

1995年冬期、兵庫県下のノリ養殖漁場到大発生した付着珪藻 *Tabularia affinis* について

長井 敏^{*1}・高瀬博文^{*2}・増田恵一^{*1}

(1996年2月19日受付)

The Mass Occurrence of the Epiphytic Diatom *Tabularia affinis* on Nori (*Porphyra*) in the Culture Grounds of Hyogo Prefecture during the Winter of 1995.

Satoshi NAGAI^{*1}, Hirofumi TAKASE^{*2}, and Keiichi MASUDA^{*1}

The mass occurrence of an epiphytic diatom was found on nori (*Porphyra*) in the culture grounds of Hyogo Prefecture. The epiphytic diatom adhered to the surface of the *Porphyra* fronds during January to April 1995.

Judging from frustule structure, chloroplasts, colony-type, and ecological distribution, the species was identified as *Tabularia affinis* (Fragilariaceae) by observations using light, epifluorescence, and scanning electron microscopies.

As a result of the questionnaire distributed to the managers of nori culture in Hyogo Prefecture, the adhesion of *T. affinis* on the *Porphyra* fronds were found in the Ieshima area (during mid February to early March), in the Bouze area (mid January to early March), partly in some sections of the Himeji area (mid February to early March), in the Nishiura area (late January to early February and late March to early April), and in the Higashiura area (late January to early February and mid March to early April). We suggest that the origin of *T. affinis* was not from the place of the seed conchospores but from the natural sea water, because not all conchospore sown from the same seed tank were infected with *T. affinis*.

Nori products that were infected with the vegetative cells of *T. affinis* were not an even black color but had a green-white coloration especially in the parts on which the species adhered. These deteriorated nori products caused a financial loss of more than two billion yen in Hyogo Prefecture in 1995.

ノリ養殖場に出現し、主にノリ葉体に着生する付着珪藻種として、*Licmophora* spp., *Synedra* (*Tabularia*) spp. および *Tabellaria* spp. 等が観察されている。これらの付着珪藻（以下、珪藻）はノリ養殖の害藻で、特に浮流し養殖においては、ノリ葉体やノリ網に多くの珪藻が付着して種々の害を与えており、珪藻はのり製品の品質やノリ養殖の豊凶を左右する一つの要因となっている。

¹⁾ *Licmophora* や *Melosira* のような珪藻が付着したノリ葉体から乾のりを製造した場合に、のり製品の光沢および色調を悪くしてその製品価値を著しく低下させる。¹⁾

²⁾ また、養殖ノリは珪藻が多数付着すると、どたぐされ症を起こすことがある。^{2, 3)}

兵庫県におけるのり製品への珪藻の混入による価格低

下といった被害については、これまで幾度か報告されているが、その多くは限定された漁場で期間も短く、被害金額も小規模であった。1993年には1月から家島および淡路西浦一帯の広い範囲で、例年と異なる珪藻混入製品が多くみられたが、網の張り替え等の対策により大きな被害には至らなかった。ところが、1995年1月下旬頃から2月末、および3月下旬から4月上旬にかけて、特定のノリ漁場で珪藻の混入製品の割合が高くなり、価格低下による漁業被害が生じた。本研究では、1995年ノリ養殖漁場到大発生した珪藻の種類、ノリ葉体への付着状態、のり製品への混入状況、珪藻の出現海域、および出現時期等を調べたので報告する。

^{*1} 兵庫県立水産試験場 (Hyogo Prefectural Fisheries Experimental Station, Minami-Futami, Akashi 674)

^{*2} 兵庫のり研究所 (Hyogo Nori Institute, Minami-Futami, Akashi 674)

材料と方法

養殖ノリ表面に付着した珪藻の着生状況およびその種類を知るため、光学顕微鏡により珪藻が多数付着した養殖ノリの表面を観察した。光学顕微鏡による観察だけでは珪藻種の分類が困難であったため、走査型電子顕微鏡（日立製S-430）を用いてその蓋殻構造を観察した。同時に珪藻のノリ表面への付着方法についても調べた。電顕観察に用いたサンプルは、1995年1月下旬に兵庫県家島地区の養殖ノリ漁場から採集したノリで、付着珪藻が着生した葉体の一部分をメスで切り取り、蒸留水で洗浄後、デシケーター内（室温）で乾燥させたものである。

