

研究領域「環境とバイオテクノロジー」事後評価（課題評価）結果

1. 研究領域の概要

世界的に共通した環境問題や社会課題の克服が求められており、バイオテクノロジーはそれらの解決において重要な基盤の一つである。しかし、それらの難題を解決していくためには、独創的なアイデアによりバイオテクノロジー分野における飛躍的な科学・技術革新を巻き起こし、異分野との融合によりイノベーションを創出するとともに、次代を担う若手人材の支援と将来のリーダーの輩出が必要である。

本研究領域では、バイオテクノロジー分野において新分野開拓や新価値創造につながる基礎研究を推進し、将来、真に環境問題に貢献できる技術と人材の創出を目指している。例えば、複合微生物・生物間相互作用・共生、環境生態モニタリング、あるいは、生物機能を利用した環境浄化・制御や再生可能な生物資源及びそれらの廃棄物を利活用したマテリアルやスマート物質生産などの幅広い分野において、新たな発想に基づいた先駆的なテーマを支援する。さらには、新たな生物機能の発見・創出・利用・評価解析手法の開発なども含め、環境への貢献につながる挑戦的な研究構想を幅広く求める。

研究推進においては、研究者同士の交流を促進し、バイオテクノロジーを共通言語とする多様な若手研究者によるヒューマンネットワークの構築を進め、横断的なグループ研究などへの展開を図っている。そして、若手研究者が切磋琢磨する中でそれぞれの研究を探求しながら、将来に渡ってさらに広く大きく研究フレームを展開するための支援を行うことで、環境問題に貢献できる先進的な研究をリードする人材の育成を目指している。

2. 事後評価の概要

2-1. 評価の目的、方法、評価項目及び基準

「戦略的創造研究推進事業(先端的低炭素化開発を除く。)の実施に関する規則」における「第4章 事業の評価」の規定内容に沿って実施した。

2-2. 評価対象個人研究者及び研究課題

2021年度採択研究課題

- (1) 柴田 美智太郎 (理化学研究所環境資源科学研究センター 客員研究員)
根毛と遺伝子制御ネットワークを軸とした植物環境応答機構の解明

2020年度採択研究課題

- (1) 縣 歩美 (名古屋大学大学院生命農学研究科 助教)
野生イネが持つ花序形態環境可塑性の解明
- (2) 岡橋 伸幸 (大阪大学大学院情報科学研究科 准教授)
微生物の新規代謝物-酵素遺伝子の統合オミクス推定法の開発
- (3) 木村 善一郎 (呉工業高等専門学校環境都市工学分野 准教授)
遺伝子を釣り針に任意環境微生物を特異的に獲得する
- (4) 熊倉 直祐 (理化学研究所環境資源科学研究センター 研究員)
遺伝子多重破壊法を用いた感染メカニズムの網羅的解明
- (5) 齊藤 恭紀 (岡山大学異分野基礎科学研究所 特任助教)
穀物由来ケイ酸輸送体の構造解析

- (6) 芝井 厚 (生命機能科学研究センター 研究員)
自動培養装置と機械学習による細胞状態のフィードバック制御系の開発
- (7) 神保 晴彦 (東京大学大学院総合文化研究科 助教)
ケミカルバイオロジーを用いた光合成の活性制御機構の解明
- (8) 砂山 博文 (神戸大学大学院工学研究科 特命准教授)
高密度分子集積ナノ界面による超高感度ウイルス検出
- (9) 高木 俊幸 (東京大学大気海洋研究所 助教)
エコプロバイオティクスによる環境適応型サンゴの創出
- (10) 竹島 亮馬 (農業・食品産業技術総合研究機構作物研究部門 研究員)
植物の近交弱勢における遺伝機構の解明
- (11) 千葉 洋子 (理化学研究所環境資源科学研究センター 上級研究員)
酵素のKm値再考察：最適値を決める因子の探索
- (12) 二井手 哲平 (大阪大学大学院情報科学研究科 助教)
構造情報に基づいたin silico酵素改変が先導するスマート代謝経路設計
- (13) 西岡 友樹 (産業技術総合研究所生物プロセス研究部門 産総研特別研究員)
環境調和型病害防除法を実現する微生物叢人工制御基礎研究
- (14) 西川 洋平 (産業技術総合研究所産総研・早大生体システムビッグデータ解析
オープンイノベーションラボラトリ 研究員)
シングルゲノム情報を用いた水圏ファーゼ-宿主間の相互作用解析
- (15) 二宮 章洋 (東京大学大学院農学生命科学研究科 助教)
ウイルスゲノムを利用した糸状菌の二次代謝機能開発
- (16) 前田 海成 (東京工業大学科学技術創成研究院 助教)
藍藻バイオフィルムにおける硫酸多糖の機能解析
- (17) 宮澤 佳甫 (金沢大学理工研究域 助教)
生物の表面と内部を可視化する超解像液中AFM
- (18) 三好 悠太 (量子科学技術研究開発機構量子ビーム科学部門 研究員)
炭素栄養の転流の自由自在な制御に向けた研究
- (19) 吉田 悠里 (情報・システム研究機構国立遺伝学研究所 特任研究員)
野生イネ種子における二次代謝産物を介した植物-微生物間相互作用の分子基盤の
解明

