水産研究・教育機構 機関リポジトリ
FRA Japan Fisheries Research and Education Agency Institutional Repository

国内における有害赤潮対策の高度化と課題

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 湊文社 公開日: 2022-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 紫加田, 知幸 メールアドレス: 所属: 水産研究・教育機構
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/102

国内における有害赤潮対策の高度化と課題

紫加田知幸[1]
[1]国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所　環境保全部　有害有毒藻類グループ

要旨
　近年、有害赤潮の発生メカニズムの解明及び IoT や SNS の普及などにより、赤潮モニタリングが高度化し、餌止めや生簀避難などの発生前の事前策を効率よく実施することができるようになった。しかしながら、魚類養殖業の成長産業化促進に向け、赤潮モニタリングの低コスト化・省力化及びより強力な被害軽減技術の開発が必要である。

１．　養殖業の天敵「赤潮」

　赤潮とは植物プランクトンの高密度化により海色が変化する現象であり、水産業などの被害を伴う場合は有害赤潮と呼ばれる。国内における有害赤潮は、夏季を中心に発生して魚介類養殖業に被害をもたらすものと、冬季に発生して海藻養殖業に被害（ノリの色落ち）をもたらすものに大別される。本稿では、前者についてその対策研究の進捗状況と今後の課題について触れたい。国内で魚介類養殖業に被害を及ぼす赤潮の原因プランクトンは主にラフィド藻（例：シャットネラ）と渦鞭毛藻（例：カレニア・ミキモトイ）に属する（図１）。シャットネラやカレニアなどの有害赤潮プランクトンは、高密度化すると極めて強力な魚毒性を示し、数時間以内に魚介類を死滅させる。そのため、有害赤潮は魚介類養殖業の強みである４定（定質、定量、定時、定価格）を一瞬にして崩壊させ得る生物現象として、長年本産業振興の足かせとなっている。令和２年、水産庁の養殖業成長産業化総合戦略の中で魚類養殖生産量の増大が求められた。しかしながら、生産量の増大で赤潮の頻発やそれに伴う被害の増加が懸念されている。さらに、気候変動による水温上昇などに起因すると考えられるが、近年、国内おいて赤潮の発生海域や時期の拡大、~~や~~新奇種の出現などが生じており、赤潮の脅威はさらに増している。

２．赤潮対策研究の進捗状況

　国内の赤潮対策研究は、1970 年代の瀬戸内海を中心とする甚大な赤潮被害の発生に端を発し、精力的に進められてきた。当初は、敵を知ることから始まり、赤潮プランクトンの分類学的研究や生理生態学的研究に重点が置かれた。2000 年代までに、主要な有害赤潮プランクトンについて、形態の特徴、増殖生理特性及び生活環が概ね解明され、顕微鏡観察による種同定や大まかな発生予察が現場レベルで可能となった[1)、2)]。種同定技術については、近年、定量 PCR 法や LAMP 法といった、対象プランクトンの遺伝子配列から種同定を行う分子生物学的手法も確立され[3)]、現在、普及が進んでいる。水産研究・教育機構

は、年に１回、都道府県の赤潮担当者向けに研修会を開催し、これまでに確立された種同定技術の普及に努めてきた（図２）。

一方で、現場ニーズはとにかく漁業被害を低減させることにあるので、赤潮防除技術開発も同時並行で進められ、多種多様な方策が提案されてきた。これまでに提案された技術は、環境改善策、事前策及び駆除法の３つに分類される（図３）。環境改善策とは、漁場を赤潮が発生しにくい環境に改善するというもので、栄養塩排出を規制する法律の制定、覆砂や海底耕うん等による底質改善、貝類養殖や藻場造成による有害赤潮プランクトンの発生抑止などが該当する。徹底的に実施すれば効果は期待できるが、実現までに長い時間と大きなコストを要する。

事前策とは、赤潮が発生する直前に実施する対策であり、最も実用的とされ、ほとんどの養殖現場で活用されている。該当する手法として、生簀避難及び早期出荷などが挙げられる。その他、事前に養殖魚の赤潮抵抗性を向上させる手法も利用されている。餌止めはその最たるものであるが、研究者によって開発されたというよりも、漁業者の経験に則った方法で実施され、被害を軽減する効果のあることが知られている[4)]。ただし、餌止めは体重減少や疾病発生などの二次的な被害発生のリスクを有しており、養殖業者にとっては苦肉の策である。また、有害赤潮プランクトンの産生する活性酸素が魚毒性に関与することや養殖魚が赤潮に曝露されると鰓が粘液で覆われることが知られているため、へい死抑制のために抗酸化剤や粘液抑制剤を養殖魚に投与するという方法も提案されてきた。しかし、これらの多くは、室内実験レベルでも有効とは言えず、現場検証にも至っていない。また、いずれの事前策についても、赤潮の発生を事前に予知できなければその効果は発揮されない。

