

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

環境部 自然環境課 研究員 山津 浩紀
環境計画課 主任 望月 佑一
自然環境課 主任研究員 横山 佳裕

要 旨

本研究は、冬季博多湾における姪浜ノリ養殖漁場の栄養塩類の変動とその変動に伴うノリの生育状況の変化を把握することを目的に実施した。ノリ養殖漁場周辺域における水質やノリ葉体中の窒素・リン含有量を調べた結果、養殖漁場内では、下水放流水に多く含まれる $\text{NH}_4\text{-N}$ が T-N の多くを占め、下水放流水由来と考えられる高濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$ が局所的にみられたことから、養殖漁場内の栄養塩類は西部水処理センターからの下水放流水がベースとなっていることが示唆された。これに降雨に伴う河川由来の栄養塩類の流入が加わり、養殖漁場周辺の栄養塩濃度が変動していると推察された。また、海水中の DIN 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の増減とともに、ノリ葉体中の窒素・リン含有量も増減することがわかった。

1. はじめに

福岡県北西部に位置する博多湾は、全国 88 の閉鎖性水域の中でも閉鎖度が高い海域であり¹⁾、栄養塩類の過剰な供給による富栄養化や有機汚濁、底層の貧酸素化が問題となっている²⁾。この博多湾では、福岡市をはじめとする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。また、福岡市の水処理センターでは「博多湾特定水域高度処理基本計画」³⁾に基づき、下水処理水中のリンの除去を目的とする高度処理設備が 1993 年から 1999 年に順次導入された。これらにより、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²⁾。

この流入負荷の削減対策により、リン濃度が大幅に減少したことで、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、近年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²⁾。この問題に対して、ノリ養殖漁場近傍にある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を確保するため、養殖期間である冬季(10月～翌年3月)に下水処理緩和運転を試験的に実施している。これは、冬季に通常よりも高いリン濃度で

処理水を博多湾に放流するものである²⁾。

この冬季緩和運転の効果をみるために、横山らは西部水処理センターの下水放出口及び姪浜ノリ養殖漁場周辺における栄養塩類(リン)の拡散状況を調べ、下水放出口から放流されたリンがノリの生育に必要な濃度を上回る濃度でノリ養殖漁場へ到達していることを確認した⁴⁾。

しかし、横山ら(2019)の研究では、水質とノリの生育状況の関係は明らかになっておらず、リン不足によるノリの色落ちやねじれ等の生育異常の問題に対する解決には至っていない。

このため本研究では、姪浜ノリ養殖漁場周辺域における栄養塩類の変動とその変動に対するノリの生育状況への影響を明らかにするため、水質とノリ葉体中の窒素・リン含有量を調べた。

2. 現地調査方法

2.1 調査地点

調査地点は、図 1 に示す姪浜ノリ養殖漁場内の No.1～4、西部水処理センターの放出口近傍の No.5 とした。No.1～4 は室見漁場および妙見漁場のそれぞれ東端・西端であり、これらの地点では水質分析試料、及びノリ

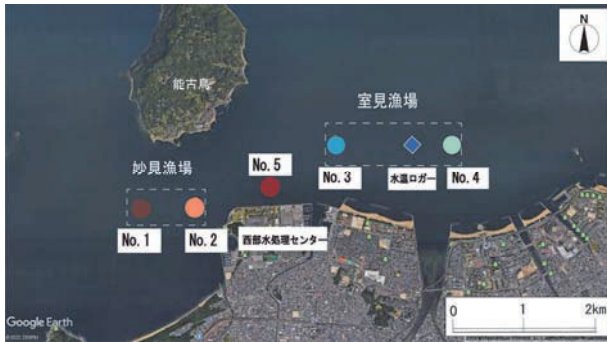


図1 調査地点

葉体を採取した。また、No.5 は下水放流水の水質状況を指標するための地点として、下水放流口近傍に配置し、採水のみを行った。

加えて、No.3 と No.4 の中間点付近に水温ロガー (HOBO Pendant Temperature / Light Data Logger, Onset) を設置し、水温の連続観測を行った。

