

ハ、ワカメ養殖場における 栄養塩供給技術実証試験事例集

（水産庁補助「漁場生産力向上のための漁場改善実証試験」事業成果ダイジェスト）



水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所
岡山県農林水産総合センター 水産研究所
兵庫県立農林水産技術総合センター 水産技術センター
香川県水産試験場
徳島県立農林水産総合技術支援センター 水産研究課
愛媛県農林水産研究所水産研究センター 栽培資源研究所
香川大学

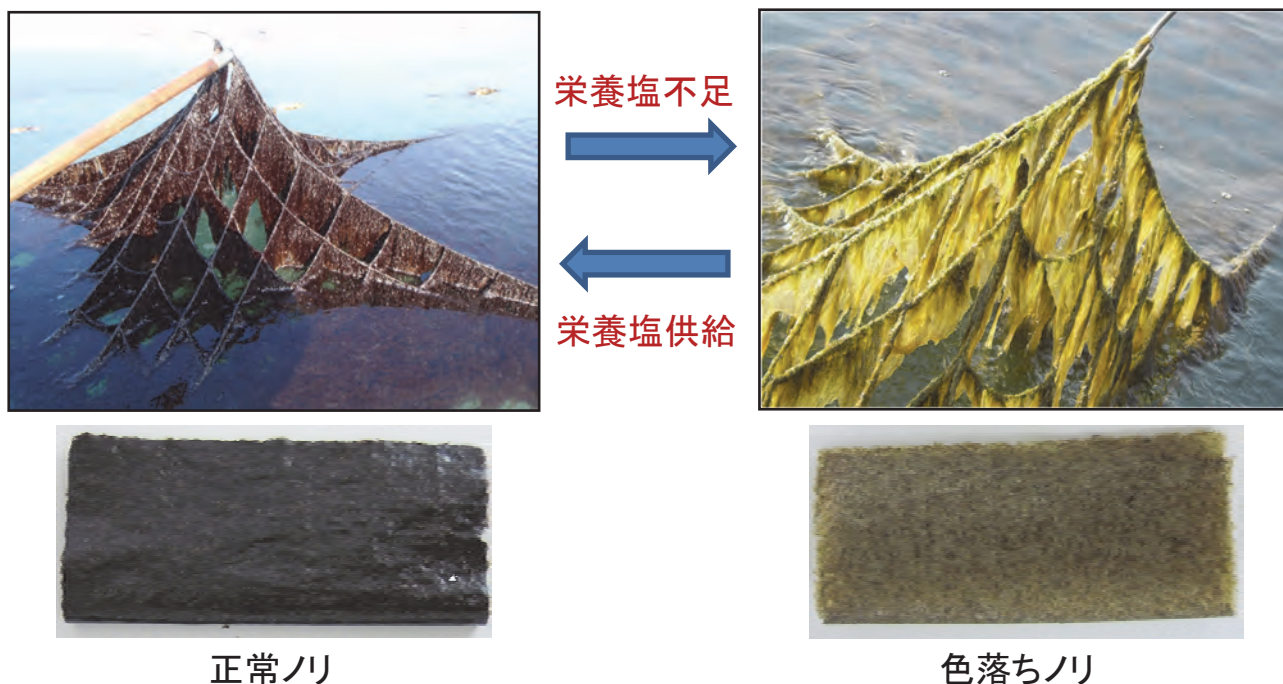
平成25年度～29年度に実施した水産庁補助「漁場生産力向上のための漁場改善実証試験」の事業成果の概要を紹介することを目的として、「ノリ、ワカメ養殖場における栄養塩供給技術実証試験事例集」を作成しました。

本補助事業は、先行して実施された水産庁委託「沿岸海域の栄養塩管理技術の開発委託事業」においてノリ色落ちへの短期的対策として提言された栄養塩供給技術について、瀬戸内海の各漁場における海域特性に応じた栄養塩供給手法を検討・開発し、その実証試験を実施したものです。なお、先行事業の詳細は水産庁ホームページのパンフレット「瀬戸内海東部におけるノリ、ワカメ養殖のための栄養塩管理に向けて」を参照して下さい。

(<http://www.jfa.maff.go.jp/j/koho/pr/pamph/index.html>)

もくじ

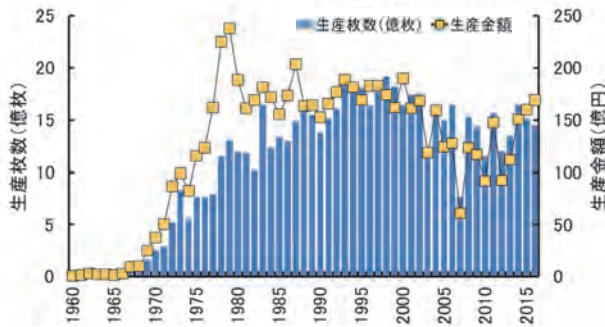
瀬戸内海東部の栄養塩環境とノリ生産の現状	2
漁場の海域特性に適した栄養塩供給技術の開発	3
臨海部の下水処理施設の栄養塩管理運転によるノリ漁場への栄養塩供給（兵庫県）	4
海底耕耘による栄養塩供給技術（岡山県）	8
ノリスカートをを用いた施肥による栄養塩供給技術（香川県、香川大）	12
燧灘西部ノリ養殖場における施肥による栄養塩供給技術（愛媛県）	14
ワカメ養殖における施肥技術（徳島県）	16
栄養塩供給技術の実用化に向けて（まとめ）	18



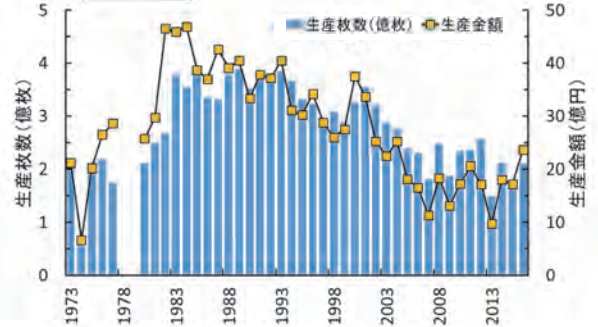
瀬戸内海では海域の栄養塩のうち無機態窒素(DIN)が不足し、養殖藻類に色落ちが発生して商品価値が低下します。そこで、開発した栄養塩供給技術により、養殖漁場にDINを供給することで、色落ち被害の低減を目指します。

瀬戸内海の栄養塩環境とノリ生産の現状

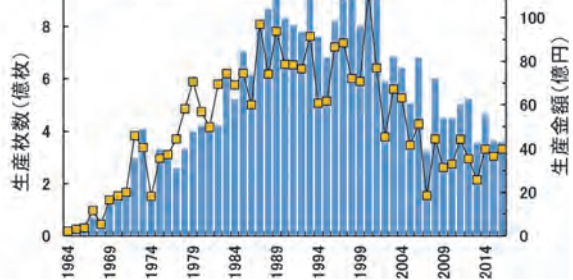
兵庫県



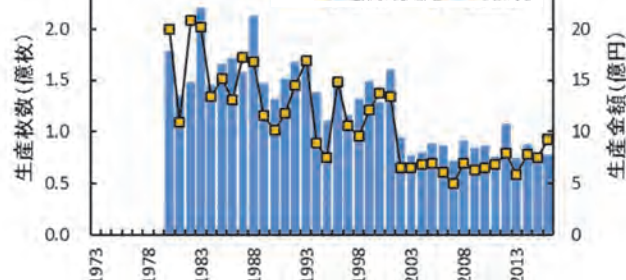
岡山県



香川県



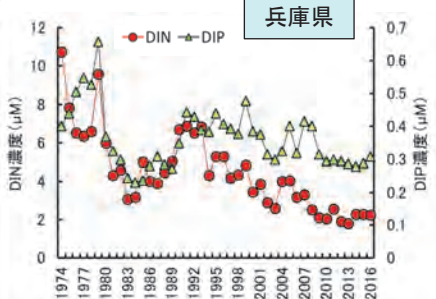
愛媛県



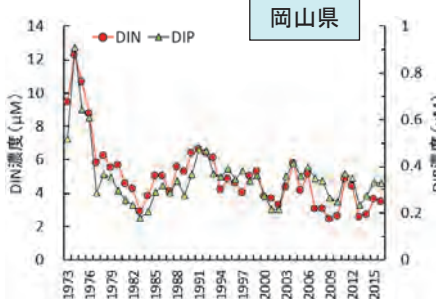
養殖技術の進歩により、ノリの生産は急速に増加したものの、瀬戸内海における1990年代後半以降のノリの生産量および生産金額は不安定化しています。

ノリ養殖は瀬戸内海の重要な漁業種類であり、生産不振は水産業において深刻な課題

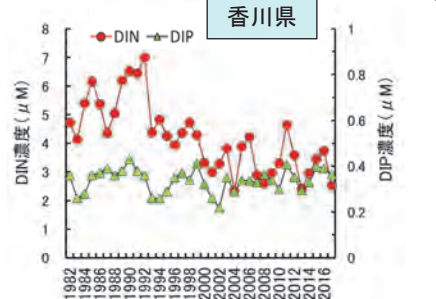
兵庫県



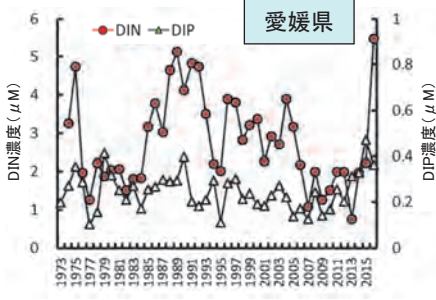
岡山県



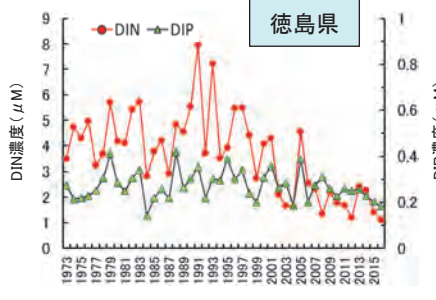
香川県



愛媛県



徳島県



瀬戸内海における各県では、海域の無機態窒素濃度(DIN)が低下傾向にあります。

瀬戸内海各県の調査海域における栄養塩濃度(DIN、DIP)の経年変動(表層)

瀬戸内海では栄養塩のうち、特にDIN量の不足によってノリ(ワカメ)の色落ちが発生し、生産不振の主な要因となっています

本事業では、ノリ・ワカメ養殖場の生産力向上を目的として、栄養塩供給技術の開発および実証試験に取り組みました。

漁場の海域特性に適した栄養塩供給技術の開発

これまでの水産庁事業による調査から、瀬戸内海におけるノリやワカメの色落ちは栄養塩不足（窒素不足）が原因であることが分かっています。品質のよいノリ（ワカメ）を安定的に生産するためには、漁期（冬季）に必要な量の栄養塩を確保することが課題です。そこで、養殖場への栄養塩供給技術の開発とその実証試験を行いました。

