

令和5年度 南知多における ワカメ生産量減少と水質環境変動との関係

鹿田 創空

1. はじめに

大型褐藻のワカメ *Undaria pinnatifida* は、コンブ目チガイソ科に属し、北海道以西、礼文島以南から九州西北岸、朝鮮半島まで広く分布している。通常、食用とする大きな孢子体と顕微鏡サイズの配偶体の異型世代交代を行う。孢子体は冬から夏にかけて潮間帯下部から潮下帯の岩上に生育する。6月から7月頃にひだ状の孢子葉（めかぶ）が発達し、孢子葉から遊走子が放出される。着底した遊走子は雄性配偶体あるいは雌性配偶体を形成する。水温が低下すると成熟・受精し、受精卵から孢子体が発芽する。本種は、食用として重要な藻類の一つであり、全国各地で盛んに養殖されている（館脇，1993）。

愛知県では、県内で生産されるワカメの90%以上を知多半島南部の豊浜地区、師崎地区および日間賀島地区（図1）で生産されている。これらの地区では、毎年、11月上旬に種糸を沖出し、1月に生わかめ用、1月から2月に乾燥わかめ用、2月から3月に塩蔵わかめ用として、それぞれ収穫される。

主要な生産地の一つである師崎地区では、縦20 m、横65 mの枠内に、ワカメの種糸を巻き付けたロープを1.5-2.0 m間隔で格子状に張り、そのロープを養殖初期では透明度より少し深い水深に垂下し、芽の生長と水温の低下とともに徐々に引き上げる。最終的に水深0.5 mになるように調節し、ワカメを養殖する。この方法は、養殖が開始された約60年前から大きく変わっていない。

師崎地区における2020年漁期の生産量は、「養殖生わかめ」が70 t、「天然生わかめ」が1.7 t、「乾燥わかめ」が1.9 tであったが、2021年漁期は「養殖生わかめ」が59 t、「天然生わかめ」が0.12 t、「乾燥わかめ」が0.4 tと大きく減少し、2022年漁期は「養殖生わかめ」が51 t、「天然生わかめ」および「乾燥わかめ」の収穫はなく、生産量はさらに減少した。塩蔵わかめの生産量については組合で把握されていないため不明である。師崎漁業協同組合への聞き取りによると、養殖期間中の色落ちおよび加工時の褐変

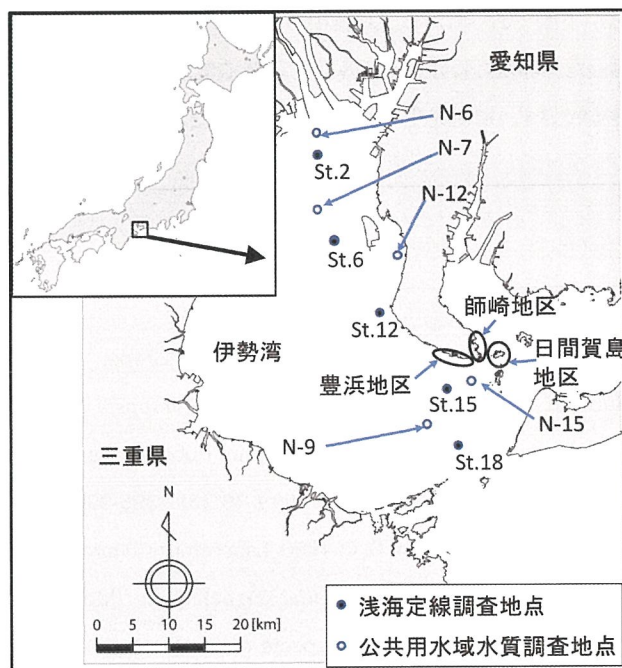


図1 使用した観測地点

三重県水産研究所の浅海定線調査地点図および愛知県環境局の公共用水域水質調査地点図をもとに作成。

による品質低下や、芽落ちおよび加工時の藻体の軟弱化による生産量低下が主な原因と考えられた。

ワカメの生長には、栄養塩のほか、水温や塩分、光環境も重要な要因であり、高水温はワカメの生長速度を低下させ、淡水流入に伴う塩分低下は中肋（茎、中芯、葉の中心部にある主脈のこと）の水ぶくれ、脱色、変形、割れ等の障害を発生させる（宮城県，1995）。光環境については、養殖初期の孢子体を高光量条件下（200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）と低光量条件下（50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）で成長率を比較したところ、高光量条件下で成長率が低下することが報告されている（佐藤ら，2021）。

ワカメの色落ちは、近年、瀬戸内海でも頻発しており、ワカメの生長に必要な海水中の溶存態無機窒素濃度（DIN）が2 μM 未満まで低下すると、色落ちの危険が高まると報告されている（萩平，2005）。大阪府や徳島県では、溶存態無機リン濃度（DIP）について0.1 μM 以下では色落ちの

危険性が高まるとし、その値を警戒濃度としている（湯浅ら、1998；佐野・上ノ郷谷、2005）。また、DIPが0.05 μM を下回ると幼孢子体の生長に悪影響を及ぼすとの報告もある（後川・中本、2015）。

