

漁場環境改善推進事業（抜粋）

増養殖環境課 上村 海斗

1 背景・目的

瀬戸内海西部海域では、有害赤潮プランクトンによる漁業被害が頻繁に発生している。2012年夏季には、当該海域で広範囲に *Karenia mikimotoi* 赤潮が発生し、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（水産庁 2023a）。赤潮による漁業被害を未然に防止又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、豊後水道海域及び土佐湾海域において関係機関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、既存のモニタリングデータの解析、数値モデルを用いた解析等を行うことによって当該海域における有害赤潮の発生シナリオを構築し、赤潮発生予察や漁業被害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ため（水産庁 2023b）、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、両海域のそれぞれ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2022年5～9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14回、宿毛湾が2022年5～9月で、月1回の計5回であった。調査項目は、海洋環境（水温、塩分、溶存酸素量（以下「DO」という。）、栄養塩及びクロロフィルa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。浦ノ内湾では2022年1～4月に月1回、宿毛湾では2022年2、4、5月及び6月に採水を行った。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、リアルタイムPCRで *K. mikimotoi* の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）既存データの解析（*K. mikimotoi* 赤潮発生の短期的動態について）

K. mikimotoi が100 cells/mLに到達後、赤潮発生（1,000 cells/mL）に至るまでの期間に影響した環境因子を調べた。浦ノ内湾では、1992～2021年の過去30年間のうち、本種が100 cells/mLに達した場合、90%の確率でその年に赤潮が発生している。また100 cells/mLから赤潮発生までの日数は平均22.0日（最短2日～最長80日）であった（水産庁 2022）。ここでは、赤潮発生までの日数に影響する環境因子を一般化線形モデル（以下、「GLM」という。）によって解析し、抽出した。本モデルの目的変数は100 cells/mL到達日から赤潮発生

(1,000 cells/mL) に至るまでの日数とし、説明変数は気象、海象などのデータとした。

気象データは気象庁 (<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>) のものを利用した。具体的には、100 cells/mL 到達から 2 週間後までの平均気温、合計降水量、合計日照時間、最大瞬間風速、水温差 (最高表層水温 - 平均表層水温)、他種赤潮の有無を用いた。本モデルの目的変数 (日数) はカウントデータであるため、確率分布はポアソン分布を仮定した。なお、説明変数は多重共線性がないことを確認した。モデル選択は AIC (赤池情報量規準) が最小のものをベストモデルとした。

2) 既存データの解析 (赤潮予察モデルの検証)

2017 年度までに実施した統計解析により、*K. mikimotoi* 赤潮の発生シナリオの構築および判別分析による予察技術を開発し、2018~2021 年までの結果が検証されている (水産庁 2022)。本年度は、この解析手法に 2022 年の結果を追加し、再度検証を行った。また、*K. mikimotoi* の最高細胞密度が 1,000 cells/mL 以上の年を「発生年」として解析を行った。

3 結果と考察

(1) モニタリング調査

浦ノ内湾及び宿毛湾の海域におけるプランクトン及び海象のデータは、赤潮発生監視調査事業に記載しているため、本稿では割愛する。

(2) *K. mikimotoi* 高感度監視調査

浦ノ内湾においては、5 月に赤潮が発生し、7 月まで継続した。遺伝子量は 1 月から既に高値を示しており、赤潮になる直前には 100 cells/mL 近くまで急激に増加した (図 2 水柱平均値: 0.192~93.917 cells/mL)。

宿毛湾では赤潮は発生しなかったが、遺伝子量調査では 2 月に検出されて 4 月に未検出となり、5 月に再度検出された (図 2 水柱平均値: N. D. ~0.052 cells/mL)。

(3) 赤潮発生シナリオと予察技術の検証と改良

1) 既存データの解析 (*K. mikimotoi* 赤潮発生に至る初期細胞密度について)