駆除法は、薬剤等の散布及び物理的な除去や粉砕などにより発生している赤潮を消滅させる方策である。散布する対象としては、粘土、凝集剤、水酸化イオン、動物プランクトン、殺藻微生物及び珪藻などが提案されている。これらの散布は強力で確実な駆除効果を有し、即効性があり、殺藻細菌や殺藻ウイルスについては特定の有害赤潮プランクトン種にのみ効果を発揮するといったメリットを有する。物理的駆除法としては、赤潮海水のポンプによる回収やキャビテーションによる細胞破砕などが該当する。駆除技術の一部は実際に現場適用されているが、他生物や生態系への影響が危惧されること、効果範囲が狭いこと、生産や施設設営に莫大なコストを要することなど大きな問題点がある。また、いずれの技術についても、現場において対象区を設定することは難しく、効果の現場実証は十分なされていない。

以上の赤潮防除技術開発の状況を踏まえ、現在のところ、赤潮の密度分布を監視し、赤潮の発生を予察して、事前策を実施することが被害軽減の観点から最善と考えられている。そのため、近年の赤潮対策研究は赤潮のモニタリング技術と発生予察手法の高度化にフォーカスされている傾向にある。直近 10 年間で、IoT の普及を追い風に、赤潮のモニタリング技術は自動化と情報共有の面で大きく進歩した。水産研究・教育機構（有明海・八

代海グループ）が運用する赤潮ネット（https://akashiwo.jp/）は、赤潮関連のモニタリングデータの準リアルタイム共有を具現化した国内初の web サイトであり、西日本海域の赤潮モニタリングや多項目水質計などの自動観測機器で得られたデータを閲覧することができる。ただし、漁業被害軽減のためには、把握している情報に基づいて適切なタイミングで最適な事前策を選択しなければならない。そのうえで、どのような情報を共有するか、そして共有された情報をどう診るかも併せて重要である。それを教示するのは、有害赤潮プランクトンの増殖生理特性及び生活環などの基礎的知見である。次の項で、赤潮モニタリング技術の高度化と基礎的知見の充実のジョイントで被害軽減に導いた八代海での事例について紹介する。

３．八代海における有害赤潮被害軽減事例

八代海では、2009 年及び 2010 年にシャットネラ赤潮による養殖ブリの大量死が発生し、二か年で 80 億円を超える甚大な漁業被害を被った。それを受け、水産研究・教育機構、関係する自治体や漁協及び大学などが連携して、赤潮モニタリングの高頻度化、自動観測ブイによる水温、塩分、クロロフィル蛍光値、濁度、及び流向流速などの監視、赤潮発生メカニズムの解明、気象データによる数週間～数ヵ月前からの発生予察手法の確立など、様々な取り組みを進めた。

赤潮発生メカニズム研究の成果として特筆すべきは、シャットネラの増殖には海水に溶存している窒素やリン（栄養塩）が必要であるが、八代海ではシャットネラの増殖が栄養塩によって制限されており、栄養塩濃度の上昇がシャットネラ赤潮の発達直前に先行することが明らかになったことである[5)]。これにより、栄養塩濃度を指標としてシャットネラ赤潮の発達を予察できる可能性が示唆された。もう一つは、シャットネラなどの有害赤潮プランクトンの日周鉛直運動に関する研究が進んだことである。シャットネラが昼間海面に集まり、夜間下降する運動をすることは以前より知られていたが、過去の実験データの整理や野外調査を実施した結果、多くの場合、シャットネラは一日を通じて 10 m より深い層には集まらないとされてきたが[6)]、環境条件などによっては昼間でも 10 m 以深に集積することがあり得ることが判明した（図４）。八代海では、以前から事前策として、足し網（網を継ぎ足して生簀網を拡張し、魚の逃げ場を作る）や生簀沈下（赤潮が薄くなる深さまで網蓋をして生簀を沈める）が適用されている。これらの対策はシャットネラが深層に集積しないことを前提としているので、上記の新知見により、十分に網を足せる、あるいは生簀を沈下できる場所で、シャットネラの鉛直分布を観ながら実施の可否を判断すべきであると考えられた。

2018 年度から、水産庁の漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」と「赤潮及び貧酸素水塊の広域自動モニタリング技術の開発」において、水産研究・教育機構は、鹿児島県水産技術開発センター、熊本県水産研究センター、埼玉大学、東町漁業協同組合と共同で、事前策の効率化を目的として「赤潮発生を直前（約１週間前）に予察する

手法・体制の確立」に取り組み始めた。第一の施策として、硝酸塩センサーや採水試料の即日分析による栄養塩濃度の準リアルタイム監視を開始した。それ以前は、赤潮調査時に採取した海水試料をろ過後、冷凍保存してシーズンオフにまとめて栄養塩分析に供するというのがスタンダードであった。第二の施策として、シャットネラの鉛直分布を監視する体制を構築した。漁協や養殖業者など多くの関係機関がルーティンで実施する採水・検鏡は海面のみを対象とするので、赤潮が発達し始めた時点で水産研究・教育機構と埼玉大学のスタッフが現場に赴き、東町漁協と協力して、赤潮の発達海域及び漁場において、毎日海面から 30 m 深（海底付近）まで 5 m ピッチで採水してシャットネラの細胞密度を算出することとした（図５）。第三の施策として、船上からでも簡単にアクセスや投稿が可能な SNS を通じて、調査予定、シャットネラの分布密度や栄養塩分析結果などを前述の関係機関を中心とするメンバーで共有する体制を構築した。これにより、赤潮モニタリングについて機関間のオーバーラップや取りこぼしが減り、事前策の選択や実施タイミングを判断するうえで重要な情報を迅速に共有できるようになった。

