

海域の栄養塩に対する下水処理の冬季緩和運転の効果

一般財団法人九州環境管理協会環境部環境保全課研究員 大島 雄三

要旨

本研究では、福岡市西部水処理センターが試験的に実施している、処理水のリン濃度を冬季に高くして海域に放流する季節別運転(冬季緩和運転)によるノリ養殖場への栄養塩供給の効果を把握するために、下水放流口及びノリ養殖場周辺を調査し、放流口からのリンの拡散範囲を推定した。その結果、下水処理水の放流口から約 1.0km までの範囲で処理水の放流による水温上昇や塩分低下、リン濃度の上昇が確認された。また、ノリ養殖に必要な $PO_4\text{-P}$ (0.0124mg/L 以上) を満たす水が下げ潮の流れにより、放流口から西側のノリ養殖場へ供給されており、冬季緩和運転がノリ養殖に必要な栄養塩の供給に寄与していることがわかった。

1. はじめに

福岡県北西部の玄界灘に面した博多湾は、沿岸部に都市機能を有し、西側の海域を中心に漁業が営まれ、和白干潟や今津干潟などの干潟を有するなど、多様な生物の生息空間となっている¹⁾。

この博多湾では、流域人口の増加に伴い博多湾へ流入する負荷量は増加し、湾内の水質汚濁が懸念されたため、流入負荷の削減を目的に流域の下水道整備が急速に進められてきた。また、福岡市の水処理センター(西部、中部、東部、和白、西戸崎)では「博多湾特定水域高度処理基本計画」²⁾に基づき、リン除去を目的とする高度処理設備が平成 5～11 年度に順次整備され、近年では一部の水処理センターにおいて高度処理による窒素・リンの同時除去が行われている。福岡県の流域下水道である御笠川、多々良川浄化センターにおいても平成 16 年度以降に高度処理設備が導入されている。その結果、水質汚濁の代表的指標である化学的酸素要求量(COD)、富栄養化の指標である全窒素(T-N)、全リン(T-P)はいずれも、平成 5 年度頃をピークに減少傾向にある(図 1)。特に、T-P は、下水の高度処理の導入によるリン除去の効果で大きく減少している¹⁾。

このような博多湾では近年、夏季には富栄養化による赤潮の発生や貧酸素水塊の発生がみられる一方、冬季にはノリの養殖に必要な栄養塩(リン)が不足し、色落ちや生育不良が生じるなど、夏季と冬季で異なる問題が生じている¹⁾。

このような夏季と冬季において栄養塩類の要求が相反する問題を解決し、海域環境の保全と生物生産力の向上との調和を考える上で、栄養塩類を季節や用途に応じて管理する手法が重要となってくる。筆者らは、これを「高度な栄養塩管理」と称し、降雨変動を踏まえた赤潮の抑制が可能なリン負荷量管理のあり方の検討³⁾や、ノリ養殖へリンを供給し、かつ COD を環境基準値以下に維持する許容負荷量の算出⁴⁾などを行ってきた。これら栄養塩供給量を人為的にコントロールできるものとして、下水処理場があげられる。

この下水処理場からの栄養塩供給について、現在福岡市の西部水処理センターでは、ノリ養殖に必要なリンの不足に対して、下水処理の季節別運転管理(10 月から翌年 3 月までの冬季緩和運転)を試験的に実施して

