

漁場環境改善推進事業

増養殖環境課 占部 敦史

1 背景・目的

豊後水道を含む瀬戸内海西部海域や本県中部の浦ノ内湾では、*Karenia mikimotoi* 赤潮による被害が頻発している。瀬戸内海西部海域では、2012年に本種による広範囲の赤潮が発生、県によっては十数億円にのぼる過去最大の漁業被害が発生した。このような赤潮による漁業被害を未然に防止、あるいは軽減するためには、赤潮発生海域を網羅した広域連携調査を実施する必要がある。本事業では、瀬戸内海西部海域の沿岸県（福岡県、大分県、山口県、広島県、愛媛県及び高知県）が連携して広範な調査を実施し、有害赤潮プランクトンの発生状況及び海洋環境を監視するとともに、赤潮発生シナリオ及び環境要因を基にした予察技術等の改良と検証を行うことにより、漁業被害の軽減に資することを目的とする。

なお、本事業は水産庁の委託事業であり、その成果については別途報告している（水産庁2021）。本稿ではその内容を抜粋して記載する。

2 方法

（1）モニタリング調査

本県では浦ノ内湾及び宿毛湾を調査海域とし、両海域でそれぞれ5及び6点を調査定点とした（図1）。調査期間及び回数は、浦ノ内湾が2020年5月～2021年1月で、赤潮発生時期（6～8月）に月4回、その他の時期に月1回の計18回、宿毛湾が2020年5～11月で、月1回の計7回であった。調査項目は、海洋環境（水温、塩分、溶存酸素量（DO）、栄養塩及びクロロフィル量）並びに有害プランクトン及び珪藻類の細胞密度とした。

（2）*K. mikimotoi* 高感度監視調査

浦ノ内湾及び宿毛湾のそれぞれ1点を調査定点とし（図1）、海水中の*K. mikimotoi*の高感度調査を行った。採水は1～4月の間に月1回の頻度で行った。表層と10m層の海水1Lずつを孔径5µmのメンブレンフィルターで濾過し、そのフィルターを-30℃で凍結保存して、愛媛大学南予水産研究センターに送付した。同センターでは、*K. mikimotoi*、*Cochlodinium polykrikoides*、*Heterocapsa circularisquama*、*Chattonella* spp. (*antiqua*+*marina*+*ovata*)、*Heterosigma akashiwo*の遺伝子を標的にして、リアルタイムPCRで遺伝子量を測定した。得られた遺伝子量は、既知の細胞数の遺伝子量を基に細胞数に換算した。また、調査サンプルと同一の海水100mLを濃縮検鏡し、比較対象とした。

（3）赤潮発生シナリオと予察技術の検証と改良

1) *K. mikimotoi* とその他のプランクトンの動態

他海域の養殖現場では、*K. mikimotoi*による赤潮が発生する前には、*Prorocentrum* spp. 又は*H. akashiwo*による赤潮が発生すると経験的に言われている。本項目では、この経験則が高知県海域にも当てはまるかを確認するため、次のような解析を行った。*K. mikimotoi*赤潮が発生した年を対象として、*K. mikimotoi*赤潮基準密度初認日（以下「赤

潮初認日」という。)以前に *Prorocentrum* spp. 及び *H. akashiwo* が赤潮を形成していた割合を算出した。*K. mikimotoi*、*Prorocentrum* spp. 及び *H. akashiwo* の赤潮発生は、「瀬戸内海の赤潮」(水産庁瀬戸内海漁業調整事務所)を参考とした。

2) *K. mikimotoi* 赤潮と梅雨との関係

本種の 100 cells/mL 及び 1,000 cells/mL 以上の細胞密度の初認日(以下、それぞれ「100 cells/mL 以上初認日」、「1,000 cells/mL 以上初認日」という。)と、梅雨の開始時期及びその期間との関連を検証した。梅雨の期間は気象庁による 1989 年以降の梅雨入り日及び梅雨明け日(<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/baiu/index.html>)を参照した。

