

【藤原プロ】サイバーフィジカルシステムを利用した作物強靱化による食料リスクゼロの実現

プロジェクトマネージャー（PM）：藤原 徹（東京大学 教授）

研究背景とありたい姿

【背景】世界的な人口増加により2050年には2010年の1.7倍の食料が必要とされています。一方、地球温暖化の加速に伴う高温や干ばつの激化、肥料や水などの資源枯渇の進行などに食料生産の維持が難しくなっています。また、食糧生産のための農業活動は地球の資源を消費し、温室効果ガスを大量に排出して環境負荷を高めています。これらの課題を解決するには、高温や干ばつに強く、少ない資源でも高い生産性を維持できる作物の開発が不可欠です。しかし、従来の育種には約10年を要し、急速な環境変化への対応は困難です。

【ありたい姿】本プロジェクトでは、食料生産を支える革新的な育種技術「**サイバーフィジカルシステム**」を開発し、**優れた性質を持つイネを約2年で作出することに成功**しました。現在、この技術のさらなる高度化と国内外への普及を進めています。これを通じて、環境変化に強く、環境に負荷をかけない多数の品種を迅速に開発する技術を世界で利用していただき、**持続的食料生産**、ひいては**世界の安定に貢献**したいと考えています（右図）。



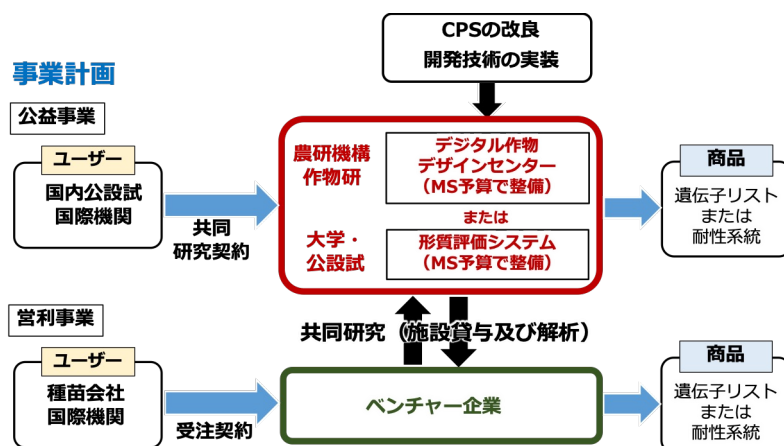
主な研究成果、進捗状況

- ① サイバー空間での作物デザインと実証に成功しました。（ポスター 主要成果1）
- ② 様々な環境に耐える作物の育種に使える遺伝子や系統を見出しました。（ポスター 主要成果2）
- ③ サイバーフィジカルシステムの実装に必要な設備や技術を整備し、開発を進めています。（ポスター 主要成果3）



社会実装の状況と今後の方向性

- ① サイバーフィジカルシステムの基本技術の特許を申請しました。
- ② 関係機関との協議を進め、2030年以降の社会実装の大枠を決めました。
- ③ ベンチャーの立ち上げや協力について具体的な検討を進めています（右図）。



【藤原プロ】（主要成果1）サイバー空間での解析を利用した新しい育種システムのプロトタイプを開発しました

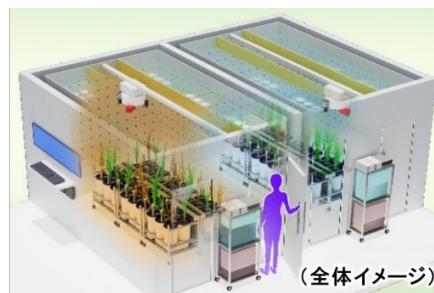
宇賀優作（農研機構作物研 グループ長）、相馬史幸（農研機構作物研 主任研究員）、矢部志央理（農研機構作物研 主任研究員）、七夕高也（かずさDNA研 研究員）、徳田献一（農研機構口ホ研 上級研究員）、林篤司（農研機構口ホ研 研究員）、川原善浩（農研機構分析研 グループ長）

研究背景

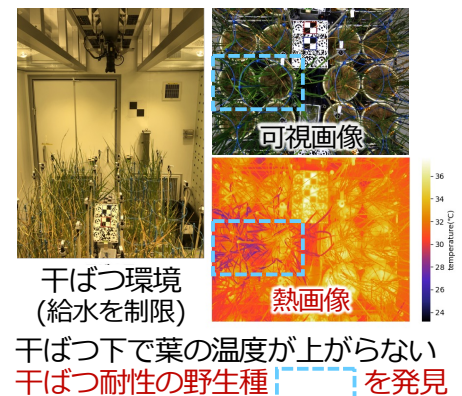
近年の高温や干ばつなどの気候変動に適応した作物を迅速に育成するためには、従来の育種法よりもより早く、効率的に品種を改良できる技術開発が必要です。そこで、本研究では、サイバーフィジカルシステムのコンセプトを基に、フィジカル空間で取得したデータから、改良すべき遺伝子(群)の予測をサイバー空間で実施し、目標とする作物を迅速に開発できる技術の開発を進めています。

