

栄養塩類の管理等による生物の多様性及び生産性の確保に係る 取組事例

1. 背景・目的	1
2. 施肥の効果等	1
2.1 施肥による栄養塩類管理の状況	1
2.2 ノリの色調回復等の状況	4
2.3 周辺環境への影響	8
3. 海底耕耘の効果等	12
3.1 海底耕耘による海底からの栄養塩類溶出量の増加	12
3.2 ノリ養殖場の栄養塩類管理の状況	15
4. 下水処理施設の季節別管理運転の効果等	17
4.1 管理運転の実施による窒素排出量の増加	17
4.2 海域(ノリ養殖場)の栄養塩類管理の状況	30
4.3 放流先周辺海域の水環境への影響	33
5. ダムの放流の効果等	37
5.1 ダムの放流による栄養塩類排出量の増加	37
6. ため池かいぼりに伴う放水による底泥に含まれる栄養塩類の供給の効果等	40
7. ノリの栄養塩類吸収	41
7.1 栄養塩類管理による色落ちノリの色調回復(室内実験)	41
7.2 ノリが吸収する栄養塩類の由来	42
8. その他の効果等	44
8.1 二枚貝の増養殖の併用によるプランクトンの除去及び栄養塩類の排出	44
8.2 二枚貝の増養殖の併用によるノリの色調回復等の状況	48

1. 背景・目的

平成 27 年 2 月に変更された瀬戸内海環境保全基本計画において、「生物多様性・生物生産性の確保の重要性にかんがみ、地域における海域利用の実情を踏まえ、湾・灘ごと、季節ごとの状況に応じたきめ細やかな水質管理について、その影響や実行可能性を十分検討しつつ、順応的な取組を推進するものとする」旨が盛り込まれたところであり、地域の状況に応じて順応的取組が、一部地域で試行的に実施されている。

また、中央環境審議会「瀬戸内海における今後の環境保全の方策の在り方について(答申)」(令和 2 年 3 月)において、瀬戸内海における湾・灘ごと、更には湾・灘内の特定の海域ごとの実情に応じた対策が必要との考え方が示されるとともに、4 つの方策の 1 つとして栄養塩類の管理等による生物の多様性及び生産性の確保の必要性が示された。

このような状況を踏まえ、施肥、海底耕耘、下水処理施設の季節別管理運転、ダムからの一時放流及びかいぼり等について、栄養塩類管理に係る取組状況及び効果等について知見の収集を行った。

2. 施肥の効果等

2.1 施肥による栄養塩類管理の状況

取組①：播磨灘南部から備讃瀬戸ノリ養殖場における施肥による生産力回復手法の開発(文献 No.1-1、1-2)

[概要]

- ・実施背景:近年、ノリの色落ち被害が発生している瀬戸内海において、色落ち対策として、効率的で環境に配慮した栄養塩類添加手法を開発し、その効果を実証することを目的とした。
- ・実施時期:2013(平成 25)年度～(継続中)

(香川方式ノリスカートの開発、2013～2018(平成 25～30)年度)

- ・実施場所:香川県小豆島の内海湾の入口付近(図 2-1)【播磨灘・備讃瀬戸】
- ・実施内容:小豆島海域において、浮き流し式ノリ養殖施設をシートで囲う等して流れを制限し(香川方式ノリスカート)、内部の流速を低下させるため、流速制御装置(緩流材)を設置した。試験期間中(延べ 35 日)、真水(水道水)1kL に塩化アンモニウム 10kg 及びリン酸水素二カリウム 0.25kg を溶解させた液肥を期間中 1 日 1 回、動力噴霧器を用いて散布した。効果の把握は、以下の調査を行った。
 - ・流速調査

- ・栄養塩類濃度分布調査
- ・ノリ漁場環境調査
- ・ノリ葉体の色調の推移及び乾海苔の品質

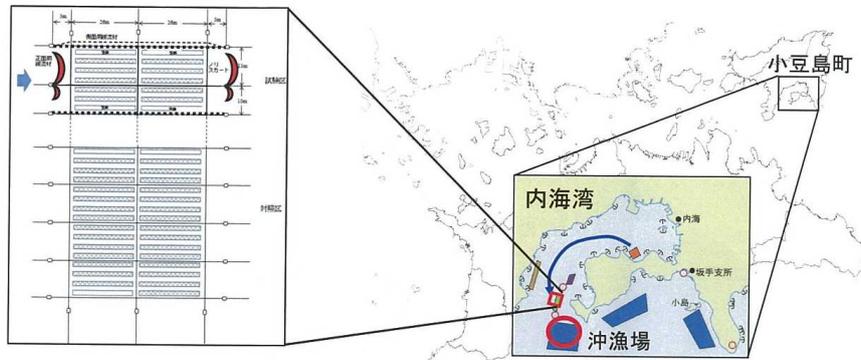


図 2-1 試験実施場所

[方法] ノリスカート内外に設けた採水点において、施肥前、施肥直後、30 分後、60 分後、90 分後に表層で採水を行い、アンモニア性窒素（以下「 $\text{NH}_4\text{-N}$ 」という。）、リン酸態リン（以下「 $\text{PO}_4\text{-P}$ 」という。）濃度を測定した。

[結果] 1回目の調査では、施肥直後に下方への逸散が強いことが確認された。一方、施肥袋から徐々に供給されたと考えられる栄養塩が 60 分後に観測され、施肥袋による延長効果が確認された。2回目の調査では、施肥液の散布は行わず、施肥袋からの供給のみとした。試験区内の栄養塩濃度は 30～60 分後に上昇した。

標準的な1経営体当りの柵数を 600 柵と仮定して計算した場合、施肥による量の増加から推定される便益と、緩流材と側面用ノリスカートと施肥剤のコストを比較するとマイナスになってしまうことから、さらにコストを低減させる必要がある。また、緩衝材とノリスカートを導入するには初年度に2千万円程度の投資が必要となり、ノリ生産者にとって大きな負担となることから、緩衝材の資材と構造をさらに見直す必要がある。

(施肥パイプ方式の開発、2019(令和元)年度～(継続中))

- ・実施場所:香川県小豆島の内海湾の入口付近(図 2-2)【播磨灘・備讃瀬戸】
- ・実施内容:小豆島海域において、浮き流し式ノリ養殖施設に小型の栄養塩供給用パイプ(施肥パイプ)を設置し、施肥剤を順次充填した。効果の把握は、以下の調査により行った。

- ・栄養塩類濃度分布調査
- ・ノリ漁場環境調査
- ・ノリの色調の推移及び乾海苔の品質

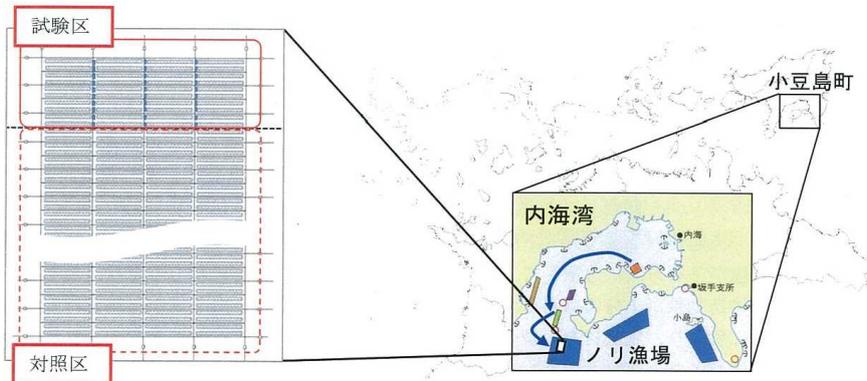


図 2-2 試験実施場所

[方法] 試験区内外に設けた採水点において、施肥開始後 12 日目(1回目)と 26 日目(2回目)に表層で採水を行い、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を測定した。

[結果] 1回目の調査では、試験区内が試験区外より低い濃度を示していた。このときの試験区内の採水点はノリ網とノリ網の間としていたため、ノリ網と同じ筋に設置された施肥パイプから放出された栄養塩が流れていかなかった可能性が考えられた。また、通常のノリ養殖漁場では、養殖施設の内側では栄養塩がノリ葉体に吸収されるために、施設外よりも栄養塩濃度が低くなると考えられるため、このような結果になったものと考えられた。2回目の調査では、試験区外の沖側漁場の中央付近では $0.1 \mu\text{M}$ 以下でありノリの養殖施設内部では栄養塩がノリに吸収されて枯渇していることが示唆された。一方、試験区内では、ノリ網の直上を採水点とし、 $5 \mu\text{M}$ 以上の値を示した。

2.2 ノリの色調回復等の状況

取組①：播磨灘南部から備讃瀬戸ノリ養殖場における施肥による生産力回復手

法の開発(文献 No.1-1、1-2)

[概要] 前述

[方法] 施肥によるノリ葉体の色調の変化を調べるため、摘採ごとのノリ葉体の色調測定を行った。

(香川方式ノリスカートの開発、2013～2018(平成 25～30)年度)

[結果] 摘採ごとのノリ葉体の色調測定結果を図 2-3 に示す。施肥開始後2回目の摘採から SPAD 値は施肥区が対照区より高く、3回目の摘採から L*値は施肥区が対照区より低く(黒く)、色調の差が認められた。

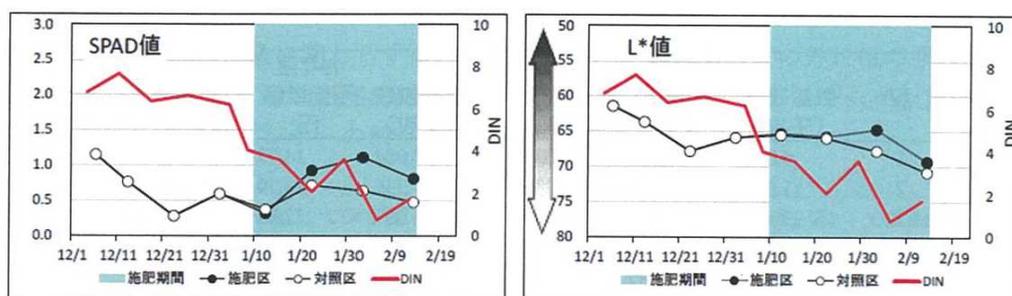


図 2-3 摘採ごとのノリ葉体色調測定結果

(施肥パイプ方式の開発、2019(令和元)年度～(継続中))

[結果] 摘採ごとのノリ葉体の色調測定結果を図 2-4 に示す。施肥開始後3回目の摘採から SPAD 値は施肥区が対照区より高く、L*値は施肥区が対照区より低く(黒く)、色調の差が認められた。

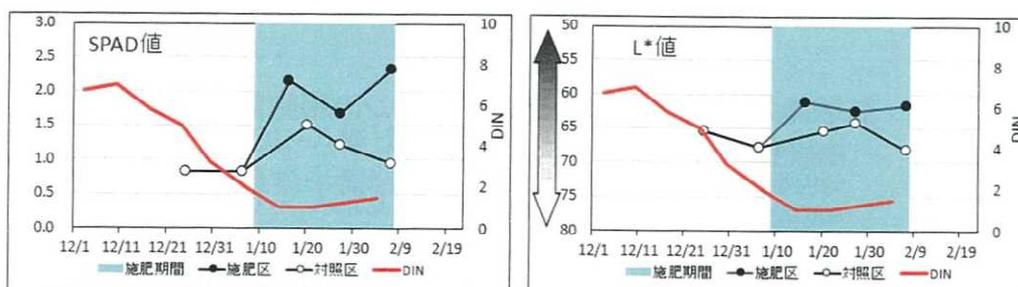


図 2-4 摘採ごとのノリ葉体色調測定結果

取組②-1：燧灘西部アマノリ養殖場における施肥による栄養塩類供給技術開発

他(文献 No.2)

[概要]

- ・実施背景: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あるが、燧灘の無機態窒素(以下「DIN」という。)濃度は1990年代以降、低下傾向にある。
栄養塩類不足はノリの色落ちや葉体の伸長不良を発生させる。燧灘において、色落ちが発生し始めるDIN濃度の目安は $3.5\mu\text{mol/L}$ とされているが、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る。
栄養塩類濃度が低下する時期に、施肥によって栄養塩類を供給するとともに、敷網を敷設して添加した栄養塩類を滞留させることにより、養殖ノリの生産改善に取り組んだ。
- ・実施時期:2013(平成25)年～2017(平成29)年度:アマノリ養殖における栄養塩添加手法の開発
- ・実施場所:愛媛県海域【燧灘】

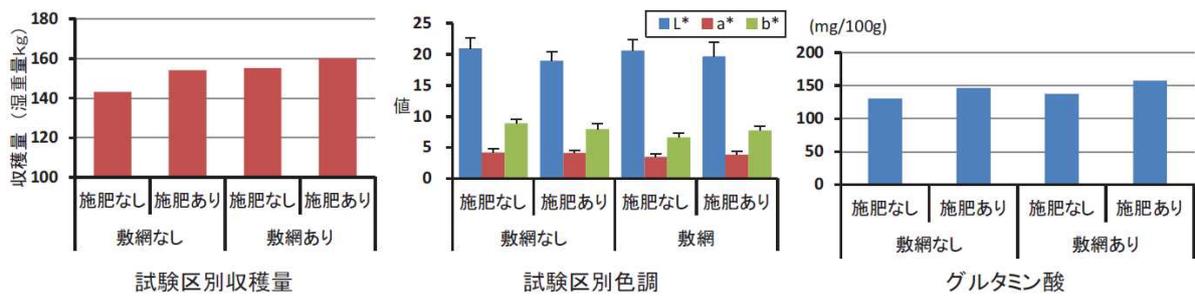


図 2-5 実施場所(愛媛県ノリ養殖漁場)

- ・実施内容:ノリ養殖場における施肥による栄養塩類供給技術を検討するため、ノリ養殖場に施肥剤と栄養塩類滞留敷網を設置した。

[方法] ノリの試験区別収穫量、色調、含有グルタミン酸量を測定した。

[結果] 施肥による収穫量増加、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た。また、これに敷網を併用することにより、収穫量が更に増大した。



※ L*値は明度を表す(0から100までで数値が大きい程明るい)、a*b*値は色度を表す(a*:正の値は赤く、負の値は緑が強くなる。b*:正の値は黄、負の値は青が強くなる)。

出典) 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(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

図 2-6 ノリの試験区別収穫量、色調、含有グルタミン酸量

取組②-2 : 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
発(文献 No.1-2)

[概要]

- ・実施背景: 燧灘西部の愛媛県西条市沿岸では、3月のアマノリ養殖漁期の終了後に、同じ漁場で引き続きアオノリ(ウスバアオノリ)養殖が営まれているが、アマノリ同様、近年の漁場の栄養塩濃度の低下による品質低下や生産量の減少が、漁業経営を圧迫している。このため、アマノリ養殖において開発された養殖漁場への栄養塩添加手法を、アオノリ養殖に適用する技術を開発し、栄養塩類が低下傾向にある瀬戸内海燧灘西部で生産される養殖アオノリの品質向上や増産を図ることを目的とする。
- ・実施時期: 2018(平成 30)年度～(継続中)
- ・実施場所: 愛媛県海域 【燧灘】

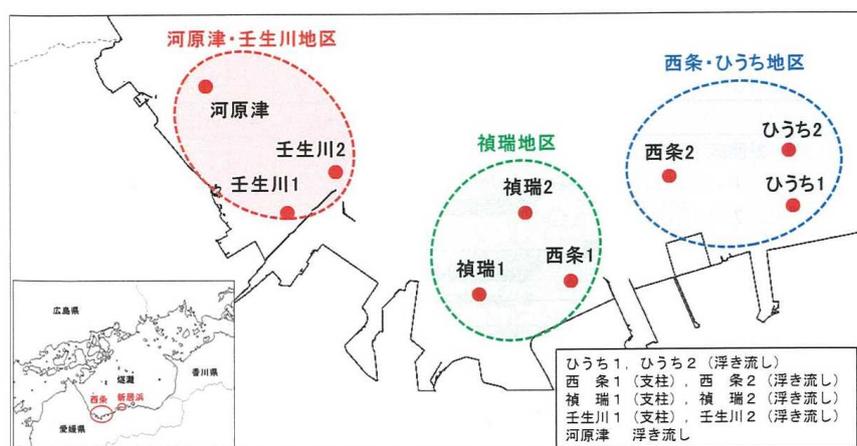


図 2-7 実施場所(愛媛県ノリ養殖漁場)

- ・実施内容: 施肥による栄養塩添加効果と、被せ網、敷網による栄養塩滞留効果を検証した。

[方法] 各試験区のノリの試験区別収穫量、色調、含有グルタミン酸量を測定した。さらに収穫したアオノリは洗浄、乾燥したあと製品として、愛媛県漁連のアオノリ等級検査員による等級評価を受けた。

[結果] アオノリ養殖網1枚当たりの湿重量に換算した収穫量は、試験区(施肥なし・網なし)が対照区の約 1.3 倍の収穫量であったが、他は対照区より収穫量は少なく、支柱漁場における敷網・被せ網、施肥によるアオノリ収穫量への明確な効果はみられなかった(図 2-8)。なお、浮き流し漁場における試験では、敷き網なし区と比較して、敷き網あり区で収穫量が約 10 倍に増加するなど、栄養塩滞留や食害防止の効果が認められた。

