

# 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・豊後水道・土佐湾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* の赤潮が発生し、十数億円の過去最大の漁業被害が発生した県もあった。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。同時に、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て、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（岡田ら2025）、本稿ではその内容を一部抜粋して記載する。

### 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）。両湾とも2024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）の測定並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。浦ノ内湾では、水塊の成層強度を示す鉛直安定度を以下の式（1）により求めた（Sverdrup *et al.*, 1942）。

$$\text{鉛直安定度} = \text{上層と下層の海水密度差} \div \text{水深差} \times 10^{-3} \quad (1)$$

#### （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* の高感度監視調査を行った。浦ノ内湾では2024年1～4月に月1回、宿毛湾では2024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  $\mu\text{m}$  のメンブレンフィルターで濾過し、そのフィルターを $-30^{\circ}\text{C}$ 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）赤潮予察モデルの検証と改良

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の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2023年に再構築した（後川ら 2024）。

予察モデルの詳細について、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、環境因子の組合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または非発生を予測し的中率を検討した。

本予察モデルでは、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。

また、本年度は関係県各海域に特徴的な有害種についても *K. mikimotoi* と同様のモデルを用いて、2023年と2024年の赤潮発生または非発生を予測し的中率を検討した。本県では、*Chattonella* spp. を特徴的な有害種として解析を行った。*Chattonella* spp. では、最高細胞密度が1,000 cells/mL以上を「発生年」とした場合に、2002年以降の「非発生年」が2か年と非常に少ないことから、10,000 cells/mL以上を大規模赤潮の「発生年」として解析を行った。

#### 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る。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、被害軽減体制を構築し、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あるいは警戒情報を発出する必要がある。

当グループでは、赤潮被害軽減対策の現状把握を目的として、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昨年度に行った。本年度は、海域の特性に合わせて、科学的知見に基づき漁業者が実施する赤潮対策を策定・改善するために、赤潮の発生段階に応じた各県の対策実施状況について整理・情報共有し、フローチャートにより可視化した。

## 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、当該報告書の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

浦ノ内湾及び宿毛湾における *K. mikimotoi* の検鏡値及び遺伝子量を図2に示す。

浦ノ内湾において、本年は本種赤潮が発生せず、遺伝子モニタリングでも2024年1月に低濃度で検出されたものの、それ以降の2~4月は未検出であった(中学校前定点: N.D. ~0.005 cells/mL)。

宿毛湾においても、本年は本種赤潮が発生せず、2月に検出されたのち5月にかけて検出量が減少し、その後6月は増加に転じた(藻津定点: N.D. ~0.044 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

*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(表1)。本年は、本種赤潮が非発生年であったが、予察モデル10通りのうち8通りは「発生」、2通りは「発生・非発生のどちらとも区別できない」と予察し、「非発生」と予察する組合せはなかった。さらに、前期事業(2018~2022年)及び今期事業(2023年)においても「非発生」と予察した事例は皆無であった。

この原因として、当該予察モデルに供したデータの多くが「発生年」(発生年; 18年、非発生年; 3年)であったため、赤潮発生に偏った予測手法になっていたことが考えられる。このため、現行モデルで「非発生」を予察することは困難であり、新たな解析手法あるいは説明変量の探索が必要である。

*Chattonella* spp. の最高細胞密度が10,000 cells/mL以上の年を大規模赤潮の「発生年」として解析を行った(表2)。2002~2022年の解析期間で抽出された赤潮発生・非発生に関する環境項目の組合せは10通りであり、これらの項目を用いて2023年及び2024年の予察を実施した。

2023年は「非発生年」であり、予察モデル10通りの組合せのうち、6通りで的中した。一方、環境項目に「7月中旬気温」を含む4通りでは、全てが「発生・非発生のどちらとも区別できない」と予察した。2024年は「発生年」であったが、予察モデル10通りの組合せのうち、的中したものはなかった。浦ノ内湾における *Chattonella* spp. 赤潮は、7月上旬~中旬に10,000 cells/mLに達することが多いため、7月中旬以降に予察を実施する組合せは不適であると判断される。

以上のことから、6月中旬までに予察の実施が可能であり、かつ2023年の予察が的中している組合せ3通り(①「1月下旬日照時間」と「5月10m層塩分」、②「1月下旬日照時間」と「6月中旬日照時間」、③「6月中旬日照時間」と「5月10m層塩分」)が、予察モデルとして適当と考えられた。

#### ② 宿毛湾

昨年に引き続き、本年も *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。本年は隣接海域においても本種の赤潮は確認されなかった。今後とも、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

本県における赤潮対策状況について、調査の実施主体である水産試験場及び宿毛漁業指導所の対応状況をフローチャートにより可視化した（図3）。今後は、フローチャートに基づき赤潮対策の課題抽出や改善提案を実施する予定である。

## 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 撰・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・鈴木健二・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・山下慶太郎・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 撰・鹿島祥平・斉藤義昭・野田 誠・宮村和良・平野 莊太郎・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.

