

研究領域

「環境変動に対する植物の頑健性の解明と応用に向けた
基盤技術の創出」

研究領域中間評価

研究総括：田畑哲之

2020年1月28日

1. 研究領域の概要
2. 研究総括のねらい
3. 研究課題の選考
4. 領域アドバイザー
5. 研究領域の運営・総括マネージメント
6. 研究開発の進捗状況
7. 成果発表・産業界との連携
8. 課題と今後の期待・展望、所感

1. 研究領域の概要

＜研究領域名＞

『環境変動に対する植物の頑健性の解明と応用に向けた基盤技術の創出』

＜研究領域の概要＞

本研究領域では、フィールドにおける植物の環境応答機構の包括的な理解に基づき、**実用植物を分子レベルから設計する技術の確立に資する研究を推進します**。具体的には、環境変動にロバストに応答する植物の特性を定量的に把握し、生長や機能の人為的な制御を可能とする新技術の確立を目指します。また、出口戦略の観点から主として実用植物を対象とし、機能マーカーやDNAマーカーなどの生物指標の同定やそれらを活用した新しい植物の開発等を試みます。

具体的な研究開発は、分子レベルで得られた知見のフィールドまでの利用を念頭に置き、以下の3つを柱とします。1)植物の環境応答機構に関する高精度定量解析に関する研究、2)植物の環境応答機構に関するモデルの構築、3)遺伝子群の人為的再構築によって生じる植物の形質評価。

研究領域の推進では、植物の多様な機能の定量的な把握、各種大規模データの解析やモデル化とその実証が求められることから、**植物生理学に加え、育種学、生態学、統計学、情報科学、そして工学等の様々な分野の参画を促します**。また、これらを包含する研究領域の総合的な運営により**異分野連携を進めていきます**。さらに、戦略目標の達成に向けた成果を最大化すべく、**さきがけ研究領域「フィールドにおける植物の生命現象の制御に向けた次世代基盤技術の創出」、および研究領域「情報科学との協働による革新的な農産物栽培手法を実現するための技術基盤の創出」とも連携した運営を行っていきます**。

2. 研究総括の狙い

1. 各種オミックス技術の高度化（精度、規模感、コスト）

オミックス解析技術や表現型解析技術の高度化により、これまで観察することができなかった植物の内的状態や外形的な表現型を高精度に把握する

2. 情報科学、統計学との融合（モデリング、予測技術、画像解析技術）

植物の環境適応機構に関するデータ解析やモデル化について、植物科学と情報科学の分野が協働して新しい手法を提案する

3. 実用植物のフィールドでの環境適応機構に関する新たな原理を発見

植物科学の知見を新品種育成や農業現場における課題解決に活用する

4. 新たな植物設計技術の開発

本領域で開発された高精度オミックス解析技術、表現型解析技術や統計解析・モデル化手法を組み合わせることによって、品種開発に向けて環境要素を含めた新たな植物設計技術の開発を目指す