SPAD 値は施肥区では対照区より高い値であった(図 2-9)。

県漁連アオノリ等級検査員による評価(表 2-1)によると、最も高い評価は SPAD 値が最も高かった試験区(施肥あり・被せ網)の3等上(2等に近い3等)で、施肥と被せ網による栄養塩滞留の効果により、色調の改善と品質向上につながったと考えられた。

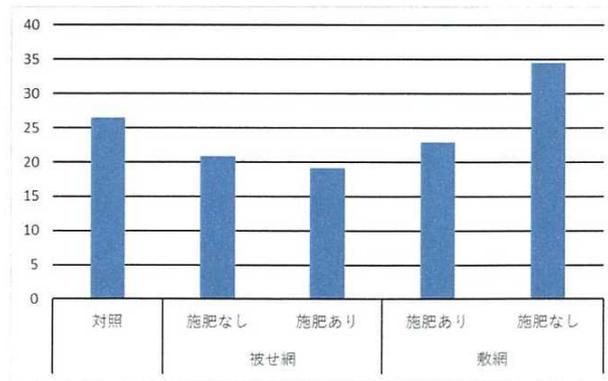


図 2-8 試験区別の収穫量 (アオノリ養殖網 1 枚当たり)

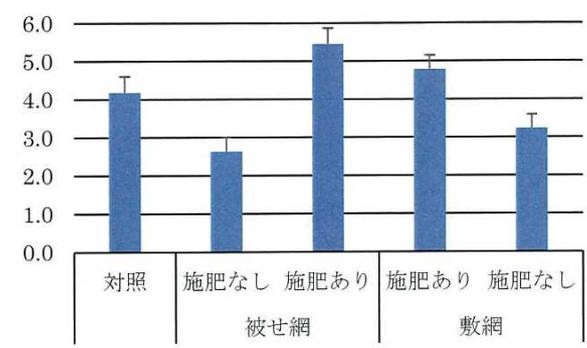


図 2-9 試験区別 SPAD 値

表 2-1 試験区別のアオノリ乾燥品等級

試験区	対照区	1		2		3		4
	網なし	被せ網		敷網				
	施肥なし	施肥なし	施肥あり	施肥あり	施肥なし			
SPAD 値	4.2	2.6	5.5	4.8	3.2			
等級	5 等	4 等	3 等上	3 等	3 等			

2.3 周辺環境への影響

取組①：播磨灘南部から備讃瀬戸ノリ養殖場における施肥による生産力回復手

法の開発 (文献 No.1-1、1-2)

[概要] 前述

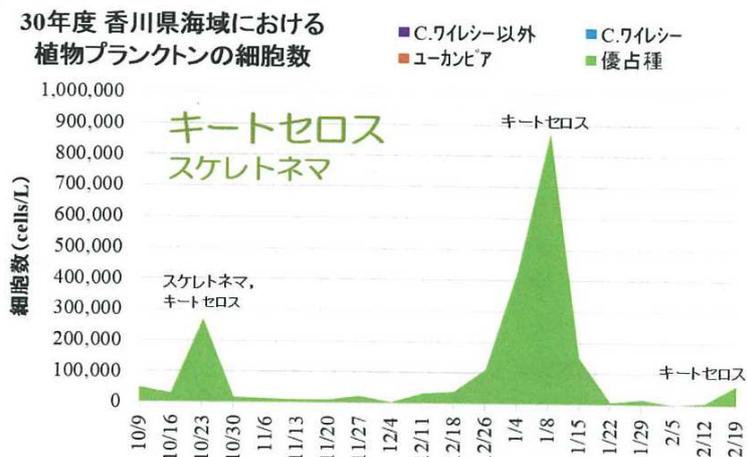
[方法] 施肥による周辺環境への影響を調べるため、ノリ養殖漁場調査と合わせて、試験漁場周辺海域 (図 2-10) の DIN、NH₄-N、珪藻類の推移を観測した。



図 2-10 観測場所

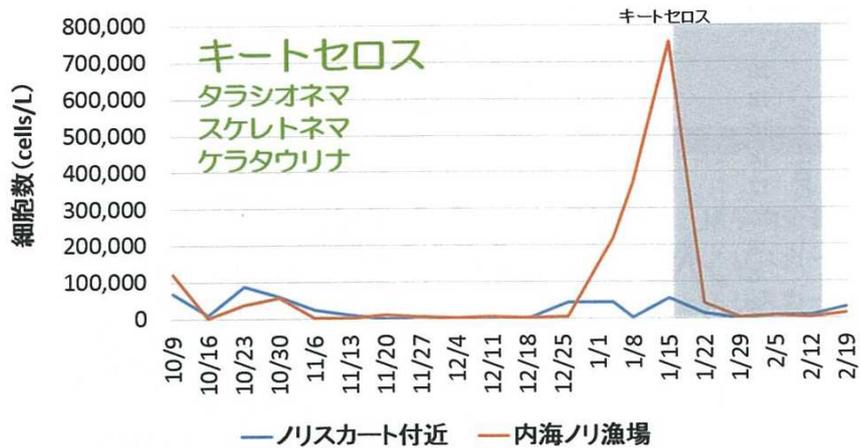
(香川方式ノリスカートの開発、2013～2018(平成 25～30)年度)

[結果] 香川県海域では、*Chaetoceros*(キートセロス)属を中心とした珪藻類は、1月上旬には大きく増加した(図 2-11)。内海ノリ漁場では、1月上旬から*Chaetoceros*(キートセロス)属が優占し、その後1月下旬に急減した。また、ノリスカート付近ではあまり珪藻類は優占しなかった(図 2-12)。従って、施肥期間中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は1月上旬から $1\sim 2\mu\text{M}$ のレベルで推移していた(図 2-13)こと、この時期に試験漁場付近の珪藻類が増殖していなかったことから、実験海域周辺における珪藻類の増殖が助長されたとは考えられなかった。



注) コシノディスカス、ユーカンピアと優占植物プランクトン1種(調査回次毎に種類は異なる)の細胞数

図 2-11 香川県海域における珪藻類の出現状況



注) コシノディスカス、ユーカンピアと優占植物プランクトン1種(調査回次毎に種類は異なる)の細胞数

図 2-12 ノリスカート漁場、内海ノリ漁場における珪藻類の出現状況

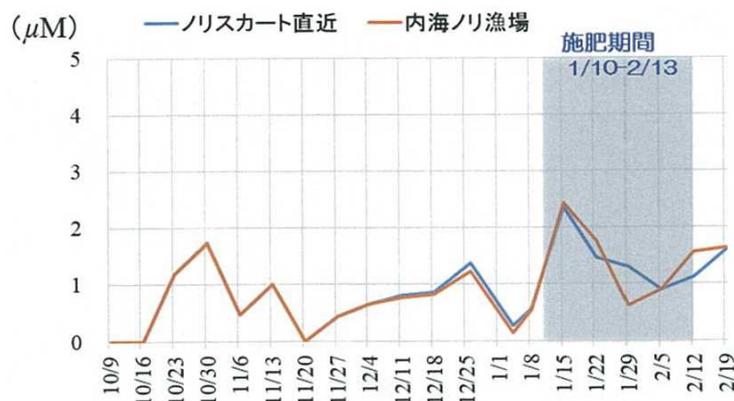
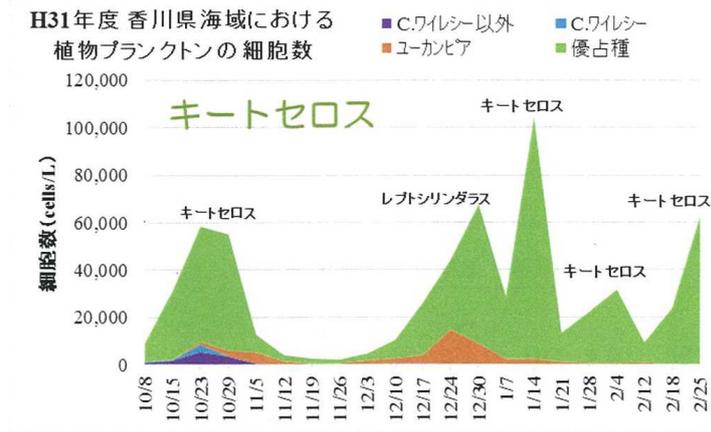


図 2-13 ノリスカート漁場、内海ノリ漁場におけるNH₄-N 濃度の推移

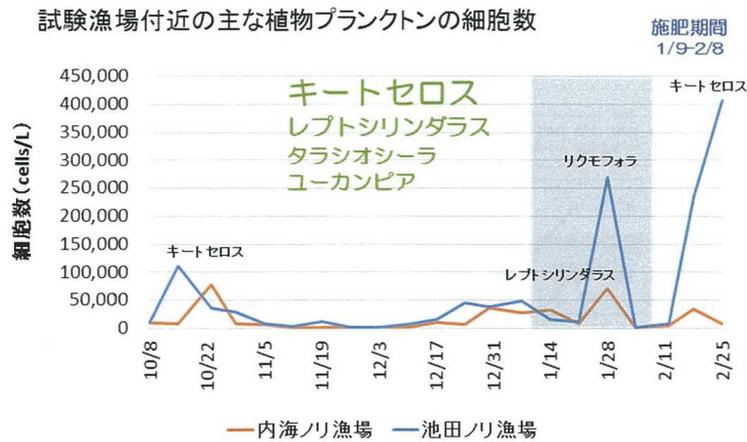
(施肥パイプ方式の開発、2019(令和元)年度～(継続中))

[結果] 香川県海域では、*Chaetoceros*(キートセロス)属を中心とした珪藻類が12月下旬から増加した(図 2-14)。一方、内海ノリ漁場付近では、10月下旬と12月下旬以降 *Chaetoceros*(キートセロス)属と *Leptocylindrus*(レプトシリンダラス)属が出現したが、大きく増加することはなかった(図 2-15)。漁期中のNH₄-N濃度は1~2 μMのレベルで推移しており、特に施肥期間中では概ね1 μM以下で推移した(図 2-16)ことから、施肥が実験海域周辺におけるNH₄-N濃度を増加させていないこと、さらに、珪藻類の増殖も特に助長されていないものと考えられた。



注) コシノディスカス、ユーカンピアと優占植物プランクトン1種(調査回次毎に種類は異なる)の細胞数

図 2-14 香川県海域における珪藻類の出現状況



注) コシノディスカス、ユーカンピアと優占植物プランクトン1種(調査回次毎に種類は異なる)の細胞数

図 2-15 内海ノリ漁場における珪藻類の出現状況



図 2-16 内海ノリ漁場におけるNH₄-N 濃度の推移

3. 海底耕耘の効果等

3.1 海底耕耘による海底からの栄養塩類溶出量の増加

取組①：海底耕耘による栄養塩類管理に関する調査研究 (文献 No.3)

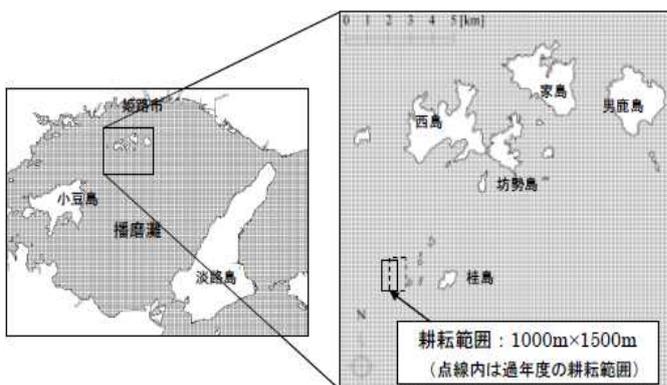
[概要]

- ・実施背景: 海底耕耘の効果 (海底の栄養塩類の還元、底質改善、休眠細胞の再懸濁によるプランクトン食性魚の餌の増加) を定量的に評価することを目的とした。
- ・実施時期: 2010 (平成 22) 年 9 月 27 日 (6:00~14:00 の西流~転流)
- ・実施場所: 姫路市家島町坊勢島の南、桂島西側【播磨灘】
- ・実施内容: 水深約 35m のノリ漁場に隣接する 1,000m×1,500m の範囲 (図 3-1(a)) において、専用の桁を装着した漁船 11 隻が参加し、8 時間往復して海底耕耘を行った。

[方法] 耕耘範囲直近に調査船を係留し、海底耕耘前、海底耕耘後 60 分、90 分、150 分の栄養塩類の鉛直分布を測定した。

[結果] 栄養塩類のうち DIN 濃度については耕耘開始後 60 分で、底層にて顕著に上昇しており、90 分経過時点では $3 \mu\text{g at/L}$ 以上上昇し、150 分後には表層でも $1 \mu\text{g at/L}$ 近い上昇が確認された (図 3-1(b))。

(a) 調査対象海域



(b) 海底耕耘後の DIN 濃度の変化

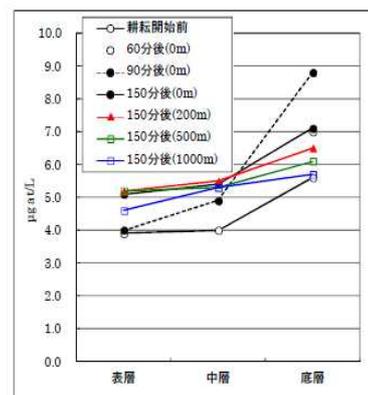


図 3-1 (a) 調査対象海域と(b)海底耕耘後の DIN 濃度の変化
(平成 22 年 9 月、姫路市家島町地先)

取組②：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

(文献 No.1-2)

[概要]

- ・実施背景：ノリ養殖業が盛んである備讃瀬戸の一部の海域において、底泥中の栄養塩類を利用する技術開発を目的として海底耕耘試験を行い、その効果を検証した。
- ・実施時期：2013(平成 25)年度～(継続中)
- ・実施場所：児島湾内
- ・実施内容：児島湾内における耕耘試験

[方法] 児島湾内の水深2～5m の海域(図 3-2)において、底びき網漁船と底びき網漁具2隻を用いて耕耘試験を実施した。試験は、楕円状に二つの耕耘場所をそれぞれ設定し、約3時間の間、継続して耕耘した。CTD を用いて濁度(FTU)を測定するとともに、表層と底層の採水を行い、また、耕耘による海底の変化を把握するため、潜水による状況確認を行った。

[結果] 耕耘開始 15 分後から底層で、散発的に FTU が上昇する傾向がみられた(図 3-3)。DIN、DSiについて、耕耘前後で濃度の上昇が得られた(図 3-4)。これまでの調査から、児島湾周辺の泥中間隙水には海水と比べて 10 倍以上の栄養塩が含まれていることから、間隙水中の栄養塩が海中に供給されることによって濃度が上昇した可能性が考えられた。なお、本結果はサンプル採取地点の周辺を集中的に繰り返し耕耘することによって得られたものであり、単発で耕耘を行った結果とは異なる可能性があるため、注意する必要がある。

