

戦略的創造研究推進事業
—さきがけ(個人型研究)—

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」

研究領域事後評価用資料

研究総括： 岡田 清孝

2021年12月

目 次

1. 研究領域の概要	1
(1) 戦略目標	1
(2) 研究領域	5
(3) 研究総括	5
(4) 採択研究課題・研究費	5
2. 研究領域および研究総括の設定について(JST 記載)	10
(1) 研究領域選定の理由	10
(2) 研究総括指定の理由	11
3. 研究総括のねらい	12
(1) 戦略目標に対する研究領域の位置付けを受けて、研究総括はどのようにねらいを定めたか	12
(2) 研究領域で実現をねらったこと、研究成果として目指したこと	13
(3) 科学技術の進歩への貢献や、科学技術イノベーション創出に向けて目指したこと等	14
4. 研究課題の選考について	14
(1) 研究課題の選考方針および選考結果について	14
(2) 研究課題採択を通じ、戦略目標を達成する上で必要な研究課題、研究者の参加が適切に得られたか等	16
5. 領域アドバイザーについて	18
6. 研究領域のマネジメントについて	19
(1) 研究課題の進捗状況の把握と評価、それに基づく研究課題の指導(研究の把握と評価、研究課題の指導・助言・支援、研究計画の修正等が必要とされた研究課題への対応等)の方針、およびその結果	19
(2) 個人型のネットワーク型研究所として、研究課題間や他の研究領域、国内外の他の研究機関、異分野との連携・協力の推進	20
(3) 研究費配分上の工夫(拡大、縮小等も含めて、研究領域運営上の立場から)	23
(4) 研究領域としての人材の輩出・成長の状況について(キャリアアップ、国内外の顕彰・受賞や、国際会議での招待講演の状況等)	24
(5) その他マネジメントに関する特記事項	25
7. 研究領域としての戦略目標の達成状況について	26
(1) 研究総括のねらいに対する研究成果の達成状況	26
(2) 研究領域全体として見た場合の特筆すべき研究成果	29
(3) 研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献	34

(4) 研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献.....	36
(5) 本研究領域に続く研究資金の獲得状況.....	37
8. 総合所見	39
(1) 研究領域のマネジメント	39
(2) 研究領域としての戦略目標の達成状況.....	40
(3) 本研究領域を設定したことの意義(研究開始以前と事後評価時点の比較を念頭において)	40
(4) 科学技術イノベーション創出に向けた、今後への期待、展望、課題.....	42
(5) 所感、その他	42

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標

① 戦略目標名

「気候変動時代の食料安定確保を実現する環境適応型植物設計システムの構築」

② 概要

気候変動等の環境変化に適応する農作物の開発・栽培技術の確立は、日本を含む世界的な食料問題の解決に不可欠である。これを実現するためには、我が国のモデル植物の研究で得られた基礎植物科学の知見を農作物の開発や栽培につなげることが重要であり、植物科学における生物的データを工学や情報科学等の異なる分野の技術も含めた新たな視点で収集・解析することで、育種開発や栽培技術の高度化につなげていくことが必要である。

そのため、本戦略目標では、植物科学で蓄積されたゲノム、トランスクリプトーム、メタボローム等のオミクスデータと、最先端の測定技術を活用して取得するフェノーム等の定量的データ、さらには数値化された環境要因等を情報科学的に統合解析することで、植物の生育・環境応答の予測モデルを構築し、さらに予測モデルをもとにした環境適応力が向上した植物体の作製と実環境における栽培実証を行い、植物の「生育・環境応答予測モデル」を基盤とする「環境適応型植物設計システム」を構築する。

これにより、様々な環境条件下で生育可能な農作物の設計・作製及び栽培を可能とし、食料の安定確保の実現を目指す。

③ 達成目標

本戦略目標では、植物体に関わる様々な要因と環境条件等の定量的データをもとに植物体の生育・環境応答を予測し、環境適応性を向上した植物の設計・作製及び栽培を可能とする「環境適応型植物設計システム」を構築することを目的とする。具体的には、以下の達成を目指す。

- ・ 植物の生育・生理状態・環境応答を詳細に把握可能な定量的計測技術の開発
- ・ 表現形質の変動に対応する対象植物ごとの生物的指標(バイオマーカー)の同定
- ・ 植物科学や工学等の異分野技術の融合を活用したバイオインフォマティクスによる「生育・環境応答予測モデル」の構築
- ・ 「生育・環境応答予測モデル」を基にした環境適応性を向上した植物体の設計・作製と実証

④ 実現し得る将来の社会像

「達成目標」に記載した事項の達成を通じ、以下に挙げるような社会の実現に貢献する。

急激な気候変動により、現在の農作物の栽培好適地域が栽培不適地域となる懸念が高まる中、「生育・環境応答予測モデル」による予測をもとに開発されてきた作物・品種によって、現在の農作物では農耕不適地となる地域でも安定した食料生産量を確保できる社会。

我が国で開発された「生育・環境応答予測モデル」、作物改良技術、環境モニタリング技術、統合オミクス解析技術等を基盤とした「環境適応型植物設計システム」が総合的な農業技術パッケージとして海外へ技術移転され、国土の大半が現在の農作物では農耕不適地となっている国や気候変動の影響で収量が減少した国においても安定した農作物栽培が可能となり、人口増や環境悪化による食糧不足の解決に貢献している社会。

⑤ 具体的な研究例

以下に本戦略目標で推進する研究例を示す。

- ・ 植物の生育・生理状態・環境応答を詳細に把握可能な定量的計測技術の開発
植物の表現型を定量的に把握可能なフェノーム解析技術の高度化を行う。また、植物の生理状態を精密に把握可能なセンシング技術及びイメージング技術の開発と農業現場展開に向けた高度化等を行う。
- ・ 表現形質の変動に対応する対象植物ごとの生物学的指標(バイオマーカー)の同定
表現形質の変動に対応するバイオマーカーの同定に関する研究を行う。また、野外及び制御環境など、様々な環境条件下における植物の表現形質とリンクした遺伝子発現及び代謝変動情報の蓄積に関する研究等を行う
- ・ 植物科学や工学等の異分野技術の融合を活用したバイオインフォマティクスによる「植物の生育・環境応答予測モデル」の構築
想定環境における植物の生育や開花等の表現形質の予測に係る研究を行う。また、環境ストレスに対する応答性の予測とストレス耐性を向上させる遺伝子及び関連形質の予測に係る研究等を行う。
- ・ 「生育・環境応答予測モデル」を基にした環境適応性を向上した植物体の設計・作製と実証
「生育・環境応答予測モデル」を基に環境応答性を向上するように設計した植物体を作製するための植物体改変技術の開発と高度化を行う。また、「生育・環境応答予測モデル」を基に設計・作製された植物体の野外及び制御環境における栽培検証を行い、栽培期間における表現形質や生理状態変化のデータ化と「植物の生育・環境応答予測モデル」へのフィードバック等を行う。

⑥ 国内外の研究動向

(国内動向)

近年、日本の植物科学分野ではゲノム、トランスクリプトーム、代謝産物などのビッグデ

ータを基盤とした数理解析が進み、生態レベルでの個体差、気象変動なども取り込んだ発現解析などがトレンドとなっている(日本学術振興会 2013 年度学術研究動向に関する調査研究 報告概要(生物学専門調査班))。一方で植物科学分野における日本の研究水準は極めて高く、イネゲノムプロジェクトの成果に見られるように、欧米に匹敵するものであるが、その応用としての技術開発水準、産業技術力の何れにおいても欧米に劣っていると報告されている(科学技術振興機構研究開発戦略センター ライフサイエンス分野 科学技術・研究開発の国際比較 2009 年版)。

(国外動向)

米国では Plant Genome Initiative のもとに、シロイヌナズナの遺伝子解析が進められてきたが、近年では実用作物に対する遺伝子解析研究も進んでいる。一方で、欧州ではシステムバイオロジーによる統合的な理解をある特定の系に基づいて行ってきており、近年では Crop Performance and Improvement という形で実用作物を指向した研究開発を実施している(科学技術振興機構研究開発戦略センター ワークショップ報告書 2009「フィールドにおける植物の環境応答機構と育種技術」)。海外では DNA マーカー技術・遺伝子解析技術を独自開発できるバイオメジャーが中堅規模の種苗メーカーを吸収し、野菜の種苗開発へ進出する動きが目立つ。さらに次世代型シーケンサーの普及により、非モデル作物のゲノム解読が欧米及び中国で急速に進んでいる(科学技術振興機構研究開発戦略センター 研究開発の俯瞰報告書ライフサイエンス・臨床医学分野 2013 年版)。

⑦ 検討の経緯

「戦略的な基礎研究の在り方に関する検討会報告書」(2014 年 6 月 27 日)に基づき、以下の通り検討を行った。

(サイエンスマップ及び科学研究費助成事業データベースを用いた国内外の研究動向に関する分析資料の作成)

「サイエンスマップ 2012&2010」(平成 26 年 7 月 31 日科学技術・学術政策研究所)及び科学研究費助成事業データベースにおける情報を用いて、国内外の研究動向に関する分析資料を作成した。

(分析資料を用いた専門家へのアンケートの実施及び注目すべき研究動向の作成)

「科学技術振興機構研究開発戦略センター」や「科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センターの専門家ネットワークに参画している専門家」に対し、作成した分析資料を用いて今後注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。その後、アンケートの結果についての分析等を行い、注目すべき研究動向として「植物の生命現象解明を加速するインシリコ植物デザインシステムの開発」を特定した。

(ワークショップの開催及び戦略目標の作成)

注目すべき研究動向「植物の生命現象解明を加速するインシリコ植物デザインシステムの開発」に関する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、特に注目すべき国内外の動向、研究や技術開発の進展が社会的・経済的に与え得るインパクトやその結果実現し得る将来の社会像、研究期間中に達成すべき目標などについて議論を行い、ワークショップにおける議論等を踏まえ、戦略目標を作成した。

⑧ 閣議決定文書等における関係記載

「第4期科学技術基本計画」(2011年8月19日閣議決定)

3. 2. (1) ii)

我が国の食料自給率の向上や食品の安全性向上、水の安定的確保に向けて、安全で高品質な食料や食品の生産、流通及び消費、更に食料や水の安定確保に関する研究開発を、遺伝子組換え生物(GMO)等の先端技術の活用や産業的な観点も取り入れつつ、推進する。

3. 2. (5) i)

先端計測及び解析技術の発展につながるナノテクノロジーや光・量子科学技術、シミュレーションやe-サイエンス等の高度情報通信技術、数理科学、システム科学技術など、複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合領域の科学技術に関する研究開発を推進する。

「科学技術イノベーション総合戦略」(2014年6月24日閣議決定)

第2章第1節4. 3. (1) <1>

ターゲット市場や国際的な技術競争等を踏まえ、ゲノムや代謝産物等の解析、データベース構築等の情報基盤の整備、有用遺伝子の特定、DNAマーカーの開発、バイオインフォマティクスや工学技術、ゲノム編集技術の活用等において、基礎と実用化研究の双方向の連携を図りつつ、画期的な商品提供を実現する新たな育種技術の開発等を戦略的に推進する。

⑨ その他

本戦略目標においては、基礎植物科学以外の情報科学・工学・農学等の異分野の研究者が積極的に参入し、実質的に協働するための取り組みが不可欠である。特に、人材不足が指摘されるバイオインフォマティクス分野の人材の参画と養成が重要である。また、我が国におけるライフサイエンス分野の研究データ及び成果が効率的に活用されるためには、科学技術振興機構バイオサイエンスデータベースセンター(JST-NBDC)等を最大限に活用することが求められる。

実証を伴う課題設計のためには、農作物の実地的栽培環境と同等の条件で植物を栽培・管理する環境を備える機関の参画が期待される。また、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「次世代型農林水産業創造技術」等の出口戦略と有機的に連携し、本戦略目標の下で行われる研究の成果が着実に展開されることが期待される。

(以上、文部科学省 HP¹より転載)

(2) 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(フィールド植物制御)」(2015 年度発足)

本研究領域では、フィールドにおける環境変化に適応し、安定的に生育する植物を分子レベルから設計するための次世代基盤技術の創出に関する研究を推進します。具体的には、植物の遺伝子(群)の挙動と表現型との関係性を時間的・空間的に定量的に解析し、環境に適応する植物の生理システムの包括的な理解を目指します。また、環境応答機構のモデルの構築やバイオマーカーなどの同定を行い、新しい植物生産の基盤技術を構築します。さらに、環境応答に関する複雑な遺伝子(群)・遺伝子型の人工設計のための新たな遺伝的改良技術を開発し、多様な植物への応用展開を目指します。

研究領域の推進では、植物の環境応答機構の定量解析の観点から、植物の単一遺伝子の応答機構ではなく、多因子および QTL による複雑な応答機構の解明に主眼を置きます。また、各種大規模データの解析やモデル化、およびその実証の観点から、植物科学のみならず情報科学、工学などの多様な分野の個人研究者の参画を促します。さらに、本研究領域は戦略目標の達成に向けた成果創出を最大化すべく、CREST 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」やさきがけ研究領域「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。

(さきがけ「フィールド植物制御」研究領域 HP²より転載)

(3) 研究総括

岡田 清孝 (龍谷大学 龍谷エクステンションセンター(REC) 顧問)

(発足時： 龍谷大学農学部特任教授・自然科学研究機構理事)

(4) 採択研究課題・研究費

¹ 和暦を西暦に修正。リンク先は国立国会図書館インターネット資料収集保存事業(WARP)を参照。

<https://warp.ndl.go.jp/info:ndl.jp/pid/11293659/www.mext.go.jp/b_menu/houdou/27/05/attach/1357909.htm>

² <https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunyah27-5.html>

(百万円)

