

GENSEI-SEIBUTSU

# 原生生物

---

第4巻 第1号 (2021)

目次

特別寄稿

追悼 Thomas Cavalier-Smith 先生  矢吹 彬憲 (海洋研究開発機構) ..... 1

The 4th Asian Congress of Protistology (ACOP-IV) のご案内  
洲崎 敏伸 (神戸大学) ..... 2

日本原生生物学会第54回大会のご案内  
有川 幹彦 (高知大学) ..... 3

総説

土壌繊毛虫コルポータの陸上環境への適応戦略：休眠シスト形成とその環境ストレス耐性  十亀 陽一郎 (福島工業高等専門学校)・島野 智之・松岡 光・有川 幹彦・水津 太・松岡 達臣  
..... 5

総説

日本における土壌原生生物の研究  島野 智之 (法政大学) ..... 15

書評

「誰も知らない紅茶の秘密」沼田 治 著  丸山 正 (北里大学) ..... 23

日韓若手オンライン交流企画 Visualization Workshop の実践報告  
早川 昌志 (ミクロ・ライフ Project) ..... 25

学会等開催情報 ..... 28

学会員による著作物 ..... 28

若手の会 通信 ..... 29

本会記事 ..... 32

事務局からのお知らせ

庶務 洲崎 敏伸 (神戸大学)・庶務補佐 杉浦 真由美 (奈良女子大学) ..... 39

編集委員会からのお知らせ

「原生生物」担当 道羅 英夫 (静岡大学)・矢吹 彬憲 (海洋研究開発機構) ..... 39

## 追悼 Thomas Cavalier-Smith 先生

## 矢吹 彬憲 (海洋研究開発機構)

原生生物学の世界的権威であり偉大な牽引者であった Thomas Cavalier-Smith 先生 (オックスフォード大学, 英国) が 2021 年 3 月 19 日に亡くなられた。Cavalier-Smith 先生は、圧倒的な知識と柔軟な思考から数多くの学説を提唱し多大なる業績を残されてきた。それらの成果は、高い評価を受け 2004 年には国際生物学賞, 2007 年にはリンネ・メダルを授与されている。先生の逝去は生物学全体にとってとても大きな損失であり、また大きな悲しみである。心よりご冥福をお祈りしたい。

Cavalier-Smith 先生は、1942 年に英国・ロンドンで生まれ、1967 年に緑藻クラミドモナスを材料としその微細構造や細胞器官の生活環を通じた挙動に関する研究でキングス・カレッジ・ロンドンにおいて学位を取得されている。その後、米国・ロックフェラー大学でポストドクを経験し、またキングス・カレッジ・ロンドンで教鞭を振るわれた後、1989 年からはカナダ・ブリティッシュコロンビア大学にて研究室を主宰した。ここでは、真核生物の初期進化に関するアーケゾア仮説や光合成生物の多様化に関するクロムアルベオラータ仮説といった現在の生物学を語る上で欠かすことのできない重要な学説を提唱されている。1999 年には英国・オックスフォード大学に移り、真核細胞の進化や成立について重要な研究を牽引され続けた。ここでは細胞骨格系や遺伝子構造を含めた真核生物の成立と初期進化に関する数多くの研究成果を公表されている。この期間にも、ネオムラ仮説やバイコンタの提唱、また数多くの高次分類群の設立、といった非常に重要な研究成果を多数公表されている。2016 年には奥様の Ema 様と英国・コーンウォールに移り住み、自然に囲まれながら穏やかな日々の中で精力的に論文執筆を続けてこられた。ご自宅ではお庭のお気に入りの場所に座りそこに訪れる渡り鳥を眺めるのを楽しんでおられたと奥様から伺っている。優しいお顔をされた先生のお姿が浮かぶ。

筆者は、学生時代に師事していた石田健一郎先生が過去に Cavalier-Smith 先生の下でポストドクをしていたご縁から共同研究を実施するに至り、博士後期課程在籍時には Cavalier-Smith 先生の研究室に半年ほど滞在し研究指導いただいた。その後も折に触れ目にかけていただき、先生には感謝しかない。先生との思い出は数多いが、印象に残っているエピソードをここで 1 つだけ紹介したい。ある学会で分類体系の安定性の議論になったときに、先生は「これはサイエンスなのだから、状況に応じてその都度また変えれば良い (矢吹訳)」とおっしゃられた。こう文章に書いてしまうと伝わらないかもしれないが、この発言に私はあらためて強い衝撃を受けたことを今でも鮮明に覚えている。

分類は慎重に検討し広く受け入れられる妥当な系を提示すべきである、と考えていた私に対し、慎重に検討した上で妥当な系を出したとしてもそれを躊躇わずに改定していくのがサイエンスなのだと諭してくれた訳である。これを当然のこと・自然なこととして言える先生のサイエンスに対する向き合い方、そしてそれを数多くの論文公表という形で誠実に実践しておられるお姿に改めて感銘を受けた。私がこの言葉を説得力を伴いながら後進に伝えるにはまだ時間がかかりそうだが、その目標は忘れずにいたい。先生が残された学説はこれからも原生生物学における中心的な議題であることは間違いない。先生の素晴らしい業績と貢献に改めて敬意を払うとともに、ご冥福を今一度お祈りする。



2004 年に国際生物学賞を受賞された際、当時の天皇・皇后両陛下より御祝辞を受ける Cavalier-Smith 先生 (奥様 Ema 様よりご提供)



2017 年アイスランドにて (奥様 Ema 様よりご提供)。ご趣味であられたバードウォッチングの途中であろうか、双眼鏡を持っておられる。



## The 4th Asian Congress of Protistology (ACOP-IV)のご案内 ACOP-IV 実行委員会委員長 洲崎敏伸 (神戸大学)

日本原生生物学会は、春本 晃江 学会長を大会長として、第4回アジア原生生物学会 (ACOP-IV) をオンラインで開催することとなりました。ACOP の会期は2021年11月19日 (金) ~ 21日 (日) の予定です。

アジア原生生物学会は、2011年に韓国の済州市において第1回の大会が開催されて以来、3~4年間隔でアジアの各国で開催されている国際会議です。日本での開催は今回が初めてとなりますが、そもそもこの学会は、故 樋渡宏一先生が中心になって1983年にスタートしたアジア絨毛虫遺伝学会議を母体とし発足した国際会議ですので、とても日本にゆかりの深い国際会議です。

本来なら、アジア各国の原生生物学の研究者に日本に来ていただきたかったのですが、新型コロナウイルス感染症の拡大により、オンラインでの開催となりました。これはとても残念なことではありますが、考え方によってはたくさんのプラスの面を見出すことができます。オンライン会議は単なるリアルな会議の代用ではなく、より多くの研究者がより快適な状況で科学的な交流を行うことができるという、とても大きな可能性を秘めています。今回のACOP-IVの登録は参加費が無料です。もちろん、参加するための交通費や宿泊費もありません。世界中のどこからでも、どなたでも、自由に研究発表ができ、ポスターや映像などに、オンラインで簡単にアクセスできます。もはや、ポスターセッ

ション会場の窮屈なスペースの中で、肩を寄せ合ってポスターを見て回る必要はありません。ポスター発表の研究資料は、セッションに先立って2~3週間ゆっくりに閲覧できるので、参加者はいつでも前もって発表内容に目を通しておくことができます。また、参加者と発表者は、テキストチャット機能を使って、お互いに議論することもできます。ポスターセッションの時間が来ると、参加者は発表者と顔を見合わせながら、直接会話を楽しむことができます。これらはすべて、皆さんのお気に入りの場所で、使い慣れた椅子に座り、お茶やコーヒーを飲みながら行うことができます。

この会議はオンライン会議なので、世界中のどこからでも誰でも簡単に参加できるというのも大きなメリットの一つです。ヨーロッパにお住まいの方は、少し早起きして参加してください。南北アメリカの方は、少し遅くまで起きていてください。お好きな場所で、お好きな時間に参加できます。この学会は「アジア」の原生生物学会という名称ではありますが、もはやアジアの枠を越えて、世界中の研究者と交流することのできる場と言えるでしょう。

ACOP-IVの詳細は、大会のWebsite (<http://www.protistology.jp/acop/>) を通じて、順次公開していきます。

## 第 54 回日本原生生物学会大会（オンライン開催）のご案内 大会長 有川 幹彦（高知大学）

第 54 回日本原生生物学会大会を、11 月 21 日（日）、22 日（月）にオンラインにて開催いたします。多くの皆様の、特に若手学会員や学生会員、中高生の皆様のご参加をお待ちしています。

今年は第 4 回アジア原生生物学会議（The 4<sup>th</sup> Asian Congress of Protistology, ACOP-IV）が、日本をホスト国としてオンラインで開催されます。これを受けまして、学会事務局内では、本学会大会の開催を見送るかどうかの議論がなされました。しかしながら、本学会は昭和 42 年から現在に至るまで毎年大会を開催しており、その歴史を途切れさせたくないという強い思いから、今年も大会を開催することに決まりました。昨年の第 53 回大会は JSP/KSOP Joint Meeting 2020（Kobe2020）として、韓国との合同開催でした。公用語が英語であったため、若手学会員や学生会員、さらには中高生の皆さんにとっては発表のハードルが高かったかもしれません。今年、大会を開催することで、昨年は発表を見送った方々に対して、研究成果発表の場と研究実績を積み上げる場を提供できることも、開催に踏み切った理由の一つです。当初、2021 年度の学会大会は春本晃江会員を大会長として関西地区で開催される予定でありました。しかし、春本会員が ACOP-IV の大会長に就任されたことから、私、有川幹彦が本学会大会の大会長を務めさせていただくことになりました。このような大役は初めての経験で、至らぬ点や不行き届きの点が多々あるかと思いますが、実行委員と参加者の皆様の協力を得て、是非とも盛会にしたいと意気込んでおります。どうぞよろしく願いいたします。

しかしながら、新型コロナウイルス感染症の感染拡大による厳しい状況はまだまだ続きそうな気配です。よって、実行委員会における審議の結果、今年の大大会をオンラインで開催することに決定いたしました。対面開催できないのは残念ではありますが、考えようによっては、本学会史上初の単独オンライン開催であり記念すべき大会であるとも言えます。モニター越しとなりますが、皆様にお会いできるのを楽しみにしています。

大会の詳細は、大会ホームページ（大会 HP）をご覧ください。また、大会参加申込、および発表申込は大会 HP より行っていただきます。大会 HP は随時情報を更新していきますので、是非、定期的にご確認ください。

大会 HP : <https://sites.google.com/view/jsp2021>

1. 会期  
令和 3 年 11 月 21 日（日）、22 日（月）
2. 開催方法  
オンライン開催
3. 実行委員会構成  
大会長：有川 幹彦  
実行委員：春本 晃江, 洲崎 敏伸, 保科 亮,  
西上 幸範, 杉浦 真由美
4. 発表形式  
Zoom による口頭発表  
SpatialChat によるポスター発表  
（ただし演題数が少ない場合には口頭発表のみとなる場合があります）
5. 発表・参加申込  
発表申込締め切り：10 月 15 日（金）  
参加申込締め切り：11 月 12 日（金）  
いずれも大会 HP からの申し込みになります。詳細は大会 HP をご確認ください。
6. 発表資格  
発表は 1 人 1 題とし、発表者は日本原生生物学会の会員に限ります（ただし中高生の発表は除く）。日本原生生物学会への入会手続きについては、日本原生生物学会の入会案内ページ ([http://protistology.jp/entry\\_sheet.html](http://protistology.jp/entry_sheet.html)) をご参照いただくか、日本原生生物学会事務局 ([gajsp@protistology.jp](mailto:gajsp@protistology.jp)) にお問い合わせください。なお、2021 年度の学生会員の年会費は支払いが免除されています。従いまして、現在、学生の皆さんは無料で学会員になることができます。
7. 大会参加費  
大会参加費は無料です。

8. 日程

11 月 21 日 (日)	時刻	11月22日 (月)
ACOP-IV	9:00	口頭発表 2
	10:00	
	11:00	口頭発表 3
	12:00	昼食
	13:00	ポスターセッション
開会・ BPAセッション	14:00	
	15:00	総会・授賞式・集合 写真
口頭発表 1	16:00	
	17:00	特別講演・閉会

9. 大会事務局

〒780-8520 高知市曙町 2-5-1  
高知大学工学部生物科学科  
有川 幹彦

TEL: 088-844-8818

E-mail: [protistology2021@gmail.com](mailto:protistology2021@gmail.com),  
[marikawa@kochi-u.ac.jp](mailto:marikawa@kochi-u.ac.jp)

## 総説

# 土壌繊毛虫コルポーダの陸上環境への適応戦略：休眠シスト形成とその環境ストレス耐性

十亀 陽一郎<sup>1\*</sup>・島野 智之<sup>2</sup>・松岡 光<sup>3</sup>・有川 幹彦<sup>4</sup>・水津 太<sup>5</sup>・松岡 達臣<sup>4</sup>

Yoichiro SOGAME<sup>1\*</sup>, Satoshi D. SHIMANO<sup>2</sup>, Kou MATSUOKA<sup>3</sup>, Mikihiro ARIKAWA<sup>4</sup>, Futoshi SUIZU<sup>5</sup>, Tatsuomi MATSUOKA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>福島工業高等専門学校 化学・バイオ工学科 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾30

<sup>2</sup>法政大学自然科学センター 〒102-8160 東京都千代田区富士見2-17-1

<sup>3</sup>協和会病院 〒564-0001 大阪府吹田市岸部北1-24-1

<sup>4</sup>高知大学理工学部生物科学科 〒780-8520 高知県高知市曙町2-5-1

<sup>5</sup>北海道大学遺伝子病制御研究所 〒060-0815 北海道札幌市北区北15条西7丁目

## 要旨

多くの自由生活性の土壌繊毛虫は、環境ストレス耐性をもつ休眠シストを形成することにより、土壌環境にうまく適応している。休眠シストは、一時的な水環境の出現を察知し、短時間で増殖型細胞（栄養細胞）に分化し、増殖を開始する。そして、乾燥する前に、再び休眠シストを形成する。本稿では、繊毛虫 *Colpoda cucullus* Nag-1 がつくる休眠シストの環境ストレス耐性（紫外線耐性、超低温耐性、酸耐性）に焦点をあて、休眠シスト形成過程における形態形成とそれを制御するシグナル伝達系にも着目し、我々の最近の研究を中心に概説する。

キーワード：紫外線耐性、超低温耐性、脱シスト、酸耐性、環境ストレス

## 1. はじめに

繊毛虫綱 (Ciliophora) は、単系統の分類群であるが、多様性が高く、少なくとも 8,000 種が属する分類群である (Lynn, 2008)。繊毛虫の細胞は、基本的に単細胞性であるが故にひとつの細胞が数多くの機能を果たすことができるよう高度に発達している。その例として大核と小核の存在や繊毛の存在があげられる。通常の生命活動における生命情報を担うのは大核であり、小核は有性生殖である接合を行うときのみ働き、普段はほとんど機能していない。また細胞表層部には繊毛を有し、繊毛虫は繊毛を使って遊泳することができる。繊毛虫の生存には水が必須で、多くの種が海水から淡水域までの水環境に広く生息しているが、水が存在しないことも多い土壌環境（水たまりなどの一時的な水環境）にも繊毛虫が生息することが知られている。それらは、「土壌繊毛虫」と呼ばれ、500 種あまりが報告されている (Bamforth, 2001)。土壌繊毛虫が、水がない土壌中で生存できる理由は、環境耐性のある

休眠シストを形成できるからである。繊毛虫の休眠シスト形成は、大規模な形態学的かつ生理学的な変化を伴うプロセスである (Gutiérrez et al., 1990)。休眠シストは、「休眠」という言葉からも推測できるように、代謝が測定できないレベルまで抑制された無代謝休眠 (cryptobiosis; Keilin, 1959) と定義される状態にある (Gutiérrez et al., 1990)。

本稿で話題にする *Colpoda cucullus* Müller, 1773 Nag-1 株 (以下 *C. cucullus* は全て本株をさす) を含む、コルポーダ属の土壌繊毛虫 *Colpoda* spp. (以下、コルポーダとよぶ) は、田畑の水たまりなど一時的な水環境でよく見られる原生生物である。コルポーダは休眠シストに分化し、落ち葉の裏側や土壌に付着して乾燥を耐え忍ぶ。降雨などにより水環境が出現すると、コルポーダはわずか 1-2 時間で休眠シストの細胞構造を運動性をもつ増殖型細胞（栄養細胞）の構造に作り替え、休眠シストから脱出する (図 1, 2 参照)。このような栄養細胞構造の再構築とシスト壁から脱出するまでのプロセスを脱シストと呼ぶ。脱シスト後、コルポーダは速やかに増殖（細胞分裂）を開始する。コルポーダの増殖は、単細胞生物で多く見られる単純な二

\* Corresponding author

Tel: 0246-46-0875

E-mail: [sogame@fukushima-nct.ac.jp](mailto:sogame@fukushima-nct.ac.jp)

Received: 26 Mar 2021; Accepted: 25 June 2021.



分裂と異なり，増殖シスト（図 1）を形成して進行し，1 回の分裂で基本は 4 つの娘細胞に分裂する（図 1）（Foissner, 1993）．増殖シストは休眠シストとは異なり，薄膜に包まれている（本稿は休眠シストに関する総説である）．この増殖様式は，わずかの間しか存在しない水環境中において素早く細胞数を増やすための有効な適応戦略である．一方，乾燥は栄養細胞にとって致命的であるので，水環境が消失する前に再び休眠シストを形成しなければならない．野外環境では，乾燥の到来に伴い，環境中の物質が濃縮されていく．実験室では，シスト形成は栄養細胞を高密度で  $Ca^{2+}$  を含む液中に懸濁させることにより誘導できる（Yamaoka et al., 2004; Matsuoka et al., 2009）ため，コルポーダは，塩濃度（主に  $Ca^{2+}$ ）の上昇を乾燥予知シグナルとして利用していると考えられる．一方，脱シストは，クロロフィリン溶液（Tsutsumi et al., 2004）や培養液として使用している干し草浸出液（Haagen-Smit and Thimann, 1938），麦葉浸出液（Tsutsumi et al., 2004）等にシストを浸すことにより誘導できる（図 1）．このようにコルポーダは，休眠シスト形成/脱シストの生活サイクルと分裂/増殖の生活サイクルを上手く使い分け，陸上環境に適応している（Verni and Rosati, 2011）．

コルポーダの休眠シストは，乾燥耐性（Corliss and Esser, 1974）だけでなく，紫外線耐性（Matsuoka et al., 2017; Yamane et al., 2020），超低温耐性（Taylor and Strickland, 1936; Maeda et al., 2005; Müller et al., 2010），酸耐性（Sogame et al., 2011a）を備えている．休眠シスト形成は，脱シストに比べると穏やかな経緯をたどり，シスト形成開始より 6 時間程度経過すれば一部の耐性を発揮することが出来るようになるが，全ての耐性をもつには約 1 週間以上を要する．この休眠シスト形成過程は，大規模な細胞構造の変化を伴うプロセスであり，複雑に制御されている．本稿では，コルポーダの休眠シストの形態形成やコルポーダの休眠シストの紫外線耐性，超低温耐性および酸耐性についての詳細，そしてさらにシストへの分化を制御するシグナル伝達系について，*C. cucullus* を用いた我々の研究内容を中心として概説したい．

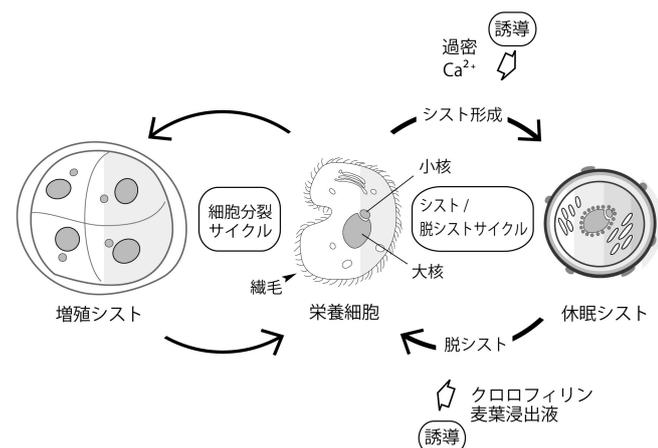


図 1. *C. cucullus* の生活史. 松岡 (2018) より改変.