栄養塩不足の主要因

- ・ 特定の大型ケイ藻プランクトンの大量発生
- ・ 陸域からの栄養塩供給（河川水、産業排水等）の減少

先行事業によるノリ色落ち対策

- ・ **二枚貝増養殖技術の開発（平成19～23年度）**
ノリ色落ちの原因となるケイ藻を補食するとともに、排せつ物から海域に栄養塩を供給する二枚貝を、ノリ養殖漁場近傍で効果的に増養殖させる技術の開発
- ・ **河川水最適利用技術の開発（平成19～21年度）**
河川から海域に供給される栄養塩を最大限に活用するノリ網の配置等の検討
- ・ **栄養塩管理技術の開発（平成22～26年度）**
瀬戸内海東部のノリ（ワカメ）漁場や周辺海域における栄養塩の動態を明らかにするとともに、養殖に有効かつ適切な栄養塩管理技術を検討

- ・ 生産量を安定させるためには、冬季の栄養塩レベルの向上が必要
- ・ 海域特性に応じた適切な栄養塩供給技術の開発と実証が必要

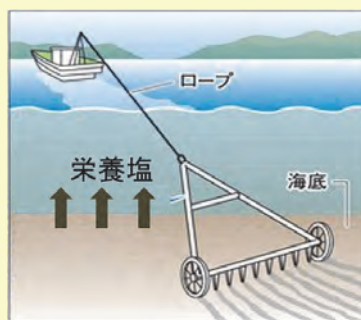
各漁場の海域特性に適切な栄養塩供給技術を検討し、実証試験を実施しました

下水処理の緩和運転



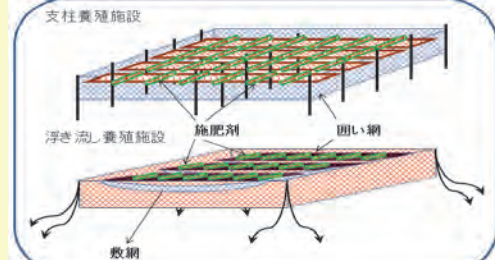
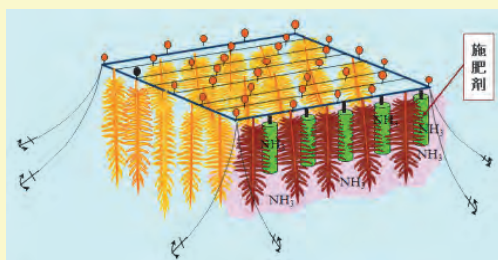
（播磨灘北東部）

海底耕耘



（備讃瀬戸）

施肥による栄養塩供給



（播磨灘南部、備讃瀬戸、紀伊水道西部沿岸、小鳴門海峡、燧灘西部）

臨海部の下水処理施設の栄養塩管理運転によるノリ漁場への栄養塩供給（兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター）

高度経済成長期の1970年前後の瀬戸内海や河川では水質汚濁が進んでいました

水質汚濁防止法や瀬戸内海環境保全特別措置法などの法整備等によって、瀬戸内海や河川の水質はかなり改善してきました

一方、近年の瀬戸内海では

貧栄養化（特に溶存態無機窒素（DIN）不足）による藻類（ノリ、ワカメ）の色落ち等の課題が発生

藻類養殖漁場への人為的な窒素供給手法として、下水処理施設の協力のもと、養殖漁期である冬季を中心に栄養塩管理運転を試行

水質浄化に偏重した海洋環境管理に係る施策への懸念

2015年瀬戸内海環境保全特別措置法の改正

豊かな瀬戸内海を目指す方向へ方針転換

下水処理施設の栄養塩管理運転とは

ここでいう栄養塩管理運転とは、法令で定められた規制値内で処理水中の窒素を増加させて放流する方法です。窒素排出量増加運転や緩和運転等も同じ意味です。

この運転によって、窒素以外の物質等も規制値を超えるようなことは勿論ありません。

栄養塩管理運転による栄養塩供給の有効性

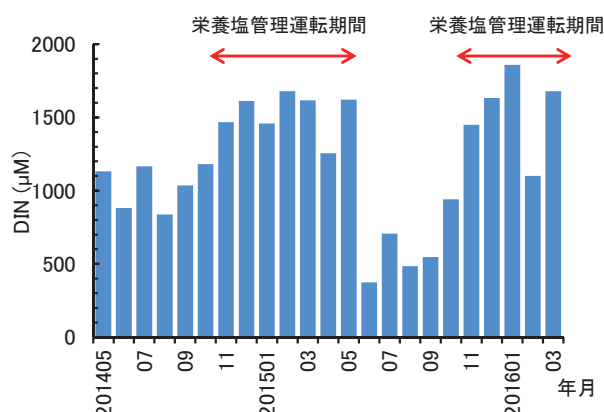
- ①下水処理施設は常時稼働しているので、継続的に供給できます。
- ②安定した供給量があります。
- ③栄養塩管理運転に伴う経費の大きな変化はありません。

※ただし、栄養塩管理運転への移行・回復期間（約1ヶ月）が必要です。また、スカム（浮泥）の発生への対応等、運転上の注意事項が若干生じます。

※栄養塩供給効果を得るには、潮汐流に伴う栄養塩供給源とノリ漁場の位置関係を考慮することも重要です（下流側に漁場が存在）。

留意事項

- ・環境、下水道等の行政担当部署と十分な調整
- ・地元の漁業協同組合や漁業者（漁船漁業を含む）との調整
- ・周辺海域の水質環境変化への注意（モニタリング等）

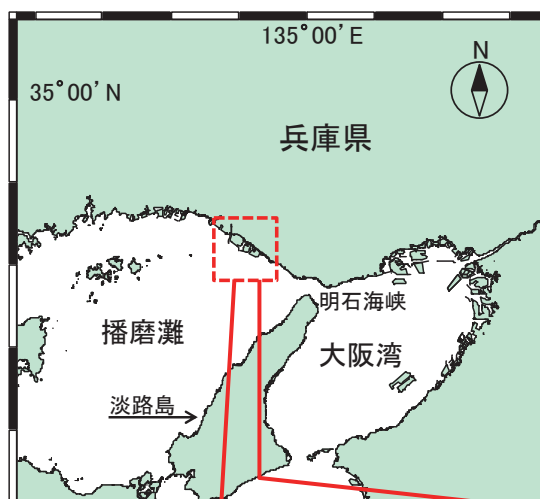


放流直前の処理水中のDIN濃度（明石市二見浄化センターの例）

※栄養塩管理運転期間中、処理水中のDIN濃度は明らかに上昇しています
※なお、明石市二見浄化センターの場合、栄養塩管理運転以外の期間は、窒素排出量を抑制する運転をしています

- ・下水処理施設の栄養塩管理運転は、有明海沿岸で先駆的に始められた方法（古賀2008）で、現在では兵庫県のほか徳島県、香川県、愛媛県、広島県等でも取り組まれています。
- ・2016年度現在、兵庫県下では臨海部の20箇所の事業場で栄養塩管理運転に取り組んでいます。

栄養塩管理運転を試行している下水処理施設周辺海域の様子(兵庫県)



①加古川下流浄化センター周辺

- ・泊川を経由した加古川下流浄化センターの処理水は、東播磨港別府西港区に流入。同港区には産業排水も流入。
- ・一級河川の加古川河水が流入。
- ・ノリ漁場区第13号が近隣に存在。

②明石市二見浄化センター周辺

- ・二見浄化センター処理水が流入。
- ・東播磨港別府港区には産業排水や別府川、喜瀬川が流入。
- ・ノリ漁場区第9,10号が近隣に存在。



①加古川下流浄化センター

- ・実績処理水量 約11万m³/日
- ・栄養塩管理運転: **脱窒抑制**方式
→処理水中のDINはNO₃-N主体



②明石市二見浄化センター

- ・実績処理水量 約3.2万m³/日
- ・栄養塩管理運転: **硝化抑制**方式
→処理水中のDINはNH₄-N主体

栄養塩管理運転で増加した窒素に限定したノリ生産への直接的な効果を抽出するのは難しい

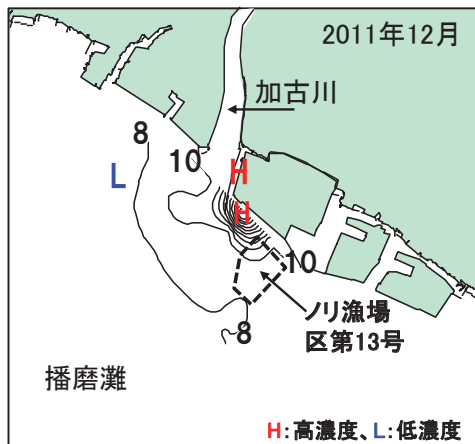
複数の調査結果(定期観測・連続観測・数値シミュレーション・安定同位体比・ノリの品質等)に基づく総合的な検証から効果を判断

