

キノコ類の多様性の起源を解明

—植物との共生関係が生み出す多様化の歴史—

佐藤博俊生態学研究センター元研究員（現、龍谷大学）と東樹宏和人間・環境学研究科助教らは、「菌根性キノコ菌類」と植物の間で成立する共生関係の歴史を数千万年のスケールで解析し、陸上生態系を支える菌根性キノコ類の種多様性が増加してきた要因を明らかにしました。宿主である植物を乗り換える「宿主転換」という現象が菌根性キノコ類の種分化を加速させてきたという今回の発見は、現在みられる地球上の森林が成立してきた歴史を再現する鍵となります。

本研究成果は、英科学誌「New Phytologist」に掲載されました。

概要

マツタケ・ホンシメジなど、植物とお互いを支えあって生活する菌根性キノコ類は、他の多くの生物種と違って、熱帯地域より温帯地域で高い多様性を示す傾向にあります。なぜ、菌根性キノコ類がこのような例外的な多様性のパターンを示すのかはこれまでの研究でははっきり分かっていませんでした。

私たちは、遺伝情報から菌根性キノコ類が多様化した起源を探ることによって、その多様性の成り立ちを調べました。研究の結果から、菌根性キノコ類の一種であるオニイグチ類は、北半球の温帯に広く分布するブナ科樹木への「宿主転換（※）」がきっかけとなって、生育地を広げることに成功し、その後、急速に多様化したことが分かってきました。そして、こういった多様化の歴史が、温帯地域に多様性のピークをもつという菌根性キノコ類の特殊な多様性のパターンを生み出した可能性が示されました。

この研究で得られた成果は、地球上でもっとも多様な生物群の一つである菌類の多様性の起源を解明する重要な手がかりになると期待されます。また、菌類の多様性を保全していく上でも、重要な基礎的な知見を示したと言えます。

※ 宿主転換： 植物や動物などに寄生・相利共生する生物が、別の系統の動植物へと宿主を乗り換えること。

研究者からのコメント

キノコ類は、日本人にとってもっとも身近な食材の一つであると同時に、陸上生態系を支える重要な一員でもあります。本研究では、マツタケやホンシメジといった菌根性キノコ類は、温帯地域に広く分布するブナ科の樹種と共生をはじめたことがきっかけとなって、急速に種多様化したことを示しました。今回の研究成果は、『なぜ、森にはこんなに多様なキノコ類がいるのか？』という素朴な疑問を解明する重要な手がかりになると考えています。

1. 背景

森の中で見られるキノコ類は、森の生態系の一因として、様々な機能を担っています。キノコ類の中でも、マツタケ、ホンシメジやトリュフなどは『菌根性キノコ類』と呼ばれ、森の樹木と共生してお互いに不足する栄養分を補い合って生活しています。自然界で生き残っていくためにはお互いの存在が必須なので、菌根性キノコ類とその宿主となる樹木は切っても切り離せない関係にあります。

自然界には、多様な菌根性キノコ類が生育していて、世界で2万～2万5千種ほどが生育しているとされています。特筆すべきことに、菌根性キノコ類は温帯地域で特に多様性が高くなるのが先行研究から分かっています。一般的に、生物種の多様性は赤道に近い地域ほど高くなる傾向にあるので、菌根性キノコ類は例外的な多様性のパターンをもっていることとなります。菌根性キノコ類の多様性の成り立ちを理解するためには、菌根性キノコ類がその進化の過程でどのように多様化してきたかという多様化の起源を調べるのが重要です。しかし、これまでの研究では、具体的にどのようなきっかけで菌根性キノコ類の多様化が進んだのかは解明できていませんでした。

一般的に、生物の多様化の進む重要なきっかけの1つとして挙げられるのが、生育地域の急速な拡大です。広大な地域に生育する生物種がいた場合、長い年月の間に、その生育地は徐々に分断化されていきます。そして、分断化されたパッチ間で遺伝子の交換が行われなくなると、それぞれが独立の種として枝分かれ（異所的種分化）していくこととなります。このように、最初は少数だった種が樹木の枝のように枝分かれしていくことで、生物の多様化は進むと考えられています。

