

2022年11月16日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学
国立研究開発法人理化学研究所

“酵母、なのか” “キノコ、なのか” 二面性持つシロキクラゲ目の新種発見、分類の一部見直しも提唱

菌類はさまざまな姿形をとることが知られており、その形態に応じて呼称が変わります。顕微鏡レベルの微小な菌糸を主体とするものは「カビ」と呼ばれます。いわゆる「キノコ」は、胞子をつくるために菌糸が集合してできた構造物で、生物学では子実体と言います。そして、出芽や分裂によって単細胞のまま増殖する菌類は「酵母」などと呼ばれています。

多くのキノコ類は担子菌門と呼ばれる菌類のグループに含まれます。その中でもシロキクラゲ目の仲間は、発育の過程（生活史）においてキノコと酵母の両形態をとります（ちなみにシロキクラゲ目の一部の種は、中華料理で「銀耳」と称する不老長寿の食材とされています）。しかし、酵母としてはあまり認識されてきませんでした。また、一部の酵母は担子菌門に属することが分かっていたが、酵母から子実体を誘導するのは困難で、系統関係が未解明のままでした。これらのことから、シロキクラゲ目の分類学的研究は十分ではありませんでした。

本研究では、シロキクラゲ目の2属（*Sirobasidium* と *Sirotrema*）を対象に、統合的な分類体系の構築を目指しました。具体的には、キノコとしての形態観察、酵母の状態における培養性状の検討、交配試験、DNA解析など多面的アプローチを組み合わせ、2属の生活史の各段階を観察しました。

その結果、*Sirobasidium* 属の1種が新種と判明し、同属の別の1種を50年ぶりに再発見しました。また、*Sirotrema* 属とされてきた1種は、別の属に分類することが妥当だと判断されました。

今後も同様のアプローチを進めることにより、シロキクラゲ類のみならず、モチ病菌など他の分類群においても「酵母」と「キノコ」または「カビ」の二つの面の情報を加味した新たな分類体系の整理が進むことが期待されます。

研究代表者

筑波大学生命環境系
出川 洋介 准教授

理化学研究所バイオリソース研究センター微生物材料開発室
遠藤 力也 研究員

研究の背景

担子菌門^{注1)}の真菌類には、一般に「キノコ」と称される大型の子実体を形成する種が多数所属しています。これらは傘の裏がシイタケのようにヒダになっていたり、マイタケのように細かい穴になっていたりするなど、目に見える形や色など子実体の形態学的特徴に基づいて分類されてきました。一方、担子菌門では、酵母の形態を示す種（担子菌系酵母）も数多く知られています。これらは単細胞で、出芽や分裂により増殖します。酵母は子実体とは異なり形態的特徴が乏しいため、吸収する栄養の種類や生育に適した温度などの培養性状や DNA 配列の情報、細胞壁組成のような生化学的性質に基づき分類されてきました。

担子菌門のシロキクラゲ類^{注2)}は、肉眼的サイズのゼラチン状の子実体を形成します。このため、従来はキノコとして認識されてきました。一方で、シロキクラゲ類の胞子は発芽して酵母状に増殖します。こうした種は酵母として認識されてこなかったか、認識されたとしても系統関係の解明には至りませんでした。しかし、分子系統学の発達により、元々は酵母として記載されてきた一部の担子菌系酵母の分類群とシロキクラゲ類が同じ系統に所属することが次第に明らかになり、両者は同じシロキクラゲ目（ハラタケ亜門シロキクラゲ綱）にまとめられました。その結果、シロキクラゲ目の分類には「子実体の形態的特徴に基づくキノコとしての側面」と「培養性状に基づく酵母としての側面」とを統一した包括的な体系の構築が求められることとなりました。ところが、キノコとして記載された多くの種は培養されたことがなく、DNA 配列の情報も不十分で、分類体系の統合が遅れる原因となっていました。

