

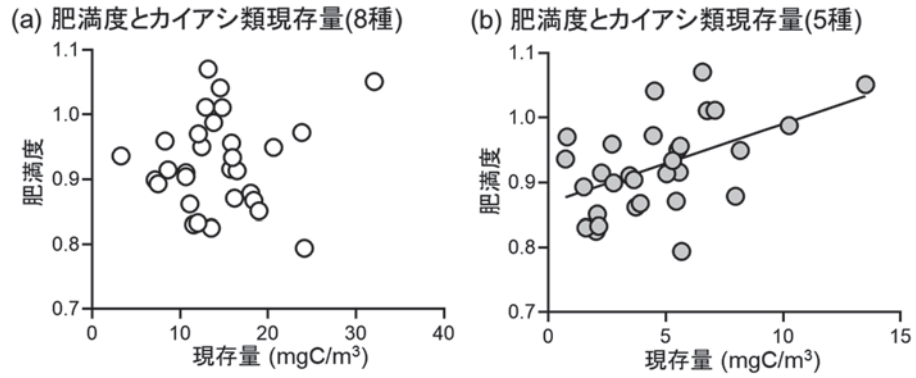


図8. 2001～2019年5、6月雌親魚肥満度とカイアシ類現存量(mgC/m^3)の関係

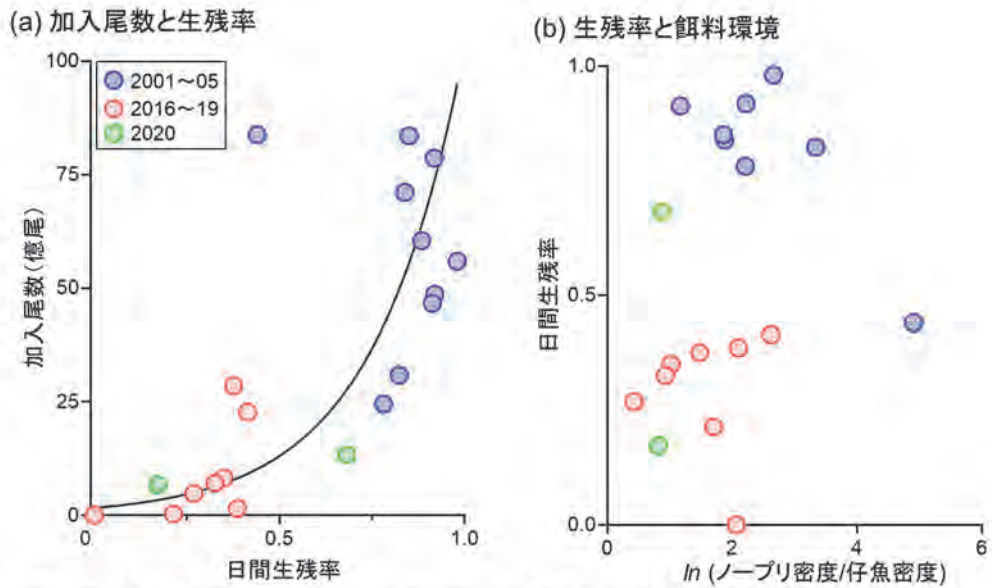


図9. 加入尾数と生残率の関係(a) および生残率と餌料環境の関係 (b)



図10. 燧灘カタクチイワシの加入低迷と低次生産環境の因果関係

課題番号：3)

課題名：栄養塩管理方針の検討

一般社団法人 水産技術協会
シニア技術専門員 福田雅明
技術専門員 井上慎吾
技術専門員 畑 恭子
技術専門員 池田宗平
調査協力員 小山悠人

【背景・目的】

我が国の沿岸水域に対し水質環境基準等の設定や総量規制が行われた結果「きれいな海」が実現されたが、近年窒素およびリンの量が不足した結果と思われるノリ養殖における色落ち現象が多発し、さらに漁獲量の減少がみられるなど、栄養塩不足が指摘されるようになってきた。このため、沿岸域の水質を制御した「きれいな海」にとどまらず漁業生産を増大させる「豊かな海」をも同時に実現する必要性が生じている。「豊かな海」を実現するために必要となる適切な栄養塩の濃度を明らかにし、そのことによって漁業生産を増大させるための方策を検討することが喫緊の重要課題となっている。

