

赤潮等発生監視調査事業

増養殖環境課	上村 海斗
中央漁業指導所	谷口 越則
宿毛漁業指導所	岡内 優人

1 背景・目的

浦戸湾、浦ノ内湾、野見湾及び宿毛湾では、赤潮による漁業被害の発生や貝毒プランクトンによる二枚貝の毒化のおそれがある。本事業では、これらの海域において有害プランクトンの発生監視調査を実施し、関係諸機関と協力して赤潮被害等の防止及び軽減を図ることを目的とした。

2 方法

(1) 有害種及び海洋環境のモニタリング調査

有害プランクトンによる被害が想定される海域である浦ノ内湾、野見湾、浦戸湾及び宿毛湾で（図1）、それぞれ調査定点を設定した。採水層は浦ノ内湾では表層、2 m層、5 m層、10 m層及び底層（底上1 m）、野見湾では表層、2 m層及び5 m層、浦戸湾では表層、1 m層及び2 m層、宿毛湾では、表層、5 m層及び10 m層とし、着色が確認された場合は、その層も別途採水した。これらの海水は、採水した当日に検鏡し、有害プランクトンを計数するとともに細胞密度（cells/mL）も算出した。

調査定点の表層、2m層、5m層、10m層及び底層（浦戸湾は表層、1m層、2m層及び底層、宿毛湾は表層、5m層、10m層、15m層及び20m層）の水温、塩分及び溶存酸素量（DO）をAAQ-RINKO（JFEアドバンテック社）を用いて測定した。調査結果は、FAXによる通知や県ホームページへの掲載等により、関係機関へ速やかに情報提供した。

赤潮の基準となる細胞密度は、*Chattonella* spp. が100 cells/mL以上、その他のプランクトンは1,000 cells/mL以上とした。

(2) 赤潮予測マニュアル

浦ノ内湾において令和3年度に作成した赤潮予測マニュアル（図2）に基づき、*Karenia mikimotoi*が100 cells/mL、*Chattonella* spp.が10 cells/mLに達した日からそれぞれの赤潮発生時期を予測し、FAXによる通知と県ホームページへの掲載等により関係機関へ速やかに情報提供した。

(3) 浦ノ内湾における*K. mikimotoi*と光強度の関係

浦ノ内湾の光松漁場（図1）において、5～7月に週に1回以上の頻度で層別採水及び海洋観測を実施した。採水は10時を目安として9～11時に8層（0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10m）で行い、海洋観測は表層から底層までの濁度を測定した。海水は採水当日に検鏡し、*K. mikimotoi*の細胞密度（cells/mL）を算出するとともに、式(1)により水柱における鉛直集積度（Ratio CML）

を求めた。

$$\text{Ratio CML} = K.M \max / \Sigma K.M(Z) \quad (1)$$

ここで、 $K.M \max$ は *K. mikimotoi* が最も多い層の細胞密度 (cells/mL)、 $\Sigma K.M(Z)$ は全層における細胞密度の合計とした。

光松漁場に設置された円柱状浮体 (高さ 0.9 m) の最上部に、5~7月の期間に温度・照度計ロガーMX2202 (HOB0) を取り付けて、照度 (lx) を30分に1回の頻度で記録した。太陽光における照度 (lux) は、54で除することにより光量子束密度 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) へ近似し (Thimijan and Heins 1983)、これを海水面の光量子束密度とした。また、AAQ-RINKOで観測した各深度層における濁度のデータを、換算式 (式(2); 横山ら 2012) により各深度層のSS (浮遊物質量) 濃度 (mg/L) へと変換した。得られたSS濃度を用いて、式(3)から消散係数 k を推定した (横山ら 2012)。水中における光量子束密度は Lambert-Beer 則 (式(4)) で求められ、深度が大きくなるにつれて指数関数的に減衰することが知られている。これらの式を用いて、光量子束密度の鉛直分布を推定した。

$$SS = 1.05Turb + 4 \times 10^{-4}Turb^2 + 6 \times 10^{-14}Turb^5 \quad (2)$$

$$k_z = 0.29SS^{0.8} + 0.28 \quad (3)$$

$$I_z = I_0 \times \exp^{-kz} \quad (4)$$

ここで、 $Turb$ は濁度、 k_z 及び I_z は深度 z における消散係数及び光量子束密度、 I_0 は海水面の光量子束密度とした。

3 結果及び考察

(1) 赤潮発生状況

2022年度の赤潮発生状況を表1に示す。発生は、浦ノ内湾で9件、野見湾で2件、宿毛湾2件であり、このうち野見湾では漁業被害が確認された (表2)。

赤潮となった有害プランクトンの種類は、浦ノ内湾では *Heterosigma akashiwo* が3件、*K. mikimotoi* が3件、*Chattonella* spp. が1件、*Heterocapsa circularisquama* が1件、*Prorocentrum dentatum* が1件であった。また、野見湾では *Cochlodinium polykrikoides* が1件、*Heterocapsa circularisquama* が1件であった。宿毛湾ではカキの身を変色させる *Mesodinium rubrum* が1件、無害種とされる *Prorocentrum* sp. が1件の赤潮を形成した。

