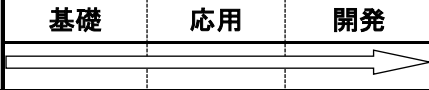


委託プロジェクト研究課題評価個票（中間評価）

研究課題名	革新的環境研究のうち脱炭素・環境対応プロジェクトのうち魚介類養殖における気候変動に左右されない強力な赤潮対応技術の開発	担当開発官等名	農林水産技術会議事務局研究開発官（基礎・基盤、環境）
		連携する行政部局	大臣官房政策課技術政策室 水産庁増殖推進部研究指導課 水産庁増殖推進部漁場資源課 水産庁増殖推進部栽培養殖課
研究期間	R 4～R 8（5年間）	総事業費（億円）	1. 8億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発
			

研究課題の概要

<委託プロジェクト研究課題全体>

現在、気候変動による海水温の上昇に伴い、有毒プランクトンによる赤潮の発生海域・時期が拡大しており、毎年甚大な漁業被害が生じている。これまでは赤潮発生予測と予測に基づく海面生簀の避難等の対策が実施されてきたが、赤潮対策をさらに強化するために本課題では、我が国で魚類養殖生産量が多いブリ類とクロマグロを対象に、養殖魚そのものの赤潮抵抗性を向上させる技術を開発する。

具体的には、①赤潮によるへい死条件及びへい死メカニズムの解明、②赤潮抵抗性を向上させる飼育手法の開発及び③赤潮抵抗性家系の作出技術の開発。

<①：赤潮によるへい死条件及びへい死メカニズムの解明（令和4～8年度）>

赤潮プランクトンのうちへい死メカニズム（エラへの付着量や損傷度合等）が異なる、ラフィド藻シヤットネラと渦鞭毛藻カレニア・ミキモトイを対象として、オミックス解析（*1）や組織解析等を行い、へい死や赤潮抵抗性と強く関連する要因を明らかにする。また、得られた情報に基づき、下記②及び③に対して赤潮抵抗性の評価指標を提供する。

<②：赤潮抵抗性を向上させる飼育手法の開発（令和4～8年度）>

ブリについて、稚魚を異なる環境で飼育及び赤潮曝露試験を行い、赤潮抵抗性を向上させる飼育条件を見出す。また、①で見出した抵抗性指標を用いて科学的根拠を付与するとともに、実環境中のデータ解析等により現場適用性を検証する。クロマグロについて、稚魚を用いた室内試験により主要な赤潮プランクトンの致死密度を明らかにするとともに、ブリと同様に赤潮抵抗性を向上させる飼育条件の探索を行う。

<③：赤潮抵抗性家系の作出技術の開発（令和4～8年度）>

ブリを対象として、表現型やゲノムの情報に基づいた優良親魚の選抜交配を行い、赤潮抵抗性を遺伝的に改良する技術を開発する。選抜した親魚から次世代を作出し、赤潮曝露試験により遺伝的改良の度合いを検証する。また、選抜交配により赤潮抵抗性の異なる種苗を作出し、①の解析の実験魚として提供する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

中間時（2年度目末）の目標	最終の到達目標
① ブリの赤潮抵抗性に関連する候補遺伝子及び代謝産物を抽出	① 赤潮によるへい死メカニズムの解明及び赤潮抵抗性の指標となる因子（バイオマーカー（*2））の確立
② ブリの赤潮抵抗性を維持可能な飼育密度の特定とクロマグロに対するカレニア・ミキモトイの致死密度の特定	② ブリ及びクロマグロを対象として赤潮抵抗性を最大化する飼育方法等を記載した赤潮対応マニュアルを作成
③ シヤットネラに対する抵抗性を有するブリ家系候補の絞り込み	③ 赤潮抵抗性の表現型情報及びゲノム情報等に基づく赤潮抵抗性家系の選抜育種技術を確立

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題全体としてのアウトカム目標（令和14年）

- ・赤潮対応マニュアルや新規の赤潮対応技術を活用し、ブリやクロマグロ養殖における赤潮による漁業被害を回避
- ・赤潮抵抗性ブリの育種技術により、人工種苗の生産や利用を促進することで、ブリ養殖の人工種苗比率100%の実現に貢献（現在は1～3割）

