

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	アグリバイオ研究のうち種苗開発を支える「スマート育種システム」の開発	担当開発官等名	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 農産局穀物課 農産局園芸作物課 農産局果樹・茶グループ 輸出・国際局知的財産課
研究期間	H30～R4（5年間）	総事業費（億円）	11.9億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発

研究課題の概要

我が国の農業競争力を向上させるためには、産学官が連携した種子・種苗の開発・供給体制の構築が重要となってきた。また、バイオテクノロジーの発展により、農作物のゲノム情報等の育種に関するデータが蓄積され、これを用いた新たな育種技術が登場している。民間事業者等による良質かつ低廉な種苗の開発を拡大・加速するため、①作物のゲノム情報等のオミクス（※1）データ、形質評価データ、栽培環境データ等の「育種ビッグデータ」（※2）の収集・整備、②ゲノミックセレクション（※3）等の育種基盤技術の開発・高度化を行い、民間事業者等への提供体制を構築する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

- ①ゲノム（遺伝子型）（※4）情報と形質評価情報がセットになった延べ10,000点以上の育種ビッグデータを搭載し、育種に最適な素材の推定や提供等を可能とするシステムを開発。
- ②育種期間の短縮等を可能とする新たな育種技術を7以上開発。そのうち、有用遺伝子カタログ（※5）については50以上構築し提供。

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R9年）

「スマート育種システム（※6,7）」の活用により、公設試や民間事業者が様々なニーズに沿った育種を展開しているイネ、麦類、ダイズ、野菜などの育種が加速されることで年間新品種登録出願数が平成29年の1.5倍以上に向上。

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：A

作物は基本的に1年間で1度しか栽培することが出来ず、1つの品種を開発するためには少なくとも10年以上かかるなど多大な労力を要している。一方、海外ではデータ分析に基づく新たな育種法が登場しており、国際的な品種開発競争が激しくなっている中、我が国の種苗開発は、人的資源の減少が続くなど、こうした変化に十分対応できる体制となっていない。このため、育種に関するデータの蓄積・活用によって効率的かつ迅速に品種開発を行うことができるシステムを開発する必要がある。

本研究成果により、多様化する消費者ニーズ等に迅速に対応できるような種苗開発体制が提供できることから、農林水産業・食品産業の発達に寄与するものであり重要性は高い。

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最終の到達目標に対する達成度

最終到達目標として、「ゲノム（遺伝子型）情報と形質評価情報がセットになった延べ10,000点以上の育種ビッグデータを搭載し、育種に最適な素材の推定や提供等を可能とするシステムを開発」及び「育種期間の短縮等を可能とする新たな育種技術を7種以上開発」を目指しており、令和3年度までに以下の具体的成果が得られている。

- ・水稲、麦類（大麦、小麦）及び大豆について、取得するゲノム情報や形質評価情報等のデータ形式を標準化するとともに、令和2年度末時点で6,000点以上のデータ集積が完了している。令和3年度はさ

らに2,000点程度のデータが追加される見込みである。また、収集・整備した育種ビッグデータを格納したデータベースや育種情報管理システムとオンライン接続し、作物の選抜を可能にする育種AIツールを開発した。

・新たな育種技術として、効率的に参照ゲノム配列を構築する解析プロセス、イネ、コムギ、ダイズの有用遺伝子カタログの構築および新たに特定された有用遺伝子を育種現場へ実装するための育種素材（イネの玄米中のヒ素低減や肥料利用効率の向上等）、品種ごとの遺伝子の塩基配列の違いを可視化するアрилブラウザ、ドローン空撮画像によるバイオマス量等の評価手法、養分や高温に反応する遺伝子発現解析を用いた内部指標（バイオマーカー）、AI等を活用した作物特性に関する育種選抜手法、及び新たな変異を創出する技術として、ゲノム編集酵素を直接導入することにより果樹のゲノムを編集する技術や、染色体の交叉頻度を向上させることで遺伝子の多様な組み合わせを作出する技術を開発した。