本調査では「豊かな海」に必要な栄養塩供給を把握して管理することによって、「きれいな海」において漁業資源の増大と持続的な維持を可能とし、さらに、適切な栄養塩の配分による安定した生態系の維持と生産量の最大化を可能とする方針の検討を行うものである。平成30年度は、栄養塩負荷量や気象・海象、漁業実態等の資料・データの概要を水産庁事業によって蓄積した博多湾を対象として、栄養塩管理の方針を検討した。そのため、博多湾における既存データを収集しつつ、不足しているデータについては、現地調査を実施して取得した。平成31年度（令和元年度）では、蓄積したデータを活用して、内湾漁業生産管理モデルを構築し、平成30年の現地調査結果で再現性の確認を行った。さらに、検討委員会を設置して専門家から助言をいただき、モデルの妥当性の確認や、栄養塩とノリの質との評価方法について検討を行った。令和2年度は最終年度であり、前年度に構築した内湾漁業生産管理モデルを使って、管理運転を強化（排水中の全りん濃度を高める）した場合のノリの色落ちや生物生産に対する効果をみるための感度解析を行った。さらに、今年度までの調査結果をもとに、栄養塩管理方針の在り方についても検討および提案した。

【方法】

(1) ヒアリング調査

ヒアリング調査の概要を表1に示す。2020年10月に、先行研究（小池・渕上（2013））の著者が所属していた福岡県水産海洋技術センターへノリの色調に関してヒアリング調査および文献内で行われた分析結果のデータ提供依頼を行った。調査形式については、COVID-19の影響のためメールによるヒアリングとした。

(2) 感度解析の実施

昨年度構築した内湾漁業生産管理モデルを用いて、ノリの色落ち評価を目的変数とした感度解析を実施した。

(3) 栄養塩の管理方策（案）

今年度まで調査してきた内容をもとに、栄養塩管理方針の在り方について検討した。

(4) 検討委員会の開催

内湾漁業生産管理モデルの構築ならびに栄養塩管理方針に専門的な立場からのご意見をいただくために、水産分野の専門家 5 名（検討委員会メンバーは以下のとおり）からなる検討委員会を設置した。

検討委員会は、11 月及び 2 月の計 2 回実施した。

<検討委員の委員メンバー>

- ・松田治（広島大学名誉教授）
- ・鈴木輝明（名城大学特任教授）
- ・中田喜三郎（名城大学特任教授）
- ・反田實（兵庫県立農林水産技術センター技術参事）
- ・山田久（元水産総合研究センター中央研究所長）

【結果】

(1) ヒアリング調査

ヒアリング調査の結果は図 1 に示すとおりである。また、提供頂いたデータを使って、DIP に対するノリの L*値の関係を図 2 のように推定した。

(2) 感度解析の実施

博多湾（図 3）を対象とした内湾漁業生産管理モデルを用いて、管理運転を強化（排水中の全りん濃度を高める）した場合のノリの色落ちや生物生産に対する効果をみるため感度解析を行った。

感度解析における管理運転の期間は、西部水処理センターでの運転の実態に合わせて 11 月 1 日から翌年 3 月 31 日とした。また、感度解析の計算期間は 4 月 1 日から翌年 3 月 31 日までの 1 年間とした。

各計算ケースは表 2 に示すとおりである。

(2) - 1 感度解析結果における全りん濃度の環境基準の達成状況

各計算ケースにおける全りん濃度の環境基準の達成状況は表 3 に示すとおりである。

「管理運転前」（管理運転を行わないケース）から「全りん濃度 5 倍」（西部水処理センターのみで管理運転を行うが、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 5 倍（2.5mg/L）に上げたケース）の 6 ケースでは、全ての地点において環境基準を達成する。

