

TABLE OF CONTENTS

Newsletter of the Japanese Society for Mathematical Biology No.105 February 2025

会長就任挨拶	山内淳	1
2024年度数理生物学会年会を振り返って	中岡慎治	3
【2024年研究奨励賞受賞者特別寄稿1】 境界を越えて自由に	柴崎祥太	5
【2024年研究奨励賞受賞者特別寄稿2】 一生退屈しない「かたち」を測るための放浪	野下浩司	10
書評：生命と社会の数理モデルのための微分方程式入門 稲葉寿, 國谷紀良, 中田行彦 著	江夏洋一	16
原稿募集のお知らせ		17
学会事務局からのお知らせ		18

日本数理生物学会 ニュースレター

第105号 2025年2月



会長就任挨拶



山内淳*

2025年1月より、日本数理生物学会の会長を拝命しました山内です。これから2年間、会長として日本数理生物学会の発展に微力ながら尽力してゆきたいと思っておりますので、よろしくお願ひいたします。2年間会長を務められた時田さん、事務局メンバーを務められた黒澤さん、瓜生さん、中丸さん、山口さん、入谷さん、ご苦労様でした。学会の発展のためのこれまでのご尽力に感謝いたします。時田前会長にはさらに1年のあいだ副会長を務めていただき、さまざまな助言をいただくこととなります。引き続きよろしくお願ひいたします。

私は、1989年の数理生物懇談会設立時には博士1年で、また2003年の日本数理生物学会への移行時には現在の所属で准教授についた直後でした。こう振り返ると、数理生物学会の歴史とほぼ同じ期間を数理生物学研究者として歩んできたこととなります。そう思うと感慨深くありますが、これまで本学会の会長を務められた多くの優秀な諸先輩方と並ぶのはちょっと荷が勝ちすぎるといふ思いもあるのが正直なところです。とはいえ、私を会長として選んでいただいた学会員の皆さんの期待に応えるためにも、今後2年間奮闘し頑張つてゆく所存ですので、よろしくお願ひいたします。

新事務局には、加茂将史さん（事務局幹事長：産業技術総合研究所）、川口勇生さん（会計：量子科学技術研究開発機構）、池川雄亮さん（事務局幹事：琉球産経（株））、入谷亮介さん（事務局幹事：理化学研究所）に加わっていただき、これらの4名の協力の下で学会事務の運営を進めてゆく計画です。なお、入谷さんは前事務局メンバーですが任期途中で就任されており、在任期間が短いということもあって引き続き事務局幹事をお願いすることになりました。学会運営には学会員の声を広く反映させたいと考えておりますので、学会の方向性なども含めてご意見があれば是非ともお聞かせください。

本年2025年には、これまで日本数理生物学会と並行して中国、インド、日本、韓国の研究者の集いとして開催されてきたCIJKコロキウムが、日本数理生物学会のイベントとしてアジア数理生物学会議（ACMB）という形で再編成されます。そのACMB-JSMB合同

大会が、7月7日から11日にかけて京都にて開催予定で、京都大学の望月敦史大会委員長のもと多くの実行委員会メンバーの協力で準備が進みつつあります（実は私自身も実行委員です）。夏の走りの暑い時期でもあり、またインバウンドの観光客でごった返す京都ですが、学会員の皆様におかれましては数理生物学の新しい枠組みが展開する熱気には是非とも加わっていただければと思います。

近年、アジア諸国の科学分野の発展には目覚ましいものがあります。私には台湾に知り合いの研究者がいますが、台湾は日本よりもずっと小さな国でありながら、欧米で学位をとった研究者が大学や研究機関に職を得て先進的な研究を進めてきました。中国も、近年インパクトの高いジャーナルへの論文掲載が頓に目立ってきています。韓国は、一昨年のCIJKコロキウムおよび昨年のKSMB-SMB合同大会の開催における大きな成功を受けて、数理生物学分野がさらに盛り上がりつつあるでしょう。これらの国々の研究者と協働しつつお互い切磋琢磨して行くことが、数理生物学を発展させていく上で、これからさらに重要になって行くと思います。こうした取り組みは、個々の研究者が「楽しく」研究を進めていくためにも、それを下支えする重要な基盤になると考えます。今後、日本数理生物学会は定期的にACMBを主催することになるはずですが、それは学会や学会員にとってそれなりの負担となるものですが、研究活動の基盤作りとしてコミットしていただければと思います。

とはいえ、こうした学会活動に伴う負担をどのようにシェアして行くのかということも、これからは慎重に考えて行く必要があります。学会の若手～中堅メンバーからは、さまざまな学会業務への対応が求められ負担が大きいという声があるとも耳にします。近年の大学では大講座制に移行している研究室も少なくなく、研究室単位で複数の教員が協力して学会の雑務に当たるといふ旧来の形が取りにくくなっているということもあるように思います。また、研究における成果を求める風潮が強まって、精神的にも時間的にも研究者に余裕がなくなっているということも背景にあるかもしれません。いずれにしても、学会業務のアウトソーシングを進めることでそうした負担を軽減しつつ、同時

*京大学生態学研究センター

に特定の個人に実務が集中するということがないような体制を整えて行く必要があると思います。こうした点については前執行部もさまざまな取り組みをされてきましたが、それを継承してさらに進めて行かなければなりません。数理生物学の発展のためには、数理生物学の楽しみと魅力を次世代に伝えて行く場を提供し続けることが必要ですが、その継続にはサステナブルな運営体制の構築が求められます。その実現には、学

会員の皆様のご協力も必須です。また、そのための取り組みについて、皆様から積極的にご意見・ご提言をお寄せいただければと思います。

最後に、本年が学会員の皆様の研究に進展がある年となることを祈念するとともに、そうした研究活動の基盤作りのために日本数理生物学会および数理生物学の発展に向けて取り組んでゆく所存です。何卒、ご協力をよろしくお願いいたします。

2024 年度数理生物学会年會を振り返って

中岡慎治, 数理生物学会 NL 編集部

2024 年度の数理生物学会は北海道大学で開かれました(年会公式サイト)。対面の年會が戻ってきて、他の会員との交流を楽しまれた方が多かったのではないかと思います。また、Discord という本来はゲーマー向けのトークアプリを大会運営に活用していたのも印象的でした。今回の数理生物学会の振り返りを中岡慎治大会長にお願いしました。

1. 学会の全体的な運営について

1.1 今年の学会のテーマやコンセプトの背景を教えてください。

日々忙しくなり、研究に費やす時間がどうしても取りにくくなっている中、日常と切り離された時間と空間を思う存分堪能していただけるような会にしたいと思い、企画等を考えました。

1.2 運営において特に意識したポイントやこだわった点は何ですか？

アットホーム感のある大会を目指しました。懇親会は開催しなかったものの、二日目のソーシャルギャザリングには、多数の人達に参加して頂きました。会期中にポスター以外も発表賞を設けて景品をお届けしたりするなど、工夫しました。

1.3 事前の準備段階で最も苦労した点は何でしたか？

大会委員長、実行委員長共に大会開催の経験者でしたし、ラボのスタッフ(学生)も十分動いてもらったので、苦労はありませんでした。

2. 学会の参加者・発表について

2.1 今年の参加者数や演題数は例年と比べてどうでしたか？

北海道地区で開催される学会としては、例年規模でした。一方、東京など関東地区や本州開催に比べると、参加人数は少なかったです。

2.2 若手研究者や学生の発表の質についてどのように感じましたか？

若手や学生の発表は聞き応えがあり、発表後の質疑応答や休憩時間に議論をしている姿を見受けました。ポスター発表も進捗状況の報告ではなく、成果をとってまとめた内容が載せられており、発表の質が担保されているなぁという印象でした。



ポスター賞を発表する中岡大会長。手前はイベリコハム!(会場の都合でアルコールがなかったのが惜しまれます)。編集部撮影。

2.3 特に印象に残った発表や議論はありましたか？

大会運営に関わるものとしては、大久保賞の受賞講演でもあった Bozic 博士の発表でした。

3. 学会の運営上の課題と成果

3.1 運営を通じて感じた今後の課題は何ですか？

情報の取り扱いには注意を払わなければいけない時代になっています。プレス対応の基準を設けること、公序良俗に反する内容かどうかの確認とその後の対応など、学会と相談して対応を決めておく必要があると思いました。また、大会の運営は外部業者やシステムが提供するサービスに頼む部分があったとしても、会長や学会事務局、運営委員の日頃からの並々ならぬ努力や準備、現地の学生やスタッフ、有志の学生さん等ボランティアの支えが大きいです。私も来年は一参加者ですが、感謝を忘れないようにしたいと思います。声を上げる機会もそうないので、この場で書かせて頂きました。

3.2 今年の学会の運営で「これは成功した」と思うことを挙げると？

昨年に続けて conft でウェブサイト運営しましたが、省力化できました。

3.3 会員の意見やフィードバックはどのように集めていますか？

会期後は力尽きて、意見やフィードバックを集めることができませんでした。当日にオープンした discord は、会期終了後も継続していますが、会期終了後の書き込み等はありません。もう少し工夫や取り組みが必要だったかなと反省しています。

