

戦略的創造研究推進事業  
—CREST・さきがけ複合領域—

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」

複合領域事後評価用資料

研究総括：磯貝 彰

2019年2月



## 目 次

1. 研究領域の概要 .....	1
(1)戦略目標 .....	1
(2)研究領域 .....	4
(3)研究総括 .....	4
(4)採択研究課題・研究費.....	5
2. 研究領域および研究領域の設定について.....	11
3. 研究総括のねらい.....	13
(1)CREST .....	14
(2)さきがけ .....	14
(3)複合領域として .....	14
4. 研究課題の選考について.....	15
(1)CREST .....	15
(2)さきがけ .....	16
(3)複合領域として .....	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.....	20
(1)複合領域として .....	20
(2)CREST.....	22
(3)さきがけ .....	24
7. 研究領域としての戦略目標の達成状況について.....	25
(1)CREST .....	25
(2)さきがけ .....	37
(3)複合領域として.....	50
8. 総合所見 .....	50



## 1. 研究領域の概要

### (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」

#### [具体的な達成目標]

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。

本戦略目標下の研究によって、光合成機能の解明による光合成効率の向上やバイオマスの増産、バイオリファイナリー技術の多様化・高度化等、植物を通じた二酸化炭素の資源化のための基盤技術の創出を実現する。これらの研究成果を大学等の研究ネットワークや企業等による実証・実用化研究につなげることにより、高い二酸化炭素固定機能や劣悪環境耐性等を有するバイオマス作物の開発、新たなバイオマス分解微生物・酵素等による効率的バイオマス利活用技術の確立等の実現を目指す。

具体的な研究の内容としては以下の研究を想定する。

- ①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
- ②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
- ③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

#### [目標設定の背景及び社会経済上の要請]

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書では、20世紀後半以降の地球温暖化は、人類が化石燃料を消費するなどして排出した温室効果ガスの増加が原因である可能性が非常に高いとされ、今後も温度上昇が続くことが予測されている。このような地球規模の温暖化を抑制し、化石燃料に依存しない持続可能な社会を構築するためには、再生可能エネルギーの確保や物質生産システムの抜本的転換が必要である。

このため、

- ・「科学技術に関する基本政策について」に対する答申(2010年12月 総合科学技術会議)の「エネルギー供給の低炭素化」の「バイオマス利用等の再生可能エネルギー技術の研究開発を戦略的に推進する」。
  - ・新成長戦略(2010年6月 閣議決定)の「I. グリーン・イノベーションにおける国家戦略」の木質バイオマスの熱利用、空気熱利用、地中熱・太陽熱の温水利用等の普及。
- さらに、③成長戦略実行計画(工程表)の「低炭素型産業の立地推進、世界拠点化に向

けた取組の推進」「資源エネルギー確保戦略の推進」「革新的技術の開発の前倒し、重点化(CCS(二酸化炭素回収・貯留)、原子力、次世代自動車、バイオリファイナリー、洋上風力等)」。

等の政策が決定された。

更に、同時期には下記の2つの計画、

- ・「平成23年度科学・技術重要施策アクション・プラン」(2010年7月)の「グリーン・イノベーション」における、「2.3 課題解決に向けた取組」の「食料と競合しない木質系バイオマスの大量導入を目指して革新的製造技術の研究開発」や、施策パッケージ「木質系バイオマス利用技術の研究開発」の「木質バイオマス利用技術のための目的基礎研究(文部科学省)」。

- ・バイオマス活用推進基本法に基づき、2010年12月に閣議決定された「バイオマス活用推進基本計画」における「バイオマスの活用の推進に関し、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策」の「バイオマス又はバイオマス製品等を供給する事業の創出等」「バイオマス製品等の利用の促進」や、「バイオマスの高度利用に向けて中期的に解決すべき技術的課題」の「木質系バイオマスといったセルロース系バイオマスの効率的な糖化技術、エタノール以外の様々な化成品原料を生産する発酵技術等の開発」「バイオマスプラスチックの更なる普及に向けて、低コスト製造技術、耐熱性・耐久性を向上させる技術等の開発」。

も策定され、その実現に向けて、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」が設定された。

本戦略目標を達成するためには、最先端研究基盤事業「低炭素社会実現に向けた植物研究推進のための基盤整備」で整備された基盤等を用いて、これまでモデル系生物を用いて行われてきた様々な生命機能の研究成果を活用し、効率的な二酸化炭素資源化やバイオマス増産に適した多様な生物種の解析等を展開することが求められた。バイオマス利活用技術に関しては、バイオ燃料創出等の先行事業の研究成果を最大限に活用するとともに、課題等を抽出して、長期的な展望を持つ基礎に立ち返った技術開発を推進することが求められた。

本戦略目標に係る研究開発は、植物科学から工学までの広い研究分野を含む。このため、本戦略目標下の研究を進めるに当たっては、理学系、農学系、工学系の異分野研究の融合を図ることが必要である。また、「大学発グリーン・イノベーション創出事業」により構築される、大学等の研究ネットワークとの連携も図り、植物の光合成機能やバイオマスに関する研究成果を共有することで、二酸化炭素資源化技術開発を加速させる。

さらにCREST・さきがけ複合領域「藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出」を始めとする関連研究領域や先端的低炭素化技術開発の関連研究などとも連携し、事業全体として効果的・効率的に研究を推進することが必要である。

[目標設定の科学的裏付け]

IPCC 第4次評価報告書では、人為的二氧化碳排出量のおよそ2割が、森林減少等によるものと試算されており、地球温暖化の適応・緩和策の中でバイオマスエネルギー政策の相乗効果やバイオマスの将来性が高く評価され、光合成による二氧化碳資源化技術の高度化が低炭素社会実現に大きく寄与することが予想されている。また、IEAの世界エネルギー展望2010においても、バイオ燃料利用が急増していくと予想されている。

光合成の代謝ネットワークやバイオマス生産に関わる生長制御や形態形成の解析、さらに植物の環境応答やストレス耐性研究など日本の植物研究分野における基礎科学技術水準は欧米と同等以上である。また、アジア諸国もバイオマス生産、作物生産の向上を目指した基盤研究に力を入れており、アジアにおける日本のリーダーシップを確保していくことが必要である。

日本においては、モデル系生物を利用して有用物質生産に関わる代謝物の網羅解析であるメタボロームや生長制御に重要な役割を果たすホルモンを対象にしたホルモノームなどの統合解析に大きな進展が見られることから、今後のバイオマス増産技術等への寄与が期待されている。さらに、乾燥、高温、塩害、酸性土壌などの劣悪環境耐性の研究や病害虫への感染耐性の研究でも世界をリードしており、その研究成果を発展させることが期待されている。

特に、二氧化碳の資源化については、これまでモデル実験系で大きな成果を上げている葉緑体機能の解明を基にした光合成効率の向上に関わる研究や、二氧化碳固定とバイオマス生産に関わる代謝制御ネットワークの解明と利用が有効であることが予想されるが、これらの知見がエネルギー、バイオマス作物に関する非モデル植物の遺伝子組換えなどには、まだ実現されていない。実用化のためには導入遺伝子を適切かつ厳密に制御するゲノム設計の技術が必要であり、今後、バイオマス生産向上に向けて導入遺伝子のゲノム設計や形質転換効率の向上を実現するための研究開発が必要である。また、植物の多様性に基づくゲノム情報解析を基に環境変化に対応した有用な遺伝子ネットワークの解明と利用も重要な長期的課題である。

さらに、二氧化碳の資源化のためには、二氧化碳を固定化したバイオマスの利活用に向けた研究が重要であり、バイオマスのエネルギー利用に関わる研究とともに、石油で作られている化学製品原料の代替研究が重要である。ポリ乳酸等のバイオプラスチックは実用化されているものの、コピー機やパソコン等の筐体に使用できる耐熱性のある新規バイオプラスチックの実用化は進んでいない状況である。これらの研究開発を実施することで、環境研究分野で国際的なイニシアティブを取ることが可能となる。

(国が定めた戦略目標より抜粋・引用)

## (2) 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年度発足)

本複合領域では、植物の光合成能力の増強を図るとともに、光合成産物としての各種のバイオマスを活用することによって、二酸化炭素を資源として利活用するための基盤技術の創出を目的とします。

具体的には、植物の物質生産能力の基本である光合成の制御機構を光合成産物の代謝や転流、及び窒素同化などとの相互作用も含めて統合的に理解し、それに基づいて光合成能力を向上させる基盤技術についての研究を推進します。また、植物の多様な環境への適応機構の解明に基づいた光合成能力向上や炭素貯留能向上、及び有用バイオマス産生のための基盤技術の創出を目指します。さらには、植物の物質生産能力を最大限に活用するためのバイオマス生合成・分解機構の理解とその活用技術の研究を推進します。これらの研究を推進するにあたり、二酸化炭素を資源化する革新的技術の開発までを見据えた、植物科学研究とバイオマス利活用研究の連携や融合にも取り組みます。

(2011年度募集要領より引用)

## (3) 研究総括

磯貝 彰 (奈良先端科学技術大学院大学 学長／奈良先端科学技術大学院大学 名誉教授)



(4) 採択研究課題・研究費

①CREST

(百万円)

採択年度	研究代表者	所属・役職 上段：研究終了時 下段：採択時	研究課題	研究費
2011 年度	鹿内 利治	京都大学 大学院理学 研究科 教授 同上	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	391
	田中 歩	北海道大学 低温科学 研究所 教授 同上	葉緑体機能改変によるステイグリ ーン植物の創出	161
	彦坂 幸毅	東北大学 大学院生命 科学研究科 教授 同上	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	231
	渡辺 隆司	京都大学 生存圏研究 所 教授 同上	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	276 (6.0)
2012 年度	浅見 忠男	東京大学 大学院農学 生命科学研究科 教授 同上	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 バイオマス高生産性植物の開発	297 (27.0)
	梅田 正明	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 同上	DNA倍加誘導系の確立による高 バイオマス植物の創出	229 (9.0)
	重岡 成	近畿大学 農学部 教 授 同上	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	325 (25.0)
	田口 精一	東京農業大学 生命科 学部 教授 北海道大学 大学院工 学研究院 教授	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	256.5* (27.0)
	堤 伸浩	東京大学 大学院農学 生命科学研究科 教授 同上	高速ジェノタイピングを利用した エネルギー作物のテーラーメイド 育種技術の開発	463* (3.0)

2013 年度	芦苺 基行	名古屋大学 生物機能 開発利用研究センター 教授 同上	作物の地下茎による栄養繁殖化に 向けた基盤技術の開発	401 (21.0)
	磯貝 明	東京大学 大学院農学 生命科学研究科 教授 同上	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	260 (35.0)
	大西 康夫	東京大学 大学院農学 生命科学研究科 教授 同上	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	385 (14)
	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 同上	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	411 (79.0)
			総研究費	4,086.5

各研究課題とも5年間の総額（\*は1年追加支援を含む）

（ ）内の数字は増額支援額(内数、10万円まで表示)

②さきがけ

(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
2011年度	岩井 優和	JST さきがけ研究者 理化学研究所 基幹研 究所 基礎科学特別研 究員	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	39
	上田 貴志	自然科学研究機構基礎 生物資源研究所 教授 東京大学 大学院理学 系研究科 准教授	膜交通の機能改変による高機能植 物の開発【5年型】	99
	小田 祥久	国立遺伝学研究所 新 分野創造センター 准 教授 東京大学 大学院理学 系研究科 助教	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	40
	笠原 博幸	理化学研究所 環境資 源科学研究センター 上級研究員 理化学研究所 植物科 学研究センター 上級 研究員	オーキシンによる植物の器官形成 制御技術の開発	40
	小林 高範	JST さきがけ研究者 石川県立大学 生物資 源工学研究所 特別研 究員	植物の鉄センシング機構解明によ る生産力の強化	40
	内藤 健	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 農業生物資源研究所遺 伝資源センター 任期 付研究員	Vigna 属野生種群が独自に獲得し た耐塩性機構の解明【5年型】	100
	中尾 佳亮	京都大学 大学院工学	木質系バイオマスを利用する高付	40

		研究科 教授 同上 講師	加価値多置換芳香族化合物の精密 合成手法の創出	
	中島 敬二	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 同上 准教授	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	40
	中道 範人	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 名古屋大学 高等研究 院 特任助教	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	40
	三輪 京子	北海道大学 地球環境 科学研究所 准教授 北海道大学 創成研究 機構 特任助教	肥料有効利用型植物の作出基盤	40
	山口 雅利	埼玉大学 研究機構環 境科学研究センター 准教授 埼玉大学 総合研究機 構環境科学研究センタ ー 准教授	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	40
2012 年度	秋山 拓也	東京大学 大学院農学 生命科学研究科 助教 同上	化学反応性に則したリグニン高分 子構造の解析	28 (1.8)
	有村 慎一	東京大学 大学院農学 生命科学研究科 准教 授 同上	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	43 (3.2)
	千葉 由佳子	北海道大学 大学院理 学研究所 准教授 北海道大学創成研究機 構 特任助教	ショ糖過剰ストレス耐性に関わる 転写と mRNA 分解の協調制御	41 (1.0)
	塚越 啓央	名古屋大学 遺伝子実 験施設 特任講師 名古屋大学大学院生命 農学研究科 特任助教	バイオマス生産性を支配している 細胞機能転換転写制御ネットワー クの人工構築	40

	中島 清隆	北海道大学 触媒科学 研究所 准教授 東京工業大学応用セラ ミックス研究所 助教	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	40
	永野 惇	龍谷大学 農学部 講 師 京都大学・日本学術振 興会特別研究員	フィールドオミクスによる野外環 境応答の解明	50 (9.8)
	平野 展孝	日本大 学工学部 准 教授 同上	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	35
	藤本 龍	神戸大学 大学院農学 研究科 准教授 新潟大学 大学院自然 科学研究科 助教	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	41 (1.0)
	松本 謙一郎	北海道大学 大学院工 学研究院 准教授 同上	光合成と連動するバイオポリマー 合成系の構築	32 (1.3)
	山口 礼子	(応募時) 京都大学 大学院生命科学研究所 助教	miRNA による植物の年齢制御メカ ニズムの解明と応用展開	0*
2013 年度	安達 俊輔	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 農業生物資源研究所 日本学術振興会 特別 研究員	葉内 CO <sub>2</sub> 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	41 (1.0)
	岩本 政雄	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 農業生物資源研究所植 物科学研究領域 主任 研究員	包括的物質輸送促進による生産強 化技術の開発	20**
	梅澤 泰史	東京農工大学 大学院 生物システム応用科学	アブシシン酸シグナル伝達の中枢 ネットワークを標的とした次世代	45 (6.2)

	府 准教授 東京農工大学 農学研 究院 准教授	型環境ストレス耐性植物の創成	
笠原 竜四郎	JST さきがけ研究員 名古屋大学 大学院理 学研究科 研究員	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	40 (0.5)
草野 都	筑波大学 生命環境系 教授 理化学研究所 環境資 源科学研究センター 上級研究員	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	34 (2.5)
西條 雄介	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 同上	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	51 (11.2)
橘 熊野	群馬大学 大学院理工 学府 助教 群馬大学 理工学研究 院 助教	フルフル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	46 (6.4)
豊田 正嗣	埼玉大学 大学院理工 学研究科 准教授 ウィスコンシン大学・ 日本学術振興会 海外 特別研究員	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	41 (2.8)
松下 智直	九州大学 大学院農学 研究院 准教授 同上	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	53 (12.6)
山口 有朋	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 産業技術総合研究所 コンパクト化学システ ム研究センター 主任 研究員	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	41 (1.0)
矢守 航	東京大学 大学院理学 系研究科 准教授	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	45 (5.3)

		千葉大学 環境健康フ ィールド科学センター 助教		
			総研究費	1,365

( )内の数字は増額支援額(内数、10万円まで表示)

\* : 採択後、自己都合により研究中止

\*\* : 2年目で研究中止

## 2. 研究領域および研究総括の設定について

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。ゆえに研究推進体制として、異なる分野の研究者からなる研究チームの編成が可能な CREST を選定することは適切である。一方で、二酸化炭素資源化の効率の劇的な向上に資する観点で、従来にない斬新な発想による挑戦的な研究や、周知の個別のボトルネックの解決につながるような、独創的な発想による研究を推進することも重要であり、このような個人研究者の独創性を必要とする研究をさきがけにおいて実施することは適切である。更に、1人の研究総括が CREST とさきがけを一体的に推進する体制とすることにより、チーム型研究と個人型研究の交流と連携が一層緊密で活発となり、その相乗効果からそれぞれの研究課題の効率的な推進とともに、より広範な分野での技術革新が期待できる。

