

図2. 2021年 新潟県佐渡市加茂湖の2定点（上段から，St.2原黒，St.1湖奥）におけるヘテロカプサの発生状況.

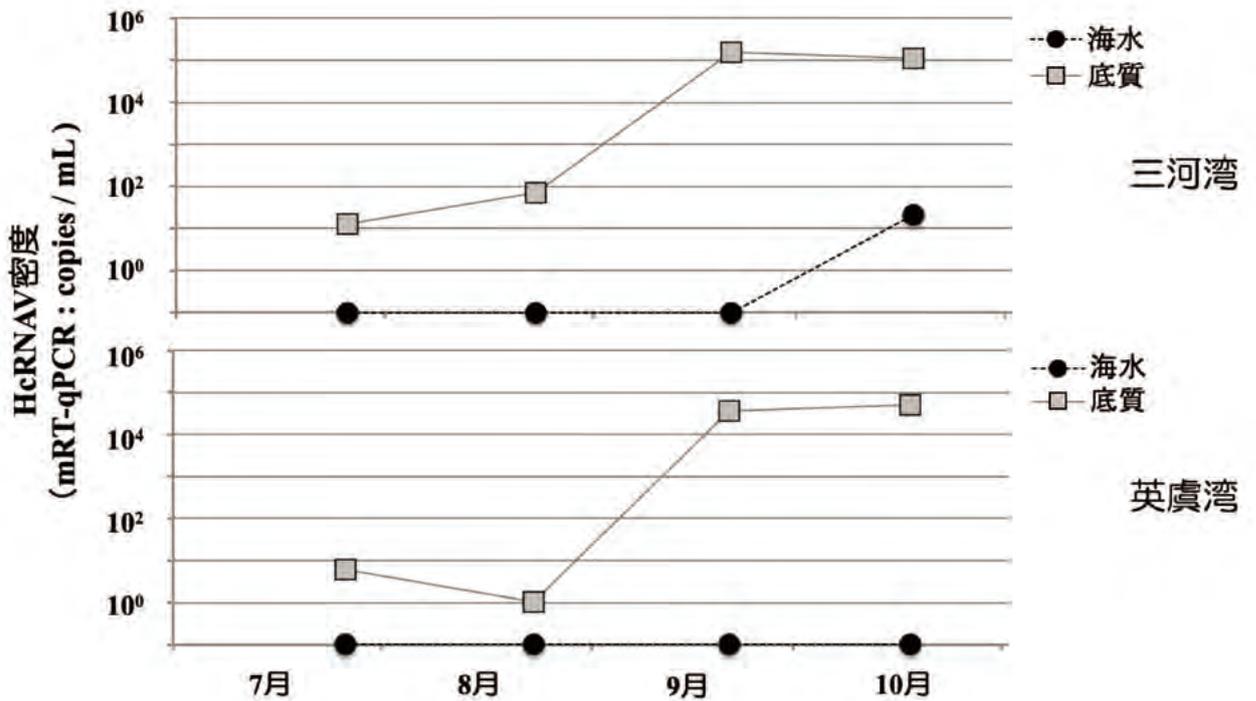


図3. 2021年 底質中のヘテロカプサウイルス HcRNAV の発生状況.