付着珪藻の出現海域および出現時期を把握するため、兵庫県下におけるノリ養殖業者への聞き取り調査を実施した。また、のり共販資料（兵庫県漁連*）から、のり製品への付着珪藻の混入状況（C等級、飛等級の共販枚数および単価）を調べ、おおよその被害金額を推定した。

結果と考察

付着珪藻のノリ葉体への着生状況と出現種の同定 Fig. 1に、珪藻が付着した2例のノリ葉体の光学顕微鏡写真を示した。ノリ葉体には、棒状の珪藻の大量付着が観察され、2例ともにその付着は、中央部よりもむしろ縁部等の凹凸の激しい部位に集中する傾向が認められた。細胞の一端から粘液を分泌し、付着している様子が判る。しかし、多くの葉体を観察した結果、珪藻の付着が著しい葉体では、縁部だけではなく中央部にも濃密な付着が認められるものもあった。着生珪藻は、粘液孔（pore field）から粘液を分泌してノリ葉体に着生する。従って、葉面の着生部は粘液で覆われて栄養塩吸収やガス交換が阻害され、ノリの生理活性が著しく低下する。⁴³ また、Ohgai and Takesue⁵²はノリの品質と珪藻の着生量との関係を調べ、珪藻の着生量が増加するほどノリに含まれる窒素量が減少し、ノリの品質が低下することを報告している。Fig. 1に示したノリ葉体も珪藻の大量付着により形態が変化しており、珪藻の付着により影響を受けているのが判る。

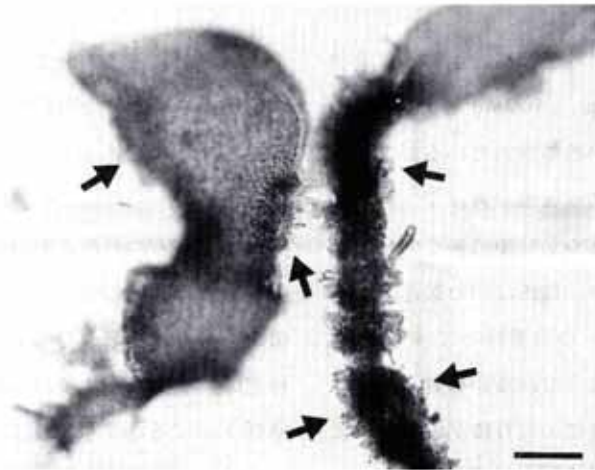


Fig. 1. Light photomicrograph by LM of *Porphyra* fronds to which numerous epiphytic diatoms had adhered. The epiphytic diatoms are indicated by arrows. (Scale bar, 100 μ m)

*兵庫県漁業協同組合連合会

Fig. 2 に、ノリ葉体から分離した珪藻の走査型電子顕微鏡写真を示した。本珪藻は長径25~50 μm 、短径3~4 μm の棒状であり、環帯面は長方形をしているのが特徴である。その蓋殻構造、色素数、およびコロニーの様式から、本珪藻はFragilariaceae (フラギラリア科)、*Tabularia* (タブュラリア) に属する海産付着珪藻であり、*Tabularia affinis* (以下、*T. affinis*) であることが判明した (真山* により同定)。フラギラリア科には、多くの

属 (*Catacombas*, *Diatoma*, *Fragilaria*, *Synedra*, *Tabularia*等) が含まれ、その分類体系は研究者間で異論が多く、現在もなお混沌としている。この *T. affinis* は、Snoeijs⁶⁾ により1992年に提案された種類で、それまでは *Synedra affinis* として記載されていたものである。現在、この *T. affinis* のさらに詳細な形態分類を実施しており、今後、別の機会に新変種として提案する予定である。

