

領域略称名：植物細胞壁機能  
領域番号：3404

平成26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

「植物細胞壁の情報処理システム」

(領域設定期間)

平成24年度～平成28年度

平成26年6月

領域代表者 (東北大学・大学院生命科学研究科・教授・西谷 和彦)

# 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	2
2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	4
3. 研究の進展状況	6
4. 若手研究者の育成に関する取組状況	10
5. 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）	11
6. 総括班評価者による評価	12
7. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	14
8. 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）	18
9. 今後の研究領域の推進方策	23

# 研究領域全体に係る事項

## 1. 研究領域の目的及び概要（2ページ程度）

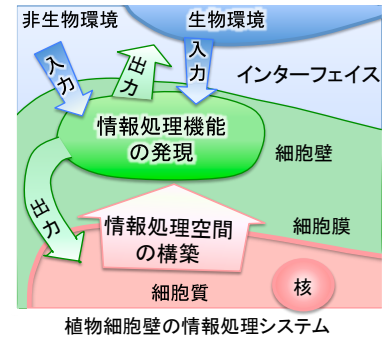
研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、これまでの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

### ■ 研究領域の目的

#### (1) どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる新たな研究領域」であるか

中枢神経系により一元的な個体統御を行う方向に進化した後生動物とは対照的に、植物は個体を構成する各細胞が高い自律応答性を維持し、それらの総体として個体全体を統御するシステムを進化させてきた。この統御系は、発生や生体防御など、植物の生命過程全般を通して普遍的に観られるシステムである。

興味深いことに、この自律応答性システムでは、細胞の外側および細胞膜近傍で情報の処理と応答を完了することが多い。このように細胞外で自律的に情報統御を行うシステムをここでは「細胞外インテリジェントシステム」と定義する。その機能は後生動物における脳・神経系や液性免疫系に似るが、機能の場が、ニューロンや体液ではなく、細胞壁という植物固有の動的超構造である点で、両者には相同性がない。したがって、これを理解するには、動物のアナロジーは有効ではなく、植物独自の新規の学問領域を開拓していく以外に方法がない。そこで、本領域



では、各分野で顕著な成果を挙げながらも、互いに接点を持たず個別に研究を進めてきた異分野の研究者が結集・連携し、有機的な研究ネットワークにより、各自の研究手法を融合させた共同研究体制を構築しながら、包括的な研究を展開することにより、細胞外情報処理機能という、全く新しい現象の解明を目指す。これが達成されれば、植物の自律的応答性一般に関する新規な学術領域が切り開かれることになる。更に、この新領域を我が国が先導することにより、我が国の学術水準の飛躍的な向上が期待できる。

#### (2) 本領域名称変更の経緯および、計画研究課題一部（白須賢担当分）廃止について

以上の考え方に基づいて、本研究領域は「植物の細胞外インテリジェントシステム」という領域名称で提案し、採択されたが、交付申請の段階で「細胞外インテリジェント」の表現が社会に及ぼす影響を考慮する必要があるとの強い指導が審査委員会よりあったので、それに沿って領域名称を現行のものに変更した。また、その変更に合わせて、各計画研究課題中の「細胞外インテリジェント」の表記を「細胞壁の情報処理」に変更した。以上の経緯により、申請時の領域計画書で「細胞外インテリジェント」と表記していた内容は、本中間評価報告書では、「細胞壁の情報処理システム」と表記している。

白須賢が並行して申請していた基盤研究Sが採択されたため、本領域中の白須担当の課題は廃止した。

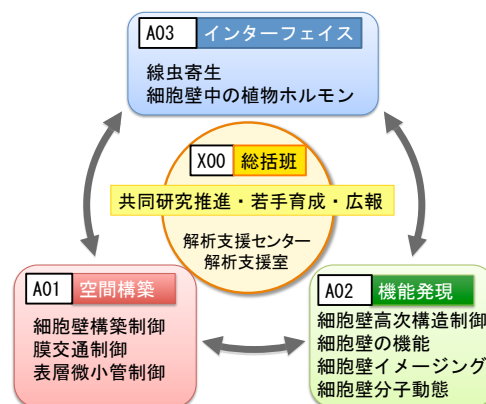
#### (3) 研究の学術的背景

植物細胞壁の情報処理システムの基盤となる細胞外の情報伝達を介したインターフェイス機能について、我が国は長い研究の歴史をもち、これまでに世界をリードしてきた。すなわち、澤は新規ペプチドホルモンの構造や作用機構を解明し、山口は器官間、生物間のコミュニケーションに関わる新規の植物ホルモンであるストリゴラクトンを発見した。一方、情報処理系の舞台となる細胞壁についても、我が国は顕著な業績をあげ、世界をリードしてきた。西谷は細胞壁の再編酵素であるXTHファミリーを発見し、出村は維管束の細胞壁形成や細胞死を司るVND因子群を発見し、佐藤は細胞壁の細胞接着や組織の癒傷に関わる因子群を発見し、それぞれ世界をリードしている。細胞壁成分の合成・分泌に必須の膜交通については、上田が植物固有の分子装置を発見し、五十嵐は高速原子間力顕微鏡を用いてセルラーゼによる細胞壁分解過程をリアルタイムではじめて観察し、細胞骨格と細胞壁との関係については、橋本が表層微小管の動態がカタニンにより制御されることを見だし、馳澤はイメージング技術と情報処理技術を開発し、細胞構

築の基盤となる細胞骨格の動態を可視化してきた。これら、細胞壁や細胞骨格、植物ホルモン、細胞間情報伝達、膜交通、病害応答に関する研究成果は、本領域の研究を推進する上で直接の学術的基盤となるものである。しかし、個別の研究推進のみでは「細胞壁の情報処理システム」という新しい学問領域の開拓は困難で、そのブレークスルーを目指すには、これら異分野の研究者が連携し、共通の研究テーマを定め、様々な角度から集中的に解析し、研究を加速度的に推進できる研究体制の構築が求められる。

## ■ 研究の概要

そこで、本領域では、関連領域で顕著な研究業績を持つ9チームの研究者が、互いに研究テーマを部分的に共有しながら有機的な研究ネットワークを作り、総括班が全チームのハブとなり (1)空間構築, (2)機能発現, (3)インターフェイス機能の三つの研究項目について、研究項目横断的に細胞壁の情報処理システムを解剖する。



### (1) 研究項目A01：情報処理の場としての植物細胞壁を細胞内部より構築する仕組みの解明

情報処理空間を構成する実体である細胞壁の高次構造の構築の全体像は未解明であるが、これまでの研究で、2千種以上の遺伝子はその過程に直接関わることを明らかにしているため、これらの遺伝子群の働きを統御する制御因子を手がかりに、(i) 情報処理空間の構築・再編に関わる全分子群の動態と機能、分子間相互作用を、包括的に解析する。同時に (ii) 植物固有の膜交通と分泌に関与する因子を手がかりに、情報処理空間構築の制御ポイントとなる分泌過程とエンドサイトーシスの制御機構を解明する。更に、(iii) 情報処理空間構築に関わる細胞膜直下の細胞骨格系の制御過程を明らかにする。

### (2) 研究項目A02：植物細胞壁が情報処理機能を発揮する分子メカニズムの解明

研究項目A01が空間構築に焦点を当てるのに対して、A02は細胞外情報処理空間内での自律的反応そのものに焦点を当てる。細胞骨格の動きを可視化する技術や、細胞壁成分を解析する手法を開発してきたので、これらの方法を用いて、これまで観察されたことのなかった細胞外でのタンパク質動態や酵素により触媒される生化学過程を解明し、細胞外情報処理空間の動態と機能を総合的に理解する。具体的には、(i) 細胞外シグナル分子や機械刺激、傷害、微生物感染などの個別の入力信号が情報処理空間内で細胞壁高次構造の変化を介して発生過程や防御反応の制御に関わる信号に変換される分子過程の実体を特定する。次いで、(ii) それに関わる細胞壁成分や酵素、細胞骨格、それらをコードする遺伝子の機能を解明する。

### (3) 研究項目A03：細胞間・生物間のインターフェイス機能の分子基盤の解明

研究項目A01, 02が情報処理空間内の素過程に焦点を当てるのに対して、A03は細胞間または生物間の相互作用、すなわちインターフェイスとしての機能に焦点を当て、高次現象の基盤となる分子過程の解明を進める。具体的には、(i) 植物に他の植物が寄生する際の細胞認識や寄生成立に関わる寄生植物固有の細胞壁中に分泌されるエフェクター分子の同定と、それを手がかりとした植物間相互作用の分子実体の包括的解明、(ii) 植物に線虫が感染する際に引き起こされる形態変化におけるCLEペプチドホルモン等のシグナル分子による制御機構の解明、(iii) 細胞外を経て微生物と植物の共生成立に関わるストリゴラクトンなどの植物ホルモンの役割の解明、(iv) 傷および力学的刺激に応答した細胞壁機能の変化を通じた発生過程の制御機構の解明、をそれぞれ研究項目A01, A02と連携を取りながら進める。

## 2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2ページ程度）

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。

### ■ 組織運営の方針：

(1) 共同研究推進策：本研究領域のミッションは異分野の領域を融合して細胞壁機能に関する新しい研究領域を拓くことである。そのためには、細胞壁空間構築、細胞壁機能発現、細胞壁のインターフェイス機能の3つの研究項目を、異なる学術的キャリアを持つ研究者が、計画研究9課題、公募研究18課題を通して、発想と手法を融合しながら新しい概念を生み出す作用が必須である。それには、異分野の研究者間の共同研究を積極的に推進する仕組みが不可欠である。

その仕組みとして、研究項目X00の総括班に解析支援センター、オミクス支援室、イメージング解析支援室を設け、計画研究の全研究代表者と研究分担者・連携研究者が支援担当者となり、研究手法の開発と情報や実験技術の共有・支援を行うと同時に、研究代表者間の共同研究の橋渡しを行う。この仕組みにより、研究代表者は、自身の研究項目に軸足を置きながらも、他の研究項目とも一部研究テーマを共有することで、領域全体が有機的なネットワークを形成し、研究項目横断的な共同研究が促進される。

X00	総括班	A01	細胞壁空間構築	A02	細胞壁機能発現	A03	インターフェース
西谷	代表	出村	細胞壁構築制御	西谷	細胞壁高次構造の制御	澤	線虫寄生
岡田・鮫島・西村 長谷部・福田	研究協力者 (評価/助言)	上田	膜交通制御	佐藤	細胞壁の機能	山口	植物ホルモン
出村・澤	幹事	橋本	表層微小管制御	馳澤	細胞壁イメージング	金岡	花粉管誘引
西谷・山口・佐藤 円谷・横山	解析支援 センター	角五	微小管の力学応答特性	五十嵐	細胞壁分子動態	打田	情報分子群
出村・橋本・倉田 大林・相田	オミクス 支援室	笹部*	細胞板構築メカニズム	三輪*	ペクチンのホウ素架橋	富永*	表皮細胞形態形成
馳澤・桧垣・上田 五十嵐・澤	イメージング 支援室	小田	二次細胞壁パターン形成	福島	リグニン前駆物質可視化	渋谷	MAMP受容体
工藤*・大林	広報	藤原	カルシウムと細胞壁機能	朽津	活性酸素/Ca <sup>++</sup> シグナル	川崎	病原菌認識MAPKカスケード
		石崎	離生細胞間隙形成	大谷*	細胞分化・増殖の柔軟性	林	オーキシン受容体
		松永	リン酸化制御			寿崎	根粒菌共生
						吉田*	植物寄生免疫応答
						Bartlem	線虫寄生時の巨大細胞形成

\* 女性研究者

(2) 情報発信：広報は生物情報科学の専門家（大林）とサイエンスコミュニケーター（工藤）が担当し、一般社会と研究者の双方に向けた情報発信を行うために、HPは日本語の「研究者用」と「一般の方用」、更に「English」の3つの入り口を用意し、それぞれに最適化したコンテンツを発信する。

(3) 女性研究者参画状況：公募研究代表者の30%を女性とする数値目標を掲げて公募研究を応募し、積極的に女性研究者の応募を奨励した。その結果、A01, 02, 03のいずれの研究項目も1名以上、領域全体で5名（27%）の女性研究代表者（表中\*）の参画を得ることができ、当初の目標はほぼ達成できたので、組織運営においては、これらの女性研究者が一層活躍出来る場の構築にも力を入れる。

### ■ 共同研究の実施項目および成果

#### 研究組織間の連携状況

(1) 領域代表者のサイトビジットによる共同研究の橋渡しの推進：

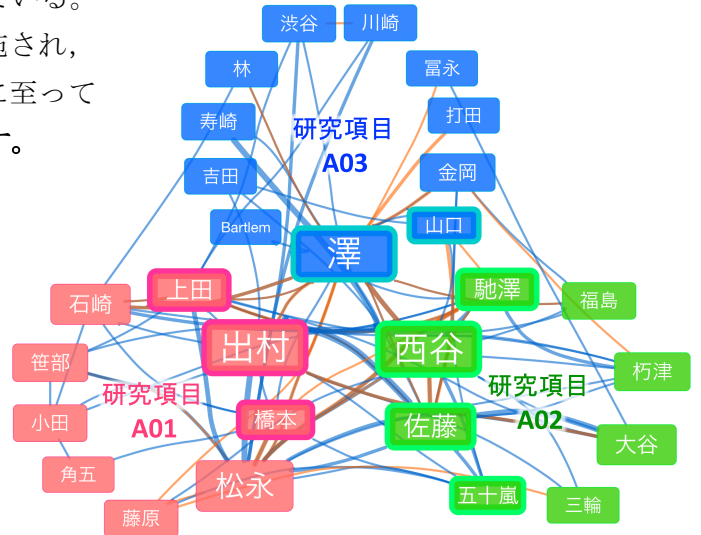
領域代表が領域の全研究課題を正確に把握し、リーダーシップを発揮しながら領域を統括するために、H25年12月21日よりH26年5月11日まで、5ヶ月間に亘り、全研究代表者の研究室を訪問した。地域ごとに訪問日を決め、1研究室2時間前後のスケジュールで、1日に1~3研究室を巡回し、合計14日を費やし、全研究課題についてその背景から進捗状況までを聴取した（詳細はX00の総括班のページ参照）。聴取した情報を元に、解析支援センター利用の奨励や、共同研究の橋渡しを含めた研究のアドバイスをを行った。サイトビジットが功を奏し、次に示す通り、現在、すべての研究代表者が一件以上の共同研究を実施しており、当初より計画してきた研究項目横断的な共同研究を基軸とした研究体制が出来上がった。



