BRH
JT Biohistory Research Hall

「問い」を発掘する場

JT生命誌研究館 年報　2021年度版

Annual Reports 2021
JT Biohistory Research Hall

目　次

Annual Reports 2021

はじめに　館長 永田 和宏 …… 004

ようこそJT生命誌研究館へ！ …… 006

I　総括報告 …… 009

館長報告　永田 和宏 …… 010

顧問報告　吉田 賢右 …… 011

近藤 寿人 …… 012

名誉館長メッセージ　中村 桂子 …… 014

II　表現セクター活動報告 …… 017

多様な表現媒体を活用して“生命を知る”知を社会と共有する。 …… 018

表現を通して生きものを考える …… 020

III 研究セクター活動報告 049

ユニークなアプローチで、生命の本質に迫る発見をし、
新たな知を創る。 050

研究ディレクター 吉田 賢右 052

チョウが食草を見分けるしくみを探る **昆虫食性進化 研究室** 053

ハエとクモ、そしてヒトの祖先を知ろう **細胞・発生・進化 研究室** 065

DNA から進化を探る **系統進化 研究室** 077

カエルとイモリのかたち作りを探る **形態形成 研究室** 093

近藤顧問 研究室 111

IV 発表 121

V JT 生命誌研究館について 131

VI 事務セクター 141

VII SDGs への貢献 145

はじめに

館長 永田 和宏

本年よりJT生命誌研究館の活動を、「年報」としてお届けすることにいたしました。初めて当館の活動に触れていただく方も多いと思いますので、最初に組織の概要について触れておきます。

JT生命誌研究館は、1993年、岡田節人先生を初代館長として設立されました。その後、2002年からは中村桂子先生を館長に、2020年から私、永田が館長を拝命しております。

JT生命誌研究館のホームページの冒頭に当館の紹介をしております。

「生命誌」とは、人間も含めてのさまざまな生きものたちの「生きている」様子を見つめ、そこから「どういきるか」を探す新しい知です。英語では”Biohistory”。地球上の生きものたちは38億年前の海に存在した細胞を祖先とし、時間をかけて進化し、多様化してきた仲間です。すべての生きものが細胞の中に、それぞれが38億年をどのように生きてきたかの歴史をしるすゲノムDNAを持っています。ゲノムDNAは壮大な生命の歴史アーカイブです。その歴史物語を読み解き、美しく表現することで、生きものの魅力を皆で分かち合い、生きることについて考えていく場が「研究館」”Research Hall”です。いのちを大切にする社会づくりに努める仲間になってください。

このようなコンセプトを実現するためのものとして、当館には4つの研究室が小さいながらもアクティブな研究を続けております。さらに研究部門と共同して、一般社会へ発信していく表現部門があり、当館1階、2階の展示ホールにおいて、生命の歴史を小学生から楽しんで見ていただける展示をしております。また、研究部門および表現部門の活動を支える事務部門を含め、全体としては小さな集団ではありますが、他に類を見ないユニークな活動を続けております。

JT生命誌研究館のミッションとして、「生命論的世界観に基づく『科学的知』の創造と、そ

の社会への還元」を掲げております。

このミッションに基づいて、研究部門においても表現部門においても「進化・発生・生態系」（evo／devo／eco）をその対象としております。それに加えて、地球上のあらゆる生命を、地球とともに生きるものと捉える視点は、実は近年大きな注目を集めているSDGs（Sustainable Development Goals）の目指すところと大きく重なります。

JT生命誌研究館では、すでに30年近く前からSDGsの思想を実現しようとしてきたのだと言っても過言ではありません。そのような観点から、研究機関、教育機関、企業等に積極的な参加を求められているSDGsの具体的な目標に対しても、特に関係がある分野について取り組みを進めております。

JT生命誌研究館のミッションに掲げている『科学的「知」』をどのように社会に還元していくかは、もっとも大切なポイントの一つであることは間違いありません。当館では、従来より「科学のコンサートホール」として、科学を、音楽や芸術を楽しむように楽しんでいただくということを大切に考えてきました。さらに一昨年からは、それに加えて、来館者に『問いを発掘する場』として、当館を位置づけようとしております。来て、見て、楽しんでいただくだけではなく、自ら問いを発することによって、積極的に科学（サイエンス）に参加していただきたいという思いからです。

科学は一方的に知識を伝えるものではなく、共に考えるというところにこそ、科学のおもしろさがあり、その意義があると考えております。そして科学的事実としてわかっていることに、素朴な疑問を持つところに、若い世代が真に科学に興味を持ってもらえる契機があると考えられます。専門家も一般の方々も、共に考え、共に問うための場として、いっそう研究を、そして、その表現を充実させていきたいと考えております。

ようこそ
JT生命誌研究館へ！

実験室フロア
（3F）

研究館の３階のある実験室フロアでは、チョウ、クモ、コバチ、カエルなど生きものたちを見つめて、生きものが、どのように生まれてくるのか（個体発生）、どのように多様な生き方をするようになったのか（進化）、そして、生きもの同士がどのように関わり合っているのか（生態系）を探っています。

「生命誌の階段」
（1Fエントランス）

階段の１段が約１億年です。38億年の生きものの歴史を足でたどり、永い時間を実感できます。生きものの38億年の歴史を多様性と共通性の２つの切り口からたどる展示です。

JT生命誌研究館は、大阪府高槻市にあります。1993年の開館以来、「自然の一部である私たちが健全に生きてゆく礎は、自然を深く知ることにある」と考えて、小さな生きものにも愛おしく目を向け、一つ一つの生きものがどのように生まれ、ほかの生きものと関わり合いながら、それぞれの世代をつないでいるのかを探っています。

研究館の屋上には、小さな庭があります。チョウの成虫が蜜を吸う花と、幼虫が好んで葉を食べる植物（食草）を育てる「食草園」です。四季を通じて、さまざまな虫たちがここを訪れ、植物と昆虫の関わり合いのドラマを演じています。研究と日常をつなぐ生きた展示です。

展示ホールは、研究から見えてきた生きものの世界を楽しむ場です。正確に、楽しく表現した展示を通して「生きているって どういうこと？」かを感じ、考え、語り合いましょう。そのための催しもあります。

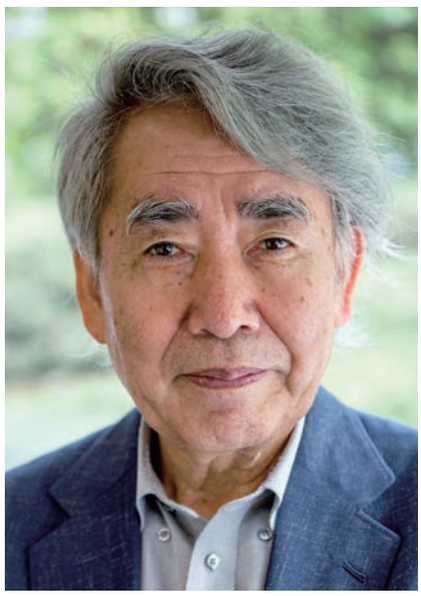
I

Generalization report

総括報告

館長報告

館長 永田 和宏



2020年に引き続き、2021年も新型コロナウイルス禍での運営を強いられることになった。2020年のように、サイト全体がクローズし、実験や採集をストップせざるをえない事態には至らなかったものの、不要不急の外出自粛要請、春秋2度の臨時休館を余儀なくされたこと等から、来館者が少ない状況が続いた。このような状況下にあって、対外活動を沈滞させないために、新しく二つの方策を模索し、どちらも大きな効果があったと考えている。

第一は、日曜開館に踏み切ったことである。

JT生命誌研究館では、創立以来、日曜日を休館日としていたが、博物館等、展示を行っている施設では、土曜日だけではなく日曜日も開館していることから、当館も多くの方々に来館いただくため日曜開館に踏み切り、休館日を月曜日のみとした。日曜開館に伴い、館員の休日を土曜日および日曜日から日曜日および月曜日に変更した。この変更より、「生命誌の日」などの来館者の多い土曜日が出勤日となり、イベント等の運営が効率化されるという効果も生んだ。結果、今年度の来館者数は、7月以降、臨時休館を実施した8~9月を除いては、昨年実績を上回り、11~12月にはコロナ前の2019年を大幅に上回った。

第二は、常設展だけでなく、企画展を開催したことである。

第一回の企画として「食草園が誘う 昆虫と植物のかけひきの妙」展を7月から11月の5ケ月間の予定で開催した。好評により12月末まで開催を延長したが、コロナ禍にもかかわらず、多くの来館者が熱心に案内ガイドの説明に聞き入っていた。これに連動させる形で、尾崎克久研究員、蘇智慧研究員による講演と討論会を開催し、まさに当館のエッセンスの一部を披露することができたと考えている。また、企画展に関連した紹介動画や記録映像を制作し、発信・発表の機会を得たことも、来年度以降の活動機会の増加に繋げられるものとなった。企画展は、今後も開催していく予定であり、開催の都度、これまでの来館者をもリピーターとして呼び込むことにより、当館の魅力をいっそうアピールしていく努力を続けていきたい。

2020年からスタートした館長主催のシンポジウム「生命誌から生命科学の明日を拓く」は、第一弾として、2020年9月12日に京都大学iPS研究所の山中伸弥所長に講演と対談をお願いしたが、第二弾として、2021年9月11日に東京工業大学榮譽教授の大隅良典先生をお迎えして、基調講演と永田との対談を行った。コロナ禍での開催ということからライブ配信としたが、多くの高校生にも視聴していただき、質問も多く寄せられ、この開催の定着を実感することができた。第一弾、第二弾とも、それぞれ京都大学iPS研究所、大隅基礎科学創成財団との共催という新しい形を模索し、それが成果を収めたことも喜ばしいことであった。来年度以降も、こ

のシンポジウムは継続していく考えである。

また、大隅良典・永田和宏共著『未来の科学者たちへ』（角川書店）という一冊を出版することもできた。理系離れ、研究者志望の若者の減少という事態への焦慮から刊行を企画したものであったが、少しでも基礎研究のおもしろさ、研究への興味に目覚めてくれる若者が増えることを願っている。

館長就任後、コロナ禍ということもあり館員一人ひとりと対話する機会を設けることができなかったが、ようやく12月に個別面談を実施し、忌憚のない意見を聞くことができ、また、一人ひとりをよく知ることができた。JT生命誌研究館は、一つの企業体であるだけではなく、大阪大学から大学院生も受け入れ、また博士研究員が奨励研究員として働いている場でもある。企業であるとともにアカデミアの性格をも持っている研究施設であるという特性を、今後の館運営にも生かしていきたいと考えている。

総じて言えば、この困難な状況下にあって、それなりのアクティビティを保持したまま活動を展開してきた一年であったと考えている。2023年には設立30周年を迎え、記念行事の開催に向けて準備を開始しているところである。意義のある記念行事となるよう万全の準備を整えたいと考えている。

顧問報告

顧問 吉田 賢右

1.　研究進展について

昨年に引き続き、研究セクターで進んでいる研究についてフォローし、時に意見を述べてきた。2021年に進行中の研究の中で、特に成果の期待を抱かせるいくつかについて、顧問として意義を述べる。

当館の4研究室では、小動物を使用し発生、進化、生物間の相互作用の研究を行ってきた。小動物はクモ、カエル、コバチ、チョウ、オサムシ、プラナリアなどで、大きな飼育施設は必要なく、また一般の人にもなじみのある小動物で、開かれた展示スペースを持ち社会への発信を行う当館で行う研究には好適な生き物である。これらの小動物は、生理現象の分子的な機構がシンプルであることが多く、その点でも当館のような小さな研究グループの研究に向いている。

以前は、小さな動物から核酸（遺伝子）やタンパク質を分析可能な量だけ得ることは大変困難な作業であり、ショウジョウバエなどのモデル動物を中心に研究が進んできた。しかし、最近では、様々の微少量実験キット、分析の外注、大量のデータの解析技術などの発達によって、野生種を扱うことによって、より深く面白い研

究ができるようになった。

小動物の中でも特に昆虫は、非常に多くの種に分化して高度の能力を発達させており、世代交代が早いため、種分化や遺伝学の研究に向いている。蘇研究室及び尾崎研究室では、その分子生理と種相互の関係の中で種分化が起きる過程を研究している。最近では、種の中の一部の集団がある植物が好きになって適応していくというだけではなく、「ある植物を忌避するようになることで元の種との分離が進む」という可能性を分子生理学的に追跡するなど、示唆に富む研究が進行している。

「単純な卵からどのようにして複雑な成体ができていくのか」は、生物学の大問題である。クモの卵からの発生を研究する小田研究室では、胚発生の最初期から数千の遺伝子の時空間的な発現の追跡に成功しつつあり、それらの相互作用のシークエンスとして発生を明らかにしようとしている。

生体のさまざまな器官や組織は、幹細胞が分化して形成される。その過程の詳細な理解は、重要な課題である。一般に幹細胞分化は、複線的な経路に多数の制御因子が複雑に絡んでくる現象であるが、再生能力の旺盛なプラナリアを扱う橋本研究室では、プラナリアでは再生にともない単純で直線的な幹細胞分化が起こっていることを見出して解析を開始している。進展が待ち遠しい。

2.社会への発信活動

JT生命誌研究館のホームページに「顧問室の窓」というページを設け、様々なテーマについて、事実（データ）と論理と想像力で、つまり科学的に考えるとこういうことではないか、ということを掲載してきた。科学的な思考は科学者にだけ必要なものではない。おおげさに聞こえるかもしれないが、市民が科学的に考える（考えようとする）ことは、これからの社会の存続に必須のものとなっていると思う。科学的な思考とは、「過去現在起きていることを理解することによって、これからのことをできるだけ正しく予測しよう」ということである。逆向きに定義すれば、「未来を正しく予測できる思考は常に科学的な思考である。」ささやかであるが、その範例を示すことができたらいいという気持ちで、7編発表した。新型コロナに関わる論考が多くなったが、様々なタイトルで発信していきたい。

顧問報告

顧問 近藤 寿人

1. 表現ディレクターとしての活動

2021年から、顧問 兼 表現ディレクターに指名された。表現セクターの活動を盛り上げるとともに、表現セクターと研究セクターと が連携した活動を進めた。

「企画展を定期的に開催するとともに、日曜日を開館日とする」という本館の方針に添いつつ、表現セクターからの発信の広がりと強化をめざした。季刊誌やホームページ記事でその号のテーマを掘り下げることには十分の実績があり、そのテーマと連携した形で企画展を開催し、運営することとした。表現セクターのこれまでの活動の自然な発展型である。

2021年は、企画展「食草園が誘う昆虫と植物のかけひきの妙」を約半年間開催した。表現セクターのメンバーの発案によって、(1) 企画展の中に当館の研究内容を取り込み、(2) チョウと幼虫の食草との関係をディスプレイするシステムを導入するなど、JT生命誌研究館の展示に新しい見所を加え、さらに (3) 動画「食草園が誘う昆虫と植物のかけひきの妙」を作製して今後の情報発信につなげることになった。

2. 実験の安全管理

顧問兼 実験動物管理者・遺伝子組換え実験安全主任者として、当該諸実験の適正な実施に留意した。当館では、実験動物の対象を、法令が対象とする羊膜類（哺乳類・鳥類・爬虫類）の範囲を超えて、多細胞動物の全てを対象としている。館員は、自然界で採取した動物を使う場合でも可能な限り当館で飼育するなど、自然界での採集の数を少なくすることに努めている。

動物実験、遺伝子組換え実験に関する安全講習会では、法令の要点について解説して、適正な実験の実施を徹底するとともに、実験研究者以外の館員に対しても現代の潮流の中でのこれらの実験に関わる諸課題についてセミナーを行っている。今年は、ゲノム編集食品などを例として、ゲノム編集を話題とした。

3. 教育活動

中学・高校からの団体見学等で講義を求められる際には、動物の発生や生物の進化などの視点をも取り入れながら、多様な動物種の中で、ヒトはどのような生き物であるのかを客観的に考えるための講義を行っている。また、一般向けとして行った講演を、YouTube等で公開している。

名誉館長メッセージ

名誉館長 中村 桂子

今年度は、結局一度も高槻市にあるJT生命誌研究館に足を踏み入れることのないままに終えることになりました。具体的にはホームページの「語り合う」のページでエッセイ『ちょっと一言』を半月毎に書き、それへの反応にはお返事を書くという小さな関わりだけで過ごしました。

「生命誌」という知を「研究館」というユニークな場で実践する活動は、26年間の実践を踏まえて順調に進められていると思いますので、より自由度の高い活動によって広がりを作る役割をするつもりで「生命誌」と向き合う一年でした。

昨年も書きましたが、COVID-19のパンデミック体験後の社会はどのようにあったらよいのだろうという問いを多くの人が持っているという感じは、今年も同じように続きました。今年はそれに加えて気候変動（異常気象）への関心が高まり、とくに若い世代、子どもたちの動きが目立ちました。

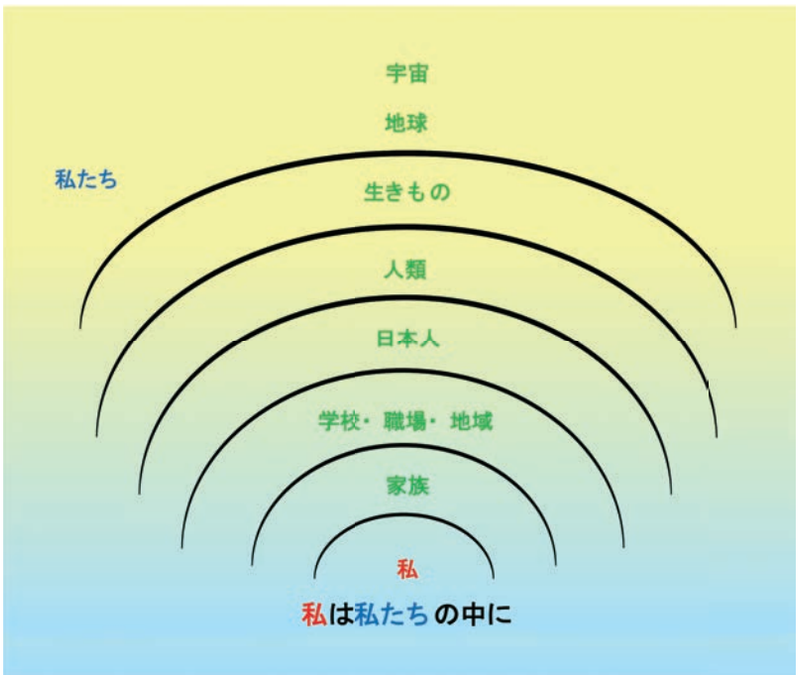
ウイルスのパンデミックと気候変動は、共に人間の自然との向き合い方を問い直すものであり、そこでは「人間は生きものであり自然の一部」というあたりまえのことに眼を向ける必要があるという生命誌からの発信が重要です。事実、このような視点からの講演や原稿の依頼が多くありました（オンラインがほとんどで、週に1、2回話をしました）。

COVID-19については、今後の社会という問題が大きくありますが、日本の生命科学のありようを問うものでもあったのではないでしょうか。感染症への対応、ワクチン開発などを含めて、基礎科学、基礎医学としても問題ありなのに、研究者集団として納得できる誠実な対処が見られなかったのはなぜでしょう。

エネルギー問題など具体的な形での社会のありようを考えなければならない緊急性をもつのは気候変動であり、事実脱炭素、SDGsなどの言葉に代表される動きが見えています。しかし国や企業などの組織としても、政治家、官僚、経営者、研究者など個人としても、近代文明社会のもつ成長・進歩の目標を変えることなく進めているところに大きな問題があります。

生活者は、本質を変えなければならないという意識を持ち始めているけれど、社会としては意識を変えられないままに具体策を出さなければならないという状況になっているために、歪みが生じています。「水素社会」という、本質としても技術としても疑問の多い言葉が、検討のないまま用いられているのなどはその例です。

生命誌には、ここへの答えを探る大事な役割があります。以前から、「重ね描き」をし、専門



家であると同時に生活者である一人の人間として考え、行動することを提案してきましたが、その大切さは増しています。その中で本年度提案し、多くの立場から支持を得たのが、「私たちの中の私」という考え方です（図）。

昨年、25年の研究館活動を踏まえて、「わたしの今いるところ、そしてこれから」を探すと書きましたが、その試みとしてまず探し出したものです。

「人間は自然の一部」という生命誌の基本にある事実認識を、「私たち生きものの中の私」とすることで、DNA、細胞を共有する存在として他の生きものたちとつながりながら存在する私の姿がイメージされます。しかもそれは地球・宇宙へと広がるイメージも生み出し、「私」が大きな広がりの中での存在となります。

ここから出発して私を「私たち人類の中の私」、「私たち家族の中の私」などさまざまな関わりの中に置くことによって、私を大事にしながら、常に大きな広がりとつながりをもつ存在として認識できます。ここから生まれる生き方がこれからの生き方になるという提案であり、さまざまな場で提案し、受け容れられつつあります。

具体的な活動の一つ一つは記しませんが、一例だけ、女性誌『家庭画報』の扉の部分に、毎月書いた文を記します。女性編集者の「自分が生きることについて、生きものという切り口で考えたい」という求めに応じて、その時その時にふと口をついて出た言葉を記したものです。一つ一つに、300字ほどの文をつけました。まさにふと出たものですから、これが最も大事とか全体としてメッセージを出すというものではありませんが、受け止めてもらえたように思います。

1月　唯一無二という言葉は
　　あなたのためにあるのです

2月　小さな生きものを 見つめて生まれる
　　愛ずる心

3月　生きるとは 時間を紡ぐこと
　　一秒一分をていねいに

4月　生きものの中で人間だけがもつ 想像力

5月　人間はいつも 私たちの中の私なのです

6月　人間中心でなく 人間尊重にしましょう

7月　あなたが その形で生まれる陰に
　　細胞の死がある

8月　二足歩行は思いやりの形

9月　森がなければ 人類は生まれなかった

10月　胎盤の遺伝子はウイルスから

11月　ナズナとアリと私
　　同じで違い 違って同じ

12月　いのちは続くもの つながりながら

もう一つ、「村」について考えたことにも触れておきます。NPOスローライフ・ジャパンの活動として、奈良県十津川村を訪ね、村の方たちと話し合いました。近鉄橿原神宮前駅から車で3時間ほどの不便な場所です。東京都23区と同じ面積を持つ日本一大きな村ですが、急峻な山を覆う森林が96％を占めます。

「森林と不便さ」は人類の原点を思わせ、高層ビルの林立する都会では構想できない未来が見えてくるように思いました。近年多くの人類史の書物で指摘されている歴史の見直しは、「村」を考えるところから見えてくるかもしれないと思いもしました。これから考えたいテーマです。

科学は権力・経済力を求めての競争のためにあるものでないことは明らかです。科学がわからせるのは科学でわかることだけであることも明らかです。「本地尋ぬる」を忘れずに考えていくと、生きものが何を語るか。生命誌がそれを楽しむ知として育っていくことを願っています。

SICP（現在の表現センター）に在籍した人たちが、工藤光子さんを中心にNPO法人SICPを創り活動を始めました。小さな活動ですが、面白いことを考え、表現していくグループになっていくと期待しています。応援していこうと思います。

著書：
『中村桂子コレクションⅦ いのち愛ずる生命誌 生る 宮沢賢治で生命誌を読む』藤原書店
『生きている不思議を見つめて』藤原書店
『わたしのなつかしい一冊』毎日新聞出版社（共著）
『「問う」を学ぶ』トイビト（共著）
『日本人の忘れもの』京都新聞出版センター（共著）

II

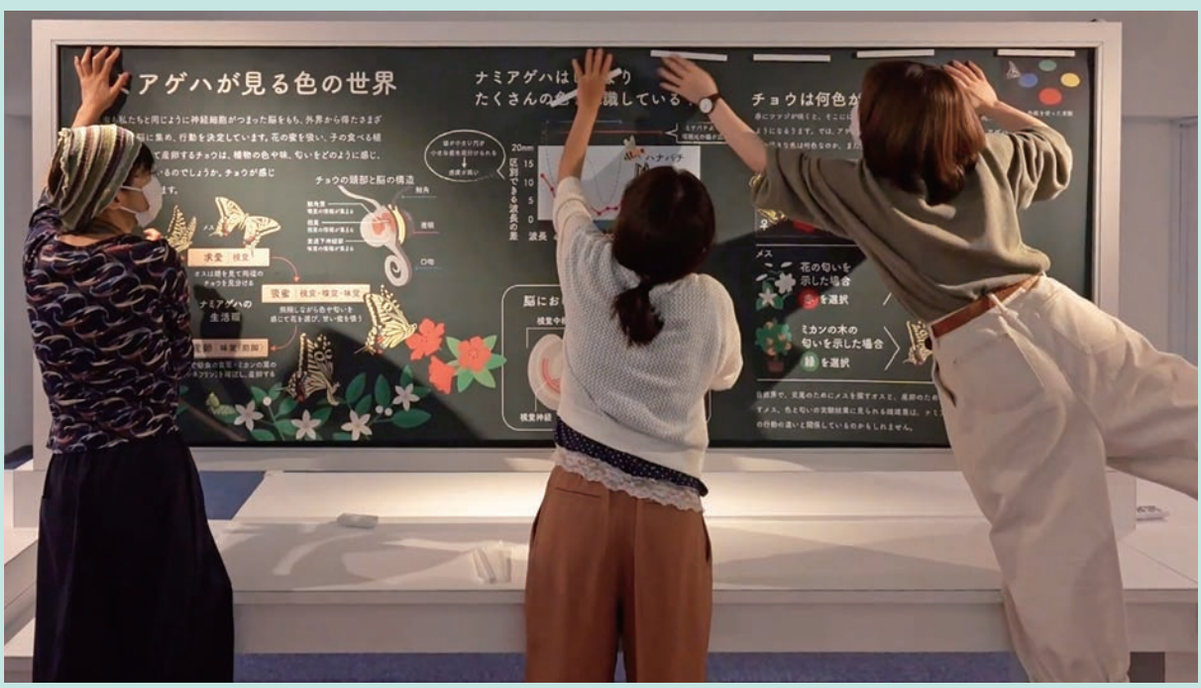
Communications & Production sector report

表現セクター 活動報告

表現を通して生きものを考えるセクター

多様な表現媒体を活用して“生命を知る”知を社会と共有する。

JT 生命誌研究館の開館以来、発行を続けている季刊「生命誌」は、「生きている」を見つめ「生きる」を考える表現セクターの活動の主軸です。創刊時は冊子で、2002 年から WEB とカードと書籍の組み合わせで発行し、表現の工夫から新たなグッズや展示などの展開が生まれました。これからも新たな表現に挑戦してゆきます。



2021 年の夏から開催した初めての企画展「食草園が誘う昆虫と植物のかけひきの妙」の準備風景。企画展示室「昼と夜を分けたチョウとガの進化」の中央パネル「ナミアゲハが見る色の世界」を設置している様子。

研究成果やそこに至る考えをどのように表現するか、独創的な表現は新しい考えを生み出す源泉です。科学も、音楽や絵画のように人の心に伝わるものでなければ社会に入りこむことはできません。表現することで、科学についての新しいアイデアも生まれます。気持ちを込めて、独自で美しいものをつくる、この基本姿勢で表現を通して生きものを考えるという挑戦です。

昆虫と植物の関わりを考えた企画展で「擬態」を紹介するコーナーに飾られた紙工作「とびだすそっくり生きもの」シリーズからハナバチとハナカマキリ。どちらも蘭の花と深い関係があります。

記録映画「食草園が誘う昆虫と植物のかけひきの妙」より（天井から吊り下げた GoPro で撮影）。2022 年 7 月 3 日（土）の企画展オープンに向けて、展示ホールの最終点検。

１．表現ディレクター報告

表現ディレクター　近藤 寿人

2021 年は、表現セクターが関わる JT 生命誌研究館の活動に、企画展の定期的な開催と日曜日開館という、新しい広がりがあった。本館から発する科学に根ざしたメッセージを、より多彩なアプローチでより多くの機会を捉えて伝えることを目指している。季刊誌やホームページの記事で取り上げるテーマと、企画展のテーマとを連携させて、それぞれの内容を充実させた。企画展を素材とした動画も制作し、今後の配信に備えている。SNS をはじめとするインターネット配信を充実させるとともに、情報管理にも努めている。

２．活動報告

チーフ　村田 英克　平川 美夏
スタッフ　齊藤 わか　星野 敬子　中井 彩香
館内案内スタッフ　渡辺 喜美子　藤原 正子

JT 生命誌研究館では、小さな生きものを見つめ、身近な自然の中から新しい「問い」を見出す研究を行い、その研究を魅力的に表現して、皆と一緒に「生きている」ってどういうことかを考えている。

JT 生命誌研究館の屋上に、小さな庭がある。チョウが蜜を吸う花と、幼虫が葉を食べる植物を揃えて、チョウの訪れを待つ「食草園」である。食草園は昆虫と植物のかかわりを探る研究の場であり、地域の自然と人々をつなぐ表現の場として、JT 生命誌研究館のシンボルとなる展示となっている。

表現セクターは、今年、この「食草園」をモチーフとして、昆虫と植物の関わりを探るさまざまな生きもの研究に取材し、研究の魅力を伝えるさまざまな媒体による表現に取り組んだ。全国の読者に発行を続ける季刊「生命誌」やインターネットによる工夫を凝らした発信、展示ホールでは、今年から、企画展の開催と催しを連動させて、今、生命誌が注目する研究を積極的に伝える試みを始めた。

展示ホールの運営においては、新型コロナウイルス感染症対策の必要から休館の時期もあったが、来館者に安心して滞在いただける展示ガイドプログラムの開発などに積極的に取り組んだ。さらにコロナ禍の下での活動発信の工夫として、制作に力を入れたネット配信用動画の蓄積から、各地のシアターや上映会で利用可能な記録映画を制作した。

近年の SDGs などへの関心の高まりを背景に、多様な生きもののつながりの中で人間の文化を考える JT 生命誌研究館の活動理念に共感する声や、さまざまな団体から授業や催しへの参加要請も増えている。

こうした一つ一つの声に応える取り組みに学びながら、科学としての生きもの研究の魅力を伝え、それが日常を生きる知恵となる広がりを生み出す、研究と表現が一体となって活動する JT 生命誌研究館ならではの新しい表現を求めて活動を続けている。

2−1．食草園ってなに？

担当　中井 彩香

世の中に昆虫園や植物園はあるが、食草園はないということを知り2003年に新しい試みとして登場したのが「Ω食草園」だ。JT 生命誌研究館の 4 階、周りを壁に囲まれたこの場所にチョウが来くるのかと心配したが毎年さまざまなチョウが姿を見せる。

1. チョウのレストラン「Ω食草園」

花から花へと飛び回り、さまざまな花の蜜を吸うチョウだが、その幼虫たちは決まった植物の葉しか食べない。これを「食草」と呼ぶ。決まった食草を食べる幼虫のために、母チョウはたまごを産む前に前脚で葉っぱの表面を叩き、脚で味見をしてから葉に産卵する。食草園にはミカンやアシタバなど、さまざまなチョウの幼虫が食べる食草だけでなく、ランタナやアザミ、ブットレアなどの蜜源植物を植えることで花の蜜を吸いにさまざまなチョウが訪れる、まさにチョウのレストランである。そうして訪れたチョウが卵を産み、幼虫が育ち、自然にくらす様子が観察できる。

2. 食草園の植物とチョウ

過去10年の間に食草園に訪れたチョウと代表的な食草を以下にまとめた。食草園に植えてあるものについてはセルを緑色にしている。これまで 28 種ほどのチョウが訪れた記録があるが、今年はほとんどの種が必要とする食草を用意することができた。水やりや草とり（食草以外）、植物の植え替えなどはスタッフで行っている。ミカンやブロッコリーなど、私たちが普段食べている野菜や果物も、普段道端や河原でよく見かけるカタバミやススキも食草だ。私たちの日常の中に登場する身近な植物が「食草」としてチョウとの関係を築いている。

科	種（和名）	食草
アゲハチョウ	ナミアゲハ	ミカン・サンショウ
	クロアゲハ	
	キアゲハ	アシタバ
	ナガサキアゲハ	キンカン
	モンキアゲハ	サンショウ・キハダ
	アオスジアゲハ	クスノキ
	ジャコウアゲハ	ウマノスズクサ
シロチョウ	キタキチョウ	ハギ
	モンシロチョウ	ブロッコリー
シジミチョウ	ツバメシジミ	シロツメクサ
	ベニシジミ	スイバ・ギシギシ
	ヤマトシジミ	カタバミ
	ルリシジミ	クララ
ジャノメチョウ	ヒカゲチョウ	ススキ

科	種（和名）	食草
タテハチョウ	アカタテハ	カラムシ
	キタテハ	エノキ
	ゴマダラチョウ	
	ツマグロヒョウモン	スミレ
	ヒメアカタテハ	ヨモギ
	ホシミスジ	コデマリ
	ルリタテハ	サルトリイバラ・ホトトギス
セセリチョウ	イチモンジセセリ	ススキ
	チャバネセセリ	
マダラチョウ	アサギマダラ	ガガイモ科
テングチョウ	テングチョウ	エノキ
スズメガ	ホシホウジャク	ヘクソカズラ
	オオスカシバ	クチナシ
ツトガ	ツゲノメイガ	ツゲ

3. チョウと食草、その他さまざまな生きものたちの一年

一年を通して食草園にはチョウをはじめとしてさまざまな昆虫が訪れる。12 平方メートルと小さな世界の中で、植物や昆虫たちが季節の移り変わりを教えてくれる。

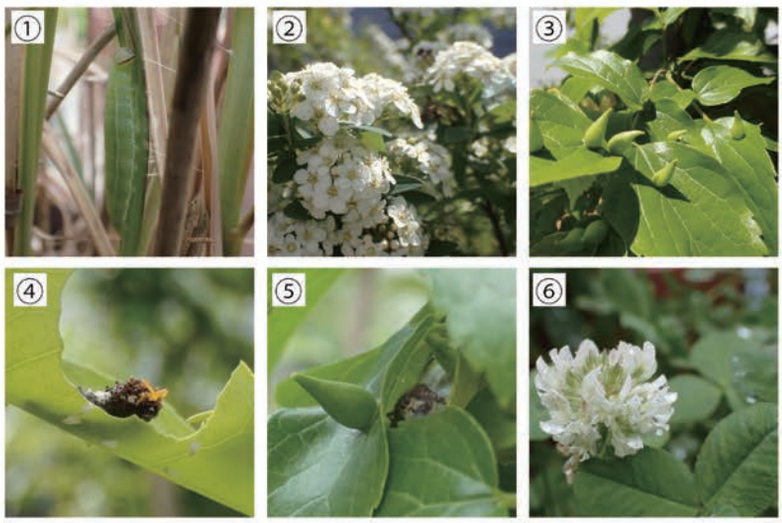
・1-3 月

冬の間ひっそりとした食草園だが、じっくり探すと春を待つ昆虫たちを見つけることができた。蛹や幼虫で越冬する昆虫や、虫こぶの中で越冬するもの、スタイルはさまざま。なんの変化もないような硬く閉じた木の芽も気がつくと少しずつ膨らみ、春が近いことを教えてくれる。

①蛹で越冬するキアゲハの蛹。 ②イチジクの花のうの中で越冬するコバチ。 ③幼虫で越冬するホシミスジ。 ④サンショウの新芽。 ⑤共生関係にあるアリとアブラムシ。 ⑥ふわふわピンクのスイバの花芽、ベニシジミの食草。

・4–6 月

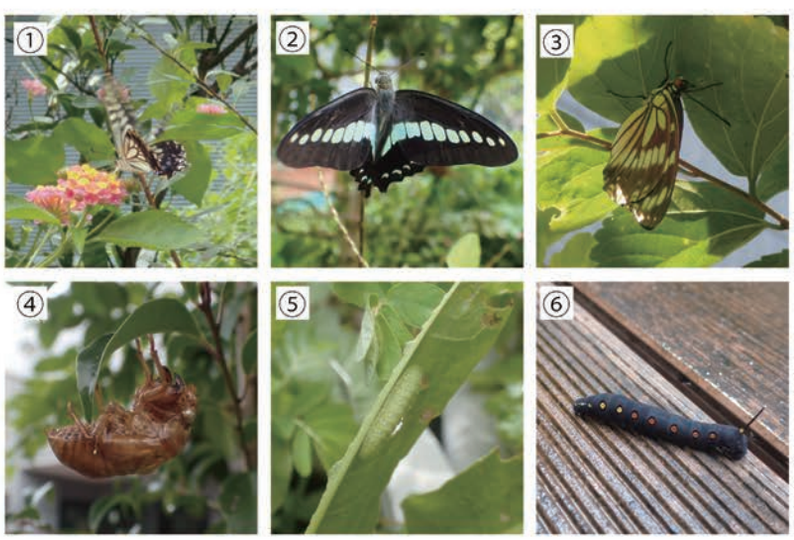
茶色く静かだった食草園にも淡い緑が増えた。花が咲き、昆虫たちが活動を始める。チョウと食草の関係だけでなく、ほかの昆虫と植物、また昆虫同士の共生の様子が観察できた。



①ススキの根元にチャバネセセリの幼虫。 ②満開のコデマリ、ホシミスジの食草。 ③エノキの葉にエノキトガリタマバエの虫こぶ。 ④食事中のナミアゲハの幼虫。 ⑤エノキにできたハエトリグモの巣。 ⑥シロツメクサ、モンキチョウの食草。

・7–9 月

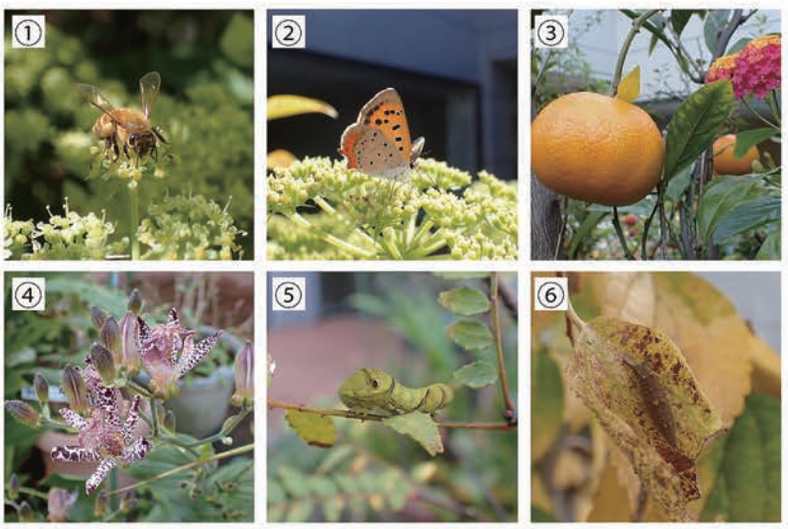
昆虫と植物が最も活発に活動する時期。今年も色とりどりのチョウが訪れた。すくすく育つ幼虫やセミ、バッタなどたくさんの生きものを見つけることができた。



①ランタナで吸蜜するナミアゲハ。 ②羽化したばかりのアオスジアゲハ。 ③エノキで羽化したゴマダラチョウ。 ④セミの抜け殻。 ⑤スイバにベニシジミの幼虫。 ⑥セスジスズメの幼虫。

・10–12 月

暑さも和らいで秋の気配を感じるころ、毎年アシタバが咲き始める。チョウだけでなくハチなどの昆虫もたくさん集まった。植物だけでなく昆虫も秋色に変わり、そろそろ冬支度を始めるころだ。季節に合わせた生きものたちの知恵が見られる。



①アシタバの蜜と花粉を集めるミツバチ。 ②アシタバで吸蜜するベニシジミ。 ③食草園のミカン。 ④ホトトギス、ルリシジミの食草。 ⑤ナミアゲハの終齢幼虫。 ⑥ゴマダラチョウの越冬幼虫。

食草園の Instagram「食草園の毎日」

Instagram「食草園の毎日」

食草園に訪れるチョウや昆虫などの様子、食草園の四季の移り変わり、植物や食草園を管理するスタッフの様子を日々更新しています。是非フォローしてください！

Instagram
「食草園の毎日」は
こちらから！！！

4. 来館者と楽しむ食草園

今年開催された企画展「食草園が誘う 昆虫と植物のかけひきの妙」に合わせて土曜日限定で「食草園ガイドツアー」(予約不要) を開催した。ガイドスタッフの語りで、家の庭や JT 生命誌研究館に来る道端で見た植物たちがチョウとどのような縁で結ばれているかを紹介した。ツアー中には参加者の皆様と一緒に幼虫を探したり、日頃見かける植物や昆虫についても話をすることができた。チョウが卵を産みにふらりと訪れることもあり人気の展示となった。

【展示案内プログラム】

展示案内プログラムでは、スタッフによる“JT 生命誌研究館の活動”と“展示の見どころ”紹介の後に、38 億年の生きものの歴史や不思議が詰まった展示ホールを自由に散策していただく。館内で来館者ひとりひとりの「問い」を見つけてもらい、プログラムの最後にはスタッフと語り合う時間も設けた。

2021 年も中高生、大学生、シニア、親子、幅広い年代のさまざまなグループ、また個人でもご利用いただき、身近な日常につながる生きもの研究の世界に驚き楽しむ様子が見られた。来館される方々の希望に合わせて、映像上映や館内講演の調整も可能なので、たくさんの方に、展示案内プログラムをご利用いただきたい。

【展示案内プログラム概要】

※まずはお電話で事前予約をお願いします　TEL：072-681-9794

①案内のできる曜日　火曜～土曜（祝日、年末年始を除く）

②プログラム参加人数　1名～20名(超える場合はご相談ください)

③予約申込み受付期間　当日の 3 ヶ月前～1 ヶ月前（先着順）

④内容とタイムスケジュール（例）

1. 生命誌研究館紹介映像の視聴（10 min）
2. ガイドスタッフによる展示の見どころ紹介（20 min）
3. 館内見学（45min）
4. ガイドスタッフとの語り合い、質疑応答（15 min～）

2－2．「Ω食草園」特設 WEB サイト　新オープン！

担当：星野 敬子

JT 生命誌研究館の屋上展示「Ω食草園」では、チョウの成虫が蜜を吸う花と、幼虫が食べる植物を育て、チョウの訪れを待っている。この“チョウのレストラン”を味わい楽しみ尽くす、新しい WEB サイトを 2021 年 8 月 17 日にオープンした。

「どんなサイトなの？ 何が見られるの？」 その見どころをご紹介したい。

見どころ①

チョウと食草の関係が一目でわかる

食草園を訪れたチョウ（26 種）とその食草（40 種）の関係をネットワーク図で確かめることができる。

チョウの幼虫が食べる植物は種ごとに決まっている。しかし、文献をひも解くと食べないはずの植物を食べたという記録もあり、チョウは変化する自然の中でさまざまな植物を試しているのかもしれない。文献をもとに、チョウのアイコンと幼虫が食べる植物を線で結んでおり、チョウや植物にふれると、食草園のひとコマが写真で閲覧できる。

見どころ②

アゲハチョウの生命誌研究

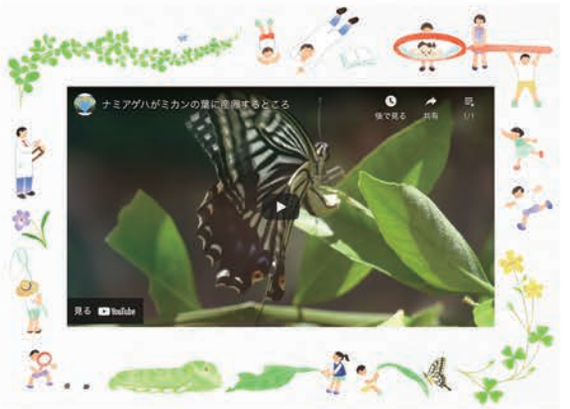
チョウの幼虫は卵からかえった場所に、食べられる植物がないと死んでしまう。そんな子のために、母チョウは前あしに植物を見分けるしくみをもち、子が食べられる葉に卵を産む。