(2) 有害種の出現状況

2022年度の各湾における、有害種の細胞密度の推移を図3に示す。

1) *K. mikimotoi*

浦ノ内湾では、本種の赤潮発生が計3回確認された。2022年4月18日に108 cells/mL確認され、5月6日に1,130 cells/mLに達して赤潮を形成した。5月13日に9,400 cells/mLまで増殖した後、5月23日には55 cells/mLまで減少し、赤潮は終息したと推察された。しかし、その後再び増殖し、6月2日に2回目の赤潮 (1,220 cells/mL) を形成した。6月27日には35,000 cells/mLまで増殖し、その後7月6日に1 cell/mLまで減少して赤潮は終息したと推察された。また、7月22日に16,800 cells/mLが確認され、3回目の赤潮を形成した。

野見湾では7月に最高で11 cells/mL、宿毛湾では8~9月に最高で1 cell/mL 確認されたのみであった。浦戸湾では、確認されなかった。

2) *Chattonella* spp.

浦ノ内湾では5月6日に1 cell/mL、6月13日に10 cells/mL以上に達し、6月17日に100 cells/mLを超えて赤潮を形成した。7月13日には11,900 cells/mLまで増殖し、その後減少に転じて7月27日に100 cells/mLを下回った。しかし、8月1日に再び100 cells/mLを超え、8月15日には22,900 cells/mLまで増殖した。その後、減少に転じて8月24日に100 cells/mL未滿となり、赤潮は終息したと推察された。

野見湾では7月に最高で1 cell/mLが確認され、浦戸湾及び宿毛湾では確認されなかった。

3) *H. akashiwo*

浦ノ内湾では4月22日に2,300 cells/mLが確認されて赤潮を形成し、4月27日には192,000 cells/mLまで増殖した。その後、5月2、6及び10日の調査で全く確認されなくなり、本種赤潮は終息したと推察された。5月13日に5,200 cells/mLが確認されて再び赤潮を形成したが、5月17日以降確認されなくなり赤潮は終息した。

浦戸湾では2022年4月から2023年1月までは全く確認されなかったが、2月に110 cells/mL、3月に15,900 cells/mL 確認された。野見湾及び宿毛湾では確認されなかった。

4) *H. circularisquama*

浦ノ内湾では、8月22日に5,250 cells/mLが確認されて赤潮を形成し、8月25日には60,500 cells/mLまで増殖した。当該赤潮により、本湾天皇州に生息するアサリ *Ruditapes philippinarum* の一部で規模は不明ながらへい死が確認された。

5) *C. polykrikoides*

野見湾では4月4日に46 cells/mL 確認され、28日には1,050 cells/mLまで増殖し赤潮を形成した。当該赤潮が原因と考えられる漁業被害が1件発生した(表2)。また、翌年3月に最高で4 cells/mL 確認された。

宿毛湾では5月に最高で6 cells/mL 確認されたが、7月以降は確認されなかった。浦ノ内湾及び浦戸湾では確認されなかった。

(3) 海象

各湾の水温、塩分及び溶存酸素量を図4に示す。海象データは、代表の深度層として浦ノ内湾、野見湾及び宿毛湾では5m層、浦戸湾では1m層を示した。

浦ノ内湾は、水温が12.9~29.8 °C、塩分が30.2~34.0、溶存酸素量は3.9~8.8 mg/Lで推移した。水温及び塩分は、年間を通して平年並みで推移した。溶存酸素量は、6、8及び10月に平年より多かった。

野見湾は、水温が 15.5~28.4 °C、塩分が 32.3~34.4、溶存酸素量が 4.3~9.4 mg/L であった。水温、塩分は年間を通して平年並みで推移した。溶存酸素量は 4 月が平年より多く、10 月に平年より少なくなった。

浦戸湾は、水温が 13.8~29.2°C、塩分が 9.7~31.6、溶存酸素量が 5.8~13.0 mg/L であった。水温は年間を通して平年並みで推移し、塩分は 4、6、8 及び 10 月が平年より高く、3 月に平年より低かった。溶存酸素量は、5 及び 7 月が平年より多かった。

