

日本植物分類学会第 21 回大会 公開シンポジウム（オンライン開催）
後援：一般社団法人日本菌学会 開催協力：日本地下生菌研究会

地中のきのこ × 菌根

講演要旨集

開催日時

2022 年 3 月 6 日（日）

14:00 ~ 16:45

Zoom ウェビナーによるオンライン開催

【開催趣旨】

トリュフ類など、地中にきのこをつくる菌類は「地下生菌」と呼ばれ、きのこ類の中でもマイナーな存在です。しかし、近年著しく研究が進展し、国内でも予想以上に多様な地下生菌が存在することが判明しつつあります。これらの菌の多くは植物と菌根を形成し、共生関係にあることが知られています。それゆえ、植物との密接な関係を明らかにすることが、地下生菌の多様性や生態を深く理解する鍵であると言えます。本シンポジウムでは、国内外で活躍されている菌類研究者をお招きし、「地下生菌」と「菌根」をキーワードに、菌類と植物との深い関係性に迫ってゆきたいと考えています。

【プログラム】

14:00 ~ 14:05 開会挨拶・趣旨説明

14:05 ~ 14:20 折原貴道（神奈川県立生命の星・地球博物館）
「地下生菌の系統と多様性、国内での研究動向」

14:20 ~ 15:00 山本航平（栃木県立博物館）
「アツギケカビ目菌類の多彩な共生関係～苔類基部系統から樹木まで～」

15:10 ~ 15:50 大和政秀（千葉大学教育学部）
「森林生態系におけるアーバスキュラー菌根共生」

15:50 ~ 16:30 木下晃彦（森林総合研究所）
「日本のトリュフの多様性と栽培に向けた研究」

16:30 ~ 16:45 総合討論・質疑応答

16:45 閉会

地下生菌の系統と多様性, 国内での研究動向

折原 貴道

神奈川県立生命の星・地球博物館

菌類の子実体（胞子を形成・散布する構造体）は、きのこ（肉眼で容易に視認できる大型の子実体）に代表されるように、風による胞子の散布に適応したものが多い。そのため、地上や材上に子実体をつくる菌類がほとんどである。しかし、中には地中（主に A₀ 層や A 層）に大型の子実体を形成し、自力での胞子散布に適応していない菌類も少なからず存在する。これらは地下生菌とよばれ、きのこを形成する担子菌門、子囊菌門の非常に多くの系統において収斂的に進化・多様化している。さらには、きのこ類とは異なる高次分類群に属する、グロムス亜門（Glomeromycota）やケカビ亜門アツギケカビ目（Mucoromycotina, Endogonales）の胞子果（胞子の集合体）を形成する菌類も地下生菌に含める場合が多い。また、実際には地上生であっても、類似の形態的特徴や生態的特性をもつ菌類も地下生菌に含める場合もあり、その定義は必ずしも一義的ではない。

風による胞子散布に向かない反面、地下生菌の子実体の多くは、各分類群に特有のにおいを有し、これにより動物を誘引し摂食されることで、内部の胞子を広域散布すると考えられている。トリュフ類の香りがその代表例である。また、興味深いことに、地下生菌の大半は様々な植物と菌根を形成し共生関係にあり、腐生性の地下生菌はごく少数である。地下生菌の繁殖戦略と菌根による植物との共生の親和性が高いことが推測されるが、その関連性については十分に明らかにされていない。

国内の地下生菌に関する研究は、かつてはごく散発的であったが、2010 年代以降、急速に系統分類学的研究が進み、世界的にも日本は地下生菌の種多様性が著しく高い地域の一つであることが判明しつつある。2016 年には「日本地下生菌研究会（JATS）」が発足し、会員数は現在 100 名を超え、世界初の地下生菌を対象とする学術誌『Truffology』の刊行も継続されている。本講演では、このような国内の地下生菌研究の現状についても概説する。