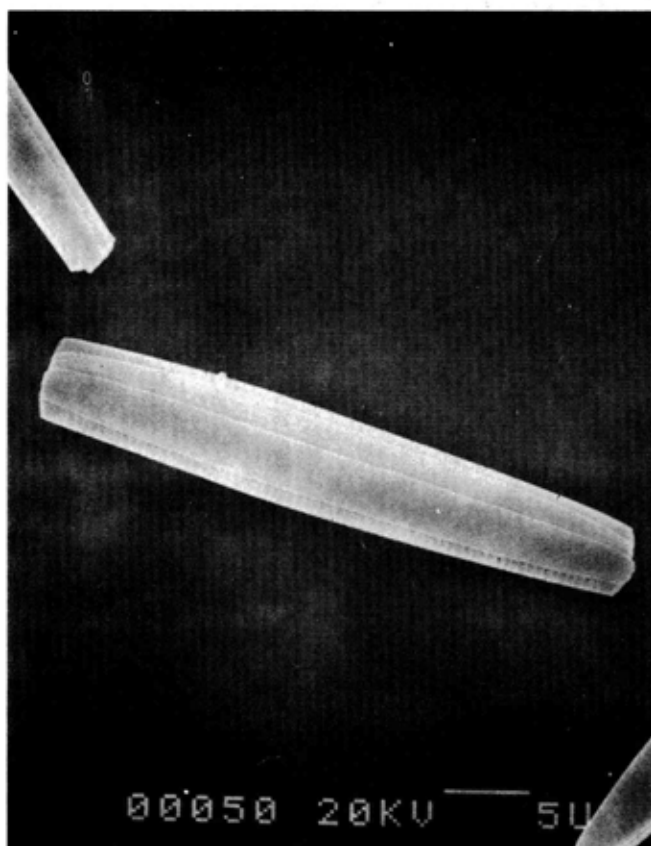


Fig. 2. Light photomicrograph by SEM of a vegetative cell of the diatom *Tabularia affinis* (girdle view).

*真山茂樹 (東京学芸大学 生物学教室)

Fig. 3に、ノリ葉体に濃密に付着した*T. affinis*の走査型電子顕微鏡写真を示した。ノリ葉面中央部では、*T. affinis*は環帯全面で葉面に沿うように付着しており、そのままの状態では分裂を継続することにより、小群体を多数形成し葉面での分布面積・密度を広げているものと推定される(A, B)。*T. affinis*は、環帯面に存在する多

数の胞紋や帯片と帯片の間からも粘液を分泌し、ゴミ等を付着しながらノリ葉面に埋もれるように付着すること(B)で、付着をより堅固なものにしていると推察される。Fig. 3 (A)中に存在する全*T. affinis*細胞数とその面積から、ノリ葉面1 cm²当たりのおおよその付着密度を算出した結果、 5.6×10^5 細胞となった。