- (20) 吉村 柁彦 (京都大学高等研究院 特定助教)
タンパク質多量化技術による生合成制御
- (21) 吉本 将悟 (名古屋大学大学院工学研究科 助教)
固相基質分解酵素複合体の分子設計基盤の確立
- (22) 若林 孝俊 (大阪公立大学大学院農学研究科 特任研究員)
根寄生雑草耐性作物のテーラーメイドな創成

2-3. 事後評価の実施時期

2022年10月～2023年2月 各研究者からの研究報告書に基づき査読評価
2023年1月22日及び23日 事後評価会実施

2-4. 評価者

研究総括

野村 暢彦 筑波大学生命環境系 教授／微生物サステナビリティ研究センター
センター長

領域アドバイザー

植田 美那子 東北大学大学院生命科学研究科 教授
大西 康夫 東京大学大学院農学生命科学研究科 教授
小笠原 涉 長岡技術科学大学技術科学イノベーション専攻 教授
岡本 章玄 物質・材料研究機構国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点(MANA)
グループリーダー
小川 順 京都大学大学院農学研究科 教授
黒田 章夫 広島大学大学院統合生命科学研究科 教授
小杉 昭彦 国際農林水産業研究センター生物資源・利用領域 プロジェクトリー
ダー
清水 浩 大阪大学大学院情報科学研究科 教授
白須 賢 理化学研究所環境資源科学研究センター 副センター長／グループデ
ィレクター
玉木 秀幸 産業技術総合研究所生物プロセス研究部門 副部門長／研究グループ
長
野尻 秀昭 東京大学大学院農学生命科学研究科 教授
蓮沼 誠久 神戸大学先端バイオ工学研究センター 教授／センター長
松井 知子 ノボザイムズジャパン株式会社研究開発部門 代表
八代田 陽子 理化学研究所環境資源科学研究センター 副チームリーダー
吉野 知子 東京農工大学大学院工学研究院 教授

外部評価者

該当なし

3. 総括総評

本研究領域では、バイオテクノロジー分野において新分野開拓や新価値創造につながる基礎研究を推進し、将来、真に環境問題に貢献できる技術と人材の創出を目指して領域を運営している。独創的なアイデアによりバイオテクノロジー分野における飛躍的な科学・技術革新を巻き起こし、異分野との融合によりイノベーションの創出につなげられる、次代を担う多様な人材を育成するとともに、研究者としての個の確立を支援している。

2020年度に採択した第1期生は、当初よりコロナ禍により領域会議やサイトビジットが全てオンラインとなり領域運営にも苦勞をしたが、研究者はそれにめげることなく、コミュニケーションツールを使って異分野研究者との交流を日々積み重ねたり、ランチョンセミナーを頻繁に開催してお互いの研究テーマを紹介し合ったりしてコラボレーションの輪を広げるなど、ACT-Xの趣旨をよく理解し活発な活動を推進した。コロナ禍によって研究の場が制限され、学生の指導で苦勞した研究者もいるが、アドバイザーの先生方の助言や、研究者相互の交流を活かしてなんとか乗り切り、工夫をしながら粘り強く研究に取り組み、成果をしっかりと出せたものと評価している。15人の領域アドバイザーの先生方は、ご多忙の中、この領域の活動に積極的に参加し、研究者のサポート役を担って下さった。オンラインの活動を逆手にとって、主担当だけでなく、副担当の先生までサイトビジットに参加していただいたが、アドバイザーの先生方もこの機会を非常に楽しんでくれたと思う。領域全体としてアットホームな雰囲気を作れたのは、交流の土台を作ってくれた1期生とアドバイザーの先生方の相互触発があってこそと思っている。

このような環境下、2022年度は、2020年度より研究を開始した1期生研究者全22名（うち早期終了1名）、及び2021年度より研究を開始した2期生研究者のうち早期終了となった1名、計23課題の事後評価を実施した。それぞれが挑戦的課題に挑み、でき得る限りの十分な成果を挙げたものと評価している。順調に論文発表等の成果につながっており、プレスリリースに至った研究課題も多くあった。また、2,3期生が加わったことで、領域内の研究者間での共同研究も非常に活発に行われている。さらに、領域内の研究者を通じて領域外の研究者との共同研究につながるといった成果も現れている。ACT-Xでの研究実施を通じて、今後の研究の基盤となる成果を、それぞれ十分に得られたと評価している。来年度以降、合宿も視野に入れ、領域会議が本格的に対面式に移行することが予想される中、特にコロナ禍で十分な人的交流ができなかった1期生研究者には、今後も当領域のコミュニティに積極的に関わり、人的交流を深め、それぞれのACT-Xでの成果がさらに大きく発展することを期待している。