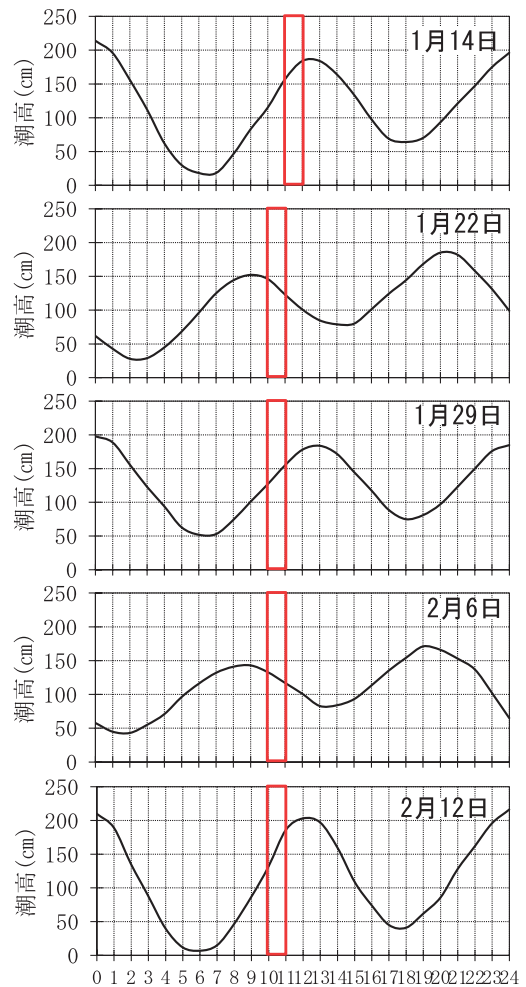
2.2 調査時期

調査期間は、例年ノリの色落ち等の生育異常が1月下旬頃に発生しやすいことから⁵⁾、その前後となる2020年1月14日から2月12日とした。調査頻度は、毎週1回の中潮期(図2)⁶⁾とし、同期間中に計5回調査した。ただし、下水放流口近傍のNo.5の調査は、2回目の1月22日以降の4回とし、水温の連続観測は1月22日～2月21日までとした。

調査時間帯は、満潮時刻⁶⁾の前または後の概ね2時間以内とした(図3)。

2.3 調査内容

表層の海水を直接容器に採取した後(写真1)、保冷して持ち帰り、分析に供した。分析項目は、淡水の混入

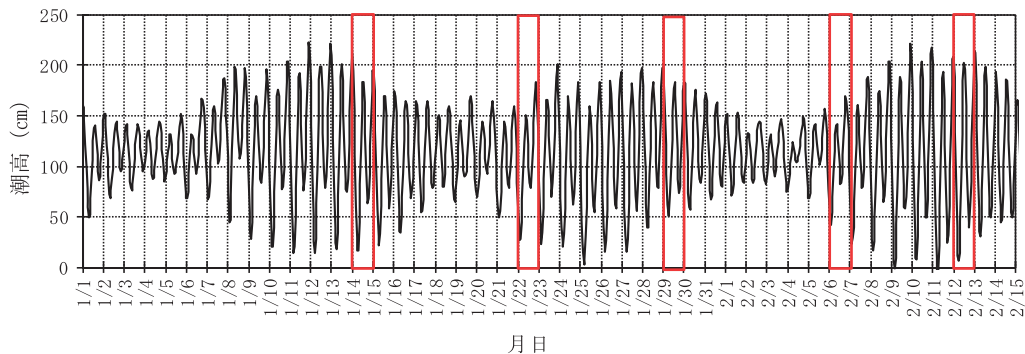


注) 図中の赤枠は調査時間帯である

図3 調査日の潮汐⁶⁾

状況を指標する塩分、栄養物質の全窒素(T-N)と全リン(T-P)、栄養塩類のうち、溶解性無機態窒素(DIN)のアンモニウム態窒素(NH₄-N)と亜硝酸態窒素(NO₂-N)、及び硝酸態窒素(NO₃-N)、無機態リン(DIP)のほとんどを占めるリン酸態リン(PO₄-P)⁷⁾とした。