(2) 研究項目間の共同研究推進数

研究連携は当初の予想を遥かに上回る勢いで進んでいる。H26年6月現在、領域内で160件の共同研究が実施され、その内45件が、すでに論文出版または学会発表に至っている。下の表に研究項目毎の実施状況の内訳を示す。

研究項目内と研究項目間の共同研究実施状況			
研究項目内研究項目間	共同研究総数	進行中の共同研究数	成果の出た共同研究数
A01内	29	23	6
A02内	24	20	4
A03内	12	5	7
A01-A02間	47	36	11
A01-A03間	22	14	8
A02-A03間	26	17	9
領域全体	160	115	45



右図は三つの研究項目を横断した代表者間の共同研究の実施状況を可視化したもの。青線は進行中、赤線は成果が出た共同研究を示す。

(3) 共同研究により21本の論文がすでに出版された。代表的な共同研究の成果を以下に抜粋する。

- ・ A01 出村と A02 大谷の共同研究により、VNSファミリーによる細胞壁形成の制御の進化が植物の陸上化において決定的な役割を握っていたことを、コケ植物を用いて明らかにした。(Science 2014)
- ・ A01 橋本と A02 馳澤は、PHS1がフォスファターゼと非典型的なキナーゼの両ドメインを併せ持ち、前者が後者の活性を抑制するしくみを解明した。更に、高浸透圧などの環境ストレスがこの抑制を解除すると、キナーゼが活性化され、それがαチューブリンのThr349のリン酸化を通して表層微小管の重合を阻害する仕組みで、環境センサーとして働くことを実証した。(Curr. Biol. 2013)
- ・ A02 馳澤, A01 篠部, A03 金岡の三者共同で、細胞板形成・拡大を担うフラグモプラスト微小管のイメージングを行い、ダイナミクスの異なる二種類の微小管が存在することを明らかにした。(Nature Commun. 2013)
- ・ A02 佐藤, A03 澤, A03 山口の三者共同で、根の中心柱で生産されたCLE6が細胞壁空間である道管を介して地上部に輸送され、ジベレリンによる地上部の成長促進に寄与していることを見出した。(Plant J. 2014)

■ 総括班による研究支援組織の活動

計画研究の代表者は全員、解析支援センターまたは支援室に所属し、それぞれの専門性に応じて、11の支援項目のなかの何れかについて、領域内の全班員に対して、情報や試料の提供から、分析の受託、手法の共同開発など、様々な形で共同研究を実施し、領域全体の研究推進に参画する。現在、45件の研究支援が進行中である(右図参照)。

支援の過程で確立した手法や、蓄積した大規模データベースや英文プロトコルはHPより公開し、一般の利用に供する予定である。細胞壁関連遺伝子に最適化した共発現データベースへはH25年8月に公開して以来、47万件のアクセスがあり、広く利用されている。

	担当者	支援項目	支援実績
解析支援センター	西谷 横山	細胞壁糖鎖解析・免疫組織学解析	A01: 上田, 出村, 藤原 A02: 五十嵐, 馳澤, 大谷 A03: 澤, 寿崎, 吉田
	山口	植物ホルモン定量・質量分析	A02: 西谷 A03: 澤
	佐藤	細胞壁の機能解析および成分分析	A01: 出村 A02: 西谷 A03: 澤, 山口
	円谷	糖質関連酵素解析	A02: 大谷 A03: 澤, 渋谷
オミクス支援室	出村 倉田	オミクス解析	A01: 出村 A02: 佐藤, 三輪, 大谷(2件) A03: 澤(2件)
	橋本	細胞骨格の生化学	A01: 出村, 角五, 松永, 篠部
イメージング支援室	大林	データベース構築・発信	一般公開 H25.8以降 アクセス数: 47万件
	馳澤 桧垣	画像データマイニング	A01: 篠部 A02: 西谷, 佐藤, 朽津 A03: 澤, 山口
	上田	高精細観察	A01: 藤原, 篠部, 松永 A02: 朽津 A03: 山口, 川崎
	五十嵐	単分子観察	A01: 出村 A02: 西谷
	澤	生物間相互作用可視化	A01: 西谷 A03: Bartlem, 寿崎

### 3. 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毎に整理する〕（3ページ程度）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、現在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毎に記述してください。

#### ■ 研究領域として設定した研究の対象に照らして、どのように研究が発展したか

(1) **新興・融合の学問領域創成**：本新学術領域では、従来の学問の枠組みに囚われない新しい研究コミュニティの形成を通して、「植物細胞壁の情報処理」という全く新しい概念を生み出すことを、第一の目標としている。前半二年の計画は順調に進み、新しい研究コミュニティができ、この概念が定着しつつある。実際、「植物細胞壁の情報処理」のコンセプトを冠した総説集の編集が英文で2件・和文で2件進行中であり、植物園や博物館での展示により社会への認知度も向上してきている。この点で、新興・融合の学問領域の創成という当初の目標は、達成されつつあると言える。

(2) **異分野の研究者間の共同研究**：本研究領域は、細胞生物学と植物生理学に加えて、発生遺伝学から、植物病理学、酵素化学、糖質化学、高分子化学、天然物有機化学、情報科学まで、多様な学術的背景と視点を持つ異質な研究者が、新しい研究領域の開拓を目指して結集したものである。領域発足二年にして、既に領域内で160件の共同研究が進行中である。なかでも、共同研究の成果として21報の論文発表がなされており、異分野の研究者間の実質的な共同研究・連携の象徴ともなっている。

(3) **新たな視点や手法による共同研究**：領域代表者による全計画班員・公募班員へのサイトビジットを行い、領域全体を俯瞰しながら研究のアドバイスと共同研究の橋渡しを行うことで、システムティックな共同研究の推進が可能となっている。さらに、異分野の視点と、先端技術を領域内で共有し、従前にはない新しい手法を開発しながら共同研究を推進するしくみとして、総括班内に解析支援センターおよび支援室を整備し、全計画研究代表が支援者となる体制を構築した。その結果、このしくみが共同研究を強力に後押しし、領域全体の研究を加速的に推進する効果を生みつつある。

(4) **他の研究領域への波及効果**：新しい概念を核として研究領域を切り拓いたことにより、関連する研究領域との接点が一気に広がった。その結果、「植物の環境感覚（長谷代表）」、「ゲノム・遺伝子相関（高山代表）」、「環境突破力（馬代表）」、「植物発生ロジック（塚谷代表）」などの関連領域と、共同研究や研究集会共催などの形で連携し、互いに影響を及ぼしつつある。さらに、幅広い生命科学や化学の分野の学会でシンポジウムを開催するなどの本領域の活動により、「植物細胞壁の情報処理」という新しい概念が他の研究領域に浸透しつつある。

#### ■ 研究領域の設定目的

申請時に提案した年次別の研究推進計画を右に示す。領域の研究期間の前半二年間では、細胞外の情報処理システムを構成する素要素の同定とその機能解明を目指して、細胞壁空間構築(A01)、細胞壁機能発現(A02)、インターフェイス機能(A03)のそれぞれの現象について解析を進める。次いで後半三年間に、同定した素要素群の機能の統合により高次機能が生まれる仕組みの解明を目指す。以下、進捗状況を研究項目毎に述べる。

申請時の年次計画推進計画	
年次	達成目標
前半2年間 (H. 24~H. 25)	・細胞壁の情報処理システムを構成する素要素の解明
後半3年間 (H. 26~H. 28)	・素要素の共通点と相違点の解明 ・様々な現象における高次機能の基盤となる細胞壁の情報処理システムの解明

#### ■ 研究項目毎の進展状況

##### (1) 研究項目A01：情報処理の場としての植物細胞壁を細胞内部より構築する仕組みの解明

研究項目A01では、植物の細胞外の情報処理空間である細胞壁の構築と再編に関わる分子過程の解明を目指す。特に、コケ植物から被子植物までの植物を対象にした細胞壁の進化という視点でのオミクス解析、細胞壁の構築と維持における膜交通の役割の解析、細胞壁形成の基盤となる表層微小管の構築と再編の制御機構の解析、に取り組む。

植物細胞壁は、すべての細胞が持つ柔軟性の高い一次細胞壁と一部の特殊化した細胞が持つ二次細胞壁に大別される。二次細胞壁の構築に関する転写ネットワークの概要については、シロイヌナズナ等のモデル植物を用いた出村や他の研究グループによるこれまでの精力的な研究によって明らかになってきた。一方で、一次細胞壁の構築については、関連する酵素遺伝子の同定が進む中、それらの転写制御についてはほとんど明らかにされてこなかった。出村は本計画研究において、西谷・大林 (A02) が開発した ATTEDII などの共発現データベースを利用することで、一次細胞壁の形成に関わるセルロース合成酵素 *CesA* 遺伝子 (*CesA1*, *CesA3*, *CesA6*) の発現を正に制御する転写因子 AP2/ERF (ERF34, 35, 38, 39) を世界に先駆けて発見した。さらに出村は、プロトプラストからの一次細胞壁の再生過程では、*CesA* 遺伝子など一次細胞壁成分の合成系の遺伝子には際立った発現変動は見られず、セルラーゼやペクチン分解酵素などの一次細胞壁の分解・代謝に関わる酵素の遺伝子発現が顕著に抑制されることを見だし、細胞壁の再生・維持の過程で分解系酵素の発現制御が重要であるという新たな仮説を立てるに至った。さらに機能未知のセルラーゼ KOR2 遺伝子が一次細胞壁の再生に関与することを示した。出村はまた、二次細胞壁の形成に関して、独自に開発したタバコ BY-2 での二次細胞壁形成誘導系 (Plant Cell Tiss. Org. 2013) を用いてプロテオームとメタボロームの解析を進めた。さらに、細胞壁形成メカニズムの進化に着目して、コケを用いた解析を行い、シロイヌナズナにおいて二次細胞壁形成を制御するマスター因子 VND7 のヒメツリガネゴケのホモログである PpVNS1, 6, 7 が厚い細胞壁 (二次細胞壁に相当) の形成を制御し、転写ネットワークが進化の過程で極めて高度に保存されてきたことを明らかにした (Science 2014)。

細胞壁の構築と維持において、ゴルジ体で構成されたセルロース合成装置複合体や細胞壁成分の細胞膜・細胞壁の的確な輸送 (膜交通) の制御は極めて重要である。しかしながら、その制御の分子機構の大部分は未解明である。そこで上田は本計画研究において、バイオイメージングを主要な手法として用いて、膜交通が細胞壁の構築に果たす役割の解明に取り組んでいる。まず、PI4PとPI3Pがそれぞれ、セルロース合成装置複合体の細胞膜からの取り込み過程とエンドサイトーシスによって取り込まれたセルロース合成装置複合体の細胞膜への再送の過程で必要であることを見出した。また、超解像顕微鏡による観察によって、セルロース合成装置複合体のエンドサイトーシスにダイナミンが関与することを示す直接的な証拠を得た。さらに、浸透圧の低下がCESAのエンドサイトーシスを促進するとともに、細胞膜上のタンパク質の凝集を引き起こすことを見いだした。また、エンドサイトーシス経路と液胞輸送経路に異常を持つ *vps9a-2* 変異体が細胞壁構築に異常を示すことから、佐藤 (A02), 西谷 (A02), 出村, 大谷 (A02) らと共同で細胞壁構成成分の解析を行い、ペクチンの異常な配置と蓄積や細胞壁関連因子の細胞外への輸送異常と細胞壁関連遺伝子の特異的な発現変動を見いだした。

植物細胞壁の構築・維持・再編において、細胞膜の直近の内側に張り付く表層微小管細胞骨格が重要な役割を果たしている。例えば、セルロースの配向 (方向性) は表層微小管がセルロース合成装置複合体の細胞膜上を移動する方向性を規定するルールと働くことで決まることが知られている。橋本はこの表層微小管が高浸透圧や塩ストレスなどの外界刺激によって迅速に (転写制御を経ずに) 再編成される点に着目し、とくに、これまでに自らが微小管再編成に関わるリン酸化シグナル伝達系因子として発見した、リン酸化酵素ドメインと脱リン酸化酵素ドメインを併せ持つ Propyzamide Hypersensitive 1 (PHS1) を核とした研究を進めた。橋本は本計画研究において、松永・中神 (A01) との共同研究により、PHS1が表層微小管の構成因子である $\alpha$ チューブリンのThr349残基を特異的にリン酸化すること、並びに、Thr349残基がリン酸化された $\alpha$ チューブリンが微小管ポリマーに重合できないことを示した。また、外部刺激による表層微小管の脱重合について馳澤・朽名 (A02) と共同で詳細な解析を進め、PHS1は主に高浸透圧刺激のシグナル伝達に関わることを示し、少なくとも膜貫通二成分型ヒスチジンキナーゼATHK1はPHS1によるシグナル伝達には関与しないことを明らかにした。また、活性化型PHS1-GFPをサルCOS-7培養細胞で一