以上のことから、本稿では公開されている伊勢湾の観測情報を基に、知多半島南部における近年の水質環境の変化を整理し、ワカメの生産量減少との関係を考察した。

2. 方法

解析には三重県水産研究所が伊勢湾で毎月実施している浅海定線調査（三重県水産研究所「浅海定線観測結果インデックス」<https://www.pref.mie.lg.jp/suigi/hp/79877017487.htm> 最終確認日 2022年11月17日）のうち、伊勢湾北部から湾口部にかけてのSt.2（湾奥部）、St.6（中部国際空港沖）、St.12（野間沖）、St.15（師崎地先）およびSt.18（湾口部）の観測値を用いた（図1）。環境項目には、水温（ $^{\circ}\text{C}$ ）、塩分、透明度（m）、溶存態無機窒素（DIN: $\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$; μM ）およびリン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$; μM ）を選定した。当該海域では、水深0.5 mに種糸を巻き付けたロープを設置することから、各項目とも表層の観測値を用い、ワカメが養殖される11月から翌年3月までの観測値を〇〇年漁期という区切りで集計した。なお、2021年11月および2022年1月の水温・塩分は欠測となっている。

浅海定線調査におけるクロロフィルは、2017年4月以降に蛍光値をクロロフィル a に換算しており、それ以前の値（蛍光値）と比較できなかったため、公共用水域水質調査（愛知県環境局「公共用水域（河川、湖沼、海域）及び地下水の水質調査結果等」<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/mizutaiki/0000063715.html> 最終確認日 2022年11月22日）におけるクロロフィル a を用いた。解析に用いた地点は浅海定線調査の近傍に位置するN-6、N-7、N-12、N-15、N-9とした（図1）。

日照時間は、気象庁観測結果（気象庁「過去の気象データ」<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> 最終確認日 2022年12月23日）より2013年

から2022年までの愛知県南知多町における各月の値を使用した。

各項目の経年変化については、スピアマンの順位相関係数検定（相関係数 r_s ）で傾向を解析した。

3. 結果

3.1 師崎地先における水質環境の経年変化

浅海定線調査のSt.15における11月から3月にかけての観測結果を項目ごとに図2に示した。各項目の経年変化は以下のとおりである。

1) 水温・塩分

ワカメの種糸を設置する11月の水温は19.6-21.2 $^{\circ}\text{C}$ であり、生ワカメ用として収穫される1月の水温は9.7-13.2 $^{\circ}\text{C}$ 、年間で最も低くなる2月の水温は9.2-12.0 $^{\circ}\text{C}$ であった。2014年漁期から2022年漁期にかけての経年的な変動では、統計的に有意な傾向は認められなかった（ $r_s = 0.12$, $n = 44$, $P = 0.43$ ）。一方、月ごとに細分して経年変化を整理すると、11月、12月および1月では有意な傾向は認められなかったが（11月: $r_s = -0.28$, $n = 9$, $P = 0.42$; 12月: $r_s = 0.37$, $n = 9$, $P = 0.3$; 1月: $r_s = 0.47$, $n = 8$, $P = 0.21$ ）、2月および3月では有意な上昇傾向が認められた（2月: $r_s = 0.68$, $n = 9$, $P = 0.05$; 3月: $r_s = 0.80$, $n = 9$, $P = 0.02$ ）（図2a）。

塩分は、11月から3月にかけておおよそ32前後であり、2014年漁期の11月に30程度、2018年漁期の2月に26程度まで低下した月もみられた。経年的な変動では、上昇傾向は認められなかった（ $r_s = 0.29$, $n = 44$, $P = 0.06$ ）（図2b）。

2) 透明度

透明度は、2014年漁期から2016年漁期にかけて5 mから12 mに上昇し、2017年漁期には一時6 m程度にまで低下したが、その後は徐々に上昇し、2022年漁期には9 m程度となった。経年的な変動では、有意な上昇傾向が認められた（ $r_s = 0.51$, $n = 45$, $P = 0.001$ ）（図2c）。

3) クロロフィル a

クロロフィル a は、1.8-12 $\mu\text{g/l}$ の範囲で変動し、2014

年漁期から2020年漁期にかけては1月から2月に2 $\mu\text{g/l}$ を下回る値まで低下した。2020年漁期以降では極端な低下はみられず、2022年漁期では概ね6 $\mu\text{g/l}$ 以上の比較的高い値を示した。なお、経年的な変動では、有意な傾向は認められなかった ($r_s = 0.11$, $n = 45$, $P = 0.46$) (図2d)。

4) 栄養塩

DINは11月から1月にかけて比較的高く、2月から3月に低下する傾向がみられた。2015年漁期から2019年漁期にかけては一時的に高い値を観測することもあったが、2021年漁期および2022年漁期では12月以降に3 μM を下回り、2月、3月には2 μM を下回った。経年的な変動では、有意な低下傾向が認められた ($r_s = -0.49$, $n = 45$, $P = 0.001$) (図2e)。