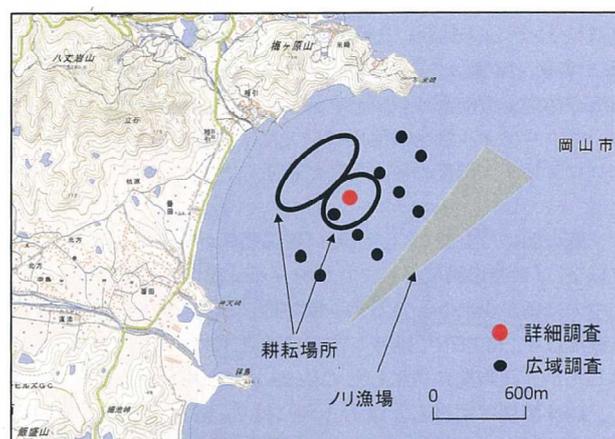


図 3-2 試験実施海域

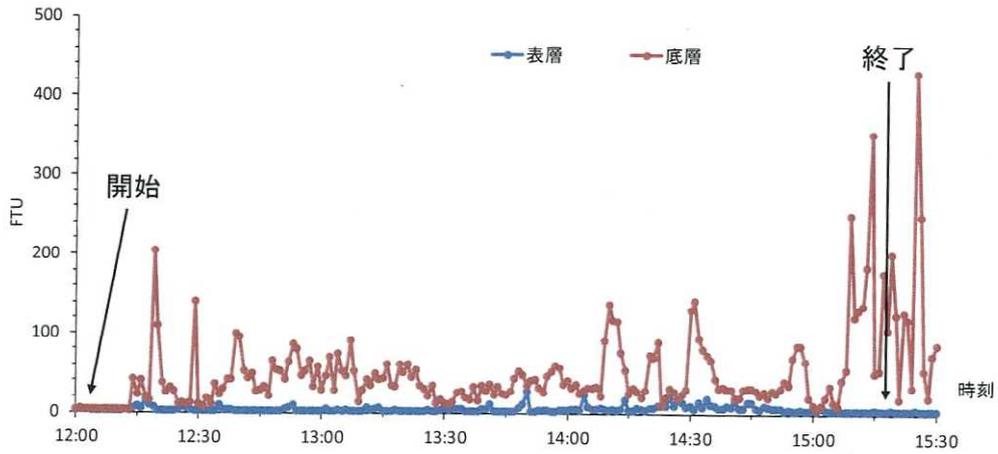


図 3-3 詳細調査点における FTU の推移

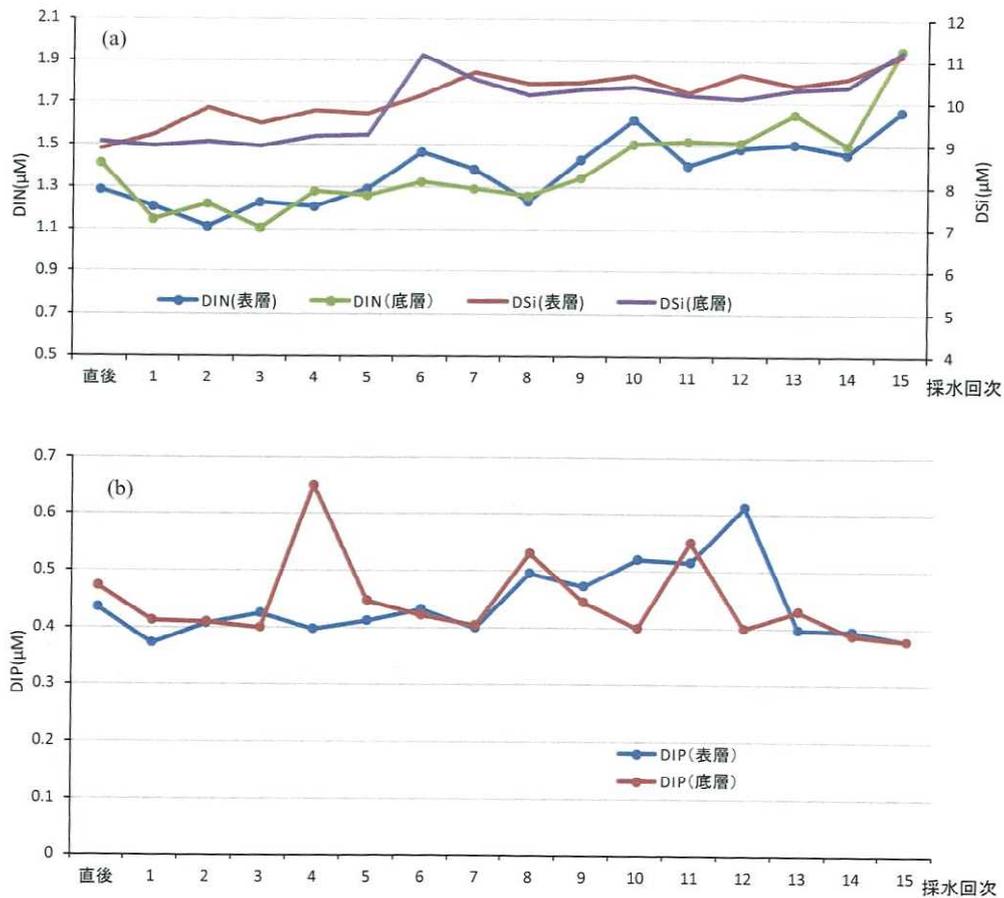


図 3-4 詳細調査点における栄養塩濃度の推移 (a)DIN 及び DSi、(b)DIP

3.2 ノリ養殖場の栄養塩類管理の状況

取組③：備讃瀬戸ノリ養殖場における海底耕耘による生産力回復手法の開発（文献 No.1-2）

[概要]

- ・実施背景：児島湾外のノリ漁場へ効果的に栄養塩を供給するための海底耕耘手法について、検討を行った。さらに、令和元年度は、児島湾内の下水処理場（岡東浄化センター）で実施されている季節別管理運転（緩和運転）についても、湾外のノリ漁場への栄養塩供給効果を評価した。
- ・実施時期：2014（平成 26）年度～（継続中）
- ・実施場所：備讃瀬戸（計算領域）
- ・実施内容：数値シミュレーションによる栄養塩供給技術の効果評価

[方法] 海底耕耘の実施を想定した湾内の6カ所（図 3-5①～⑥）および湾外（図 3-5⑦）を海底耕耘した場合について海域の栄養塩濃度変化を計算した。さらに、下水処理場（岡東浄化センター）において管理運転を実施した場合に供給される栄養塩の拡散状況について計算をおこなった。

[結果] 海底耕耘による栄養塩供給効果は限定的であり、湾内で耕耘した場合のノリ漁場への栄養塩供給効果は DIN 濃度 $0.2 \mu\text{M}$ と小さかった。湾外で耕耘した場合には、ノリ漁場の DIN 濃度は最大 $1.0 \mu\text{M}$ 増加するが、その影響範囲は非常に小さかった。一方、下水処理場からの栄養塩供給量は大きくノリ漁場への栄養塩供給源として重要であることが分かった。また、管理運転の効果も大きく、ノリ漁場では通常運転に比べて DIN 濃度が最大 $1.5 \mu\text{M}$ 増加し、その影響範囲は海底耕耘に比べて大きいことが示された。

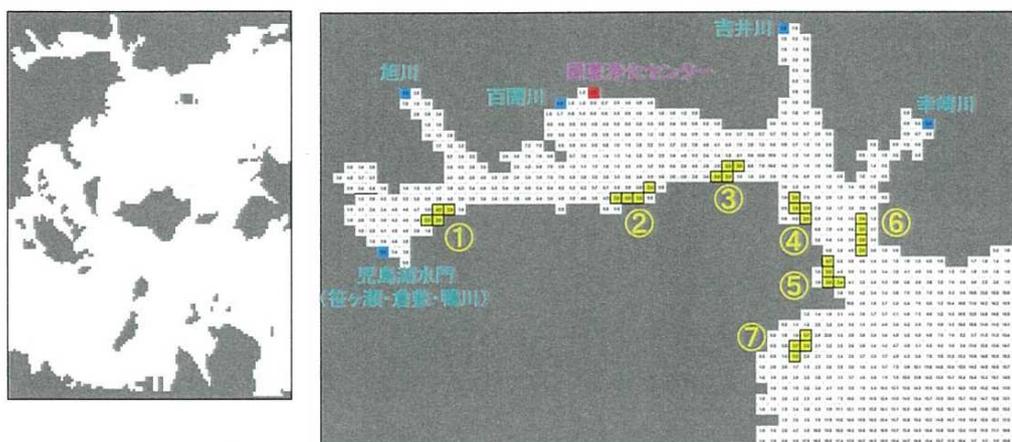


図 3-5 モデルの計算領域。黄色の計算格子（①～⑦）は海底耕耘による栄養塩供給点、赤色の計算格子は下水処理場の栄養塩供給点を示す

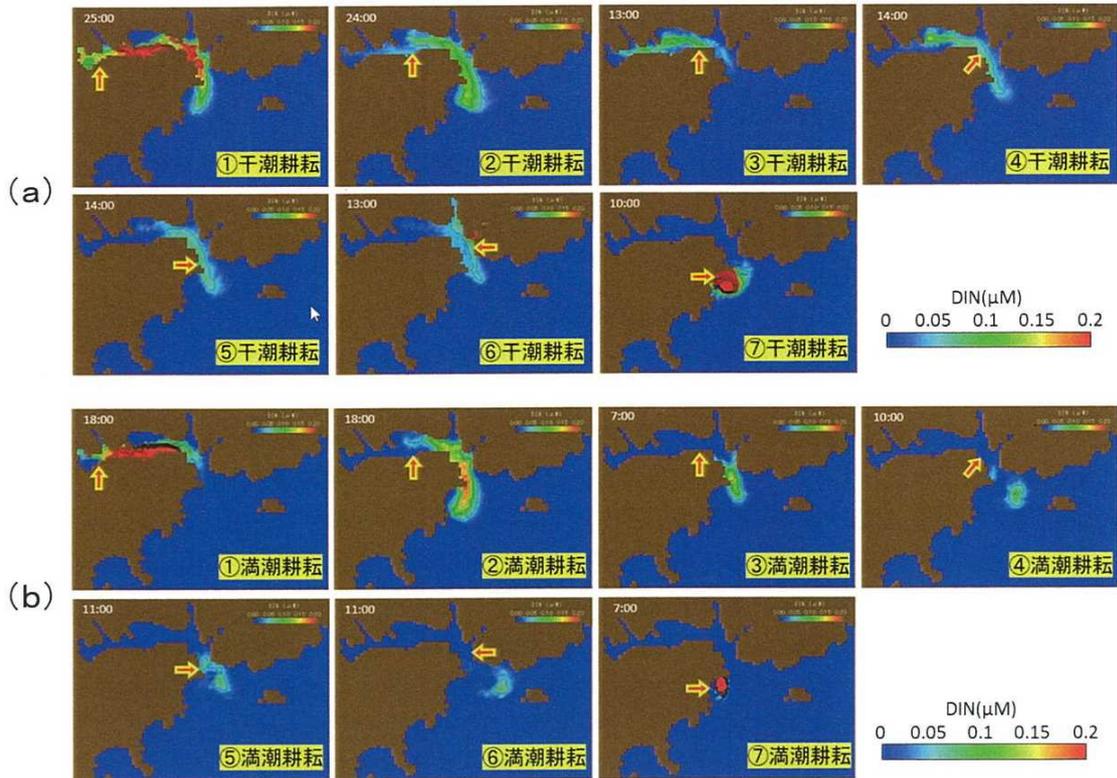


図 3-6 海底耕耘に伴う表層 DIN の増加濃度(計算結果)。(a)干潮時に耕耘した場合、(b)満潮時に耕耘した場合。図中の矢印は海底耕耘の実施場所、時間は耕耘後の経過時間を表す。

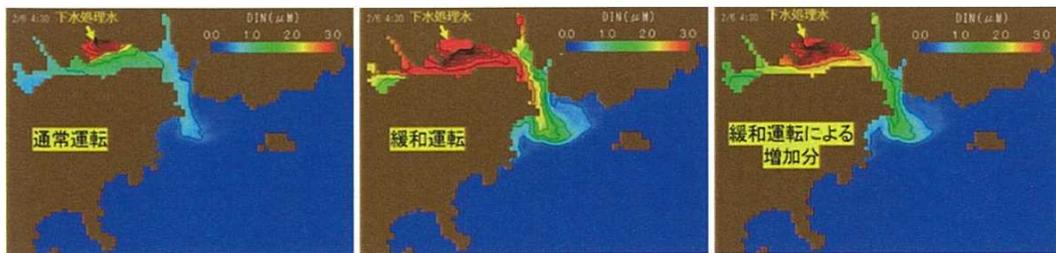


図 3-7 下水処理場から供給された栄養塩の拡散状況の計算結果(表層 DIN 濃度)。左図:通常運転、中図:管理運転、右図:管理運転に伴う増加濃度。

4. 下水処理施設の季節別管理運転の効果等

4.1 管理運転の実施による窒素排出量の増加

取組①：下水処理施設の季節別管理運転(加古川下流浄化センター)

[概要]

- ・実施背景:1995(平成7)年～1999(平成11)年にかけて播磨灘でノリの色落ちが発生するようになり、ノリの生産量が減少してきたことから、2008(平成20)年に「豊かな海づくりに係る検討会」を立ち上げ、兵庫県漁連からの要望により、加古川下流浄化センターにおいて、2008(平成20)年度から栄養塩類管理運転の試行を開始した。その後、播磨灘流域別下水道整備総合計画改定に伴い、2018(平成30)年度から本運用を開始した。
- ・実施時期:2008(平成20)年度～
- ・実施場所:図 4-1【播磨灘】



図 4-1 実施場所(加古川下流浄化センター)

- ・実施内容:ノリ養殖時期に合わせて冬季(11月～4月)に、放流水中の窒素濃度を増加するための運転を行っている。加古川下流浄化センター(処理能力

159、900 m³/日)の処理方法は、ステップ流入式多段硝化脱窒法であるが、冬季の間は処理方法を単段硝化脱窒法に変更して運転している。

・調整・連携を行っている他部局等：

水産関係部局、環境関係部局、下水道関係部局及び漁連・漁協等

・モニタリング内容

調査項目：水温、塩分、栄養塩類等

調査時期・頻度：調査内容によって異なる(5月～翌年3月、月1回、ノリ生産期を中心に実施)

調査場所：ノリ養殖場周辺海域 38地点(調査内容により調査定点数は変更している。)

調査方法：調査船もしくは陸路による採水及びCTD観測、一部連続観測もあり。



図 4-2 調査場所

[方法] 加古川下流浄化センターにおける5か年の放流水の窒素濃度とDINの排出量を整理し、運転試行前の5か年の平均値と比較した。

[結果] 窒素増加運転試行前(2003～2007年)と運転試行後(2011～2015年)の放

流水中の窒素濃度及び1日あたりの DIN 排出量の月別変化(5ヵ年平均値)をそれぞれ図 4-3、図 4-4 に示す。ノリ生産のピーク時(1月)の DIN 濃度は、運転試行前は約 6.4mg/L、運転試行後は約 7.6mg/L となっており、運転試行後の窒素濃度は 1.2mg/L 程度上昇している。また、DIN の排出量は運転試行前が約 0.5tN/day、運転試行後が約 0.8tN/day となっており、0.3tN/day 増加している。

(a) 運転試行前(2003~2007 年)

(b) 運転試行後(2011~2015 年)

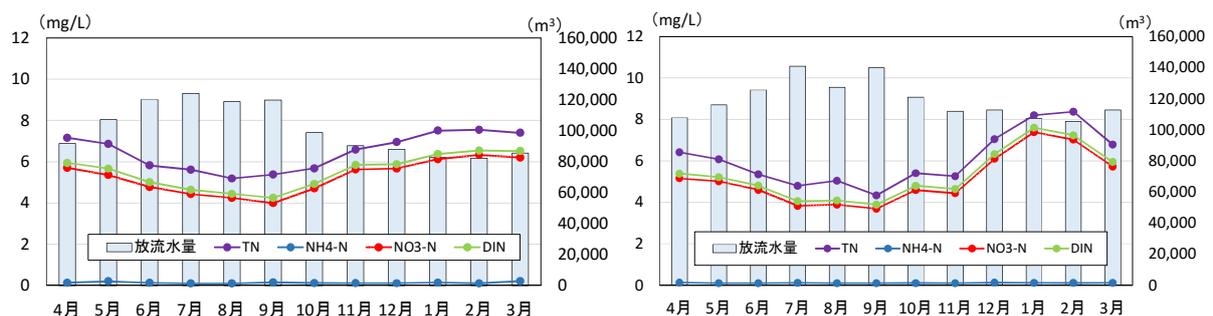


図 4-3 加古川下流浄化センターにおける(a)運転試行前と(b)運転試行後の放流水中の窒素濃度の月別変化

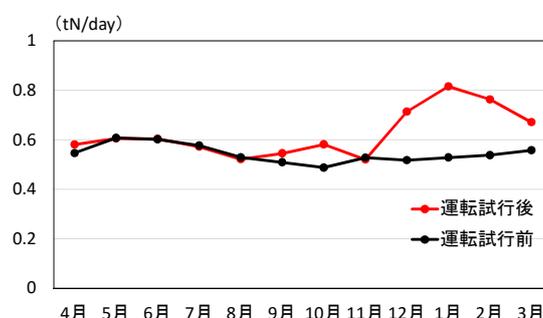


図 4-4 運転試行前後の1日あたりの DIN 排出量の月別変化

取組②： 下水処理施設の季節別管理運転(二見浄化センター)

[概要]

- ・実施背景: 明石市では、1995(平成7)年頃からノリの色素含有量が低下し、褐色状態に陥る「ノリの色落ち」が常態化していた。ノリ養殖業は、市内の漁業生産額の約7割を占める基幹産業でもあることから、放流先が播磨灘である二見浄化センターにおいて2008(平成20)年から栄養塩類管理運転の試行を開始した。その後、播磨灘流域別下水道整備総合計画の改

定に伴い、2018(平成 30)年度から栄養塩類管理運転の本運用を開始した。

- ・実施時期:2008(平成 20)年度～
- ・実施場所:図 4-5 【播磨灘】



図 4-5 実施場所(二見浄化センター)

- ・実施内容:ノリ養殖期に合わせて冬季(11月～4月)に硝化抑制により放流水中の窒素濃度を増加するための運転を行っている。
- ・調整・連携を行っている他部局等:
水産関係部局、環境関係部局、下水道関係部局及び漁連・漁協等
- ・モニタリング内容
調査項目 : 水温、塩分、透明度、化学的酸素要求量(以下「COD」という。)、DIN、無機態リン(以下「DIP」という。)
調査時期・頻度 : 10月～3月、期間中に10回
調査場所 : ノリ養殖場周辺海域 18点

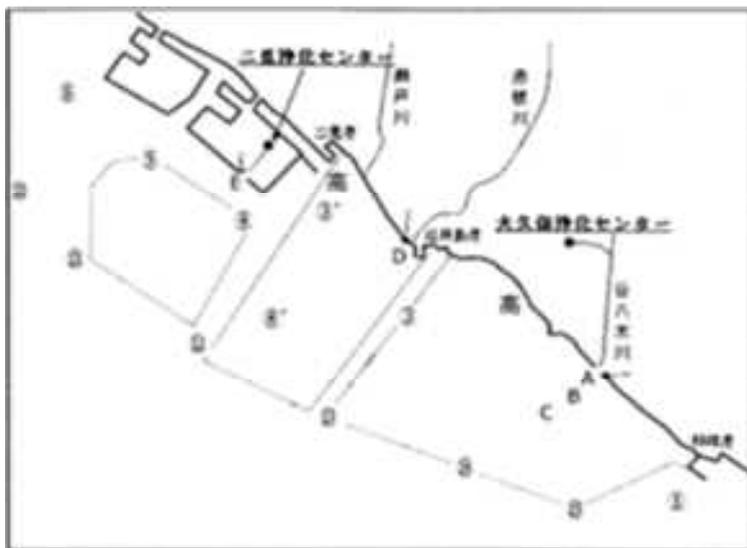
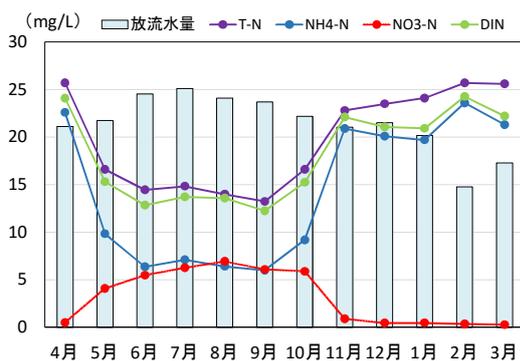


