

[水産業と情報処理]

7 笠戸島における赤潮監視の取り組み



和西昭仁 | 山口県水産研究センター 内海研究部

赤潮対策の現状

日本沿岸ではさまざまな魚介類が養殖されており、その産出額は5,097億円(2016年)にも及ぶ¹⁾。本稿で取り上げる瀬戸内海の笠戸島(山口県下松市)でも約25年前からトラフグの養殖が行われており、穏やかな湾内に養殖筏が点在している(図-1)。山口県では「福」に通じるという意味で、ふぐのことを「ふく」と呼ぶ。ふくは県の魚である。

養殖業では「有害赤潮が発生したとき、漁業被害をいかに防ぐか」という点が重要課題である。赤潮(red tide)とは水が着色するほど植物プランクトン(以下「プランクトン」)が増殖した異常な状態で、種類によっては養殖魚に致命的なダメージを与える。近年の山口県では夏季を中心に年間10件前後の赤潮が発生し、それにより養殖魚などがへい死する被害が年間数件発生している。有害赤潮が大規模に発生した年には、一県で数億円以上の被害に及ぶこともある。

養殖業者は赤潮を警戒する上で海水の色に注意を払っている。海の表層で赤潮が発生していれば異変に気づきやすいが(図-2)、プランクトンの種類によってはやや深い所(中層)で赤潮を形成している場合

(中層増殖性赤潮)もある。その場合は海上から目視で監視するのは困難で、専門的な観測機器を用いる必要がある。また、中層の赤潮が何かのきっかけで養殖魚のいる表層付近まで上昇してくることもある。赤潮に関する情報が早期に把握できれば、迅速な対策(餌止め:酸欠を回避するため一時的に餌やりを止めること、緊急出荷、養殖筏の避難など)が可能であり、漁業被害を軽減させられるはずである。

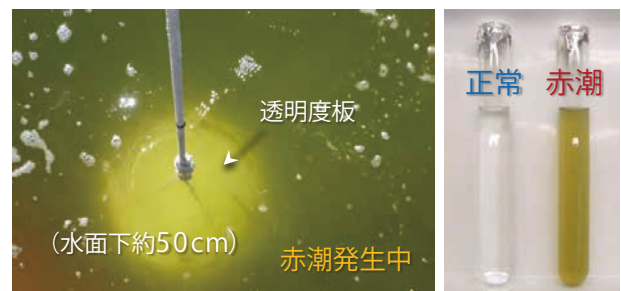
最近では観測機器の性能向上や通信環境の充実などにより、さまざまな海洋観測データがリアルタイムで得られるようになってきた。これは赤潮を監視する上で非常に心強い。

新たな対策の必要性

プランクトンを詳細に調査するためには、まず採水器という機器で複数層(たとえば表層、5メートル層、海底上1メートル層など)から海水を採る。その試料を研究室に持ち帰り、含まれるプランクトンの種類や数を一試料ずつ顕微鏡で調べる。調査地までの往復や検鏡作業(多いときは数十検体)にやや時間がかかるが、正確で詳細なデータが得られる



■図-1 笠戸島の養殖筏(左)とトラフグ(右)



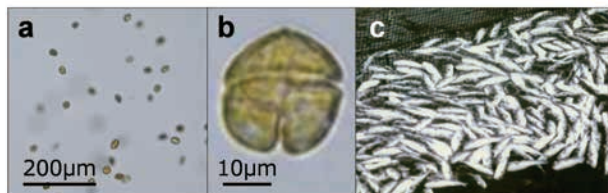
■図-2 周防灘沖合の表層で発生した赤潮(2012年8月)。水面下約50cmに沈めた透明度板(左:白色で直径30cm)と着色した海水の様子(右)

利点があるので、今後もこの工程がベースとなることに疑いはない。さらに、有害種が基準値（種ごとに設定値が異なる）を超えて確認された場合、県から赤潮注意報や赤潮警報が発令され、現場では漁業被害を軽減するための対策がとられる。