## 2. 休眠シストの形態形成

我々がこれまでシスト研究に用いてきた *C. cucullus* の栄養細胞は，コルポーダ属特有の「おかめの顔」のような形状であり，その全身を繊毛が覆っている（図 2A）．しかしながら休眠シストになると，ほかの多くの繊毛虫で見られるような球形を示す（図 2B）．ここでは，シスト形成プロセス，とくに最も特徴的な構造であるシスト壁の形成過程に焦点をあて概説したい．

シスト形成は，飢餓により自発的に誘導されるが，外液に  $Ca^{2+}$  が存在する条件下で，コルポーダ栄養細胞を高密度に保つことにより実験的に効率よくシスト形成が誘導できる（Yamaoka et al., 2004; Matsuoka et al., 2009）．シスト誘導後約 2 時間で栄養細胞は徐々に球形化し始める．それにともない，粘液と粘着性の小球塊レピドソーム（図 2C, 2D）が細胞外に放出され，粘

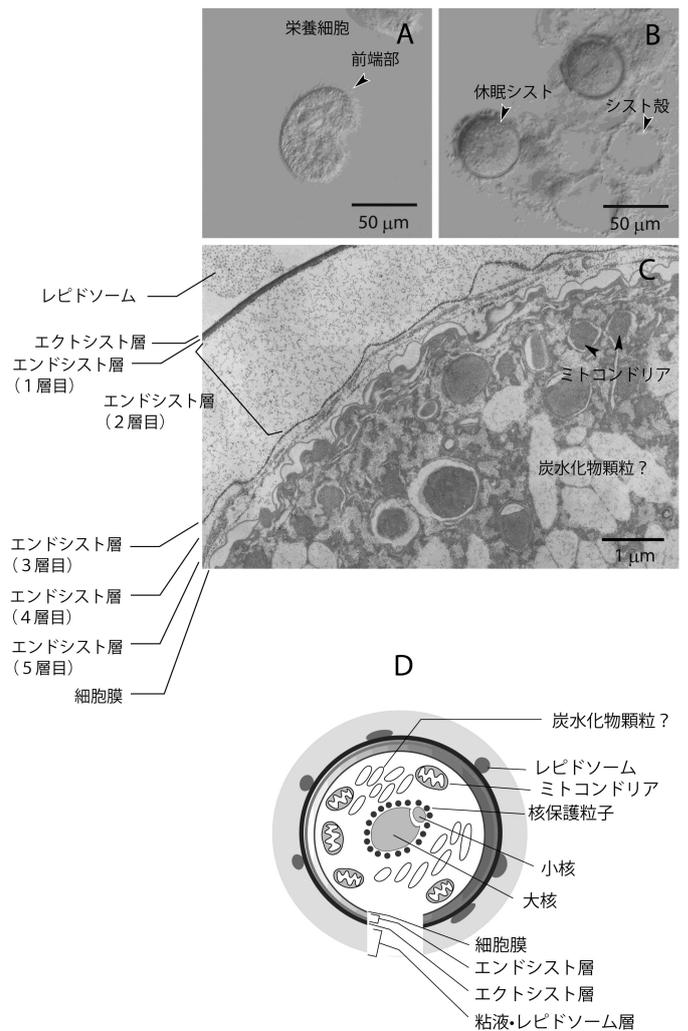


図 2. *C. cucullus* 栄養細胞と休眠シストの顕微鏡写真および休眠シストの模式図. (A) *C. cucullus* 栄養細胞の光学顕微鏡写真. (B) シスト誘導後 1 週間経過したシストを，脱シスト誘導し 3 時間後の光学顕微鏡写真. 脱シストした細胞では，エンドシスト層に裏打ちされたエクトシストの殻が残る. (C) シスト誘導後 1 週間経過した休眠シスト（完成したシスト）の透過型電子顕微鏡写真，(C) . (D) 休眠シストの模式図.

液・レピドソーム層 (図 2D) が形成される。レピドソームは、網目状構造の顆粒で、アクチン (Sogame et al., 2020) やバクテリア型のペプチド伸長因子 EF-Tu と相同性をもつ分子量 45 kDa のタンパク質 (Funatani et al., 2016) を含み、シスト同士またはシストと土壤などの基質との接着という重要な役割を担っていると考えられている。シストが固着すると細胞は完全に球形化し、粘液・レピドソーム層と細胞膜の間に、単層で強固な殻のようなエクトシスト層 (図 2C, 2D) が形成される (Funatani et al., 2010)。これで細胞は殻に囲まれ丸くなるため、見かけ上休眠シストは完成したように見える。しかしながら、この後も大規模な細胞構造の作り替えは続く。エクトシスト層の形成後、それを裏打ちするように多層からなるエンドシスト層 (図 2C, 2D) が形成される。エンドシスト層の第 1 層目 (図 2C) は、誘導後 3–6 時間後に形成され、その後 1 日に 2 回程度、既存のエンドシスト層と細胞膜の間に新たな層が形成される。電子顕微鏡写真を見ると、エンドシスト層は、厚い層と薄い層が交互に形成されている (図 2C)。これはおそらく細胞が周期的に収縮することによるものである。すなわち、細胞が収縮したときには、既存のエンドシスト層と細胞膜の間に広い間隙ができ、この間隙に液状のエンドシスト前駆体がエキソサイトーシスによって放出される。最終的に、細胞は外側から、粘液・レピドソーム層、エクトシスト層 (単層)、数層のエンドシスト層から成るシスト壁に囲まれ、休眠シストは完成する (成熟シスト; 図 2C, 2D)。

シスト壁の形成と並行して、ミトコンドリア電子伝達系は停止し、オートファジーにより一部のミトコンドリアや繊毛などの栄養細胞の構造が分解されていくという大規模なイベントが進行する (Funatani et al., 2010)。その後、オートファジーによる栄養細胞構造の分解が始まり、約 1 日後には、核と凝集したミトコンドリア以外の細胞小器官は消失し、それら以外のスペースには、貯蔵炭水化物顆粒と思われる顆粒が存在している (Funatani et al., 2010)。興味深いことに、シストの核 (大核と小核) は、「核保護粒子」(後述) に取り囲まれ保護されるようになる (Matsuoka et al., 2017)。

### 3. 休眠シストの紫外線耐性

休眠シストの環境ストレス耐性は、我々の知る限り 20 世紀初頭から研究されてきた。なかには、休眠シストが乾燥した土壤中で 49 年以上も耐え脱シストしたというエキサイティングな報告 (Corliss and Esser, 1974) も見られる。このように休眠シストの耐性そのものは報告されてきたが、「乾燥耐性」の一つを取ってみても、その耐性の「しくみ」は全くと言って良いほどわかっていない。そもそもオミクス研究が飛躍的に発展した 1990 年代以降のシストの耐性に関する研究は案外に少ない。

コルポーダのように土壤表層部に生息する微生物にとっては、乾燥だけでなく紫外線も致命的なストレスになり得る。陸上では水中に比べ細胞にあたる紫外線は強くなるからである。それゆえ彼らは、乾燥はもちろん、紫外線に対する耐性も備えなければならない。事実、土壤アメーバの 1 種であるカステラーニアアメーバ *Acanthamoeba castellanii* (属名の *Acanthamoeba* をさして、アカントアメーバとよぶこともある) のシスト (Lonnen et al., 2014) やコルポーダのシストは強い紫外線耐性を有する。我々の実験では、*C. cucullus* の湿シスト (水に浸したシスト) と乾燥シストにおける 90% 不活性化に必要な紫外線 (254 nm) 線量は、それぞれ約 190 mJ/cm<sup>2</sup> と約 200 mJ/cm<sup>2</sup> であった (図 3A, B) (Yamane et al., 2020)。枯草菌の孢子の 90% 不活性化に必要な紫外線線量が 24.5–27.5 mJ/cm<sup>2</sup> ある (Nicholson and Galeano, 2003) ことを考えると、*C. cucullus* のシストは非常に強い紫外線耐性をもつことがわかる。*C. cucullus* の栄養細胞は、15 mJ/cm<sup>2</sup> の紫外線線量で 90% 不活性化されるため、紫外線耐性はシストになることにより発揮されると考えられる (Matsuoka et al., 2017; Yamane et al., 2020)。紫外線耐性はシスト誘導後に徐々に高くなり (図 3A)、特に、誘導後 46 時間における第 1 層目のエンドシスト層の形成 (Sogame et al., 2011a) 後に著しく増強されることから (図 3A)、エンドシスト層が *C. cucullus* シストの紫外線耐性に関与していることが示唆される。

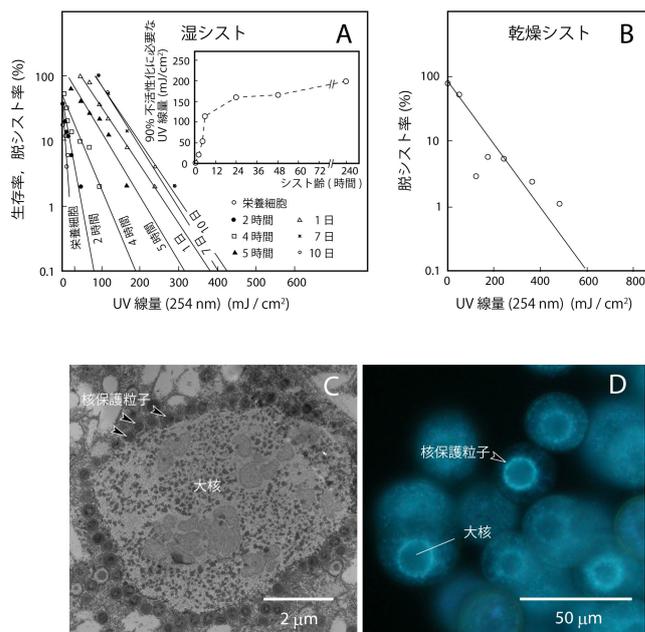


図 3. *C. cucullus* 休眠シストの紫外線耐性. (A) 湿シストの紫外線耐性とシスト形成に伴う紫外線耐性の獲得. 挿図は、湿シストの 90% 不活性化に必要な紫外線線量とシスト齢の関係. (B) 乾燥シストの紫外線耐性. (C) 湿シスト大核の透過型電子顕微鏡写真. (D) 湿シスト (シスト誘導後 2 週間以上経過したもの) に紫外線励起光を照射したときの自家蛍光 (蛍光顕微鏡写真) (A), (B) Yamane et al. (2020) を改変. (C), (D) Matsuoka, et al. (2017) を改変.

*C. cucullus* の休眠シストに紫外線を照射すると、核を取り囲む粒子（核保護粒子；図 3C）とシスト壁（主にエンドシスト層）がそれぞれ青色、青緑色の自家蛍光を発する（図 3D）（Matsuoka et al., 2017; Yamane et al., 2020）。核保護粒子やシスト壁は何らかの色素を有し、紫外線等のエネルギーを吸収することで無害な可視光にエネルギーを変換し、細胞（特に DNA）を保護していると考えられる。これを裏付けるため、シスト壁が吸収する光波長を測定した（図 4）。シストの状態ではシスト壁のみを単離することは困難であるが、脱シスト誘導して、シストから出てきた栄養細胞を除去することにより、粘液・レピドソーム層、エクトシスト層およびエンドシスト層からなると思われるシスト壁サンプルを得ることができる（図 4A-1）。このシスト壁サンプルの吸収スペクトルを測定してみると、400 nm 以下の広い紫外領域を吸収することがわかった（図 4B）。紫外線を照射したとき（図 4A-2）、エンドシスト層が最も強い自家蛍光を発し、粘液・レピドソーム層からも蛍光が観測できる。一方、エクトシスト層はほとんど自家蛍光を発していない。紫外線耐性が著しく強くなるのは、エンドシスト第 1 層目が形成される頃（シスト誘導 4-5 時間）であるので、主にエンドシスト層が紫外線を吸収する役割を担っていると考えられる（Yamane et al., 2020）。おそらく、核保護粒子やシスト壁は、コルポーダが陸上環境に適応するための重要な因子のひとつであろう。

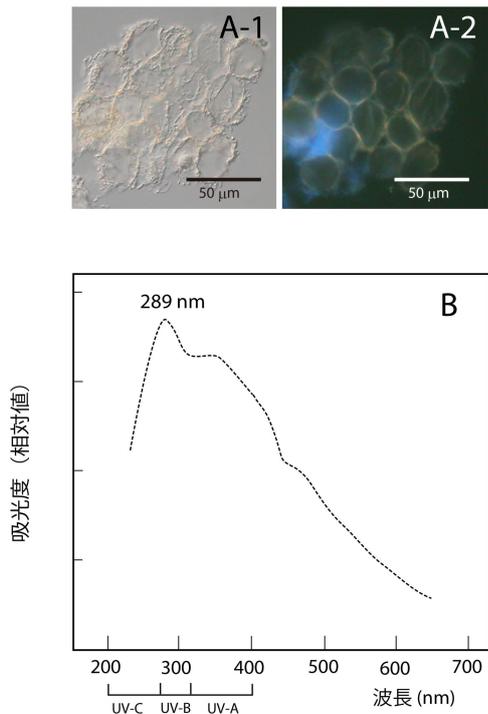


図 4. *C. cucullus* シスト壁の自家蛍光写真と吸収スペクトル. (A-1) シスト壁の微分干渉顕微鏡写真. (A-2) シスト壁を紫外線励起したときの自家蛍光（蛍光顕微鏡写真）. (B) シスト壁サンプルを寒天ゲルに懸濁し、積分球を用いて光散乱の影響を排除して測定した吸収スペクトル. Yamane et al. (2020) を改変.

コルポーダの紫外線に対する適応戦略は、休眠シストの紫外線耐性だけではない。運動能力がある栄養細胞は、暗い場所に集まる性質（負の光集合）を有し（図 5A）、光から逃避することで紫外線に適応している。このような負の光集合は、明領域で定常的な遊泳速度が大きくなり、暗領域では遊泳速度が低下または停止するしくみ（光カイネシス反応）により起こる（Kawano et al., 2017）。光カイネシス反応の作用スペクトル（図 5B）から、*C. cucullus* の負の光集合には青色光の光受容体が関与することが示唆された（Kawano et al., 2017）。それゆえ栄養細胞はシスト形成に先立って、光に反応して暗い場所に集まることができる。実際に実験用チェンバーに *C. cucullus* 栄養細胞を入れ、チェンバーの半分の領域にのみ光を照射すると、暗い側に集まって休眠シストに分化することがわかる（図 5A）。このようにコルポーダは、まずシスト分化する前になるべく安全な場所を選択し、シストを形成して動けなくなったら、シスト特異的細胞構造を上手く利用し、ただ静かに紫外線を耐え忍ぶのである。

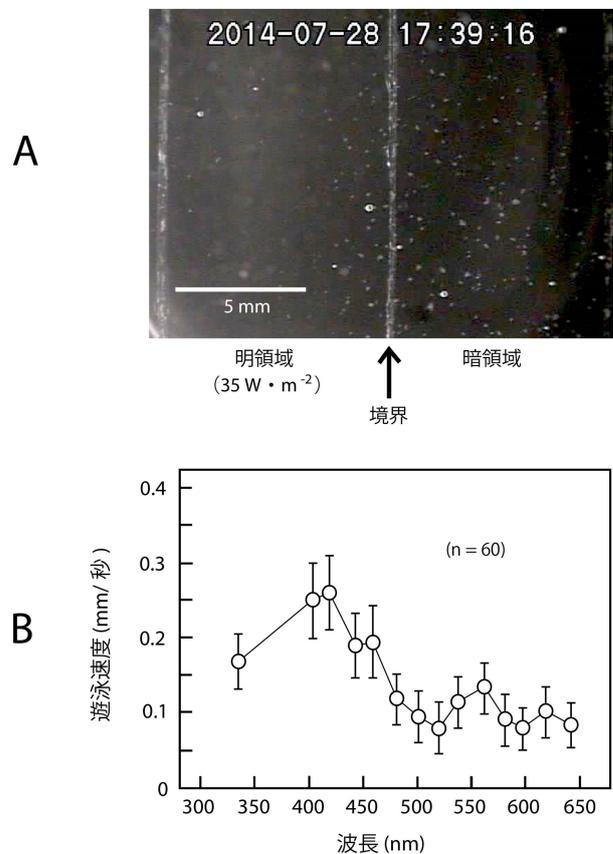


図 5. *C. cucullus* 栄養細胞の負の光集合と光カイネシス反応の作用スペクトル. (A) 実験用チェンバーに、シスト誘導した *C. cucullus* 栄養細胞の懸濁液を入れ、チェンバーの半分の領域に光を照射し、残りの半分は遮光した。8 時間放置すると、*C. cucullus*（白い点）は暗い領域に集まって休眠シストになる. (B) 光強度依存的な定常的遊泳速度の上昇反応（光カイネシス反応）の作用スペクトル. Kawano et al. (2017) を改変.

#### 4. 休眠シストの超低温耐性

46億年の地球史の中には、原生代の地球全凍結をはじめ複数回の氷河期があったことは、多くの地球科学の総説や教科書に書かれており、広く知られている(田近, 2007 など)。Wright and Lynn (1997)によれば、繊毛虫綱は、20億年以上前、すなわち原生代に起源があると考えられている。この報告に基づけば、コルポーダを含む繊毛虫は、地球全凍結などの極寒期を生き抜いてきたわけであるが、どうしてこのような環境を生き抜くことができたのであろうか。その疑問を解き明かすヒントが休眠シストの超低温耐性にあるかもしれないと夢が広がる。

*C. cucullus*の休眠湿シストを $-30^{\circ}\text{C}$ や $-65^{\circ}\text{C}$ の低温に置き、数時間-数日後に取り出して解凍してもほとんどの細胞は生きています(脱シストする)(Maeda et al., 2005; Matsuoka et al., 2020)。乾燥シストの場合は、なんと $-180^{\circ}\text{C}$ の超低温にも耐性を示すことが報告されている(Taylor and Strickland, 1936)。このような超低温耐性は、シストが超低温下において凍結しない、すなわち細胞を破壊するほど大きな氷の結晶が生成しないことによるものであろう。乾燥シストの場合、水分をほとんど含まないので $-180^{\circ}\text{C}$ で凍結しないのは驚くことではない。しかしながら、湿シストの場合はどうであろうか。*C. cucullus*の湿シストを高張液に浸すと、著しく脱水されるので、湿シストの細胞内には多量の水が含まれていることがわかる(Sogame et al., 2011a)。そこで、湿シストを破砕して得た上清を $-30^{\circ}\text{C}$ または $-65^{\circ}\text{C}$ で冷却して顕微鏡観察してみると、氷晶の微小な粒は生成するが大きな氷晶には成長しなかった(Matsuoka et al., 2020)。湿シストの場合、乾燥シストのように単純に水がないから凍結しないわけではなく、氷晶形成を阻害する何らかのメカニズムの存在が示唆される。具体的には、不凍タンパク質や多糖類などの不凍物質の関与が想定される。寒冷地に生息する動物からは様々な不凍タンパク質が発見されている。不凍タンパク質は、氷結晶の表面に結合することで結晶の成長を抑制する生体物質で、水溶液中の全ての氷結晶の成長が阻害され、全体の凍結が回避される(西宮ほか, 2010)。さらに不凍タンパク質は、細胞膜を保護する機能があることも報告されている(西宮ほか, 2010)。おそらくコルポーダも不凍タンパク質を有し、細胞の凍結による傷害を緩和しているのであろう。さらに、トレハロースのような糖類が不凍成分として機能している(白樫, 2003)可能性も考えられる。おそらくこれらの物質のうちのどれかが、生命が氷河期を乗り越えられた秘密を解くカギの一つとなる可能性が考えられる。

#### 5. 休眠シストの酸耐性

経口的に消化管内に侵入する寄生性原生生物、例えば、エントアメーバ *Entamoeba histolytica* (Serrano-Luna et al., 2013) やジアルジア *Giardia lamblia* (Hawrelak,

2003)は、消化液に耐える必要があるため、「酸耐性」の獲得は彼らにとって最も重要な生存戦略であったと考えられる。自由生活性(非寄生性)原生生物であるコルポーダの休眠シストもまた、強い酸耐性を有する。*C. cucullus*の休眠シストを0.1 M HCl (pH 1)に浸すと、シストは浸透圧により脱水されて小さくなるが培養液に戻すと脱シストすることができる(Sogame et al., 2011a; Nakamura et al., 2020)。シストが脱水されて収縮していることから、 $\text{H}^+$ や $\text{Cl}^-$ はシスト壁を通過し、細胞膜に到達していると考えられる。Gutknecht (1987)の人工平面膜を使った実験によれば、一方の膜面に接する液の $\text{H}^+$ 濃度を100万倍増加させた場合( $10^{-7}$  Mから $10^{-1}$  M)でも、 $\text{H}^+$ に対する膜のコンダクタンスはたった4倍しか上昇しない。このことから、0.1 M HCl溶液中でも脂質二重層は破壊されないこと、および脂質二重層そのものは、 $\text{H}^+$ に対する透過性が非常に小さいということがわかる。おそらく休眠シスト細胞膜も、人工膜と同様に、 $\text{H}^+$ に対する透過性が非常に低く細胞内に $\text{H}^+$ が流入することを防いでいるのであろう。一方、栄養細胞は、酸に対する耐性をもたない。これは、低pH条件下において、栄養細胞膜上に多数存在するチャネルタンパク質が正常なコンフォメーションを維持できず、細胞内に $\text{H}^+$ が一気に拡散するためであると考えられる。休眠シスト細胞の場合、シスト誘導12時間以降は、ほとんどのタンパク質の発現量は非常に少なくなっていく(Sogame et al., 2014b)。それゆえ、シスト細胞の膜上にはチャネルタンパク質がほとんど存在せず、 $\text{H}^+$ の細胞内への拡散がほとんど起きないのではないかと思われる。また、シスト形成過程では、細胞膜の再構築が起き、 $\text{H}^+$ 透過性をさらに小さくするような脂質組成に変化している可能性もある。

消化管内寄生性の原生生物にとって酸耐性が最も重要な生存戦略であると考えられることは本章のはじめに述べたが、通常は寄生性ではないコルポーダが、なぜこのような強力な酸耐性を有するのだろうか?食物と共に経口的に動物の消化管内に入り、生息域を拡大することと関係があるのかもしれない。

#### 6. 休眠シスト形成のシグナル伝達系

コルポーダの休眠シスト研究は、20世紀初頭に始まったにも関わらず、休眠シスト形成のシグナル伝達系を含む分子機構は、最近まで「全くわからなかった」と言っても過言ではないだろう。しかし、ここ10年間の研究の進展はめざましく、コルポーダだけでなく、その他の繊毛虫においても、シグナル伝達系を含むシスト形成の分子機構が明らかになりつつある。コルポーダでは、薬理学的的手法により休眠シスト誘導初期シグナル伝達経路が提唱(Matsuoka et al., 2009)されて以来、2016年までに生化学的手法やマススペクトル解析、フィーディングRNAi法などを用いた研究によりそのシグナル伝達系が解明されてきた(Sogame et al., 2011b, 2012a, b, 2014a, b, 2016)。その後、次世代シーケ

ンサーを用いたトランスクリプトーム解析により (Jiang et al., 2019), さらに下流のシグナル伝達経路が明らかになってきた (図 6) .