過的に発現させると微小管が効率よく分解することを見出し、動物においても活性化型PHS1を細胞特異的な微小管脱重合ツールとして利用できる可能性を示した。

## (2) 研究項目A02：植物細胞壁が情報処理機能を発揮する分子メカニズムの解明

研究項目A01が空間構築に焦点を当てるのに対して、ここでは、細胞壁空間内での自律的反応そのものに焦点を当て、細胞骨格や細胞壁酵素の動きを可視化する技術や、細胞壁成分を解析する手法、細胞壁タンパク質の生化学的な機能解析などにより、細胞壁空間の動態と機能に関わる因子の同定を進める。特に、細胞外シグナル分子や機械刺激、傷害、微生物感染などの個別の入力信号が細胞壁空間内で細胞壁の高次構造の変化を介して発生過程や防御反応の制御に関わる信号に変換される過程に関わる分子実体の特定を目指している。

西谷は発生シグナルや力学刺激に応答した細胞壁の力学特性の変化を引き起こす分子過程の解明を目指し、一次細胞壁のマトリクス成分であるキシログルカンとペクチンに焦点を当て、それらの高次構造の制御において中心的役割を担う二つの酵素、PME（ペクチンメチルエステラーゼ）とXTH（エンド型キシログルカン転移酵素/加水分解酵素）を中心に解析を進めた。その結果、PME35が一次細胞壁のペクチンの脱メチルエステル化を通して、維管束植物の茎の支持機能の調節や孔辺細胞の開閉機能発現に必須の役割を担うことを、個別の遺伝子の機能として初めて実証し（Plant Cell 2012）、また、シロイヌナズナ孔辺細胞の腹側細胞壁の形成にPME6によるペクチンの局所的な脱メチルエステル化が必須であることを射場らとの共同研究で明らかにした（Curr. Biol. 2013）。以上の結果は、いずれもPMEの空間的な活性制御が、細胞壁の高次機能の制御に関与することを示すものである。西谷はまた、生物刺激に応答した細胞壁の情報処理機能のモデル系を新たに確立するため、ネナシカズラ属（*Cuscuta*）植物の茎寄生過程に着目し、接触刺激応答、異種間の維管束組織融合メカニズムなどの包括的な解析の準備を終えた。

佐藤はイネの細胞壁マトリクスの主成分であるアラビノキシランに注目し、そのアラビノース側鎖の重合に必須であるUAM3遺伝子の発現を抑制させると、花粉の形成に異常が生じることを見出し、UAM3が花粉細胞壁の形成発達や枝梗発達に重要であることを実証した。逆に、アラビノース側鎖を加水分解する酵素ARAFの過剰発現イネでは、アラビノキシランが減少しセルロースが増加する細胞壁の高次構造変化が生じ、同時に力学的強度が上昇することを見出した（PLoS One 2013）。

また、植物組織が傷を受けると細胞壁の再編を通して組織の癒合が起こる点に着目し、その分子過程に関わる因子を探索し、傷の上側に溜まったオーキシンが、ARF6とARF8を介してANAC071の発現を誘導し、それが細胞壁再編酵素であるXTH20とXTH19の発現を誘導し、髓の細胞分裂を介した癒合が起こることを西谷との共同研究により明らかにしつつある。さらに、澤（A03）、山口（A03）との共同研究で、器官間相互作用におけるCLE6の働きを明らかにした（Plant J. 2014）。

馳澤は細胞骨格に焦点を当て、そのイメージング技術とシミュレーション解析を融合させることにより、これまでは不可能であった細胞表層の機能分子の動態の解析より、細胞壁機能の解明を目指している。この手法により、橋本（A01）との共同研究でPHS1の機能を明らかにし、笹部（A01）との共同研究により細胞板形成初期過程における、微小管、輸送小胞、キネシン様タンパク質NACK1の三者の相互作用を解明しつつある。

五十嵐は生物環境と細胞壁と外界とのインターフェイス、特に微生物により植物細胞壁が分解される過程などをモデル系として、その分子過程に焦点を当て、細胞壁分解酵素を用いて、細胞壁多糖類などの基質分子と、酵素分子との単分子レベルの相互作用に着目し、その動的変化を可視化し、パラメータを定量

的に算出する手法の確立を中心に研究を進めてきた。その結果、セロビオヒドロラーゼ (*TrCel7A*) の活性ドメインを蛍光色素でラベルし、結晶性セルロース表面における *TrCel7A* の挙動を高速原子間力顕微鏡 (HS-AFM) および全反射蛍光顕微鏡 (TIRFM) を用いて観察を行う手法を先ず世界に先駆けて確立し、この方法を用いて、結晶性セルロース表面に吸着した酵素の滞在時間の測定に成功し、その頻度分布のヒストグラムの解析より、結晶性セルロース上にセルロース分解酵素が滞在する状態があり、それぞれの解離定数が 0.12 回/秒と 0.86 回/秒であることを解明した。更に、連続的 (プロセス) な加水分解速度が異なる三種の酵素について、上記の解析を行った結果、加水分解速度と表面からの解離にはトレードオフの関係が成り立つことを明らかにした (J. Amer. Chem. Soc. 2014)

また、セルロース生合成酵素の異宿主発現系の構築を試み、メタノール資化性酵母を用いた発現系の構築に成功し、この技術を用いて、西谷と共同で XTH 酵素の生化学的な解析を進めている。

### (3) 研究項目 A03 : 細胞間・生物間のインターフェイス機能の分子基盤の解明

研究項目 A01, 02 が細胞壁空間内の素過程に焦点を当てるのに対して、ここでは細胞間または生物間の相互作用、すなわちインターフェイスとしての機能に焦点を当て、高次現象の基盤となる分子実体の解明を進めている。申請時に提案した白須担当領域については、公募班員として吉田が加入 (白須を連携研究者としている) し、関連分野の渋谷、川崎が協力することでカバーできている。

澤は植物に線虫が感染する際に引き起こされる形態変化における CLE ペプチドホルモン等のシグナル分子による制御機構の解明の為に、まず、サツマイモネコブセンチュウから 5 つの CLE 遺伝子を同定し、唾液腺での発現も確認できた。また、CLE ペプチド受容体の突然変異体では線虫感染抵抗性を示し、線虫のエサとなる巨大細胞の再分化が抑制されることがわかった。さらに、エンドサイクルに関与する遺伝子の突然変異体も同様の表現型を示したことから、線虫の CLE 遺伝子は、巨大細胞形成に寄与することが示唆された。今後、線虫の CLE が細胞外で確かに機能しているか、細胞内でのさらなるシグナル伝達はどのようになっているか、新たな因子の同定と、既存の植物 CLE シグナルとの比較解析を行う予定である。澤はまた、佐藤 (A02) との共同研究で、根の中心柱で生産された CLE6 が細胞壁空間である道管を介して地上部に輸送され、ジベレリンによる地上部の成長促進に寄与していることを見出した (Plant J. 2014)。

一方、吉田・白須は植物に他の植物が寄生する際の細胞認識や寄生成立に関わる寄生植物固有の細胞壁中に分泌されるエフェクター分子の同定と、それを手がかりとした植物間相互作用の分子実体の包括的解明の為に、ストライガの感染過程における RNA-seq 解析をおこない、特に寄生から 7 日目のステージにおいて、細胞壁分解酵素およびタンパク質分解酵素群が顕著に発現上昇することを見出した。寄生 7 日目にはストライガは宿主との導管の連結を成立させ、栄養の転流が始まっていると考えられる。これら分解酵素群の機能を探るために、in situ hybridization 法を用いて発現部位を解析した。寄生時特異的な発現を示すタンパク質分解酵素はストライガ吸器の中のヒエリンボディと呼ばれる細胞質密度が濃く細胞外分泌物を多く産生する特殊な細胞群に特異的に発現していることが明らかになった。今後、寄生植物感染時の細胞壁の機能に着目し、アポプラストのインターフェイスとしての機能解明を目指す。

山口は細胞外を経て微生物と植物の共生成立に関わる植物ホルモンであるストリゴラクトンの役割を明らかにするために、まず、その動態に関する解析を行った。その結果、ストリゴラクトンが、カーラクトンを前駆物質として合成されることを明らかにした。また、接ぎ木実験などから、カーラクトンに相当する生合成段階の中間体が根から地上部に移動することを示唆した。一方、酵母ツーハイブリッド系を用いて細胞内のストリゴラクトン濃度をモニターするためのセンサーを開発している。今後、これらを組み合わせ、ストリゴラクトンの動態を明らかにし、その役割の全体像を明らかにしていきたいと考えている。

#### 4. 若手研究者の育成に係る取組状況（1 ページ程度）

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。

##### ■ 領域内での女性・若手研究者支援の位置付け

本領域の目的は、異分野の融合により「植物細胞壁の情報処理システム」という新しい学術領域を拓くことである。そのためには、旧来の学問の垣根を超えた広い視野と発柔軟な発想を持った若手研究者を育て、領域の将来の発展のための盤石な研究体制を築くことが何よりも重要である。このような観点から、本領域では、申請の準備段階より、若手育成を重要項目として位置づけ、助教やポスドク、学生などの若手研究者を中心とした研究者コミュニティである「細胞壁研究者ネットワーク」の自主的な活動を支援してきた。本領域発足以降は、総括班が本格的に、この若手研究者支援を行う体制を整え、ワークショップやセミナー、若手研究者が主体となった研究支援活動などの仕組みを作り積極的に取り組んできた。

若手育成と同時に、男女共同参画という視点から、公募研究の研究代表者の女性比率を 30%とする数値目標を掲げて女性研究者の申請を奨励し、5名の女性研究者が公募研究代表者として活躍している。具体的な取り組みは以下の通りで、当初の計画以上に女性・若手育成の効果が上がっていると言える。

##### ■ 若手支援の取組

###### (1) 若手班員による研究集会の企画・運営の奨励

- ・ UK-Japan joint meeting on Plant Cell Biology (H25.7 Cambridge 大)
- ・ シンポジウム「寄生・共生インシデント」(H26.4 東大)
- ・ シンポジウム「植物の逆襲 植物の形づくりの理論モデルと実験」(H25.5 松江市)

###### (2) 若手班員の大学院教育推進プログラムへの参画

- ・ 奈良先端大が中心となり進めている植物科学グローバルトップ教育推進プログラム「細胞を創る、操る」を共催の形で支援 (H25.11)

###### (3) 合宿形式の若手研究発表会を毎年若手班員が企画運営

- ・ 本領域に参画している研究室の学生・ポスドク・助教約 100 名が自主的に企画・運営する合宿形式の研究発表会を支援し、若手研究者コミュニティづくりを後押ししている。(第 1 回 H24 年那覇、上の写真; 第 2 回 H25 年つくば市; 第 3 回 H26 年は熊本での開催を予定)
- ・ 三大学(東北/埼玉/筑波) 学生合同合宿セミナーを、毎年開き、20 名を超える学生が参加している(右写真は昨年筑波での合宿)。



##### ■ 若手班員が主体となった雑誌特集号編纂支援

- ・ 特任准教授の藤本優と特任助教の桧垣匠が中心となり、Plant cell wall integrity in plant development のテーマで、Frontiers in Plant Science の Special Issue の編集を H26 年 12 月刊行予定で進めている。

##### ■ 将来の若手研究者の育成を目指した活動

- ・ 植物細胞壁の教科書「植物細胞壁」(西谷他編著 2013) を出版した。
- ・ 高校生・大学生を対象とした講演、サイエンスカフェ、模擬授業(31 件)、植物園や未来館などでの展示・体験実験(20 件)、教育アプリやマスメディア報道(30 件)により、将来の科学者へ向けた啓発活動を行っている。

##### ■ 本領域の研究活動を通じた若手研究者のプロモーション

- ・ 右表のとおり、領域の活動を通じた女性・若手研究者の昇進が顕著である。

##### ■ 学会賞・文部科学大臣賞などの受賞状況

- ・ 領域の研究課題に関する受賞者が 39 名に上り、その 3 割以上が女性である。

職種	人数	女性
教授	1	0
講師・准教授	7	3
助教	3	1
研究員	4	2
サイエンスコミュニケーター	1	1
合計	16	7

	人数	女性
若手研究者	39	14 (36%)
シニア研究者	3	0

## 5. 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 ページ程度）

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。

### ■ 研究費の使用についての本研究領域の基本方針

本研究領域のミッションである「異分野の融合による新しい学術領域の開拓」を推進するうえで、研究領域内の研究連携は不可欠である。そのための仕組みとして、総括班に解析支援センター/支援室を設け、新規に購入する設備・装置をすべてセンター/支援室に配備し、領域内の共通利用に供すことにした。また、計画研究代表者全員とその研究分担者や連携研究者が総括班のメンバーとなり、支援センター/支援室の管理運営に参画し、共通機器を用いながら、各自の専門性に基づいて全班員に対して解析支援を行うことにした。

この仕組みは、機器の共同利用による研究費の効率的使用に資するのみならず、センター/支援室が領域のハブとなることで、領域内の共同研究を促進し、領域全体の求心力を高める上で決定的な役割を果たし、領域代表がリーダーシップを発揮しながら、領域を運営するうえで大きな効果を産むことが、共同研究の成果などから窺える。

解析支援センター/支援室の担当者（設置機関）、支援項目、新規に購入した機材とその価格、解析支援を行っている領域内の研究テーマおよびその研究代表者の研究項目を下記の表に纏める。