この研究では、『菌根性キノコ類において急速な分布拡大をもたらした要因は何なのか？』という観点から、菌根性キノコ類の多様性の起源を探る研究を行いました。

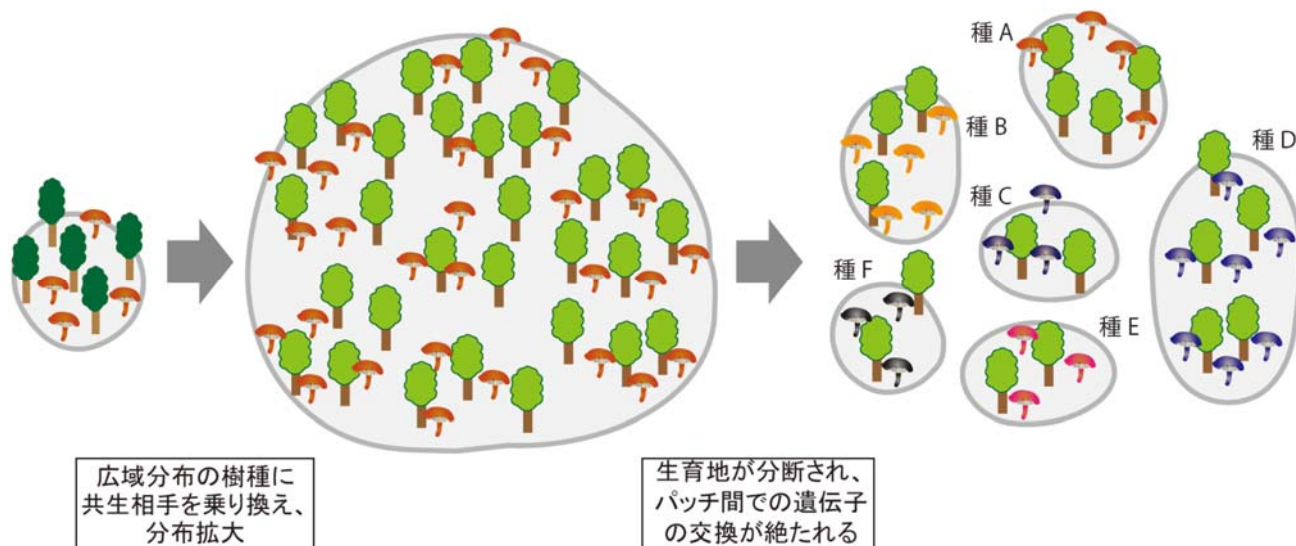


図1 菌根性キノコ類で急速な多様化の起こるメカニズム

2. 研究手法・成果

私たちは、菌根性キノコ類が急速に生育地域を拡大できたきっかけとして、『共生相手となる樹種の転換』に着目しました。菌根性キノコ類は、種ごとに、共生できる樹木の種類が大よそ決まっているため、相性のよい樹木のいる場所でなければ生育できません。一方、菌根性キノコ類は、その進化の過程で、ごくまれに共生相手の樹種を換える（宿主転換する）ことがあります。このような背景から、菌根性キノコ類

ノコ類は、狭い地域に分布する樹木から広い地域に分布する樹木へ宿主転換することで急速な分布拡大を果たし、その後多様化したのではないかと考えました（図 1 参照）。また、この広域の分布域をもつ共生樹種こそが温帯地域に生育する樹木だったのではないかと考えました。この研究では、このような仮説について検証する研究を行いました。研究材料としては、菌根性キノコ類の一種であるオニイグチ類を用いました。

この研究では、まず、オニイグチ類の遺伝情報に基づいて、どのように種が分かれてきたか歴史を示す分子系統樹を構築しました。分子系統樹は、オニイグチ類がどのように多様化し、宿主転換してきたかを推定する上で基盤となる情報となるので、高い精度で樹形を推定することが求められます。信頼性の高いオニイグチ類の分子系統樹を得るために、近年になって登場した大量塩基配列解読装置（次世代シーケンサー）を利用して大量の遺伝情報を解読し、系統推定を行いました。

次に、分子系統樹の樹形と、現存する種の共生樹種の情報から、オニイグチ類において祖先種がどのような樹木と共生していたかを推定しました。さらに、分子系統樹のどの部分に枝分かれが集中しているかによって、オニイグチ類の多様性が時間的にどのように変化してきたかについても推定を行いました。これらの結果から、オニイグチ類において、宿主転換と多様化という 2 つの進化上のイベントの間に密接なつながりがあるのかどうかを調べました。

その結果、オニイグチ類の共生相手の樹木は 4 種類に分けられ、オニイグチ類はその進化の過程で何度も宿主転換してきたことが分かりました（図 2）。また、オニイグチ類では、過去に複数回、急速な多様化が起こっていて、共生相手となる樹木の種類が変わると多様化する速度が大きく変化することが示されました（図 3）。とりわけ、北半球の温帯地域に広く分布するマツ科・ブナ科の樹木を共生相手にした後にオニイグチ類は顕著に多様化していたことが示されました（図 3）。このような結果から、オニイグチ類は、宿主転換によって、分布可能な地域を拡大し、多様化してきた可能性が高いことが示されました。