また、ノリの生育状況として、色落ち等の生育異常の



注) 図中の赤枠は調査日である

図2 調査期間の潮汐(2020年)⁶⁾



写真 1 採水

写真 2 ノリの採取

表 1 水質・ノリ葉体の分析項目及び方法及び定量下限値

項目	方法	単位	定量下限値	
水質	塩分	海洋観測指針5.3	-	2.00
	T-N	JIS K 0102 45.6	mg/L	0.01
	NH ₄ -N	JIS K 0102 42.1及び42.2	mg/L	0.01
	NO ₂ -N	JIS K 0102 43.1.3	mg/L	0.005
	NO ₃ -N	JIS K 0102 43.2.6	mg/L	0.005
	T-P	JIS K 0102 46.3.4	mg/L	0.005
ノリ	窒素	元素分析計(CHNコード)による	wt%-dry	0.01
	リン	H24底質調査方法 II 4.9.1	wt%-dry	0.01

有無、葉体中の窒素・リン含有量を調べた。ノリの生育異常は、現地で目視確認し、窒素・リン含有量は、ノリ網から 50g 程度の葉体を採取し(写真 2)、保冷して持ち帰り、分析に供した。

水質とノリ葉体の分析は、表 1 に示すとおりである。

3. 調査結果

3.1 水質

栄養物質(T-N、T-P)と栄養塩類(DIN、PO₄-P)の経時変化を図 4～図 7 に、塩分を図 8 にそれぞれ示す。また、水温を福岡管区气象台における降水量、気温、全天日射量⁸⁾とあわせて図 9 に、T-N と T-P の内訳を図 10、図 11 に示す。No.5 の栄養物質や栄養塩類が No.1～4 と比べて、高かったため、図 4～図 8 の経時変化では、No.5 の経時変化のみ図の右軸(図中の赤い軸)で図示している。なお、図 5 に示す DIN は NH₄-N と NO₃-N 及び NO₂-N の合算値である。また、図 10 と図 11 に示している有機態窒素(O-N)と有機態リン(O-P)は、粒子性無機態窒素・リンが無視できるほど低いと仮定して⁹⁾、T-N と T-P からそれぞれ DIN と PO₄-P を差し引いた値である。分析値が表 1 に示した定量下限値未満の場合は、定量下限値の 1/2 の値で示している。

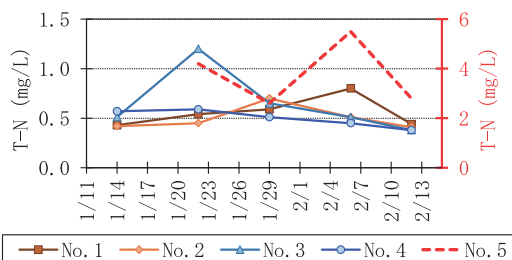


図 4 T-N の経時変化

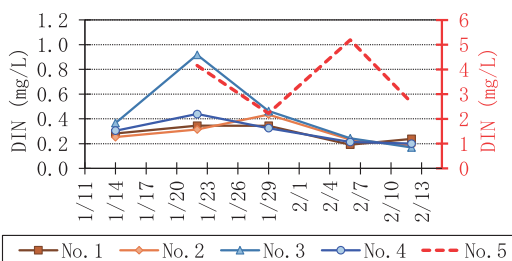


図 5 DIN の経時変化

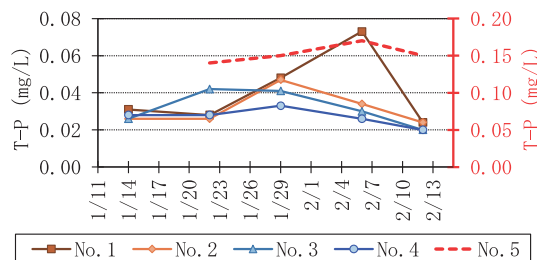


図 6 T-P の経時変化

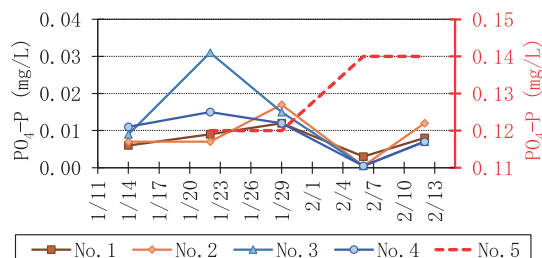


図 7 PO₄-P の経時変化

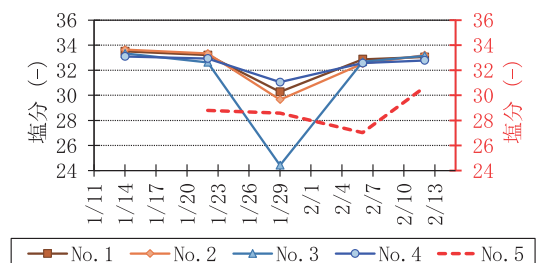


図 8 塩分の経時変化

窒素(T-NとDIN)について、図 4 に示す T-N の経時変化をみると、T-N では 1 月 22 日の No.3 と 2 月 6 日の No.1 で局所的に高くなったほか、全体的には 1 月 1

