

## 2) 二枚貝の増養殖等によるノリ養殖の高品質化

### ①佐賀県地先有明海における二枚貝増養殖等によるノリ養殖の高品質化

実施機関・担当者名：

佐賀県有明水産振興センター 明田川貴子、野口浩介、三根崇幸、藤武史行

#### 【背景・目的】

有明海佐賀県海域において近年問題となっているノリの色落ちは、プランクトンの増殖による海水中の栄養塩の減少により発生している。本課題では、二枚貝をノリ養殖漁場に設置し、これらの摂餌による色落ち原因プランクトンの除去効果および排泄に伴う栄養塩供給によるノリの品質向上効果について検討する。

これに加え、二枚貝によりプランクトンを除去させながら、当県のノリ養殖管理工程で実施しているノリ網の干出中にノリに直接栄養塩を噴霧し吸収させる技術についても検討する。

#### 【方法】

##### (1) 栄養塩浸漬による育苗期ノリの色落ち軽減効果把握試験（室内試験）

###### 色落ちノリ葉体の作成

供試ノリは、ナラワスサビノリの養殖株 G9 を、長さ 8cm に切ったノリ網糸に室内採苗後、改変 SWM-III を添加した海水で 7 日間通気培養して葉長 300 $\mu$ m 程度に生長させた。その後、溶存無機態窒素 (DIN) 0.01 $\mu$ M の海水 (以下、貧栄養海水) を用いて、2 日間通気培養し、色落ちさせた。培養条件は水温 18 $^{\circ}$ C、塩分 30、光強度 90 $\mu$ mol/m<sup>2</sup>/s、光周期は明期 12 時間：暗期 12 時間とした。

###### 栄養塩浸漬処理

試験には、硝酸アンモニウムを海水に溶かした液体肥料を用い、栄養塩濃度は DIN で 24,000 $\mu$ M (高濃度区) と 3,000 $\mu$ M (低濃度区) に調整した。網糸の栄養塩浸漬処理は次のとおり行った。網糸を各栄養塩濃度の海水に 1 分間浸漬させた後、室温 21 $^{\circ}$ C、湿度 70% の恒温高湿器内で水分計 (オガ電子 MDRX-1) を用いて水分含量が 30% となるまで乾燥させた。乾燥後、網糸に付着した栄養塩を除去するため、網糸を 2L の貧栄養海水で 60 分間通気培養した。また、対照として、液体肥料の代わりに貧栄養海水で同様な処理を行った区を設定した。

###### 色落ち軽減効果把握試験

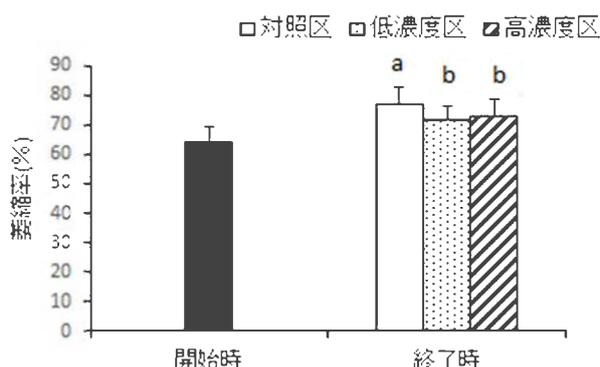
色落ち葉体が付着した網糸 4 本を 1.2L の貧栄養海水が入った培養容器に入れ、上述の培養条件で通気培養した。網糸 4 本のうち 3 本には、1 日 1 回の頻度で、網糸を各栄養塩浸漬処理後に培養容器に戻す作業を 5 日間連続で行った。残りの 1 本は、栄養塩浸漬処理を行う際の水分含量測定用に使用した。培養開始時と培養 6 日目に網糸を採取し、葉体の葉長、葉長葉幅比、および色落ち度を測定した。葉長および葉長葉幅比は、網糸に付着している葉体のうち細胞の縦分裂が 4 列以上となった 20 個体を対象として、蛍光顕微鏡を用いて測定した。色落ち度は、ノリ葉体の 1 細胞中に占める原形質の面積割合 (萎縮率、%) を指標とし、次のとおり行った。各網糸から葉体を外し、細胞の縦分裂が 4 列以上となった 5 個体を測定に用いた。各個体毎に 10 細胞

の顕微鏡写真を撮った後、画像処理ソフト ImageJ を用いて萎縮率を計測し色落ち度を算出した。

### 【結果および考察】

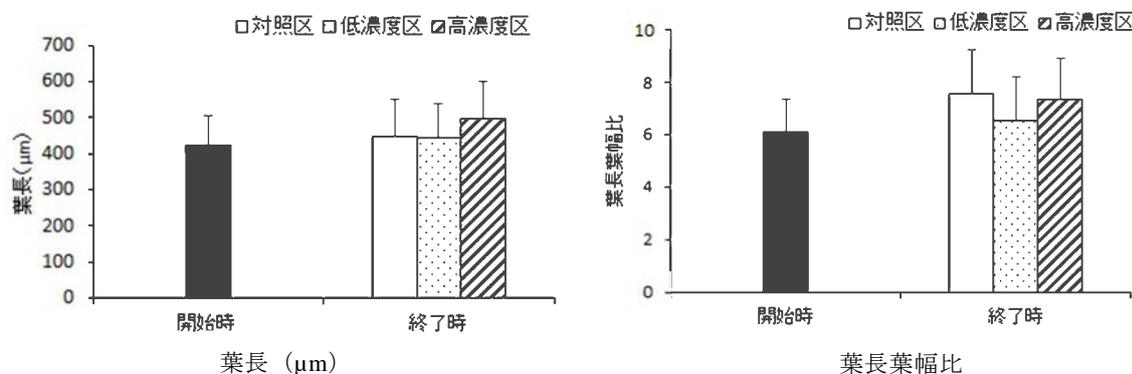
色落ち度の変化を図 2-2-1 に示す。萎縮率は、培養開始時に平均 65%であったものが、終了時には、対照区、高濃度区および低濃度区でそれぞれ 76.9%、72.7%および 71.4%と上昇した。終了時の対照区とそれぞれの試験区では、対照区の方が萎縮率が有意に高く、高濃度区と低濃度区では差が認められなかった ( $p < 0.05$ , Tukey-Kramer)。ノリの生長の変化を図 2-2-2 に示す。開始時の葉長が平均 422 $\mu\text{m}$ であったものが、終了時には、対照区、高濃度区および低濃度区で 449 $\mu\text{m}$ 、499 $\mu\text{m}$  および 445 $\mu\text{m}$  となり、高濃度区が最も長い傾向にあった。葉長葉幅比は、開始時が 6.1 であったものが、終了時には、対照区、高濃度区および低濃度区で、7.6、7.3 および 6.5 となり、低濃度区が低い傾向が認められた。

これらのことから、栄養塩浸漬処理を 5 日間行くと、行わない場合よりもノリの色落ち度が軽減されることが考えられた。また今回使用した液体肥料の濃度が DIN3,000 $\mu\text{M}$  ~ 24,000 $\mu\text{M}$  の範囲であれば、色落ち軽減効果に差はないことが考えられた。



※異符号間では有意差あり、エラーバーは標準偏差を示す(n=50)

図 2-2-1. 色落ち度の変



※エラーバーは標準偏差を示す(n=20)

図 2-2-2. 葉長と葉長/葉幅比の変化

#### 【4カ年のまとめ】

二枚貝によるノリの色落ち対策について検討し、マガキから排出される栄養塩で、ノリの色落ちを軽減するためには、1小間あたり206tのマガキを設置しなければならないことが明らかになった。そのためノリ養殖漁場において、マガキとの複合養殖のみでは色落ち軽減効果を図ることは困難と判断し、新たなノリへの栄養塩供給方法を検討した。栄養塩の供給により、プランクトンの増殖につながらず、ノリの色落ち軽減効果が見込めて、佐賀県で行われている支柱式養殖で実施が可能な方法を探し、干出中のノリ網に直接栄養塩を噴霧する方法を検討することとした。室内試験では、ノリ葉体に栄養塩添加海水を浸漬させた後、1時間乾燥させる作業を3日間以上連続で行うと、色落ちが軽減されることが確認された。しかしながら、乾燥時間の違いによる色落ちや生長の差については更なる追究が必要である。野外試験ではノリとマガキとの複合養殖と、栄養塩をノリ網に直接噴霧することにより、色落ちが軽減し、ノリの生長が促進されることがわかった。プランクトンが増殖し、漁場の栄養塩が減少している中で、カキの設置および干出中のノリ網への栄養塩添加は、海況が好転するまでノリの生産を継続させる1つの方法となることが示唆された。ただし、現状の栄養塩噴霧方法だと、ノリ養殖漁場のすべての小間を処理するのに時間がかかるため、噴霧法の改善が必要である。

近年、色落ち被害がノリの成育段階の初期に発生することから、1mmより小さい育苗期のノリについても、栄養塩を浸漬させる室内試験を行った。この結果、栄養塩浸漬を5日間行くと、行わない場合よりもノリの色落ち度が軽減されることが判明した。ノリ育苗期の場合、ノリ網を数十枚重ねて養殖している期間であるため、漁場の全てに栄養塩を噴霧するのに比較的時間がかからず行うことができ、実施可能な方法である。今後、現場で活用するには、栄養塩を添加した後のノリの生長や、野外の気象条件における乾燥時間とそれに伴うノリの生長への影響等について検討する必要があると考える。

#### 【参考文献】

- ・なし

#### 【成果の公表】

- ・なし



## 2) 二枚貝の増養殖等によるノリ養殖の高品質化

### ②熊本県地先八代海における二枚貝の増養殖等によるノリ養殖の高品質化

実施機関・担当者名：

熊本県水産研究センター 徳留剛彦、安藤典幸

#### 【背景・目的】

熊本県地先八代海のノリ養殖漁場では、早期の色落ちが頻繁に発生し、ノリ養殖業の経営のみならず、地域経済に深刻な打撃を与えている。ノリの色落ち主因は栄養塩不足であり、ノリと栄養塩を競合する珪藻赤潮の発生に起因している。