留意事項

赤潮の発生及び強閉鎖性港湾域の水質悪化防止等への配慮

事例① 加古川下流浄化センター放流水に由来するノリ漁場への栄養塩供給

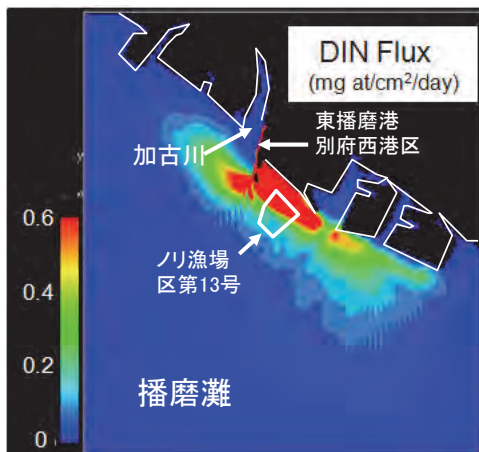
加古川河口域のDIN濃度(μM)分布例



加古川河口域の東側沿岸にDINの高濃度域が形成される場合が多い→加古川、泊川河川水及び東播磨港別府西港区に由来する水の影響

※平成22-26年度水産庁委託事業「沿岸海域の栄養塩管理技術の開発」の調査結果

加古川下流浄化センターの栄養塩管理運転によって増加した処理水中の窒素の動態シミュレーション

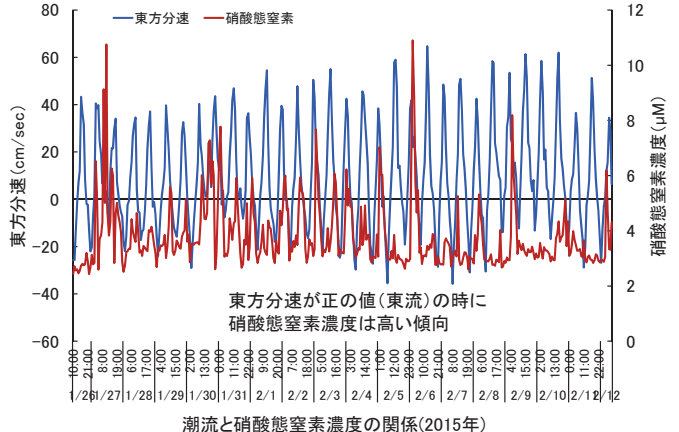
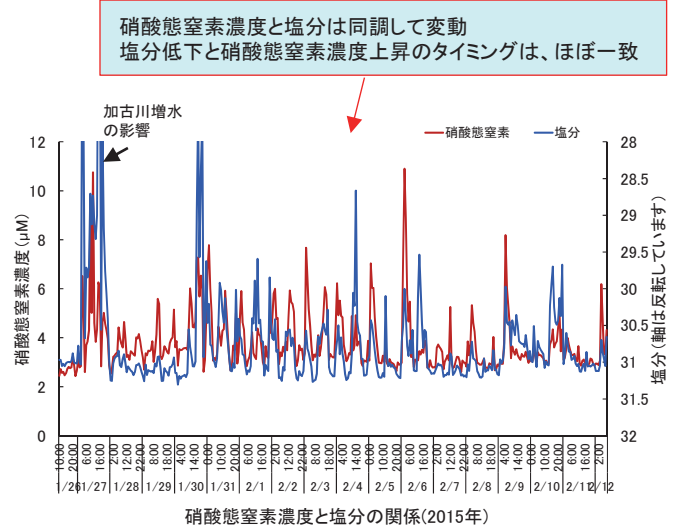


数値シミュレーションから、栄養塩管理運転で増加した窒素は、ノリ漁場区第13号に到達と推定

※平成22-26年度水産庁委託事業「沿岸海域の栄養塩管理技術の開発」の調査結果

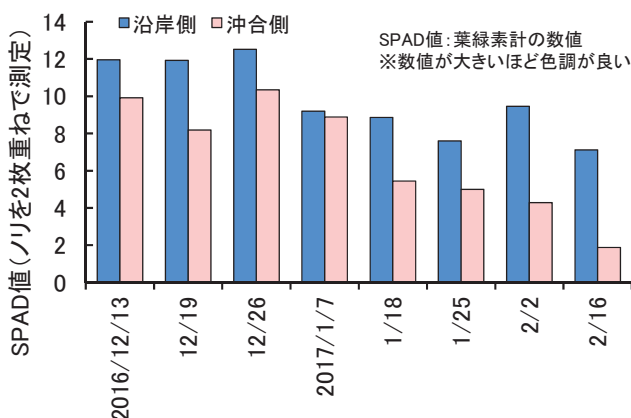
瀬戸内海区水産研究所の解析

硝酸態窒素濃度の連続観測(調査定点は5ページ参照)



東向きの潮流(下げ潮)→ノリ漁場区第13号の硝酸態窒素濃度は高く、塩分低下→加古川、泊川河川水及び東播磨港別府西港区に由来する水の影響

ノリ漁場区第13号のノリの色調(調査定点は5ページ参照)



ノリの色調は陸域からの栄養塩供給を強く受ける沿岸側で良好
※1/7以外は沿岸側と沖合側の色調に有意差があった

これらの複数の調査結果から総合的に判断

ノリ漁場区第13号は、河川水や東播磨港別府西港区に由来する水による安定した栄養塩供給を受けている

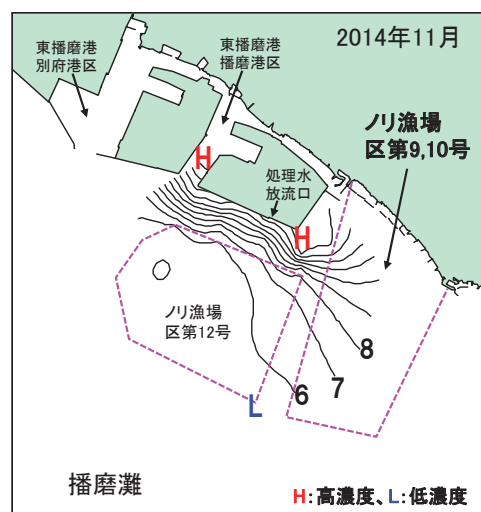
加古川下流浄化センターの栄養塩管理運転に伴って増加した窒素は泊川を経由し、東播磨港別府西港区に由来する水と同じ経路をたどり、ノリ漁場に供給

陸域からの栄養塩供給の影響を受けやすい沿岸側の漁場で生産されたノリの品質は良い

栄養塩管理運転によって増加した窒素は、養殖ノリの生産維持、安定化に寄与

事例② 明石市二見浄化センター放流水に由来するノリ漁場への栄養塩供給

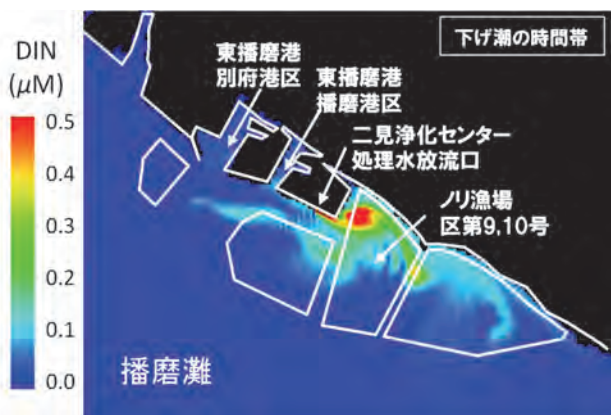
明石市二見沖のDIN濃度(μM)分布例



DINの高濃度域は海岸線に沿って東西方向に分布することが多い。高濃度域の沖合方向への広がりは小さい。

※これまでの調査から、東播磨港別府港区のDIN濃度は、周辺海域よりも高いことが判明している。

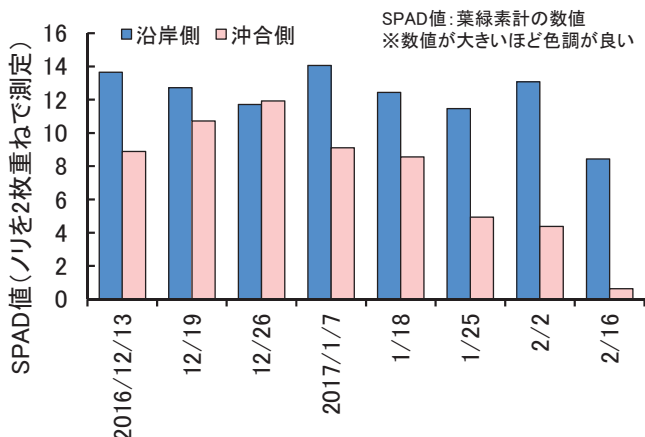
二見浄化センターの栄養塩管理運転によって増加した処理水中のDIN動態シミュレーション



瀬戸内海区水産研究所の解析

数値シミュレーションから、栄養塩管理運転で増加した窒素は下げ潮時を中心にノリ漁場区第9,10号に到達と推定

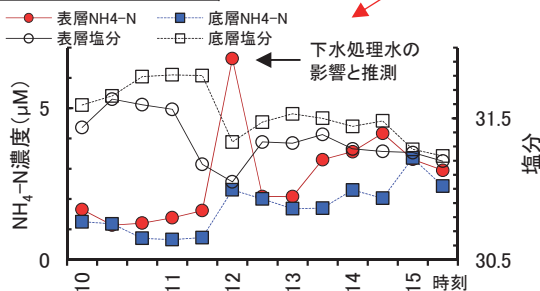
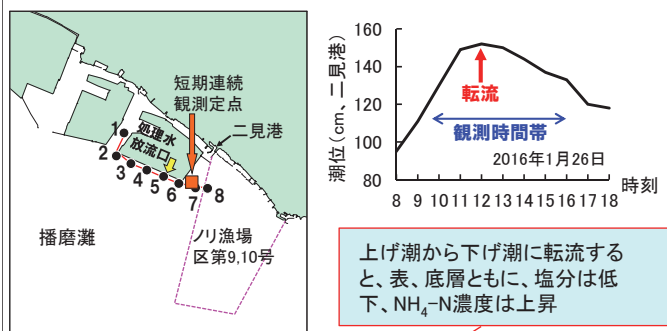
ノリ漁場区第9,10号のノリの色調(調査定点は5ページ参照)



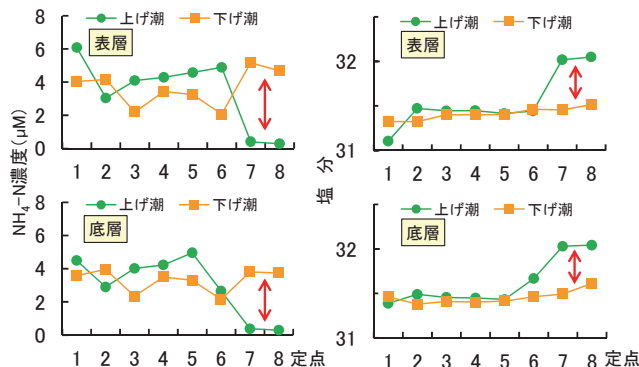
ノリの色調は陸域からの栄養塩供給を強く受ける沿岸側で良好
※12/26以外は沿岸側と沖合側の色調に有意差があった

潮汐流に伴う周辺海域の水質変化

a)短期連続観測、b)ライン調査



a)短期連続観測結果(2016年1月26日)



b)ライン調査(定点1~8で、同一日の上げ潮、下げ潮時に調査、2016年11月17日)

定点7,8 周辺では

- ・上げ潮時(明石海峡周辺由来の水の影響)
→ 塩分上昇、NH₄-N濃度低い
- ・下げ潮時(東播磨港由来の水や下水処理水の影響)
→ 塩分低下、NH₄-N濃度上昇

これらの複数の調査結果から総合的に判断

ノリ漁場区第9,10号は、下げ潮時に東播磨港に由来する水や下水処理水による安定した栄養塩供給を受けている

明石市二見浄化センターの栄養塩管理運転に伴って増加した窒素は、下げ潮時にノリ漁場に供給されている

陸域からの栄養塩供給の影響を受けやすい沿岸側の漁場で生産されたノリの品質は良い

栄養塩管理運転によって増加した窒素は、養殖ノリの生産維持、安定化に寄与

海底耕耘による栄養塩供給技術 (岡山県農林水産総合センター水産研究所)