母チョウの産卵行動を 4 つのステップから、順に見ていくコンテンツには、チョウが植物を見分けるしくみを探っている「昆虫食性進化研究室」の最新の研究成果も盛り込んでいる。

見どころ③

動画で楽しむ

食草園の日々のようす、食草園を訪れた小さな虫たちの営み、チョウのお母さんが食草に卵を産む瞬間、そして、チョウの前あしや幼虫の消化機能に注目してチョウと食草の関係を調べている研究者の生の声…と、選りすぐりの 9 本の動画で、食草園を多面的に伝える。



見どころ④

問いを発掘

子どもの「なぜ？」「どうして？」が尽きないように、大人も、知っていることが増えれば増えるほど、わからないことや新しい興味がふくらむはず。それは、研究者も同じ。次の 3 つの問いを切り口に、チョウと植物の関わりを考える。

●「問い」その 1「カギは植物の化合物？」

20 年にわたり、チョウと食草の関係を見つめ、調べ続けている「昆虫食性進化研究室」の尾崎研究員。その研究の最先端をのぞき、目の前に浮かぶ問いから、考える過程を辿っていく。

●「問い」その 2「この葉に卵を産んだの誰？」

身近に観察されるチョウと食草を手掛かりに、日本のチョウと食草の関係をネットワーク図で調べていくことができる。

●「問い」その 3「チョウと植物の関係はどのように？」

さまざまなチョウと植物の結びつきは、長い進化の歴史の中で、どのようにつくられてきたのだろうか。研究者のアイデアに触れ、一緒に考えていく。

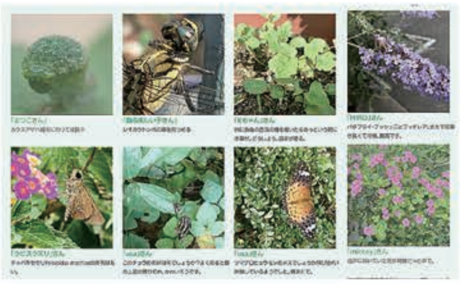
〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜

道端や公園でひらひら舞う姿を見せてくれるチョウたち。はねを広げて花の蜜を吸う姿や、軽やかに葉っぱから葉っぱに飛び移る姿を見る方も多いでしょう。目をこらせば、葉っぱについた小さな卵や幼虫も見つけられるはず。食草園特設WEBサイトを見た後は、みなさんに身近な庭や公園チョウを見ることが、ぐっと楽しくなりますよ。

〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜〜

● 特設サイトオープンの記念企画

2021年夏に期間限定（8月21日〜9月30日）で、「チョウや植物の写真を撮って投稿しようコーナー」を開設した。日本全国の方々から、投稿いただいた身近な生きものの一コマをQRコードから見ることができる。WEBを介して閲覧する方々と交流するしくみとして、今後も実施したい。



●「Ω食草園」展示前でも特設サイトを

ガイドスタッフによる食草園の案内を実施していない開館時にも、食草園のチョウと食草の関わりを詳しく見られるように、食草園の展示前に、特設サイトを閲覧できるタッチディスプレイを設置した。2012年に食草園が誕生して以来、スタッフが記録してきた写真も見ることができる。

2−3．季刊生命誌で考える「昆虫と植物のかけひきの妙」

担当：齊藤 わか

2021 年度の季刊「生命誌」は、植物と昆虫の関わり合いを軸に、化合物や遺伝子といったミクロな視点の研究と、生態系や進化といったマクロな時空間を考える研究を幅広く取り上げた。花を訪れるチョウや、葉っぱを食う芋虫など、私たちが日常目にする生きものたちの関わり合いを広い視点で捉えることができるような誌面をつくった。

105 号〜107 号　カード表紙

1. 庭という陸上生態系

105 号では、チョウの訪れを待つ庭「Ω食草園」から、身近な自然に目を向ける。12 平方メートルの食草園は、毎年変わらず四季に沿って時を刻む生きものの姿が見られる。植物と昆虫の関係に目を向けてみよう。暗い樹下や石の隙間にひっそり生えるコケやシダは、かつては今より大型で、新しいタイプの植物として地上を席巻した存在だ。海から上陸した初期の昆虫は、数メートルあるコケの陰で紫外線から身を守り、白亜紀に現れたトンボやカゲロウの祖先は、10 数メートルあるシダの樹上へ飛んで天敵から逃れることができた。被子植物の花が咲き乱れる現在の光景は、花粉を運ぶハチやチョウとの共生が生み出したものである。それぞれの生きものが登場したころの景色を想像してみると面白い。

どんな小さな庭でも、生きものが生を積み重ねたことでつくられた、陸上生態系の 5 億年の縮図といえる。今も昔も、懸命に生きる生きものたちが生態系をつくってきたことを伝えたい。

「生きている」を見つめ「生きる」を考える
季刊生命誌
BIOHISTORY
ホームページで年に4回発行しています。
アーカイブでは800を超えるこれまでの記事をお読みになれます。
最新号はこちら

105号　Research　カード

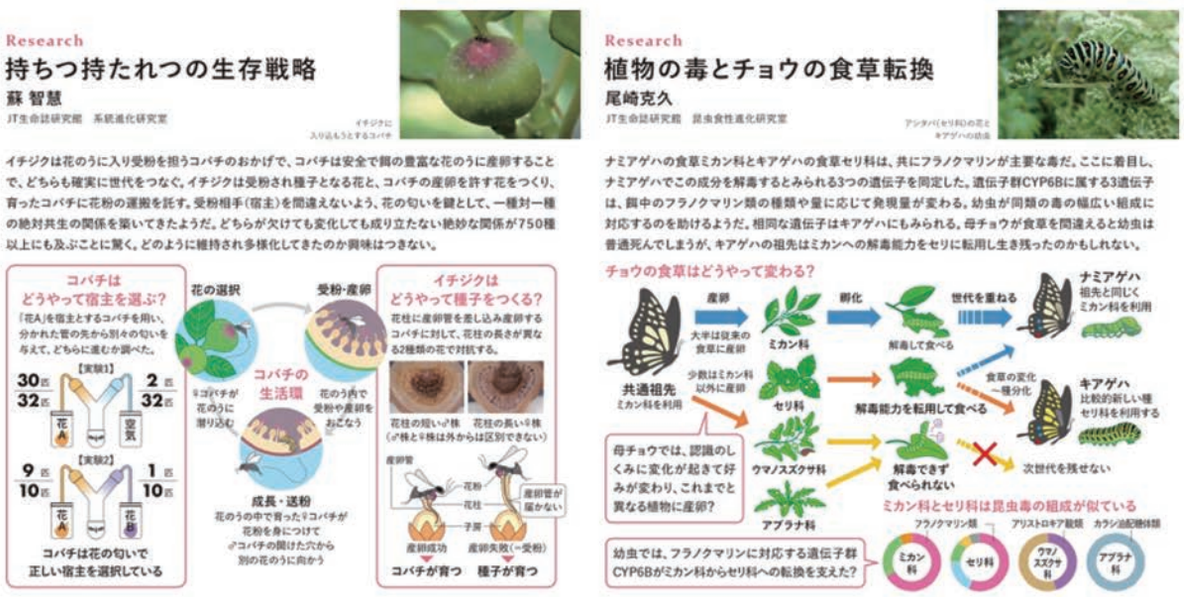
2. 見えない分子で編まれる関係性

106号では、植物と昆虫の一つひとつの関係性を結ぶ実体とは何かを考える。植物は、豊富な光合成産物を元に、100万種類とも言われる化合物をつくる。それらの一部が色・味・匂いといった情報として昆虫に伝わることで、被食から身を守ったり、花粉を運んでもらうことができる。匂いで食植者の天敵となる昆虫を呼び寄せるという、植物の意外な戦略も明らかになってきた。生きものはさまざまな化合物を生み出す場であり、動かない植物は、多様な化合物を駆使して昆虫と渡り合うという、見事な生き方を見せてくれる。もちろん、昆虫も植物に利用されるばかりではない。鋭い知覚で植物の色・味・匂いを区別して、植物を最大限に利用する。自身がつくれない化合物を植物から拝借し、防御や異性を誘うフェロモンとして転用することもあるようだ。植物の力強さと、昆虫のしたたかさを伝えたい。

106号　Research　カード

3. 遺伝子に秘められた歴史

107 号では、植物と昆虫の関わり合いの視点から研究を行なっている、JT 生命誌研究館のラボの研究を取り上げた。長い時間をかけて築かれてきた生きもの同士の関係がどのように保たれ、それが変化するとしたらどんなきっかけがあったのかを考える誌面とした。



107 号　Research　カード

4. 生きものは一つひとつが本質

自然を見つめ、独自の作品を作り上げてきた、能楽師の大倉源次郎先生、フランス文学者の奥本大三郎先生にそれぞれお話を伺い、自然と人の関わりを考えた。

105 号・106 号　Talk　カード

庭は自然へと開かれた窓だ。その窓を覗くと、日々、生きものが変化していくことに気づく。昆虫と植物が助け合ったり、あざむきあったりしているかのような振る舞いは、人の目にはまさに「かけひき」のように映るが、植物も昆虫も、相手を利用しようと頭で考えて関係を築くわけではない。進化学では、様々な異なる性質をもった個体の中で、子孫を残したものの性質だけが現在に伝えられているのだと考える。あたかもかけひきのように見える巧妙な関係は、これまで生まれたさまざまな生きものの生死の上に出来上がったものなのだろう。

人間を含め、これまで生まれて死んだ全ての生きものが、生命という大きな営みに参加し、一つひとつが、その時にしかできないことに挑戦してきたのだと捉えたい。

2−4．企画展と催し

担当　平川 美夏

JT 生命誌研究館の展示ホールは、人々が自由に訪れ、思い思いの時間を過ごす場である。生命誌の考えの背景となる DNA、ゲノム、細胞などの私たち生きものが生きていることを知る展示や生きものの 38 億年の歴史のエポックを題材とした物語の展示など、大小 20 を超える展示が来館者を迎えてきた。しかし、2020 年から 2021 年にかけて、展示ホールはコロナ感染対策のための休館期間があり、触れて操作する展示の多くを停止または接触禁止にせざるえない状況に追い込まれた。手にとって見る標本、観察を体験できる顕微鏡、パズルで操作する映像など工夫を凝らした展示の本来の機能を楽しむことが叶わない、この制限された状況は、展示制作の方法、展示ホールのありかたを考えるきっかけとなった。言葉や映像で伝える表現で、来館者を惹きつける方法の大切さが求められるのである。

2021 年、私たちは展示ホールを何度でも訪れたい、人の集う魅力的な場所にするため、テーマを決めた展示を期間限定で刷新する企画展の開催を新たな方針として掲げた。そして、既存の展示で混み合っていた、展示ホールの中央スペースを自由につかえる空間としてデザインし、また、接触型展示が中心であった展示室を企画展示室として、企画ごとに新鮮な印象を演出する場へと衣替えした。最初の特別展のテーマは、JT 生命誌研究館の今を伝える季刊「生命誌」の特集から「食草園」と決めた。コロナ禍の折、人々の外出の機会が限られるなか、身近な自然に目を向けるきっかけは生活を豊かにするはずである。JT 生命誌研究館４階にある「食草園」を「身近な自然」の代表として、そこに育つ植物、訪れる昆虫の間で繰り広がられる物語を描く展示を企画し、タイトルは永田和宏館長の提案で「食草園が誘う昆虫と植物のかけひきの妙」と決まった。JT 生命誌研究館の展示ホールを舞台に季刊誌の特集から広がる昆虫と植物の織りなす世界が展開され、記事の読者も初めて見る来館者もそれぞれの楽しみ方ができる内容を心がけた。

展示は、展示ホールの中央から奥の空間を、二階に吹き抜けの天井とそれに続くホール奥の弧を描いた壁までいっぱいに使いデザインした。入り口には、季刊生命誌カードで二連の画面に展開したメッセージ画像を等身大のパネルに広げタイトルバナーとして配置した（図１）。

展示ホール中央スペースには、季刊誌 105 号、106 号の記事を中心に「昆虫と植物のかけひき」の面白さがあり、身近でありながら、意外性もあるトピックスを選び、パネルを配置した。全体を伝えるメッセージは、「感じる応じる植物」「感じる応じる昆虫」として、会場に入るとまず目に飛び込むように天井からバナーを吊り下げた。俊敏に動き回る昆虫に対して植物は静的と考えられているが、昆虫に劣らず昆虫の発するシグナルを感じ対応する知恵をもつことを表している。季刊「生命誌」の記事からは、105 号の「植物の遺伝子を巧みに操る虫こぶ形成のしくみ」、106 号の「植物の匂いが結ぶ植食者と寄生バチの関係」を取り上げ、パネルによる解説に加えて、それぞれ虫こぶの標本、匂いの実験の器具の実物を展示台に飾った。また、106 号の対談記事 TALK から、フランス文学者でファーブル昆虫館館長の奥本大三郎氏と永田和宏館長の対談の動画を視聴する一角を設けた。ファーブル昆虫館の昆虫に囲まれた日常の中で交わされる昆虫談義に奥本氏のコレクションの美しい蝶の標本が彩りを添え、つい足を止め聞き入るしくみである。展示で新たに加えたトピックスでは、昆虫の知恵として擬態するアゲハチョウの幼虫と蛹、植物の知恵として昆虫の産卵を監視し防護するしくみを紹介している。また、中央の展示台には季刊生命誌カードの人気コンテンツである紙工作から、2015 年の「とびだすそっくり生きもの」の

擬態する昆虫を飾った（図２　展示ホールの中央）。

ホール中央の区画を抜けると催し会場にもなるホール奥の広場にたどり着く。ここは開放感を大切に、壁いっぱいに投影される、食草園の日々の一コマやJT生命誌研究館のある高槻周辺の昆虫と植物の映像を見上げる空間とした。「食草園」をJT生命誌研究館の屋上から高槻の「自然に開かれた窓」と題した映像からは、鳥の声やせせらぎが聞こえ、窓の向こうの緑が借景のように馴染んでいる。窓際には、4階の食草園に生えていた食草を移植し、本物に触れる体験ができる。常設の生体展示のナナフシも植物を生きる知恵に取り入れた昆虫の代表としての登場である。この展示ホール奥スペースでは、7月、8月、12月に特別展に関連した催しを開催した*。8月の催しの機会に設置した、「食草園特設WEBサイト」の大型ディスプレイとInstagramに投稿した四季折々の食草園写真の写真展は、その後展示に仲間入りした（図３　展示ホールの奥）。

特別展の開催にあわせ、模様替えした特別展示室は、中央の展示パネルで部屋を左右に分けるもとの展示の設計をそのまま生かした。「昼と夜を分けたチョウとガの進化」として、季刊生命誌105号の「昼と夜を分けた鱗翅目昆虫の進化」で紹介した蛾が天敵から身を守るために聴覚を発達させた夜の世界、106号「ナミアゲハの生活を支える視覚情報」に登場したチョウが色を見分ける視覚を利用する昼の世界に分けたのである。入り口側を昼に、奥側は夜として少し照明を下げ、闇夜に飛ぶガの映像を見ながら、ガの気持ちになって耳を澄ます体験ができる。中央のパネルは黒板調の風合いにあわせ、板書のイメージの解説パネルになった。廊下側のガラスの壁面には、チョウと見紛う色あざやかなガの標本と顎を持つ小さなガからさまざまなガが生まれ、昼に進出したチョウとなった進化をたどる系統樹を投影しており、ホールからチョウとガの世界に自然と導かれるだろう。

主題である「Ω食草園」には週末のツアーでご案内する流れとしたが、特別展にあわせて植物のプレートにその植物を食草とするチョウのイラストを添え、窓越しでも雰囲気を味わえるようになっている。花壇ほどの小さな「食草園」が、昆虫と植物がともに歩んできた4億年の進化の時間から、昆虫と植物の絶妙な関わりが繰り広げられる生態系までを覗く窓であり、この窓を通して見える身近に存在する自然の意味と生きもののつながりが、展示から伝えたいことである。

＊ 日曜開館と催し

2021年7月、多くの人に来ていただけるようこれまで休館としていた日曜日にも展示ホールを開くことにした。最初の日曜開館日を迎える週末、7月3日（土）に合わせて企画展示「食草園が誘う昆虫と植物のかけひきの妙」を開始したが、折しも東京2020オリンピックの足音とともに、コロナウイルスの感染者も増加傾向の中でのスタートとなり、必ずしも期待通りの客足とはならなかった。

7月17日（土）にオープニングイベントとして企画した「研究者が語る昆虫と植物のかけひきの妙」は、現地とオンラインのハイブリッドの開催であったが、会場は感染防止の対応に追われた。JT生命誌研究館の昆虫研究者、蘇智慧研究員、尾崎克久研究員の講演と永田和宏館長を交えたトークは、後日YouTubeで公開されている。

8月21日の催しは、夏休み企画として、食草園特設WEBサイトの公開にあわせ、「探検！チョウのレストラン「Ω食草園」」を開催した。館内をめぐりクイズに答えたり、食草園や特設WEBサイトの案内受けたり、翌日からの緊急事態宣言を受けた休館を前に駆けつけた来館者で賑わった。

12月18日の催しは、展示ホール中央の展示のトピックを提供いただいた塩尻かおり龍谷大学准教授をお招きしてのレクチャーで、ご自身の研究展示を背景にお話いただき、多数の家族連れの参加もあり貴重な時間となった。

食草園が　誘う
昆虫と植物のかけ　ひきの妙
植物でつくる
幼虫のゆりかご
そのつくり方は？

植物の香りは
誰を誘う？
ごあいさつ

図１ タイトルバナー

図 2 展示ホールの中央(1)

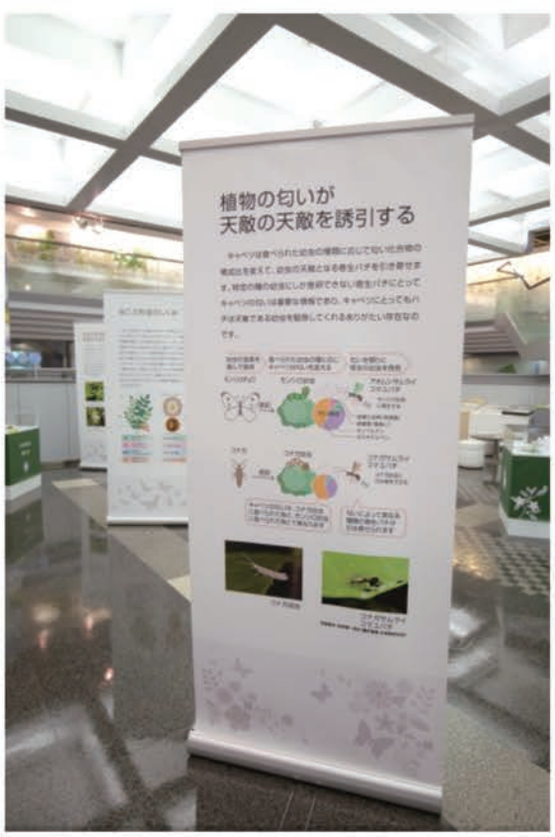


図 2 展示ホールの中央 (2)

図 3 展示ホール奥

図 4 企画展示室「昼と夜を分けたチョウとガの進化」

２−５．映像発信による生命誌の広がり
～JT 生命誌研究館の魅力を伝える～

担当　村田 英克

2021 年度より、これまで休館日であった日曜日を開館し、常設展だけでなく、毎年、企画展を実施するという新たな館の運営方針を永田館長が打ち出された。当館の魅力を、より多くの方々に知っていただきたいという館長の思いからである。表現セクターでは、展示、季刊誌、ホームページ、映像、催し、グッズなどの媒体を駆使して、生きもの研究の魅力を発信しているが、活動の中心は、春夏秋冬の折々に発行する季刊「生命誌」である。その時々のテーマに沿って、今、行われている館内外の最新研究に取材し、その面白さを表現している。今年度は、この季刊「生命誌」の取り組みを通して、「食草園」をモチーフに昆虫と植物の関わりを探る研究を取り上げ、その成果を企画展としても展開することとした。

チョウの食草や吸蜜植物を育てる食草園は、いろいろな昆虫が訪れるが、いつでもドラマが見られるというわけではない。これまでも、日々の観察によりスタッフが記録した写真などを活用して、食草園を伝える工夫をしてきたが、企画展に向けて、今年は、動画映像による観察記録を行うことにした。また近隣の街路樹や住宅地の庭木、近くを流れる芥川の河原の植物を利用するものたちが研究館の食草園にも飛来すると考えられ、地域の自然とつながっているという食草園の特徴を伝える素材として、研究館周辺に見られるチョウと食草の様子も撮影した。これらの映像は、企画展での活用を考えてのことである。同時に、「食草園特設 WEB サイト」コンテンツの一部として、昆虫食性進化研究室の研究を伝える動画として、アゲハチョウのドラミングや産卵行動、尾崎研究員による研究紹介の動画も作成した。

当館による近年の映像作品には、JT 生命誌研究館が 20 周年を迎えた 2013 年に製作した短編記録映画「自然を知る新たな知を求めて」がある。その内容に、20 周年記念に創作した舞台「生命誌版セロ弾きのゴーシュ」のメイキング映像や季刊「生命誌」の対談などを加えて、長編記録映画「水と風と生きものと　中村桂子・生命誌を紡ぐ」を製作し、2015 年に劇場公開した（図１）。本作は全国のミニシアターや上映会で、生命誌のトーク・展示・グッズを組み合わせて、当館の活動を知っていただく場づくりを展開するきっかけとなり各地で歓迎された（図 2)。映画の魅力は、大きなスクリーンを介して、観客を知らない世界に連れて行ってくれる（疑似体験）ところにある。この経験から、劇場公開終了後も、当館を訪れたことのない方に、映画鑑賞を通して当館の魅力を伝える場として「生命誌を考える映画鑑賞会」(高槻現代劇場共催）を主催し、毎年、秋に実施してきた（図 3)。JT 生命誌研究館の活動の基本は生命科学であるが、生命科学から生まれた知見は、生活者ひとり一人の日常に活かされて、初めて生きた知恵となると考えている。そこで、映画鑑賞会では、毎年、「物語」「自然」「音楽」「食」「言葉」などのテーマを扱った良質のドキュメンタリーと生命誌の映画とを併せて鑑賞する番組編成として、生活文化としての「生命誌」を提案してきた。この６年間の映画鑑賞会の活動を通して、旧作に加え、JT 生命誌研究館の現在を伝える新たな記録映画をプロデュースしたいと考えるようになった。

今年度は、「食草園」をモチーフに撮り溜めた映像に加えて、コロナウイルス感染症対策として、昨年度から館の催しはオンライン併用で、すべて動画で記録していた。永田館長が、次世代の若者に科学の魅力を伝えることを願って発案され、実施しているシンポジウム「生命誌から生命科学の明日を拓く」（図 4）を始めとする館の催しは、ライブ中継の後も動画アーカイブ（図 5）として配信を継続している。それらの映像も活

用しながら、企画展に向けて活動する表現セクターの様子を中心に、JT 生命誌研究館の人々の日常、催し、季刊「生命誌」の取材を記録した映像を組み合わせることで、JT 生命誌研究館の現在を伝える記録映画にできるのではないか。そう考えて、新たに撮影した日々の映像を加えて、「食草園が誘う昆虫と植物のかけひきの妙」(73分) という映画にまとめることにした。この映画は、研究と表現の両面を持つ JT 生命誌研究館のシンボル展示「食草園」で観察される草花の四季を通じての変化や、訪れる小さな虫たちの営みを通して、親しみやすく「昆虫と植物の関わりを探る研究」を伝えると同時に、コロナ禍の下での研究館の活動の記録ともなった。本作は、プレビュー上映として、毎年恒例の 11 月の映画鑑賞会での上映ののち、2022 年 1 月上旬には、福岡市科学館主催の催し「生命誌を考えるシネマの時間」として上映を企画した（図 6)。更に各地での上映に向けて、前作の上映実績のあるミニシアターや自主上映会に作品紹介を進め、2022 年夏の東京・関西での劇場公開が決定、他地域での上映にも広がりを見せている。

食草園を巡る動画は、７月に開催した企画展を切り口に JT 生命誌研究館を紹介する素材としても多面的に活用することができた（図 7)。ここ数年、「表現を通して生きものを考える生命誌」というレクチャーを継続して行っている「異文化共生」を提唱する亀岡市の Global Session の要請で、市内小学校のモデル校６年生の授業（４クラス：約１０５名）として「生きものの言葉」という題で館の活動紹介を行い、動画を活用して、日々の暮らしや身近な自然の中に、持続可能な社会に取り組む手掛かりがあること、新たな研究の「問い」があることを伝えた。授業を受けて、私たちヒトを含む多様な生きものの 38 億年のつながりや、生命起源についてなど、生徒から多数の質問が寄せられた。質問に対して、季刊「生命誌」の蓄積から関連記事を紹介することが、次を探るきっかけになるという実践にもなった。そのほか SDGs を背景に、当館の活動への関心も高まり、JT グループとしての社会貢献活動への当館の参画や、各地の科学館、博物館、教育機関、NPO 等の任意活動団体への当館コンテンツの提供や参加の要請も増加している。

JT 生命誌研究館は創設以来、その基盤として生命科学を扱いながら、科学が導き出す理解を、物語として表現することで、多様な分野への問題提起を実践してきた。今年の表現セクターからの報告の結びとして、「研究館グッズ」、「のぞきからくり (peep show)」という切り口から、当館の表現活動の独自性が評価され、紹介された事例をご紹介したい（図 8)。小さな出来事ではあるが、科学を表現する文化としての生命誌の広がりを示す具体例と考えている。こうした一つ一つの取り組みが日常に浸透してゆくことで、生活者ひとり一人の内発として「人間も生きものであり、自然の一部である。」という認識に基づく社会が生まれる。JT 生命誌研究館の日々の営みが、その基盤となることを願って、「表現を通して生きものを考える」という JT 生命誌研究館の独自の活動を続けている。

図１　映画「水と風と生きものと　中村桂子・生命誌を紡ぐ」

図 2　各上映会場で、生命誌のトークや展示、グッズ販売を実施。

図 3 「物語」「自然」「音楽」「食」などの切り口から他分野とのつながりを表現する「生命誌を考える映画鑑賞会」（高槻現代劇場共催）のチラシ（2015 年から 2020 年）。

図 4　研究館の催しの記録動画はインターネットで配信している。

図 5　シンポジウム「生命誌から生命科学の明日を拓くⅡ」（公益財団法人大隅基礎科学創成財団共催）より大隅良典理事長による基調講演（上）と永田和宏館長との対談（下）。

図 6　映画「食草園が誘う昆虫と植物のかけひきの妙」のプレビュー上映を行った「生命誌を考える映画鑑賞会」（左）「生命誌を考えるシネマの時間」（右）のチラシ。

図７　「食草園」を切り口に、研究館の活動を紹介する動画。

図８　紙工作と表現セクターのインタビューが紹介された『ミュージアムグッズのちから』大澤夏美著（国書刊行会）（上）と、紙絵遊び文化の一つとして当館の紙工作が紹介された『ピープショー のぞきからくり』吉田稔美（玉川大学出版）（下）。

研究の表現には定石も正解もありません。まず表現したい研究を選び、スタッフ一人一人が考え、議論し、ものづくりのプロと協力して作品をつくり上げます。生きものを基本に置く社会づくりにまでつながることを願って、皆さまの展示ホールへのご来館をお待ちしています。

写真上：展示ホール「細胞展」の前で、表現セクターメンバー（撮影：2021年3月11日）。
写真下：研究館前の桜の木の下で、館内案内スタッフ（撮影：2022年3月30日）。

III

Research sector report

研究セクター 活動報告

研 究 セ ク タ ー

ユニークなアプローチで、生命の本質に迫る発見をし、新たな知を創る。

チョウが食草を見分けるしくみを探る 昆虫食性進化研究室

チョウは食草の選び方を生まれながらにして知っています。本能のしくみを分子の言葉で理解し、どの様な変化が進化を引き起こしたのか解明します。

ハエとクモ、そしてヒトの祖先を知ろう 細胞•発生•進化研究室

私たちがモデル生物として開拓したオオヒメグモを中心に細胞や形作りの仕組みを調べ、昆虫や脊椎動物と比べることによって、動物多様化の根底に存在する基本原理を探ります。

「生きている」を支える基本は細胞です。私たちはそれを出発点に発生・進化・生態系という切り口で、チョウ、クモ、コバチ、カエルなど生きものたちの物語りを読み解いています。卵（一つの細胞）からクモやカエルの形ができていく発生、昆虫の多様性や植物との共進化、チョウの食草選択など興味深いテーマがたくさんあります。

DNAから進化を探る
系統進化研究室

進化研究の原点は観察と比較です。分子レベルの比較、表現型の比較、そして分子から表現型に至る過程の比較を通して、進化・種分化のきっかけとメカニズムを探ります。

カエルとイモリのかたち作りを探る
形態形成研究室

脊椎動物の「かたち作りの進化」を、細胞増殖と分化そして組織移動の観点から、カエル・イモリ・プラナリアを用いて考えています。

研究ディレクター　吉田 賢右

2021 年 4 月から「研究ディレクター」に就任した。研究ディレクターは、研究室の間の意見の取りまとめ、外部発信及び研究実験に伴う様々な事務や作業などを調整し、承認する立場である。

1. 外部研究費、成果発表

2021 年度の館長方針として、研究員に科研費など競争的外部研究資金の獲得を奨励した。結果として競争的外部研究資金は、2020 年度の 5 件 960 万円から 2021 年は 6 件 3,081 万円と飛躍的に増加し、大型の分析機器の購入や間接経費を使用し研究環境を整備することができた。

2021 年度の原著論文発表は 6 報であった。オンライン化が急速に進んだ学会での発表も旺盛に行った。また、科学コミュニティーに貢献するデータベースや一般市民も使える科学探索ソフトの公開なども実施した。

2. 外部発信

従来、表現セクターに協力する形で月 1 回の「生命誌の日」（第三土曜日）の研究員レクチャー（講演会）やサマースクール、オープンラボなどを実行してきたが、「研究者として積極的な対外発信をする」との館長方針を受け、研究セクターが主体となって企画することとした。2021 年度はコロナ禍のため、サマースクール、オープンラボは開催できなかったが、研究員レクチャーは、コロナ禍による臨時休館中も Web により毎月休まず開催した。

2022 年度は、講演者を当館の研究者のみならず外部の研究者を招聘し、内容も中高生を含む一般向け、最新の情報を含む一般及び研究者向けに区分し、対象者のレベルやニーズに合ったものにしたいと考えている。

各研究室は、JT 生命誌研究館のホームページでもラボ日記、研究の進展、成果の解説、質問に対する回答など馴染みやすい発信を続けている。

3. 人材育成

2021年度は提携している大阪大学大学院から派遣されている4名の大学院生の指導を行い、内2名が2021年3月に修士を卒業した。いずれも論文として出版できる研究成果をあげている。また、現在在籍中の1名は、大阪大学から若手研究者の奨学金（次世代挑戦的研究者育成プロジェクト）の採択を受けた。

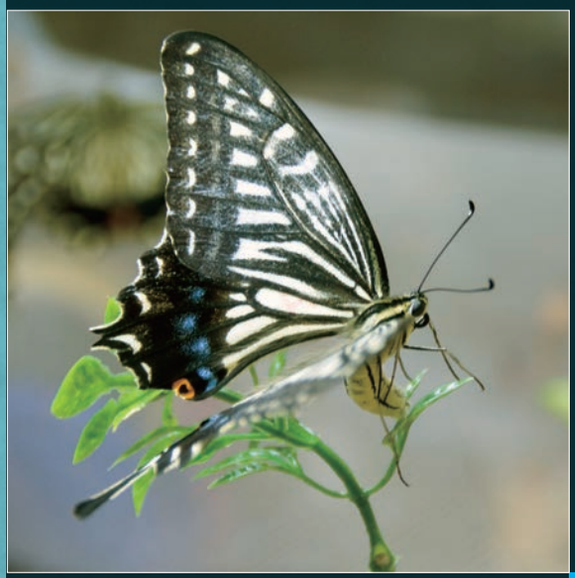
当館の研究員は、他大学や高等学校で講義を行っており、また高等学校の理科クラブの生徒に実験を含め研究指導も実施している。

各研究員は研究補助員に対しても日常的に最前線の情報や実験を指導しており、研究補助員の実験研究能力は年ごとに向上している。2021年度は、更に向上すべく社会人大学院に入学する研究補助員も現れた。

4. 研究事務管理

現在では科学実験を行うためには、経理、労務、薬品、安全管理、諸報告の作成・管理など多量の事務処理が必要となってきている。大学においては、教員数の約半数である事務職員が忙しく働いているが、それでも研究以外の業務によって教員の研究時間が削られ、それが最近の日本の学術研究衰退の原因の一つと言われている。

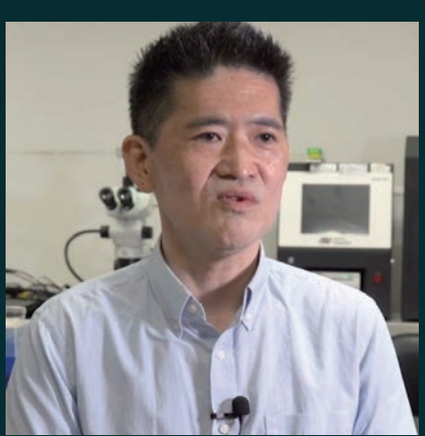
当館は、研究員 9 名、大学院生 2 名、研究補助員 4 名の小規模研究施設であるが、大きな研究施設とほぼ同じ形式の諸研究事務は必要であり、わずか数名の事務部門で適切に事務処理を実施している。研究セクターとしては、外部資金管理を担当する事務員の採用、経理業務効率化のための会計管理ソフト導入など実現し、事務部門での負担が大きく増えることがないようまた、研究室メンバーが研究に集中できる環境の確保に努めてきた。引き続き、事務業務の軽減、研究環境の改善を推進していきたい。



チョウが食草を
見分けるしくみを探る

昆虫食性進化研究室

アゲハチョウの仲間の幼虫は、決まった植物だけを食べる。メス成虫は、自らは食べない葉の味見をして、適切な植物を選んで産卵する。どの植物に卵を産むべきかは、生まれながらに知っている。植物も一方的に食べられているわけではない。光合成で防御物質を作り出し、化学的に身を守っている。食べる側と食べられる側の巧みな駆け引きは、どのような仕組みで構築されているのだろうか。分子の言葉と大量データから読み解く。



室長　尾崎克久

アゲハチョウの食草選択と進化

チョウが食草を見分けるしくみを探るラボ
室長　研究員　　尾崎 克久
奨励研究員　　宇賀神 篤
研究補助員　　廣嵜 由利恵

1. 概要

昆虫と植物の関係を理解するため、両者の間を取り持つ化合物に注目している。味覚や嗅覚といった化学感覚の研究ではセンサーとして働く受容体遺伝子が注目されがちであるが、受容体に化合物を運搬する役割を持つタンパク質も重要である。今年度は化合物の運搬役と考えられている OBP (Odorant Binding Protein) について新知見を論文として報告したので、その内容について記す。また、昆虫に対して毒性を示す化合物に注目してアゲハチョウと植物の関係を俯瞰すると、新しい進化の歴史が見えてきた。ビッグデータを用いた生物間相互作用の解析について紹介する。

2. はじめに

「環境」という言葉を聞くと、気温や地形など非生物的なものをイメージする人が多いのではないだろうか。実際には、食う・食われる、病気になるなど、生物の生死には他の生物の存在が強く影響している場合が多いので、<u>他の生物との関係こそが重要な環境要因</u>である。それでは、生物同士がどのように関わり合いながら「生きている」のだろう？この謎の一端を解き明かすために、アゲハチョウと食草の関係について、生態学・分子生物学・情報学など様々な角度から研究に取り組んでいる。

アゲハチョウの仲間は全て植食性で、基本的に幼虫は特定の植物だけを餌として利用する。成虫は花の蜜を飲むので植物を食べることはないのだが、メス成虫は幼虫が食べられる葉を選んで産卵する。成虫にも幼虫にも植物が作る化合物の存在は重要で、メス成虫は前脚にある化学感覚毛で植物を“味見”して産卵場所を選択し、幼虫は植物が作る毒性化合物を解毒できるか否かが生存に強く影響する。これらのことから、化合物をキーワードとして、昆虫と植物の関わり方を読み解くことができると考えている。

3. チョウの前脚味覚センサーで受容体と共に働く化学物質結合タンパク質

チョウのメス成虫は、産卵の直前に植物の表面を叩く「ドラミング」と呼ばれる行動をする[1]。ドラミングによって、植物が持つ化合物を「味」として感じ取り、産卵場所として選択する。幼虫の移動能力は低いので、味音痴な母親が植物の選択を間違えた場合、孵化した幼虫の生存に重大な影響を与えることになる。味覚はアゲハチョウにとって、次世代の存続を左右する重要な役割を持つ機能なのだ。味覚に関わる遺伝子やその機能を明らかにすることができれば、昆虫と植物の関係について理解を深めることができるだろう。

味覚関連遺伝子として真っ先に名前が挙がるのは味覚受容体(gustatory receptor = Gr)遺伝子だろう。当研究室では、産卵刺激物質の一つであるシネフリンに対する受容体としてナミアゲハ味覚受容体 1 号(*Papilio xuthus Gr1*: *PxutGr1*)を同定している[2]。しかし、その他の産卵刺激物質の受容体は、RNA-seq によって候補となる遺伝子を複数検出しているが機能は未同定であり、*PxutGr1* についても、前肢で発現しているのは間違いないものの味覚感覚

子で発現しているのかは不明であった。

2021 年度はナミアゲハが持つ Gr を網羅的に調べ、前肢に選択的に発現するものを絞り込んだ。一般に昆虫の Gr は発現量が極めて低く、発現可視化は困難とされてきたが、プロトコルを改良し、4 遺伝子について Gr 同士の局在関係の可視化にも成功した。リガンドを同定するため、CRISPR/Cas9 によるゲノム編集個体の作成にも取り組んでいる。

味覚や嗅覚といった化学感覚において重要な役割を担うのは受容体だけではない。化学物質と受容体との結合を補助する odorant-binding protein (OBP)遺伝子についても解析を実施し、2021 年度に論文を発表した [3]。以下にその概略を記す。

当研究室では 2000 年代後半に OBP に着目し、EST 解析からナミアゲハ・メス成虫の前肢に発現する 3 つの OBP 遺伝子（*OBP1–3*）を同定していた [4]。今回新たにゲノムデータベースと RNA-seq 解析を利用し網羅的に探索することで、ナミアゲハが少なくとも 44 個の OBP 遺伝子を持つことが明らかとなった。一方で、他の肢や触角、口吻、産卵管と比較して前肢で高発現するものは、既に同定されていた *OBP2, 3* の他には 1 遺伝子（*OBP9*）のみであった。

前肢においてこれら三つの OBP が共局在することから（図 1）、当初は前肢における産卵刺激物質の受容に特異的に寄与する OBP セットなのではないかと考えた。期待に反し、三つが共局在というパターンは他の肢や産卵管の感覚子でも観察された（図 2 A）。しかし、興味深いことに口吻では *OBP2, 9* は共局在するものの、*OBP3* の発現は検出されなかった（図 2 B）。肢と産卵管はいずれも産卵に際して植物の葉と直接接触する器官である。一方で口吻は成虫の餌となる花蜜の摂食のための器官であり、葉に触れることはない。*OBP2, 9* が味覚受容のための必須 OBP として働き、そこに *OBP3* が発現することで植物化学物質の受容を可能にしているのではないだろうか。この点については今後のゲノム編集個体を利用した機能解析が答えを出してくれるだろう。また、ハマダラカの仲間では、触角に発現する異なる OBP がヘテロダイマーを形成することで結合可能な化学物質が変化する

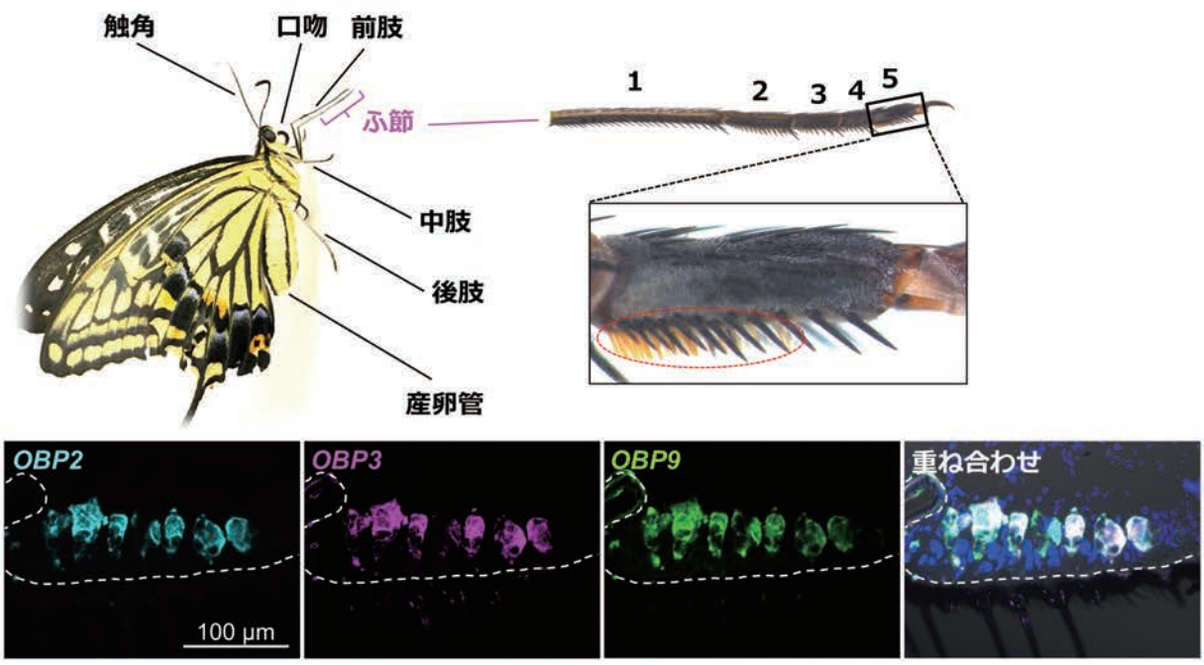


図 1. ナミアゲハメス成虫の各部位と前肢ふ節における三つの *OBP* の共局在の様子

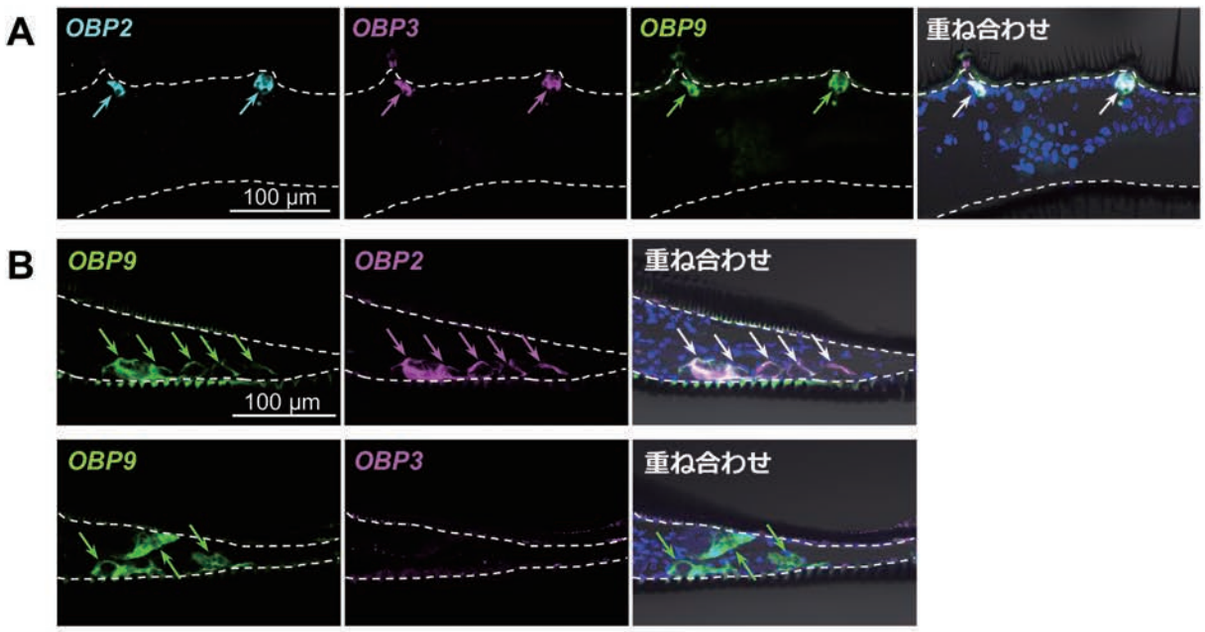


図 2. 産卵管(A)と口吻(B)における三つの OBP の局在パターンの違い

という現象が知られている[5]。*OBP2, 9* との共局在の意義、相互作用の有無についても生化学的な検討が必要であろう。

OBP は odorant（匂い物質）との名の通り、嗅覚との関連が精力的に研究されてきた歴史があり、味覚における役割についての知見は乏しい。本研究がチョウの食草認識のみならず広く味覚受容において OBP の果たす役割を考察する一助となることを期待する。

