

領域略称名：植物新種誕生原理  
領域番号：3806

平成 30 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

「植物新種誕生の原理  
-生殖過程の鍵と鍵穴の分子実態解明を通じて-」

(領域設定期間)

平成 28 年度～平成 32 年度

平成 30 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・

東山 哲也)

# 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）	12
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）	15
6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	20
7. 手研究者の育成に関する取組状況	22
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）	23
9. 総括班評価者による評価	24
10. 今後の研究領域の推進方策	26

**研究組織** (総：総括班, 支：国際活動支援班, 計：総括班及び国際活動支援班以外の計画研究, 公：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	16H06464 植物新種誕生の原理 -生殖過程の鍵と鍵穴の分子実態解明を通じて-	平成28年度 ～ 平成32年度	東山 哲也	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	14
Y00 支援	16K21727 植物新種誕生の原理 -国際的研究中心形成に向けた国際活動支援センター-	平成28年度 ～ 平成32年度	東山 哲也	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	11
A01 計	16H06465 受精における種間障壁のメカニズム解明とその打破	平成28年度 ～ 平成32年度	東山 哲也	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	5
A01 計	16H06466 花成ホルモン・フロリゲンを起点とする花形成の「鍵と鍵穴」相互作用の解明	平成28年度 ～ 平成32年度	辻 寛之	横浜市立大学・木原生物学研究所・准教授	3
A01 計	16H06467 初期受粉過程における種間障壁の分子基盤解明	平成28年度 ～ 平成32年度	高山 誠司	東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授	4
A01 計	16H06468 生殖をモデルとした植物ホルモン機能拡張	平成28年度 ～ 平成32年度	上口 美弥子	名古屋大学・生物機能開発利用研究センター・准教授	4
A01 計	16H06469 ハイブリッド新種ゲノムが有するオミクス適応能の包括的な解析	平成28年度 ～ 平成32年度	瀬々 潤	産業技術総合研究所・人工知能研究センター・研究チーム長	2
A01 計	16H06470 複二倍体種形成時の受粉・ゲノム安定性に機能する「鍵と鍵穴」因子の解析	平成28年度 ～ 平成32年度	渡辺 正夫	東北大学・大学院生命科学研究科・教授	3
A01 計	16H06471 胚乳における種の障壁:エピゲノム制御の鍵分子機構	平成28年度 ～ 平成32年度	木下 哲	横浜市立大学・木原生物学研究所・教授	4
総括・支援・計画研究 計9件					

A01 公	17H05831 受精前後の胚乳発生を制御する新しい鍵転写因子とエピゲノム制御の包括的理解	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	池田 美穂	埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授	2
A01 公	17H05832 重複受精を制御する雌雄配偶子相互作用原理の追究;精細胞因子 LGM1 の解析	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	井川 智子	千葉大学・大学院園芸学研究科・准教授	2
A01 公	17H05833 祖先的シロイヌナズナ系統から探る自殖と新種誕生の原理	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	土松 隆志	千葉大学・大学院理学研究院・准教授	1
A01 公	17H05834 異質倍数体ゲノム安定化のバイオインフォマティクス	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	岩崎 渉	東京大学・大学院理学系研究科・准教授	1
A01 公	17H05835 生殖過程の転写制御を担う鍵ホルダー分子 DELLA と転写因子の複合体構造基盤解析	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	宮川 拓也	東京大学・大学院農学生命科学研究科・特任准教授	2
A01 公	17H05836 フロリゲン複合体の立体構造解析と低分子化合物による花成制御	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	児嶋 長次郎	横浜国立大学・工学研究院・教授	3
A01 公	17H05837 鍵と鍵穴に着目した有性生殖過程の核膜融合の分子機構と初期発生における意義の解明	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	西川 周一	新潟大学・自然科学系・教授	4
A01 公	17H05838 2 つの鍵穴をもつ転写因子が父鍵と母鍵と結合することで胚の体軸が形成される	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	植田 美那子	名古屋大学・トランスフォーマティブ生命分子研究所・特任講師	1
A01 公	17H05839 受精時の花粉管ライブイメージングを実現する有機蛍光プローブ群の創製	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	多喜 正泰	名古屋大学・トランスフォーマティブ生命分子研究所・特任准教授	2
A01 公	17H05840 葉緑体遺伝を御する	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	西村 芳樹	京都大学・大学院理学研究科・助教	2

A01 公	17H05841 陸上植物における生殖細胞分化の鍵メカニズムの解明	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	山岡 尚平	京都大学・大学院生命科学研究科・助教	2
A01 公	17H05842 合成 8 倍体コムギ成立に関わる交雑種子形成の成否決定機構の解明	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	宅見 薫雄	神戸大学・大学院農学研究科・教授	2
A01 公	17H05843 花幹細胞の時空間性を司る複合鍵の解析	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	伊藤 寿朗	奈良先端科技大学院大学・バイオサイエンス研究科・教授	1
A01 公	17H05845 受精卵発生における父性鍵因子の同定と異質倍数性受精卵の発生機構	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	岡本 龍史	首都大学東京・理工学研究科・教授	1
A01 公	17H05846 卵細胞被覆構造体の解析を起点とする配偶子融合のメス側因子の探索	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	丸山 大輔	横浜市立大学・木原生物学研究所・助教	2
A01 公	17H05848 植物オミックス・知識情報の統合解析による新種誕生の機構解明とデータベース構築	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	矢野 健太郎	明治大学・農学部・教授	1
A01 公	17H05849 イネ属種間雑種の減数分裂に起因する生殖隔離機構の研究	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	野々村 賢一	国立遺伝学研究所・准教授	2
A01 公	17H05850 植物の配偶体形成で機能する膜融合装置の解析	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	海老根 一生	基礎生物学研究所・細胞動態研究部門・助教	3
A01 公	17H05851 エピゲノムを介した胚乳登熟における生殖隔離機構	平成 29 年度 ～ 平成 30 年度	川勝 泰二	農業食品産業技術総合研究機構・生物機能利用研究部門・主任研究員	2
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。

### 【背景】

本領域に参画する研究者らは、これまで着花、受粉、受精、結実という一連の植物生殖過程で起きる現象に関与する遺伝子を世界に先駆けて単離・解析し、生殖における各過程の分子機構解明を進めてきた。この植物生殖過程の研究は、「他の植物種と交雑することなく自らのゲノムを維持するシステム」を構成する重要な因子の発見をもたらした。このシステムは植物が自立した独立の種として存続するために必須のシステムである。例えば、オオムギとコムギのようにゲノム構造や形態が類似している植物間でも、このシステムが作動するため、異種花粉が雌しべ先端に付着しても雑種形成やゲノムの子孫への継承は起こらない（図1）。しかし、このシステムを構成する重要な因子の生物学的機能を維持しつつ、その特異性を改変できれば、交雑不可能な植物との交雑が期待できる。

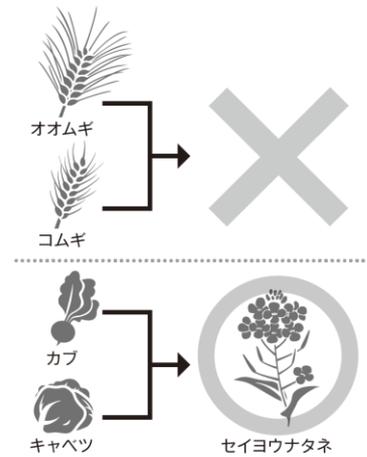


図1. 異種ゲノム間雑種形成の可否例

### 【領域の目指す方向性】

自然発生的な植物進化や人類の作物品種改良は「他の植物種と交雑することなく自らのゲノムを維持するシステム」をかいくぐり、異種ゲノムの融合に成功した新植物種出現の歴史と言っても過言でない。この新植物種の中には、異なる植物由来の異種ゲノムを共存させ、保持しているコムギ、セイヨウナタネのような雑種有用植物も存在する（図1）。この事実は、このシステムのどこかヶ所、もしくはそれほど多くない関門をくぐり抜ければ、異種ゲノムを安定的に保持する新植物種の作出が可能であることを示している。本領域は、「異種植物種の交雑、およびその結果誕生した新植物の存続」を目指し、これを可能にする為の基盤研究を行う。

この目標を達成するためには「他の植物種と交雑することなく自らのゲノムを維持するシステム」の完全理解が不可欠である。これまでの申請者らによる研究成果から、このシステムは自己と他種を区別する因子の厳密な認識機構により成り立つことが明らかにされつつあり、本申請ではこれらの因子間の相互作用を「鍵と鍵穴」と定義づけた（図2）。

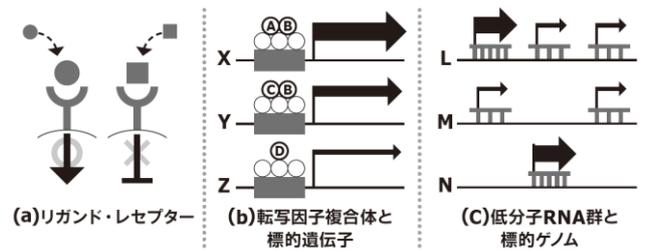


図2. 本領域で定義した「鍵と鍵穴」の例

と定義づけた（図2）。具体的には(1)リガンド・レセプターだけでなく、(2)複数の転写因子からなる転写複合体と標的遺伝子、(3)低分子RNA群と標的ゲノムなどの物質間相互作用する分子種を含む（図2）。リガンド・レセプターの場合、「鍵と鍵穴」が合致しない時、リガンド(鍵)がもたらし情報はレセプター下流に伝達されない（図2a）。転写制御の場合、転写複合体を構成するタンパク質の組合せが「鍵」形状の変化をもたらし、「鍵穴」となる標的遺伝子が質的・量的に変化する（図2b）。低分子RNA群が「鍵」の場合、その標的配列(鍵穴)が細胞、組織、ゲノム種(異種ゲノム)により変化し、全ゲノム的な結合パターンに影響をもたらすことにより、表現型に影響を与える（図2c）。これらの制御系は、いずれも「鍵と鍵穴」の厳密な対応関係により成立している。

本研究領域では、この「鍵と鍵穴」の相互作用に関し、後述のブレイクスルーテクノロジー(ライブセルイメージング、有機合成化学、構造生物学)を積極的に利用し、分子構造レベルにまで理解を深化させる。例えばタンパク質や核酸の中の特定なアミノ酸やヌクレオチドの特定など、自己と他者を区別するメカニズムを分子構造レベルの精密さで特定する。この精密な理解に基づき、アミノ酸やヌクレオチドなどの改変をピンポイントで行って「鍵と鍵穴」の特異性を改変することができれば、異種ゲノム合一植物の創出が期待できる。本領域では、この研究目的へと方向性を定め、関連分野で世界をリードしている7つの研究班を選抜し、植物の生殖を制御する「鍵と鍵穴」の分子実態を構造レベルで解明する。

#### 【対象とする学問分野】

本領域では、これまで植物生殖科学分野において世界をリードしてきた分子生理学、分子遺伝学、生物有機化学、遺伝育種学、生化学に加え、ブレイクスルーテクノロジーとなるライブセルイメージング技術、有機合成化学、構造生物学を積極的に取り入れる。さらにこれらを支える基盤として、情報科学による解析を強力に推進する。この領域融合研究により、植物生殖形質における「他の植物種と交雑することなく、自らのゲノムを維持するシステム」を担っている「鍵と鍵穴」に関して、分子構造のレベルにまで深化した理解を進めることができる。その結果植物生殖科学という基礎研究分野を飛躍的に発展させる研究領域創成を目指す。

#### 【本領域の重要性・発展性】

本領域の背景には我が国の多くの研究者により先鞭を付けられてきた植物生殖研究、ゲノム研究の歴史的優位性があり、諸外国をリードしてきた。本領域ではさらにブレイクスルーテクノロジー(ライブセルイメージング、有機合成化学、構造生物学)との異分野融合研究を通じて、植物の生殖過程を制御する「鍵と鍵穴」を分子構造レベルで解明し、国際的優位性をさらに高めることを目指している。また、植物進化・作物品種改良は、植物の生殖が持つ「他の植物種と交雑することなく、自らのゲノムを維持するシステム」をかいくぐり、異種ゲノムとの融合に成功した新植物出現という歴史である。そのため、植物の生殖が持つこの制御機構の理解とそれを司る分子の人為的改変を可能にし、変動する地球環境に適応した植物・作物を自由に作出することで食糧増産を始めとする産業面への寄与も期待できる。

