

CREST・さがけ複合領域
追跡評価用資料

複合研究領域
「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」
(2011 年度～2018 年度)

研究総括：磯貝 彰

目次

初めに	1
第 1 章 研究領域概要.....	2
1.1 戦略目標.....	2
1.2 研究領域の目的.....	2
1.3 研究総括.....	2
1.4 領域アドバイザー.....	3
1.5 研究課題および研究代表者.....	4
第 2 章 追跡調査	13
2.1 追跡調査について.....	13
2.1.1 調査の目的.....	13
2.1.2 調査の対象.....	13
2.1.3 調査方法	13
2.2 追跡調査概要.....	14
2.2.1 研究助成金.....	14
2.2.2 論文	15
2.2.3 特許	16
2.2.4 受賞	18
2.2.5 共同研究や企業との連携.....	18
2.2.6 実用化・製品化.....	18
2.2.7 スタートアップ.....	19
2.3 研究成果から生み出された科学技術や社会・経済への波及効果.....	19
2.3.1 研究領域の展開状況(まとめ図).....	19
2.3.2 研究成果の科学技術や社会・経済への波及効果.....	21
2.3.3 研究者の人材育成.....	35

初めに

本追跡調査評価用資料は、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業におけるCREST・さきがけ複合領域「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)」(2011年度～2018年度)に関して、研究終了後一定期間を経過した後、副次的効果を含めて研究成果の発展状況や活用状況を明らかにし、事業および事業運営の改善等に資するため、追跡調査を実施した内容をまとめたものである。

第1章では、本研究領域の概要として「戦略目標」、「研究領域の目的」、「研究総括」、「領域アドバイザー」、「研究課題および研究代表者」に関して振り返った。

第2章では、追跡調査方法とその結果について記述した。調査は、研究期間中および研究終了後の研究助成金、発表論文、国内外への特許出願および登録状況等を対象として、研究代表者あるいは研究者へのアンケートおよびデータベースの検索によって実施した。さらに、研究終了後に特筆すべき研究成果を挙げた研究課題について、科学技術および社会・経済への波及効果の観点から調査し、その結果をまとめた。

第 1 章 研究領域概要

1.1 戦略目標

「二酸化炭素の効率的資源化の実現のための植物光合成機能やバイオマスの利活用技術等の基盤技術の創出」

本戦略目標は、主に光合成やバイオマス生産に着目した植物科学研究を基盤に、その研究成果を活用し、二酸化炭素を資源化する革新的技術、バイオマスを効率的に利活用する技術の開発を、異分野連携の下に進めていくものであり、これまでの技術を飛躍的に向上させるとともに、新たなブレークスルーとなる革新的技術を獲得するための取組である。

1.2 研究領域の目的

本研究領域は、植物の光合成等の物質生産能力の制御・改変によりこれらの効率を向上させるとともに、光合成産物や光合成産物から生合成されるバイオマスの活用技術を開発・高度化することによって、二酸化炭素の資源化に資する基盤技術の創出を目指す。

対象となる研究は、光合成やそれに関連した代謝の素過程を俯瞰し統合する植物生理学研究、多様な環境に適応した様々な植物の遺伝資源を活用する分子育種・遺伝子工学研究、バイオマスを生物学的・化学的観点から理解し利活用技術を生み出す生物化学工学研究、など多岐にわたる。植物の光合成・炭素貯留能力やその多様性の理解にとどまることなく、それを最大限に活用し二酸化炭素資源化の実現に貢献する技術を開発するためには、理学・農学・工学の各分野の連携・融合を目指した研究を推進する必要がある。すなわち、光合成の要素反応の効率向上だけでなく、その効率向上を活用できるような植物体の作出、あるいは生合成や分解経路の解明だけでなく、その改変によって生じる代謝産物プロファイルを活用した有用物質生産技術の開発、などが想定される。

1.3 研究総括

磯貝 彰 研究領域終了時：奈良先端科学技術大学院大学・名誉教授
現在：奈良先端科学技術大学院大学・名誉教授

1.4 領域アドバイザー

CREST・さきがけ共通の領域アドバイザーを表 1-1 示した。

表 1-1 領域アドバイザー一覧¹

氏名(専門分野)	終了時の所属	役職	任期
坂 志朗 (バイオマスのトポ化学、バイオマスエネルギー学)	京都大学大学院エネルギー科学研究科	特任教授	2011 年 8 月～2019 年 3 月
佐々木 卓治 (作物ゲノム学、植物分子生物学)	東京農業大学総合研究所	参与・客員教授	2011 年 8 月～2019 年 3 月
佐藤 文彦 (植物細胞分子生物学、植物分子細胞育種学)	京都大学	名誉教授	2011 年 8 月～2019 年 3 月
篠崎 一雄 (植物分子生物学、植物ゲノム機能学)	理化学研究所環境資源科学研究センター	センター長	2011 年 8 月～2019 年 3 月
田中 良和 (植物バイオテクノロジー、植物二次代謝)	サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社研究部	上席研究員	2011 年 8 月～2019 年 3 月
土肥 義治 (生分解性高分子)	高輝度光科学研究センター	理事長	2011 年 8 月～2019 年 3 月
西澤 直子 (植物栄養学、新機能植物開発学、植物細胞工学)	石川県立大学生物資源工学研究所	特任教授	2011 年 8 月～2019 年 3 月
長谷 俊治 (生物化学、植物生理学)	大阪大学グローバルイニシアティブ・センター	欧州拠点長・特任教授	2012 年 5 月～2019 年 3 月
東山 哲也 (生殖分子情報学(植物生殖における細胞間シグナリング))	名古屋大学 WPI トランスフォーマティブ生命分子研究所	教授	2011 年 8 月～2019 年 3 月
福田 裕穂 (生物学、植物生理学)	東京大学大学院理学系研究科	理事・副学長・教授	2011 年 8 月～2019 年 3 月
山谷 知行 (植物分子生理学、植物栄養学)	東北大学学位プログラム推進機構	総長特命教授	2011 年 8 月～2019 年 3 月
横田 明穂 (植物分子生理学)	株式会社植物ハイテック研究所研究開発部	取締役	2011 年 8 月～2012 年 4 月

¹ 所属および役職は研究領域終了時点

1.5 研究課題および研究代表者

CREST の各研究課題と研究代表者を表 1-2 にまとめた。

表 1-2 研究課題と研究代表者

期 (採択 年度)	No	研究代表者	研究課題名	所属		研究期間	
				調査時点	終了時	開始	終了
1 期 (2011 年度)	1	鹿内 利治	構 造 と 進 化 の 理 解 に 基 づ く 光 合 成 の 環 境 適 応 能 力 の 強 化	京都大学 大学院理 学研究科 教授	京都大 学大学 院理学 研究科 教授	2011/12/1	2017/3/31
	2	田中 歩	葉 緑 体 機 能 改 変 に よ る ス テ イ グ リ ー ン 植 物 の 創 出	北海道大 学低温科 学研究所 名誉教授	北海道 大学低 温科学 研究所 教授	2011/12/1	2017/3/31
	3	彦坂 幸毅	将 来 の 地 球 環 境 に お い て 最 適 な 光 合 成 ・ 物 質 生 産 シ ス テ ム を も っ た 強 化 植 物 の 創 出	東北大学 大学院生 命科学研 究科 教授	東北大 学大学 院生命 科学研 究科 教授	2011/12/1	2017/3/31
	4	渡辺 隆司	電 磁 波 応 答 性 触 媒 反 応 を 介 し た 植 物 か ら の リ グ ニ ン 系 機 能 性 ポ リ マ ー の 創 成	京都大学 生存圏研 究所 教授	京都大 学生存 圏研究 所 教授	2011/12/1	2017/3/31
2 期 (2012 年度)	1	浅見 忠男	植 物 ホ ル モ ン 間 ク ロ ス ト ー ク と 化 学 ・ 生 物 学 的 制 御 技 術 を 利 用 し た バ	東京大学 大学院農 学生命科 学研究科 教授	東京大 学大学 院農学 生命科 学研究 科	2012/10/1	2018/3/31

			イオマス高生産性植物の開発		教授		
	2	梅田正明	DNA 倍加誘導系の確立による高バイオマス植物の創出	奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科教授	奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科教授	2012/10/1	2018/3/31
	3	重岡成	シンク/ソース同時改良による植物生産性強化の基盤開発	近畿大学附属農場特任教授・農場長	近畿大学農学部教授	2012/10/1	2018/3/31
	4	田口精一	植物バイオマス原料を利活用した微生物工場による新規バイオポリマーの創製および高機能部材化	神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科特任教授	東京農業大学生命科学部教授	2012/10/1	2019/3/31
	5	堤伸浩	高速ジェノタイピングを利用したエネルギー作物のテラメード育種技術の開発	東京大学大学院農学生命科学研究科教授	東京大学大学院農学生命科学研究科教授	2012/4/1	2019/3/31
3 期 (2013 年度)	1	芦荻基行	作物の地下茎による栄養繁殖化に向けた基盤	名古屋大学生物機能開発利用研究セ	名古屋大学生物機能開発利	2013/10/1	2019/3/31

			技術の開発	ンター 教授	用研究 センタ ー 教授		
	2	磯貝 明	新規セルロ ース系ナノ 素材の表面 構造および 集積構造制 御による炭 素マテリア ルストリー ムの創成	東京大学 大学院農 学生命科 学研究科 特別教授	東京大 学大学 院農学 生命科 学研究 科 教授	2013/10/1	2019/3/31
	3	大西 康夫	高性能イミ ダゾール系 バイオプラ スチックの 一貫生産プ ロセスの開 発	東京大学 大学院農 学生命科 学研究科 教授	東京大 学大学 院農学 生命科 学研究 科 教授	2013/10/1	2019/3/31
	4	関 原明	エピゲノム 制御ネット ワークの理 解に基づく 環境ストレ ス適応力強 化および有 用バイオマ ス産生	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	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	2013/10/1	2019/3/31

2023 年 8 月調査

続いて、各研究課題チームの主たる共同研究者を表 1-3 にまとめた。

表 1-3 CREST 各研究課題チームの主たる共同研究者リスト

期 (採択 年度)	No.	研究代表者	主たる共同研究者(所属・役職)

1 期 (2011 年度)	1	鹿内 利治	池内 昌彦(東京大学大学院総合文化研究科 教授) 高橋 裕一郎(岡山大学大学院自然科学研究科 教授) 牧野 周(東北大学大学院農学研究科 教授)
	2	田中 歩	草場 信(広島大学大学院理学研究科 教授) 坂本 亘(岡山大学資源植物科学研究所 教授)
	3	彦坂 幸毅	寺島 一郎(東京大学大学院理学系研究科 教授) 花田 耕介(九州工業大学若手研究者フロンティア研究アカデミー 准教授) 森長 真一(日本大学生物資源科学部 助教)
	4	渡辺 隆司	篠原 真毅(京都大学生存圏研究所 教授) 高谷 光(京都大学化学研究所 准教授) 片平 正人(京都大学エネルギー理工学研究所 教授) 平岡 俊治(日本化学機械製造株式会社開発技術室 室長) 林 利夫(花王株式会社マテリアルサイエンス研究所第4研究室 主任研究員) 鳥津 誠二(帝人株式会社基盤技術開発センター原料開発チーム チーム長)
2 期 (2012 年度)	1	浅見 忠男	中野 雄司(理化学研究所環境資源科学研究センター 専任研究員)
	2	梅田 正明	伊藤 正樹(名古屋大学大学院生命農学研究科 准教授)
	3	重岡 成	横田 明徳(株式会社植物ハイテック研究所 取締役) 菊池 彰(筑波大学生命環境系 教授)
	4	田口 精一	柘植 丈治(東京工業大学物質理工学院 准教授) 岩田 忠久(東京大学大学院農学生命科学研究科 教授) 松本 謙一郎(北海道大学大学院工学研究院 准教授)
	5	堤 伸浩	岩田 洋佳(東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授) 矢野 健太郎(明治大学農学部 教授) 佐塚 隆志(名古屋大学生物機能開発利用研究センター 准教授) 徳永 毅(株式会社アースノート 代表取締役)
3 期 (2013 年度)	1	芦荊 基行	経塚 淳子(東北大学大学院生命科学研究科 教授) 山口 信次郎(京都大学化学研究所 教授) 榊原 均(名古屋大学大学院生命農学研究科 教授)
	2	磯貝 明	杉山 淳司(京都大学生存圏研究所 教授) 西野 孝(神戸大学大学院工学研究科 教授)
	3	大西 康夫	金子 達雄(北陸先端科学技術大学院大学マテリアルサイエンス研究科 教授) 荻野 千秋(神戸大学大学院工学研究科 教授) 高谷 直樹(筑波大学生命環境系 教授)

