

領域略称名：植物発生ロジック
領域番号：3503

平成25年度～平成29年度
科学研究費助成事業（科学研究費補助金）
（新学術領域研究（研究領域提案型））

「植物発生ロジックの多元的開拓」
研究成果報告書

令和元年5月

領域代表者 塚谷 裕一

東京大学大学院理学系研究科教授

<はしがき>

本研究領域は、日本の植物科学研究の強みを活かし、グループ研究として一体化することによって植物の発生のロジックを明らかにし、教科書を書き換え、あるいは新たな知見を教科書に書き加えるということを目指したものでした。そのために、植物発生生物学の研究者を中核に、これまで発生生物学との繋がりがほとんど無かった、しかし日本に強力な研究チームがあるメタボロミクス解析チームを加えました。さらに数理生物学的アプローチを強化するため、日本を代表する数理生物学チームを加えました。また日本発の新しいモデル系として、これまでにない研究上のメリットを有するゼニゴケ解析のチームをも加えています。また転写因子を網羅的に解析するためのさまざまな取り組みも盛り込みました。その結果、当初の期待以上に大きな成果があがり、この間、多くの若手の研究者が育ちました。5年間の領域の活動期間を超えて、今もなおこのグループ研究から生まれ育ったプロジェクトが次々と論文成果を出し続けています。本領域の立ち上げ、遂行、そして取りまとめに至るまで、数多くの方々に、直接・間接ともに多くのご支援をいただきました。ここに成果報告の場をお借りしてお礼を申し上げます。

「植物発生ロジック」領域代表；東京大学大学院理学系研究科 教授 塚谷 裕一

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)

研究代表者、研究分担者、連携研究者は巻末に一覧とする。

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	25113001 植物発生ロジックの 多元的開拓	平成25年 度～ 平成29年 度	塚谷 裕一	東京大学・理学系研究科・教授	12
X00 支	15K21758 植物発生ロジックの 多元的開拓	平成27年 度～ 平成29年 度	塚谷 裕一	東京大学・理学系研究科・教授	7
A01 計	25113002 葉の発生ロジックの 多元的開拓	平成25年 度～ 平成29年	塚谷 裕一	東京大学・理学系研究科・教授	6

		度			
A01 計	25113003 根の成長・発生ロジックの解明	平成25年度～平成29年度	深城 英弘	神戸大学・理学研究科・教授	5
A01 計	25113004 維管束幹細胞形成ロジックの多元的研究	平成25年度～平成29年度	伊藤 恭子 (大橋 恭子)	東京大学・理学系研究科・准教授	3
A01 計	25113005 有性生殖の実現を可能にする発生ロジックの多元的かつ総合的理解	平成25年度～平成29年度	荒木 崇	京都大学・生命科学研究所・教授	3
A01 計	25113006 細胞外シグナルと細胞内調節の相互作用による器官形成ロジックの多元的理解	平成25年度～平成29年度	柿本 辰男	大阪大学・理学系研究科・教授	5
A01 計	25113007 細胞運命の決定と機能発現を支えるパターン形成の制御ロジック	平成25年度～平成29年度	中島 敬二	奈良先端科学技術大学院大学・バイオサイエンス研究科・教授	6
A01 計	25113008 花序と花の構築ロジックの解明	平成25年度～平成29年度	平野 博之	東京大学・理学系研究科・教授	2
A01 計	25113009 陸上植物進化を基軸とした発生ロジックの解明	平成25年度～平成29年度	河内 孝之	京都大学・生命科学研究所・教授	10
A01 計	25113010 植物個体発生を支える代謝ネットワーク	平成25年度～平成29年度	平井 優美	国立研究開発法人理化学研究所・ 環境資源科学研究センター・チ	8

	の解明	度		ームリーダー	
総括・支援・計画研究 計 11 件					
A01 公	26113503 イネの葉における発生 制御機構の遺伝学的解 析	平成 26 年 度～ 平成 27 年 度	伊藤 純一	東京大学・農学生命科学研究 科・准教授	2
A01 公	26113504 植物の発生を支える microRNA ネットワ ークの解明	平成 26 年 度～ 平成 27 年 度	濱田 隆宏	東京大学・総合文化研究科・助 教	3
A01 公	26113505 木部細胞分化をモデ ルとした細胞内空間 制御機構の解析	平成 26 年 度～ 平成 27 年 度	小田 祥久	国立遺伝学研究所・准教授	2
A01 公	26113506 植物の組織形成を規 定するリン酸とピロ リン酸の濃度バラン ス	平成 26 年 度～ 平成 27 年 度	前島 正義	名古屋大学・生命農学研究科・ 教授	3
A01 公	26113507 植物表皮の幹細胞維 持と分化の制御ロジ ックに関わる内的因 子と新奇化合物の探 索	平成 26 年 度～ 平成 27 年 度	鳥居 啓子	名古屋大学・トランスフォーマ ティブ生命分子研究所・客員教 授	2
A01 公	26113508 新奇 ROS 応答転写因 子 RFRT1 による根 の伸長制御メカニズ ム	平成 26 年 度～ 平成 27 年 度	塚越 啓央	名古屋大学・リーディング大学 院 PhD 登龍門推進室／遺伝子 実験施設・講師	4
A01 公	26113509 植物の器官形成にお ける細胞分裂停止の	平成 26 年 度～ 平成 27 年	伊藤 正樹	名古屋大学・生命農学研究科・ 准教授	3

	ロジック	度			
A01 公	26113510 概日リズムから解き 明かす植物の発生・ 分化の基本原理	平成26年 度～ 平成27年 度	遠藤 求	京都大学・生命科学研究所・准 教授	1
A01 公	26113511 花器官数の正確性と 確率性を調節する発 生基盤の数理解析	平成26年 度～ 平成27年 度	藤本 仰一	大阪大学・理学研究科・准教授	1
A01 公	26113512 茎頂分裂組織の相転 換制御ロジックの解 明	平成26年 度～ 平成27年 度	田岡 健一郎	横浜市立大学・木原生物学研究 所・特任助教	3
A01 公	26113513 オーキシン極性輸送 に関する理論的・実 験的研究	平成26年 度～ 平成27年 度	古谷 将彦	奈良先端科学技術大学院大学・ バイオサイエンス研究科・准教 授	4
A01 公	26113514 一細胞遺伝子発現解 析を用いたステム・ ニッチ形成機構の解 明	平成26年 度～ 平成27年 度	久保 稔	奈良先端科学技術大学院大学・ 研究推進機構・特任准教授	5
A01 公	26113515 根の成長プログラムの 分子基盤の解明	平成26年 度～ 平成27年 度	高橋 直紀	奈良先端科学技術大学院大学・ バイオサイエンス研究科・助教	2
A01 公	26113516 植物発生におけるサ ーモスペルミンの機 能の解明	平成26年 度～ 平成27年 度	高橋 卓	岡山大学・自然科学研究科・教 授	3
A01 公	26113518 代謝物多様性獲得に よって駆動された植 物ボディプラン進化 の解明	平成26年 度～ 平成27年 度	太田 大策	大阪府立大学・生命環境科学研 究科・教授	2

A01 公	261135019 ETTIN 遺伝子を基 軸とした葉形成制御 における細胞分化と 分裂のロジックス	平成 26 年 度～ 平成 27 年 度	小島 晶子	中部大学・応用生物学部・講師	5
A01 公	261135020 受容体ライブラリー を基盤とした植物リ ガンド?受容体ペア の探索	平成 26 年 度～ 平成 27 年 度	篠原 秀文	名古屋大学・理学研究科・助教	3
A01 公	261135021 植物発生・パターン 形成に関する数理的 研究	平成 26 年 度～ 平成 27 年 度	藤田 浩徳	基礎生物学研究所・特別協力研 究員	6
A01 公	16H01228 フロリゲン制御にお ける 2 つの鍵転写因 子の機能解析	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	阿部 光知	東京大学・理学系研究科・准教 授	1
A01 公	16H01229 植物の発生を支える microRNA ネットワ ークの解明	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	濱田 隆宏	東京大学・総合文化研究科・助 教	3
A01 公	16H01230 イネの葉における発 生制御機構の遺伝学 的解析	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	伊藤 純一	東京大学・農学生命科学研究 科・准教授	2
A01 公	16H01231 オーキシン不均等分 布に依存しない偏差 成長誘導機構の解析	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	酒井 達也	新潟大学・自然科学系研究科・ 教授	2
A01 公	16H01232 植物の新規幹細胞運 命決定ロジックの解 明	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	榑原 恵子	立教大学・理学部・准教授	4
A01 公	16H01233 動物ステロイドホル	平成 28 年 度～	大西 利之	静岡大学・農学部・准教授	5

	モンが制御する植物の性分化ロジックの解明	平成 29 年 度			
A01 公	16H01234 植物細胞間コミュニケーションの解明にむけた受容体ライブラリーの応用	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	篠原 秀文	名古屋大学・理学研究科・助教	3
A01 公	16H01235 植物の組織形成を規定するリン酸とピロリン酸の濃度バランス	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	前島 正義	名古屋大学・生命農学研究科・教授	3
A01 公	16H01236 植物の器官形成における細胞分裂停止のロジック	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	伊藤 正樹	名古屋大学・生命農学研究科・准教授	3
A01 公	16H01237 (廃止) 植物表皮の幹細胞維持と分化の制御ロジックに関わる内的因子と新奇化合物の探索	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	鳥居 啓子	名古屋大学・トランスフォーマティブ生命分子研究所・客員教授	3
A01 公	16H01238 ROS 応答性転写因子による新たな根の成長制御メカニズム	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	塚越 啓央	名城大学・農学部・准教授	4
A01 公	16H01240 概日リズムから解き明かす植物の発生・分化の基本原理	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	遠藤 求	京都大学・生命科学研究科・准教授	1
A01 公	16H01241 数と対称性の発生進化ロジック：花器官配置の数理解析	平成 28 年 度～ 平成 29 年 度	藤本 仰一	大阪大学・理学研究科・准教授	4

A01 公	16H01243 根の幹細胞再生を支える分子基盤の解明	平成28年度～平成29年度	高橋 直紀	奈良先端科学技術大学院大学・バイオサイエンス研究科・助教	2
A01 公	16H01244 pH 依存的オーキシン輸送モデルの構築と実験的研究	平成28年度～平成29年度	古谷 将彦	名古屋大学・生命農学研究科・特任助教	5
A01 公	16H01245 植物発生におけるサーモスペルミンの機能の解明	平成28年度～平成29年度	高橋 卓	岡山大学・自然科学研究科・教授	3
A01 公	16H01246 葉形成におけるETTIN 遺伝子の抑制を介した細胞分化と分裂の制御機構の解明	平成28年度～平成29年度	小島 晶子	中部大学・応用生物学部・講師	5
A01 公	16H01247 木部細胞分化をモデルとした転写因子に寄る細胞形態形成制御機構の解明	平成28年度～平成29年度	小田 祥久	国立遺伝学研究所・准教授	3
A01 公	16H01248 植物発生・パターン形成に関する数理的研究	平成28年度～平成29年度	藤田 浩徳	基礎生物学研究所・助教	5
公募研究 計37件					

