

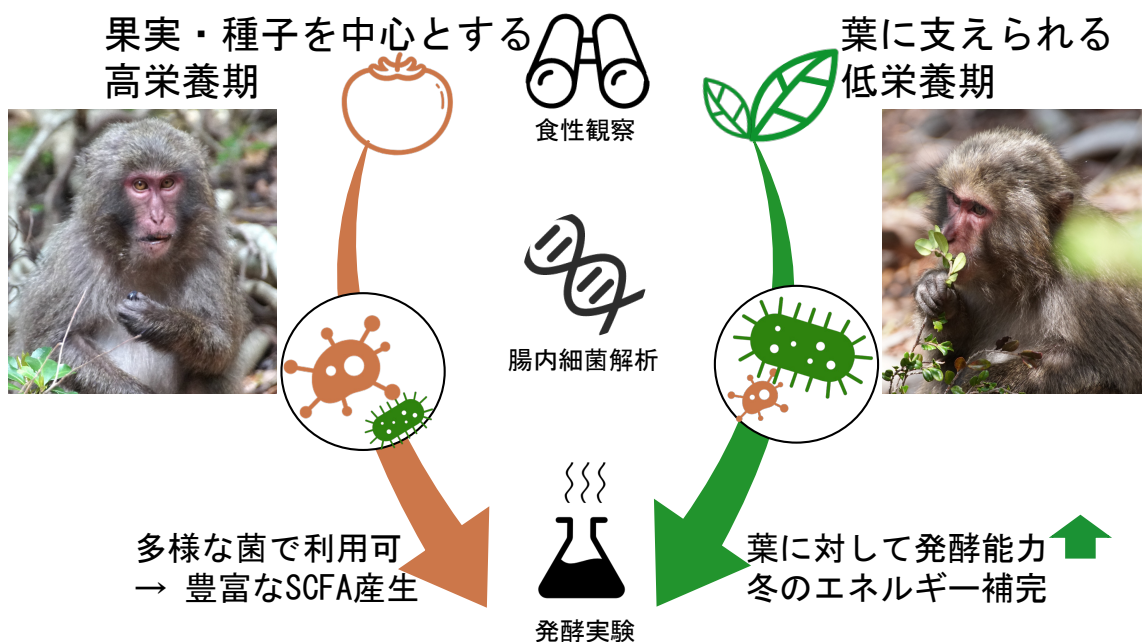
ニホンザルの季節適応力を解明

—腸内細菌が果たす食物の季節変化への適応能力—

概要

京都大学生態学研究センターの准教授半谷吾郎、特定助教 Lee Wanyi らは、屋久島に生息する野生ニホンザルを対象に、食性の季節変化に対応する腸内細菌叢の適応メカニズムを解明しました。

野生動物にとって、季節による食物の変化は大きな課題です。ニホンザルは果実や種子を優先的に摂取しますが、これらが不足する季節には、代替的に葉や樹皮といった低栄養の資源を利用します。しかし、葉や樹皮は繊維質が多く、サル自身の酵素だけでは十分に消化できません。そのため腸内細菌が発酵によって繊維を分解し、短鎖脂肪酸と呼ばれるエネルギー源を生み出すことが、生存の鍵となります。これまで腸内細菌の組成が季節で変化することは知られていましたが、実際にどのように消化機能へとつながっているかは十分に解明されていませんでした。腸内細菌は季節の変化に応じて機能を調整し、特に冬に多く利用される葉の発酵能力が向上することが明らかになりました。これは、低栄養の季節を生き抜くうえで腸内細菌が重要な役割を果たしていることを示しています。本研究成果は、2025年9月1日に国際学術誌「*Ecology and Evolution*」にオンライン掲載されました。



腸内細菌が支えるニホンザルの食性適応：

屋久島での行動観察と糞試料の解析、さらに試験管内発酵実験により、腸内細菌叢が果実・種子には多様な菌で常に多くの短鎖脂肪酸を産生し、冬の低栄養期には葉の発酵能力を高めてエネルギーを補っていることが明らかになりました。

1. 背景

野生動物にとって、季節の移り変わりによる食物の変化は大きな課題です。特に日本のように季節変動が大きい環境では、利用できる食物の種類や栄養価が大きく変わります。ニホンザルは果実や種子があるときにはそれらを選びますが、利用できなくなると葉や樹皮といった栄養価の低い食物でしのぎます。このような変化にどのように適応してきたのかは、長年の問いのひとつでした。近年、腸内細菌が動物の消化や健康に重要な役割を果たすことが明らかになり、栄養生態学や進化生物学の分野で注目されています。霊長類を含む多くの動物で腸内細菌の組成が環境や食性によって変化することは知られていますが、その「変化」が実際にどのように消化機能やエネルギー獲得に結びついているのかについては十分に分かっていませんでした。とりわけ、腸内細菌が動物の食性適応をどの程度支えているのか、その具体的な仕組みについては、国際的にも多くの研究が続けられています。このプロジェクトは、屋久島に生息する野生ニホンザルを対象に、食性の季節変化に対して腸内細菌叢がどのように応答し、発酵機能を通じてどのように宿主を支えているのかを解明することを目的として立ち上げられました。