4. 毒性化合物に注目したビッグデータ解析が紐解くアゲハチョウの進化

地球上で最も多様化した生き物は昆虫である。かつては、翅を獲得して高い移動能力を手に入れたことや、完全変態を獲得して幼虫と成虫が全く異なる形を得たことで空間を効率よく活用できるようになった事が多様化の要因と考えられていた。しかし、上記のような形質と昆虫の多様化に相関は見られず、現在では植食性の獲得が多様化に大きな影響を与えたとされている[6]。鱗翅目昆虫（蝶と蛾の仲間）は種数が多いグループであるが、大多数が植食性という特徴がある。

鱗翅目が地球上に誕生したのは、約 1 億年前とされている。約 6,500 万年前、地表面が裸子植物から被子植物に置き換わった時期に、被子植物が多様化するのと連動して鱗翅目昆虫が種数を増やしたとされている[7]。鱗翅目昆虫の多くが夜行性の蛾で、一部が昼行性に移行し、昼行性の一部が蝶になったと考えられている。

鱗翅目昆虫の中でアゲハチョウ科に関しては、全ての種が植食性で基本的に決まった植物だけを食草として利用している。アゲハチョウ科で最も原始的とされるウラギンアゲハがマメ科のアカシアを食草としていることから、共通祖先はマメ科食性だろうと考えられている[8]。ギフチョウを含むウマノスズクサ科食性が現れ、それを起点としてアオスジアゲハの仲間を含むクスノキ科食性、ナミアゲハやクロアゲハなど多様な種を含むミカン科食性、そして最終的にセリ科へと進出してキアゲハの仲間が誕生したと考えられている（図 3）。アゲハチョウの食草転換と種分化には相関が見られることから[9]、植物の変化を追いかけるかのようにアゲハチョウが種分化した共進化であると古くから考えられてきた。

それでは、アゲハチョウの仲間はなぜ、決

図 3. アゲハチョウの食性と系統樹（概略）

まった植物だけを食べるのだろう。植物は地中に根をはっているため、何かに食べられそうになった時に走って逃げるということはできない。だからといって一方的に食われているのではない。植物は、光合成によって植物自身の成長に必要な成分はもちろんだが、自身の生命維持には必要ではない成分もいろいろ作っている。生存に必須ではない成分は「二次代謝物質」と呼ばれるが、その中には昆虫にとって毒になる成分もある。毒の種類は植物によって異なるため、昆虫は植物が作る毒を分解できる場合だけ食べることができるのだ。新しい毒を持った植物が誕生すると、それを克服できた昆虫は独占的に利用できる事になる。反対に、多種の植物を食べるためには、多種類の毒に対応できるよう多数の解毒機能を持つ必要があると予想されるが、幼虫の期間は短く移動能力が低いので、多くは使う事がないまま蛹になるため無駄になる。特定の植物だけを利用する場合には、用意する解毒機能が少数で済み、効率が良いと考えられている。

実際にどのような毒物質があるのか把握するため、何かの昆虫に対して毒性を示したという記述がある植物化学物質（以後「毒性化合物」と呼ぶ）を文献から収集し、データベースとして構築した。約 350 の毒性化合物が見つかったが、化合物の名称はバリエーションがあり、同じ物質が別の文献では異なる呼び方になっていることも多々ある。これではコンピューターで扱う解析用のデータとしては使いづらい。そこで、検出した毒性化合物の CAS ID（化合物の学名のようなもの）を調べた。CAS ID は近年の論文であれば記載されていることも多いが、今回参照した文献では未記載のものが大多数を占めた。CAS ID をもとに生物種-代謝物関係データベース「KNApSAcK」から約 5,500 の植物-化合物の関係を抽出した。植物の科ごとに、何種類の毒性化合物を持つかグラフ化した（図 4）。このグラフに、植物の目（もく）という分類単

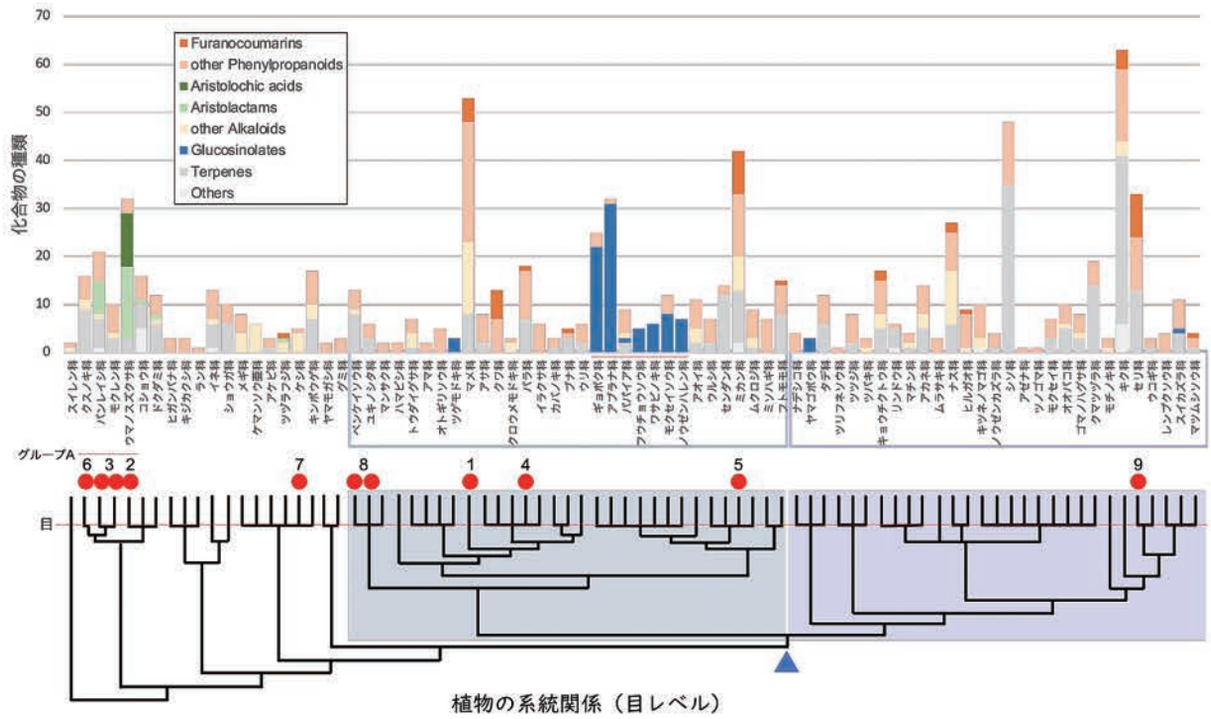


図 4. 植物が持つ毒性化合物の種類と系統関係

位での系統樹[10]を重ねてみると、興味深い結果が得られた。

ギフチョウやジャコウアゲハが利用するウマノスズクサ科のアリストロキア酸、シロチョウの仲間が利用するアブラナ目のカラシ油配糖体は、その植物のグループにとって大きな特徴である事がわかるが、それ以外に植物の分類群を特徴づける毒性化合物の組成は見当たらない。

図 4 の赤い丸はアゲハチョウの食草、赤丸の上の数字は、アゲハチョウの進化の順番示す[8]。これを見ると、植物の進化の歴史と、アゲハチョウの進化の歴史には相関がなく、アゲハチョウ科全体が植物と共進化したとは考え難い。

ナミアゲハとキアゲハは、成虫の外見が類似するだけではなく、人為的に交尾させると 1 世代だけは子供ができる事が知られているほど近縁であるとされるが、食草であるミカン科とセリ科は系統的に遠い事が見て取れる。ミカン科とセリ科は系統樹の深いところ（図 4 の青い三角印）で分岐しているが、多種類のフラノクマリンを持つ点など毒性化合物の組成は類似している。

これらのことから、仮に古くから言われているように、極めて特殊な毒性を持つウマノスズクサ科食性がアゲハチョウの進化の起点だとすると、他の科の植物に食草を変更する際には毒性化合物への適応では大きな変化が複数回独立に起きたことを仮定する必要があるだろう。実際、ゲノムワイドな解析でも、ウマノスズクサ科から別の科に移行する際には強い加速進化（Positive selection）があったと報告されている[8]。しかし、これはウマノスズクサ科食性を起点として種分化が起きたというストーリーありきの、都合の良い解釈なのではないかという疑問が残る。

植物の科ごとに、どのフラノクマリンを持つ種が存在するかカウントした（表 1）。植物が持つ化合物組成の情報は栽培種に偏りがあり、野生種については網羅性が低いと想定されるため、KNApSAcK に複数の属にまたがって 10 種以上登録されている場合は、その科に含まれる多くの種が持っている化合物であろうと仮定した。

セリ科とミカン科に含まれる植物は、各種

	linear							angular	
	Psoralen	Bergapten	sopimpinellir	Pimpinellin	Imperatorin	Xanthotoxin	Xanthotoxol	Angelicin	Isobergapten
科	8	6	5	5	4	4	4	6	3
セリ科	11	41	29	19	39	36	12	5	19
ミカン科	10	19	16	2	10	10	3	1	1
クワ科	18	18	13	12				1	12
マメ科	49	4	1			4		29	
キク科		1	1	1	1				
イチイ科	1					1	1		
ナス科		1						1	
キョウチクトウ科	1			1					
バラ科					1				
ヒルガオ科	1								
フトモモ科	1								
ブナ科								1	
ツヅラフジ科							1		

表 1. フラノクマリンを持つ植物の種数

13 科の植物からフラノクマリンが検出されている。セリ科・ミカン科・クワ科・マメ科を除く 9 科では、ごく稀にフラノクマリンが検出された種があるのみである。ミカン科が持つフラノクマリンは基本的にリニア型のみ、セリ科はリニア型とアンギュラー型の両方を持つ。

フラノクマリン類を持っていると考えられる。フラノクマリンは構造から「リニア型(Linear)」と「アンギュラー型 (Angular)」に分類されるが、アンギュラー型はセリ科が持っているのに対してミカン科は少ない事がわかる。

共通祖先が食べていたマメ科にもフラノクマリンが見られ、ソラレン (Psoralen) とアンゲリシン (Angelicin) は多くのマメ科植物が持っていると予想される。ソラレンはリニア型、アンゲリシンはアンギュラー型である。これらのことから、マメ科を食べていた共通祖先の段階で幅広いフラノクマリンに対応できる素地を獲得しており、解毒機能を拡大することでフラノクマリンの種類が増えたミカン科へ、その後にさらにアンギュラー型のフラノクマリンが増えたセリ科へと進出できた可能性が示唆される。おそらく、食草転換の初期段階では、既存のフラノクマリン解毒関連遺伝子の転用（目的外流用）という形で、適応度が下がらないレベルで新規環境に耐える事ができたという背景があって、その後の最適化によって進行する種分化へ至る変化を支えたのではないだろうか。

アリストロキア酸を多数持つウマノスズクサ科への食性転換は特殊な例で、植物の多様化を追いかけるようにアゲハチョウの仲間が種分化したというストーリーは、ウマノスズクサ科に進化的に近いクスノキ科・バンレイシ科・モクレン科（図 4 のグループ A）に注目した場合と、各植物の科内で起きた種分化に限られるのではないだろうか。それ以外の科をまたいだ食草転換については、マメ科食を起点とした食性転換があったのではないだろうか。このストーリーを仮定した場合、ミカン科やセリ科への食性転換は、もともと持っていた遺伝子の転用と、それら遺伝子の新環境への最適化という小さな変化で可能であった可能性が示唆される。

クワ科もフラノクマリンを多く持つが、クワ科を食べるアゲハチョウは知られていない。食草として利用可能か否かは毒性だけで決まるものではなく、幼虫が餌として認識してかじりつくことができるか、成虫が食草として認識して産卵できるかなど、様々な条件が必要になる。食草の認識には味覚や嗅覚など別の化合物との関わりがあるので、昆虫と植物

がどのように関わり合いながら生きているのか理解するためには、化合物を介した関係について総合的に理解を深める必要があるだろう。

このように、論文として公表されている既存のデータを収集して再活用する研究手法は「メタ解析」と呼ばれるが、先人の努力から新知見を抽出するために有効な手段であると同時に、COVID-19 のパンデミックのような状況下でも進展に対する影響が軽微であるため、今後も必要に応じて積極的に研究に取り入れていきたいと考えている。現在、上記の毒性化合物に注目した解析結果について、論文作成中である。

5. 研究成果の社会への還元

当研究室で作成し、以前から公開している昆虫-植物-化合物の関連性データベース「InsectInDB」[11]に、今年度作成した毒性化合物に注目したネットワーク解析機能を追加した。JT 生命誌研究館には「科学のコンサートホール」という大切なコンセプトがあるので、その実践の一つとしての「論文を楽譜として科学を演奏する」取り組みであると考えている。

InsectInDB はユーザーの興味に合わせて、リアルタイムに処理された「動くネットワーク図」が表示されるため、多くの方が直感的に利用できる（図 5）。InsectInDB にアクセスすると、最初にふわっと動く蝶と植物のアイコンが目に入る。この動作により、表示されているオブジェクトは動かせるものなのだとユーザーが無意識に理解することを狙っている。動かせるものなのだと直感的に感じたら動かしてみたくなるのが人情なので、表示されている各種オブジェクトを動かしてみるはずである。そうして様々な条件でネットワーク図を表示させ、昆虫や植物や化合物のアイコンを操作するうちに新たな気づきや問いが生まれることに期待している。

InsectInDB は一般の方々も難なく使えるように工夫をしたユーザーインターフェースになっているが、我々が研究の現場で利用し

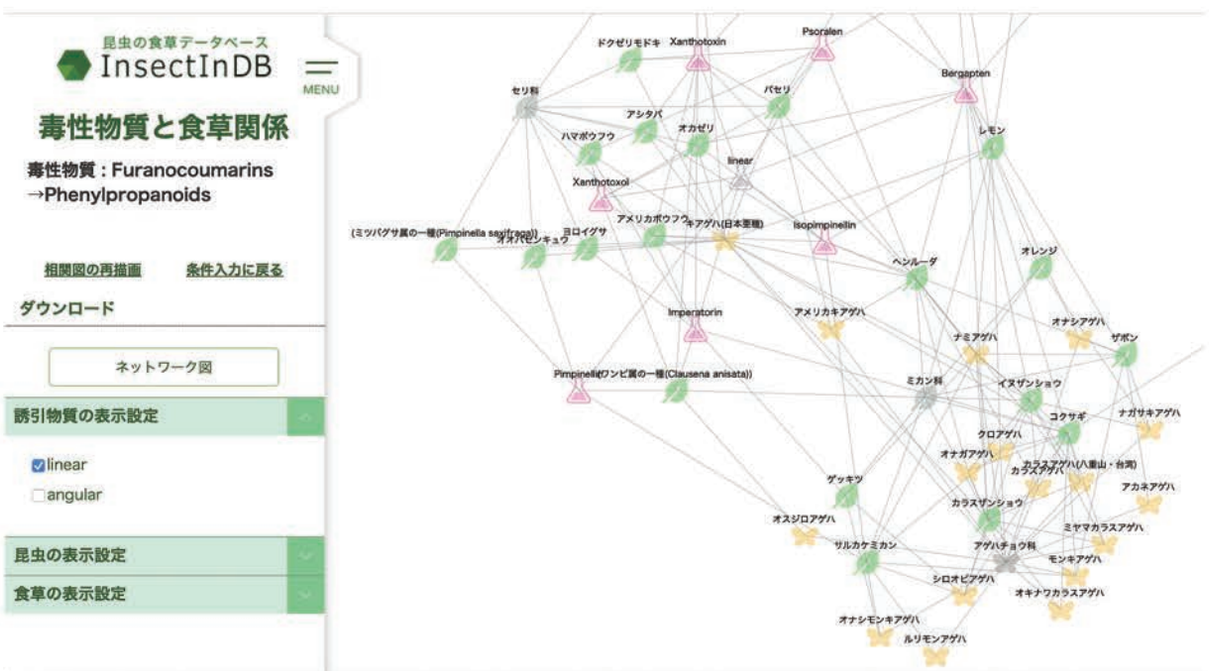


図 5. 昆虫-植物-化合物の関連性データベース「InsectInDB」の表示例

ている本物の研究用ツールでもある。生物学の研究者が利用し、何らかの発見があった場合には論文作成にも利用できるよう、日本語と英語をその画面表示のまま切り替えることが可能な機能を搭載している（図 6）。これにより、一度トップページに戻るといった面倒な動作を挟むことなく、必要な言語表示に変更できる。表示している画面をスクリーンショットとして保存したり、昆虫と植物の関係をリストとしてダウンロードすることも可能である。操作と表示を楽しみながら、新たな問いを発掘することができるので、プロ・アマを問わず、多くの研究者に活用していただきたいと願っている。

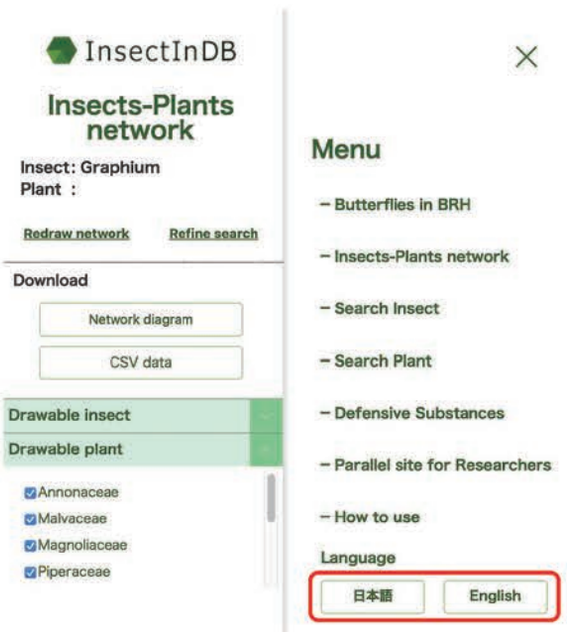


図 6. InsectInDB のメニュー表示の例
日本語と英語のシームレスな切り替えが可能なので、一旦トップページ等に移動するといった動作を挟まずに、現在見ている画面をそのまま別の言語表示に変更できる。

日本語表示：　https://ja.insect-plant.org/
英語表示：　https://en.insect-plant.org/

謝辞
本研究の遂行にあたり、伊丹市昆虫館・坂本昇様、角正美雪様から、昆虫・植物資料を提供していただいた。多大な協力に感謝する。

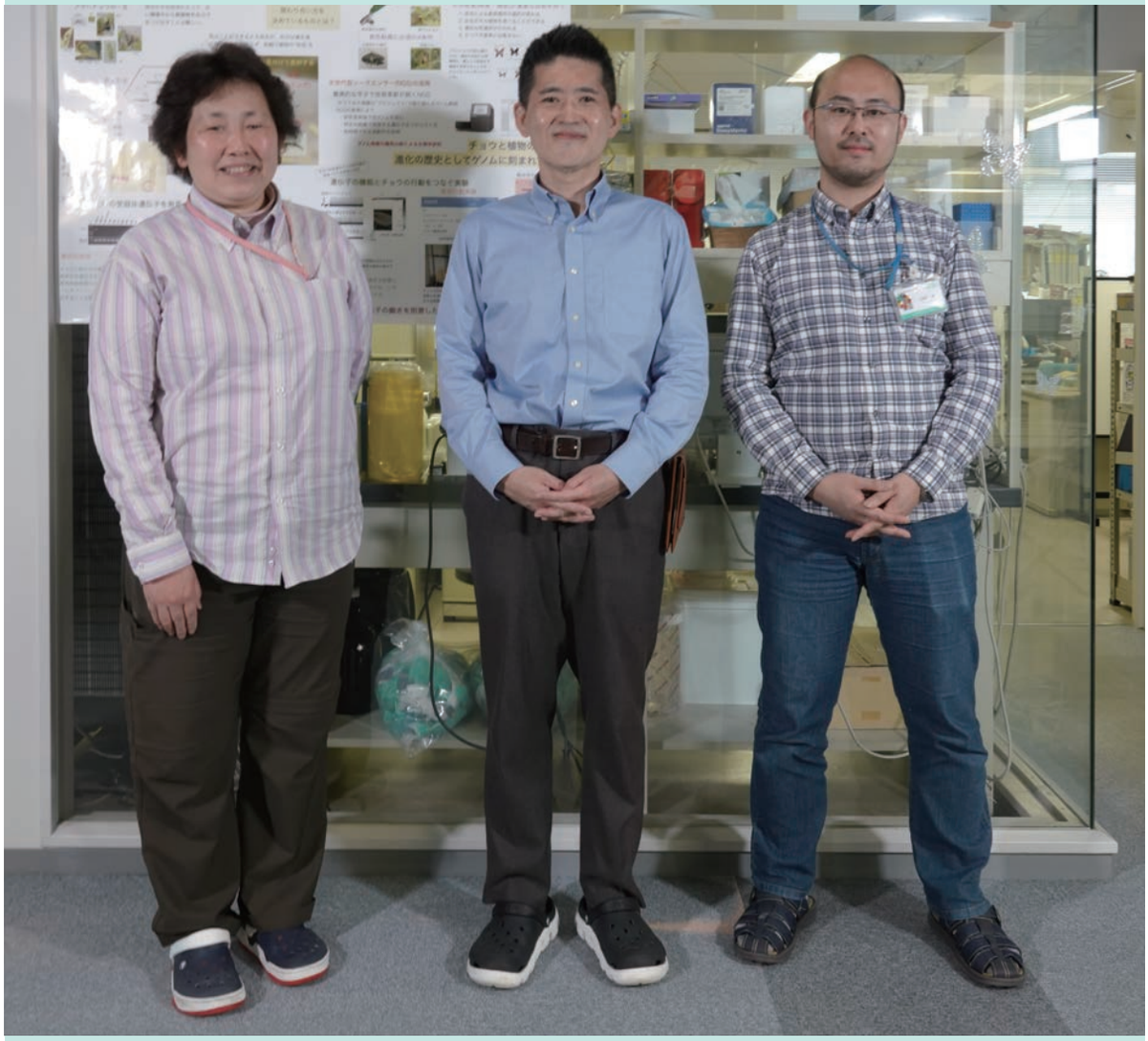
引用文献

1. ILSE, D. New Observations on Responses to Colours in Egg-laying Butterflies. *Nature* 140, 544–545 (1937).
2. Ozaki, K. *et al.* A gustatory receptor involved in host plant recognition for oviposition of a swallowtail butterfly. *Nat Commun* 2, 542 (2011).
3. Ugajin, A. & Ozaki, K. Coexpression of Three Odorant-Binding Protein Genes in the Foreleg Gustatory Sensilla of Swallowtail Butterfly Visualized by Multicolor FISH Analysis. *Frontiers Insect Sci* 1, 696179 (2021).
4. Ozaki, K., Utoguchi, A., Yamada, A. & Yoshikawa, H. Identification and genomic structure of chemosensory proteins (CSP) and odorant binding proteins (OBP) genes expressed in foreleg tarsi of the swallowtail butterfly Papilio xuthus. *Insect Biochem Molec* 38, 969–976 (2008).
5. Qiao, H. *et al.* Cooperative interactions between odorant-binding proteins of Anopheles gambiae. *Cell Mol Life Sci* 68, 1799–1813 (2011).
6. Wiens, J. J., Lapoint, R. T. & Whiteman, N. K. Herbivory increases diversification across insect clades. *Nature Communications* 6, 8370 (2015).
7. Kawahara, A. Y. *et al.* Phylogenomics reveals the evolutionary timing and pattern of butterflies and moths. *Proc National Acad Sci* 116, 22657–22663 (2019).
8. Allio, R. *et al.* Genome-wide macroevolutionary signatures of key innovations in butterflies colonizing new host plants. *Nat Commun* 12, 354 (2021).
9. Thompson, J. N. Evolutionary Genetics of Oviposition Preference in Swallowtail Butterflies. *Evolution* 42, 1223 (1988).
10. Soltis, P. S., Folk, R. A. & Soltis, D. E. Darwin review: angiosperm phylogeny and evolutionary radiations. *Proc Royal Soc B* 286, 20190099 (2019).
11. Muto-Fujita, A. *et al.* Data integration aids understanding of butterfly–host plant networks. *Scientific Reports* 7, srep43368 (2017).

社会に開かれた活動報告

日程	対象者	場所	行事名・内容	定量実績
2021/1/20	読者	オンライン	尾崎 科学誌 DNA Research 編集結果提出	不特定 多数
2021/2/25	読者	オンライン	尾崎 科学誌 Scientific Reports に投稿された論文の査読完了	不特定 多数
2021/3/22	読者	オンライン	尾崎 科学誌 Scientific Reports に投稿された論文の査読完了	不特定 多数
2021/6/19	一般	YouTube Live	宇賀神 研究員レクチャー　「ミツバチが集団発熱!?ー対スズメバチ「熱殺蜂球」のホットな謎ー」	不特定 多数
2021/7/21	学部生	Zoom	尾崎 大阪教育大学特別講義	20 名
2021/7/30	科学者	ウェブ	宇賀神 論文公開　Frontiers in Insect Science 誌	不特定 多数
2021/7/31	一般	BRH	宇賀神 ガイドツアー館内講演	5 名
2021/9/16	一般	テレビ番組	宇賀神 NHK「ダーウィンが来た」制作会社ワイルドライフ担当者より熱殺蜂球の実験について問い合わせに対応	不特定 多数
2021/9/29	一般・ 科学者	オンライン	尾崎 InsectInDB の機能拡張・毒性化合物による関連性解析機能公開	不特定 多数
2021/10/19	科学者	オンライン	尾崎 投稿論文のエディター業務	不特定 多数
2021/10/22	学生	岐阜大学	尾崎 大学院生の実験指導	1 名
2021/10/24	科学者	オンライン	宇賀神 科学誌 Genes Brain and Behavior に投稿された論文の査読完了	不特定 多数

日程	対象者	場所	行事名・内容	定量実績
2021/11/2 〜 2021/11/9	学生	岐阜大学	メンバー全員 大学院生の実験指導	1名
2021/11/24	学部生	BRH	尾崎 大阪教育大学特別講義	18名
2021/11/15	一般	オンライン	尾崎 InsectInDBの機能拡張・多言語切り替え機能搭載と、アクセス増加に合わせたサーバー強化	不特定多数
2021/12/1 〜 2021/12/3	科学者・学生	パシフィコ横浜	尾崎 分子生物学会でポスター発表	20名程度
2021/12/16	科学者	オンライン	尾崎 科学誌 DNA Research 編集会議	不特定多数
2021/1/1 〜 2021/12/31	一般	メール	尾崎 JT生命誌研究館ウェブサイトお問合わせフォーム等からの質問に回答	各1名 合計16回



昆虫食性進化研究室の前で（2022年3月23日撮影）。

ハエとクモ、そして
ヒトの祖先を知ろう

細胞・発生・進化研究室

独自のモデル生物オオヒメグモを中心に細胞、形作りの仕組みを調べ、昆虫や脊椎動物と比較することによって、動物の多様化の根底に存在する基本原理を探ります。

室長　小田広樹

脊索動物と節足動物の共通祖先を理解する

ハエとクモ、そしてヒトの祖先を知ろうラボ
室長　主任研究員　小田 広樹
派遣研究員（さきがけ）　秋山-小田康子
奨励研究員　藤原 基洋
研究補助員　野田 彰子
大阪大学大学院生　赤岩 孝憲
大阪大学大学院生　南條 稜汰
大阪大学大学院生　宮下 怜

1. 概要

私たちの研究室は動物系統の初期多様化の仕組みを解明する目的で、動物の初期発生と細胞間接着分子に着目して、それらに見られる動物系統間の多様性とその多様性が持つ意味を探究している。オオヒメグモ胚をモデルとした発生研究は、ゲノム配列情報リソースを活用したシングルセル解析と細胞力学に基づく数理モデリングの導入で新たな展開を生んでいる。細胞間接着分子クラシカルカドヘリンの解析でも、精製方法の再検討によって新規の構造が観察されるようになり、新たな展開が始まった。以下に本年度の研究の具体的な取り組みと進捗を研究背景と合わせて報告する。

2. 研究背景

地球上には多様な生物種が存在する。なかでも動物は種によって様々に異なる形態の体を形作り、進化させ、生存競争を勝ち抜いてきた。動物の多様な形態は「細胞」という基本単位の集合で構成されているが、どんな細胞の性質や能力がそれほどまでの多様化を可能にしてきたのか？　さらには、どんな祖先の細胞システムがその多様化の原点に存在したのか？　私たちの研究の最大の興味はこの２つの問いにある。

動物の体を形作るプロセスは大きく分けて２つのタイプがある。ひとつは細胞の増え方を厳密に制御し、個体間で不変の系譜で細胞の運命を決めるタイプ（モザイク型）、もうひとつは細胞が柔軟に相互作用することで取るべき運命を細胞間で互いに調整しながら決めるタイプ（調節型）である。前者のタイプは一般に、体を構成する細胞数が少なく、発生のスピードが速く、ゲノムが小さな動物種が多いことから、実験室での研究に利便性があり、発生の研究材料としてよく使われてきた。

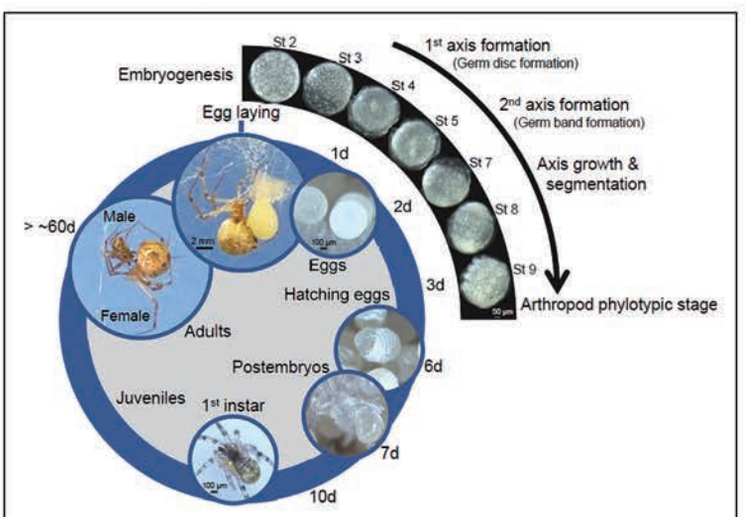


図 1. オオヒメグモの初期胚発生とライフサイクル
(Oda and Akiyama-Oda, 2020, *EvoDevo* 11, CC BY 4.0)

それに対して、後者のタイプは発生がゆっくりで、大きなゲノムを持つことが多く、特に無脊椎動物ではそのようなタイプの種は発生の研究材料に使うには難しさがあった。その中私たちは、胚発生を1日で終える汎用モデル生物キイロショウジョウバエ（*Drosophila melanogaster*）と対比する目的で、胚発生に６日を要するオオヒメグモ（*Parasteatoda tepidariorum*）を新たなモデル生物として独自に開拓し（図1）[1]、両者の間の胚発生の仕組みの違いを解明してきた[2-5]。

節足動物門の中でショウジョウバエは昆虫類、オオヒメグモは鋏角類に分類され、互いに系統的に離れている。共通祖先は５億年以上前に遡る。これまでの発見は、同じ節足動物としてハエとクモでは胚中期の形態や遺伝子発現に類似が見られながらも、その類似形質が築かれるまでの胚初期の発生プロセスは細胞・分子のレベルで大きく異なることを意味した。動物進化の過程で、なぜ初期の発生プロセスが大きく変われたのか、この問いに取り組むことが冒頭の動物種の多様化に対する問いにつながると考え、実験と理論の両面から研究を進めている。オオヒメグモはすでにゲノムが読まれ[6]、遺伝子配列情報が非昆虫節足動物の中でとりわけ充実している。昨年度からは、それらのリソースを活用した形でオオヒメグモ胚のシングルセル遺伝子発現解析に着手するとともに、*in silico*の進化実験系の構築を目指して多細胞体の数理モデリングに取り組んできた。

私たちの研究は、胚初期の発生プロセスの違いに加え、形態形成を駆動する細胞間接着装置の主要成分であるクラシカルカドヘリンの細胞外領域の分子構造にも、動物系統間で大きな違いがあることを見出してきた[7]。ゲノムに基づく比較解析から、節足動物門内において分子長の大きい祖先型から遺伝子重複を経て、分子長の小さい派生型が誕生したと考えられた[8,9]。脊椎動物へ向かった系統でも、左右相称動物として共通の祖先型から独立に分子長の小さい別の派生型クラシカルカドヘリンが誕生したことを示唆するデータが得られている[8]。これらのデータに基づいて私たちは、クラシカルカドヘリンが分子長の大きい状態を祖先状態として動物系統ごとに段階的に短縮化した分子進化モデルを提案してきた[7]。しかし、この提案は新たな問いを生んだ。なぜ形態形成に重要なクラシカルカドヘリンが多様な欠失を許容できたのか？　分子長の異なる祖先型と派生型の間で接着のための構造的仕組みに違いがあるのか？　もし違いがあるならばどのような違いがあるのか？　そして、そのような違いが動物進化の過程で生じたことがクラシカルカドヘリンの分子機能や他の細胞システムに影響しなかったか？　これらの問いに答えるべく、ショウジョウバエの祖先型カドヘリン（DNカドヘリン）と派生型カドヘリン（DEカドヘリン）の構造と機能を比較する解析を行なってきた[10,11]。高速原子間力顕微鏡を用いた構造解析では、脊椎動物のクラシカルカドヘリンとは異なる構造的特徴が明らかになり、分子長の違いを反映した祖先型分子と派生型分子の構造的違いが可視化された（図2）[11]。培養細胞やマイクロビーズを用いた集合実験では接着に関わる候補領域が特定され、接着の仕

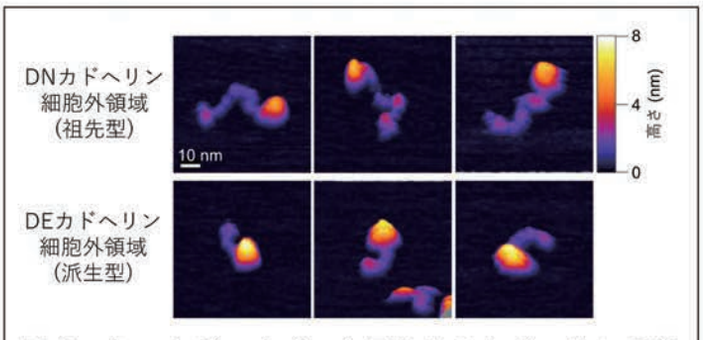


図２．ショウジョウバエクラシカルカドヘリンの高速原子間力顕微鏡による可視化　(Nishiguchi and Oda, 2021, *JCS* 134, CC BY 4.0)

組みにおける祖先型と派生型の間の関係も部分的に明らかになった[10,11]。しかし、昆虫を含めて脊椎動物以外では、クラシカルカドヘリンが接着分子として働いている状態の分子構造を解析することができておらず、細胞間を繋ぐ分子と分子の接着界面がどのような構造基盤で実現しているのか不明のままである。本年度この問題の克服に向けた取り組みを進めた。

3.本年度の取り組みと進捗

(1)オオヒメグモ初期胚のクロマチン状態と内胚葉特異化を制御するクモ特異的遺伝子フチナシの同定

前奨励研究員の岩﨑佐和博士が中心になって行った研究（未発表）において、オオヒメグモ初期胚の異なる領域から単離した細胞の転写産物の比較解析とRNA干渉による機能スクリーニングによって体軸形成に必要な遺伝子を３つ同定し、そのうちのひとつを新規遺伝子としてフチナシ（*fuchi nashi*［*fuchi*］）と命名した。フチナシはGATAタイプのZincフィンガードメインを２つ持つ転写因子をコードしているが、本年度に行なった系統解析からクモ系統のゲノムでのみ検出され、クモ系統内で配列が高速に進化してきた遺伝子であることが判明した。フチナシ遺伝子は第一軸を形成している初期胚において、胚盤ではない細胞（非胚盤細胞）で発現し、内胚葉に発現が引き継がれる。このフチナシ遺伝子の機能抑制（ノックダウン）胚と正常胚から抽出した核を、ゲノムワイドにクロマチンの開閉状態を検出する方法（ATACシーケンシング）で比較解析したところ、クロマチン状態に有意に差があるゲノム領域が同定された。同定されたゲノム領域に濃縮する配列を解析したところ、GATA転写因子の典型的な結合配列GATAAが有意に濃縮していることが確認された。さらに、昨年度までに同じくゲノムワイドに取得した、フチナシ機能抑制胚で転写産物の発現量が影響を受ける遺伝子のデータと合わせると、フチナシを介したクロマチン制御と特定遺伝子の胚性発現の活発化が関連づけられることが明らかになった。フチナシによって胚性発現が強く促進される遺伝子の多くが内胚葉系列で発現することも明らかにしていることから、フチナシを介したクロマチン制御が内胚葉特異化に関わっている可能性が示唆された。私たちの発見は、クモ系統で既存遺伝子群から遺伝子重複を経て逸脱して形成された新たな遺伝子が胚発生初期のクロマチン制御に動員されたことを意味し、節足動物の初期胚発生が系統によって多様な進化的修飾を受ける仕組みを理解する糸口になると考えられる。

(2)シングルセル/シングル核遺伝子発現解析のオオヒメグモ胚への適用

節足動物の胚発生期には繰り返しの縞パターンの遺伝子発現が観察される。縞パターンは節足動物に共通して見られ、体節構造の基盤となるものだが、その作られ方は動物により異なっている。これまでの研究で、オオヒメグモでは平面に並んだ細胞シートを波が伝わるようにして縞パターンが形成されることを示したが、この時に細胞ではたらいている分子のネットワークに関してはまだほとんど分かっていない。縞パターンが形成されるまでにはたらく分子ネットワークの理解のために、胚を構成するひとつひとつの細胞で発現する全遺伝子の同定とその時間変化を明らかにすることを目指し、昨年度よりシングルセル遺伝子発現解析を、本年度からはシングル核遺伝子発現解析を開始した。

実験系の立ち上げでは、細胞や核のサンプリング方法の確立に工夫を重ねた。特に、ステージの進んだ胚では初期の胚と比べて細胞

図 3. シングルセル解析実験の様子

が小さくなるが、このような胚からも細胞を効率よく解離し回収するために、細胞を解離するための酵素や、細胞を懸濁する溶液の塩濃度の検討を行い、適した条件を見つけることに成功した。この条件で頭部に繰り返しの縞パターンが形成されるステージの胚からサンプリングし、実験を行っている（図3）。これと合わせて、卵に最初の形態的な非対称性が現れるステージと、縞パターン形成の波が出現するステージに関しても解析を進めている。

得られた塩基配列データはゲノム情報に照らして解析を進めるのだが、今年の8月にアメリカのNCBI (National Center for Biotechnology Information)で、オオヒメグモのゲノムのアップデートされた情報(Version 3.0)が発表された。この情報を私たちの解析に利用できるように整え、これに合わせてオオヒメグモのデータベースも更新した。

これまでに実験の条件と解析のプラットフォームの基本的なところを立ち上げることができた。今後は様々なステージからのデータを取得し解析するとともに、空間的な再構築と時間変化を解析するための方法を作っていきたいと考えている。

(3)オオヒメグモ胚への遺伝子導入の試み

ゲノム編集技術は標的遺伝子への人為的な変異の導入や標的ゲノム領域への外来DNA配列の挿入を可能とする。昨年度からCRISPR-Cas9によるゲノム編集技術をオオヒメグモ胚に適用する努力を重ねてきたが本年度も実現に至っていない。それでも関連した試行錯誤の中で２つの進展があった。ひとつとして、生細胞のDNAを可視化するための市販の蛍光試薬が毒性を最小限に抑えればクモ胚のライブ観察に活用できることを見出した。遺伝学的手法ではヒストン-蛍光タンパク質融合遺伝子の組み換え体が頻用されるがその代替となりうる。ふたつめとして、市販のトランスフェクション試薬でクモ卵の中の胚細胞にmRNAが導入できることを見出した。クモ胚へのCas9 mRNAやガイドRNAの導入に使用できる可能性がある。ゲノム編集技術の適用に向けて今後も試行錯誤を続けていく予定である。

(4)オオヒメグモ胚をモデルとした多細胞体パターン形成の数理解析

オオヒメグモを含む節足動物は分節化された体軸を共通して形成する。一方で、その過程は多様性に富んでいる。個々の種で分子発生学に基づいた解析が行われ、初期の胚発生を制御する具体的な仕組みは明らかにされてきた。しかし、その違いが進化の過程でどのように生じたのかを包括的に解析する手段は乏しい。そこで、2020 年度から、数理を土台とした多細胞体パターン形成の解析を可能とする数理モデルの構築を開始した。まずは

オオヒメグモ初期胚をモデルとし、体軸形成までの初期胚発生とそこで見られる遺伝子発現のパターン形成を再現する数理モデルを構築した。その数理モデルは多細胞体の形状変化を力学的に表現するCell vertex modelである。この数理モデルのプログラム構造は、実際の生物の生体-組織-細胞の階層構造と対応しており、細胞の動きにより自己組織的に組織や生体の形状が変化する。そこに、胚の初期状態の設定として、胚になる領域と胚にならない領域の２つの細胞集団を置き、胚になる領域に対し体軸方向に対応する細胞極性を与えることで、オオヒメグモの体軸形成まで

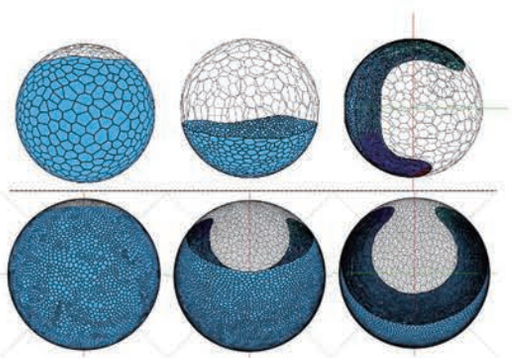


図 4. クモ胚発生を再現した数理モデル（未発表）

での胚の形状変化の再現に成功した（図４上）。そして、この初期状態の設定を調節することで別のクモ種のハエトリグモの胚の形状変化も再現できた（図４下）。現在、この数理モデルに遺伝子パターンの形成を表現する反応拡散モデルを組み合わせることで、細胞の動きと遺伝子パターンを相互作用させる数理モデルの構築に着手している。これにより、胚の形状変化させる細胞の動きとそれを制御する分子メカニズムを結びつけることを目指す。

