増加するがのり葉体にはほとんど着生しないのでいずれも大きな被害をもたらすことはない。

従ってのり養殖初期は、のり網に着生する *M. nummuloides*, *A. longipes* が幼芽の生育と2次芽の増加を阻害し、養殖中期以降は、のり葉体に着生する珪藻、主に *L. abbreviata* によってのりの品質低下の害がもたらされる。このように、種類によって増殖要因やその害作用に相違があるので、着生珪藻の防除に当たっては時期別、種類別に検討する必要がある。

2. 防 除

のり養殖期の着生珪藻については、種類によって増殖要因に相違がみられ、増殖の好適範囲も異なることを認めた。ここでは、この増殖要因とこれまで得られた各珪藻の着生量の変化や着生過程と粘着力の結果に基づいて、着生珪藻の防除対策を検討した。

着生珪藻の防除に当たっては、先ずのり葉体やのり網に着生する珪藻の種類を同定する。そのうち、特に優占種の種類を明らかにし、これに適した防除対策を講ずる必要がある。

のり養殖初期に多く出現する着生珪藻は、*M. nummuloides*, *A. longipes*, *L. abbreviata*, *N. directa prox.*, *Nitzschia* spp. である。これらのうち、のり網には *M. nummuloides*, *A. longipes* が多く着生し、のりの幼芽の生長及び2次芽の増加を阻害する。これらの珪藻は、養殖初期には増殖が盛んであるため、その着生量の増加を抑制する方法としては干出管理がある。干出管理は、のりの幼芽を傷めない1~3時間の干出⁵⁸⁾で、干出時の凍結を防ぐため昼間行って防除するのが良いと考えられる。特に河川水の影響の強い場所では、珪藻の増殖がさらに活発になるので、干出管理は極めて重要である。また、これらの珪藻は、のり網に着生すると時間の経過とともに粘着力を高め、さらに粘液糸、粘液柄を形成して強く固着する。従って粘着力の

低い着生初期に、海水ポンプなどで網を頻繁に洗滌して、着生珪藻を洗い流すと良いであろう。

一方、養殖初期におけるのり葉体には主に *L. abbreviata*, その他 *L. paradoxa*, *S. gracilis*, *Tabellaria* sp. などの着生がみられるが、まだ葉体が小さいので、珪藻の着生量も比較的少なく、その害は小さい。従ってのり養殖初期の珪藻の防除は、のり網に着生する *M. nummuloides*, *A. longipes* の防除に主眼を置くべきと考えられる。

のり養殖中期以降になると、のり網には *N. directa prox.*, *Nitzschia* spp., *L. abbreviata*, のり葉体には主に *L. abbreviata* の着生がみられる。この時期ののり養殖が受ける被害は、主に *L. abbreviata* の増殖によるのりの生長阻害と品質低下の害である。*L. abbreviata* の防除は、養殖初期に行ったような干出管理なども効果的な対策である。その他の防除対策としては、養殖場では潮通しを良くしてのりの活力を高め、珪藻着生によるのりの生長阻害を防止する。また、養殖中期以降は栄養塩類の減少に対して施肥が行われ、その結果 *L. abbreviata* などの増殖の窒素源を補うことにもなる。従って施肥を行う場合には、のり摘採後などの *L. abbreviata* の着生量が少ない時期に行うのが良いと考えられる。

次に、のり葉体の部位別に珪藻の着生量を調査しその月別変化をみると、Fig. 44 に示したように着生量は葉体の先端部が最も多かった。部位別の1 cm² 当たりの着生量は基部が10²、中央部が10³、先端部が10⁴細胞の単位であった。このように着生珪藻は、のり葉体の中央部から先端部に多く着生するので、その部分を早期に摘み取れば、珪藻の増殖を予防することができる。従ってのりの生長期には、摘み取り回数を増やすことによって珪藻の着生及び増殖を防止し、併せてのりの増収も期待できる。また、摘み取ったのり葉体は洗滌を十分に行えば、珪藻が脱落して品質の向上も計ることができよう。

のりが赤ぐされ病や白ぐされ症などに罹病した時には、のりの表面が粗雑となって珪藻が着生しやすくなり、生長阻害も高まる。従ってのりが病気になった場合には、早急に干出管理や潮通しを良くすること及び葉体の早期摘み取りなどの対策を講じる必要がある。