#### 【研究期間終了後に期待される成果等】

植物生殖科学研究の主力が遺伝学、生化学であったが、本領域では、領域代表者・東山が特定領域研究、新学術領域研究、戦略的創造研究推進事業(ERATO)、名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所(WPI-ITbM)での研究を通じて構築したライブイメージング技術、有機合成化学分野との融合研究、さらに、名古屋大学シンクロトロン光研究センターに代表される構造生物学分野との異分野共同研究を行う。これらを通じて、我が国の学術水準を格段に向上・強化し、世界的な最先端分野を先導する。また、激変する地球環境下で、安定的持続可能な食糧生産の観点からも、子実生産の基盤をなす植物生殖過程の分子レベルでの理解は不可欠である。本領域の研究推進によって植物生殖過程に纏わる「鍵と鍵穴」を解明することで、「鍵と鍵穴」分子の人為デザインやその阻害剤・機能促進剤の有機化学合成といった技術が生み出され、生殖過程の制御による激変環境適応型の新有用雑種植物を作出する新規な方法論を構築できる。

## 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、「他の植物種と交雑することなく、自らのゲノムを維持するシステム」を構成する「鍵と鍵穴」の分子実態解明、さらに「異種植物種の交雑とその結果誕生した新植物の存続を可能にするシステム」の分子実態解明を目的として研究を展開してきた。領域内でのブレークスルーテクノロジーを基盤とした共同研究の展開により、発足から2年間で生殖過程を統御する現象の「鍵と鍵穴」の分子作動実態を解明しつつある。概略を記述すると、花・生殖器官の形成では転写因子複合体とその標的遺伝子群による発生学的相転換



図3. 本領域の研究対象とブレークスルーテクノロジー

の分子実態を解明し (*Genes Dev.* 2017, *Nature Commun.* 2017, *Plant Cell Physiol.* 2018)、受粉から受精のプロセスではリガンドとレセプターの相互作用による同種の認証過程を立体構造・原子レベル解像度で解明した (*Nature Commun.* 2017, *Science Advance* 2017, *Nature Plants* 2017)。受精後のプロセスにおいては同種・異種のゲノム認証の分子実態として低分子 RNA 群とその標的エピゲノムによる制御の分子機構を解明し、ゲノム倍数性の人為制御による異種間交雑と雑種植物の作出、異質倍数体化を基盤とした進化プロセスを解明できた (*Nature Genet.* 2016, *Nature Plants* 2016, *Mol Ecol.* 2017, *Plant J.* 2017, *PNAS* 2018)。以上の領域の概要を踏まえつつ、植物生殖イベントが時系列に沿って進行することから (図 3)、それぞれの研究進展状況を植物生殖過程に沿って以下に記述する。

**植物生殖過程の起源である成長相転換 (辻)**：植物の生殖過程は生殖器官である花の形成から始まる。辻らはそのマスタースイッチ・フロリゲンに関して、構造生物学に造詣の深い児嶋班との共同研究を展開し、フロリゲンは転写複合体形成の際にフロリゲンと逆の機能を示す分子「アンチフロリゲン」と拮抗して「鍵穴」標的遺伝子の発現を厳密に制御していることを解明した (辻ら *Plant Cell Physiol.* 2018 児嶋班との領域内共同研究)。さらにライフイメージングと情報科学分野との共同研究から、フロリゲンが空間的に分布を変えつつ、転写複合体を形成し、エピゲノム情報に大規模な変化をもたらすことを発見した (投稿準備中、東山班、野々村班との領域内共同研究)。連携研究者の伊藤らは花形成を終結させるメカニズムを解析し、転写因子複合体が植物ホルモン・オーキシンの分布制御を介して進行する転写因子複合体と標的遺伝子群による「鍵と鍵穴」の分子実態を解明した (伊藤ら *Nature Commun.* 2017, *EMBO J.* 2018)。

**花粉形成に必須の植物ホルモン・ジベレリンの分子機能と進化 (上口)**：上口らは、ジベレリン(GA)は花形成の中でも雄しべや花粉など雄性生殖器官の発生・分化に重要な役割を有していることを示してきた。その分子実態を解明するために、宮川班との共同研究による構造生物学と進化生物学を組合せたユニークな研究を展開し、リガンドとレセプターによる「鍵と鍵穴」の共進化の実態を解明した。様々な進化段階における GA 受容体 GID1(鍵穴)と GA 分子種(鍵)の構造解析の結果、進化の過程で生じた構造変化が高感度 GID1 を誕生させ、このことが種子植物の現在の繁栄に寄与したことを明らかにした (投稿中)。GA を「使えない鍵」に変える不活化酵素や、不活化を免れる「万能鍵」GA 分子を合成する酵素の構造解析も進め、これらの酵素と多様な GA 分子種間の共進化、鍵分子の多様化に関わる分子機構を解明しつつある。また花粉形成に必須の植物ホルモン間クロストークについて、2 種の植物ホルモンが 2 種の異なる転写因子の発現を誘導し、両者が出会った時に転写因子複合体が形成され標的遺伝子が強力に活性化されることを見出した (上口ら *Mol. Plant* 2017, *J. Integr. Plant Biol.* 2017)。これらの研究とは異なる手法で

ある GWAS による迅速遺伝子同定法を確立し、新規生殖関連遺伝子を単離した（松岡ら *Nature Genet.* 2016）。

**初期受粉過程における種間障壁の分子基盤解明（高山）**：花粉が雌しべ先端に接着し、発芽・伸長に至る初期受粉過程は種間障壁の顕在化する場として重要なステップである。高山らは、シロイヌナズナの起源地が異なる系統を材料に異種花粉を受粉した時、花粉管侵入程度を指標として GWAS 解析を行い、この種間障壁を形成する新規分子を同定した（投稿中）。この分子は、未知の花粉因子との相互作用を介して異種花粉を積極的に排除していると考えられ、種間障壁として機能する全く新規な「鍵と鍵穴」分子の存在を明らかにした。また、自家不和合性株と自家和合性株の間に生じる一側性不和合性という種間不和合性の存在が指摘されてきたが、分子実態は不明であった。ナス科植物の一側性種間不和合性の解析から、花粉特異的な Cullin1(CUL1-P)が、自家不和合性を制御している花粉因子 SLF 複合体の構成因子として機能し、種間不和合性への関与を明らかにした(高山ら *Plant Cell Physiol.* 2016)。さらに、アブラナ科植物種内の一側性不和合性についても解析を進め、自家不和合性遺伝子座の重複遺伝子 *PUII* と *SUII* の関与を明らかにし(高山ら *Nature Plants* 2017b, 渡辺班・瀬々班との領域内共同研究)、現在この「鍵と鍵穴」の立体構造解明を進めている。さらに、自家不和合性花粉因子 *SPII* の発現制御に低分子 RNA 群と標的ゲノム間の「鍵と鍵穴」が関わることを明らかにし（高山ら *Nature Plants* 2016）、これが新種（複二倍体種）誕生の際に必須の自殖性の進化に関わる可能性を示した（渡辺班との共同研究）。

**受精における種間障壁のメカニズム解明とその打破（東山）**：受粉後に花粉管が胚珠を目指して伸長する「花粉管誘引」および花粉管によって輸送された精細胞が卵細胞と融合する「受精」には種の認証を構成する中核となる「鍵と鍵穴」の制御が機能している。東山らは花粉管誘引反応における厳密な種の特異性を解析し、本領域の発足時点で胚珠が放出する誘引物質（リガンド）LURE と花粉管上のレセプター PRK6 の「鍵と鍵穴」の関係が植物における極めて重要な種の認証システムであることを明らかにしてきた(東山ら, *Nature*, 2016)。この発見を土台として本領域のブレークスルーテクノロジーの一つである構造生物学を効果的に活用した研究を推進し、LURE と PRK6 の共結晶構造を解明した（東山ら *Nature Commun.*, 2017、図 4）。この発見はリガンドとレセプターによる「鍵と鍵穴」を介した種の認証を構造レベルで解き明かしたものであり、本領域の中核となる「鍵と鍵穴」の分子実態に迫る成果と言える。さらに、この相互作用を一分子レベルでの可視化を目的と

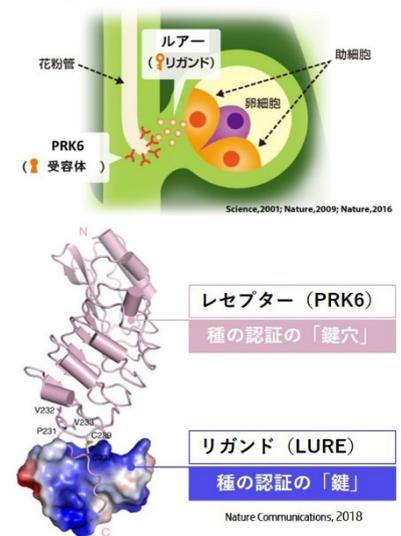


図4. LUREとPRK6による「鍵と鍵穴」による種の認証の立体構造

し、有機合成化学との融合研究を推進し、一分子イメージングを可能にする「超耐光性色素」の開発にも成功し、領域内での共有の研究資源として、共同研究に着手している（東山ら、*J. Am. Chem. Soc.* 2017 多喜班との領域内共同研究）。この「鍵と鍵穴」は柱頭を雌しべが通過することで初めて起動される。この過程に必須の糖鎖分子 AMOR を同定し、その構造活性相関を決定した（東山ら *Plant Physiol.* 2017）。さらに、花粉管内容物が受精時の「鍵と鍵穴」反応を部分的にスキップできる能力を有し、受精が起きなくても、花粉管内容物に種子肥大効果があることを発見した（東山ら *Science Advance*, 2016）。ライブイメージングを基盤とした共同研究によって、受精時の「鍵と鍵穴」が合致して正常な胚発生が進行する過程を初めてライブ撮影することに成功した（東山ら *PNAS* 2016 植田班との領域内共同研究）。受精時に出会う雌雄それぞれの配偶子に由来する転写因子が転写因子複合体を構成し、胚発生を正常に進行させる標的遺伝子の転写を活性化することを見出し、これが胚発生における転写因子複合体と標的遺伝子群を介した「鍵と鍵穴」の分子実態であることを解明した（*Genes Dev.* 2017 植田班との領域内共同研究）。

**受精後の胚と胚乳の発生における種の障壁（木下）**：胚と胚乳の発生は、花粉管によって運ばれてきた二つの精細胞が胚珠内の卵細胞及び中央細胞と各々受精する「重複受精」によって開始される。この過程の主要な種間障壁は胚乳発生にあり、異種ゲノムを有する精細胞が受精した場合、発生異常が生じて種子を形成できない。木下らは胚乳で出会う父母由来のエピゲノムが「鍵と鍵穴」となって種間障壁を構成する過程の分子実態を解析し、この過程に必須の特徴的な胚乳エピゲノムパターンが FACT ヒストンシャペロン



図5. 倍數性制御による種間雑種の作成に成功

を介してヘテロクロマチン領域に DNA 脱メチル化酵素が作用することで構築されることを明らかにした (*PNAS* 2018)。さらに、イネ種間交雑をモデルに胚乳発生における両親エピゲノムの「鍵と鍵穴」の分子実態を解析し、種間交雑の際に一方の親の倍數性を制御することにより、本来は形成できない異種ゲノムの融合に成功した種間雑種を作出することができた (木下ら *Plant J.* 2018、図 5)。

雌雄ゲノムの機能差異が種間障壁を構成することから、その起源となる性決定遺伝子をキウイフルーツから単離し、転写因子をコードすることを明らかにした。性決定の分子基盤が転写因子複合体と標的遺伝子群による「鍵と鍵穴」であることを示した (木下班 赤木ら *Plant Cell* 2018)。