②最終の到達目標に対する今後の達成可能性とその具体的な根拠

令和3年度末時点で8,000点以上のデータ収集が完了する見込みであり、引き続きデータ蓄積を進めることで、延べ10,000点以上の育種ビッグデータの蓄積は十分可能である。加えて、集積したデータを活用し、栽培環境条件も考慮したゲノミックセレクション手法を用いてダイズの豆腐の固まりやすさや、コムギの製粉性や穀粒成分などの品質関連形質の予測可能にする育種AIツールの開発も進めている。

今後、これらのシステムの精度検証および改善を行い、効率的な選抜育種技術として確立することが見込まれる。また、既にプロトタイプを確立した育種技術（効率的に参照ゲノム配列を構築する解析プロセス、ドローン画像によるバイオマス量等の評価手法、等）に加えて、玄米ヒ素濃度が約半減する変異体ほか、社会ニーズの高い様々な有用形質を示す変異体を多数得ている。さらに、10種類以上の有用遺伝子の特定が進んでおり、有用遺伝子のカタログ化の目標達成も見込まれる。以上のことから、育種期間の短縮等を可能とする新たな育種技術を7種以上開発する目標は達成可能である。

以上のように、研究は順調に進捗しており、成果が得られている。引き続き研究開発を推進することで最終到達目標を達成できると考えられる。

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

本課題のアウトカム目標は大きく分けて、「データの活用による育種の効率化」及び「育種プロセスの高速化」によって達成が可能となる。データの活用による育種の効率化としては、構築された育種ビッグデータを用いたゲノミックセレクション（育種AIツール）や、有用遺伝子カタログにより、交配に用いる品種の選定や選抜の高精度化が可能になる。一方、育種プロセスの高速化としては、ドローン及びAI技術を活用したハイスループットな表現型解析、有用遺伝子カタログおよび各品種の遺伝子型を可視化するアрилブラウザによる交配に用いる品種の選定支援、育種年限を短縮可能な変異体の利用等により、育種プロセス自体が短縮もしくは高速化する。さらに、蓄積したデータや開発された個々の育種技術は、農研機構のウェブサーバーや農業データ連携基盤（WAGRI）を介して広く公開するとともに、簡易マニュアルを公開することで広く利用を図る。

このように、開発した個々の育種基盤技術の組み合わせによって、主要穀類等では10年以上を要していた品種育成にかかる期間を短縮、労力を大幅に軽減することが可能となる。多様な作物の品種開発を手がけている公設試や民間事業者等にその技術を広く普及することで、市場ニーズや気候変動等に対応した品種や、輸出拡大に向けて我が国の「強み」を発揮する画期的な品種の開発が促進される。イネ、麦類、ダイズの平成29年の品種登録出願件数は45件であるが、これらの取り組みにより、年間出願件数を1.5倍に向上させるアウトカム目標の達成は可能である。

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

課題に参画する研究者が参加（主催）する研究会などで企業や生産者と情報交換を行い、ターゲット

とする形質や開発が想定される品種について、原料及び流通現場への適用を確認したほか、実需者や育種家から定期的にニーズの聞き取りを実施している。得られた情報については課題計画に適切に導入し、育種AIツール等の育種システムについては、ユーザーニーズに基づいてグラフィカルで使いやすいWEBアプリとして開発した。また、本プロジェクト研究で得られた育種ビッグデータ及び開発したゲノム選抜ツールの有効性、有用遺伝子カタログの利用方法に関する情報発信を、各種推進会議、学会、セミナー、アグリビジネス創出フェア等を通じて行い、ドローンを用いたイネの生育特性の評価手法等についてはプレスリリースを行うなど、民間企業等による「スマート育種システム」の利用促進に努めている。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

本課題で取得される作物の遺伝子型データ（ゲノムデータ）は、それぞれの品種の特性や生物機能に関する基盤的な情報であり、例えば品種の栽培情報及び機能性成分情報を対応させることにより、機能性成分を高度に蓄積する栽培法の開発が期待できる等、育種分野のみならず、作物学、基礎生物学、薬学等、他分野の研究開発に広く貢献することが期待される。