4	関 原明	土生 芳樹(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) 松永 幸大(東京理科大学理工学部 教授)
---	------	---

さらに、さきがけの各研究課題と研究者を表 1-4 にまとめた。

表 1-4 さきがけ研究課題と研究者

期 (採択 年度)	No	研究 者	研究課題名	所属		研究期間	
				追跡調査時点	研究終了時	開始	終了
1 期 (2011 年度)	1	岩井 優和	ライブセルイメー ジングによる光環 境適応機構の実態 解明	ローレンス・バ ークレー国立研 究所	カリフォルニア 大学(バークレ ー校)植物・微 生物学部 博士研究員	2011/12/1	2015/3/31
	2	上田 貴志	膜交通の機能改変 による高機能植物 の開発	自然科学研究機 構基礎生物学研 究所 教授	自然科学研究機 構基礎生物学研 究所 教授	2011/12/1	2017/3/31
	3	小田 祥久	細胞内自己組織化 制御と生体ナノマ シンの開発による 新規木質バイオマ ス素材の創出	名古屋大学大学 院理学研究科 教授	情報・システム 研究機構国立遺 伝学研究所 准教授	2011/12/1	2015/3/31
	4	笠原 博幸	オーキシンによる 植物の器官形成制 御技術の開発	東京農工大学大 学院農学研究院 教授	理化学研究所環 境資源科学研究 センター 客員主管	2011/12/1	2015/3/31
	5	小林 高範	植物の鉄センシン グ機構解明による 生産力の強化	石川県立大学生 物資源工学研究 所 教授	石川県立大学生 物資源工学研究 所 特別研究員	2011/12/1	2015/3/31
	6	内藤 健	Vigna 属野生種群 が独自に獲得した 耐塩性機構の解明	農業・食品産業 技術総合研究機 構遺伝資源研究 センター 上級研究員	農業・食品産業 技術総合研究機 構遺伝資源セン ター 主任研究員	2011/12/1	2018/3/31

	7	中尾 佳亮	木質系バイオマス を利用する高付加 価値多置換芳香族 化合物の精密合成 手法の創出	京都大学大学院 工学研究科 教授	京都大学大学院 工学研究科 教授	2011/12/1	2015/3/31
	8	中島 敬二	植物生産能の高度 利用に向けた「植 物 iPS 遺伝子」の 応用展開	奈良先端科学技 術大学院大学先 端科学技術研究 科 教授	奈良先端科学技 術大学院大学バ イオサイエンス 研究科 教授	2011/12/1	2015/3/31
	9	中道 範人	バイオマス生産性 の向上を指向した 概日時計のシステ ム生物学	名古屋大学大学 院生命農学研究 科 教授	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	2011/12/1	2015/3/31
	10	三輪 京子	肥料有効利用型植 物の作出基盤	北海道大学地球 環境科学研究院 准教授	北海道大学地球 環境科学研究院 准教授	2011/12/1	2015/3/31
	11	山口 雅利	転写抑制因子を活 用したリグノセル ロース低含有植物 の作出	埼玉大学大学院 理工学研究科 准教授	埼玉大学研究機 構環境科学研究 センター 准教授	2011/12/1	2015/3/31
2 期 (2012 年度)	1	秋山 拓也	化学反応性に則し たリグニン高分子 構造の解析	東京大学大学院 農学生命科学研 究科 准教授	東京大学大学院 農学生命科学研 究科 助教	2012/10/1	2016/3/31
	2	有村 慎一	植物ミトコンドリ アゲノム人為改変 技術と雄性不稔植 物の作出	東京大学大学院 農学生命科学研 究科 准教授	東京大学大学院 農学生命科学研 究科 准教授	2012/10/1	2016/3/31
	3	千葉 由佳 子	シヨ糖過剰ストレ ス耐性に関わる転 写と mRNA 分解の 協調制御	北海道大学大学 院理学研究院 准教授	北海道大学大学 院理学研究院 准教授	2012/10/1	2016/3/31
	4	塚越 啓央	バイオマス生産性 を支配している細 胞機能転換転写制	名城大学農学部 生物資源学科 准教授	名古屋大学遺伝 子実験施設 特任講師	2012/10/1	2016/3/31

		御ネットワークの 人工構築				
	5	中島 清隆	固体ルイス酸による 高効率バイオマス 変換：植物由来 の炭化水素類の必 須化学資源化	北海道大学触媒 科学研究所 教授	北海道大学触媒 科学研究所 准教授	2012/10/1 2016/3/31
	6	永野 惇	フィールドオミク スによる野外環境 応答の解明	龍谷大学農学部 教授	龍谷大学農学部 講師	2012/10/1 2016/3/31
	7	平野 展孝	セルロース/ヘミ セルロース/リグ ニン分解酵素群の 集積・近接化によ る協働作用の創出	日本大学工学部 教授	日本大学工学部 准教授	2012/10/1 2016/3/31
	8	藤本 龍	雑種強勢の分子機 構の解明とその高 バイオマス作物へ の活用	神戸大学大学院 農学研究科 准教授	神戸大学大学院 農学研究科 准教授	2012/10/1 2016/3/31
	9	松本 謙一 郎	光合成と連動する バイオポリマー合 成系の構築	北海道大学大学 院工学研究院 教授	北海道大学大学 院工学研究院 准教授	2012/10/1 2016/3/31
3 期 (2013 年度)	1	安達 俊輔	葉内 CO ₂ 拡散を促 進する葉肉組織形 態の改良を通じた イネ光合成能力の 飛躍的向上	東京農工大学大 学院農学研究科 准教授	東京農工大学グ ローバルイノベ ーション研究機 構 特任助教	2013/10/1 2017/3/31
	2	岩本 政雄	包括的物質輸送促 進による生産強化 技術の開発	農業・食品産業 技術総合研究機 構生物機能利用 研究部門 グループ長補佐	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	2013/10/1 2017/3/31
	3	梅澤 泰史	アブシシン酸シグ ナル伝達の中樞ネ ットワークを標的 とした次世代型環	東京農工大学大 学院農学研究科 教授	東京農工大学大 学院生物システ ム応用科学府 准教授	2013/10/1 2017/3/31

		境ストレス耐性植物の創成				
4	笠原 竜四郎	イネ生殖分子機構の解明と操作を基盤としたアポミクシスへの挑戦	名古屋大学生物機能開発利用研究センター 特任准教授	科学技術振興機構 さきがけ研究員	2013/10/1	2017/3/31
5	草野 都	低窒素で持続可能な二酸化炭素資源化のための中心代謝バランス制御機構の解明	筑波大学生命環境系 教授	筑波大学生命環境系 教授	2013/10/1	2017/3/31
6	西條 雄介	パターン受容体ネットワークによる高精度・持続型の植物防御システムの開発	奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 教授	奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科 准教授	2013/10/1	2017/3/31
7	橘 熊野	フルフラールを出発原料とする汎用高分子モノマライブラリの構築	群馬大学大学院理工学府 准教授	群馬大学大学院理工学府 助教	2013/10/1	2017/3/31
8	豊田 正嗣	植物の全身性クロストークを支える長距離・高速カルシウムシグナルの解明と応用	埼玉大学大学院理工学研究科 教授	埼玉大学大学院理工学研究科 准教授	2013/10/1	2017/3/31
9	松下 智直	光環境に応じた光呼吸の新規適応機構の解明とその改変による植物生産性の向上	京都大学大学院理学研究科 教授	九州大学大学院農学研究院 准教授	2013/10/1	2017/3/31
10	山口 有朋	木質バイオマスの全炭素成分有効利用を目指した触媒化学変換技術の開拓	産業技術総合研究所化学プロセス研究部門 研究部門長	産業技術総合研究所化学プロセス研究部門 研究グループ長	2013/10/1	2017/3/31

	11	矢守航	変動する光環境下における光合成制御メカニズムの解明と応用展開	東京大学大学院農学生命科学研究科准教授	東京大学大学院理学系研究科准教授	2013/10/1	2017/3/31
--	----	-----	--------------------------------	---------------------	------------------	-----------	-----------

2023年8月調査

なお、採択された各研究代表者および各研究者が取り組む研究課題の本研究領域における位置づけを以下の図 1-1 にまとめた²。

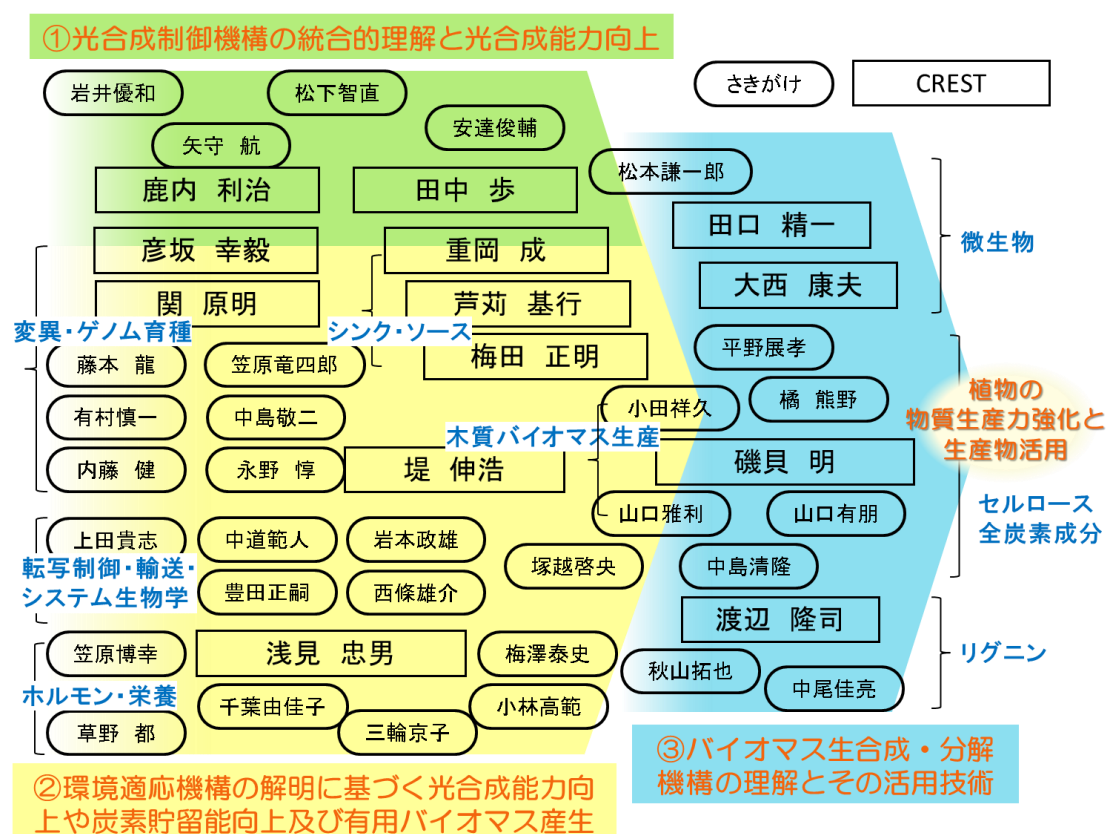


図 1-1 研究課題の位置付け

² 領域事後評価用資料の図より

第 2 章 追跡調査

2.1 追跡調査について

2.1.1 調査の目的

追跡調査は研究領域終了後、一定期間を経過した後、副次的効果を含めて研究成果の発展状況や活用状況を明らかにし、JST の事業および事業運営の改善に資するために行う。