「全センターの全りん濃度 5 倍」(6 ヶ所全ての水処理センターで管理運転を行い、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 5 倍 (2.5mg/L) に上げたケース) では、Ⅱ類型の 1 地点で未達成 (基準値 0.03mg/L に対して 0.032mg/L)、中部海域および東部海域 (いずれもⅢ類型) の 4 地点で未達成となるが、最大でも濃度は 0.073mg/L (基準値は 0.05mg/L) であり、いずれも基準値を大幅に上回ることはない。

また、環境基準の達成度の評価は、水域類型毎の平均値を用いるため、Ⅱ類型およびⅢ類型の中部海域では基準を達成、東部海域でのみ未達成となり、達成度の評価は水域数で行うため、Ⅲ類型の達成度は 50%となる。

(2) - 2 管理運転によるノリの色落ちの改善効果 (感度解析結果)

内湾漁業生産管理モデルを用いて、養殖ノリの色落ちの指標を目的変数として表 2 に示した計算ケースで感度解析を実施し、管理運転によって全りんの排出量を増加させた場合の養殖ノリの色落ちの度合いの変化を検討した。

(2) - 2 - 1 管理運転時における DIP 濃度分布の変化

管理運転を行った場合の DIP 濃度の分布は図 4 に示すとおりである。

なお、ノリの種付け時期である 10 月から 11 月は栄養塩がとくに重要とされていることから、11 月の平均濃度により作図した。

「管理運転前」のケース (管理運転を行わない場合の全りんおよび DIP 濃度を用いる) では、湾奥東部および西部の一部の海域を除いて DIP 濃度が全般に低く、のり養殖区画の濃度は 0.0025mg/L に達していない。

「現行の管理運転中」のケース (西部水処理センターで実施中の管理運転のケース。なお、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限は 0.5mg/L) では、湾奥西部および東部の濃度が上昇し、西側の養殖区画では 0.005mg/L を超えるようになる。

「全センター実施」のケース (6 ヶ所全ての水処理センターで管理運転を実施し、西部水処理センターにおける管理運転の実態に合わせて各センターからの排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 0.5mg/L とする) では、湾内沿岸部の濃度がさらに上昇し、西側および東側の養殖区画のいずれにおいても 0.0025mg/L を超えるようになる。

「全りん濃度 2 倍」のケース (西部水処理センターのみで管理運転を行うが、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 2 倍 (1.0mg/L) に上げる) では、湾奥西部の濃度が上昇し、西側の区画では 0.0125mg/L を超えるようになる。

「全センターの全りん濃度 2 倍」のケース (6 ヶ所全ての水処理センターで管理運転を行い、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 2 倍 (1.0mg/L) に上げる) では、湾内沿岸部の濃度がさらに上昇し、西側および東側の区画のいずれにおいても 0.01mg/L を超えるようになる。

「全りん濃度 5 倍」のケース (西部水処理センターのみで管理運転を行うが、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 5 倍 (2.5mg/L) に上げる) では、湾奥西部の濃度がさらに上昇し、西側の区画では 0.015mg/L を超えるようになる。

「全センターの全りん濃度 5 倍」のケース (6 ヶ所全ての水処理センターで管理運転を行い、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 5 倍 (2.5mg/L) に上げる) では、湾内のほぼ

全域の DIP 濃度がかなり上昇し、西側および東側の区画のいずれにおいても 0.015mg/L を超えるようになる。

以上のように、西部水処理センターでの管理運転を強化した場合には、強化の度合いを上げるにつれて主に湾奥西部の DIP 濃度が次第に上昇する効果がみられる。また、6ヶ所全ての水処理センターで管理運転を行い、さらに管理運転の強化の度合いを上げるにつれて次第に湾内のほぼ全域の DIP 濃度が上昇する効果がみられる。

(2) - 2 - 2 管理運転によるノリの色落ちの改善効果

① 「管理運転前」のケース

「管理運転前」のケース（管理運転を行わない場合の全りんおよび DIP 濃度を用いる）では、西側および東側の両養殖区画でノリの葉体の L*値が 60 を超えていることから（図 5）、いずれの区画もノリの色落ちは概ね重度となり、管理運転を行わない場合にはノリに著しい色落ちが生じる結果が得られた。