5. 実用技術開発における植物科学の競争力の向上

植物先端研究開発の分野で日本の国際競争力が強化され、本領域から複数のトップサイエンティストが輩出される

3. 研究課題の選考

	平成27年度	平成28年度	平成29年度	合計
応募数	56	50	39	145
採択数	5	4	3	12
採択率	8.9%	8.0%	7.7%	8.3%

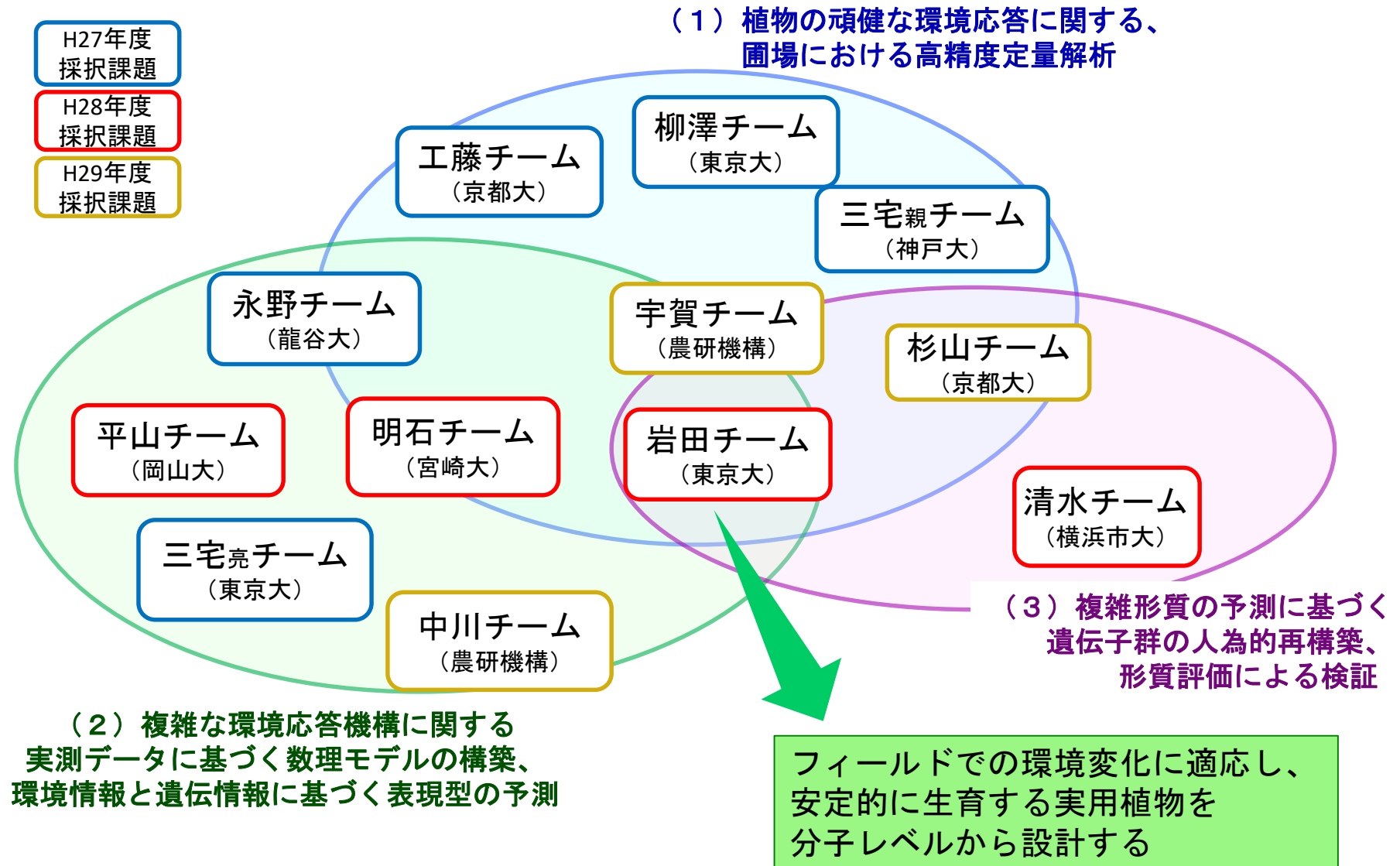
選考で重視した点

- ・ 実用植物により重点を置いた「新規植物創出のための基盤技術の開発」に資する高度な基礎・基盤研究、技術開発
- ・ 大規模オミクスデータや表現型データの高度化、統計解析技術、新規性が高いモデル化技術の開発
- ・ 先端性が高い研究開発、世界に誇れるような革新的な技術開発や異分野融合による新たな研究領域など、チャレンジ性が高い提案

3-1 採択課題・研究費

採択年度	研究代表者名	中間評価時の所属・役職	研究課題名	研究費 (百万円)
2015年度	工藤 洋	京都大学・生態学研究センター・教授	フィールド・エピジェネティクス：環境変動下での頑健性の基盤	279
2015年度	永野 惇	龍谷大学・農学部・准教授	野外環境と超並列高度制御環境の統合モデリングによる頑健性限界の解明と応用	359
2015年度	三宅 親弘	神戸大学・大学院農学研究科・教授	活性酸素生成抑制システムの非破壊評価系の確立とフィールドへの応用～危機早期診断システムの構築～	408
2015年度	三宅 亮	東京大学・大学院工学系研究科・教授	フィールド向け頑健計器と作物循環系流体回路モデルによる形質変化推定技術に関する研究	193
2015年度	柳澤 修一	東京大学・生物生産工学研究センター・教授	フィールド環境での栄養応答ネットワークによる生長制御モデルのプロトタイプ構築	276
2016年度	明石 良	宮崎大学・農学部・教授	大規模画像データに基づくゲノムと環境の相互作用を考慮した成長予測モデルの構築	463
2016年度	岩田 洋佳	東京大学 大学院農学生命科学研究科・准教授	植物環境応答のモデル化に基づく発展型ゲノミックセレクションシステムの開発	497
2016年度	清水健太郎	横浜市立大学・木原生物学研究所・客員教授	倍数体マルチオミクス技術開発による環境頑健性付与モデルの構築	288
2016年度	平山 隆志	岡山大学・資源植物科学研究所・教授	データ科学に基づく作物設計基盤技術の構築	415
2017年度	宇賀 優作	農研機構・次世代作物開発研究センター・上級研究員	ROOTomicsを利用した環境レジリエント作物の創出	401
2017年度	杉山 暁史	京都大学・生存圏研究所・准教授	根圏ケミカルワールドの解明と作物頑健性制御への応用	285
2017年度	中川 博視	農研機構・農業環境変動研究センター・ユニット長	ハイブリッドモデリングによる環境変動適応型品種設計法の開発	285
		研究費総計：2019年度上期までの実績額に2019年度下期以降の計画額を加算した金額（百万円）		4,149