4. 今後の展望とメッセージ

4.1 来年以降の学会運営で変えていきたいことはありますか？

変えていきたいというよりも、希望です。特定のトピックを取り扱ったシンポジウムを継続してもらうよ

う、学会側からも働きかけ、数理生物学らしいシンポジウムが毎年聞けるよう、活動を支えていくこともあればいいですね。

4.2 若手研究者や学生に向けて、学会をどう活用してほしいですか？

オンラインはじめ、今は色々な学会や研究会に参加できる時代です。横のつながりで得たよいところは、本学会に持ち込んで、自分達の理想の学会を作り上げていって下さい。

4.3 最後に、会員や参加者に向けたメッセージをお願いします。

ご参加いただき、ありがとうございました。

【2024年研究奨励賞受賞者特別寄稿 1】

境界を越えて自由に



柴崎祥太*

1. 初めに

このたび研究奨励賞をいただいた柴崎祥太です。博士課程の頃から2023年9月にポスドクとして日本に帰国するまでは国外を研究拠点にしていたため、この場を借りて私の研究を紹介をしつつ、私なりの数理生物学の魅力や今後の研究の抱負について書き記したいと思います。

数理生物学の魅力の一つは、その自由さだと思います。日本国内の研究だけでも、細胞や分子から、群集や生態系までに広い範囲の生命現象を扱っています。使用される数理的な手法も微分方程式やゲーム理論、最適化など多岐にわたります。最近では、数理モデル単独の研究のみならず、実験系やビッグデータと組み合わせた研究も増えており、数理生物学の裾野はますます広まっていると感じます。また、数理生物学は特定の実験系やフィールドに囚われないため、どんな対象についてどこでも研究できるという利点もあると思います。これは、海外に出て研究しやすいということです。もちろん、日本にも数理生物学を研究できる素晴らしい研究室はたくさんあるので、わざわざ海外に出る必要はないかもしれません。一方、どこにいても研究はできるのだから、わざわざ日本に留まる必要もないと思います。

このような、研究対象・手法・場所の自由さが数理生物学の魅力だと思います。私も、これまでの研究ではこの三種類の自由さを謳歌してきました。私のこれまでの研究対象は、微生物の協力行動、群集動態、迅速な（生物）進化、文化進化などと多岐に渡り、研究手法も数理モデルだけでなく、データベースの解析や実験室実験と組み合わせて行うなどしてきました。さらに、博士課程はスイスで、最初のポスドクはアメリカで行うという幸運にも恵まれました。以下では、これまでの研究を振り返りながらこれらの自由さを記すことで、多くの人に数理生物の自由さの一端に触れてもらえればと思います、

2. 学部時代（東大）：そうだ理転しよう

そもそも私が数理生物学に出会い魅了されたのは、大学に入学してからでした。東京大学に入学した当初

*国立遺伝学研究所 新分野創造センター 特任研究員

は文科三類に所属し、民俗学や文化人類学などの人文学を中心にさまざまな分野の勉強していました。講義をとるうちに、「人間のことを理解するには生物の勉強が必要だ」と思い、専門を決める際¹⁾には、さまざまな自然科学を学べる後期教養学部の統合自然科学科に進学して、理転することにしました。統合自然科学科では講義や実習もほとんどに、図書館でさまざまな本を読んでいました。その中で、数理生物学や進化ゲーム理論、理論生態学の面白さに目覚めました。

3. 修士課程時代（東大）：論文を書こう

修士課程では生物進化や生態学の理論が学べる、東京大学駒場キャンパスの嶋田正和先生の研究室に所属しました。嶋田先生からは細胞性粘菌 *Dictyostelium discoideum* が飢餓状態時に行う子実体形成という協力行動²⁾についての数理モデルを解析することを勧められました。そこで、当時、嶋田先生のもとにいた城川祐香博士に細胞性粘菌の行動実験について習いつつ研究テーマについて相談させていただきました。しかし、文献を調べていくうちに、子実体形成に関する実証も数理モデルが多くあり、自分の興味が薄れてしまいました。代わりに、マクロシスト形成³⁾という、有性生殖に関わる協力行動に興味を持ちました。マクロシスト形成の進化に関する研究がほとんどなされておらず、また細胞性粘菌にとって異性は別の株からしか生まれないにもかかわらず、協力行動を行うという点で興味深い現象でした。そこで、実験室で細胞性粘菌にマクロシストを形成させつつ、修士課程ではその進化動態を数理モデルで解析することにしました。その結果を嶋田先生も面白がってください、幸運にも修士論文の結果を査読付き論文 [1,2] として出版することができました。この論文を書くというプロセスが楽し

¹⁾ 東京大学では学部二年の後期に専門を決めます。

²⁾ 多数の細胞が集合して子実体を形成し、その一部が孢子となって栄養条件が改善するまで休眠する。一方、残りの細胞は柄へと分化して孢子を支え、最後には死亡してしまう。

³⁾ 一部の細胞が性的に成熟して異性の細胞と融合し、接合子を形成する有性生殖の過程。その後、接合子は周囲の細胞を集合させて食べてしまう。



図1 Thesis defense直後のSara（左）と筆者（右）

く、博士課程にも進もうと決心しました。

4. 博士課程時代 (UNIL) : せっかくだし海外で学位を取ろう

修士課程で研究の楽しさに目覚めましたが、博士課程に進むにあたって、一つの困難がありました。それは修士課程の指導教員である嶋田先生の退職が近いいため、博士課程に進むにはまず指導教員を探す必要があったということです。日本の大学院で博士を取ることも考えましたが、博士課程は人生で一回しかない⁴⁾ と思い、せっかくだから海外の博士課程に挑戦することにしました。進学先を色々と検討するうちに、スイスのローザンヌ大学 (Université de Lausanne, UNIL) で微生物の社会性や群集動態について数理と実験を組み合わせて研究されている、Sara Mitri 先生 (図1) の研究室に興味を持ち、メールでコンタクトをしました。実際にローザンヌに行ってセミナーもさせていただき、「自分でフェローシップを取れたら博士課程に入学して良いよ」という返事をいただきました。幸いにして、日本の中島記念国際交流財団とローザンヌ大学から資金援助をいただくことができ、2018年の秋よりUNILに進学しました。ローザンヌでの留学生活に興味がある方は、別の記事 [3] もご覧ください。

博士課程では、まず微生物の協力行動の中でも、有毒物の無毒化に焦点を当てました [4]。生態学や進化学の

研究では栄養をめぐる競争に焦点が置かれがちですが、Sara のグループでは有害物質の重要性にも注目していました。例えば、緑膿菌 *Pseudomonas aeruginosa* はシデロフォアを分泌することで環境中の重金属を無毒化することが知られています。このように、微生物を用いて有害な汚染物質を取り除くことをバイオレメディエーション (bioremediation) と言いますが、バイオレメディエーションが長期的にはうまくいかない例も報告されています。この現象は進化ゲーム理論を使って考えるとよく理解できます。有害物質自体は微生物の増殖率を下げる一方で、有害物質を除去する行動も微生物にとってコストであると仮定しましょう。もし大多数の個体が環境中の有害物質を除去してくれるのであれば、有害物質を除去しない突然変異体は、有害物質の濃度の低下にタダ乗りしながら、有害物質の除去をする野生株よりも速く増殖できます。すると、突然変異体が集団中に広がり、やがて有害物質の除去が行われなくなってしまいます。ゲーム理論の言葉で言えば、有害物質の除去も公共財ゲームになっているのです。そこで、私たちは、環境中の有害物質の濃度を下げるか (協力-非協力行動) だけでなく、環境中の有害物質の濃度を変えずに有害物質への抵抗を持つか (例えば、細胞膜に有害物質を排出するポンプを増やすなど) という二つの戦略の軸を取り入れたモデルを解析しました。その結果、有害物質への抵抗性が異なれば、有害物質の濃度に依存して、有害物質を分解する協力者が非協力者の集団に侵入できることが明らかになりました。この結果を利用することで、長期的に有害物質の分解効率を最大化するようなプロトコルを作り上げることができることも、数理モデルを用いて示しました。

その後は、微生物間の相互作用が環境中の栄養や有害物質を介して間接的に行われるという点に注目しました。例えば、環境に流入する栄養や有害物質の時間変動と個体群動態のゆらぎが群集に与える影響の研究をイギリスの Mauro Mobilia 博士らと行いました [5]。また、環境中の栄養や有害物質を介して相互作用するということは、川や腸内のように階層のある空間構造で栄養や有害物質は上流から下流に流れていくので、上流の種は下流の種に影響するが下流の種は上流の種に影響できないという非対称性があります。この点に注目して、修士課程の学生を指導しながら、どの場所にどの種を配置することで有害物質を最も取り除けるのかといった最適化問題や、上流の群集は下流の群集の安定性にどのように寄与するのか [6] を解析し博士論文にまとめました。さらに、博士論文完成からローザンヌを去るまでに時間があつたため、Sara の研究室でポスドクをしていた Aurore (現 Collège de France ポスドク) と Oli (現 University of Sheffield グループリーダー) と一緒に意見論文も書きました。微生物間では

⁴⁾ 正確にはこの命題は偽である。博士号を複数取得している方もいる。

栄養や有害物質を介して種間相互作用が行われるにも関わらず、実証系ではgeneralized Lotka-Volterraモデルに当てはめて種間相互作用が推定されていることが多くあります。そこで、どのような場合にgeneralized Lotka-Volterraモデルを使っても種間相互作用を推定できるのかを、文献情報と数理モデルの解析によってまとめました[7]。このように、微生物の協力行動や群集動態についての数理的な研究手法を学ぶとともに、実験系の研究者とともに仕事をする姿勢をUNILでは学びました。