外液に  $Ca^{2+}$  が存在する条件下で, コルポータ栄養細胞を高密度に保つと, シスト形成が誘導される. EGTA を添加して外液  $Ca^{2+}$  をキレートした場合や,  $Ca^{2+}$  チャネル阻害剤存在下では, シスト形成が抑制される. BAPTA-AM [細胞内に入るようにアセトキシメチル基 (AM) がついた BAPTA] を細胞内に導入して, 細胞内の  $Ca^{2+}$  をキレートした場合もシスト形成が抑制される. このような結果から, 細胞相互の物理的接触刺激により, 細胞内への  $Ca^{2+}$  の流入が促進され, 細胞内  $Ca^{2+}$  濃度の上昇がシスト形成のシグナル伝達系のスイッチをオンにすると考えられた (Matsuoka et al., 2009) . その後,  $Ca^{2+}$  蛍光指示薬 Fura 2-AM を用いた蛍光レシオ解析により, 実際に細胞内  $Ca^{2+}$  濃度が上昇することが証明された (Sogame and Matsuoka, 2013) .  $Ca^{2+}$  はカルモジュリン (CaM) に結合し,  $Ca^{2+}/CaM$  は, アデニレートシクラーゼ (AC) を活性化する. この結果, cAMP 濃度が上昇し (Sogame et al., 2011b) , cAMP/タンパク質キナーゼ A (PKA) 依存的なタンパク質のリン酸化が, シスト誘導後 1 時間以内に起こる (Sogame et al., 2012a, 2014a) . シスト誘導依存的にリン酸化レベルが上昇するタンパク質のうち, 同定されたものは, アクチン, リボソーム S5 タンパク質, 過アセチル化ヒストン H4 , リボソーム P0 タンパク質, リスケ鉄硫黄タンパク質 (RISP) である (図 6)

(Sogame et al., 2012a, 2014a) . これらのリン酸化タンパク質は, 休眠シスト形成過程における形態形成 (アクチン) , 細胞周期の停止と分化 (リボソーム S5 タンパク質) , 核クロマチンの凝縮や遺伝子発現のサイレンシング (過アセチル化ヒストン H4) , DNA 複製中にシスト化が始まると, 余分のクロマチンは核から放出されて分解される (Akematsu and Matsuoka, 2008) ことから大核クロマチンの再編や部分的排除 (リボソーム P0 タンパク質) , アポトーシスの抑制 (RISP) などに関与すると思われる.

休眠シスト誘導した *Colpoda aspera* では, 5' adenosine monophosphate 活性化タンパク質キナーゼ (AMPK) , オートファジー関連遺伝子, 真核生物型伸長因子 2 キナーゼ (eEF-2K) などの発現量が増加し, 真核生物型伸長因子 2 (eEF2) の発現が抑制される (Jiang et al., 2019) . エネルギーセンサー分子である AMPK は, (AMP+ADP)/ATP の比率の増加 (Gowans and Hardie, 2014) ,  $Ca^{2+}/CaM$  依存的キナーゼキナーゼ  $\beta$  (CaMKK $\beta$ ) (Hawley et al., 2005) および PKA (Kari et al., 2019) により活性化される. PKA による AMPK の活性化は, 肝臓キナーゼ B1 (LKB1) を介してなされるが, コルポータでは, LKB1 は確認されていない. このようなトランスクリプトーム解析の結果から, AMPK 活性化のシグナル伝達経路が推定された (図 6) (Jiang et al., 2019) .

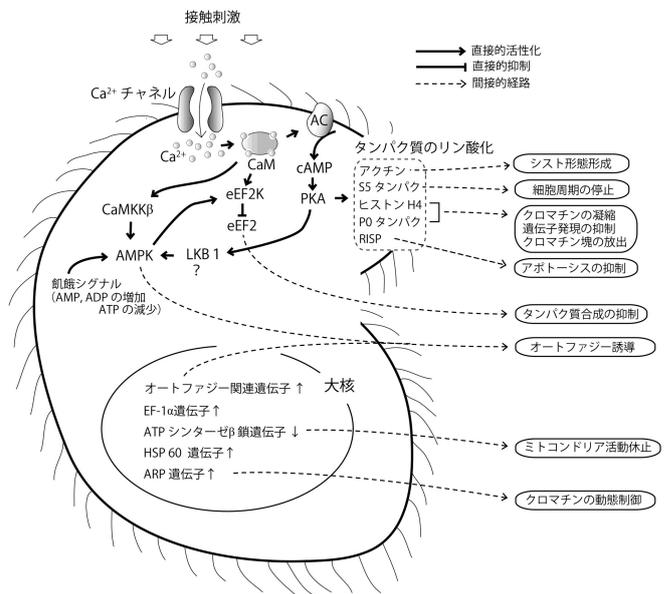


図 6. *C. cucullus* 休眠シスト形成の細胞内シグナル伝達系. Matsuoka (2021) を参考に作成した. 図中の略語は下記を示す. CaM: カルモジュリン, CaMKK $\beta$ :  $Ca^{2+}/CaM$  依存的キナーゼキナーゼ  $\beta$ , AMPK: AMP 活性化タンパク質キナーゼ, eEF-2K: 真核生物型伸長因子 2 キナーゼ, eEF2: 真核生物型伸長因子 2, LKB1: 肝臓キナーゼ B1, PKA: タンパク質キナーゼ A, AC: アデニレートシクラーゼ, RISP: リスケ鉄硫黄タンパク質, ARP: アクチン関連タンパク質.

代謝におけるストレスの増大により ATP の減少および AMP の増加によって活性化することが知られている AMPK がコルポータの休眠シスト誘導に関わっていることは間違いなさそうである. なぜなら飢餓状態のコルポータはシスト化しやすく, 対数増殖期の細胞は  $Ca^{2+}$  を含む液中で細胞密度を上げててもシスト化しにくい. 脱共役剤存在下でミトコンドリアの ATP 生成を抑制するとシスト形成は促進される (Otani and Matsuoka, 2010/2011) . AMPK に直接作用して活性化する 5-アミノイミダゾール-4-カルボキサミドリボシド (AICAR) を細胞内に導入した場合も, シスト形成は促進される (データ未発表) . 哺乳類細胞では様々な限定的要因はあるが, AMPK は下流のオートファジーのシグナル伝達経路を活性化することが知られている (猪俣ほか, 2018) . コルポータにおいても, AMPK がオートファジーの誘導に関わっている可能性が考えられる.

哺乳類細胞では, eEF2K は  $Ca^{2+}/CaM$  や AMPK により活性化され, 下流の分子 eEF2 をリン酸化することにより不活性化する (Ryazanov et al., 1988; Johanns et al., 2017) . この結果, タンパク質合成が抑制される. シスト誘導したコルポータでも, 同様のシグナル伝達経路を介してタンパク質合成が抑制される可能性がある. シスト誘導してから数時間までは, 栄養細胞構造の分解とシスト細胞構築に必要なタンパク質の合成が急速に進行する. このことから, eEF2 の不活性化によ

るタンパク質合成の抑制は、シストタンパク質の合成のピークが過ぎてから起こると考えるのが妥当であろう。

*C. cucullus* をシスト誘導した後、二次元電気泳動により経時的にタンパク質発現パターンを追跡してみると、ほとんどのタンパク質量は誘導 12 時間以降、徐々に減少していくが、一部のタンパク質の発現量は一過的に著しく変化する (図 6, 大核内に↑↓で表示)。ペプチド伸長因子 1α (EF-1α) は、シスト誘導後 2-3 時間で発現量が著しく増加し (Sogame et al., 2012b), 脱シスト誘導により栄養細胞が再構築されるまで減少しない (Sogame et al., 2013)。EF-1α は、ペプチド鎖の伸長反応を担うタンパク質である。シスト形成の初期において、シストタンパク質をすばやく合成するために EF-1α の発現量が増加することは理にかなっている。しかし、細胞骨格の動態制御等の EF-1α の多機能性 (Ejiri, 2002) やシストが完成しても EF-1α 量が減少しないことを考えると、本来の機能とは別の役割も担っている可能性がある。

ミトコンドリアの ATP 合成酵素のサブユニットである ATP シンターゼ β 鎖も多機能タンパク質である。*C. cucullus* をシスト誘導して約 4 時間で、突然 ATP シンターゼ β 鎖の発現が停止する (Sogame et al., 2012b)。原生物トリパノソーマにおける ATP シンターゼ β 鎖のノックダウン実験から、このタンパク質は、ミトコンドリアの膜電位の維持に必須であることが報告されている (Brown et al., 2006)。*C. cucullus* では、ATP シンターゼ β 鎖の発現が停止する頃 (シスト誘導後 3-4 時間)、ミトコンドリアの膜電位が消失する (Sogame et al., 2014b)。コルポーダの休眠シストにおけるミトコンドリアの活動休止 (膜電位の消失) は、ATP シンターゼ β 鎖の発現が停止することと密接な関係があると考えられる。

*C. cucullus* をシスト誘導してから 1-2 時間で、アクチンと相同性のある 49 kDa タンパク質の発現が突然増加する (Sogame et al., 2014b)。このタンパク質は、最初はアクチンと考えられたが (Sogame et al., 2014b)、その分子量から判断すると、アクチン関連タンパク質 (Actin-related protein; ARP) であると考えるのが妥当であろう。ARP は核クロマチンのダイナミクスに関与することが知られているため (Oma and Harata, 2011)、シスト形成に必要な遺伝子群の転写調節などに関与しているかもしれない。

## 7. 脱シスト

コルポーダの脱シストは、干し草などの浸出液 (Haagen-Smit and Thimann, 1938)、銅クロロフィリン溶液 (Tsumumi et al., 2004)、鉄クロロフィリン溶液 (Morishita et al., 2020) にシストを浸すことにより効率よく誘導できる。報告されていないが、マグネシウムクロロフィリンも同様の効果が期待できると考えられる。脱シスト誘導後、繊毛を含む栄養細胞構造は速や

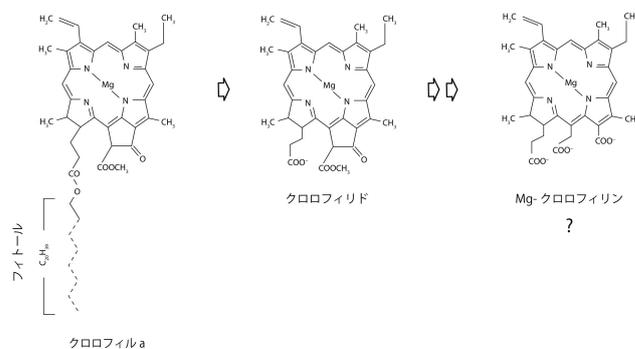


図 7. クロロフィル a の自然分解の初期過程. この過程でクロロフィリンが生成されることは、まだ報告されていない。Morishita et al. (2020) を改変。

かに (1-2 時間程度で) 再構築される。新しい栄養細胞がほぼ完成すると、細胞は強固な殻 (シスト壁) を自ら破りシストから脱出する。このシスト壁の破壊には、収縮胞を利用している。収縮胞が拍動を停止することにより、この中に水がどんどん集められ、収縮胞はシストの直径の半分以上の巨大液胞になる。高張液中でも液胞の膨張が起こることから (Funadani et al., 2013)、能動的に水が細胞内に取り込まれると考えられる。この液胞の膨圧により、強固なエクトシスト層が裂けて薄膜 (エンドシスト層) に包まれた栄養細胞が脱出する。この薄膜は、脱シスト後数分以内に分解されるか物理的に裂け、栄養細胞が泳ぎだしてくる (Funadani et al., 2013)。

干し草などに含まれる脱シスト誘導効果をもつ成分の 1 つは、マグネシウムクロロフィリンか (図 7)、この分子によく似たクロロフィル由来の水溶性成分であると思われる (Morishita et al., 2020)。*C. cucullus* のシスト壁は、フィコシアニン (40 kDa) のような大きな分子でさえ透過させるので (Morishita et al., 2020)、クロロフィリンは、シスト壁を透過して細胞膜上の受容体に結合すると考えられる。トリプシン処理により膜タンパク質の消化を試みると、シスト細胞は生きており、細胞膜の選択的透過性が維持されているにも関わらず、クロロフィリンによる脱シスト誘導は起きない (Morishita et al., 2020)。このことはシスト細胞膜上に、タンパク質性のクロロフィリン受容体の存在が示唆されるが、現在のところ、クロロフィリン受容体が本当に存在するのかや、脱シスト誘導の細胞内シグナル伝達経路は全くわかっていない。

## 8. おわりに

多種多様な繊毛虫が世界各地に生息するが、そのどれもが適した環境に生息しているわけではない。例えば彼らにとって「乾燥」は死に直結する環境ストレスであるにもかかわらず、乾燥土壌中にも彼らは生息する。Vargas and Hattori (1990) によれば、乾燥土壌 1 g 中には約 18,910 細胞の繊毛虫 (コルポーダ属は 5,720 細

胞)が存在するらしい。致命的な「乾燥」と隣り合わせにこれだけ多くの繊毛虫が生息できるのは、環境ストレス耐性を有する休眠シストを形成できるからである。休眠シスト形成は、おそらく繊毛虫の陸上環境への適応における最も有効な戦略であった。本稿では、休眠シスト形成過程における形態形成やシグナル伝達系にふれながら、休眠シストの耐性、特に「紫外線耐性」「超低温耐性」「酸耐性」について紹介した。残念なことに、陸上環境への適応における最も肝心な「乾燥耐性」のしくみに関して著者らが語れることは、コルポータは、水たまりの塩類(主に  $\text{Ca}^{2+}$ )濃度の上昇を感知することで乾燥を予知してシスト化を開始すること、シスト細胞の脱水・乾燥は、受動的なプロセスであることくらいである。シスト細胞内の水が完全に失われる前に、細胞内の生体分子が壊れないような細胞内環境をつくる必要があり、乾燥下において水と置換して生体分子が壊れないように保持できるトレハロースのような糖が細胞内に充填される可能性が高いが、推察の域をでない。乾燥耐性のしくみに関しては、今後の研究に期待しよう。

コルポータの休眠シストの最も特徴的な構造をあげるとすればそれはシスト壁であろう。本稿でシスト壁は粘液・レピドソーム層、エクトシスト層、エンドシスト層の構造からなることを紹介した。筆者らは長い間、コルポータのシスト壁は、外界環境とシスト細胞を完全に遮断するバリアーであると考えていた。しかし、シスト壁は簡単に物質を透過させてしまうことが最近になってわかってきた。コルポータのシスト壁に限れば、シスト壁は単純にバリアーということだけではなさそうである。粘液・レピドソーム層が、土壌や落ち葉などの基質にシストを付着させる役割を担い、固いエクトシスト層が細胞を物理的破壊から保護する。そして、エンドシスト層が紫外線から細胞を守る役割を担っているのである。

最近、中国の研究グループにより、トランスクリプトーム解析が行われ(Jiang et al., 2019; Pan et al., 2019), Matsuoka et al. (2009) で提唱された休眠シスト誘導初期シグナル伝達系が分子レベルで解明された。一般にシグナル伝達経路は、リン酸化などの翻訳後修飾によって情報が下流に伝えられる。休眠シスト誘導初期シグナル伝達系に続く一連のシグナル伝達経路のさらなる解明には、リン酸化タンパク質を網羅的に検出できるショットガンリン酸化プロテオミクス解析が有効な手段となりえるであろう。休眠シスト形成や脱シスト過程における栄養細胞の再構築という‘細胞の形づくり’のからくりは、かつて我々が想像した以上に複雑であるようだ。

## 謝辞

本稿を執筆するにあたり、国立感染症研究所・寄生動物部/筑波大学・生命環境系 永宗 喜三郎 博士には多大なご助言を頂きました。深く御礼申し上げます。

## 引用文献

- Akematsu, T. and Matsuoka, T. (2008) Chromatin extrusion in resting encystment of *Colpoda cucullus*: a possible involvement of apoptosis-like nuclear death. *Cell Biol. Int.*, 32, 31–38. doi: 10.1016/j.cellbi.2007.08.012.
- Bamforth, S. S. (2001) Proportions of active ciliate taxa in soils. *Biol. Fertil. Soil.*, 33, 197–203.
- Brown, S. V., Hosking, P., Li, J. and Williams, N. (2006) ATP synthase is responsible for maintaining mitochondrial membrane potential in bloodstream form *Trypanosoma brucei*. *Eukaryot. Cell*, 5, 45–53. doi: 10.1128/EC.5.1.45-53.2006.
- Corliss, J. O. and Esser, S. C. (1974) Comments on the role of the cyst in the life cycle and survival of free-living protozoa. *Trans. Amer. Microsc. Soc.* 93, 578–593.
- Ejiri, S. (2002) Moonlighting functions of polypeptide elongation factor 1: from actin bundling to zinc finger protein R1-associated nuclear localization. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 66, 1–21.
- Foissner, W. (1993) *Colpodea (Ciliophora)*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Funadani, R., Sogame, Y., Kojima, K., Takeshita, T., Yamamoto, K., Tsujizono, T., Suizu, F., Miyata, S., Yagyu, K., Suzuki, T., Arikawa, M. and Matsuoka, T. (2016) Morphogenetic and molecular analyses of cyst wall components in the ciliated protozoan *Colpoda cucullus* Nag-1. *FEMS Microbiol. Lett.*, 363, fnw203. doi: 10.1093/femsle/fnw203.
- Funadani, R., Suetomo, Y. and Matsuoka, T. (2013) Emergence of the terrestrial ciliate *Colpoda cucullus* from the resting cyst: rupture of the cyst wall by active expansion of an excystment vacuole. *Microbes Environ.*, 28, 149–152. doi.org/10.1264/jsme2.ME12145.
- Funatani, R., Kida, A., Wato, T. and Matsuoka, T. (2010) Morphological events during resting cyst formation (encystment) in the ciliated protozoan *Colpoda cucullus*. *Protistology*, 6, 204–217.
- Gowans, G. J. and Hardie, D. G. (2014) AMPK: a cellular energy sensor primarily regulated by AMP. *Biochem. Soc. Trans.*, 42, 71–75. doi: 10.1042/BST20130244.
- Gutknecht, J. (1987) Proton/hydroxide conductance and permeability through phospholipid bilayer membranes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 84, 6443–6446.
- Gutiérrez J. C., Martín-González A. and Matsusaka T. (1990) Towards a generalized model of encystment (cryptobiosis) in ciliates: a review and a hypothesis. *BioSystems* 24, 17–24. doi.org/10.1016/0303-2647(90)90025-V.
- Haagen-Smit, A. J. and Thimann, K. V. (1938) The excystment of *Colpoda cucullus*. I. The chemical nature of the excysting factors in hay infusion. *J. Cell. Comp. Physiol.*, 11, 389–407.

- Hawley, S. A., Pan, D. P., Mustard, K. J., Ross, L., Bain, J., Edelman, A. M., Frenguelli, B. G. and Hardie, D. G. (2005) Calmodulin-dependent protein kinase beta is an alternative upstream kinase for AMP-activated protein kinase. *Cell Metab.*, 2, 9–19. doi: 10.1016/j.cmet.2005.05.009.
- Hawrelak, J. A. (2003) Giardiasis: Pathophysiology and management. *Altern. Med. Rev.*, 8, 129–142.
- 猪俣恵, 堀江俊, 引頭毅 (2018) オートファジーと老化の関連性. *岐歯学誌*, 45, 1-7.
- Jiang, C., Wei, W., Yan, G., Shi, T. and Miao, W. (2019) Transcriptome analysis reveals the molecular mechanism of resting cyst formation in *Colpoda aspera*. *J. Eukaryot. Microbiol.*, 66, 212–220. doi: 10.1111/jeu.12643.
- Johanns, M., Pyr Dit Ruys, S., Houddane, A., Vertommen, D., Herinckx, G., Hue, L., Proud, C. G. and Rider, H. M. (2017) Direct and indirect activation of eukaryotic elongation factor 2 kinase by AMP-activated protein kinase. *Cell. Signal.*, 36, 212–221. doi: 10.1016/j.cellsig.2017.05.010.
- Kari, S., Vasko, V. V., Priya, S. and Kirschner, L. S. (2019) PKA Activates AMPK through LKB1 signaling in follicular thyroid cancer. *Front. Endocrinol.*, 10, 769. doi.org/10.3389/fendo.2019.00769.
- Kawano, N., Funadani, R., Arikawa, M., Harada, T., Suizu, F., Matsuoka, K. and Matsuoka, T. (2017) Photoresponse in the ciliated protozoan *Colpoda cucullus*. *Acta Protozool.*, 56, 1–7. doi: 10.4467/16890027AP.17.001.6965.
- Keilin, D. (1959) The problem of anabiosis or latent life: history and current concept. *Proc. Roy. Soc. Lond. B*, 150, 149–191. doi: 10.1098/rspb.1959.0013.
- Lonnen, J., Putt, K. S., Kernick, E. R., Lakkis, C., May, L. and Pugh, B. (2014) The efficacy of *Acanthamoeba* cyst kill and effects upon contact lenses of a novel ultraviolet lens disinfection system. *Am. J. Ophthalmol.*, 158, 460–468. doi: 10.1016/j.ajo.2014.05.032.
- Lynn, D. H. (2008) *The ciliated protozoa* 3rd Edition. Springer, Dordrecht Heidelberg London New York.
- Maeda, H., Akematsu, T., Fukui, R. and Matsuoka, T. (2005) Studies on the resting cyst of ciliated protozoan *Colpoda cucullus*: Resistance to temperature and additional inducing factors for en- or excystment. *J. Protozool. Res.*, 15, 7–13. doi: 10.32268/jprotozoolres.15.1-2\_7.
- 松岡達臣 (2018) 細胞進化の極限に挑んだ単細胞生物のはなし. 南の風社, 高知市.
- Matsuoka, K., Funadani, R. and Matsuoka, T. (2017) Tolerance of *Colpoda cucullus* resting cysts to ultraviolet irradiation. *J. Protozool. Res.*, 27, 1–7. doi: 10.32268/jprotozoolres.27.1-2\_1.
- Matsuoka, T., Kondoh, A., Sabashi, K., Nagano, N., Akematsu, T., Kida, A. and Iino, R. (2009) Role of Ca<sup>2+</sup> and cAMP in a cell signaling pathway for resting cyst formation of ciliated protozoan *Colpoda cucullus*. *Protistology*, 6, 103–110.
- Matsuoka, T., Sogame, Y., Nakamura, R., Hasegawa, Y., Arikawa, M. and Suizu, F. (2020) Antifreeze water-rich dormant cysts of the terrestrial ciliate *Colpoda cucullus* Nag-1 at –65°C: Possible involvement of ultra-antifreeze polysaccharides. *Acta Protozool.* 59, 141–147. doi: 10.4467/16890027AP.20.011.13266.
- Matsuoka, T. (2021) Early signaling pathways mediating dormant cyst formation in terrestrial unicellular eukaryote *Colpoda*. *FEMS Microbiol. Lett.* 368, fnab019. doi: 10.1093/femsle/fnab019.
- Morishita, M., Suizu, F., Arikawa, M. and Matsuoka, T. (2020) Effect of chlorophyllin on encystment suppression and excystment induction in *Colpoda cucullus* Nag-1: An implication of chlorophyllin receptor. *Asian J. Microbiol. Biotech. Environ. Sci.*, 22, 573–578.
- Müller, H., Achilles-Day, U. E. M. and Day, J. G. (2010) Tolerance of the resting cysts of *Colpoda inflata* (Ciliophora, Colpodea) and *Meseres corlissi* (Ciliophora, Spirotrichea) to desiccation and freezing. *Eur. J. Protistol.*, 46, 133–142. doi: 10.1016/j.ejop.2009.12.004.
- Nakamura, R., Sogame, Y., Arikawa, M., Suizu, F. and Matsuoka, T. (2020) Tolerance of *Colpoda cucullus* Nag-1 wet resting cysts to extreme pH (pH 1 and 13): Implications of less permeability of the cyst membrane to H<sup>+</sup> and OH<sup>-</sup>. *J. Protozool. Res.* 30, 38–46. doi: 10.24556/00004711.
- Nicholson, W. L. and Galeano, B. (2003) UV resistance of *Bacillus anthracis* spores revisited: Validation of *Bacillus subtilis* spores as UV surrogates for spores of *B. anthracis* Sterne. *Appl. Environ. Microb.*, 69, 1327–1330. doi: 10.1128/aem.69.2.1327-1330.2003.
- 西宮佳志, 近藤英昌, 坂下真実, 三浦愛, 津田栄 (2010) 不凍タンパク質 機能と応用. *化学と生物*, 48, 381–388.
- Oma, Y. and Harata, M. (2011) Actin-related proteins localized in the nucleus: from discovery to novel roles in nuclear organization. *Nucleus*, 2, 38–46. doi: 10.4161/nucl.2.1.14510.
- Otani, Y. and Matsuoka, T. (2010/2011) Encystment-inducing factor “starvation” in ciliated protozoan *Colpoda cucullus*. *Protistology*, 6, 245–250.
- Pan, N., Niu, T., Bhatti, M. Z., Zhang, H., Fan, X., Ni, B. and Chen, J. (2019) Novel insights into molecular mechanisms of *Pseudourostyla cristata* encystment using comparative transcriptomics. *Sci. Rep.*, 9, 19109. doi: 10.1038/s41598-019-55608-7.
- Ryazanov, A. G., Natapov, P. G., Shestakova, E. A., Severin, F. F. and Spirin, A. S. (1988) Phosphorylation of the elongation factor 2: the fifth Ca<sup>2+</sup>/calmodulin-dependent system of protein phosphorylation. *Biochimie*, 70, 619–

