

赤潮及び魚病の被害軽減に向けた監視体制強化 Ⅱ 海水中の遺伝子量調査による赤潮早期検知

増養殖環境課 上村 海斗

1 背景・目的

県内ではぶり類 11,000 t (44 経営体)、マダイ 7,800 t (65 経営体) の養殖生産がある (2023 年漁業センサス、2023 年農林水産省 養殖生産統計) が、赤潮及び魚病がこれら養殖業に甚大な被害を与えている。このうち、赤潮については、光学顕微鏡を用いた形態観察に基づく有害プランクトンの直接計数が主流であり、その結果に応じて注意喚起を行っている。しかし、当該手法では増殖初期や終息期をはじめとした低密度期の検出が困難である。

赤潮被害軽減対策である餌止めや養殖小割の移動を効果的に行うためには、より早い段階での有害プランクトンの検出と養殖業者への注意喚起が求められる。また、*Chattonella* spp. 及び *Karenia mikimotoi* は細胞密度が減少した後に再び増殖し、1 年の間に複数回の赤潮を形成することがある。このため、これら有害赤潮の完全な終息を正確に判断することも被害軽減の観点から極めて重要となる。

以上を踏まえ、本事業では赤潮被害軽減の一助となる知見を得ることを目的として、リアルタイム PCR 装置を用いて海水中の有害プランクトンを検知することにより、増殖初期及び終息期における動態把握を試みた。

2 方法

2017 年度に作製したスタンダードサンプルを用いて、漁業被害が想定される赤潮プランクトンについて浦ノ内湾及び野見湾で遺伝子の定量を行った。対象プランクトンは過去に大きな漁業被害をもたらした種とし、浦ノ内湾では *Chattonella* spp. 及び *K. mikimotoi*、野見湾では *Margalefidinium polykrikoides* (旧 *Cochlodinium polykrikoides*) 及び *K. mikimotoi* とした。なお、*M. polykrikoides* の属名については、Gómez et al. (2017) に準拠した。

サンプリングは、過去の知見から有害プランクトンの発生源と想定される定点を設けて (図 1)、遊泳細胞の採取を目的とした 0-10 m の柱状採水により実施した。柱状採水は、既報 (谷口・齋田 2020) に準じて行い、調査頻度は原則として月 1 回以上とした。

得られた海水サンプルのうち、1-2 L を孔径 5.0 μ m のメンブレンフィルターで濃縮ろ過し、フィルターから DNA 抽出キット (QIAGEN 社製 DNeasy Plant Mini Kit) を用いて DNA を抽出した。リアルタイム PCR 装置 (BioRad 社 CFX96Touch) を用いて、抽出サンプル中における対象プランクトンの遺伝子量を測定した後、推定細胞密度 (cells/mL) へと変換した。また、比較のため同サンプルを検鏡あるいは濃縮検鏡し、細胞密度 (cells/mL) を算出した。

3 結果

(1) 浦ノ内湾

Chattonella spp. 及び *K. mikimotoi* の検鏡・遺伝子量解析の結果をそれぞれ図 2、3 に示す。

Chattonella spp. の遺伝子は、2024 年 1 月からわずかに検出されることがあったものの、検鏡（濃縮検鏡を含む）においては 5 月まで栄養細胞が検出されることはなかった。5 月以降は、両定点において遺伝子量及び栄養細胞が断続的に検出され始めた。検鏡による計数値から算出した細胞密度（以下「検鏡値」という。）及び遺伝子量から算出した推定細胞密度は、1～4 月までは 0.01 cells/mL 未満の低密度で推移したが、5 月に入って急激な増加がみられ、5 月 20 日に赤潮（基準値：100 cells/mL）を形成した（赤潮等発生監視調査事業の項を参照）。遺伝子量及び検鏡値は 8 月上中旬に一時的に減少したものの、8 月下旬には再び増加傾向を示し、8 月 28 日に本年 2 回目の赤潮を形成した。その後、10 月上旬には急激に減少し、それ以降は遺伝子が 0.1 cells/mL 未満の低密度で推移するとともに検鏡では検出されなくなった。

