

福山産養殖ノリの色落ち藻体の形態的特徴

山岸幸正*、藤井啓子、三輪泰彦

広島県最大のノリ養殖産地である福山市において、ノリの品質低下をもたらす色落ちの発生状況や特性を調べるために、2015年12月から2016年2月まで福山市内海町および鞆町で収穫された養殖スサビノリ *Pyropia yezoensis* を用いて、健全な藻体および色落ちした藻体の形態的特徴について調べた。ノリの色は、12月には色の濃い赤茶色であったが、1月末以降には色の薄い黄褐色（色落ち）へと変化し、色落ちが最も顕著だったのは1月末の鞆町のノリであった。健全なノリでは葉緑体は濃い赤茶色で直径も大きいことに対して、色落ちしたノリでは葉緑体の顕著な退色と縮小が認められた。色落ちの著しかった1月末の鞆町の海水のDIN濃度は、0.04 mg/Lと非常に低いレベルであった。この鞆町の色落ちノリを栄養塩を添加した海水培地で培養したところ、2~3日間で藻体の色や葉緑体の大きさが回復したことから、色落ちの原因は栄養塩濃度の低下であると考えられた。

キーワード：養殖ノリ、スサビノリ、色落ち、形態、福山市

食用海藻であるノリ（海苔）はアマノリ類とよばれ、紅藻綱ウシケノリ目ウシケノリ科に属し、日本では29種が報告されている¹⁾。日本のアマノリ類は *Porphyra* 属1属とされていたが、近年の分類の再検討によりポルフィラ属 *Porphyra*、アマノリ属 *Pyropia*、マクレアマノリ属 *Boreophyllum*、アカネグモノリ属 *Miuraea*、ベニタサ属 *Wildemania* に分けられた^{1, 2)}。

日本のノリの生産の大部分は養殖によるものであり、養殖ノリの99%以上はスサビノリ *Pyropia yezoensis* の1品種であるナラワスサビノリ *P. yezoensis* f. *narawaensis* が用いられている³⁾。養殖ノリの生産量は1980年代には生重量で40万t以上（乾海苔換算で100億枚以上）、生産金額は1,000億円以上に達し、その後2000年代に入ると生産量は徐々に減少して、近年では約30万t（80億枚）前後で推移しているが、ノリは依然として海面養殖全魚種の中で生産量第1位の重要な水産物である^{3, 4)}。養殖ノリの主な産地は東京湾、伊勢湾、有明海などの内湾域であり、そのうち瀬戸内海は生産量が全国の約3割に達する有数の産地であり、瀬戸内海の中では、兵庫県が最も多く67,353t（平成27年の統計）、次いで香川県（18,925t）、岡山県（7,742t）、広島県（3,478t）の順である⁴⁾。広島県では、県の生産量3,478t（平成27年）のうち福山市が3,466tとそのほとんどを占めており⁴⁾、福山市は県内でノリ養殖の最も盛んな地域である。福山市では浮き流し方式による養殖が行われ、内海町田島および走島町では主に板ノリ生産が行われ、田尻町ではバラ干しノリ加工が行われている⁵⁾。

ノリ養殖においては、ノリ藻体の色が退色する「ノリの色落ち」が有明海^{6, 7)} や瀬戸内海⁸⁻¹¹⁾ など各地の海域で頻繁に発生し、それによる海苔の生産量や生産額の低下が問題となっており、色落ちの原因究明と対

策は水産行政の喫緊の課題となっている。色落ちが発生する主な要因は海水に溶存する栄養塩の不足であるとされているが、有明海や瀬戸内海では窒素不足⁶⁻¹¹⁾、東京湾ではリン不足¹²⁾と報告され、また栄養塩濃度が低下する要因も、有明海や瀬戸内海播磨灘では珪藻赤潮の発生⁶⁻¹⁰⁾が報告される一方、同じ瀬戸内海でも2002年度の備讃瀬戸東部では秋季の少雨¹¹⁾とされるなど、色落ちを引き起こす要因は海域によって様々である。

福山市では大規模なノリの色落ち被害はないが、漁期後半(1月~3月)にはノリの色落ちが慢性的にみられるといわれる¹³⁾。川口・高辻¹³⁾は福山市の東西各地のノリ漁場において溶存態無機窒素(DIN)動態を調べ、この海域で漁期後半にノリの色落ちが生じるのは、12月以降の降水量減少による芦田川からのDIN供給量の減少と、西から東への通過流の存在により漁場が貧栄養化しやすいためであるとし、植物プランクトンによる影響は小さいと考えた。

スサビノリの色落ち時には、細胞に1個ずつ含まれる葉緑体が顕著に縮小し、液胞が増大するなどの細胞形態の変化が生じることや、クロロフィルa、フィコビルン、フィコシアニンなどの光合成色素量の減少が報告されている^{6,14,15)}が、色落ち機構についてはまだわからないことが多く残されている。