しかし、こうした採水による調査の狭間で有害種が出現した場合、その発見が遅れることになりかねない。こうした場合に何か有効な手立てはないだろうか。筆者は笠戸島の若手トラフグ養殖業者の協力を得て、現場にセンサ（後述）を設置し関係者間で情報共有する観測システムを試すこととした。観測システムは、「種類までは分からないがプランクトン量が推定できる」センサを用い、現場の状況をリアルタイムで把握するシンプルな仕組みである。異状が感知されたら、養殖業者は（有害種であった場合を想定して）直ちに魚を守ることに専念し、同時並行で研究機関の筆者らは原因種究明のための調査を行って、結果を養殖業者にフィードバックする。仮に有害種であったら、いち早く警戒態勢に取りかかっている分、漁業被害が軽減される可能性が大きい。

観測システムの設置

山口県沿岸で現在最も警戒すべきプランクトンは渦鞭毛藻というグループに属する「カレニア ミキモトイ (*Karenia mikimotoi*)」という種である（図-3a, b：以下「カレニア」）。ほぼ毎夏、海水1ミリリットルあたり数百～数万個の密度の赤潮を形成する。1991年には山口県沿岸を含む安芸灘で15億円超の漁業被害（図-3c）を引き起こした²⁾。

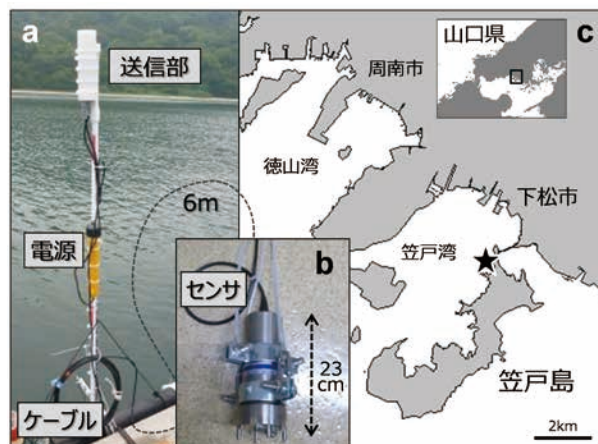


■ 図-3 カレニア ミキモトイ (a, b) と大規模に発生した赤潮によってへい死した養殖トラフグ (c)

本種の特徴として、夜間は10～15メートルの水深まで下降するが、日中は5～10メートルまで上昇してくることが分かっている（日周鉛直移動）。差し込む光量が少ない曇天の日は、海表面近くまで上昇することもある。この特徴を利用し、夜間に潜む水深帯と昼間に上昇する水深帯との間にセンサが設置されていれば、プランクトンの鉛直移動に伴って動きが察知できるのではないかと考えた。

選定したセンサは有線式クロロフィル濁度センサ「ACLW2-CAD (JFE アドバンテック)」であり（図-4a, b）、「クロロフィル蛍光値」が測定できる。植物プランクトンの細胞中には光合成に必要なクロロフィルという化学物質があり、これが光を吸収する一方でわずかな赤い光（クロロフィル蛍光）を発する。プランクトン量に応じてクロロフィル量も多くなり、発せられる蛍光も強くなることから、その強度（蛍光値）を測定することでプランクトン量を間接的に推測するのである。

この観測システムを笠戸島北部の^{さんびやくせ}三百瀬にあるトラフグ養殖筏（図-4c、水深約15メートル）に設置した。センサ（図-4b）を水深6メートル層に垂下し、カレニアの発生が多い6～8月を中心に2016年は毎正時に、2017年と2018年は30分間ごと（正時、30分）に観測を行った。養殖筏には深さ5メートルの網が設置されており、赤潮が下方か



■ 図-4 養殖筏上の設置状況 (a)、水深6メートル層に設置したセンサ (b) および調査海域 (c, ★設置場所)