以上のように、本研究領域は戦略目標達成に向けて適切に設定されている。国際的に評価の高い我が国の植物科学研究を基盤としエネルギー資源の多様化と低炭素化の実現への貢献を目指す取り組みであり、社会的要請のみならず、過去の関連施策による研究成果の発展や基盤強化として学界の関心も高い。加えて、「植物を利用したグリーンイノベーションに向けてのシンポジウム」(2010年5月)や「グリーンイノベーションに向けた新たな植物科学」(2010年12月)などの開催にも見られるように、グリーンイノベーションへの植物

科学の貢献についての意識醸成と産学連携基盤の構築が行われており、多数の優れた提案が見込まれる。

以上のことから、本領域が設定された。

#### 研究総括 磯貝 彰

磯貝 彰氏は、応用分子細胞生物学分野のうち、特に自家不和合性の分子機構についての研究で知られている。自家不和合性とは、おしべとめしべの両方を備える両性花にも関わらずその種子形成には自個体の花粉ではなく他個体の花粉を必要とする現象であり、種の遺伝的多様性の維持に寄与するものとされており、その自他識別機構は学術的にも応用的にも重要な課題であった。同氏はこの現象の分子機構を世界に先駆けて解明し、また、その現象を活用することによって収量に優れるなどの利点のあるハイブリッド種子を効率的に生産する技術への道を拓いた。このような同氏の研究業績は、日本学士院賞の受賞や文化功労者の顕彰などに表われているように、顕著に高く評価されている。同氏は上記の研究以外にも、植物や微生物の様々な生命現象について、化学と生物の境界領域の立場から多くの優れた研究成果を有し、また、生命現象の分子機構の解明のみならず、その研究成果を活用する技術の開発においても高く評価されていることから、光合成能力や環境適応能力などといった植物が持つ能力を二酸化炭素資源化に活用する基盤技術の創出を目指す本研究領域の運営と推進に関し、比類ない先見性と洞察力を有していると考えられる。

同氏はまた、日本農芸化学会会長、日本学術会議会員、文部科学省科学技術・学術審議会委員などを歴任していることから、幅広い分野の研究者から信頼され、適切な評価と公平な選考を行いうると思われる。これらの要職の他にも奈良先端科学技術大学院大学の学長を務めており、適切な研究マネジメントを行う豊富な経験と十分な能力、若手研究者の育成に対する熱意と指導力を有しているとみられる。更に、本研究領域では幅広い研究分野の交流と連携が肝要であり、研究領域内連携のほか現在進行中の関連他施策との協調が重要と考えられるのに対し、同氏は他の関連施策まで含めた俯瞰的な視野と豊富な人脈を備えているとみられる。

以上のとおり、磯貝 彰氏は、優れた研究業績や豊富な研究マネジメント経験のほか、広範かつ俯瞰的な視野を有し、同氏の専門分野のみならず様々な分野の研究者からの信頼も厚い。広範囲の研究を対象とし本研究領域内のほか関連他施策まで考慮したマネジメントが必要となる本研究領域の研究総括として適任と考えられた。

（「平成 23 年度戦略的創造研究推進事業における  
新規発足領域及びその研究総括の決定について」より引用）  
（JST 記載）



### 3. 研究総括のねらい

二酸化炭素の削減は、地球規模の課題である。この対策としては化石資源から、特にエネルギーを産生する際発生する二酸化炭素を削減するという方向と、二酸化炭素を資源として消費するという 2 つの方向がある。後者の方向には植物の持つ光合成機能の活用が不可欠である。光合成では、二酸化炭素を出発原料として太陽エネルギーを用いてそれを還元し、炭素-炭素結合から成る有機化合物を生成することができる。こうした炭素-炭素結合の形成は、現在研究が進められている人工光合成でもまだできていない植物の持つきわめて優れた能力である。こうした視点に立つとき、光合成により生成されたエネルギーレベルの高い有機化合物を燃焼などによって熱エネルギーに変換するのではなく、一つのバイオマス資源として活用し、それを化学的・工学的、あるいは生物学的なプロセスにより分解・変換・再結合して工業製品原料や有用ポリマーなどを作り出す科学技術の確立は、長期的に見れば二酸化炭素削減のためのきわめて重要な対策であり、それを実現する科学技術の確立は重要、且つ、戦略的に推進すべき研究課題となる。本資料にも既に書いてきたように、我が国の植物科学分野の基礎研究力が日本の科学研究の中でも特に優れたものであり、その多くの成果が世界の第一級のものであることは、よく知られていることである。しかし、こうした基礎的な分野での科学力が、イノベーションにつながる科学技術の確立にまだ十分貢献できていないという問題があるのは事実である。それにはいくつかの原因があるが、その一つは、基礎科学が対象としている植物がモデル植物であり、作物や実用植物を対象とした研究が少ないこと、また、実験室と野外での栽培条件が大きく異なること、さらには、農学や理学分野の研究者と工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ことなどがある。また、これまでに活用が期待されている技術の中で重要なものである遺伝子組換え植物の活用について、社会的な許容がまだ十分でないこともこれに加えてある。この最後の問題はこれからも重要な問題として、社会的な解決が期待されるころではある。

こうした中、本複合領域は、二酸化炭素を出発点として、最終的に、工業製品を生み出す技術開発の基盤を確立することも目的として設定された。しかしながら、モデル植物の結果を実用植物へと展開しようとする際に問題となる、実験に要する時間が圧倒的に長いということは、植物の基礎研究が産業化への応用研究に展開されていない理由の一つであり、研究の推進に現実的には大きな障害となっているのは事実である。本複合領域においても、最長 5 年という研究期間で、1 世代 1 年という実用植物を対象としてどのくらいの繰り返し実験が可能かは、その成果をさらに次のステップに展開しようとするとき、やはり、現実的には大きな制約となる。すなわち、本複合領域での研究において、二酸化炭素から出口の工業製品の生産まで、一つの研究課題で実施することはきわめて困難である。こうしたことを考慮した上で、今回、CREST とさきがけのハイブリッド型として、本研究領域が設定される機会に、研究総括としては、以下のようなことを想定した。

### (1) CREST

本 CREST 研究領域では、理農工の連携によって、できるだけ入り口から出口に至る幅広い分野の研究を展開する研究課題を採択し、新たな融合研究への展開を図る。また、光合成研究は、本複合領域の基盤にあたる分野であり、日本の優れた研究力が活かせるような体制をとる。

### (2) さきがけ

本さきがけ研究領域では、この分野の将来の技術展開に至る可能性を秘めた、それぞれの分野で先端的、且つ、挑戦的な研究を採択し、研究を推進するとともに、本 CREST 研究課題との連携を図り、総合的にこの分野の研究の推進を図る。そのためには、本さきがけ研究領域では、全体研究の推進に貢献しうるような、新たな方法論を対象とした研究も重視する。このような方針で、それぞれの研究課題が、二酸化炭素から工業製品に至る研究を通して展開するのではなく、領域全体として見たとき、入り口から出口までが通して研究されている状況をとることとした。当然のことながら、モデル植物だけを対象とした研究ではなく、作物、バイオマス植物などを対象とした研究を主体とし、また、バイオマスからそれらを分解して、工業製品を作成する研究においても、実バイオマスを材料とした研究を展開することを重視した。

### (3) 複合領域として

本複合領域の研究の主要な柱として、①光合成の効率化により、植物の二酸化炭素資源化能力を高める研究、②植物(作物、バイオマス植物)の環境耐性力(病虫害耐性、高低温耐性、乾燥耐性、塩耐性など)を高め、バイオマスとしての植物生産量を増強する研究、③バイオマスを効率よく分解し有用成分を作り出す研究、並びにそれらを効率よく変換する研究、またバイオマス、あるいはバイオマス由来の成分を材料として有用な工業製品やバイオプラスチックなどを作成する研究、の3つの分野の研究を展開することとした。それらの具体的な内容は「4. 研究課題の選考について」以下に記すこととする。このようにして、本複合領域の研究によって、理学や農学分野での日本の高い植物科学研究力を、工学などの応用化学分野の研究と結びつけ、二酸化炭素を資源化し、それを活用するシステムを構築し、この分野のイノベーションにつなげることを目指した。

また、本複合領域では、優れた研究成果を生み出すこととともに、広範な植物科学研究者のネットワーク形成、また、この分野の将来を担うべき研究者および研究者集団の育成も、領域運営にあたっての一つの大きな目的とした。その際重要なことは、本複合領域が CREST とさきがけからなるハイブリッド型の研究領域であることである。そこでは、本複合領域がバーチャルな研究所としての機能を発揮し、個々の研究課題がそれぞれの目的とする成果を上げ、また、CREST とさきがけそれぞれの領域全体として期待される成果を上げるだけでなく、この2つの研究領域の相乗効果を期待しなければならない。そしてそれによって本複

合領域に期待される上記の多様な目的を達成することが必要である。そこで、本複合領域では各種の活動(研究会、研究発表会など)を両者一体として行い、領域内での研究の交流や協力体制を強化するとともに、本 CREST 研究領域の中で活躍する若手研究者もまた、この分野の将来を担うべき研究者として位置づけ、さきがけ研究者との交流を図るようにした。また、「最先端・次世代研究開発支援プログラム」の研究者の中でこの領域の研究分野にかかわる研究者もさきがけ研究者と交流することを支援した。さらに、本複合領域の一年前に発足した、「藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出」(藻類バイオエネルギー)複合領域とは、光合成という視点では、共通の課題をもつこと、さらに本複合領域と同時に策定された「植物 CO<sub>2</sub> 資源化研究拠点ネットワーク (Network of Centers of Carbon Dioxide Resource Studies in Plants: NC-CARP)」プロジェクトがバイオマスの活用について具体的なイノベーション目指しており、本複合領域とも関連が深いことからこれらの複合領域、プロジェクトとの連携も図った。これらは、すべて、植物科学全体として、それを基盤としたイノベーション創成を目指すネットワークを作り上げるためである。

#### 4. 研究課題の選考について

##### (1) CREST

本 CREST 研究領域については、一年目は、53 件の応募から 4 件を採択した、それらは、光合成の環境適応機構の改変、葉緑体の機能維持と強化、高二酸化炭素濃度・高温の環境においても生産性を維持できる植物の作出、および植物が生産する物質から機能性ポリマーを合成する技術の開発、というそれぞれに異なったアプローチで二酸化炭素の資源化に取り組む提案であった。また、この年度は植物バイオマスの利活用において不可避な課題である、植物バイオマス分解および分解物を有用物質合成の原料として使用するための分離・精製に関わる部分を対象とする研究提案が多くはなかったので次年度以降に期待した。二年目の選考では、31 件の応募課題から 5 件を採用した。ここでは、植物ホルモン作用の遺伝的・化学的制御、細胞サイズ増大の人工的誘導、二酸化炭素固定機能(ソース機能)と光合成産物の貯蔵機能(シンク機能)の同時強化、植物成分からポリマーを合成する微生物工場の構築、ゲノム情報を活用したバイオマス作物育種技術の開発、というそれぞれに異なったアプローチで二酸化炭素の資源化に取り組む研究提案を採択することができた。三年目は、46 件の応募課題から 4 件を採択した。それらは、イネ科作物への地下茎増殖能の付与、エピゲノム制御による環境ストレス適応力の強化、植物成分からの高性能プラスチック合成、新規セルロース系素材の開発、という目標を掲げる研究提案を採択した。

こうして、2011 年度の研究領域発足以来、3 回の公募で 13 件の CREST チームを採択した。戦略目標と本複合領域が掲げる、光合成能強化、バイオマス生産性向上、バイオマス利活用、の 3 つの分野に多方面からアプローチする研究体制を整えることができた。各チームが研究代表者のリーダーシップのもとに研究を進め、理学・農学・工学領域の研究者が集まる本

複合領域のネットワークを活かし、植物の物質生産から植物バイオマスの活用技術までを見通すことができる共働・連携研究を進めていくことを期待した。

## (2) さきがけ

本さきがけ研究領域においては、一年目は、121 件の応募課題から、11 件(うち 2 件は、5 年の研究期間)を採択した。それらは、光環境適応や環境耐性、栄養、概日時計、バイオマス産生など二酸化炭素資源化を実現するための多方向からのアプローチに関する研究提案であった。なお、植物バイオマス分解および分解物を有用物質合成の原料として使用するための分離・精製に関わる部分を対象とする研究提案が多くはなかったため、それらは次年度以降に期待した。二年目は 116 件から 10 件(うち 1 件は採択後辞退)を採択した。この年度は非常に広い分野からの提案があり、様々な切り口からバイオマス増産を目指す植物研究だけでなく、基礎研究の成果を応用していく上で欠かせない視点を与える研究や、バイオマスの構造解析と分解、活用技術の研究についても優れた提案を採択することが出来た。三年目は 124 件の応募課題から 11 件を採択した。この年度も非常に広い分野からの研究提案があり、前回までにはない新しい切り口からの研究も採択することができた。また、2011 年、2012 年度の不採択理由を参考にした上で、再提案された結果、本年度採択となった研究提案もあった。

以上のように、2011 度の研究領域発足以来、3 回の公募で 32 件の研究課題を採択した(実施に移されたものは 31 件)。そして、各研究者が、多様な観点から植物の生産力強化と生産物活用という研究領域の目標に取り組んでくれるものと期待した。また、本複合領域の特徴の一つは、CREST とのハイブリッド型であるので、さきがけ研究者のみならず、CREST 研究者とも交流を広げて大いに活躍し、将来において本複合領域を担っていく研究者に成長するとともに、その成果がこの分野の“さきがけ”となることを期待した。

## (3) 複合領域として

### [選考方針]

本複合領域は、植物の光合成能力の増強を図るとともに、光合成産物としての各種のバイオマスを活用することによって、二酸化炭素を資源として利活用するための基盤技術を創出することを目的に開始されたものである。具体的な研究分野としては、①光合成制御機構の統合的理解と光合成能力向上についての研究、②環境適応機構の解明に基づく光合成能力向上や炭素貯留能向上及び有用バイオマス産生についての研究、③バイオマス生合成・分解機構の理解とその活用技術の 3 つの分野の研究を対象としている。そして、選考方針としては、さきがけが個人型研究であり、CREST がチーム型研究であることから、部分的に違いがあるものの、基本的には、1. 学術的に秀でていること、2. 植物の光合成能力や物質生産能力を活用する研究提案となっていること、3. 二酸化炭素の資源化という課題の解決に向けて達成しようとする目標が明確に設定されていること、を重視した。これに加えて、本さき

がけ研究領域では、4. 提案内容と実施体制の独立性や独創性、挑戦性についても重視した。また本 CREST 研究領域では、4. 研究代表者のリーダーシップのもと、チーム全体で達成しようとする目標が明確であることも重視した。また、理学・農学・工学の研究者が「植物の物質生産力を活用して二酸化炭素を資源化する」という共通の目標のもとに協働・連携したチームを編成した研究提案を期待した。次年度以降の採択では、既に選考された課題との関連、あるいは、全体として、3つの研究分野がバランス良く配置されるよう、配慮した。

審査は領域アドバイザーによる書面審査による第一段審査とヒアリングによる第二段審査によって行った。なお、さきがけ研究領域では、応募件数がきわめて多いため、第一段審査としての書面審査において、外部の専門家の協力も得た。

具体的な研究の内容としては以下の研究を想定して選考を行った。

①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

- ・比較ゲノム解析を利用した葉緑体代謝システムの解析
- ・炭素代謝過程の改良と二酸化炭素固定効率の向上

②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

- ・メタボロームなどの統合オミックス解析による代謝制御ネットワークの解析
- ・C3 光合成機能の改良と、C3 型光合成生物への C4 光合成導入
- ・光合成シンク/ソースの最適化研究
- ・ゲノム設計・分子育種によるバイオマス生産性向上、新規バイオマス植物の創出

③バイオマス分解・脂質合成システムの解明を通じた、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

- ・バイオマス分解微生物育種研究、新たな酵素の開発による、バイオマス利活用効率の向上
- ・植物育種とマテリアル化学・工学と連携した新素材開発研究
- ・ポリ乳酸等に続く新しいバイオプラスチック素材の創出、高機能化

[募集活動]

