

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：13901

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05955

研究課題名(和文)植物の成長可塑性を支える環境認識と記憶の自律分散型統御システム

研究課題名(英文)Integrative system of autonomous environmental signal recognition and memorization for plant plasticity

研究代表者

木下 俊則(Toshinori, Kinoshita)

名古屋大学・理学研究科(WPI)・教授

研究者番号：50271101

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 253,000,000円

研究成果の概要(和文)：中枢神経を持たない植物が、細胞や組織レベルで分散型の応答を行う一方、それらの情報を全身的な情報伝達系により統御する植物特有のダイナミックな環境刺激伝達機構の全体像を解明し、環境記憶がどのように植物の巧みな生存戦略を導いているのかを明らかにすることを目的とし、これまでに多くの成果(発表論文数460報)が得られ、これらの成果の多くはインパクトの高い国際誌に発表し、また新聞等の多くのメディアで取り上げられた。本領域は「局所的・自律的応答」、「長距離シグナリング」、「環境記憶」の各項目に大きく分けることができるが、これらの研究は極めて順調に進展し、項目間をつなぐような革新的な成果も得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物は静的で受動的な環境応答に頼っていると考えられがちであるが、巧妙でかつ能動的な環境応答システムを進化させ、厳しい環境の中でも地球上最大のバイオマスを産出している。本領域では、植物科学の多様な分野の研究者が結集し、これまで個別に行ってきた研究を有機的に統合し、ダイナミックな環境応答統御システムの全体像を明らかにする。このような研究分野横断的に、かつ最先端の異分野融合技術を活用して、植物の自律分散型環境記憶統御システムの解明に取り組む。

研究成果の概要(英文)：This new area of scientific study began with the goal of performing an integrated analysis of the dynamic environmental response control system in plants. This analysis includes clarifying the flexible and ingenious local and autonomous environmental response system evolved by immobile plants, which is completely different from those of animals, as well as a new spatiotemporal perspective. Specifically, we seek to analyze the long-distance signal transduction system of plants, as well as the environmental memory system that caches information via chromatin modifications. Actually, we have obtained exciting results regarding the dynamic environmental response control system in plants.

研究分野：植物生理学

キーワード：植物 環境応答 局所応答 長距離シグナル 環境記憶

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

生存に適した環境を求めて移動する動物に対し、移動しない植物は多様な環境変動に迅速に対応するために、柔軟かつ合理的な環境応答システムを備えている。脳や神経を持たない植物が、いかにして環境からの情報を統御・判断・記憶・出力しているのか？本領域は、この生物学の歴史に長く横たわってきた深遠な問題の解決に挑戦する。動物が高度に発達した中枢神経系を用いる「中枢性環境応答統御システム」を発達させたのに対し、植物は細胞群や組織に制御システムを分散させて自律的な環境応答を行ないつつ、それらの情報を全身的な情報伝達系により統御する「自律分散型環境応答統御システム」を進化させた。こうした自律分散型の統御には、刺激受容部位における局所的かつ自律的な応答システムに加えて、局所的な応答を時空間的に統合するシステムが存在するはずであるが、これらの分子実体はほとんど解明されていない。また、植物には乾燥や温度変化などの季節変動を長期的に記憶するシステムが存在することはよく知られているが、その具体的な場やしくみは不明のままである。

