

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省力的なIPMを実現する病害虫予報技術の開発 | 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 | 消費・安全局植物防疫課 農産局農産政策部技術普及課 大臣官房政策課技術政策室 |
| 研究期間 | R 4～R 8（5年間） | 総事業費（億円） | 3.5億円（見込） |
| 研究開発の段階 | 基礎 | 応用 | 開発 |
| | | | |

研究課題の概要

総合防除（IPM）（※1）は、適時・適切な防除の実践により生産コストの縮減と環境負荷の低減を目指すものである。一方で、生産現場では、生産者の減少や高齢化、またそれに伴う営農の大規模化がすすむ現在、予防的・計画的な化学農薬の散布による病害虫防除を実施しているため、必ずしも実際の病害虫の発生に則さず、 unnecessary 農薬散布を行っている場合がある。この課題を解決するには、生産者が自身の圃場における病害虫の発生リスクを早期に把握することが重要となる。

そこで本プロジェクトでは、水稲病害虫の発生をピンポイントで予測する技術を開発し、それをもとに水稲病害虫の発生リスクを生産者に通知する発生予測システムを開発することを目標とする。

主な実施課題は以下のとおりである。

- ① 水稲病害の発生予測技術の開発
- ② 水稲害虫の発生予測技術の開発
- ③ 水稲病害虫の発生予測システムの開発

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 |
|---|--|
| <p>① 水稲病害の発生予測技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 6種を対象とし、発生を予測するための基本アルゴリズム（※2）の完成。 ・ 発生に関与する気象・発生データの取得及び過去データを含めた解析を実施し、地域ごとに必要なパラメータ（※3）値・データセットを決定。 | <p>① 水稲病害の発生予測技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 6病害（イネいもち病、イネ稻こうじ病、イネ紋枯病、イネもみ枯細菌病、イネごま葉枯病、イネ白葉枯病）（※7～12）に対して、発生に影響する要因を組み込んだ発生予測モデル（※6）を開発。 |
| <p>② 水稲害虫の発生予測技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 12種を対象とし、発生を予測するための基本アルゴリズムの完成。 ・ 発生に関与する気象・発生データの取得及び過去データを含めた解析を実施し、地域ごとに必要なパラメータ値・データセットを決定。 | <p>② 水稲害虫の発生予測技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 11害虫（トビイロウンカ、セジロウンカ、ヒメトビウンカ、コブノメイガ、フタオビコヤガ、イネミズゾウムシ、ドロオイムシ、アカスジカスミカメ、アカヒゲホソミドリカスミカメ、クモヘリカメムシ、ツマグロヨコバイ）及び1害貝（スクミリンゴガイ）（※11～22）の合計12種について、発生に影響する諸要因を解析し、発生予測モデルを開発。 |
| <p>③ 水稲病害虫の発生予測システム（※4）の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ①及び②より得られる成果を活用し、水稲病害虫の発生予測システムを作成する。 ・ 対象とする病害虫の半数（10種以上）を目途としたアプリケーション（※5）を作成する。 | <p>③ 水稲病害虫の発生予測システムの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ①及び②において開発される予測精度70%以上の発生予測モデル及び開発した全てのアプリケーションについて、WebAPI（※23）を作成し、農業データ連携基盤WAGRI（※24）に実装。 ・ 各システムの利用方法を記載した標準作業手順書の作成。 |

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 (R13年)

本プロジェクトにおけるアウトカム目標は「水稲病害虫を対象とした化学農薬の使用量（リスク換算）（※25）の2割削減」である。

【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

持続可能な農業を実現するためには、農薬の使用による環境に対する負荷の軽減が欠かせない。環境負荷低減には、農薬使用量の減少及び環境負荷の低い農薬への転換が寄与するが、本プロジェクトでは、前者に貢献する技術として、病害虫予報技術を開発する。技術開発により、既存の予防的・スケジュール的な農薬散布体系を適時散布に転換させるものであり、農薬の散布量の低減に貢献する。

また、気候変動に起因して、水稲では、病害虫の発生量の増加や発生地域の拡大、深刻化が問題となっている。特に、海外からの越境性飛来害虫は、トビイロウンカによる被害が約7.1万トン（玄米ベース）も発生する等、飛来量が増大しているだけでなく、飛来の早期化も確認されている。これらの病害虫に対応するため、各病害虫の発生リスクや発生時期、防除適期を農業者に迅速に提供することが重要であるため、本プロジェクトで開発する病害虫予報技術は生産現場でも望まれている。

② 引き続き国が関与して研究を推進する必要性

気候変動等に起因して、病害虫の多様化や被害の深刻化が農業生産上の問題となっているため、ほ場単位で病害虫の発生を予報する技術及び予報情報を生産者へと迅速に提供するシステムの開発について、生産者や生産団体から要望がある。本プロジェクトは、従来よりも適切かつ効果的な防除管理の実現に向けて、民間事業者が全国の生産者に対して病害虫発生の予報を行うサービスや都道府県が実施する発生予察に活用可能であるとともに、他作物の病害虫予報技術にも応用可能である基盤技術の開発を行う。そのため、国が主導する必要がある技術開発である。

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

本研究プロジェクトでは、70%以上の精度を確保した水稲病害虫の発生予測システム及びアプリケーションの開発を目指し、生産者の農薬散布の意思決定を支援する。病害では被害許容水準の発生量に達する9日前、害虫では発生初発日から5日以内に生産者に通知し、一定の発生リスクを超えた時のみ適時散布を実施可能とすることで、従来よりも化学農薬散布回数を低減することを目標として、技術開発を行う。

これまでに、対象としている水稲病害虫18種のうち、全体の半数以上である10種について、開発した基本アルゴリズムを元にした発生予測システムの試作品を作成した。病害・虫害共に平均70%の予測精度であるが、水稲病害虫の発生に関与する気象データ、水稲生育、過去発生量の解析及び令和4～5年度の発生推移の調査を実施し、精度を高めるために必要となる結露、寡日照、新たな群落内気温や低温・高温等の気象パラメータ、越冬世代の生育パラメータ、発生リスクマップ、品種圃場抵抗性の値等を導出した。防除が必要な時のみ薬剤の適時散布を生産者に支援するシステムに利用する基本アルゴリズムの開発が完了したこと及び新たに改良が必要なパラメータ等を決定したことから、中間目標は計画通り達成した。

今年度までの研究目標、達成度及びその具体的な根拠については、以下の通りである。

1. 水稲病害の発生予測技術の開発（達成度：100%）

- ・研究目標：水稲病害については、6種を対象とし、発生を予測するための基本アルゴリズムを完成させるとともに、発生に関与する気象・発生データの取得及び過去データを含めた解析を実施し、地域ごとに必要なパラメータ値・データセットを決定する。
- ・これまでの成果：イネの主要病害であるイネいもち病、イネ稲こうじ病、イネ紋枯病、イネもみ枯細菌病、イネごま葉枯病、イネ白葉枯病の6種を対象としている。いずれの病害も概ね精度が高い基本アルゴリズムを完成した。また、これまでに以下の成果を得ているため、パラメータ値・データセットとして組み込み、今後、さらに精度を高める。

イネいもち病

- ・新たに設計し直した基本アルゴリズムを使用して、過年度のデータを入力すると、秋田県や茨城県では病害虫防除所が発令する注意報(※26)の7日前までに予測できることが明らかとなった。
- ・予測モデルで診断される注意情報の閾値と過去に注意報が発令された多発生データとの相関があることや、降雨を伴わない結露が葉いもちの発病に関与することが明らかとなったため、新たに組み込むべき結露パラメータとして決定した。

イネ稲こうじ病

- ・開発した基本アルゴリズムの使用によって、兵庫県では、精度高く発病予測が可能であり、被害許容水準の発生量の閾値に達する9日前までに予測できることが明らかとなった。
- ・寡日照が発病に影響することを明らかにし、新たに組み込むべきパラメータ値として決定した。

イネ紋枯病

- ・今後、発病を予測するモデルを改良するために組み込むべきパラメータとして、標高の高い地域での発病に影響する低温に関する条件や高温域において発病を抑制するための条件をパラメータとして導入する必要があることを明らかにした。

イネもみ枯細菌病

- ・今後発病を予測するモデルを改良するために、主要栽培品種の圃場抵抗性パラメータ値の取得と、薬剤の防除効果の値を取得することを決定した。

イネごま葉枯病

- ・開発した接種実験系によって明らかになった温度と濡れ時間の関係を導入した基本アルゴリズムが完成したため、令和6年度開発予定のシステムを利用して、過去データ等による精度検証や現地実証試験による適合性検証を実施し改良を進めることを決定した。

イネ白葉枯病

- ・開発した接種実験系で明らかになった風速と発病リスクの関係を導入した基本アルゴリズムが完成したため、令和6年度開発予定のシステムを利用して、過去データ等による精度検証や現地実証試験による適合性検証を実施し改良を進めることを決定した。

2. 水稲害虫の発生予測技術の開発（達成度：100%）

- ・研究目標：水稲害虫については、12種を対象とし、発生を予測するための基本アルゴリズムを完成させるとともに、発生に関与する気象・発生データの取得及び過去データを含めた解析を実施し、地域ごとに必要なパラメータ値・データセットを決定する。
- ・これまでの成果：斑点米カメムシ類3種（アカヒゲホソミドリカスミカメ、アカスジカスミカメ、クモヘリカメムシ）、ヒメトビウンカ、トビイロウンカ、セジロウンカ、コブノメイガ、フタオビコヤガ、イネミズゾウムシ、ドロオイムシ、ツマグロヨコバイに加えて、令和5年度より追加したスクミリンゴガイ等（合計12種）を対象に発生予測モデルのアルゴリズムを構築した。発生時期と薬剤散布適期の予測モデルの適合性は、いずれのカメムシ種でも70%以上の精度を確保していることを確認した。また、これら害虫発育予測モデルは予測誤差が概ね5日間以内に収まることを確認した。ただし、発生量が少ない場合や局所的な発生が影響した場合等のイレギュラーな条件では誤差が大きくなることや、以下の成果をこれまでに得ているため、パラメータ値・データセットとして組み込み、今後、適合性をさらに高める。

斑点米カメムシ類（アカヒゲホソミドリカスミカメ、アカスジカスミカメ、クモヘリカメムシ）

- ・大規模生産者の水田畦畔の草刈り時期や本田への侵入時期が防除適期に影響を及ぼすため、新たなパラメータとして組み込む必要があることが明らかとなった。
- ・水田雑草のイヌホタルイ量が多いほど斑点米被害リスクが高くなることを明らかにし、新たなパラメータとして組み込む必要があることが明らかとなった。
- ・今後は、越冬世代の精度向上のための生育パラメータの導入や越冬世代の生育パラメータの補正値の導入により、当てはまりの十分でない地域の予測精度を向上させることを決定した。

ヒメトビウンカ

- ・大規模発生源などの発生要因を解析して作成した発生リスクマップ(※27)を構築したことで、防除が不要な地域を提示できることが明らかとなった。
- ・リスクマップを利用してほ場単位で発生リスクを予測することで、防除要否の判断に利用できるよう改良することを決定した。

トビイロウンカ・セジロウンカ

- ・発生予測の基本アルゴリズムが完成し、令和6年度開発予定のシステムの検証用データとして、群落内の気温が低いことによる発育に影響する気温の補正を実施することを明らかにした。

コブノメイガ・フタオビコヤガ

- ・発生予測の基本アルゴリズムが完成し、令和6年度開発予定のシステムの検証用データとして、フェロモントラップを利用した発生量の調査データを取得し、機械学習を利用して取得した発育予測パラメータの補正值を導入する必要があることを明らかにした。

イネミズゾウムシ・ドロオイムシ・ツマグロヨコバイ

- ・発生予測の基本アルゴリズムが完成し、令和6年度開発予定のシステムの検証用データとして、ほ場への侵入・発生時期について現地調査結果と過去データの解析結果を得た。

スクミリンゴガイ

- ・発生予測の基本アルゴリズムが完成し、令和6年度開発予定のシステムの検証用に、被害予測モデルを構築するために必要となる秋季の発生量と冬季の気温から翌年の発生量を推定する式を開発した。

3. 水稻病害虫の発生予測システムの開発（達成度：110%）

- ・研究目標：水稻病害虫の発生予測システムの開発については、上記より得られる成果を活用し、水稻病害虫の発生予測システムを作成し、対象とする病害虫の半数（10種以上）を目途としたアプリケーションを作成する。
- ・これまでの成果：病害では、イネいもち病、イネ稻こうじ病、イネ紋枯病、イネもみ枯細菌病の4種類、害虫では斑点米カメムシ類3種に加えヒメトビウンカ、イネミズゾウムシ、イネドロオイムシの3種類について水稻病害虫の発生予測システム（デモ版）への搭載が完了したことで、合計10種（開発目標の半数を超える全体の67%）のアプリケーションが利用できることを確認した。また、本システムを運用するためにアプリケーション及びデータベースのサーバを構築し、ドメイン名を取得するとともに、1kmメッシュ農業気象データの取得処理、ログインから圃場選択後に病害虫種を選択して発生予測結果を表示できる基本機能を実装した。

社会実装については、イネの紋枯病の発生リスク予測機能について農業情報サービスの1つである AgriLook や令和5年度より運用が開始されたイネ・ムギ・ダイズを対象とする栽培管理支援システムの SAKUMO に搭載し、愛知県や新潟県の JA や生産者等で実際に利用が開始されている。また、ヒメトビウンカの発生時期予測機能について、知財の職務作成プログラムを取得、WAGRI への搭載準備作業等を進めた。

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

本研究プロジェクトでは、従来よりも化学農薬散布を2割低減することを目標として、病害ではメッシュ農業気象データの9日間先予測情報を利用して被害許容水準の発生量に達する9日前、害虫では防除対象とする害虫の飛来・侵入の時期を早期に予測するために発生初発日から5日以内に生産者に通知する水稻病害虫の発生予測システムの開発を目指す。

これまでに、対象としている水稻病害虫18種のうち、全体の半数以上である10種の発生予測システムの基本アルゴリズムを作成し、各病害虫の発生予測に必要なパラメータ等を決定し、中間目標は計画通り達成した。

今後は、明らかとなった新たなパラメータ・リスクマップ等を導入した発生予測モデルの現地実証や適合性を検証するとともに、残る8種の病害虫を中心としてシステム開発を推進する。最終的には合計18種の病害虫の発生予測システムを統合し、同時に複数の病害虫種の予測が可能となるシステム（統合

版)を作成する。これにより、圃場単位で水稻病虫害の発生を予測し、防除が必要な時のみ電子メールによるアラートを生産者が直接受信することが可能となり、不必要な農薬散布の削減を実現する。また、開発技術の社会実装を行い、最終目標を達成する見込みである。

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

本プロジェクトでは、病虫害予報技術を開発し、既存の予防的・スケジュール的な農薬散布体系を適時散布に転換させるためのアプリケーションの開発及びその利活用により、水稻病虫害を対象とした化学農薬の使用量（リスク換算）の2割削減を目指す。