加うるに、のり網は養殖期間中少なくとも1~2回の冷凍網の張替えが行われている。その時期はほとんどが養殖中期で、*L. abbreviata* の増殖適期である。従って養殖中ののり葉体について珪藻の着生量を調査し、その着生量が少ない時期に新しい網を張替えると良いであろう。

また、養殖中期以降ののり網には *N. directa prox.*,

Nitzschia spp. などが着生するが、これらの珪藻はのり葉体にほとんど着生しないので、その被害は少ない。これらから、のり養殖中期以降は、主にのり葉体に着生して品質を低下させる *L. abbreviata* の防除に主眼をおくのが良策と考えられる。

Ⅶ. 要 約

本研究は、のり葉体やのり網に着生して、のり養殖に大きな被害を与える着生珪藻について、その種類と着生量及び水質環境との関係、培養条件と増殖、着生構造及び害作用を明らかにし、その知見に基づいて増殖要因と防除対策を検討した。

研究は、下関市及び小野田市地先ののり養殖場で主として養殖期間中の水質環境、着生珪藻の種類と量の月別変化を調査し、次いで室内培養実験によって主要出現種の増殖に及ぼす温度、照度、塩素量、pH、栄養塩類及びのり葉体から放出されるアミノ酸の影響を明らかにした。また、珪藻の着生について、その着生部の微細構造、着生過程、粘着力の実験を行った。さらに、これらの結果を総合的に検討して着生珪藻の増殖要因を明らかにするとともに、その防除対策について二、三の考察を行った。本研究結果を要約すれば、以下のとおりである。

1. 野外調査を行った下関市及び小野田市ののり養殖場はいずれも内湾に位置し、それぞれの湾には2つの河川が流入している。両養殖場の水質環境はほぼ同じで、また両養殖場とも着生珪藻が多くみられた。

2. のり養殖場の着生珪藻のうち、のり網に着生するものは下関市地先で珪藻類16属23種、小野田市地先で珪藻類16属24種がみられ、両養殖場とも珪藻類が大部分を占めた。これらの珪藻のうち、着生量が最も多いのは *Navicula* spp. で、次いで *Licmophora* spp., *Nitzschia* spp., *Melosira nummuloides*, *Achnanthes longipes*, *Synedra* spp. の順であった。また、着生量の月別変化からみると、水温低下に伴って増加傾向を示す *Navicula* spp., *Licmophora* spp., *Nitzschia* spp. と、反対に減少傾向を示す *M. nummuloides*, *A. longipes*, *Synedra* spp. に大別された。一方、定点別では河川水の影響の強い定点では *M. nummuloides*, *Synedra* spp., *A. longipes*, *Licmophora* spp., 河川水の影響の弱い定点では *Navicula* spp., *Licmophora* spp., *Nitzschia* spp., *Tabellaria* sp. がそれぞれ多くみられた。

3. のり葉体に着生する藻類は、すべて珪藻で、のり網に比してその種類が少なく下関市地先では6属9種、小野田市地先では5属8種が観察された。このうち、着生量が最も多いのは *Licmophora* spp. で、特にのり養殖中期(12~1月)に多くみられた。*Synedra* spp. と *Tabellaria* sp. は養殖期間中、前者は河川水の影響の強い定点で、後者は河川水の影響の弱い定点で観察されたが、その着生量は少なかった。また、各種類とも幼葉より成葉に多く着生した。

