

三河湾西部で生産された乾海苔の窒素安定同位体比の特徴 — 栄養塩供給源の推定に関する予察的検討 —

中島 広人・西本 篤史・谷川 万寿夫・日比野 学

(2023年1月18日受付, 2023年2月2日受理)

Characteristics of nitrogen stable isotope ratios in dried seaweed cultivated in western Mikawa Bay: A preliminary investigation on nutrient sources

NAKAJIMA Hiroto^{*1}, NISHIMOTO Atsushi^{*2}, TANIKAWA Masuo^{*1,3}, and HIBINO Manabu^{*1}

キーワード: 乾海苔, 窒素安定同位体比, 栄養塩, 下水道

三河湾では海水中の溶存態無機窒素やリン酸態リンといった栄養塩類の濃度が特に2000年代以降に低下している。¹⁾ 近年では、愛知県内の各漁場において養殖海苔の色落ちが頻発し、海苔生産者の収入低下の原因の一つとなっている。²⁾ このような背景から、県管理広域流域下水処理場である矢作川浄化センター及び豊川浄化センターにおいて、県の排水規制濃度以内でリンの増加放流を行う試験運転が2017年度から開始され、2022年度からは窒素、リンの処理濃度の上限を現行の2倍となる国の基準（窒素：20mg/L、リン：2mg/L）にまで引き上げる社会実験が開始されている。海域の窒素源の推定には、窒素安定同位体比分析が有効な手法とされる。³⁾ 例えば、下水処理水中の溶存態無機窒素は、処理過程で質量数の軽い窒素 (^{14}N) が大気中に放出されやすいため、大気窒素より ^{15}N の存在割合が高くなる等、供給源によって窒素安定同位体比（以下 $\delta^{15}\text{N}$ ）が異なる。⁴⁾ 海苔生産における栄養塩供給動態や下水処

理濃度管理の効果を明らかにする上で、由来の異なる栄養塩が各漁場の海苔生産に及ぼす影響を把握する必要がある。そこで、本研究ではその端緒として三河湾において矢作川浄化センター周辺の各漁場で生産された乾海苔に含まれる $\delta^{15}\text{N}$ を季節別に把握し、窒素源推定の指標としての有効性を検討した。

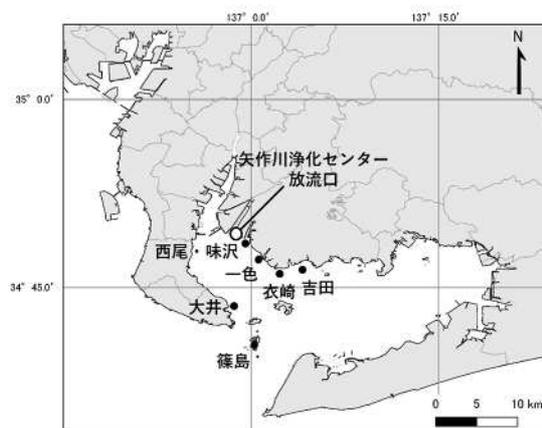


図1 採取した乾海苔が生産された海苔漁場と矢作川浄化センター放流口の位置

*1 愛知県水産試験場漁業生産研究所 (Marine Resources Research Center, Aichi Fisheries Research Institute, Toyohama, Minamichita, Aichi, 470-3412, Japan)

*2 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所 (Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, Fukuura, Kanagawa, Yokohama, 236-8648, Japan)

*3 現所属 愛知県農業水産局水産課 (Fisheries Administration Division, Bureau of Agriculture and Fisheries, Aichi Prefectural Governmental Office, Sannomaru, Nakaku, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan)

2021年12月（月上旬及び中旬の2回）、2022年1月及び2月に行われた愛知県漁業協同組合連合会海苔流通センターの令和3年度乾海苔共販において、県内の三河湾における主要な海苔漁場（西尾・味沢、一色、衣崎、吉田、大井、篠島；図1）から乾海苔（原則として出荷された中で最高等級の優または1等級）を採取し試料とした。 $\delta^{15}\text{N}$ の分析は水産研究・教育機構水産技術研究所横浜庁舎において行い、乾海苔1.5 mgを目安に錫箔に詰め、元素分析計（Vario MICRO cube, 北浜製作所）と安定同位体質量分析装置（IsoPrime 100, IsoPrime Ltd）の連結システムを用い測定した。矢作川浄化センター放流口を起点とした各漁場の中心位置までの直線距離は、球面上の大円距離により算出した。⁵⁾

西三河地区の各漁場における乾海苔の $\delta^{15}\text{N}$ を図2に示した。 $\delta^{15}\text{N}$ は放流口に近い西尾・味沢で最も高く（平均値±標準偏差は 12.9 ± 4.7 ）、放流口からの距離に応じて低下し、最も離れた吉田では低かった（同 10.9 ± 0.2 ）。各漁場における $\delta^{15}\text{N}$ の季節変化を図3aに示した。放流口に最も近い西尾・味沢及びその東側の一色においては、乾海苔の $\delta^{15}\text{N}$ は季節が進むにつれ高くなった。一方、放流口から遠い吉田においては季節が進むにつれ低下し、衣崎においては明瞭な傾向は認められなかった。知多半島東岸に位置する大井及び篠島では、乾海苔の $\delta^{15}\text{N}$ は12月に高かったが、1月、2月には低下した（図3b）。