化学農薬を使用する防除には、生産者が毎年行うであろう防除（基幹防除）（※28）だけでなく、突発的な病虫害の発生や地域特性、品種により発生状況が異なる病虫害に対して行う防除（臨機防除）（※29）がある。アウトカム目標の実現には、基幹防除と臨機防除をともに削減する必要があるため、生産者の5年間の化学農薬散布回数総計を慣行比2割削減することを目標とする。この目標の実現に向けて、開発する水稻病虫害発生予測アプリケーションを、農業データ連携基盤 WAGRI や個別許諾を通じ、JA や都道府県、民間企業へと普及する。

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

生産者の化学農薬散布回数を5年間で2割削減するために、基幹防除と臨機防除について、既存の防除暦に従った各薬剤の散布実績と近年の水稻病虫害発生動向等を解析し、化学農薬使用量2割を低減するための方策をコンソーシアム内で協議した。

また、滋賀県では、イネいもち病について、既存の発生予測システム（BLASTAM）の使用により、農薬使用量が5割削減された事例がある。そこで、本プロジェクトの開発成果においても普及が重要と考え、新規に開発した病虫害発生予測システムの普及を促すために、滋賀県の行政部局・普及センター・防除所・試験機関の職員30名への説明会を1件、大規模生産者20名を集めた農研機構主催の集会での説明会を1件実施した。次年度以降は、学会等における講演活動を2件、公的機関への説明会を3件、生産者等を含む一般向けの説明会を2件実施することを目標として、普及を進める予定であり、アウトカム目標の達成に向けた取組は妥当である。

③ 他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

水稻病虫害の発生予測モデルの開発は、畑作物に病虫害に対しても応用可能である。特に、本プロジェクトにおいて、明らかとなった新たなパラメータとなる要因については、畑作にも共通するものであるため、畑作物における病虫害発生予測モデルの開発促進に貢献する。また、都道府県が実施する発生予察技術への活用も見込まれ、従来に比べ、軽労化に貢献する。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

① 研究計画（的確な見直しが行われているか等）の妥当性

これまでに、水稻病虫害18種の発生を予測するための基本アルゴリズムを開発した。各アルゴリズムの精度は現在のところ70%程度であるが、今後、予測精度を上げるために必要となるパラメータの洗い出し及び実証を行い、的確な研究計画の見直しを実施している。

また、植物病害や虫害、化学農薬を用いた防除をそれぞれ専門とする3名の外部専門家と農林水産技術会議事務局・行政部局で構成される運営委員会を設置し、運営委員会や推進会議を年2回以上開催することにより、研究計画の見直しや進捗状況の確認を適時実施している。これまでに、新たに対応すべき重要害虫種の追加に加え、地域単位でのニーズの違いを踏まえた現地圃場を対象とした実証試験の追加、発生予測モデルの精度評価基準の導入、生産者が圃場で調査できる簡易基準の作成等の実施計画の見直しが行われた。これらの研究計画の追加・修正及び進行管理により、高精度な水稻病虫害の発生予測モデルの構築が見込まれるとともに、現地実証等による精度検証とシステムの修正が加速化するため、研究計画は妥当である。

② 研究推進体制の妥当性

発生予測モデルを構築する国立研究機関、モデルの実証やパラメータとすべき項目の洗い出しを行う10県の公設試験場、開発技術の社会実装先となる民間企業が連携した研究コンソーシアムを構築し、研究を推進している。また、病害と害虫に分かれ、適切な計画検討するためのWeb会議や進捗検討会を実施するほか、早急に対応が必要な課題に面した場合はメールを用いた情報共有を実施し、研究推進方向の確認や情報共有・情報交換を図るなど、適切な推進体制を構築している。

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）

水稻の栽培にあたって、問題となる病害と害虫を網羅的に発生予測するモデルを開発し、化学農薬使用量を低減することを目標としている。そのために、3年目までに水稻病害及び害虫の発生を予測するために必要となる情報の整理やパラメータ化、アルゴリズムの開発を実施するとともに、5年目までに開発技術を利用した水稻病害虫の発生予測システムの開発及び社会実装を想定しており、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

委託プロジェクト全体で、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。各課題ともに計画通りに進捗しており、最終目標の達成も見込まれることから、予算配分額は妥当である。

【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

- ・病害虫の発生が高い精度で予測できれば農薬散布量を減らすことができ、労力及びコスト削減、環境負荷の低減に繋がる重要な研究である。
- ・アウトプット目標やアウトカム目標に対するこれまでの取組内容が具体的に示されており、計画どおりに進捗していることから、今後の達成可能性は高く、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

- ・病害虫の発生予測精度の向上や、研究成果の早期の社会実装を目指して取り組んでいただきたい。

[研究課題名] 革新的環境研究のうち省力的な IPM を実現する病害虫予報技術の開発

| 用語 | 用語の意味 | ※番号 |
|------------|--|-----|
| 総合防除 (IPM) | Integrated Pest Managementの略。病害虫の防除において、環境に対する負荷を軽減しつつ、利用可能なすべての防除技術を利用しながら、経済性も考慮しつつ総合的に講じる防除手法。 | 1 |
| アルゴリズム | ある問題を解決するために、いくつかの計算式や判断基準を使って目的の結果を得るまでの手順。 | 2 |
| パラメータ | コンピュータプログラム内で変化する値。 本プロジェクトにおいては、水稻病害虫の発生に影響を及ぼす気温等の要因。 | 3 |
| システム | 多くの物事や一連の働きを秩序立てた全体的なまとまり、体系。例えば、水稻病害虫においてはその発生を予測する仕組みのこと。 | 4 |
| アプリケーション | 利用者がコンピュータ上で特定の作業を行うために開発されたソフトウェアプログラムのこと。 | 5 |
| モデル | 理論を説明し、可視化し、理解するための簡単で具体的な数式、図形やルールのこと。 | 6 |
| イネいもち病 | 水稻の重要病害の一種。種子や被害ワラが伝染源となり、育苗期から出穂期に至るまで継続して発生する。胞子が飛散して空気伝染するため広域で被害が起こる。本病は1993年の平成の米騒動の原因の一つでもあり、2003年には400億円の被害が発生している。延防除面積は120万ha、被害額は40億円。 | 7 |
| イネ稲こうじ病 | 水稻の重要病害の一種。穂のモミだけに病気が発生し、これに含まれる胞子が土壌中で越冬して伝染源になる。着色米や病粒片の混入による規格外米の発生や、種子に病粒が混入した場合クレームによる返品の問題が生じる。延防除面積は10万ha、被害額は10億円。 | 8 |
| イネ紋枯病 | 水稻の重要病害の一種。菌の塊の菌核等により土壌伝染し、イネの茎を枯死させてコメの収量や品質を低下させる。近年発生が最も多い病害で、延防除面積は80万ha、被害額は60億円。 | 9 |
| イネもみ枯細菌病 | 水稻の重要病害の一種。近年の高温傾向により発生が増加している。種子伝染するだけでなく用水に含まれる本菌が伝染源となる。苗を腐敗させたり、穂のモミを枯死させる病害で、延防除面積は40万ha、被害額は10億円。 | 10 |
| イネごま葉枯病 | 水稻の重要病害の一種。近年の高温傾向により発生が増加している。種子伝染するだけでなく雑草で越冬した本菌が伝染源となる。葉や穂に斑点を生じて枯死させ減収させる。延防除面積は31万ha、被害額は13億円。 | 11 |
| イネ白葉枯病 | 水稻病害の一種。近年の高温傾向により発生が増加している。雑草で越冬した本菌が伝染源となる。葉や穂を白く枯死させ減収させる。延防除面積は16万ha、被害額は1億円。 | 12 |
| トビイロウンカ | 水稻の重要害虫の一種。国内では越冬できないが、中国大陸で越冬した個体が毎年日本に飛来する。多発すると坪枯れや全面枯れの被害を引き起こす。飛来状況により被害の年次変動が大きく、近年の多発生時には2013年に4.6万トン（被害額：105億円）、2020年に7.1万トンの被害が発生している。延防除面積は60万ha、被害額は20億円。 | 13 |
| セジロウンカ | 水稻の重要害虫の一種。国内では越冬できないが、トビイロウンカと共に中国大陸で越冬した個体が日本に飛来してくる。夏季に多く発生するため夏ウンカとも呼ばれ、多飛来・多発生するとイネの初期生育の抑制などの被害を引き起こす。トビイロウンカと同様に飛来状況により年次変動が大きい。延防除面積は60万ha、被害額は1億円。 | 14 |
| ヒメトビウンカ | 水稻の重要害虫の一種。国内で越冬でき冬期はイネ科雑草で幼虫で過ごす。イネを吸汁加害し、吸汁害のほかイネ縞葉枯ウイルスを媒介してイネに黄化や出穂障害を引き起こして減収する。延防除面積は10万ha、被害額は10億円。 | 15 |
| コブノメイガ | 水稻の重要害虫の一種。国内では九州以北で越冬できないが、毎年梅雨時期に中国南部などから成虫が日本に飛来してくる。西日本を中心に発生する。イネを筒状に巻いて葉を食害する。延防除面積は50万ha、被害額は1億円。 | 16 |

| | | |
|---|---|----|
| フタオビコヤガ | 水稲の重要害虫の一種。国内でサナギで越冬し、成虫が水田に飛来しイネの葉に産卵し、幼虫が葉を食害する。多発生により食害の被害が大きいと減収につながる。延防除面積は70万ha、被害額は1億円。 | 17 |
| イネミズゾウムシ | 水稲の重要害虫の一種。水田圃場の近くで越冬し、成虫はイネの葉を食害し生育不良を引き起こす。幼虫は根を食害し、被害が大きい場合は生育が遅れや減収につながる。全国で発生し延防除面積は83万ha、被害額は1億円。 | 18 |
| イネドロオウムシ | 水稲の重要害虫の一種。山間地や川池沼周辺で越冬した成虫が水田に飛来しイネの葉に産卵し、ふ化した幼虫が葉を食害する。虫名は幼虫が泥のような糞を背負うことに由来し、多発生すると水田一面が真っ白になるくらい葉が食害され被害を引き起こす。全国で発生し延防除面積は70万ha、被害額は1億円。 | 19 |
| 斑点米カメムシ類（アカスジカスミカメ、アカヒゲホソミドリカスミカメ、クモヘリカメムシ） | 水稲の重要害虫で、穂を吸汁加害することによって米粒の一部または全体が変色・変形する斑点米を発生させるカメムシ種の総称。斑点米等の着色粒は農産物の品質検査において等級下落の要因となる。国内で越冬し、休耕田や畦畔等のイネ科雑草などで発育・増殖し、イネの出穂とともに水田に侵入し穂を加害する。近年の主要な害虫の一つで、延防除面積は110万ha、被害額は20～30億円。 | 20 |
| ツマグロヨコバイ | 水稲の害虫の一種。多発生すると穂の吸汁により減収を引き起こすほか、虫の排泄物に黒色のカビが発生し、葉にすす病を発生させる。西南暖地ではウイルス病等の媒介虫として問題になる。延防除面積は100万ha、被害額は1億円。 | 21 |
| スクミリンゴガイ | 水稲の重要害虫の一種。環境省と農林水産省が作成する「生態系被害防止外来種リスト」において、対策の必要性が高い「重点対策外来種」に選定されている。国内で越冬し、野生化した貝が生育初期のイネを食害する。延防除面積は5.2万ha、被害額は0.1億円。 | 22 |
| WebAPI | ウェブ上で提供される、アプリケーションプログラミングインターフェイスAPI (Application Programming Interface) のこと。異なるアプリケーション間でデータやプログラムの機能をサービスとして利用できる。 | 23 |
| 農業データ連携基盤WAGRI | 気象や農地、収量予測など農業に役立つデータやプログラムを提供する公的なクラウドサービスのこと。農研機構が管理運営の主体を担っている。 | 24 |
| リスク換算 | 農薬の有効成分ベースの農薬出荷量に許容一日摂取量を基にしたリスク係数を掛け合わせて求めた値のこと。 | 25 |
| 注意報 | 都道府県の病虫害防除が、重要な病虫害の多発生が予測され、かつ、早めに防除措置を行う必要が認められた場合に発表するもの。 | 26 |
| リスクマップ | リスクの発生頻度・リスクの影響度を俯瞰的な視点で分析できるようにしたフレームワーク。例えば、地図上で色の違いによりリスクが簡単に判断できるもの。 | 27 |
| 基幹防除 | 病虫害の発生リスクが毎年高い地域において、薬剤散布を基本的に行う必要がある防除のこと。 | 28 |
| 臨機防除 | 病虫害が毎年発生することがない地域において、防除が必要と判断された発生量に達した時や突発的に新しい病虫害が多発生した時のみ行う防除のこと。 | 29 |

② 省力的なIPMを実現する病害虫予報技術の開発【継続】

背景と目的

- 担い手の減少や高齢化により、病害虫の防除は化学農薬の散布に依存せざるを得ないのが現状。我が国の耕作面積あたりの農薬散布量は**10アールあたり1.2kg**で主要な先進国中で突出して高く、生産者も**10アールあたり1万円**ほどの農業薬剤費を支出。
- 化学農薬の使用量を削減するためには、病害虫の発生状況に応じて散布の要否を適切に判断することが重要。
- **適時・適切な化学農薬の散布**を実現するため、ICT技術により長期気象予報や圃場のリモートセンシングデータ等から病害虫の発生をピンポイントで予測し、迅速に生産者に通知する**病害虫予報技術**を開発。

研究内容

- **主要な水稻病害虫のピンポイント発生予測手法の開発**
—ICT技術により病害虫の発生を早期かつ精密に予測
- **ピンポイント発生予測の迅速な提供技術の開発**
—生産者がアプリケーションを通して病害虫発生リスクを随時把握できる技術基盤を構築

