

下水処理の季節別管理運転がノリの生育・品質に与える効果

一般財団法人九州環境管理協会 環境部 山津 浩紀, 望月 佑一, 横山 佳裕, 藤井 暁彦

要 旨

本報告では、冬季の博多湾でノリの色落ち対策として福岡市西部水処理センターが試験的に実施している季節別管理運転について、下水処理水がノリの生育・品質に与える効果を調べるため、ノリの品質(L*値)、ノリの成分(窒素・リン含有量)の観点から考察した。その結果、ノリの品質の低下は、放流口遠方で早く、近傍では遅延していることがわかった。これは季節別管理運転により、栄養塩類の豊富な処理水がノリ養殖場に供給されているためと考えられた。

1. はじめに

日本経済は、1960年、70年代の高度成長期を経て、世界トップレベルにまで発展した一方、工業地帯の拡大、都市部への人口集中により、窒素やリンが大量に含まれた工場排水や生活排水が海域に流れ込み、水質汚濁による漁獲量の減少、富栄養化による赤潮等の問題が顕在化した。

これらの問題を背景として、1970年に水質汚濁防止法が制定され、排水規制や污水处理施設の整備等が進み、海域へ流入する窒素やリンの負荷は大きく低減されて、“きれいな海”を取り戻すことができた。しかし、流入負荷削減により、海がきれいになりすぎるという新たな問題が発生した。近年、栄養塩等の不足により、瀬戸内海では、ノリやワカメの色落ちが生じ^{1),2),3)}、大阪湾では、魚が減少していると言われている⁴⁾。

本研究の対象である博多湾も似た状況にある。福岡市及びその周辺市町では、流域人口の増加に伴い、流入負荷削減を目的とした下水道整備が急速に進められてきた。「博多湾特定水域高度処理基本計画」⁵⁾に基づき、下水処理水中のリン除去を目的とする高度処理施設が1993年から1999年に順次導入され、化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)はいずれも、1993年頃をピークに減少傾向にある⁵⁾。

この流入負荷の削減対策によるリン濃度の大幅な減少は、湾内の富栄養化や有機汚濁の低減に大きく貢献した。一方、冬季のノリ養殖において、リンの不足が原因と考えられるノリの色落ちやねじれ等の生育異常が発生している⁶⁾。このような栄養塩類に関する問題も背景

にして、福岡市は“生き物が生まれ育つ博多湾”を目標とした博多湾保全計画において、ノリの生育に必要な栄養塩類の不足を補うため、終末処理場における季節別管理運転を試験的に実施している。季節別管理運転とは、水質環境基準の達成・維持を前提としつつ、冬季に下水処理水中の栄養塩類の濃度を上げ、ノリやその他の水産生物に対し、不足する窒素やリンを供給するものである。これは、能動的な管理運転とも言われ、国内では、瀬戸内海や有明海等の30処理場にて実施されている⁷⁾。供給対象は、博多湾と同じくノリであることが多く、排出実態として、栄養塩類の測定結果が報告されている⁸⁾。博多湾では、ノリ養殖場に近い西部水処理センターにおいて季節別管理運転が実施され、運転期間中のリン濃度の増加が報告されている⁹⁾。しかしながら、これら事例において、対象としたノリ等の水産生物を処理水質と関連づけた調査例は乏しく、ノリの生育に対する管理運転の効果は明らかとなっていない。

我々は、西部水処理センターの管理運転によるノリの生育への効果を把握するため、これまでに処理水のノリ養殖場への拡散状況、管理運転期間中(ノリ生育期間中)のノリに含まれる栄養塩成分(リン、窒素)の経時変化を調査してきた^{9),10)}。その結果、処理水はノリ養殖場へと拡散・到達しており、期間中にはノリに含まれる栄養塩成分の増加も認められた。一方、水産加工物として出荷されるノリの経済的な効果としては、品質・等級が向上することが求められる。ノリの等級は「色」で判定されることが通常で、ノリ成分として窒素・リンの含有量が多いほど「色が濃い」、すなわち品質が高く、高級であると認定されている。

本研究では、季節別管理運転期間中のノリの色調・成分の調査を実施することにより、管理運転によるノリの生育・品質への効果を明らかにすることを目的とした。

2. 現地調査方法

2.1 調査地点

調査地点を図 1 に示す。ノリ養殖は西側の妙見養殖場と、東側の室見養殖場で実施されている。2 つの養殖場それぞれに、放流口から近い地点の Myo-1, Mu-1, 遠い地点の Myo-2, Mu-2 を設定した。