交付決定額（配分額）（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
平成25年度	71,100,000	21,330,000	92,430,000
平成26年度	13,600,000	4,080,000	17,680,000
平成27年度	13,600,000	4,080,000	17,680,000
平成28年度	13,600,000	4,080,000	17,680,000
平成29年度	13,600,000	4,080,000	17,680,000
総 計	125,500,000	37,650,000	163,150,000
平成30年度 (成果取りまとめ)	3,000,000	900,000	3,900,000

研究発表

(1) 雑誌論文

※研究代表者は二重下線、研究分担者は一重下線、連携研究者には点線の下線、corresponding author には左に*印

計画班

<発表論文> 計506件（査読有484件、査読無22件）

計画・塚谷裕一 計40件（査読有39件、査読無1件）

1) Kawade K*, Tanimoto H, Horiguchi G, Tsukaya H (2017) Spatially different tissue-scale diffusivity shapes ANGUSTIFOLIA3 gradient in growing leaves. *Biophys. J.* 113: 1109-1120 (査読有)

2 Katagiri Y, Hasegawa J, Fujikura U, *Matsunaga S, *Tsukaya H (2016) The coordination of ploidy and cell size differs between cell layers in leaves. *Development* 143: 1120-1125 (査読有)

3 Yin X, *Tsukaya H (2016) A pulse-chase strategy for EdU labelling assay is able to rapidly quantify cell division orientation. *New Phytol.* 211: 1462-1469 (査読有)

4 Fukushima K, Fujita H, Yamaguchi T, Kawaguchi M, Tsukaya H, *Hasebe M (2015) Oriented cell division shapes carnivorous pitcher leaves of *Sarracenia purpurea*. *Nat. Commun.* 6: 6450. (査読有)

計画・伊藤（大橋）恭子 計32件（査読有31件、査読無1件）

1 Katayama H, Iwamoto K, Kariya Y, Asakawa T, Kan T, *Fukuda H, *Ohashi-Ito K (2015) A negative feedback loop controlling bHLH complexes is involved in vascular cell division and differentiation in the root apical meristem. *Curr Biol* 25: 3144-3150. (査読有)

2 *Ohashi-Ito K, Saegusa M, Iwamoto K, Oda Y, Katayama H, Kojima M, Sakakibara H, *Fukuda H (2014) A bHLH complex activates vascular cell division via cytokinin action in root apical meristem. *Curr Biol* 24: 2053-2058. (査読有)

計画・深城英弘 計 21 件 (査読有 21 件)

1 *Goh T, Toyokura K, Wells DM, Swarup K, Yamamoto M, Mimura T, Weijers D, Fukaki H, Laplace L, Bennett MJ, *Guyomarc'h S (2016) Quiescent center establishment in Arabidopsis lateral root coincides with developmental phase transition to promote organ emergence. *Development* 143: 3363-3371. (査読有)

2 Porco S, Larrieu A, Du Y, Gaudinier A, Goh T, Swarup K, Swarup R, Kuempers B, Bishopp A, Lavenus J, Casimiro I, Hill K, Benkova E, Fukaki H, Brady SM, Scheres B, *Péret B, *Bennett MJ (2016) Lateral root emergence in Arabidopsis is dependent on transcription factor LBD29 regulating auxin influx carrier LAX3. *Development* 14: 3340-3349. (査読有)

計画・柿本辰男 計 25 件 (査読有 25 件)

1 Kurihara Y, Makita Y, Kawashima M, Fujita T, Iwasaki S, Matsui M (2018) Transcripts from downstream alternative transcription start sites evade uORF-mediated inhibition of gene expression in Arabidopsis. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* in press. (査読有)

2 Kumari A, Jewaria PK, Bergmann DC, *Kakimoto T (2014) Arabidopsis Reduces Growth Under Osmotic Stress by Decreasing SPEECHLESS Protein. *Plant Cell Physiol.* 55: 2037-2046. (査読有)

計画・中島敬二 計 51 件 (査読有 46 件、査読無 5 件)

1 Koi S, Hisanaga T, Sato K, Shimamura M, Yamato KT, Ishizaki K, Kohchi T, *Nakajima K (2016) An Evolutionarily Conserved Plant RKD Factor Controls Germ Cell Differentiation. *Curr Biol* 26: 1775-1781. (査読有)

2 Kamiya M, Higashio SY, Isomoto A, Kim JM, Seki M, Miyashima S, *Nakajima K (2016) Control of root cap maturation and cell detachment by BEARSKIN transcription factors in Arabidopsis. *Development* 143: 4063-4072. (査読有)

計画・荒木崇 計 41 件 (査読有 41 件)

1 Higo A, Niwa M, Yamato KT, Yamada L, Sawada H, Sakamoto T, Kurata T, Shirakawa M, Endo M, Shigenobu S, Ishizaki K, Nishihama R, Kohchi T, *Araki T (2016) Transcriptional framework of male gametogenesis in the liverwort *Marchantia polymorpha* L. *Plant Cell Physiol.* 57, 325-338. (査読有)

2 Kawamoto N, Sasabe M, Endo M, Machida Y, *Araki T (2015) Calcium-dependent protein kinases responsible for the phosphorylation of a bZIP transcription factor FD crucial for the florigen complex formation. *Sci Rep* 5: 8341. 1-9. (査読有)

計画・平野博之 計 19 件 (査読有 16 件、査読無 3 件)

1 Tanaka W, Toriba T, *Hirano H-Y (2017) Three TOB1-related YABBY genes are required to maintain proper

function of the spikelet and branch meristems in rice. *New Phytol.* 215: 825-839. (査読有)

2 Tanaka W, Ohmori Y, Ushijima T, Matsusaka H, Matsushita T, Kumamaru T, Kawano S, *Hirano H-Y (2015) Axillary meristem formation in rice requires the WUSCHEL ortholog TILLERS ABSENT1. *Plant Cell* 27: 1173-1184. (査読有)

計画・平井優美 計 30 件 (査読有 29 件、査読無 1 件)

1 Okamura E, *Hirai MY (2017) Novel regulatory mechanism of serine biosynthesis associated with 3-phosphoglycerate dehydrogenase in Arabidopsis thaliana. *Sci. Rep.* 7: 3533. (査読有)

2 Okada T. and Mochizuki A. (2016) Law of Localization in Chemical Reaction Networks. *Phys. Rev. Lett.* 117: 048101. (査読有)

計画・河内孝之 計 58 件 (査読有 55 件、査読無 3 件)

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 e475. (査読有)

2 Monte I, Ishida S, Zamarreno AM, Hamberg M, Franco-Zorrilla JM, Garcia-Casado G, Gouhier-Darimont C, Reymond P, Takahashi K, Garcia-Mina JM, Nishihama R, Kohchi T, *Solano R (2018) Ligand-receptor co-evolution shaped the jasmonate pathway in land plants. *Nat Chem Biol* 14, 480-488. (査読有)

3 *Bowman JL, *Kohchi T, *Yamato KT, Jenkins J, Shu S, Ishizaki K, Yamaoka S, Nishihama R, Nakamura Y, Berger F, et al. (2017) Insights into land plant evolution garnered from the Marchantia polymorpha genome. *Cell* 171: 287-304.e215. (査読有)

4 *Suetsugu N, Takemiya A, Kong SG, Higa T, Komatsu A, Shimazaki K, Kohchi T, *Wada, M. (2016) RPT2/NCH1 subfamily of NPH3-like proteins is essential for the chloroplast accumulation response in land plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* 113: 10424-10429. (査読有)

5 Inoue K, Nishihama R, Kataoka H, Hosaka M, Manabe R, Nomoto M, Tada Y, Ishizaki K, *Kohchi T (2016) Phytochrome signaling is mediated by PHYTOCHROME INTERACTING FACTOR in the Liverwort Marchantia polymorpha. *Plant Cell* 28: 1406-1421. (査読有)

6 Kubota A, Kita S, Ishizaki K, Nishihama R, Yamato KT, *Kohchi T (2014) Co-option of a photoperiodic growth-phase transition system during land plant evolution. *Nat Commun* 5: 3668. (査読有)

公募・阿部光知 (H28-H29) 計 4 件 (査読有 4 件)

1 Shibuta M, *Abe M (2017) FE controls the transcription of downstream flowering regulators through two distinct mechanisms in leaf phloem companion cells. *Plant & Cell Physiol.* 58: 2017-2025. (査読有)

公募・伊藤純一 計 8 件 (査読有 8 件)

1 Shimano S, Hibara K, Furuya T, Arimura S, Tsukaya H, *Itoh JI (2018) Conserved functional control, but distinct regulation of cell proliferation in rice and Arabidopsis leaves revealed by comparative analysis of GRF-INTERACTING FACTOR 1 orthologs. *Development* 145 pii: dev159624 (査読有)

公募・伊藤正樹 計 12 件 (査読有 11 件、査読無 1 件)

1 Kobayashi K, Suzuki T, Iwata E, Nakamichi N, Suzuki T, Chen P, Ohtani M, Ishida T, Hosoya H, Müller S,

Leviczky T, Pettkó-Szandtner A, Darula Z, Iwamoto A, Nomoto M, Tada Y, Higashiyama T, Demura T, Doonan JH, Hauser MT, Sugimoto K, Umeda M, Magyar Z, Bögre L, *Ito M (2015) Transcriptional repression by MYB3R proteins regulates plant organ growth. *EMBO J.* 34: 1992-2007. (査読有)

公募・遠藤求 計 17 件 (査読有 17 件)

1 Shimizu H, Katayama K, Koto T, Torii K, Araki T, *Endo M (2015) Decentralized clock discretely process thermal and photoperiodic cues in a specific tissue. *Nature Plants* 1: 15163. (査読有)

公募・太田大策 (H26-H27) 計 1 件 (査読有 1 件)

公募・大西利幸 (H28-H29) 計 2 件 (査読有 2 件)

公募・小田祥久 計 9 件 (査読有 9 件)

1 Sugiyama Y, Wakazaki M, Toyooka K, Fukuda H, Oda Y (2017) A novel plasma membrane-anchored protein regulates xylem cell-wall deposition through microtubule-dependent lateral inhibition of Rho GTPase domains. *Curr Biol* 27:2522-2528. (査読有)

2 Sasaki T, Fukuda H, Oda Y (2017) CORTICAL MICROTUBULE DISORDERING1 is Required for Secondary Cell Wall Patterning in Xylem Vessels. *Plant Cell* 29:3123-3139. (査読有)

公募・久保稔 (H26-H27) 計 4 件 (査読有 4 件)

1 *久保 稔 (2016) 次世代シーケンサーを用いた 1 細胞遺伝子発現解析の現状と展望～植物細胞のリプログラミング機構の解明に向けて～. *BSJ-review*, 7: 189-200. (査読有)

