

令和 6 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H05149

研究課題名(和文)植物と微生物の共創による超個体の覚醒

研究課題名(英文)Co-creation of plant adaptive traits via assembly of plant-microbe holobiont

研究代表者

晝間 敬(Hiruma, Kei)

東京大学・大学院総合文化研究科・准教授

研究者番号：20714504

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：本領域では、微生物との超個体化を通じて覚醒される植物の環境適応の新たな側面を暴き出し、その分子機構の解明を目指した。その結果、我々は根圏・葉圏微生物の共生から寄生と連続的な感染戦略を規定する分子基盤を明らかにするとともに根圏・葉圏微生物の植物成長促進を支える分子基盤を明らかにした。さらに、植物と微生物の根圏における相互作用の可視化にとどまらず、植物と微生物間での栄養のやり取りをRIイメージングを介して土壌環境において可視化する超個体イメージャーの開発に成功した。これらの成果は本研究領域をさらに拡大するための礎になると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物は本来は単独でなく無数の微生物に囲まれており、それらとの共生関係を通じて形成されるいわば一つの生命体とみなすことができる植物微生物超個体についての理解を深めることは植物の環境適応能力の全貌を明らかにするためには避けて通れない道である。本研究領域は、植物生理学でこれまで得られた植物単独での環境適応機構の知見も取り込んだ上で植物微生物相互作用を再評価することで植物と微生物の超個体化を支える分子基盤の発見や植物微生物相互作用を高解像度にイメージングする系の構築に成功した。今後、この領域を更に発展させていく中で植物が持つ類い稀ない環境適応能力の全貌を明らかにする研究領域の基礎になると考えている。

研究成果の概要(英文)：As sessile organisms, plants have evolved a remarkable ability to adapt to fluctuating environments. In our research project, we consider plant environmental adaptation as a consequence of the interactions between the plant and its resident microbes, collectively forming a plant-microbe holobiont. We aimed to establish a new research field that elucidates the molecular mechanisms underlying the assembly of the plant-microbe holobiont and its functional relevance to plant adaptation to various stress environments. Consequently, we identified the molecular mechanisms underpinning the establishment of a plant-microbe holobiont in roots and leaves. Additionally, we developed a live imaging system that allows us to monitor microbial colonization, plant responses, and the nutritional flow between host and microbe using radioisotope (RI) imaging.

研究分野：植物微生物相互作用

キーワード：植物超個体 根圏微生物 葉圏微生物 超個体イメージャー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地に根を張り動くことのない植物は、生育地の環境変化に柔軟に適応する卓越した能力を備えている。これまでの研究は植物の環境適応能力を個の力として捉え、その分子機構を明らかにしてきた。特に、栄養条件や乾燥などに対する環境応答を対象とした植物科学は日本に強みがある研究領域である。当該分野で蓄積されてきた植物の環境応答に関する分子知見の大半は、無菌環境もしくはそれに近い実験室環境で得られたものである。しかし、例えば 1 グラムの土壌には 10 億の細菌が存在するように、野外で生育する植物にとって微生物との関わり合いは避けて通れない。すなわち、これまでの植物研究には「微生物との協働」という視点から植物の環境応答を捉える視点が欠けていた。他方、植物と微生物の相互作用に関するこれまでの研究は、古くから知られる共生関係や、植物免疫と病原菌の攻防に関する分子機構が主体であった。しかし、次世代シーケンサーを基盤とする技術革新から、植物体内には、これまで見過ごされてきた無数の微生物が棲息していることが明らかになってきている (Toju et al., Nature Plant 2018; Nobori and Mine et al., FEBS Lett 2018)。つまり、本来の植物は多種多様な微生物を拡張された自己として取り込んだ「超個体」であると言える。しかしながら、超個体化を介して植物がどのような機能を発現しているのかに対する理解は乏しい。

