

TABLE OF CONTENTS

Newsletter of the Japanese Society for Mathematical Biology No. 75		Feb 2015
会長就任挨拶	難波 利幸	1
【大会報告】 Society for Mathematical Biology との合同大会報告	難波 利幸	2
【2014年研究奨励賞受賞者特別寄稿】 経験的アプローチ(=実証研究)との連携という呪縛あるいは希望の光 魅惑の海洋生物とともに、これからも	三木 健 山口 幸	4 8
【連載記事:海外ラボへ行こう】 「海外ラボへ行こうと言われても...」という人へ	竹内 信人	13
【連載:数理生物学のアルバム】 数理生物学の周辺から	太田 隆夫	15
【連載企画:数理の道具箱】 個体群生態学の統計力学的視点(第一回)~確率過程で考える推移行列モデル~	大泉 嶺	18
【ニュース】 学会事務局からのお知らせ		22
編集後記		24

日本数理生物学会 ニュースレター

Feb
2015

75



会長就任挨拶

日本数理生物学会会長 難波 利幸

本年1月から2年間、会長を務めることになりました大阪府立大学大学院理学系研究科の難波利幸です。まず、この2年間、学会運営に指導力を発揮されてこられた三村昌泰前会長と、会長を補佐して事務局運営に力を注ぎ、新たな学会サーバの設置や会則の改正など多くの懸案を解決されてこられた若野友一郎さん、大槻久さん、小林豊さんに心から感謝の気持ちを捧げたいと思います。

2015-2016年の事務局は、幹事長を岡山大学大学院環境生命科学研究科佐々木 徹さんに、会計を龍谷大学理工学部の近藤倫生さんに、会員担当を奈良女子大学理学部の瀬戸蘭美さんと東京海洋大学海洋科学部の岩田繁英さんをお願いしました。経験豊富な佐々木幹事長と若く澆刺としたメンバーに支えていただきながら、この2年間で何とか乗り切ろうと考えています。

前身である数理生物学懇談会から数えると、本学会は既に25年の歴史を有し、SMBとの合同大会を含めると、この8月には25回目の年会を迎えることになります。本学会の歴史については、何度かニュースレターで報告されていますが、昨年7月から始まった連載「数理生物学のアルバム」で、学会創設にかかわった皆さんの思い出に黎明期の熱気を感じ取り、今日の姿にまで日本の数理生物学が発展してきた理由を読み取ることができます。歴代会長を始め、これまで日本数理生物学会を支えてくださった多くの皆さん、本当にありがとうございます。

会員の皆さんのご努力で大きく発展してきた日本数理生物学会ですが、2014年は学会にとって節目の年の一つだったのではないかと思います。日本の数理生物学は、古くから海外との交流を積極的に進め、特にアメリカを中心とする数理生物学の国際組織 Society for Mathematical Biology とは、2001年にハワイで、2007年にはカリフォルニア州サンノゼで合同大会を開催しました。合同大会と言っても、この2回はアメリカでの開催であり、日本側もシンポジウムの提案などで協力はしましたが、運営の責任はSMBにゆだねてきました。その後、第3回の合同大会は日本で開くことをSMBから求められ、2011年のKrakowでのヨーロッパ理論数理生物学会とSMBとの合同大会で、当時の山村会長が2014年を目処に日本での合同大会の開催を約束することとなりました。

こうして実現したのが、2014年の大阪でのSMBとの合同大会です。準備を開始した当初は、海外からの参加者数や資金の見通しが不透明で、成否が危ぶまれましたが、ふたを開けてみると参加者数538名、内海外からの参加者242名と多くの参加者に恵まれ、69枠のミニシンポジウム、38枠の一般口頭発表、65件のポスター発表と学術的内容も充実し、活発な議論が交わされる大会となりました。大会の様子は、SMBのニュースレター2014年9月号でも好意的に紹介されています (<http://www.smb.org/publications/newsletter/vol27no3.pdf>)。多くの若手研究者に世界の先端研究に触れ海外の参加者との交流を深め、今後の研究のための刺激を与える機会にもなったのではないかと思います。大阪大会の評価が高かったせいか、SMBからは大会直後に次回の合同大会を4年後の2018年にシドニーで開催したいとの提案がありました。運営委員会で審議の結果、時差が小さく若手にも参加しやすいと思われるオーストラリアで合同大会を開催することは、日本の数理生物学のさらなる発展に寄与するものと判断し、SMBの提案を受けました。

2015年8月に京都で開催される第25回の年会は、日中韓数理生物学コロキウムとの合同開催となります。日中韓数理生物学コロキウムは、2006年に静岡大学の竹内康博さん（現青山学院大学）が中国のWendi Wangさんと始められた日中数理生物学コロキウムを前身とするもので、2008年の岡山大学での開催に続き日本での二度目の開催となります。2014年のSMBとの合同大会に続いて、2015年は中韓とのいっそうの交流を深めることができる年になるのではないかと思います。

日本数理生物学会の特徴は、若手会員が活発に研究活動を展開し、かつ学会運営にも積極的にかかわっていることです。そのことは、昨年大阪での合同大会の成功や、会員が学会外の組織からも名誉ある賞を受賞するなどの成果に如実に現れています。今の学会にとって、会長、事務局の役割は、この良い流れを壊さぬよう、若手会員の活躍を支援するための学会運営を進めていくことだと思っています。2年間、会員の皆様のご協力をお願いして、ご挨拶とさせていただきます。

2015年1月

日本数理生物学会会長 難波 利幸

Society for Mathematical Biology との合同大会報告

難波 利幸 (大阪府立大学・大会組織委員会委員長)

Society for Mathematical Biology (SMB) との合同大会, The Joint Annual Meeting of the Japanese Society for Mathematical Biology and the Society for Mathematical Biology, Osaka 2014 が 2014 年 7 月 28 日から 8 月 1 日まで大阪国際会議場で開催された。

参加者

この大会は、日本で開催される初めての合同大会となったが、合計 538 名、内学生 104 名、海外から 242 名の参加者を得ることができた。日本を含めて合計 29 カ国の国別の参加者数は以下の通りである。Australia 21, Austria 3, Canada, 5, China 7, Columbia 1, Croatia 1, Finland 1, France 14, Germany 12, Hong Kong 1, Hungary 1, India 1, Japan 296, Korea 18, Mexico 1, Netherlands 2, New Zealand 3, Philippines 2, Poland 5, Qatar 5, Russia 3, Saudi Arabia 1, Singapore 1, Spain 2, Switzerland 2, Taiwan 13, UAE 1, United Kingdom 34, USA 81。

研究発表

基調講演は、SMB から 4 名、Chinese Society for Mathematical Biology から 1 名、Korean Society for Mathematical Biology から 1 名、日本数理生物学会から 2 名の推薦を受け、大久保賞受賞講演、Lee Segel 賞受賞講演と合わせて、以下の 11 件となった。

- Laura Miller, Departments of Mathematics and Biology, University of North Carolina, Chapel Hill, USA, “Life at Intermediate Reynolds Numbers: How to Pump and Move through Fluids when Both Inertia and Viscosity Matter”
- Yanni Xiao, Xi’an Jiaotong University, P.R.China, “Linking Within-host and Between-host Models to Investigate Comprehensive Effect of ART on HIV Infection”
- Carson C. Chow, Mathematical Biology Section, National Institutes of Health, USA, “Theoretical Insights into the Mechanisms of Gene Transcription from Multi and Single Cell Experiments” ;
- Nanako Shigesada, Professor Emeritus, Nara Women’s

University, Japan (2013 Akira Okubo Prize), “Modelling Biological Invasions: A Personal Journey”

- Iain D. Couzin, Department of Ecology and Evolutionary Biology, Princeton University, USA, “From Democratic Consensus to Cannibalistic Hordes: The Principles of Collective Animal Behavior”
- Akiko Satake, Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Japan, “Exploring the Mechanism of Synchronized Flowering by Integrating Molecular and Modelling Approaches”
- Hawoong Jeong, Department of Physics, KAIST, Korea, “Complex Directed Bio-Networks: From Structure to Dynamics”
- Tatsuo Shibata, Laboratory for Physical Biology, RIKEN Center for Developmental Biology, Japan, “Spatiotemporal Dynamics of Intracellular Signaling Process for Eukaryotic Chemotaxis”
- Steven A. Frank, Department of Ecology & Evolutionary Biology, University of California, Irvine, USA, “Patterns of Nature: Symmetries of Measurement and Randomness”
- Michael G. Watson, Institute of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University, UK (2014 Lee Segel Prize for Best Research Paper), “A Hybrid Discrete-Continuum Mathematical Model of Pattern Prediction in the Developing Retinal Vasculature”
- Martin A. Bees, University of York, UK (2014 Lee Segel Prize for Best Student Paper), “The Orientation of Swimming Biflagellates in Shear Flows” .

ミニシンポジウムは、epidemiology, cancer, cell biology, developmental biology, pattern formation, virus, medicine, mathematics, ecology, evolution, biological movement, and networks の幅広い分野にわたって、1 枠 100 分の 69 枠を使って多くの発表と活発な討論が行われた (URL*)。企画者・講演者の皆さんに心から感謝します。一般の口頭発表は、上記のテーマに dynamics, population biology, biophysics, sociology を加えて 38 枠に渡って行

*<https://sites.google.com/site/jsmbmbjointmeeting2014osaka/minisymposia>

われた (URL[†])。さらに、ポスター発表が65件と、全体として非常に豊富で充実した科学的内容を含む大会となり、セッションによってはマイクの前に行列ができるほど活発な討論が行われる大会となった。講演者、聴衆の皆さんにお礼を申し上げます。

大会運営

本大会は、日本で開催される初めてのSMBとの合同大会だったので、日本のみならずアジアでの数理生物学の発展のために、中国数理生物学会と韓国数理生物学会に後援をお願いし、台湾の数理生物学関係者にも積極的な参加を呼びかけた。

大会準備開始時には参加者数の予測が難しく、厳しい財政状況が予測されたため、井上財団と日本万国博覧会記念基金事業に助成を申請し認められた。このため、当初予定していた支出を最低限に絞った大会運営から、会場やポスターボードの使用プランや休憩時の飲み物の提供にも余裕を持たせた運営に切り替えることができ、参加者の好評につながったのではないかと考えている。ただし、万博基金については、大会終了後の査定を経て助成金が決まるため、予想を上回る参加者数で黒字を出した本大会では最終査定は0となる可能性もある。

大会の成功には何よりも科学的内容の充実が必要と考え、多方面にミニシンポジウムの提案を呼びかけ、結果として69枠のミニシンポジウムを実現することになった。一般の口頭発表も38枠と全体として発表件数が大変多くなったため、ミニシンポジウムの企画・整理だけではなく、プログラム編成でも組織委員会プログラム部会の皆さんに大変なご苦勞をおかけした。特に、佐々木顕さん、中岡慎治さん、大槻久さんのご尽力なしには、この大会の成功はあり得なかっただろう。組織委員会プログラム部会の共同座長としてあらゆる機会に私の補佐をしてくれた山内淳さん、時田恵一郎さん、そしてそれぞれに与えられた役割を果たしていただいた組織委員会メンバー全員にもお礼を申し上げます。

今後、日本数理生物学会がSMBなどとの合同大会を運営する機会のために、本大会からの申し送り事項をいくつか述べる。

本大会は国際会議で、参加料等をクレジットカード払いで徴収する必要があるため、講演申し込みと要旨の登録を含めて受付業務はJTBに依頼した。その際、ミニシンポジウムは企画者からの提案を審査した上で採否を判定するため、ミニシンポジウムについては企画申し込みと個別の講演者の参加・要旨登録を分ける形を取った。これが大失敗で、プログラム編成の終盤



になって、ミニシンポジウムの講演者・講演順などについての情報が錯綜することになった。今後は、ミニシンポジウムについては、企画者からの情報と個別の講演者の登録情報を容易に照合できるシステムが必要であると考えます。

