

領域略称名：環境記憶統合

領域番号：3706

平成 29 年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る中間評価報告書

「植物の成長可塑性を支える環境認識と記憶の自律分散型
統御システム」

(領域設定期間)

平成 27 年度～平成 31 年度

平成 29 年 6 月

領域代表者 (名古屋大学・トランスフォーマティブ生命分子研究所・教授・

木下 俊則)

目 次

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要	5
2. 研究の進展状況	7
3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況	10
4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	11
5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公开发表等）	14
6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	19
7. 若手研究者の育成に関する取組状況	21
8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	22
9. 総括班評価者による評価	23
10. 今後の研究領域の推進方策	25

研究組織 (総括：総括班、支援：国際活動支援班、計画：総括班及び国際活動支援班以外の計画研究、公募：公募研究)

研究項目	課題番号 研究課題名	研究期間	代表者氏名	所属機関 部局 職	構成員数
X00 総括	15H05955 植物の成長可塑性を支える環境認識と記憶の自律分散型統御システム	平成27年度～平成31年度	木下 俊則	名古屋大学・トランスフォーマティブ生命分子研究所・教授	12
Y00 支援	15K21750 植物の成長可塑性を支える環境認識と記憶の自律分散型統御システム	平成27年度～平成31年度	木下 俊則	名古屋大学・トランスフォーマティブ生命分子研究所・教授	8
A01-1 計画	15H05956 環境刺激による気孔開度制御機構の解析	平成27年度～平成31年度	木下 俊則	名古屋大学・トランスフォーマティブ生命分子研究所・教授	4
A01-2 計画	15H05957 長距離シグナリングを介した変動環境への適応機構	平成27年度～平成31年度	松林 嘉克	名古屋大学・理学研究科・教授	2
A01-3 計画	15H05958 植物の自律分散型情報ネットワークを支える維管束シグナル伝達の解析	平成27年度～平成31年度	福田 裕穂	東京大学・理学系研究科・教授	1
A01-4 計画	15H05959 寄生植物による維管束情報ハイジャック機構の解明	平成27年度～平成31年度	白須 賢	理化学研究所・環境資源科学研究センター・グループディレクター	1
A01-5 計画	15H05960 乾燥及び温度ストレスに対する植物の時空間的応答と記憶の分子機構	平成27年度～平成31年度	篠崎 和子	東京大学・農学生命科学研究科・教授	2
A01-6 計画	15H05961 環境刺激による細胞リプログラミング制御	平成27年度～平成31年度	杉本 慶子	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	5
A01-7 計画	15H05962 環境刺激によるクロマチン動態制御機構の解明	平成27年度～平成31年度	松永 幸大	東京理科大学・理工学部・教授	6
A01-8 計画	15H05963 クロマチン長期記憶による環境応答制御機構	平成27年度～平成31年度	角谷 徹仁	東京大学・理学系研究科・教授	1
総括・支援・計画研究 計 10 件					

A01 公募	16H01457 窒素栄養環境に応じた全 身的・根局所的な情報処 理による共生器官形成機 構	平成28年度～ 平成29年度	寿崎 拓哉	筑波大学・生命環境・准教授	2
A01 公募	16H01458 ヒストン SUMO 化によ る転写調節機構の解明	平成28年度～ 平成29年度	三浦 謙治	筑波大学・生命環境・准教授	2
A01 公募	16H01459 The DNA elements of vernalization insensitive 3 gene for quantitative and priming epigenetic memory of cold	平成28年度～ 平成29年度	ブザス ダイ アナ・ミハエラ	筑波大学・生命環境・准教授	2
A01 公募	16H01460 コケ植物を用いた ABA、 低温および浸透圧応答の 統合的制御に関する基礎 研究	平成28年度～ 平成29年度	竹澤 大輔	埼玉大学・理工学研究科・准教授	1
A01 公募	16H01462 篩部から発信される茎成 長シグナルの解析	平成28年度～ 平成29年度	打田 直行	名古屋大学・トランスフォーマティ ブ生命分子研究所・准教授	1
A01 公募	16H01463 異質倍数体植物の表現型 可塑性に着目した水環境 適応を担う分子機構の解 明	平成28年度～ 平成29年度	金岡 雅浩	名古屋大学・理学研究科・講師	3
A01 公募	16H01464 環境変化によるイネ芒形 質可塑性の分子メカニズ ムの解明	平成28年度～ 平成29年度	芦莉 基行	名古屋大学・生物機能開発利用研究 センター・教授	3
A01 公募	16H01465 植物の長距離移行性 RNA 分子と全身性環境 応答に関する研究	平成28年度～ 平成29年度	野田口 理孝	名古屋大学・生命農学研究科・助教	1
A01 公募	16H01467 アブラナ科植物の受粉に おける自己認識システム の解明	平成28年度～ 平成29年度	藤井 壮太	東京大学・農学生命科学研究科・助 教	2
A01 公募	16H01468 ヒストン脱メチル酵素 JUMONJI による温度記 憶の制御機構の解析	平成28年度～ 平成29年度	山口 暢俊	奈良先端科技大・バイオ研・助教	1

A01 公募	16H01469 ポリコーム群タンパク質が植物免疫の誘導・記憶を正に制御する分子機構の解明	平成28年度～ 平成29年度	西條 雄介	奈良先端科技大・バイオ研・准教授	2
A01 公募	16H01470 光環境情報に基づくタンパク質細胞内局在パターンの制御と短期記憶	平成28年度～ 平成29年度	松下 智直	九州大学・農学研究院・准教授	1
A01 公募	16H01471 植物間コミュニケーションにおける記憶制御システムの解明	平成28年度～ 平成29年度	有村 源一郎	東京理科大学・基礎工学部・准教授	2
A01 公募	16H01472 環境刺激による葉の形態形成の制御機構の解明	平成28年度～ 平成29年度	木村 成介	京都産業大学・総合生命科学部・准教授	5
A01 公募	16H01473 変動する野外環境下における植物環境記憶の定量方法の開発	平成28年度～ 平成29年度	永野 惇	龍谷大学・農学部・講師	1
A01 公募	16H01474 MAP キナーゼカスケードを介した植物免疫記憶の制御機構	平成28年度～ 平成29年度	川崎 努	近畿大学・農学部・教授	2
A01 公募	16H01475 水分ストレスを根から地上部へ伝えるペプチドによる長距離シグナル伝達機構の解明	平成28年度～ 平成29年度	高橋 史憲	理化学研究所・環境資源科学研究センター・研究員	2
A01 公募	16H01476 アンチセンス ncRNA を介した植物の環境ストレス認識・記憶システムの解析	平成28年度～ 平成29年度	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	2
A01 公募	16H01477 維管束を介したサイトカイン情報の長距離伝播の仕組みと役割	平成28年度～ 平成29年度	木羽 隆敏	理化学研究所・環境資源科学研究センター・研究員	3
公募研究 計 19 件					

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要（2 ページ以内）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、応募時までの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

生存に適した環境を求めて移動する動物に対し、移動しない植物は多様な環境変動に迅速に対応するために、柔軟かつ合理的な環境応答システムを備えている。脳や神経を持たない植物が、いかにして環境からの情報を統御・判断・記憶・出力しているのか？ 本領域は、この生物学の歴史に長く横たわってきた深遠な問題の解決に挑戦する。動物が高度に発達した中枢神経系を用いる「中枢性環境応答統御システム」を発達させたのに対し、

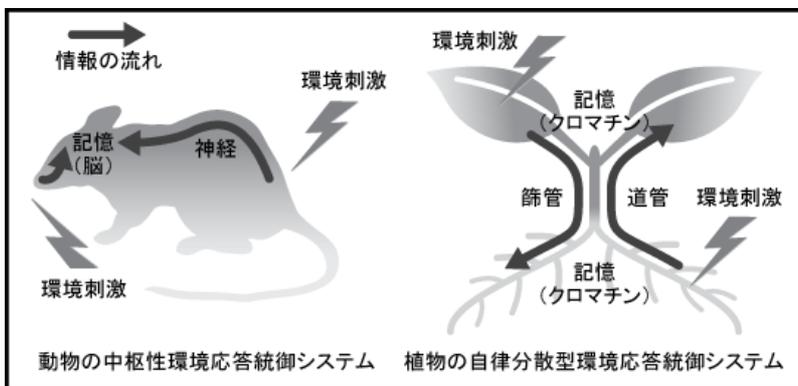


図1. 動物と植物の環境応答統御システムの比較

し、植物は細胞群や組織に制御システムを分散させて自律的な環境応答を行ないつつ、それらの情報を全身的な情報伝達系により統御する「自律分散型環境応答統御システム」を進化させた（図1）。こうした自律分散型の統御には、刺激受容部位における局所的かつ自律的な応答システムに加えて、局所的な応答を時空間的に統合するシステムが存在するはずであるが、これらの分子実体はほとんど解明されていない。また、植物には乾燥や温度変化などの季節変動を長期的に記憶するシステムが存在することはよく知られているが、その具体的な場やしくみは不明のままである。そこで本新学術領域では、動物とは全く異なる長距離シグナル伝達システム、およびそれらの情報を時空間的にキャッシュするためのクロマチン修飾による環境記憶システムの解明を通じて、環境に応じた植物特有の可塑的成長のしくみを理解することを目指す。

これまでに植物特有の環境応答システムの実体に迫る研究は断片的に開始されているが、個別の研究を推進するだけでは、「植物の自律分散型環境応答統御システム」という新概念の確立には至らない。「環境変動を認識し、長距離伝達するシグナルの実体とは何か？」、「植物情報を集約するシグナルセンターや環境変化を記憶する場所はどこか？」、「記憶をどう照合・出力して成長するのか？」といった全く未解明な課題を解決するためには、植物の環境応答、成長生理、発生、エピジェネティック制御の各分野で世界をリードする研究を進める第一線の研究者を結集し、さらに多角的かつ総括的に新たな研究領域を開拓する研究体制を構築する必要がある。この目標に向け、環境刺激に応答した成長制御を研究する木下、篠崎、杉本、維管束形成や維管束を介したシグナル伝達の研究を行う福田、白須、松林、エピジェネティクスやクロマチン動態を研究する角谷、松永の8名を計画班代表として、平成28年度からは19名の公募班員が参画し、活発な領域内共同研究を行いながら研究を推進している。

加えて、本領域に参画する研究者が最大限力を発揮出来るように、総括班に高度な技術を有する専門家による研究機器・研究技術を提供する研究支援センター（次世代シーケンズ部門、質量分析部門、イメージング部門、*in vitro* タンパク質合成部門）を領域代表の木下が所属する名古屋大学を中心に設置する。次世代シーケンズ部門では、RNAseq およびサプレッサー原因遺伝子同定のディープシーケンズ解析、ChIP によるエピジェネティクス解析、質量分析部門では、維管束内の長距離伝達物質であるペプチドや糖など生体内微量物質の同定、ホスホプロテオミクス解析やタンパク質複合体解析、イメージング部門では、二光子顕微鏡による植物深部のライブイメージング解析、植物ライブイメージングのための微細加工を施

したマイクロデバイスの提供、人工知能 CARTA による画像定量解析、*in vitro* タンパク質合成部門では、ペプチドから膜タンパク質まで様々なタンパク質の *in vitro* 合成を行うことにより、本領域に参画する研究者が最大限力を発揮出来るように支援する。