② 「現行の管理運転中」のケース

「現行の管理運転中」のケース（西部水処理センターで実施中の管理運転のケース。なお、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限は 0.5mg/L）では、西側の区画におけるノリの L*値が 11 月から翌年 2 月は概ね 60 を下回っており（図 6）、色落ちが軽度となる傾向がみられる。

東側の区画では L*値が 60 を超える場合が多く、色落ちが中度から重度となる傾向がみられる。

③ 「全センター実施」のケース

「全センター実施」のケース（6ヶ所全ての水処理センターで管理運転を実施し、西部水処理センターにおける管理運転の実態に合わせて各センターからの排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 0.5mg/L とする）では、西側および東側の両区画において 11 月から 3 月上旬までのノリの葉体の L*値が概ね 60 を下回るようになる（図 7）。

すなわち、6ヶ所の水処理センター全てにおいて管理運転を実施した場合にはノリの色落ちが改善されて概ね軽度となり、ノリの品質を向上できる結果が得られた。

④ 「全りん濃度 2 倍」のケース

「全りん濃度 2 倍」のケース（西部水処理センターのみで管理運転を行うが、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 2 倍（1.0mg/L）に上げる）では、西側の区画でノリの葉体の L*値が 11 月から 2 月末までは概ね 55 を下回るようになり（図 8）、ここではノリの色落ちがかなり改善されて正常に近づき、西部水処理センターにおける管理運転の強化によってノリの品質をさらに向上できる結果が得られた。

また、東側の区画においても、西側の区画ほどではないものの「管理運転前」ケースよりも L*値が低下して 60 を下回る場合が多くなり（図 8）、ノリの色落ちが改善されて品質を向上できる結果が得られた。

⑤ 「全センターの全りん濃度 2 倍」のケース

「全センターの全りん濃度 2 倍」のケース（6 ヶ所全ての水処理センターで管理運転を行い、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 2 倍（1.0mg/L）に上げる）では、西側および東側の両区画において 11 月から 3 月上旬までのノリの葉体の L*値が概ね 55 を下回るようになる（図 9）。

すなわち、6 ヶ所の水処理センター全てにおいて管理運転を実施し、排水中の全りん濃度を 2 倍に上げた場合にはノリの色落ちはさらに改善されて軽度から正常となり、ノリの品質を向上できる結果が得られた。

⑥ 「全りん濃度 5 倍」のケース

「全りん濃度 5 倍」のケース（西部水処理センターのみで管理運転を行うが、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 5 倍（2.5mg/L）に上げる）では、西側の区画でノリの葉体の L*値が 11 月から 2 月末までは概ね 50 を下回るようになり（図 10）、西側の区画ではノリの色落ちはほぼ解消されて正常となり、西部水処理センターにおける管理運転の強化によってノリの品質をさらに向上できる結果が得られた。

また、東側の区画においても、西側の区画ほどではないものの「管理運転前」ケースよりも L*値が低下して 55 を下回る場合が多くなって色落ちは軽度から正常となり（図 10）、ノリの色落ちがかなり改善されて品質をさらに向上できる結果が得られた。

⑦ 「全センターの全りん濃度 5 倍」のケース

「全センターの全りん濃度 5 倍」のケース（6 ヶ所全ての水処理センターで管理運転を行い、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を 5 倍（2.5mg/L）に上げる）では、西側および東側の両区画においてノリの葉体の L*値がほぼ 50 を下回って色落ちの度合いはほぼ正常となる（図 10）。

すなわち、6 ヶ所の水処理センター全てにおいて管理運転を実施し、排水中の全りん濃度を 5 倍に上げた場合にはノリの色落ちは解消され、ノリの品質をさらに向上できる結果が得られた。

(2) - 3 管理運転によるアサリ、カキおよびカタクチイワシへの効果（感度解析結果）

二枚貝類や浮魚類は、管理運転によって栄養塩が増加し餌料となる植物プランクトンおよび動物プランクトンが増えることで増産が見込まれることから、管理運転による基礎生産および動物プランクトン摂食量への効果を検討した。

