

微生物の生態系を設計する基幹技術を開発

—生態系レベルの機能を農業・医療・工業に—

概要

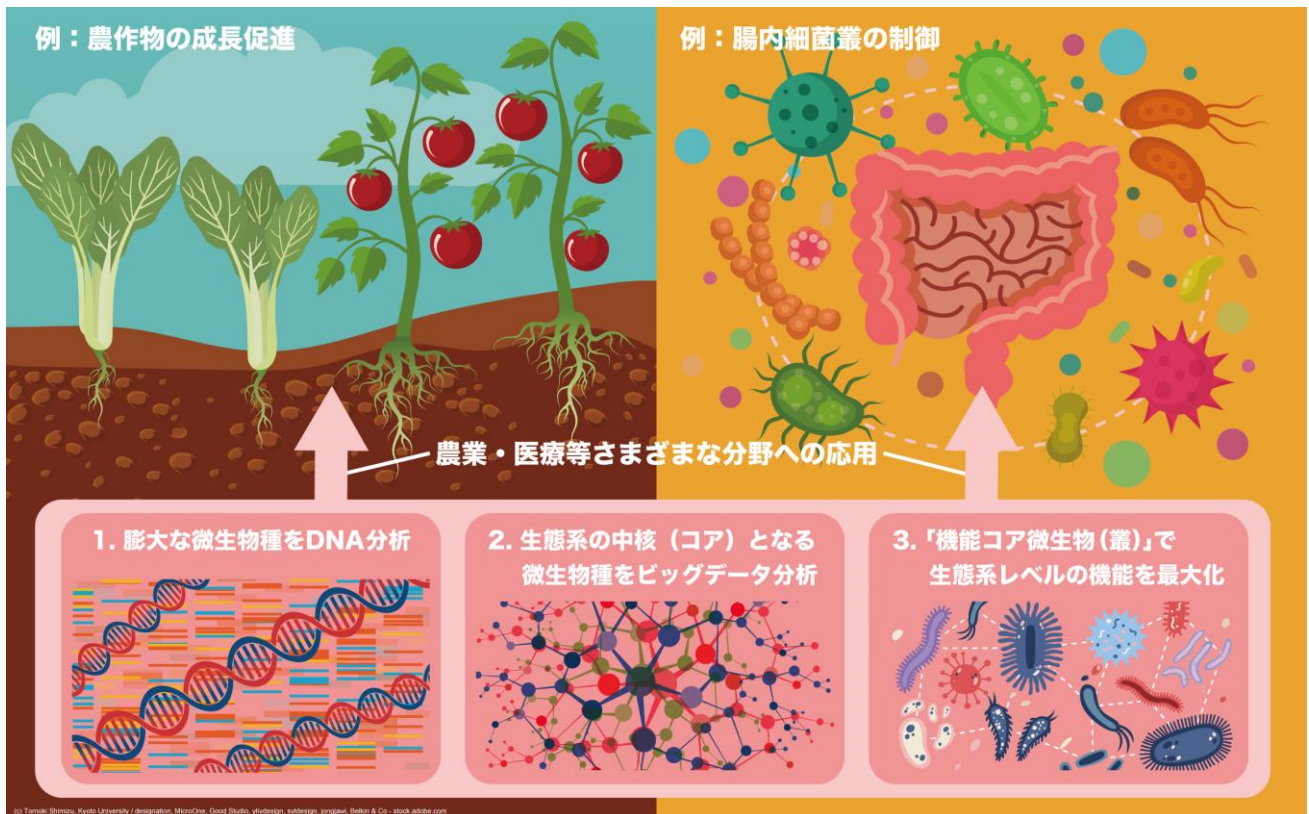
京都市大学生態学研究センター 東樹宏和 准教授らの研究グループは、生態系全体の生物機能を最大化・安定化する可能性の高い微生物（「機能コア微生物」）を見つけ出す手法を考案しました。さらに、こうした微生物の組み合わせを最適化し、生態系という高次レベルで生物システムを最適化する基幹技術を開発しました。

微生物は多様な生物機能を私たちにもたらせてくれます。農業において植物の生育を促進したり、ヒト体内で健康を制御したり、醸造・食品加工や水質浄化に寄与したりと、健康で豊かな生活には、多様な微生物たちが不可欠です。しかし、数百・数千もの種で成り立つことが多い微生物の生態系は、制御が極めて難しい研究対象とされてきました。

本研究では、生物ゲノムや生物種間の複雑な関係性ネットワークに関する情報を統合し、微生物の生態系全体の機能を最大化する技術を開発しました。さらに、中核となる微生物種を生態系に優先的に埋め込むことで、生物機能を制御する手法を示しました。

