

CREST 研究領域「植物の機能と制御」追跡評価報告書

総合所見

本研究領域は、植物の持つ多様な機能発現機構をマクロ的(生態学的)、ミクロ的(分子科学的)の両面から解明することにより、植物機能を人為的に制御する技術を確立し、食料、医療、居住環境の安定的な提供、改善へとつなげることを目指したものである。従来の植物分子生物学的研究を掘り下げる基礎研究に留まらず、「技術革新による活力に満ちた高齢化社会の実現」を戦略目標として、豊かで健康な食生活と安心して暮らせる生活環境の実現を目指して実施された。世界一のスピードで高齢化が進んでいる我が国が、こうした戦略で研究を推進することは、今後先進国・新興国を問わず、世界が直面する高齢化という課題を解決する一助として世界的にも高く評価される研究領域であった。

植物機能を制御し、利用するための新しい技術開発の基盤となる優れた基礎研究成果をあげるといふ研究領域のねらいに対し、研究期間中のみならず、研究期間終了後も活発な研究活動を展開し、質の高い学術誌に多数の論文を発表し続けるなど、全体としては多大なレベルの高い基礎研究成果を挙げている。また、長年の謎と言われたフロリゲンの発見や、葉の気孔機能解明など、世界の注目を浴びる大発見となったテーマもある。ただ、チーム型研究の CREST として、活発な研究活動が研究領域期間中から終了後にかけて継続されているのに対して、個々の採択された研究課題の間での連携や共同開発などがうかがえないのはやや残念である。以上を総括すると、多少の問題はあるものの、全体として本研究領域の基礎研究は優れた成果を挙げ、その後の新たな研究の基盤を作ったと高く評価できる。

技術開発に関しては、植物の生育には時間がかかることもあり、期間中には技術の有効性を実証するまでには至っていなかった。しかし、本追跡評価資料の研究事例でも述べられているように、西澤らは、継続した研究により、アルカリ土壌での作物生産の有効技術となり得ることを証明すると同時に、同技術の応用でカドミウム吸収抑制技術への道も拓きつつある。また、本研究領域で出願中だった特許も国内 53 件、海外 14 件が成立しているなど、技術開発に関してある程度の成果があったと評価される。しかし、現状としては応用展開は弱いと言わざるを得ない。基礎研究のみをおこなっている研究代表者も多く、これらの研究者においては、得られた基礎研究の成果を記述するだけでなく、それを応用に展開する道筋と展開する上での課題についての提案が必要であったと考える。その努力が、基礎研究と農業、工業との橋渡しを強化することに繋がり、社会がきちんと科学を評価し投資する体制づくりにも役立つと考える。

研究領域事後評価では、本研究領域の継続性のない点を問題視していたが、2012 年から本研究領域と密接に関連する CREST およびさきがけ「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(研究総括：磯貝彰)」が開始され、さらに、2010 年開始の CREST およびさきがけ「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(研究総括：松永是)」、ALCA「バイオテクノロジー(運営総括：近藤昭彦)」へと展開するなど、まさに本研究領域は植物機能を扱ったプロジェクト化のさきがけとなっている。人材育成の点でも、たとえばCREST「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」の領域アドバイザー11名中5名が本研究領域で研究代表者あるいは主たる研究者をつとめているなど、本研究領域は多くの優れた当該分野の人材を輩出している。

植物生理・植物分子生物学の日本トップの研究者を結集した本研究領域は、日本の本分野の研究レベルの高さを世界に示すこととなり、また応用研究としても高い評価を受けている。日本の農業政策が不透明である昨今、植物の多様な機能を解明し世界の食糧問題に挑戦した本研究領域の成果を、省庁の枠を超えてしっかり実用化に結び付けるべきと考える。

