

緒 論

わが国におけるノリ *Porphyra* spp. 養殖は、アサクサノリ *Porphyra tenera* Kjellman, スサビノリ *P. yezoensis* Ueda の 2 種類を中心に、ナラワスサビノリ *P. yezoensis* f. *narawaensis* Miura, オオバアサクサノリ *P. tenera* var. *tamatsuensis* Miura などの紅藻類アマノリ属を用いて行われている。ノリ養殖は1954年に人工野外・室内採苗法が完成し、本格的に行われるようになった。1961年には人工採苗技術が全国に普及し、本来ノリが生育しない海域においても、養殖が可能になった。1960年代後半には冷凍網技術（育苗したノリ葉体を -20°C から -30°C の冷凍庫に入れて保存する技術）の導入、1970年代後半には多収穫性品種の開発および全自動乾燥機の導入が行われ、飛躍的に生産量が増加した。現在のわが国の生産枚数と生産額は、Table 1 に示すとおりで、年間約 100億枚、生産金額約1,000億円に達している。佐賀県有明海では、乾製品ノリの品質を向上させて生産の安定を図るために、集団管理を強力に推進し、現在では生産枚数・金額とも全国の上位を占め、品質も全国的に高い評価を得ている。

しかし、いっぽうでは、ノリ養殖の病気が多発するようになり、生産を不安定にする要因の一つとなっている。養殖ノリに被害を及ぼす主な病気のうち、細菌性疾病としては、糸状細菌付着症（片山・本田，1967；藤田・銭谷，1967，1969），緑斑病（中尾ら，1972；藤田，1973；

斉藤，1973），橙胞病（林ら，1982），穴あき症（土屋，1984）などが知られている。また、細菌性疾病の疑いのある疾病としては、疑似しろぐされ症（須藤，1973；Tsukidate,1977）が、藻菌類の寄生による疾病としては、あかぐされ病（秋山，1973；佐藤・佐々木，1973；木下・中尾，1973；藤田・銭谷，1976，1977）および壺状菌病（新崎，1960；右田，1969）が、そのほかの疾病としては、芽いたみ症（赤坂，1956），穴ぐされ病（野沢・野沢，1957），バリカン症（瀬古ら，1977）などが知られている。これらの病気の発生、発病機構および防除などについては、現在までに多数の研究が行われ、その成果はノリ養殖業の発展のために活用されている。

近年、スミノリと呼ばれている表面に光沢がなく、ほとんど商品価値のない乾製品ノリ（以下、乾製品スミノリという）が各地のノリ養殖場で生産されるようになり、ノリ養殖業に多大な被害を与えるようになった。乾製品スミノリになる原因は、ノリ葉体を加工する過程において、淡水に浸漬すると原形質が吐出するためであることが明らかにされている（片山，1981）。しかし、淡水にノリ葉体を浸漬すると原形質が吐出するノリ葉体の病気（以下、スミノリ病という）については、発生の原因に関する定説がなく、防除についての報告も少ない。

そこで、本研究では本病の病徴、発生・被害状況、養殖環境について調べるとともに、発生の原因を疫学的、細菌学的な面から明らかにして、その防除方法を確立することを目的に研究を行ったところ、新知見が得られたので報告する。

Table 1. Statistical data of dried nori production in main culturing Prefectures from 1989 to 1991

Prefectures	1989		1990		1991	
	Total* ¹ sheets	Total* ² yield	Total* ¹ sheets	Total* ² yield	Total* ¹ sheets	Total* ² yield
Saga	1,151	20,463	1,092	13,092	1,196	16,607
Fukuoka	1,346	18,104	1,276	14,502	1,508	20,306
Hyogo	1,498	15,863	1,327	14,648	1,461	15,996
Aichi	1,013	10,848	913	8,907	852	9,330
Kagawa	937	9,392	829	7,852	803	8,065
Kumamoto	1,006	8,409	848	7,320	1,000	9,701
Others	3,309	32,802	2,664	25,082	2,812	27,726
Total	10,260	115,881	8,949	91,403	9,632	107,731

*¹ million sheets.

*² million yen.