2. 研究の目的

本領域では、動物とは全く異なる長距離シグナル伝達システム、およびそれらの情報を時空間的にキャッシュするためのクロマチン修飾による環境記憶システムの解明を通じて、環境に応じた植物特有の可塑的成長のしくみを理解することを目指す。この目標達成のため、8つの研究グループからなる計画研究班に2年目から約15グループの公募研究班を加える。公募研究班には計画研究班ではカバーできない技術や分野、若手研究者にも加わってもらい、これらの密接な協力に基づく研究連携を組むことで研究の加速度的な推進と新規概念の創出を図る。また、最先端での研究推進には、高度な技術もった専門者による研究機器・研究技術の利用が必須である。そのため、総括班の中に研究支援センター(次世代シーケンス部門、質量分析部門、イメージング部門、*in vitro*タンパク質合成部門)を領域代表が所属する名古屋大学を中心に設置し、本領域に参画する研究者が最大限力を発揮出来るようにサポートする。また、領域内でのインターネット会議、ジョイントミーティングも行うことで、有機的な連携研究の場を構築し、本新学術領域を飛躍的に展開させる。さらに、海外共同拠点を設置し、世界的ネットワークを構築することで国際的な研究展開を促進する。

加えて、若手研究者育成と社会・国民への情報発信は領域の重要な使命と考えており、これに向けた取組みも積極的に行う。

3. 研究の方法

「局所的・自律的応答システム」、「長距離シグナリング」、「環境記憶システム」の各項目について詳細な解析を進めるとともに、各項目を結びつけ、研究領域全体として統一された「自律分散型環境応答統御システム」の新概念を創生する。本計画研究の総括班の主たる役割は、連携研究の推進、研究支援、若手研究者育成、海外連携強化と広報活動の各プログラムである。計画研究代表者8名全員がその構成員となり、さらに計画研究班の研究分担者の協力を得て、以下の活動を推進する。また、総括班に4名の評価・助言担当の研究協力者(木村 宏・東京工業大学・教授、近藤 孝男・名古屋大学・特任教授、島崎 研一郎・九州大学・教授、山本 正幸・基礎生物学研究所・所長)を置き、領域会議などの領域行事への出席を依頼し、評価および助言を仰ぎ、領域全体の研究方向や研究の進捗状況を常にチェックしながら研究を推進する。

キックオフ会議

領域の成立後直ちにキックオフ領域会議を開催し、全体の方針の確認と情報網の確立を急ぎ、計画研究班が、領域全体として緊密な連携体制を構築する。

連携研究の推進

公式行事として年2回の領域会議(基本的に発表・議論は英語)や若手の会に加え、月1回以上の計画班代表によるインターネット会議、年1回以上の計画班同士のジョイントミーティングを必須とする。これらの取組みにより、密な研究交流の場を設け、有機的連携の促進を図る。

研究支援センターの設置と運営

本領域では、植物の本領域に参画する計画班や公募班の研究者が最大限力を発揮出来るように、総括班を設置する。最先端での研究推進には、高度な技術もった専門者による研究機器・研究技術の利用が必須である。そのため、総括班の中に研究支援センター(次世代シーケンス部門、質量分析部門、イメージング部門、*in vitro*タンパク質合成部門)を領域代表の所属する名古屋大学を中心に設置する。RNAseqおよびディープシーケンス解析、ChIP解析などを行なう次世代シーケンス部門は、計画班員の木下、松林、福田、白須、篠崎、杉本、松永、角谷ら全員が利用予定である。生体内微量物質の同定やプロテオミクスを行なう質量分析部門は、木下、松林、福田、白須、篠崎、杉本、松永らの支援を行なう。二光子顕微鏡による深部ライブイメージングや画像定量解析などを行なうイメージング部門は、松林、白須、篠崎、杉本、松永らが利用する。様々なタンパク質についてコムギ胚 *in vitro* 翻訳を行う *in vitro* タンパク質合成部門は、木下、松永らの研究を支援する。また、定期的にテクニカルワークショップを開催し、班員間での情報・技術の共有を図る。

国際連携拠点の設置・若手研究者育成

最先端の植物研究を進める英国 John Innes Centre・The Sainsbury Laboratory 及び米国 Stanford University に共同研究拠点を置き、緊密な国際研究ネットワーク体制を確立する。若

手研究者をこれらの研究機関に数週間から数ヶ月間派遣し、共同研究を推進する他、これらの機関に所属する海外研究協力者 6 名を定期的に領域会議に招聘し、常に関連分野の動向や最新情報を入手できるようにする。