上段；愛知県三河湾，下段；三重県英虞湾

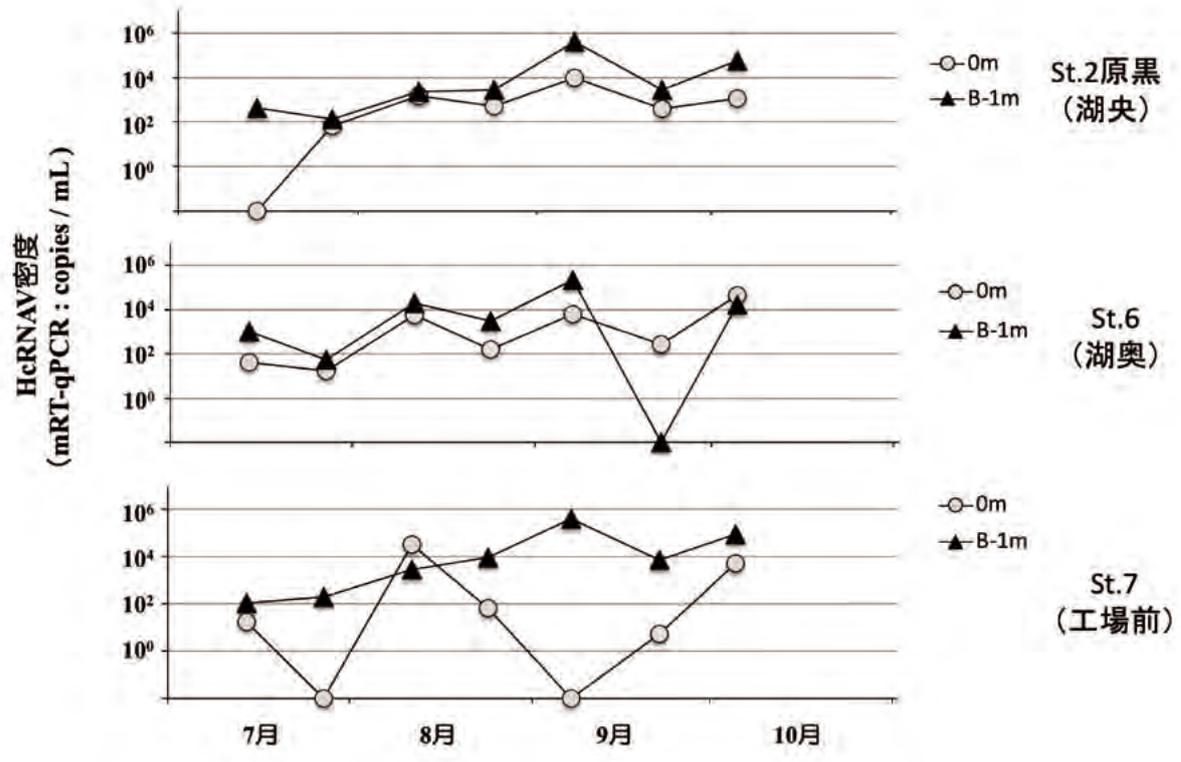


図 4. 2021 年 新潟県佐渡市加茂湖の 3 定点（上段から，St.2 原黒，St.6 湖奥，St.7 工場前）における湖水中のヘテロカプサウイルス HcRNAV の発生状況.