研究内容と成果

本研究では、キノコとして記載されてきたものの、これまで培養株や DNA 情報が存在しなかった *Sirobasidium* 属（ジュズタンシキン科）と *Sirotrema* 属（シロキクラゲ科）を研究対象とし、本州および南西諸島での野外探索で子実体（キノコ）を採集しました。採集の結果、2 種の *Sirobasidium* 属と 1 種の *Sirotrema* 属が得られ、各種について DNA 解析と酵母形態の培養株の確立を行いました。そして、酵母とキノコそれぞれの研究手法を取り入れ、「有性世代^{注3)}の形態」、「無性世代^{注3)}の酵母の培養性状」、「接合プロセス^{注4)}」という生活史の各段階を観察しました。

その結果、*Sirobasidium* の 1 種は未記載種であることが判明したため、新種 *Sirobasidium apiculatum* として記載しました（図 1）。また *Sirotrema* 属の 1 種については *Phaeotremella* 属への帰属が妥当と判断されたため、学名の新組み合わせ^{注5)}として *Phaeotremella translucens* を提唱しました（図 2）。

また残る 1 種は *Sirobasidium japonicum* と同定され、1962 年に本種が記載されて以降、日本では約半世紀ぶりの再発見となりました（図 3）。

本研究で得られた菌株（*Sirobasidium apiculatum* JCM 32018, JCM 32019; *Sirobasidium japonicum* JCM 32020, JCM 32021; *Phaeotremella translucens* JCM 32022, JCM 32023）は、理化学研究所バイオリソース研究センター微生物材料開発室に寄託され、研究機関へ提供可能な微生物資源として整備されています。

今後の展開

本研究では、これまで培養株も DNA 情報も存在しなかったシロキクラゲ目の *Sirobasidium* 属と *Sirotrema* 属を対象に、酵母とキノコの二形性を示す分類群における統合的な分類学的研究のモデルケースを提示しました。今後も同様のアプローチを進めることにより、他の分類群においても「酵母」と「キノコ」または「カビ」の二つの面の情報を加味した新たな分類体系の整理が進むことが期待されます。

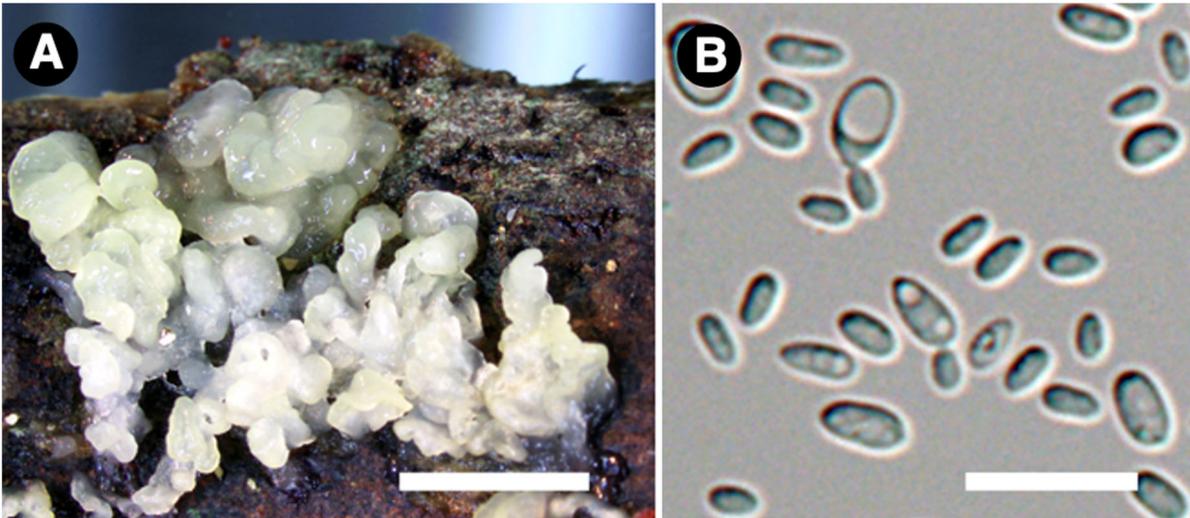


図1. (A) 材上の *Sirobasidium apiculatum* の子実体。(B) 培養下での酵母形態の *S. apiculatum*。スケールバーは A: 5 mm、B: 10 μ m。鹿児島県徳之島より発見。