本研究では、福山市における養殖ノリの生産性および品質向上に資するための基礎研究として、本海域におけるノリの色落ちの発生状況や特性を明らかにすることを目的として、本海域で各時期に養殖されたノリを用いて、正常な状態および色落ちした状態の藻体の形態的特徴について調べた。また、予備的実験ではあるが、色落ちが生じた海域の海水に含まれるDIN等の栄養塩濃度の測定や、色落ちしたノリの栄養塩添加海水を用いた培養実験により、色落ちと栄養塩との関係について考察した。

材料と方法

材料 本研究に用いたサンプルは、広島県福山市鞆町1地点(A地点)および内海町田島2地点(B、C地点)の3地点の海上において、マルコ水産有限会社により養殖されたスサビノリ *Pyropia yezoensis* (以下ノリと呼ぶ)である。ノリサンプルは、2015年12月から2016年2月まで4回のノリの収穫日に合わせて採集し(それぞれ1番~4番ノリと呼ぶ)、比較参考のために愛媛県百貫島および高井神島の養殖ノリも1回ずつ採集を行った(表1)。各日にノリが付着している網を15cm程度の長さで切り取り、網ごとノリを現地海水とともにガラス瓶に入れ、1~数日程度冷蔵庫に保管した後、生きた状態のノリを形態観察に用いた。

表1. 本研究に用いたノリサンプルの採集地および採集日.

	A地点 鞆	B地点 田島	C地点 田島	(参考) 百貫島	(参考) 高井神島
1番ノリ	2015.12.19	2015.12.19	2015.12.22		
2番ノリ	2016.1.4	2016.1.4	2016.1.9		
3番ノリ	2016.1.26	2016.1.26	2016.1.30	2016.1.23	2016.2.1
4番ノリ	2016.2.17	2016.2.18	(サンプルなし)		

形態観察 本研究の形態観察に関わるノリの栄養細胞および生殖細胞の形態を図1に示した。

福山産養殖ノリの色落ち藻体の形態的特徴

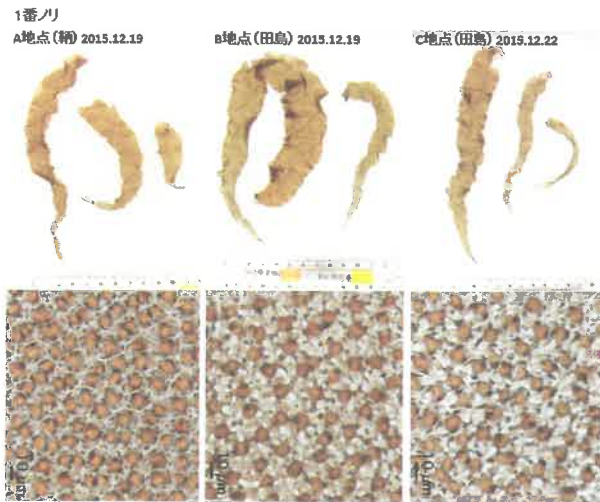


図2. 1番ノリの顕微鏡による形態比較. 左列A地点、中列B地点、右列C地点.
 上段：観察に用いた藻体. 色は黒味をおびた赤褐色.
 下段：藻体中部の表面観. 赤褐色の星形葉緑体がみられる.

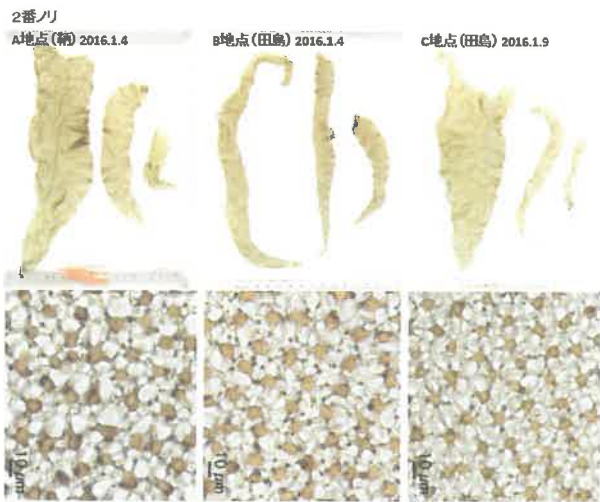


図3. 2番ノリの顕微鏡による形態比較. 左列A地点、中列B地点、右列C地点.
 上段：観察に用いた藻体. 色は1番ノリと比べるとやや薄い.
 下段：藻体中部の表面観.