アツギケカビ目菌類の多彩な共生関係～苔類基部系統から樹木まで～

山本 航平

栃木県立博物館

陸上植物の多くはその根系に菌根を形成している。菌学書籍上ではしばしば、菌根菌は一部の例外を除いて、外生菌根菌などを含む子囊菌門と担子菌門、そしてアーバスキュラー菌根菌 (AMF) が属するグロムス (皿) 門に分類される、と説明される。この例外とは、20 世紀半ばに初めて菌根形成が示されたアツギケカビ目 (Endogonales) である。

古典的な分類におけるアツギケカビ目は、接合菌類の特徴 (一次隔壁を欠く菌糸) をもち、多数の孢子 (接合孢子または厚壁孢子様の孢子や孢子嚢孢子) を内包するトリュフ型の孢子果形成で特徴づけられていた。実は現在ではグロムス (皿) 門に属する菌類にも一部、孢子果を形成する種があり、1970 年代まではグロムス属 (*Glomus*) などもアツギケカビ目に属していた。その後、アツギケカビ目は孢子果内に接合孢子を形成する特徴で再定義され、アツギケカビ属 (*Endogone*) や *Jimgerdemannia* を含む 4 属約 20 種のみが認められた。今世紀に入り、分子系統解析が進み、現在では *Sphaerocreas* や *Vinositunica* など厚壁孢子性の系統も本目に含まれている。

一方で、1965 年、*E. lactiflua* (現在は *Jimgerdemannia* に所属) とマツ科樹木が形成した外生菌根の発見が契機となり、アツギケカビ目が菌根菌として注目され始めた。しかし分子的手法の発達前であり、本目の菌根の同定は困難と考えられ、信頼性に問題があった。そこで演者は、野外採集した多数の外生菌根から、アツギケカビ目の菌糸構造をもつ菌根を選別し、分子的手法でアツギケカビ目による外生菌根形成を証明した。

また、分子系統学的手法が発達するにつれて、かつて所属不明のまま据え置かれた複数の菌根菌が、実はアツギケカビ目に属することが次第にわかってきた。苔類のコマチゴケ綱には、その配偶体に内生する特殊な菌糸構造 (無隔壁の菌糸が樹枝状体でなく風船状の菌糸膨張を形成) があることが 20 世紀初頭から知られていた。2011 年、この菌類の正体をアツギケカビ目と同定した研究結果は、菌根研究者に大きな驚きをもって迎えられた。当時、苔類を陸上植物の基部系統に位置づける意見が優勢で、その中でも基部にあるコマチゴケ綱の共生菌を解明すれば、植物の陸上進出に関与した最古の菌根様共生系に迫れると考えられたからである。

また 1963 年に、AMF に似るが、菌根を構成する菌糸が細い点で識別される fine (root) endophyte (*Glomus tenue* ; 初め *Rhizophagus* として記載) が記載された。近年、本菌が実は、アツギケカビ目の多様な系統から構成されることがわかりつつある。

このようにアツギケカビ目が多様な植物と異なるタイプの菌根を形成することがわかってきたが、多様化に至ったプロセスは謎に包まれている。今後、より精度の高い系統解析を行い、各菌根タイプの共生メカニズムの詳細を解明する必要がある。

森林生態系におけるアーバスキュラー菌根共生

大和 政秀

千葉大学教育学部

様々な植物によって構成される森林生態系では、外生菌根、アーバスキュラー菌根(AM)、エリコイド菌根など、菌根共生も多様である。AMは多くの陸上植物にみられる普遍的な共生系であるが、本講演では演者がこれまで実施してきたいくつかの研究を「森林生態系におけるAM共生」という観点でまとめ、その特性を紹介したい。

森林生態系におけるAM菌群集（世界に共通するAM菌群）

日本国内の温帯林（栃木県、千葉県、神奈川県、三重県、岡山県、鹿児島県の二次林およびヒノキ植林）から採取した樹木根の抽出DNAを対象として、SSU rDNAの部分塩基配列に基づいてAM菌群集を調査したところ、97%の塩基配列相同性で区分した上位3OTU（操作的分類群）が全体の48%を占める結果が得られた。また、これらのAM菌が世界の森林植生にも分布することが確認されたことから、この共生系の特性の解明とともに、植林・森林再生などに広く利用することが可能かもしれない。