もう一つの大きな問題に、中国など、日本入国にビザが必要な国からの参加者へのサポートの問題があった。本大会では、ビザ取得のために大使館・領事館に提出する必要がある書類の準備をJTBなどの業者には依頼せず、組織委員会が自ら対応する体制を取った。招聘理由書や身元保証書の準備は、決まった書式にしたがった定型のものを用意すれば良いが、困ったのは、中国の郵便事情が極端に悪く、航空便で送った書類が数週間経っても先方に届かないことだった。送った航空便はいったいどこに消えたのだろうか？郵便局のEMS（国際スピード郵便）を使った場合は、数日かかるものの何とか配達はされたが、日中韓数理生物学コロキウムに向けては、早めにエクスプレスメールの利用登録と到着確認をしておくのがいいだろう。

[†]<https://sites.google.com/site/jsmbsmbjointmeeting2014osaka/contributed-sessions>

[jmsmbjointmeeting2014osaka/contributed-sessions](https://sites.google.com/site/jsmbsmbjointmeeting2014osaka/contributed-sessions)

【2014 年研究奨励賞受賞者特別寄稿】

経験的アプローチとの連携という呪縛あるいは希望の光

三木 健 (国立台湾大学) *

1. はじめに

研究奨励賞を頂いた記念に何か書く機会をいただけるということで、数理モデリングと経験的アプローチ(実証研究)との連携というテーマをとりあげたい。これまで経験したことや心の中のもやもやの変遷にふれた後ちょっと思うところをまとめることで、学会の皆様がこのテーマについて考えるきっかけになればと思う。

2. もやもやの始まり

私が大学院生になった2000年代初頭は日本数理生物学懇談会が日本数理生物学会に変わり、数理生物学が生物学全ての分野へと拡大していく時期であったと思う。そのころの私は、卒業研究以来京都大学生態学研究センター(図1)にお世話になっており、研究センター内で研究発表や議論をするとき、数理生物学会や関連集会で研究発表をするときとの異なる雰囲気戸惑いを感じていた。研究センター内では、所属する学生や研究員の方々が非常に優れた批判精神で、数理研究を行う学生(や教員)の研究発表において議論を展開しており、モデルの仮定の妥当性やパラメータの出所、モデルの結果が何に役に立つのかなど、経験的アプローチ(いわゆる実証アプローチ)を取る研究者からいろいろ追及されることも多かった。その一方、数理生物学会や関連集会では、生物学からはかなり自由に(悪く言えば実証アプローチや関連先行研究を無視した形で)数理・理論研究の議論が活発に行われていた。このような違いに戸惑い2つのスタイルの間で揺れ動きながらも、特定の系のパラメータは使わない、いわゆる純粋「数理生態学」研究(あるいは概念モデル研究)という路線で、学部4回生から学位取得までの6年近くを過ごしてきた。

しかし、生態学分野の数理研究の黄金期の王道であったであろう、このようなアプローチの現実的な意味での限界は、博士研究員になったところから薄々感じるようになった。概念モデルのみで(数理研究の専門誌ではない)一般生物学国際誌に投稿すると、経験的



図1 京大・生態学研究センターのみなさん。数理生態グループ・動物植物相互作用グループのメンバーとの食事会。

データを使っていないからというだけで低い評価を受けることを何度か経験した。ただこのときはあまりショックに思うことも無かった。というのも、私の研究テーマは数理生態学の王道というよりも、生態系科学や生物地球化学の方面に偏り始めたため、分野の成熟性や方向性の違いからモデリング研究が定量性を求められるのは至極真つ当であると感じていたからだ。

3. もやもやの変質

ところがこの認識が非常に甘かったことが台湾大学(図2)で学生たちといっしょに研究をするようになったこの数年での論文投稿時のやりとりで思い知ることになる。ほんの十年前であれば、非常に単純な概念モデルのみの論文でも喜んで載せてくれた生態学の雑誌でも、経験的アプローチとの連携が無いからという理由だけで数理専門誌への投稿を進めるという形で簡単にエディターリジェクトとなる。この実証研究との連携を強く要請するプレッシャーは何であるのか? この連携は本当に数理研究にとって本当に福音となるのか? 以下ではこれについて、ここ数年の論文投稿過程で自分自身が経験した「もやもや」感覚について述べた後、そのもやもやを解消するためにちょっと科学(者)の生態に関する本から学んだことをまとめてみ

*国立台湾大学海洋研究所/中央研究院環境変遷研究センター



図2 台大・海洋研究所の同僚との飲み会。Zacさん(中央)とJayさん(右側)。メガネ率が非常に高い。

たい。なお、数理生物学者や理論生物学者がよく使う、実験や観測に基づく研究を指す「実証」研究(empirical study)という用語であるが、技術開発などの現場では異なる意味でも使われるため(たとえば、実験機、実証機、実用機などの区別)、以下では誤解をさけるため「経験的アプローチ(による研究)」という言葉を使う。

私は、卒業研究以来、植物と土壌の様々な相互作用が植物群落と物質循環に与える影響に興味を持って理論的な研究をしてきた。2010年のモデリング論文(Miki et al. 2010)では、植物と土壌との複雑な相互作用系の中から土壌中の微生物分解者の多様性に注目し、微生物の多様性が維持されている系では植物から供給される落葉などのリターの化学的形質の変動に対してリターの分解速度が一定に保たれる可能性を提示した(この論文の査読プロセスで経験的データとの比較を要求されることはなかった)。このモデリング研究をきっかけにして、共同研究者の潮雅之さんは非常に洗練された室内実験系をつくり、この予測との比較を行った。この実験系の研究では、当初2010年のモデルから植物の群集動態に関わる部分を除く代わりに有機物基質(微生物の資源)と土壌微生物との相互作用の詳細を記載したモデルを新たに作って比較する予定であった。しかし実験結果はもとのモデルの予測と矛盾しない単純なものであると同時に、新たなモデルのプロトタイプからは実験結果を超える知見を見出せなかったため、モデルとの比較による冗長な主張は行わなかった(Ushio et al. 2013)。

この研究を横に広げて、今度は分解者として機能する微生物ではなく、植物の根に寄生的または相利共生的に寄り添う微生物に注目したモデリング研究を台湾大学の柯柏如さんと進めた。この研究では、リターの化学的形質の植物適応度へのインパクトは、寄生的微生物が優占する環境では弱く相利共生的な微生物がそ

の個体数を増やすにしたがって影響が大きくなるとの予測を得た。この研究では、実際良く行われる植物の適応度を計測するための実験過程をトレースしたモデルを構築したため、調子に乗って一般誌へと投稿してみたが、予測を裏付けるパターンを提示することを要求された。これはしかしなかなか無茶な相談であった。これまでに誰も植物リターの形質・根圏微生物群集組成・植物の適応度を関連付けてこなかったからこそこのモデルの提案に意義があるのに、データまで求められるとはなかなかモデリングに対するプレッシャー(期待の裏返しと思いたい)は強くなったものである。柯くんは必死に大量の論文を調べた後、ほとんどの論文のデータが使えないことに絶望しながらも、なんとか統計的なパターン解析に耐えうるデータ量を揃えて最終的にこの論文は世に出ることとなった(Ke et al. 2014)。

4. なぜ経験的アプローチとの連携が求められてきたのか？

以下で議論したいのは、「数理モデリングという手法はモデリングの対象とする生物分野における理論発展のために出来ることは何か」という問いに絞る。ここでは、数理モデリングによって、定量的予報するにはどうしたらよいか？ パラメータをよりよく推定するためにはどうしたらよいか？ というこれまた重要なモデリング研究の役割については議論しない。

生物学者は、生物の生き様や共通する根本原理に関するデータを取ったり数理モデルを作ったりして「分析的」に彼らを記述しようとするのに、科学がどのように進んでいくのか、進んでいくべきかという科学者自身の行動やその規範についての発言はきわめて主観的になってしまうことが多い。だが、科学哲学者は、ありがたいことに科学者の「生態」を分析してくれる。上の問いに答えを出すには、彼らの声に耳を傾けることが必要だろう。以下は、科学の発展過程について分析したクーンやファイヤアーベントの著作を参考に、数理モデリングと経験的アプローチの連携というテーマについて私なりの理解をまとめてみたい。

まず、生物学における数理モデリングのあるべき姿について、以下のような主張を取り上げてみる。—数理モデリングが拠って立つのは数学理論であり、その形式上論理的な真偽は証明可能である(計算機上での数値計算のみに依拠する数理モデルもそうなのかはよくわからない)。しかし単に論理的に真であるだけでは自然科学のひとつである生物学の理論構築への貢献としては不十分であり、その振る舞い(あるいは予測、予報)の少なくとも一部が、実験・観測などの経験的アプローチで得られるデータとの比較・検証・反証が可能になるようにデザインされるべきである。

これは皆多かれ少なかれ納得のいく主張であろう。では、次の主張はどうであろうか、新しい数理モデルを作ろうというきっかけは何か？—それは、現存する仮説・理論からの期待・予測と経験的データの間で齟齬が発見される、すなわち問題が発見される、その瞬間である。この齟齬が現存する理論の不完全性もしくは誤謬によってもたらされていると考えるからこそ、このタイミングで新しい数理モデルが必要となるわけだ。この新たな数理モデルおよびそれから導き出される新理論は新たに見つかった経験的データを説明できるときに初めて採用される。この主張は、「反証主義」と呼ばれる立場に基づく、とても分かりやすい説明だ。だがこれは、(数理・理論) 科学者の「生態」を表していないというのが、クーン(1971)やファイヤアーベント(1981)といった方々の仮説のようだ。これは単に科学の発展の歴史で生き残った理論の連なりを後出しジャンケン的に再構築しただけではないのか、と彼らは問いかける。

彼らの主張に基づく、私なりの数理モデリング・数理理論への解釈は以下のものだ。生物学における(少なくとも生態学における)理論は、「注目すべき(=経験的データを取るべき)パターン・現象・問題」、それらに対する一連の仮説、それらの仮説を支持または説明するモデル、の3つから構成されるものであろう。したがって、実際に手にすることの出来る経験的データは、理論から独立にはなり得ない。この「経験的データは現存の理論の影響下にある」という仮定を認めるなら、現在多くの関連科学者が信じる支配的理論によってはうまく説明できないようなデータが、まさにこの理論に則った観測・実験によって偶然生まれてくるまでは新しいモデルを作るのは待っておこう、という姿勢は少し効率が悪い。支配的理論をより強固にしたい場合も、これを打ち砕きたい場合も、新しい理論との比較や新しい仮説の元での経験的データが必要である。この意味では、支配的理論を打ち砕いて科学を先に進める(=多様化させる)には、まず必要なのは新データではなく、新理論(もしくはもうすこしスケールを小さくして、新仮説)である。

新モデルの構築と経験的データと比較可能な主張を用意するだけでも一苦労だ(半年やそこらでできるようなことではない)。さらにこの新たな主張と比較できるデータを同時に取れ、とはちょっときつすぎないか?。そしてデータとは理論あつてのものだとすれば、この新たな主張と比較可能なデータがそもそも技術的に取れるかどうかまったく自明ではない。経験的データは往々にして理論から独立ではなく、「対抗性理論」の提案を持ってはじめて、旧理論と相容れない経験的データがとれる。“それゆえ新しく興味をそそる理論としつかりと確立された事実の集積との間に矛盾が起きたとき、最良の手続きはその理論を放棄することではなく、

矛盾の責任を担うべき隠れた原理を発見するためにその理論を用いることである(ファイヤアーベント, 1981)”。単にデータを取るのはいへんだ、との言い訳と受け取らないでほしい。Negative complexity-stability relationship, paradox of enrichment, unified theory of biodiversity といった生態学の歴史に大きな影響を与えた理論について振り返れば、言わんとしていることは分かっていただけではないか。これらの初期モデルはその提出時において、多くの生態学者が共有していた信念・期待・仮説のどれかと大きく矛盾するものであったはずだ。

