

令和元年6月20日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K15284

研究課題名(和文)アカマツの菌根菌群集における多種共生系維持機構に関する実験的研究

研究課題名(英文)Experimental study of the stability of mutualism in a plant-mycorrhizal system

研究代表者

門脇 浩明(Kadowaki, Kohmei)

京都大学・森里海連環学教育研究ユニット・特定助教

研究者番号：30643548

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究に関連する成果は、4本の学術論文としてまとめられ、国際誌(査読付)掲載2本、投稿済み改訂中1本、投稿中1本という状況であり、和文での解説も分担執筆の書籍や一般誌においての解説も5本が掲載済、もしくは掲載が確定している。また、学会発表としては国際会議2件の発表を行った。これらの成果は、すべて菌根菌をはじめとする共生系の安定性や動態に関連する最新の知見をもたらすものであり、解析手法や実験デザインの観点からの新規性が高いため、解説記事の執筆やWeb上で一般向けアウトリーチ活動やプレスリリースも積極的に行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然界においてなぜ共生関係が安定的に維持されるのかという問題は、数多くの研究者が取り組んできたにもかかわらず、必ずしも明確な答えが得られていない問題である。本研究では、微生物をモデルシステムとして、それらの相互作用のダイナミクスを捉える詳細な研究によって、多種共生系維持の変動・維持機構の一端を解明した。これらの学術的知見を他のシステムに応用することで、より安定的な自然生態系の維持や制御理論の発展につながれば、本成果は大きな社会的な意義をもつといえる。

研究成果の概要(英文)：The results related to this research are summarized in a series of manuscripts for publication in international journals, two of which are already published or in press. In addition, as for conference presentation, I gave two poster presentations at international congress/meetings. These publications/presentations all bring new findings related to the stability and dynamics of microbial symbiotic systems including mycorrhizal symbiosis. Because some of the new methods used in the project are novel and useful for further research, technical note papers are published in a Japanese science book and the other science magazine. I also engaged in active outreach activities, press releases on the newspaper and the other web media.

研究分野：生態学

キーワード：菌根菌 共生 安定化

1. 研究開始当初の背景

陸上植物の大部分は、根において複数種の菌根菌と共生関係を形成する。共生理論によれば、複数種の菌根菌が存在する場合、炭素供給量あたりの窒素の見返りが大きい「質の高い共生者」と窒素の見返りが少ない「質の低い」共生者が生じる。植物が自身の利益を優先するならば、植物と菌根菌のあいだに1種対1種の関係となることが進化的必然であると予測される。しかし、自然条件において、質の低い共生者は必ずしも排除されておらず、複数種の菌根菌が共存している。

一方で、競争理論によれば、菌根菌が生息する根端は、菌にとって限られたスペースであり、競争の対象となる。菌根菌の種ごとに競争能力が異なる場合、競争に強い菌根菌が植物の根を独占することが予測される。実際は、競争に強い菌だけが生き残ることはなく、競争能力の異なる菌が共存することが知られている。よって、多種共生系の維持に関する共生と競争とバランスを整合的に説明するには、(i)質の異なる共生者が植物の根において共存する仕組み、ならびに、(ii)競争能力の異なる共生者が共存する仕組みという、二重のメカニズムが成立している必要がある。従来は森林生態学研究では、菌根菌 - 植物の相互作用に関する研究、ならびに、菌根菌どうしの競争関係に関する研究は独立に行われたため、共生と競争の両方が同時に重要となる多種共生系において、その維持機構を厳密な仮説に基づき実証的に明らかにした研究は少ない。本研究では、競争関係と共生関係を含むモデル系を用いてその課題に取り組むことを着想した。