ACT-Xは若い研究者を対象とした研究助成制度のため、それぞれのポジションの任期やライフイベントによる休業、子育てのための時間の確保など、若手研究者に特有の問題もあるが、JSTのライフイベント支援制度も活用し、苦勞しながらも研究に非常に精力的に取り組んでいる。ACT-X期間中に8人が昇進するなど、それぞれ研究者としてのキャリアを築きつつある。

なお、本事後評価対象の1期生研究者22名のうち、10名が1年間の加速フェーズ研究を実施することになった。これまでの成果をベースにさらに展開を加速することを期待している。また、本領域を卒業する1期生の研究者も、ACT-Xで掴んだ成果や人脈を活かして、それぞれに大きく発展することを期待している。最後に、1期生研究者のうち、ACT-Xでの成果を基盤に1名がさきがけに、また、2名が創発的研究支援事業に採択されたことを付記しておく。ACT-Xでの経験を踏まえてさらに大きく飛躍してくれることを期待している。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 根毛と遺伝子制御ネットワークを軸とした植物環境応答機構の解明

2. 個人研究者名

柴田 美智太郎（理化学研究所環境資源科学研究センター 客員研究員）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、植物の環境応答機構の理解として、「根毛」に注目し、その「遺伝子制御ネットワーク」を解明しようとした。その結果、転写制御因子である LRL1 が、RHD6 とヘテロ二重体を作ることによって核内に移行し、根毛の形成を促進することを突き止めた。「核局在シグナルを欠く転写因子と DNA 結合力を欠く転写因子が環境条件に応じて協働することで根毛形成を担う」という機構の発見は、植物の環境応答と形態形成を繋ぐものである。土壌からの効率的な栄養吸収に貢献する根毛の形成の一端を解明した本成果は、今後の食糧生産にも貢献する成果であり、高く評価できる。

計画を短縮したため、当初予定の PHR1 や LRL3 については未解明のままではあるが、本研究の成果をもとにして今後解明されるものと期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 野生イネが持つ花序形態環境可塑性の解明
2. 個人研究者名
縣 歩美 (名古屋大学大学院生命農学研究科 助教)
3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、近縁野生イネ 300 アクセッションにおける穂形態の重要形質(穂長、穂軸長、一次枝梗長、一次枝梗数、二次枝梗数、一穂あたり種子数)の大規模評価を完了した。また、このデータを用い GWAS 解析をおこない QTL を複数同定できた。ユニークな遺伝資源の利用と、忍耐強い表現型解析によって、これから 5~10 年の研究材料を作れたことは大きな成果と言える。

今後はトランスクリプトーム解析や QTL 解析、遺伝子同定と機能解析、また育種利用に向けた検討などの展開が期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 微生物の新規代謝物－酵素遺伝子の統合オミクス推定法の開発

2. 個人研究者名

岡橋 伸幸（大阪大学大学院情報科学研究科 准教授）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、ノンターゲットメタボローム解析とゲノム情報を活用することで、未知化合物を生成する未知の酵素遺伝子を予測可能な、代謝物－酵素遺伝子の新規統合オミクス推定法の構築が試みられた。基盤情報となる 1000 億の酵素－代謝物ペアのカタログを整備することを起点に、*in silico* 予測系が確立され、ヒト腸内細菌 40 種のノンターゲットメタボローム解析をもとに既知のスフィンゴ脂質生産遺伝子を特定することで、本技術の有効性が確実に提示された。

加えて、特定の細菌種が生成する新規脂質群の構造決定と、その生成に関与する酵素遺伝子の特定を本統合オミクス推定法により実現したことは、きわめて先駆性の高い優れた成果であると言える。

今後、より精度を上げる方向性と、より簡便性を高める方向性の両軸でさらなる展開を進めることで、より多様な化合物群、微生物種を対象とできる技術に拡張されると思われる。本技術の有効性と、本研究者のオープンな気質が、この潮流をさらに加速させると考えられ、今後の研究コミュニティの拡張と、生物資源探索への貢献が大いに期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 遺伝子を釣り針に任意環境微生物を特異的に獲得する
2. 個人研究者名
木村 善一郎（呉工業高等専門学校環境都市工学分野 准教授）
3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究は、環境中の微生物の多くは培養できないため遺伝子を釣り針にしてターゲット微生物を釣り上げるという野心的な研究である。ゲノム編集を利用して、狙った菌のターゲット遺伝子を導入してストレプトマイシン耐性化を行うという技術を開発している。多くの未同定微生物を同定する画期的な手法の開発であることから、そのインパクトは大きい、チャレンジングな研究提案であり、研究初期においては、形質転換効率など、基本的な手法でも困難を極めた。一方で、そのことが他の研究者との共同研究に繋がり、新たなネットワーク形成を生み出している。複合微生物系から、大腸菌のみを釣り上げるモデルの検証に成功しており、大きな成果と言える。今後は、ベクターサイズによる形質転換効率に依存することへの対応が必要である。