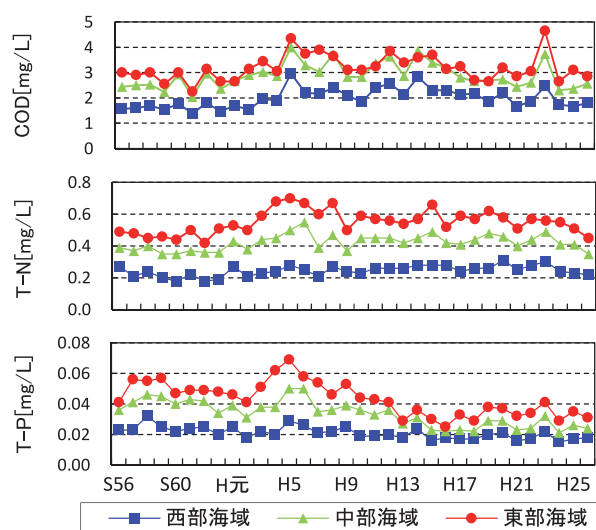


図 1 COD、T-N、T-P の経年変化 ¹⁾より作成

いる⁵⁾。これは、冬季には夏季より高いリン濃度で処理水を海域に放流するものである。この冬季緩和運転は、「高度な栄養塩管理手法」を確立する上で、重要な手法と考えられるが、この冬季緩和運転による処理水濃度の制御についての調査のみで⁶⁾、海域におけるリンの拡散状況やノリ養殖場への寄与は把握されていない。

このため本研究では、ノリの色落ち・生育不良に対する下水処理水の冬季緩和運転によるリン供給の効果を把握することを目的に、冬季緩和運転による栄養塩(リン)供給の状況は、下水処理水の放流口(以下、「放流口」とする)及びノリ養殖場周辺で現地調査することで確かめた。

2. 検討方法

2.1 現地調査

調査地点を図2に示す。調査地点は放流口近傍からノリ養殖場周辺までの範囲に設けた。下水放流口から沖合になるにつれて、放流水の拡散や海水との混合により希釈されることを想定し、放流口近傍(距離約70m)の地点、及び放流口からの距離500mの範囲では東西及び北方向に250m間隔、さらに沖合では同方向へ500m間隔に調査地点を設定した。また、現地観測で水温や塩分の値が近傍地点と差が大きかった場合には適宜、分布状況を補完する地点を設けた。さらに、放流口近傍にある室見川からのリンの供給状況を確認するために、河口沖に1地点追加した。実際に調査を実施した地点数は26地点である。

現地調査は、平成30年1月22日(1回目)、1月29

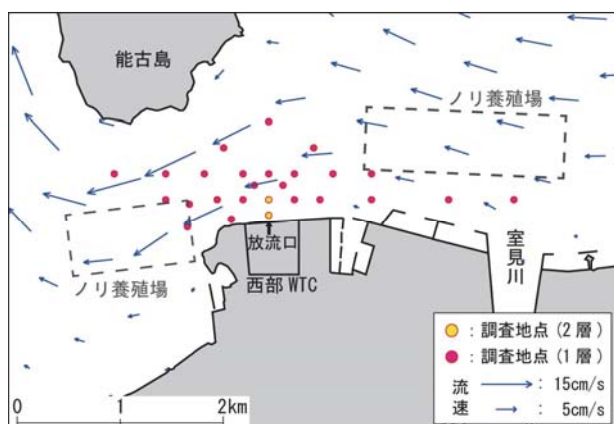


図2 調査地点と下げ潮時の最大流況

日(2回目)、2月20日(3回目)の3回行い、調査実施時の潮時は平均的な潮の干満状況で放流口からの放流水が広がりやすい中潮期の下げ潮時とした。なお、図2に参考として示している大潮期の下げ潮時の最大流況をみると、この調査実施潮時の放流口周辺海域では、東から西への流れとなっている。

現地において、バンドーン採水器で海面下0.5mあるいは海面下2.0m(放流口に近い地点のみ実施)の海水を採取し(写真1)、多項目水質計(OTT Hydro-met 社製 hydrolab DS-5)により、水温と塩分を測定した。採水した試料は持ち帰り、無機態リンが変化しないように速やかな分析が可能な数(10検体)を室内分析に供した。室内分析項目は全リン(T-P)、リン酸態リン(PO₄-P)とし、分析に供する試料は放流口からノリ養殖場周辺で水温や塩分が異なる9地点と、室見川河口沖の地点とした。