5. ポスドク時代 (UNCG&遺伝研) : 手法も分野も広げて

博士課程後半からは、次の研究について大いに悩みました。このまま微生物群集の数理を続けるのか、思い切ってテーマを変えるか迷い、そのころに応募したフェローシップの書類は切れ味の悪い散々な出来のものだったのを覚えています。そんな時、アメリカのノースカロライナ大学グリーンズボロ校 (University of North Carolina at Greensboro, UNCG) で研究室を主催されていた照井慧先生に声をかけていただき、アメリカでポスドクをすることにしました。アメリカでは微生物群集からテーマを変えて、食物網長 (food chain length)⁵⁾の決定要因について研究を行いました。食物連鎖長に影響する要因としては、資源量、攪乱、生態系の大きさなどが挙げられていますが、先行研究間で一貫した影響が出ていないという問題がありました。UNCGでは、この問題に数理モデルの解析と公開されている食物網のデータの収集と解析を行いました[8]。数理面では、MacArthur and Wilsonの「島の生物地理学」の理論に種間相互作用を組み込んで発展させたモデルを解析し、パッチ内の種の侵入および絶滅確率が、現存する他種に応じて確率的に変化するモデルを解析しました。まず、実データで見られる種数や食物網の構造と食物連鎖長の関係をこの数理モデルでも再現できることを確認し、モデルに攪乱と生態系の大きさの効果⁶⁾を入れて食物連鎖長がどのように変化するかを調べました。その結果、食物連鎖長を種数に対してプロットすると飽和型の関数 (図2) になる、つまりもともとの種数が多い時には攪乱や生態系の大きさが変化しても種数は変化しないが、種数が少ない時にはこれらの要因に対して食物連鎖長が鋭敏に変化するということがわかりました。この結果によって、先行研究で一貫しないパターンが出現する理由の一部が示されました。このように、UNCGでは数理モ

⁵⁾ 食物網に含まれる生物の最大栄養段階から1引いたもの。例えば、植物、草食動物、肉食動物の三者系では食物連鎖長は2となる。

⁶⁾ このモデルでは資源量の効果が反映されないという結果になりました。

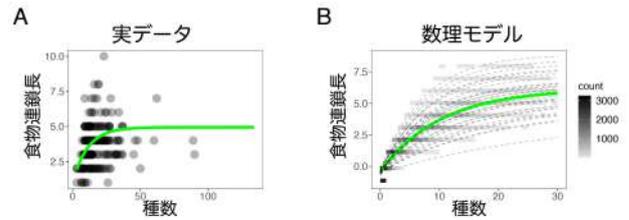


図2 実データ (A) と数理モデル (B) における種数と食物連鎖長。実線は回帰モデルによる推定を示す。(B)の破線では食物網の構造ごとに回帰モデルを当てはめている。Shibasaki and Terui (2024) を改変。

デルを解析するだけでなく、実データを自分で解析してモデルと比較するという姿勢を学びました。

その後、国立遺伝学研究所 (以下、遺伝研) で研究室を開くことになった山道真人先生に誘っていただき、特任研究員として2023年の秋に日本に帰国しました。遺伝研では迅速な進化による個体群動態と進化動態の相互作用 (生態-進化フィードバック) に注目し、数理モデルとプランクトン実験を組み合わせるというプロジェクトに取り組みました。まずは、国立環境研究所から入手した緑藻や、野外サンプルから単離したワムシを継代飼育するところから始めました (図3)。プランクトン実験に慣れながら、山道先生と研究計画を練り、緑藻の塩分耐性獲得に関する実験進化を数理モデルと組み合わせることにしました[9]。多くの先行研究では、環境ストレス (温度や塩分) などを一定の速度で上昇させていき、迅速な進化によって絶滅が回避されるのかが調べられています。一方、私たちの系では、環境ストレスの平均変化速度を一定にしたまま、環境ストレスの変化に変動を加えてました。そして、この変動の大きさによって緑藻の塩分耐性獲得にどのような違いが出るのかを調べました。数理モデルでは、変動が大きいほどストレスへの抵抗の進化が遅れて絶滅しやすくなるという結果が得られました。実験で絶滅した株こそありませんでしたが、大きな環境変動を経験した株ほど高塩分濃度での増殖速度は遅くなり、塩分耐性の進化が遅くなっていることが示唆されました。また、数理モデルでは大きな環境変動を経験した株は大きな遺伝分散を持つことも予想されました。しかし、これを実証的に調べることは難しく、どうにかして間接的にも調べられないか頭を抱えました。そこで思いついたのは、「遺伝分散が大きいほど進化速度は速いので、新しい環境ストレスにも適応しやすいはずだ」というアイデアです。進化実験で得た株をさらに高い塩分濃度で培養したところ、大きな環境変動を経験した株だけが増殖しました。これらの結果を踏まえ、環境変動には、形質の進化を遅くさせる効果と、遺伝分散をあげるという両刃の効果があることが示唆されました。

また、博士課程の終盤から、文化に関する研究にも着

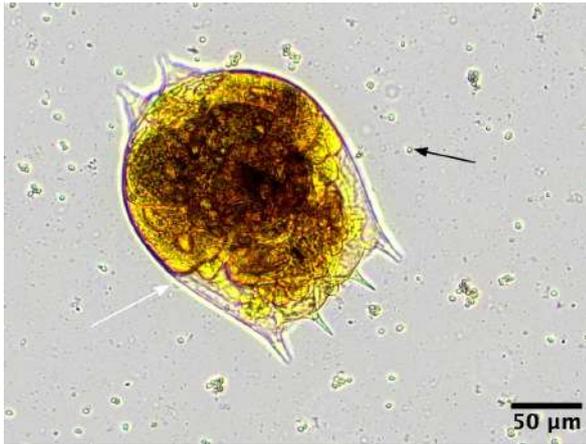


図3 遺伝研で培養しているプランクトン。白矢印は動物プランクトンのワムシ、黒矢印は緑藻のクロレラ。筆者撮影。

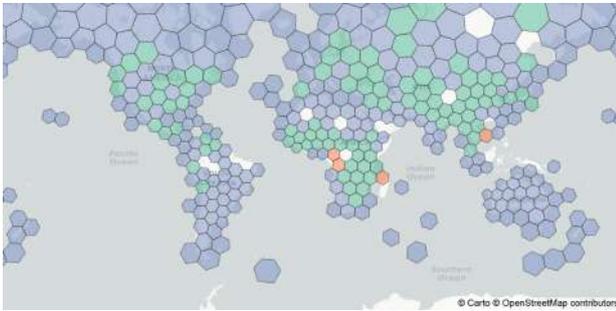


図4 ウサギの民間伝承と現実のウサギの分布の比較。青色は現実のウサギの存在が報告されている地域、オレンジはウサギの民間伝承が存在する地域、緑は現実のウサギと民間伝承が共に存在する地域。Shibasaki, Nakadai, and Nakawake (2024) を改変。

手しました。国立環境研究所の中基亮介さん（現、横国大講師）がプレプリントで公開されていた、巨木への信仰が気候条件などに駆動されている可能性を指摘した論文を読んで中基さんにコンタクトをとり、二人でディスカッションをしていくうちに、人間の文化が生物進化や環境とどのように影響し合うのかに興味を持ちました。文化の研究をしていて、生態学的事実に興味のある安田女子大学の中分遥さん（現、北陸先端科学技術大学院大学准教授）も巻き込み、人間の文化と生物進化や環境との相互作用に関する研究を始めました。例えば、大規模言語モデルによってイノベーションが阻害される可能性を指摘した意見論文 [10] や、大規模なデータベースを組み合わせる解析し、民間伝承の地理的分布が民間伝承に登場する動物の生息域に制約されている（図4）可能性を示す論文 [11] を発表しました。現在も、日本のアニミズムのように自然を破壊すると神や妖怪から罰（タタリ）が下るという信仰がどのような場合に社会に広まり、その信仰によってどのような場合に環境破壊が抑制されるのかといったこと数理モデルを用いて研究しています [12]。

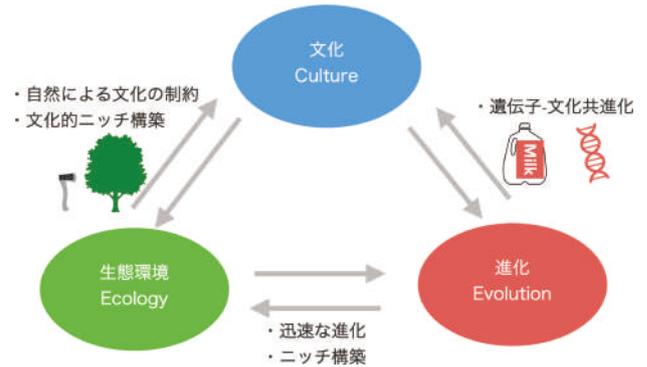


図5 生態-進化-文化フィードバック

6. 今後に向けて：より自由により広く

これまでの研究生活を振り返ってみると、微生物の協力行動の進化、群集動態、迅速な（生物）進化、文化進化、とテーマを広げてきました。一見すると何も繋がりがなさそうですが、これらの要素が組み合わさって複雑な動態が社会や自然界では生じています。生物進化と個体群・群集動態影響し合うことは近年の進化生態学によって明らかになってきましたが、文化進化も生物進化（例えば、酪農文化が乳糖耐性の進化に影響するような、遺伝子-文化共進化）や個体群・群集動態（例えば、森林伐採を通じて景観や周囲の生物に影響を与えるような、文化的ニッチ構築 [13]）と相互に影響しあうことが研究によって明らかになってきています。また、文化進化では人間の文化の影響が強調されますが、文化進化はチンパンジーやトリ、サカナ、昆虫などのさまざまな生物で生じる [14] ことから、これらの生物の文化進化が個体群動態や群集動態に影響している可能性もあります。今後は数理モデルを中心に、さまざまな分野の研究者と共同して実験や実データの解析を行いながら、文化が生物進化や個体群および群集動態にどのように影響し合う、生態-進化-文化フィードバック（図5）についての研究に取り組んでいきたいと思っています。

