

平成30年度～令和4年度
水産庁 漁場環境改善推進事業のうち
「栄養塩からみた漁場生産力回復手法の開発」

事業成果ダイジェスト

水産研究・教育機構 水産技術研究所
岡山県農林水産総合センター 水産研究所
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30年度～令和4年度に実施した水産庁補助「栄養塩からみた漁場生産力回復手法の開発」の事業成果の概要を紹介することを目的として本冊子を作成しました。

もくじ

はじめに	2
1. 備讃瀬戸ノリ養殖漁場における海底耕耘等による生産力回復手法の開発	4
2. 播磨灘南部から備讃瀬戸海域ノリ養殖漁場における施肥による生産力回復手法の開発	8
3. 紀伊水道西部及び周辺海域のノリ・ワカメ養殖漁場における施肥による 生産力回復手法の開発	10
4. 燧灘西部アオノリ養殖漁場における施肥による生産力回復手法の開発	12
5. ノリ養殖場における新技術を用いた監視手法の開発	14

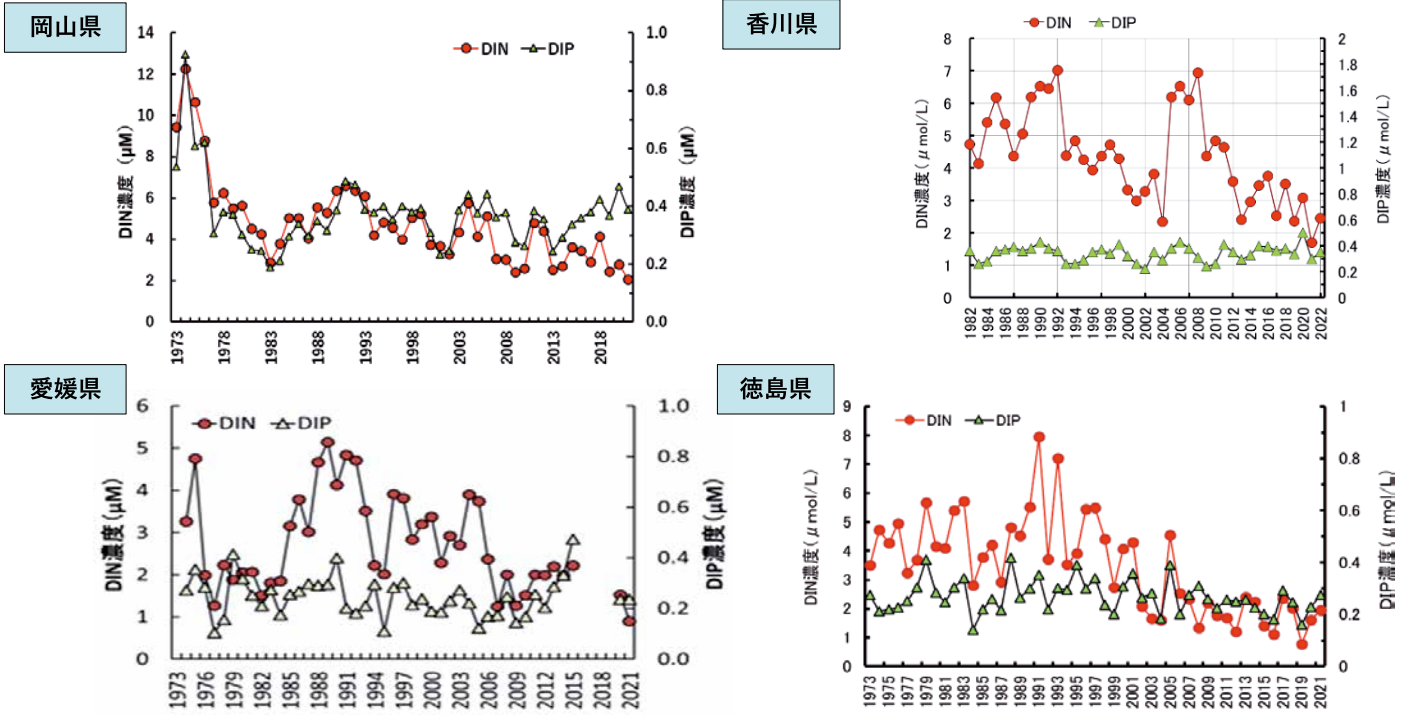


施肥パイプを用いたノリ養殖場における実証試験

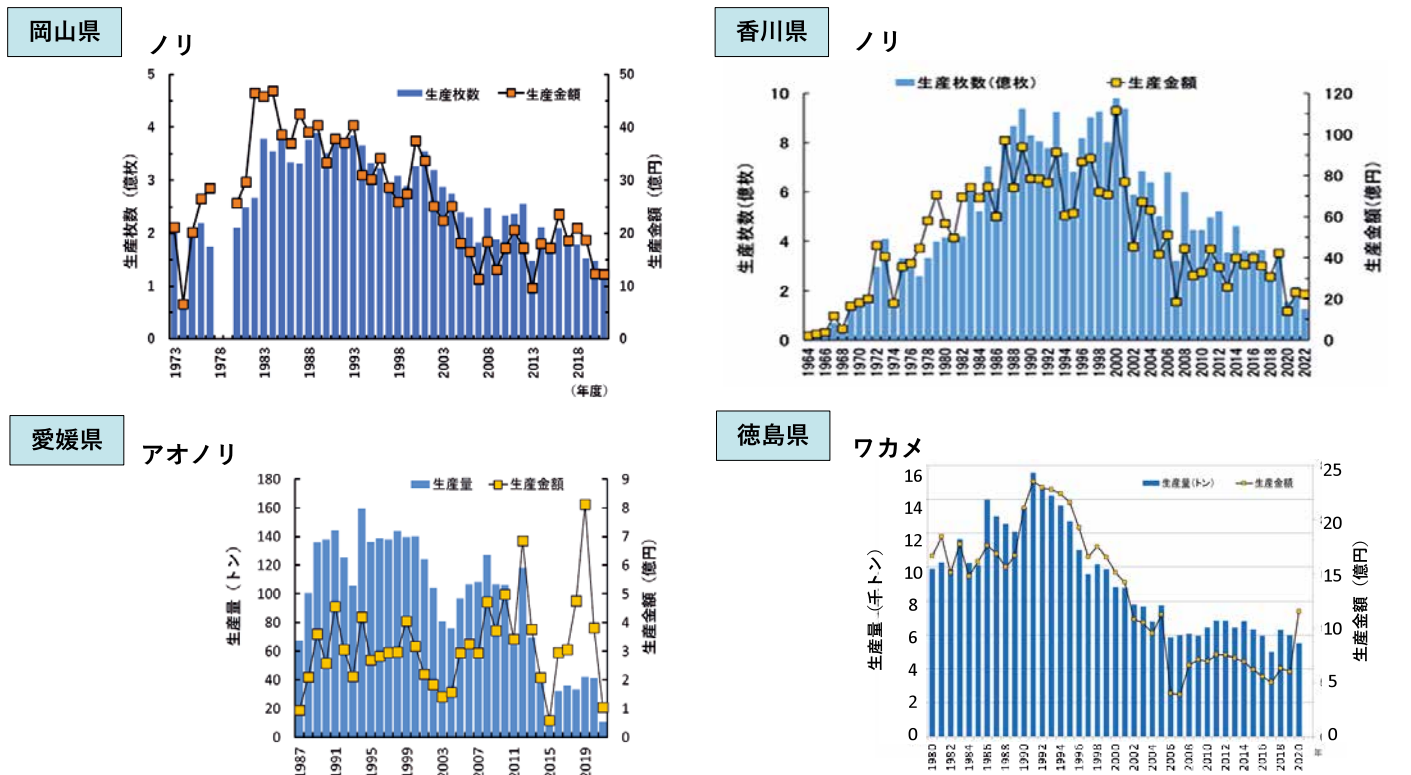
はじめに

近年、瀬戸内海ではケイ藻赤潮等により栄養塩が不足し、ノリ等の色落ち被害が発生しています。本事業では、ノリやワカメ等の藻類養殖場がある海域における漁場生産力低下の原因解明を行うとともに、ノリやワカメ等の藻類養殖において効果的に栄養塩を供給し漁場生産力を回復するための栄養塩供給手法等を開発し、その実証試験を行うことを目的としました。具体的には、施肥、海底耕耘、下水処理管理運転等による栄養塩供給技術等について試験を行うとともに、ノリ漁期における養殖場周辺の環境モニタリングを行うことにより、色落ち被害が発生した海藻類への適正な栄養塩供給手法の効果を実証しました。