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きたか等）の妥当性

外部有識者4名及び関連する行政部局、研究代表者により構成する運営委員会を設置し、実施計画の検討や見直し等が行える体制を整えた。本研究の成果をいち早く普及に結びつけるため、育種ビッグデータを検証するためのデータベースや遺伝子情報を提供するサイトの内部利用の前倒し等も進めるなど、研究計画の適切な進行管理に努めた。

②研究推進体制の妥当性

運営委員会を年に2回開催し、進捗状況の確認や研究計画・推進体制の見直しを進めたほか、研究成果の共有と知財戦略等について助言等を行った。また、研究コンソーシアムの自主的な推進体制として、課題担当者が一同に会する課題検討会を年に1～2回開催し、課題の進捗状況等について議論する場を設定した。

③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において、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、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全体の実績に関する所見

- ・国際的に品種開発競争が激しくなっている中で、育種に関するデータの蓄積・活用によって効率的かつ迅速に品種開発を行うことができる育種システムの開発は、農林水産業・食品産業の発展に大きく寄与する重要な研究である。
- ・ビッグデータのデータベース開発や、有用遺伝子カタログ作成の進捗が非常に進んでおり、アウトプット目標の達成の道筋が明確で、達成は十分可能である。
- ・アウトカムに繋がる道筋も明確で、学会発表等も積極的になされており、普及を担う関係者へのインプットの面でも、非常に評価できる成果になっている。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・他の育種プロジェクトとの連携や他品目への展開など、本研究成果の発展を期待したい。
- ・アウトカム目標については、より具体的な表現となっていることが重要であるため、その点を踏まえて、研究成果の普及に取り組んでいただきたい。

[研究課題名] アグリバイオ研究のうち種苗開発を支える「スマート育種システム」の開発

用語	用語の意味	※ 番号
オミクス	Omics。ギリシャ語の「すべて・完全」などを意味する接尾辞(ome)に「学問」を意味する接尾辞(ics)を合成した言葉に由来し、対象となる研究分野に関する「すべて」の生物情報を集約し解析する研究手法。研究対象の末尾に「ミクス」を付けることでその研究分野が示される（例：ゲノム+ミクス=ゲノミクス）。	1
育種ビッグデータ	作物や遺伝資源のゲノム情報や生育特性等、育種に関するデータを大規模に収集整理したビッグデータ。これをAI等により解析することで、交配に用いる品種の選定や選抜の高精度化が可能になる。	2
ゲノミックセレクション	ゲノムの塩基配列の違いに基づいて、個体の形質（収量性、子実特性、耐病性など）を予測することで、優良個体の選抜を可能にする育種技術。個体の生長を待って形質を評価する必要がないため、育種の効率化・高速化が可能。従来のDNAマーカー育種では困難であった、多数の遺伝子が関わる複雑な形質をターゲットにした育種に有効とされている。	3
遺伝子	ゲノムの一部であり、生物を構成する設計図となる情報。多くの生物がおよそ3万個の遺伝子を持っている。実際に機能する際には、タンパク質や酵素等に翻訳されて機能する。	4
有用遺伝子カタログ	各作物の各特性を制御する際に有用な遺伝子について、品種ごとの遺伝子の塩基配列の違いとその効果を掲載したデータベース。この情報に基づいて交配に用いる品種の有用な組み合わせや、選抜に用いるDNAマーカーを計画することができる。	5
スマート育種	作物や遺伝資源のゲノム情報や特性情報等の育種ビッグデータ、ゲノミックセレクション等の育種基盤技術等を活用した育種法。従来の育種法では選抜が困難であった多収性や良食味等の優良形質を併せ持つ育種素材・品種の効率的な開発が可能。	6
スマート育種システム	スマート育種を活用した総合的な育種支援体制。民間企業や公設試等に対し、遺伝資源、育種ビッグデータ、育種基盤技術および解析支援サービス等をワンストップ化して提供。	7