海水中のDIN濃度の低下
によって色落ちしたノリ



DIN等を多く含む海底の泥

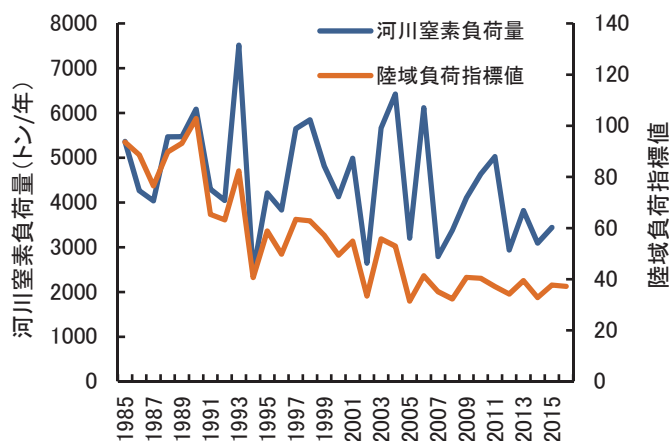
- ・岡山県におけるノリ養殖は、近年、海域のDIN(溶存態無機窒素)濃度の低下により色落ちが頻発し、生産枚数の減少と品質低下による単価の低迷が問題となっています。
- ・岡山県海域では、海水中のDIN濃度が低下する一方で、海底の富栄養化により、多くのDINを含んだ底泥が大量に存在すると考えられています。

- ・岡山県備讃瀬戸海域のノリ漁場においてDIN濃度をモニタリングするとともに、海域のDIN濃度と陸域負荷との関係を調べました。

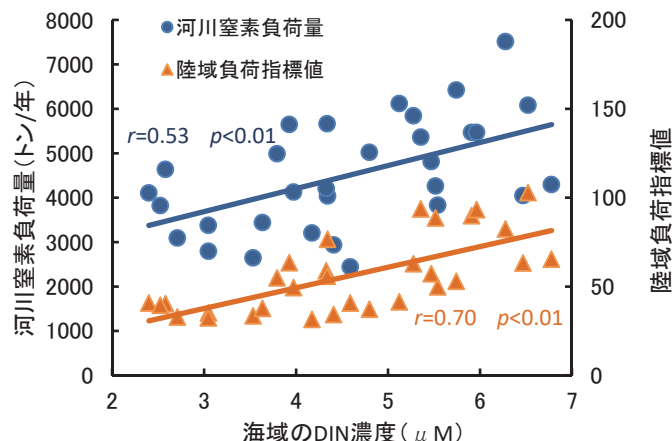
- ・海底に眠っている未利用のDINを活用するため、海底耕耘による海水中へのDIN供給効果の検証と、効果的な耕耘技術の開発を目指しました。

漁場生産力低下の原因解明

① 海域のDIN濃度と陸域負荷との関係



主要3河川の窒素負荷量と陸域負荷指標値の推移
(陸域負荷指標値=COD発生負荷量×津山の降水量年平比)



海域のDIN濃度と河川窒素負荷量および
陸域負荷指標値の関係

- ・河川窒素負荷量と陸域負荷指標値は、1995年頃までは同調して推移していましたが、それ以降は乖離が大きくなる傾向がみられ、一級河川を経由しない窒素負荷の割合が増加していることが伺われました。
 - ・海域のDIN濃度と河川窒素負荷量・陸域負荷指標値との間には、いずれも有意な正の相関がみられたことから、海域のDIN濃度の変動には陸域からの負荷量が関係していると考えられました。
- また、陸域負荷指標値においてより高い相関がみられたことから、海域のDIN濃度は一級河川からの負荷に加えて、一級河川を経由しない負荷量の変化の影響を受けている可能性が考えられました。

②海域におけるDIN濃度のモニタリング

色落ちしたノリから製造した乾海苔の品質は著しく低下することから、漁期中は一定濃度のDINが必要ですが、その詳しい動態要因は明らかになっていません。そこで、海水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ (DINの成分の一つで、冬季のDINの主成分) 濃度を観測するセンサーを用いた連続モニタリングにより、その要因を検討しました。

水深10m以浅の沿岸域で $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、クロロフィル a 濃度等を1時間毎に観測し、陸域負荷等との関係を検討しました。



$\text{NO}_3\text{-N}$ センサーによる連続モニタリングのポイント

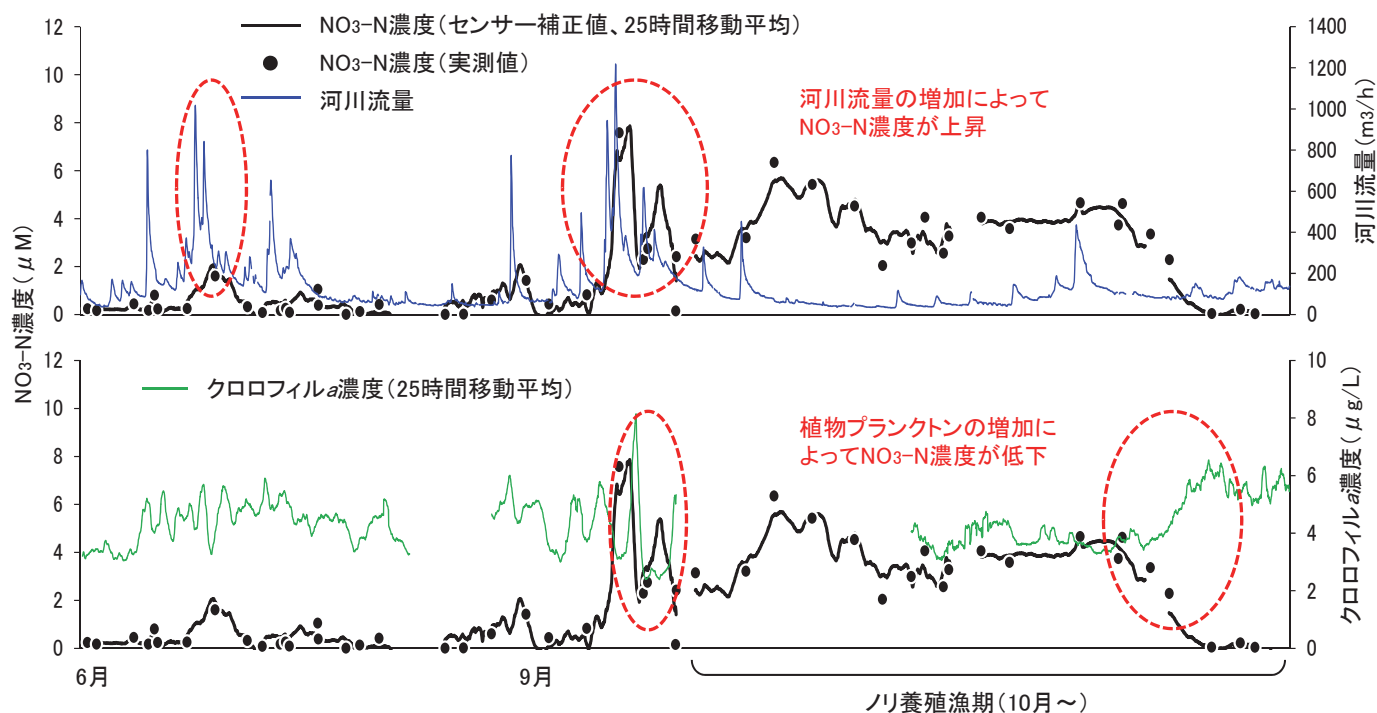


＜付着生物対策＞

銅素材を用いてセンサーを保護することにより異常値の発生を抑えることができます。

＜補正・解析方法＞

1～2か月を目途にセンサー値と実測値との補正式を見直す必要があります。また、推移の傾向をみるには潮汐周期変動を考慮する必要があります。



2016年度の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、河川流量およびクロロフィル a 濃度 (植物プランクトン量の指標) の推移

連続モニタリングによって $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の詳細な動態が把握できるようになりました。河川流量 (陸域負荷) の増加によって海水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が増加するとともに、植物プランクトンの増加によって当濃度が低下する傾向がみられました。

岡山県のノリ養殖において、陸域からの安定的なDIN供給と、漁期後半のDIN枯渇期におけるDIN供給手法が必要と考えられました。

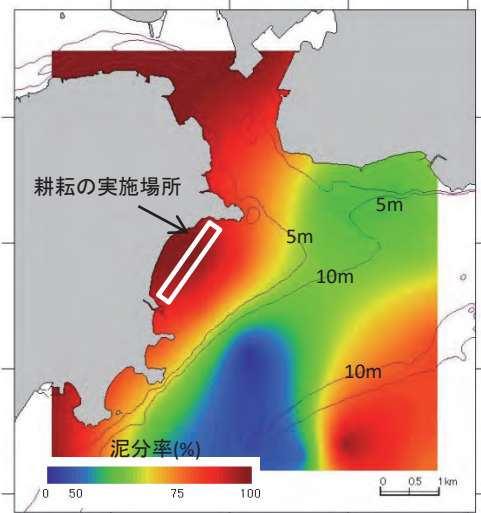
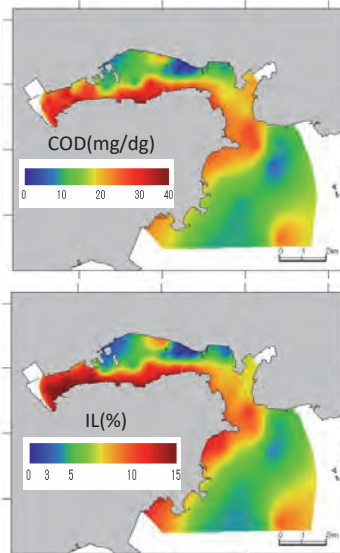
⇒ 漁業者でも実施可能なDIN供給手法としての海底耕耘の検討

