

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02883

研究課題名(和文) 微生物共生制御のロバスト性と環境応答モデリング：野外トランスクリプトミクスの応用

研究課題名(英文) Robustness and modeling of microbial symbiosis in plants: application of field transcriptomics

研究代表者

江澤 辰広 (Ezawa, Tatsuhiro)

北海道大学・農学研究院・准教授

研究者番号：40273213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：ダイズおよびコムギの養分獲得戦略とそれらを制御する因子を明らかにすると共に、有機物施用がコムギの養分獲得戦略に及ぼす影響を調べた。国内外の圃場で栽培されたダイズおよびコムギを材料に栄養獲得に関わる共生経路の構築、リン欠乏応答、根系発達、窒素同化および窒素固定に関わる遺伝子共発現モジュールを同定し、それらを駆動する土壌および植物要因を明らかにした。ダイズでは窒素固定活性に応答する植物側遺伝子の同定されたこと、有機栽培されたコムギでは菌根存在下で有機物施用により窒素およびリンの吸収効率が向上することなどが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境と遺伝子発現との関わりは、実験室レベルの知見を基に野外で起こっている現象を説明するには限界がある。本研究では広範な環境レンジから植物体試料を採取することで多くの環境要因の中から説明度の高い環境変数を抽出することに成功した。これらの知見は、野外における植物の環境応答を分子レベルで解釈する道を開いた点で植物科学全体に大きなブレークスルーを与えると予想される。また、植物の環境応答を遺伝子発現から推定するというアイデアは、微生物共生に限らず気候・土壌・病原生物などに対する植物応答の検出にも応用可能であり、従来の分析・調査に取って代わる技術として農業現場に画期的な革命をもたらす可能性も秘めている。

研究成果の概要(英文)：We identified nutrient acquisition strategies and their environmental drivers in soybean and winter wheat. In wheat the effect of organic-matter application on nutrient acquisition was also examined. Gene-coexpression modules responsible for symbiotic functions, P-starvation response, root development, and N assimilation were defined based on RNA-Seq and subsequent network analysis using the plants grown in domestic and foreign countries, and plant and soil factors that drive these modules were identified. In soybean a plant gene that responds linearly to symbiotic N-fixation was identified, and in wheat the application of organic material was found to improve the efficiency of N and P uptake in the presence of mycorrhizas.

研究分野：植物-微生物相互作用

キーワード：アーバスキュラー菌根菌 根粒窒素固定 共生 ダイズ コムギ RNAシーケンス 遺伝子共発現

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

増え続ける世界人口を支えるために、主要穀物の生産効率を向上させる必要がある。しかし一方では、リン鉱石や化石燃料などの有限資源を多投入する農業は、近い将来、限界を迎えることも予想されている。したがって、資源投入量(環境負荷)を減らしつつも農業の生産性を維持・向上させる技術を開発することは、人類の生存基盤を保証する上で極めて重要な課題である。アーバスキュラー菌根菌(AM菌)は、土壤中の菌糸ネットワークからリン酸(Pi)や窒素(N)、水分を吸収し、根内に形成した樹枝状体を介して宿主に供給する。それに対して、植物は脂質などの炭素源を供給することで両者の間に共生関係が成り立っている。マメ科植物はAM菌に加えてNを固定してアンモニアを供給する根粒菌とも共生する。近年、環境負荷低減を目的として、これら共生微生物の機能を最大限に利用する機運が高まっており、世界各国で微生物資材の開発・市場開拓が始まっている。しかし、共生微生物がどのような環境条件において最大限の機能を発揮するのか、実際にはよくわかっていない。その主たる原因は、これら共生微生物を介した養分吸収経路(=菌根・根粒経路)と自根からの吸収経路(=直接経路)に対する資源配分を植物がどのように調節しているのか我々が理解していないためである。