626. doi: 10.1016/0300-9084(88)90245-3.
- Serrano-Luna, J., Piña-Vázquez, C., Reyes-López, M., Ortiz-Estrada, G. and de la Garza, M. (2013) Proteases from *Entamoeba* spp. and pathogenic free-living *Amoebae* as virulence factors. *J. Trop. Med.*, 2013, 890603. doi: 10.1155/2013/890603.
- 白樫了 (2003) 糖類 (トレハロース) の細胞内凍結抑制? 生産研究, 55, 150–152.
- Sogame, Y., Hori, M., and Matsuoka, T. (2016) EF-1 $\alpha$  silencing by feeding RNAi suppresses resting cyst formation in *Colpoda cucullus* Nag-1 strain. *Inv. Surv. J.*, 13, 89–93.
- Sogame, Y., Kida, A. and Matsuoka, T. (2011a) Possible involvement of endocyst in tolerance of the resting cyst of *Colpoda cucullus* against HCl. *African J. Microbiol. Res.*, 5, 4316–4320. doi: 10.5897/AJMR11.190.
- Sogame, Y., Kinoshita, E. and Matsuoka, T. (2011b) Ca<sup>2+</sup>-dependent *in vivo* protein phosphorylation and encystment induction in the ciliated protozoan *Colpoda cucullus*. *Eur. J. Protistol.*, 47, 208–213. doi: 10.1016/j.ejop.2011.02.003.
- Sogame, Y., Kojima, K., Takeshita, T., Fujiwara, S., Miyata, S., Kinoshita, E. and Matsuoka, T. (2012a) Protein phosphorylation in encystment-induced *Colpoda cucullus*: Localization and identification of phosphoproteins. *FEMS Microbiol. Lett.*, 331, 128–135. doi: 10.1111/j.1574-6968.2012.02560.x.
- Sogame, Y., Kojima, K., Takeshita, T., Kinoshita, E. and Matsuoka, T. (2012b) EF-1 $\alpha$  and mitochondrial ATP synthase  $\beta$  chain: Alteration of their expression in encystment-induced *Colpoda cucullus*. *J. Eukariot. Microbiol.*, 59, 401–406. doi: 10.1111/j.1550-7408.2012.00628.
- Sogame, Y., Kojima, K., Takeshita, T., Kinoshita, E., Funadani, R. and Matsuoka, T. (2013) Excystment-dependent protein expression in terrestrial ciliate *Colpoda cucullus*. *Microbes Environ.*, 28, 388–390. doi: 10.1264/jsme2.ME12200.
- Sogame, Y., Kojima, K., Takeshita, T., Kinoshita, E. and Matsuoka, T. (2014a) Identification of cAMP-dependent phosphorylated proteins involved in the formation of environment-resistant resting cysts by the terrestrial ciliate *Colpoda cucullus*. *Inv. Surv. J.*, 11, 213–218.
- Sogame, Y., Kojima, K., Takeshita, T., Kinoshita, E. and Matsuoka, T. (2014b) Identification of differentially expressed water-insoluble proteins in the encystment process of *Colpoda cucullus* by two-dimensional electrophoresis and LC-MS/MS analysis. *J. Eukariot. Microbiol.*, 61, 51–60. doi: 10.1111/jeu.12086.
- Sogame, Y., Kojima, K., Takeshita, T., Kikuchi, S., Shimada, Y., Nakamura, R., Arikawa, M., Miyata, S., Kinoshita, E., Suizu, F. and Matsuoka, T. (2020) Analysis of water-soluble proteins by two-dimensional electrophoresis in the encystment process of *Colpoda cucullus* Nag-1 and cytoskeletal dynamics. *Acta Protozool.*, 59, 107–120. doi:10.4467/16890027AP.20.009.13264.
- Sogame, Y. and Matsuoka, T. (2013) Evaluation of intracellular Ca<sup>2+</sup> concentration by fura 2 ratiometry in encystment-induced *Colpoda cucullus*. *Acta Protozool.*, 52, 51–54. doi: 10.4467/16890027AP.13.005.0833.
- Taylor, C. V. and Strickland, A. G. R. (1936) Effects of high vacua and extreme temperatures on the cysts of *Colpoda cucullus*. *Physiol. Zool.*, 9, 15–26.
- 田近英一 (2007) 地球凍結と生物進化. 地学雑誌, 116, 79–94.
- Tsutsumi, S., Watoh, T., Kumamoto, K., Kotsuki, H. and Matsuoka, T. (2004) Effects of porphyrins on encystment and excystment in ciliated protozoan *Colpoda* sp. *Jpn. J. Protozool.*, 37, 119–126. doi: 10.18980/jjprotozool.37.2\_119.
- Vargas, R. and Hattori, T. (1990) The distribution of protozoa among soil aggregates. *FEMS Microbiol. Lett.*, 74, 73–77. doi: 10.1111/j.1574-6968.1990.tb04053.x.
- Verni F. and Rosati G. (2011) Resting cysts: A survival strategy in Protozoa. *Ciliophora. Ital. J. Zool.* 78, 134–145. doi.org/10.1080/11250003.2011.560579.
- Wright, G. A. D. and Lynn, D. H. (1997) Maximum Ages of Ciliate Lineages Estimated Using a Small Subunit rRNA Molecular Clock: Crown Eukaryotes Date Back to the Paleoproterozoic. *Arch. Protistenkd.* 148, 329–341. doi: 10.1016/S0003-9365(97)80013-9.
- Yamane, S., Watanabe, M., Funadani, R., Miyazaki, R., Hasegawa, Y., Arikawa, M., Suizu, F., Matsuoka, K. and Matsuoka, T. (2020) Tolerance of *Colpoda cucullus* Nag-1 resting cysts and presumed structure for protection against UV light. *Acta Protozool.*, 59, 55–60. doi:10.4467/16890027AP.20.004.12160.
- Yamaoka, M., Watoh, T. and Matsuoka, T. (2004) Effects of salt concentration and bacteria on encystment induction in ciliated protozoan *Colpoda* sp. *Acta Protozool.*, 43, 93–98.

## 日本における土壌原生生物の研究

島野 智之

Satoshi D. SHIMANO

法政大学自然科学センター

〒102-8160 東京都千代田区富士見 2-17-1

## 要旨

土壌原生生物は、土壌に適応している原生生物の総称である。本稿では、日本における研究から、土壌原生生物の多様性、土壌生態系での原生生物の役割、そして、土壌原生生物の農業上の防除資材としての利用についての研究を紹介する。

キーワード：土壌生態系、根圏、微生物生態、多様性、病害防除

## 1. 土壌原生生物とは

原生生物の生活には、水の存在が不可欠である。しかし、淡水や海などの永続的に水の存在する環境だけではなく、乾燥を伴う陸上環境にも原生生物を見いだすことができる。土壌から原生生物を報告した先駆的な仕事として引用されるのは Ehrenberg (1838) である。近年においても、土壌に出現する従属性原生生物や微細藻類は、偶発的に土壌から見つかったに過ぎないという見解が主張されることもあるが (服部, 2000)、極端な例として、ナミビアのナミブ砂漠からも多数の新種が報告されるなど (Foissner et al., 2002)、土壌に適応した原生生物の多様性が報告されている (Foissner, 1987, 1997; Finley et al., 1999)。さらに、土壌原生生物の環境指標化も提案されている (Foissner, 1999; 島野, 2014 など)。

土壌に生息する原生生物の多くは、土壌環境の極めて高い乾燥ストレスを生き残るに、休眠シストを形成する。土壌における原生生物の一定体積あたりのバイオマス (休眠シストも含む) の多さは、ときに淡水を凌ぐ。これは、土壌団粒の複雑な間隙に休眠シストが蓄えられているためである (Vargas and Hattori, 1991; Hattori, 1994)。

Vargas and Hattori (1990) は、光学顕微鏡の可視光下で MPN 法 (most probable number method) を用いて、1 g の乾燥土壌 (大人の小指の先ほどの体積) の中に原生

生物の細胞が約 17 万細胞存在すると推定した。その内訳は、アメーバ類：約 123,000 細胞、鞭毛虫類：約 27,300 細胞、繊毛虫類：約 18,910 細胞 (うち、コルポダ類 (*Colpoda* spp.) は 5,720 細胞) で、多くは休眠シスト由来であると考えられる。なお、上述したアメーバ類、鞭毛虫類とは、生態学研究の現場で用いられている便宜的な呼び方であり、単系統の分類群である繊毛虫 (Ciliophora) 以外は、実際には多系統である。原生生物の系統に関する詳細は、Adl et al. (2019) あるいは、矢崎・島野 (2020) を参照していただきたい。

原生生物は、湿重量では全土壌動物の 39%、乾燥重量では 12% を占めている (Hausmann et al., 2003)。さらにおもしろいことに、原生生物は、土壌動物バイオマスで大きな割合を占めるミミズ類の栄養・成長にも重要な役割を担っているようであり (Bonkowski and Schaefer, 1996)、土壌生態系での役割の重要性が推察できる。

さて、土壌環境で、多様性とバイオマスが高い原生生物を表 1 に示す (Geisen et al., 2018)。様々なグループの原生生物において、土壌環境に適応した分類群がみられる。細胞性粘菌などを除けば、高次の分類レベルで土壌に特化している例はそれほど多くはない。

土壌が形成されたのは、オルドビス紀における陸上植物の出現以降である (図 1)。陸上植物は、5 億 1000 万年ごろに緑藻類から派生し、季節的に乾燥する小さな池などの水辺で陸上化はおこったと考えられている (Raven and Edwards, 2001 など)。また、



Tel/Fax: 03-3264-4142 / 03-3264-4143

E-mail: [sim@hosei.ac.jp](mailto:sim@hosei.ac.jp)

Received: 8 November 2020; Accepted: 26 July 2021.

表 1. 土壌環境において多様性とバイオマスが高い原生生物 (Geisen et al., 2018). 分類群名・一般名詞の区別は原典 Fig. 1 のまま (高次分類群は除く).

高次分類群	多様性とバイオマスが高い原生生物
アルベオラータ Alveolata	Apicomplexa (gregarines, colpodellids), Ciliophora (Oligohymenophorea, Phyllopharyngea, Colpodea, Litostomatea, Armophorea, Spirotrichea, Heterotrichea)
リザリア Rhizaria	Thecofilosea, Thaumatomonadida, Euglyphida, glissomonads, cercomonads, vampyrellids, Phytomyxea, Foraminifera
アーケプラスチダ Archaeplastida	chlorophytes, trebouxiophytes
*エクスカバータ Excavata	kinetoplastids, euglenids, heteroloboseans, jakobids
アメボゾア Amoebozoa	corycids, echinamoebids, arcellinids, euamoebids, flamellids, protostelids, fractovitellids, dictyostelids, myxogastriids, thecamoebids, dermamoebids, vannellids, centramoebids, pellitids, himatismenids
オピストコンタ Opisthokonta	fonticulids, Cryptomycota
ストラメノパイル Stramenopiles	amphifilids, bicosoecids, oomycetes, chrysophytes, diatoms

\*著者注：現在は用いられていない分類群名。単系統ではない (Adl et al., 2019)。

清川ほか (2014) では完全な陸上植物の出現は 4.2 億年前と推定している。いずれにしても約 5 億年前の土壌と土壌生態系の形成以降に土壌原生生物 (以下、土壌環境に生息する原生生物の意味で用いる) が出現することになる。真核生物存在の証拠を 21 億年前のグリバニアの化石あるいは 12 億年前の紅藻の化石とすると (図 1) (Keeling et al., 2005 など), 原生生物が多様化した後に土壌環境への適応が起きたことになる。おそらく、多様な分類群の原生生物が陸上化にともない、それぞれの特徴を活かし土壌環境に適応したため、動物 Metazoa (近年 Animalia として用いられる: Adl et al., 2019; Giribet and Edgecombe, 2020) や、有胚植物 Embryophyta (Adl et al., 2019 など) で起きたような陸上での多様な分類群の創出が起ったのであろう。

近年までの土壌生態学における原生生物の機能と役割については島野 (2002, 2007, 2009, 2018), 土壌原生生物の調査法と問題点については島野 (2009, 2018) にまとめられている。また、最近、土壌原生生物の研究手法 (Geisen and Bonkowski, 2018) や土壌原生生物研究の概説 (Geisen et al., 2018) が公開され、極めて現代的

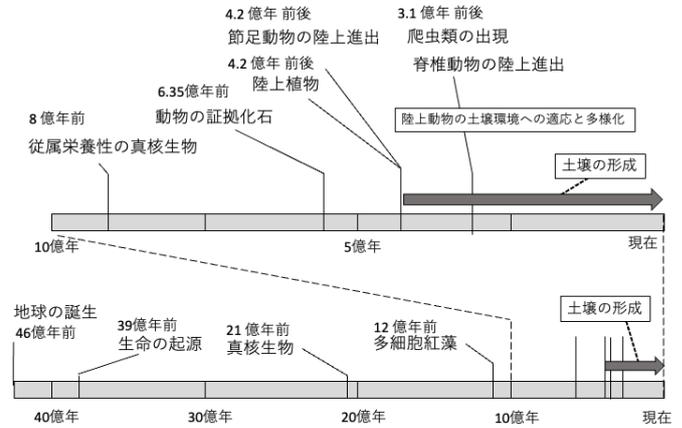


図 1. 地球史における真核生物の出現と土壌の形成、陸上動物の土壌環境への適応と多様化 (模式年表) (清川ほか, 2014; Sebé-Pedrós et al., 2017; Giribet and Edgecombe, 2020 を参考に作成). 土壌が形成されたのは約 4 億年前だと仮定して、陸上動物の土壌環境への適応と多様化はそれ以降である。恐竜が出現し昆虫が多様化したのは約 2 億年前である。

な手法もこれらで整理された。次項では、日本において土壌原生生物がどのように研究されてきたのかを中心に生態学的研究・多様性研究について振り返ってみたい。

## 2. 土壌原生生物の多様性

筆者の知る限り、日本における土壌原生生物の多様性に関する報告は、Shibuya (1927) 及び澁谷 (1929) の短い報告が最初である。また、前述した Ehrenberg (1838) に影響を受け、世界中から収集した土壌を寒天培地上で培養し、出現する多様な原生生物群集をまとめた書籍 (Sandon, 1927) の中に日本の原生生物相についての記載もある。

つづいて Suzuki (1954) は、土壌から得られる *Blepharisma undulans* Stein, 1868 について、核の形態の変異について分類学的研究を行った。Takahashi (1973) は、水田のイネの株から繊毛虫を新種として記載した。Berger and Foissner (1989) は、日本の土壌から得られた繊毛虫について、Bonnet (1977, 1979a, b), Coûteaux (1978) は、同様に日本の土壌から得られた有殻アメーバについて、先駆的に新種記載をおこなった。鈴木 (1964a, b, 1981a, b など) は、日本を中心に様々な環境中 (水圏以外) の原生生物の調査研究をまとめている。

日本の草地土壌に生息する原生生物の生態を観察するために、分子生物学的手法に基づいた微生物生態学的解析が導入された。まずは、個体の形態情報とこれを遺伝情報と結びつけるためのシングルセル PCR 法の開発 (Shimano et al., 2008) が行われた。次に、土壌から直接 DNA を抽出し (環境 DNA, eDNA) 群集解析を行うために、繊毛虫特異的プライマーが開発され

(Puitika et al., 2007), Shimano et al. (2011) によって, Denaturing Gradient Gel Electrophoresis 法 (DGGE 法, 変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法) が土壤繊毛虫に最適化され, 土壤中の繊毛虫群集を簡便に捉える事が出来るようになった. 土壤から未同定の繊毛虫の系統なども合わせて発見されている (Shimano et al., 2011). 同様に DGGE 法を用いた, 温室における太陽熱土壤消毒の原生生物群集に与える効果 (Murase et al., 2015a), 耕起・不耕起条件の畑作土壤での原生生物群集についても報告されている (島野, 2006).

日本の農業面積の多くは水田である. 高橋・洲濱 (1991) 及び高橋 (2000) は, 稲株と水田土壤から出現した繊毛虫の種を調査した. 稲株からは 68 種, 土壤からは 47 種が出現し, 全部で 79 種, そのうち共通種は 36 種, 稲株からだけ出現したものは 32 種, 逆に土壤からだけ出現したものは 11 種であった.

水田における分子生物学的手法による微生物生態学的研究は, Murase et al. (2006) の DGGE 法をもちいた研究から始まった. メタン酸化菌と原生生物の動態 (Murase and Frenzel, 2007, 2010), 安定同位体を用いた炭素循環と原生生物群集の解析 (Murase et al., 2012), 水田長期施肥による原生生物群集の変化 (Murase et al., 2015b), 水田での異なる酸素濃度条件での原生生物群集の変化 (Takenouchi et al., 2016) など, いずれも DGGE 解析や Terminal-Restriction Fragment Length Polymorphism (T-RFLP, 末端制限断片長多型解析), クローンライブラリーをもちいて群集の変化を追っている. 最近では, 水田での原生生物によるイネの植物成長促進根圏細菌の安定的な生存について, 超並列型シークエンサーを用いた解析も行なわれている (Asiloglu et al., 2020).

農業地以外での群集生態学的研究は, 北海道の無人島である大黒島の原生生物相 (Shimano and Horiguchi, 2008), 日本中部の低栄養ミズゴケ湿原の有殻アメーバ群集 (Shimano et al., 2017a), ビル屋上有殻アメーバ群集の比較研究 (Shimano et al., 2017b) が報告されている.

Singer et al. (2019) は, 熱帯のコスタリカ, 亜熱帯の屋久島, そして, 温帯のスイス・イタリアにまたがる湿原のそれぞれのミズゴケ湿原 (*Sphagnum moss*) で, 環境 DNA に基づいて超並列型シークエンサーを用いて 3,035 OTUs (operational taxonomic unit) の原生生物群集の比較を行ったところ, 温帯よりも熱帯と亜熱帯では, OTU の多様性が高くアピコンプレクサ (Apicomplexa) などの動物寄生性の OTU が多いことに起因していると考えられた. また, 分解者は熱帯と亜熱帯で増加し, 光合成能と捕食能を併せ持つ混合栄養生物 (葉緑体をもつ有殻アメーバなど) は温帯で増加した. また, Wannier et al. (2020) は, 栃木県の渡良瀬遊水地で, 足尾銅山から流れ出た重金属汚染の蓄積が, 土壤有殻アメーバ群集の構成に影響を与えていることを報告した.