3) 赤潮予察技術の検証

K. mikimotoi 赤潮の発生シナリオの構築及び判別分析による予察技術を 2017 年に開発し、2018~2019 年までの結果の検証を行ってきた(岩野ら 2020)。本年度はそれに 2020 年の結果を追加し、再度検証を行った。

3 結果と考察

(1) モニタリング調査

海洋環境の調査結果は、委託事業の成果として報告書に記載しているため(水産庁 2021)、本稿では浦ノ内湾の 5 定点のうち中学校前及び光松並びに宿毛湾の 6 定点のうちの大島中央における水温、塩分及び溶存酸素のみを記載する。

1) 浦ノ内湾 中学校前

水温は表層で 11.8~31.6 °C、2m 層で 11.9~30.1 °C、5m 層で 11.9~29.5 °C、10m 層で 11.9~29.4 °C、B-1 層(底上 1m)で 11.9~29.2 °C であった。塩分は表層で 9.2~33.5、2m 層で 24.2~33.5、5m 層で 27.3~33.5、10m 層で 29.7~33.6、B-1 層で 29.8~33.8 であった。溶存酸素量は表層が 0.5~13.2 mg/L、2m 層が 4.5~16.7 mg/L、5m 層が 1.2~10.1 mg/L、10m 層が 0.0~8.7 mg/L、B-1 層が 0.0~8.7 mg/L であった(図 2-1)。水温は表層と 2m 層で 8 月に 30.0 °C 以上となり、平年より高めに推移した。塩分は 7 月に降雨の影響で表層が低めで推移した。溶存酸素量は 6~9 月に 10m 層から底層付近で減少し、例年と同様に貧酸素状態となった。

2) 浦ノ内湾 光松

水温は表層で 13.3~31.4 °C、2m 層で 13.3~29.9 °C、5m 層で 13.4~29.3 °C、10m 層で 13.4~29.5 °C、B-1 層で 13.5~29.3 °C であった。塩分は表層で 14.2~33.9、2m 層で 23.4~33.9、5m 層で 27.2~33.9、10m 層で 29.8~33.9、B-1 層で 30.2~34.0 であった。溶存酸素量は表層が 5.2~12.6 mg/L、2m 層が 5.1~14.1 mg/L、5m 層が 4.0~8.3 mg/L、10m 層が 1.1~8.0 mg/L、B-1 層が 0.0~8.0 mg/L であった(図 2-2)。水温は表層で 8 月に 30.0 °C 以上となり、平年より高めで推移した。塩分は 7 月に降雨の影響で表層が低めで推移した。溶存酸素量は 6~9 月に底層付近で減少し、例年と同様に貧酸素状態となった。

3) 宿毛湾 大島中央

水温は表層で 17.7~28.8 °C、5m 層で 18.2~27.3 °C、10m 層で 18.2~26.5 °C、15m 層

で 18.2～26.1 °C、20m 層で 18.1～25.9°C であった。塩分は表層で 22.5～34.7、5m 層で 33.1～34.7、10m 層で 33.4～34.7、15m 層で 33.6～34.7、20m 層で 33.7～34.7 であった。溶存酸素量は表層が 4.9～7.5 mg/L、5m 層が 4.8～7.1 mg/L、10m 層が 4.8～7.3 mg/L、15m 層が 5.0～7.2 mg/L、20m 層が 5.0～7.2 mg/L であった (図 2-3)。水温及び塩分は 7 月の降雨による影響で、表層が低めで推移した。

なお、すくも湾漁業協同組合が宿毛湾に設置しているリアルタイム水温観測ブイによると、8 月 21 日～9 月 5 日における水深 5m 層の日平均水温は 29.0 °C を上回り、最高で 30.1 °C を記録した。宿毛湾では 8 月下旬から 9 月初旬にかけて著しい高水温状態となっていた。

(2) *K. mikimotoi* 高感度監視調査

遺伝子調査の結果を図 3 に示す。浦ノ内湾では本種の遺伝子が 4 月に検出されたものの、検鏡では 1～4 月に検出できなかった。ただし、(1) のモニタリング調査で実施した検鏡では 4 月以降に継続的に確認され、6 月に赤潮が形成された。宿毛湾では 2～3 月に遺伝子調査で検出されたものの、検鏡では 4 月のみ確認された。