【項目別評価】

1. 社会・経済の諸情勢の変化を踏まえた研究の必要性

ランク：A

① 農林水産業・食品産業、国民生活の具体的なニーズ等から見た研究の重要性

現在、各海域で赤潮モニタリングや既存の対策が講じられているものの、赤潮の発生により養殖魚の大量へい死が毎年200件以上発生し、10億円規模の漁業被害が毎年のように生じている。このことから、養殖生産量の回復・拡大に向けて新たな技術による対策が必要であり、本研究課題は、農林水産業・食品産業、国民の食生活の安定の観点から重要性が高い。

② 引き続き国が関与して研究を推進する必要性

「気候変動影響評価報告書」（令和2年12月公表）によると気候変動に伴う水温上昇により赤潮の発生海域・時期が拡大すると予想されていることから、今後更なる赤潮被害の拡大が懸念されている。これまでは瀬戸内海や九州沿岸域を中心に赤潮が発生していたが、令和3年9月には、北海道太平洋沿岸において発生し（令和4年2月までの長期間にわたり被害が継続）、被害額は80億円以上に上った。被害を与える生物に主眼をおいた従来の赤潮対策研究とは異なり、本研究課題は被害を受ける養殖魚を対象とした新たな試みである。最新の解析技術を取り入れるとともに、現場実証試験も行う必要があることから、引き続き国が関与して、産学官連携した研究を推進する必要がある。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性

ランク：A

① 中間時の目標に対する達成度

1) 赤潮によるへい死条件及びへい死メカニズムの解明

ブリを対象とした赤潮曝露前後や赤潮抵抗性の異なる家系間のオミックス解析等により、赤潮によるへい死過程や赤潮抵抗性に関する生理的な情報を得た。また、計画を前倒して赤潮抵抗性家系の作出等に利用可能なバイオマーカー候補となり得る遺伝子および代謝物の抽出に着手した。

2) 赤潮抵抗性を向上させる飼育手法の開発

赤潮（シャットネラ）を曝露されたブリ稚魚について、収容密度が高い場合（17kg/m³:実際の養殖場でよく認められるレベル）、低収容密度（6kg/m³:国や地方自治体の推奨レベル）と比べて溶存酸素の低下スピードが早く、へい死率が高いことを明らかにした。また、4日以上無給餌が赤潮抵抗性を向上させることを見出したことから、計画以上の進捗が見られた。クロマグロについては10gサイズの個体においてへい死を引き起こす赤潮被害が深刻なカレニア・ミキモトイの細胞密度は1000cells mL⁻¹程度であることを明らかにした。

3) 赤潮抵抗性家系の作出技術の開発

表現型に基づいて選抜した優良親魚の交配によって作出した次世代について、選抜されていない一般的な種苗と比較して、赤潮抵抗性が向上したことを確認した。さらにゲノム選抜育種（*3）の導入に必要なゲノム情報を順調に収集し、最終の到達目標であるゲノム情報等に基づく赤潮抵抗性家系の選抜育種技術の開発に着手したことから、計画以上の進捗が見られた。

以上のことから、すべての小課題において中間時の目標以上の達成があった。

② 最終の到達目標の今後の達成可能性とその具体的な根拠

1) 赤潮によるへい死条件及びへい死メカニズムの解明

これまでに赤潮曝露前後の個体や選抜育種により得られた赤潮抵抗性の異なるブリ個体のオミックス解析等により、へい死要因や赤潮抵抗性に関連する組織変化、発現遺伝子や代謝物を抽出した。今後は、引き続きこれまでに得られたデータの解析を進めるとともに、毒性の異なる赤潮プランクトン株を曝露した個体や異なる条件（給餌条件等）で飼育された個体のオミックス解析等を実施する。これらにより、ブリを用いて最終年度までに赤潮によるへい死メカニズムや赤潮抵抗性の要因の解明を目指す

ともに、赤潮抵抗性のバイオマーカーを特定し、赤潮抵抗性を向上させる飼育条件の特定や育種選抜の効率化に活用する予定である。研究は順調に進捗している。

2) 赤潮抵抗性を向上させる飼育手法の開発

ブリについては、中間時までには稚魚の赤潮抵抗性を維持可能な収容密度を明らかにし、餌止め期間が赤潮抵抗性に及ぼす影響を調べる室内実験に着手した。今後、養殖場の採算性なども考慮に入れて適切な収容密度を明らかにする予定である。引き続き室内実験を進めるとともに、養殖環境中での赤潮によるへい死と飼育条件の関係性について統計解析を行う。また、成魚を用いて養殖環境で現場検証試験を実施する予定である。クロマグロについては、これまでに稚魚を用いた室内試験を進め、カレニアの致死密度を特定した。今後、ブリと同様に養殖環境中のデータ解析を進めるとともに、赤潮抵抗性を向上もしくは維持する飼育条件について室内試験を実施する予定である。研究は順調に進捗している。