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、終始ご指導とご鞭撻を賜わるとともに御校閲をいただいた高知大学農学部教授楠田理一博士に深甚なる謝意を表します。また、御校閲をいただいた愛媛大学農学部教授 熊井清雄博士、香川大学農学部教授 一色 泰博士、高知大学農学部教授 谷口順彦博士、高知大学海洋生物教育研究センター教授 大野正夫博士に謝意を表します。高知大学農学部助教授 川合研児博士、鈴木 聡博士、元高知大学農学部助教授 Fulvio Salati 博士（現 Faculty of Veterinary Medicine, Sassari University, Italy）には細菌の同定および生化学的研究手法についてご教示いただいた。水産大学校教授 鬼頭 鈞博士からは懇切なるご助言をいただいた。佐賀大学名誉教授 野中福次博士、長崎県果樹試験場 森田 昭博士および佐賀県農業試験研究センター 松崎正文氏には農学の立場からご助言をいただいた。ここに記して厚くお礼を申し上げます。

本研究の当初から研究上のご指導と種々のご配慮さらには暖かい激励を賜った佐賀県有明水産振興センター 山下康夫所長、また、研究の機会を与えられた佐賀県有明水産試験場 木下和生前場長に厚くお礼を申し上げます。また、ノリ養殖場調査結果の使用を許され、ご助言をいただいた佐賀県有明水産振興センターの職員の方々に厚くお礼を申し上げます。とくに、現佐賀県庁水産振興課開発係長 馬場裕文氏、現佐賀県栽培漁業センター 青戸 泉氏には定期的な細菌数の測定に協力していただいた。厚くお礼を申し上げます。

本研究遂行にあたって、ご助言と暖かい励ましをいただいた京都大学農学部附属水産実験所助手 木下 泉博士、長崎県栽培漁業公社 大谷拓也氏に感謝の意を表します。

なお、本研究の一部は農林水産省地域重要新技術開発促進事業補助金で行った。記してお礼を申し上げます。

第1章 研究史

乾製品スミノリの原因となるスミノリ病の病徴および発生についての最初の記載は、片山ら（1973）によって行われた。片山（1981）は乾製品スミノリについて、「漁場では肉眼的には正常に見え、生長も普通以上であり、かつ死細胞もほとんどみられないノリを淡水に浸漬すると他の顕著な病害に起因することなく細胞が急速に吸水膨潤して細胞壁が破れ、連鎖的に原形質吐出を起すもので、これを通常の方法で製造してできた乾製品で、すみを塗ったように全くつやのない海苔」と定義した。

乾製品スミノリの発生状況については、鬼頭（1981）によって、ノリ養殖主要県に対するアンケート調査の結果が報告されている。それによると、古くは1961年に鹿児島県で発生したことが記載されており、その後は散発的に各地で発生しているが、大きな被害には至らなかったとされている。しかし、1980年度に多くの県で被害が発生したとされている。その後、木下（1981）、山下（1983）、山下・川村（1985）、川村ら（1985, 1986, 1989, 1992b）、半田（1992）、川村・山下（1993）が、有明海における発生状況について記載している。

乾製品スミノリの発生原因については、片山ら（1973）は瀬戸内海においては、冷凍網出庫後の無干出状態のノリに発生しやすいことから、冷凍保存前の干出不足に伴う耐凍性の低さが原因するのではないかとしている。鬼頭（1981）はノリ養殖主要県に対する乾製品スミノリの想定される原因についてアンケート調査を行ったところ、徒長、細胞壁脆弱、環境急変、低比重、低水温、干出不足、色落ちなどの回答が得られたとしている。木下（1981）は環境の急変による生理障害であるとしている。山下（1983）は有明海で発生する乾製品スミノリは、針状細菌と呼ばれている細菌の付着が一次的原因であるとしている。瀬古ら（1984）は細胞の徒長や傷みによる原形質透過性の低下および細胞壁の厚さ、強さが関係しているとしている。川村ら（1985, 1986, 1992b）は環境面から、育苗期（10月上旬に採苗したのち、3 cm前後まで育苗した葉体を10月下旬に冷凍網として冷凍庫に入庫するまでの期間）の低塩分および発生危険期（冷凍網を出庫してから1回目の摘採までの期間）の低塩分、低水温が原因であると推測している。さらに、川村ら（1986）は細菌の付着によるもの、藤田・楠（1986）も細菌の着生によって被害が拡大されるものとしている。鬼頭（1986）はいずれの海域の乾製品スミノリも、品種面か

ら多収穫性品種の導入による細胞壁の脆弱化などが関係しているとしている。そして、川村ら(1986), Kusuda *et al.*(1992), 川村・楠田(1993a, b)は、細菌が主因であるとして詳しい研究を行っている。このように、乾製品スミノリの発生原因については、環境の悪化、生理障害、細菌などの諸説があり、十分な検討が行われていない。