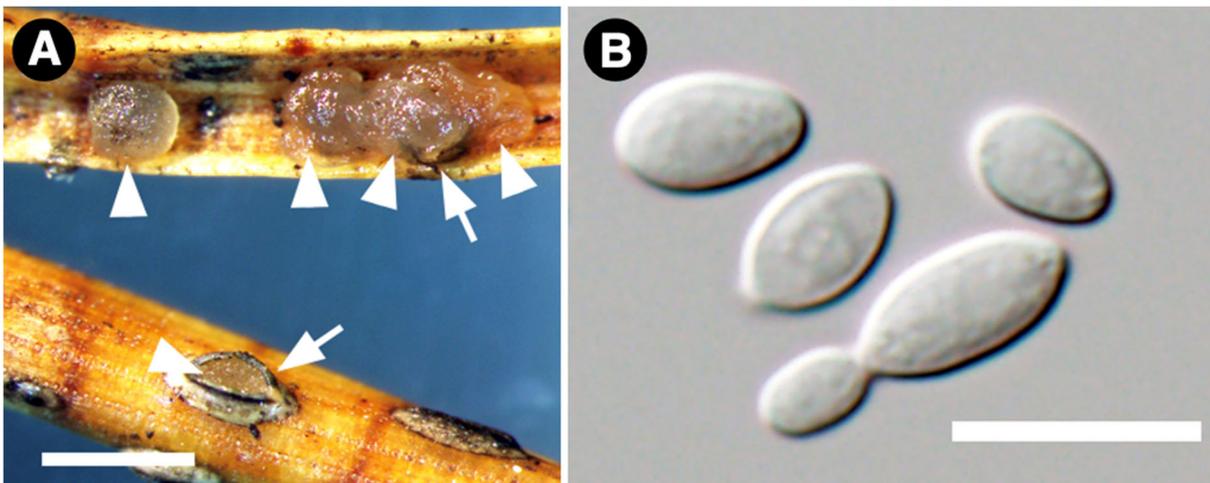


図2. (A) アカマツの落葉上に形成された *Lophodermium conigenum* の子実体 (白矢印) の上に形成された *Phaeotremella translucens* の子実体 (白矢頭)。(B) 培養下の酵母形態の *P. translucens*。スケールバーは A: 1 mm、B: 10 μ m。長野県菅平高原実験所内の樹木園より発見。