本領域の解析センター/支援室のもう一つ特筆すべき特徴は、器材やセンター/支援室を敢えて、11 研究室に分散させ、領域代表の所属する研究室に機器類を集中させない方針を取ったことである。その結果、総括班の全メンバーが、その専門に基づいて支援項目を決め、それに必要な器材を自身の研究室に設置し、それを用いて自身の研究室で支援活動を行う体制ができた。その結果、15 名の総括班のメンバーがそれぞれ 3 件前後の研究テーマについて、支援活動を行い、全体で 45 件のテーマについて支援活動をオンデマンドで行うことが可能となった。

	支援担当者 (設置機関)	支援項目	主要機器（ $\uparrow$ 新規購入機器，* 既設機器の活用による）	購入経費	支援 テーマ数
解析 支援 センター	西谷・横山 (東北大学)	細胞壁糖鎖解析 免疫組織学解析	$\uparrow$ レーザーマイクロダイセクション(Zeiss PALM MicroBeam) * 糖質分析器 (Dionex ICS-5000) * バイプラトーム(Leica VT120s)	16,065,000円 既設機器活用 既設機器活用	A01:3 A02:3 A03:3
	山口 (東北大学)	植物ホルモン定量 質量分析	$\uparrow$ ガスクロマトグラフ質量分析計 (島津 GCMS-TQ8030) * 液体クロマトグラフ質量分析計 (AB SCIEX Triple TOF 5600)	14,689,500円 既設機器活用	A02:1 A03:1
	佐藤 (筑波大学)	細胞壁の機能解析 成分分析	$\uparrow$ 屋外設置型栽培室 (植物栽培用クリーンルームユニット)	6,037,500円	A01:1 A02:1 A03:2
	円谷 (埼玉大学)	糖質関連酵素解析	$\uparrow$ 高速液体クロマトグラフ (島津 Prominence UFL)	8,000,000円	A02:1 A03:2
オミクス 支援 室	出村・倉田 (奈良先端大学)	オミクス解析	$\uparrow$ 次世代シーケンサーデータ解析システム * 次世代シーケンサー (Illumina GAI)	8,079,750円 既設機器活用	A01:1 A02:4 A03:2
	橋本 (奈良先端大学)	細胞骨格の生化学	* 共焦点レーザー顕微鏡 * 高速冷却遠心機	既設機器活用 既設機器活用	A01:3
	大林 (東北大学)	データベース構築 と発信	$\uparrow$ ファイルサーバー (HPC-ProFS)	16,800,000円	47万件 (10ヶ月)
イメー ジ ン グ 支 援 室	馳澤・桧垣 (東京大学)	画像の データマイニング	$\uparrow$ オリパス全反射蛍光顕微鏡システム	16,800,000円	A01:1 A02:3 A03:2
	上田 (東京大学)	高精細観察	$\uparrow$ 共焦点レーザー顕微鏡 (Zeiss LSM780)	38,000,000円	A01:3 A02:1 A03:2
	五十嵐 (東京大学)	単分子観察	$\uparrow$ 等温滴定カロリーメータ (MicroCal VP-ITC) * 全反射蛍光顕微鏡 * 高速原子間力顕微鏡	14,175,000円 既設機器活用 既設機器活用	A01:1 A02:1
	澤 (熊本大学)	生物間相互作用の 可視化	$\uparrow$ 自動密閉式ティッシュプロセッサ (Intavis Pro Vsi) $\uparrow$ スマートティッシュプロセッサ (ライカASP300S) $\uparrow$ リアルタイム RT-PCR (ロシュ light cycler 480)	11,592,000円 4,901,400円 既設機器活用	A01:1 A03:2

■ 広報活動の重要性に鑑み、HP、アウトリーチ活動、教育アプリケーションにも応分の予算を使用した。

## 6. 総括班評価者による評価（2ページ程度）

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。

### 東京大学・教授 福田裕穂

本領域では、すべての班員が互いに研究テーマを部分的に共有しながら有機的な研究ネットワークを作り、空間構築、機能発現、インターフェイス機能の研究を行ってきた。この間、領域代表者の強いリーダーシップのもとに、すでにプロジェクトの半ばにおいて優れた研究成果をあげていることは注目に値する。領域の取り組みの中では、異分野融合こそが本領域の発展の鍵であるという領域代表の意志に沿って、領域内で160件の共同研究が実施され、すでに21本もの論文として公表されていることは高く評価して良い。解析支援センター/支援室による支援体制の強化、領域代表自らが全研究代表者（25研究室）を巡回し、研究アドバイスと共同研究の橋渡しを行うといった共同研究に対する戦略的な取り組みが実を結んだものと思われる。また、アウトリーチ活動も、独自に教育素材を開発し、未来館や東北大植物園などで長期巡回型イベントを実施し、多数の参加者への発信を続けていることは高く評価したい。

### 基礎生物学研究所・名誉教授 西村幹夫

この新学術領域は植物細胞の特徴ある植物細胞壁を、植物情報処理システムの中核と捉え、異分野連携を積極的に進めることにより細胞壁の新たな機能を明らかにしようとする意欲的な研究である。そのため、班全体に本領域の目的及び位置付けを明確にすること及び、班内共同研究によって本領域研究の推進を図ることが重要である。領域代表が研究開始時に全研究代表者の研究室訪問（サイトビジット）を実施し、領域の目的を明確にするとともに、各研究代表者の研究手段、研究環境を理解し、他研究班員との共同研究を積極的に支援したことは、領域の立ち上げに大きな成果をあげている。事実、すでに2年間で40編をこえる共同研究が発表されており、その中にScience, Plant Cell等の一流誌が含まれていることも指摘しておきたい。この2年間で確立した基盤をもとに、今後の2年間で細胞壁の新たな役割の解明を大きく期待できる状況である。

### 東京大学・教授 鮫島正浩

「情報処理システム」という新たな視点に立って「植物細胞壁」を捉えることで新学術領域の確立に向けて、西谷領域代表のもと、気鋭の中堅研究者を中心とした組織を形成して着実に研究を推進している。その中で、各研究者が最先端の実験手法を積極的に導入することで研究の新展開を図り、成果としてインパクトファクターの高い多くの学術論文を公表しており、我が国の「植物細胞壁」研究分野の国際的地位の向上に大きく貢献している。これを総括班が取りまとめることにより「植物細胞壁の情報処理システム」という新学術領域の形成を加速している。また、優秀な女性研究者を公募班員として多く登用し、ダイバーシティに対しても積極的に取り組んでいる。さらに、社会への情報発信の重要性を認識し、アウトリーチ活動にも注力し、その研究成果を広く一般に認識させようとしている。以上に基づき、私は本学術領域の活動と成果を高く評価している。



### 基礎生物学研究所・教授 長谷部光泰

本領域は異分野ながら同じ興味を持った研究者を結集し、新しい学術分野を開拓するために、総括班内に計画研究代表者が分担して、それぞれが得意とする生化学的解析、オミクス、そしてイメージングの支援室を運営する仕組みが適確に運営されている。また、仕組みを効率的に運営するため、西谷領域代表が全領域を回って自らコーディネートするという強烈なリーダーシップが功を奏している。その結果、2年足らずの間に45件の共同研究が発表されており、さらに進行中の200件以上の共同研究の進展が期待できる。後半に向けて、領域代表より「素要素群の機能の統合が情報処理機能を生み出し、植物独自の高次機能を発揮するメカニズム」を解明するという明確な目標設定がされており、分野融合による新たなコンセプトの提唱が多いに期待できる。一部メンバー変更があったが、公募により十分な補強がされており問題無い。

### 龍谷大学・教授 岡田清孝

本領域研究は、従来研究上の接点を持つことが少なかった若手研究者を糾合して発足し、既に注目すべき顕著な研究成果を得ている。本領域の運営上の各種の工夫がこのような順調なスタートダッシュをもたらしたと思われる。高額機器を備えた解析センターと支援室を設置し、共同研究のネットワークを明瞭な形で示したこと、女性・若手研究者の参加について数値目標を定めたこと、サイエンスコミュニケーターの専門家を招聘して長期巡回型イベントを実施したこと、データベースの発信に努力していること、植物外の研究者が集まる学会で成果を発表したことなどが研究者の自覚と協力意識を高めたと思われる。特に、領域代表と幹事が研究代表者全員の研究室を実地に訪問し研究状況や問題点を聴取・助言していることや不採択となった公募課題の中で望ましいものについて情報共有や共同研究を模索していることは、本研究の推進を図る独自の活動として高く評価できる。

## 7. 主な研究成果（発明及び特許を含む）[研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理する]

（3 ページ程度）

現在実施している新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（発明及び特許を含む）について、現在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毎に計画研究・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。

### ■ 研究領域として設定した研究の対象に照らして、どのような研究成果が出たか

(1) 新興・融合の学問領域創成：本新学術領域ではすでに、「植物細胞壁の情報処理」という新興・融合学問領域の創成に繋がる成果が出つつある。例えば、植物ホルモンであるストリゴラクトンの動態が細胞壁機能により制御されている可能性が示唆された（山口A03, PNAS 2014）。さらに、澤A03/西谷A02/小竹A02は、細胞壁が植物と生物のインターフェイスとして機能するという概念のもとで、ネコブセンシュウの植物への寄生現象が、センチュウによる植物細胞壁由来の誘因物質の感知により始まることを明らかにした。

(2) 異分野の研究者間の共同研究：これまでに、領域内で160件の共同研究を立ち上げ、45件の成果を発表している（論文+学会発表）。特に、異なる研究項目間での共同研究で質の高い成果がでている。馳澤A02/笹部A01によるフラグモプラスト形成に関する研究（Nature Commun. 2013a）；出村A01/大谷A02による陸上植物での二次細胞壁形成の転写ネットワークに関する研究（Science 2014）；佐藤A02/澤A03/山口A03によるペプチドホルモンのアポプラストを通じた新規の機能に関する研究（Plant J. 2014）；佐藤A02/山口A03によるアポプラストの鉄の取り込み関連遺伝子の発現制御に関する研究（Plant Cell Physiol. 2014）。

(3) 新たな視点や手法による共同研究：本領域では総括班に解析支援センターおよび支援室を設け、共同研究の推進を図ってきた。西谷・横山A02は細胞壁の組織学的、生化学的分析の研究手法の開発を進め、上田A01らと *vps9a-2* 変異体でのペクチンの局在を明らかにした。また、出村・倉田A01は次世代シーケンサーの解析システムを立ち上げ、三輪A02と低ホウ素非感受性シロイヌナズナ変異体の原因遺伝子の同定し、澤A03と線虫感染シグナルにおけるMSP7を介した分子機構の一端を明らかにした。さらに、馳澤・桧垣A02はイメージングやシミュレーションで領域内の共同研究ネットワークのハブとなり、橋本A01と高浸透圧ストレスによるPHS1の活性化と微小管動態を明らかにする（Curr. Biol. 2013）など、多数の共同研究の成果を挙げている。また、この解析支援センター及び支援室を、より効果的に活用するために、研究代表者が、全計画班員・公募班員へのサイトビジットを行い、領域全体を俯瞰し、領域の方向性を考慮して、共同研究のマッチングと研究アドバイスをを行う事で、有機的な共同研究の推進を図っている。

(4) 他の研究領域への波及効果：新しい研究領域を切り拓く過程で、他分野領域との交流が進んでいる。化学分野では「Molecular Chirality in Biology and Chemistry (奈良先端大)」, 「INTERNATIONAL SYMPOSIUM FOR ISMCBC (熊本大学)」, 動物分野では「植物の逆襲 植物の形づくりの理論モデルと実験 (発生生物学会大会)」, 「New Era of Developmental Biology on Plants (発生生物学会大会)」, 等のシンポジウムを共催したことに加えて、日本農芸化学会と和文学会誌「化学と生物」に本新学術領域のコンセプトが連載されるなど、「植物細胞壁の情報処理」という新しい概念が他の研究領域に浸透しつつある。

### 研究項目 A01 の成果の概要

研究項目 A01 では、植物の細胞外の情報処理空間である細胞壁の構築と再編に関わる分子過程として、(1) 陸上植物に普遍的な細胞壁構築プログラム、(2) 細胞壁構築と維持における膜交通の役割、(3) 表層微小管の構築と再編の制御、についての研究を進めた。

### ■ 計画研究課題毎の研究成果

【出村】二次細胞壁形成のマスター因子 VND7 のリン酸化部位を特定し、このリン酸化に MAP キナーゼが関わることを見出した。また、BY-2 培養細胞におけるプロテオームとメタボロームの解析系を確立した。



さらに、一次細胞壁形成に関与する新規の転写因子として4つの **AtERF** 遺伝子を同定した。プロトプラストからの一次細胞壁再生の実験系を確立し、トランスクリプトーム解析の結果をもとにした逆遺伝学的解析から、一次細胞壁の再生に **KORRIGAN2** が関与することを突き止めた。また、ヒメツリガネゴケとシロイヌナズナの間で二次細胞壁形成の転写ネットワークが高度に保存されていることを明らかにした (**Science 2014**)。

**【上田】**セルロース合成酵素 (CESA) 複合体がダイナミン依存的なエンドサイトーシスにより細胞内へと取り込まれること、ならびに、エンドサイトーシスされた CESA 複合体が *trans*-Golgi/TGN から細胞膜へとリサイクルされる過程で、PI3P が必須の役割を担っていることを突き止めた。さらに、浸透圧の低下が CESA のエンドサイトーシスを促進するとともに、細胞膜上のタンパク質の凝集を引き起こすことを見いだした。また、エンドサイトーシス経路と液胞輸送経路に異常を持つ *vps9a-2* 変異体 (**Curr. Biol. 2014**) において、ペクチンの異常な配置と蓄積や細胞壁関連因子の細胞外への輸送の特異的な増減が起こることを佐藤 (A02)、西谷 (A02)、出村、大谷 (A02) との共同研究により見だしつつある。