2.1.2 調査の対象

本追跡調査は、CREST・さがけ複合領域「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」(2011 年度～2018 年度)を対象とし、CREST およびさがけの各研究課題について研究期間中/研究終了後から調査時点(2023 年 8 月末)までを調査対象期間とした。

2.1.3 調査方法

(1) 研究者アンケート

研究代表者/研究者に、研究終了後の研究成果の発展状況や波及効果等についてアンケートを送付し、回答を入手した。

- ・ CREST:回収 10 名/13 名(回収率 : 77%)
- ・ さがけ:回収 28 名/31 名(回収率 : 90%)

(2) 研究助成金

研究終了後の研究助成金の獲得状況に関する研究者アンケートへの回答を基に集計した。調査対象期間は、各研究課題の研究期間中を含めて調査対象とし、その中から研究代表者/研究者が当該研究の代表を務める研究助成金、かつ、原則研究助成金の総額が 1 千万円/件以上のものを抽出した。

ただし、各研究課題の開始後に研究助成を受け、当該研究課題が終了する前にその助成期間が終了してしまう事案および当該研究課題終了と同年度に助成期間が終了する事案に関しては対象外とした。

なお、研究代表者/研究者の研究助成資金の獲得状況の調査については、主に以下の WEB サイトも利用した。

- ・ 調査対象研究代表者/研究者所属大学の研究者データベース
- ・ 調査対象研究代表者/研究者の所属する研究室、本人の WEB サイト
- ・ 科学研究費助成事業データベース
- ・ researchmap(<https://researchmap.jp/>)

(3) 論文

論文の抽出は、文献データベースとして Scopus を用い、文献タイプは、Book (Book chapter, Book review)、Editorial、Erratum を除く全文献タイプを対象とした。研究期間中から調査時点まで、研究代表者/研究者が著者になっている論文を著者名より検索し出力した。各著者名から論文リストを作成し、①CREST/さきがけの成果(期間中に JST に報告があったもの、および助成金情報もしくは対象者の所属機関に本調査対象となるプロジェクト/プログラム名が入っていた場合)、②CREST/さきがけの発展(研究終了以降で①の論文を引用しているもの)、および③CREST/さきがけの展開(研究終了以降で前記②以外)ものに分類し、論文数を求めた。また、各論文については評価指標 FWCI³および FWCI TopX%⁴、および Journal の指標となる CiteScore についても収集した。

(4) 特許

PatentSQUARE および補完的に Espacenet を利用し検索を行い、研究代表者/研究者が発明者になっており、出願日(もしくは優先権主張日)が研究開始以降の特許を収集した。その後、期間中は研究期間中に JST に報告があったもの、また終了報告書との照らし合わせを行い不足分については追加、また終了後は研究終了後のものでリストを作成した。

(5) 共同研究や企業との連携等

研究代表者/研究者へのアンケートにより情報を収集した。

(6) 受賞

研究代表者/研究者へのアンケートにより情報を収集した。

2.2 追跡調査概要

2.2.1 研究助成金

多くの CREST 研究代表者は、研究終了後に新たな研究助成金を獲得し、CREST の研究成果を展開させている。具体例として、彦坂は大型の科研費学術変革領域研究(A)の助成金を獲得し、研究代表者として炭素貯留を最大にする最適な森林の予測に関する研究を推進中である。浅見は科研費基盤研究(S)において、根寄生雑草被害低減を目指した CREST での研究成果を展開している。堤も科研費基盤研究(S)および(A)の助成金を得て、植物のゲノム情報の基盤創出および育種への応用に関して研究している。大西は内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)に採択され、ポリベンズイミダゾール(PBI)の原料モノマーである 3,4-AHBA の大量発酵生産系および培養液からの精製プロセスを開発し、スマートバイオ産業の確立を目指している。

³ FWCI(Field-Weighted Citation Impact): 1 文献あたりの被引用数を世界平均(年別・分野別・文献タイプ別に算出)で割った数値。

⁴ FWCI が全論文の中で上位 X%以内に含まれる論文。

また、さきがけ研究者もほとんどが研究終了後に新たな研究助成金を得ている。中島(敬)は科研費新学術領域研究の助成金を獲得し、さきがけで得られた植物 iPS 遺伝子に関する研究成果を発展させ、多能性をもつ生殖細胞の形成を制御する制御因子とそのはたらきに関して研究している。中島(清)は JST の ALCA と未来社会創造事業に採択され、研究成果の実用化を探索した。永野も JST の CREST の研究代表者になってさきがけでの研究成果を発展させた後、創発的研究支援事業にも採択されている。松下は科研費学術変革領域研究(A)の中で、植物の光環境に対する適応メカニズムに関する研究を継続している。

2.2.2 論文

論文を①CREST の成果、②CREST の発展、および③CREST の展開に分類し、それぞれについての論文数および Top10%以内の論文数を表 2-1 と図 2-1 にまとめた。

表 2-1 CREST の成果、発展および展開の論文数 ¹⁾⁻³⁾

CREST 全体	①CREST の成果		②CREST の発展		③CREST の展開	
	論文数	Top10%論文数	論文数	Top10%論文数	論文数	Top10%論文数
	413	70	234	28	190	27

2023 年 8 月調査

- 1) 各研究代表者の論文数は重複論文を含む。
- 2) Top%値は FWCI 値ベースとする。また Top%論文は「論文数」でリストアップした論文を対象とする。
- 3) 各 Top%論文数は“以内”を意味し、例えば Top10%の欄には 1%以下も含む件数がカウントされる。

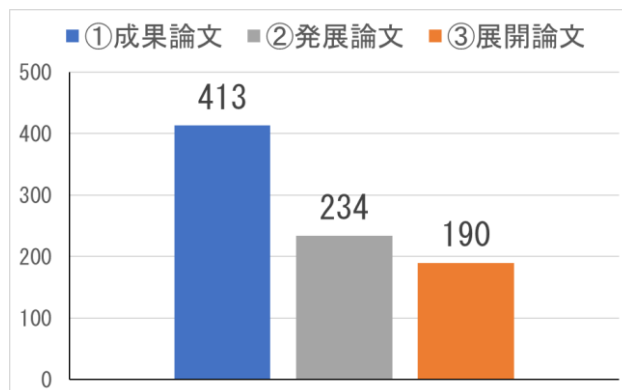


図 2-1 CREST の成果、発展および展開の論文数

CREST 全体では、成果論文数が 413 報(このうち Top10%以内は 70 報)であったのに対して、発展論文数は 234 報(このうち Top10%以内は 28 報)、展開論文は 190 報(このうち Top10%以内は 27 報)であった。研究代表者別では、発展論文に関しては、鹿内、田中、浅見、磯貝、関が 20 報以上であり、展開論文では、渡辺、大西、関が 20 報以上である。

CREST と同様に、論文を①さきがけの成果、②さきがけの発展、また③さきがけの展開に分類し、それぞれについて論文数および Top10%以内の論文数を表 2-2 と図 2-2 に示す。

表 2-2 さきがけの成果、発展および展開論文数 ¹⁾⁻³⁾

さきがけ全体	①さきがけの成果		②さきがけの発展		③さきがけの展開	
	論文数	Top10%論文数	論文数	Top10%論文数	論文数	Top10%論文数
	169	45	296	56	513	74

2023 年 8 月調査

- 1) 各研究代表者の論文数は重複論文を含む。
 2) Top%値は FWCI 値ベースとする。また Top%論文は「論文数」でリストアップした論文を対象とする。
 3) 各 Top%論文数は“以内”を意味し、例えば Top10%の欄には 1%以下も含む件数がカウントされる。

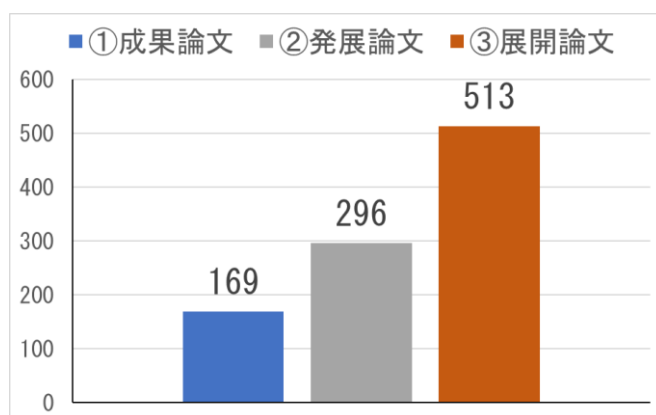


図 2-2 さきがけの成果、発展および展開の論文数

さきがけ全体では、成果論文が 169 報(このうち Top10%以内は 45 報)であったのに対して、発展論文数は 296 報(このうち Top10%以内は 56 報)、展開論文は 513 報(このうち Top10%以内は 74 報)であった。研究終了後の論文数および Top10%以内の論文数ともに大きく増加したことが確認できる。

研究者別では、発展論文に関しては、上田、永野、藤本、安達、矢守が 20 報以上、展開論文は、中尾、秋山、中島(清)、永野、松本、草野が 20 報以上である。

2.2.3 特許

表 2-3 に CREST 研究代表者の研究期間中・終了後の特許の出願と成立状況の一覧表、また図 2-3 に研究期間中・終了後の特許の出願状況をまとめた。

表 2-3 CREST 研究代表者の研究期間中・終了後の特許の出願と成立状況

	出願件数		登録件数	
	国内	(国際)海外	国内	(国際)海外
期間中	32	11	14	5
終了後	21	10	4	0

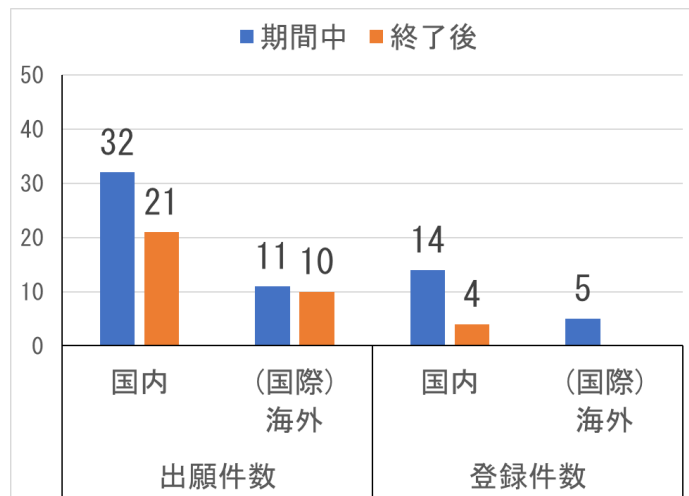


図 2-3 CREST 研究期間中・終了後の特許の出願と成立状況

CREST 全体では、研究期間中に対し出願件数および登録件数のいずれも研究終了後では減少している。なお、研究代表者別の終了後出願件数に関しては、渡辺が 21 件(国内 13 件、海外 8 件)で突出しており、登録件数では磯貝が 2 件、渡辺と浅見がそれぞれ 1 件である。

一方、表 2-4 にさきがけの各研究者の特許の出願や登録数を一覧表にまとめ、図 2-4 に研究期間中・終了後の特許の出願状況をまとめた。

表 2-4 さきがけ研究者の研究期間中・終了後の特許の出願と成立状況

	出願件数		登録件数	
	国内	(国際) 海外	国内	(国際) 海外
期間中	8	4	3	2
終了後	44	16	14	1

2023 年 8 月調査

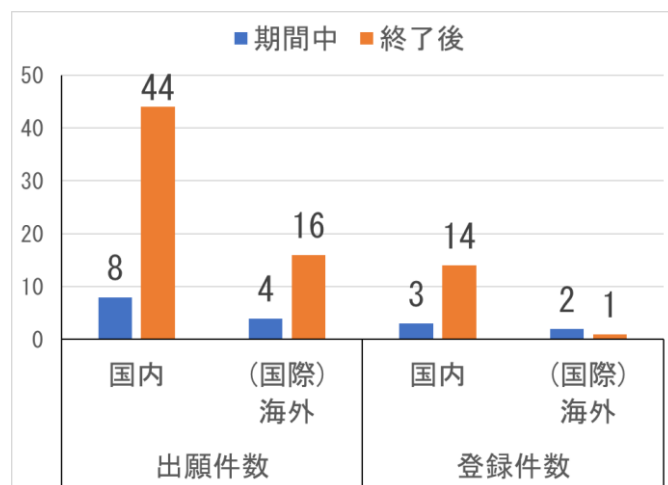


図 2-4 さきがけ研究期間中・終了後の特許の出願と成立状況

さきがけ全体では、研究期間中に対し出願件数および登録件数はいずれも研究終了後で大きく増加が見られる。研究者別の終了後出願件数では、中尾、中島(清)、橘、山口(有)が国内特許を5件以上出願している。