(5)オオヒメグモのデータベースの整備

私たちはオオヒメグモ及び関連する動物種で蓄積するデータや実験技術を世界中の誰もが

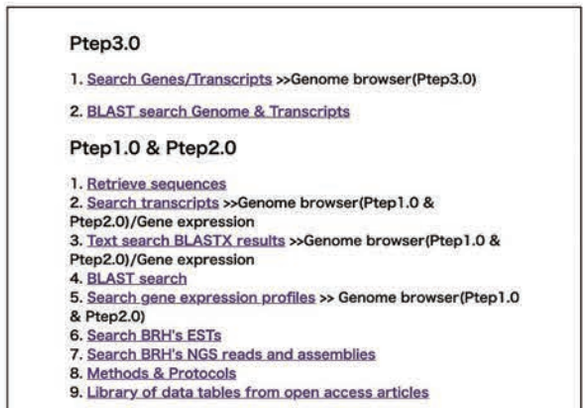


図 5. オオヒメグモのデータベースの一部
（https://www.e-celldev.jp/pt_spider3/）

研究や教育に便利に利用できるように、データベースを構築し、運営している（https://www.brh2.jp/）。本年度主に２つの改変を行なった。ひとつめとして、（１）の研究テーマに関連してNCBIで公開されている多様なクモ種の次世代シーケンスデータを解析したが、その際に創出したトランスクリプトアセンブリを利用者がBLAST検索で解析できるように新たなページを追加した。ふたつめとして、先にも触れたが、今年８月にNCBIがオオヒメグモゲノム（Ptep_3.0）のアノテーション情報（RefSeq）を大幅に更新したことから、新旧のゲノムアセンブリに関連づけられた情報やデータを、新旧の関係を把握しながら、BLAST検索、テキスト検索、ゲノムブラウザー表示などで解析できるようにデータベースの改変を行なった（図5）。今回NCBIが行なったオオヒメグモのゲノムアノテーションの更新には私たちの研究室が登録してきた遺伝子配列や次世代シーケンスのデータセットが活用されている（NCBI *Parasteatoda tepidariorum* Annotation Release 102; https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/annotation_euk/Parasteatoda_tepidariorum/102/）。私たちの研究室では今後、シングルセル/シングル核遺伝子発現解析などによってゲノムに関連づけられた汎用性の高い定量デー

タが大量に蓄積することが見込まれる。それらのデータについても、世界の利用者が便利に活用できるようにデータベースに搭載していく予定である。

(6)ショウジョウバエクラシカルカドヘリンの分子集合体の検出

祖先型と派生型の、２つのショウジョウバエクラシカルカドヘリン（それぞれDNカドヘリンとDEカドヘリン）の細胞外領域全体を精製し、それらの分子形態を高速原子間力顕微鏡（高速AFM）で可視化した研究の成果を本年度国際学術誌に発表することができた[11]。しかしこの研究では、精製したカドヘリン断片に接着活性があることはマイクロビーズを用いた集合実験で示すことができたものの、高速AFMで実際に観察できたカドヘリン分子は単量体のみであった。そのため、カドヘリン分子がどのような具体的な構造で接着機能を発揮しているのか、謎のままであった。精製したカドヘリン断片の接着活性が、精製する前の培養上清中のカドヘリン断片の接着活性よりもかなり低かったことから、精製の過程でカドヘリンが変質している可能性も考えられたため、これまでとは異なる精製方法を導入して検討した。その結果得られたDEカドヘリン細胞外領域断片（EGFPタグ付き）の精製物をネガティブ染色で電子顕微鏡観察したところ、分子が花束のように扇形に広がった構造体が頻繁に観察された（図6）。同様の構造体はDNカドヘリン細胞外領域断片（EGFPタグ付き）でも観察された。高速AFMで観察されている単量体の形態を基に推測すると、その構造体は６から８分子で構成される自己集合体である可能性が高い。DEカドヘリン精製物の未変性状態での電気泳動では単量体分子に加え、多量体分子と考えられるバンドが検出された。架橋剤を用いた実験でもDEカドヘリンが多量体を形成していることが示唆された。検出された昆虫クラシカルカドヘリン細胞外領域の多量体形成が、細胞膜間をつなぐ接着の仕組みに直接的な役割をもつのか、生化学的アプローチと構造学的アプローチの両面から解析を進めていきたい。

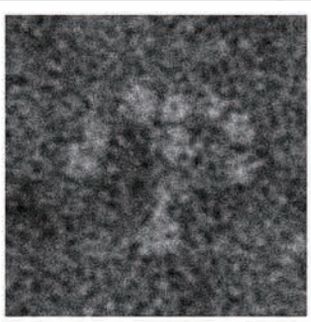


図 6. DE カドヘリン細胞外領域断片の電子顕微鏡像（未発表）

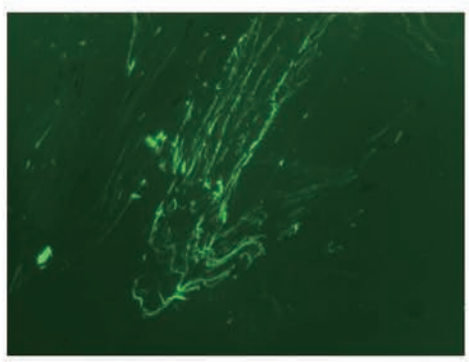


図 7. DE カドヘリン断片とナノロッド粒子を混ぜた際に形成された凝集（未発表）

(7)ビオチン化カドヘリンの作製とナノロッド粒子による凝集形成

昆虫クラシカルカドヘリンが接着する状態を顕微鏡下で観察できるようにするための実験系の確立に取り組んだ。カドヘリンが細胞膜に横に並んで配列する状態を模擬する形でカドヘリン断片をナノスケールの構造体に連結することを考えた。そのために、スナップタグとベンジルグアニンビオチンの共有結合反応を利用してビオチン化DEカドヘリン断片（EGFPタグ付き）を作製して精製し、ストレプトアビジンが付加されたナノロッド粒子への結合を試みた。その結果、ピペットでナノロッド粒子をカドヘリン断片の溶液に加えた

瞬間に光学顕微鏡で観察可能な大きさの繊維状の凝集が形成された（図7）。この現象は、ビオチンとストレプトアビジンの結合反応によってナノロッド粒子とカドヘリン断片が連結すると同時にカドヘリンのホモフィリックな結合が組み合わさって起こったと推測されたが、現状ではコントロール実験が不足しており、慎重に解析を進める必要がある。以上の実験では支持体として市販のナノロッド粒子を用いたが、東北大学の鈴木勇輝博士と生命創成探究センターの西口茂孝博士との共同研究でDNA origamiを用いた実験にも取り組んでいる。DNA origamiはナノ構造体の形状や連結部位などを任意にデザインできる点で有利であり、高速AFMで観察することで接着時のカドヘリン分子の動態も観察可能になると期待している。

4. 終わりに

本年度は研究室の各メンバーがそれぞれのテーマで技術の確立に取り組み、今後の発展を可能とする技術基盤を築くことができた。メンバー間の議論も活発で、試行錯誤の重要性も共有できた。研究室内の共通のテーマに掲げる「動物多様化の仕組みの解明」には簡単に答えを出せないが、ゲノムと細胞に基づく理解を目指すことを活動の根底に敷き、先進的な研究を展開していきたい。

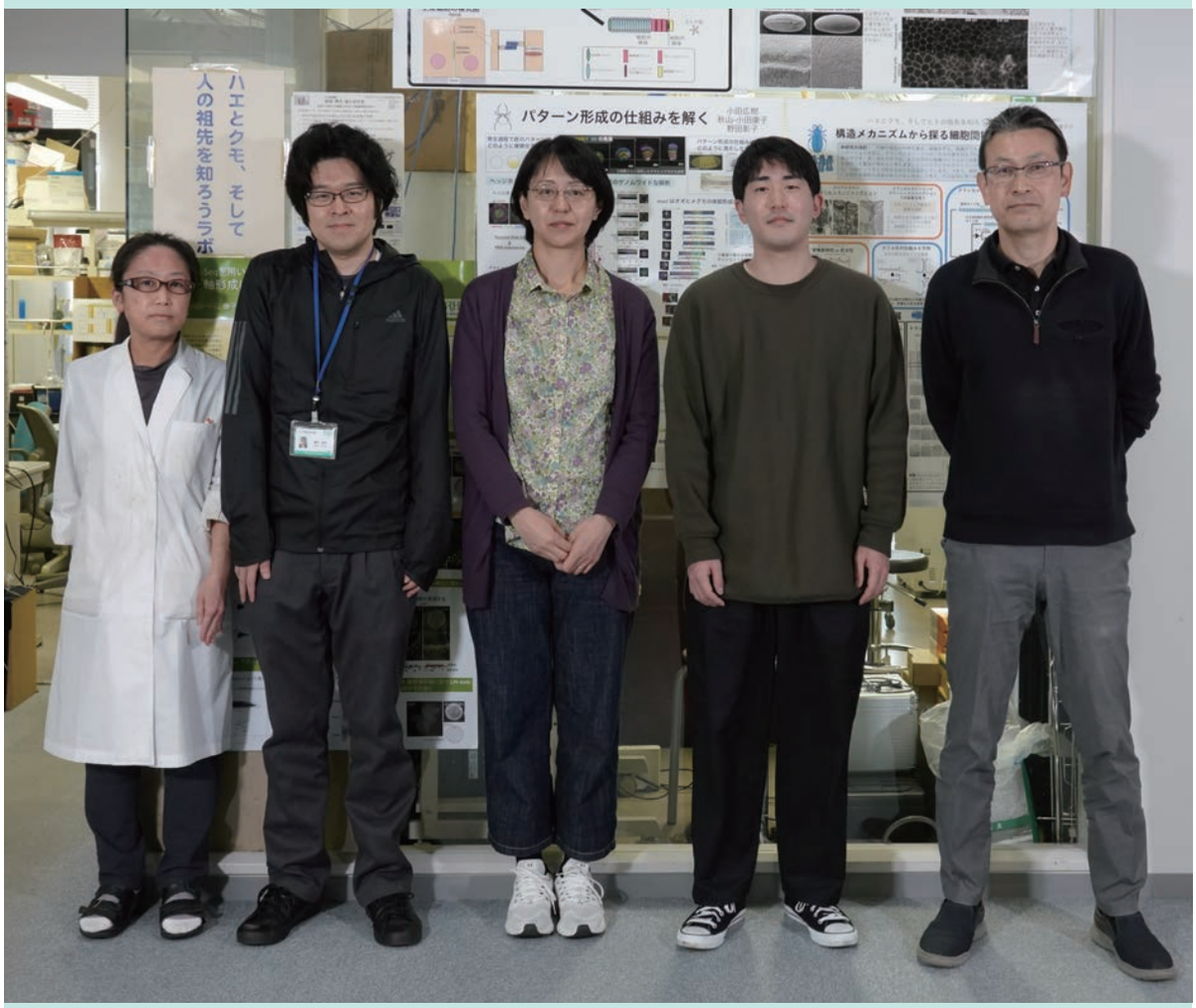
参考文献

1. Oda, H., Akiyama-Oda, Y.(2020). The common house spider *Parasteatoda tepidariorum*. *Evodevo* 11, 6. https://doi.org/10.1186/s13227-020-00152-z
2. Akiyama-Oda, Y., Oda, H.(2006). Axis specification in the spider embryo: *dpp* is required for radial-to-axial symmetry transformation and *sog* for ventral patterning. *Development* 133, 2347–57. https://doi.org/10.1242/dev.02400
3. Akiyama-Oda, Y., Oda, H.(2010). Cell migration that orients the dorsoventral axis is coordinated with anteroposterior patterning mediated by Hedgehog signaling in the early spider embryo. *Development* 137, 1263–73. https://doi.org/10.1242/dev.045625
4. Kanayama, M., Akiyama-Oda, Y., Nishimura, O., Tarui, H., Agata, K., Oda, H., 2011. Travelling and splitting of a wave of hedgehog expression involved in spider-head segmentation. *Nat Commun* 2, 500. https://doi.org/10.1038/ncomms1510
5. Akiyama-Oda, Y., Oda, H.(2020). Hedgehog signaling controls segmentation dynamics and diversity via *msx1* in a spider embryo. *Sci Adv* 6. https://doi.org/10.1126/sciadv.aba7261
6. Schwager, E.E. et al.(2017). The house spider genome reveals an ancient whole-genome duplication during arachnid evolution. *BMC Biol* 15, 62. https://doi.org/10.1186/s12915-017-0399-x
7. Oda, H., Takeichi, M.(2011). Evolution: Structural and functional diversity of cadherin at the adherens junction. *J Cell Biol* 193, 1137–46. https://doi.org/10.1083/jcb.201008173
8. Oda, H., Tagawa, K., Akiyama-Oda, Y.(2005). Diversification of epithelial adherens junctions with independent reductive changes in cadherin form: identification of potential molecular synapomorphies among bilaterians. *Evol Dev* 7, 376–89. https://doi.org/10.1111/j.1525-142X.2005.05043.x
9. Sasaki, M., Akiyama-Oda, Y., Oda, H.(2017). Evolutionary origin of type IV classical cadherins in arthropods. *BMC Evol Biol* 17, 142. https://doi.org/10.1186/s12862-017-0991-2
10. Nishiguchi, S., Yagi, A., Sakai, N., Oda, H.(2016). Divergence of structural strategies for homophilic E-cadherin binding among bilaterians. *J Cell Sci* 129, 3309–19. https://doi.org/10.1242/jcs.189258
11. Nishiguchi, S., Oda, H.(2021). Structural variability and dynamics in the ectodomain of an ancestral-type classical cadherin revealed by AFM imaging. *J Cell Sci* 134, jcs258388. https://doi.org/10.1242/jcs.258388

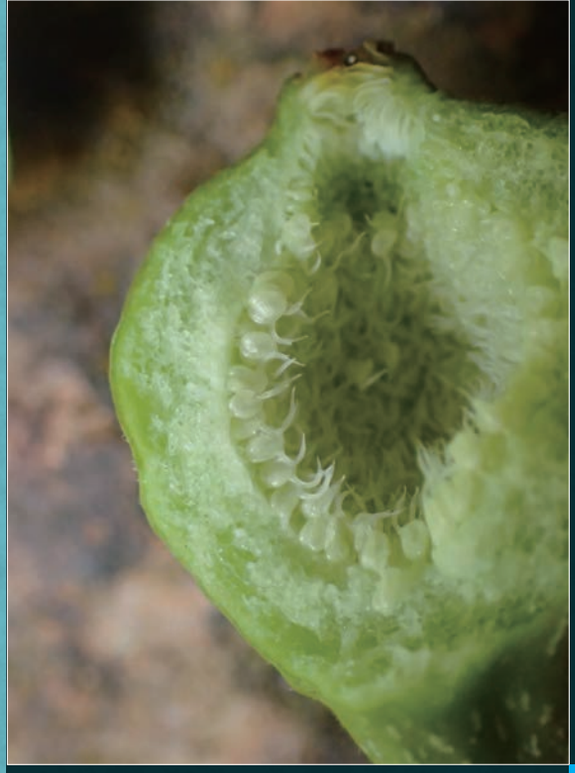
社会に開かれた活動報告

日程	対象者	場所	行事名・内容	定量実績
2021/1/1 ～ 2021/12/31	世界の学術研究者	学術雑誌	国際学術誌に発表した論文の本年度の被引用数 （BRH 所属で発表した論文を google scholar citations で集計）	89 件
2021/1/1 ～ 2021/12/31	インターネット利用者	BRH Data Resources サイト	BRH ゲノム研究データベース （https://www.brh2.jp） の利用者	利用者数 日本：337 海外：573
2021/1/1 ～ 2021/12/31	インターネット利用者	BRH ホームページ	細胞･発生･進化研究室日本語トップページ　https://www.brh.co.jp/research/lab04/ 同英語トップページ https://www.brh.co.jp/en/research/lab04/	View 数 日本語：2,422 英語：469
2021/1/1 ～ 2021/12/31	インターネット利用者	BRH ホームページ	小田（3）、秋山（3）、藤原（2） ラボ日記　　※カッコ内本年度の執筆数 https://www.brh.co.jp/salon/blog/?category=999&labo=3	過去執筆分を含めた View 数 5,161
2021/1/1 ～ 2021/12/31	研究者、学術雑誌	研究者ネットワーク	小田 4 件、秋山 2 件、藤原 1 件 国際学術誌論文査読	計 7 件
2021/1/1 ～ 2021/12/31	研究者、財団	研究者ネットワーク	小田 依頼グラント審査　海外 2 件、国内 1 件	計 3 件
2021/1/19	毎日新聞購読者、インターネット利用者	毎日新聞夕刊、オンライン版	オオヒメグモの研究に関する小田ラボの取り組みが毎日新聞夕刊に掲載 「クモ見つめ夫婦２０年　生命の謎挑み集大成の論文」	
2021/2/17 2021/5/17	大学院生	大阪大学	小田 学位審査 修士主査 2 件、修士副査 1 件、博士副査 1 件	計 4 件
2021/2/20	インターネット利用者	オンライン	オープンラボ 「[生命誌クモラボ最新情報] 細胞の多様な状態を一気に大量に解析する技術を取り入れました！」	アクセス数 76 平均滞在 4m15s（2021.2.20,21 二日間）
2021/2/20	インターネット利用者	オンライン	12 月に BRH 内で開催した藤原研究員のレクチャーの様子を編集した映像の公開 「数学や物理学の視点から見る生物の形作り」	アクセス数 15 平均滞在 2m58s（2021.2.20,21 二日間）

日程	対象者	場所	行事名・内容	定量実績
2021/4/13 ～ 2021/7/26	医学生	奈良県立医科大学	秋山 学生実習（非常勤講師）25回（一部オンライン）	120名
2021/6/30	大学院生	大阪大学	小田 大学院集中講義（90分x 4コマ）	40名
2021/7/20	ISP2021登録者（世界の学生）	大阪大学（インターネット上）	小田 大阪大学国際サマープログラム（International Summer Program [ISP] 2021）で45分枠のオンライン講義（英語）	ライブ視聴172 アーカイブ620
2021/7/29	雑誌購読者、インターネット利用者	国際学術誌 Journal of Cell Science	過去のラボ在籍者（博士課程学生）のインタビュー記事の掲載 First person -Shigetaka Nishiguchi	497 views (2021.12.4現在)
2021/9/1 ～ 2021/9/4	インターネット利用者	日本動物学会第92回大会	動物学会「動物学ひろば」へのオンライン出展 「身近なモデル生物オオヒメグモ」	アクセス数不明
2021/9/16	インターネット利用者	小田ラボホームページ	一般者からの質問(非生物と生物の連続性について)への回答をホームページに公開	35 views (2021.12.4現在)
2021/10/21	世界の学生、研究者	事前登録のzoomサイト	小田 世界の学生有志が企画しているオンラインセミナー The Virtual astrulation Zoom Talksでの招待講演（英語）。「Axis formation in spider embryos: regulative development under the microscope」のタイトルで講演。質問を合わせて1時間弱。	約50名
2021/11/1	医学生	大阪医科薬科大学	秋山 生命誌講義(1コマ)	120名
2021/11/22	学生	大阪大学	小田 学部生への講義（生物科学の最前線）（1コマ） 「細胞間接着分子の多様性と進化」	32名
12/21	京都工芸繊維大学	BRH	ショウジョウバエ株分譲	1件
12/9	大阪医科薬科大学生	BRH	培養細胞の樹立に関する相談	2名



細胞・発生・進化研究室の前で(2022年3月23日撮影)。



DNAから進化を探る

系統進化研究室

時間軸と空間軸から進化を理解する

地球上の生物は38億年の年月とともに、一本の木の枝分かれのように、ただ一つの共通祖先から進化してきました。その枝分かれがいつ、どこで生じたのかは生物進化を理解するための最も重要な基礎情報です。一方、生物は常に隣り合ったものや環境と相互作用をしています。その相互作用は進化の原動力にもなります。このような時間軸と空間軸の視点から、我々は昆虫を始めとする節足動物の系統関係、昆虫と植物の相互作用、昆虫の飛翔機能の退化における進化物語を読み解いています。

室長　蘇 智慧

イチジクとイチジクコバチの共生関係に関する研究
およびオサムシの後翅退化に関する研究

ＤＮＡから進化を探るラボ
室長　主任研究員　　蘇 智慧
研究補助員　　佐々木 綾子

地球上には、数千万種の生物が存在していると推測されている。バクテリア、菌類、植物、動物、一見して何の関係もない生物たちだが、その起源を探ってみるとただ１つの共通祖先に辿り着く。これほど多種多様な生物がどのようにして共通祖先から進化・多様化してきたのだろうか。生物学の最も基本的なこの問題を理解するために、我々は時間軸における生物の進化過程と空間軸における生物間の相互作用に焦点を当てて研究を進めてきた。また、形態進化を理解するために、昆虫の翅の退化的進化機構の解明も行っている。

1 イチジクとイチジクコバチの共生関係に関する研究

はじめに

昆虫と被子植物はそれぞれ陸上で最も多様化した生物群で、その多様化は互いに相互適応的な関係を築くことによって促されてきた。その顕著な例がイチジク属植物（*Ficus*; 以下、イチジク）とイチジクコバチ科（Agaonidae; 以下、コバチ）との共生関係である。体長約 2 mm のコバチは、イチジクの唯一の送粉者（花粉を運ぶ）である。

イチジクは、東南アジア・アフリカ・中南米など熱帯を中心に約 750 種が分布している。日本はイチジクの分布域の北限にあたり、南西諸島を中心に 16 種が生育している。イチジクは花嚢とよばれる袋状の閉じた花序をつけ、その内側に多数の花を咲かせる。コバチは、この花嚢に入り花粉を媒介するだけでなく同時に花に産卵する。ふ化した幼虫は虫こぶ（昆虫が改変した植物の組織）の中で成長する。やがて次世代のコバチが花嚢内で羽化・交配し、その後、雄コバチは花嚢中で生涯を終えるが、雌コバチは花粉を身につけて別の花嚢へと移動することで次の受粉と産卵が成立する。このように、イチジクとコバチは、繁殖において互いに必須とする「絶対共生」関係を構築している。また、この絶対共生系は、種特異性が高く、その多くは「1 種対 1 種」、つまり 1 種のイチジク対 1 種のコバチである。

このような種特異性の高い絶対共生系は、一見して進化の袋小路にあるようにも見えるが、イチジク属はクワ科で、750 種以上を誇る最大種数の属であり、陸上植物でも最も種多様性の高い属の 1 つである。同じクワ科に属する姉妹群の Castilleae 族はイチジク属とほぼ同様な分布域を有しているが、約 60 種しか含んでおらず、イチジク属の種数の 10 分の 1 以下である（Moe et al., 2012）。イチジクとコバチの絶対共生こそがその種多様性に貢献しているのではないかと我々は考えている。生物の多様性は種分化の繰返しによって生まれるため、イチジクとコバチ絶対共生における種分化機構の理解が最も重要な課題である。

一方、イチジクと相利共生関係にある送粉コバチの他に、様々な動物がイチジクの果実や花嚢に依存して生活していることが知られている。そのためイチジクが熱帯雨林のキー

ストン keystone であるとも指摘されている(Shanahan et al., 2001)。その中で昆虫類に限って言えば、送粉を担わないゴール形成者や送粉コバチの寄生者・癭食者、寄生者の高次寄生者を含む「非送粉コバチ相」(Bain et al., 2015)があり、また、送粉コバチのメスを捕食するクロツヤバエ(Okamoto et al., 2012)や、送粉コバチや非送粉コバチを捕食するアリ類もいる(Bain et al., 2014)。このように、イチジクは実に多くの昆虫類と相互作用「網」を形成している。しかし、この相互作用網に対する総合的理解があまり進んでいない。特に日本国内におけるイチジクと関連のある非送粉コバチとアリ類を調べた研究例は少ない。このような状況は、イチジクや送粉コバチ、その他の生物との相互作用によって形成される生態系の実態や進化・種分化機構への理解を妨げる。

以上に述べた背景のもとに、本研究は分子系統、集団遺伝、形態分類、遺伝子発現など多角的な側面から、イチジク属とコバチを始めとする昆虫類の共生関係の構築・維持機構と進化・種分化機構の解明を目指して、複数の研究テーマを実施している。ここではイチジクとコバチの共生関係に関する今年度の研究成果を報告する。

1-1. イチジクとコバチの絶対共生の揺らぎ

イチジクとコバチの絶対共生系は、種特異性が高いため、同調した進化と種分化が両者間で起きていたと考えられ、共進化と共種分化のモデル系として、これまでに多くの研究がなされてきた。近年の分子系統学研究の結果、共進化や共種分化説がある程度支持される (eg. Azuma et al., 2010; Cruaud, et al., 2012) 一方、イチジクとコバチの間で系統関係の不一致も見られ、また１種のイチジクが複数種のコバチと共生するケース（共送粉 Copollination）、または複数種のイチジクが 1 種のコバチを共有するケース（コバチの共有 Pollinator sharing）も指摘されている (Su et al., 2008; Cornille et al., 2012; Wachi et al., 2016）。さらに、寄主植物の種を越えたコバチの送受粉による植物の交雑が、イチジクとコバチの進化過程において広く起きていたことも示唆されている（Kusumi et al., 2012; Wang et al., 2021）。これらの研究はコバチの寄主転換（Host shift）による種分化を強く示唆している。そこで、我々はコバチの寄主転換による種分化のメカニズムの仮説を考えた。それは、コバチの寄主転換がトリガーとなり、寄主植物との種特異性の再構築(Host-specificity reestablisiment)によって、種分化が生じるというものである。この仮説を支持する証拠を得るために、2017 年度から進めてきた本研究の成果を下記にまとめた。

材料と方法

本研究の目的を達成するために、コバチの寄主転換が起きる可能性があるだろうという前提条件に基づいて、研究材料を選ばなければならない。一般的に、種特異性の高い共生関係は島嶼では崩壊や再構築が生じやすいと考えられている。それは共生関係にある、全く異なる生物種が同時・同調的に島間での移動は難しいと考えているためである。例えば、ある種のイチジクが、パートナーのコバチがいない島に移入した場合、そこで別のコバチと共生関係を構築する可能性がある。また、このような共生関係の再構築は近縁種間であればあるほど起きやすいと思われる。そこで、我々は台湾・琉球列島および中国大陸に分布する、*Ficus erecta* complex という分類群に含まれる６種の近縁イチジクとそれらのコバチを本研究の材料に選んだ（図１）。

イチジクに対しては、葉緑体 DNA、MIG-seq、核 ITS 領域とマイクロサテライトマーカー（SSR: Simple Sequence Repeat）を用いて、

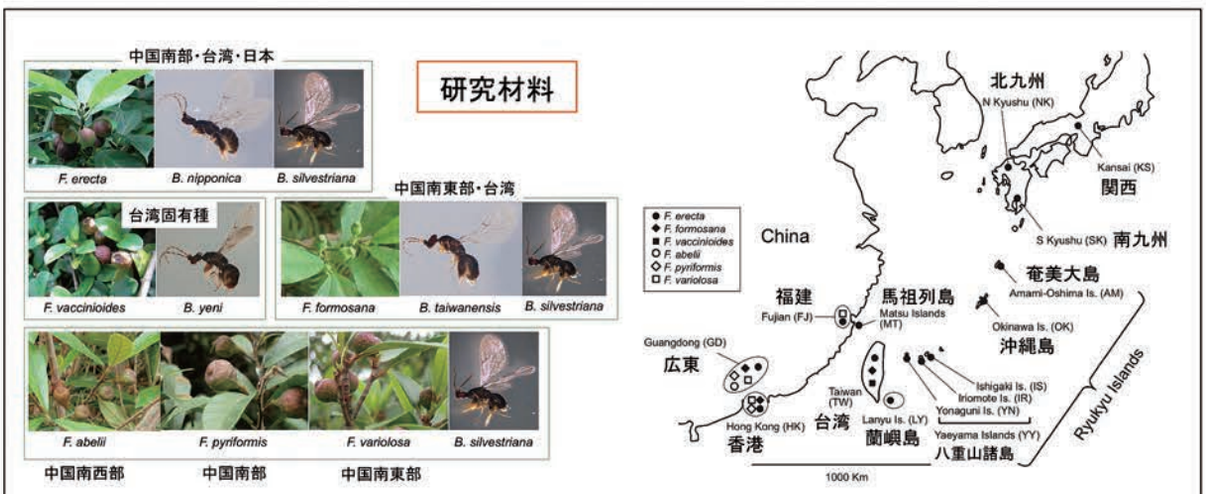


図 1．本研究の材料であるイチジクとイチジクコバチ（左）およびサンプルの採集地（右）。

コバチに対しては、核 28SrDNA、核 ITS1 領域、ミトコンドリア *cytB* 遺伝子と SSR を用いて、種間・地域集団間の系統関係、集団遺伝構造、集団遺伝分化の解析を行った。そのうえ、両者の系統関係の比較解析を行い、進化過程におけるコバチの寄主転換などの進化イベントを明らかにした。また、化石データに基づいてコバチの種分化や地域集団間の移入イベントの年代を推定した。

結果と考察

詳細な解析結果は省略して、その要約と結論を図 2 に示して報告する。

1-1-1. 5 種のイチジクが 1 種のコバチを共有する

本研究の解析結果から、形態や遺伝的に明らかに異なる 5 種のイチジク（*F. variolosa, F. pyriformis, F. abelii, F. formosana, F. erecta*）から採集したコバチが、形態的にも遺伝的にも全く区別がつかないことが判明した。これらのコバチはすべて同種（*Blastophaga silvestriana*）であると結論づけた（図 2）。一方、これらのコバチは、形態・遺伝的に区別づかないが、自分のホストであるイチジクを識別している可能性は否定できない。そこで、我々は受粉と産卵のために花嚢中に侵入した雌コバチが身につけた花粉の DNA を調べてみた。その結果、*F. pyriformis* の花嚢中に侵入した雌コバチが身につけた花粉の DNA は、*F. pyriformis* ではなく、*F. abelii* の DNA と一致したことが判明した。この結果は、*F. abelii* の花嚢で育った雌コバチが *F. pyriformis* の花嚢に侵入できることを示唆した。得られたデータはまだ限定的ではあるが、これらのコバチは 5 種の寄主植物のイチジクを識別していない可能性が高い。

イチジクとコバチの関係は、基本的に種特異性が高く、これまでに「1 種対 1 種」であると考えられてきた。近年の研究からイチジクとコバチの絶対共生系における送粉者の共有 Pollinator sharing のケースがいくらか報告されていた（Cornille et al., 2012; Wachi et al., 2016; Wang et al., 2016）が、これほど多くの種のイチジクがただ 1 種のコバチを送粉者として共有するケースははじめてである。この極端な Pollinator sharing ケースがどういうメカニズムで生じたのかは今後の課題である。

1-1-2. 共送粉 Copollination が起きるメカニズム

共送粉 Copollination または共送粉者

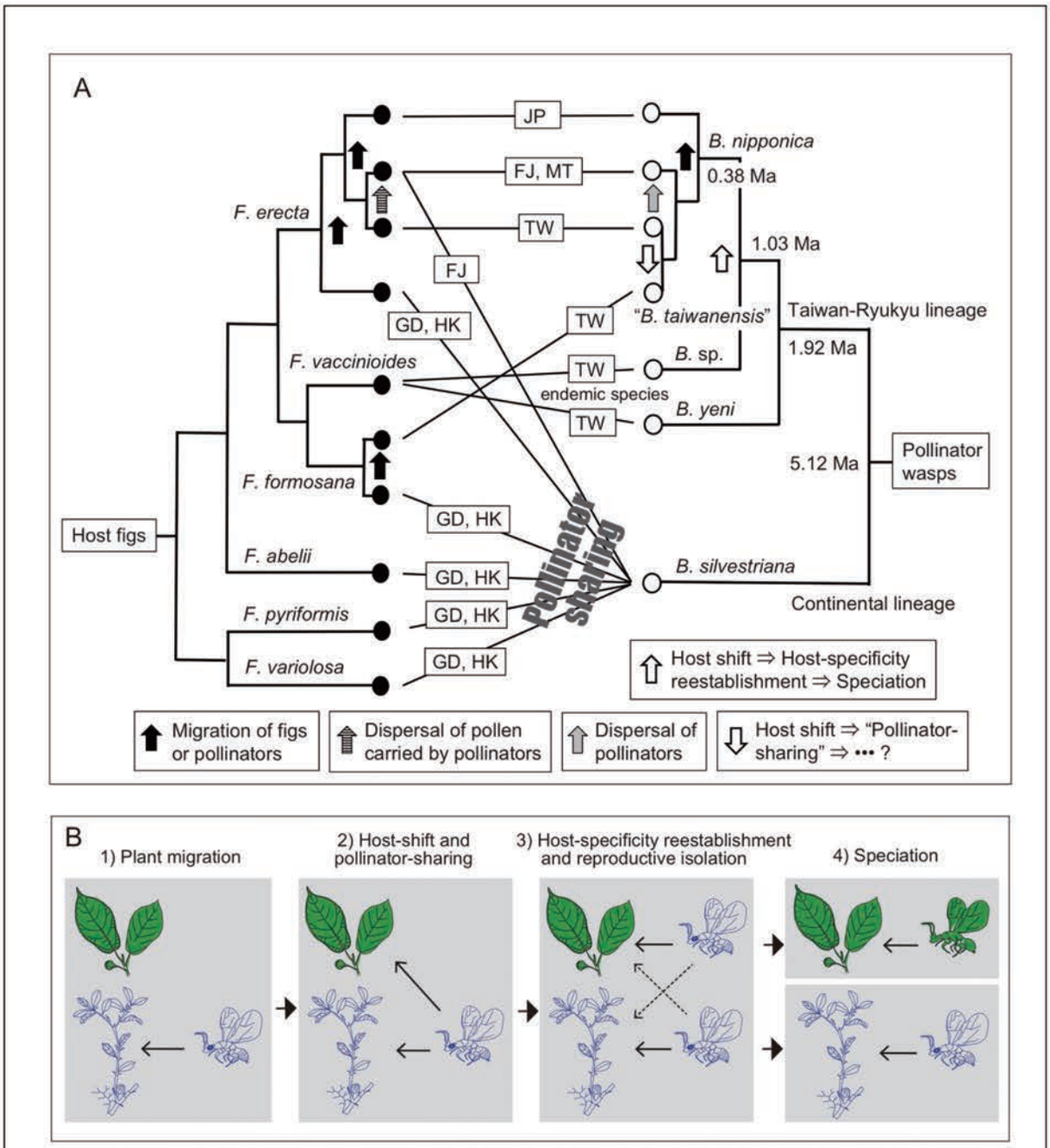


図２．A，６種のイチジク（左）とその送粉コバチ（右）の系統関係。これらの系統関係は本研究の解析結果からの要約である。イチジクとコバチの地域集団間の移入、コバチの寄主転換の進化イベントと分岐年代が表示されている。B，本研究が提唱した寄主転換による種分化モデル。JP，日本；FJ，中国福建省；MT，馬祖列島；TW，台湾；GD，中国広東省；HK，香港；Ma，100 万年前。

Copollinator というのは、「はじめに」にも述べたように、複数種のコバチが 1 種のイチジクと共生することであり、主に雌雄同株のイチジクから発見された現象である。イチジク属には、同じ花嚢で種子を生産し、コバチも育つ雌雄同株の種と、種子を作る株とコバチ

が育つ株が分かれる雌雄異株の種がある。約750 種を含むイチジク属では、雌雄同株と雌雄異株がそれぞれおよそ半分ずつの種数を占めている。共送粉の現象は雌雄異株では生じにくいと考えられている。しかし、本研究の結果から、異なるメカニズムによる３パターンの共送粉が雌雄異株で起きていることが判明した。

パターン１：コバチのみの種分化による同所的共送粉. 台湾固有のイチジク *F. vaccinioides* の送粉コバチ *B. yeni* を解析したところ、全く異なる２つの系統が存在していることが判明した。そのうちの１つの系統から別種のコバチ *B. nipponica* が分岐したことも分かった（図２）。従って、この２系統のコバチは、それぞれ別種（*B. yeni* と *B.* sp.）とするのが妥当であると結論づけた。しかし、寄主植物である *F. vaccinioides* は遺伝的分化が全く検出されず、コバチと同調的な種分化が生じていない。従って、これはコバチのみの種分化（Duplication）によって生じた共送粉者である。このパターンはこれまでの研究でも指摘されているが、その殆どはコバチのみの解析によるものである。本研究は、寄主植物とそこから採集したコバチ両方に対して、詳細な解析を行ったうえで導いた結論である。

パターン２：コバチの移入による同所的共送粉. イヌビワ *F. erecta* は中国大陸、台湾、日本の南西諸島をへて、関東まで分布を広げている。台湾と日本ではイヌビワコバチ *B. nipponica* がイヌビワの送粉コバチとして知られている。中国大陸では情報が少ないが、*B. silvestriana* がイヌビワの送粉コバチであることが香港から報告されている。我々のサンプリング調査と遺伝的解析の結果、２種のコバチは遺伝的に大きく異なっていることが判明し、形態的にも違いが観察されている。中国福建省に生育しているイヌビワはこの２種のコバチと共生関係を結んでいることが判明した（図２）。２種のコバチは同一株のイヌビワからも採集されているので、寄主植物に対する識別に違いがないと思われる。２種は明らかな同所的共送粉者である。*B. nipponica* が中国大陸で採集できたのは初めての記録である。集団遺伝解析の結果から、福建省にいる *B. nipponica* は台湾から移入したものであると判明した。また、*B. nipponica* の移入によって、花粉も同時に運び込まれ、台湾と福建の集団間の寄主植物の交雑が生じていることも分かった。その結果、福建省の集団は、遺伝的に台湾と近縁となり、同じ大陸の広東とは大きく異なっていた。*B. nipponica* の台湾から福建への移入は、恐らく台風による可能性が大きいと考えられる。台湾の台風の記録を調べたところ、平均で年に４個の台風が台湾を経由して対岸の福建省に上陸しているが、逆のケースはない。

パターン３：寄主植物の移入による異所的共送粉. *F. formosana* というイチジクは、中国大陸と台湾に分布しているが、南西諸島を含む日本には生育していない。台湾と大陸間の遺伝的分化が非常に小さいため、最近に大陸から台湾に移入したと思われる（図２）。*F. formosana* の送粉コバチは *B. taiwanensis* として台湾から記載されているが、中国大陸では送粉コバチについて報告されていない。今回の我々の研究によって、大陸の *F. formosana* の送粉コバチは *B. taiwanensis* ではなく、*B. silvestriana* であることが判明した（図２）。また、*B. taiwanensis* は、寄主植物 *F. formosana* が台湾に移入した後に、上記に述べたイヌビワコバチ *B. nipponica* の寄主転換によって生じたものであることも分かった。つまり、寄主植物の台湾移入後、コバチの寄主転換が生じた結果、地域間で異なる２種のコバチが同

種のイチジクに送粉を担うことになった。

1-1-3. 種特異性の再構築が種分化を導く

コバチの寄主転換による種分化のメカニズムを理解するのは本研究テーマの主要な目的である。図２に示した研究結果の概要をみてみよう。これら６種のイチジクとそれらの送粉コバチの進化過程において、コバチの寄主転換の進化イベントが２回起きたことが判明した。1 回目は、寄主植物のイヌビワ *F. erecta* が大陸から台湾に侵入した後に、台湾に生育していた *F. vaccinioides* の送粉コバチ *B*. sp. が移入してきた *F. erecta* への寄主転換である（図２A）。その後、*F. erecta* に寄主転換したコバチは、*B. nipponica* へと種分化し、寄主植物の *F. erecta* と共に琉球列島をへて日本の関東まで分布を拡大した。系統解析と集団遺伝解析の結果、*B. nipponica* は *B*. sp.から分岐した系統であり、*F. erecta* と種特異性を構築していることも明らかである（図２A）。つまり、*B. nipponica* の種分化は、*B*. sp.の寄主転換、*F. erecta* との種特異性再構築、生殖隔離という過程を辿って生じたものである（図２B）。コバチの分岐年代を推定したところ、*B. nipponica* と *B*. sp.の種分化はおよそ 100 万年前の出来事である（図２A）。

２回目の寄主転換は１回目のものと似ている。寄主植物 *F. formosana* が大陸から台湾に移入した後、前述したイヌビワコバチ *B. nipponica* が *F. formosana* への寄主転換である（図２A）。*F. formosana* に寄主転換したコバチは、現在 *B. taiwanensis* という独立した種として記載されている。しかし、我々の集団遺伝解析の結果では、*B. nipponica* と *B. taiwanensis* との遺伝的分化は、統計的に有意ではあるもののほんの僅かであり、遺伝的には殆ど区別がつかない（図２A）。寄主植物の *F. formosana* についても、大陸の集団と台湾の集団間の遺伝的分化が非常に小さい。これらの研究結果から考えると、*F. formosana* の移入と、それに続く *B. nipponica* の寄主転換は、最近の出来事であり、*B. taiwanensis* の種分化はまだ不完全な途中段階、つまり図２B に示した「Host-shift and polliator sharing」であるかもしれない。今後、*F. formosana* と *B. taiwanensis* の種特異性を調べて検証していきたい。

結論

今回の我々の研究結果では、近縁関係にある６種のイチジク植物とそれらの送粉コバチの間に、同調的な種分化、つまり共種分化の現象は全く見られなかった。その一方、５種のイチジクが１種のコバチを共有する Pollinator sharing や、１種のイチジクが２種のコバチと共生する Copollination、またコバチの寄主転換とそれによる種分化が判明した。本研究は、コバチの寄主転換による種分化のメカニズムを明らかにしただけでなく、イチジク属植物とイチジクコバチ科との絶対共生系における末端では、その共生関係がいかにも揺らいでいることをも明らかにした。この揺らぎこそはイチジクとコバチの絶対共生系における種分化、さらに多様化の原動力ではないかと我々は考えている。※本研究は現在論文投稿中である。

1-2. ガジュマル *F. microcarpa* が 3 種のコバチと共生する

ガジュマルは日本に生育する３種の雌雄同株のイチジクのうちの１種で、東南アジアや中国大陸にも広く分布している。分布の北限は九州の屋久島である。我々の以前の研究（Azuma et al., 2010）から、八重山のガジュマルには 2 種の送粉コバチ（*Eupristina* spp.）がいる可能性が示唆されていた。しかし、それはサンプルの数と調査範囲が限られていたため、結論は出ていない。そこで、今回はこ

れまでに採集してきた、台湾から琉球列島の全分布域をカバーしたサンプルと中国大陸からのサンプルを加えて、分子系統解析と集団遺伝解析、さらに形態解析を行い、ガジュマルに共生する送粉コバチの実態を明らかにした（図３）。