本複合領域の課題募集にあたっては、選考方針で述べた具体的に想定される研究内容に沿った課題の応募を促すため、多くの植物科学研究者が参加する「植物科学シンポジウム」(2011年12月2日)で領域の全体像を紹介するとともに、関連する分野の学会などを通じて周知活動を行った。また最終年の募集を前にして、2013年4月6日には、JSTにおいて本複合領域のミニシンポジウムを開催し、宣伝に努めた。その結果、多様な分野から多くの応募があり、選ばれた課題が領域全体をカバーしている。採択された各研究者の本領域での位置づけをまとめると下図のようになる。

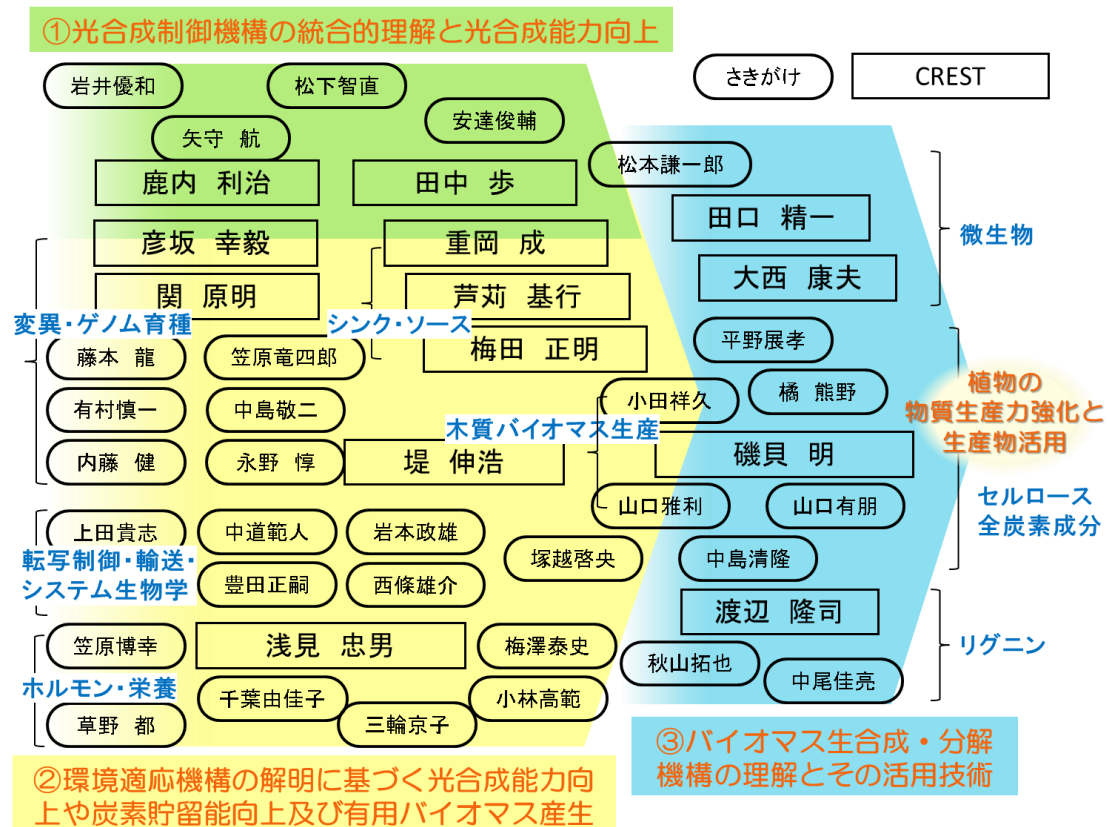


図. 二酸化炭素資源化研究領域 実施課題分布

## 5. 領域アドバイザーについて

本複合領域がカバーする研究分野は、光合成からバイオマスの生産増強、さらに、バイオマスを活用した生産技術基盤の開発と、二酸化炭素から工業製品まで、きわめて幅広い。そのため、これらの全領域をカバーしうるように多様な専門分野の研究者 11 名を領域アドバイザーとして委嘱した。その際、それぞれの専門分野で研究実績、また、評価者としての実績のある研究者を選考した。また、本複合領域は、理学、農学、工学の融合を図ることも重要であり、領域アドバイザーとしての、こうした所属にも配慮した。さらに、シニアの研究者のみならず、若手研究者、および、女性研究者、民間企業の研究者からも著名な研究者を選考した。以下、領域アドバイザーの所属・役職、専門分野を下記の表に示す。

領域アドバイザー名 (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	理事・副学 長・理学系研 究科教授	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

## 6. 研究領域のマネジメントについて

### (1) 複合領域として

既に「3. 研究総括のねらい」に記述したように、本領域の特徴は、研究内容としては二酸化炭素から工業製品までの 3 つの分野からなる長いプロセス、そして研究チーム構成としては、CREST とさきがけのハイブリッド型であることである。そのため全体として見れば、個人型研究から大型のチーム型研究までが含まれ、また研究対象分野も、光合成という基礎的な分野から微生物工学や化学プロセスによる工業製品の作製までと幅広い。こうした領域の特性を活かしつつ、且つ、それぞれの研究が発展するよう努めることが研究総括としての責任である。また、研究成果のみならず、植物科学研究領域のネットワーク形成や今後この領域を担う中心的研究者、若手研究者の育成も、本複合領域では目的の一つとして考えている。こうした本複合領域の目的達成のため、領域の運営にあたっては CREST とさきがけを一体として考え運営することを基本方針とした。そして、異なる分野の研究者間における相互理解を図る中での共同研究などの推進、共通した分野の研究者間での研究情報の交換や共同研究などの推進を通じて、領域内全体として相互支援が行われ研究が推進されること、また、若手研究者が活躍し研究者ネットワークが形成されることを心がけた。また国策として実施されている関連分野の研究領域、研究プロジェクトなどとの連携も図ることとした。なお、本領域発足当初は、関連プロジェクトとしては、NC-CARP と先端的低炭素化技術開発 (ALCA) のみであったが、2015 年度から、戦略的創造研究推進事業の中で、植物系の 3 領域 (CREST「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) (研究総括 田畑哲之))、さきがけ「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) (研究総括 岡田清孝) 及びさきがけ「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」(情報協働栽培) (研究総括 二宮正士)) が発足した。そこでこれらのプロジェクトとの連携も重視した。領域の運営にあたっては、適宜開催した領域アドバイザー会議での議論や事務局等の意見も取り入れつつ、研究総括として判断し、いろいろな施策を行ってきた。

まず、領域内のさきがけと CREST の研究者の連携施策としては、具体的には、年度ごとの研究成果発表会は CREST とさきがけの合同領域会議とし、プログラムも両プロジェクトを研究分野ごとに整理して配置し、開催した。これとは別に、年に一度さきがけ単独の領域会議を泊まりがけで開催したが、ここでは本 CREST 研究領域で共同研究者として研究を実行している若手研究者も同時に参加することを推奨し、相互の研究の理解と情報交換、若手研究者のネットワーク形成に努めた。さらに、合同領域会議およびさきがけの領域会議については、既に研究期間が終了したさきがけ研究者についても参加を呼びかけ、形成されつつあった若手研究者ネットワークの維持と、研究の連携の一層の推進を図った。また、2017 年には、さきがけ領域会議としてではなく、本領域の若手研究者の勉強会として、さきがけ研究者および CREST の若手研究者の研究会・交流会を開催した。また領域会議以外では CREST 研究領域のいくつかの研究課題の中でストリゴラクトンを一つのキーワードとしている研



究チームがあることから、「ストリゴラクトン研究会」を開催することとし、2度開催した。2014年度には4チームから、また2015年度には3チームからチーム間の壁を超えて当該研究者が集まり、最先端の研究の紹介と意見交換を行った。また、2015年度には、本CREST研究領域の光合成関係の2つのチームが合同で研究連絡会議を実施した。本さがけ研究領域の研究者の間で、一層の研究交流を図り、それぞれの分野の研究者ネットワークを形成することを目的として、2014年度および2015年度にさがけ研究者を研究分野別に5つのグループに分け分野ごとの勉強会を開催した。この勉強会には本CREST研究領域の研究者を含めた特別講師を呼ぶなど、最先端の研究情報を交換するとともに、領域会議という全体の中での短時間の発表では行えない濃密な研究内容の紹介・討論を行うことが出来た。

また、植物科学の応用において重要課題である「データ科学の発展と植物科学との融合」についてのワークショップを開催し、さがけとCRESTの研究領域の当該分野の研究者および外部の研究者を招いて研究交流を行った。こうした領域内の研究連携体制とは別に、2016年には、戦略的創造研究推進事業として2015年度に新たに発足した植物系CREST、さがけ3領域との合同シンポジウムを開催し、領域間及び、関連研究者の連携を図り、また、本領域から後発領域への発展的研究を期待する研究者への情報の公開を図った。その結果、本領域の研究者で後発3領域の中で研究計画が採択されたものもある。さらに2018年度には、2日間にわたって、4領域合同の若手研究者の合同勉強会を開催し、研究交流を図るとともに、招待講演者を含め、今後の本領域の研究が発展する方向性などについて、広範な議論を行った。国際的な連携としては、2013年度にNC-CARPと共同で国際シンポジウムを開催した。本シンポジウムでは海外からのこの分野の著名な研究者を招待し、世界での研究動向についての情報交換を行うことが出来た。また、各研究代表者の主催する国際シンポジウムをその経費なども含め、積極的に支援した。

以上のような各種の連携推進施策により、さまざまな情報交換を行うとともに、領域内において、さがけとCRESTのそれぞれの研究領域の枠を超えて様々な形での共同研究が行われ本複合領域全体の活性化に貢献した。

さらには成果の外部への情報発信という観点から、研究成果の広報や企業研究者などへの情報発信なども積極的に進めた。研究成果の公表としては専門家向けには、多くの論文として発表されているが、関連学会でのシンポジウムなどでもその成果を発表した。さらに、研究成果の企業研究者への発信方法として、2014年から、多くのバイオ関連の研究者等が集まる各種の大きなフォーラムや展示会を活用し、そのテーマにふさわしい研究者を選んで、口頭及びポスターで発表を行うとともに、研究に興味を示す参加者と本領域研究者が直接個別に意見交換を行ってきた。具体的には、バイオマスエキスポフォーラム、JSTフォーラム、アグリビジネス創出フェア、ファインケミカルジャパン、再生可能エネルギー世界展示会などである。また、優れた研究成果についてはプレスリリースも積極的に行い、その研究成果が新聞、テレビなどで取り上げられたケースも多数ある。

## (2) CREST

### ①研究課題の進捗状況の把握と評価、それに基づく指導

本 CREST 研究領域では領域アドバイザーの中からその分野に詳しい有識者を選び、課題担当アドバイザーとして位置づけ、領域会議やチームごとの研究連絡会議で、研究の進捗状況の把握と研究方向などについてのアドバイスを行ってきた。なお年に 1 度から数回行われているチーム連絡会議に際しては、原則的に研究総括と担当アドバイザーが出席していた。また必要に応じて研究環境や新規購入機器類の状況を把握すべく研究室を視察している。本 CREST 研究課題の中間評価は、2014 年度には 2011 年度採択の 4 課題、2015 年度には 2012 年度採択の 5 課題、2016 年度には 2013 年度採択の 4 課題に対して行い、全課題を評価した。評価は領域アドバイザー全員で行い、進捗状況や今後の方向について意見交換がなされ、得られた領域アドバイザーのコメントも踏まえて、研究総括から今後の研究の進め方に関するコメントを各研究代表者にフィードバックした。その結果、優れた研究については今後の研究の方向性や展開方法などについて示唆し、また進捗状況の思わしくない研究については、研究を集中化することや特定の課題の中止を含む研究内容の縮小を勧告した。こうした評価は、後述するように次年度予算に反映させた。

### ②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

複合領域としての活動なので、(1) にまとめて記載。

### ③研究費配分上の工夫

本 CREST 研究領域では採択課題の研究計画の策定時及び各年度に十分内容を検討して配分額を決定した。そして各年度に、総括裁量経費として確保しておいた予算から、それぞれの研究課題の進捗状況についての評価も考慮した上で、優れた研究を一層推進するために研究途中で必要となった機器類の購入経費などを配分した。また 2015 年度においては、これらの申請に対して特別に JST からの追加配分を得ることも出来た。その主要な支援例として、形質評価用無人ヘリコプターシステム、高解像度画像撮影装置、液体クロマト/質量分析装置 (LC/MS)、低温下マイクロ波反応装置、低照射量電子回折記録システム、ゲル浸透クロマトグラフィー装置、ポータブル植物光合成総合解析システム、蛍光実体顕微鏡、土壌水分調整システム、セルロースのフィブリル化装置、クロロフィル蛍光測定装置などがある。さらに領域内での共同研究の推進や国際交流への支援についても総括裁量経費として配分した。一方、中間評価で研究の進捗状況にやや問題がある課題については、研究計画の縮小・集中化を図り、翌年度以降の予算を減額した。

### ④複合領域中間評価結果への対応

領域中間評価においては、領域マネジメントについて、「欲を言えば、バイオマス利用の

観点から、発酵学、林産学、バイオリファイナリーなどの面を強化する余地があると思われる。」という指摘があった。これについては、バイオマス活用に関する研究課題として、CRESTでは2、3年目に田口チーム、磯貝チーム、大西チームを採択しており、それらのチームの研究成果は、中間評価の時点では、まだ途中段階であったが、その後、十分に進捗し、様々な成果が出ている。また、2つの課題（堤チーム、田口チーム）については、予定された研究期間終了後も、領域最終年度（2018年度）の1年間、成果をより具体的に示すため、追加の研究費を配分して、研究を行った。それについても最終年度評価を行っている。また、「光合成能力の改良に基づくバイオマス増産に関連する課題については、基盤技術の面から評価できる成果がいくつか出ているが、本複合領域のねらいという観点からすると必ずしも具体的な方向性が打ち出されているようには見えない。研究の方向性を明らかにし、今後大きく展開されることを期待したい。（中略）基礎的・基盤的な成果と応用的・技術的な成果を的確に区別しつつ研究成果や進捗状況を適宜評価し大胆な予算配分や研究の方向性の明確化等のメリハリのある総合的なマネジメントを期待したい。」という指摘もある。この中で、光合成能力の改良によるバイオマスの増大の課題については、関連した研究課題の実施の中で、常に本研究領域の目標を指示し、指導してきた。その結果、実験室レベル、あるいは、細胞／個体レベルでは、かなり有効な成果も得られてはいるが、それらが実験室やモデル植物を超えて、野外あるいは圃場レベルでも極めて有効な基盤技術として確立されたとは言い難い。また、それらを検証するための施設が十分でないことも影響していると思われる。今後も基礎的な研究を積み重ね、その成果を圃場レベルで評価するという研究体制や連携体制を構築していく必要がある。この点は、植物科学研究全体の課題のひとつであると認識している。

また、領域中間評価以降の予算配分については、毎年研究総括の責任で、研究チームからの要求額に対して適切な配分額を決定した。総括裁量経費による追加の研究経費支援についても、年度の途中で、研究の進捗に必要な機器類の購入あるいは、研究の過程で判明したあらたに追加すべき実験の経費などについての要望を集め、必要度などを勘案して、支援を行ってきた。なお、領域中間評価で指摘のあった遺伝子組換え植物の社会的認知などについて、産業や政策に関わる方々との議論については、研究総括としては特にその場を形成するための努力はしなかったが、領域アドバイザーや主要研究者の中に日本学術会議や他省庁の関連会議において、本議論に積極的に加わっている研究者がおり、各研究者は遺伝子組換え植物を重要な問題としてはとらえている。特に、ごく最近では、かつての遺伝子組換え技法とは別に、ゲノム編集の技術が広範に用いられるようになり、異種遺伝子の残らない遺伝子改変植物の作出が可能となってきている。この技法によって得られた植物の取り扱いについて、従来の遺伝子組換え植物とは一線を画すのか、あるいは同列に扱うのかについて、未だに結論が出ているとはいえない状況にあり、その議論の方向については注目している。

## ⑤その他マネジメントに関する特記事項(人材育成等)

本 CREST 研究領域の各研究チームに参画する若手研究者のキャリア動向については、領域会議やチーム会議、終了報告書等を通じて状況を適宜確認するとともに、助言等を行った。

### (3) さきがけ

#### ①研究課題の進捗状況の把握と評価、それに基づく指導

本さきがけ研究課題の進捗状況の把握と指導については、研究開始時に研究総括と事務局でサイトビジットを行い、本さきがけ研究課題の趣旨について研究者の上司に説明するとともに研究環境を視察した。また、領域会議の際に、研究の進め方、材料や方法などに関して、各領域アドバイザーが専門の立場から具体的なアドバイスを行った。また、さきがけ研究者には全体領域会議などの場を活用して、本 CREST 研究領域のシニア研究者からも様々なアドバイスがあり、各研究者はそれらを取り入れることで研究を進めて行った。こうした意見交換の場はさきがけ研究者にとって極めて有効であり、これもハイブリッド型の領域運営の効果である。