K. mikimotoi の遺伝子は、2024 年 1 月から 5 月にかけてはほとんど検出されず、6 月以降断続的に検出され始めた。検鏡で初めて確認されたのは 7 月であり、8 月には遺伝子量（推定細胞密度）及び検鏡値で 10 cells/mL 前後が確認されたものの、赤潮形成には至らなかった（赤潮等発生監視調査事業の項を参照）。その後、遺伝子量及び検鏡値はともに減少に転じ、11 月以降は検出されなかった。

（2）野見湾

M. polykrikoides 及び *K. mikimotoi* の検鏡・遺伝子量解析の結果をそれぞれ図 4、5 に示す。

M. polykrikoides の遺伝子は、2023 年から両定点で継続して微量が検出されていた（上村 2025）。2024 年における本種の遺伝子量は 2 月中旬頃から増加傾向を示し、検鏡では遊泳細胞が 3 月中旬頃から継続して確認され始めた。その後、遺伝子量・検鏡値は徐々に増加して 3 月 28 日に赤潮（基準値：100 cells/mL）を形成した（赤潮等発生監視調査事業の項を参照）。遺伝子量は 4 月下旬以降に急激に減少し、7 月上旬に一時的に遺伝子量が増加したものの、検鏡では 5 月中旬以降未検出であった。

調査期間中、*K. mikimotoi* の遺伝子は両定点において検出、未検出を繰り返した一方、検鏡によって遊泳細胞が観察されることはなかった。遺伝子量から算出した推定細胞密度も 0.1 未満で推移し、2024 年における本種の増殖は認められなかった。

4 考察

これまでに本県の養殖海域で実施されてきた調査によると、リアルタイム PCR は海水 100 mL を用いた濃縮検鏡でも検出できない低密度期の細胞を検出できる高感度な手法であることが報告されている（占部 2021、上村 2023、2024、2025）。2024 年においても対象種の細胞が検鏡で検出される前に、遺伝子を検出することができており、これまでの成果を支持する結果となった。特に *M. polykrikoides* 及び *K. mikimotoi* は、検鏡で確認される前から対象種の遺伝子の増加傾向を高感度で検知可能であることが報告されており（上村 2025）、2024 年の *M. polykrikoides* も同様に早期検知することができた。一方、*Chattonella* spp. はリアルタイム PCR と検鏡における初検出がほぼ同時であり、前 2 種のように低密度期の遺伝子量の推移のみでは、その後の増殖については赤潮発生リスクを早期に評価することは困難であると推察される。

2024 年は、浦ノ内湾における *Chattonella* spp. の栄養細胞が 1～4 月に全く検出されず、推

定細胞密度は低値で推移した。その後、5月上旬には遺伝子量・検鏡値が急激に増加し、5月20日には赤潮形成に至った。本藻は栄養塩濃度や水温等の環境条件が悪化するとシストを形成し（今井 2012）、20℃を超えると発芽頻度が高くなる（今井 1990）。2024年は5月中旬の底層水温が20℃に達しており、発芽に好適な環境であったことが推察されるが、例年5月中旬頃には底層水温が20℃を超えていることが多い。このことを踏まえると、浦ノ内湾における本藻赤潮の発生時期は発芽水温以外の因子によっても影響を受けると考えられる。その要因の一つとして競合種の存在が挙げられる。2023年の本藻赤潮は例年よりも遅い7月下旬に発生しており、6月上旬と7月上旬にそれぞれ発生した *Heterocapsa circularisquama* と *K. mikimotoi* の赤潮によって *Chattonella* spp. の増殖が阻害された可能性が考えられた（上村ら 2025）。一方、2024年は *Prorocentrum triestinum* が4月下旬に赤潮を形成したものの、5月上旬には終息した。このほか、4~5月にかけて形態的特徴から *Cylindrotheca* 属の一種と目される珪藻が優占していたが、*Chattonella* spp. は増殖を阻害されることなく赤潮形成に至った。一般的に細胞サイズが大きいほど、あるいは遊泳速度が速いほど栄養塩摂取という面でメリットが大きいと言われている（山本 1998）。今回、観察された *Cylindrotheca* 属は細胞幅及び体積が小さい非遊泳性の珪藻であり、栄養塩の摂取量及び蓄積量は小さかったものと推察され、*Chattonella* spp. に対する競合作用は限定的であったと考えられる。以上のことから、*Chattonella* spp. 赤潮の早期発生には、少なくとも発芽に好適な環境（水温）が早期に整うことに加え、競合種が不在、あるいは競合種の競合作用が小さいことが必要条件であると考えられた。