本課題では、これら珪藻を餌料として利用する二枚貝養殖が、ノリの色調と漁場の珪藻類の発生に与える効果を明らかにすることを目的とする。

本年度は、葉体サイズの違いによって、二枚貝併用養殖がノリ葉体に与える影響の違いを把握することを目的に室内試験を行った。

#### 【方法】

##### (1) 試験環境

18℃に設定した恒温庫内で試験を行った。秋芽期の条件を考慮して環境条件を設定し、日長 11 時間明期 13 時間暗期、3 波長昼光色蛍光灯で照度 4,600lux 程度、培養海水は、ろ過滅菌した海水を塩分濃度 30 に調整して使用した。培養には 2L イルリガートルを使用し、底面から通気した(図 2-2-3)。



図 2-2-3. 培養水槽

##### (2) 設定試験区

試験には、以下の 4 つの区を設定し、3 回繰り返し培養を行った。

試験区①：人工珪藻赤潮海水＋色落ち育苗期ノリ＋マガキ 1 個体

対照区①：人工珪藻赤潮海水＋色落ち育苗期ノリ

試験区②：人工珪藻赤潮海水＋色落ち成葉ノリ＋マガキ 1 個体

対照区②：人工珪藻赤潮海水＋色落ち成葉ノリ

##### (3) 材料

培養海水は、人工珪藻赤潮海水を調整し、使用した。培養海水の調整は、1 億 cell/ml の市販の濃縮珪藻（キートセロス・グラシリス：ヤンマーマリンファーム製）を 10 万 cell/ml 程度にろ過滅菌海水で調整したものを使用し、すべての試験区の海水は、毎日全換水を行った。

使用した葉体は、室内採苗しフラスコ内で培養した網糸から外した葉体 30 枚を使用し、葉体サイズは育苗期：50mm±10mm、成葉：100～150mm を使用した。葉体の色調は、色彩色差計（ミノルタ製 CM-26d）で測定し、黒み度（表 2-2-1）を「重度色落ち」もしくは「生産不能」レベルまで調整した。

試験区で使用したマガキは、殻高 50mm 程度のものを使用した。

表 2-2-1. 黒み度による色落ちの評価

黒み度	45以上	45未満 ~35	35未満 ~30	30未満 ~25	25未満
評価	正常	軽度	中度	重度	生産不能

(4) 測定項目

色調：0日目と7日目に色彩色差計でそれぞれの試験区の葉体30枚の黒み度を測定した。7日目の葉体の黒み度を比較し、マガキの濾水によるノリ葉体色調改善効果を把握するとともに、育苗期ノリと成葉ノリの黒み度が開始時からの改善度を算出・比較した。

栄養塩：試験開始時の0日目、2日目、4日目、試験終了時の7日目に人工珪藻赤潮海水（培養海水）の栄養塩濃度を測定した。

マガキ：試験終了後、使用したマガキの湿肉重量を測定し、赤繁ら（2005）の方法を参考に濾水量を推定して、1日で試験水槽内の全ての海水をろ過していたかを確認した。

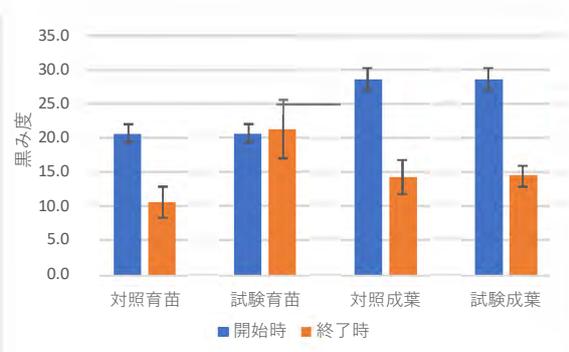
【結果および考察】

(1) 色調

3回試験を行ったうち、1回及び3回目は著しい色落ちで葉体が枯死に近い状態となり色調の測定が困難となった。色調測定可能であった2回目の結果を図2-2-4及び表2-2-2に示す。

育苗期サイズ葉体のマガキを併用した試験区では、開始時に20.6であった黒み度が21.2と生産不能レベルではあるが、数値を維持していたのに対し、マガキを入れない対照区では黒み度が10.6と低下し、試験区と対照区の黒み度には有意差があった（Mann-Whitney U test、 $p<0.05$ ）。成葉サイズでは、試験区、対照区ともに試験開始時から黒み度が半分程度に低下しており、終了時の試験区、対照区の黒み度に有意差はなく、葉体が小さい方が、マガキ併用がノリの色調に与える影響が大きいと考えられたが、色調を悪化させない程度の効果であった（図2-2-5）。

表 2-2-2. 試験開始時と終了時の黒み度とその変化率



	開始時	終了時	黒み度 変化率
対照育苗	20.6	10.6	51.5%
試験育苗	20.6	21.2	103.2%
対照成葉	28.6	14.3	50.0%
試験成葉	28.6	14.4	50.5%

図 2-2-4. 試験終了後の葉体黒み度の変化

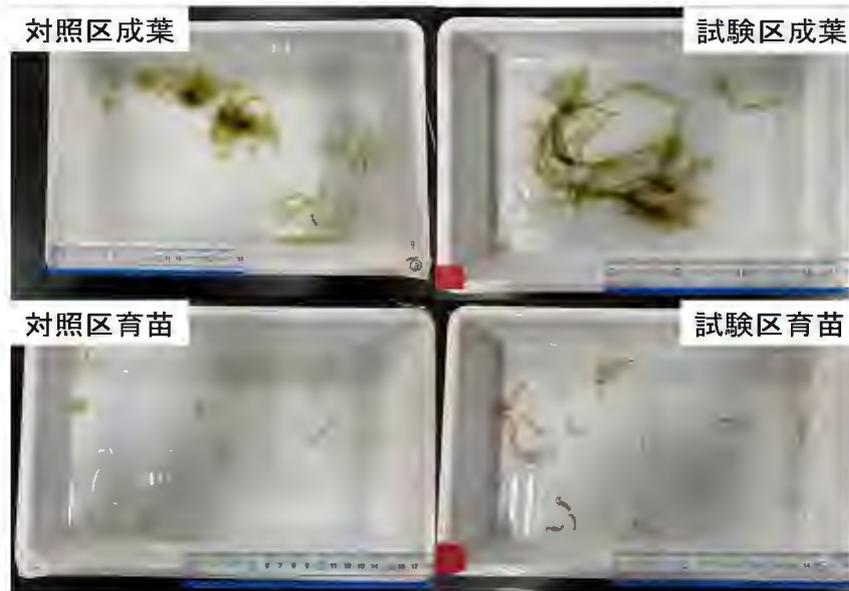


図 2-2-5. 試験終了後の葉体様子

(2) 栄養塩

試験時の溶存無機窒素 (DIN)、アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4^+$ ) 及び溶存無機リン (DIP) の推移を図 2-2-6 に示す。1 回目及び 2 回目では 2 日目に育苗期試験区に数値の上昇が見られたが、4 日目、7 日目及び 3 回目では低い状態が続き、明確な傾向は見られなかった。また、数値が上昇した時は水槽内にマガキ排泄物が多く、分析海水をろ過したろ紙上にマガキ排泄物が確認されたことから、数値の上昇はマガキ排泄物由来だと考えられた。

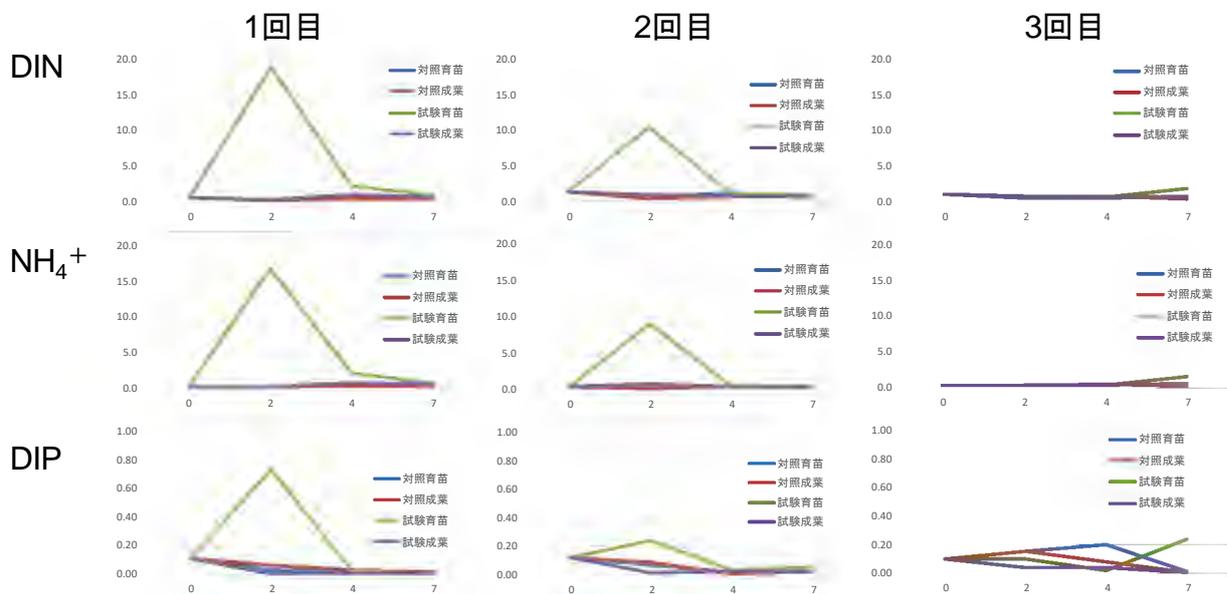


図 2-2-6. DIN、 $\text{NH}_4^+$ 、DIP の推移

(3) マガキ

試験に使用したマガキの測定結果を表 2-2-3 に示す。使用したマガキの 24 時間推定濾水量は 87.5~137.2L であり、容量 2L のイルリガートル内の海水をすべて濾水していたと考えられた。

