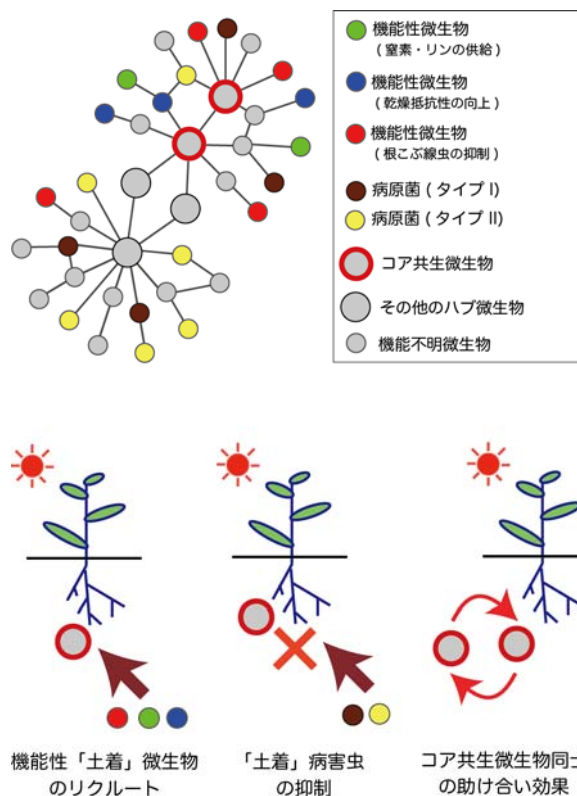


# コア共生微生物で持続可能な農業生態系を設計する —微生物叢の機能を最大化する新たな科学的戦略を提案—

## 概要

世界人口が 2050 年に 98 億人に達すると推計される中、地球温暖化や新規病原生物系統の出現、化学肥料資源の枯渇といった要因が食糧供給を脅かしています。その一方で、近年、農業・医療・工業の幅広い分野において、微生物の機能を最大限に利用してさまざまな課題に取り組む動きが広がっています。しかし、微生物はあまりに種類が豊富で、多様な微生物種で構成される「微生物叢」（微生物の集まり）全体を制御する理論も技術も未発達です。京大大学生態学研究センター 東樹宏和 准教授らの共同研究チームは、微生物叢が本来持っている機能を最大限に発揮させるために、微生物叢全体の動態を大きく左右する「コア共生微生物」を選抜し、あらかじめ植物の種子や苗に摂取する新たな戦略を提案しました。これによって、農地生態系にとって好ましい微生物を引き寄せ、持続可能な農業生態系を設計する上での基礎とすることができます。より低リスクで効率的な農業生産や生態系の再生につながる事が期待される成果です。

本研究成果は、2018 年 5 月 1 日に国際学術誌「Nature Plants」にオンライン公開されました。



ネットワーク科学を利用したコア共生微生物探索

## 1. 背景

地球上の至るところで気候環境が激しくなり、リン肥料の枯渇が懸念される中、環境変動に強く、資源の利用効率の高い農業の実現が求められています。一方で、従来行われてきた単一作物品種の大規模栽培において

は、単位面積あたりの収量が高い反面、病害虫の新規系統が出現した際に抵抗性が低い傾向にありました。

絡み合う課題を解決する突破口として期待されているのが、植物と共生する微生物たちです。そもそも植物は、4億年以上前に陸上へ進出したごく初期の段階から、「菌根菌」と呼ばれる真菌類（きのこ・かび類）と地下部で共生し、土壤中のリンや窒素を効率的に得る術を進化させています。また、近年の研究から、植物体内や体表面に「内生菌」と総称される多様な細菌類や真菌類が普遍的に存在し、植物の生長を促進したり、病害虫を抑制したりしていることが明らかになりつつあります。

こうした背景を踏まえ、本研究では世界の第一線で活躍する植物学者・微生物学者・生態学者・情報学者らとの共同チームを立ち上げ、農業生態系において「微生物叢」を制御するための新戦略を創出しました。さらに、今後どのような学際的科学研究が必要となるのか、将来の方向性をまとめました。