5. 数理モデルを作るきっかけと経験的アプローチとの連携のめざすもの

私の「新しい数理モデルのあるべき姿」に対する当面の答えは次のようなものだ。どんなときもどんなふうにも作つたらいい。経験的データを無視してもいいし、特に問題意識もなく単にA理論とB理論を組み合わせてもいい。どんな理論も現状理論と対抗しうる勇敢な戦士の候補だ。結果的に負けたりいい。どの理論が勝つかは時の運かもしれない。さらには提案者グループの政治力によるかもしれない。ともあれ、現存理論との論理的「対抗性」がある限り良いモデルであるはずだ。数理モデリングの数理科学としての特性、「自ら用意した仮定から始めて、論理的な真偽を証明可能であること」こそ、経験的アプローチからの独立を保障し、一見非合理ともみえる数理モデルを提案することにより、科学理論の多様化の原動力足りうるのではないか。ただこのことは、同時に現状理論を深く理解することの必要性も示唆している。「対抗性」の方向がどこに向いているか分からないモデルを闇雲に作って詳細に解析しても時間の無駄かもしれない(良いモデルを作るには現状理論のレビューは不可欠だ)。

ではどのように経験的データとの連携をとればよいのか? 1) 現存する旧理論に不満を感じ経験的データを取る途上の科学者がいたら積極的にそして謙虚に共同研究を進めよう。旧理論と衝突する彼らのアイデアは、新仮説・新理論の芽生えだ。うまくいけば旧理論に風穴をあける数理モデル・経験的データ、そして新理論を共に生み出す希望の光だ(図3, 4)。だが、2) 本当に革新的なモデルをつくってしまう運と才能に恵まれたのなら、現存する経験的データとの比較がうまくいかなさそうだが、蓄積された数々のデータによって支持される旧理論に比べてあまりにも非力に見えようが、新しいデータが当分取れなさそうだが、そんなことは気にせず進めばいい。一般の生物学雑誌や誰もがその内容に関わらずスゴイですなと盲目的にほめてくれる雑誌での受理は無理かもしれない。それでも我々には数理生物学なる独立した学問分野がありすばらし



図3 台北のダム湖での調査風景。細菌のDNAを集めるために水をろ過しているところ。柯君の後ろ姿。



図4 2012年に北大で開催された第三回日本-台湾生態学ワークショップでの記念撮影。ワークショップが成功裏に終わり、みな満足の表情。理論と経験的アプローチの幸せな結婚が大いに期待できる。

い国際誌がたくさんあるではないか。3) 旧理論から半歩、一歩踏み出すだけのことも実際には容易ではない。研究室で夜遅くまでかけて革新的なモデルを作ったつもりが一晩明けたら実はお釈迦様の手のひらの上だったとがっかりということは良くあることだ。こんなときは、経験的データを何とかひねりだして新理論の初期バージョンと比較することも不可能ではないは

ずだ。なんとか説得力を持たせて影響力の高い雑誌をねらってみよう。ただこの第三の方法が(たとえ生き抜くために必要であっても)科学の革新的発展を妨げる呪縛にもなりうることを片時も忘れてたくない。なぜなら最初から経験的データとの比較が容易になるよう、穏当な「対抗性」に留めたモデリング・仮説設定で妥協するよう誘惑するからだ——これは自分への戒めだ。逆の立場になって、自分がレフェリーやエディターとして、現存する支配的理論に真っ向からぶつかるような数理モデルに出会う幸運があったなら、経験的データの有無などという瑣末なことにとらわれず、最大限の賛辞を与え世に出す手助けをしよう。そうした取り組みが数理生物学のなお一層の発展につながるはずだ。数理モデリングと経験的データとの連携が科学の多様化へ向けた希望の光となるよう、時には手を休めてゆっくり考えてみるのも良いのではないだろうか。ぜひ参考文献に挙げた書籍を手にとってほしい。数理生物学者が学ぶところが多いのではないか。本稿をきっかけに科学哲学に興味を持っていただけたなら、幸いである。

参考文献・図書

P-J Ke, T Miki, T-S Ding (2014) The soil microbial community predicts the importance of plant traits in plant-soil feedback. *New Phytologist* DOI: 10.1111/nph.13215.

M Ushio, T. Miki, TC Balsler (2013) A coexisting fungal-bacterial community stabilizes soil decomposition activity in a microcosm experiment. *PLOS ONE* 8(11): e80320.

T. Miki, M Ushio, S Fukui, M Kondoh. (2010) Functional diversity of microbial decomposers facilitates plant coexistence in a plant-microbe-soil feedback model. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 107:14251-14256

方法への挑戦—科学的創造と知のアナーキズム (1981) ポール・K. ファイヤアーベント (著), Paul K. Feyerabend (原著), 村上 陽一郎 (翻訳), 渡辺 博 (翻訳)

科学革命の構造 (1971) トーマス・クーン (著), 中山 茂 (翻訳)

書評 方法への挑戦 ファイヤアーベント, 大垣俊一 *Argonauta* 6: 6-14 (2002)

【2014 年研究奨励賞受賞者特別寄稿】**魅惑の海洋生物とともに、これからも**山口幸（神奈川大学・工学部）

1. はじめに

この度は、このような大変名誉ある賞を賜り、とてもうれしく思っています。私は生物の適応戦略、多様な性システムの進化を最適化の観点からモデル化し、その結果をフィールド研究に役立てたい、また自分で作ったモデルの検証を行いたいと思い、これまで研究活動してきました。今まで扱ってきた生物は、海洋生物で、そのなかでもフジツボに着目してきました。小さい頃からフジツボを知っていたわけではなく、フジツボとはここ10年のお付き合いです。なぜフジツボを選んだのか、これまでの私のフジツボとの歴史をお話したいと思います。

2. 海洋生物との出会い

私は海のない奈良県出身なので、海にそれほど馴染みがありませんでした。成人するまで、実は一度も海で泳いだりしたことがなかったのです。海洋生物に実際に触れたのは、大学2年生の3月に公開臨海実習に参加したのが初めてでした。京都大学の瀬戸臨海実験所（和歌山県白浜町）での実習に参加する際、町中のバス停から実験所まで海辺の道を、1週間分の着替え等がつまった重い荷物を抱えて歩いたことをよく覚えています。今では、その道のりは海の様子を見ながら歩くと、意外と短いのですが。

臨海実習が始まると、驚きの毎日でした。どうしてこんなに多様な生物がいるのだろう、おもしろい形や色をしているなあ、と思いました。顕微鏡での線虫の観察や、ウニのDNAを取り出す実験、アメフラシの解剖など多彩な実験が毎日あり、毎日寝る時間がほとんどありませんでしたが、とても楽しかったことを覚えています。実験所附属の水族館に、夜に入ってみると、発光バクテリアを共生させているマツカサウオの下顎がピカピカ光っていて、幻想的でした。

というわけで、白浜での実習を存分に楽しんできた私は、生物のことをもっと学びたいと思い、生態学の講義をとったり、大阪市立自然史博物館のイベントに参加したりとできるだけフィールドに近づきたいと思うようになりました。

3. 数理生物学に出会う

大学3年生になって、そのときはやってきました。本当に偶然にも、奈良女子大学で「数理生物学懇談会」が開催されていました。物理科学科の学生だった私は、数学モデルで生物を解き明かすという数理生物学を知って、数理生物学入門（巖佐庸先生著）や数理生態学（シリーズ・ニューバイオフィジクス）（いずれも共立出版）を読んでいました。実際に、数理生物学の発表を聞くことができるチャンス！ということで、早速大講義室で開催されていた講演を聴きに行きました。お恥ずかしながら、全然理解できませんでした。（研究者のヒヨコくらいになった今でも、理解できないかもしれません。）そのときは、がっかりして家路に着きましたが、転んでもただでは起きないしぶとい私なので、数理生物学の研究をするのもおもしろいなあ、と思ったのでした。

4. 進路を決める

もともと中学か高校の理科の教員になりたくて、学部では教職科目の履修をしていました。大学に入学したときの私の夢は、「奈良県の山間部の中学校の先生になって、近所のおばあちゃんに『先生、今日は白菜持って行きー』と言われたい」というものだったので、大学3年生になって、さあ私はこれからどうするのか、と考えました。といってもそんなに深刻には悩まず、院に進学して、数理生物学をしようと思った。進学を決めたのはいいのですが、授業料をどうしようか、と思いました。しかし、運良く吉田育英会（ファスナーや窓で有名なYKKの無償の奨学金制度）に合格し、今でもその奨学生ネットワークでいろいろお世話になっています。

5. フジツボの小さな雄との出会い

数理モデルで生物のことをもっと知りたい、と思ったのはいいのですが、さて何をしようか。小さい頃から馴染み深かった植物や昆虫のことを研究しようかと思って、研究ネタを探し始めたのですが、なかなか自分がおもしろいと思うことやモデルで何を知りたいのかをうまく見つけることができませんでした。そこで、



図1 奈良女子大学にて、共同研究者の遊佐先生と。修士の修了式のときの写真です。

お世話になっていた大阪市立自然史博物館の学芸員さんに、「何かおもしろいことないですか?」と単刀直入に聞きました。すると「君の大学に、遊佐さんという人がいるから、何か一緒にできるかもしれないよ。話を聞きにいってごらん」と教えていただきました。早速、遊佐陽一先生(奈良女子大学理学部)にお話を聞きに行きました。

遊佐先生の研究室を訪ねると、水槽の中に、変わった生き物が飼われていました。それが私のライフワークになるフジツボとの出会いでした。フジツボといっても、普通の富士山型のタイプのものではなく、ソフトクリームのコーンのような形の持ち手がついた、なんだか変わった形のものでした。何これ??とまじまじ水槽をのぞいていたら、「このタイプのフジツボには、小さな雄がいて、それは矮雄(わいゆう)と呼ばれるのだけど、それがなぜ進化してきたかを調べているのです」と、190cmもの長身の遊佐先生がこのようにお話してくださったのが印象的でした。「この矮雄について、数理モデルを作ってもらえます?」と聞かれ、「はい、そうします」とすぐに返答しました。

フジツボの生態学者である遊佐先生とはそれ以来ずっと共同研究を続けており、尊敬するフィールドの研究者です(図1)。

6. フジツボの生き方、性の多様性をモデル化する

ここで、私がずっと研究対象としてきたフジツボについてご紹介したいと思います。

フジツボは岩礁帯から深海にまで広く分布する甲殻類です。基本的な性は同時的雌雄同体といって、精子生産する機能(雄機能)と卵生産する機能(雌機能)を同時に持ち合わせている生物です。フジツボは一度定着基質(流木や他の生物の体など)にくっつく動けないため、繁殖はペニスを使って行います。つまり

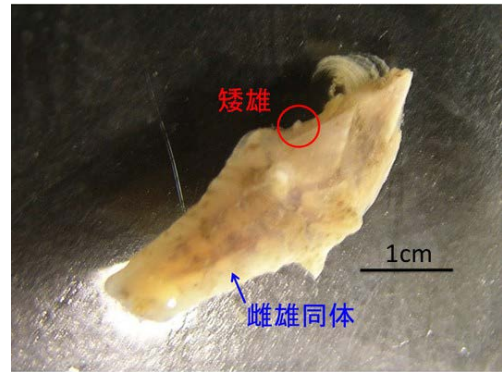


図2 有柄フジツボ。この種はトゲハナミョウガといって、大きな雌雄同体に小さな雄がくっつく種です。

交尾をするので繁殖相手が必要で、自家受精はほとんど知られていません。

フジツボには大きく分けて、富士山型のタイプのものとはソフトクリームタイプのものがあります。それぞれ無柄フジツボ、有柄フジツボ(エボシガイ類)と呼ばれます。私は特に有柄フジツボ(図2)に着目して、研究を進めてきました。有柄フジツボでおもしろいのは、性の組み合わせ(これを性システムとよびます)が生息水深によって、変化するという事です。この現象を動的最適化を用いて、モデルで説明しました(Yamaguchi et al., 2008)。

プランクトンが豊富な浅海では、有柄フジツボの性は同時的雌雄同体のものばかりになりますが、プランクトンが多くない深海では、雌と小さな雄(矮雄)の組み合わせが進化します。フジツボの小さな雄を発見したのは、進化論や種の起源で有名なダーウィンですが、その彼ですら「なぜ矮雄が進化してきたのか」について明確な答えが出せませんでした。ダーウィンは種の起源を出版する以前に、フジツボに関する著書を出しており、8年にもわたってフジツボの研究をしています。というわけで、フジツボはとってもメジャーな生物なのですよ(と私は言いたい)。