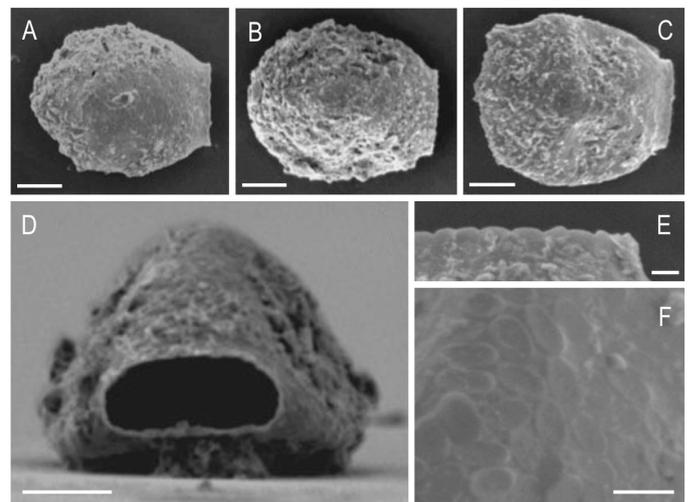


図 2. *Matsakision ogawaraensis* Aoki, Sogame, Wannier, Mazei and Shimano, 2020: SEM 像, A–C 背面; 形態的変異; D 開口部; E 開口部端; F 殻のスケール (鱗片) (Aoki et al., 2020, 許可を得て掲載). スケールバー: A–D, 10  $\mu$ m; E, 1  $\mu$ m; F, 5  $\mu$ m.

近年, 日本の土壤原生生物に関する分類学的研究として, Bobrov et al. (2012) は, 2 種の有殻アメーバを, Bobrov and Kosakyan (2015) は 1 種の有殻アメーバを日本中部の高山のミズゴケから分離し新種として記載した. Aoki et al. (2020) は, 1 種の有殻アメーバを青森県小川原湖の湖畔の砂から見出し新種として記載した (図 2). また, Shimano et al. (2014) は皇居の土壤から 54 種の有殻アメーバを見出したが, このうち 1 属 (*Planhoogenradia*), 19 種を日本からの新記録として報告した. 日本では, 未だに, 土壤原生生物の分類学的研究, 多様性研究が充分ではないために, 皇居という限られた空間を調査しただけでもこのように多数の日本新記録種が出現する. Bobrov et al. (2019) は, 日本を含むユーラシアから熱帯地域までの有殻アメーバの生物地理学的特徴をまとめた. なお, 生物多様性研究の手引きとして, 石井 (1993, 1999) によって土壤アメーバの特徴と同定法, 高橋 (1993) によって土壤繊毛虫の検出法と分類がまとめられている. また, 画像データベースとして, 土壤原生生物は湿原などに限定されるが, 月井ほか (1995–2018) による原生生物情報サーバ (<http://protist.i.hosei.ac.jp/index-J.html>) を参照されたい.

### 3. 土壤生態系での微細環境における原生生物の微生物群集のコントロールと物質循環への寄与

日本で, 微生物生態学的観点から, 原生生物が土壤生態系において重要な役割をしていることを最初に示したのは, Hattori (1994) であろう. 土壤団粒と土壤微生物, 及び原生生物の空間分布と被食一捕食の関係に関する研究成果である. 前述したように Vargas and Hattori (1990) は, 乾燥土壤 1 g に, 約 17 万細胞の原生生物

が存在すると推定した。しかし、それらの原生生物の多くは、休眠シストの状態であったと考えられる。一方、活動体の状態にある土壤繊毛虫の数は、Foissner (1987) によれば湿土壌 1 g あたり 50 個体以下、Bamforth (2001) によれば、乾燥ストレス条件下の土壌 1 g の土壌団粒あたり平均 150–250 個体であるという。土壤繊毛虫で代表的な *r* 選択 (内的自然増加率を高くする方向) の生存ストラテジーをとる *Colpoda* 属では (Lüftenegger et al., 1985), 原生生物が休眠シストから活動体に、あるいは活動体から休眠シストに変化するのには数時間から 24 時間であり (和唐ら, 2003), 土壌が雨などによって、乾燥と湿潤を繰り返す度に、土壌に生息する原生生物は、休眠シストと活動体に姿を変化させている。

土壌団粒には、物理的構造として大小様々な間隙が存在する。例えば、Vargas and Hattori (1986) は、バクテリアと繊毛虫 (*Colpoda* sp.) を滅菌した土壌団粒に接種する実験を行うことで、土壌に生息するバクテリアと捕食者原生生物は、自分達の体サイズにあわせて、土壌団粒に存在する大小様々な間隙を使って、捕食と被食、そこからの生存をくりかえすという微生物の生態の一面を切り取って見せた。Hattori (1994) は、土壌団粒が湿潤になれば、原生生物が入り込めない土壌団粒の隙間に生存していたバクテリア細胞が増殖を始めその団粒から外に出る。原生生物は湿潤環境により休眠シストから活動体となり、これらのバクテリア細胞の摂食を開始するという「バクテリア群集は原生生物の捕食によってコントロールされている」というスキームを提案した。以上は、橋本 (2000) が日本語で詳しい解説を行っている。

農業上の水圏 (水田) では、原生生物の捕食によってバクテリア群集の種組成の変化が起こることにより (Jürgens et al., 1999), バクテリア自体が原生生物の捕食から逃れる様々なストラテジーを獲得することが報告されている (Matz and Kjelleberg, 2005)。例えば、Murase et al. (2006) は、水田土壌において原生生物の接種と非接種の処理区を比較することでバクテリア群集の質の変化を T-RFLP 法で捉えている。今後、原生生物存在下で、乾燥あるいは湿潤条件の土壌団粒中においてバクテリア群集の質がどの様に変化するのかを捉えるなどの成果が期待される。

さて、森林の土壌での生態系生態学とその流域における物質循環に、原生生物が寄与する例として有殻アメーバのバイオシリカ量の循環への貢献 (青木, 2007 など) がよく知られている。

Aoki (2003) は、独自の計数法を考案し、Aoki et al. (2007) は有殻アメーバの生態系への役割を明確に示し、土壤原生生物学分野にインパクトを与え、いずれも多くの引用がなされている。ケイ酸塩鉱物は地殻に存在する造岩鉱物の 90% にあたり、陸上植物にも相当量のケイ素が含まれている。陸域のケイ酸は河川を通じて海に運ばれ、ケイ藻によって殻に蓄積されることは

よく知られている。陸域においても、ケイ素は植物の健全な育成には不可欠で、植物によって蓄積されるケイ素の量は、年あたり 60–200 Tmol Si で、海洋のケイ藻によって固定されるケイ素の量、年あたり 240 Tmol Si に匹敵し、陸域シリカサイクルにおいて植物が大きな役割を占めていることが知られている。双子葉植物ではケイ素は乾燥重量の 0.5% 以下だが、イネ科植物では 10–15% に達する (Epstein, 1994)。また、ケイ素は生育と収量、酵素活性、病害虫抵抗性、水分欠乏耐性、塩類過剰抵抗性、冷害抵抗性に重要な役割を果たしている (藤井, 2002 など)。Aoki et al. (2007) は、独自に有殻アメーバに含まれるバイオシリカ量を算出し、かつ、これまでに報告されている森林土壌の有殻アメーバ個体密度データから、生態系全体で有殻アメーバによって保持されているバイオシリカ量を算出した。その結果、生きて有殻アメーバの殻として保持されている量は植物によって保持されている量の百から千分の一と小さな値であった。一方、有殻アメーバの年間生産量から有殻アメーバによって土壌に供給されるバイオシリカ量を算出した結果、植物によって生産される量に匹敵するものであった。有殻アメーバは極小の生物でありながら、短いライフタイム、活発な増殖によって毎年大量のケイ酸をバイオシリカへと変換しており、有殻アメーバのバイオシリカが風化を受けやすいこととあわせて、有殻アメーバは一時的なケイ素の保管庫として、シリカサイクルに重要な役割を果たしているものと考えられた (Aoki et al., 2007; 青木, 2007)。

#### 4. 土壤原生生物の農業上の防除資材としての利用

筆者の調べでたどり着ける、日本で最も古い植物防除に関する土壤原生生物の報告は、日野 (1926) による研究であった。本報告では、繊毛虫に植物病原菌 (糸状菌) を食べさせることによって、植物の病気を防ぐ試みである。

有名なものに、糸状菌を食べるアメーバ (食菌性アメーバ) をもちいた土壤病害の防除がある。発端となったのは、スコットランドで小麦の根腐病 (*Cochliobolus sativus*) の分生胞子の細胞壁に穿孔が見つかり、この穿孔のある分生胞子は 1 ヶ月以上おくと死滅したことである (Old, 1967)。この穿孔が大型のアメーバの食痕であり (Old, 1977)、現在のリザリアに所属する *Arachnula impatiens* (Rhizaria: Endomyxa: Vampyrellida) によることが報告された (Old and Darbyshire, 1978)。本間 (1983, 1985) によれば、これ以外にも 10 種程度が食菌性アメーバとして有望であるという。その中には *Thecamoeba* など現在のアメボゾア (Discosea) に所属するものも見られる。Cook and Homma (1979), Homma et al. (1979), 及び Homma and Cook (1985) で、病害防除のための生物資材としての利用を目的に、*A. impatiens* の土壌環境での様々な活性が報告されている。本間ほか (1982) によれば、*A. impa-*

*tiens* は北海道から沖縄まで、広く偏りなく農業土壌から得られるという。このため、海外での研究を日本に持ち帰りその可能性が検討された(本間, 1983, 1985)。しかしながら、食菌性アメーバを人為的に増殖させることができず、また、日本で問題になっている他の病害防除のためのアメーバ株の探索には結びつかず、本研究は実用化には至っていない。

## 5. 結び

本稿では、特に日本の土壌原生生物に関する研究を紹介してきた。より包括的に土壌原生生物に関して理解を深めるためには、高橋(2000)、橋本(2000)、Murase(2017)、Geisen(2018)を合わせてご覧頂きたい。

繰り返しになるが、土壌原生生物は、バイオマスが大きいため、土壌生態系では直接微生物群集をコントロールするといわれている(島野, 2018)。しかしながら、依然として、土壌原生生物の研究は遅れていると言わざるを得ない。今後、益々研究が発展することを期待したい。

## 謝辞

学会賞にご推薦していただきました、元 杏林大学・現 麻布大学・生命・環境科学部 小林 富美恵 先生に深く感謝いたします。また、2名の匿名の査読者と永宗喜三郎先生(国立感染症研究所)には修正の労を頂き深く感謝いたします。末筆ながら、土壌原生生物についてご指導をいただいた高橋 忠夫 先生(元 西九州大学)、たくさんのご指導をいただいた見上 一幸 先生(元 宮城教育大学)、盛下 勇 先生、そして日本原生生物学会にご所属の先生方には大変にお世話になりました。心よりの感謝を申し上げます。

## 引用文献

Adl, S. M., Bass, D., Lane, C. E., Lukeš, J., Schoch, C. L., Smirnov, A., Agatha, S., Berney, C., Brown, M. W., Burki, F., Cárdenas, P., Čepička, I., Chistyakova, L., Del Campo, J., Dunthorn, M., Edvardsen, B., Eglit, Y., Guillou, L., Hampl, V., Heiss, A. A., Hoppenrath, M., James, T. Y., Karnkowska, A., Karpov, S., Kim, E., Kolisko, M., Kudryavtsev, A., Lahr, D. J. G., Lara, E., Le Gall, L., Lynn, D. H., Mann, D. G., Massana, R., Mitchell, E. A. D., Morrow, C., Park, J. S., Pawlowski, J. W., Powell, M. J., Richter, D., Rueckert, S., Shadwick, L., Shimano, S., Spiegel, F. W., Torruella, G., Youssef, N., Zlotogursky, V. and Zhang, Q. 2019. Revisions to the classification, nomenclature, and diversity of eukaryotes. *J. Eukaryot. Microbiol.*, 66, 4–119. doi:10.1111/jeu.12691.

Aoki, Y. (2003) Accurate enumeration and identification of Testacea (Protozoa, Rhizopoda) in forest soil using scanning electron microscopy. *J. Microbiol. Methods*, 55, 791–795. doi:10.1016/S0167-7012(03)00204-5.

Aoki, Y., Hoshino, M. and Matsubara, T. (2007) Silica and testate amoebae in a soil under pine–oak forest. *Geoderma*, 142, 29–35. doi:10.1016/j.geoderma.2007.07.009.

青木義幸(2007) 森林土壌のシリカサイクルにおける有殻アメーバの役割。(特集:植物根圏の微生物・微小動物の機能と相互作用)。土と微生物, 61, 61–64. doi:10.18946/jssm.61.1\_61.

Aoki, Y., Sogame, Y., Wanner, M., Mazei, Y. and Shimano, S. D. (2020) A new testate amoeba, *Matsakision ogawaraensis* sp. nov. (Silicofilosea: Incertae sedis Euglyphida) from lake shore sand of Northern Japan. *Acta Protozool.*, 59, published online. doi:10.4467/16890027AP.20.008.12676.

Asiloglu, R., Shiroishi, K., Suzuki, K., Turgay, O. C., Murase, J. and Harada, N. (2020) Protist-enhanced survival of a plant growth promoting rhizobacteria, *Azospirillum* sp. B510, and the growth of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Appl. Soil Ecol.*, 154, 103599. doi:10.1016/j.apsoil.2020.103599.

Bamforth, S. S. (2001) Proportions of active ciliate taxa in soils. *Biol. Fertil. Soils*, 33, 197–203.

Berger, H. and Foissner, W. (1989) Morphology and biometry of some soil hypotrichs (Protozoa, Ciliophora) from Europe and Japan. *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool.*, 55, 19–46.

Bonnet, L. (1977) Faunistique et Biogéographie des Thécamoebiens. 1. Thécamoebiens des Sols du Mexique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 113, 40–44.

Bonnet, L. (1979a) Origine et Biogéographie des Distomatopyxis (Rhizopodes Thécamoebiens des Sols, Lobosia, Arcellinida). *C. R. Acad. Sci. Paris, Série D*, 288, 775–778.

Bonnet, L. (1979b) Nouveaux Thécamoebiens du Sol (X). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 115, 106–118.

Bobrov, A., Shimano, S. and Mazei, Y. (2012) Two new species of testate amoebae from the mountain forests soils of Japan and redescription of the genus *Deharvengia* Bonnet, 1979. *Acta Protozool.*, 51, 55–63. doi:10.4467/16890027AP.12.005.0388.

Bobrov, A. and Kosakyan, A. (2015) A new species from mountain forest soils in Japan: *Porosia paracarinata* sp. nov., and taxonomic concept of the genus *Porosia* Jung, 1942. *Acta Protozool.*, 54, 289–294. doi:10.4467/16890027AP.15.024.3538.

Bobrov, A. A., Shimano, S., Qin, Y. and Yang, J. (2019) Testate amoebae of the Gondwana-tropical group and the southwestern border of the Palearctic. *Biol. Bull. Russ. Acad. Sci.*, 46, 450–456 (In Russian). doi: org/10.1134/S1062359019050054.

Bonkowski, M. and Schaefer, M. (1996) Trophische Interaktionen von Regenwürmern und Protozoen. *Veröeff.*

- Verh. Ges. Ökologie, 26: 283–286.
- Cook, R. J. and Homma, Y. (1979) Influence of soil water potential on activity of amoebae responsible for perforations of fungal spores [*Cochliobolus sativus*, soils]. *Phytopathol.*, 69, 914.
- Coûteaux, M.-M., (1978) Quelques thécamoebiens du sol du Japon. *Rev. Écol. Biol. Sol.*, 15, 119–128.
- Ehrenberg, C. G. (1838) Die Infusionstheirchen als vollkommene Organismen. Ein Blick in das tiefere organische Leben der Natur. Leopold Voss, Leipzig. doi:10.5962/bhl.title.58475.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 91, 11–17. doi:10.1073/pnas.91.1.11
- Finlay, B. J., Esteban, G. F., Olmo, J. L. and Tyler, P. A. (1999) Global distribution of free-living microbial species. *Ecograph.*, 22, 138–144.
- Foissner, W. (1997) Global soil ciliate (Protozoa, Ciliophora) diversity: a probability-bases approach using large sample collections from Africa and Antarctica. *Biodiv. Conserv.*, 6, 1927–1638.
- Foissner, W. (1999) Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative examples. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 74, 95–112. doi:10.1016/B978-0-444-50019-9.50009-1.
- Foissner, W. (1987) Soil Protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and tetraceans, bioindicators, and guide to the literature. *Progr. Protistol.*, 2, 69–212.
- Foissner, W., Agatha, S. and Berger, H. (2002) Soil ciliates (Protozoa, Ciliophora) from Namibia (Southwest Africa), with emphasis on two contrasting environments, the Etosha region and the Namib desert, Denisia 5. Part I and II. Landes Museum, Linz.
- 藤井弘志 (2002) 水稻の生育・収量・食味に及ぼすケイ酸の効果. ケイ酸と作物生産. 日本土壌肥料学会 (編), 博友社, 東京, pp. 39–76.
- Geisen, S. and Bonkowski, M. (2018) Methodological advances to study the diversity of soil protists and their functioning in soil food webs. *Appl. Soil Ecol.*, 123, 328–333. doi:10.1016/j.apsoil.2017.05.021.
- Geisen, S, Mitchell, E. A., Adl, S., Bonkowski, M., Dunthorn, M., Ekelund, F., Fernández, L. D., Jousset, A., Krashevskaya, V., Singer, D., Spiegel, F. W., Walochnik, J. and Lara, E. (2018) Soil protists: a fertile frontier in soil biology research. *FEMS Microbiol. Rev.*, 42, 293–323. doi:10.1093/femsre/fuy006.
- Giribet, G. and Edgecombe, G. D. (2020) The invertebrate tree of life. Princeton University Press, New Jersey.
- 橋本知義 (2000) 土の原生動物のはたらき. 新・土の微生物 (7) 生態的に見た土の原生動物・藻類. 日本土壌微生物学会 (編), 博友社, 東京, pp. 55–91.
- Hausmann, K., Hülsmann, N. and Radek, R. (2003). Terrestrial biocoenoses and habitats. *In: Protistology*, third edition. Hausmann, K., Hülsmann, N. and Radek, R. E. (eds) Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 312–313.
- Hattori, T. (1994) Soil microenvironment. *In: Soil Protozoa*. Darbyshire, J. F. (ed.). Cab International, Wallingford, pp. 43–64.
- 服部勉 (2000) まえがき. 新・土の微生物 (7) 生態的に見た土の原生動物・藻類. 日本土壌微生物学会 (編), 博友社, 東京, pp. i–ii.
- 日野巖 (1926) 土壌中プロトゾアに関する研究. 第三報: 土壌及び水中に於ける植物病原菌の絶滅に関する実験的研究. *農学研究*, 28, 528–539.
- 本間善久 (1983) 食菌性アメーバによる土壌病害の防除の可能性. *農林水産技術研究ジャーナル*, 67, 6–10.
- 本間善久 (1985) 土壌アメーバによる植物病原菌の捕食 (土壌微生物とバイオテクノロジー). *土と微生物*, 27, 29–37. doi:10.18946/jssm.27.0\_29.
- Homma, Y. and Cook, R. J. (1985) Influence of matric and osmotic water potentials and soil pH on the activity of giant vampyrellid amoebae. *Phytopathol.*, 75, 243–246.
- 本間善久, 山下洋子, 勝部利弘 (1982) 我国における食菌性アメーバ *Arachnula impatiens* Cienk. の分布とその活性に及ぼす環境要因 (昭和57年度日本植物病理学会大会講演要旨). *日本植物病理學會報*, 48, 370–371.
- Homma, Y., Sitton, J. W., Cook, R. J. and Old, K. M. (1979) Perforation and destruction of pigmented hyphae of *Gaeumannomyces graminis* by vampyrellid amoebae from Pacific Northwest wheat field soils. *Phytopathol.*, 69, 1118–1122.
- 石井圭一 (1993) 土壌アメーバの特徴と同定法. *土と微生物*, 42, 21–29.
- 石井圭一 (1999) アメーバ図鑑. 掘上英紀・木原章 (編), 金原出版, 東京.
- Jürgens, K., Pernthaler, J., Schalla, S. and Amann, R. (1999) Morphological and compositional changes in a planktonic bacterial community in response to enhanced protozoan grazing. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65, 1241–1250. doi: 10.1128/AEM.65.3.1241-1250.1999.
- Keeling, P., Burger, G., Durnford, D. G., Lang, B. F., Lee, R. W., Pearlman, R. E., Roger, A. J. and Gray, M. W. (2005) The tree of eukaryotes. *Trends Ecol. Evol.*, 20: 670–676. doi:10.1016/j.tree.2005.09.005.
- 清川昌一, 伊藤孝, 池原実, 尾上哲治 (2014) 地球全史スーパー年表. 日本地質学会 (監), 岩波書店, 東京.
- Lüftener, G., Foissner, W. and Adam, H. (1985) r- and K-selection in soil ciliates: a field and experimental ap-