## 2. 研究手法・成果

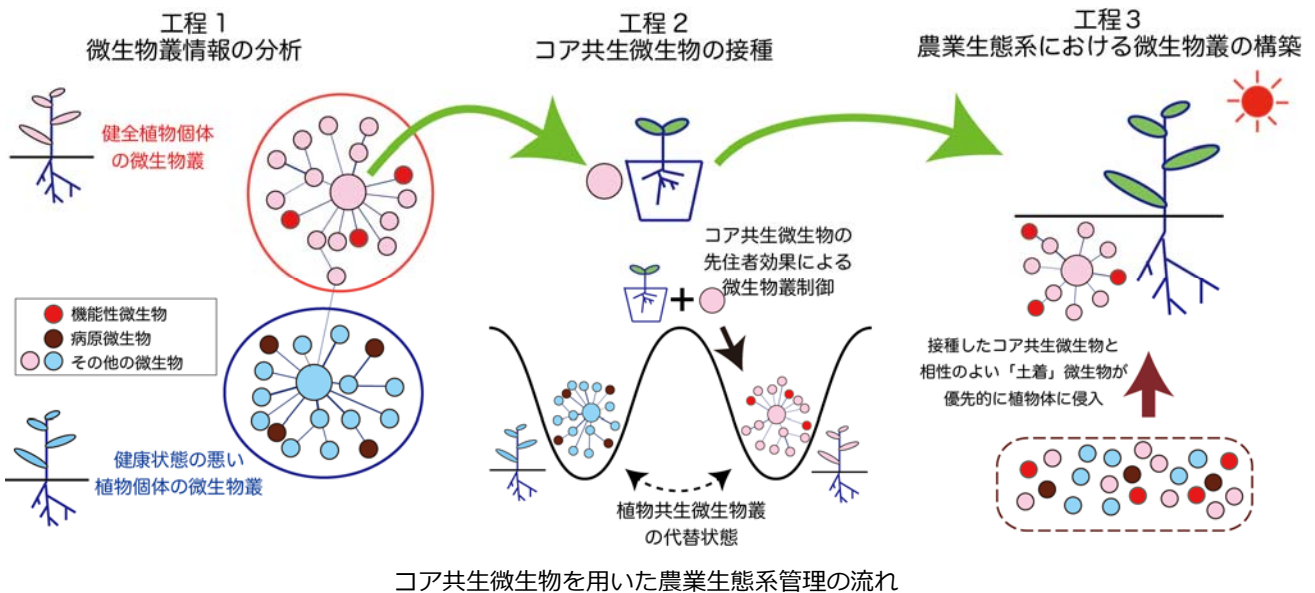
従来、農業における有用微生物の探索は、単一の微生物種を植物に接種した際の生長促進効果を基準として行われてきました。しかし、実際の農地では、植物の体内・体表面において無数の菌根菌や内生菌がお互いに関わり合い、その複雑な相互作用を通じて植物の生長や生存が左右されます。つまり、微生物叢全体を俯瞰した上で、最適な微生物種の組み合わせを提案する技術が必要となります。どの農地でも、数千から数万の微生物種が生息していると推測されるため、この組み合わせを提案すること自体、科学として非常に挑戦的な課題と言えます。

DNA配列を解析する技術の進歩により（\*1）、無数の微生物種からなる関係性の「ネットワーク」構造を解明することが可能になってきました（\*2・3）。こうしたネットワーク内には、他の種と特に密につながった「ハブ」と呼ばれるものが存在します（\*4・5）。そのハブと呼ばれる種の中には、微生物叢全体の動態を大きく左右するものが含まれる可能性があり、本研究ではこうした種を「コア微生物」もしくは「コア共生微生物」と名付けました。

こうしたコア共生微生物の中で、宿主植物の健全な生育を助ける微生物種を取りまとめている「リーダー」に当たるものをあらかじめ植物に接種しておく戦略を、本研究で提案しました。植物共生微生物の世界では、「先に植物体に入った共生菌が、後から侵入しようとする菌を選別したり、排除したりできる」（先住者効果）ことが知られています。上記のネットワーク解析やその他の情報学的解析を駆使してコア共生微生物を選抜し、植物の種子や苗に接種しておけば、農地生態系内に無数に存在する微生物種の中から、植物にとって好ましいものをリクルートし、好ましくないものを排除することができると期待されます。微生物同士の関係性においては、互いの相性が非常に重要ですので、植物にとってプラスの機能をもたらす微生物をより多く引き寄せる力をもつコア共生微生物を、膨大な候補の中から見出す作業が非常に重要となります。

膨大な微生物多様性データの中からコア共生微生物の候補を探し出すため、ネットワーク科学を基にした微生物評価手法のプロトタイプを本研究で考案しました。しかし、情報学的な過程だけでは、農業における応用は完結しません。そこで、農業生態系におけるコア共生微生物利用の将来を見据え、コア共生微生物を培養し、植物の種子や苗に接種する工程におけるマイクロ流体工学の応用や、農地生態系のモニタリングと管理におけ

る人工知能（AI）やロボット工学の応用についても、議論を展開しました。



### 3. 波及効果、今後の予定

最小の資源・エネルギーコストで持続可能な農業生態系を実現していくためには、「土着」微生物叢の機能を最大化する戦略が今後重要になると予想されます。「土着」の微生物たちは、その土地の気候環境や生物的環境に適応した存在です。生態系内に本来内包されている機能を呼び覚ます上で、適切なコア共生微生物を探索する学際的手法を今後も開発していく予定です。