宿毛湾は、水温が 16.4~28.9°C、塩分が 32.7~34.5、溶存酸素量は 5.0~8.7 mg/L であった。水温及び塩分は年間を通して平年並みで推移し、溶存酸素量は 2 月及び 3 月に平年より多かった。

(4) 浦ノ内湾における赤潮発生予測

K. mikimotoi は 2022 年 4 月 18 日に 100 cells/mL、*Chattonella* spp. は 6 月 13 日に 10 cells/mL を超えたため、赤潮発生予測マニュアル (図 2) に基づき、赤潮発生時期の予測を試みた。*K. mikimotoi* 赤潮は 5 月上旬、*Chattonella* spp. の赤潮は 6 月下旬に発生すると予測された。実際の赤潮発生日は *K. mikimotoi* が 5 月 6 日、*Chattonella* spp. が 6 月 17 日であり予測は概ね的中したもの、*Chattonella* spp. は予測よりやや早く発生した。

(5) 浦ノ内湾における *K. mikimotoi* と光強度の関係

浦ノ内湾における 5~7 月の *K. mikimotoi* (1×10^3 cells/mL 以上) の鉛直集積度、海水面の光量子束密度の推移及び両者の関係を図 5 に示す。鉛直集積度は 20.5~100% (0% は細胞未確認)、海水面の光量子束密度は 175~1,660 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で推移した (図 5 a, b)。鉛直集積度は、光強度が小さい時 (<500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 及び大きい時 (>1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) に高くなる傾向がみられた (図 5 c)。また、*K. mikimotoi* 及び光量子束密度の鉛直分布をみると、本種は強光を避けて分布する傾向が認められた (図 6)。細胞密度が 1×10^3 cells/mL 以上であった深度における光量子束密度は、平均 $220 \pm 204 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であり、最高細胞密度が確認された深度では平均 $203 \pm 193 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であった。

(6) まとめ

1) モニタリング調査及び赤潮発生予測

2021 年度の県内の赤潮発生件数は 13 件で (表 1)、平年より少なかった (2012-21 年度の平均赤潮発生数: 14.9 件)。このうち、主要な海域についてみると、浦ノ内湾 (9 件) 及び野見湾 (2 件) では平年並み、宿毛湾 (2 件) では平年より少なかった。

浦ノ内湾における 2000~2021 年の *K. mikimotoi* 及び *Chattonella* spp. の赤潮発生状況をみると、まず *K. mikimotoi* 赤潮が発生し、次いで *Chattonella* spp. 赤潮が発生するケースが多く、赤潮発生時の最低水温は *K. mikimotoi* が 20.2°C、*Chattonella* spp. が 22.7°C であった (上村ら 2023)。また、近年浦ノ内湾では *K. mikimotoi* 及び *Chattonella* spp. による赤潮が毎年発生しており、密度がそれぞれ 100 または 10 cells/mL を超えてから赤潮を形成するまでの期間は平均 1~2 週間であった。本年度は、4 月 18 日に *K. mikimotoi* が 100 cells/mL を超え、1

～2週間後（平均値：20日，中央値：14日）の4月下旬に赤潮が発生する可能性もあったが、実際には3週間後の5月6日に発生した。これは、100 cells/mL到達日における深度5m層の水温が18.8℃と本種の増殖に最適な水温である25℃（山口・本城 1989）より低かったことに起因すると考えられた。過去20年間においても4月に本種の赤潮が発生した事例がないことに加え、赤潮発生時の最低水温が20℃以上であることから、4月以前の低水温期（20℃未満）に赤潮が発生する可能性は低いと推察される。一方、シャットネラ赤潮は予測より早く発生した。過去、10 cells/mLから赤潮までの期間は平均1～2週間（平均値：11日）であるが、中央値は7日であり予測より早く発生する可能性があった。今後、予測より早く発生する事例が続けば、予測における赤潮発生時期を算出する基準を平均値から中央値へ変更することも検討する必要がある。

