漁場環境改善推進事業（抜粋）

Ⅰ　モニタリング課題

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2024)。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。本課題では、当該海域において各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、PCR法を用いた高感度調査や赤潮発生期の高頻度調査を実施し、有害赤潮プランクトンの動態を解析する。さらに、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更新によって赤潮発生予察の高度化を進めるとともに、過去の知見も踏まえ、漁業被害軽減に資するため関係県が実行する「行動計画」を取りまとめ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（後川ら2024)、本稿ではその内容を一部抜粋して記載する。

２　方法

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）。両湾とも2023年5～9月に月1回の頻度で調査を実施し、海洋環境（水温、塩分、溶存酸素量、栄養塩及びクロロフィルa量）の測定ならびに有害プランクトン及び珪藻類の細胞密度の算出を行った。

（２）*K.mikimotoi*高感度監視調査

１）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2023年1～4月に月1回、宿毛湾では2023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5 μm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100 mL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及び赤潮が発生した際の一連の対策方法（行動計画）の検討

１）赤潮予察モデルの改良と検証

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及び判別分析による予察モデルを開発し(加川ら 2020)、2018～2022年にかけて予察結果を検証した

ところ的中率の低下が認められた（上村ら 2023)。的中率の高い予察モデルであっても、長期的な気候変動等で的中率が低下する可能性があるとの報告もある（長谷川ら 2018）ことから、予察の精度向上を目的に、2018～2022 年までのデータを追加した予察モデルを再構築し、以前構築した赤潮発生シナリオ（加川ら 2020）との整合性を検討するとともに、2023 年の予察結果を検証した。まず、統計解析により赤潮発生に関与すると想定された環境因子（海象・気象）を用いて、赤潮発生年と非発生年に分けて、環境因子の組み合わせで判別分析により判別得点を求めた。次に赤潮の発生と非発生を目的変数、判別得点を説明変数とし、ロジスティック回帰式を作成した。最後に、本年取得したデータで求めた判別得点から本年の赤潮発生又は非発生を予測し的中率を検討した。本予察モデル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「×」と表記し、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「○」、「△」と予測して非発生の場合を「△」、予測と結果が一致しなかった場合を「×」と表記した。

２）赤潮が発生した際の一連の対策方法（行動計画）の検討

赤潮被害の軽減には、モニタリング体制の充実とともに情報発信体制や近隣県を含めた情報共有体制の構築が必要であり、漁業者が各種の具体的な赤潮被害軽減対策をとるためには、得られた情報をもとに各県が適切なタイミングで赤潮注意及び警戒情報を発出する。瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域グループでは、赤潮被害軽減対策の現状把握を目的として、グループ各県における赤潮発生時の行動計画に関するアンケート調査を行った。アンケート内容は赤潮情報の発出基準、連絡体制、赤潮フェーズ毎の対応等である。このうち特に本年度は、各県の赤潮情報発出基準について、各県が赤潮注意又は警戒情報を発出する際に対象となる赤潮原因種とその細胞密度、対象魚種等について情報を集約しとりまとめた。

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の項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

浦ノ内湾における本種の赤潮は７月～８月に発生した。1 月には本種の遺伝子が未検出であったが、2 月～3 月にわずかに検出され、4 月には再度未検出となった（図 2 水柱平均値: N.D.～0.001 cells/mL)。

宿毛湾では赤潮は発生しなかったが、本種の遺伝子は 2 月～6 月にわずかに検出された（図 2 水柱平均値：N.D.～0.017 cells/mL)。

（３）赤潮発生シナリオと予察技術の検証と改良及び赤潮が発生した際の一連の対策方法（行動計画）の検討

１）赤潮予察モデルの改良と検証

①浦ノ内湾

本湾では、*K.mikimotoi*の最高細胞密度が1,000cells/mL以上の年を「発生年」として解析を行った。今期（2002～2022年）の解析期間で抽出された海域の赤潮発生に関する環境項目は表1のとおりであった。前期（2002～2017年）と共通する項目及び説明変数の組み合わせは抽出されなかった。当該海域では、「発生年」が解析期間中の多くを占めており（発生年；18年、非発生年；3年)、赤潮発生に偏った予測手法になっていることが懸念される。このため、発生年における説明変数の値ばかりが多様となり、非発生年との差が不明瞭になっている可能性が考えられた。