全 6 項目のうち、最も AIC が低かったベストモデル (AIC: 160.16) は全ての項目を含む (平均気温、合計降水量、合計日照時間、最大瞬間風速、水温差、他種赤潮の有無) ものが選択された (表 1)。100 cells/mL 到達日以降、平均気温が高く、最大瞬間風速が高く、他種赤潮が発生している場合は赤潮発生までの期間が長くなり、合計降水量が多く、合計日照時間が長く、表層水温の最大値と平均値に差が生じる (≒急激な水温上昇がある) 場合は期間が短くなる傾向があった ($P < 0.05$)。

2) 赤潮予察技術の検証

① 浦ノ内湾

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、2018~2022 年の 5 年間にわたって予測と発生状況 (結果) が的中「◎」した組み合わせは 2 通りで、それらに含まれる環境因子は「1 月中旬降水量」と「3 月中旬日照時

間」、「6月下旬日照時間」と「5月表層D0」の組み合わせであった(表2)。4年間および3年間での「◎」した組み合わせはそれぞれ3通りおよび4通りであった。また、4年間をとおして区別できない「△」と予測された組み合わせが2通りあり、これらは予察モデルとして機能しなかった。

2018～2022年の5年間において、この予察モデルでは「発生」または「区別できない」のどちらかが予測され、「非発生」は予測されなかった。これは、本モデルを構築した2002～2017年のデータのうち、本種赤潮の非発生年が3か年と少ないことから、予測が「発生」に偏っていたためと考えられた。したがって、本モデルから「非発生」を予測することは困難であることがうかがえる。さらに、浦ノ内湾では2008年以降、本種の赤潮が毎年発生しており、発生・非発生を予測する必要性は低いと考えられる。そのため、当該海域では本種の赤潮が毎年発生するものと仮定し、その規模や短期的動態についての予察モデルを構築していくことが必要であると考えられた。

②宿毛湾

本年度は*K. mikimotoi*赤潮の非発生年となり、遊泳細胞は1 mL検鏡で全く確認されなかった。2002～2022年の本種赤潮の発生は3か年と例数が少ないため、当該海域における本種の予察モデルが構築できておらず、検証には至っていない。過去の本種の少数発生事例からは、隣接する海域での発生後に当該海域で発生する傾向がみられており、隣接海域からの移入・集積が当該海域での発生の一因と考えられている。今年も本種の赤潮は隣接海域で確認されておらず、当該海域でも確認されていなかった。今後も、当該海域と隣接海域との発生状況の関連性を検証していくことが必要である。

(4) 5か年のまとめ(土佐湾海域)

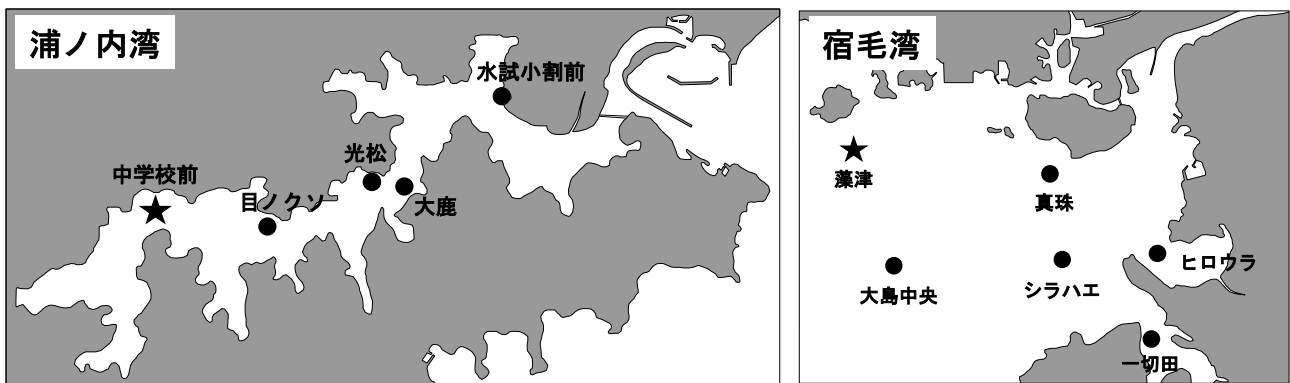
土佐湾海域の浦ノ内湾は赤潮が頻発する海域であり、本事業を実施した5か年においても*K. mikimotoi*や*Chattonella* spp.をはじめとした有害プランクトンの赤潮が毎年発生した。このうち、*K. mikimotoi*赤潮の発生日は5月上旬から8月下旬と長期にわたり、一般的な水質環境項目(水温、塩分等)のみでは説明がつかないものの、珪藻や他種プランクトンの動態が発生時期の早晩に関連していることがうかがわれた。また、本湾での密なモニタリング調査により、*K. mikimotoi*や*Chattonella* spp.は湾奥部を起点に分布を拡大させることが確認されている。これらのことから、浦ノ内湾における主な有害赤潮は地場発生であり、その発生状況の差異は他種プランクトンとの競合作用に強く影響を受けるものと考えられた。