公募・小島晶子 計 15 件 (査読有 14 件、査読無 1 件)

1 Vial-Pradel S, Keta S, Nomoto M, Takahashi H, Suzuki M, Yokoyama Y, Sasabe M, Kojima S, Tada Y, *Machida Y, *Machida C (2018) Arabidopsis zinc-finger-like protein ASYMMETRIC LEAVES2 (AS2) and two nucleolar proteins maintain gene body DNA methylation in the leaf polarity gene ETTIN (ARF3). *Plant Cell Physiol.* 2018 Feb 5. Online (査読有)

公募・酒井達也 (H28-H29) 計 2 件 (査読有 2 件)

1 Kimura T, Haga K, Shimizu-Mitao Y, Takebayashi Y, Kasahara H, Hayashi K, Kakimoto T, *Sakai T (2018) Asymmetric auxin distribution is not required to establish root phototropism in Arabidopsis. *Plant Cell Physiol.* 58: 823-835. (査読有)

公募・榊原恵子 (H28-H29) 計 10 件 (査読有 10 件)

公募・篠原秀文 計 5 件 (査読有 5 件)

1 Nakayama T1, Shinohara H1, Tanaka M, Baba K, Ogawa-Ohnishi M, *Matsubayashi Y (2017) (1These authors contributed equally to this work) A peptide hormone required for Casparian strip diffusion-barrier formation in Arabidopsis roots. *Science* 355: 284-286 (査読有)

2 Shinohara H, Mori A, Yasue N, Sumida K, *Matsubayashi Y (2016) Identification of three LRR-RKs involved in perception of root meristem growth factor in Arabidopsis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 113: 3897-3902 (査読有)

公募・田岡健一郎 (H26-H27) 計 2 件 (査読有 2 件)

1 Teo CJ, Takahashi K, Shimizu K, Shimamoto K, *Taoka KI (2017) Potato Tuber Induction is Regulated by

Interactions Between Components of a Tubergen Complex. *Plant Cell Physiol.* 58:365-374. (査読有)

公募・高橋卓 計 11 件 (査読有 11 件)

1 Yoshimoto K, Takamura H, Kadota I, Motose H, *Takahashi T (2016) Chemical control of xylem differentiation by thermospermine, xylemin, and auxin. *Sci. Rep.* 6: 21487 (査読有)

公募・高橋直紀 計 19 件 (査読有 16 件、査読無 3 件)

1 Ogita N, Okushima Y, Tokizawa M, Yamamoto YY, Tanaka M, Seki M, Makita Y, Matsui M, Okamoto-Yoshiyama K, Sakamoto T, Kurata T, Hiruma K, Saijo Y, Takahashi N, *Umeda M (2018) Identifying the target genes of SUPPRESSOR OF GAMMA RESPONSE 1, a master transcription factor controlling DNA damage response in Arabidopsis. *Plant J.* 94:439-453. (査読有)

公募・塚越啓央 計 3 件 (査読有 2 件、査読無 1 件)

1 Mabuchi K, Maki H, Itaya T, Suzuki T, Nomoto M, Sakaoka S, Morikami A, Higashiyama T, Tada Y, Busch W, *Tsukagoshi H (2018) MYB30 Links ROS Signaling, Root Cell Elongation and Plant Immune Responses. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* 115: E4710-E4719. (査読有)

公募・鳥居啓子 計 29 件 (査読有 28 件、査読無 1 件)

1 Hirakawa Y, Shinohara H, Matsubayashi Y, *Torii KU, *Uchida N (2017) Cryptic bioactivity capacitated by synthetic hybrid peptide. *Nature Commun* 8: 14318 (査読有)

2 Tameshige T, Okamoto S, Lee JS, Aida M, Tasaka M, *Torii KU, *Uchida N (2016) A Secreted Peptide and its Receptors Specifying the Auxin Response Pattern during Leaf Margin Morphogenesis. *Curr Biol* 26: 2478-2485. (査読有)

公募・濱田隆宏 計 5 件 (査読有 4 件、査読無 1 件)

1 Tszuki M, Nishihama R, Ishizaki K, Kurihara Y, Matsui M, Bowman JL, Kohchi T, Hamada T, *Watanabe Y (2016) Profiling and Characterization of Small RNAs in the Liverwort, *Marchantia polymorpha*, Belonging to the First Diverged Land Plants. *Plant Cell Physiol.* 359-372. (査読有)

公募・藤田浩徳 計 3 件 (査読有 3 件)

1 *Fujita H, Kawaguchi M (2018) Spatial regularity control of phyllotaxis pattern generated by the mutual interaction between auxin and PIN1. *PLoS Comput. Biol.* 14: e1006065. (査読有)

2 Horst RJ, Fujita H, Lee JS, Rychel AL, Garrick JM, Kawaguchi M, Peterson KM, *Torii KU (2015) Molecular framework of a regulatory circuit initiating two-dimensional spatial patterning of stomatal lineage. *PLoS Genet.* 11: e1005374. (査読有)

公募・藤本仰一 計 7 件 (査読有 6 件、査読無 1 件)

1 *Kitazawa MS, Fujimoto K (2016) Relationship between the species-representative phenotype and intraspecific variation in Ranunculaceae floral organ and Asteraceae flower numbers. *Annals of Botany* 11: 925-935. (査読有)

2 *Kitazawa MS, *Fujimoto K (2015) A dynamical phyllotaxis model to determine floral organ number. *PLOS Computational Biology* 11: e1004145. (査読有)

公募・古谷将彦 計 4 件 (査読有 4 件)

1 Ito J, Fukaki H, Onoda M, Li L, Li C, Tasaka M, *Furutani M (2016) Auxin-dependent compositional change in Mediator in ARF7- and ARF19-mediated transcription. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 113: 6562-6567. (査読有)

公募・前島正義 計 18 件 (査読有 18 件)

1 Segami S, Tomoyama T, Sakamoto S, Gunji S, Fukuda M, Kinoshita S, Mitsuda N, Ferjani A, Macshima M (2018). Vacuolar H⁺-pyrophosphatase and Cytosolic Soluble Pyrophosphatases Cooperatively Regulate Pyrophosphate Levels in Arabidopsis thaliana. *Plant Cell* 30, In press. (査読有)

(2) 学会発表

<主催シンポジウム等> 計 19 件

- 1 Marchanita Workshop 2017、モデル生物ゼニゴケを用いた研究の国際的な研究集会、140 名 (2017.12.16-18)
- 2 TAIWAN-Japan 2017 Plant Biology Conference Session 5: Evolution, Taxonomy, Non-model plant, Education 参加者総数 680 名 (2017.11.4)
- 3 日本発生生物学会第 50 回大会 Symposium スピーカーとして 21 名 (2017.5.10)
- 4 日本発生生物学会第 48 回大会 Symposium 5 : Topics in plant and animal development (2015.6.5)
- 5 Marchanita Workshop 2014、モデル生物ゼニゴケを用いた研究の国際的な研究集会、170 名 (2014.12.8-10)
- 6 日本植物学会第 78 回大会 シンポジウム 発生ロジックをもたらすシグナル分子群 (2014.9.13)
- 7 第 55 回日本植物生理学会年会 シンポジウム 11 植物発生ロジックの多元的研究 (2014.3.19)

(3) 図書

<書籍> 計 62 件

- 1 塚谷裕一 (分担執筆) 『生物学入門』東京化学同人、2013、P153-171
- 2 塚谷裕一・荒木 崇 (編) 『改訂版 植物の科学』放送大学教育振興会 2015 年、289 ページ
- 3 浅見忠男・柿本辰男 (編) 荒木崇・柿本辰男・高橋卓・中島敬二・平川有宇樹・古谷将彦 (分担執筆)
『新しい植物ホルモンの科学』第 3 版、講談社、2016 年
- 4 榊原恵子 (著) 『世代交代制御因子の発見』慶応大学出版、2016 年、190 ページ
- 5 平野博之・阿部光知 (著) 『花の分子発生遺伝学』裳華房、2018 年、214 ページ
- 6 鳥居啓子 『挑む！科学を拓 28 人』日経新聞出版社、「鳥居啓子 植物の気孔から発生の謎に迫る」2017 年

研究成果による産業財産権の出願・取得状況

なし

「研究成果」

1. 研究領域の目的及び概要

【領域の目標】植物の発生成長は、動物と異なるロジックで制御されている。植物の場合には幹細胞や分化細胞のアイデンティティが、細胞環境に応じた柔軟な転写ネットワークにより決まる。また転写因子やその調節因子、低分子 RNA も細胞・器官間を移動してシグナルとしてはたらく。また動物にはないロジックとして、光合成生物ならではの、同化産物や様々な代謝過程による発生成長の制御も明らかになってきている。しかし植物発生の理解の根幹をなす発生ロジックの多くは未解明・未開拓である。そこで本領域では、「植物発生ロジックの多元的開拓」という新しい視点から、植物の発生・成長プログラムの、その背景にある本質的機構の解明を目指し、多元的アプローチで取り組む。一言で言えばそれは、教科書に載る・書き替える新知見の追求である。

① 研究の学術的背景・経緯

植物の発生生物学は、1990 年ごろからシロイヌナズナの分子遺伝学を用いて国内外で急速に発展し、2000 年以降、イネの分子遺伝学の発展やモデル植物・作物のゲノムプロジェクトの相次ぐ完了により大きく進展した。特に日本においても、本計画の班員により植物ホルモンのジベレリンやサイトカイニンの受容体の発見、花成ホルモンであるフロリゲン (FT/Hd3a) タンパク質の同定とその作用機構の解明など、生物学の歴史に残る多くの発見がなされてきた。その結果、この十数年の間に、日本の植物発生生物学は、欧米の研究とともに世界をリードする地位を確保したと言える。これは平成 14-18 年度の特設領域研究「植物の軸と情報」に引き続き、平成 19-24 年度にわたってこの分野を推進してきた特設領域研究「植物メリステムと器官の発生を支える情報統御系 (植物メリステム)」の成果の一つである。一方、昨今、地球規模での環境悪化に伴い、国内外で植物の成長やバイオマスの向上につながる応用を目指した大型プロジェクトが進んでいる。しかし、このような応用研究の成功は植物の発生・成長の本質の理解なくしてあり得ない。

では、『植物の発生・成長の本質』とは何か？動物の発生の場合、幹細胞や分化細胞のアイデンティティはエピジェネティック制御で強化された転写ネットワークにより固定されるのに対して、植物の幹細胞や分化細胞のアイデンティティは、細胞環境に応じた柔軟な転写ネットワークにより決まる。とくに植物は光合成生物であるため、代謝産物の蓄積状況に応じて発生を調節する。また近年、植物では転写因子やその調節因子、低分子 RNA も細胞・器官間を移動してシグナルとして働くことが明らかにされ、従来の予想以上に植物の発生は、動物の発生と大きく異なり柔軟かつ堅実に制御されていることがわかってきた。そこで本研究領域は、このような植物の本質的な発生ロジックを理解すべく、以下のような目的を掲げ新たな学術領域を提案した。