採択年度	研究者	所属・役職 上段：研究終了時 下段：採択時	研究課題	研究費*
2015 年度	赤木 剛士	京都大学大学院農学研究科・助教 (同上)	カキ属をモデルとした環境応答性の性表現多様化機構の解明	39
	市橋 泰範	理化学研究所バイオリソース研究センター・チームリーダー (理化学研究所環境資源科学研究センター・基礎科学特別研究員)	植物-マイクロバイオータ超個体の生命活動ネットワーク解明	41
	犬飼 義明	名古屋大学農学国際教育研究センター・教授 (名古屋大学農学国際教育協力研究センター・准教授)	土壌水分変動適応型エピジェネティック情報を捉えたイネの分子デザイン	40
	大西 孝幸	宇都宮大学農学部・准教授 (横浜市立大学木原生物学研究所・特任助教)	核ゲノム-オルガネラゲノムの協調的改変による植物のエネルギー代謝系の至適化	40
	岡本 昌憲	宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センター・助教 (鳥取大学乾燥地研究センター・テニユアトラック助教)	化学遺伝学的手法を利用した乾燥ストレス適応型作物設計	43
	菅野 茂夫	立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構・助教 (徳島大学農工商連携センター・特任助教)	組み換え遺伝子を利用しない新奇植物ゲノム編集法の開発	31
	田野 井慶太郎	東京大学大学院農学生命科学研究科・教授 (同上・准教授)	植物体内物質動態に関する表現型の定量評価基盤技術の構築	34

	寺田 愛花 ¹⁾	科学技術振興機構・さきがけ研究者 (東京大学大学院新領域創成科学研究科・特別研究員)	生態トランスクリプトームから組合せの働きを見出す多重検定法の開発	21
	萩原 伸也	理化学研究所環境資源科学研究センター・チームリーダー (名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所・特任准教授)	植物ホルモン受容の可視化技術	40
	水多 陽子	科学技術振興機構・さきがけ研究者 (名古屋大学大学院理学研究科・研究員)	花粉管をベクターとした遺伝子改変技術の開発	40
	山口 暢俊	奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科・助教 (奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科・助教)	光環境によって獲得された形質が遺伝する分子基盤の解明と実用植物への応用	41
	吉田 健太郎	神戸大学大学院農学研究科・准教授 (神戸大学自然科学系先端融合研究環・助教)	気候変動と病原菌の進化に頑強な作物設計システムの構築	30
2016 年度	泉 正範	理化学研究所環境資源科学研究センター・研究員 (東北大学学際科学フロンティア研究所・助教)	光合成老化の環境適合を可能にする分子デザインの創出	45
	井上 晴彦	農業・食品産業技術総合研究機構生物機能利用研究部門・上級研究員 (同上・主任研究員)	土壌細菌による鉄欠乏植物を救出するメカニズムの分子基盤解明	32
	神谷 岳洋	東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授 (同上)	フィールドでの非破壊元素動態モニタリング技術の確立と時空間動態解明	42

	高岡 洋輔	東北大学大学院理学研究科・講師 (同上)	植物ホルモン活性のあいまい制御による環境応答バイオマーカー群の機能解明	40
	田中 佑	京都大学大学院農学研究科・助教 (同上)	非定常光環境におけるイネ光合成の遺伝的制御の包括的解明	41
	東樹 宏和	京大大学生態学研究センター・准教授 (京都大学大学院人間・環境学研究科・助教)	頑健な植物共生システムの設計に向けた「コア共生微生物」探索技術の開発	46
	晝間 敬	奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科・助教 (奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科・助教)	共生微生物群の機能解析とその活用による植物生長促進技術の開発	44
	藤井 壮太	東京大学大学院農学生命科学研究科・助教 (奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科・助教)	遺伝育種の拡張に向けた種間隔離メカニズムの解明	41
	山本 英司	(公財)かずさ DNA 研究所先端研究開発部・研究員 (農業・食品産業技術総合研究機構野菜花き研究部門・研究員)	遺伝子情報に基づく表現型予測モデルの構築とコンピューターシミュレーション育種への応用	41
	横井 彩子	農業・食品産業技術総合研究機構生物機能利用研究部門・上級研究員 (同上・研究員)	ジーンターゲットイングを向上させるエフェクターのデリバリーのための piggyBac シャトルベクターの開発	34
2017 年度	稲垣 宗一	東京大学大学院理学系研究科・准教授 (情報・システム研究機構国立遺伝学研究所・助教)	植物免疫のエピジェネティック制御機構の解明とその人為的制御	46

岡本 暁	新潟大学自然科学系(農学部)・助教 (名古屋大学大学院生命農学研究科・研究員)	道管液のペプチドミクス・プロテオミクスを用いた地下部ー地上部間の相互作用の探索とそのメカニズムの解明	42
小宮 怜奈	沖縄科学技術大学院大学サイエンステクノロジーグループ・サイエンステクノロジーアソシエート (同上)	日長環境応答性を利用した生殖 RNA による基盤育種の構築	41
佐藤 安弘	科学技術振興機構・さきがけ研究者 (龍谷大学研究部・日本学術振興会特別研究員)	多検体オミクスによる混植系の構築と虫害制御	40
新屋 良治	明治大学農学部・准教授 (同上・専任講師)	寄生線虫性転換を誘導する環境/植物シグナルの解明	44
峯 彰	京都大学大学院農学研究科・准教授 (立命館大学立命館グローバル・イノベーション研究機構・助教)	植物ー病原体ー環境ネットワークの解明による気候変動対応型病害抵抗性の分子設計	43
矢野 亮一	農研機構高度解析センター・上級研究員/筑波大学生命環境系・助教 (筑波大学生命環境系・助教)	ハウス栽培環境におけるウリ科果実の糖度変動に関連するシンク・ソース分子ネットワークの解明	40
山内 卓樹	名古屋大学生物機能開発利用研究センター・准教授 (東京大学大学院農学生命科学研究科・特任研究員)	気候変動への適応を支える根の形質可塑性の分子基盤の解明	48

	山田 晃嗣	徳島大学大学院社会産業理工学研究部・助教 (同上)	糖吸収競合を介して形成される植物-病原体間相互作用の分子基盤の解明	42
	米山 香織	愛媛大学大学院農学研究科・特任講師 (宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センター・日本学術振興会特別研究員)	ストリゴラクトン生産・分泌制御を介したアーバスキュラー菌根菌利用技術の確立	51
			総研究費	1,283

*各研究課題とも研究期間の総額

¹⁾ 2017年度末で、体調不良のため研究中止

2. 研究領域および研究総括の設定について (JST 記載)

(1) 研究領域選定の理由

戦略目標「気候変動時代の食料安定確保を実現する環境適応型植物設計システムの構築」は、気候変動に対応する植物生産のための新しい基盤技術の開発を目的とする。その中核技術は目的とする種を分子レベルから設計する技術であり、そのためには複雑な生命現象をモデル化し、有用遺伝子群を効率的に同定することが求められる。また、同定した遺伝子群を基にゲノムを設計し、それらを植物へ導入する技術や、作出した植物のフィールドでの評価も求められる。こうした研究に関しては、これまで、フィールド環境下での応答機構の解明が不十分である、定量データの質にばらつきがある、基礎研究と応用研究の間に認識の相違がある、などの様々な課題が存在し、これらの課題に対応する新しい技術の創出が求められてきた。

本研究目標の下に、以下の領域が設計された。

研究領域 1 『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』(CREST)

研究領域 2 『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』(さきがけ)

研究領域 1「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」(CREST)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するもので、上述した植物機能のモデル、有用遺伝子群の探索、遺伝子群の植物への導入及びフィールドでの実証試験のすべてを包含している。これらのテーマを的確に推進するため、植物生理学、育種学、生態学、

統計学、情報学及び工学の広範な分野からの参画を促すとしており、明確な目標設定の下でこうした異分野研究者を結集して研究を推進することで、本戦略目標が目指す「環境適応型植物設計システム」の構築に向けた研究成果が効果的に創出されると期待される。

研究領域 2「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」(さきがけ)は、研究領域 1 を相補するように、革新的要素技術の創出を目的とする。具体的な研究内容としては、植物の生理機能の解明、バイオインフォマティクスを介したデータ解析、数理モデルの構築、およびゲノム編集などの新しい遺伝子改変技術などを対象とする。上述したように、環境適応型の植物設計技術では、遺伝子発現量や代謝物量などの時間的および空間的な変化を定量的に解析するための革新的な技術が求められる。本研究領域では、そのような技術開発に資する植物オミクスに関する研究や環境応答モデルの研究を推進する。

以上のとおり、研究領域 1 においては、フィールド環境での応答を踏まえた実用植物の遺伝子改変技術の開発を目指し、研究領域 2 は、研究領域 1 を相補する要素技術を開発するという構成となっており、研究領域 1 および 2 は、戦略目標 1 の達成に向けて適切に設定されている。

なお、研究領域 2 においては植物のモデル創出、遺伝子改変技術、バイオマーカーの創出など戦略目標に寄与し得る広範な技術分野・研究分野を対象にしていることから、研究領域の趣旨に合致する優れた研究提案が多数見込まれる。

(JST 公開資料「新規研究領域の事前評価」³より、一部改変)

(2) 研究総括指定の理由

岡田清孝氏は、わが国のシロイヌナズナ研究の先駆的研究者で、本植物を活用した形態形成メカニズムに関する世界的に著名な科学者である。同氏は、1980 年代に、シロイヌナズナの実験植物としての有用性に着眼し、本植物の変異体等の作製による分子遺伝学研究に着手した。これらの研究を通して、花や葉、さらには根などの形態形成に関する多くの重要な論文を発表し、シロイヌナズナのモデル植物としての基盤の構築に多大な影響を及ぼした。シロイヌナズナは以降、現在に至るまで植物研究の主要な実験材料として広く用いられている。また、植物科学分野への情報科学の活用へも積極的に取り組んでいる。具体的には、遺伝子や代謝物の網羅的な解析を主眼とするバイオインフォマティクス、植物器官等の画像解析、さらには生育環境の物理化学的情報の収集・解析など、情報科学を取り入れた植物分野の研究を先導してきた。こうした研究を通じ、2014 年に日本植物学会大賞を受賞しており、本研究領域について先見性及び洞察力を有していると認められる。

また、日本植物生理学会会長、日本分子生物学会理事長など植物分野のみならず日本のラ

³ <<http://www.jst.go.jp/kisoken/evaluation/before/index.html>>

イフサイエンス分野の主要な学会の学会長職を歴任していることから、関連分野の研究者から信頼され、公平な評価を行いうると見られる。

さらに、自然科学研究機構 基礎生物学研究所 所長、自然科学研究機構 理事を歴任していることから、研究課題の効果的・効率的な推進を目指し、適切な研究マネジメントを行う経験、能力を有していると認められる。

以上より、同氏は研究領域 2 の研究総括として適任であると判断される。

(JST 公開資料「新規研究領域の事前評価」³より)

3. 研究総括のねらい

(1) 戦略目標に対する研究領域の位置付けを受けて、研究総括はどのようにねらいを定めたか

本研究領域は、戦略目標「気候変動時代の食料安定確保を実現する環境適応型植物設計システムの構築」を具体化する構想の中で、さきがけ研究にふさわしい先端的な研究領域「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」として設定された。その中心となる研究は、植物の生理機能の定量的・網羅的な解析手法の開発、バイオインフォマティクスを駆使したデータ解析、数理モデルの構築などの革新的要素技術の創出と技術開発に資する植物オミクスに関する研究や環境応答モデルの研究であり、ゲノム編集などの新しい遺伝子改変技術の確立も期待されている。

一方、日本の植物科学分野の基礎研究力は特に優れており、世界の第一級の成果を出していることは、よく知られている。しかし、基礎科学が対象としている植物の多くはモデル植物であり、作物や実用植物を対象とした研究が少ないこと、実験室内とフィールドでは栽培環境が大きく異なり、フィールド環境下での応答機構の解明が不十分で定量データの質にばらつきがあること、さらに農学や理学分野の研究者と工学や情報科学分野の研究者との連携が十分ではなく、基礎的な知見が産業技術にまで発展していない点が指摘されている。

戦略目標策定時におけるこれらの指摘を受け、本研究領域では、フィールドにおける環境変化に適応し、安定的に生育する植物を分子レベルから設計するための次世代基盤技術の創出に関する研究の推進を目指した。研究者の選考においては、上記の研究課題に沿った若手らしい斬新なアイデアや挑戦性、独自性、独創性を重視し、さらに潜在能力の高い研究者の相互触発を介して新規の融合研究が生まれ、大きく発展する素地を確立することを目指した。

また、本さきがけ研究は、同じ戦略目標のもとで設定された CREST 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 (略称: 植物頑健性)」(研究総括: 田畑哲之)および、さきがけ研究領域「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 (略称: 情報協働栽培)」(研究総括: 二宮正士)と同時期に

発足しており、これらの「兄弟プロジェクト」とは研究内容や研究手法において共通する部分も多い。そこで、研究者間の交流と情報交換によって研究が多角的に展開することも目的とした。

(2) 研究領域で実現をねらったこと、研究成果として目指したこと

本研究領域の推進においては、フィールドにおける環境変化に適応し、安定的に生育する植物を分子レベルから設計するという目標に向け、具体的な研究課題、①「植物の遺伝子(群)の挙動と表現型との時間的・空間的かつ定量的な解析に基づいた、環境に適応する植物の生理システムの包括的な理解」、②「環境応答機構のモデルの構築やバイオマーカーなどの同定による新しい植物生産の基盤技術を構築」、③「環境応答に係る複雑な遺伝子(群)・遺伝子型の人工設計のための新たな遺伝的改良技術開発と多様な植物への応用展開」に沿った研究提案を採用した。植物の環境応答システムの解析においては、フィールド(圃場等での野外栽培やハウス栽培等)における非恒常的環境での解析研究に展開することを重視した。多くのパラメーターの処理が必要なオミクス解析が必須の研究も多く見込まれることから、情報科学の手法の導入や新規手法の開発も重要視した。また、モデル植物に留まらず、様々な植物・作物へも適用可能な汎用性のある知見・技術となる研究であるかどうかという点も考慮して研究の遂行を見守り、必要に応じて助言することとした。

ただし、さきがけ研究期間に限られていること、同じ戦略目標の下に発足した CREST 研究領域「植物頑健性」がさきがけ領域の終了後も継続することから、本領域終了後においても取り組む課題の重要性が揺るぎないものであり、他の研究領域への参画や新たな資金の獲得によって、研究が継続しさらに発展していくことを期待した。

領域の運営に関しては、以下を心がけた。私は、本研究領域の研究総括を引き受ける前に四つのさきがけの研究領域、さきがけ研究領域「認識と形成」(研究総括：江口吾朗；研究期間：2000～2005 年度)、さきがけ研究領域「生命システムの動作原理と基盤技術」研究領域(研究総括：中西重忠；研究期間：2006～2012 年度)、さきがけ研究領域「生命現象の革新モデルと展開」(研究総括：重定南奈子；研究期間：2007～2013 年度)、さきがけ研究領域「細胞機能の構成的な理解と制御」(研究総括：上田泰己；研究期間：2011～2017 年度)の領域アドバイザーを務めた経験がある。それぞれ戦略目標と領域の位置付けが異なるさきがけ研究領域であるが、研究総括の運営方針にも特徴があり、大変勉強になった。