図 4-6 調査場所

[方法] 明石市二見浄化センターにおける5か年の放流水の窒素濃度と DIN の排出量を整理した。

[結果] 放流水中の窒素濃度及び1日あたりの DIN 排出量の月別変化(2012～2016年の平均値)を図 4-7 に示す。移行期間前8月の DIN 濃度は 13.6mg/L、ノリ漁期の1月は約 20.9mg/L となっており、排出濃度は 7.3mg/L 程度上昇している。また、DIN の排出量は8月が約 0.5tN/day、1月が約 0.7tN/day となっており、約 0.2tN/day 増加している。

(a) 放流水中の窒素濃度



(b) 1日当たりの DIN 排出量

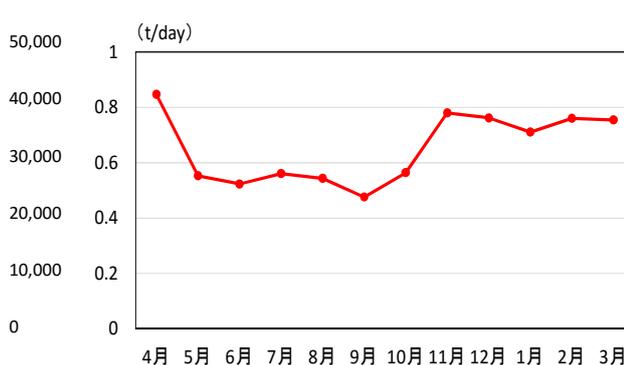


図 4-7 二見浄化センターにおける(a)放流水中の窒素濃度の月別変化と (b)1日当たりの DIN 排出量の月別変化

取組③：下水処理施設の季節別管理運転(岡東浄化センター)

[概要]

- ・実施背景:2017(平成 29)年度に岡山県水産課及び児島湾漁業協同組合連合会から季節別管理運転の導入依頼があり、市有施設で唯一海域に直接放流を行っている岡東浄化センターにおいて、2018(平成 30)年度から季節別管理運転の試行を開始した。
- ・実施時期:2018(平成 30)年度～
- ・実施場所:図 4-8 【播磨灘】



図 4-8 実施場所(岡東浄化センター)

- ・実施内容:ノリ養殖時期に合わせ、冬季(11～3月)に、放流水中の窒素及びりん濃度を増加する運転を行っている。
通常の岡東浄化センターの処理方法は、ステップ流入式多段硝化脱窒法+凝集剤(ポリ硫酸第二鉄)注入である。ノリ養殖時期の間は、ステップ流入停止(脱窒抑制)及び凝集剤の注入を停止(りん除去抑制)している。

・調整・連携を行っている他部局等：

水産関係部局、環境関係部局及び下水道関係部局

・モニタリング内容

調査項目：水温、塩分、全窒素(以下「TN」という。)、全リン(以下「TP」という。)、DIN、DIP、排水口付近における底泥中の酸揮発性硫化物(以下「AVS」という。)及びCOD

調査時期・頻度：2018(平成30)年10月22日(事前)、2018(平成30)年12月17日(管理運転中)、2019(平成31)年1月17日(管理運転中)

調査場所：図 4-9

調査方法：下図に示した調査定点において、管理運転前の10月22日及び管理運転後12月17日及び1月17日に、表層、底層(B-1m)で採水し機器分析を行った。また、管理運転による底質への影響を確認するため、排水口付近で採泥しAVS、CODを分析した。

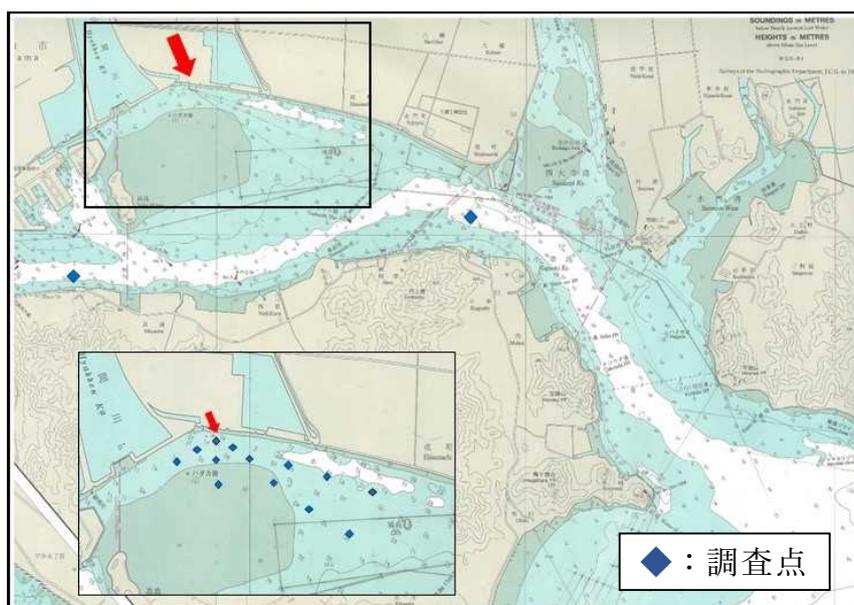
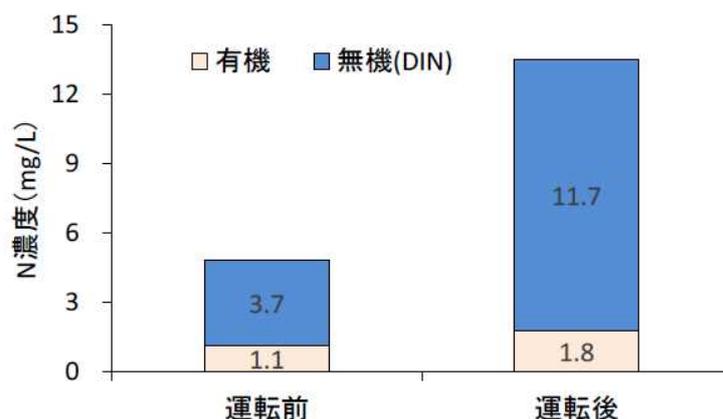


図 4-9 調査場所

[方法] 岡東浄化センターにおける放流水の窒素濃度を整理した。

[結果] 放流水中の窒素濃度を図 4-10 に示す。窒素排出量増加運転前の放流水の DIN 濃度は 3.7mg/L であるのに対し、運転後の DIN 濃度は 11.7mg/L となっており、排出濃度 8mg/L 上昇している。



注)窒素排出量増加運転の実施期間:平成 30 年 10 月中旬～平成 31 年 3 月下旬
 出典)「岡東浄化センターの季節別管理運転にかかる調査結果報告」(岡山県農林水産総合センター水産研究所)

図 4-10 窒素排出量増加運転前後の放流水の濃度変化

取組④ : 下水処理施設の季節別管理運転(香東川浄化センター)

[概要]

- ・実施背景:近年、ノリの色落ちが問題化しており、漁業関係者から栄養塩類を多く放流してほしいとの要望があったことから、香東川浄化センターにおいて、2011(平成 23)年度から季節別管理運転の試行を開始した。
- ・実施時期:2011(平成 23)年度～
- ・実施場所:図 4-11 【備讃瀬戸】
- ・実施内容:ノリ養殖時期に合わせて冬季(11～3月)に、硝化抑制を行い、放流水中の窒素濃度を増加するための運転を試行的に行っている。
- ・モニタリング内容
 - 調査項目 : $\text{NH}_4\text{-N}$ 、硝酸性窒素(以下「 $\text{NO}_3\text{-N}$ 」という。)、亜硝酸性窒素(以下「 $\text{NO}_2\text{-N}$ 」という。)、TN等
 - ※ただし、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{NO}_2\text{-N}$ の調査は2014(平成26)年度まで
 - 調査場所 : 放流先海域
 - 調査方法 : 放流水及び放流先海域の水質調査を管理運転時に実施。

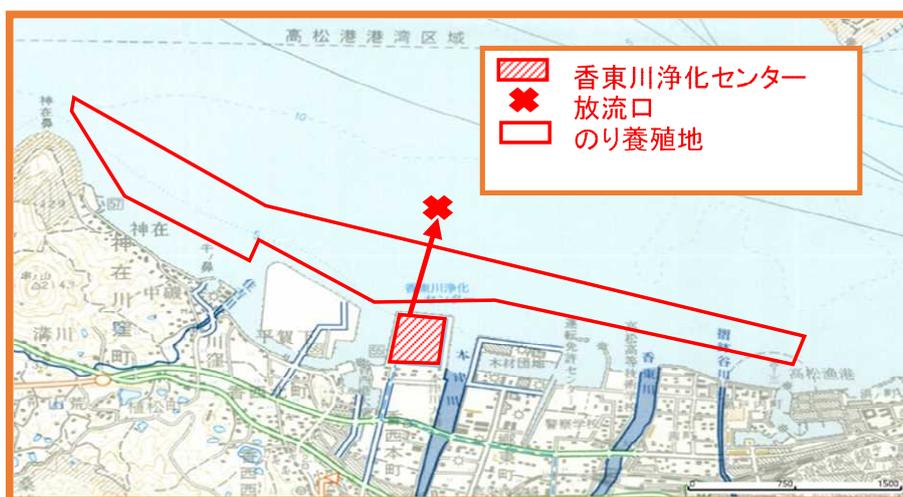
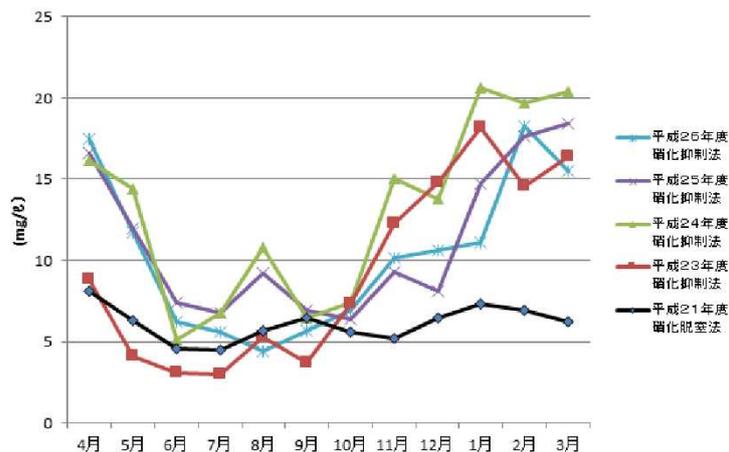


図 4-11 実施場所(香東川浄化センター)

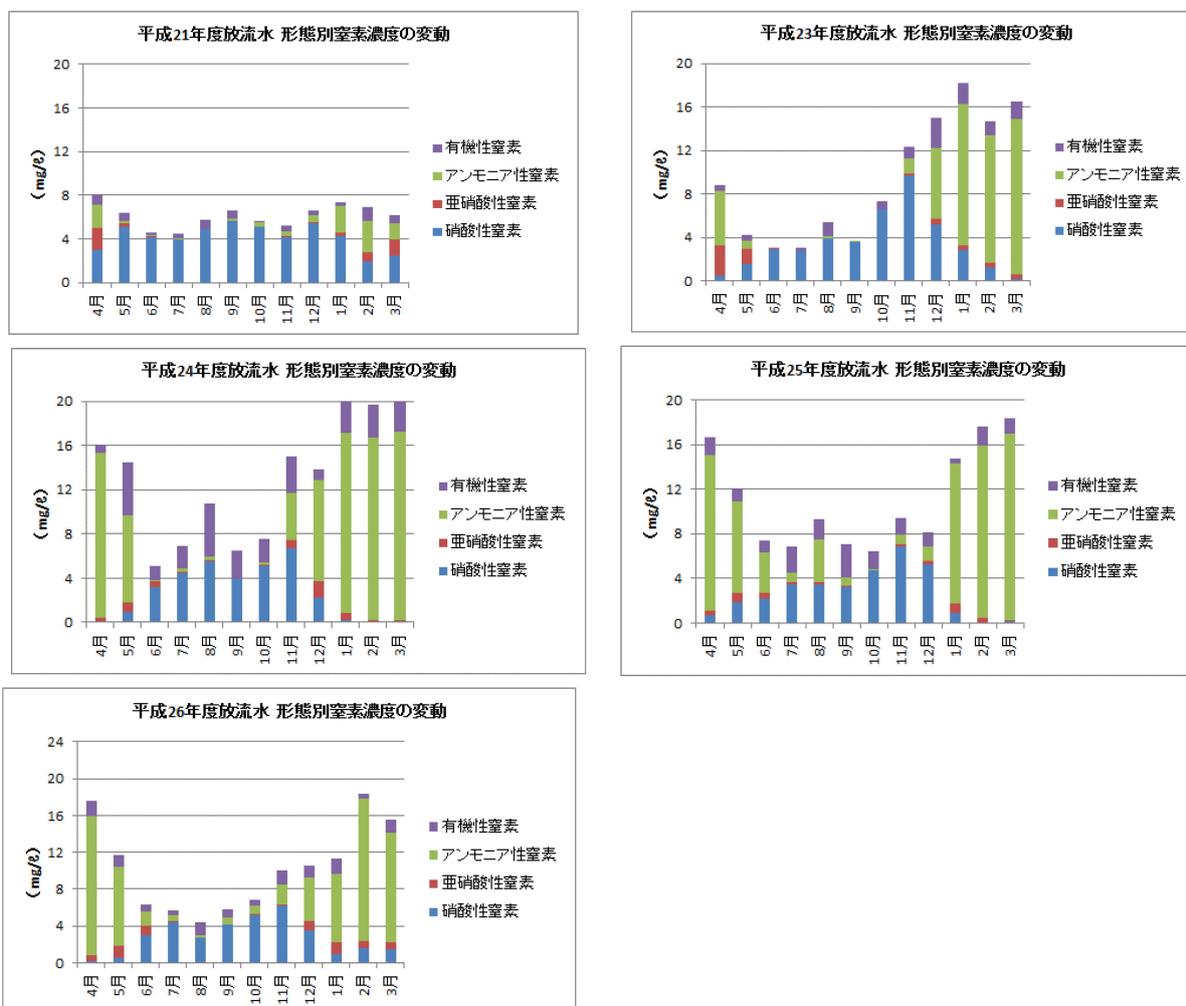
[方法] 香東川浄化センターにおける放流水の窒素濃度を整理した。

[結果] 放流水中の TN 濃度を図 4-12 に、季節別管理運転実施前及び実施時における放流水中の形態別窒素濃度を図 4-13 に示す。冬季を中心に、管理運転実施前に比べて実施時の窒素濃度が上昇している。



出典)「香東川浄化センターにおける季節別運転の実施状況について」(香川県土木下水道課、平成 27 年 12 月 17 日)

図 4-12 放流水中の TN 濃度の経年変動



出典)「香東川浄化センターにおける季節別運転の実施状況について」(香川県土木下水道課、平成 27 年 12 月 17 日)

図 4-13 季節別管理運転実施前(平成 21 年)と実施時(平成 23～26 年)の放流水中の形態別窒素濃度の変動

取組⑤：下水処理施設の季節別管理運転(西条浄化センター、東予・丹原浄化センター)

[概要]

- ・実施背景:近年、瀬戸内海の一部において、ノリの収穫量が減少しているため、地元漁協の要望を踏まえ、2011(平成 23)年度から季節別管理運転の試行を開始した。
- ・実施時期:2011(平成 23)年度～
- ・実施場所:図 4-14 【燧灘】

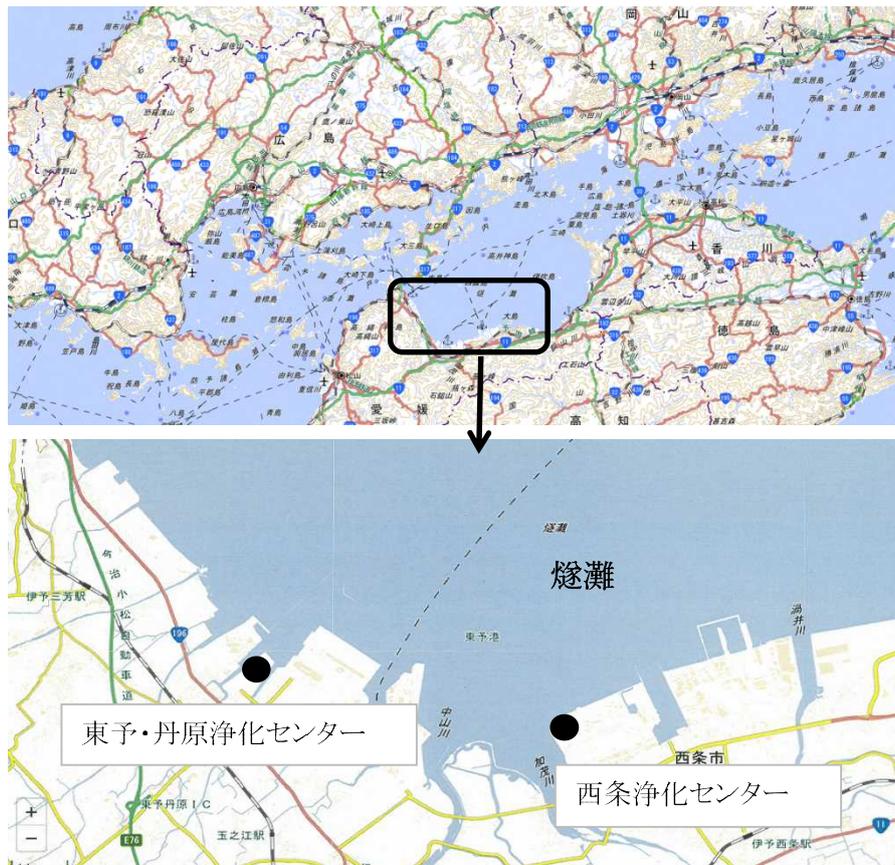


図 4-14 実施場所(西条浄化センター及び東予・丹原浄化センター)