**異種ゲノム合一によって誕生したハイブリッド新種植物の適応能（瀬々）**：「鍵と鍵穴」の障壁を越えて誕生したハイブリッド種は新規な適応力を獲得することが想定される。瀬々、清水らはゲノム重複による新種誕生の有利・不利な点を解析し、新種形成で生じる異質倍数体は広域・変動環境に適応的なジェネラリストであることを示した (*Mol. Biol. Evol.* 2016, *Nature Plants* 2016, *Mol. Ecol.* 2017a)。複雑なゲノム構成になるハイブリッド種のゲノム解析を可能にする技術を開発し (*BMC Med. Genome* 2018, *BMC Genomics* 2017, *BMC Bioinfo.* 2017)、異質倍数体植物シコクビエの高精度ゲノム解析に成功した (*DNA Res.* 2017)。種間障壁を生じる種分化過程も解析し、全シロイヌナズナ属の代表的全ゲノム解析から、種分化に可塑的に対応できる領域を同定し、種分化の一端を解明した (*Nature Genet.* 2016 土松班との領域内共同研究)。これらの発見は種を識別する生殖障壁が誕生する過程を始めて解明できた成果である。

**複二倍体種形成時の受粉・ゲノム安定性に機能する「鍵と鍵穴」因子の解析（渡辺）**：異種ゲノム合一によって誕生した複二倍体植物は世代を経過する中で適応的な形質を示す新種植物へと安定化する。渡辺らは安定化過程にある自家不和合性、自家和合性を示す植物種の交雑後代の解析から、複二倍体植物種がどちらの生殖システムで安定化するかを決定するゲノム因子が複数存在することを解明した。このことは、新種誕生後のゲノム安定性を理解できる可能性を見いだした (渡辺ら、未発表)。

「種分化へとつながる植物の地理的分化の過程で新規に生じた自他認証」が「種間認証の誕生の初期過程」を示唆するものと位置付け、アブラナ科植物を材料にその分子実態を解析した。その結果、自家不和合性における「リガンドとレセプター」SP11 と SRK が地理的分化に伴って重複と機能分化し、新規な「鍵と鍵穴」としての識別機能を獲得する過程を解明した (*Nature Plants* 2017 高山、瀬々班との領域内共同研究)。また、高山班との共同研究で自家不和合性における優劣性発現貴校において、受粉時に低分子 RNA が「鍵」分子として機能することも示した (*Nature Plants* 2016 高山班との領域内共同研究)。

以上のように、ブレークスルーテクノロジーを橋渡しとした異分野融合的な共同研究を積極的に展開し、花形成、受粉、受精、胚乳発生と新種ゲノムの安定化・適応までを網羅する「鍵と鍵穴」の分子作動実態を解明しつつあり、今後の3年間で研究発展が十分に期待できる。

### 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。

<審査結果の所見において指摘を受けた事項>

一方でこれまでに大型研究費の代表として極めて優れた成果を上げた実績を有する領域代表者には、(1)異分野融合による成功ノウハウを領域全体に広めて推進していく上で強いリーダーシップを発揮されることが期待される。また、(2)名古屋大学 WPI 拠点関連の研究者が異分野融合の中核を担う組織体制になっているが、これらの研究者の役割を重視し、より密接・実質的に計画研究に参画することや、(3)WPI 拠点に現存する最先端の顕微鏡関連設備の効果的な共用を検討することが望まれる。

**指摘(1)**を受け、東山領域代表のリーダーシップの下で当初申請に加えて「異分野融合研究ワークショップ」を立案・実行した。ブレイクスルーテクノロジーである有機合成化学、ライブイメージング、構造生物学、さらに領域のすべての研究の基盤となる情報科学を対象とする異分野融合研究ワークショップをこれまでに3回開催した結果、領域内における異分野融合の共同研究件数が大幅に増加し、また異分野融合研究センターの機能を活用する研究も強力に推進された。

**指摘(2)**を受け、当初東山班連携研究者として参画を計画していた Jeffrey Bode 博士が研究分担者として参画し、有機合成化学を活用した研究の推進のためのより実質的な参画を実現した。これによって有機化学合成による鍵分子の人工合成と機能の検証が加速し、東山班において花粉管誘引における種の認証領域の特定に成功した。また上述の異分野融合研究ワークショップを名古屋大学 WPI 拠点にて2回開催し、拠点長クラスの研究者がより密接に領域内の研究に参画する体制を構築した。この2回のうち「有機合成蛍光プローブによるライブイメージング」をテーマとしたワークショップでは、WPI 拠点長であり本領域異分野融合研究センター有機合成化学部門長である伊丹が有機合成化学を活用した共同研究を積極的に推進し、同時に WPI 研究者で東山班連携研究者でもある山口らが新しく開発した最新の蛍光プローブによる共同研究を提案したことで、多数の領域内共同研究が開始された。また「構造生物学」をテーマとしたワークショップでは、異分野融合研究センター構造生物学部門長である渡邊がセンター長を務める名古屋大学シンクロトロン光研究センターの見学を実施し、本施設を活用した共同研究の促進を図った。

**指摘(3)**を受け、「有機合成蛍光プローブによるライブイメージング」に焦点を当てた異分野融合研究ワークショップを WPI 拠点・名古屋大学 ITbM にて開催した。また ITbM イメージングセンターの見学と利用説明会を複数回実施した。その結果、ライブイメージングに関する共同研究件数が大幅に増加し、より効果的な共用を促進することができた。

<留意事項として指摘を受けた事項>

「新技術の三本柱の一つとして打ち出された有機化学については、その革新性や、有機化学者の参画が連携研究者のみの体制となっている点に懸念があるため、更なる強化が必要である」

本指摘を受け、有機合成化学研究を推進する Jeffrey Bode 博士が研究分担者として参画した。これによって種間障壁の鍵分子の完全人工合成と多数の変異導入分子の迅速作成、高い技術を要するペプチドの環状化などの革新的な技術を領域の研究に十分に投入することが可能となった。その結果、花粉管誘引で機能する鍵分子における認証領域の特定や最小の鍵分子の人工合成に成功した。

「有機合成蛍光プローブによるライブイメージング」を主題とした「異分野融合研究ワークショップ」を開催し、本領域の研究によって新規に開発された超耐久蛍光色素や超浸透性核染色剤、光ケージドレポーターや等の革新的な蛍光プローブ群を紹介して共同研究のマッチングを強力に推進した。一部の化合物は化学合成企業と共同で大量合成し、領域内での配布を開始している。その結果、有機合成化学を活用した共同研究件数を大幅に増加させることができた。

これらの革新的な有機合成化学を活用した植物生殖科学の推進は世界的にも高い評価を受けており、2019年には領域代表の東山がオーガナイザーとして EMBO workshop を名古屋大学 WPI 拠点で開催する。有機合成蛍光プローブを活用したライブイメージングをテーマとしており、海外から多数の植物生殖科学研究者が名古屋大学 WPI 拠点に集結して本領域の実験技術を習得するためにことが計画されている。

「国際活動支援班における人件費の割合が高く、国際共同研究の推進に向けて実効性のある計画とする観点から、交付申請に当たっては適切に見直すことが必要である。」

本指摘を受け、予定されていた博士研究員について瀬々班に所属して領域研究に参画し、国際活動支援班の国際活動支援センター欧州拠点であるチューリヒ大にて国際的な共同研究を推進する役割を担うように計画変更した。領域代表の東山が総裁を務める国際植物生殖学会の国際会議を2018年6月に日本で開催するにあたり、来日する海外の卓越研究者と本領域研究者との間の情報交換と国際共同研究を促進するために、研究のコーディネートを強力に進める特任助教を雇用した。コーディネーターの活動として、国際学会の日程の前後に本領域主催のサテライトワークショップの開催を円滑に進めると共に、班員の国際共同研究を強化するためネットワーク形成の支援ができた。さらには、国際共同研究を効果的に推進するために国内外の卓越研究者を領域の拠点研究機関へ招聘する活動も強化でき、これによって名古屋大 ITbM 研究所、横浜市大、東北大を中心に10件の研究者招聘、ならびに海外研究機関へ10件の研究者派遣を実施した。

「名古屋大学 WPI 拠点に最先端の顕微鏡関連設備を有しながら、他の2箇所が高額な共用設備を導入する点について、領域全体として、より効果的に共用するための工夫が必要である。」

本指摘を受け、導入する顕微鏡の領域内における役割を再検討した。東大に新規導入した顕微鏡は領域内の「タンパク質間相互作用の観察」を担う役割を持ち、蛍光相関法による溶液中における「鍵と鍵穴」の分子間相互作用を検出できる感度と分解能を有するセットアップとした。本機能を有する顕微鏡は名古屋大学 WPI 拠点には設置されていないため、タンパク質間相互作用を計測する独自の機能を領域内で発揮している。一方で、横浜市立大・木原生物学研究所に導入した顕微鏡は「ライブイメージング共同研究の第2拠点」として、主に関東地区を中心とする班員が活用できるものとした。本設備の領域の複数の研究計画において効果的に活用されており、毎日連続的に稼働している。さらに本設備によって重要なデータを取得できる可能性が見出された際には名古屋大学 WPI 拠点の複数の最先端の顕微鏡によるさらに高度なデータ取得へと進む研究戦略をとっており、両拠点の機能を最大限に活用する運用となっている。

#### 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。

##### 【計画・東山】

・同種の認証機構を担う花粉管誘引物質と受容体の立体構造を解明：花粉管ガイダンスに関わる LURE とそのレセプターは、精密に同種を認証する「鍵と鍵穴」であることが示唆されてきた。本研究ではこの両者が相互作用した状態の共結晶構造を解明した (*Nature Commun.* 2017)。本領域の中心的課題である「鍵と鍵穴」分子実態の核心に迫る、種の認証機構を構造レベルで解明した成果である。

・受精における「鍵と鍵穴」を起動させる糖鎖 AMOR の構造活性相関の解明：LURE と PRK6 の「鍵と鍵穴」システムの起動スイッチとなる糖鎖分子 AMOR の構造活性相関を解明した（東山ら *Plant Physiol.* 2017）。

##### 【計画・辻】

・生殖過程の舞台となる花の形成のマスタースイッチ・フロリゲンによる転写複合体の機能制御：フロリゲンとほぼ同一の構造を有するが一部が異なるために真逆の活性を示す分子「アンチフロリゲン」がフロリゲンと同一の受容体をハイジャックして転写抑制複合体（「抑制型の鍵」）を形成して機能することを明らかにした (*Plant Cell Physiol.* 2018, 領域内共同研究)。

##### 【計画・高山】

・初期受粉過程で機能する新たな種間不和合性因子の発見：シロイヌナズナの多様な野生系統の雌ずいに対して、異種花粉を受粉した際の花の侵入程度を指標とする GWAS により、種間不和合性を担う新規分子を同定した。花粉管ガイダンス以外で同種と異種の認証に関わる分子が発見されるのは初である。この分子は未知の花の因子との相互作用を介して異種花粉を特異的かつ積極的に排除していることが示され、種間障壁として機能する全く新しいタイプの分子であることが明らかとなった（投稿中）。

##### 【計画・上口】

・生殖を司る植物ホルモン・ジベレリンと受容体の共進化の発見：植物の雄性生殖器官形成に必須の植物ホルモン・ジベレリン(GA)と受容体 GID1 の構造活性相関を行い、双子葉植物の登場とともに誕生した高感度 GID 1 が双子葉植物の繁栄を促進した可能性を見出した（投稿中）。

・二つの植物ホルモン間のクロストークの分子実態としての「鍵と鍵穴」の発見：植物ホルモンのクロストークの分子実態が、各々の植物ホルモンによって特異的に誘導される転写因子が会合して形成される転写複合体を「鍵」、標的遺伝子のプロモーターを「鍵穴」とする制御であることを発見した (*Mol. Plant* 2017)。

##### 【計画・瀬々】

新種誕生の過程で新たな適応力が獲得される仕組みの解明：新種の誕生過程では異種ゲノムが合一した雑種が生じるが、このハイブリッドゲノムを正確に解析する手法を開発した (*BMC Med. Genome* 2018)。誕生した新種の適応力を理解するために異質倍数体植物の解析を行い、親種ほどの極端な環境には弱い広域・変動環境には強いジェネラリストとなることを明らかにした (*Mol Ecol.* 2017, *Mol. Biol. Evol.* 2016, *Nature Plants* 2016, 領域内共同研究)。