私が研究総括を引き受けるに当たって最も重要と考えたことは、採択した研究者が相互啓発によって研究を推進し、期待通りの成果を得るように体制を準備することである。さきがけ研究者として選ばれた研究者は 30 代の若手研究者であり、アドバイザーとは世代が異なっている。研究総括やアドバイザーは、戦略目標からの逸脱や研究方針の変更の是非などの大きな問題点に対しては注意を喚起するが、過度な指導は控え、新たな研究手法や研究材料の検討・導入などに関しては、さきがけ研究者間の情報交換と相互啓発にできるだけ任せ

ることとした。一方、研究者自身では対処が困難な問題、例えば所属する研究機関への依頼・交渉などの問題については、研究総括と領域担当者ができるだけ迅速に対応する体制を整えることとした。

(3) 科学技術の進歩への貢献や、科学技術イノベーション創出に向けて目指したこと等

安定的に生育する植物を分子レベルから設計するための次世代基盤技術の創出を目指した本研究領域の成果は、新規知見の提供を通じた植物基礎科学への貢献はもとより、農学分野においても、新品種作出に向けての育種への貢献(新規手法による効率化、選抜における新規の着眼点の提供等)、栽培における貢献(土壌環境の制御や病虫害による被害の軽減等)となることは疑いがない。また、技術開発に関する研究については、研究成果が論文発表に留まらず、社会実装に向けた取り組みが開始されること(あるいはその準備段階として期待が持たれること)を目指した。

4. 研究課題の選考について

(1) 研究課題の選考方針および選考結果について

選考にあたっては、さきがけ共通の選考基準に加え、本研究領域が、「フィールドにおける環境変化に適応し、安定的に生育する植物を分子レベルから設計するための次世代基盤技術の創出」を目指すことに鑑み、独自に重視する研究及び選考基準を設定した。選考は、本研究領域に設けた10名(2015年度)ないし11名(2016及び2017年度)のアドバイザー(本資料4.(3)参照)の協力を得て、研究総括が行った。選考方法は、書類選考、面接選考及び総合選考とした。

【さきがけ共通の選考基準】

- a. 戦略目標の達成に貢献するものであること。
- b. 研究領域の趣旨に合致していること。
- c. 独創的・挑戦的かつ国際的に高水準の発展が見込まれる基礎研究であって、科学技術イノベーションの源泉となる先駆的な成果が期待できること。
- d. 研究提案者は、提案研究の内容、研究姿勢や他の研究者との議論・相互触発の取り組みを通じて、当該さきがけ研究領域全体の発展ならびに関係研究分野の継続的な発展への貢献が期待できる存在であること。
- e. 以下の条件をいずれも満たしていること。
 - ・研究提案の独創性は、研究提案者本人の着想によるものであること。
 - ・研究構想の実現に必要な手掛かりが得られていること。

- ・個人型研究として適切な実施規模であること。

【研究領域独自に設定した選考にあたって重視した研究】

- ① 植物の環境応答機構の定量解析に関する研究
- ② 環境応答機構に関する数理モデル構築やバイオマーカーの開発に関する研究
- ③ 遺伝子改変と遺伝子導入の新たな技術に関する研究

選考にあたっては、これらに加え、本研究領域の趣旨に鑑み、研究提案が以下を満たしているかについても重視した。

- ・ 複数の専門分野を融合した研究の発展につながる事
- ・ モデル植物を用いた研究の場合には、実用植物への成果展開の構想がしっかりしている事
- ・ 制御環境下で栽培した材料を用いる場合は、成果の将来のフィールド等へのしっかりした展開構想がある事

さらに、研究費の「不合理な重複」ないし「過度の集中」にあたるかどうか、選考における判断要素とした。

初年度にあたる 2015 年度には、多様な分野から 146 件の応募があった。1 件あたり 3 人のアドバイザーに査読を依頼し、書類選考会において、アドバイザーから提出された査読結果を基に提案内容を検討した。その結果を踏まえ、25 件を優れた研究提案として選抜し面接対象とした。面接選考会では、提案者の発表と質疑応答及びそれらに対する領域アドバイザーのコメントも参考として、12 件を採択した。2016 年度及び 2017 年度も、初年度と同様、多様な分野からの応募が 84 件及び 86 件あった。選考は初年度と同様の手順により進め、25 件及び 26 件を面接選考の対象とし、最終的に各々 10 件を採択した。

応募分野は、各回、植物生理学、細胞遺伝学、生物有機化学、生態学、生物間相互作用研究、植物病理学、計測工学、作物学、遺伝子工学、育種学等多岐に亘り、その中には、若手らしい斬新なアイデア、意欲的な研究提案が多く認められた。最終年度の募集においても応募数が維持されたことは、研究領域が掲げる方向性に共鳴し、新たな挑戦をしようという意気込みのある研究者が多く存在していたことをうかがわせ、領域設計は適切であったと考えている。

なお、本研究領域では、植物科学と情報科学などの組み合わせにより高いレベルで協働することが求められるため、試みとして、通常の場合(個人研究者としての提案)に加え、さきがけ提案者同士の連携提案を可能とした。具体的には、提案する研究課題の一部を応募者ひとりで取り組むことが難しい場合には、例えば、情報科学の研究者と植物科学等の研究者が事前に連携の可能性について打ち合わせ、それぞれの役割及び期待されるシナジー効果を記載し、それぞれが本研究領域に個別に提案することができるようにした。しかしながら、

連携提案を構成するものであっても、個々の提案がさきがけ研究にふさわしい独創性・新規性・挑戦性を備えている必要があり、連携提案として応募されたひと組の提案が揃って採択に至ることはなかった。結果的には、植物科学の研究者がさきがけ研究を進める中で情報科学分野にも精通する、あるいは、さきがけ研究領域「情報協働栽培」の研究者との協力関係を構築するなどにより十分に対応することができた(連携に関しては、後述する)。

(2) 研究課題採択を通じ、戦略目標を達成する上で必要な研究課題、研究者の参加が適切に得られたか等

多様な分野からの研究提案を反映し、幅広い専門性を持つ研究者の挑戦的な提案を採択することができた。採択した研究課題を、選考にあたって重視した三つの研究に加え、材料や対象とする現象、研究実施環境等を加味して、以下にポートフォリオとしてまとめた。

期生	1	1	2	1	2	2	1	3	2	2	1	1	3	3	3	3	2	1	2	2	3	3	1	1	3	1	3	1	2	2	3	1	
研究者名	菅野	水多	横井	萩原	高岡	神谷	田野井	佐藤	泉	田中	岡本(昌)	吉田	峯	山田	稲垣	米山	井上	市橋	東樹	晝間	山内	岡本(暁)	犬飼	山口	小宮	赤木	新屋	大西	藤井	山本	矢野	寺田	
キーワード	ゲノム編集	ゲノム編集	ゲノム編集	ホルモン・受容体、人工オキシン	ホルモン・受容体アゴニスト	Ca欠乏症・物質動態	根系/地上部・物質動態	虫害制御・混種効果	光合成老化の制御	高速変動光下の光合成	ABA・乾燥耐性	抵抗性崩壊に頑健な病害抵抗性	高温/高湿、病害抵抗性	糖吸収競合、病害抵抗性	エピゲノム記憶、病害抵抗性	AM菌共生、ストリゴラクトン、混植	土壌細菌、鉄欠乏	土壌微生物叢	土壌微生物叢	炭疽菌、土壌微生物叢	根組織形態、乾燥/湿潤耐性	地下・地上部、シグナル伝達	根系发育、エピゲノム、乾燥耐性	エビゲノム記憶、開花制御	マイクロRNA、日長感応	雌雄性の進化・付与	線虫の雌雄性制御	細胞質置換の活用	種間障壁の克服	育種シミュレーション	果実糖度の予測	多重検定法	
対象分野	ゲノム編集		ホルモン	画像解析		光合成		微生物との相互作用								エビゲノム			雑種	情報・数理													
	ツール開発			ホルモン	根系											生殖																	
生命現象の解明	モデル植物																																
	人工気象器等変動小さい環境																																
	フィールド(的)変動環境下																																
情報学・数理科学	基礎																																
	応用																																
育種等への応用	技術開発・選抜法等																																
	素材開発・系統育成																																
	連携によりカバーした分野																																

選考においては、領域の目指す三つに大別した研究のそれぞれについて、①「植物の環境応答機構の定量解析に関する研究」では、植物の環境応答に関わる生理機能の分子システムに関するものであって、複数の遺伝子の応答ネットワークの解析に主眼をおく研究の推進(ポートフォリオでは、「生命現象の解明」の多くが相当)を、②「環境応答機構に関する数

理モデル構築やバイオマーカーの開発に関する研究」では、大規模情報を活用した植物のインフォマティクス研究の推進（ポートフォリオでは、「情報学・数理科学」が相当）を、③「遺伝子改変と遺伝子導入の新たな技術に関する研究」では、環境適応型植物の作出に資する次世代作物設計技術の基盤となる要素技術に関する研究の推進（ポートフォリオでは、「育種等への応用」が相当）を念頭においた（募集要綱に記載の内容を要約）。

ポートフォリオから明らかなように、所期に想定した研究分野は3回の選考を経てカバーできたものと考えられる。また、「生命現象の解明」と「情報学・数理科学」の融合が期待できる課題も多く採択できた。モデル植物を用いた解析が中心となる研究においては、実用植物への成果展開が計画されている提案を採択した。また、すぐに圃場等の野外環境での研究が実施できない場合は、安定した環境が得られる人工気象器や人工気象室等小型の閉鎖環境などでの実施を可能としたが、研究が進んだ段階でのフィールドへの展開が期待されるものを採択した。

同じ戦略目標に基づいて推進されるCREST研究領域「植物頑健性」が対象とする研究分野の基盤の拡充に寄与しうる個人型研究として、今後、当領域内外の連携構築を支援することにより、当初計画した以上の成果に結びつく可能性のある提案も少なくないと考えられた。また、さきがけ研究領域「情報協働栽培」との研究協力が見込まれる提案も少なからず認められた。

研究対象の面からは、根系を対象とする提案や微生物との相互作用、あるいはエピジェネティクスに焦点をあてた提案などの重要な研究対象にさまざまな視点から取り組んでいる課題を複数年に亘って採択でき、課題間の相補効果やシナジー効果が期待された。また、2016年度及び2017年度では、初年度には十分にカバーできなかった、情報科学や計測工学を研究の柱とする提案や、虫害防除に関する提案なども採択することができ、参画研究者に刺激を与えるとともに、新たな融合研究の芽を作ることができた。農業・食品産業技術総合研究機構の研究者を始め、圃場栽培に精通する研究者も採択でき、研究協力による応用展開を期することができた。このように、一期生から三期生の研究対象や専門性、アプローチの多様性は、植物学基礎研究と農学応用研究の連携を旨とする本研究領域の活動において大きな力となることが期待された。

採択者の所属(採択時)は、国立大学、公立大学、私立大学、学校法人等の大学及び大学院大学の他、独立行政法人(現国立研究開発法人)であった。所在地は仙台から沖縄までに及び、地方所在の研究者も少なからず採択できた。女性は、5名であった。また、特別研究員等で採択された6名は、さきがけ専任研究者として研究を開始した。年齢構成は、35歳前後を中心に、20代後半から40代前半であった。研究領域全体として見たとき、研究面でのシナジー、研究者間の相互啓発や成長には、研究分野以外の様々な面での多様性も重要であり、このような多様性が活性化に資することとなったと考えている。

5. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザーは下表の通りである。

領域アドバイザー名 (専門分野)	終了時の所属	役職	任期
磯部 祥子 (ゲノミクス)	(公財)かずさDNA研究所 所先端研究開発部	室長	2015年8月～2021年 3月
内田 誠一 (情報学)	九州大学大学院システム 情報科学研究院	教授	2015年8月～2021年 3月
角谷 徹仁 (エピジェネティクス)	東京大学大学院理学系研 究科 / 情報・システム研 究機構国立遺伝学研究所	教授	2015年8月～2021年 3月
工藤 洋 (生態学)	京大大学生態学研究セン ター	教授	2015年8月～2021年 3月
白須 賢 (植物病理学)	理化学研究所環境資源科 学研究センター	グループディレ クター	2015年8月～2021年 3月
田中 和幸 (育種学)	タキイ種苗(株)研究農場 応用研究グループ	チーフ	2015年8月～2019年 3月
土岐 精一 (ゲノム編集学)	農業・食品産業技術総合研 究機構生物機能利用研究 部門	ユニット長	2016年6月～2021年 3月
鳥居 啓子 (植物発生学)	テキサス大学オースティ ン校 / ハワードヒュー ズ医学研究所	教授 / インベス ティゲーター	2015年8月～2021年 3月
福岡 浩之 (育種学)	タキイ種苗(株)研究農場	副農場長	2019年4月～2021年 3月
福田 裕穂 (植物生理学)	東京大学	理事・副学長	2015年8月～2021年 3月
矢野 健太郎 (情報学)	明治大学農学部	教授	2015年8月～2021年 3月
矢野 昌裕 (育種学)	農業・食品産業技術総合研 究機構本部	総括調整役	2015年8月～2021年 3月

本研究領域では、① 植物の環境応答機構の定量解析に関する研究、② 環境応答機構に関する数理モデル構築やバイオマーカーの開発に関する研究、③ 遺伝子改変と遺伝子導入の

新たな技術に関する研究(本資料 4. (1)参照)に関する提案を求めた。これらの研究は、多岐に亘る研究分野を内包している。このことから、研究提案全体をカバーできるよう、それぞれの研究分野に経験が豊富であり、最先端技術にも精通している一流の先生方にアドバイザーをお願いした。

具体的には、植物生理学や分子遺伝学関係の分野では(福田裕穂氏、鳥居啓子氏、角谷徹仁氏)、ゲノム学や情報学関係の分野では(磯部祥子氏、角谷徹仁氏、内田誠一氏、矢野健太郎氏、矢野昌裕氏)、生態学や植物病理学を含む生物間相互作用関係の分野では(工藤洋氏、白須賢氏)、遺伝子工学(土岐精一氏)、育種学や作物学の分野では(田中和幸氏、福岡浩之氏、矢野昌裕氏)に、専門の立場からコメントをいただいた。また、技術要素の開発と社会実装に向けた視点でのアドバイスやコメントをいただくために、企業から、田中和幸氏(2018年度まで)及び福岡浩之氏(2019年度より)にアドバイザーをお願いした。さらに、さきがけやCREST への参画経験者(5名)、アドバイザー経験者(5名)、大型研究プロジェクトの総括経験者(1名)の先生方には、研究領域の運営方針(本資料 3. 「研究総括のねらい」を参照)をご理解いただいた上で、研究内容以外の領域運営面でもアドバイスやコメントをお願いした。