ら上昇してきた際に水深6メートルの段階でセンサが感知できれば、もう1メートル上昇するまでの間、少しでも余裕を持って対策が行える。

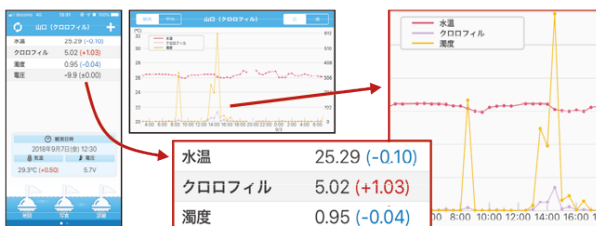
観測データは観測実施後に携帯電話回線を経由してサーバに転送され、数分以内に更新された後、スマートフォン用のアプリ(図-5)やユビキタスブイのWebサイト^{☆1}により誰でも閲覧できるようになっている。直近の観測データや過去からの推移、他海域の観測データも参照できる。

カレニア赤潮の捕捉事例

観測初年の2016年は6月下旬～7月上旬に多量の降雨があり、日照不足のためカレニアの競合種(珪藻類：一般に無害のプランクトン)が衰退、その後は晴天(高照度)が続き、海水温も上昇するなど、カレニアの増殖に適した条件が重なった。プランクトン調査を通じて、カレニアが低密度ながら出現していることが6月の時点で把握されていた。そこで、観測データの動向を注視していた結果、7月中旬、ついに観測データに特異な推移が見られるとともに、後に現場から赤潮視認の報が届いた。このときの赤潮対応については後述するが、結果としては成功を収めることができたと考えている。

当時の観測データのうち、7月11日および13日の観測データを図-6下段に示した。午前と午後1度ずつ、クロロフィル蛍光値に明瞭なピーク(図-6

☆1 <http://www.buoy.jp/>



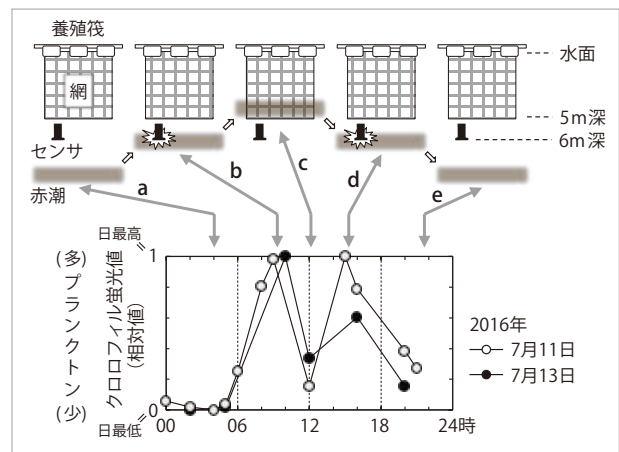
■ 図-5 スマートフォンアプリ「ubiquitous BUOY (公立はこだて未来大学)」の画面。直近の観測データ(左)および過去1週間の推移グラフ(右)

b点、d点)が現れ、1日を通じて「M字型」の推移となっていた。この結果から推測すると、当時の養殖筏(網)、センサ、赤潮の位置関係は大まかに図-6上段のように変化したと推測される。

また、この赤潮発生当時の午後1時頃(図-6c点)、観測システム設置場所で水深1メートルごとに表層から海底付近まで採水し、プランクトンを詳細に調査した結果、3メートル層の海水に濃い着色(灰みの黄色)が見られ、1ミリリットル中に約2,000個のカレニアが確認された。また、水深2～5メートルの範囲には赤潮注意報の発令基準となる海水1ミリリットルあたり500個以上(現在は改定され100個以上)のカレニアが確認され、薄い着色も見られた。よって、この時間帯にカレニア赤潮はセンサより上方にあったことが確認された。以上のことから、図-6下段に示すクロロフィル蛍光値のM字型推移は、図-6上段のようにカレニアの日周鉛直移動を捉えたものであることが判明した。

リアルタイム観測の重要性

通常、採水・検鏡した結果が現場に届くまでには、調査開始から数時間が経過する。笠戸島の場合、午前9～10時に採水しても、検鏡結果が出るのは午



■ 図-6 赤潮の捕捉例と赤潮—センサ位置関係のイメージ(2016年7月)。赤潮が上昇・下降する過程(b点、d点)でセンサに捕捉され、1日を通じてクロロフィル蛍光値がM字型に推移