2.2 解析

現地で測定した海面下0.5mの水温、塩分の測定結果より、調査日ごとに放流口周辺の水温・塩分の分布図を作成し、下水処理水の拡散範囲を把握した。次に、T-P、PO₄-Pの室内分析を行った10地点のうち、河川水の影響を受けている可能性がある室見川河口沖の地点を除く9地点を対象に、塩分とリン濃度(T-P、PO₄-P)との関係を確認し、両者の一次回帰式を求めた。続いて、その回帰式に基づき、残りの地点の塩分よりリン濃度を算出した。さらに、算出したリン濃度の分布図を作成し、下水処理水によるリンの拡散範囲を把握するとともに、その拡散範囲とノリ養殖場の位置関係より、冬季緩和運転によるノリ養殖場への栄養塩供給の効果を考察した。



写真1 現地での採水状況

3. 結果と考察

3.1 水温や塩分の分布からみた下水処理水の拡散状況

調査回毎の水温の平面分布を図3に、塩分の平面分布を図4に示す。水温、塩分ともに2回目の調査では放流口近傍からノリ養殖場周辺海域までの範囲で差はみられなかったものの、1回目と3回目の調査では差がみられ、下水放流口から約1.0kmの範囲で差が大きかった。これにより、放流口から拡散した下水処理水に

よると考えられる水温上昇や塩分低下は、最大1.0km程度に及んでいたと考えられる。

3.2 下水処理水に含まれるリンの拡散状況の推定

各調査日の塩分とT-Pの関係を図5に、塩分とPO₄-Pの関係を図6に示す。なお、図中の赤丸は回帰式から除外した室見川河口沖の値である。

塩分とT-Pの関係をみると、調査回毎の関係式の傾きに違いはあるが、いずれも塩分とT-P濃度には相関関係

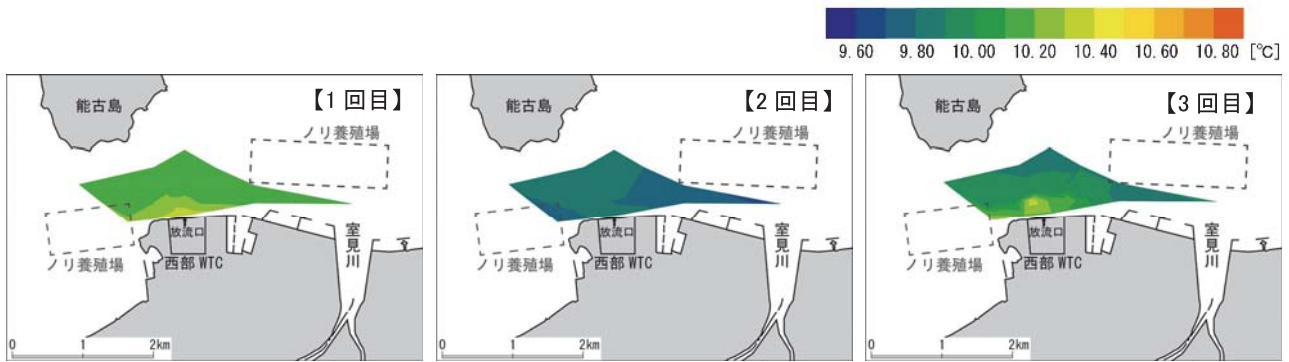
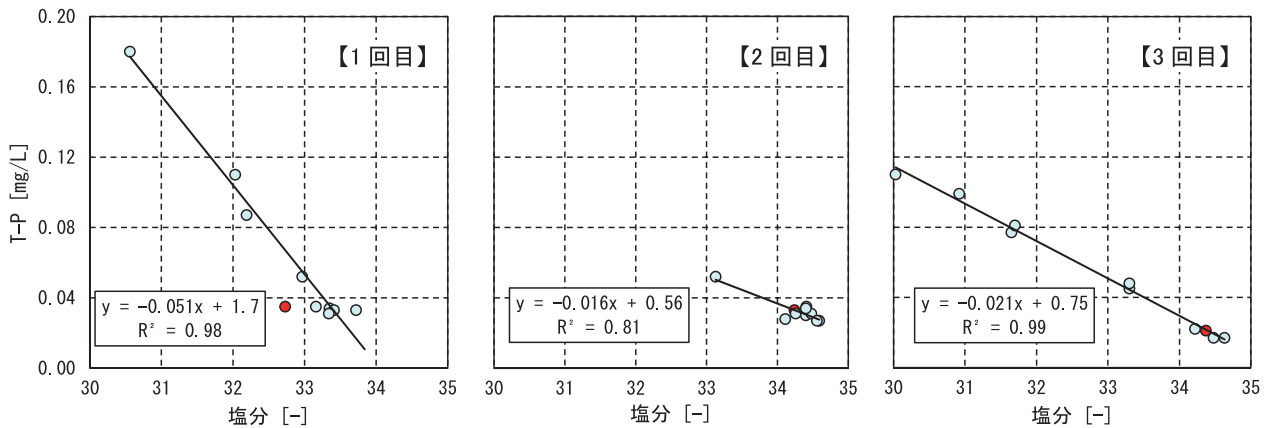