② 研究領域の目的

本研究領域では、植物の発生成長制御における本質的なロジック、すなわち発生生物学の教科書を書き替える・書き加える新発見の追求である。主な対象は、植物発生・成長の中心的問題である植物の幹細胞性を与える仕組み、器官発生における細胞の分化、増殖と配置の仕組み、成長相転換などである。これらを牽引する鍵遺伝子を徹底して見だし、その機能を解き明かす。また遺伝子冗長性が極めて低いゼニゴケを用いて、徹底した網羅的かつ入念な研究により、形態形成の本質的制御システムを見いだす。さらに代謝に注目して、発生・成長を調節する新奇シグナル分子を探索し、新たに「代謝発生生物学」の分野を打ち立てる。

③ 研究領域の概要

以上の目標を効率的に達成するため、9つの研究グループからなる計画研究班に2年目から十数グループの公募研究班を加え、緊密な協力にもとづく研究空間を組むことで、植物の発生ロジックの解明を目指す。その基盤としての、計画研究班全体で構築する多元的な研究の場は、以下の5つの軸からなる。

- 1：植物の生命現象の階層性を意識した、「器官別の解析」という最も基盤となる次元。
- 2：情報伝達系因子や転写関連因子、ペプチド性細胞間シグナル分子、低分子 RNA の解明という分子機能を意識した第2次元。
- 3：シロイヌナズナ（真正双子葉植物）からイネ（単子葉植物）やゼニゴケ（維管束のない陸上植物）へといった、別システムへの投射によって本質経路を抽出する第3次元。
- 4：発生現象を代謝のメタボローム解析から捉えるという第4次元。
- 5：複雑なネットワークから本質的な経路を抽出する数理解析という第5次元。

これらが立体的に組み合わさった研究の網の目を使って、計画班自ら、世界をリードし未開拓の分野を切り開く。それと共に、この網の目状の研究の場に、優秀な若手を中心とした公募班研究をそこへ組み合わせ、一丸となって、植物の発生の本質的なロジックを解き明かす。そこで総括班では、各班員の研究が円滑に進むように、メタボローム解析基盤や、シロイヌナズナ全転写因子ライブラリー構築などの研究支援体制・支援ツールを整えるとともに、若手研究者の積極的な育成を進めつつ、班会議や国際シンポジウム・ワークショップの開催など領域の活動を推進させるための運営を行なう。

④ 領域から期待される新しい研究の創造

本領域は植物の本質的な発生ロジックについて、対象とする発生現象が異なる9つの計画班と4つの支援体制の強い協力体制によって解き明かすことを目指している点で、国内外に類のない植物発生に関する研究グループを構築していく。この領域による多元

的かつ開拓的な研究によって、植物発生戦略に留まらず、広く生物発生戦略の体系的理解に寄与することが期待される。また、本領域で得られる成果が、将来、生産環境農学分野の遺伝育種科学、作物生産科学、園芸科学、環境農学といった応用研究分野にも広くインパクトを与え、ひいては地球環境悪化や食料不足問題といった地球規模の問題解決に寄与することができれば、本領域研究の成功は非常に意義深いものとなるだろう。

特に「植物の発生現象理解に特化したメタボロミクス解析」すなわち、代謝と発生のクロストークに基づく機構については、全く新しい研究分野の創造が期待される。また、望月による数理生物学の視点から各班員の発生制御ネットワークに新たな本質的経路が見出されることが期待できる。さらに、公募班には計画班ではカバーできない発生・成長現象を扱う班員も含まれることが期待され、それら公募班と計画班との連携を深めることにより、新たな共同研究による分野の創出を推進する。

2. 研究領域の設定目的の達成度

●研究領域の設定目的

植物の発生成長は、動物と異なるロジックで制御されている。植物の場合には幹細胞や分化細胞のアイデンティティが、細胞環境に応じた柔軟な転写ネットワークにより決まる。また転写因子やその調節因子、低分子 RNA も細胞・器官間を移動してシグナルとしてはたらく。また動物にはないロジックとして、光合成生物ならではの、同化産物や様々な代謝過程による発生成長の制御も明らかになってきている。しかし植物発生の理解の根幹をなす発生ロジックの多くは未解明・未開拓である。そこで本領域では、「植物発生ロジックの多元的開拓」という新しい視点から、植物の発生・成長プログラムの、その背景にある本質的機構の解明を目指し、多元的アプローチで取り組む。一言で言えばそれは、教科書に載る・書き替える新知見の追求である。

上記の設定目標に関し、予定通り従前の達成ができたとして自己評価している。特に、最後の「教科書に載る・書き換える新知見」については、別項の「9. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度」に記したとおり、数多くの成果を得ている。

また本領域の具体的な目標は、「植物発生・成長の中心的問題である植物の幹細胞性を与える仕組み、器官発生における細胞の分化、増殖と配置の仕組み、成長相転換の仕組みなどを牽引する鍵遺伝子を徹底して見だし、その機能を解き明かす。また遺伝子冗長性が極めて低いゼニゴケを用いて、徹底した網羅的かつ入念な研究により、形態形成の本質的制御システムを見いだす。さらに代謝に注目して、発生・成長を調節する新奇シグナル分子を探索し、新たに「代謝発生生物学」の分野を打ち立てる」となっていた。これに即して、以下、具体的に達成を述べる。

このうちまず「植物発生・成長の中心的問題である植物の幹細胞性を与える仕組み」に関しては、伊藤の維管束幹細胞形成の鍵となる転写因子と、植物ホルモンとの関係性に関する解析 (Curr. Biol. 2014、2015) や、深城による側根創始細胞の選択機構や、側根原基の静止中心の確立の解明 (Development 2016)、平野によるイネの腋芽メリステムの制御メカニズム解明 (Plant Cell 2015)、あるいは高橋による、根端幹細胞の再生にはオーキシンおよびブラシノステロイド活性の時空間的变化が必須であることの発見など、多くの重要知見を導き出すことができた。

続いて「器官発生における細胞の分化、増殖と配置の仕組み」に関しては、塚谷と平井が、葉原基における細胞分裂の時空間的分布パターンの制御メカニズムとして、転写共訳因子である AN3 が、古典的なモルフォゲンで想定された通りの細胞間拡散を見いだした (Biophysics J.)。また藤田と塚谷は、袋状の食虫植物の葉が、従来の仮説と大きく異なり、葉原基中の細胞分裂角度の局所的変化によって作られることを発見した (Nature Commun. 2015)。またこうした器官原基内における細胞分裂の角度と頻度を迅速にモニターする実験系の構築を進めた (New Phytol. 2017)。また柿本は気孔系譜の幹細胞が環境ストレスでどう分裂活性を変えるかを解明 (PCP 2014) するなど、多くの器官で独自性の高い知見を多数積み上げた。

一方、上記を支える細胞の増殖の基本敵仕組みに関しては、伊藤と高橋が共同研究により、DNA 損傷による細胞周期停止に、G2/M 期進行制御に関わる R1R2R3 MYB 転写因子が必須であることを発見 (Nature Commun. 2017) した。また榊原は、ヒメツリガネゴケのさく柄分裂組織で発現する *PpKNOX1* 遺伝子が、*PpBELL* 遺伝子とともに細胞周期関連遺伝子を制御することを見いだした

またこうした細胞増殖の上の次元で起きる「器官の配置と増殖」に関しては、藤本が数理解析から、花器官の 5 数性と 4 数性を決めるロジックを数理モデルから予測 (PLOS Comp. Biol. 2015)。花器官数の種内のばらつきに関する法則性 (Annals of Bot. 2016) とその要因に関する数理的予測 (Frontiers Plant Sci. 2014) を進めるといった、ユニークな展開を見せた。一方藤田は、葉序の規則的パターンに関し、植物ホルモンオーキシンは、未知の拡散性分子 X を介してオーキシン排出キャリア PIN1 を間接的に制御することを数理解析により予測した (PLOS Comp. Biol. 2018)。

さらに「成長相転換の仕組み」に関しては、荒木がシロイヌナズナの花成について、主要無機栄養カリウムによる制御機構 (PCP 2018)、光情報伝達経路の新規因子 PHL の発見 (PNAS 2013)、フロリゲンの輸送とその制御に関する新知見 (Plant J. 2013, PCP 2018a)、フロリゲン複合体形成に関わるキナーゼ CPK33 の同定 (Sci. Rep. 2015) などを進めた。これに関連して一方田岡は、花成への相転換を妨げるアンチフロリゲン RCN が、花成ホルモンのフロリゲン Hd3a と競合する仕組みを解明した (PCP 2018)。さらに阿部は遠藤とともに、シロイヌナズナ Myb 型転写制御因子 FE

が、葉の篩部伴細胞におけるフロリゲンの産生と輸送制御の両方に関わる鍵因子であることを明らかにした (PCP 2017, PCP 2018)。

また平野はイネの生殖相において、YABBY 転写因子である 3 つの *TOB* 遺伝子が、花の発生と、その前段階の相である花序の発生とを、細胞非自律的に制御していることを明らかにした (New Phytol. 2017)。また河内は、ゼニゴケの特質を活かして、その成長相転換に関与する制御経路とその統合因子となる転写因子とを解明した (Nature Commun. 2013, Curr. Biol. 2018)。

このように、それぞれの目標に関しては、それぞれの生物学的過程を「牽引する鍵遺伝子を徹底して見だし、その機能を解き明かす」という形で目標としてきた通り、それぞれ重要な鍵遺伝子を多数見だし、機能解明に進めることができた。

したがって、本領域で設定した 5 つの多元的開拓の軸のうち、まず最初の 1, 2 にあたる

1 : 植物の生命現象の階層性を意識した、「器官別の解析」という最も基盤となる次元。

2 : 情報伝達系因子や転写関連因子、ペプチド性細胞間シグナル分子、低分子 RNA の解明という分子機能を意識した第 2 次元。

については、全く問題なく目標を達成できたといえる。この背景としては、支援班で尽力した、シロイヌナズナ転写因子全ライブラリー構築が、大きな威力を発揮した。また班員の篠原が作成した、シロイヌナズナ受容体キナーゼ群の発現ライブラリーも、ペプチド性細胞間シグナル因子の解明にきわめて強力なツールとなった。また河内により提供されたゼニゴケのゲノム情報 (Cell 2017)、濱田と河内が同定したゼニゴケの miRNA のカタログ化 (PCP 2016) も大きなサポートになった。なお中島は、miR165/6 による HD-ZIPIII の発現抑制を介した制御系が、根端のみならず葉原基や胚珠形成においても広く機能することを示した (Curr. Opin. Plant Biol. 2014, Plant J. 2015, Development 2015, Cell Rep. 2015, PCP 2018)。

一方、5 つの多元的開拓の軸のうち残りの 3 つ、

3 : シロイヌナズナ (真正双子葉植物) からイネ (単子葉植物) やゼニゴケ (維管束のない陸上植物) へといった、別システムへの投射によって本質経路を抽出する第 3 次元。