この成果は、「1種の生物をいかに改良しても到底得られない次元の機能」を生態系という高次レベルで実現する新領域を切り拓くもので、農業・医療・工業の幅広い分野における展開が期待されます。

本成果は、2020年6月25日に国際学術誌「Frontiers in Microbiology」にオンライン掲載されました。



本研究の概要図（©清水智樹／京都大学）

1. 背景

生態系は無数の生物種で構成されています。中でも微生物は、数百・数千種が複雑な関係性のネットワークを構築しながら、システムを構築しています。こうした微生物生態系は、自然界であれば作物の生育や環境浄化、私たちの体内では健全な体内環境の維持、といった重要な機能を担っています。また、醸造や食品加工を始めとして、さまざまな生産システムにおいて、微生物生態系の利用が注目を集めています。

従来、微生物の機能を利用する場合、1種もしくは少数の種に焦点を絞り、管理技術の精緻化や遺伝的改良が行われてきました。しかし、1種（もしくは少数種）のゲノムによって実装できる生物機能には、限界があります。1種の生物ゲノムに考え得る限りのすべての機能を盛り込んだとしても、効率的かつ安定的に機能する生物システムを構築することはできないでしょう。40億年の生命誌の産物として、1種の微生物だけで構成されるシステムではなく、多種で構成されるシステムが地球上の様々な環境で成立していることが、この作業仮説を裏付けています。

つまり、人類が生命の持つ機能を最大化して食糧生産や環境浄化、健康維持を目指す場合、1種のシステムではなく、多種で構成されるシステムをいかにうまく設計し、制御するかが、鍵となります。しかし、多種で構成される微生物システムを設計する包括的な技術を構築すること自体、これまでほとんど試みられてきませんでした。

2. 研究手法・成果

本研究プロジェクトでは、微生物学・ゲノム科学・理論生態学・ネットワーク科学を融合する新しい科学領域を創生することにより、「微生物生態系の設計」において普遍的に利用できる技術基盤を構築しました。すでに蓄積された微生物ゲノム情報や、微生物種間の関係性に関するネットワークの情報を統合することにより、生態系全体の機能を最大化する上で最も重要な種（「機能コア微生物」）を、無数の候補リストの中から見つけ出す計算式を導き出しました。その上で、農地の土壌生態系で収集されたデータや、マウスの腸内細菌生態系で収集されたデータセット等を用いて計算を行い、それぞれのシステムにおいて、機能コア微生物であると推定される種のリストを作成しました。農地のデータで機能コア微生物であると推定された真菌種を植物（コマツナおよびトマト）に接種する実験を実施したところ、接種しない場合に比べて、明白な成長促進効果が観察されました。

さらに、こうした機能コア微生物を複数組み合わせた「機能コア微生物叢」を設計する手法を考案し、こうした中核的な種のセットを生態系内に埋め込むことによって、期待する生物機能を生態系という高次のレベルで安定的に管理する技術基盤を構築しました。

3. 波及効果、今後の予定

本研究の成果は、「1種の生物をいかに改良しても到底得られない次元の機能」を生態系という高次レベルで実現する新領域を切り拓くもので、農業・医療・工業の幅広い分野における展開が期待されます。資源利用効率の高い持続的な食糧生産システムの構築や、カスタム腸内細菌叢による各種病気の予防、微生物叢による環境浄化システムの構築、といった多様な用途での利用が期待されます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、以下の資金の援助を受けて行われました。

JST さきがけ「頑健な植物共生システムの設計に向けた「コア共生微生物」探索技術の開発」

Human Frontier Science Program 等

<研究者のコメント>

私たち人類が消費する資源量は、生物たちの生産によって持続的に支えられるレベルを超えた状態を維持し続けています。この地球上において食糧を効率的に生産しつつ、荒廃した自然生態系を再生していくために何が必要か、考えた末に行き着いたのが、今回の異分野融合研究です。複数の科学領域を統合する土台を構築するのは大変な作業でしたが、新領域を開拓しているときに感じる興奮は格別です。今後、農業・医療・工業の各領域において、この新技術の有効性を検証していくのが楽しみです。