栄養塩濃度の経年変動（表層）



ノリ等の藻類養殖生産の推移



栄養塩管理

改正瀬戸内海環境保全特別措置法

2015年に瀬戸内海環境保全特別措置法（瀬戸内法）が改正され、これまでの排出規制一辺倒の環境施策から、「きれいな海」に加えて「豊かな海」を目指す新たな方向が示されました。改正法では水産資源の持続的な利用の確保のため栄養塩類の適切な管理に関する調査・研究等が求められ、瀬戸内海環境保全小委員会において栄養塩類の管理の在り方について検討が進められました。その結果、2021年6月に一部改正された同法では、地域ニーズに対応可能な栄養塩管理制度が創設され、関係府県知事が栄養塩管理計画を策定できるようになりました。



これにより、特定の海域への栄養塩供給が可能となり、海域ごと、季節ごとのきめ細やかな栄養塩管理が行えるようになりました。栄養塩管理の手法としては、海域施肥、下水処理場管理運転、ダム放流など多様な事例も踏まえ、有効性・影響・実施可能性を地域の実情に応じて検討する必要があります。



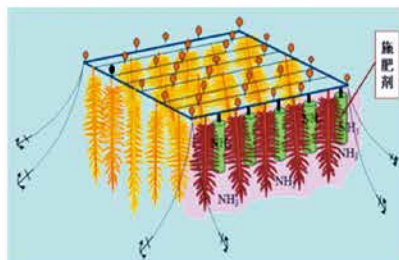
そこで本事業では、施肥、海底耕耘、下水処理場管理運転等による栄養塩供給技術等による漁場生産力回復技術について試験を行うとともに、色落ち被害が発生したノリ・ワカメ等の藻類養殖場への栄養塩供給効果について実証しました。

本事業で検討した漁場生産力回復技術

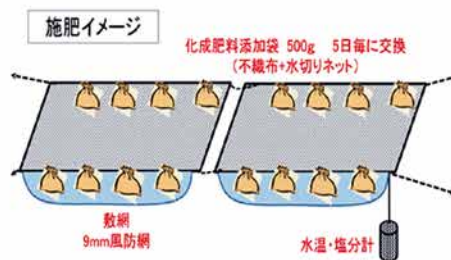
施肥による栄養塩供給



播磨灘南部～備讃瀬戸（ノリ）



紀伊水道西部（ノリ・ワカメ）



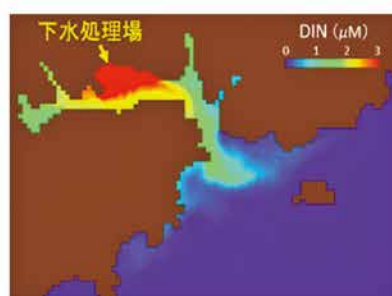
燧灘西部（アオノリ）

海底耕耘



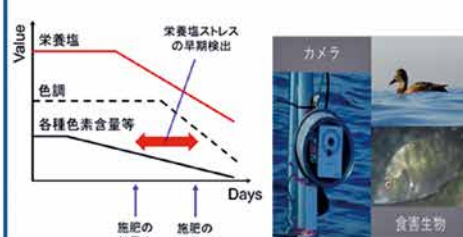
備讃瀬戸（ノリ）

下水処理場 栄養塩管理運転



備讃瀬戸（ノリ）

養殖場の監視技術



新指標によるノリの
栄養塩ストレス評価

自動撮影装置に
よる食害監視

1. 備讃瀬戸ノリ養殖漁場における海底耕耘による生産力回復手法の開発

担当機関：岡山県農林水産総合センター 水産研究所、水産研究・教育機構 水産技術研究所

岡山県では、海域のDIN（溶存態無機窒素）濃度の低下によるノリの色落ちが頻発し、生産枚数の減少、品質低下による単価の低迷が問題となっています。ノリ養殖の生産力向上を目指し、次のことに取り組みました。

○漁場生産力低下の原因解明

県内のノリ漁場において漁場環境をモニタリングし、生産力が低下する要因を調査しました。

○栄養塩供給技術の実証試験

底泥中の未利用の栄養塩を活用するため、海底耕耘による海中への栄養塩供給効果を検証し、効果的な耕耘手法を開発しました。また、下水処理施設の栄養塩管理運転による栄養塩供給効果を検証しました。

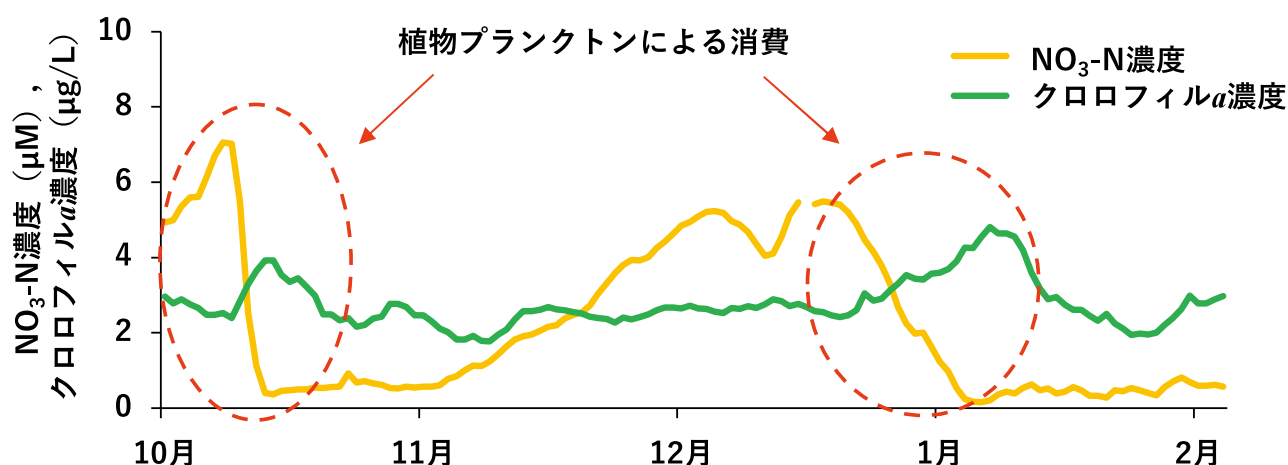
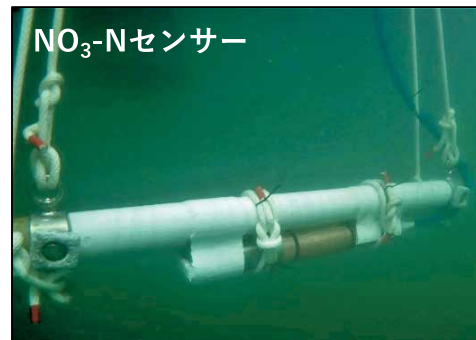


漁場生産力低下の原因解明

海域における栄養塩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ため、漁期中は一定濃度以上のDINが必要です。そこで海域の $\text{NO}_3\text{-N}$ （DINの成分の1つで、冬季のDINの主成分）濃度を観測するセンサーを用いてモニタリングし、その減少要因を検討しました。

ノリ漁場近くの沿岸域で $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、クロロフィル a 濃度等を1時間ごとに観測し、両者の関係を調査しました。



2020年度ノリ漁期の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度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

$\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の詳細な動態を調査した結果、植物プランクトンの増加によって $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が低下する傾向がみられました。特にDIN枯渇期には栄養塩の供給が必要と考えられました。

⇒ ノリ漁場周辺で実施される海底耕耘、下水処理施設の管理運転による栄養塩供給効果を検証

①海底耕耘

(1) 耕耘場所による海水中のDIN濃度の変化の違い

海底の泥（底泥）に含まれる栄養塩量は、場所ごとに違いがある可能性があります。そこでCOD（有機物量の指標）の異なる地点で耕耘し、その前後のDIN濃度の変化を比較しました。

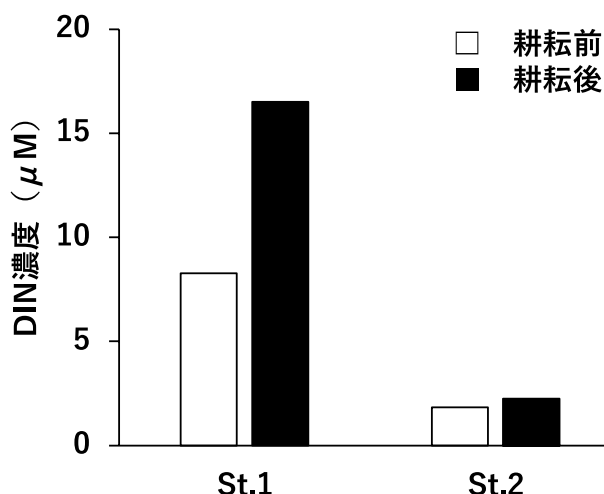
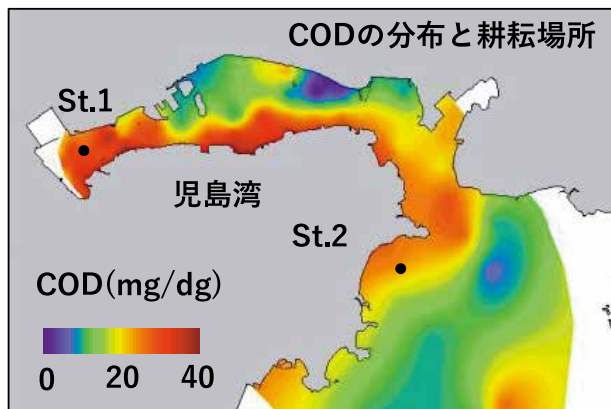
試験場所：児島湾内のSt.1およびSt.2

