

2020 年 9 月 24 日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）

細菌は菌糸の「高速道路」を移動し「通行料」を払う ～細菌と糸状菌の知られざる共生関係を発見～

細菌と糸状菌はいずれも、自然界に広く存在する主要な微生物で、互いに作用して、それぞれの特徴的な機能を発揮していることが明らかとなってきました。また、菌糸ネットワークが、細菌の増殖と移動に重要であることも分かってきました。そこで本研究では、細菌と糸状菌のモデル生物である *Bacillus subtilis* (枯草菌)と *Aspergillus nidulans* を共培養し、これらの相互作用を解析しました。

その結果、寒天培地上で、細菌が自身の鞭毛を使って糸状菌の菌糸上を秒速 30 マイクロメートルという速度で素早く移動する様子が観察されました。また、糸状菌の菌糸ネットワークの生長を利用して細菌がその生存空間を拡大している様子を、タイムラプス撮影により可視化しました。細菌は、菌糸を高速道路のように利用して、より速くより遠くへ移動することができます。一方、菌糸の先端まで移動した細菌から、糸状菌にビタミン B1(チアミン)が供給され、菌糸の生長を促進していることが分かりました。すなわち、細菌は菌糸の「高速道路」を移動し、糸状菌は「通行料」としてチアミンを受け取り、互いにメリットを得ています。このことは、空間的相互作用と代謝的相互作用の組み合わせにより、細菌と糸状菌が共同体として生存空間を拡大するという、これまで知られていなかった相利共生の仕組みを示しています。

細菌と糸状菌の相互作用を理解することは、これら微生物が関わるバイオマス分解、動物植物への感染、植物共生と植物生育促進、発酵食品の生産などの制御につながると考えられます。

研究代表者

筑波大学 生命環境系/微生物サステナビリティ研究センター(MiCS)

JST ERATO 野村集団微生物制御プロジェクト ゲノム生化学グループ グループリーダー

竹下 典男 准教授

筑波大学 医学医療系/トランスボーダー医学研究センター/微生物サステナビリティ研究センター(MiCS)

JST ERATO 野村集団微生物制御プロジェクト 不均一性グループ グループリーダー

尾花 望 助教

研究の背景

細菌や糸状菌（カビ）は、自然界に広く存在する主要な微生物です。細菌は通常1個の細胞からできている単細胞生物（大きさ1マイクロメートル程度、1ミリメートルの1/1000）で、細胞の分裂を繰り返して増殖します。また糸状菌は、菌糸と呼ばれる管状の細胞の先端を伸ばしながら分岐してネットワーク構造を形成します。近年、細菌と糸状菌が相互に作用してそれぞれ特徴的な機能を発揮していることが明らかになってきています。森林の土1グラム中には細菌が1億個以上も存在し、菌糸の総距離は数百メートルにもなるという試算があり、菌糸ネットワークが、細菌の増殖と移動に重要であることも分かってきました。これら多種多様な微生物が相互に作用して機能し、炭素・窒素などの物質循環に関わり、地球や生態系の成り立ちに大きく影響しています。

研究内容と成果

本研究では、細菌と糸状菌のモデル生物である *Bacillus subtilis* (枯草菌)¹⁾ と *Aspergillus nidulans*²⁾ を共培養し、これらの相互作用を解析しました。その結果、寒天培地上で、細菌が自身の鞭毛³⁾ を使って、糸状菌の菌糸上を秒速30マイクロメートルという速度で素早く移動する様子を、蛍光顕微鏡によるライブイメージングで観察することができました。細菌だけだと、このような運動性は見られません。また、糸状菌の菌糸ネットワークの生長を利用して、細菌がその生存空間を拡大している様子を、タイムラプス撮影により可視化しました。細菌が、菌糸を高速道路のように利用し、より速くより遠くへ移動することは、細菌にとってメリットです。さらに、遺伝子発現、遺伝子破壊、イメージング、質量分析などの解析から、細菌が菌糸の先端まで移動し、ビタミンB1(チアミン)⁴⁾ を糸状菌に供給することで、菌糸の生長が促進されていることが明らかとなり、糸状菌もメリットを得ていることが分かりました。これらのことから、空間的相互作用と代謝的相互作用の組み合わせにより、細菌と糸状菌が共同体として生存空間を拡大するという、これまで知られていなかった相利共生⁵⁾ の仕組みが明らかになりました（図1）。このモデルは、細菌が菌糸の「高速道路」を移動し、その「通行料」としてチアミンを糸状菌に払う様子を例えることができます。本研究グループは、実際の環境中から、このような相利共生を示す細菌（パントエア属）と糸状菌（トリコデルマ属）の組み合わせを単離することにも成功しており、空間的・代謝的相互作用による相利共生が、現実の生態系内で機能していることが示されました。

今後の展開

今回は1種ずつの細菌と糸状菌を研究対象としましたが、様々な組み合わせで検証したところ、その親和性に種の特異性があることが分かってきました。今後、相互作用の特異性に関わる分子機構の解明を目指します。糸状菌が基質や動植物の宿主に入り込み、その菌糸生長と菌糸ネットワークが細菌群の局在分布、機能分化に関わっていることが予想されます。このような細菌と糸状菌の相互作用を理解することは、これらの微生物が関わるバイオマス分解、動物植物への感染、植物共生と植物生育促進、発酵食品の生産などの制御につながります。それぞれの場面に合った細菌と糸状菌の相互作用、異なる微生物達の生き様を理解することは、環境、健康、農業、食といった幅広い分野に重要です。