2. 研究手法・成果

本研究では、屋久島に生息する野生ニホンザルを対象に、1年間にわたり継続的な糞試料の採取と行動観察を実施しました。行動観察では、個体がどのような食物を選び、どの時期にどの程度摂取しているかを記録し、腸内細菌の変化と実際の食性データを結びつけました。さらに、分子生物学的手法として16S rRNA遺伝子解析により腸内細菌叢の組成を把握しました。

しかし、細菌叢の組成解析だけでは、腸内細菌が実際にどのような機能を果たしているのかを直接知ることはできません。そこで本研究では、腸内細菌の働きを機能的に評価するため、試験管内発酵実験を行いました。具体的には、まだ生きた腸内細菌を含む、新鮮な糞試料を野生ニホンザルから採取し、サルが実際に摂取する葉やサル用エサを基質として加えました。そして、発酵過程で産生されるガスや短鎖脂肪酸を測定することで、腸内細菌の発酵能力を直接評価しました。この手法は、腸内細菌の構造的な変化とあわせて機能的な側面を明らかにできる点で重要です。

その結果、腸内細菌叢の組成や発酵機能は季節の食物に応じて柔軟に変化することが明らかになりました。サルの腸内細菌は冬の厳しい時期には葉を効率よく発酵できる細菌を持つ一方で、果実や種子のような食べやすい食物は季節を問わず発酵能力を高く維持するという、二つの戦略を持つことが分かりました。これは、腸内細菌がサルの生き抜く力を支えていることを示す発見であり、動物と腸内細菌の協力関係を理解する大きな一歩です。

3. 波及効果、今後の予定

本研究は、野生ニホンザルの腸内細菌叢が季節的な食性変化に応じて柔軟に働きを変え、とりわけ冬季の低栄養環境で重要な役割を果たしていることを示しました。特に四季の変化が顕著な地域では、食物の種類や栄養価が大きく変動し、それに伴って動物の生存戦略も多様化してきました。こうした状況下で腸内細菌が発酵を通じて栄養を補完することは、動物が厳しい環境を生き延びるための「隠れた武器」といえます。霊長類をはじめとする野生動物は、気候や食物供給の変動に直面しながら生活しており、腸内細菌の存在はその環境適応戦略の重要な一部を担っていると考えられます。さらに本研究は、保全生態学や野生動物管理にも意義を持ちます。気候変動や森林破壊などにより食物環境が変化するなかで、腸内細菌の柔軟性がどの程度まで宿主を支えることができるのかを理解することは、将来の野生動物の保全や飼育下での健康管理に資するものです。

一方で、本研究は、行動観察による食性データ、細菌叢の遺伝子解析、さらに試験管内発酵実験を組み合わせることで、腸内細菌の「組成」と「機能」の両面を統合的に明らかにした点に大きな特色があります。この多角的アプローチは、他の霊長類や野生動物研究にも応用可能であり、腸内細菌を通じて動物の環境適応を理解する新たな枠組みを提供するものです。今後はメタゲノム解析や代謝産物解析など分子レベルでの機能解析を進めるとともに、他の霊長類や地域集団との比較を通じて、腸内細菌と宿主の適応の普遍性や多様性を検証する必要があります。また、野生動物を対象とした研究では、動物福祉や生態系への影響に十分に配慮した研究体制を継続することが求められます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、文部科学省科学研究費補助金（課題番号：17H01911、15KK0256、19KK0186）、日本学術振興会特別研究員奨励費（21J15166）、大幸財団（9221）、および京都大学野生動物研究センター共同利用・共同研究拠点事業の助成を受けて実施されました。

<研究者のコメント>

屋久島で一年を通してサルを追いつけるのは大きな挑戦であり、実験では夜中に起きて発酵を測定する必要があり、体力的にも精神的にも厳しい日々でした。それでも、試験管内発酵実験を通じて、目に見えない微生物の働きを“かたち”として捉えられた瞬間は、苦労を忘れるほどの感動でした。野生動物と腸内細菌の協力関係を解き明かすことで、将来の保全にもつなげたいと思います。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Seasonal Adaptation of the Gut Microbiome in Japanese Macaques: Linking Gut Microbiome Shifts with Fermentative Function（ニホンザルにおける腸内マイクロバイオームの季節的適応：マイクロバイオーム変化と発酵機能の結びつき）

著者：Wanyi Lee, Tianmeng He, Yosuke Kurihara, Izumi Shiroishi, Kazunari Ushida, Sayaka Tsuchida, Goro Hanya

掲載誌：*Ecology and Evolution*

DOI：<https://doi.org/10.1002/ece3.72076>