3-2 研究領域のポートフォリオ



3-3 研究領域の全体像

	材料	大規模解析	研究対象	キーワード
三宅親チーム	コムギ、イネ、キュウリ	酸化型P700測定	酸化障害	ROSマーカー、パルス法、検知器開発
三宅亮チーム	イネ、トマト、レタス、コマツナ、画像		養分吸収	流体回路モデル、同化、成長、超軽量環境計開発、超小型養分計開発
工藤チーム	ハクサンハタザオ、レタス	トランスクリプトーム、エピゲノム、画像	エピゲノム季節動態	環境応答遺伝子発現 長期低温応答性プロモーター
柳澤チーム	シロイヌナズナ、イネ	トランスクリプトーム	栄養応答 (N, P)	高CO2耐性、貧栄養耐性
永野チーム	イネ	ゲノム、トランスクリプトーム	栽培地 収量関連形質	トランスクリプトーム時系列からの 形質予測手法開発、 トランスクリプトーム解析高度化
岩田チーム	ダイズ	トランスクリプトーム、 メタボローム、イオノーム、干ばつ耐性 画像		GS+環境要因、 中間的表現型を介した環境応答のモデル 化、栽培管理の最適化
平山チーム	オオムギ コムギ	ゲノム、トランスクリプトーム、ホルモノーム、エピゲノム、画像	栽培地 出穂期	状態履歴モデル、出穂期予測モデル、 GxE
明石チーム	ダイズ	ゲノム、 画像	栽培地 開花日	表現型環境値、 表現型予測モデルの開発、GxE、 大規模フェノタイピングシステム構築
清水チーム	シロイヌナズナ コムギ	ゲノム、トランスクリプトーム、エピゲノム、画像	低温	高次倍数体用解析ツール開発、 生育・環境応答予測モデル構築
杉山チーム	ダイズ トマト	トランスクリプトーム、 メタボローム	根圏ミネラル環境	根圏ケミカルの解析技術開発、 根圏ケミカルセンサー開発
宇賀チーム	イネ	トランスクリプトーム、 ROOTomics、画像	土壌環境ストレス（乾燥・低窒素・高温）	X線CT、ストレスバイオマーカー、 単子葉作物向け根系モデル
中川チーム	イネ	ゲノム、トランスクリプトーム、メタボローム	出穂期と穎花生産	ハイブリッドモデリング、 作物生育モデル+G

4. 領域アドバイザー

氏名	所属	役職	専門領域
芦苺 基行	名古屋大学生物機能開発利用研究センター	教授	分子生物学、植物生理学
伊藤 隆司	九州大学大学院医学研究院	教授	分子生物学、エピゲノミクス
太田 啓之	東京工業大学生命理工学院	副学院長	分子生物学、生化学
金子 俊一	北海道大学大学院情報科学研究科	教授	画像情報処理
木立 尚孝	東京大学大学院新領域創成科学研究科	准教授	バイオインフォマティクス
酒井 隆子	みかど協和株式会社	代表取締役副社長	育種、社会実装
佐藤 和広	岡山大学資源植物科学研究所	教授	育種、ゲノム
高木 利久	富山国際大学	学長	情報システム学
田中 良和	サントリーグローバルイノベーションセンター（株）	上席研究員	分子生物学、生化学
福岡 浩之	タキイ種苗株式会社研究農場	副農場長	育種、フィールド

アドバイザー選考に際して考慮した点：

- ・ 広い分野について高い専門性を有している（研究対象を問わない）こと
（植物分野外 4 名）
- ・ 産業界所属者を配置すること（3 名）

担当領域アドバイザー：課題毎に専門分野に近い 2 ～ 3 名のアドバイザーを配置

5 研究領域の運営・総括マネージメント

- ・ 領域会議：年一回、計5回開催
- ・ さきがけ合同会議：2017年、2018年に開催
- ・ サイトビジット：2016年～2019年に計19回訪問
- ・ 学会・国際会議等への共催・協賛・後援：
2016年～2019年に計9件
- ・ 中間評価会：
2018年第一期採択5課題、2019年第二期採択4課題
- ・ 進捗報告会
- ・ オミックス技術ワークショップ
- ・ 加速費による重点サポート
- ・ 毎年の報告書の内容を反映した研究費の追加配賦

5-1 進捗報告会の開催

毎年度第一四半期に、課題毎にPIと実務担当者、総括、担当領域アドバイザーが一堂に会し、研究開発の方針や詳細について密度が高い議論を行う

2016年

- ・ 三宅親チーム
10月21日

2017年

- ・ 三宅親チーム
5月19日
- ・ 工藤、柳澤チーム
6月1日
- ・ 三宅親チーム（2回目）
11月28日

2018年（一、二期採択チーム）

- ・ 清水、工藤、永野チーム
6月19日
- ・ 岩田、明石、平山チーム
6月20日
- ・ 柳澤、三宅亮、三宅親チーム
6月28日

2019年（全チーム）

- ・ 清水、宇賀、明石、平山、永野、岩田チーム
6月4日
- ・ 工藤、中川、三宅親、杉山、柳澤、三宅亮チーム
6月13日

5-2 オミックス技術WSの開催

2016年

- ・ 農業気象勉強会
11月1日

2017年

- ・ 画像取得・解析情報交換会
1月12日
- ・ トランスクリプトーム・データ解析技術WS
9月6日
- ・ 統計解析・モデリングに関するWS
9月7-8日

2018年

- ・ オミクス解析手法（統計・機械学習）WS
11月13-15日

2019年

- ・ Phenomics講習会 “はじめてみよう植物デジタル形質評価”
1月31-2月1日
- ・ 環境計測勉強会
3月4日
- ・ モデリング技術WS
11月17-18日
- ・ 画像情報解析技術WS
11月20-21日

