

第 21 回日本分類学会連合公開シンポジウム

「共生－種を超えたつながり－」

主催：日本分類学会連合

共催：国立科学博物館

後援：日本共生生物学会

日 時

令和 4 年 1 月 8 日（土）13 時 30 分～15 時 40 分

会 場

オンライン開催（Zoom）

プログラム

13:30～13:40	開会あいさつ・趣旨説明 （塚越 哲：静岡大学）
13:40～14:00	キノコを食べる植物：ラン科植物の菌従属栄養性とその多様性 （辻田有紀：佐賀大学）
14:00～14:20	サンゴと藻類の共生：パートナーで運命が変わる （高橋俊一：琉球大学）
14:20～14:40	葉緑体ドロボウは共生のはじまり？ - 盗葉緑体现象から紐解く細胞内共生の進化 （大沼亮：神戸大学）
14:40～14:45	休憩
14:45～15:05	寄生生物ハリガネムシ類による宿主操作の仕組みと自然生態系における知られざる役割 （佐藤拓哉：京都大学）
15:05～15:25	腸内細菌叢がもたらす宿主恒常性と疾患 （福田真嗣：慶応義塾大学）
15:25～15:35	全体質問
15:35～15:40	閉会あいさつ （伊村 智：国立極地研究所）

司会進行：井手竜也（国立科学博物館）

開催主旨

分類学はさまざまな生物の認識や命名、体系化を目的の一つに発展してきた学問分野です。そのため、分類学は生物学の基盤としてさまざまな学問分野をつなぐ役割を果たしてきました。今年で設立 20 周年を迎える日本分類学会連合は、分類群間の垣根を越え、大規模な生物多様性研究を可能にする分類学者の統合組織を目指して設立されました。現在は、動物や植物から原生生物に至るまで、さまざまな分類群を専門とする 25 学会が加盟する団体として、全生物を対象にした生物多様性の研究および教育を強力に推進しています。第 21 回を迎える今回のシンポジウムでは、分類群間の垣根を超えた研究の象徴として、さまざまな生物について「共生及び寄生などの生物間相互作用」をテーマに取り組む研究者の皆様をお招きし、それぞれのご研究内容について、時間の許す限りお話をいただきたいと思います。本シンポジウムが、生物の分類、そしてそこから始まる生物多様性研究など、さまざまな研究に関心を持つきっかけとなればと思います。

日本分類学会連合代表

塚越 哲

キノコを食べる植物：ラン科植物の菌従属栄養性とその多様性

辻田 有紀（佐賀大学農学部）

キーワード：ラン科、菌根共生、菌寄生

陸上に暮らす植物の多くは、根で菌根菌というカビやキノコの仲間と共生している。植物は光合成で作った糖分の一部を菌根菌に分け与え、代わりに菌根菌はリンや窒素など植物に必要な栄養分を供給する。このような共生は菌根共生とよばれ、植物と菌根菌はもちつもたれつの関係を築いて暮らしているのだ。ところが、しばしばこの共生のバランスが崩れることがある。その際、植物は糖を菌根菌に分け与えることをやめ、菌根菌からリンや窒素などの栄養分だけでなく糖までももらうようになってしまう。栄養分の流れが一方的に菌から植物へ変わってしまうことから、このような状態は植物が菌に寄生している関係だと考えられている。これはあたかも植物が菌根共生という関係を悪用して、共生している菌から色々な栄養を騙し取っているように見える。

ランといえば、コチョウランのように美しい花を持つきらびやかなイメージであるが、実は菌根共生を悪用している張本人である。ラン科植物の種子はとても小さく、通常の植物種子が持っている栄養貯蔵器官が退化してしまっている。つまり、ラン科の種子は発芽時に必要な栄養分を持ち合わせていないのである。自力で発芽できなくなってしまった種子は、発芽の際に菌根菌と共生関係を築き、必要な栄養分を菌からもらって発芽する。菌根菌の菌糸はランの細胞内に侵入するが、やがて細胞内の菌糸は酵素の働きで消化され、糖をはじめとした栄養分が植物に吸収される。ラン科の菌根菌は主にキノコの仲間である担子菌類に含まれることから、ランは文字通りキノコを食べる植物なのである。