1. 研究成果の発展状況や活用状況

研究領域終了後も、期間中と同じく優れた研究成果を発表し続けている。また、本研究領域終了後の研究助成金獲得状況において、研究代表者のほとんどすべてが、大型の科研費基盤研究(S)(A)(B)、特定領域研究、学術創成研究費などの基礎研究に対する支援を得ている。さらに応用に向けて、農林水産省新農業展開ゲノムプロジェクト(西澤、高木)、農研機構の基礎的研究事業(村田、西澤、石川)、JST ALCA 先端的低炭素化技術開発(西澤)などの大型研究助成金を獲得し、本研究領域の成果を基盤に技術開発が進展している。また、JST 戦略的国際科学技術協力推進事業(斉藤、西澤)、JST 先端研究拠点事業(国際戦略型)(高林)、科研費基盤研究(A)(B)(武田)など、国際的な展開が行なわれている。これらの活動から考えて、本研究領域は研究期間終了後も研究が継続的に発展しており、高く評価することができる。と結論できる。

植物機能を解明しその機能を活用して産業等に活用するという観点から、特に西澤は研究領域期間中から金属栄養素の体内輸送機構の解明で多くの優れた成果を挙げているが、さらに継続して鉄欠乏耐性作物、高鉄含有米、カドミウム非集積イネなどの実用的作物の開発にまで研究を発展させている。植物機能の解明、特に遺伝子レベルでの機能解明は、遺伝子組み換えなどを通して農業生産に貢献することへの期待が語られることが多いが、実用的な農作物の開発への道筋が示されることはまれである中でこれは特筆すべき成果といえる。

特許出願状況を見ると、本研究領域ではその研究期間中に、生命系の研究領域としてはかつてない規模の国内161件、海外28件を出願していた。このうち、研究終了後も含めて成立した特許件数は国内53件、海外14件となり、多くの特許が成立している。この結果は本研究領域の研究成果が社会に還元され、活用された重要な証拠となっている。斉藤らの特許出願は期間中・終了後を問わず驚異的な数であるが、遺伝子発現とメタボローム解析を組み合わせた新たな解析法を開発した結果であろう。植物の機能成分の同定と転写発

現解析は植物独自の機能を有効活用する手段として実用化が期待される成果である。また、武田らのオオムギの新規マーカー探索は、オオムギの育種を加速させる成果で、食品産業（特にビール産業）への活用が動き出している。上記 2 名のように本研究領域終了後も関連特許を多数出願している研究者もいれば、全く特許を出願していない研究者も多数見受けられる。個々の事情もあると思われるが、重要な発明は研究終了後も権利化することが日本のイノベーションおよび新たな産業創出に重要である。

2. 研究成果の科学技術的および社会・経済的な波及効果

2.1 科学技術の進歩への貢献

研究期間終了後、17 名の研究代表者の内、12 名が計 25 の賞を受賞している。このうち、近藤は朝日賞、紫綬褒章を、西澤は紫綬褒章、武田は日本学士院賞と広く学術に貢献した賞を受賞しており、本研究領域の研究成果が広く社会に認められたことを示している。

経塚チームは研究期間中に、FT (FLOWERING LOCUS T) タンパク質が花成ホルモンの実体であることを世界に先駆けて報告した。この FT 研究の分野は、現在では、FT の作用機序や FT の移動などのしくみが明らかにされたほか、FT が花成だけでなく日長に応じた芋形成にも関与することが明らかになるなど、世界的な広がりを見せており、大きな分野が形成されている。また、経塚が研究期間中に見いだした新規の変異体の解析から、新たなサイトカイニンの合成遺伝子やストリゴラクトン合成の遺伝子が発見され、本研究での発見をもとに植物ホルモンに関する研究が急速に発展している。

斉藤はトランスクリプトミクス、プロテオミクス、メタボロミクスを組み合わせ、遺伝子機能を代謝産物パターンの変化と 1 対 1 に対応させる手法の開発に取り組み、これに成功した。研究課題終了後は、この確立した手法を、シロイヌナズナのフラボノイド研究、ミラクリン導入トマトの代謝研究、イネの代謝産物研究に適用し、多数の新規遺伝子の発見や代謝分子ネットワークの構築に導いた。

