

水産庁委託事業

環境変化に適応したノリ養殖技術の開発

二枚貝類養殖等を併用した ノリ色落ち軽減技術の開発

水産庁 増殖推進部 栽培養殖課

有明海・八代海等総合調査評価委員会
水産資源再生方策検討作業小委員会
日時：令和2年7月29日

先行事業の概要と経緯

新たなノリ色落ち対策技術開発のうち

二枚貝増養殖技術の開発（H19～23年）

近年、ノリ養殖業における色落ち問題は、瀬戸内海、有明海など主要なノリ生産地で深刻な状況となっている。ノリの色落ち原因は、ノリと栄養塩の吸収で競合関係にある珪藻等植物プランクトンが大規模に発生するためとされている。そのため、ノリの色落ち対策として二枚貝の増養殖を利用し、栄養塩を競合する植物プランクトンを効果的に除去する技術の開発を目指す。

二枚貝の養殖等を併用した高品質なノリ養殖技術の開発

（H27～H29年）

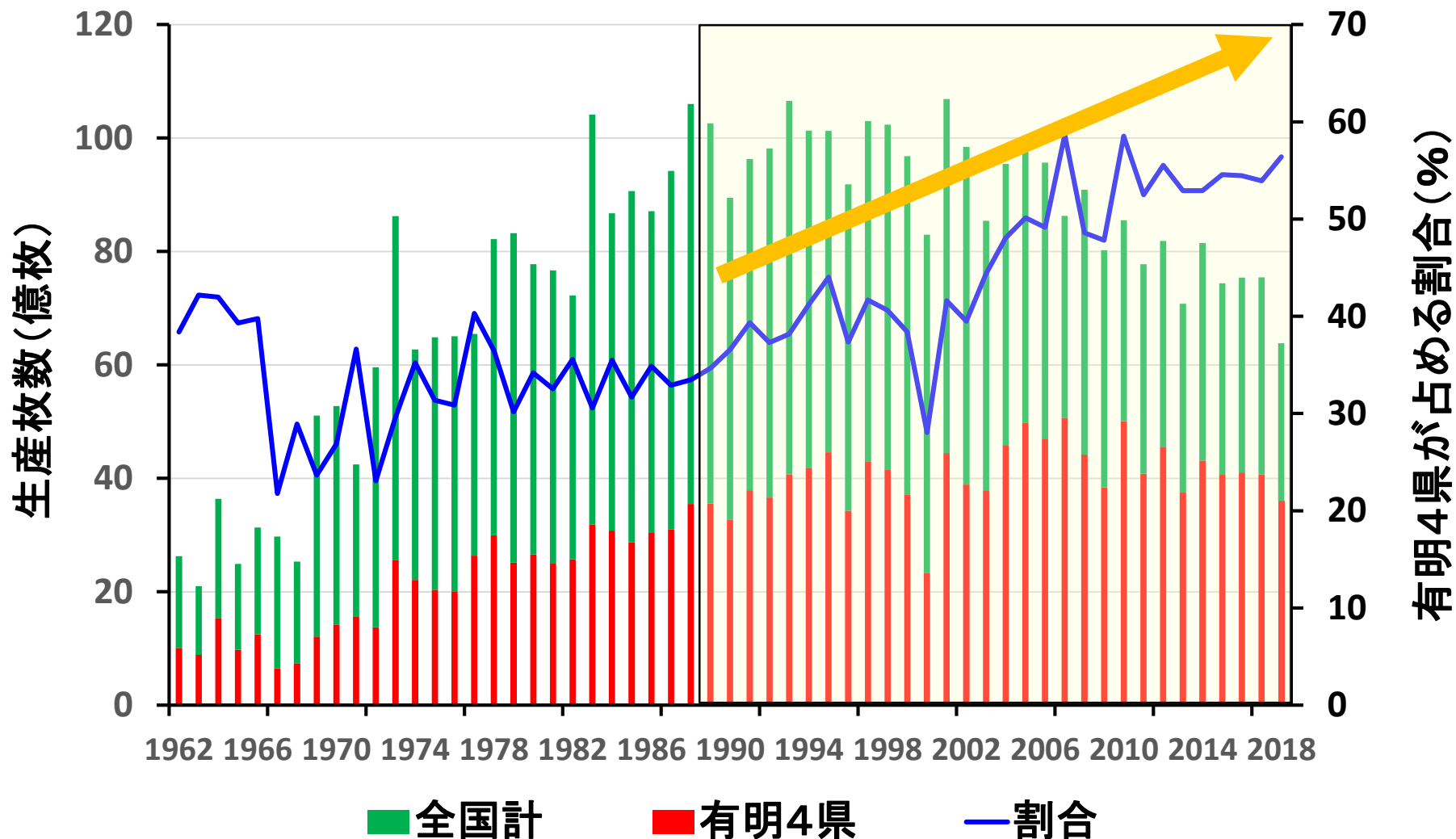
ノリと栄養塩を競合する珪藻等の植物プランクトンを消費するとともに、排泄等によって、栄養塩を海域に添加する機能を併せ持つ二枚貝類に着目し、二枚貝類の養殖等と組み合わせることにより、ノリの色落ちを防止し、高品質なノリを安定的に生産するためのノリ養殖技術を開発することを目的とする。