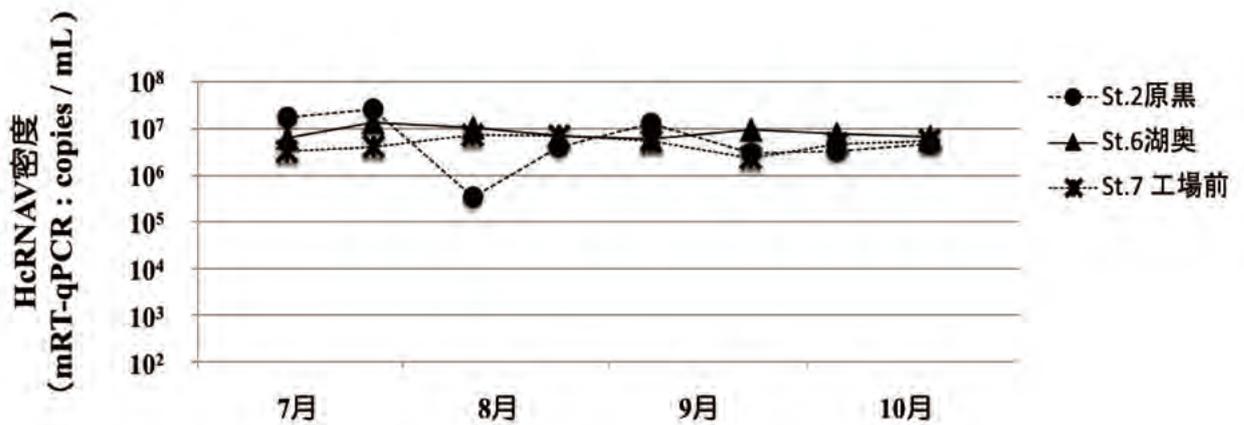


図 5. 2021 年 新潟県佐渡市加茂湖の 3 定点（上段から，St.2 原黒，St.6 湖奥，St.7 工場前）における底質中のヘテロカプサウイルス HcRNAV の発生状況.

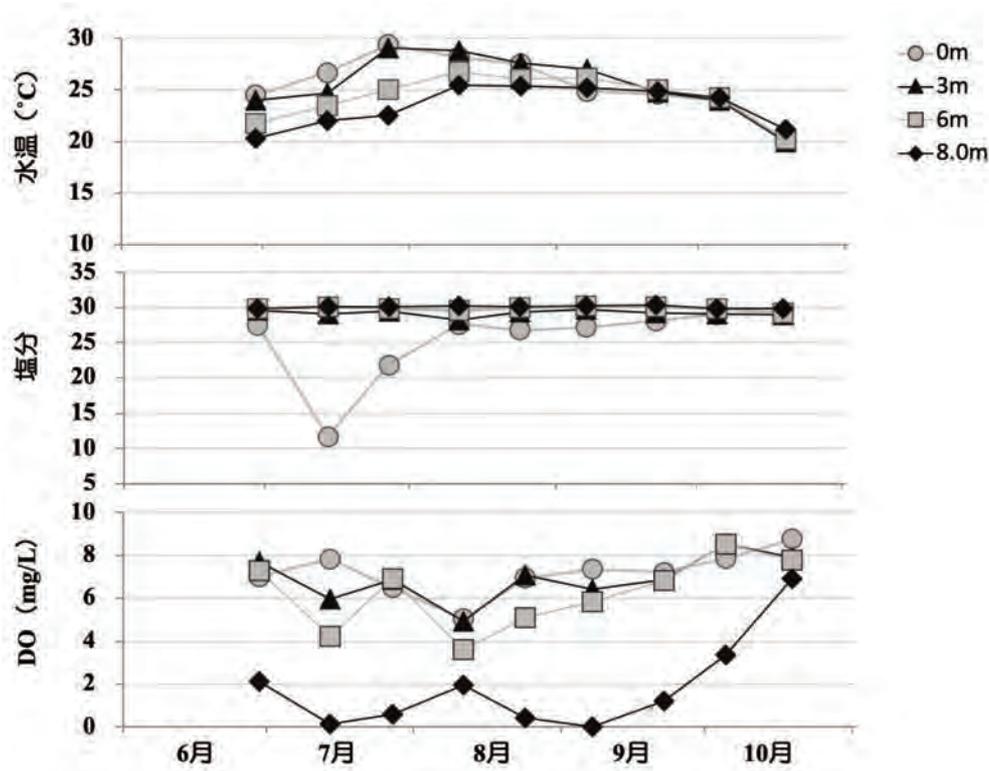


図 6. 2021 年の加茂湖原黒定点 (St.2) における水温, 塩分, 溶存酸素量の変動.