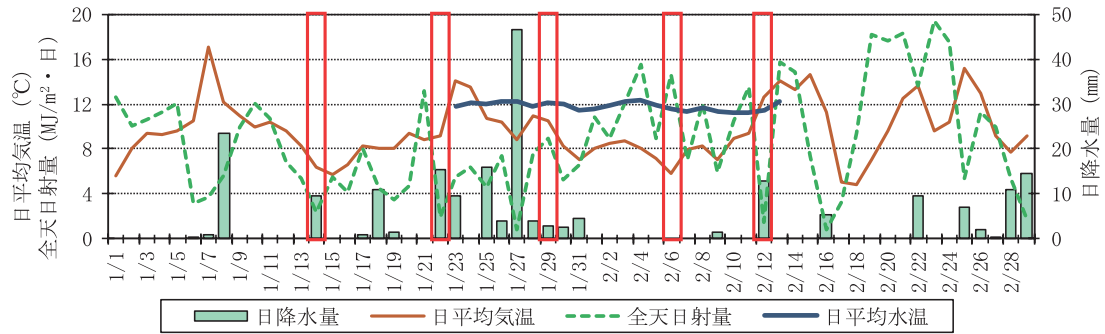


図9 気象状況と水温の経時変化

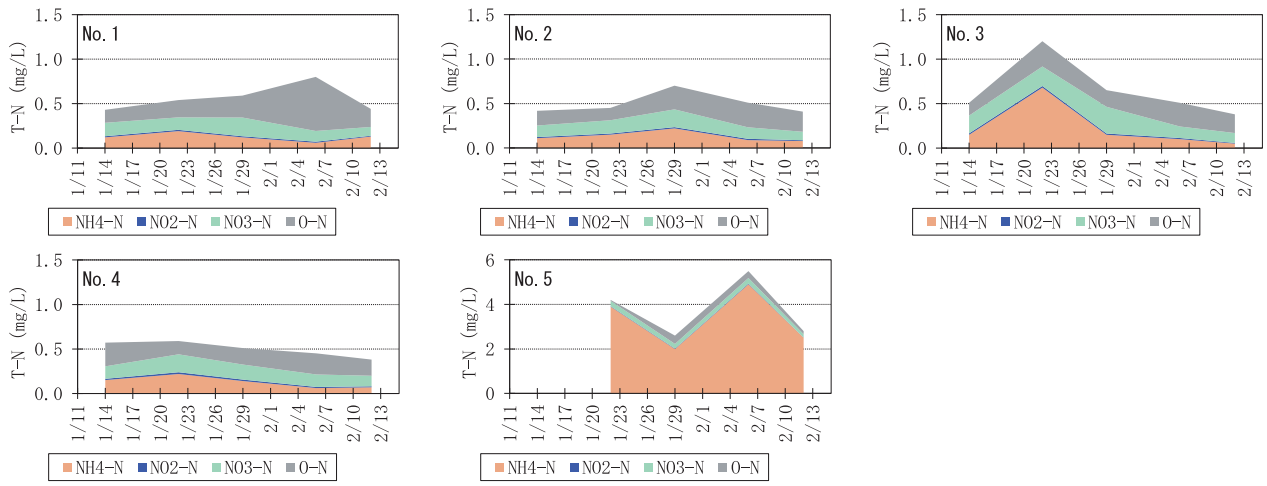


図10 T-Nの内訳

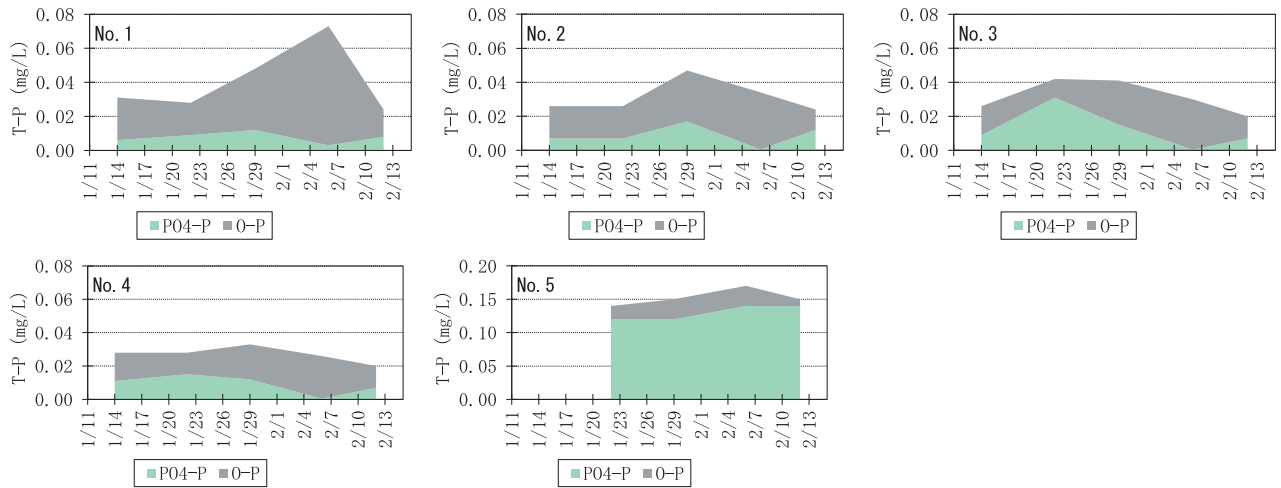


図11 T-Pの内訳

日から1月29日にかけて上昇した後、低下傾向にあった。図5に示すDINの経時変化は、全体としてT-Nと同じ経時変化を示し、1月22日のNo.3では局所的に高くなったが、2月6日のNo.1ではT-Nでみられたような局所的な上昇はみられなかった。また、図10に示すT-Nの内訳をみると、2月以降にみられる減少の程度は

DINがT-Nと比べて大きく、2月以降にO-Nの占める割合が高くなっていった。No.1~4において、NO₂-NとNO₃-NがT-Nに占める割合(NO_x-N/T-N)は17~48% (平均32%)、NH₄-Nが占める割合(NH₄-N/T-N)は8~57% (平均32%)であり、T-Nの概ね1/3ずつをNO₂-N+NO₃-NとNH₄-Nがそれぞれ占めていた。特にT-Nと

DIN がともに高かった 1 月 22 日の No.3 では NH₄-N が T-N の 57%と高い割合で占めていた。

図 6 と図 7 に示すリン(T-P、PO₄-P)は、窒素と同様に、全体的には 1 月 14 日から 1 月 29 日にかけて上昇した後、2 月以降に減少していた。また、1 月 22 日の No.3 では T-P と PO₄-P ともに局所的に高くなった一方、2 月 6 日の No.1 では局所的に T-P が高くなったが、PO₄-P の上昇はみられなかった。また、図 11 に示す T-P の内訳をみると、2 月以降の減少の程度は PO₄-P が T-P と比べて大きく、O-P が占める割合が高くなった。

No. 5 においては、調査期間をとおして T-N と T-P にそれぞれ含まれる DIN と PO₄-P の割合が高かった。

図 8 に示す塩分は、No.1~4 で一時的に低下した 1 月 29 日の前後では、大きな変動がみられなかった。

図 9 に示す水温は、気温ほどの変動はなく、11.2~12.3℃で推移した。

3.2 ノリの生育状況

ノリ葉体中の窒素・リン含有量の経時変化を図 12、図 13 にそれぞれ示す。なお、水質と同様に、定量下限値未満の場合には、表 1 に示した定量下限値の 1/2 で示した。なお、色落ち等の生育異常は調査期間をとおして確認されなかった。