環境変化に適応したノリ養殖技術の開発のうち

二枚貝類養殖等を併用したノリ色落ち軽減技術の開発（H30～）

ノリと栄養塩を競合する植物プランクトンを消費し、栄養塩を添加（排出）する二枚貝の増養殖を組み合わせたノリ色落ち対策技術を開発することで、高品質なノリの安定的な生産に資することを目的とする。

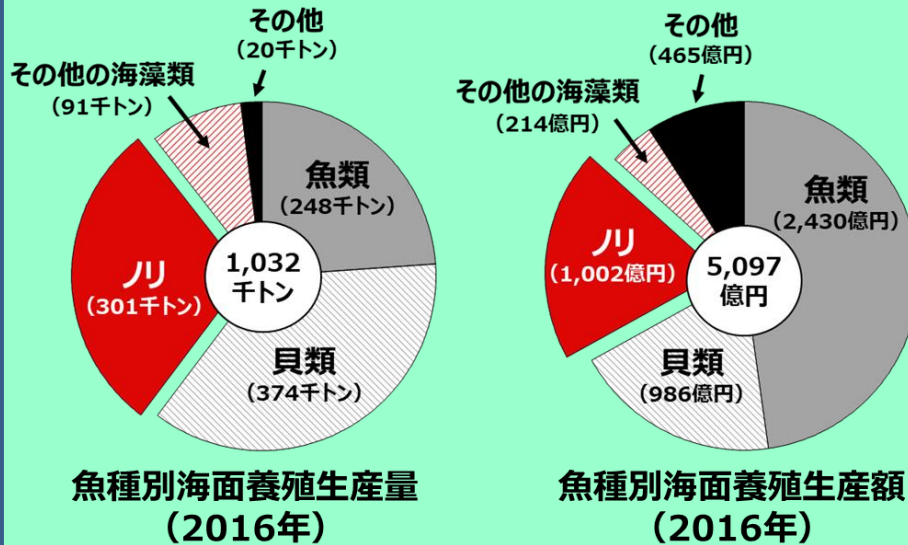
全国および有明4県におけるノリ生産枚数の推移



有明4県の生産枚数は過去30年間、2000年を除いて約40億枚を生産。
また、全生産枚数に占める割合は、変動幅があるものの増加傾向

本課題の背景，目的および実施内容

ノリ養殖の重要性



- ノリ養殖は，わが国の海面養殖生産量の約30%，海面養殖生産額の約20%を占める重要な産業である。

ノリの色落ちとは？



- 珪藻類の大増殖等により，海水中の栄養塩濃度が低下すると，ノリ細胞中での色素の生成が阻害され，色調が低下する（ノリの色落ち）。
- 色落ちしたノリは，商品価値が下がるため，生産額の減少につながる。

ノリの色落ち対策は、有明海、八代海におけるノリ養殖の重要かつ喫緊の課題のひとつである。そこで本事業では、ノリと栄養塩を競合する植物プランクトンを消費し、栄養塩を海域に添加する機能をあわせ持つ二枚貝類に着目し、二枚貝の増養殖等と組み合わせた新たなノリ養殖技術を開発することで、ノリの色落ちを防止し、高品質なノリを安定的に生産する技術の開発を目標とした。



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

- ① 二枚貝からノリへの栄養塩供給量の推定手法の開発
- ② 養殖現場でのノリの生理状態評価手法の開発

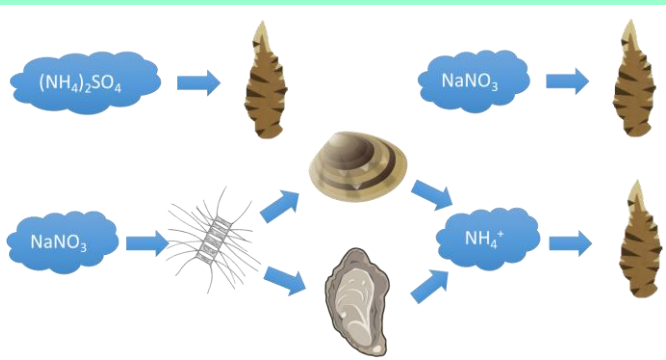
2) 有明海・八代海における二枚貝の増養殖によるノリ養殖の高品質化

- ① 福岡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
- ② 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
- ③ 熊本県地先有明海・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