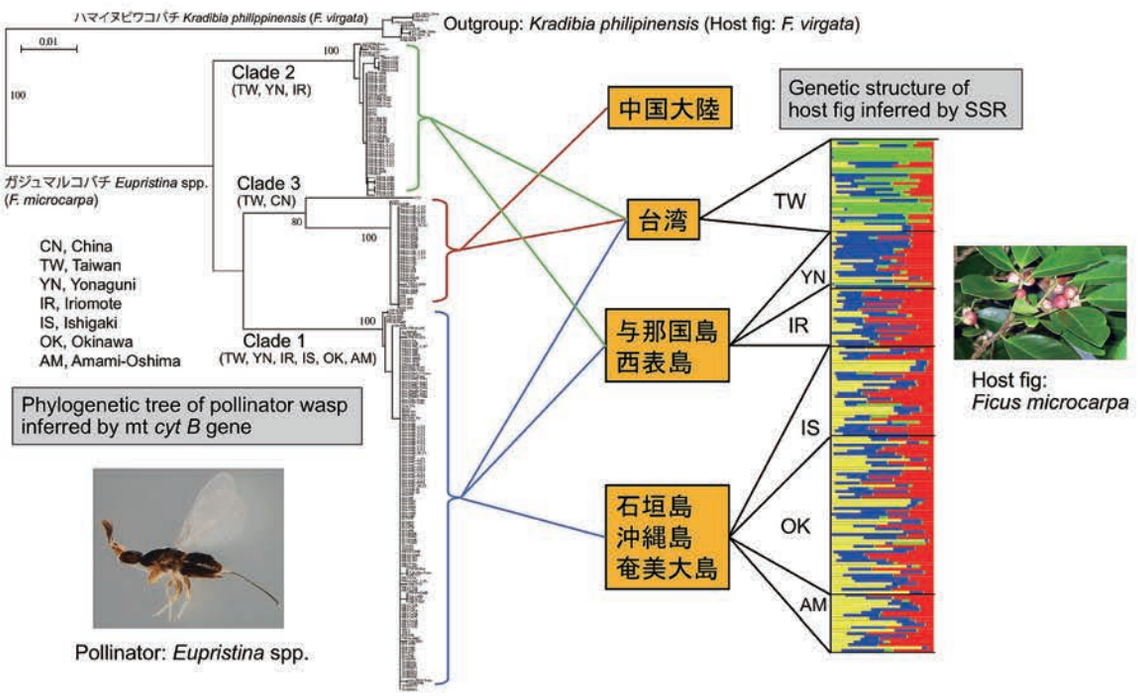


図３．ガジュマルコバチの系統関係（左）とガジュマルの集団遺伝構造（右）。TW，台湾；YN, 与那国島；IR，西表島；IS，石垣島；OK，沖縄島：AM，奄美大島。

ミトコンドリア DNA による系統解析の結果、ガジュマルコバチは３つのクレードに分かれることが明らかになった（図３：Clade 1～３）。Clade 1 は台湾から奄美大島までの全域に、Clade 2 は台湾、与那国島と西表島に、Clade 3 は中国大陸と台湾に、それぞれ分布していることが判明した（図３）。この結果によると、台湾には３つのクレードが同所的に分布しており、Clade 1 は恐らく北限の屋久島まで、Clade 2 は西表島まで広がり、Clade 3 は台湾に留まっていることがわかった。ミトコンドリア DNA のハプロタイプ解析の結果では、台湾の集団は最も遺伝的多様性が高く、北上していくことにつれて集団の遺伝的多様性が減少していることも分かった。中国大陸からは、Clade 3 しか検出できていないが、サンプリングの限りによる可能性もあり、現時点では結論できない。

核 28S rRNA 遺伝子による解析でも、ミトコンドリア遺伝子による解析結果と完全に一致しており、クレード間の交雑の証拠は全く見られていない。従って、遺伝的にはこれらのクレードはそれぞれ別種であることが明らかである（現在新種の記載論文の準備に取り掛かっている）。一方、形態では大きな違いが観察されなかったが、触角にある感覚肢の数に違いは見られた（表 1）。これは寄主植物の識別に関わっているとも考えられるが、台湾では寄主植物の同一株から異なるクレードのコバチを同時に採集しており、これらのコバチは寄主植物に対する識別機能に違いはないだろうと思われる。

表1．ガジュマルから得られる送粉コバチの触角5–11節に見られる主要感覚子の数。

	Trichoid sensilla	Multiporous plate sensilla	Total
Clade 1 (n=5)	9-15	31-41	40-52
Clade 2 (n=5)	5-6	48-49	53-55
Clade 3 (n=5)	11-12	52-59	64-70

※共同研究者の有本晃一博士による。

寄主植物のガジュマルに関しては、コバチの3クレードに同調した遺伝的クレードは検出されなかった。地域集団間の遺伝的分化は、台湾、与那国島・西表島、石垣島・沖縄島・奄美大島の間で検出された（図3）。石垣島の集団は地理的近い西表島と与那国島よりも沖縄島と奄美大島の集団に遺伝的に近縁であることは興味深い。寄主植物と関係なく、コバチが3クレードに分岐したようだが、どのようなメカニズムで分岐したのかは今後の課題である。

1-3. 機能的共進化の分子メカニズム

すでに述べたように、イチジクとコバチの絶対共生系は、種特異性が高いため、共進化と共種分化のモデル系として古くから研究されてきた。しかし、これまでの研究から、共進化と共種分化の強い証拠はあまり得られていない。我々が台湾から南西諸島にかけて分布しているイチジクとそのコバチについて、集団遺伝解析、植物の花の匂いの解析、コバチの行動実験などを通して調べたところ、寄主植物とコバチの間で機能的共進化していることが強く示唆された。また、その共進化は共種分化をもたらす可能性もあることが判明した。

この共進化の分子メカニズムの解明を目指して、今年度はコバチの触角と頭部の発現遺伝子の網羅的比較解析を計画した。嗅覚機能に関わる遺伝子群から、植物の花に対する識別機能の変化に関わる候補遺伝子を特定することである。

コバチの体長が2mm程度で、その触角を集めるのはかなり困難であったが、試行錯誤の結果、RNA-seq解析に必要な触角と頭部のサンプルを集めることができた。現在、解析を進めているところである。

おわりに

ここ4年間、主としてコバチの寄主転換による種分化のプロセスとメカニズムの解明を行ってきた。研究結果から、寄主転換による種分化のプロセスにおいて、種特異性の再構築が重要な役割を果たしていることが判明し、我々の仮説を裏付けることができた。また、イチジクとコバチの絶対共生系において、末端の近縁種間では、共生関係の種特異性が極めて揺らいでいることも判明した。この揺らぎは絶対共生系における種分化と多様化の原動力である可能性が高い。また、中国大陸から台湾・琉球列島に分布するガジュマルに3種の送粉コバチがいることが明らかになったのも今年度の研究成果の1つであろう。もう一つ重要なテーマであるイチジクとコバチの共進化の分子機構、寄主植物の花の匂いに対するコバチの識別機構の遺伝基盤の解明については、新型コロナウイルスの影響を受けながらも、2度のサンプリングの実施ができたのは幸いであり、来年度に良い結果を報告できることを期待したい。

謝辞

本研究を遂行するにあたって、台湾と中国大陸のサンプル採集において、台湾中興大学の曽喜育博士、上海華東師範大学の李宏慶博士と中国科学院華南植物園の于慧博士より多大なご協力を頂いた。

2　オサムシの後翅退化に関する研究

はじめに

生物の進化過程において、新しい機能・形態の獲得が起きる一方、喪失も生じる。昆虫の進化過程では、翅の獲得が最重要な進化イベントである。しかし、現生の昆虫類には逆に翅が退化して飛翔機能を喪失したものは少なくない。この退化的進化を遺伝的・分子的に理解するのが本研究の目的である。

オサムシ（亜科）は後翅退化によって飛翔機能を喪失した代表的な昆虫群である。我々のこれまでの研究により、オサムシの退化後翅の形態は分類群（系統）により異なり、正常な後翅をもち飛翔できるオサムシ群から系統的に離れるほど、その後翅の退化程度が大きく、最も離れているセダカオサムシ族は後翅が完全に消失していることが判明している（図４）。つまり、オサムシの後翅退化は、遺伝的な要因によってそれぞれの分類群で独立的に生じた可能性が高い。従って、オサムシは生物の機能・形態の喪失を研究するための格好な材料である。本研究は正常な後翅を持つオサムシ群と後翅の退化形態が異なる代表的な分類群を用いて、まず後翅退化の発生過程を解明し、その上飛翔機能喪失の遺伝基盤と分子機構の進化の解明を目指している。

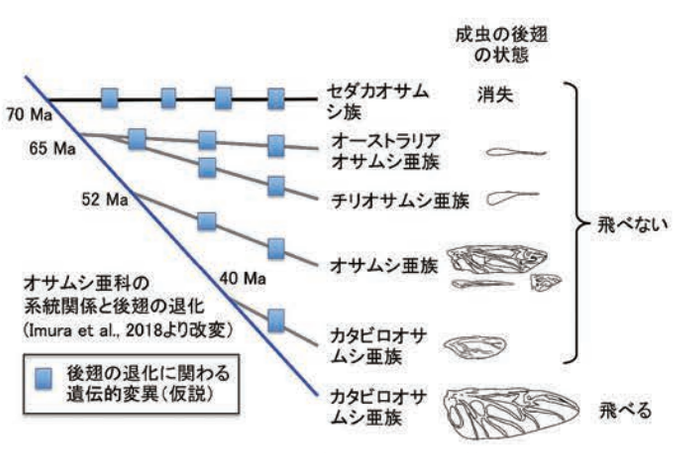


図４．オサムシ亜科の系統関係と後翅の退化。

2-1. 研究材料

本研究に用いた、または使用予定のオサムシは、❶ 正常な後翅を持ち飛翔できるカタビロオサムシ、❷ 後翅が針状型に退化したヤコンオサムシ、❸ 後翅が均等萎縮型に退化したマイマイカブリと、❹ 後翅が消失したセダカオサムシである（図５）。

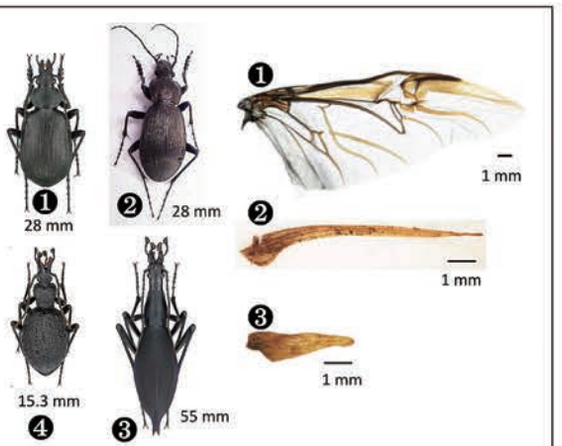


図５．本研究に用いた、または使用予定のオサムシ。

2-2. オサムシの後翅退化の発生プロセス

昨年度まで、ヤコンオサムシ（❷）とクロカタビロオサムシ（❶）の飼育に成功し、後翅の発生過程を観察することができた。両者を比較した結果、前蛹期では正常な後翅を有するクロカタビロオサムシと退化後翅のヤコンオサムシのどちらもほぼ同様なサイズの後翅原基が観察され、どちらの後翅原基にも翅脈が確認された。一方、蛹期ではカタビロオサムシの後翅は発生の進行につれて、翅脈間の組織が形成され、後翅膜の中で翅が発達するが、ヤコンオサムシの後翅は、蛹期２日目から明らかに翅脈が翅の前縁に集まり束ねていき、膜中が段々退縮していくことがわかった（図６）。羽化する前には

後翅の中身はすでに針状になっていることも確認された（図６右下）。これらの観察結果から、後翅の退化は蛹期の発生過程において、後翅の翅脈間の組織が正常に形成できないために生じると結論付けた。

後翅は 1 mm ほどまで退化したことが判明した（図 8）。

2-3. オサムシの翅形成に関わる遺伝子群の発現調査

図６．クロカタビロオサムシとヤコンオサムシの後翅退化の発生過程。

今年度は、関西の昆虫同好会の方々からの協力によって、マイマイカブリ（❸）の採集と飼育に成功し、後翅の発生過程を観察することができた。マイマイカブリの後翅の発生過程について、前蛹期では、針状の後翅に退化したヤコンオサムシと正常な後翅をもつクロカタビロオサムシと比べて、形態に大きな違いはなかったが、サイズ（膜のサイズ）は 2 mm 弱〜4 mm 弱ほどの個体変異が見られた。蛹期では、全体的にヤコンオサムシの後翅より、退化がより進んでいることが観察された（図７）。ヤコンオサムシの後翅では、正常に近い翅脈の形成が観察されたが、マイマイカブリの後翅では、翅脈が正常に形成できていないことが分かった。羽化直前の蛹期では、

昆虫の翅形成に関わる遺伝子群のネットワークがショウジョウバエやハチなどの研究から提示されている（Abouheif and Wray, 2002; Brisson et al., 2010）。本研究は、まずこれまでの研究で知られている翅形成の関連遺伝子群について、研究材料に示したオサムシにおける発現プロファイリングを明らかにし、それをオサムシ間で比較することによって、後翅の退化に関わる遺伝子の特定を目指している。現時点において、ヤコンオサムシ（後翅が針状に退化）とクロカタビロオサムシの後翅における、翅形成関連遺伝子群の発現プロファイリングは完成している。マイマイカブリについては、現在 RNA-seq の解析を業者に委託しているところである。

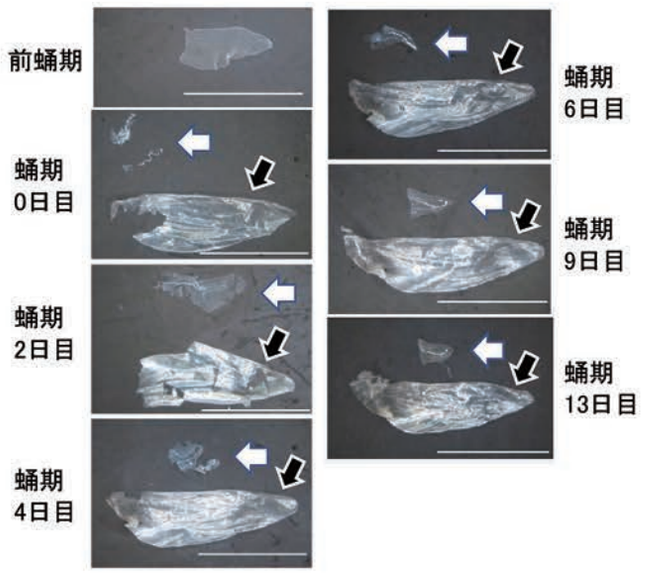


図７．マイマイカブリの後翅退化の発生過程。白塗り矢印：後翅；黒塗り矢印：後翅の膜。

おわりに

進化過程における生物の機能・形態の喪失は昆虫に限ったことではないが、複数な系統で比較可能な類縁関係にあり、飼育可能で発生過程も観察できる材料は限られている。オサムシはこれらの条件を満たしている貴重な材料である。これまでの研究によって、オサムシの後翅退化は蛹期の発生過程で生じることが明らかになった。今後の課題は、後翅退化に関わる遺伝子の特定である。また、後翅退化の発生メカニズムについて、組織形成が正常にできていないことが観察されているが、アポトーシスが生じている可能性もある。今後、組織・細胞レベルでの観察も行い、その結果に応じてアポトーシスに関わる遺伝子の発現プロファイリングも調べる予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたって、オサムシの飼育は高見泰興博士から、採集は冨永修氏と神吉正雄氏など関西の昆虫同好会の方々から協力を頂いた。また、本研究は基礎生物学研究所の新美輝幸博士との共同研究である。

引用文献

Abouheif and Wray, G.A. (2002) Evolution of the gene network underlying wing polyphenism in ants. Science 297: 249-252.

Azuma, H., Harrison, R.D., Nakamura, K. and Su, Z.-H. (2010) Molecular phylogenies of figs and fig-pollinating wasps in the Ryukyu and Bonin (Ogasawara) islands, Japan. Genes Genet. Syst. 85: 177–192.

Bain, A., Harrison, R.D. & Schatz, B. (2014) How to be an ant on figs. Acta Oecologica 57: 97-108.

Bain, A., Tzeng, H-Y., Wu W-J. and Chou, L-S. (2015) *Ficus* (Moraceae) and fig wasps (Hymenoptera: Chalcidoidea) in Taiwan. Botanical studies 56:11.

Brisson, J. A., Ishikawa, A. and Miura, T. (2010) Wing development genes of the pea aphid and differential gene expression between winged and unwinged morphs. Insect Mol. Biol. 19: 63–73.

Cook, J. M. and Segar, S. T. (2010) Speciation in fig wasps. *Ecol. Entomol.* **35**, 54–66.

Cornille, A., Underhill, J.G., Gruaud, A., Hossaert-McKey, M., Johnson, S.D., Tolley, K.A., Kjellberg, F., von Noort, S. and Proffit, M. (2012) Floral volatiles, pollinator sharing and diversification in the fig-wasp mutualism: insights from Ficus natalensis, and its two wasp pollinators (South Africa). Proc. R. Soc. B 279: 1731–1739.

Cruaud, A. et al. (2012) An extreme case of plant–insect codiversification: figs and fig-Pollinating wasps. Syst. Biol. 61: 1029–1047.

Imura, Y., Tominaga, O., Su, Z.-H., Kashiwai, N., Okamoto, M., Osawa, S. (2018) Evolutionary history of carabid ground beetles with special reference to morphological variations of the hind-wings. Proc. Jpn. Acad., Ser. B 94: 360-371.

Ishiwata K., Sasaki G., Ogawa G., Miyata T. and Su Z.-H. (2011) Phylogenetic relationships among insect orders based on three nuclear protein-coding gene sequences. Mol. Phylogenet. Evol. 58: 169–180.

Kusumi, J., Azuma, H., Tzeng, H.-Y., Chou, L.-S., Peng, Y.-Q., Nakamura, K., and Su, Z.-H. (2012) Phylogenetic analyses suggest a hybrid origin of the figs (Moraceae: Ficus) that are endemic to the Ogasawara (Bonin) Islands, Japan. Mol. Phylogenet. Evol. 63: 168–179.

Moe, A. M., Clement, W. L. and Weiblen, G. D. Rapid evolution of pollinator-mediated plant reproductive isolation. *in* R. S. Singh, J. Xu, and R. J. Kulathinal, eds. Rapidly evolving genes and genetic systems, Oxford Univ. Press, Oxford, U. K. (2012).

Okamoto, T., Macgowan, I. and Su, Z-H. (2012) Predation on the pollinating fig wasp of *Ficus erecta* by larvae of *Silba* sp. (Diptera: Lonchaeidea). Entomol. Sci. 15: 288-293.

Shanahan, M., So, S., Compton, S. and Corlett, R. (2001) Fig-eating by vertebrate frugivores: a global review. Biol. Rev. 76: 529-572.

Su Z.-H., Iino H., Nakamura K. Serrato A. and Oyama K. (2008) Breakdown of the one-to-one rule in Mexican fig-wasp associations inferred by molecular phylogenetic analysis. Symbiosis 45: 73–81.

Wachi, N., Kusumi, J., Tzeng, H.-Y., and Su, Z.-H. (2016) Genome-wide sequence data suggest the possibility of pollinator sharing by host shift in dioecious figs (Moraceae, *Ficus*). Mol. Ecol. 29: 5732-5746.

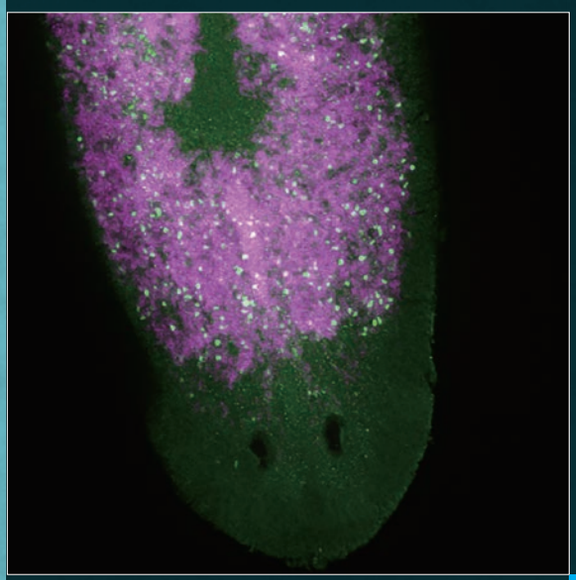
Wang, G., Cannon, C. H. and Chen, J. (2016) Pollinator sharing and gene flow among closely related sympatric dioecious fig taxa. Proc. R. Soc. B 283: 20152963.

Wang, G. *et al*. (2021) Genomic evidence of prevalent hybridization throughout the evolutionary history of the fig-wasp pollination mutualism. Nat. Commun. 12: 718.

社会に開かれた活動報告

日程	対象者	場所	行事名・内容	定量実績
2021/3/1	一般	BRH HP	ラボ日記「身近な生物である鰓脚類の進化」	多数
2021/4/17	中高生	沖縄県	沖縄県立球陽高等学校・球陽中学校 生物部の学生たちの研究へのアドバイスと参考資料の提供	数名
2021/4/21	大学院生	豊中市	大阪大学理学研究科大学院講義「生物科学特論 B3」	46 名
2021/5/19 2021/10/15	科学研究者	学術専門誌	学術論文査読 2 件	多数
2021/7/17	一般	BRH	館内講演 日曜開館オープニング記念イベント 「昆虫と植物のかけひきの妙」	約 20 名+ オンライン発信
2021/8/3	一般	BRH HP	ラボ日記「好き嫌いが進化の原動力となるのか？」	多数
2021/12/15	一般	BRH HP	ラボ日記「イチジクコバチに寄生するダニ」	多数

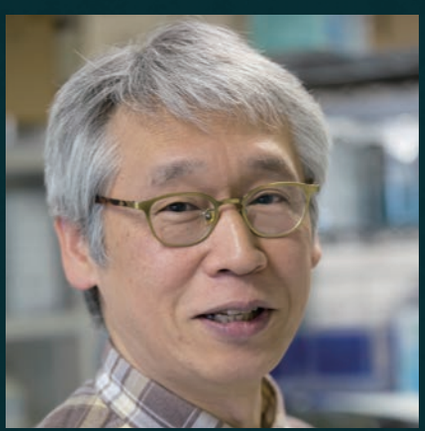
研究館4階Ω食草園のイヌビワの前で（2022年3月23日撮影）。



カエルとイモリの
かたち作りを探る

形態形成研究室

分化応答能は細胞周期に依存することをプラナリアの解析から見出した。単細胞の胞子形成や細胞性粘菌の柄細胞の形成においてもこの性質は確認できることから、全ての動物細胞に共通する現象であると考えている。また、「発生の砂時計モデル」で横の広がりは多様性を示すため、ボトルネックにあたる咽頭胚を形づくる過程は変異に対する寛容性が低いと思われる。実際に両生類の原腸形成の解析から、脊索動物門に共通する普遍性を見出した。発生現象に潜在する「意味」に焦点を当てて私たちは研究を進めている。



室長　橋本主税

細胞周期の制御が及ぼす分化・未分化の切り替えに関する研究

カエルとイモリのかたち作りを探るラボ
室長　主任研究員　橋本　主税
奨励研究員　佐藤　勇輝
派遣研究員（中央大学）　森山　侑輝
研究補助員　守　翔子
大阪大学大学院生　奈良崎　泉

当研究室では、両生類の原腸形成運動に興味を持って研究を行なってきた。その過程で、従来のモデルとは全く異なる新しい原腸形成運動モデルを提唱することとなった。このモデルを基本に置けば、原索動物から羊膜類に至る脊索動物門全体の原腸形成運動を統一的に説明できると考えている。この新しい視点から、神経堤やプラコードの形成過程を見直すことで、神経堤やプラコードの形成と維持に細胞周期の制御が密接に関わっていることを見出すこともできた。この分化・未分化と細胞周期の制御は神経堤細胞にかかわらずすべての細胞の分化・未分化の制御機構にも関わるとの仮説を立てて、その解析に最も適した実験材料として近年ではプラナリアを用いて研究を進めている。研究室が掲げる大きなテーマとしては標題の通りである。今年度は、一見して全く異なっているように見えるが、すべては同じ根っこから派生してきた三つの研究テーマを掲げて研究を行なった。以下に、それぞれの背景も含めてすこし丁寧に今年度の進捗について報告する。

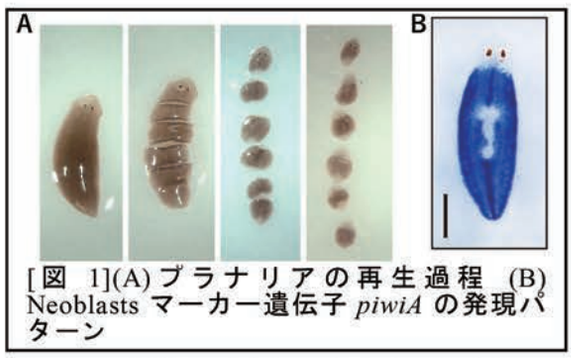
1.Cdh1によるプラナリア多能性幹細胞の分化・未分化の制御

ES 細胞や iPS 細胞のような多能性幹細胞は、体を構成する全ての細胞に分化することができる幹細胞であり、様々な器官や組織の再生など再生医療なども視野に入れた大きな期待がもたれている。ただ、*in vitro* で適切な組織・器官へと分化させる方法論や、幹細胞の未分化性（多分化能）を維持する機構についてもその多くは明らかとなっておらず、多能性の維持と分化の制御機構の解明が待たれている。近年の分子発生学的観点から、細胞の分化には分化誘導シグナルが極めて重要であることが示されている一方で、分化誘導シグナルを細胞が適切に受容するための「応答能」の重要性も言われている。したがって、外因性の分化誘導シグナルと内因性の応答能の絶妙なバランスが細胞の分化・未分化に重要な役割を果たしていると考えられる。

脊椎動物の神経堤細胞は受精卵に匹敵する多分化能を保持している。ツメガエルの神経堤やプラコードの形成において、予定神経堤領域には受精卵から継続的に *Xhairy2* が発現しており、CDK inhibitor (CKI)の一種である *p27* の発現を Xhairy2 が抑制することで神経堤細胞の形成と維持に強く関わっていることが明らかとなっている [1,2]。p27 は細胞周期を G0 期で止めることが知られているため、神経堤細胞は、卵割期から細胞分裂を維持し続けることによって受精卵から続く未分化性（多分化能）を維持しているのではないかと考えた。すなわち、細胞周期が G0 期で止まることにより細胞は分化へと方向づけられるので

はないかということである。最終分化段階の細胞における増殖と分化の関係性に見られるように、多能性幹細胞に限らず、どのような細胞であっても分化・未分化の決定には細胞周期による制御が必要なのではないかと現在では考えている。細胞周期とは Cyclin-dependent kinases (CDKs)の増減の周期である。M 期終了時（G1 期開始時）では CDK 活性は最も低い状態に抑えられており、CDK 活性が上昇することによって S 期、G2 期、M 期と進行していく。M 期の中盤には全ての Cyclins が分解され始め、CDK 活性が低下することで細胞周期が G1 期に戻っていく[3]。p27 などの働きによって G1 期に CDK 活性が抑制され続けると細胞周期停止が導かれ、細胞は G0 期に入る。このため、細胞が細胞周期を停止させるか、もう一度細胞分裂を開始するかは G1 期に決定される。多くの多細胞生物では、G1 期における細胞周期の制御は多数の因子が相互に作用するかたちで複雑な制御を受けているため、単一分子を操作するなどで人為的に細胞周期に影響を与えることは困難である。さらには、脊椎動物のような複雑な多細胞生物の発生過程を考えると、たとえば初めに中胚葉へと分化が起こり、次に骨または筋肉の運命を辿るなど、多様な状況下でさまざまな細胞が異なる時間的・空間的状況で分化・未分化の決定を行なっている。そのため、細胞周期を人為的に制御することが仮にできたとしても、意図しない領域の細胞にまで細胞周期操作の影響が出てしまい、特定の細胞に着目した細胞周期と分化・未分化の関連性を解析することも難しい。

扁形動物プラナリアは、neoblasts と呼ばれる多能性幹細胞の存在により高い再生能を実現している(図 1)。X 線照射によって neoblasts を消失させるとプラナリアは再生できなくなるだけでなく、組織の恒常性を維持できなくなり 2〜3 週間で死亡してしまう。しかし、X 線を照射したプラナリアにたった 1 つの neoblast を移植することで組織恒常性が回復し、全身の細胞が移植した neoblast 由来の細胞に入れ替わる[4]。



[図 1](A)プラナリアの再生過程 (B) Neoblasts マーカー遺伝子 *piwiA* の発現パターン

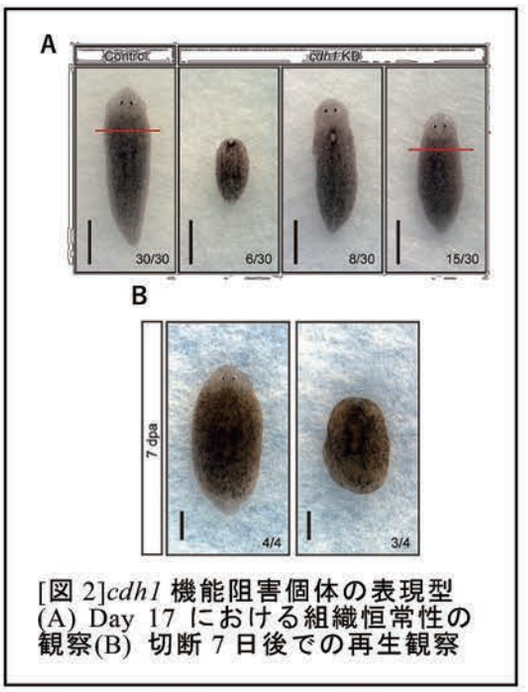
多くの多細胞動物とは異なり、プラナリアにおける分裂細胞は neoblasts だけであるため、他の細胞への影響を除外して neoblasts の分化・未分化に対する細胞周期制御の影響を評価することが可能である。さらに、プラナリアゲノムには細胞周期停止を導く CKIs が見出せず[5,6]、細胞周期停止に関わる遺伝子としては *cdh1* のみが存在するに過ぎない。すなわち、プラナリアでは Cdh1 の有無により細胞周期の進行と停止が決定されるシンプルな制御機構が存在していると考えられる。このように細胞周期研究におけるプラナリアの利点を有効活用する形で、本研究では、プラナリアの *cdh1* を機能阻害によって neoblasts が増殖しつづける状況を作り、幹細胞における「増殖と分化」あるいは「誘導と応答」の関係について解析を行なった。

結果

日本産プラナリア(*Dugesia japonica*)での *cdh1* の発現を *in situ* hybridization などにより確認したところ、*cdh1* は neoblasts で優位に発現しており、また分化途上の細胞の一部にもその発現が確認された。よって、プラナリアの *cdh1* は neoblasts で主に機能していると考えられる。また、*cdh1* を feeding RNAi 法によ

り機能阻害したところ、表皮に穴が開く・頭が退縮してなくなってしまうといった組織恒常性が維持できなくなる表現型が観察された(図 2A)。さらに *cdh1* 機能阻害個体では再生芽が形成できず、1 週間たっても失った組織を再生できない様子が観察された(図 2B)。これらは幹細胞を消失した表現型に近い。しかし、neoblasts マーカー遺伝子である *piwiA* の *in situ* hybridization を行なうと、*cdh1* 機能阻害個体では通常個体に比べ neoblasts が劇的に増加していることが示された(図 3A)。さらに qRCR 解析によって遺伝子発現を定量化すると、*cdh1* 機能阻害個体では Day 11 の時点で *piwiA* の発現が上昇しており、Day 17 では Control 個体の 3.4 倍まで上昇していた(図 3B)。しかし、表皮前駆細胞のマーカー遺伝子である *prog-1* や腸上皮細胞のマーカー遺伝子である *inx1* は発現が低下していた(図 3C, D)。すなわち、*cdh1* 機能阻害個体では過剰量の neoblasts が存在しているにも関わらず分化が抑制されることで組織恒常性が破綻し、再生ができなくなっていることが示唆された。

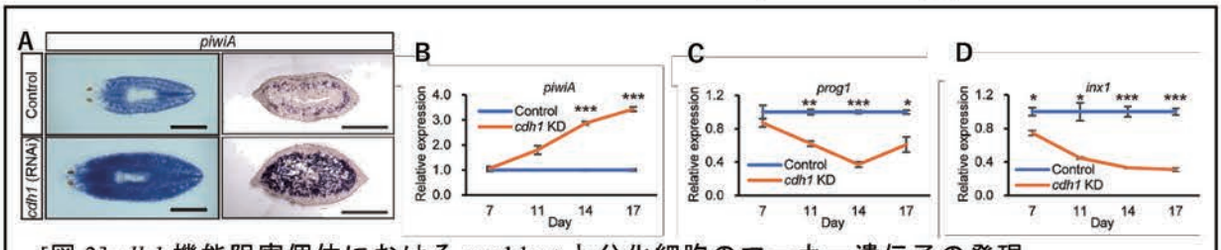
cdh1 機能阻害個体での neoblasts の増殖と分化細胞の減少を細胞レベルで検証するために、DNA を染色する Hoechst33342 と細胞質を染色する Calcein-AM を使用した FACS 解析を行なった。この解析手法では、DNA 量が多く細胞質が未発達な細胞は X1 分画に分類され分裂中（S 期、G2 期、M 期）の neoblasts とされる。また、DNA 量が少なく細胞質が未発達



[図 2]*cdh1* 機能阻害個体の表現型
(A) Day 17 における組織恒常性の観察(B) 切断 7 日後での再生観察

な細胞は X2 分画とされ G1 期の neoblasts と一部の分化細胞が含まれる。DNA 量が少なく細胞質が発達した Xis 分画の細胞は分化した細胞である(図 4A)。この手法で neoblasts と分化細胞の存在比率を比較すると、正常個体では X1 分画の細胞が 10 %程度しか存在しないが、*cdh1* 機能阻害個体では X1 分画の細胞が全体の 30 %以上を占めるほどまで増殖していた(図 4A, B)。一方で Xis 分画は Control 個体で 50 %ほど存在していたが、*cdh1* 機能阻害個体では 20 %程度まで減少していた(図 4B)。このことから、細胞レベルでも *cdh1* 機能阻害個体では neoblasts が増加している一方で分化細胞が減少していることが示された。

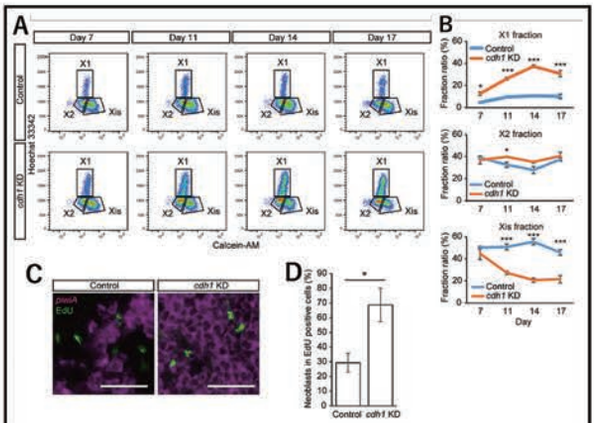
cdh1 機能阻害個体におけるこのような細胞比率は、neoblasts が分化できないことに由



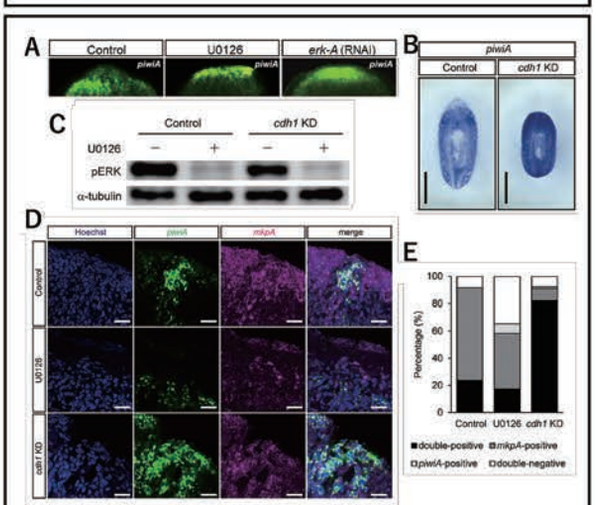
[図 3]*cdh1* 機能阻害個体における neoblast と分化細胞のマーカー遺伝子の発現
(A) 全身および咽頭前部での切片における neoblast マーカー遺伝子 *piwiA* の発現
(B) *piwiA* の相対発現量 (C)上皮前駆細胞マーカー遺伝子 *prog1* の相対発現量
(D)腸上皮細胞マーカー遺伝子 *inx1* の発現量

来する可能性がある。neoblasts の分化能を検討するために、EdU を neoblasts に取り込ませて 3 日後に検出を行った。Control 個体では EdU 陽性細胞の約 30 %が *piwiA* 陽性の neoblasts のまま存在していたが約 70 %は *piwiA* の発現を失って分化細胞になっていた（図 4C, D)。一方で *cdh1* 機能阻害個体では EdU 陽性細胞のうち約 70 %が *piwiA* 陽性の neoblasts のまま存在していた(図 4C, D)。よって、*cdh1* 機能阻害個体では neoblasts の分化が抑制されていることが示唆された。

プラナリアでは体が切断されて再生する際に、*piwiA* 陰性の再生芽領域が形成されている。よって、再生芽を形成している細胞は neoblasts ではなく分化中の細胞であることが示されている。ERK シグナルの阻害剤である U0126 や *erk-A* 機能阻害によって、この *piwiA* 陰性の領域が形成されず再生できなくなる。これらの事実から、ERK シグナルがプラナリアにおける分化誘導シグナルの本態であるとされてきた(図 5A)。*cdh1* 機能阻害個体でも切断後 *piwiA* 陰性の再生芽領域は形成されなかった(図 5B）ため、*cdh1* 機能阻害個体では neoblasts で ERK シグナルが活性化されないために分化できないのではないことが想定された。この検証のため、傷口周辺の組織を用いてリン酸化 ERK (pERK、活性型 ERK)の Western blotting を行なったが、*cdh1* 機能阻害個体でも Control 個体と同様に pERK が検出された(図 5C)。ERK シグナルの下流で転写される遺伝子である *MAP kinase phosphatase A* (*mkpA*)は、Control 個体では傷口周辺細胞の 67.9 %が *mkpA* 陽性/*piwiA* 陰性であり *mkpA* が分化細胞で多く発現している様子が確認された(図 5D, E)。一方で *cdh1* 機能阻害個体では Control 個体と同程度の *mkpA* 陽性細胞が確認されたが、傷口周辺細胞の 82.2 %が *mkpA* 陽性/*piwiA* 陽性であり neoblasts で多く *mkpA* が発現していた(図 5 D, E)。これらの結果から、



[図 4]*cdh1* 機能阻害個体における neoblasts の増殖と分化細胞の減少
(A) FACS 解析の density plot (B) FACS 解析での各分画の存在比率(C) EdU 取り込み 3 日後での EdU (green)および *piwiA* (magenta(D) EdU 陽性細胞中の neoblasts の割合



[図 5]*cdh1* 機能阻害個体における ERK シグナルの活性化
(A) 再生時に ERK シグナルが阻害された際の *piwiA* の発現 (文献(6)の図を一部改変) (B) *cdh1* 機能阻害個体の切断 3 日目における *piwiA* の発現 (C) 切断 1 日目の傷口周辺組織を用いた pERK の western blotting (D) 切断 1 日目の傷口周辺における *mkpA* の発現 (E) 傷口周辺での *mkpA* および *piwiA* 発現細胞の割合

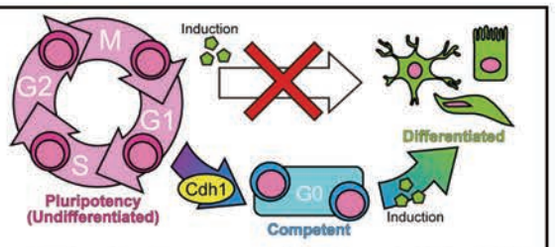
cdh1 機能阻害個体では分化誘導シグナルである ERK シグナルが neoblasts で活性化されているにも関わらず分化できていないことが示唆された。

考察

細胞周期の進行と停止の決定は Cdh1 のみにおいて行なわれていることや、全細胞の中で

増殖可能な細胞は neoblast だけであるというプラナリアが持つ特徴によって細胞周期と分化・未分化の関係性が見えてきた。*cdh1* の機能阻害により neoblasts が細胞周期を停止できない状態となった場合に、分化誘導シグナルが活性化されても neoblasts は分化できないことが示された。これまでプラナリアでは、活性化 ERK シグナルの有無により neoblast の分化・未分化が一義的に決まると考えられてきたが、細胞周期の制御が分化誘導と並行して（あるいはは分化誘導よりもドミナントな形で）分化・未分化の決定に寄与することが明らかとなったわけである。この「細胞周期によって幹細胞の分化・未分化が制御されている」という新しいパラダイムが、ほとんどの動物細胞において適応できるのではないとも考えている（図 6）。実際に、近年の研究から、ES 細胞において G1 期に分化が始まること、また G1 期に分化に関わる遺伝子のクロマチン構造がオープンになっていることが明らかとなってきている[7]。さらに、ES 細胞・造血幹細胞・神経幹細胞において G1 期が長くなることで分化が誘導されやすくなるとする cell cycle length hypothesis も提唱されており[8]、細胞周期における G1 期での細胞周期停止と分化の関係性は多くの生きもので示唆され始めている。プラナリアは三胚葉・三体軸・脳といった構造を持つ最も単純な生物の 1 つであり、プラナリアの neoblasts からヒトの幹細胞まで保存された細胞周期と分化の関係性は、私たちの共通祖先が獲得していた幹細胞の根源的な性質なのではないだろうか。

プラナリアで遺伝子導入や遺伝子編集などの技術が発展していない大きな理由の一つとして幹細胞培養ができないことが挙げられる。*cdh1*機能阻害個体は増殖によって爆発的に増えた幹細胞を有するため幹細胞の割合が有意に高く、またこの幹細胞は他の細胞種に分化することができず、さらに細胞分裂を継続しているため培養のし易さのみならず、移植した際にホストの体内に定着する効率も高いことが期待されるため、新しい技術の開発にも大いに貢献できることが期待できる。なお、本研究成果は論文として受理され印刷中である[9]。



[図 6]細胞周期による幹細胞の応答能制御
幹細胞は細胞周期の進行により未分化状態を維持しており、細胞周期が進行している間は応答能を持たないため分化誘導シグナルが活性化されても分化できない。しかし、Cdh1 等の働きにより細胞周期が停止し G0 期に入ると応答能を獲得し、分化誘導シグナルに応答して分化できるようになる。

2.プラナリアにおける自切機構

一部のプラナリアは、体がある一定の大きさになると咽頭後方で自らを切断(自切)することによって個体数を増やす。これまでにプラナリアの自切に関しては色々と調べられている[10,11]。多くのプラナリアでは断頭することで自切が促進されることから、脳が自切を制御すると考えられている。プラナリアが一定限度以上に大きくなることで、脳の支配が尾部に届かなくなり結果として脳の影響を超えた位置にある領域が切断されるという考えである。この延長線上に、脳の支配が届かなくなった領域に新たな「個」が形成され、本来の尾部と新しい頭部の間で切断されるという考え方があり、頭部形成を誘導する活性と尾部形成を誘導する活性がひとつの個体内に形成されることが自切の基準とする数理モデルも提出されている[12]。自切には脳から分泌される促進物質や抑制物質が影響するとの考え方もあり、自切の頻度に関わる給餌・密度・

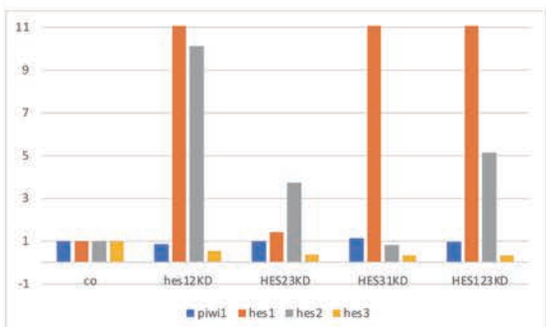
明暗を脳が感じ取ることで促進物質や抑制物質を分泌しているとの考えもあるが、自切がどのようなきっかけで起こり、どのような分子機構によって制御されているのかについては、ナミウズムシの *p2x* 遺伝子が関与するなどの報告はあるものの[13]、ほとんど解明されていない。

当研究室で飼育している日本産ナミウズムシ(*Dugesia japonica*, 以下 *Dj*)とヨーロッパ産プラナリア(*Schmidtea mediterannea*, 以下 *S.med*)を見ると、*S.med* は頻繁に自切してするのに対し *Dj* はあまり自切をしない。さらに、*Dj* は咽頭下で一回だけ自切することが多いが、*S.med* の場合、自切の頻度と回数は個体の大きさに依存し、2 cm を超える個体では周期的に連続して８回の自切が観察されたとの報告もある[10]。