到達目標

- 水稻病害虫15種以上のピンポイント発生予測手法を確立
- ピンポイント発生予測を生産者に提供する病害虫予報の社会実装

圃場の病害虫
発生リスク

生産者の圃場における水稻の主要な病害虫の発生リスクが通知される

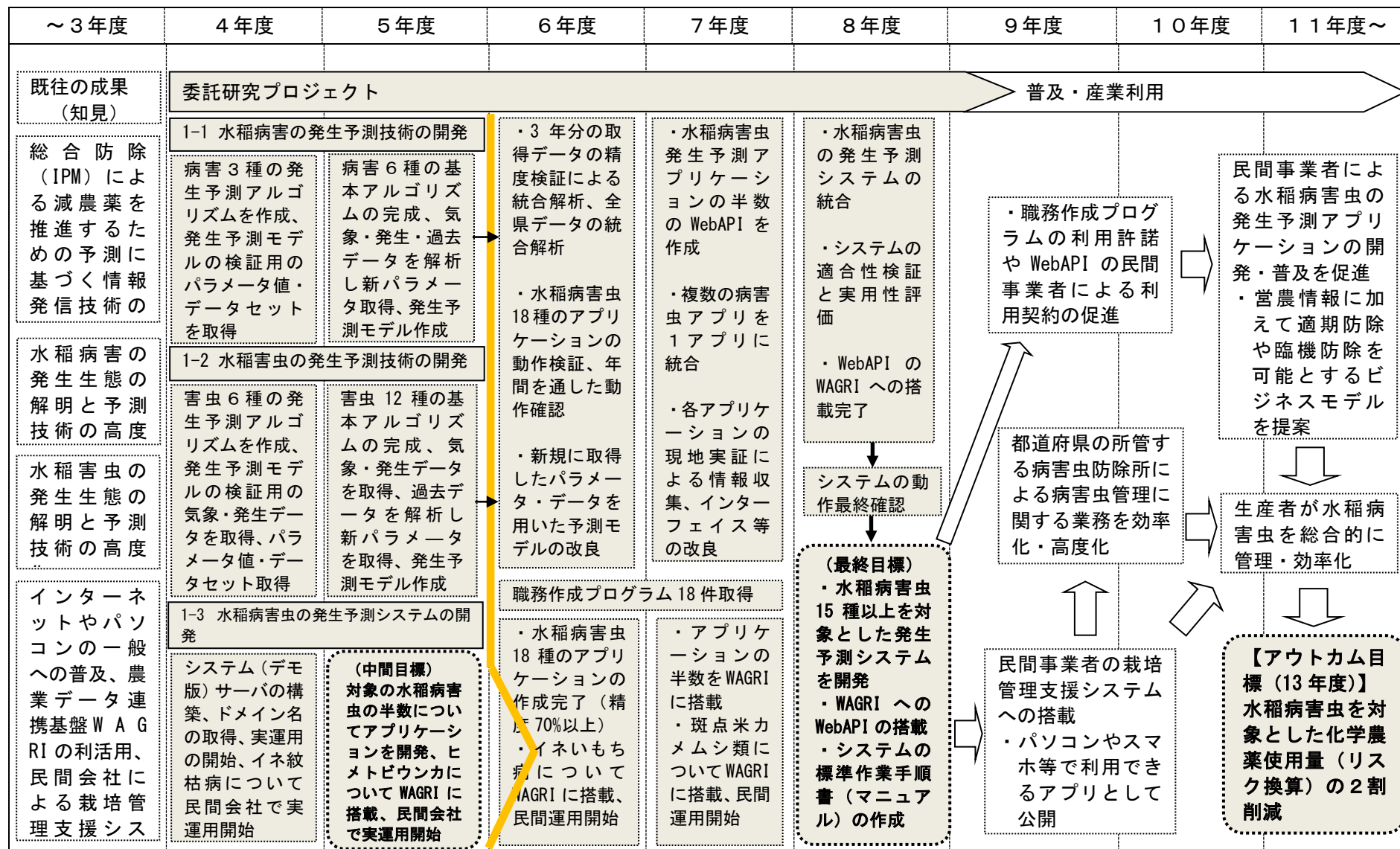
期待される効果

適時・適切かつ省力的なIPM技術の確立により、
水稻の化学農薬の使用量を2割削減



【ロードマップ（中間評価段階）】

革新的環境研究のうち省力的な IPM を実現する病害虫予報技術の開発



省力的なIPMを実現する病害虫予報技術の開発

これまでの成果と今後の方針

令和4年度～令和8年度

研究概要

総合防除（IPM）による化学農薬の使用量を削減するため、水稻病害虫15種以上を対象に発生に関与する要因の解析を行い、発生リスクを評価し、必要な時のみ薬剤散布を支援する発生予測システムを開発する。

① 水稻病害の発生予測技術の開発

・ 6種の発生を予測する基本アルゴリズムを作成。

・ 発生に関与する気象・発生データ、過去データを解析。



- ・ 結露、温度、日照、品種等について発生量を変動させるパラメータとして決定。
- ・ 濡れ時間と温度がイネごま葉枯病の感染に、風速がイネ白葉枯病の発病に関与することを解明。

② 水稻害虫の発生予測技術の開発

・ 12種の発生を予測する基本アルゴリズムを作成。

・ 発生消長の年次間差や地域間差、雑草種、水稻の生育、群落内気温等のデータを解析。



- ・ 群落内気温、地域分布、越冬世代の生育パラメータ等を決定。
- ・ ヒメトビウンカの発生リスクマップを開発。
- ・ スクミリンゴガイの翌年発生量推定式やフタオビコヤガの発育予測補正值を決定。

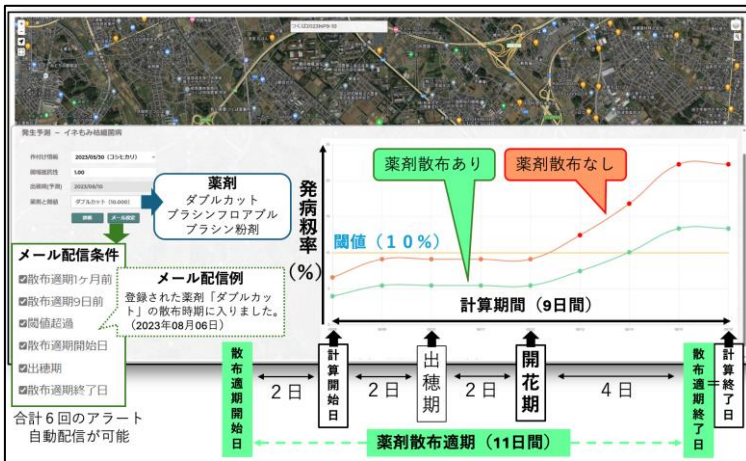
発生予測システムの改良に利用

③ 水稻病害虫の発生予測システムの開発

・ 水稻病害虫10種の発生を予測するアプリケーションを利用できるシステムを作成。

・ 水稻病害虫の予測発生量や発生リスク、薬剤散布適期等を電子メールにより情報配信する機能を搭載。

予測精度は**平均70%以上**を確保したため試作システムとして実証を開始。



今後の方針

・ 新規のパラメータやリスクマップ等の導入及び現地実証や適合性を検証し、**予測精度の向上**を図るとともに、残る8種の病害虫を加え、**合計18種の病害虫を同時に予測可能とするシステム**を作成する。

・ 病害虫防除所・普及組織・JA・農業法人や生産者と連携した発生予測システムの現地実証を行うとともに、民間会社へのシステムの搭載等を通じて、**開発技術の社会実装**を行う。

アウトカム目標

・ 水稻病害虫18種の発生予測システムの利用により、防除が必要な時のみ生産者が薬剤を散布することで、水稻病害虫を対象とした化学農薬の使用量（リスク換算）を**20%削減**

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森林・林業における未利用資源活用プロジェクトのうち針葉樹樹皮のエシカルプラスチック等への原料化 | | | 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 林野庁森林整備部木材利用課 林野庁森林整備部研究指導課 |
| 研究期間 | R4～R8年度（5年間） | | | 総事業費（億円） | 1.5億円（見込） |
| 研究開発の段階 | 基礎 | 応用 | 開発 | | |
| | | | | | |
| 研究課題の概要 | | | | | |
| <p>本研究課題では、木材の製材工程で大量に発生するにもかかわらず積極的な利用が行われていない樹皮について、その含有成分を原料とする新たなエシカル製品素材を2つ以上開発することを目標とする。そのため、本研究では、</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 利用可能な樹皮の資源量調査と有用物質原料としての特性解明 2. 樹皮テルペンの効率的抽出技術と分離精製・利用技術の開発 3. 樹皮フェノールの樹脂原料としての用途開発 <p>という3つの課題を設定し、樹皮の新たな用途の開発を行う。</p> | | | | | |
| 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 トドマツ、カラマツ樹皮の資源量の算出と含有成分の有用性の評価 | | | ・R8年度の事業終了時までに、トドマツ、カラマツ、スギ樹皮の資源量と、それに含まれる有用成分の利用可能量を算出 | | |
| ② トドマツ樹皮から揮発性及び難揮発性テルペン（※1）を効率的に抽出する技術と、モノテルペン及びジテルペンをそれぞれ95%及び50%以上の高純度で精製する技術の開発 | | | ・R8年度の事業終了時までに、樹皮テルペンの工業的利用を想定した大量抽出技術の開発と、具体的利用に向けた樹皮抽出物の分離精製及び利用技術の開発 | | |
| ③ フェノール樹脂（※2）接着剤の基材となるフェノール系化合物を樹皮成分で25%以上代替する合板用接着剤及び生分解性の樹皮成形素材の開発 | | | ・R8年度の事業終了時までに、石化系（石油化学系）フェノールの30%以上を樹皮成分で代替するJAS特類相当の合板用接着剤の開発及び肥料被覆素材に使用できる樹皮成形素材の開発 | | |
| 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（R14年） | | | | | |
| ① テルペン製品の原料調達に関し、多くを海外に依存している現状から、安定供給の担保が可能な国産樹皮資源の活用へと産業構造の転換を促進。 | | | | | |
| ② 樹皮を利用したフェノール樹脂の用途開発により、社会的ニーズが高く、かつ環境負荷の少ない化石資源代替製品であると共に、国産の天然由来でもあるエシカルな製品開発を促進。 | | | | | |
| ③ 樹皮利用に関連する産業が中山間地域等に新たに誘致されることにより、地域活性化や新たな地域間連携の促進がはかれるとともに、再生可能資源である木材の樹皮の有効利用を通じて、循環型社会の構築や2050年ネットゼロエミッション達成に貢献。 | | | | | |

【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**

二酸化炭素排出量削減目標の達成に向けては、地球温暖化などの問題から国民からの高い関心が寄せられている他、経済界からも持続可能な社会の実現や新たな産業構造の構築に対し強い要請がある。木質資源はその賦存量の大きさから化石資源を代替する再生可能資源として期待されているが、樹皮については、テルペン類やフェノール性化合物の含量が木部に比べて多いにもかかわらずその活用が充分には行われていない。その原因としては、製材所等から出る樹皮の資源量が把握されていない点や、学術的に研究されてきた樹皮成分と実際に製材所等で発生する樹皮の成分の量的、質的な違いなどが調査されてこなかった点が挙げられる。このため、樹皮の資源量の調査及び含有成分の特性解明が不可欠である。

テルペン類は、インキ・溶剤・香料・接着剤・ポリマーなど幅広い産業に渡って活用されており、樹皮からの抽出・利用技術の開発及びその利用の上での機能性の向上を図ることにより、多くの産業での利用が期待できる。樹皮に含まれるフェノール類は、接着剤や生分解性樹脂の原料としての利用の可能性が示されており、その反応性を活かした高性能な新規素材としての産業利用が期待される。本研究の成果は、樹皮を原料とした新たな製品素材の上市により、経済価値のある資源として樹皮の再評価につながる。また、素材開発のみならず、丸太以外の副産物の高次利用につながることから、地域における持続可能な森林経営やゼロエミッションの推進に資する研究である。

② 引き続き国が関与して研究を推進する必要性

樹皮のマテリアル利用を推進するために必要な技術開発を行う本研究は、2030年度の温室効果ガス排出量46%減の削減目標の達成や2050年のネットゼロエミッションの達成に向けた、化石資源代替となる再生可能資源の活用による循環型社会の形成というグローバルな政策や、エシカルな製品を求める環境意識の高い消費者のニーズに応える。現在、有効活用されていない木材の樹皮をエシカル製品として活用し、森林資源利用に関する新事業や付加価値を創出することによって、農山村における所得と雇用機会の確保が図られ、地域活性化につながることから、引き続き国が関与して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**

本課題のロードマップの2年目までの目標は全て達成し、一部課題では、中間評価時の目標以上に研究が進展している。詳細は以下の通り。

- ・利用可能な樹皮の資源量把握に関しては、トドマツ、カラマツ樹皮のテルペン樹脂原料及びフェノール代替樹脂原料としての価値を明らかにするために、樹皮資源量を算出するとともに、製材所等から得られた樹皮成分の劣化状況を調査し、フェノール成分に関してはほとんど劣化していないことを明らかにするなど、初期目標として設定した分析項目の全ての評価を終えた。（達成度100%）

- ・樹皮テルペンの効率的抽出技術と分離精製・利用技術の開発に関しては、トドマツ樹皮から揮発性モノテルペン（※3）及び難揮発性テルペン類の効率的抽出技術として、減圧マイクロ波水蒸気蒸留法（※4）及び溶媒抽出による最適条件を明らかにした。また、抽出した揮発性テルペン類について精密蒸留による分離精製を行うことで有用モノテルペンの純度95%以上での単離を可能とした。また、一般的な蒸留法等での高純度化が難しい難揮発性のジテルペン（※5）については、溶媒分画法により分離純度50%以上を達成した。（達成度100%）

- ・樹皮フェノールの樹脂原料としての用途開発に関しては、既往文献等にある化学的な抽出工程を回避した、より環境調和型の樹脂原料化となる機械的微粉碎化によるカラマツ樹皮の樹脂原料化を行い、目標値として設定した市販フェノール樹脂の25%を樹皮で代替する合板用接着剤を開発した。また、水耕栽培でも使用可能な樹皮微粉碎物からの肥料被覆材（※6）の開発を目指し、浸水条件下でも崩壊しない微粉化樹皮の製造条件を明らかにした。さらに、次年度以降での実施を検討していた尿素を10%配合した樹皮ペレットの調製条件の確立を前倒して達成した。（達成度125%）

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

- ・トドマツ、カラマツ樹皮の資源量の算出ならびに含有成分の有用性の評価については既に達成されており、スギ樹皮に関しても同様の手法を用いて研究を進めることで目標の達成は可能と考えられる。
- ・トドマツ樹皮から高純度分離が達成できたモノテルペン類に関しては、資源量の確保と樹皮からの粗テルペンの大量抽出技術が確立できれば、参画企業の持つ現行のプロセスを改良することで、技術的には実操業規模でも十分に採算性が見込め、具体的な利用が可能と考える。ジテルペン類については現時点では抽出のコスト面等での課題は残るが、工業的に松脂の蒸留残渣からジテルペンであるアビエチン酸（※7）が分離され樹脂原料等として販売されていることから、樹皮からの製造も技術的には可能である。
- ・樹皮のフェノール代替接着剤の開発においては、実証研究の段階に入る前には実施主体によるJASなどの規格の取得も必要になるが、フェノールの25%の代替を目標とする現時点で、数値的にJAS規格をクリアできる成果が得られている。樹皮からの肥料被覆素材等の開発を目標とする生分解性成形素材の開発に関しては、計画を前倒した進展があると自己評価していることから、最終年度における目標の達成は可能と考えている。

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

- ・利用可能な樹皮資源量の把握の成果を踏まえて、以下に挙げる技術的な課題の最終目標を達成することで、事業終了後の開発研究の段階において、各種素材の安定的な生産を達成するための樹皮供給システムの確立が可能と見込んでいる。
- ・樹皮に含まれるテルペン類の利用に関しては、実際に輸入粗テルペン等から各モノテルペン類を分離し、樹脂等に変換する事業を展開している企業の参画を得ており、夾雑物が現工業用粗テルペンとは異なる樹皮からのモノテルペンの高純度分離を達成するなど当初計画に沿った成果を得ている。今後は、参画企業と計画に沿ったテルペン類製品の開発に取り組み、得られた成果に関しては知財化を目指す。
- ・樹皮フェノール樹脂接着剤に関しては、JAS規格に準じた合板用接着剤としての基準を満たす結果が得られるなど、当初計画に沿った成果が得られている。一部前倒して目標を達成しているこれまでの研究の進展状況から、事業終了時の目標の達成は可能と見込んでいる。
- ・以上の取組が達成され、利用が不十分であった樹皮を原料とした新たな産業が立ち上がることで、樹皮の製造・加工の拠点を中山間地域に設けることにより地域活性化をはかることができ、さらには地域間での樹皮原料の調達や利用技術のさらなる向上を目指すための連携を促進することも可能となる。