$\text{PO}_4\text{-P}$ もDINと同様に、11月から1月にかけて比較的高く、2月から3月に低下する傾向がみられた。2014年漁期から2018年漁期にかけて0.1 μM を下回ることがなかったが、2019年漁期2月、2020年漁期11月、2021年漁期2月、2022年漁期2月および3月では0.1 μM を下回る値が観測された。経年的な変動では、有意な低下傾向が認められた ($r_s = -0.40$, $n = 45$, $P = 0.008$) (図2f)。

5) 日照時間

日照時間は11月から1月にかけて比較的小く、2月から3月に長くなる傾向がみられた。経年的な変動では、有意な傾向はみられなかったが ($r_s = 0.20$, $n = 45$, $P = 0.19$)、2021年漁期および2022年漁期では全体的に日照時間が長いことが伺われた (図2g)。

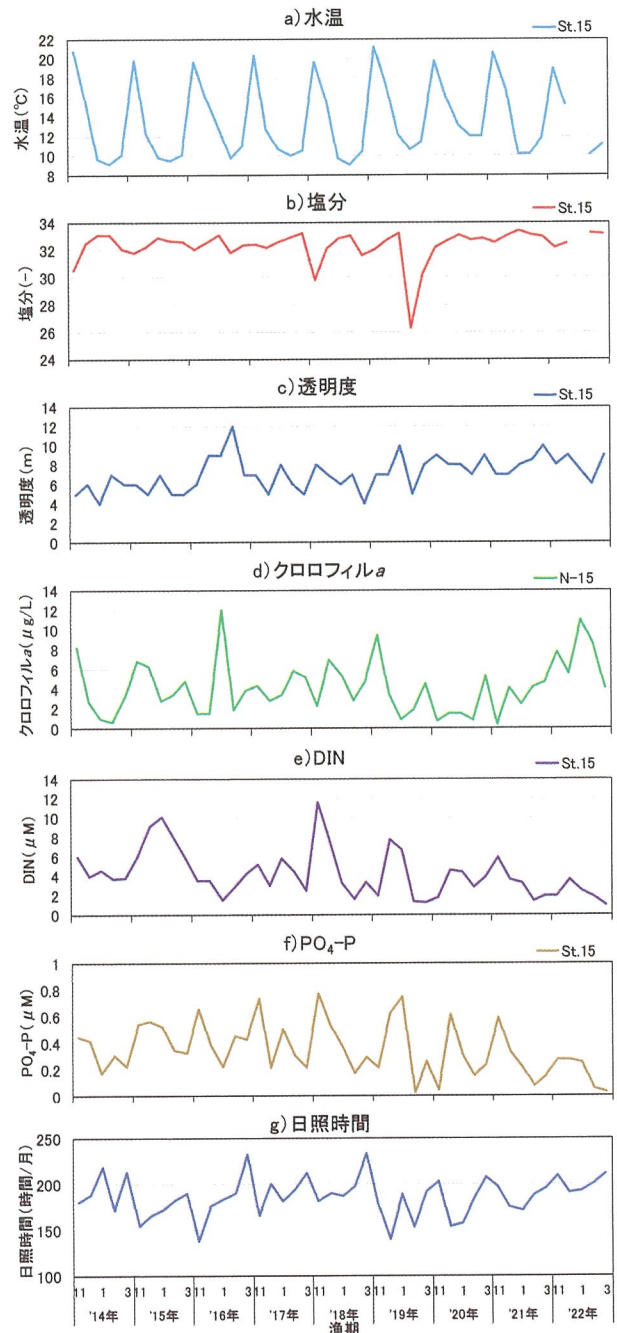


図2 師崎地先における表層の観測結果および日照時間

三重県水産研究所の浅海定線観測結果、愛知県環境局の公共用水域水質調査における地点N-15のクロロフィルaおよび環境省の南知多町の日照時間をもとに作成。ただし、2022年漁期11月および1月の水温・塩分は欠測。

3.2 師崎地先と周辺地点における水質環境の比較

師崎地先の地点 (St.15, N-15) と周辺海域 (湾奥部から湾口部まで) における経年変化を観測項目ごとに図3に示した。各年の値は、ワカメ養殖時期にあたる11月から翌年3月までの平均値で示した。各地点の経年変化、および師崎地先との比較は以下のとおりである。なお、クロロフィル a については、ここでも愛知県環境局による公共用水域水質等調査結果を用いた (図1)。

1) 水温・塩分

水温の経年的な変動は、湾奥部では統計的に有意な上昇傾向は認められなかったが (St.2: $rs = 0.05$, $n = 9$, $P = 0.89$)、湾口部では有意な上昇傾向が認められた (St.18: $rs = 0.82$, $n = 9$, $P = 0.02$)。師崎地先では、湾口部と同様に上昇傾向はみられたが、5%の有意水準は満たさなかった (St.15: $rs = 0.65$, $n = 9$, $P = 0.07$) (図3a)。野間沖では、湾奥部と同様に明瞭な傾向はみられなかったが (St.12: $rs = 0.07$, $n = 9$, $P = 0.85$)、中部国際空港沖では5%の有意水準は満たしていないが (St.6: $rs = 0.45$, $n = 9$, $P = 0.20$)、上昇傾向がみられた。