<関連する先行研究成果>

「植物と根に共生する真菌がつくり出す複雑な「ネットワーク」構造を解明」

http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2014/141001_3

「植物を支える「共生ネットワーク」は地上と地下で構造が違う ―見えてきた地下生物圏の構造―」

http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2015/151024_1.html

「コア共生微生物で持続可能な農業生態系を設計する ―微生物叢の機能を最大化する新たな科学的戦略を提案―」

http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2018/180501_2.html

「日本列島の多様な菌から農業利用可能なものを選別 ―植物 150 種と真菌 8080 系統からなる巨大ネットワーク・データ―」

http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2018/180623_1.html

「植物体内の共生菌社会を動かす中心核 ―農業における微生物利用の新たな戦略―」

http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2015/160309_1.html

<論文タイトルと著者>

タイトル： Scoring species for synthetic community design: network analyses of functional core microbiomes (生態系設計における種のスコアリング： 機能コア微生物叢のネットワーク解析)

著 者： Hirokazu Toju, Masato S. Abe, Chiharu Ishii, Yoshie Hori, Hiroaki Fujita and Shinji Fukuda

掲 載 誌： Frontiers in Microbiology DOI : <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01361>

< 参考図表 >

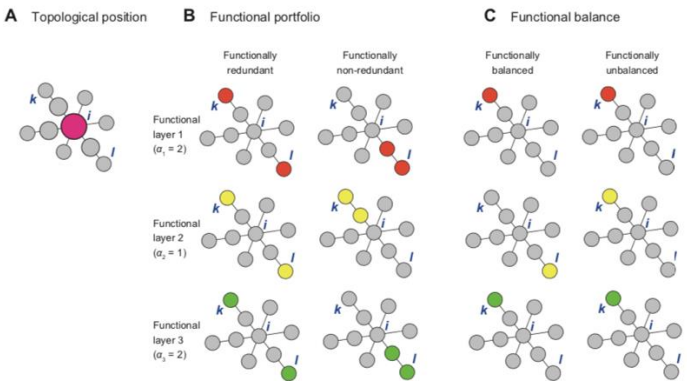


図 1. 機能コア微生物の探索アルゴリズムの一部。

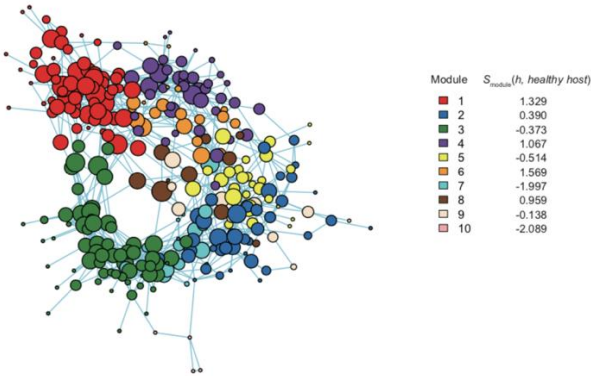


図 2. 京都府内の農地 A での分析結果。

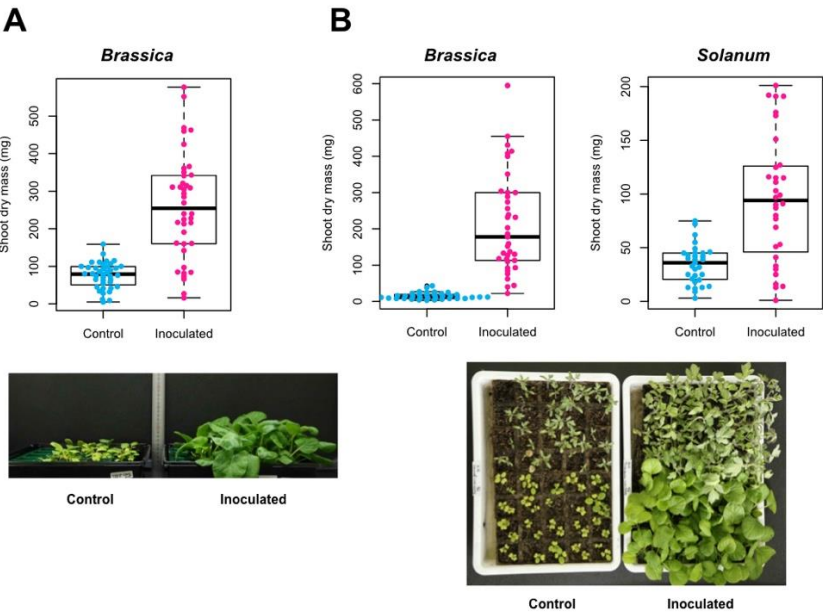


図 3. 機能コア微生物の接種試験。用いた有機培土（貧栄養）では、小松菜（Brassica）やトマト（Solanum）の生育が未接種（Control）の場合に非常に悪い。しかし、機能コア微生物を接種した場合（Inoculated）に大幅な生長促進効果が観察された