2. 研究の目的

菌根菌は、土壌中の窒素やリンを効率よく回収し、余剰分を共生相手である植物に供給し、その対価として光合成産物を受け取る共生関係を形成する。一般に、植物にとって共生者である菌根菌の価値は種ごとに異なるため、複数種の共生者が存在する場合、植物にとって質の低い共生者を排除することが適応的であり、1種対1種の関係となることが進化的必然であると予測される。しかし、自然条件においては、質の高い共生者と低い共生者が共存することが知られている。本研究の全体構想は、そのパラドクスを解消すべく、生物多様性が維持される具体的な仕組みについて実証的に解明することである。それは、競争関係や共生関係の強さがどのような条件でどのように変化するかを明らかにすることで、生物多様性の維持機構について新たな理解をもたらす可能性がある。

3. 研究の方法

本研究の手法の根幹をなすのは、室内実験を中心とした実験生態学的なアプローチと最先端のデータ解析手法の融合である。環境条件を変え、その与えられた環境における生物間の競争関係や共生関係の強さがどのように変化し、どのような環境条件において最も多様性が維持されやすく、それがなぜなのかを解明するというものである。そのためには微生物の培養試験、炭素および窒素の同位体トレーサー、数理的な解析などの手法を適切に融合する事が必要となる。また、本研究が対象とするシステムは相互作用の強度や方向性が常に変動するという特徴を有することから、時系列データを分析し、そこから相互作用や因果関係を読み解くための精緻なモデリングも重要な手法となる。

4. 研究成果

一年目では、野外でのアカマツの種子の収集と実生の育成に集中して取り組み、菌根菌が発生するシーズンには、アカマツの菌根菌子実体の収集と保存を行った。菌根菌の種類については、栄養条件を変えて育てたアカマツに接種することで共生能力が異なる様々な系統を選抜できる可能性があることを念頭において決定をおこなった。採集と並行し、京都大学農学研究科、東北大学農学研究科の研究協力者および、信州大学農学部の菌類生態学や京都大学生態学研究センターの同位体生態学専門家らと交えた意見交換を重ねた結果、同位体トレーサーを用いて本実験においては、計画書の段階では予定されていなかった別の予備実験が必要であると判断した。

トレーサーを用いて炭素の窒素の転流量を計測する実験デザインは予備実験の段階で難航したため、期間内で問題が生じたときの対応として異なる微生物のモデルを用いて競争と共生のダイナミクスを解明することとした。緑膿菌を用いたモデル系は代表者が従来で用いてきた確立されたものであり、オランダ・ユトレヒト大学の共同研究者と共に迅速に実験計画をシステムにあわせて調整し、実験を遂行することができた。得られたデータは経験的動的モデルと呼ばれる最新の時系列解析手法を用いて解析し、競争関係と共生関係の強さの時間的な変動パターンから相互作用ネットワークを構築し、共生系の維持機構についていくつかの興味深い結果を得ることができた。その結果は現在、2編の国際学術論文としてまとめられており、うち一編は投稿後の改訂作業、および追加実験の結果を解析中であり、もう一編は投稿準備中である。

菌根菌や共生系の維持機構に関連する研究成果として、菌根菌と植物の相互作用に関するこれまで研究に関連する成果として、1篇の学術論文を国際誌に掲載され、アウトリーチ活動により、その成果が各種新聞やWebメディア、博物館のレクチャーシリーズなどでとりあげられたことは大きな成果であった。アカマツと共生する菌根菌とアカマツ実生の定着結果は、日本の伝統樹種であるがゆえに大きな注目を集めたといえる。

また、同成果は、京都大学学術出版会の「遺伝子・多様性・循環の科学：生態学の領域融合へ」(京都大学学術出版会)において詳細に日本語での解説論文として出版することができた。本研究課題に用いている同位体のトレーサーなどの研究手法についての最新技術に関する解説論文も出版することができた。

このように、本研究課題を通じ、研究遂行から成果発表、そしてそのアウトリーチまで踏み込んだ研究活動を展開できたといえる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

Kadowaki K. (2019) Stochastic processes. Oxford Bibliographies in Ecology. Ed. David Gibson. New York: Oxford University Press. 査読有 <https://www.oxfordbibliographies.com/>