図3 水温の平面分布

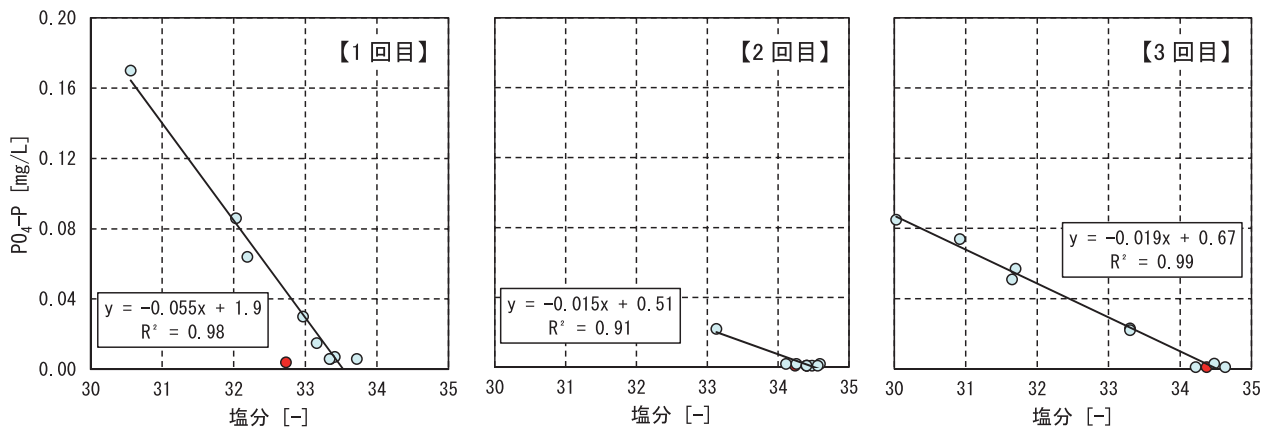


図4 塩分の平面分布



注) 図中の赤丸は、室見川河口の測定点であり、回帰式から除外した。

図5 塩分とT-Pの相関関係



注) 図中の赤丸は、室見川河口の測定点であり、回帰式から除外した。

図 6 塩分と PO₄-P の相関関係

数が 0.9 以上 (決定係数 R² が 0.81 以上) の強い相関関係がみられ、危険率 0.1% 以下 (p ≤ 0.001) の有意な負の関係が確認された。

塩分と PO₄-P の関係についても、T-P と同様に、いずれも塩分と PO₄-P 濃度には相関係数が 0.9 以上の強い相関関係が、危険率 0.1% 未満 (p < 0.001) の有意な負の関係がみられた。

以上の結果から、調査回毎の塩分とリン濃度との一次回帰式の傾きに違いがみられたが、塩分とリン濃度には強い相関関係がみられたことから、塩分からリン濃度の推定が可能と考えられる。