さて、私はフジツボの生息水深による生産性とフジツボの大型個体の性(雌か雌雄同体か)が矮雄の進化の有無を決めるのだろうと思い、この2つを環境パラメータとしました。そして、フジツボ個体が残せる子どもの数を計算し、生涯の繁殖成功が最大になるような生き方(資源分配の仕方)が、集団中にどんどん広がって、それに置き換わって行くという計算をしました。その結果、生産性の高い浅海では、フジツボ幼生はみんな大きな雌雄同体になるのが最も適応的で、生産性が低い深海ではなかなか大型個体になることができないため、小さな雄が集団中に侵入できるし、大型個体は雌になるということがわかりました。この結果は、野外でのフジツボの性システムの傾向と一致しています。

7. あこがれの Eric Charnov と論文を書く

私は高校生のときから英語が大変苦手で、将来英語を使って仕事をするのを考えたことがありませんでした。フジツボの性の多様性を数理モデルで明らかにしようと思ったものの、日本語の文献だけでは不十分で、当然英語の原著論文を読まなければならないわけです。フジツボがなぜ同時的雌雄同体になりやすいのか、ということディスカッションした大物研究者がいて、それは性配分理論で有名なアメリカの Eric Charnov 教授でした。フジツボは固着性でペニスを使って交尾することから、自分が雄として繁殖する際に相手の卵をどれだけ受精できるか、また自分が雌として繁殖するにはどれだけ卵を生産するか、その2つの和でその個体の繁殖成功が決まります。卵を生産するために資源をたくさん投資すれば、それだけ線形に繁殖成功が増えます。しかし、雄としての繁殖成功は事情が少し異なります。もちろん精子生産にたくさんの資源を投資すれば、雄としての繁殖成功は増加しますが、雌としての繁殖成功のように直線的に増加するのではなく、頭打ちしてしまうのです。それは、周りの個体も雄として交尾するため、局所的配偶競争が起こるためです。この効果により、フジツボのような固着性で繁殖集団が小さい場合は、同時的雌雄同体が進化しやすいと結論付けました (Charnov, 1982, 1987)。

Eric の文献を読むのに、何度も何度も辞書を引いて、内容を理解するのに1、2ヶ月かかったのを覚えています。そうして、私自身も Eric の論文を元に、環境条件を取り入れ、フジツボ各個体が経験する状態によって、どの戦略（性機能への資源配分）が有利になるのかを、動的最適化で計算しました。そして、環境条件によって、どのような性システムが進化しやすいのか、矮雄はいつ出てくるのかを明らかにし、実際野外で見られる現象と一致しているのかをディスカッションしました (Yamaguchi et al., 2008)。その論文を読んでもくださったアメリカの John Zardus 博士から「Society of Integrative Comparative Biology 2012 の Barnacle Biology シンポジウムで講演をしないか」とお誘いをいただきました。また、その同時期に、偶然にも Eric Charnov とコンタクトをとることができ、シンポジウムペーパーとして、一緒にフジツボ理論のレビューを書くことになりました (Yamaguchi et al., 2012)。原稿の締め切りが迫ってきたときは、Eric から手書きのメモをスキャンしたファイルが送られてきたりしたこともあり、短い執筆期間内の論文完成にがんばったなあと思います。招待講演のお誘いや Eric との共著の話は本当に幸運なことで、このときほど「フジツボをやっていてよかった!!」と思ったことはないです。Eric とはお互いに事情があって、直接お会いしたことはないのですが、時々メールを交換して、進捗状況を



図3 コペンハーゲン大学にて、親日家の Jens と。このときは屋上でお昼ごはんを食べたのですが、10月下旬のデンマークは寒かったです。

報告し合っています。

8. コペンハーゲンへ

2012年1月のアメリカでの招待講演の際、デンマークコペンハーゲン大学の Jens Hoeg 博士と再会しました。Jens も Barnacle Biology シンポジウムの招待講演者で、フジツボの幼生の形態学の講演をしました。Jens は遊佐先生の共同研究者でもあり、日本でお会いしたことがありました。彼はとても親切で、アメリカの滞在先のホテルで、私の発表練習につき合ってくれて、プレゼンテーションに関するアドバイスをくれました。私の本番発表後は、「とてもよかったよ」とフジツボの幼生の絵を描いたメッセージカードを渡してくれました。

「海外の研究者とコンタクトするのは素晴らしい!」と感動を味わった私は、Jens に「3月にコペンハーゲンに行きたい」と伝え、本当に行くことにしました。

Jens の研究室は、フジツボの形態、特に矮雄の形について詳しく記述し、また矮雄の繁殖行動のビデオ観察をしていました。矮雄はとても小さいので、大きな雌や雌雄同体の特定の位置にくっつきます。その場所は、矮雄がペニスを伸ばすと、卵に精子を届けやすいところです。小さすぎる雄の交尾活動を写真に収めるのは大変なことです。Jens や彼の学生さんは電子顕微鏡を使ってうまく撮影していました。その技を見せてもらったり、大学附属博物館の標本収蔵庫にあるフジツボを見せてもらったり、とても楽しい時間を過ごしました。そのときは、共同研究の話は持ち上がらなかったのですが、10月に再び滞在したとき(図3)は、Jens から甲殻類に寄生するフジツボの話聞き、それをもとに、巖佐先生との三人で、共著論文をまとめました (Yamaguchi et al., 2014)。

9. 巖佐研究室で過ごした半年間

2010年4月から3年間、九州大学の巖佐庸先生の研究室の学振PDとして所属していました。しかし事情があり九州に住んだのは2012年9月からわずか半年でした。短い九州生活でしたが、その間に得たものは私にとってとてもかけがえのないものです。

まずは、研究のディスカッションの濃さです。議論にかける時間ももちろんのこと、内容がしっかりつまっているので、話についていくのに睡眠時間を削った日何日もありました。「研究者は論文としてきちんと発表すること、それから研究に対するモチベーションを維持することが大事」という巖佐先生のお言葉は、しっかり胸に刻み込まれています。

それから、研究室仲間がたくさんいて、他愛ない話やお互いの研究の話をするのができたことです。やはり自分と同世代の研究者と交流できるというのはとても刺激的でした。学会で九大出身のメンバーに再会する度に、いろんな話をするのができて、とてもうれしいです。この場をお借りして、当時九大の研究室で大変お世話になったみなさまに御礼を申し上げます。あのときはいろいろ本当にありがとうございました。

10. 今、そしてこれから...

学振PD終了後、2013年4月に神奈川大学工学部に助手として着任しました。工学部所属は初めてのことで、「人の役に立つことをしているところだ!」と日々実感しています。ちょっと話が飛びますが、ノーベル物理学賞受賞者の朝永振一郎博士の著書「鏡の中の物理学」の中には、科学をする2つの理由が書かれています。その1つは人間の役に立つため、もう1つは純粋に好奇心を満たすためです。今までは、2つ目の科学的な好奇心の満足を主に考えていて、それを自分の研究を通して、他の人にも伝えたいと思っていました。今の所属先は、誰かに便利に役に立つことに重きを置いています。科学的におもしろいと思ってもらえることを発信していけたら、とずっと思っています。(大学の公式ページで、タカアシガニの脱皮殻を持って写真に写ったりすることで、どうして工学部で生き物? と思ってもらえたらと考えたりしています(図4)。)

今年度は日本進化学会で、市民への研究アウトリーチ活動をしてきました。数学と生物学は一見かけ離れた学問に見えるけれど、その二つの分野をつなげてもっと生物を理解しようとしていること、海洋生物には多様な性があるって、それはどうしてなのだろうと疑問に思うこと。数理生物学と海洋生物のおもしろさをもっとたくさんの人(一般の方だけでなく、研究者の方々にも)に知ってもらいたいと思っています。

ここで宣伝ですが、現在、一般向けの研究解説本「海洋生物の最適な性と生き方」(仮題)を執筆中です。



図4 タカアシガニの脱皮殻に定着するフジツボの調査をしているところ。沖縄美ら海水族館にて。

共立出版から発行される予定ですので、そのときはぜひ本屋で手に取っていただくと幸いです。

これからも、名誉ある奨励賞受賞を励みに、海洋生物のおもしろい現象の「なぜ」を、数理モデルから明らかにしていきたいと思っています。最後になりましたが、受賞にあたって、これまで研究活動を支えてくださったたくさんの方々に御礼を申し上げます。ありがとうございました。そして、これからもご指導どうぞよろしくお願い致します。

参考文献・図書

Charnov, E.L., 1982. *The Theory of Sex Allocation*. Princeton University Press, Princeton.

Charnov, E.L., 1987. Sexuality and hermaphroditism in barnacles: a natural selection approach. In A. J. Southward, ed. *Barnacle Biology, Crustacean Issues*, 5, Rotterdam: A. A. Belkema, pp. 89-103.

Yamaguchi, S., J.T. Hoeg, Y. Iwasa. 2014. Evolution of sex determination and sexually dimorphic larval sizes in parasitic barnacles. *Journal of Theoretical Biology*, 347:7-16

Yamaguchi, S., E.L. Charnov, K. Sawada and Y. Yusa. 2012. Sexual systems and life history of barnacles: a theoretical perspective, *Integrative and Comparative Biology*, 52: 356-365.

S. Yamaguchi, Y. Yusa, S. Yamato, S. Urano, S. Takahashi. 2008. Mating group size and evolutionarily stable pattern of sexuality in barnacles. *Journal of Theoretical Biology*. 253: 61-73

巖佐庸 数理生物学入門—生物社会のダイナミクスを探る 共立出版(1998)

巖佐庸(編集)数理生態学(シリーズ・ニューバイオフィジクス) 共立出版(1997)

【連載記事：海外ラボへ行こう】

「海外ラボへ行こうと言われても…」という人へ

竹内信人（東京大学）*

It is only a slight exaggeration to say that a biologist who aspires to be creative or innovative is probably wasting his time if he knows precisely what he is doing, or if he is intellectually comfortable at his work.

(G. A. Bartholomew)

海外ラボへ行くのには様々な理由がありえるが、その中でも、求める研究ができる所を探したら偶然それが海外にあったという場合がある。将来このような理由で留学する人は、実は自分が留学したいという事実と未だに気づいていない恐れがある*¹。そこで次の例え話をしたい。

もしも一生に一度の買い物をしなければならなかったら、どうするのが良いだろうか。近所の店に行つて、そこで手に入る品の中からベストなものを選ぶ、とするだろうか。どうも安易に過ぎはしないだろうか。それよりも、世に出回る商品について色々と調べ、同時に自分が何を求めているのかを考え、その上で目当ての品が手に入れられる店へと赴くべきではなかろうか。

研究についても似た事が言えると思う。あなたはどんな研究がしたいのか、そしてそれはどこするのがベストなのかと今もし問われたら、国内するのがベストだと言い切れるだろうか。もしそうでなかったなら、どうだろうかここはひとつ、世界にはどんな研究をしている人がいるのか、きちんと調べてみては。少なくとも、そうすれば留学しなくて済む事ははっきりする。

上の話を読んで、それは正論だが、留学するのは色々大変だから国内と同じには考えられない、と思った人もいるかもしれない。確かに同じには考えられない。しかし、だからといって国内に留まるというのは惜しくないか。どんなに大変そうな事でも、実際にやっ

てみるとそのうち慣れてきて、後になればそれほど大変だとは思わなくなってしまう、なんて事はよくあるではないか。そんなふうにならなくても何の役にも立たない？ それはそうかもしれない。思い起こせば、初めて補助輪なしで自転車に乗るのだった大変な事だった。こんな瑣末な事ですら、慣れてしまえば大丈夫と人から言われて、はいそうですかと心配が雲散霧消してしまうわけではない。結局のところ、自分がサドルに腰を据えてペダルを踏み込んでみるしかない。国内で研究するのだった、似た面があるではないか。

