

第24回 共生科学研究センターシンポジウム  
第28回 紀伊半島研究会シンポジウム

光合成をめぐる

# 共生・寄生・三者関係

2023年  
12月9日(土)  
13:00~16:30

参加費無料・オンライン

## 要旨集

主催 国立大学法人 奈良国立大学機構 奈良女子大学  
大和・紀伊半島学研究所 共生科学研究センター  
共催 紀伊半島研究会

# プログラム

- 13:00～13:15 開会挨拶と趣旨説明 酒井 敦(共生科学研究センター長)
- 13:15～13:45 「三者共生系による地衣類イオウゴケの極限環境適応」  
河野 美恵子(総合研究大学院大学)
- 13:45～14:15 「根粒共生の成立と維持:根粒菌とマメ科植物の相互認証とバイパス」  
佐伯 和彦(基礎生物学研究所)
- 14:15～14:45 「植物と菌類の菌根共生:植物の裏切り? 菌類に寄生する植物の話」  
辻田 有紀(佐賀大学)
- 14:45～15:00 休憩
- 15:00～15:30 「共生と寄生は紙一重:アブラナ科植物と糸状菌の微妙な関係」  
晝間 敬(東京大学)
- 15:30～16:00 「寄生と共生の複雑な関係:  
AM菌根菌-寄生植物-宿主植物を含む多種共生系」  
吉田 聡子(奈良先端科学技術大学院大学)
- 16:00～16:20 総合討論 司会:酒井
- 16:20～16:30 閉会挨拶 前迫 ゆり(紀伊半島研究会会長)

# 三者共生系による 地衣類イオウゴケの極限環境適応

河野 美恵子  
(総合研究大学院大学)



地衣類は光合成に適した環境を提供する共生菌と光合成産物を提供する共生藻が相利的な共生関係を確立したことにより極域、高山帯、砂漠などの極限環境を含む様々な環境に適応したと長らく考えられてきた。しかし、近年多様な地衣類に共通して存在するバクテリアや担子菌酵母が相次いで報告されたことで地衣類は二者共生系から三者共生系として見直されつつある。その一方で、これまでに報告された第三の共生パートナーの役割は明らかになっておらず、共生系に必須な存在であるかは未だ定かではない。そこで我々は硫化水素を含む火山ガスが噴出する噴気孔周辺にのみ生息するイオウゴケに着目し、本来生物にとって有毒である硫化水素環境への適応に第三の共生パートナーが関与している可能性を調べた。日本各地(北海道、青森、群馬、神奈川、熊本)の硫化水素噴気孔周辺でイオウゴケを採取し共生系を構成する生物のゲノム情報を調べた結果、全てのイオウゴケには共通する単一のバクテリアが多量に存在していることが明らかになった。バクテリアのゲノム中には硫化水素をエネルギー源として炭水化物を合成する代謝経路に関わる遺伝子が存在することから、イオウゴケは陸上生物として始めて報告される化学合成共生系であり、化学合成細菌である共生バクテリアとの三者共生系を確立したことで硫化水素環境に適応した可能性が高いと考えられる。本講演では、イオウゴケ共生体のメタゲノム解析によって共生バクテリアを発見するまでの経緯を紹介するとともに、極限環境への適応が共生菌、共生藻、共生バクテリアの三者関係にどのような影響をもたらしたかについて議論したい。

# 根粒共生の成立と維持： 根粒菌とマメ科植物の相互認証とバイパス

佐伯 和彦  
(基礎生物学研究所)

マメ科植物と根粒菌が営む窒素固定共生は根粒共生とも呼ばれ、相利共生の代表例です。この共生では、植物側は光合成により大気中の二酸化炭素を固定し得られた有機物の一部を根粒菌に供給、一方、根粒菌側は供給された有機物をエネルギー源として大気中の窒素ガスを固定し得られたアンモニアを植物側に供給します。必須な栄養物質の交換が根粒共生の成立要因です。庭先にマメ科植物を植えると往々にして根粒を形成することなどから、根粒共生は容易に成立すると思われがちですが、現実にはそう簡単に成立する訳でも維持される訳でもありません。植物と細菌がシグナル物質の交換を通じて相互認証を行うことによって共生が成立します。植物と根粒菌の組合せが限定される宿主特異性についても、生物種によるシグナル物質の構造の違いによって一般的には説明可能です。しかし、シグナル物質の交換過程を経ずバイパスして共生を樹立する例外も存在し、そう単純ではないようです。