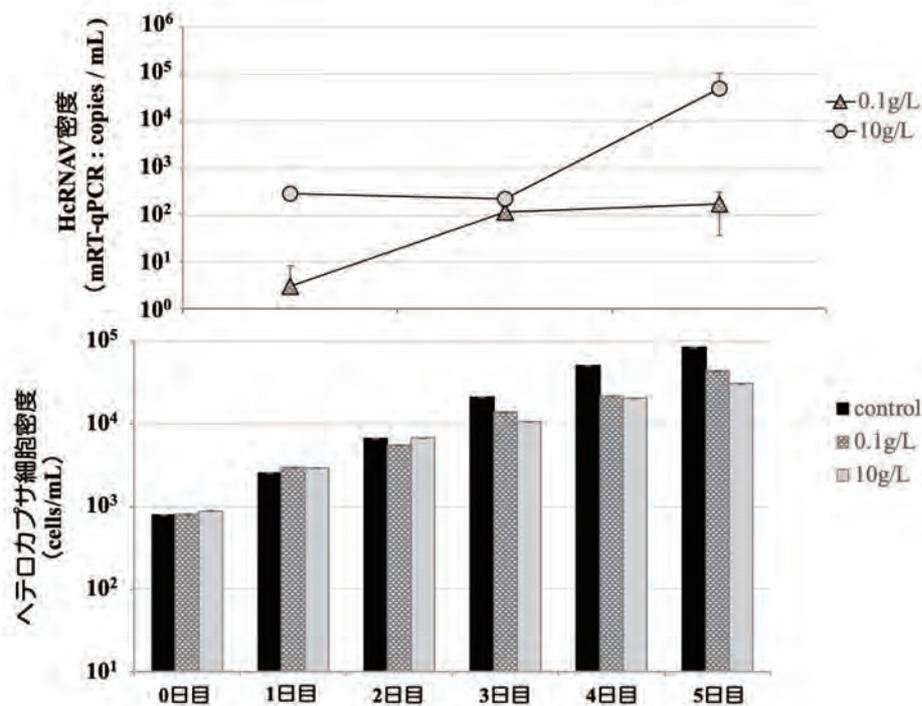


図 7. 底泥散布法-底泥の接種量を増やす手法の検討.

上段; HcRNAV 密度の変動, 下段; ヘテロカプサ密度の変動

2) 赤潮の防除・被害軽減手法の開発

イ. 生け簀の魚介類を守る技術の開発・実証

②既存の赤潮防除技術の高度化とマニュアル作成

水産研究・教育機構 水産技術研究所
紫加田知幸, 秋田一樹, 堀田卓朗
大分県水産研究指導センター水産研究部
野田誠, 宮村和良, 内海訓弘
東町漁業協同組合
浦 啓介, 立元伸幸

1 全体計画

(1) 目的

近年, 豊後水道など西日本の沿岸域において *Karenia mikimotoi* 等鞭毛藻による有害赤潮が頻発しており, その対策が強く求められている。一方で, 各現場では長年の経験に基づいて構築された被害軽減技術が実用されている。本課題では, 既存の技術を対象として科学的な検証と基礎情報の収集を行い, 高度化を図ること, そして技術普及を円滑に推進するためにマニュアルを作成することを目的とする。特に, 足し網および生簀浮沈法について検討する。具体的には, 赤潮プランクトンの鉛直移動および養殖魚介類の生簀内行動, 環境条件の影響を把握し, 網を足すあるいは生簀を沈下することで赤潮鞭毛藻類と養殖魚介類との接触頻度が最小限になる条件を見出す。その後, 実際に足し網および生簀沈下を行って効果を検証する。