- ・実施内容:ノリ養殖期間に合わせ冬季(10月～3月)に、西条浄化センター及び東予・丹原浄化センターにおいて、硝化抑制により放流水中の窒素濃度を増加するための運転を行っている。
ノリ養殖期間中、標準活性汚泥法である西条浄化センター(処理能力 31,500 m³/日)においては、酸素供給量を減少させ、曝気ブローアの送風量を 15～20%程度少なくしている。また、オキシデーション・ディッチ法である東予・丹原浄化センター(処理能力 8,500 m³/日)においても、同様に、ローターの回転数を2割程度落としている。

・調整・連携を行っている他部局等：

水産関係部局、環境関係部局及び漁連・漁協等

・モニタリング内容

<排水口近傍定期水質測定>

調査項目：TN、TP、COD

調査頻度：毎月1回

調査場所：各浄化センターにおいて、排水口(100～110m先)で1点、および
沖合(500～1000m先)で1点

調査方法：浄化センターが採水分析

<ノリ養殖漁場海域連続観測>

調査項目：硝酸塩濃度、吸光度、臭素値、水温

調査時期・頻度：冬季、毎正時

調査場所：図 4-15

調査方法：観測装置による自動観測。インターネット上で結果公開。



出典)愛媛県ホームページ

図 4-15 調査場所

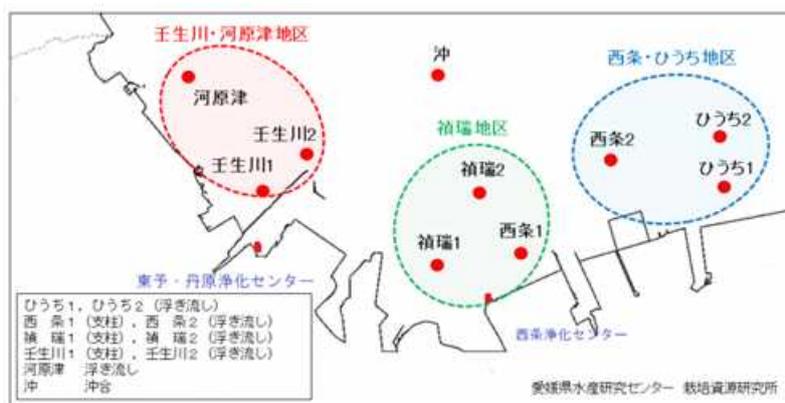
<ノリ養殖場内定期水質測定>

調査項目：硝酸塩濃度、吸光度、臭素値、水温

調査時期・頻度：10月～3月、1回/毎週(火曜日)

調査場所：ノリ養殖漁場3区画でそれぞれ3点ずつ実施(図 4-16)

調査方法：漁業者が水質試料を採取。愛媛県水産研究センター栽培資源研究所にて分析、インターネット上で結果公開。



出典)愛媛県ホームページ

図 4-16 調査場所

[方法] 西条浄化センター、東予・丹原浄化センターにおける放流水の窒素濃度を整理した。

[結果] 放流水中の窒素濃度は図 4-17、図 4-18 に示すとおりであり、冬季を中心に放流水中の窒素濃度が上昇している。

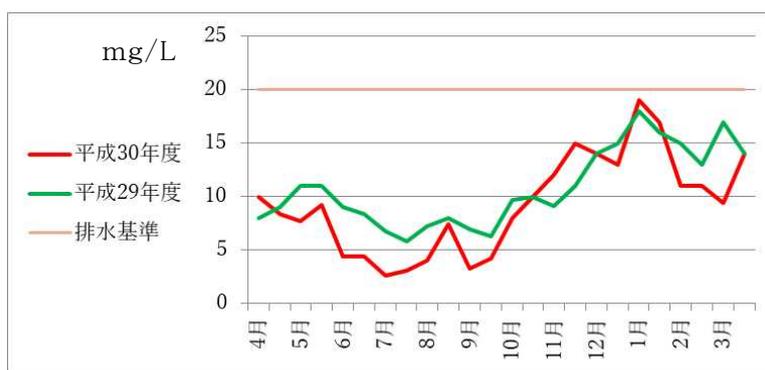


図 4-17 西条浄化センター放流水中の窒素濃度

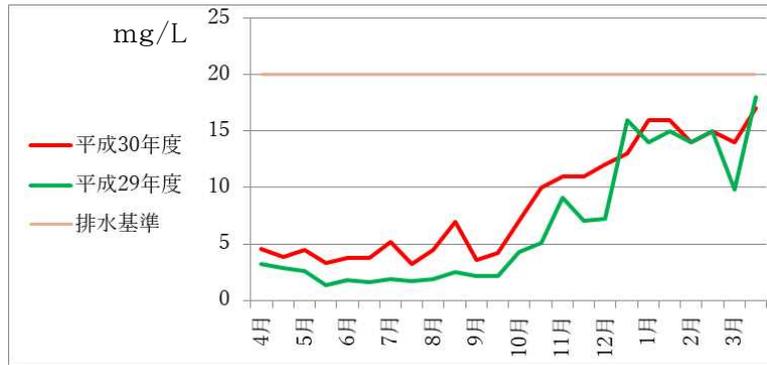


図 4-18 東予・丹原浄化センター放流水中の窒素濃度

4.2 海域(ノリ養殖場)の栄養塩類管理の状況

取組①：下水処理施設の季節別管理運転(加古川下流浄化センター)

[概要] 前述

○ シミュレーションモデルを用いた解析による濃度の確認

[方法] 加古川下流浄化センターにおいて実施されている窒素排出量増加運転(脱窒抑制運転)の影響の範囲や時間的な変動について、シミュレーションモデルを用いた解析により確認した。(文献 No.4)

[結果] 窒素排出量増加運転により、通常運転時と比較して 0.05mg/L のTN増加分がノリ養殖区画に到達する時間帯があること、放流先の泊川河口沖水路からノリ養殖区画海域へ輸送されるDINが8.1%増加(0.2t/day増加)することがシミュレーションにより確認された(図 4-19)。潮汐の変動に伴い、ノリ養殖区画におけるDIN濃度は概ね0.1~0.3mg/Lの範囲で変動しており、下げ潮時に濃度の上昇が確認された(図 4-20)。

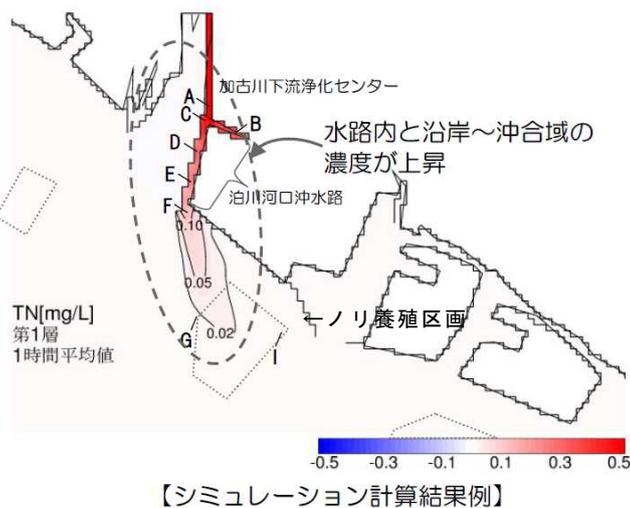


図 4-19 窒素排出量増加運転によるノリ養殖区画への窒素管理効果

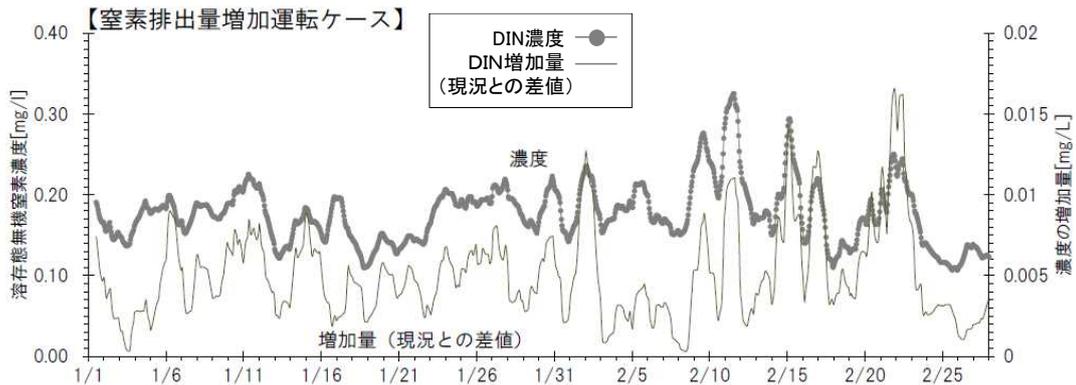


図 4-20 シミュレーションによるノリ養殖区画(図 4-19)における窒素排出量増加運転による DIN 濃度の経時変化

○ 連続観測による濃度の確認

[方法] 陸域からの栄養塩類の排出(下水処理放流水及び産業排水等を含む)が、加古川河口域に位置するノリ養殖漁場に与える影響を確認するため、漁場近傍の観測定点(図 4-21)において、冬季に $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度及び塩分を連続観測(毎時 1 回)した。(文献 No.5-1,5-2)

なお、下水処理放流水は $\text{NO}_3\text{-N}$ が主体であり、産業排水は $\text{NH}_4\text{-N}$ が主体である。

[結果] 加古川市沖のノリ漁場 13 号区(別府沖)における硝酸塩センサー等の観測機器を用いた連続観測では下げ潮時に塩分の低下と硝酸塩センサー値($\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度)の上昇が明瞭に確認できた(図 4-22)。



図 4-21 観測位置

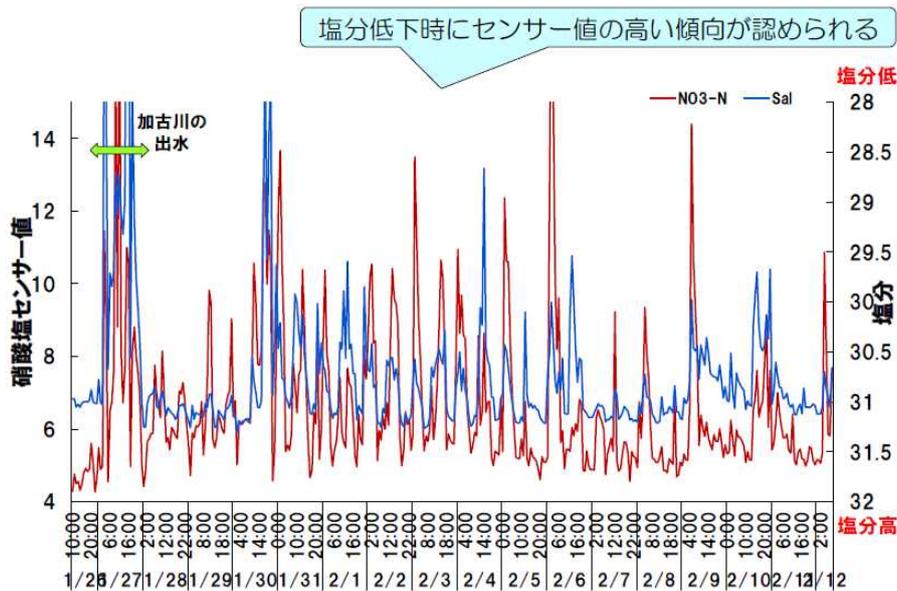


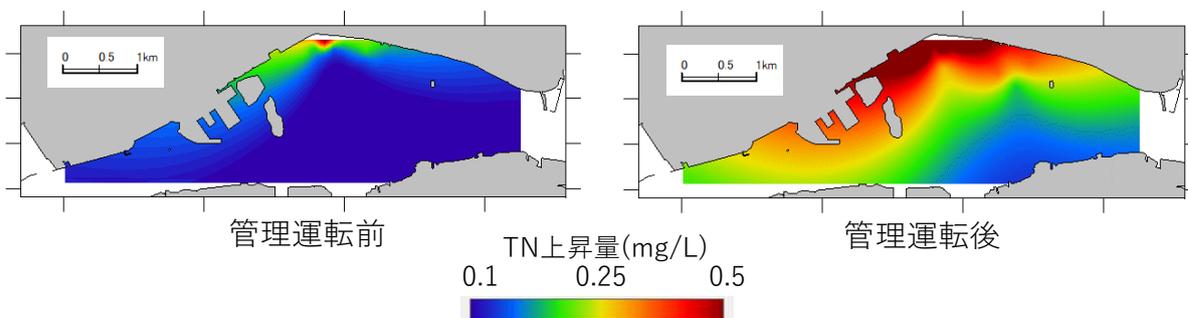
図 4-22 硝酸塩センサー値と塩分の変化

取組③：下水処理施設の季節別管理運転(岡東浄化センター)

[概要] 前述

[方法] 排水口前面海域における栄養塩類のモニタリング結果から、調査点のうち最も深い場所の底層は処理水の影響を受けていないと仮定し、調査点ごとのTN上昇量を確認した。

[結果] 調査点のうち最も深い場所の底層は処理水の影響を受けていないと仮定した場合の調査点ごとのTN上昇量は、管理運転前でも処理水による児島湾への直接的な窒素濃度の増加がみられたが、管理運転による周辺海域の窒素濃度の増加を確認できた(図 4-23)。



出典)岡山県提供資料

図 4-23 TN 上昇量

4.3 放流先周辺海域の水環境への影響

取組①：下水処理施設の季節別管理運転(加古川下流浄化センター)

取組②：下水処理施設の季節別管理運転(二見浄化センター)

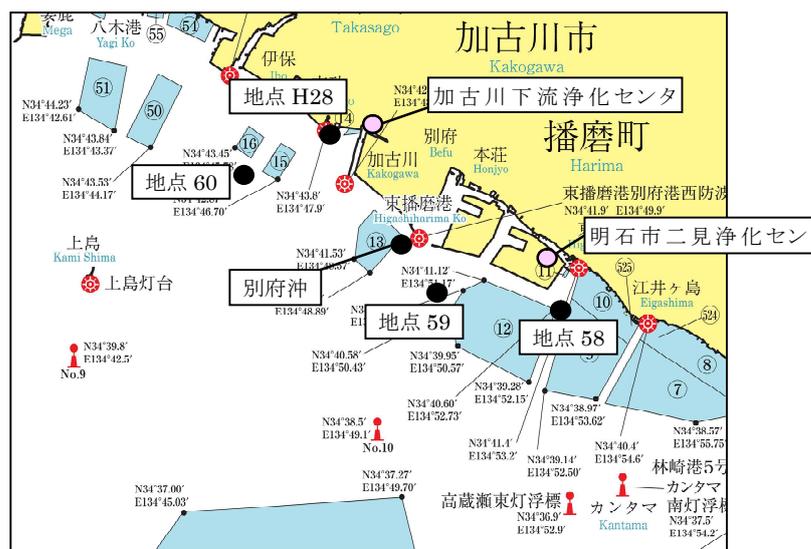
[概要] 前述

[調査地点] 図 4-24

[方法] 窒素増加運転試行による放流水中における窒素以外の項目の濃度変化と周辺海域の水質を確認した。

[結果] 加古川下流浄化センターの窒素増加運転試行前と運転試行後の放流水中の生物化学的酸素要求量(以下「BOD」という。)、COD、浮遊物質(以下「SS」という。)、TP[参考にTNも示す]について月別変化(5年平均値)を比較すると、年間を通じて運転試行後の方がCOD、TPはやや低く、BODはやや高い傾向がみられた。SSは同程度であった。一方、周辺海域の水質については、年間を通じて底層DO以外の項目で運転試行前と同程度かやや低く、地点60の夏季の底層DOは運転試行前よりやや上昇しており、5mg/L以上で推移していた。また、COD以外の項目は環境基準を満たしていた(図 4-25)。

明石市二見浄化センターの窒素増加運転試行前と運転試行後の放流水中のBOD、COD、SS、TP(参考にTNも示す)について月別変化(5年平均値)を比較すると、COD、TPは年間を通じて同程度でBODは運転試行後の方が10月～3月にかけてやや低い傾向がみられた。一方、周辺海域の水質については、どの項目も運転試行前と同程度かやや低く、環境基準を満たしていた。また、底層DOは5mg/L以上で推移していた(図 4-26)



出典:兵庫県漁業協同組合連合会

図 4-24 浄化センター位置及び水質測定地点(■:ノリ・ワカメなど養殖場)