S.med ゲノムには３種の *hes* 関連遺伝子(*hes1*, *hes2*, *hes3*)の存在が認められ、*Dj* には２種の *hes* 関連遺伝子(*hes2*, *hes3*)が存在することがわかっている。すべての *hes* 関連遺伝子は幹細胞のみで発現することが明らかとなっており、幹細胞特異的に機能する遺伝子として興味深い。我々は、プラナリアの幹細胞が増殖と分化をバランスよく行なっている制御機構に *hes* 関連遺伝子が関わっているのではないかと考えて研究を行なってきた。RNAi による機能阻害実験を *S.med* において行なったところ、幹細胞の分化・未分化に関わっていることを示す結果は得られなかったが、予想外に自切を強く促進することが確認された。この結果は、*hes* 関連遺伝子がプラナリアの自切を促進するシグナルに関与する可能性が示唆するとともに、*hes* と自切との関係性を解析することで、自切を引き起こす分子的正体に近づく一つの鍵となることを期待させる。

結果

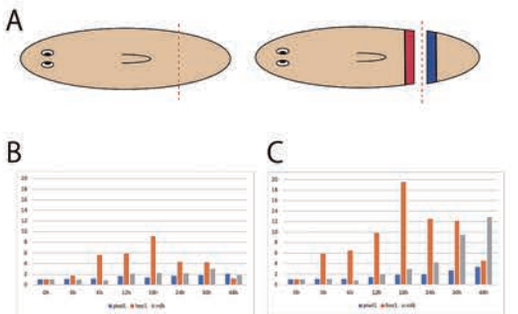
S.med において、幹細胞特異的に発現する *hes1* 遺伝子が自切の制御に関わっているかについて検証を行なった。まず、*hes1* 遺伝子を RNAi により機能阻害することで自切の頻度が優位に上昇することを見出した。ここでは RNAi による *hes1* 遺伝子特異的な機能阻害を行なったはずだったのだが、実際に *hes1* 遺伝子の発現が減少していることを確認するために qPCR 解析を行なったところ、驚くべきことに *hes1* 遺伝子の発現は爆発的に上昇していることが明らかとなった(図 7)。なぜ、RNAi により標的遺伝子の転写が上昇したのか、さらに遺伝子の転写産物が増えたことが HES1 タンパクの発現の増加につながっているのかどうかについては現時点では明らかとなっていないが、*hes1* の発現量の変化と自切の頻度との間に有意な関連があることが明らかであろう。



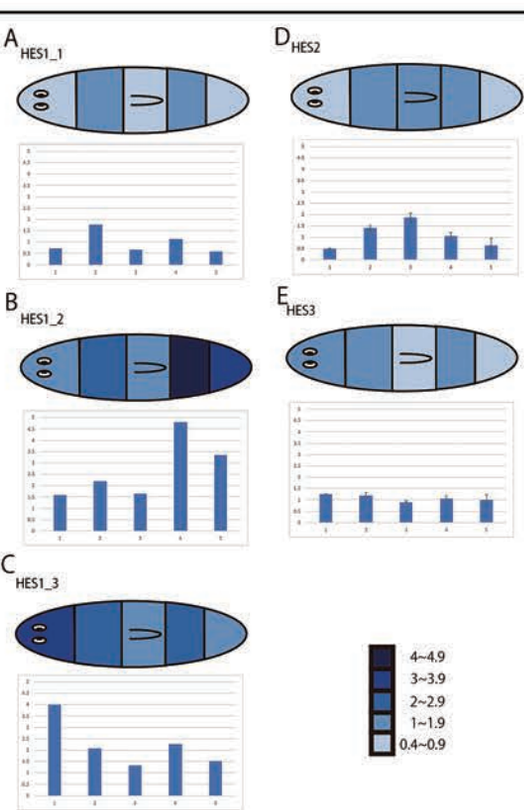
[図 7]hes1 を機能阻害すると *hes1* の発現が上昇する

次に、人為的に *S.med* 個体を切断後の各種遺伝子の発現量を解析した。咽頭後方部を切断し、切断面近辺を継時的に薄くスライスした断片(図 8A の赤と青の部分)から RNA を採取して種々の遺伝子の発現量の変化を調べた。頭部断片（尾部再生）と尾部断片（頭部再生）では共に切断後 3 時間から *hes1* の発現が上がり始め、切断後 18 時間でピークになり、その後徐々に発現が下がっていることがわかる

(図 8B,C)。頭部再生領域では切断後 3 時間ですでに *hes1* の発現が 6 倍にも増えており(尾部再生領域でも 2 倍)、*hes1* は、切断の刺激を受けてすぐに応答する遺伝子である可能性が高い(図 8B,C)。頭部再生の指標として脳マーカーである *ndk* の発現を尾部断片において確認したところ、切断後 12 時間から発現の上昇が始まることが明らかとなったことから(図 8B,C)、切断後すぐに *hes1* 遺伝子の発現が開始して一連の再生過程を引き起こすスイッチが入り、切断後 12 時間ほど経過してから実際の再生へと向かう細胞分化が開始すると考えて良いのかもしれない。人為的な切断後には、創傷治癒・幹細胞の局所的増殖を経て細胞の分化が継時的に起こると考えられている。人為的に *hes1* 遺伝子の発現量を上昇させたときに自切の頻度が高まるとすれば、それは *hes1* の発現上昇後に引き起こされる再生現象を反映しているのかもしれない。実際に自切においては、1 匹のプラナリアの中に潜在的に 2 匹の個体が直列に存在し、潜在する 2 匹の個体の将来の尾部と頭部が接する面で、物理的な切断に先立って再生過程を開始している可能性が言われているが[12]、その分子的な正体として *hes1* の発現制御を考えることは興味深い。ちなみに、実験室で人為的に切断した虫を他の個体が飼育されている容器に戻すと瞬時に周囲の個体が接触してきて共食いをされることが観察されるが、自然界で自切の度に食われてしまうようでは繁殖につながらないと考えられるため、自切の前にある程度の再生過程を始めておくこと必要性はあるのだろう。なお *S.med* には、*hes2* と *hes3* という *hes* 関連遺伝子も存在する。*hes2* に関しては *hes1* と同様に RNAi により転写の上昇を示したが、*hes1* に比べて発現上昇は低く、*hes3* に関しては RNAi による発現の上昇はみられなかった(図 7)。なお、少なくとも *S.med* では、自切に hes1 が何らかの関わりを持っているようにみえるが、*S.med* とは対照的に低い頻度でしか自切を行なわない *Dj* は *hes1* を持っていないことから、自切の頻度に *hes1* の有無が関係しているのかもしれない。

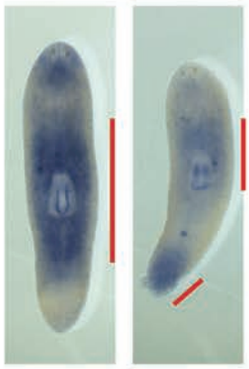


[図 8]切断面における *hes1* の発現
(A)プラナリアの切断箇所の図。頭部断片を赤色、尾部断片を青色とした。(B)頭部断片(尾部再生)での *hes1* と *ndk* の発現。(C)尾部断片(頭部再生)での *hes1* と *ndk* の発現。

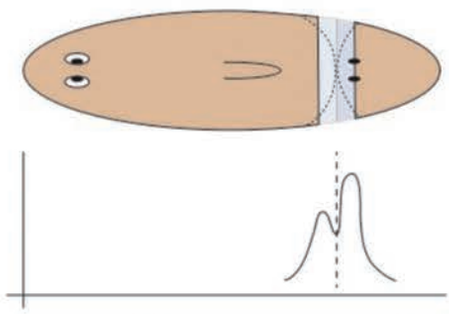


[図 9]*S.med* を 5 つの領域に分けたときの *hes1*, *hes2*, *hes3* の発現量
(A-C)*hes1* の発現量 頭部領域に強く出ているものもあれば、尾部領域で強く出ているものもいて、発現パターンは個体ごとに異なる。(D)*hes2* の発現。(E)*hes3* の発現。

次に３種の *hes* 遺伝子の頭尾軸に沿った発現量の違いを確認した。体長 1.5 cm の *S.med* を 5 等分にしてそれぞれの断片から RNA を抽出し qPCR によって発現量を調べたところ、*hes2* と *hes3* の発現は異なる 3 個体で違いはなかった(図 9D, E)が、*hes1* は実験に用いた 3 個体全てにおいて発現の強いところと弱いところが異なっていた(図 9A-C、たとえば A では第 2・4 断片での発現が強く、B では第 4・5 断片での発現が強い。また C では頭部断片に発現量の高い領域が限局する)。さらに、*in situ* hybridization 法で *hes1* の発現領域を調べたところ、発現パターンが個体によって一定ではなく、あたかも発現が振動(移動)しているかのようにみえる(図 10)。上記の結果とも併せて考えると、*hes1* の発現領域が尾部のどこかに限局したときに自切に至る分子機構のスイッチが入るのではなかろうか(図 11)。この場合、hes1 の局所的な発現による自切の開始は潜在的であり、おそらくは"*hes1* スイッチ"が on になったのち数時間〜10 時間以上を経てからから物理的な切断が生じるのではないかと考えられるため、自切における *hes1* 発現の動態を観察するには自切が起こる数時間〜半日前の状態を解析する必要があり、自切という現象を人為的に誘導できる飼育方法を見出さなくてはならないと考えている。言い換えれば、自切を徹底的に抑制して飼育し、その後に自切を誘導する条件に移すことで一定時間内に自切が始まる環境を構築したいと考えている。これまで、プラナリアが切れる条件に関しては密度・温度・光・給餌などが影響すると言われているのでそれぞれの条件に関して検討を行なった(表 1)。



[図 10]*hes1* の発現領域は個体によって異なっている



[図 11]頭部と尾部の形成は *hes1* の発現量の違いが関与しているのかもしれない

密度の影響

密度の実験には 6 穴シャーレ(φ35,58)の 1 穴に 1 匹・5 匹・10 匹のプラナリアをそれぞれ入れ、断食状態・暗所で飼育し 14 日間観察した。1 匹ずつ入れたプラナリアは 15 回/15 匹、5 匹ずつ入れたプラナリアでは 6 回/20 匹、10 匹ずつ入れたプラナリアでは 4 回/30 匹の自切が起こったことから密度が低いほど自切が起こりやすくなることが明らかとなった。

[表 1] *S.med* における密度・餌・光の条件での自切への影響

エサの影響(シャーレあたり5匹)		1匹あたりの自切の頻度
毎日給餌	5匹→(14日)→7匹	0.4回
給餌停止	5匹→(14日)→21匹	3.2回
密度(絶食・暗)		
疎	10匹(1匹x10) →20匹	1回
中	10匹(1匹x10) →13.5匹	0.35回
密	10匹(1匹x10) →11.5匹	0.15回
明暗(絶食・密・切れやすい条件)		
通常	10匹 →11匹	0.1回
明	10匹 →10匹	0回
暗	10匹 →14匹	0.4回
密度(絶食・疎・切れやすい条件)		
通常	6匹(1匹x6) →12匹	1回
明	6匹(1匹x6) →6匹	0回
暗	6匹(1匹x6) →12匹	1回

餌の影響

食事後短時間でプラナリアを切断したときに、切断された腸から消化液が出て自分自身を消化してしまうことが知られている。この視点に立てば、餌を毎日与えたプラナリアでは自切が抑制され、餌を一切与えないプラナリアでは自切が促される可能性が考えられる。上記と同様に６穴シャーレの１穴にプラナリアを５匹いれて毎日給餌する条件と絶食させる条件に置き１４ 日間観察した結果、餌ありが７回に対し餌なしでは 21 回自切が起こった（同一個体が２回切れるものいた）ことから、絶食条件に置く方が自切の頻度が優位に高かった。

明暗の影響

明条件(LED 光の下)・暗条件(アルミホイルで包んだ状態)・対照(日常の明暗)で比較した。まず、10 匹/穴(自切しづらい条件)では、明条件(自切個体は 0 回/20 匹)および対照(2 回/20 匹)条件下ではどちらもほとんど切れなかったが、暗条件では自切頻度の上昇が見られた(8 回/20 匹)。次に、1 匹/穴(自切しやすい条件)で飼育した。1 匹ずつ(合計 12 匹)を各条件下に置いたところ、暗条件および対照では(共に 6 回/6 匹)有意に自切が起きたが、明条件下ででは全く切れなかった。

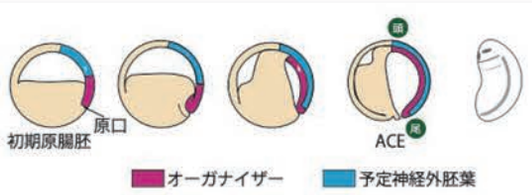
まとめると、高密度・毎日給餌・明条件では切れにくく、低密度・絶食・暗条件に置かれると自切が起こりやすいことが示された。その中でも特に光照射は自切を完全に抑制できることが明らかとなったことは興味深い。今後は飼育温度が自切の頻度に与える影響を調べ、その他の条件と組み合わせることで自切を人為的に抑制(誘導)できる飼育条件を決定し、自切機構の解明を目指したい。

3.両生類の背側構造形成に関わる胚領域

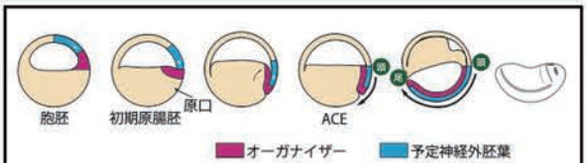
両生類の原腸形成では、三胚葉形成に伴い、頭尾・背腹・左右の三体軸および、領域化された中枢神経の形成も起こる。シュペーマンとマンゴルトは、イモリの初期原腸胚の原口背唇部を他の胚の腹側に移植すると、本来の軸とは別にふたつ目の体軸構造を形成すること、移植片自体は中軸中胚葉のみを形成し、二次体軸の大部分はホスト胚の細胞からなることを明らかにしている。これらの事実は、移植された細胞が周辺の細胞群を背側構造に誘導することを示し、この誘導能を有する原口背唇部をオーガナイザーと名付けた[14]。

従来の両生類の原腸形成運動モデル(図 12)では、初期原腸胚期にオーガナイザーが原口から胚内部へ陥入し、胞胚腔の屋根を裏打ちしながら動物極方向へさかのぼることで胞胚腔の屋根の背側領域を神経誘導するとされている。そして、中期から後期原腸胚期に、予定頭部神経外胚葉の先頭にオーガナイザーの最前方部が辿り着くと、将来の最前方部(頭部)の場所が決定される。ここでは、この二つの組織の物理的接触の確立を頭部領域確立(Anterior Contact Establishment : ACE)と呼ぶ。

これまでの研究から我々は新たな原腸形成モデルを提唱している[15,16](図 13)。新たなモデルでは、胞胚期の「胞胚腔の屋根」に並列していた予定神経外胚葉とオーガナイザーが



[図 12]従来の両生類の原腸形成モデル



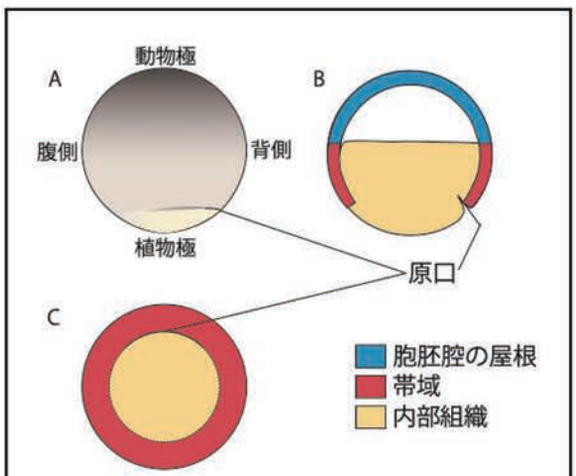
[図 13]我々が提唱している原腸形成モデル

後期胞胚期から初期原腸胚期へと至る過程で赤道領域へ降りてくる。初期原腸胚において胞胚腔の床の背側に位置するオーガナイザーが胞胚腔の屋根と床の境目を起点に谷を作るように沈み込み、谷底からジッパーを閉じるようなかたちで予定神経外胚葉と接触することで ACE が起こる(ツメガエルでは、原腸形成の開始から完了まで 20 時間かかる低温の条件において原口の出現から 3 時間以内)。このことから、将来の頭部領域は初期原腸胚の赤道領域に位置することになり、ACE で確立したオーガナイザーと予定神経外胚葉の接触は原腸形成の間ずれることはなく、体軸は植物極方向へ伸長すると考えられる。ACE が初期原腸胚で起こること、初期原腸胚の背側赤道領域に将来の頭部が形成されること、初期原腸胚の「胞胚腔の屋根」は将来の腹側表皮になることなど、このモデルが実際の原腸形成運動と矛盾しないことは様々な両生類において確認されている[16]。

本研究では、初期原腸胚を胞胚腔の屋根・帯域・内部組織と大きく 3 つの領域に分け(図 14)、それぞれの領域の一部または全部を除去することにより ACE 胚のどの領域が背側構造の形成へ関与するかについて解析を行なった。背側構造が形成されたことの指標として、外部形態の観察に加え、*in situ* hybridization により種々の組織マーカー遺伝子の発現領域を確認した。ここでいう、背側構造とは、シュペーマンの移植実験によって腹側領域で新たに生じた二次軸の構成要素を指し、神経胚における神経板・神経堤・プラコード・中軸中胚葉・体節中胚葉、尾芽胚における眼を含む完全な頭部・伸長した体軸・尾芽などの構造を意味する。

結果

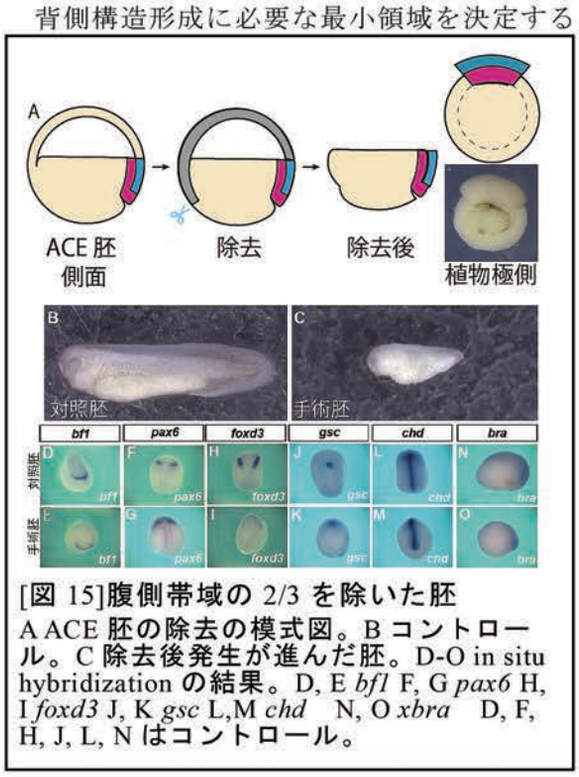
従来のモデルでは、頭部は胞胚腔の屋根に形成されると考えられていたが、新たなモデル



[図 14]初期原腸胚の領域の名称
A 初期原腸胚の外観　B 断面図　C 植物極側から見た図

では、頭部は赤道領域に形成されることから、ACE における胞胚腔の屋根は頭部の形成に必要がないと考え、ACE がおこる初期原腸胚(ACE 胚)の胞胚腔の屋根を除去した結果、腹部表皮の一部だけを欠損し、完全な頭部や伸長した軸構造を持った胚が得られた。この事実から、背側構造を形成する領域は初期原腸胚の限定された領域であることがわかる。

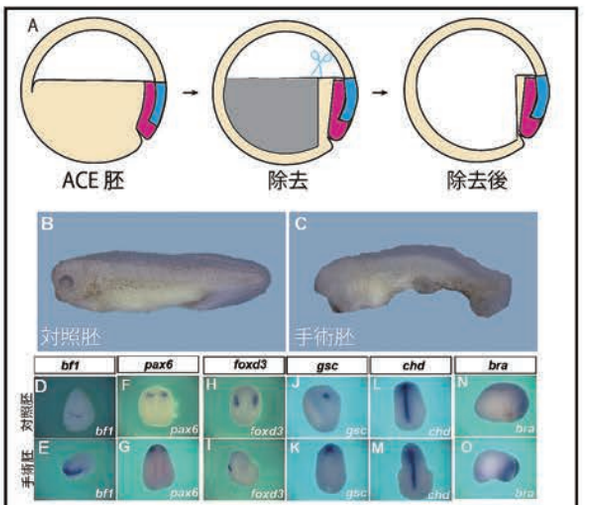
背側構造形成に必要な最小領域を決定する



[図 15]腹側帯域の 2/3 を除いた胚
A ACE 胚の除去の模式図。B コントロール。C 除去後発生が進んだ胚。D-O in situ hybridization の結果。D, E *bf1* F, G *pax6* H, I *foxd3* J, K *gsc* L,M *chd*　N, O *xbra*　D, F, H, J, L, N はコントロール。

ため、ACE 胚の胞胚腔の屋根とともに、腹側から 1/2、2/3、3/4、5/6 と段階的に帯域を取り除いて発生させることで背側構造が形成されるか確認した(図 15A)。外部形態の観察から、すべての除去実験において、対照胚よりも小さくなるものの眼やセメント腺を持つ完全な頭部構造や伸長した体軸が形成された(2/3 除去胚の表現型を図 15C に示す)。この事実は、完全な背側構造の形成に 1/6 の背側帯域で十分であることを示している。しかし、非常に小さな帯域領域を左右均等に残すことは難しく、左右対称な頭部構造を有する個体が出現する割合は非常に低かった(2/3 を除去した時の完全な頭部を形成する割合は 82.4%、3/4 を除去した時には 25%、5/6 では 11.1%)。これらの手術胚が内部まで完全な背側構造を有しているかを確認するにはさらなる解析が必要であり、完全な背側構造を有する個体を効率よく得るために、この後の解析には腹側および側方帯域を 2/3 除去した胚を解析に用いた(図 4A)。背側構造における種々の構成要素の形成を確認するために組織特異的マーカー遺伝子の発現を解析したところ終脳(*bf1*)・前脳(*pax6*)・神経堤(*foxd3*)・視床下部(*gsc*)・脊索(*chd*)・尾芽 (*xbra*)の遺伝子マーカーの発現が示された(図 15D-O)。これら結果から、胚の最外層に関して、胞胚腔の屋根と帯域の大半は不要であり、少なくとも外層に関しては帯域の背側 1/3 があれば背側構造形成には十分であることが明らかとなった。

次に、背側構造の形成に関する内部組織の必要性を確かめるため、内部組織の除去を行った。我々のモデルによると、ACE 胚において内部組織の最も背側にはオーガナイザーを含んでいると考えられる。実際に、種々のオーガナイザーマーカー遺伝子もこの領域に発現することが知られているため、オーガナイザーが存在すると推測される領域を除去しな



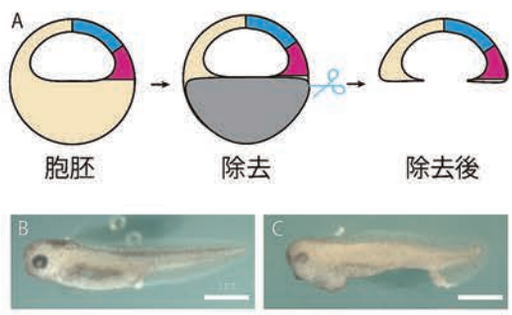
[図 16]内部組織を除いた胚
A ACE 胚の除去の模式図。B コントロール。C 除去後発生が進んだ胚。D-O in situ hybridization **の結果。**D, E *bf1* F, G *pax6* H, I *foxd3* J, K *gsc* L,M *chd* N, O *xbra* D, F, H, J, L, N **はコントロール。**

いよう、背側から背腹を結ぶ直径換算で 1/4 程度の領域を残して内部組織を除去し、発生を観察した (図 16A)。その結果、卵黄を含む腹側組織を欠失した胚になり、眼やセメント腺などの頭部構造や伸長した軸および尾部構造は形成された(図 16C)。また、*in situ* hybridization の結果から、終脳・前脳・神経堤・視床下部・脊索・尾芽のマーカー遺伝子の発現が示された(図 16D-O)。これらの結果から、手術胚は背側構造を形成し、背側構造形成に内部組織の 3/4 は必要がないことが示された。

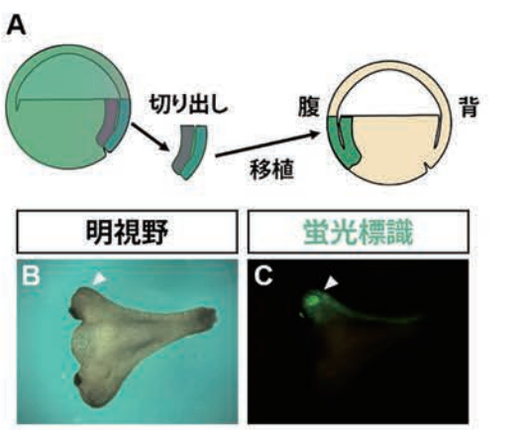
ACE 胚の腹側から側方の帯域や内部組織の大半を除いても胚の背側構造は形成されたことから、背側構造を構成する細胞は ACE 胚ではこれら狭い領域に限局すると考えられる。さらに我々のモデルから考えると、これらの領域は ACE 胚での予定神経外胚葉（図 13 の青色の領域）とオーガナイザー（図 13 の赤色の領域）に相当することから、オーガナイザーと予定神経外胚葉領域のみが背側構造の形成に参加すると推測できる。我々のモデルによると、オーガナイザーと予定神経外胚葉領

域は胞胚期では胞胚腔の屋根に存在することから、胞胚期の動物半球のみで背側構造が形成される可能性がある。この仮説を確かめるために、胞胚の植物半球を除去した胚を発生させた(図 17A)。残った領域は「大きめのアニマルキャップ」とも言える構造であり、卵黄に富む「内胚葉」組織のほとんど全てを失っている。この「大きめのアニマルキャップ」を発生させたところ、ACE 胚の内部組織を除いた時と同様に腹側がくぼんだ胚になり、眼やセメント腺を持つ完全な頭部構造や背側体軸構造および尾部構造の形成が確認された(図 17C)。この結果は、背側構造の形成にオーガナイザーと予定神経外胚葉領域があれば十分であることを否定しない。

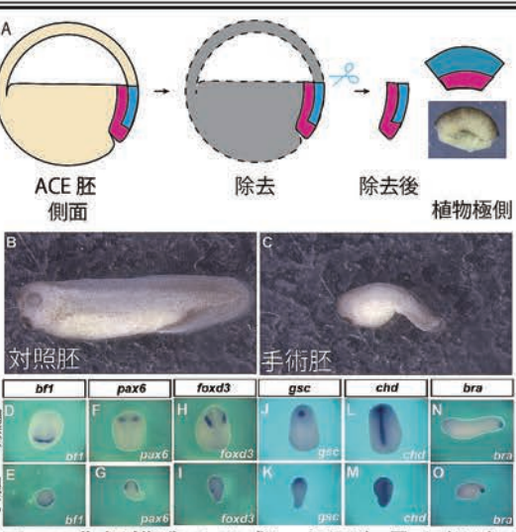
ここまでの結果から、オーガナイザーと予定神経外胚葉領域のみの小さな胚領域が背側構造の形成に関わると考えられるが、この小さな領域が ACE 胚においてすでに背側構造へと運命決定されているかは不明である。これを確認するために、この小さな領域を標識して別の胚の腹側に移植したところ、完全な頭部を含む二次体軸が生じた(図 18A,B)。オーガナイザーを腹側に移植することで二次体軸の形成が誘導されることが知られているが、この移植により形成された二次体軸は誘導によるものではなく、すべて移植片に由来することが標識実験から示され(図 18C)、この小さな領域は異所へ移植されたのちでも背側構造を形成する能力を有することがわかった。次に、単独で培養された状態でもこの小領域だけで完全な背側構造を形成するかを検証した(図 19A)。その結果、この小領域はかなり小さいものの眼やセメント腺を持つ頭部構造や背側体軸構造が形成された(図 19C)。さらに、*in situ* hybridization の結果から、終脳・前脳・神経堤・視床下部・脊索・尾芽などのマーカー遺伝子の発現が示された(図 19D-O)。これ



[図 17]植物半球を除去した胚
A ACE 胚の除去の模式図。B コントロール。C 除去後発生が進んだ胚。



[図 18]オーガナイザーと予定神経外胚葉からなる小さな領域を腹側に移植した胚
A 移植の模式図。移植胚の B 明視野、C 蛍光画像。白矢じり；移植により生じた二次体軸。



[図 19]背側構造の形成に必要な最小領域のみの胚
A ACE 胚の除去の模式図。B コントロール。C 除去後発生が進んだ胚。D-O in situ hybridization の結果。D, E *bf1* F, G *pax6* H, I *foxd3* J, K *gsc* L,M *chd* N, O *xbra* D, F, H, J, L, N はコントロール。

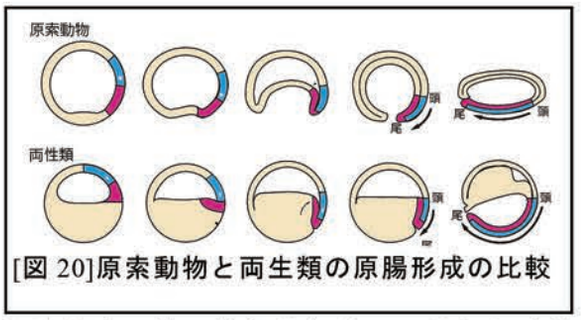
らの結果から、ACE 胚の胞胚腔の屋根・腹側および側方帯域・内部組織を除去した小さな胚領域が背側構造の形成に必要かつ十分であると考える。

考察

様々な胚操作実験から、初期原腸胚の原口から赤道に至る小さな胚領域が背側構造の形成に必要十分な領域であることが明らかとなった。この領域は、胞胚期には胞胚腔の屋根に存在することも示された。これらの事実を従来のモデルは説明できないが、我々が提唱しているモデルとは全く矛盾しない。従来の理解では、脊椎動物の原調形成運動において両生類だけが異質であり、進化の袋小路に入ったとも言われてきたが、我々のモデルを基準にすれば、卵黄の増減によって原索動物（ナメクジウオ、図20）から羊膜類（トリ、図21）に至る原腸形成運動の直接比較が可能となった。逆に、真骨魚類の原腸形成過程だけが両生類モデルとの共通性を見出しづらい結果となった。原腸胚の形態を考えると四肢動物の直接祖先と考えられる条鰭類（ポリプテルス）や肉鰭類（シーラカンス・ハイギョ）は両生類胚によく似ていることから[17]、真骨魚類の進化の過程で両生類モデルに見られる共通性から逸脱するなんらかの変化が起こった可能性を示唆する。これらのことは、脊索動物門に潜在する原腸形成過程の普遍性への理解につながる新しい視点が与えられたことを意味しているのかもしれない。

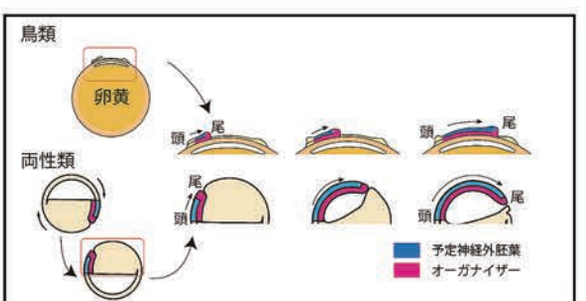
おわりに

脊椎動物を定義するともいわれる神経堤細胞とプラナリアの幹細胞で細胞分化の制御が同じ原理が働いていると考えられることは、すべての動物細胞において原則的に同様の制御機構が潜在するのではないかとも考えられる。また、外胚葉が神経や表皮へ



[図 20]原索動物と両生類の原腸形成の比較

と分化する際に神経堤細胞への分化も「積極的に」誘導されるとこれまで考えられてきたが、我々の結果から、卵割期より継続して細胞周期を維持した結果、細胞が分化応答能を獲得できず結果として「仕方なく」神経堤細胞の多分化能（未分化性）が維持されてきたと考えることができる。原腸形成運動の解析から、ツメガエルの胚体は胞胚期の「胞胚腔の屋根」から生じることが明らかとなった。これまでは、胞胚の「屋根」が外



[図 21]鳥類と両生類の原腸形成の比較

胚葉であり、帯域が中胚葉で卵黄に富む内部細胞塊が内胚葉であるとされてきたが、少なくとも胞胚の「胞胚腔の屋根」はこれまで言われてきたように「未分化外胚葉」ではなく、そこから胚体を形づくる中胚葉や内胚葉も形成されることから羊膜類のエピブラストに相当する組織ではないかとも考えられる。胞胚期の「胞胚腔の屋根（アニマルキャップ）」は*in vitro*で多分化能を有する事実からもこの考え方は支持される。この視点に立てば、胞胚期の「胞胚腔の屋根」や羊膜類のエピブラストが有する多分化能（未分化性）を、発生が進んでも分化することなくそのまま維持されたものが神経堤細胞で

あろう。このような考えは脊椎動物の進化を考える上で新しい視点を与えるかもしれない。我々の原腸形成モデルからみると、原腸形成過程での基本的な組織運動は共通であり、卵が持つ卵黄の量により見かけ上異なって見えているだけであると考えられる。卵黄の獲得による卵の巨大化、それに伴う原腸形成期での細胞数の増加などによって、何にも分化できず未分化状態を維持したまま初期発生過程を過ごす細胞が必然的に生まれ、それが脊椎動物出現のきっかけになったと考えてもそれほど間違ってはいないかもしれない。また、プラナリアの自切にhes遺伝子が関与していることもまた示されたが、種々の動物において節構造を作る過程にhes遺伝子が関わっている事実や、特に脊椎動物の体節形成過程においてhes遺伝子の発現が振動することなど、hes遺伝子による節構造の形成形成機構が進化的に保存されている可能性も考えられる。三胚葉・三体軸に加え頭部集中神経系（脳）を有する最も原始的な多細胞生物の一つである扁平動物プラナリアの研究から、脊椎動物の形作りとの共通性が見えてきたことは進化を考える上で非常に興味深い。

参考文献

1) Nagatomo, K., & Hashimoto, C. (2007). Xenopus hairy2 functions in neural crest formation by maintaining cells in a mitotic and undifferentiated state. *Dev. Dyn.*: 236(6), 1475–1483.
2) Murato, Y., & Hashimoto, C. (2009). Xhairy2 functions in Xenopus lens development by regulating p27(xic1) expression. *Developmental dynamics*, 238(9), 2179–2192.
3) Nurse P. M. (2002). Nobel Lecture. Cyclin dependent kinases and cell cycle control. *Bioscience reports*, 22(5-6), 487–499.
4) Wagner, D. E., Wang, I. E., & Reddien, P. W. (2011). Clonogenic neoblasts are pluripotent adult stem cells that underlie planarian regeneration. *Science*, 332(6031), 811–816.
5) Grohme, M. A., Schloissnig, S., Rozanski, A., Pippel, M., Young, G. R., Winkler, S., Brandl, H., Henry, I., Dahl, A., Powell, S., Hiller, M., Myers, E., & Rink, J. C. (2018). The genome of Schmidtea mediterranea and the evolution of core cellular mechanisms. *Nature*, 554(7690), 56–61.
6) Tasaki, J., Shibata, N., Nishimura, O., Itomi, K., Tabata, Y., Son, F., Suzuki, N., Araki, R., Abe, M., Agata, K., & Umesono, Y. (2011). ERK signaling controls blastema cell differentiation during planarian regeneration. *Development*, 138(12), 2417–2427.
7) Singh, A. M., Sun, Y., Li, L., Zhang, W., Wu, T., Zhao, S., Qin, Z., & Dalton, S. (2015). Cell-Cycle Control of Bivalent Epigenetic Domains Regulates the Exit from Pluripotency. *Stem cell reports*, 5(3), 323–336.
8) Lange, C., & Calegari, F. (2010). Cdks and cyclins link G1 length and differentiation of embryonic, neural and hematopoietic stem cells. Cell cycle (Georgetown, Tex.), 9(10), 1893–1900.
9) Sato Y., Umesono Y., Kuroki Y., Agata K., and Hashimoto C. (2022) Proliferation maintains the undifferentiated status of stem cells: the role of the planarian cell cycle regulator Cdh1. *Dev. Biol.* 482, 55-66
10) Arnold C.P., Benham-Pyle B.W., Lange J.J., Wood C.J. and Alvarado A.S. (2019) Wnt and TGFβ coordinate growth and patterning to regulate size-dependent behavior. *Nature* 572, 655-659
11) Malinowski PT., Cochet-Escartin O., Kaj KJ., Ronan E., Groisman A., Diamond PH., and Collins E-MS. (2017) Mechanics dictate where and how freshwater planarian fission. *Pros.Nat.Aca.Sci.USA* 114, 10888-10893
12) Herath S. and Lobo D., (2020) Cross-inhibition of Turing patterns explains the self-organized regulatory mechanism of planarian fission. *J.Theor.Biol*. 485
13) Sakurai T., Lee H., Kashima M., Saito Y., Hayashi T., Kudome-Takamatsu T., Nishimura O., Agata K., and Shibata N. (2012) The planarian P2X homolog in the regulation of asexual reproduction. *Int.J.Dev.Biol.* 56, 173-182
14) Spemann, H., Mangold, H. (1924) Induction of enbryonic primordia byimplantation of organizers from a different species. Roux's Arch Entw Mech 100: 599-638.Reprinted and translated in *Int J Dev Biol* (2001) 45: 13-38
15) Koide, T., Umesono, K., Hashimoto, C.