2.2.4 受賞

研究終了後 CREST では、彦坂、渡辺、浅見、梅田、大西がそれぞれ所属する学会の学会賞、学術賞を受賞し、磯貝は日本学士院賞(2019年)を授与された。浅見は2017年に、関は三年連続(2019年、2020年、2021年)で Highly Cited Researcher に選ばれた。

さきがけでは、文部科学大臣表彰若手科学者賞を小田、小林、中道、永野、豊田がそれぞれ受賞した。松下には日本学術振興会賞と日本学士院の学術奨励賞が授与された。また、笠原(博)と秋山には所属する学会の学会賞が、小田、中道、三輪、永野、藤本、松本、安達、松下、山口(有)にはそれぞれ奨励賞、進歩賞が贈られた。さらに、梅澤は三年連続(2017年、2018年、2019年)で Highly Cited Researcher に選ばれた。

2.2.5 共同研究や企業との連携

CREST 研究代表者およびさきがけ研究者へのアンケートをもとに、大学などの研究機関や民間企業との共同研究、また国際共同研究について調査した。多くの研究代表者あるいは研究者が、国内外の大学などの研究機関、民間企業と共同研究を行っている。

アンケートに回答した CREST 研究代表者10名中、6名が国内の研究機関との共同研究を、5名が国際共同研究を実施している。民間企業との共同研究を実施している研究代表者も6名に及び、実用化が期待される研究成果を挙げている例も存在する。

一方、さきがけ研究者においては、アンケート回答の28名のうち、24名が国内の研究機関と、20名が海外の研究機関と共同研究を実施していて、積極的に研究活動の場を広げていることが示唆される。企業との共同研究に関しても半数以上の15名が推進しており、研究成果が技術移転に繋がった例や、実用化された例もある。社会実装に向けた動きも活発である。

2.2.6 実用化・製品化

前項で述べた企業との共同研究によって研究成果が実用化、製品化に繋がった例を以下に挙げる。

CREST 研究領域では、彦坂がソニーグループ株式会社と共同研究を実施し、植物や植生のリモートセンシングによって光合成速度を推定する画像処理ソフトウェアの開発を進めていて、プロトタイプのカメラの完成が近づいており、いずれ社会実装に結びつくことが期待されている。

浅見はシンジェンタジャパン株式会社と共同でストリゴラクトン生合成阻害剤 TIS108 を開発し、すでに国内外に広く本製品を提供している。

磯貝は国内企業10社以上と共同研究契約を締結し、100社以上に技術指導してきている。さらに、セルロースナノファイバーの特許を国内企業3社に実施許諾し、これらの企業が本格的な生産を開始した。なお、実用化は企業に委ねるという研究方針を貫いているため、磯貝自身が直接製造に携わった例はない。

さきがけ研究領域では、中道と早稲田大学との共同研究によって得られた研究成果を基に、植物のカゼインキナーゼ1(CK1)に対する阻害剤の販売を東京化成工業株式会社が開始した。また、別の民間企業との共同研究で得られた花成を早期化する化合物を複数の園芸、種苗会社に供与している。

永野は、野外のように変動する気温、湿度、光条件を再現するグロースチャンバや、アーリープーリング、高温での逆転写によるrRNAの逆転写の抑制などによってハイスループットで低コストかつロバスタな3'RNA-Seqライブラリ調製を行う手法を開発し、これらの成果物が複数の研究機関で活用されている。

笠原(竜)は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクトにおいてグランドグリーン株式会社⁵との共同研究を行い、同社に対して技術指導した。

橘は、民間企業と共同研究を行って特許を共同出願し、すでに「フランポリマー含浸木材の製造方法」に関する2件が国内で成立している。同社との製品化研究を継続している。

2.2.7 スタートアップ

直接的にCREST研究代表者あるいはさきがけ研究者によってスタートアップが設立された例はないが、CRESTの主たる共同研究者や同じ研究機関に属する密接な共同研究者が立ち上げたスタートアップは2社ある。

大西の研究課題の主たる共同研究者である筑波大学教授の高谷は、2023年2月にBioPhenolics株式会社⁶を設立し、芳香族化成品のバイオ生産、コンサルティング業務の事業を立ち上げるとともに、CREST研究で開発した植物バイオマスを原料とする高性能高分子生産のスケールアップを検討している。

理化学研究所環境資源科学研究センターの関の研究室において研究員を務めていた金鍾明(現在、東京大学大学院農学生命科学研究科特任准教授)は、アクプランタ株式会社⁷を2018年2月に設立し、酢酸による植物の環境ストレス耐性強化技術を用いて干ばつにともなう食糧危機の解決を目指し、製品開発に取り組んでいる。

2.3 研究成果から生み出された科学技術や社会・経済への波及効果

2.3.1 研究領域の展開状況(まとめ図)

本研究領域から創出された研究成果の展開状況、発展状況を図2-5にまとめた。

⁵ <https://news.kcsf.co.jp/new/20220610-2.html>

⁶ https://bio-phenolics.com/?page_id=7

⁷ <https://ac-planta.com/>

戦略目標 達成目標	インプット	アクティビティ/アウトプット	アウトカム（short/mid-term）		アウトカム（long-term） / インパクト																																																																															
			～追跡調査時点	今後予想される展開	今後想定される波及効果																																																																															
戦略目標・達成目標	研究体制	研究成果のまとめ	科学技術的および社会・経済的な波及効果																																																																																	
戦略目標： 二酸化炭素の効率的資源化の実現のための植物光合成機能やバイオマスの利活用技術等の基盤技術の創出 達成目標： ○光合成機能の統合的理解と、それに基づく光合成効率向上のための基盤技術の創出 ○多様な環境に適応した多様な植物の機能解析・育種研究を通じた、炭素貯留向上・高品質バイオマス開発のための基盤技術の創出 ○バイオマス分解・代謝の解明や、ゲノム合成技術等の活用を通じた、バイオマス利活用の効率向上・高度化のための基盤技術の創出 研究分野： (1)植物生理学 (2)分子育種・遺伝子工学 (3)生物化学工学	研究総括 磯貝 彰 CREST 研究者 代表者 鹿内 利治 田中 歩 彦坂 幸毅 渡辺 隆司 浅見 忠男 梅田 正明 重岡 成 田口 精一 堤 伸浩 芦刈 基行 磯貝 明 大西 康夫 関 原明 13名 さきがけ 研究者 岩井 優和 上田 貴志 小田 祥久 笠原 博幸 小林 高範 内藤 健 中尾 佳亮 中島 敬二 中道 範人 三輪 京子 山口 雅利 秋山 拓也 有村 慎一 千葉 由佳子 塚越 啓央 中島 清隆 永野 惇 平野 展孝 藤本 龍 松本 謙一郎 安達 俊輔 岩本 政雄 梅澤 泰史 笠原 竜四郎 草野 都 西條 雄介 橘 熊野 豊田 正嗣 松下 智直 山口 有朋 矢守 航 31名	論文投稿 ①CREST 成果論文 413 (70) ②CREST 発展論文 234 (28) ③CREST 展開論文 190 (27) ①さきがけ 成果論文 169 (45) ②さきがけ 発展論文 296 (56) ③さきがけ 展開論文 513 (74) ()の値はTop10%以内論文数 特許申請・登録 CREST <table><tr><th rowspan="2">出願</th><th rowspan="2"></th><th colspan="2">期間中</th><th rowspan="2">終了後</th></tr><tr><th>国内</th><th>海外</th></tr><tr><td rowspan="2">登録</td><td>国内</td><td>32</td><td>11</td><td>21</td></tr><tr><td>海外</td><td>14</td><td>4</td><td>10</td></tr><tr><td rowspan="2">登録</td><td>国内</td><td>5</td><td>14</td><td>4</td></tr><tr><td>海外</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table> さきがけ <table><tr><th rowspan="2">出願</th><th rowspan="2"></th><th colspan="2">期間中</th><th rowspan="2">終了後</th></tr><tr><th>国内</th><th>海外</th></tr><tr><td rowspan="2">登録</td><td>国内</td><td>8</td><td>4</td><td>44</td></tr><tr><td>海外</td><td>3</td><td>16</td><td>14</td></tr><tr><td rowspan="2">登録</td><td>国内</td><td>2</td><td>3</td><td>14</td></tr><tr><td>海外</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>	出願		期間中		終了後	国内	海外	登録	国内	32	11	21	海外	14	4	10	登録	国内	5	14	4	海外	0	1	0	出願		期間中		終了後	国内	海外	登録	国内	8	4	44	海外	3	16	14	登録	国内	2	3	14	海外	1	2	1	・光合成光応答反応に関する新規遺伝領域の解明 ・環境ストレス耐性に関与する遺伝子の同定と機構解明 ・リモートセンシングによる光合成速度の推定 ・光合成速度を予測できるモデルの作成 ・ストリゴラクトン生合成阻害剤と受容体共有結合型阻害剤の開発 ・植物の環境ストレス耐性強化に寄与する化合物の発見 ・植物の花成時期を早める化合物の発見 ・植物の鉄センシング分子機構の解明と鉄欠乏耐性、鉄・亜鉛蓄積作物の創製 ・植物の概日時計を撓乱する低分子化合物の探索と解析 ・気象データとゲノムワイドな遺伝子型から野外での遺伝子発現を予測する手法の開発 ・バイオマスからのセルロースナノファイバーの生産 ・セルロースナノファイバーを含む高性能全固体リチウムイオン電池、半導体の開発 ・バイオマス由来高性能エンジニアリングプラスチック、高性能リチウムイオン電池材料の創製 ・バイオマスを原料とするフラン類の構造特性を利用した高機能性高分子材料の創出 ・セルロース・ヘミセルロースの水素化分解による糖アルコールへの変換 ・リグニン分解反応による芳香族化合物への変換 獲得研究助成金(研究期間終了後) <table><tr><th rowspan="4">科研費</th><th colspan="2">CREST</th></tr><tr><td>新学術領域研究</td><td>2件</td></tr><tr><td>学術変革領域研究(A)</td><td>2件</td></tr><tr><td>基盤研究(A)</td><td>5件</td></tr><tr><th rowspan="3"></th><td>基盤研究(S)</td><td>3件</td></tr><tr><td>NEDO</td><td>1件</td></tr><tr><td>CAO SIP</td><td>1件</td></tr></table> さきがけ <table><tr><th rowspan="4">JST</th><th colspan="2">CREST</th></tr><tr><td>ALCA</td><td>1件</td></tr><tr><td>ALCA</td><td>2件</td></tr><tr><td>新学術領域研究</td><td>10件</td></tr><tr><th rowspan="2">科研費</th><td>学術変革領域研究(A)</td><td>3件</td></tr><tr><td>基盤研究(A)</td><td>5件</td></tr></table>	科研費	CREST		新学術領域研究	2件	学術変革領域研究(A)	2件	基盤研究(A)	5件		基盤研究(S)	3件	NEDO	1件	CAO SIP	1件	JST	CREST		ALCA	1件	ALCA	2件	新学術領域研究	10件	科研費	学術変革領域研究(A)	3件	基盤研究(A)	5件	SDG sの目標への対応 ・2 飢餓をゼロに ・9 産業と技術革新の基盤をつくろう ・13 気象変動に具体的な対策を ・15 陸の豊かさを守ろう 二酸化炭素の資源化による地球温暖化防止 光合成のメカニズム解明と光合成効率の向上 高い光合成効率を有する植物の創製 異常気象による環境悪化に耐える植物の創製 食料危機問題を解決する農作物生産性の向上 バイオマス活用による循環型社会の実現 石油・石炭・天然ガスなどの資源枯渇の防止
出願		期間中			終了後																																																																															
		国内	海外																																																																																	
登録	国内	32	11	21																																																																																
	海外	14	4	10																																																																																
登録	国内	5	14	4																																																																																
	海外	0	1	0																																																																																
出願		期間中		終了後																																																																																
		国内	海外																																																																																	
登録	国内	8	4	44																																																																																
	海外	3	16	14																																																																																
登録	国内	2	3	14																																																																																
	海外	1	2	1																																																																																
科研費	CREST																																																																																			
	新学術領域研究	2件																																																																																		
	学術変革領域研究(A)	2件																																																																																		
	基盤研究(A)	5件																																																																																		
	基盤研究(S)	3件																																																																																		
	NEDO	1件																																																																																		
	CAO SIP	1件																																																																																		
JST	CREST																																																																																			
	ALCA	1件																																																																																		
	ALCA	2件																																																																																		
	新学術領域研究	10件																																																																																		
科研費	学術変革領域研究(A)	3件																																																																																		
	基盤研究(A)	5件																																																																																		