1) - ① 二枚貝からノリへの栄養塩供給量の推定手法の開発

二枚貝を用いたノリの高品質化効果を実証するためには、養殖漁場において、二枚貝類からノリへの栄養塩の供給量を推定することが必要である。そこで本課題では、窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) を指標とした二枚貝類 (マガキ、アサリ) からノリへの溶存態無機窒素 (DIN) 供給量の推定手法を開発、確立することを目標とした。

窒素安定同位体比を用いた二枚貝からノリへの栄養塩供給量の推定手法



ノリが海水中の栄養塩 (溶存態無機窒素) を直接利用する場合と二枚貝が排泄した栄養塩 (主にアンモニア態窒素) を利用する場合の同位体分別の違いから、二枚貝が排泄した栄養塩の寄与率を推定する。

二枚貝の窒素排泄物のノリ養殖への寄与率 (k)

【次式により推定することが可能】

$$k = (X' - X) / (-X + Y - C)$$

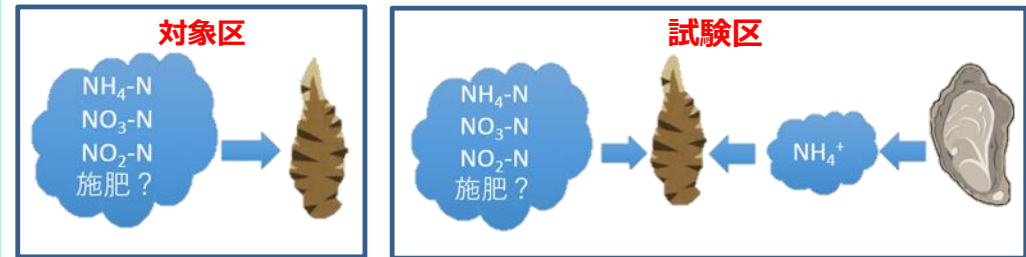
X : 対象区におけるノリ葉体の $\delta^{15}\text{N}$

X' : 試験区におけるノリ葉体の $\delta^{15}\text{N}$

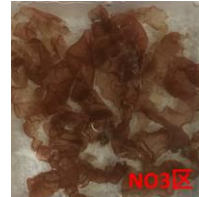
Y : アサリもしくはマガキの $\delta^{15}\text{N}$

C : 定数 (アサリ ; 3.8、マガキ ; 3.9)

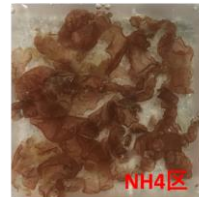
二枚貝排泄物のノリ養殖への寄与



結果



NO₃区

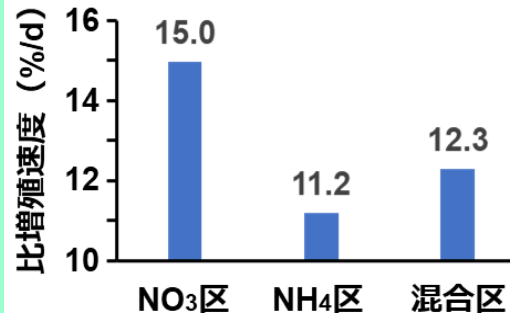


NH₄区



混合区

色調の違いは見られず



アンモニア態窒素 (NH_4) を窒素源とした方がノリによる同化が5倍程度高かったが、硝酸態窒素 (NO_3) を窒素源として利用した方が増殖が速い可能性が示唆された。

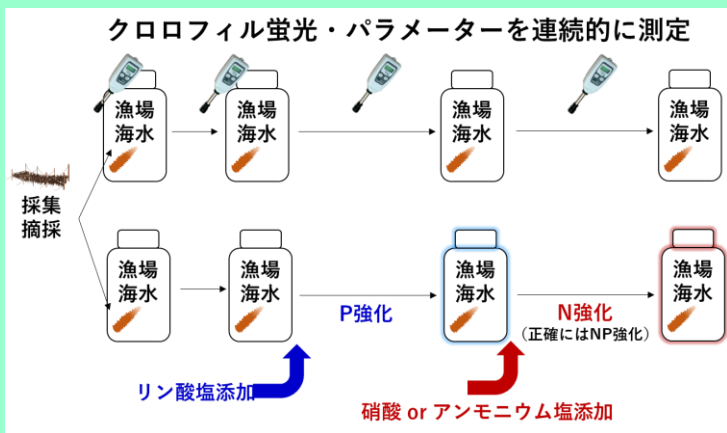
残された課題

- ・ノリ漁場における二枚貝による栄養塩添加効果の試算
- ・二枚貝による窒素排泄物のノリ養殖への寄与率推定式の精度向上

1) - ② 養殖現場でのノリの生理状態評価手法の開発

二枚貝から排泄される栄養塩の供給によるノリの高品質化効果を実証するためには、二枚貝からの栄養塩供給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。そこで本課題では、PAM（パルス振幅変調クロロフィル蛍光測定法）を用いることで、ノリの生理状態を養殖現場で非破壊的に評価する手法の確立を目標とした。