6. 研究領域のマネジメントについて

(1) 研究課題の進捗状況の把握と評価、それに基づく研究課題の指導(研究の把握と評価、研究課題の指導・助言・支援、研究計画の修正等が必要とされた研究課題への対応等の方針、およびその結果)

研究課題の進捗状況の把握は、各研究者の研究実施場所へのサイトビジット、各課題において毎年度始めに提出される研究計画書、毎年度の上期と下期に提出を求めた研究進捗報告書(領域会議に合わせて提出)、外部発表(論文、口頭発表、招待講演、プレスリリース、著作など)の概要、領域会議での口頭発表及びポスター発表により行った。

研究課題の指導に関しては、各個人研究者から提出された研究計画書について、研究目的、研究項目、研究実施体制、研究費使途等の観点から内容の妥当性をチェックし、一部記載が不十分なものについては修正を指示した。

領域会議は、原則、年2回開催した(2020年度は、コロナ禍の影響により、6月に予定していた領域会議は中止した)。各領域会議においては、研究総括・アドバイザーはもとより、研究者を含めた質疑応答の時間が十分にとれるように、またポスターセッションや自由討論の時間を多く取るようにプログラムを調整し、各研究者の進捗状況を十分に把握できるようにした。さらに領域会議では十分に議論を尽くせなかった点については、総括・アドバイザーからの指摘事項・コメントを研究者に伝え、対応方針について回答を求めた。これらを総合して、研究の状況を把握する一方、研究者には、研究の進め方の調整や新たな実験計画への取り組みを促した。

サイトビジットは、採択後の早い時期に、研究環境に研究推進上の問題はないか、側方支援の必要性はないかを判断することを主たる目的として行った。その後、異動・移籍により研究環境が変わった場合や機器の購入が伴う増額支援が行われた際には再び研究者を訪問し、進捗状況の確認とともに、幅広く意見交換を行うことによって、研究者が抱える問題についての把握に努めた。さらに、研究終盤に近づいた時期には、さきがけの課題のみならず、研究者の行っている他の課題も含めて意見交換を行い、さきがけ終了後も見据えた長期的な視点でのより一層の研究の進展や研究者の成長が図られるよう努めた。

各研究者の研究課題評価は、事後報告書(2018年度及び2019年度終了者)または終了報告書(2020年度終了者)及びその内容についての口頭発表(領域会議における最終報告)に基づき、加えてアドバイザーによる評価コメントも参考にして行った。評価にあたっては、「戦略的創造研究推進事業(社会技術研究開発及び先端的低炭素化開発を除く。)の実施に関する規則」第88条2項、

ア 研究課題等の研究目的の達成状況

イ 研究実施体制及び研究費執行状況

ウ 研究成果の科学技術及び社会・経済への波及効果(今後の見込みを含む)

エ 相手機関との研究交流状況(外国の研究機関等と共同して研究を実施するものに限る。)

に依拠しつつ、さらに、さきがけ制度が世界レベルの若手研究リーダーの輩出を目指している観点から、それに関連する成果がある場合は、当該研究者として飛躍につながったかという点も評価した。

具体的な研究成果や研究者の成長に関しては、次項以降で詳述するが、所期のねらいに沿った課題を採択することができ、また、個々の研究者が、限られたさきがけ研究期間において努力したことにより、総じて十分な達成度に至ったと判断している。

なお、コロナ禍による影響を受け研究期間を延長し、研究終了日が2021年6月末日または9月末日となった研究者6名については、研究者による終了報告書の追記に基づき、総括による書面での簡易評価を行った。

(2) 個人型のネットワーク型研究所として、研究課題間や他の研究領域、国内外の他の研究機関、異分野との連携・協力の推進

個人型のネットワーク型研究所として、研究領域を有機的に機能させるには、構成員となるさきがけ研究者間の関係性を高めると同時に、相互の信頼性を形成することが重要であり、またこれが運営上の前提であると考えている。さらに、他の領域の研究者との交流や相互触発の機会を与えることにより、新たなアイデアによる融合研究への発展が期待できると考えている(本資料3.「研究総括のねらい」参照)。

このような考えの下、領域会議については、少なくとも年1回は合宿形式で行うととも

に、領域会議のプログラムも討論や情報交換の時間をできるだけ多く取るように組むようにした。また、同じ戦略目標の下で設計された、CREST 研究領域「植物頑健性」及びさきがけ研究領域「情報協働栽培」とは、それぞれの領域会議や、それぞれの領域が開催するシンポジウムやワークショップ、研究会において、他領域の研究者の参加や発表を認め合うこととし、研究者間の交流や新たな共同研究の促進を図った。また、第4回領域会議(2017年5月)は、さきがけ研究領域「情報協働栽培」と合同で開催した。

領域内及び領域間の研究者による共同研究が多数実施された。共同研究に必要な経費は、原則として各人のさきがけ予算により工面されたが、課題の発展が期待される融合研究の開始に予算的な支援が必要な場合は、予算見直しの際に募集が行われる追加支援制度(共同FS、次項参照)を活用した。さきがけ研究期間で計16件が採択され、一部は、見える形の成果としてNature PlantsやPlant Cell & Physiology等への論文発表や科学研究費補助金の獲得に至っている(後述)。また、6件は、さきがけ研究領域「情報協働栽培」の研究者との共同研究であり、合同領域会議等で領域間の交流の機会を与えた成果と認められる。

底流に共通の問題意識を持つ研究者間の共同研究以外に注目されるのは、技術的な核を中心にした共同研究も多く認められることである。例えば、市橋泰範研究者(一期生)の開発したBrAD-Seq法による高速安価なライブラリー作製技術、田野井慶太郎研究者(一期生)のもつ放射性同位元素のイメージング技術、菅野茂夫研究者(一期生)や横井彩子研究者(二期生)のゲノム編集技術、萩原伸也研究者(一期生)や高岡洋輔研究者(二期生)の化学合成技術、稲垣宗一研究者(三期生)のエピジェネティクスに関するChIP-Seq解析技術、米山香織研究者(三期生)のホルモン等の高精度分析技術等をあげることができる。

本研究領域では、さきがけ研究課題で初めてフィールドでの研究展開に挑戦した研究者も多い。農研機構に所属する研究者や圃場やハウスでの栽培に長けている研究者(犬飼義明研究者(一期生)、井上晴彦研究者(二期生)、田中佑研究者(二期生)、山本英司研究者(二期生)、横井彩子研究者(二期生)等)との研究協力や彼らの助言は、野外環境での栽培経験が乏しかった研究者や所属機関に十分な栽培施設のない研究者らの研究推進に大きく寄与した。

本研究領域では、以下に記すシンポジウム等を開催した。それぞれの趣旨は異なるが、研究者の将来に向けた糧となることを何よりも重視した。

本研究領域の研究者の研究期間終了に合わせて、成果報告会にあたるシンポジウムあるいはワークショップを日本植物生理学会年会及び日本育種学会講演会において開催し(三期生の成果報告会は、2021年3月開催予定)、それぞれ盛況であった。各会のプログラムは、研究者が主体となって作成したが、本領域の趣旨をよく理解しており、また、発表者にはそれぞれの学会に所属していないさきがけ研究者の発表も多く組み込むなど、本領域で広く分野横断的な研究を目指していることも、研究者らに深く浸透していることを実感した。

2018年10月18-19日に、本研究領域、さきがけ研究領域「情報協働栽培」、CREST研究領域「植物頑健性」、CREST/さきがけ研究領域「二酸化炭素資源化を目指した植物の物質生産力強化と生産物活用のための基盤技術の創出(略称：CO₂資源化)」(研究総括：磯貝彰)の4研究領域の若手研究者による、「植物関係領域合同若手研究会」を開催した。本研究会は、企画段階から各研究領域の研究者が参画する形で準備を進め、4領域の研究者が一堂に会し、互いの研究内容についての議論や企画セッションを行うことで、各自の研究の発展及び連携促進を図った。また、アメリカのNational Science Foundationで長く植物科学研究の振興に携わられたMachi Dilworth先生(当時、沖縄科学技術大学院大学 副学長)に特別講演「アメリカの植物・農学関係の研究の動向」をいただき、その後、グループワーク「次の戦略目標は我々が作る～ポスト植物領域はこれだ！～」により、植物科学研究における長期的な視点での重要課題を討議し、自らの研究へのフィードバックを期した。

2019年12月16-17日に、国際シンポジウム「International Symposium on the Future Direction of Plant Science by Young Researchers」を開催した。本シンポジウムは、植物科学分野を牽引していくことが期待される世界各国の若手研究者並びにさきがけ研究者を中心とする植物関連領域の若手研究者が会する場を設けて講演及び討論を行うことにより、参加研究者が今後の研究の方向性を明確にするとともに新たな国際研究ネットワークを構築することを目的とした。準備には、研究者らの主体性を尊重しつつ1年をかけた。まず、2018年12月の第7回領域会議において、上記「植物関係領域合同若手研究会」で行ったグループワークを研究者の自主企画として継続した。領域内の研究を10分野に分け、それぞれで今後進めるべき研究テーマの議論へと発展させ、その議論の結果を受ける形で、研究者たちが、将来を嘱望され(将来的に国際ネットワーク形成の核になる研究者となることが期待され)、長期に亘って交流を続けていきたい海外の若手(さきがけ研究者と同世代の)研究者をリストアップし、講演を依頼した。結果として、海外から6名の研究者(アメリカ2名、イギリス2名、スイス1名、オーストラリア1名)を招へいした。その多くはシンポジウム後にさきがけ研究者の研究室を訪問し、より濃密な情報交換を行った。すでに一部の招へい研究者との共同研究が始まっており、今後の国際ネットワーク形成にとって価値のあるものであったと判断している。海外からの招待研究者は、さきがけ研究領域で行われる研究の幅広さや融合研究の創出に向けた制度に感銘を受けていた。また、受け入れ担当の研究者からは、将来的に自ら主体となってシンポジウム等の準備をする際のよい経験となったとの声も聞かれ、将来のリーダーの育成というさきがけ制度の目的からも効果があったと考えている。

2020年2月16日に、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)(スマートバイオ産業・農業基盤技術)精密ゲノム編集コンソーシアムとの共催で「植物のゲノム編集基盤技術開発の現状と展望」を開催した。ゲノム編集は、植物の基礎科学研究における極めて有効な手法であると同時に、すでにゲノム編集技術を利用した有用植物が作出され始めているなど、作物育種の加速化にも必要不可欠な技術になりつつある中で、日本国内では、様々

なプロジェクト(内閣府 SIP、JST CREST・さきがけ、JST OPERA、NEDO など)でゲノム編集技術やその周辺技術(ゲノム編集酵素のデリバリー法やオフターゲット検出法等)の開発が進められている。その一方で、プロジェクト間の交流の場がほとんどなく、情報交換が不十分であることを踏まえ、プロジェクト横断的に、本研究領域の研究者と同世代の実務担当若手研究者に講演を依頼し、技術開発上の情報交換や社会実装に向けての問題点の議論を行った。技術開発を進めている若手研究者や利用を考えている研究者らによる情報交換の場としても意義があったと考えられる。

本研究領域の研究者それぞれが、海外の研究者と積極的に交流を進めている。実績として、国際共著論文数が、65 件認められる。また、横井彩子研究者(二期生)は、国際強化支援制度を活用し、*Agrobacterium*による形質転換メカニズムの分野で世界を先導している研究者 2 名(Lan-Ying Lee 氏及び Stanton B. Gelvin 氏)を約 3 ヶ月間招へいした。本研究課題に資する情報交換や共同研究を実施し、その一部はすでに共著論文として発表されている(New Phytologist 2021)。

さきがけ研究においては、戦略的創造研究推進事業の趣旨が新技術の開発であり、やがては社会実装を期待していることを研究者は理解しているが、個々の研究において想定するものが、現実社会において実現性のあるものかどうか、あるいは想定以外の新たな展開が可能ではないか等の気づきを得る場として、Science For Society (SciFoS)⁴やコンバージェンスキャンプ⁵の制度が JST の中に設けられている。本領域からは、田野井慶太郎研究者(一期生)、市橋泰範研究者(一期生)が SciFoS に、小宮怜奈研究者(三期生)がコンバージェンスキャンプに参加した。それぞれの研究者からは、企業の研究者と語り合うことにより研究の方向に関する気づきや出会いが得られ有意義であったと聞いている。

(3) 研究費配分上の工夫(拡大、縮小等も含めて、研究領域運営上の立場から)

研究者の各年度の研究予算計画に関しては、当該年度の研究計画や方向性に問題はないかを確認した上で予算計画との整合性がとられているかを精査した。総括裁量経費に関し

⁴ 「SciFoS (Science For Society)」は、自らの研究がどのような社会的価値を創造し、また、社会的ニーズを満たすものなのかを研究者自身が研究(室)の外に出て考え、再整理し、自分の研究を社会からの期待の中で位置付けなおす、JST 戦略的創造研究推進事業の取組み。

⁵ 「コンバージェンスキャンプ」は、企業の研究企画・研究開発・将来の事業検討に関わっている方、オープンイノベーションを担う方など、多様なステークホルダーとグループワークを行い、さきがけ研究を起点とした社会的インパクトの大きい重要課題を新たに発見したり、将来的な社会変革へのビジョンを想定するなど、研究構想のスケールアップを目指した、JST 戦略的創造研究推進事業の取組み。

⁶ 「共同 FS」は、将来的にさきがけ研究者同士での他ファンドへの提案や、企業との共同研究につながるような課題について、さきがけ研究者同士の場合は、各人 100 万円程度を上限とするフィージビリティスタディの支援制度。

⁷ 「研究加速・発展」は、目覚ましい成果や当初予期していなかった成果が出ており、研究計画を加速または拡大することによって、当初計画を超えた更なる成果が期待できると判断された場合の追加支援制度。