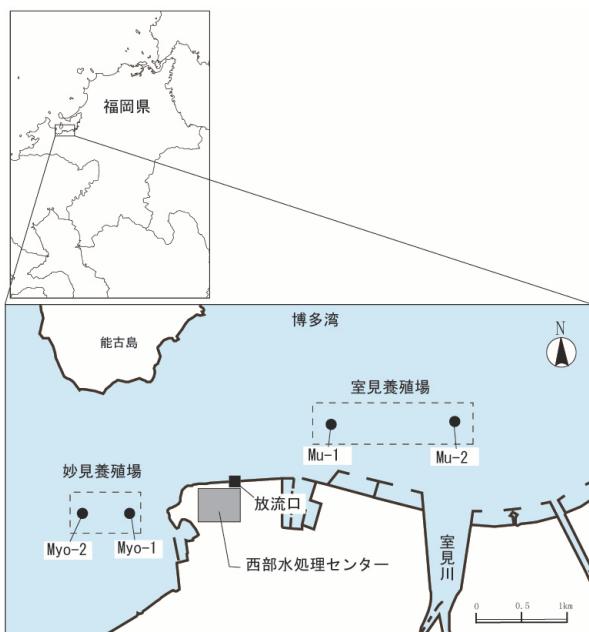


図 1 調査地点

2.2 調査時期

博多湾のノリ養殖のこよみは、例年 10 月中旬から下旬にノリ網の設置、約 1 か月後の 11 月中旬から下旬に最初の収穫(初摘み)となる。2 回目以降は、約 10 日間隔で収穫場所もしくは養殖場を変えながら収穫し、2 月下旬に終漁期を迎える。

この養殖こよみに合わせて、調査期間は、2021 年の初摘み時期の 11 月 27 日から、ノリ終漁期の 2 月 28 日までとした。調査間隔は、休漁の年末年始を除き、ノリの収穫サイクルである約 10 日間隔を目安とし調査期間内で計 7 回実施した。

2.3 調査・分析方法

調査項目は、ノリの主な栄養成分である窒素・リンとノリの色調とした。ノリの窒素成分は元素分析計(CHN コーダ ヤナコ分析工業株式会社)で、リン成分は底質調査法 II 4.9.1(環境省 水・大気環境局 平成 24 年 8 月)に従い分析した。

ノリの色調は小村(2000 年)の報告¹¹⁾を参考とした。小村はノリ品質の肉眼評価と色の明度(L*値)に高い相関があることを報告しており、L*値が 60 以上と明るくなることで色落ちの初期症状、73 以上で色落ちノリと判断できることを報告している。本研究では色調測定に小型分光測色計(Variable 社製 Spectro1)を用いて明度(L*値)を測定した。採取したノリの中から、しわ、枯れ、葉体の幅が十分でないなどの明らかに異常な葉体は測定の対象外とし、平均的と思われる葉体を 10 枚選び L*値の測定に供した。

ノリは、養殖場の 4 地点それぞれから、20×20cm のチャック付ビニール袋を満たすまで手で摘み取った(写真 1)。サンプルは採取後、直ちにクーラーボックスに収容し冷蔵保存した。なお、サンプル採取は、漁業者へ依頼し、採取日もしくは翌日に回収し分析に供した。



写真 1 ノリの採取

3. 結果・考察

3.1 降雨による河川からの供給の程度

2021 年のノリ養殖は、10 月末にノリ網を設置、11 月末に初摘み、翌年 1 月後半に色落ちを始め、2 月末に終漁している。

2021 年 10 月～2022 年 2 月の日降水量、今季の月降水量と過去 10 か年の降水量の比較を図 2 に示す。

2021 年 10 月～2022 年 2 月の日降水量をみると、ノリ網設置から初摘みまでの 10 月末から 11 月末にかけては、定期的に日 10～40mm 程度の雨がまとまって降っている。12 月中旬以降は 1 月 23 日に降った 29mm の雨を除いて、少量の降雨に留まった。

今季の月降水量と過去 10 か年の降水量を比較すると、ノリ網を設置した今季 10 月の雨は少なく、初摘みとなる 11 月は多め、以降 12 月から 2 月にかけては少なめとなっている。

このように、今季の養殖期間中の降水量は、前半で多め、後半で少なめの特徴があり、ノリ養殖の海域では、初摘み時期に降雨による河川由来の栄養塩類の供給が多く、以降は少なかったと考えられる。