乾製品スミノリをひき起こすノリ葉体の病名としては、今までにスミノリ(片山ら, 1973; 川村ら, 1985), すみのり(木下, 1981; 片山, 1981), 細菌付着症(山下, 1983), すみのり(瀬古ら, 1984), スミノリ症(藤田・楠, 1986; Fujita, 1990; 川村ら, 1992b; 川村, 1992), スミノリ病(Kusuda *et al.*, 1992; 川村・楠田, 1993a, b; 川村・山下, 1993)が使用されている。しかし、前述のように病因が明らかになっていないため、乾製品ノリとノリ葉体における病名が交錯し、それぞれの病名が区別されていない。そこで、本論文では、乾製品スミノリの原因となるノリ葉体の病名としてスミノリ病という病名を使用することとした。

本病の防除については、片山ら(1973), 鬼頭(1981)および大中ら(1984)は健苗育成や干出による予防法を、山下(1983)は酸処理による対処療法を提案している。なお、酸処理の効果については、川村ら(1992a)の詳細な研究がある。

第2章 病徴

スミノリ病の病徴については、これまでに片山ら(1973), 鬼頭(1981), 木下(1981)および山下(1983)の研究がある。片山らは本病ノリ葉体を顕微鏡で観察すると、液胞が大きく、色素体など原形質の内容物質が少ない細胞が多いが、死滅したものは認められないにもかかわらず、淡水につけると、瞬時に吸水膨潤して、液胞が著しく拡大され色素体が細胞の一隅に移動すると同時に、細胞は破裂するとしている。鬼頭はノリ養殖主要県に対して行ったアンケート調査結果から、養殖場の肉眼観察では、弱った感じ、色調落ち、赤錆様、赤桃色、ノリ葉体の厚さが薄く光沢がない、顕微鏡観察では細胞配列は不整で、液胞肥大および細菌類の付着が認められ、ノリ葉体を淡水に浸漬したのちには原形質吐出が認められると記載している。木下は養殖場では本病を識別できなかったが、検鏡すると、細胞間隔が明瞭でなく、細胞膜が極度に薄くなっているのが観察され、淡水に浸漬すると原形質吐出がみられるとしている。山下は細菌の付着を観察し、初期ではまったく正常な色調と光沢がある

が、付着の進行にしたがって、しだいに赤味をおび、同時に光沢を失い、淡水に浸漬すると原形質の吐出が観察されるとしている。しかし、これらの研究はいずれも断片的な観察にとどまっており、現在でも本病の病徴は明らかになっていない。

そこで、本章では本病ノリ葉体の病徴を、肉眼および光学顕微鏡によって発生初期から末期まで連続的に観察した。そして、本病の程度が乾製品にどのような症状として表れるかを検討した。さらに、本病ノリ葉体およびこれを製造してできる乾製品スミノリの症状を走査型電子顕微鏡によって観察した。

第1節 肉眼観察による症状

肉眼観察による病徴の記載は、養殖場において最初に病気の種類を判断するうえで重要である。

本節では本病が発生したときに、養殖場および室内において本病ノリ葉体を肉眼で観察するとともに、本病ノリ葉体をさく葉標本および乾製品ノリにして観察した。

材料および方法

1. ノリ葉体の症状

肉眼によるノリ葉体の症状の観察は、Fig. 1に示す有明海湾奥部に位置する佐賀県ノリ養殖場で、1981~1991年度まで冷凍網を張り込んだのち、佐賀県有明水産振興センター(以下、センターという)が実施した養殖場調査において、調査船上から目視により行った。病徴の記載は、採集した本病ノリ葉体を実験室に持ち帰ったのち、ノリ葉体の表面光沢の程度によって初期、盛期、末期に分けて行った。本節では観察を行った11年間をとおして、被害が大きかった1985および1990年度における病徴を代表して記載した。