本研究期間を通じ、画期的な手法の開発に躓きながらも前進していったことは評価できる。高等専門学校の研究環境で ACT-X を進めることには苦労があったと思うが、ACT-X メンバーをはじめ多くの研究者とネットワークを形成して自身のプロジェクトを推進し、さらには創発的研究支援事業の採択に至ったことは特筆に値する。今後は、築いたネットワークを活用し、このチャレンジングな研究テーマをさらに前進させていくことを期待している。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 遺伝子多重破壊法を用いた感染メカニズムの網羅的解明
2. 個人研究者名
熊倉 直祐（理化学研究所環境資源科学研究センター 研究員）
3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、有用作物を含め植物の重要な病原性糸状菌である炭疽病菌を対象に、独自の技術（多重遺伝子破壊技術等）を駆使してその感染にかかる分子メカニズムを解明しようとする、学術・産業の両面で重要な課題にチャレンジしたものである。実際に、本研究において、感染に関わる遺伝子を4つ同定することに成功するとともに、病原菌の付着器を介した植物細胞への侵入に関与する鍵因子を取得するなど大きな成果を挙げている。

さらに、在外研究において、新たな技術を習得・解析し、また ACT-X 内での共同研究（AFM イメージング技術等）を通じて、感染メカニズムに迫る重要な発見にも至っており、関連成果は国際誌において複数の論文（筆頭、共著論文）として結実させるなど、研究者として大きな飛躍を遂げている。今後、関連分野の国内外の研究を牽引する研究者としてさらなる飛躍が期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 穀物由来ケイ酸輸送体の構造解析

2. 個人研究者名

齊藤 恭紀（岡山大学異分野基礎科学研究所 特任助教）

3. 事後評価結果

植物におけるケイ素の役割は大きく、特にイネの健全な生育や生産性に影響する。ケイ素の輸送系は Lsi1 と Lsi2 に依存し、本研究者は長年の努力で Lsi1 の構造解析に成功している。本 ACT-X 研究では、Lsi2 の構造を解析し、植物のケイ素輸送の全貌を明らかにすることを目的とした。本研究期間に Lsi2 の精製方法を確立し、界面活性剤や脂質キュービック相法の最適化を行った。微細な結晶は得られたものの、構造解析に必要な結晶は得られなかった。その他、クライオ電顕を用いた方法など様々な工夫を行っており、近々構造解析が成功するところまで来ていると感じられた。

残念ながら本研究期間では Lsi2 の構造決定までは至らなかったが、その実現に向けてあらゆる取り組みを実施し、着実に前に進めた点は評価できる。ケイ素の輸送系とその選択性の仕組みを明らかにしようとする研究は長期的に必ず評価される研究であり、今後の進展に大いに期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 自動培養装置と機械学習による細胞状態のフィードバック制御系の開発

2. 個人研究者名

芝井 厚（理化学研究所生命機能科学研究センター 研究員）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、培養中の細胞をリアルタイムで観察しながら抗生物質濃度を動的に調節して細胞の状態を能動的に制御しようとするシステムの開発に取り組み、細胞の表現型を変化させることに成功した。自動で作動するシステムを構築できたこと自体が素晴らしい成果であるが、複数の抗生物質を同時添加した際の表現型変化が単独薬剤の際の変化と違うことを見出したことは学術的に興味深い発見であると言える。こうした知見の集積は今後、薬剤耐性菌の発現制御への応用をはじめ現在も未解決の課題への解決手段に発展することが期待される。

今後の論文等による成果の発信が楽しみであり、さらに対象生物や培養環境を多様化してその相違点を体系的に整理されていくことを大いに期待している。

加えて、ACT-X 交流を深める活動に取り組まれている点も素晴らしく、人的ネットワークのハブとして活躍され、自身については多くの共同研究にも至っており、今後の展開が楽しみである。こうした面も研究者としては重要な素養であり、育んできた人間関係はぜひ今後に活かしていただき、当該分野の研究をリードしてくれることを期待している。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： ケミカルバイオロジーを用いた光合成の活性制御機構の解明