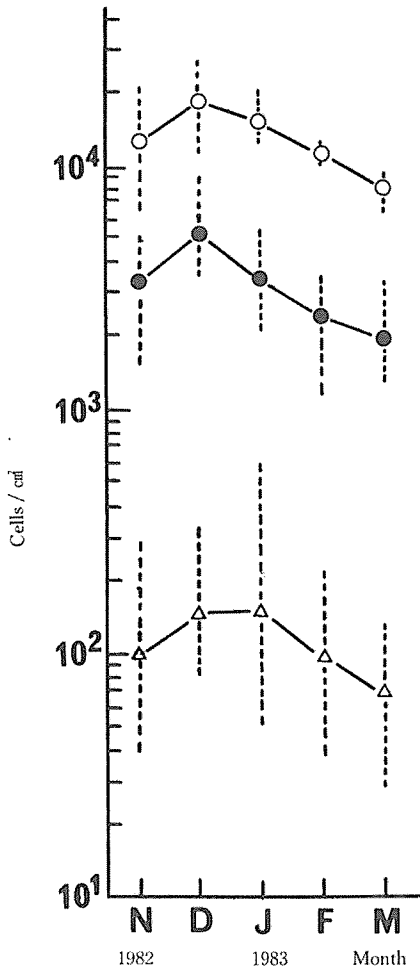


Fig. 44. Monthly variations of cell-number of epiphytic diatoms attached to upper, middle and basal parts of Nori fronds in the cultivation ground of Shimonoseki coastal area. The cell-number are represented by ○, ● and △ of upper, middle and basal parts, respectively. Each point is mean value of cell-number and each vertical bar represents a range between maximum and minimum of cell-number found on fifty Nori fronds.

4. 室内培養実験によって着生珪藻の増殖に及ぼす環境諸要因の影響を調べた。その結果、各珪藻の増殖適温は *L. abbreviata* 15~25 °C, *L. paradoxa* 20~25 °C, *S. gracilis* 15~30 °C, *M. nummuloides* 15~30 °C, *A. longipes* 20~30 °C, *N. directa prox.* 10~20 °C であった。照度の影響は、温度によってやや異なり、多くの種類では15 °C で8,000 lx 以上、20 °C で5,000 lx 以上が好適であった。塩素量の影響は、一般に養殖場の塩素量よりやや低い濃度で増殖が活発で、好適範囲は *L. abbreviata* 15.0~16.5‰, *L. paradoxa* 14.5~16.5‰, *S. gracilis* 14.0~16.0‰, *M. nummuloides* 11.0~14.5‰, *A. longipes* 12.5~18.0‰, *N. directa prox.* 15.0~22.0‰ であった。pH については *L. abbreviata*, *M. nummuloides*, *L. paradoxa* がほぼ7.5~9.0, *S. gracilis* 7.5~8.0, *A. longipes* 6.5~8.0, *N. directa prox.* 6.5~9.0 で良く増殖した。栄養塩の影響は、無機態窒素、珪酸、硼酸が必須であり、そのうち無機態窒素、硼酸が特に重要な要素であった。

5. 着生珪藻の増殖とアミノ酸の関係については、のり葉体から放出されるアラニン、グルタミンサン、ロイシン、ヒスチジンなど16種類について実験を行った。このうち、ヒスチジン、アラニン、グリシン、アルギニンなどの数種類は各珪藻に良く利用され、特にのり葉体に着生する *L. abbreviata* と *S. gracilis* の増殖を著しく活発にした。

6. 着生珪藻は、蓋殻面にある各種類特有の形をした粘液孔から分泌される粘液で基物に着生し、その粘着力は *L. abbreviata* が最も強く、次いで *S. gracilis*, *A. longipes*, *M. nummuloides* の順であった。また、これらは表面が平滑な基物より粗雑な基物の方に良く着生した。着生後はさらに粘液を分泌し、*L. abbreviata* と *A. longipes* のように粘液柄、*S. gracilis* のように粘液盤、*M. nummuloides* のように粘液糸を形成して強く固着した。

7. 着生珪藻ののり養殖への害作用は、のり養殖初期(10~11月)には、主にのり網に着生する *M. nummuloides*, *A. longipes* によってのりの幼芽の生育と2次芽の増加が阻害され、養殖中期以降においては、主にのり葉体に着生する *L. abbreviata* によってのりの品質低下の害が生ずることを認めた。

8. 着生珪藻の増殖要因について、本研究の成果を総合的に検討すると、以下のように要約できる。のり葉体に着生する *L. abbreviata* は主にのり産生のアミノ酸で増殖が高まり、*S. gracilis* は主にのり産生のアミノ酸、15 °C 以上の水温、8.0以下のpHで活発に増殖する。一方、のり網の着生珪藻 *M. nummuloides*, *A. longipes*, *N. directa*

prox. は、前2者の増殖については主に水温変化に影響され、水温がそれぞれ15、20 °C 以上で活発に増殖する。この他に、*M. nummuloides* は塩素量14.5‰以下で、*A. longipes* はpH 8.0以下で増殖が活発になる。*N. directa prox.* の増殖は、養殖中期以降のDINの減少時にのり産生のアミノ酸を窒素源として利用し、その増殖が継続されることが認められた。このように、のり養殖場における着生珪藻の増殖は、アミノ酸についてはDON、その他は上述したような水質項目を測定することによってその予測と増殖傾向を把握できる。