栄養塩供給技術の実証試験

①耕耘実施場所の選定



岡山県における主要なノリ漁場である児島湾周辺を試験海域に設定し、底質調査を行いました。

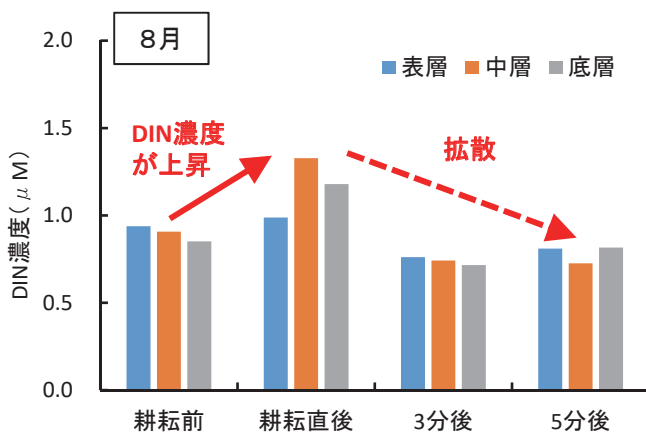


ノリ漁場に近い児島湾口付近で、底泥中に多くの有機物が含まれる場所（COD、IL、泥分率が高い場所）が耕耘適地と考えられました。

◎耕耘実施場所の条件：水深2～4m、潮流の穏やかな泥底の海域

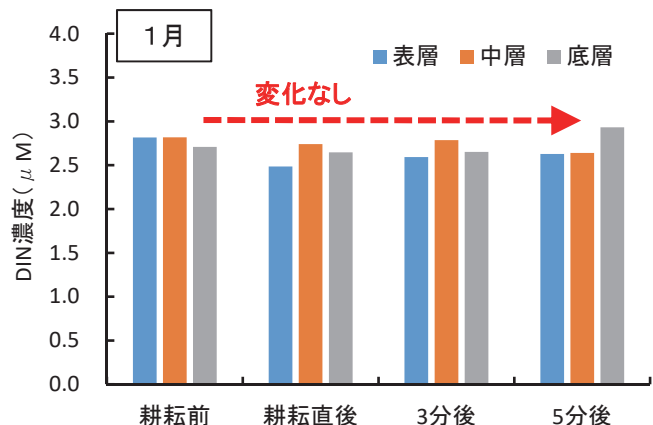
②耕耘前後における海水中のDIN濃度の変化

小型底びき網漁具（えびけた網）を用いて耕耘試験を行い、海水中のDIN濃度の変化を調べました。
試験条件：漁具を1回、約400m曳航（3ノット、約4分間）、耕耘面積は約1,440m²



海底耕耘によるDIN濃度の変化(8月)
(6回の平均値)

耕耘によって海水中へDINを供給できるが、潮流等により直ちに拡散



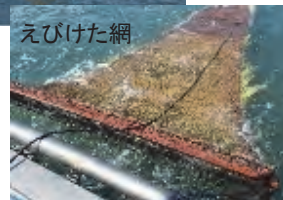
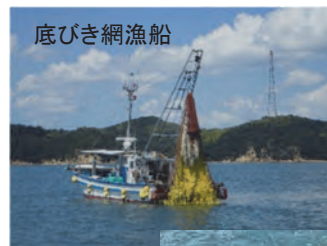
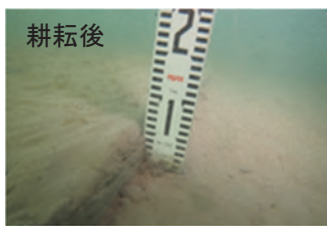
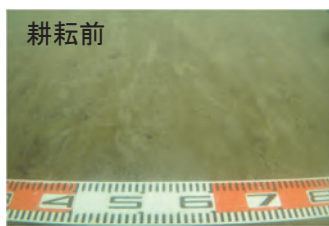
海底耕耘によるDIN濃度の変化(1月)
(6回の平均値)

耕耘前後で海水中のDIN濃度は変化せず

- ・ 夏期では、耕耘直後に海水中のDIN濃度が上昇しましたが、潮流等による拡散のため、3分後には耕耘前のレベルに戻りました。
- ・ 冬期では、漁具を1回曳航するだけでは海水中のDIN濃度は変化しませんでした。

③耕耘前後における海底の変化

ダイバー潜水を行い、1回の耕耘で底泥をどれくらいの深さで耕耘できるか確認しました。

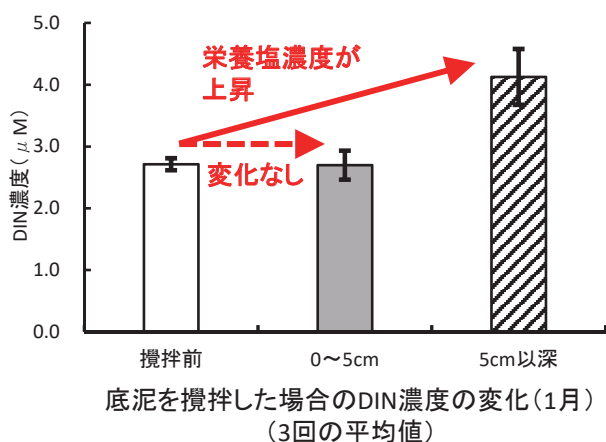


- ・えびけた網を1回曳航すると、海底を数cmの深さで耕耘できることが分かりました。
- ・冬期において、耕耘前後の海水中のDIN濃度が変化しなかった原因として、底泥表面付近のDIN濃度が低かったことが考えられました。

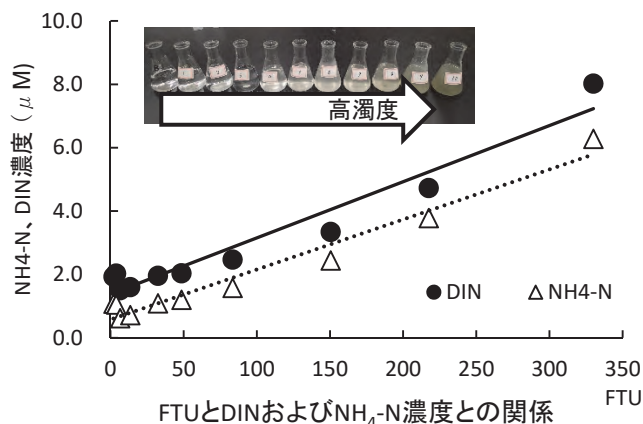
えびけた網を1回曳航すると海底を最大約5cmの深さで耕耘

④効果的な耕耘手法の検討

- ・冬期にダイバー潜水を行い、深さを変えて底泥を攪拌することで海底耕耘を模擬的に再現し、底泥からのDINの溶出量を調べました。
- ・耕耘実施場所の表層海水と底泥を混合したサンプルにより、FTU(濁度)とDIN濃度の関係を調べました。



冬期には底泥中のDINは5cm以深に存在



泥を多く混合した高濁度のサンプルほどDIN濃度が高い

- ・潜水調査の結果から、冬期には高濃度のDINは底泥表面から5cmより深いところに多く存在すると考えられました。
- ・サンプル分析の結果から、底泥をより多く耕耘・攪拌するほど海水中のDIN濃度が上昇することが示唆されました。

ノリ漁場に海底のDINを届けるためには、**底泥中の高濃度のDINをより多く海水中に巻き上げることが重要で、耕耘の深さを変える等、時期や底泥中のDIN濃度を考慮し、複数回・広範囲に耕耘を行うことが効果的と考えられました。**

ノリスカートを用いた施肥による栄養塩供給技術 (香川県水産試験場、香川大学)

ノリ葉体の栄養塩吸収能と目標施肥濃度

どのくらい吸収する？

乾ノリ1,000枚分の生ノリは、時間あたり60g程度の窒素を吸収する能力がある。

また、日中夜間で吸収能に差がないことを確認。

※ 養殖規模は20枚セット：約2,000m³
(水深1m、面積2,000m²の海面)と仮定。

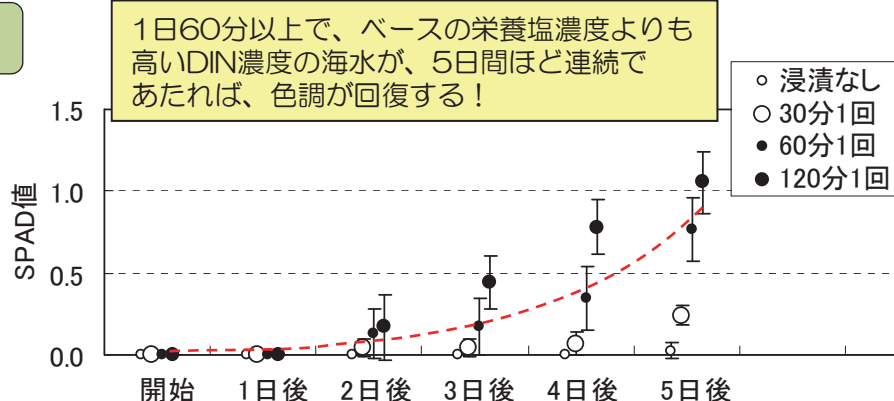
サンプル	フラスコ サイズ	明暗周期	培養 時間	DINの変化 μM	DIN吸収量 nmol cm ⁻² h ⁻¹	色調の回復	色調の回復 SPAD値	切片枚数 径10mm
1	2L	11:13	72	17.6 ⇒ 11.6	32	有	0.0 → 2.0	5枚
2	2L	11:13	72	39.7 ⇒ 33.0	35	有	0.0 → 2.0	5枚
3	2L	11:13	72	27.5 ⇒ 22.3	28	有	0.0 → 2.0	5枚
4	2L	11:13	72	11.5 ⇒ 6.9	25	有	0.0 → 1.0	5枚
5	2L	11:13	72	21.1 ⇒ 15.4	47	維持	0.0 → 0.5	5枚
6	2L	11:13	72	15.2 ⇒ 12.6	20	維持	0.0 → 0.6	5枚
7	2L	11:13	72	15.2 ⇒ 12.6	20	維持	0.0 → 0.6	5枚
8	2L	11:13	72	15.2 ⇒ 12.6	20	維持	0.0 → 0.6	5枚
9	2L	11:13	72	15.2 ⇒ 12.6	20	維持	0.0 → 0.6	5枚
10	2L	11:13	72	27.4 ⇒ 18.2	78	維持	0.0 → 0.1	5枚
11	2L	11:13	72	26.6 ⇒ 17.8	73	維持	0.0 → 0.1	5枚
12	2L	11:13	72	21.7 ⇒ 17.2	38	維持	0.0 → 0.1	5枚
13	2L	11:13	54	20.5 ⇒ 11.9	78	維持	0.5 → 0.7	10枚
14	1L	11:13	48	16.7 ⇒ 8.1	56	有	0.4 → 1.8	5枚
15	1L	11:13	48	16.7 ⇒ 11.9	80	有	0.5 → 1.9	2枚
16	1L	11:13	48	14.0 ⇒ 1.3	76	維持	写真のみ	10枚
17	1L	11:13	48	13.8 ⇒ 1.6	68	維持	写真のみ	10枚
平均					49	(20~80)		

平均 DIN 吸収能 ÷ 49nmol cm⁻² h⁻¹

色調回復に要する時間

DIN濃度 0.5μM の海水から 7.0μM の海水に、1日1回、所定の時間浸漬して、0.5μM に戻した。

SPAD値：葉緑素量を示す値



環境中の栄養塩(DIN)濃度が1μMを下回っていても、1日60分以上数μMの施肥液に接することで、養殖ノリの色調が回復することが実験的に確かめられた。

目標施肥濃度

施肥によって維持する目標アンモニア態窒素濃度を 仮に1時間後10μM とした場合、乾ノリ1,000枚分の生ノリに対し窒素(N)として約500gとなる。これは、ノリのN吸収能の約10倍となるが、海水中ではNの移流・拡散を考慮する必要があることから、概ね適正な目標濃度であると考えられた。