また、2011年に採択した5年型の2課題については、研究開始4年目に中間評価を実施した。総括及び領域アドバイザー全員が参加し、得られたコメントも踏まえて、研究総括から研究の方向性について助言を行った。

#### ②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

複合領域としての活動なので、(1)にまとめて記載。

#### ③研究費配分上の工夫

研究費の追加支援については、二年目の採択課題から可能となったことから、研究加速のための追加予算申請にあたっては、毎年2度の領域会議や報告書から研究の進行状況を把握し、優れた研究を行っている研究者を優先して、その研究環境で不足している機器類の購入や新たな研究計画のための経費などを増額支援した。また2015年度については、さきがけ研究者の間での共同研究推進のための予算や国際共同研究のための予算を追加配分することも出来た。こうした中で特記すべきものとしては永野惇研究者への新たな植物栽培装置の試作開発費支援がある。これによって、同研究者が本複合領域の研究の中で明らかにしてきた野外環境での遺伝子発現の微細な日変動や季節変動を、実験室レベルで再現できるような植物栽培装置を作り上げることが出来た。これは本さきがけ研究領域の一つの大きな成果でもある。また、研究の一層の進捗を図るために機器類以外の経費についても大幅な増額を行ったケースもある。

#### ④複合領域中間評価結果への対応

中間評価では、「目標の達成に向けてさらなる努力を期待したい、挑戦的課題については、領域事後に向けて今後の進捗がなされるよう、運営側の十分なサポートを期待したい。」とされている。さきがけの特徴の一つに、研究期間が短いことがある。そのため、挑戦的な研究や、本領域の中で始めた研究では、成果をまとめるまでに至っていないものがあるのは事実である。それらの研究については、本研究を一つのきっかけとして、研究者がそれを発展させることを期待している。そのため、研究終了後もさきがけ研究者が本領域の様々な活動に参加できる運営体制をとりつつ交流を保ち、その後の研究の進捗状況を把握するように努め、必要に応じて、適切なアドバイスを行ってきた。また、研究期間終了後も本領域研究からの成果を論文発表する場合は、終了後1年に限って、投稿経費などを支援する制度があり、これを使って論文発表に至った実績もある。さきがけ研究の成果の特許化については、その可能性のあるものについては、相談に対応してきた。その中で、ミトコンドリアのゲノム編集技術という、かなり重要な技術が特許申請されている。

#### ⑤その他マネジメントに関する特記事項(人材育成等)

人材育成の観点からは、総括・アドバイザーからの助言の機会（サイトビジット、領域会議、評価会等）に加え、さきがけとCRESTの複合領域という特長を活かし、さきがけ研究者が、CREST研究者らと交流、連携できる機会を多数設けることで、人材育成を推進した。さきがけ研究者については、合計31名のさきがけ研究者の中で、半数以上の研究者が関連学協会の奨励賞や各種の賞、文部科学大臣若手研究者賞などを受賞している。これは本研究での成果が学術的にも社会的にも認められていることを示している。また、極めて多くの研究者が下記のように上級の研究者ポストを獲得している。

本資料を取りまとめた2018年12月時点においては、31名中、採択後に教授に昇格した研究者が7名、助教や講師から准教授に昇格した研究者が10名、研究者や助教から講師に昇格した研究者が2名、研究者から助教となったものが1名となっており、人材育成の観点からも着実な成果が上がっている。また、採択時にさきがけ専任研究者であった3名についても、2名が国内外で教授や准教授のポストを獲得している。採択後に研究室主宰者（PI）となった者は14名にも上っており、約半数の研究者が自立したポジションを獲得したことは特筆される。

### 7. 研究領域として戦略目標の達成状況について研究を実施した結果と所見

#### (1)CREST

##### ①研究総括のねらいに対する研究成果の達成度

「3. 研究総括のねらい」で述べたように、本領域では主に3つの分野の研究を展開した

が、CREST では、チーム型研究の特性を最大限に活かすために、理農工等の連携によって、できるだけ入り口から出口に至る幅広い分野の研究を展開する研究課題を採択し、新たな融合研究への展開を図ることとした。光合成能力の増大に関しては、採択課題数が少なかったこともあり、一定の学術的・応用的な成果は上がったものの、当初の期待を大きく上回ったとは言い難い。一方、環境適応機構の解明に基づく光合成能力向上や炭素貯留能向上及び有用バイオマス産生については、環境耐性において重要な役割をもつ遺伝子の同定やその発現制御機構の解明、環境耐性を高める物質の同定などが達成されており、当初のねらいに対して着実な成果が上がった。また、バイオマスの利用やそれを活用した有用物質の生産に関しては、微生物等を用いてバイオマスから一貫したプロセスによる、効率的な物質産生方法の確立やセルロースナノファイバーに関する基盤的技術の開発が実現しており、十分な成果が上がったと言える。

領域全体として、国際誌への論文掲載は 560 報であり、研究チームによって多少の差はあるものの、研究が進捗し、科学技術の進歩に貢献する成果が得られたと考える。また、特許に関しては、国内出願・海外出願を合わせて 36 件の出願が行われた。国際学会等における招待講演数は 426 件であり、国際的に評価される成果を上げることができた。以下に、CREST 研究チームの論文・口頭発表と特許出願件数を示す。

(2018 年 10 月 1 日現在)

	論文			特許		口頭発表		
	合計	国内	国際	国内	国際	合計	国内	国際
2011 年度 採択研究課題	281	12	269	11(1)	1(0)	851(289)	614(133)	237(156)
2012 年度 採択研究課題	148	6	142	11(1)	8(0)	482(295)	349(197)	133(98)
2013 年度 採択研究課題	149	0	149	14(2)	2(0)	750(364)	483(192)	267(172)
研究領域合計	578	18	560	36(4)	11(0)	2,083(948)	1,446(522)	637(426)

(括弧内：特許登録数を内数で記載、口頭発表の招待講演数を、内数で記載)

## ②研究領域全体として見た場合の特筆すべき研究成果

鹿内チーム

S. Wada, H. Yamamoto, Y. Suzuki, W. Yamori, T. Shikanai, and A. Makino,

“Flavodiiron protein substitutes for cyclic electron flow without competing CO<sub>2</sub> assimilation in rice” *Plant Physiol* 176: 1509–1518 (2018) [被引用数：4件]

概要：

主要作物の光合成機能改善は、人類の食糧増産を図る重要なテーマの一つである。光合成電子伝達系の電子の受け手となる FLV タンパク質をイネに導入したところ、イネの光合成機能が改善されることを見出した。この FLV タンパク質は酸素を電子受容体に水まで 4 電子還元する反応を触媒するタンパク質である。ヒメツリガゴケ由来の FLV タンパク質の遺伝子をイネの葉緑体で発現させたところ、炭酸固定など他の光合成機能を一切損なうことなく、変動光に対する光合成の電子伝達経路の機能が強化され、光合成機能が改善されることを示した。

田中チーム

M. Yokono, A. Takabayashi, S. Akimoto, and A. Tanaka,

“A megacomplex composed of both photosystem reaction centres in higher plants.” *Nature communications* 6, No. 6675 (2015). [被引用数：36件]

概要：

安定したステイグリーン植物を作製するという目的のために、葉緑体保持機構の解明は、本プロジェクトの大きな柱の一つである。光合成は強光に対して脆弱であるため、それに対する様々な回避機構が提案されている。我々は、超複合体を安定に分離する電気泳動とエネルギー移動を調べる蛍光時間分解スペクトル解析によって、光化学系 I と光化学系 II が会合した超複合体の存在を明らかにした。この超複合体は強光下で素早く形成され、高照度などの厳しい環境下における光合成機能維持に重要な役割を担っていることが考えられる。

彦坂チーム

R. Oguchi, H. Ozaki, K. Hanada and K. Hikosaka

“Which plant trait explains the variations in relative growth rate and its response to elevated carbon dioxide concentration among *Arabidopsis thaliana* ecotypes derived from a variety of habitats?” *Oecologia*, 180: 865–876. (2016) [被引用数：2件]

概要：

モデル植物シロイヌナズナの、世界各地に分布するエコタイプを収集し、異なる CO<sub>2</sub> 環境で育成し、相対成長速度 (RGR) とその CO<sub>2</sub> 応答を解析した。エコタイプ間には RGR とその CO<sub>2</sub> 応答 (高 CO<sub>2</sub> での RGR と低 CO<sub>2</sub> の RGR の比) に大きなばらつきが認められた。さらにそのばらつきをもたらす植物形質を解析した結果、葉室素あたりの成長速度 (LNP) がばらつきの主因であった。LNP は光合成窒素利用効率と相関があり、光合成における窒素利用がばらつきの原因であると考えられた。これら形質のばらつきから、関連する機能遺伝子を見出し、高 CO<sub>2</sub>

環境で高い成長速度をもつ植物の創出に結びつくことが期待される。

#### 渡辺チーム

Qu, C., M. Kaneko, K. Kashimura, K. Tanaka, S. Ozawa and T. Watanabe, “Direct production of vanillin from wood particles by copper oxide-peroxide reaction promoted by electric and magnetic fields of microwaves”. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 5, 11551-11557 (2017). [被引用数：0 件]

#### 概要：

木材から耐熱性ポリマーの原料となるバニリン及びバニリン酸を高収率で生成するマイクロ波反応を見出した。見出した反応系は、マイクロ波の電場および磁場により促進され、バニリンとバニリン酸の合計収率は、通常加熱の3倍にまで増加することを、同一の反応容器、攪拌数、昇温プロファイルで証明した。

#### 浅見チーム

H. Nakamura, YL. Xue, T. Miyagawa, F. Hou, HM. Qin, K. Fukui, Shi Xuan, E. Ito, S. Ito, SH. Park, Y. Miyauchi, A. Asano, N. Totsuka, T. Ueda, M. Tanokura and T. Asami “Molecular mechanism of strigolactone perception by DWARF14”, *Nature Communications*, 4, 2613. (2013) [被引用数：133 件]

#### 概要：

本論文では、不明だった D14 タンパク質によるストリゴラクトンの認識の分子メカニズムを明らかにした。D14 タンパク質の結晶化に成功し、X 線結晶構造解析を行い、ストリゴラクトンが D14 タンパク質の触媒作用により分解された産物 D-OH が D14 のリガンド結合ポケットの入り口に再認識することを見出した。この結果に基づき、「D14 によるストリゴラクトンの認識と分解→D14 による分解産物の再認識→D14 の表面環境の変化→下流情報伝達因子へのシグナル伝達」という新たなストリゴラクトン受容メカニズムを提示した。

#### 梅田チーム

P. Chen, H. Takatsuka, N. Takahashi, R. Kurata, Y. Fukao, K. Kobayashi, M. Ito and M. Umeda,

“*Arabidopsis* R1R2R3-Myb proteins are essential for inhibiting cell division in response to DNA damage”, *Nature Communications* 8, 635, (2017) [被引用数：1 件]

#### 概要：

植物では DNA 損傷に応答して DNA 倍加が誘導されるが、その際に細胞周期の G2 期停止が起こる。この分子メカニズムを明らかにするため、G2/M 期遺伝子の発現を抑制する Myb 転写因子について解析した。その結果、DNA 損傷により CDK 活性が低下すると Myb 転写因子のタンパク質安定性が上がり、G2/M 期遺伝子の発現が抑制されることが明らかになった。こ



れにより G2 期停止が起こり、DNA 倍加への移行が促進されると考えられる。Myb 転写因子がストレスに応答した細胞周期停止に重要な役割を果たすことを示す結果であり、今後、ストレス耐性をもつ植物の育種にも利用できると考えられる。

#### 重岡チーム

A. Katoh, H. Ashida, I. Kasajima, S. Shigeoka and A. Yokota

“Potato Yield Enhancement through Intensification of Sink and Source Performances”, *Breeding Science* 65, 77-84 (2015). [被引用数 : 1 件]

#### 概要 :

生理機能の改変によって、ジャガイモの収量を上げる戦略として、光合成の律速になっているプロセスを改良することが挙げられる。ラン藻 FBP/SBPase 遺伝子を葉で発現させて、暗反応効率を上げる報告はその戦略に沿ったものの一つである。この戦略に加えて、適切な時期に光合成産物であるデンプンを貯蔵する能力を光合成能力向上と同時に強化することが重要である。

#### 田口チーム

J. M. Nduko, K. Matsumoto, T. Ooi, S. Taguchi

“Effectiveness of xylose utilization for high yield production of lactate-enriched P(lactate-*co*-3-hydroxybutyrate) using a lactate-overproducing strain of *Escherichia coli* and an evolved lactate-polymerizing enzyme,” *Metabolic Engineering*, 15:159-166, (2013). [被引用数 : 35 件]

#### 概要 :

組換え大腸菌による乳酸ポリマーの高生産化に成功した。通常は炭素源にグルコースを用いるが、キシロースを用いることで、グルコースを使用したときよりも糖消費がむしろ促進し、ポリマー生産量が向上することを初めて見出した。さらに、ATP 非依存型のキシロースのトランスポーターを過剰発現することにより、高濃度のキシロースが効率的に細胞内に取り込まれ効率的に資化させることができた。これに加えて、これまでに開発した改変型重合酵素を組み合わせることで、最大で約 8g/L の生産性を達成した。

#### 堤チーム

M. Fujimoto, T. Sazuka, Y. Oda, H. Kawahigashi, J. Wu, H. Takanashi, T. Ohnishi, J. Yoneda, M. Ishimori, H. Kajiya-Kanegae, K. Hibara, F. Ishizuna, K. Ebine, T. Ueda, T. Tokunaga, H. Iwata, T. Matsumoto, S. Kasuga, J. Yonemaru and N. Tsutsumi, “Transcriptional switch for programmed cell death in pith parenchyma of sorghum stems”, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 115, E8783-E8792, (2018) [被引用数 : 0 件]

#### 概要 :

植物バイオマスからのエタノール生産の効率は植物中に含まれる水分量に影響を受ける。

髓の柔細胞は、植物の茎において水分を蓄える働きを持つが、その水分量を減少させる原因遺伝子（乾汁性遺伝子）をソルガムにおいて同定した。この遺伝子は自己消化酵素を活性化することで、柔細胞の細胞死を誘導する。この遺伝子が制御する細胞死を抑制することでバイオマスからのエタノール生産性を向上できる可能性がある。

#### 芦荊チーム

T. Kuroha, K. Nagai, R. Gamuyao, D. Wang, T. Furuta, M. Nakamori., T. Kataoka, K. Adachi, M. Minami, Y. Mori, Y. Seto, K. Mashiguchi, S. Yamaguchi, M. Kojima, H. Sakakibara, J. Wu, K. Ebana, N. Mitsuda, M. Ohme-Takagi., S. Yanagisawa, M. Yamasaki, R. Yokoyama, K. Nishitani, T. Mochizuki, G. Tamiya, S. McCouch and M. Ashikari “Ethylene-Gibberellin Signaling Underlies Adaptation of Rice to Periodic Flooding.”