広報活動

領域ホームページの開設：本領域の情報発信、領域内での情報共有のために、新たに有機的に機能するホームページを開設する。ホームページは一般国民に向けたサイトと専門家向けサイトに分ける。一般向けサイトには、植物の環境記憶について解説したわかりやすい内容を掲示する。動画や写真を多用して、視覚的・感覚的に本領域の研究活動や発見が理解しやすいように心がける。専門家向けサイトには、発表論文の解説、開発した分析手法、整備したデータベースなどをデジタル実験書およびプロトコルとして公開するサイトを日本語、さらには、国際連携を重視することから、英語で公開し、世界の研究者に利用に供する。

アウトリーチ活動の開始：「植物の環境記憶」をテーマとして、将来の研究者育成と社会人への知の還元を目指す。学習用ウェブサイト開設や、実験教材開発、教師や研究者のリカレント教育に力を入れる。電子出版やメディア、出前授業などの従来型の方法により国民の各層に発信する啓発活動も行う。また、名古屋大学遺伝子実験施設を利用して、一般、中高の生物教員、小中高生を対象とした植物の理科教育・実験講座を開催する。

ニュースレター発刊：領域の活動および成果をニュースレターの形で印刷刊行する。

4. 研究成果

本領域では、中枢神経を持たない植物が、細胞や組織レベルで分散型の応答を行う一方、それらの情報を全身的な情報伝達系により統御する植物特有のダイナミックな環境刺激伝達機構の全体像を解明し、環境記憶がどのように植物の巧みな生存戦略を導いているのかを明らかにすることを目的とし、これまでの発表論文数は 460 報であり、非常に多くの成果を得ている。これらの成果の多くはインパクトの高い国際誌に発表し、発表論文の多くは、プレスリリースを積極的に行い、新聞やテレビ、インターネットニュースとして広く一般社会に紹介された。これまでに新聞に 169 回、テレビに 9 回など、合計 397 回メディアに取り上げられた。

研究内容としては「局所的・自律的応答システム」、「長距離シグナリング」、「環境記憶システム」の各項目に大きく分けることができるが、これらの研究は極めて順調に進展し、項目間をつなぐような革新的な成果も得られた。特に、自律分散型の統御に必須と考えられる「局所的な応答を時空間的に統合するシステム」について、植物内を根から葉へ、葉から根へ長距離移行して環境情報を空間的に統御する因子群の発見 (Ota et al. *Nature Commun.* 2020, Takahashi et al. *Nature* 2018) や、「植物情報を集約するシグナルセンター」のひとつが葉の維管束にあることの発見は特筆すべき成果 (Ohkubo et al. *Nature Plants* 2017) である。また、植物のエピジェネティックな細胞記憶の分子実体の解明に向けて、これに関わる因子の同定 (Ikeuchi et al. *Nature Plants* 2015, Ishihara et al. *Nature Commun.* 2019) や可視化技術の確立も着実に進んだ (Kurita and Sakamoto et al. *Sci. Rep.* 2017) 加えて、気孔孔辺細胞において日長情報の記憶を通じて気孔開度が制御される新たな環境応答システムも見出され (Aoki et al. *Sci. Rep.* 2019) 新学術領域を推進することではじめて得られた成果も多くあがった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計65件（うち査読付論文 65件／うち国際共著 14件／うちオープンアクセス 42件）