9. 着生珪藻の防除に当たっては、先ずのり葉体及びのり網に着生する珪藻の種類を同定し、それに適した防除対策を立てねばならない。のり養殖初期には、のり網に着生する *M. nummuloides*, *A. longipes* の防除に主眼を置くのが良いと考えられる。これらの珪藻の防除対策としては、干出管理を行うとともに、これらの珪藻が強く固着しないように海水ポンプなどによる洗滌を頻繁に実施する。養殖中期以降においては、のり葉体に着生する *L. abbreviata* の防除に重点を置くことと良いであろう。この珪藻の防除については、干出管理を行うこと、珪藻着生に伴う生長阻害を防止するため潮通しを良くしてのりの活力を高めることが重要である。また、主に *L. abbreviata*、その他 *S. gracilis* などの珪藻がのり葉体の先端部に多量に着生するので、のりの生長期には摘み取り回数を増やすこと、さらに冷蔵網の張替えにあたっては主に *L. abbreviata* の増殖が低下した時期に行うなどの対策が着生珪藻の害と増殖を防止できるであろう。

引用文献

- 1) 岡村金太郎：浅草海苔，第1版，博文館，東京，1909，pp.105～112.
- 2) 殖田三郎：新編海苔養殖読本，全国海苔貝類漁業協同組合連合会，東京，1973，pp.128～138.
- 3) 朝鮮総督府水産試験場：朝鮮総督府水試特輯，7，1～29 (1934).
- 4) 加藤 孝：日本生態学誌，5，35～37 (1955).
- 5) 加藤 孝・河村光保：日本生態学誌，6，6～7 (1956).
- 6) 佐野 孝・佐藤重勝：東北水研報，16，127～134 (1960).
- 7) 東京都水産試験場：東京都出版物通刊 No.136，1～17 (1960).
- 8) 山口県内海水産試験場：昭和46年度指定調査研究総合助成事業報告書，39～48 (1972).
- 9) 大貝政治・塚原 博・松井敏夫・中島和広：日水誌，50，1157～1163 (1984).
- 10) 大貝政治・松井敏夫・石田博幸：水大研報，32，83～89 (1984).
- 11) 大貝政治・松井敏夫・奥田武男・塚原博：水大研報，33，27～35 (1984).
- 12) 水産大学校：木屋川 (第2期) 利水事業の施行に伴う漁業影響予測調査報告書，7～40 (1981).
- 13) 海洋観測指針：気象庁編，日本海洋学会，東京，1970，pp.155～168，185～187.
- 14) J. D. H. STRICKLAND and T. R. PARSONS: A Practical Handbook of Seawater Analysis, *Fish. Res. Board, Canada, Ottawa, Bulletin*, 1972, PP.167.
- 15) M. I. LIDDICOT, S. TIBBITTS and E. I. BUTLER: *Limnol. Oceanogr.*, 20, 131～132 (1975).
- 16) 新編水質汚濁調査指針：日本水産資源保護協会，恒星社厚生閣，東京，1980，pp.192～195.
- 17) 江角比出郎・西条八東：地球科学，3，1～8 (1969).
- 18) 村上彰男：筑後川調査報告附属資料(3)，1～15 (1968).
- 19) 平野敏行：筑後川調査報告附属資料(4)，21 (1969).
- 20) 山路 勇：日本海洋プランクトン図鑑，第1版，保育社，大阪，1966.
- 21) 丸茂隆三・高野秀昭：日本海洋プランクトン図鑑 (元田 茂編)，1，第1版，蒼洋社，1966，pp.15～66.
- 22) H. TAKANO: *J. Takai Reg. Fish. Res. Lab.*, 31, 269～274 (1961).
- 23) R. M. CARWFORD: *Br. Phycol. J.*, 10, 323～338 (1975).
- 24) T. N. NAVARRO: *Bot. Mar.*, 25, 321～338 (1982).
- 25) C. S. LOBBAN: *J. Phycol.*, 19, 281～289 (1983).
- 26) 藤山虎也：柳井湾漁業資源実態調査報告書，128～139 (1980).
- 27) 今田 克・安藤 真・前木 樹：日水誌，35，362～378 (1969).
- 28) C. D. MCINTIRE and W. M. MOORE: in "The biology of diatoms", (Ed. by D. Werner), *Bot. Monogr.*, 13, London, 1977, PP.333～371.
- 29) H. EDSBAGGE: *Bot. Gothoburg*, 6, 9～139 (1966).