新たな環境項目を用いた本年度の判別分析結果を表2に示した。本年は*K.mikimotoi*赤潮の発生年となり、今回作成した予察モデル10通りのうち9通りで「発生」、1通りで「発生年・非発生年のどちらとも区別できない」と予測された。前期事業5か年（2018～2022年）でも、すべての期間及び組み合わせ「発生年」または「発生年・非発生年のどちらとも区別できない」のどちらかに予測された。今期事業の解析期間は2002～2022年へと更新されたが、依然「非発生年」は増えておらず、3か年と少ないままである。このため、本予察モデルからは「非発生年」を予測することは困難であることがうかがえる。さらに、 前期予察モデルと共通する説明変数の組み合わせがなかったことから、予察結果の解釈もより困難になると考えられる。一方で、今期の予察モデルの組み合わせに含まれる「4月下旬および6月下旬の降水量」と「3月中旬の気温」は、冬季におけるシードポピュレーションのその後の増殖に関与している可能性があり、今後注視していく必要あると考えられた。

②宿毛湾

本年度も昨年度に引き続き*K. mikimotoi*赤潮は非発生であった。2002～2023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。これまでの本種の赤潮発生事例は少数であるが、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。本年も本種の赤潮は隣接海域及び当該海域においても確認されなかった。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。

２）赤潮が発生した際の一連の対策方法（行動計画）の検討

瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域グループ各県における、赤潮発生時の行動計画に関するアンケート調査を実施した結果を表3に示した。本グループ各県は海域によって地形や産業構造に様々な特徴的違いがあるが、いずれの県においても赤潮発生時の連絡・対応手順等が設定されていた。当グループ海域では70年代以降継続的に赤潮による漁業被害が発生しており、各県においてその経験に基づいた対応手順が構築されてきたものと思われる。

アンケート結果に基づき、今年度は赤潮情報発出基準の集約を行った。主要赤潮原因種の各県における赤潮注意／警戒情報の発出基準となる細胞密度を図3に取りまとめた。*K.mikimotoi*の赤潮注意／警戒基準は概ね数百／数千 cells/mLオーダーであり、愛媛県及び大分県では魚貝類の種に基づいた詳細な基準が設定されていた。*Chattonella* spp.の赤潮注意／警戒基準は概ね数十／100 cells/mL程度であった。山口県においては*Chattonella* spp.内の種によって詳細な基準が設定されていた。*Cochlodinium polykrikoides*については海域や魚種によって基準が異なっていたが、警戒情報は全体的に概ね数百～1,000 cells/mLであった。

Heterosigma akashiwo の赤潮注意／警戒基準は海域による違いは少なく、5,000／50,000 cells/mL であった。上記 4 種を通し、大分県ではマグロに対する注意／警戒基準が他魚種の 1/10 量という基準が設けられていた。*Heterocapsa circularisquama* の赤潮注意基準は大分県周防灘、広島県及び山口県においていずれも 50 cells/mL であり、警戒基準はそれぞれ 1,000、500 ならびに 1,000 cells/mL であった。また、愛媛県及び本県では警戒基準のみ設定されており、それぞれ 100 cells/mL 及び 50 cells/mL であった。その他の種については、愛媛県のみ *Gonyaulax polygramma* の赤潮警戒基準が設定されており、その基準は 10,000 cells/mL であった。また、福岡県や本県では海域の着色や魚貝類の異常、斃死などの報告に基づいて細胞数によらない赤潮注意／警戒情報の発出が行われる例もあるとの回答であった。