(3) 赤潮発生シナリオと予察技術の検証と改良

1) *K. mikimotoi* とその他のプランクトンの動態

K. mikimotoi 赤潮の発生が確認された年について、*Prorocentrum* spp. 及び *H. akashiwo* が *K. mikimotoi* 赤潮初認日以前に赤潮を形成していた割合は、浦ノ内湾がそれぞれ 5.3% 及び 73.7%、宿毛湾がそれぞれ 33.3% 及び 0.0% であった (表 1)。浦ノ内湾において *H. akashiwo* 赤潮が発生すると、*K. mikimotoi* 赤潮が発生する傾向が高かったが (73.7%)、この因果関係は明らかでないこと、10 回のうち 3 回は *K. mikimotoi* 赤潮が発生しないことから、現段階で予察手法として取り入れることは厳しいと考えられた。これらの結果から、浦ノ内湾と宿毛湾では *Prorocentrum* spp. 及び *H. akashiwo* 赤潮発生の有無によって、*K. mikimotoi* 赤潮発生を予察することは困難であると推察された。

2) *K. mikimotoi* 赤潮と梅雨との関係

気象庁による梅雨入り日と梅雨明け日、*K. mikimotoi* の 100 cells/mL 以上初認日及び 1,000 cells/mL 以上初認日を図 4 に示す (データは浦ノ内湾が 1989 年～、宿毛湾が 2014 年～)。浦ノ内湾では梅雨入り前に 100 cells/mL に到達することが多く、100 cells/mL 以上初認日は年によって大きく変動していた。また、100 cells/mL 以上初認日から 1,000 cells/mL 以上初認日までに要した日数は浦ノ内湾で平均 15.9 日、宿毛湾で平均 6.0 日だった。経年変化に注目すると、浦ノ内湾では 2010 年ごろを境に 100 cells/mL 及び 1,000 cells/mL 以上初認日が早まっていた。

3) 赤潮予察技術の検証

浦ノ内湾について、2020 年は *K. mikimotoi* 赤潮の発生年となった。予察モデルでは多くの組み合わせで「発生年」と予察され、予察は概ね的中した (表 2)。

2002～2017年の解析期間で抽出された赤潮発生に関する環境因子の組み合わせのうち、2018～2020年の3年間にわたって的中「◎」した組み合わせは5つで、それらに含まれる環境因子は1月中旬降水量、3月中旬日照時間、4月5m層及び底層DIN、5月表層D0、6月降水量、6月下旬日照時間の7項目であった。さらに、2019～2020年の2年間の中「◎」した組み合わせは9つで、前述の項目以外に3月中旬日照時間、4月降水量、5月10m層及び底層D0が含まれた。

2018～2020年の3年間にわたって、予察モデルは大きく外れることはなくほぼ的中しているものの、2002～2020年に本種の赤潮が発生しなかった年は3か年しかなく、予察モデルが機能しているかどうかは判断できなかった。また、近年、本種の赤潮は5～6月に発生することが多い一方、予察モデルに組み込まれている環境因子は5月以降のものが多く、5月発生を予察できないことも課題である。

浦ノ内湾では、前述したように本種の赤潮がほぼ毎年発生する。しかしながら、その赤潮発生においては大規模となる年（最大細胞密度：10,000 cells/mL以上）と小規模となる年に分けられ、昨年度の解析では大規模化に関係する環境因子が11項目存在することが示唆された。特に、4月の中層～底層のDINが高く、5月の中層～底層の塩分が低く、5～6月の降水量が多いと大規模化しやすい。これら蓄積したデータを基に、浦ノ内湾では発生・非発生だけでなく大規模化の有無についての予察モデルを新たに構築する必要がある。

宿毛湾について、2020年は*K. mikimotoi*赤潮の非発生年となり、遊泳細胞も最高で1 cell/mLを確認するにとどまった。2002～2020年のうち、本種の赤潮が発生した年は3か年だけであるため、当該海域における本種の予察モデルは構築できておらず、検証には至っていない。一方、過去の少数発生事例からは、隣接する海域での本種の赤潮発生後に当該海域でも赤潮が発生する傾向がある。そのため、隣接海域からの移入・集積が当該海域での本種の赤潮発生の一因と考えられている。2020年は本種の赤潮が隣接海域で確認されておらず、当該海域でも低密度であった。今後も、当該海域と隣接海域における発生状況に密接な関わりがあるか検証していくことが必要である。高感度調査では本種遺伝子が2月及び3月に検出されたが、検鏡による遊泳細胞の初認は6月であった。これらのことから、赤潮発生に直接結びつかないものの、本種は検鏡では確認できないような低レベルの細胞密度で周年にわたり宿毛湾に存在している可能性がある。