2 令和3年度計画及び結果

(1) 目的

「全体計画と同じ」。ただし, 2021年度, 調査を予定していた海域において有害赤潮は発生しなかったため, 一部計画を変更した。

(2) 方法

1) 赤潮鞭毛藻類の日周鉛直移動の現場観測

K. mikimotoi などの有害赤潮鞭毛藻類の日周鉛直移動パターンは, 環境条件や発達段階によって変化することが知られている (Shikata et al. 2017, Shikata et al. 2020)。そのため, 現場データを蓄積して鉛直移動パターンを環境条件等と関連づけて体系化する必要がある。2021年6月1日~8月31日, 佐伯湾の鶴見ポイント (32°57'3''N, 131°57'28''E, 水深: 約12m) で, 自動昇降式多項目水質計 (AWQP13_30, 環境システム社製) を用いて, 水温, 塩分, 溶存酸素濃度 (DO), クロロフィル蛍光値を約30分~1時間に1回の頻度で連続観測した。また, 観測期間中, 週1回, 多項目水質計による水温, 塩分, DO, クロロフィル蛍光値および光量子量の観測を行うとともに, 表層, 5m層およびクロロフィル蛍光値の極大層より採水を行った。海水試料については, 当日中に検鏡を行い (ECLIPSE Ni, Nikon社製), 赤潮鞭毛藻類の細胞密度を算出した。また, 鶴見ポイントのすぐ近隣の沖松浦

(32°56'54''N, 131°57'47''E, 水深：約 10 m) にて、週 1 回、表層、2 m 層、5 m 層、B-1 m 層より採取した海水について、有害赤潮鞭毛藻類、珪藻類およびその他の優占種の細胞密度を算出し、栄養塩分析を行った。

2) 生簀中の養殖魚の行動解析

養殖魚の生簀中の行動に及ぼす赤潮や環境条件の影響を把握するために、養殖生簀内の魚類の遊泳と環境条件を同時に観測するべく、佐伯湾で準備を進めた。しかし、事業期間中に当該海域で有害赤潮が発生せず、観測を実施できなかった。そこで、長崎県総合水産試験場より現場データをご提供頂いて、解析を実施した。2021 年 6 月 4～13 日（1 回目）と 6 月 30 日～7 月 9 日（2 回目）、九十九島沿岸海域（33°12'33''N, 129°35'20''E）の海面生簀（1 回目：3 m×3 m×5 m, 2 回目：5 m×5 m×5 m）にトラフグ稚魚を収容して調査を実施した（図 1）。1 回目は体長 8～9 cm の個体を 500 尾、2 回目は体長約 12 cm の個体を 1000 尾収容した。1 回目は期間中最高で 3860 cells mL⁻¹（6 月 7 日、10 m 深；生簀内では最高 2390 cells mL⁻¹）、2 回目は最高で 8 cells mL⁻¹ の *K. mikimotoi* が検出された。1 回目は 1 m, 3 m および 6 m 深に、2 回目は 1 m, 3 m および 5 m 深に筏からデータロガー（クロロフィル蛍光、光）を吊り下げ、中央部の海面に魚群探知機（Lowrance 製, Elite7Ti2）を設置した。後日、取得した魚探データは Sonar viewer で可視化し、トラフグ魚群の鉛直分布を観察した。

3) 養殖現場における赤潮被害に影響する要因の抽出

本年度は、調査を予定していた東町漁協管内で赤潮による被害が発生しなかったため、2010 年の八代海における *Chattonella* 赤潮発生時の被害発生時のデータ解析を行った。北さつま漁協管内（八代海長島町沿岸）の 5 つのブリ養殖漁場（A～E）における生簀ごとのデータを解析対象（解析対象の生簀総数：34 基）とし、2 歳魚の被害率に影響する要因を探索した。データは北さつま漁協および鹿児島県水産技術開発センターよりご提供頂いた。

4) ファスナー式足し網の検討

足し網は着脱に労力と時間を要することが難点である。そこで、生簀網に予めファスナーを装備することで、より迅速にかつ簡便に着脱できないかとの着想に至った。（株）日東製網の協力下で、3 m×3 m×3 m 及び 3 m×3 m×6 m の網のうち、前者の網の上部と後者の網の下部にファスナーを装着した（図 2）。その後、実際に網の連結を行って、その作業性を検討した。