赤潮注意／警戒情報の発出基準の設定には、各海域における漁業の実態が大きく影響を与えているものと推察される。そのため、養殖業が盛んな海域や、赤潮に対する感受性の高い魚介類を多く取り扱う海域では、実情に応じてより詳細な基準設定がなされているものと思われた。赤潮情報の発出基準を決定する際には行政部局や漁業関係者の理解が必要であることから、その根拠として当海域でとりまとめた基準値が一つの参考になると思われる。今後、本グループ以外の情報も集約されることで、より実態に即した省力的かつ効果的な赤潮に対する行動計画が構築される事が期待される。

４　引用文献

長谷川尋士・本田恵二・山下泰司・濱崎正明・宮原一隆・原田和弘・秋山諭・山本圭吾・田中咲絵・住友寿明・池脇義弘．１）魚介類の斃死原因となる有害赤潮等分布拡大防止のための発生モニタリングと発生シナリオの構築　①瀬戸内海東部海域．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」報告書、水産庁、東京．2018；9-38.

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　摂・井口大輝・中里礼大・内海訓弘・岩野英樹・畦地和久・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・外丸裕司・坂本節子・鬼塚　剛・山口　聖．１）有害赤潮プランクトンの出現動態監視および予察技術開発　イ．瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域．平成 31 年度漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書・水産庁・東京．2020；57-116.

上村海斗・占部敦史・山下慶太朗・加川真行・上原達亮・相田　聡・馬場俊典・茅野昌大・内田喜隆・畑間俊弘・後川龍男・恵崎　摂・鹿島祥平・斉藤義昭・野田　誠・宮村和良・平野荘太朗・徳丸泰久・三門哲也・神野　智・関信一郎・吉江直樹・郭　新宇・清水園子・松原孝博・竹内久登・山口晴生・外丸裕司・三宅陽一・坂本節子・鬼塚　剛．１）有害赤潮プランクトンの出現動態監視および予察技術開発　イ．瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域．令和 4 年度漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書・水産庁・東京．2023；55-108.

水産庁（2024）令和 5 年度瀬戸内海の赤潮．瀬戸内海漁業調整事務所．東京．

後川龍男・金澤孝弘・恵崎　摂・加川真行・上原達亮・戸田竜哉・相田　聡・永井崇裕・茅野昌大・渡邉俊輝・内田喜隆・畑間俊弘・馬場俊典・毛利文香・野田　誠・宮村和良・岡田

理・三門哲也・神野　智・関信一郎・上村海斗・黒原健朗・岡部正也・吉江直樹・郭　新宇・清水園子・竹内久登・外丸裕司・三宅陽一・坂本節子．１）有害赤潮プランクトンの出現動態監視および予察技術開発並びに赤潮の発生段階に応じて一連の対策（行動計画）の検討・策定　イ．瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域．令和 5 年度豊かな漁場環境改善推進事業のうち海域特性に応じた赤潮・貧酸素水塊・栄養塩類対策推進事業「（１）赤潮等による漁業被害への対策技術の開発・実証・高度化」報告書、水産庁、東京．2024；51-100.