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

- ・利用可能な樹皮の資源量把握については、丸太伐採量だけでなく、実際の製材工場への流通や加工・保存実態に基づき資源量推計をしていることから、樹皮の工業的利用に向けた供給可能量に限りなく近い値が得られている。
- ・樹皮からのテルペン類の抽出・分離精製については、工業的に大量生産で使用されている技術の応用をベースとして検討を進めると共に、素材供給元となる製材工場関係者とも密に意見交換を行うことで現場のニーズや問題点の把握に努めており、今後の技術普及や実用化の促進、コストの削減につながる取組を進めている。このことから実用化を目指した取組として妥当性が高い。
- ・樹皮に含まれるフェノール類を原料に新たに開発するエシカル素材については、事業推進段階においても石油化学系のフェノール代替原料としてより安価な原料製造技術の開発となるように努めている。経済的にも競争力がある樹皮の有効利用を通じた開発は、循環型社会の構築や2050年ネットゼロエミッション達成に貢献する研究成果の実証や普及に向けた取組として妥当である。

③ 他の研究や他分野の技術の確立への具体的な貢献度

これまで積極的な利用が行われてこなかった樹皮という素材に対して新たな利用法を示すことにより、同じく林業分野で利用の進んでいない樹木の枝葉や根などに対しても潜在的な資源として捉えられる可能性がある。長期的には新たな産業が創出されることで、山元への利益の還元により森林整備が進むなどのメリットも考えられ、循環型社会の実現に貢献する。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

① 研究計画（的確な見直しが行われているか等）の妥当性

各小課題において順調に目標達成できていることから、これまでの研究計画は妥当である。また、小課題横断的な計画となっており、密に情報交換を行いながら、今後の方向性やサンプルの相互提供、またそれらの分析・評価結果に基づいた、こまめな研究計画の見直しが的確に行われている。

② 研究推進体制の妥当性

国立研究開発法人の強力なリーダーシップのもと、地域との密接な関係をもつ公設試ならびに実用化のための優れた技術力を有する民間企業と連携をとりながら、約2か月に一度の頻度で中間報告・現地視察・実地調査等を実施しながら研究を推進しており、適切に進捗管理できる体制となっている。

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）

テルペン化合物の専門企業が参画しており、テルペン類の具体的なスペックや市場でのコスト等の具体的な情報提供・収集を行っている。樹皮フェノールを利用した合板用接着剤の開発及び樹皮成形素材の開発に関しても専門の研究者の参画のもと、市場動向や求められる性能について詳細な知見を集積している。それらを元に課題目標や研究内容を設定しており、課題構成は適切である。

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

研究期間の2年目までに、成分精製システム、減圧濃縮装置、分光光度計など的高額機器の購入を集中して行い、研究推進に不足の無い体制を整えた。それぞれの参画機関に均一に予算配分を行うのではなく、研究推進に特に重要と思われる物品に対する重点的な配分を行っている。

【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

- ・森林資源利用は環境への配慮もさることながら、地域活性化にもつながり、さらにこれまで利用されていなかった樹皮の活用は、民間企業だけでは実施が困難であるため、国として取り組む重要性が高い。
- ・目標以上に研究成果を挙げており、アウトカムの達成可能性は高い。
- ・ゼロエミッションの推進はもちろん、持続可能な森林経営に資する研究であり、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

- ・樹皮成分の分析や蒸留技術の開発に留めず、経済合理性の検討も並行して進めれば、研究成果が社会実装により近づくと期待される。

[研究課題名] 革新的環境研究のうち森林・林業における未利用資源活用プロジェクトのうち、針葉樹樹皮のエシカルプラスチック等への原料化

| 用語 | 用語の意味 | ※ 番号 |
|---------------|--|---------|
| テルペン | 植物が生産する二次代謝産物のうち、炭素数5個のイソプレンを構成単位とする炭化水素の総称。さまざまな生理機能を有する。 | 1 |
| フェノール樹脂 | フェノール類の原料とホルムアルデヒドを原料とした熱硬化性樹脂の一つ。三次元的な網目構造をもち、特に耐熱性、難燃性に優れるという特徴を有する。 | 2 |
| モノテルペン | 炭素数10個のテルペンの総称。揮発性が高く、植物のもつ様々な香りの主な要因となる。工業用の溶剤としても用いられる。 | 3 |
| 減圧マイクロ波水蒸気蒸留法 | 植物から効率的に精油を取り出すため、従来法である水蒸気蒸留法に改良を加えた手法。系全体を減圧にして沸点を下げ、加熱にマイクロ波を用いることで、消費エネルギー量を削減して短時間での抽出を可能にする。 | 4 |
| ジテルペン | 炭素数20個のテルペンの総称。揮発性は低い。樹木から単離されたジテルペンには抗菌性や抗酸化性など有用な活性を示す物質が多くあることが知られている。 | 5 |
| 肥料被覆材 | 肥料を長期間にわたって効かせる（緩効化）ために肥料の表面を覆う被覆材。肥料成分の溶出速度を制御することにより、施肥の労働力の軽減や土壌への環境負荷の軽減が期待される。 | 6 |
| アビエチン酸 | 樹脂を加熱異性化して得られるジテルペンのひとつ。有機合成における出発原料として広く使用されている他、金属塩はプラスチック、セッケンなどの原料として、エステル類はラッカーやワニスの成分として用いられている。 | 7 |

② 針葉樹樹皮のエシカルプラスチック等への原料化【継続】

背景と目的

- 国産針葉樹の需要拡大に向けて木材加工業から発生する端材・おがくず等の利用が進む中、樹皮の利用は遅れているところ。
- 針葉樹樹皮の4割を占めるフェノール性化合物は、化石資源由来の樹脂原料等の代替品として活用可能。
- 針葉樹樹皮は、香料等の高付加価値物質として利用可能なテルペン等有用物質を多く含有。
- 建材に利用できる木材から取り出したセルロース・リグニンや食料に利用できるデンプン起源のブドウ糖を原料とするものに比べてより地球にやさしい（エシカル）製品素材を提供。

研究内容

- 樹種間、産地間、季節等で変動する国産針葉樹の樹皮含有成分の化学特性を解明
- 工業原料として安定供給するために必要な樹皮含有成分の高効率分離・回収法を開発
- 樹皮成分を原料とする新規素材を開発

期待される効果

- 2050ネットゼロ・エミッション達成に寄与
- 国産材の総合的な成分利用による林業・林産業の成長産業化と地域の活性化
- あらたなエシカル製品素材（エシカルプラスチック等）の普及を通じた低環境負荷社会への消費者の行動変容の喚起

到達目標

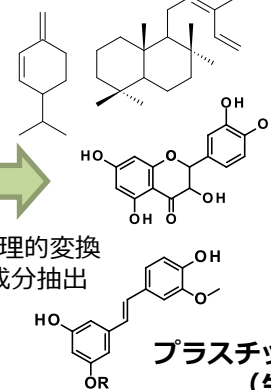
- あらたなエシカル製品素材を2つ以上創出
- 樹皮の利用拡大による国産針葉樹の総合利用の推進
- 樹種間、産地間で異なる樹皮利用法の開発による地域資源に対応した産業の育成

針葉樹の素材生産量の
1～2割に相当する樹
皮を有効活用

多様なフェノール成分
テルペン類

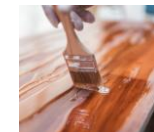


物理的変換
成分抽出



エシカル製品素材の提供

テルペン類
香料等



フェノール類
樹脂原料等

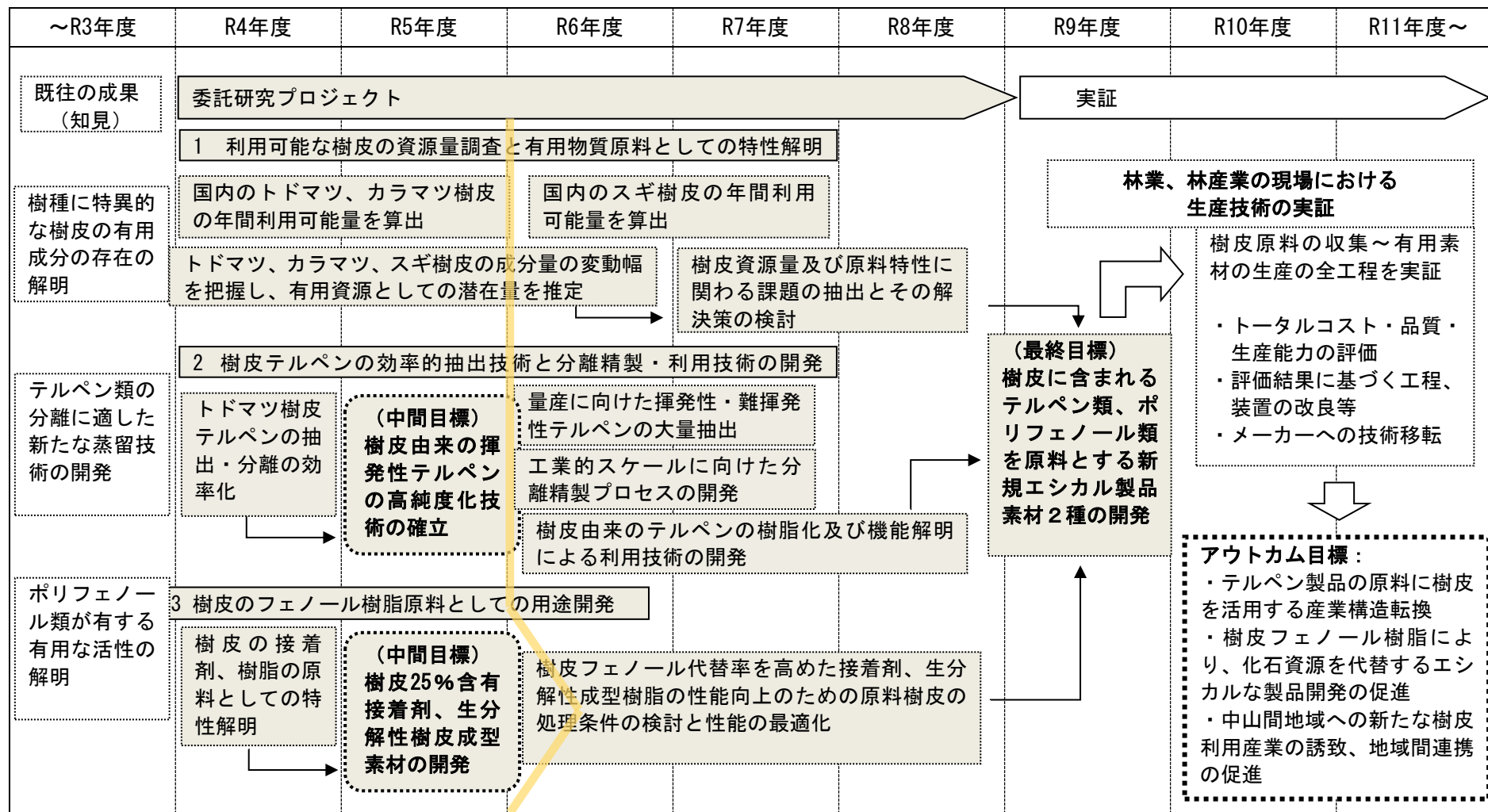


プラスチック代替素材等
(生分解性素材)

未利用樹皮資源の高度利用によりCO₂排出削減効果の最大化を図る

【ロードマップ（中間評価段階）】

針葉樹樹皮のエシカルプラスチック等への原料化



針葉樹樹皮のエシカルプラスチック等への原料化

- 針葉樹樹皮は、香料等の高付加価値物質として利用可能なテルペン等有用物質を多く含有。
 - 針葉樹樹皮に含まれるフェノール性化合物は化石資源由来の樹脂原料等の代替品として活用可能。
- ⇒地球にやさしい（エシカルな）素材原料として、有効活用できていない樹皮の新たな用途開発を行う



1. 利用可能な樹皮の資源量調査と有用物質原料としての特性解明

樹皮の工業的な利用に向けて製材所等から発生する資源量の把握が必要

- ・トドマツ、カラマツの樹皮の資源量を調査、算出

トドマツ樹皮資源量
伐採量 × 工場処理率 × 非利用率 × 樹皮率
= 2万6千絶乾トン/年

カラマツ樹皮資源量
伐採量 × 工場処理率 × 非利用率 × 樹皮率
= 2万4千絶乾トン/年

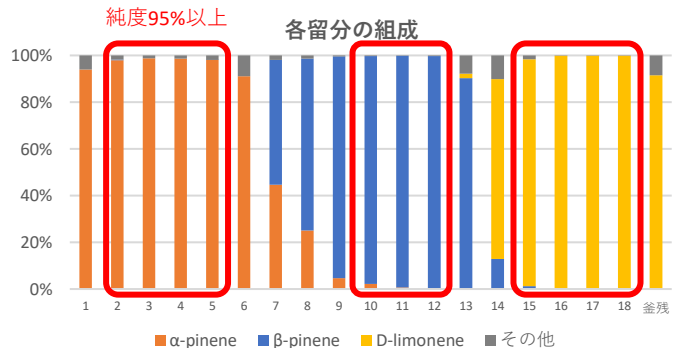
利用可能な樹皮資源量（北海道）

実際に利用できる樹皮量が明らかとなり、含有成分の潜在量算出も可能に

2. 樹皮テルペンの効率的抽出技術と分離精製・利用技術の開発

樹皮に含まれるテルペン成分の利用には、構成成分を効率的に分離する手法開発が必要

- ・トドマツ樹皮精油成分の95%純度の単離技術の確立



トドマツ樹皮モデル精油の精留による成分分離

工業的規模へスケールアップ可能な分離精製技術を開発

3. 樹皮のフェノール樹脂原料としての用途開発

樹皮に含まれるフェノール成分の接着剤としての利用には、性能を向上させる技術開発が必要

- ・微粉化カラマツ樹皮を混合したフェノール樹脂接着剤を製造

樹皮を25%混合したフェノール樹脂接着剤の接着性能

| 接着剤 | せん断強さ (N/mm ²) | 木部破断率 (%) | 合板JAS判定 |
|----------------------|----------------------------|-----------|---------|
| フェノール樹脂 (PF) のみ | 1.19 | 52 | 合格 |
| 微粉化カラマツ樹皮 + PF | 1.03 | 43 | 合格 |
| ヒドロキシメチル化カラマツ樹皮 + PF | 1.03 | 32 | 合格 |