PAMによるスサビノリの 栄養塩制限の診断（プロトコル）



漁場から採取した海水及びノリ葉状体を用い、蛍光やパラメーターの連続測定を行う。その際、途中で栄養塩（リン、窒素）を添加し、その応答を検出

ノリの栄養塩制限の有無を診断

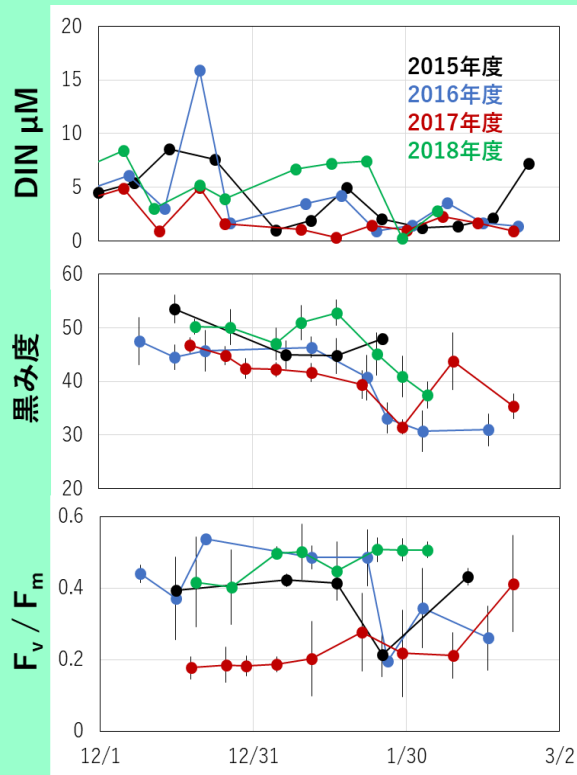
ノリの色落ちの事前察知へ

最大量子効率 (F_v/F_m) とは？

クロロフィル蛍光を測定し、光化学系Ⅱで吸収された光エネルギーのうち、光化学系Ⅰに電子伝達した割合である F_v/F_m などの光化学反応のパラメーターを非破壊的に測定する手法。

ノリ養殖漁場における F_v/F_m の推移

伊勢湾のノリ養殖漁場における
溶存態無機窒素 (DIN) ノリ葉体の黒み度、 F_v/F_m の推移



- 2015, 2016年度
栄養塩 (DIN) 濃度の
変動にほぼ呼応する形で
 F_v/F_m も応答した。
- 2017, 2018年度
栄養塩濃度と F_v/F_m と
の間に明瞭な関係は認め
られなかった。

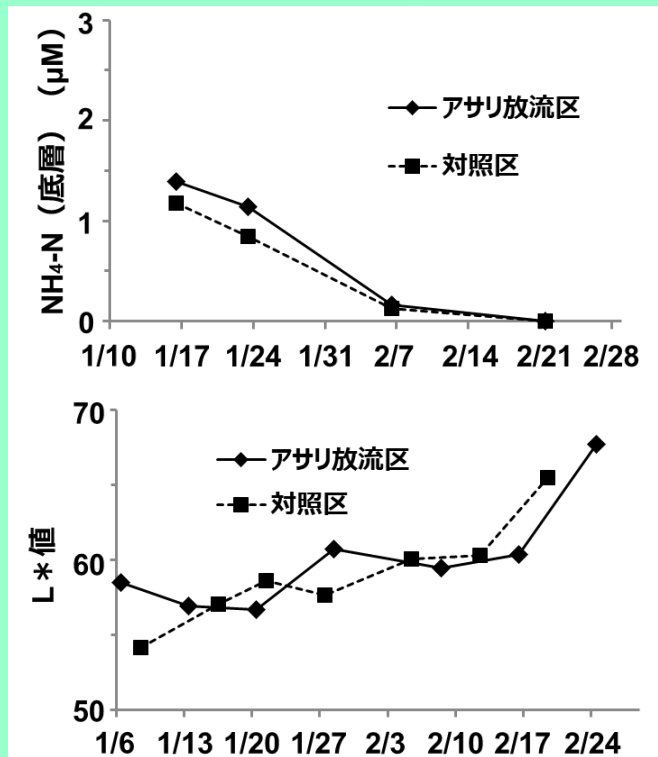
PAMを用いることでノリの生理状態を評価することは可能であるが、色落ちを事前に察知するまでには至っていない (F_v/F_m では検出精度が低い)