ては、2018 年度に 5,700 千円の配賦を受けることができ、その時点で増額による研究加速が見込まれた課題 14 件について、200 千円～700 千円の追加配賦をした。これ以外の増額支援については、原則として年 2～3 回行われる予算見直しに合わせて対応した。特に、「共同フュージビリティ(共同 FS)」⁶と「研究加速・発展」⁷を活用した。

研究者からの共同 FS、研究加速・発展を含めた増額申請があった場合には、費目間流用や予算の前倒し等では必要経費を捻出できないのか、本研究課題の新たな展開が期待されるかどうかについて吟味した。また、機器の導入においては、同等の性能を有す機器が利用可能ではないことを確認の上、導入後に共同利用を図る計画であるかどうかを重視した。地方大学では、共用設備の充実度や近い分野の研究者数が限られていることが多い。地方で努力している研究者をサポートすることは、地方大学での研究の底上げを図る意味でも重要と判断して措置を講じた。例をあげると、米山香織研究者(三期生)の移籍先(愛媛大学)に設置されていた既存機器の老朽化が激しく、本研究課題の推進には性能不足であることが明確であったことから、LC/MS/MS の新規導入経費の一部を追加支援(増額)した。本研究領域内には、米山香織研究者自身の研究のみならず、種々の植物ホルモンやその他の低分子生理活性化合物の分析が研究の進展に重要な位置付けとなる課題が多くあり、本導入機器の活用を通して、本領域の他の研究者からの依頼対応や共同研究の促進を促した。すでに本研究領域内で複数の新たな共同研究が進行しており、今後も有効に活用されることが期待される。別の事例として、本研究課題の推進に必須な機器と判断して、岡本暁研究者(三期生、新潟大学)には光合成測定装置の導入経費の一部を、山田晃嗣研究者(三期生、徳島大学)にはルミノメーターの導入経費を増額支援した。

その他の予算措置上の支援としては、泉正範研究者(二期生)、稲垣宗一研究者(三期生)に対して、移籍に伴い不足する機器の導入等の支援制度(スタートアップ支援、2018 年度開始)を活用し、本研究課題が滞ることなく継続されるよう増額措置を行った。

コロナ禍による研究への影響により研究期間の延長を希望した研究者には要望調査を行い、2 名に対して、研究体制を維持するために必要な固定的費用を追加配賦した。

(4) 研究領域としての人材の輩出・成長の状況について(キャリアアップ、国内外の顕彰・受賞や、国際会議での招待講演の状況等)

本研究課題期間中あるいは終了後(2021 年 1 月 1 日まで)に、31 名中 23 名が昇進した。内訳は、准教授あるいは研究員から教授あるいはチームリーダーへの昇進が 4 名、助教あるいは講師から准教授への昇進が 9 名、研究員から助教あるいは講師への昇進が 4 名、助教あるいは研究員・主任研究員から上級研究員への昇進が 5 名、助教から主任研究員への昇進が 1 名であった。さらに、数名が、2021 年 4 月 1 日付けで、あるいは、コロナ延長期間中に昇進した。このように、本研究領域の研究者の多くがキャリアアップを果たしていることから、本研究領域における研究者としての活動や実績が高く評価されたことがうかがえる。

多くの研究者が、賞を授与されている。中でも、文部科学大臣表彰若手科学者賞を8名の研究者が受賞したことは注目に値する(赤木剛士研究者(一期生)、岡本昌憲研究者(一期生)、山口暢俊研究者(一期生)、泉正範研究者(二期生)、東樹宏和研究者(二期生)、藤井壮太研究者(二期生)、山田晃嗣研究者(三期生)、山内卓樹研究者(三期生))。この内、赤木剛士研究者、東樹宏和研究者、藤井壮太研究者、山内卓樹研究者については、本研究課題の成果が顕著であることから、JSTより推薦した。また、2019年(第18回)日本農学進歩賞を、一度に3名の研究者が受賞した(赤木剛士研究者(一期生)、晝間敬研究者(二期生)、山内卓樹研究者(三期生))。2021年度にも、新屋良治研究者(三期生)と峯彰研究者(三期生)が受賞した。本賞は、広義の農学分野において「人類と多様な生態系が永続的に共生するための基盤である農林水産業およびその関連産業の発展に資するために、農学の進歩に顕著な貢献をした者を顕彰する」ものであり、本研究領域で進めている研究の方向性が広く認められたものとして意義深い。

その他、各種学会の奨励賞等も多数受賞している。例えば、泉正範研究者(二期生、第38回日本土壌肥料学会奨励賞)、高岡洋輔研究者(二期生、植物化学調節学会奨励賞)、田中佑研究者(二期生、第23回日本作物学会研究奨励賞)、晝間敬研究者(二期生、日本植物病理学会学術奨励賞)、稲垣宗一研究者(三期生、2020年度日本遺伝学会奨励賞)、峯彰研究者(三期生、日本植物病理学会学術奨励賞)、矢野亮一研究者(三期生、日本植物細胞分子生物学会奨励賞)をあげることができる。これらの実績は、それぞれの学会において、各研究者が相応の評価を受けていることを示すとともに、多様な分野で将来を嘱望される研究者が本さきがけ領域に参画していることを示している。

招待講演については、総計230件の発表がなされた。そのうち、国際会議での招待講演数は48件であった。さきがけの課題として進めている研究が、国際的にも認知され、また評価されていることを示すものと考えている。

(5) その他マネジメントに関する特記事項

横井彩子研究者(二期生)は、ライフイベントに対する支援制度を利用して研究期間を9ヶ月間中断し、相応の研究期間を延長した。さらに、新型コロナウイルス感染症による影響による措置として3ヶ月間研究期間を延長した。課題評価は、三期生とともに2020年度に行った。

寺田愛花研究者(一期生)は、残念なことに、体調不良により途中で研究の中止を余儀なくされた。

新型コロナウイルス感染症の影響を受けた課題の延長支援により、三期生の岡本暁研究者が3ヶ月間、同じく稲垣宗一研究者、新屋良治研究者、峯彰研究者、山内卓樹研究者、米

山香織研究者が6ヶ月間研究期間を延長した。課題評価は延長期間の終了後速やかに行った。

7. 研究領域としての戦略目標の達成状況について

(1) 研究総括のねらいに対する研究成果の達成状況

本資料3.「研究総括のねらい」で述べたように、本研究領域では、フィールドにおける環境変化に適応し、安定的に生育する植物を分子レベルから設計するための次世代基盤技術の創出に向けた挑戦性と独創性の高い研究提案を採択し、研究を推進するとともに、近未来の社会実装を目指してその分野の研究の推進を図り、加えて本研究領域の研究者が相互啓発によって成長することを意図して研究領域を運営した。

多数の応募者の中から採用した研究提案は、いずれも若手研究者らしい斬新なアイデアに基づく挑戦的な提案内容を含んでおり、本研究領域として設定した具体的な研究方向、①「植物の環境応答機構の定量解析に関する研究」、②「環境応答機構に関する数理モデル構築やバイオマーカーの開発に関する研究」、③「遺伝子改変と遺伝子導入の新たな技術に関する研究」に沿った独自性の高い研究テーマであった。予備的な研究成果にもかかわらず研究開始後に困難に直面し、方向転換を余儀なくされた研究テーマもあったが、多くの研究者は当初の目標を超えた研究成果を得ることができた。本研究領域の研究者間での議論や研究総括やアドバイザーの助言に基づいて、新たな視座から研究を展開させた研究者も多い。

以下に三つの研究方向に関わる研究から得られた成果を簡略に記す。

①「植物の環境応答機構の定量解析に関する研究」に関しては、大量トランスクリプトームデータを用いた共発現ネットワーク解析からカキの雄性器官と雌性器官の分化に関わるエピジェネティック制御機構を明らかにした赤木剛士研究者(一期生)、独自に考案した定量的指標土壌の水分含量に応答したイネ科作物の根の組織形成の可塑性を見出した山内卓樹研究者(三期生)、秒単位で光強度が大きく変動する野外の変動光条件下における光合成の立ち上がり速度を測定し、光合成誘導反応を増強するQTLを同定した田中佑研究者(二期生)、地球温暖化に関わる高温や高湿度環境下での植物-病原体の相互作用を迅速かつハイスループットに定量する技術を独自に開発して解析し、植物が免疫抑制を回避する新たな制御技術の開発を目指した峯彰研究者(三期生)は、いずれも新たな研究の地平を切り拓いた。さらに、放射性物質を用いた非破壊可視化技術の対象をイネやトウモロコシにまで拡大し、植物体内の物質動態の定量解析の基盤技術を創出した田野井慶太郎研究者(一期生)や、病原菌と宿主植物の長期間にわたる遺伝子発現動態を定量的網羅的に解析した吉田健太郎研究者(一期生)も注目される。

②「環境応答機構に関する数理モデル構築やバイオマーカーの開発に関する研究」のうち「数理モデル構築」に関する大きな成果を挙げた研究者として、日本列島全域の様々な生態

系における植物の根から得た膨大なメタゲノムデータから作物の生長促進などの「コア共生微生物」を特定した東樹宏和研究者(二期生)、効率的な数理解析手法を考案して多数の形質を同時改良する新たな育種設計手法を具体化した山本英司研究者(二期生)、虫害に対する混植による効果を、自ら野外で取得した膨大な実験データ独自に改良したインフォマティクス手法によって示した佐藤安弘研究者(三期生)などの名前を挙げるができる。独自に開発した解析ツールを用いてメロンのゲノムやトランスクリプトームデータベースを整備した矢野亮一研究者(三期生)、残念ながら体調不良のために研究期間途中で研究中断したが、生物生態のトランスクリプトーム解析に用いる無限次数多重検定法(LAMP)の並列アルゴリズムを新たに開発した寺田愛花研究者(一期生)の成果も注目される。「環境応答機構に関するバイオマーカー開発」については、植物ホルモン受容体に注目して独自の視点から展開した研究、構造生物学や化学生物学の手法を取り入れた斬新な方向からの研究、植物ゲノムのエピジェネティック制御機構に着目した研究、植物の根における微生物叢との共生系の重要性を追求した研究、植物の病虫害抵抗性の機序について新たな切り口から挑戦した研究など、多方面からの挑戦的研究が進展した。先端的な基礎科学研究としての貢献のみならず、新たな品種デザイン法の開発などに直結する研究成果が得られた。ABA受容体を強化することによって、節水型乾燥耐性コムギを創出する可能性を示した岡本昌憲研究者(一期生)、光合成機能の老化関連遺伝子の制御によって作物の光合性活性を維持しつつ収量増大を図る戦略の実用化の道を拓いた泉正範研究者(二期生)は波及効果の大きな成果を挙げた。構造生物学・化学生物学の手法を導入して新たなバイオマーカーの開発に挑戦した研究も特筆される。萩原伸也研究者(一期生)は、変異を導入した構造を改変した植物ホルモン受容体に結合するリガンドを設計またはケミカルライブラリーから探索し、低濃度で特定の器官の成長と機能に影響を与える系を開発した。高岡洋輔研究者(二期生)は蛍光色素を用いたリガンドと受容体との定量的な結合活性アッセイ系を開発し、ジャスモン酸受容体に結合する構造類縁体の中から生長阻害を引き起こすことなく、病原菌感染への抵抗性を示す分子を見出した。これらの成果は、構造生物学・化学生物学と植物生理学との連携による典型的な成功例として植物生育調節手法の新たな展開に寄与するものであり、学会でも注目された。一方、エピジェネティック制御に関する先端的な研究成果を得た研究者として、温度や日長などの環境情報を植物が世代を超えて長期間記憶する機構について解析し、DNAメチル化や複数種のヒストン修飾など複数の要因が関与することを示した山口暢俊研究者(一期生)、病原体の感染を経験した植物が感染記憶を保持し、二度目の感染時の防御反応が迅速かつ強力になるプライミング反応がエピジェネティックな制御システムによるものであることを実証し、病害抵抗性の高い作物を作出する新たな手法を提示した稲垣宗一研究者(三期生)、乾燥ストレスと根系発育とに関わるエピジェネティック制御系を見出した犬飼義明研究者(一期生)、イネの生殖器官で特異的に発現する長鎖 non-coding RNA を同定して機能を解析し、植物の non-coding RNA が持つ多様な生理機能の一端を明らかにした小宮怜奈研究者(三期生)が挙げられる。一方、植物の病虫害抵抗性の機序について新たな

切り口から挑戦した研究や植物の根における微生物叢との共生系の重要性を追求した研究も多く、成果を得た。新屋良治研究者(三期生)による植物寄生性線虫の繁殖様式に着目した挑戦的で独創性の高い研究は、植物の光合成能力や根への糖輸送活性が線虫の雄化を誘導する新たな可能を示し、病原性線虫における性決定遺伝子の同定や交尾行動に必須な性フェロモン物質の発見など新たな防除技術への展開が見込まれる。また、土壌・根圏微生物と植物間の協調的相互関係と競合的相互関係を区別する分子機構を解明した晝間敬研究者(二期生)、農業利用に不適とされてきたアルカリ性土壌における Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB)の機能を解析し、PGPBが有用な生物農業資材であることを示した井上晴彦研究者(二期生)、根圏の微生物環境が植物の成長に与える影響を網羅的に解析する系を独自に考案して新たな栽培技術を開発した市橋泰範研究者(一期生)、植物が糖トランスポーターを介して細胞外の糖を回収し病原体の糖摂取を阻害する機構を持つことを見出し、植物-病原体間相互作用における糖吸収の重要性を明らかにした山田晃嗣研究者(三期生)、根から分泌され、植物の生育を助ける菌根菌と植物との共生のシグナルであるストリゴラクトンに着目し、異種作物の混植効果を解析した米山香織研究者(三期生)の先駆的な研究も注目される。さらに、道管液中から環境応答に関わる分泌型ペプチドを解析した岡本暁研究者(三期生)の研究、核とオルガネラの協調的な制御機構の解明から環境に適応した光合成や呼吸能力の最適化を目指した大西孝幸研究者(一期生)の試みは、新たな品種デザイン法の開発につながる成果である。