合板JASの基準をクリアする接着性能が得られ、実用化に近づく

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畜産からのGHG排出削減のための技術開発 | | | 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 大臣官房みどりの食料システム戦略グループ 畜産局畜産振興課 |
| 研究期間 | R 4～R 8（5年間） | | | 総事業費（億円） | 5.4億円（見込） |
| 研究開発の段階 | 基礎 | 応用 | 開発 | | |
| | | | | | |

研究課題の概要

2050年のカーボンニュートラル（※1）の実現を目指すためには、農林水産分野においても積極的に温室効果ガス（GHG）（※2）の排出削減に貢献する必要がある。特に畜産は、家畜の消化管内発酵（げっふ）や家畜排せつ物管理等によるGHGの排出が、我が国の農林水産分野におけるGHG排出量の3割程度を占めており、排出削減が求められているところである。

本課題では、畜産分野からのGHG排出量の削減と、2050年の農林水産業のCO₂ゼロエミッション化の実現のため、以下の研究を実施する。

<課題①：低メタン産生牛作出のための育種方法の確立と応用（令和4年度～8年度）>

育種改良により消化管内発酵由来のメタン産生量の少ない牛を作出するため、農場レベルで多頭数のメタン産生量測定を可能とする、簡易・安価なメタン測定手法の開発や、乳中の脂肪酸組成（乳牛）や飼養成績（肉牛）から間接的にメタン産生量を推定する方法の有効性を実証する。また、簡易なメタン測定システムについて、メタン削減資材の評価への利用を検討する。

<課題②：排せつ物管理におけるGHG排出削減技術の開発（令和4年度～8年度）>

家畜排せつ物管理からのGHG排出量を削減するため、乳牛の泌乳前期及び採卵鶏の育成期におけるアミノ酸バランス改善飼料（※3）給与による窒素排せつ量の低減技術や、IoTセンシング技術を活用した精密管理による一酸化二窒素（N₂O）の削減技術を開発する。

<課題③：GHG削減と同時に炭素貯留・再生可能エネルギー生産を行う技術の開発（令和4年度～8年度）>

GHG排出量の少ない家畜排せつ物処理と炭素貯留促進のため、バイオ炭（※4）添加による堆肥化からのメタン・N₂O削減技術の開発と、草地施用時の炭素貯留増強効果の検証を行う。また、消化液（※5）の発生の少ないメタン発酵システムを開発する。さらに、GHG削減技術を導入した場合のGHG削減量と導入コストを評価し、技術の組合せにより畜産経営体からのGHG30%削減目標を達成する生産システムを提案する。

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・乳牛の牛群検定（※6）事業に活用できるメタン産生量推定方法の提案。 ・簡易メタン測定法による農場でのメタン削減資材評価方法の提案。 | ①・メタン測定マニュアルの公表。 ・1世代当たりMCF（メタン転換効率）改良量3.7%の提示。 ・搾乳牛における推定メタン排出量の牛群検定成績表への記載。 |
| ②・乳牛の泌乳前期に対応したアミノ酸バランス改善飼料における生産性に影響しない粗タンパク質（CP）水準の検討。 ・産卵鶏育成期のアミノ酸バランス改善飼料に | ②・アミノ酸バランス改善飼料による窒素排せつ量低減と排せつ物管理の精密管理による削減を合わせ、排せつ物管理からのN ₂ Oを30%削減する技術の開発。 |

| | |
|--|---|
| <p>おける生産性に影響しないCP水準の提示。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・堆肥化処理施設において、N₂Oの代替物質を指標とした資材添加によるN₂Oの削減可能量の提示。 ・畜舎排水処理施設におけるN₂O抑制条件の検討。 | |
| <p>③・家畜ふん堆肥化におけるバイオ炭添加の影響とそれを草地飼料畑に施用した場合のGHG削減ポテンシャルの提示。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・セミ乾式メタン発酵システムの前処理技術の確立等。 ・最新データを用いた畜産環境評価モデルの構築。 | <p>③・炭素貯留効果も含めて排せつ物管理・利用からのGHGを35%削減する技術の開発。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1経営体からのGHG排出量を30%削減することが可能な畜産システムの提示。 |

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（R13年）

- ①・乳牛において、開発したメタン産生量推定方法を活用した、牛群検定情報からのメタン産生量の予測と、酪農家へメタン産生量の情報のフィードバックを実施。
 - ・肉牛において、都道府県における種雄牛検定でメタン関連形質評価を実証し、メタン産生量の育種価を公表。
- ②・乳牛及び採卵鶏において、全生育ステージにおけるアミノ酸バランス改善飼料の普及とJ-クレジット（※7）方法論を登録。アミノ酸バランス改善飼料の利用により、J-クレジットにおいて313千t-CO₂換算/年（うち乳牛216千トン、採卵鶏97千トン）、5.0億円/年（うち乳牛3.4億円、採卵鶏1.6億円）の市場が形成。
 - ・堆肥化処理施設においてN₂Oを削減する技術を生産者の10%に導入。
 - ・排水処理施設においてN₂Oを削減するIoTセンシングシステムを製品化。
- ③・バイオ炭混合堆肥と乾式メタン発酵について、J-クレジット方法論を登録。開発した技術の利用により、J-クレジットにおいて739千t-CO₂換算/年（うち乳牛707千トン、養豚31千トン）、11.8億円/年（うち乳牛11.3億円、養豚0.5億円）の市場が形成。
 - ・開発したセミ乾式・乾式メタン発酵システムの導入により、嫌気発酵処理によるバイオマス（乳牛ふん尿）利用率を1割増加。

【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

気候変動による平均気温の上昇等が、農林水産業の現場や国民生活にも大きな影響を及ぼしており、カーボンニュートラルの実現のため、農林水産分野においてもGHG排出削減が求められている。特に畜産分野については、農林水産分野からのGHG排出量に占める割合が高いほか、牛の消化管内発酵由来のメタンが温暖化の要因の一つとして社会的にも関心を集めている状況にある。このため、畜産分野において、生産現場で取り組むことができる新たなGHG排出削減技術の開発が必要であり、本課題は農林水産業・食品産業や国民生活のニーズに応える重要な研究である。

②引き続き国が関与して研究を推進する必要性

我が国は、2050年までにGHGの排出を全体としてゼロにする「2050年カーボンニュートラル」の実現を目指しており、その達成に向け、2030年度にGHG排出量を2013年度から46%削減することを目標としている。また、農林水産分野では、「みどりの食料システム戦略」（令和3年5月策定）において、食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現するとし、同戦略においては、2050年までに農林水産業のCO₂ゼロエミッション化の実現を目指すとしている。さらに、「環境と調和のとれた食料システムの確立のための環境負荷低減事業活動の促進等に関する法律」（みどりの食料システム法）が令和4年7月に施行され、同法に基づき、農林漁業・食品産業において、GHG排出量の削減を

含めた環境負荷低減を図る取組が促進されているところである。

上記のとおり、GHG排出削減は引き続き国の重要施策であり、本課題では「みどりの食料システム戦略」等に即し、畜産分野のGHG排出削減をイノベーションにより実現するため、これまでの基礎・基盤的な研究成果を発展させ、生産現場で取組可能な新技術の開発を行っているところである。また、開発に当たっては、家畜改良や飼養管理等に関する幅広い知見や、GHG排出量を測定可能な施設等が必要であることから、国が主導して、国立研究開発法人、大学、地域の公設試験研究機関や製品化を担う民間企業等の研究勢力を結集し、取り組んでいるところである。さらに、得られた成果については、農林水産分野の環境施策とも関連づけ、全国の関係者に迅速に展開を図る必要がある。

以上のことから、引き続き国が関与して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

以下のとおり、目標を達成しており、一部については計画以上に進捗している。

- ・乳牛の牛群検定事業に活用できるメタン排出量推定方法の提案に関して、牛の簡易メタン測定法（スニファー法）について、多くの農場で測定できるよう、より簡易・安価な手法を開発したほか、育種技術開発に必要なメタン測定データを計画より多く収集できた。また、乳牛で得られたデータから、乳脂肪酸等、牛群検定で得られる情報を変数としたメタン排出量推定式を作成した。変数の精査はさらに必要であるが、今後、使用するデータを積み増して推定式の改良を進めることにより、目標は達成可能である。
- ・簡易メタン測定法による農場でのメタン削減資材評価方法の提案に関して、飼槽での測定を対象としたスニファー法によるメタン簡易推定法を用いて、メタン排出に影響する飼料の効果の評価を行う際に必要な個体数等を明らかにした。
- ・乳牛の泌乳前期に対応したアミノ酸バランス改善飼料におけるCP水準の検討に関して、CPを3ポイント下げても生産性を落とさず窒素排せつ量を低減可能なことを精密出納試験で明らかにでき、計画以上に進捗している。
- ・産卵鶏の育成期にアミノ酸バランス改善飼料を給与する場合の生産性に影響しない飼料中CP水準の提示に関して、CPを4ポイント下げても生産性に影響せず窒素排せつ量を低減可能なことを示すことができ、計画以上に進捗している。
- ・堆肥化処理施設において、 N_2O の代替物質を指標とした資材添加による N_2O の削減可能量を明らかにした。
- ・畜舎排水処理施設における N_2O 抑制条件の検討に関しては、小型曝気槽を用いた試験において連続曝気と比較して間欠曝気により N_2O 排出量を半分以下に削減できることを確認した。
- ・家畜ふん堆肥化におけるバイオ炭添加の影響とそれを草地飼料畑に施用した場合のGHG削減ポテンシャルに関して、バイオ炭添加堆肥の施用によりGHGの吸収になることを速報値で確認した。
- ・セミ乾式メタン発酵システムの前処理技術の確立等に関して、破碎処理を付与することでふん尿に混じったワラ等の敷料にも対応可能となった。
- ・最新データを用いた畜産環境評価モデルの構築に関して、採卵鶏の環境評価モデルを精緻化すると共にバランス飼料給与によるGHG削減効果を明らかにした。

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

- ・メタン測定マニュアルの公表に関しては、繋ぎ牛舎等の測定場所の拡大、乳用育成牛等でのメタン推定式の拡張を進めており、必要とされる情報は計画通り蓄積しつつあるため、目標達成は十分可能である。
- ・1世代当たりMCF改良量3.7%の提示については、現在データ収集体制が整い、データの集積を開始したところである。現時点で得られたメタン関連データは解析に利用可能な精度を持っていると考えられ、遺伝的改良量の推定は計画通り進められる。
- ・搾乳牛における推定メタン排出量の牛群検定成績表への記載については、検定成績結果からのメタン排出量推定式が作成されたところである。今後、データ数を増やして推定式を改良することにより、目標達成は可能である。

- ・アミノ酸バランス改善飼料による窒素排せつ量低減と排せつ物管理の精密管理による削減を合わせて排せつ物管理からN₂Oを30%削減する技術の開発に関して、泌乳前期乳牛と育成期採卵鶏において生産性を落とさず窒素排せつ量を低減できるCP水準を明らかにできており、また堆肥化において代替物質を指標とした資材添加によりN₂Oを最大30%削減、汚水浄化処理において間欠曝気によりN₂O排出量の半減を明らかにしていることから、目標達成は十分可能である。
- ・炭素貯留効果も含めて排せつ物管理・利用からのGHGを35%削減する技術の開発に関して、豚ふんの堆肥化においてバイオ炭添加によりN₂O排出量削減を確認するとともに、草地に施用した時のGHG排出量が吸収になることが速報値として得られているため、目標達成は十分可能である。
- ・1経営体からのGHG排出量を30%削減することが可能な畜産システムの提示に関して、上記のように新規のGHG削減技術が順調に開発されていることから、既存技術と組み合わせることで目標を達成するGHG削減型畜産システムの提示は十分に可能である。

| | |
|---|--------------|
| 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

- ・乳用牛群検定情報をメタン予測に活用するとともに、検定結果に加えメタン排出量の情報も酪農家にフィードバックして低メタン産生牛の増加を目指す目標に関しては、乳脂肪酸等、牛群検定で得られる情報を変数としたメタン排出量推定式を作成したところである。変数の精査はさらに必要であるが、今後、使用するデータを積み増して推定式の改良を進めることにより、検定結果にメタン排出量情報を加えて酪農家にフィードバックすることは可能である。
- ・肉牛において都道府県における種雄牛検定にあわせてメタン関連形質評価の実証を行い、メタン排出育種価を公表し、評価法を全国へ普及させるよう努める目標に関しては、肉用牛におけるメタン関連形質評価のためのデータ収集体制が整いデータの蓄積が始まったところであり、目標達成は十分可能である。
- ・開発された乳牛・採卵鶏の全ステージにおけるアミノ酸バランス改善飼料及びバイオ炭混合堆肥、乾式メタン発酵技術に関して、J-クレジット方法論の登録を行った上でそれを活用した普及と市場形成に努める目標については、担当者はJ-クレジットの方法論の作成に従事した経験を有しており、J-クレジット制度の活用に関する社会の関心も高まっていることから、目標達成は十分可能である。
- ・家畜ふん尿処理施設を持つ生産者の10%に開発したGHG削減技術を導入しGHG排出量の削減に貢献する目標に関して、開発した技術の企業と共同での製品化・上市、また行政組織や講習会等を通じた普及を進めることで、目標達成は十分可能である。
- ・N₂O削減のためのIoTセンシングシステムを企業と共同で開発・製品化する目標に関しては、間欠曝気により汚水浄化処理からのN₂Oを大きく削減できることをこれまでに明らかにしており、今後N₂Oを最小化する曝気条件を決定し既往のBOD（※8）センシングによる曝気制御技術と組み合わせることで上市は十分に可能である。
- ・開発されたセミ乾式・乾式メタン発酵システムの導入により嫌気発酵処理によるバイオマス（乳牛ふん尿）利用率1割増加を目指す目標に関しては、既存のバイオガス化のJ-クレジット方法論が利用可能であることから当該制度を活用した普及を進められるため、目標達成は十分可能である。

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

低メタン産生牛の作出では家畜改良を行っている関係機関、メタン発酵システムではプラント設計を行う企業が研究機関として参画しているほか、アミノ酸バランス改善飼料では飼料製造企業等が支援組織として加わる等、研究成果の速やかな普及を見据えた実施体制としているところである。

また、J-クレジットについて、令和4年8月にアミノ酸バランス改善飼料の方法論の対象として牛が追加されたほか、採卵鶏も方法論の対象とされるよう進めているところである。

さらに、研究成果については、学会や業界誌に公表しているほか、アグリビジネス創出フェアやシンポジウム等において紹介をしている。研究内容に対する新聞等からの取材にも積極的に対応しており、生産者や消費者を含め、広く成果の普及に向けた取組を行っているところである。

以上のことから、研究成果の活用のために実施した取組は妥当である。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

低メタン産生牛の作出のための育種方法については、メタンとして排出される飼料エネルギーの損失が少ない牛に育種改良するものであり、GHG排出削減のみならず、乳・肉の生産効率を向上する研究につながることが期待される。また、アミノ酸バランス改善飼料については、飼料中のタンパク質含量を抑え不足するアミノ酸を補うことにより排せつ物中の窒素含量を低下させるものであり、河川等への窒素排出量の削減技術に貢献することができる。加えて、家畜ふん尿の乾式メタン発酵については、他の有機性廃棄物のメタン発酵技術開発にも役立つと期待される。さらに、バイオ炭を添加した堆肥については、圃場散布時の飼料作物への影響に関する科学的知見が、他の作物においても役立つことが期待される。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