2) - ① 福岡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

本課題では、ノリ養殖施設周辺で二枚貝増殖試験を実施し、二枚貝が植物プランクトンを摂食することにより、ノリの色落ちを軽減し、かつ二枚貝の増殖促進にもつながることを検証した。また、二枚貝の推定資源量から植物プランクトン除去量・栄養塩排出量について試算し、二枚貝の効率的な放流場所を検討した。

ノリ養殖漁場でのモニタリング結果

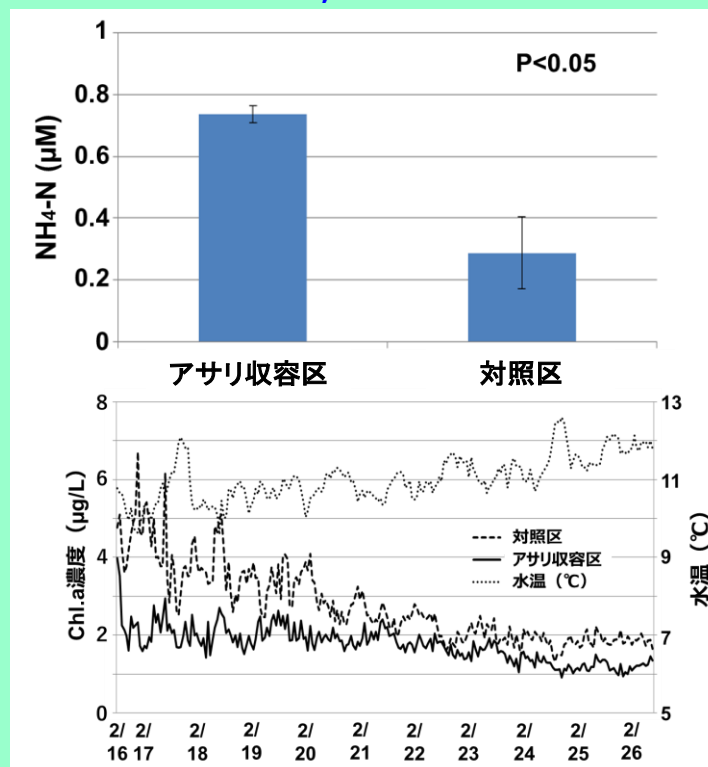
ノリ漁場にアサリの放流区と対象区を設け、アサリの分布密度、肥満度、海水中の栄養塩濃度、ノリの色調を比較



- 試験期間中、海水中のアンモニア態窒素濃度はアサリ放流区で高い傾向にあり、アサリによる栄養塩の添加効果が示唆された。
- ノリの色調は、アサリ放流区と対照区で大きな違いは見られなかった。

垂下カゴを用いた現場実証試験の結果

港内の浮き桟橋に、アサリを収容したカゴ（アサリ収容区）と砂のみを入れたカゴ（対象区）を垂下し、クロロフィル濃度や栄養塩濃度を比較



- アンモニア態窒素濃度は、アサリ収容区の方が有意に高く、アサリによる栄養塩の添加効果が示唆された。
- クロロフィル濃度は、アサリ収容区の方が低い傾向にあり、アサリの摂餌による植物プランクトンの除去効果が示唆された。

2) - ① 福岡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

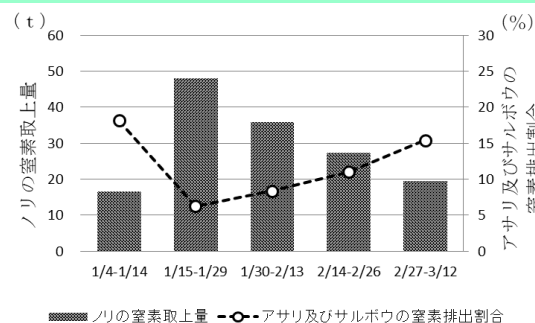
二枚貝の植物プランクトン除去量・栄養塩排出量の算出の結果

福岡県地先のアサリ及びサルボウの資源量を推定し、
植物プランクトン除去量・栄養塩排出量を算出した

アサリの資源量は約5,200 t、サルボウの資源量は約4,200 tと推定

		軟体部 乾燥重量(g)	アロメトリー式		ろ水量
植物プランクトン除去量 (kl/t/day)	アサリ	0.28	$Rc=1490.3W^{0.7472}$	→	1,382
	サルボウ	0.28	$Rc=1886.9W^{0.5957}$	→	2,997
栄養塩排出量 (kg/t/day)	アサリ	0.28	$Ean=43.31W^{1.3840}$	→	0.0179
	サルボウ	0.28	$Ean=22.47W^{1.1053}$	→	0.0251