4 : 発生現象を代謝のメタボローム解析から捉えるという第 4 次元。

5 : 複雑なネットワークから本質的な経路を抽出する数理解析という第 5 次元。

に関して、順調な成果達成を進めることができた。

まず「シロイヌナズナ (真正双子葉植物) からイネ (単子葉植物) への投射による本質経路の抽出」は、主に平野と伊藤が担当し、シロイヌナズナでシュート腸の幹細胞ニッチ形成に重要な因子としてどの教科書にも書かれている WUSCHEL (WUS) が、イネでは異なる機能をもつことを平野が解明 (Plant Cell 2015)。またシロイヌナズナ

の葉の発生において多面的な機能をもつことで、世界的に注目が集まっている AN3 については、伊藤が塚谷とともに機能解析を進め、イネにおいても基本的に同じ機能を保有するものの、その機能を発揮するにあたって見られる細胞層間の移動方向が、シロイヌナズナとイネとでは全く逆方向であることを見いだした (Development 2018)。ほかにも、シロイヌナズナだけで解析しては見落とされるであろう重要な特性の違いが、いくつも発見されている。

また「ゼニゴケへの投射による本質経路の抽出」は、河内を中心にきわめて多彩な研究が展開された。河内研が主導したものとしては、光環境応答の解明 (Plant Physiol. 2014, PNAS 2016, Plant Cell 2016)、先述済みの成長相転換に関与する制御 (Nature Commun. 2013, Curr. Biol. 2018) の他、植物ホルモンの生合成と信号伝達の進化的変遷 (PLOS Genet. 2015, Plant Cell 2015, Nature Chem. Biol. 2018)、オーキシン信号伝達のパターン形成における役割 (PCP 2017) などがあげられる。塚谷も河内とともにシロイヌナズナにおいて葉の横幅と厚さを制御する重要因子・AN の、ゼニゴケでの機能解明を進め、細胞レベルでは同様の機能を有すること、ただしシロイヌナズナでは複相の孢子体世代で機能しているのに対し、ゼニゴケでは単相の配偶体世代で機能していることなどの違いを見いだした (Development, in revision)。また中島は陸上植物で広く保存されている *RKD* 遺伝子が、生殖細胞形成の鍵因子であることを明らかにし (Curr. Biol. 2016, Curr. Opin. Plant Biol. 2018)、荒木はゼニゴケの雄性生殖器官と配偶子形成の解析を進めた (PCP 2016)。ゼニゴケを用いた研究の利便性は急速に進んだこと、また班員への積極的な技術提供を進めたことから、別項で述べたとおり、ゼニゴケを研究材料に採用する研究者は、この研究班を核として爆発的に増加し、日本中で標準研究スタイルの一つとなるに至った。新しいモデル生物・ゼニゴケの確立とそれを用いた研究者コミュニティの急速な発展は、本領域の大きな成果の一つである。

さらに「発生現象を代謝のメタボローム解析から捉える」ことに関しては、全く新しい試みただけに初動はゆっくりであったが、着実に手法が浸透し、多くの班員が研究手法に取り入れた。その結果、平井と塚谷は、シロイヌナズナ胚の極性形成にこれまで発生生物学上ノーマークであったチトクロム P450 酵素の、CYP77A4 が必要であることを解明した (投稿中)。また平井と河内は、シロイヌナズナ及びゼニゴケのセリン生合成酵素 PGDH がある種のアミノ酸で活性化されることを解明 (Sci. Rep. 2017)。また望月と平井と塚谷は、望月が見いだした代謝経路に関する数理理論

(Phys. Rev. Lett. 2016, J. Theor. Biol. 2016) を応用し、葉の形態形成とある代謝ネットワークを繋ぐ代謝不全を、メタボロミクス解析と数理解析を組み合わせることで同定することに成功した (投稿中)。また前島は、ピロリン酸の濃度調節に関わる液胞膜 H^+ -pyrophosphatase (H^+ -PPase) と可溶性 PPase の変異株解析から、ピロリン酸の

濃度維持機構と細胞分裂、細胞壁形成、組織形成とを関連づける機構を解明した (Plant Cell 2014, Plant Cell 2018)。

また「複雑なネットワークから本質的な経路を抽出する数理解析」については、上記の通り望月が見いだした代謝経路に関する数理理論 (Phys. Rev. Lett. 2016, J. Theor. Biol. 2016) を応用した解析、藤本や藤田が推進した数理解析、小田による反応拡散と導管細胞壁パターン形成、鳥居と藤田による気孔パターン形成と反応拡散パターンの関連性 (PLOS Genet. 2015) 等が進んだ。遠藤と荒木による発見の一つ、植物の概日時計システムが組織ごとに異なる特性を持つことも、一種の数理解明の一つと言える (Nature 2014, Nature Plants 2015)。

以上のように、本領域では5つの軸を設定した多元的開拓により、植物の発生のロジックに関して、教科書に載る・記述を書き換える新知見を目標通り、多数世に送り出すことができた。

3. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況

本領域では、『植物の発生・成長の本質』とは何か？を問いとして掲げてきた。植物の幹細胞や分化細胞のアイデンティティは、細胞環境に応じた柔軟な転写ネットワークにより決まる。とくに植物は光合成生物であるため、代謝産物の蓄積状況に応じて発生を調節する。また近年、植物では転写因子やその調節因子、低分子 RNA も細胞・器官間を移動してシグナルとして働くことが明らかにされ、従来の予想以上に植物の発生は、動物の発生と大きく異なり、柔軟かつ堅実に制御されていることがわかってきた。そこで本研究領域は、このような植物の発生成長制御における本質的なロジック、すなわち発生生物学の教科書を書き替える・書き加える新発見を追求してきた。

そのため、従来日本の第一線の研究者が推進してきた「器官別の解析」と「分子機能」の2つの軸をもつ個別研究を基盤に、新たな3つの軸として(1)遺伝子冗長性が極めて低いゼニゴケを用いて、徹底した網羅的かつ入念な研究により、形態形成の本質的制御システムを見いだすこと、また(2)代謝に注目して、発生・成長を調節する新奇シグナル分子を探索し、新たに「代謝発生生物学」の分野を打ち立てること、さらに(3)複雑なネットワークから本質的な経路を抽出する数理解析も加え、多元的な開拓を提案した。したがってもし問題があるとするれば、これらの新しい3つの軸をどう領域に有機的に行き渡らせるかであった。

これは発足時から審査所見として特に留意するよう求められた点でもあり、別項4にも詳述したように、念入りに準備の上、領域として総括班・支援班から強力に推進をしてきた。具体的には以下の通りである。

(1) 新しいモデル植物・ゼニゴケの利活用

ゼニゴケ研究の有利な点を周知すべく、平成 26 年度と 29 年度には国際ゼニゴケワークショップを神戸大学と基礎生物学研究所で開催し、合計 320 名（うち海外 44 名）の参加者を得て、密な情報交換や共同研究の打ち合わせを推進した。また積極的にゼニゴケを用いた研究手法の講習会を開いたその結果、ゼニゴケ研究者の爆発的増加を見るに至り、これは班の中にとどまらず日本の植物生理学全般に波及している。2017 年には、ゼニゴケゲノム論文を *Cell* 誌に公刊した。

(2) 代謝発生生物学の打ち立て

メタボロミクス研究会を毎年開催し、積極的にメタボロミクス解析を研究手法に取り入れるよう促した結果、それまで全く代謝にタッチしていなかった班員が、新たにこの手法を採用した。また研究代表者の塚谷が、岡崎統合バイオサイエンスセンターの時限付きプロジェクトにおいて、メタボロミクスと発生生物学を橋渡しするハブを立ち上げる機会を得たことから、これも援用して、解析を推進した。その結果、平成 30 年 3 月までにのべ 54 件（約 2,000 検体）のメタボローム解析支援を行ない、班に貢献してきた。

これまでに発生を制御する新たな代謝因子の発見、また代謝回路の形状から従来の直感で類推したのでは、その素過程の機能欠損変異体がしめす代謝異常を正しく推定できないことを数理的に示すなど、全く新しい成果が生まれている。

(3) 数理解析

数理解析を取り入れるための助けとして、総括班の望月を中心に、公募班の藤本・藤田が支えとなって、数理モデル研究会を 2015 年 9 月、2016 年 11 月、2017 年 3 月、そして 2017 年 11 月に開催し、実験植物学者と数理生物学者との間のマッチングを推進した。その結果、宮島＝藤本、古谷＝藤田、小田＝望月などという形でそれぞれのペアが形成され、共同研究による論文発表が多く実現している。

4. 審査結果の所見及び中間評価の所見等で指摘を受けた事項への対応状況

当初所見・指摘事項

本研究領域は、日本がリードする植物発生生物学が、世界のフロントに到達したとの認識の上に立ち、発生・成長の本質部分のロジックに焦点をあて、発生過程の制御機構を明らかにしようとする独創性・新規性のある提案である。（中略）

一方で、領域内の有機的な繋がりを一層促進するための工夫や、数理解析と各計画研究との連携の強化が望まれる。また、次世代シーケンスを活用したグループの必要性や、数理解析の層を厚くする必要性も検討すべきだと思われる。

領域としての対応：領域としては、以上に掲げられた3つの課題に対し、それぞれ以下のような工夫・強化をとり、さらに一層の領域の体制強化を図った。

●領域内の有機的なつながりを一層促進するための工夫

本領域の1つの特徴は、支援班が提供する新たなツールおよび研究手法である。そこでこれらを、領域内をまたがる有機的なつながりの柱とするため、多くの取り組みを行なってきた。

まず転写因子ライブラリーの構築については、シロイヌナズナの転写因子のリストを洗い直し、不足分の追加を進め、全転写因子の99%を網羅する酵母1/2ハイブリッドスクリーニングライブラリーを完成させた。この間に班員からの要望を集め、それに基づき yeast two hybrid(Y2H)やY1H用ベクターなどを使い勝手の良い形で構築し、利用可能になった段階から、希望に応じ班員へ配布した。利用実績としてのべ35回の依頼を受け、Y1H/Y2Hのスクリーニングを実施したほか、アグロバクター—系統、ベクター、形質転換体などの分与はのべ391件に及んだ。

メタボロミクスについては、全くこれまで手をつけたことのない班員が大多数であったことから、総括班研究費の補助で毎年メタボローム勉強会を開催し、そのたびに、先駆的メタボローム研究を行なっている研究者を毎年2名招聘して講演してもらったほか、班からの公開研究相談や進捗、成果報告を行なった。その結果、平成25年度に導入した液体クロマトグラフィー質量分析機、および理研に既存の質量分析機を用いて、平成30年3月までにのべ54件(約2,000検体)のメタボローム解析支援を行なった。