具体的成果、進捗状況

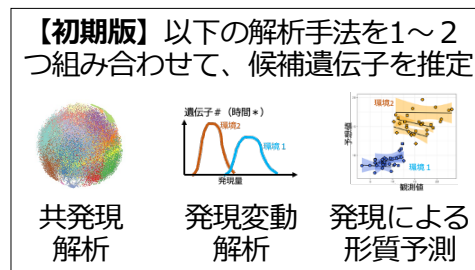
①季節を問わずストレス環境を再現できる施設と様々なデータを取得できる計測プラットフォームを構築しました。



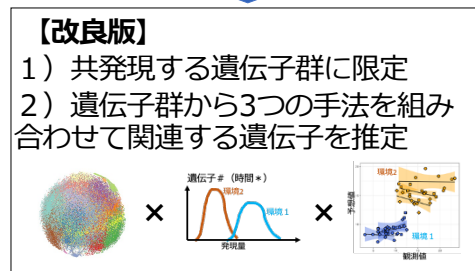
①プラットフォーム構築



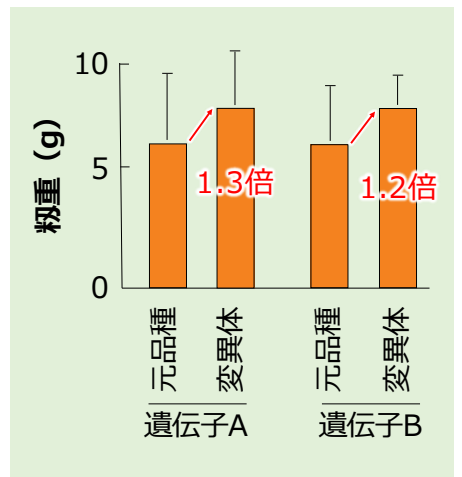
②プラットフォームで取得した形質や発現データを基に、サイバー空間で改良すべき遺伝子(群)を推定する方法を考案しました（特許出願中）。



③考案した方法（初期版）を用いて選定した遺伝子の変異体から、干ばつ条件下で元の品種より粒重の多い系統を、二つ発見しました。



②遺伝子推定方法の開発と改良



③干ばつ耐性に関与する遺伝子を発見

今後の取組み

1. 考案した遺伝子推定法をさらに検討し、遺伝子推定の精度を改善しています。
2. 遺伝子改変で最適な形質を得るために、遺伝子の上流配列から表現型を予測するAI手法を開発しています。
3. 干ばつ耐性以外に、高温ストレスなどの環境ストレスにも活用できる手法を開発しています。