Sverdrup HU, Johnson MW, Fleming RH. The Oceans: Their physics, chemistry, and general biology. Prentice-Hall, New York. 1942.

後川龍男・金澤孝弘・恵崎 撰・加川真行・上原達亮・戸田竜哉・相田 聡・永井崇裕・茅野昌大・渡邊俊輝・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.

岡田 亮・村上倫哉・上原達亮・戸田竜哉・相田 聡・馬場俊典・和西昭仁・茅野昌大・渡邊俊輝・内田喜隆・増田浩美・佐藤利幸・恵崎 撰・毛利文香・西山雅人・宮村和良・岡田理・江頭潤一・神野 智・莖田峻希・関信一郎・上村海斗・黒原健朗・郭 新宇・吉江直樹・清水園子・竹内久登・外丸裕司・西村朋宏・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6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. 2025 ; 54-105.

表1 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  
(発生基準は  $\geq 1,000$  cells/mL)

判別時期	解析手法	説明変量	2002～22年の 的中率(%)	2024年（非発生）	
				予察	的中
4月下旬	マハラノビス距離	4月下旬降水量	95.0%	○	×
		3月中旬気温			
6月下旬	マハラノビス距離	6月下旬降水量	95.0%	○	×
		3月中旬気温			
	マハラノビス距離	6月下旬降水量	95.0%	○	×
		4月下旬降水量			
7月	マハラノビス距離	7月5m層水温	95.0%	△	△
		3月中旬気温			
	マハラノビス距離	7月5m層水温	90.0%	○	×
		4月下旬降水量			
	マハラノビス距離	7月5m層水温	95.0%	△	△
		6月下旬降水量			
	マハラノビス距離	7月5m層DO	90.0%	○	×
		3月中旬気温			
	マハラノビス距離	7月5m層DO	95.0%	○	×
		4月下旬降水量			
マハラノビス距離	7月5m層DO	90.0%	○	×	
	6月下旬降水				
マハラノビス距離	7月5m層DO	95.0%	○	△	
	7月5m層水温				

表2 高知県浦ノ内湾海域における *Chattonella* spp. の予察結果  
(発生基準は  $\geq 10,000$  cells/mL)

判別時期	解析手法	説明変量	2002～22年の 的中率(%)	2023年（非発生）		2024年（発生）	
				予察	的中	予察	的中
5月	マハラノビス距離	1月下旬日照時間	86.0%	×	◎	×	×
		5月10m層塩分					
6月中旬	線形判別	1月下旬日照時間	86.0%	×	◎	×	×
		6月中旬日照時間					
	マハラノビス距離	6月中旬日照時間	86.0%	×	◎	×	×
		5月10m層塩分					
7月中旬	マハラノビス距離	7月中旬気温	76.0%	△	△	△	○
		1月下旬日照時間					
	マハラノビス距離	7月中旬気温	76.0%	△	△	△	○
		5月10m層塩分					
	マハラノビス距離	7月中旬気温	71.0%	△	△	△	○
		6月中旬日照時間					
7月下旬	マハラノビス距離	7月中旬気温	76.0%	△	△	△	○
		7月下旬気温					
	線形判別	7月下旬気温	86.0%	×	◎	×	×
		1月下旬日照時間					
	マハラノビス距離	7月下旬気温	86.0%	×	◎	×	×
		5月10m層塩分					
	マハラノビス距離	7月下旬気温	86.0%	×	◎	×	×
		6月中旬日照時間					