3) 赤潮抵抗性家系の作出技術の開発

赤潮曝露試験によって表現型選抜したブリを親魚として交配して得た次世代について、赤潮抵抗性が向上したことを確認した。現在、表現型選抜よりも効率的な育種手法であるゲノム選抜育種の技術開発に着手した。ブリの次世代作出と赤潮曝露試験による形質評価を引き続き行うとともに、赤潮曝露試験の供試魚のゲノム解析を進め、ゲノム選抜育種に必要な表現型情報とゲノム情報を蓄積する。研究は順調に進捗している。

以上のように、研究は順調に進捗が見られ、最終到達目標は達成可能と考える。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性

ランク：A

① アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠

本研究終了時までには、「赤潮抵抗性に関する選抜育種技術の確立」及び「赤潮対応マニュアルの作成」を行った後、それらの技術の現場検証、体制構築、普及等を推進するとともに、本研究で得られた知見に基づく新規の赤潮対応技術を開発し、その開発した技術を養殖業者や県の担当者や勉強会などを開催して普及を促すことで、アウトカム目標を実現する予定である。現段階では、ほぼ予定通り研究は進捗しており、開発した技術の普及は達成可能であると考えられる。

② アウトカム目標達成に向け研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性

目標達成のためには研究成果に対する行政サイドや養殖現場の理解が必要不可欠である。令和5年10月には、今夏、赤潮による甚大な漁業被害を被った熊本県の行政担当者や養殖業者を対象とする現地勉強会において本研究の成果により得られる人工種苗利用の利点等についてアピールするとともに、全国の自治体の赤潮担当者が一堂に会する赤潮貝毒部会での研究成果の講演及び意見交換を行った。また、八代海の赤潮発生時には、養殖現場と共同で選抜育種した赤潮抵抗性家系のブリ種苗の曝露試験を実施して、養殖環境における知見を得た。引き続き、養殖現場の意見を取り入れながら研究開発を進めることで、研究終了後の円滑な技術の改良や普及を目指している。

③ 他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

本研究では、赤潮抵抗性の要因解明に関する研究において養殖魚の生理のうち、特に不明な点が多い免疫システムや短期的な代謝変動等に関する新たな知見が得られており、赤潮と同様にエラの障害が関わる魚病の対策研究に対して基礎的な情報を提供できる可能性がある。また、魚類養殖業全体の課題である養殖用種苗の育種改良において、赤潮抵抗性ブリの開発が起爆剤となり得る。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

① 研究計画の妥当性

外部有識者3名（北海道大学名誉教授 今井委員（赤潮専門）、東京海洋大学教授 坂本委員（育種専門）、長崎大学教授 和田委員（海洋環境専門））と、関係する行政部局（水産庁栽培養殖課（養殖担当）、水産庁漁場資源課（赤潮担当）など）で構成する運営委員会を設置し、行政ニーズや各課題の進捗状況を踏まえて、実施計画の見直し等の適切な進行管理を行っている。

② 研究推進体制の妥当性

上記の運営委員会を開催し、研究進捗状況、研究実施計画・推進体制等の見直し、研究成果の共有と公表などについて随時検討を行っている。これに加えて、各年に2回、研究コンソーシアムの自主的な推進体制として、計画検討会議及び結果検討会議（課題全体と課題別）を開催し、課題全体の検討会議については外部有識者4名（上記3名に加えて、北海道大学准教授 井尻委員（魚類生理専門））からの評価を受けつつ、各課題の進捗状況の共有及び成果の確認等を行い目標達成に向けて対応していることから、研究推進体制は妥当である。

③ 研究課題の妥当性（以後実施する研究課題構成が適切か等）

令和5年度は初年度に引き続き、オミックス解析等によるへい死メカニズム解析や赤潮抵抗性バイオマーカーの検索（小課題1）、異なる収容密度や餌止め期間が赤潮抵抗性に及ぼす影響の解析（小課題2）、表現型育種選抜技術の検証や家系別のゲノム多型解析等（小課題3）を推進している。運営委員会や、コンソーシアムで実施している計画検討会や報告検討会での外部委員の指摘を踏まえて各小課題とも予定通りの成果を創出しており、研究課題は妥当である。