本領域の目標達成に必要なオミックス関連技術のレベルを高めるため、専門家と各チームの解析担当者が集まり、情報交換や密度が高い議論を行う

5－3 加速費による重点サポート

領域総予算の中から10%、前期課題当初予算から10%、後期課題増減配賦の差額を留保し（総括裁量経費）、応募型の「促進費」及びトップダウン型「加速費」を捻出して、重点分野を加速した。

・ 技術開発促進費

本研究領域で重視する先端性、新規性に優れた高精度オミックス解析・表現型評価技術や統計解析・モデリング技術等の開発に取り組む提案に対して研究費を追加配賦する。提案を募集し領域アドバイザーによる審査を経て決定する。

（上限500万円、採択率：約50%）

・ 課題間連携促進費

本研究領域内や連携する二つのさきがけ領域プログラム（「フィールド植物制御」および「情報協働栽培」）の研究者との共同研究に取り組む提案に対して研究費を追加配賦する。提案を募集し領域アドバイザーによる審査を経て決定する。

（上限1,500万円、採択率：約60%）

・ 研究開発加速費

領域目標達成のため特に加速が期待される少数の課題に対して、総括の判断で研究費を追加配賦する。（2019年採択件数：2件、総額4,500万円）

5－5 主な課題間連携の状況

主なさがけ研究者との連携

- ・ 永野チーム：野田口先生が研究分担者として参画
- ・ 工藤チーム：福田先生が研究分担者として参画
- ・ 技術ワークショップ：さがけ研究者も含めたワークショップを開催

主な領域内連携状況

- ・ 永野チーム：領域内の複数チームのRNA-seq分析を受託
- ・ 清水チーム：永野先生、工藤先生と共に進化学会で共同シンポジウムを開催
- ・ 課題間連携促進費：(工藤・平山・三宅亮) (清水・岩田)

主な海外連携

- ・ グローバル支援2018 (平山チーム、岩田チーム)
- ・ グローバル支援2019 (岩田チーム、工藤チーム、明石チーム)
- ・ 清水チーム、チューリッヒ大

「研究総括の狙い」

- 大規模オミックス解析、高度化
- 新たな植物設計技術の開発

6-2 大規模オミックス解析 Epigenomics

フィールド・エピジェネティクス：環境変動下での頑健性の基盤
研究代表者：工藤 洋（京都大学・生態学研究センター、教授）

研究概要

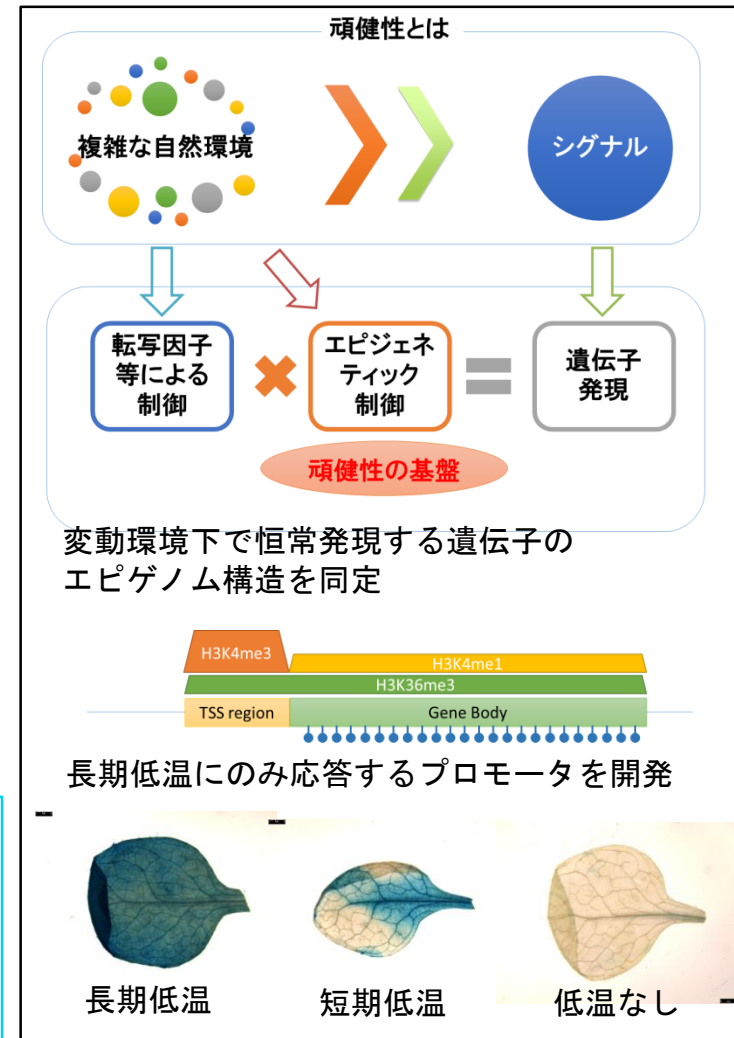
植物が環境の長期傾向に応答するしくみを理解するため、環境が激しく変動する野外条件下でエピジェネティックなヒストン修飾データを取得し、将来エピゲノム制御を技術化するための基盤データとロジックを明らかにする。本研究で得られる長期エピゲノムデータは、動植物を通じて世界初の成果である。