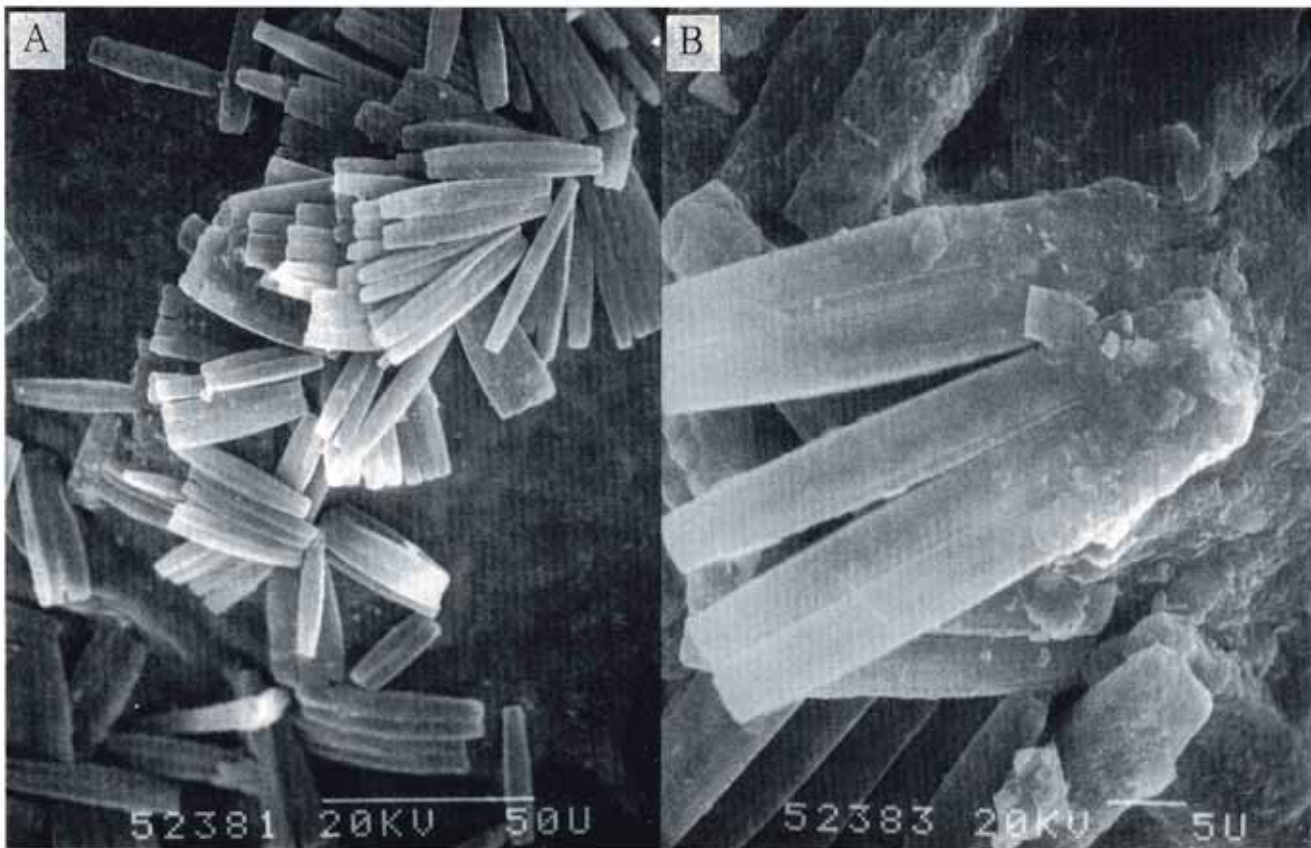


Fig. 3. Light photomicrographs of *Tabularia affinis* adhering to *Porphyra* fronds.

A, Numerous vegetative cells; B, Strong adhesion of the vegetative cells with mucilage.

一方、附着珪藻が大量に混入したのり製品は、肉眼ではその部分が緑白色のハトフン状、または霜降り状を呈した。Fig. 4に、のり製品中の緑白色に変色した部分の光学顕微鏡写真を示した。変色した部分には大量の*T. affinis*が独占的に存在しており、変色の原因が*T. affinis*の大量混入であることが判明した。このような製品はC等級、飛等級に格付けされ、大きな価格低下を招いた。

以上の光顕および電顕による観察結果から、1995年の兵庫県下のノリ養殖漁場で大発生した附着珪藻は*T. affinis*であり、ほぼ独占的に出現したことが判明した。加藤・河村⁷⁾は日本の12県、合計26のノリ養殖漁場におけるアサクサノリ葉面上の附着珪藻の分布密度を調査した結果、出現種は殆どが*Synedra*属(*Synedra gracilis*と*Synedra surperba*)であり、調査期間中に得られた附着密度は最大でも、ノリ葉体1 cm²当たり 1.5×10^4 細胞(上記2種の合計)であったことを報告している。彼らの計数方法とは若干異なるものの、本研究で得られた*T.*

*affinis*の高い附着密度(5.6×10^5 細胞/cm²)は、本年の*T. affinis*の発生量の大きさを反映したものと考えられる。Kawamura and Hirano⁸⁾は羽状目珪藻の附着形態を群体形成の有無と群体の形状、粘液の分泌様式、運動性、附着力の4つの性状によって7型に分類した。河村⁹⁾はいくつかの海域の人工基盤状における附着珪藻群落の遷移過程を観察した結果、附着能力が極めて強いB型(蓋殻全面で基質に平行に密着する)の附着形態を持つ種が、常に極相群落を形成したことを報告している。本種は附着基質に対して蓋殻面ではなく環帯面で附着する(Fig. 3)が、Kawamura and Hirano⁸⁾の分類した中ではB型に属すると考えられ、最も強力な附着能力を持つ1種と思われる。本種のはのり製品への大量混入は、その附着力が非常に強力であり、加工工程で除去することが困難なことを示唆しており、本種の附着能力の強さが1995年のノリ養殖漁場での大発生とのはのり製品への大量混入をもたらした原因の一つと推察される。