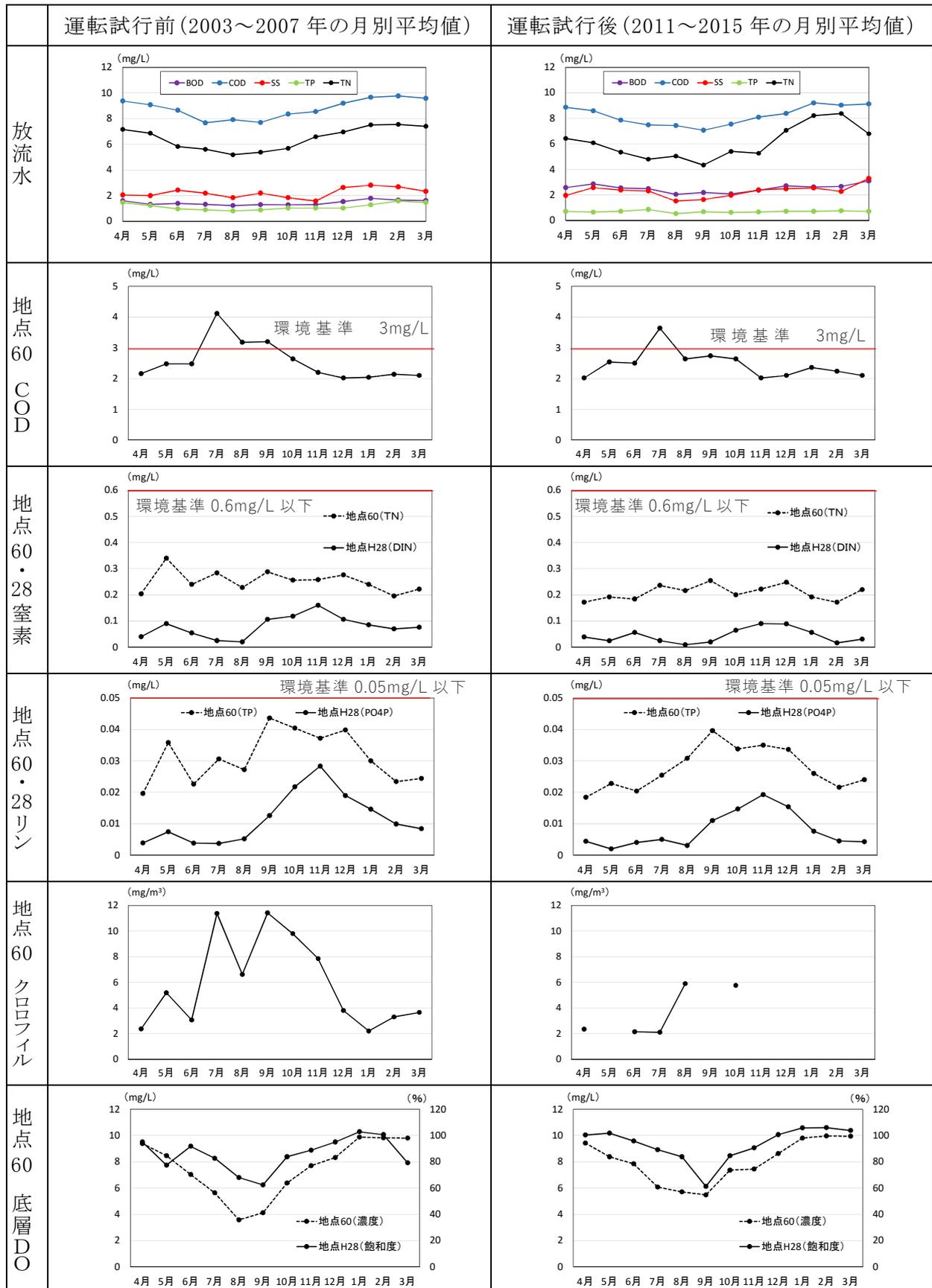


図 4-25 加古川下流浄化センター 窒素増加運転試行前と運転試行後の放流水及び
周辺海域の水質の月別変化

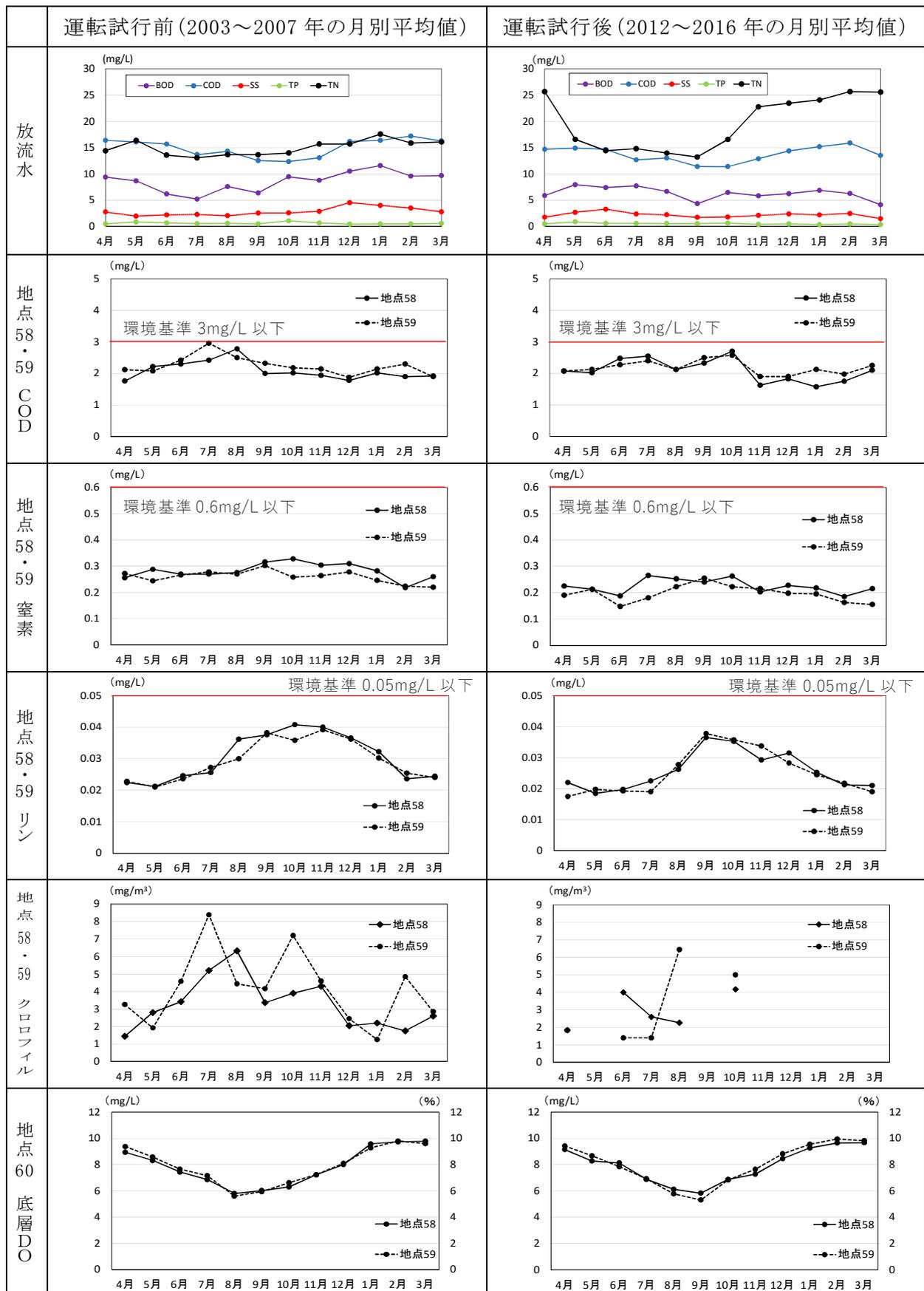


図 4-26 明石市二見浄化センター 窒素増加運転試行前と運転試行後の放流水及び周辺海域の水質の月別変化

【参考】栄養塩類管理運転の調査実施状況

加古川下流浄化センター及び明石市二見浄化センター処理水放流先の海域では、継続的なモニタリング(常時監視や浅海定線調査等)の他に、漁場生産力向上のための漁場改善実証試験[2013～2017(平成25～29)年度水産庁補助事業]や図4-27のような調査が実施されている。

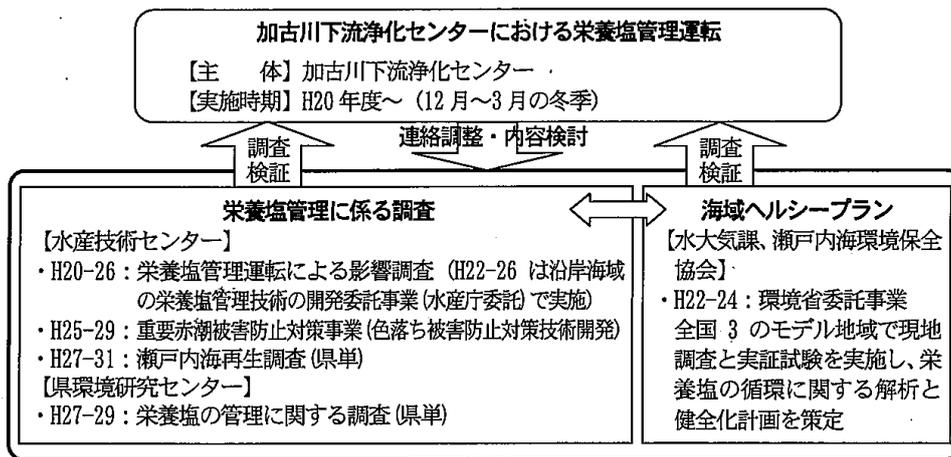
これらの現場における定期調査、連続観測^{※1}及び生態系モデルと潮流モデルを合わせたシミュレーション^{※2}等により下水処理場の窒素排出量増加運転によるノリ漁場への栄養塩類管理状況が報告されている。

※1:原田和弘ほか(2017):河川水および港湾域からの栄養塩供給が加古川河口周辺海域のノリ漁場に与える影響の検証。(水産海洋研究, 81, 222～229.)

原田和弘ほか(2018):港湾水および下水処理水に含まれる溶存態無機窒素が播磨灘北東部沿岸のノリ漁場に与える影響,(水産海洋研究, 82, 26～35.)

兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター(2018):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。(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, 4～7.)

※2:阿保勝之ほか(2012):加古川河口域ノリ養殖場に及ぼす陸域からの栄養塩供給の影響。(土木学会論文集(海岸工学)Vol.68, No.2, I-1116～I-1120.)



出典)平成29年度 第1回 豊かな海づくりに係る検討会(兵庫県ほか)

図4-27 加古川下流浄化センター放流先の周辺海域における調査実施状況

5. ダムの放流の効果等

5.1 ダムの放流による栄養塩類排出量の増加

取組①：ダムからの放流(文献 No.6)

[方法]

- ・実施背景:関係利水者の了解のもと治水・利水に支障のない範囲でのダム放流による栄養塩類排出量等を把握した。
- ・実施時期:2008(平成 20)年3月
- ・実施場所:[対象ダム]加古川水系の平荘(へいそう)ダム(図 5-1)
[モニタリング場所]加古川河口周辺海域【播磨灘】

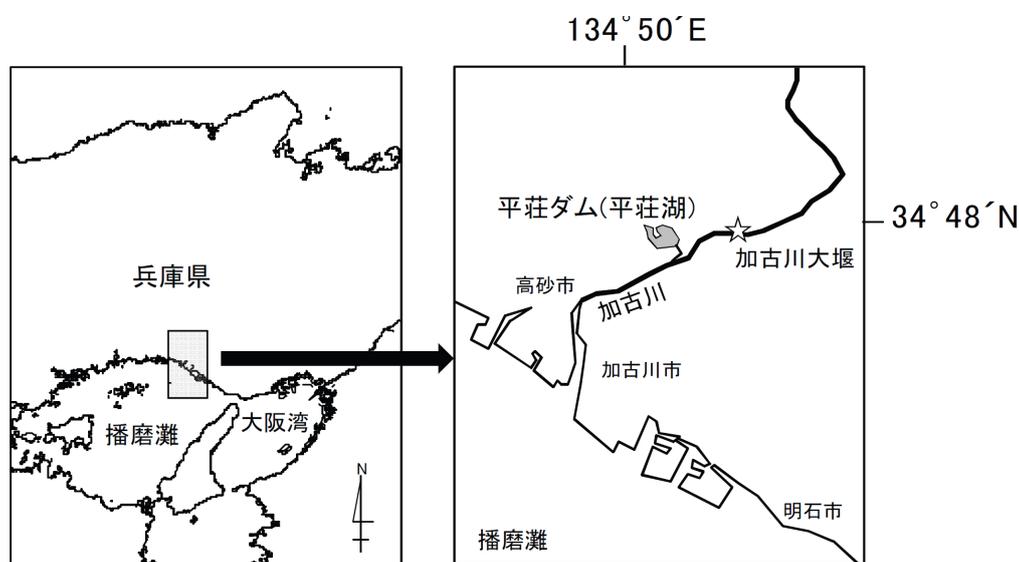
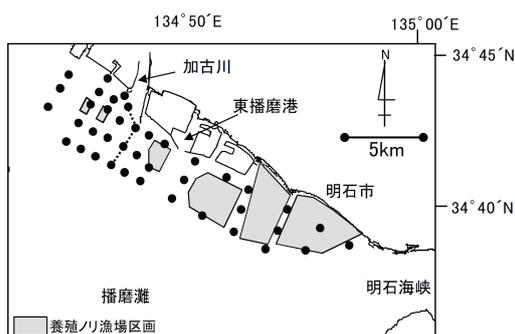


図 5-1 平荘ダム及び加古川大堰位置図

- ・実施内容:一時放流は、2008(平成 20)年3月7日午前 10 時～3月 11 日午前 10 時に、水路を通じて、4トン/秒(期間中合計約 138 万トン)の水を加古川本流に放流した。
- ・モニタリング内容
 - 調査項目 : 水温、塩分、栄養塩類
 - 調査時期・頻度 : 2008(平成20)年3月6、11、13日
 - 調査場所 : 加古川河口周辺海域(図5-2)
 - 調査方法 : 加古川河口周辺海域の調査点において、放流前の3月6日及び放流後の3月11、13日に水温、塩分、栄養塩類の測定を行い、水温、塩分、栄養塩類の時間変化を調べた。

(a) 水温・塩分の調査地点



(b) 栄養塩類の調査地点

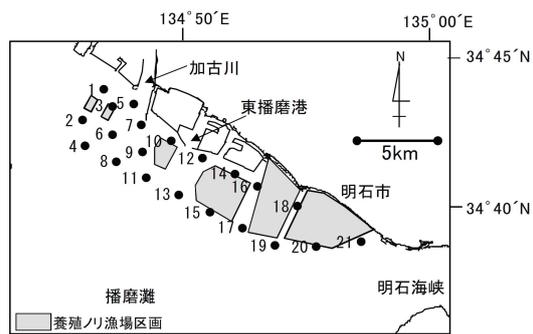


図 5-2 (a)水温・塩分及び(b)栄養塩類の調査地点

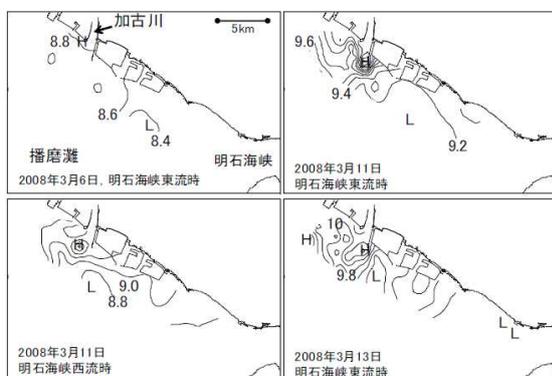
[結果] ダムの放流期間中、3月7日、9日及び10日に降雨があり、3月10日には西脇で10mm、三木で8mmの降水量であったことに伴い、加古川大堰の流量は、3月7～9日は10.2～11.7トン/秒であったのに対し、3月10～13日は13.1～14.8トン/秒に増加していた。

平荘湖水のDIN濃度と放流量から算出すると、今回のダム放流で加古川に上乘せされた無機態窒素量は、530kgと推測される。

ダム放流後の3月11日(明石海峡東流時)には、加古川河口域で河川水の影響と考えられる表層水温、塩分および栄養塩類の分布が確認された。

今回のダム放流量(4トン/秒)、さらに降雨に伴う加古川大堰での流量増加(約3トン/秒)の影響を加味した場合で、河口直近の海域まで直接的な影響が確認できたが、ノリ養殖場の広い範囲への直接的な影響は確認できなかったことから、栄養塩類管理の有効な手段であるとの結論は得られなかった。

(a) 表層水温分布(等値線は0.2°C毎)



(b) 表層塩分分布(等値線は0.2毎)