植物は静的で受動的な環境応答に頼っていると考えられがちであるが、巧妙でかつ能動的な環境応答システムを進化させ、厳しい環境の中でも地球上最大のバイオマスを産出している。本領域では、植物科学の多様な分野の研究者が結集し、これまで個別に行ってきた研究を有機的に統合し、ダイナミックな環境応答統御システムの全体像を明らかにする。このような研究分野横断的に、かつ最先端の異分野融合技術を活用して、植物の自律分散型環境記憶統御システムの解明に取り組む新学術領域研究は初めての試みである。特に、教科書には栄養や水分の輸送器官としてしか記載されていない維管束系を長距離情報伝達の場として、改めて捉え直すことで、従来の植物のシグナル伝達概念を覆す。また、脳がない植物も、分散型の記憶システムを備えていることを、DNA やヒストンの修飾、細胞核内のクロマチン動態の変化といったエピジェネティクス制御の解明を通じて証明する。このように植物という生き方を通して生命の多様な情報統御システムの一部を理解することは、生物が外部からの情報をどのように処理するかという、生命原理の根源的な問いにも回答の一端を提示できる。神経や脳が発達した動物の情報処理システムと植物の自律分散型の情報処理システムを比較することで、生命の情報処理における普遍的原理を見出すとともに、進化の過程で生じた情報処理の多様性も明らかにすることが期待される。

これまでに植物の環境応答を長距離シグナル伝達と記憶の情報処理システムの面から研究したグループは世界的に見ても例がない。環境応答研究分野を革新的研究分野として大きく発展させる本領域は、我が国の学術水準の格段の向上・強化に貢献すると期待される。本領域の計画班代表は世界レベルでも第一線の研究を進めており、常に最新情報をシェアする国際的なネットワークを持っている。本領域ではこうしたネットワークを異分野間で共有、発展させることにより、世界をリードする新たな研究領域を構築する。このため領域発足と同時に、海外の研究機関の中でも環境応答やシグナル伝達、エピジェネティック制御等の関連分野で研究が進んでいる John Innes Centre・The Sainsbury Laboratory（英国）と Stanford University（米国）を中心にコア to コアの拠点連携を構築する。このうち John Innes Centre・The Sainsbury Laboratory からは Caroline Dean 教授、Elliot Meyrowitz 教授、Cyril Zipfel 教授、Philip Wigge 博士、Stanford University からは Dominique Bergman 教授、Wolf Frommer 教授（2017 年より Heinrich Heine University Düsseldorf に異動）らを研究協力者として班会議に招聘し、研究の評価、及び助言を仰ぐ。このように緊密な国際研究体制を確立することで、本領域から新たな世界の研究潮流を生み出すというモデルケースを提示する。また、世界で活躍する若手研究者の育成は、新学術領域の重要な使命であると考えており、領域に参画する若手研究者をこれらの研究機関に数週間から数ヶ月間派遣し、共同研究として推進する。

このように本領域を推進することで、環境に応じた植物特有の自律分散型環境応答統御システムの理解を進める。本領域の研究から得られる知見は、人為的に植物の環境応答能を制御することや植物の機能改善の基盤となると考えられ、将来的には、地球環境変動に耐えうる植物品種の開発や成長を制御したスーパーバイオマス植物の作出等を通じて、植物科学技術の社会実装に極めて大きな波及効果を生み出し、低炭素社会の発展や食糧増産にも寄与する基盤技術の確立に貢献することが期待される。

2. 研究の進展状況 [設定目的に照らし、研究項目又は計画研究ごとに整理する] (3 ページ以内)

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、現在までにどこまで研究が進展しているのか記述してください。また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らして、どのように発展したかについて研究項目又は計画研究ごとに記述してください。

本領域では、中枢神経を持たない植物が、細胞や組織レベルで分散型の応答を行う一方、それらの情報を全身的な情報伝達系により統御する植物特有のダイナミックな環境刺激伝達機構の全体像を解明し、環境記憶がどのように植物の巧みな生存戦略を導いているのかを明らかにすることを目的とし、これまでに以下のような多くの成果を得ている。これらの成果の多くはインパクトの高い国際誌に発表し、また新聞等の多くのメディアで取り上げられた。

局所的・自律的応答システム

木下らは、植物のガス交換を調節している気孔の青色光に依存した開口に関わるシグナル伝達について解析を進めてきた。これまでに青色光による細胞膜プロトンポンプのリン酸化を阻害する化合物スクリーニングを行い、さらに逆遺伝学手法によりその標的因子の探索を進め、青色光シグナル伝達に関わる必須の新規因子 BHP を同定した。BHP は植物において高度に保存された機能未知のプロテインキナーゼで、機能欠損変異体では気孔の青色光応答を示さない。さらに、細胞内で青色光受容体フォトトロピンの細胞内基質である BLUS1 と相互作用すること明らかとなり、BHP は、フォトトロピンと細胞膜プロトンポンプをつなぐ重要なシグナル因子として機能することが明らかとなった (Sci. Rep. 2017)。また、気孔開口には植物種間を通じて細胞膜プロトンポンプが重要な役割を果たしていること (*Plant Cell Physiol.* 2016 【領域内共同研究】; *Plant Physiol.* 2016)、さらに、その活性制御には、植物ホルモン・オーキシシン (*Plant Cell Physiol.* 2016) や光合成により合成された糖 (*Plant Physiol.* 2016 【領域内共同研究】) が重要な役割を果たしていることを明らかにした。さらに、気孔開度に影響を与える化合物を複数同定し、特許出願を行った (特願 2016-194748)。

篠崎らは、植物が持つ低温ストレスに応答する 2 つの異なる仕組みを分子レベルで明らかにした。植物は、低温、乾燥、高塩濃度といった環境ストレスを受けると、数多くの遺伝子の発現を変化させることにより耐性を獲得する機構を持っているが、本研究では、植物が季節変化などに起こる緩やかな温度低下と夜間などに起こる急激な温度低下とを、別々の機構で感知して耐性機構を働かせていることを明らかにした (Plant Cell 2017 【領域内共同研究】)。また、篠崎らは、干ばつや塩害等による水分欠乏ストレスにさらされた植物の分子応答機構について解析を進め、アブシシン酸 (ABA) を介さないシグナル伝達において機能するサブクラス I SnRK2 の新規な下流標的基質として mRNA の脱キャップ複合体の構成因子 VARICOSE (VCS) を同定し、サブクラス I SnRK2 と VCS が、水分欠乏ストレス時に不要な mRNA の分解を活性化していることを明らかにした (図 2) (Nature Plants 2017 【領域内共同研究】)。これらの成果は、植物の低温ストレス時や水分欠乏ストレス時の成長や収穫量を向上させる新たなアプローチの提案につながる。



図 2. サブクラス I SnRK2 を介したリン酸化経路とその役割

長距離シグナリング

植物の自律分散型環境応答統御システムの中で、局所的な環境応答を全身的な情報伝達系により統御するには、長距離シグナル伝達が不可欠である。植物の局所的環境受容と長距離シグナル伝達との巧妙な統御の例として、全身的窒素要求シグナリング、すなわち片側の根が窒素欠乏を感知するともう片側の根で

相補的に窒素を多く取り込むしくみが知られている。

松林らは、局所的な窒素欠乏時に根で誘導されるペプチドホルモン CEP が道管を通して葉の師部で受容体 CEPR1 に認識された後、その下流で誘導されて離れた根における硝酸取り込み輸送体 NRT2.1 の発現を上昇させる 2 次シグナル CEP Downstream (CEPD) を同定した (*Nature Plants* 2017)。CEPD は非分泌型ポリペプチドであり、師部伴細胞で作られて師管内を葉から根へ長距離移行する。この発見により、本領域の中核的課題のひとつである植物の長距離シグナリングを介した栄養環境応答について、上りと下りのシグナルの分子実体とその経路 (根-道管-葉-師管-根) が解明された (図 3)。また、葉の維管束が地下部の環境情報を集約するシグナルセンターとして機能していることが明らかとなった。

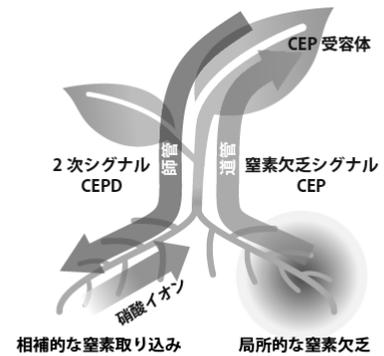


図 3. CEP と CEPD を介した長距離シグナリングの全体像

これに類似した例として、高橋らは、土壌乾燥ストレスを受けたときに CLE ペプチドのひとつが根で誘導され、地上部の ABA 経路を活性化し、気孔を閉鎖する機能を持つことを見出した (投稿中)。この CLE ペプチドを欠損する植物体は、気孔の閉鎖が起こらず乾燥ストレスに弱い表現型を示したことから、ペプチドを介した新たな乾燥応答システムの存在が示唆されている。

白須らは、寄生植物と宿主の相互作用を解析する過程で、寄生植物が生合成したサイトカイニンが宿主植物へと移動し、宿主植物がそれを受容することで特異的な二次成長を引き起こされていることを見出した。寄生植物から宿主植物に移動する物質の役割を明らかにした初めての例となった。(PNAS 2017【領域内共同研究】)。また、サイトカイニンの根から地上部への長距離輸送は、植物の正常な成長発達に欠かせない器官間コミュニケーションメカニズムであるが、木羽らは輸送されるサイトカイニンがリボシル化されると、葉の成長を特異的に促進することを見出した (投稿中)。サイトカイニン分子の使い分けは、環境変化に応じた個体統御システムを構成する重要なメカニズムの 1 つであると考えられる。

福田らは、維管束幹細胞の発生運命を制御する TDIF ペプチドと受容体 TDR の結晶構造を解明した (*Nature Commun.* 2016)。また、維管束を介した長距離シグナルを解析するため、木部運搬シグナルのモデルとして、蛍光試薬を用いた可視化系を開発した。この系を維管束変異体や木部細胞壁改変変異体ラインに適用し、木部輸送における維管束の関与や蒸散の関与、木部細胞壁の関与などを解析した。その結果、維管束の連続性、蒸散、細胞壁成分のいずれもが木部輸送に関与することが示された。

一方、松林らは植物の根の維管束の拡散障壁であるカスパリー線の形成に必要なペプチドホルモン Casparian strip Integrity Factor (CIF) を発見した (*Science* 2017)。CIF は根の中心柱で発現し、内皮細胞で発現する受容体 GSO1/SGN3 に特異的に結合する。CIF を欠損する植物は、カスパリー線が不連続化し、濃度依存的に外界からイオンが道管に流入または道管から流出するため、至適栄養濃度以外では成長が阻害されることが明らかとなった。カスパリー線は根のイオン恒常性だけでなく、根から葉への微量情報伝達分子の長距離移行も支えている可能性があり、環境応答との関連について今後の解析に期待が持たれる。

環境記憶システム

角谷らは、遺伝子内クロマチン修飾による遺伝子発現制御と環境応答の解析を進めた。シロイヌナズナの変異体 *ibm1* では、多数の活性遺伝子の内部に H3K9me や DNA メチル化が蓄積し、それにともない発生異常が引き起こされる。この *ibm1* のサプレッサー変異体としてヒストン脱メチル化酵素 LDL2 を同定した。LDL2 は、H3K4me1 を遺伝子内部において減少させることで転写抑制を引き起こしていた (図 4)。

IBM1-LDL2 経路で発現レベルが影響を受ける遺伝子の多くは病害応答遺伝子であったことから、遺伝子内部におけるクロマチン制御が、植物の病害防御機構に関与していることが示唆されている (*EMBO J.* 2017)。

松永らは、環境記憶細胞群を特定するために、植物のクロマチンを生きたまま観察できる手法の開発を進め、TALE-FP法を開発した。TALE-FPにより、あらゆる植物器官や組織の細胞核で、特定のクロマチンを生きた細胞中で観察することが可能になった (*J. Exp. Bot.* 2016 【領域内共同研究】)。さらに、マウスで作成されたモノクローナル抗体の一部に蛍光タンパク質を結合させた細胞内抗体 mintbody を用いて、環境刺激によるヒストン・アセチル化変動をライブイメージングにより解析した。mintbody を用いて単一の植物細胞レベルで低温や塩ストレスによるエピジェネティクス変化を捉えることに成功した (*Sci. Rep.* 2017 【領域内共同研究】)。これら新規開発手法は環境記憶メカニズムの解明に貢献することが期待される。また、DNA 損傷ストレスによるクロマチン動態変化メカニズムにクロマチンリモデリング因子 RAD54 の関与を見出した (*Sci. Rep.* 2015)。また、DNA 損傷ストレスを与えた後に、核内構造体 RAD54 フォーサイが形成されることも見出し、ストレスに対する感受性の強弱や DNA 修復速度が細胞ごとに異なることが明らかとなった (*Plant J.* 2017)。