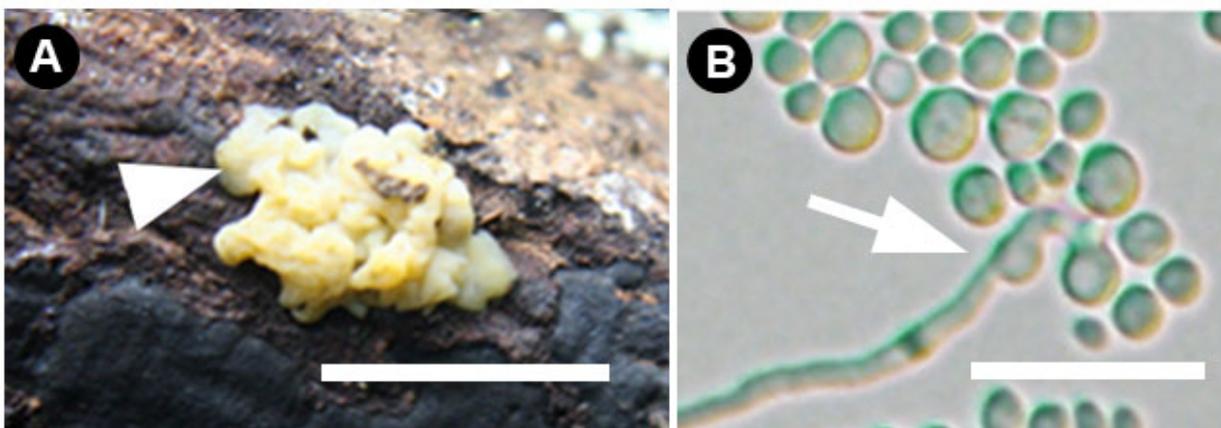


図3. (A) 倒木上に発生した黒色の子囊菌 (*Biscogniauxia capnodes*) の子実体近傍に形成された *Sirobasidium japonicum* の子実体 (白矢頭)。(B) 培養下の酵母形態の *S. japonicum*。二つの酵母細胞が接合して菌糸を伸ばしている (白矢印)。スケールバーは A: 1 cm、B: 10 μ m。沖縄県国頭村西銘岳より発見。

用語解説

注1) 担子菌門 (たんしきんもん)、注5) 学名の新組み合わせ (しんくみあわせ)

多様な生き物を似た者同士でまとめ、界一門一綱一目一科一属一種というスケールの異なる集合関係により整理した体系を分類体系と呼ぶ。菌類=菌界には、七つないし八つの門が含まれている。この中で、**担子菌門**は大型のキノコ(子実体)を進化させて陸上環境によく適応してきたグループで、マツタケやブナシメジのようなキノコの仲間のほとんどや、またサビ病菌や黒穂菌といった植物病原菌など、約2万種を含む。有性生殖の結果、担子胞子という胞子を作ることで特徴づけられる。

この体系の中で、例えばマツタケという種は、菌界—担子菌門—ハラタケ綱—ハラタケ目—キシメジ科—キシメジ (*Tricholoma*) 属に位置付けられる。マツタケという名称は「和名」で、日本でしか通用しない。これに対して全世界での共通の名前を「学名」と言う。ラテン語で名付け、一般にイタリック表記される。マツタケの学名は *Tricholoma matsutake* (S. Ito & S. Imai) Singer で、マツタケが属するキシメジ属の「属名」*Tricholoma* と日本語由来の「種小名」*matsutake* の組み合わせから成る。苗字+名前のように属名と種小名の組み合わせで種を表現するこの名付け方を二名法と称す。その後続くのは名付け親(命名者)の名前だ。マツタケは1925年、伊藤誠哉と今井三子によりナラタケ (*Armillaria*) 属の一種として *Armillaria matsutake* S. Ito & S. Imai と名付けられた。しかし、R. Singer により1943年、ナラタケ属よりもキシメジ (*Tricholoma*) 属に近縁なものだとして、所属する属が変更された。この例のように属の所属の変更を行うことを「**学名の新組み合わせ**」の提唱という。そして、元の名付け親の名前をカッコ内に入れ、その後に、変更を行った人の名前を表記する(動物の場合、変更した人の名前は表記しない)。世界共通の学名はこのように命名規約(植物や菌類の場合、「国際藻類・菌類・植物命名規約 ICN」)というルールにより厳密に管理されている。

注2) シロキクラゲ類

シロキクラゲ目に含まれるゼラチン状で半透明のキノコ(子実体)を形成する分類群。吸器を形成して他の菌類の子実体に寄生する特徴を共有する。本研究に登場する *Sirobasidium apiculatum* は子囊菌類の *Eutypella scoparia*、*Sirobasidium japonicum* は子囊菌類の *Biscogniauxia capnodes*、*Phaeotremella translucens* は子囊菌類の *Lophodermium conigenum* に対して寄生をしていると考えられる。シロキクラゲ目の一部の種は、中華料理で「銀耳」と称する不老長寿の食材とされ、日本でも栽培品が海藻サラダなどに利用されている。

