

日本数理生物学会 ニュースレター

第101号
2023年9月



【特集】

2022年度 卒業論文・修士論文・博士論文(追加)

修士論文

大槻南央

東北大学大学院情報科学研究科 情報基礎科学専攻

他者の利益にただ乗りする者の存在比に関する数理モデル研究

アミメアリのコロニーは働きアリの分業で維持されており、若齢の個体は繁殖・養育を行い、老齢の個体はコロニー外で食糧調達を行う。さらに、アミメアリのコロニーには遺伝的に異なり繁殖のみを行う系統（働かないアリ）が併存する。本研究では、働かないアリの存在と働きアリによる産仔数や分業比率との関係について、数理モデルを構築し議論をした。解析の結果、働きアリが実現しうる最大の総産仔数は、コロニーに併存する働かないアリの比率に対して単調減少することが示された。また、総産仔数が最大となる分業比率が働かないアリの比率に対して単調増加、単調減少、一定値の性質を持つ条件をそれぞれ導いた。

Zhiqiong FU

東北大学大学院情報科学研究科 情報基礎科学専攻

A Mathematical Model on the Efficiency of Regional Lockdown in Epidemic Dynamics (感染症伝染ダイナミクスにおける局所的ロックダウンの効果に関する数理モデル)

Lockdown is one of the effective methods to prevent the further spread of an epidemic, though it may bring about economic and social difficulty in the community. To balance the epidemic control and social activities, the policymaker needs to choose a better policy to take account of a balance of them. In this work, we consider a mathematical model of epidemic dynamics to theoretically discuss the efficiency of lockdown, for which we introduce some different types of lockdown with respect to the degree of restriction on social activity. By our analysis on the model, we find that the complete lockdown with the strictest restriction on the mobility is not necessarily the best measure to suppress the spread of an epidemic. The weak lockdown with the minimal restriction may has a higher efficiency than the complete lockdown.

博士論文

Ishfaq AHMAD

東北大学大学院情報科学研究科 情報基礎科学専攻

Population dynamics model for the effect of isolation on final epidemic size

In this thesis, we examine the effect of limited isolation capacity on the final epidemic size, defined as the total number of individuals who had the experienced of the disease. In many countries, there has been a shortage of medical resources under the outbreak of SARS-COV-2. The isolation requires a specific space with highly organized conditions to keep the infected individuals away from the other community members, so that there must be a certain capacity for it. With its too small capacity, the isolation strategy may break down at a finite time on the way of epidemic process. Our analysis on a mathematical epidemic dynamics model derives a critical value of the isolation capacity below which the isolation reaches the capacity in a finite time in the epidemic season. In addition, the model shows that the final epidemic size could have a discontinuous jump at the critical value of the isolation capacity when the spread of disease is very slow and the recovery from the disease takes a sufficiently long time. From the viewpoint of a policy for prevention of a transmissible disease spread, the isolation of detected infectives is one of the possible choices. Our result implies the necessity of a sufficient capacity of the isolation in order that the isolation works effective to suppress the final epidemic size.

Elza Firdiani SOFIA

東北大学大学院情報科学研究科 情報基礎科学専攻

Mathematical Study on the Social Situation-Dependent Prevalence in Epidemics

The main purpose of this work is to investigate the estimation of social situation by using infection probabilities in the case of disease outbreak in a certain community with members who have different level of activities. In our modeling, we take into account different phases

of human activity, whether it takes place solely in the private situation or both private and social spheres, followed by the division of the community members into two classes: active and less active. We found that there is a dependence of the infection risk upon

the community structure and activity. Our analysis implies that there are critical conditions for the class size and human activity with respect to the infection risk for a community.

2023年度日本数理生物学会大会報告書

瀬戸 繭美*

1. 大会概要

9月4日(月)から6日(水)までの3日間、奈良女子大学ならびにオンライン上での開催のハイブリッド形態で大会を実施した。大会ホームページ(<https://confit.atlas.jp/guide/event/jsmb2023/top>)は、おそらく1年間はアクセス可能である。オンライン参加登録者数は230名(内、一般会員102名、一般非会員30名、学生会員49名、学生非会員29名、聴講のみの学生20名)、さらに現地参加登録者数が一般8名、学生9名であった。懇親会参加者は107名+学生スタッフ数名であった。企画シンポジウムの申し込み総数が11、発表総数は164件(内、一般口頭発表92件、ポスター発表34件、企画シンポジウム発表38件[数件登録忘れ有り])であった。発表者数は全体として昨年度大会の3割増しであり、例年になく過密スケジュールとなった。

2. 実行委員(以下LOC)の体制について

今年度に関しては学内(奈良女内)年会LOC1人(兼実行委員長)という形での開催を余儀なくされた。こうしたLOCの在り方は学会の持続可能性の面でも不健全であることから、現在学会運営委員内で今後の年会実行委員の体制について検討中であり、大会委員長選出過程に関しても変更が発生する可能性がある。また、学会事務局が年會にコミットすることについても検討されつつある。

3. 次期大会実行委員のオブザーバー参加について

自分自身が昨年度の明治大学の実行委員のメンバーリストに加えていただいたことで、いつまでに何を実施しなければならないか、何が大会実施の上で大きな問題となりそうかが把握できたことは大きな収穫だった。昨年度の実行委員長である若野友一郎さんには突然の申し出にも関わらず快諾いただいたこと大変感謝している。今回の大会業務中は特に希望もなかったことから次回の北大メンバーに何も引き継げなかったが、双方の実行委員業務の負担を減らす意味でも、

次期大会実行委員はオブザーバー的な形で前年実行委員の作業を把握できるようにしておけると良いのだろうと思う。もしかしたらしばらくオンライン開催が続いた故かもしれないが、大会実施に際しての文書化された引き継ぎ資料が存在しないことには正直閉口した。

4. 学会支援金について

物価も上がり、大学・研究所も貧しくなる中、30万円の支援金が妥当であるかどうかは今一度検討しても良い額であると感じる。下世話な言い方ではあるが、金で解決できることは多く、むしろ金で解決できることばかりである。もし学会が積極的にLOCに参加しないのであれば、LOCの負担を減少するために参加費を上げざるを得ないだろう。参加費が高くて一番困るのは学生や一時的に研究費が獲得できなかった方であり、そうした方にこそサポートが必要であり、学会として検討する必要があるだろう。学会として収入を増やしLOCをサポートする必要があるれば、たとえば企業後援を募ることはもっと積極的に検討して良いだろう。自分自身も5月くらいに予算案を眺めながらそこに思い至ったが、その他の業務もある中、しかも5月から後援を募るのではだいぶ遅かろうと判断し、今年度は諦めるに至った。たとえば企業スポンサーセッションなどを設けたり、企業によるランチョンセミナーを開催したり、販売ブースを設けたりするなどし、賛助金を設けると良いように思う。ただ、これもLOCに一人からおまかせでは大変なので、今のうちから学会の方で働きかけができる方が良いのではないだろうか。

5. 会計業務について

大会のための口座というものがない。他学会でも似たようなことを耳にするが、大会ごとに口座を開設しなければいけないという非効率な形態がまかり通っており、頭を抱える。自分が考えつく対応方法は3つである: 1) 自ら口座を開設する、2) 良い会計外注先を探す、3) 学会口座を大会口座として利用する。来年度もしConfitを利用するのであれば、確か参加費受付の約1ヶ月前までに口座登録が必要であるため、それまでになんらかの方法で口座を準備する必要がある。おそらく1年前から動いておくのが良い。自ら口

*奈良女子大学 理学部 化学生物環境科学科

座を開設することを検討する場合、昨年度の明治大情報ではみずほ銀行の場合は口座開設が不可だったとのこと。人格なき社団であることが理由だったか、本学会の所在地が会長自宅であることが理由だったか、記憶が定かではない。ゆうちょ銀行で相談した際は、全く取り付く島もないという感じではなかったため、口座開設可能である印象を受けた。今回の場合は私の友人が会計士であったので、業務委託契約書を作成、契約し、口座を一時的に借りる形で口座を準備した。学会口座を大会口座として利用するのも可能ではあるだろうが、事務局会計担当の業務負担が増大することに注意が払われるべきである。学会会計業務を外注できるような仕組みが確立すれば一番良いのかもしれない。

6. 会場について

大学での大会開催というものが本当に必要なのかよくわからない。大きなメリットは会場費がかからないことだろうが、大学開催ということだけでその大学の教員の負担が莫大になる。今回の場合であればぱっと思いつくだけで立て看板の設置、会場設営・現状修復作業、会場管理、ネットワークアカウント発行、などなど。この辺会場レンタルも含めてイベントとして請け負う外注先があるならばLOCの大きな業務軽減になるだろうが、それがあったとしてどんなに少なく見積もっても100万円以上になるだろうと予測（つまりはLOCがそれだけの金銭的価値を負担しているということでもある）。

今回ポスター会場については私の完全なる手落ちで、狭い会場に多くの方が集うこととなり、大変申し訳なく感じている。色々な都合で口頭発表の会場を封鎖する必要があったことも影響しているが、もっと分散させてポスターを配置するべきであった。感染症対策の面でも非常によくはない環境となってしまう、発表者・来場者・ポスター賞審査員の皆様に改めてお詫びしたい。

7. 学会業務委託について

参加費の振込手続きの管理などの学会業務委託先を決めるために、合計4社とオンラインで打ち合わせをするとともに相見積もりを行った。どの会社も好印象であったが、今回求める規模と予算感で最もフィットすると感じたのがAtlasのConfitスタータープランであり、契約することにした。Confitの最も良かったところは現在学会が利用している学会向け会員管理サービスSMOOSYと連携しているところで、会員非会員の区別が自動化されているところであり、会費の支払いの際に混乱が少なかったところである。また、Atlasの担当者はレスポンスが早く、いつも丁寧に対応してくださったことも大変ありがたかった。利用の際に注意すべきは、Confitは参加費・懇親会費登

録のシステムは提供するものの、サブスクリプション決済サービスについては提供に含まれておらず、別途ROBOTPAYMENTと契約が必要となる点である。ウェブサイト機能は、自分自身はhtmlベタ打ち世代？なので利用しにくい（一応htmlタグでも記入できるが画面が見にくい）と感じたので、学会の雑多な業務を一手に引き受けてくれた友人に文章だけを送り、ひたすらコピペしてもらい、細かい修正などをお願いした。英語化はだいぶChatGPTを利用した。丁寧に確認する暇がなかったので、色々変なところがあるのは多めに見てほしい（指摘がなかったので多めに見てもらえたのだろう）。

8. 託児サービス

会長・事務局・運営委員会の賛同を得て、託児にかかる費用について学会支援金とは別にJSMB大会託児所利用料補助を支出いただけることとなった。この点についてお認めいただいた皆様、そしてこれまで数理生物学会に寄付をいただいた方々に改めて感謝の気持ちを述べたい。開催地によって託児にかかる費用や負担感が大きいことは、考慮する必要がある（JSMB Newsletter No. 91掲載の中丸麻由子氏の報告書も是非参考にしてほしい）。研究の道や機会を、誰かが何かの理由で諦めてしまわなければならないことは、私は単純にとっても悲しい。当たり前のように発生するライフイベントであれば尚更である。女子大開催ということに限らず、今後もぜひ託児サポートに関して積極的に考えていただければと思う。

9. ハイブリッド開催

今年度のハイブリッド開催については、コロナウィルス感染症の動向に対応することも考えた結果でもあるが、ここ数年間の苦労の中でせつかく良くなったところをまた元に戻したくなかったという気持ちが大きい。懇親会の長々とした挨拶の中でも述べたが、コロナウィルス感染症は本当に大きな災いをもたらした一方で、多くの人々の努力の下でオンライン交流技術は劇的に向上した。こうした技術向上で子育て、介護など、様々な理由で学会現地参加が困難な方に開かれた学問の扉を再度閉じることはしたくないと思い、絶対に自分の首を絞めることになるな（見事に絞めた）と思いつつもハイブリッド開催を決心した。今回は直前にコロナウィルスに感染された方も多かったようで、苦労もトラブルもあったが、オンライン参加での対応も可能として良かったと感じている。延べ数を数えておけば良かったが、毎回のパラレルセッションの合計で最大40人ほどのオンライン接続を確認している。

ハイブリッド対応は、ハイブリッド対応の部屋が既に完備されているのであればそこまで難しくはないだろうが、そうでないならば事前準備が増えるので、

LOCの労力と意欲のトレードオフになるかもしれない。ハイブリッド開催において一番の問題点は映像ではなく音声の双方向配信である。複数箇所収録してしまうとハウリングが生じるため収録を一箇所に設定する必要があるが、その場合一箇所の収録側で十分に音が拾えるのか、確認作業が必要となる。ハイブリッド対応については学会の意向も聞き、学会から明確に要請があれば学会支援金を増額してもらっても良いと思う。個人的には、今後も子育て・介護世代も参加しやすいような大会の形態を模索していただければ大変嬉しく思うが、LOCに大きな負担がないことを切に願う。

10. ポスター賞

ポスター賞については私の今年度業務量では全く対応できる状態ではなかったが、大変ありがたいことに江副日出夫氏が助力を名乗り出てくださり、今年も表彰をすることができた。受賞者の嬉しそうな顔を見て、