- 30) H. EDSBAGGE: *Bot. Mar.*, 11, 64～67 (1966).
- 31) S. P. MAIN and C. D. MCINTIRE: *Bot. Mar.*, 17, 88～99 (1974).
- 32) L. PROVASOLI, J. J. A. MCLAUGHLIN and M. R. DROOP: *Arch. für Mikrobiol.*, 25, 392～428 (1957).
- 33) L. PROVASOLI: *Cultures and collections of algae*, Proc. U. S. -Japan Conf. Hakone, Sept., 1966, Japan Soc. Plant Physiol., 63～75 (1968).
- 34) H. IWASAKI: *Plant and Cell Physiol.*, 6, 325～336 (1965).
- 35) T. BRAARUD: *Physiol. Plant.*, 4, 28～34 (1951).
- 36) N. M. SAKS: *Mar. Biol.*, 68, 175～179 (1982).
- 37) R. W. KRAWIEE: *Mar. Biol.*, 69, 79～89 (1982).
- 38) P. K. BIENFANG, P. J. HARRISON and L. M. QUARMBY: *Mar. Biol.*, 67, 295～302 (1982).
- 39) F. HERZINGER: *Pflanzenernahrung*, 16, 141～168 (1952).
- 40) C. EYSTER: *Nature*, 170, 755 (1952).
- 41) W. J. MCILARTH and J. SKOK: *Plant Physiol.*, 32, suppl, xxiii (1957).
- 42) E. J. KUENZLER and B. H. KETCHUM: *Biol. Bull.*, 123, 134～145 (1962).
- 43) F. J. MACKERETH: *J. Exptl. Botany*, 4, 296～313 (1953).
- 44) E. G. JORGENSEN: *Dansk. Botan. Arkiv.*, 18, 6～54 (1965).
- 45) J. M. SIEBURTH: *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 32, 290～309 (1969).
- 46) K. MOEBUS and K. M. JOHNSEN: *Mar. Biol.*, 26, 117～125 (1974).
- 47) F. A. J. ARMSTRONG and G. T. BOALCH: *Nature*, 185,

- 761—762 (1960).
- 48) J. TSUKIDATE: *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.*, **15**, 29—96 (1983).
- 49) R. R. L. GUILLARD: in "Marine Microbiology" (Ed. by C. H. Oppenheimer) C. C. THOMAS, Springfield, Ill., 1963, PP. 93—104.
- 50) P. A. WHEELER, B. B. NORTH and G. C. STEPHENS: *Limnol. Oceanogr.*, **19**, 249—259 (1974).
- 51) M. S. LIU and J. A. HELLEBUST: *Can. J. Microbiol.*, **20**, 1109—1118 (1974).
- 52) M. S. LIU and J. A. HELLEBUST: *Can. J. Microbiol.*, **20**, 1119—1125 (1974).
- 53) B. B. NORTH and G. C. STEPHENS: *J. Phycol.*, **8**, 64—68 (1972).
- 54) 山田真知子・新井義昭・鶴田新生・吉田陽一: 日水誌, **49**, 1445—1448 (1983).
- 55) L. H. N. COOPER: *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **19**, 755—759 (1934).
- 56) 奥田 讓・中山正作: 東大農科大紀要, **5**, 4 (1916).
- 57) 野田宏行: 三重県立大学水産学部研報, **9**, 175—225 (1972).
- 58) 阿部 昇: 九州大学学位請求論文 (1984).