図 2-5 まとめ図

2.3.2 研究成果の科学技術や社会・経済への波及効果

研究期間終了後も各研究代表者および研究者は、CREST 研究課題あるいはさがけ研究課題での研究成果を着実に発展、展開させている。その中で、科学技術や社会・経済への波及効果に関して特筆すべき事例を以下に紹介する。

(1)CREST 研究課題

①彦坂幸毅(東北大学大学院生命科学研究科 教授)

CREST 研究期間中、彦坂は研究課題「将来の地球環境において最適な光合成・物質生産システムをもった強化植物の創出」において、野生植物のもつ環境適応能力を利用するアプローチと誘発突然変異体を高効率でスクリーニングするアプローチにより、将来の地球環境での生産向上に関連する遺伝子を探索し、最適な光合成・物質生産システムをもつ植物の創出を目指した。さらに、遺伝子組み換えの手法に頼らず、自然変異・突然変異の掛け合わせから高効率系統の選抜を行う手法の開発を試みた。その結果、高二酸化炭素濃度適応や高温耐性に寄与していると期待される遺伝子を多数発見し、強制発現や発現抑制により複数の遺伝子が高二酸化炭素環境下での成長促進に寄与することを明らかにした。その他にも標高・緯度・時間経過に依存した遺伝的変異を多数発見し、高二酸化炭素濃度や高温環境で成長速度が高くなる個体の創出に成功した。上記の研究の中で、従来モデル植物として用いられてきたシロイヌナズナが持たないシンク機能を有するハツカダイコンに着目し、ドラフトゲノムの解析、接ぎ木実験手法の開発など、ハツカダイコンを新たなモデル植物として利用するための土台を構築した⁸。

研究終了後も、CREST 研究課題での研究成果を発展させ、将来の地球環境において最適な光合成・物質生産システムをもった強化植物の創出や、自然変異から学ぶ適応のしくみに関する研究を推進している。例えば、科研費基盤研究(B)の研究助成金を得て、研究課題「環境勾配における遺伝子流動は適応を阻害するか：最適化理論を用いたアプローチ」(2017～2019 年度)において、遺伝子流動による適応阻害に関して研究した。異なる環境下では異なるストレスが植物にかかり、それが適応的分化を促進すると期待される一方で、別の環境に適応した集団からの非適応遺伝子の流入が大きいと、適応が阻害される可能性があることが知られている。そこで、標高間で明瞭な適応的分化が認められるハクサンハタザオを材料に、遺伝子流動によって適応阻害が生じているのかを解明することを目的とし、成長解析と最適化モデルとの組合せ、および空間的高解像度のゲノム解析の両面から調査した。その結果、高標高タイプは主に富栄養環境に、低標高タイプは広い栄養環境に適応していることが示唆された。さらに、高標高タイプの空間的高解像度のゲノム解析から、低標高あるいは中標高のタイプからの遺伝子流動が起こっていた場合でも、一部の遺伝子には環境からの強いストレスがかかり、これによって機能的分化が起きていることを実験的に明らかにした⁹。

CREST 研究課題での研究成果に新たな手法を取り入れ、展開させる研究も推進している。機能的分化を解析するための従来の装置では、モデルとして使用しているシロイヌナズナ

⁸ https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press20220419_01web_co2.pdf

⁹ 植物学会からのツイート https://twitter.com/BSJ_pr/status/1607574268812091393

やハツカダイコンなどの小型植物の測定は可能であるが、大きな樹木あるいは広い畑全体を測定対象とすることは不可能である。そこで、カメラの設計および製造に関する技術開発力が高いソニーグループ株式会社との共同研究で、リモートセンシング技術を駆使した機能的分化の測定法の開発を推進している。すでに、彦坂はクロロフィル蛍光や光化学反射指数(PRI)を測定することによって光合成速度を推定する方法を提案してきたおり、これらの植物からのシグナルを的確に捕捉する機器の創出を目指している。このカメラが完成すれば、ドローンに装着して広大な畑を撮影し、光合成速度測定の結果から水不足や肥料不足の畑を割り出すことができるようになる。農作物の成長状況の把握が容易になることから、効率のよい適切な農業管理が可能になる。現在、プロトタイプのカメラの完成が近づいており、いずれ社会実装に結びつくと期待されている。

このリモートセンシング技術に関しては、科研費挑戦的研究(萌芽)の研究課題「ハイパースペクトルカメラと偏光カメラの融合による植生光合成速度推定法の開発」(2022～2024年度)でも研究テーマとして取り上げている。群落全体の光合成速度の計算には、個葉が受ける光強度と光合成能力の情報を統合する必要がある。ハイパースペクトルカメラ(HSC)を用いれば個葉からの光の強度と波長組成から様々な情報を得られるが、個葉の角度を考慮した補正が必要となる。そこで、偏光カメラを用いて個葉の角度を実測し、HSCと偏光カメラの同時観測システムを構築することによって、群落光合成速度を高精度で推定する研究を推進している(図2-6)。

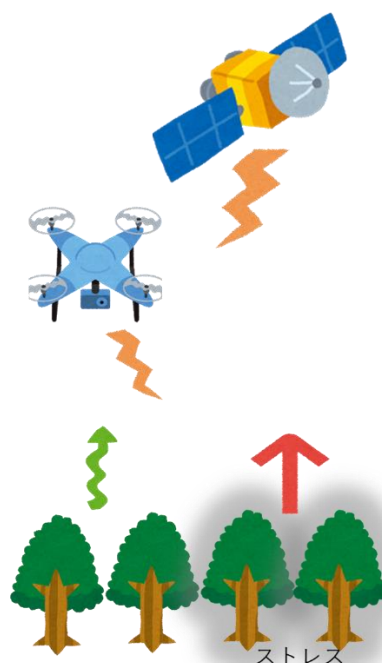


図 2-6 リモートセンシングによる植物の光合成系の解析

植物の光合成系は、ストレス条件にさらされると、光合成色素(クロロフィル)が発する蛍光の強度や反射スペクトルがわずかながら変化する。そのような変化をドローンや人工衛星の観測で検出できれば、植物や生態系の広域・迅速・高分解検出に貢献すると期待される。

以上のように彦坂は、野生植物のもつ環境適応能力、自然変異・突然変異の仕組みなどから学び、成長解析と最適化モデルとの組合せ、空間的高解像度のゲノム解析、リモートセンシングなどの高度な技術を用いて、機能的分化、遺伝子流動、適応阻害などの植物の生態を解析し、得られた研究成果を基に、将来の地球環境において最適な光合成・物質生産システムをもった強化植物創出を目指している。

②大西康夫(東京大学大学院農学生命科学研究科 教授)

CREST 研究期間中、大西は研究課題「高性能イミダゾール系バイオプラスチックの一貫生産プロセスの開発」において、高性能バイオプラスチックであるポリベンズイミダゾール(PBI)をバイオマスから生産する一貫プロセスの開発に向け、芳香族ポリマー原料化合物を生産する微生物の創製、当該化合物のバイオマスからの大量発酵生産系の構築、得られたバイオ由来芳香族モノマーの精製、重合可能な純度となったモノマーを用いたポリマー合成と性能評価に取り組んだ。その結果、紙パルプ糖化液から組換え大腸菌を用いて 4-アミノ安息香酸(4-ABA)を、コリネ菌を用いて 3-アミノ 4-ヒドロキシ安息香酸(3,4-AHBA)を発酵生産するシステムを確立した。さらに、3,4-AHBA を 3,4-ジアミノ安息香酸(3,4-DABA)へ化学変換した後、3,4-AHBA と 3,4-DABA とを共重合させることによって、アミド結合を部分的に有する PBI を合成することに成功した。得られた PBI は、プラスチックとして世界最高の耐熱性を示した。また、PBI のイオン化によるイオン性 PBI の創製により、高耐熱性・高イオン伝導性固体電解質として有望なスーパーエンブラを開発し、当初予定していなかった二次電池等向けの新たな PBI の用途を見出した(図 2-7)¹⁰。

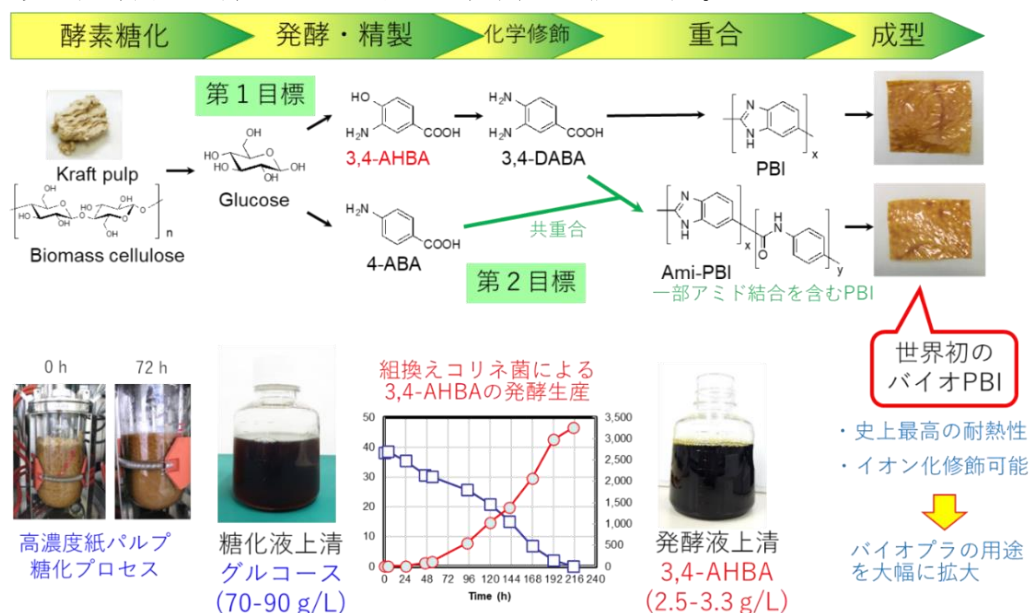


図 2-7 バイオマス由来セルロースから高性能ポリベンズイミダゾール(PBI)を作る一貫プロセス(CREST 研究課題の研究成果)

¹⁰ https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20201118-1.html

研究終了後も CREST 研究課題での研究成果を発展、展開させている。内閣府の SIP に採択され、研究課題「微生物由来の芳香族バイオマスを用いた高機能性マテリアルの製造」(2018～2022 年度)の研究責任者として、バイオマスから微生物を利用して生産した芳香族化合物を用いて、Li イオン伝導性 PBI 二次電池、超高耐熱性 PBI 電線被覆、高機能性複合材料等を開発することを目指した。なお、本研究には、CREST 研究課題の主たる共同研究者であった筑波大学の高谷直樹教授と北陸先端科学技術大学院大学の金子達雄教授が参画し、CREST 研究課題に金子の共同研究者として関わっていた北陸先端科学技術大学院大学の松見紀佳教授も加わった。