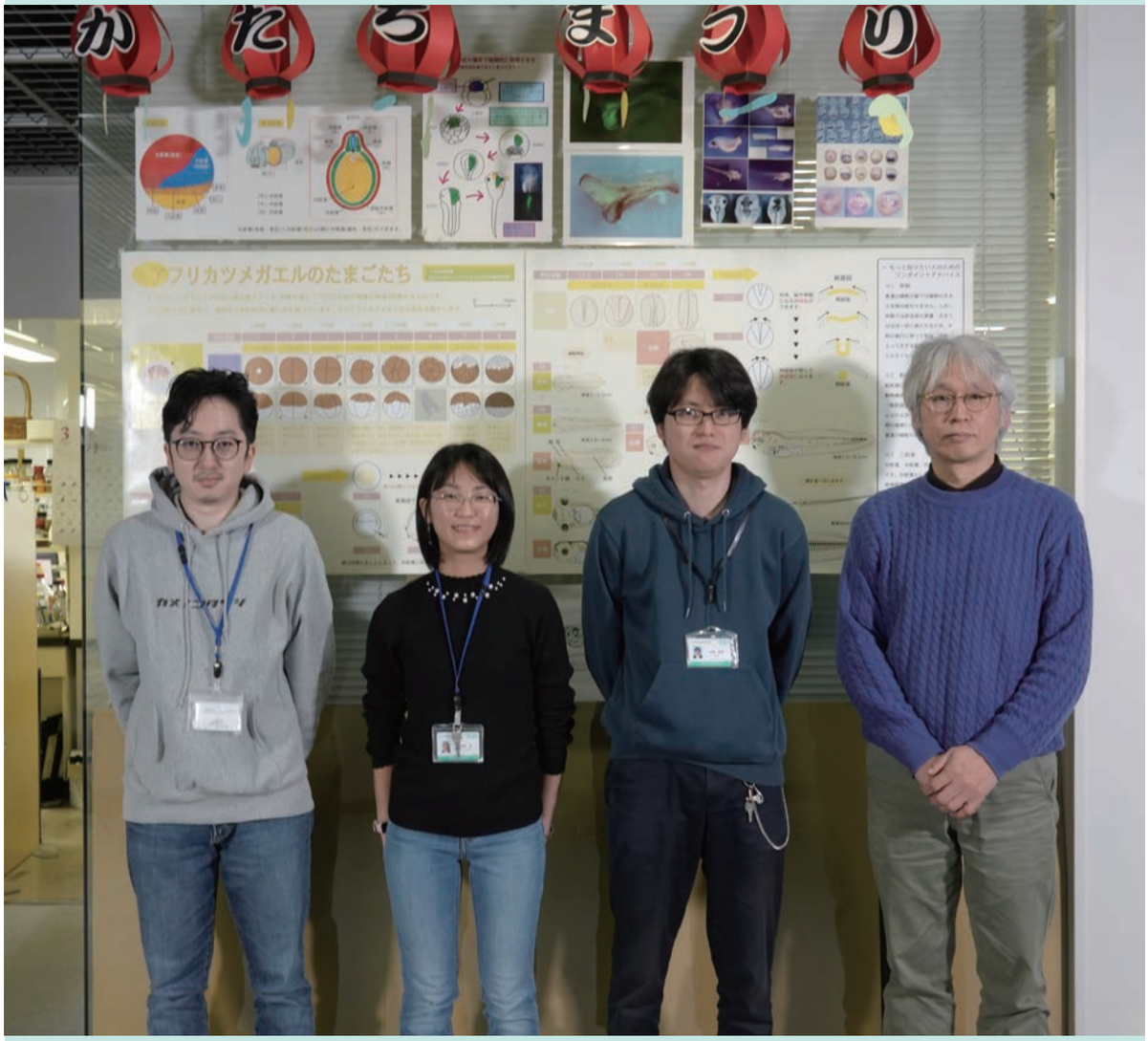
(2002) When does the anterior endomesderm meet the anterior-most neuroectoderm during Xenopus gastrulation? *Int. J. Dev. Biol.* 46: 777 – 783

16) Yanagi, T., Ito, K., Nishihara, A., Minamino, R., Mori, S., Sumida, M., Hashimoto, C. (2015) The Spemann organizer meets the anterior-most neuroectoderm at the equator of early gastrulae in amphibian species. *Dev. Growth Differ.* (2015) 57, 218–231

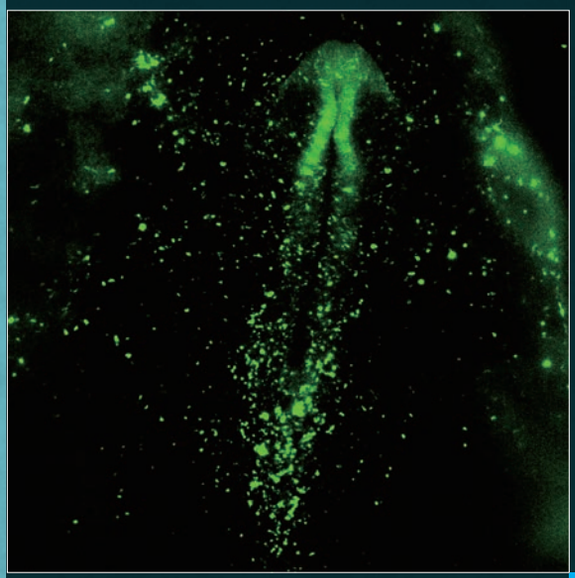
17) Takeuchi M., Takahashi M., Okabe M., and Aizawa S. Germ layer patterning in bichir and lamprey; an insight into its evolution in vertebrates. *Dev. Biol.* (2009)332: 90–102

社会に開かれた活動報告

日程	対象者	場所	行事名・内容	定量実績
2021/1/16	来館者	BRH	研究員レクチャー	5 名
2021/3/20	高等学校 教諭・生徒	龍谷大学付 属平安高等 学校	高等学校理科部生徒に対する研究指導 ・龍谷大学付属平安高等学校 ・京都先端科学大学附属高等学校 ・ノートルダム女学院高等学校	約 20 名
2021/7/29 2021/7/30	全九州高等 学校教員	別府市	九州高等学校理科教育研究会	講演会聴 衆 50 名 研究会 HP でも公開
2021/7/31	高等学校 教諭・生徒	龍谷大学付 属平安高等 学校	高等学校理科部生徒に対する研究指導 ・龍谷大学付属平安高等学校 ・京都先端科学大学附属高等学校 ・ノートルダム女学院高等学校	約 20 名
2021/9/23	来館者	BRH 水槽室	水槽室見学案内	18 名
2021/10/9 16・23・30	来館者	BRH 水槽室	水槽室見学案内	21 名
2021/10/23	高等学校 生徒	BRH	高等学校理科部生徒に対する研究指導 ・京都先端科学大学附属高等学校	2 名
2021/10/31	高等学校 教諭・生徒	龍谷大学付 属平安高等 学校	高等学校理科部生徒に対する研究指導 ・龍谷大学付属平安高等学校 ・京都先端科学大学附属高等学校 ・ノートルダム女学院高等学校	約 20 名
2021/11/6 13・14 20・27	来館者	BRH 水槽室	水槽室見学案内	50 名
2021/12/4 25	来館者	BRH 水槽室	水槽室見学案内	17 名
2021/12/25	高等学校 教諭・生徒	BRH	高等学校理科部生徒に対する、プラナリア研究のデータ共有と研究計画打合せ ・龍谷大学付属平安高等学校 ・京都先端科学大学附属高等学校	10 名



形態形成研究室の前で（2022年3月23日撮影）。



近藤顧問研究室

鳥類胚で脳形成が始まる時期の、胚前半領域のエピブラスト細胞の移動について、高解像度・長時間のライブイメージング技術を用いて、初めて詳細な研究が行われた。その結果、エピブラスト細胞の長距離（mm）に及ぶ移動とAME（anterior mesendoderm）との相互作用によって、脳組織が形成されることが明らかになった。

室長　近藤寿人

脊椎動物の脳と頭部はどのようにしてできるか

近藤顧問研究室
顧 問　　近藤 寿人

1. 概要

エピブラストは、胚の中の全ての体細胞を生み出すもとの組織である。そのエピブラストの前方の領域から脳が生まれるが、その過程は全く研究されて来なかった。本研究では、まず、エピブラスト全体にわたってランダムに離散的に蛍光標識する方法を開発した。そして、エピブラストと AME (anterior mesendoderm) 組織の発生とを同時にライブイメージングして、細胞群の経時的な変化を捉えた。そして、脳及び脳を取り巻く組織からなる頭部の発生に関わる細胞の移動と組織間の相互作用を研究した。その結果、脳及び頭部は、これまで想像されていたのとは全く異なった調節機構のもとで、エピブラストから発生するものであることが明らかになった[1]。

2. 研究の背景

脊椎動物の脳と頭部はどのようにしてできるのか？胚発生の中でも重要なこの過程は、実は全く研究されて来なかった。その背景には、「中枢神経系は脳から脊髄まで、同等(equivalent)なプロセスでできる」、あるいは「脳はオーガナイザーによって誘導される」といった誤った言説の流布があったと推測されるが、いずれにせよ、現代的なそして先入観を排した方法で、この課題に取り組む必要があった。

神経系の成立に不可欠な転写因子遺伝子 *Sox2* を活性化するためのエンハンサーN2 が、ニワトリ胚やマウス胚のエピブラストの前半分全体で活性を持つ[2][3]――つまり、*Sox2* を発現させる潜在活性が、エピブラストの前半分全体にある――にもかかわらず、通常の発生での脳（前側の神経系）の前駆体が、前部エピブラストのうち、ノードの前側に位置する領域に限定されている[4]。このことが、脳の成立機構に重要なヒントを与えていると考えて、以下の研究を行った。(本研究は、前任地である京都産業大学で実施した研究に、2021 年度に JT 生命誌研究館で日本学術振興会からの科学研究費により実施した研究を追加して完成した)。

3. 研究の内容

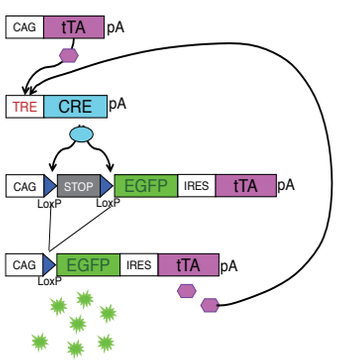
(1) 実験１：前部エピブラストの細胞移動と脳形成の関連をライブイメージングによって解析する

まず、ニワトリ胚のエピブラスト（体の組織のもと）を、万遍なくまばらに緑の蛍光タンパク質(EGFP)でマークする方法を開発した。国立遺伝学研究所の岩里・水野グループが開発していた、マウス胚の脳のクローンを標識する方法[5]をもとに、上記の目的を満たすように導入遺伝子の構成を変えた(Supernova 法)。図 1A に示す３種類の遺伝子を同時にエレクトロポレーション法を用いて培養ニワトリ胚のエピブラストに導入すると、3 時間以内にはかなりの細胞が輝点として標識され、ライブイメージングによって、その後の細胞移動を追跡することができるようになった（図 1B)。この方法を用いて、孵卵 25～40 時間の間に起きる前部エピブラスト細胞群の移動と、脳の形成との関係を分析した。図１C は、標識された細胞の軌跡を描いたものである（自然科学研究機構生命創成探究センター 加藤輝氏の協力を得た）。胚の前側の広い領域から胚の中心線に向かって、エピブラストの細胞が集まり、早い時期に集まった細胞が脳になり、遅れて集まってきた細胞が、脳を覆う頭部外胚葉に発生することがわかった。細胞が集まる部分のエピブラストは AME（将来、脊索前板と前部脊索になる）という組織に裏打ちさせている。

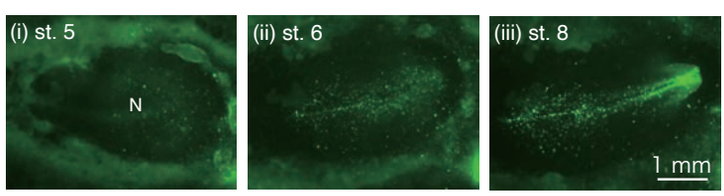
図１ Supernova法で標識されたエピブラスト細胞が、どのように移動して胚の部分を作るかを調べる

A

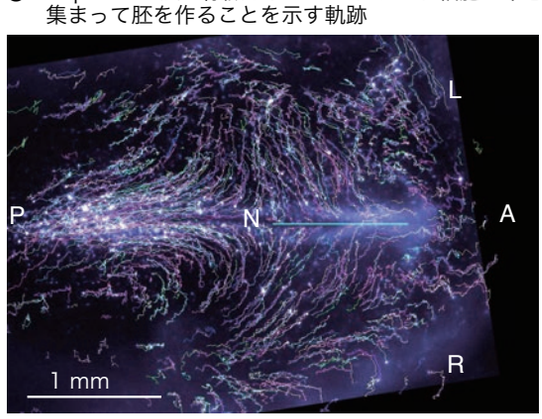
エピブラストをまばらに明るく標識するSupernova法：
3種類のvectorsをepiblastにelectroporationしてEGFPを発現する細胞を散在させる。



B Supernova法で標識されたエピブラストからのニワトリ胚の発生



C Supernova法で標識されたエピブラスト細胞が中心線に向かって集まって胚を作ることを示す軌跡



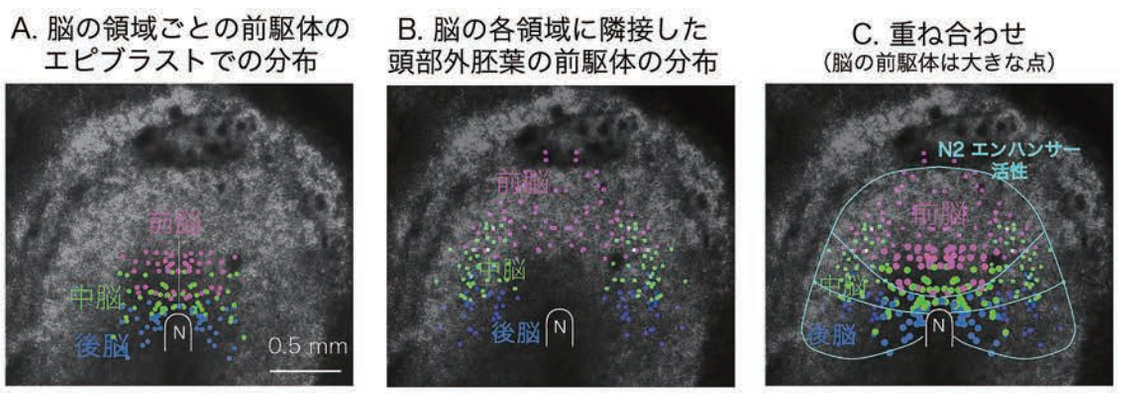
A 前側
P 後側
L 左側
R 右側
N st. 5での
ノードの位置

(2) 実験２： Supernova 法で標識されたエピブラスト細胞を、脳領域から逆追跡して、各脳領域の前駆体の孵卵 20 時間あたりでの分布、また、脳領域に隣接した頭部外胚葉の前駆体の分布を調べる

この解析の結果、脳の前駆体の孵卵 20 時間あたりでの分布が、高解像度で明らかになった。脳の前駆体はノードの前端から 500 μm、両側 400 μm のエピブラスト領域に分布しており、この領域の中で、前脳・中脳・後脳の前駆体が、この順番で前後に配置されていることがわかった（図 2A)。また、脳領域に隣接した頭部外胚葉の前駆体は、それぞれの隣接脳領域につながる形で左右・前方に広がっており(図 2BC)、脳の前駆体と頭部外胚葉の前駆体を合わせたエピブラスト細胞の分布は、*Sox2* を発現する潜在能力を示す N2 エンハンサーの活性の範囲と一致していた(図 2C)。

これらのことから、(1)胚の前半分のエピブラストは、孵卵 20 時間ではすでに、「脳か頭部外胚葉かのいずれかに発生する」ように発生能が限定されている可能性。つまり、エピブラストの前側の領域であればどこでも、細胞は脳に発生する能力を持つ可能性。(2)頭部の中心線に向かって集合するエピブラスト細胞の中で、早く中心線に達したものが脳に発生し、(遠方から集合するために）到達が遅れたものが、隣接する頭部外胚葉になる可能性。これらが示唆された。

図2 脳の領域ごとの前駆体のエピブラストでの分布と、それに隣接した頭部外胚葉の前駆体の分布は連続している



(3) 実験３：孵卵 20 時間胚（ステージ 4）のノードを別の胚に移植する

上に述べた可能性を検討するために、これまで脳の発生に重要な役割を果たすとされてきたノードを、前部エピブラスト領域に移植して、その効果を解析することにした。これまで、このタイプの実験は行われたことがなかったので、まず、移植されたノードが宿主胚の環境下でどのように発生するのかを検討した。この目的のために、University of Southern California の Rusty Lansford のグループによって開発され、九州大学の佐藤有紀氏の尽力で日本に導入された、mCherry（赤色蛍光タンパク質）を全身で発現するトランスジェニック(Tg)ウズラの胚[6]のノードを使用することにした。ウズラとニワトリの発生は、孵卵 10 日あたりまでは、形態も発生段階も同等に進行する。Tg ウズラの受精卵は、それが寄託された、ナショナルバイオリソースプロジェクト「ニワトリ・ウズラ」（中核機関：

名古屋大学大学院生命農学研究科附属鳥類バイオサイエンス研究センター、代表者：松田洋一氏、担当:中野、布目氏）からふんだんに提供を受けることができた。この移植を効率よく行うためには、濾紙のリングで胚をしっかりと保定するという、私たちが工夫した胚培養法[2]が役に立った。また、卒業研究から修士課程にいたる３年間に 1000 を超える移植実験を行った吉氷康矢氏をはじめとする、当時の研究室メンバー（寺元、飯田、渡邊、河村、石井氏）の冴えた技が結実した。

ニワトリ胚に移植された Tg ウズラ由来のノードをライブイメージングで追跡した結果、次のことがわかった（図３）。(1)ニワトリ胚のノードを Tg ノードで置換すると、まず前方に AME（のちに脊索前板 PP と前部脊索 ANC に発生する）が伸び出し、遅れて後部脊索(PNC)が伸び出し、移植されたノード組織は全てこれらの組織に発生してしまって、ノード組織としては残らなかった。(2)しかし胚の前半部に移植された Tg ノードは、AME を前側に伸長するのみであった。その伸長した AME に裏打ちされる形で、宿主由来細胞からなる第 2 の脳が発生した。(3)胚の後半部に移植された Tg ノードは、PNC を伸長するのみで、第 2 の脳の発生をもたらすことはなかった。

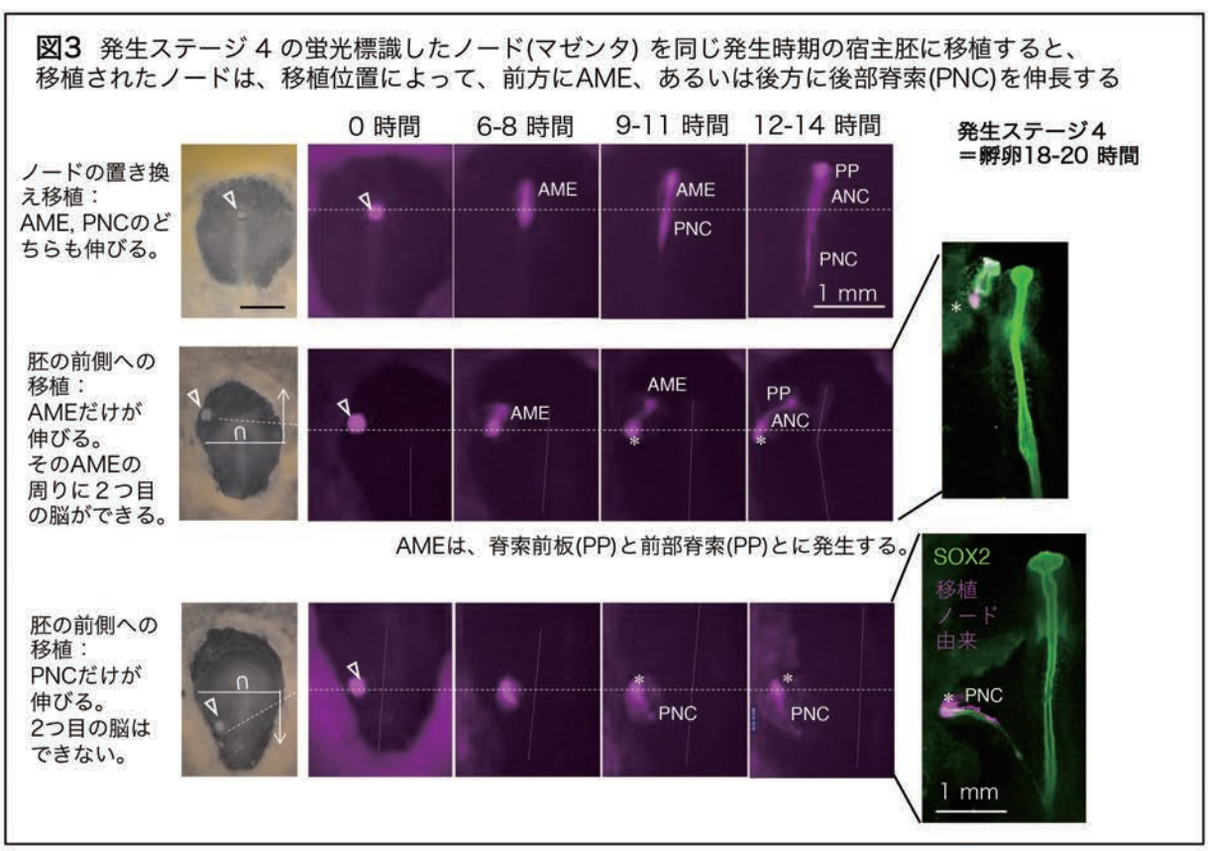
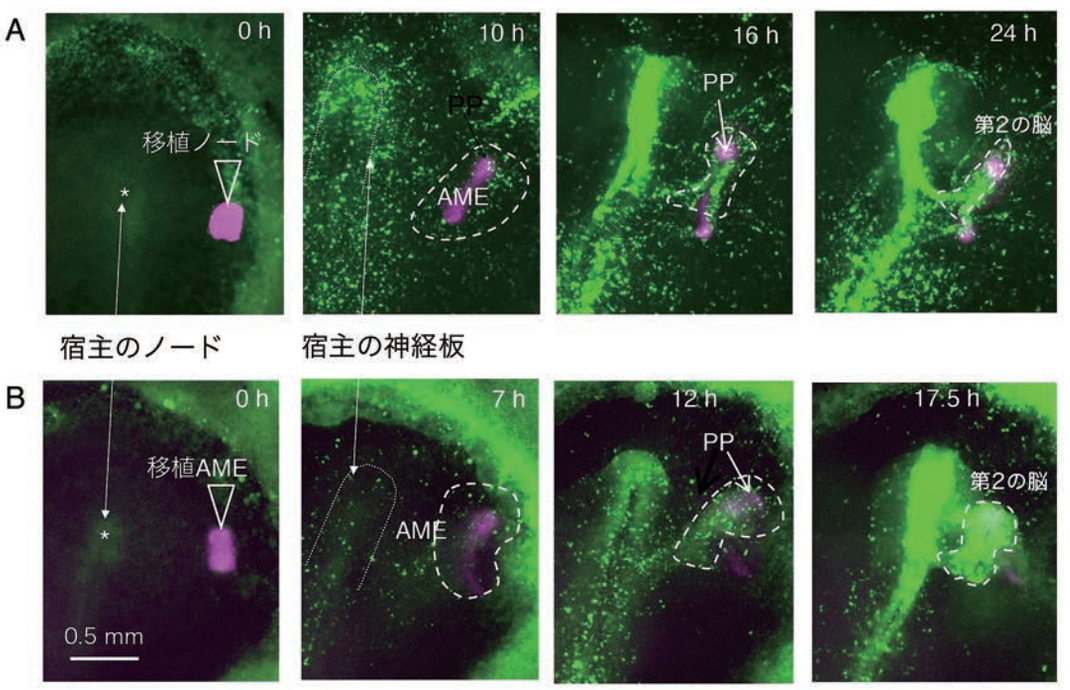


図3 発生ステージ４の蛍光標識したノード(マゼンタ) を同じ発生時期の宿主胚に移植すると、移植されたノードは、移植位置によって、前方にAME、あるいは後方に後部脊索(PNC)を伸長する

(4) 実験 4: 宿主細胞の移植 AME への集合と 2 つ目の脳への発生を live imaging で追跡する

胚の前半部に移植された Tg ノードが AME を伸長し、その結果として第 2 の脳が宿主細胞から作られる過程を、Supernova(EGFP)標識ニワトリ宿主と移植 Tg(mCherry)の組み合わせでの、蛍光ライブイメージングによって追跡した（図 4)。その結果、宿主エピブラストは移植後のノードには反応しないが、Tg ノードから AME が伸長すると、その周囲のエピブラスト細胞が Tg AME の周りに集まって第 2 の神経板を作り、それが第 2 の脳に発生した(図 4A)。これが AME への集合であることを確かめるために、すでに伸長しはじめた AME を直接移植すると、上記と同等のプロセスを経て、第 2 の脳が発生することが確認された(図 4B)。また、孵卵 20 時間あたりの発生段階の前部エピブラストにすでに、AME に向かって集合する活性があることもわかった。

図4 胚の前部に移植されたノードからAMEが伸び出した場合(A)でも、AMEを直接移植した場合(B)でも、そのAMEのまわりに近傍のエピブラスト細胞が集合し（破線）その集合した細胞が第2の脳を作る



(5) 実験 5: 第 2 の脳に作られる領域は、AME の移植位置によって決まる

実験 4 を通じて、2 つ目の脳が、前脳・中脳・後脳のうちどの領域を持つのかが、ノードや AME の移植場所に依存することが明らかになってきた。このことをより詳しく解析するために、移植後（図 5A）に伸びきった状態での AME の前端と後端の位置と、その AME に集まったエピブラストが作る第 2 の脳の領域の対応を調べた。第 2 の脳の領域は、*Otx2* の発現（前脳・中脳）、*Gbx2* の発現(後脳)と、形態的な特徴で判断した(図 5B)。その結果、第 2 の脳の領域と、予定脳領域の外側のエピブラストの領域性(図 2B)とが、よく対応することがわかった（図 5C)。

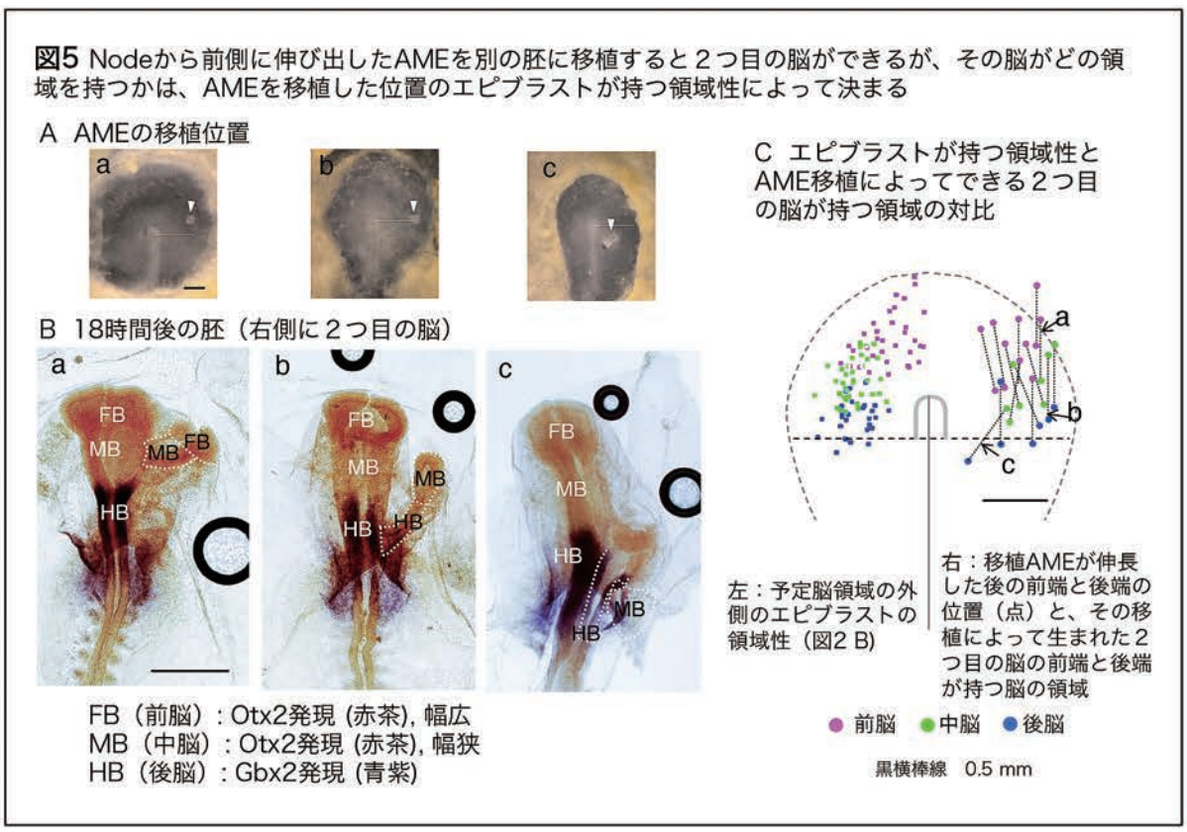


図5 Nodeから前側に伸び出したAMEを別の胚に移植すると２つ目の脳ができるが、その脳がどの領域を持つかは、AMEを移植した位置のエピブラストが持つ領域性によって決まる

4. 結論

以上に述べた一連の実験の結果から、次のことが結論された。

1. 前部エピブラスト（胚前半のエピブラスト）全体が、脳にも頭部外胚葉にも発生する能力を持つ。
2. 前部エピブラストには、同時に、前方から後方に向かって配置された、前脳・中脳・後脳の前駆体となる領域性があらかじめ備わっている。
3. 胚の前半部のどの場所であっても、AME が供給されると、前部エピブラストの細胞は、AME に向かって集合し、その集合の中心部が脳に、その周辺部が頭部外胚葉に発生する。
4. 集合した前部エピブラストの細胞があらかじめ持っていた領域性によって、脳の

どの部分ができるかが決まる。

5. ノードには、前部エピブラストを集合させる活性はない。ノードは頭部の発生において、単に AME の供給源としてのみ働く。

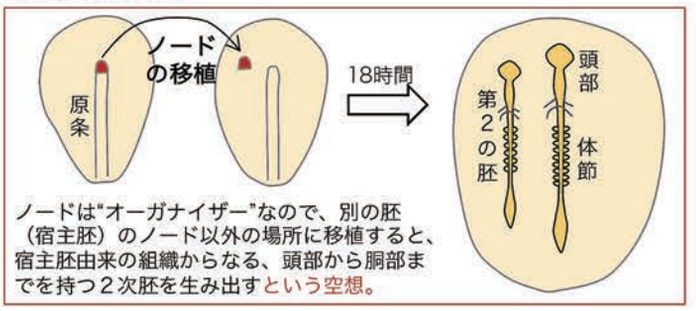
5. 結論から帰結される過去のモデルの誤り

以上が、本研究が明らかにした脳形成の機構であるが、このことは、「ノードがオーガナイザーである」という仮定で作り上げられた過去のモデルを否定するものである。そのことについて、少し解説を加えたい。

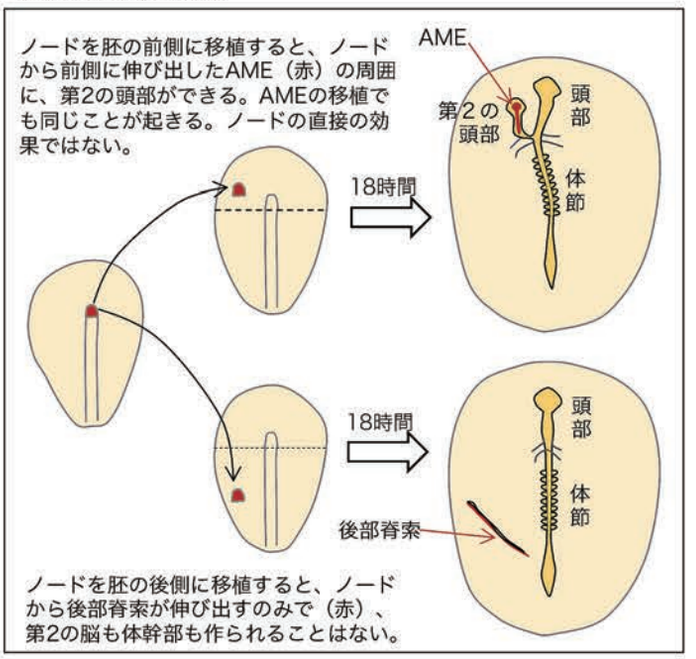
1920 年代初頭に Hans Spemann のもとで Hilde Mangold が行った実験をもとに、両生類胚の原口背唇部をオーガナイザーと呼ぶことが提唱されたが、それには、当時から様々な観点から異論があった。しかしいつの間にか、「オーガナイザー」という仮説的な組織が神格化され、さらに、『他の脊椎動の胚の発生も「オーガナイザー」という中核的な組織の働きに依存して発生するはずである』と考えられ、そして、哺乳類と鳥類の胚ではノード（ヘンゼン結節とも呼ばれる）いわれる小領域が、実験に基づく根拠があやふやな状況で「オーガナイザー」であると決め付けられてしまった。そしてさらに、鳥類の場合として、図 6A のような図がまことしやかに教科書に描かれるようにさえなった。このような実験は、私たちが実行するまで行われたことはなかったし（実際には、胚の培養技術を改善して初めて可能になった難しい実験）、今回の一連の実験の結果からもこの図のような結果は決して得られることはない。科学からの逸脱と言わざるを得ない。

図6

A 国際的なレベルの教科書に、しばしば描かれている図：これは決して起きない



B 実際に起きること



ここでオーガナイザーに期待された働きをまとめておこう。

- 胚細胞の大掛かりな移動（原腸陥入）が起きている領域あるとともに、別の胚（宿主胚）の他の場所に移植すると（例え不完全

であったとしても）主に宿主胚の細胞から構成される２つ目の胚構造を生み出すという働きをするもの。

- ２つ目の胚構造を構成する胚の部分としては、(1)頭部、(2)骨格や筋肉のもととしての沿軸中胚葉組織、(3)心臓そのほかの広汎な組織を生み出す側板中胚葉、(4) 胴体の中心線に沿って伸びる、もう一つの中胚葉組織である脊索、(5)消化管のもとになる内胚葉組織、(6)そのほか、胚をつくりあげるに必要な組織前駆体群、それらが作られなければならない。

鳥類は哺乳類の胚で原腸陥入（エピブラストの細胞が、その下層に落ち込んでゆく細胞移動）が起きているのは、原条とその端に生まれるノードという構造（細胞が入れ替わる動的な組織）の場所だが、時間と場所で、それぞれ生み出すものが異なっている。ニワトリ胚で具体的に示すと次のようになる。

1. 孵卵 14–17 時間の原条：(3)(4)の中胚葉組織を生み出す。
2. 孵卵 17 時間あたりに原条の先端にできかけるノード: 内胚葉組織（消化管の前駆体）を生み出す。
3. 孵卵 20–27 時間にノードから前方に伸びだす AME：エピブラスト細胞を集合させて、脳を中心とした頭部を生み出す。
4. 孵卵 25—30 時間のノード：後側の脊索を生み出す。

これら、時間も場所もバラバラの、エピブラストの下層への落ち込みに関わる胚領域の作用を足すとやっと、両生類でいわれる「オーガナイザー」に近いものになる。言い換えれば、ニワトリ胚には（そして鳥類胚、哺乳類胚一般についても）「オーガナイザー」というべき単一の組織は存在しない。さらに見方を変えれば、両生類の発生は特殊な組織構成のもとで進行するために、上に述べた１～４の異なった組織とそれらの働きが、狭い領域と時間帯に凝縮されているために「オーガナイザー」と表現したくなるような胚領域が見出されるのではないかと考えられる。この考察は、私たちの実験の結果からもたらされたものであるが、他の研究者も同じ結論に達している。マウス胚と両生類胚を中心とした、現代的な研究結果を詳細に比較検討した Alfonso Martinez Arias（マウス胚の研究者）と Ben Steventon（両生類胚の研究者）は、「両生類のオーガナイザーが、異なった特異的な作用を持つ要素が偶然に集まってできたものであるのに対して、オーガナイザーを構成するそれらの要素は、他の（脊椎動物）種では、時間的にも空間的にも分散された状態で存在している。」と結論している[7]。両生類胚についても、個々の細胞の時々刻々の変化を追跡した解析を行えば、他の脊椎動物種との共通性が確認され、古典的な「オーガナイザー」説から抜け出すことができるのではないかと期待している。

図 1 から図 5 までは、参考論文[1]の図をもとに説明を加えたものである。

参考論文

1. Yoshihi K, Kato K, Iida H, Teramoto M, Kawamura A, Watanabe Y, Nunome M, Nakano M, Matsuda Y, Sato Y, Mizuno H, Iwasato T, Ishii Y, Kondoh H. Live imaging of avian epiblast and anterior mesendoderm grafting reveals the complexity of cell dynamics during early brain development. Development. 2022 Feb 8:dev.199999. doi: 10.1242/dev.199999.
2. Uchikawa M, Ishida Y, Takemoto T, Kamachi Y, Kondoh H. Functional analysis of chicken Sox2 enhancers highlights an array of diverse regulatory elements that are conserved in mammals. Dev Cell. 2003 Apr;4(4):509-19. doi: 10.1016/s1534-5807(03)00088-1.
3. Iwafuchi-Doi M, Yoshida Y, Onichtchouk D, Leichsenring M, Driever W, Takemoto T, Uchikawa M, Kamachi Y, Kondoh H. The Pou5f1/Pou3f-dependent but SoxB-independent regulation of conserved enhancer N2 initiates Sox2 expression during epiblast to neural plate stages in vertebrates. Dev Biol. 2011 Apr 15;352(2):354-66. doi: 10.1016/j.ydbio.2010.12.027.
4. Fernández-Garre P, Rodríguez-Gallardo L, Gallego-Díaz V, Alvarez IS, Puelles L. Fate map of the chicken neural plate at stage 4. Development. 2002 Jun;129(12):2807-22. doi: 10.1242/dev.129.12.2807.
5. Mizuno H, Luo W, Tarusawa E, Saito YM, Sato T, Yoshimura Y, Itohara S, Iwasato T. NMDAR-regulated dynamics of layer 4 neuronal dendrites during thalamocortical reorganization in neonates. Neuron. 2014 Apr 16;82(2):365-79. doi: 10.1016/j.neuron.2014.02.026.
6. Huss D, Benazeraf B, Wallingford A, Filla M, Yang J, Fraser SE, Lansford R. A Transgenic quail model that enables dynamic imaging of amniote embryogenesis. Development. 2015 Aug 15;142(16):2850-9. doi: 10.1242/dev.121392.
7. Martinez Arias A, Steventon B. On the nature and function of organizers. Development. 2018 Mar 9;145(5):dev159525. doi: 10.1242/dev.159525.

Ⅳ

Publish

発表

発　表

１．著書・共著・対談集など

永田和宏

（2021）『未来の科学者たちへ』KADOKAWA（大隅良典と共著）
（2021）『置行堀（おいてけぼり）永田和宏第十五歌集』現代短歌社
（2021）『ちょっといい話 第 15 集』東方出版（共著）
（2021）『学問の自由が危ない　日本学術会議問題の深層』晶文社（共著）
（2021）『知の体力（韓国語版）』

蘇智慧

（2021）『遺伝学の百科事典』（日本遺伝学会編集）丸善出版（共著）
※【13 遺伝と多様性】執筆担当

２．論文

永田和宏

Yamashita, R., Fujii, S., Ushioda, R., & **Nagata, K.**
Ca2+ imbalance caused by ERdj5 deletion affects mitochondrial fragmentation
Scientific Reports 11, Article number: 20772 (2021)

Ito, S., & **Nagata, K.**
Quality control of procollagen in cells
Annu. Rev. Biochem. 90 : 631-658 (2021)

宇賀神篤，尾﨑克久

Ugajin, A., & Ozaki, K.
Co-expression of three odorant-binding protein genes in the foreleg gustatory sensilla of swallowtail butterfly visualized by multicolor FISH analysis
Frontiers in Insect Science 1: 696179 (2021)

小田広樹

Nishiguchi, S. and **Oda, H.**
Structural variability and dynamics in the ectodomain of an ancestral-type classical cadherin revealed by AFM imaging.
Journal of Cell Science 134, jcs258388. https://doi.org/10.1242/jcs.258388 (2021)

蘇智慧

Uozumi, T., Ishiwata, K., Grygier, M.J., Sanoamuang, L.-O., & **Su, Z.-H.**

Three nuclear protein-coding genes corroborate a recent phylogenomic model of the Branchiopoda (Crustacea) and provide estimates of the divergence times of the major branchiopodan taxa.
Genes & Genetic Systems 96, 13-24 (2021)

Okamoto, T., & **Su, Z.-H.**
Chemical analysis of floral scents in sympatric *Ficus* species: highlighting different compositions of floral scents in morphologically and phylogenetically close species.
Plant Systematics and Evolution 307, 45 (2021)

佐藤勇輝、橋本主税

Sato, Y., Umesono, Y., Kuroki, Y., Agata, K., & **Hashimoto, C.**
Proliferation maintains the undifferentiated status of stem cells: the role of the planarian cell cycle regulator Cdh1
Dev. Biol. 482, 55-66 (2022)

３．評論・随筆

（１）新聞

永田和宏

「【喪の旅】言葉をたどる　妻がどんどん近くなる　思い出しては三十一文字に寂しさ刻んだ 10 年」朝日新聞（2021.1.13）
「京産大　永田名誉教授が最終講義「研究続けていく」」毎日新聞（2021.1.20）
「【read&think 考える】永田和宏京産大名誉教授 最終講義 科学も短歌も「2 倍の人生」」朝日新聞（2021.1.23）
「短歌と科学「人の 2 倍、人生を楽しめた」永田和宏・京産大名誉教授が最終講義」朝日新聞（2021.2.3）
「【天眼】ヘンな奴ら」京都新聞（2021.2.7）
「【医療ルネサンス】 詠んで生きる・がん ４／５ 療養に歌は両刃の剣でも」読売新聞（2021.3.4）
「【医療ルネサンス】 詠んで生きる・がん ５／５ 残された歌 家族を結ぶ」読売新聞（2021.3.5）
「【天眼】マスクは冬の季語ならず」京都新聞（2021.4.18）
「常夜灯」高知新聞（2021.5）
「【天眼】言葉は究極のデジタルである」京都新聞（2021.7.4）
「書架散策　木村敏著『時間と自己』」しんぶん赤旗（2021.9.5）
「【天眼】失敗へのチャレンジ」京都新聞（2021.9.19）
「【追悼抄】益川敏英さん 2008 年ノーベル物理学賞受賞 未知の粒子 大胆に予言」読売新聞（2021.9.22）
「京産大「細胞の健康」保つ酵素特定 小胞体でカルシウムイオン調節 アルツハイマー治療に応用も」京都新聞（2021.11.3）
「【天眼】科学的な考え方を社会へ」京都新聞（2021.12.5）

「歌人の永田和宏さん岐阜で講演 コロナ禍の日常 人間関係も変化」中日新聞
(2021.12.6)

蘇智慧

「（科学・医療）：共進化「特定の植物と昆虫　助け合い」」読売新聞
(2021.11.5)

（２）雑誌他

永田和宏

「タンパク質動態研究所とタンパク質科学研究」（鼎談：嶋田一夫・永田和宏・遠藤斗志也）『タンパク質動態研究所年報』京都産業大学タンパク質動態研究所
(2021.1.28)
「最後の「はじめに」―退職にあたって」『タンパク質動態研究所年報』
京都産業大学タンパク質動態研究所（2021.1.28）
『新学術領域研究「温度を基軸とした生命現象の統合的理解」報告書』
新学術領域研究　温度を基軸とした生命現象の統合的理解事務局（2021.3）
「わが嵯峨野高等学校 ― おもしろい先生ばかりだった（特別寄稿）」
『京都府立嵯峨野高等学校創立 70 周年記念誌』京都府立嵯峨野高等学校（2021.3）
「死と時間」『月刊住職 3 月号』興山舎（2021.3.1）
「コロナ的非日常の日常」『學鐙』丸善出版（2021.3.23）
「二十二世紀への提言「記憶を更新しつづける歌」」
『坂の上の雲ミュージアム通信 小日本第 40 号』坂の上の雲ミュージアム（2021 年春号）
「コロナの時代をどう生きるか」『代々木 春号』明治神宮（2021.4.1）
「【学術の風景】オンライン国際会議と日本のサイエンス」『学術の動向』
公益財団法人日本学術協力財団（2021.4.1）
「文系・理系 10 学部、約 1 万 5000 人が学ぶワンキャンパスが人材を育てる」
『PRESIDENT』プレジデント社（2021.4.2）
「「コラーゲン特異的分子シャペロン Hsp47 をターゲットとした繊維化疾患治療戦略」伊藤進也・永田和宏　『胆肝膵』アーク・メディア（2021.4.28）
「短歌、恋人との出会い、落ちこぼれの経験が人生に計り知れない可能性を与えてくれた」『京都大学創立 125 周年に寄せて』京都大学ホームページ（2021.5.20）
「新型コロナウィルス感染症に対する提言 2021」
※菅総理、田村大臣、河野大臣、西村大臣へ提出（2021.6.1）
「【梅花馥郁】漢字で遊ぶ」長岡天満宮社報『紅梅白梅』長岡天満宮（2021.7.15）
「かけがえのない友人たち ― 分野の草創期からリアルタイムに併走して来て」
『BSSR Japan NEWS LETTER』日本臨床ストレス応答学会（2021.7.30）
「自然の豊かさ、生活の豊かさは何気ない日常のなかにこそある」
『日本人の忘れもの　知恵会議』京都新聞出版センター（2021.8）
「こころにひかる物語「貴船の螢」」『かまくら春秋 8 月号』かまくら春秋社
(2021.8.1)
「【学術の風景】IOC と Nature,Cell,Science」『学術の動向』
公益財団法人日本学術協力財団（2021.8.1）

「【アトモスフィア】コントロールこそがサイエンスの基本である ― コロナ禍に思う」
『生化学』公益社団法人日本生化学会（2021.9.1）
「わが人生最高の１０冊」『週刊現代』講談社（2021.9.25）
「研究者として、歌人として、2倍苦しんだけれど、2倍楽しむことができました（岸本忠三先生と対談）」『千里ライフサイエンス振興財団ニュース』公益財団法人千里ライフサイエンス振興財団（2021.10）
「「象徴の歌」から見える平成という時代（講演録）」『清水』清水寺（2021.10.31）
「小胞体局在還元酵素 ERdj5 の機能不全は細胞内のカルシウムバランスを撹乱し、ミトコンドリアをバラバラに断裂化することで細胞老化を亢進し個体寿命に影響を与えることを解明」京都産業大学 広報（2021.11.3）
「【学術の風景】AlphaFold Shock - 構造生物学の大激震」『学術の動向』公益財団法人日本学術協力財団（2021.12.1）

４．学会などの発表

（１）特別講演・シンポジウム講演等

永田和宏

日本臨床ストレス応答学会 特別講演「熱ショックタンパク質からプロテオスタシスまで：領域発展の現場にあって 35 年」（2021.11.19 大阪）
日本脳神経血管内治療学会 学術集会特別講演「科学者として〈いま〉何を考えるか」（2021.11.26 福岡）
FASEB Meeting (Invited talk)“The Endoplasmic Reticulum”“Quality control of procollagen in the ER by Hsp47”（2021.6.23 オンライン）
熊本大学 Career motivational lecture “Science and Me”（Invited lecture）
“Zig-zag pathway of my research career: Looking for the scientific fun”
（2021.7.2 オンライン）

宇賀神篤，尾﨑克久

ナミアゲハの前肢に発現する味覚関連遺伝子群の発現解析
第 65 回日本応用動物昆虫学会大会（2021.3.24）

宇賀神篤

発熱はツラいが役に立つ－ニホンミツバチの集団防衛行動「熱殺蜂球形成」－
第 65 回日本応用動物昆虫学会大会　小集会「昆虫免疫夜話 VI」（2021.3.26）
アゲハチョウの食草認識に関わる味覚関連遺伝子群の解析
日本動物学会第 92 回大会 サテライトシンポジウム「非モデル生物を材料とした神経行動学のイマとミライ」（2021.9.1）

尾崎克久

アゲハチョウ食性進化の可能性は共通祖先由来の解毒関連遺伝子に支えられていた

第 44 回日本分子生物学会年会（2021.12.1）

小田広樹

藤原基洋、小田広樹　オオヒメグモ胚の形状変化は、体軸の向き情報を基に自己組織化された細胞の力により達成される．　日本動物学会第 92 回大会（2021.9.2-4 オンライン）
赤岩孝憲、秋山-小田康子、小田広樹　オオヒメグモ胚における細胞の状態のゲノムワイドな多様性を空間的に把握する．日本動物学会近畿支部春季研究発表会（2021.5.8 オンライン）

蘇智慧

蘇智慧，佐々木綾子，楠見淳子、Hsy-Yu Tzeng、Hong-Qing Li、Hui Yu
「イチジク送粉コバチの寄主転換と種特異性再構築」
第 68 回日本生態学会オンライン大会（2021.03.17-21）