昨年度は、*K. mikimotoi*が5月上旬に100 cells/mLに達して以降、増殖せず減少に転じており、5月上旬に発生した*H. akashiwo*の赤潮及び高密度の珪藻類が本種の増殖を抑制したと推察された（上村ら 2023）。本年度も*H. akashiwo*の赤潮が4月下旬に発生し、一時的に*K. mikimotoi*の増殖を抑制したものの、赤潮形成期間は短期間であり、珪藻類も低密度で推移した。そのため、本年度は昨年度より*K. mikimotoi*赤潮の発生が早期であったと考えられた。宿毛湾では本年度、魚類に対して有害とされる赤潮は発生しなかった。同湾で最も注意すべき赤潮原因プランクトンは*C. polykrikoides*である。これまでの宿毛湾における本種による赤潮の起源は、湾奥部を発生源とする場合と隣接海域からの流入の2パターンであり、主な発生時期は5～7月であった。前者については、近年*C. polykrikoides*の増殖が確認された場合に、赤潮防除剤（入来モンモリ）を散布しており、増殖抑制に効果的であることが示唆されている。これらのことから、同湾においては、増殖期及び赤潮発生期である4～7月に湾奥部と隣接海域の細胞密度を注視することが漁業被害の軽減につながると考えられる。

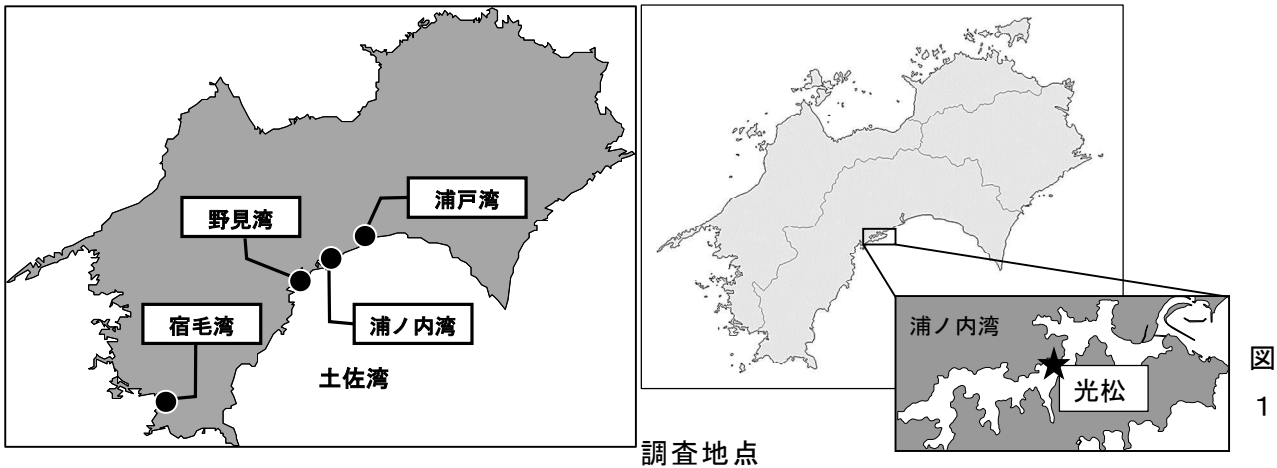
2) *K. mikimotoi*と光強度の関係

本研究において、*K. mikimotoi*は海水面の光量子束密度が500～1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ となる光環境下では分散して鉛直集積度が低下し、強光（1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ <）が到達する深度を避けて分布する傾向がみられた。周防灘では、本種が晴天時には中層で定位、曇天時には表層へ浮上することが確認されていることから（山口 1994）、これらの中間にあたるような光環境下では鉛直移動が緩慢になると推察される。このことから、本研究で光量子束密度が500～1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ と中間的な光条件であった時は、緩やかな鉛直移動を行っていた個体群が多層に分散し、鉛直集積度が低下したと考えられた。本種は、室内実験において10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ から増殖することができ、110 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で増殖が飽和することが知られている（山口・本城 1989）。また、本種を対象としたメソコスム実験において、高値のクロロフィル濃度（蛍光値15以上）が観察された深度の光量子束密度は、平均値100±43 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であった（平江ら 2019）。本研究で、最高細胞密度が確認された深度における光量子束密度は、平均値203±193 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であり、既報よりやや大きい値であるものの、400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 未満の環境を好むことが示唆された。なお、本研究における光量子束密度はあくまで推定値であるため、他海域と比較する際には、実測値と相違ないことを確認する必要がある。

光環境に関する研究は、本種の増殖速度や鉛直移動速度など、赤潮の発生時期や水塊移動等の検討に応用される（紫加田ら 2010、山口ら 1991、山砥 2005）。また、ある種の好適な光環境に関する知見は、赤潮防除剤の最適有効濃度に達する深度等の情報と組み合わせることで、効果的な散布（方法及びタイミング）に応用できる可能性がある。以上から、光環境を含む有害プランクトンの生理及び生態学的な知見は、当該海域においても赤潮被害の軽減に役立つものと期待される。