実施できて本当に良かったと思った。

11. 英語発表について

今回の学会では英語発表については特に呼びかけをしなかったが、英語発表を学会として推奨するならば、たとえば英語発表者のみを対象として賞を出すなどの対応があっても良いのかもしれない。

12. 若手の会イベント

今年は久々の対面開催ということで、これまで本学会大会に対面で参加したことがない学生に向けて何か企画をしようと思っていたが、優先順位的にこのアイデアは下げるしかなかった。しかしながら事務局との相談の中で若手の会の方々に企画を依頼してみたらどうかという助言をいただき、森田慶一氏・熊倉大騎氏に快諾いただき、前日イベントとして開催が可能となった。もし若手の会の方々が乗り気であれば、是非来年度以降も継続実施を検討いただければと思う。

2022年度 日本数理生物学会 参加報告

井上巨人
神戸大学大学院理学研究科

初の対面参加ということで、開催前からワクワクしていました。オンラインで知り合った数理、生物関連の研究者と対面でお話しするのはとても新鮮でしたし、シンポジウムやポスターでの議論は今後のエネルギーになりました。最近、私は「ウミガメ×統計数理」というテーマで、フィールドでのデータ取得やその数理解析を行っています。そのため、微分方程式やシミュレーションを用いたモデルドリブなアプローチから、ネットワーク解析やエネルギー地形解析を用いたデータドリブな研究にわたる、皆様の幅広いアプローチはとても刺激的でした。また、ウミガメを研究する以上、種の保全は重要なトピックになりますが、個体群の状態や生態系での役割を調べる際に、活用できそうな道具をいくつも発見することができました。年會を企画・開催してくださった先生方や、スタッフの方々に感謝申し上げます。

加藤 雅己
東京大学大学院情報理工学系研究科

この度、2023年度日本数理生物学会年會の参加報告を執筆させていただく機会を頂き、大変光榮に存じます。今回、私は初めて数理生物学会年會に参加し、ポスター発表をさせていただきました。学部時代は別分野で研究していたこともあり、今回の学会への参加を通じて、数理生物学の研究テーマから思想まで様々な点での裾野の広さに感銘を受けるとともに大きな刺激を受けました。私は、本大會のポスター発表では、細胞集団に広く見られる情報共有戦略がある種の学習戦略として見なせるという内容の発表をさせていただきました。自分の研究は、数理生物特に細胞集団の方々にはあまりなじみがない学習理論や情報処理の考え方を用いており、学会参加前までは自分の発表内容に興味を持ってもらえるのか、どう映るのか不安を抱いておりました。しかし、そんな不安をよそにも、ポスター発表や懇親會では形態形成から生態学まで様々な専門の方々に興味を持って話を聞いていただき、また有益なご指摘も頂いた上に賞まで頂くことができました。また口頭発表では、群衆から化学反応に至る多様なテーマや実験系から物理系まで様々な観点を拝見し、それぞれの研究者が目指しているところや思想に触れ、自分の研究の立ち位置や役割について理解を深めることが出来ました。そして、学会を通じては、私が所属している情報・応用数学系の研究科では決して得られない、生物現象への愛や情熱が感じられて大変勉強になりました。今回得られた経験や学んだことを元に、そして頂いた賞を励みとして、今後は自らの研究をさらに展開させていきたいと思ひます。最後に、研究の伝え方や立ち位置を学ばせて頂いた若手の會のメンバー、そして、このような発表・議論の場を設けてくださった年會運営・企画の先生方に心より感謝申し上げます。

【科学史対談～外から見た数理生物学～】

第6回 群集生態学と数理生物学

語り手：近藤倫生^{*}、聞き手：有賀 暢迪[†]

企画趣旨

数理生物学ニュースレターの企画として対談企画を2022年2月号から始めております。これまで対談企画はありましたが、今回の対談ではインタビュー対象となる先生方の経験を残しておきたい、“数理生物学とは何か”について改めて考えるきっかけにしたいという2つの意図を持って企画しました。そのため、本企画では学会員ではなく、科学史を専門とする一橋大学言語社会研究科の有賀暢迪先生に聞き手をお願いしました。有賀先生を聞き手として迎えることにより、この対談が数理生物学を客観的な視点から捉えるきっかけになることを期待しています。研究成果を社会的に還元するという命題の比重が増えて、定性的な結果だけでなく定量的な結果を求められることも増えてきました。特に、数理生物学会の中でも model driven な研究報告のみならず data driven な研究報告も多くなってきていると感じます。その流れの中で、対談をする先生方の経験や考え方を伺うことが学会員の皆様の今後の研究活動の糧になるのではないかと企画いたしました。今回の対談企画は、群集生態学の理論モデルから始まり最近では環境DNAに関する研究でも活躍されている東北大学の近藤倫生先生にお話を伺いました(2023年8月31日にオンラインで実施)。

対談

数理生態学との出会い

有賀: 本日は近藤倫生先生にお話を伺っていきます。先生は元々、理論群集生態学という分野の研究をされてこられていますが最近はもう一つの柱となる環境DNAという分野で、中心的に活躍されていると理解しております。今回のインタビューでは、この両方のお話、特に、この二つの研究対象の繋がりという観点から伺いたいと思っています。近藤先生は京都大学の理学部出身ですが、生物、数学など色々と思うのですが、何がきっかけで入られたのでしょうか。

近藤: そうですね、生物について学びたかったです。それははっきりと意識して、学科なり学部を選んだと思います。今思えばという話になりますが、子供の頃

からいろんな生き物を一つの水槽で飼って遊ぶことが好きでした。様々な生き物が同じ場所でうまいことやっている状態が面白いと思ったのでしょうか。小学生ぐらいのことですけれども、実家のすぐ裏に草むらがあり、子供時代はよくそこで遊んでいました。その場所はプラントを作る会社の資材置き場でしたので、資材が色々置いてありました。そこで、鉄板の裏や石の下にいる生物を探して遊んでいました。遊んでいるうち、何となくそこにはルールがあることに気づくわけですね。この時期はこの場所のこういう石をひっくり返せば何がいるとか、どの時期のどんな時間になるとカナヘビがたくさんいる、といったことですね。それが面白くてよく遊んでいました。その中で、いろんな石をひっくり返したときにいるいろんな生き物をまとめて水槽に入れたら、(自然はそのようになっているから)ずっと長続きするのではないかと想像していました。最終的にそれらを水槽に丸ごと入れて飼いますが、生来のなまけものの気性からか世話をあんまりしないで、水もやらないからじきにみんな死んでしまうみたいなことが起きていました。その時は、そこにいる生物をそのまま移したのにどうしてこんなにあっという間に死ぬのだろうと不思議に思っていました。生き物が相互作用しているという言葉は知らなかったけど、生き物がみんな一緒にいる状態は小さな頃から面白いなと感じていました。まさしく生態学だったのではないかと今になって思いました。

有賀: 生態学自体は、高校生くらいからご存知でしたか。

近藤: 生態学という言葉は知っていたと思います。高校生のあるあるですが、京大といえば今西錦司みたいな、限られた情報で思い込んでいた。みたいなこともあります。

有賀: それでは、数理生態学や群集生態学について伺いたいと思います。群集生態学の研究は大学院生時代からされていると思いますが、この分野を知ったきっかけはいつ頃でどこから知ったかを伺えますか。

近藤: きっかけは3年生ぐらいに受けた東正彦さん、山村則男さんが担当されていた、理論生態学という授業がきっかけです。そこで、種間相互作用論に基づく群集生態みたいな話を聞いて面白いなと思いました。

^{*}東北大学[†]一橋大学



図1 写真：お話をされる近藤倫生先生

東正彦さんは、その後に僕の指導教員になった方で種間相互作用によって動的にカップリングされた個体群動態を考え、種間相互作用が持つどんな特徴が群集構造や群集の動態に影響するか研究をしておられました。

有賀: 生物に興味があり生態学の分野に行かれた方で、結果的に数理的な方向に行く方は少数派ではないかと思いますがいかがでしょうか。

近藤: 僕も大学入学時に数学や数理的な手法を使って、生態学を取り扱うことを意識していませんでした。一方で、生物への興味とは別の興味として、仏教への興味がありました。僕が中学高校一貫の6年間通っていた学校は浄土宗をベースにした教育を実践する学校でした。この世の中では、すべてが独立して存在しているわけではなくて、全てが他の様々なものに依存しながら存在しているのだということを説くわけです。そういう相互依存の世界観にはとても影響を受けましたし、ずっと面白いと思っていて、自分の考え方のベースになっていると思います。東正彦さんの授業でやっていた内容がまさにそうで先に述べたモデルが多種共存の理解にどのように使えるかという内容でした。Food Webがそうですが、一部だけを取り出したらみんな絶滅するわけです。だけど、まとめると、例えばトッププレデターが下位の栄養段階の個体を制限したり、下位のものが時には強く働いたりしながら、全体としては維持されるという話だったと思います。それは、僕が高校中学で学んできた、全てのものが互いに依存しながら全体として、調和ができて、維持されているという世界観と完全に同じでした。これがきっかけとなり、この分野のことをやりたいと思いましたし、そういうアプローチに興味を持ちました。

有賀: 数学は元々得意でしたか。

近藤: めちゃめちゃ苦手で、今でも苦手です。数学は本当に苦手だから、数理生態学を自分でできるだろうかという心配は常にありました。東正彦さんの研究室を訪ねていったとき、生物群集の多種共存の話は、

自分が中学高校のときに触れた仏教の話と似ていて、そのことを数学的にというか理論的な表現でやりたい、という話をしたら東さんは、いいよ、とおっしゃいました。ですが、僕は数学が得意ではないです、と言ったら、別に数学できなくても、理論はできるよとか言われたことを真に受けて、東さんの研究室に行きました。

有賀: そこから卒業論文のテーマが始まったということですね。テーマは先生から与えられたものだったのでしょうか。

近藤: そうですね。卒業研究のテーマは東正彦さんから与えられたもので、3栄養段階の Prey-Predator の Lotka-Volterra モデルを使って、Top down regulation と Bottom up regulation の相対的な重要性がどうやって決まるかをテーマにしました。具体的には地球は何故緑なのか、という古典的な群集生態学の問題があり、植物が defence しているから植食者に食われずに済んでいるという仮説と、もう一つは Top down の Regulation があるからだ、という仮説があります。東正彦さんから「今までの実証研究はこのシステムはこうだった、こっちはこうだった、という頻度論争をやっているだけで、理論の問題になってない。だから、Defense が強いときにはトップダウンはどう効くかとか、その両者の強さを変数として考えて、それがどういう状態だったらどういうシステムができるみたいなモデリングをすると、Top down、Bottom up の Regulation に関する問題に答えられるだろうから、やっごらん」ってテーマを与えられてやった感じです。

有賀: 解析は、実際にモデルを作ってコンピュータでシミュレーションやったのでしょうか。

近藤: 単純なモデルで平衡状態しか問題にしなかったですし、解析的に解ける内容でした。

有賀: なるほど。ではシミュレーションを扱い始めたのはもっと後でしょうか。

近藤: もっと後ですね。D2 ぐらいに格子モデルを使った研究に取り組みましたが、これが最初に数値計算をメインにした研究だったと思います。

有賀: 大学院の頃はほとんど解析的に手でやるタイプの研究をずっと基本的にされていらっしまったということですね。

近藤: そうですね。

有賀: 当時、所属された研究室全体ではそういう感じの方々が多かったのですか。

近藤: 東さんや山村さんは解析的にやることの意義をわかっておられたから、その影響を受けたことはありました。あとは、指導教員がやっているのを見よう見まねでやっていたということがあります。

有賀: 当時、研究室は何名ぐらい所属されてましたか。

近藤: Master と Doctor を合わせて 10 人弱ぐらいだと思います。

有賀: 他の皆さんは解析的な研究をされている方が多かったのでしょうか。

近藤: はい、人によって結構違いましたね。ラボの中では僕が一番数学とか物理をわかってなかったの、なんちゃって数理みたいなことをやっていた。他の学生さんは数学・物理が得意でやってくる人も多くいましたので、ずいぶん高度なことをやっていた、と今となっては思います。解析的な方法にこだわる人も多かったですね。

視点を変える研究の出会いと変化

有賀: 卒研の話がありましたが、修論、博論はこの研究の延長線上でずっと取り組んできたのですか。

近藤: それが変わります。修士の前半途中ぐらいまでは、僕は行動生態学というか、進化生態学の理論をやっていました。それには山村さんの影響があったと思います。特に雄と雌とか、親と子供の間コンフリクトに注目した共進化のモデルに興味があり、コンフリクトに関する進化的な問題をやりました。群集生態学にテーマを変えたのは D1 ぐらいの時だと思います。理論生態学のラボのセミナーで、今高知大にいる加藤元海くんが、捕食者が存在することで、種数が増えるか減るかという問題を扱った実証研究のレビュー論文の紹介をしてくれました¹⁾。その話を聞きながら、これは当時多種の Levin's model みたいな competition と colonization のトレードオフで多種が共存するみたいなモデルが有名でしたが、その枠組みで考えたらこれを説明できるよなと考えていました。セミナー後に数理モデルを作って確認してみたらその通りになっていました。要は一栄養段階の競争系を考えるのですが、生産性が高くなると colonization が高くなって、consumer がいると mortality が上がる仮定を入れ、先ほどの competition と colonization の trade off のモデルを解析してみました。すると、まさに同じようなパターンが出てくるのがわかって、それが僕にとって、初めて心の底から面白いと思える発見でした。それまでは論文書かないと後で困るから論文は書くものだ、みたいな気持ちで論文になるテーマを自分なりに探して、モデリングして解析して、過去の論文の真似しながら論文書いて、ということやっていました。自分自身から出てきた興味というよりは、論文を書かなければいけない、という気持ちでやっていた研究でした。だけど、元海氏の論文紹介をきっかけに始まった研究は、まさに「自分から出てきたアイデア」という気