Chattonella spp. は1年に2回の赤潮を形成することがあり（例えば上村ら 2023）、1回目の赤潮が終息に向かった後、再び赤潮が発生するか否かの判断は難しい。一方で、2024年の結果では、1回目の赤潮が終息後も遺伝子は一定の濃度（推定細胞密度：0.1 cells/mL 以上）で検出され、2回目の終息後は未検出あるいは低濃度（推定細胞密度：0.1 cells/mL 未満）で推移した（図2）。これは、1回目の赤潮が終息した後、再び増殖可能な個体群（栄養細胞）が海水中で維持されていたことを示すと解釈できる。このことを踏まえると、赤潮終息後も遺伝子量を追跡し、海水中に残存する栄養細胞をモニタリングすることは、赤潮の完全終息を判断する一助になると期待される。しかしながら、リアルタイム PCR では栄養細胞に加え、死細胞由来の DNA も検出してしまうため、終息判断の閾値・条件等は慎重に設定する必要がある。

浦ノ内湾及び野見湾における *K. mikimotoi* の遺伝子量及び検鏡値は、例年、秋から冬にかけて値が低下するものの、周年にわたり検出される。一方で、2024年の浦ノ内湾では両値とも6月までほとんど検出されなかったことから、赤潮の起源となる種集団（シードポピュレーション）が少なかったと推察される。さらに、2023年も2~4月は両値ともほとんど検出されておらず、赤潮発生時期は例年より遅い7月であった。これらを踏まえると、本種が早期に赤潮を形成するためには、少なくとも冬季に十分な種集団が存在することが条件であると推察された。

2024年の野見湾における *M. polykrikoides* の遺伝子量は2月中旬に増加を開始し、4月に赤潮を形成しており、これは2022年及び2023年と同様の傾向であった。2020年以降、本種の遺伝子量及び検鏡値のピークは4月あるいは5月に確認されていることから、これらの期間には本種赤潮が発生しやすい環境が整っているものと推察される。これに先立ち、3月は本種が赤潮形成に至るための増殖期間であり、この時期の個体群の多寡が赤潮発生・非発生の点において重要となると考えられた。

以上、2024年の結果からも、遺伝子量解析による高感度調査は赤潮発生のリスクを評価するにあたり適した手法であることが支持された。とりわけ、検鏡では検出できない低密度期においても、高感度に増殖の傾向を捉えることができる *M. polykrikoides* 及び *K. mikimotoi* では、赤潮発生を予測する一手法としての活用が期待される。本調査から得られた情報は、予測マニュアル（上村ら 2024）に追加し、低密度期から赤潮発生までの段階的なスキームとしてとりまとめられている。今後は、さらに複数年にわたる遺伝子量及び環境データを追加することで、予測精度の向上を目指すとともに、これに基づいた具体的な対策のガイドラインを提案することが被害軽減を図るうえで極めて重要となる。

5 引用文献

- Gómez, F., Richlen, M. L., & Anderson, D. M. (2017). Molecular characterization and morphology of *Cochlodinium strangulatum*, the type species of *Cochlodinium*, and *Margalefidinium* gen. nov. for *C. polykrikoides* and allied species (Gymnodiniales, Dinophyceae). *Harmful Algae*, 63, 32-44.
- 上村 海斗 (2023). 令和3年度高知県水産試験場事業報告書「赤潮の早期検知と海水からの病原体の検出技術の開発 I 海水中の遺伝子量調査による赤潮早期検知」. P107-113.
- 上村 海斗・占部 敦史・谷口 越則・前田 親 (2023). 令和3年度高知県水産試験場事業報告書「赤潮等発生監視調査事業」. P123-129.
- 上村 海斗 (2024). 令和4年度高知県水産試験場事業報告書「赤潮及び魚病の被害軽減に向けた監視体制強化 IV 海水中の遺伝子量調査による赤潮早期検知」. P153-158.
- 上村 海斗・谷口 越則・岡内 優人 (2024). 令和4年度高知県水産試験場事業報告書「赤潮等発生監視調査事業」. P164-174.
- 上村 海斗 (2025). 令和5年度高知県水産試験場事業報告書「赤潮及び魚病の被害軽減に向けた監視体制強化 III 海水中の遺伝子量調査による赤潮早期検知」. P127-132.
- 上村 海斗・岡部 正也・谷口 越則・大槻 晃己 (2025). 令和5年度高知県水産試験場事業報告書「赤潮等発生監視調査事業」. P138-144.
- 今井 一郎 (1990). 有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella* のシストに関する生理生態的研究. 南西水研研報, No. 23, 63-166.
- 今井 一郎 (2012). シャットネラ赤潮の生物学. 株式会社 生物研究社, 東京.
- 谷口 越則、齋田 尚希 (2020). 令和元年度高知県水産試験場事業報告書「赤潮の早期検知と海水からの病原体の検出技術の開発」. P86-97.
- 占部 敦史 (2021). 令和2年度高知県水産試験場事業報告書「赤潮の早期検知と海水からの病原体の検出技術の開発」. P86-90.
- 山本民次. 【2】海洋植物プランクトンの分類、分布と細胞サイズ. 「沿岸の環境圏」(平野敏行編) フジ・テクノシステム, 東京. 1998; 149-155.