毎日、1時間程、約10μMの施肥濃度を保つことで、ノリの色落ちを抑制することが可能。現地試験を実施。

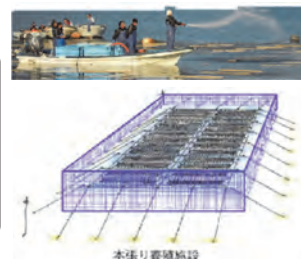
静穏海域における色落ち防止実験

施肥液の栄養塩と塩分濃度調整

1/5海水(海水:真水=1:4、比重を考慮)
窒素:塩化アンモニウム1%
リン:リン酸水素ニカリウム0.025%
1日1回動力噴霧器で散布して施肥。

ノリスカート(養殖網の囲い網)の設置

モジ網とブルーシートで製作。水深1.5mの深さのノリスカートで養殖網を囲い、施肥液を散布。
1時間後に100μM程度の濃度を維持。
対照区との単価差は5円/枚程度を実現。



内湾奥などの静穏域であれば、施肥によって色落ちを防止できた。
しかし、実際の養殖漁場は潮流が速く、新たな技術開発が必要。

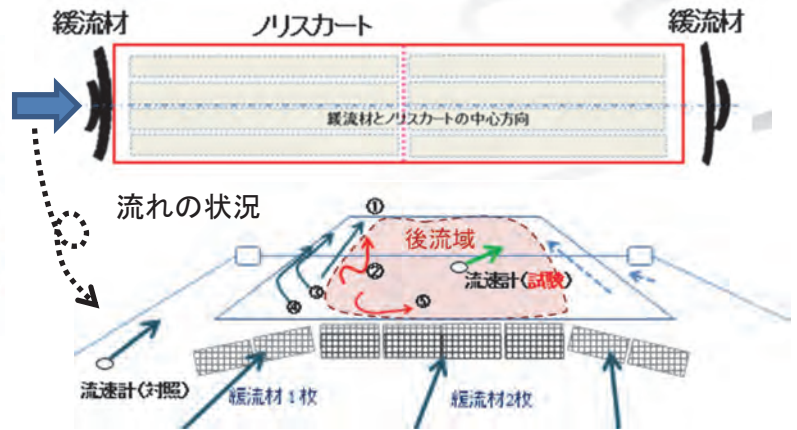
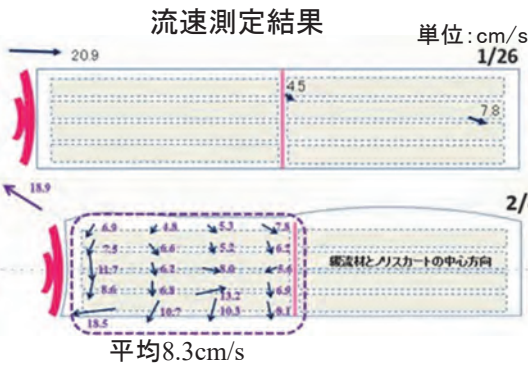
やや潮流速の速い海域での実験結果

流速が速い(平均20cm/s程度)場合の問題点

ノリスカートの形状が保てない(よじれ、破損)
内部の施肥液を保持できず流れ去る
内湾奥と同程度まで流速を制御する必要がある。

流速制御装置(緩流材)の開発

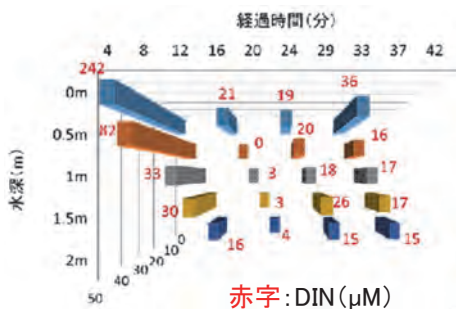
トリカルネットで作製。水深1.5~2mの深さまで潮流流速を緩和させる。緩流材の後流域では、内湾奥と同程度の流速を実現(20→8cm/s)。



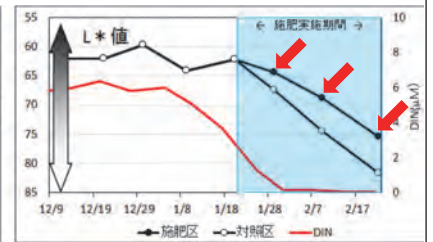
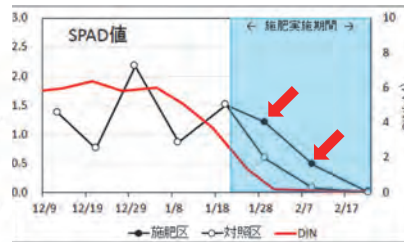
緩流材とノリスカートの効果

緩流材とノリスカートの併用により、ノリスカート内部の流れを緩和させ、40分後に10μM以上のDIN濃度を実現。このとき、ノリ葉体の色調、製品の等級と価格において、対照区よりも良好な値を得た。

DINの経時的鉛直分布



ノリ葉体の色調 L*値: 葉体の黒味度の指標(低いほど黒い)



摘採ごとの等級と単価

摘採	加工日	試験区	対照区	区別	共販	施肥
1回目	28.12.12	初2等	13.36	初2等	なし	2汐
2回目	28.12.20	2等	12.99	2等	なし	2汐
3回目	28.12.31	3等	12.03	3等	なし	3汐
4回目	29.1.10	軽3等	11.39	軽3等	なし	4汐
5回目	29.1.21	5等	11.79	5等	なし	5汐
6回目	29.1.30	5等	12.29	6等	あり	6汐
7回目	29.2.10	6等②	11.29	6等②	あり	7汐
8回目	29.2.23	6等①	9.31	6等①	あり	8汐

施肥区と対照区の差

回数	等級差	単価差額(円/枚)
6回目	1等級	0.46
7回目	3等級	2.00
8回目	4等級	1.62

※静穏域事例に比べて単価差は2円と小さいが、これは、近年のノリ市況の変化により等級の低いものも高価格化していることが影響している。

課題と今後の方向性

- 平均流速20cm/s以上の速さの潮流漁場では、さらなる流速制御が必要になる。
- ノリ養殖の施設面積が拡大しているため、それを取り囲む装置のコストは増加する。そのため、費用対効果を得るためのコスト管理が重要である。

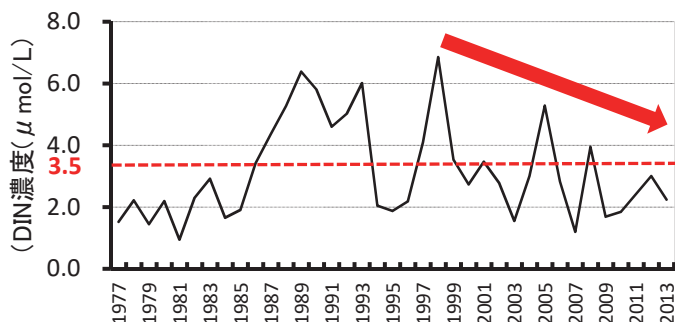
本研究は、①環境にできるだけ負荷をかけない施肥技術であり、②囲い(ノリスカート)で海水を遮断する技術、③海水の流動を制御する技術、④適切な濃度調整技術、によって構成される。将来的には、ノリ以外の藻類養殖への適用も可能であり、香川型ノリスカートによる効率的施肥技術として普及を図っていきたい。

燧灘西部ノリ養殖場における施肥による栄養塩供給技術 (愛媛県農林水産研究所水産研究センター栽培資源研究所)

燧灘（愛媛県海域）における栄養塩（DIN）とノリ養殖の関係



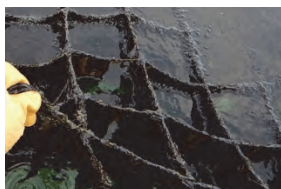
愛媛県ノリ養殖漁場



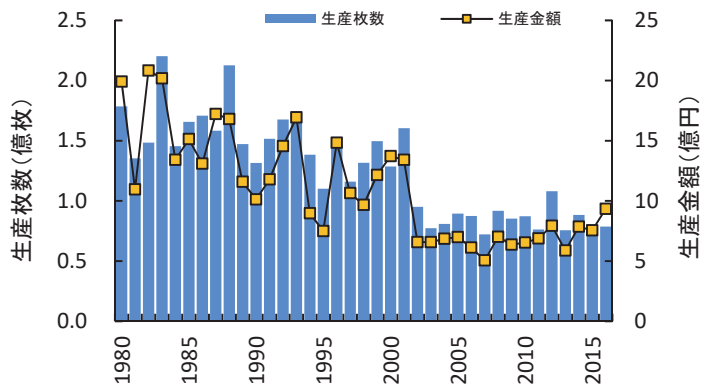
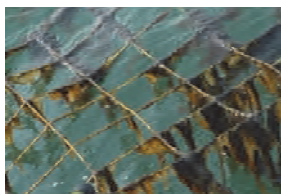
燧灘の2月におけるDINの推移

瀬戸内海の中央部に位置する燧灘は、愛媛県内で唯一のノリ養殖漁場ですが、燧灘のDIN濃度は1990年代以降、低下傾向にあります。

正常な養殖ノリ



伸長不良・色落ち養殖ノリ

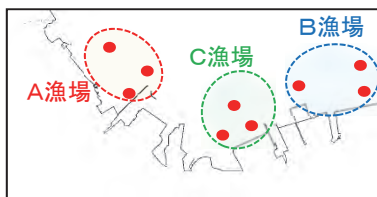


愛媛県のノリ生産と生産金額の推移

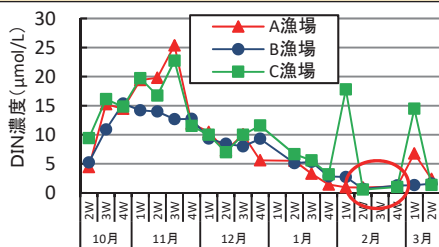
栄養塩不足はノリの色落ちや葉体の伸長不良を発生させます。燧灘において、色落ちが発生し始めるDIN濃度の目安は $3.5\mu\text{mol/L}$ とされていますが、近年、この濃度を下回って推移しており、品質の低下や生産量の減少等が顕著となっています。