塩分の経年的な変動は、湾奥部では有意な傾向は認められず (St.2: $rs = 0.22$, $n = 9$, $P = 0.54$)、師崎地先および湾口部では上昇傾向はみられたが、5%の有意水準は満たさなかった (St.15: $rs = 0.55$, $n = 9$, $P = 0.12$; St.18: $rs = 0.57$, $n = 9$, $P = 0.11$) (図3b)。中部国際空港沖および野間沖についても、師崎地先、湾口部と同様に、上昇傾向はみられたが、5%の有意水準は満たさなかった (St.6: $rs = 0.53$, $n = 9$, $P = 0.13$; St.12: $rs = 0.43$, $n = 9$, $P = 0.22$)。

2) 透明度

透明度の経年的な変動は、湾奥部および湾口部とも有意な上昇傾向が認められた (St.2: $rs = 0.73$, $n = 9$, $P = 0.04$; St.18: $rs = 0.77$, $n = 9$, $P = 0.03$)。師崎地先においても上昇傾向がみられたが、5%の有意水準は満たさなかった ($rs = 0.58$, $n = 9$, $P = 0.10$) (図3c)。中部国際空港沖および野間沖においても、師崎地先と同様に、上昇傾向はあるが5%の有意水準は満たさなかった (St.6: $rs = 0.38$, $n = 9$, $P = 0.29$; St.12: $rs = 0.40$, $n = 9$, $P = 0.26$)。

3) クロロフィル a

クロロフィル a の経年的な変動は、湾奥部および湾口部とも統計的に有意な傾向は認められず (N-6: $rs = 0.45$, $n = 9$, $P = 0.20$; N-9: $rs = 0.15$, $n = 9$, $P = 0.67$)、師崎地先においても同様であった (N-15: $rs = 0.05$, $n = 9$, $P = 0.89$) (図3d)。一方、中部国際空港沖では、有意な傾向は認められなかったが (N-7: $rs = -0.05$, $n = 9$, $P = 0.89$)、野間沖では有意な上昇傾向が認められた (N-12: $rs = 0.70$, $n = 9$, $P = 0.05$)。

4) 栄養塩類

DINの経年的な変動は、湾奥部では有意な傾向は認められず (St.2: $rs = -0.28$, $n = 9$, $P = 0.42$)、師崎地先および湾口部では低下傾向がみられたが、5%の有意水準は満たさなかった (St.15: $rs = -0.65$, $n = 9$, $P = 0.07$; St.18: $rs = -0.57$, $n = 9$, $P = 0.11$) (図3e)。中部国際空港沖および野間沖では、師崎地先、湾口部と同様に、低下傾向がみられたが、5%の有意水準は満たさなかった (St.6: $rs = -0.48$, $n = 9$, $P = 0.17$; St.12: $rs = -0.48$, $n = 9$, $P = 0.17$)。

PO₄-Pの経年的な変動についても、湾奥部ではDINと同様に、有意な傾向は認められなかった。 (St.2: $rs = -0.27$, $n = 9$, $P = 0.45$)。湾口部では、低下傾向がみられたが、5%の有意水準は満たさず (St.18: $rs = -0.50$, $n = 9$, $P = 0.15$)、師崎地先では有意な低下傾向が認められた ($rs = -0.70$, $n = 9$, $P = 0.05$) (図3f)。一方で、中部国際空港沖および野間沖では、有意な傾向は認められなかった (St.6: $rs = -0.09$, $n = 9$, $P = 0.80$; St.12: $rs = -0.32$, $n = 9$, $P = 0.37$)。

DINおよびPO₄-Pともに、湾奥部で高く、湾口部にかけて低くなる傾向があり、2015年漁期のように、湾奥部で比較的高い濃度を観測した時には湾口部の地点でも高い濃度を観測した年もみられた。