杉本らは、植物のエピジェネティックな細胞記憶の分子実体の解明を進めた。変異体を用いた解析から、ヒストン修飾を触媒する PRC2 が植物細胞の分化状態を積極的に記憶させること、この機能が欠損すると根毛細胞のような最終分化した細胞がリプログラムされ、胚発生を再開することを発見した (*Nature Plants* 2015)。野生型において分化誘導遺伝子の多くが直接 PRC2 により H3K27me3 修飾を受けていた。細胞の分化記憶の維持には PRC2 を介したエピジェネティックな仕組みによってリプログラミング遺伝子の発現を抑制することが重要であることを示した。また、細胞リプログラミングを誘導する環境シグナル伝達機構の解明を進めた。幹細胞維持に関与する転写因子 ERF115 とその相互作用因子 PAT1 が WIND1 遺伝子の発現を制御すること (*Nature Plants* 2016)、さらに WIND1 が茎葉再生を促進する ESR1 遺伝子の発現を直接誘導することで傷口からの再生を促進することを解明した (*Plant Cell* 2017)。これらの成果に基づき、環境情報による細胞リプログラミングの分子機構の解明をするために、傷害誘導性の遺伝子発現変化とヒストン修飾変化の相関関係をゲノムワイドに検証する研究を進めている。

以上のように、「局所的・自律的応答システム」、「長距離シグナリング」、「環境記憶システム」の各項目について研究は極めて順調に進展しており、項目間をつなぐような革新的な成果も得られつつある。特に、自律分散型の統御に必須と考えられる「局所的な応答を時空間的に統合するシステム」について、植物内を根から葉へ、葉から根へ長距離移行して環境情報を空間的に統御する因子群の発見や、「植物情報を集約するシグナルセンター」のひとつが葉の維管束にあることの発見は特筆すべき成果である。また、植物のエピジェネティックな細胞記憶の分子実体の解明に向けて、これに関わる酵素の同定や、可視化ツールの開発も着実に進んでおり、今後の研究に十分期待できる進捗状況となっている。

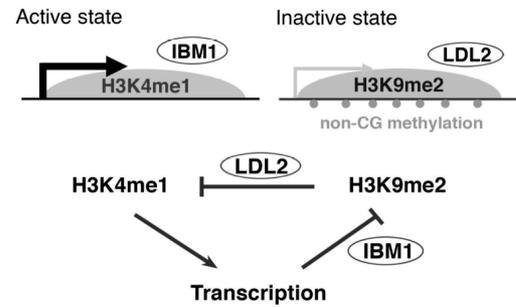


図 4. LDL2 によるエピジェネティックな転写抑制のメカニズム

3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況（2ページ以内）

審査結果の所見において指摘を受けた事項があった場合には、当該コメント及びそれへの対応策等を記述してください。

「総括班において、高額な設備備品（次世代シーケンサー、質量分析計、ライブイメージング装置、レーザーマイクロダイセクションなど）とそれに関連すると思われる消耗品が計上されているが、共通設備として経費に見合う利用実績が見込めるのか、利用計画を含め明確にすること。主要な機関には、すでに類似の設備が導入されている場合も考えられ、外注業者に依頼する方がコスト面で有利なケースも十分考えられる。」

この指摘に対する対応状況を以下に説明する。

次世代シーケンサー（Illumina NextSeq 500）は、RNAseqおよび原因遺伝子同定のディープシーケンス解析、ChIPによるエピジェネティクス解析を推進するために総括班研究支援センターの次世代シーケンス部門に導入した。現状としては、平成27年12月に設置後、15ヶ月で62ラン（437サンプル）を行ない、通常ユーザーの1ラン/月の稼働率（Illumina社からの情報提供）をはるかに上回るペースで利用している。もし、同じ試料を受託サービス（タカラバイオの受託サービス価格に基づく）で解析したとすると5,681万円となる。装置が約3,500万円、これまで解析の消耗品代が約1,860万円の合計5,360万円となり、現時点で受託サービスに依頼するよりも321万円分安い計算となる。今後は、装置費用がかからないため、加速度的にコスト面で有利となることは明らかである。これまでに領域内共同研究による英語論文を国際科学雑誌に4報発表している。

質量分析計（Thermo Fisher Scientific Q Exactive）は、維管束内の長距離伝達物質であるペプチドや糖など生体内微量物質の同定やタンパク質複合体解析、ホスホプロテオミクス解析を行うために質量分析部門に導入した。平成29年5月までに819サンプルの解析を行なった。もし、同じ試料を受託サービス（同装置を用いるフィルジェン社の受託サービス価格に基づく）で解析したとすると2億809万円となる。装置が約4,800万円であることから、現時点で受託サービスに依頼するよりも1億6,000万円分以上安い計算となる。また、受託サービスでは納期が1ヶ月なのに対し、質量分析部門では1週間を目安に結果を報告しており、迅速な研究推進に貢献している。さらに、利用者からの感想として、民間の受託サービスは高額なため繰り返しの条件検討が難しいが、質量分析部門ではそれを行うことができるため、結果的に成果に結びつく質の高いデータを得ることができると大変好評である。これまでに領域内共同研究による英語論文を国際科学雑誌に4報発表している。

ライブイメージング装置（オリンパスFV1200）は、イメージング部門における植物細胞のライブイメージング解析や画像定量解析のために導入した。平成27年10月に設置後、17ヶ月で総計1,400時間使用した。植物のイメージング受託サービスは世の中に存在しておらず、比較が難しいが、動物細胞の受託サービス（北海道大学ニコイイメージングセンターの受託サービス価格に基づく）で利用したとすると相当使用時間で1,134万円かかる。また、画像定量解析の受託サービスは1件40万円（エルピクセル株式会社の受託サービス価格に基づく）かかる。装置が約3,000万円、消耗品代は約50万円かかり、画像定量解析は8件進めた。現状程度の使用実績で十分にコスト面・技術面において有利である。受託サービスでは成し得ない植物イメージングのノウハウを提供しながら、研究推進に迅速に貢献できる体制となっている。これまでに領域内共同研究による英語論文を国際科学雑誌に4報発表している。

以上のように、総括班研究支援センターに設置した高額備品は、経費を上回る利用実績があり、本領域の研究推進に大きく貢献している。今後も活発に利用し、本領域の研究推進に努めたい。なお、レーザーマイクロダイセクションは、総括班牙算が削減されたため購入を見送った。

4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）【研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理する】

（3 ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果（発明及び特許を含む）について、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

局所的・自律的応答システム

【計画・木下】

・気孔開口の青色光シグナル伝達に関わる新規キナーゼの同定

青色光による細部膜 H^+ -ATPase のリン酸化を阻害する化合物スクリーニングとその標的因子の探索により、新規プロテインキナーゼ BHP を同定した。機能欠損変異体では気孔の青色光応答を示さないことや（図 5）、細胞内でフォトトロピンの細胞内基質である BLUS1 と相互作用すること明らかとなり、BHP は、環境光を感知するフォトトロピンと細胞膜 H^+ -ATPase をつなぐ重要なシグナル因子であることが明らかとなった（*Sci. Rep.* 2017）。（日経産業新聞 2017 他）

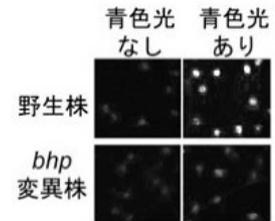


図 5. BHP 欠損植物は H^+ -ATPase のリン酸化が起こらない

【計画・篠崎】

・水分欠乏ストレス時に不要な mRNA の分解が活性化されることを発見【領域内共同研究】

水分欠乏ストレス応答では、ABA 応答性のサブクラス III SnRK2 タンパク質キナーゼが主要な役割を担うが、種子植物には ABA を介さずに活性化するサブクラス I SnRK2 が存在している。このサブクラス I SnRK2 の新規な下流標的基質として mRNA の脱キャップ複合体の構成因子 VARICOSE (VCS) を同定し、水分欠乏ストレス時に不要な mRNA の分解を活性化していることを明らかにした（図 6）。本研究の成果は、植物の水分欠乏ストレス時の成長や収穫量を向上させる新たなアプローチの提案につながると期待される（*Nature Plants* 2017）。（日本経済新聞 2017 他）



図 6. サブクラス I SnRK2 を欠損する植物は水分欠乏ストレスに弱い

【公募・芦荻】

・イネの種子の芒形成に関わるペプチドホルモンの同定【領域内共同研究】

一部のイネの種子に見られる針状の毛である芒（のぎ）は、動物から身を守ったり動物に付着して拡散するための環境適応により進化したと考えられている。芒の有無と遺伝子型を比較することで、ペプチドホルモンをコードする *RAE2* 遺伝子が芒形成に必要であることを明らかにした（*PNAS* 2017）。

【公募・打田】

・多機能性人工ペプチドホルモンの創出【領域内共同研究】

植物の成長点に存在する幹細胞の制御に関わる A 型の CLE ペプチドと植物の肥大成長に関わる B 型の CLE ペプチドはそれぞれ異なる特異的受容体を介して機能を発揮するが、本研究では、これらの複数の受容体に共に作用することで両方の型の CLE ペプチドホルモンの機能を同時に発揮するという天然には存在しない人工多機能性ペプチドホルモンの創生に成功した（*Nature Commun.* 2017）。

【公募・川崎】

・植物が病原菌の感染を検知し防御態勢を取る仕組みの解明【領域内共同研究】

植物の細胞膜上には多くの受容体が存在し、病原菌の構成成分を認識すると、その情報が細胞内に伝達され、様々な免疫応答が誘導される。その過程で植物特有のタンパク質キナーゼファミリーである RLCK タンパク質が、受容体と MAP カスケードを結ぶ役割を果たしていることを見出した（*EMBO J.* 2016）。

長距離シグナリング

【計画・松林】

・全身的窒素要求シグナリングにおいて葉から根へ長距離移行するシグナルの同定

窒素欠乏を感知した根が生産するペプチドホルモン CEP は道管を
通って葉に移行し、師部側に存在する受容体 CEPR に受容される。そ
の下流で誘導され師管内を葉から根へ移行するポリペプチド CEPD を
同定した (図 7)。根に移行した CEPD は、硝酸取り込み輸送体 *NRT2.1*
の発現を上昇させて相補的な窒素取り込みを促進する。長距離シグナル
伝達を介した植物の栄養環境応答の核心部分が解明されるとともに、
葉の維管束が地下部からの環境情報を集約するシグナルセンターと
して機能していることが明らかとなった (*Nature Plants* 2017)。(朝
日新聞・中日新聞 2017)

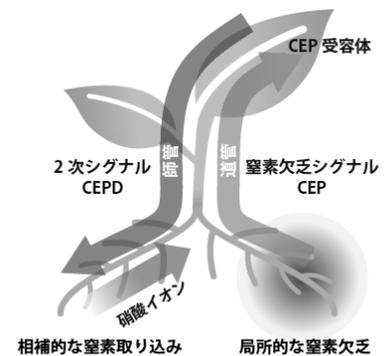


図 7. CEP と CEPD を介した長距離シグナリングの全体像

・根から葉への分子群の移行を支えるカスパリー線の形成に必要なペプチドホルモンの発見

根の維管束における側方向への拡散障壁であり、根から葉への分子
群の長距離移行を支えるカスパリー線の形成に必要なペプチドホルモ
ン Casparian strip Integrity Factor (CIF) を発見した。CIF は根の中心柱
で発現し、カスパリー線が形成される内皮細胞で特異的に発現する受
容体 GSO1/SGN3 に結合する (図 8)。CIF を欠損する植物は、根のカ
スパリー線に穴があき、外界からイオンが道管に流入または道管から
流出するため、正常に成長できないことが明らかとなった (*Science*
2017)。(中日新聞・NHK ニュース 2017)