表１　浦ノ内湾における *K. mikimotoi* 赤潮の発生・非発生の判別分析に用いた環境項目

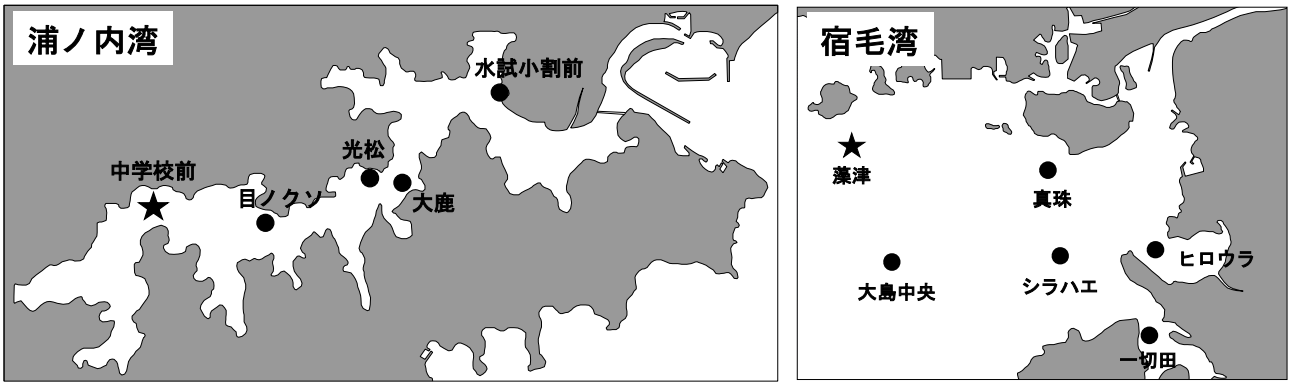
	前期（2002-2017年）	今期（2002-2022年）
1月	1月中旬降水量	-
3月	-	3月中旬気温
	3月中旬日照時間	-
4月	4月5m層DIN	-
	4月底層DIN	-
	4月降水量	-
	-	4月下旬降水量
5月	5月表層DO	-
	5月10m層DO	-
	5月底層DO	-
6月	6月下旬平均気温	-
	6月降水量	-
	-	6月下旬降水量
	6月下旬日照時間	-
7月	-	7月5m層水温
	-	7月5m層DO

表 2　浦ノ内湾における *K. mikimotoi* 赤潮の発生・非発生の判別予測・結果

判別時期	解析手法	説明変量 （平均値：発生年/非発生年）	2002～22年の的中率(%)	2023年の値	2023年（発生）	
					予察	的中
4月下旬	マハラノビス距離	4月下旬降水量（87.8/26.3 mm）	95.0%	163.5	○	◎
		3月中旬気温（11.4 /9.1 °C ）		12.9		
6月下旬	マハラノビス距離	6月下旬降水量（153.4/40.3 mm）	95.0%	86.0	○	◎
		3月中旬気温（11.4 /9.1 °C ）		12.9		
	マハラノビス距離	6月下旬降水量（153.4/40.3 mm）	95.0%	86.0	○	◎
		4月下旬降水量（87.8/26.3 mm）		163.5		
7月	マハラノビス距離	7月5m層水温（25.2/25.8 °C）	95.0%	24.3	○	◎
		3月中旬気温（11.4 /9.1 °C ）		12.9		
	マハラノビス距離	7月5m層水温（25.2/25.8 °C）	90.0%	24.3	○	◎
		4月下旬降水量（87.8/26.3 mm）		163.5		
	マハラノビス距離	7月5m層水温（25.2/25.8 °C）	95.0%	24.3	○	◎
		6月下旬降水量（153.4/40.3 mm）		86.0		
	マハラノビス距離	7月5m層DO（3.5 /4.8mg/L）	90.0%	6.1	○	◎
		3月中旬気温（11.4 /9.1 °C ）		12.9		
	マハラノビス距離	7月5m層DO（3.5 /4.8mg/L）	95.0%	6.1	○	◎
		4月下旬降水量（87.8/26.3 mm）		163.5		
	マハラノビス距離	7月5m層DO（3.5 /4.8mg/L）	90.0%	6.1	△	○
		6月下旬降水量（153.4/40.3 mm）		86.0		
	マハラノビス距離	7月5m層DO（3.5 /4.8mg/L）	95.0%	6.1	○	◎
		7月5m層水温（25.2/25.8 °C）		24.3		