4 引用文献

水産庁（2021）令和2年度漁場環境改善推進事業のうち栄養塩、赤潮・貧酸素水塊対策に対する被害軽減技術等の開発「（2）赤潮被害防止対策技術の開発 事業報告書」，東京。

水産庁（1989-2018）瀬戸内海の赤潮，東京．59-117。

岩野英樹・畦地和久・井口大輝・中里礼大・内海訓弘・加川真行・黒田麻美・村田憲一・工藤孝也・本田宇聖・吉村栄一・馬場俊典・國森拓也・後川龍男・恵崎 撰・竹中彰一・平井真紀子・鈴川健二・谷口越則・吉江直樹・郭 新宇・清水園子・松原孝博・武岡英隆・山口晴生・外丸祐司・坂本節子・鬼塚 剛・山口 聖（2020）令和2年度漁場環境改善推進事業のうち栄養塩、赤潮・貧酸素水塊対策に対する被害軽減技術等の開発「（2）赤潮

被害防止対策技術の開発 事業報告書」，水産庁，東京．57-116.

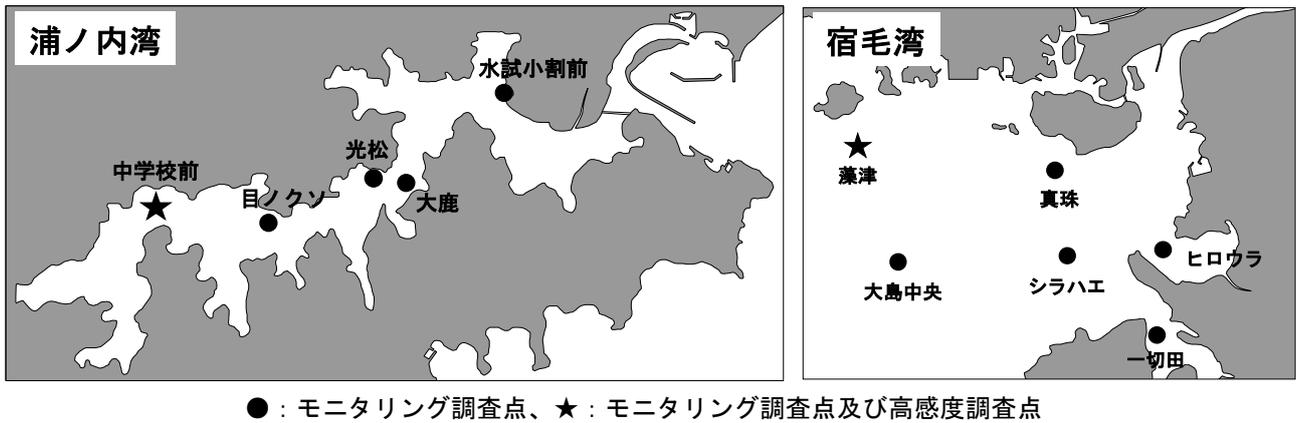
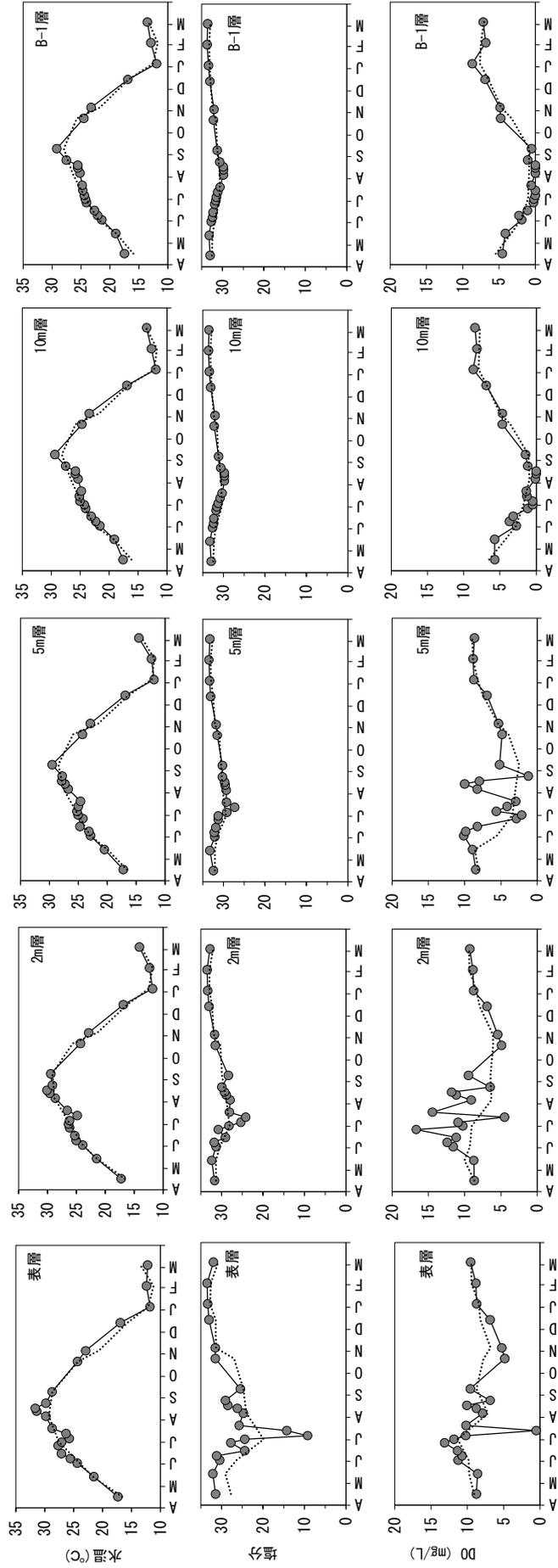