(3) 結果及び考察

1) 赤潮鞭毛藻類の日周鉛直移動の観測

2021 年の佐伯湾における自動昇降式多項目水質計による観測結果を図 3 に示す。観測期間中、水温、塩分および DO はそれぞれ 18.2～29.4°C, 18.2～34.5 および 4.5～10.9 mg L⁻¹ の範囲で推移した。2021 年 6 月 29 日～8 月 17 日にかけて *Prorocentrum dentatum* の赤潮が確認された。6 月 29 日に *P. dentatum* が 4 m 層で 1,600 cells mL⁻¹ の細胞密度で確認され、その後、増減を繰り返しながら 8 月 17 日には表層で 15,000 cells mL⁻¹ の最高細胞密度が記録された。また、同時期に自動昇降式多項目水質計は、クロロフィル蛍光値のピーク深度が時間

変化する様子を明確に捉えており、そのクロロフィル蛍光値のピークは *P. dentatum* によるものと推察された (図 4)。そこで、クロロフィル蛍光値から *P. dentatum* の鉛直移動パラメータ (上昇・下降開始時刻, 最高・最低到達深度およびそれらが記録された時刻) を抽出し、表 1 にまとめた。多くの場合、上昇開始は夜半過ぎ～夜明け前、下降開始は夕方に観察された。本種はほぼ毎日夜間海底まで下降したが、昼間の最高到達深度は日ごとに変化した。いくつかの渦鞭毛藻類で知られているように (Shikata et al. 2017), *P. dentatum* も昼間の最高到達深度と日照間で有意な正の相関が認められ、本種は高日照の日は深い層に、低日照の日は浅い層に集積した (図 5)。採水調査日の水中光量子量から消散係数と海面光量子量を算出し、日照時間と採水調査日の海面光量子量との関係式から各日の海面光量子量を推算した。その後、それらのパラメータを用いて最高到達深度における光量子量を推定したところ、8 月中旬までは概ね $100\sim 400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であったが、以降衰退するまで概ね $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 未満で推移した。8 月下旬には本種の鉛直分布はスミアになり、日周鉛直移動が不明瞭になった。*K. mikimotoi* では栄養塩欠乏状態になると日周鉛直移動能が低下することが知られている (Yuasa et al. 2018)。8 月中旬は降雨により一時的に栄養塩濃度が上昇したが、それ以降は低濃度で推移し (図 6)、それにより鉛直移動能が低下した可能性が示唆された。また、8 月中から赤潮衰退まで曇天が続いた。そのため、*P. dentatum* において受光量不足が生じ、鉛直移動能を低下させた可能性も考えられた (図 6)。

2) 生簀中の養殖魚の行動解析

K. mikimotoi が高密度化した 1 回目の試験では、6 月 5～9 日に 6 m 層でクロロフィル蛍光値が上昇したが、1 m および 3 m 層で高値を示したのはそれぞれ 6 月 5 日および 6 月 5、6 日のみであった (図 7)。6 月 5、6 日は 6 月 7～9 日と比べて、水中光量子量が低かった (図 7)。*K. mikimotoi* は低照度時に表層に集積する性質を有することが知られている (Shikata et al. 2017) ので、6 月 5～9 日に *K. mikimotoi* は濃密な状態で生簀下層に侵入し、そのうち曇天であった 6 月 5～6 日の昼間のみ、上層に達したと推察された。一方で、トラフグ稚魚は、多くの場合、昼夜を問わず、表層～2 m 深に分布した (図 8)。*K. mikimotoi* が低細胞密度で推移した 2 回目の試験において、水中光量子量は日ごとに変動したが、クロロフィル蛍光値は 1 回目と比べると一貫して低調であった (図 9)。また、トラフグ稚魚は、概して表層～3 m 深に分布した (図 10)。以上の結果から、2018 年に佐伯湾で実施したトラフグ成魚の場合 (紫加田ら 2018) と同様に、トラフグ稚魚は昼夜を問わず表層付近に集積することが明らかとなった。併せて、クロマグロ (井口ら 2021) とは異なり、トラフグは赤潮に対して逃避行動を示さないあるいは鈍感である可能性が示唆された。このことから、トラフグに対しては足し網による赤潮被害軽減効果はそれほど期待できないと推察された。