海外で研究するのは大変そうだと書いたが、一番の問題はコミュニケーションだと思われるかもしれない。具体的には、英語を喋れるようになるにはどうしたら良いかという問題だ。これの答えは、多少理不尽ながら、英語を喋る事によってである。しかし、研究に必要な英語とはあまり高度なものではない。一般に、研究に必要なコミュニケーションとは、少人数で絵や記号を使いながら論理的に考えを伝えようというようなものだろう。これは日本語ですら難しいと思う向きもあるかもしれないが、難しいのは話の内容が高尚だからであって、会話そのものが高度だからではない。例えば自分が何らかの結果を説明して、他人がそれを理解できなかったとする。この場合、他人が結果を理解できるまで（あるいは、理解する事に意味が無い事を悟るまで）質疑応答が続くだろう。つまり、研究上の会話においてはコミュニケーションが上手く行くよう互いに努力するのが普通だ。また、こういう経験を繰り返せば、自ずと言語能力は必要なレベルにまで上がってゆく。これに比べれば、日常会話の方がずっと高度だと思う。例えば会話で人を笑かそうとして、自分では面白いと思う冗談を言ったが、相手がそれを分かってくれなかったとする。そこで自分の冗談を懇懇と説明したらどうなるか。相手が優しければ笑ってくれるかもしれないが、それで満足していたら言語以前の問題だ。つまり英語によるコミュニケーションといってもそれには複数の段階があつて、研究をするという程度ならば習うより慣れるでなんとかなる。しかし、もっと会話の妙味が出てくる段階となると、音楽の演奏に似て、鋭い感性と長い修練が必要になり、上を目指せば切りが無い。

*東京大学・総合文化研究科 学術振興会特別研究員（現在オランダ・ユトレヒト大学に出張中）

*¹ 海外で研究をする事に既に興味を持ってこれを読んでいる人もいるかもしれない。本稿はそういう人にとっても励ましとなるような内容を含んでいると思う。

もし海外で研究するとしたら、どんな良いことがあるだろうか。これには色々な答えが可能だろうが、それらのほぼ全ては一つの自明な事実に集約される。すなわち、日本で得られないものが得られるという事だ。既に上で触れたが、探しているものが偶然海外にあったというケースもこれに含まれる。しかし、海外に出ると探していなかったものが見つかる場合もある。例えば、筆者は学部生の時、交換留学で初めて海外（オランダ）へ行った。その時の動機は、海外で勉強するのは大変そうだから、それを乗り越えられれば研究者を志す自信がつくかもしれない、と思ったからだ。正直、場所はどこでもよかった。一年間の留学を終えて、結局自信なんてつかなかったが、将来大学院生として一緒に研究したい人物を見つける事ができた（それが留学先の指導教官だった）。そこで私は日本の大学を卒業した後、今度は修士課程の学生としてオランダに渡航し、そこで博士号を取るまで滞在した。まあ、こういった個人の体験なんて、そういう事もありえるというだけの話にしかならないから、これ以上書くのはよしておこう。ただ次の事は一般的に言えると思う。予想と想像の範囲外に何か一生を変えるものを見つけられたら、それは面白い事ではないか。もちろん国内は全て想像の範囲内というわけではないが、境界の外へ踏み出した方が面白い事が起こりそうなのは研究だって同じ事ではないか。

ところで、留学して得られる利益というのは、上に書いたような無形な利益だけではない。その中でも読者の気を引いておいた方が良くと思うのは、日本と海外の間での社会制度の違いから生じる利益である。例えば、オランダで博士課程に在籍すると大学と有期の雇用契約を結ぶ事になる（例外もある）。博士課程の「学生」は生活するに十分な月給と僅かなバケーション手当なるものを受給し、国民年金と公務員共済年金に加入させられ（年金受給資格は容易に取得可）、大学教職員用の健康保険に加入する権利をも得る。また、産休はもちろんの事、有給休暇を返上して金品等と交換する権利も得、さらには雇用期間内に博士論文を完成させた場合、褒美として論文製本費数千ユーロが支給される。この例が示すように、特に博士課程について、日本と海外で待遇に差が大きい場合がある。しかし、単純に給料が出ればその方が良いかというと、そうとは言い切れない面もあるので注意しておこう。オランダの場合、博士課程の学生の給料は指導教官が獲得した研究費から支払われる場合がほとんどだ。当然ながら研究費を獲得するには具体的な研究計画書が求められる。指導教官によっては、学生がこの計画に忠順であることを求めないとは言い切れない。事前の調査・調整が大事ということだ。

当然の事だが、海外では社会制度の他に文化や風習も違う。この違いが留学者の利益となるかどうかは、



図 1

その人の個性に大きく依存するから一概には言えない。しかし、現地の文化や風習が留学先での生活に大きな影響を及ぼす可能性は大いにあるので、この点について事前に情報を掴んでおくのは意味ある事だ。ただし、文化や風習というのは個人の性格に似たところがあって、それに関してどれだけ間接的に情報を得ようとも、自分自身がそれをどう感じるかは、実際に本人が経験してみる他はない。なぜなら、文化や風習のどの側面に重きを置くかが人に依って違うからである。以上を断った上で、次は海外の文化について述べよう。具体的には、人々の働き方と我々外国人にとっての生活のあり方について、西ヨーロッパと米国の比較をする。しかし一言にヨーロッパと言っても国が違えば文化も違うし、また米国内に限っても都市が違えば人種構成が違う。これから述べる話は、筆者がオランダで学生として過ごした体験とワシントン D.C. 近郊でポスドクとして過ごした体験に基づいているから、それにどれだけの一般性があるのかは不確かだ。この点に留意して読んで欲しい。

まず人々の働き方について、特に博士課程に入学する前の若い学生について述べよう（それ以外の人々については学生から外挿して良いと思う）。オランダ人の学生からは、自由に自分の人生を追求しているという印象を受けた。博士課程に進学する前に1年間休学するなり進学を遅らせるなりして、半年はアルバイトでお金を貯め、半年はワーキングホリデーなど使って国外で修行する（遊ぶ？）というような話はよく聞く。彼らの基本姿勢は、やりたい事を時間をかけて見いだす、というようなものだろうか。この様な姿勢は、雇用の際に経歴の連続性や年齢が日本と比べると比較的重要視されない、という社会の仕組みと両立していると考えられる。一方アメリカ人の学生からは、上を目指して必死に努力しているという印象を受けた。筆者が出会ったアメリカ人の学生達はNIH（米国国立衛生研究所）で研究体験プログラムに従事していた人達である。彼らによると、医系大学院に進学を許可される為には研究経験があると有利になるそうで、NIHで研究しつつ、余暇の時間に入学試験の勉強をしているのだそうだ。ある学生の話では、小さい頃にどうしたらお金持ちになれるのかとお祖父さんに聞いたところ、必死で勉強しろと言われ、それが現在の努力に繋がっているらしい。以上をまとめると、人生の限界を自己の独自性の探求によって広げようとするオランダ人と、自己の能力の追求によって広げようとするアメリカ人、と言えなくはないかもしれないが、単純化と誇張が過ぎる気もする。

次に外国人としての生活についてだが、これについてはまず国家の成り立ちの違いから理解するのが速い。オランダの場合、オランダ人の祖先は国家が成立する以前からオランダの国土に居住し、独自の文化を共有していた。これらの人々が後に作り出したのがオランダ

*2 オランダはスペイン（ハプスブルク朝）との独立戦争を経て16世紀の終わり頃共和国として誕生し、途中フランス（第一帝政）の傀儡国家となるも、ナポレオン失脚後に立憲君主国として再び独立した。

王国である*2。だから、民衆が先で、国家が後だ。したがって、現在のオランダは国家として少なからずの移民を含むけれど、国民と外国人の区別をつけるのは容易である。一方米国においては、ほとんどの国民は、国家成立時から現在に至るまでにやってきた移民の子孫である。つまり国家が先で、民衆が後だ。したがって、アメリカは国策上外国人の処遇には厳密だとしても、国民内部での遺伝的・文化的分散が大きいいため、国民と外国人は区別がつきにくい。以上の違いから帰結するのは、オランダで生活するほうが、自分が外国人である事を実感する頻度が高いということだ。これが留学者にとって良い事なのか悪い事なのかについて、一般的な答えは存在しない。ヨーロッパで生活した方が異文化を深く濃く体験できるとも言えるし、米国の方が外国人としての生活が気軽であるとも言える。それ以外の捉え方も可能だろう。

以上、まだ海外で研究生活を送ったことのない学生に留学について真面目に考えてもらう事を目指して、色々述べてきた。これで留学を励まされたなら本望だが、そうでなかったとしたら補助輪なしの自転車の話を思い出して欲しい。では最後に、哲人の言葉を引いて結びとしよう。

自分の行いについて他人を手本にしてはならない。境遇・環境・事情が同じということが決してないうえに、性格の差異が行動にも異なった色調を添えるからである。

（ショーペンハウエル）

謝辞

私が留学できたのは広瀬忠樹先生（当時東北大学）の御助力のおかげです。また、私が留学を決断できたのは海老原立弥氏の助言のおかげです。この場をかりて、お二人にお礼を申し上げます。またこの原稿を読んで助言をくれた三人の方々にもお礼を申し上げます。

【連載：数理生物学のアルバム】

数理生物学の周辺から

太田 隆夫*

1. はじめに

私は、主として、非線形物理学、ソフトマター物理学、非平衡系物理学などの理論的研究を行ってきました。ソフトマターは生体を構成している物質であるという意味では生物学と関係していますが、数理生物学に直接的に関わってきた自覚はあまりありません。しかし、数理生物学の周辺での経験も、あるいは、お役にたつかもしいないと思ひ、編集部からのご依頼に従い「数理生物学のアルバム」に寄稿させていただくことにしました。特に、いろいろな方々との出会いが研究を進める強い動機になったことを中心に、大学入学から50年間近くの日常的研究活動を振り返ってみたいと思います。

2. Belousov-Zhabotinsky 反応

1967年に私が京都大学理学部に入学すると同時に、生物物理学科が発足しました。学部生のとき少しは生物物理学科の研究室に出入りしましたが、大学院では物理学第一専攻富田和久先生の研究室に所属しました。富田先生は統計力学がご専門ですが、これからは非平衡系が重要になると見抜いておられて、私が入った頃に大きく研究の方向を変えられました。特に、1972年の春から夏にかけてドイツなどを歴訪され、欧州ではBelousov-Zhabotinsky(BZ)化学反応がたいへん話題になっているとの情報をもって帰国されました。そのため、私の修士論文のテーマは「BZ反応のモデル、特に、リミットサイクル振動するモデルを作ろう」でした。実験データからHopf分岐をもつ3変数の常微分方程式を構築し、数値計算で濃度の時間的振動を確認しました。同じころ、Noyesたちも私達のモデルとは異なるBZ反応のモデル方程式を提出しました。富田研究室ではその後、津田一郎さん（現在 北海道大学）が私たちのモデルに化学物質の流入・流出の効果を加えてカオスをだしました。

博士課程では非平衡系から離れて、相転移ダイナミクスに興味をもちました。臨界液体の輸送係数の自己無撞着理論を考え、2次元以上で有効であり、4次元近傍では動的繰り込み群理論の結果と一致することを確かめました。これが学位論文です。

3. 界面ダイナミクス

液体の輸送係数の研究が縁となって、動的臨界現象のモード結合理論を創始したことで有名な川崎恭治先生が基礎物理学研究所から九州大学に移るのと一緒に、1976年に私も京都から博多に無職のまま移動しました。その後、学振研究員やピッツバーグ大学での博士研究員などを経て、1979年に九州大学助手に採用されました。それからしばらくは高分子の繰り込み群理論（大野克嗣さんと共同）と界面ダイナミクス（川崎先生と共同）が主要な研究テーマでした。相転移・相分離のドメイン成長を秩序変数の時間発展を追うのではなく、ドメイン境界、すなわち、界面の運動で表現しようとの目標をもって、秩序変数が保存する系、保存しない系、流体系などの界面ダイナミクスを定式化しました。1982年にピッツバーグ大学のDavid Jasnow先生との議論によって、秩序変数が保存しない場合の界面方程式はレベルセットで表現すると見通しが良くなることに気づき、相転移のキネテックスの理解が進展しました。同じ頃、冶金学研究者が合金のドメイン成長や、数理生物学研究者が生態系での棲み分けなどで界面動力学的研究を行っていることを耳にしました。