**【橋本】**高浸透圧ストレスによって一過的に引き起こされる表層微小管の脱重合が、PHS1 の活性化による  $\alpha$  チューブリンのトレオニン (Thr) 349 残基に特異的にリン酸化を介して引き起こされることを松永・中神 (A01) ならびに馳澤・朽名 (A02) との共同研究により明らかにした (**Curr. Biol. 2013**)。また、活性化型 PHS1 が植物細胞のみならず動物細胞のチューブリンを重合不能型に修飾することを見だし、活性化型 PHS1 が細胞特異的に微小管を脱重合させるためのツールとして有用である可能性を示した。

**■ 公募研究課題毎の研究成果**

**【角五】** フォトリソグラフィ技術により作成した細胞様の微小なチャンバー内で、PDMS 基板に固定した生体分子モーター「キネシン」とタキソールで安定化した微小管を用いて、微小管の並進運動を発現させる実験系を橋本との共同研究で確立し、この系に伸縮刺激を与えることで、微小管が刺激の方向に対して垂直方向に配向することを明らかにした。

**【笹部】** 細胞板形成の制御に関して、MAP キナーゼの活性化因子である NACK1 キネシン様タンパク質と細胞板形成に関わる因子や膜小胞の細胞板形成部位への輸送過程を馳澤・桧垣 (A02) との共同研究によるライブイメージング解析で可視化することに成功した。

**【小田】** 微小管付随タンパク質 MIDD1 の相互作用因子として同定された AtKinesin-13A が ROP GTPase である ROP11 の活性化による MIDD1 のリクルートを介して、表層微小管の脱重合を促進することで後生木部道管の壁孔形成を制御することを明らかにした (**Plant Cell 2013**)。

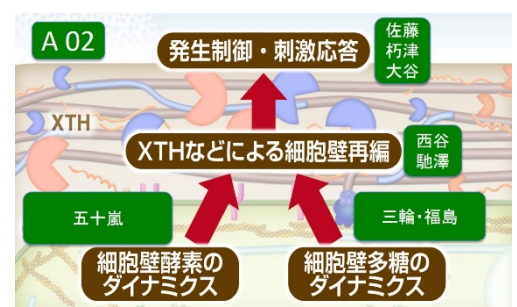
**【藤原】** カルシウムと細胞壁の相互関係に着目した解析から、カロース合成酵素の一つ GSL10 の欠損がカルシウム欠乏感受性を引き起こすこと、ならびに、カルシウム欠乏感受性の変異株のカスパリー線に形態異常があることを明らかにした。

**【石崎】** ゼニゴケと被子植物で外部光環境に応答した成長相転換制御の仕組みが保存されていることを明らかにした (**Nature Commun. 2014**)。また、ゼニゴケの離生細胞間隙形成を E3 ユビキチンリガーゼ NOP1 が制御することを明らかにし (**Plant Cell 2013**)。

**【松永】** 植物の  $\alpha$  型オーロラキナーゼ AtAUR の変異体が細胞壁パターン異常を示すことから、 $\alpha$  型 AtAUR によりリン酸化されるタンパク質の探索を行い、クロマチン相互作用因子やセルロース合成酵素、微小管関連因子などの細胞骨格の形成に関わる因子を候補として同定した。さらに  $\alpha$  型 AtAUR と結合するタンパク質のインタラクトーム解析を行った。

**研究項目 A02 の成果の概要**

研究項目 A02 は細胞壁と細胞膜の近傍での自律的反応そのものに着目し、(1) 細胞壁酵素および制御因子の機能説明、(2) 細胞壁マトリックス多糖や糖タンパク質の機能説明、(3) 細胞骨格を介した植物細胞壁動態の可視化とモデル化による理解、(4)





細胞壁中での分子間相互作用の解明を目指して研究を進めた。

### ■ 計画研究課題毎の研究成果

【西谷】細胞壁の高次構造の修飾・再編過程を触媒するキラー酵素の1つ PME が一次細胞壁のペクチンの脱メチルエステル化を通して、維管束植物茎の支持機能の調節や孔辺細胞の開閉機能発現に必須の役割を担うことを初めて実証した (Plant Cell 2012, Curr. Biol. 2013)。もう一つの細胞壁再編酵素である XTH ファミリーの機能多様性を生化学的に解析する方法を五十嵐 (A02) との共同研究で確立した。生物刺激に応答した細胞壁の情報処理機能のモデル系として、ネナシカズラ属 (*Cuscuta*) 植物の茎寄生過程の解析に着目し、接触刺激応答、異種間の維管束組織融合メカニズムなどを解析する方法を確立する目処が立った。

【佐藤】澤 (A03)、山口 (A03) との共同研究で、器官間相互作用における CLE6 の働きを明らかにした (Plant J. 2014)。また、細胞壁成分である Ca や Si、様々なマトリックス多糖類ドメインについて、生殖過程や果実成熟、器官脱離における機能と動態を明らかにした。傷害後の組織癒合過程に XTH の働きが必須であることを西谷 (A02) との共同研究で解明した。さらに、細胞壁プロテオグリカンである AGP 糖鎖の生理機能を特異的に阻害するヤリフ試薬の標的構造を明らかにし、AGP 糖鎖解析への道を拓いた。

【馳澤】微小管動態の定量的画像解析手法を橋本 (A01) (Curr. Biol. 2013)、笹部 (A01) との共同研究 (Nature Commun. 2013a) により確立した。細胞輪郭画像より細胞間信号伝達をシミュレートする実験系や、葉の表皮細胞の湾曲形成を理解するための力学モデルおよび界面方程式モデルを検討した。更に、膜輸送因子 PATROL1 が細胞間イオン輸送を介して気孔開閉を制御することも実証した (Nature Commun. 2013b)。

【五十嵐】植物細胞壁の骨格となる結晶性セルロースをセルラーゼが分解する過程をモデル実験系として、細胞壁高次構造と酵素分子との分子間相互作用を動的、且つ鳥瞰的に可視化する手法を確立した。また、XTH に代表される糖鎖をもつ分泌性の細胞壁タンパク質の生化学的な機能解析を行うために、メタノール資化性酵母 (*Pichia pastoris*) を用いた大量発現系を整備し、西谷 (A02) との共同研究を開始した。

### ■ 公募研究課題毎の研究成果

【三輪】植物の成長に必須のホウ素が、ペクチンの RG-II ドメイン間を架橋する点に着目し、ホウ素-RG-II 架橋の低下が、ホウ素欠乏を知らせる「情報」として働くとする仮説を立て、それを実証するために「低ホウ素非感受性シロイヌナズナ」の探索を行い、仮説を支持する複数の変異体の単離に成功した。

【福島】水溶性の低分子化合物の組織内分布を解析するための凍結-顕微二次イオン質量分析/走査電子顕微鏡システムを開発し、これを用いて、二次細胞壁形成に関わるリグニン代謝中間物質の組織内分布の解析法を確立した。この方法を応用した細胞壁成分の動態解析を、西谷との共同研究により開始しつつある。

【朽津】Rboh/Nox ファミリーが  $Ca^{2+}$  と結合し、リン酸化されることにより活性酸素種 (ROS) 生成活性を持ち、 $Ca^{2+}$  センサーとして  $Ca^{2+}$  シグナルを ROS に変換し、シロイヌナズナの花粉管成長を制御することにより、細胞壁/細胞表層での情報処理を担っていることを金岡 (A03) との共同研究により明らかにした。

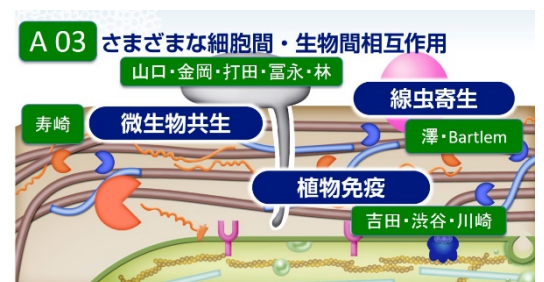
【大谷】シロイヌナズナ胚軸の脱分化系を用いて、脱分化過程で発現する細胞壁関連因子の逆遺伝学的解析を進め、胚軸脱分化の鍵となる細胞壁再構築因子を複数単離した (Plant Cell 2013)。これらの因子の機能解析を上田 (A01)、佐藤 (A02)、西谷 (A02) との共同研究で進めている。

### 研究項目 A03 の成果の概要

研究項目 A01, 02 が細胞壁空間内の素過程に焦点を当てるのに対して、研究項目 A03 では細胞間または生物間の相互作用、すなわちインターフェイスとしての機能に焦点を当て、高次現象の基盤となる分子実体の解明を進めた。

### ■ 計画研究課題毎の研究成果

【澤】細胞壁を通じて線虫が植物細胞に感染する際に機能するエフェクターとして MSP7 を同定し、植物の B3 転写因子がターゲットであること、また、その下流因子を RNA-seq により解析した結果 (出村・倉



田 A01 との共同研究), B3 は, 防御応答に寄与することが明らかとなった。また, 別のエフェクターとして線虫の CLE 遺伝子を単離し, エンドサイクルに関与することを明らかにした。さらに, アポプラスト領域を通じて機能する線虫誘引物質として, 細胞壁成分が示唆され, 線虫-植物相互作用に関わる細胞壁のインターフェイスとしての新たな機能を示唆した (佐藤・小竹 A02, 西谷 A02 との共同研究)。

【山口】ストリゴラクトンの中間産物としてカーラクトンを同定した (PNAS 2014)。また, 根で合成されたカーラクトンが地上部に輸送され, ストリゴラクトンに変換することを示唆し, ストリゴラクトンの細胞内での濃度をモニターするセンサーの開発に利用可能なストリゴラクトン結合タンパク質を単離した。

#### ■ 公募研究課題毎の研究成果

【金岡】アポプラストで機能する, トレニアの長距離花粉誘引因子, CALL1 を同定した。また, 朽津 (A02) との共同研究により, 花粉管伸長には ROS の生産が必要で, AtRbohH と AtRbohJ の二つの酵素が協調して機能することが明らかとなった (Plant Cell 2014)。

【打田】葉の鋸歯の成長に必要な, 細胞壁空間で機能するリガンド・受容体ペアとしてそれぞれ EPFL 遺伝子と ER ファミリー遺伝子を同定した。このリガンドが鋸歯の基部で, 一方の受容体が鋸歯の先端部でそれぞれ働くことが鋸歯の成長には重要であり, 新しい細胞壁空間を介したコミュニケーションが提唱できた。

【富永】細胞壁関連酵素の CESA5 や XTH17 は GL2 転写因子の下流で機能する (西谷 A02 との共同研究)。GL2 の下流で機能しうる, さらなる細胞壁関連酵素を探索し, XTH2, 12, 14, 26, AtGH9C1, PLL17 を候補として単離した。

【渋谷】細胞壁空間でキチンオリゴ糖を CEBiP が認識する仕組みを明らかにした (Plant Mol. Biol. 2013, PNAS 2014)。また, 川崎との共同研究で PBL27 が CERK1 の下流で機能し, 病害抵抗性に機能する事を明らかにした (Plant J. 2014)。

【川崎】細胞壁空間での病害抵抗性シグナルにおいて, 渋谷との共同研究でリガンドのキチンオリゴ糖を CERK1 が認識し, PBL27 を利用して MAPKKK をリン酸化すること (Plant J. 2014), また, その MAPK シグナル伝達系を活性化することを, 生化学的, 遺伝学的に明らかにした (Cell Host Microbe 2013)。

【林】オーキシンの細胞壁側の受容体の一つである ABP1 の特異的プローブを化学合成し, ABP1 シグナルを特異的に調節可能であることを示した。また, このプローブを利用し耐性変異体を単離した。今後, 澤, 出村・倉田 (A01) らと原因遺伝子の単離を行い, ABP1 の分子解剖を行う。

【寿崎】根粒形成時において, 根粒菌が植物の細胞壁と相互作用し, その下流で VAG1 が植物細胞の核内倍加を調節し, 根粒菌の感染をサポートしていること, 根粒形成に寄与していること示し, 根粒形成, 感染糸形成の分子解剖を行った (Development 2014, Plant Physiol. 2014)。

【吉田】寄生植物感染時の病原体におけるトランスクリプトーム解析を行い, 細胞壁分解酵素, タンパク質分解酵素群が顕著に発現誘導されていることを明らかにした。また, ヒエリンボディが感染時にエフェクターを細胞壁空間に放出することを示唆した。

【Bartlem】ミヤコグサを用いて, 細胞壁空間を利用して感染するキタネコブセンチュウの感染効率が低下する突然変異体の解析から, 感染成立への経路の一端を明らかにした。また, 澤らと, サツマイモネコブセンチュウのエフェクタータンパク質のプロテオームにより多くの候補タンパク質を得た。



## 8. 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 ページ程度）

現在実施している新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（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。論文の場合，現在から順に発表年次をさかのぼり，計画研究・公募研究毎に順に記載し，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。また，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。

本領域の A01～A03 の三つの研究項目の計画研究課題 9 件と公募研究課題 19 件による研究の成果，およびその発信の場である研究集会の企画・開催状況を以下の表に纏める。

本領域研究で特に重視した共同研究と研究成果の発信は領域発足時に計画した数値目標を大きく上回った。

発足時の前半二年間の目標		成果の公表状況概要（H26年6月現在実績）		研究集会の開催実績 件数	
領域内共同研究数	100	領域内共同研究件数	160	シンポジウム（国際）	5
原著論文 総数	100	原著論文 総数	265 (%)	シンポジウム（国内）	14
H24年10月1日開催の第二回総括班会議資料による。		原著論文 IF10以上の論文数と比率	24 9.1	ワークショップ（国際）	3
		原著論文 IF 9以上の論文数と比率	48 18.1	ワークショップ（国内）	5
		原著論文 IF 4以上の論文数と比率	156 58.9	領域主催セミナー開催	51
		原著論文 IF 2以上の論文数と比率	212 80.0		
		共同研究の成果による論文出版件数	21		
		雑誌表紙掲載	6		
		英文書籍（Chapter）（出版件数）	21		
		和文書籍（雑誌を含む）（出版件数）	47		
		英文プロトコル公開（online 出版数）	11		
		特許（出願件数）	1		
		招待講演（総数）	140		
		招待講演（海外）	31		
		雑誌特集号 招待エディター	5		
		ホームページ 10ヶ月間のアクセス数	84236		
	データベース 10ヶ月間のアクセス数	47万			