##### 【計画・渡辺】

・自他認識遺伝子の重複と機能喪失により生じた新たな生殖障壁の発見：生育地の大きく異なる2系統間において生じた生殖障壁が、両系統間における自家不和合性遺伝子の重複と機能喪失によって顕在化したことを明らかにした (*Nature Plants* 2017, 領域内共同研究)。

#### 【計画・木下】

・胚乳におけるエピジェネティックな「鍵と鍵穴」の形成メカニズムの解明：胚乳の起源となる中央細胞は特徴的なエピゲノムパターンが、FACT ヒストンシャペロンの機能によってヘテロクロマチン領域に DNA 脱メチル化のシステムが作用することで形成されることを明らかにした (**PNAS** 2018)。

・新種誕生につながる異種間雑種の作成：栽培イネと野生イネの種間交雑で見られる種の障壁が父・母に由来するインプリント遺伝子の発現量のアンバランスにあることを見出し、母親である栽培イネの倍数性を人為的に倍加させることによって障壁を打破、発芽可能な種子を形成させることに成功した (**Plant J.** 2018)。

#### 【公募・川勝】

・種子の休眠と発芽の過程において DNA メチル化のリプログラミングが生じることを発見：胚発生中の種子と発芽中の種子の DNA メチル化パターンの変化を詳細に解析し、胚発生過程で強く DNA メチル化を受けた後、発芽後数日間で DNA メチル化が一気に解除されることを明らかにした (**Genome Biol.** 2017)。

#### 【公募・土松】

・交雑が起きやすい他種に向かわせる自家不和合性の誕生：新種誕生を促進する他種性は、自己の花粉を拒絶する自家不和合性の獲得によって加速される。本研究ではもっとも祖先的かつ遺伝的多様性の高いシロイヌナズナ集団がアフリカ・地中海地域にあることを発見し、交雑の起きやすいた自家不和合性の誕生がアフリカ集団の共通祖先にまで遡ることを明らかにした (**Mol Biol Evol** 2017, **PNAS** 2017)。

#### 【公募・多喜】

・有機合成化学によって種の認証過程のイメージングを可能にする「超耐光性色素」の開発に成功：同種の認証機構の分子実態解明に向けて、一分子超解像度イメージングは極めて有効な手法である。しかし強力な光照射によって観察用の蛍光分子が退色する問題があった。本研究では、有機合成化学を駆使してほとんど退色がなく明るい蛍光色素の開発に成功した (**J. Am. Chem. Soc.** 2017)。

#### 【公募・植田】

・ライブイメージングによる植物胚発生の観察に成功し、細胞骨格による胚発生制御機構を発見：卵細胞と精細胞の受精後、「鍵と鍵穴」の同種認証が成立して正常な胚発生が進行する過程を初めてライブ撮影することに成功した (**PNAS** 2016)。

・胚発生における転写因子複合体と標的遺伝子群を介した「鍵と鍵穴」の分子実態を解明：受精時に会う雌雄それぞれの配偶子に由来する転写因子が転写因子複合体を構成し、胚発生を正常に進行させる標的遺伝子の転写を活性化することを解明した (**Genes Dev.** 2017 東山班との領域内共同研究)

#### 【公募・西村】

・葉緑体 DNA の分配を制御するメカニズムを解明：接合時にメスの遺伝情報のみが伝わる葉緑体では、接合から減数分裂に至る過程で網目状に絡み合うホリデイジャンクションを解消する必要がある。このメカニズムに関して、原子力間力顕微鏡イメージング技術などを用いて明らかにした (**Science** 2017)。

#### 【公募・山岡】

・生殖細胞形成のマスタースイッチを発見：進化的に保存された、生殖系列始原細胞の分化のマスタースイッチとなる転写因子を同定した。長年、被子植物だけの研究では発見できなかった極めて重要な遺伝子を、ゼニゴケの研究を起点として発見した成果である (**Curr. Biol.** 2018)。

#### 【公募・伊藤】

・生殖の場となる正常な花を作る仕組みを解明：生殖過程の進行を可能とする正常な花を形成するメカニズムを解析し、花発生の最終段階で形成される転写因子複合体が、標的遺伝子の活性化を通して植物ホルモン・オーキシンの分布を時空間的に制御することにより花の形成を完了させることを解明した (**Nature Commun.** 2017)。

#### 【公募・野々村】

・イネの葯組織特異的な低分子 RNA 生合成を誘導する転写因子を特定：花粉成熟を支えるタペート組織で低分子 RNA 生成を制御する転写因子を発見し、タペート組織と隣接する減数分裂細胞の間で低分子 RNA の輸送を介した情報伝達、すなわち低分子 RNA 群と標的ゲノムの制御を示した (***PLoS Genet.* 2018**)。

#### 【公募・岡本】

・独自の生殖細胞単離システムと *in vitro* 受精系を駆使して卵細胞の受精直後における細胞周期開始の過程を解明：胚珠の奥深くに位置する卵細胞と花粉管内の精細胞を生きたまま単離し、試験管内で受精・観察する実験系を開発し、受精直後に細胞周期が開始される過程を観察した (***Plant Reprod.* 2018**)。

#### 【公募・丸山】

・植物の多精拒否の中心メカニズム「残存助細胞の細胞融合」を制御する化合物を発見：植物の受精における「多精拒否」の中心的メカニズムである「残存助細胞の細胞融合」について、この過程を阻害する化合物を発見した (***J. Cell. Sci.* 2018**)。

#### 【公募・宅見】

・異種間交雑で誕生した合成異質倍数体コムギで発動する「鍵と鍵穴」のトランスクリプトーム解析：植物の受精における四倍体コムギと二倍体コムギの異種間交雑によって作成した異質六倍体コムギではしばしば雑種弱勢が生じるため、この過程の過程のトランスクリプトームを解析した(***PLOS One.* 2017**)。

## 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）について記載したのものについては、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。

【論文】 合計 140 報（平成 28 年 7 月以降に発表したもの）

主な掲載論文 IF 5 以上 52 報 (Journal Citation Reports 2016)

<i>Science</i> (37.205)	2 報	<i>ISME J.</i> (9.664)	1 報	<i>Chem. Commun.</i> (6.319)	1 報
<i>Cell</i> (30.410)	1 報	<i>PNAS</i> (9.661)	3 報	<i>Mol. Biol. Evol.</i> (6.202)	3 報
<i>Nat. Genet.</i> (27.959)	2 報	<i>Genes Dev.</i> (9.413)	1 報	<i>PLOS Genetics</i> (6.100)	1 報
<i>J. Am. Chem. Soc.</i> (13.858)	1 報	<i>Curr. Biol.</i> (8.851)	2 報	<i>Mol. Ecol.</i> (6.086)	2 報
<i>Nat. Commun.</i> (12.124)	5 報	<i>Plant Cell</i> (8.688)	2 報	<i>Plant J.</i> (5.901)	1 報
<i>Trends Plant Sci.</i> (11.911)	1 報	<i>eLife</i> (7.725)	1 報	<i>Development</i> (5.843)	1 報
<i>Genome Biol.</i> (11.911)	1 報	<i>Mol. Ecol. Resour.</i> (7.332)	1 報	<i>J. Exp. Bot.</i> (5.830)	1 報
<i>Nat. Plants</i> (10.300)	7 報	<i>Bioinformatics</i> (7.307)	1 報	<i>DNA Res.</i> (5.404)	1 報
<i>Nucleic Acids Res.</i> (10.162)	1 報	<i>BMC Biol.</i> (6.779)	1 報		
<i>EMBO J.</i> (9.792)	1 報	<i>Plant Physiol.</i> (6.456)	6 報		

下記に各班の研究成果公表の状況について、代表的なものを中心に示した。

### 計画・東山

- ▲\*Sankaranarayanan S, \*Higashiyama T. (2018) Capacitation in plant and animal fertilization. *Trends Plant Sci.*, 23, 129-139.
- \*Higashiyama T. (2018) Plant Reproduction: Autocrine machinery for the long journey of the pollen tube. *Curr. Biol.*, 28, R266-R269.
- ◎▲Motomura K, Kawashima T, Berger F, Kinoshita T, Higashiyama T., \*Maruyama D. (2018) A pharmacological study of *Arabidopsis* cell fusion between the persistent synergid and endosperm. *J. Cell Sci.*, 131. (丸山班, 木下班との共同研究)
- Zhao X, Bramsiepe J, Van Durme M, Komaki S, Prusicki MA, Maruyama D, Forner J, Medzihradzky A, Wijnker E, Harashima H, Lu Y, Schmidt A, Guthörl D, Logroño RS, Guan Y, Pochon G, Grossniklaus U, Laux T, Higashiyama T., Lohmann JU, Nowack MK, \*Schnittger A. (2017) RETINOBLASTOMA RELATED1 mediates germline entry in *Arabidopsis*. *Science*, 356, 396-403. (丸山班との共同研究)
- ◎▲Wang C, \*Taki M, \*Sato Y, \*Fukazawa A, Higashiyama T., \*Yamaguchi S. (2017) Super-photostable phosphole-based dye for multiple-acquisition stimulated emission depletion imaging. *J. Am. Chem. Soc.*, 139, 10374-10381. (多喜班との共同研究)
- ▲Luo N, Yan A, Liu G, Guo J, Rong D, Kanaoka MM., Xiao Z, Xu G, Higashiyama T., Cui X, \*Yang Z. (2017) Exocytosis-coordinated mechanisms for tip growth underlie pollen tube growth guidance. *Nat. Commun.*, 8, 1687.
- ◎▲Zhang X, Liu W, Nagae TT, Takeuchi H, Zhang H, \*Han Z, \*Higashiyama T., \*Chai J. (2017) Structural basis for receptor recognition of pollen tube attraction peptides. *Nat. Commun.*, 8, 1331.
- ▲\*Ueda M, Aichinger E, Gong W, Groot E, Verstraeten I, Vu LD, 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. (植田班との共同研究)
- ◎▲Jiao J, Mizukami AG, Sankaranarayanan S, Yamguchi J, \*Itami K, \*Higashiyama T. (2017) Structure-activity relation of AMOR sugar molecule that activates pollen-tubes for ovular guidance. *Plant Physiol.*, 173, 354-363.
- ▲\*Tsutsui H, \*Higashiyama T. (2017) pKAMA-ITACHI vectors for highly efficient CRISPR/Cas9-mediated gene knockout in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiol.*, 58, 46-56.
- ◎▲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. *PNAS*, 113, 14157-14162.

12. ◎▲\*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. *Science advances*, 2, e1600554.

計画・辻

1. ◎▲Kaneko-Suzuki M, Kurihara-Ishikawa R, Okushita-Terakawa C, Kojima C, Nagano-Fujiwara M, Ohki I, Tsuji H. Shimamoto K, \*Taoka KI. (2018) TFL1-like proteins in rice antagonize rice FT-like protein in inflorescence development by competition for complex formation with 14-3-3 and FD. *Plant Cell Physiol.*, 59, 458-468. (児嶋班との共同研究)
2. ▲\*Tsuji H. (2017) Molecular function of florigen. *Breeding Sci.*, 67, 327-332.
3. ▲Saijara N, \*Tsuji H. (2017) Imaging florigen distribution *in vivo*. *Plant Morphol.*, 29, 27-31.
4. \*Purwestri YA, Susanto F A, Tsuji H. (2017) Hd3a florigen recruits different proteins to reveal its function in plant growth and development *Plant Engineering*, 49 -67.