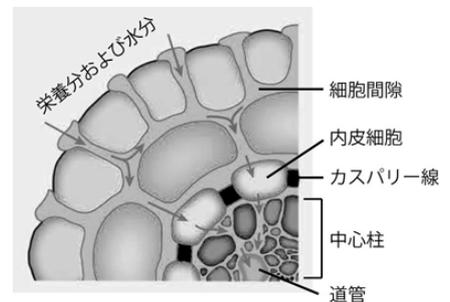


図 8. 根の維管束の拡散障壁として機能するカスパリー線

【計画・白須】

・寄生植物が生合成したサイトカイニンが宿主組織に特異的な二次成長を引き起こす【領域内共同研究】

寄生植物は吸器を介して宿主組織に侵入し、維管束を連結することで宿主との連絡を確立して、水や栄養を宿主から奪う。しかし、寄生植物から宿主へと移動する物質がもつ役割は明らかになっていなかった。寄生植物と宿主の相互作用を解析する過程で、寄生植物が生合成したサイトカイニンが宿主植物へと移動し、宿主植物がそれを受容することで特異的な二次成長が引き起こされていることを見出した。寄生植物から宿主植物に移動する物質の役割を明らかにした初めての例となった (*PNAS* 2017)。(毎日新聞 2017)

【計画・福田】

・維管束分化に関わるペプチドホルモン-受容体の共結晶構造の解明

篩部領域で発現する *CLE41/CLE44* から作られる TDIF ペプチドは受容体 TDR に結合して維管束幹細胞の発生運命を制御する。TDIF と TDR の結合の結晶構造解析を行った結果、TDIF ペプチドは N 末端、中央部、更に C 末端の 3 箇所 TDR と結合していることが明らかとなった (*Nature Commun.* 2016)。

【公募・高橋】

根の乾燥ストレスを気孔に伝える CLE ペプチドの同定

土壌乾燥ストレスを受けたときに CLE ペプチドのひとつが根で誘導され、地上部の ABA 経路を活性化し、気孔を閉鎖する機能を持つことを見出した (投稿中)。この CLE ペプチドを欠損する植物体は、気孔の閉鎖が起こらず乾燥ストレスに弱い表現型を示したことから、ペプチドを介した新たな乾燥応答システムの存在が示唆されている。

環境記憶システム

【計画・角谷】

・遺伝子内クロマチン修飾による遺伝子発現制御と環境応答

環境や遺伝的背景を反映して遺伝子発現の ON/OFF 状態はクロマチン上に記憶されるが、その実体はヒストンの修飾や DNA のメチル化である。シロイヌナズナの変異体 *ibm1* では、多数の活性遺伝子の内部にヒストン H3 の 9 番目のリジンのメチル化 (H3K9me) や DNA メチル化が蓄積し、発生異常が引き起こされることに着目し、その抑圧変異体 *ldl2* を同定した。LDL2 はヒストン脱メチル化酵素であり、H3 リジン 4 のモノメチル化 (H3K4me1) を遺伝子内部において減少させることで転写抑制を引き起こしていた。IBM1-LDL2 経路で発現レベルが影響を受ける遺伝子の多くは病害応答遺伝子であったことから、遺伝子内部におけるクロマチン制御が、植物の病害防御機構に関与していることが示唆されている (*EMBO J.* 2017)。

【計画・松永】

・環境刺激によるヒストン・アセチル化変動のライブイメージング【領域内共同研究】

ヒストン・アセチル化リジン残基 (H3K9ac) を認識するモノクローナル抗体の一部に蛍光タンパク質を結合させた細胞内抗体 *mintbody* を用いて、単一の植物細胞レベルで低温や塩ストレスによるエピジェネティクス変化を世界で初めて捉えることに成功した (図 9) (*Sci. Rep.* 2017)。(日経産業新聞 2017 他)

【計画・杉本】

・植物細胞の分化状態の維持メカニズムの解明

特定の条件下で発揮される植物細胞の分化全能性が、通常の個体発生や分化の過程でどのように抑制されているのかはこれまで分かっていなかった。シロイヌナズナの変異体を用いた解析から、ヒストン修飾を触媒する PRC2 が、胚発生の制御や幹細胞形成制御、脱分化誘導に関わる遺伝子群におけるヒストン H3 の 27 番目のリジンのトリメチル化 (H3K27me3) に関わっており、この機能が欠損すると根毛細胞のような分化した細胞がリプログラムされ、胚発生を再開することを見出した (図 10) (*Nature Plants* 2015)。また、シロイヌナズナの脱分化誘導因子 *WIND1* 遺伝子の発現が、幹細胞維持に関与する転写因子 ERF115 とその相互作用因子 PAT1 によって制御されること (*Nature Plants* 2016)、さらに *WIND1* が茎葉再生を促進する *ESR1* 遺伝子の発現を直接誘導することで傷口からの再生を誘導すること (*Plant Cell* 2017) などを明らかにした。

【公募・永野】

・野外変動環境下におけるトランスクリプトームデータと環境データの統計モデリングソフトの開発

野外のような変動環境下におけるトランスクリプトームデータと気温などの環境データを統計モデリングによって解析するソフトウェアを開発した。個々の遺伝子について、気温の記憶がどれだけの長さで保持・利用されているのかなどを検出可能であり、植物の環境記憶の研究に活用できる (*Bioinformatics* 2017)。

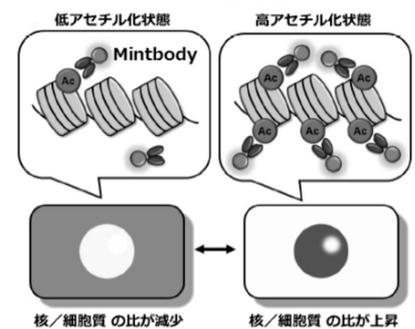


図 9. Mintbody によるヒストン・アセチル化のライブイメージング

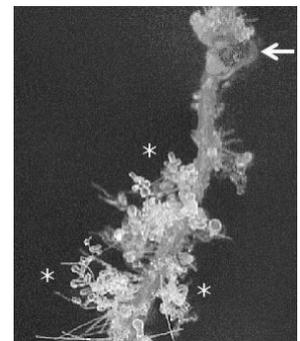


図 10. PRC2 変異株の根に形成された不定胚 (矢印) とカルス (*)

5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5 ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果の公表の状況（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

- 論文の場合、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に*印を付してください。
- 別添の「(2) 発表論文」の融合研究論文として整理した論文については、冒頭に◎を付してください。
- 補助条件に定められたとおり、本研究課題に係り交付を受けて行った研究の成果であることを表示したもの（論文等の場合は謝辞に課題番号を含め記載したもの）について記載したもののについては、冒頭に▲を付してください（前項と重複する場合は、「◎▲・・・」と記載してください。）。
- 一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

【発表論文】 合計 143 報（平成 27 年 7 月以降に発表したもの）

主な掲載論文 IF5 以上 73 報（IF: Impact Factor 2016）

Science (IF 34.661) 2 報、*Nat Biotech* (IF 43.113) 1 報、*Annu Rev Plant Biol* (IF 22.131) 1 報、*Nat Plants* 8 報、*Nat Commun* (IF 11.329) 3 報、*Trends Plant Sci* (IF 10.899) 2 報、*Gene Dev* (IF 10.042) 1 報、*Nat Protocols* (IF 9.646) 1 報、*EMBO J* (IF 9.643) 3 報、*PNAS* (IF 9.423) 5 報、*Dev Cell* (IF 9.338) 1 報、*Curr Biol* (IF 8.983) 1 報、*Plant Cell* (IF 8.538) 8 報、*New Phytol* (IF 7.21) 2 報、*Plos Pathogens* (IF 7.003) 1 報、*Curr Opin Plant Biol* (IF 6.780) 8 報、*Plos Genetics* (IF 6.661) 1 報、*Plant Physiol* (IF 6.28) 6 報、*Development* (IF 6.059) 2 報、*J Exp Bot* (IF 5.677) 2 報、*Plant J* (IF 5.468) 10 報、*Sci Rep* (IF 5.228) 4 報

計画・木下

- ▲Hayashi M, Inoue S, Ueno Y, *Kinoshita T. (2017) A Raf-like protein kinase BHP mediates blue light-dependent stomatal opening. *Sci. Rep.* 7, 45586.
- ▲Okumura M, Inoue S, Kuwata K, *Kinoshita T. (2016) Photosynthesis activates plasma membrane H⁺-ATPase via sugar accumulation. *Plant Physiol.* 171, 580-589.
- ▲Inoue S, Takahashi K, Okumura-Noda H, *Kinoshita T. (2016) Auxin influx carrier AUX1 confers acid resistance for *Arabidopsis* root elongation through the regulation of plasma membrane H⁺-ATPase. *Plant Cell Physiol.* 57, 2194-2201
- ▲Bessho-Uehara K, Wang DR, Furuta T, Minami A, Nagai K, Gamuyao R, Asano A, Angeles-Shim RB, Shimizu Y, Ayano M, Komeda N, Doi K, Miura K, Toda Y, Kinoshita T, Okuda S, Higashiyama T, Nomoto M, Tada Y, Shinohara H, Matsubayashi Y, Greenberg A, Wu J, Yasui H, Yoshimura A, *Mori H, *McCouch SR, *Ashikari M. (2016) Loss of function at *RAE2*, a novel EPFL, is required for awnlessness in cultivated Asian rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 113, 8969-8974.
- ◎*Nakamichi N, Takao S, Kudo T, Kiba T, Wang Y, Kinoshita T, Sakakibara H. (2016) Improvement of *Arabidopsis* biomass and cold-, drought-, and salinity-stress tolerance by modified circadian clock-associated PSEUDO-RESPONSE REGULATORs. *Plant Cell Physiol.* 57, 1085-1097.
- Kamioka M, Takao S, Suzuki T, Taki K, Higashiyama T, Kinoshita T, *Nakamichi N. (2016) Direct repression of evening genes by CIRCADIAN CLOCK-ASSOCIATED1 in the *Arabidopsis* circadian clock. *Plant Cell* 28, 696-711.
- ▲Toda Y, Wang Y, Takahashi A, Kawai Y, Tada Y, Yamaji N, Ma JF, Ashikari M, *Kinoshita T. (2016) *Oryza sativa* H⁺-ATPase (OSA) is involved in the regulation of dumbbell-shaped guard cells of rice. *Plant Cell Physiol.* 57, 1220-1230.
- Nagatoshi Y, Mitsuda N, Hayashi M, Inoue S, Okuma E, Kubo A, Murata Y, Seo M, Saji H, Kinoshita T, *Ohme-Takagi M. (2016) GOLDEN 2-LIKE transcription factors for chloroplast development affect ozone tolerance through the regulation of stomatal movement. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 113, 4218-4223.
- Yamada K., Yamaguchi K., Shirakawa T., Nakagami H., Mine A., Ishikawa K., Fujiwara M., Narusaka M., Narusaka Y., Ichimura K., Kobayashi Y., Matsui H., Nomura Y., Nomoto M., Tada Y., Fukao Y., Fukamizo T., Tsuda K., Shirasu K., Shibuya N., *Kawasaki T. (2016) The *Arabidopsis* CERK1-associated kinase PBL27 connects chitin perception to MAPK activation. *EMBO J*, 35, 2468-2483.
- *Kasahara RD, Notaguchi M, Nagahara S, Suzuki T, Susaki D, Honma Y, Maruyama D, Higashiyama T. (2016) Pollen tube contents initiate ovule enlargement and enhance seed coat development without fertilization. *Sci Adv* 2 e1600554
- ◎*Tsuchiya Y, Yoshimura M, Sato Y, Kuwata K, Toh S, Holbrook-Smith D, Zhang H, McCourt P, Itami K, Kinoshita T, *Hagihara S. (2015) Probing strigolactone receptors in *Striga hermonthica* with fluorescence. *Science*, 349, 864-868.

