

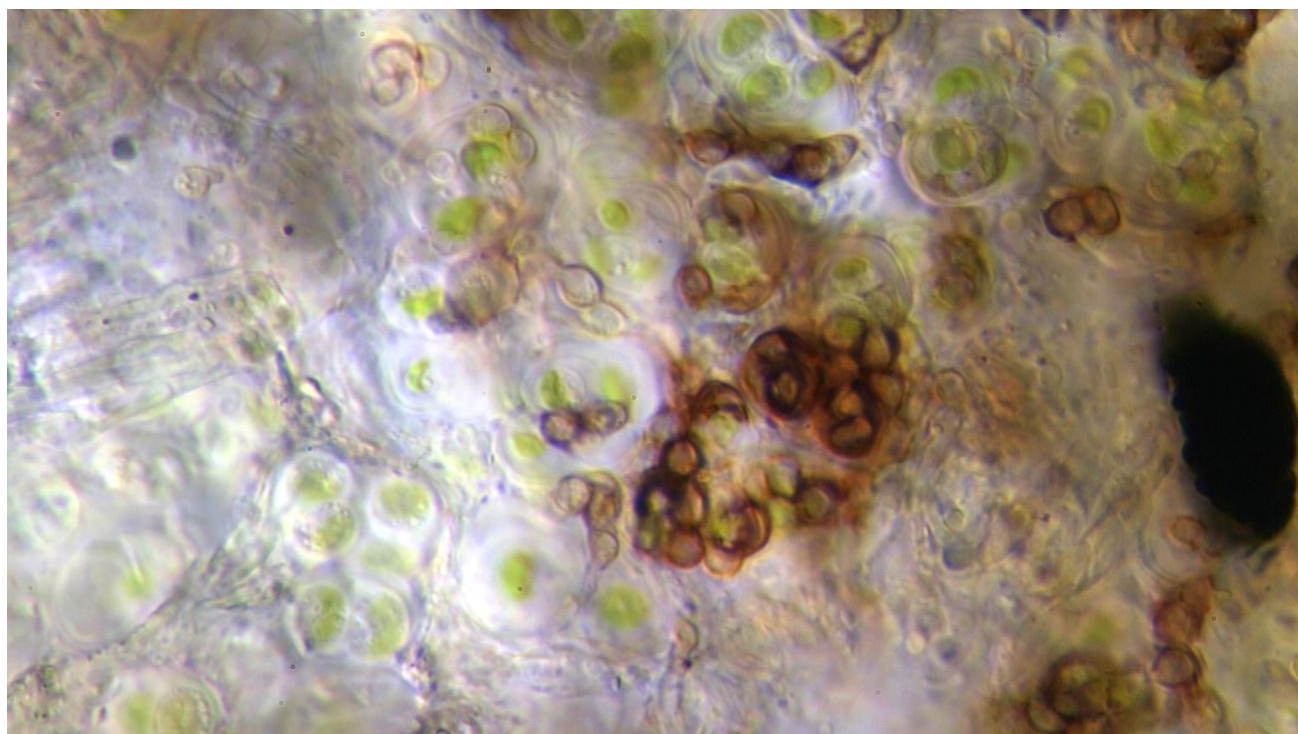
謎の藻類共生性菌類の 84 年振りの再発見

— 独自に藻類と共生した新科新属新種 —

概要

森山貴登 京都大学農学研究科修士課程学生(研究当時:京都大学農学部)、遠藤千晴 同研究員(現:生命科学研究所)、橋本陽 理化学研究所バイオリソース研究センター研究員、井鷲裕司 京都大学農学研究科教授、田中千尋 京都大学地球環境学堂・農学研究科教授らの研究グループは、1941 年にスケッチのみで報告された、藻類と共生⁽¹⁾する正体不明の菌類を京都市郊外より再発見しました。研究グループは生態観察および形態観察、DNA 配列に基づく分子系統解析を行った結果、宿主となる藻類はカワノリ目の *Radiococcus signiensis* に近縁であり、寄生菌は子囊菌門クロイボタケ綱ナチプシラ目に属する、これまでに知られていなかった種であることが明らかになりました。本研究では本菌に対して新たにチエルマキア科チエルマキア属を提案し、*Tschermakia inclusa* を新種記載しました。藻類との共生は子囊菌門の進化の中で独立して複数回生じてきたと考えられていますが、本菌は他の藻類共生が知られる系統から独立しており、進化の過程で藻類との共生能力を独自に獲得したと考えられます。本成果は、本研究は藻類と共生する菌類の系統多様性が従来の想定以上に高いことを示しています。