7. 謝辞

これまで私を叱咤激励をしてくださった、指導教員、上司、共同研究者の皆さまに心から感謝をいたします。また、スイス留学時代には中島記念国際交流財団とローザンヌ大学から多大な援助を受けました。民間伝承に関する研究については、科学技術融合振興財団から援助を受けました。最後に、これまで研究を応援してくれた家族に感謝します。

参考文献

- [1] Shota Shibasaki, Yuka Shirokawa, and Masakazu Shimada. Cooperation Induces Other Cooperation: Fruiting Bodies Promote the Evolution of Macrocytes in *Dictyostelium discoideum*. *Journal of Theoretical*

-
- Biology*, Vol. 421, pp. 136–145, 4 2017.
- [2] Shota Shibasaki and Masakazu Shimada. Cyclic dominance emerges from the evolution of two inter-linked cooperative behaviours in the social amoeba. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 285, No. 1881, p. 20180905, 6 2018.
- [3] 柴崎祥太. 微生物群集の動態を理解し、制御し、利用する@ ローザンヌ大学. 日本進化学会 ニュース. 日本進化学会ニュース, Vol. 23, No. 2, pp. 11–14, 2022.
- [4] Shota Shibasaki and Sara Mitri. Controlling evolutionary dynamics to optimize microbial bioremediation. *Evolutionary Applications*, Vol. 13, No. 9, pp. 2460–2471, 2020.
- [5] Shota Shibasaki, Mauro Mobilia, and Sara Mitri. Exclusion of the fittest predicts microbial community diversity in fluctuating environments. *Journal of The Royal Society Interface*, Vol. 18, No. 183, p. 20210613, 2021.
- [6] Shota Shibasaki and Sara Mitri. A spatially structured mathematical model of the gut microbiome reveals factors that increase community stability. *iScience*, Vol. 26, No. 9, p. 107499, 2023.
- [7] Aurore Picot, Shota Shibasaki, Oliver J Meacock, and Sara Mitri. Microbial interactions in theory and practice: when are measurements compatible with models? *Current Opinion in Microbiology*, Vol. 75, p. 102354, 2023.
- [8] Shota Shibasaki and Akira Terui. Food web complexity modulates environmental impacts on food chain length. *Oikos*, Vol. 2024, No. 4, p. e10331, 2024.
- [9] Shota Shibasaki and Masato Yamamichi. The double-edged effect of environmental fluctuations on evolutionary rescue. *bioRxiv*, 2024.
- [10] Ryosuke Nakadai, Yo Nakawake, and Shota Shibasaki. Ai language tools risk scientific diversity and innovation. *Nature Human Behaviour*, Vol. 7, No. 11, pp. 1804–1805, 2023.
- [11] Shota Shibasaki, Ryosuke Nakadai, and Yo Nakawake. Biogeographical distributions of trickster animals. *Royal Society Open Science*, p. 231577, 2024.
- [12] Shota Shibasaki, Yo Nakawake, Wakaba Tateishi, Shuhei Fujii, and Ryosuke Nakadai. Fear of supernatural punishment harmonises human societies with nature. *EcoEvoRxiv*, 2024.
- [13] 田村光平. 文化的ニッチ構築とその周辺. 社会心理学研究, Vol. 40, No. 2, pp. 100–121, 2024.
- [14] Whiten Andrew. Cultural evolution in animals. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Vol. 50, pp. 27–48, 2019.
-

【2024年研究奨励賞受賞者特別寄稿2】

一生退屈しない「かたち」を測るための放浪



野下浩司*

1. はじめに

この度、大変な光栄なことに研究奨励賞を賜った。イマイチ“ホーム学会”がよくわからない自分にこのような賞を頂いたことに、深く感謝したい。またこの場をお借りし、これまでの研究活動をご支援頂いた皆様にお礼申し上げる。これを励みに、「かたち」の定量化やモデル化に関連した研究を今後とも推し進めていこうと思う。

さて、今回の受賞に伴い、ニュースレターへの寄稿の機会を頂いた。これまでの研究の背景となる諸々と今後の抱負について述べたい。かつては、化石や層序を手がかりに探偵さながらに過去を復元する古生物学者に憧れた。現在は、動物、植物、人工物の「かたち」やその形成プロセスを研究しつつ、農学や医学、材料工学などへの応用も試みるなんだかよくわからない研究者になった。今の研究の方向性に至った経緯や時々、の反省などをまとめることで、若手の方々に多少なり/反面教師的にでも役立つところがあれば幸いである。もしくはお気持ち表明ポエムとして読み流していただければ嬉しい。

本稿では、研究に関連したキャリアを振り返り(2.)、研究内容の遍歴をまとめ(3.)、研究グループ立ち上げ時の反省をし(4.)、最後に今後の抱負(5.)を述べる。そのまえに少しだけ、私の研究の興味を紹介したい。

私は、生物の「かたち」の進化を究極要因と至近要因の両面から定量的に理解したい、という思いから研究をおこなっている(図1)。なぜこんなにも多様な生物が世の中には存在しているのか、逆になぜもっと“変”な生物がないのか。そうした興味は小学生の頃から抱いており、多様な生物の可能性として古生物に惹かれた。現在とは異なる環境とそこに観察されたであろう生物の姿は、現在とは全く異なるようで無限に自由ではない。形態的な多様性と制約のバランス。これを解き明かすことが私の研究の最終的な目標である。どうすれば解き明かしたことになるのかには議論があるが、なぜその「かたち」なんですか?という疑問には説明しうる仮説が複数ありえる。例えば、機能的・適応的説明も、系統的制約による説明も、形成プロセ

形態進化を究極要因と至近要因の両面から定量的に理解する

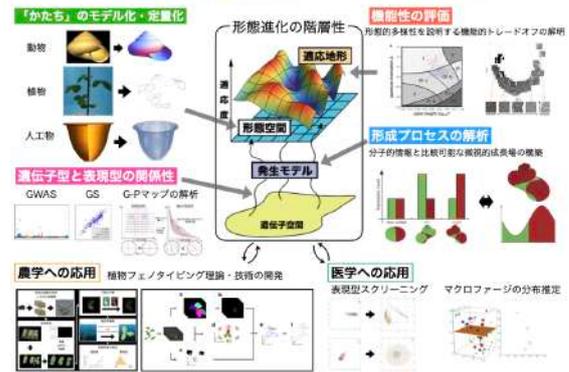


図1 研究の目的と方針

スからの説明も、物理的制約に基づく説明も並列に成り立つかもしれないし、それらのうちのどの要因が支配的かはケースバイケースで、近縁な系統であっても異なることはよくあるように思う。また、後々気付いたことだが、そこに存在する「かたち」のどの性質について説明したいかという解像度が人によりバラバラなことが多い。結果として、すべての局面を説明するような“統一理論”を作ったとしても、それは細部を説明できない可能性が高い。逆にある対象に精度良く適用できる理論や技術は応用性が低く、個別に無限の開発が求められる。そのため出会った任意の対象/現象の形態的多様性と制約を特定することに適用可能なメタソリューションが構築できたときに“解き明かした”といえるのではないかというのが現時点での方針となっている。そしてそのためには数理モデルと形態測定とデータ解析を組み合わせたアプローチが有望だと考えている。

なぜこんな研究者になったのか?

2. 研究に関連したキャリアの振り返り：古生物学者志望の学生が“数理生物学”に出会った結果

高校3年の夏休みに福岡市南図書館で、「複雑系」とは何か [1] を手に取ったのがきっかけのような気がする。古生物学者を目指していた私は、プロローグにおけるジュラシック・パークへの言及に惹かれ、長期貸出

*九州大学大学院理学研究院
noshita@morphometrics.jp

の一冊としてこの本を選んだ。返却日が迫った夏休みの終わりに思い出したように読み始めたが、提示される考え方や当時の熱狂¹⁾に当てられて一気に読んでしまった。カオス、自己組織化、創発、コンピューターシミュレーション、遺伝的アルゴリズム、セルオートマトン、ライフゲーム、ボイド、.... 自分がおぼろげに考えていたことを具体的に研究している人たちがいるんだと感動した。なかでも「あり得た生命」の探索としての人工生命のコンセプトは衝撃で、これまで化石を介した過去の生物の可能性や彼らが絶滅しなかった場合はどうなるといったSF的考察をなどを楽しんでいた私は計算機をつかったアプローチが存在することを初めて認識したように思う。その後も複雑系[3]などを読み面白い分野だと思いつつも、頭のいい人たちが頑張っている領域で自分とはほど遠い印象であった。引き続き古生物学者を目指し、2006年4月に静岡大学に進学した。

古生物学と数理研究の交差点として理論形態学に出会う。理学部地球科学科に入ったものの、地質学関係の講義では記載的なものが多くやや困惑していた。背後にあるメカニズムへの興味の方が大きく、その帰結を身につけることをそれほど楽しめなかったためである²⁾。そんな学部2年の悶々としていた時期に、生形貴男先生（現京都大学）の担当する講義にて二枚貝類やアンモノイド類の殻形態や大量絶滅の理論研究の話の伺い、数理的アプローチと古生物学が繋がるのだと感銘を受けた。特に興味をもったのが理論形態学である。生物の「かたち」の幾何学的規則性やその形成プロセスを数理モデル（＝理論形態モデル）をもちいた研究を理論形態学（theoretical morphology）という。ここで数理モデルをもちいた研究のご利益について改めて述べる必要はないだろうが、現実に存在する/しないにかかわらずモデルに基づいた考察が可能になる点は強調しておきたい。それを端的に示す例が、形態空間（morphospace）のコンセプトである。理論形態モデルのパラメータを各軸にとった空間を考えよう。これはつまりは「ある数理モデル（＝理論形態モデル）のパラメータ空間」であり、ここには仮定する理論形態モデルで表現しうるすべての「かたち」や「形成プロセス」が存在するだろう。すなわち、存在したかも知れない「かたち」も解析の射程に入る！生物形態の多様性と制約を現実にいる/いないに関わりなく探索できるこのアプローチに魅せられた。学部3年の後期から生形研究室へ配属となり、腹足類（巻貝）の殻形態の多様性の理論研究に取り組むことになる。その後も、学位取得までは一貫して腹足類の殻形態を対象として研究をおこなった（後述）。

¹⁾ このときすでにブームは去ったあとであった [2].