菌根菌に寄生する植物は、菌従属栄養植物とよばれているが、ラン科植物は種子が発芽する際、菌従属栄養となる。一方で、発芽した実生はやがて大きくなると葉を展開し、光合成をはじめ、自力で糖を合成できるようになる。ところが、しっかりとした葉を持っているにもかかわらず、キノコに糖分の供給を頼り続ける種類もいる。キンランの仲間は、光合成も行うが、糖の一部を菌根菌に依存する部分的な菌従属栄養植物として知られている。また、ラン科の様々な系統で、生育に必要な全ての糖分を生涯にわたって依存し続ける種類も出現している。このような完全なる菌従属栄養植物は、進化の過程で光合成をやめ、葉や葉緑素がなくなり、根と花だけというなんとも不思議な姿になってしまう。本講演では、花のイメージとは異なるランの姿を菌根共生の観点から紹介したい。



図. 部分的に菌従属栄養であるキンラン（左）。ランの根の細胞内にある菌根菌の菌糸（右）。

サンゴと藻類の共生：パートナーで運命が変わる

高橋俊一（琉球大学・熱帯生物圏研究センター）

キーワード：褐虫藻、白化、海水温

熱帯や亜熱帯の沿岸に生息するサンゴ種の多くは、細胞内に褐虫藻（共生性の渦鞭毛藻）を共生させ、褐虫藻が無機塩類を提供する代わりに、光合成代謝産物（糖）を受領する。サンゴと褐虫藻の共生関係は高温ストレスに弱く、海水温が上昇すると崩れ、サンゴは褐虫藻を失い白色化する。これがサンゴの白化とよばれる現象である。白化した直後のサンゴはまだ生きているが、これが長期化すると餓死する。白化の起こりやすさは、共生する褐虫藻の種（タイプ）により異なる。そのため、高温に適した褐虫藻種を獲得することで、サンゴは白化を回避することができる。しかし、白化の頻度と規模は年々増えており、高温に適した褐虫藻の獲得は容易ではないようである。今回の発表では、環境に適した共生パートナーを見つけることの大切さと難しさについて解説する。

葉緑体ドロボウは共生のはじまり？ - 盗葉緑体現象から紐解く細胞内共生の進化

大沼 亮（神戸大学内海域環境教育研究センター）

キーワード：盗葉緑体、細胞内共生、渦鞭毛藻、クリプト藻

水圏には「藻類」と呼ばれる光合成をする生物が豊富に存在し、水圏生態系の一次生産者として地球上の生命を支えている。「藻類」は我々の食卓でもおなじみの海藻類から、肉眼で見ることのできない単細胞性の微細藻類まで、サイズ、形態ともに多種多様である。「藻類」は分類学的な用語ではなく、「酸素を発生する型の光合成をする生物で、種子植物類、シダ類、コケ類を除いたものの総称」で、実は系統的にも多種多様な生物の集まりである。いわばお互い赤の他人の「藻類」であるが、葉緑体で光合成をするという点は共通している。

藻類が葉緑体を持つという共通点があるにも関わらず多系統になるのは、藻類は細胞内共生によって葉緑体を獲得したという現象が独立に何度も起こったことに起因する。葉緑体は、葉緑体を持っていなかった祖先がシアノバクテリアを取り込んで細胞内に共生させた「一次共生」で成立したオルガネラで、陸上植物・緑藻類、紅藻類、灰色藻類は一次共生によって生まれた生物の直接の子孫である。藻類化に関わる細胞内共生はこの一次共生に限ったものではなく、この他の系統の藻類は、一次共生によって誕生した真核光合成藻類を取り込んで細胞内共生を果たすことで、自らも「藻類化」したことによって誕生した。このような共生現象は現在の藻類の多様性を生み出した重要な現象であるが、宿主細胞とそれに共生した藻類は強固に結びついた関係にまで進化しているため、どのように藻類化したのかという進化のメカニズムに関しては、未解明の謎が多く残されている。