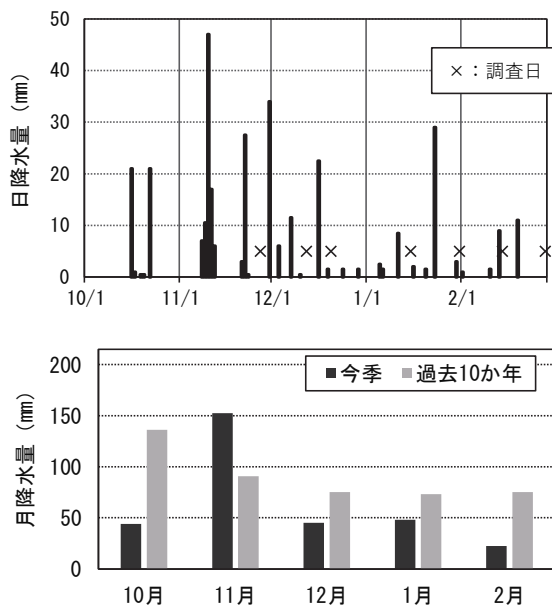


図 2 ノリ網設置時期からノリ終漁期(2021 年 10 月～2022 年 2 月)までの日降水量(上)、今季の月降水量と過去 10 か年の降水量の比較(下)¹²⁾

3.2 ノリの成分・色調の経時変化

(1) ノリの成分

2022 年 1 月 15 日には、室見養殖場の Mu-2 でサンプル採取が未実施となったため、測定ができなかった。この調査例を除いた、ノリの窒素・リン含有量の経時変化を図 3 に示す。窒素・リンの成分量それぞれは、養殖期間中の前半に高く、後半になるほど低くなった。

期間中の前半(11 月下旬の 1 番のり、12 月下旬まで)

の成分は、乾燥重量あたりで窒素は概ね 6%以上、リンは 0.4%以上である。国内各地の「上等」と格付けされるノリの窒素分は約 5～7%¹³⁾とされている。これらノリ品質と成分の関係から、12 月までの期間前半のノリ成分量は「上等」とされる状態であった。

その後、1 月、2 月と経過するごとに、窒素・リンの成分は減少し、1 月後半には漁業者から「色落ちした」との報告を受けた。色落ち後の窒素は概ね 5%以下、リンは 0.2%以下であり、養殖期間後半のノリは、成分量からみても「上等」の基準を下回る状況であった。

地点間の窒素・リンの成分差をみると、窒素は調査期間を通して放流口の遠方地点、近傍地点であまり差がなかった。リンは窒素に比べて変動が大きく、妙見では期間前半に放流口の近傍地点で成分が少ない場合があった。また、1 月後半の色落ち時には放流口の遠方地点で少なくなっていた。

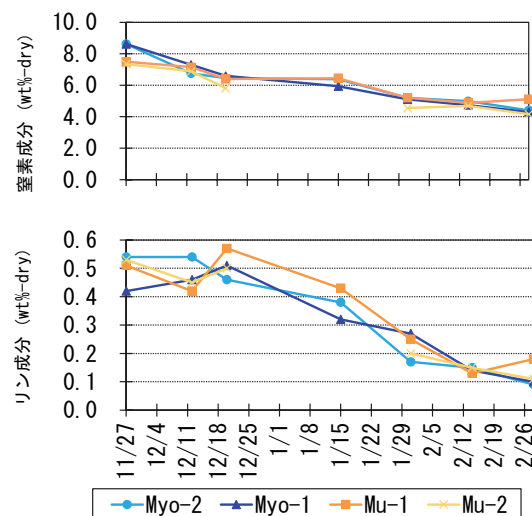


図 3 ノリの窒素・リン成分の経時変化

(2) ノリの色調

1 番のりの 2021 年 11 月 27 日のノリは、葉体が小型で色調の測定誤差が大きく、この調査回の測定値は欠測とした。また、2022 年 1 月 15 日には、室見養殖場の Mu-2 でサンプル採取が未実施となったため、測定ができなかった。これらの調査例を除き、各地点のノリ色調(L*値)の経時変化を図 4 に示す。