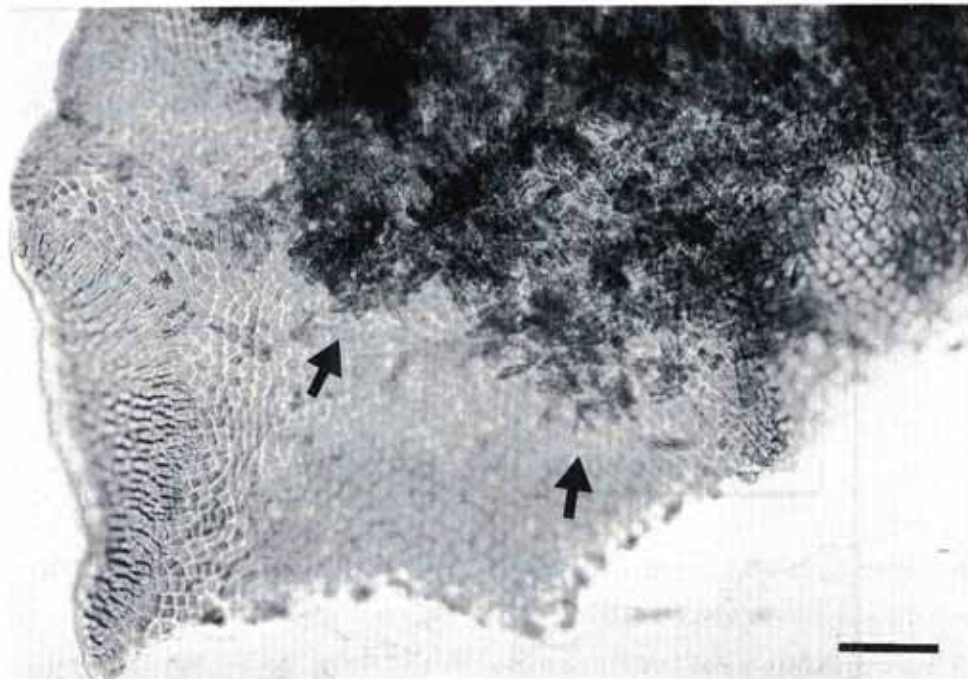


Fig. 4. Light photomicrograph by LM of numerous vegetative cells of *Tabularia affinis* mixed with Nori products. Vegetative cells of *T. affinis* are indicated by arrows. (Scale bar, 100 μ m)

付着珪藻の出現海域および出現時期の聞き取り調査

Fig. 5に、ノリ養殖業者を対照に*T. affinis*の出現に関する聞き取り調査を行った結果をまとめ、*T. affinis*の出現が見られたノリ養殖漁場について示した。*T. affinis*の出現は、家島、坊勢、姫路の一部、西浦、および東浦地区で認められたのに対して、西播、東播、明石、および神戸地区では認められなかった。

坊勢地区では、1月中旬頃から柔らかい品種で芽付きの濃い網を中心に*T. affinis*の付着が見られ始め、下旬には品種を問わず芽付きの濃い殆どの網で付着が観察された。*T. affinis*の分布範囲は速やかに広がり、2月上旬には5~6回摘採が終了した網の内の約30%で付着が確認された。家島地区では、2月中旬より出現し始め、その後は坊勢地区と同様の出現傾向を示した。3月上旬より両地区ともノリの色落ちが進行し、7~8回刈りで摘採は終了したが、最後の摘採時の色落ちしたノリにも*T. affinis*の大量付着が観察された。また、壺状菌等により

罹病した葉面に、より密に付着する傾向にあった。

西浦地区(一宮、五色、西淡町)では、*T. affinis*は秋芽網の終了後、1月下旬から2月上旬にかけて、5~6回摘採を重ねた古いノリ網に多く出現した。また、本種はごく沿岸よりの漁場に多く出現する傾向にあった。その後のノリ網の撤去張り替えによって一旦消滅した様に見えたが、3月下旬から再び、五色および西淡町の5回刈り以降の網に大量の付着が認められた。