4 引用文献

水産庁(2022) 令和3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(2023a) 令和4年度瀬戸内海の赤潮。瀬戸内海漁業調整事務所。東京。

水産庁(2023b) 令和4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。



● : モニタリング調査点、★ : モニタリング調査点及び高感度調査点

図1 浦ノ内湾及び宿毛湾の調査点

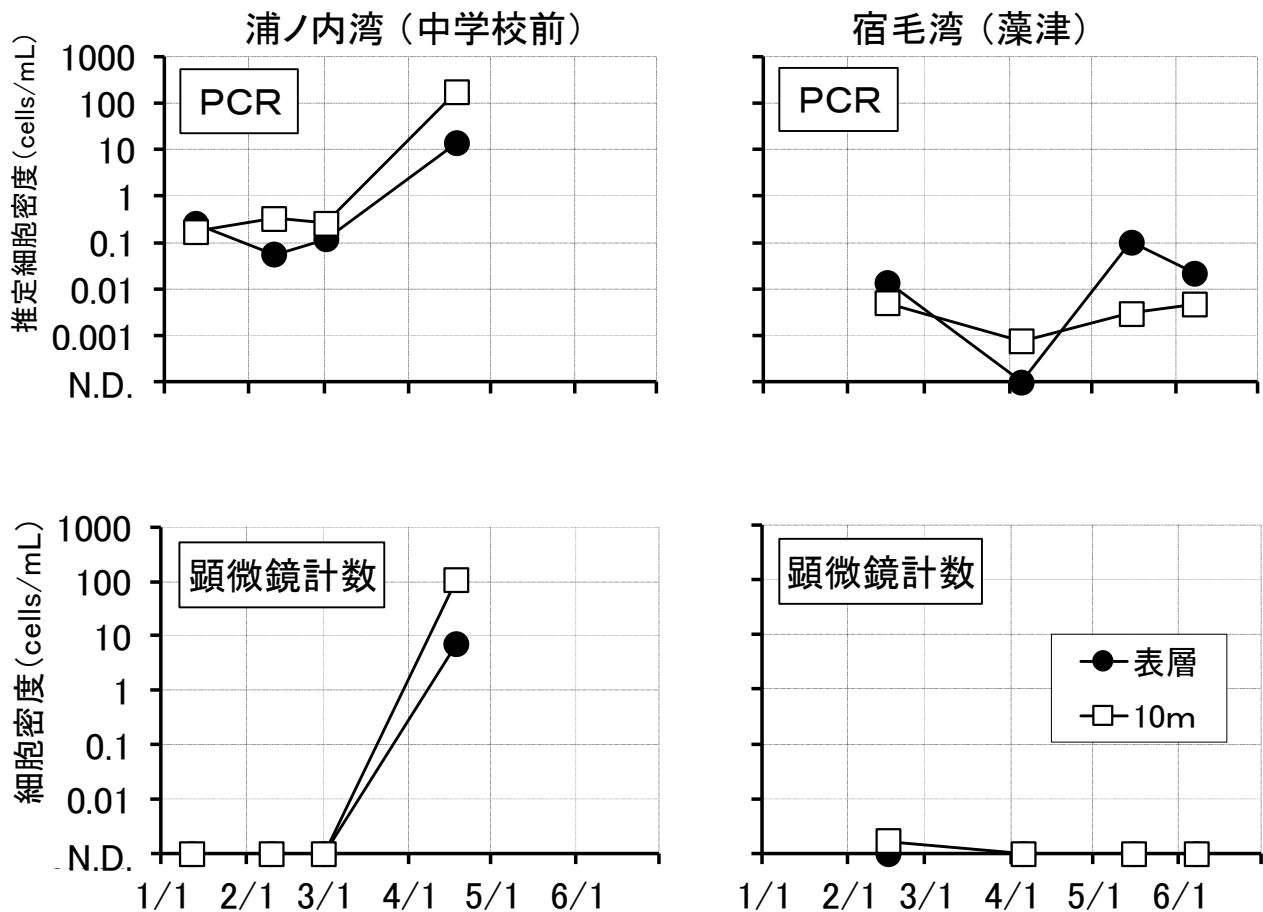


図2 2022年における *K. mikimotoi* の遺伝子調査結果 (上: 遺伝子調査、下: 検鏡)

表1 モデル選択によって選ばれたベストモデルの環境項目

	説明変数	切片	平均気温 (°C)	合計降水量 (mm)	合計日照時間 (h)	最大瞬間風速 (m・s)	水温差【表層】 (°C)	他種赤潮 の有無
高知県浦ノ内湾	Coefficient	0.94	0.07	-0.01	-0.05	1.77	-1.04	0.86
	P値	0.28	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	AIC				160.16			

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

解析手法	説明変数	説明 変数 の数	判別期間 (年)	的中率 (%)	2018年		2019年		2020年		2021年		2022年	
					予測	的中	予測	的中	予測	的中	予測	的中		
マハラノビス距離	6月下旬平均気温 6月降水量	2	2002~ 2017	93.8	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