計画・高山

1. ▲Fujii S., \*Takayama S. (2018) Multilayered dominance hierarchy in plant self-incompatibility. *Plant Reprod.*, 31, 15-19.
2. Hirano Y, Nakagawa M, Suyama T, Murase K., Shirakawa M, Takayama S. Sun TP, \*Hakoshima T. (2017) Structure of the SHR-SCR heterodimer bound to the BIRD/IDD transcriptional factor JKD. *Nat. Plants*, 3, 17010.
3. ◎▲Takada Y, Murase K., Shimosato-Asano H, Sato T, Nakanishi H, Suwabe K, Shimizu KK, Lim YP, Takayama S., \*Suzuki G, \*Watanabe M. (2017) Duplicated pollen-pistil recognition loci control intraspecific unilateral incompatibility in *Brassica rapa*. *Nat. Plants*, 3, 17096. (瀬々班、渡辺班との共同研究)
4. ▲\*Murase K., Shigenobu S, Fujii S., Ueda K, Murata T, Sakamoto A, Wada Y, Yamaguchi K, Osakabe Y, Osakabe K, Kanno A, Ozaki Y, \*Takayama S. (2017) MYB transcription factor gene involved in sex determination in *Asparagus officinalis*. *Genes to cells*, 22, 115-123.
5. ▲Fujii S., Kubo K, \*Takayama S. (2016) Non-self- and self-recognition models in plant self-incompatibility. *Nat. Plants*, 2, 16130.
6. ▲Yasuda S, Wada Y, Kakizaki T, Tarutani Y, Miura-Uno E, Murase K., Fujii S., Hioki T, Shimoda T, Takada Y, Shiba H, Takasaki-Yasuda T, Suzuki G, \*Watanabe M, \*Takayama S. (2016) A complex dominance hierarchy is controlled by polymorphism of small RNAs and their targets. *Nat. Plants*, 3, 16206. (渡辺班との共同研究)
7. ▲Kubo KI, Tsukahara M, Fujii S., Murase K., Wada Y, Entani T, Iwano M, \*Takayama S. (2016) Cullin1-P is an essential component of non-self recognition system in self-incompatibility in *Petunia*. *Plant Cell Physiol.*, 57, 2403-2416.

計画・上口

1. ◎Takehara S, \*Ueguchi-Tanaka M. (2018) Gibberellin *Plant Structural Biology: Hormonal Regulations*, in press.
2. ▲Huang P, Yoshida H, Yano K, Kinoshita S, Kawai K, Koketsu E, Hattori M, Takehara S, Huang J, Hirano K., Ordonio RL, Matsuoka M., Ueguchi-Tanaka M. (2018) OsIDD2, a zinc finger and INDETERMINATE DOMAIN protein, regulates secondary cell wall formation. *J. Integr. Plant. Biol.*, 60, 130-14\*3.
3. Yano, K., \*Yamamoto, E., Aya, K., Takeuchi, H., Lo, PC., Hu, L., Yamasaki, M., Yoshida, S., Kitano, H., Hirano, K., \*Matsuoka, M. (2016) Genome-wide association study using whole-genome sequencing rapidly identifies new genes influencing agronomic traits in rice. *Nat. Genet.*, 48, 927-934.
4. ▲Kudo T, Sasaki Y, Terashima S, Matsuda-Imai N, Takano T, Saito M, Kanno M, Ozaki S, Suwabe K, Suzuki G, Watanabe M, Matsuoka M., Takayama S, \*Yano K (2016) Identification of reference genes for quantitative expression analysis using large scale RNA-seq data of *Arabidopsis thaliana* and model crop plants. *Genes Genet. Syst.*, 91, 111-125. (高山班、渡辺班、矢野班との共同研究)

計画・瀬々

1. ◎▲Takada Y, Murase K, Shimosato-Asano H, Sato T, Nakanishi H, Suwabe K, Shimizu KK. Lim YP, Takayama S, \*Suzuki G, \*Watanabe M. (2017) Duplicated pollen-pistil recognition loci control intraspecific unilateral incompatibility in *Brassica rapa*. *Nat. Plants*, 3, 17096. (高山班、渡辺班との共同研究)
2. ◎▲Hatakeyama M, Aluri S, Balachandran MT, Sivarajan SR, Patrignani A, Grüter S, Poveda L, Shimizu-Inatsugi R, Baeten J, Francoijs KJ, Nataraja KN, Reddy YAN, Phadnis S, Ravikumar RL, Schlapbach R, Sreeman SM, \*Shimizu KK. (2017) Multiple hybrid *de novo* genome assembly of finger millet, an orphan allotetraploid crop. *DNA Res.*, 25, 39.
3. ◎▲Lischer HEL, \*Shimizu KK. (2017) Reference-guided *de novo* assembly approach improves genome reconstruction for related species. *BMC Bioinform.*, 18, 474.
4. Novikova PY, Hohmann N, Nizhynska V, Tsuchimatsu T, Ali J, Muir G, Guggisberg A, Paape T, Schmid K, Fedorenko OM, Holm S, Säll T, Schlötterer C, Marhold K, Widmer A, Sese J., Shimizu KK., Weigel D, Krämer U, Koch MA, \*Nordborg M. (2016) Sequencing of the genus *Arabidopsis* identifies a complex history of nonbifurcating speciation and abundant trans-specific polymorphism. *Nat. Genet.*, 48, 1077-1082.
5. ▲\*Gan X, Hay A, Kwantes M, Haberer G, Hallab A, Ioio RD, Hofhuis H, Pieper B, Cartolano M, Neumann U, Nikolov LA, Song B, Hajheidari M, Briskine R, Kougioumoutzi E, Vlad D, Broholm S, Hein J, Meksem K, Lightfoot D, Shimizu KK. Shimizu-Inatsugi R, Imprialou M, Kudrna D, Wing R, Sato S, Huijser P, Filatov D, Mayer KF, Mott R, \*Tsiantis M. (2016) The Cardamine *hirsuta* genome offers insight into the evolution of morphological diversity. *Nat. Plants*, 2, 16167.

- \*Terada A, Yamada R, Tsuda K, \*Sese J. (2016) LAMPLINK: detection of statistically significant SNP combinations from GWAS data. *Bioinformatics*, 32, 3513-3515.
- ▲Paape T, Hatakeyama M, Shimizu-Inatsugi R, Cereghetti T, Onda Y, Kenta T, Sese J., \*Shimizu KK. (2016) Conserved but attenuated parental gene expression in allopolyploids: constitutive zinc hyperaccumulation in the allotetraploid *Arabidopsis kamchatica*. *Mol. Biol. Evol.*, 33, 2781-2800.

計画・渡辺

- ◎▲Takada Y, Murase K, Shimosato-Asano H, Sato T, Nakanishi H, Suwabe K., Shimizu KK, Lim YP, Takayama S, \*Suzuki G., \*Watanabe M. (2017) Duplicated pollen-pistil recognition loci control intraspecific unilateral incompatibility in *Brassica rapa*. *Nat. Plants*, 3, 17096. (瀬々班、高山班との共同研究)
- ▲Yasuda S, Wada Y, Kakizaki T, Tarutani Y, Miura-Uno E, Murase K, Fujii S, Hioki T, Shimoda T, Takada Y, Shiba H, Takasaki-Yasuda T, Suzuki G., \*Watanabe M., \*Takayama S. (2016) A complex dominance hierarchy is controlled by polymorphism of small RNAs and their targets. *Nat. Plants*, 3, 16206. (高山班との共同研究)
- Rabiger DS, Taylor JM, Spriggs A, Hand ML, Henderson ST, Johnson SD, Oelkers K, Hrmova M, Saito K, Suzuki G., Mukai Y, Carroll BJ, \*Koltunow AMG (2016) Generation of an integrated Hieracium genomic and transcriptomic resource enables exploration of small RNA pathways during apomixis initiation. *BMC Biol.*, 14, 86.
- \*Ito-Inaba Y, Masuko-Suzuki H, Maekawa H, Watanabe, M., Inaba, T. (2016) Characterization of two PEBP genes, SrFT and SrMFT, in thermogenic skunk cabbage (*Symplocarpus renifolius*). *Sci. Rep.*, 6, 29440.
- ▲Kudo T, Sasaki Y, Terashima S, Matsuda-Imai N, Takano T, Saito M, Kanno M, Ozaki S, Suwabe K., Suzuki G., Watanabe M., Matsuoka M, Takayama S, \*Yano K (2016) Identification of reference genes for quantitative expression analysis using large scale RNA-seq data of *Arabidopsis thaliana* and model crop plants. *Genes Genet. Syst.*, 91, 111-125. (上口班、矢野班との共同研究)

計画・木下

- ▲Frost JM, Kim MY, Park GT, Hsieh PH, Nakamura M, Lin SJH, Yoo H, Choi J, Ikeda Y, \*Kinoshita T., \*Choi Y, \*Zilberman D, \*Fischer RL. (2018) FACT complex is required for DNA demethylation at heterochromatin during reproduction in *Arabidopsis*. *PNAS*, 115: E4720-E4729.
- \*Kinoshita T. (2018) A parental tug-of-war *Nat. Plants*, in press.
- ▲\*Akagi, T., Henry, M. I., Ohtani, H., Morimoto, T., Beppu, K., Kataoka, I., Tao, R. (2018) The Y-encoded suppressor of feminization in kiwifruit arose via lineage-specific duplication of a cytokinin response regulator. *Plant Cell*, accepted.
- ▲Tonosaki K, Sekine D, Ohnishi, T., Ono A, Furuumi H, Kurata N, \*Kinoshita T. (2018) Overcoming the species hybridization barrier by ploidy manipulation in the genus *Oryza*. *Plant J.*, 93, 534-544.
- ◎▲Motomura K, Kawashima T, Berger F, Kinoshita T., Higashiyama T, \*Maruyama D. (2018) A pharmacological study of *Arabidopsis* cell fusion between the persistent synergid and endosperm. *J. Cell Sci.*, 131. (丸山班、東山班との共同研究)
- ▲\*Akagi T., Henry IM, Kawai T, Comai L, Tao R. (2016) Epigenetic regulation of the sex determination gene MeGI in polyploid persimmon. *Plant Cell*, 28, 2905-2915.
- ▲Piskurewicz U, Iwasaki M, Susaki D, Megies C, Kinoshita T., \*Lopez-Molina L. (2016) Dormancy-specific imprinting underlies maternal inheritance of seed dormancy in *Arabidopsis thaliana*. *eLife*, 5, e19573.
- ▲Motomura K, Berger F, Kawashima T, Kinoshita T., Higashiyama T, \*Maruyama D. (2016) Fertilization-independent cell-fusion between the synergid and central cell in the polycomb mutant. *Cell structure and function*, 41, 121-125. (東山班、丸山班との共同研究)

公募・井川

- ▲Takahashi T, Honda K, Mori T., \*Igawa T. (2017) Loss of GCS1/HAP2 does not affect the ovule-targeting behavior of pollen tubes. *Plant Reprod.*, 30, 147-152.

公募・土松

- Ariga H, Katori T, Tsuchimatsu T., Hirase T, Tajima Y, Parker JE, Alcázar R, Koornneef M, Hoekenga O, Lipka AE, Gore MA, Sakakibara H, Kojima M, Kobayashi Y, Iuchi S, Kobayashi M, Shinozaki K, Sakata Y, Hayashi T, Saijo Y, \*Taji T. (2017) NLR locus-mediated trade-off between abiotic and biotic stress adaptation in *Arabidopsis*. *Nat. Plants*, 3, 17072.
- Durvasula A, Fulgione A, Gutaker RM, Alacakaptan SI, Flood PJ, Neto C, Tsuchimatsu T., Burbano HA, Picó FX, Alonso-Blanco C, \*Hancock AM. (2017) African genomes illuminate the early history and transition to selfing in *Arabidopsis thaliana*. *PNAS*, 114, 5213-5218.

公募・宮川

- Nemoto K, Ramadan A, Arimura GI, Imai K, Tomii K, Shinozaki K, \*Sawasaki T. (2017) Tyrosine phosphorylation of the GARU E3 ubiquitin ligase promotes gibberellin signalling by preventing GID1 degradation. *Nat. Commun.*, 8, 1004.

公募・児嶋

- \*Miyanoiri Y, Hijikata A, Nishino Y, Gohara M, Onoue Y, Kojima S, Kojima C., Shirai T, Kainosho M, \*Homma M. (2017) Structural and functional analysis of the C-terminal region of FliG, an essential motor component of Vibrio Na<sup>+</sup>-driven flagella. *Structure*, 25, 1540-1548.

公募・植田

1. ▲\*Ueda M, Aichinger E, Gong W, Groot E, Verstraeten I, Vu LD, 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. (東山班との共同研究)

公募・多喜

1. ◎▲Wang C, \*Taki M, \*Sato Y, \*Fukazawa A, Higashiyama T, \*Yamaguchi S. (2017) Super-photostable phosphole-based dye for multiple-acquisition stimulated emission depletion imaging. **J. Am. Chem. Soc.**, 139, 10374-10381. (東山班との共同研究)

公募・西村

1. ◎▲Kobayashi Y, Misumi O, Odahara M, Ishibashi K, Hirono M, Hidaka K, Endo M, Sugiyama H, Iwasaki H, Kuroiwa T, Shikanai T, \*Nishimura Y. (2017) Holliday junction resolvases mediate chloroplast nucleoid segregation. **Science**, 356, 631-634.