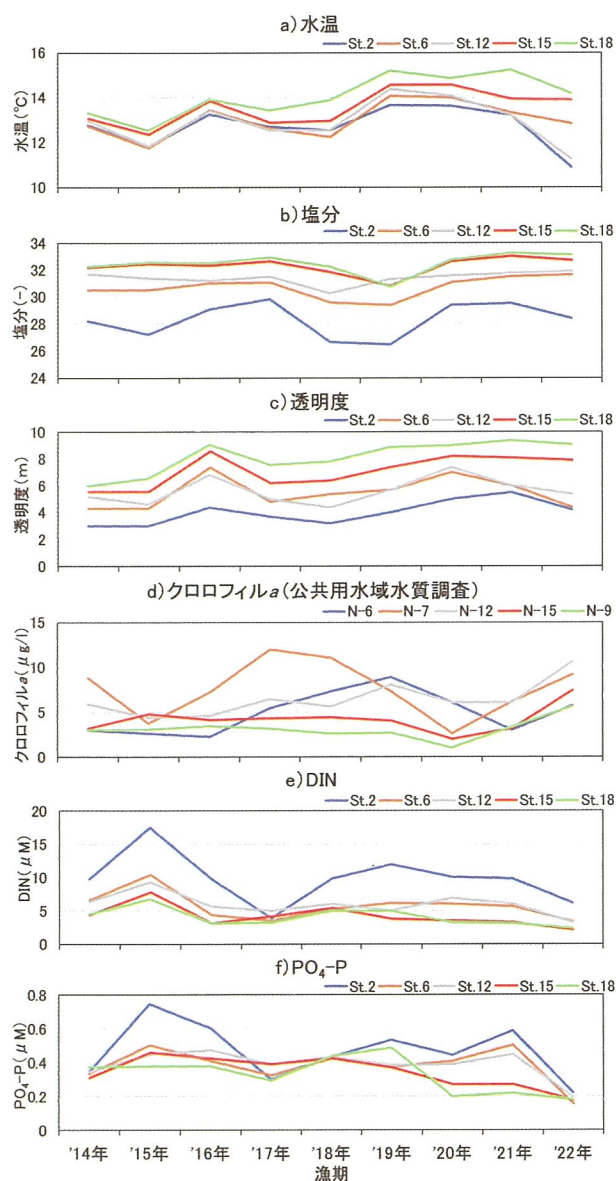


図3 湾奥部から湾口部の浅海定線調査結果の比較

三重県水産研究所の浅海定線調査における5地点の11月から3月の平均値をもとに作成。St.2: 湾奥部、St.6: 中部国際空港沖、St.12: 野間沖、St.15: 師崎地先、St.18: 湾口部。ただし、クロロフィルaのみ愛知県環境局の公共用水域水質調査結果をもとに作成。

4. 考察

4.1 師崎地先におけるワカメ養殖時期の水質環境の特性

知多半島の南端に位置する師崎地先は、伊勢湾において、木曾三川をはじめとした一級河川が集中し、後背地に大都市が存在する湾奥部から最も離れた海域の一つである(図1)。2014年漁期から2021年漁期にかけての水質環境の経年変動を、湾奥部から湾口部にかけての観測値と比較した結果(図3)、例えば、水温について、湾奥部では有意な傾向が認められなかったが、師崎地先では上昇傾向にあり、湾口部では統計的にも経年的に有意な上昇が認められた(図3a)。水温の傾向を詳細にみると(図3a)、2014年漁期から2017年漁期における湾奥部と師崎地先の水温差は0.5℃未満であったが、2018年漁期の水温差0.4℃から、2019年漁期では0.9℃と差が大きくなった。対して、師崎地先と湾口部の水温差は2018年漁期の0.9℃から、2019年には0.6℃、2020年漁期では0.3℃と、近年ではその差が小さくなる傾向が認められた。一方、塩分(図3b)およびクロロフィルa(図3d)については、野間沖のクロロフィルaは有意な上昇傾向が認められたが、それ以外の地点においては統計的に有意な傾向は認められなかった。

透明度(図3c)は、何れの地点においても経年的に上昇する傾向があり、湾奥から湾口にかけての広い範囲で上昇していると考えられた。DIN(図3e)は湾奥部では2017年漁期を除き、5 μM 以上を維持し、師崎地先でも2018年漁期までは概ね5 μM 程度を記録したが、2019年漁期に5 μM を下回り、その後は低下傾向にあった。 $\text{PO}_4\text{-P}$ (図3f)についても、湾奥部では2017年漁期および2022年漁期を除き比較的高い値を維持したが、師崎地先では2018年漁期以降、特に低下傾向が顕著であり、湾口部においても2020年以降、低濃度で推移した。DINおよび $\text{PO}_4\text{-P}$ とも、師崎地先および湾口部の濃度は、2020年漁期ごろから、中部国際空港沖や野間沖、湾奥部との間に特に大きな差が見られた。

以上のように、師崎地先や湾口部の水質環境は、水温では2018年漁期以降、栄養塩類では2020年漁期ごろから、湾奥部や湾中部との差が大きくなる異なる傾向が認められ

た。気象庁・海上保安庁（2022）によると、伊勢湾外海では2017年8月に黒潮の流軸が通常よりも大きく南下する黒潮大蛇行が発生し、現在も継続している。とりわけ、ワカメ養殖盛期の冬季では、大蛇行時に高水温・高塩分の黒潮系暖水が波及し、伊勢湾口付近では冬季であっても鉛直混合しない現象が確認されている（中野ら、2023）。また、黒潮系暖水は低栄養塩濃度であるため、暖水波及した近傍の栄養塩濃度は低下する（中野ら、2023）。近年、師崎地先や湾口部において、湾奥部から湾中央よりも高水温や低栄養塩化が顕著である原因の一つとして、黒潮の大蛇行による影響が考えられる。

本稿で対象とした師崎地先の水質環境は、大規模河川の流入や人間活動に伴う栄養塩負荷が大きい湾奥部からの影響を受けているが、黒潮大蛇行等の渥美外海で特異的な変化が生じた場合は、外海の影響も強く受ける海域と言える。