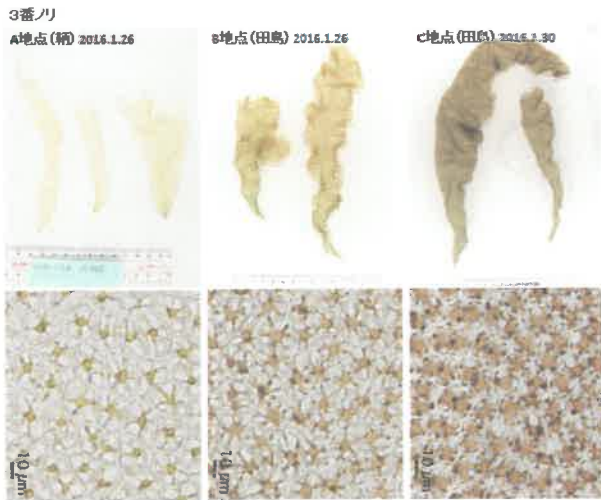


図4. 3番ノリの顕微鏡による形態比較。左列A地点、中列B地点、右列C地点。

上段：観察に用いた藻体。A地点では色落ちが顕著。

下段：藻体中部の表面観。A地点では葉緑体の退色と縮小が顕著。

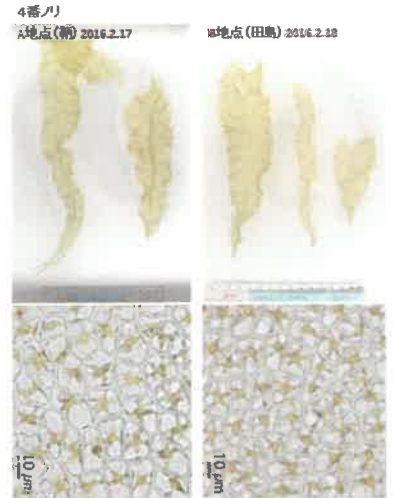


図5. 4番ノリの顕微鏡による形態比較。左列A地点、右列B地点。

上段：観察に用いた藻体。色は薄い。

下段：藻体中部の表面観。葉緑体の退色と縮小がみられる。

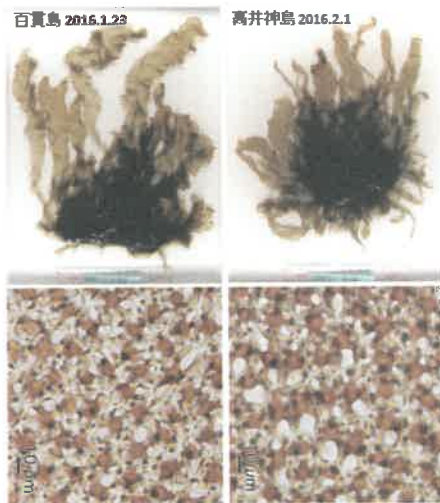


図6. 百貫島（左列）および高井神島（右列）のノリの顕微鏡による形態比較。

上段：養殖網に付着した状態の藻体。藻体の色は濃い。

下段：藻体中部の表面観。葉緑体は大きく、色も濃い。

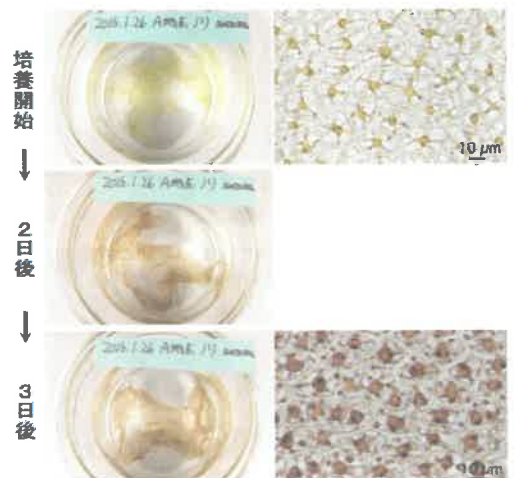


図8. 色落ちノリ（A地点3番ノリ）のESS₂栄養添加海水による培養実験。

上段：培養開始時。藻体は薄い黄褐色で、葉緑体は黄緑色で縮小している。

中段：培養2日後。藻体は赤褐色に色が回復した。

下段：培養3日後。藻体は赤褐色で、葉緑体は色や大きさが回復した。

福山産養殖ノリの色落ち藻体の形態的特徴

ノリ藻体の外部形態を記録するために、網についた生のノリの房を観察し、最大長個体および最大幅個体のサイズを測定し、デジタルカメラで撮影した。さらに顕微鏡的な形態を記録するために、長さや幅の異なるノリ藻体を3枚程度選んで網からはがし、デジタルカメラで撮影した後、各藻体の先端部および中間部の一部を切り取ってプレパラートを作成し、正立顕微鏡で生きた細胞の形態観察を行い、顕微鏡デジタルカメラで撮影した。顕微鏡観察で記録した主な項目は、細胞の長径（これを細胞直径とした）、葉緑体の色および形態、葉緑体の中央の球状部の長径（これを葉緑体直径とした。図1、葉緑体図を参照）、生殖細胞（単孢子、精子囊、果孢子囊）の有無、付着珪藻の種類や多さなどである。

ノリの健全状態の指標として葉緑体のサイズが有効かどうかを検討するため、ノリ藻体中央部の表面観で、細胞長径に対する葉緑体中央部の長径の割合（葉緑体直径/細胞直径）を求めた。計測方法は、A～C地点の1～3番ノリの藻体中間部の細胞表面観を顕微鏡デジタルカメラで撮影し、画像からランダムに選んだ40個の細胞の葉緑体直径/細胞直径を記録し、その平均値を求めた。