ゼニゴケについても、ゼニゴケ研究の有利な点を周知する機会を増やすべく、26年度と29年度には国際ゼニゴケワークショップを神戸大学と基礎生物学研究所で開催し、合計175名(うち海外21名)と145名(うち海外23名)の参加者を得、口頭とポスター発表により密な情報交換や共同研究の打ち合わせを推進した。また2017年には、ゼニゴケゲノムを *Cell*誌に論文公開した。

また何よりも次世代を担う若手の横のつながりこそが、将来に亘って領域内の有機的なつながりを実のあるものとするという考えから、合宿形式による研究発表・交流の場として若手の会を年1回開き、相互の共同研究を推奨してきた (5年間で総計397名が参加)。

●数理解析と各研究計画との連携の強化・数理解析の層を厚くする必要性

この点については、採択前の面接においてもご指摘の多かった点であったため、公募班の選定に当たって特に留意し、総括班に予定した望月の他に、望月とは数理生物学のスタイルの異なる大阪大学の藤本と基礎生物学研究所の藤田を迎えた。またこの3名を中心として、数理生物学をどう実際の研究に取り込むかのマッチングの会を

開催し、班員の間には数理生物学を浸透させる努力を行なった。その結果、維管束組織形成、器官原基の隆起のモデル化、事故組織的反応のシミュレーション、葉序パターンの数理モデル化、代謝関連遺伝子の機能欠損がメタボロミクスに与える効果の数理解析など、多くのテーマで数理生物学の採用が推進できた。

● 次世代シーケンスを活用したグループの必要性

これに関しては、折しも代表者の所属する東京大学理学部2号館で次世代シーケンサーの導入が始まったことから、その整備に加わり、植物の微量サンプルを用いた次世代シーケンスの条件検討を進め、その結果として確立した最適条件に関し、希望者に技術講習した。

また河内を主体として、次世代シーケンサーを活用したゼニゴケの遺伝子発現解析支援を進めた。次世代シーケンサーのライブラリー作成に関する試薬は高コストであり、また小口の使用者にはロスも大きい。そこで、新学術領域の支援活動として、ライブラリー調製のノウハウを共有し、試薬を有効に活用する体制を構築した。具体的には、RNAの品質確認段階からライブラリーのサンプル識別バーコード管理、調製を行った。次世代シーケンスは外部との連携で行い、シーケンサーのランニングコストは計画班員・公募班員の受益者負担とした。次世代シーケンスの解析は京都大学の大型計算機センターの機器を活用して解析補助を行った。実験データの解析を加速するため、26年度には並列処理可能な高性能ワークステーションを導入し、ゲノム情報を用いた解析、25-29年度で次世代シーケンス解析は **5年で400サンプル余**の結果を得た。

中間評価所見・総合所見指摘事項

個々の計画研究の進展状況は概ね計画通りで良好であり、葉・維管束・根・花等それぞれの形成の分子機構に関して既に進展が得られている。しかしながら、高次の発生ロジックの理解を深めるためにも、個々の研究成果の統合や、上記の5次元の目標達成に向けて、特に数理解析など研究体制の強化策を打ち出すことが望ましい。

● 数理解析など研究体制の強化

これについては、前ページでも触れたとおり、数理生物学を専門とする研究者を公募班において前期・後期ともに積極的に登用したほか、ウェットの研究をしている班員からの要望に対して数理生物学からどういう対応ができるか検討・意見交換するマッチングの会を、2015年9月、2016年11月、2017年3月、そして2017年11月に開催して、実験植物学と数理生物学との間の橋渡しを促進していった。結果、数理生物学の取り入れが班全体に広がった。その成果として、*Nature Communication* への公刊をはじめ、数理生物学を用いた解析成果が上がった。

またこの間に望月が発見・発表した structural sensitivity analysis (SSA)は、代謝経路の特定のステップに異常があったときに代謝ネットワークのどこにどのような変動があるべきかを予言する数理手法で、直感とは異なる正答を与える点、大変汎用性の高いものである (Mochizuki and Fisher 2015; Okada and Mochizuki 2016)。これをメタボロミクスチームとともに取り入れた複合領域的研究も、班員を中心に推進することができた。

5. 主な研究成果 (発明及び特許を含む)

研究項目 A01 計画研究 (9 件) の主な研究成果

【塚谷】葉のサイズ制御に関連して、核内倍加による細胞体積制御に関し、従来知られていた法則は表皮細胞には当てはまるが、葉肉細胞には成立せず、また表皮細胞のアイデンティティを異所的に与えると当てはまるようになること、核内倍加はポアソン過程に従って起こることを見いだした (Development 2016, PLOS One 2017)。葉原基における細胞分裂の頻度・分裂角度を簡便かつ正確にモニターする新手法を開発した (New Phytol. 2017)。転写共訳因子 AN3 の細胞間移動速度が、葉原基の基部と先端部とで異なるバイアスの存在を見だし、これが葉原基における細胞分裂の空間的分布パターンの制御上重要な役目を果たすことを示した (Biophys. J. 2017)。藤田 (公募班) と食虫植物ムラサキヘイソウの捕虫葉の袋状の形態形成の仕組みを解析した (Nature Commun. 2015)。

【伊藤 (大橋) 恭子】維管束幹細胞形成の分子機構を明らかにするために、鍵となる転写因子複合体 LHW-T5L1 の機能解明を中心に研究を進めた。LHW-T5L1 はサイトカインの合成とシグナル伝達を制御することで細胞非自律的に維管束幹細胞の分裂の活性化を促し (Curr. Biol. 2014、小田 (公募班) との共同研究)、VND 遺伝子を制御することで細胞自律的に道管分化を促すことを明らかにした。また、LHW-T5L1 には、サーモスペルミン作用の制御を介した、負のフィードバック機構 (Curr. Biol. 2015) と、オーキシン合成を介した正のフィードバック機構があることを明らかにした。

【深城】側根形成開始を制御する鍵転写因子 LBD16 の下流因子の解析から、MAKR4 が側根創始細胞のオーキシン応答の確立・維持に必要なこと、および TOLS2 ペプチドと PUCHI を介した側根の側方抑制による側根創始細胞の選択機構を明らかにした (篠原 (公募班) と連携、改稿中)。また、側根原基の静止中心の確立 (Development 2016)、側根形成開始に関わる RALF ペプチド (J. Exp. Bot. 2016)、側根形成における概日時計の影響 (Nature Commun. 2015)、側根発生を促進する転写カスケード (Nature Commun. 2015, Plant Cell 2015, Development 2016) について新知見を得た。

【柿本】浸透圧ストレスに応答した葉の幹細胞の数の調節機構を明らかにした (PCP 2014)。

また、CLE9 ペプチドは、気孔系譜の新たな制御因子として働くとともに維管束細胞列の数の制御をすること、これらの二つの機能は CLE9 が別の受容体によって受容されることによる制御であることを見出した。さらに、内鞘細胞の幹細胞性を制御するマスター転写因子を見出した。

【中島】根端のみならず葉原基や胚珠形成においても、miR165/6 による HD-ZIPIII の発現抑制を介した制御系が機能することを示した (Curr. Opin. Plant Biol. 2014, Plant J. 2015, Development 2015, Cell Rep. 2015, PCP 2018)。根冠において、最外層の細胞でマスター制御因子が細胞壁分解酵素の転写を直接活性化することで、これらの細胞の剥離を細胞自律的に促進することを解明した (Development 2016)。ゼニゴケ変異体を用いて陸上植物で広く保存されている *RKD* 遺伝子が、生殖細胞形成の鍵因子であることを明らかにした (Curr. Biol. 2016, Curr. Opin. Plant Biol. 2018)。

【荒木】花成に関して、主要無機栄養カリウムによる制御機構に関する知見 (PCP 2018)、光情報伝達経路の新規因子 PHL (PNAS 2013)、フロリゲンの輸送とその制御に関する知見 (Plant J. 2013, PCP 2018a)、フロリゲン複合体形成に関わるキナーゼ CPK33 (Sci. Rep. 2015) などの成果を挙げた。また、有性生殖機構の理解に関しては、ゼニゴケの雄性生殖器官と配偶子形成を解析する枠組みの構築 (PCP 2016) を終え、転写因子 DUO1 や SPL2 について成果を得た (改稿中)。

【平野】イネの花序と花に関して、YABBY 転写因子である 3 つの *TOB* 遺伝子が、花の発生と花序構築を細胞非自律的に制御していること明らかにした (New Phytol. 2017)。また、花メリステムを負に制御する *fon2* 変異を昂進する変異体を出発として、*OsMADS3* 遺伝子が花メリステムのサイズ制御と有限性を制御することを明らかにした (PCP 2017)。さらに、*WUS* のイネオーソログ *TAB1* が腋芽メリステム形成を促進し、花序構築にも関与することを解明した (Plant Cell 2015)。

【平井】シロイヌナズナ胚の極性形成に CYP77A4 が必要なことを塚谷 (計画班) と解明した (改稿中)。シロイヌナズナ及びゼニゴケのセリン生合成酵素 PGDH がある種のアミノ酸で活性化されることを河内 (計画班) と解明した (Sci. Rep. 2017, 投稿中)。分担者の望月はネットワーク系や形態形成に対し、数理を用いた研究を展開した。理論の開発 (Phys. Rev. Lett. 2016, J. Theor. Biol. 2016)、Ferjani とスクロース合成系の解明、小田 (公募班) と微小管周期パターン形成の解明などを行った。

【河内】基部陸上植物ゼニゴケのモデル生物化を推進し、進化的な発生研究を展開した。ゼニゴケゲノムを解読し遺伝子構成を明らかにした (Cell 2017)。ゲノム編集を含む多様な実験法を開発し研究基盤を整備した (BBB 2013, Sci. Rep. 2013, PCP 2014, PLOS One 2015, PCP 2016, PCP 2016)。光環境応答に関与する受容体や信号伝達系を明らかにした (Plant Physio. 2014, PNAS 2016, Plant Cell 2016)。成長相転換に関与する制御経路と統合因子となる転写因子を明らかにした (Nature Comm. 2013, Curr. Biol.