北半球の温帯性樹種に宿主転換し、多様化したというパターンは、様々な菌根性キノコ類で起こった可能性があります。このような多様化が起こったことで、菌根性キノコ類は北半球の温帯地域で多様性のピークをもつようになったのではないかと私たちは考えています。

菌の共生樹種

- ブナ科・マツ科
- ナンキョクブナ科・ユーカリ属
- フタバガキ亜科
- ジャケツイバラ亜科・モノトース亜科

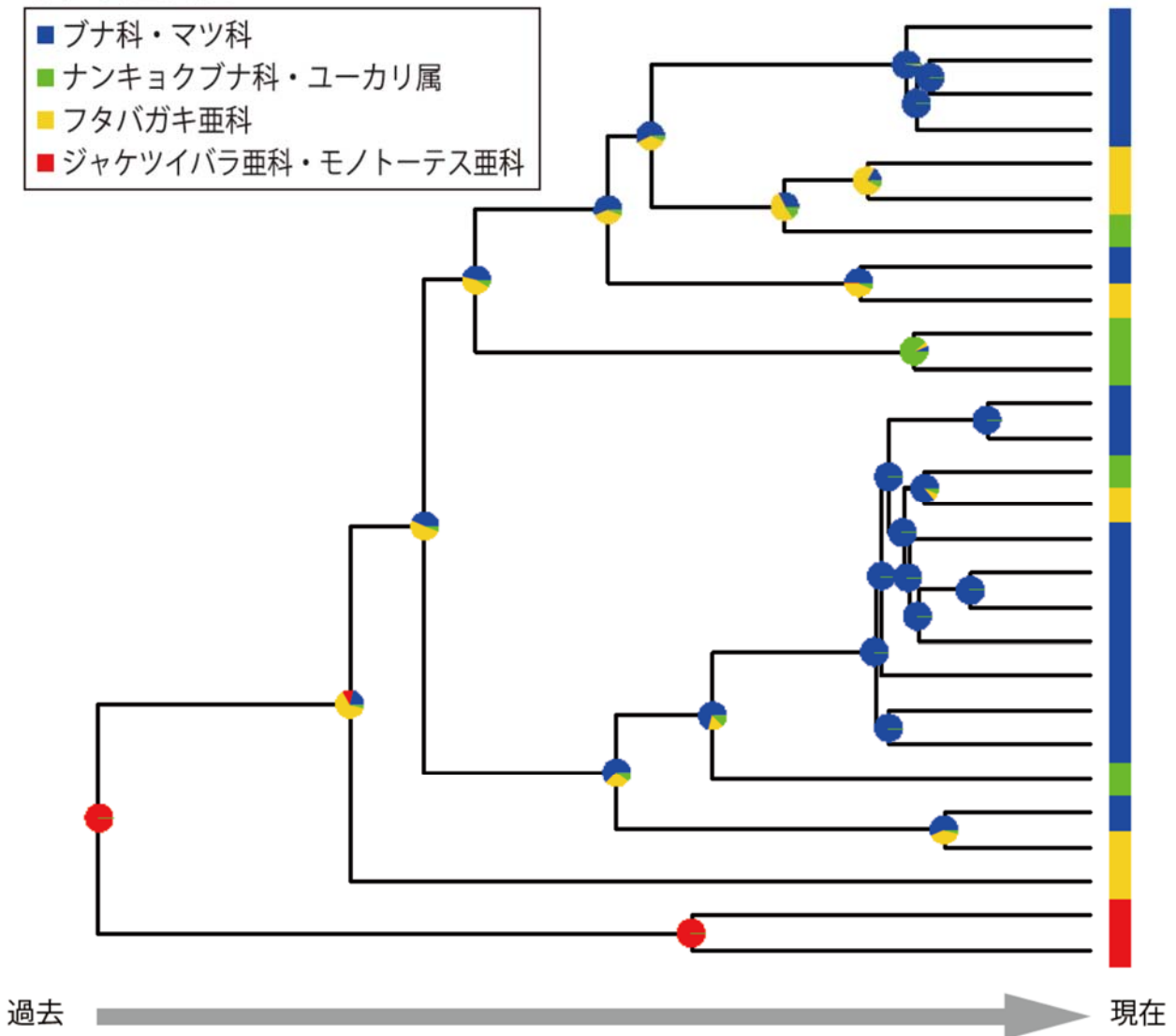


図 2 オニイグチ類の分子系統樹とその進化過程で起こった宿主転換 分子系統樹の末端の色分けは現存種の共生樹種を示している。分子系統樹の円グラフは祖先種がどの樹種と共生していたかの可能性を示している。分子系統樹の横方向の長さは時間の経過を示している。