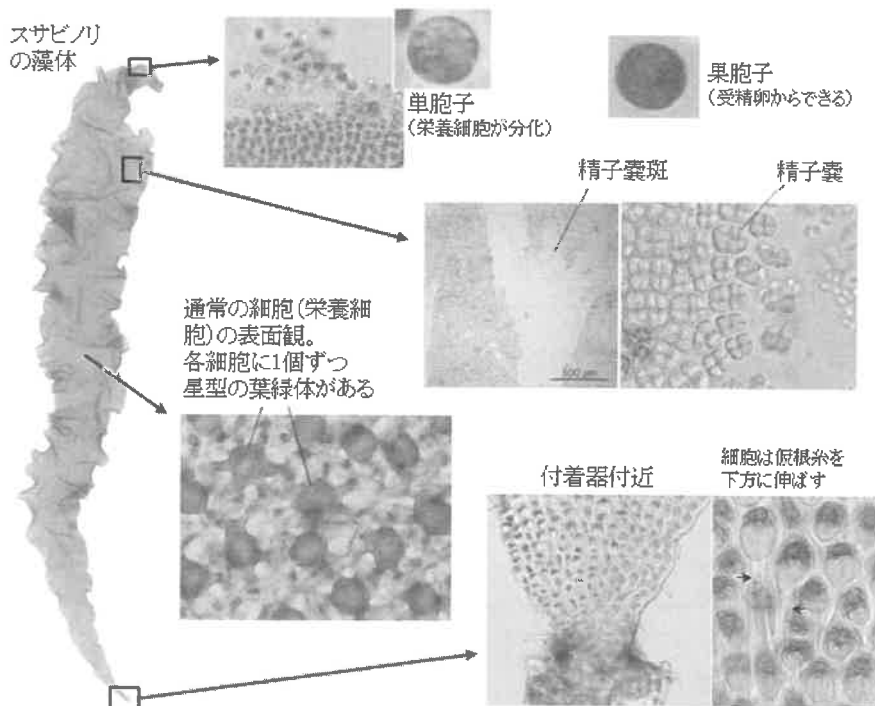


図1. スサビノリ藻体の栄養細胞および生殖細胞の形態。

ノリの保存海水の栄養塩濃度の測定 色落ちしたA地点の3番ノリ、やや色の薄いB地点の3番ノリおよび色の濃い百貫島のノリについて、ノリサンプルが入っていた瓶の中の現地海水に含まれる溶存態無機窒素 (DIN: NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N) および溶存態無機リン (DIP: PO₄-P) の濃度を、オートアナライザー SWAAT (ビーエルテック社) を用いて測定した。

色落ちノリの栄養添加海水による培養実験 色落ちしたノリが栄養添加により回復するかどうかを調べた。色落ちした A 地点 3 番ノリから長さ約 10 cm の藻体を 3 枚とり、ESS₂培地¹⁶⁾により栄養強化した滅菌人工海水を約 300 ml 入れたガラス腰高シャーレの中に入れ、20℃、明期 10 時間・暗期 14 時間の条件で培養を行い、ノリの外観および細胞の形態を観察した。ESS₂栄養強化人工海水には、窒素栄養として硝酸が 44.5 mg/L、リン栄養としてリン酸が 3.6 mg/L 含まれている。

結果および考察

ノリ藻体の色 表 2 および図 2-5 に示したように、1 番から 4 番の各時期のノリ藻体は、外観において色調の違いがみられた。観察した生ノリは基本的に黒味をおびた赤茶色を呈しており、その色が最も濃かったのは 1 番ノリであった (図 2)。次いで色が濃かったのは 2 番ノリ (図 3) および C 地点の 3 番ノリ (図 4 右) であったが、それらは 1 番ノリより少し黒味が薄かった。一方、最も色が薄かったのは A 地点の 3 番ノリ (図 4 左) であり、黒味はなく薄い黄褐色になっており、顕著な色落ち状態であった。4 番ノリも色は薄く、わずかに黒味のある黄褐色であり、色落ちの状態に近いと考えられる (図 5)。

このように収穫時期が遅くなる程ノリの色が薄くなっていることが確認された。一方、色落ちの起こった 3 番ノリの時期でも、愛媛県百貫島および高井神島のノリは色が濃かった (図 5)。

表 2. ノリサンプルの色、最大長および最大幅。

	A (鞆)	B (田島)	C (田島)	百貫島	高井神島
1番ノリ	2015.12.19	2015.12.19	2015.12.22		
藻体の色	濃い	濃い	濃い		
最大長(cm)	16	30	20.5		
最大幅(cm)	2.2	3.5	3.0		
2番ノリ	2016.1.4	2016.1.4	2016.1.9		
藻体の色	やや濃い	やや濃い	やや濃い		
最大長(cm)	30	28	27		
最大幅(cm)	5.5	2.0	8.5		
3番ノリ	2016.1.26	2016.1.26	2016.1.30	2016.1.23	2016.2.1
藻体の色	黄変(色落ち)	やや薄い	やや濃い	濃い	濃い
最大長(cm)	16	25	42	48	33.5
最大幅(cm)	8.0	5.0	6.0	4.7	6.3
4番ノリ	2016.2.17	2016.2.18	(サンプルなし)		
藻体の色	薄い	薄い			
最大長(cm)	42	20			
最大幅(cm)	7.0	5.0			