耕耘方法：小型底びき網漁船（えびけた網）2隻を用いて、調査点を中心に円状に3時間耕耘

小型底びき網漁船



えびけた網



耕耘前後の底層（底上0.5m）におけるDIN濃度

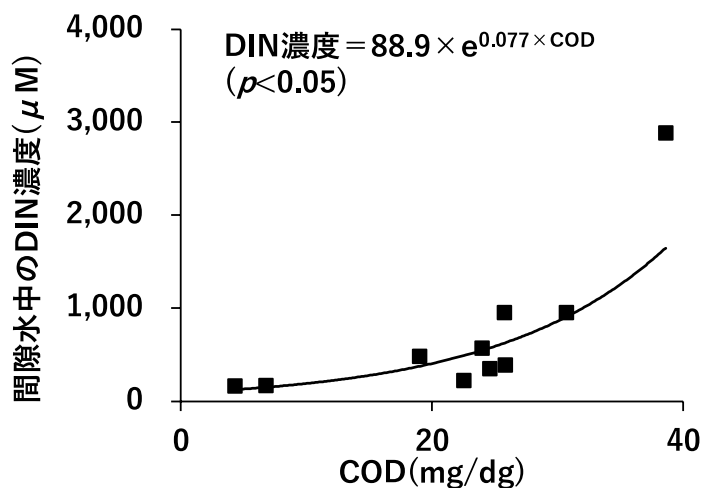


耕耘によって底泥が巻き上げられる様子が確認できました。

耕耘の前後で底層を中心にDIN濃度が上昇しました。CODの高い湾奥（St.1）の方が上昇量が高い傾向があり、耕耘する場所によって栄養塩供給効果に差がある可能性が考えられました。

(2) 栄養塩供給効果の評価

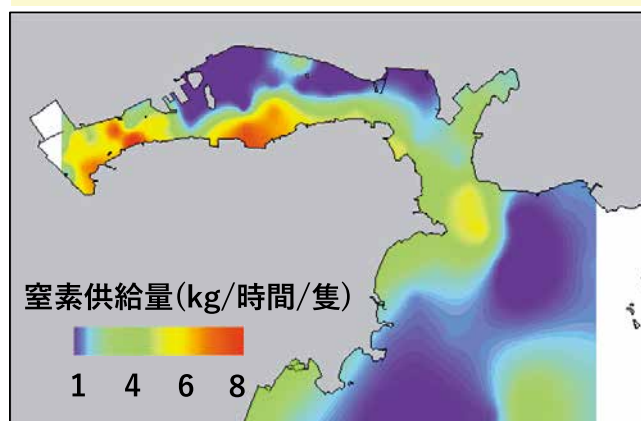
CODと底泥間隙水（泥の中に含まれる水）のDIN濃度との関係を調査し、耕耘場所ごとの栄養塩供給効果を評価しました。



底泥のCODと間隙水中のDIN濃度の関係

○窒素供給量の算出条件

- ・1回の耕耘で5cmの底泥が巻き上げられ、間隙水中のDINが全て供給される。
- ・器具幅：2m、耕耘速度：6km/時間

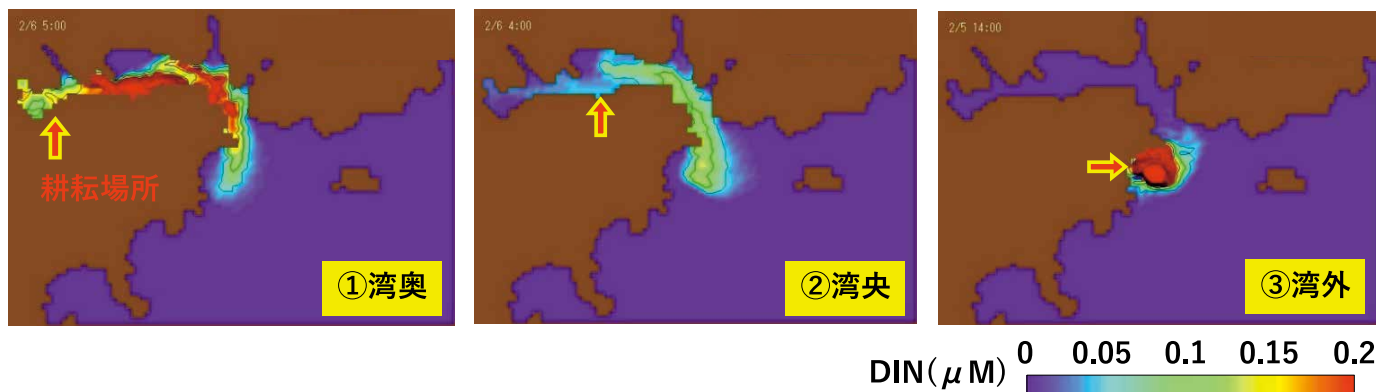


底泥のCODが高いほど間隙水中のDIN濃度は高く、栄養塩供給効果も高いことが示唆されました。

(3) ノリ漁場への栄養塩供給

海底耕耘によるノリ漁場への栄養塩供給効果を数値シミュレーションにより評価しました。

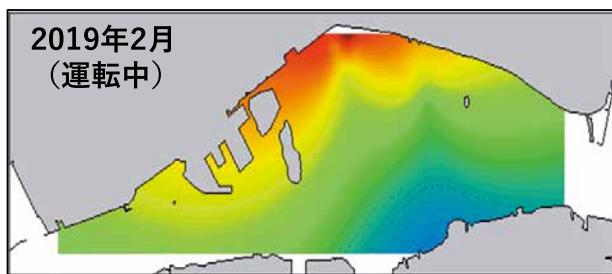
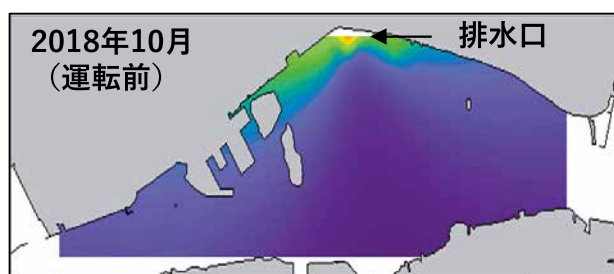
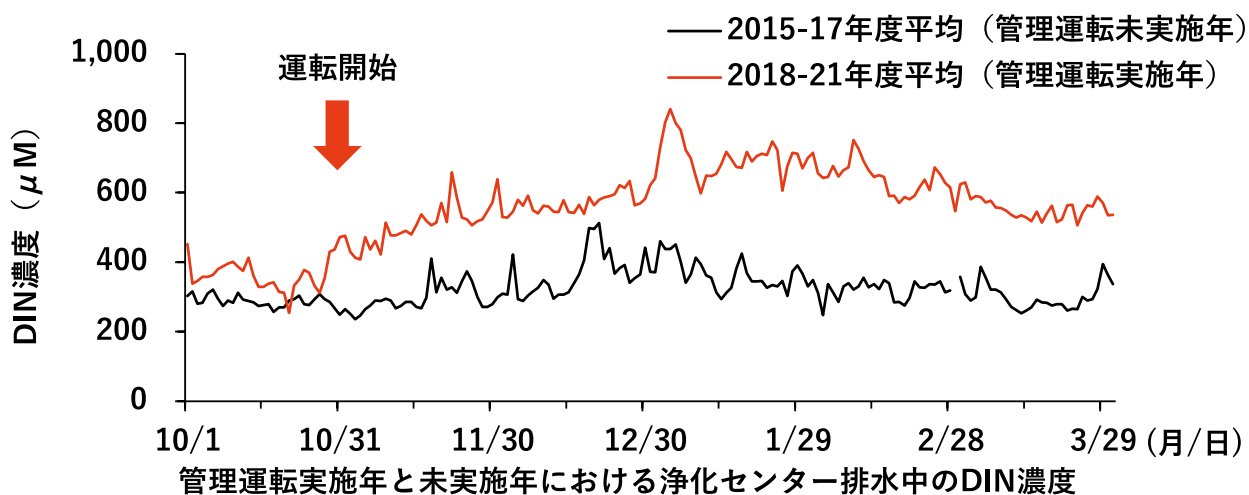
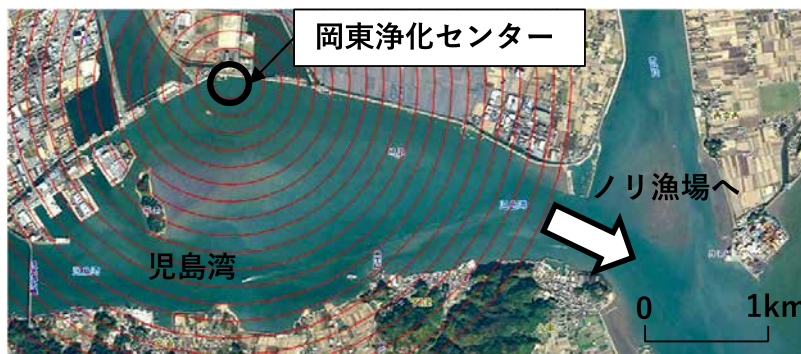
底泥の間隙水中のDIN濃度を用いて耕耘場所ごとに湾外への拡散状況を計算（表層、干潮時）