この謎の解明に役に立つと考えられる現象が、「盗葉緑体」現象である。盗葉緑体とは、もともと葉緑体を持っていない生物が他の藻類の葉緑体（ときには他のオルガネラも）を取り込んで、細胞内で光合成をさせながら一定期間維持する現象を指し、真核生物の多くの系統に確認されている。細胞内の盗葉緑体はやがて消化されてしまうが、新たな藻類を取り込むことで再び光合成を行う。このようなサイクルは、藻類をもっぱら食べる状態から藻類になる進化の途中の段階であると解釈されることもあり、藻類化の途中で何が起こったのかという謎の解明には有用であると考えられている。

私は渦鞭毛藻というグループの *Nusuttodinium*（ヌスットディニウム）属渦鞭毛藻類を用いて盗葉緑体の研究をしてきた。属名の「ヌスット」は日本語の「盗っ人」に由来するもので、日本人が記載した属名である。この属の渦鞭毛藻類は、クリプト藻という光合成性の単細胞性藻類を取り込んで、その葉緑体を「盗んで」用いる。特に *Nusuttodinium aeruginosum*（ヌスットディニウム・アエルギノーサム）は、細胞全体に行き渡るほどの葉緑体を持っている種で、1883年に記載された。先行研究では、培養株を使った研究例が少なく、葉緑体の由来はどうかクリプト藻であることは知られていたが、渦鞭毛藻の細胞内の葉緑体は

クリプト藻とは似ても似つかぬ形状や大きさになっている理由については不明であった。私はヌスットディニウムにクリプト藻を与えて培養することで培養株を確立し、細胞内のクリプト藻葉緑体の変化を電子顕微鏡観察によって観察した。ヌスットディニウム・アエルギノーサムはクリプト藻の葉緑体と共にクリプト藻の核を取り込む。クリプト藻の葉緑体は宿主の細胞内で徐々に拡大され、元の 20 倍以上になることが明らかとなった。驚くべきことに、本種は細胞分裂時に盗んだ葉緑体も分裂させ、2 つの娘細胞両方に受け継ぐことも観察された。さらに、葉緑体を長期的に維持するには、クリプト藻核を保持し続けることが重要であると見出した。葉緑体を盗むだけではなく、それを分裂させて、核をも盗んで使うとは、まさに盗人猛々しい。本公演では、ヌスットディニウムの盗葉緑体现象、藻類化の進化について、藻類研究の魅力と共にお話する。