東浦地区(淡路町、東浦町)では、*T. affinis*は西浦地区同様、秋芽網の最後に出現し、ごく沿岸よりの漁場に多く出現する傾向にあった。出現当初は、芽付の濃い柔らかい品種に多くの付着が認められたが、1995年は阪神大震災の影響でノリ網の一齐撤去を行わなかったため、*T. affinis*が古い網から新しい網へと順番に付着し、3月中旬以降にはほとんど全ての品種においても大量の付着が確認された。この時、壺状菌の寄生も見られ、罹病で弱った部分やその周囲への着生が著しかった。

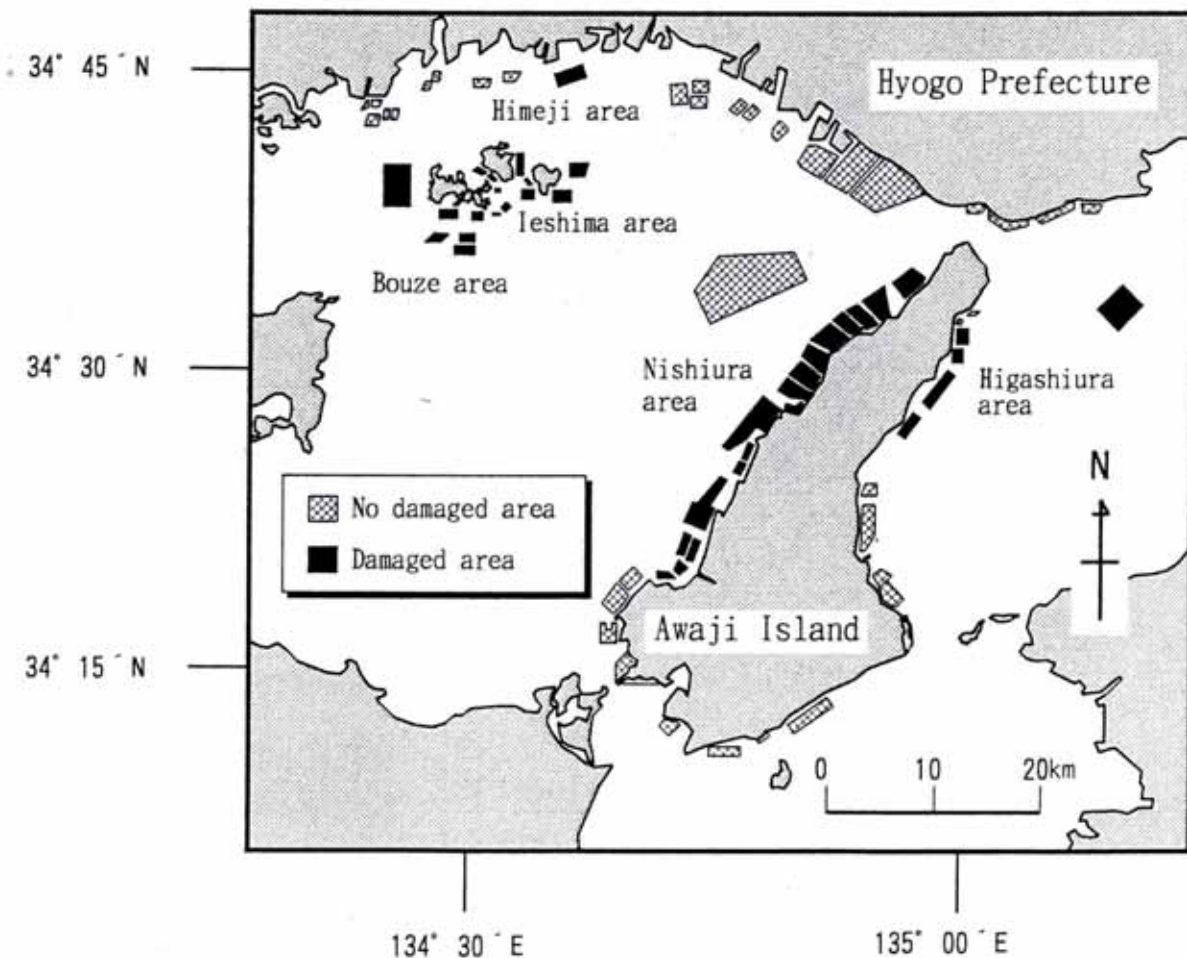


Fig. 5. Nori (*Porphyra*) culture grounds in Hyogo Prefecture during winter 1995. The area affected by the mass adhesion of *Tabularia affinis* to the nori fronds and the mixing of the cells with nori products are indicated as blackened areas.