持ちがあったので面白くやっていました。それを投稿したら、ラッキーだったのか一発アクセプトぐらいの感じで通りました²⁾。自分が面白いと思ったものが認められて、とても興奮しましたね。それがその後、群集生態学にのめり込んでいききっかけになっていると思います。

有賀: そうなのですね。今のお話はむしろ実証研究が先にあり、それを説明するモデルを作るタイプの研究だと理解しました。近藤先生の研究では実証が先あって、この現象を説明するモデルを作るタイプの研究が多いのですか。

近藤: いや、多くないと思います。それまでやっていた、行動生態というか進化生態に関するものは明らかに違います。まず、ある問題設定があって、この枠内で解けそうな問題を選んでやっていたなど今では思います。その後に行った研究は基本的に多種の共存がどういう条件で起きるかとか、ある種のモデルで特定のパターンが起きにくいという予測が出るのに実際には起こっていることに対して、その理由を探るといふタイプの研究ばかりです。ですが、余りどのようなタイプの研究かという点は強く意識してなかったと思います。一言で言うなら、多種共存のメカニズムを提案したいという気持ちがありました。

有賀: この場合、多種共存のメカニズムを考えるというのは、具体的に現象を記述するモデルを作り、それがうまくいくかどうかを確かめるタイプの方法をとるという理解でよろしいでしょうか。

近藤: そうですね。僕の場合、理論研究は、本当は駄目かもしれないけど、最初に結構はっきりとした直感があります。直感というか、こういう時にはこういう理由でこんな挙動が起きるよな、っていう割とはっきりしたロジックやストーリーがあります。それをどうやって数理モデルで表現しようかな、という発想で数理モデルを作りはじめます。すると思った通りのパターンが出ます。あるいは、この理屈が本当だったらこうすればこうなるはずだっていう事前に予測ができ、実際、やってみると確かにそうなっているから最初の直観は正しかったようだ判断します。こういうやり方で数理モデルを使った理論研究をやっていました。だから、研究は直感を確認する作業という感じですね

有賀: 物理の方が言っていたのですが、現象があるときにそれを表す物理モデルがあり、これを数学の言葉、例えば方程式で書き表すと数学的モデル³⁾になっている、と言われることがあります。今のお話を考えてみると、近藤先生の直感でできているものは割と物理

¹⁾Proulx, M. and Mazmuder, A. 1998 Reversal of grazing impact on plant species richness in nutrient-poor vs. nutrient-rich ecosystems. *Ecology*. 79. 2581-2592.

²⁾Kondoh, M. (2001) Unifying the relationships of species richness to productivity and disturbance, *Proceedings of the royal society B-biological sciences*, 268(1464) 269-271

³⁾力学系モデル



図2 写真：インタビューをする有賀暢迪先生

モデルみたいなものなのかなと理解しました。

近藤: そうかもしれないです。

有賀: その直感のようなものを、数学で記述するときうまくいかないことがあると思うのですがいかがでしょうか。

近藤: 正直言いますと、うまく表現できないなと思ったことは余りありません。ただ、自分の予想していたこととは違う結果はもちろんあります。そんな時僕は、変だなと思います。自分のことを信じているから、なんでこんな変な結果になるのかを突き詰めるようにしていきます。そうすると、このモデルにこんな特徴があるからまたまた出てくる、ってのがわかることもあれば、すごく本質的なことに気づくこともあります。この、最初に思っていた直感と違うことが本質的なことであることが、数理モデルの解析とか数値計算からわかると、それがハチャメチャに面白いと思います。

有賀: 突き詰めて考えると結構不思議な感じがします。つまり、うまくいかないから改めて作ったモデルを見直したときに新たな発見をする、ということは構築したモデルにすでに本質的なファクターが存在しているということですので不思議な感じがしました。今の話の続きになるかと思いますが学振の特別研究員になられたときに、2003年にScienceの論文¹⁾を出されています。客観的に見ると、これが先生の中では大きな業績の一つではないかなと思います。そこでこの業績について詳しく伺ってみたいと思います。この研究はどういうところから発想された研究でしょうか？

近藤: 博士課程の間に種間相互作用論とか群集また多種共存の問題について興味が出てきたことがありま

す。そのうち、A. J. McKane²⁾というイギリスの研究者が入った論文を読んだことがきっかけになりました。彼は進化と個体群動態の両方が入った数理モデル使うとFood Web構造ができるとそのFood Web構造が現実のFood Web構造と似ているという主張をする論文でした。彼はFood Web構造がどのように生まれたかを答えたいというモチベーションで書いていたのだと思います。その論文を読んで、気になったセンテンスがありました。それが、このモデルでは生物の絶滅が起きなかった、と書いてあったことです。理由は、生物が数十種いて、trophic interactionで動態が駆動される群集モデルで1種も絶滅しないことは考えられなかったからです。変だと思いましたが、ひょっとしたらこれは何か面白いことを言っているのではないかと思い、いろいろ考えてみたところ、Robert Mayの複雑性と安定性の問題と関係するのかもしれないと思いつきました。Robert Mayはランダム行列を用いた群集モデルを使い種数が増加したり結合度(connectance)が高まったりすると、群集のLocal Stabilityが下がるという理論予測を1970年頃にやりました。多くの生態学者の直感は逆で、生態学者は複雑だから多種共存できると思っていました。それに反するので生態学の課題の一つになったわけです。McKaneらのモデルがそれに反するのを見ると理由を考えていくうちに餌選択³⁾がモデルの中に入っていることがその理由かもしれないと直感をえました。本当にそうかどうか調べたいと思いましたが、McKaneのモデルは個体ベースで、複雑すぎるためそのままでは使えないと判断しました。大学院時代にやっていたLotka-Volterraのような多種の食う食われるモデルで相互作用のcoefficientの所がAdaptiveに変わるモデルを構築して、数値計算をしました。そうすると、このモデルはconnectanceに餌選択が入るから、ある種はある種を食べるという仮定をしても食べない場合があります。そういうconnectanceを潜在的なconnectanceと呼ぶことにしました。そのモデルだと、確かに潜在的なconnectanceを増やしたり、種数を増やしたりすると多種共存が起きやすくなることに数値計算で気づきました。これはRobert Mayの問題設定に対する一つの答えを与えるかもしれないと始めました。

有賀: 今のお話で2つの質問があります。一つは、先ほどの話と似ていると思ったのはこの場合も既存の研究があり主張に対して何か変だなと思われたことがきっかけであることが共通していると思います。つま

²⁾G. Caldarelli, P.G. Higgs and A. J. McKane (1998) Modeling coevolution in multispecies communities. JTB, 193, 345-358

³⁾K. McKaneのモデルは複雑で色んなファクターが入っていたため餌選択に注目をしたモデルを構築、解析をした。

¹⁾Kondoh, M.(2003) Foraging adaptation and the relationship between food-web complexity and stability, Science, 99(5611) 1388-1391

り、改めて自分なりのモデルを作ってみて研究をされていることが共通しているのかな、という感じがしました。そうすると、自分の研究のモデルの一番のポイントというのはどのようなところになるのでしょうか。

近藤: 個体群動態と同じ時間スケールで起きるような餌選択を考慮に入れることは他の研究でもすでにやられていたと思います。ですので、餌選択を複雑性と安定性の問題に使うと思ったのが新しいのかもしれませんが。

有賀: ありがとうございます。もう一つは、この研究は数値計算がかなり重要な役割を果たしているということになるのでしょうか。加えて、この場合のシミュレーション環境を教えていただけませんか。

近藤: はい。数値計算は重要な役割を果たしていました。当時、数理生態学のラボではワークステーションを持っていました。「Alpha」と呼ばれたワークステーション¹⁾を使っていました。当時はCをかじる程度でプログラミングをしていました。

有賀: 私の興味として、解析的にアプローチするやり方と、計算で解析するやり方の何が違うのでしょうか。実際に具体例の方がいいと思うので、どのような研究の場合には解析的なアプローチだけではよくわからないとか、限界があるというふうに考えればよいのでしょうか。

近藤: はっきり言えば、僕自身が多種の個体群動態に Optimal Foraging が入ったモデルを解析的に扱う能力がなかったということだと思います。他の人ならできるかもしれませんが、簡単なことではないと思います。

有賀: Science の論文では数値計算をすることでこのモデルであるメカニズムがうまく説明できたということですね。では、解析的に自分が能力的にうまくできないところを数値計算によって補うことができるということですが、解析的に解く場合と質的にはどのような違いがあると思われませんか。

近藤: やはり、違うと思います。数値計算ではある特定の場面のみを見ていることになりませんが、「解析的にきちんとやる」ということは一般性も担保しているという意味で大きな差があります。ですので Science 論文でフォーマルにできたことはやはり現象論だったと思います。こういうときにはこうなりそうだ、というパターンを示した、ということでしょう。ただ、もう一方で、具体的なメカニズムにも踏み込みたいと思っていました。Adaptationが入ると、Food Webが複雑になるほど多種が共存しやすくなる理由は、直感的には思いついていました。この理由が本当だとすると、



図3 写真：返答を考える近藤倫生先生

こういう数値計算をすればこうなるはずだという予測ができていたので、実際に計算をしてみたらその通りだから自分がイメージしてるメカニズムはそんなに外していないだろうと思う、というこのレベルです

編集部: サイエンスのレフリーはどのような反応でしたか。

近藤: 余りハードな批判はつかなかったという印象です。それよりも僕にとって大きかったのは、Robert Paine²⁾が、出版直後ぐらいにメールをしてくださったことです。その内容に僕は衝撃を受けました。素晴らしい研究でした、面白かったと社交辞令が書いてあり、その後にも自分は気に入らないところがあり、私のような実証研究者は論文で提示された仮説をどうやったらテストできるのかという批判でした。実証研究者は頑張れば野外で種間相互作用の強度がどう変化するかを調べることもできるが、あなたがやってる複雑性-安定性問題を野外で実証する方法を自分は思いつかないので、テスト可能な予測を出してくれということがやんわりと書かれてるメールでした。レフィリーのコメントよりも、より辛辣というか、心に響くコメントでしたね。

有賀: 一般論で言うと理論と実証の関係のあるべき姿ということだとおもいます。近藤先生がその頃までされた研究ということからすると、理論と実証との関係はどのようなものが多かったのでしょうか。

近藤: 僕のそれまでの研究で言えば、実証に真剣に向き合った研究はあまりなかったと思います。理論、数理モデルを作ると何か理論予測出てくると、その理論予測の結果と矛盾しないようにみえる過去の実証研究があればそれを Discussion の5段落目ぐらいに少し書いてお茶を濁していたと思います。実証研究との関わりをあれこれ言われるのは面倒くさいなみたいな気

¹⁾編集部注：正確なところは不明であるが、DEC社により開発された Alpha プロセッサを搭載したワークステーションであると推察される。

²⁾キーストーン種を提案した研究者。岩礁潮間帯でフジツボとイガイが生息地をめぐる競争をしているがヒトデがいるときには競争排除は起こらないがヒトデがいなくなると競争排除が起こるという実験を実施した。

持ちがあったのかも知れません。

有賀: Science の論文に対してそのようなコメントが来たことで、その後の方向性が変わることがあったのでしょうか。

近藤: ありました。今思うと、自分は、数理モデルでみんなが許容してくれるような仮定からスタートして理論的に何が導き出せるかを理論の部分で数理的な手法に背負わせてやってきたわけです。だから、みんなが信じる仮定プラス理論から出てきたものは研究としての価値があるに違いない、っていう、一種の楽観性に基づいて研究をしてきました。だけど、自分も有頂天になるような研究をしたら、群集生態学の大御所から、君は実証研究のことを真剣に考えてないのではないのって言われた。という気持ちになって悶々としていました。一向にテストされない群集理論の予測を作り続けることに意味があるのか、ということその頃から考えるようになりました。

実証データとの接近と環境 DNA との出会い

有賀: 話は変わりますが、ちょうど Science の論文の翌年から龍谷大学に行かれその間14年ぐらいいらっしゃったと思います。龍谷大学で続けられていた研究の中で実証に近い予測を出されたり、類似の研究はされたりしていたのでしょうか。