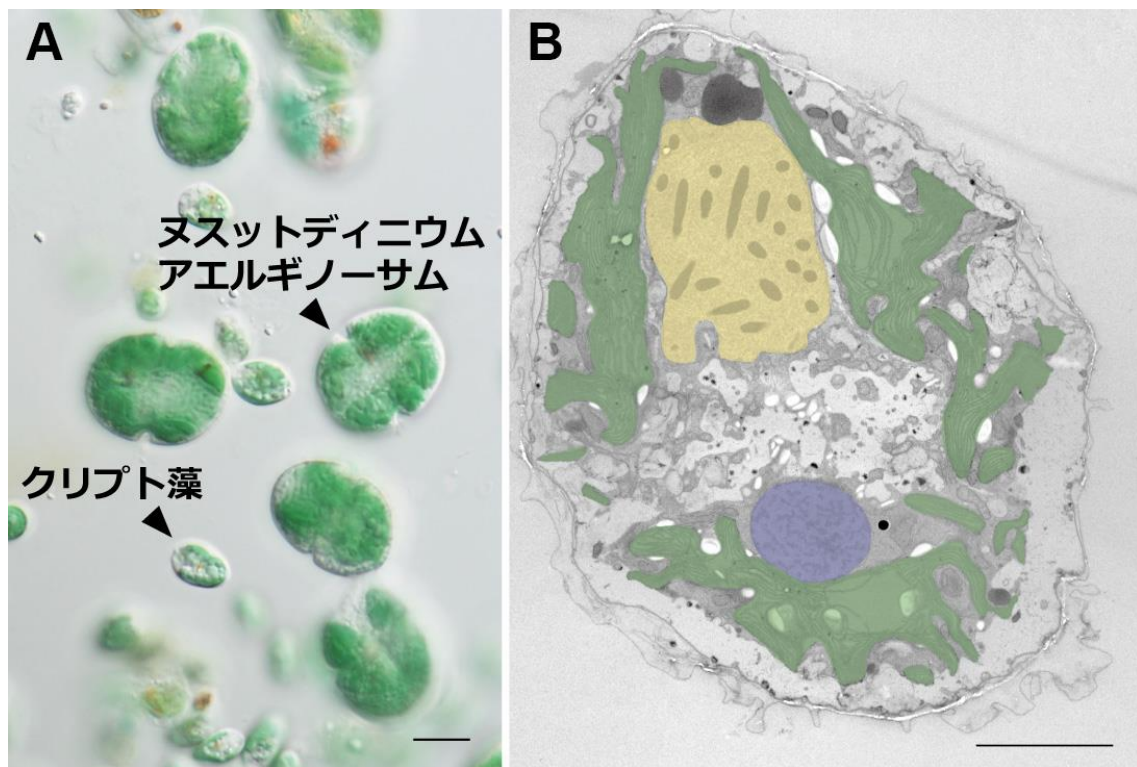


図. (A) ヌスットディニウム・アエルギノーサムの培養株。スケールバーは $10\ \mu\text{m}$ 。(B) ヌスットディニウム・アエルギノーサムの透過型電子顕微鏡写真。緑、青、黄色で強調された部位はそれぞれ葉緑体、クリプト藻核、渦鞭毛藻の核を示す。スケールバーは $5\ \mu\text{m}$ 。

寄生生物ハリガネムシ類による宿主操作の仕組みと自然生態系における知られざる役割

佐藤拓哉（京都大学生態学研究センター）

キーワード：宿主操作、ハリガネムシ、偏光、河川生態系、エネルギー流

通常、生物個体の形態や行動は、その個体の生存や繁殖に有利になるように制御されているという暗黙の仮定がある。しかし実際には、今日地球上に生息する生物種の約40%は寄生生物であり、すべての野生動物は少なくとも一種の寄生生物に寄生されていると言われている。すなわち、野生動物にみられる多様な形態や行動の中には、寄生生物の影響を受けて表現されたものが多く存在する。この顕著な例として、寄生生物の中には、自らの利益（感染率向上）のために、宿主個体の形態や行動を改変—宿主操作—する種がいる。宿主操作の極めて興味深い例として、寄生生物のハリガネムシ類は、森林や草原で暮らす宿主（カマキリや直翅類等）の体内で成虫になると、自らが繁殖をする水辺に戻るために、宿主を操って入水させてしまう。この現象については、100年以上も前から知られていたが、宿主を入水させる仕組みの解明には至っていなかった。

我々は、近年、ハリガネムシ類に感染したカマキリ（*Hierodula patellifera*）では、水面からの反射光に多く含まれる水平偏光への正の走性が高まり、入水行動に至ることを発見した。これは、寄生生物が、宿主の有する特定の光受容システムを巧みに操作することで、通常では考えられない宿主の行動を生起していることを示唆する。本発表では、ハリガネムシ類による宿主操作の至近メカニズムについての現時点での研究成果、およびそのような宿主操作の自然生態系における役割について紹介する。



左) 水中でカマドウマから脱出するハリガネムシ [撮影：壇上幸子（自然写真家）]