Science. 361, 181-186, (2018) [被引用数 : 0 件]

#### 概要 :

一般的なイネは栄養成長期に活性型ジベレリンとして GA1 を、ロンギスタミナータや浮きイネは GA4 を生産することを見いだした。この両者の違いの原因を調査したところ、ジベレリン合成酵素の GA20ox2 には変位があり、ロンギスタミナータや浮きイネが保持する GA20ox2 (GR 型) タイプは、栽培種の GA20ox2 (ER 型) に比べ、GA12 から GA9 までの触媒活性が 270 倍も高いため、一般的なイネが合成できない GA4 を作出することが明らかとなった。また GA4 は GA1 に比べ 10 倍以上茎伸長を誘導することが明らかとなり、イネ野生種の効率的な節間伸長メカニズムを明らかにした。

#### 磯貝チーム

M. Shimizu, T. Saito, and A. Isogai,

“Bulky Quaternary Alkylammonium Counterions Enhance the Nanodispersibility of 2,2,6,6-Tetramethylpiperidine-1-oxyl-Oxidized Cellulose in Diverse Solvents”, Biomacromolecules, 15, 1904-1909 (2014) [被引用数 : 25 件]

#### 概要 :

木材セルロースを 2,2,6,6-テトラメチルピペリジン 1-オキシル(TEMPO)酸化すると、そのナノレベル幅の結晶性セルロースマイクロフィブリル表面に高密度で規則的にマイナス荷電を有するカルボキシル基の Na 塩が精製する。この高い親水性によって水中ナノ分散化が可能となる。一方、この Na 塩をプロトン化し、続いて水酸化 4 級アルキルアンモニウム塩を用いた中和反応によってイオン交換導入することで、効率的に 100%アルキルアンモニウム塩化が可能となり、対応して親水性から疎水性へのスイッチ機能を付与できることが判明した。

大西チーム

Y. Kawasaki, N. Aniruddha, H. Minakawa, S. Masuo, T. Kaneko and N. Takaya, "Novel polycondensed biopolyamide generated from biomass-derived 4-aminohydrocinnamic acid", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102, No. 2, pp. 631-639, (2018) [被引用数: 2 件]

概要:

大腸菌にクロストリジウム属由来のエノン還元酵素遺伝子を導入し、バイオマス由来の4-アミノ桂皮酸を4-アミノフェニルプロピオン酸 (4-APPA) へと還元する株を創製した。この株によるエノン還元収率は7 mMの基質を用いた際に95%以上であった。得られた4-APPAを精製し、縮重合によりバイオマス由来のパラ系アラミドpoly(4-APPA)を合成した。Poly(4-APPA)は高い耐熱性を示し、その10%重量減少温度は394°C、ガラス転移点は240°Cであった。この研究により、新規バイオマスポリマー原料の微生物生産から重合までの一貫プロセスが構築された。

関チーム

JM. Kim, T. K. To, A. Matsui, K. Tanoi, N. I. Kobayashi, F. Matsuda, Y. Habu, D. Ogawa, T. Sakamoto, S. Matsunaga, K. Bashir, S. Rasheed, M. Ando, H. Takeda, K. Kawaura, M. Kusano, A. Fukushima, Takaho A. Endo, T. Kuromori, J. Ishida, T. Morosawa, M. Tanaka, C. Torii, Y. Takebayashi, H. Sakakibara, Y. Ogihara, K. Saito, K. Shinozaki, A. Devoto, and M. Seki "Acetate-mediated novel survival strategy against drought in plants". *Nature Plants* 3: 17097, (2017) [被引用数: 10 件]

概要:

乾燥ストレス応答時の植物体内の代謝変化を調べ、乾燥に応答して酢酸が積極的に作り出されていることに加えて、この酢酸合成開始には植物のエピジェネティック因子が活性化のスイッチとして働いていることも明らかにした。さらに、酢酸を与えることで、シロイヌナズナ以外のイネ、トウモロコシ、コムギ、ナタネなどの有用作物についても乾燥耐性が強化されることや、それが傷害応答に関わる植物ホルモンであるジャスモン酸の合成とシグナル伝達を介していることを明らかにした。

### ③研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献

鹿内チームでは、光合成の環境適応能力を高めるため、その構造と進化についての研究を展開した。光化学系Ⅱの水分解系におけるプロトンの輸送に関わることが結晶構造解析から予測されているアミノ酸残基の網羅的な置換実験を行い、特定の培養条件下ではあるものの、野生型を上回る生育を示す変異体を得た。これは、光合成の最も基本的な反応である水分解の改変に重要な知見を与えるものである。また、被子植物が進化の過程で失った Flavodiiron タンパク質 (Flv) を導入したイネやシロイヌナズナを作出し、Flv が PGR

(proton gradient regulation) 5 依存のサイクリック電子伝達の機能の多くを相補するとともに、光化学系 I に変動光耐性を付与することを明らかにした。これは、光化学系 I の変動光耐性の強化に成功した初めての例である。これらの成果以外にも、光化学系 I の構造と進化について多くの優れた基礎的な知見を集積した。原著論文や国際学会での招待講演の数も多く、鹿内研究者はこの分野で世界をリードする研究者である。

田中チームでは、葉緑体の機能改変によりステイグリーンの植物の作出を目指した。その結果、クロロフィル分解の鍵酵素としての Mg 脱離酵素遺伝子の同定に成功したほか、クロロフィル代謝、あるいは、光化学系の機能制御・保持がステイグリーンに寄与することを解明した。Mg 脱離酵素遺伝子については、その変異体がクロロフィルの分解だけでなく、Rubisco の分解や老化全体の抑制を引き起こすことを見出したことは、光合成系の分解制御機構にとって重要な知見である。また、光合成に関連する遺伝子群以外の、窒素代謝や植物ホルモン、フィトクロム系の遺伝子群からもステイグリーンに関連するものがあることを見出した。これらの成果は、多くの原著論文や国際学会での招待講演で発表されており、基礎科学の分野ではインパクトのある研究成果が得られたと評価できる。

渡辺チームは、植物からリグニン系機能性ポリマーの創成を目指し、電磁波応答性触媒反応の技術開発を目指した。その結果、木材からポリマー原料となるバニリンを合成するマイクロ波反応が 915 MHz 帯マイクロ波によって促進されることを見だし、915 MHz 帯マイクロ波連続式反応装置を開発して分解反応についての実証実験を行った。また、配列特異的に単離リグニンに吸着するペプチドを発見するとともに、種々の有機基質に対して高い酸化活性を示すメタル化アミノ酸を開発し、これらを結合したリグニン特異的ペプチド触媒が基質酸化において高い活性を示すことを明らかにする等の成果も上げている。さらに、リニア型リグニンをバガスから高収率で得る反応を見出し、それが農業用の土壌改良材として活用可能であることを発見した。また、核磁気共鳴 (NMR) を用いてのリグニンの構造解析に新たな手法を考案するなど、基礎技術の開発も行った。また、特許出願も積極的に行われたと評価できる。本研究は、バイオリファイナリー産業確立のボトルネックであるリグニン利活用の基盤技術の開発のための第一歩となると考える。

浅見チームは、植物ホルモン間のクロストークを解明し、それに基づいたバイオマス高生産性の植物の開発を目指した。その結果、3種の植物ホルモン (ストリゴラクトン (SL)、ジベレリン (GA)、ブラシノステロイド (BR)) のシグナル伝達経路で働く因子群の相互作用の分子機構を解明することにより、これら植物ホルモン間のクロストークの実体の一部を明らかにしたほか、SL受容体の構造解析を行い、SLの活性発現機構の分子基盤を解明する (前項で紹介した本研究に関する論文は高被引用文献に選出されている) など、基礎研究上の非常に優れた成果を挙げている。また、基礎的な知見に基づき、情報伝達因子高発現によって

イネやサトウキビのバイオマスが増大するなど、今後のバイオマス生産向上につながる成果を得ている。また、応用面でも、「④研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献」で述べるように、大きな成果を上げている。海外での試験も含めて多面的な研究活動が実施され、論文発表や、海外も含めた特許出願も積極的になされており、基礎的にも応用的にも優れた成果を上げた研究であり、浅見研究者はこの分野では日本を代表する世界的に著名な研究者である。

梅田チームは、高バイオマス植物をDNA倍加誘導系によって作出する技術の開発を目指した。その結果、コルヒチン処理により、通常はDNA倍加を起こさないポプラの倍数体作出法を確立し、4倍体ポプラの圃場試験を行った。4倍体ポプラでは細胞サイズが大きくなっていること、幹の肥大成長が促進されていることを明らかにした。また、同じくDNA倍加を起こさないイネとポプラから見いだした細胞周期関連遺伝子の発現を操作することで、これらの植物についてDNA倍加を引き起こすことに成功した。さらに、クロマチン構造と細胞周期の同時制御がポプラやイネにおいてDNA倍加を誘発するのに効果的であるという、基礎研究上も重要な知見を得ることができた。論文発表や企業等との連携も積極的に行われた。

堤チームは、高速ゲノタイピングを利用したテーラーメイド育種技術の開発を目指した。すなわち、エネルギー作物であるソルガムを対象に、次世代シーケンサーを用いた多検体・高速ジェノタイピングシステムを開発すると共に、海外も含めた塩害地圃場における大規模な形質評価を実施し、得られた表現型データとゲノムワイドのジェノタイプデータから、表現型予測モデルを構築し、また、稈長や乾汁性については、ジェノタイプデータから主働遺伝子を特定することに成功した。さらに、本研究の中で確立された大量の表現型データを効率よく取得する計測システムやドローンを利用した形質評価手法、データ収集・管理システムの開発などは、今後ITを活用した育種技術として、他の作物への応用が期待される。これらの成果は、育種の基礎技術として、高く評価される。企業や海外機関との連携も進められ、成果の社会実装に向けた取り組みも行われた。

芦荻チームは、作物の地下茎による栄養繁殖化を目指す基盤技術の開発を目指した。その材料として、イネとともに旺盛な地下茎繁殖性を有する野生種（ロンギスタミナータ）を用いた。研究の過程で、本野生種のゲノム解析を完了するとともに、それを活用して、地下茎形成の各ステップに関わる遺伝子群を見出し、その機能を明らかにした。さらに生理学的、生化学的解析から、地下茎形成におけるジベレリンやストリゴラクトンなどの植物ホルモンの関与を明らかにするなど、地下茎形成について多くの知見を得た。また、イネと本野生種の染色体断片置換によって、イネのストリゴラクトン非生産株を作り出した。このイネは、ストライガに対する耐性イネの育種に応用できる可能性がある。なお、前項で紹介した論文は、地下茎伸長にかかわる遺伝子の機能解析に関するもので、Science 誌のリサーチハイラ

イトとして写真付きで紹介されるなど、高く評価されている。

関チームは、エピゲノム制御により環境ストレス適応力を強化した植物の作出を目指した。その結果、酢酸が植物の乾燥耐性を誘起する現象に関して、それがヒストンのアセチル化やジャスモン酸経路などを介した新規の乾燥耐性機構であることを明らかにした。前項で紹介したこの成果に関する論文は、Altmetric Score:296 で 2017 年度に発表された植物科学系論文の中で最も高い値を示した論文の 1 つであり、人々の関心度が高いことを示している。また、種々のエピジェネティックな因子が植物の乾燥応答を直接制御していることを示すとともに、エタノール処理も乾燥耐性や高温耐性などを誘導することを発見し、その機構について多くの知見を得た。発表論文や特許も多く、成果の発表や権利化も着実に進められた。

#### ④研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献

磯貝チームは、自ら開発した TEMPO 酸化セルロースナノファイバーを素材として、その表面構造や集積高構造を制御し、新たな機能を有するセルロース系素材を創成することを目的とした。その結果、その微細な構造やその制御法について多くの知見を得、また、それを材料として、化学的な変換により、新たに有用な形質を持つ素材を作り出すことに成功した。また、木材等におけるセルロースの生成過程を追求し、そこから得られるセルロースナノファイバーの形質を検討した。これらの研究は、この分野の先駆的な研究で、国際的にも高く評価され、磯貝研究者は、著名な賞を数多く受賞している。また、研究成果の一部は化学メーカーに技術移転され、量産化が開始されており、紙おむつの脱臭剤やボールペンのインク原料などに用いられている。セルロースナノファイバーは、日本の中で大きく成長しつつある分野で、今後、企業との共同研究による用途拡大やさらなる産業化への期待も大きい。

大西チームは、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を目指した。その結果、紙パルプを材料として、ポリマー原料を発酵生産及び化学変換により作製し、その重合により耐熱性に極めて優れたポリベンズイミダゾールを作出するプロセスを確立することに成功した。また、その過程で、化合物変換プロセスに必要な各種の有用酵素をスクリーニング等により微生物から発見した。また、本高機能ポリマーの化学変換によるさらなる高機能化（高耐熱 Li イオン固体伝導体の作出）にも成功した。このポリマーは実用レベルで十分な機能を有すると考えられ、これらの製法を特許申請している。バイオマスからの有用物質創出の技術開発に関する研究としては、本研究領域の中でも極めて優れたものである。

田口チームは、植物バイオマスを原料として、微生物により新規バイオポリマーを創出し、その高機能化を目指した。その結果、ジャンボススキから得た糖化液並びに、製紙廃棄の未

利用のヘミセルロース原料から、多元ポリ乳酸を一貫生産する新規の微生物生産プロセスを完成させた。多元ポリ乳酸の生産性は、現行の産業レベルに迫る水準であり、乳酸分率を制御する技術開発により、ポリ乳酸の透明性を維持し、硬軟多様な物性を発現するポリマー合成に成功した。これらのポリマーについて、生体材料等としてのポテンシャルを見出すなど、当初目標に十分な成果を挙げている。成果の外部発表や、特許出願も十分に実施された。さらに、多元ポリ乳酸の使途として、現在使用されているポリ乳酸の弱点である柔軟性や透明性を改善する機能を発見した。この混合ポリマーはまた、生分解性に富むことも示し、実用に一步近づけた。また、この混合ポリ乳酸を3次元成形することで、細胞培養の足場に使用することが可能であることも明らかにした。現在、企業との共同研究を展開しつつあり、実用化に向けて研究を継続している。今後産業化への道が開かれるものと期待される。

浅見チームでは、「③研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献」で述べた基礎的研究での貢献に加えて、植物ホルモンのストリゴラクトン (SL) の受容体構造に基づいて合成したSLアゴニスト/アンタゴニストによる、根寄生雑草の発芽制御等において実用可能な薬剤の開発にも成功するなど、大きな社会的インパクトが期待される成果を挙げている。現在、この研究はさらに発展し、野外での実用試験の段階に来ており、その成果が期待される。本成果については後に特記する。

#### ⑤本研究領域に続く研究資金の獲得状況

本研究領域での研究成果をベースとして、各チームの研究者は、研究資金を順調に獲得しており、研究成果の進展のみならず、実用化等に向けた研究開発を着実に推進している。主な実績として、CRESTの研究代表者1名、ALCAの研究代表者が2名、未来社会創造事業の研究代表者が2名、研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) の代表者が1名、日本医療研究開発機構 (AMED) のナショナルバイオリソースプロジェクトの代表者が1名となっている。

#### ⑥その他特記事項

(i) 国内外の顕彰・受賞等

以下に主要な顕彰・受賞等の一部を記す。

(2018年12月1日現在)

受賞者名	賞の名称	授与者名	受賞日(時期)
鹿内 利治 (鹿内チーム)	Highly Cited Researchers 2018	Clarivate Analytics	2018年11月
池内 昌彦 (鹿内チーム)	日本植物学会学術賞	日本植物学会	2015年5月
田中 歩	秋山財団賞	秋山記念生命科学財団	2017年6月

(田中チーム)			
小口 理一 (彦坂チーム)	国際光合成会議 Walz 賞	国際光合成会議	2013 年 8 月
中村 正治 (渡辺チーム)	日本化学会学術賞	日本化学会	2017 年 3 月
浅見 忠男 (浅見チーム)	Highly Cited Researchers 2016	Clarivate Analytics	2016 年 11 月
重岡 成 (重岡チーム)	日本農芸化学会賞	日本農芸化学会	2013 年 3 月
田口 精一 (田口チーム)	平成 28 年度科学技術分 野の文部科学大臣表彰科 学技術賞(研究部門)	文部科学省	2016 年 4 月
芦荻 基行 (芦荻チーム)	木原記念財団学術賞	木原記念横浜生命科学 振興財団	2015 年 5 月
榊原 均 (芦荻チーム)	Highly Cited Researchers 2018	Clarivate Analytics	2018 年 11 月
山口 信次郎 (芦荻チーム)	Highly Cited Researchers 2018	Clarivate Analytics	2018 年 11 月
磯貝 明 (磯貝チーム)	Marcus Wallenberg 賞	Marcus Wallenberg 財団 (スウェーデン)	2015 年 9 月
磯貝 明 (磯貝チーム)	藤原賞	藤原科学財団	2017 年 6 月
杉山 淳司 (磯貝チーム)	Anselm Payen awards	アメリカ化学会	2018 年 3 月
大西 康夫 (大西チーム)	第 10 回 日本学術振興会 賞	日本学術振興会	2014 年 2 月
関 原明 (関チーム)	Highly Cited Researchers 2018	Clarivate Analytics	2018 年 11 月

(ii) 将来性が見込まれ、大きな成果に繋がる可能性があるもの等

CREST 研究課題のうち、大西チームの大きな研究成果は、紙パルプから、極めて耐熱性に優れたポリベンズイミダゾールを生産するシステムを開発したことである。しかし、この生産プロセスには、まだ、中間原料の精製工程に課題があるなど、実用化にはプロセスの改良の余地がある。今後この点についてさらに研究を続け、エネルギー消費の少ないポリマー原料の生産プロセスを開発し、新規の有用ポリマーをバイオマスから作製する工程を確立することで、産業化への道が開かれると期待される。