公募・山岡

1. ▲Yamaoka S, Nishihama R, Yoshitake Y, Ishida S, Inoue K, Saito M, Okahashi K, Bao H, Nishida H, Yamaguchi K, Shigenobu S, Ishizaki K, Yamato KT, \*Kohchi T. (2018) Generative cell specification requires transcription factors evolutionarily conserved in land plants. **Curr. Biol.**, 28, 479-486.e5.
2. \*Bowman JL, \*Kohchi T, \*Yamato KT, Jenkins J, Shu S, Ishizaki K, Yamaoka S, Nishihama R, Nakamura Y, Berger F, Adam C, Aki SS, Althoff F, Araki T, Arteaga-Vazquez MA, Balasubramanian S, Barry K, Bauer D, Boehm CR, Briginshaw L, Caballero-Perez J, Catarino B, (2017) Insights into land plant evolution garnered from the marchantia polymorpha genome. **Cell**, 171, 287-304.e15.

公募・宅見

1. \*Matsuoka Y, Takumi S. (2017) The role of reproductive isolation in allopolyploid speciation patterns: empirical insights from the progenitors of common wheat. **Sci. Rep.**, 7, 16004.

公募・伊藤

1. ▲Xu Y, Prunet N, Gan E-S, Wang Y, Stewart D, Wellmer F, Huang J, Yamaguchi N, Tatsumi Y, Kojima M, Kiba T, Sakakibara H, Jack TP, Meyerowitz EM, \*Ito T. (2018) SUPERMAN regulates floral whorl boundaries through control of auxin biosynthesis. **EMBO J.**, e97499.
2. ◎▲Yamaguchi N, Huang J, Xu Y, Tanoi K, \*Ito T. (2017) Fine-tuning of auxin homeostasis governs the transition from floral stem cell maintenance to gynoecium formation. **Nat. Commun.**, 8, 1125.

公募・岡本

1. ▲Toda E, Ohnishi Y, \*Okamoto T (2018) An imbalanced parental genome ratio affects the development of rice zygotes. **J. Exp. Bot.**, in press.

公募・丸山

1. ◎▲Motomura K, Kawashima T, Berger F, Kinoshita T, Higashiyama T, \*Maruyama D. (2018) A pharmacological study of *Arabidopsis* cell fusion between the persistent synergid and endosperm. **J. Cell Sci.**, 131. (東山班, 木下班との共同研究)
2. Zhao X, Bramsiepe J, Van Durme M, Komaki S, Prusicki MA, Maruyama D, Forner J, Medzihradzky A, Wijnker E, Harashima H, Lu Y, Schmidt A, Guthörl D, Logroño RS, Guan Y, Pochon G, Grossniklaus U, Laux T, Higashiyama T, Lohmann JU, Nowack MK, \*Schnittger A. (2017) RETINOBLASTOMA RELATED1 mediates germline entry in *Arabidopsis*. **Science**, 356, 396-403. (東山班との共同研究)

公募・矢野

1. ◎▲\*Ueno S, Nakamura Y, Kobayashi M, Terashima S, Ishizuka W, Uchiyama K, Tsumura Y, \*Yano K, Goto S. (2018) TodoFirGene: Developing transcriptome resources for genetic analysis of *Abies sachalinensis*. **Plant Cell Physiol.**, in press.

公募・野々村

1. ▲Ono S, Liu H, Tsuda K, Fukai E, Tanaka K, Sasaki T, \*Nonomura KI. (2018) EAT1 transcription factor, a non-cell-autonomous regulator of pollen production, activates meiotic small RNA biogenesis in rice anther tapetum. **PLOS genetics**, 14, e1007238.

公募・海老根

1. \*Ito E, Ebine K, Choi SW, Ichinose S, Uemura T, Nakano A, \*Ueda T. (2018) Integration of two RAB5 groups during endosomal transport in plants. **eLife**, 7, e34064.

公募・川勝

1. ◎▲Kawakatsu T, Nery JR, Castanon R, \*Ecker JR. (2017) Dynamic DNA methylation reconfiguration during seed development and germination. **Genome Biol.**, 18, 171.

【書籍】 合計 10 班、22 件 下記に代表的なものを示した。

計画・東山

1. 東山哲也. シロイヌナズナで高効率のゲノム編集を実現！ - 植物科学を加速するカマイタチ・ベクターとは. *Academist Journal*, 2017年4月26日号
2. 東山哲也. 植物新種誕生の原理に挑む. *実験医学* 34: 2750 (2016).

計画・瀬々

1. 瀬々潤. 超並列シーケンサを用いて大規模構造変異を検出する新規アルゴリズム COSMOS. *バイオサイエンスとインダストリー*. 74 (5): 425-427 (2016).

【シンポジウム開催】 合計 国際 7 件、国内 8 件 下記に代表的なものを示した。

国際シンポジウム

1. The 25th International Congress on Sexual Plant Reproduction (日本、岐阜)2018年6月11-16日
2. Cold Spring Harbor Asia Conference "Plant Cell and Developmental Biology" (中国 蘇州) 2017年5月25日
3. XIX International Botanical Congress シンポジウム (中国 深圳) 2017年7月25日
4. The PAG Asia Conference 2017、Plant Omics Workshop (韓国 ソウル) 2017年5月29-31日
5. Plant and Animal Genome XXVI Rice Functional Genomics Workshop (San Diego, USA) 2018年1月18日
6. Satellite Symposium of 25<sup>th</sup> ICSPR "Reproductive Biology" (日本、名古屋) 2017年6月10-11日
7. Satellite Symposium of 25<sup>th</sup> ICSPR "Epigenetics and Reproduction" (日本、横浜) 2017年6月18日

国内シンポジウム

1. 第69回日本細胞生物学会年会 大会長企画シンポジウム (仙台) 2017年6月14日
2. 発生生物学会第50回記念大会シンポジウム (東京) 2017年5月12日
3. 第39回日本分子生物学会年会シンポジウム (横浜) 2016年12月1日
4. 第58回日本植物生理学会年会シンポジウム (鹿児島) 2017年3月17日

【アウトリーチ活動】 合計 12 班、151 件 下記に代表的なものを示した。

1. (計画・東山) 学びの杜・学術コース 生命科学探求講座、名古屋大学教育学部附属高校、2017年7月19日;
2. (計画・東山) 朝日小学生新聞 こども会議、名古屋大学、2017年8月26日、
3. (計画・東山) BS ジャパン 科学ミチル、2017年9月28日
4. (計画・東山) 「種の壁に挑む」、学びの杜・学術コース 生命科学探求講座 (名古屋大学教育学部附属高校スーパー・サイエンス・ハイスクール、名古屋、2016年10月22日、東山哲也
5. (計画・瀬々、清水健太郎) 「変動環境における野生・栽培生物の急速な進化」、近未来からの招待状～ナイスステップな研究者 2015 からのメッセージ～、文部科学省、2016年7月8日
6. (計画・渡辺) 福島県立磐城高等学校・大学訪問研修(2017), 仙台, 2017/4/20

【受賞】 合計 10 班 20 件 下記に代表的なものを示した。

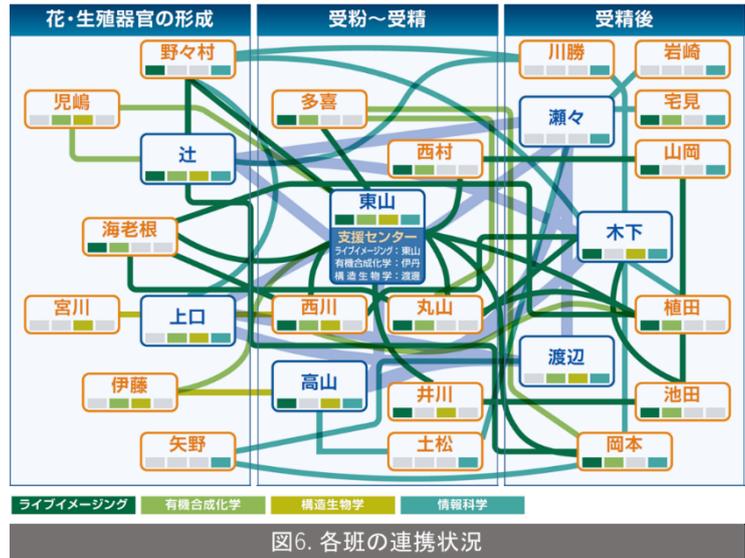
1. 平成 29 年度第 34 回井上學術賞 (計画・東山)
2. 平成 28 年度日本植物形態学会 平瀬賞 (計画・東山)
3. 第 25 回(平成 28 年度)木原記念財団學術賞 (計画・東山)
4. 平成 30 年度第 71 回中日文化賞 (計画・東山)
5. 平成 29 年度日本植物形態学会 平瀬賞 (公募・西村)
6. 平成 29 年度第 14 回日本植物学会賞 若手奨励賞、大西由之佑 (公募・岡本)
7. 平成 30 年度科学技術分野 文部科学大臣表彰 若手科学者賞 (公募・川勝)
8. 平成 30 年度第 15 回日本植物学会賞 奨励賞 (公募・丸山)

## 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、植物の生殖過程において、種を認証するために多段階に配置された「鍵と鍵穴」の分子実態の解明という目的を有している。この目的を可能にするために、強力な連携体制を取り得る計画研究とそれを補完する公募研究を組織してきた。「鍵と鍵穴」の分子認証機構の実態を解明するためには、構造生物学の手法により分子構造まで掘り下げて理解し、最終的には最も重要となる「鍵」を有機合成化学により合成し、ライブイメージング技術などを用いて時間空間的に検証実験を行うことが必要である。さらにこれらを支える高度な生命情報科学が必須である。これを実現するために、本領域では研究項目を設けずにすべての計画研究と公募研究が有機的な共同研究を取れる組織を構築した。

本領域では生命現象や研究対象を「鍵と鍵穴」という言葉で置き換えているが、それらは三つのカテゴリーに大別することが可能である。すなわち、(1)リガンド・レセプター、(2)複数の転写因子からなる転写複合体と標的遺伝子、(3)低分子 RNA 群と標的ゲノムなどに代表でき、これらは物質間相互作用として理解することが可能である。それぞれのカテゴリーには特に強い親和性を持つ研究班が複数配置され、3つのブレークスルーテクノロジーに加え情報科学を積極的に組み込んだ共同研究が活発に進められている。



(1)リガンド・レセプターでは計画研究の東山班、高山班、上口班、渡辺班が複数の公募研究との共同研究を進めており、ライブイメージングや構造生物学といった技術を用いて花粉と柱頭の認証、オス側の花粉管とメス側の胚珠での認証など重要な分子種の同定とその作用機序の解明を進めている。(2)複数の転写因子からなる転写複合体と標的遺伝子においては辻班、上口班、瀬々班、木下班が構造生物学、ライブイメージングや生命情報科学を専門とする公募研究と共同研究を進めており、例えば花成ホルモンフロリゲンが複数転写因子と会合し、下流の標的遺伝子の活性化を決定していること、遺伝子発現プロファイルを時間空間的に変化させることが深く理解されるようになった。(3)低分子 RNA 群と標的ゲノムの相互作用では木下班、辻班、渡辺班、瀬々班が生命情報科学とライブイメージングを中心としたブレークスルーテクノロジーを駆使しつつバイオインフォマティクスやエピゲノミクスを専門とする公募研究と連携して研究を推進している。このように、「鍵と鍵穴」とブレークスルーテクノロジーを縦糸と横糸にした有機的な連携と共同研究体制を組み上げてきた。