4.2 水質の経年変化からみた養殖ワカメの生長障害に関する検討

1) 水温上昇および塩分低下に伴う障害の可能性

馬場（2008）によると、水温および塩分に対するワカメ幼孢子体への影響を調査した結果、10-20℃条件において7日間の生残率は塩分8.12で0%、塩分16で80-83%、塩分20-32で100%であることが報告されている。ワカメが分布する海域での塩分下限値は23.7とされ（須藤、1992）、さらにワカメ養殖漁場および天然漁場の塩分は27以上がよいとされている（日本水産資源保護協会、1992）。種糸を巻き付けたロープを設置する11月の師崎沖（St.15）における水温は、19.0-21.2℃であり（図2a）、その時の塩分は29.8-32.5であった（図2b）。また、生産量が減少した2021年漁期および2022年漁期の水温は19.0-20.6℃（図2a）、塩分は32.1-32.5であった（図2b）。

11月の水温は、馬場（2008）が示した実験条件下の高値に該当するが、塩分20-32での生残率が100%であることを考えると、高水温、低塩分が養殖ワカメの生長に直接影響した可能性は低いと考えられた。

また、馬場（2021）によると、暖海性コンブ類（ワカメ、カジメ、クロメ、ツルアラメ、アラメ、サガラメ）の孢子体（幼孢子体）の生長適温は10-20℃の範囲であり、生育上限

温度は26-29℃の範囲とされている。師崎沖における水温は概ね生長適温であり、いずれの年も養殖期間中に生育上限温度を上回る値は観測されていない（図2a）。

2) 光量不足による障害の可能性

ワカメ養殖施設において、水深別の生長を比較した結果では、水深50-150 cmの層で生長が良く、水深250 cm以深では葉体の生長が不良となったことが報告されている（西川、1964）。また、水温15℃の条件下において、幼孢子体の成長率は光量100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で最も高く、次いで50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で高く、10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ では成長率が低下し、5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ では温度条件に関わらず配偶体の生長が著しく低下することが報告されている（馬場、2008）。

師崎地先（St.15）の透明度は、経年的に上昇しており、生産量が低下した2021年漁期および2022年漁期も6 mから10 mと高い値を記録した（図2c）。また、当該地区の日照時間は2019年頃から上昇傾向にある（図2g）。これらの結果から判断すると、光量不足による障害で2021年漁期および2022年漁期のワカメの生産量が低下した可能性は低いと考えられた。なお、2021年4月20日に当該海域において透明度および水中光量を測定したところ、透明度4.8 mにおいて、水深0.5 mで約1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、水深5 mで80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、水深10 mで25 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であり、瞬間的な値ではあるが、ワカメの養殖水深（0.5 m）では光量不足は確認されなかった。

3) 栄養塩不足による障害の可能性

牧野ら（2015）は、DINが2 μM を下回ってから1週間から3週間後に色落ちすることを報告している。瀬戸内海の周防大島では、2月以降のワカメの生長が停滞し、藻体の色調が極めて薄く、上部組織が溶けていくように軟弱化して末枯れが進行した時期に、海水中の栄養塩濃度を観測した結果、DINが極めて低濃度（0.17-1.38 μM ）であったことが報告されている（竹中ら、2021）。DIP($\text{PO}_4 - \text{P}$)については、0.1 μM 以下で色落ちの危険があり（湯浅ら、1998; 佐野・上ノ郷谷、2005）、0.05 μM を下回ると生長に影響が出るとの報告がある（中本・後川、2018）。また、佐藤・後川（2006）は福岡湾におけるワカメ養殖の不作要因の1つとして、冬季における漁場のリン不足を指摘している。

師崎におけるワカメ養殖時期のDINは、生産量が減少した2021年漁期では2月および3月に2 μM を下回り、2022年漁期については11月、2月および3月においても2 μM を下回っていた（図2e）。すなわち、2021年および2022年漁期は、牧野ら（2015）および竹中ら（2021）が報告したワカメ養殖において、色落ちや藻体の軟弱化が生じるDIN濃度（2 μM ）を断続的に下回る環境下にあったと考えられる。加えて、 $\text{PO}_4\text{-P}$ についても2018年漁期までは0.05 μM を下回することはなかったが、2019年漁期から3回、2022年漁期では2月および3月に連続して0.05 μM 以下を記録し（図2f）、栄養塩の欠乏により生長阻害が発生した可能性は高いと考えられる。

また、直射日光区と遮光区を設定し、DINを欠乏させた状態でワカメを培養した陸上試験において、遮光区は直射日光区に比べて色落ちが抑制できることが報告されている（徳島県, 2009）。Endo *et al.*（2017）は、栄養塩濃度（25% PESI培養液添加海水、無添加海水）、水温（15°C、5°C）、光量（180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）の複合条件下において、ワカメ葉片を培養して比較したところ、低栄養塩、低水温、高光量は色落ちを発生させやすくなることを報告している。