①研究計画（的確な見直しが行われているか等）の妥当性

外部専門家と関係行政部局で構成する運営委員会を毎年度開催し、研究の進捗状況や研究計画の確認を行っているほか、研究コンソーシアムにおいても推進会議を自主的に設置し、情報共有や意見交換、詳細な研究計画の検討等を随時、行っている。これまでのところ、研究は順調に進捗しており、研究計画は妥当である。

②研究推進体制の妥当性

国立研究開発法人、大学、公設試、民間企業等が連携して研究に取り組むとともに、支援組織として製品化等を担う民間企業も加わっており、研究開発及び成果の普及に向けた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）

畜産分野からのGHG排出源である家畜の消化管内発酵由来のメタンと、家畜排せつ物管理において発生するメタン・ N_2O について、課題①では牛の育種改良により低メタン産生牛を作出するのに必要な研究、課題②では家畜排せつ物管理で発生する N_2O をアミノ酸バランス改善飼料やIoTセンシングを活用して削減する研究、課題③では家畜排せつ物管理で発生するメタン・ N_2O をバイオ炭添加により削減と同時に炭素貯留を行う研究等の課題構成となっている。目標とする1経営体からのGHG排出量30%削減のために必要な研究が行われており、研究課題構成は妥当である。

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

運営委員会や推進会議等で各実行課題の進捗状況等を把握するとともに、試作機作成など大きな予算が必要な実行課題には重点配分を行っている。これにより、研究は順調に進捗しており、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

- ・GHG排出全体のうち、大きな割合を占める畜産分野からの排出量を削減する取組であり、世界的に研究の必要性は高い。
- ・民間企業の参画による研究成果の速やかな普及を目指した取組が進められており、アウトカムの達成可能性は高い。
- ・現時点で計画を上回る成果を出しており、また、研究成果の公表数も非常に多く、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

- ・ 農業者の立場におけるコスト（初期、維持、撤退）評価をどの段階で実施するのかといった知見に繋がるアウトプットを創出していただきたい。
- ・ メタン削減は酪農家との連携が重要である。輸入飼料の高騰に対して国産飼料でメタン削減を推進されたい。Jクレジットではモニタリング手法の開発が重要である。
- ・ 畜産農家等の生産者目線に立った成果の創出につなげて頂きたい。

[研究課題名] 革新的環境研究のうち畜産からの GHG 排出削減のための技術開発

| 用語 | 用語の意味 | ※ 番号 |
|--------------|---|---------|
| カーボンニュートラル | 二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出量から、森林などによる吸収量を差し引いて、合計を実質ゼロとすること。 | 1 |
| 温室効果ガス (GHG) | 大気圏にあって、地表から放射された赤外線の一部を吸収し、地表に向かって放出することにより、温室効果をもたらす気体の総称。人間活動によって増加した主なGHGには、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素などがある。 GHGは、 <u>Greenhouse Gas</u> の略。 | 2 |
| アミノ酸バランス改善飼料 | 飼料全体のタンパク質含量を減らし、不足するアミノ酸（リジンなど）を飼料添加物として補充した飼料のこと。この飼料を給与することにより、家畜の生産性に影響を与えることなく、家畜排せつ物中に含まれる窒素に加え、排せつ物処理で発生する一酸化二窒素を削減することが可能。 | 3 |
| バイオ炭 | バイオマス（生物由来の有機物）を燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350℃超の温度で加熱して作られた固形物（2019年IPCC改良ガイドラインに基づく）。バイオ炭の原料になるバイオマスとしては木材、家畜ふん尿、草本、もみ殻、木の実、下水汚泥由来のものなどがある。土壌中でも分解されにくいため、効率の良い炭素貯留（吸収源対策）の技術であり、また、農地に施用することで、土壌の通気性や透水性・保水性、pH矯正等土壌改良効果も見込まれる。 | 4 |
| (メタン発酵) 消化液 | 家畜ふん尿等を原料にしたバイオガス発電において、発酵槽にてメタン発酵を行った後の液体状の残渣。投入原料とほぼ同量が消化液となり、消化液には窒素・リン酸・加里などの肥料成分を含むため、有効活用が期待されている一方、還元する圃場の確保等が課題。 | 5 |
| 牛群検定 | 農家の飼養する乳用牛（搾乳牛）の全頭について、個体ごとに泌乳量、乳成分率等を測定・記録し、その結果を低能力牛の淘汰や飼養管理の改善などに活用することにより、酪農経営における生産性の向上を図ることを目的とした検定方法。 | 6 |
| J-クレジット | 温室効果ガスの排出削減や吸収の取組を国がクレジットとして認証する制度。本制度により創出されたクレジットは、クレジット創出者（排出削減、吸収に取組む者）はクレジット売却益を受け取れるほか、クレジット購入者は、カーボン・オフセットに活用できる等のメリットがある。 この制度を活用したプロジェクトを実施するため、技術ごとにプロジェクトの適用範囲、排出削減・吸収量の算定方法及びモニタリング方法などを規定する方法論が必要。現在、畜産・草地関係の方法論としては、「牛・豚・ブロイラーへのアミノ酸バランス改善飼料の給餌」「家畜排せつ物管理方法の変更」「バイオ炭の農地施用」「肉用牛へのバイパスアミノ酸の給餌」がある。 | 7 |
| BOD | 生物化学的酸素要求量。水中の有機物が微生物の働きによって分解されるときに消費される酸素の量のこと。河川の有機汚濁を測る代表的な指標。 BODは、 <u>Biochemical Oxygen Demand</u> の略。 | 8 |

③ 畜産からのGHG排出削減のための技術開発【継続】

背景と目的

- 2050年のカーボンニュートラルの実現を目指すためには、農林水産分野においても積極的に貢献していく必要。特に畜産は家畜の消化管内発酵や家畜排せつ物管理等による温室効果ガス（GHG）の排出が、我が国の農林水産分野におけるGHG排出量の3割程度を占め、排出削減が求められているところ。
- 一方、これまでの研究では、低メタン産生牛の育種の可能性や、アミノ酸バランス飼料など飼養管理改善によるGHG削減の方法が示されたところ。
- 畜産分野におけるGHGの更なる削減のため、低メタン産生牛の育種方法を確立するとともに、堆肥化工程等におけるGHG削減技術などの研究開発を実施。

研究内容

1. 低メタン産生牛作出のための育種方法の確立と応用

- ・農場レベルで多頭数のメタン産生量測定を可能とする、より簡易・安価な測定手法を開発。また、乳中の脂肪酸組成（乳牛）や飼養成績（肉牛）から間接的にメタン産生量を推定する方法の有効性を実証。
- ・簡易型メタン測定システムの農場レベルでのメタン削減資材評価方法開発への応用。



搾乳ロボット等で測定して育種

生産者の負担無くメタンを
1800万トン削減(CO₂換算、
2050年までの累計)

2. 排せつ物処理におけるGHG削減技術の開発

- ・バランス飼料による窒素排せつ量の低減技術を開発
- ・排せつ物の精密管理によるN₂O削減技術を開発

バランス飼料により乳牛の
泌乳最盛期等も低減



排せつ物管理からのN₂Oを30%削減



BOD、温度、指標物質等のIoT
センシングを活用した精密管理

3. GHG削減と同時に炭素貯留・再生可能エネルギー生産を行う技術の開発

- ・バイオ炭添加による堆肥化からのCH₄・N₂O削減効果や草地施用時の炭素貯留増強効果の検証
- ・消化液の少ない新たなメタン発酵技術の開発



バイオ炭添加による
堆肥化

排せつ物管理からの
GHGを35%削減



CO₂ 炭素貯留

4. GHG削減システムの評価と提案

GHG削減技術を導入した場合の評価と技術の組み合わせにより削減目標を達成する生産システムを提案

到達目標


1 経営体からのGHGの排出量を30%削減することが可能な技術を開発

期待される効果

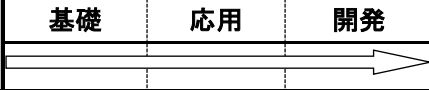
- ・ 農業分野で多くを占める畜産分野からのGHGの排出削減に貢献
- ・ 2050年までに農林水産業のCO₂ゼロエミッション化の実現に貢献

【ロードマップ（中間評価段階）】

畜産からの GHG 排出削減のための技術開発

| ～R3 年度 | R4 年度 | R5 年度 | R6 年度 | R7 年度 | R8 年度 | R9 年度 | R10 年度 | R11 年度～ |
|------------------------|---|-------|---|-------|--------------------------------------|--|--------|---|
| 既往の成果 (知見) | 委託研究プロジェクト | | | | | 実証・普及促進 | | 全国普及 |
| スニファー法による搾乳牛用メタン推定式を開発 | 1. 低メタン産生牛作出のための育種方法の確立と応用 | | 乳牛におけるメタン関連指標の遺伝的パラメータの推定と環境負荷低減のための総合指標の開発 | | 育種関連機関と連携した普及計画策定 特許 1 件、論文 4 本以上 | 乳用牛群検定情報から推定したメタン排出量を酪農家にフィードバック | | <ul style="list-style-type: none"> ・MCF 改良量 3.7%以上 ・N₂O 削減技術を堆肥化処理施設の 10%に導入 ・開発したセミ乾式・乾式メタン発酵システムの導入により、乳牛ふん尿の嫌気発酵処理利用率を 1 割増加 |
| | 自作測定システムを含む簡易・安価なメタン簡易測定手法の開発 育成牛用等のメタン推定式の作成 | | 肉牛におけるメタン関連指標の遺伝的パラメータの推定と抑制効果評価 | | | 肉牛でメタン排出育種価を公表し、評価法を全国へ普及 | | |
| アミノ酸バランス飼料（乳用種去勢牛等）を開発 | 2. 排せつ物管理における GHG 排出削減技術の開発 | | 泌乳前期乳牛・育成期採卵鶏におけるバランス飼料給与による排せつ物管理からの GHG 削減技術の開発 | | 特許 1 件、論文 3 本以上 | J クレジット方法論の登録 | |  |
| | 泌乳前期乳牛・育成期採卵鶏において生産性に影響せず窒素排せつ量低減可能な CP 水準の検討 排せつ物管理における N ₂ O 排出量の少ない条件の検討 | | 精密管理により処理性能を落とさず GHG を削減する堆肥化・汚水浄化技術の開発 | | | 浄化処理 N ₂ O を削減する IoT センシングシステムの上市 | | |
| 有機物施用による GHG 排出量の定量化 | 3. GHG 削減と同時に炭素貯留・再生可能エネルギー生産を行う技術の開発 | | バイオ炭添加堆肥による炭素貯留効果を含めた GHG 削減効果の検証 | | 特許 1 件、論文 4 本以上 | J クレジット制度を活用した普及 | | GHG を 46%削減の政府目標達成に貢献 |
| | 堆肥化におけるバイオ炭添加による GHG 削減ポテンシャルの検討 乾式メタン発酵における前処理の検討および最新データを用いた畜産環境モデルの構築 | | 乾式メタン発酵の試験プラントを用いた運転条件の確立 GHG を 30%削減する畜産システムの提示 | | | | | |
| 畜産経営体からの GHG を評価するモデル | | | | | | | | |

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、養殖現場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