取得データ

ヒストン修飾（2週間毎2年間）：H3, H3K4me3, H3K27me3, H3K36me3、H3K4me1, H3K9me3, H2AZ
DNAメチル化（1.5ヶ月毎1年間）：CG, CHG, CHH
トランスクリプトーム（1週間毎5年間）
48時間トランスクリプトーム（1.5ヶ月毎3年間）
定点画像（毎週3年間）：30個体
気象データ

研究成果とインパクト

- ・2年間の高密度時系列エピゲノムデータ等を収集し、データベースを構築した。解析の結果、変動環境下で恒常発現する遺伝子のエピゲノム構造を同定した。
- ・環境刺激が長期化したときのみ応答するプロモータを開発した。



6-3 オミックス技術の高度化 Transcriptomics

野外環境と超並列高度制御環境の統合モデリングによる頑健性限界の解明と応用

研究代表者：永野 惇（龍谷大学 農学部、准教授）

研究概要

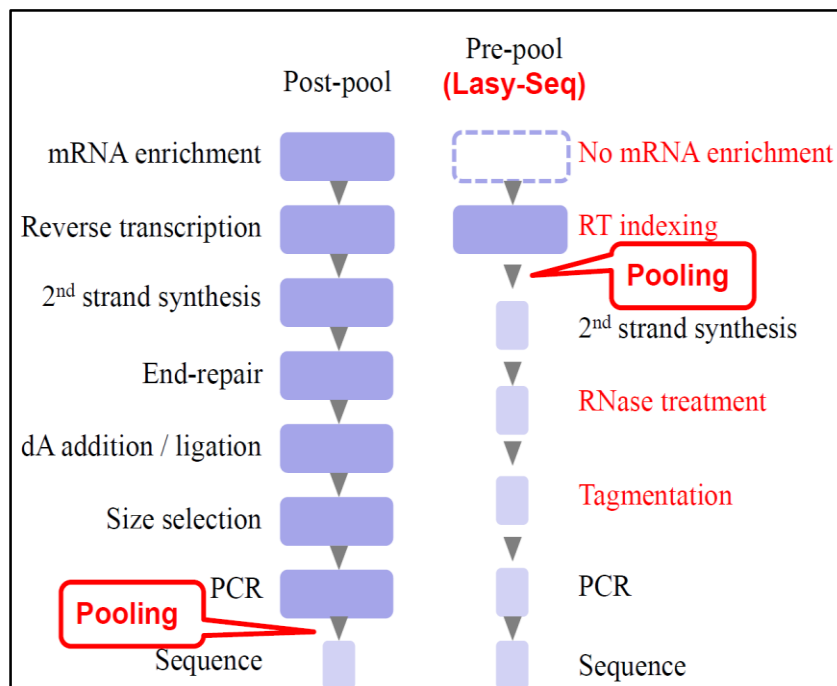
野外環境と制御環境における遺伝子発現の統合的理解と、トランスクリプトームを介した形質予測のための基盤技術の確立を目指している。その過程で、トランスクリプトーム解析の高効率化を目指して、さまざまな技術開発を行った。

研究成果とインパクト

- ・コストや効率に優れ、多検体のRNA-Seq解析を可能とするLasy-Seq法を開発した（リード当りのコストが1/50程度、処理数が30倍程度に）。
- ・植物破碎液からRNA抽出をすることなく、直接逆転写を可能とするバッファを開発し、これに簡便なtargeted RNA-Seq手法を組み合わせたDeLTa-Seq法を確立した（リード当りのコストが最大1/500に）。

→これまでに本領域内9件（CREST 4 件、さがけ5 件）計8000サンプル以上を分析

- ・少ないリード数のRNA-Seqデータからでも高精度に全体の発現量を推定するため、NeSAGE法を開発した。



従来手法（左）とLasy-Seq法（右）のプロトコルの比較。

逆転写直後にプーリングを行うことでサンプルごとに処理の必要なステップ（濃い紫色の四角）を最小化し、多検体であってもほとんどのステップを1チューブで行えるようになった。