それから数年たって、九州大学物理教室に三村昌泰先生が集中講義にこられて特異摂動法の話をされました。空間1次元の反応拡散方程式から界面の位置に対する常微分方程式を数学的に厳密に導出する方法を物理屋にもわかるように講義をしてくださいました。おかげで私たちの界面方程式の定式化の曖昧なところがずいぶん解消されました。講義の内容を正しく理解しているかどうか自分自身で確かめるため、特異摂動法を2次元と3次元空間の反応拡散系に適用したところ、界面のいろいろな不安定性を示すことができました。小林亮さん（当時、および、現在 広島大学）が数値シミュレーションでそれらを確認してくださいました。また、三村先生からは非平衡反応拡散系で基本的なのは振動性と興奮性の二つであるということを知り、研究の視野が大きく開けました。

*東京大学大学院理学系研究科・豊田理化学研究所

4. Turing パターンとマイクロ相分離

富田研究室の大学院学生であったころ、研究室内の会話で富田先生が Liesegang リングは Turing パターンではないと盛んにおっしゃっていたので、Turing パターンなるものの知識を自然に得ていました。それから10年ほど経った1980年代の中頃、国内のある研究会で西敏夫先生（当時東京大学）が相分離にはマクロ相分離とマイクロ相分離の二つがあり、前者はドメインが際限なく成長するが、後者のドメインはナノスケールで成長が止まり、例えば2次元では縞模様や水玉模様の熱平衡ドメイン周期構造ができるとの講演をされました。それまでマクロ相分離しか知らなかった私には衝撃的なことで、すぐさまマイクロ相分離の勉強に取りかかりました。その結果、ある条件下の2成分系では濃度間にクーロン型斥力長距離相互作用が（系に電荷がなくても）働き、このことがマイクロ相分離の本質であることがわかりました。このマイクロ相分離の理論は西浦康政さん（現在 東北大学）がたいへん興味をもって宣伝してくださったため、応用数学者のコミュニティで盛んに研究されているようです。

Turing パターンでも2次元では縞模様や水玉模様のドメイン構造が存在します。しかし、Turing パターンは非平衡構造であるのに対し、マイクロ相分離は熱平衡での現象であるため、両者はまったく別のものであると長く思い込んでいました。1990年頃に興奮因子と抑制因子からなる反応拡散系を調べていて、「抑制因子の緩和が大きい極限でそれを断熱消去し、興奮因子のみで閉じた方程式にすると、その変分関数にクーロン型長距離相互作用が（ラプラス演算子の逆演算子として）現れ、さらに、元の反応拡散系が変分系でないが故に、相互作用が（引力ではなく）斥力になる」ということに気がつきました。つまり、Turing パターンとマイクロ相分離は数学的には強く繋がっていたのです。物理授業で強調されている「熱平衡は変分系であり非平衡は非変分系である」を超えた視点をもつと理解が深まることを体験しました。

マイクロ相分離の実験と理論は3次元で多く行われています。2次元の縞模様と水玉模様の延長として、3次元ではラメラ構造、三角格子円柱構造、体心立方球構造などはすぐ思い浮かびます。しかし、それ以外に3次元系特有の共連結構造、例えば、ジャイロイド構造が存在することが実験と理論で確認されています。共連結構造は円柱状のドメインが枝分かれと融合を繰り返してできるネットワーク周期構造です。図1にダブルジャイロイド構造を示します。ヒトデの骨格や生体細胞内の小胞体に似た構造があり、その意味では数理生物学と関係しています。

先に述べましたようにマイクロ相分離と Turing パターンが数学的に繋がっているのだから、3次元 Turing パ

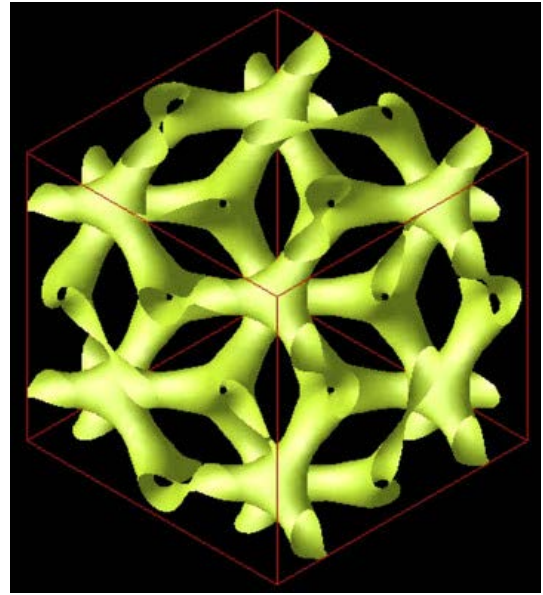


図1 ダブルジャイロイド構造（野々村真規子さん（現在 日本大学）作成）

ターンでも共連結構造があるだろうと予想していました。しかし、3次元 Turing パターンの研究はほとんどありませんでした。反応拡散系の数値計算で系の有限性に影響を受けない正しい構造を出そうとすると周期に比べて十分大きな立方体を必要とします。また、立方体が小さい場合は周期境界条件のもとでは辺の長さを Turing パターンの周期の整数倍に設定しなければなりません。そのため、3次元 Turing パターンの数値シミュレーションでは共連結構造の信頼できる結果がありませんでした。私達は3次元マイクロ相分離研究の経験から共連結構造は Turing 不安定性が起こる分岐の近傍に存在するだろうと予測をたて、昌子浩登さん（現在 京都府立医科大学）を中心に詳しい数値シミュレーションを行いました。その結果、ジャイロイド構造以外に数種類の共連結構造が現れることが明らかになりました。これは2005年頃発表しました。実験では反応物質の注入を行う過程で濃度に空間勾配ができるのを避けられないため、3次元系の Turing パターンの実現は困難なようです。

5. パルスダイナミクス

話を1990年代初めころに戻します。当時勤めていたお茶の水女子大学には計算機シミュレーションの可視化装置がなく（現在ではパソコンでできますが）、龍谷大学におられた小林亮さんのところでムービーを作らせてもらっていました。ある日、小林さんがとても興味深いビデオをみせてくださいました。1次元 Gray-Scott モデルの二つのパルスが近づいてきて立ち止まり、前後の形を変えて離れさっていく数値シミュ

レーションでした。この現象は特別な狭いパラメータ領域でのみ起こり、他のパラメータでは通常の対消滅が起こるとのことでした。衝突によってパルスが反射することを是非、理解したいとあれこれ模索しましたが成果は得られませんでした。しばらくして、富山大学の池田英雄先生が集中講義に招いてくださいました。午前中だけ講義を行い午後は全くフリーというゆったりしたスケジュールでした。講師控室で壁を眺めながら、テニスボールは壁で跳ね返るのに粘土はなぜ跳ねかえないのだろうかなどとぼんやり考えていて、運動方程式に慣性項があるかないかが重要であること(大学1年生でもわかることですが)に気づきました。しかし、「散逸系である反応拡散系から時間反転不変な慣性項はどうすれば出せるのか？」の疑問が生じました。これもしばらく考えてその日のうちに解決しました。「抑制因子の時間変化が遅ければ、それが界面上の離れたところに影響するのは時間遅れになる。時間遅れは慣性をもっているのと同じ効果を生む」でした。東京に帰ってから、界面、あるいは、パルスの運動方程式を具体的に導出したところ、そこには反射が特別なパラメータの範囲でのみ起こるメカニズムが自然に明示的に表現されていました。その後、1次元パルスダイナミクスは栄伸一郎さん(現在 北海道大学)たちによって数学的な理論が作られました。

反応拡散系のパルスはこれだけでは理解できない多彩な振る舞いをします。興奮性と振動性の境目のパラメータ領域では1次元系のパルスは衝突によって対消滅、対生成、反射を繰り返し、その軌跡は時空間プロットでSierpinsky ガスケットパターンを形成することを早瀬友美乃さん(元 北海道大学)が注意深い数値計算で発見しました。図2にその例を示します。反応拡散系と離散力学系に関係があり、反応拡散方程式の解がフラクタル性をもつことを示唆する重要な成果ですが、その満足な理論はできていません。

6. おわりに

相転移での界面ダイナミクスが興奮ドメインのパルス(スポット)ダイナミクスに発展し、私自身の現在の研究テーマであるアクティブマターの非線形ダイナミクスへとつながっています。アクティブマターという概念は人によって定義が多少異なりますが、生物系を強く意識した場合は「自身の中で化学エネルギーを運動エネルギーに変換し自律的に運動する物質・物体」のことです。これはまさに数理生物学の研究対象であると言えるでしょう。

アクティブマターの例である微生物の運動のうち、「泳動」については1950年頃から流体力学的研究があります。一方、培地上を「這う」運動については実験、理論両面からの本格的な研究が最近、始まったばかり

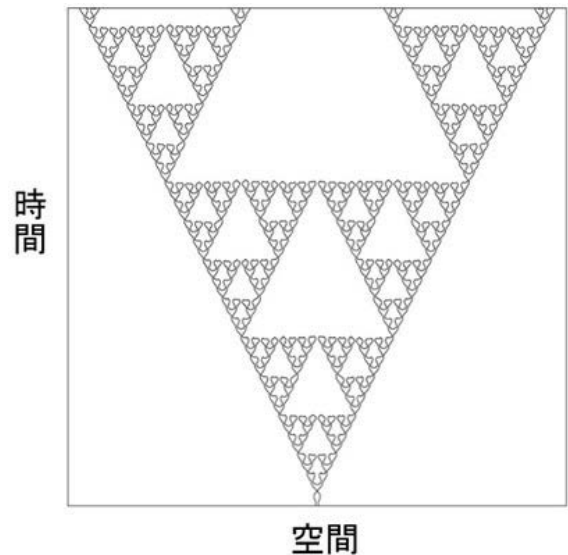


図2 反応拡散系のパルスが織りなすSierpinsky ガスケットパターン。時間は下から上へ経過。(早瀬友美乃さん作成)

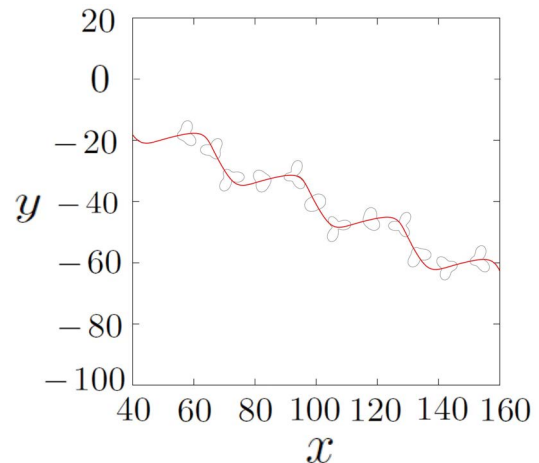


図3 柔らかな自己推進粒子のジグザグ運動。粒子は形を周期的に変えながら左上から右下に移動している。つながった曲線は重心の軌跡。(大熊孝広さん(現在 ブリヂストン)作成)

りです。「泳動」にしても「這走」にしても変形が重心運動を起こしているのは明らかで、パルス(スポット)ダイナミクスを拡張することによって理論が構築できます。図3はそのようにして得られた柔らかな粒子のジグザグ運動です。柔らかさが増すにつれて直進から、回転、ジグザグ、カオスへの分岐が起こることが明らかになっています。さらに、生体組織形成ダイナミクスを視野に入れるなら、変形するスポット集団がこれからの研究テーマになるでしょう。アクティブマターについては、近年、多くの精密な実験が行われており、それらの知見に基づいて数理生物学研究者が質的に新しい発展を起こすチャンスがきているのではないのでしょうか。