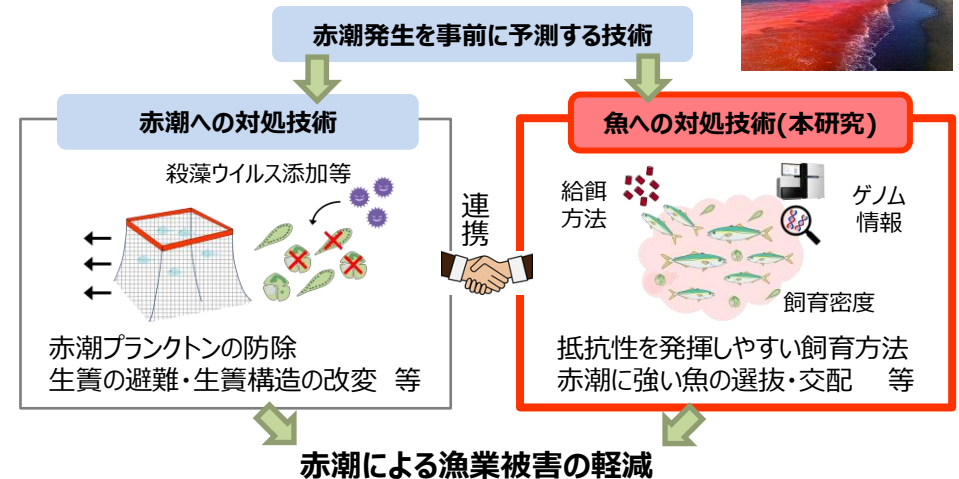
3. 養殖魚における赤潮抵抗性家系の作出技術の開発

- ・ 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）

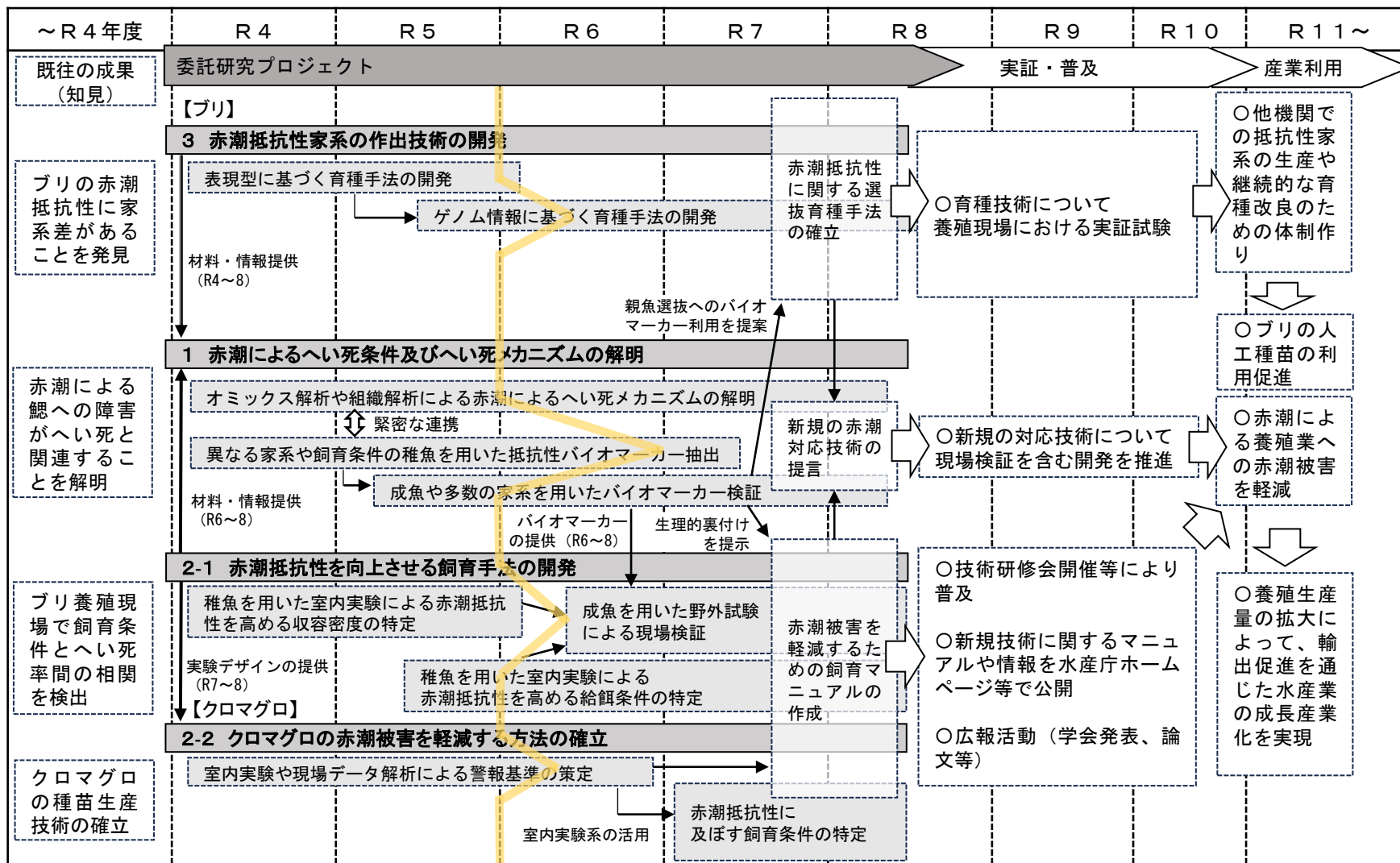
養殖漁場における赤潮対策スキーム



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～

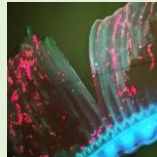
【研究開発の背景】

- 「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

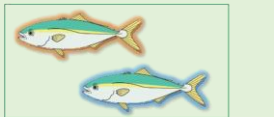


赤潮プランクトン（赤色）が鰓に付着し、その後付着量が減少していくことを発見→

- 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

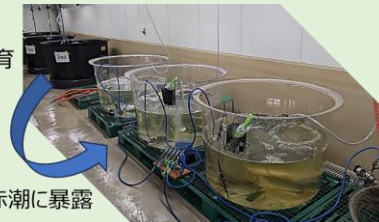
↓ ↓

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



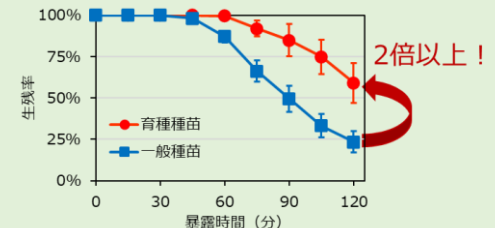
赤潮に曝露

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

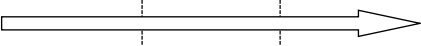
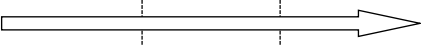
- 表現型情報、ゲノム情報を用いたブリの**赤潮抵抗性家系の選抜育種技術**を開発中
- 赤潮曝露時の**生残率が高いブリ家系を開発**
→開発中の選抜育種技術により、更なる赤潮抵抗性の付与に期待



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

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 | アグリバイオ研究のうち昆虫（カイコ）テクノロジーを活用したグリーンバイオ産業の創出プロジェクト | | | 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 | 農産局果樹・茶グループ 農林水産技術会議事務局研究企画課 |
| 研究期間 | R 4～R 8（5年間） | | | 総事業費（億円） | 4. 1億円（見込） |
| 研究開発の段階 | 基礎 | 応用 | 開発 |  | |
| |  | | | | |
| 研究課題の概要 | | | | | |
| <p>我が国の課題の一つに天然資源の輸入に頼らない持続可能な物資の生産供給体制の構築がある。今後、予想されている世界的な繊維不足や石油由来資源からの脱却に対応するため、本事業では、繊維をはじめとした様々な素材・原料を生み出す国産バイオリクター（*1）であるカイコ（*2）を用いて、桑や食品副産物などの、人の食料と競合しない国内資源を余すことなく活用したグリーンバイオ産業の創出（エコ養蚕システムの構築）を目指す。また、情報技術（IT）や最新の昆虫改良技術を駆使した革新的なカイコや高機能シルクの開発により競争力を高め、世界の人口増加とともに需要が高まる繊維市場を新たに獲得することで、日本のカイコ産業の生産・供給体制の拡大を目指す。</p> <p><①：ITを活用した、養蚕業を変革するカイコの創出（令和4～8年度）> ・ITを活用したデータ駆動型のアプローチによって有用遺伝子を特定し、ゲノム編集技術（*3）などの遺伝子改変技術を活用して、広食性（*4）・耐暑性などの有用形質が付与された革新的なカイコの創出を目指す。さらに革新的なカイコへの適合性が高い低コスト人工飼料（*5）も同時に開発することで、早期の社会実装を促進する。</p> <p><②：未利用サナギの利活用技術の開発と実証（令和4～8年度）> ・カイコサナギの飼料等としての有用性に関わるデータを取得し、その結果を基に、採算性の見込める利活用法の開発を試みる。また、シルク回収後のサナギを資源として循環させる仕組みを構築し、実証試験を通して実用性を評価する。</p> <p><③：既存概念を打ち破る革新的なシルクの開発と実用化（令和4～8年度）> ・従来のシルク繊維の国際的な価格競争から脱却可能な、高い需要の見込まれる革新的な高機能シルク繊維を開発する。また、繊維に限らない形態のシルク（非繊維シルク）の新用途も開発することで、様々なサナギ利用と組み合わせが容易な繭の利用方法も検討する。</p> | | | | | |
| 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有用形質を持つカイコの作出に必要なデータの集積と作出方法を導出。 | | | ①令和8年度までに、養蚕における環境負荷軽減や低コスト化に資するカイコを2種類以上作出。 | | |
| ②カイコサナギの含有成分データや飼料等としての有用性に関するエビデンスを集積するとともに、採算性の高いサナギ利活用方法を導出。 | | | ②令和8年度までに、サナギ利活用技術の確立とカイコ生産拠点3ヶ所以上で実証。 | | |
| ③新しい高機能シルクを試作（物理性を改変した高機能シルク、非繊維シルク等を想定）。 | | | ③令和8年度までに、新しい高機能シルク2種類以上の開発と生産を実証。 | | |

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 (R14年)

- ・低コスト化等に資するカイコを生産現場に導入によることで、繭生産費を令和4年次と比較し約2割削減。
- ・サナギの需要拡大と高付加価値化によって、繭などの生産物の取引額を、令和4年次と比較して約1.5倍向上。
- ・新しい高機能シルク等により国内外の市場を獲得（供給体制の強化により、最終的に年間200億円規模への成長を想定）

【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

本事業では、繊維を初めとした様々な素材・原料を生み出す国産バイオリクターであるカイコを用いて、桑や食品副産物など、人の食料と競合しない国内資源を余すことなく活用したグリーンバイオ産業を創出（エコ養蚕システム）し、持続可能な物質生産システムの実現を目指す。この物質生産システムの普及は、原料となる桑の栽培面積の拡大を伴うため、耕作放棄地の活用や二酸化炭素吸収量の増加に繋がり、環境保全にも貢献する。

国内の繭生産が海外からの安価な生糸・絹製品の流入により蚕糸業が厳しい状況に置かれる中、繭生産の低コスト化、繭の価値向上、新需要開拓は、国内生産現場における喫緊の課題であり、本課題で開発される技術は、生産者のニーズに応えるものである。また、絹製品は依然として国民生活に欠かせないものとして深く根付いているため、原料となる生糸をほとんど海外産に依存している現状を変え、予期せぬ供給の不安定化に備える必要がある。

一方で、近年、日本産の蚕・繭・生糸を使用した絹製品がブランド化され海外からも注目を集めており、本プロジェクトで開発された高機能シルクによる海外市場の獲得は、国内の繭の生産・供給体制の維持・向上に資する。

以上のことから、本事業は、持続可能で安定した環境保全、国民生活、農山漁村の活力向上等に貢献する重要な取組である。

②引き続き国が関与して研究を推進する必要性

本事業で開発される環境負荷軽減や低コスト化等に資する新しいカイコや、サナギの利活用の仕組みなどは、養蚕関連業全体に貢献する基盤的なもので、広く普及させるべき技術であることから、国が推進すべき課題である。

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

〈課題①：ITを活用した、養蚕業を変革するカイコの創出〉

有用形質を持つカイコ作出に必要なデータを得るために、広食性・耐暑性に関わるゲノムデータの取得と、神経内分泌機構改変に必要な遺伝子群データの集積を実施し、標的形質に関わる候補遺伝子領域の特定を進めた。また、有用形質にも関係する繭色をモデルとしてカイコの改変技術を開発し、関連する論文を3件発表した。さらに、繊維タンパク質を改変することで、低コストで繰糸（従来は熱水で繭の糊状タンパク質のセリシンをほぐして生糸を取り出す作業）が可能になる有用形質カイコの作出に関する特許2件の出願を完了した。以上のことから、中間時の目標である有用形質を持つカイコの作出に必要なデータの集積と作出方法の導出が達成された。現在、改変モデルカイコを8種（耐暑性品種の繭形質の改良や、繭タンパク質改変のためのゲノム編集カイコ7種と、栄養要求性改善のための遺伝子組換えカイコ1種）を作出し、低コスト人工飼料との適合性を検討の上、実用化の可否を判断するための機能解析に着手したことから、一部計画以上に進んでいる。

〈課題②：未利用サナギの利活用技術の開発と実証〉

カイコサナギの含有成分データを取得し有効成分のエビデンス蓄積を進めた結果、サナギ含有成分であるシルクロースによる養殖魚に対する高温耐性効果等を確認した。カイコサナギの高付加価値飼料と

しての能力が明らかとなったため、流通業者や製品化企業との共同研究に関する話し合いを進め、養殖（ブリ、ウナギ等）や養鶏の飼料への利用を開始した。また、環境負荷が小さく採算性の高いサナギ利活用法の課題を洗い出すために、生産拠点等での環境負荷をLCA（*5）によって解析し、桑の肥料と飼育残渣（桑の枝・カイコの糞等）が環境へ与える影響が大きいことを明らかにした。さらに、生産コスト削減に資する自動給餌装置の改良や実証試験地でのカイコの飼育試験を行った。現在、これまでの成果を基に環境負荷が小さく採算性が高い養蚕システムの構築・実証を進めている。

〈課題③：既存概念を打ち破る革新的なシルクの開発と実用化〉

品種育成と加工技術によって物理性を改変したシルクの試作品を作出し、物性試験を行った。その結果、破断強度が40%以上向上し、競合品である合成繊維をベンチマークとして設定した最終的な目標値（破断強度・伸度のいずれかが50%以上向上）と比較して、試作品の完成度は80%程度となった。また、従来の4～8倍の長さの長鎖クモ糸遺伝子を導入した遺伝子組換えカイコの作出に成功した。この技術を用いて長鎖クモ糸遺伝子を開発中のシルクに導入することで、目標値の破断強度に近づくことが期待される。サナギ利用と組み合わせが容易な非繊維シルクの開発では、開発したシルクフィルムの試作品が組織癒着防止効果を持つことを示し、関連特許を3件出願した。また、廃棄シルクの利用拡大を目指した環境浄化シルクの開発に関しては、シルクのもつ電子伝達系による環境浄化機能に関する基礎的な知見を集積し、その知見を基にコンソーシアム外企業（ゼネコン企業）との共同研究への打合せが進んだ。

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

〈課題①：ITを活用した、養蚕業を変革するカイコの創出〉

現時点までにデータの取得を実施し、8種のモデルカイコを作出していることから、有用系統2種類以上を確立するという最終目標の達成可能性は高い。耐暑性、広食性、蛹休眠性、低温でのセリシン溶解性等の有用形質をターゲットとしている。これらの有用形質が改変されたカイコが作出されれば、コンソーシアム内の普及機関（群馬県・企業7社）との連携によって速やかに実用化が進められる体制となっている。

〈課題②：未利用サナギの利活用技術の開発と実証〉

カイコサナギの利用技術として、例えば養殖飼料としての機能性（高温耐性効果等）が明らかになりつつあり、これまで有効利用されていなかったサナギの養殖飼料への利用が見込まれる。今後、これらの結果をもとに、カイコ生産拠点及びコンソーシアム外企業での実証を進めることで社会実装が進むことが期待される。現在、カイコ生産拠点4ヶ所で実証を開始し、計画を一部前倒してコンソーシアム内外の企業との連携も進めているため、最終目標達成の可能性は高い。

〈課題③：既存概念を打ち破る革新的なシルクの開発と実用化〉

物理性を改変したシルクに関して、現時点での完成度は80%であり、長鎖クモ糸遺伝子等を導入した遺伝子組換えカイコとの組み合わせで、目標を達成できる見込みである。非繊維シルクの開発では、シルクフィルムの医療現場での実用化を目指し、出願した関連特許や基礎的な研究データを元にコンソーシアム内外企業とのマッチングが開始されており、最終目標の達成可能性は高い。

**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：S

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

本プロジェクトのアウトカム目標は、課題①と課題②、課題③の成果を組み合わせることで達成が可能となる。課題①では、低環境負荷、低コストで飼育可能な革新的なカイコの開発が計画通りに進行しており、このカイコの普及によりカイコ飼育コストを2割以上削減できる見込みである。また、課題②の成果によって、これまで利用されていなかったサナギが有価物として利用され、課題③で開発される高付加価値なシルク繊維により、生産物の取引価格の1.5倍以上の上昇が期待される。

本プロジェクトの研究課題は、計画を上回って進捗しており、計画以上のアウトプット目標の達成が

期待される。また、新しい高機能シルク等により国内外の市場を獲得するためには、生産拠点の拡大も重要となる。現在、研究コンソーシアムメンバー等が中心となって、カイコを活用した有用タンパク質や高機能シルクの生産を行う生産拠点の拡大が進められており、国内合計12カ所の生産拠点が整備されている。新規事業者の参入も進んでおり過去5年間のペースで試算すると、令和14年には国内20ヶ所程度の生産拠点が整備される見込みとなる。さらに、世界的な天然繊維需要の伸びが市場獲得の後押しになることが期待でき、高付加価値化と低コスト化を実現することで、最終的に年間200億円規模の市場獲得を目指す。

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

研究成果を速やかに事業化へつなげる体制を早期に構築するため、研究期間中から外部企業との意見交換を進め、必要な技術開発要素を洗い出し、これまで20件以上の外部企業と意見交換を行った。具体的には、養殖や養鶏へのサナギ飼料利用に関して、4社のコンソーシアム外企業との打合せが進み、シルクを用いた環境浄化技術や非繊維シルクの利用では、2社のコンソーシアム外企業との打合せが進んでいる。その他、カイコを活用した物質生産やサプライチェーンに関して10社以上の意見交換を行い、そのうち5社以上と成果の実装先として打合せが進んでいる。さらに、本研究成果を迅速に普及・実用化する目的でプレスリリース・報道・テレビ放映（13件）やシンポジウム等でプロジェクトの成果を紹介（アウトリーチ活動10件）した。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