計画・松林

- ▲◎Nakayama T., Shinohara H., Tanaka M., Baba K., Ohnishi M. O., *Matsubayashi Y. (2017) A peptide hormone required for Casparian strip diffusion-barrier formation in *Arabidopsis* roots, *Science*, 355, 284-286.
- ▲Ohkubo Y., Tanaka M., Tabata R., Ohnishi M. O., *Matsubayashi Y. (2017) Shoot-to-root mobile polypeptides involved in systemic regulation of nitrogen acquisition, *Nature Plants*, 3, 17029.

3. ▲Shinohara, H., Mori, A., Yasue, N., Sumida, K. and *Matsubayashi, Y. (2016) Identification of three LRR-RKs involved in perception of root meristem growth factor in Arabidopsis. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 113, 3897-3902.
4. ▲*Bessho-Uehara, K. B., *Wang, D. R., Furuta, T., Minami, A., Nagai, K., Gamuyao, R., Asano, K., Angeles-Shim, R. B., Shimizu, Y., Ayano, M., Komeda, N., Doi, K., Miura, K., Toda, Y., Kinoshita, T., Okuda, S., Higashiyama, T., Nomoto, M., Tada, Y., Shinohara, H., Matsubayashi, Y., Greenberg, A., Wu, J., Yasui, H., Yoshimura, A., *Mori, H., *McCouch, S. R., and *Ashikari, M. (2016) Loss of function at RAE2, a previously unidentified EPFL, is required for awnlessness in cultivated Asian rice, *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 113, 8969-8974.
5. ▲©Hirakawa, Y., Shinohara, H., Welke, K., Irle, S., Matsubayashi, Y., *Torii, K. U. and *Uchida, N. (2017) Cryptic bioactivity capacitated by synthetic hybrid plant peptides. *Nat. Commun.*, 8, 14318
6. ▲Okamoto, S., Suzuki, T., Kawaguchi, M., Higashiyama, T. and Matsubayashi, Y. (2015) A comprehensive strategy for identifying long-distance mobile peptides in xylem sap. *Plant J.* 84(3):611-620.

計画・松永

1. Kim, J. M., To, T., Matsui, A., Tanoi, K. Kobayashi, N., Matsuda, F., Habu, Y., Ogawa, D., Sakamoto, T., Matsunaga, S., Bashir, K., Rasheed, S., Ando, M., Takeda, H., Kawaura, K., Kusano, M., Fukushima, A., Endo, T., Kuromori, T., Ishida, J., Morosawa, T., Tanaka, M., Torii, C., Takebayashi, Y., Sakakibara, H., Ogihara, Y., Saito, K., Shinozaki, K., Devoto, A., and *Seki M. (2017) Acetate-mediated novel survival strategy against drought in plants. *Nature Plants*, in press.
2. ▲#Kurita, K., #Sakamoto, T., Yagi, N., Sakamoto, Y., Ito, A., Nishino, N., Sako, K., Yoshida, M., Kimura, H., Seki, M., *Matsunaga, S. (2017) Live imaging of H3K9 acetylation in plant cells. *Sci. Rep.*, 7, 45894. #These authors contributed equally to this work.
3. ▲#Spallek, T., #Melnyk, C., W., Wakatake, T., Zhang, J., Sakamoto, Y., Kiba, T., Yoshida, S., Matsunaga, S., Sakakibara, H., *Shirasu, K. (2017) Inter-species hormonal control of host root morphology by parasitic plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 114, 5283-5288. #These authors contributed equally to this work.
4. ▲*Ueda, M., Aichinger, E., Gong, W., Groot, E., Verstraeten, I., Vu, L. D., De Smet, I., Higashiyama, T., Umeda, M., Laux, T.*. (2017) Transcriptional integration of paternal and maternal factors in the Arabidopsis zygote. *Genes & Dev.*, 31, 617-627 (co-corresponding authors)
5. ▲ Hirakawa, T., Hasegawa, J., White, C and *Matsunaga, S. (2017) RAD54 forms DNA repair foci in response to DNA damage in living plant cells. *Plant J.*, 90, 372-382.
6. ▲Fujimoto, S., Sugano, S. S., Kuwata, K., Osakabe, K. and *Matsunaga, S. (2016) Visualization of specific repetitive genomic sequences with fluorescent TALEs in *Arabidopsis thaliana*. *J. Exp. Bot.*, 67, 6101-6110.
7. ▲Yokoyama, R., Hirakawa, T., Hayashi, S., Sakamoto, T., and *Matsunaga, S. (2016) Dynamics of plant DNA replication based on PCNA visualization. *Sci. Rep.*, 6, 29657.
8. ▲Hasegawa, J., Sakamoto, Y., Nakagami, S., Aida, M., Sawa, S. and *Matsunaga, S. (2016) Three-dimensional imaging of plant organs using a simple and rapid transparency technique. *Plant Cell Physiol.*, 57, 462-472.
9. ▲Kimata, Y., Higaki, T., Kawashima, T., Kurihara, D., Sato, Y., Yamada, T., Hasezawa, S., Berger, F., Higashiyama, T., *Ueda, M. (2016) Cytoskeleton dynamics control the first asymmetric cell division in Arabidopsis zygote. *Proc. Natl. Sci. USA*, 113, 14157-14162
10. Gooh, K., Ueda, M., Aruga, K., Park, J., Arata, H., Higashiyama, T., and *Kurihara, D. (2015) Live-cell imaging and optical manipulation of Arabidopsis early embryogenesis. *Dev. Cell* 34, 242-251.

計画・福田

1. ▲*Endo, M., Shimizu H, Araki T. (2016) Rapid and simple leaf tissue isolation in Arabidopsis thaliana. *Nat Protoc.*, 11, 1388-1395.
2. ▲*Endo, M. (2016) Tissue-specific circadian clocks in plants. *Curr. Opin. Plant Biol.* 29, 44-49.
3. Shimizu, H, Katayama, K, Koto, T, Torii, K, Araki, T, *Endo, M. (2015) Decentralized circadian clocks process thermal and photoperiodic cues in specific tissues. *Nat Plants* 1, 15163.
4. ▲Kondo, Y, Nurani, AM, Saito, C, Ichihashi, Y, Saito, M, Yamazaki, K, Mitsuda, N, Ohme-Takagi, M, *Fukuda, H. (2016) Vascular cell Induction culture system using Arabidopsis leaves (VISUAL) visualizes the sequential differentiation of sieve element-like cells. *Plant Cell*, 28: 1250-1262.
5. ▲Morita, J, Kato, K, Nakane, T, Kondo, Y, Fukuda, H., Nishimasu, H, Ishitani, R, *Nureki, O. (2016) Crystal structure of the plant receptor-like kinase TDR in complex with the TDIF peptide. *Nature Commun.*, 7:12383.
6. ▲Katayama, H, Iwamoto, K, Kariya, Y, Asakawa, T, Kan, T, Fukuda, H., *Ohashi-Ito, K. (2015) A negative feedback loop controlling bHLH complexes is involved in vascular cell division and differentiation in the root apical meristem. *Curr. Biol.* 25: 3144-3150.

計画・篠崎

1. ▲Kidokoro S, Yoneda K, Takasaki H, Takahashi F, Shinozaki K, *Yamaguchi-Shinozaki, K. (2017) Differential signaling in cold responses to rapid and gradual temperature decreases in Arabidopsis, *Plant Cell*, 29, 764-774.
2. ▲Masuta Y, Nozawa K, Takagi H, Yaegashi H, Tanaka K, Ito T, Saito H, Kobayashi H, Matsunaga W, Masuda S, Kato A, Ito, H. (2017) Inducible Transposition of a Heat-Activated Retrotransposon in Tissue Culture. *Plant Cell Physiol.*, 58,375-384.
3. ▲Todaka D, Zhao Y, Yoshida T, Kudo M, Kidokoro S, Mizoi J, Kodaira KS, Takebayashi Y, Kojima M,

- Sakakibara H, Toyooka K, Sato M, Fernie AR, Shinozaki K, *Yamaguchi-Shinozaki K (2017) Temporal and spatial changes in gene expression, metabolite accumulation and phytohormone content in rice seedlings grown under drought stress conditions, *Plant J.*, 90: 61-78.
4. ▲[#]Soma F, [#]Mogami J, Yoshida T, Abekura M, Takahashi F, Kidokoro S, Mizoi J, Shinozaki K, *Yamaguchi-Shinozaki K (2017) ABA-unresponsive SnRK2 protein kinases regulate mRNA decay under osmotic stress in plants. *Nature Plants*, 3: 16204 [#]These authors contributed equally to this work.
 5. ▲Masuta Y, Nozawa K, Takagi H, Yaegashi H, Tanaka K, Ito T, Saito H, Kobayashi H, Matsunaga W, Masuda S, Kato A, *Ito H. (2017) Inducible transposition of a heat-activated retrotransposon in tissue culture. *Plant Cell Physiol.*, 58, 375-384.
 6. Maruyama K, Ogata T, Kanamori N, Yoshiwara K, Goto S, Yamamoto Y, Tokoro Y, Noda C, Takaki Y, Urawa H, Iuchi S, Urano K, Yoshida T, Sakurai T, Kojima M, Sakakibara H, Shinozaki K, *Yamaguchi-Shinozaki K (2016) Design of an optimal promoter involved in the heat-induced transcriptional pathway in *Arabidopsis*, soybean, rice, and maize. *Plant J.*, 89: 671-680.
 7. ▲Ohama N, Kusakabe K, Mizoi J, Zhao H, Kidokoro S, Koizumi S, Takahashi F, Ishida T, Yanagisawa S, Shinozaki K, *Yamaguchi-Shinozaki K (2016) The transcriptional cascade in the heat stress response of *Arabidopsis* is strictly regulated at the expression levels of transcription factors, *Plant Cell*, 28: 181-201.
 8. ©Takasaki H, Maruyama K, Takahashi F, Fujita M, Yoshida T, Nakashima K, Myouga F, Toyooka K, Yamaguchi-Shinozaki K, *Shinozaki K (2015) SNAC-As, stress-responsive NAC transcription factors, mediate ABA-inducible leaf senescence, *Plant J.*, 84: 1114-1123