表 2-2-3. 試験に使用したマガキ測定結果と推定濾水量

		殻長(mm)	殻高(mm)	殻幅(mm)	軟体部重量(g)	24時間濾水量
1回目	育苗期	36.9	60.5	16.6	3.8	137.2
	成葉	33.7	61.6	19.4	3.6	131.2
2回目	育苗期	29.0	55.9	17.5	3.4	123.4
	成葉	35.5	48.9	17.3	2.4	87.5
3回目	育苗期	32.8	57.9	15.1	3.1	110.9
	成葉	35.7	55.5	19.0	3.0	106.6

#### 【4カ年のまとめ】

##### (1) マガキ養殖筏におけるクロロフィル a の収支

熊本県八代市地先（図 2-2-7）の鏡町漁業協同組合所属の漁業者が行っている垂下式のマガキ養殖筏（20m×10m）にて、表 2-2-4 のとおり 2018 年度～2020 年度までのノリ養殖を実施する 11 月～2 月に、マガキ養殖筏内でのクロロフィル a の収支を検討した。

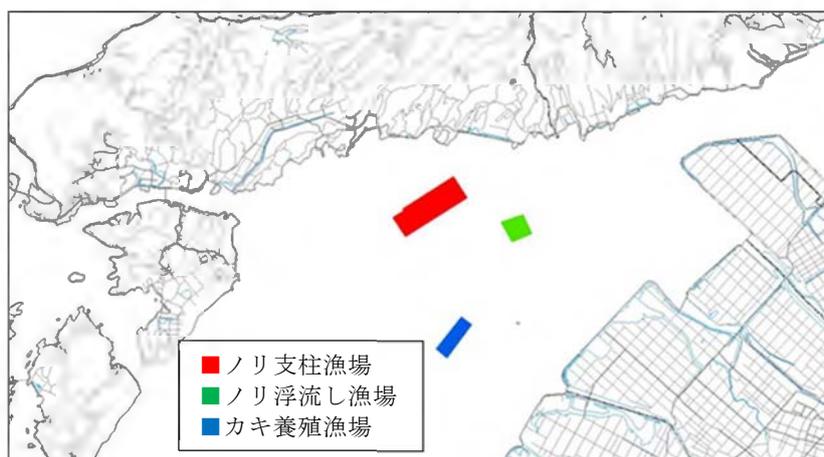


図 2-2-7. マガキ養殖筏及び養殖ノリ漁場の位置

表 2-2-4. マガキ養殖筏内でのクロロフィル a 収支検討結果

期間	クロロフィルaの収支 d(CV)/dt(mg/h) =(Fluxin*A-Fluxout*A)+R	マガキ養殖以外による変化			マガキ養殖による取込			養殖個数	湿肉重量 (g)	平均水温 (°C)
		Fluxin*A(mg/h)-Fluxout*A(mg/h)			R (mg/h)	収支への 寄与率	1個あたり取込量 (mg/h/個)			
		合成	長辺方向	短辺方向						
R2 11/12～11/25	33,457	32,899.7	10,292.9	22,606.8	<b>556.8</b>	<b>1.7%</b>	<b>0.059</b>	9,360	16.4	18.9
H30 12/7～12/21	23,178	22,490.9	24,065.1	-1,574.2	<b>687.4</b>	<b>3.0%</b>	<b>0.029</b>	24,000	16.1	13.7
R1 12/21～1/4	15,997	15,445.0	7,262.2	8,182.7	<b>551.6</b>	<b>3.4%</b>	<b>0.032</b>	17,000	22.4	12.9
R1 1/21～1/28	11,046	10,725.5	6,744.1	3,981.4	<b>320.1</b>	<b>2.9%</b>	<b>0.023</b>	14,000	20.3	12.5
H30 1/30～2/13	45,281	45,001.7	24,078.1	20,923.6	<b>279.1</b>	<b>0.6%</b>	<b>0.023</b>	12,000	20.9	11.3

マガキは、マガキ養殖筏内のクロロフィル a 収支に対して 0.6～3.4%の削減に寄与していたと試算された。マガキ濾水量は水温とマガキ軟体部重量に依存するが、軟体部重量が軽い養殖初期であっても、水温が高い 11 月が最もマガキ 1 個体あたりのクロロフィル a 削減量が多いことがわかった。

(2) マガキ養殖の併用がノリの色調に与える効果の評価

図 2-2-7 のカキ養殖漁場にて色落ちしたノリと正常の色調のノリを試験養殖し、三角町漁協ノリ支柱漁場、浮き流し漁場のノリを対照とし、その色調に与えるマガキ養殖の効果の調査を行った。

表 2-2-5. マガキ養殖筏内の試験養殖と対照区の色調の調査結果

H30		1回目				2回目			
	試験網	開始1/23		終了1/29		開始1/29		終了2/4	
		色落ち評価	DIN	色落ち評価	DIN	色落ち評価	DIN	色落ち評価	DIN
		試験区	正常 中度色落ち 生産不能	正常 中度 生産不能	1.6	軽度 軽度 軽度	1.0	正常 中度 生産不能	1.0
対照区	支柱	生産不能	0.7	生産不能	0.7	生産不能	0.7	重度	1.1

R1		1回目				2回目			
	試験網	開始1/9		終了1/17		開始1/17		終了1/24	
		色落ち評価	DIN	色落ち評価	DIN	色落ち評価	DIN	色落ち評価	DIN
		試験区	正常 重度色落ち	正常 重度	18.3	正常 正常	11.3	正常 重度	11.3
対照区	三角支柱 三角ベタ	正常 軽度	20.1 18.4	正常 正常	14.5 13.2	正常 正常	14.5 13.2	軽度 正常	13.2 13.6

R2		1回目				2回目			
	試験網	開始12/10		終了12/22		開始1/5		終了1/15	
		色落ち評価	DIN	色落ち評価	DIN	色落ち評価	DIN	色落ち評価	DIN
		試験区	正常 軽度色落ち 中度色落ち	正常 軽度 中度	14.8	正常 正常 正常	16.9	正常 軽度 重度	8.0
対照区	三角ベタ	正常	ND	正常	17.8	正常	11.1	正常	9.3

2018年度～2020年度に調査を行った結果を表 2-2-5 に示す。2019、2020年度は色調の回復、維持が確認されたものの、海域の栄養塩環境が良かったことから、マガキ併用による効果か不明だった。一方、2018年度は、色調が生産不能や中度色落ちレベルのものが回復したが、正常のものが軽度色落ちとなる結果となり、マガキ併用養殖は色落ちを悪化させない効果が示唆された。また、室内試験ではノリ葉体が小さい方が、よりマガキがノリ葉体色調に与える効果が大きいことが分かった。

これらのことより、葉体が小さく水温が高い育苗期に二枚貝併用養殖を行うことで、色落ちを軽減させる効果が高まる可能性が推測された。

【参考文献】

二枚貝併用ノリ養殖技術開発共同研究機関(2019) 平成 30 年度 環境変化に適応したノリ養殖技術の開発「有明海・八代海における二枚貝の増養殖等によるノリ養殖の高品質化」報告書

赤繁悟 (2005) 養殖マガキの酸素消費量および濾過水量の季節変化, 日本水産学会誌 71 (5) 762-767

【成果の公表】

なし



## 2) 二枚貝の増養殖等によるノリ養殖の高品質化

### ③低栄養条件に適応したノリ養殖品種の開発と実証

実施機関・担当者名：

三重県水産研究所 鈴鹿水産研究室 岩出将英、館洋、羽生和弘、奥村康太  
北川強司、倉田恵吉

#### 【背景・目的】

ノリ養殖の安定生産を阻害する要因として、秋季における海水温の上昇及び漁期中の色落ち被害の発生が挙げられる。高水温化への対策としては、国や県の試験研究機関において高水温耐性品種の作出が実施されている。一方、色落ち被害軽減のための主な対策としては、試験的な施肥やダムの一時的放流等が実施されているものの、品種作出（低栄養耐性品種の開発）という観点での対策は、ほとんど行われていない。

本課題では、低栄養環境でも色落ちが遅いノリ品種の実用化を進めるための室内培養試験や養殖試験を試みる。

#### 【方法】

水産研究・教育機構が保有しているフタマタスサビノリ及び令和2年度に三重県がフタマタスサビノリから選抜した株（以下、FU-A）について、低栄養条件下における特性評価試験（室内培養試験、養殖試験）を実施した。

##### （1）低栄養条件下における特性評価試験（室内培養試験）

供試品種（フタマタスサビノリ、FU-A、基準品種 U-51）ごとに殻胞子をビニロン単糸に採苗した。培養初期には 300mL 枝付培養フラスコを用い、葉長が 1 cm 程度まで生長した段階で葉状体をビニロン単糸から剥離し、500mL の枝付培養フラスコで培養を行った。培養には、栄養強化した蒸留水ベースの人工海水（M-ESAW 培地）を用いた。培養条件は、水温 18°C、光周期は明期 11 時間：暗期 13 時間、光強度は 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  とした。換水は、十分な葉幅（概ね 5 mm）が得られる 25 日程度まで、7 日間に 1 回の頻度で行い、評価試験開始の 3 日前からは毎日行った。品種ごとに色調、形状や生長が上位の葉状体を選出し、直径 5 mm の医療用の生検トレパンを用いて葉状体 1 枚につき 1 枚のノリ葉状体ディスク（以下、ディスク）を打ち抜いた。顕微鏡観察によって死細胞や成熟誘導している細胞の無い 5 枚のディスクを選定し、評価試験に供試した。

評価試験は、品種別に選定した 5 枚のディスクを 300mL 枝付培養フラスコに入れ、低栄養条件（M-ESAW 培地から硝酸ナトリウムを除いた培地）で 3 日間培養して行った（3 反復/品種）。品種ごとにディスクの色調を色彩色差計（NIPPON DENSHOKU NR-11）を用いて評価試験開始時（0 日目）から終了時（3 日目）まで毎日測定した。色調は、測定した L\*値、a\*値、b\*値から規定の計算式「 $100 - \sqrt{(L^*^2 + a^*^2 + b^*^2)}$ 」により「黒み度」を算出して求めた。各品種の低栄養耐性は、評価試験終了時の黒み度で評価し、供試品種間で Tukey-Kramer 法による有意差検定を行った。