ノリ漁場へのDINの供給は湾外（③）での実施する場合が最も大きく、DIN濃度は最大 $0.2\mu\text{M}$ 程度上昇していました。湾内（①、②）は底泥中のDINは多いものの湾外のノリ漁場まではDINが到達し難いことが確認されました。

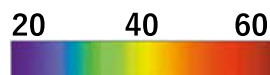
②下水処理施設の栄養塩管理運転

11月～翌3月に管理運転が実施される岡山市の岡東浄化センターにおいて、運転前後の処理水のDIN濃度の変化、周辺海域のTN（全窒素）濃度変化を調査し、管理運転による栄養塩供給効果を調べました。



管理運転前と運転中における排水口周辺海域のTN濃度

TN濃度(μM)

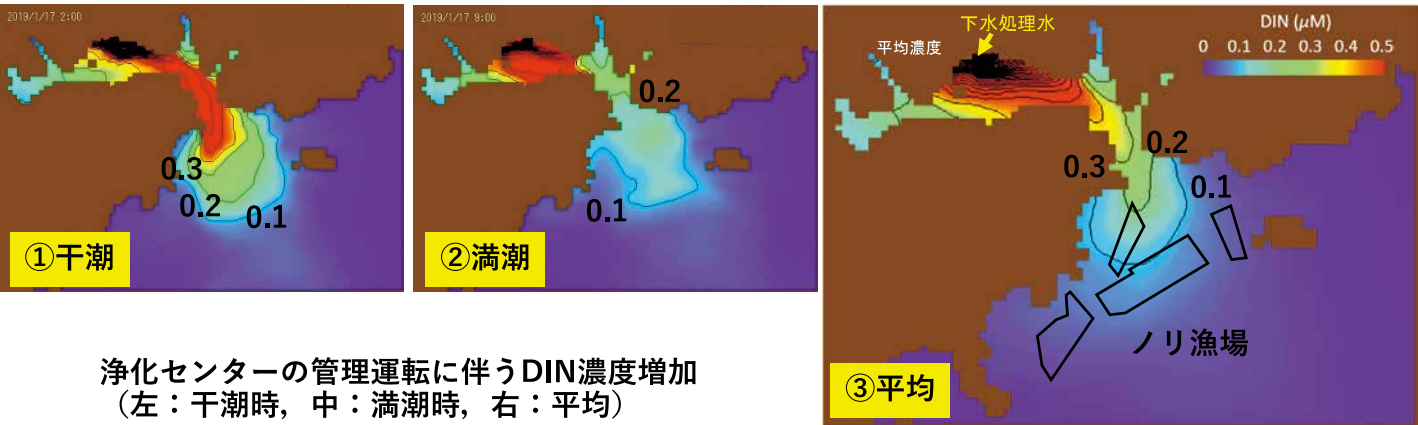


管理運転実施年における排水中のDIN濃度は未実施年より1.8倍高く、管理運転によって上昇していました。また、運転中の排水口周辺のTN濃度は運転前より広い範囲で上昇しており、管理運転によって海域のTN濃度が上昇していました。

(2) ノリ漁場への栄養塩供給

湾外のノリ漁場への影響について、数値シミュレーションにより評価しました。

排水中のDIN濃度を用いて、管理運転による湾外への拡散状況を計算（表層）



浄化センターの管理運転に伴うDIN濃度増加
(左：干潮時，中：満潮時，右：平均)

管理運転によって湾口部周辺でDIN濃度が平均0.1～0.2 μM程度上昇していました。

③手法ごとの栄養塩供給効果

岡山県で実施された手法ごとに海域への窒素供給量を比較しました。

手法ごとの窒素供給効果					条件 (年度中の実施規模ごとに比較)
	DIN濃度 (μM)	流量 (t/日)	供給量 (kg/日)	総供給量 (t)	
ダム放水	25	345,600	121.0	0.5	4日間、ダムの放水量を4t/sの上乗せ (H30年度まで実施)
海底耕耘	500	12,240	85.7	2.4	県全域の耕耘面積：696ha (R3年度) 1日あたりは2隻・2時間とした
管理運転	285	32,000	127.7	19.2	管理運転の効果 (DIN濃度) = 管理運転－通常運転 11月～3月 (150日間)

1日当たりの供給量に大きな差はなく、総供給量は管理運転が最も多く、次いで海底耕耘でした。

5年間で得られた主要な成果

- ・ノリ漁場周辺海域におけるDIN濃度の詳細な動態、DIN濃度は植物プランクトンの消費等によって減少していることが明らかになりました。
- ・海底耕耘によって海域のDIN濃度が上昇することが確認できました。
- ・より多くの栄養塩を海域に供給するには、底泥中の栄養塩量の多い場所を耕耘することが重要であり、CODを指標として活用して適地選定することが効果的であると考えられました。
- ・一方で、耕耘によりDIN濃度の上昇する範囲は限定的であることから、ノリ漁場へ栄養塩を供給するには、より近傍で耕耘する必要があると考えられました。
- ・下水処理施設の管理運転によって、排水中の栄養塩濃度が増加し、周辺海域の栄養塩濃度が上昇することが確認できました。

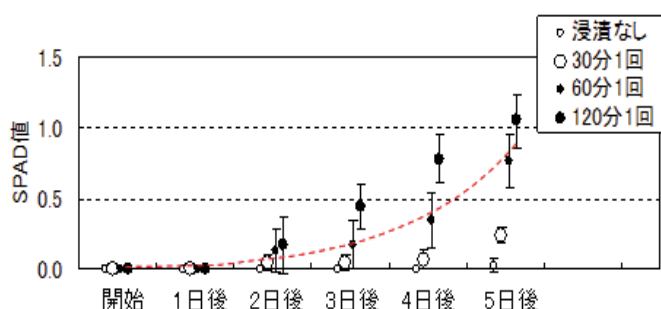
2. 播磨灘南部から備讃瀬戸海域ノリ養殖漁場における施肥による生産力回復手法の開発

担当機関：香川県水産試験場、香川大学

背景・目的・方法

近年、瀬戸内海では栄養塩濃度低下による藻類養殖被害が発生し、環境負荷の少ない施肥技術の開発が求められている。本研究では静穏域で、海面を囲い込み(香川方式ノリスカート)、その内側で施肥を行うことで栄養塩を効率的に供給する技術を開発した。しかし、潮流の速い海域では、栄養塩濃度を十分維持することが困難であったため、小孔の開いた小型のパイプ(香川方式施肥パイプ)を用いた栄養塩供給技術を開発した。二重構造のパイプの内側に施肥材を充填し、流速が外部より緩やかな養殖施設内に設置することで、施肥液の持続的な放出が可能となり、栄養塩を効率的に供給できることを実証した。

ノリ葉体の栄養塩吸収能と目標施肥濃度



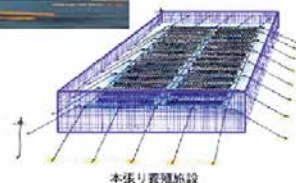
環境中の栄養塩(DIN)濃度が $1\mu\text{M/L}$ を下回っていても、1日60分以上、数 $\mu\text{M/L}$ の施肥液に接することで、養殖ノリの色調が回復することが実験的に確かめられた。

静穏海域における色落ち防止実験

ノリスカート(モジ網とブルーシートで製作。網丈、水深1.5mの深さ)でノリ養殖網を囲い、内部に施肥液を散布。1時間後に $100\mu\text{M/L}$ 程度の濃度を維持。