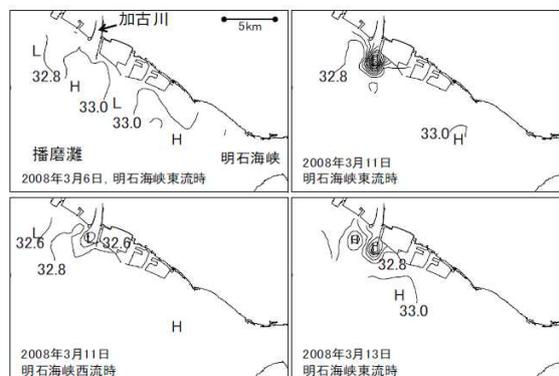
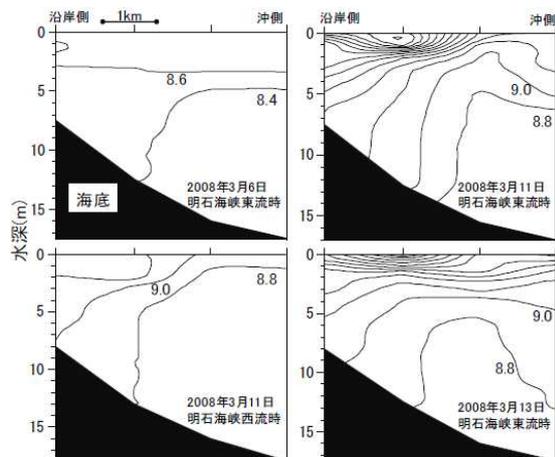


図 5-3 (a)表層水温分布及び(b)表層塩分分布

(a) 水温鉛直分布(等値線は 0.2°C 毎)



(b) 塩分鉛直分布(等値線は 0.2 毎)

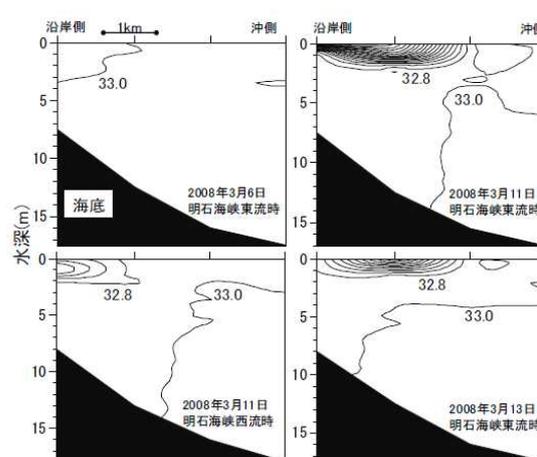


図 5-4 加古川河口から沖合ライン上の(a)水温鉛直分布及び(b)塩分鉛直分布

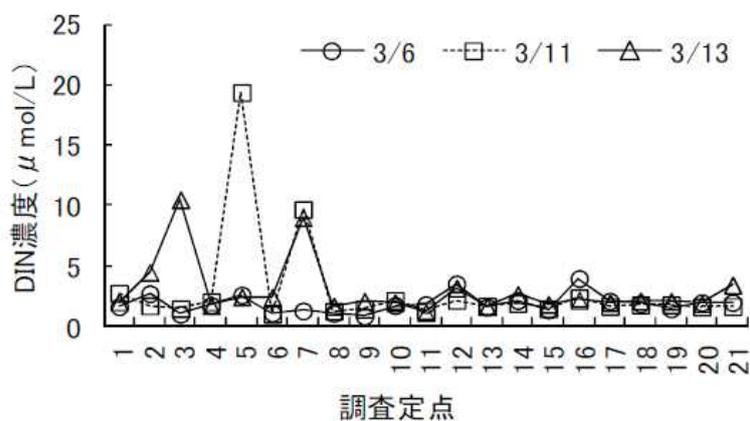


図 5-5 海域の DIN 濃度分布

6. ため池かいぼりに伴う放水による底泥に含まれる栄養塩類の供給の効果等

取組①：ため池の池干し(かいぼり)に伴う放水による底泥に含まれる栄養塩類の供給

[概要]

- ・実施背景：農業者の減少や高齢化により、定期的なため池の池干し(かいぼり)が行われず管理が不十分なため池が多い。一方で、海域の栄養塩類濃度の低下等が原因で養殖ノリの色落ちが近年頻発するようになった。一般にため池の水の栄養塩類濃度が高いことから、一部のため池において、海域への栄養塩類供給を目的に、漁業者と農業者が連携してかいぼりを行うようになった。
- ・実施時期：[淡路地域]2008(平成20)年度～、[東播磨地域]2010(平成22)年度～
- ・実施場所：明石市、加古川市、淡路市、洲本市及び南あわじ市の海域に繋がるため池
- ・実施内容：淡路地域では2008(平成20)年度から、東播磨地域では2010(平成22)年度から、漁業者と農業者が連携したかいぼりの取組を始めている。ため池の水を放流し、その後ホースでの放水により底の泥を攪拌し栄養塩類供給の効果促進を図っている。併せて、清掃活動等も行い、ため池の維持管理を行っている。

[結果] ため池の水の栄養塩類濃度は海域よりも高濃度であり、海域へ栄養塩類は供給されているが、漁場への栄養塩類の到達は把握できていない。

漁業者が参画することで、ため池の維持管理に係る人手不足を補っているとともに、農業者と漁業者の交流が生まれるなど地域づくりの面での効果がある。

この取組に近年では大学等が参加していることや新聞等での報道を通して、漁業や海域環境の現状を県民に伝えるなど、社会的効果が期待できる。

7. ノリの栄養塩類吸収

下水処理施設の季節別管理運転の実施による生物生産性の向上に対する効果を確認するためには、栄養塩類の管理によるノリの色調回復・生長を確認する必要がある。確認に当たっては、1) 栄養塩類管理の時間スケール(間欠的)を踏まえたノリの吸収能、2) ノリ葉体に含まれる窒素起源について考慮する必要がある。このため、これらの観点から、既往文献の整理・考察を行った。

7.1 栄養塩類管理による色落ちノリの色調回復(室内実験)

ノリの色調回復・生長の効果を確認するためには、栄養塩類管理の時間スケール(間欠的)を踏まえたノリの吸収能を検討する必要がある。このため、室内培養実験の結果を次のとおり整理した。

取組①：間欠的栄養塩類管理による色落ちノリの色調回復に関する室内実験(文献 No.7)

[概要] 瀬戸内海では、ノリ養殖期間中の色落ち被害が頻発し、その迅速な対応が求められている。その対策の一つとして、備讃瀬戸海域では、DIN を多く含んだ河川水の有効利用が注目されている。児島湾から流出する河川水は、潮流の影響を受けてノリ漁場には半日及び日周期で間欠的に届く。このように間欠的に栄養塩類が流入する状況下で、色落ちしたノリがどのように変化するか、ノリ葉体の色調を中心に室内培養試験において観察した。

[方法] 間欠的に栄養塩類が補給される状況下で色落ちしたノリの色調の変化を見るため、養殖場から採取した色落ちしたノリ葉体を、栄養塩類が枯渇した基本培養液 $0.5 \mu\text{M}$ (0.007mg/L) に一定時間浸漬したのち、 NaNO_3 添加培養液 $7.0 \mu\text{M}$ (0.098mg/L) に浸漬時間(浸漬なし～120 分の間で4段階)を変え、その後基本培養液に戻してから5日間培養しノリの変化状況(L*値、SPAD 値)を観察した。

[結果] 「浸漬なし」では色調回復には至らず、浸漬時間が短い試験では色調回復はゆるやかであり、合計浸漬時間が60分を超えると十分に色調が回復した。また浸漬回数1回より2回の方が、色調回復が良い傾向がみられた。

7.2 ノリが吸収する栄養塩類の由来

取組②：窒素安定同位体比によるノリの栄養塩類取り込みの評価(文献 No.8)

[概要] 備讃瀬戸中央部のノリ漁場には高濃度に DIN を含んだ河川水が表層水塊となって間欠的に到達し、河川水から間欠的に流出する DIN を取り込んで色調は維持されていると考えられる。同海域におけるノリの栄養塩類の取り込みについて、河川水の影響(河川から流出する DIN の利用)を定量化するため、ノリ葉体の窒素安定同位体比(以下「 $\delta^{15}\text{N}$ 」という。)により葉体中の窒素の起源を調べた。

[調査地点] 吉井川の河口付近(図 7-1)

[方法] 備讃瀬戸に流れ込む吉井川の河口から沖にかけ設置されているノリ養殖漁場 7 箇所採取したノリ葉体の $\delta^{15}\text{N}$ を求め、同時に各箇所得た連続水温・塩分記録と DIN(採水分析値と連続塩分記録から算出)から、河川由来の窒素の影響を調べた。

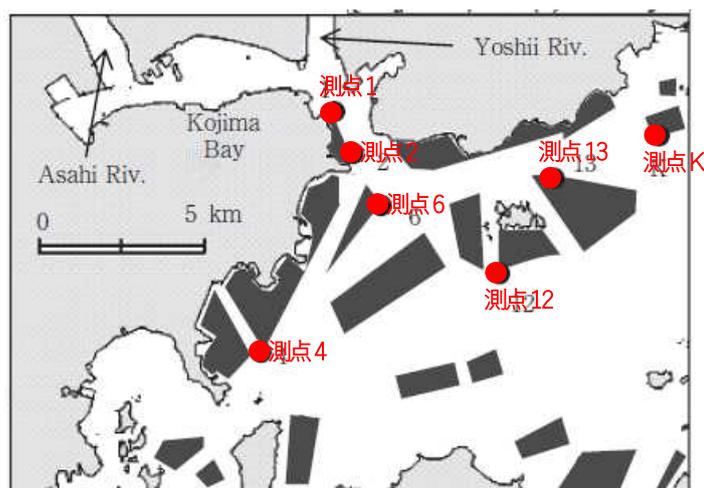


図 7-1 窒素安定同位体比調査測点

[結果] ノリの $\delta^{15}\text{N}$ (平均)は河口に最も近い測点 1 で $7.7 \pm 0.5\text{‰}$ 、最も河川から離れた測点 K で $11.1 \pm 0.1\text{‰}$ となり、河口に近い測点ほど低く、河川水中の $\delta^{15}\text{N}$ に近い値を示した。この結果から、河川水由来の窒素の寄与割合は測点 1～6 で 60%以上、測点 13 でも 35%あった。また、移植試験を行ったところ、移植したノリ先端部の $\delta^{15}\text{N}$ の変化についてみると、移植後すぐに $\delta^{15}\text{N}$ が低下し、7 日以内にはもとあったノリとほぼ同程度となった。同試験において、ノリ色調回復を確認したところ、色落ちしたノリの色調は 14 日後までにはもとあったノリと同程度まで色調が回復したことから、 $\delta^{15}\text{N}$ は河川からの栄養塩類の影響を色調よりも迅速に反映していたと考えられる。

河川水影響の最も少ない測点 K と河口の塩分、DIN 濃度から求めた $\delta^{15}\text{N}$ の予測値は実測値ともほぼ一致した。河口から離れている測点4(潮流緩流域)や12(河川水到達域)のノリの $\delta^{15}\text{N}$ では平均塩分から求めた値より低く、ノリが間欠的に届く河川水から窒素を取り込んでいることを示唆した。

表 7-1 河口から沖に向かう各測点の塩分、DIN、 $\delta^{15}\text{N}$

Table 5-1 Salinity, DIN and nori- $\delta^{15}\text{N}$ measured at each station from January 18 to February 7 in 2008.
DIN=-1.79×salinity+60.1

St.	Salinity			DIN (μM)		$\delta^{15}\text{N}$ of nori	
	mean ±SD	minimum	maximum	mean		mean ±SD	
1	26.7±4.4	6.7	32.9	12.3		7.7±0.5	
2	28.4±3.4	18.9	32.1	9.3		7.6±0.2	
4	32.5±1.0	27.6	33.3	1.9		8.7±0.3	
6	31.1±2.4	20.3	33.1	4.4		8.4±0.2	
12	32.6±0.6	28.7	33.2	1.7		9.4±0.6	
13	32.5±0.9	27.3	33.2	1.9		9.8±0.3	
K	32.8±0.2	32.3	33.3	1.4		11.1±0.1	

表 7-2 各測点の河川由来窒素の寄与割合(左:塩分から、右: $\delta^{15}\text{N}$ から)

Table 5-2 Contribution rates of riverine nitrogen predicted from the mean salinity and measured from nori $\delta^{15}\text{N}$ values.

St.	Predicted from mean salinity (N_i)	Measured from nori $\delta^{15}\text{N}$
1	0.91	0.91
2	0.87	0.93
4	0.29	0.64
6	0.70	0.72
12	0.21	0.45
13	0.29	0.35
K	0.00	0.00

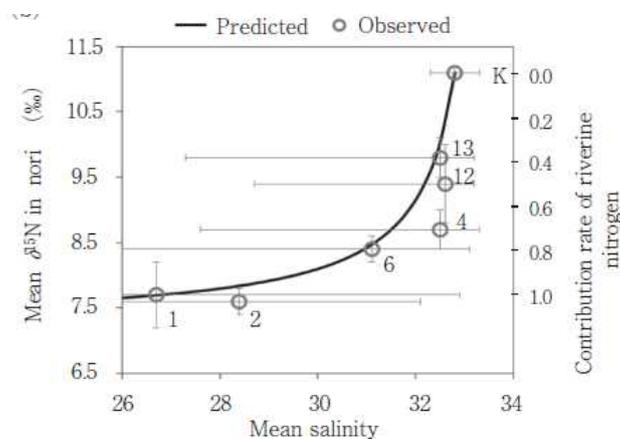


図 7-2 塩分と $\delta^{15}\text{N}$ の予測(実線)と実測(O)

8. その他の効果等

その他の栄養塩類管理手法として、二枚貝の養殖等を併用した高品質なノリ養殖技術があげられ、ノリと競合する珪藻類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、栄養塩類を海域に添加する機能を併せ持つ二枚貝類の養殖とノリ養殖を組合せることにより、ノリの色落ちを防止することを目的としている。ここでは、九州地方における検討事例を整理した。



図 8-1 二枚貝増養殖事業の概念図

8.1 二枚貝の増養殖の併用によるプランクトンの除去及び栄養塩類の排出

取組①：二枚貝(アサリ)の増養殖によるノリの高品質化(文献 No.9)

[方法]

- ・実施背景:福岡県有明海地先では、ノリ色落ちにより、多大な被害が発生している。ノリ色落ちの原因として、ノリと栄養塩類を競合するケイ藻類等の植物プランクトンが赤潮となり、海域の栄養塩類を消費することが挙げられる。アサリやサルボウ等の二枚貝は、ノリの色落ちの原因である植物プランクトンを摂餌し、ノリの窒素源として有用なアンモニアを排泄する。そのため、二枚貝を増殖させることで、ノリの色落ちを防止又は軽減することが可能と考えられる。この取組では、植物プランクトン増殖時に、二枚貝による植物プランクトンの除去及び栄養塩類排出効果の検証を行う。
- ・実施時期:2017(平成 29)年 9 月～2018(平成 30)年 2 月
- ・実施場所:福岡県柳川地先【有明海】
- ・実施内容:殻長約 32mmのアサリを 648m²(ノリ 1 小間)内に約 2kg/m²の密度で 1.2 トン放流した放流区と対照区を設けた(図 8-2、図 8-3)。また、ノリ養殖漁場の隣接した干潟域において、アサリの摂餌によるプランクトン除去実証試験を実施した。

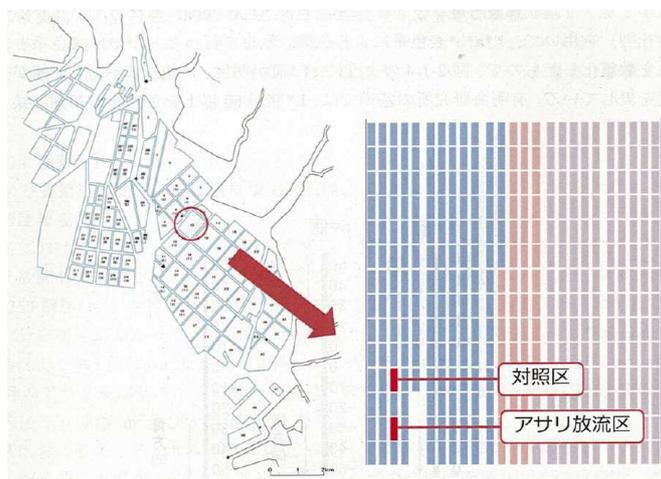


図 8-2 試験場所

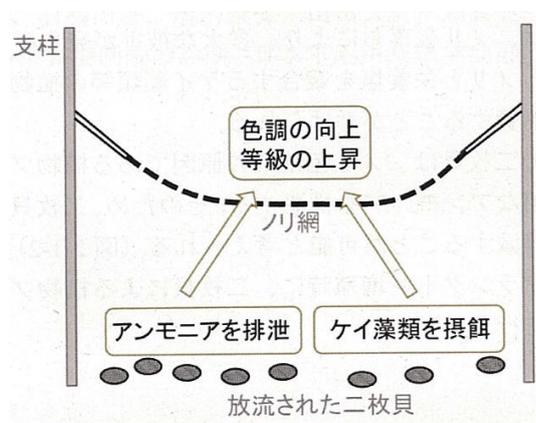


図 8-3 事業イメージ

[方法] アサリ放流に伴うノリへの効果を把握するため、満潮時に採水及びプランクトンの採集を実施した。また、ノリ養殖漁場の近接した海域の干潟域 4m^2 ($2\text{m} \times 2\text{m}$)において、アサリを $6\text{kg}/\text{m}^2$ で放流したアサリ放流区及びアサリを放流していない対照区を設定し、クロロフィル蛍光強度を比較した。

[結果] アサリの放流試験では、試験期間中、海水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ は対照区(アサリ非放流区)よりも高い傾向を示し、現場実験でもアサリの栄養塩類排出効果が認められた(図 8-4)。