図1 浦ノ内湾（左図）及び野見湾（右図）における調査定点

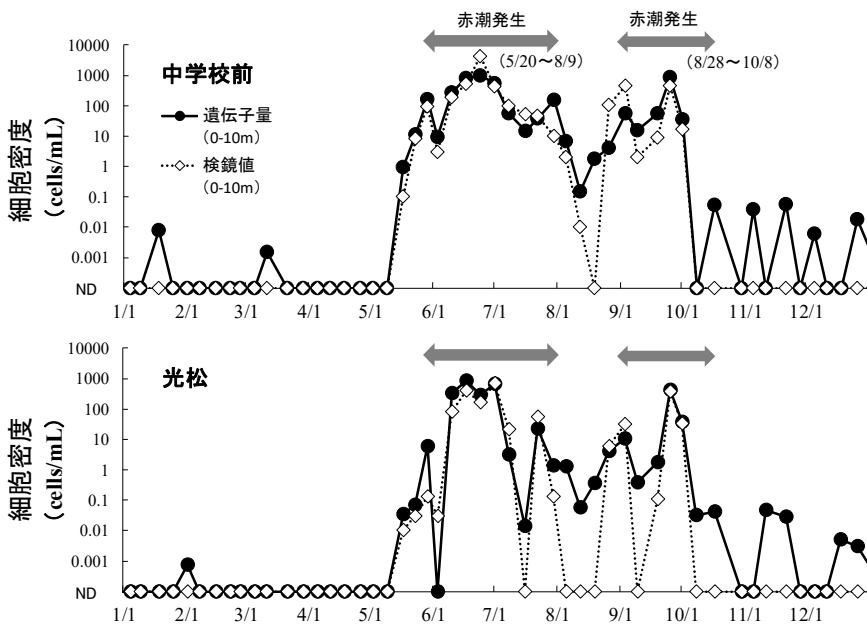


図2 2024年の浦ノ内湾における *Chattonella* spp. の遺伝子検出状況

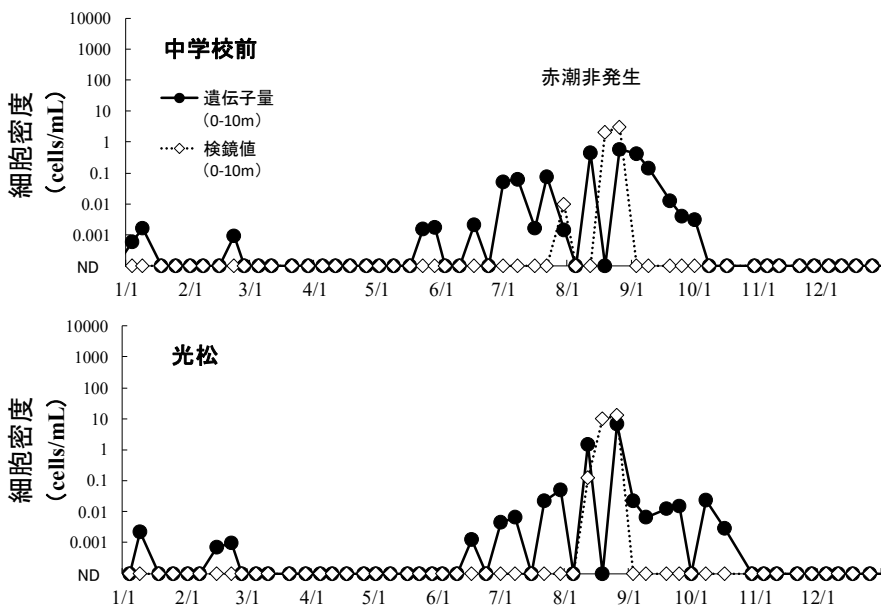


図3 2024年の浦ノ内湾における *K. mikimotoi* の遺伝子検出状況