武田ら岡山大学は、本研究課題終了後も様々なゲノム解析ツールを整備し、オオムギの研究のプラットフォームを確立した。この研究を基盤として、岡山大学のチームを含む国際コンソーシアムは 2012 年にオオムギゲノムの詳細な解析に成功している。これにより、オオムギの研究は飛躍的に進むと考えられる。

岡田チームの東山は研究成果をさらに発展させ、花粉管誘因物資の同定に成功した。さらに、この研究は ERATO「ライブフォトニクスプロジェクト」研究総括として、名古屋大学 WPI (World Premier International Research Center Initiative) 「Institute of Transformative Bio-Molecules」副拠点長として、大きな展開を見せている。

川口チームの秋山康紀らによって発見されたアーバスキュラー菌の枝分かれに働くストリゴラクトンは、その後植物の枝分かれの主要因子であることが分かり、あらたな生長調節因子のフィールドの創出のきっかけとなった。

西村は種子タンパク質の量的・質的向上を目指した分子育種を研究して成果を挙げたが、

そこでの研究がさらに大きく展開して、種子タンパク質の貯蔵の場であった液胞に関する研究から、細菌感染における液胞の新機能を発見するに至っている。

以上、本研究領域はその後の科学技術の進歩に大きく貢献していると言えることができる。

2.2 社会・経済的な波及効果

本研究領域で採択された研究課題は植物分子科学の基礎からより応用に近い領域まで多岐にわたるが、研究課題によって特許出願・成立件数には大きな開きがある。研究期間中には全員が特許出願に関わり、終了後も含めれば研究領域全体では多数の特許出願と成立に至っている。多くの特許出願の一方で、現時点で実用化技術に結びついている研究課題は多くはないと思われ、実用化や経済的波及効果を議論するにはまだ先となるものが多い。そのなかで実用化の具体例として、

近藤は、シアノバクテリアの時計タンパク質 KaiC の自律的振動を検出する手法をオリンパスと共同で開発し、2012年に特許が成立した。

西澤は本研究領域及びその後の研究において、「アルカリ土壌での鉄欠乏に耐性な作物の創出」、「鉄含有の多いコメの創出」を目的に研究を続け、鉄欠乏の遺伝子応答機構、鉄の吸収に関与するトランスポーター遺伝子を発見し、これらの遺伝子を組み込んだイネを作出することでアルカリ土壌での鉄欠乏に耐性な作物、鉄含有の多いコメの創出に成功した。さらに同技術をカドミウムに展開することで、カドミウム大量吸収イネやカドミウム低吸収イネの作出にも成功している。これらの成果は、人為的なデザインを元に実際の作物に新たに有用な農業形質を持たせることに成功したことを意味しており、今後同様な技術を用いた農作物の作出につながると考えられる。とりわけ、カドミウム低吸収イネの作出は、カドミウムの多い日本の水田ではきわめて重要な成果である。しかも今回の技術開発がイオンビームによる変異誘発という組換え技術によらない手法であることから、一般圃場での利用が可能で日本の農業に与えるインパクトは極めて大きいと考えられる。

石川は研究期間中およびその後も、植物ウィルスの宿主特異性の機構を研究し、宿主特異性を決めるタンパク質を同定するとともにその機能を明らかにした。この成果は将来のウィルス抵抗性の付与へとつながる成果として期待されている。

高木は遺伝子サイレンシング技術(CREST-T法)を用いて様々な転写因子の機能を解析した。その後、この技術を用いて、様々な新機能植物の創成を目指した技術開発へと展開している。そして、産総研・技術移転ベンチャー企業である株式会社グリーンソニアを立ち上げた。この技術を利用し作出した八重咲きシクラメンに関しては商業化に向けた環境評価試験の実施が検討されている。