施肥液は、1/5海水(海水:真水=1:4)が最適。窒素:塩化アンモニウム1%,リン:リン酸水素二カリウム0.025%。1日1回動力噴霧器で散布して施肥。

対照区との単価差は5円/枚程度を実現。

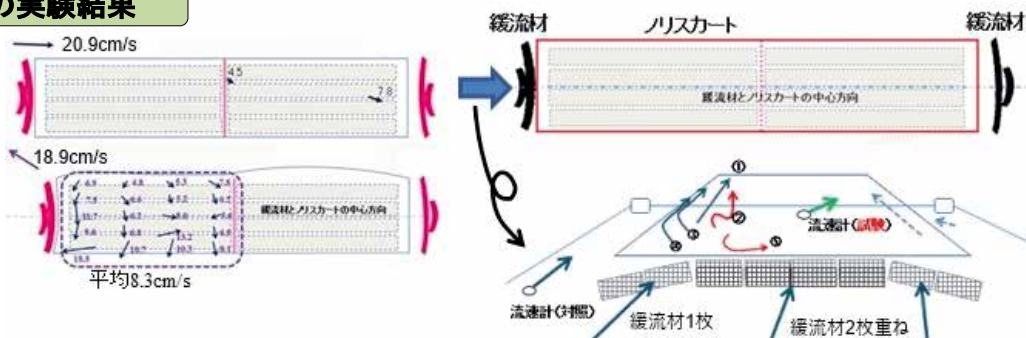


やや潮流の速い海域での実験結果

課題:流速が速い(平均20cm/s程度)

①ノリスカートがもたない(振れ、破損)

②内部の施肥液を保持できず流れ去る。



成果:流速制御装置(緩流材)の開発。トリカルネット(ブルーシート)で製作。水深1.5~2mの深さまで潮流流速を緩和。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)。色調、等級、単価の向上。

等級差の例

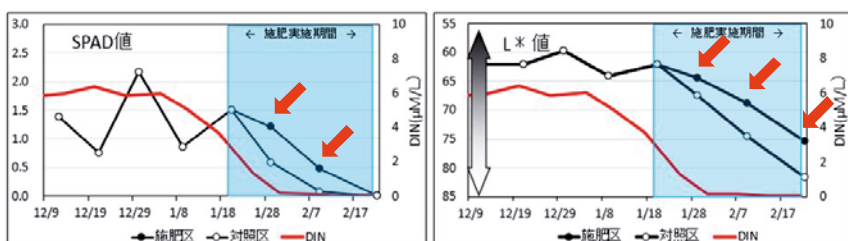
等級差(3等級の例)

試験区(6等③) 対照区(6等⑥)



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

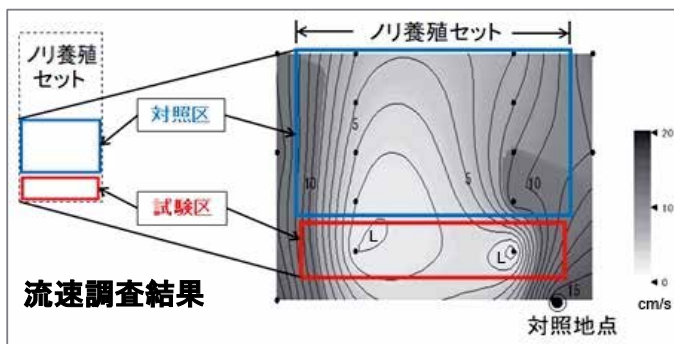
ノリ葉体の色調 L*値:葉体の黒味度の指標(低いほど黒い)



課題 ①実際のさらに潮流の速い漁場では、さらなる流速制御が必要。
②ノリスカート・緩流材の施設費と作業性の問題。

より簡便で効果の高い栄養塩添加技術の開発

実際のノリ漁場における養殖施設内部の状況
養殖施設の抵抗により、内部は外部より静穏。
流速比: 58% (6.9/11.8cm/s)

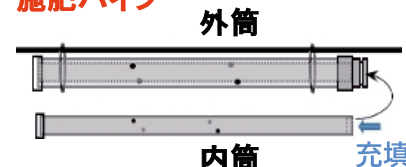


表層で少量ずつ栄養塩を連続的に供給できれば、ノリ葉体に栄養塩を持続的に届けられる可能性がある。そこで、表層に供給源を設置する手法を開発。

香川方式施肥パイプによる施肥技術の開発

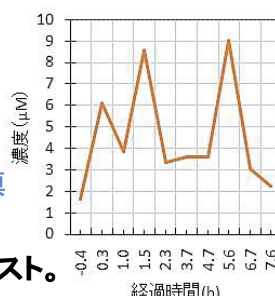
供給源: 小孔の開いた小型のパイプ
構造: 二重構造(内径の異なる塩ビパイプ)
肥料: 塩化アンモニウム0.6kg及びリン酸水素ナトリウム0.015kg/内筒1本、長さ1m、内径56mm、小孔内径2.5mm。散布方式の15%程度に施肥量削減に成功。
性能: 二重構造のパイプの内側に施肥材を充填し、流速が外部より緩やかな養殖施設内に設置することで、施肥液の持続的な放出が可能。

施肥パイプ



・二重構造にすることで、放出時間の延長を実現。しかも低コスト。

施肥パイプ 施肥量 600g



香川方式施肥パイプを用いた現地調査

試験の方法

施肥パイプの設置方法

ノリ網は潮流の主流方向と平行に設置しているため、1枚目と2枚目の間に施肥パイプ(述べ30本)の流れに垂直に、表層近くに固定。

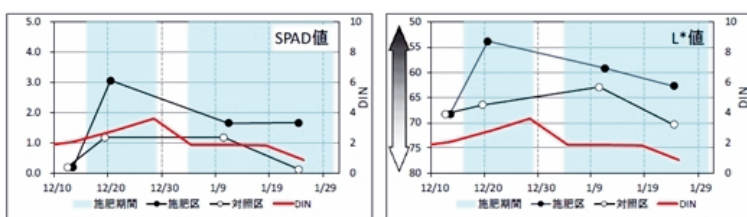
施肥材の充填は毎日(1列10本ずつ順番に、3日で1巡。)。施肥実施期間は延べ30日。

試験の結果

SPAD値は試験区で良好。L*値も同様。

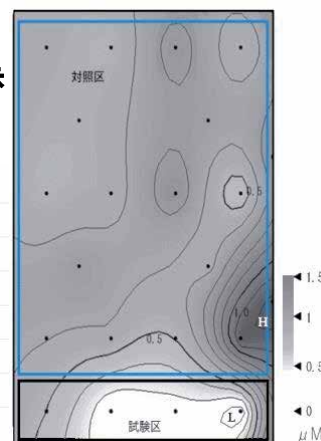
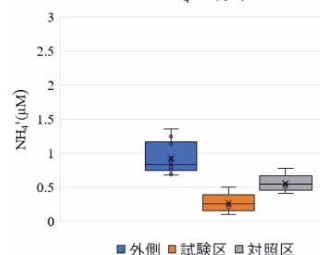
試験区におけるNH₄⁺濃度は、外側・対照区・試験区の順に高かった。ノリ養殖施設内ではノリが活発に栄養塩を吸収しており、試験区の方が対照区よりも多くの栄養塩を吸収するために、このような結果になったと考えられ、NH₄⁺濃度の水平分布も同様の結果を示した。製品の品質では2等級、単価では最大4.1円/乾ノリ1枚の差となった。

なお、施設費の大幅な削減により、高い費用対効果が得られた。



施肥実施期間: 令和3年12月16日～27日、令和4年1月5日～22日(延べ30日)

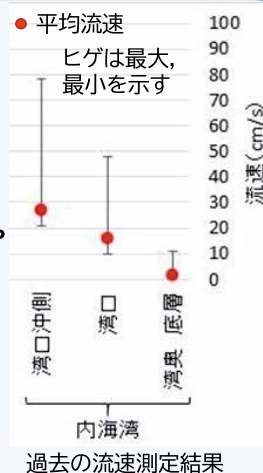
NH₄⁺の分布



5年間で得られた主要な成果

環境負荷の少ない効率的な施肥技術の開発に成功。

- ・水槽実験で、ノリ葉体の色落ち防止に必要な栄養塩濃度と施肥間隔を把握。
- ・静穏域(湾奥)では、文の長い香川方式ノリスカート+施肥液散布方式で施肥効果を確認。
- ・潮流のやや速い海域(湾口部)では、香川方式ノリスカート+緩流材によって、内部の流速削減に成功。
- ・流速の速い実際のノリ漁場(湾口沖側)では、香川方式施肥パイプによって、最も効率的な施肥技術を開発した。



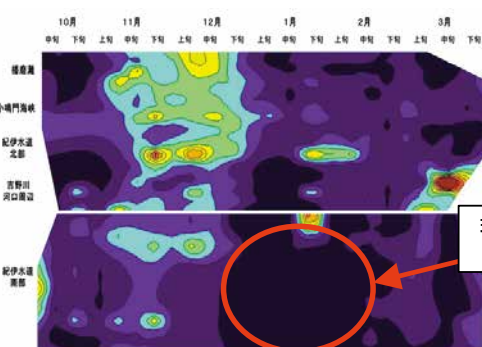
3. 紀伊水道西部及び周辺海域のノリ・ワカメ養殖漁場における施肥による生産力回復手法の開発