トウモロコシは、米国が世界の36.4%を生産して世界第一位であり(2019 USDA統計)、日本の最大の輸入元である。2017年より申請者らは、JST事業および民間との共同研究において、米国の穀倉地帯および日本国内から採取した251個体のトウモロコシ根の遺伝子発現を網羅的に調べ(トランスクリプトーム解析=RNA-Seq)、i) 菌根形成に関わる1,023個の植物遺伝子群が同調的に発現調節されている=菌根モジュールを形成していること、ii) この菌根モジュールの発現レベルは菌根経路の機能(=Pi供給量)を反映しており、iii) 土壌養分・生物要因を説明変数とした線形回帰モデルから推定可能であることを示した(Sugimura *et al.*, 2022)。つまり、植物は菌根形成に関わる遺伝子群の相対的な発現量は環境によらず頑強(ロバスト)に制御しているのに対し、絶対的な発現量は環境にตอบสนองして柔軟に制御していることを意味する。これらの知見は菌根モジュールに対する説明力の高い要因---土壌養分・有機物含量、AM菌密度など---を最適化することにより、菌根機能を増進できる可能性を示唆する。

ダイズの生産量も米国が世界第一位であり、全供給量の34.5%を生産している(2019 USDA統計)。ただ、根粒および菌根二つの経路から養分を獲得できるダイズでは、共生系を維持するための炭素コストも大きく、より複雑な制御機構を有していると予想されるが、そのトレードオフ機構はわかっていない。コムギは、欧州が世界第一位の20.2%(2019 USDA統計)を生産する。欧州では特に有機栽培への関心が高まっており、多くのコムギ製品をEUから輸入する日本も当地の環境保全に無関心ではいられない。スイスの農業研究機関Agroscopeのvan der Heijdenらは、慣行→有機栽培への移行段階にある60件の生産者ネットワークを通じた研究で、生産性を落とさずに有機栽培への転換は可能であり、その要因の一つに有機栽培による菌根形成の増加を挙げている(Herzog *et al.*, 2019)。申請者らは、AM菌の菌糸がホスファターゼを分泌し、有機態リンにアクセスできる可能性を示しており(Sato *et al.*, 2019)、このことは化学肥料中心の慣行栽培に比べて有機栽培では作物の菌根利用効率が高いことを示唆している。

2. 研究の目的

本研究は、微生物共生機能の最適化技術を通して環境保全型農業の確立に資することを目的とした。ダイズにおいては、菌根および根粒共生の両モジュールの同定および菌根・根粒二重共生のトレードオフ機構を調べた。コムギにおいては、慣行および有機栽培から得られた材料を用いて菌根モジュールと環境要因との統計モデリングを通じて有機農業における菌根機能の重要性を評価した。

3. 研究の方法

ダイズにおける根粒・菌根共生のトレードオフ

根粒菌のリボソームRNA存在量と発現レベルが相関を示す遺伝子共発現モジュールの探索を行ってダイズ根粒モジュールを同定した。菌根モジュールについては、2019年度に北米および国内200個体から得られた遺伝子発現データを用い、含まれる遺伝子と他の植物で同定されている菌根形成遺伝子との相同性から同定した。圃場から採取した根域土壌は理化学分析を行った。各モジュールの発現レベルと植物・土壌要因との総当たり相関解析を行い、得られた相関係数をデータとして主成分分析を行った。

コムギ有機栽培における菌根機能のモデリングと有機態リン獲得の分子基盤

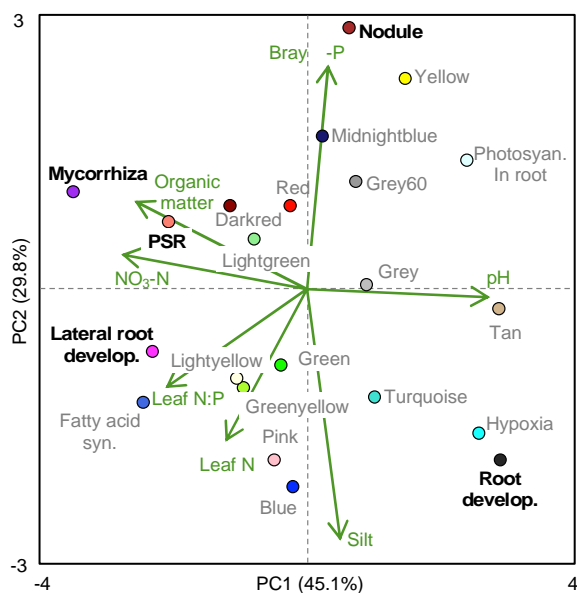
コムギにおける菌根モジュールを同定するために、0:100 - 100:0まで異なる比率で混合した殺