これまでに様々な生物のゲノムが解読された結果、根粒菌は類縁の非根粒菌と共通するゲノム(コア・ゲノム)に加えて、数十から百以上の共生に関連した遺伝子群をあたかもアクセサリーのように保持することが明らかになっています。これら共生遺伝子群の獲得や喪失は、病原菌における病原遺伝子群の獲得や喪失と対比可能で、細菌間での遺伝子の伝播(水平伝播)に寄るものと考えられます。シグナル物質交換の過程をバイパス可能とする因子の獲得もその一例です。水平伝播機構やゲノム編集技術を用いた根粒菌の進化や人工進化についても話題を提供します。



# 植物と菌類の菌根共生： 植物の裏切り？菌類に寄生する植物の話

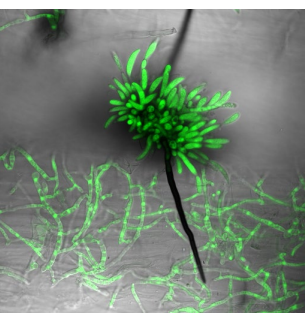
辻田 有紀  
(佐賀大学)



多くの陸上植物は、根で菌根菌とよばれる菌類と共生しており、植物が光合成で得た糖分を菌へ渡す代わりに、菌から植物へリン、窒素やミネラルなどを受けわたす持ちつ持たれつの関係が成り立っている。しかし、一部の植物ではこの共生関係が変化し、いつのまにか植物が糖分や窒素などの栄養分も菌類から貰い受けるようになってしまった。このように、栄養源を菌類に寄生する植物群は、菌従属栄養植物とよばれる。生涯を通じて菌類へ糖分の供給を依存する本植物は、進化の過程で光合成をやめ、葉や葉緑素を持たない奇妙な姿となる。光合成という自活をやめ、完全に菌類へ寄生するようになった究極の進化といえるだろう。ラン科シュンラン属は近縁群内にまだ光合成を行なっている独立栄養種と菌従属栄養種の両方を含み、光合成をやめた進化の道のりを検証する良いモデルとなる。演者らは本属の菌従属栄養種とそれらに近縁な独立栄養種の菌根菌を調査した。その結果、菌従属栄養化に伴って共生する菌根菌の種類が大きく変化することを見出し、菌根菌のシフトが光合成をやめる進化の引き金となったことを明らかにした。菌従属栄養植物は、寄生する菌根菌がいる場所でしか生存できず、その生き様は菌根菌の生態的特性に左右されることが予想される。演者らは、木材腐朽菌に寄生するタカツルランと、落葉分解菌に寄生するアキザキヤツシロランの2種の菌従属栄養種について4~6年間にわたって特定の個体群をモニタリングした。落葉は供給源となる植物の周辺に継続的に供給され、それを分解する落葉分解菌もまた供給源の植物周辺に定着している一方で、木材腐朽菌は材を分解し尽くした後、新たな木材へ次々と渡り歩く習性を持つ。2種の菌従属栄養種のモニタリング調査はこのような菌類の特性の違いを如実に反映した結果となった。本講演では、菌類に寄生する植物が光合成をやめる進化の道のりと、このような特異な進化を遂げた植物の生き様を紹介する。

# 共生と寄生は紙一重： アブラナ科植物と糸状菌の微妙な関係

晝間 敬  
(東京大学)



植物は多様な微生物と共存しており、微生物の中には、植物に病気や成長阻害を引き起こす病原菌・寄生菌、もしくは植物の成長を促す共生菌が存在する。病原菌と共生菌は植物に好対照なアウトプットをもたらすことから、大きく異なる存在として認識されてきた。したがって、その共生と病原の違いを規定する菌の分子的基盤はほとんど明らかではなかった。