図1 浦ノ内湾及び宿毛湾の調査点



—●— 2020年度 平年値

図 2-1 2020 年度の浦ノ内湾中学校前のモニタリング調査結果

(平年値：2010-2019 年度の過去 10 年の平均値)

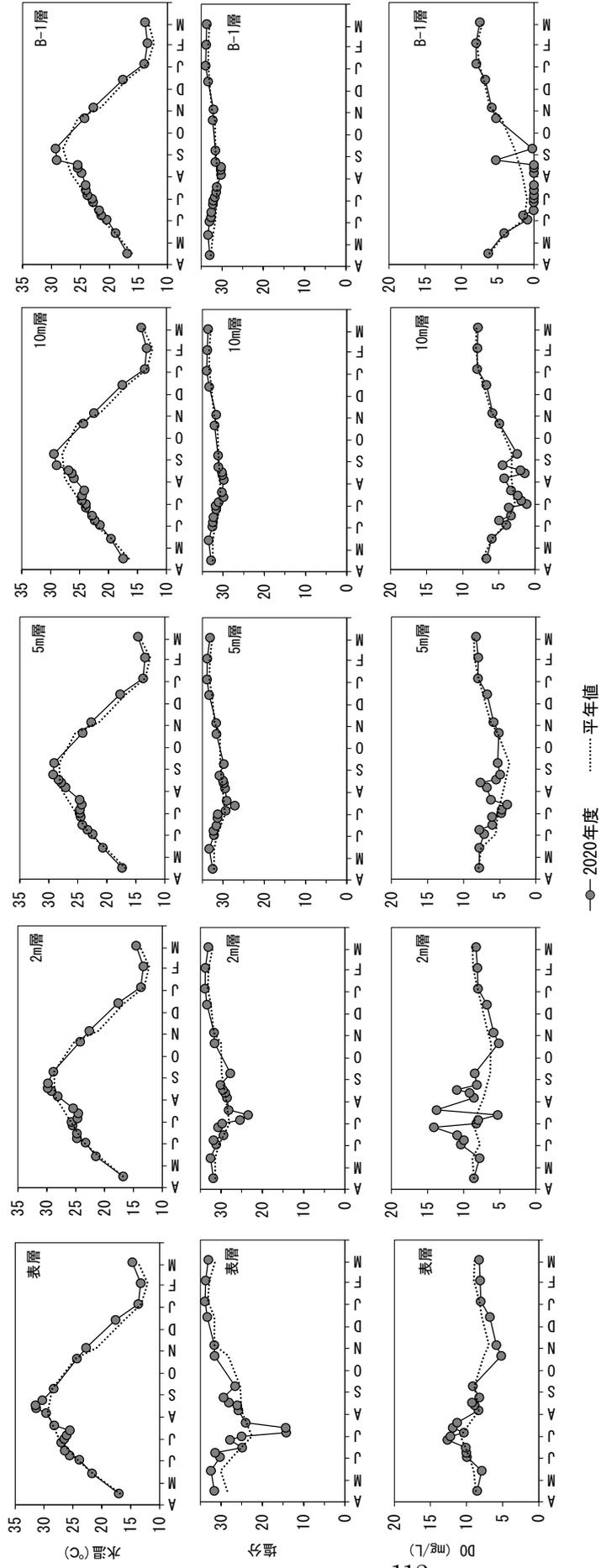