3) 養殖現場における赤潮被害に影響する要因の抽出

当該海域において、*Chattonella* の細胞密度は 2010 年 7 月 7 日に最高となり、 $44\sim 318 \text{ cells mL}^{-1}$ の範囲で各漁場に分布していた (図 11)。ブリのへい死率は $0\sim 38\%$ の範囲にあり、漁場ごとに異なっていたが、細胞密度とブリのへい死率の間に有意な相関は認められなかった (図 12)。全漁場のデータをマージして解析した結果、平均体重と収容密度はブリのへい死率と有意な相関が認められた (図 13)。他方、生簀体積、収容尾数、餌止め日数については、

有意な相関が認められなかった。ただし、複数のパラメータが相乗的にへい死率に影響する可能性もあるため、今後多変量解析等を実施して今回得られた結果を検証していく予定である。

4) ファスナー式足し網の検討

今回、網の連結作業は、大分県農林水産研究指導センター水産研究部の試験用生簀で実施した（図 14）。手順は以下の通りである。

1. 筏に設置済みの網の上部に装備されているファスナーにもう一方の網の下部に装備されているファスナーを連結
2. ファスナーのみに負荷がかからないよう、ファスナーの上部は各角と各面の中央部分の合計 8 か所をロープで固定
3. 四隅に土嚢を沈め、網を整形

これらの作業を 4 名で実施した結果、所要時間はおよそ 10 分であった。今後、沖の海面生簀での作業性確認、長期設置によるファスナー部分の耐久性の確認とファスナー部分への生物付着量の把握、足した網の撤収作業の難易度確認などについて検討する必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、データを提供して頂いた長崎県総合水産試験場、鹿児島県水産技術開発センター及び北さつま漁業協同組合に深く感謝申し上げます。また、八代海における赤潮被害に関するデータ解析においてご助言を賜った水産研究・教育機構 水産技術研究所 有明海・八代海グループ 中野善研究員に厚く御礼申し上げます。

引用文献

Shikata T, Kitatsuji S, Abe K, Onitsuka G, Matsubara T, Nakayama N, Yuasa K, Nishiyama Y, Mizuno K, Masuda K, Nagai K. Vertical distribution of a harmful red-tide dinoflagellate, *Karenia mikimotoi*, at the decline stage of blooms. *J. Sea Res.* 2020; **165**: 101960.

Shikata T, Onitsuka G, Abe K, Kitatsuji S, Yufu K, Yoshikawa Y, Honjo T, Miyamura, K. Relationships between light environment and subsurface accumulation during the daytime in the red-tide dinoflagellate *Karenia mikimotoi*. *Mar. Biol.* 2017; **164**: 18.

紫加田知幸, 鬼塚剛, 高山剛, 伏屋玲子, 宮村和良, 梶川和武, 大竹周作, 井口大輝. 平成 29 年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊対策推進事業 瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発。「有害赤潮鞭毛藻類の遊泳特性を利用した新規赤潮防除技術の開発」報告書, 瀬戸内海赤潮共同研究機関, 水産庁, 東京. 2018 ; 236-257.

井口大輝, 内海訓弘, 中里礼大, 紫加田知幸, 北辻さほ, 今坂尚志, 一橋和子, 前田亜貴子. 九州東部のマグロ漁場における有害赤潮監視システムの開発. 令和 2 年度漁場環境改善推進事業「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」報告書, 赤潮・貧酸素観測技術開発共同研究機関, 水産庁, 東京. 2021 ; 49-62.

Yuasa K, Shikata T, Kuwahara Y, Nishiyama Y. Adverse effects of strong light and nitrogen deficiency on cell viability, photosynthesis, and motility of the red-tide dinoflagellate *Karenia mikimotoi*.