一般に、溶存態無機窒素の $\delta^{15}\text{N}$ は海水中より河川中で低く、⁶⁾瀬戸内海備讃瀬戸の漁場でも生海苔の $\delta^{15}\text{N}$ は河口に近いほど低いことが明らかにされている。⁷⁾一方、下水処理水に含まれる溶存態無機窒素の $\delta^{15}\text{N}$ は周辺環境水中に比べ高いと報告されており、⁴⁾河口近傍では有効な指標として働く可能性が推測される。本研究では、矢作川河口の下水放流口に近いほど乾海苔の $\delta^{15}\text{N}$ が高かったことから、下水処理由来の $\delta^{15}\text{N}$ の高い窒素が反映され、距離に応じてその寄与率が低下していた可能性が推測された。ただし、後背地に大都市を抱える流域では、海域に流入する河川水中の溶存態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ が生活排水や畜産廃水などによって高くなり、特に、アンモニア態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ は硝酸・亜硝酸態窒素のそれに比べて高い。^{3, 8)}そのため、実際にはノリの窒素供給源となり得る、下水処理水を含めた各環境水中に含まれる溶存態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ （エンドメン

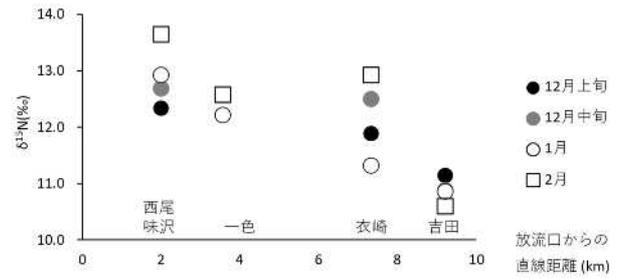


図2 乾海苔中の $\delta^{15}\text{N}$ と放流口からの直線距離の関係

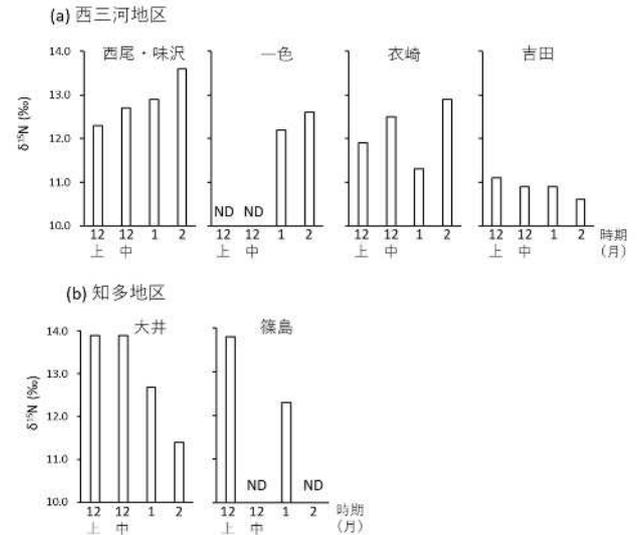


図3 各漁場の乾海苔中の $\delta^{15}\text{N}$ の推移 (ND: 試料未採取)

パー)を確認する必要がある。放流口から南に位置する大井・篠島では季節の進行とともに $\delta^{15}\text{N}$ は低下する一方で、東に位置する西尾・味沢では上昇する傾向にあった。海苔の $\delta^{15}\text{N}$ は、約7日程度と比較的速やかに環境水中の溶存態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ を反映するとされている。⁷⁾本研究で見られた $\delta^{15}\text{N}$ の変化は、海苔の生育に寄与した環境水中の溶存態無機窒素の由来の季節的な変化に起因していた可能性がある。名古屋における降水量（気象庁；https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=51&block_no=47636&year=&month=&day=&view=, 2022年11月15日)は1・2月に最も低く、矢作川の水位（国土交通省豊橋河川事務所；<http://www1.river.go.jp/cgi-bin/SrchWaterData.exe?ID=305071285512060&KIND=2&PAGE=0>, 2022年11月15日)も1・2月に低いことから（図4）、矢作川の河川流量は冬季に低下していた。また、名古屋における時間別平均風速データ（気象庁；https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=51&block_no=47636&year=&month=&day=&view=, 2022年11月15日)から北・北北西・北西・西北西・西の情報を抽出し（北-西成分）、