Studies on the Morphology and Ecology of Epiphytic and Epilithic Diatoms in Nori Cultivation Grounds

By
Masaharu OHGAI

The present studies were undertaken to elucidate the various environmental factors affecting the propagation of diatoms found on Nori fronds and Nori nets on which they were cultured. Such an elucidation should be of great value not only from morphological and ecological standpoints but also in providing insight into the means for preventing the extensive damage increased by diatoms of Nori cultivation in Japan. The studies were first carried out on environmental factors, species of epiphytic and epilithic diatoms and monthly changes of cell-number in diatoms in the Nori cultivation grounds of Shimonoseki and Onoda coastal areas. Secondly, the studies were made of the effect of environmental factors such as seawater temperature, light intensity, chlorinity, pH and nutrients, and amino acids released from Nori fronds on the propagation of these diatoms in the laboratory. The mechanism by which these diatoms adhere to substrata, and the resulting damage to Nori fronds were also studied. Through these studies, the environmental factors necessary for propagation of the diatoms were elucidated, and some possible ways for removal were presented. The following results were obtained:

The environment in the Nori cultivation grounds

In the Nori cultivation grounds of Shimonoseki and Onoda coastal areas, both the recipients of river-water at innermost points of individual bays, the seawater was essentially the same, and many epiphytic and epilithic diatoms could be identified in both areas.

The species of algae and cell-number of diatoms attaching to Nori nets

Most of the attached algae identified at these cultivation grounds were the same species. The algae attached to Nori nets in the Shimonoseki ground were 30 species of 23 genera, and 23 species of 16 genera were diatoms. The algae in the Onoda ground were 30 species of 22 genera, among which, the kind of diatoms were 24 species of 16 genera. The algae attached to Nori nets were mainly the diatoms from both grounds. Among the dominant species of diatoms, the cell-number of *Navicula* spp. was largest, followed by those of *Licmophora* spp., *Nitzschia* spp., *Melosira nummuloides*, *Achnanthes longipes* and *Synedra* spp. On the basis of monthly changes in the number of diatoms in either area, their species were divided into the following two groups: i) the *Navicula*, the *Licmophora* and the *Nitzschia*, all having the tendency for their cell-number to increase with a decrease in seawater temperature, ii) the *Melosira*, the *Achnanthes* and the *Synedra* whose cell-number decreased with a decrease in temperature. In seashore waters fed extensively by river-water, the *Achnanthes*, the *Melosira*, the *Licmophora* and the *Synedra* were abundant while in offshore waters, the *Navicula*, the *Licmophora*, the *Nitzschia* and *Tabellaria* sp. were the dominant species.

The species of algae and cell-number of diatoms attaching to Nori fronds

All algae attached to Nori fronds were diatoms and were 9 species of 6 genera in the Shimonoseki ground and 8 species of 5 genera in the Onoda ground. Among the diatoms, *Licmophora* spp. had large cell-number, and were observed mostly from December to January during the middle period of the Nori cultivation. In contrast, *Synedra* spp. and *Tabellaria* sp. were attached to a small extent to the fronds during this period and no pronounced tendency was noted. The diatoms attached to young fronds shorter than 5 cm were smaller in cell-number than those on adult fronds longer than 10 cm, but the monthly changes in cell-number in each case was essentially the same. The appearance of many species of the *Synedra* was influenced by river-water, while many species of the *Tabellaria* were so to smaller extent.

The effects of environmental factors on the propagation of the main diatoms

The effects of environmental factors such as temperature, light intensity, chlorinity, pH and nutrients, and amino acids released from Nori fronds on the propagation of the main diatoms were examined in the laboratory. The optimal temperature for propagation varied with the species. *Licmophora abbreviata* grew remarkably from 15 to 25 °C and *L. paradoxa*, from 20 to 25 °C, *Synedra gracilis*, from 15 to 30 °C, *Melosira nummuloides*, from 15 to 30 °C, *Achnanthes longipes*, from 20 to 30 °C and *Navicula directa* prox., from 10 to 20 °C. All the diatoms generally grew actively at lower light intensity with rise in temperature, and many diatoms did so above 8,000 lx at 15 °C and 5,000 lx at 20 °C. *L. abbreviata* grew optimally at a chlorinity from 15.0 to 16.5 ‰, *L. paradoxa*, from 14.5 to 16.0 ‰, the *Synedra*, from 14.0 to 16.0 ‰, the *Melosira*, from 11.0 to 14.5 ‰, the *Achnanthes*, from 12.5 to 18.0 ‰, and the *Navicula*, from 15.0 to 22.0 ‰. Optimal growth was in the following ranges of pH: 7.5 to 9.0 for *L. abbreviata*, 7.5 to 8.5 for *L. paradoxa*, 7.5 to 8.0 for the *Synedra*, 7.5 to 9.0 for the *Melosira*, 6.0 to 8.0 for the *Achnanthes* and 6.5 to 9.0 for the *Navicula*. Inorganic nitrogen, silicate and borate were necessary for the propagation of diatoms, this being particularly so for the first and third compounds.