③「遺伝子改変と遺伝子導入の新たな技術に関する研究」に関して、種間受精を妨げる種間障壁の分子機構を解明した藤井壮太研究者(二期生)の研究成果は、これまで極めて困難であった種間交雑による新たな遺伝育種技術の扉を開いたもので、大きなインパクトを与えた。また、花粉にCRISPR/Cas9システムを導入して精細胞または受精卵を直接ゲノム編集し、組織培養を経ずに個体を得る画期的な新手法を開発した水多陽子研究者(一期生)や、相同組換えによって既知の配列を標的遺伝子内に導入し機能獲得型変異体を作成するジーンターゲットング技術を改良し、簡便で再現性の高い技術を確立した横井彩子研究者(二期生)の研究成果は農作物の品種改良に直結する極めて重要な新技術であり、一部は実用化に向けたプロセスが進行している。また、塩基配列に依存してDNAに結合する Pyrrole Imidazole Polyamideを用いて植物ゲノムの配列選択的な新規操作技術の開発を目指した菅野茂夫研究者(一期生)の挑戦も評価される。また、ハイパースペクトルカメラを用いて植物体内の元素動態を非破壊的に高解像度で捕捉する手法を開発した神谷岳洋研究者(二期生)の研究は、カルシウムなど特定の元素が欠乏した栽培条件下で欠乏症状が顕在化する前の異常判別技術に応用可能であることを示したものとして注目される。

これらの研究成果については、さきがけ研究期間において先駆性の高い研究論文が多数発表され、国際的に高い評価を受けている(本資料 6. (3)参照)。領域全体として論文数は 178 報であるが、ほぼ全ての研究者が次の論文投稿を準備しており、さきがけ研究終了後も順調

な研究の進展が期待できる。国際発表における招待講演数は46件となっており、国際的な注目を集めた研究成果として評価されている。

本研究領域の研究期間の間または終了後に研究者としての成長が認められ、安定した研究職を確保または昇任した研究者も多い(本資料6.(4)参照)。

(2) 研究領域全体として見た場合の特筆すべき研究成果

各年度の研究課題評価において、2~3名の研究者を、特筆すべき研究成果をあげたものと認めた。以下に、各研究者の成果について概説する。

一期生

・赤木剛士「カキ属をモデルとした環境応答性の性表現多様化機構の解明」

赤木研究者は、六倍体栽培カキの花の雌雄性が環境依存的に変化する機構を解析し、それが small-RNA をコードする *OGI* 遺伝子とその標的遺伝子である *MeGI* 間の発現のバランスによって制御されていること、さらに、エピジェネティックな変化によって両方の遺伝子の発現が調整されていることを見出した。さらに、大量トランスクリプトームデータを用いた共発現ネットワーク解析によって、*MeGI* が雄性器官と雌性器官のそれぞれに独立した遺伝子経路を一括して逆向きに制御することにより、単一因子として単性花を成立させる機構を明らかにした。これらの成果は、植物の性決定因子の発現がエピジェネティックな揺らぎによって性表現の多様性として現れることを初めて明らかにしたもので、基礎科学及び作物学において極めて大きな成果である。赤木研究者は、さらに、同じツツジ目に属し、カキ属とは独立した性別決定機構を持つマタタビ属のキウイフルーツから性決定遺伝子を同定して *Shy Girl* と命名し、その生理機作がサイトカイニンシグナルの抑制であることを明らかにした。この遺伝子は、ゲノム倍化後の急激な適応進化によって新たな機能を獲得したと考えられた。カキとキウイの性別決定因子の研究から、系統特異的な全ゲノム倍化(古倍数化)がカキ属の花の雌雄性の多様化を駆動する原因となったことを示した。これは、植物の雌雄多様性の進化様式についての新たな提案であり、国際的に注目を浴びている。

植物種間で異なる性別決定の分子機構の解析という横方向の展開から、倍数化を鍵としたゲノム・エピゲノムの揺らぎ獲得による植物進化の一般化を探る研究が大きく発展すると期待される成果である。また、有用作物の単性花形成や同株異花作物の雌雄花の割合の人工的制御など社会実装に向けた研究展開も期待できる。

本研究成果の主要な部分は、*Plant Cell* 誌や *Nature Plants* 誌に発表され、プレスリリースもされた。

・岡本昌憲「化学遺伝学的手法を利用した乾燥ストレス適応型作物設計」

節水性と乾燥耐性の双方を向上した作物を作出することは、乾燥ストレスによる生産量の損失を軽減するための新たな品種改良の方向として注目を浴びている。岡本研究者は、ABA 受容体を過剰発現させた形質転換体コムギを作出し、葉からの蒸散量が低下しているにもかかわらず、光合成活性が向上したために、生育阻害が生じないことを見出した。この結果は、ABA 受容体を強化することによって、節水型乾燥耐性コムギを創出できることを示したもので、世界的に求められている作物育種の方向—穀物生産性を減らさずに水利用効率を上げる—に合致した品種改良の基盤となる可能性がある。分子生物学の基礎研究から農業利用に直結する研究成果を得たことは、本さきがけ領域の目標に合致する重要な成果である。

岡本研究者はさらに、フィールドで展開が困難な形質転換体を用いない方法を目指して、交雑によって実用化コムギ品種を生み出すために、多重合成コムギ集団から ABA 感受性が向上した系統を選抜し、乾燥耐性を示す実用品種と掛け合わせる準備を進めている。まだ萌芽的研究の段階であるが、遺伝的多様性が乏しいコムギに乾燥耐性を付与するための新たな育種に向けた基盤研究であり、また、コムギなどの乾燥被害は国内よりも海外でより広範囲で深刻であり、国際的な農業支援機関との連携がますます重要になると思われる中、他の作物への応用にも考慮しながら、さらに大きく展開することが期待できる成果である。

本成果の主要な部分は Nature Plants 誌に発表され、プレスリリースもされた。

・萩原伸也「植物ホルモン受容の可視化技術」

植物ホルモンは、植物体内外の環境シグナルを感知して的確な応答を促すシグナル分子として機能している。本研究は構造生物学やケミカルバイオロジーの手法を駆使して植物ホルモンの受容を可視化する新規な分子プローブを開発し、植物ホルモン、特にオーキシシンとストリゴラクトンの受容機構を制御することによって植物の環境応答機構を制御するシステムを開発し、フィールドでの使用が可能な技術の開発を目指す意欲的な研究である。オーキシシンは発生、分化、成長など植物の生活環の全般にわたり重要な役割を果たす植物ホルモンであるが、多くの生理機能に関与しているため、副作用を避けて望みの効果を起こすには特定の器官のみに対して処理する必要がある。この作業は非常に手間がかかるため大規模農業には適さない。萩原研究者は、変異を導入して受容体の構造を改変し、この改変型受容体に結合するリガンドを設計する手法を用いることにより、天然オーキシシンの 1 万分の 1 の低濃度で作用する人工オーキシシンを与え、特定の器官のみに効果を与える系を開発した。さらに、ストリゴラクトンの受容体に結合する化合物をライブラリーからスクリーニングし、この化合物を誘導体化してより高い結合活性を示す化合物を見出すことに成功した。主にアフリカで作物収穫に大きな損害を与えている寄生植物ストライガは、近傍の植物の根から分泌される土中のストリゴラクトンを感じて発芽し、その植物に近寄って寄生する。本研究において開発されたストリゴラクトン受容体に結合する新規化合物は、ストライガの発芽を阻害するので、ストライガによる汚染農地を回復する有効な手段となる可能性が

ある。さらに、ストリゴラクトン受容体の阻害化合物の中に、植物の枝分かれを増やす効果を示すものも見出している。これらの成果は、ケミカルバイオロジーと植物生理学の連携による典型的な成功例であり、植物生育調節手法の新たな展開に寄与するものとして、国際的にも高く評価されている。

本成果の一部は Nature Chemical Biology 誌に発表され、プレスリリースもされた。

二期生

・高岡洋輔「植物ホルモン活性のあいまい制御による環境応答バイオマーカー群の機能解明」

植物ホルモンが示す多様な活性は複数の受容体サブタイプが分担しており、個々の応答に関わる受容体サブタイプが同定できれば、1つの反応のみを亢進させ他の反応を抑制するなどの操作が可能になると考えられる。高岡研究者は、ジャスモン酸の受容体に結合するリガンド分子の定量的なスクリーニング法を開発し、合成したジャスモン酸の構造類縁体の中から生長阻害を引き起こすことなく、病原菌感染への抵抗性を示す分子を見出した。三次元立体構造解析から、この分子はシロイヌナズナが持つ共受容体(CO11/JAZ1-13)13種類のうち2種類とのみ結合すること、突然変異体による遺伝解析から JAZ9 サブタイプが病原菌抵抗性の獲得に主要な役割を持つことなど、ジャスモン酸シグナル伝達機構における重要な成果が得られた。これは、人工合成した化合物によって植物の生長と防御のトレードオフの関係が解消できる可能性を示唆するものとして新規性の高い重要な結果である。また、高岡研究者は、蛍光色素を用いたリガンドと受容体との定量的結合活性アッセイ系を開発して、一連の解析に用いたが、この手法はハイスループット化可能なリガンドのスクリーニング系として今後の活用が期待される。さらに、JAZ9 と JAZ10 に選択的なリガンドとして見出された新規化合物 NOPh は、植物の生長阻害を引き起こすことなく、病原菌耐性遺伝子の転写を選択的に活性化するが、生体内では JAZ10 ではなく JAZ9 を介して反応が進むことが明らかになった。

高岡研究者によるこれらの成果は、曖昧ではあるがある程度のサブタイプ選択性を持つリガンドを三次元結合シミュレーションなどの手法を用いて開発し、遺伝解析と組み合わせることによって、植物ホルモンがもつ多様な生理活性の中から特定の活性のみを制御する受容体サブタイプを同定することが可能であることを実証したものである。分子設計と *in vivo* での実証によって複雑な植物ホルモン活性の切り分けと受容体サブタイプの特定ができたことは、化学生物学の新たな成果として高く評価できる。

本成果の一部は Nature Communications 誌に発表され、プレスリリースもされた。

・藤井壮太「遺伝育種の拡張に向けた種間隔離メカニズムの解明」

遺伝育種において種間交雑は新たな形質を導入するための重要な手順であるが、異なる

種の間受精を妨げる種間障壁を打破しなくてはならない。種間障壁は多次元の生理機構が関与する複雑な現象であるが、藤井研究者は、様々なスクリーニング法を駆使して、シロイヌナズナと近縁のアブラナ科植物の間に見られる種間障壁因子、および同種認識シグナル因子の同定に成功した。まず、全ゲノム SNP 情報が利用できる約 300 のシロイヌナズナ系統を用いてシロイヌナズナの雌蕊に近縁アブラナ科のサンドストックの花粉をかけ、雌蕊内に花粉管の侵入を許す系統を探索した。GWAS によって選択したいくつかの候補遺伝子座についてノックアウト株の形質を確認し、*SPRI1* (*Stigmatic Privacy 1*) 遺伝子を見出した。通常シロイヌナズナ野生系統は他のアブラナ科種の花粉を受け付けないが、*SPRI1* 遺伝子が活性を失ったシロイヌナズナ変異体では、他種植物の花粉が侵入しやすくなっていることが明らかとなった。*SPRI1* は、種間障壁の第一の関門である異種の花粉排除に広く関わる遺伝子として初めて単離されたものである。一方、植物種の半数以上は、同じ個体の花粉とは受精せず、同種別個体の花粉と受精して子孫を残す自家不和合性という性質を持っているが、*SPRI1* タンパク質は自家不和合性を引き起こす分子メカニズムとは完全に独立した働きを持つことがわかった。さらに、*SPRI1* タンパク質の機能を破壊した系統に、自種の花粉を受粉させるより前に異種の花粉を受粉させておくと著しく受精効率が下がった。*SPRI1* タンパク質は異種の花粉が混在する野外環境下での種間のせめぎあいにおいて重要な役割を果たしていると考えられる。

同種の花粉が雌蕊先端に接着すると、雌蕊細胞から水分の供給を受けて発芽するが、異種花粉の中には供給されない場合がある。藤井研究者は、雌蕊からの水分供給を引き起こす花粉成分を「同種シグナル因子」と位置付け、その単離同定を目指した。まず花粉の表層成分を感知して雌蕊が発光するレポーターシステム (PCCF アッセイ) を開発し、変異源処理したシロイヌナズナの花粉をレポーターラインに受粉し、プレートリーダーを用いてシグナル活性を欠損した変異体のスクリーニングを行なった。変異体 7 系統を見出し、並列シークエンサーを用いて原因遺伝子を同定したところ、そのうち 4 つの系統で同一の遺伝子に変異が見出され、これが原因遺伝子の一つであることがわかった。これらの成果は、地道な研究の積み重ねによって種間障壁の分子機構の解明に新たな展望を切り開いたものであり、独自性の高い優れた基礎研究である。また、今後様々な植物種の遺伝育種に幅広く利用される基盤となる研究である。

本成果の一部は Nature Plants 誌に発表され、プレスリリースもされた。

三期生

- ・新屋良治「寄生線虫性転換を誘導する環境/植物シグナルの解明」

植物寄生線虫は農作物および樹木に感染し、甚大な被害をもたらす植物病害虫の 1 グループであり、農作物被害額は全世界で推定 8 兆円と推測されている。近年環境への悪影響の懸念から、線虫防除に有効な土壌消毒剤の使用が禁止もしくは制限され、さらに殺線虫農

薬に対する線虫の抵抗性獲得が確認されていることから、新しい線虫防除手段の開発が急務となっている。新屋研究者は、「殺す」防除から多様な防除手法を組み合わせた「被害許容水準以下に抑える」防除手法への転換を目指して、植物寄生性線虫の繁殖様式に着目し、以下の研究成果を得た。(1) サツマイモネコブセンチュウは多種多様な農作物に被害をもたらす重要害虫であり、基本的に雌単独の単為生殖により増殖するが、雄は宿主に寄生しないので、農作物に被害を与えない。雄の出現頻度を高める条件を見出すことは新たな防御法の開発につながるとのアイデアに基づいて、宿主であるトマトの栽培条件を検討し、弱光条件下で栽培すると、有意に雄線虫の出現数が増えることを見出した。この結果は、植物の光合成能力や根への糖輸送活性が線虫の雄化を誘導する新たな可能性を示唆している。さらに、詳細な解析のためにシロイヌナズナを用いたネコブセンチュウ感染系を新たに構築し、条件検討を行っている。(2) 雌雄同体の生殖様式と短い世代期間を有するオキナワザイセンチュウを用いて、性決定機構を明らかにした。EMS 処理によって4系統の偽オスを生じる変異体を得たが、いずれも非寄生性のモデル線虫 *C. elegans* で同定された性決定遺伝子 *tra-1* のホモログに変異を有することを明らかにした。さらに RNA-Seq の解析から、オキナワザイセンチュウの性決定カスケードは上流に位置する遺伝子に大きな違いがあり、反対に下流に位置する遺伝子は基本的に *C. elegans* と同じであることが示唆された。この成果は糸状菌食/植物食線虫グループにおける最初の性決定遺伝子の同定である。(3) 雌雄異体で交尾により繁殖するタイプの植物寄生線虫種の防除を目指して、正常な交尾行動に必須な性フェロモン物質の探索を試みた。マツノザイセンチュウおよびオキナワザイセンチュウを用いた走化性検定とガスクロマトグラフ質量分析から、4種類の化合物が雄特異的な誘引活性を示すことを明らかにした。これは線虫全体において初めて同定された揮発性の性フェロモン物質である。さらに、*C. elegans* の雄を有意に誘引する化合物を特定し、雄特異的ニューロン CEM を介して受容していることを示した。(4) 線虫の性比に影響を与える化合物を探索する目的で、ケミカルスクリーニングを行なった。解析した 1,800 種類の化合物の中には性比に影響を及ぼす化合物は見出されなかったが、線虫の死亡や行動異常を誘導する化合物を複数確認した。新たな殺線虫農薬として期待できる。いずれも独自の発想に基づいた新規性の高い研究であり、さきがけ研究期間内に大きく展開した研究の成果である。