当初は上記のチーム体制で研究を進めていたが、社会実装に向けて最適な体制を構築できるように SIP 内での研究課題のチーム再編成が随時実施され、開始 3 年目に理化学研究所の中嶋隆人チームリーダーのチームと合流した。中嶋は、「富岳」を利用したマテリアルズ・シミュレーションとマテリアルズ・インフォマティクスを活用し、太陽電池材料や人工光合成材料のようなエネルギー材料に対し、実験に先行した新材料設計を実現する研究を手掛けており、北陸先端科学技術大学院大学の両教授と共同研究で、計算化学を用いたポリマーデザインによって電気電子デバイス向けの高性能材料の構造を探索した。また、高谷は、バイオマスから 3,4-ジヒドロキシケイ皮酸(カフェ酸)を生成させる微生物に関して研究を進め、松見との共同研究により、カフェ酸から得られるポリマーが短時間充電可能な電池電極材料として使えることを見出した。

一方大西は、公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)の乾将行グループリーダーのチームとの共同研究を行い、モノマーの微生物生産の量産化に取り組んだ。乾らのグループは、コリネ菌による 3,4-AHBA 生産のための培養をスケールアップするとともに、培養条件の検討によって生産量を大幅に向上させることに成功した。これによって大西は充分な量の培養液の供給を受けることが可能となり、工業生産に適用可能な 3,4-AHBA 精製プロセスの開発に成功し、60 グラム以上のバイオ 3,4-AHBA を金子に提供し、これを用いた PBI の合成、性能評価を行った。以上のように、CREST 研究期間中の研究体制をほぼ維持しながら、研究成果の実用化検討を SIP 事業でも継続し、さらに多くの共同研究者も巻き込んで高機能材料創出に関する研究を進め、研究成果の社会実装に向けて注力した。

また、SIP 事業以外にも科研費を中心に研究助成金を得ており、例えば科研費新学術領域研究の研究課題「ポストコッホ生態系における希少放線菌の種と機能」(2019～2023 年度)では、CREST 研究課題で実施したように、有用な化合物を生産することが可能な微生物酵素の探索、解析を推進している。

大西は研究成果の社会実装を指向しつつも、企業で企画・遂行できる研究ではなく、企業では思い浮かばない斬新な発想の研究テーマや、コスト問題を含めたリスク管理上なかなかチャレンジできないような内容の研究テーマを立ち上げ、原理原則をしっかりと明確化して研究成果を挙げることが大学で目指すべきところであると考えている。そのような研究成果に基づいて企業との連携が新たに開始されることも期待したい。

③関原明(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)

CREST 研究期間中、関は研究課題「エピゲノム制御ネットワークの理解に基づく環境ストレス適応力強化および有用バイオマス産生」において、環境ストレス適応におけるエピジェネティックな制御機構の解明を通して、環境ストレス適応力や物質生産力に関与する新規な制御ネットワークの発見を目指し、そのネットワークの活用により、植物の環境ストレス適応力を上昇させるとともに、物質生産力を生かした二酸化炭素資源化のブレークスルー技術の開発を試みた。その結果、環境ストレス耐性に関与するシロイヌナズナのエピゲノム制御因子や化合物(エタノール、ヒストン脱アセチル化酵素阻害剤など)を新たに約 20 個同定することに成功し、酢酸処理による乾燥ストレス耐性付与の分子機構の一端を明らかにした。さらに、この耐性付与がシロイヌナズナ以外にイネ、コムギ、トウモロコシ、ナタネ、キャッサバにおいても有効であることも実証した。一方、エタノールが種々の植物に耐塩性、乾燥耐性、高温耐性を付与することも突き止めた(図 2-8)^{11, 12}。



図 2-8 エタノールによる植物への乾燥・高温・塩ストレス耐性強化

研究終了後も、CREST 研究課題での研究成果を発展させている。理研-産総研チャレンジ研究の研究課題「エタノールで世界の食糧問題解決に挑む」（2018～2023 年度）において、エタノールが植物の環境ストレス耐性に与える効果に関して研究を進め、高温ストレス耐性向上の機構を明らかにした。植物の小胞体の中では、生命現象の維持に必須なタンパク質の折り畳みなどが行われているが、環境ストレスにより折り畳みが不完全なタンパク質が小胞体内に過剰に蓄積してしまうことが知られている。この状態を「小胞体ストレス」と呼ぶ。真核生物はこのような状態を回避するシステムを持っており、そのシステムを小胞体ストレス応答と呼ぶ。モデル植物のシロイヌナズナに安価で入手しやすいエタノールを投与し、遺伝子発現や代謝産物の量的変化を網羅的に解析したところ、小胞体ストレス応答に関

¹¹ <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170703/index.html>

¹² https://www.riken.jp/press/2022/20220622_1/

与する遺伝子が高温ストレス耐性の獲得に機能していることが示唆された。そこで、小胞体ストレス応答に関わる薬剤処理実験や変異体の解析を行った結果、エタノール投与により小胞体ストレス応答が促進されることで、高温ストレス耐性が強化されることが判明した(図 2-8)¹²。

さらに、エタノールがもたらす植物の乾燥ストレス耐性の強化に関しても研究を展開した。モデル植物のシロイヌナズナにエタノールを投与した後、乾燥ストレスを施した結果、1) 気孔閉鎖が促進されて細胞内の水分損失が低減する、2) エタノール分子が植物体内で代謝されて糖やアミノ酸に変換されて蓄積する、3) 気孔閉鎖による二酸化炭素の取り込み低減をオキサロ酢酸など糖質以外の物質からグルコースを産生する代謝経路で補うことにより植物成長が維持される、4) 乾燥耐性に関与するフラボノイドなどの有用代謝産物が蓄積する、といった複合的な作用機序により、乾燥ストレス耐性が強化されることを見出した(図 2-8)¹³。また、コムギやイネなどの作物でも、エタノールによって乾燥ストレス耐性を強化できることを示した(図 2-8)¹³。

上述したエタノールの効果に関しては、A-STEP 育成型の「エタノール処理による葉物作物への高温障害軽減に関する試験研究」(2019～2020 年度)でも研究開発を進めた。実際に大学の圃場や日本の農家で、ストレス耐性改善によるレタス(図 2-8)やネギ(図 2-9)の生産性向上にエタノールが寄与することを実証している。日本企業と製品化を目指しているとともに、国内外の大学や研究機関とも共同研究を推進している¹⁴。

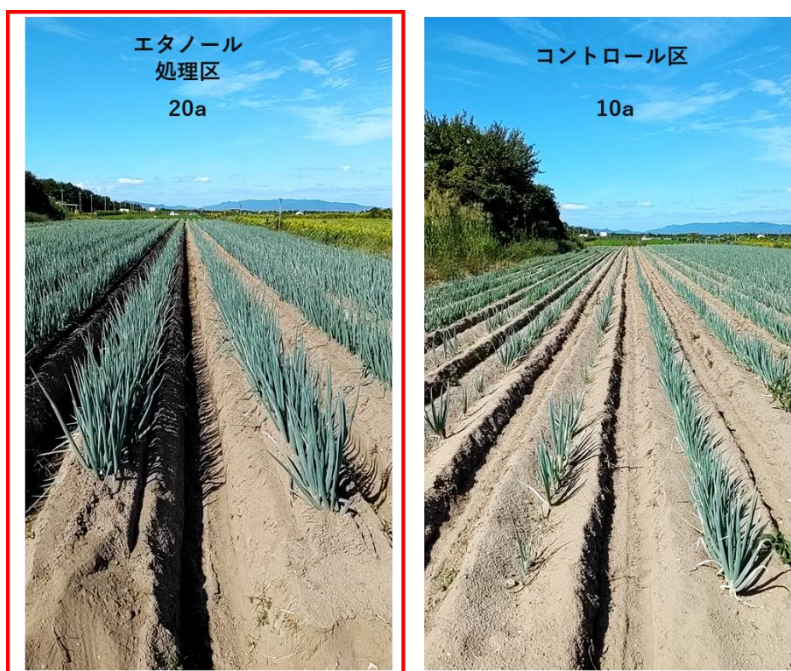


図 2-9 エタノール投与による作物の高温ストレス耐性向上の事例
(鳥取県の白ネギ農家の羽島正樹様からのデータ提供)

一方で、関は研究対象となる植物としてキャッサバに注目している(図 2-10)¹⁵。キャッサバは日本ではあまり馴染みのない植物であるが、主にアジアおよびアフリカの熱帯地域で耕作されており、悪環境下にも耐える能力を持ち、比較的栽培が容易なことで知られている。

¹³ https://www.riken.jp/press/2022/20220825_2/index.html

¹⁴ <https://mainichi.jp/articles/20230511/ddm/016/040/008000c>

¹⁵ 内海好規、徳永浩樹、石谷学、関 原明. 各論「SDGs に貢献するキャッサバのゲノム育種の新展開」. 気候変動に適應できる孤児作物のゲノム育種の展開、月刊「アグリバイオ」(2022) 6(5): 28-32.

バイオマスエネルギー利用や、今後恐れられている気候変動の下での食料安全保障の観点から眠れる戦略資源とも言われ、世界的にその利活用に関する研究開発が活発化している。低養分、酸性といった農産物の栽培に適さない土壌でも、高温や干ばつといった過酷な気候の下でも、キャッサバの元々高い環境耐性をエタノールの効果

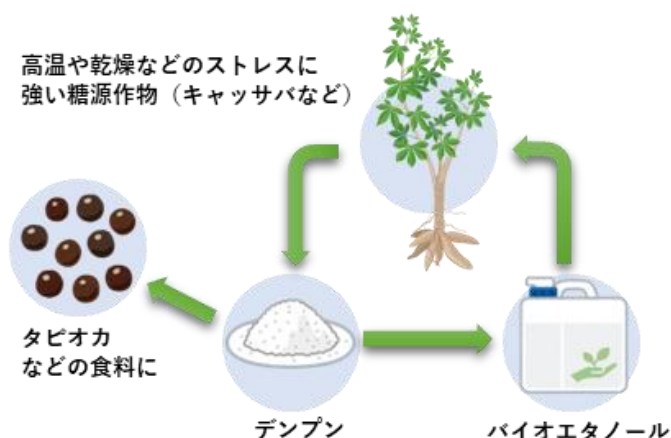


図 2-10 エタノールを用いた循環型農業

でさらに向上させて、充分に成長する品種に育て上げることを目指している(図 2-10)。関は、2024 年 1 月 31 日に第 2 回キャッサバワークショップ¹⁶を主催しており、産学が連携してキャッサバに関して研究し、将来の食糧問題、人口問題、環境問題などの地球規模の課題解決に取り組むことを推進している。

以上の状況から、関が発表した論文は被引用数が多く、CREST 研究終了後の論文には FWCI Top0.1%以下が 1 報含まれている。さらに、クラリベイト・アナリティクス社から Highly Cited Researcher に、2014 年から 2021 年まで 8 年連続で選出されており、関の研究が世界的に注目されていることを証明している。

関は、エタノールの添加効果でキャッサバ栽培の生産性を上げ、得られたデンプンを発酵させてエタノールに導き、そのエタノールをキャッサバおよび他の耕作物に与えることを繰り返し、耕作面積の拡大などを通して多種多様な農産物全体の生産性を向上させることを目指している(図 2-10)。これを実現することができれば、耕作物によって営まれる光合成が活発になることで大気中の二酸化炭素削減にも繋がり、地球温暖化などの人類共通の諸問題を解決する循環型社会の創生が期待できる。