現在の単一作物品種栽培の体系は、病害虫の新規系統の出現に対する抵抗性の面で課題があり、新たな病害抵抗性品種の育種や農薬の開発で対処する場合にも、数年から十年を超える歳月が必要となることが多々あります。一方で、たとえ植物の種や品種構成が単純であっても、コア共生微生物が植物個体間で異なっていれば、病害虫の蔓延を抑制することができる可能性があります。複数のコア共生微生物候補を常備しておくことによって、農業生態系管理に、組み合わせによってリスクを分散・低減する「ポートフォリオ効果」がもたらされると期待されます。農業経営におけるリスク分散をはかるためには、多品種もしくは多種の作物の混植体系が本質的ではありますが、微生物叢の多様性を導入することで、より大きなポートフォリオ効果につながると考えられます。

コア共生微生物を用いた技術は、食糧生産だけでなく、生態系の再生においても応用が見込まれます。皆伐地における森林再生や絶滅危惧植物の再導入においては、苗に定着している共生微生物によって、植物の生存が大きく左右されると予想されます。微生物叢動態の観点から農業生態系だけでなく自然生態系を眺めることで、絡み合う環境問題を包括的に解決する糸口が見つかるかと期待されます。

### 4. 研究プロジェクトについて

本研究は、下記機関の資金的援助で実施されました。

- 内閣府 最先端・次世代研究開発支援プログラム (GS014)
- 日本学術振興会 (JSPS) 科学研究費 若手 A (26711026)
- 科学技術進行機構 (JST) さきがけ (JPMJPR16Q6)

#### <関連する先行研究成果>

- \* 1 「あらゆる生物の名前を DNA に基づいて特定する「DNA バーコーディング」の理論的枠組みを確立」  
[http://www.kyoto-u.ac.jp/static/ja/news\\_data/h/h1/news6/2013\\_1/131016\\_1.htm](http://www.kyoto-u.ac.jp/static/ja/news_data/h/h1/news6/2013_1/131016_1.htm)
- \* 2 「植物と根に共生する真菌がつくりだす複雑な「ネットワーク」構造を解明」  
[http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research\\_results/2014/141001\\_3](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2014/141001_3)
- \* 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](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2015/151024_1.html)
- \* 4 「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](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2015/160309_1.html)
- \* 5 「生態系を動かす「ハブ生物種」を探る新手法 – 多様な種からなる生態系の相互作用ネットワークに挑む研究戦略 –」  
[http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research\\_results/2016/170124\\_1.html](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2016/170124_1.html)

#### <論文タイトルと著者>

タイトル: **Core microbiomes for sustainable agroecosystems**

(邦訳) **コア共生微生物叢で持続可能な農業生態系を実現する**

著者: Hirokazu Toju<sup>1,2\*</sup>, Kabir G. Peay<sup>3</sup>, Masato Yamamichi<sup>4</sup>, Kazuhiko Narisawa<sup>5</sup>, Kei Hiruma<sup>2,6</sup>, Ken Naito<sup>7</sup>, Shinji Fukuda<sup>2,8-10</sup>, Masayuki Ushio<sup>1,2</sup>, Shinji Nakaoka<sup>2,11</sup>, Yusuke Onoda<sup>12</sup>, Kentaro Yoshida<sup>2,13</sup>, Klaus Schlaeppli<sup>14,15</sup>, Yang Bai<sup>16,17</sup>, Ryo Sugiura<sup>2,18</sup>, Yasunori Ichihashi<sup>2,19</sup>, Kiwamu Minamisawa<sup>20</sup>, E. Toby Kiers<sup>21</sup>

<sup>1</sup> 京都大学 生態学研究センター; <sup>2</sup> 科学技術振興機構 (JST) さきがけ; <sup>3</sup> スタンフォード大学 生物学部 (アメリカ); <sup>4</sup> 東京大学 総合文化研究科; <sup>5</sup> 茨城大学 農学部; <sup>6</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科; <sup>7</sup> 農研機構 遺伝資源センター; <sup>8</sup> 慶應義塾大学 先端生命科学研究科; <sup>9</sup> 神奈川県立産業技術総合研究所; <sup>10</sup> 筑波大学 トランスポーター医学研究センター; <sup>11</sup> 東京大学 生産技術研究所; <sup>12</sup> 京都大学 農学研究科; <sup>13</sup> 神戸大学 農学研究科; <sup>14</sup> ベルン大学 植物科学研究所 (スイス); <sup>15</sup> アグロスコープ 農業生態学・環境研究学部 (スイス); <sup>16</sup> 中国科学院 遺伝・発生生物学研究所 (中国); <sup>17</sup> 中国科学院 & John Innes センター (中国); <sup>18</sup> 農研機構 北海道農業研究センター; <sup>19</sup> 理化学研究所環境資源科学研究センター; <sup>20</sup> 東北大学 生命科学研究科; <sup>21</sup> アムステルダム自由大学 生態科学研究学部 (オランダ)

掲載誌: Nature Plants