・山内 卓樹「気候変動への適応を支える根の形質可塑性の分子基盤の解明」

気候変動による干ばつや冠水の増加により、今後農作物の生産性が著しく低下することが懸念されている。耐乾性や耐湿性に貢献する形質を理解し、将来の気候変動に耐性をもつ作物品種の育成が必要だが、圃場環境における土壌水分は断続的に変動しており、一定の環境を想定した既存の耐性育種では限界がある。植物の根は内側から中心柱、皮層および表皮に分けられるが、中心柱内の導管は土壌からの水分の輸送を担う一方、皮層内の通気組織は地上部から根端部への酸素供給を担うとともに細胞数を減らして根の呼吸を抑える。山内研究者は、耐乾性や耐湿性をもつイネ科野生植物種の根の解剖学的特徴の解析から、二つの

定量的指標 [皮層/中心柱の面積比 (Cortex/Steale Ratio: CSR) と通気組織の占有率 (Aerenchyma/Cortex Ratio: ACR)] を見出し、これらの指標を作物の耐乾性・耐湿性強化に応用するための基盤を作ることを研究目標とした。イネ科作物の中で冠水土壤に適応したイネは畑作物のコムギやトウモロコシと比べて顕著に高い CSR と ACR をもつ(皮層と通気組織の面積比が大きい)こと、植物種を問わず CSR と ACR には可塑性があり、冠水による低酸素条件に応答して皮層と通気組織の面積比が大きくなることを示した。さらに、ソルガムの標準系統と在来系統を両親とした組換え自殖系統を用いて CSR と ACR 値を決定する QTL を同定し、CSR を制御する候補遺伝子を二つ選抜した。それぞれオーキシン代謝関連酵素および組織の発達を制御する転写因子をコードしており、環境依存的な発現量に系統間差がみられたことから、オーキシンの量的制御と転写因子を介した遺伝子発現制御が CSR の系統間差を規定するだけでなく、CSR の環境依存的な可塑性にも関わることを示唆された。また、圃場での断続的な干ばつや冠水を想定した土耕栽培の条件を設定してソルガム系統を栽培し、CSR の可塑性の高い系統は土壤水分含量の変動に対して高い耐性をもつことを明らかにした。さらに、イネのオーキシンシグナル伝達の変異体の解析から、オーキシンが ACR に関与することを示し、通気組織形成率を回帰したモデルを考案して根の形質を細胞の齢に依存して評価する手法を確立した。自ら見出した定量的指標を駆使することにより、将来の気候変動耐性型作物の育成に向けた基盤を提供する独創性の高い研究成果である。

本成果の一部は Plant Physiology 誌や Proceedings of the National Academy of Sciences USA 誌等に発表され、プレスリリースもされた。

(3) 研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献

原著論文の発表数は、178 件であった(2020 年 10 月 31 日時点) (コロナ延長期間を含めた、最終的な領域終了時点では、189 件)。発表は全て英語で行われている。これらの中でも、国際的に注目度が高い総合誌や、各専門分野で特に高い評価を受けている雑誌への原著論文の発表としては、Science (2 報)、Chem (1 報)、Science Advances (2 報)、Nature Chemical Biology (1 報)、Nature Communications (9 報)、Microbiome (1 報)、Autophagy (1 報)、Cell Host and Microbe (1 報)、Nature Plants (10 報)、EMBO Journal (1 報)、Plant Cell 誌(6 報)、ACS Central Science (2 報)、Current Biology (1 報)、Proceedings of the National Academy of Sciences USA (4 報)、Communications Biology (4 報)、New Phytologist (6 報)、Plant Physiology (4 報)、Plant, Cell & Environment (1 報)、Plant Journal (4 報)、PLoS Genetics (1 報)、Journal of Experimental Botany (3 報)等をあげることができる。中には、東樹宏和研究者による、互いに機能の異なる共生微生物を 1 個体の植物体内で共存させる「コア微生物叢」設計技術の考案 (Nature Plants 2018) や、泉正範研究者による、不要な葉緑体を丸ごと除去するオートファジー経路「クロロファジー」の発見 (Plant Cell 2017) など、高被引用数論文として選出されたものも含まれる。また、

総説でも、Nature Plants (1報)、Current Opinion in Plant Biology (5報)、Molecular Plants (1報)、New Phytologist (1報)、Journal of Experimental Botany (1報)などの国際的に評価の高い雑誌への発表がなされている。これらの実績は、本領域の研究が、独創性・先駆性を有したものであり、国際的に見ても高い水準にあることを示すものと判断している。

論文発表 24 件についてプレスリリースが行われた。以下に主なものを記す。

- ・柿の「揺らぐ性別」の仕組みを解明 ～エピジェネティックな記憶がつくる植物の柔軟性～(赤木剛士、Plant Cell 2017)
- ・キウイフルーツの性別決定遺伝子を発見 ～植物が「性別」を獲得した進化過程の解明へ～(赤木剛士、Nature Plants 2018)
- ・干ばつに強く、水を節約して育つコムギの開発に成功 ～乾燥地での食糧増産や安定供給に期待～(岡本昌憲、Nature Plants 2019)
- ・有機化学と合成生物学を駆使して植物ホルモンの作用をハイジャック ～化学の力でダーウィンの見つけた植物の運動の謎に迫る～(萩原伸也、Nature Chemical Biology 2018)
- ・植物の病原菌感染を防ぐ画期的な植物免疫強化剤を開発 ～植物免疫の歴史的難問「生長と防御のトレードオフ」を解決～(高岡洋輔、Nature Communications 2018)
- ・コア共生微生物で持続可能な農業生態系を設計する ～微生物叢の機能を最大化する新たな科学的戦略を提案～(東樹宏和、Nature Plants 2018)
- ・日本列島の多様な菌から農業利用可能なものを選別 ～植物 150 種と真菌 8080 系統からなる巨大ネットワーク・データ～(東樹宏和、Microbiome 2018)
- ・同種と異種の花粉を区別する分子を発見 ～種の壁を自在に制御する技術の開発に期待～(藤井壮太、Nature Plants 2019)
- ・「未知のゲノム領域」が支えるお米の生殖 ～雄しべと雌しべの成長をコントロールするマイクロ RNA を発見～(小宮怜奈、Nature Communications 2020)
- ・日本産高級マスクメロンの全ゲノム情報を解読(矢野亮一、Communications Biology 2020)
- ・イネの水田での生育を支える通気組織形成の仕組みを解明 ～イネ科畑作物の耐湿性育種に向けた新たな道筋～(山内卓樹、Proceedings of the National Academy of Sciences USA 2019)
- ・植物の根の形質を時間依存的に評価する手法の確立(山内卓樹、Plant Physiology 2020)

このように、研究成果は一流誌にも積極的に発表された。また、顕著な成果の多くが、社会に向けてわかりやすく情報発信もされた。現在準備中の成果もあり、今後さらなる発信が期待できる。

(4) 研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献

特許の出願は計 8 件行われた。

本領域の研究のねらいの一つとした、「遺伝子改変と遺伝子導入の新たな技術に関する研究」(本資料 3. (1)を参照)に関して、ゲノム編集の新規技術の開発に係る研究が数課題で推進された。それらの中でも、水多陽子研究者(一期生)が取り組んでいる、花粉を対象とする新たなゲノム編集技術の開発は、社会実装の点で先行している。花粉のゲノム編集は次世代へ伝わるゲノムの直接編集となることから、組織培養を経ずにゲノム編集個体を得ることを可能とし、その結果、従来は育種改良が困難であった植物においても、品種改良の質とスピードが飛躍的に高まることが期待される技術である。すでに 4 件の特許が出願されている。JST A-STEP 産学共同フェーズの資金援助も受けつつ、企業との連携の下で研究開発が進められている(次項参照)。

土壌の質は農業生産性に大きく影響する要因であり、土壌中に存在する多種多様な微生物を制御する手法の開発は、生産性を維持しつつ環境負荷を低減しようとする今後の農業において、極めて重要な課題とされている。本領域の研究課題の中にも、この社会的課題の解決を目指しての新たな取り組みに挑戦した課題が複数ある。それぞれが将来的な社会実装を念頭におきつつ、異なるアプローチで研究を進めているが、それらの中から以下に二つの事例を記載する。

東樹宏和研究者(二期生)は、内生菌が「コア微生物」として共生叢全体の動態を制御している可能性に着目して研究を進め、内生真菌を利用して機能と頑健性を高めた「コア微生物叢」を設計するアルゴリズムを開発した。この新規手法について、知財確保を行う一方で、2020 年 1 月にはベンチャー企業(サンリットシードリングス株式会社)を立ち上げた。すでに減農薬栽培を目指した企業との共同研究や菌資源を活用した森林作りなど、さきがけ研究で開発した技術を社会に還元する活動が順調に開始されている。今後、微生物叢の分析・設計・制御を中核としつつ、生態系を俯瞰的に設計する技術として、さらに発展することが期待できる。

市橋泰範研究者(一期生)は、植物と微生物叢全体を超個体として捉え、オミクス解析等を駆使して、超個体としての生命活動ネットワーク構造の解明に取り組んだ。その中で、自然の物質循環である有機物と根圏微生物叢の相互作用がもたらす農作物への効果が明らかにされ、現在は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の課題責任者として(次項参照)環境共存型農業を実現するための、バイオデジタル化技術の開発と農業現場への適用に向け、企業とともに取り組んでいる。なお、大規模オミクス解析を支えるハイスループット化技術を整備している(一部は特許出願済)。

その他、社会的な貢献に関する実績や活動としては、以下をあげることができる。

矢野亮一研究者(三期生)は、メロンのデータベース「Melonet-DB」を開発している。これは、新たに解読した国産高級マスクメロンの標準系統である「アールスフェボリット春系3号」及び他の遺伝資源7系統、さらに既知情報をあわせた塩基配列情報と遺伝子情報を含む充実したデータベースであり、予測遺伝子については、ウリ科ゲノム全体の中でも最高レベルの網羅性を有する遺伝子セットでもある。さらに、視覚的に遺伝子機能を解析可能な「遺伝子発現アトラス」や「共発現解析ツール」を開発・実装しており、すでに企業や育種に携わる研究者にとって貴重な情報源かつ解析ツールとなっている。

田野井慶太郎研究者(一期生)は、植物を対象とする放射性同位体(RI)を用いた解析に関心のある研究者の自由な情報交換の場 BRIng (Bio-environmental and Radiological Imaging Network Group)を、中核メンバーとして立ち上げた。植物体内の物質の動態を非侵襲で追跡する技術は高い価値を有することから、本領域内でも、RIをイメージングする技術やRIをトレーサーとして利用する技術を活用した共同研究が複数進んでいるところであるが、さらに、(公社)日本アイソトープ協会と連携し、広く植物科学関係研究者を対象として成果情報の発信や研究上の相談への対応を行っている。

(5) 本研究領域に続く研究資金の獲得状況

各研究者は、それぞれの研究課題のさらなる発展や、さきがけ研究を進める中で得た新たなアイデアの検証、研究者間での交流が契機となった新たな研究展開の実現に向け、積極的に外部資金獲得への挑戦を続けている。

基礎研究面での実績としては、科学研究費補助金の基盤研究、若手研究、萌芽研究、新学術領域研究の他、国際共同研究加速基金、学術変革領域研究(B)等に研究代表者として計30件採択されている。その他、財団の助成金には6件が採択されている。これらの中には、共同FS制度による共同研究が発展して研究費の獲得に至ったものも含まれている。

大型研究予算の獲得に至ったケースも多い。以下に社会実装に向けた取り組みを進めている採択課題を中心に事例を記載する。

市橋泰範研究者(一期生)は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期スマートバイオ産業・農業基盤技術「合成生物学等を駆使した革新的な食素材・品種育成技術の開発」において、「農業環境エンジニアリングシステムの構築と植物-微生物共生を活用した営農法等の開発」課題の研究責任者として、環境共存型農業を実現するための、バイオデジタル化技術により新しい評価軸となる農業環境エンジニアリングシステムの構築に取り組んでいる。本研究開発は、さきがけ研究での土壌微生物叢のオミクスデータ解析技術の成果の社会実装に向けた、企業も含むコンソーシアムとしての取り組みである。(前項参照)

水多陽子研究者(一期生)は、JST A-STEP 産学共同フェーズの研究代表者として、日本製粉株式会社と「花粉による新植物育種技術の開発」課題に取り組んでいる。産学共同フェー

ズへの採択は容易ではなく(採択率 13.4%)、本研究課題の成果としての特許出願(前項参照)が基礎となつてのものであり、社会実装への発展が期待されるものとして価値が高い。また、本年度開始された学術変革領域研究(B)「細胞運命操作による植物生殖システムのリモデリング」(領域代表:丸山大輔)においても、計画研究課題として「1細胞追跡による花粉の精細胞の運命と受精能を決定するメカニズムの解明」が採択された。極めて難関であり(採択率3%)、植物分野からは唯一の採択課題でもある。

萩原伸也研究者(一期生)は、JST 未来社会創造事業「持続可能な社会の実現」領域に提案した課題「分子で実現する迅速育種技術」が、2020年11月に採択された。本提案課題は、花成の促進、自家不和合性の制御、相同組換えの促進などの育種上の課題を解決する分子の開発を目的としているが、共同研究者の泉正範(二期生)、菅野茂夫(一期生)、赤木剛士(一期生)、藤井壮太(二期生)は全て本研究領域への参画者である。彼らはさきがけの研究課題を協力して発展させ、社会実装につなげようとしている。