① 種苗開発を支える「スマート育種システム」の開発

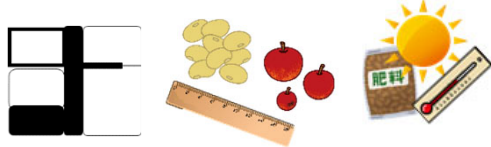
背景と目的

- 我が国農業の国際競争力を向上させるためには、産学官が連携した種子・種苗の開発・供給体制を構築することが重要となってきた。また、バイオテクノロジーの発展により、育種に関するゲノム情報等が蓄積され、これを用いた新たな育種技術が登場している。
- こうしたことから、**ゲノム情報や形質評価データ等のビッグデータの整備、新たな育種技術の開発・高度化等**を行い、**民間事業者・自治体（公設試験場）・農家等への提供体制を構築**する。

研究内容

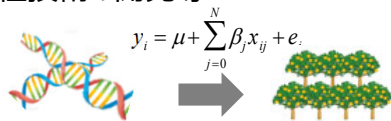
① 育種ビッグデータの整備・データベース化

多地点、多環境での多様な植物集団の育成、ゲノム情報等の生物情報、形質評価データ、気温・日照等の栽培環境データの取得、データベース化等

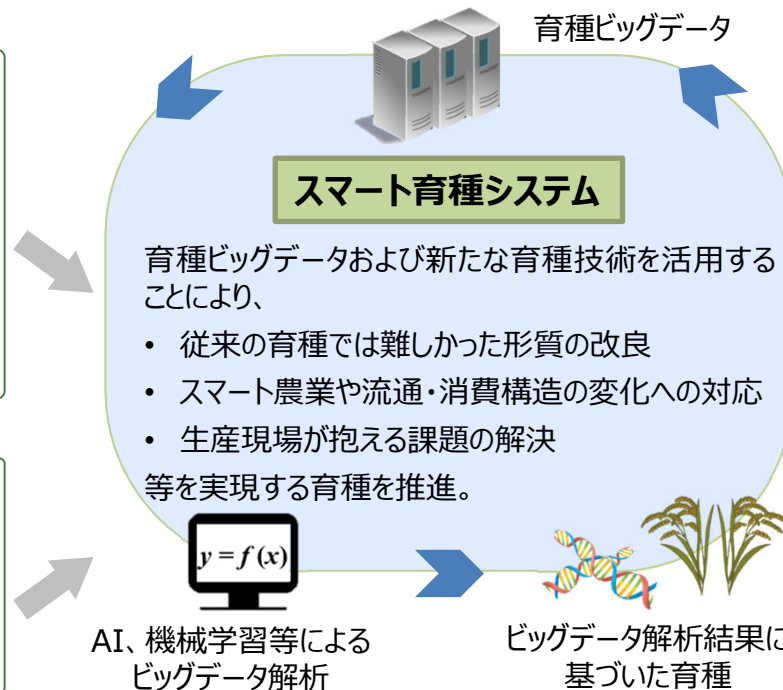


② 育種基盤技術の開発等

ゲノミックセレクションの高度化等、新たな育種技術の開発等



③ スマート育種システムの開発



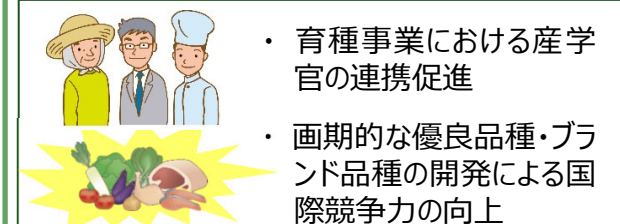
到達目標

スマート育種システム



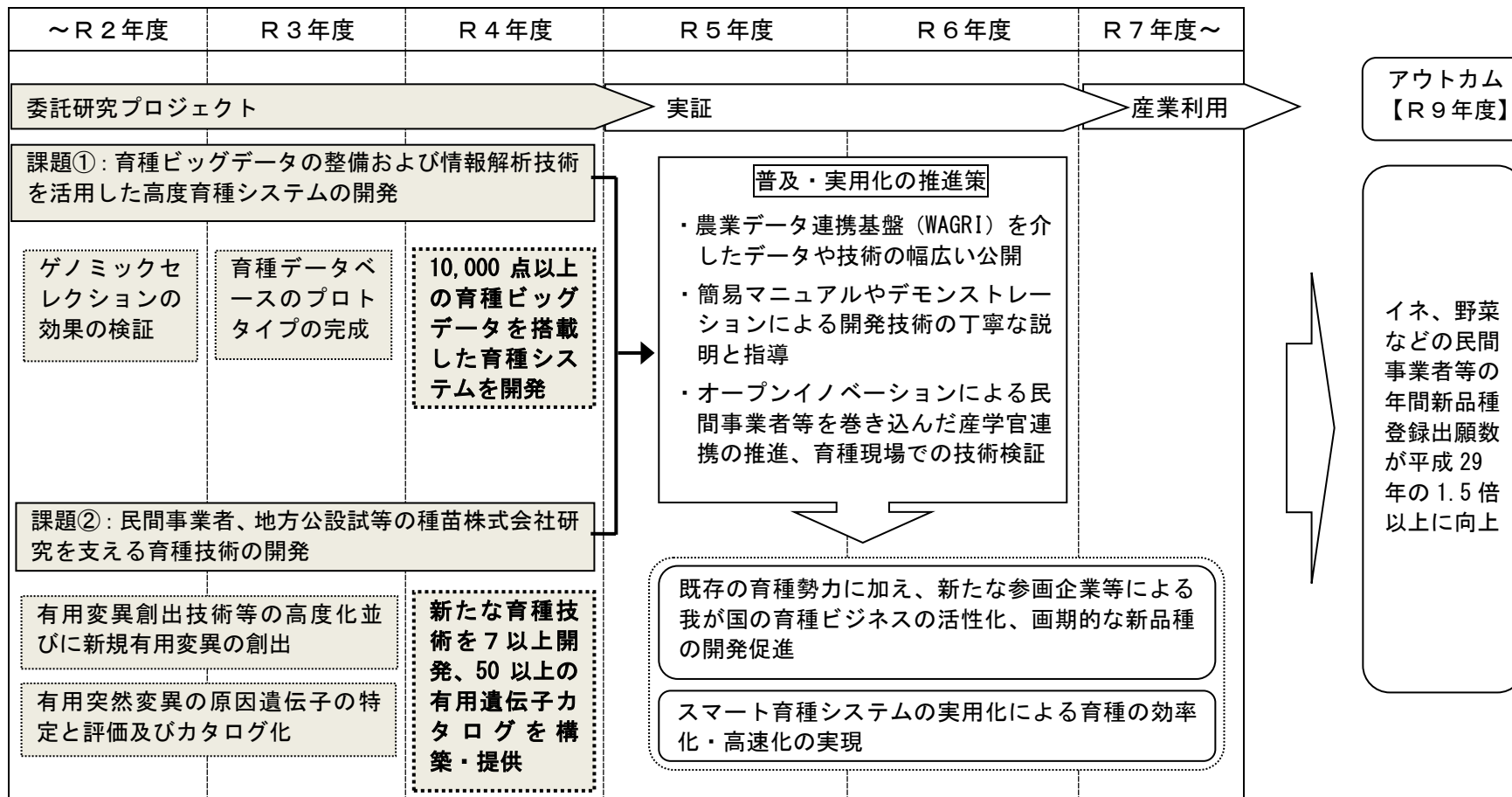
民間企業、公設試験場、農家等への提供体制を構築

期待される効果



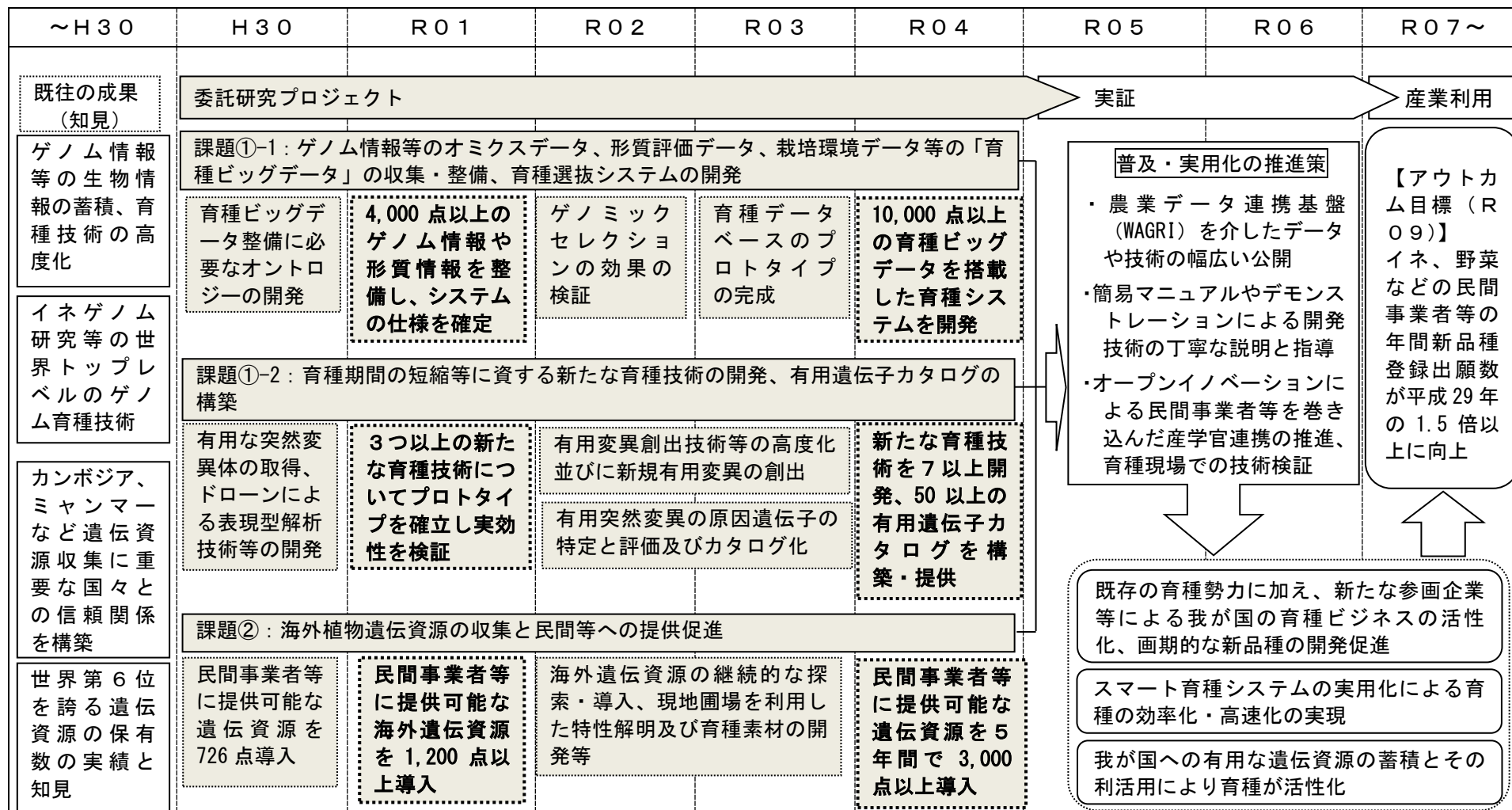
【ロードマップのイメージ（終了時評価段階）】

アグリバイオ研究のうち種苗開発を支える「スマート育種システム」の開発



【参考】ロードマップ（中間評価段階）

戦略的プロジェクト研究推進事業のうち、作物育種プロジェクト



【農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究】

種苗開発を支える『スマート育種システム』の開発

<育種ビッグデータの整備および情報解析技術を活用した高度育種システムの開発>

これまでの主な成果

研究概要

- ① 作物のゲノム情報、特性情報、栽培環境情報等の「育種ビッグデータ」を収集・整備
- ② 育種ビッグデータに基づく選抜を可能にするウェブツール（育種AIツール）を開発
- ③ 作物特性の効率的な取得等を可能にする、ドローンやAI等を活用した育種支援システムを開発