- アサリは約800万kl/日、サルボウは約1200kl/日の海水を、ろ水していると試算され、相当量の植物プランクトンを除去していると推定された。
(1,382kl×5,200t+2,997kl×4,200t≒2,000万kl)
- アサリは約100kg/日、サルボウは約100kg/日の窒素を排出していると試算された。
(0.0179kg×5,200t+0.0251kg×4,200t≒200kg)

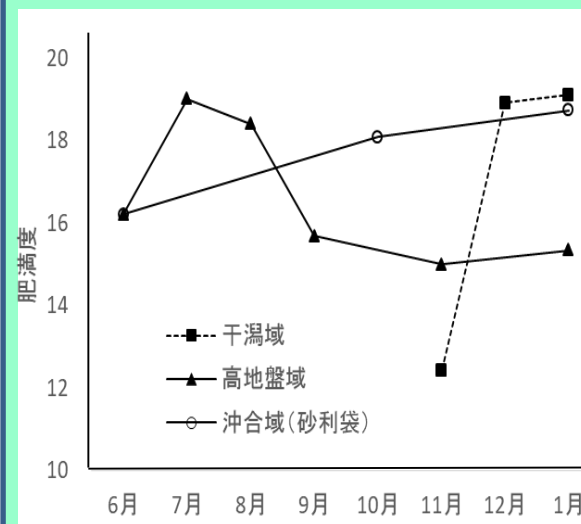


← 共販枚数から期間ごとの
ノリの窒素取上量を試算した

ノリの窒素取上量は、16.5トンから47.9トンで推移し、ノリの窒素取上量と窒素取上量に対するアサリ及びサルボウの窒素排出割合は平均11.8%で推移した。

二枚貝の効率的な放流場所の検討の結果

高地盤域、干潟域（覆砂直後）、
沖合域に試験区を設定し、アサリの
肥満度を比較した



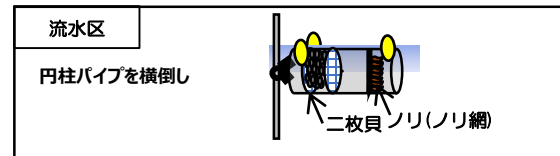
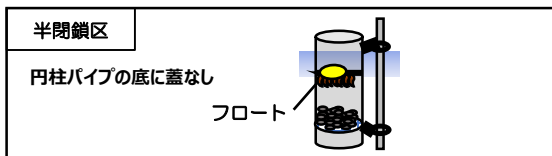
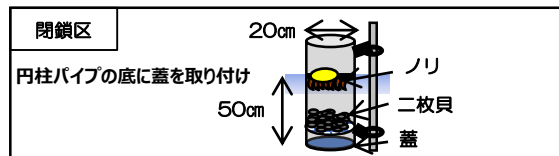
干潟域及び沖合域の肥満度が高位で推移したことから、植物プランクトンを効率的に摂餌させるために、底質が良好な干潟域や干出のかからない沖合域にアサリを放流することが重要であることが示唆された。

2) - ② 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

有明海佐賀県地先のノリ養殖施設周辺において、生息域がノリ養殖漁場とほぼ重なっている二枚貝を用いた垂下養殖を行うことで、これら二枚貝による①色落ち原因プランクトンの除去効果と②ノリの品質向上効果を検証した。