2. さく葉標本および乾製品ノリの症状

本病ノリ葉体は常法によりさく葉標本にするとともに、全自動乾燥機(古賀産業製、バーチカル)により乾製品ノリにして肉眼観察を行った。

結 果

1. ノリ葉体の症状

1) 初期

1985年度 本病ノリ葉体では、通常、若令ノリ葉体に多い表面粘質物が少なくなり、全体にひきが弱くなって

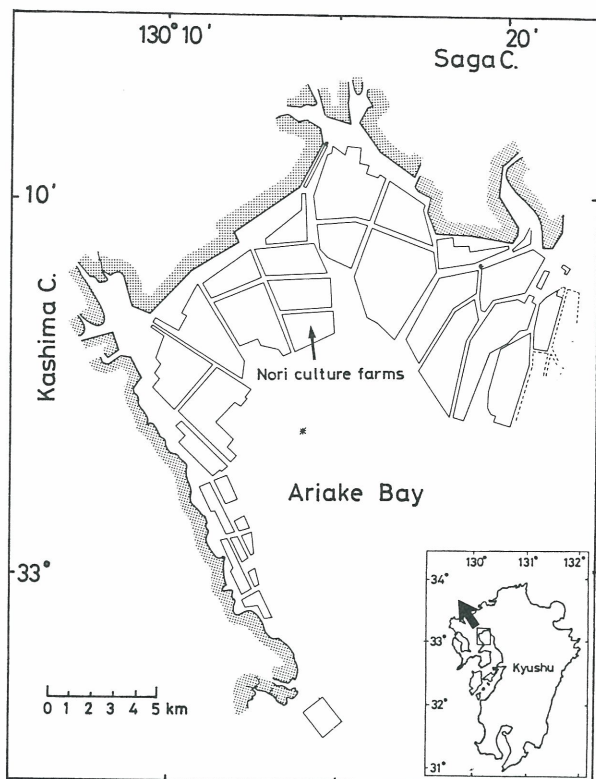


Fig. 1. Map of the inner part of Ariake Bay, showing nori culture farms at Saga Prefecture.

手でつかむとノリ葉体が網糸から摘み取れた。また、表面は光沢がなく淡い赤色を呈し、やや徒長気味であった。このような症状は養殖水位の低い網で多くみられたが、症状が進行すると水位に関係なく認められた。

1990年度 1985年において観察された症状が表れずに、正常なノリ葉体との差が認められなかった。

2) 盛期

1985年度 ノリ葉体は表面粘質物が異常に少なくなり、ひきが弱く、手でつかむと網糸から簡単に摘み採れた。この頃から、さらに、光沢がなくなり、やや赤色となり、表面には有機物などの汚れも付着し始めた。また、ノリ葉体の葉先中央部は、しわ状になった。

1990年度 1985年において観察された症状が表れずに、正常ノリ葉体との差が認められなかった。

3) 末期

1985年度 盛期のノリ葉体に比較して表面粘質物の付着量に差がなかった。しかし、ノリ葉体は盛期と同様に全体にひきが弱く、手でつかむと網糸から簡単に摘み採れた。10cm以上に伸張したノリ葉体では黄土色になり、縁辺部では生殖細胞を作ったような白い斑点を生じた。形態的にはノリ葉体の中央部にしわが入り、縁辺部は波状となった。さらに、ノリ葉体全体が退色して白色

になり、症状がひどいノリ葉体は葉先から流出した。

1990年度 1985年度の症状と同じであった。

2. さく葉標本および乾製品ノリの症状

1985および1990年度 採集したノリ葉体をさく葉標本にすると、正常ノリ葉体がベージュ色を呈するのに対し、本病ノリ葉体では灰色がかかったピンク色を呈した。これらを通常の乾燥時間と温度で製造すると、みず離れが早く起きるために、Fig. 2 に示すようにちぢんだ「別」



Fig. 2. Photograph of "Suminori" diseased dried nori. A, normal; B, "Suminori"

等級（乾製品ノリは、検査員による官能検査によって、上、黒、B、軽、〇、クモリ、別など数種の規格で、優、特、1～7等級の9段階に等級がつけられる）となり、通常の乾燥時間で高い温度で製造すると、縦われがひどい「別」等級となった。なお、この加工の過程で、すき水は赤く染まり、大量の泡が出てきた。

考 察

本病ノリ葉体の症状を肉眼観察によって調べた。その結果、初めは、通常、若令ノリ葉体に多い表面粘質物が少なくなる、全体にひきが弱くなって手でつかむと、ノリ葉体が網糸から摘み取れる、表面は光沢がなく淡い赤色を呈する、徒長気味になるなどの症状がみられ、徐々にそれぞれの症状が進行した。製造の過程では赤い汁が出て、製造された乾製品ノリは、等級格付けで最低である「別」等級となった。今までに、本病の病徴については、肉眼観察から、ノリ葉体は弱った感じ、色調落ち、赤錆様、赤桃色となり、加工中に赤い汁が出るなどが報告されている（片山ら、1973；鬼頭、1981；山下、1983）。本研究で観察された初期から盛期に至るまでの症