以上の聞き取り調査の結果、*T. affinis*の発生が採苗場の相違に由来するものではなかったことから、採苗時に付着した可能性は低いと考えられる。よって、*T. affinis*の発生起源は、天然環境水中にあったと推測されたが、*T. affinis*が大発生したノリ養殖漁場の分布パターンに一定の傾向が認められなかった。一方、*T. affinis*の発生した海域において、*T. affinis*のノリ網への付着・増殖パターンにいくつかの共通点が見られた。①出現当初はまず、柔らかいノリ品種に付着する傾向にあること、②芽付の濃い網に付着しやすいこと、③しろぐされ症や壺状菌により罹病している細胞の周りに付着しやすいこと、④5～6回の摘採が終了した古い網に高密度で分布する傾向にあったことである。*T. affinis*はまず付着しやすいものから着生を始め、徐々に分布およびその密度を拡大しながら、網から網へと転移していった様子が伺える。

*T. affinis*の発生によって被った推定被害金額は、各発生地区におけるC等級および飛等級（本種の混入製品）の共販枚数と本等級（*T. affinis*が混入していない場合の等級）との単価の差（0.5～3円）から、2億円以上にのぼると算出された。

発生対策 聞き取り調査の結果から判断して、*T. affinis*のノリ網への付着がノリ芽付着数の多い網に多くなる傾向にあることから、採苗時に適正なノリ芽付着数にすることが重要である。しろぐされ症や壺状菌などによって罹病した細胞やその周辺に付着しやすいので、ノリの病害に対する管理が必要である。また、摘採回数が進んでノリ葉体が老化するほど*T. affinis*の付着密度が高くなり、他の健全なノリ網にも転移するため、本種の付着密度の高い網は速やかに撤去し、網を張り替える必要がある。

酸処理による*T. affinis*のノリ葉体からの防除効果および冷凍耐性について、それぞれ室内実験により予備的に検討した結果、pH2.0以下の酸処理液（ダブルクリーン、美桑化学）に10分以上浸漬しても*T. affinis*はノリ葉体からほとんど脱落せず死滅もしなかった。むしろ、ノリ葉体の傷みの方が早くなる可能性があり、酸処理による本種の除去効果は少ないと考えられる。本種の冷凍耐性については、約3ヶ月間-25℃にて冷凍保存した種網をノリの好適な条件下（温度15℃、光強度35 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ¹、明暗周期10hL/14hD）で培養した結果、本種の出現

・増殖が確認された。よって、本種は比較的長期間の冷凍耐性を持っていると考えられ、育苗期に付着が確認されると、冷凍後漁場に張り出した場合、増殖する可能性がある。

育苗中の施肥および酸処理時の酸処理剤へのアミノ酸等の栄養剤の添加は、その栄養を利用して*T. affinis*が増殖する可能性^{1)・10)}があるので避けた方が望ましい。

本種の発生対策について述べたが、現時点では本種の発生・増殖を予知する方法、現場でノリ葉体から本種を取り除く方法、また、加工行程中における本種ののり製品からの効率的な除去法はなく、今後、緊急を要する研究課題と考えられる。

1995年のノリ漁期の環境条件は、夏季の異常気象（高水温、高塩分）の影響が残存しており、播磨灘15地点平均の1～4月までの水温は8.8～12.2の範囲で平年より若干高め、同様に塩分は33.23～33.52の範囲で、平年より0.85～1.35高めで推移した。¹¹⁾ ノリ葉体上で観察される付着珪藻類として*Synedra*属の存在は古くから知られており^{7)・10)}、兵庫県下のノリ養殖場にも常在していると考えられる。これらの中には*Tabularia*属も含まれているものと思われる。しかしながら、これまで大発生することがなかった本種の1995年における特異的な大発生は、何らかの特殊な環境条件によって誘引された可能性が高い。また、今後も本種が大発生することは十分予想されることから、この点に関して室内培養条件下で*T. affinis*の増殖に与える水温、塩分、光、および栄養塩等の影響を詳細に調べ、生理学的な特徴を把握しておく必要がある。