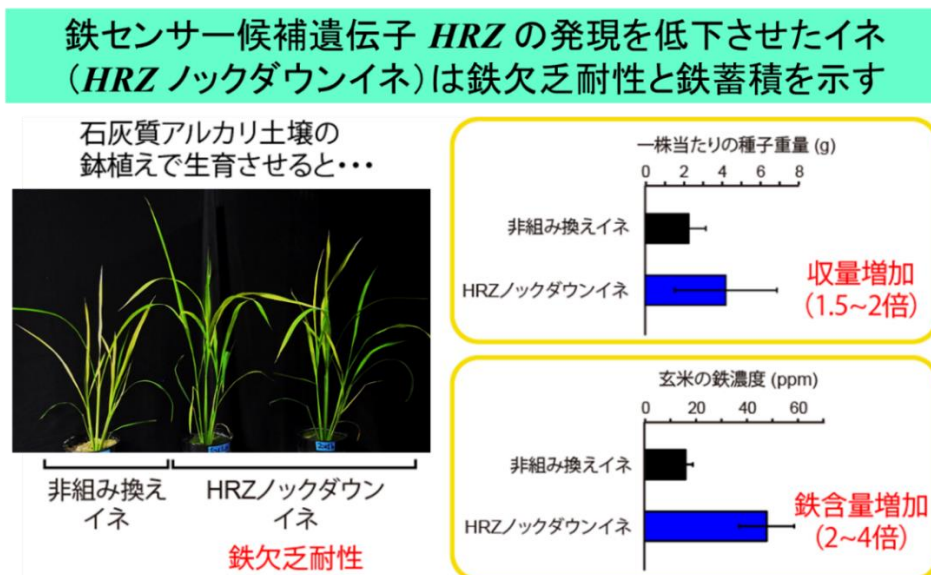
(2) さきがけ研究課題

① 小林高範(石川県立大学生物資源工学研究所 教授)

さきがけ研究期間中、小林は研究課題「植物の鉄センシング機構解明による生産力の強化」において、植物の鉄欠乏応答のメカニズムについて解明を試みた。植物が生長し、光合成などによって物質生産するために鉄は必須の栄養素となっている。植物は種々の遺伝子を発現誘導することによって鉄を利用しようとするが、その根本となる鉄欠乏シグナルと鉄センサー分子の実体は、充分には解明されていない。そこで、これらの実体を解明することにより、植物の鉄欠乏応答の全貌を明らかにするとともに、植物生産性の強化に向けた新たな技術の開発と知見の蓄積を目指した。その結果、鉄センサーとして機能するタンパク質候補を追究してセンサー部位の構造を捉えるとともに、この候補タンパク質が植物を鉄欠乏の方

¹⁶ <https://www.yokohama.riken.jp/cassava/2024/>

向に制御していることを明らかにした。この知見を応用し、鉄蓄積量が増加した植物を作製することに成功した。また、このタンパク質が鉄ばかりではなく、亜鉛の吸収をも促進する活性を持つという予想外の研究成果も得た(図 2-11)¹⁷。



☆ *HRZ* 遺伝子の変異によっても同様の植物を作出可能。

特許第 5 5 5 3 3 2 4 号 Kobayashi *et al.* (2013) *Nat. Commun.* 4: 2792

図 2-11 *HRZ* ノックダウンイネの生育特性

さがけ研究終了後は、主に科研費の研究助成金を獲得して、さがけ研究課題での研究成果を発展、展開させている。科研費若手研究(A)の研究課題「植物鉄センシング分子機構の解明」(2015~2018 年度)では、植物の細胞内鉄センサーの機構を解明するために、イネの転写因子 IDEF1 およびユビキチンリガーゼ *HRZ* に注目し、これらが鉄センサーとして金属との結合と鉄欠乏応答の制御とを繋ぐ分子メカニズムについて研究した。その結果、*HRZ* のタンパク質安定性、局在および機能が、金属との結合で変化する可能性を見出すとともに、*HRZ* の下流では鉄硫黄クラスターの合成と輸送に関わるタンパク質および bZIP 転写因子として機能する可能性を示した。また、イネの鉄欠乏の初期応答と *HRZ* による鉄栄養制御に、ジャスモン酸経路が関わることを明らかにした。

その後も、科研費新学術領域研究(研究領域提案型)や科研費基盤研究(B)の研究助成金を得て、引き続き細胞内鉄センサー候補である *HRZ* タンパク質の構造とセンサー機能の解明、このタンパク質によって制御された種々の転写因子がもたらす鉄欠乏応答性遺伝子の発現メカニズム、*HRZ* タンパク質が鉄や亜鉛が結合した際の構造変化の解明などの研究を推進している¹⁸。

¹⁷ <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20131120/index.html>

¹⁸ <https://www.ishikawa-pu.ac.jp/staff/achievement/1988/>, <https://www.ishikawa-pu.ac.jp/staff/achievement/2038/>

ところで、アルカリ性の石灰質土壌では鉄が溶解しにくく、植物の鉄吸収が不十分になるため生育には適さない。日本においては耕地面積に占めるアルカリ性土壌の割合は低いが、地中海沿岸、中国北部、北アメリカの中西部などには広く分布しており、世界の耕地の30%以上に達している。そのため、世界の食糧問題を解決する上で、このような土壌でも良好に育つ植物の開発は重要な課題であり、植物が土壌中から鉄をどのように吸収するかについて解明し、植物、特に穀物の鉄吸収を促進することによって十分な収穫量を確保することが求められている。

この課題を解決する目的で、これまでに得られた解析結果を基に公的研究機関との間で共同研究を実施し、アルカリ性土壌でも良好に生長し、鉄分を多く含むイネの開発を進めている。収穫量と栄養素がともに確保できる穀物となる可能性があり、安定で高付加価値な農業への展開にも寄与すると期待できる。

さらに、A-STEP 産学共同(本格型)の研究課題「高活性生分解性キレート鉄肥料の実用化研究」(2021~2024 年度)にも参画し、愛知製鋼株式会社のグループ、徳島大学のグループらとの共同研究を推進している。これらのグループは、イネ科植物が根から分泌する「ムギネ酸」の化学構造を改変した環境調和型の鉄キレート剤「プロリンデオキシムギネ酸(PDMA)」を開発し、その投与によってアルカリ土壌で大幅にイネの生育が改善されることを報告している。本研究課題では、工業スケールで実施可能な安価合成法の確立、様々な植物での栽培検証と効果メカニズムの解明、海外現地アルカリ土壌での実証を検討し、PDMA もしくは新たなムギネ酸類縁体の実用化を目指している¹⁹。

一方、学術的にも上述した研究は世界的に注目されており、さきがけ研究了後に発表された論文のうち6報がFWCI Top10%超となっている。アルカリ性土壌が多いヨーロッパや中国の大学や公的研究機関では植物の鉄欠乏応答性に関して活発に研究されており、その中で小林の論文が多く引用されていることから、国際的にも評価が高い学術研究であることが認められる。

②中道範人(名古屋大学大学院生命農学研究科 教授)

さきがけ研究期間中、中道は研究課題「バイオマス生産性の向上を指向した概日時計のシステム生物学」において、環境応答の一環である「概日時計」をシステム生物学の手法によって解析し、環境に応答したバイオマス生産性の理解を目指すとともに、その知見を基にして時計の中心因子の機能を人工的にデザインし、バイオマス生産性が向上した植物を創出することに挑んだ。地球上の多くの生物は、概日時計を使うことで環境変化に適応しており、近年の分子遺伝学の発達によって植物の体内時計に関与する遺伝子が見つかったが、実際に体内時計を作り出すメカニズムは未だ充分に解明されていない。これまで、中道はシロイヌナズナの体内時計に関わる PRR9、PRR7、PRR5 というタンパク質の機能解析やアミノ酸配列の解析を行い、これらには共通して転写を抑制する機能があることを発見してきた。さきがけ研究では、次世代シーケンサーを用いた解析によってこれらのターゲット遺伝

¹⁹ <https://www.ishikawa-pu.ac.jp/staff/achievement/1910/>,
https://www.nikkei.com/article/DGXLRS606261_Z00C21A3000000/

子群を初めて明らかにするとともに、転写制御システムの全貌を提案した。さらに、これらの転写制御因子をイネおよびシロイヌナズナに導入することで、開花時期の変更およびバイオマス生産性の向上に成功した²⁰。

さがけ研究終了後も多くの研究助成金を獲得して、さがけ研究課題の成果を発展、展開させている。例えば、科研費基盤研究(B)の研究課題「環境の時刻変動への適応を可能にする植物の時計転写ネットワークの包括的な解析」(2018～2021 年度)の中で、上述した転写制御システムの全貌を解明することを目指した。化合物スクリーニングを利用した研究を中心に組み込んだ結果、植物時計の安定性のしくみの中で働くタンパク質・遺伝子を新たに数多く見出すことができた。これら因子は、タンパク質リン酸化を担うものであり、時計メカニズムの中において翻訳後修飾が重要であることを示すことができた。また、化合物スクリーニングを起点として植物時計のメカニズムを理解する方法が、遺伝的重複性や変異の致死性を乗り越えて関連遺伝子を見出せる有効なものであることが立証できた。

また、科研費挑戦的研究(萌芽)の研究課題「花成ホルモン誘導化合物の解析」(2017～2020 年度)では、花成ホルモン遺伝子発現を誘導する人工化合物を処理した後の遺伝子発現プロファイリングによって、化合物の作用経路の解明を目指した。花成は植物の生活環の中において劇的な変化の1つであり、これにより植物は専ら光合成を目的とした個体の生長(栄養生長)から、次世代を残すための生殖生長へと転換させる。この転換を促す化合物は、光周性遺伝子に影響を与えることが明らかとなった。また光周性の中でも、時計遺伝子の発現に大きな影響を与えていた。

研究成果の社会実装についても積極的に取り組んでいる。早稲田大学のグループとの共同研究の結果、強力かつ特異性の高い植物のタンパク質リン酸化酵素(カゼインキナーゼ1:CK1)の阻害剤の開発に成功した²¹。この阻害剤は東京化成株式会社からすでに市販されており、これを使用して実験した研究者が、論文中で当該阻害剤を利用した実験結果を記載している²²。

この他にも、植物の花成時期を早める化合物の探索を民間企業1社との共同研究で推進している。以前より植物に熱、光、化学物質などの外部刺激を与えて花成時期を制御する研究開発は推進されてきており、夜間にビニールハウス中で電球光を与え続けて花成時期を遅らせ、端境期の市場へ提供して商品価値を上げる電照菊に代表されるような商品開発は古くから知られている。その一方で、単に商品価値の向上のみならず、花成時期の制御は地球温暖化がもたせている異常気象による作物被害を防止する可能性を秘めている。大雨による洪水や、逆に長期に亘る日照りによる干ばつなどが大きな農業被害を発生させることが世界的な大問題となっているが、一年中耕作に不向きな気候が継続しているというよりも、収穫直前に洪水で農作物を流される、生長の途中で干ばつに見舞われて枯れてしまうといったように、耕作に適した気候の期間が狭められてことが被害の主な要因となってい

²⁰ https://www.itbm.nagoya-u.ac.jp/ja_backup/research/20160323_PlantClock_JP_PressRelease_ITbM.pdf

²¹ <https://www.waseda.jp/top/news/64882>

²² <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2023.1275503/full>

る。したがって、植物、特に農作物の概日時計を人工的に制御することで生長を促し、耕作期間を短くして早々に収穫することで異常気象との遭遇を避け、安定的に農作物を生産することが可能になると期待できる。

中道は、「植物の概日時計の機構解明と制御」という研究を推進し、例えば地球温暖化による異常気象といった深刻な外的要因にすら影響されず、安定、安心、安全に農作物を収穫できる社会の創出を目指している(図 2-12)。



図 2-12 植物の概日時計の機構解明と制御による気候変動への対応

③永野惇(龍谷大学農学部 教授)

さきがけ研究期間中、永野は研究課題「フィールドオミクスによる野外環境応答の解明」において、実験室と野外での実験環境の違いによる植物生育の状況のギャップを科学的に理解するために、フィールドオミクスという手法を導入し、野外環境下での気象条件などの環境要因と、野外で栽培したイネのオミクス解析(ゲノム情報を基礎として生体を構成しているさまざまな分子を網羅的に調べていく方法)のデータとを関連付け、ある環境下での遺伝子発現パターンなどを予測できるモデルの構築を目指した。その結果、膨大な試料について新たな手法を導入して解析を進め、統計モデリングの高度化に成功した。さらに、体内時計や気温など様々な要因の遺伝子発現への決定論的な影響に加えて、個体間での確率的な揺らぎの大きさを定量することも可能となった。また、野外環境での遺伝子発現を再現する植物培養装置を開発した(図 2-13)。