ノリの細胞の形態 ノリの細胞を顕微鏡観察した結果、時期や場所によって細胞の形態に違いがみられた。

生殖細胞は、1 番ノリで単胞子と精子嚢ができている個体がよくみられたが、2 番ノリ以降では、単胞子は観察されず、精子嚢は B 地点でまれにみられたのみで、多くの個体では生殖細胞がみられなかった (表 3)。

葉緑体の形態は、1 番ノリでは葉緑体は赤褐色で色が比較的濃く、中央の球状部も大きいという特徴がみられ (図 2)、2 番ノリおよび C 地点の 3 番ノリでは 1 番よりやや色は薄い、ほぼ同様の形態の葉緑体のみ

福山産養殖ノリの色落ち藻体の形態的特徴

られた (図3, 4)。しかし、色落ちしていた A 地点の3番ノリや4番ノリでは、葉緑体は赤味が失われて薄い黄緑色または黄茶色となり、中央部の球状部も小さくなっているという変化がみられた (図4, 5)。

細胞と葉緑体サイズの測定結果は表3にまとめた。細胞の平均直径は、1番ノリが16.5~20.8 μmで小さく、2番以降は20~30 μmの範囲であった (表3)。A地点の1番ノリでは、細胞分裂した後とみられる同じ大きさの1対の細胞が多く (図2左)、頻繁な細胞分裂のため細胞が小さくなっていると考えられる。

葉緑体の球状部の平均直径は (表3)、1番ノリは8.5~9.5 μm、2番ノリは8.9~10.4 μmであり、これらの「状態が良好」と考えられるノリでおおむね平均8.5~10.5 μmという結果であった。一方、顕著に色落ちしたA地点3番ノリでは平均直径が7.2 μmと明らかに葉緑体が小さくなっていた (図4左)。同じ3番ノリでも色落ちしていないC地点では葉緑体が8.9 μmと大きく (図4右)、やや色の薄いB地点では直径8.5 μmで少し小さく (図4中)、また、色落ちに近い状態の4番ノリでは直径が8.0~8.5 μmであり (図5)、ノリの色落ちが進行する程葉緑体直径は小さくなることが示唆された。

表3. ノリサンプルの顕微鏡的な形態.

ノリ個体を各時期1-3個体選び、個体番号をつけて顕微鏡の形態を記録した。細胞直径 (長径)、葉緑体直径 (葉緑体中央の球状部の長径)、細胞直径に対する葉緑体直径の比率は、40個の細胞の平均値として求めた。

ノリの 個体番号	藻体サイズ		細胞 直径(μm)	葉緑体			生殖細胞			附着珪藻 多さ			
	長さ(cm)	幅(cm)		直径(μm)	葉緑体直径 /細胞直径	葉緑体の色	単胞子	精子囊	果胞子				
A地点 (鞆)	1番ノリ	151219A①	16	2.2	16.5	8.5	0.53	赤茶	○	○	×	少ない	
		151219A④	14	1.9				赤茶	○	○	×	少ない	
		151219A⑤	8.5	1.9				赤茶	○	×	×	少ない	
	2番ノリ	160104A①	27	7.7	25.7	10.4	0.41	赤茶	×	×	×	少ない	
		160104A②	17	3.5				赤茶	×	×	×	やや多い	
		160104A③	9	2.3				赤茶	×	×	×	多い	
	3番ノリ	160126A①	16	2.2	25.3	7.2	0.29	薄黄緑	×	×	×	やや多い	
		160126A②	8	8.0				薄黄緑	×	×	×	やや多い	
	4番ノリ	160217A①	42	5.0	29.5	8.5	0.29	薄黄茶	×	×	×	やや多い	
B地点 (田島)	1番ノリ	151219B①	30	3.5	19.7	9.5	0.47	赤茶	○	○	×	少ない	
		151219B③	13.5	1.7				赤茶	×	×	×	やや多い	
		151219B④	8.5	1.4				赤茶	×	×	×	やや多い	
	2番ノリ	160104B①	28	2.0	23.5	9.7	0.41	赤茶	×	×	×	多い	
		160104B②	19	1.6				赤茶	×	×	×	やや多い	
		160104B③	11.5	2.3				赤茶	×	×	×	やや多い	
		160104B④	21	4.0				赤茶	×	×	×	多い	
	3番ノリ	160126B①	25	5.0	23.6	8.5	0.36	薄赤茶	×	○	×	多い	
		160126B②	13	4.0				薄赤茶	×	×	×	少ない	
	4番ノリ	160218B①	20	5.0	27.2	8.0	0.30	薄黄茶	×	○	×	やや多い	
	C地点 (田島)	1番ノリ	151222C①	20.5	3.0	20.8	9.3	0.46	赤茶	×	×	×	少ない
			151222C②	14	1.7				赤茶	×	○	×	やや多い
151222C③			9	1.1				赤茶	×	×	×	やや多い	
2番ノリ		160109C①	27	8.5	24.3	8.9	0.37	赤茶	×	×	×	少ない	
		160109C②	20	2.0				赤茶	×	×	×	少ない	
		160109C③	12	1.4				赤茶	×	×	×	やや多い	
3番ノリ		160130C①	42	6.0	20.4	8.9	0.44	赤茶	×	×	×	やや多い	