後になってしまう。また、採水による調査は毎日行うわけではないので、気象条件などによってはごく低密度のカレニアが気づかないうちに赤潮状態になっている可能性もある。

一方、本種の鉛直移動速度は上昇および下降とも1時間あたり2.2メートルとの報告²⁾があるので、図-6に示したとおり、センサによる連続観測など副次的な警戒態勢がないと、数時間というタイムラグが致命的な結果になりかねない。赤潮が6メートル層のセンサに差しかかると、上昇時には約30分後に養殖網の下端まで到達する計算になる。漁港から養殖筏までは漁船で5分ほどの距離なので、異変にすぐ気付けば対策が可能である。

実際、2016年夏季の赤潮発生時、養殖業者はリアルタイムの観測データをチェックしており、クロロフィル蛍光値が急上昇した時点で、まだ原因が有害種かどうか不明であったが、対策に移ったほうが賢明だという情報が仲間内で共有された。その結果、観測システムがなかったところに比べて早い段階で餌止めを徹底することができた。その後カレニア赤潮が実際に確認されたが、規模の割に漁業被害は軽微であり、漁業者からは初動の重要性がたびたび聞かれた。また、この赤潮がきっかけで観測データを見始めた漁業者もいたことから、観測システムに対する関心が醸成されたのも事実である。

スマート水産業の時代へ

一方、天気予報のように赤潮の発生時期などを予察する技術も研究されているが、確度についてはまだ課題が多い。「今夏は赤潮が発生しそうな条件だ」とは分かっても、赤潮発生が半月先なのか数日中なのか判断できないと無駄な混乱を招きかねない。予察の確度を高めるためには、過去の赤潮事例を解析するとともに、観測システムを増設して、海の中で起こっているさまざまな現象をリアルタイムかつ俯瞰的に把握する必要がある。

また、今回のカレニアの場合、日周鉛直移動する特徴によってセンサで特異的なパターンが観測されたが、ほかの種ではそれに応じた観測方法、検出手法を探る必要もあろう。この点においては、昨今使われ始めた「スマート水産業」というキーワードに代表されるように、ICTやAIなど先進的な技術をフルに活用していくことが重要である。定置的なセンサによる観測データ以外にも、たとえば人工衛星・航空機・船舶などが取得したデータ、近隣海域で調査されたプランクトンの情報、操作中にタブレットで入力された漁海況情報なども加わると、有用な情報の厚みが格段に増す一方、その情報の処理過程も非常に複雑になる。赤潮監視におけるICTやAIはそこに真価を発揮することを期待している。テレビで赤潮予報が流れる日もそう遠くないかもしれない。

日頃、漁業者と話す中で「海中の様子を手元で見たい」という要望が出ることもある。毎日海に携わる人たちからという点では意外だが、研究者としては非常に興味深い。養殖業では水中カメラ映像から養殖対象の健康状態を診断したり、個体識別やサイズ自動計測などができたりすると日々の養殖管理に貢献できるだけでなく、健全な魚介類を安定的に生産することができる。これは収入増加にもつながるだろう。ふくが福につながることを切に願う。そして、今後の日本の水産業がスマートに発展していくことを期待してやまない。

参考文献

- 1) 農林水産省、平成28年漁業・養殖業生産統計(2018)、<http://www.maff.go.jp/>
- 2) 日本水産資源保護協会、水産増養殖叢書48、有害・有毒赤潮の発生と予知・防除(2000)。

(2018年10月23日受付)

■和西昭仁 wanishi.akihito@pref.yamaguchi.lg.jp

1993年広島大学大学院生物圏科学研究科修了。修士(農学)。1995年山口県入庁。2001年山口県水産研究センター研究員、2002年同専門研究員。調査船での海洋観測、赤潮モニタリング、リモートセンシング、水質分析、魚類調査を担当。