図 2-2 2020 年度の浦ノ内湾光松のモニタリング調査結果
 (平年値：2010-2019 年度の過去 10 年の平均値)

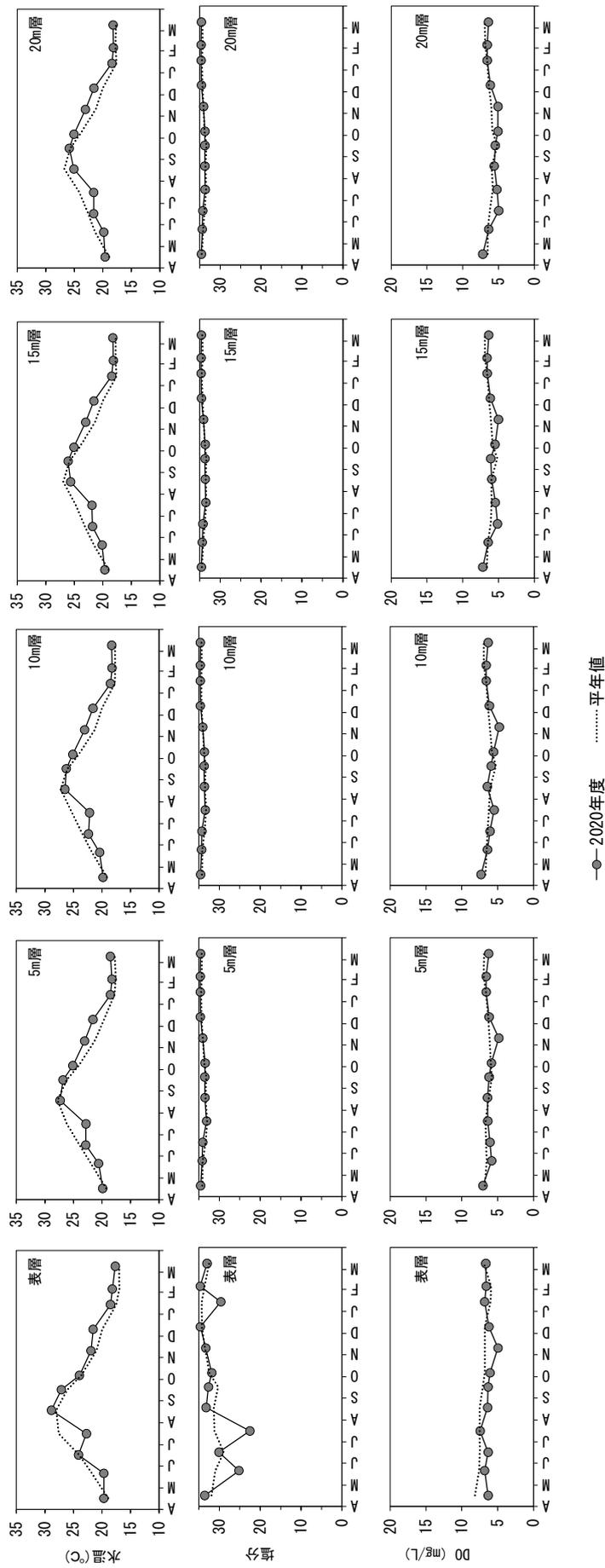


図 2-3 2020 年度の宿毛湾大島中央のモニタリング調査結果

(平年値 : 2010-2019 年度の過去の 10 年の平均値)