6-4 オミックス関連技術の高度化 Phenomics

大規模画像データに基づくゲノムと環境の相互作用を考慮した成長予測モデルの構築

研究代表者：明石 良（宮崎大学農学部、教授）

研究概要

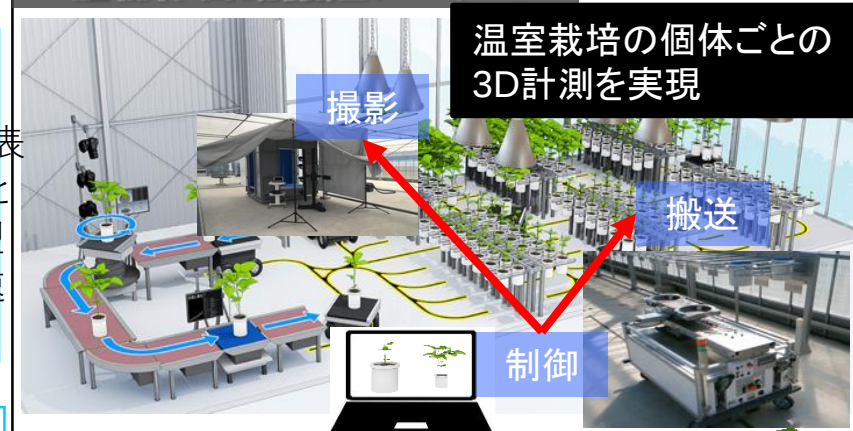
個体の成長が栽培される環境の影響を反映していることに着目し、センサ等で測定した環境値（ME）では捉えきれない環境値を表現型値で代替する表現型環境値（PE）を用いることで、ゲノムと環境の相互作用を明らかにする。また、植物の成長過程の表現型値を画像技術を通じて網羅的に記録し、成長量を大規模かつ高速に計測するためのシステムを開発している。

研究成果とインパクト

主な開発システム

- ・ 任意の個体を栽培エリアから撮影エリアに搬送するシステム
→ 各個体の成長段階に応じて撮影頻度や搬送経路を自由に変更できる
- ・ 3Dモデルを高精度に構築できる撮影法とアルゴリズムの開発
→ 従来法では困難であった植物の3Dモデルを高精度に構築できる
- ・ 個体毎に異なる微小環境を測定するための環境測定システムの開発
→ 個体毎の環境値をGxE解析に導入することで、反復試験が不要となる
→ 開発されたフェノタイピングシステムやノウハウを企業や公的研究機関が利用できるようにする

植物体自動搬送システム



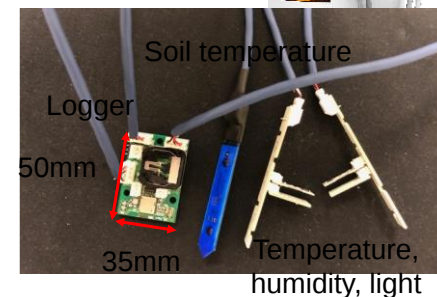
植物3Dモデリング

植物固有の計測課題を解決



環境センサ

個体毎の計測



6-5 新たな植物設計技術の開発

植物環境応答のモデル化に基づく発展型ゲノミックセクションシステムの開発

研究代表者：岩田洋佳（東京大学 大学院農学生命科学研究科、准教授）

研究概要

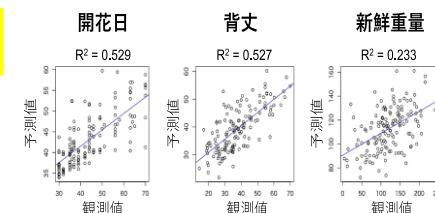
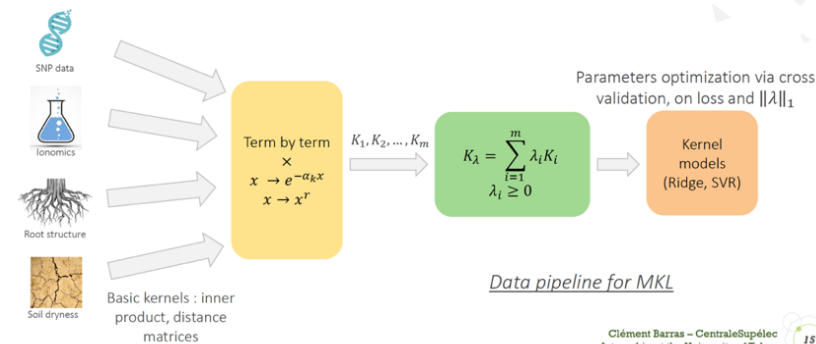
ダイズの乾燥耐性向上を目標に、干ばつ応答をゲノムと環境データから予測するモデルの構築を目指す。目標形質は収穫時バイオマスであるが、マルチオミクスデータを中間形質として、それらを介して収穫時バイオマスを予測するモデルを構築する。

研究成果とインパクト

- マルチオミクスデータ間の複雑な関係をモデル化する手法を開発し、GPUを利用して最大8,000カーネルを含むモデル化を可能にした。
- イオノームデータをもとに植物の表現型を予測するモデルを構築した。環境による影響も反映すると考えられ、ゲノム情報を用いた予測に比べて精度が向上した。
- 4眼のマルチスペクトルカメラを開発したことによって、短時間での複数バンドのデータ収集が可能になり、干ばつ効果の観測ができるようになった。
- 自動走行カートシステムを開発し、ロボットアームを装着することにより、様々な角度から近接撮影を可能にした。同システムにより、植物の内的・外的環境の詳細情報が時系列で得られるようになった。