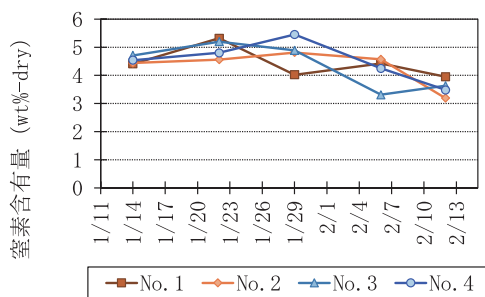


図 12 ノリ葉体の窒素含有量の経時変化

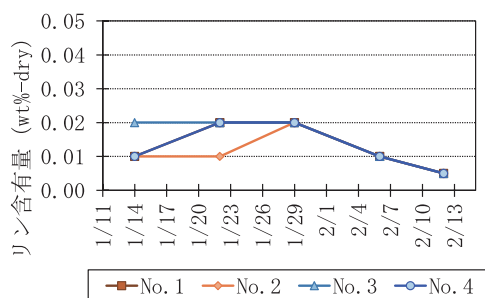


図 13 ノリ葉体のリン含有量の経時変化

図 12 と図 13 に示す窒素・リン含有量の経時変化をみると、前述の水質ほど明確な時間変動はみられないが、ノリ葉体中の窒素・リン含有量はともに 1 月(14 日、22 日、29 日)と比べて 2 月(6 日、12 日)が低くなっていた。

4. 考察

4.1 水質の経時変化

図 9 に示す降水量をみると、調査を開始した 1 月 14 日から 1 月 31 日まで降雨が多々みられ、1 月下旬の降水量は同時期の旬別降水量では観測史上で最も多く⁸⁾、特に 1 月 27 日には日降水量 46.5mm のまとまった雨が降っていた。この降雨により 1 月 29 日には、塩分が一時的に低下したと考えられる(図 8)。一方、2 月になると、2 月 12 日まで雨はほとんど降らなかった。

1 月に増加し、2 月に減少傾向となった DIN と PO₄-P (図 5、図 7)は、1 月に降水量が多かったことで、降雨に伴い陸域から流入した栄養塩類により、海水中の栄養塩類も上昇する一方、2 月になると降雨が少なくなり、降雨に伴う流入量が減少し、ノリ養殖漁場における栄養塩濃度も低下したと考えられる。

また、図 10、図 11 に示したとおり、2 月以降の窒素・リンの減少の程度が T-N や T-P と比べて、DIN や PO₄-P が大きくなり、T-N と T-P それぞれに占める O-N と O-P の割合が高くなっていった。今回の調査では植物プランクトンの発生量を指標する項目は調べていないが、植物プランクトンの増殖条件の一つである全天日射量は、図 9 に示したように、2 月以降 10~15MJ/m²・日の日が断続的に続いた。本城(2009)によると、博多湾では全天日射量が 13MJ/m²・日以上の日が 3~4 日続くと赤潮が発生しやすいといわれている¹⁰⁾。2 月以降、降水量が減少したことに加え、植物プランクトンの増殖に伴う栄養塩類の消費により、DIN や PO₄-P の減少の程度が T-N や T-P の減少の程度と比べて大きかったと考えられる。また、この植物プランクトンによる栄養塩類の消費が、T-N や T-P が局所的に高かった 2 月 6 日の No.1 で、DIN と PO₄-P が上昇しなかった要因にもなっていると考えられる。

図 10 に示したように、ノリ養殖魚場内の No.1～No.4 における $\text{NO}_x\text{-N/T-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N/T-N}$ はそれぞれ 1/3 ずつとなっている。室見川の最下流付近にある室見橋における 2014～2018 年度の公共用水域水質測定結果によると、 $\text{NO}_2\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ を測定した 10 月のみの結果であるが、 $\text{NO}_x\text{-N/T-N}$ は 63～85% (平均 74%) であり、T-N の概ね 3/4 を占めている¹¹⁾。一方、2014～2018 年度における西部水処理センターの下水放流水中の $\text{NO}_x\text{-N/T-N}$ は年平均値で 10～13% (平均 12%) と少なく、 $\text{NH}_4\text{-N/T-N}$ は 75～85% (平均 81%) と多い¹²⁾。下水放流水中の T-N に含まれる $\text{NO}_2\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ は少なく、下水処理水放流口近傍の No.5 においても、 $\text{NO}_x\text{-N/T-N}$ は 5～9% (平均 7%) と少なかった。ノリ養殖漁場周辺域では、T-N に占める $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が河川水と比べて高いこと、局所的に下水処理場由来と考えられる高濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$ がみられていることから、ノリ養殖漁場内の栄養塩類は下水処理場由来の寄与が大きいと考えられる。また、降雨の多少により、窒素やリンが変動することを踏まえると、ノリ養殖漁場における栄養塩類は、下水処理場由来の栄養塩類をベースに形成され、これに降雨に伴う河川由来の栄養塩類の流入が加わることで変動していると考えられる。