岡本昌憲研究者(一期生)は、JST-JICA SATREPS 課題「スーダンおよびサブサハラアフリカの乾燥・高温農業生態系において持続的にコムギを生産するための革新的な気候変動耐性技術の開発」(研究代表者:辻本壽)に2019年度より参画し、さきがけ研究において選抜した耐乾性コムギが暑い地域で実用可能かどうかの実証に取り組んでいる。

犬飼義明研究者(一期生)は、NEDO ムーンショット型研究開発事業「光スイッチ型海洋分解性の可食プラスチックの開発研究」(2020年10月～2030年03月、代表:北陸先端科学技術大学院大学 金子達雄)に参画し、開発課題「植物バイオマスを利用した物質生産プラント」において、根系に着目した新しいゲノム育種法の展開を担当している。

東樹宏和研究者(二期生)は、ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム(HFSP)の2019年度のプログラムグラントを受賞した。研究課題「Tracking trade across symbiotic networks」において、分子生物学と理論生態学を融合したアプローチでの共生微生物叢の関係性解明に取り組んでいる。

矢野亮一研究者(三期生)は、「世界初の高度複合病害抵抗性メロン品種の開発と次世代型育種基盤の開発」(研究代表者:川頭洋一)における分担者として、参画企業とも協力しつつ、矢野亮一研究者が開発した Melonet-DB の充実とゲノム育種基盤の開発に取り組んでいる。

藤井壮太研究者(二期生)は、サントリーSunRiSE 生命科学研究者支援プログラムに、2020年12月「植物の有性生殖における雌雄相互作用分子の探索」の課題で採択された。

菅野茂夫研究者(一期生)は、CREST 研究領域「ゲノムスケールのDNA設計・合成による細胞制御技術の創出」において、研究課題「電界誘起気泡及びDNA ナノ粒子結晶による長鎖DNAの導入・操作技術の研究(研究代表者:山西陽子)」の主たる研究者として参画している。

赤木剛士研究者(一期生)は、さきがけ研究領域「植物分子の機能と制御」において、研究課題「ゲノム・遺伝子倍化が駆動する植物分子の新機能の探索とデザイン」が採択され、2020年12月より研究を開始した。

2021 年度には、さきがけ研究者がチームを組んで提案した課題が学術変革 B に採択された。また、創発的研究支援事業に 2 年間で 4 名が採択されており、さきがけ研究のさらなる発展が期待される。その他にも、採択には至らなかったが、本研究領域での出会いが契機となり、さきがけ研究者らが共同しての研究費の申請も多く認められる。中には、新学術領域研究(研究領域提案型)への共同出願もある。今後も、相互の交流が続き、新たな研究展開が図られることを期待している。

8. 総合所見

(1) 研究領域のマネジメント

本研究領域の推進においては、フィールドにおける環境変化に適応し、安定的に生育する植物を分子レベルから設計するという戦略目標に沿った意欲的な研究を提案したさきがけ研究者を採択し、選ばれた研究者が独創的先端的な研究成果を得るように支援する体制を構築して運営した。JST の全面的なバックアップ体制の中で JST 担当者には研究費の管理、論文発表時のプレスリリース、領域会議やサイトビジットの設定、学会や国際シンポジウムの準備など多くの作業に協力をいただいた。本研究領域がカバーする幅広い研究分野に通じた専門研究者や専門性の高い農業実務者をアドバイザーとして委嘱し、研究総括と協力してさきがけ研究者の後見役としての役割を果たしていただいた。さきがけ研究者には、自らが提案した研究目標に向けてじっくりと研究を遂行するように要請した。これらの支援体制のもとで、当初目標に到達または肉薄した研究成果が得られている。

一方、研究者自身では対処が困難な問題、例えば所属する研究機関への依頼・交渉などの問題については、研究総括と JST 担当者ができるだけ迅速に対応するように心がけた。領域会議では時間的な制限のために、さきがけ研究者から悩みや問題を聞くことが必ずしも十分にはできなかったが、各さきがけ研究者を实地訪問し研究環境を確認するサイトビジットを研究開始直後と研究期間中に複数回行うことによって、研究の進展状況や問題点をしっかり聞き出して助言し対応することができた。2020 年度には予期せぬ新型コロナウイルスの感染蔓延があり、その影響を受けた三期生研究者は研究の遅延を余儀なくされたが、研究期間及び研究費使用期間の延長など JST の機敏な対応によって影響を少なく抑えることができたと考えている。

本研究領域において採択された研究者にとって、専門分野が多岐にわたっているために所属機関や所属学会等では接する機会がなかった他分野の研究者たちと出会う機会を得たことは大きい。議論の中で自身の課題に対する新たな視点や対応を学び、新たな研究手法や研究材料を導入するなど、相互触発による研究の展開が見られ、予想以上に多数の領域内共同研究が生まれた。研究期間途中や終了後にキャリアアップした研究者も多い。これは、高い探究心を持ち、自ら成長していく潜在的な力を備えている優秀な若手研究者を採択した

結果であるとともに、研究者間の競争と協力を誘発し、優れた研究人材を育成する場の提供を意図したさきがけ研究システムが機能したことを示している。

さらに、本さきがけ研究は、同じ戦略目標の下で設定された CREST 研究領域「植物頑健性」およびさきがけ研究領域「情報協働栽培」と同時に発足しており、これらの「兄弟プロジェクト」とは研究内容や研究手法において共通する部分も多い。研究総括間で相談して領域会議への相互参加やシンポジウムの合同開催など研究者交流と情報交換の機会を作り、共同研究を推奨した。その結果、領域間で複数の共同研究が開始され、CREST 研究領域に参画する研究者も誕生した。

(2) 研究領域としての戦略目標の達成状況

本研究領域では、フィールドにおける環境変化に適応し、安定的に生育する植物を分子レベルから設計するという戦略目標に沿って、(1)モデル植物から作物や実用植物を対象とした研究への転換、(2)野外環境に応答した植物成長の定量的な解析、(3)農学・理学分野と工学・情報科学分野双方の研究手法を組み込んだ新たな研究展開、を志向する独創的・先端的な研究計画を提案した研究者を採択した。選ばれた研究者間の交流と相互啓発によって、また総括やアドバイザーからの助言に沿った研究が展開され、農学の基盤となる新たな研究分野を開拓する研究成果であるだけでなく、社会実装への視点からも注目される研究成果が多数得られた。

なお、戦略目標において「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「次世代型農林水産業創造技術」等の出口戦略と有機的に連携し、本戦略目標の下で行われる研究の成果が着実に展開されることが期待される」とされている点に関して、2020年2月に、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(スマートバイオ産業・農業基盤技術)精密ゲノム編集コンソーシアムとの共催で「植物のゲノム編集基盤技術開発の現状と展望」を開催した。また、戦略目標においては、「実証を伴う課題設計のためには、農作物の実地的栽培環境と同等の条件で植物を栽培・管理する環境を備える機関の参画が期待される」とされているが、本さきがけ研究領域に採択された研究者の中には、農研機構に所属する研究者や圃場栽培に長けている研究者が含まれている。また、さきがけ研究を契機として圃場栽培に取り組んだ研究者も少なからずおり、本領域が求めた「野外環境に応答した植物成長の定量的な解析」に向けて真摯に取り組んだ。研究開始時点では所属機関に野外環境に準ずる施設が十分には整っていない場合においても、施設を持つ領域内研究者との共同研究や所属機関の理解によって施設整備が可能となるなど、しっかり対応できたことを付記する。

(3) 本研究領域を設定したことの意義(研究開始以前と事後評価時点の比較を念頭において)

本研究領域は、戦略目標「気候変動時代の食料安定確保を実現する環境適応型植物設計システムの構築」のもとで設定された三つの研究領域の一つであり、他の研究領域、CREST 研究領域「植物頑健性」およびさきがけ研究領域「情報協働栽培」とは研究目標と研究内容を分担するとともに密な連携が求められた。この戦略目標は、喫緊の解決が求められている国際的な食料問題への対応として、(1)基礎植物科学において発展し蓄積されてきた知見・手法・データを基盤として、フィールドにおける実環境下で網羅的定量的に取得し、情報科学の考え方と手法を取り入れて統合解析すること、(2)環境に応答した植物・作物の生育の予測モデルを作成し、栽培して実証することを達成目標としている。本研究領域は、主として目標(1)を担当したが、(a)実験室内の定常的な環境下における植物の環境応答機構の精密な遺伝子レベルの解析から非定常的で多数の要因が関わるフィールド環境での解析への発展、また逆に、フィールド研究における遺伝子レベルでの網羅的かつ定量的なオーム解析技術の取り込み、および、(b)植物科学や農学への情報/計算科学手法の活用、を縦横の軸として、意欲的で意識の高い研究者を採択し研究を支援してきた。これら二つの軸に沿った研究の重要性と具体的な研究成果については、論文発表の他にも関連学会におけるシンポジウムなどで報告したことによって、本さきがけ研究期間の間にも基礎植物科学、農学、および情報・計算科学の学生や研究者に浸透していったことを実感している。また、研究開始時にはバックグラウンドが異なる植物科学研究者・農学研究者・情報/計算科学研究者がそれぞれ自身の課題や問題点を持ち寄り、互いに解決策を議論して、共同研究や研究連携の形で成果を出すことが想定されていたが、本領域の総括としてさきがけ研究を見てきた経験からは、そのような形態よりも研究上の問題点や将来性を自覚した研究者が自ら異なる研究分野を学んで使いこなす意欲を持つことがより重要で効果的であることが明確になったと考えている。もちろん、多様な研究背景を持つ優秀な研究者が集まった本研究領域での議論が研究者の自覚と覚悟を後押ししたことは間違いがない。さらに、同じ戦略目標の下に発足したCREST 研究領域「植物頑健性」とさきがけ研究領域「情報協働栽培」とは領域会議での陪席や研究成果の発表などを通して、情報交換と研究者の交流を試みた結果、新たに共同研究が開始されるなど研究が多角的に大きく展開した。国際的な研究リーダーを育てることは、優れた研究成果を出すことと並ぶ「さきがけ事業」の目的であるが、本研究領域はこの点においても貢献できたものと自負している。

同じ戦略目標の下で発足した3領域では、それぞれの領域目標の達成に向けて生物系にとどまらない幅広い分野の研究者が参画、協働し、大規模データの取得や分析、解析技術の開発を進めてきた結果、異分野融合により形成された新たな生物学の領域が、基礎から応用に至る幅広い目標に向けて大きな成果を挙げつつある。この流れを将来に向かってさらに大きく発展させ、既存の学会の枠や分野に囚われない自由な発想に基づく新たな植物科学を目指して様々な活動を行なっていくことを目的に、CREST・さきがけの上記3領域の研究総括が中心となって「超分野植物科学研究会」を2020年9月に設立した。2021年6月3～4日には、第1回研究会が開催され、3領域外からの参加者を含む329名（登録ベース）の

参加を得た。このことは、戦略目標と3領域の目指した方向性が多数の研究者の賛同を得ていることを示すものであり、今後の新たな展開を期待している。

(4) 科学技術イノベーション創出に向けた、今後への期待、展望、課題

本研究領域では、基礎的な学術分野である植物科学・情報科学と農学との橋渡しを目標としており、得られた研究成果が科学技術の進歩に貢献することは間違いがない。発表論文が国際的に評価された例も多数ある。一方、さきがけプロジェクトは、先端的・独創的な研究を世界に先駆けて試みることに主眼であり、直ちに科学技術イノベーションの創出に結びつくことは必ずしも明確ではない。しかしながら、多くの研究者は戦略研究推進事業（さきがけ）の趣旨を理解しており、研究過程で得られた知見・成果を社会実装に向けて展開していこうとする意識をもっている。すでにA-STEPや企業との共同研究に発展している研究課題も少なからず認められる。JSTには、研究成果の中から特許など実用技術としての申請や産学連携共同研究への展開を支援する制度が設けられている。何人かの研究者はこの制度を活用して、さらなる研究展開を図っているが、さきがけ研究期間が終了した研究者も対象とされていることから、今後もさきがけ研究課題を推進する中で見出した技術シーズの成果展開が果たされるものと期待している。

(5) 所感、その他

異なった研究背景を持つ意欲的な若手研究者を集め、近未来の課題解決に向けた研究を推進するさきがけ研究のシステムからは、これまでも国際的に注目され、イノベーション創出につながる研究成果が得られているが、本さきがけ研究領域についても同様の成果が得られたと考えている。さきがけ研究は、広い視野と長期的な見通しを持つ国際的な研究リーダーを育てる場としての機能も期待されているが、そのような自覚を持つことができたとの研究者の感想もあり、この点においても満足すべき成果があったと考えている。また、研究遂行のために適切なポジションが得られなかった研究者がさきがけ専任研究者として研究の場を確保するシステムが用意されているが、複数の研究者がこのシステムを利用して大きな成果を得ることができた。

このように、さきがけ研究に採択された研究者は潤沢な研究費と研究に専念できる場所と時間を得た一方、採択した研究提案に匹敵する独創性・先端性の高い研究提案にもかかわらず、やむを得ず不採択とした研究者がいたことを心残りに感じている。本さきがけ研究で採択した研究者の数は2015年度の応募者数の8.2%（12/146）であり、2016年度と2017年度はそれぞれ11.9%（10/84）と11.6%（10/86）であった。初年度の応募者数は予想を超えていたが、二、三年度の応募者数が少し減ったのは初年度の競争率の高さを敬遠した結果ではないかとも考えている。採択できなかった研究者の中には他の研究費を得て研究を遂行

した研究者もいるであろうが、アイデアの実現を断念した研究者も多いことと思われる。近年は大学院博士課程に進学し研究者を希望する若者が激減しており憂慮されているが、若手研究者が研究と教育に専念することが困難な最近の状況を身近に見聞するためとも言われている。優れた発想力と研究遂行意欲を持つ若手研究者が落ち着いて研究できる環境を用意することは喫緊の課題であり、さきがけ事業が研究遂行と研究者育成において他に例を見ない優れたシステムであることから、採択できる研究者数を増やすことは、我が国における科学技術の底上げのために是非とも必要な対策の一つであろう。関係する方々の努力をお願いしたい。

以上