【連載企画：数理の道具箱】

個体群生態学の統計力学的視点（第一回）

～確率過程で考える推移行列モデル～

大泉 嶺*

1. はじめに

はじめに、この寄稿は昨今、確率解析に対する数理生物学者の関心が高まりつつある事に端を発している。特に確率微分方程式を用いたモデルへの関心は高く、著者の周りにも何とか自分の研究に応用できないかと模索している方も多い。しかし、実際確率微分方程式の教科書を開くと厳密な数学的記述による定式化の波に打ちのめされて概観をつかむ前に挫折を味わうといった方もおられるのではないだろうか。数理生物学者が得意とする常微分方程式（力学系）とは違い、確率積分、無限直積測度、Itoの公式など聞きなれない概念が登場するからであろう。本稿はこういった概念を数理生物学のこれまで用いられてきたモデルを基軸に解説し、厳密な数学は参考文献に任せてある一側面から確率解析の概観をつかんでみようという試みである。第一回は推移行列モデルを個体の確率過程から来る統計量として表せるという事を紹介したい。

2. 推移行列モデルの基本

種の特性と個体群動態を同時に記述する理論として、推移行列モデルほど演繹的な立場の下で実証研究に根差したものはない。それは個体のもつ統計量や野外データから、直接個体群動態の予測を与える簡素な論理構造を持つからである。例えば、最大齢 α を持ち、各齢 $\mathbf{a} := (0, 1, 2, \dots, a, \dots, \alpha)$ 毎に出生率 f_a と次齢への生存率 p_a を持つコホート（同じ齢のカテゴリに属する集団） $P_t(a)$ が次を満たすとする：

$$P_{t+1}(0) = \sum_{a=0}^{\alpha} f_a P_t(a) \quad (1)$$

$$P_{t+1}(a+1) = p_a P_t(a). \quad (2)$$

このとき、これらのコホートで構成された個体群全体 $\mathbf{P}_t(\mathbf{a}) := (P_t(0), \dots, P_t(a), \dots, P_t(\alpha))$ （人口ベクトル）の動態は、推移行列 \mathbf{L} を用いて下記のように表される。

$$\mathbf{P}_{t+1}(\mathbf{a}) = \mathbf{L} \mathbf{P}_t(\mathbf{a}), \quad (3)$$

ここで

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & \cdots & f_a & \cdots & f_{\alpha} \\ p_0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & p_1 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \cdots & p_{\alpha-1} & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

である。これはLeslie行列と呼ばれる、個体群の齢構造に焦点を当てた基本的な推移行列モデルである。人間に当てはめる場合、 f_a は a 歳の女性のコホート $P_t(a)$ の女兒の出生率を表し、 p_a は女性のみの生存率である。人口学では簡単のために、しばしば女性のみの動態で人口全体を論ずることがある[1]。推移行列モデルの解析で中心的な役割を演じるのはその行列の最大固有値である。Leslie行列の場合、全ての固有値 λ は以下の方程式を満たす：

$$1 = \sum_{a=0}^{\alpha} \lambda^{-a-1} f_a s_a. \quad (5)$$

ここで、 $s_a := \prod_{l=0}^{a-1} p_l$ は齢 a まで生き残る確率（生残率という）を表す。式(5)を満たす最大の固有値を λ_0 とおくと、Leslie行列のような非負行列ではPerron-Frobeniusの定理によって λ_0 は正の実数であることが示せる[2]。Eq.(5)式の右辺は λ に関して単調減少関数であることから、これが唯一である事もわかる。また、この λ_0 はその個体群成長率を表している。例えば、 λ_0 が1を上回れば個体群は増加傾向であるし、逆に1を下回れば減少傾向にあると考えられる。加えて、式(5)は個体レベルの統計量（出生率や生残率）から集団全体の動態に変換するという点で、非常に重要な意味を持つ等式であるため、Euler-Lotka方程式と名付けられている。

一方で、野外調査や植物などの実証研究を中心とするとき、Leslie行列のようなフレームワークは有用ではない場合がある。例えば野外におけるある植物個体群を初めて対象とする際、現存する各個体の年齢は明らかでないことがある。そういう場合、年齢ではなくサイズやバイオマス、葉の数などのステージをカテゴリ別に構成した推移行列が役に立つ。そうすると種や個体群ごとに推移行列は多様な形状を持ち、Leslie行列のような次齢への生存率以外の成分は全て0といった見やすい形や、Euler-Lotka方程式のように固有方程

*明治大学 研究・知財戦略機構、東京大学数理科学研究科, oizumi@ms.u-tokyo.ac.jp

式の係数が常に生物学的に解釈が出来るとは限らなくなる。そのため、研究者は調査対象の特性に合わせて、推移行列の選択または構築をしなければならない。こういった推移行列の多様性や一般論に興味がおありの方は次の文献を参照されたし [3,4].

3. 齢-サイズ推移行列モデル

これまでの話は、推移行列モデルを扱った本であればどこにでも書いてあるような話である。Leslie 行列と齢以外の行列モデル（例えばサイズ）との間は、常に一長一短の関係がある。前者はコホートのダイナミクスを記述しているため、各個体の生育過程と個体群動態を結びつけてはいるが、生育速度の違いによる出生率の差などの個体差の影響は考慮されない。一方、その他の推移行列は種の特性を活かせる構造を重視しているので、個体差の推移を表すという点では前者のモデルより優れてはいる。しかし、年齢を考慮していないので、その特徴に属する人口ベクトルの成分が生育過程のどの齢のどの段階からなるものであるかは言及されない。これらの制約は理論的限界というよりも、むしろ先述の調査・実験・データ解析の限界から来るものである。実際の生物はコホートを持ち、種の持つ特性毎にコホート内に個体差が生じるというのが本来のあるべき姿であろう。理論はそういった技術的制約にとらわれる必要はないのでその一長一短を解決するとどうなるか、それを考察しようと思う。

ここで任意の $M \times M$ 非負値正方行列 \mathbf{K} を考える。具体的なイメージを持っていただくためにこの行列はコホート内のサイズ成長の推移を表すとしよう、その成分 $k_{a,m'm}$ は m' 番目のサイズカテゴリに属している個体が次の年に生き残りかつ m のカテゴリまで成長する確率を表し、次を満たすとす：

$$p_{a,m'} = \sum_{m=1}^M k_{a,m'm} \leq 1. \quad (6)$$

$p_{a,m'}$ は a 歳で m' のカテゴリにいた個体の生存率を表すとす。また、各サイズカテゴリ $\mathbf{y} := (y_1, y_2, y_3, \dots, y_m, \dots, y_M)$ に対して出生率 $\mathbf{F} := (f_1, \dots, f_m, \dots, f_M)$ を対応させる (\mathbf{F} は齢には依らない)。Leslie 行列の構造に倣いこれらを組み合わせて以下の推移行列を得る。

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} f_1 & \mathbf{F} & \cdots & \mathbf{F} & \cdots & \mathbf{F} \\ \mathbf{K}_0 & O & \cdots & O & \cdots & O \\ 0 & \mathbf{K}_1 & \cdots & O & \cdots & O \\ \vdots & O & \ddots & O & \cdots & O \\ 0 & \cdots & O & \cdots & \mathbf{K}_{\alpha-1} & O \end{bmatrix} \quad (7)$$

O は $M \times M$ 零行列、 $\mathbf{K}_a = (k_{a,m'm})$ は齢毎に成分の値が異なっても構わない事を意味する、見やすくするため今後 a の表記は省略する。また、簡単のため、0 歳個体は

全て同一のサイズ y_1 で生じる事を仮定する。そのため、 $\mathbf{K}_0 := {}^t(k_{11}, k_{12}, k_{13}, \dots, k_{1m}, \dots, k_{1M})$ とし、1 行 1 列目の成分 f_1 はスカラーとする。 $\omega = 1 + \alpha \times M$ とするなら \mathbf{H} は $\omega \times \omega$ 齢-サイズ推移行列である。加えて、人口ベクトルを $\mathbf{P}_t(\mathbf{a}, \mathbf{y}) := {}^t(P_t(0, y_1), \dots, P_t(a, y_m), \dots, P_t(\alpha, y_M))$ とおけば

$$\mathbf{P}_{t+1}(\mathbf{a}, \mathbf{y}) = \mathbf{H}\mathbf{P}_t(\mathbf{a}, \mathbf{y}), \quad (8)$$

となるので、理論上はこのようにして二つの推移行列モデルの短所を補う事が可能である。モデル (8) の演算を見やすくするためにコホートごとの発展方程式で書くと

$$P_{t+1}(0, y_1) = \sum_{a=0}^{\alpha} \sum_{m=1}^M f_m P_t(a, y_m) \quad (9)$$

$$P_{t+1}(a+1, y_m) = \sum_{m'=1}^M k_{m'm} P_t(a, y_{m'}) \quad (10)$$

となる。Leslie 行列のそれ (式 (1),(2)) と比べると、このモデルは一つの状態への推移はコホート中の多状態からの推移により構成される。すなわち、コホート内の個体の個性を Leslie 行列内に表現したと解釈できる。実はこの式 (9), (10) が本稿で主題となる確率解析との関連の入り口となる。

4. 確率過程として見る生育過程

この節では式 (10) に着目し、生育過程の視点からこれを眺める。そのため、式 (8) の生育過程の統計量として、ある表現を導出する。まず式 (10) を漸化式と思い形式的に解く、

$$P_t(a, y_m) = \sum_{m'=1}^M \sum_{m''=1}^M \cdots \sum_{m^{(a)}=1}^M \overbrace{k_{m'm} k_{m''m'} \cdots k_{1,m^{(a)}}}^{a \text{ 個の積}} P_{t-a}(0, y_1). \quad (11)$$

この等式の右辺は $k_{m'm}$ の定義より「齢 0 のときサイズカテゴリ y_1 であった個体が齢 a でサイズカテゴリ y_m までに「死なずに」到達する一つの成長“経路”の実現確率」を表す。そして和算 Σ を含めると右辺は時刻 $t-a$ において新生児であったコホート $P_{t-a}(0, y_1)$ が「 y_1 から齢 a で y_m に生き残って達する全ての成長“経路”の実現確率の和」をもって y_m に至る個体数の期待値を表している (図 1 参照)。ここで、あえて $k_{m'm}$ を純粋な $y_{m'}$ から y_m への推移確率 $k'_{m'm}$ とそのカテゴリでの生存率 $p_{a,m'}$ にわけて記述する

$$k_{m'm} = k'_{m'm} p_{a,m'}. \quad (12)$$

図.1 で示したような成長経路は、この推移確率 $k'_{m'm}$ によって生成される。したがって、一個体の生育過程は $k'_{m'm}$ に従うサイズの確率変数列

$$\{Y_a\}_{a \in [0, \alpha]}, \quad Y_a \in \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_m, \dots, y_M\} \quad (13)$$

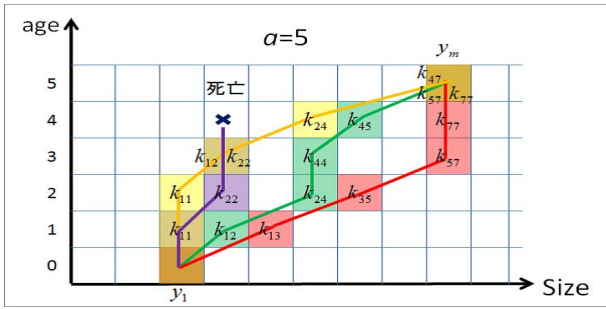


図1 この図は $a=5$ とした場合の y_1 から y_m の成長経路のサンプルが図示されている。それぞれ同色の色は1個体のサイズカテゴリの推移を表している（重なったところは合成色で表される）。この図では実際 M^4 本の経路が考えられ各カテゴリが別々の生存率を持つとすれば経路ごとに異なる M^4 通りの生残率が得られる。