【藤原プロ】（主要成果2）劣悪環境での作物の生育に重要な遺伝子を発見して、耐性作物を育種しています。

大森、井澤（東京大学）、内藤、田中（農研機構）、藤田（国際農研）、清水（滋賀県立大学）
吉田、落合（京都大学）、大津（東京農工大学）

研究背景

気候変動や肥料資源の制約により、少ない肥料や塩害、乾燥、高温などの厳しい環境でも安定して育つ作物が求められています。

研究項目「作物強靱化」では、野生植物や未利用植物が持つ「生き抜く力」を解明し、環境に強い作物を設計するための系統・遺伝子・データを蓄積しました。

具体的成果、進捗状況

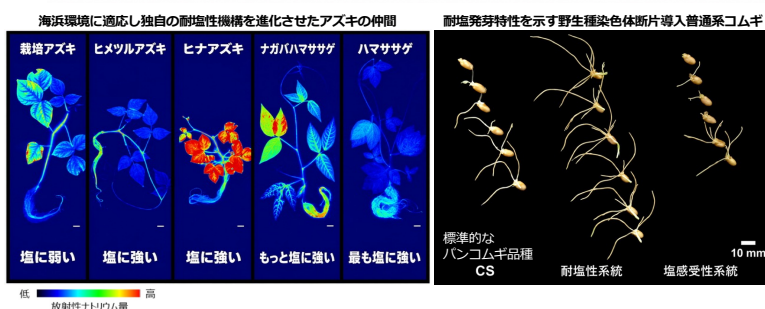
少ない肥料でも育つイネの遺伝子を発見

野生イネなどから、窒素やリン、カリウムが少ない条件でも生育しやすい系統を選抜しました。強さに関するゲノム領域や遺伝子を特定し、各地の圃場での性能も評価しました。



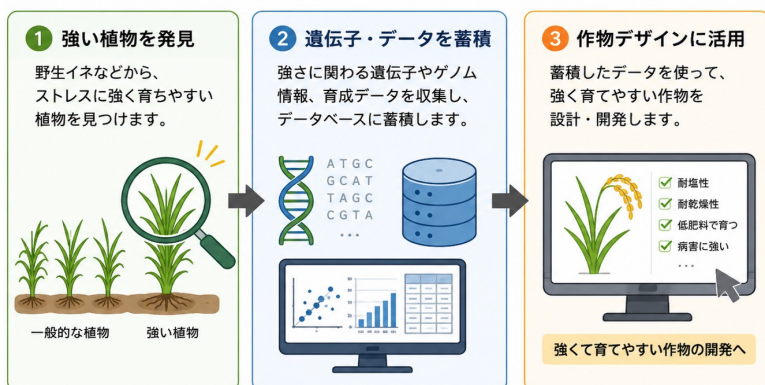
塩害に強い植物の多様なしくみを解明

アズキ類(*Vigna*属)、キヌア、コムギなどから塩害に強い系統や遺伝子を発見しました。植物ごとに異なる生存戦略で、高塩濃度での生育を維持していることを明らかにしました。



植物の「強さ」を作物デザイン情報へ

見いだした遺伝子やゲノム情報を、環境に強い作物を設計するための遺伝子リソースとして整備し、デジタル作物デザインに活用します。



今後の取組み

- ① N・P・K・S の低投入条件に対応する「栄養応答CPS」を開発
- ② AI 予測遺伝子を改変し、低栄養耐性作物デザインを実証
- ③ CPS でデザインした作物を、品種化・社会実装へ展開



【藤原プロ】（主要成果3）作物デザインに必要な施設を整備し、技術の高度化を目指しています。

宇賀、堀、内藤（農研機構）、井澤、大森（東京大）、小林（福井県農試）、那須田、吉田（京都大）、石井（鳥取大）、妻鹿（神戸大）、岡本（理研）

CPSを実現する設備を整備しており、今後も様々な施設整備を進めます。



（イメージ図）

農研機構 デジタル作物デザインセンター整備

- ・ 事業の中核施設となる大型の人工気象室を整備中
- ・ 多様な環境を再現し、様々なストレス耐性試験が可能になる予定



福井県農業試験場 高温耐性評価専用温室

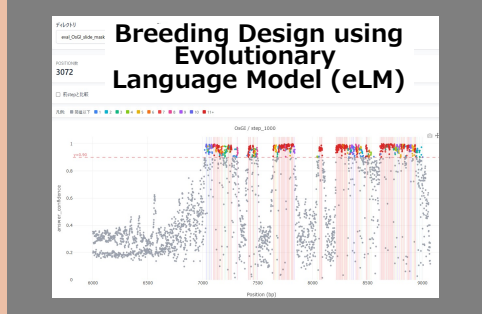
- ・ イネ高温耐性の大規模実証試験用に整備
- ・ CPSによる高温耐性イネの選抜と育成



鳥取大学・乾燥地研 レインアウトシェルター増設

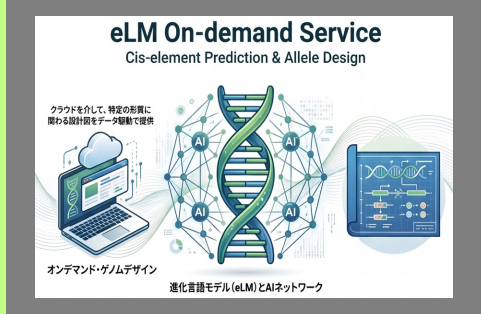
- ・ 屋外で高温・乾燥環境を再現
- ・ コムギの形質評価とCPS技術開発への利用

CPS技術のさらなる高度化を目指します。



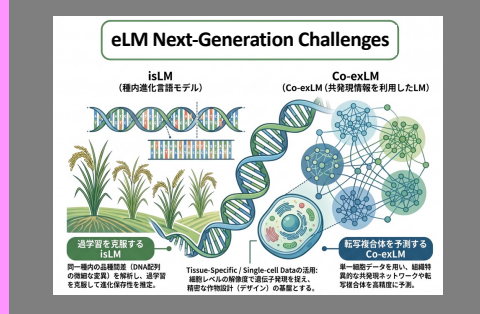
進化言語モデル(eLM)で育種デザインのファインチューニングを可能に

- ・ 同一起源遺伝子のDNA配列の進化過程を学習したAIモデルを採用
- ・ 進化で保存された配列の探索利用が可能に
- ・ R8年に特許出願済



誰でも育種デザインが可能なeLM解析の受託サービスを準備

- ・ ネットを通じた迅速なオンデマンドeLM解析の受託サービスを準備中
- ・ サービス提供は、共同研究ベースで始め有料化を模索する方針



更なるAI利用のCPS技術開発を目指して

- ・ 品種間差を扱える進化言語モデル“種内進化言語モデル”の開発
- ・ 組織特異的共発現情報でグループ化した遺伝子群のeLM解析技術開発