栄養塩量が低下する時期に、施肥によって栄養塩を供給するとともに、敷網を敷設して添加した栄養塩を滞留させることにより、養殖ノリの生産改善に取り組みました。

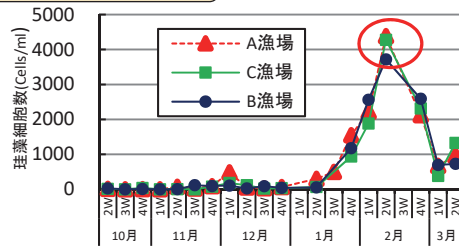
栄養塩と植物プランクトン(珪藻類)の挙動



燧灘西部ノリ養殖場の調査定点



栄養塩濃度の推移(平成28年度)



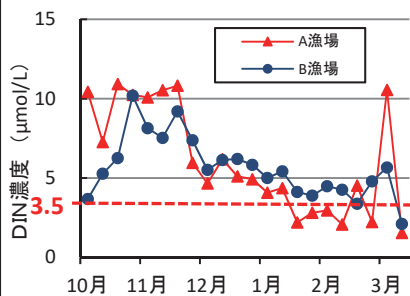
珪藻細胞数の推移(平成28年度)

珪藻類の大量発生にともない、栄養塩が減少する傾向であることを確認しました。

珪藻類の挙動を把握することにより、色落ち被害対策等のノリ生産管理への活用が期待できます。

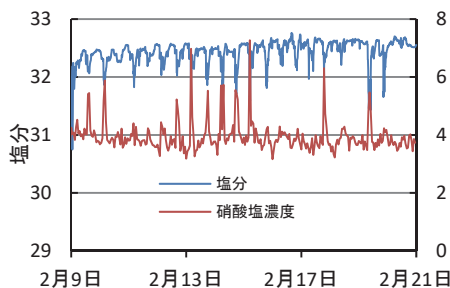
燧灘西部ノリ養殖場における栄養塩の動態

水温、塩分、硝酸塩濃度、海水流動について詳細な観測をおこないました。



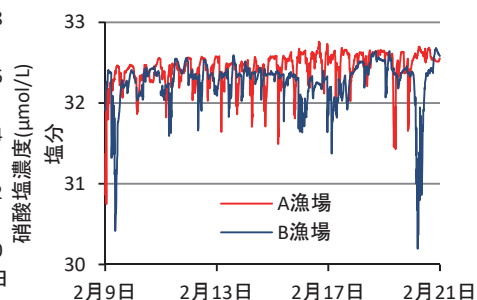
ノリ漁期中の栄養塩濃度の推移
(平成20～28年度平均)

1月中旬以降、A漁場のDIN濃度は3.5μmol/Lを下回るようになりますが、B地区は概ね上回っています。



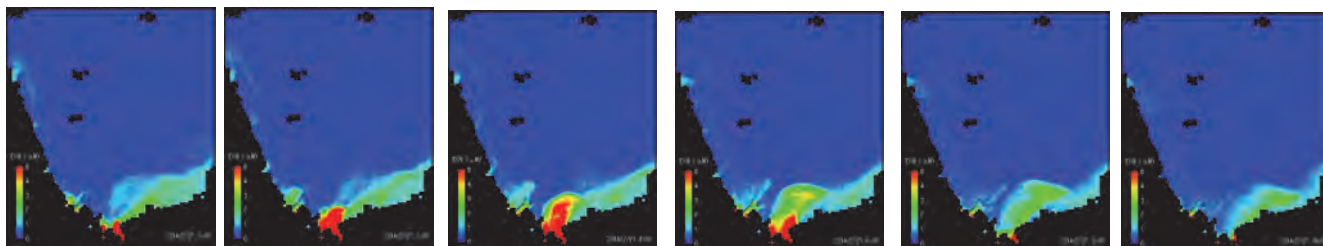
A漁場における塩分と硝酸塩濃度

塩分低下に伴い硝酸塩濃度が上昇する傾向であることから、河川水が栄養塩供給源であると考えられます。



AおよびB漁場における塩分

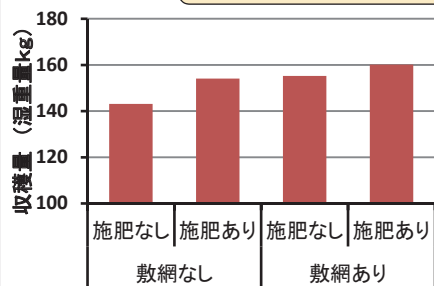
B漁場はA漁場に比較し、塩分が低く推移する傾向であり、河川水が波及しやすいことがわかりました。



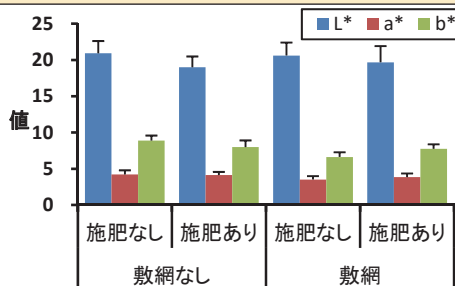
モデルシミュレーションでは加茂川、中山川河川水はB漁場のある東向きに波及する計算結果となりました。

主な栄養塩供給源は河川水であり、漁場により河川水の波及が異なることがわかりました。

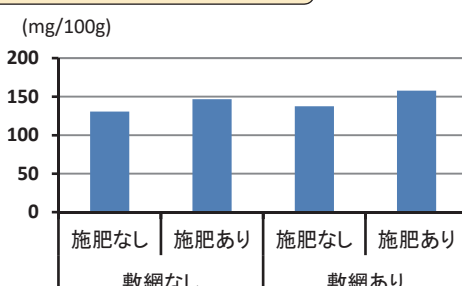
栄養塩供給実証試験(施肥剤と栄養塩滞留敷網の設置)



試験区別収獲量



試験区別色調



グルタミン酸

施肥により収獲量増加、色落ち軽減、呈味成分である遊離アミノ酸(グルタミン酸)増大の効果が確認されました。また、これに敷網を併用することにより、収獲量がさらに増大しました。

ノリ葉体消失原因説明

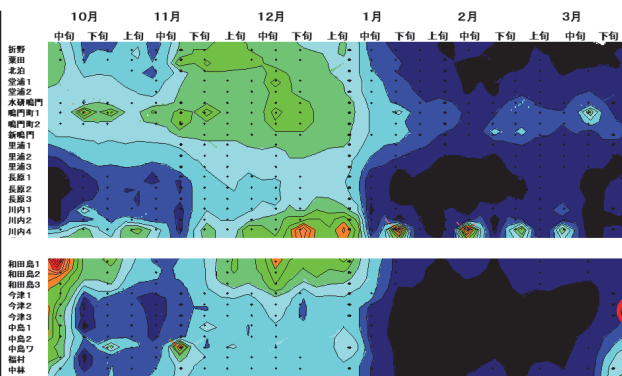


・クロダイの消化管を調べたところ、アマノリが確認されました。
・クロダイによるアマノリ食害が考えられますが、敷網の設置はこれを軽減している可能性があります。

・市販施肥剤を用いた施肥と敷網の設置により、収獲量増加、品質向上の効果が確認されました。
・敷網には栄養塩滞留効果に併せてクロダイ等魚類による食害を軽減する効果も期待できます。

ワカメ養殖における施肥技術 (徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課)

栄養塩の低下と養殖ワカメの色落ち



徳島県沿岸の藻類養殖漁場のDIN濃度の変化
左図: 調査定点 (2016年10月~2017年3月)

ワカメが色落ちする危険のあるDIN濃度

正常なワカメと色落ちワカメ

・近年、日本各地の藻類養殖漁場で栄養塩が低下して、養殖藻類が退色(色落ち)する被害が発生しています。瀬戸内海では、溶存態無機窒素(DIN)不足が色落ちの原因と考えられ、その濃度がノリは $3\mu\text{M}$ 、ワカメは $2\mu\text{M}$ 未満になると色落ちする危険があるといわれています。徳島県沿岸でも、1~3月頃を中心にDIN濃度がワカメの色落ちが発生する可能性のある $2\mu\text{M}$ 未満になり、色落ちが頻発しています。

・そこで、ワカメ養殖の色落ち対策に有効な施肥手法の開発を試みました

施肥手法の検討と施肥剤の選定

●施肥手法の検討

- 液体肥料の海面への散布: 佐賀県(有明海)のひび立てノリ養殖で効果 → 水深が浅いことが有利
- 一方、徳島県のワカメ養殖漁場は、潮流が早く水深も深いので、海面散布による施肥には不向き
- そこで、施肥剤を養殖施設に垂下する手法の開発を目指しました。

●施肥剤の選定

既製品を活用: 農業用緩効性肥料(2タイプ)を試しました
新たに専用施肥剤を開発: 硝酸アンモニウム(硝安)をゲル化剤(ゼラチン)で固めたもの(右の2タイプ)を試しました

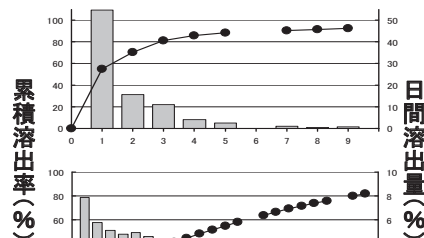
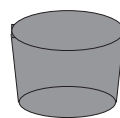
施肥剤に必要な各特性について検討

各種施肥剤の特性

類別	特徴	特性①	特性②	特性③	特性④	特性⑤
農業用緩効性肥料	表面を樹脂でコーティング	○	×	○	×	○
	低温溶出型	×	○	×	不明	不明
ゼラチン施肥剤	カバー無し	○	○	×	○	×
	穴あきケース入り	○	○	○	○	○

●開発する施肥剤に必要な特性

- 特性①: 完全に水に溶解した状態で肥料成分が溶出
- 特性②: 最も即効性がある無機窒素のアンモニウムイオンを含んでいる
- 特性③: 色落ちしたノリやワカメの色落ち回復には、10日前後必要といわれていることから、1~2週間肥料成分の溶出が持続する
- 特性④: 色落ちが発生する冬季の水温(10°C 前後)でも、肥料成分は順調に溶出する
- 特性⑤: 肥料成分の溶出量、溶出期間は調節可能



新型施肥剤の形状と溶出試験結果

折れ線グラフ: 累積溶出率、棒グラフ: 日間溶出量

農業用肥料は、低温では溶出しにくかったり、逆にすぐに粉々に砕けたりして、藻類養殖用施肥剤として不向きと考えられました。

一方、液体の肥料成分をゲル化剤で固めた施肥剤(ゼラチン施肥剤)を穴の開いたケースに入れると、溶出速度が調節可能で、施肥剤に必要な①~⑤の特性の全てを有する施肥剤が作製できると考えられました。

施肥剤の改良

●ゼラチン施肥剤には、いくつか短所が見られた。

短所1: 固まりにくく多量のゼラチンが必要→コスト高

短所2: もろい、高水温に弱い(13℃で崩れる)