参考図

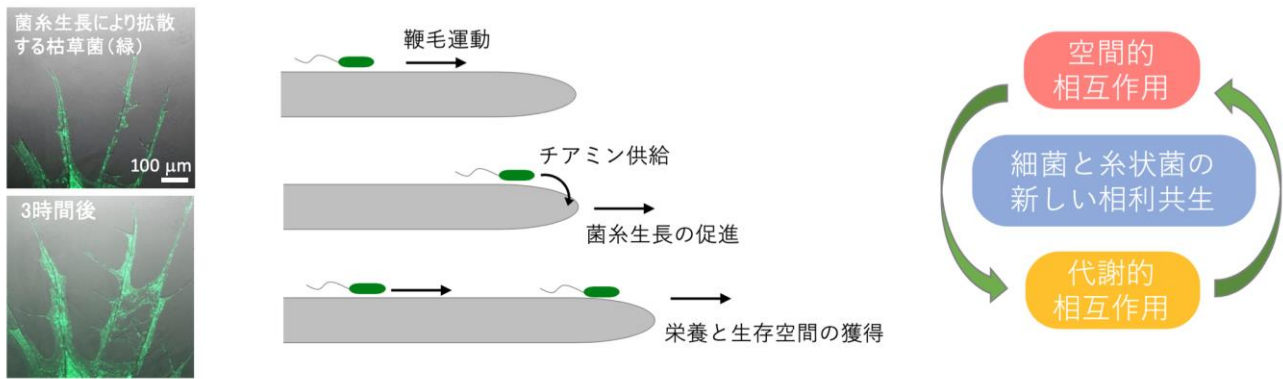


図1 空間的・代謝的相互作用による細菌と糸状菌の相利共生の仕組み

用語解説

1) *Bacillus subtilis* (枯草菌)

土壌中や空气中、植物体に普遍的に存在する細菌です。納豆の製造に用いられる納豆菌は、枯草菌の一種です。

2) *Aspergillus nidulans* (アスペルギルス ニドゥランス)

古くから遺伝学の研究対象とされ、分子生物学的手法が整備された糸状菌のモデル生物です。この糸状菌は、産業上重要なコウジカビなどの近縁種です。

3) (細菌) 鞭毛

細菌の表面に見られる繊維で、遊泳に必要な推進力を生み出します。細菌鞭毛は、フラジェリンというタンパク質が重合して伸びた繊維でできています。

4) ビタミン B1 (チアミン)

水溶性ビタミンに分類される生理活性物質、栄養素の一つです。ヒトでは、糖質および分岐脂肪酸の代謝に用いられ、不足すると脚気や神経炎などの症状を生じます。微生物を含むほぼ全ての生物にとって必要な微量栄養素で、保存されたエネルギー代謝の中核の反応の補酵素として機能します。

5) 相利共生

異なる生物種が同所的に生存することで、互いに利益を得ることができる共生関係のことです。

研究資金

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST） 戦略的創造研究推進事業 総括実施型研究（ERATO）「野村集団微生物制御プロジェクト」の一環で行われました。

掲載論文

【題 名】 Fungal mycelia and bacterial thiamine establish a mutualistic growth mechanism
(糸状菌の菌糸と細菌のチアミンがもたらす相利共生的生長機構)

【著者名】 Gayan Abeysinghe[#], Momoka Kuchira[#], Gamon Kudo, Shunsuke Masuo, Akihiro Ninomiya, Kohei Takahashi, Andrew S. Utada, Daisuke Hagiwara, Nobuhiko Nomura, Naoki Takaya, Nozomu Obana^{†*}, Norio Takeshita^{*}

Microbiology Research Center for Sustainability (MiCS), Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

#Equal contribution, †Current position, MiCS and Transborder Medical Research Center,
Faculty of Medicine, University of Tsukuba, * Corresponding author

【掲載誌】 Life Science Alliance

【掲載日】 2020 年 9 月 23 日

【DOI】 10.26508/lsa.202000878

問い合わせ先

【研究に関すること】

竹下 典男 (たけした のりお)

筑波大学 生命環境系/微生物サステイナビリティ研究センター(MiCS) 准教授

JST ERATO 野村集団微生物制御プロジェクト ゲノム生化学グループ グループリーダー

〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

Tel : 029-853-6782

E-mail : takeshita.norio.gf[at]u.tsukuba.ac.jp

Web : <https://fungalcell.com>

尾花 望 (おばな のぞむ)

筑波大学 医学医療系/トランスボーダー医学研究センター/微生物サステイナビリティ研究センター
(MiCS) 助教

JST ERATO 野村集団微生物制御プロジェクト 不均一性グループ グループリーダー

〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1

Tel : 029-853-3213/5079

E-mail : obana.nozomu.gb[at]u.tsukuba.ac.jp

【取材・報道に関すること】

筑波大学 広報室

Tel : 029-853-2040

E-mail : kohositu[at]un.tsukuba.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

〒102-8666 東京都千代田区四番町 5 番地 3

Tel : 03-5214-8404 Fax : 03-5214-8432

E-mail : jstkoho[at]jst.go.jp

【JSTの事業に関すること】

内田 信裕 (うちだ のぶひろ)

科学技術振興機構 研究プロジェクト推進部

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

Tel : 03-3512-3528

E-mail : eratowww[at]jst.go.jp