細胞に対する葉緑体直径の割合を比較する (表3) と、1番ノリは0.46~0.53、2番ノリは0.37~0.41であるのに対して、色落ちしたA地点3番ノリおよび4番ノリは0.29~0.30と著しく小さかった。やや色落ちが

みとめられる B 地点 3 番ノリは 0.36、色落ちしていない C 地点 3 番ノリは 0.44 と高く、色落ちする程数値が下がる傾向がみられた。

以上の細胞観察結果から、ノリの色落ちが進む程、葉緑体の色が濃い赤茶色から薄い黄緑色になり、さらに葉緑体が縮小する変化が明らかになった。細胞直径に対する葉緑体直径の割合は、通常のノリではおおむね 0.4 以上であるのに対して、色落ちしたノリでは 0.3 程度に減少しており、葉緑体サイズの比率はノリの状態を示す指標となり得ると考えられる。

ノリにみられた珪藻類 顕微鏡観察を行った各時期のノリ藻体上には、さまざまな珪藻類がみとめられた。珪藻類は藻体の先端部や縁辺部に多い傾向があり、珪藻類の多さはノリ個体や藻体内の部位によって違いがあったが、おおむね 1 番ノリでは珪藻類が少なく、2 番ノリではやや多く、3 番ノリおよび 4 番ノリでは多い傾向がみられた (表 3)。3 番ノリでは藻体を保存していた海水中にも多くの珪藻が含まれていた。

おもな珪藻類を図 7 に示した。なお、種類の同定は暫定的なものであり、正確な同定は今後の課題である。ノリ藻体上の珪藻類の中で最も多かったのはオウギケイソウ属 *Licmophora* であり、扇形の細胞と透明な柄が特徴的であり、柄によってノリ藻体にしっかりと固着していた。群体性のグラマトフォラ属 *Grammatophora* も多く、タラシオネマ属、フナガタケイソウに類似した種類などもみとめられた。そのほか、海水中からは浮遊性のツノケイソウ (キートケロス) 属やハシゴケイソウ (ユーカンビア) 属などがみとめられた (図 7H、I)。

これらの珪藻類のうち、オウギケイソウ属やグラマトフォラ属のように藻体上に付着するものは、直接海苔製品の品質を低下させることが考えられる。また、浮遊性のユーカンビア属は有明海や瀬戸内海で赤潮を作り栄養塩を低下させて色落ちを発生させる原因藻としてあげられており^{7,8)}、キートケロス属も 2005 年に瀬戸内海の播磨灘から備讃瀬戸に発生して色落ちを引き起こしたことが報告されている⁹⁾。福山市周辺海域でもこれら浮遊性珪藻類の増殖の動態およびそれに伴う栄養塩濃度変化について把握する必要があるだろう。