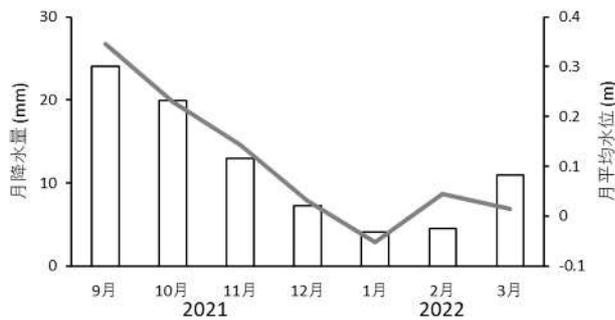


図4 2021年9月から2022年3月における名古屋の月間降水量（棒グラフ）と矢作川（碧南）の月平均水位（折れ線）の推移

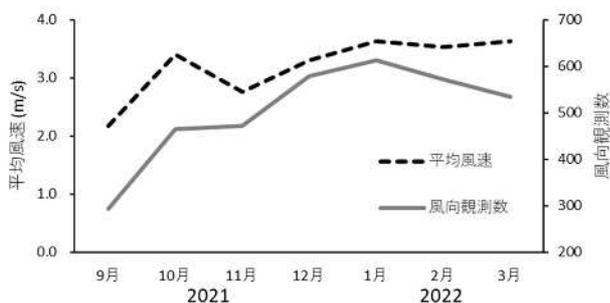


図5 2021年9月から2022年3月における名古屋の北-西成分の月平均風速及び月間観測数の推移

その月平均風速と月合計観測数を算出すると（図5）、1・2月は秋に比べ北-西成分の風が卓越し、その平均風速も増加する傾向にあった。このような冬季の矢作川流量の低下や季節的な風向風速の変化によって、下水処理水は秋芽網生産期（12月中旬まで）には知多半島東岸に沿って南（大井・篠島）方向に、冷蔵網生産期（1月以降）には東（西尾・味沢）方向に流れやすいと考えられた。^{9, 10)} 特に、漁期後半の栄養塩が枯渇している状況において放流口の東側の漁場で $\delta^{15}\text{N}$ が高くなったことは、海苔の生産において下水処理由来の栄養塩の寄与率が季節的に高まった可能性を示唆している。以上のように、環境条件の季節的变化に応じた乾海苔の $\delta^{15}\text{N}$ の挙動には合理性があり、指標としての有効性が考えられた。今後は、環境水中の溶存態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ の測定や水温や流動環境、葉状体の生長速度の影響等の諸条件を詰め、乾海苔の $\delta^{15}\text{N}$ を測定することにより、海苔生産に寄与する栄養塩の起源を定量的に推定できる可能性がある。これらの技術開発を進め、下水処理濃度管理の効果の検証を進めていく必要がある。

謝 辞

愛知県漁業協同組合連合会海苔流通センターの早川明

宏所長には、試料用の乾海苔の採材に御協力いただいた。本研究の実施にあたり、水産研究・教育機構水産技術研究所の渡部論史氏、児玉真史氏には有益なご助言をいただいた。また、本研究の一部は、水産庁委託調査事業「漁場環境改善推進事業」により実施された。

文 献

- 1) 青山裕晃・蒲原 聡（2022）伊勢・三河湾の年代別栄養物質濃度の水平分布について. 愛知水試研報, 27, 37-40.
- 2) 蒲原 聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也（2020）2018年度海苔漁期において伊勢・三河湾で生産された乾ノリの黒み度への漁場の栄養塩類の影響. 愛知水試研報, 25, 1-8.
- 3) 大手信人（2008）大気降下物としての窒素が水源域に与える負荷. 「流域環境評価と安定同位体」永田 俊・宮島利宏 編, 京都大学学術出版会, 京都, pp59-69.
- 4) Kendall, C., E. M. Elliot and S. D. Wankel (2007) Tracing anthropogenic inputs of nitrogen to ecosystems, Chapter12, In: R.H. Michener and K. Lajtha (Eds.), Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science. 2nd edition., Blackwell Publishing, Oxford, 375-449.
- 5) 三浦英俊（2015）緯度経度を用いた3つの距離計算方法. オペレーションズ・リサーチ, 60, 701-705.
- 6) 宮島利宏（2008）河口域における懸濁態有機炭素負荷の起源推定. 「流域環境評価と安定同位体」永田 俊・宮島利宏 編, 京都大学学術出版会, 京都, pp163-186.
- 7) 高木秀蔵・清水泰子・草加耕司・小林志保・藤原建紀（2013）窒素安定同位体比を用いた河川から海苔漁場への栄養塩供給の評価. 日水誌, 79, 1002-1008.
- 8) 木庭啓介・眞壁明子（2006）安定同位体を用いた流域生態系における窒素循環研究の可能性について. 水文・水資源学会誌, 19, 293-301.
- 9) 宇野木早苗（1983）三河湾の恒流とその成因. 第30回海岸工学講演会論文集, 510-514.
- 10) 三戸勇吾・山田佳裕・小川浩史・山本敏哉・多田邦尚（2007）知多湾表層水中における窒素とリンの空間的季節的変動. 沿岸海洋研究, 44, 192-202.