2018)。植物ホルモンの生合成と信号伝達の進化的変遷を明らかにするとともに (PLOS Genet. 2015, Plant Cell 2015, Nature Chem. Biol. 2018)、オーキシン信号伝達のパターン形成における役割を明らかにした (PCP 2017)。

研究項目 A01 公募研究 (平成 26-27 年度・18 件、平成 28-29 年度・19 件) の主な研究成果

【伊藤純一】イネの葉の発生に関わるイネ AN3 ホモログの *MKB3* 遺伝子の機能を、塚谷 (計画班) と連携して明らかにした (Development 2018)。また、イネ *LSY1* 遺伝子 (PCP 2017)、*FIB* 遺伝子 (Plant J. 2014) の機能を明らかにした。

【伊藤正樹】細胞周期中で G2/M 期に働く遺伝子群を制御する MYB3R 転写抑制因子が、ジベレリン信号伝達因子 DELLA とのタンパク質相互作用を通じて、DELLA の成長抑制作用の一部を媒介している可能性を示した。また、細胞サイズの決定に関わる新奇 GRAS 型転写因子を同定した。

【久保】植物組織の 1 細胞からマイクロキャピラリーを用いて 1 細胞液を単離し、網羅的遺伝子発現解析を行う実験系を開発した (BSJ-Review 2016)。

【遠藤】植物の概日時計システムが組織ごとに異なる特性を持つことを荒木 (計画班) と共に明らかとした (Nature 2014, Nature Plants 2015)。また、表皮の単離方法や柵状組織と海綿状組織を単離する技術を開発した (Nature Protocols 2016, Methods in Molecular Biology 2018)。

【小田】道管分化において新規の微小管付随タンパク質 (Curr. Biol. 2017, Plant Cell 2017)、微小管における新規輸送経路 (PCP 2015, New Phytol. 2017) が二次細胞壁のパターンを制御することを明らかにした。

【小島】葉の向背軸性確立において、AS1-AS2 が *ETTIN* の発現抑制を介して、サイトカニン合成酵素 *AtIPT3* と CDK 阻害タンパク質 *KRP5* の転写抑制をする重要性を明らかにした。また、*ETTIN* コード領域の DNA メチル化維持に必要な因子を同定した (Biol. Open 2016, PCP 2018)。

【篠原】受容体キナーゼ群の発現ライブラリーを作製し、窒素飢餓を伝える CEP および CEPR (Science 2014)、根端メリステム活性を維持する RGF と RGFR (PNAS 2016)、およびカスパー線形成を担う CIF と GSO1/SGN3 (Science 2017) の各リガンド-受容体ペアを同定した。

【田岡】アンチフロリゲン RCN は、14-3-3 への結合をフロリゲン Hd3a と競合することでフロリゲン活性を抑制することを示した (PCP 2018)。

【高橋卓】サーモスペルミンが、オーキシンによる木部分化誘導に対して負のフィードバック制御を担うこと (Front. Plant Sci. 2014)、サーモスペルミンが翻訳過程に作用すること (PLOS One 2015) を明らかにした。また、サーモスペルミン合成阻害剤 (ザイレミン)

を開発した (Sci. Rep. 2016)。

【高橋直紀】根端幹細胞の再生にオーキシンおよびブラシノステロイドの活性が時空間的に変化することが必須であることを明らかにした。DNA損傷による細胞周期停止に、G2/M期進行制御に関わるR1R2R3 MYB転写因子が必須であることを、伊藤正樹 (公募班) らと見出した (Nature Commun. 2017)

【塚越】活性酸素種に素早く応答する転写因子MYB30を見だし、これが極長鎖脂肪酸の輸送に関わる遺伝子群の発現を正に制御して根の細胞伸長を抑制していること、およびMAMPエリシターFlg22に応答した根の成長制御にも関わることを示した (PNAS 2018)。

【鳥居】気孔の数を増やす化合物約 100 種類を同定した。さらに、C-H 活性型触媒反応を駆使してヒット化合物の構造類縁体を合成し、成長阻害の副作用のない化合物を創出した (Chem. Comm. 2017)。また、ペプチド受容体を介した細胞間シグナルによる発生ロジックを解析した (Curr. Biol. 2016)

【濱田】ゼニゴケ small RNA 解析により、陸上植物間で保存された 9 種類の microRNA とゼニゴケ特有の 213 種類の microRNA を河内 (計画班) らとの共同研究により見出した (PCP 2016)。

【藤田】数理解析から、気孔パターン形成は反応拡散パターンで理解できること鳥居 (公募班) と連携して示した (PLOS Genet. 2015)。葉序の規則的パターンにおいて、オーキシンは、拡散性分子 (X) を介して PIN1 を間接的に制御することを数理解析により予測した (PLOS Comp. Biol. 2018)。

【藤本】花器官の 5 数性と 4 数性を決めるロジックを数理モデルから予測した (PLOS Comp. Biol. 2015)。花器官数の種内のばらつきに被子植物で広く共通する法則を発見し (Annals of Bot. 2016)、ABC 遺伝子の発現領域の確率的な揺らぎに起因することを予測した (Frontiers Plant Sci. 2014)。この種内変異は 5 数性から 3 数性への遷移を選択的に生じることを発見した (Acta Soc. Bot. Poloniae 2016, J. Plant Res. 2018)。

【古谷】オーキシン依存的な Aux/IAA の分解が転写メディエーターの構成因子の変化を引き起こし、下流遺伝子の転写を制御することを深城 (計画班) らと明らかにした (PNAS 2016)。シロイヌナズナ LAZY1 遺伝子群が重力屈性及び側枝・側根の伸長角度を制御することを見出した (Plant Cell 2017)。

【太田】C24 エチルステロールが膜脂質の高次配列構造、細胞分裂、細胞膜からの PIN2 リサイクリングなど、オーキシン関連機能を含む正常な細胞機能に必要なことを示した (Plant J. 2015)。

【前島】ピロリン酸の濃度調節に関わる液胞膜 H⁺-pyrophosphatase (H⁺-PPase) と可溶性 PPase の変異株解析から、ピロリン酸を一定濃度以下に調節する機能を失うことで細胞分裂、細胞壁形成、組織形成が異常となることを発見し、その機構を解明した (Plant Cell 2014,

Plant Cell 2018)。

【阿部】シロイヌナズナMyb型転写制御因子FEが、葉の篩部伴細胞におけるフロリゲンの産生と輸送制御の両方に関わる鍵因子であることを明らかにした (PCP 2017, PCP 2018)。また、イメージング手法の改良により茎頂部におけるフロリゲン複合体の可視化に成功した。

【大西】性分化異常突然変異体 *tasselseed2* がコードする TS2 酵素の活性解析から、複数の植物ステロールを基質とすることを明らかにした。また、苔類やシダ植物に、植物ステロイドホルモンであるブラシノステロイドが内生することを定性的かつ定量的に明らかにした (Phytochemistry 2017)。

【酒井】シロイヌナズナの根の光屈性がオーキシン不均等勾配非依存的に誘導されることを明らかにした (PCP 2018a)。*pin3 pin4 pin7* 多重変異体及び *d6pk* 多重変異体が連続光照射の胚軸二次正光屈性反応を示すこと、AGC1-12 が光屈性調節因子として働くことを明らかにした (PCP 2018b)。

【榊原】ヒメツリガネゴケ胞子体幹細胞及びさく柄分裂組織で発現する *PpKNOX1* 遺伝子は胞子体さく状組織で *PpBELL* 遺伝子とともに働き、細胞周期関連遺伝子を制御することを示した。

<ホームページ>

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究 植物発生ロジックの多元的開拓

<http://logics.plantdev.biol.s.u-tokyo.ac.jp/>

<新聞等> 計 237 件

研究成果等が、新聞・ニュースとして 222 件報道された。

- 1 日本経済新聞「葉っぱの形自在に操作？ 農作物の品種改良に期待」2016.10.30 (塚谷班)
- 2 朝日新聞「植物の生殖細胞作る遺伝子」2016.6.4 (中島班)
- 3 朝日新聞「ゼニゴケ全ゲノム解読」2017.11.23 (河内班)
- 4 NHK ニュース、RGF レセプターの発見について、2017.1.20 (篠原班)
- 5 日本経済新聞「植物の生殖細胞をつくるための鍵となる遺伝子を発見」2018.1.26 (河内班) ほか

<アウトリーチ活動> 計 121 件

- 1 国立科学博物館 2017.4.4~6.11 企画展「卵からはじまる形づくり～発生生物学への誘い～」

2 三浦しをん、読売新聞連載小説『愛なき世界』2016.10.12～2017.9.29、344回、題材提供・監修

上記2点の活動を領域として推進した。1の企画展は、30万人以上が来場した特別展の出口付近における展示であり、また、2は約1年に渡る全国紙での小説の連載であったため、植物科学、植物発生学の知見を非常に多くの一般の方々へ発信することができた。

3 テレビ・ラジオ出演11件、NHK『視点・論点』（塚谷）、TBSラジオ 森本毅郎 スタンバイ（平野）等。

4 中島敬二「植物が創る模様のはなし：美しいパターンを作る精巧なメカニズム」奈良先端科学技術大学院大学 公開講座2014、2014.10.11、約300名

5 小田祥久「細胞を見ればわかる！植物の不思議」国立遺伝学研究所 公開講演会2016、2016.10.19、約150名ほか

<その他>

・中学生・高校生への講義、一般講演会、オープンキャンパス等があり、総計3000名を超える方々（講演会などカウント可能な活動のみ）に、直接研究成果等をお伝えすることができた。

・また領域終結後の取りまとめ経費を活用し、領域の10大成果をそれぞれ数分間の映像により紹介する教材ビデオを作成し、DVDとして関連各方面に配布した。いずれも教科書にまだ載っていない内容であり、学生向けの教材、あるいは若い人たちの自習向けに活用されると期待している。

研究代表者、研究分担者、連携研究者一覧

(1)研究代表者

・計画班

塚谷 裕一 (Tsukaya Hirokazu)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：90260512

深城 英弘 (Fukaki Hidehiro)
神戸大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：80324979

伊藤 (大橋) 恭子 (Ito Kyoko)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：90451830

荒木 崇 (Araki Takashi)
京都大学・大学院生命科学系研究科・教授
研究者番号：00273433

柿本 辰男 (Kakimoto Tatsuo)
大阪大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：70214260

中島 敬二 (Nakajima Keiji)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授
研究者番号：80273853

平野 博之 (Hirano Hiroyuki)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：00192716

河内 孝之 (Kohchi Takayuki)
京都大学・大学院生命科学系研究科・教授
研究者番号：40202056

平井 優美 (Hirai Masami)
理化学研究所・環境資源科学研究センター・チームリーダー
研究者番号：90415274

・公募班

阿部 光知 (Abe Mitsutomo)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：20343238

伊藤 純一 (Ito Junichi)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授
研究者番号：30345186

伊藤 正樹 (Ito Masaki)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・准教授
研究者番号：10242851

遠藤 求 (Endo Motomu)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授
研究者番号：80551499

太田 大策 (Ota Daisaku)
大阪府立大学・生命環境科学研究科・教授
研究者番号：10305659

小田 祥久 (Oda Yoshihisa)
国立遺伝学研究所・新分野創造センター・准教授
研究者番号：30583257

久保 稔 (Kubo Minoru)
奈良先端科学技術大学院大学・研究推進機構・特任准教授
研究者番号：30342778

篠原 秀文 (Shinohara Hidefumi)
名古屋大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：40547022

田岡 健一郎 (Taoka Ken-ichiro)
奈良先端科学技術大学院大学・バイオサイエンス研究科・助教
研究者番号：00467698

高橋 卓 (Takahashi Taku)
岡山大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：20271710

高橋 直紀 (Takahashi Naoki)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教
研究者番号：40553623