²⁾ 興味をもって勉強すれば違ったはず。

余談であるが、卒業研究をベースにした研究は私の最初の論文として古生物学の専門誌に掲載された [4]. また、2007-2010年には福井県立恐竜博物館の第三次恐竜化石発掘調査 [5] に発掘調査補助員として参加し、フクイティタン [6] の発掘にも立ち会うことができた。これにより「古生物学者になる」という私の夢は成就したこととしたい。

理論研究が面白くなってきたので、2010年4月に九州大学大学院システム生命科学府の数理生物学研究室へ進学した。これにより数理生物学に至る。数理生物学研究室での日々は本当に楽しい思い出。指導教官の巖佐庸先生の下、極めて自由な研究生活を送ることができた。森下喜弘先生（現理研BDR）、別所和博さん（現埼玉医科大学）、廣中謙一さん（現ナレッジパレット）、入谷亮介さん（現理研iTHEMS）らとは多様体や連続群論の輪読会をやった。森下先生にはポストク先選びの際にも相談に乗って頂いた。改めて感謝したい。立木佑弥さん（現東京都立大学）、山口諒さん（現北海道大学）とは初めての国際会議と一緒に参加した。山口さんとは沖縄でのサンプリングへも一緒にいった。岩見真吾先生（現名古屋大学）とは夜遅くまで作業した帰りに飲みに行った。現在もメンター的な存在である。同期の高科直さん（現東京大学）とはお互いの研究のダメ出しをしていた。それ以外にも多くの研究者が活発に研究に取り組む心地よい空間だった。

学位取得後、2015年4月より東京大学農学生命科学研究科生物測定学研究室の岩田洋佳先生の下でポストク生活を送った。岩田先生は遺伝育種が専門ではあるが、日本では数少ない形態測定学と遺伝学を組み合わせた研究にも取り組んでいる、私にとって理想的な研究者である。当時は教授に岸野洋久先生（現中央大学）もいらっしや、ポストク仲間などのラボメンバーにも恵まれ、とても刺激的な研究生活だった。このタイミングで3つ大きくその後の判断を変える経験をした。1つ目は、農学と理学の文化の違い。それまで基本的に理学部の文化で育ってきたこともあり「興味ある対象/現象の理解」が最優先と考えていた。一方で、農学では「世界のヒトを食べさせる」ことがミッションとして分野に組み込まれていることを強く感じた。そのため節約的で解釈性の高い・解析的に扱いやすいモデルよりは複雑でもパフォーマンスの高いモデルや多面的な性質を扱ったモデルが好まれる傾向がある [7]. 結果として、数理的な道具の使い方・向き合い方にもギャップを感じ、最初は戸惑ったが良い経験だった。その後他の分野の研究者らと関わるときにも似たことを感じ、医学には医学の、材料科学には材料科学の、各分野でミッションがそれぞれ分野に内蔵されている印象を受ける。2つ目は、チームでの研究。学生時代の私は基本的に一人で研究を進めるのが好きだった。しかし、大規模な圃場試験などは一人では不可能であ

る。沖縄や福島、メキシコなど様々な圃場で多くのプロジェクトメンバーと一緒に播種や形質調査に取り組むなかで、一人ではできない研究・採れないデータがあることを実感した。今も少人数での研究を好む傾向はあるが、技術補佐員さんや学生さんらとともにチームでの研究、そして得られたデータを公開 [8] することでコミュニティとしての研究を進めていきたいと思うようになった。3つ目は、ハードウェアも含めた研究システム構築。私は、学生時代に一人で多数の腹足類標本を計測するために iPad アプリを作るなどの工夫をおこなっていた。しかし、岩田先生のグループでは、形質調査システム [9] やバーコードリーダーを利用した草丈計測、Bluetooth 接続された電子秤、などハードウェアとソフトウェアを統合した研究システムが構築されていた。ハードウェアをいじるという選択肢がなかった私は衝撃を受け、その後ハードウェアを含めたシステム開発に手を出すことになった。

2016年10月からJST さきがけ「情報協働栽培」領域に採択頂き、植物フェノタイピングの研究、特に植物個体や群落の三次元形態情報を用いた解析を進めることとなった。農学、情報科学、数学などこれまでほとんど出会うことがなかった領域の研究者らとの交流の機会となった。現在もそのときの仲間と共同研究したり、一緒に研究費の申請書を書いたりと交流が続いている。その途中2018年4月より、古巣ではあるが佐竹暁子先生を教授とする新体制となった九州大学数理生物学研究室に助教として戻り、現在に至る。

生物の「かたち」の進化を究極要因と至近要因の両面から定量的に理解したいという思いは変わらないが、その時々では研究対象や研究領域は大きく変わった。それにより見える課題が変化し、自分の研究方針を見直すきっかけになった。私の研究活動に関わって頂いた皆さんに感謝したい。

3. 研究内容の遍歴：巻貝の理論形態学から植物フェノタイピング、「かたち」のフェノーム科学へ

学部から学位取得まで、腹足類（巻貝）の殻の理論形態学・形態測定学に取り組んだ。これは幸運だった。軟体動物（貝類）は地上で二番目に大きな分類群で、深海などの極限環境も含め多様な環境に分布する。そしてその貝殻は生存上重要かつ、硬組織で化石にも残るといふ、形態進化のとても良い研究対象なのである。貝殻の適応的な意義として、捕食者に対する防御、乾燥や熱などの環境的擾乱への耐性、姿勢の安定性などが考えられている。実際、捕食圧に沿った緯度ラインや重心と浮心の相対的な位置関係における制約などが知られている。一方、貝殻を形成するための炭酸カルシウムなどの資源や殻を背負うために生じるコスト

の存在が指摘されている。軟体動物の多くは海生種であり炭酸カルシウムを入手しやすい生息環境で観察される。また淡水生種や陸生水棲種では殻の厚みは薄く、装飾は少なくなる傾向がある。こうした貝殻をもつコストに基づく制約の極端な例として、ナメクジやアメフラシなどとして知られる無殻の腹足類が独立に複数回進化的に出現していることが挙げられる。

私は、Raup のモデル [10] と呼ばれる 3 次元的な殻形態を模倣する理論モデルを拡張し、腹足類の殻形態の多様性が殻のバランスと形成効率により説明されること [4] や陸棲種と水棲種では異なる殻の高さと殻口の傾きの形態空間占有パターンを示し、この差異がそれぞれの生息環境での最適な姿勢の違いに起因している可能性が高いこと [11] を示した。

至近要因的な視点からは、遺伝子発現の空間パターンと比較可能な「微視的な成長場」を推定する理論的基盤を開発し、腹足類の貝殻形成プロセスの解明を試みた。貝殻形成タンパク質を分泌する器官（外套膜）での成長因子（Dpp）の発現パターンが殻の巻き方を制御していることが示唆されている。この仮説を定量的に検証するため、成長因子の発現パターンと比較可能な「微視的な成長場」を巨視的な形態に基づき推定する解析法を開発した [12]。

また、これらの過程で博物館標本の計測のためのシステム開発や成長管モデルと呼ばれる微分幾何的な描像に基づく巻きパターンの理論形態モデルのパラメータを実際の標本から推定する手法の開発 [13] などに取り組んだ。

巻貝の研究を通し、究極要因の解明、至近要因の検証、定量的評価という私にとって重要な柱が形成されたといえる。ぜひ皆さんにも貝類の研究に一度は手を出すことをおすすめしたい³⁾。

一貫制博士課程5年目の2014年7月に、田村光平さん（現東北大学）に誘われて考古遺物の三次元形態解析に関わるようになった。自分の研究における初の非生物を対象とした研究である。その研究成果が遠賀川式土器の拡散過程を検証した論文として最近採択された [14]。

ポストドク時代に、植物フェノタイピングの研究を開始した。フェノタイピング (phenotyping) とは、表現型 (phenotype) を個体間の比較や定性的評価、定量化に基づいて特徴づけるプロセスのことである。応用先は様々だが、様々な条件下でのスクリーニングや表現型データを蓄積しゲノムデータや他のオミクスデータとの関連解析に利用することが多い。私はこれまで定量評価されていない形態形質を捉えることを目指して研究に取り組んでいる。群落を特徴づける特徴量の

³⁾ Mathematica の Wolfram がセル・オートマトンで二枚貝の模様を研究していたのは言うまでもない。

開発 [15] やスイレンの花の理論形態学的解析 [16] など様々な方々との共同研究ができた。最近、葉脈のネットワーク構造の多様性と制約を解明する研究 [17] や葉の三次元的な輪郭構造を定量化する技術開発 [18] などを進めている。