福山産養殖ノリの色落ち藻体の形態的特徴

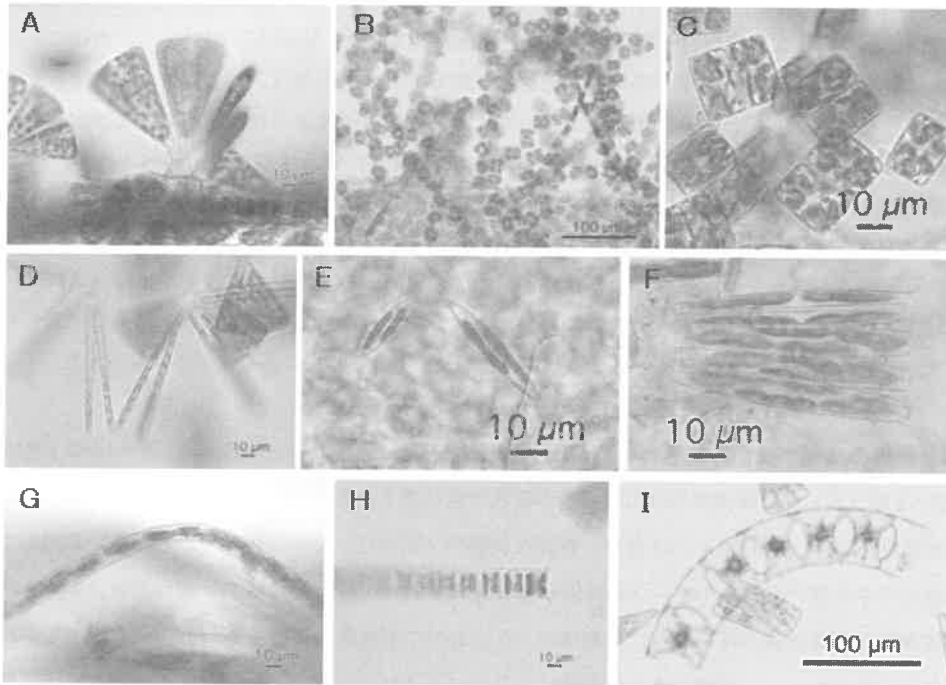


図7. ノリ藻体およびノリの保存海水中にみられた珪藻類（同定は暫定的）。

- A: オウギケイソウ属 *Licmophora* の一種. 藻体上に最もよくみられた.
- B, C: グランマトフォラ属 *Grammatophora* の一種. 藻体上によくみられた.
- D: タラシオネマ属 *Thalassionema* の一種. 藻体上にとくにみられた.
- E: フナガタケイソウ (?) の一種. 藻体上によくみられた.
- F: 羽状目珪藻の一種. 藻体上によくみられた.
- G: 群体羽状目珪藻の一種. 細長い粘質に包まれる. 藻体上にまれにみられた.
- H: ツノケイソウ (キートセロス) 属 *Chaetoceros* の一種. 保存海水中にまれにみられた.
- I: ハシゴケイソウ (ユーカンピア) 属 *Eucampia* の一種. 保存海水中にまれにみられた.

3番ノリの保存海水の栄養塩濃度 色落ちしたノリ (A 地点3番ノリ)、やや色の薄いノリ (B 地点3番ノリ) および色の濃い百貫島のノリについて、保存海水中の栄養塩濃度を測定した結果、DINはA地点では0.04 mg/L、B地点では0.11 mg/L、百貫島では0.13 mg/Lであった。また、いずれの地点もDIPはほとんど検出されなかった。日本水産資源保護協会による水産用水基準によると、「ノリ養殖に最低限必要な無機態窒素濃度は0.07~0.1 mg/L、無機態リン濃度は0.007~0.014 mg/L」とされており、A地点のDIN濃度はこの基準値を下回っており、3番ノリの時期のA地点はノリ養殖にとって窒素不足の環境になっていることが示された。今回用いた保存海水はノリとともに数日置いたものであったため、実際の養殖海域とは栄養塩濃度が変化している可能性があるが、地点による濃度差の傾向は示されていると考えられる。

福山市海域における 2007 年度 12 月～2 月の調査報告¹³⁾によると、西の漁場の方が東の漁場より DIN 濃度が高い傾向にあり、西から東に行く程ノリの色落ちが進行していた。本研究においても、西側にある田島よりも東側にある柄の方が、DIN 濃度が低く、色落ちが顕著であった結果は、この報告と一致する。東の方が DIN が低下する要因として、冬期に海水を西から東に移動させる通過流が存在することを想定し、西側の漁場のノリから DIN を吸収して、東に行く過程で次第に DIN 濃度が低下することを述べられている¹³⁾。このような海水の流れの詳細についてはさらに調査が必要であろう。

色落ちノリの栄養添加培養実験 色落ちした A 地点の 3 番ノリを ESS₂ 強化人工海水で培養した結果、2 日後には藻体の色が緑色から赤褐色になり、3 日後には退色・縮小していた葉緑体がほぼ通常に近い色・大きさに回復していた (図 8)。培養 1 日後は未観察のため詳細な経過は不明であるが、顕著に色落ちしたノリであっても栄養添加によって少なくとも 2～3 日で色落ちから回復可能であることが示唆された。

まとめと今後の展望 今回の結果から、福山市では柄、田島のノリとも、2015 年 12 月～16 年 1 月の 1 ヶ月間 (1 番～3 番ノリ) で、藻体は黒みがかかった赤褐色で色が濃く、葉緑体は濃い赤褐色で中心部の直径が大きい (葉緑体直径/細胞直径は 0.4～0.5 程度) 良好な状態のノリから、藻体の黒みや赤みが薄い黄褐色で、葉緑体は黄緑色で中心部の直径が小さい (葉緑体直径/細胞直径は 0.3 程度) 色落ち状態へと変化がみられた。栄養塩濃度測定や培養実験の結果から、本海域のノリにおいても色落ちには窒素などの栄養塩不足が影響していることが示された。この海域でのノリ漁期は 3 月までとされている¹³⁾ が、2015 年度は 1 月末に早くも色落ちが発生して生産量の減少をもたらしており、今後の安定したノリ生産のためには、栄養塩濃度の季節的変動や、変動をもたらす要因を明らかにして、対策を検討する必要があると考えられる。また、ノリの形態の状態を調べるだけでなく、味や栄養成分含量といった食品としての品質の解析法の確立も重要であろう。

謝辞

本研究は有限会社ぬまくま夢工房内福山特産品研究会の受託研究として行った。養殖ノリの材料を提供していただいたマルコ水産有限会社の皆様、実施にあたり多大なご協力をいただいたぬまくま夢工房代表取締役社長の中島基晴氏、形態観察およびデータ解析にご協力いただいた福山大学海洋生物科学科海洋植物科学研究室卒業生の佐藤龍二さん、岡野なつみさん、小坂田渚さんに厚く感謝いたします。