2. 個人研究者名

神保 晴彦（東京大学大学院総合文化研究科 助教）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、遊離脂肪酸 (FFA) が光合成の光阻害を緩和する発見に基づき、様々な FFA の光阻害への影響を検討し、その機構に迫ることにチャレンジした。その結果、長鎖飽和脂肪酸は光阻害を緩和し、短鎖不飽和脂肪酸は光阻害を促進することを見出した。これらの成果は、論文 2 報として報告されており、プレスリリースも行っている。また、多価不飽和脂肪酸が光化学系 II (PSII) の損傷を加速することも明らかにした。

今後は、これら独自の研究ツールを駆使することで、PSII が光損傷により不活性型になるメカニズムなど、該当分野の長年の課題への取り組みが期待できる。

ACT-X 内での共同研究・連携を積極的に進めていたことに加え、領域全体のムードメーカー的な役割を果たし、人的交流を活性化した点も高く評価したい。今後、異分野の研究者から受けた多角的な学びを研究者としてのさらなる飛躍に繋げられることを期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 高密度分子集積ナノ界面による超高感度ウイルス検出

2. 個人研究者名

砂山 博文（神戸大学大学院工学研究科 特命准教授）

3. 事後評価結果

本研究者は、独自のナノ空間形成と空間的選択機能化により高感度なセンシング技術を開発してきた。本 ACT-X 研究では、ウイルスと同程度のナノ空間を作製し、その内部にウイルスを捕捉するための分子認識素子と結合情報を可視化する蛍光レポーターを導入することでウイルスを検出しようとした。ポリマー層形成の条件や分子認識素子の導入方法を確立し、ウイルス検出に向けた要素技術の開発に成功した。特に、機能性修飾分子を活用したナノ粒子の分散性制御技術は、反応点導入の利点も加え、優れたブレークスルーとなっている。独自の鑄型アプローチで、従来の ELISA による検出などより高感度化が達成できたと評価できる。

今後、分析的な分野への展開のみならず、物質生産や部位特異的な機能転換など、より多面的な展開へ飛躍されることを期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： エコプロバイオティクスによる環境適応型サンゴの創出
2. 個人研究者名
高木 俊幸（東京大学大気海洋研究所 助教）
3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、有用共生細菌を用いた褐虫藻の活性化・健全化を通じて環境適応型サンゴホロビオンを創出しようとする非常に意欲的かつ挑戦的な課題に取り組んだ。研究を実施展開する中で、幾度も予想し得ない難題に直面しながらも、真摯に向きあい、失敗を糧に課題を克服する過程で、思いも寄らない発見を積み上げながら一つ一つ着実に大きな成果を出している点は、挑戦的で魅力的な研究を志向する ACT-X らしい研究でもあり高く評価できる。特に、褐虫藻に対して有益な形質をもたらす有用共生細菌を発見するとともに、共生細菌－褐虫藻－サンゴの 3 者からなる「サンゴホロビオン」の作出に世界で初めて成功した点も極めて高く評価される。

今後は、本研究分野においてさらに大きな飛躍が期待されるとともに、学術分野のみならず、昨今の地球規模の環境変動に伴い、絶滅の危機にあるとも言われるサンゴ礁を守り・再生してゆく取り組みを国際的に推進・牽引し得る研究者としての活躍が大いに期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 植物の近交弱勢における遺伝機構の解明

2. 個人研究者名

竹島 亮馬（農業・食品産業技術総合研究機構作物研究部門 研究員）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、植物の近交弱勢に着目したストレス耐性に強い植物を育種しようとする独自の研究を実施展開した。特に、ソバという難しい研究材料に対し、レファレンスゲノム情報を整備し、遺伝子機能解析系を構築して、近交弱勢の原因遺伝子座を特定（候補遺伝子の推定）できた。また、近交系で大規模な欠失が起こることを見出せたことは大きい成果である。当初の計画をうまく達成し、非常に興味深い現象の一端を捉えている可能性が高いので、このまま、発展させていきたい。

今後は、エピジェネティックな要因の可能性と潜性遺伝子のホモ化などの考察を利用して、近親交配による生殖器官の弱勢化の阻害効果が予想できるため、これからの解析に期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 酵素の K_m 値再考察：最適値を決める因子の探索

2. 個人研究者名

千葉 洋子（理化学研究所環境資源科学研究センター 上級研究員）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、酵素科学の古典的パラメータである K_m を、物理化学の観点から再考することで、酵素が環境に対していかに最適化されるかの理解が試みられた。革新的な仮説提案と論理構築により、従来の K_m の概念を変えうる成果を示している。まず、 K_m が吸着の物理化学則であるサバティエ則に従うことを実験的に示した成果は特筆に値する。当初想定した吸着の物理化学に基づく最適 K_m の導出は、対象とした酵素群が持つ特性上困難を伴ったが、その過程で見出した新たな観点は、今後の酵素科学にインパクトを与えうるものと思われる。特に、反応速度や基質親和性を栄養要求性などの生理的表現型と関連づけられた点、最適 K_m 値比の理論的算出、生体内の化合物濃度と K_m 値の関係性をもたらす恒常性に関する考察など、これまでにない視点から酵素科学を捉えられた功績は大きいと思われる。