### (1) 計画研究

【A01 出村班】（出村拓，倉田哲也，山口雅利，米田新）

論文 24 本，著書 2 本，アウトリーチ 5 件，報道 4 件

Xu, B., \*Ohtani, M., Yamaguchi, M., Toyooka, K., Wakazaki, M., Sato, M., Kubo, M., Hiwatashi, Y., Murata, T., Kurata, T., Yoneda, A., Kato, K., Hasebe, M., \*Demura, T. Contribution of NAC transcription factors to plant adaptation to land. *Science* 343: 1505-1508 (2014)

\*Naramoto, S., Nodzyński, T., Dainobu, Y., Takatsuka, H., Okada, T., Friml, J., Fukuda, H. VAN4 encodes a putative TRS120 that is required for normal cell growth and vein development in *Arabidopsis*. *Plant Cell Physiol.* 55: 750-763 (2014)

\*Ohtani, M., Demura, T., Sugiyama, M. Arabidopsis ROOT INITIATION DEFECTIVE 1, a DEAH-box RNA helicase involved in pre-mRNA splicing, is essential for plant development. *Plant Cell* 25: 2056-2069 (2013)

\*Goué, N., Mortimer, J. C., Nakano, Y., Zhang, Z., Josserand, M., \*Ohtani, M., Paul, D., Kakegawa, K., Demura, T. Secondary cell wall characterization in a BY-2 inductive system. *Plant Cell Tiss. Org.* 115: 223-232 (2013)

\*Kubo, M., Imai, A., Nishiyama, T., Ishikawa, M., Sato, Y., Kurata, T., Hiwatashi, Y., Reski, R., \*Hasebe, M. System for stable  $\beta$ -estradiol-inducible gene expression in the moss *Physcomitrella patens*. *PLoS ONE* 8: e77356 (2013)

NHK テレビおはよう関西（H26年3月21日放映），日刊工業新聞・奈良新聞・日経産業新聞他でプレスリリース「自己細胞死を促すシステムの獲得が植物陸上化の鍵を握っていた！」に関する報道。読売新聞コラム・ワク★ドキ先端科学に「二次細胞壁 植物の支柱」掲載（H26年5月9日）

【A01 上田班】（上田貴志，植村知博，海老根一生，藤本優）

論文 35 本，著書 6 本，アウトリーチ 5 件，授賞 3 件（植村：日本植物学会奨励賞他）

Ebine, K., Inoue, T., Ito, J., Ito, E., Uemura, T., Goh, T., Abe, A., Sato, K., Nakano, A., \*Ueda, T. Plant vacuolar trafficking occurs through distinctly regulated pathways. *Curr. Biol.* in press (2014)

Nakamura, H., Xue, Y., Miyakawa, T., Hou, F., Qin, H., Fukui, K., Shi, X., Ito, E., Park, S., Miyauchi, Y., Asano, A., Totsuka, N., Ueda, T., Tanokura, M., \*Asami, T. Molecular mechanism of strigolactone perception by DWARF14. *Nature Commun.* 4: 2613 (2013) doi: 10.1038/ncomms3613

Choi, S., Tamaki, T., Ebine, K., Uemura, T., \*Ueda, T., Nakano, A. RABA members act in distinct steps of subcellular trafficking of the FLAGELLIN SENSING 2 receptor. *Plant Cell* 25: 1174-1187 (2013) doi: http://dx.doi.org/10.1105/tpc.112.108803

Nielsen, M. E., Feechan, A., Böhlenius, H., Ueda, T., \*Christensen, H.T. The Arabidopsis ARF-GEF, GNOM, mediates transport required for innate immunity and focal accumulation of PEN1. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 109: 11443-11448 (2012) DOI:

10.1073/pnas.1117596109

- \*Uemura, T., Kim, H., Saito, C., Ebine, K., Ueda, T., Schulze-Lefert, P., and Nakano, A. Qa-SNAREs localised to the trans-Golgi network regulate multiple transport pathways and extracellular disease resistance in plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 109: 1784-1789 (2012) DOI: 10.1073/pnas.1115146109  
一般に向けた東京大学での公開シンポジウム「タンパク質の細胞内交通整理」で、「植物の膜交通：分子機構と高次機能、そして進化」について講演  
【A01 橋本班】(橋本隆, 加藤壮英)  
論文7本, 報道5件, 授賞1件(橋本: 日本植物細胞分子生物学会 学術賞)  
Fujita, S., Pytela, J., Hotta, T., Kato, T., Hamada, T., Akamatsu, R., Ishida, Y., Kutsuna, N., Hasezawa, S., Nomura, Y., Nakagami, H., \*Hashimoto, T. An atypical tubulin kinase mediates stress-induced microtubule depolymerization in Arabidopsis. *Curr. Biol.* 23: 1969-1978 (2013)  
\*Hashimoto, T. A ring for all:  $\gamma$ -tubulin-containing nucleation complexes in acentrosomal plant microtubule arrays. *Curr. Opin. Plant Biol.* 16: 698-703 (2013)  
Hamada, T., Nagasaki-Takeuchi, N., Kato, T., Fujiwara, M., Sonobe, S., Fukao, Y., \*Hashimoto, T. Purification and characterization of novel microtubule-associated proteins from Arabidopsis cell suspension cultures. *Plant Physiol.* 163: 1804-1816 (2013)  
Nakamura, M., Yagi, N., Kato, T., Fujita, S., Kawashima, N., Ehrhardt, D.W., \*Hashimoto, T. Arabidopsis GCP3-INTERACTING PROTEIN 1/MOZART1 is an integral component of the  $\gamma$ -tubulin-containing microtubule nucleating complex. *Plant J.* 71: 216-225 (2012)  
\*Hamada, T., Tominaga, M., Fukaya, T., Nakamura, M., Nakano, A., Watanabe, Y., Hashimoto, T., Baskin, T. RNA processing bodies, peroxisomes, Golgi bodies, mitochondria, and ER tubule junctions frequently pause at cortical microtubules. *Plant Cell Physiol.* 53: 699-708 (2012)  
産経ニュース, 科学新聞, 化学工業日報, 奈良新聞の各紙で「ストレス即応, 植物細胞の仕組み解明」に関して報道 (H25年10月11日), 読売新聞に「植物 環境悪化生き抜く知恵」に関するコラム掲載 (H26年2月10日)  
【A02 西谷班】(西谷和彦, 大林武, 工藤光子, 横山隆亮)  
論文15本, 著書6本, アウトリーチ6件, 報道2件, 授賞4件(大林: 日本植物生理学会奨励賞他)  
\*Obayashi, T., Okamura, Y., Ito, S., Tadaka, S., Aoki, Y., Shirota, M., Kinoshita, K. ATTED-II in 2014: Evaluation of Gene Coexpression in Agriculturally Important Plants. *Plant Cell Physiol.* 55: e6 (2014)  
Negi, J., Moriwaki, K., Konishi, M., Yokoyama, R., Nakano, T., Kusumi, K., Matsuda, O., Hashimoto-Sugimoto, M., Schroeder, J.I., Nishitani, K., Yanagisawa, S., \*Iba, K. A Dof transcription factor, SCAP1, is essential for the development of functional stomata in Arabidopsis. *Curr. Biol.* 23: 479-484 (2013)  
Obayashi, T., Okamura, Y., Ito, S., Tadaka, S., Motoike, I.N., \*Kinoshita, K. COXPRESdb: a database of comparative gene coexpression networks of eleven species for mammals. *Nucleic Acids Res.* 41: 1014-20 (2013)  
Kunieda, T., Shimada, T., Kondo, M., Nishimura, M., Nishitani, K., \*Hara-Nishimura, I. Spatiotemporal secretion of PEROXIDASE36 is required for seed coat mucilage extrusion in Arabidopsis thaliana. *Plant Cell* 25: 1355-1367 (2013)  
Hongo, S., Sato, K., Yokoyama, R., \*Nishitani, K. Demethylesterification of the primary wall by PECTIN METHYLESTERASE35 provides mechanical support to the Arabidopsis stem. *Plant Cell* 24: 2624-2634 (2012)  
\*西谷和彦, 梅澤俊明 (編著)「植物細胞壁」講談社サイエンティフィック(2013)  
「植物細胞壁のミクロの世界」の巡回展をH26年4月25日より各大学植物園や日本科学未来館で開催 (予定)  
一般向け, 研究者向け, 英文の三種のコンテンツのホームページ製作・運営 <https://www.plantcellwall.jp/>  
【A02 佐藤班】(佐藤忍, 岩井宏暁, 円谷陽一, 小竹敬久)  
論文16本, 著書3本, アウトリーチ4件, 報道4件  
Bidadi, H., Matsuoka, K., Sage-Ono, K., Fukushima, J., Pitaksaringkarn, W., Asahina, M., Yamaguchi, S., Sawa, S., Fukuda, H., Matsubayashi, Y., Ono, M., \*Satoh, S. CLE6 expression recovers gibberellin deficiency to promote shoot growth in Arabidopsis. *Plant J.* 78: 241-252 (2014)  
Takizawa, A., Hyodo, H., Wada, K., Ishii, T., Satoh, S., \*Iwai, H. Regulatory specialization of xyloglucan and glucuronoarabinoxylan in pericarp cell walls during fruit ripening in tomato (*Solanum lycopersicum*). *PLoS One* 9: e89871 (2014)  
Kitazawa, K., Tryfona, T., Yoshimi, Y., Hayashi, Y., Kawauchi, S., Antonov, L., Tanaka, H., Takahashi, T., Kaneko, S., Dupree, P., Tsumuraya, Y., \*Kotake, T. Beta-galactosyl Yariv reagent binds to the beta-1,3-galactan of arabinogalactan-proteins. *Plant Physiol.* 161: 1117-1126 (2013)  
Hyodo, H., Terao, A., Furukawa, J., Sakamoto, N., Yurimoto, H., Satoh, S., \*Iwai, H. Tissue specific localization of pectin-Ca<sup>2+</sup> cross-linkages and pectin methyl-esterification during fruit ripening in tomato (*Solanum lycopersicum*). *PLoS One* 8: e78949 (2013)  
Tryfona, T., Liang, H.-C., Kotake, T., Tsumuraya, Y., Stephens, E., \*Dupree, P. Structural characterisation of Arabidopsis leaf arabinogalactan polysaccharides. *Plant Physiol.* 160: 653-666 (2012)  
一般向けイベント「筑波大学みどり散歩」で「ヘチマ水って? : 植物の根と導管液」を国際植物の日に開催  
【A02 馳澤班】(馳澤盛一郎, 朽名夏磨, 桧垣匠)  
論文17本, 著書6本, アウトリーチ2件, 報道3件, 授賞1件(桧垣: 日本バイオイメージング学会奨励賞)  
\*Higaki, T., Hashimoto-Sugimoto, M., Akita, K., Iba, K., Hasezawa, S. Dynamics and environmental responses of PATROL1 in Arabidopsis subsidiary cells. *Plant Cell Physiol.* 55: 773-80 (2014)  
\*Murata, T., Sano, T., Sasabe, M., Nonaka, S., Higashiyama, T., Hasezawa, S., Machida, Y., Hasebe, M. Mechanism of

microtubule array expansion in the cytokinetic phragmoplast. *Nature Commun.* 4: 1967 (2013a)

Hashimoto-Sugimoto, M., Higaki, T., Yaeno, T., Nagami, N., Irie, M., Fujimi, M., Miyamoto, M., Akita, K., Negi, J., Shirasu, K., Hasezawa, S., \*Iba, K. A Munc13-like protein in Arabidopsis mediates H<sup>+</sup>-ATPase translocation that is essential for stomatal responses. *Nature Commun.* 4: 2215 (2013b)

Akita, K., Hasezawa, S., \*Higaki, T. Breaking of the plant stomatal one-cell-spacing rule by sugar solution immersion. *PLoS One* 8: e72456 (2013)

Kutsuna, N., Higaki, T., \*Matsunaga, S., Otsuki, T., Yamaguchi, M., Fujii, H., Hasezawa, S. Active learning framework with iterative clustering for bioimage classification. *Nature Commun.* 3: 1032 (2012)

一般向け展示・体験実験イベント「植物の細胞をみてみよう」を東京大学柏キャンパスで開催  
【A02 五十嵐班】(五十嵐圭日子, 内橋貴之)

論文 24 本, 著書 7 本, アウトリーチ 6 件, 報道 3 件, 授賞 2 件 (五十嵐: 日本セルロース学会賞他)

\*Igarashi, K., Uchihashi, T., Uchiyama, T., Sugimoto, H., Wada, M., Suzuki, K., Sakuda, S., Ando, T., \*Watanabe, T., Samejima, M. Two-way traffic of glycoside hydrolase family 18 processive chitinases on crystalline chitin. *Nature Commun.* in press (2014)

Nakamura, A., Watanabe, H., Ishida, T., Uchihashi, T., Wada, M., Ando, T., Igarashi, K., \*Samejima, M. Trade-off between processivity and hydrolytic velocity of cellobiohydrolases at the surface of crystalline cellulose. *J. Amer. Chem. Soc.* 136: 4584-4592 (2014)