4 引用文献

- 平江想・山砥稔文・石田直也，平慶二，小池 一彦，青木一弘．長崎県九十九島海域楠泊地先における有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* のメソコスム内での日周鉛直移動について．日本プランクトン学会報，2019，66.1: 1-10.
- 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「赤潮発生監視調査事業」.123-129.
- 紫加田知幸，櫻田清成，城本祐助，生地暢，吉田誠，大和田紘一．八代海における植物プランクトンの増殖に与える水温，塩分および光強度の影響．日本水産学会誌，2010，76.1: 34-45.
- Thimijan, R. W., & Heins, R. D. (1983). Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. HortScience, 18(6): 818-822.
- 山口峰生・本城凡夫．有害赤潮鞭毛藻 *Gymnodinium nagasakiense* の増殖におよぼす水温，塩分および光強度の影響．日本水産学会誌，1989，55.11: 2029-2036.
- 山口峰生・今井一郎・本城凡夫．山口峰生；今井一郎；本城凡夫．有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella antiqua* と *C. marina* の増殖速度に及ぼす水温，塩分および光強度の影響．日本水産学会誌，1991，57.7: 1277-1284.
- 山口峰生．*Gymnodinium nagasakiense* の赤潮発生機構と発生予知に関する生理生態学的研究．1994.南西海区水産研究所研究報告 No.27: 251-394.
- 山砥稔文・坂口昌生・高木信夫・岩滝光儀・松岡敷充．西九州沿岸に分布する有害渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef の増殖に及ぼす水温，塩分および光強度の影響．日本プランクトン学会報，2005，52.1: 4-10.
- 横山勝英・児玉真史・岡村和磨・山本浩一・池ノ谷直樹．筑後川の高濁度感潮域における光強度と植物プランクトンの変動．土木学会論文集 B1（水工学）68.4（2012）: 1585-1590.



調査地点

図
1

Karenia mikimotoi 予測マニュアル

- ①海水中の*K. mikimotoi*の遺伝子量が増加傾向にあると赤潮の発生リスクが高い
- ②調査定点の細胞密度が100 細胞/mLを超えると、概ね1～2週間程度で赤潮が発生（2000～2021年における赤潮発生までの日数：最短2日、最長80日）
- ③深度5m層の水温が20℃以上になると、赤潮が発生する傾向がある

※ *K. mikimotoi*の赤潮基準：1,000 cells/mL以上

Chattonella spp. 予測マニュアル

- ①海水中の*Chattonella* spp.の遺伝子量が増加傾向にあると赤潮の発生リスクが高い
- ②調査定点の細胞密度が10 細胞/mLを超えると、概ね1～2週間程度で赤潮が発生（2000～2021年における赤潮発生までの日数：最短2日、最長41日）
- ③深度5m層の水温が22℃以上になると、赤潮が発生する傾向がある

※ *Chattonella* spp.の赤潮基準：100 cells/mL以上

図2 浦ノ内湾における*K. mikimotoi*及び*Chattonella* spp.の赤潮発生予測マニュアル

表1 2022年度の赤潮発生状況

	発生期間		発生海域	構成プランクトン	最高細胞密度 (cells/mL)	漁業被害
2022年	4月22日	～ 5月2日	浦ノ内湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	192,000	無し
	4月28日	～ 5月4日	野見湾	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	1,050	有り
	5月6日	～ 5月20日	浦ノ内湾	<i>Karenia mikimotoi</i>	9,400	無し
	5月10日	～ 5月30日	浦ノ内湾	<i>Prorocentrum dentatum</i>	115,500	無し
	5月13日	～ 5月17日	浦ノ内湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	5,200	無し
	6月2日	～ 6月30日	浦ノ内湾	<i>Karenia mikimotoi</i>	35,000	無し
	6月17日	～ 8月24日	浦ノ内湾	<i>Chattonella</i> spp.	11,900	無し
	7月22日	～ 8月19日	浦ノ内湾	<i>Chattonella</i> spp.	33,000	無し
	8月22日	～ 9月13日	浦ノ内湾	<i>Heterocapsa circularisquama</i>	60,500	無し
	11月7日	～ 11月21日	野見湾	<i>Heterocapsa circularisquama</i>	12,700	無し
	12月27日	～ 1月11日	宿毛湾	<i>Mesodinium rubrum</i>	30,000	無し
2023年	3月27日	～ 4月11日	宿毛湾	<i>Prorocentrum</i> sp.	22,700	無し
	3月30日	～ 4月7日	浦ノ内湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	18,500	無し