演者らは、野外で生育するアブラナ科植物でありモデル植物でもあるシロイヌナズナから単離した糸状菌 *Colletotrichum tofieldiae* (Ct) がアブラナ科植物根に定着する内生菌であり、リンが枯渇した環境下で植物に菌糸を介してリンを供給し、植物成長を促すことを見出している。一方で、世界中の様々な植物から単離された Ct 株を調査したところ、その中の 1 株 Ct3 が他の共生型の Ct 株とは異なり植物の成長を著しく阻害する病原菌であることが判明した。共生型と病原型の Ct 株の宿主根感染中の比較トランスクリプトーム解析やそれに続く遺伝学的解析を行った結果、病原型 Ct3 は自身のゲノム上に有する二次代謝物遺伝子クラスターから植物ホルモンであるアブシジン酸 (ABA) と同様の活性を有する二次代謝物を生成し、それが植物の ABA 応答を活性化させ、植物の栄養経路を攪乱する結果、植物成長を阻害することを見出した。驚くべきことに、遺伝子破壊により該当クラスターを機能不全にした Ct3 株は、リン欠乏環境で植物成長を促す共生型菌へと変貌することを見出した。さらには、外気温度を通常 の 22 度から 26 度へと上昇させることで、植物根に感染中に Ct3 の該当クラスターは活性化されなくなり、その際にも Ct3 は植物成長を促す共生型菌へと移行することを見出した。以上から、共生か病原かは一つの二次代謝物遺伝子クラスターの活性化の有無で決まる紙一重なものであるとともに、該当クラスターの活性化状態の連続的な変化が Ct3 株の共生から病原と多彩かつ連続的な感染戦略を支えていることが想定された。



# 寄生と共生の複雑な関係： AM菌根菌－寄生植物－宿主植物を含む 多種共生系

吉田 聡子  
(奈良先端科学技術大学院大学)



植物は、進化の過程で様々な生き物と共生関係を発達させてきた。中でも、最も一般的な共生はアーバスキュラー菌根(AM)共生である。AM菌は、リンや窒素などの栄養を宿主植物に与え、植物から光合成産物を受け取る相利共生をおこなう。AM共生の進化的起源は4億5千万年前に遡り、陸上植物の約80%の種はAM菌と共生できる。しかし、他の栄養獲得手段を発達させた植物種はAM共生を喪失したことが知られている。例えば、捕えた昆虫から栄養を吸収する食虫植物や、他の植物に寄生して栄養を獲得する寄生植物はAM共生を失ったとされている。しかし、ハマウツボ科に属する寄生植物シオガマギク(*Pedicularis*)属植物は、野外でのAM菌感染が報告されている。寄生植物はAM菌と共生できるのであろうか？

私たちは、寄生性のシオガマギク属植物がAM共生できるのかを検証した。日本の高山で生育するシオガマギク属植物の顕微鏡観察と菌叢解析により、野外に生育するシオガマギク属植物にAM菌が感染していることを確認した。一方で、研究室内でシオガマギク属植物にAM菌を感染させても非常に低い感染率しか示さなかった。そこで、シオガマギク属植物のゲノム解析をおこなったところ、AM共生に必要な遺伝子を失っていることが明らかとなった。では、AM菌はどうやってシオガマギク属植物に感染するのだろうか。様々な感染条件を調べたところ、AM菌の宿主となる植物が近傍に存在している時にシオガマギク属植物のAM感染が促進されることがわかった。すなわち、AM菌と宿主植物のネットワーク形成が、AM菌感染経路を失ったシオガマギク属植物へのAM菌感染に寄与していることが示された。さらに、シオガマギク属植物におけるAM菌の感染は、土壌中に存在する糸状菌の病原性を緩和していることが示唆された。本講演では、AM菌と寄生植物、宿主植物と土壤菌が織りなす複雑な共生・寄生関係について紹介する。

第24回 共生科学研究センターシンポジウム  
第28回 紀伊半島研究会シンポジウム  
ヤマキイサロン

「光合成をめぐる共生・寄生・三者関係」要旨集

---

発行：2023年12月9日

編集・発行：国立大学法人 奈良国立大学機構 奈良女子大学  
大和・紀伊半島学研究所 共生科学研究センター