表 3　行動計画にかかるアンケート結果（注意／警戒基準細胞密度）

海域		対象種別細胞密度(cells/ml)					
		K.mikimotoi	*Chattonella* spp.	*C.polykrikoides*	*H.akashiwo*	*G.polygramma*	*H.circularisquama*
広島県（周防灘）	注意基準	500	10	100	5,000	－	50
	警戒基準	5,000	100	1,000	50,000	－	500
山口県（周防灘）	注意基準	100	*C.marina*：100 *C.antiqua*：10	100	5,000	－	50
	警戒基準	5,000	*C.marina*：1,000 *C.antiqua*：100	500	50,000	－	1,000
福岡県（周防灘）	注意基準	概ね100	概ね数十	※左の*K.mikimotoi*や*Chattonella* spp.を含め明確な基準値は定められていないが，明らかな着色や魚介類の斃死がある場合に情報発出			
	警戒基準	概ね1,000	概ね100				
大分県（周防灘）	注意基準	200	10	30	5,000	－	50
	警戒基準	2,000	100	300	50,000	－	1,000
大分県（豊後水道）	注意基準	200 （マグロ：20）	10 （マグロ：1）	30 （マグロ：3）	5,000 （マグロ：500）	－	－
	警戒基準	2,000 （マグロ：200）	100 （マグロ：10）	300 （マグロ：30）	50,000 （マグロ：5,000）	－	－
愛媛県（豊後水道）	注意基準	－	－	－	－	－	－
	警戒基準	魚類：1,000 アワビなど：200 アコヤガイ：10,000	100	300	50,000	10,000	二枚貝：100
高知県（浦ノ内湾・野見湾・宿毛湾）	注意基準	－	－	－	－	－	－
	警戒基準	魚類等の斃死：数百～	魚類等の斃死：10～	魚類等の斃死：数百～	魚類等の斃死：50,000～	－	二枚貝：50