## (2) 浮き流し漁場における養殖特性調査（養殖試験）

鈴鹿市地先（以下、鈴鹿漁場）の浮き流し漁場においてフタマタスサビノリと FU-A の養殖試験を行った（図 2-2-8）。対照品種は、基準品種 U-51 とした。

フタマタスサビノリ、FU-A および U-51 の糸状体を令和 3 年 5 月にカキ殻に散布して常法により培養した。各品種のカキ殻糸状体を用いて 10 月 4 日から 6 日にかけて供試品種につき 8 枚の養殖網に陸上採苗を行い、養殖網は試験開始まで $-20^{\circ}\text{C}$ で冷凍保存した。冷凍保存前に供試品種ごとの網糸片側 2.2 mm あたりの芽付数を計測した。

供試品種の養殖網を、10 月 24 日から 11 月 20 日にかけて、支柱方式により育苗を行った。育苗後の養殖網は、 $-20^{\circ}\text{C}$ で一時的に冷凍保存し、11 月 23 日から漁場に張り込み、養殖試験を開始した。12 月 2 日から 1 月 25 日の間にサンプリングを合計 8 回行った。

養殖試験中の海況データ（水温、DIN 濃度、クロロフィル *a* 濃度）は、三重県水産研究所が実施した黒のり漁場栄養塩調査の結果を用いた。DIN は、オートアナライザー（BL-Tec 社製、SWAAT 28）により、クロロフィル *a* 濃度は蛍光光度計（SHIMADZU 社製、UVmini-1240）により測定した。

供試品種の活性処理および摘採は、同日に行うこととし、試験漁場でのサンプリングは、基本的に摘採の数日前から直前に実施することにした。サンプリング時に供試品種の網糸を数本採取して研究所に持ち帰り、任意の葉状体から 20 枚程度の葉長および黒み度を測定し、供試品種間で Tukey-Kramer 法による有意差検定を行った。

養殖試験中に FU-A の養殖網から顕著に黒み度の高い葉状体を選抜し、フリー糸状体として保存した。



図 2-2-8. 養殖試験漁場の位置

### 【結果および考察】

#### (1) 低栄養条件下における特性評価試験（室内培養試験）

評価試験での供試品種ごとの黒み度および  $L^*$  値の変化を図 2-2-9 に示した。

評価試験開始時の黒み度（平均値 $\pm$ 標準偏差）は、フタマタスサビノリ（ $37.6 \pm 0.84$ ）が一番高く、続いて FU-A（ $36.7 \pm 0.44$ ）、U-51（ $36.4 \pm 0.78$ ）の順であった。評価試験後の黒

み度も同様に、フタマスサビノリ ( $23.4 \pm 1.87$ ) が一番高く、続いてFU-A ( $21.1 \pm 1.19$ )、U-51 ( $18.7 \pm 1.35$ ) の順となり、フタマスサビノリとFU-AはU-51に比べて有意に高かった ( $p < 0.01$ )。試験期間中の黒み度の減少率は、フタマスサビノリ (40.4%) が一番低く、続いてFU-A (42.5%)、U-51 (48.6%) であった。

評価試験終了時のL\*値 (平均値 $\pm$ 標準偏差) は、フタマスサビノリが一番低く ( $73.6 \pm 2.38$ )、続いてFU-A ( $75.0 \pm 1.67$ )、U-51 ( $78.7 \pm 1.50$ ) の順に高くなり、フタマスサビノリとFU-AはU-51に比べて有意に低かった ( $p < 0.01$ )。これらの結果から、フタマスサビノリおよびFU-AにはU-51に比べて、一定の低栄養耐性 (色調保持能力) あると考えられた。

令和2年度に同様の方法で実施した評価試験の結果を図2-2-10に示した。令和2年度では、フタマスサビノリから得られた直径5mmの葉状体ディスク (以下、ディスク) 72枚を用いた低栄養条件での選抜試験によって、低栄養耐性が認められたディスク (FU-A) を選抜した。ディスク (FU-A) をそのまま生長させ、そこから得られた原孢子由来の葉状体を用いて評価試験を実施したところ、評価試験期間中の黒み度の減少率は、フタマスサビノリ (38.0%) とFU-A (28.0%) に比べてU-51 (46.7%) が高く、今回の評価試験と同じ傾向が見られた。しかし、令和2年度の評価試験終了時の黒み度は、原孢子由来のFU-Aが一番高かったのに対し、今回の評価試験で用いた殻孢子由来のFU-Aはフタマスサビノリより低いという結果になった。

令和元年度、2年度に実施した評価試験において、生育環境が低栄養条件にシフトした初期段階での特性として、黒み度の減少がU-51ではほぼ直線的であったのに対して、フタマスサビノリ、FU-Aでは2日目から3日目にかけて緩やかになる傾向が確認されたが (図2-2-10)、今回の評価試験ではフタマスサビノリのみ2日目から3日目にかけて黒み度の低下がやや緩やかになる傾向が確認された。

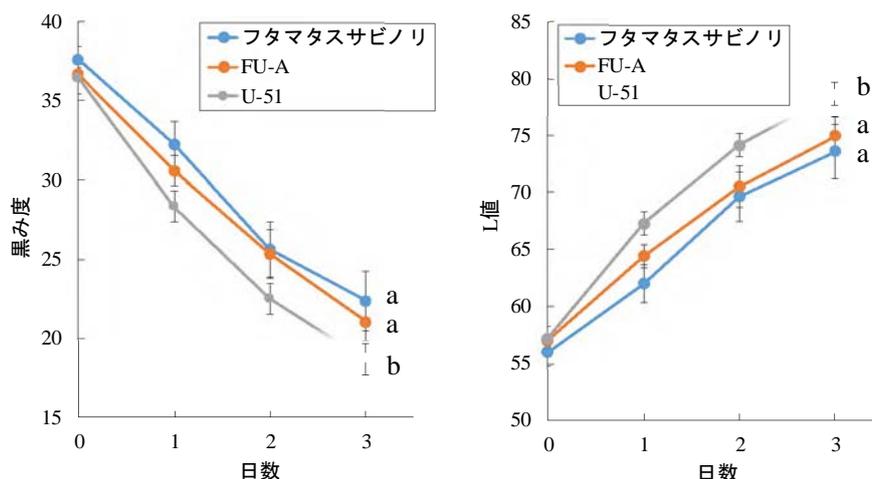


図2-2-9. 色調の変化 (左:黒み度、右:L\*値) エラーバーは、標準偏差

3日目のアルファベットは異なる文字間で有意差があることを示す ( $p < 0.01$ )

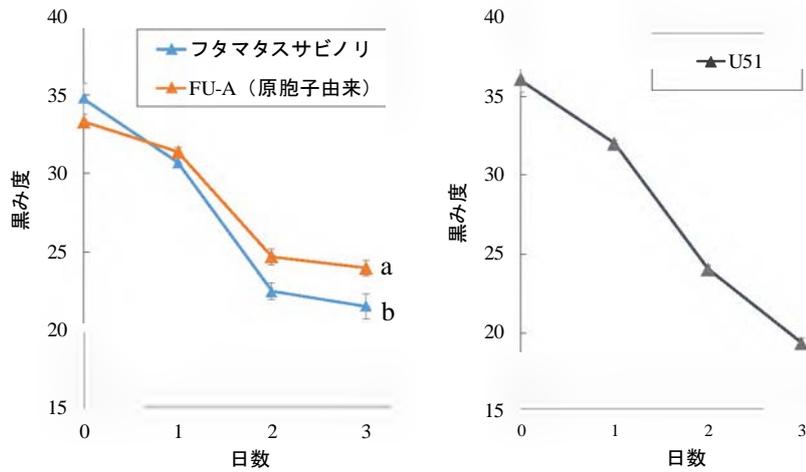


図 2-2-10. 令和 2 年度に実施した評価試験の結果  
(FU-A は原胞子由来の葉状体)

3 日目のアルファベットは異なる文字間で有意差があることを示す ( $p < 0.01$ )

## (2) 浮き流し漁場における養殖特性調査 (養殖試験)

### (i) 養殖環境

育苗開始時 (10 月 24 日) の水温は、 $19.7^{\circ}\text{C}$ であった。水温は、11 月下旬から 12 月上旬にかけて一時的に上昇したものの、概ね順調に低下した (図 2-2-11)。クロロフィル *a* 濃度は、0 から  $8.4 \mu\text{g/L}$  の間で推移した。DIN は、本養殖 (単張り) 開始序盤の 11 月下旬にスケルトネマ属を優占種とする珪藻プランクトンが最高密度  $4,070 \text{cells/mL}$  で発生したため、急激に減少したが、12 月上旬から増加が見られ 12 月下旬にかけて概ね  $5 \mu\text{M}$  以上を維持して推移した。1 月中旬以降はリゾソレニア属を優占種とする大型珪藻プランクトンが発生し、 $2 \mu\text{M}$  以下まで減少した (図 2-2-12)。

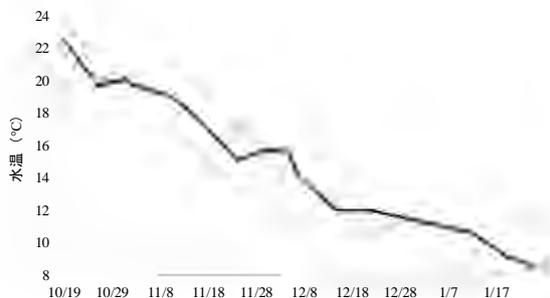


図 2-2-11. 水温の推移

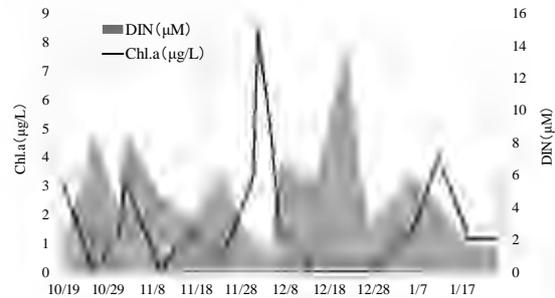


図 2-2-12. クロロフィル *a* 濃度と DIN の推移

## (ii) 養殖特性の把握

供試品種ごとの採苗密度（平均値±標準偏差）は、フタマタスサビノリ（ $19.6 \pm 5.7$ ）、FU-A（ $15.7 \pm 2.0$ ）、U-51（ $9.3 \pm 2.4$ ）であった。