過去の委託プロジェクトの成果としてカイコによる有用組換えタンパク質生産技術が社会実装されており、検査薬や化粧品の生産に利用されている。本プロジェクト研究で開発されるエコ養蚕システムは、シルク生産のみならずカイコを用いた有用組換えタンパク質生産にも活用できる技術である。さらに、本プロジェクトで開発されるゲノムデータを活用した育種技術は、近年、用途拡大が検討されているミズアブ、コオロギ、ミツバチなどのカイコ以外の昆虫の育種法にも適用可能であると考えられるため、技術の発展性・横展開も期待できる。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

①研究計画（的確な見直しが行われているか等）の妥当性

外部有識者5名と関連する行政部局及び研究代表者によって構成する「委託プロジェクト研究 運営委員会」を設置し、各小課題の進捗状況を確認し、行政ニーズや研究の進捗状況を踏まえ、実施計画の見直し、スケジュールの明確化、アウトカム目標達成に向けた戦略の構築などの的確な進行管理に努めている。現在までの進捗状況から、アウトプット目標の達成も見込まれることから研究計画は妥当である。

②研究推進体制の妥当性

本プロジェクト研究の実施に当たっては、委託プロジェクト研究運営委員会を年に2回開催し、推進状況の確認、研究計画・推進体制の見直し、研究成果の共有と知財戦略について議論を行っている。また、研究コンソーシアムの自主的な推進体制として、推進会議を随時開催し、コンソーシアム内の情報共有や意見交換を行っており、研究推進体制は妥当である。

③研究課題の妥当性

研究課題を推進する上で、解決すべき技術的課題が明らかになれば、新たな専門家をコンソーシアムメンバーに加えるなど、研究体制の更新を行っている。さらに、本プロジェクト小課題の実施内容に関して、進捗状況に応じてプロジェクトの目的やアウトカム目標の達成に合致するように適宜修正を行っている。本プロジェクトでは、課題①や課題③で開発された革新的なカイコやシルクの加工技術等を、課題②の参画企業、プロジェクトの協力機関、コンソーシアム外企業で実証する計画となっており、研究目標を確実に達成するための課題構成は妥当である。

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

委託プロジェクト研究課題全体で課題の進捗状況、研究成果の有効性や緊急性等を踏まえ、予算配分の重点化を行っている。本プロジェクト研究の課題は、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

- ・日本産シルクはグローバルでも需要が高く、期待があり、研究の意義は高い。
- ・カイコ以外の昆虫の育種方法にも応用可能であり、横展開が期待できる。
- ・研究期間、大学、都道府県のみならず、化粧品利用や医薬部外品利用を目的とする民間企業等、幅広い参加主体が認められ、研究推進方法は妥当である。
- ・当初の計画を上回って進捗しており、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

- ・社会的な関心も高い課題であり、引き続きアウトリーチ活動の充実に努めていただきたい。
- ・コンソーシアムが地域活性化へ貢献できるような拠点に繋がることを期待したい。

[研究課題名] アグリバイオ研究プロジェクトのうち昆虫(カイコ)テクノロジーを活用したグリーンバイオ産業の創出プロジェクト

| 用語 | 用語の意味 | ※ 番号 |
|---------|---|---------|
| バイオリクター | 生体の触媒を使って物質の合成や分解を行う装置のこと。餌を食べて有用物質を生み出す生物もバイオリクターとみなすことができる。 | 1 |
| カイコ | チョウ目カイコガ科に属する昆虫の一種。桑を食餌し、絹糸(シルク)を吐いて繭を作る。 | 2 |
| ゲノム編集技術 | 人工ヌクレアーゼ(ゲノムを切断する酵素)などを用いて、特定の箇所のゲノム配列を改変する技術。 | 3 |
| 広食性 | 動物の餌となる対象が多種にわたる性質。カイコは通常、桑しか食べないが桑以外の餌でも食べる広食性のカイコが存在する。 | 4 |
| 人工飼料 | 加工して作成した人工の飼料。カイコの人工飼料としては、桑粉末、大豆粉末、ビタミン剤などから構成される羊糞状の飼料が流通している。人工飼料に対する摂食性はカイコ系統によって異なる。 | 5 |
| LCA | life-cycle assessmentの略。ある製品のライフサイクル全体(製造、輸送、販売、使用、廃棄、再利用)又は、特定段階における環境負荷を定量的に評価する手法。 | 6 |

昆虫（カイコ）テクノロジーを活用したグリーンバイオ産業の創出プロジェクト【継続】

背景と目的

- 輸入や有限な天然資源への依存を減らした持続可能な製品や原料の生産体制構築が喫緊の課題。
- この課題の解決に向け、国内地域資源である桑や未利用の食品副産物等を様々な有価物に変換する無二の国産バイオリアクターとしてカイコの利用技術を高めてきたが、シルク回収後のサナギが大量に廃棄されている等、資源の損失が未だに大きいことが問題。
- そこで、ITを活用した昆虫デザイン技術等を駆使し、サナギの利活用技術の開発と実証、世界的に需要の見込まれる革新的なシルクの開発等を行い、桑や食品副産物等の資源を余すことなく効率的に活用するエコ養蚕システムを構築。
- 未利用資源を活用した新しいエコシステムの確立と普及を推進し、新しい市場の創出を実現。

研究内容

➢ ITを活用した養蚕業を変革するDXカイコの創出



- ☆ 遺伝子ネットワーク情報等を駆使した昆虫デザイン技術確立
- ☆ 環境負荷軽減や低コスト化に資するカイコの創出

➢ 未利用サナギの利活用技術の開発と実証



- ☆ 飼料等への利用技術開発
- ☆ 栄養等コントロール技術の開発



➢ 既存概念を打ち破る革新的なシルクの開発と実用化



- ☆ 革新的な高機能シルクの開発
- ☆ 成形加工等、新用途の開発



資源を余すことなく効率的に活用するエコ養蚕システムを確立

到達目標

- 環境負荷軽減や低コスト化に資するカイコの創出（2種類以上）
- 飼料化等、サナギの利活用技術の実証（3地域以上）
- 新しい高機能シルクの開発（2種類以上）

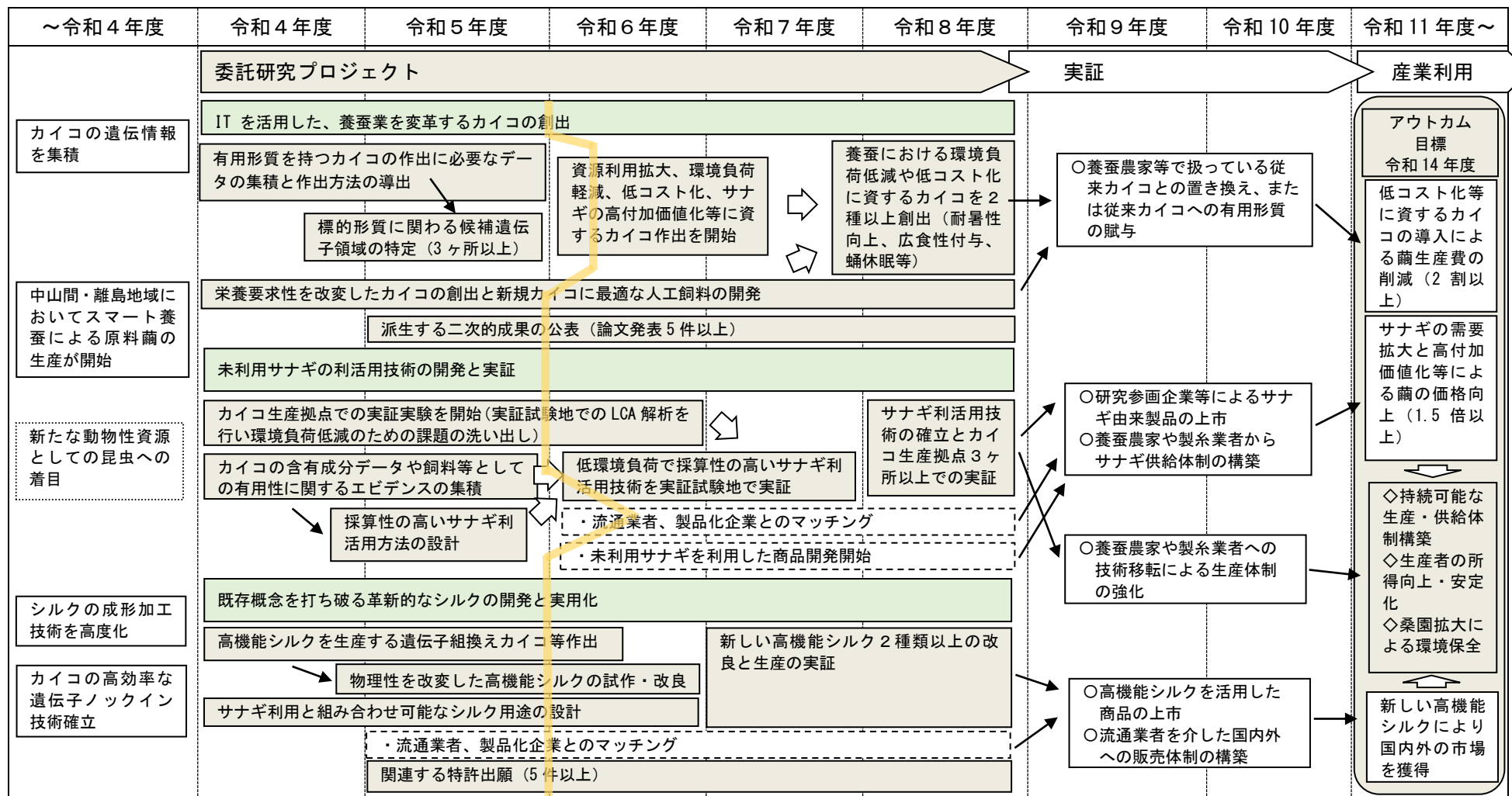
期待される効果

- 未利用資源由来グリーンバイオ製品市場の創出
- 天然資源への負荷を減らした持続可能な飼料等供給体制に貢献
- 成果普及に伴う桑園の拡大によるCO₂吸収量増加

【ロードマップ（中間評価段階）】

昆虫（カイコ）テクノロジーを活用したグリーンバイオ産業の創出プロジェクト

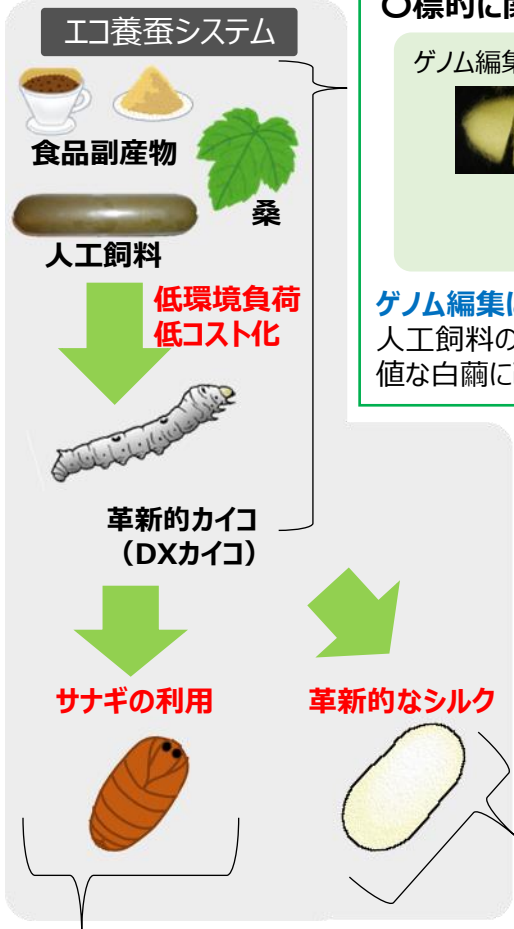
（供給体制の強化により、200億円規模への成長を想定）



昆虫（カイコ）テクノロジーを活用したグリーンバイオ産業の創出プロジェクト

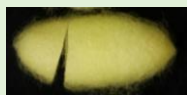
資源を余すことなく効率的に活用するエコ養蚕システムの構築を目指す

現在までの主な成果



- 有用形質を持つカイコの作出に必要なデータの集積と作出方法を導出
- 標的に関わる候補遺伝子領域を特定

ゲノム編集による繭色及び繭層の重さの改変



繭色遺伝子Aを破壊

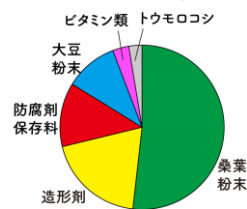
繭色遺伝子Bを破壊

繭色遺伝子AとBの両方を破壊（白化し繭層も重くなった）

ゲノム編集により繭色の改変と繭層を重くすることに成功。同様の手法を用いて人工飼料の摂食性を向上させる予定。また、有色繭の耐暑性品種を高付加価値な白繭に改変かつ繭層を重くすることで、耐暑性の実用品種を作出する予定。

○革新的なカイコと適合性が高い低コスト人工飼料の試作

人工飼料の材料別価格



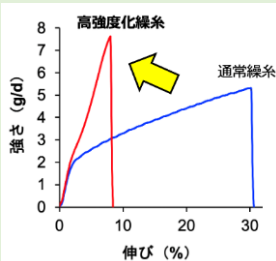
桑葉粉末や造形剤が材料費の約7割を占める

低コスト人工飼料の試作

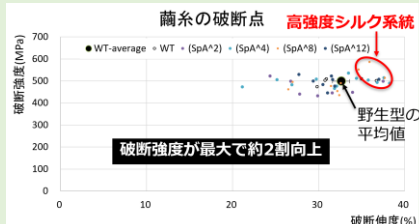


飼料の高価格要因である桑葉粉末や造形剤を削減

○遺伝子改変やシルクの加工技術によって物理性を向上



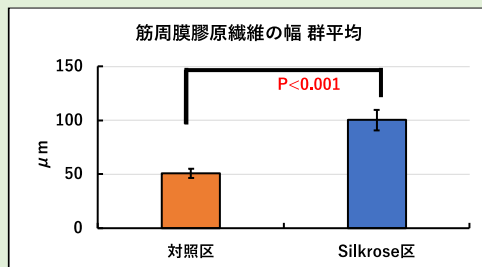
繰糸時に張力を付与することで、高強度かつ低伸度のシルクを作出



遺伝子改変によって破断強度が向上

技術を組み合わせることで、物理性を向上した繊維を開発する予定

○サナギの養殖魚飼料原料としての有用性を確認



サナギ成分（シルクロース）のウナギ筋周膜膠原繊維の厚さに与える影響

サナギに含まれる有効成分によって、養殖魚に高温耐性付与や、筋肉構造の変化を促すことを確認

○様々なサナギ利用と組み合わせが容易な、非繊維でのシルク利用方法の開発



コントロール



低分子シルク

シルク原料フィルム化素材による盲腸癒着防止効果を確認