状は、記載上の表現による違いや症状における部分的な違いはみられるものの、ほぼ一致しており、本研究で記載した症状が本病の病徴であると考えられる。本研究では、1990年度のように最初、本病ノリ葉体と正常なノリ葉体とを区別できないものの、末期には同じような症状となった年があった。このように、本病ノリ葉体を見分けることができなかつたとする報告は過去にもみられているが(鬼頭, 1981), この原因は明らかでない。肉眼観察によって、本病ノリ葉体を区別できないと、養殖場において本病の発生を確認できないことから、製造の途中で発生に気付くことになり、防除対策が遅れて被害が大きくなるのではないかと考えられる。これを未然に防ぐには、製造の過程ですき水が赤くなるという点を利用して、養殖場においてノリ葉体を淡水に浸漬し、その色が赤くなるかどうかを観察するのがよいのではないかと考えられる。

本病の末期症状については、ノリ葉体が黄土色になって、その縁辺部では白い斑点を呈し、さらに、退色して白色となり、ノリ葉体中央部にしわが入り、縁辺部も皺状になる。これらの症状は、しろぐされ症(新崎, 1973; 富山, 1973)や疑似しろぐされ症(須藤, 1973)と呼ばれてきた病気の症状と類似していた。

第2節 光学顕微鏡観察による症状

第1節においては、肉眼によって本病ノリ葉体を観察した。その結果、年によっては病徴が異なることが明らかとなった。

本節では本病の症状を光学顕微鏡によって観察するとともに、原形質吐出がノリ葉体の傷害度にどのように影響するかを検討した。さらに、原形質吐出が乾製品ノリにどのような症状として表れるかを検討した。

材料および方法

1. ノリ葉体の症状

光学顕微鏡による観察は、第1節の肉眼観察に供した本病ノリ葉体を実験室に持ち帰って行った。光学顕微鏡観察においても、肉眼観察と同じように初期、盛期、末期に分けて記載した。ただ、年度による病徴の差はなかったため、まとめて記載することとした。光学顕微鏡観察と同時に、室温で10~15分間淡水にノリ葉体を浸漬して起こる原形質吐出の状態を観察した。吐出の程度は顕微鏡視野ないにおける全細胞数に対する原形質を吐出

した細胞数の割合(%)として示した(以下、原形質吐出率(Burst and discharge ratio of protoplasm, B. D. R. P.)という)。傷害度はノリ葉体を3,000倍に希釈したエリスロシンで3分間染色し、検鏡して全細胞数に対する染色された細胞数の割合(%)を求め、エリスロシン染色率で表示した。

2. 乾製品ノリに表れる症状

ノリ葉体の観察に使用したうちの一部のノリ葉体は、全自動乾燥機で製造し乾製品ノリとした。乾製品ノリの症状は、光沢の程度を示す鏡面反射率(尾形・北角, 1966)と等級格付けによって表した。なお、鏡面反射率は自動変角光沢計(日本電色工業製, VG=1A型, 入射角, 変光角とも60度)を用いて乾ノリ1枚あたり表裏それぞれ12か所を測定し、このうち最大値と最小値を除いた平均値で表した。等級格付けは佐賀県有明海漁業協同組合連合会の検査員による官能検査で行った。

結 果

1. ノリ葉体の症状

本病ノリ葉体の病徴は、Fig. 3~5に示すとおりである。

1) 初期

本病ノリ葉体は Fig. 3-A, B に示すように、健全なノリ葉体と比較しても細胞に異常はなかったが、針状細菌と呼ばれている細菌が、縁辺に付着していた(Fig. 3-C)。本病ノリ葉体を淡水に浸漬すると、縁辺部で液胞の肥大や原形質吐出が観察された(Fig. 3-D, E, F)。その細胞の変化は、Fig. 4の写真と模式図に示すとおりである。

すなわち、

① PP型, 原形質の解膠(PP pattern, Peptization of protoplasm)

症状は時間が経過するとともに吸水、膨潤して、細胞内で原形質が崩壊しコロイド化し、解膠した(Peptization)。時間が経つと収縮、凝固して赤褐色となった(Fig. 4-①)。

② CN型, 原形質の連続的凝固・壊死(CN pattern, Continuous coagulation and necrosis of protoplasm)

症状は茶褐色の細胞内容物(原形質)が連続的に崩壊し、隣接する細胞とつながったような形で急速に変形し、まもなく収縮、凝固して赤褐色となった(Fig. 4-②)。