菌および非菌土壌を作成してポット栽培を行って菌根形成に勾配のある植物を育成し、その根を RNA-Seq に供試した。スイス Agroscope/チューリッヒ大の van der Heijden 教授 (海外研究協力者) らの構築した慣行および有機栽培圃場をペアで持つ 8 件の生産者ネットワークから 8 サンプル/圃場 ($8 \times 2 \times 8 = 128$ サンプル) の秋播きコムギの根および根域土壌を共同で採取すると共に、管理履歴の聞き取りを行った。土壌化学分析は van der Heijden が行う。根は現地 RNA 保存液に浸漬後、植物防疫の許可を得て輸入し、RNA-Seq 後にポットサンプルと共に遺伝子共発現ネットワーク解析に供した。さらに有機物および化学肥料施用のモデル (ポット) 試験を殺菌土および非殺菌土 (菌根存在) で行い、窒素およびリンの利用効率を調べた。

4. 研究成果

ダイズにおける根粒・菌根共生のトレードオフ

マメ科およびイネ科で知られている菌根形成遺伝子である *RAM2*, *FatM*, *STR*, および *STR2* などのダイズ相同遺伝子を同定し、それらすべてが含まれ、かつ、AM 菌のバイオマス (rRNA リード数) と有意な正の相関を示したモジュールを菌根形成モジュールと規定した。菌根形成、リン欠乏応答、および側根形成モジュールは第 1 主成分 (PC1) 軸に対して大きな負のスコアを示し、土壌の高い有機物含率と硝酸態窒素濃度、さらに植物体の窒素に対する相対的なリン欠乏 (高い N:P 比) との相関が高いことから、これらの条件下で発現上昇すると考えられた (図 1)。それに対し、根系・根毛形成モジュールは正の PC1 スコアを示すことから、低い有機物含有率と硝酸態窒素濃度の土壌、さらに植物体窒素に対して相対的に高いリン含量 (低い N:P 比) により発現上昇すると考えられた。一方、根粒形成モジュールは PC2 に対して高い正のスコアを示し、高い有効態リン酸濃度および低い葉の窒素濃度、すなわち植物体のリンに対する相対的な窒素欠乏に応じて発現が上昇することがわかった。根系・根毛形成モジュールはその対極の条件である低い有効態リン酸濃度および高い葉の窒素濃度に応じて発現上昇していた。



高い有効態リン酸濃度および低い葉の窒素濃度、すなわち植物体のリンに対する相対的な窒素欠乏に応じて発現が上昇することがわかった。根系・根毛形成モジュールはその対極の条件である低い有効態リン酸濃度および高い葉の窒素濃度に応じて発現上昇していた。

図 1.ダイズにおいて養分獲得モジュールを駆動する植物・土壌要因.各モジュール発現量と要因間の総当たり相関解析で得られた相関係数をデータとして主成分分析を行った。菌根形成(Mycorrhiza)、リン欠乏応答 (PSR)、および側根形成 (Lateral root develop.) モジュールは、土壌有機物 (Organic matter) および硝酸態窒素濃度 ($\text{NO}_3\text{-N}$) と共に負の PC1 スコアを示すのに対し、根系発達 (Root develop.) モジュールは正の PC1 スコアを示す。また、根粒形成 (Nodule) モジュールは正の PC2

スコアを示すのに対し、葉の窒素濃度 (Leaf N) は負の PC2 スコアを示す。

菌根形成モジュールおよび根粒形成モジュールは、それぞれ PC2 および PC1 に対してはほぼ中央値 (0) 付近のスコアを示すことは、これら二つのモジュールの発現が異なる要因により独立して制御されていることを示している。すなわち、野外で生育するダイズにおいて、両共生系はトレードオフの関係にはなく、さらにどちらか一方の共生系が他方の共生を促進するなどの相互もないことを示唆する。