育苗開始16日目（11月9日）に、時化によってU-51の育苗場で支柱が折れるなどの被害が生じた。11月12日に調査したところ、U-51の養殖網において時化時の擦れによると考えられる芽数の減少が確認された（図2-2-13）。

サンプリング回次ごとの葉長の推移を図2-2-14に、DINと黒み度の推移を図2-2-15に示した。12月7日までのU-51の葉長は、他の2品種に比べて短い傾向であったが、12月中旬以降は回復が見られた。

12月2日、5日の調査において、全ての品種で明確な色調低下が確認された。DINが $1.4 \mu\text{M}$ 程度まで低下した12月2日の黒み度は、高い方からフタマタスサビノリ、FU-A、U-51の順となり、全ての品種間で有意差があった（ $p < 0.01$ ）。12月7日の調査では、依然、全ての品種で色調の低い状態が確認されたものの、DINは $6.8 \mu\text{M}$ まで増加していた。12月15日から12月27日にかけてDINは急激に減少したものの、明確な色調低下は確認されず、12月27日における品種間の黒み度に有意差はなかった。その後、1月6日までは色調保持に相応のDIN濃度が保たれたものの、1月中下旬にかけてDINが急激に減少したため、全ての品種で再び色調低下が確認された。DINが急激に減少した1月19日における黒み度は、フタマタスサビノリとFU-Aの間に有意差は見られなかったものの、U-51はフタマタスサビノリとFU-Aに比べて有意に低かった（ $p < 0.01$ ）。また、1月19日以降、DINが $2 \mu\text{M}$ 以下の低栄養海況が継続した1月25日における黒み度は、全ての品種間で有意差があり（ $p < 0.05$ ）、FU-Aが一番高かった。

以上の結果から、フタマタスサビノリおよびFU-Aは、U-51に比べてDIN濃度が減少する海況において色調低下しにくい傾向がみられた。令和元年度、2年度に実施した室内培養試験および養殖試験では、低栄養環境において色調低下した状態からDIN濃度が増加する条件下で、フタマタスサビノリおよびFU-AはU-51に比べて速い色調回復が確認されている。今回の養殖試験では、フタマタスサビノリおよびFU-Aに色調回復の特性は確認されなかったものの、色調保持能力としての低栄養耐性が確認された。しかし、養殖試験において品種間の黒み度に有意な差が確認された場合においても視覚的な差として捉えることは困難であった（図2-2-16）。

ノリ養殖漁場で発生する色落ちは、製品の品質や単価の低下につながり、安定生産を阻害する要因のひとつである。ノリが必要とする栄養塩を巡っては、植物プランクトンと競合関係にあることから、しばしば植物プランクトンの増殖による栄養塩の減少に伴い、ノリの色調低下が進行する。本事業によって、フタマタスサビノリは栄養塩が大きく低下する養殖環境下において、顕著な色調保持は確認されなかったものの、基準品種U-51に比べて色調低下が緩やかであるという特性が確認された。将来的に開発が期待される栄養塩動向や植物プランクトン発生の予察技術などと合わせて、フタマタスサビノリのような色落ちしにくい特性を有する品種を活用することで、色落ちによる製品の品質低下を軽減できる可能性がある。



図 2-2-13. 令和 3 年 11 月 12 日の生育状況  
(上から U-51、フタマタスサビノリ、FU-A)

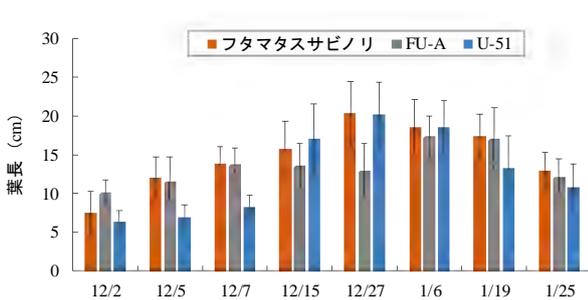


図 2-2-14. サンプル時の葉長の推移  
(エラーバーは、標準偏差)

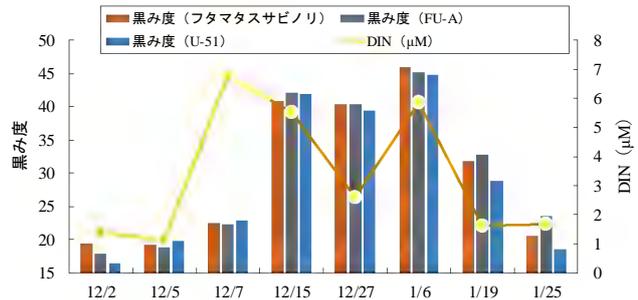


図 2-2-15. DIN 濃度と黒み度の推移



図 2-2-16. 令和 4 年 1 月 25 日の養殖網  
(左からフタマタスサビノリ、FU-A、U51)

### (iii) 養殖漁場における育成素材の収集 (漁場選抜)

令和 4 年 1 月 25 日の調査時に、FU-A の養殖網から採集した葉状体の中から顕著に黒み度の高い葉状体 2 枚 (以下、漁場選抜①、漁場選抜②) を選抜した。同日にサンプリングした FU-A の平均黒み度 (平均値±標準偏差) は、 $23.5 \pm 2.9$  であったのに対し、漁場選抜①、②の黒み度はそれぞれ、29.0 および 37.6 であった。選抜個体を検鏡したところ、選抜個体の液胞は、いずれも U-51 に比べて小さかった (図 2-2-17)。FU-A の養殖網へは近隣の養殖網からの原胞子の混入の可能性もあるため、漁場選抜①、②が FU-A 由来の葉状体であるとは言えないが、両選抜個体について糸状体を介して採苗を行い、室内培養試験による特性評価試験を実施し、FU-A との特性の差異について調査する必要がある。

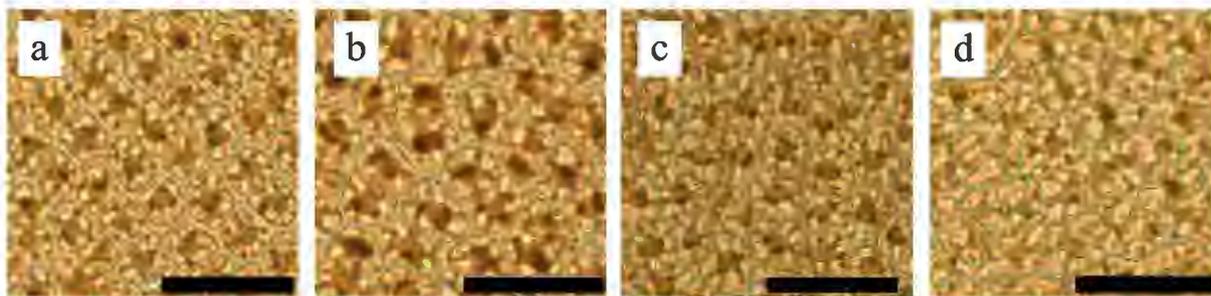


図 2-2-17. 漁場選抜した葉状体の細胞

(a: 漁場選抜①、b: 漁場選抜②、c: 同日の FU-A、d: 同日の U-51)、バーは、50  $\mu$ m

### 【3カ年のまとめ】

ノリ養殖の安定生産を阻害する要因として、秋季における海水温の上昇及び漁期中の色落ち被害の発生が挙げられる。高水温化への対策としては、国や県の試験研究機関において高水温耐性品種の作出が実施されている。一方、色落ち被害軽減のための主な対策としては、試験的な施肥やダムの一時的放流等が実施されているものの、品種作出（低栄養耐性品種の開発）という観点での対策は、ほとんど行われていない。

本事業では、水産研究・教育機構が保有するノリ品種を用いて低栄養環境でも色落ちが遅いノリ品種の実用化を進めるための室内培養試験や養殖試験を試みた。

#### (1) フタマタスサビノリおよび女川スサビノリの低栄養条件下における特性評価

水産研究・教育機構が保有するノリ品種（女川スサビ、フタマタスサビ）および基準品種（U-51）を用いて、低栄養条件下において黒み度を指標とした室内培養による特性評価試験を実施した。その結果、評価試験終了時の黒み度は、フタマタスサビノリが一番高く、続いてU-51、女川スサビノリの順となり、フタマタスサビノリの黒み度が他2品種より有意に高かった ( $p < 0.01$ , Tukey-Kramer)。さらに、試験期間中の黒み度の減少率は、フタマタスサビノリがU51と女川スサビノリに比べて低かった (図 2-2-18)。以上の結果から、フタマタスサビノリには一定の低栄養耐性があることが示唆された。

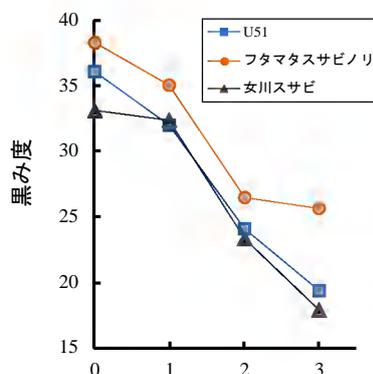


図 2-2-18. 黒み度の変化

## (2) 室内培養によるフタマタスサビノリの選抜試験

フタマタスサビノリ葉状体から直径 5 mm の葉状体ディスク（以下、ディスク）をくり抜いて得られた多数のディスクを用いて 2 段階の選抜試験を行った。選抜試験は、ディスクを低栄養条件下で培養した（1 次選抜）後、高栄養培地に移して培養することで行った（2 次選抜）。1 次選抜で黒み度が上位、かつ、2 次選抜での黒み度回復率が高かった 2 個体（FU-A、FU-B）を選抜した。FU-A、FU-B について、低栄養条件下において選抜効果の実証試験を実施したところ、FU-A には一定の選抜効果が示唆され、フタマタスサビノリと同様に基準品種 U-51 より低栄養耐性があることが示唆された。