2016年1月ごろに岩見先生から相談を受けたことをきっかけに、医学関係の研究にも触れる機会を得た [19]。それから定期的にデータ解析や画像解析などに関連した共同研究に声をかけてもらっている [20]。

九州大学着任後の一番大きな変化は指導学生との共同研究である。全く自分とは発想の違うアプローチや予想しない結果を見せてもらったときの感動は大きい。幸いにもほとんど全員が国際誌に論文を投稿し掲載されている [11,17,18]。一方で、現在のところ全員修士で卒業しており、今後もその傾向は続きそうなので、長期的なプロジェクトよりは1-2年程度を目安に研究の進め方を整えていくのが良いのかと思っている。特に今後はオンボーディングを効率化して、できるだけ早い段階で自由に研究に取り組めるような仕組みを作っていきたい。

また、研究の対象が広がった。「かたち」やその形成プロセス全般を対象とし、数理・情報科学的アプローチによる研究に取り組んでいる。新たに加わった研究テーマは、マウスの脳血管構造、行動データ、イチゴの三次元データ、多孔体電極構造、... など多岐にわたる。そして今後も増えていく予感がする。これから出会う任意の対象/現象の形態的多様性と制約を特定することに適用可能なメタソリューションを構築し、体系化することで「かたち」のフェノーム科学という分野を切り拓きたい。その一環として、形態測定的解析向け Python パッケージの開発にも取り組んでいる (<https://doc.ktch.dev/>)。フィードバック求む。

4. 反省：主に研究グループ立ち上げを思い出しながら

研究グループを立ち上げる際に多くの反省がある。全部挙げるときりがないので、大きな4つについて反省と今だったらどうするかを考えたい。共通するメッセージは、研究グループ立ち上げの際のリソースは限られており、それを効率的に配分すべき、ということになるのだろう。

運用が難しいツール：植物フェノタイプングの研究を進めるなかで、どうしても高精度の三次元データが欲しくなった。当時は写真測量系のツールが一般化してきたところで、Gaussian Splatting や深層学習ベースの手法の登場はまだである。そこで最もストレートに大量のカメラによる写真測量スタジオを構築した (図 2a)。約 100 台のデジタル一眼レフカメラを配置したこのシステムは、無数の電源ケーブル、USB ケーブル、

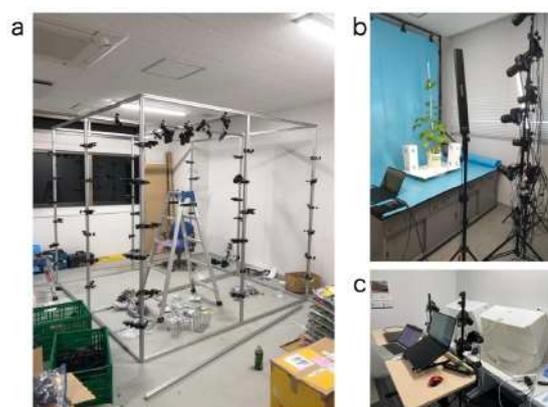


図 2 写真測量システムの before/after. a. 約 100 台のカメラで構成されたシステム. b. 8 台のカメラと回転台からなる中型の簡易写真測量スタジオ [21]. c. 4 台のカメラと回転台からなる小型写真測量スタジオ. これら以外にもいろいろな亜種が存在する/した。

ステレオケーブルが這い回り、サンプルの設置やデータの吸い出しだけでも一苦勞であった。しかも当時は技術補佐員さんも雇用しておらず、基本的には一人で運用を試みており、このシステムを動かすと他にできない状況となってしまった。研究のためのツールなのにそのための解析ができなくなるのでは本末転倒である。教訓としては、限られたリソースしかない状況では運用コストは馬鹿にならないので、できるだけ取り回しの良いシステムを活用すべき、となる。現在はこのような簡易システムに落ち着いた (図 2b, c)。

外部リソースの活用：私の性分なのかもしれないが、できるだけ一人でやりたくなってしまふ。シミュレーションやデータ解析のための計算資源、観察や計測のための顕微鏡、3D スキャナー、... ももちろんどれも必要ではあるが、本当にすべてを購入すべきだったかは (レトロスペクティブには) 疑問が残る。先に触れた写真測量スタジオのような特殊なシステムについてはどうしようもないのだが、スーパーコンピュータや学内共通機器など利用できるリソースはある。そもそもスパコンクラスのリソースは個人ではほぼ調達不可能である。また、計測なども部分的には外注できただろう。必要なリソースを必要な際に必要なだけ調達するのが理想であり、特殊な機器以外は抱え込むべきではない。これらは陳腐化してしまい、“資産”にはなりにくいように思う。

研究プロジェクト・研究費の多角化：どこまで自分の意志でコントロールできるかは微妙だが、良いバランスを探りたい。「かたち」の定量的な解析に関するテーマについては割と何でも面白いと思えるため、ありがたいことに最近は様々なプロジェクトに参画させて頂いている。また、自身も様々な研究費へも申請したり、民間企業との共同研究をしたりと、研究対象がバラバラになっている。そのため継続的に大きなプロジェク

トを進める場合や学生の研究プロジェクトをそのうちの一つと関連させた場合、その分野で継続的に研究費を獲得しなければ持続的でない。結果、複数の分野でさらに申請書を書かないといけない状況⁴⁾になっており、事務的なコストも高まっている。もう少し絞って大きな括りで束ねる必要を感じている。先輩方に多様なラボごとの“ビジネスモデル”のようなものを伺ってみたい。

スタッフの雇用：できるだけ早い段階で秘書さんと技術補佐員さんを雇用すべきであった。初期は自分で事務仕事をやって、それで働いた気になりもしたが、よく考えると何も研究が進んでいない。またある程度決まったワークフローでデータを取得する場合は、ワークフローの確立後は再現性の意味でも他の人に依頼するのが良いと思う。

5. 今後の抱負：「かたち」のフェノーム科学

生物の「かたち」は共通する物理的制約と異なる生息環境の中で進化し、ゲノムにコードされた情報に基づき発生プロセスを経て形成される。この生物の「かたち」の進化を究極要因と至近要因の両面から定量的に理解したいと思い、研究に取り組んでいる。そのなかで別の研究分野で同様の課題に何度も出会うことになった。「かたち」はあまり定量的には評価されていないのである。例えば、認識しやすい構造を単純に計測した形態形質（草丈、葉の枚数、茎葉重など）やその多変量解析による評価が多く、さらに複雑な階層的な構造については専門家による達観評価（例えば、育種家による優良作物の選抜、病理医による組織診断、勘・コツ・経験による製造プロセス）に依存している。そのため冗長な計測となっていたり現状では捉えきれない「かたち」の側面があったりする。私は、生物や生物のつくる「かたち」のフェノーム解析（＝過不足のない「かたち」のモデル化・定量化）を目指すことにした。

生命科学において「かたち」は行動や機能、適応度に関わる極めて重要な表現型だが、網羅的な表現型情報であるフェノームデータの収集・蓄積は限定的である。この背景には、数理モデル化手法の不足、計測データと表現型値のギャップと表現型データの定量性の低さとそれによるスループットの低さがある。A, T, C, Gの文字列としてモデル化・表現されるゲノムデータと異なり、単純に計測した形態形質あるいはデジタル化された形態データを集めただけでは複数要素が階層的に組み合わさった「かたち」を直接的に表現するには不十分である。その結果、表現型データの定

量性は低く、データの蓄積や計算資源による代替が難しい。「かたち」のフェノームのモデル（記述子、特微量）化のための数理基盤の確立と高効率な「かたち」のフェノタイピングシステムが必要である。

生物学以外の分野でも「かたち」の定量化に関する理論・技術の開発と継承は進められてきたが、異なる分野で発展してきたため、定量性が高いものから、ヒューリスティクス、専門家の達観評価と多様であるが、一方で現状では取り扱うことが難しい「かたち」のクラスも存在する。

私は、あらゆる「かたち」を定量的に表現・評価・計測・比較・予測するための汎用的な数理解析基盤の構築を目指す。近年のCTスキャナや3Dスキャナ、2次元画像からの3次元再構築技術の一般化により、従来は計測の難しかった3次元形態情報をボクセル、ポリゴン、点群などのデータとして得ることは十分可能である。しかし、こうしたデータをいくら収集しても対象の「かたち」を過不足なく記述できるわけではない。「かたち」のデータが分布する形態空間の性質の解明や既存のアプローチではカバーできない対象を取り扱うための理論・技術の開発によりこのギャップを埋めたい。そして多様な対象への適用方針をまとめ、体系化したメタソリューションを構築することで、これまで見過ごされてきた現象や他のオミクスデータとの関連を見出す「かたち」のフェノーム解析が可能になるかもしれないと考えている。「かたち」のフェノーム解析の実現を目指し、今後も理論・技術・ツールの開発に取り組む。そして、「かたち」の定量化を必要とするあらゆる分野での課題解決に貢献していきたい。共感いただける方がいれば声をかけてくれると嬉しい。一緒にフロンティアを攻めましょう。これを決意表明として、本稿を終える。

ありがとうございました。ここでは名前を挙げきれなかった多くの方々に支えられ、励まされ研究に取り組むことができている。今後とも折に触れて進捗を聞いてもらおうと刺激になる。最後に、日々の生活を驚きに溢れ愉快的なものにしてくれている妻と息子に感謝を。

参考文献

- [1] 吉永良正. 「複雑系」とは何か. 講談社現代新書. 講談社, 1996.
- [2] 小林徹也. 複雑系はなぜ廃れてしまったか? (私的考察), 2021.
- [3] M. ミッチェルワールドロップ. 複雑系: 科学革命の震源地・サンタフェ研究所の天才たち. 新潮文庫. 新潮社, 2000.
- [4] K Noshita, T Asami, and Takao Ubukata. Functional constraints on coiling geometry and aperture inclination in gastropods. *Paleobiology*, Vol. 38, No. 02, pp. 322 – 334, 2012.
- [5] 福井県立恐竜博物館. 第三次恐竜化石発掘調査, 2010.