公募研究・国際共同研究も極めて効果的に領域の研究へ組み込まれている。公募・山岡らは生殖細胞をつくるマスタースイッチ遺伝子として、長年被子植物だけの研究では見つけられなかった遺伝子をコケの解析を起点に発見した (*Curr. Biol.* 2018)。公募・岡本らは、植物の異種配偶子を様々な組み合わせで融合させる独自の技術によって、本領域の成果として人為的に受精の壁を越えた時に新種として発生するための重要な基本原理を探っている。国際活動支援班の北米拠点 UC バークレイ校の R. Fischer 教授と木下班が強固な共同研究体制を構築して国際共著論文を発表した (*PNAS* 2018)。また欧州拠点のスイス・チューリヒ大 Shimizu 教授とは瀬々班、渡辺班とが頻りに議論し、国際共同研究論文を発表した (*Nature Plants* 2017)。東山らも領域のテクノロジーを活用した国際共同研究を論文発表した (*Science* 2017)。

異分野融合研究支援センターはブレークスルーテクノロジーを基盤とした共同研究を強力に推進している。特に本領域の有機合成化学研究から革新的な新規蛍光プローブが続々と開発され、ライブイメージングと融合することで画期的な発見に至っている。種の認証過程の一分子ライブイメージングを可能にする「超耐光性蛍光色素」や、従来の染色剤と比較して飛躍的に浸透性を高めた「超浸透性細胞核染色剤」などが次々と領域内の共同研究に投入され、従来の生物学では到達できなかった発見が相次いでいる。構造生物学においても名古屋大学シンクロトン光研究センターが活躍し、計画研究、公募研究の双方において本領域がなくては得られなかった生殖の鍵分子の立体構造情報が得られている。

こうしたブレークスルーテクノロジーを領域内でさらに拡大展開するために、「有機化合物によるイメージング」「生命情報科学」「構造生物学」をテーマとする異分野融合研究ワークショップを3回開催した。このワークショップは先端研究施設の拠点長レベルが直接共同研究の推進をコーディネートする場となり、領域の持つ新技術を取り入れた共同研究を飛躍的に増加させることができた。

これらの取り組みによって、領域内の研究班や異分野融合研究センターのブレークスルーテクノロジーを活用した共同研究がこれまでに60件以上進行している。以下に主要な論文発表事例を示す。

#### 【計画・東山と公募・多喜】 有機合成化学とライブイメージングの異分野融合研究

有機合成化学と植物生殖科学の協働により、超解像度イメージングに適応可能な全く退色しない新規蛍光プローブを開発した (*J. Am. Chem. Soc.* 2017)。「鍵と鍵穴」の分子作動実態を完全に理解するための1分子超解像度イメージングを可能にし、本領域における種の認証過程のイメージング研究を飛躍的に加速する成果である。

#### 【計画・東山と公募・丸山】 花粉管ガイダンス・受精とライブイメージングの異分野融合研究

花粉管ガイダンスに関わる LURE とそのレセプターは、精密に同種を認証する「鍵と鍵穴」であることが示唆されてきた。正常な種の認証の際、受精を引き金に LURE を分泌する「助細胞」が隣接する胚乳細胞と細胞融合して細胞死する。この細胞融合を受精とは無関係に開始させる化合物を、化合物スクリーニングとライブイメージングを組み合わせた研究により発見した (*J. Cell Sci.* 2017)。

#### 【計画・高山と計画・瀬々】 初期受粉過程と生命情報科学の異分野融合研究

植物の初期受粉過程では、雌しべの先端に付着した花粉のうち異種花粉と同種花粉のうち自己由来の花粉は発芽できずに排除される。同種花粉を拒絶する自家不和合性において見られる優劣性の分子実態を生命情報科学を駆使して解析した結果、低分子 RNA とその標的ゲノムを「鍵と鍵穴」とする認証システムが優劣性を決定することを解明した (*Nature Plants* 2016)。

#### 【計画・辻と公募・児嶋】 生殖の場である花の発生学と構造生物学の異分野融合研究

花形成のマスタースイッチ・フロリゲンと逆の機能を示す分子「アンチフロリゲン」が、フロリゲン受容体をハイジャックして転写抑制複合体（抑制型の鍵）を形成し、フロリゲンと拮抗しつつ花形成が制御されるメカニズムを、生化学的解析を駆使して発見した (*Plant Cell Physiol.* 2018)。

#### 【計画・渡辺と計画・高山】

新規な種間認証分子が誕生する初期過程を示唆するものとして、地理的分化による生殖隔離が挙げられる。その分子実態を解析し、自家不和合性における「リガンドとレセプター」に遺伝子重複と機能分化が生じることで新規な「鍵と鍵穴」が生じることを明らかにした (*Nature Plants* 2017)。

## 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。

本領域では次世代を担う若手研究者の育成を本領域の重要な使命と位置付け、このための取り組みを強力に進めてきた。特に共同研究の発展に必須の研究者ネットワーク形成に向けて自立的に行動できる若手研究者の育成を目指した取り組みを進めている。

**【若手の会の開催】**：本領域では多様な研究手法、研究戦略を持つ研究班が集結しており、この多様な研究背景を持つ若手研究者が活発に人的交流することが次世代研究者の育成に必須であると考えている。このために若手の会を実施した。第1回若手の会は2016年11月2日（水）より4日（金）まで、八王子市の大学セミナーハウスにて開催し45名の参加者となった。学部学生を含めてほぼ全員が発表し活発な交流がなされた。新しい研究分野を開拓しつつある若手研究者（奈良先端大・山口暢俊博士、農研機構・川勝泰二博士）をゲスト講師として招き、学生らが将来独創的な研究を行うための考えを講演いただいた。第2回若手の会は2017年10月28日（土）～30日（月）まで、御殿場のYMCA 東山壮にて開催した（写真）。参加者は計画研究、公募研究を合わせて90名となり、活発な研究交流がなされた。博士課程修了を控えた大学院生からは博士課程の研究を振り返る講演があり、また京都大学・遠藤求博士による「価値のある研究とは何かを考える」と題した特別講演がなされた。こうした取り組みが奏功し、2018年10月に開催予定の第3回の若手の会では、複数の大学・研究機関に所属する大学院生が中心となって自発的に運営委員会が組織され、大学院生が主体となって開催されることとなった。



**【ワークショップ、シンポジウム、国際シンポジウム企画】**：領域主導で多くの企画を行ったが、とりわけ若手研究者の育成の観点から、若手研究者が主催するシンポジウム等に対して重点的に支援を行った。2017年には日本細胞生物学会、2018年には日本植物生理学会でのシンポジウムを支援している。

**【国際的に活躍できる若手研究者育成を目指した海外渡航支援】**：本領域では国際的に活躍できる若手研究者の育成にも取り組んでおり、国際活動支援班の機能を活用した若手研究者の海外派遣を積極的に実施してきた。これまでに7件、12名の若手研究者を海外の国際学会や共同研究のために派遣している。台湾で開催された国際学会 TJPB2017 には3名の若手研究者を派遣し、その全員が Outstanding Poster Award を受賞するなど、若手研究者の活躍の機会を広げることにつながっている。

**【大学院生などの若手研究者の受賞】**：科学技術分野の文部科学大臣表彰、日本植物学会賞若手奨励賞、日本植物形態学会・平瀬賞2件、日本育種学会優秀発表賞2件、日本進化学会 第19回大会 優秀ポスター賞の受賞があり、本領域で研鑽を積んだ若手研究者が注目されつつあると言える。

**【若手研究者のプロモーション】**：この2年間の活動を通じて、教授、准教授、特任准教授、特任講師、YLC 助教それぞれ1名ずつをはじめ、計30名の若手研究者がプロモーションを得た。アカデミアだけでなく企業・産業界で活躍する若手も輩出しており、本領域の若手研究者の活躍が広がっている。

## 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。

### 【設備等の活用状況】

本領域では異分野融合研究支援センターを総括班に設置し、構造生物学、有機合成化学、ライブセルイメージング、情報科学等のブレークスルーテクノロジーを活用した異分野融合研究への支援を通じて領域内共同研究を強力にバックアップしている。このために必要な備品を共同利用機器として総括班牙算から支出して導入した。本領域総括班において購入した高額備品を以下にまとめた。

品名	金額	設置場所
共焦点スペクトルイメージャーLeica TCS SP8 X Hyvolution	42,120,000	横浜市大 情報科学・エピゲノム解析部門
拡張ディスク Takeru NAS RAID Server 拡張ディスク 128TB	2,311,200	産業技術総合研究所
タンパク質相互解析用共焦点レーザー स्क্যান顕微鏡 (LSM880)	43,200,000	東京大学 タンパク質発現・相互作用解析支援部門

共焦点スペクトルイメージャー(Leica TCS SP8 X Hyvolution) は「鍵と鍵穴」のイメージングを推進するために横浜市大に設置した。イメージングデータは横浜市大に設置の情報解析サーバによる高速解析が可能である。導入以降これまでに 2,500 時間以上稼働しており、多くの成果が得られつつある。横浜市大・木原生物学研究所は関東地域の拠点として本設備によるイメージングやエピゲノム解析を推進する機能を有しており、名古屋大学 WPI 拠点へ持ち込む前の詳細な解析を行うなど相補的な役割を果たしている。

拡張ディスク(Takeru NAS RAID Server 拡張ディスク) はオミクスデータ解析やメチローム解析の支援業務に活用するために産業技術総合研究所に導入した。大規模データ解析に要する時間を飛躍的に短縮することにより領域のオミクス解析を支えている。

タンパク質相互解析用共焦点レーザー स्क্যান顕微鏡 (LSM880) は、特殊な検出系による高速・高解像撮影機能が可能であり、同時に溶液条件下でのタンパク質相互作用等の解析を行う Fluorescence Cross-Correlation Spectroscopy (FCCS) 機能を付与した機種を選定した。FCCS 機能は領域内で本備品に特徴的なものであり、タンパク質相互作用解析の拠点として詳細な条件検討を行いつつ支援を進めている。

### 【研究費の効果的使用】

・本領域の特徴として、植物生殖学に有機合成化学をブレークスルーテクノロジーとして取り入れていることが挙げられる。これを領域内に共有するために様々な企画に取り組んでいる。有機合成化学の研究者との徹底した議論の末に、細胞への浸透性が極めて高く明るい細胞核の蛍光色素 Kakshine の開発に成功した。これまでに類を見ない細胞透過性と DNA 特異性を示していることから、様々な植物種を扱う本領域において、多くの研究者が利用を希望している。そこで大規模合成にかかる費用を総括班より支援し、領域内への配布を開始した。Kakshine を利用した様々な研究のプライオリティーを、本領域が一気に押さえる。

・コムギは 3 つの祖先種に由来する植物であり、植物新種誕生の原理を体現する植物として挙げられる。六倍体でかつ 17Gbp の巨大ゲノムを持つため、ゲノム科学の最後の砦としても知られている。このコムギゲノム解読コンソーシアムに本領域から瀬々班、辻班が参画し、総括班も加えて研究を推進している。世界の多様性を代表する 10 系統の全ゲノムを完全解読し、次に 100 系統、最終的には 1,000 系統以上のハプロタイプデータ解読を計画している。本領域はこのコンソーシアムの全データにアクセス可能であり、複雑なゲノム構成を有する異質倍数体の研究推進、また世界最重要作物でもあるコムギのゲノム育種に対する我が国の貢献に鑑みて極めて費用対効果の高い国際共同研究を推進している。

## 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。

当領域班評では、総括班に研究評価員としての倉田のり（農業・食品産業技術総合研究機構・顧問）、坂本亘（岡山大学・教授）、堤伸浩（東京大学・教授）、仁田坂英二（九州大学・准教授）、長谷部光泰（基礎生物学研究所・教授）の5名の先生方に、班会議開催の折に、領域の研究活動や運営方針等に関する指導助言を仰いできた。以下に評価・コメントを記載する。

### 【農業・食品産業技術総合研究機構 顧問 倉田のり】

本新学術領域研究は、植物生殖過程における「鍵と鍵穴」の分子実態解明を主題として「種間の認識機構により自らのゲノムを維持するシステム」の理解と「異種植物種の交雑とその結果誕生した新植物の存続を可能にするシステム」の解明を目指すものである。この目的達成のために取り入れられたブレークスルーテクノロジーの活用はめざましく、これまで植物科学では取り組まれていなかった先端研究手法を領域内で共同研究として展開し、世界をリードする成果が得られており高く評価できる。全体として、計画研究と公募研究が一体となって良い研究が進められており、ブレークスルーテクノロジーである構造生物学、有機合成化学、ライブイメージングを組み合わせた研究から、種の認証に関わる分子間相互作用の構造的レベルの実態が解明されたことは本領域の特筆すべき成果と言える。