計画・杉本

1. ▲Iwase, A., Harashima, H., Ikeuchi, M., Rymen, B., Ohnuma, M., Komaki, S., Morohashi, K., Kurata, T., Nakata, M., Ohme-Takagi, M., Grotewold, E., and *Sugimoto, K. (2017) WIND1 Promotes Shoot Regeneration through Transcriptional Activation of *ENHANCER OF SHOOT REGENERATION1* in *Arabidopsis*, *Plant Cell*, 29: 54-69.
2. Li C, Sako Y, Imai A, Nishiyama T, Thompson K, Kubo M, Hiwatashi Y, Kabeya Y, Karlson D, Wu SH, Ishikawa M, Murata T, Benfey PN, Sato Y, *Tamada, Y., *Hasebe M. (2017) A Lin28 homologue reprograms differentiated cells to stem cells in the moss *Physcomitrella patens*. *Nat Commun*, 8:14242.
3. Rymen B, Kawamura, A, Schaefer S, Breuer C, Iwase, A., Shibata M, Ikeda M, Mitsuda N, Koncz C, Ohme-Takagi M, Matsui M and *Sugimoto, K. (2017) ABA suppresses root hair growth through OBP4-mediated repression of *RSL2*. *Plant Physiol*, 173:1750-1762.
4. Heyman J, Cools T, Shavialenka S, Canher B, Traas J, Vercauteren I, Van den Daele H, Persiau G, De Jaeger G, Sugimoto, K., and *De Veylder L. (2016) The heterodimeric transcription factor complex ERF115-PAT1 grants regeneration competence. *Nature Plants*, 16165.
5. De Lucas M, Pu L, Turco G, Gaudinier A, Morao AK, Harashima H, Kim D, Ron M, Sugimoto, K., Roudier F, and *Brady S. (2016) Transcriptional regulation of *Arabidopsis* Polycomb Repressive Complex 2 coordinates cell-type proliferation and differentiation. *Plant Cell*, 28(10):2616-2631.
6. ▲Ikeuchi, M., Ogawa Y, Iwase, A., *Sugimoto, K. (2016) Plant regeneration: cellular origins and molecular mechanisms *Development*, 143:1442-1451
7. #Ikeuchi, M., #Iwase, A., Rymen B, H Harashima H, Shibata M, Ohnuma M, Breuer C, Morao AK, de Lucas M, De Veylder L, Goodrich J, Brady SM, Roudier F, and *Sugimoto, K. (2015) PRC2 represses dedifferentiation of mature somatic cells in *Arabidopsis*. *Nature Plants*, 15089 #first co-authors
8. #Narender K, #Harashima H, Shweta K, Jonathan B, Wang K, Sizani B. L, Bertrand L. L, Johnson M. C, Faulk C, Dale R, Simmons L. A, Churchman M. L, Sugimoto, K., Kato N, Dasanayake M, Beemster G, Schnittger A and *Larkin J. C (2015) Functional Conservation in the SIAMESE-RELATED Family of Cyclin-Dependent Kinase Inhibitors in Land Plants. *Plant Cell*, 27: 3065-3080. #first co-authors

計画・白須

1. ©▲Spallek, T., Melnyk, C.W., Wakatake, T., Zhang, J., Sakamoto, Y., Kiba, T., Yoshida, S., Matsunaga, S., Sakakibara, H., *Shirasu, K. (2017) Inter-species hormonal control of host root morphology by parasitic plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. in press.
2. ▲Xu, B., Cheval, C., Laohavisit, A., Chiasson, D., Hocking, B., Olsson, T., Shirasu, K., Faulkner, C., *Gilliam, M. (2017) A calmodulin-like protein regulates plasmodesmal closure during bacterial immune responses. *New Phytologist*, in press.
3. ▲Ishida, J. K., Wakatake, T., Yoshida, S., Takebayashi, Y., Kasahara, H., Wafula, E., dePamphilis, C. W., Shigetou N., *Shirasu, K. (2016) Local auxin biosynthesis mediated by a YUCCA flavin monooxygenase regulates the haustorium development in the parasitic plant *Phtheirospermum japonicum*. *Plant Cell* 28, 1795-1814.
4. ▲Yoshida, S., Cui, S., Ichihashi, Y., *Shirasu, K. (2016) The haustorium, a specialized invasive organ in parasitic plants. *Annu Rev Plant Biol.* 67, 643-667.
5. ▲Cui, S., Wakatake, T., Hashimoto, K., Saucet, S.B., Toyooka, K., *Yoshida, S. and Shirasu, K. (2016) Haustorial hairs are specialized root hairs that support parasitism in the facultative parasitic plant, *Phtheirospermum japonicum* *Plant Physiol.* 170, 1492-1503.

6. ▲Saucet, S. B. and *Shirasu, K. (2016) Molecular parasitic plant-host interactions. *PLoS Pathogens*. 12, e1005978.
7. ▲Yamada, K., Yamaguchi, K., Shirakawa, T., Nakagami, H., Mine, A., Ishikawa, K., Fujiwara, M., Narusaka, M., Narusaka, Y., Ichimura, K., Kobayashi, Y., Matsui, H., Nomura, Y., Nomoto, M., Tada, Y., Fukao, Y., Fukamizo, T., Tsuda, K., Shirasu, K., Shibuya, N. and Kawasaki, T. (2016) The Arabidopsis CERK1-associated kinase PBL27 connects chitin perception to MAPK activation. *EMBO J.* e201694248.

計画・角谷

1. ▲Inagaki S, Takahashi M, Hosaka A, Ito T, Toyoda A, Fujiyama A, Tarutani Y, *Kakutani T (2017) The gene-body chromatin modification dynamics mediates epigenome differentiation in Arabidopsis. *EMBO J.* 37, 970-980.
2. ▲Wollmann H, Stroud H, Yelagandula R, Tarutani Y, Jiang D, Jing L, Jamge B, Takeuchi H, Holec S, Nie X, Kakutani T, Jacobsen SE, Berger F. (2017) The histone H3 variant H3.3 regulates gene body DNA methylation in Arabidopsis thaliana. *Genome Biol.* 18, 94.

公募・寿崎

1. ▲Nishida H, Handa Y, Tanaka S, *Suzaki T, *Kawaguchi M. (2016) Expression of the *CLE-RS3* gene suppresses root nodulation in *Lotus japonicus*. *J. Plant Res.*, 129, 909-919.

公募・三浦

1. Lin XL, Niu D, Hu ZL, Kim DH, Jin YH, Cai B, Liu P, Miura K, Yun DJ, Kim WY, Lin R, Jin JB (2016) An Arabidopsis SUMO E3 ligase, SIZ1 negatively regulates photomorphogenesis by promoting COP1 activity. *PLoS Genet.* 12, e1006016.
2. Shimatani Z, Kashojiya S, Takayama M, Terada R, Arazoe T, Ishii H, Teramura H, Yamamoto T, Komatsu H, Miura K, Ezura H, Nishida K, Ariizumi T, Kondo A (2017) Targeted base editing in rice and tomato using a CRISPR-Cas9 cytidine deaminase fusion. *Nat. Biotechnol.* In press.

公募・Buzas

1. ▲Nishio H, *Buzas DM, Nagano AJ, Suzuki Y, Sugano S, Ito M, Morinaga S, *Kudoh H. (2016) From the laboratory to the field: assaying histone methylation at FLOWERING LOCUS C in naturally growing *Arabidopsis halleri*. *Genes Genet Syst.* 91(1):15-26
2. ▲*Buzas DM (2017) Capturing environmental plant memories in DNA, with a little help from chromatin. *Plant Cell Physiol.*, in press.

公募・竹澤

1. ◎▲Hagiwara K, Saruhashi M, Ishizaki Y, Sakata Y, *Takezawa D (2017) Isolation of abscisic acid-insensitive mutant lines of *Physcomitrella patens* by ultraviolet irradiation mutagenesis. *Cryobiol. Cryotechnol.* (in press)

公募・打田

1. ◎▲Hirakawa Y, Shinohara H, Welke K, Irle S, Matsubayashi Y, *Torii KU, *Uchida N. (2017) Cryptic bioactivity capacitated by synthetic hybrid plant peptides. *Nat. Commun.*, 8, 14318 (7 pages).
2. ▲Tameshige T, Okamoto S, Lee JS, Aida M, Tasaka M, *Torii KU, *Uchida N. (2016) A Secreted Peptide and Its Receptors Shape the Auxin Response Pattern and Leaf Margin Morphogenesis. *Curr. Biol.*, 26, 2478-2485.

公募・芦荊

1. ▲Bessho-Uehara K, Wang DR, Furuta T, Minami A, Nagai K, Gamuyao R, Asano A, Angeles-Shim RB, Shimizu Y, Ayano M, Komeda N, Doi K, Miura K, Toda Y, Kinoshita T, Okuda S, Higashiyama T, Nomoto M, Tada Y, Shinohara H, Matsubayashi Y, Greenberg A, Wu J, Yasui H, Yoshimura A, *Mori H, *McCouch SR, *Ashikari M. (2016) Loss of function at *RAE2*, a novel EPFL, is required for awnlessness in cultivated Asian rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 113, 8969-8974.

公募・藤井

1. ▲Fujii S, Kubo K, *Takayama S. (2016) Non-self- and self-recognition models in plant self-incompatibility. *Nature. Plants*, 2, 16130.

公募・西條

1. ▲Espinas NA, Saze H, *Saijo Y. (2016) Epigenetic Control of Defense Signaling and Priming in Plants. *Front. Plant Sci.*, 7, 1201.

公募・有村

1. Ozawa R., Endo H., Iijima M., Sugimoto K., Takabayashi T., Gotoh T., *Arimura G. (2017) Intraspecific variation among Tetranychid mites for ability to detoxify and to induce plant defenses. *Sci Rep.*, 7, 43200.

公募・永野

1. Iwayama K., Aisaka Y., Kutsuna N., *Nagano A.J. (2017) FIT: Statistical modeling tool for transcriptome dynamics under fluctuating field conditions., *Bioinformatics*, in press.

公募・川崎

1. ▲Yamada K, Yamaguchi K, Shirakawa T, Nakagami H, Mine A, Ishikawa K, Fujiwara M, Narusaka M, Narusaka Y, Ichimura K, Kobayashi Y, Matsui H, Nomura Y, Nomoto M, Tada Y, Fukao Y, Fukamizo T, Tsuda K, Shirasu K, Shibuya N, *Kawasaki T. (2016) The Arabidopsis CERK1-associated kinase PBL27 connects chitin perception to MAPK activation. *EMBO J.*, 35, 2468-2483.

公募・高橋

1. ▲Soma F, Mogami J, Yoshida T, Abekura M, Takahashi E, Kidokoro S, Mizoi J, Shinozaki K, *Yamaguchi-Shinozaki K. (2017) ABA-unresponsive SnRK2 protein kinases regulate mRNA decay under osmotic stress in plants. *Nature Plants*, 3, 16204.

公募・関

1. Kim, J. M., To, T., Matsui, A., Tanoi, K. Kobayashi, N., Matsuda, F., Habu, Y., Ogawa, D., Sakamoto, T., Matsunaga, S., Bashir, K., Rasheed, S., Ando, M., Takeda, H., Kawaura, K., Kusano, M., Fukushima, A., Endo, T., Kuromori, T., Ishida, J., Morosawa, T., Tanaka, M., Torii, C., Takebayashi, Y., Sakakibara, H., Ogihara, Y., Saito, K., Shinozaki, K., Devoto, A., and *Seki M. (2017) Acetate-mediated novel survival strategy against drought in plants. *Nature Plants*, in press.
2. ▲Kurita, K., Sakamoto, T., Yagi, N., Sakamoto, Y., Ito, A., Nishino, N., Sako, K., Yoshida, M., Kimura, H., Seki M. and *Matsunaga, S. (2017) Live imaging of H3K9 acetylation in plant cells. *Sci. Rep.* 7, 45894..

公募・木羽

1. ©▲Spallek, T., Melnyk, C.W., Wakatake, T., Zhang, J., Sakamoto, Y., Kiba, T., Yoshida, S., Matsunaga, S., Sakakibara, H., *Shirasu, K. (2017) Inter-species hormonal control of host root morphology by parasitic plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* in press.

【主催シンポジウム】

計画・木下

1. 第 58 回日本植物生理学会年会シンポジウム「Signaling pathways and growth regulation in response to environmental signals」(鹿児島大学) 平成 29 年 3 月 17 日
2. International Symposium on Environmental Stress Adaptation and Memory in Plants (理化学研究所・横浜キャンパス) 平成 29 年 2 月 27 日～28 日
3. 第 79 回日本植物学会年会シンポジウム「植物の環境認識と自律分散型情報統御システム」(新潟コンベンションセンター) 平成 28 年 9 月 6 日

計画・松永

1. International Symposium on Nuclear Dynamics in Plants (東京理科大学・野田) 平成 28 年 11 月 16 日
2. International Symposium on Imaging Frontier 2017 (東京理科大学・葛飾) 平成 29 年 7 月 9-10 日

計画・杉本

1. Cold Spring Harbor Asia Conference 「Latest Advances in Plant Development and Environmental Response」(淡路夢舞台国際会議場) 平成 28 年 11 月 28 日～12 月 2 日
2. 第 58 回日本植物生理学会年会国際シンポジウム「Frontier of Plant Epigenome Regulation in Environmental Stress Adaptation and Development」、鹿児島大学郡元キャンパス、2017 年 3 月 16-18 日.