④ 研究の進捗状況を踏まえた重点配分等、予算配分の妥当性

各課題の進捗状況や研究成果の有用性を踏まえた予算配分の重点化を行っている。それぞれの小課題は計画通り進捗しており、最終目標の達成も見込まれることから、予算配分は妥当である。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題の継続の適否に関する所見

- ・近年赤潮被害が多発し、大規模な漁業被害が生じている中、今後も気候変動に伴う水温上昇により一層の被害拡大が予想されている。こうした中で、個々の養殖事業者の対応は困難であり、国が取り組む必要性は高い。
- ・今までに未解明だった赤潮抵抗性を向上させる飼育手法やメカニズムが解明されており、アウトカムの達成可能性は高い。
- ・研究の協力機関に生産者が含まれていることや、進捗は計画どおりであることから、研究の継続は妥当である。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・ブリ、クロマグロ以外の魚介類への拡大戦略も期待される。
- ・食品としての味や安全性の観点からも、本研究の意義や妥当性を説明していく必要がある。

[研究課題名] 革新的環境研究のうち脱炭素・環境対応プロジェクトのうち魚介類養殖における気候変動に左右されない強力な赤潮対応技術の開発

用語	用語の意味	※ 番号
オミックス解析	ある臓器、器官に発現する遺伝子、タンパク質、代謝物を網羅的に解析する手法。それぞれゲノミクス解析、プロテオミクス解析、メタボローム解析と称する。得られたデータをデータベース等と照合することで、生体内で生じている生理的反応を推察することができる。	1
バイオマーカー	ある生物学的反応（例えば赤潮抵抗性等）が個体生じた際に発現量が変動する生体内物質群のこと。主に、タンパク質、遺伝子や代謝物など測定系が確立可能な物質をマーカーとして用いる。これらの物質の量の変動を測定することで特定の生物反応が生じていることの指標となる。また、個体間の遺伝的形質が異なる（例えば赤潮抵抗性）場合、それぞれの個体間で発現量の異なる物質もバイオマーカーの候補となる。	2
ゲノム選抜育種	赤潮抵抗性が高い、成長が良いなどの形質を持った個体に特徴的なゲノム配列に基づき育種すること。	3

④ 魚介類養殖における気候変動に左右されない強力な赤潮対応技術の開発【継続】

背景と目的

- 「食料・農業・農村基本計画」(2020.3閣議決定)では、**輸出の拡大により農林水産業の成長産業化**を目指すとしている。養殖業については、「養殖業成長産業化総合戦略」(2021.7改訂)の中で、2030年における養殖ブリ等の輸出額目標が設定され、生産量の拡大が必須。
- 気候変動による水温上昇に伴い、有害プランクトンによる**赤潮の発生海域・時期が拡大**しており、毎年甚大な漁業被害が生じているところ。
- 従前の研究により、赤潮発生予測と予測に基づく海面生簀の避難等の事前対策が実施されているが、生簀規模の大きいブリやクロマグロ養殖での赤潮対策をさらに強化するため、新たな技術的アプローチとして、**養殖魚そのものの抵抗性を向上させる技術の開発**が求められているところ。