師崎地先（St.15）では、透明度が経年的に上昇していることを踏まえると（図2c）、栄養塩欠乏に加えて、光量の上昇がワカメの色落ちをより促進させた可能性が高いと考えられる。

5. おわりに

伊勢・三河湾においては、栄養塩濃度の低下に伴う海域の貧栄養化により、ノリの色落ち（蒲原ら, 2018; 国分, 2019; 蒲原ら, 2020）、貝類の生産量低下（国分, 2019; 服部ら, 2019; 服部ら, 2021; 青山・蒲原, 2022; 蒲原, 2023）、マアナゴの生産量低下（曾根ら, 2022）が報告されている。貧栄養化の原因として、富栄養化した環境を改善するために1980年から実施されている水質総量規制、農業用地への肥料散布量の減少による陸水からの流入量減少が指摘されているほか（蒲原ら, 2018; 青山, 2020）、

近年では黒潮の大蛇行により、渥美外海からの栄養塩供給の低下も指摘されている（黒田ら, 2023; 中野ら, 2023）。

愛知県では貧栄養対策として、矢作川浄化センター、豊川浄化センターおよび渥美浄化センターの3箇所において、下水処理施設の能動的な管理運転が試験的に実施されている。2021年度までは排水濃度上限をリン: 1 mg/l 、窒素: 10 mg/l としていたが、供給の効果が放流口近傍に限られ、また濃度不足との指摘もあり（蒲原ら, 2019）、社会実験として、2022年度からリンは2 mg/l 、窒素は20 mg/l に排水濃度上限が引き上げられ、11月から3月まで実施（ただし、リンのみ、9月から10月にも上限1 mg/l で実施）された。2023年度からは実施期間が9月から3月まで拡大している（愛知県, 2022）。下水処理施設の能動的な管理運転による栄養塩不足への対策は、愛知県ばかりか兵庫県、岡山県、香川県、福岡県等の全国35箇所で行われている（下水道部, 2021）。

一方、本稿で対象とした師崎地区周辺には下水処理施設が無く、木曾三川、陸域からの負荷が集中する伊勢湾奥部からも離れているため、能動的な管理運転の効果が表れるまでには多くの時間を要すると推察される。加えて、伊勢湾口に隣接することから、黒潮の大蛇行に伴う外洋水の影響も受けやすいと考えられる。そのため、貧栄養化対策としては、下水処理施設の能動的な管理運転だけでなく、個別の対策が急務である。他海域に目を向けると、徳島県立農林水産総合技術支援センターでは、施肥により栄養塩濃度を上昇させる取り組みが検討されている。また、ワカメ養殖においては栄養塩が不足する時に遮光あるいは水深を深くして光量を抑え（牧野ら, 2015; Endo *et al.*, 2017）、同時に栄養塩を添加することで、色落ちが回復した報告もある（牧野ら, 2015）。師崎地区においても、ワカメ養殖期間中の施肥や貧栄養時に遮光等により光量を抑制する対策等、地域の海域環境特性に対応した独自の対策の検討が必要と考えられる。