2. 研究の目的

本領域では、微生物との超個体化を通じて覚醒される植物の環境適応の新たな側面を暴き出し、その分子機構の解明を目指した。本提案研究領域の総括班は、下記の 2 つの使命を実践する組織となる。1 つ目の使命は、本研究領域で目指す「植物超個体機能学」の創成のため、晝間班、峯班、宮島班が有する独自の研究技術・材料を共有し共同研究を推進する事で、分野を超えた研究者の真に学際的な融合を促し、領域内での共同研究の発案と円滑な遂行に繋げる事である。

3. 研究の方法

ホームページや SNS 等を駆使して領域の情報を拡散させる。領域会議やワークショップを開催することで領域内外での共同研究を加速化させる。さらには、領域で得られた成果を元にシンポジウム等を開催して領域の成果を公表するとともに研究領域の更なる拡大に向けた研究者の誘致活動を行う。

4. 研究成果

初年度は以下のことに取り組んだ。

1. 広報用の領域ホームページを作製してホームページを介した広報活動(領域内での新メンバーの紹介、シンポジウム等のイベント紹介、発表論文等の紹介など)を行った。
2. 領域ロゴおよび領域 Twitter を開設し広報活動を行った。
3. 領域アドバイザーを含んだキックオフミーティングを zoom にて 11 月に開催した。キックオフミーティングでは、研究代表者 3 名(晝間、峯、宮島)から研究計画および今後の計画についての発表が行われ、メンバー間で議論を行った。
4. 領域メンバーが全員集まった総括班会議を zoom(10 月)および対面(名古屋大学(12 月))にて開催し、それぞれの計画研究間での共同研究の進め方について整理した。
5. 領域の活動内容を特にその技術的な側面から紹介する目的を兼ねて、外部の演者 3 名と共同で 3 月に行われた日本植物生理学会にて超個体シンポジウムを開催した(タイトル:見たい, 知りたい, 操作したい, 植物と微生物の超個体)。シンポジウムでは、100 名を超える学会参加者が参加され、活発な議論が行われた。

次年度は以下のことに取り組んだ。

1. 昨年度に続いて広報用の領域ホームページを介した広報活動(領域内での新メンバーの紹介、シンポジウム等のイベント紹介、発表論文等の紹介など)を行った。
2. 金沢にて若手ワークショップを行い領域内の博士研究員および研究分担者の発表に加えて外部講師を招き研究発表及び議論を 1 泊 2 日の日程で行った。

3. 植物学会にてシンポジウム「植物細胞の分化運命の制御と可塑性」を学変(B)植物生殖改変と共催した。その成果の一部は植物科学の最前線にて総説としてまとめた。
4. 第2回の領域会議を3名の領域アドバイザーと学術調査官の先生方を招き zoom にて行った。
5. 2022年6月に京都大学の益川ホールにて植物超個体ワークショップを開催した。領域内の研究者に加えて4名の領域外の研究者に研究発表を行ってもらった。

最終年度は以下のことに取り組んだ。

1. 本年度は、昨年度に引き続き、ホームページや Twitter を用いて発表した論文の情報やシンポジウム情報について領域の広報を行った。
2. 領域内の複数の研究者が共同研究を通じて参画した画像解析に関する論文等を発表した。
3. 2023年9月に日本植物学会第87回大会にて「植物超個体の覚醒を司る分子・細胞・個体の連動」という題で晝間と横浜市立大学の丸山大輔博士(学術変革 B 植物生殖改変の前代表)がオーガナイザーとしてシンポジウムを開催した。このシンポジウムは学術変革領域 B の横のつながりを促進するため学術変革領域の一つである微生物が動く意味との共催で行った。本領域の晝間、宮島、峯が発表を行った。
4. 日本科学振興協会・年次大会 2023「会いに行ける科学者フェス」に領域として参加してポスター発表を行い領域の成果の宣伝等を行った。
5. 2024年3月に領域会議を zoom にて開催して、3名の領域アドバイザーの先生方と共に本領域で得られた成果の共有及び議論と今後の研究領域のさらなる発展について話し合われた。それぞれの領域アドバイザーからの最終評価としては、「研究は順調に進んでおりこれからも領域の成果に関連した論文を発表できる期待がある。一方で、国際的にもアピールすることで世界のトップを目指してほしい」、「超個体イメージャ等のイメージングシステムの開発が順調に進んでいるのは素晴らしい。領域全体が超個体となっているように思う」、「領域として安心して見られて、グループらしさがよく出ている。今後学変 A を取って研究領域を更に広げることを期待する」など、総じて高評価を得た。