コムギ有機栽培における菌根機能のモデリングと有機態リン獲得の分子基盤

RNA-seq およびネットワーク解析から根における 19 個の遺伝子共発現モジュールを規定し、この中から養分獲得に関わると推定されるいくつかのモジュールを同定した。菌根形成を担う遺伝子である *RAM2*, *FatM*, *STR*, および *STR2* などの相同遺伝子群が濃縮された菌根形成モジュールを同定したものの、ダイズやトウモロコシと異なり、このモジュールの発現量は AM 菌のバイオマスと明確な正の相関は示さなかった (図 2)。一方、このモジュールは、植物の窒素欠乏や土壌の低リン条件で発現上昇すると共に、タンパク質分解などの窒素再利用に関わるモジ

ール群とも同調的に発現していたことから、主に植物体の窒素欠乏や土壌の低リン条件下で発現が誘導されるものと考えられた。リン欠乏応答に関わるホスファターゼ遺伝子や糖・イオウ脂質の生合成系遺伝子が濃縮されたリン欠乏応答モジュールには、根系発達に関わる多数の遺伝子群も濃縮されていたため、これをリン欠乏応答・根系発達モジュールと規定した。このモジュールの発現は、植物体の窒素含量が高く、相対的にリンが不足する場合に上昇した。窒素の吸収および同化モジュールの発現は、植物体や土壌の養分状態の影響をあまり受けていなかったのに対し、窒素の再利用に関わるモジュール群は植物の窒素欠乏や土壌の低窒素条件下で発現上昇していた。

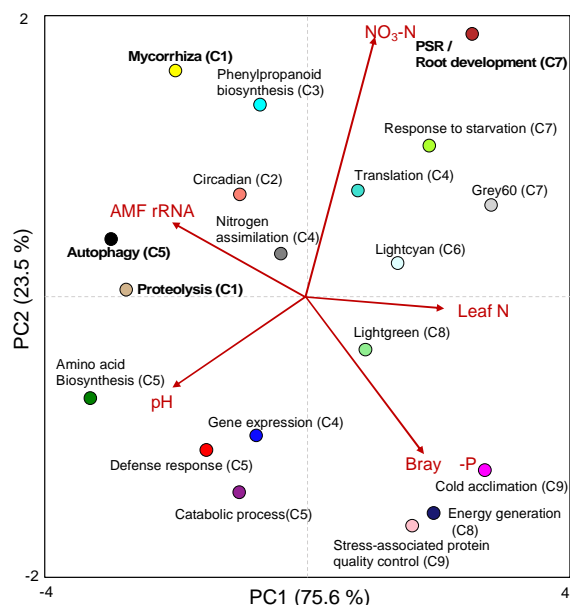


図2 .コムギにおいて養分獲得モジュールを駆動する植物・土壌要因 .各モジュール発現量と要因間の総当たり相関解析で得られた相関係数をデータとして主成分分析を行った。菌根形成(Mycorrhiza)、窒素再利用 (Autophagy/ Proteolysis) モジュールは、負の PC1 スコアを示し、葉の窒素濃度 (Leaf N) および有効態リン酸 (Bray II-P) が低い場合に発現上昇する。リン欠乏応答・根系形成 (PSR/Root development) モジュールは菌根形成モジュールと共に正の PC2 スコアを示すが、PC1 スコアは正の値を示し、高い硝酸態窒素 (NO₃-N) と低い有効態リン酸濃度で発現上昇する。

有機圃場で栽培されたコムギは、慣行圃場で栽培されたものよりも植物体窒素含量および N:P 比が低かったことから、リンに対する相対的な窒素欠乏を起こしているものと考えられた。また、有機圃場のコムギでは菌根形成レベルは高かったものの、菌根形成モジュールの発現は慣行区と同程度であった。しかし、ポット試験では、菌根存在下で有機物施用により窒素およびリンの吸収効率が向上したことから、有機物を施用することにより菌根形成遺伝子の発現は上昇しないものの、菌根経路からの養分獲得効率が高まることが示唆された。