- proach. *Oecologia*, 66, 574–579.
- Matz, C. and Kjelleberg, S. (2005) Off the hook—how bacteria survive protozoan grazing. *Trends Microbiol.*, 13, 302–307.
- Murase, J. (2017) Quest of soil protists in a new era. *Microb. Environ.*, 32, 99–102. doi:10.1264/jsme2.ME3202rh.
- Murase, J. and Frenzel, P. (2007) A methane-driven microbial food web in a wetland rice soil. *Environ. Microbiol.*, 9, 3025–3034. doi:10.1111/j.1462-2920.2007.01414.x.
- Murase, J. and Frenzel, P. (2010) A methane-driven microbial food web in a rice field soil. *In: Abstract, 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*. Gilkes, R. J. and Prakongkep, N. (eds). 1–6 August 2010, Brisbane, Australia. pp. 1–4.
- Murase, J., Noll, M. and Frenzel, P. (2006) Impact of protists on the activity and structure of the bacterial community in a rice field soil. *Appl. Environ. Microbiol.*, 72, 5436–5444. doi:10.1128/AEM.00207-06.
- Murase, J., Shibata, M., Lee, C. G., Watanabe, T., Asakawa, S. and Kimura, M. (2012) Incorporation of plant residue-derived carbon into the microeukaryotic community in a rice field soil revealed by DNA stable-isotope probing. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 79, 371–379.
- Murase, J., Hida, A., Ogawa, K., Nonoyama, T., Yoshikawa, N. and Imai, K. (2015b) Impact of long-term fertilizer treatment on the microeukaryotic community structure of a rice field soil. *Soil Biol. Biochem.*, 80, 237–243. doi:10.1016/j.soilbio.2014.10.015.
- Murase, J., Shinohara, Y., Yokoe, K., Matsuda, R., Asakawa, S. and Hashimoto, T. (2015a) Impact of soil solarization on the ciliate community structure of a greenhouse soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 61, 927–933. doi:10.1080/00380768.2015.1079799.
- Old, K. M. (1967) Effects of natural soil on survival of *Cochliobolus sativus*. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 50, 615–624.
- Old, K. M. (1977) Giant soil amoebae cause perforation of conidia of *Cochliobolus sativus*. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 68, 277–281. doi:10.1016/S0007-1536(77)80018-1.
- Old, K. M. and Darbyshire, J. F. (1978) Soil fungi as food for giant amoebae. *Soil Biol. Biochem.*, 10, 93–100. doi:10.1016/0038-0717(78)90077-9.
- Puitika, T., Kasahara, Y., Miyoshi, N., Sato, Y. and Shimano, S. (2007) A taxon-specific oligonucleotide primer set for PCR-based detection of soil ciliate. *Microbes Environ.*, 22, 78–81. doi.org/10.1264/jsme2.22.78.
- Raven, J. A. and Edwards, D. (2001) Roots: evolutionary origins and biogeochemical significance. *J. Exp. Bot.*, 52 (suppl.1), 381–401. doi:10.1093/jexbot/52.suppl\_1.381.
- Sandon, H. (1927) The composition and distribution of the protozoan fauna of the soil. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Sebé-Pedrós, A., Degnan, B. M. and Ruiz-Trillo, I. (2017) The origin of Metazoa: a unicellular perspective. *Nature Reviews Genetics* 18, 498–512.
- Shibuya, M. (1927) Notes on the protozoa in the soil. *Proc. Imp. Acad., Jpn.*, 3, 384–385.
- 澁谷正健 (1929) 本邦産土壤纖毛虫. *農事試験場彙報*, 1, 199–214+pl. XIX-XX.
- 島野智之 (2002) 総説・根圏の原生動物. *根の研究 (Root Research)*, 11, 107–117.
- 島野智之 (2006) 土壤原生生物の利活用のための基礎的研究. *東北の農業と土壤肥料*. 日本土壤肥料学会東北支部 (編), 河北印刷株式会社, 岩手, pp. 247–249.
- 島野智之 (2007) 根圏における原生生物の役割—土壤原生生物とバクテリアおよび植物根との関連について—. *土と微生物 (Soil Microorganisms)*, 61, 41–48.
- 島野智之 (2009) 畑土壤における原生生物および纖毛虫群集の新たな解析法—顕微鏡的手法と分子生物学的手法—. *土壤の原生生物・線虫群集—その土壤生態系での役割—*. 日本土壤肥料学会 (編), 博友社, 東京, pp. 69–89.
- 島野智之 (2014) 生物指標の手法と原生生物への応用. *原生生物フロンティア: その生物学と工学*. 洲崎敏伸 (編), 化学同人, 京都, pp. 103–114.
- 島野智之 (2018) 原生生物. *土壤生態学, 実践土壤学シリーズ*. 金子信博 (編), 朝倉書店, 東京, pp. 14–30.
- Shimano, S. and Horiguchi, T. (2008) Soil protists and soil animals on Daikokujima. *In: Origin and evolution of natural diversity, Proceedings of international symposium “The origin and evolution of natural diversity”* 1–5 October 2007. Okada, H., Mawatari, S.F., Suzuki, N. and Gautam, P.(eds), Hokkaido University, Sapporo, pp. 151–152.
- Shimano, S., Bobrov, A. and Mazei, Y. (2014) Testate amoebae of the Imperial Palace, Tokyo. *Mem. Natl. Mus. Nat. Sci.*, 50, 21–28.
- Shimano, S., Onodera, Y. and Wanner, M. (2017b) Testate amoebae collected from moss on urban buildings with different age, height and distance to a possible source habitat – are there obvious colonization patterns? *Soil Org.*, 89, 151–155.
- Shimano, S., Sambe, M. and Kasahara, Y. (2011) Application of a nested PCR-DGGE (Denaturing gradient gel electrophoresis) method for the analysis ciliate communities in soils. *Microbes Environ.*, 27, 136–141. doi:10.1264/jsme2.ME11287.
- Shimano, S., Sanbe, M. and Kasahara, Y. (2008) Linkage between light microscopic observations and molecular analysis by single-cell PCR for ciliates. *Microbes Environ.*, 23, 356–359. doi:10.1264/jsme2.ME08532.
- Shimano, S., Bobrov, A., Wanner, M., Lamentowicz, M.,

- Mazei, Y. and Ohtsuka, T. (2017a) Testate amoeba diversity of a poor fen on mineral soil in the hilly area of Central Honshu, Japan. *Acta Protozool.*, 56, 211–216. doi:10.4467/16890027AP.17.018.7499.
- Singer, D., Metz, S., Unrein, F., Shimano, S., Mazei, Y., Mitchell, E. A. D. and Lara, E. (2019) Contrasted microeukaryotic diversity associated with *Sphagnum* mosses in tropical, subtropical and temperate climatic zones. *Microb. Ecol.*, 78, 714–724. doi:10.1007/s00248-019-01325-7.
- 鈴木實 (1964a) 水量の少ない環境に生息する水生微小動物群集の生態学的解析 I: 地上性コケ水にみられる水性動物相とその変動. *動物学雑誌*, 73, 165–174.
- 鈴木實 (1964b) 水量の少ない環境に生息する水生微小動物群集の生態学的解析II: 地上性コケ水動物群集の動物相構成に関する理論. *動物学雑誌*, 73, 245–250.
- 鈴木實 (1981a) 分布. 原生動物図鑑. 猪木正三 (監), 講談社サイエンティフィック, 東京, pp. 75–91.
- 鈴木實 (1981b) その他の人口環境. 原生動物図鑑. 猪木正三 (監), 講談社サイエンティフィック, 東京, pp. 126–128.
- Suzuki, S. (1954) Taxonomic studies on *Blepharisma undulans* Stein with special reference to the macronuclear variation. *J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. B, Div.*, 1, 15, 205–220.
- Takahashi, T. (1973) Mating types and two conjugation types of *Pseudourostyla levis* sp. n. (Ciliata). *J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. B, Div.* 1, 24, 145–163.
- 高橋忠夫 (1993) 土壌繊毛虫の検出法と分類. *土と微生物*, 42, 31–41.
- 高橋忠夫 (2000) 土の原生動物. 新・土の微生物 (7) 生態的に見た土の原生動物・藻類. 日本土壌微生物学会 (編), 博友社, 東京, pp. 5–54.
- 高橋忠夫, 洲濱幹雄 (1991) 水田の繊毛虫相について. *Bull. Jpn. Soc. Microb. Ecol.* (日本微生物生態学会誌), 6, 103–115.
- Takenouchi, Y., Iwasaki, K. and Murase, J. (2016) Response of the protistan community of a rice field soil to different oxygen tensions. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 92, fiw104. doi:10.1093/femsec/fiw104.
- Vargas, R. and Hattori, T. (1986) Protozoan predation of bacterial cells in soil aggregates. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 38, 233–242. doi:10.1111/j.1574-6968.1986.tb01733.x.
- Vargas, R. and Hattori, T. (1990) The distribution of protozoa among soil aggregates. *FEMS Microbiol. Lett.*, 74: 73–77. doi:10.1111/j.1574-6968.1990.tb04053.x.
- Vargas, R. and Hattori, T. (1991) The distribution of protozoa within soil aggregates. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 37, 515–518. doi:10.2323/jgam.37.515.
- Wanner, M., Birkhofer, K., Fischer, T., Shimizu, M., Shimano, S. and Puppe D. (2020) Soil testate amoebae and diatoms as bioindicators of an old heavy metal contaminated floodplain in Japan. *Microbial Ecol.*, 79, 123–133. doi:10.1007/s00248-019-01383-x.
- 和唐智子, 山岡雅仁, 長尾美智子, 荻沼一男, 松岡達臣 (2003) 繊毛虫コルポータ (*Colpoda* sp.) のシスト形成・脱シスト誘導因子. *原生動物学雑誌*, 36, 105–111. doi:10.18980/jjprotozool.36.2\_105.
- 矢崎裕規, 島野智之 (2020) 真核生物の高次分類体系の改訂—Adl et al. (2019) について—, *タクサ*, 48, 71–83.

## 書 評



## 『誰も知らない紅茶の秘密』

沼田 治 著

出版社 : 幻冬舎ルネッサンス新社

出版日 : 2021 年 4 月 15 日

ISBN : 978-4-344-93386-6

価格 : 880 円 (本体 800 円 + 税)

URL : <https://www.gentosha-book.com/products/9784344933866/>

丸山 正

Tadashi MARUYAMA

北里大学

長年テトラヒメナを研究していた著者が「誰も知らない紅茶の秘密」を出版した。著者は紅茶を飲むのが趣味なのか、と思って読み始めたが、本書は紅茶の中のミトコンドリア活性化因子の発見とその社会への応用研究の話であった。そして、研究のきっかけから、大学院生や共同研究者との研究ネットワーク形成や社会との繋がりの様子が生き生きと描かれた面白い研究物語であった。さらに本書は、現在の科学研究の重要な担い手である大学院生の現状の問題や共同研究の在り方、研究と社会との関係などを考えさせる重要な問題提起もしている。多くの方が本書を読むことで、紅茶を飲んでメタボを防ぎつつ、紅茶の成分の効能や研究と社会の関係について議論する時間を作ってほしい、と思う。

この本は、第 1 章の「紅茶に含まれる MAF とは」から順に「MAF とミトコンドリア」、「MAF と体力」、「紅茶から抽出する E80」、「人工合成の MAF と大学研究」、「紅茶で健康になるために」の 6 章よりなる。まず初めに、テトラヒメナの研究をしていた著者のグループが紅茶の中に MAF (Mitochondria Activation Factor) というテトラヒメナのミトコンドリアにおける ATP 合成を促進する成分を見出すところから社会への応用研究が始まる (第 1 章)。この成分は精製され、構造も決定されて、テアカプリンと名前が付けられている (第 2 章)。その後、実験材料はテトラヒメナからマウスにシフトして、糖尿病モデルマウスで体重増加や脂肪形成が

抑制されることが明らかになる。はじめはテアカプリンの分子量が大きいので消化管からの吸収は難しいと思われて、腹腔内投与されるが経口投与でも同様の効果があることが示され、その応用に近づいていく。これは大きな一歩だが基礎研究としてもそのメカニズムは興味深い (第 2 章)。さらに応用研究は進んで、マウスで、筋肉トレーニングと MAF 摂取により筋肉の遅筋化が生じ、持久力が増すことが示される。次のステップとして人体への影響をフィットネスクラブのメンバーの協力を得て行った結果、生活年齢という指標で、トレーニングだけのプラセボ群で 1.48 歳、トレーニング + MAF 群では 3.01 歳 (両群の差は 1.53 歳) 若くなるという (第 3 章)。研究は、応用研究から段々に開発研究に近づき、MAF の抽出法が研究される (第 4 章)。そして、マウスの腓腹筋の実験から骨格筋の肥大化の効果も示される。さらに次の段階では、商品化で重要である安価な大量生産の開発研究を中国の大学と共同で行っている (第 5 章)。そこで作られたものを「人工合成 MAF」と呼んでいるが、実際には茶葉からカテキンを抽出しそれに酵素を含む茶葉か粗抽出物を加えた酵素的生化学プロセスで得た物だ。この名称は評者には有機合成と紛らわしく、少し誤解を招くのではないかと、気になった。この大量生産のおかげで、上で記した人体への影響研究が可能になったのだそう。さらに、基礎研究の進展として筋肉への効果に加えて、テトラヒメナの繊毛運動やウニの精子鞭毛運動の亢進も明らかにされている (第 5 章)。面白いのは、ほ乳類のマウスの精子ではあまり運動亢進が生



Tel & Fax: 045-568-4659  
E-mail: [pec02660@nifty.ne.jp](mailto:pec02660@nifty.ne.jp)  
Received: 27 June 2021

じないことだが、そのメカニズムは精子といっても代謝が異なることらしい。この紅茶のMAF研究は現在商品化が見えて来た段階だが、中国の大学との関係やMAFの商品化などの将来の問題は第6章で述べられている。

本書は、紅茶の中にテトラヒメナのミトコンドリアの活性因子を発見したところから、それが飲料としての商品化が見えるまでの面白い研究の話で、とんとん拍子に進んでいるように見えるが、実際には23年間かかったそうだ。その研究の大きな推進力を支えていたのは、大学院生の活躍と学内から学外そして海外にまで及んだ共同研究であることが各章で繰り返し述べられている。そして第5章の後半で大学院生の重要性と現在の大学院制度の問題を指摘し、大学院の給費制度が提案されている。評者はこの際、大学院制度を変革して、大学研究院などと名称も変えて、今の博士課程の大学院生は修士研究員あるいは博士前研究員として、給与を支払ってはどうか、と極論を考えたが読者諸兄はどう考えるだろう。いずれにしても日本の研究体制における大学院制度を皆が考える時期に来ていると思われる。この研究では学内共同研究から始まって国際的な共同研究も大変重要な役割を果たしている。国際的共同研究には、相手の思惑の理解と同時に、自分たちの立場の明確化の必要性などが述べられている。共同研究を行う上で参考になるだろう。さらに、このような活動を行う上で資金の問題が出てくるが、

これについても学内の資金や民間の研究資金も積極的に活用している。今までは研究資金はほとんど国に依存していたのが日本の科学研究と思われるが、これからは国だけでなく、民間やさらにクラウドファンディングなども広がりつつある。研究資金源の多様化は研究内容の多様化にもつながるだろう。

本書を読む上で必要な補足的な事柄についてはコラムという形で、「テトラヒメナはどんな生物?」や「ミトコンドリア」、「生活体力年齢」、「ポリフェノール」、「繊毛・鞭毛運動」が述べられていて、それらは独立して読める。そして最後のコラムには「科学研究費補助金申請所作成」というユニークなものがあり、若い研究者を助けたいという著者の気持ちが現れている。本書では応用の基礎研究から発展して開発研究がうまく行った話が述べられているわけだが、その裏に応用を考えない純粋研究で培ってきた基本的考え方が生きていると思われる。身近な事象の中から興味深い問題を見出し、それが応用研究への発展になる場合も、応用とは離れた純粋に自然界の理解につながる場合もあるが、いずれの場合にも科学研究を行う基本的な考え方がありそれに意義があると、本書を読んでいて感じた。

多くの人がこの本を読んで紅茶に関心を向けると同時に、日本の大学院制度など研究体制が議論されて良い研究環境の構築につながることを願っている。

## 日韓若手オンライン交流企画 Visualization Workshop の実践報告 早川昌志 (ミクロ・ライフ Project)

昨年 2020 年, オンライン開催された「日韓原生生物学会合同大会 Kobe2020」において, 大会実行委員の早川昌志 (ミクロ・ライフ Project (代表), Science Researcher & Communicator) と, 日本原生生物学会若手の会役員の越後谷駿氏 (北海道大学, 大学院生) の共同ファシリテーターとして, 若手向けの国際ワークショップ「Kobe 2020 Young Protistologists Association Online Workshop Visualization Workshop: The Life of Young Protistologists」を開催させていただきました。

本稿では, ファシリテーターを代表し, 早川の文責として, その概要を報告させていただきます。本稿の記録が, 今後の皆様のオンライン学術集会や科学コミュニケーション企画等に, 少しでも役立つものとなれば幸いです。

### 【1. 企画の趣旨と概要】

学会大会では, 「研究発表」の他に, 休憩時間や懇親会などにおける「対面での交流」が, 新たな人間関係の形成や共同研究, 情報交換といった重要な役割を果たしています。これは特に, まだ学術的経験や人脈の乏しい若手研究者にとって欠かせません。加えて, これまでの原生生物学会大会では, 若手の会主導のもと, 若手研究者同士が互いに高め合えるようなワークショップやシンポジウムが数多く開催されてきました。しかし, 日本原生生物学会史上, 初めてのオンライン大会となった Kobe2020 では, 若手の会にとっても初めてのオンライン下における取り組みを迫られたのです。

オンライン大会では, 対面での交流の機会が無くなり, これまで学会をあまり経験していない若手にとって, オンライン上で相手と関係を作っていくのは困難となる可能性が考えられました。そこで, オンライン下でも, 若手研究者同士が, 相手の人柄が掴みながら交流できるようなワークショップを企画・開催しました。

本ワークショップは, オンラインビデオ会議システム SpatialChat 上で行いました。SpatialChat 上では, 参加者は画面上で自らのアイコンを操作することで自由に移動することができます。そして, 相手のアイコンとの距離に応じて, 発言の音量が変化します。これは, 実際のセミナールームにおけるグループワークの雰囲気が再現されており, 今回の若手企画の趣旨にとっても適したプラットフォームでした。

参加者には, 1 グループ約 4 人に分かれていただき, 各自, 自分自身を表現するイラストを描いてもらい, グループディスカッションを行っていただきました。こ

れには, 参加者自身の手で, 自分自身を「視覚化 (Visualization)」したイラストを媒介することによって, より参加者同士の交流を深めやすくするという狙いがありました。最後に, 参加者全員が集まって, 一人ひとりのイラストについて順番にディスカッションをし, まとめとしました。

### 【2. 実際の進行】

本ワークショップは, 図 1 のような進行で実施致しました (※個人情報・作品の保護の観点から, 一部の画像にテクスチャを入れさせていただいています)。あらかじめ, SpatialChat 上には, 図 1a のような壁紙を貼り付けておきました。この固定された壁紙上を, 参加者の方々はワークショップの進行に合わせて, さながらボードゲームの盤面のように行動することになります。参加者に表現してほしいテーマとして, 日本文

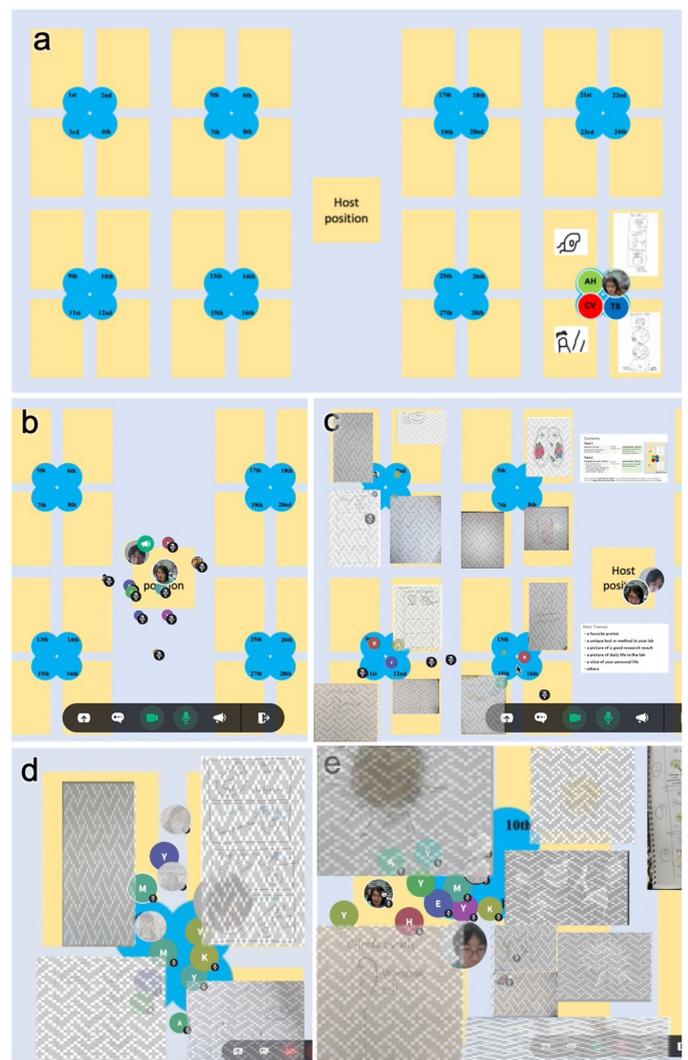


図 1.