(2) - 3 - 1 植物プランクトンおよび動物プランクトンへの効果

下水処理施設の管理運転が植物プランクトンの基礎生産に及ぼす効果をみるため、東部、中部および西部海域毎に基礎生産量の 11 月から 3 月の平均値を図 13、また、管理運転を行わないケースに対する比を図 14 に示した。

管理運転を行わない場合に対する基礎生産量の比（図 14）は、現行の管理運転時ではわずかに上昇する程度であるが、全センターで管理運転を行うと西部および中部海域では 1.3 倍程度に上昇し、さらに全センターの排水排水中の全りん濃度を 2 倍に上げると東部海域で 1.3

倍，中部および西部海域では 1.5 倍を超えるようになる。また，全センターの排水排水中の全りん濃度を 5 倍に上げると西部海域で約 1.4 倍，東部海域では約 1.6 倍，中部海域では約 1.7 倍に上昇する。

以上のように管理運転の強化につれて基礎生産量も次第に増加するが，西部水処理センターのみで管理運転を行うよりも，6 ヶ所の水処理センター全てにおいて管理運転を行うことで二枚貝類の餌料をより増加することができるものと考えられる。

下水処理施設の管理運転が動物プランクトンの摂餌量に及ぼす効果をみるため，東部，中部および西部海域毎に動物プランクトン摂食量の 11 月から 3 月の平均値を図 15，また管理運転を行わないケースに対する比を図 16 に示した。

動物プランクトン摂食量とは動物プランクトンが摂食する植物プランクトンの量を指すが，この量の管理運転前に対する比（図 16）を動物プランクトンの現存量比とみなせば，管理運転前に比べて現行の管理運転時ではわずかに上昇する程度であるが，全センターで管理運転を行うと西部海域，中部海域および東部海域のいずれの海域においても 1.4 倍以上に上昇し，さらに全センターの排水排水中の全りん濃度を 2 倍に上げると東部および西部海域で 1.7 倍，中部海域では 1.8 倍を超えるようになる。また，全センターの排水排水中の全りん濃度を 5 倍に上げるといずれの海域においても 1.8 倍を超え，中部海域では 2 倍近くに達するようになる。

以上のように管理運転の強化につれて動物プランクトンの現存量も次第に増加するものと考えられるが，西部水処理センターのみで管理運転を行うよりも，6 ヶ所の水処理センター全てにおいて管理運転を行うことで浮魚類の餌料をより増加できるものと考えられる。

(2) - 3 - 2 アサリ，カキへの効果

管理運転がアサリとカキの生産に及ぼす効果を把握するため，各計算ケースの計算終了時点（3 月末）におけるアサリとカキの管理運転前ケースに対する現存量比を，図 17 および図 18 にそれぞれ示した。なお，計算条件として，アサリ漁場は湾奥の干潟部（和白干潟），カキは湾口の養殖場に配置した（図 12）。

(2) - 3 - 2 - 1 アサリ

前述のように管理運転によってアサリの餌料となる植物プランクトンを増加することができるものと考えられるが，これに伴いアサリの現存量も増加が見込まれる。管理運転前に対するアサリの現存量比（図 17）は，現行の管理運転時にはほとんど差はみられないが，全センター実施ケースでは 103% に上昇し，全センター 2 倍のケースでは 108%，全センター 5 倍のケースでは 111% に上昇し，管理運転の強化につれてアサリの現存量が次第に増える結果が得られている。

これに対して西部水処理センターでのみ管理運転を行い，管理運転を強化した場合にもアサリの現存量は増加しないが，これは，あさり漁場である和白干潟と西部水処理センターはかなり離れた位置にあることから（図 3）管理運転の効果が及び難いものと推察される。以上のことから，あさり漁業の生産性を高めるためには，6 ヶ所全ての水処理センターで管理運転を行い，さらにその排水中の全りん濃度を高める運転をすることが必要と考えられる。