ACT-X 内連携にも積極的に取り組み、スピンオフ研究においても重要な進展がみられるなど、関連領域を活性化できた点も評価できる。本研究で積み上げた、多様な要素が関わる実験系を要素分解しては統合する試行のさらなる継続を通して、より独創性の高い研究への展開が期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 構造情報に基づいた in silico 酵素改変が先導するスマート代謝経路設計

2. 個人研究者名

二井手 哲平（大阪大学大学院情報科学研究科 助教）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、当初、非標準アミノ酸やそこから派生するリード化合物の生合成に関与する酵素の設計と代謝工学に取り組んだが、その後、特定の酵素に研究対象を絞り、機械学習を利用した基質特異性の解析と改変や酵素の耐熱化に移行して一定の研究成果を挙げる事ができた。リンゴ酸酵素の学習モデルから補酵素特異性の改変に成功した例は機械学習の有効性を示すとともに、当該酵素の特性の理解を進めることができ、学術的な意義が認められる。耐熱化についても計算科学的手法の有効性が示されつつあり、こうしたアプローチがさらなる研究の発展を生むことを期待している。

一方で、今後は、他の方法論に対する優位性を明確に示していくことが求められる。継続的に研究を進展させ、将来的な理論の体系化に貢献されることを期待している。ACT-X を通して、論文成果のアウトリーチや異分野研究者とのコラボレーションも積極的に進めており、他の研究者との連携活動を継続して当該分野を活性化するとともに、世界をリードする研究を展開されることを期待している。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 環境調和型病害防除法を実現する微生物叢人工制御基礎研究

2. 個人研究者名

西岡 友樹（産業技術総合研究所生物プロセス研究部門 産総研特別研究員）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究は、化学農薬に依存しない病害防御法を開発しようとする研究である。土壌中の微生物菌叢を人工的に制御する方法を開発することを目的にしている。その中で、土壌微生物叢の制御ポテンシャルを有すると想定した微生物群（微生物叢制御微生物候補）を利用しようという意欲的なアプローチである。研究開始時には、培養、単離の系の構築に苦労したが、そこをブレークスルーすることで微生物叢制御微生物候補を単離できるようになった。系統的に非常に新規性の高い微生物の同定に成功し、土壌病害に対しても抑制効果が期待されるような微生物を同定している。

これらは、当該研究における世界でも第一人者になれるような成果と言える。今後、応用面のみならず、制御メカニズムの解明も期待される。本研究成果を中心として多くの新たなテーマが生まれてきている。ACT-X としてより大きなネットワークを構築し、本分野の基盤を創っていただきたい。ACT-X らしい素晴らしい展開をしており、今後も期待している。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： シングルゲノム情報を用いた水圏ファージ-宿主間の相互作用解析

2. 個人研究者名

西川 洋平 (産業技術総合研究所産総研・早大 生体システムビッグデータ解析オープンイノベーションラボラトリ 研究員)

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、バクテリオファージの 1 粒子メタゲノム解析技術を確立し、河川水の 1500 程度のファージ (未知のウイルスを多数含む) のゲノムを決定することに成功している。また、本技術を適用し、5000 個以上の海水ファージのゲノム配列の獲得にも至っており、それらの成果を国際誌に発表している。これらの成果は、環境科学、ウイルス学、生態学などの観点から高い価値を有しており、高く評価できる。また、メチルトランスフェラーゼに関する研究成果は非常に興味深く、ドロップレットを用いたシングルウイルス解析だからこそ得られた新たな知見として注目される。

今後、同様の視点で水平展開できれば、環境ウイルス領域を代表する研究へと発展することも期待できる。なお、今回の研究を通じて、恒久ポストの獲得に至った点は高く評価できる。今後、独立した立場での研究が増えてくると思われるが、より大きな研究プロジェクト立案に向けて、ACT-X 研究者を含む外部研究者との連携を積極的に進めてもらいたい。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： ウイルスゲノムを利用した糸状菌の二次代謝機能開発

2. 個人研究者名

二宮 章洋（東京大学大学院農学生命科学研究科 助教）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、糸状菌の休眠遺伝子を菌類ウイルスによって活性化し、新たな物質生産につなげようとする研究開発を目指した。従来のプロトプラスト法も含めて検討した結果、パーティクルガンを用いてウイルスの導入が可能であることを明らかにした。成功した技術については、より効果的な見せ方を再考するとよりインパクトを強調できるように思う。残念ながら、ACT-X 期間中に二次代謝への影響を調べるところまでは至らなかったが、今後の展開、および技術のさらなる向上、ウイルスの宿主選択性、テヌアゾン酸蓄積のメカニズム詳細等、興味深い課題の推進・解明が待たれる。