1. 著者名 Aoki, S., Toh, S., Nakamichi, N., Hayashi, Y., Wang, Y., Suzuki, T., Tsuji, H., and Kinoshita, T.	4. 巻 9
2. 論文標題 Regulation of stomatal opening and histone modification by photoperiod in <i>Arabidopsis thaliana</i> .	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 10054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-46440-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Uehara, T. N., Mizutani, Y., Kuwata, K., Hirota, T., Sato, A., Mizoi, J., Takao, S., Matsuo, H., Suzuki, T., Ito, S., Saito, A. N., Nishiwaki-Ohkawa, T., Yamaguchi-Shinozaki, K., Yoshimura, T., Kay, S. A., Itami, K., Kinoshita, T., Yamaguchi, J., and Nakamichi, N.	4. 巻 116
2. 論文標題 Casein kinase 1 family regulates PRR5 and TOC1 in the <i>Arabidopsis</i> circadian clock.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.	6. 最初と最後の頁 11528-11536
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1903357116	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Minami, A., Takahashi, K., Inoue, S., Tada, Y., and Kinoshita, T.	4. 巻 60
2. 論文標題 Brassinosteroid induces phosphorylation of the plasma membrane H ⁺ -ATPase during hypocotyl elongation in <i>Arabidopsis thaliana</i> .	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant Cell Physiol.	6. 最初と最後の頁 935-944
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcz005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Toh S, Inoue S, Toda Y, Yuki T, Suzuki K, Hamamoto S, Fukatsu K, Aoki S, Uchida M, Asai E, Uozumi N, Sato A, Kinoshita T.	4. 巻 59
2. 論文標題 Identification and characterization of compounds that affect stomatal movements.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant & Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1568 ~ 1580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcy061	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ando E, Kinoshita T.	4. 巻 178
2. 論文標題 Red light-induced phosphorylation of plasma membrane H ⁺ -ATPase in stomatal guard cells.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 838 ~ 849
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1104/pp.18.00544	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Uraguchi D, Kuwata K, Hijikata Y, Yamaguchi R, Imaizumi H, Sathiyarayanan AM, Rakers D, Mori N, Akiyama K, Irle S, McCourt P, Kinoshita T, Ooi T, Tsuchiya Y.	4. 巻 362
2. 論文標題 A femto-molar range suicide germination stimulant for the parasitic plant <i>Striga hermonthica</i> .	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1301 ~ 1305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aau5445	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hayashi M, Inoue S, Ueno Y, Kinoshita T.	4. 巻 7
2. 論文標題 A Raf-like protein kinase BHP mediates blue light-dependent stomatal opening.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 45586
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep45586	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Inoue S, Kinoshita T.	4. 巻 174
2. 論文標題 Blue light regulation of stomatal opening and the plasma membrane H ⁺ -ATPase.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 531-538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1104/pp.17.00166	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Inoue S, Takahashi K, Okumura-Noda H, Kinoshita T.	4. 巻 57
2. 論文標題 Auxin influx carrier AUX1 confers acid resistance for Arabidopsis root elongation through the regulation of plasma membrane H ⁺ -ATPase.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant & Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 2194-2201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcw136	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kimura Y, Aoki S, Ando E, Kitatsuji A, Watanabe A, Ohnishi M, Takahashi K, Inoue S, Nakamichi N, Tamada Y, Kinoshita T	4. 巻 56(4)
2. 論文標題 A flowering integrator, SOC1, affects stomatal opening in Arabidopsis thaliana.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Plant & Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 640-649
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcu214	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuchiya Y, Yoshimura M, Sato Y, Kuwata K, Toh S, Holbrook-Smith D, Zhang H, McCourt P, Itami K, Kinoshita T, Hagihara S	4. 巻 349(6250)
2. 論文標題 Probing strigolactone receptors in <i>Striga hermonthica</i> with fluorescence.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 864-868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aab3831	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Toda Y, Wang Y, Takahashi A, Kawai Y, Tada Y, Yamaji N, Ma JF, Ashikari M, Kinoshita T	4. 巻 57
2. 論文標題 <i>Oryza sativa</i> H ⁺ -ATPase (OSA) is involved in the regulation of dumbbell-shaped guard cells of rice.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plant & Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1220-1230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcw070	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計83件（うち招待講演 31件 / うち国際学会 22件）