12 月から 1 月中旬までの L*値は概ね 50～55 を示し、横ばいで推移した。その後の 1 月下旬から各地点の

値は上昇し、2 月末には 60~70 の範囲まで到達した。

ノリの色調と色落ちに関する既往知見によると、「L* 値 60 以上が色落ちの初期症状、65 以上が色落ち、70 以上が収穫休止を余儀なくされる重度の色落ち」、L* 値が 60 を超えると色落ちの初期的兆候、73 以上が色落ちの判断基準」とされる^{11), 14)}。これらの知見と漁業者からの報告、色調の測定値を合わせると、妙見・室見養殖場におけるノリは 1 月後半に L* 値が 60 に近づいて色落ちの兆候を示し、2 月には 60 を超えて色落ちが進行し、2 月末には 70 に近づいたことから終漁の判断に至ったと考えられた。

地点間の色調の差をみると、ノリの色落ちや萎縮が始まった 1 月 15 日以降、地点間の L* 値は差が広がり、2 月 14 日の Mu-1 地点を除いて、放流口の近傍地点の Myo-1, Mu-1 で低く、遠方地点の Myo-2, Mu-2 で高い傾向にあった。

色落ちの兆候となる「L* 値:60」を目安にして地点間を比較すると、妙見養殖場では近傍地点における色落ちの兆候は遠方地点よりも約 1 か月遅れて生じていた。室見養殖場では、近傍地点と遠方地点で兆候を示した時期に差はないものの、遠方地点では L* 値の上昇の程度が大きく、色落ちがより進行していたと考えられた。このように、放流口から遠方地点の方でノリの色落ちが早く進み、その程度も大きく、近傍地点では色落ちの発生の遅延、その程度の緩和が認められた。

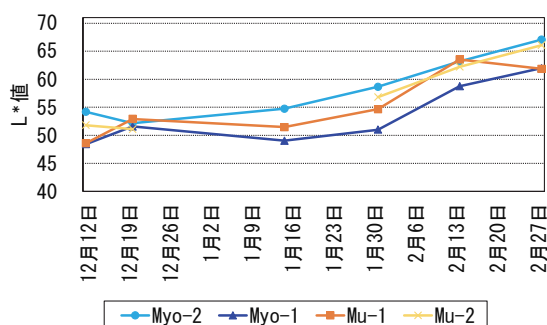


図 4 ノリ色調(L* 値)の経時変化

3.3 ノリの品質に対する管理運転の効果

ノリの品質に対する管理運転の効果を確かめるためには、処理水由来の栄養塩類がノリ養殖場に供給されていることが前提となる。これについては、これまでの研

究において養殖場への栄養塩類の拡散が実測され、数値シミュレーションによっても裏付けられている¹⁵⁾ことから、今期のノリ養殖期間中も処理水由来の栄養塩類の供給があったことが推察される。一方で、ノリ養殖場周辺のリンは養殖期前半の 11 月や 12 月と比べ養殖期後半の 1 月中旬頃から 2 月にかけて減少しやすく^{16), 17), 18)}、これまでの我々の研究でも明らかとなっている^{9), 10)}。また、ノリ養殖場内の窒素(DIN)濃度は、ノリが正常に生育できる濃度を、養殖期間を通して上回ることに対し、リン(DIP)は養殖期間を通して下回ることがほとんどであるため^{16), 17), 18)}、博多湾においては、リン不足がノリの色落ちに影響していることが明らかとなっている⁶⁾。

ノリの L* 値をみると、1 月下旬から上昇し、色調は明るくなって色落ちが始まるようになっていた。ノリの色落ちは、放流口から遠方地点のほうで早く進み、その程度も大きい傾向にあった。一方、近傍地点では色落ちの発生の遅延、その程度の緩和が認められていた。

このように、放流口の遠方地点では、処理水を起源とする栄養塩類の供給が少なく、特に、養殖期間の後半になると、リンが枯渇するようになってノリの成分が減少、色落ちが始まり、品質が低下したと推察される。

この状況に対して、放流口の近傍地点では、例年リンが枯渇しやすい養殖期間の後半であっても、処理水を起源とするリンの供給によって、色落ちの遅延やその程度が緩和されたと推察され、西部水処理センターにおける季節別管理運転は、ノリの生育・品質向上に効果があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、季節別管理運転期間中のノリの色調・成分の調査を実施することにより、処理水の栄養塩類がノリの生育に寄与しているかを把握し、管理運転によるノリの生育・品質への効果を明らかにすることを目的とした。その結果、以下のことが考えられた。