Kadowaki K., Yamamoto S, Sato H, Tanabe AS, Hidaka A, Toju H. (2018) Mycorrhizal fungi mediate the direction and strength of plant - soil feedbacks differently between arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal communities. Communications Biology 査読有 1:196 <https://doi.org/10.1038/s42003-018-0201-9>

門脇浩明 (2019) 生態学におけるビッグデータ解析の手法—生物群集解析の基礎理論—環境技術、査読無 48: 126-130 <https://www.jriet.net/paper/2019/0319/126.htm>

〔学会発表〕(計2件)

Kohmei Kadowaki (Kyoto Univ), Nicolas Mouquet (Montpellier Univ), Wu Xiong (Utrecht Univ), Michio Kondoh (Tohoku Univ), Kazutaka Kawastu (Tohoku Univ), Rolf Kummerli (Univ Zurich), Alexandre Jousset (Utrecht Univ) Limited dispersal sustains cooperation in evolving microbial metapopulations. マクロ生物学百花繚乱 ~ アジアの生物多様性 ~ (国際学会)

Kohmei Kadowaki (Kyoto Univ), Nicolas Mouquet (Montpellier Univ), Wu Xiong (Utrecht Univ), Michio Kondoh (Tohoku Univ), Kazutaka Kawastu (Tohoku Univ), Rolf Kummerli (Univ Zurich), Alexandre Jousset (Utrecht Univ) Limited dispersal sustains cooperation in evolving microbial metapopulations. The 6th Taiwan-Japan Ecology Workshop (国際学会)

〔図書〕(計4件)

門脇浩明 (2019) 第8章 植物と土壤微生物のフィードバック—その成り立ちとしくみ. 門脇浩明・立木佑弥 編「遺伝子・多様性・循環の科学：生態学の領域融合へ」京都大学学術出版会 2019 pp464.

門脇浩明・立木佑弥 (2019) 序章 遺伝子・多様性・循環の科学とは. 門脇浩明・立木佑弥 編「遺伝子・多様性・循環の科学：生態学の領域融合へ」京都大学学術出版会 2019 pp464.

門脇浩明・立木佑弥 (2019) 終章 生態学の領域融合へ 門脇浩明・立木佑弥 編「遺伝子・多様性・循環の科学：生態学の領域融合へ」京都大学学術出版会 2019 pp464.

福森香代子・門脇浩明 (2019) テクニカルノート2 生態系・群集生態学的解析法 門脇浩明・立木佑弥 編「遺伝子・多様性・循環の科学：生態学の領域融合へ」京都大学学術出版会 2019 pp464.

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

○取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

地下の菌類のネットワークが森林の安定と変化の原動力であることを解明

http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2018/181120_1.html

樹木多様性 菌が守る 京大チーム「ミニ森林」実験で解明 [読売新聞]

<https://fserc.kyoto-u.ac.jp/wp/blog/archives/26163>

「菌根菌」働きで森林変化 シイ、コナラ増える一端解明 京大など 共生種、土壌つくりかえ [京都新聞]

<https://fserc.kyoto-u.ac.jp/wp/blog/archives/26094>

森の未来は菌だけが知っている – 森はどのように成り立ち、遷移していくのか

<https://academist-cf.com/journal/?p=9755>

京都大学総合博物館のレクチャーシリーズ 森の未来は菌だけが知っている

<http://www.museum.kyoto-u.ac.jp/modules/event/content0776.html>

遺伝子・多様性・循環の科学...門脇浩明、立木佑弥編 (評・三中信宏(進化生物学者)) 本よみうり堂・書評 [読売新聞]

<https://www.yomiuri.co.jp/culture/book/review/20190601-OYT8T50107/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：深澤遊

ローマ字氏名： Yu Fukasawa

研究協力者氏名：檀浦正子

ローマ字氏名： Masako Dannoura

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。