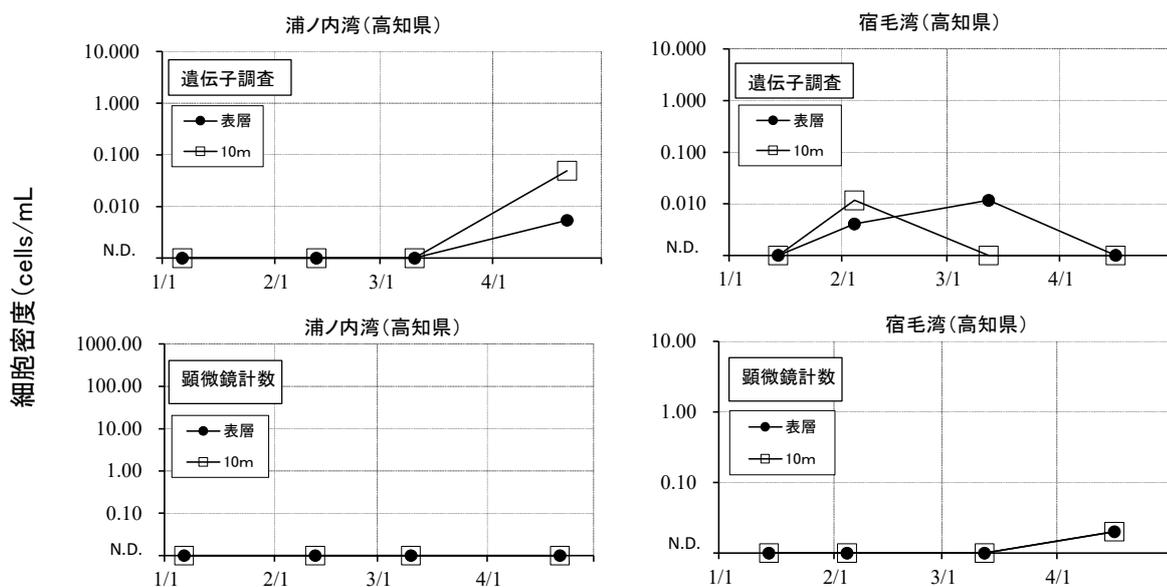


図3 2020年の *K. mikimotoi* の遺伝子調査結果 (上：遺伝子調査、下：検鏡)

表1 *K. mikimotoi* 赤潮の発生が確認された年を対象として、*K. mikimotoi* 赤潮初認日以前に *Prorocentrum* spp. 及び *H. akashiwo* が赤潮を形成していた割合 (%)

	<i>Prorocentrum</i> spp.	<i>H. akashiwo</i>
高知県浦ノ内湾 (n=19)	5.3%	73.7%
高知県宿毛湾 (n=3)	33.3%	0.0%