## (3) フタマタスサビノリおよび FU-A の養殖試験

フタマタスサビノリおよび FU-A を用いて、浮き流し漁場における養殖試験（養殖適性調査）を実施した。その結果、フタマタスサビノリおよび FU-A は、U-51 に比べて DIN 濃度が減少する海況において色調低下しにくい傾向がみられ（図 2-2-19）、一定の低栄養耐性（色調保持能力）が確認された。栄養塩が大きく低下する養殖環境下において、顕著な色調保持は確認されなかったものの、将来的に開発が期待される栄養塩動向や植物プランクトン発生の予察技術などと合わせて、フタマタスサビノリのような色落ちしにくい特性を有する品種を活用することで、色落ちによる製品の品質低下を軽減できる可能性がある。

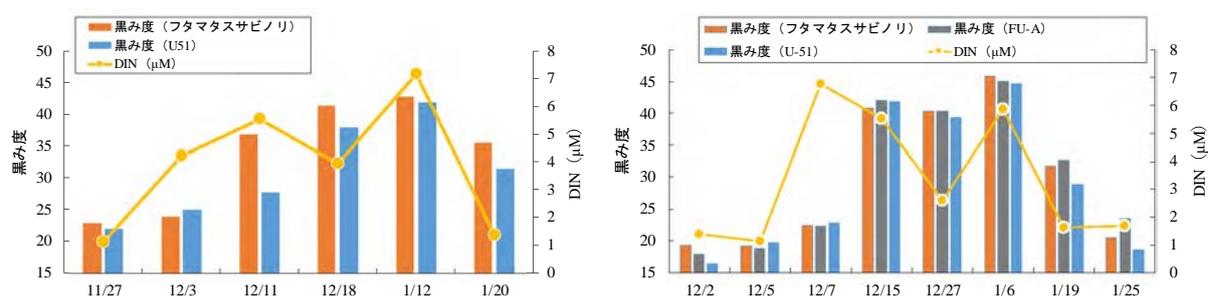


図 2-2-19. DIN 濃度と黒み度の推移(左:R2 年度、右:R3 年度)

### 【参考文献】

- 藤吉栄次、玉城泉也、小林正裕、有瀧真人. アマノリ養殖品種の特性. 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所, 長崎. 2014 ; 64-69
- ノリ養殖技術開発協同研究機関 (2020) 平成 31 年度環境変化に適応したノリ養殖技術の開発委託事業報告書. pp.77-81.
- ノリ養殖技術開発協同研究機関 (2021) 令和 2 年度環境変化に適応したノリ養殖技術の開発委託事業報告書. pp.75-82.

### 【事業推進上の問題点】

特になし

### 【成果の公表】

特になし

### 3) 二枚貝の増養殖等の併用がノリの品質に及ぼす影響の評価

実施機関・担当者名：

水産研究・教育機構水産技術研究所 橋本和正、福岡弘紀、岡村和麿、渡部諭史、丹羽健太郎、西本篤史

水産研究・教育機構水産資源研究所 長谷川夏樹、安池元重

水産研究・教育機構水産大学校 阿部真比古、村瀬 昇

福岡県水産海洋技術センター有明海研究所 安河内雄介、内藤 剛、徳田眞孝、古賀まりの、藤井直幹、林 宗徳

佐賀県有明水産振興センター 明田川貴子、野口浩介、三根崇幸、藤武史行、津城啓子

長崎県総合水産試験場 松倉一樹、桐山隆哉

熊本県水産研究センター 徳留剛彦、丸吉浩太、安藤典幸

三重県水産研究所 岩出将英、舘 洋、羽生和弘、奥村康太、北川強司、倉田恵吉

#### (1) 酸処理材の影響調査

##### 【背景・目的】

ノリ養殖では、付着藻類や緑藻類による生長阻害やアカグサレ菌、スミノリ病の原因となる付着細菌の除去のために酸処理が行われている。酸処理剤はクエン酸、リンゴ酸、乳酸等の有機酸が主成分となっている。酸処理剤の使用による生態系や生物への影響については検討が行われており、適正な浸透液 pH 及び浸透時間を守った使用が図られれば、特に生態系や生物への影響はないと報告されている。しかし、有明海における有機酸の挙動を把握するための調査は十分に行われていないのが現状である。そこで、本課題では、有明海沿岸のノリ養殖漁場等を対象に、海水及び底泥間隙水中に含まれる有機酸濃度をモニタリングすることで有明海における有機酸の挙動を把握する上で基盤となる情報を蓄積する。また、課題「1) 二枚貝を用いたノリの高品質化効果の評価手法の開発」及び「2) 二枚貝の増養殖等によるノリ養殖の高品質化」で得られた成果をもとに、二枚貝類の増養殖等との併用がノリの品質に及ぼす影響を総合的に評価することを目的とする。

##### 【方法】

現地調査は、福岡県水産海洋技術センター有明海研究所、佐賀県有明水産振興センター、長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センターおよび水産技術研究所が酸処理実施前に1回（令和3年10月27～10月30日（小潮期））と酸処理実施期間中（令和4年1月11～13日（小潮期））に1回の計2回実施した。調査は図2-3-1及び表2-3-1に示した全14定点で行った。各定点では表層水及び底層水の水温、塩分、及びpHを測定した。また、採水器を用いて表層水（海面下0m）及び底層水（海底上0.5mあるいは1m高）を採取した。得られた海水試料は、孔径0.45 μmのシリンジフィルターで濾過後、密閉容器で冷凍保存した。底泥試料は6定点（各県3定点のうち1定点、八代海および大村湾）で、福岡県、佐賀県、熊本県はKK式コア採泥器を用いて、長崎県はSCUBA潜水により採集した。コアサンプラーの内径はそれぞれ、4cm（福岡県）、7.4cm（佐賀県）、5.0cm（熊本県）、3.4cm

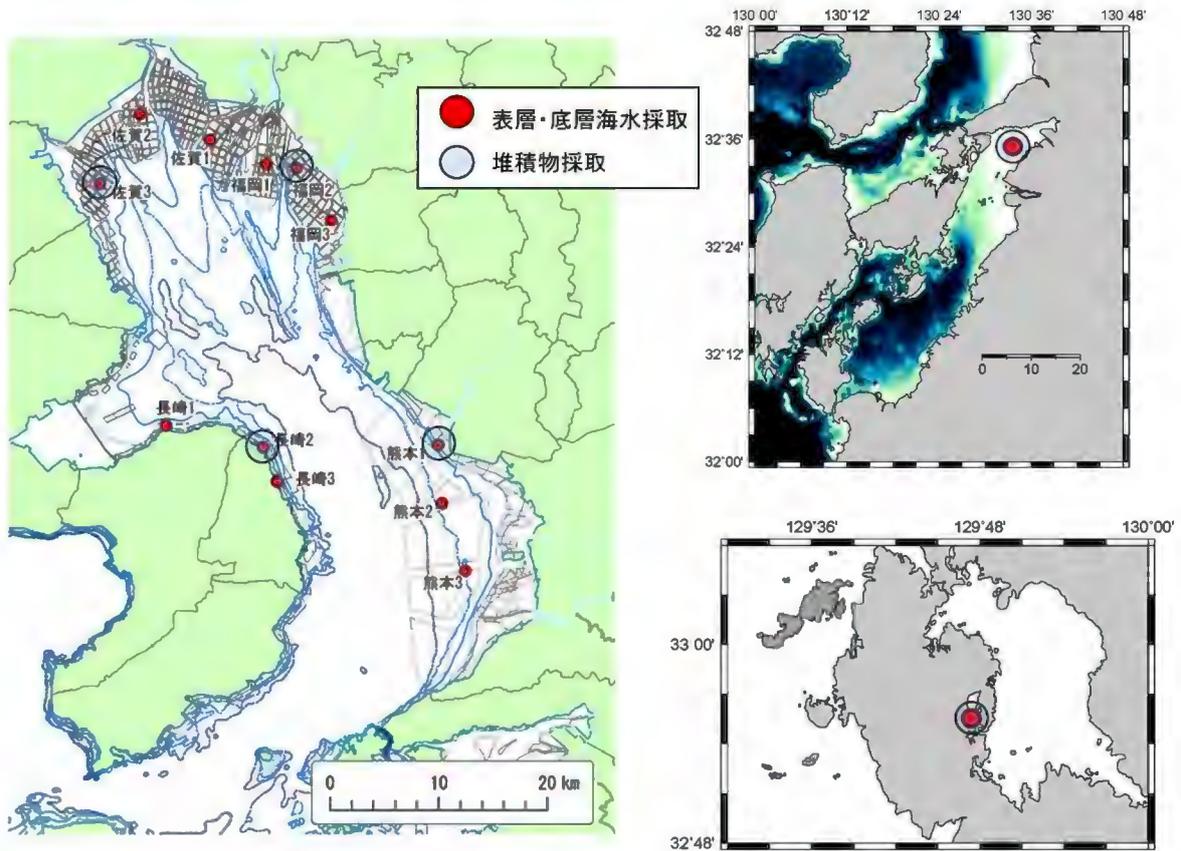


図 2-3-1. 調査定点

表 2-3-1. 調査定点の位置

定点	北緯	東経
福岡 1	33° 5' 34.02"	130° 20' 45.72"
福岡 2	33° 5' 22.26"	130° 22' 32.04"
福岡 3	33° 2' 44.82"	130° 24' 33.00"
佐賀 1	33° 6' 50.22"	130° 17' 25.26"
佐賀 2	33° 8' 08.94"	130° 13' 18.18"
佐賀 3	33° 4' 42.90"	130° 10' 53.10"
長崎 1	32° 52' 37.80"	130° 14' 37.50"
長崎 2	32° 51' 31.14"	130° 20' 21.66"
長崎 3	32° 49' 47.22"	130° 21' 07.56"
熊本 1	32° 51' 30.18"	130° 30' 40.08"
熊本 2	32° 48' 36.06"	130° 30' 51.60"
熊本 3	32° 45' 12.12"	130° 32' 09.60"
八代海	32° 35' 09.60"	130° 33' 57.60"
大村湾	32° 55' 29.16"	129° 47' 17.25"