1. 発表者名 Toshinori Kinoshita
2. 発表標題 Regulation of stomatal movements in response to environmental signals
3. 学会等名 Frontiers in plant environmental response research 'local signaling, long-distance communication and memory for developmental plasticity' (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshinori Kinoshita
2. 発表標題 Regulation of stomatal movements by nutrients via long-distance signaling
3. 学会等名 Nitrogen2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木下俊則
2. 発表標題 環境刺激に応答した気孔開度の多様な制御機構
3. 学会等名 日本植物学会第83回大会シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshinori Kinoshita
2. 発表標題 Regulation of light-induced stomatal opening and plasma membrane H ⁺ -ATPase
3. 学会等名 The 18th International Workshop on Plant Membrane Biology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshinori Kinoshita
2. 発表標題 Control of stomatal aperture by genetic and chemical approaches
3. 学会等名 The 9th NU Tech Roundtable (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木下俊則
2. 発表標題 気孔開度制御による植物の光合成活性と生産量の促進
3. 学会等名 バイオテクノロジー-ALCA公開シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshinori Kinoshita
2. 発表標題 Blue light-signalling pathway in stomatal guard cells
3. 学会等名 Taiwan-Japan Plant Biology 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木下俊則
2. 発表標題 気孔開度制御による植物の生育促進と乾燥耐性付与
3. 学会等名 バイオマスイノベーション研究会 第43回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshinori Kinoshita, Masaki Okumura, Yosuke Toda, Koji Takahashi
2. 発表標題 Regulation of the plasma membrane H ⁺ -ATPase in response to physiological signals
3. 学会等名 Agriculture Resources and Environment: Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 木下俊則
2. 発表標題 環境刺激による気孔開度制御機構の解明に向けて
3. 学会等名 第79回日本植物学会 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 木下俊則
2. 発表標題 気孔開閉のシグナル伝達と気孔開度制御
3. 学会等名 植物科学シンポジウム2015「ラボとフィールドを結ぶ植物科学」
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 植物気孔開口抑制剤	発明者 木下俊則、結城貴 広、相原悠介、佐藤 綾人、藤茂雄	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-186616	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 植物気孔開口調節剤	発明者 木下俊則、井上心 平、戸田陽介、佐藤 綾人、青木沙也、藤	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2017/034287	出願年 2017年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 植物気孔開口調節剤	発明者 木下俊則、井上心 平、戸田陽介、佐藤 綾人、青木沙也、藤	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2016-194748	出願年 2016年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

植物生理学グループwebページ
<http://plantphys.bio.nagoya-u.ac.jp/>
 環境記憶統合webページ
<https://www.rs.tus.ac.jp/plantmemory/index.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松林 嘉克 (Matsubayashi Yoshikatsu) (00313974)	名古屋大学・理学研究科・教授 (13901)	
研究分担者	福田 裕穂 (Fukuda Hiroo) (10165293)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授 (12601)	
研究分担者	角谷 徹仁 (Kakutani Tetsuji) (20332174)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授 (12601)	
研究分担者	白須 賢 (Shirasu Ken) (20425630)	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・グループディレクター (82401)	
研究分担者	篠崎 和子 (Shinozaki Kazuko) (30221295)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	杉本 慶子 (Sugimoto Keiko) (30455349)	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・チームリーダー (82401)	
研究分担者	松永 幸大 (Matsunaga Sachihiro) (40323448)	東京理科大学・理工学部応用生物科学科・教授 (32660)	
研究分担者	多田 安臣 (Tada Yasuomi) (40552740)	名古屋大学・遺伝子実験施設・教授 (13901)	
研究分担者	鈴木 孝征 (Suzuki Takamasa) (50535797)	中部大学・応用生物学部・准教授 (33910)	
研究分担者	望田 啓子 (桑田啓子) (Mochida Keiko) (70624352)	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 (13901)	
研究分担者	植田 美那子 (Ueda Minako) (20598726)	名古屋大学・理学研究科(WPI)・特任講師 (13901)	削除：平成29年10月13日