試験期間中、夜間の満潮で、合成流速が $3\text{cm}/\text{sec}$ 以下が30分以上連続する時間帯では、アサリ放流区のクロロフィル蛍光強度の積算は対照区の値を下回り、アサリの摂餌によるプランクトン除去効果が確認された(表 8-1)。

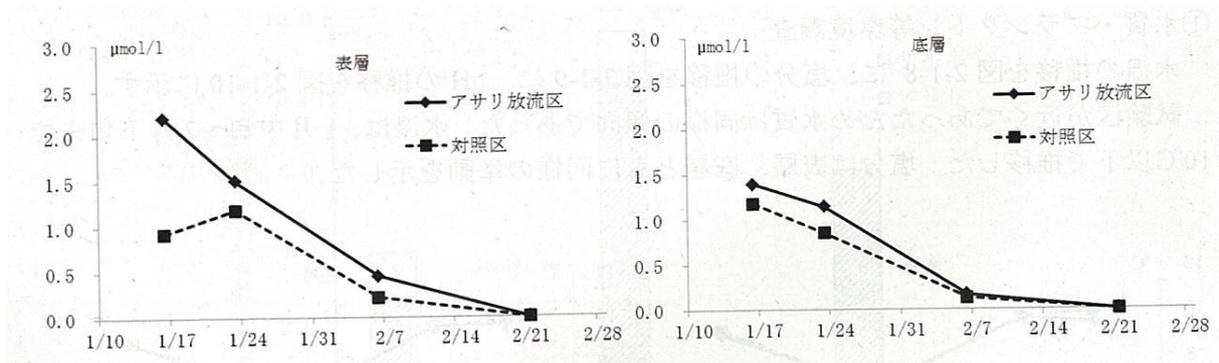


図 8-4 NH₄-N の推移(左:表層、右:底層)

表 8-1 干潟試験におけるクロロフィル蛍光強度値の比較

12月14日	アサリ放流区(μg/l)	対照区(μg/l)	12月16日	アサリ放流区(μg/l)	対照区(μg/l)
17:45	2.05	2.38	18:35	8.06	6.77
17:50	2.32	2.57	18:40	5.72	9.12
17:55	2.38	2.31	18:45	4.61	6.24
18:00	2.06	2.65	18:50	5.41	3.38
18:05	2.15	2.41	18:55	6.78	7.53
18:10	2.37	2.39	19:00	4.25	4.86
18:15	2.34	2.3	19:05	5.76	5.06
18:20	1.67	2	積算値	40.59	42.96
18:25	1.58	2.34			
18:30	1.78	1.81			
18:35	1.6	1.78			
18:40	1.67	1.81			
積算値	23.97	26.75			
12月17日	アサリ放流区(μg/l)	対照区(μg/l)	12月18日	アサリ放流区(μg/l)	対照区(μg/l)
20:05	2.11	2.31	20:25	2.47	2.37
20:10	2.14	2.38	20:30	2.38	2.36
20:15	2.11	2.24	20:35	2.43	2.29
20:20	2.09	2.2	20:40	2.48	2.5
20:25	1.68	2.25	20:45	2.16	2.48
20:30	1.63	2.21	20:50	1.92	2.34
20:35	1.98	2.27	20:55	1.78	1.92
20:40	1.79	2.21	21:00	1.88	1.96
20:45	1.98	2.27	積算値	17.5	18.22
積算値	17.51	20.34			
12月19日	アサリ放流区(μg/l)	対照区(μg/l)			
20:50	2.71	3.17			
20:55	2.8	3.04			
21:00	2.76	3.07			
21:05	2.74	3.03			
21:10	2.61	2.99			
21:15	2.6	3			
21:20	2.51	3.19			
21:25	3.11	3.34			
21:30	2.78	3.14			
21:35	2.54	3.07			
21:40	2.67	3.33			
21:45	3.02	3.22			
21:50	2.97	3.23			
21:55	3.09	3.41			
積算値	38.91	44.23			

取組② : 二枚貝(カキ)の増養殖の併用(文献 No.10)

[概要]

- ・実施背景: 有明海佐賀県海域の二枚貝の中で大きな資源量を有するカキを用いて、カキ濾水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類の排出によるノリの品質向上効果を把握することを目的とした。

- ・実施時期:2018(平成 30)年2月8日、10日、12日、14日
- ・実施場所:佐賀県太良町地先【有明海】
- ・実施内容:ノリとカキを閉鎖及び半閉鎖的な器具に收容して、ノリの色調や水質等を定期的に測定することにより、閉鎖的、半閉鎖的環境における色落ち原因プランクトンの除去効果やノリの品質向上効果を検証した。半閉鎖区はカキとノリを收容した円柱パイプで、閉鎖区はこのパイプに底蓋をして海水が交換しにくくしたものである。流水区は、半閉鎖区用のパイプを横倒しにして水平に設置し、海水を交換しやすくしたものである。

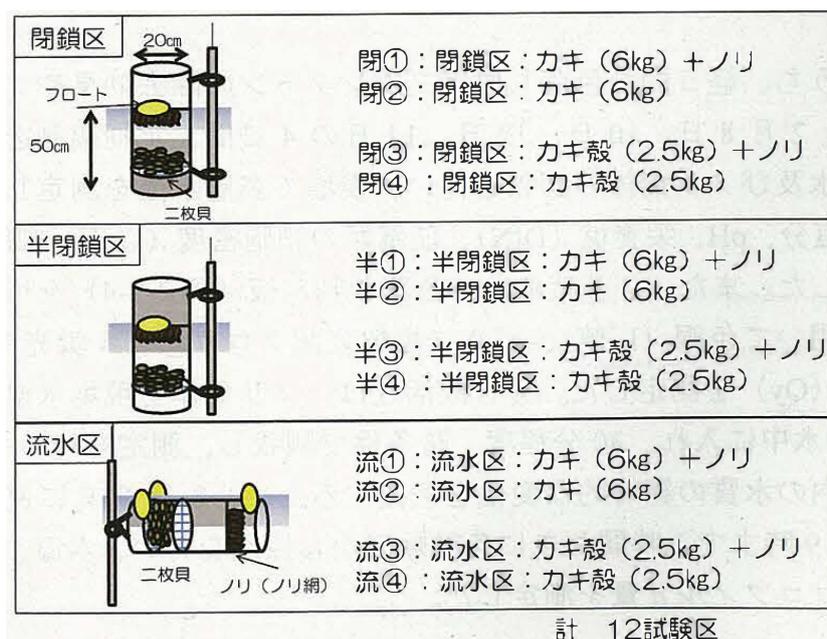


図 8-5 試験区概要

[方法] 各試験区において、DIN 濃度、クロロフィル a 及び植物プランクトンの細胞数を測定した。

[結果] クロロフィル a 量及び植物プランクトンの細胞数は、カキを收容した半閉鎖区と閉鎖区でカキを收容していない対照区よりも低かったことから、カキの摂餌による色落ち原因プランクトンの除去効果が認められたと考えられた。

また、カキを收容した閉鎖区と半閉鎖区では、DIN は $3.1 \mu\text{M}$ 以上で、色落ち度が少ないレベルで保たれた。

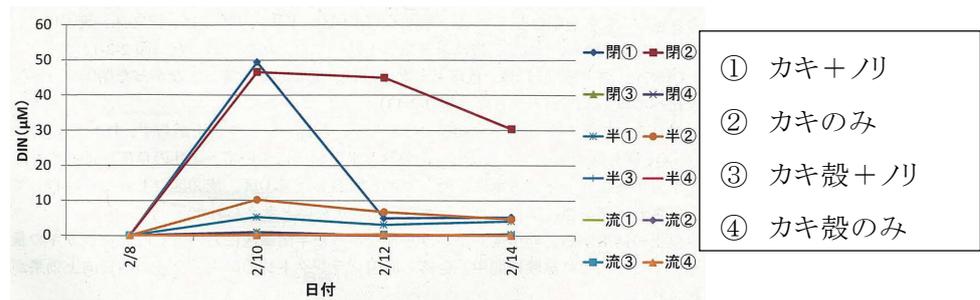


図 8-6 DIN の推移

8.2 二枚貝の増養殖の併用によるノリの色調回復等の状況

取組①：二枚貝(アサリ)の増養殖によるノリの高品質化(文献 No.9)

[概要] 前述

[方法] アサリ放流区と対照区でノリ葉状体及び乾ノリの色調を測定し、比較した。

[結果] 調査期間中にプランクトンが増加し、栄養塩類が低く推移したことから、両試験区でノリの色調に差はみられなかった(図 8-7)。

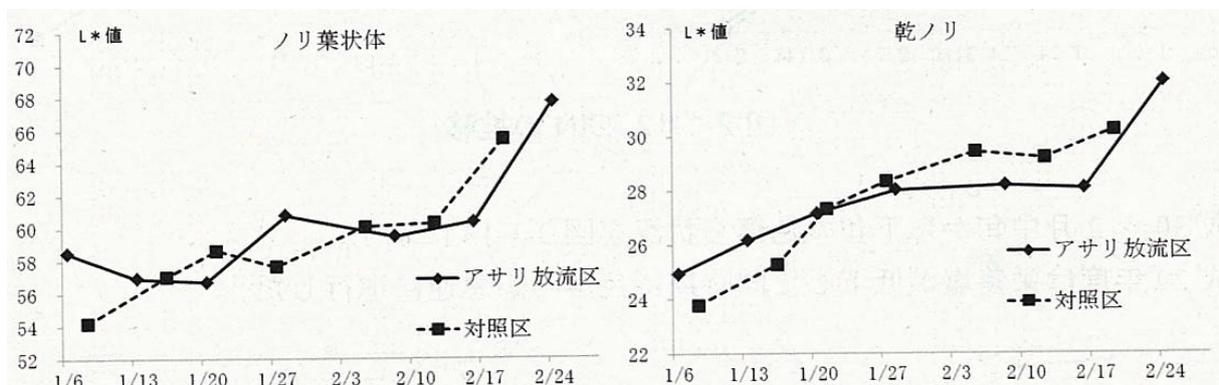


図 8-7 左:ノリ葉状体の色調の推移、右:乾ノリの色調の推移(L*値が高いほど色落ちしている)

取組②：二枚貝(カキ)の増養殖の併用(文献 No.10)

[概要] 前述

[方法] カキを収容した試験区と収容していない試験区において光合成活性(Q_y 値)等を測定し、比較した。

[結果] カキを収容した閉鎖区と半閉鎖区では DIN は $3.1 \mu\text{M}$ 以上で色落ち度が少ないレベルで保たれたのに対し(前述の図 8-6)、カキを収容していない試験区では DIN は $0 \sim 0.4 \mu\text{M}$ (前述の図 8-6)で、光合成活性(Q_y 値)の低下がみら

れた(図 8-8)。このことから、閉鎖区と半閉鎖区ではカキを収容することで DIN と Qy 値を高く保ち、ノリの色調を維持できることが明らかになった。一方、流水区ではこれらの効果は認められなかった。

また、試験結果を用い、ノリ漁場 1 小間(45m×18m×水深 3m)全体に効果を発現させるために必要なカキの量を試算すると 929 トンと推定され、現状の技術レベルでは、ノリの品質向上策をカキのみに頼るのは現実的ではなく技術的にも困難な課題が抽出された。

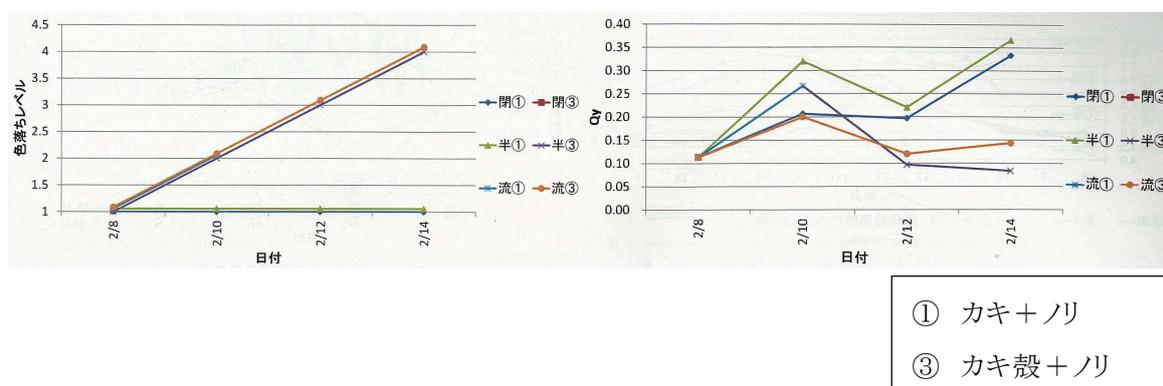


図 8-8 左:色落ちレベルの推移、右:Qy 値の推移

取組③ : 二枚貝(マガキ)の増養殖の併用(文献 No.11)

[概要]

- ・実施背景:ノリと競合する珪藻を餌料として利用する二枚貝養殖が、漁場の栄養塩類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。
- ・実施時期:2018(平成 30)年2月5日～9日
- ・実施場所:熊本県玉名市横島町地先【有明海及び八代海】
- ・実施内容:支柱式のノリ養殖施設に人工的に色落ちさせたノリ網と無処理のノリ網を設置して、0.5m下にマガキを垂下し、ノリとマガキを併用した試験養殖を行った。対照区にはマガキは垂下せず、試験区と同様のノリ網を設置し、それぞれの試験区で水質とノリの黒み度を調査した。

[結果] 試験区と対照区においてノリの黒み度の推移を測定した。

[結果] マガキによる明確なプランクトン除去効果と栄養塩類排出効果は確認されなかったが、ノリの「黒み度※」は試験区に比べて対照区で有意に減少していた(図 8-9)。これから、マガキ養殖によりノリの色落ちを改善する効果は確認されなかったものの、色落ちを悪化させない効果が示唆された。

※葉体の L*値、a*値、b*値を色彩色差計で測定し、黒み度を算出

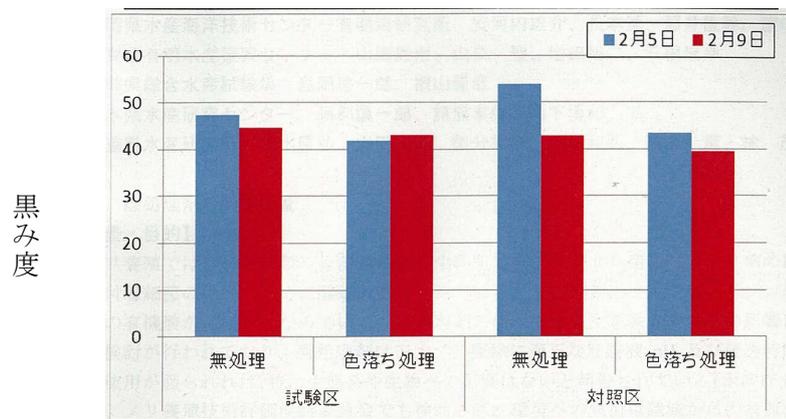


図 8-9 試験区及び対照区におけるノリの黒み度の推移

文献一覧

- No.1-1:水産庁補助事業(2019):平成30年度漁場環境改善推進事業「栄養塩からみた漁場生産力回復手法の開発」成果報告書.
- No.1-2:水産庁補助事業(2020):平成31年度漁場環境改善推進事業「栄養塩からみた漁場生産力回復手法の開発」成果報告書.
- No.2: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(2018):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.(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, 14~15.)
- No.3:中西敬ほか(2012):貧栄養状態での栄養塩供給手法としての海底耕耘の効果に関する調査研究.(土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.68, No.2, I-1115~I-1120.)
- No.4:環境省閉鎖性海域対策室(2012):播磨灘北東部地域ヘルシープラン.
- No.5-1:兵庫県立農林水産技術総合センター(2016):平成26年度(2014年度)兵庫県立農林水産技術総合センター(水産編)年報, 16.
- No.5-2:原田和弘ほか(2015):播磨灘のノリ養殖漁場における連続観測機器を用いたモニタリング.(連続観測機器を用いた海洋環境モニタリングと有効活用に関する研究会, 発表要旨及びスライド)
- No.6:原田和弘ほか(2013):加古川水系の平荘ダム一時放流による加古川河口周辺海域への栄養塩添加効果の検討.(兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告(水産編), 43, 11~16.)
- No.7:藤原宗弘(2011):ノリの栄養塩採り込みーノリは間欠的な栄養塩供給を利用できるかー.(日水誌 77(1), 133.)
- No.8:高木秀蔵(2014):河川からの沿岸海域への栄養塩供給とノリの栄養塩供給とノリの栄養塩利用に関する研究(岡山水研報告 29, 1~50.)
- No.9:福岡県水産海洋技術センター有明海研究所(2018):福岡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.(平成29年度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委託事業 有明海・八代海における二枚貝の増養殖を併用したノリ養殖の高品質化技術の開発報告書, 27~39.)
- No.10:佐賀県有明海水産振興センター(2018):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熊本県地先有明海及び八代海域における二枚貝増養殖によるノリ養殖の品質効果.(平成29年度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委託事業 有明海・八代海における二枚貝の増養殖を併用したノリ養殖の高品質化技術の開発報告書, 41~50.)
- No.11:熊本県水産研究センター、水産研究・教育機構西海区水産研究所(2018):熊本県地先有明海及び八代海域における二枚貝増養殖によるノリ養殖の品質効果.

(平成 29 年度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委託事業
有明海・八代海における二枚貝の増養殖を併用したノリ養殖の高品質化技術の開
発報告書, 51～59.)