担当機関：徳島県立農林水産総合技術支援センター 水産研究課

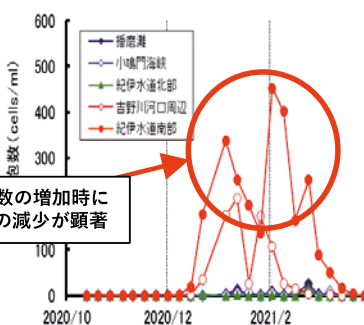
近年、徳島県の主要水産業の1つである藻類（ノリ・ワカメ）養殖業では、海域のDIN（溶存無機態窒素）減少に伴う色落ちの発生により生産量低下等の被害が発生しています。色落ち被害は年々深刻化しており、早急に対策が求められています。

そこで、本事業において、栄養塩濃度減少に伴う漁場生産力低下の原因解明と、効果的な栄養塩供給技術の開発に取り組みましたので、その成果を報告します。

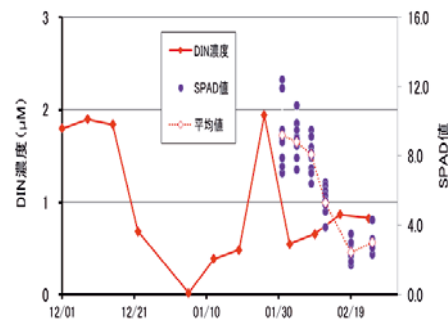
漁場生産力低下の原因解明



徳島県沿岸の藻類養殖漁場のDIN濃度の変化
(2020年10月～2021年3月)



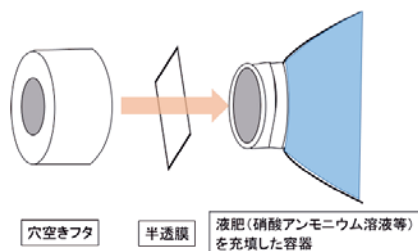
珪藻細胞数の推移
(*Eucampia zodiacus*)



紀伊水道南部におけるDIN濃度と
ワカメSPAD値の推移（12月以降）

- ・珪藻細胞数の増加時に、海域のDIN濃度の減少がより顕著にみられました。また、同期間中にワカメの色落ち発生の目安である $2\mu\text{mol/L}$ を下回り続けた結果、漁場の生産力は低下し、ワカメのSPAD値も下降しました。
- ・これより、養殖藻類の色落ち防止には、珪藻細胞数の挙動を把握して比較的長期間にわたり栄養塩を供給する必要があると考えられました。

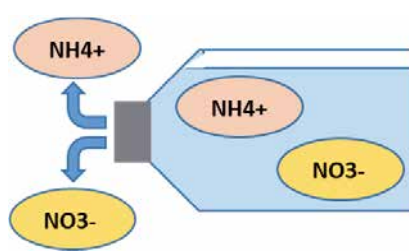
効果的な栄養塩供給技術の開発



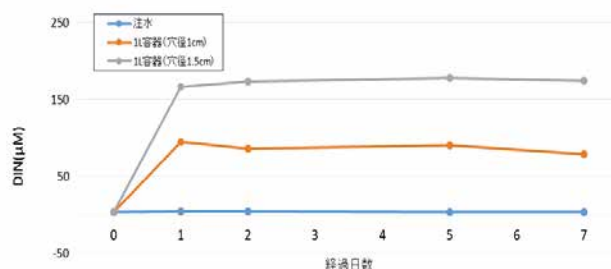
施肥剤作製模式図



施肥剤例（容器は10Lタンク（穴径2cm））



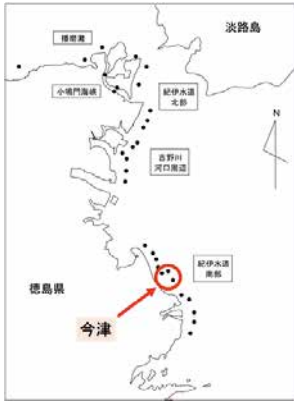
海中での肥料成分浸出イメージ



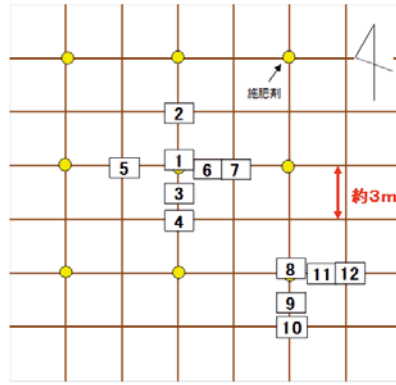
200Lかけ流し水槽内のDIN濃度推移

- ・本県の養殖漁場は水深が深く流れが速い海域に位置することから、養殖棚に施肥剤を設置して栄養塩を徐々に供給する手法が適していると考えました。そこで、**半透膜を通して肥料成分が安定的に浸出する**仕組みの施肥剤を開発しました。
- ・室内実験により肥料成分の安定的な浸出が確認できました。また、フタに空けた穴の径が大きいほど浸出量がアップすることが分かりました。

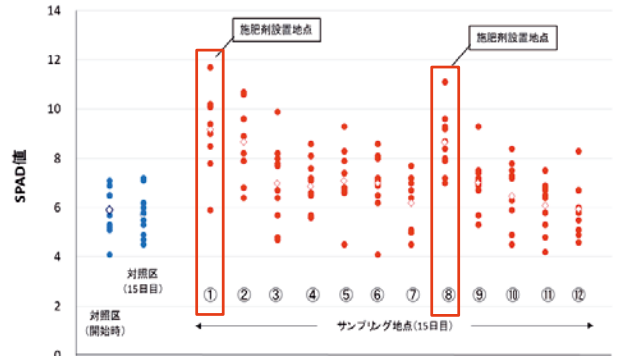
野外での実証試験



調査海域（阿南市今津）



ワカメ養殖棚及びサンプリング地点模式図
（黄色：施肥剤設置地点 数字：サンプリング地点）



試験開始15日目におけるワカメSPAD値

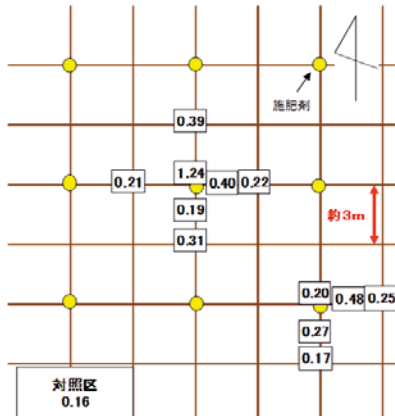


養殖棚に取り付けた施肥剤（上記10Lタンク使用）

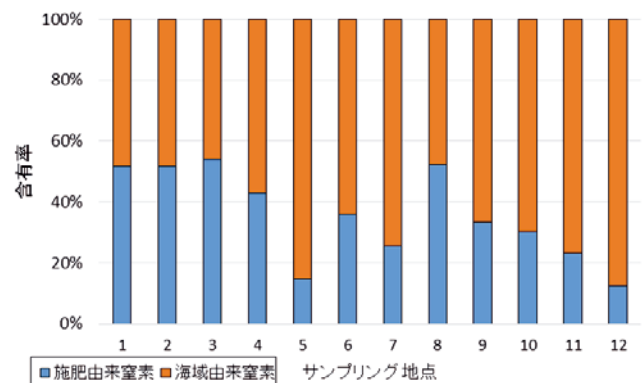
- ・ワカメのSPAD値は施肥剤設置箇所を中心に上昇し、見た目にも色調が回復しました。
- ・潮流が卓越する方向（南北方向）への効果範囲の伸展がみられました。
- ・施肥容器や半透膜の破損はありませんでした。



色落ちから回復したワカメ
（左：施肥区、右：対照区）



サンプリング地点にて同日採水した海水のDIN濃度



窒素安定同位体比分析による施肥由来窒素含有率の推定
（※対照区を海域由来窒素100%として算出）

- ・施肥剤周辺の海水のDIN濃度は対照区と比較して大きく変わらなかったものの、ワカメの窒素安定同位体比分析により施肥剤から離れた地点にも肥料成分が行き届いていることが分かりました。
- ・これより、肥料成分の浸出量を大きくすることで、色調を十分に回復させられる範囲を広げることができると考えられました。

5年間で得られた主要な成果

- ・養殖藻類の色落ち防止には、珪藻細胞数の挙動を把握して比較的長期間にわたり栄養塩を供給する必要があると考えられました。
- ・半透膜を通して容器内に充填した液肥の肥料成分が海中で浸出する構造の施肥剤を開発しました。これにより、肥料成分を安定的に浸出させられるとともに施肥剤作製の作業工程が大幅に簡略化されました。
- ・本施肥剤を野外のワカメ養殖棚に設置することにより、施肥剤設置箇所を中心にワカメが色落ちから回復しました。また、肥料成分の浸出量アップにより効果範囲をより広げられる可能性が示唆されました。
- ・今後は、県内藻類養殖業者を対象とした大規模な実証試験を実施し、本施肥剤の改良を重ねてより**安価で実用的な施肥剤の開発**を目指すとともに、**施肥技術の普及**を図っていきます。