化としての可視化の例である「漫画」を念頭に置きながら、「お気に入りの原生物」「研究室における独特な道具や方法」「自慢の研究結果」「日々の研究生生活」「個人的な生活の様子」などを例示しておきました。

さて、SpatialChat では、まず図 1b の中央にもあるように、Host position に私たちファシリテーターは待機し、Spatial chat の機能であるメガホン（参加者全体に声を届かせる機能。図 1b では、左上の越後谷氏のアイコンにメガホンのマークが出ている）を利用して、まずは参加者の皆様にも Host position に集まってもらいました。

続いて、ホストの誘導に従って、4人1組のグループに分かれてもらい、参加者の皆様には、drawing を始めていただきました。drawing は、各自それぞれ現実空間で行ってもらい、完成した作品を、スマートフォンなどで撮影してデジタルデータとし、SpatialChat 上にアップロードしてもらいました（図 1c）。一部の参加者には、このアップロードがうまくできない方がいらっしやいましたが、グループ内の参加者からの助言を受けるといふ様子も見られ、これもまた交流の一環として良いものとなったのではと思います。

その後、各グループ内で、それぞれのどのような可視化作品を drawing したのか、グループワークをしていただきました。リアルでの開催で言えば、ちょうど、対面したテーブル内でそれぞれの作品をディスカッションし合うような形です。それぞれのグループにおいて、特有のディスカッションが進行されていたのが印象的でした。かつては当たり前に行うことができたグループワークも、このコロナ渦において、実施できなくなっていたので、リアルでの開催さながらにできたのは感慨深いものがありました。

最後は、参加者全員でまとまって行動していただき、一人ずつ自分の作品を英語で紹介していただきました（図 1d, e）。これには、リアルでの開催以上の効果が発揮されました。リアルでの開催の場合、これだけの大人数になると、物理的に一箇所に集まって各作品を見てもらうというのは難しいので、会場のスライドに作品を映し出して全員に見てもらったりしたり、自由行動のセッションとするのが通例です。しかし、SpatialChat の場合は、まさに図 1d, e のように、一箇所にどれだけの人数が集まっても、物理的な障害は起こりません。また、リアルでの開催において、たとえ、人をぎゅうぎゅう詰めにして一箇所に集める事ができたとしても、その密な集団そのものがストレス環境となり、落ち着いた雰囲気誰かの話を聞くというのは難しくなるというのが、コミュニケーション業界における課題の一つとして元々ありました。今回、その課題がバーチャル下で克服できたということは、「オンラインの代わりとしてのオンライン」ではなく、「オンラインだからこそその成果」と言えるでしょう。

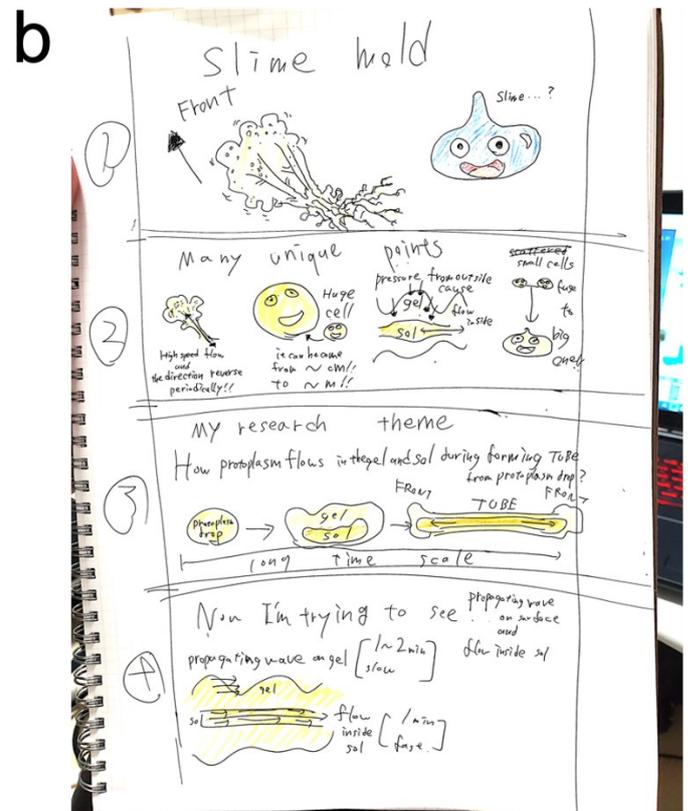
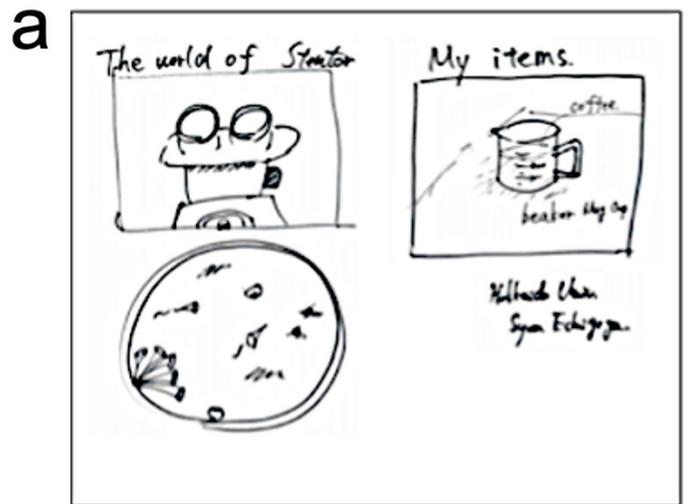


図 2.

今回のワークショップでは、高校生から大学教員の方まで、多様な母国語の方が、一人一人、自分の可視化作品について英語で語り、全員が全員と語り合うことができました。日本原生物学会若手の会から、一部の作品（図 2）と、ワークショップの感想を提供いただいたので以下に掲載します。当日の様子が伝われば幸いです。

また、ワークショップ終了後には、SpatialChat 上で、残った若手同士で気楽な雑談をすることができました。その時の交流は、現在の私たち若手同士の人間関係にも引き継がれています。これもまた、若手企画を行って良かった点だと感じています。

### <参加者 A の感想>

今回、若手の会がオンライン開催となり、言葉の壁は勿論のこと、ボディランゲージや顔の表情といった視覚的情報が得にくいことにより、海外の方とのコミュニケーションに少し不安がありました。しかし、作成したイラスト(4コマ漫画)を基に会話することでその不安は解消されました。視覚的にも情報が得られることで、参加者全員の研究内容や研究室の様子などをわかりやすく知ることができ、円滑に議論を進めることができたと思います。また、オンライン開催の利点として、国境を越えて遠くの方たちと容易に交流できることがあったと思います。移動費や移動時間を気にせず様々な国の方と交流できることは嬉しかったです。今回、ワークショップの運営に携わっていただいた方、ありがとうございました。今後も、議論が白熱するようないい企画を期待しています。

### <参加者 B >

先日はワークショップを開催いただきありがとうございました。日々の研究に関する絵を描きながら海外の方と交流を深めるという新会長の斬新なアイデアは、韓国と日本の若手研究者を結びつける良い架け橋になったと思います。英語で海外の方に話しかけることは難しく感じますが、絵というツールを使うことで心理的なハードルが下がったり円滑なコミュニケーションが取れるようになったと思います。これからも面白い企画を期待しています。

### 【3. まとめ】

今回、「参加者同士で、イラストを描きながら、自分の研究生活や研究内容を紹介してもらおう」という若手企画を開催させていただきました。単なる会話だけでなく、視覚化(Visualization)という表現を用いて交流するというのは、言語や文化の壁を突破する交流企画としてとても適しており、初めてのオンライン大会

の中で、かつ、海外の若手研究者とも積極的に交流したいという本大会のコンセプトにマッチさせることができたと考えています。

本ワークショップには、進行中に多少の増減もありましたが、20~30名の方に参加いただきました。日本からの参加者こそ多めでしたが、高校生から大学教員まで幅広い世代の方々に参加いただき、落ち着いた雰囲気での国際交流が出来たと思います。

加えて、これは今回の若手企画に限った話ではなく、大会全体としても感じたことですが、オンライン上での集会というのは、オンサイトとはまた違ったものとして、価値あるものであるという実感を得ることができました。例えば筆者は、自宅から本大会に参加させていただいたのですが、まさか自宅にいながら、国際ワークショップを企画・進行するなんてことは、これまで考えたこともありませんでした。おそらく、多くの方々が同じようなことを考えていると思うのですが、「オンサイトの代わりとしてのオンライン」ではなく、「オンラインだからこそできること」というものに、科学コミュニケーションの一つの在り方として、これからも注目していきたいと思います。それは、COVID-19の流行が始まるよりも以前から、人と物と情報とが複雑化・専門化し、誰もが国際化を求められるようになった現代社会における重要なテーマとして、元々あったものだと今は感じています。

本稿を執筆するにあたって、共同ファシリテーターであり、現在は若手の会会長として日々奮闘されている越後谷駿氏に協力いただきました。また、本ワークショップを開催するにあたっては、洲崎敏伸先生、春本晃江先生、有川幹彦先生には、企画内容や言語に関する多くの指導をいただきました。そして何よりも、当日参加してくださった皆様のおかげさまで、今回のワークショップを実現することが出来ました。この場をお借りして御礼申し上げます。本当にありがとうございました。

## 学会等開催情報

### ◆国際会議

会議名 : 第4回アジア原生生物学会議 (ACOP)  
期 日 : 2021年11月19日(金)～21日(日)  
開催場所 : オンライン (開催国 : 日本)

会議名 : 16th International Congress of Protistology 2022, Joint meeting of ICOP/ISOP/ISEP  
期 日 : 2022年6月19日(日)～24日(金)  
開催場所 : Seoul, Korea  
連絡先等 : 大会のHPはこちら (<http://icop2022.org/register/2021/intro.html>)

### ◆国内会議

会議名 : 日本共生生物学会 第5回大会 (Symbio2021)  
期 日 : 2021年11月27日(土)～28日(日)  
開催場所 : オンライン  
連絡先等 : 大会のHPはこちら (<https://sites.google.com/site/japansymbiosis/symbio2021>)

## 学会員による著作物

### 「誰も知らない紅茶の秘密」

沼田 治 (著)  
幻冬舎ルネッサンス新書 ISBN 978-4-3449-3386-6  
2021年発行, 全 184 ページ, 価格 800 円 (税別)

### 「寄生虫のはなし —この素晴らしき, 虫だらけの世界—」

永宗喜三郎・脇 司・常盤俊大・島野智之 (編)  
朝倉書店 ISBN 978-4-254-17174-7  
2020年発行, 全 168 ページ, 価格 3,300 円 (税別)

### 「おもしろ ミクロ生物の世界 ミジンコ・アメーバ・ゾウリムシ なかまたちが大集合！」

末友靖隆・著 / 友永たろ・イラスト  
偕成社 ISBN 978-4035271604  
2019年発行, 全 80 ページ, 価格 2,800 円 (税別)

### 「生老死の進化」

高木由臣 (著)  
京都大学学術出版会 ISBN 978-4814001811  
2018年発行, 全 328 ページ, 価格 1,800 円 (税別)

### 「ノーベル賞に二度も輝いた不思議な生物 テトラヒメナの魅力」

沼田 治 (著)  
慶応義塾大学出版会 ISBN 978-4-7664-2538-3  
2018年発行, 全 128 ページ, 価格 1,800 円 (税別)

## 若手の会 通信

### 会長からの一言 (独り言)

越後谷 駿 (北海道大学)

会長に就任して早くも半年が経ちました。右も左もわからない会長ですが、他 2 名の学生役員や卒業された先輩役員に助けられながら勉強会や交流会を企画し、若手の会を元気ある若手研究者の集まりにできるよう目指しています。このような若手の会の活動は、私が研究するソライロラップムシの、培養と同じです。あの手この手で培養条件を変え、ある時「ワッ」と増殖し群体を形成している様子で見分けがつかせせん。

ただ活動の中で、学会委員、若手の会役員の方々に迷惑をおかけしているかと思えます。ラップムシの収縮のように瞬時に仕事をこなし、ラップムシの優雅な遊泳のように若手で自由な活動を行ってほしいと思います。

ちなみに、最近手に入れたラップムシグッズは、小柄な私には少し大きいブラウンの Y シャツです。ラップムシのロゴや原生物感は一切ありません。ただ襟の内側を見ても「STENTOR HOMME」と書いてるではありませんか！即購入しました。900 円です。Stentor ラップムシの気持ちになれる日を夢見て、日々研究しています。

### 原生物研究コラム

#### 熱帯熱マラリア原虫が鞭毛を放出した喜びを共有したくて

面田 彩馨 (神戸大学)

熱帯熱マラリア原虫はヒトと蚊に寄生する単細胞真核生物である。スポロゾイトが蚊の吸血とともにヒト体内に侵入し、肝細胞内でメロソイトへ変態し、ヒト赤血球に寄生する。ヒト赤血球に感染した熱帯熱マラリア原虫は無性生殖的に増殖する無性生殖期、蚊の体内での生殖に備えて雌雄を持って成熟する生殖母体期に大別される。成熟生殖母体は蚊の体内に侵入する



鞭毛を放出する原虫と喜びでいっぱいの面田

と、赤血球から脱出し、生殖体となって受精を行う。熱帯熱マラリア原虫はヒト赤血球を用いて培養することが可能である。雄性生殖体が鞭毛を放出した状態に変態するまでには、培養を開始してからおよそ 3 週間を要する。今回の培養ではどのくらいの割合で鞭毛放出した原虫を見ることができるのか、私はドキドキワクワクしながら培養を立ち上げ、毎日培養液を交換する。そして 3 週間後、私はスライドガラスの上に培養液を垂らし、カバーガラスをかけ、位相差顕微鏡でマラリア原虫が寄生した赤血球を観察する。周囲の赤血球と違う動き（動きが激しい、赤血球が凝集している）をしている赤血球の中心に、鞭毛放出した原虫を発見した時、私は喜びでいっぱいになる。写真・動画で記録し、幸せな気分で 1 日を終える。これが私の 3 週間に一度の息抜きである。

### 「2021年 原生物研究者の卵による春の勉強会」を開催しました！

越後谷 駿 (北海道大学)

2021 年 5 月 28 日、原生物の研究を行う学生がオンライン上で集まり、互いの研究内容を発表し学び合う「春の勉強会」を開催しました。とくに桜の花びらは散ってしまいましたが、参加者全員が原生物の話に花を咲かせ、笑いあいの和やかな雰囲気活発に交流しました。

研究紹介では、1 人 10 分程度の発表を行いました。中には発表序盤で、高知大学周辺や伊勢市の観光地・名産品の紹介を永遠としてくる参加者もいました。おまけにクイズまで用意し、参加者に答えさせる始末。さすがに制限時間もオーバー。聴衆はうんざりしているかと思えば、全員笑顔のまま聞き入っており、時間オーバーなんて一切気にすることはありませんでした。

テーマが明確に決まっていない学部生は今後のプランや研究背景を発表し、学年問わず議論を行うことができました。

#### 参加者と発表題目

面田 彩馨 (神戸大学 D1)

「熱帯熱マラリア原虫はヒト赤血球に寄生する」

岡田 小夏 (神戸大学 B4)

「マラリアの疫学および生物学的特徴」

松本 紘汰 (北海道大学 D1)

「有殻アメーバ *Arcella* sp. の細胞運動の力学計測」

越後谷 駿 (北海道大学 D1)

「ソライロラップムシの遊泳と固着」

山本 桃花 (高知大学 B4)

「原生物 (*Paramecium caudatum*) の有性生殖」

島田 雄斗 (高知大学 D3)

「繊毛虫コルポーダにおける特殊防御形態 (休眠シスト) の形成機構について」

**参加者特別インタビュー**

———急なお誘いにも関わらず参加していただきありがとうございます。生き物の面白い動き満載の楽しい発表でしたね。

匿名希望 G. M. : 参加するなんて一言も言っていないのに、若手の会役員の同期に「入れておいたから」と発表者に名前が入れられていました。詳しい研究の紹介をするというよりは、動画をたくさん流して、研究対象の生き物を知ってもらうことを意識しました。

———あなたにとって *Arcella* とは、どういう存在でしょうか？

匿名希望 G. M. : うーん難しいですね。ショートケーキの上に乗っているイチゴのようなものでしょうか。

———そうですか、わかりました。岡田さんは、まだテーマが明確に決まっていなかった中の参加でしたが、勉強会の感想をお聞かせください。

岡田 : 私は医療系の学部所属しており原生物を研究対象とする学生は身近にほとんどいないため、先日の勉強会のように互いが研究する生物について語る機会は非常に楽しく有意義でした。物理学との融合領域など、原生物の研究における多様なアプローチを知ることができました。また研究内容だけでなく、話し方やスライドの構成など発表の仕方も参考になりました。今回の勉強会で得た知識や発想は、今後研究活動を行う上で新たな発想の手がかりにしたいです。

———そう言っていただけると企画した側は嬉しいです！山本さんは、告知後すぐに申し込みをしてくださいましたね！ためらいなどはありませんでしたか？

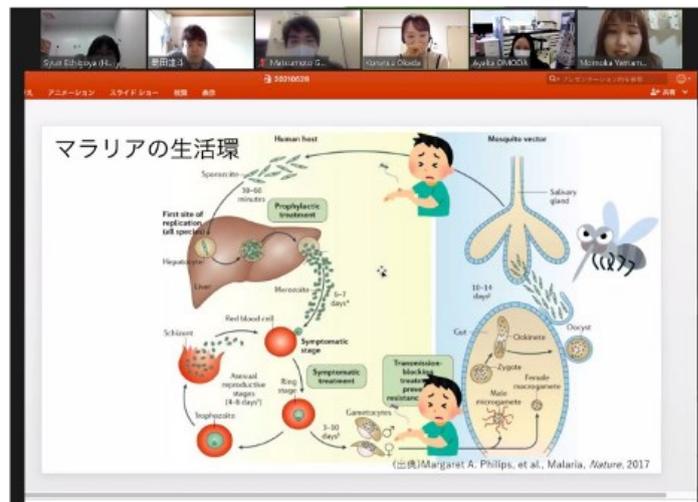
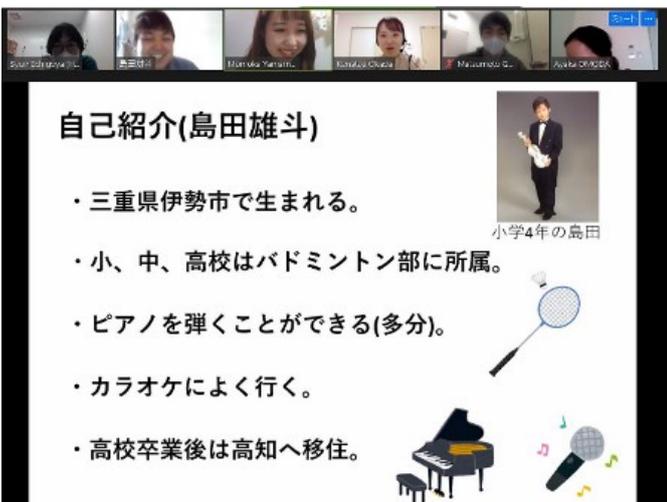
山本 : 発表する内容や資料作りなどに不安点もありましたが、それ以上に原生物について他の参加者、特に他大学の方と情報交換するという関心が勝り、参加を決めたことに後悔はありませんでした。むしろ、和気あいあいとした楽しい雰囲気の中、研究や原生物について語り合えたことは嬉しかったです。今後は私からも有意義な情報を発信できるよう取り組み、この活動にも積極的に参加していきたいと思っています。

———ところで、企画準備を行った島田さんに伺います。どうでした？

島田 : オンラインでの開催に少しの不安がありました。しかし、円滑に発表会を進めることができ、遠くにいる同世代の方々と繋がれたことはとても良かったです（自分の汚い部屋が画面に映らないかが不安でした）。この発表会では、様々な分野の方の研究発表を聞くことができると同時に、自分の研究についても多くの助言をいただくことができました（自分の発表の時、とても緊張していましたが頑張って平静を装いました（笑））。

———心の声が漏れてますよ（笑）。では最後に読者の方へ一言お願いします！

島田 : 今後もこのような繋がりを大切にしていきたいと思います（もっと多くの人たちと繋がりたいなあ（笑））！



自己紹介の一場面（左）と研究紹介の様子（右）。クイズを交えた発表や発表途中での多くの質問もありました。

2021年度 若手の会役員

会長

越後谷 駿 (北海道大学)

([e235813sayruan1729s@eis.hokudai.ac.jp](mailto:e235813sayruan1729s@eis.hokudai.ac.jp))

副会長

島田 雄斗 (高知大学)

会計

面田 彩馨 (神戸大学)

今年度からは、学生主体で若手の会を運営していきます。今まで運営してくださっていた前役員の方々からも助言いただきながらやっていきます。

若手の会役員募集中!

若手に名言を残したい、素晴らしい歌を披露したい先生方も募集中!