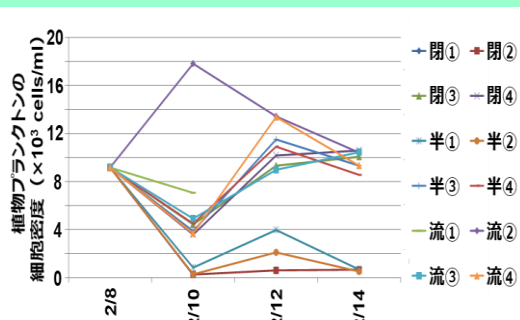
二枚貝とノリの複合養殖試験の概要

佐賀県太良町地先のノリ漁場において、下図の試験容器を設置し、二枚貝（マガキ）とノリの複合養殖試験



H29年度

閉鎖区、半閉鎖区、流水区に、ノリ+二枚貝（6kg①、2.5kg③）と二枚貝（6kg②、2.5kg④）のみを組み合わせた12試験区で複合養殖の効果を検証

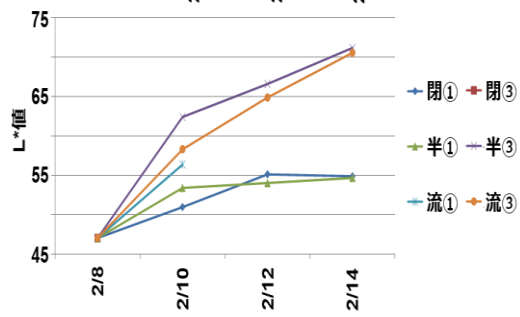


カキを収容した閉鎖区及び半閉鎖区で植物プランクトンの細胞密度が低密度で推移する傾向にあった。

カキの摂餌による植物プランクトンの除去効果が確認された。

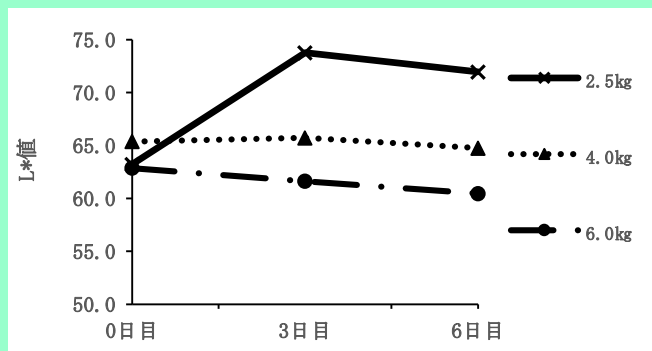
カキを収容した閉鎖区および半閉鎖区でL*値が低い値で推移する傾向にあった。

カキとの複合養殖によるノリの色落ち軽減効果が確認された。



H30年度

半閉鎖区に、ノリ+二枚貝（2.5kg、4kg、6kg）を各3例で実施し、ノリの芽付数が二枚貝の色落ち軽減効果に影響するかを検証



ノリの芽付数が少ないほど栄養塩の消費が少なく、カキの量も半閉鎖区でも昨年より少ない量でL*値が低い値で推移する傾向にあった。

昨年より少ないカキとの複合養殖によるノリの色落ち軽減効果を確認

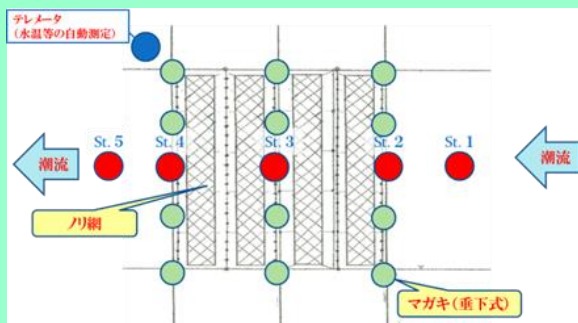
ノリの色調を維持するためには、ノリ養殖漁場1小間当たり、約206トンのマガキを垂下養殖する必要があると試算された。
1小間当たり → (45 m × 18 m, 養殖水深を3 mと仮定)

2) - ③ 熊本県地先有明海・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

熊本県地先有明海及び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。そこで、本課題では、二枚貝養殖が熊本県地先有明海および八代海のノリ養殖漁場における栄養塩循環と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した。

マガキ養殖施設周辺海域におけるモニタリング調査

玉名市横島町地先（有明海）における試験の概要
（上段：マガキ養殖試験、下段：マガキを併用したノリの養殖試験）



ノリ養殖漁場でマガキの垂下養殖試験を行ったところ、試験養殖筏外の潮上（St.1）よりも潮下（St.5）でクロロフィル濃度が減少する事例が確認された。

マガキによる植物プランクトンの除去効果が示唆された。

ノリとマガキを併用した試験養殖を行ったところ、

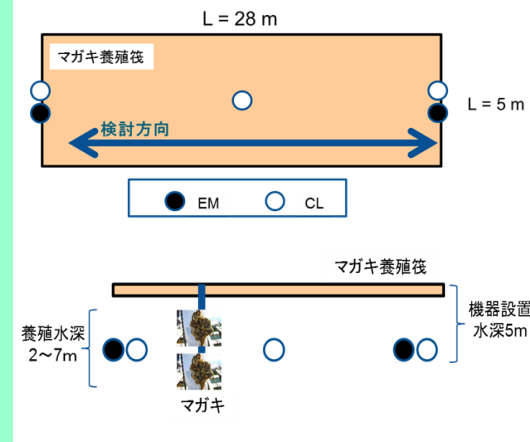
ノリのみで養殖した場合は、
通常のノリ → 色落ち
色落ちノリ → 色落ちが悪化