近藤: そうですね。実データを直接扱った研究を2008年に初めてやりました。自分なりに実データを使って、群集研究で理論と実証を繋ぐことをやりたいと思って、やっとできたのがこの研究です¹⁾。Food Web の理論の中でも、Intraguild predation(IGP)という3種から成る栄養モジュールがあって、IGP の構造と安定性に関する議論は昔からあります。この研究では、カリブ海での Food Web データ²⁾を使いました。理論に基づいてカリブ海の food web データを解析してみると、面白くて、これまで知られていない群集維持のメカニズムを提案できた、という論文です。ですが、これを研究して、Food Web の理論を実証データでテストするのはかなり難しいなと思いました。だから、何かもっといい方法がないといけないなと思いつつこの論文を書いていたと思います。

有賀: この後、他にもご自身でこれが重要だったなと思う研究などありますか。

近藤: この次に重要になるのが、僕にとってはやはり環境 DNA との出会いです。自分の中で、理論研究はもちろんやるけど、これをどうやってテストするかという問題意識は持っていました。なにかいい方法ないか、と考えていたと思っていたらたまたま二つのことが、ほとんど同時期に起きてそれが良かったです。一つは、今、神戸大学にいる源利文くんが2011年か12年頃、環境 DNA という手法が開発できそうだ、と教えてくれました。鯉を飼っていた水槽の水を調べたら鯉の DNA がたくさん入っていることが分かった、ということでした。それを当時、源くんと龍谷大学にいた山中祐樹くんと共同研究をするわけです。そうして、川の水を汲んで調べたらどんな種類の生き物がいるかわかりそうだ、と言い始めました。当時は、多種の分布とか、個体数変動を観測するのは難しいことだと思われていたけど、その道が開けたかもしれない、とまず思いました。環境 DNA は基本水を汲むだけでいいので、現場では、毎週水を汲めば、毎週の時系列が取れるはずなんです。だから、変動性とか個体数変動とか安定性みたいなことを実証できる道ができた、と思いました。さらに、ちょうど同じ時期に George Sugihara さんが Empirical Dynamic Modeling(EDM) と呼ばれる一種の非線形時系列解析の方法を提案されていて、その中で Convergence Cross Mapping(CCM)³⁾ という、生物2種の個体群の時系列データから、因果を推定する方法を提案されました。それを聞いて、環境 DNA で時系列データ取っておいて、因果推論をかませたら水くみだけで種間相互作用がわかるなと思いました。今まで複雑性-安定性問題に関して、複雑性どうやって測るの、安定性なんかもっとわかんない、と思っていました。ですが、時系列データがとれるということは安定性評価もできるはずで、CCM×環境 DNA の多種データを使ったら、複雑性と安定性が両方、データから推定することができて、複雑なほど安定みたいな問題も実証の俎上にのるはずだ、と思いました。

有賀: 2012年から科研費の挑戦的萌芽研究から始まっていると思うのですが、自信はあったのでしょうか。

近藤: できると思っていました。ただ、自分では環境 DNA 自身の技術を身に付ける労力もかけられませんか、源くんや山中くんがこの分野を進めてくれないと僕がやりたいことができないことはわかっていました。生態学を発展させることをゴールと一緒に共同研究を進めてきたと思っています。

有賀: その後、環境 DNA の一連のプロジェクトがありその一つとして、JST の CREST があると思いま

¹⁾M. Kondoh (2008) Building trophic modules into a persistent food web Michio Kondoh, Proceedings of the national academy of sciences of The United States of America 105(43) 16631-16635

²⁾カリブ海食物網に関する実データで、個々の生物についてバイオマスもわかり、被食-捕食関係やフローの大きさまでわかっているデータ。詳細は M. Kondoh (2008) を参照のこと。

³⁾Sugihara, G. et al.(2012) Nature,338(6106)496-500 を参照のこと。日本語での CCM の解説論文として中山ら (2015) 日本生態学会誌 65, 241 - 253 に詳しい。

すが、そこでは近藤先生は全体のマネジメントやリーダーという役をされてきていると思ってよいでしょうか。

近藤: CREST のプロジェクトでは、最初は三つのターゲット設定をしました。一つは環境 DNA 技術を使って生物量を推定できるようにすること、二つ目はメタバーコーディングの技術を作ること、三つ目は多種の時系列データから相互作用ネットワークを推定する技術を作ることでした。私は三つ目の問題に直接かわりました。

有賀: これまで近藤先生の元々の主目論見というか期待はどれぐらい実現していると思ってよいでしょうか。

近藤: かなりうまくいっています。複雑性とか安定性に関する問題に対して環境 DNA と時系解析で攻めるという戦略は、すごくうまくいっているなという感触です

有賀: モデルによる理論的な予測と実際のデータがうまく繋がるまで来ているのでしょうか。

近藤: はい。2008 年に潮くんがポストドクで、僕のラボに来てくれました。多種の時系列データは取れる。それに George Sugihara さんがやっている時系列解析を使いたいから CCM の勉強してほしいと言い、台湾にいる Chih-hao Hsieh さん¹⁾のところへ一月ぐらい勉強してきてもらいました。Zack は、George Sugihara さんの愛弟子の 1 人で、技術の普及みたいなことやって下さっていました。潮くんには、実際に環境 DNA の多種時系列データ×CCM で、相互作用ネットワークを描くような研究をしてほしかったけれど、プロジェクトが始まったばかりでまだ時系列データが得られていませんでした。ですが、環境 DNA じゃなくても、多種の時系列データがあればいいんだよな、と考えていました。その時、同じプロジェクトに京都大学の益田玲爾さんがおられました。彼は 2005 年ぐらいから京都大学舞鶴水産実験所の前の海で 2 週間に 1 回の魚の調査をされていました。13 年分のデータが当時あったので、このデータを使った研究をすることになりました。多種の時系列データから種間相互作用を推定して、複雑性と安定性の間に因果があるかを調べました。それが 2018 年の論文²⁾で、この論文が僕にとっては、2003 年のサイエンスのときに Paine に言われた、こんな仮説をどうやって実証するのか、と問われた質問にやっとなんて答えを出せました。

有賀: 大きな違いとして、2008 年の Science 誌は単著論文ですが 2018 年の Nature 誌は 8 名の共著論文で

すね。一人で書かれる単著論文と複数名の共同研究の成果として出される共著論文とで色々と違って来ると想像します。2018 年の論文に関して、近藤先生のこの論文に対する役割はどのようなところにあるとお考えですか。

近藤: 基本的なアイディア、複雑性-安定性問題を多種の時系列データと因果推論を組み合わせれば実証できるはずだ、を出したのが一番大きい役割です。二つ目はチームビルディングです。データ解析の具体的な手法に関してはやはり潮くんがとても大きな貢献をしたと思います。

有賀: 個人でやる研究と共同でやる研究は違うところがあると思います。それぞれの研究が同じ研究だと言っても、それぞれで必要とされる能力が変わってくると思いますが、近藤先生はそれぞれに面白さがあるという感覚ですか。

近藤: そうですね。違う面白さがあります。2 つ大事なことがあると思います。一つ目はやりたいことと自分の能力の関係です。研究者の能力は、どんどん増えるわけではありません。特に、いったん職を得てしまうと新しい技術を常に身に付け続けることは簡単ではないので、自分の能力の限界が自分の中で見えてきます。他方、自分がやりたいことはどんどん拡大していきます。そうすると、どこかで自分がやりたいことが自分の能力を超えるところが出てくるのではないかと思います。CREST のプロジェクトが、僕にはそういうものでした。つまり、多種の環境 DNA データを取りつつ、非線形時系列解析を使い同時に Bioinformatics に通じている必要がありますがそれらを全て自分でこなすのは、絶対無理だと思っていました。だけど、それは個々の技術についてプロフェッショナルな人、強い興味を持っている人や得意な分野の人を組み合わせれば、自分がやりたいことができる姿になります。もう一つは、自分がやりたいことをするためにはいろんな人に、このプロジェクトと一緒にやるのが面白い、とか重要かということ説得してその気にさせたり、うまく機能するようチームビルディングをしたりする必要があります。それは、それまで 1 人でやっていた研究で求められる能力とは何か全然違うものでしたね。

有賀: チームビルディングのような能力はやはり向いている人と向いてない人がいますよね。近藤先生は CREST のプロジェクトを経験されるあたりまでこのような経験はほとんどなかったという理解ですが、自分がうまくできるかは未知数だったと思いますがいかがでしょうか。

近藤: そうですね、向いているか向いてないかを考えることはありませんでした。CREST はスタートが僕と源くんと山中くんの 3 人で始まったことが良かったのだと思います。僕は大人数でやる研究プロジェクトには失敗パターンがあると思っています。それは何

¹⁾通称:Zack

²⁾M. Ushio, C-H. Hsieh, R. Masuda, E. R. Deyle, H. Ye, C-W Chang, G. Sugihara and M. Kondoh (2018) Fluctuating interaction network and time-varying stability of a natural fish community, Nature 554(7692) 360-363



図4 写真：熱心に質問をされる有賀暢迪先生

かということ、事前にチームのメンバーが決まっている場合です。やりたいことがあれば、この能力が必要だということで、人を集めればいけど、人が決まっていると、それは制限がたくさん付いた最適化をやるようなもので、難しくなると思います。CRESTの場合、必要なものははっきりしているからこれができる人を1人ずつ埋めていこうと言って、3人で名前出しながら電話かけまくることをやっていきました。最初は確か益田玲爾さんが入ってくれたと思いますが、更に益田玲爾さんを通じて人を探してという感じでチームを作りましたので、自分がやりたいことを叶えるための能力を集めるプロセスがうまくいったプロジェクトでした。最初にあのプロジェクトをやったことは僕にとっても成功体験みたいになって、大規模プロジェクトはこうやるのなど思いました。今も基盤Sでは、レジームシフトを環境DNAの全国の多地点の環境DNA観測から検出して、メカニズムのテストをするプロジェクトを動かしています。このプロジェクトの1つのチャレンジは、全国多地点での環境DNA観測を実現することでした。そこでも求められるのは多くの人たちを巻き込みながらやっていくという姿です。こういうことをやっていくうちに自分はチーム作りや運営が好きなのになって、わかってきました。

有賀：ご自身で研究されていた具体的なモデルの解析をされたり、数値計算されたりということは今でもされていますか。

近藤：興味はありますが、僕自身の手はあまり動かしてないです。プロジェクトを作ったり、チームビルディングしたり、方向性を示したりはします。実際の解析は若い人たちに任せています。例えば、同じ数理モデルを使って、研究をやるのでも、僕のラボにいる若い人の方が僕より能力があると感じていますね。だから、僕がそれをやるというよりも、方向性と、アイデアさえ伝えれば、思っている以上の結果を出してくれる、という姿になっています。

これまでの変化とこれからの展望

有賀：数理的な研究に関して、ここ10年、20年くらいで変化はありましたか。

近藤：よくわからないです。ただ、生態学分野が今どう動いているかを見て思うことは、環境DNAもそうだし、音響観測や衛星観測とか、いわゆる何か大規模データを使った実証研究が今どんどん出てきています。それに伴って理論、いわゆる群集理論の研究が違うものになっていくのだろうと思っています。結局のところ、数理モデルを使った理論研究は二つのものがあればできます。一つはオブザーベーションや過去の研究からでてきたりする仮定で、あとは数理的な手法、これはロジックを担保するための手法です。現代は、特に仮定がどんどん膨らんでいく時代だと思っています。例えば、僕が大学院生の頃、種間相互作用論で、群集動態の研究やろうって言われた時に種の密度が高まるほど出生率が線形に増える、もしくは少し非線形で増えるという仮定で単純な関数で書けるように出生率が増えるとか減るとかはみんな信じてくれました。この仮定を基に、数理モデルでどのような予測が出てくるかということをやりました。ですが、結局食ったら増える、食われたら減るぐらいの仮定で群集生態学をやっていたというのが僕の感覚です。ですが、大量のデータが得られるようになって実証研究が進むと、どの生態系でも成り立っている様ないろんなパターンがいくつも見つかることになるでしょう。すると、それを新たな数理モデルの仮定として採用できます。例えば、どの生態系でも相互作用の相手が増えると、相互作用の強さは、反比例して減るみたいなパターンがあるとわかったら、それをモデルに入れ込んだ新しい理論モデルって作れますよね。そのようにして、実証研究が進むことで、数理モデルで採用できる仮定の幅が広がり、そこから導かれるものも増えてくるだろうと思っています。今はそういうことがやりたいです。

有賀：そうするとモデルそのものが結構複雑化、というか大きくなるのが起こるように思うのですがいかがでしょうか。

近藤：あるかもしれません。一方で、データがたくさん得られるから問題が単純化するってこともあるだろうと思っています。例えば、生態学では、個体群間の関係は種間相互作用論でやりますが、同時に個体群と群集の関係に注目した研究もあります。例えば、Robert Paineは、岩礁潮間帯での有名な研究でヒトデを取り除くと、種の多様性が下がるといいました。これは個体群と群集の関係ですよね。今まで、その個体群と群集の間にどのような関係が成立するかを実証することは大変でした。Robert Paineの場合はヒトデを剥がしまくって、これを確認しましたが、実デー

タがあれば大量のパターン解析ができます。例えば、今 ANEMONE では日本中でいろんな生き物の個体数変動のデータ取っています。ある生物の個体群密度と種数の時系列もとることができます。そうすると、例えば種数と個体群密度の間の因果を見れば何か個体群と群集の関係がわかってくるはずです。そこに何かパターンがあったら、それを仮定した個体群と群集の相互作用に関するモデルって作れるはずです。実データがあるおかげで、生態系をもっと単純なシステムと捉えて理解するアプローチができるのではないかと思います。