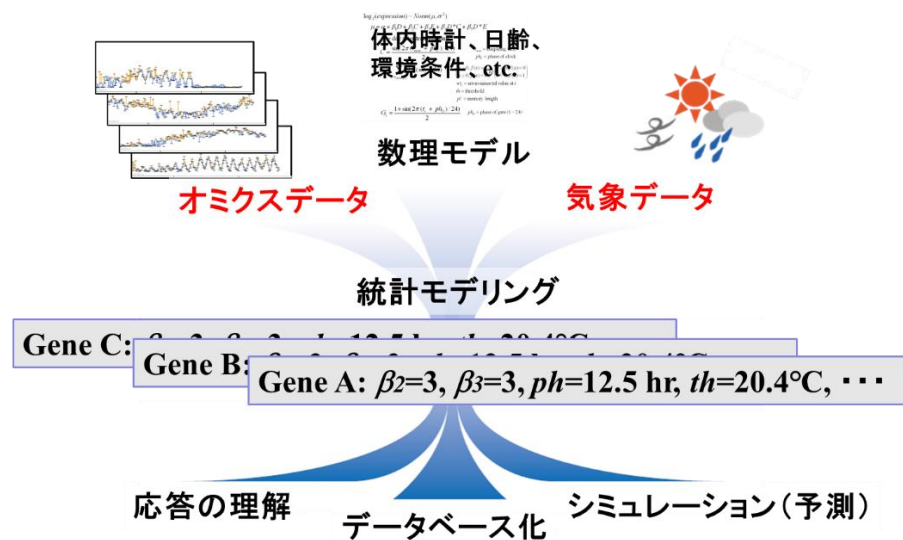


図 2-13 高精度な野外環境-遺伝子発現モデルの構築

続いてさがけ研究終了年度に、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(植物頑健性)」の研究代表者として採択され、研究課題「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」(2015～2021 年度)において、さがけ研究での研究成果を発展、展開させた。本研究では、同時に多数の環境条件での植物栽培を可能にする超並列環境制御ポットを開発し、これと低コスト多検体 RNA-Seq 技術を組み合わせることによって、トランスクリプトーム²³時系列データを介して植物状態を把握し任意の環境条件下での形質の予測・設計手法を確立することを目指とした。まず、新たに開発した小型人工気象器を用いて人為的に温度・日長を変化させた環境下でのトランスクリプトームデータを収集し、これを野外での大規模トランスクリプトームデータと比較・分析することによって高精度な気象-発現モデルを構築する手法を開発した。そして、その事例として収量関連形質(光合成能)を予測するモデルの構築に成功した。これは、環境変動に対する頑健性にとどまらず、植物が持つ幅広い能力についても、オミックスデータを基盤とする品種改良を進めていく上での概念的指針を与えるものであり、将来の科学技術イノベーションの礎になることが期待される²⁴。

引き続き CREST の研究期間終了後、創発的研究支援事業において研究開発課題「野外トランスクリプトームの化学的制御手法の確立」(2022～2029 年度)の創発研究者となった。独自の遺伝子発現予測技術、大規模な環境制御、ケミカルトランスクリプトミクスを組み合わせることで、温度や光などが刻一刻と複雑に変化する野外環境下における遺伝子発現の化学的制御を合理的に設計する技術の開発を推進している。農薬のような毒性を有しない化

²³ 細胞、組織などに蓄積する RNA 全体をトランスクリプトームと呼び、それを網羅的に解析するのがトランスクリプトーム解析(Transcriptome analysis)である。ゲノムが全ての細胞でほぼ同一なのに対し、トランスクリプトームは細胞の機能に応じた転写や転写後の調節を反映しており、細胞や遺伝子の機能についての情報を得ることができる。

²⁴ <https://www.ryukoku.ac.jp/nc/news/entry-8811.html>

合物を生物活性剤として植物に与え、化学的な操作によって遺伝子発現を誘導し、野外における環境応答の分子機構の解明、その自在な制御を目指している。

社会実装に向けた動きも活発である。大手化学企業やベンチャー企業など数社と共同研究を進める一方、一般社団法人クロックミクス²⁵の理事、先端技術研究所所長を務めている。同法人は、さきがけ研究期間中の2013年4月に設立され、トランスクリプトミクス、ゲノミクス、メタゲノミクスなど、様々な目的の解析を受託する事業を行っている。

永野は、さきがけ研究課題で「実験室と野外での実験環境の違いによる植物生育の状況のギャップを科学的に理解する」研究を立ち上げ、CREST 研究課題では小型人工気象器を用いた室内実験と大規模な圃場実験とを組み合わせ、高精度な気象-発現モデルを構築する手法を開発し、さらに創発的研究支援事業にて遺伝子発現の化学的制御を合理的に設計する技術の開発を進めるなど、着実に研究をステップアップさせている。目標としては、膨大な種類の植物に対して、野外環境の刺激による遺伝子発現を網羅的に把握し、高度な統計モデリングによって解析し、高精度な気象-発現モデルを構築する手法を開発することである。これが完成すれば、植物に関するあらゆる研究を開始する時には、すでに発現遺伝子のデータや実験結果の予測モデルが揃っているという世界が創造される可能性がある。

④橘熊野(群馬大学大学院理工学府 准教授)

さきがけ研究期間中、橘は研究課題「フルフラールを出発原料とする汎用高分子モノマーライブラリの構築」において、フラン誘導体を原料として得られる化合物群のライブラリ化と、ライブラリを活用した機能性バイオベース高分子の創出を目指した。フルフラールは、トウモロコシの芯などの非食用バイオマスから得られる含フラン環化合物で、他のバイオマスと比較すると工業生産が容易なことから、世界中で年間 20~100 万トン生産されており、1~2 \$ /kg と比較的安価なバイオマス原料である。まず、ポリエチレンテレフタレート(PET)の原料であるテレフタル酸をフルフラールのみから合成することに成功した。さらに、フルフラールから誘導される種々のフラン環化合物の合成法を確立してライブラリ化するとともに、それらをモノマーとして、汎用ではなくオキサビシクロ環を有する生分解性材料や高強度材料などの高機能性高分子を創出することの検討を開始した²⁶。

続いてさきがけ研究終了年度に、ALCA 事業(技術領域「ホワイトバイオテクノロジー」)に採択され、研究開発代表者として研究課題「フラン類の構造特性を利用した高機能性高分子材料の創出」(2016~2019 年度)の中で、本研究領域の研究成果をさらに発展させた。フラン環の2位同士を炭素-炭素結合で連結したビフリル骨格含有モノマーは、その剛直性や π 共役系の拡張という特長を活かして高分子化すれば、新たな電子材料や高強度材料の創出に繋がると期待できる。そこでまず、ビフリル骨格含有モノマーの合成方法の確立を目指し、フラン環同士のカップリング反応を検討した。その結果、高選択性かつ高収率で反応が進行し、副生成物が少ないことから濾過などで容易に目的物を分離できる合成手法を開発することができた。さらに、それらをモノマーに用いて高機能性高分子材料を創出する研究を進

²⁵ <https://www.clockmics.com/>

²⁶ <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20150204/index.html>

め、ビフルフルールからポリシッフ塩基(ポリイミン)、あるいはビフルフルールアルコールからポリエステルを合成した。得られたポリシッフ塩基は、エンジニアリングプラスチックであるポリブテンテレフタレートと同等の力学強度を有していることが明らかとなった。

引き続き ALCA 事業の最終年度に、未来社会創造事業探索加速型の「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域で、研究開発課題「高分子材料におけるベンゼン環からビフラン骨格への転換」(2019～2023 年度)の研究開発代表者となった。現在の化石資源由来材料はベンゼン環というビルディングブロックを用いて強度などの機能を発現している。したがって、バイオマス由来原料の普及にはベンゼン環代替のバイオベースビルディングブロック(Bio-BB)の開発が必要となる。そこで、Bio-BB としてフラン環に着目し、フラン環を連結したビフラン骨格がベンゼン環を代替する Bio-BB になりうるかを実証した。その結果、さまざまな高分子において、ビフラン骨格がベンゼン環に匹敵し凌駕する Bio-BB になることを明らかにしてきた。代表的な成果として、ビフラン骨格含有ケイ素化合物を合成してジェンと重合させることによって有機ケイ素高分子を創出し、ベンゼン環含有高分子などでは達成できなかった紫外線吸収特性や蛍光発光特性を付与することに成功した。本研究で開発したバイオマス材料は、紫外線吸収特性を利用したリサイクル性コーティング材料に加えて、電子材料やセラミック前駆体など様々な方面への利活用が期待できる。フラン環が Bio-BB として十分に機能することを証明した²⁷。

社会実装に向けた動きも活発である。フルフルールを出発原料とする機能性高分子の製品開発に関して複数の民間企業との共同研究を推進中で、特許の共同出願も 3 件あり、そのうち 2 件が成立しており、工業化を目指して研究を続けている。

この他にも NEDO のムーンショット型研究開発事業において、海洋分解性材料の開発にも着手している²⁸。将来的に、化石資源ではなくバイオマスから高機能材料を製造し、生分解させて二酸化炭素を環境に戻し、その二酸化炭素を原料とした光合成によって植物を成長させ、そこから得たバイオマスで再び高機能材料を製造するというサイクルが完成すれば、プラスチックによる環境汚染を防ぎつつ、大気への二酸化炭素の蓄積を防ぐことで地球温暖化を阻止する循環型社会を形成することが期待できる。

このような循環型社会実現のため、非食用バイオマスから生産されているフルフルールを出発物質とするサプライチェーン構築を目指している。特に、フラン環を Bio-BB として活用し、ビフラン骨格を有する高機能性ポリマーを開発することで、橘は「化石資源からのベンゼン環利用」から「バイオマスからのビフラン環利用」にパラダイムシフトすることを大きな研究目標としている(図 2-14)。

²⁷ <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20230410-2/pdf/20230410-2.pdf>

²⁸ <https://www.nedo.go.jp/content/100943643.pdf>

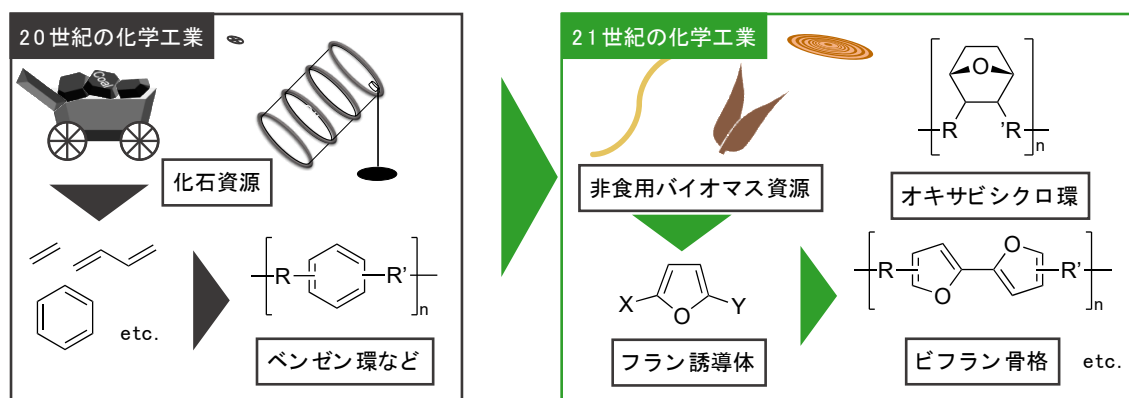


図 2-14 「化石資源からのベンゼン環利用」から「バイオマスからのビフラン環利用」への
パラダイムシフト

2.3.3 研究者の人材育成

さがけ研究領域においては、参画した研究者の人材育成も重要な目標となる。その一つとして、研究者の昇任・昇格状況に関して以下にまとめる。

さがけ研究終了時から本追跡調査実施時の研究者の職位を比べると、全研究者 31 名のうち、准教授から教授が 9 名、講師から教授が 1 名、研究員から教授が 1 名、公的研究機関の客員主管から教授が 1 名、助教から准教授が 3 名、およびさがけ研究者から准教授が 1 名、それぞれ昇任しており、公的研究機関内の昇任も 3 名存在する。現在、ほとんどの研究者が自ら研究室を主宰する立場にあり、人材育成の面でも本さがけ研究領域は成果を挙げることができたといえる。

以上