菌従属栄養性とAM菌（植物間のエネルギー分配をもたらすAM菌）

AMの形態はArum型とParis型の2つに大きく区分される。植物根の皮層細胞に菌糸コイルを形成するParis型は林床植物に多くみられ、ホンゴウソウ科、サクライソウ科などの菌従属栄養植物もParis型AMを形成する。近年、Paris型AMを形成する光合成植物にも菌従属栄養を併せ持つ部分的菌従属栄養性の存在が報告されており、演者は光合成植物のフデリンドウにおいてAM菌との菌従属栄養によって実生が成長することを明らかにした。これは光合成植物間におけるAM菌菌糸を介したエネルギーの分配を意味しており、生物多様性をもたらす因子の一つとして興味深い。

AM菌の孢子果（有性生殖はありやなしや）

AM菌にはこれまで有性生殖体が見つかっていないが、近年行われた一塩基多型(SNPs)の解析によって*Rhizophagus irregularis*には単一種の核によって構成されるホモカリオンと二種の核によって構成されるダイカリオンの系統が存在すること、ダイカリオンの系統では交配型の遺伝子がヘテロであることがそれぞれ明らかにされ、AM菌においても有性生殖が行われている可能性が示唆されている。AM菌には孢子果（多数の孢子を含む塊状の構造）を形成する種が知られており、樹木に共生するAM菌に比較的好くみられる。一般に、菌類の有性の子実体は多量の孢子形成能を併せもつことから、AM菌の孢子果が有性生殖体なのではないかとの仮説を立て、2種のAM菌について、孢子果由来の単孢子を対象としてレファレンスゲノムに対するSNPsの解析を行った。しかし、いずれの孢子果もクローン増殖した孢子によって構成されていることが明らかとなり、今回研究対象とした孢子果は有性生殖体ではないと結論された。

日本のトリュフの多様性と栽培に向けた研究

木下晃彦

森林総合研究所九州支所

高級食材として知られるトリュフは、子囊菌門のセイヨウショウロ属 (*Tuber*) の種が地中に形成するきのこである。白トリュフの *T. magnatum* や黒トリュフの *T. melanosporum* をはじめ、いくつかの欧州産種が有名だが、世界には 180 種類以上の存在が推定されている。地球上で発生するセイヨウショウロ属種を対象にした分子系統解析によると、その起源は北半球で、大陸の移動とともに各地に拡散して多様化したと考えられており、地域的な固有性が高いことが明らかにされた。本属で固有種が生じる要因として、孢子散布を動物による摂食や雨水などで受動的に拡がるため、地理的バリアにより移動を制限されることが挙げられる。また、本属種はマツ科、ブナ科、カバノキ科など森林の主要樹種の細根に外生菌根と呼ばれる構造を形成し、宿主樹木から光合成産物を得て生活する。このため、外生菌根から伸びた菌糸が近傍の宿主の根をつたって拡散するという特性や、宿主樹種の選り好みも要因として挙げられる。

「トリュフ＝欧州のきのこ」という印象が強いが、先述したように、世界には未記載種が数多く潜在すると推定されていた。実際に、直近 10 年でも中国、台湾、タイ、メキシコなど、アジアを中心に 60 種以上の新種が報告され、欧州以外の地域で自国産のトリュフの栽培化の挑戦が始まっている。日本も同様である。著者らは形態的にセイヨウショウロ属と分類された地下生菌標本を全国から収集して分子系統解析を行ったところ、日本国内には 20 の独立した系統のセイヨウショウロ属菌が存在することを明らかにした。そしてこの中に新規系統グループや、欧州産の食用種と近縁な種を発見した。このように、日本列島は多様なセイヨウショウロ属菌が発生する環境があり、食用として有望な種も存在することから、栽培化の研究が開始された。本発表では、トリュフの歴史を紐解きながら、国内での分類や多様性の研究経緯、日本国内での栽培研究への展開、そして本属種の特有の生活史を解説しながら今後の展開を紹介する。