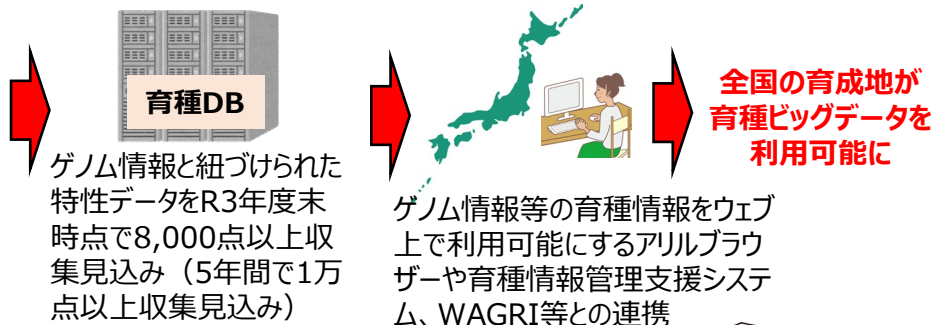
主な成果

① 育種ビッグデータのオントロジーに沿った収集と整備

イネ・麦類・ダイズの主要な特性について、各作物の用語の定義（オントロジー）を整理することにより、**育成地や年次を超えて、一つのビッグデータとして整理することが可能に**

育種ビッグデータ

- ゲノム情報
- 特性情報
- 栽培環境情報

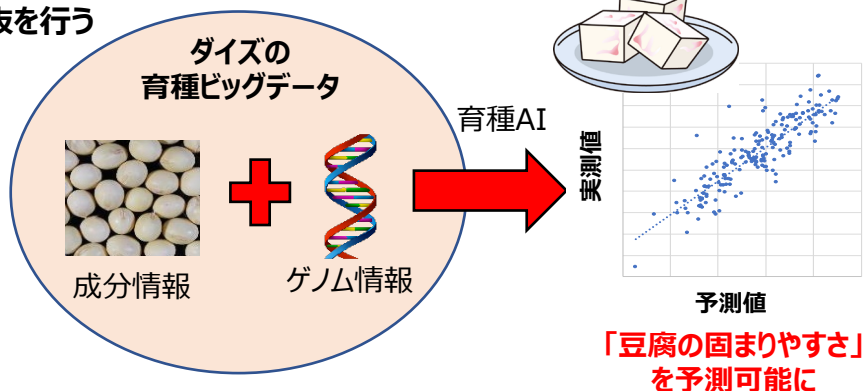


② 育種ビッグデータに基づく選抜を行う

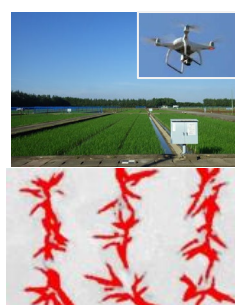
育種AIツールの開発

育種AIツール

- 育種DBや育種情報管理システム等と接続
- オンラインで利用可能なツールとして実装
- 育種ビッグデータに基づき作物の特性を予測

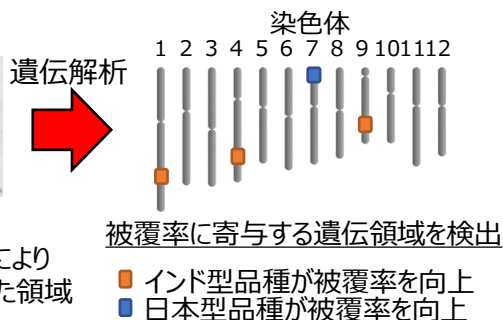


③ ドローンをを用いた効率的な形質評価法の開発



画像データの解析
赤色部分はイネの葉により
土壌表面が被覆された領域

ドローン画像を用いた植生被覆率の評価と遺伝解析 → **苗立ちに優れた水稻品種の開発に貢献**



複数種類の光波長を検出するカメラ画像に基づいて**小麦育成系統の収量予測を可能に**
（上図では普通のカメラで撮影した画像の中で評価対象の各試験区を赤塗りで表示）