環境と遺伝子発現との関わりは、実験室内の制御された環境下で調べるのがこれまでの常識であった。野外のように多様な環境下では交絡要因が多く、疑似相関を生みやすいためである。しかし、実験室レベルの知見を基に野外で起こっている現象を説明するには限界がある。本研究により敢えて気候や土壌の性質が大きく異なる地域から (=広範な環境レンジから) 植物体試料を採取することで交絡要因の影響を最小限に抑えられると共に、多くの環境要因の中から説明度の高い環境変数を抽出できることを突き止めた。これらの知見は、野外における植物の環境応答を分子レベルで解釈する道を開いた点で (微生物共生の分野に留まらず) 植物科学全体に大きなブレークスルーを与えると考えられる。

引用文献

- Herzog C, Honegger A, Heggin D, Wittwer R, de Ferron A, Verbruggen E, Jeanneret P, Schloter M, Banerjee S, van der Heijden MGA. 2019. Crop yield, weed cover and ecosystem multifunctionality are not affected by the duration of organic management. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **284**: 106596.
- Sato T, Hachiya S, Inamura N, Ezawa T, Cheng W, Tawarayama K. 2019. Secretion of acid phosphatase from extraradical hyphae of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus* is regulated in response to phosphate availability. *Mycorrhiza* **29**: 599-605.
- Sugimura Y, Kawahara A, Maruyama H, Ezawa T. 2022. Plant foraging strategies driven by distinct genetic modules: cross-ecosystem transcriptomics approach. *Frontiers in Plant Science* **13**: 903539.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 5件）