研究の成果は、2026 年 3 月 31 日に、イギリス菌学会が発行する国際学術誌「*Fungal Biology*」で掲載されました。



単細胞緑藻類の細胞外多糖からなるゼラチン状のコロニーの内部で子囊菌 *Tschermakia inclusa* が単細胞緑藻類に接触している様子。(撮影者:森山貴登)

1. 背景

真菌類には藻類を取り囲んで共生的な構造体を形成するものがおり、地衣類と呼ばれています。これに対して、藻類に接触し共生的な関係をもつと考えられるものの明確な地衣体を形成しない菌類も知られており、“Halbflechten”(「半地衣類」)などと呼ばれて古くから一部の研究者にその存在が認知されていました。しかしながら、これらの菌類が菌類学と地衣類学の学問分野の境界に位置していたこともあり、これらの菌類を対象にした研究はこれまで断片的にしか行われてきませんでした。

Tschermak (1941)の報告には、陸域の湿潤な環境に生じるゼラチン状の緑藻類のコロニーを観察し、その内部に生息する正体不明の様々な菌類が藻類に吸器⁽²⁾を形成している様子がスケッチされ、“*Gloeocystis-Halbflechte*”として紹介されていました。しかしながら、Tschermak (1941)ではこの菌類群の詳細な形態や系統分類学的位置および宿主藻類の正体は謎に包まれていました。その後 80 年あまり、この正体不明の菌類を対象にした研究は行われておらず、“*Gloeocystis-Halbflechte*”がどのような菌類および藻類からなる共生系であるのかは謎のままでした。

2. 研究手法・成果

京都市内において“*Gloeocystis-Halbflechte*”に酷似した菌類-藻類複合体(図 A)を採取し、そこから菌株および藻類株を分離しました。また、その近傍に形成されていた分生子果⁽³⁾(図 B)からも菌株を分離しました。得られた株の DNA 配列を比較し、系統解析を行って系統分類学的位置を検討しました。また、得られた菌・藻類株を共培養することで、野外で生じているのと同様の吸器の形成が生じるかどうかを観察しました。

“*Gloeocystis-Halbflechte*”に酷似した菌類—藻類複合体(図 A)とその近傍の分生子果(図 B)から分離された菌株は ITS 領域⁽⁴⁾の遺伝子配列が一致し、同一の菌類がこれらの構造を形成していることが判りました。系統解析および分離株の形態観察の結果、本菌は子囊菌門クロイボタケ綱に属し、ナチプシラ目 *Natipusillales* に含まれることが判りました。しかしながらナチプシラ目唯一の科であるナチプシラ科 *Natipusillaceae* は淡水中に生じる腐生菌からなり、今回採集された菌類とは系統・形態・生態的な差異が大きいことから、今回の研究でナチプシラ目内に新たにチエルマキア科 *Tschermakiaceae* を設立し、*Tschermakia inclusa* として本菌を新種記載しました。科・属名は、“*Gloeocystis-Halbflechte*”を初めて報告した藻類学者 Elizabeth Tschermak-Woess にちなんでいます。*Tschermakia inclusa* はこれまでに知られているどの地衣化系統からも独立しており、進化の過程で独自に藻類との共生能力を獲得したと考えられます。

分離された藻類は系統解析により *Radiococcus signiensis* と近縁であることが明らかになりました。分離された藻類と *T. inclusa* を共培養することで、吸器を形成させることに成功し、分離された藻類が宿主であることを確認しました(図 C)。

3. 波及効果、今後の予定

今回の研究で、“*Gloeocystis-Halbflechte*”として知られていた正体不明の菌類群から、新科新属新種という、極めて独立性の高い新種を見出すことが出来ました。Tschermak (1941)には、今回記載された *T. inclusa* と異なる形態的特徴をもつものも描かれており、同様の菌類の多様性解明により、さらに多くの新規な藻類共生菌類が発見されることが期待されます。また、現状ではチエルマキア科には *T. inclusa* 一種のみが知られていますが、実際には本科により多様な系統が含まれている可能性もあり、今後は科・属内の種多様性の解明が期待されます。

4. 研究プロジェクトについて

橋本陽、理化学研究所バイオリソース研究センター、菌類の子実体発生様式から共通形質と形態多様化のプロセスを探る・21K15155

<用語解説>

(1)共生

異なる生物同士が密接な関わりを持ちながら共存すること。寄生、相利共生、片利共生など、様々な関わり合いが含まれる。

(2)吸器

寄生菌や共生菌が宿主の細胞壁を貫通して細胞内に形成する器官。宿主の細胞膜を貫通することなく押し広げる形で密着し、宿主からの養分摂取や宿主との物質交換、宿主への情報伝達を行う。