濱田 隆宏 (Hamada Takahiro)
東京大学・総合文化研究科・助教
研究者番号：20452534

藤田 浩徳 (Fujita Hironori)
基礎生物学研究所・共生システム研究部門・助教
研究者番号：10552979

古谷 将彦 (Furutani Masahiko)
名古屋大学・生命農学研究科・招へい教員
研究者番号：10432593

前島 正義 (Maeshima Masayoshi)
名古屋大学・生命農学研究科・教授
研究者番号：80181577

榊原 恵子 (Sakakibara Keiko)
立教大学・理学部・准教授

研究者番号：90590000

酒井 達也 (Sakai Tatsuya)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号：10360554

小島 晶子 (Kojima Shoko)
中部大学・応用生物学部・准教授
研究者番号：10340209

大西 利幸 (Ohnishi Toshiyuki)
静岡大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号：60542165

鳥居 啓子 (Torii Keiko U.)
名古屋大学・トランスフォーマティブ生命分子研究所・客員教授
研究者番号：60506103

塚越 啓央 (Tsukagoshi Hironaka)
名古屋大学・PhD 登龍門推進室・特任講師
研究者番号：30594056

藤本 仰一 (Fujimoto Koichi)
大阪大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：60334306

(2)研究分担者

フェルジャニ アリ (Ferjani Ali)
東京学芸大学・自然科学系生命科学分野・准教授
研究者番号：20530380

堀口 吾朗 (Horiguchi Gorou)
立教大学・理学部生命理学科・教授
研究者番号：70342847

及川 彰 (Oikawa Akira)
山形大学・農学部・准教授
研究者番号：50442934

坂本 卓也 (Sakamoto Takuya)
東京理科大学・理工学部・研究員
研究者番号：40637691

嶋村 正樹 (Shimamura Masaki)
広島大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：00432708

望月 敦史 (Mochizuki Atsushi)
理化学研究所・主任研究員研究室等・主任研究員
研究者番号：10304726

大島 良美 (Oshima Yoshimi)
産業技術総合研究所・生物プロセス研究部門・研究員

研究者番号：00722951

光田 展隆 (Mitsuda Nobutaka)
産業技術総合研究所・産業技術総合研究所・研究グループ長
研究者番号：80450667

松井 南 (Matsui Minami)
理化学研究所・環境資源科学研究センター・チームリーダー
研究者番号：80190396

(3)連携研究者

荒木 崇 (Araki Takashi)
京都大学・大学院生命科学研究科・教授
研究者番号：00273433

伊藤 寿朗 (Ito Toshiro)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授
研究者番号：90517096

梅田 正明 (Umeda Masaaki)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授
研究者番号：80221810

岡村 英治 (Okamura Eiji)
理化学研究所・環境資源科学研究センター・客員研究員
研究者番号：90604398

金谷 重彦 (Kanaya Shigehiko)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授
研究者番号：90224584

倉田 哲也 (Kurata Tetsuya)
奈良先端科学技術大学院大学・バイオサイエンス研究科・准教授
研究者番号：50360540

児嶋 長次郎 (Kojima Chojiro)
横浜国立大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：50333563

澤田 有司 (Sawada Yuji)
理化学研究所・環境資源科学研究センター・研究員
研究者番号：00415176

杉山 宗隆 (Sugiyama Munetaka)
東京大学, 大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：50202130

瀬上 紹嗣 (Segami Shoji)
名古屋大学・生命農学研究科・特任助教
研究者番号：00765935

武田 征士 (Takeda Seiji)

京都府立大学・生命環境科学研究科・助教
研究者番号：90508053

田坂 昌生 (Tasaka Masao)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授
研究者番号：90179680

田中 若奈 (Tanaka Wakana)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：10725245

田畑 亮 (Tabata Ryo)
名古屋大学・生命農学研究科・特任講師
研究者番号：30712294

辻 寛之 (Tsuji Hiroyuki)
横浜市立大学・木原生物学研究所・准教授
研究者番号：40437512

出村 拓 (Demura Taku)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授
研究者番号：40272009

豊岡 公德 (Toyooka Kiminori)
理化学研究所・環境資源科学研究センター・上級研究員
研究者番号：10360596

西山 智明 (Nishiyama Tomoaki)
金沢大学・学際科学実験センター・助教
研究者番号：50390688

長谷部 光泰 (Hasebe Mitsuyasu)
基礎生物学研究所・生物進化研究部門・教授
研究者番号：40237996

桧原 健一郎 (Hibara Kenichiro)
吉備国際大学・農学部・准教授
研究者番号：10595713

平川 有宇樹 (Hirakawa Yuki)
学習院大学・理学部・助教
研究者番号：60736669

福田 裕穂 (Fukuda Hiroo)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：10165293

安居 佑季子 (Yasui Yukiko)
東京大学・大学院理学系研究科・特別研究員
研究者番号：90724758

渡邊 雄一郎 (Watanabe Yuichiro)
東京大学・大学院総合文化研究科・教授
研究者番号：60183125

稲田 のりこ (Inada Noriko)
大阪府立大学・生命環境科学研究科・准教授
研究者番号：30432595

佐藤 豊 (Sato Yutaka)
国立遺伝学研究所・系統生物研究センター・教授
研究者番号：40345872

森田 美代 (Morita Miyo)
名古屋大学・生命農学研究科・教授
研究者番号：10314535

川口 正代司 (Kawaguchi Masayoshi)
基礎生物学研究所・共生システム研究部門・教授
研究者番号：30260508

川出 健介 (Kawade Kensuke)
自然科学研究機構・生命創成探究センター・特任准教授
研究者番号：90612086

多田 安臣 (Tada Yasuomi)
名古屋大学・遺伝子実験施設・教授
研究者番号：40552740

打田 直行 (Uchida Naoyuki)
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
研究者番号：40467692

大木 出 (Ohki Izuru)
京都大学・化学研究所・特定研究員
研究者番号：80418574

中道 範人 (Nakamichi Norihito)
名古屋大学・理学研究科(WPI)・特任准教授
研究者番号：90513440

田中 良樹 (Tanaka Yoshiki)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教
研究者番号：10632333

萩原 伸也 (Hagihara Shinya)
理化学研究所・環境資源科学研究センター・チームリーダー
研究者番号：80373348

本瀬 宏康 (Motose Hiroyasu)
岡山大学・自然科学研究科・准教授
研究者番号：70342863

和田 浩史 (Wada Hirofumi)
立命館大学・理工学部・教授
研究者番号：50456753

植田 美那子 (Ueda Minako)

名古屋大学・理学研究科(WPI)・特任講師
研究者番号：20598726

奥田 覚 (Okuda Satoru)
京都大学・ウイルス・再生医科学研究所・共同研究員
研究者番号：80707836

郷 達明 (Goh Tatsuaki)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教
研究者番号：80511419

厚井 聡 (Koi Satoshi)
大阪市立大学・大学院理学研究科・講師
研究者番号：60470019

近藤 侑貴 (Kondo Yuki)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：70733575

末次 憲之 (Suetsugu Noriyuki)
京都大学・生命科学研究科・研究員
研究者番号：60514156

菅野 茂夫 (Sugano Shigeo)
立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・助教
研究者番号：60726313

津川 暁 (Tsugawa Satoru)
理化学研究所・開拓研究本部・基礎科学特別研究員
研究者番号：20607600

豊倉 浩一 (Toyokura Koichi)
大阪大学・理学研究科・特別研究員 (SPD)
研究者番号：60722999

中神 弘史 (Nakagami Hirofumi)
理化学研究所・環境資源科学研究センター・チームリーダー
研究者番号：20435663

丹羽 優喜 (Niwa Masaki)
名古屋大学・生命農学研究科・研究員
研究者番号：40756780

久永 哲也 (Hisanaga Tetsuya)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・特別研究員 (PD)
研究者番号：20748355

宮島 かおり (古田かおり) (Miyashima Kaori)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・特別研究員 (PD)
研究者番号：10746655

宮島 俊介 (Miyashima Shunsuke)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教
研究者番号：20727169

望田 啓子 (桑田啓子) (Mochida Keiko)
名古屋大学・トランスフォーマティブ生命分子研究所・特任助教
研究者番号：70624352

森上 敦 (Morikami Atsushi)
名城大学・農学部・教授
研究者番号：10211608

山岡 尚平 (Yamaoka Shohei)
京都大学・生命科学研究科・助教
研究者番号：00378770

横田 孝雄 (Yokota Takao)
帝京大学・理工学部・教授
研究者番号：40011986

橋本 隆 (Hashimoto Takashi)
奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授
研究者番号：80180826

玉田 洋介 (Tamada Yosuke)
基礎生物学研究所・生物進化研究部門・助教
研究者番号：50579290

刑部 敬史 (Osakabe Keishi)
徳島大学・大学院社会産業理工学研究部・教授
研究者番号：70450335

工藤 洋 (Kudoh Hiroshi)
京都大学・生態学研究センター・教授
研究者番号：10291569

高橋 広夫 (Takahashi Hiro)
金沢大学・薬学系・准教授
研究者番号：30454367

佐々木 武馬 (Sasaki Takema)
国立遺伝学研究所・新分野創造センター・特任研究員
研究者番号：60759497

笹部 美知子 (Sasabe Michiko)
弘前大学・農学生命科学部・准教授
研究者番号：00454380

三村 徹郎 (Mimura Tetsuro)
神戸大学・理学研究科・教授
研究者番号：20174120

松永 幸大 (Matsunaga Sachihiro)
東京理科大学・理工学部応用生物科学科・教授
研究者番号：40323448

西浜 竜一 (Nishihama Ryuichi)

京都大学・生命科学研究科・准教授
研究者番号：70283455

石黒 澄衛 (Ishiguro Sumie)
名古屋大学・生命農学研究科・准教授
研究者番号：50260039

石崎 公庸 (Ishizaki Kimitsune)
神戸大学・理学研究科・准教授
研究者番号：00452293

大島 良美 (Oshima Yoshimi)
産業技術総合研究所・生命工学領域・主任研究員
研究者番号：00722951

大和 勝幸 (Yamato Katsuyuki)
近畿大学・生物理工学部・教授
研究者番号：50293915

中村 保一 (Nakamura Yasukazu)
国立遺伝学研究所・生命情報研究センター・教授
研究者番号：60370920

朝比奈 雅志 (Asahina Masashi)
帝京大学・理工学部・准教授
研究者番号：00534067

町田 千代子 (Machida Chiyoko)
中部大学・応用生物学部・教授
研究者番号：70314060

町田 泰則 (Machida Yasunori)
名古屋大学・理学研究科・特任教授
研究者番号：80175596

芳賀 健 (Haga Ken)
日本工業大学・基幹工学部・准教授
研究者番号：50382031

野村 崇人 (Nomura Takahito)
宇都宮大学・バイオサイエンス教育研究センター・准教授
研究者番号：60373346

鈴木 孝征 (Suzuki Takamasa)
中部大学・応用生物学部・准教授
研究者番号：50535797

鈴木 秀幸 (Suzuki Hideyuki)
かずさDNA研究所・ゲノム事業推進部・グループ長
研究者番号：80276162