●：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

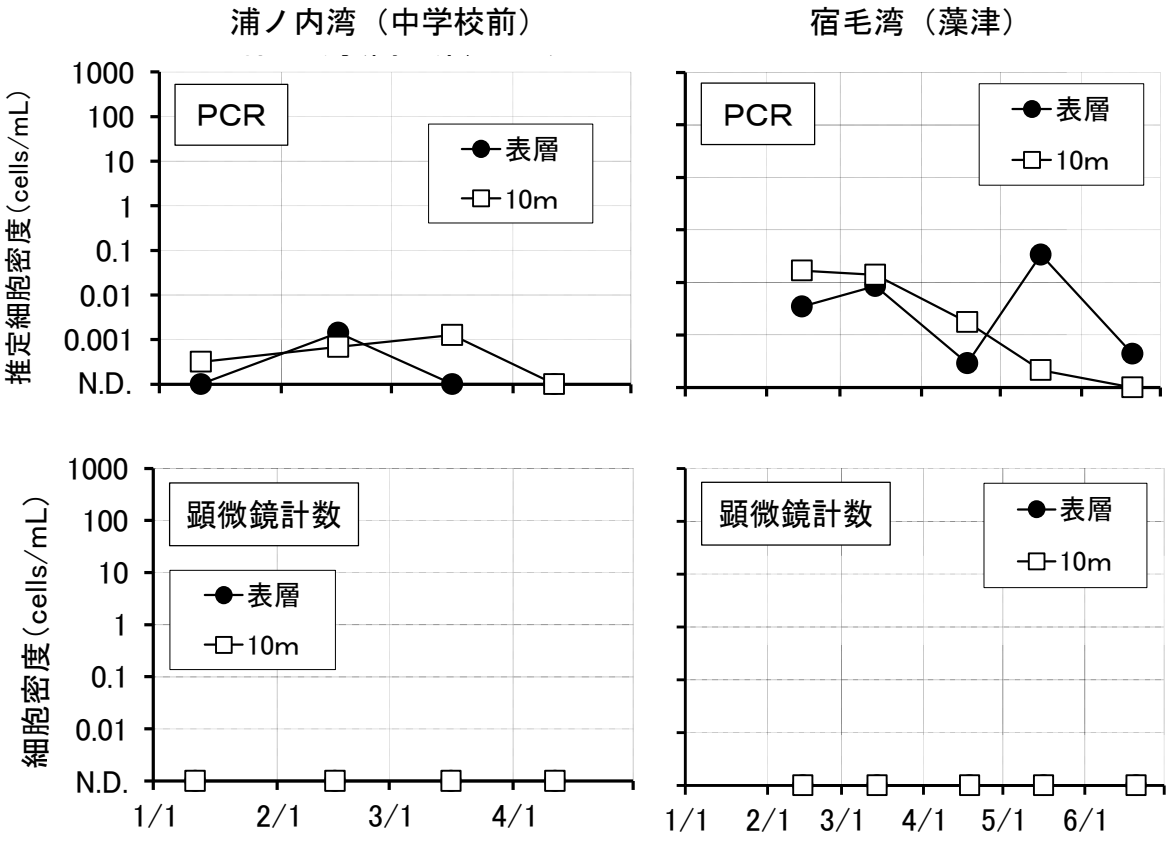


図 2　2023 年における *K.mikimotoi* の遺伝子調査結果（上：遺伝子調査、下：検鏡）

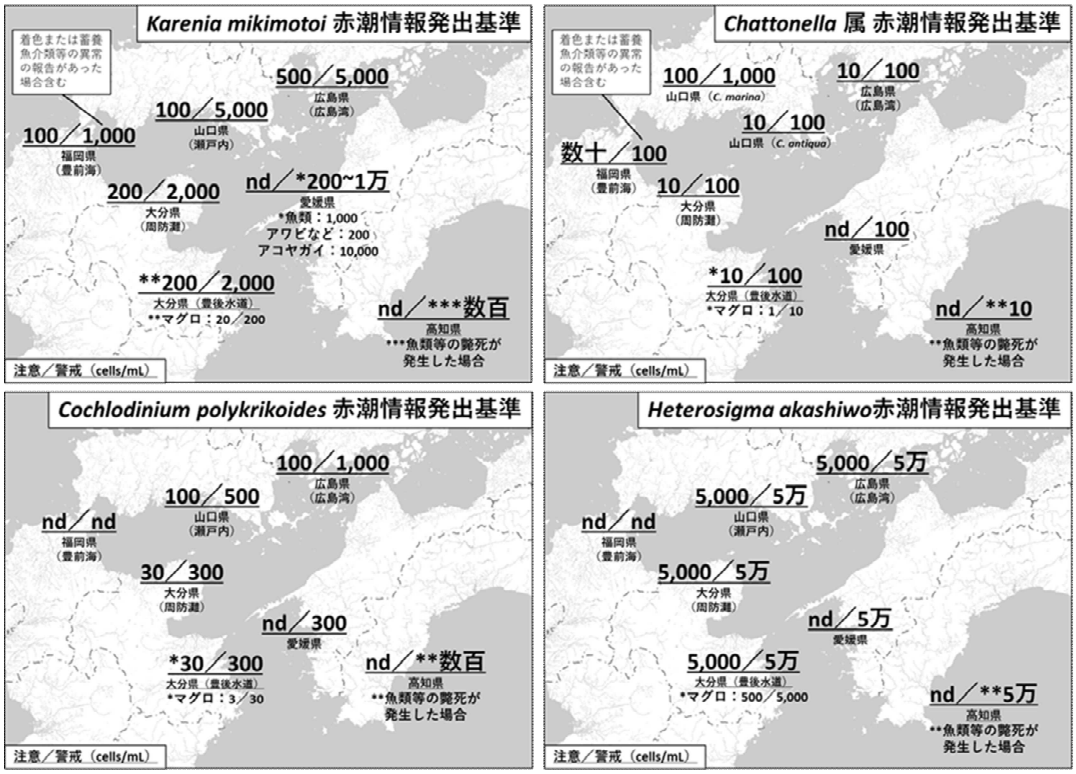


図 3　赤潮情報発出のための各種赤潮原因種の基準細胞密度
（nd：基準を設けていない，地図：地理院地図 Vector）