- ・ノリの窒素、リン含有量として窒素が 5%以上、リンが 0.2%以上の成分量の場合には、色調も十分に色落ちもなく、品質は上等と評価されると考えられた。

・L*値は、放流口の近傍地点の Myo-1, Mu-1 で低く、遠方地点の Myo-2, Mu-2 で高い傾向にあった。放流口から遠方地点の方でノリの色落ちが早く進み、その程度も大きく、近傍地点では色落ちの発生の遅延、その程度の緩和が認められ、西部水処理センターにおける季節別管理運転はノリの生育・品質向上に効果があることがわかった。

謝辞:本研究は、社内の自主研究会において実施したものである。調査にあたっては、福岡市漁業協同組合姪浜支所に試料の採取・提供で多大なるご協力をいただいた。ここに記して深甚の感謝の意を表する。

参考文献

- 堀豊, 望月松寿, 島本信夫: 播磨灘北部海域におけるノリ色落ちと漁場環境の変遷. 水産海洋研究, 72(2), 107-112(2008).
- 多田邦尚, 藤原宗弘, 本城凡夫: 瀬戸内海の水質環境とノリ養殖. *BUNSEKI KAGAKU*, 59(11), 945-955(2010).
- 反田實, 赤繁悟, 有山啓之, 山野井英夫, 木村博, 團昭紀, 坂本久, 佐伯康明, 石田祐幸, 壽久文, 山田卓郎: 瀬戸内海の栄養塩環境と漁業. *Journal of Fisheries Technology*, 7(1), 37-46(2014).
- 大阪の海は「きれいすぎ」て魚が獲れない? 極端ではない「ええかげん」の大切さ. Gyoppy ホームページ <https://gyoppy.yahoo.co.jp/originals/74.html>
- 福岡県, 福岡市: 博多湾特定水域高度処理基本計画(2002).
- 博多湾環境保全計画(第二次): 福岡市環境局ホームページ <https://www.city.fukuoka.lg.jp/kankyo/k-chosei/hp/keikaku4.html>
- 国土交通省: 第1回 能動的運転管理の効果的な実施に向けた検討委員会. 資料 3 栄養塩類の能動的管理の取組状況及び今後の検討方針(案)(令和3年1月27日一部修正), 令和3年1月8日.
- 福岡市環境局: 令和3年度第1回博多湾環境保全計画推進委員会資料-博多湾のワカメ, ノリ養殖場の栄養塩について(2年度)-. 96-98, (2020).
- 山津浩紀, 望月佑一, 横山佳裕: 冬季博多湾ノリ養殖漁場における栄養塩類の変動及びその変動に伴うノリの生育状況の把握. 環境管理, 49, 41-48, (2020).
- 望月佑一, 山津浩紀: ノリの生育等に対する下水処理の季節別管理運転によるリン放流の効果. 環境管理, 50, 61-68, (2021).
- 小村正幸: ノリ葉体の色落ちの数値化. 福岡水産海洋技術センター研究報告, 10, 49-50(2000).
- 気象庁: 過去の気象データ検索. 気象庁ホームページ <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 野田宏行: 海藻の生化学的研究- II. あさくさのりの品質と一般成分との関係. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 37(1), 30-34(1971).
- 林俊裕, 長谷川健一, 梶山誠: 千葉県富津市地先ノリ養殖漁場における栄養塩濃度(DIN, DIP)とノリ葉体の色調の関係について. 千葉県水産総合研究センター研究報告, 10, 19-25, (2016).
- 横山佳裕, 大島雄三, 後藤祐哉, 望月佑一, 藤井暁彦, 内田唯史: 冬季博多湾における海域の栄養塩類に対する下水処理の緩和運転の効果に関する現地観測. 土木学会論文集 B3(海洋開発), 75, I_985-I_988(2019).
- 福岡市環境局: 平成29年度博多湾の環境保全に向けて講じた措置およびモニタリング調査結果. 福岡市ホームページ <https://www.city.fukuoka.lg.jp/kankyo/k-chosei/hp/hakatawann/hakatawan.html>
- 福岡市環境局: 平成30年度博多湾の環境保全に向けて講じた措置およびモニタリング調査結果. 福岡市ホームページ <https://www.city.fukuoka.lg.jp/kankyo/k-chosei/hp/hakatawann/hakatawan.html>
- 福岡市環境局: 令和元年度博多湾の環境保全に向けて講じた措置およびモニタリング調査結果. 福岡市ホームページ <https://www.city.fukuoka.lg.jp/kankyo/k-chosei/hp/hakatawann/hakatawan.html>