注3) 有性世代、無性世代

菌類は一生のうち、単相(n 世代)で過ごす時間が長く、動植物と比べて無性生殖が著しく発達している。ヒトを含めた動物や花の咲く植物の体は、複相($2n$ 世代)の細胞からなっており、卵や精子(花粉)としてごく短い期間を単相(n 世代)で過ごす。一方、菌類では、交配型の異なる単相の細胞や菌糸が出会って細胞質が融合し、両親由来の核が核融合して複相($2n$ 世代)になると、すぐに減数分裂して単相に戻る。このように、核融合と減数分裂を経た有性生殖を介する生活サイクルのことを、菌類学では有性世代と称する。これに対して、単相のまま菌糸の一部が出芽したり、分裂したりして無性的に生殖するサイクルを無性世代と呼ぶ。有性世代と無性世代では全く姿かたちが異なることが多く、まるで別種のようにすら見える。このため、有性世代が未知で無性世代のみが知られる菌に対して過去に、不完全菌類という独立の分類群が設けられていたこともあった。

注4) 接合プロセス

一般に、シロキクラゲ目の仲間の有性胞子(担子胞子)は、発芽すると酵母状に増殖する。そして、交配型の異なる酵母細胞同士が出会うと細胞同士が融合(接合)し、その後、菌糸形態になる。本研究では、培養下で酵母細胞を用いた人為的な交配試験を行い、生活史の一環として接合の有無や菌糸形成の有無

を調査した。

研究資金

本研究は科研費の研究プロジェクトの一環として実施されました。

掲載論文

【題名】 Taxonomic study of polymorphic basidiomycetous fungi *Sirobasidium* and *Sirotrema*: *Sirobasidium apiculatum* sp. nov., *Phaeotremella translucens* comb. nov. and rediscovery of *Sirobasidium japonicum* in Japan

(二形性を示す担子菌類 *Sirobasidium* 属と *Sirotrema* 属の分類学的研究: *Sirobasidium apiculatum* の新種記載, 新組み合わせ *Phaeotremella translucens* の提唱, *Sirobasidium japonicum* の日本における再発見)

【著者名】 Muneki Yamada ^{a †}, Rikiya Endoh ^b, Hiroshi Masumoto ^c, Yuma Yoshihashi ^a, Moriya Ohkuma ^b, Yousuke Degawa ^a

a. Sugadaira Research Station, Mountain Science Center, University of Tsukuba, 1278-294 Sugadaira-Kogen, Ueda, Nagano 386-2204, Japan

b. Microbe Division/Japan Collection of Microorganisms (JCM), RIKEN BioResource Research Center, 3-1-1 Koyadai, Tsukuba, Ibaraki 305-0074, Japan

c. Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

(山田宗樹 ^{a †}・遠藤力也 ^b・升本宙 ^c・吉橋佑馬 ^a・大熊盛也 ^b・出川洋介 ^a、a. 筑波大学山岳科学センター菅平高原実験所、b. 国立研究開発法人理化学研究所、バイオリソース研究センター、c. 京都大学大学院地球環境学堂)

† 生命環境科学研究科博士後期課程在籍中、本論文原稿の執筆中だった2017年5月20日に不慮の事故により惜しくも亡くなりました。

【掲載日】 2022年11月3日

【掲載誌】 Antonie van Leeuwenhoek

【DOI】 <https://doi.org/10.1007/s10482-022-01787-9>

問い合わせ先

【研究に関すること】

出川 洋介 (でがわ ようすけ)

筑波大学生命環境系/山岳科学センター菅平高原実験所 准教授

URL: <https://dgw-sugadaira.jimdofree.com/>

遠藤 力也 (えんどう りきや)

理化学研究所バイオリソース研究センター微生物材料開発室 研究員

Email: rikiyasu@riken.jp

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp

理化学研究所 広報室 報道担当

TEL: 050-3495-0247

E-mail: ex-press@ml.riken.jp