(2) - 3 - 2 - 2 カキ

前述のように管理運転によってカキの餌料となる植物プランクトンを増加することができるものと考えられるが、これに伴いカキの現存量（身入り）も増加が見込まれる。

管理運転前に対するカキの現存量比（図 18）は、管理運転の効果が最も高い第 1 層（上層）の値をみると、現行の管理運転時では 104%，全センター実施ケースでは 108%に上昇し、全センター2 倍のケースでは 117%，全センター5 倍のケースでは 123%に上昇し、管理運転の強化につれてカキの現存量が次第に増える結果が得られている。

また、カキの養殖場は西部水処理センターの西側に位置していることから、西部水処理センターのみの管理運転を強化した場合にも現存量が増加する効果がみられ、管理運転前に対する現存量比は、全りん濃度 2 倍のケースで 109%，全りん濃度 5 倍のケースでは 118%に上昇する。

以上のことから、かき養殖業の生産性を高めるためには、6 ヶ所全ての水処理センターで管理運転を行い、さらにその排水中の全りん濃度を高める運転をすることが望ましいが、西部水処理センターのみでの管理運転の強化によってもかなり高い効果が得られるものと考えられる。

(2) - 3 - 3 カタクチイワシへの効果

前述のように管理運転によってカタクチイワシの餌料となる動物プランクトンを増加することができるものと考えられるが、これに伴いカタクチイワシの増産が見込まれる。

動物プランクトンの現存量比は、管理運転前に比べて現行の管理運転時ではわずかに上昇する程度であるが、全センターで管理運転を行うと西部海域、中部海域および東部海域のいずれの海域においても 1.4 倍以上に上昇し、さらに全センターの排水排水中の全りん濃度を 2 倍に上げると東部および西部海域で 1.7 倍、中部海域では 1.8 倍を超えるようになる。また、全センターの排水中の全りん濃度を 5 倍に上げるといずれの海域においても 1.8 倍を超え、中部海域では 2 倍近くに達するようになる。

以上のように管理運転の強化につれて動物プランクトンの現存量も次第に増加するものと考えられるが、西部水処理センターのみで管理運転を行うよりも、6 ヶ所の水処理センター全てにおいて管理運転を行うことでカタクチイワシの餌料をより増加できるものと考えられる。

(3) 栄養塩の管理方策（案）

博多湾のように閉鎖性が強く、大きな流入河川がなく、かつ大都市を擁する内湾では栄養塩の主な供給源が下水処理施設になるものと考えられ（博多湾では全窒素負荷量の 89%，全りん負荷量の 69%が下水処理施設からの排水による）、このような海域では漁業生産を改善・維持するための栄養塩管理方策として下水処理施設における管理運転（窒素あるいはりんの実排出量を増加する運転）が極めて有効である。

(3) - 1 管理運転の在り方

(3) - 1 - 1 漁業生物の養殖期間や生活史を考慮する

博多湾のように栄養塩の主な供給源が下水処理施設となる海域では、下水処理施設での管

理運転は漁業生産を改善するための強力な手段となるが、管理運転の実施にあたっては、漁業生物の養殖期間や生活史を考慮して弾力的に行うべきである。

博多湾における西部水処理センターでの管理運転では、ノリの養殖期間が10月から翌年3月であることからこの期間に排水中の全りん濃度を上げる管理運転を実施し、養殖が行われていない期間は濃度をできるだけ下げることによって年間平均値が基準値を超えないように運転されている。また、のり養殖業においては、最初の種付け時期である10月から11月と、最も良いノリが採れる12月下旬から翌年1月頃のりんの濃度が重要とされていることから、この期間の濃度をできるだけ上げるように弾力的な運転が行われている。

浮魚類や二枚貝類は、管理運転によって餌料となる植物プランクトンや動物プランクトンが増加して増産が見込まれるが、これら漁業生物の生活史を考慮し、すなわち初期生残の向上や繁殖期の栄養状態の向上が資源の増大にはとくに重要であることから、このような時期には管理運転を強化する等、弾力的な管理運転を行うことで漁業生産の向上を目指すべきである。