マハラノビス距離	6月下旬平均気温 4月底層DIN	2	2002~ 2017	100.0	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○
マハラノビス距離	1月中旬降水量 3月中旬日照時間	2	2002~ 2017	87.5	○	◎	○	◎	○	◎	○	◎	○	◎
マハラノビス距離	1月中旬降水量 5月表層DO	2	2002~ 2017	87.5	○	◎	○	◎	○	◎	△	○	△	○
マハラノビス距離	4月降水量 3月中旬日照時間	2	2002~ 2017	81.3	△	○	○	◎	○	◎	○	◎	○	◎
マハラノビス距離	6月降水量 4月底層DIN	2	2002~ 2017	87.5	○	◎	○	◎	○	◎	△	○	△	○
マハラノビス距離	3月中旬日照時間 5月10m層DO	2	2002~ 2017	87.5	△	○	○	◎	○	◎	○	◎	△	○
マハラノビス距離	3月中旬日照時間 5月底層DO	2	2002~ 2017	93.8	△	○	○	◎	○	◎	○	◎	△	○
マハラノビス距離	6月下旬日照時間 5月表層DO	2	2002~ 2017	87.5	○	◎	○	◎	○	◎	○	◎	○	◎
マハラノビス距離	6月下旬日照時間 4月5m層DIN	2	2002~ 2017	87.5	○	◎	○	◎	○	◎	△	○	○	◎
マハラノビス距離	5月表層DO 5月底層DO	2	2002~ 2017	87.5	△	○	○	◎	○	◎	△	○	△	○
マハラノビス距離	5月底層DO 4月底層DIN	2	2002~ 2017	87.5	○	◎	○	◎	△	○	○	◎	○	◎

※予察と結果が一致した場合を「◎」、「△」と予察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「×」と表す。

※赤潮発生は 1000cells/mLとした