⁴⁾分担含め平均して20件/年程度申請している。採択率はお察しください。

-
- [6] Yoichi Azuma and Masateru Shibata. Fukuititan nipponensis, A New Titanosauriform Sauropod from the Early Cretaceous Tetori Group of Fukui Prefecture, Japan. *Acta Geologica Sinica - English Edition*, Vol. 84, No. 3, pp. 454–462, 2010.
- [7] James W. Jones, John M. Antle, Bruno Basso, Kenneth J. Boote, Richard T. Conant, Ian Foster, H. Charles J. Godfray, Mario Herrero, Richard E. Howitt, Sander Janssen, Brian A. Keating, Rafael Munoz-Carpena, Cheryl H. Porter, Cynthia Rosenzweig, and Tim R. Wheeler. Brief history of agricultural systems modeling. *Agricultural Systems*, Vol. 155, pp. 240–254, 2017.
- [8] Koji Noshita. Morphometrics Group Dataset Collection (MGDC).
- [9] Kakeru Watanabe. FenoLabel.
- [10] David M. Raup and Arnold Michelson. Theoretical Morphology of the Coiled Shell. *Science*, Vol. 147, No. 3663, pp. 1294–1295, 03 1965.
- [11] Amane Araki and Koji Noshita. Theoretical morphological analysis of differential morphospace occupation patterns for terrestrial and aquatic gastropods. *Evolution*, Vol. 77, No. 8, pp. 1864–1873, 2023.
- [12] Koji Noshita, Keisuke Shimizu, and Takenori Sasaki. Geometric analysis and estimation of the growth rate gradient on gastropod shells. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 389, No. C, pp. 11 – 19, 01 2016.
- [13] Koji Noshita. Quantification and geometric analysis of coiling patterns in gastropod shells based on 3D and 2D image data. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 363, pp. 93 – 104, 12 2014.
- [14] Koji Noshita, Tomomi Nakagawa, Akihiro Kaneda, Kohei Tamura, and Hisashi Nakao. The cultural transmission of Ongagawa style pottery in the prehistoric Japan: Quantitative analysis on three-dimensional data of archaeological pottery in the early Yayoi period. *Journal of The Royal Society Interface*, accepted.
- [15] Wei Guo, Yuya Fukano, Koji Noshita, and Seishi Ninomiya. Field-based individual plant phenotyping of herbaceous species by unmanned aerial vehicle. *Ecology and Evolution*, 2020.
- [16] Shiryu Kirie, Hideo Iwasaki, Koji Noshita, and Hiroyoshi Iwata. A theoretical morphological model for quantitative description of the three-dimensional floral morphology in water lily (Nymphaea). *PLOS ONE*, Vol. 15, No. 10, p. e0239781, 2020.
- [17] Kohei Iwamasa and Koji Noshita. Network feature-based phenotyping of leaf venation robustly reconstructs the latent space. *PLOS Computational Biology*, Vol. 19, No. 7, p. e1010581, 2023.
- [18] Hidekazu Murata and Koji Noshita. Three-Dimensional Leaf Edge Reconstruction Combining Two- and Three-Dimensional Approaches. *Plant Phenomics*, Vol. 6, p. 0181, 2024.
- [19] Katsuhito Fujiu, Munehiko Shibata, Yukiteru Nakayama, Fusa Ogata, Sahohime Matsumoto, Koji Noshita, Shingo Iwami, Susumu Nakae, Issei Komuro, Ryoza Nagai, and Ichiro Manabe. A heart-brain-kidney network controls adaptation to cardiac stress through tissue macrophage activation. *Nature Medicine*, Vol. 23, No. 5, pp. 611–622, 2017.
- [20] Shoya Iwanami, Keisuke Ejima, Kwang Su Kim, Koji Noshita, Yasuhisa Fujita, Taiga Miyazaki, Shigeru Kohno, Yoshitsugu Miyazaki, Shimpei Morimoto, Shinji Nakaoka, Yoshiki Koizumi, Yusuke Asai, Kazuyuki Aihara, Koichi Watashi, Robin N. Thompson, Kenji Shibuya, Katsuhito Fujiu, Alan S. Perelson, Shingo Iwami, and Takaji Wakita. Detection of significant antiviral drug effects on COVID-19 with reasonable sample sizes in randomized controlled trials: A modeling study. *PLoS Medicine*, Vol. 18, No. 7, p. e1003660, 2021.
- [21] Koji Noshita. A simple photogrammetry studio. 2023.
-

書評：生命と社会の数理モデルのための 微分方程式入門

培風館，2024年，208p



稲葉 寿, 國谷 紀良, 中田 行彦 著

本書は、生物学や社会科学への応用を意識した微分方程式の入門書である。数理生物学において、微分方程式による現象のモデリングや解析は必要不可欠なツールである。微分方程式の基本理論はコンパクトで読みやすく、類書にはない特徴として、応用例や演習問題がとりわけ豊富である。こうした内容の充実さにより、数式による議論も、読者がスムーズに受け入れられるように展開されている。

第1章は1階微分方程式についてである。正規形の微分方程式や初期値問題が紹介されてまもなく、マルサスモデルやプルトニウムの半減期が取り上げられている。微分方程式の重要性を、導入部の早い段階で見出せる。本章だけでも、ローンの均等返済方式、ロジスティック方程式や移民を考慮した人口モデル、魚の体重モデルの時間発展といった多岐にわたる身近なテーマが紐づけられている。線形微分方程式、変数分離形微分方程式、完全微分方程式や前述のモデルの適切性を論じるための解の存在・一意性に関する数学的な内容も、途中式を交えて見通し良く書かれている。ペアノの定理、一意解の延長、初期値やパラメーターへの解の連続的依存性などの抽象論の一部を参考文献に委ねることで、読者は数学的興味に応じて必要な知識を蓄えられる。

第2章は2階線形微分方程式についてである。2階の微分方程式が連立の1階微分方程式に還元できることを前章からのつなぎとして、定数係数の同次方程式に対応する特性方程式やその特性根などを紹介している。本章では、摩擦を考慮したバネ振動の方程式での重り位置の漸近挙動や周期的外力を加えた強制自由振動の方程式でのバネの共鳴現象が取り上げられている。ラプラス変換の応用として、ロトカの積分方程式も言及されている。人口学での基本的な概念である内的成長率や基本再生産数について、解説がなされている。

第3章は現象の数理モデルの基本形となる連立の線形微分方程式についてである。線形項を特徴づける行列の固有値・固有ベクトル、指数関数から始まり、非同次方程式、正值線形システムや周期係数をもつ微分方程式が議論的となる。前章よりは数学的な記述が必

然的に増えているが、要所ごとに具体例を伴った演習や個体群ダイナミクスとの関連付けが記載されている。各単元の数理モデルにおける意義を読者自身で調べ、新たなモデルとの出会いに期待を高めながら、じっくりと読み進めたい部分も出てくるであろう。

第4章は非線形系の基礎理論である。解を解析的に求める一般的な方法が無い非線形微分方程式の解の振る舞いを調べる方法として、平衡解の安定性やリアプノフ関数、リミットサイクルなどが紹介されている。本章でも具体例を扱った効果的な演習が用意されていて、2次元での線形系ダイナミクスや分岐構造についても、ベクトル場付きの数値例が理解を助けている。なお、応用例としての数理モデルの記載は控えめである。モデルの紹介を次章に回して、解析の道具立てを前もって体系的にまとめた本書の流れは、私には読みやすい。

第5章は感染症流行、被食-捕食や経済成長などを記述した様々な数理モデルについてである。モデリングのアイデアや解析結果の現実的な意味付けに対する考察は細やかで、感染症流行の基本モデルの近年の発展形となるSIRSモデルやマルチグループモデルが載った和文のテキストは、本書が初である。数理モデルが生物学や社会科学の諸問題のメカニズム解明に貢献し続けていることを、上記の内容からも十分に感じとれる。本章の演習では、モデルを読者自身で作ることや、従来のモデルを修正したモデルのダイナミクスを論ずることを問うている。演習に取り組むほど、研究の最前線にふれる機会が増え、先行研究への理解が一段と深まるであろう。

本書には、微分方程式の書物とするには勿体ないほど数理生物学の面白い話題が散りばめられている。数学的な議論でも、正確さを保ちながら、初学者の目線に立った平易な文言による教育的な配慮が行き届いている。自身の解析学の講義でも、早速本書を活用させていただいた。数理生物学をはじめ、経済学、物理学、工学を含む幅広い分野に興味を持つ方々に、読み応え抜群の本書をお勧めしたい。

(東京理科大学 教養教育研究院 江夏洋一)

原稿募集のお知らせ

【卒論・修論・博論 内容要約文（短文）】

卒論，修論，博論の内容要約文（短文）をお送りください。次号ニュースレター106号（2025年5月発行号）に掲載を予定しております。

- 字数：数百字程度（例年は200字から300字程度のものが多いです。）
- 書式：タイトル部分に，卒業論文・修士論文・博士論文の別，論文題目，著者名，所属名の記載をお願いします。
- ファイル形式：テキスト，Word，TeX等
- 締め切り：2025年4月5日
- 宛先：miura.takashi.869@m.kyushu-u.ac.jp