| | |
|---|----------------------|
| 1. 著者名 Sugimura Yusaku, Kawahara Ai, Maruyama Hayato, Ezawa Tatsuhiro | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Plant Foraging Strategies Driven by Distinct Genetic Modules: Cross-Ecosystem Transcriptomics Approach | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science | 6. 最初と最後の頁 903539 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpls.2022.903539 | 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 Tanaka Sachiko, Hashimoto Kayo, Kobayashi Yuuki, Yano Koji, Maeda Taro, Kameoka Hiromu, Ezawa Tatsuhiro, Saito Katsuharu, Akiyama Kohki, Kawaguchi Masayoshi | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 Asymbiotic mass production of the arbuscular mycorrhizal fungus <i>Rhizophagus clarus</i> | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Communications Biology | 6. 最初と最後の頁 43 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s42003-021-02967-5 | 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 Nguyen Cuc Thi, Ezawa Tatsuhiro, Saito Katsuharu | 4. 巻 68 |
| 2. 論文標題 Polyphosphate polymerizing and depolymerizing activity of VTC4 protein in an arbuscular mycorrhizal fungus | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition | 6. 最初と最後の頁 256 ~ 267 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00380768.2022.2029220 | 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 Salomon Matthias J., Watts-Williams Stephanie J., McLaughlin Michael J., Bucking Heike, Singh Brajesh K., Hutter Imke, Schneider Carolin, Martin Francis M., Vosatka Miroslav, Guo Liangdong, Ezawa Tatsuhiro, Saito Masanori, Declerck Stephane, Zhu Yong-Guan, Bowles Timothy, Abbott Lynette K., Smith F. Andrew ほか2名 | 4. 巻 25 |
| 2. 論文標題 Establishing a quality management framework for commercial inoculants containing arbuscular mycorrhizal fungi | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 iScience | 6. 最初と最後の頁 104636 ~ 104636 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.isci.2022.104636 | 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 Perez-Castineira Jose R., Docampo Roberto, Ezawa Tatsuhiko, Serrano Aurelio | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Editorial: Pyrophosphates and Polyphosphates in Plants and Microorganisms | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Frontiers in Plant Science | 6. 最初と最後の頁 653416 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fpls.2021.653416 | 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 Maeda Taro, Kobayashi Yuuki, Nakagawa Tomomi, Ezawa Tatsuhiko, Yamaguchi Katsushi, Bino Takahiro, Nishimoto Yuki, Shigenobu Shuji, Kawaguchi Masayoshi | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Conservation and host-specific expression of non-tandemly repeated heterogenous ribosome RNA gene in arbuscular mycorrhizal fungi | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 BioRxiv | 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) 10.1101/2020.05.14.095489 | 査読の有無 無 |
| 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 Ezawa Tatsuhiko, Maruyama Hayato, Kikuchi Yusuke, Yokoyama Kaede, Masuta Chikara | 4. 巻 2146 |
| 2. 論文標題 Application of Virus-Induced Gene Silencing to Arbuscular Mycorrhizal Fungi | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Methods in Molecular Biology | 6. 最初と最後の頁 249-254 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-1-0716-0603-2_19 | 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26件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Bagas Adhi Kumoro・Yaya Suzuki・Tatsuhiko Ezawa・Weiguo Cheng・Keitaro Tawaraya |
| 2. 発表標題 Effect of Rhizophagus clarus on soil acid phosphatase activity and phosphorus fractions |
| 3. 学会等名 11th International Conference on Mycorrhiza (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Tatsuhiko Ezawa・Hayato Maruyama・Yusaku Sugimura |
| 2. 発表標題 Prediction of underground foraging activities by leaf transcriptomes |
| 3. 学会等名 11th International Conference on Mycorrhiza (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Anjar Cahyaningtyas・Tatsuhiko Ezawa |
| 2. 発表標題 Selection of the Arbuscular Mycorrhizal Fungi that Regenerate Rapidly via Soil: Propagules and Intraradical Mycelia in a Sand-Dune Ecosystem |
| 3. 学会等名 11th International Conference on Mycorrhiza (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 江沢辰広・Alessandro Silvestri・丸山隼人・依谷圭太郎・鈴木芽衣・Yu Duan・Massimo Turina・Luisa Lanfranco |
| 2. 発表標題 アーバスキュラー菌根菌が保持するミトコンドリアウイルスの古代系統：菌根共生を起点とした菌類・植物への拡散 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 江沢辰広 |