(長崎県)であり、底泥表層 5 cm をスライスして密閉容器でそれぞれ冷凍保存した。冷凍された海水サンプルを室温にて解凍し、よく攪拌して均一にした後、クエン酸およびリンゴ酸については超純水で 5 倍希釈し分析に供した。また、冷凍された底泥サンプルを解凍し、よく攪拌して均一にした後、遠心分離器 (3000 rpm×10 分) にかけて。得られた上清を 1 mL 分取し、超純水で 5 倍希釈し、孔径 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過後、分析

に供した。表層水、底層水、及び底泥間隙水に含まれるクエン酸、リンゴ酸、乳酸の濃度を高速液体クロマトグラフ質量分析計（島津製作所 Prominence）により分析した（表 2-3-2）。なお、各有機酸濃度の定量下限は 1.0 mg/L とした。

表 2-3-2. クエン酸、リンゴ酸および乳酸の分析条件

使用機器	島津製作所 Prominence
LC測定条件	分離カラム： Synergi 4 $\mu$ m Hydro-RP 80A (2.0 mmID $\times$ 150 mm) 移動相： アセトニトリル及び 0.2 %-ギ酸水溶液のグラジエント 流量： 0.2 mL/分 流入量： 20 $\mu$ L カラム温度： 40 $^{\circ}$ C
MS条件	MS/MS： AB Sciex社 API 3200 イオン化法： ESI法（ネガティブモード） 検出法： MRM法

## 【結果および考察】

### 現地調査の結果

#### (i) 酸処理実施前（第 1 回）調査

実施概要を表 2-3-3 に示す。第 1 回調査による表層水及び底層水の水質と有機酸濃度、間隙水の有機酸濃度を表 2-3-4 に示す。表層水温は 18.3 $\sim$ 22.1  $^{\circ}$ C、底層水温は 18.7 $\sim$ 23.3  $^{\circ}$ C（佐賀県は機器不調により欠測）の範囲であった。表層塩分は 24.8 $\sim$ 31.4、底層塩分は 28.5 $\sim$ 31.7 であった。表層 pH は 7.9 $\sim$ 8.7、底層 pH も同じく 7.9 $\sim$ 8.7 であった。

表層水及び底層水中の有機酸濃度は、全定点において定量下限 1.0 mg/L 未満であった。底泥間隙水のクエン酸、リンゴ酸は全定点において定量下限 1.0 mg/L 未満であった。底泥間隙水の乳酸濃度は長崎 2 において 2.2 mg/L であった。

表 2-3-3. 第 1 回調査の実施概要

定点	調査実施日	水深 (m)	採水	採泥*
福岡 1	2021/10/28	3.2	表層水 (0m), 底層水 (海底から0.5m)	—
福岡 2	2021/10/28	3.4	〃	○
福岡 3	2021/10/28	3.6	〃	—
佐賀 1	2021/11/02	4.7	〃	—
佐賀 2	2021/11/02	3.7	〃	—
佐賀 3	2021/11/02	5.2	〃	○
長崎 1	2021/10/30	3.5	〃	—
長崎 2	2021/10/30	3.6	〃	○
長崎 3	2021/10/30	3.2	〃	—
熊本 1	2021/10/27	11.2	〃	○
熊本 2	2021/10/27	7.8	〃	—
熊本 3	2021/10/27	9.7	〃	—
八代海	2021/10/27	13.7	〃	○
大村湾	2021/10/29	5.4	〃	○

※ ○：採取、—：採泥点に設定されていない

表 2-3-4. 第 1 回調査の結果

定点	海水水温 (°C)		塩分		pH	
	表層	底層※	表層	底層	表層	底層
福岡 1	19.6	20.0	26.1	29.7	7.9	7.9
福岡 2	20.1	20.0	29.2	28.9	8.1	8.0
福岡 3	20.5	20.5	30.1	30.5	8.0	8.0
佐賀 1	20.3	—	30.1	30.3	8.4	8.4
佐賀 2	18.5	—	28.5	28.5	8.6	8.6
佐賀 3	18.3	—	29.2	29.3	8.7	8.7
長崎 1	18.8	18.7	30.0	29.9	8.3	8.3
長崎 2	20.1	20.1	30.6	30.6	8.3	8.3
長崎 3	21.6	21.6	31.3	31.3	8.2	8.3
熊本 1	19.2	23.3	28.9	31.6	8.1	8.1
熊本 2	20.6	23.3	29.6	31.6	8.1	8.1
熊本 3	22.1	23.3	30.7	31.7	8.1	8.1
八代海	19.4	19.8	24.8	30.4	8.1	8.0
大村湾	21.8	21.8	31.4	31.4	8.2	8.2

※ — : 機器不調による欠測

定点	海水クエン酸 (mg/L)		海水リンゴ酸 (mg/L)		海水乳酸 (mg/L)		間隙水クエン酸 (mg/L)	間隙水リンゴ酸 (mg/L)	間隙水乳酸 (mg/L)
	表層	底層	表層	底層	表層	底層			
福岡 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
福岡 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
福岡 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
佐賀 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
佐賀 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
佐賀 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
長崎 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
長崎 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2.2
長崎 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
熊本 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
熊本 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
熊本 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
八代海	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
大村湾	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

— : 採泥点に設定されていない      nd : 定量限界未満 (<1.0mg/L)

### (ii) 酸処理実施期間中 (第 2 回) 調査

実施概要を表 2-3-5 に示す。第 2 回調査による表層水及び底層水の水質と有機酸濃度、間隙水の有機酸濃度を表 2-3-6 に示す。表層水温は 8.2~12.1 °C、底層水温は 8.2~12.9 °C の範囲であり、全体的に第 1 回調査より低い値を示した。表層塩分は 25.1~32.6、底層塩分は 27.9~32.6 であり、全体的に第 1 回調査と同様な値を示した。表層 pH は 7.9~8.7、底層 pH は 8.1~8.7 であり、全体的に第 1 回調査と同様な値を示した。

表層水及び底層水のクエン酸、リンゴ酸及び乳酸濃度は全定点において定量下限 1.0 mg/L 未満であった。底泥間隙水のクエン酸、リンゴ酸は全定点において定量下限 1.0 mg/L 未満であった。底泥間隙水の乳酸濃度は、6 定点全てで検出されたが、いずれも定量限界に近い値であり、それらの最高値は八代海における 2.2 mg/L であった。

表 2-3-5. 第 2 回調査の実施概要

定点	調査実施日	水深 (m)	採水		採泥※
			表層水 (0m), 底層水 (海底から0.5m)		
福岡 1	2022/01/12	3.1	表層水 (0m), 底層水 (海底から0.5m)		—
福岡 2	2022/01/12	2.6	〃		○
福岡 3	2022/01/12	3.3	〃		—
佐賀 1	2022/01/12	3.6	〃		—
佐賀 2	2022/01/12	3.3	〃		—
佐賀 3	2022/01/12	4.6	〃		○
長崎 1	2022/01/12	3.1	〃		—
長崎 2	2022/01/12	3.0	〃		○
長崎 3	2022/01/12	3.4	〃		—
熊本 1	2022/01/13	10.3	〃		○
熊本 2	2022/01/13	6.9	〃		—
熊本 3	2022/01/13	8.7	〃		—
八代海	2022/01/13	12.3	〃		○
大村湾	2022/01/12	5.2	〃		○

※ ○：採取、—：採泥点に設定されていない

表 2-3-6. 第 2 回調査の結果

定点	海水水温 (°C)		塩分		pH	
	表層	底層	表層	底層	表層	底層
福岡 1	9.0	9.1	29.5	29.8	8.2	8.2
福岡 2	8.7	9.0	25.1	27.9	8.2	8.2
福岡 3	8.4	9.0	28.2	30.1	7.9	8.2
佐賀 1	9.5	9.5	30.0	30.1	8.5	8.5
佐賀 2	8.2	8.2	29.6	29.5	8.7	8.7
佐賀 3	8.3	8.5	29.8	29.8	8.5	8.5
長崎 1	8.8	8.8	30.1	30.1	8.4	8.4
長崎 2	10.0	10.0	30.9	30.9	8.3	8.4
長崎 3	11.1	11.2	31.6	31.6	8.4	8.3
熊本 1	12.1	12.9	32.2	32.6	8.2	8.2
熊本 2	11.7	12.0	32.1	32.4	8.1	8.2
熊本 3	10.6	11.7	31.0	30.5	8.2	8.1
八代海	9.5	10.1	30.8	31.4	8.3	8.3
大村湾	11.1	11.2	32.6	32.6	8.2	8.3

定点	海水クエン酸 (mg/L)		海水リンゴ酸 (mg/L)		海水乳酸 (mg/L)		間隙水クエン酸 (mg/L)	間隙水リンゴ酸 (mg/L)	間隙水乳酸 (mg/L)
	表層	底層	表層	底層	表層	底層			
福岡 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
福岡 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.3
福岡 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
佐賀 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
佐賀 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
佐賀 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.2
長崎 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
長崎 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.8
長崎 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
熊本 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.0
熊本 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
熊本 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	—	—	—
八代海	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2.2
大村湾	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.2

—：採泥点に設定されていない      nd：定量限界未満 (<1.0mg/L)

## 考察

酸処理中に得られた第2回調査の表層 pH は 7.9~8.7、底層 pH は 8.1~8.7 であり（表 2-3-6）、他の海域（東京湾、伊勢湾）と比べて著しく小さな値ではなく、酸処理の影響を示唆する pH の低下は確認できなかった。例えば、東京湾では、表層 pH は 8.2~8.7 程度、底層 pH は 7.9~8.3 程度の季節変動を示しており、伊勢湾では、pH は 8.0~9.2 程度、底層 pH は 7.8~8.5 程度の値をとっていることが報告されている（石井・大畑 2010、笥・藤原 2007）。ただし、一般的に海水 pH は植物プランクトンの増殖に伴って上昇する傾向があるため、単純な海域間の比較は困難であることに留意する必要がある。