The effects of amino acids released from the Nori fronds on the propagation of the main diatoms

With a liquid-chromatography, sixteen amino acids were detected and confirmed to be released from the Nori fronds. Of these amino acids, alanine, glycine, leucine, glutamic acid, lysine, phenylalanine and histidine were abundant. Several amino acids such as histidine, alanine, glycine and arginine were utilized for the propagation of epiphytic and epilithic diatoms, and they accelerated remarkably the propagation of *Licmophora abbreviata* and *Synedra gracilis* attached mostly to the Nori fronds.

The adhesive mechanism of diatoms

The mucilage pores of these epiphytic and epilithic diatoms were located at their valves, and the shapes of mucilage pores varied with the species. The mucus they secreted mediated between the point of attachment and substratum. The adhesive ability of *Licmophora abbreviata* was strongest, followed by that of *Synedra gracilis*, *Achnanthes longipes* and *Melosira nummuloides*. These diatoms were attached more tightly to rough than smooth substrata. After their attachment, the diatoms continuously secreted nucus. The *Licmophora* and the *Achnanthes* adhering tightly to the substrata formed a peculiar type of mucilage stalks, the *Synedra* formed mucilage pads, and the *Melosira*, mucilage filaments.

The practical damage of diatoms to Nori cultivation

Most of *Melosira nummuloides* and *Achnanthes longipes* attached mainly to Nori nets inhibited the propagation of germilings of Nori fronds and the attachment of monospores released from the germilings in the early period of cultivation, and most of *Licmophora abbreviata* attached to the Nori fronds caused them to be of inferior quality.

The propagation factors of diatoms

Environmental factors affecting propagation of individual epiphytic and epilithic diatoms were examined to predict their infestation on either Nori fronds or Nori nets themselves. *Licmophora abbreviata* and *Synedra gracilis* grew remarkably by amino acids from Nori fronds and the *Synedra* grew actively when the seawater temperature was above 15 °C and pH under 8.0. The propagation of *Melosira nummuloides* and *Achnanthes longipes* was governed by seawater temperature: the former grew remarkably at a temperature over 15 °C and latter, over 20 °C. The *Melosira* grew actively at a chlorinity under 14.5 ‰ and the *Achnanthes* at a pH under 8.0. *Navicula directa* prox. continued to propagation by amino acids from Nori fronds as a nitrogen source when there was no DIN after the middle period of Nori cultivation. Thus, prediction of propagation of epiphytic and epilithic diatoms and propagation tendencies could be estimated on the basis of the values of DON containing amino acids and the water qualities.

The effective ways how to prevent the propagation of diatoms

To reduce the damage caused by diatoms, a device must be made by which Nori nets can be raised high above the water to kill the diatoms by exposure to air. It is also recommended that Nori nets be washed in a jet stream of seawater operated by a pump. *Licmophora abbreviata* attached tightly to the Nori fronds after the middle period of Nori cultivation can thus be removed. To inhibit propagation of the *Licmophora*, the diatoms should be exposed to air during low tides and the dense populations of Nori should be avoided to prevent the obstruction of propagation by diatoms. Since diatoms such as the *Licmophora* and *Synedra gracilis* are likely to adhere mostly to the upper portions of Nori fronds, their frequent harvest will be important means for lessening the amount of diatoms damage. It is also desirable to renew the used nets infested by these diatoms with the Nori nets which had stored at low temperature, when the cell-number of diatoms decreased in the cultivation grounds. These methods should prove to be practical means for preventing damage due to diatoms.