(3)－1－2 環境基準値の上限程度の濃度で管理する

管理運転を行って栄養塩供給量を増加する場合には赤潮の発生やこれに伴う貧酸素水塊の発生等が生じるおそれもあることから、環境基準点における全窒素および全りんの濃度が基準値を超えないように配慮して運転を行う必要がある。博多湾における西部水処理センターでは、この考え方に基づき排水中の全りん濃度の年間平均値が0.5mg/Lを超えないように運転されている。

ただし、現行の環境基準では各類型の基準値は「〇mg/L以下」と定められており、例えば濃度が0mg/Lであっても「環境基準を達成」という評価となるが、これでは生物生産は不可能となる。このことから環境基準を達成しながら、すなわち、基準値を超えない範囲で生物生産力を高める必要がある。このためには、基準値の上限に近い濃度で管理できるように管理運転を強化し、漁業生産の改善に繋げることが重要である。

博多湾において数値シミュレーションによる感度解析を行った結果では、全6ヶ所の下水処理施設からの排水中の全りん濃度を5倍（年間平均値2.5mg/Lを上限とする）に上げた場合でも、環境基準値を超える地点はわずかであり、最低の達成率となるⅢ類型の水域でも達成率は50%となる結果が得られており、この場合には養殖ノリの色落ちを解消することができ、かつ、養殖カキの現存量を1.23倍、アサリの現存量を1.18倍に増産できる結果が得られていることから、環境基準の範囲内で可能な限り栄養塩濃度を高めることによって漁業生産を向上させることが重要である。

(3)－1－3 漁場位置の変更も視野に入れる

下水処理施設における管理運転と合わせて、養殖場の位置を変更することも視野に入れる必要がある。管理運転を強化しようとする際にも、施設への流入水の栄養塩濃度が低い場合には排水中の濃度を十分に上げることが不可能となる。

このような場合には、養殖場を排水口の近傍に移動させる等の工夫によって漁業生物の生産性を高めることも検討する必要がある。

(3)－1－4 全体計画を作成する

下水処理施設の管理者と漁業者が十分に協議し、必要とする漁業生物の生産量や漁場配置および管理運転計画等を組み合わせた全体計画を作成し、これを実行することによって漁業生物の増産を図ることが重要である。

栄養塩の循環を適切に管理するために海域および周辺地域（集水域）において実施すべき方策は、海域の地理的・地形的条件、海域の利用状況、周辺地域の経済・社会活動の状況等によって大きく異なる。そのため、それぞれの海域ごとに海域・陸域一体となった効率的かつ効果的な栄養塩の円滑な循環を可能とする望ましい管理方策を策定し、これに基づき、行政、地域住民、漁業者、事業者および研究者等が連携して豊かで健全な海域の構築に向けた総合的な取組を実施する必要がある。

これらの取組を計画的に実施するためには、関係者の理解を得た上で、海域ごとに栄養塩の円滑な循環を維持・達成するための具体的なプランを策定し、これに基づき関係者が共同で対策に取り組む必要がある。

(3)－2 博多湾における具体的な栄養塩管理方策の提案

博多湾においてのり養殖業、あさり漁業、かき養殖業およびいわし漁の生産性を高めるためには、以下に示す栄養塩の管理方策が必要と考えられる。

ノリの養殖期間は10月から翌年3月であることから、この期間の全りん濃度を高めて色落ちを防ぎ生産性を高める必要がある。また、最初の種付け時期である10月から11月と、一番良いノリが採れる12月下旬から翌年1月頃にはできるだけ排水中の全りん濃度を高めて品質の向上を図る必要がある。

アサリおよびカキは、秋季から冬季に肥満度を上げ、グリコーゲン含有量を高めて翌年の産卵に備えるという生活史を有するため、秋季から冬季の肥満度とグリコーゲン含有量を高めてアサリおよびカキの品質を向上させるとともに、春季からの再生産力を向上させる必要がある。

カタクチイワシの産卵は春季から始まるため、秋季から冬季に親魚の肥満度を上げて再生産力を高めるとともに、初期生残を向上させる（仔魚の餌料を増やして生残率を高める）必要がある。