右) ハリガネムシに感染・操作されて路上を歩くハラビロカマキリ

腸内細菌叢がもたらす宿主恒常性と疾患

福田真嗣

(慶應義塾大学先端生命科学研究所、神奈川県立産業技術総合研究所
筑波大学トランスボーダー医学研究センター、株式会社メタジェン)

キーワード：腸内細菌叢、代謝物質、共生

ヒトの腸内には数百種類以上でおよそ 38 兆個にもおよぶとされる腸内細菌が生息しており、これらの集団（腸内細菌叢と呼ぶ）は腸管細胞群と密接に相互作用することで、複雑な腸内微生物生態系、すなわち「腸内エコシステム」を形成している。腸内エコシステムはヒトの健康維持に重要であることが知られているが、そのバランスが崩れると大腸癌や炎症性腸疾患といった腸そのものの疾患に加えて、自己免疫疾患や代謝疾患といった全身性疾患につながることも知られている。したがってその重要性から、腸内細菌叢は異種生物で構成されるわれわれの体内の「もう一つの臓器」とも捉えられるが、一方で個々の腸内細菌がどのように振る舞うことで腸内エコシステムの恒常性維持に寄与しているのか、すなわち宿主－腸内細菌叢間相互作用の分子機構の詳細は不明な点が多い。われわれはこれまでに、腸内細菌叢の遺伝子情報と代謝物質情報を網羅的に解析し、時系列情報に基づいて数理科学的に統合解析するメタボロゲノミクスを独自に構築し¹⁾、腸内細菌叢から産生される代謝物質である酢酸や酪酸などの短鎖脂肪酸が、腸管上皮層のバリア機能の向上や、免疫系に作用して大腸炎抑制に寄与することを明らかにした^{2,3)}。また特定の腸内細菌やその代謝物質が感染症予防に寄与すること⁴⁻⁷⁾や、腎疾患における尿毒症物質産生に関与すること⁸⁻¹⁰⁾、大腸がんにおいて口腔内細菌や二次胆汁酸が増悪因子となり得る可能性を明らかにした^{11,12)}。このように、メタボロゲノミクスアプローチを適用することで、腸内環境を介した全身性の恒常性維持には、腸内細菌叢から産生される代謝物質が重要であることを明らかにしたことから、これらの研究成果を社会実装する目的で、慶應義塾大学と東京工業大学とのジョイントベンチャーとして株式会社メタジェンを設立した¹³⁾。本講演では、腸内エコシステムの適切な制御による新たな健康維持、疾患予防・治療基盤技術の創出に向けたわれわれの取り組みについて紹介する。

参考文献

1. Ishii, C., *et al.* : Int. J. Mol. Sci., 19: 4079, 2018
2. Furusawa, Y., *et al.* : Nature, 504: 446-450, 2013
3. Fukuda, S., *et al.* : Nature, 469: 543-547, 2011
4. Kim, Y.G., *et al.* : Science, 356: 312-315, 2017
5. Kitamoto, S., *et al.* : Nat. Microbiol., 5: 116-125, 2020
6. Nagao-Kitamoto, H., *et al.* : Nat. Med., 26: 608-617, 2020
7. Caballero-Flores, G., *et al.* : Cell Host & Microbe, 28: 526-533, 2020
8. Mishima, E., *et al.* : J. Am. Soc. Nephrol., 26: 1787-1794, 2015
9. Mishima, E., *et al.* : Kidney Int., 92: 634-645, 2017
10. Kikuchi, K., *et al.* : Nat. Commun., 10: 1835, 2019
11. Yachida, S., *et al.* : Nat. Med., 25: 968-976, 2019
12. Erawijantari, P.P., *et al.* : Gut, 69: 1404-1415, 2020
13. <https://metagen.co.jp/>

図鑑は知の宝庫

図鑑に学び、図鑑で遊ぶ！



原色川虫図鑑 成虫編
丸山博紀・花田聡子／編
丸山博紀・花田聡子・野崎隆夫／執筆
高井幹夫／撮影協力
A5判 448頁 6,000円(税別)