国際活動支援センターも、本領域が共催する国際学会の運営支援や、欧米の海外拠点を定めて強力な共同研究を展開するなど、高レベルの国際活動を高く評価できる。次世代を育成する取り組みとして、若手の会や若手の国際学会発表や受賞等も見られ、積極的な取り組みの結果と言える。植物生殖科学は日本が世界的に重要な位置付けにある研究分野であり、確固たる位置付けがさらに発展していくことを期待する。

### 【基礎生物学研究所・進化多様性生物学領域 教授 長谷部光泰】

本領域は「鍵と鍵穴」をキー概念とし、器官形成、花成、受粉、受精、ゲノム融合の各階層を縦断して、植物の交雑に関する新しい分子機構を探求し、新種誕生の原理に迫ろうという挑戦的な領域であるが、既に、計画班を中心に一般誌に研究成果が順調に発表され大きな成果をあげている。従来、別々のコミュニティで研究してきた班員が、本領域によって、階層を超えた概念の共有と共同研究を行っている。さらに、領域の技術面での核となるブレークスルーテクノロジーは、領域代表の所属する WPI の化学、構造生物学の主力研究者との連携が良く機能し、異分野融合研究センターの設置、ワークショップが研究推進に貢献している。また、国際ワークショップなどを開催することで本領域の成果を領域外へ発信し、植物科学全体の進展に寄与している。国際連携では、領域代表の極めて高い国際性が領域全体に浸透している。特に、自ら独自開発した新技術と新発見に海外研究者が集結してくるといふ国際戦略がうまく機能している。化学、情報学などとの異分野融合による、新しい生物学の成果が若手研究者を魅了し、博士課程進学生数が増えるとともに学生の自発的な活動が活発であり若手育成の良いモデルとなっている。

### 【岡山大学・資源植物科学研究所 教授 坂本亘】

単純な分子間相互作用とは異なる、同種の認証、異種の拒絶、これをかいくぐった新種誕生と安定化など興味深いテーマに活発に取り組んでいる。植物の生殖の多段階にこの「鍵と鍵穴」が配置されているため個別の発見がどのように集約されるのかが焦点の一つであった。この点について、種の認証から生殖障

壁を突破した雑種の形成や進化的側面まで、「新種誕生原理」を理解するためのまとまった成果として順調に集約されつつある。

多様な研究材料と研究手法を扱う研究者が、種間生殖障壁をキーワードに課題と方法論をオーバーラップさせつつ生産的な議論が進んでいることを評価したい。東山領域代表のリーダーシップから、領域内に強い結束力が生まれている。若手の会もコンスタントに開催された。領域内の研究グループ間で活発な相互作用があると考えられる。こうした取り組みを介してさらに世界を牽引する成果が出ることを期待している。

#### 【九州大学・大学院理学研究院 准教授 仁田坂英二】

本新学術領域の立案は、我が国で連綿と続けられてきた植物生殖科学研究の国際的な優位性と近年のゲノム科学の急速な発展に基づいている。この領域では、生殖過程において同種を認識し異種を排除する認証過程「鍵と鍵穴」をリガンド・レセプター系、転写因子と標的遺伝子、低分子 RNA と標的ゲノムに整理し問題を明確にすることで研究を進めている。それぞれの過程を研究する植物科学のスペシャリストに加え、ライブセルイメージング、有機化学合成、構造生物学的手法等のスペシャリストが領域内の共同研究によって集結した本領域では、幾つかの生殖プロセスにおいて「鍵と鍵穴」の分子作動実態の重要な発見がなされている。また、これらの知見を利用し種の障壁を取り除くことで、自在な異種ゲノムの融合という目標も達成しつつある。成果論文の発表も活発であり、上記のことは、この領域の取り組みが非常に上手く機能していることを示している。国際学会を主催することで、植物生殖科学における我が国の存在感を示す努力を続けていることや、コムギゲノムの解読における国際コンソーシアムでの活動等の国際共同研究の成果も高く評価したい。領域に関わる若手研究者も各学会で受賞するなど活発な成果を上げている。これらの点から、本領域は当初の目標に向かって順調に進展していると評価している。

#### 【東京大学・大学院農学生命科学研究科 教授 堤伸浩】

ライブイメージング、有機合成化学、構造生物学などこれまで植物科学にはあまり採り入れられてこなかった実験手法を用いた研究が活発に行われ、成果が一流の雑誌に出版されていることから、研究面が順調に進展していると評価する。種間の障壁、異種間交雑、異種ゲノム合一の後の種としての安定化や適応性などに焦点を当てた研究が進み、これまでの現象の発見レベルから分子レベルの成果が出始めている。後半に向けて生殖障壁の人為的な打破による雑種形成も期待できる状況にある。生殖過程の異なるイベントを対象としながらも、「鍵と鍵穴」のリガンド・レセプター、転写因子複合体と標的配列、エピゲノム相互作用といった分子レベルの共通性に基づく普遍的なメカニズムが明らかにされている点も評価したい。

領域運営についても、計画班と公募班に若手研究者が参画して新しい技術をうまく採り入れた研究が行われている。数々の若手研究者の受賞やプロモーションからも領域の若手研究者育成が順調であることが伺える。国際シンポジウムや海外拠点との連携も活発である。

以上のように、研究と運営の両面でこの領域は順調に成果を上げており、後半のさらなる発展を期待したい。

## 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。

### 【今後の領域運営の予定】

植物の新種誕生に関わる生殖過程の「鍵と鍵穴」の分子実態解明に向けて、ブレイクスルーテクノロジーを中核とした世界トップクラスの異分野横断研究を展開する。本領域では有機化学合成による革新的な蛍光色素等の開発が相次いでおり、その大量合成と領域内展開を支援したことで研究を飛躍的に発展させたことから、今後も次々と生み出される画期的な化合物の領域内展開を進める。蛍光プローブ等を活用したライブイメージング、構造生物学の共同研究支援を強力に推進する。また国際的に活躍できる若手研究者の育成も新学術領域の重要な使命と位置づけ、これまで若手研究者による数々の受賞や栄転につながってきた順調な取り組みをさらに発展させるべく支援する。

平成30年度には領域代表・東山が総裁を務める国際植物生殖科学会 (IASPRR) の国際会議 25th ICSPR を我が国で開催し、2つのサテライトシンポジウム（名古屋大と横浜市大）も実施する。植物生殖科学の国際的な卓越研究者ら約300名が集結する最重要の国際学会と位置付け、本領域が新たな国際共同研究のハブ、植物生殖科学の世界的中心として揺るぎない位置を占めるために強力に支援する。

平成31年度には領域代表・東山を実行委員長として、EMBO Workshopを開催する。実習を伴う practical と呼ばれる EMBO Workshop が日本で開催されるのは、全分野を通じてこれが初めてのことである。世界中から若手研究者やPIレベルの研究者が50名以上、本領域の拠点である名古屋大学に集結することを生かして、本領域が国際共同研究の中心地としてさらに強く認識されるよう支援する。特筆すべき点として、これらの招聘者の多くは、自身の研究費や、EUのHorizon 2020の予算、JSPSの予算などを利用し、自らの強い希望で訪問する。このため交通費の支給を伴わずに、多くの研究者を招聘できる。このことは、本領域が世界の中心となることを目指す運営方針に、合致している。

平成32年度には本領域の5年間の成果の集大成として、植物新種誕生の原理をテーマとする特集号を編纂し、国際学会の主催を通して国際的に成果を発信する。その一環として、領域メンバーである木下、辻、伊藤がオーガナイズする国際植物エピジェネティック会議を淡路島で開催する。

### 【研究領域の推進方策】

研究期間の後半は「他の植物種と交雑することなく、自らのゲノムを維持するシステム」の完全理解を目指す。これまでに初期受粉過程で機能する新たな種の認証の分子実態解明、花粉管誘引過程で機能する種の認証の「鍵と鍵穴」分子の立体構造決定や、エピジェネティック制御による雌雄ゲノム機能制御を介した種の障壁の解明など、核心となる発見があった。また花芽分化を誘導するシグナルが時空間的に分布を変えながら遺伝子発現を活性化していく過程や、花形成に必須の植物ホルモンとその受容体の間に立体構造レベルで生じた共進化の分子実態が解明されつつある。異種ゲノム合一によって誕生したハイブリッドゲノムの適応性の分子基盤やゲノム安定化の過程も、ハイブリッドゲノムを正確に解析する情報科学の新規手法開発によって明らかとなってきた。

これらの発見を基盤として、今後は、構造生物学によって「鍵と鍵穴」の相互作用を立体構造レベルまで深く掘り下げて理解する、有機合成化学により「鍵」を化学合成し、ライブイメージング技術によって時間空間的に一分子解像度の検証実験を行うことが必要である。さらに新種誕生に関わる異種ゲノム合一や新種誕生の進化的側面を解明するためにはより高度な生命情報科学が必須である。このために有機合成化学によるイメージング試薬や特殊なペプチド合成による鍵分子の完全合成を強力に支援する。またライ

ブイメーシングでは名古屋大学 WPI 拠点と横浜市大の関東拠点を中核とする技術支援を積極的に行う。構造生物学はクライオ電顕や MD シミュレーションなどの新しい技術を導入するため、これらの専門家を異分野融合研究ワークショップに招へいして共同研究をすでに着手している。

こうした理解を通して、異種植物種の交雑とその結果誕生した新植物の存続を可能にするシステムの解明と実証に取り掛かる。これまでに、木下らが倍数性制御による種間のゲノムバランスの人為デザインを通して通常は不可能な種間雑種の作成に成功するなど、種間生殖障壁の分子実態解明とその制御による新種誕生の実証を着実に進めてきた。情報科学を活用した異種ゲノム合一後のゲノムの挙動や、さらなる実証に向けた「鍵と鍵穴」の認証領域の特定と有機化学による合成など、ブレークスルーテクノロジーによる新種誕生の実証研究を推進する。

#### 【領域研究を推進する上での問題点と今後の対応策、公募研究での戦略的な補充】

特に重大な問題点は生じていない。本領域が世界的をリードしている先端解析技術であるライブイメーシング、有機合成化学、構造生物学においても、1分子観察や新規蛍光プローブの有機合成、クライオ電顕による構造決定など強力な新技術を積極的に取り入れる準備をすでに進めている。

公募研究では計画研究ではカバーできない種の認証の研究や、独創的な技術を駆使して新種誕生の原理に挑む研究を戦略的に補充し、計画研究と一丸となって領域研究を推進する。有機合成化学と構造生物学を融合した生殖過程の「鍵と鍵穴」の人為デザインや、被子植物だけの研究では発見できなかった種の認証分子に迫る研究、配偶子融合などの独自の技術によって新種誕生の原理を探る研究などを戦略的に補充する。

#### 【国内外の研究者との連携による組織の強化】

領域代表の東山がプレジデントを務め、計画研究の木下が大会長を務める植物生殖科学の最大の国際学会を運営する。国際学会の前後には名古屋大と横浜市大の2拠点でそれぞれ生殖科学とエピジェネティクスにフォーカスしサテライトワークショップを開催する。世界的にも顕著な業績を上げた有力研究者を我が国に多数招へいして本領域の研究者と交流することを計画しており、国際共同研究をより活性化するための体制を強固にすると同時に、本領域の研究成果を積極的に発信することで国際的なプレゼンスを向上させる。

平成31年には本領域のブレークスルーテクノロジーであるライブイメーシングや有機合成化学を活用した植物生殖科学をテーマに EMBO Workshop を開催する予定である。EMBO Workshop のテーマは次世代の研究の中心となる新技術として国際的な研究コミュニティによって認められたものが対象として選定されるため、本領域のブレークスルーテクノロジーが世界的に注目されていることを示している。ワークショップには国際的にも顕著な業績を上げてきた卓越研究者や若手研究者、大学院生らが参加するため、領域の擁するブレークスルーテクノロジーであるライブイメーシングや有機合成化学を活用したイメーシングを中核とする国際共同研究を拡大し、最終年度における国際共同研究の論文発表へとつなげる。