4.2 栄養塩類とノリの生育状況の関係

図 12、図 13 に示すノリ葉体中の窒素・リン含有量をみると、DIN や $\text{PO}_4\text{-P}$ と同様に、1 月に高く、2 月に低い経時変化を示した。栄養塩類とノリ葉体中の窒素・リン含有量の経時変化が同様の傾向を示し、両者に相関関係があることが示唆されることから、その関係をみるために、窒素、リンそれぞれについて、栄養塩濃度を横軸に、ノリ葉体中の含有量を縦軸にプロットした。その結果を図 14、図 15 に示す。

定量的な相関式までは導き出せなかったが、DIN や $\text{PO}_4\text{-P}$ の増減とともに、ノリ葉体中の窒素・リン含有量も増減する関係にあることが、経時変化(図 5、図 7、図 12、図 13)だけでなく、これらの関係図からもみえる。

中本ら(2018)によると、同じ博多湾内の志賀島周辺におけるワカメ養殖漁場では、ワカメ葉体中のリン含有量は DIP 濃度に応じて減少する一方、窒素含有量はリ

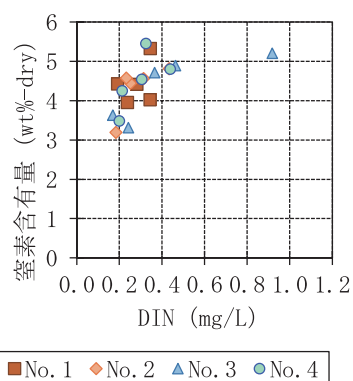


図 14 DIN とノリの窒素含有量の関係

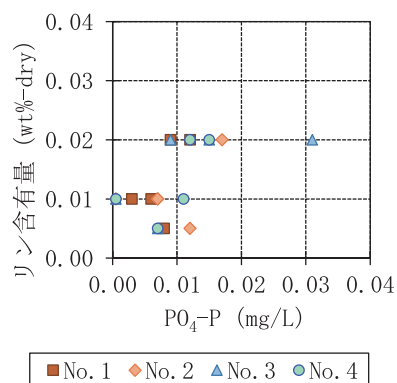


図 15 $\text{PO}_4\text{-P}$ とノリのリン含有量の関係

ンとは異なり、DIN 濃度の変動に対して変化はなかったといわれており¹³⁾、今回得られた栄養塩濃度(DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$)とノリ葉体中の窒素・リン含有量の関係とは異なっていた。福岡県によると、ノリの生育に必要な栄養塩濃度は、DIN が 0.094mg/L ($7\mu\text{M}$ より換算)、 $\text{PO}_4\text{-P}$ が 0.0124mg/L ($0.4\mu\text{M}$ より換算)といわれている¹⁴⁾。ノリ養殖漁場内の DIN と $\text{PO}_4\text{-P}$ の経時変化をみると(図 5、図 7)、DIN は 1 月 14 日から 2 月 12 日まで生育に必要な DIN 濃度を全ての地点で上回っている一方、 $\text{PO}_4\text{-P}$ はほとんどの地点で調査期間をとおして下回った状況が続いており、特に 2 月が顕著であった。DIN と $\text{PO}_4\text{-P}$ の経時変化が同じ変動を示していることから、生育に必要な $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が下回り、生長に対して制限要因となったことで、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の減少がノリ葉体中の窒素・リン含有量のいずれも減少させた可能性がある。これにより、栄養塩濃度とノリ葉体中の含有量の関係がリンだけでなく、窒素でもみられた可能性がある。ただし、ノリとワカメの栄養塩含有量の挙動の違いは、生態的な違いなのか、各養殖業場の栄養塩濃度の違いなのかを、今後、定量的な関係がわかるように、データを積み上げていくことが