文献

- 1) 吉田忠生, 鈴木雅大, 吉永一男. 日本産海藻目録 (2015 年改訂版). 藻類, **63**, 129-189 (2015).
- 2) Sutherland, J. E., Lindstrom, S. C., Nelson, W. A., Brodie, J., Lynch, M. D., Hwang, M. S., Choi, H.-G., Miyata, M., Kikuchi, N., Oliveira, M. C., Farr, T., Neefus, C., Mols-Mortensen, A., Milstein, D. & Müller, K. M. A new look at an ancient order: generic revision of the Bangiales (Rhodophyta). *Journal of Phycology*, **47**, 1131-1151 (2011).
- 3) 菊池則雄. アマノリ. 渡邊信 (編) 藻類ハンドブック, 611-616. エヌ・ティー・エス, 東京 (2012).
- 4) 農林水産省. 海面漁業生産統計調査. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html

(2003-2016).

- 5) 福山市経済環境局農林水産部農林水産課. 福山市水産振興ビジョン. 福山市, 広島 (2015).
- 6) 有賀祐勝. 有明海ノリ問題に関するコメント. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **69**, 432-433 (2003).
- 7) 有明海・八代海等総合調査評価委員会. 冬季の珪藻赤潮とノリの色落ちについて. 第10回生物・水産資源・水環境問題検討作業小委員会資料 (2015).
- 8) 堀豊, 望月松寿, 島本信夫. 播磨灘北部海域におけるノリ色落ちと漁業環境の変遷. *水産海洋研究*, **72**, 107-112 (2008).
- 9) 大山憲一, 吉松定昭, 本多恵二, 安部享利, 藤沢節茂. 2005年2月に播磨灘から備讃瀬戸に至る香川県沿岸域で発生した大型珪藻 *Chaetoceros densus* のブルーム: 発生期の環境特性とノリ養殖への影響. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **74**, 660-670 (2008).
- 10) 多田邦尚, 藤原宗弘, 本城凡夫. 瀬戸内海の水質環境とノリ養殖. *Bunseki Kagaku*, **59**, 945-955 (2010).
- 11) 松岡聡, 吉松定昭, 小野哲, 一見和彦, 藤原宗弘, 本田恵二, 多田邦尚. 備讃瀬戸東部(香川県沿岸)におけるノリ色落ちと水質環境. *沿岸海洋研究*, **43**, 77-84 (2005).
- 12) 石井光廣, 長谷川健一, 松山幸彦. 東京湾のノリ生産に影響を及ぼす環境要因. 栄養塩の長期変動および最近の珪藻赤潮発生の影響. *水産海洋研究*, **72**, 22-29 (2008).
- 13) 川口修, 高辻英之. 広島県東部海域における溶存態無機窒素動態とノリの色落ちへの影響. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **76**, 849-854 (2010).
- 14) 植木知佳, 村上明男, 加藤敏朗, 嵯峨直恒, 本村泰三. 紅藻スサビノリの光合成色素と葉緑体微細構造における栄養欠乏応答. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **76**, 375-382 (2010).
- 15) 坂口研一, 落合昇, Park, C. K., 柿沼誠, 天野秀臣. 色落ちノリの色調評価と硫酸アンモニウム添加海水への浸漬による色調回復. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **69**, 399-340 (2003).
- 16) Kitade, Y., Yamazaki, S., Saga, N. A method for extraction of high molecular weight DNA from the macroalga *Porphyra yezoensis* (Rhodophyta). *Journal of Phycology*, **32**, 496-498 (1996).

Annu. Rep. Fac. Life Sci. Biotechnol., Fukuyama Univ. (16), 33-44 (2018)

Morphologies of discolored thalli of *Pyropia yezoensis* cultivated in Fukuyama, Seto Inland Sea

Yukimasa Yamagishi, Keiko Fujii, Yasuhiko Miwa

Department of Bio-Science, Faculty of Life Science and Biotechnology,
Fukuyama University, Fukuyama, Hiroshima 729-0292, Japan

In order to understand the state and characteristics of discoloration of *Pyropia yezoensis* (nori) occurred in Fukuyama, which is the greatest place for cultivation of nori in Hiroshima Prefecture, morphological characteristics of normal and discolored nori were observed using nori samples cultivated at Tashima, Utsumi and Tomo, Fukuyama from December 2015 to February 2016. In December, normal colored thalli were collected with blackish red-brown color, but after the end of January, discolored thalli with light yellowish brown color were observed. The discoloration was the most conspicuous at Tomo in the end of January. In the normal thalli, large and red-brown colored chloroplasts were observed, on the other hand, small and yellowish green colored chloroplasts were observed in the discolored thalli. DIN concentration in the sea water from Tomo at the end of January was very low (0.04 mg/L). Recovery from the discoloration was observed by the culture experiment in nutrient-enriched seawater for 2-3 days. Therefore, low level of nutrients (mainly DIN) concentration may cause discoloration of cultivated nori in this area.

Keywords: cultivated nori, *Pyropia yezoensis*, discoloration, morphology, Fukuyama