本研究領域は、植物機能を制御し、利用するための新しい技術開発の基盤となる優れた基礎研究成果をあげるといった目的を持って行ったものであるが、そこで得られた成果が次第に社会・経済的な波及効果を持ち始めている。しかし、一方で今後、研究者自身が個別基礎研究の成果を述べるに留まらず、その成果を応用するあるいは技術展開することを前

提としたとき、どのような課題が残るのか、新たな解析項目は何か、モデル植物から具体的な作物、樹木等への応用の指針、などについて発信していくことが求められている。

また、GMO(Genetically Modified Organism)の実用化技術としての活用はパブリックアクセスが大きな障壁として立ちはだかっている。しかし、世界の動きを考えれば、日本、欧州も組み換え作物は受け入れざるを得なくなる。産官学はもっと真摯にこの問題に取り組み、本研究領域の研究者が築いてきた基礎研究の成果を、他国とも協調して積極的に商業化することが社会的・経済的波及効果を一層高めるものとなるはずである。

3. その他特記すべき事項

植物を有効利用するための技術の発展は、農業がそうであるように、長期計画に基づいた継続的な研究が必要である。本研究領域は、植物有効利用の可能性と基礎研究と応用研究を繋ぐ研究の在り方を示し、植物有効利用研究のきっかけとなった点において極めて重要であった。本研究領域終了後、個別の研究者の努力によって、いくつかの応用につながる研究が展開した。しかし、これらが個別研究に留まっているのは植物の有効利用の枠組みでの大きな領域研究がなかったためであると考え。特に、植物バイオマスを利用した循環型社会の確立が求められている今、継続的な植物利用研究がますます重要になっている。

本研究領域は多数の特許を出願し、成立した特許件数も国内 53 件、海外 14 件にのぼる。これらの特許に関しては、コストパフォーマンスをきちんと整理しておく必要があると考える。企業であるならば、知財を守るための防衛特許やバスターするための特許があり得るが、大学等の場合はそれがない。したがって、今回成立した特許が、経済的な価値を生み出したかどうかの調査・検討は極めて重要であると考え。

JST では基盤研究への資金提供だけでなく産業化を加速するいくつかのシステム(A-STEP など)も提供している。今回の CREST 研究領域「植物の機能と制御」に関しても、研究領域終了後もその成果をインキュベートし事業化を推進するステップへ移行できる内容が複数みられた。しかし研究者は必ずしも産業化を加速するシステムを利用していないようにみえる。今後、JST と研究者の間を密にして、JST が産業化を加速するいくつかのシステムを推薦するなど、産業化へ向けてステップアップしていく道筋を分かりやすくすることが必要であろう。

最後に、研究領域事後評価において今後期待すると書かれていた事項(以下(1)、(2)、(3)、(4))について検証してみたい。

(1)「残念ながらこれに続く領域研究は採択されてきていないが、この新しい取り組みは今後の植物科学の発展に新しい可能性を与えたものとして、受け継がれていくものとなるだろう。」

これについては上述したように、本研究領域に続く植物科学の領域が立ち上がり、本研究領域はそのさきがけになったものと評価される。

(2)「植物研究で特許出願 192 件(国内)という驚異的な成果を挙げた。」

これについても、このうち、国内 53 件、海外 14 件で特許が成立しており、産業化に向けた取り組みが着実になされていることは明らかである。

(3)「女性や若手の研究者が比較的多く選ばれ、その多くが期待通りに高い成果を挙げたことは特に高く評価される。」

これについても、研究代表者の経塚や、主な研究者の東山をはじめとする女性・若手の活躍は継続して続いており、現在の植物科学研究を牽引するものとなっている。

(4)「いくつかの研究については実施期間内の成果としては限定的であったが、それぞれがユニークな発想とアプローチで研究を進めており、今後の成果に期待する。」

残念ながら、これらについては、研究領域事後評価後に十分な成果を挙げているとは言えない状況であった。

以 上