- ① 上記に示した養殖業・漁業における生産性の向上のためには、6ヶ所全ての水処理センター（西戸崎水処理センター、和白水処理センター、東部水処理センター、中部水処理センター、西部水処理センター、新西部水処理センター）において管理運転を行うべきである。
- ② 管理運転を行う期間は、ノリの養殖期や他の漁業生物の生活史を考慮して10月から翌年3月までとし、さらに、ノリについては最初の種付け時期である10月から11月と、一番良いノリが採れる12月下旬から翌年1月頃にはできるだけ排水中の全りん濃度を高めるといった弾力的な管理運転を行うべきである。
- ③ 現状で行われている西部水処理センターでの管理運転では排水中の全りん濃度の年平均値を0.5mg/Lを上限としているが、全ての水処理センターで管理運転を行うとともに、排水中の全りん濃度の上限を2倍程度に高め、環境基準の上限値程度の濃度を維持すべきである。

(4) 検討委員会の開催

検討委員会は表 4 に示すとおり開催し 委員の方々からは栄養塩の管理方針について専門的な立場でのご意見を伺った。

【参考文献】

- 小池美紀； 渕上哲． 溶存態無機リン欠乏がスサビノリ（*Pyropia yezoensis*）に及ぼす影響． 福岡県水産海洋技術センター研究報告， 2013， 23： 33-42.
- 小谷正幸． ノリ葉体の色落ちの数値化． 福岡県水産海洋技術センター研究報告， 2000， 10： 49-50.

表 1 ヒアリング調査の概要

期間	ヒアリング調査対象者
2020 年 10 月 9 日 ～2020 年 10 月 30 日	小池・渚上（2013）の著者および関係者 （ただし、著者は 2 名とも転勤しているため、メールは福岡 県水産海洋技術センター 漁業環境課長 濱崎 稔洋 氏を 経由）

表 2 感度解析の計算ケース

計算ケース	ケースの名称	内 容
計算ケース1	管理運転前	管理運転を行わない場合の全りんおよびDIP濃度を用いたケース。
計算ケース2	現行の管理運転中	西部水処理センターで実施中の管理運転のケース。なお、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を0.5mg/Lとしている。
計算ケース3	全センター実施	6ヶ所全ての水処理センターで管理運転を実施したケース。なお、西部水処理センターにおける管理運転の実態に合わせて、各センターからの排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を0.5mg/Lとしている。
計算ケース4	全りん濃度2倍	西部水処理センターのみで管理運転を行うが、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を2倍（1.0mg/L）に上げたケース。
計算ケース5	全センターの全りん濃度2倍	6ヶ所全ての水処理センターで管理運転を行い、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を2倍（1.0mg/L）に上げたケース。
計算ケース6	全りん濃度5倍	西部水処理センターのみで管理運転を行うが、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を5倍（2.5mg/L）に上げたケース。
計算ケース7	全センターの全りん濃度5倍	6ヶ所全ての水処理センターで管理運転を行い、排水中の全りん濃度の年間平均値の上限を5倍（2.5mg/L）に上げたケース。

- ノリの L*値の取りうる範囲は概ね 40～80 という認識で良い。ただし、40 台はかなり低い値であり、有明海の現場では 50～80 が通常の範囲である。
- L*値と DIP の関係は、ほとんど知見は無いと思われる。特に室内培養の場合、培養環境、培養手技、培地ロットなど様々な要因で葉状体の状態が変わりうるので、きれいな線形近似にはなかなかならない。データを積み重ねることが必要だと考えられる。
- 今回の研究では、室内培養の場合はどうしても培養ロット毎のばらつきが出やすいことと、用いた色落ち評価基準は、試験の都合上、現場と比較してかなり厳しめに設定している。
- 評価基準は、小谷(2000)を参考にしつつ、予備培養試験で得られた L*値の範囲を 4 区分して設定した。これはあくまでも今回行った室内培養の評価基準であり、現場の基準とは合致しない。したがって、この違いは室内試験と現場測定の違いと考えるとよい。

図 1 ヒアリング調査結果