研究内容

1. 赤潮によるへい死条件及びへい死メカニズムの解明

- ・ 網羅的統合オミックス解析を用いて赤潮に強い個体と弱い個体の差異をもたらす要因を分子レベルで探索

2. 養殖魚における赤潮抵抗性を向上させる飼育手法の開発

- ・ 赤潮被害を軽減し得る飼育密度や給餌手法等の開発

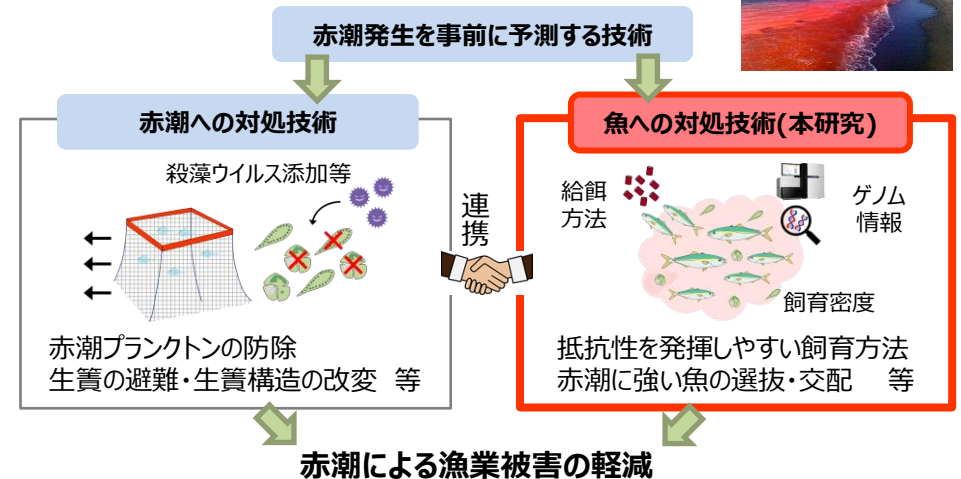
3. 養殖魚における赤潮抵抗性家系の作出技術の開発

- ・ 遺伝子マーカーを活用した赤潮抵抗性の高い個体の選抜・交配技術の確立

到達目標

- ・ ブリ・クロマグロの赤潮によるへい死条件及びへい死メカニズムの解明
- ・ 赤潮被害を軽減する新規技術を2つ以上開発（赤潮曝露時の生残率が高い家系の作出 等）