Multiple Kernel Learning (MKL): presentation

Inspired by [1], from the three advantages explained before:



自動走行機能とロボットアームを備えた近接リモートセンシング用 PhenoRover



6-6 新たな植物設計技術の開発

研究課題名 データ科学に基づく作物設計基盤技術の構築

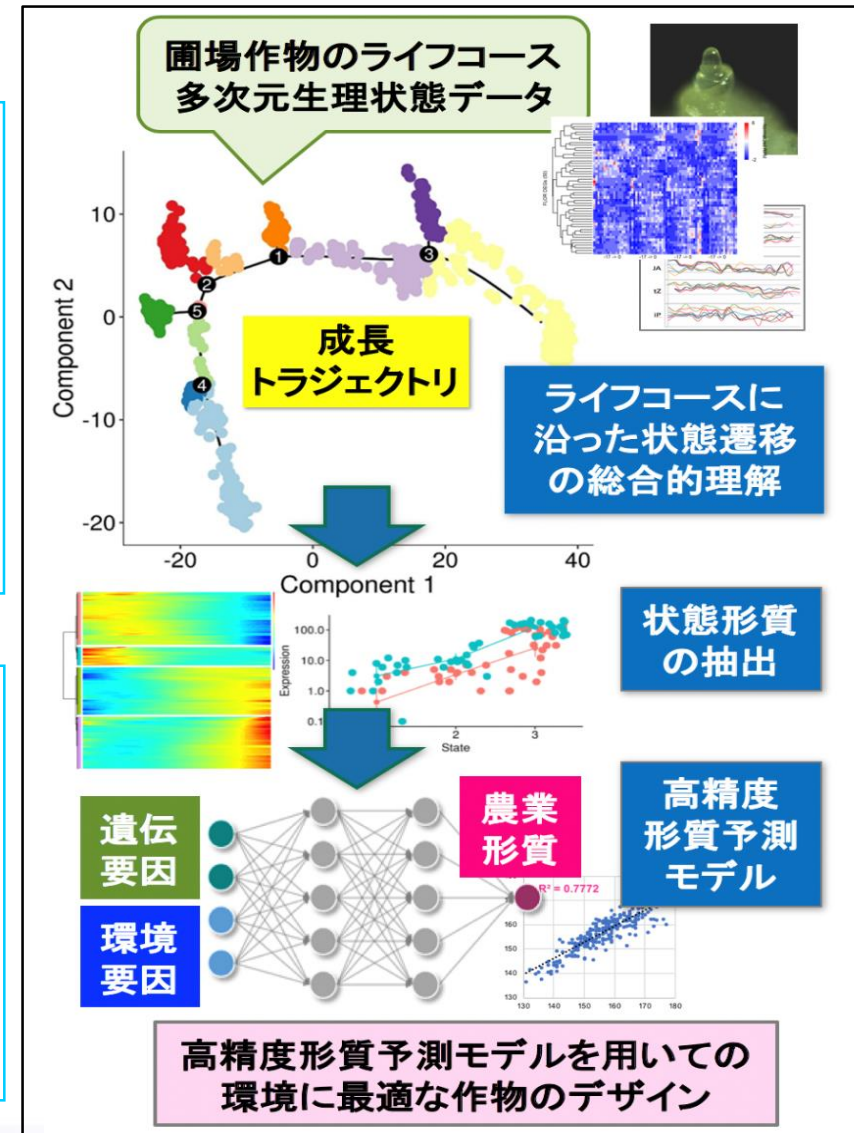
研究代表者：平山隆志（岡山大学、教授）

研究概要

オオムギの出穂を対象として、多次元網羅的解析（SNPs、トランスクリプトーム、ホルモノーム他）、1メリステムなどの微細組織の解析、画像からの形態的特徴量抽出により圃場作物の生理状態の変遷を観測する（状態形質）技術の開発と観測データに基づき農業形質に関わる要因の抽出と要因相互の関係を表すモデル構築を行う。これによって、農業形質に関与する状態形質を利用し農業形質と遺伝要因や環境要因の関係を理解し、作物をデザインする技術の基盤構築を目指す。

研究成果とインパクト

- ・ 農業形質が顕在化するまで圃場作物の生育過程を追跡するデータを収集し、それから推定された偽時間軸に沿って作物の成長過程を複数の成長ステートからなる成長トラジェクトリとして描出することに成功した。
- ・ 成長トラジェクトリを利用して抽出した農業形質に影響するステート移行に関わる遺伝要因や環境要因の情報を搭載し、高精度の農業形質予測モデルを構築した。



7 - 1 成果発表

論文・特許申請・口頭発表

(2019年3月31日現在)

	論文			特許		口頭発表		
	合計	国内	国際	国内	国際	合計	国内	国際
2015年度 採択研究課題	90	1	89	4	1	377 (178)	308 (126)	69 (52)
2016年度 採択研究課題	22	0	22	0	0	152 (79)	87 (43)	65 (36)
2017年度 採択研究課題	3	0	3	0	0	61 (42)	41 (29)	20 (13)
研究領域合計	115	1	114	4	1	590 (299)	436 (198)	154 (101)