6. 謝辞

本稿の取りまとめに際し、ご助言をいただいた桂木繁功氏（師崎漁業協同組合参事）、渋谷保氏（師崎漁業協同組合）に感謝の意を表す。

参考文献

- 愛知県環境局 「公共用水域(河川、湖沼、海域)及び地下水の水質調査結果等」 <https://www.pref.aichi.jp/soshiki/mizutaiki/0000063715.html>, 2022年11月22日確認
- 愛知県(2022) 「水質の保全と「豊かな海」の両立に向けた社会実験を実施します」 <https://www.pref.aichi.jp/press-release/shakaijikken.html>, 2023年10月10日確認
- 青山裕見. 2020. 矢作川・豊川中流域の栄養塩濃度の低下. 愛知県水産試験場研究報告, 25: 22-24.
- 青山裕見・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. 愛知県水産試験場研究報告, 27: 37-40.
- 馬場将輔. 2008. 新潟県産ワカメの生育に及ぼす温度, 光量, 塩分の影響. 海洋生物環境研究所研究報告, 11: 7-15.
- 馬場将輔. 2021. 温暖化による大型褐藻類の生育応答および分布変動. 海洋生物環境研究所研究報告, 26: 1-28.
- Endo, H., Okumura, Y., Sato, Y. and Agatsuma, Y. 2017. Interactive effects of nutrient availability, temperature, and irradiance on photosynthetic pigments and color of the brown alga *Undaria pinnatifida*. *Journal of Applied Phycology*, 29: 1683-1693.
- 萩平 将. 2005. ノリ・ワカメの養殖漁場の栄養塩. 徳島水研だより, 53: 3-4.
- 服部克也・岩田靖宏・中嶋康生・甲斐正信・石元伸一・石田俊朗・大島寛俊. 2019. 三河湾・蒲郡地先干潟のシオフキ、カガミガイ、マテガイ、バカガイ、ハマグリ及びアサリの生息量. 愛知県水産試験場研究報告, 24: 26-34.
- 服部宏勇・松井貴晴・長谷川拓也・鈴木智博・黒田拓男・和久光靖・田中健太郎・岩田靖宏・日比野学. 2021. 愛知県内アサリ漁場における秋冬季のアサリ肥満度の変動と減耗. 愛知県水産試験場研究報告, 26: 1-16.
- 国分秀樹. 2019. 伊勢湾における栄養塩類と水産資源の長期変動. 土木学会論文集B2(海岸工学), 75(2): 1123-1128.
- 蒲原 聡. 2023. アサリ湧く豊かな伊勢湾・三河湾に. 愛知県水産試験場研究報告, 28: 47-60.
- 気象庁「過去の気象データ」 <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2022年12月23日確認
- 国土交通省水管理・国土保全局下水道部. 2021. 栄養塩類の能動的な管理運営に関する事例集.
- 気象庁・海上保安庁(2022) 「黒潮大蛇行の継続期間が過去最長に」 https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyo/etc/20220525_kuroshio_daidakou.pdf, 2022年12月23日確認
- 黒田伸郎・曾根亮太・中野哲規・中村元彦. 2023. 渥美外海における栄養塩の動態. 愛知県水産試験場研究報告, 28: 8-19.
- 蒲原 聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也. 2018. 三河湾における栄養塩の低下. 愛知県水産試験場研究報告, 23: 30-32.
- 蒲原 聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也・石田俊朗・宮脇 大・鈴木智博. 2019. 2017年から2018年の三河湾における2ヶ所の広域流域下水道の冬季リン管理運営が湾奥部の水質に与えた影響. 愛知県水産試験場研究報告, 24: 1-13.
- 蒲原 聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也. 2020. 2018年度ノリ漁期において伊勢・三河湾で生産された乾海苔の黒み度への漁場の栄養塩類の影響. 愛知県水産試験場研究報告, 25: 1-8.
- 宮城県(1995) 「宮城県の伝統的漁具漁法Ⅷ 養殖編(わかめ・こんぶ)」 <https://www.pref.miyagi.jp/documents/25039/309092.pdf>, 2022年11月23日確認
- 三重県水産研究所「浅海定線観測結果インデックス」 <https://www.pref.mie.lg.jp/suigi/hp/79877017487.htm>, 2022年11月17日確認
- 牧野賢治・住友寿明・中西達也・加藤慎治・平野 匠・上田幸男. 2015. 養殖ワカメの色落ちのメカニズムと対策. 海洋と生物, 218: 254-260.
- 西川 博. 1964. 有明海におけるワカメ養殖の研究(Ⅱ) いかだ式養殖ワカメの生長・生産量および企業性について. 水産増殖, 12(2): 67-83.
- 日本水産資源保護協会. 1992. 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」. 日本水産資源保護協会.
- 中野哲規・黒田信郎・曾根亮太・中村元彦. 2023. 渥美外海における栄養塩の動態と黒潮流路の関係. 黒潮の資源海洋研究, 24: 51-57.

- 後川龍男・中本 崇. 2015. DIP濃度がワカメ幼体の生長に及ぼす影響. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 25: 11-16.
- 中本 崇・後川龍男. 2018. 福岡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. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 28: 7-11.
- 須藤俊造. 1992. 海藻・海草相とその環境条件との関連をより詰めて求める試み. 藻類, 40 (3) : 289-305.
- 曾根亮太・日比野 学・下村友季・鶴崎直文・横内一樹. 2022. 伊勢・三河湾におけるマアナゴの資源動態と肥満度、胃内容物組成及び餌料環境の変化. 愛知県水産試験場研究報告, 27: 10-21.
- 佐野雅基・上ノ郷谷健治. 2005. 藻類養殖指導. 平成 15年度大阪府立水産試験場事業報告, 123-131.
- 佐藤博之・後川龍男. 2006. 福岡湾における養殖ワカメの収穫量と漁場環境. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 16: 31-34.
- 佐藤陽一・斎藤大輔・難波信由. 2021. 漁業者の暗黙知を形式知へ～ワカメの芽落ち対策～. 日本水産学会誌, 87 (6) : 687.
- 館脇正和. 1993. ワカメ. In: 堀 輝三 (編). 藻類の生活史集成 第2巻 (褐藻・紅藻類). 内田老鶴圃, 136-137.
- 徳島県立農林水産総合技術支援センター. 2009. 養殖藻類色落ち防止技術の開発. <https://www.pref.tokushima.lg.jp/tafftsc/suisan/material/result>, 2022年12月12日確認
- 竹中彰一・河野芳巳・田村稔治・坂口秀雄・武智昭彦・島袋寛盛・吉田吾郎. 2021. 瀬戸内海から豊後水道の異なる水温環境下で養殖したヒジキ・ワカメ・トサカノリの成長. 日本水産学会誌, 87 (4) : 375-385.
- 湯浅明彦・酒井基介・宮田 匠. 1998. 海域藻類養殖漁場環境調査. 平成 8年度徳島県水産試験場事業報告書, 141-145.