ACT-X 領域全体のアクティビティとしては、「質量分析イメージング」セミナーを企画し、ACT-X 研究者の学術交流の促進にも貢献した。

真菌とウイルスの相互作用は非常に重要な課題なので、ACT-X で対象とした視点に止まらず、広く研究を進め、新分野を切り拓くことを期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 藍藻バイオフィームにおける硫酸多糖の機能解析
2. 個人研究者名
前田 海成（東京工業大学科学技術創成研究院 助教）
3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究は、*Synechocystis* sp. strain PCC 6803（以下、6803 株）が生産する細胞外硫酸多糖シネカンの発見を端緒として、藍藻硫酸多糖の機能解明を目的としたものである。モデル藍藻である 6803 株においては、シネカン合成能がラボストレインごとに異なり、それがシネカン合成遺伝子群の転写レベルの違いに起因することを解明し、ACT-X 以前の研究成果（シネカンの発見、及びその生合成遺伝子群の同定、発現制御系の解明）と併せて、論文発表を行った。野生株として扱われる 6803 株の複数のラボストレインが、ゲノムとトランスクリプトームの両方で大きく異なることも明らかにしている。さらに、非モデル藍藻種に使用可能な新規形質転換系の構築に取り組み、ある特定の状態の DNA を用いた形質転換が有望であることを示す結果を得ている。一方、6803 株以外のモデル藍藻における硫酸多糖の存在は検出できなかったものの、硫酸多糖を顕微分光技術で検出することを目的とした共同研究を ACT-X 研究者と開始するなど、非常に精力的に研究を進めている。

上述の論文発表により多くの企業から問い合わせを受け、低炭素社会への貢献も含めてより広い視野で研究を捉えて、柔軟に研究計画を変更した点は高く評価できる。その結果、効率的なシネカン生産系の開発に成功し、一部の有用性研究を実施できるレベルでのシネカンサンプルの供給を可能にした。これによりシネカンの社会実装に向けたさまざまな研究への道が拓けた点は特筆に値する。今後、硫酸多糖生産を起点とした藍藻の生態学・分子生物学といった基礎研究および複数の企業との共同研究を含めた応用研究において、大きな発展が期待できる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 生物の表面と内部を可視化する超解像液中 AFM
2. 個人研究者名
宮澤 佳甫（金沢大学理工研究域 助教）
3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、生物の表面と内部を可視化する超解像液中 AFM 用探針の開発というテーマにおいて、空間分解能を上げるために針を細くするという難しい課題を、カーボンナノチューブを用いる独自アイデアにより新規探針を開発することで解決し、直径 2 nm の DNA の構造を正確に可視化できる液中 AFM 技術を達成するなど大きな成果を挙げている。また、様々な生体試料の表面構造、力学特性のナノスケールでの測定にも成功している。

ACT-X に参加することによりバイオ系のマテリアルの計測にフィールドを広げ、本人の研究の幅が格段と広がっていることが認められることは、素晴らしいといえる。また、ACT-X 内でのコラボレーションも活発に行われており、領域内の研究の活性化にも大きく貢献している。

独自の研究ツールを駆使し、様々なフィールドの研究者とのコラボレーションを通して、今後の活躍が非常に期待される研究者である。また、計測環境の影響を受けず、細胞を非侵襲、非染色で観察できる技術は需要が高く、他の研究者の研究への寄与も高く、今後の活躍に大いに期待している。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 炭素栄養の転流の自由自在な制御に向けた研究

2. 個人研究者名

三好 悠太（量子科学技術研究開発機構量子ビーム科学部門 研究員）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、ポジトロンイメージングと炭素放射性同位体 ^{11}C を用いた炭素の高速の時空間的解析がイチゴを中心とした植物において実施され、葉で固定された炭素の茎、根、果実といった他の器官へ転流する様態を可視化、定量化することに成功しており、目標とした研究成果は十分に達成されていると考えられる。イネなどの他の植物への応用も開始しており当初の目標を超えて想定以上の成果が得られていると考える。

また、温度環境を変えた際に細胞の遺伝子発現がどのように変化したかといった情報と突き合わせることにより、どのようなメカニズムで植物が環境変動に適応し、炭素転流を変化させるのかという植物の代謝転流の本質的な問いを明らかにしていく研究として非常に重要な成果が得られつつある。