Igarashi, K. Cooperative biomass breakdown. *Nature Chem. Biol.* 9: 350-351 (2013)

Floudas, D., -- Igarashi, K. (71 人中 27 番) -- \*Hibbett, D.S. The Paleozoic origin of enzymatic mechanisms for decay of lignin reconstructed using 31 fungal genomes. *Science* 336: 1715-1719 (2012)

Fernandez-Fueyo, E., -- Igarashi, K. (66 人中 42 番) -- \*Cullen, D. Comparative genomics of *Ceriporiopsis subvermispora* and *Phanerochaete chrysosporium* provide insight into selective ligninolysis. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 109: 5458-5463 (2012)

日本テレビ News Zero “Zero Human”で研究内容を報道  
一般向けに, TEDxTodai 「バイオマスの時間旅行」を東京大学伊藤国際学術研究センターで講演  
【A03 澤班】(澤進一郎, 相田光宏)

論文 15 本, アウトリーチ 9 件

Yamada, M., \*Sawa, S. The function of CLE and other plant peptide hormones in root development. *Curr. Opin. Plant Biol.* 16: 1-5 (2013)

Miyawaki, K., Tabata, R., \*Sawa, S. Evolutionarily conserved CLE peptide signaling in plant development, symbiosis, and parasitism. *Curr. Opin. Plant Biol.* 16 : 598-606 (2013)

Tamaki, T., Betsuyaku, S., Hamasaki, R., Fukao, Y., Fukuda, H., \*Sawa, S. CLE19 peptide activity is regulated by SUPPRESSOR OF LPL1 1-mediated C-terminal processing in endosomes in Arabidopsis. *Plant J.* 6: 970-981 (2013)

Nahar, M.A.U., Ishida, T., Smyth, D.R., Tasaka, M., \*Aida, M. Interactions of *CUP-SHAPED COTYLEDON* and *SPATULA* genes control carpel margin development in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiol.* 53: 1134-1143 (2012)

スーパーサイエンスハイスクール実習 (熊本大学, 奈良先端科学技術大学院大学)  
【A03 山口班】(山口信次郎, 瀬戸義哉)

論文 17 本, 著書 2 本, 授賞 2 件 (山口: IPGSA Distinguished Research Award “Silver Medal” 他)

Seto, Y., Sado, A., Asami, K., Hanada, A., Umehara, M., \*Akiyama, K., \*Yamaguchi, S. Carlactone is an endogenous biosynthetic precursor for strigolactones. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111: 1640-1645 (2014)

Magome, H., Nomura, T., Hanada, A., Takeda-Kamiya, N., Ohnishi, T., Shinma, Y., Katsumata, T., Kawaide, H., Kamiya, Y., \*Yamaguchi, S. CYP714B1 and CYP714B2 encode gibberellin 13-oxidases that reduce gibberellin activity in rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110: 1947-1952 (2013)

Nomura, T., \*Magome, H., Hanada, A., Takeda-Kamiya, N., Mander, L.N., Kamiya, Y., \*Yamaguchi, S. Functional analysis of Arabidopsis CYP714A1 and CYP714A2 reveals that they are distinct gibberellin modification enzymes. *Plant Cell Physiol.* 54: 1837-1851 (2013)

Ariizumi, T., Hauvermale, A.L., Nelson, S.K., Hanada, A., Yamaguchi, S., \*Steber, C.M. Lifting della repression of Arabidopsis seed germination by nonproteolytic gibberellin signaling. *Plant Physiol.* 162: 2125-2139 (2013)

Martínez-Andújar, C., Pluskota, W.E., Bassel, G.W., Asahina, M., Pupel, P., Nguyen, T.T., Takeda-Kamiya, N., Toubiana, D., Bai, B., Górecki, R.J., Fait, A., Yamaguchi, S., \*Nonogaki, H. Mechanisms of hormonal regulation of endosperm cap-specific gene expression in tomato seeds. *Plant J.* 71: 575-586 (2012)

プレスリリース 植物の枝分かれ制御ホルモン 生成過程の一部解明

## (2) 公募研究

【角五 彰】 論文 1 本

Kabir, A., Inoue, D., Hamano, Y., Mayama, H., Sada, K., \*Kakugo, A. Biomolecular motor modulates mechanical property of microtubule. *Biomacromolecules* 15: 1797-1805 (2014)

【笹部 美知子】論文 5 本, 授賞 1 件 (植物形態学会平瀬賞)

\*Tanaka, H., Nodzyński, T., Kitakura, S., Feraru, M.I., Sasabe, M., Ishikawa, T., Kleine-Vehn, J., Kakimoto, T., Friml, J. BEX1/ARF1A1C is required for BFA-sensitive recycling of PIN auxin transporters and auxin-mediated development in *Arabidopsis*. *Plant Cell Physiol.* 55: 737-749 (2014)

【小田 祥久】論文 3 本, 著書 5 本

- \*Oda, Y., \*Fukuda, H. Spatial organization of xylem cell walls by ROP GTPases and microtubule-associated proteins. *Curr. Opin. Plant Biol.* 16: 743-748 (2013)
- \*Oda, Y., Fukuda, H. Rho of Plant GTPase signaling regulates the behavior of Arabidopsis Kinesin-13A to establish secondary cell wall patterns. *Plant Cell* 25: 4439-4450 (2013)  
【藤原 徹】論文 10 本, アウトリーチ 1 件
- Hanaoka, H., Uraguchi, S., Takano, J., Tanaka, M., \*Fujiwara, T. OsNIP3;1, a rice boric acid channel, regulates boron distribution and is essential for growth under boron-deficient conditions. *Plant J.* in press (2014)
- Leaunghitichanchana, S., Fujibe, T., Tanaka, M., Wang, S., Sotta, N., Takano, J., \*Fujiwara, T. Differential expression of three BOR1 genes corresponding to different genomes in response to boron conditions in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) *Plant Cell Physiol.* 54: 1056-1063 (2013)
- Tanaka, N., Uraguchi, S., Saito, A., Kajikawa, M., Kasai, K., Sato, Y., Nagamura, Y., \*Fujiwara, T. Roles of pollen-specific boron efflux transporter, OsBOR4, in the rice fertilization process. *Plant Cell Physiol.* 54: 2011-2019 (2013)  
一般向けに, 植物研究への誘いをフォレスト本郷にて講演  
【石崎 公庸】論文 10 本, 著書 1 本, アウトリーチ 1 件, 報道 1 件, 授賞 3 件 (日本農芸化学会 BBB 論文賞他)
- Kubota, A., Kita, S., Ishizaki, K., Nishihama, R., Yamato, K.T., \*Kohchi, T. Co-option of a photoperiodic growth phase transition system during land plant evolution. *Nature Commun.* 5: 3668 (2014)
- Ishizaki, K., Mizutani, M., Shimamura, M., Masuda, A., Nishihama, R., \*Kohchi, T. Essential role of the E3 ubiquitin ligase NOPPERABO1 in schizogenous intercellular space formation in the liverwort *Marchantia polymorpha*. *Plant Cell* 25: 4075-4084 (2013)
- Ishizaki, K., Johzuka-Hisatomi, Y., Ishida, S., Iida, S., \*Kohchi, T. Homologous recombination-mediated gene targeting in the liverwort *Marchantia polymorpha* L. *Sci. Rep.* 3: 1532 (2013)  
第 57 回企画展「こけティッシュ 苔ワールドーミクロの森に魅せられて」茨城県自然博物館にて展示協力  
【松永 幸大】論文 11 本, 著書 11 本, 報道 1 件
- Sano, Y., Watanabe, W., \*Matsunaga, S. Chromophore-assisted laser inactivation – towards a spatiotemporal–functional analysis of proteins, and the ablation of chromatin, organelle and cell function. *J. Cell Sci.* 127: 1621-1629 (2014)
- \*Matsunaga, S., Katagiri, Y., Nagashima, Y., Sugiyama, T., Hasegawa, J., Hayashi, K., Sakamoto, T. New insights into the dynamics of plant cell nuclei and chromosomes. *Int. Rev. Cell Mol. Biol.* 305: 253-301 (2013)
- Hayashi, K., Hasegawa, J., \*Matsunaga, S. The boundary of the meristematic and elongation zones in roots: endoreduplication precedes rapid cell expansion. *Sci. Rep.* 3: 2723 (2013)  
日経産業新聞, 科学新聞, 日経バイオテックで植物の成長過程の蛍光観察新技術に関する報道  
特許: 中神弘史(連携)ナノファイバー化したキチン・キトサンによる植物の病害抵抗性誘導技術 特願 2013-227282  
【三輪 京子】論文 3 本, アウトリーチ 1 件, 授賞 1 件 (日本土壌肥科学会奨励賞)
- \*Miwa, K., Aibara, I., Fujiwara, T. *Arabidopsis thaliana* BOR4 is upregulated under high boron conditions and confers tolerance to high boron. *Soil Sci. Plant Nutr.* in press (2014)
- \*Miwa, K., Wakuta, S., Takada, S., Ide, K., Takano, J., Naito, S., Omori, H., Matsunaga, T., Fujiwara, T. Roles of BOR2, a boron exporter, in cross linking of rhamnogalacturonan II and root elongation under boron limitation in Arabidopsis. *Plant Physiol.* 163: 1699-1709 (2013)  
一般向けの公開シンポジウム「植物科学の最前線—植物がひらく私たちの未来—」で, 「ミネラルを運ぶ分子を研究して, やせた土地にも農業を興す」のテーマで講演  
【福島 和彦】論文 8 本, 著書 5 本, アウトリーチ 2 件,
- \*Kuroda, K., Fujiwara, T., Hashida, K., Imai, T., Kushi, M., Saito, K., Fukushima, K. The accumulation pattern of ferruginol in the heartwood-forming *Cryptomeria japonica* xylem as determined by time-of-flight secondary ion mass spectrometry and quantity analysis. *Annals of Botany* 113: 1029-1036 (2014)
- \*Matsushita, Y., Ioka, K., Saito, K., Takama, R., Aoki, D., Fukushima, K. Fragmentation mechanism of the phenylcoumaran-type lignin model compound by ToF-SIMS. *Holzforschung* 67: 365-370 (2013)
- \*Kuroda, K., Fujiwara, T., Imai, T., Takama, R., Sato, K., Matsushita, Y., Fukushima, K. The Cryo-TOF-SIMS/SEM system for analysis of the chemical distribution in freeze-fixed *Cryptomeria japonica* wood. *Surface and Interface Analysis* 45: 215-219 (2013)  
あいち産業科学技術総合センターで「顕微二次イオン質量分析による凍結試料の解析」の講演  
【朽津 和幸】論文 13 本, 著書 4 本, アウトリーチ 13 件, 報道 13 件
- Kurusu, T., -- \*Kuchitsu, K. (22 名の内 22 番) OsATG7 is required for autophagy-dependent lipid metabolism in rice post-meiotic anther development. *Autophagy* 10: 860-870 (2014)
- Kaya, H., Nakajima, R., Iwano, M., Kanaoka, M.M., Kimura, S., Takeda, S., Kawarazaki, T., Senzaki, E., Hamamura, Y., Higashiyama, T., Takayama, S., Abe, M., \*Kuchitsu, K. Ca<sup>2+</sup>-activated ROS production by Arabidopsis RbohH and RbohJ is essential for proper pollen tube tip growth. *Plant Cell* 26: 1069-1080 (2014)
- Kurusu, T., \*Kuchitsu, K., Nakano, M., Nakayama, Y., \*Iida, H. Plant mechanosensing and Ca<sup>2+</sup> transport. *Trends in Plant Science* 18: 227-233 (2013)  
埼玉県立春日部高校スーパーサイエンスハイスクールプログラムで高校生に向けて講演  
【大谷 美沙都】論文 8 本, 著書 1 本, アウトリーチ 3 件, 報道 3 件
- Xu, B., \*Ohtani, M., Yamaguchi, M., Toyooka, K., Wakazaki, M., Sato, M., Kubo, M., Hiwatashi, Y., Murata, T., Kurata, T., Yoneda, A., Kato, K., Hasebe, M., \*Demura, T. Contribution of NAC transcription factors to plant adaptation to land. *Science* 343: 1505-1508 (2014)