表 2 2022 年度の赤潮による漁業被害

	発生期間		発生海域	被害内容			原因種
				魚種	数量(尾)	被害額(千円)	
2022年	4月30日	～ 5月3日	野見湾	カンパチ	580	1,191	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>

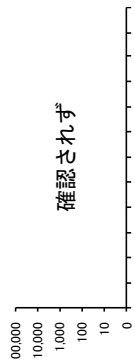
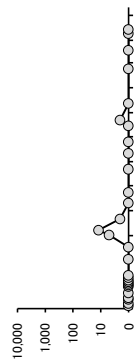
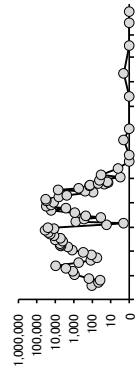
浦ノ内湾

野見湾

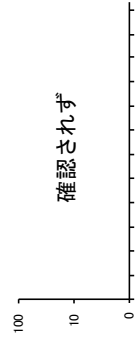
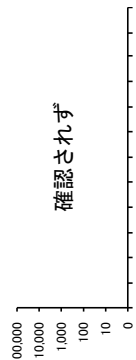
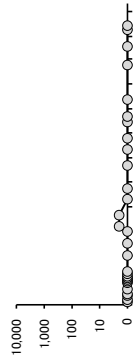
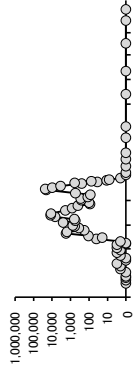
浦戸湾

宿毛湾

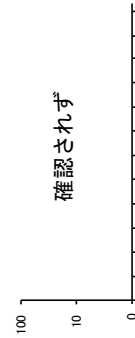
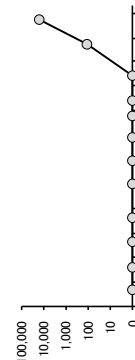
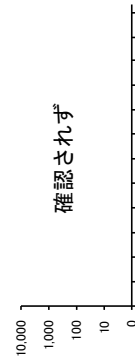
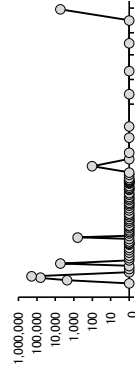
Karenia mikimotoi



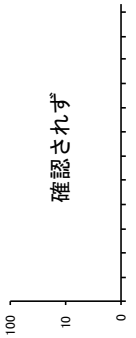
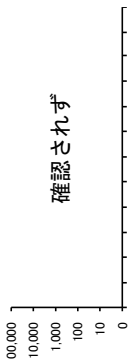
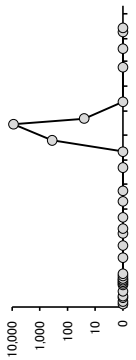
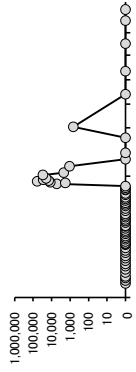
Chattonella spp.



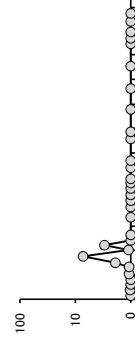
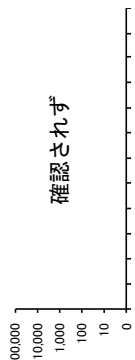
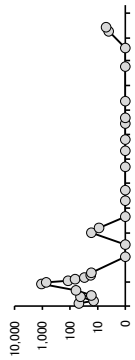
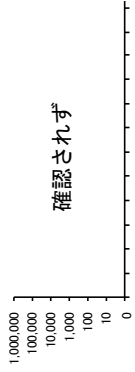
Heterosigma akashiwo