また、浅見チームは、バイオマス増強のための植物ホルモンの活用法について、基礎と応用の観点から多くの研究を進めてきたが、その中で、アフリカ等で重要な課題となっている寄生雑草ストライガの防除用薬剤を開発しつつある。既に実用試験の段階にあり、今後実用的な薬剤とその投与方法が確立されれば、我が国発の技術として、この雑草に悩まされている世界の地域には大きな福音となるであろう。進展を期待したい。

## (2) さきがけ

### ① 研究総括のねらいに対する研究成果の達成度

「3. 研究総括のねらい」で述べたように、本さきがけ研究領域では、将来の技術展開に至る可能性を秘めた、それぞれの分野で先端的、且つ、挑戦的な研究を採択し、研究を推進するとともに、本 CREST 研究課題との連携を図り、総合的にこの分野の研究の推進を図ることを意図した。モデル植物だけを対象とした研究ではなく、作物、バイオマス植物などを対象とした研究を主体とし、また、バイオマスからそれらを分解して、工業製品を作成する研究においても、実バイオマスを材料とした研究を展開することを重視した。

このようなねらいのもとに、新規かつ挑戦的な研究課題を採択し、「6. 研究領域のマネジメントについて」で述べたような研究マネジメントを実施した結果、独創性、先駆性の高い論文が数多く発表され、これらの論文は国際的に高い評価を受けている。

領域全体の達成度としての論文数は 178 件とさきがけ研究終了後も順調な研究の進捗がうかがえる。また、国際発表における招待講演数も 70 件となっており、国際的にも注目を集める研究内容や研究者として評価されている。

以下に、さきがけ研究者の論文・発表と特許出願件数、口頭発表件数を示す。

#### さきがけ研究領域全体の業績

(2018 年 10 月 1 日現在)

	論文			特許			口頭発表		
	合計	国内	国際	合計	国内	国際	合計	国内	国際
2011 年度 第一期生	71	3	68	4(2)	3(1)	1(1)	180(59)	117(32)	63(27)
2012 年度 第二期生	41	0	41	2(0)	2(0)	0	150(56)	104(45)	46(11)
2013 年度 第三期生	66	5	61	3(0)	3(0)	0	212(59)	139(27)	73(32)
領域合計	178	8	170	9(2)	8(1)	1(1)	542(174)	360(104)	182(70)

(括弧内：特許登録数を内数で記載、口頭発表の招待講演数を、内数で記載)

## ②研究領域全体として見た場合の特筆すべき研究成果

上田 貴志研究者

K. Ebine, T. Inoue, J. Ito, E. Ito, T. Uemura, T. Goh, A. Abe, K. Sato, A. Nakano and T. Ueda

“Plant vacuolar trafficking occurs through distinctly regulated pathways”, *Curr. Biol.*, 24: 1375–1382, (2014) [被引用数：46 件]

概要：

植物の液胞は、タンパク質や糖の貯蔵、膨圧の発生、空間充填など、他の生物のリソソームや液胞には無い特徴的な機能を有している。本研究では、植物の液胞への物質輸送経路が少なくとも 3 つ存在することを見出し、そこで機能している分子装置を同定することに成功した。この研究により、植物の液胞輸送経路が進化の過程で独自に多様化してきたことが明らかになるとともに、植物の液胞の特殊かつ多様な機能が、この複雑な液胞輸送の仕組みの上に発現されていることが示された。

小田 祥久研究者

Y. Oda and H. Fukuda,

“Rho of Plant GTPase signaling regulates the behavior of Arabidopsis Kinesin-13A to establish secondary cell wall patterns”, *Plant Cell* 25, 4439–4450, (2013) [被引用数：34 件]

概要：

木部道管において細胞が二次細胞壁の沈着パターンを導く仕組みを解明した。木部細胞へ分化を開始した細胞は局所的に Rho GTPase の 1 種である ROP11 を活性化するが、この ROP11 は微小管付随タンパク質 MIDD1 をリクルートし、MIDD1 が微小管脱重合活性を持つ Kinesin-13A と相互作用することにより細胞壁合成のルールとなる表層微小管を脱重合することを示した。また、細胞内における Kinesin-13A の微小管脱重合活性は MIDD1 による細胞膜アンカーが必要であることを示した。さらに、この制御機構を応用することにより二次細胞壁の沈着パターンを人為的に改変することに成功した。

笠原 博幸研究者

S. Sugawara, K. Mashiguchi, K. Tanaka, S. Hishiyama, T. Sakai, K. Hanada, K. Kinoshita-Tsujimura, H. Yu, X. Dai, Y. Takebayashi, N. Takeda-Kamiya, T. Kakimoto, H. Kawaide, M. Natsume, M. Estelle, Y. Zhao, K. Hayashi, Y. Kamiya and H. Kasahara  
“Distinct characteristics of indole-3-acetic acid and phenylacetic acid, two common auxins in plants.” *Plant Cell Physiol.* 2015, 56, 1641–1654. [被引用数：25 件]

概要：

インドール-3-酢酸 (IAA) は最初に発見された植物ホルモンのオーキシンである。一方、これとは異なるオーキシンとしてフェニルピルビン酸 (PAA) も陸上植物に広く存在することが知られてきた。本論文では、PAA の作用機構について詳細に検討し、PAA が IAA と異なり植物体内を極性輸送されないユニークな特性をもつことを示した。これにより、植物では 2 種類の異なるオーキシンが協働的に成長を制御している可能性を示した。

小林 高範研究者

T. Kobayashi, S. Nagasaka, T. Senoura, R.N. Itai, H. Nakanishi and N.K. Nishizawa, “Iron-binding haemerythrin RING ubiquitin ligases regulate plant iron responses and accumulation”, *Nature Communications* 4, 2792 (2013) [被引用数 : 44 件]

概要 :

植物の鉄センサー分子の候補として、イネの鉄欠乏応答と鉄蓄積を負に制御する新規制御因子 OsHRZ1、OsHRZ2 を同定した。大腸菌で作製した OsHRZ1、OsHRZ2 タンパク質は鉄および亜鉛と結合し、ユビキチン化活性を示した。OsHRZ1 と OsHRZ2 の発現量を低下させたノックダウンイネは水耕栽培および石灰質アルカリ土壌検定で鉄欠乏耐性を示し、栽培条件によらず通常のイネに比べて 2-4 倍程度の濃度の鉄を種子と葉に蓄積した。また、種子と葉の亜鉛濃度も若干増加していた。このノックダウンイネの根では、鉄の吸収と利用に関わる鉄欠乏誘導性遺伝子の発現が亢進していた。

内藤 健研究者

K. Iseki, Y. Takahashi, C. Muto, K. Naito and N. Tomooka.

“Diversity and evolution of salt tolerance in the genus *Vigna*” *PloS One* 11, e0164711, [被引用数 : 2 件]

概要 :

28 種 70 系統の *Vigna* 属遺伝資源の耐塩性評価と系統解析を行った結果、*Vigna* 属において少なくとも独立に 4 回の耐塩性進化が生じたことが明らかとなった。また、いずれの耐塩性系統も感受性系統から最近分岐しており、耐塩性が容易に進化しうることが示唆された。

中島 敬二研究者

T. Waki, S. Miyashima, M. Nakanishi, Y. Ikeda, T. Hashimoto and K. Nakajima

“A GAL4-based targeted activation tagging system in *Arabidopsis thaliana*.” *Plant J.*, 73, 357-367 (2013). [被引用数 : 19 件]

概要 :

シロイヌナズナのゲノム上にある遺伝子の発現を、酵母の転写因子 GAL4 を用いて根で特異的に活性化するアクティベーションタギング法を開発した。この方法を用いることで、従来法では致死になるような発現制御因子の過剰発現株を得ることができる。この系を用い

た変異体スクリーニングにより、動物において iPS 細胞の誘導に用いられる転写因子と同様に、植物細胞をリプログラミングして初期胚の状態に戻す機能を持つ RKD 遺伝子群を同定することに成功した。

中道 範人研究者

N. Nakamichi, T. Kiba, M. Kamioka, T. Suzuki, T. Yamashino, T. Higashiyama, H. Sakakibara, and T. Mizuno,

“Transcriptional repressor PRR5 directly regulates clock-output pathways”, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 109, 17123-17128, (2012) [被引用数: 101 件]

概要:

概日時計は遺伝的に備わった時間維持機構で、生物が昼夜サイクルに適応することを可能にする。概日時計は主にゲノムワイドな遺伝子発現を介して、高次生命現象を昼夜サイクルに適切に同調させているが、この制御系の実際の分子機構はほとんど分かっていなかった。本論文では、シロイヌナズナの時計遺伝子回路で機能する PSEUDO-RESPONSE REGULATOR 5 (PRR5) が、直接的に時計出力系の鍵となる転写因子の発現のタイミングを制御していることを報告した。これらの転写因子群の中には、花成時期の制御、胚軸の伸長、そして低温ストレス応答の鍵となるものがあつた。PRR9、PRR7、PRR5 による直接的な鍵転写因子の制御ネットワークは、時計機構が高次生命現象を昼夜サイクルに同調させる働き的一端を担うことが示唆された。

山口 雅利研究者

B. Xu, M. Ohtani, M. Yamaguchi, K. Toyooka, M. Wakazaki, M. Sato, M. Kubo, Y. Nakano, R. Sano, Y. Hiwatashi, T. Murata, T. Kurata, A. Yoneda, K. Kato, M. Hasebe and T. Demura,

“Contribution of NAC transcription factors to plant adaptation to land.”, Science 343, 1505-1508, (2014) [被引用数: 74 件]

概要:

維管束植物の通道組織である道管は、物理的強度を確保するため、通常細胞壁と同時に肥厚した二次細胞壁を形成する。一方維管束植物よりも早期に発生したコケ植物にも道束と呼ばれる通道組織が形成されるものの、通常細胞よりも薄い細胞壁しか形成しないことから、道管と道束は相似器官だと考えられてきた。モデルコケ植物として知られるヒメツリガネゴケには、シロイヌナズナの道管分化マスター因子 VND7 と相同性を有する遺伝子が 8 個存在する。この 8 個の遺伝子をシロイヌナズナで過剰発現させると異所的な道管分化を誘導すること、一方ヒメツリガネゴケにおいて多重変異体を作出すると道束の形成が阻害されることが明らかとなり、道管を制御する分子機構はコケ植物においてすでに獲得していることが示された。

秋山 拓也研究者

Y. Li, T. Akiyama, T. Yokoyama and Y. Matsumoto,

“NMR assignment for diaryl ether structures (4-0-5 structures) in pine wood lignin.”, *Biomacromolecules*, 17, 1921-1929 (2016). [被引用数: 14 件]

概要:

リグニン高分子分岐点の候補であるジアリールエーテル構造について NMR 法による検出を試みた。合成した 4 量体モデル化合物の NMR データとの比較により、針葉樹リグニン由来 NMR ピークを同構造に帰属することが可能となった。また同リグニン試料のニトロベンゼン酸化物には、シリングル型生成物が検出されないのに対し、ジアリールエーテル型分解生成物が得られることを確認した。これにより、ジアリールエーテル構造が少量ながらもリグニンに含まれていることが明確となった。

有村 慎一研究者

特許出願番号: 2017-24923 出願日: 2017/02/02

発明の名称: 植物ミトコンドリアゲノムの編集方法

発明者: 有村慎一、片山健太、日高明美、堤伸浩、風間智彦、鳥山欽哉

出願人: 東京大学

概要:

植物ミトコンドリアゲノムは形質転換不可能であり、改変技術は農業生産上よく使われる細胞質雄性不稔性の制御などへの応用分野へ待望されている。本発明は、ゲノム編集技術・人工制限酵素 TALEN に植物ミトコンドリア局在配列を付加することで、そのゲノムの任意箇所に DNA 二重鎖切断を所持させ、特徴的な大きな欠失とゲノム配列攪乱を起こす方法、並びにそれによって作成された広範な植物種について権利を主張するものである。

中島 清隆研究者

K. Nakajima, R. Noma, M. Kitano, and M. Hara,

“Selective glucose transformation by titania as a heterogeneous Lewis acid catalyst”, *Journal of Molecular Catalysis A: General*, 338-339, 100-105 (2014).

[被引用数: 37 件]

概要:

水中で機能するLewis酸サイトを高密度で有する低結晶性酸化チタンの表面にリン酸を固定した酸化物触媒(Phosphate/TiO<sub>2</sub>)が、水溶液内でグルコースを 5-ヒドロキシメチルフルフラール(HMF)へと高効率で変換できることを見出した。HMF はバイオプラスチックを含む多様な必須化学品の原料となるため高効率かつ環境低負荷な合成法の確立が求められている。Phosphate/TiO<sub>2</sub> は水存在下でグルコースを 80%以上の選択率で HMF へ変換できてお

り、単一の固体触媒による変換効率という観点では世界トップレベルの反応活性である。

永野 惇研究者

K. Iwayama, Y. Aisaka, N. Kutsuna, and A.J. Nagano

“FIT: Statistical modeling tool for transcriptome dynamics under fluctuating field conditions.”, *Bioinformatics*, btx049 (2017) [被引用数: 0 件]

概要:

トランスクリプトームデータと気象データの間での回帰解析を行う R ライブラリを開発し公開した。Adaptive group LASSO、変分近似などを導入したことに加えて、コードのリファクタリングを行ったことは、先行研究 (Nagano et al., *Cell*, (2012)) で用いたプログラムと比べて大幅な高速化を実現した。

松本 謙一郎研究者

T. Yokoo, K. Matsumoto, T. Ooba, K. Morimoto and S. Taguchi

“Enhanced poly(3-hydroxybutyrate) production in transgenic tobacco BY-2 cells using engineered acetoacetyl-CoA reductase”, *Biosci Biotechnol Biochem*, 79, 986-988 (2015). [被引用数: 3 件]

概要:

微生物産生ポリエステルの生合成系を植物などの光合成宿主に導入すると、独立栄養条件下でポリマーを合成することが可能である。しかし、大腸菌などの微生物発酵法に比べて、細胞量当たりのポリマー蓄積率が低いことが問題であった。本論文では、ポリマー生産のための光合成プラットフォーム作りの基礎として、植物細胞におけるポリマー合成の律速段階を調べた。その結果、タバコ培養細胞系をモデル系として、モノマー供給系酵素の一つである還元酵素の反応が律速であることを見出し、還元酵素の発現量の向上により、ポリマー蓄積量を増加させられることを示した。

梅澤 泰史研究者

K. Saruhashi, T. Kumar=ghosh, K. Arai, Y. Ishizaki, K. Hagiwara, K. Komatsu, Y. Shiwa, T. Umezawa, Y. Sakata, and D. Takezawa

“Plant Raf-like kinase integrates abscisic acid and hyperosmotic stress signaling upstream of SNF1-related protein kinase2.” *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 112 : E6388-96(2015). [被引用数: 20 件]

概要:

モデルコケ植物であるヒメツリガネゴケの AR7 変異体は、植物ホルモンアブシシン酸に対する応答が失われた変異体として単離された。本論文では、AR7 変異の原因遺伝子を同定し、その機能について解析した。原因遺伝子は ARK と名付けられ、Raf 型と呼ばれるプロテ

インキナーゼの一種をコードしていた。AR7 変異体では、ABA シグナル伝達の主要因子である SnRK2 プロテインキナーゼの活性が低下しているが、ARK は SnRK2 を直接リン酸化し、活性化に関与することが明らかとなった。ABA による SnRK2 活性化のメカニズムについては議論が続いてきたが、本研究の結果は ABA シグナルの新規なメカニズムを提案するものとして注目される。

西條 雄介研究者

T. Shinya, S. Yasuda, K. Hyodo, R. Yani, Y. Hojo, Y. Fujiwara, K. Hiruma, T. Ishizaki, Y. Fujita, Y. Saijo.\* and I. Galis.\*

“Integration of danger peptide signals with herbivore-associated molecular pattern signaling amplifies anti-herbivore defense responses in rice” *Plant J*, 94, 626-637 (2018) [被引用数 0 件]

概要：

イネにおいて、細胞ダメージシグナルとして働く Pep ペプチドとその受容体 PEPR のオースログ (OsPep-OsPEPR1) が、草食性昆虫の食害エリシター (HAMP) に対する防御応答を増幅する働きを持つことを明らかにした。イネに OsPep ペプチドを投与することや受容体の発現レベルの増強により、イネの虫害応答を強化できることを示し、将来の応用展開も期待させる知見を得た。