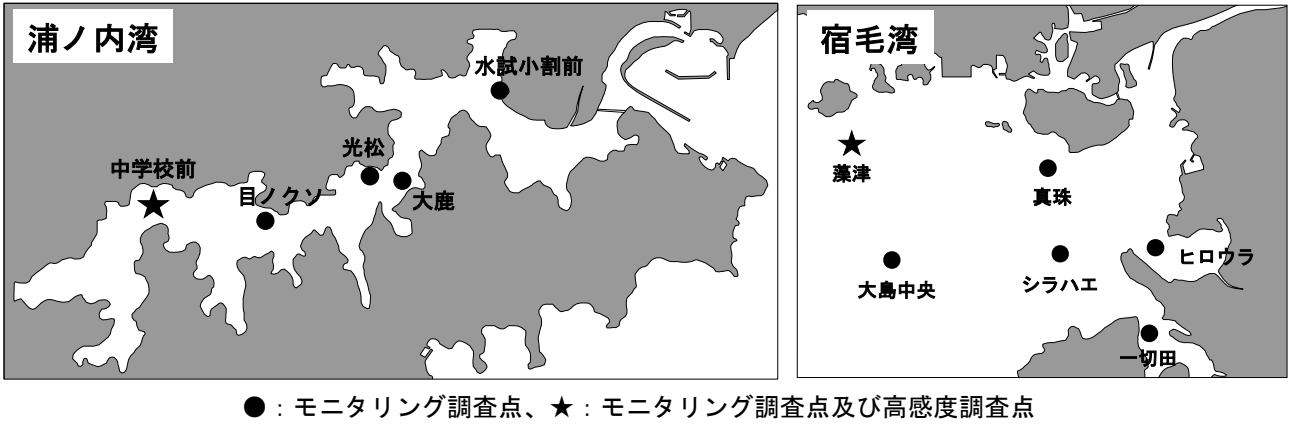


図1 浦ノ内湾及び宿毛湾の調査点

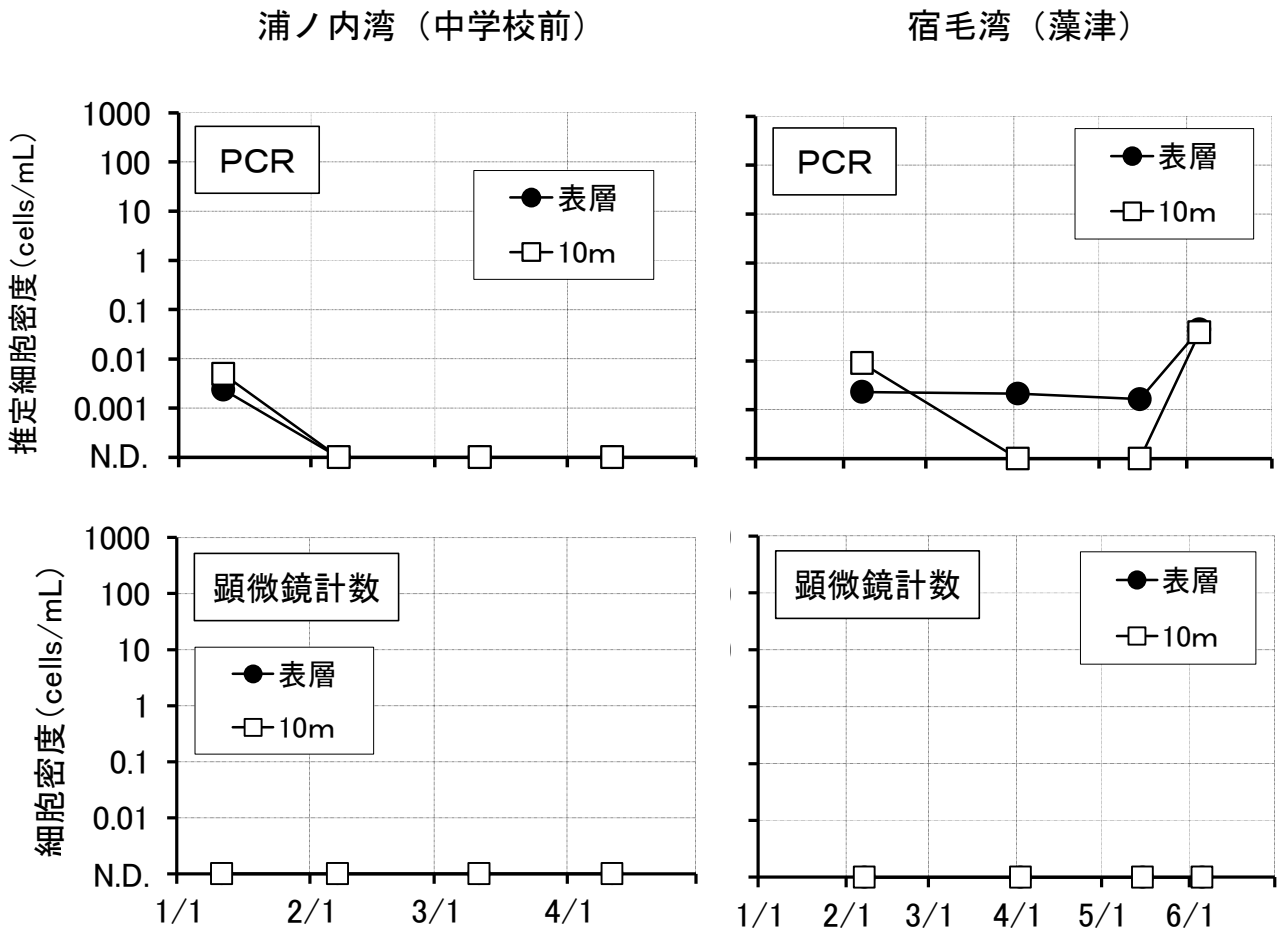