有賀: なるほど。実は先ほどの質問をしたときに念頭にあったことは例えば気象のモデリングですが、あれはどんどん複雑になり、色々な要素がモデルの中に取り込まれて発展して今に至っています。複雑になった分高い解像度での予測精度が上がっています。一方で、モデルそのものが複雑になりすぎているので、シンプルなメカニズムが捉えられないことになっているのではないかと個人的には思っています。そのようなことは発生しないのかと思ったのですがいかがでしょうか。

近藤: そうですね。的外れかもしれないけど、僕は、気象のモデリングと生態系のモデリングでは大きな違いがあると考えています。特に重要なのは、基礎方程式の有無ではないでしょうか。生態系モデリングには基礎方程式がないので、特に個体群動態とか群集動態には方程式がないので、困るわけですよ。たくさんデータが取れたからといってうまくモデリングできるとは限らない。だからこそ、僕は成果がたくさん集まったときに進める違う方向があるのではないかと考えています。具体的には、どこに明確な科学的に意味があるパターンがあるかを探すと自分が生態学という問題になるのではないですか。例えば、群集生態学の生物群集を理解するときの相互作用のユニットをどうするか考えますが、種をユニットとして考えることが多いわけです。皆さんが個体群動態を作って種と呼んでいるものは、種なのか、それともより高次の分類群なのか、それともある種の Functional group なのか、その解像度は自由に選べるはず。ある解像度で選べば、明確明快なパターンが得られるけど、「間違っただけ」解像度で選ぶと、パターンがよくわからない、みたいなことになりそうだなと思います。生態学がきちんと前に進もうと思うならば、種が良い解像度だと思いついて進むのではなくてどこのユニットに注目して理論を作るべきかという問いが立てられるはず。それは、大量の生態に関するデータがあれば可能ではないでしょうか。今の話は、分類の解像度で話をしましたが、全く同じことが例えば空間とか時間の解像度についても言えるはず。つまり、予測可能な科学として生態学を成立させようと思ったら、どこにフォー

カスすればいいかを探すツールとしてデータ駆動のアプローチが使える、というふうにならぬように考えています。

有賀: 非常に面白いです。物理の法則や方程式をベースにしているタイプのモデルとはかなり違うことを考えていかなければならないと思いました。最後に、これからどういうことに取り組んでいきたいと思っているかを伺いたいと思います。

近藤: 今は具体的な社会課題解決に関わりたい、という強いモチベーションがあります。社会とか経済システムはどうすれば自然と調和的に発展できるようになるかが僕にとって今すごく大きな問題です。それを追求していくときに、同時に解決できている問題がいくつかあります。例えば、地方と大都市の間の公平性の問題や、あとはサイエンスの問題もそうです。科学研究、特に基礎研究に対してお金が付きにくいと最近いろんなところで聞きますが、もっと科学者が自由に幸福に研究をできるような状態を作りたいですね。それは何か今のネイチャーポジティブって、要はビジネスも自然を増やすやり方がこれから求められていくけれど、生態学がうまく連携することで、このようなことは実現できるのではないかという気がしていて、それを実現するのが僕にとっては一番大きな目標ですね。

有賀: ここまでの話よりさらにもう一つか二つぐらい規模が大きくなった感じがありますが、これから取り組みたい具体的なテーマはありますか。

近藤: いろいろあります。実は COI-NEXT という JST のプログラムがあり、今採択されています。具体的な社会解決課題の一つ上げて、それを解決する大学拠点を作るためのプログラムです。僕はそれを使って東北大学にさっきも言ったネイチャーポジティブに関する大学拠点を作りたいと思っています。大学の力を使えると研究者個人の力では難しいこともいろいろできます。行政に働きかけるとか、企業に影響することとか、大きいチームを作ることで、今みたいな割と大きな地球規模の問題みたいなものを解決する方向や糸口がつかめるんじゃないかと思ひ、今まさにそういうプログラムを動かしているところです。

有賀: もう一つは数理生物学そのものに対する今後の期待があれば伺いたいと思います。

近藤: そうですね。やはり、生態系や生物システムは複雑すぎて、バーバルな議論で扱えるようなシステムではないということはみんな気づいていると思います。その中に、きちんとしたロジックで何がどう繋がっているかという体系を作ろうとすると、数学が不可欠になっていると思います。自然の複雑さもあるし、それを理解するためのデータ蓄積とか、データ解析の方法も今どんどん発展しています。だから、より高度な生態学が作れるはず。そういうときに、必ず今ま

でよりも数学を色々な場面で使うようになるはずで、数理的な技術を使った生態学は今からもっと必要になり、期待感も高まると思います。ただし、もう一方で、生態系の複雑さを理解するための実証手法がどんどん発展していることを意識した議論・研究をやらない、いわゆる閉じた理論研究になってしまうと、その役割を果たせないだろうと思います

有賀: まさに理論から実証を繋ぐ方向に展開してこられた近藤先生ならではのインタビューをさせていただきました。どうもありがとうございました。

近藤: どうもありがとうございます。

【近藤倫生先生略歴】

- 1996年 京都大学理学部卒業
- 1998年 京都大学理学研究科生物科学専攻
修士課程修了
- 1989年 京都大学院理学研究科生物科学専攻
博士課程修了（理学博士）
- 2001年 日本学術振興会 特別研究員 (PD)
2004年3月まで
- 2004年 龍谷大学理工学部講師 2008年3月まで
- 2008年 龍谷大学理工学部准教授 2013年3月まで
- 2008年 科学技術振興機構 さきがけ研究員（兼任）
2011年3月まで
- 2013年 龍谷大学理工学部教授 2018年3月まで
- 2018年 東北大学大学院生命科学研究科 教授
現在に至る

【数理モデルのロストテクノロジー】

第6回 数理科学の興亡
～総集編～

大泉 嶺*

1. はじめに

ロストテクノロジーとは、現在その知識や技術を継承する人物や文献等の欠如によりかつて存在した製造物を再現する事が出来なくなってしまった事を言う。Wikipediaを調べればダマスカス鋼という古代インドで開発された鉄の鍛え方¹⁾や、戦艦大和の巨大な砲身を製造する技術などが例として挙げられている。こうした技術が喪失される理由は様々なものがあるが、戦艦大和の主砲の場合は大艦巨砲主義が現代戦時において優位ではなくなった為製造されなくなった。これは戦時の戦略の変化（空母やミサイルなどの出現）によって別の技術が重視された結果である。また、最近のウクライナ戦争を見るとドローン技術が戦術的役割を増している。

科学の世界でもこうした忘れ去られた知識や概念がある。筆者はこうしたかつて流行し、現在見なくなった数理モデルのテクニックを発掘するのが趣味の一つである。数理モデルにおけるロストテクノロジーは、例えその分野で関心が薄れたとしても異分野の数理モデルの解析や構築において役立つ場合があるかもしれないと期待しているからだ。また、かつてはみんなが知っていた知識がその分野をもう一度輝かせる可能性もある。そういう訳で勉強はしたが、まだ自分の研究で使っていない絶版あるいは書店で見かけなくなった本に載っている興味深い数理モデルの方法論をこの場を借りて紹介してきた。

第6回は総集編である。第1回～第5回までに紹介した話はロストテクノロジーと呼べない物も多かった。著者はもっとロストテクノロジーと呼べそうな分野をいくつか知っているが、自分の知識と理解力不足そして執念が足りなかったせいで紹介出来なかった事が悔やまれる。例を挙げれば、数学ではカタストロフィー理論、カオス理論、ファジー理論などである。

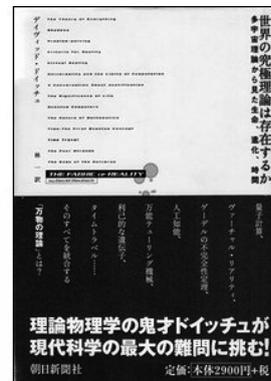
物理ではホワイトヘッドの理論、修正ニュートン力学、マルコフ過程論による量子力学、また、生物学の中にも量子生物学という分野もある。本稿は総集編としてロストテクノロジーとまではならないまでも、

*国立社会保障・人口問題研究所

¹⁾シリアのダマスカスで製造された刀剣がこの鉄鋼を用いていたのが名前の由来である。

数学的解析手法が廃れてゆく背景について考察したい。

理論とは何かというのを考察する上で参考にしたのが「世界の究極理論は存在するか—多宇宙理論から見た生命、進化、時間」である [1]。



この本は基本的には理論物理における究極の理論に関するテーマを扱っているが、理論研究を行う上でも示唆に富むガイドラインを与えてくれる。恐らく、数理生物学を研究している学者の中にもこれまで意識してこなかったガイドラインを与えてくれるであろう。

2. 物理の理論から考える自然科学

物理学の理論として成功した理論は次の5つの特徴がある。

- これまでの理論で説明出来なかった現象を説明できる。
- これまでの成功した理論を含んでいる。
- 未発見の現象を予言出来る。
- 数学的な深さがある。
- 反証可能である。

一般相対性理論を例に挙げよう。ニュートン力学では水星の近日点²⁾に理論値と観測値のずれが生じていた。一般相対性理論が時空のゆがみを使ってこのずれを説明できたことは、物理学科を出ていなくても科学好きなら知っている話であろう。これは「これまでの理論で説明出来なかった現象を説明できる。」の項目に該当する。一方で、当時一般相対性理論にはライバルとなる修正ニュートン力学という理論もあった。

²⁾太陽に最接近する地点

またホワイトヘッドの理論という相対性理論に時間経過の概念を復活させようとする試みもあった。修正ニュートン力学はある程度近日点のずれを修正できた点で「これまでの理論で説明出来なかった現象を説明できる。」と「これまでの成功した理論（ニュートン力学）を含んでいる。」という2点を備えていたもののブラックホールや重力波といった当時「未発見の現象を予言出来る」ことは無かった。ホワイトヘッドの理論は相対論の発展と位置づけられたが、数学的な難解さの中に「数学的な深さ」が無かったようだ。数学的には一般相対性理論は微分幾何という数学の分野の中でアインシュタイン計量という歪みを持った時空の話である。この歪んだ時空も光速より十分遅く、弱い重力場を仮定して線形近似を行えばニュートン力学が導ける。また数学的にブラックホールなどの予言などが出来るだけでなく、全ての時空上の運動はアインシュタイン方程式にしたがうという奥「深さ」がある [2,3].

これは、未発見の現象の他に未知の自然の構造を探索する選択肢がどれだけ多いかという、研究者達に次の研究テーマを提供できる“のりしろ”を表す。一般相対性理論はこれらを満たす故に、現代宇宙論の基礎として今も生き残っている。最後の反証可能性は一般相対性理論が“間違っている”と仮定したときに、矛盾が起こる実験や観測が出来るかどうかという物理学者の多くに影響を与えた哲学者カール・ポパーの科学理論に対する要請である [4,5].

量子論も同様に、素粒子の粒子と波動の2重性を数学的に説明し、経路積分表示を用いれば量子効果を表すプランク定数を限りなく0に近いと見なすと、ニュートン力学が示す古典力学が現れる¹⁾[6]. 相対論を取り入れた電子の運動を表すディラック方程式は陽電子という当時未発見だった反物質を予言した。量子電磁気学の予測はその創始者の一人、R. P. ファインマンの言葉を借りれば「ニューヨークからロサンゼルスまでの距離を髪の毛一本の細さの誤差で測定出来る」精度を誇る [7]. これもまた、現代素粒子物理学の基礎となっている。量子論も不確定性原理という素粒子スケールでは位置と運動量を同時に測定出来ないという実験結果や粒子と波動の二重性に納得が出来なかった当時の物理学者らによって、ボームのパイロット・ウェーブ理論やネルソンの拡散理論なども存在する²⁾[8]. また、近年ではマルコフ過程によって再度量子力学を定式化するという本も出版されている [9]. これらは、部分的に成功を収めているが、反物質や現代の素粒子理論の完成形と言われている標準模型に並

ぶ結果には至っていないようである。

物理学ファンであれば知っている事ではあるが、この一般相対性理論と量子論は未だに相成れない。片方で片方を説明できないのである。自然界は一つの法則体系で成り立っていると信じる物理学者達はこの矛盾を克服するために「超ひも理論」や「量子重力理論」などを考案し、日夜研究が続いている。筆者は物理学はずぶの素人であるし、詳しい数学の構造は到底理解はしていないが、趣味として読むレベルにおいては素粒子を点と捉える事が、相対性理論と量子論を統一する上で無限大が生まれるようだ [10]. そこで、「超ひも理論」では素粒子はマイクロな“ひも”として体積を持つ実態として扱い、「量子重力理論」では空間自体が最小単位のブロックで構成されると考えている [11].