図 5 に示した調査回毎の回帰式と現地で測定した塩分より T-P 濃度を推定し、放流口からの拡散状況を図化した。その結果を図 7 に示す 2 回目の調査では放流口近傍からノリ漁場周辺における T-P 濃度の差は小さかったが、1 回目と 3 回目の調査では濃度差が大きく、放流口から最大約 1.0km の範囲で T-P 濃度が上昇していた。特に、T-P 濃度は放流口から西方向へ高い値がみられており、今回の調査条件での流況 (図 2) から判断すると、

放流口からの下水処理水は下げ潮の流れに沿って西方向へ拡散していると考えられる。

3.3 冬季緩和運転によるノリ養殖場の栄養塩への効果

図 6 に示した調査回毎の回帰式より推定した PO₄-P 濃度に基づき図化した放流口からの拡散状況、ノリ養殖に必要な PO₄-P 濃度 (40μM = 0.0124 mg/L)⁷⁾ の分布範囲、及びノリ漁場との位置関係を図 8 に示す。T-P と同様に、1 回目と 3 回目の調査では最大約 1.0km の範囲で下水処理水による PO₄-P 濃度の上昇がみられ、潮流の影響を受けて放流口から西方向へ拡散していた。

この PO₄-P 濃度の分布とノリ養殖に必要なリン濃度の分布範囲、ノリ養殖場の位置を比べると、放流口沖合の西側と東側にそれぞれ位置するノリ養殖場のうち、西側の養殖場に高い PO₄-P 濃度が確認され、ノリ養殖に必要なリン濃度より高い値の水がノリ漁場へと到達していた。特に 3 回目の調査ではノリ養殖に必要なリン濃度 (0.0124mg/L) を上回る 0.045~0.050mg/L であった。

以上の結果から、冬季の下水処理緩和運転による高

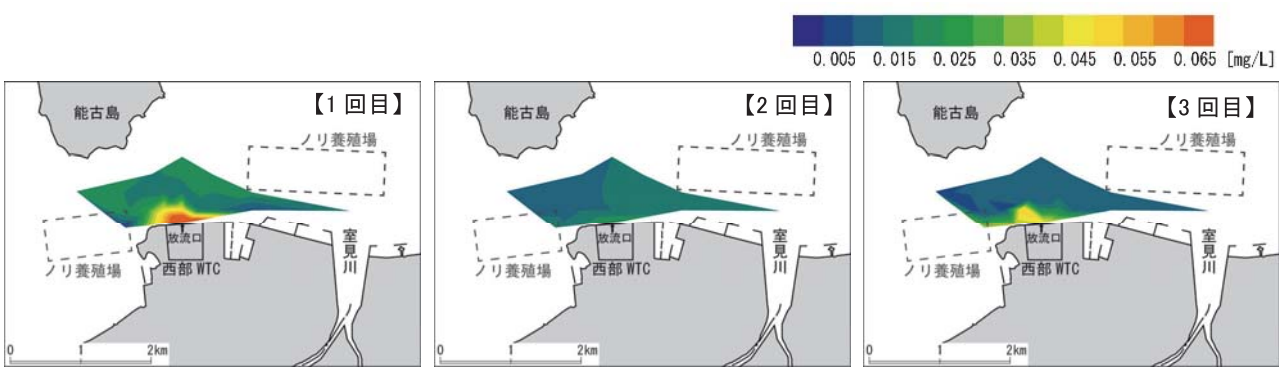
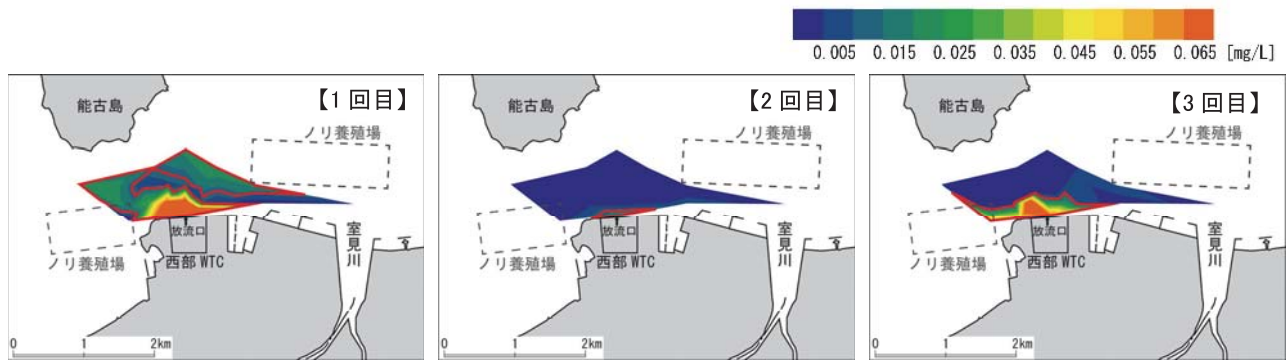