図2 2024年における *K. mikimotoi* の遺伝子調査結果 (上: 遺伝子調査、下: 検鏡)

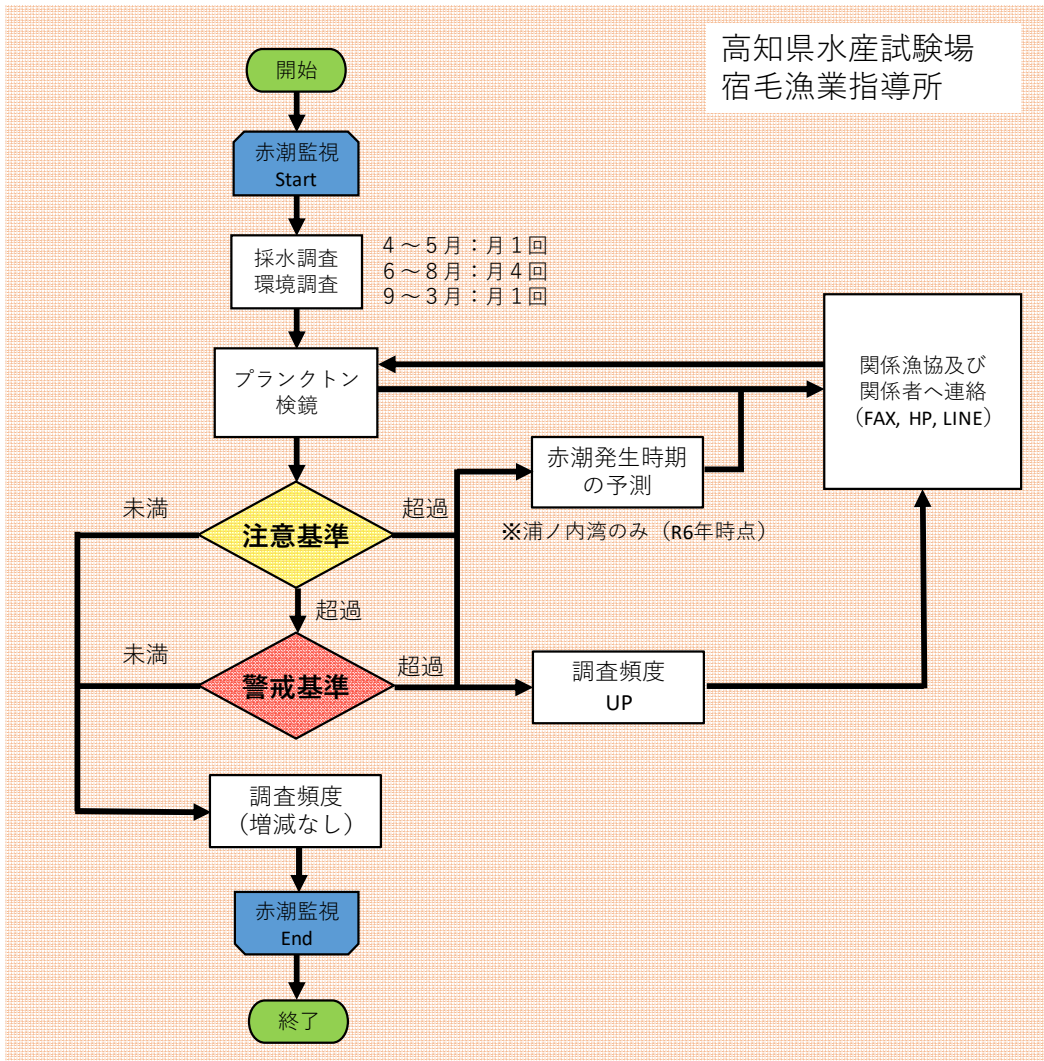


図3 赤潮対策実施状況フローチャート