【アウトリーチ活動】

計画・木下

1. 名大オープンレクチャー「植物の巧みな生き方のはなし」(名古屋大学) 平成 29 年 3 月 20 日
2. 植物大解剖! 最先端植物研究体験(名古屋大学) 平成 28 年 11 月 12 日

計画・松林

1. SSH 自然科学部交流会(名古屋大学), 愛知県立一宮高校, 平成 27 年 11 月 9 日

計画・松永

1. 「次世代の人材を育成するために、植物イメージング技術の魅力を高校生にわかりやすく解説および講義」(東京理科大学・神楽坂キャンパス) 平成 29 年 2 月 19 日

計画・福田

1. [福田裕穂] サイエンスカフェを主催 平成 28 年 5 月 27 日、文部科学省情報ひろばラウンジ
2. [遠藤求] 世界は未知で満ちている「植物の未知なる能力」(BS ジャパン) 平成 29 年 4 月 27 日

計画・篠崎

1. 小学生のための科学教室「サイエンスディスカバリーラボ」夏休みお楽しみ会(東京大学) 平成 27 年 8 月 9 日

計画・杉本

1. 高校出前授業「細胞を作る、とどめる -静かなる植物の精緻な営み-」(法政女子高校) 平成 29 年 1 月 12 日

計画・白須

1. サマースクール「植物から DNA を取り出そう」(東京都世田谷区立用賀小学校) 平成 27 年 7 月 22 日

計画・角谷

1. 東京大学理学部オープンキャンパス「動く遺伝子と塩基配列によらない遺伝」(東京大学理学部) 平成 28 年 8 月 4 日

6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2 ページ以内）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、研究組織間の連携状況について組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

本領域では、中枢神経を持たない植物が、細胞や組織レベルで分散型の応答を行う一方、それらの情報を全身的な情報伝達系により統御する植物特有のダイナミックな環境刺激伝達機構の全体像を解明し、環境記憶がどのように植物の巧みな生存戦略を導いているのかを明らかにすることを目指している。多彩な植物の環境応答の分子機構を包括的に理解するには、個別研究の集まりではなく、統合的・戦略的な融合研究領域の構築が不可欠であるため、研究項目を分けず、8名の計画班員および19名の公募班員が互いに協力し合う形での有機的連携研究を進めている。また、研究推進に欠かせない共通大型機器や最新技術による解析を研究支援センター（次世代シーケンス部門、質量分析部門、イメージング部門、*in vitro* タンパク質合成部門）により全面的に支援し、技術面が律速とならない効率的な研究展開を進めている。また毎月1回の計画班スカイプ会議、年数回の合同ラボセミナー、年2回の公募班や支援班を含めた領域会議、不定期に開催しているテクニカルセミナーなどにより、研究情報を領域全体で共有できる環境を整えている。この結果、領域発足時は、計画班員の研究領域を、「局所的かつ自律的な応答システム」に木下、篠崎、「長距離シグナリングシステム」に福田、白須、松林、「環境記憶システム」に角谷、松永、杉本としていたが、研究の進展とともに融合領域への展開が進んでおり、19の公募班員と合わせてシームレスな研究領域が形成されつつある（図11）。

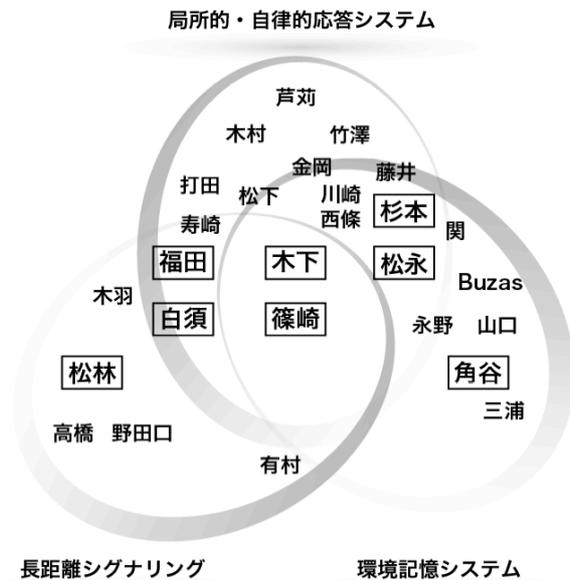


図11. 各計画班員および公募班員の研究領域マップ

さらに公募班員の連携研究促進のため、平成28年度には、領域代表と関連する計画班代表によるサイトビジットを全公募班員に対して行った。

この密接な研究体制の効果により、これまでに70件を超える領域内共同研究が行なわれており、一部は成果として論文発表されている。以下に主要な事例を示す。

計画・篠崎と公募・高橋

水分欠乏ストレス時に不要な mRNA の分解が活性化されることを発見 (*Nature Plants* 2017)

高橋班が水分欠乏ストレスによって活性化するタンパク質キナーゼの相互作用因子の探索に関して技術協力した。

公募・芦荊と計画・木下、計画・松林

イネの種子の芒形成に関わるペプチドホルモンの同定 (*PNAS* 2017)

松林班がペプチドホルモンの構造解析に協力し、木下班が発見解析および局在観察に協力した。

公募・打田と計画・松林

多機能性人工ペプチドホルモンの創出 (*Nature Commun.* 2017)

松林班が、ペプチドと受容体の結合解析について、技術協力した。

公募・川崎と計画・白須

植物が病原菌の感染を検知し防御態勢を取る仕組みの解明 (*EMBO J.* 2016)

白須班が MAPKKK の結合解析について技術協力した。

計画・白須と計画・松永、公募・木羽

寄生植物が生合成したサイトカイニンの宿主組織への移行 (*PNAS* 2017)

松永班が維管束イメージング解析について技術協力し、木羽班がサイトカイニンの測定をおよびサイトカイニン変異体解析についての助言を行なった。

計画・松永と公募・関

環境刺激によるヒストン・アセチル化変動のライブイメージング (*Sci. Rep.* 2017)

関班がヒストン・アセチル化を亢進させる新規阻害剤を提供して技術協力した。

また、研究支援センター（次世代シーケンス部門、質量分析部門、イメージング部門、*in vitro* タンパク質合成部門）の班員への受託解析支援は、累計 1,200 サンプルを超えており、一部は論文公表されている。以下に主な事例を紹介する。

計画・木下と質量分析部門

光合成に依存した細胞膜プロトンポンプの活性化 (*Plant Physiol.* 2016)

糖の定量分析を質量分析部門が行なった。

計画・木下と次世代シーケンス部門

午後特異的に転写される遺伝子の発現調節因子の解明 (*Plant Cell* 2016)

ChIP 解析を次世代シーケンス部門が担当した。

公募・芦苺と *in vitro* タンパク質合成部門

イネの種子の芒形成に関わるペプチドホルモンの同定 (*PNAS* 2017)

ペプチド合成を *in vitro* タンパク質合成部門が行なった。

公募・川崎と *in vitro* タンパク質合成部門

植物が病原菌の感染を検知し防御態勢を取る仕組みの解明 (*EMBO J.* 2016)

タンパク合成を *in vitro* タンパク質合成部門が行なった。

計画・白須とイメージング部門

寄生植物が生合成したサイトカイニンの宿主組織への移行 (*PNAS* 2017)

寄生植物が宿主植物と連結した維管束の観察をイメージング部門が支援した。

7. 若手研究者の育成に係る取組状況（1 ページ以内）

領域内の若手研究者の育成に係る取組状況について記述してください。

若手研究者育成は新学術領域の重要な使命と考えられており、これに向けた取組みを積極的に進めてきた。

年に一回開催される若手の会では、若手研究者が研究発表を行い、議論を深めると共に、若手研究者育成につながる以下のような特別企画を行った。

第1回若手の会：

英語で全ての研究発表を行ない、海外共同研究拠点から招聘した若手研究者を含めた国際グループディスカッションによる新たな研究提案を試みた(図12)。

また、優れた発表には、ポスター賞を授与した。

第2回若手の会：

通常の発表に加え、特別講演として「海外研究事情～海外での研究生活で培ったこと～」および「今まで見えなかったものが見える？～細胞内イベントの可視化～」を企画した。

これらの企画により、若手研究者同士の交流が広がり、若手研究者の将来構想や若手研究者を中心とした新たな共同研究や連携研究のきっかけとなったと考えられる。

また、本領域では、国際活動支援班を利用した国際共同研究は基本的には若手研究員を中心に進めている。これまでに平成27年度に8件、平成28年度に11件、平成29年度6月現在で4件、本領域の若手研究者による海外共同研究先での共同研究の支援を行った。平成28年～平成29年には2名の海外若手研究者を日本に招聘し、1ヶ月～5ヶ月間の共同研究支援も行った。

こうした取り組みは、領域内の若手研究者のキャリアアップにも貢献しており、これまでに23名が特任准教授や助教、研究員など、常勤の研究職に就いている。

今後も、本領域では世界で活躍する若手研究者の育成のために、様々な企画を行っていきたい。今年度の若手の会では、独立PIを目指すためのメンタリングプログラム（論文投稿や留学セミナー等）を予定している。



図12. 第1回若手の会での国際グループディスカッション

8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1ページ以内）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

本新学術領域総括班において購入された高額備品を以下にまとめた。これらはすべて総括班の研究支援センター（次世代シーケンス部門、質量分析部門、イメージング部門）に設置された。

部門	品名（製造会社、型番号）	金額（千円）	設置場所
次世代シーケンス部門	次世代シーケンサー (Illumina, NextSeq 500)	34,992	中部大学
質量分析部門	質量分析計システム (Thermo Fisher Scientific, Q Exactive)	48,000	名古屋大学
イメージング部門	ライブイメージング装置 (オリンパス, FV1200)	29,595	東京理科大学

次世代シーケンサー（Illumina NextSeq 500）は、RNAseqおよび原因遺伝子同定のディープシーケンス解析、ChIPによるエピジェネティクス解析を推進するために次世代シーケンス部門に導入した。担当の鈴木（中部大）によるテクニカルセミナーや依頼者との研究目的に合わせた詳細な打ち合わせをしながら解析を進めている。解析にかかる消耗品については、大量の解析を行う班員を除き、基本的には総括班より支出した消耗品費により賄われている。現状としては、平成27年12月に設置後、15ヶ月で62ラン（437サンプル）を行ない、多くの成果が得られている。これまでに領域内共同研究による英語論文を国際科学雑誌に4報発表している。

質量分析計（Thermo Fisher Scientific, Q Exactive）は、維管束内の長距離伝達物質であるペプチドや糖など生体内微量物質の同定やタンパク質複合体解析、ホスホプロテオミクス解析を行うために質量分析部門に導入した。質量分析は、対象とする試料や目的によって様々な条件検討を必要とすることが多く、担当の松林、桑田（名古屋大）によるテクニカルセミナーや依頼者との研究目的に合わせた詳細な打ち合わせを持ちながら、外注では難しいきめ細やかな条件検討を行いつつ、解析を進めている。解析にかかる消耗品については、総括班より支出した消耗品費により賄われている。平成29年5月までに819サンプルの解析を行ない、多くの成果が得られてきている。これまでに領域内共同研究による英語論文を国際科学雑誌に4報発表している。

ライブイメージング装置（オリンパスFV1200）は、イメージング部門における植物細胞のライブイメージング解析や画像定量解析のために導入した。担当の松永（東京理科大）、植田（名古屋大）によるテクニカルセミナーや依頼者との研究目的に合わせた詳細な打ち合わせをしながら解析を進めている。平成27年10月に設置後、17ヶ月で総計1,400時間使用し、多くの成果が得られてきている。これまでに領域内共同研究による英語論文を国際科学雑誌に4報発表している。