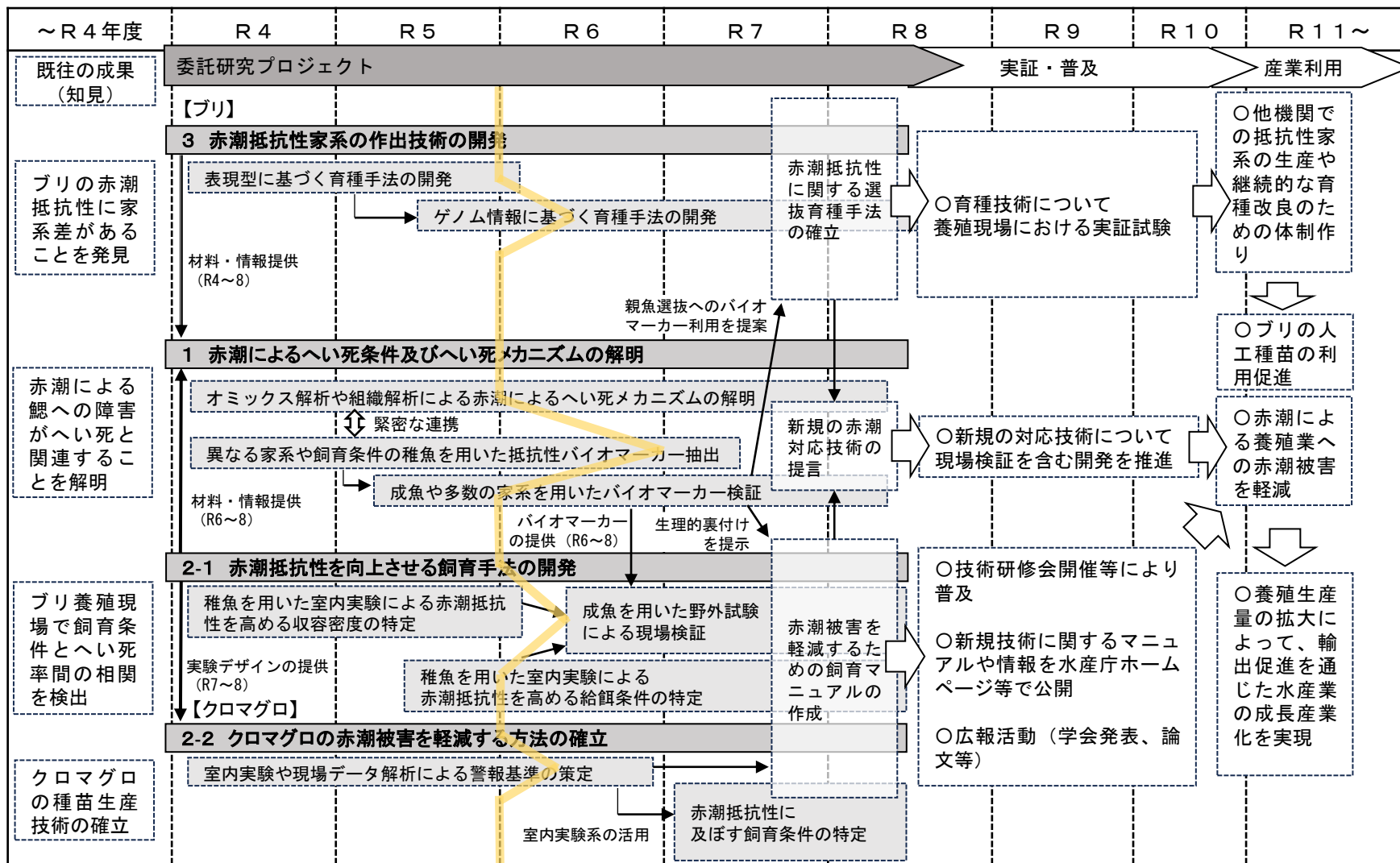
養殖漁場における赤潮対策スキーム



期待される効果

- ・ 養殖生産力の向上により、**成長産業化を促進**
- ・ 赤潮抵抗性家系の作出により、**人工種苗比率100%の養殖体系への転換を促進**

魚介類養殖における気候変動に左右されない強力な赤潮対応技術の開発



「魚介類養殖における気候変動に左右されない強力な赤潮対応技術の開発」

～令和5年度までの成果概要～



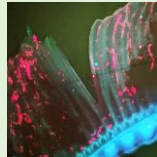
【研究開発の背景】

- 「農林水産物・食品の輸出拡大実行戦略」（2021年1月）において、ブリは輸出重点品目にあげられており、輸出拡大に向けた養殖生産量の増大が求められている
- 温暖化等により、養殖魚類・貝類の大量へい死を引き起こす赤潮の発生海域・時期の拡大が生じており、赤潮対策の強化のため、**養殖魚そのものをターゲットとする新たな赤潮対策技術の開発**を推進

【達成目標と中間時の進捗状況】

1. 赤潮によるへい死及びへい死メカニズムの解明

- 組織解析等により、ブリのへい死に関連する病変や分子を特定中

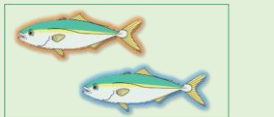


赤潮プラクトン（赤色）が鰓に付着し、その後付着量が減少していくことを発見→

- 家系が異なるブリのオミックス解析を実施し、**赤潮抵抗性に関連するバイオマーカーを抽出**

赤潮に強い家系と弱い家系を比較

・家系間オミックス解析によりバイオマーカー候補を50分子未満まで絞り込むとともに、少なくとも1つの代謝物を検出



RNA-seq解析

メタボミックス解析

134,804 genes

86 metabolites

↓ バイオマーカー候補 ↓

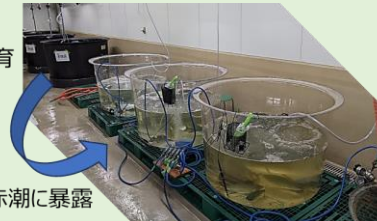
42 genes

↓ ↓
1 metabolite

2. 赤潮抵抗性を向上させる飼育手法の開発

- 異なる条件で飼育したブリについて赤潮曝露試験を行い、**赤潮曝露時の高収容密度がへい死率を上げることや4日以上無給餌が赤潮抵抗性を向上させることを見出した**

異なる条件で飼育



赤潮に曝露

無給餌期間の異なるブリ個体の赤潮曝露試験のようす

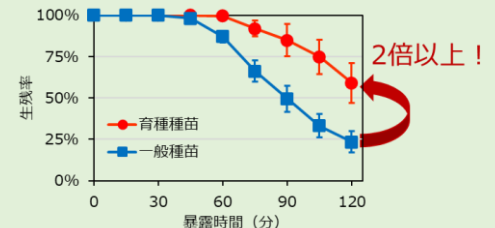
- クロマグロ稚魚について、赤潮に対する致死密度を特定

3. 赤潮抵抗性家系の作出技術の開発

- 表現型情報、ゲノム情報を用いたブリの**赤潮抵抗性家系の選抜育種技術**を開発中

- 赤潮曝露時の**生残率が高いブリ家系を開発**

→開発中の選抜育種技術により、更なる赤潮抵抗性の付与に期待



表現型選抜により育種されたブリ稚魚のシャットネラ抵抗性が一般種苗より高いことを確認

- 赤潮対応マニュアルや新たな赤潮対応技術を活用し、ブリやクロマグロ養殖における赤潮漁業被害を回避
- 赤潮抵抗性ブリの育種技術開発により、生産性の高い人工種苗を作出し、ブリ養殖における人工種苗比率100%の実現に貢献