残念ながら現在のところこの矛盾はまだ解消されていない。

相対性理論と量子論の統一を考える以前である20世紀初頭から、これら理論の根底にある物理法則は決定論か確率論かという論争が存在した。20世紀中盤そうした論争に第3勢力として参戦したのがカオス理論である。“初期条件が分かれば運動の細部が記述でき、将来がその法則に従って一意に決まる”マクロな相対性理論に対して、ミクロの量子論“例え、初期状態が決定できても³⁾将来は確率論に従う。”カオス理論は“初期条件が分かれば運動の細部が記述でき、将来がその法則に従って一意に決まる”が、“初期条件に鋭敏に反応して軌道が変化する”運動が存在する為、現実世界では将来は予測不能である。”ことを主張する。カオス理論はマクロとミクロの間に存在するメゾスコピックなスケールを説明し、ニュートン力学の範疇に現れる。この理論に注目が集まった理由はコンピュータの発展によってカオスが発見されたことによる。カオスは明確な定義はないが力学系モデルにおいて、解軌道が不動点に収束せず、時間極限が非周期的かつ発散しない特徴を持つものである。こうした解の存在はポワソンのカオスによって既に19世紀に示されてはいたものの、実際に発見されるまではコンピュータの発展を待たなければならなかった。なぜなら、カオスと呼ばれる解は有限回の積分操作によって解析的に解くことが出来ない、非可積分系と呼ばれる系に属しており、初等関数の組み合わせによって記述することが出来ないからである。その結果、数値シミュレーションによる近似解に頼らざるを得ない。高い近似精度を保ちながら解軌道を図示するまでの計算量に達するまでには、人間の労働力では限界がある。そのため、コンピュータが登場するまで非可積分系の力学系が手つかずの自然であった事は想像に難くない。一方で、このカオス理論が力学系によるメゾスコピックな世界を記

¹⁾これは数学的に十分に証明されているわけではない

²⁾この辺に関しては20年以上様々な量子力学の本読んできた筆者にとってどれに正確な記述があったか定かではないが、読み応えがあったものを引用しておく。

³⁾それですら確率的な不確かさを含む。

述する手段として確立することに大きな役割を果たしたことは言うまでも無い。生物同士の共存、絶滅、周期的変動そしてカオス的な個体群変動と日常的に可視スケールで起こる事象は力学系の解を持って記述できるからである。

3. 解析とコンピュータ

第一回のMWCモデルやGLモデルなどの化学反応モデルや「酵素反応のダイナミクス」に載っているような数学的技術は非線形力学系の性質をより解析的に評価しようとする事が目的である。1960年代から70年代まだコンピュータのスペックが今より十分ではなかった時代、複雑な化学反応を理解する手段はサブユニット構造がもたらす非線形効果であった。無数に存在する酵素反応の中間生成物が持つダイナミクスを準定常近似という手法を用いて低次元のモデルに落とし込むことは、複雑なメカニズムが酸素運搬効率を上げたり、周期的な反応サイクルを生成する為に不可欠な構造であることを鮮明にしてくれる。

もちろん、多段階の生化学反応というのは反応効率の最適化や周期的な反応サイクルのような単純な酸化・還元反応では生み出せない反応の調整だけではない。著者のように生化学を学部で習った読者であれば、代謝サイクルが“階段”に例えられて教わった経験は無いだろうか？炭水化物が水と二酸化炭素に分解される過程でATPを生成する生体内の化学反応サイクルは非常に多くの反応ステップを有する。炭水化物が水と二酸化炭素に分解される身近な反応は燃焼である。ビルの10階から1階へ降りる最速・最短の方法は飛び降りる事である。人間であれば絶命する危険な行為である。これを炭水化物が直接水と二酸化炭素に分解される燃焼反応とすれば、代謝サイクルは階段で1階に降りる行為と同じと言うのである。ビルから飛び降りるにしても、階段で降りるにしても失う位置エネルギーは同じであるが、後者が人が死ぬことは無い。細胞内で燃焼が起きればその多くが熱エネルギーとして放出されるため、効率よくATPを生成出来ない。生物を殺さず、熱エネルギーへの変換を最小に抑え最大限ATP生産を行うために、反応にはたくさんの中間生成物が必要となる。というのが、分子生物学者達が生化学反応の複雑性を説明する常套句である。

1970年代まではカオス理論が流行し、酵素反応研究も第1回で取り上げた「酵素反応のダイナミクス」が示すとおり、数理モデルに関心が向いていたことが分かる。現代のように結晶構造解析や高度な実験設備が無かった当時とすれば数学を用いて観測できない世界を理解するしかなかったであろう。観測技術が発達し、酵素タンパク質の構造や活性部位を直接観測できるようになると、実験家はそちらに興味が移っていった。現代では生化学とタンパク質工学は明確に区別さ

れ、反応経路の解明と酵素の構造は別の研究テーマとなっている。最近の酵素化学の教科書を見てもミカエリズ-メンテン方程式は載っていてもルンゲ-クッタ法やMWCモデルが記載されているものに出会うことは希である。MonodやGoldbeterらが酵素反応と酵素の構造を数学的に結びつけたこれらの研究が廃れてしまっている事は一数理科学者として残念に思うほか無い。今でも、生化学における多段階反応は死なないための階段の1段でしか無いのか、まだやるべき事は残っているのではと筆者は思う。

コンピュータのスペックの上昇は準定常近似といった方程式の縮約に関する技術をロストテクノロジーにさせている。個々の反応速度を観測できる現代では、準定常近似をせずとも高次元の力学系を高い精度で数値シミュレーションさせる事が出来る。近似無しモデルで系を再現しているかどうか検証できるわけだ。しかし、これは数学者の考え方と対立する。所謂“ゾウの方程式”問題である。ゾウの方程式とは適切な変数とパラメータが十分にあれば、ゾウの生態を正確に記述できるが、そうした方程式はゾウ以外に適用出来ないという皮肉である。観察された反応に対する方程式を並べて、数値計算した結果、観察結果と同じように生成物が振る舞うならば、我々は何を理解したことになるのだろうか。ゾウの方程式の問題は“適切な変数とパラメータ”はゾウがそのように動くように“ファイン・チューニング”されていると主張することしか出来ないところにある。これは優れた理論を持つ「これまでの理論で説明出来なかった現象を説明できる」と「これまでの成功した理論を含んでいる」を一見持っていそうだが、三つ目の条件「未発見の現象を予言出来る」に関して無数の予言（多くは意味の無い）が出来てしまい、それは何でも言える事によって、何も言えない事を示している。それは仮定と説明変数の乱立がゾウを“ゾウとたらしめる本質は何か”を“正確に”記述する事で犠牲にしてしまうのである。準定常近似無しGLモデルを考えれば解糖系振動を起こすPFK(ホスホフルクトキナーゼ)のどの中間状態が重要であるかは見つけにくいはずである。第一回で示したように、準定常近似という手法によって、振動は酵素が持つオリゴマー内のADPの結合の結合サイトの数で決まる。これを、縮約を使わず証明する事は非常に難しい。

力学系(連続)という数学の分野を眺めてみれば、次元の数は解の軌道が通れるトポロジーを決める。1次元では、初期値に応じて発散するか、1点に収束する解の種類しか無いが、2次元になれば周期解やリミット・サイクルといった解軌道を形成できる。3次元になると自由度がさらに上がり、ローレンツ・アトラクターなどのカオス軌道も許される。実は4次元の力学系ではKAMトーラスの崩壊など、高次元力学系ではより複雑なカオス現象が現れることが知られている。

しかし、生化学反応で現れる酵素反応はフィードバック制御、振動周期の発生、反応速度の調整といった機械的な調整であり、高次元の反応カスケードがカオティックに生成物をのたうち回らせるといった話は聞いたことが無い。これは本質的には縮約された低次元の方程式で十分表現できる。つまり、得たい生成物のダイナミクスとしては高次元力学系である必要性はエネルギーの階段でしかないことになる。これは、優れた理論が持つ要件「数学的な深さがある。」を満たしていない。オリゴマー形成やサブユニットの生成物量の調整に果たす役割は準定常近似という“オッカムの剃刀¹⁾”によってその本質が明らかになる場合があり、こうした考え方をロストテクノロジーとしておくのは勿体ない。

第2回で紹介した、生成物が周期的濃度を持つための酵素反応は「酵素のサブユニットの数」、多段階反応内の「中間生成物によるネガティブ・フィードバック制御」、そして「時間遅れの反応速度」の三つに分類できた。これは、反応スキームから得られる微分方程式に課せられた制約によるものである。高度に酵素の分子構造を解析できる昨今においても、反応ネットワークと個々の酵素の構造との役割を統一する数理モデルとして、再び解析的な研究にスポットライトが当たっても良いのではないかと筆者は考える。

4. 解析学と中立説

カオス理論と同時に確率微分方程式も20世紀半ばから発展してきた。フェラーの判定法と中立説は同時期であることも第3回で論じた。集団が無限であるとき、ハーディー-ワインベルグの法則で対立遺伝子の頻度は一定に保たれるが、ライト-フィッシャーモデルが示すように、有限の集団サイズでは有限時間内で対立遺伝子が消失する。中立説は集団遺伝学の一つの完成形の理論といっても過言ではない。

一方で、中立遺伝子は当初言われていたものからすれば、偽遺伝子など対象となる遺伝子の意味は限定的である。実験技術の向上と蓄積された研究結果から、遺伝子の伝搬と表現型への影響は中立説が唱える程単純では無い事が明らかになっている。生物学者の昨今の興味は遺伝子が与える表現型と適応に向いている。90年代後半からDNAの配列を直接読み取る技術が向上し、かつてジャンクと呼ばれていた遺伝子や配列がより複雑な意味を持つことが分かってきた。中立でたまたま全ての個体が持つ配列となった遺伝子より、より直接的に適応と進化に関わった遺伝子と表現型の関係に関心が寄せられることで中立説そのものに対する関心は失われていったと考えられる。それに第3回でも

書いたとおり、中立説は自然選択を否定できなかった。

しかし、中立説の根拠となる数学はとても高度であり、解析学上重要であることは間違いない。スツルム-リュール型微分方程式による固有関数展開や特殊関数である超幾何級数にゲゲンバウアー多項式¹⁾はこの理論を理解する上で新鮮な数学の道具であった。力学系やゲーム理論または反応拡散方程式といった数理生物学でおなじみの数学では中々出会えないこうした解析学的手法は、これまで無関係とされてきた数学の理論が数理生物学または生物学自体に思いがけない概念を生み出す事を示唆している。

いずれにせよ、中立説が進化論にもたらした影響は単なる偶然が対立遺伝子の固定につながるという可能性だけでなく、分子時計という概念によって種分化の年代測定に大きなヒントを与えた功績は今も健在である。

5. 制御理論と生活史進化

表現型の進化を記述する方法の一つとして、制御理論による生活史スケジュール問題を取り上げた。そのなかでも、ポントリャーギンの最大値原理は数理生物学の入門書のほとんどに登場する。一つに力学系と非常に相性の良い理論であり数値的解析が可能である点が進化と力学系モデルを結びつけた研究に大いに役立つ点であろう。

ポントリャーギンの最大値原理自体を理解しようとするとその計算手順が示す技巧的な点に躓くところが多い。終端条件、後ろ向き時間、補助変数にハミルトニアンといった生物学的な解釈が難しそうな概念が出てくるところが、私が初学者だった頃に何度も砂を噛む思いを与えた。多くの数理生物学入門書がそれらの説明に苦勞をしているか避けている点も制御理論が数理生物学上、“道具”以上の意味を持たないような印象を与えている。

誤解を恐れずに書けば、このことはある意味制御理論を理解する事自体がロストテクノロジーとなっていると考えられる。70年代、80年代に大学院生であった往年の数理生物学の重鎮たちが手に取ったであろうポントリャーギン自身による「最適過程の数学的理論」は絶版である。このことは著者に生物学的な解釈と数学的な要件に端を発する制約から解説を書こうという意欲を与えた。

制御理論の基礎概念はベルマン原理であり、それから合成関数の微分法を用いて得られるHJB方程式が制御方程式の本質である。その結果、終端条件と逆向き時間が必要となる。ハミルトニアンは目的関数の各時刻における傾きを表している。しかし、HJB方程式

¹⁾何かを説明するとき必要以上に仮定を置くべきではないという哲学用語。

¹⁾この多項式にいたっては第3回の記事を書くまで著者はその存在を知らなかった。

は我々が習った微分方程式の解が持つべき“なめらかさ”を持つとは限らない。それゆえ、合成関数の微分によって現れた導関数を補助変数とした未知のパラメータに置き換えて計算する必要があったわけである。

現在 HJB 方程式は第 4 回で触れたとおり、粘性解という通常の解に比べて弱い条件のもと正当化されている。ハミルトニアンが目的関数の傾きであった事は、目的関数を通じて生活史進化と個体群動態を同時に扱える理論を構築できる道を開いた。実際に、著者自身の研究として、繁殖価を与える方程式をそのまま HJB 方程式として使える事を示した¹⁾。道具とだけ理解していた方法の奥にはまだ見ぬ意外な応用例がある可能性を示唆している。ちょっと説教臭くなってしまったが、背後の数学を理解する事は研究の幅を広げることが間違いないだろう。