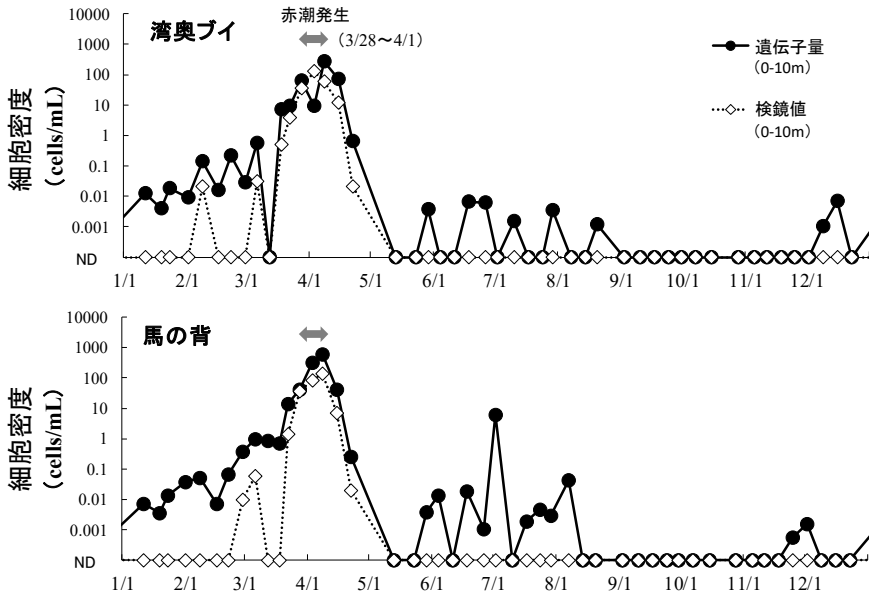


図4 2024年の野見湾における *M. polykrikoides* の遺伝子検出状況

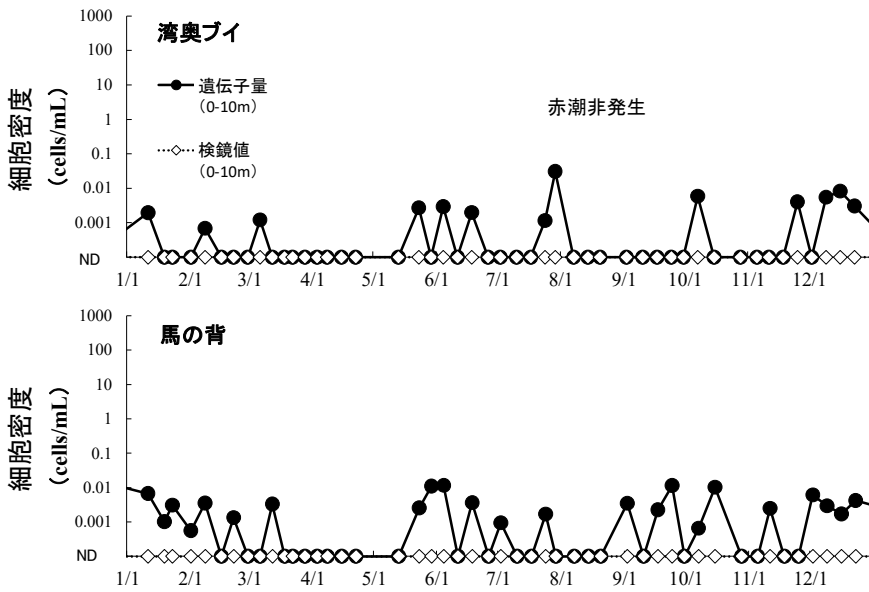


図5 2024年の野見湾における *K. mikimotoi* の遺伝子検出状況