| 2. 発表標題 アーバスキュラー菌根共生における物質輸送の分子基盤と環境応答 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 高橋雄太郎・杉原創・田中治夫・坂上桃花・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 黒ボク土畑で植物-AM菌共生系が獲得するリン形態・量に堆肥連用が与える影響の解明 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 坂上桃花・高橋雄太郎・杉原創・Marcel van der Heijden・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 遺伝子発現解析を用いた慣行および有機農業コムギの菌根機能の比較 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大森菜花・Tingting Li・中西夏輝・俵谷圭太郎・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 アーバスキュラー菌根菌Rhizophagus clarusの土壌酸性応答における生態型分化 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 平川英樹・丹羽理恵子・佐藤修正・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 菌根菌叢・細菌叢同定ウェブインターフェースの開発 |
| 3. 学会等名 日本ゲノム微生物学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Chika MIZUKAMI・Mana MUKAI・Rota WAGAI・Tatsuhiro EZAWA・Kanehiro KITAYAMA |
| 2. 発表標題 Fine-root phosphatase activities in <i>Quercus serrata</i> and its determinants on a wide gradient of soil-phosphorus availability |
| 3. 学会等名 日本生態学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 江沢辰広・Alessandro Silvestri・丸山隼人・俵谷圭太郎・鈴木芽衣・Yu Duan・Massimo Turina・Luisa Lanfranco |
| 2. 発表標題 アーバスキュラー菌根菌で見つかったミトコンドリアウイルスの古代系統：全球分布と限定的宿主域が示唆する水平伝搬抑制機構 |
| 3. 学会等名 菌根研究会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大橋実佳・杉村悠作・江沢辰広・齋藤勝晴 |
| 2. 発表標題 農耕地利用の強度に応答したアーバスキュラー菌根菌群集の収斂と多様性の維持機構 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Anjar Cahyaningtyas and Tatsuhiro Ezawa |
| 2. 発表標題 Life-history strategies of arbuscular mycorrhizal fungi in frequently disturbed ecosystem: spore-mediated and root-direct colonization enables rapid regeneration |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 矢野俊一・多久島輝弥・杉村悠作・佐伯雄一・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 窒素固定活性に依存しない根粒形成制御モジュール |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 江沢辰広・杉村悠作・丸山隼人 |
| 2. 発表標題 葉の遺伝子発現による地下微生物機能の診断 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Nguyen Thi Cuc・江沢辰広・齋藤勝晴 |
| 2. 発表標題 アーバスキュラー菌根菌VTC4タンパク質のポリリン酸合成・利用反応 |
| 3. 学会等名 菌根研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 坂上桃花・青山奈央・丸山隼人・高橋雄太郎・杉原創・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 コムギにおける菌根形成を制御する遺伝子共発現ネットワークと発現調節要因 |
| 3. 学会等名 菌根研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 江沢辰広・丸山隼人・杉村悠作 |
| 2. 発表標題 野外圃場における菌根機能レベル・栄養バランスの高精度推定 - 地上部遺伝子発現を利用した地下機能診断モデルのプロトタイプ - |
| 3. 学会等名 菌根研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 江沢辰広・杉村悠作・Sarah Asih Faulina |
| 2. 発表標題 リボソームRNAシーケンスによる植物共生微生物の定量的群集構造解析：OTU帰属法および同定精度の検討 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 多久島輝弥・河原愛・杉村悠作・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 野外ダイズにおける遺伝子共発現ネットワーク - 菌根共生モジュールの同定と環境応答 - |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 若森春輝・杉村悠作・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 菌根経路におけるリンおよび窒素輸送系の独立性 - 樹根状体形成遺伝子群との共発現解析 - |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 丹羽理恵子・佐藤修正・平川英樹・吉田重信・佐藤孝・鈴木貴恵・佐藤匠・依谷圭太郎・福永亜矢子・小八重善裕・大友量・林正紀・唐澤敏彦・神山拓也・丸山隼人・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 農耕地利用の強度に応答したアーバスキュラー菌根菌群集の収斂と多様性の維持機構 |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 杉村悠作・河原愛・丸山隼人・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 野外における養分獲得戦略を担う遺伝子モジュール群の同定と環境応答-生態系横断型共発現ネットワーク解析- |
| 3. 学会等名 日本土壌肥料学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 多久島輝弥・河原愛・杉村悠作・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 ダイズにおける共生・栄養獲得モジュールの同定と環境応答 |
| 3. 学会等名 菌根研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 若森春輝・杉村悠作・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 菌根経路を介した窒素輸送に対する植物の応答 |
| 3. 学会等名 菌根研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 杉原創・宮島奈々子・田中治夫・江沢辰広 |
| 2. 発表標題 アーバスキュラー菌根菌が土壌から獲得するリン形態の解明 ～土壌型・温度・リン施肥量に着目して～ |
| 3. 学会等名 菌根研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

| | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 アーバスキュラー菌根菌の培養用培地及び培養方法 | 発明者 川口正代司・田中幸子・矢野幸司・秋山康紀・齋藤勝晴・江 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/016892 | 出願年 2020年 | 国内・外国の別 外国 |

| | | |
|---|-------------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 宿主植物と微生物との共生程度を推定する方法、および予測モデルを作成する方法 | 発明者 吉村愛・廣富大・江澤辰広・杉村悠作・丸山隼人 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-194968 | 出願年 2020年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

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 | 杉原 創 (Sugihara Soh) (30594238) | 東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授 (12605) | |
| 研究分担者 | 佐伯 雄一 (Saeki Yuichi) (50295200) | 宮崎大学・農学部・教授 (17601) | |

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 |
|---------|---------|

| | | | | |
|-----|----------------------------------|--|--|--|
| スイス | Agroscope (University of Zurich) | | | |
|-----|----------------------------------|--|--|--|