6. 金融工学の不運

第 5 回は専門外の金融工学とリーマン・ショックについて扱った。廃れた理論と廃れた手法は若干異なる。進化論において創造説が科学として復活する事はないだろう。これは廃れた理論と言える。一方、準定常近似は廃れた手法である。ただ、今後出てくる力学系の問題に再び復活する余地があり、これを研究者が忘れた時にロストテクノロジーとなる。金融工学は資産の値動きを確率論として扱う分野である。この理論が栄枯盛衰を経験した理由は“果たして市場は確率かカオスか？”といった命題に現実の社会現象がその複雑さを突きつけた結果となったからだ。サイコロを振って 3 の目が出たとき、理想論では 1/6 の確率で起こる問題になるが、使い古された言い回しを使えば、気温や大気の流れ、サイコロを投げるときの角度や力の強さなど適切な“初期条件”によって 3 の目が出ることは必然だったとも言える。なぜなら、サイコロを振る動作はニュートン力学と周囲の流体力学による決定論の法則が強く働く場だからだ。これは再現性のない初期条件であることも忘れてはならない。我々はこうした複雑な状況を統計という確率モデルによって因果律から切り離す事に慣れている。為替や株式市場といったお金や企業価値といったものも、個々の投資家の考えだけでなく、その日の一件無関係なニュースから国際情勢まで幅広いスケールの因果が金融市場に影響を与えている。これは、現実のサイコロが 3 の目を出すプロセスに似ている。

しかし、サイコロの目は賭け事をやる人間の予想に影響されることはない。一方で、金融市場ではお金という、物流とサービスを数値化した量によって決まり、それは人々がその数値をどれだけ信用するかに依存している。90 年代後半から肥大化した金融市場はアジア

通貨危機、ロシア金融危機、そしてリーマン・ショックという実態経済と投資家の期待によって確率では説明しきれない経済危機を経験した。好景気が続くと、人々は普遍的な資産に投資を始める。代表的な例が不動産である、特に都市部の不動産は不労所得としての価値が景気に左右される好例だ。好景気は地方から都心への移住の需要が上がるためそれに伴い住宅価格が高騰する。その結果、不動産投資が活発になりバブルが形成される。政府主導による青天井な不動産価格高騰に対する不安が導いた不動産バブル崩壊が原因の不況はリーマン・ショックだけでなく、日本も韓国もそして中国²⁾も経験している。逆にアジア通貨危機やロシア金融危機は新興国に対する融資に対して「期待するリターンが見込めないのでは無いか」との不安が先進国の投資家によって共有されることで不安が実体化された場合もある。これらは統計的なノイズであったはずの個々の取引が投資家の協同現象によって引き起こされた 2 次のカオスと呼ばれる現象である。

前回も引用したユバル・ノア・ハラリの代表的な 2 著作 [12-15] のコンセプトは“人類は集団妄想によって団結する”というもので、宗教や文化、あるいは神話や歴史を信じることによって団結し、数千人から数万人があるいは数億人が協力したり、命を賭したり出来ると説いている。彼によれば、我々は本来当事者ではないにも関わらず実際に行ったことのない“過去に奪われた領土”や証拠が定かでない“残虐な歴史”に憤慨し、“先祖の罪”に気まずさを憶える事がそれに当たる。

真意の程は著者には定かではないが、その中で最も成功を収めた集団妄想が通貨制度であると言う。

多くの読者が知っているとおり、貨幣価値は光速度やプランク定数のような不変量ではなく、またエネルギーと質量のように法則に従った変換可能な量でもない。貨幣価値は人々の貨幣への信頼と資本主義経済への期待度によって決まっている。例を挙げれば、敗戦後の日本が軍事費確保の為に国債を発行し続けた結果としておきたハイパーインフレにより貨幣が一時期紙くず同然となった事は誰しも習った話であろう。人々が貨幣に価値を見いださなくなる例である。逆に前回紹介した 1972 年のニクソン・ショックは世界の市場経済に伴いアメリカ中心の固定金利を支えてきた金保有量の枯渇といった現象は、市場に対する期待と金保有量という物理的数の問題のミスマッチによって生まれた話である。金融市場の肥大が物流の実態を超えた期待を持ったとき、金融市場を分析するための 1 手続であった金融工学を過度に信頼し、バブル崩壊とともに分野自体の人気も衰退させてしまったわけである。

メゾスコピックな世界では確率・統計と見なせる現象から突如カオティックな決定論的な振る舞いが起こ

¹⁾詳しくは第 4 回を見てほしい。

²⁾公には認めていないが

る。中立説と同様に金融工学が扱える経済現象は当時から限定的であったのであろう。

7. ロストテクノロジーと近・現代科学

科学におけるヒーロー（ダーウィン、パスツール、ポワンカレ、ヒルベルト、アインシュタイン、フォン・ノイマン、朝永振一郎など）は19世紀末から20世紀半ばに多く感じられる。勿論、それ以前のケプラー、ガリレオやニュートン、なども偉大な科学者であるが、産業革命を迎えて以降、ダーウィンが登場する時代（19世紀半ば）からはキリスト教の教義を超えて、より客観的な理論や現代社会になじみの多いものに関わった功績が多いからであろう。何せこの19世紀末から20世紀というのは地球史以来のヒトという生物の躍進であり、病気の克服から、航空・宇宙の制圧、原子爆弾や炊飯器に至るまで学問分野だけでなく、政治や軍事、日常生活が科学と技術を背景に動いた時代である。数学者のエドワード・フレンケルによると冷戦当時のソビエトではダーウィン主義だけではなくレーニン主義“以外の”生物学や社会科学の考え方は一切研究は許されなかったが、原爆に関係があると言う理由だけで化学・工学・物理・数学には自由があったそうである¹⁾[16]。科学・技術の発展競争は国家の存亡を賭けた死活問題であったのだ。

19世紀～20世紀の理論研究は究極の理論のための理論統一の時代と言える。蒸気機関に端を発する熱力学とニュートン力学の統合として統計力学が誕生したように、電磁気学と古典力学の統合を目指してアインシュタインは特殊相対性理論を考案した。1903年に発表されたFredholm方程式の解に関する論文から着想を得たヒルベルトをはじめとする数学者は線形作用素の理論とベクトル空間の一般化を線形代数と微積分の理論の一部を統合することによって関数解析の基礎を作った。関数解析は量子力学に強力な数学的基礎を与え、量子力学はその後電磁気学を吸収し、後に発見された“弱い力の相互作用²⁾”と“強い力の相互作用³⁾”をも統一し、現代の標準模型と呼ばれる素粒子理論の基礎に至る。

これらの理論が成功を収めた理由は実験と観測による裏付けがあったからである。データと合わせる為には方程式は“解ける”か傍証となる観測可能な“解析的な近似解”が必要である。なぜならコンピュータが無い十分な性能を持っていない時代であるため、理論値と観測値を比較するためには何らかの数学的な解析結果が、必要だったと推測できる。一般相対性理論

¹⁾理由は納得できるものではないが自由がイノベーションを起こすという発想にイデオロギーが無関係となる、こういった話は著者の好みである。

²⁾原子核が崩壊して別の原子核になる力

³⁾原子核内で陽子と中性子を結びつける力

を用いてブラックホール（シュヴァルツシルト解）を導いたシュバルツシルトも解析解であるし、素粒子理論を含む場の量子論は例外的にコンピュータを使ったところで究極の解は描けないが⁴⁾[17]、くりこみ理論やファインマン・ダイアグラムなどの摂動理論によって実用的な有効方程式を得ることが出来る。つまりこの時代、理論を正当化するためには数学的解析手法が最も重要であった。

現代も「超ひも理論」や「量子重力理論」といった物理の究極理論の探索は精力的に行われているが、残念なことに解析的に解くことが出来る簡単な例にすらたどり着いていない。一方で90年代以降、21世紀の科学はヒトゲノム計画やビッグデータといった、コンピュータ無しにはどうにもならないこれまでに無い研究の方向性が表れている。大規模データや大規模方程式をコンピュータのスペックが対処できるようになった昨今においては紙や黒板の上で地道に計算する解析手法は流行らないのかもしれない。また、解像度が高く正確に遺伝構造や生体内の化学反応や科学物質の構造が解析できる昨今では、2次元力学系やフォッカー・プランク方程式に落とし込んで解析する方補は単純化しすぎなのかもしれない。radicalな科学者の中には「今後数学や科学もAIによって数理科学は取って代わられるだろう」とまで予測する人もいる。数式は立てるだけで後はコンピュータにお任せとなればこれまで紹介してきた数学のテクニックも完全なロストテクノロジーとなってしまうだろう。

8. まとめ

最近、よく耳にする「AIが取って代わる」話だが、筆者は（囲碁でも将棋でも）「最強AI同士の対戦」で用いられた戦法でプロ棋士に挑む動画を見ることがある。そうした中、プロ棋士達がAIの指し手に困惑する場面に遭遇する。多くの手はプロにとっても絶妙な手として評価されるが、こうした人間には理解できない指し手があると果たしてAIやコンピュータの解析結果をそのまま我々科学者は自然を理解したこととして受け入れられるのかと疑問に思う。ダグラス・アダムスの著作：「銀河ヒッチハイクガイド」という英国の皮肉の効いたSFコメディ小説の中でこんな一節がある[18]。宇宙中の技術を結集して作ったスーパーコンピュータが「宇宙の存在理由（確か…）」の答えを400年⁵⁾の計算の末導き出すというものである。いろんな星から集まった宇宙人達が固唾をのんで見守る中、コンピュータが出した答えは「21」である。困惑した聴衆が再度コンピュータにその意味を聞くが「宇宙の存在

⁴⁾場の量子論に出てくるエネルギー関数は非加算無限回の振動積分を含み、かつそれらは数学においてまだ正当化されていない。

⁵⁾4万年だったか忘れてしまったが。

理由は21が答え」としか言わない。我々は人知を超えた計算結果を再度考察しないと行けないわけだ。

力学系の定石である局所安定性解析など、その解そのものを知ることは出来なくてもおおよそその解の種類を教えてくれる解析手法は、方程式系を理解するだけで無く自然を人間が理解する手助けとなる。温故知新とまでは言わないが、前世紀の解析中心だった数理科学のノウハウはできる限り忘れないよう勉強し続けることが、コンピュータサイエンスにおいても自然の論理を理解する方法ではなからうか。

最後に、ここまでこのシリーズを読んで頂いた読者の皆様、私が締め切りをいつも遅れて迷惑をかけた岩田編集長、苫小牧高専の酒井さんに感謝の気持ちを表し、終わりとす。

2023年12月5日 大泉 嶺

9. 参考

参考文献

- [1] デイヴィッド ドイツチュ (著), David Deutsch (原名), 林一 (翻訳) (1999). **世界の究極理論は存在するかー多宇宙理論から見た生命、進化、時間**. 朝日新聞社.
- [2] 石井 俊全 (著) (2017). **一般相対性理論を一步一步数式で理解する**. ベレ出版.
- [3] 和田 純夫 (著) (2018). **今度こそわかる重力理論**. 講談社.
- [4] カール・R・ポパー (著), 森 博 (翻訳) (2004). **果てしなき探求〈上〉—知的自伝 (岩波現代文庫)**. 岩波書店.
- [5] カール・R・ポパー (著), 森 博 (翻訳) (2004). **果てしなき探求〈下〉—知的自伝 (岩波現代文庫)**. 岩波書店.
- [6] L. S・シャルマン (著) 高塚 和夫 (訳) (1995). **ファインマン経路積分**. 講談社サイエンティフィック.
- [7] リチャード・P. ファインマン (著), Richard P. Feynman (原名), 釜江 常好 (翻訳), 大貫 昌子 (翻訳) (2007). **光と物質のふしぎな理論: 私の量子電磁力学**. 岩波現代文庫.
- [8] 高林 武彦 (著) (2002). **量子論の発展史**. 筑摩書房.
- [9] 長澤 正雄 (著) (2015). **増補改訂版 マルコフ過程論による新しい量子理論**. 創英社.
- [10] , ポール・C.W. デイヴィス (著), ジュリアン・ブラウン (著) 出口 修至 (訳) (1990). **スーパーストリング—超ひも理論の世界 (科学選書)**. 紀伊國屋書店.
- [11] 吉田 伸夫 (著) (2011). **明解量子重力理論入門 (KS物理専門書)**. 講談社.
- [12] ユヴァル・ノア・ハラリ (著), 柴田裕之 (翻訳) (2016). **サピエンス全史 (上) 文明の構造と人類の幸福**. 河出書房新社.
- [13] ユヴァル・ノア・ハラリ (著), 柴田裕之 (翻訳) (2016). **サピエンス全史 (下) 文明の構造と人類の幸福**. 河出書房新社.
- [14] ユヴァル・ノア・ハラリ (著), 柴田裕之 (翻訳) (2018). **ホモ・デウス (上) テクノロジーとサピエンスの未来**. 河出書房新社.
- [15] ユヴァル・ノア・ハラリ (著), 柴田裕之 (翻訳) (2018). **ホモ・デウス (下) テクノロジーとサピエンスの未来**. 河出書房新社.
- [16] エドワード・フレンケル (著), 青木 薫 (翻訳) (2015). **数学の大統一に挑む**. 文藝春秋.
- [17] 吉田 伸夫 (著) (2017). **量子論はなぜわかりにくいのか「粒子と波動の二重性」の謎を解く (知の扉)**. 技術評論社.
- [18] ダグラス・アダムス (著), 安原 和見 (翻訳) (2005). **銀河ヒッチハイク・ガイド (河出文庫)**. 河出書房新社.