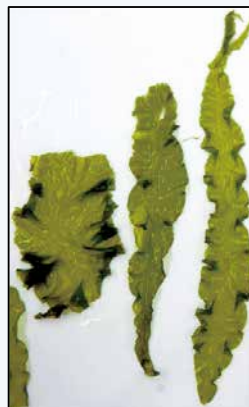
4. 燧灘西部アオノリ養殖漁場における施肥による生産力回復手法の開発

担当機関：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

瀬戸内海に位置する燧灘では近年、栄養塩濃度が低下傾向にあります（p2参照）。
このため、愛媛県沿岸部の養殖アオノリの色落ちや生産量の減少（p2参照）が問題となっています。



○：愛媛県アオノリ養殖漁場



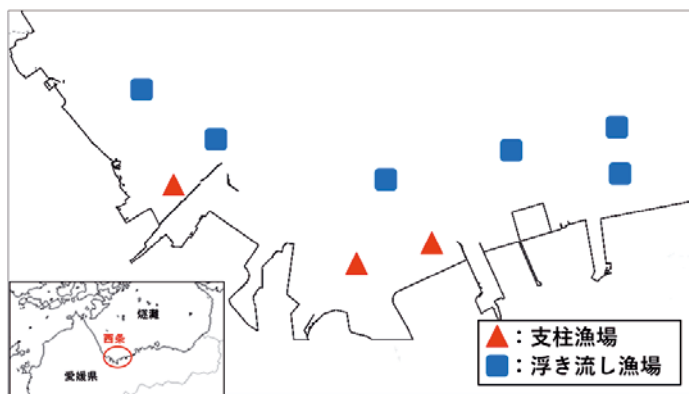
左：正常なアオノリ



右：色落ちアオノリ

アオノリ養殖漁場において、漁場環境調査を実施し、栄養塩濃度が変動する要因を特定するとともに、施肥による栄養塩供給技術の開発を行いました。

アオノリ養殖漁場環境調査①



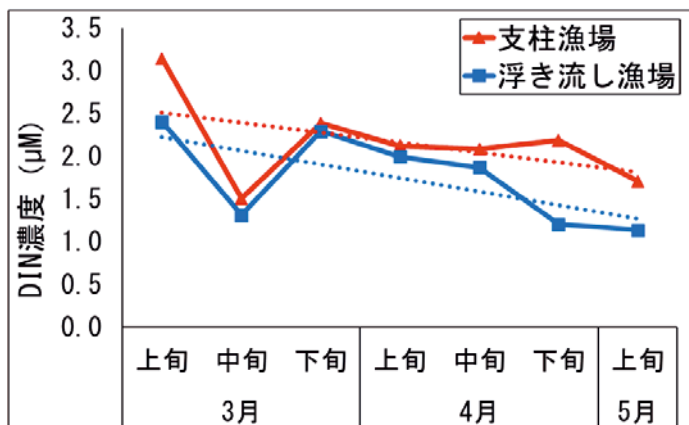
漁場環境調査定点



支柱漁場



浮き流し漁場

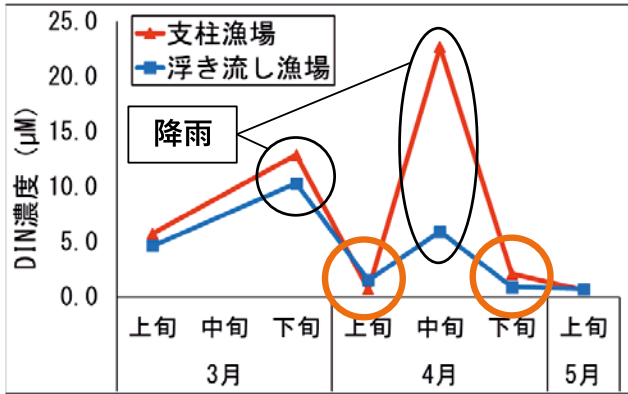


DIN濃度の推移
(H30-R4年平均：降雨時のデータを除く)

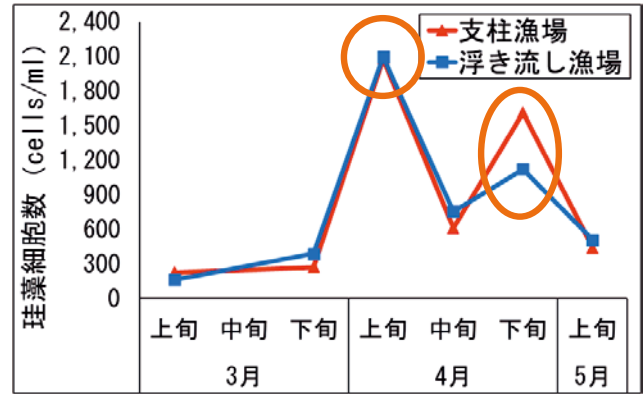
栄養塩濃度（5年間平均）について、以下の傾向が確認されました。

- ①3月から5月（漁期序盤から終盤）にかけて徐々に低下
- ②河口域に近い支柱漁場の方が高めで推移
- ③全ての漁場で類似傾向

アオノリ養殖漁場環境調査②



DIN濃度の推移 (R2年)



珪藻細胞数の推移 (R2年)

栄養塩濃度 (詳細) について、以下の特性が確認されました。

- ①主な供給源は河川水、②降雨に伴う河川水の流入量増加により急上昇、③珪藻の増殖に伴い低下

栄養塩供給実証試験



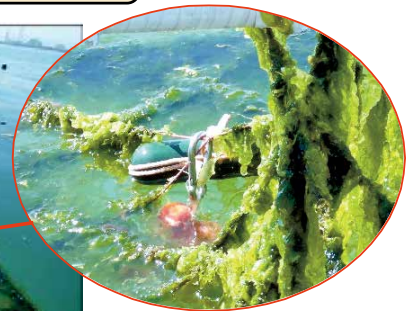
施肥袋 (左図の○はΦ2.5mm溶出孔)



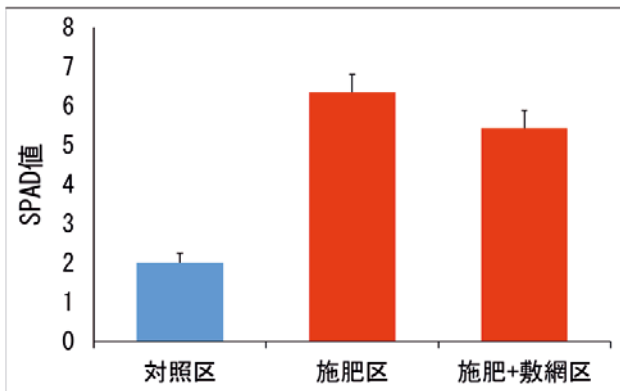
玉ねぎ袋



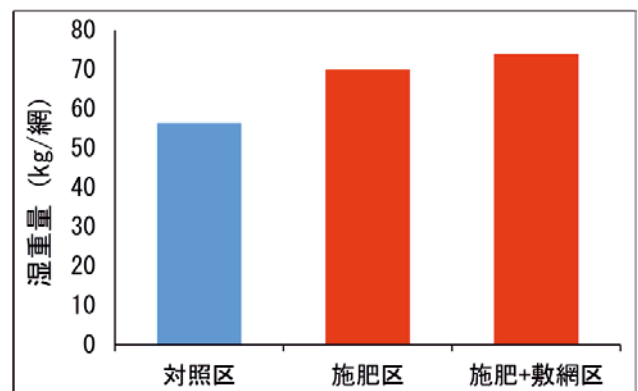
施肥袋の設置状況



施肥袋を用いた栄養塩供給効果および敷網による効果の向上について検証しました。



試験区別色調



試験区別湿重量

試験結果から、以下の効果が確認されました。

- ①色調の有意な向上、②湿重量の増加、③敷網との併用による湿重量の増加

5年間で得られた主要な成果

- ①アオノリ養殖漁場の栄養塩濃度について、漁期中の変動傾向、供給源、低下要因を解明
②漁場への栄養塩供給技術を開発し、色調の有意な向上効果、増収効果を確認

本事業の成果によって、より効率的に高品質なアオノリの安定生産が期待できます。

5. ノリ養殖場における新技術を用いた監視手法の開発

担当機関：水産研究・教育機構 水産技術研究所

近年、瀬戸内海におけるノリ等の藻類養殖場では、ケイ藻赤潮等による栄養塩の低下に伴う色落ち被害や各種鳥類や魚類による食害被害が問題となっています。

ノリの色落ち対策として施肥が行われますが、ノリが貧栄養ストレスを受けた状態だと施肥の効果が十分得られない可能性があるため、ノリの貧栄養ストレスを把握し、施肥の適切なタイミングを見極めることが重要です。また、食害実態の解明にはカメラを用いた撮影調査が有効ですが、各漁場や食害生物に応じた標準的な撮影手法の開発や、撮影データ解析の効率化が求められています。