謝辞

本稿をまとめるに当たり有益な御助言と御声援戴いた、当水産試験場丹下勝義資源部長ならびに兵庫のり研究所名角辰郎所長に衷心より感謝いたします。また、*T. affinis*を査定して戴いた東京学芸大学助手真山茂樹博士に深謝いたします。

要約

- 1) 1995年ノリ漁期に兵庫県下のノリ養殖漁場で付着珪藻が大発生した。付着珪藻の種類を光顕および電顕観察により検討した結果、*Tabularia affinis*と査定された。
- 2) 兵庫県下のノリ養殖業者に対して*T. affinis*の出現および被害状況に関する聞き取り調査をした結果、神戸、明石、東播、および西播地区では*T. affinis*の出現は認められなかったのに対して、家島、坊勢、姫路、西浦、および東浦地区では*T. affinis*の養殖ノリへの付着が確認された。*T. affinis*の出現期間は、家島地区では1995年2月中旬～3月上旬、坊勢地区では1月中旬～3月上旬、姫路地区では2月中旬～3月上旬、西浦地区では1月下旬～2月上旬および3月下旬～4月上旬、東浦地区では1月下旬～2月上旬および3月中旬～4月上旬であった。*T. affinis*の発生が採苗場の相違に由来するものではなかったことから、採苗時に付着した可能性は低いと考えられる。従って、*T. affinis*の発生源は天然環境水中にあると推察されたが、*T. affinis*が大発生したノリ養殖漁場の分布パターンに一定の傾向は認められなかった。
- 3) 付着珪藻が大量に混入したのり製品は、肉眼ではその部分が緑白色のハトフン状、または霜降り状を呈した。変色した部分には大量の*T. affinis*が独占的に存在しており、変色の原因が*T. affinis*の大量混入であることが判明した。このような製品はC等級、飛等級に格下げされ大きな価格低下を招いた。
- 4) *T. affinis*の発生によって被った推定被害金額は、各発生地区におけるC等級および飛等級(本種の混入製品)の共販枚数と本等級(*T. affinis*が混入していない場合の等級)との単価の差(0.5～3円)から、2億円以上にのぼると算出された。

文献

- 1) 大貝政治：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，水大校研報，34 (2, 3), 37-89 (1986).
- 2) 遠藤俊夫・八十島 昭・春日 修・野田宏行・庵谷 晃・三浦昭雄：スサビノリ葉体に付着する珪藻 *Licmophora ehrenbergii*のタンパク質分解酵素による除去，日水誌，58 (1), 113-118(1992).
- 3) 須藤俊造・斉藤雄之助・秋山和夫・梅林 脩：〔付録〕のりの病気の種類とその病徴。「のりの病気」(日本水産学会編)，水産学シリーズ，2，恒星社厚生閣，東京，1973，pp. 120-147.
- 4) 上妻智行・大貝政治：ノリ葉体に付着する珪藻の着生構造について，水産増殖，38(2), 171-176 (1990).
- 5) M. Ohgai and K. Takesue: Effect of epiphytic diatoms on the quality of nori fronds. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53(2), 173-175(1987).
- 6) P. Snoeijis: Studies in the *Tabularia fasciculata* complex, *Diatom Research*, 7(2), 313-344(1992).
- 7) 加藤 孝・河村光保：第2報 アサクサノリ附着珪藻の分布について，日本生態学会誌，6(1), 6-7 (1956).
- 8) T. Kawamura and R. Hirano: Seasonal changes in benthic diatom communities colonizing glass slides in Aburatsubo Bay, *Japan Diatom Research*, 7, 227-239(1992).
- 9) 河村知彦：海産付着珪藻の分類と生態，附着生物研究，10(2), 7-25(1994).
- 10) 加藤 孝：附着珪藻に関する研究，第1報 アサクサノリ附着珪藻の消長と水位に就いて，日本生態学会誌，5(1), 35-37(1955).
- 11) 堀 豊：1993、1994年度の播磨灘の水温、塩分について，兵庫水試研報，33, 39-50 (1996).