最後に

本研究領域は晝間・峯・宮島の3班から成り立っていたが、班の間の共同研究も多く進みその一部に関しては既に論文発表している。また、これからも宮島班が開発した超個体イメージャのシステムを用いた蛍光および RI の同時イメージング技術など領域で得られた協働関係や成果はさらなる大きな研究領域に発展する礎になると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hirata Rikako, Takagi Momoko, Toda Yosuke, Mine Akira	4. 巻 -
2. 論文標題 Direct Observation and Automated Measurement of Stomatal Responses to <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i> DC3000 in <i>Arabidopsis thaliana</i>;	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Visualized Experiments	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3791/66112	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 Takagi Momoko, Hirata Rikako, Aihara Yusuke, Hayashi Yuki, Mizutani-Aihara Miya, Ando Eigo, Yoshimura-Kono Megumi, Tomiyama Masakazu, Kinoshita Toshinori, Mine Akira, Toda Yosuke	4. 巻 64
2. 論文標題 Image-Based Quantification of <i>Arabidopsis thaliana</i> Stomatal Aperture from Leaf Images	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Plant And Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1301 ~ 1310
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/pcp/pcad018	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 Hiruma Kei, Aoki Seishiro, Takino Junya, Higa Takeshi, Utami Yuniar Devi, Shiina Akito, Okamoto Masanori, Nakamura Masami, Kawamura Nanami, Ohmori Yoshihiro, Sugita Ryohei, Tanoi Keitaro, Sato Toyozo, Oikawa Hideaki, Minami Atsushi, Iwasaki Wataru, Saijo Yusuke	4. 巻 14
2. 論文標題 A fungal sesquiterpene biosynthesis gene cluster critical for mutualist-pathogen transition in <i>Colletotrichum tofieldiae</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-023-40867-w	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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 晝間敬
2. 発表標題 根圏糸状菌・細菌との超個体化により覚醒するアブラナ科植物の貧栄養適応能
3. 学会等名 日本植物学会第87回大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮島俊介
2. 発表標題 蛍光寿命イメージングによる根の対微生物応答の時空間ダイナミクスの解明
3. 学会等名 第63回日本植物生理学会年会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉田亮平
2. 発表標題 放射線イメージングによる根の養分ダイナミクスの解明
3. 学会等名 第63回日本植物生理学会年会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戸田陽介
2. 発表標題 リモートでもオンサイトでも：植物の生理応答を定量化する技術の開発と適用
3. 学会等名 第63回日本植物生理学会年会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 峯 彰
2. 発表標題 病原型・共生型の葉圏細菌による植物の気孔動態制御
3. 学会等名 日本植物学会第87回大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮島 俊介
2. 発表標題 根冠が駆動する多様な土壌環境応答とその動態
3. 学会等名 日本植物学会第87回大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 晝間 敬
2. 発表標題 栄養をめぐる植物と微生物の超個体化現象を紐解く
3. 学会等名 日本植物学会第86回大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>植物超個体の覚醒 https://www.kakusei-plant.com</p>
--

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	宮島 俊介 (Miyashima Shunsuke) (20727169)	石川県立大学・生物資源環境学部・講師 (23303)	
研究分担者	峯 彰 (Mine Akira) (80793819)	京都大学・農学研究科・准教授 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関