以上のような施策を用意した後、2019 年 8 月中旬を迎えた。多数の監視地点でシャットネラが低密度で検出され、さらにまとまった栄養塩濃度の上昇が認められた約 1 週間後、高密度化（赤潮）が確認された（図６）。また、鉛直分布調査により、シャットネラが漁場において昼間海面にしっかり集積していることを高密度化の前から確認していた（図７）。これらの情報は各担当者のデータに対する見解も含めて、SNS を通じて共有された。養殖現場では、共有した情報を参考にして高密度化のタイミングを予見し、高密度化の 1 週間以上前から餌止めが継続された。加えて一部の漁場では、高密度化に備えて足し網や生簀沈下を実施した。その結果、シャットネラの最高細胞密度は 2009 年及び 2010 年以上であったが、被害額は 10 分の 1 未満に留めることができた（図８）。

この事例により、八代海では、栄養塩濃度を指標としてシャットネラ赤潮の発生を直前に予察可能であることが実証された。国内の多くの養殖現場でも栄養塩濃度が赤潮の発生に関与する可能性が高く、他海域にも適用可能だと考えられる。また、東町漁協管内の漁場の被害分析の結果、2019 年の赤潮発生時、ブリのへい死率は、餌止めのみを行った生簀と比べて、網を足して網丈を 10 m 以上とした生簀や 10 m 以上沈下した生簀で低かったことが判明した（図９）。これにより、足し網や生簀沈下は、的確な条件で行えば大きな被害軽減効果があることが示された。他海域においてもこれらの対策が広く普及することで、被害の減少が期待できる。

３．今後の課題

赤潮モニタリングを徹底すれば、事前策をより確実に効率よく実施可能であると考える。しかし、モニタリングに従事する人員も予算も削減され続けている中で、省力化や低コスト化の推進は今後取り組まねばならない課題である。上述の八代海での事例においても、栄養塩などの自動観測及び即日分析にはそれぞれ大きな設備投資とメンテナンス費用

及びマンパワーを要する。解決策として、メンテナンスフリーの自動観測システムや AI など先端の数値解析技術による最小限のモニタリングで運用可能な赤潮動態予測システムなどが具体的な研究開発の対象として思いつく。

赤潮モニタリングは高度化した一方で、モニタリングによって赤潮の発生を予知して講じる被害軽減対策は相変わらず餌止めと各種の生簀避難であり、この数十年間ほぼ変化していない。また、赤潮による漁業被害額は依然としてほぼ毎年億単位であり、発生状況によってはこれらの対策の効果が大幅に制限されることも承知している。既存技術の改良および新規技術の開発は、更なる漁業被害軽減を目指す場合、必須である。既存の技術の改良としては、例えば、赤潮の鉛直分布パターンをシミュレーションしながら自動で浮沈したり、網丈をコントロールできる生簀を開発するなど、工学的なアプローチの推進に期待したい。新規技術としては、これまでのように赤潮プランクトン側からだけでなく、被害を受ける魚介類からのアプローチを強化することが突破口となるかもしれない。例えば、魚病対策に倣って、赤潮抵抗性の高い家系の育種及びワクチンや薬品等の投与により養殖魚そのものの赤潮抵抗性を向上させる手法の開発を想定している。

参考文献

[1] 岡市友利（1997）赤潮の科学．恒星社厚生閣.

[2] 今井一郎、山口峰生、松岡數充（2016）有害有毒プランクトンの科学．恒星社厚生閣.

[3] 長井敏. (2018). 有害・有毒プランクトンモニタリング技術の高度化と応用. 日本水産学会誌, 84(3), 357-360.

[4] 太田耕平. (2018). 養殖技術講座: 赤潮対策（第 8 回）赤潮対策として用いられる餌止め効果の科学的メカニズム. 養殖ビジネス, 55(3), 51-56.

[5] 紫加田知幸, 櫻田清成, 城本祐助, 小山長久, 生地暢, 吉田誠, & 大和田紘一. (2011). 八代海におけるラフィド藻 *Chattonella antiqua* の増殖および栄養塩との関係. 日本水産学会誌, 77(1), 40-52.

[6] Shikata, T., Matsunaga, S., Nishide, H., Sakamoto, S., Onistuka, G., & Yamaguchi, M. (2015). Diurnal vertical migration rhythms and their photoresponse in four phytoflagellates causing harmful algal blooms. Limnol Oceanogr, 60(4), 1251-1264.