本課題では、施肥のタイミングを見極めるための新指標の開発を行いました。また、ノリ・アオノリ養殖場において、食害原因種とその出現頻度を明らかにするための手法を検討しました。

施肥のタイミングを見極めるための新指標の開発

【STEP 1】 GOALの設定

GOAL :

ノリに対する施肥の効果を、施肥前に簡便*に予測するための指標の開発



分光測色計 SPAD計

予測を簡便に行うため、非破壊測定器（分光測色計やSPAD計）による測定値（ L^ , a^* , b^* , SPAD）を活用する方針としました

【STEP 2】 ノリの貧栄養ストレスの把握に重要な項目の決定と簡便な測定法の開発

- ①ノリの貧栄養ストレスが低いほど、施肥の効果が高くなることが想定されました
- ②ノリの貧栄養ストレスの把握には、フィコエリスリン（PE）とクロロフィルa（Chl a）の比（P/C）が重要であると示唆されているので**、PEとChl aを非破壊測定値から算出する次式を開発し、P/Cを推定できるようにしました

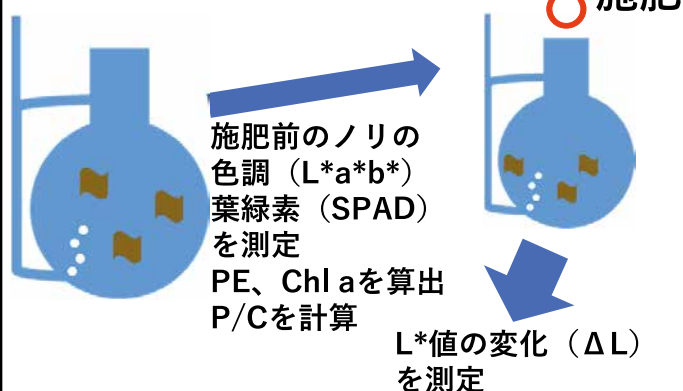
PE相対濃度

$$= -120.994 \times b^* + 756.305 \times \text{SPAD} + 2538.773$$

Chl a濃度

$$= -0.011 \times L^* - 0.021 \times b^* + 0.106 \times \text{SPAD} + 1.514$$

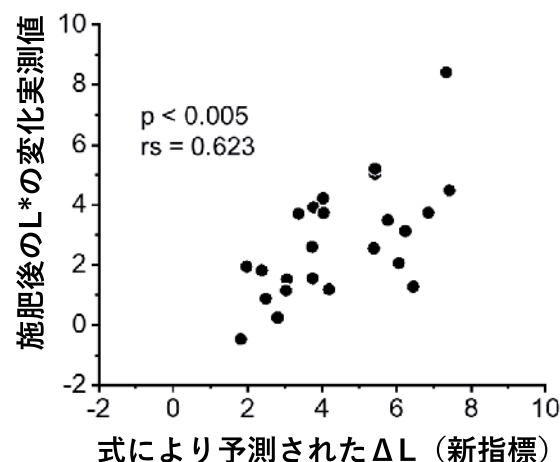
【STEP 3】 新指標の開発



★統計解析により、施肥効果 ΔL を予測する次式を算出しました（**予測される ΔL ＝新指標**）

$$\Delta L = 0.005 \times P/C + 0.465 \times L^* - 44.678$$

【STEP 4】 新指標の検証



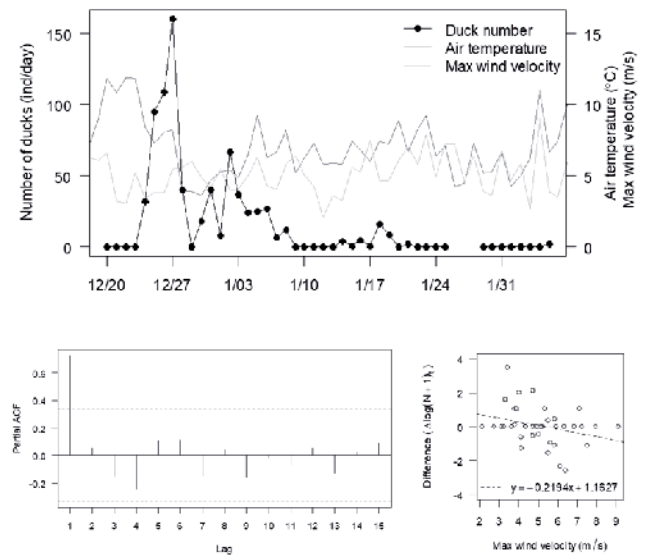
新指標により、ノリに対する施肥の効果を施肥前に予測できることが確認されました（施肥前の L^* 値が68～74のノリに適用可能）

**阿部，塩田，村瀬，鹿野，2018. クロロフィル蛍光を活用した紅藻スサビノリ葉状体の貧栄養ストレスの評価. 水産大学校研究報告. 67, 13-23.

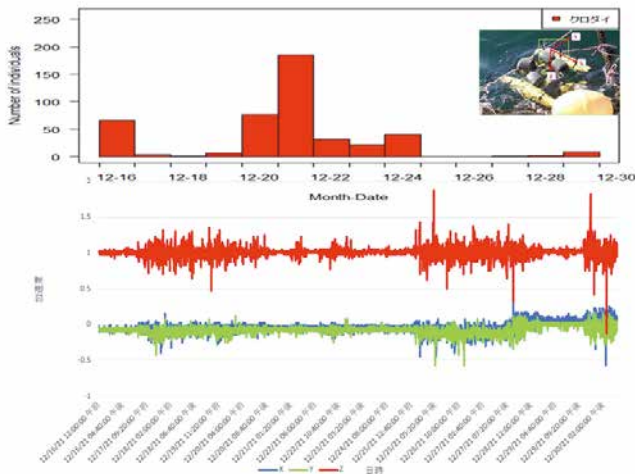
ノリ・アオノリ養殖場における食害種の出現把握手法を検討



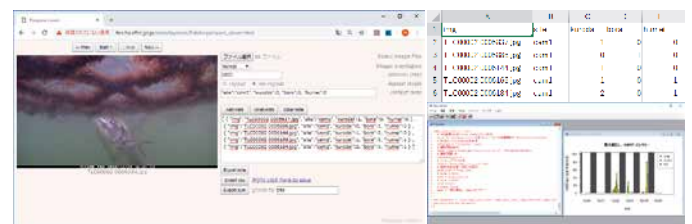
画像送信トレイルカメラで撮影されたカモ類（上段）
タイムラプスカメラで撮影されたクロダイ（中段）
間欠ビデオカメラで記録されたボラ（下段）



ノリ養殖場におけるカモ類個体数の推移（上図）
カモ類個体数の偏自己相関（左図）および個体数
日変化と最大風速の関係（右図）



クロダイの出現頻度（上図）と加速度ログ値（下図）。強波浪時は出現頻度が低下



メモ機能付き画像ビューワーを用いた個体数の記録（左図）およびデータ集計用プログラムを用いた個体数データのグラフ化（右図）



AIによる食害種の検出

5年間で得られた主要な成果

ノリ葉体の非破壊測定値から、当該ノリに対する施肥効果を施肥前に予測できる新指標を開発しました。現場でのデータ蓄積と検証は必要不可欠ですが、本指標は効果的な施肥のタイミング決定に貢献することが期待されます。

各種撮影装置を用いて、ノリ・アオノリ養殖場に出現する食害種とその出現頻度を明らかにするための手法を検討しました。画像送信可能なトレイルカメラ、タイムラプスカメラ、間欠ビデオカメラを用いて間欠的に長期間撮影することで、食害種と考えられるカモ類、クロダイ等の出現を記録できました。食害種の出現頻度には経時的な自己相関が見られ、一度出現すると続けて出現する傾向があり、漁船の来遊時や強波浪時には出現頻度が低下する傾向があることがわかりました。また、画像確認とデータ集計作業を迅速に行うため、メモ機能付き画像ビューワーおよびデータ集計用プログラムの利用や、AIを用いた画像確認作業の自動化の可能性を検討しました。



写真（上から）：

備讃瀬戸ノリ養殖漁場における海底耕耘
播磨灘南部及び備讃瀬戸ノリ養殖場における施肥試験
紀伊水道西部ワカメ養殖場における施肥試験
燧灘西部アオリ養殖場における施肥試験
タイムラプスカメラによる食害監視

問い合わせ先

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所
〒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

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
〒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 令和5年3月
発行者 国立研究開発法人 水産研究・教育機構
水産技術研究所
〒739-0452 広島県廿日市市丸石 2-17-5