他大の学生と関わってみたい、原生物仲間を作りたい、イベント運営を手伝ってもいいなど、若手の会役員に興味のある大学院生・学部生の方、ぜひご連絡ください!少し話を聞いてみるだけでも歓迎です。

今後は先生方の講演・交流など、幅広い層との交流を目指しております。ぜひ、若手に名言を残しておきたい!素晴らしい歌を披露したい!などといった要望がありましたら、越後谷までご連絡いただけますと幸いです。今後も若手の会の活動をよろしく願いいたします。

## 本会記事

### 2020 年度 総会議事録 (案)

日 時：2020 年 11 月 22 日 (日) 13:10~14:10  
オンライン開催

#### 議事

#### I 報告事項

##### 1 庶務関係

洲崎 敏伸 庶務担当より、以下の報告があった。

##### イ. 会員の異動 (2020 年 11 月 16 日現在)

(昨年報告数)

賛助会員	1 団体	(1 団体)
名誉会員	9 名	(7 名)
永年会員	13 名	(12 名)
一般会員	97 名	(110 名)
学生通常会員	30 名	(34 名)
学生 1 年会員	3 名	(10 名)
準会員	16 名	(0 名)
合計	169 名	(174 名)

新入会 25 名, 退会 30 名

##### 2 編集関係

洲崎 敏伸 編集長より、以下の報告があった。

イ. *Journal of Protistology* の 2020 年 10 月までに投稿された論文の審査状況について、前年度に投稿され審査中であった 1 報を含む、2 報が受理され公開されたことが報告された。

ロ. 和文誌「原生物」の 2020 年の発行状況について報告された。

##### 3 その他

イ. 春本 晃江 学会賞等選考委員会委員長より、教育賞に盛下 勇 会員「原生物学の応用的研究とその普及活動」が、奨励賞に矢崎 裕規 会員「大規模配列データ解析による真核生物の進化・多様性の解明」が選ばれた事が報告された。

ロ. 島野 智之 生物多様性会議委員に代わり、洲崎 敏

伸 庶務担当より、日本分類学会連合第 19 回総会報告があった。内容は、日本学術会議会員候補の任命拒否に対する要望書の支持表明について、および学術雑誌 *Zootaxa* の IF 剥奪問題についてであった。

ハ. 末友 靖隆 活性化委員会委員長に代わり、洲崎 敏伸 庶務担当より、活性化委員会報告があった。内容は、準会員数の増加について、学会ホームページ内に準会員サービス提供窓口「準会員のひろば」が整備されたことについて、ネットワーク委員会と共同で、学会ドメインを用いたメールアドレスを名誉会員・永年会員・準会員に無償提供するサービスを整備したことについて、「樋渡文庫」、「柳生織毛虫図鑑」の整備状況について、準会員制度の広報 (フライヤーの印刷・配布) の準備状況について、学会ロゴマークの策定について、活性化委員会の共済・後援事業として「第 43 回日本分子生物学会年会企画フォーラム有性生殖物語・原生物編「生態、フェロモン、クロマチン、そして進化」を開催予定であることについて、学会活性化に繋がるイベントの支援についてである。

ニ. 春本 晃江 会長 (国際委員) より、韓国との合同ミーティング (Kobe2020) を開催するに当たり、日本原生物学会と韓国の原生物学会が共同で ISOP に補助金を申請し 2000 ドル (約 20 万円) の交付が内定していたが、オンライン大会となったため辞退したことが報告された。また、本学会が日本学術会議協力学術研究団体への指定がなされたことによって可能になった、科研費「研究成果公開促進費」への申請を行っていたが、こちらは不採択となったことが報告された。今年度と今後の国際会議について、2020 年度にメキシコ (カンクーン) で予定されていた ISOP/ISEP は中止となったこと、2021 年度に韓国 (ソウル) で予定されている XVI ICOP は 2022 年度に延期となったこと、2023 年度にオーストリア (ウィーン) にて ECOP が開催予定であることが報告された。また、次回の韓国との合同ミーティングは 2023 年度に韓国で開催予定であること、2022 年頃に ACOP が開催予定であるが場所は未定であることが報告された。

ホ. 西上 幸範 ネットワーク委員会委員長より、ネットワーク委員会構成員とネットワーク委員会細則について報告があった。

ヘ. 矢崎 裕規 若手の会会長より、若手の会の 2020 年度活動報告と会計報告があった。活動内容としては、原生物・寄生虫・進化セミナー開催協力、Kobe2020 における若手の会企画「Visualization Workshop: The Life of Young Protistologists」の開催が報告された。また、現会長の任期満了 (2 年) に伴い、次期会長に越後谷 駿 会員 (北海道大学大学院) が就任予定であることが報

告された。

員を大会長として、東京で開催予定であることが説明された。

## II 審議事項

### 1 庶務関係

イ. 洲崎 敏伸 庶務担当より、会則第 4 条の一部を「本会会員は正会員、賛助会員、名誉会員および準会員とし、会の主催する各種の会合に参加することができる。正会員は年会費 6,500 円（学生の場合は 2,500 円）を前納するものとする。」と修正した改訂案が提案され、承認された。なお、オンラインによる審議は Zoom の投票システムにより行われた（賛成・承認：21名、反対・否認：0名）。

ロ. 洲崎 敏伸 庶務担当より、会則第 5 条の改訂が提案され、承認された（賛成・承認：21 名、反対・否認：0 名）。賛助会員の会長・評議員の選挙権・被選挙権に関する文言の修正である。

ハ. 洲崎 敏伸 庶務担当より、会則第 4 条の改訂が提案され、承認された（賛成・承認：20 名、反対・否認：0 名）。準会員の対象に関する文言の修正である。

### 2 会計関係

#### イ. 2019 年度会計決算報告および会計監査報告

有川 幹彦 会計担当より報告がなされた後、細谷 浩史、芳賀 信幸 両監事による監査報告があり、承認された（賛成・承認：20 名、反対・否認：0 名）。

#### ロ. 2020 年度中間報告

有川 幹彦 会計担当より 2020 年度の中間報告がなされ、会費納入に関する質疑応答の後、承認された（賛成・承認：20 名、反対・否認：0 名）。

#### ハ. 2021 年度予算案について

有川 幹彦 会計担当より次年度の予算案について報告がなされ、原案通り承認された（賛成・承認：20名、反対・否認：0名）。

## III その他

### 1 次期・次々期大会について

イ. 春本 晃江 会長より、次期（2021 年、第 54 回大会）は、春本 晃江 会長を大会長として、関西地区において 10 月中旬から 11 月に開催予定であること、オンライン開催の可能性もあることが説明された。また、次々期（2022 年、第 55 回大会）は、廣野 雅文 会

### 2 会長・評議員選挙について

イ. 春本 晃江 会長より、現会長・評議員・監事の任期（3 年）の満了に当たり、次期会長・評議員の選挙を 2021 年 8 月頃に実施予定であることが説明された。また、会長・評議員・監事の任期の変更については継続審議とし、次期会長・評議員・監事の任期は現在のまま（3 年）とすることが説明された。

### 3 その他

イ. 藤島 政博 会員より、分譲サービスのシステム構築に向けての検討事項について確認があり、洲崎 敏伸 庶務担当より、現在活性化委員会で検討中であること、引き続き評議員会で審議することが説明された。

2019年度 日本原生生物学会 一般会計決算報告

1. 収入の部

科 目	予算額	決算額
前年度繰越金	2,867,278	3,252,224
学会費 (*1)	817,000	638,500
寄付 (*2)	0	6,500
雑収入	10,000	0
利息	26	27
計	3,694,304	3,897,251

\*1: 学会費納入率 78.2%

\*2: 見上 一幸 会員より

2. 支出の部

科 目	予算額	決算額
学会誌印刷代 (含郵送費)	50,000	0
編集諸経費・謝金	10,000	0
学会活性化委員会経費	200,000	46,876
庶務諸経費・謝金	50,000	1,470
会計諸経費・謝金	10,000	2,920
大会補助費	200,000	200,000
学会賞等経費	40,000	26,746
若手の会助成金	50,000	50,000
日本分類学会連合分担金	10,000	10,000
日本分類学会連合会議旅費	10,000	4,290
通信費	15,000	9,880
振替手数料	3,000	220
支出総計	648,000	352,402
次年度繰越金	3,046,304	3,544,849
計	3,694,304	3,897,251

2019年度 日本原生生物学会 特別会計 (国際交流基金) 決算報告

1. 収入の部

科 目	予算額	決算額
前年度繰越金	452,702	452,702
利息	7	4
計	452,709	452,706

2. 支出の部

科 目	予算額	決算額
国際学会参加援助金	450,000	0
振込手数料	0	0
支出総計	450,000	0
次年度繰越金	2,709	452,706
計	452,709	452,706

2019年度 日本原生生物学会 特別会計 (学会基金) 決算報告

1. 収入の部

科 目	予算額	決算額
前年度繰越金 (定期預金)	1,034,143	1,034,143
利息	10	10
計	1,034,153	1,034,153

2. 支出の部

科 目	予算額	決算額
支出総計	0	0
次年度繰越金	1,034,153	1,034,153
計	1,034,153	1,034,153

2019年度 日本原生生物学会特別会計 (月井雄二記念国際交流基金) 決算報告

1. 収入の部

科 目	予算額	決算額
寄付		10,000,000
利息		85
計		10,000,085

2. 支出の部

科 目	予算額	決算額
国際学会参加援助金		750,000
振込手数料		1,728
支出総計		751,728
次年度繰越金		9,248,357
計		10,000,085

2021 年度 日本原生生物学会一般会計予算案

1. 収入の部

科 目	予算額
前年度繰越金	3,310,313
前年度退会補助費残金	30,000
学会費	731,500
雑収入	10,000
利息	24
計	4,081,837

2. 支出の部

科 目	予算額
編集諸経費・謝金	100,000
学会活性化委員会経費	200,000
庶務諸経費・謝金	50,000
会計諸経費・謝金	10,000
大会補助費	200,000
学会賞等経費	40,000
若手の会助成金	50,000
日本分類学会連合分担金	10,000
日本分類学会連合会議旅費 (2名分)	50,000
通信費 (サーバー利用料)	15,000
振替手数料	3,000
選挙に係る経費	50,000
支出総計	778,000
次年度繰越金	3,303,837
計	4,081,837

2021 年度 日本原生生物学会特別会計(国際交流基金) 予算案

1. 収入の部

科 目	予算額
前年度繰越金	452,710
利息	4
計	452,714

2. 支出の部

科 目	予算額
支出総計	0
次年度繰越金	452,714
計	452,714

2021 年度 日本原生生物学会特別会計(学会基金) 予算案

1. 収入の部

科 目	予算額
前年度繰越金	1,034,163
利息	10
計	1,034,173

2. 支出の部

科 目	予算額
支出総計	0
次年度繰越金	1,034,173
計	1,034,173

2021 年度 日本原生生物学会特別会計(月井雄二 記念国際交流基金) 予算案

1. 収入の部

科 目	予算額
前年度繰越金	9,248,435
利息	78
計	9,248,513

2. 支出の部

科 目	予算額
支出総計	0
次年度繰越金	9,248,513
計	9,248,513

その他

学会賞受賞者名一覧等

日本原生生物学会賞受賞者名

- 1991年 沼田 治 (筑波大学)  
テトラヒメナの多機能タンパク質の研究
- 1992年 田邊 和裕 (大阪工業大学)  
マラリア原虫の寄生に関する分子生物学的研究
- 1993年 彼谷 邦光 (国立環境研究所)  
環境適応における脂質分子の役割
- 1994年 今井 壯一 (日本獣医畜産大学)  
ルーメン内繊毛虫の分類学的研究
- 1995年 見上 一幸 (宮城教育大学)  
ゾウリムシの二核性と核分化の研究
- 1996年 藤島 政博 (山口大学)  
ゾウリムシとホロスポラの共生における宿主-共生生物間相互作用  
(受賞者なし)
- 1997年 (受賞者なし)
- 1998年 芳賀 信幸 (石巻専修大学)  
イマチユリン: 未熟期の分子機構
- 1999年 廣野 雅文 (東京大学)  
クラミドモナスの非保存的アクチン
- 2000年 松岡 達臣 (高知大学)  
繊毛虫ブレファリスマのキノン光センサーと光シグナリング
- 2001年 長澤 秀行 (帯広畜産大学)  
トキソプラズマ感染に対する宿主免疫システム
- 2002年 春本 晃江 (奈良女子大学)  
繊毛虫における細胞間相互作用
- 2003年 洲崎 敏伸 (神戸大学)  
ユーグレナの細胞体変形運動  
(受賞者なし)
- 2004年 (受賞者なし)
- 2005年 (受賞者なし)
- 2006年 (受賞者なし)
- 2007年 (受賞者なし)
- 2008年 (受賞者なし)
- 2009年 (受賞者なし)
- 2010年 岩本 政明 (情報通信研究機構)  
テトラヒメナの大核と小核の核膜孔複合体タンパク質の研究  
(受賞者なし)
- 2011年 (受賞者なし)
- 2012年 (受賞者なし)
- 2013年 (受賞者なし)
- 2014年 月井 雄二 (法政大学)  
接合型の遺伝解析に基づくゾウリムシの種分化過程に関する研究

- 2015年 園部 誠司 (兵庫県立大学)  
原生生物における運動の分子機構に関する研究
- 2016年 小林 富美恵 (杏林大学)  
マラリア原虫感染に対する宿主免疫機構
- 2017年 児玉 有紀 (島根大学)  
ミドリゾウリムシを用いた二次共生の成立機構の研究
- 2018年 島野 智之 (法政大学)  
土壌環境を中心とした自由生活性の原生生物における種多様性及び生態の解明
- 2019年 永宗 喜三郎 (国立感染症研究所)  
トキソプラズマの寄生戦略に関する分子細胞生物学的研究
- 2021年 (受賞者なし)

日本原生生物学会教育賞受賞者名

- 2016年 楠岡 泰 (琵琶湖博物館)  
微小生物の魅力を伝える琵琶湖博物館  
(受賞者なし)
- 2017年 (受賞者なし)
- 2018年 (受賞者なし)
- 2019年 (受賞者なし)
- 2020年 盛下 勇  
原生生物学の応用研究とその普及活動～原生動物と共に70年～

日本原生生物学会奨励賞受賞者名

- 2004年 杉浦 真由美 (奈良女子大学)  
繊毛虫ブレファリスマにおける接合誘導物質の分子生物学的研究
- 2005年 有川 幹彦 (奈良女子大学)  
太陽虫の細胞質および核における Ca<sup>2+</sup> 依存性収縮系の解析  
(受賞者なし)
- 2006年 (受賞者なし)
- 2007年 西原 絵里 (東京医科歯科大学)  
*Amoeba proteus* の収縮胞における水集積機構の研究
- 2008年 児玉 有紀 (筑波大学)  
ミドリゾウリムシと共生クロレラの細胞内共生成立機構の研究  
Kim Thi Phuong Oanh (Vietnam Academy of Science and Technology)  
Stop codon reassignment in ciliates: evidence for different modes of stop codon recognition by ciliate eRF1s

2009年 福田 康弘 (東北大学)  
Nuclear proteins and chromosome structures of the ancestral dinoflagellate *Oxyrrhis marina*

2010年 保科 亮 (立命館大学)  
ミドリゾウリムシ共生藻の分類学的研究

2011年 明松 隆彦 (ヨーク大学)  
繊毛虫テトラヒメナのプログラム核死

2012年 (受賞者なし)

2013年 (受賞者なし)

2014年 西上 幸範 (京都大学)  
試験管内再構築系を用いたアメーバ運動における細胞質ゾルーゲル変換機構に関する研究

2015年 (受賞者なし)

2016年 末友 靖隆 (岩国市ミクロ生物館)  
原生物の認知度向上と教育分野への利活用

2017年 矢吹 彬憲 (海洋開発研究機構)  
新規系統の発見と理解から読み解く真核生物の多様性と進化プロセス

2018年 (受賞者なし)

2019年 ソン チホン (生理学研究所)  
繊毛虫ミドリゾウリムシにおける細胞内共生機構の解析

2020年 矢崎 裕規 (理化学研究所)  
大規模配列データ解析による真核生物の進化・多様性の解明

第22回 つくば市 昭和63年 渡辺 良雄  
第8回 国際原生動物学会

つくば市 平成元年 樋渡 宏一

第23回 長崎市 平成2年 神原 廣二

第24回 伊勢原市 平成3年 金田 良雅

第25回 奈良市 平成4年 菅沼 美子

第26回 石巻市 平成5年 樋渡 宏一

第27回 帯広市 平成6年 鈴木 直義

第28回 小金井市 平成7年 鶴原 喬

第29回 東広島市 平成8年 細谷 浩史

第30回 水戸市 平成9年 三輪 五十二

第31回 岐阜市 平成10年 野澤 義則

第32回 仙台市 平成11年 渡辺 彊

第33回 金沢市 平成12年 遠藤 浩

第34回 神戸市 平成13年 洲崎 敏伸

第35回 高知市 平成14年 松岡 達臣

第36回 東京都 平成15年 今井 壯一

第37回 山口市 平成16年 藤島 政博

第38回 帯広市 平成17年 長澤 秀行

第39回 神埼市 平成18年 高橋 忠夫

第40回 富山市 平成19年 野口 宗憲

第41回 つくば市 平成20年 沼田 治

第42回 石巻市 平成21年 芳賀 信幸

第43回 水戸市 平成22年 三輪 五十二

第44回 奈良市 平成23年 春本 晃江

第45回 姫路市 平成24年 園部 誠司

第46回 東広島市 平成25年 細谷 浩史

第47回 仙台市 平成26年 見上 一幸

第48回 東京都 平成27年 八木田 健司

第49回 岡山市 平成28年 安藤 元紀

第50回 つくば市 平成29年 沼田 治

第51回 松江市 平成30年 児玉 有紀

第52回 水戸市 令和元年 北出 理

第53回 オンライン 令和2年 洲崎 敏伸

**これまでの大会開催地及び大会長**

	開催地	開催年度	大会長
第1回	小平市	昭和42年	藤田 溥吉
第2回	吹田市	昭和43年	猪木 正三
第3回	広島市	昭和44年	尾崎 佳正
第4回	東京都	昭和45年	松林 久吉
第5回	徳島市	昭和46年	尾崎 文雄
第6回	仙台市	昭和47年	樋渡 宏一
第7回	奈良市	昭和48年	稲葉 文枝
第8回	東京都	昭和49年	石井 圭一
第9回	大阪市	昭和50年	高田 季久
第10回	東京都	昭和51年	盛下 勇
第11回	岐阜市	昭和52年	野澤 義則
第12回	横浜市	昭和53年	斎藤 実
第13回	吹田市	昭和54年	中林 敏夫
第14回	つくば市	昭和55年	渡辺 良雄
第15回	広島市	昭和56年	重中 義信
第16回	東京都	昭和57年	石井 俊雄
第17回	津市	昭和58年	安達 六郎
第18回	東京都	昭和59年	浅見 敬三
第19回	大分県	昭和60年	山高 里盛
第20回	東京都	昭和61年	小山 力
第21回	山口市	昭和62年	星出 一巳

**会長・副会長・各種委員・評議員一覧**

(2021年8月24日現在)

会 長：春本 晃江  
副 会 長：洲崎 敏伸

庶 務：洲崎 敏伸  
庶務補佐：杉浦 真由美

会 計：有川 幹彦

編集委員会：

委員長：洲崎 敏伸  
英文誌編集長：廣野 雅文  
英文誌担当：有川 幹彦, 岩本 政明  
和文誌編集長：道羅 英夫  
和文誌担当：矢吹 彬憲  
HP 担当：西上 幸範, 梁瀬 隆二, 杉浦 真由美, 春本 晃江

国際委員：

春本 晃江 (会長), 洲崎 敏伸, 永宗 喜三郎

学会賞等選考委員：

春本 晃江 (委員長), 園部 誠司, 小林 富美恵

学会活性化委員会委員：

末友 靖隆 (委員長), 有川 幹彦, 児玉 有紀,  
園部 誠司, 堀 学, 洲崎 敏伸 (庶務)

ネットワーク委員会：

西上 幸範 (委員長), 白鳥 峻志, 杉浦 真由美,  
梁瀬 隆二, 洲崎 敏伸 (庶務)

生物多様性会議委員：

島野 智之

特命委員：

沼田 治, 細谷 浩史

選挙管理委員会：

細谷 浩史 (委員長), 園部 誠司, 廣野 雅文,  
福田 康弘

事務局：

春本 晃江 (会長), 洲崎 敏伸 (庶務),  
杉浦 真由美 (庶務補佐), 有川 幹彦 (会計)

評議員：

有川 幹彦, 安藤 元紀, 石田 正樹, 児玉 有紀,  
小林 富美恵, 島野 智之, 末友 靖隆,  
杉浦 真由美, 洲崎 敏伸, 道羅 英夫,  
永宗 喜三郎, 西上 幸範, 沼田 治, 堀 学,  
八木田 健司, 矢吹 彬憲

監事：

芳賀 信幸, 細谷 浩史

## 事務局からのお知らせ

庶務 洲崎 敏伸 (神戸大学)・庶務補佐 杉浦 真由美 (奈良女子大学)

評議員会では、2021年1月～2021年6月の間に6回のメール評議員会を開催し、以下の事案について協議・決定しました。

- 1) 2021年1月に選挙管理委員会細則が制定されました。
- 2) 選挙管理委員会委員長として、会長より細谷浩史 会員が、同委員として園部誠司 会員・廣野雅文 会員・福田康弘 会員がそれぞれ委嘱されました。本学会の会長・評議員の選挙は、2021年8月に実施される予定です。
- 3) 本学会は2021年11月に、春本晃江会長を大会長として、アジア原生生物学会 (ACOP-IV) をオンライン

で開催することとなりました。ACOPの会期は11月19日(金)～21日(日)の予定です。詳細は下記をご覧ください。

<http://www.protistology.jp/acop/>

- 4) 奨励賞の副賞、大会時のアルバイト謝金、国際学会への旅費援助金などを扱う場合には、事務局で適切な税務処理を行うこととなりました。
- 5) 本会の今年度の大会は、有川幹彦会員を大会長として2021年11月21日(日)～22日(月)にオンラインで開催されることとなりました。詳細は下記をご覧ください。

<https://sites.google.com/view/jsp2021>

## 編集委員会からのお知らせ

「原生生物」担当 道羅 英夫 (静岡大学)・矢吹 彬憲 (海洋研究開発機構)

今年も大変暑い夏を迎えております。じっとりとうるような暑さに文句を言いつつも、この日本らしい夏をどこか気に入っている方も多いのではないのでしょうか。その一方で、もう時折ツクツクボウシの鳴き声なども聞こえ始め、夏の終わりを意識させられ寂しくもあります。発刊が遅れてしまっていた「原生生物」ですが(スイマセン)、本号は総説も2本掲載され大変重厚なものとなっております。2021年の夏の思い出の一つとして楽しんでいただければ幸いです。

次号、2022年2月発刊予定の和文誌「原生生物」第4巻第2号に掲載する原稿の締め切りは、12月下旬頃を予定しております。それに向けて、ぜひ原稿をご準備いただければ幸いです。

和文誌「原生生物」投稿規定は[こちら](#)

## 会費等振り込み先

### 郵便振替口座

郵便振替口座番号：01300-6-103583

加入者名：日本原生生物学会

### 銀行振り込み口座

ゆうちょ銀行（金融機関コード：9900）

店番：139 カナ店名：イチサンキュウテン（139 店）

当座貯金 口座番号：0103583

受取人カナ氏名：ニホンケッ セイセイブツ カイ ツカイ

---

## 原生生物（GENSEI-SEIBUTSU） 第4巻 第1号

2021年8月24日 発行

編集兼発行者：日本原生生物学会

発行所：日本原生生物学会

事務局：庶務担当 洲崎 敏伸, 杉浦 真由美

E-mail: [gajsp@protistology.jp](mailto:gajsp@protistology.jp)

編集局：〒422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷 836

静岡大学 グリーン科学技術研究所 遺伝子実験棟内

「原生生物」編集長：道羅 英夫

Tel/Fax: 054-238-6354

E-mail: [dora.hideo@shizuoka.ac.jp](mailto:dora.hideo@shizuoka.ac.jp)

---