- \*Ohtani, M., Demura T., Sugiyama M. Arabidopsis ROOT INITIATION DEFECTIVE 1, a DEAH-box RNA helicase involved in pre-mRNA splicing, is essential for plant development. *Plant Cell* 25: 2056-2069 (2013)
- \*Goué, N., Mortimer, J. C., Nakano, Y., Zhang, Z., Jossierand, M., \*Ohtani, M., Paul, D., Kakegawa, K., Demura T. Secondary cell wall characterization in a BY-2 inductive system. *Plant Cell Tiss. Org.* 115: 223-232 (2013)
- 第6回科学映画と講演の会で一般者に向けて「植物の体つくりの柔軟性に魅せられて」の講演  
【金岡 雅浩】論文 15 本, 著書 1 本, アウトリーチ 1 件, 授賞 1 件 (2nd ITbM Research Award)
- Peterson, K.M., Shyu, C., Burr, C.A., Horst, R.J., Kanaoka, M.M., Omae, M., Sato, Y., \*Torii, K.U. Arabidopsis homeodomain-leucine zipper IV proteins promote stomatal development and ectopically induce stomata beyond the epidermis. *Development*. 140:1924-1935 (2013)
- 【打田 直行】論文 2 本, 著書 3 本, アウトリーチ 1 件, 授賞 1 件 (ITbM Research Award)
- Uchida, N., \*Tasaka, M. Regulation of plant vascular stem cells by endodermis-derived EPFL-family peptide hormones and phloem-expressed ERECTA-family receptor kinases. *J. Exp. Bot.* 64: 5335-5343 (2013)
- Uchida, N., Shimada, M., \*Tasaka, M. ERECTA-family receptor kinases regulate stem cell homeostasis via buffering its cytokinin responsiveness in the shoot apical meristem. *Plant Cell Physiol.* 54: 343-351 (2013)
- 豊秋奨学会にて、「植物の背丈をコントロールするスイッチの発見」と題して講演  
【富永 るみ】論文 5 本, アウトリーチ 1 件
- \*Tominaga-Wada, R., Nukumizu, Y., Sato, S., Wada, T. Control of plant trichome and root-hair development by a tomato (*Solanum lycopersicum*) R3 MYB transcription factor. *PLoS One* 8: e54019 (2013)
- \*Tominaga-Wada, R., Nukumizu, Y., Sato, S., Wada, T., Sawa, T., Tetsumura, T. *CLAVATA3*-like genes are differentially expressed in Grape Vine (*Vitis vinifera*) tissues. *J. Plant Physiol.* 170: 1379-1383 (2013)
- \*Tominaga-Wada, R., Nukumizu, Y., Sato, S., Wada, T. Flowering is delayed by mutations in homologous genes *CAPRICE* and *TRYPTICHRON* in the early flowering *Arabidopsis cpl3* mutant. *J. Plant Physiol.* 170: 1466-1468 (2013)
- 広島大学にて体験実験「広島大学第 11 回体験科学講座女子高生特別コース, DNA 電気泳動法を体験！」  
【渋谷 直人】論文 5 本
- Shinya, T., Yamaguchi, K., Desaki, Y., Yamada, K., Narisawa, T., Kobayashi, Y., Maeda, K., Suzuki, M., Tanimoto, T., Takeda, J., Nakashima, M., Funama, R., Narusaka, M., Narusaka, Y., Kaku, H., \*Kawasaki, T., \*Shibuya, N. Selective regulation of chitin-induced defense response by the Arabidopsis receptor-like cytoplasmic kinase PBL27. *Plant J.* in press. (2014)
- Hayafune, M., Berisio, R., Marchetti, R., Silipo, A., Kayama, M., Desaki, Y., Arima, S., Squeglia, F., Ruggiero, A., Tokuyasu, K., Molinaro, A., Kaku, H., \*Shibuya, N. Chitin-induced activation of immune signaling by the rice receptor CEBiP relies on a unique sandwich-type dimerization. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111: E404-413 (2014)
- Kouzai, Y., Nakajima, K., Hayafune, M., Ozawa, K., Kaku, H., Shibuya, N., Minami, E., \*Nishizawa, Y. CEBiP is the major chitin oligomer-binding protein in rice and plays a main role in the perception of chitin oligomers. *Plant Mol. Biol.* 84: 519-528 (2013).
- 【川崎 努】論文 5 本, アウトリーチ 1 件
- Akamatsu, A., Wong, H.L., Fujiwara, M., Okuda, J., Nishide, K., Uno, K., Imai, K., Umemura, K., Kawasaki, T., Kawano, Y., \*Shimamoto, K. An OsCEBiP/OsCERK1-OsRacGEF-OsRac1 module is an essential early component of chitin-induced rice immunity. *Cell Host Microbe* 13: 465-476 (2013)
- Yamaguchi, K., Nakamura, Y., Ishikawa, K., Yoshimura, Y., Tsuge, S., \*Kawasaki, T. Suppression of rice immunity by the *Xanthomonas oryzae* type III effector Xoo2875. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 77: 796-801 (2013)
- 徳島市立高校にて「食糧問題とエネルギー問題を解決する植物バイオテクノロジー」と題して講演  
【林 謙一郎】論文 6 本, 著書 2 本
- Nishimura, T., Hayashi, K., Suzuki, H., Gyohda, A., Takaoka, C., Sakaguchi, Y., Matsumoto, S., Kasahara, H., Sakai, T., Kato, J., Kamiya, Y., Koshiba, T. Yucasin is a potent inhibitor of YUCCA, a key enzyme in auxin biosynthesis. *Plant J.* 77: 352-66 (2014)
- 【寿崎 拓哉】論文 3 本, 著書 2 本, アウトリーチ 1 件
- \*Suzaki, T., Ito, M., Yoro, E., Sato, S., Hirakawa, H., Takeda, N., Kawaguchi, M. Endoreduplication-mediated initiation of symbiotic organ development in *Lotus japonicus*. *Development* in press (2014)
- 基生研にて「共生とは？ミヤコグサの研究から紐解く植物と微生物の助け合いの仕組み」と題して講演  
【吉田 聡子】論文 1 本, 著書 2 本, アウトリーチ 1 件, 授賞 1 件 (文部科学大臣表彰若手科学者賞)
- Spallek, T. Mutuku, M., \*Shirasu, K. The genus *Striga*: a witch profile. *Mol. Plant Path.* 14: 861-869 (2013)
- 理研にて一般向けのサイエンスレクチャー「寄生して生きる植物たち」  
【Bartlem-Goto, Derek】論文 3 本, アウトリーチ 3 件
- Bartlem, D.G., Jones, M.G.K., \*Hammes, U.Z. Vascularisation and nutrient delivery at root-knot nematode feeding sites in host roots. *J. Exp. Bot.* 65: 1789-1798 (2014)
- Amin, A.N.N., Hayashi, S., Bartlem, D.G. A robust in vitro assay system for quantitative analysis of parasitic root-knot nematode infestation using *Lotus japonicus*. *Journal of Bioscience and Bioengineering* in press (2014)
- \*Goto, D.B., Miyazawa, H., Mar, J.C., Sato, M. Not to be suppressed? Rethinking the host response at a root-parasite interface. *Plant Science* 213: 9-17 (2013)
- 一般向けに、豊橋市自然史博物館で植物へネコブセンチュウが感染するメカニズムの解明に向けた最新研究を紹介



## 9. 今後の研究領域の推進方策（2ページ程度）

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班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。

■ **後半3年間の研究の狙い**：本研究領域は、前半2年間で植物細胞壁の多様な情報処理現象について、その基盤となる一連の素要素群（素過程及び、それに関わる分子実体）の解明を進め、後半3年間では、前半の成果を基にして、現象毎に異なる素要素間の共通点と相違点を整理し、「**素要素群の機能の統合が情報処理機能を生み出し、植物独自の高次機能を発揮するメカニズム**」の解明を最終目標として、3つの研究項目 A01, A02, A03 を立てて研究を進めてきた。その結果、前半2年間の計画である素要素の解析は順調に進み、H26年度以降の後半3年間では、これらの成果を基にして、植物細胞壁が情報処理を通して高次機能を生み出すメカニズムに焦点を当てて研究を推進し、領域の最終目的の達成を目指したい。

■ **研究組織運営方針**：細胞壁の情報処理システム」という新しい学問分野を拓くには、異なる学問背景と手法を持つ専門家が結集して、異なる発想や手法を融合させるための共同研究と解析支援が不可欠である。共同研究を積極的に進めるしくみとして、総括班を充実させ、解析支援センターを設置し、研究代表者全員にサイトビジットを実施するなど、領域代表がリーダーシップを発揮できる組織を作ってきた。その結果、発足2年間で、延べ160組の共同研究が立ち上がり、そのうち、21件の成果が論文発表に至り、この運営方式が、本研究領域の研究推進に効果的であることが分かった。そこで、今後もこの基本方針を堅持しながら、新しい研究の展開に最適化するための改善を進めることにする。

■ **一般に向けた情報発信**：(1) HPは「一般者向け」「研究者向け」「英文」の3つのページに分けて工夫を凝らして発信している。今後も改善を続ける。(2) アウトリーチは「植物細胞壁のミクロの世界」と題した巡回展示が好評であるので、引き続き日本各地を巡回する。

### 「植物細胞壁のミクロの世界」展スケジュール

東北大学植物園	H26年4月～6月
北海道大学総合博物館	H26年7月～8月
東京大学小石川植物園	H26年9月～11月
日本科学未来館（江東区）	H27年5月予定
名古屋大学博物館	H27年予定
科学技術館（千代田区）	H27年予定
人と自然の博物館（三田市）	H27年予定

■ **内外の研究者に向けた情報発信**：(1)五十嵐（A02）が Gordon Research Conference（H27年8月2日～7日）を主催し、本領域がセッションを共催するほか、PCPを含めた国内外の複数の雑誌で、“Plant cell wall issue”や“Database issue”などの特集号を出版する予定である。(2) 国内外学会でのシンポジウムや国際学会を開催する。(3)細胞壁関連遺伝子群の共発現データベースを高精度化し公開する。

■ **サイトビジットとテレビ会議**：(1) H27年度の新しい公募研究課題研究者が決まり次第、新メンバー全員に対して領域代表がサイトビジットを実施し、研究のアドバイスと共同研究の橋渡しを行う。(2) テレビ会議により班員間で頻繁にブレインストーミングを行い、領域が一体となった研究の推進を図る。

### ■ 計画研究・公募研究の構成

(1) 前半2年間の計画は計画研究課題1題（白須賢研究代表）と公募研究課題1題（Derek Bartlem 研究代表）が、代表の辞退により廃止し、A03の植物免疫研究は、若干手薄となったが、計画研究および公募研究課題代表者が、両課題をカバーする成果を挙げつつあるので、これについて変更の必要はない。

(2) 女性公募研究代表者比率を30%とする数値目標は効果を発揮し、5名の女性研究者が本領域に参画し活躍しているので、H27年度の公募にあたってこの方針を堅持し、女性研究者の応募を奨励する。

■ 各研究項目の後半 3 年間の重点目標は以下の通り

(1) A01 研究項目毎の具体的な計画

研究項目 A01 では前半 2 年間で、オミクス、膜交通、表層微小管、という 3 つの視点から細胞壁の構築と再編に関わる分子過程における素要素の解明に取り組んできた。そこで、後半 3 年間ではそれら素要素の研究を深めつつ、個々の素過程を統御する仕組みの解明を目指す。

1-1. 二次細胞壁形成や一次細胞壁再生における小胞輸送と表層微小管の役割（出村/上田/橋本）、細胞壁形成過程での膜交通の制御（特にエキソサイトーシスの時空間的な制御）における表層微小管等細胞骨格の役割（上田/橋本）、細胞壁関連タンパク質の転写・翻訳の細胞膜リン脂質による制御（上田/出村）、膜交通の損傷による細胞壁異常（上田/出村）、細胞壁構築と膜交通・表層微小管制御の進化的考察（出村/上田/橋本）、環境刺激による表層微小管の脱重合による膜輸送と細胞壁構築・再編への影響（橋本/上田/出村）、などについて研究項目 A01 内での連携研究を推進する。

1-2. さらに、研究項目間の連携研究として、アポプラストでの病原菌認識と防御応答における膜交通の関与の解明（上田/渋谷 A03）やプロトプラスト再生と細胞成長時の細胞壁再編の共通点と相違点の解明（出村/西谷 A02）に取り組む。

(2) A02 研究項目毎の具体的な計画

研究項目 A02 は大きく分けて細胞壁を基質とする酵素と細胞骨格に焦点を当てたイメージングの 2 つのアプローチで、細胞表層での自律的反応の解析を進めて来たので、後半 3 年間では、これらの分子過程が植物の情報処理現象を通じた高次機能の中で担う役割の解明を進める。

2-1. 細胞壁高次構造の分解/構築における細胞壁酵素の役割の解明：メタノール資化性酵母 *P. pastoris* を用いた植物酵素発現系を用いて、セルロース合成酵素や、XTH と PME の生化学的な機能解析に加え、プロトプラスト上での細胞壁再生系を用いた細胞壁高次構造の自己組織化イメージングおよびシミュレーション解析を西谷/馳澤/五十嵐の三者の共同研究で開始する。また、植物細胞壁分解酵素の基質認識を利用した細胞壁の動的可視化も並行して進める。

2-2. 細胞壁の高次機能発現の解明：組織癒合時の細胞壁情報処理に関して、器官間の遠距離シグナルが重要なことを佐藤は明らかにしたので、佐藤/西谷/山口 A03 の三者の共同研究により細胞壁の延長（アポプラスト）である道管液も対象に加えた素要素が、癒合という高次機能の制御を行う分子過程の解明を進める。また、ネナンカズラ寄生根形成時の情報処理現象に着目し、その過程に関与する素要素が高次機能を制御するメカニズムの解明を目指す。

(3) A03 研究項目毎の具体的な計画

研究項目 A03 は、大きく二種類に大別できるので、後半 3 年間では、素過程のより詳細な解析に加え、それらの共通点と相違点を抽出、整理し、細胞壁空間のインターフェイスとしての高次機能解剖を行う。また、それらの二つの大項目を整理し、細胞壁空間のインターフェイスとしての全体像の理解を目指す。

3-1. 個体間情報伝達と植物免疫：植物感染性の植物、線虫（動物）、細菌、菌類などを用いて、細胞壁空間で、どのようなリガンドが精製され、受容され、植物が応答していくのかを、特に A03 内の計画研究と公募研究間の共同研究により包括的に理解する。また、異なる生物と植物との相互作用を比較することで、細胞壁の一般的なインターフェイスとしての側面や、特異的な機能などに関する理解を目指す。

3-2. 植物ホルモンと形態形成：細胞壁空間を、最終形態ではなく、修飾された形で移動し、機能するファイトホルモンやペプチドホルモン等の植物ホルモンの動態を理解し、細胞壁空間の機能を理解する。また、葉の鋸歯形成、心皮の癒合、分裂組織形成等、植物の様々な局面における形態形成における細胞壁空間のインターフェイスとしての機能解剖を澤/相田/山口らの共同研究により進める。それらの情報を統合して理解することで、細胞壁空間の形態形成における植物の高次機能の全体像の理解を目指す。