学会事務局からのお知らせ

1. 2023年日本数理生物学会年会年次総会報告

2023年の日本数理生物学会総会について、以下の通り報告いたします。日時: 2023年9月5日(火) 14:00-15:00 場所: 奈良女子大学 講堂総会に先立ち、佐藤一憲氏(静岡大学)が議長として事務局から推薦され選出された。年次総会にて、2023年度の議題について、以下の通り正式に承認を得た。

議題審議事項(1) 2022年度決算、2023年度予算執行状況、2024年度予算案國谷紀良氏(神戸大学)から2022年度の予算について内訳の説明があった。続いて、瓜生耕一郎氏(東京工業大学)から2023年度予算執行状況と2024年度予算案について内訳の説明があった。説明に続いて、2022年度決算、2023年度予算執行状況、2024年度予算案が承認された。

(2) 大久保賞選考委員1名の交代事務局より、運営委員会から大久保賞選考委員として若野友一郎氏(明治大学)が推薦されていることが報告され、承認された。

報告事項(1) 2024年大会の準備状況 2024年大会の大会委員長である中岡慎治氏(北海道大学)から準備状況について報告があった。

(2) 2025年大会の開催場所事務局より、2025年大会の大会委員長を望月敦史氏(京都大学)に引き受けていただいたことと、2025年大会はCIJKとの合同大会として開催されることについて報告があった。

(3) 2023年度(第18回)研究奨励賞授賞者事務局から、2023年度研究奨励賞授賞者として藤本悠雅氏(総合研究大学院大学)、伊藤公一氏(北海道大学)の2名が決定したことが報告された。この2名には、総会の後、受賞講演を行なっていただいた。

(4) ニュースレター編集委員の交代事務局から、2023年10月からニュースレター編集委員会の新編集委員長を、三浦岳氏(九州大学)がとめることが報告された。

(5) ホームページのリニューアルについて事務局から、ホームページをリニューアルしたことが報告された。

(6) 2023年CIJK会議に参加した若手研究者の旅費支援事業 2023年6月に韓国でCIJK会議が開催され

た。事務局より、運営委員会の決定に基づいて、同会議へ参加予定だった若手研究者を対象に旅費支援の希望者を公募したと、応募者7名全員に対して実際に旅費支援を行ったことが報告された。

(7) 数理生物の若手が関わる会の支援を検討中事務局より、2023年8月に開催された第二回数理生物若手の会・夏の学校の世話人から参加者の旅費や食費などについて補助の依頼をいただいたこと、議論に時間がかかり最終的には若手の会・夏の学校の支援には至らなかったものの数理生物の若手が関わる会の支援について検討する重要な機会となったことが報告された。

(8) ニュースレターのオンライン化の可能性についてアンケートを実施予定事務局より、現在冊子体で発行しているニュースレターをオンラインにする可能性について近い将来アンケートを行う予定であることが報告された。

2. 会費納入のお願い

日本数理生物学会の年会費(1~12月の1年分)は

正会員	3000円/年
学生会員	2000円/年

です。会員は年会で発表や学会役員選挙における投票をすることができます。また会員は数理生物学会年会の登録費割引の特典を受けることもできます。今年度または過去の会費が未納の方は、以下の会員管理システムより会費納入をお願いいたします。

<https://jsmb.smoosy.atlas.jp/mypage/login>

会員管理システムよりクレジットカード決済と銀行振込(バンクチェック)による会費納入が可能となっていますので、是非ご利用ください。会員管理システムの操作方法が不明の場合は、学会HPやニュースレター(第93号)をご確認ください。

<p>日本数理生物学会 2022年度決算</p>	<p>会計幹事 國谷 紀良</p>
--	-------------------

一般会計	2022年度予算	2022年度決算
収入		
繰越	7,039,000	6,951,009
会費	1,000,000	1,002,600
大会還元金	0	0
利息等	0	19
計	8,039,000	7,953,628
支出		
ニュースレター	35,000	0
ニュースレターN96	95,000	89,100
ニュースレターN96	35,000	0
ニュースレターN97	95,000	0
ニュースレターN97	35,000	0
ニュースレターN98	95,000	0
ニュースレターN98	40,000	0
名簿	150,000	(*1) 0
選挙(含 発送費, 旅費)	0	(*2) 77,000
通信費等	10,000	0
	3,000	(*3) 0
	15,000	8,974
	30,000	(*4) 29,700
事務局経費	121,000	93,538
	310,000	317,724
	100,000	2,200
特別会計へ	400,000	(*5) 100,000
小計	1,589,000	716,236
予備費(次年度繰越)	6,470,000	7,237,392
計	8,039,000	7,953,628

特別会計	2022年度予算	2022年度決算
収入		
繰越	2,030,564	3,434,670
繰入(一般会計より)	400,000	100,000
寄付	700,000	(*6) 701,292
計	3,130,564	4,235,962
支出		
年会大会費(含 託児支援, 旅費)	300,000	148,500
CIJK大会費(含 託児支援)	0	0
大久保賞関連	300,000	0
SMB合同大会費(含 若手旅費補助)	0	0
小計	600,000	148,500
予備費(次年度繰越)	2,530,564	4,089,462
計	3,130,564	4,235,962

備考

- (*1) 今後名簿を作成しないことが運営委員会で承認されたため、2023年度以降はこの項目は削除。
- (*2) 2021年度の選挙予算を2022年1月に支払いました。
- (*3) アリクイネットからアプライドに移管。
- (*4) アプライド 2023年8月31日まで契約。
- (*5) 2021年度年会の還元金が「昨年度に振り込まれたため減額。
- (*6) 「新しい研究の芽を育む会」より。若手研究者の育成と数理生物学の研究の発展と普及のため。

<p>監査報告</p> <p>日本数理生物学会の2022年度の収支に関する証書類を調べ、全て適正に執行され、決算報告にも誤りが無いことを確認しました。</p> <p>会計監事 岩田 繁実 2023年8月23日</p>

日本数理生物学会 2023年度予算執行状況・2024年度予算		会計幹事 瓜生 耕一郎 (執行状況は2023年8月24日現在)
-----------------------------------	--	------------------------------------

二般会計		2023年度予算	2023年度執行状況	2024年度予算
収入				
	繰越	6,795,000	7,237,392	6,679,000
	会費	1,000,000	919,200	1,000,000
	大会還元金	0	0	0
	利息等	0	13	0
	計	7,795,000	8,156,605	7,679,000
支出				
	ニュースレター	35,000	(*1) 168,300	35,000
	ニュースレター-N99	90,000	0	90,000
	ニュースレター-N99	42,000	0	42,000
	ニュースレター-N100	95,000	0	95,000
	ニュースレター-N100	42,000	0	42,000
	ニュースレター-N101	95,000	0	95,000
	ニュースレター-N101	47,000	0	47,000
	選挙(含 発送費, 旅費)	100,000	0	(*9) 100,000
	通信費等			
	通信費	10,000	0	10,000
	奨励賞経費	15,000	7,260	15,000
	サーバ維持費	30,000	0	30,000
	事務局経費			
	外部委託	270,000	(*2) 73,399	(*10) 270,000
	会員管理クラウドサービス	320,000	(*3) 322,872	330,000
	Web会議システム	100,000	(*4) 22,110	23,000
	ビジネスチャットツール	70,000	(*5) 73,227	74,000
	オンラインストレージ	40,000	(*6) 15,840	16,000
	ホームページ作成委託	0	(*7) 110,000	0
	事務諸経費	10,000	4,900	10,000
	特別会計へ	100,000	100,000	100,000
	小計	1,511,000	897,908	1,424,000
	予備費(次年度繰越)	6,284,000	7,258,697	6,255,000
	計	7,795,000	8,156,605	7,679,000
特別会計				
		2023年度予算	2023年度執行状況	2024年度予算
収入				
	繰越	3,935,000	4,089,462	3,258,000
	繰入(一般会計より)	100,000	100,000	100,000
	寄付	0	0	0
	計	4,035,000	4,189,462	3,358,000
支出				
	年会大会費(含 託児支援, 旅費)	300,000	300,000	300,000
	CIJK大会費(含 若手旅費補助)	0	(*8) 630,801	0
	大久保賞関連	300,000	0	300,000
	JSMB-CIJK2025 会場予約金	0	0	(*11) 1,000,000
	KSMB-SMB合同大会費(含 若手旅費補助)	0	0	(*12) 500,000
	小計	600,000	930,801	2,100,000
	予備費(次年度繰越)	3,435,000	3,258,661	1,258,000
	計	4,035,000	4,189,462	3,358,000

備考

- (*1) NL97, 98の印刷費の支払いを2023年に行ったため
(*2) ロボットペイメント利用料
(*3) SMOOSY利用料
(*4) Zoomアカウントの購入(12ヶ月分)
(*5) Slackアカウントの購入(12ヶ月分)
(*6) Dropboxの購入(12ヶ月分)
(*7) 学会ホームページのリニューアルを委託したため。
(*8) CIJK若手渡航補助 7名 上限10万円
(*9) 選挙は2年おきで実施されるため
(*10) 2023年度業務委託費170,000円 + ROBOT PAYMENT利用に係る諸費用100,000円。
(*11) 2014年開催のJSMB-SMB合同大会の会場予約状況から大会前年度予約金を計上
(*12) KSMB-SMB若手渡航補助金を計上

3. 事務関係のお問い合わせ

入会、退会の申し込み、会員情報(所属、住所、ニュースレターの送付先など)の変授賞者更や、会費の納入状況の確認などは会員管理システムより可能となっております。それ以外の事務的なことなど何かございましたら、事務局 (secretary@jsmb.jp) へお問い合わせください。

4. 事務局連絡先

幹事長 黒澤 元
(理化学研究所 数理創造プログラム)
会計 瓜生 耕一郎
(東京工業大学 生命理工学院)
幹事 中丸 麻由子
(東京工業大学 環境・社会理工学院)
幹事 山口 幸
(東京女子大学 現代教養学部)

〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1 理研 iTHEMS
黒澤元 E-mail: secretary@jsmb.jp

編集後記

2年間の編集委員会担当の締めくくりとして本号を発行することができました。「できました」とは書きましたがこれまでの編集委員会の皆様よりも発行が遅れてしまうことが多くなり、学会員の皆様には「どうしたんだ」とご心配をおかけすることが多くなってしまいました。その影響で、年会開催の報告や卒論、修論、博論の要旨の公開時期が遅れてしまいタイムリーな報告ができませんでした。また、編集委員長のポカのせいで一部原稿を掲載し損ねることになり、本号で修論・博論要旨の掲載を改めてすることになってしまいました。ここで改めてお詫びするとともに、これはひとえに編集委員長の不徳のいたるところです。ご寛容賜りますようお願い申し上げます。

とはいえ、内容については遅れた分読み応えのある内容を提供できたのかなという感覚も持っております。数理生物学会は特定の分野のみならず数理モデルを扱う多様な分野の研究者が集まっていることが一つの特

徴です。様々な分野を紹介し新たな視点を見出すきっかけになったということであれば幸いです。

インタビュー記事では様々な研究者がこれまで研究活動をしてきた中で得た経験を広く還元する、また経験をニュースレターという媒体をもち保存することを期待して企画を立てましたがいかがだったでしょうか。個人的には、原稿という形で様々な先生方の経験、知恵を残すことができよかったですと感じております。これから多くの知恵や経験を学会員の皆様は体験されることかと思えます。その際には今回のニュースレターの内容がきっかけでブレークスルーにつながったという経験に繋がると一番うれしいと感じております。また、ニュースレターがそのような経験、知恵の保存媒体になればと切に願っております。

また、ロストテクノロジーでは今ではあまり使われていない盛りだくさんの技術を再考することで新たな視点につながる可能性があると感じております。これらの記事が皆様の研究の糧になる可能性を秘めた内容だったのではないのでしょうか。今号で総集編としてまとめて頂いた内容を読むと科学とは哲学であり、現在の知識や技術はその考え方を体現した結果としての側面も兼ね備えているものと感じました。

今号をもって2022-2023の編集委員会が担当するニュースレター編集は終わりとなります。インタビューにご協力していただいた先生方、原稿を寄稿していただいた皆様のおかげで充実した内容になったかと思えます。ここに改めて感謝申し上げます。

日本数理生物学会ニュースレター No101

2023年9月発行

編集委員会委員 岩田繁英*, 大泉嶺, 酒井佑慎
(*が委員長)

siwata0@kaiyodai.ac.jp

国立大学法人 東京海洋大学

〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7

発行者 日本数理生物学会

The Japanese Society for Mathematical Biology

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

印刷・製本 (株)ニシキプリント PDF版

TABLE OF CONTENTS

Newsletter of the Japanese Society for Mathematical Biology No. 101 Sep 2023

【特集】2022年度 修士論文・博士論文(追加)	1
2023年度日本数理生物学会大会報告書	3
2023年度日本数理生物学会参加報告	6
【科学史対談～外から見た数理生物学～】 第6回 群集生態学と数理生物学	7
【数理モデルのロストテクノロジー】 第6回 数理科学の興亡 ～総集編～	大泉 嶺 17
事務局からの連絡	24
編集後記	27