安定同位体 ^{13}C を用いた炭素化合物の同定、長期期間にわたる炭素の変動などにも着手することを構想している点、物理学、生物学、化学、数理解析学など様々な学術分野を統合して新たな研究を展開していく構想を自ら模索するなど、今後の益々の発展が期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 野生イネ種子における二次代謝産物を介した植物-微生物間相互作用の分子基盤の解明
2. 個人研究者名
吉田 悠里（情報・システム研究機構国立遺伝学研究所 特任研究員）
3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、栽培品種に比べて極めて大きな多様性を保持する野生イネを遺伝資源とし、それらの種子が有する新規抗菌性二次代謝産物の発掘とその生合成経路を明らかにしようとチャレンジした。実際に各種野生イネを水田圃場にて栽培し、収穫した種子の粃殻・玄米それぞれの抽出物の抗菌活性を調べた。その結果、いくつかの野生イネで玄米に強い抗菌活性が認められ、玄米に抗菌性二次代謝産物が含まれることを示した。数十種類以上の野生イネを実水田圃場で栽培し、しっかりと収穫まで行い、粃殻・玄米の抽出までを限られた期間のプレッシャーの中で成功させ、野生イネ間で抗菌活性の比較に至ったことは大きな成果である。さらに、それらの成果を筆頭執筆者として原著論文にまとめており高く評価できる。

本研究の取り組みと成果が、野生植物遺伝子源由来の多様な二次代謝産物から効率的に作物の病害防御や品質向上に利用可能な化合物の候補を同定するためのプラットフォームの確立にも貢献するものと期待される。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： タンパク質多量化技術による生合成制御

2. 個人研究者名

吉村 柁彦（京都大学高等研究院 特定助教）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究では、生物のタンパク質多量化を模倣し、有機合成化学・タンパク質工学・核酸化学的手法を駆使して、連続酵素反応が可能なタンパク質多量化技術を構築する独創性の高い研究を進めている。これまでにナノメートルサイズの核酸構造体を開発し、タンパク質と核酸の連結により、核酸ナノ構造体へタンパク質を設置することに成功している。タンパク質の設置場所を自在に設計できる基盤技術の確立は、酵素を用いた物質生産に革新的な技術提供ができ、今後の汎用性拡大が期待できる。特に様々な種類のタンパク質を設置出来ることを実証したことは、酵素反応機構の基礎検討などへの展開を可能にするため、タンパク質科学に大きな知見を与える成果と言える。

さらに、核酸ナノ構造体上へのタンパク質設置技術と並列して、核酸ナノ構造体の高次元集積技術の開発にも成功した。以上のように、連続酵素反応効率化に向けて必要な技術を複数実現している点は非常に高く評価できる。

今後は、これまでに得られた技術の概念実証として、標的物質の効率的な生合成への展開を目指しており、有機合成化学による大量提供が困難な複雑構造をもつ化合物を低コストで大量生産することができる技術として発展が期待できる。今年度、創発的研究支援事業にも採択されており、大いなる飛躍を期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 固相基質分解酵素複合体の分子設計基盤の確立

2. 個人研究者名

吉本 将悟（名古屋大学大学院工学研究科 助教）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究は、固相基質を効率的に分解するために、酵素と固相の接触頻度を向上させることに着想し、環境が抱える問題への解決をも入れ込んだ非常にユニークな提案であった。残念ながら基質分解の効率化までは図ることができなかったが、得られた結果は、単に酵素を固相近傍に配置するだけでは酵素反応の効率化は進まないことを示しており、今後の酵素配置設計に大きな知見を与える成果と言える。

酵素反応は、吸着だけでなく、解離、触媒反応における電子の受け渡しなどが関わってくる。今後の研究を進める上でも、基本的な酵素反応の理解も深めていくことが必須だと考えられる。社会実装に関わる酵素反応は、均一でない反応等様々あり、吸着が非常に有効となる多酵素複合的不均一反応もあるため、今後も、吸着反応が有効に利用できる酵素反応への応用も視野に入れ続けて研究を進められることを期待する。タンパク質界面科学の新しい研究展開を担える若手研究者として非常に期待している。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 根寄生雑草耐性作物のテーラーメイドな創成

2. 個人研究者名

若林 孝俊（大阪公立大学大学院農学研究科 特任研究員）

3. 事後評価結果

本 ACT-X 研究は、ストライガ、オロバンキなどの根寄生雑草が宿主の根から分泌されるストリゴラノイド類を宿主認識のシグナルとして寄生する分子メカニズムを解明することを目的として研究が開始されている。典型的、非典型的ストリゴラノイドの生合成遺伝子の同定に成功しカタログ化が進むなど、ACT-X で掲げた目標に到達し、顕著な研究成果を挙げたと高く評価できる。国際的学術論文も 3 本掲載に至っており、研究が着実に成果に結びついた証左であるといえる。

また、本研究の内容を発展させた研究課題がさきがけに採択されたことで大きな飛躍に繋がったと考えられる。領域会議での最終報告においても今後の研究に対する意気込みを含めてしっかり報告がなされており、将来、寄生雑草の問題を克服するためのテーラーメイドな制御法の確立を担う研究者として期待する。