橘 熊野研究者

Y. Tachibana, S. Kimura and K. Kasuya

“Synthesis and Verification of Biobased Terephthalic Acid from Furfural”, *Scientific Reports*, 5, 8249 (2015) [被引用数 : 26 件]

概要：

テレフタル酸はポリエチレンテレフタレート (PET) の原料であり、PET の完全バイオマス生産を目指してバイオマスからの合成開発が進められている。一方、フルフラールは非食用バイオマス資源であるトウモロコシの芯 (廃棄物) から工業的に生産されている安価な化合物である。本研究では、このフルフラールを有機化学的手法によって変換し、テレフタル酸を効率的に合成する方法を開発し、また、合成したテレフタル酸が 100%バイオマスから合成されたことを証明した。

豊田 正嗣研究者

M. Toyota, D. Spencer, S. Sawai-Toyota, J. Wang, T. Zhang, A.J. Koo, G.A. Howe, and S. Gilroy, “Glutamate triggers long-distance, calcium-based plant defense signaling.” *Science* 361:1112-1115. (2018) [被引用数 : 5 件]

概要：

近年、バイオマスの利活用が重要視されているが、世界の栽培面積の90%が塩害・乾燥・病虫害などの劣悪な栽培環境条件であり、バイオマスの増産には環境耐性強化植物体の創出が求められる。本研究は、カルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ) やグルタミン酸のバイオセンサーを用いて、植物が幼虫に食べられた時や、はさみ等で物理的に傷つけられた時に起こる長距離・高速  $\text{Ca}^{2+}$  シグナル伝搬の可視化に成功した。植物には神経はないが、植物特有の器官である師管を介して  $\text{Ca}^{2+}$  シグナル (傷害情報) を全身に伝えていた。さらに、この  $\text{Ca}^{2+}$  シグナルを発生させるためには、傷ついた細胞や組織からグルタミン酸が流出し、師管等に発現しているグルタミン酸受容体を活性化させる必要があることを明らかにした。

松下 智直研究者

T. Ushijima, K. Hanada, E. Gotoh, W. Yamori, Y. Kodama, H. Tanaka, M. Kusano, A. Fukushima, M. Tokizawa, Y. Yamamoto, Y. Tada, Y. Suzuki, and T. Matsushita

“Light controls protein localization through phytochrome-mediated alternative promoter selection”, *Cell* 171, 1316-1325 (2017) [被引用数: 7件]

概要:

フィトクロムが、ゲノムワイドに 2,000 を超える遺伝子の転写開始点を変化させることにより、mRNA の 5' 末端の長さを制御し、その結果、およそ 400 ものタンパク質の細胞内局在が光依存的に変化することを発見した。そしてこの仕組みにより、ある光環境において、1つの遺伝子から細胞内局在の異なる複数のタンパク質が生じ、それらが細胞内の異なる場所で異なる機能を果たすことが、植物の様々な光環境への適応に働くことを明らかにした。これらの結果は、転写開始点制御が、転写・スプライシング・翻訳と並んで、真核生物の遺伝子発現制御における新たな普遍的一過程として、プロテオームの機能的多様化に少なからず寄与することを示している。

山口 有朋研究者

A. Yamaguchi, N. Muramatsu, N. Mimura, M. Shirai and O. Sato,

“Intramolecular dehydration of biomass-derived sugar alcohols in high-temperature water”, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19, 2714-2722 (2017). [被引用数: 5件]

概要:

ソルビトールやマンニトールなどの糖アルコールは、脱水反応により、イソソルビドやイソマンニドなど剛直なジオール分子に変換可能であり、耐熱性のポリエステルなど機能性ポリマー原料として使用できる。通常、糖アルコールの脱水反応は、硫酸などの強酸を触媒として用いるが、本研究では、酸を触媒として添加せずに高温水にするだけで脱水反応が進行することを明らかにした。植物バイオマス(リグノセルロース)に含まれるセルロース、ヘミセルロースは、ソルビトールやマンニトールなどの糖アルコールに変換可能であり、さら



に水溶液を高温にするだけでイソソルビドやイソマンニドなどの化学品原料へ変換可能であることが分かった。

矢守 航研究者

W. Yamori, A. Makino, and T. Shikanai,

“A physiological role of cyclic electron transport around photosystem I in sustaining photosynthesis under fluctuating light in rice.”, Scientific Reports 6, 20147 (2016) [被引用数：38 件]

概要：

直射日光による強光や曇天による弱光など野外の光強度は不安定だが、「変動する光環境ストレス」に対する植物の光合成応答のメカニズムは解明されていなかった。光合成における電子伝達経路には、リニア電子伝達経路とサイクリック電子伝達経路が存在することが知られている。後者のサイクリック電子伝達経路の生理機能の全体像はいまだに解明されていなかった。本研究では、サイクリック経路を欠損させた変異体イネを使って、野外に近い変動光環境下で、光合成の電子伝達反応と二酸化炭素の取り込み速度を同時測定するという最新の手法を用いて解析した。その結果、光合成の電子伝達に関わるサイクリック経路が、「変動する光環境ストレス」から身を守っていることが分かり、野外で変動する光環境に対する植物の調節メカニズムを世界で初めて明らかにした。

### ③研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献

矢守航研究者は、光環境が大きく変動する自然条件下における光合成反応の仕組みを解明し、その成果に基づき、変動光環境下でも高い光合成機能を持つ植物の創出を目指した。その結果、サイクリック電子伝達経路、気孔開口、Rubisco の活性化の寄与を解析することで、変動光環境下での光合成効率を上昇させる要因として Rubisco アクチベースの発現上昇や気孔開度の上昇を見出した。またこれらインパクトのある成果を積極的に論文として公表し、高い引用数を得ている。

松下智直研究者は、光合成による二酸化炭素固定速度を低下させる光呼吸について、その改変により植物生産性を向上させることを目的とした。その結果、フィトクロームシグナルに由来する一連の遺伝子群の選択的転写開始点制御現象を見出し、光呼吸経路のキー酵素であるグリセリン酸キナーゼの細胞内局在が変化することを明らかにした。この発見を基礎に、400 ものタンパク質で光依存的に細胞内局在性が変化することを示した。そしてこの機構が、植物の様々な光環境への適応に働くことを明らかにした。Cell 誌に発表されたその論文は、Cell 誌の Leading Edge と Nature Reviews Genetics 誌において取り上げられ、それぞれに解説記事が掲載された。

永野惇研究者は、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、フィールドオミッ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、オミックス解析のデータを関連付け、ある環境下での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、永野研究者は膨大な試料について RNA-Seq に新たな方法を導入し、統計モデリングの高度化に成功した。また、野外環境での遺伝子発現を再現しうる植物培養装置の開発などにも成功した。2015 年度に CREST のプロジェクトに採択され、本研究を発展させている。

内藤健研究者は、過酷な環境に適応したアズキ (*V. angularis*) を含む *Vigna* 属の *V. marina*、*V. riukiensis* および *V. trilobata* の 3 野生種の耐塩性に関わる遺伝子群を明らかにし、それらを環境ストレス耐性植物の開発に活用する道筋をつけることを目的とした。それぞれの植物に特徴的な耐塩性の責任遺伝子を遺伝学的手法により特定することに成功した。また、放射性ナトリウムを用いて 3 種の耐塩性機構の生理学的な違いを明確にした。これらの成果は、今後の耐塩性植物の開発に繋がる重要な発見である。

西條雄介研究者は、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をめざし、植物の免疫センサーネットワークを明らかにした。病原菌感染に伴い植物が産生するダメージシグナルを利用することで、植物の成長を保持または促進しながら耐病性や耐塩性を向上させることに成功した。これらの知見は、共生も含め植物と微生物の相互作用研究に新たな局面を開くものと期待される。また、2017 年度から戦略的国際共同研究プログラム (SICORP) に採択されており、研究の一層の発展が期待される。

小林高範研究者は、鉄イオンを吸収しにくい塩基性土壌などで十分に生育する植物を育成するための方策として、鉄センサータンパク質候補の機能を明らかにし、その活用によって、鉄吸収を可能とする植物を作成することを目的とした。この研究によって候補タンパク質が鉄欠乏を負に制御する鉄欠乏反応タンパク質そのものであることを明らかにし、鉄蓄積量が増加した植物を作成することができた。こうした成果は、学術上のみならず産業への応用上からも重要である。

中道範人研究者は、概日時計関連遺伝子の機能を解析し、その活用によって植物の生長を制御し、バイオマスの増産につなげる基盤技術を開発することを目的とした。その結果、時計関連遺伝子の導入によって花成時期を遅延させ、バイオマスの増産を図ることに成功した。また概日時計は、ストレス耐性にも影響があることなども示し、さらに、概日時計と相互作用する化合物をスクリーニングによって発見した。こうした多くの成果は、基礎研究としてもまた、技術開発研究としても極めて重要である。この成果を発表した論文は高被引用文献として選定されている。

中島敬二研究者は、細胞を初期化できる「植物 iPS 遺伝子」を用いて、初期化機構の基礎研究と本遺伝子の活用により再分化系の構築が困難といわれる植物種の形質転換系確立への応用技術を開発することを目的とした。本研究の中で、「植物 iPS 遺伝子」を用いたシロイヌナズナの培養細胞系が確立され、これによって、初期化機構の一部を解明した。また、ポプラについても、この遺伝子による初期化と個体再生について成功している。こうした成果は今後、本方法を用いた形質転換系の確立への道を開いたものであり、科学技術上のインパクトは大きい。

上田貴志研究者は、植物細胞内の細胞小器官を結ぶ膜交通の仕組みが、各種ストレス応答においても重要な役割を果たしているとの視点から、膜交通の構成要素である鍵遺伝子の役割を解明し、膜交通経路を最適化することで塩ストレスや病気に強い植物の作出を目指した。その結果、本遺伝子が塩ストレスや浸透圧ストレスの耐性発揮に必要であること、及びうどんこ病の吸器嚢膜の形成に関わることを証明し、本遺伝子の改変や制御によりストレス耐性や病原菌抵抗性を付与できることを提案した。これら免疫応答や非生物的応答と膜交通の関係を示す多くの成果を発表してきたことは、基礎研究として高く評価できる。

豊田正嗣研究者は、全身性長距離・高速カルシウムシグナルの伝達機構及び全身獲得抵抗性を解明し、ケミカルスクリーニング法の開発を目的とした。研究の過程で、カルシウムシグナルの長距離伝播を可視化する技術を開発し、グルタミン酸受容体が関与する膜電位反応がカルシウムシグナリングの初発となることを発見し、そのシグナルが篩部を通じて伝播することを明らかにした。この成果は植物における長距離情報シグナル伝達研究に大きなインパクトをもたらすものである。また、本成果は New York Times や Forbes 、 National Geographic 等の一般メディアでも取り上げられるなど国際的にも大きな反響があった。

秋山拓也研究者は NMR を用い、リグニンの詳細な部分構造を明らかにし、リグニン分子の化学反応性との関係を解明しようとした。秋山研究者は、特に化学反応性が高いと考えられるスピロジエノン構造の有無について、化学合成と酵素合成を組み合わせ三量体モデル化合物を合成し、NMR の解析から、その構造がリグニン分子に確かに存在し、また、それが酸で容易に開裂することを示した。この成果は今後のリグニン分解手法の開発に大きく貢献する成果と言える。

#### ④研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献

有村慎一研究者は、これまで未開発であったミトコンドリアの遺伝子編集技術を確認し、その一つの実証として、細胞質雄性不稔植物を作出することを目的とした。ゲノム編集技術・人工制限酵素 TALEN に植物ミトコンドリア局在配列を付加することで、そのゲノムの任

意箇所 DNA 二重鎖切断を起こさせる手法でミトコンドリアのゲノム編集に成功した。この成果は世界で初めてのものであり、特許として申請されている。今後、植物育種で重要な技術として広範囲に使われる、波及効果の大きな基盤技術となっていくと期待され、イノベーションにつながる極めて優れた研究成果である。

橘熊野研究者は、非可食性バイオマス資源から工業的に生産されている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利用した機能性バイオベース高分子の創出を目的とした。その結果、フルフラールに由来する汎用高分子モノマー群の合成に成功し、しかもそれらをライブラリ化して効率的な機能性バイオベース高分子の合成デザインに活用できる道筋をつけた。これらの成果は、現在、産業化に向けて多方面との共同研究につながっている。橘研究者は、さきがけ研究の成果を基盤に、2016年度からはALCAのプロジェクトに採択されており、イノベーションに直結する今後の応用展開が期待される。

中島清隆研究者は、本研究において、固体ルイス酸を用いて、バイオマス成分の化学変換法の確立を目指した。その結果、グルコース、キシロースなどの糖類を原料として、ヒドロキシメチルフルフラール (HMF) やフルフラールへの変換、また、グリセロールからの乳酸への変換を行う水溶液中で機能する多様な固体触媒の開発に成功した。また、これらの触媒の反応機構なども明らかにしている。2015年度からALCAのプロジェクトに採択され、また、企業との共同研究も進みつつあり、イノベーションにつながる研究へと発展することを期待したい。

松本謙一郎研究者は、植物などの光合成生物の炭酸固定経路から生成するグリコール酸をポリマーに変換する経路を確立することを目指した。その結果、光合成細菌の炭酸固定経路の一部を導入した組換え大腸菌を用いて、キシロースを炭素源としてグリコール酸ポリマーを生産する系の確立に成功した。この成果は、植物によるポリマー生産への道筋を付けたという点で評価できる。2015年度からALCAのプロジェクトに採択されており、イノベーションにつながる研究への発展が期待される。

#### ⑤本研究領域に続く研究資金の獲得状況

さきがけ研究者の課題終了後に続く研究資金の獲得に関しては、科学研究費助成事業(科研費)のみならず順調に推移しており、JST等の研究資金を獲得し、本領域での成果をさらに発展させている。顕著な実績としては、CRESTの研究代表者としての採択が2名、ALCAの研究代表者としての採択が3名、戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)の研究代表者としての採択が1名、A-STEPの研究代表者としての採択が1名となっている。

⑥その他特記事項

(i)国内外の顕彰・受賞等

(2018年12月1日現在)

受賞者名	賞の名称	授与者名	受賞日(時期)
小田 祥久	第20回日本植物生理学会奨励賞	日本植物生理学会	2013年3月
小田 祥久	2016年度科学技術分野の文部科学大臣表彰(若手科学者賞)	文部科学大臣	2016年4月
笠原 博幸	第9回日本学術振興会賞	日本学術振興会	2013年2月
小林 高範	2015年度科学技術分野の文部科学大臣表彰(若手科学者賞)	文部科学大臣	2015年4月
内藤 健	2013年度日本育種学会奨励賞	日本育種学会	2013年3月
中道 範人	第21回日本植物生理学会奨励賞	日本植物生理学会	2014年3月
中道 範人	2017年度科学技術分野の文部科学大臣表彰(若手科学者賞)	文部科学大臣	2017年4月
三輪 京子	第31回日本土壌肥料学会奨励賞	日本土壌肥料学会	2013年4月
三輪 京子	2018年度日本農学進歩賞	農学会	2018年11月
山口 雅利	2013年度日本植物細胞分子生物学会奨励賞	日本植物細胞分子生物学会	2013年9月
有村 慎一	第20回日本植物生理学会奨励賞	日本植物生理学会	2013年3月
中島 清隆	2012年度石油学会・奨励賞	石油学会	2013年2月
	2014年度触媒学会・奨励賞	触媒学会	2015年3月
永野 惇	2014年度科学技術分野の文部科学大臣表彰(若手科学者賞)	文部科学大臣	2014年4月
永野 惇	2018年度日本農学進歩賞	農学会	2018年11月
松本謙一郎	2016年度科学技術分野の文部科学大臣表彰(科学技術賞研究部門)	文部科学大臣	2016年4月
安達 俊輔	第19回日本作物学会研究奨励賞	日本作物学会	2015年3月
安達 俊輔	第13回日本作物学会論文賞	日本作物学会	2016年3月
梅澤 泰史	Highly Cited Researchers 2016	Clarivate Analytics	2016年11月
橘 熊野	2014年度繊維学会若手優秀発表賞	繊維学会	2014年6月
豊田 正嗣	2015年度日本生物物理学会若手奨励賞	日本生物物理学会	2015年9月
豊田 正嗣	2017年度科学技術分野の文部科学大臣表彰(若手科学者賞)	文部科学大臣	2017年4月
松下 智直	Asia and Oceania Society for Photobiology (AOSP) Award for Young scientist	The Asia and Oceania Society for Photobiology (AOSP)	2015年11月