図 7 T-P の拡散状況



注) 赤線はノリ養殖に必要な $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度とされる 0.0124mg/L を示す。

図 8 $\text{PO}_4\text{-P}$ の拡散状況

リン濃度で放流口から放流された下水処理水は、下げ潮の流れにより西側海域へと拡散され、ノリ養殖に必要な $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を満たす水が放流口西側に位置するノリ漁場へ供給されていると考えられる。

4. まとめ

本研究は、西部水処理センターの放流口およびノリ養殖場周辺において、下水処理の冬季緩和運転の効果を検討することを目的として実施した。その結果、以下のことが考えられた。

- ・塩分とリン(T-P、 $\text{PO}_4\text{-P}$)濃度に高い相関がみられ、塩分よりリン濃度の推定が可能であった。
- ・放流口から最大約 1.0km の範囲で処理水の拡散が確認された。
- ・冬季緩和運転により、ノリの生育に必要とされる $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度 (0.0124mg/L) を上回る濃度の水が下げ潮の流れにより、放流口から西側に位置するノリ養殖場へ到達していた。

今回得られた知見は中潮期の下げ潮時の条件での結果であり、潮汐により冬季緩和運転の効果も変動すると考えられる。今後、数値シミュレーションにより潮汐変動を踏まえた冬季緩和運転によるノリ養殖場への効果を定量的に把握したいと考えている。

謝辞: 本研究にあたっては、有明海・博多湾研究会のメンバーの方々に貴重なご意見をいただいた。ここに記し、心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 福岡市:博多湾環境保全計画(第二次), 福岡市ホームページ <http://www.city.fukuoka.lg.jp/kankyo/k-chosei/hp/keikaku4.html> (2016).
- 2) 福岡県, 福岡市:博多湾特定水域高度処理基本計画 (2002).
- 3) 横山佳裕, 中野裕香子, 吉次祥子, 中嶋雅孝, 内田唯史, 中西弘:閉鎖性水域に対する高度な栄養塩管理の導入に関する一考察, 土木学会論文集 G(環境), 67, III_203-III_201 (2011).
- 4) 後藤祐哉, 横山佳裕, 内田唯史, 中嶋雅孝:博多湾における「高度な栄養塩管理手法」の一考察, 土木学会論文集 G(環境), 71, II_369-II_376 (2015).
- 5) 福岡市道路下水道局:福岡市下水道ビジョン2026, 福岡市ホームページ <http://www.city.fukuoka.lg.jp/doro-gesuido/gesui-kikaku/hp/vision2026.html> (2017).
- 6) 福岡市環境局:博多湾環境保全計画推進委員会資料 1 平成 28 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 <http://www.city.fukuoka.lg.jp/kankyo/k-chosei/hp/sizenkankyou/hakatawan.html> (2017).
- 7) 熊谷香, 里道菜穂子:養殖技術研究(1)ノリ養殖, 平成 27 年度福岡県水産海洋技術センター事業報告, 69-71 (2017).