これらの主要な整備備品による解析を外注により解析を行なった場合との比較は、「3、対応状況」にまとめたが、経費を上回る利用実績があり、かつ、これら支援センターの担当の専門家が、依頼者の希望に合わせた実験提案や条件検討を行いつつ解析を進めているため、研究費の効果的使用に大きく貢献している。備品以外の総括班経費は、研究支援部門の消耗品、事務局・広報・質量分析部門の人件費や雑費、評価助言委員・学術調査官の旅費交通費、領域会議・国際シンポジウムなど本領域主催の会議の補助経費であり、これらについても有効に活用されている。

9. 総括班評価者による評価（2ページ以内）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

【名古屋大学・大学院理学研究科 名誉教授 町田泰則】

本新学術領域研究では、植物の局所的かつ自律的な環境応答システムの解析に加え、動物とは全く異なる「長距離シグナル伝達システム」、およびそれらの情報をキャッシュするための「クロマチン修飾による環境記憶システム」を研究し、植物特有のダイナミックな可塑的成長の仕組みの解明を目指す。ここでは8名の研究代表者を中心に、19班の公募研究を加え研究を展開している。さらに総括班のもとに、4部門から成る研究支援センターを設置し、全体として有機的連携のもとに研究を推進している。

各項目の研究は極めて順調に進展していると評価される。特に個々の研究項目（局所的・自律的応答システム、長距離シグナリング、環境記憶システム）で期待を越える革新的な成果も得られつつある。例えば根-葉の連環を形成しうる「空間的統合システム」の1つが葉の維管束であるという発見は特筆に値する。また植物のエピジェネティックな細胞記憶の一部が報告され、今後その分子実体の解明が待たれる。これは「環境記憶」との関連で重要であり、今後の重点課題の1つである。本領域研究が開始されてから、143報の論文が発表され、73報が高いレベルの専門誌（Science, Nature系など）に出版されたことは高く評価される。これまでに70件を越える領域内共同研究が行われ、6報の優れた共著論文が公表されたことは評価される。研究支援センターでは、1,200件を越えるサンプルを解析し、強力に研究の推進をサポートし、これによる成果の一部は論文として公表された。

領域運営に関しては、領域会議の国際化と若手支援が進展している。英語による「若手の会」や領域会議を毎年開催した。またこれまでに33件の若手による海外協同研究を支援すると同時に、海外から2名の若手研究者を招聘し数ヶ月の共同研究を実施した。このような国際化に関する取組は高く評価される。新聞報道などのプレスリリースも活発に行われ、高校生など国民に対するアウトリーチ活動も十分であると評価される。

【九州大学・大学院理学研究院 名誉教授 島崎研一郎】

本領域は、中枢神経を持たない植物がどのようにして環境からの情報を統御・判断・記憶・出力し、その生存を最適化するかの解明を研究目標としている。この目標を達成するため、局所的・自律応答システム、長距離シグナリング、環境記憶システムを研究する3つの計画班とそれぞれの公募班員で構成し、総合的に研究を進めている。それぞれの研究班からは質の高い情報が発信されており、多くの論文が公表されている。とりわけ、この領域に重要な貢献を果たす長距離シグナリングに関与する物質の同定や環境記憶に働くクロマチン動態の測定法の開発など、特筆すべき成果が得られ、公募班からも優れた成果が出ている。

班員が利用できる質量分析計や次世代シーケンサーなどの分析機器の設置、国外の関連分野の著名な研究者とのネットワークの形成、若手育成のための国外派遣による国際共同研究の遂行など、側面からの支援は良くなされている。また、次世代の人材育成を目指した高校生に対する数多くの研究室見学や講義などのアウトリーチ活動による情報発信は十分すぎるほどである。班員それぞれが研究に没頭できる時間を確保し、新たな研究潮流を世界に向けて生み出してほしい。

【東京工業大学・大学院生命理工学研究科 教授 木村 宏】

本新学術領域は、植物の環境応答と長距離シグナル伝達システム、長期記憶を理解しようとするものである。現時点で多くの研究成果が得られており、その研究目的は順調に達成されているといえる。領域開始時には、環境応答と記憶がどのように結びついて発展するのか若干心配であったが、木下領域代表と松林事務局長を中心とした計画研究代表者間のネットワークが密に形成され、問題意識を共有するなかで多くの共同研究が推進されている。また、総括班の下に組織された研究支援センターが極めて有効に活用されていることは、注目に値する。共通機器として導入された高額機器は、得てして設置された研究室での使用がほとんどになる場合が多いが、本領域の研究支援センターは多くの領域参加者に活用されており、リソースの有効活用となっている。実際、これらの支援により、個々の研究グループ単独では遂行が難し

いような先端的分析が迅速に行われ、研究成果に結びついている。さらに、若手の会も複数回開催されており、若手教育にも力を入れていることが伺える。実際、第二回若手の会に参加させていただいたが、活発な議論と交流が行われており、この分野の発展性が伺えた。国際活動に関しても、国際会議の開催や研究者派遣などを通じて、十分な成果を挙げている。元々国際的な認知度の高い第一線研究者が本領域に集まっているが、これらの活動を通して、さらに国際的な活躍が出来ることを期待できる。

具体的な研究に関しては、水分欠乏、窒素要求、気孔開口、寄生植物、分化誘導などに応答した細胞内または長距離のシグナル伝達制御機構の解明やクロマチン修飾シグナルの解明など、当初の研究目的に沿った研究で十分な成果を挙げている。今後も、木下領域代表の優れたリーダーシップの元にこの研究体制を維持して進めていき、環境応答・長距離シグナル伝達・クロマチン記憶の統合的な理解につながる新規の概念の創出を目指して欲しい。

【名古屋大学・大学院理学研究科 名誉教授 近藤孝男】

本領域研究は植物特有の成長や生理現象を理解しようとするものである。課題にも見られるように、その提案は大変現代的に見えるが、植物生理学に分子生物学が導入されるに伴い、失ってしまったものを再認識しようとしたものと見ることもできる。かつて、動物において分子遺伝学や分子生物学が華々しく成功した時、植物の研究者は同じ方法論で植物の分子生物学を目指した。その舞台がナズナだったのだが、この時、成長可塑性、自律分散型制御とか環境認識と記憶というキーワードであらわされる植物の特有な属性は後回しにされたようだ。先人たちは植物個体生態学という言葉（もはや死語かもしれないが）で、植物特有の性質として認識し、固有のメカニズムを想定していた。従って本領域は新規な分野というよりは、植物学のルネサンスだと自覚したほうが良いと思う。どうか、植物の生活をよく見ることを徹底してほしいと思います。

中間報告にまとめられた論文リストをみれば、研究の進展は大変順調といえよう。各グループとも重要な成果を重要な論文として報告している。なかでも長距離輸送やカスパー組織の誘導など植物特有のメカニズムが解明されつつあることは大変興味深いものである。もちろん、現状では新しい学術領域として植物の原理などが統合的に理解されるまでには至っていないが、今後各研究班で、さらに植物固有の現象やその性質を可能としている植物の戦略が理解され、新たな植物学の原理が提案されることを期待する。もちろん、このためには他の植物領域との連携も必要であろう。

【基礎生物学研究所 所長 山本正幸】

本新学術領域研究は、植物がどのように環境を知覚し、情報処理しているかを解き明かすために、「局所的かつ自律的な応答システム」「長距離シグナル伝達」「環境記憶」の3つの課題につき研究を進めている。平成27年度からスタートした計画班に加えて、平成28年度には19件の公募研究がスタートした。まだ経過した研究期間が短く、研究成果を詳細に評価する段階にはないが、既に論文発表に至った成果を見ると、質、量ともに領域として研究が順調に進んでいるとすることができる。ただし3つに大別した課題のもとに進められている個々の研究が、どのようにまとまって植物の環境認識と記憶の統御システムを浮かび上がらせてくるのかについては、まだ確実な見通しは立っていないように思われる。特に、植物に限った研究課題ではないクロマチン修飾による「環境記憶」は、他の2課題と十分な連携を保って進められるべきであろう。ただし、こうした指摘を待つまでもなく、領域代表を始めとする主要メンバーは強い問題意識を持って運営に当たっているようであり、領域をまとめていくための広報活動や若手教育活動にも十分力を注いでいる。それらが功を奏して領域として大きな展開を迎えることを期待したい。

10. 今後の研究領域の推進方策（2ページ以内）

今後どのように領域研究を推進していく予定であるか、研究領域の推進方策について記述してください。また、領域研究を推進する上での問題点がある場合は、その問題点と今後の対応策についても記述してください。また、目標達成に向け、不足していると考えているスキルを有する研究者の公募研究での重点的な補充や国内外の研究者との連携による組織の強化についても記述してください。

本新学術領域の総括班では、研究設備・技術・研究材料の共有化（領域会議・テクニカルセミナー・若手の会の開催、研究支援センターの設置、領域ホームページにおける班員専用の閲覧ページの設置）の推進に取り組み、原著論文 143 報を発表するとともに、新学術領域内で 70 件以上の共同研究が進行するに至った。今後もさらに、今までの活動を発展させる予定である。

各研究班の取り組みについては、「局所的かつ自律的な応答システム」、「長距離シグナル伝達」、「環境記憶」に分けて記載する。

「局所的かつ自律的な応答システム」では、計画班メンバーを中心に、気孔孔辺細胞の青色光シグナル伝達、細胞膜プロトンポンプの活性調節、高温や乾燥ストレス応答、葉や芒形成、寄生植物による寄生、病原応答などに関わる新規因子を同定し、論文発表を行った。今後は、さらなる重要因子の同定を進めるとともに、これら重要因子が、長距離シグナル伝達やエピジェネティック制御を介した環境記憶などどのように関連性があるのか、統合的な解析を進めていきたい。

「長距離シグナル伝達」では、大課題のひとつである「環境変動を認識し、長距離伝達するシグナルの実体」について、窒素欠乏を地上部に伝える CEP と地上部から根へ移行する CEPD の発見により、具体的な実例が明らかになった。これに続く他の長距離シグナル因子の研究も進んでいる。また、「植物情報を集約するシグナルセンター」のひとつは、CEP と CEPD の情報受け渡しの場である葉の維管束と考えてほぼ間違いないと考えられる。こうした研究の進展状況から、「長距離シグナル」そのものや「局所・自律的応答」との接点については解明が十分に進みつつあると評価しており、現在の体制で引き続き研究を進めれば、期間内に当初目標を達成できると考えている。また、葉の維管束が「植物情報を集約するシグナルセンター」のひとつであるという概念は、「長距離シグナル」と「記憶」との接点の解明についても大きなヒントを与える。すなわち、維管束細胞において長距離シグナル依存的に起こるヒストンの修飾や DNA のメチル化を検出することが、「長距離シグナル」を介した「環境記憶」の実体の解明に大きく貢献する可能性がある。両者を担当する研究者の連携を強化することで、この分野の開拓を推進していきたい。

「環境記憶」では、植物のエピジェネティックな細胞記憶の分子実体について計画研究を中心に細胞リプログラミングと環境情報および環境刺激とクロマチン動態の解析を中心に進めていく。植物の環境刺激は多様であることから、公募研究により重点的な補充を行った。その結果、低温刺激による花成や高温のエピジェネティクス記憶メカニズム、病原菌感染による免疫記憶のエピジェネティクス制御の研究が加わり、植物の多様な環境刺激に対する環境記憶を研究する体制を構築することができた。後半の期間は支援班を中心とした技術共有により、計画研究と公募研究が連携しながら環境記憶の分子実体解明の目的に向かって研究を進めて行く予定である。さらに、「局所的かつ自律的な応答システム」や「長距離シグナル伝達」と環境記憶とを結びつけるヒストン修飾や DNA メチル化の統合的解析、ならびに環境記憶細胞群の同定解析については、研究組織の連携を強化するため、領域会議におけるテクニカルセミナーの開催や領域ホームページにおける班員限定の技術情報共有サイトの開設を予定している。