(3)分生子果

糸状菌が無性的に生殖するために形成する孢子(分生子)を作る菌糸(分生子柄)が密集・組織化した構造体。

(4)ITS 領域

リボゾームをコードする遺伝子配列の間にある、転写されない DNA 領域。変異が蓄積する速度が速いことから、生物種や系統同士の比較、あるいは種同定に用いられる。

<研究者のコメント>

「京都市内という身近な環境から 84 年振りに再発見された *Tschermakia inclusa* と *Radiococcus* の生物間相互作用は、私たちの身近な場所にも未知の生物が私たちの知らないやり方で生きていることを物語っています。生物多様性の保全や微生物資源の活用のためにも、またく私たちが生きている世界は一体どのようなものなのか」という問いに対する自分なりの答えを模索していくためにも、知られざる隣人達の生き様を一つ一つ丁寧に掬い上げる研究を続けていきたいと思っています」(森山貴登)

「菌類は生態系の機能を支える重要な生物群である一方、その多様性、生活史、そして他生物との相互作用がどのように進化してきたのかは、いまだ十分に理解されていません。藻類学者チェルマックが存在を示しながら正体が不明のまま残されてきた宿題の解決から、未知の系統の発見と共生様式を具体的に位置づけられることを示しました。今後もこのような地道な研究を積み重ねることで、菌類の進化と生物間相互作用の全体像に迫りたいです」(橋本陽)

「本研究では、主に DNA 配列データの取得に関わる分子実験に携わりました。80 年以上前にスケッチのみで記録されていた菌類が、分子データによってその正体を明らかにされる過程に関わったことを光栄に思います。過去の観察と現代の分子生物学が結びつき、分子データによってその進化的位置づけが具体的に示されたことは、大変印象深い経験でした。」(遠藤千晴)

「従属栄養生物である菌類は、進化史上、幾度も独立栄養生物である植物体に侵入してそこから直接栄養を得ようとしてきました。現生の地衣類はこの進化史の中では比較的新しく出現してきたと考えられていますが、この地衣共生にいたる段階にあると考えられる菌類—藻類の生物間相互作用についてはまだ十分調査研究が行われていないのが実情です。調査が進み、各段階の生物間相互作用の実態が明らかになり、さらに、研究が進んでいる菌類と種子植物間の相互作用と比較できるようになれば、「共生」の進化過程のメカニズムの本質に迫れると期待しています。」(田中千尋)

<論文タイトルと著者>

タイトル：Rediscovery of “*Gloeocystis*-Halbflechte” after 84 years revealed an independent lineage of ascomycetes harboured in gelatinous algal biofilms.

(邦訳：“*Gloeocystis*-Halbflechte”の 84 年ぶりの再発見により明らかになった、藻類バイオフィルムに生息する新規な子囊菌の系統)

著者：Moriyama, T., Endo, C., Isagi, Y., Tanaka, C., Ohkuma, M., & Hashimoto, A.

掲載誌：*Fungal Biology* DOI：10.1016/j.funbio.2026.101757

<参考図表>

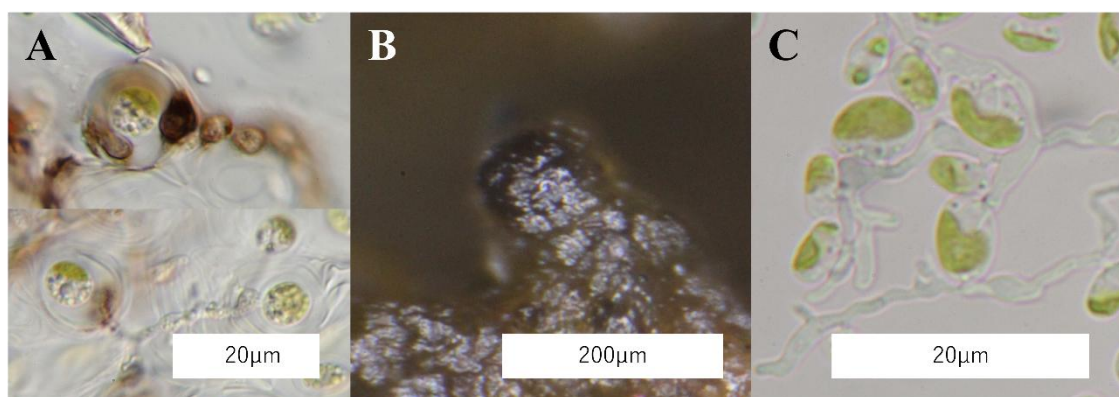


図 A “*Gloeocystis*-Halbflechte”に酷似した菌類-藻類複合体。B 近傍に形成されていた分生子果(中央の黒い球)。C 培養下で *T. inclusa* が藻類 *Radiococcus* の細胞に吸器を形成している様子。(撮影者：森山貴登)