Heterocapsa circularisquama

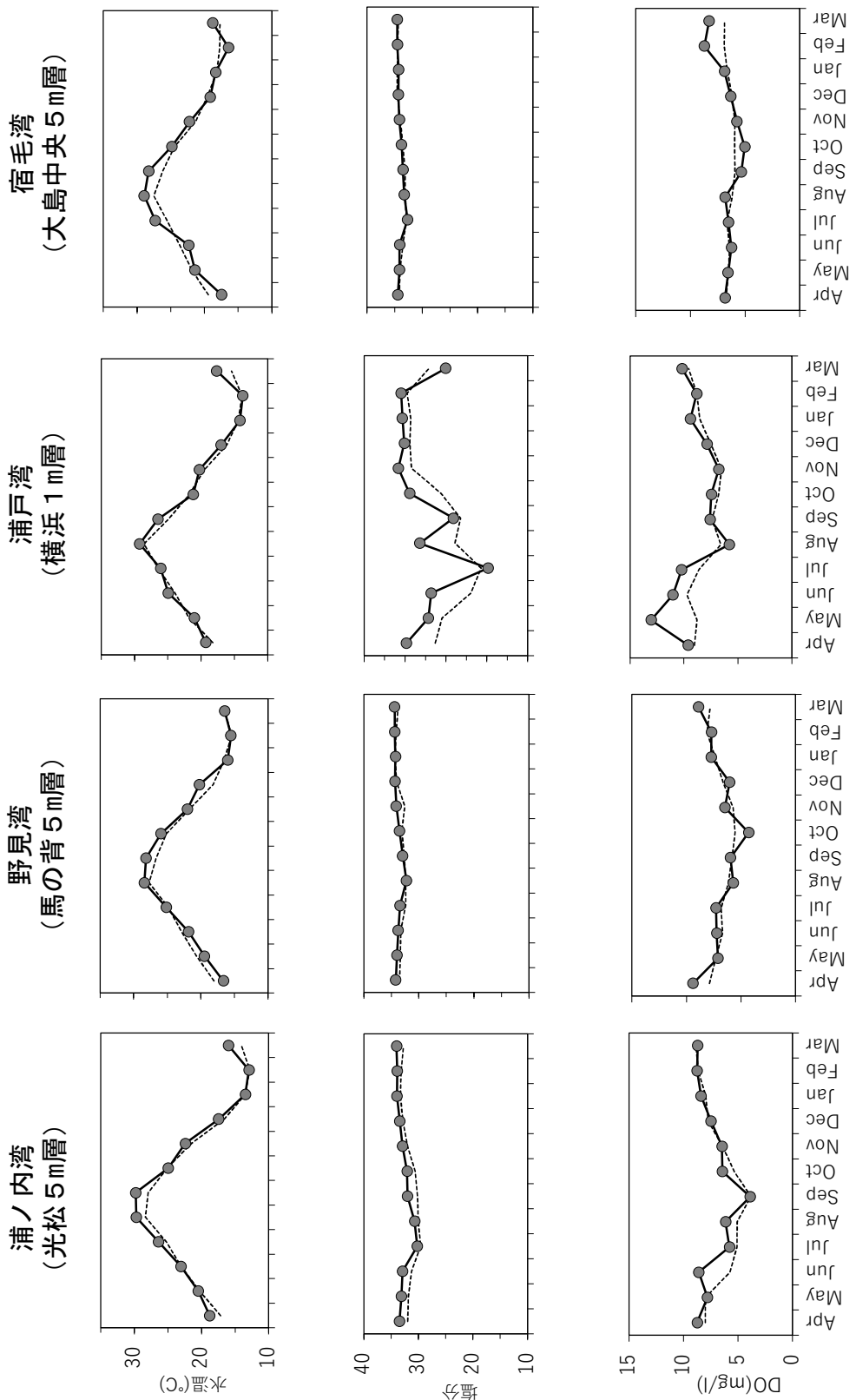


Cochlodinium polykrikoides



葉状細胞密度 (cells/mL)

図3 2022年度の各湾における有害プランクトン密度の推移



----- 平年値 ●— 2022年度

図 4 2022 年度における各湾の海洋環境
(平年値：2012-2021 年度の過去 10 年の平均値)