５．講演・講義・シンポジウム

（１）講演

永田和宏

九州大学アントプレナーシップ・キャリアデザイン講演会「10 年先の自分を想像できますか？」（2021.1.8 オンライン）
滋賀医科大学 FD 講演会 「”知の体力”と”問う力”―大学における研究と教育―」（2021.1.26 滋賀）
大阪倶楽部講演会 「よくできるとはどういうことか ― 学習から学問へ」（2021.2.2 オンライン）
兵庫県立八鹿高等学校講演会「高校生にとって学ぶことの意義」（2021.2.6 兵庫）
NHK 学園生涯学習フェスティバル（宇野喜代子氏と対談）（2021.3.20 東京）
龍谷大学新入生講演会「大学で学ぶことの意味」（2021.5.19 オンライン）
東洋学園大学公開講座 「ことばの力 ― パンデミック禍の日常と表現」（2021.5.22 オンライン）
上智大学グリーフケア研究所 春季公開講座 「伴侶の死：何が悲しいのか」（2021.5.27 オンライン）
桐光学園高等学校 講演会「〈知の体力〉と〈問う力〉」（2021.7.10 神奈川）
たかつき市民環境大学 講座「細胞の不思議」（2021.7.15 BRH 館内）
NHK 学園国立本校 聞いて感じる、万葉集（NPO 日本朗読文化厚会名誉会長 加賀美幸子氏と講義）（2021.7.21 東京）
NHK 文化センター京都 「ことばの力 ― コロナの時代を生きるために」（2021.7.24 京都）
清水寺うらぼん法話「「象徴の歌」から見える平成という時代」（2021.8.1 京都）
鳥居薬品新入社員研修講演会「〈知る〉と〈問う〉」（2021.9.2 オンライン）
京都府教職員互助組合 講演会 「コロナ禍で変わったこと、変わらなかったこと」（2021.10.23、2021.11.6 京都）

【第 40 期 内外のトップを囲む懇談会】「よくできるとはどういうことか ― 学習から学問へ」（2021.11.11 大阪）
近畿高等学校総合文化祭 滋賀大会文芸部門 記念講演「自分を表現するよろこび ― 短歌とともに半世紀」（2021.11.20 滋賀）
京都大学 SDGs リーダー育成プログラム（中高生対象）講演会「SDGs のために生命を考える」（2021.11.27 大阪）
令和 3 年度第 27 回古今伝授の里短歌大会記録講演 「コロナ的非日常の日常」（2021.11.28 岐阜）
千里ライフサイエンスフォーラム 「生命の内と外」（2021.12.7 オンライン）
亀岡生涯学習市民大学 「知の体力 ― 〈よくできる〉とはどういうことか」（2021.12.25 京都）

（2）講義

永田和宏

京都産業大学 全学共通講義 「大学で学ぶことの意義」（2021.6.8 オンライン）
大阪医科薬科大学 生命誌講義「タンパク質の一生」（2021.9.27 大阪）

（3）シンポジウム

永田和宏

JT 生命誌研究館 企画展記念催し「研究者が語る”昆虫と植物のかけひきの妙”」（2021.7.17 BRH 館内・オンライン ハイブリッド）
JT 生命誌研究館・公益財団法人大隅基礎科学創成財団共催「生命誌から生命科学の明日を拓くⅡ」大隅良典氏と対談（2021.9.11 オンライン）

（4）その他

永田和宏

歌会始（2021.3.26 宮内庁・東京）
湯川秀樹旧宅保存（京都大学へ寄附）記者会見コメント（2021.9.14）

6．テレビ・ラジオ出演

（1）テレビ

永田和宏

「皇室日記」日本テレビ（2021.5.23）
「こころの時代　コロナの時代を詠む」アンコール放送　NHK E テレ（2021.10.3）

（2）ラジオ

永田和宏

「今、大切なこと、コロナの時代に」（宇多喜代子氏と対談）NHK ラジオ第二放送（2021.3.28）
「わたしの図書館」著書『象徴のうた』朗読（井田由美日本テレビアナウンサー）ラジオ日本（2021.6.10、2021.6.17）

７．学会活動、社会貢献活動等

永田和宏

盛岡大学客員教授
日本医療研究開発機構（AMED）CREST/PRIME 研究「プロテオスタシス」研究統括（プログラムスーパーヴァイザー）
文部科学省　科学研究費補助金　新学術領域「温度を基軸とした生命現象の総合的理解」外部評価委員
文部科学省　科学研究費補助金　新学術領域「予防を科学する炎症細胞社会学」外部評価委員
文部科学省　科学研究費補助金　新学術領域「ケモテクノロジーが拓くユビキチンフロンティア」外部評価委員・総括班員
文部科学省　科学研究費補助金　新学術領域「マルチモードオートファジー：多彩な経路が織り成す自己分解系の理解」外部評価委員・総括班員
文部科学省　科学研究費補助金　新学術領域「マルチファセットプロテインズ」外部評価委員・総括班員
ロレアル － ユネスコ女性科学者日本奨励賞審査委員長
安田記念医学財団　理事
大隅基礎科学創成財団　評議員
Scientific Reports, Editor
Genes to Cells, Associate Editor
Cell Structure and Function, Associate Editor
Cell Stress Society International, Senior Fellow
日本細胞生物学会　名誉会員（元学会長）
日本生化学会　評議員
日本結合組織学会　評議員
日本臨床ストレス応答学会　アドバイザー
京都府立嵯峨野高等学校「スーパーサイエンスハイスクール」運営委員会委員長
人間文化研究機構情報発信センター　運営委員会委員
自然文化研究機構　運営委員会委員
たかつき能楽を楽しむ会　顧問
湯川秀樹旧宅の保存と活用を願う市民の会　顧問

尾崎克久

科学誌 DNA Research 編集委員

小田広樹

大阪医科薬科大学 生物安全管理委員会外部委員

８．外部資金獲得状況

永田和宏

科学研究費補助金・基盤研究 A

課題名：小胞体における活性酸素除去に関わる新たな分子機構の解明、研究代表者：永田和宏、取得年度：2018-2021 年

日本医療研究開発機構（AMED）産学連携医療イノベーション創出プログラム・基本スキーム（ACT-M）

課題名：コラーゲン分泌阻害低分子による抗線維化薬、研究代表者：永田和宏、取得年度：2018-2020 年

武田科学振興財団・特定研究助成［Ｉ］

課題名：膜輸送を介したオルガネラ恒常性維持と細胞機能制御、共同研究者：永田和宏（研究代表者：遠藤斗志也）、取得年度：2019-2021 年

宇賀神篤

科学研究費補助金（若手研究），2018 年-2021 年，代表者

課題名：チョウの食草選択的産卵行動を制御する高次情報処理機構の解明

小田広樹

科学研究費補助金　基盤 C 一般(分担) 2020 年度～2022 年度

課題名：シングルセル解析による体節形成の多様性を統合する分子基盤の解明

秋山-小田康子

戦略的創造研究推進事業、個人型研究（さきがけ）2020 年 11 月～2024 年 3 月

課題名：縞パターン形成の多様性を生み出すネットワーク

科学研究費補助金　基盤 C 一般(代表) 2020 年度～2022 年度

課題名：シングルセル解析による体節形成の多様性を統合する分子基盤の解明

蘇智慧

基盤研究（B）研究分担者

課題名/領域番号：植物と送粉者の種特異性における化合物のブレンドとキラリティーの役割/21H02562、研究期間：2021-2024、研究代表者：岡本朋子（岐阜大学)

基礎生物学研究所共同利用研究

課題名：オサムシの後翅退化の分子機構の進化の解明、年度：2021 年度、分類類：NIBB-individual、所内対応者：新美輝幸

V

JT Biohistory Research Hall Profile

JT 生命誌研究館について

館長メッセージ

JT 生命誌研究館は

科学のコンサートホール ＋ ＜問い＞を発掘する場

まもなく創立 30 周年を迎えようとしている「JT 生命誌研究館」は、学会においても一般社会においても広く知られる貴重な存在となっています。ゲノムを中心として、いきものの多様性を「進化・発生・生態系（Evo-Devo-Eco）」から捉え、また「ヒトの営みを他の生物の営みのなかで捉える」というコンセプトは、今や広く受け入れられてまいりました。

一方で、ユニークな個々の研究を、「わかりやすく社会に還元・発信していく」という点については、更なる努力が必要ではないかと考えています。

館長就任後、これまでの「科学のコンサートホール」という位置づけに加えて、新たに「JT 生命誌研究館は＜問い＞を発掘する場である」という性格を強く打ち出すことにいたしました。これは、「興味は知識を得ることから生起するものではなく、知識を得たのちになお湧き上がってくる＜問い＞にこそ由来するものである」との考えのもと、基本コンセプトに含めることにより、JT 生命誌研究館をより身近に感じていただきたいと思うからです。
「来て、見て、知る」だけではなく、その中から「自分自身の＜問い＞を見つけていただける場」であってもらいたいと願っております。

この基本コンセプトのもとで今後も様々な取り組みを推進し、「科学的知」の創造をいつまでも大切にするとともに来館者をはじめ社会への発信に力を入れ、科学に身近に接して、かつ楽しんでもらえる「JT 生命誌研究館」を目指してまいります。

取締役館長　　永田　和宏

JT 生命誌研究館　概要等

【設立経緯　沿革】

1980 年	総合研究開発機構 NIRA の下河辺理事長（元国土庁事務次官）が三菱化成生命科学研究所の中村桂子氏に「科学技術と人間」をテーマにした報告書を 5 年間でまとめるよう依頼。
1987 年 7 月	中村氏が「生命誌研究館の提案」を掲げた報告書を NIRA へ提出し、これを現実に作りたいと訴える。 下河辺理事長が JT の長岡社長と水野繁氏を紹介。
1990 年 6 月	生命誌研究館の設立が決定 ＜決定理由＞ JT は NIRA の提案に基づき検討した結果、JT の企業理念「生き生きとした時間をすべての人に提供する生活文化産業」に合致し、企業としての社会文化活動の実践としても適切であると判断し、高槻市に建設を決定。 ＜高槻市に設立した理由＞ 資産の有効活用のため、旧高槻工場の跡地に医薬総合研究所を建設するにあたり、併設することとした。また、この地区は京大、阪大をはじめとする大学や国立研究所、博物館も多く、開かれた活動を目指すため適切であると判断し、文化・学術都市を指向する高槻市の意向と街の活性化につながるという地域の声も受けて設立を決定した。
1991 年	生命誌研究館設立準備室設置（東京・虎ノ門）
1993 年 4 月	株式会社生命誌研究館を設立 ＜株式会社とした理由＞ 新しい試みである生命誌研究館の自由な活動を担保するため、財団ではなく株式会社とした。
1993 年 11 月	生命誌研究館開館 ＜生命誌研究館紹介＞ 生命科学と多分野の学問研究との架け橋となる研究機関であり、一般来館者に開かれた文化施設でもある。
1997 年 7 月	JT 生命誌研究館に館名変更

【JT 生命誌研究館 ミッション】

生命論的世界観に基づく「科学的知」の創造と、その社会への還元

〈解説〉

JT 生命誌研究館：JT Biohistory Research Hall

人間も含めてのさまざまな生きものたちの「生きている」様子を見つめ、そこから「どう生きるか」を探す新しい知が「生命誌」“Biohistory”です。私たち人間を含む生きものの長い長い歴史物語でもあります。

地球上の生きものたちは 38 億年前の海に存在した細胞を祖先とし、時間をかけて進化し、多様化してきた仲間です。すべての生きものが細胞の中に、それぞれが 38 億年をどのように生きてきたかの歴史をしるすゲノム DNA を持っています。ゲノム DNA は、壮大な生命の歴史アーカイブです。その歴史物語を読み解き、美しく表現することで、生きものの魅力を皆で分かち合い、生きることについて考えていく場が「研究館」“Research Hall”です。

生命論的世界観

人間だけが特別の生物なのではなく、細菌（バクテリア）や植物、動物を含めて、多くの生き物の一つ、自然の一部であることを基本的な考え方とするのが、JT 生命誌研究館の持つ「生命論的世界観」であります。その上に立って、自然を知り、自然を壊すことなく、しかも他の生物とヒトとの違いを認識するところから、いかに自然のなかで人間独自の社会、生き方を培っていくのか、その大切さを模索してまいります。

科学的知の創造と、その社会への還元

発生、進化、生態系に的を絞った 4 つの研究室と、サイエンスの知の喜びを一般社会に還元しようとする表現部門が一体となりユニークな活動をしている小さな集団ではありますが、「科学的知」の創造をいつまでも大切にしていくこと、その成果等を社会へ発信し、共有し続けていくことが JT 生命誌研究館の使命であると考えています。

【会社概要】

社名 館名	株式会社生命誌研究館（Biohistory Research Hall） JT 生命誌研究館
代表取締役社長	小泉光臣
所在地	大阪府高槻市紫町 1-1
HP	https://www.brh.co.jp/
設立	1993 年 4 月設立、同年 11 月開館
資本金	1 千万円（日本たばこ産業株式会社の全額出資）
事業内容	日本たばこ産業株式会社から、JT 生命誌研究館の運営を受託 企業文化活動として生きものを通じて自然・生命・人間について考える機会を提供 ・ 研究成果の発表 ・ ワークショップ、セミナーの参加 ・ JT 生命誌研究館の記録・活動を紹介 ・ 展示物制作・展示 ・ ホームページの運営 ・ オリジナルグッズの制作・販売、季刊誌等の印刷物の制作 ・ JT 生命誌研究館の一般公開 ・ 各種イベント開催、文化施設等のイベント参加、出張展示 ・ その他

従業員数	31名（2021年7月現在）	
役員	代表取締役社長 代表取締役 取締役 取締役館長 監査役	小泉光臣 妹川久人 廣渡清栄 永田和宏 加藤信也
歴代館長	1993/10～ 2002/ 4～ 2020/ 4～	岡田節人 中村桂子 永田和宏

【事業・活動内容】

1. 研究部門　～ユニークなアプローチで、生命の本質に迫る発見をし、新たな知を創る～

　生命の基本単位は細胞です。JT生命誌研究館では、小さな動物の細胞を出発点に「進化、発生、生態系」という切り口で生命誌を読み解く基礎研究をおこなっています。

　また、研究成果を国内外の専門雑誌、学会で発表しています。その他、シンポジウム、オープンラボの主催、高等学校の科学・理科クラブへの研究指導等、アウトリーチ活動をおこなっています。

＜研究室の紹介＞

(1) 昆虫食性進化研究室　～チョウが食草を見分けるしくみを探る～

チョウは食草の選び方を生まれながらにして知っています。本能のしくみを分子の言葉で理解し、どの様な変化が進化を引き起こしたのか解明します。

(2) 系統進化研究室　～DNAから進化を探る～

進化研究の原点は観察と比較です。分子レベルの比較、表現型の比較、そして分子から表現型に至る過程の比較を通して、進化・種分化のきっかけとメカニズムを探ります。

(3) 細胞・発生・進化研究室　～ハエとクモ、そしてヒトの祖先を知ろう～

私たちがモデル生物として開拓したオオヒメグモを中心に細胞や形作りの仕組みを調べ、昆虫や脊椎動物と比べることによって、動物多様化の根底に存在する基本原理を探ります。

(4) 形態形成研究室　～カエルとイモリのかたち作りを探る～

脊椎動物の「かたち作りの進化」を、細胞増殖と分化そして組織移動の観点から、カエル・イモリ・プラナリアを用いて考えています。

2. 表現部門　～多様な表現媒体を活用して“生命を知る”知を社会と共有する～

　研究は論文発表では終わらず、誰でも楽しめるよう美しく表現するところまでを含むという考えから、研究内容を様々な媒体がもつ特徴を活かして社会へわかりやすく発信して

います。科学も、音楽や絵画のように人の心に伝わるものでなければ社会に入りこむことはできません。スタッフ一人一人が考え、議論し、ものづくりのプロと協力して作品をつくり上げます。JT 生命誌研究館では、独自で美しいものをつくる、この姿勢で表現を通して生きものを考えるという挑戦をしています。そして、生きものを基本に置く社会づくりにまでつなげて参ります。

3. JT 生命誌研究館の一般公開

1F、2F の展示ホールを入館無料で公開（自由に見学）しています。館内の展示・映像作品から、生きもの研究が物語る生命誌の世界をじっくりお楽しみいただけます。また、スタッフによる展示ガイドもおこなっており、”JT 生命誌研究館の活動”と”展示の見どころ”を紹介しています（ご利用には事前予約等条件があります）。

開館時間　　毎週火曜～日曜日 10：00～16：30
休館日　　毎週月曜日、年末年始（12 月 29 日～翌年の 1 月 4 日）

4. 書籍・オリジナルグッズの制作・販売

生命誌に関する書籍、グッズを制作し、館内グッズコーナーで販売しています。また、ホームページからも通信販売でお求めいただけます。

5. 研究成果等を社会へ広く発信

- 国内外の専門雑誌、学会でのシンポジウム・ワークショップを通じて研究成果を発信
- グッズ、カード式刊行物を通じて科学を発信
- 科学を物語として伝える展示による発信
- 科学と芸術を融合したオリジナル作品（映像・朗読劇等）の上映・上演による発信

6. イベントの開催

皆様に、研究を身近に感じていただく、研究現場（実験をしたり考えたり）を実感いただくことを目的とした参加型のイベントを開催しています。また、実験講習会、ワークショップ、その他特別イベント等も開催しています。

＜研究員レクチャー＞

研究員が、探求と発見の日々、進行形の研究、そこで考えたこと、苦労話などを語るイベント。

＜オープンラボ＞

「実験室フロア」で実験の見学・体験、生きものの観察、研究員との語り合い等、皆様に生きもの研究の現場を体験いただけるイベント。

＜サマースクール＞

皆様にJT生命誌研究館の一員となっていただき、実験したり、考えたり、話し合ったり、表現したり、研究員が取り組んでいる課題に一緒に取り組んだりする等、研究員を体験いただけるイベント。

＜シンポジウム＞

研究員がゲストを迎え、講演やトークでテーマを深めるイベント。

7. 研究指導　大学院生の受け入れ

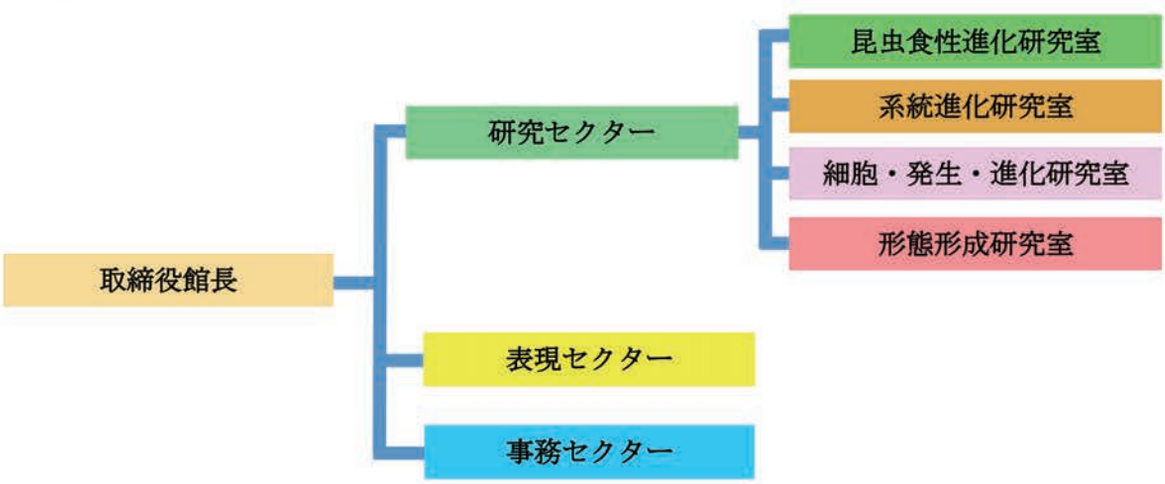
JT 生命誌研究館は大阪大学大学院理学研究科生物科学専攻の連携講座として大学院生を受け入れ、大学院生は、連携招聘教員の指導のもと研究をおこないます。

研究指導の他、日常的に自然全体を見渡して研究する、あるいは研究について学外のさまざまな方と直接お話をするといった機会も提供しています。

8. 対外イベントへの出展

- 高槻市観光協会、高槻市のイベントに参加（出展）
- 他の博物館、文化施設、教育機関での出張展示、ワークショップ

【組織図】



【従業員数（2021年7月現在）】

研究セクター	14名	
表現セクター	7名	
事務セクター	10名	
計	31名	

※上記従業員のほか、大阪大学大学院の院生が研究をおこなっています。

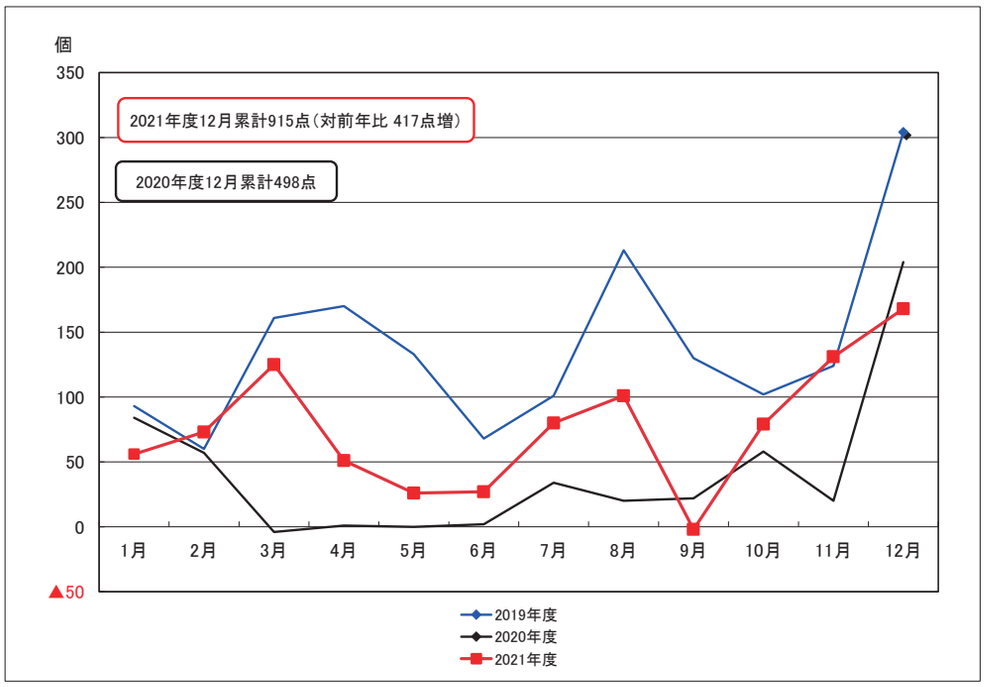
月別来館者数実績

	前年実績			2021年度実績				主な予約来館者
	一般来館	予約来館	月間計	一般来館	予約来館	月間計	営業日数	
1月	372	110	482	148	12	160	20	1/12 大阪府高齢者大学校
2月	494	30	524	324	0	324	20	
3月	0	0	0	483	5	488	22	3/9 JT和歌山支店、3/31 JT北関西支社より (大阪ガス関係者)
4月	0	0	0	235	27	262	18	4/6・19・20・27 JT茨木支店 ※4/27～6/21 臨時休館
5月	0	0	0	0	0	0	0	※4/27～6/21 臨時休館
6月	113	0	113	55	21	76	7	※4/27～6/21 臨時休館
7月	178	0	178	86	662	748	27	7/2 JT大阪第四支店、7/7 ONCC①、7/14 ボランティアグループ槻輪、7/15 ONCC②・大阪府高齢者大学校・兵庫県立尼崎北高校（自由見学）、7/31 山城ご一行
8月	409	0	409	378	0	378	19	※8/23～9/13 臨時休館
9月	275	0	275	199	4	203	13	※8/23～9/13、21、26 臨時休館 9/24 個人、9/28 個人
10月	296	8	304	469	129	598	26	10/6 ONCC、10/7 フルーツライフ、10/12 大阪府民カレッジ、10/15 年中夢求隊、10/20芥川公民館、10/26 芦屋川カレッジ、10/28 ONCC
11月	252	76	328	518	350	868	24	11/2 NPO茨城高齢者の会、11/4 大阪市立汎愛高校、11/6 京都技術士会、11/13 いこい寝屋川、11/16 大阪シニア自然カレッジ・洛北高校附属中学校、11/17 芥川公民館、11/19 大阪府民カレッジ・大阪府高齢者大学校、11/24 大阪教育大学、11/27 京都大学SDGｓリーダー養成プログラム
12月	280	38	318	514	180	694	24	12/2 JT関連、12/8 尺谷自治体・大阪シニア自然カレッジ、12/9 西宮市立西宮高校、12/10 香川県立観音寺第一高校、12/11 オープンたかつき、12/14 エーザイ、12/16 近畿経済産業局・個人、12/24 彦根東高校
合計	2,669	262	2,931	3,409	1,390	4,799	220	

年度別来館者数実績

年度		営業日数	来館者数 A	営業月数 B	月平均 A/B	備考
1993年度	617	99	617	5	123	11月3日~3月31日
1994年度	6,407	245	6,407	12	534	
1995年度	6,615	245	6,615	12	551	
1996年度	5,948	246	5,948	12	496	
1997年度	5,884	248	5,884	12	490	
1998年度	5,465	248	5,465	12	455	
1999年度	6,743	247	6,743	12	562	
2000年度	6,069	245	6,069	12	506	
2001年度	5,949	247	5,949	12	496	
2002年度	6,912	248	6,912	12	576	
2003年度	6,166	251	6,166	12	514	
2004年度	8,440	248	8,440	12	703	
2005年度	6,359	246	6,359	12	530	
2006年度	6,283	247	6,283	12	524	
2007年度	6,841	249	6,841	12	570	
2008年度	7,665	249	7,665	12	639	
2009年度	8,964	249	8,964	12	747	
2010年度	9,159	248	9,159	12	763	
2011年度	7,609	249	7,609	12	634	
2012年度	11,332	255	11,332	12	944	
2013年度	7,273	258	7,273	12	606	
2014年度	8,503	198	8,503	9	945	決算期変更（4-3月→1-12月）
2015年度	9,706	258	9,706	12	809	
2016年度	11,250	257	11,250	12	938	
2017年度	9,612	259	9,612	12	801	
2018年度	9,853	259	9,853	12	821	
2019年度	10,460	259	10,460	12	872	
2020年度	2,931	187	2,931	9	326	2月28日~5月31日　コロナ対応により臨時休館
2021年度	4,799	220	4,799	9.5	505	4月27日～6月21日、8月23日～9月13日、21日、28日臨時休館
累計			209,814			

■グッズ・書籍の販売数量

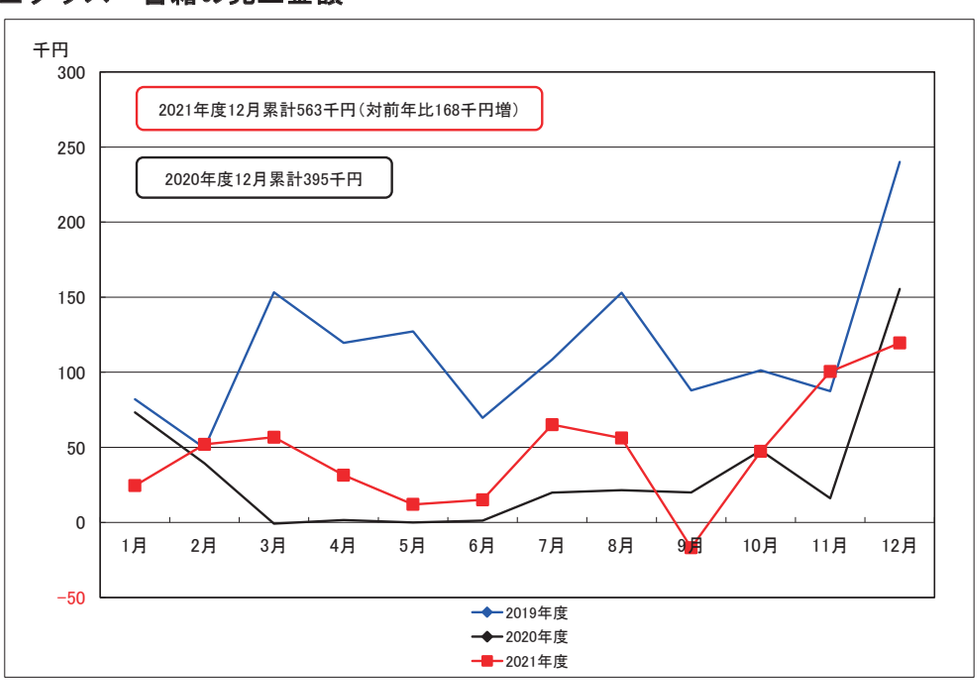


（個）

区　　分	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年度計
2019年度	93	60	161	170	133	68	101	213	130	102	124	304	1,659
2020年度	84	57	▲4	1	0	2	34	20	22	58	20	204	498
2021年度	56	73	125	51	26	27	80	101	▲2	79	131	168	915

※

■グッズ・書籍の売上金額



（千円）

区　　分	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年度計
2019年度	82	50	153	120	127	70	109	153	88	101	87	240	1,379
2020年度	73	39	−1	2	0	1	20	21	20	48	16	155	395
2021年度	25	52	57	31	12	15	65	56	−17	47	100	119	563

※

※販売数量・売上金額のマイナス値は取引先からの返品による。

VI

Administrative Office

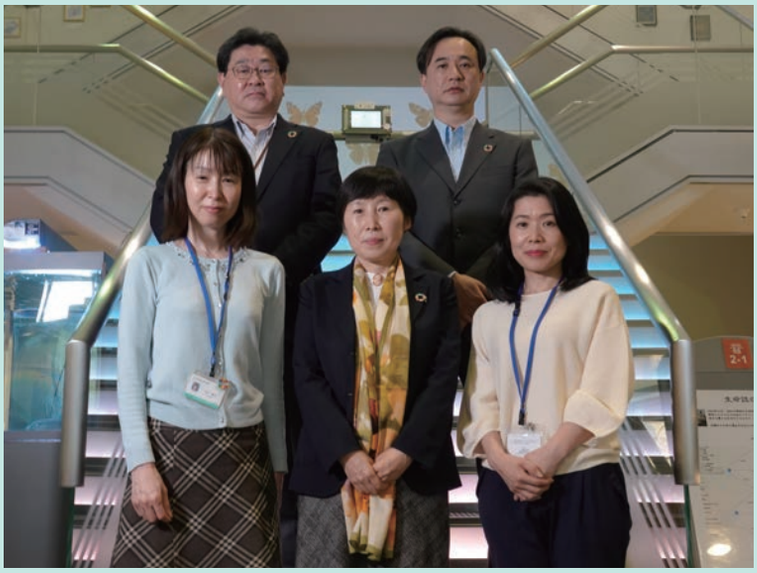
事務セクター

事務セクター

会社の持続的成長のため、経営と現場、ステークホルダーをつなぎ、事業を支える

わたくしたちは、経営と事業、研究部門・表現部門を強力にサポートする事務の専門的集団です。
事務セクターの業務は、館運営・コンプライアンスの推進・従業員教育・総務業務・経理業務・秘書業務・受付業務等、多岐にわたっており、それぞれの業務において適正な取り組み、安定したサービスの提供、従業員サービスの向上に努めております。
また、宣伝・広報・イベント開催等の活動の支援と協力を積極的におこなっています。

是非、お越しください。
ご来館
お待ちしております！！



展示ホール「生命誌の階段」の前で（事務セクター・メンバー／撮影：2022年3月31日）

東門入り口の看板の前で（受付スタッフ／撮影：2022年3月31日）

エントランスのロゴマーク前で（受付スタッフ／撮影：2022年4月1日）

VII

Contribution to SDGs

SDGsへの貢献

JT 生命誌研究館の SDGs への貢献

JT 生命誌研究館は、1993 年の設立以来一貫して、生物種の多様性の重要性と、それに立脚した社会の持続可能性について訴えてきました。「SDGs」は 2015 年 9 月に国連で採択され、社会課題解決へ向けた世界共通目標になりましたが、それに先んじた活動です。

これまでの活動をさらに発展させることによって、今後も「SDGs」の広がりに対して貢献してまいります。

生物多様性の大切さ

地球上の生物は全て、約 38 億年前に生まれた共通祖先の末裔です。また、どの生物も細胞内にある DNA で命を繋いできました。

生物は 38 億年の時間を掛けて、一千万種近くと推定されるまでに多様化しました。

「ヒト」は他の生物と同様に本来は「自然の一部にすぎない存在」なのですが、科学技術を高度に発達させたことにより、自分たちが「特別の存在」であると考えるようになりました。

豊かな地球は生物の多様性により保たれています。しかし、この多様性は生物の繋がりの絶妙なバランスの上に成り立っており、バランスが崩れ一旦破壊されると元に戻すことは難しいと言われています。

「ヒト」は有史以来、自然と共に生活を営み地球に対して大きな負荷を掛けることはありませんでしたが、科学技術を利用した近年の爆発的な拡大を続ける経済活動に伴う過度な負荷により、生物の多様性が急速に失われてきています。「ヒト」の活動により地球は今まさに危機に瀕しているのです。

社会全体が生物の多様性についてその重さを認識し、行動を変えれば危機を脱する可能性があります。

JT 生命誌研究館には、生物の「共通性」と「多様性」に関する展示物が豊富にあるだけでなく、様々なコンテンツ(設備・映像・図書・スタッフによる館内案内・イベント等)も有します。更に、生物の「共通性」と「多様性」について他にはないユニークな視点から、また分かり易く説明をすることができる研究者が在籍していますので、生命科学を扱う研究者の間では一目置かれる存在です。

このように JT 生命誌研究館は「ヒト」が「特別の存在」ではないことに気付くための、そして生物の多様性の大切さ・かけがえのなさについて考えるための契機を提供することができる場所であると自負しております。

BRH が貢献する「SDGs 目標」

陸の豊かさも守ろう

海に生まれ陸にも広まったとされる生命体は、38 億年の年月をかけて、一千万種を超えるといわれる多様な生物種に発展してきました。このようにして生まれた生物種の多様性によって、(1)生物種の住み分け、(2)生物種間の共生、(3)生物種間のバランスの取れた食物連鎖――これらが安定して営まれるようになり、各々の生物種を繁栄させてきました。生物全体の生存戦略の成果といえます。

JT 生命誌研究館は、設立時より時代を先取りして、この生物種の多様性の重要性、さらにその中でのヒトの在り方について、学術的な基盤をもとに社会の洞察を促す活動を展開してきました。当館では、常設展示の場で、初期の生命体から、さまざまな生き物が生み出されてきた地球上の歴史を、標本やパネルを用いて具体的に示すとともに、館内案内スタッフによる「巡回ツアー」で一つ一つの展示の意義を説明しています。また、生き物の多様性に関わる最新の研究を調査・発掘して、その現状を平易な表現で社会と共有する活動を、積極的に行っています。さらに、生物種の住み分けや共生など、生物の多様性の重要性を実感させるコンテンツについて、特別企画展を開催、映像を制作して上映、季刊誌やホームページ上での定期的な掲載などを行っています。

当館の４つの研究室では、生物の多様性を生み出してきた進化についての研究を進めています。「昆虫食性進化研究室」では、チョウが種ごとに幼虫の食草を変えて住み分けるために、それぞれの母チョウが卵を産みつけるべき植物を瞬時に見分ける、鋭敏な感覚機構の進化を研究しています。「系統進化研究室」では、イチジク属の種ごとに異なった寄生バチに花粉を運ばせるという共生関係が、どのように進化してきたのかを研究しています。「細胞・発生・進化研究室」では、クモと昆虫の発生の仕組みの違いを、ゲノムの変化の観点から研究しています。クモは、海から上陸した節足動物の祖先の一つであるカブトガニに近縁であり、海から上陸したばかりの節足動物から、どのようにして多様な昆虫が進化していったのかを示す研究です。「形態形成研究室」では、両生類を中心に脊椎動物種ごとの発生の仕組みを比較しています。脊椎動物が海から陸へと生活圏を変えるに伴って卵から親に発生する基本的なプロセスは維持しながらどこを変化させてきたのかを研究しています。これらの、生物が多様化する由来を明らかにする研究の成果は、専門誌に発表するだけでなく、ホームページ上で平易に解説し、一般社会人向けの講演を行い、さらに以下に示す様々な方法で、社会に浸透させています。

近代以降のヒト社会の大きな変化によって、ヒトが生物の共生の破壊者になりかねない今、当館が発するメッセージは、SDGs の目標の一つである「陸の豊かさも守ろう」についての科学的な根拠となっています。また、当館も一員である JT グループの使命を記した「JT グループミッション」は、『私たち JT グループの使命。それは、自然・社会・人間の多様性に価値を認めお客様に信頼される「JT ならではのブランド」を生み出し、育て、高め続けていくこと。』を掲げており、多様性に価値を認めることを前提としています。上述した生物の多様性の大切さが示すことは、自然・社会・人間も多様性を持つことの大切さを示す根拠にもなっています。

海の豊かさを守ろう

生命体は海に生まれ、植物、動物の順で陸に上がってきましたが、陸上の生物はなお海の豊かさに、そしてまた海も陸上の生き物の営みに、相互に依存しあっています。その結果、(1)生物種の住み分け、(2)生物種間の共生、(3)生物種間のバランスの取れた食物連鎖は、海と陸とを繋いだ地球規模のスケールで行われています。豊かな森林と生物相を源とする川によって海の生物資源が栄えています。

地上を覆う森林が CO2 を吸収する（グリーンカーボン）とともに、海洋の豊富なプランクトンや藻類も CO2 を吸収する（ブルーカーボン）ことによって地球の温暖化が抑制されています。ブルーカーボンを効率よく生み出すのは、サンゴ礁など多様な動物と植物が共生する海の世界である一方、地球の温暖化はその共生社会を容赦なく破壊します。

JT 生命誌研究館がさまざまなメディアを用いて発信している科学的な情報は、上で述べた、海の生き物の多様性の維持の重要性にも向けられています。

質の高い教育をみんなに

JT 生命誌研究館の表現セクターおよび研究セクターは、最先端の科学を基礎として、生物の多様性に関わる様々な課題について、いろいろな切り口から掘り下げ、それらの現状について社会に発信しています。季刊誌やホームページでのわかりやすく噛み砕いた解説のほか、さまざまな「質の高い教育をみんなに」を与える活動を行っています。

先に述べた「巡回ツアー」の参加者の多くは、「社会人学級」の一環として、来館された方々です。また、大学・高等学校・中学校からの「学外学習」として来館されたグループに対しては、館長・顧問・研究員がそれぞれのレベルに応じた講演を行うとともに、研究の場としての当館を紹介しています。また、様々な参加者を対象とした対外講演を定期的に開催して、当館が関わる諸分野の現状について解説しています。特に若い世代に向けては、サマースクールやオープンラボなどの形で、科学の現場を体験する機会を提供しています。

住み続けられるまちづくりを

JT 生命誌研究館は、国内外の関係機関(博物館、研究機関、教育機関、行政、地域、企業等)が主催する様々な文化活動やイベントへ、できる限りの機会を捉えて積極的に参加しています。パネル展示・映像上映・出張講演等を行い生物の多様性の重要性についての理解を広め洞察を促すことにより地域貢献しています。また、当館４階のルーフガーデンに設置した「Ω食草園」は、生物の共生という学術的なメッセージを持った植生区画を都市空間に導入した実例として注目され、高槻市の知名度およびイメージ向上の一翼を担っています。

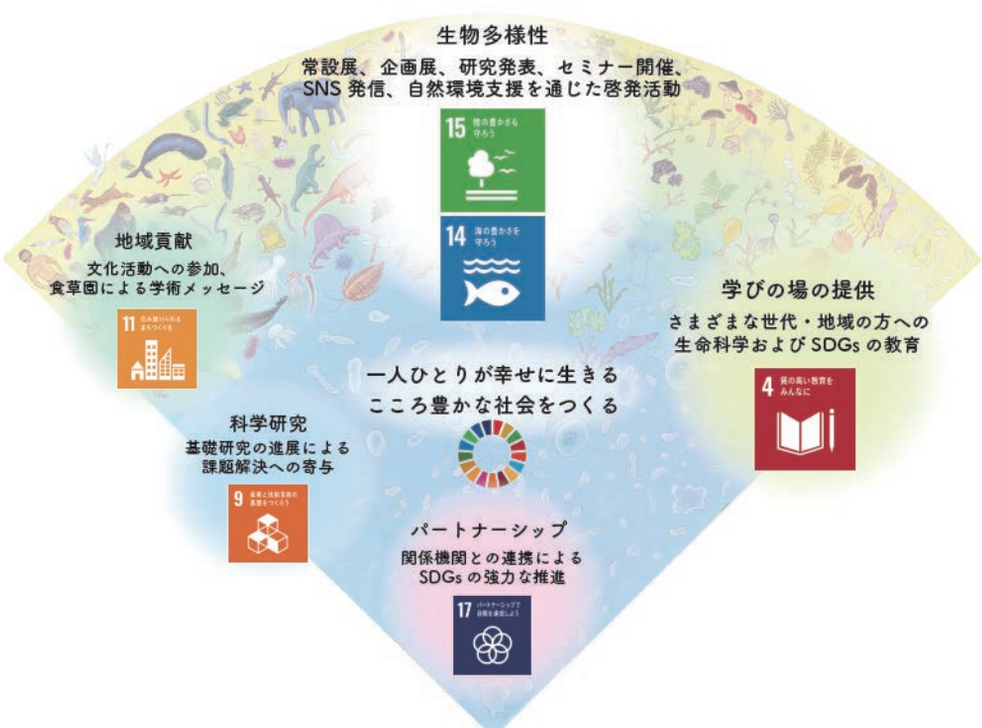
産業と技術革新の基盤をつくろう

全世界が合意した 2030 年までに達成すべき SDGs による未来像と現状の間に大きなギャップがあり、このギャップを埋めるためには社会の在り方を変えるイノベーション創出が不可欠です。産業界における科学研究の促進や社会インフラの構築においても「持続可能性」は優先課題であり、JT 生命誌研究館は、この課題解決に向けての基礎研究を行っています。

パートナーシップで目標を達成しよう

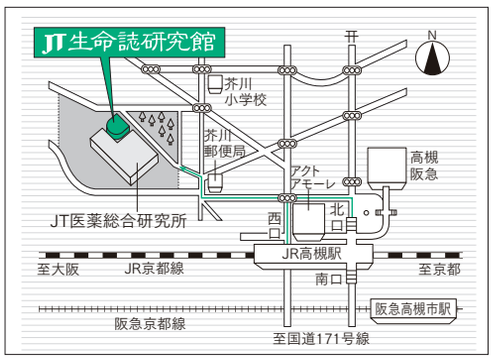
JT 生命誌研究館は、設立以来、国内外の関係機関と連携し「生物種の多様性に立脚した持続可能社会の構築」の重要性を唱えてきています。また、一貫したメッセージを学術研究の国際的な公開や、ホームページ国際版によって発信することでグローバルなレベルでの様々な施策に規範を与えています。

人間は自然の一部であり、地球 38 億年のいのちのつながりを経て存在し、多様性豊かな自然の中で生かされています。全ての人を取り残さず、SDGs が目指す持続可能な社会の実現に貢献するため、JT 生命誌研究館は下記の活動に取り組んでいます。



JT生命誌研究館
〒569-1125 大阪府高槻市紫町 1-1
Tel: 072-681-9750（代表）　www.brh.co.jp

開館時間　10:00－16:30　入館無料
休館日　毎週月曜日
年末年始（12月29日－翌年の1月4日）
臨時開館／休館はホームページで
ご確認ください。
交通　JR京都線高槻駅より徒歩10分
阪急京都線高槻市駅より徒歩18分
JRのご利用が便利です。



「問い」を発掘する場
JT生命誌研究館 年報　2021年度版

発行日　2022年06月01日

制作・発行　JT生命誌研究館
造本デザイン　尾崎閑也（鷺草デザイン事務所）
印刷製本　中村印刷

無断で本書の複写・複製を禁じます。