山口 有朋	2016 新化学技術研究奨励賞ステップアップ賞	新化学技術推進協会	2016 年 5 月
山口 有朋	「トーキン財団奨励賞」(バイオマスの全成分を有用化学品原料に変換する技術開発)	トーキン科学技術振興財団	2018 年 3 月
矢守 航	第 12 回日本農学進歩賞	農学会	2013 年 11 月

(ii) 将来性が見込まれ、大きな成果に繋がる可能性があるもの等

さきがけ研究における多くの成果のうち、将来性が大きく期待されるものの1つは、有村研究者のミトコンドリアのゲノム編集技術である。植物においても、ミトコンドリアは細胞質雄性不稔など様々な形質や現象に関わっているが、その原因遺伝子の改変はこれまで不可能であった。有村研究者の今回の成功は、まだその端緒であるが、今後この方法の適用例が増え、適用範囲が広がることで、画期的な遺伝子改変技術として、植物育種などに広く応用できるようになるであろう。その結果、これまで出来なかった新しい有用な植物を生み出すことが可能となり、産業への影響も大きなものとなる。

また、松下研究者の研究によって、光依存的にフィトクロム経路で転写開始点に変化し、その結果作り出されるタンパク質の細胞内局在性が変化する例が数多く見出されたことは、まだ学術的な研究の段階であるが、極めて興味深く、今後どのような展開になるか、未知数である。しかし、新たな発見として、これを基礎に新しい光生物学、あるいは、光を活用した物質生産などの方法の研究へと発展していくことを期待したい。

### (3) 複合領域として

本複合領域では、さきがけ研究と CREST 研究を一体として運営してきたが、その中で、いくつかの共同研究も生まれ、色々な成果が得られている。その一つとしてさきがけの矢守研究者と CREST の鹿内研究者との共同研究の成果がある。これは野外での変動光下での光合成にかかわるもので、変動する光環境ストレスから植物が身を守るシステムとして、光合成の電子伝達に関わるサイクリック経路が働いていることを明らかにした。この成果は、光合成の理解を深めるものとして、世界をリードする研究であり、学術的な価値は極めて高い。また、実験室と野外での栽培とをつなげるための研究としても重要である。

## 8. 総合所見

### (1) 研究領域のマネジメント

本複合領域の特性は、二酸化炭素の固定という光合成機能から、バイオマスの生産性強化、バイオマスの変換・活用という、極めて長いプロセスを研究対象分野としていること、また CREST とさきがけのハイブリッド型の研究領域であることである。もちろんそのプロセスが一貫した研究課題として計画されることが望ましいが、研究期間が限られていることから

それは困難である。そのため、研究対象や研究グループの規模はきわめて幅広く分散することになる。そうしたことから採択にあたっては、領域全体としてプロセス全体をカバーできるように研究課題を選択し採択することを考えた。公募の広報については、初年度はホームページによる紹介しか出来なかったが、二年目は毎年定期的開催され、多くの植物科学研究者が集まる「植物科学シンポジウム」で研究総括が本複合領域を紹介する講演を行い、三年目は JST において本複合領域のミニシンポジウムを開催し、本複合領域の意図するところ、期待される研究課題の宣伝に努めた。こうした活動によって、幸い多くの研究計画が申請され、その中から優れた研究を採択することが出来た。その結果、さきがけ研究者と CREST のチームをバランス良く配置することができた。また本さきがけ研究領域では、この領域の研究を推進しうるような技術開発や基礎的知見を得るための研究課題も採択した。それによって、他の研究が活性化されることを想定したからである。

こうして採択された研究グループをまとめて、本複合領域をバーチャルな研究所として運営するために、さきがけ研究領域と CREST 研究領域を基本的には常に一体として運営することとした。そしていくつかの基本的な方策を考えた。ひとつは、異なる研究分野を専門とする研究者間での相互理解を深め、本複合領域の研究目的と意義についての意思統一を図ることである。それによって、それぞれの研究者が自らの立ち位置を全体の中で理解し、全体プロセスの一气通貫性についての発想を常に研究の中で活かしていくことを期待した。一方、それぞれの専門分野の中での先端的な研究を行うための最先端の研究情報や資源などの交流や交換も重要であるとして、専門的な分野ごとの集まりも考慮した。これらの具体的なものとしては、「ストリゴラクトン研究会」や、「データ科学の発展と植物科学との融合」ワークショップなどがある。ストリゴラクトンは多様な生理活性を示す植物ホルモンとして世界的にも注目され、日本がこの研究を世界的にリードしているところもあり、これをテーマにした国際会議も開かれている。今後も基礎科学の視点のみならず、このホルモンを活用した植物生産において本 CREST 研究領域の研究者が世界をリードする立場を維持していくことが期待される。また、「データ科学」は新しい測定技術や解析技術の開発によって、今後膨大に生まれてくるデータを植物科学の分野にどう活用していくかという点で本複合領域の共通的な話題であった。こうした新しい方法論などを取り入れつつ、本複合領域の研究はそれぞれ相互作用、相互連携しながら発展し、優れた研究成果を生み出すことができた。

さらにハイブリッド型の特性を活かし、CREST 研究者とさきがけ研究者の間での交流を図った。特に若手研究者の育成にあたっては、本 CREST 研究領域にかかわっている若手研究者をさきがけ研究者と同じように扱い領域会議などに参加させ、相互の研究の理解と情報交換、若手研究者のネットワーク形成に努めた。また、この領域会議には「最先端・次世代研究開発支援プログラム」に採択された関連分野の研究者にも参加を求め、毎年数人が参加してきた。また、さきがけ研究領域の研究期間がほぼ3年間であることを考慮し、研究期間が終了した後もさきがけ研究者として扱い、領域会議や勉強会に参加することを要請した。また、さきがけ研究が実質的に終了した 2017 年度においても、元さきがけ研究者と CREST の

若手研究者が集まる勉強会を開催した。さらに、2018年には、植物系4領域合同の若手勉強会を開催し、研究交流を深めるとともに、自らが担うべき未来の植物科学について、率直な意見交換を行う場を作った。このような施策により次代の植物科学を担う若手研究者のネットワークを形成しようとした。その結果、さきがけの領域会議などでは多くの若手研究者によって専門分野を超えた活発な意見交換が行われ、その中で多くの共同研究なども生まれてきた。こうした若手研究者のネットワークは、研究成果とは別に本複合領域の一つの大きな成果であると考えている。

## (2) 研究領域としての戦略目標の達成状況

本領域では、戦略目標において設定された3つの具体的な達成目標の下に研究を実施してきた。以下、それぞれについて、その達成状況を述べる。

### ① 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

炭酸ガスを資源として活用することの原点は植物の光合成である。そうした視点から、本複合領域では、いくつかのCRESTチームとさきがけ研究員がこの目標に取り組んだ。その結果、モデル系、あるいは野外での光合成機能についての理解は深化したと言える。また、その中で、光合成活性を増強する手法や鍵となる遺伝子などについても新たな成果として出されてきた。しかし、それらの成果が、具体的な基盤技術として確立したとは言い難い。光合成機能という、酵素・細胞レベルでの理解と、その個体あるいは圃場レベルでのバイオマスの増加とは、まだ少し距離があるのが現状であった。今後も研究の継続が必要であろう。

### ② 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

2番目の目標、すなわち悪環境に対する耐性強化によるバイオマス生産の強化、および、遺伝子改変による有用バイオマスの生産などに対しては、多くのさきがけ研究、CREST研究が実施された。それらは大別すれば、変異やゲノム編集による機能改変、シンク・ソース機能の強化、転写制御やシステム生物学による環境耐性強化、植物ホルモンや栄養から見た物質生産能の強化などである。こうした多くの研究は、既に述べてきたように、それぞれ、基盤技術の開発につながる種々の成果を上げてきており、この目標は達成することが出来たと考えている。また、これらの研究の中には、野外環境でのトランスクリプトーム解析、カルシウムシグナルの早期変動の可視化、高速ジェノタイピングを利用したテラメード育種技術の確立など、植物科学の中で広範に活用できる研究手法の確立という成果もある。

### ③ 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

3番目の目標は、作り出された植物バイオマスの利活用のための基盤技術に関するもので、手法としては微生物を活用するもの、および化学的・工学的手法による研究が実施さ



れた。その結果、新規機能を有する多元ポリ乳酸やイミダゾール系ポリマーなどのバイオマスからの生産技術の確立とその用途開発についての研究、TEMPO 酸化による機能性セルロースナノファイバーの開発とその用途に関する研究が行われ、多くの成果が得られた。また、リグニンの利活用については、その精密構造の解析および、電磁波や触媒を活用したリグニン分解とその用途開発に関する研究、ポリマー原料などの化学工業品の化学的・工学的生産技術の開発研究などで、多くの成果を上げることが出来た。

こうした成果については実用化に向けての企業との共同研究が進みつつあり、産業化に向けて進展することが期待される。このように、3 番目の目標については、当初の目標を十分に達成することが出来たと考えている。

### (3) 本研究領域を設定したことの意義

これまでも記載したように、日本の植物科学の基礎研究力は世界的に見ても第一級のものとして認識されている。しかし、こうした研究力がイノベーションにつながる科学技術として十分には活用されてこなかったという現状がある。こうした中で二酸化炭素の削減を目指した科学技術の確立には、二酸化炭素を資源として有機化合物に変換する植物の光合成力を基盤とした技術開発を図ることが重要であるという観点から、本複合領域が戦略的創造研究推進事業として策定された。このことは植物科学研究の重要性が再認識されたということで、この分野の研究者全体が喜んだところである。本複合領域の策定とほぼ同時期に、NC-CARP や先端的低炭素化技術開発(ALCA)において、植物バイオテクノロジーが計画され、また植物科学研究者ネットワーク形成などの施策が行われたことも同じ認識に立つものと思われる。その意味で本複合領域が期待される成果を上げられるかどうかは、植物科学研究全体の将来構想に影響を与えるものと認識している。幸い、2015 年度から新たに、戦略的創造研究推進事業としてCREST 研究領域の1 領域(植物頑健性)および、さきがけの2 領域(フィールド植物制御、情報協働栽培)が、植物科学を中心とした研究領域として設定された。このことは、増々、植物科学研究の重要性が認識されてきていることを意味するものとして、本複合領域の運営状況なども、それを推進するために貢献しているのではないかと考え、研究総括としては責任を感じるとともに喜んだ。また、そのような領域が新たに設定されたことは本領域が策定された意義があったということでもあると考えている。同時に、これらの領域とどのように連携して、植物科学に託された課題を解決していくかについて、共に考えて行く必要性が出てきた。そこで、本領域の中間評価以降、これらの研究領域の研究総括とも意見交換しつつ、いくつかの連携事業を行ってきた。それによって、本領域での未解決の課題や、新たに見出された課題などが、次のプロジェクトの中でも、取り上げられることを期待した。

本複合領域設定のもう一つの意義は、二酸化炭素資源化のための科学技術開発のために、理学部、農学部、工学部などの専門分野の異なる研究者が共同研究を開始したことである。これまで、植物科学の基礎的研究力が工業的な立場からの産業化にはつながって来なかつ

たのは、こうした連携が十分でなかったこともある。本複合領域は、こうした垣根を取り外し、目的の達成のための、専門研究分野を超えた新たな共同研究体制を作ることを誘導した点で、バイオマスの増産とその活用に関する今後の研究計画のモデルとなっていくはずであり、後に続く類縁の研究領域、研究プロジェクトへの波及性は大きいものがあるといえる。特に、化学物質の資源としてのバイオマスの活用に関しては、本研究に参画した研究者が、現在でも個別に一層の発展を期した研究を展開しているが、それらをまとめた研究プロジェクトが再び設定されることを期待したい。

#### (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

本複合領域の目指すところは、二酸化炭素を資源として活用し、最終的には工業製品として変換するプロセスにかかわる科学技術の基盤となる研究成果を多数生み出すことである。本領域で展開された研究には既に紹介したように、科学技術イノベーションの創出に向けて、今後大きな発展が期待できる研究課題もある。特に、本複合領域の CREST 研究領域で出口部分を担当する、新しい機能を持ったポリマーや、機能性の微細セルロース繊維、リグニン分解物の活用などの研究課題にはそうしたものが多い。しかし、それ自体ではまだ、そのまま社会実装されイノベーションに繋がるものではない。今後さらにその研究成果をブラッシュアップし、コスト問題などでも一定レベルの競争力があるものとしなければならない。その意味ではこうした成果を社会実装につなげるために、次のステージの研究課題を支援するシステムが重要である。また、本さきがけ研究領域の研究で、バイオマス成分の工学的あるいは化学的分解や変換など、バイオマス活用の基礎技術として多様なプロセスへ展開可能な成果も数多くある。こうした成果も多くの関連技術として一体となって活用されていくべきものであって、それを発展させるための研究を継続的に行っていくことが必要である。その意味では、本複合領域での研究成果の延長上に、さらに社会実装に近い研究課題が進められていくことが期待される。既に、本複合領域の CREST の共同研究者やさきがけの研究者のうち、ALCA や CREST などの戦略的大型研究へと発展しているものが相当数見られる。今後も、本複合領域の研究が進展するにつれて、こうした傾向が多数見られていくと考えており、展開研究の中で本複合領域の研究成果が活かされ、将来の社会実装への展開に向けたイノベーションにつながることを期待される。

#### (5) 所感、その他

本領域での研究成果については既に述べたところであるが、それとは別に、本領域がハイブリッド型として策定されたことの効果は、若手研究者の育成とそのネットワーク作りという点で大きなものがあつたと考えている。また、本複合領域のように、全く異なる専門分野の研究者が集まった意味も大きいものがある。それぞれの研究推進という立場からだけでなく、若手研究者が、普段出会うことのない分野の研究者と交流できたことは、研究分野などで焦点を絞った研究領域では難しいことであろう。このような交流は若い研究者に

とって、現状に自分を縛り付けるのではなく、多様な未来を考える上で貴重な経験となったと考える。本複合領域からは、そうした視野の広い研究者が数多く育っていくことを期待している。

また、他の研究領域との連携については、2015 年度に、植物科学関係のさきがけ研究領域 2 件、CREST 研究領域 1 件が発足したことに伴い、こうした関連領域との連携を図り、それによって、植物科学領域全体として社会的な課題を解決するための基盤技術の開発研究を推進したいと考え、いくつかの合同の施策を企画・実施することが出来た。

研究成果を社会に公開することはこうした研究領域にとっては重要なことである。本複合領域は極めて広範な分野を対象としていることもあり、領域全体での公開発表などにあまり注力してこなかった。その代わりに、「6. 研究領域のマネジメントについて」で述べたように、関連分野の企業などからの多くの参加者が見込まれる各種のイベントには、その目的に合致した研究者を派遣し、成果の実用化の可能性や企業との連携などについて議論する機会を作った。領域全体の公開シンポジウムなどよりもこの方が、より実効性のあるアウトリーチ活動であると考えたためである。

以下は研究総括個人としての所感である。この 8 年間、戦略的創造研究推進事業の中で、同じ戦略目標のもとに、若干異なる目的とかなり異なる研究システムを持つ、CREST とさきがけを同時に運営してきた。その中で、それぞれの特長を活かしつつ、両領域の研究者が連携し、それぞれの目標に向かって研究成果を上げることができた。また、若手研究者の人材育成とネットワーク形成を図るという大きな目的に向けて、多くの人々に助けられながら、研究総括として、出来るだけの努力をしてきた。これまでを振り返ると、自分自身としては、一定の責任を果たすことが出来たと考えている。

また、本複合領域の研究者は、生物学としての植物科学を専門とする者が多かった。こうした「生き物」を対象とする研究者にとって、実用作物や野外で栽培する植物を対象とした研究に取り組むには、1 年という期間はとても短いものである。1 つの論文を新たにまとめるには、今の時代、少なくとも数年間の実験量が必要である。その点から見ると、さきがけ研究は二期生から、3 年間の研究計画のみに限られてしまったことは残念なことである。もう少し長い期間の研究が認められないかと思うばかりである。幸い、本領域は複合領域であったため、CREST の研究期間中は、既に終了したさきがけ研究者とも交流・活動し、彼らの研究の発展や自立した研究者への成長を見続けることが出来た。研究総括としては、それは嬉しく、また楽しいことであった。こうしたことも含め、本領域は植物科学にとっても、総括自身としても、設立・運営して本当に良かったというのが結論である。人類は今後も植物に依存して生きていくことになる。今後も、こうした領域が次々と発足することを期待したい。

以上