(招待講演数は括弧で口頭発表数の内数として記載)

大学/JST共同プレスリリース

3 件（清水チーム 2 件、柳澤チーム 1 件）

8-1 前半に見えた課題と後半の留意点

課題

- ・「植物の環境変動に対する頑健性」
→対象となる植物、取り扱う現象、達成目標が広範にわたる
- ・短中期の実用技術開発を意識した研究開発を奨励
→チームによって対応力に大きな差
- ・オミックス技術の高度化と大規模オミックスデータの取得、活用を推奨
→オミックスデータ取得、活用の戦略が不十分なチームも
- ・大規模データの収集方法の検討、解析手法の改良、モデリング手法の開発が前半に集中するため、中間時点で進捗の判断が難しく成果も遅目

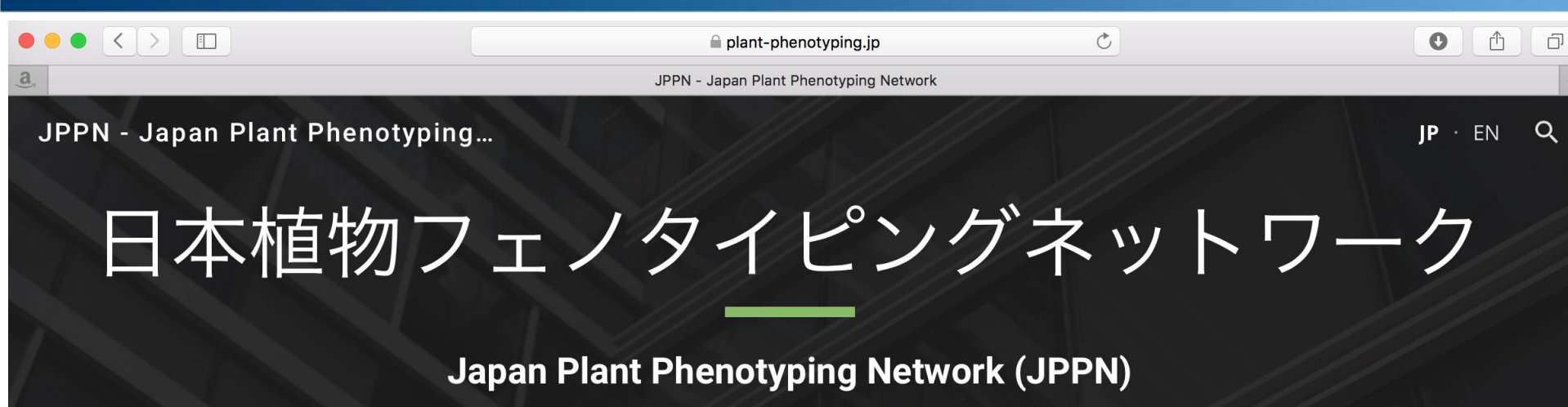
後半の留意点

- ・中間評価時に再設定した方向、目標への進捗を注視する
- ・期間内に、論文、特許、事業化等、成果の明確化、最大化に努める
- ・成果の公開に合わせたプレスリリースを強化する
- ・植物分野内外のコミュニティーに向けて、本研究領域の取り組みや成果の周知に努める

8-2 本領域終了時の成果、波及効果

- ・大規模オミックス解析によって、環境変動に対する頑健性のメカニズムや制御技術に関する新たな知見が得られる
- ・オミックスデータに基づく新たな植物設計法（育種技術）が我が国から発信される
- ・育種現場で利用可能な安価な計測機器が開発される
- ・国内初の植物フェノタイピングシステムが構築される
- ・種苗メーカーに向けた植物設計法コンサルティング・フェノタイピング受託サービスが開設される
- ・日本植物フェノタイピングネットワーク（JPPN）が設立された（二宮さきがけとの連携）

JPPN (Japan Plant Phenotyping Network)



幹事一覧

代表

- 磯部 祥子 (かずさDNA研究所)

副代表

- 岩田 洋佳 (東京大学)

幹事

- セタ 高也 (かずさDNA研究所)
- 二宮 正士 (東京大学)
- 郭 威 (東京大学)
- 野下 浩司 (九州大学)
- 戸田 陽介 (名古屋大学)
- 大倉 史生 (大阪大学)
- 齊藤 大樹 (国際農林水産業研究センター)

2019年3月17日設立

本CREST研究期間内に新学会設立をめざす

8-3 今後の期待・展望、所感

- ・ 統計学や計算機科学の専門家が本気で植物オミックスデータの解析に興味を持ち始めている（植物の方が難易度が高い）
- ・ 他分野の研究者を繋ぎ止めるには、予算とわかりやすい目標設定が必須
- ・ 植物分野の研究者は、感度、精度、コストで優位性があるヒト分野の最新オミックス技術をより積極的に取り込むべき
- ・ 本CREST研究領域の成果を新品種育成の現場に繋げるためには、現場を巻き込んださらなる取り組みが必要
- ・ 本領域を基盤とするベンチャー等による国内外種苗産業に向けた植物設計・フェノタイピング関連ビジネスは将来の展開が期待できる