【卒論・修論・博論 要旨（長文）】

卒論・修論・博論の要旨（長文）を募集します。卒論・修論・博論の内容をもう少し詳しく紹介したい方は是非こちらの原稿も投稿してください。次号ニュースレター106号（2025年5月発行号）に掲載します。

- 分量（目安）：卒論・A4で1ページ程度，修論と博論・A4で2ページ程度
 - 書式：タイトル部分に卒業論文・修士論文・博士論文の別，論文題目，著者名，所属名の記載をお願いします。1段組でも2段組でもかまいません。図表や写真も可です（解像度を適切に調整するなどしてファイルサイズが不必要に大きくなりすぎないようにしてください）。
 - ファイル形式：pdf
 - 備考：戴いたPDFファイルをそのままとめます。
 - 締め切り：2025年4月5日
 - 宛先：miura.takashi.869@m.kyushu-u.ac.jp
-

学会事務局からのお知らせ

1. 新事務局発足

2025年1月より山内淳新学会長（京都大学生態学研究センター）のもと、新事務局が発足しました。

池川雄亮、入谷亮介、加茂将史（幹事長）、川口勇生の4名で山内学会長および新運営委員の学会運営をお支えてまいります。

昨年まで事務局の運営に携わってくださった黒澤元幹事長、瓜生耕一郎さん、中丸麻由子さん、山口幸さん、2年間ご苦勞様でした。新事務局試運転中は、何かとお聞きすることになると思いますので、笑顔でご教示いただけたら幸いです。

2025年度の年会は7月初頭に京都で開催される、アジア数理生物学会議、と合同で行われます。みなさん、夏のホットな京都で、ホットな会議を満喫しましょう。関しまして、若手奨励賞の審査スケジュールが例年と異なります。詳しくは、下記「研究奨励賞候補者募集のお知らせ」をご覧ください。

新事務局一同、会員の皆様のお役に立てる運営を行えるよう、新会長を支えていきたいと思っております。どうぞよろしく願いいたします。

第18期事務局幹事長 加茂将史

2. 旧事務局からの挨拶

2023年1月より2年間、時田恵一郎会長のもと、瓜生耕一郎さん、中丸麻由子さん、山口幸さん、入谷亮介さんとともに学会事務局を務めました。この間、中田行彦前幹事長をはじめとする前事務局の皆様、瀬野裕美前会長、運営委員会・各委員会の皆様、そして会員の皆様に支えられ、無事に任期を終えることができました。多くのご協力を賜り、心より感謝申し上げます。至らぬ点や十分に対応できなかったこともあったかと思っております。ご不便やご迷惑をおかけした方々には、深くお詫び申し上げます。

この2年間で、2023年（奈良女子大学）および2024年（北海道大学）の日本数理生物学会年会が開催されました。いずれの大会も、大会委員長をはじめとする実行委員会の皆様のご尽力、そして多くの参加者のおかげで盛会となりました。また、この期間中、時田会長のリーダーシップのもと、運営委員会ではデジタル化の推進や若手支援について検討を重ねていただき

ました。その一環として、スマートフォンや多国語対応が可能となるよう、学会ホームページをhtml型からWordPress型に移行しました。さらに、以前から課題となっていたニュースレターの発送作業負担を軽減するため、三浦岳編集委員長のご尽力のもと、ニュースレターのオンライン化を進めました。冊子体のほうが望ましいと感じる方もいらっしゃるかもしれませんが、何卒ご理解いただければ幸いです。また、昨年は理論生物学夏の学校の参加者に対し、学会予算から旅費支援を実施しました。

事務局は、日々の業務や研究活動の合間を縫いながら、会長・副会長、運営委員会と連携し、多岐にわたる業務を担っています。2025年1月より、新たに加茂将史幹事長を中心とする事務局が発足しました。事務局内の議論や会長・副会長、運営委員会との連携のもと、今後も学会の発展に尽力されることと思っております。会員の皆様には、引き続きご理解とご協力を賜りますようお願い申し上げます。

この2年間、誠にありがとうございました。一会員として、日本数理生物学会のさらなる発展を心より願っております。

2025年2月

第17期事務局を代表して
幹事長 黒澤元

3. 研究奨励賞候補者募集のお知らせ

日本数理生物学会（JSMB）は、数理生物学に貢献をしている本学会の若手会員の優れた研究に対して、研究奨励賞を授与しております。本賞、2025年（第20回）の候補者の推薦をお願いします。本賞は、安定した職に就いていない若手研究者のキャリアアップに資することをその目的の一つとしております。本賞の受賞対象となる若手会員とは、学位取得後、実質的な研究歴を開始してから概ね7年以内の方が典型ですが、育児などのライフイベントによる研究中断期間については審査において考慮されます。

研究奨励賞は、候補者自身が推薦しても、他の方が推薦しても構いません。本賞の受賞は、若手会員にとっては今後の活躍の大きな一歩となります。我こそはと思う若手の方、積極的に自薦ください。若手会員

を推薦することは、彼ら、彼女らの活躍の後押しをすることそのものです。彼ら、彼女らの今後の活躍のため、他薦も積極的にご活用ください。

【ご注意ください】

本年は応募の締め切りが、2月末、と例年（4月末）よりも二ヶ月早くなっております。数理生物学会年会は9月に行われるのが通例ですが、本年は、アジア数理生物学会議（ACMB）と合同で7月の開催となります。そのため、募集、審査のスケジュールも二ヶ月の前倒しとなっています。例年に比べ、タイトなスケジュールとなっておりますが、よりたくさんのお応募をお待ちしております。

研究奨励賞の候補者を自薦または他薦する場合、次の書類を（送付先）までメールでお送りください。

- (1) 推薦者の名前、住所、電話番号、電子メールアドレス、所属（自薦の場合は不要）
- (2) 候補者の名前、住所、電話番号、電子メールアドレス、所属
- (3) 業績についての推薦者による簡単な説明文、及びそれに関連する主要論文3編以内の別刷またはコピー
- (4) 候補者の簡単な履歴。様式は問わない。なお、現職が任期付き職である場合、その旨明記するのが望ましい
- (5) 候補者の研究業績リストおよび数理生物学会での活動歴。なお、候補者の業績について照会できる方2名までの氏名・連絡先を記載されても構いません。その方にあらかじめ了解をとる必要はありません

締め切りは、**2月28日（金）**です。例年より募集期間が短いですが、より多くの候補者の推薦をお待ちしております。また、過去の推薦で受賞に至らなかった方も再推薦可能です（ただし、業績リスト等は要更新）。質問ございましたら、（送付先）まで御遠慮なくお問い合わせください。

（送付先）

日本数理生物学会事務局

E-mail: secretary@jsmb.jp

過去の受賞者（所属は受賞時のもの）

- 2006年（第1回）：若野友一郎（東京大学）
2007年（第2回）：今隆助（九州大学），西浦博（長崎大学）
2008年（第3回）：大槻久（東京工業大学）
2009年（第4回）：近藤倫生（龍谷大学），中岡慎治（東京大学）
2010年（第5回）：岩見真吾（JST さきがけ，東京大学），手老篤史（JST さきがけ，北海道大学）
2011年（第6回）：小林豊（東京大学），仲澤剛史（京都大学）

2012年（第7回）：佐竹暁子（北海道大学），増田直紀（東京大学）

2013年（第8回）：波江野洋（九州大学），大森亮介（Weill Cornell Medical College in Qatar）

2014年（第9回）：三木健（National Taiwan University），山口幸（神奈川大学）

2015年（第10回）：加納剛史（東北大学），中田行彦（東京大学）

2016年（第11回）：國谷紀良（神戸大学），江島啓介（University of Alabama）

2017年（第12回）：水本憲治（University of Georgia），山道真人（東京大学）

2018年（第13回）：江夏洋一（東京理科大学），立木佑弥（首都大学東京）

2019年（第14回）：黒川瞬（高知工科大学）

2020年（第15回）：入谷亮介（理化学研究所），岡田崇（理化学研究所）

2021年（第16回）：阿部真人（理化学研究所），伊東啓（長崎大学）

2022年（第17回）：山口諒（北海道大学，University of British Columbia），遠藤彰（London School of Hygiene and Tropical Medicine，長崎大学）

2023年（第18回）：伊藤公一（北海道大学），藤本悠雅（総合研究大学院大学）

2024年（第19回）：柴崎祥太（遺伝研），野下浩司（九州大学）

4. 事務局連絡先

事務局幹事長：加茂 将史

会計：川口 勇生

事務局幹事：池川 雄亮、入谷 亮介

〒305-8564 茨城県つくば市小野川16-1

産業技術総合研究所・安全科学研究部門 加茂将史

E-mail: secretary@jsmb.jp

編集後記

2025年2月号をお届けします。前号より完全電子化へ移行したことで、より多くの時間を内容の充実に充てられるようになりました。今後も、編集業務のマニュアル化・省力化を進めつつ、より質の高いニュースレターをお届けできるよう努めていきます。本年7月にはACMB-JSMB合同大会が開催され、学問分野としてさらなる発展が期待されます。本ニュースレターがその一助となることを願っております。

日本数理生物学会ニュースレター No105

2025年2月発行

編集委員会委員 三浦岳*, 杉原圭,

國谷紀良, 内海邑

(*が委員長)

miura.takashi.869@m.kyushu-u.ac.jp

国立大学法人 九州大学

〒812-0054 福岡市東区馬出3-1-1

発行者 日本数理生物学会

The Japanese Society for Mathematical Biology

<http://www.jsmb.jp/>