3. 波及効果、今後の予定

この研究は、菌根性キノコ類の一種であるオニイグチ類の多様化の起源を明らかにしました。菌類は地球上で昆虫に次いで多様なグループと考えられていますが、この研究の成果は、菌類の多様性の起源を解明する手がかりになると期待されます。また、この研究では、菌根性キノコ類が種多様性を生み出し、維持していくためには、共生相手である植物の種類が重要であることを示しました。したがって、この研究は、菌類の多様性を保全していく上でも、重要な基礎的な知見を示したと考えています。

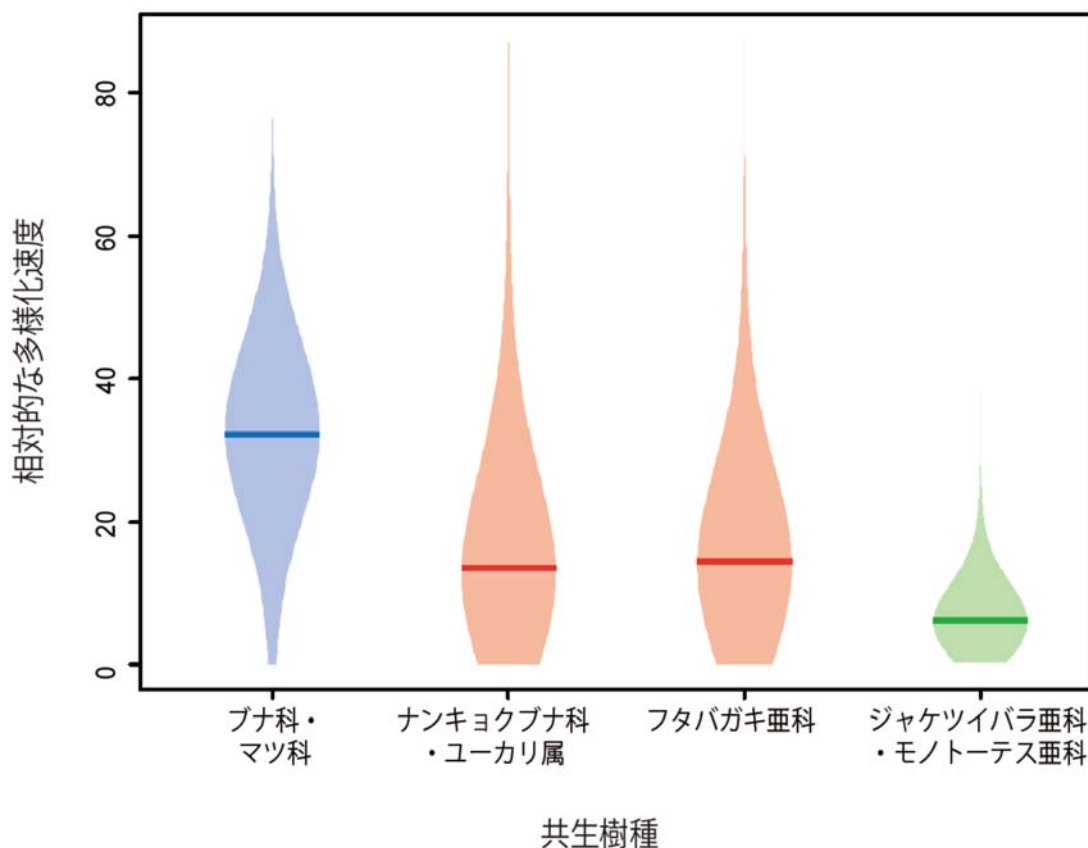


図 3 共生する樹種ごとに推定したオニイグチ類の多様化速度 多様化速度に違いが見られるものを異なる色で示している。横線は推定値の中央値を示し、淡色の部分は推定値の分布を示している。

4. 研究プロジェクトについて

この研究は、日本学術振興会の科学研究費（若手 B, 26840128）および内閣府の「最先端・次世代研究開発支援プログラム」（GS014）の研究資金を基に実施されました。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Host shifts enhance diversification of ectomycorrhizal fungi: diversification rate analysis of the ectomycorrhizal fungal genera *Strobilomyces* and *Afroboletus* with an 80-gene phylogeny

著者：Hirotooshi Sato, Akifumi S. Tanabe, Hirokazu Toju

掲載誌：New Phytologist