課題である。

また、今回の調査では、ノリの色落ち等の生育異常が確認されず、ノリ葉体中の栄養塩含有量と生育異常の関係は明らかにできなかった。1月下旬に同時期では観測史上最も多い旬別降水量がみられたことで、降雨に伴う栄養塩類の供給により、例年ノリの色落ちが生じやすい今回の調査期間に、ノリの色落ちや生育異常がみられなかったことが考えられる。ただし、漁業者へのヒアリングによると、2月下旬にノリの色落ちが生じており、調査を終了した2月12日以降、2月20日まで降水量が少なかったことから(図9)、降雨の少なさによる栄養塩類の供給量の低下により、ノリ養殖漁場内の栄養塩濃度が更に低下し、2月下旬にノリの色落ちが生じた可能性がある。

5. まとめ

本研究は、冬季博多湾における姪浜ノリ養殖漁場の栄養塩類の変動とその変動に伴うノリの生育状況の変化を把握することを目的に、現地調査を行った。その結果、以下のことが考えられた。

- ・ノリ養殖漁場内の T-N は $\text{NH}_4\text{-N}$ の占める割合が多く、局所的に下水処理場由来と考えられる高濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$ がみられていることから、ノリ養殖漁場における栄養塩類は、西部水処理センターからの下水放流水がベースとなって形成されていることが示唆された。
- ・ノリ養殖漁場内の栄養塩類は、ベースとなる下水処理場由来の栄養塩類に、降雨に伴う河川由来の栄養塩類が加わることで、変動していると推察された。
- ・栄養塩類(DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$)の増減とともに、ノリ葉体中の窒素・リン含有量も増減していることが明らかになった。
- ・例年ノリの色落ち等の生育異常がみられる1月下旬に、稀にみる降水量の増加があったことで栄養塩濃度が上昇し、調査期間中においてノリの色落ち等の生育異常がみられなかった可能性がある。

6. おわりに

本研究では、水質とノリ葉体の窒素・リン含有量の経時変化から、ノリ養殖場周辺の栄養塩類の増減に追従してノリ葉体の窒素・リン含有量も増減していることがわかったが、定量的な関係の把握までには至らず、ノリの色落ち等の生育異常が確認できなかった。今後は、栄養塩濃度の異なる条件等でデータを積み上げ、栄養塩類とノリの生育状況の関係をより明らかとするとともに、それらの改善のための栄養塩管理手法を検討していきたいと考えている。

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。また、調査にあたっては福岡市漁業協同組合姪浜支所には試料の採取で多大なるご協力をいただいた。試料の分析では当協会技術部に多くのご協力をいただいた。ここに記し、深甚の感謝を表します。

参考文献

- 1) 公益財団法人国際エメックスセンター:閉鎖海域情報、閉鎖性海域 88カ所、公益財団法人国際エメックスセンターホームページ(2020).
- 2) 福岡市:博多湾環境保全計画(第二次)、福岡市環境局ホームページ(2015).
- 3) 福岡県、福岡市:博多湾特定水域高度処理基本計画(2002).
- 4) 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).
- 5) 福岡市:平成 26~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.
- 6) 第七管区海上保安部海洋情報部:第七管区驗潮データ(毎時潮高, 高低潮時・潮位), 第七管区海上保安部ホームページ.

- 7) 池田裕一, 中井正則, 中村由行, 道奥康治, 村上
一男:水圏の環境(有田正光編著), 7-8, 東京電機
大学出版局(1998)ISBN 9784501616304.
- 8) 国土交通省気象庁:過去の気象データ検索福岡,
気象庁ホームページ(2020).
- 9) 藤原建紀:内湾の貧栄養化—窒素・リン負荷量削
減が海域の COD, 栄養塩レベルに及ぼす影響—,
沿岸海洋研究, 52, 11-27(2014).
- 10) 本城凡夫:NPO 法人有明海再生機構 有明海講座
「有明海の赤潮」, NPO 法人有明海再生機構ホー
ムページ(2009).
- 11) 福岡市環境局:福岡市水質測定結果報告書(平成
26(2014)~30(2018)年度版), 福岡市環境局ホー
ムページ.
- 12) 福岡市道路下水道局:下水道の水質(平成 26~30
年度), 福岡市道路下水道局ホームページ.
- 13) 中本崇, 後川龍男:博多湾ワカメ養殖における漁
場及びワカメ葉体内の窒素, リンの動向, 福岡県水
産技術センター研究報告, No.28, 7-11(2018).
- 14) 小池美紀, 淵上哲: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, No.23, 33-42(2013).