今後の取り組み

育種ビッグデータと開発したスマート育種システムの育種現場における実証

【農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究】

種苗開発を支える『スマート育種システム』の開発

<民間事業者、地方公設試等の種苗開発を支える育種基盤技術の開発>

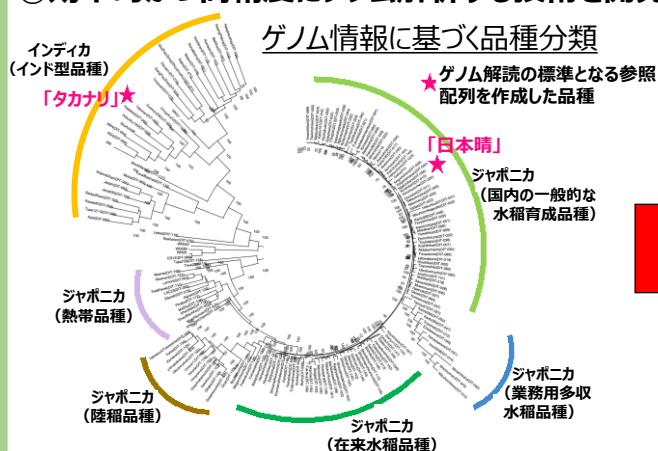
これまでの主な成果

研究概要

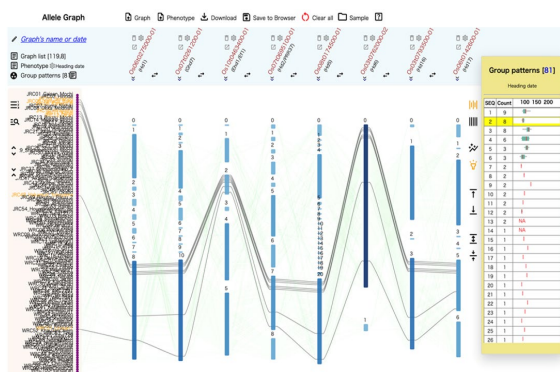
- ① 効率的かつ高精度に参照ゲノム配列を構築する解析プロセスの開発
- ② 作物の農業特性を制御する際に有用な遺伝子の一覧に加え、それぞれの品種が持つ遺伝子の効果の程度を明らかにした「有用遺伝子カタログ」の構築
- ③ 遺伝子組み合わせを最適化する染色体の交叉頻度向上技術、ヘテロ性の高い果樹の改良を迅速化するゲノム編集技術等、品種育成を高度化する新技術開発

主な成果

① 効率的かつ高精度にゲノム解析する技術を開発

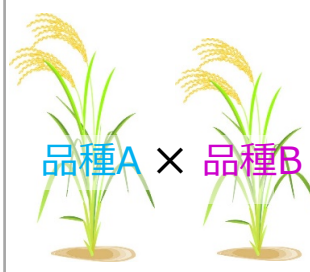


② 有用遺伝子カタログを構築、遺伝子型情報を可視化するアリルブラウザーを開発

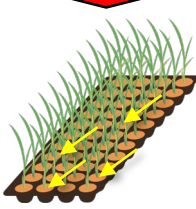


有用遺伝子カタログ

- 作物の農業特性を制御する際に有用な遺伝子について、品種ごとの遺伝子の塩基配列の違いとその効果を掲載したデータベース
- 交配に用いる品種の選定、後代系統の選抜を支援するため、有用遺伝子カタログを可視化するアリルブラウザーを開発
- 有用遺伝子を育種現場へ実装するための育種素材（玄米中のヒ素低減、肥料利用効率の向上等）を開発



多収、良食味、短稈、耐病虫害性等を備え、栽培地域に適應する成熟期の品種が得られやすいように両親を選別



育種目標に合う遺伝子を保有する後代個体をDNAマーカーで選抜して栽培

交配組み合わせの選定・後代系統の選抜を効率化

③ 品種育成の高度化のための新技術開発

- 遺伝子の多様な組み合わせを作出し遺伝子組み合わせの最適化に資する染色体の交叉頻度向上技術を開発
⇒育種目的に沿った後代系統の作出が容易に
- ゲノム編集酵素を直接導入することにより、果樹のゲノムを編集する技術を開発
⇒果樹のゲノム編集品種の実用化が容易に



今後の取り組み

有用遺伝子カタログ、アリルブラウザー等の育種現場における試用と検証