マガキと併用した場合には、
通常のノリ → 色落ち
色落ちノリ → 色調に変化なし

マガキと併用して養殖することにより、
色落ちが悪化しなかった。

マガキ養殖施設におけるクロロフィルaの収支

熊本県八代市鏡町地先に設置したマガキ養殖筏で取得した流向・流速、クロロフィルa濃度の連続観測データ等を基に、マガキ養殖施設におけるクロロフィルaの収支を推定した。

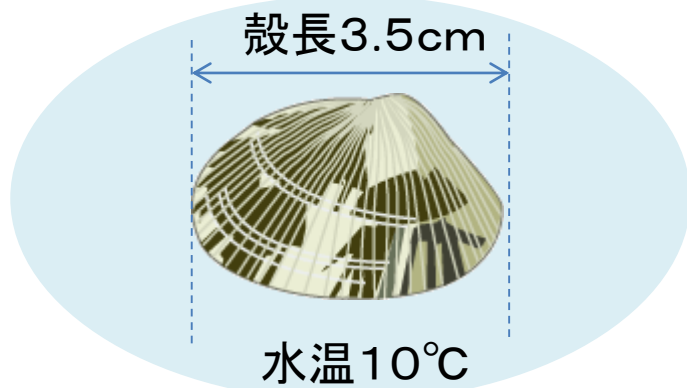


養殖容積700 m³で約6,600個のマガキを養殖した場合のクロロフィルaの収支の推定結果から、『植物プランクトンの現存量の増加を4.5%抑制する効果がある』と推定された。

【試算】有明海のノリ漁場をアサリでろ過するには !!

[参考資料]

【アサリ1個あたりろ過水量】



【アサリ1万トンあたり効果】

ろ過水量: 1,400KL/日



水深1mで14km²相当

〔参考: ノリ色落ち対策に寄与する二枚貝
増養殖技術ガイドライン(平成24年3月)〕

① 佐賀県・福岡県のノリ漁場面積(132.5 km²) × 水深1mの海水を
1週間で1回ろ過するには、

・アサリ 1.4万トン が必要。

② 上記必要量を佐賀県・福岡県のノリ養殖小間数(53,273)に割り当てると、

・254 kg/1小間 を垂下すればよい。

注) 1小間はノリ網8~10枚を張込み、広さは概ね18m × 36m

二枚貝の垂下式養殖について

[参考資料]

《垂下式養殖とは》

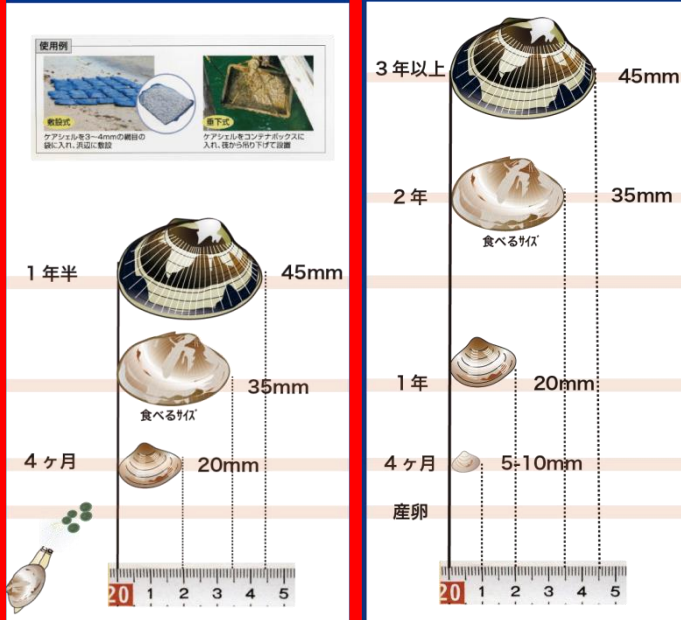
筏等に吊り下げて養殖する手法。
アサリなど潜砂性二枚貝においても、浅いコンテナに砂等を入れて貝を収容し、ロープで海中に吊すことで集約的な養殖が可能。

垂下養殖によりアサリの成長が2倍
1年で出荷が可能



垂下養殖アサリの成長

天然のアサリの成長



《二枚貝垂下式養殖の主なメリット》

○成長が良い

養殖アサリでは、天然アサリに比べて2倍以上の成長（1年半で出荷サイズ）。

○生残率が高い

底層の貧酸素水塊を回避し、餌となるプランクトンの多い水深で養殖可能。

○赤潮予防・水質改善効果

ノリと栄養塩を競合する珪藻類を摂餌することで、色落ち対策にも効果を期待。

○天然資源の回復・増大に寄与

天然海域に幼生を供給する母貝集団として、資源増大への寄与が期待。