水産庁（1995）は、酸処理剤の残液 100 L を直接海域に投入した場合、投入場所で直後に pH 3 程度に低下後、30 秒で pH 6 まで回復し、2 分後には pH 7 以上に、5 分後には pH 8 以上になったことを報告している。また、生物に対する作用（効果及び生物影響）は主に低 pH によること、生物試験での 24 時間半数致死 pH は概ね pH 5 であること、致死的影响のない pH は pH 7 であることがそれぞれ報告されている（水産庁 1995）。したがって、既報の通り、酸処理剤残液による長期的な pH 低下による生態系や生物への影響はなかったと推察される。

2021 年度の有機酸調査においてクエン酸及びリンゴ酸は全く検出されなかった。一方、乳酸は、第一回調査では長崎 2、第二回調査では 6 定点全てで、いずれも底泥間隙水から検出された（表 2-3-4、表 2-3-6）。底泥内では有機物の嫌気分解時（栗原 1988）やビタミン類添加（奥畑ら 2011）によって乳酸が生成することが報告されており、微生物代謝により生じた乳酸が検出された可能性が考えられる。しかしながら、海水中の有機酸に関する知見はいまだ少なく、今回微量に検出された乳酸の由来は不明である。

## 【4カ年のまとめ】

図 2-3-1 に示す 14 定点において、2018 年度から 2021 年度まで、それぞれ酸処理実施前（10~11 月）と酸処理実施期間中（1 月）の 1 回ずつ、有機酸 3 種（クエン酸、リンゴ酸、及び乳酸）のモニタリング調査を実施した。

表 2-3-7. 過去4カ年の有機酸分析結果(表層水及び底層水)

定点	2018 年度		2019 年度		2020 年度		2021 年度	
	10-11月	1月	11月	1月	10月	1月	10-11月	1月
福岡 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
福岡 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
福岡 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
佐賀 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
佐賀 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
佐賀 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
長崎 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
長崎 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
長崎 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
熊本 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
熊本 2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
熊本 3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
八代海	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
大村湾	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

nd : 定量限界未満 (<1.0mg/L)

表 2-3-8. 過去4力年の底泥間隙水中の乳酸濃度 (mg/L)

定点	2018 年度		2019 年度		2020 年度		2021 年度	
	10-11月	1月	11月	1月	10月	1月	10-11月	1月
福岡 2	nd	nd	nd	nd	nd	1.0	nd	1.3
佐賀 3	nd	nd	nd	nd	2.3	nd	nd	1.2
長崎 2	nd	1.2	nd	nd	nd	nd	2.2	1.8
熊本 1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.0
八代海	nd	nd	nd	1.2	nd	1.5	nd	2.2
大村湾	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.2

nd : 定量限界未満 (<1.0mg/L)

その結果、4カ年を通じて表層水及び底層水からこれらの有機酸は一度も検出されなかった(表 2-3-7)。一方、底泥表層の間隙水からは、クエン酸及びリンゴ酸は全く検出されなかったが、乳酸の検出は認められた(表 2-3-8)。その検出頻度は2018年に1回、2019年に1回、2020年度は3回、2021年度は7回で、年を追うごとに増加しているが、濃度はいずれも定量限界に近いレベルであった(最高 2.3 mg/L)。また、これら計12回の検出事例のうち、酸処理実施前あるいは酸処理が行われていない八代海及び大村湾からの検出事例が計6回と半数を占めていたことから、底泥中の乳酸は必ずしもノリの酸処理剤に由来しないことが示唆された。

#### 【参考文献】

- 1) 水産庁(1995) のり酸処理試験研究成果の概要、水産庁、東京、52pp.
- 2) 水産庁(2003) ノリ養殖技術評価検討委員会報告書、水産庁.
- 3) 長崎慶三、虫明敬一、生田和正(2015) 有明海の海水・海底泥間隙水中の有機酸測定、水産技術、Vol.8、No.1、p. 37-41.
- 4) 石井光廣、大畑聡(2010) 東京湾の水質と貧酸素水塊の変動、沿岸海洋研究、Vol.48、No.1、p. 37-44.
- 5) 笥茂穂、藤原建紀(2007) 伊勢湾の栄養塩動態: 非保存的変化の季節変動、海の研究、Vol.16、No.6、p. 437-453.
- 6) 栗原康(1988) 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー、東海大学出版会、神奈川、p. 30-42.
- 7) 奥畑博史、杉野伸義、宮坂均、森川博代、竹野健次、佐々木健(2011) ビタミン類添加による底泥の有機質の浄化、環境技術、Vol. 40、No. 12、p. 737-743.

#### 【成果の公表】

無し

## (2) 令和3年度の研究成果の概要

本実施課題では、有明海及び八代海のノリ養殖施設周辺で二枚貝類の増養殖試験を実施することにより、二枚貝のろ水摂餌による色落ち原因プランクトンの除去効果や排泄に伴う栄養塩供給によるノリの品質向上効果を把握するとともに、二枚貝の増養殖と併用することにより、シナジー効果が期待できる技術開発（栄養塩添加、低栄養耐性品種など）にも取り組むことで、ノリの色落ち被害を軽減し、高品質なノリを安定的に生産する技術の提案を行った。

アサリ、カキなどの二枚貝類から排泄される無機栄養塩の供給により養殖ノリを高品質化することを現場実証試験において検証するためには、二枚貝からノリへの栄養塩供給量の推定と栄養塩がノリの生理状態に与える影響を評価することが必要である。そこで、課題イ1)「二枚貝を用いたノリの高品質化効果の評価手法の開発」においては、室内実験及びノリ養殖場での野外調査により、二枚貝を併用することによるノリの品質向上効果等を評価するための手法開発に取り組んだ。小課題①「二枚貝からノリへの栄養塩供給量の推定手法の開発」では、二枚貝からノリへの窒素供給を定量的に評価することを可能にするため、窒素安定同位体比を指標とした手法の開発に取り組んだ。開発した手法で、佐賀県でのノリとマガキの複合養殖及び干出施肥実験の効果を評価したところ、マガキ排泄窒素のノリ生長への寄与率は18.5%、干出施肥剤の寄与率は1.9%であった。また、熊本県でのカキ筏でのノリ網の張り込み実験では、あらかじめ色落ちさせていたノリにおけるカキ排泄窒素の生長への寄与率は、軽度色落ちノリで67.3%、重度色落ちノリで58.9%と推定された。本手法では条件的な制約から、寄与率の推定値は近距離の調査点間の相対評価への使用にとどめるべきと考えられた。一方、小課題②「養殖現場でのノリの生理状態評価手法の開発」では、パルス振幅変調(PAM)クロロフィル蛍光測定によるノリの生理状態評価手法の開発のために、適切な測定に必要なサンプルの暗馴致時間を明らかにした。それとともに、漁場におけるノリサンプルの採集からPAM測定、結果診断に至るまでの同手法の作業フローを提示した。また、遺伝子発現の網羅的解析により、標準品種U-51とフタマタスサビノリでは、窒素制限下での発現パターンは類似しており、貧栄養化での生理的応答は品種間で共通していると考えられた。これまでの成果より、栄養塩制限の指標となる5つの遺伝子候補を同定することができ、RNA-Seqによる網羅的解析よりも簡便なqPCR等の手法で評価することが可能となった。さらに、ノリ葉状体の吸収スペクトルの測定によって、栄養塩制限の進行による色落ちや色調回復に際しての334nmと298nm吸光度の差分値( $ABS_{334-298}$ 値)による色落ちリスクの評価手法を確立するとともに、U-51とフタマタスサビノリ間で色落ち・回復過程で同値の異なる変化のパターンも観察され、貧栄養応答における品種特性の評価等にも応用できることが期待された。

課題イ2)「二枚貝の増養殖等によるノリ養殖の高品質化」の小課題①「佐賀県地先有明海における二枚貝増養殖によるノリ養殖の高品質化」では、昨年度はノリ養殖と二枚貝(マガキ)養殖との併用および干出施肥によるノリの生長への効果を検証した。その結果を受け、本年度は補足的技術としての干出施肥の効果を評価するための室内実験を実施した。1日1回、1分間の栄養塩浸漬を5日間連続することで色落ちが軽減されること等が明らかになった。また、小課題②「熊本県地先八代海における二枚貝増養殖によるノリ養殖の高品質化」においても、赤潮発生を想定した条件下でマガキの併用によるノリの色調

への影響を室内実験により把握した。ノリ成葉を材料とした場合、マガキの有無にかかわらずノリは色落ちした一方、育苗期サイズのノリを使用した場合、色調は保持される結果が得られた。小課題③「低栄養条件に適応したノリ養殖品種の開発と実証」では、低栄養条件に適応したノリ養殖品種の開発のための研究開発を行った。一定の低栄養耐性がみとめられたフタマタスサビノリと、これからさらに低栄養条件下で選抜した FU-A 株について、室内培養および養殖による特性評価試験を行った。いずれの試験でも、フタマタスサビノリおよび FU-A 株には、標準品種 U51 との比較において低 DIN 濃度下での色調保持能がみとめられ、特に養殖試験での 1 月中下旬の低栄養環境下においては、FU-A 株は最も高い黒み度を示した。

課題イ 3)「二枚貝の増養殖の併用がノリの品質に与える影響の評価」では、昨年度に引き続き、有明海のノリ漁場内及び八代海、大村湾(対照海域)に設けた観測定点において、酸処理の実施前と実施中に海水及び底泥間隙水中に含まれる有機酸(クエン酸、リンゴ酸および乳酸)濃度のモニタリング調査を実施した。酸処理実施前の調査(2021年10~11月)では、いずれの定点も表層水及び底層水から有機酸は検出されなかった。しかし1定点で、底泥間隙水中から微量の乳酸が検出された。一方、酸処理実施中の調査(2022年1月)では、表層水及び底層水からの有機酸検出はやはり全定点で見られなかったが、6定点で底泥間隙水から微量の乳酸が検出された。なお、本調査で得られたデータは、ノリ養殖に使用される酸処理剤の影響を評価する基礎資料として位置づけられるものである。