※n：各海域において解析対象期間中に *K. mikimotoi* が赤潮となった回数を示す

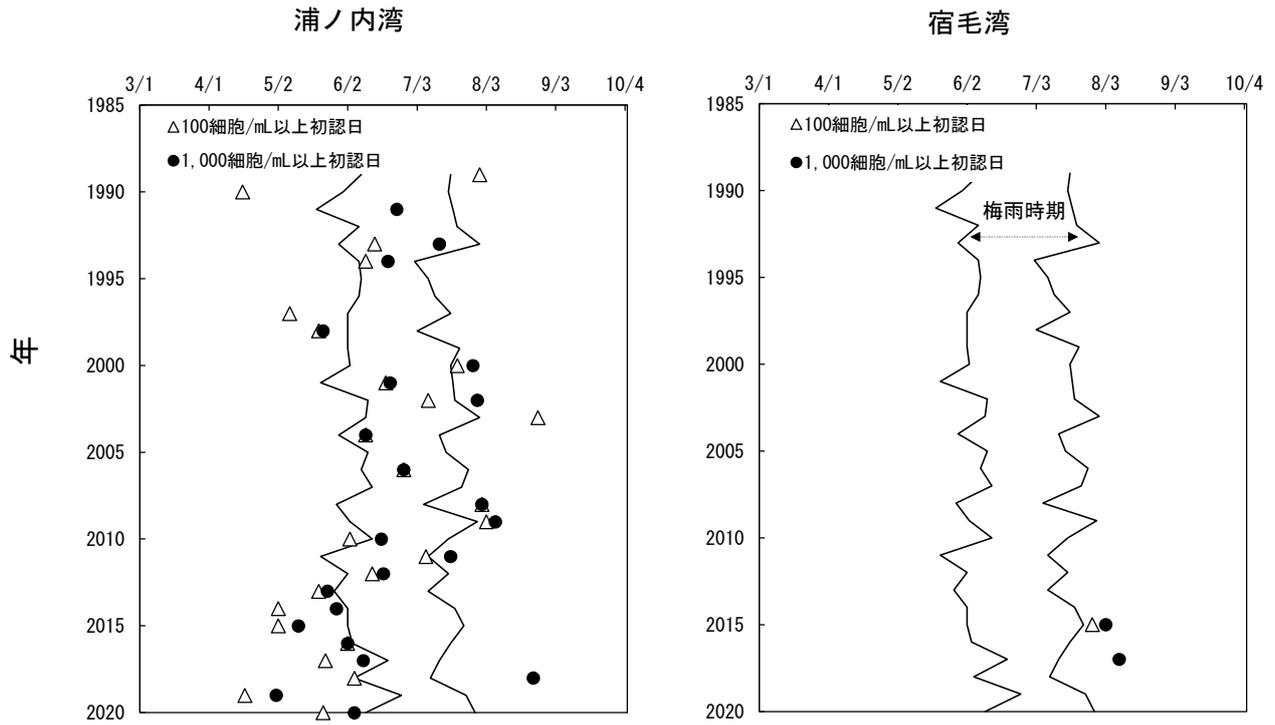


図4 梅雨と *K. mikimotoi* 赤潮初認日との関連

表2 浦ノ内湾（土佐湾海域）における *K. mikimotoi* 赤潮の発生・非発生の
マハラノビス距離による判別予測・結果

	説明変量	説明変数の数	判別期間 (年)	的中率 (%)		2018年	2019年	2020年
1	6月下旬平均気温	2	2002~ 2017	93.8	予測	△	△	△
	6月降水量				的中	○	○	○
2	6月下旬平均気温	2	2002~ 2017	100.0	予測	△	△	△
	4月底層DIN				的中	○	○	○
3	1月中旬降水量	2	2002~ 2017	87.5	予測	○	○	○
	3月中旬日照時間				的中	◎	◎	◎
4	1月中旬降水量	2	2002~ 2017	87.5	予測	○	○	○
	5月表層D0				的中	◎	◎	◎
5	4月降水量	2	2002~ 2017	81.3	予測	△	○	○
	3月中旬日照時間				的中	○	◎	◎
6	6月降水量	2	2002~ 2017	87.5	予測	○	○	○
	4月底層DIN				的中	◎	◎	◎
7	3月中旬日照時間	2	2002~ 2017	87.5	予測	△	○	○
	5月10m層D0				的中	○	◎	◎
8	3月中旬日照時間	2	2002~ 2017	93.8	予測	△	○	○
	5月底層D0				的中	○	◎	◎
9	6月下旬日照時間	2	2002~ 2017	87.5	予測	○	○	○
	5月表層D0				的中	◎	◎	◎
10	6月下旬日照時間	2	2002~ 2017	87.5	予測	○	○	○
	4月5m層DIN				的中	◎	◎	◎
11	5月表層D0	2	2002~ 2017	87.5	予測	△	○	○
	5月底層D0				的中	○	◎	◎
12	5月底層D0	2	2002~ 2017	87.5	予測	○	○	△
	4月底層DIN				的中	◎	◎	○

※予測の欄では各環境因子の組み合わせで予測した発生確率が80%より大きい場合を「○」、20~80%を「△」、20%未満を「×」と表記

※的中の欄では予測と赤潮発生状況（結果）が一致した場合を「◎」、「△」と予測して発生した場合を「○」、「△」と予察して非発生の場合を「△」、予察と結果が一致しなかった場合を「×」と表記

※赤潮発生は1,000 cells/mLとした