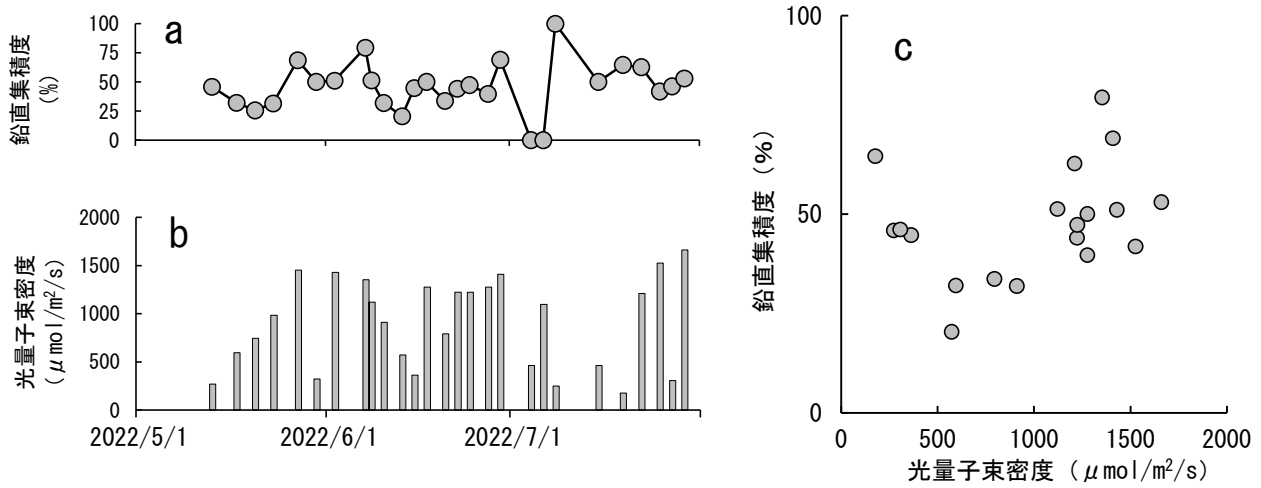


図5 a: 浦ノ内湾（光松漁場）における *K. mikimotoi* の鉛直集積度の推移
 b: 浦ノ内湾（光松漁場）における海水面の光量子束密度の推移
 c: 浦ノ内湾（光松漁場）における *K. mikimotoi* (1×10^3 cells/mL 以上) の鉛直集積度と海水面の光量子束密度の関係

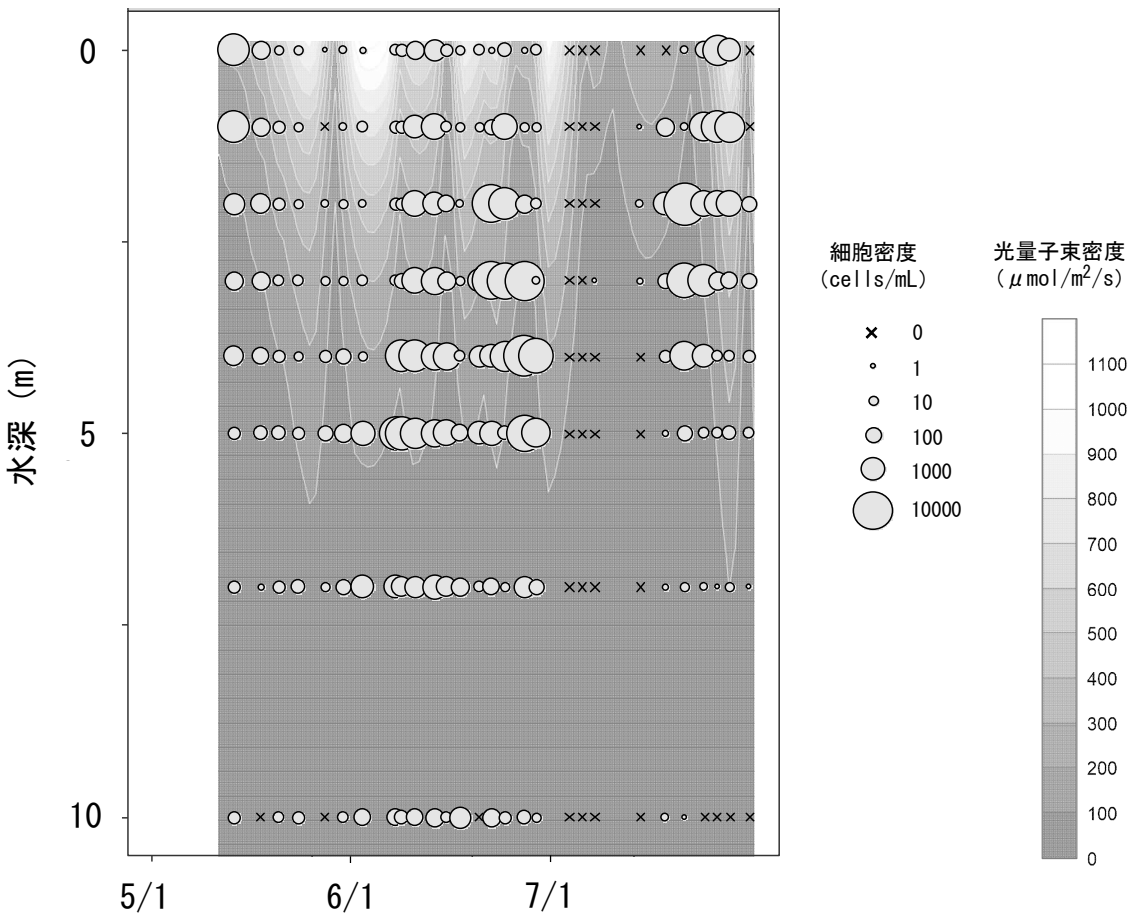


図6 *K. mikimotoi* 及び光量子束密度の鉛直分布