川虫の成虫は、幼虫に比べると比較的分けが容易です。カゲロウ84種、カワゲラ102種、トビケラ163種を豊富な写真と図版で紹介しています。幼虫編、成虫編が揃うことで、川虫の一生を含めて川虫の全てが明らかになります。



原色川虫図鑑 幼虫編
谷田一三／監修
丸山博紀・高井幹夫／著
A5判 248頁 3,800円(税別)

本書は、2000年に出版した『原色川虫図鑑』を改題、新装丁で出版し、カゲロウ41種、カワゲラ34種、トビケラ50種の見分けの難しい川虫の幼虫を紹介します。環境と密接な生態を持つ川虫は、環境を知る絶好の指標です。



新版 昆虫探検図鑑1600
—写真検索マトリックス付—
川邊透／著
B5判 368頁 3,700円(税別)

大人気の昆虫サイト「昆虫エクスプローラ」の管理人である川邊透が贈る、本格的でちょっとお洒落な大人の昆虫図鑑を大幅改訂して登場。見た目で感覚的に検索出来るB全サイズのポスター2枚(4面)が付録についています。



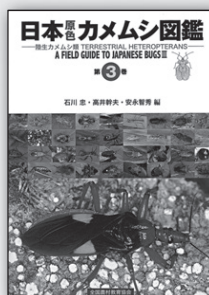
日本原色カメシ図鑑 陸生カメシ類
友国雅章／監修
安永智秀・高井幹夫・山下泉・川村満・川澤哲夫／著
A5判 384頁 9,030円(税別)

日本産陸生カメシ351種の生態を鮮明なカラー写真で紹介。美麗昆虫として、また作物の害虫、天敵としても紹介した図鑑。



日本原色カメシ図鑑 第2巻 陸生カメシ類
安永智秀・高井幹夫・川澤哲夫／編
安永智秀・高井幹夫・中谷至伸／著
A5判 354頁 9,500円(税別)

カスミカメシ科を中心にカラー写真約1,000点で紹介し、分類同定に役立つ図鑑。前刊掲載種との関係を明らかにし最新の知見を紹介。



日本原色カメシ図鑑 第3巻 陸生カメシ類
石川忠・高井幹夫・安永智秀／編
A5判 576頁 12,000円(税別)

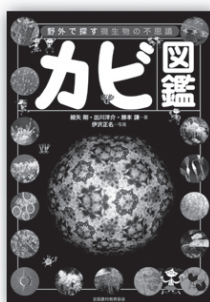
グンバイムシ科、サシガメ科など29科665種を各ステージの生態写真で紹介。陸生カメシ全科の絵解き検索でいっそう充実。



植調雑草大鑑

浅井元朗／著
B5判 360頁 9,800円(税別)

水田雑草28科129種、畑地雑草54科583種を網羅、カラー写真総数3,655点で、芽ばえからたねまで雑草の一生を忠実に再現しました。



カビ図鑑

—野外で探す微生物の不思議—
細矢剛・出川洋介・勝本謙／著
伊沢正名／写真

B5判 160頁 2,500円(税別)
きのこと同じ菌類であるカビがどんな生き物なのか、その基礎知識を網羅。美しうつくしい写真で、カビの形態・野外での生活がよくわかります。



植物生態観察図鑑

—おどろき編—
本多郁夫／著
B5判 192頁 2,950円(税別)

植物の変化や観察の過程を600点以上の画像で丁寧に紹介。おどろきに満ちた植物の世界を迫真の画像で解き明かす生態観察図鑑。



ミズ図鑑

石塚小太郎／著
皆越ようせい／写真
B5判 168頁 4,800円(税別)

日本産ミズ57種について鮮明なカラー写真と形態図で紹介。棲み分け、摂食、交接、産卵、ふ化などの生態や調査に必要な採集、体長・体色、形態、生息層を解説。

全国農村教育協会
<http://www.zennokyo.co.jp>

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
TEL.03-3839-9160 FAX.03-3833-1665