※それぞれの短所は、肥料成分を多量に含んでいるため

●寒天施肥剤の溶出速度調節の工夫

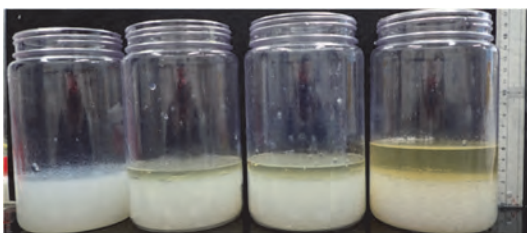
工夫①: 寒天で固めた施肥剤を円筒形のケースに充填し、施肥剤の上面からのみ溶出するようにした。

工夫②: 工夫①でもまだ溶出が早すぎたので、寒天の上面にゼラチンを流し込んで固めて蓋をした。

※ゼラチンの厚みを変えることにより溶出速度が調節可能

(下: 施肥剤の写真、右: 溶出試験の結果)

※また、蓋にしたゼラチンは、固めるときに施肥剤が含まれていないので比較的高温に強く丈夫でした。



さまざまな厚みのゼラチンで蓋をした寒天施肥剤瓶の容積は1L

●ゲル化剤の変更

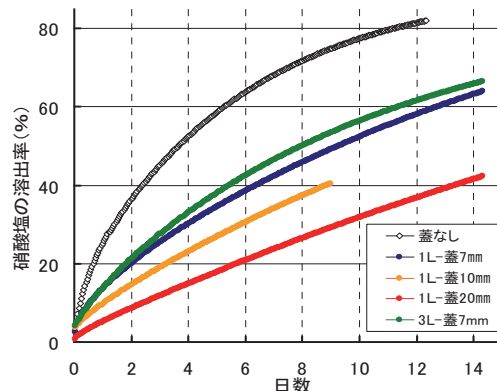
ゲル化剤を高温でも溶けない寒天に変更

↓ (寒天施肥剤)

しかし寒天は肥料成分の溶出が速い

↓

溶出速度を調節する工夫が必要

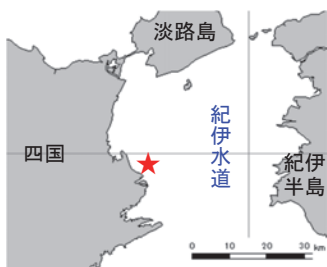


寒天施肥剤の溶出試験結果

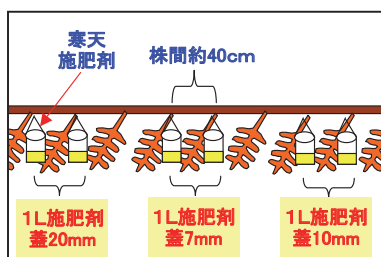
溶出試験結果(グラフ)から、改良した施肥剤は、**施肥剤に求められる特性①～⑤を備えている**と考えられました。

野外試験

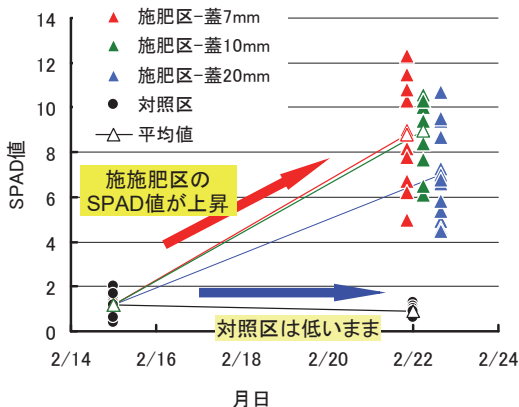
寒天施肥剤を、実際に色落ちが発生しているワカメ養殖漁場に吊してその効果を検証しました。



試験を行った阿南市今津地先(★印)

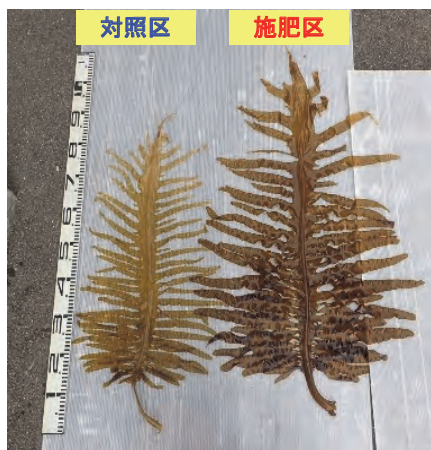


野外試験の模式図



野外試験結果

★藻体の色調を示すSPAD値が**施肥区で上昇した**
★溶出速度が速いゼラチン蓋が薄い区ほどよく回復している



試験開始2週間後のワカメ
(対照区と比較して**施肥区**のワカメは色調が回復し大きく生長)



施肥剤はワカメの株元に吊した

・この野外試験で、垂下型の施肥剤により、**色落ちしたワカメの色調回復に初めて成功しました。**

・成功の要因は、①施肥剤から2週間継続して肥料成分が溶出したこと、②ワカメの生長点に近い株元に施肥剤を垂下したことなどが考えられます。

・今後、さらに施肥剤を改良しより効果的な施肥手法を開発したいと思います。

栄養塩供給技術の実用化に向けて（まとめ）

本事業では、ノリ・ワカメ養殖に必要な栄養塩を確保するための栄養塩供給手法を開発し、その実証試験を実施しました。なお、漁場によって地形、潮流条件や栄養塩供給源が異なることから、各漁場の海域特性に応じた適切な栄養塩供給技術について、その技術開発と実証試験を実施しました。

養殖場の海域特性と適切な栄養塩供給技術の開発

本事業で実施した実証試験では、各養殖漁場の海域特性を生かした最適な栄養塩供給手法を検討・選択し、実用化に向けて様々な取組を行いました。

播磨灘北部 陸域からの栄養塩供給の割合が大きく、近年の負荷量減少の影響も大きい海域です。漁場に隣接する下水処理施設の協力のもと、ノリ漁期(冬季)に栄養塩管理運転を実施し、法令で定められた規制値内で処理水中の窒素を増加させて放流しました。現場調査、数値シミュレーションやノリの品質調査等から、栄養塩管理運転によって増加した窒素が養殖ノリの生産維持、安定化に寄与していることが明らかになりました。なお、栄養塩供給効果を得るためには、潮汐流に伴う栄養塩供給源とノリ漁場の位置関係(処理場の下流側に漁場が存在するなど)を考慮することが重要です。

備讃瀬戸(児島湾周辺) 漁場近隣の海底に眠っている未利用の栄養塩を活用するため、海底耕耘による海水中への栄養塩供給技術の開発と実証試験を行いました。漁場付近には、水深が浅く底泥中に有機物を豊富に含む耕耘適地があることが明らかになりました。海底耕耘は、漁期後半の栄養塩枯渇期に漁業者自ら実施可能な栄養塩供給手法として期待できます。なお、冬季には高濃度の栄養塩が底泥表面の5cm以深に多く存在していることから、より深く耕耘する必要があり、複数回・広範囲に耕耘を行うことが効果的と考えられました。

播磨灘南部 陸域からの栄養塩供給が少なく、栄養塩枯渇期には施肥による栄養塩供給が必要と考えられます。散布した施肥液の一散防止のため、ノリスカート(養殖網の囲い網)を用いた施肥技術の開発を行いました。これは、ノリは60分以上高濃度の栄養塩(DIN)に曝されると色調が回復するという研究成果に基づき、毎日、1時間程、10 μ M以上の施肥濃度を保つことでノリの色落ちを抑制する技術です。まず、湾奥の静穏域において、施肥により色落ちを防止効果を実証することができました。さらに、流速制御装置(緩流剤)を開発し、緩流剤とノリスカートの併用により、やや潮流速の早い海域においても、色落ちを防止することに成功しました。

燧灘 河川水の影響が少なく栄養塩濃度が低下し易い漁場において、施肥剤設置と栄養塩滞留敷網を併用した施肥技術の開発と実証試験を行いました。施肥により収穫量増加、色落ち軽減、呈味成分(グルタミン酸)増大の効果が確認されました。また、これに敷網を併用することにより、収穫量がさらに増大しました。敷網には、栄養塩滞留効果だけでなく、魚類による食害の軽減効果も期待できることが明らかになりました。

紀伊水道西部及び周辺海域 ワカメ養殖の盛んな海域において、養殖ワカメの色落ち対策に有効な施肥手法の開発と実証試験を行いました。ワカメ養殖のための新たな施肥剤を開発しました。この施肥剤は、冬季水温(10 $^{\circ}$ C前後)でも肥料成分が溶出し、溶出量、溶出期間を調節可能で2週間溶出が持続することが可能です。この施肥剤を養殖施設に垂下することにより、色落ちしたワカメの色調回復に初めて成功しました。

今後の課題

本事業では、ノリ、ワカメ養殖場における栄養塩供給技術の開発と実証試験を行い、一定の成果が得られました。今後は、より効果的な栄養塩供給のための改良を行うとともに、養殖現場への普及のためコスト面、作業効率など実用化に向けたさらなる取組が必要です。また、底質改善(海底耕耘)、食害軽減(ノリスカート、敷網)などの副次的効果も含めた、漁場生産力向上のための技術開発を目指す必要があります。なお、栄養塩供給の実施に当たっては、周辺海域の水質環境変化や赤潮発生への注意が必要であることは言うまでもありません。より効率的で環境負荷の小さな栄養塩供給技術の開発が求められています。

なお、ここで紹介した実証試験は、各漁場の海域特性に応じた最適な栄養塩供給技術を検討した上で実施したものです。したがって、どの漁場でも適応可能な技術ではなく、適応の際には、漁場毎の特性を生かして最適な方法を検討する必要があります。



問い合わせ先

水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所

〒739-0452 広島県廿日市市丸石 2-17-5

TEL 0829-55-0666

岡山県農林水産総合センター 水産研究所

〒701-4303 岡山県瀬戸内市牛窓町鹿忍6641-6

TEL 0869-34-3074

兵庫県立農林水産技術総合センター 水産技術センター

〒674-0093 兵庫県明石市二見町南二見22-2

TEL 078-941-8601

香川県水産試験場

〒761-0111 香川県高松市屋島東町75-5

TEL 087-843-6511

徳島県立農林水産総合技術支援センター 水産研究課(鳴門庁舎)

〒771-0361 徳島県鳴門市瀬戸町堂浦字地廻り壱96-10-2

TEL 088-688-0555

愛媛県農林水産研究所水産研究センター 栽培資源研究所

〒799-3125 愛媛県伊予市森甲121-3

TEL 089-983-5378

香川大学農学部

〒761-0795 香川県木田郡三木町池戸

TEL 087-891-3148

発行 平成30年3月

発行者 国立研究開発法人 水産研究・教育機構
瀬戸内海区水産研究所

〒739-0452 広島県廿日市市丸石 2-17-5