で表す事が出来る。このとき生残率 $p_{a,m}$ は y_m の関数として考えれば、適当な2変数関数 $\mu(a, y_m) \geq 0$ を用いて

$$p(a, Y_a) = \exp\{-\mu(a, Y_a)\} \quad (14)$$

と書き換えられ、同様に出生率も $f(Y_a)$ と表せられる。式(12)に話を戻すと、この表記で書き換えた式(11)を(9)に代入して整理し以下の表現を得る。

$$\begin{aligned}
 P_{t+1}(0, y_1) &= \sum_{a=0}^{\alpha} \sum_{m=1}^M \sum_{m'=1}^M \cdots \sum_{m^{(a)}=1}^M \overbrace{f_m S_a k'_{m'm} \cdots k'_{1,m^{(a)}}}^{\text{経路の確率}} P_{t-a}(0, y_1) \\
 &= \sum_{a=0}^{\alpha} \mathbb{E}_{y_1} [f(Y_a) S_a] P_{t-a}(0, y_1) \\
 S_a &:= \underbrace{\exp\left\{-\sum_{l=0}^{a-1} \mu(l, Y_l)\right\}}_{\text{経路ごとの生残率}} = p_{a-1, m'} \cdots p_{0, m^{(a)}}
 \end{aligned} \quad (15)$$

生残率がサイズカテゴリ毎に異なる事から、生残率も成長経路に依存する。つまり、新規個体の再生産過程である式(9)は成長経路全体が持つ確率(確率測度)を用いて、 y_1 を初期値とする年齢 a における出生率と生残率の積の期待値で書き下せる事を示している—これは動物で言えば、 y_1 で生まれた雌個体が年齢 a で産む娘の数の期待値を表す。

5. Euler-Lotka 方程式の一般化

では、元の推移行列モデル(8)のダイナミクスは式(15)で得られた統計量とどういった関係を持つであろうか。まず、式(8)の固有値・固有ベクトルをそれぞれ λ 、 $\mathbf{P}^*(\mathbf{a}, \mathbf{y}) = {}^t(P^*(0, y_1), \dots, P^*(a, y_m), \dots, P^*(\alpha, y_M))$ とおくと

$$\mathbf{H}^t \mathbf{P}^*(\mathbf{a}, \mathbf{y}) = \lambda^t \mathbf{P}^*(\mathbf{a}, \mathbf{y}) \quad (16)$$

を満たすのは良く知られた事実である。これより式(15)は

$$\lambda^{t+1} P^*(0, y_1) = \sum_{a=0}^{\alpha} \mathbb{E}_{y_1} [f(Y_a) S_a] \lambda^{t-a} P^*(0, y_1) \quad (17)$$

となり、両辺を整理して式(8)の固有方程式

$$1 = \sum_{a=0}^{\alpha} \mathbb{E}_{y_1} [f(Y_a) S_a] \lambda^{-a-1} \quad (18)$$

を得る[5]。式(5)と見比べれば、これは Euler-Lotka 方程式の一般化に他ならない。なぜなら $f(\cdot)$ も $\mu(\cdot)$ も年齢 a にしか依存しないのであれば、全ての経路の確率の和は1であるので式(18)は式(5)と同じになるからである。ちなみに初期サイズを全て y_1 とおいたのは、この形を導出するためである。加えて \mathbf{K} が任意の非負値正方行列で成り立つことから、 $\mathbf{K}_{\{\dots\}}$ を様々な推移行列に対応させる事が出来る。例えば

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}_{\{\text{サイズ}\}} \otimes \mathbf{K}_{\{\text{繁殖器官サイズ}\}} \otimes \mathbf{K}_{\{\text{空間的位置}\}} \otimes \dots \quad (19)$$

といった多変量の特徴を与えた行列においても同様に固有値を計算する事ができる。このとき \otimes は直積と呼び次の演算規則を与える、

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} e & f \\ g & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ae & af & be & bf \\ ag & ah & bg & bh \\ ce & cf & de & df \\ cg & ch & dg & dh \end{bmatrix} \quad (20)$$

式(18)を眺めると、この個体群動態は出生率 $f(\cdot)$ 、死亡率の関数形 $\mu(\cdot)$ 、そして個体の生育過程 Y_a の統計的性質によって支配されていることに気づく。ならば逆に、この三つを先に与えたとして、個体群動態はどのようにこれら個体の持つ統計量の影響を受けるのか? という興味が湧いてこないだろうか。そうなると確率解析の色は濃くなり、個体から集団へ、ミクロからマクロへの動態解析という思想に行きつく。

6. ミクロからマクロへ

「ミクロからマクロへ」というのは統計力学ではミクロな粒子系の相互作用からマクロの現象(例えば熱力学)を記述しようという永遠のテーマである。実際そういったタイトルの書物も出版されている[6]。この視点を推移行列モデルに輸入すると、式(18)の右辺でつくる関数

$$\psi_{\lambda}(y_1) = \sum_{a=0}^{\alpha} \mathbb{E}_{y_1} [f(Y_a) S_a] \lambda^{-a-1} \quad (21)$$

が重要になる。統計量 $\mathbb{E}_{y_1} [f(Y_a) S_a]$ は常に非負であるので、この関数は λ について常に単調減少である $\frac{\partial}{\partial \lambda} \psi_{\lambda}(y_1) < 0$ 。この性質を用いて次の量を個体群動態の指標とする事が出来る

$$R_0 = \psi_1(y_1) = \sum_{a=0}^{\alpha} \mathbb{E}_{y_1} [f(Y_a)S_a]. \quad (22)$$

これは、雌1個体あたりが生涯に産む娘の数の期待値という意味を持つ。この量を基本再生産数、または単に R_0 と呼ぶ。この R_0 が1より大きいとき個体群は増加傾向にあり、1を下回れば減少傾向にあると言える。それは $R_0=1$ のとき最大固有値 λ_0 も1である（つまり個体数は変化しない）ので $\psi_\lambda(y_1)$ の λ に関する単調性から簡単に示せる。ただし、 R_0 が大きいからと言って λ_0 も大きいとは限らない [7]。関心事としては Y_a のゆらぎ、つまり個体差を生み出す分散などの統計量が個体群の絶滅や成長にどう関わるかである。筆者は共著論文 [7] の中で、この個体レベルのゆらぎを内的不確実性と名付けた。厳密には、推移行列が時刻 t に依らない場合の統計的ゆらぎを指し、それが時刻 t によって変動する場合を外的不確実性とした。後者は主に集団レベルに働くゆらぎを表し、環境変動などがそれに当たる。その研究の歴史は古く代表的な理論研究である Tuljapurkar [8] を始めとして、近年は実証研究でも review が出されている [9]。しかし、内的不確実性と集団全体の振る舞いとを結ぶ研究は少ない（そもそもそういった分類すらされていない）。

内的不確実性の集団への影響を解析する上で、推移行列モデルにはある問題がある。それは研究者の任意性によって、 a と Y_a のカテゴリ数が決定されてしまうことだ。具体的に言えば、同じフィールドの同じ集団に対して 5×5 の推移行列モデルを当てはめると、 10×10 の推移行列で解析するのではそのカテゴリの数が動態の予測に影響してしまう可能性がある。自然を理解する上ではこれはナンセンスな問題であるし、実際の動植物のサイズ成長などは大抵連続な量と考える方が自然である。そうすると有限サイズの推移行列では足りず $\infty \times \infty$ の行列と、離散確率過程 Y_a から拡散過程 X_a （連続確率過程）へ、それに伴い年齢 a や時刻 t も連続量として考える必要が出てくる。

7. 連続化とその難題に対する次回予告

Y_a を連続化しようとするすると初めに問題となるのは先述の R_0 のような期待値を与える確率測度の問題である。

$$\begin{aligned} \mathbb{E}_{y_1} [f(Y_a)S_a] &= \sum_{m=1}^M \sum_{m'=1}^M \cdots \sum_{m^{(a)}=1}^M f_m S_a k'_{m'm} \cdots k'_{1,m^{(a)}} \\ &\Rightarrow \int f(X_a) \exp \left\{ - \int_0^a ds \mu(s, X_s) \right\} \underbrace{d\mathbb{P}_{y_1}(X)}_{\text{確率測度}} \end{aligned} \quad (23)$$

連続の場合、あるサイズからあるサイズまでの取り得る成長経路は ∞ 本存在するので、成長経路一本が持つ

確率は0でなければならない。そして、そういった実態に確率を適用するには経路ごとの連続化された確率測度が必要になる。これについては Wiener 測度、経路積分、Feynman-Kac の公式、などの概念が必要になるので紙面の都合上次回に回す。

一方で Y_a を連続化した過程 X_a を力学系などの決定論方程式の拡張として扱う事が出来れば、決定論を中心としていた最適生活史スケジュール問題と呼ばれる、個体レベルの生活史進化の研究を包含する体系の構築に期待が持てる。その枠組みを与えてくれる一つが確率微分方程式である。しかし、これもまた X_a という“確率1でその経路は連続かつ至るところ微分不可能な曲線”を微分方程式に取り込む事になるので（実際そういう実態を持つ）高度な数学的概念と技術を駆使しなければならない、これも次回の主題にしたい。

最後に連続化した場合の個体群動態はどのように記述されるのか。また、このフレームワークはどのような応用が期待されるかなどのは最終回に扱う事にする。冒頭にも述べたようにこのシリーズは確率解析の概観を数理生物学的に見る試みである。そのため数学的な詳細は犠牲にして、“だいたいこんな感じの分野”の理解を重視している。今回の話は数学的な厳密性は必要なかったが、次回以降はそういった厳密性が多々、背後に存在するので引用文献に回す事になるだろう。ここまで、読んでいただいた読者に感謝し今回はここまでとする。

参考文献

- [1] 稲葉寿, 数理人口学, 東京大学出版会, 2002
- [2] 数理生物学入門: 生物社会のダイナミクスを探る, 巖佐庸, 共立出版, 1998
- [3] 「数」の数理生物学, 瀬野裕美 and 数理生物学会, 共立出版, 2008
- [4] Matrix population models, Caswell, H., Wiley Online Library, 2006
- [5] Unification Theory of Optimal Life Histories and Linear Demographic Models in Internal Stochasticity, Oizumi, Ryo, PLOS ONE, Public Library of Science, 9 (6) (2014) e98746
- [6] ミクロからマクロへ, 舟木直久 内山耕平, シュプリンガー・フェアラーク東京, 2002
- [7] Optimal life schedule with stochastic growth in age-size structured models: theory and an application, Oizumi, R. and Takada, T., Journal of Theoretical Biology, Elsevier, 323 (2013) 76–89
- [8] Population dynamics in variable environments. III. Evolutionary dynamics of r -selection, Tuljapurkar, Shripad D, Theoretical Population Biology Elsevier, (21) 1 (1982) 141–165,
- [9] Matrix projection models meet variation in the real world, Salguero-Gómez, R. and De Kroon, H., Journal of Ecology, Wiley Online Library (98) 2 (2010) 250–254.

学会事務局からのお知らせ

1. 新事務局挨拶

2015年1月より難波利幸新学会長(大阪府立大学理学系研究科)の下、以下の体制で新事務局を運営させていただきます事になりました。

佐々木 徹

(事務局幹事長: 岡山大学大学院環境生命科学研究科)

近藤倫生

(会計: 龍谷大学理工学部)

瀬戸繭美

(庶務担当幹事: 奈良女子大学自然科学系)

岩田繁英

(庶務担当幹事: 東京海洋大学海洋科学部)

2年間事務局を運営してこられた、若野友一郎さん、大槻久さん、小林豊さん、ご苦労様でした。前事務局、前々事務局の方々には、学会業務や学会ホームページサーバーの外部委託の体制を整えていただきありがとうございました。新事務局もこの体制のもとで会員のみなさまのお役に立てるような運営を心がけて、新会長を支えていきたいと思っております。よろしくお願いたします。

2015年1月

第13期事務局幹事長 佐々木徹

2. 新役員 (敬称略)

会長: 難波利幸

副会長: 三村昌泰

事務局幹事長: 佐々木徹

会計: 近藤倫生

事務局幹事: 瀬戸繭美、岩田繁英

運営委員: 佐竹暁子、近藤倫生、大槻久、守田智、巖佐庸、佐々木徹、若野友一郎、岩見真吾、稲葉寿、中丸麻由子、中岡慎治、西浦博、佐藤一憲、三浦岳、今隆助

学術専門委員: 増田直紀、小林徹也、中岡慎治、今隆助、大槻久、齋藤保久、波江野洋、舞

木昭彦、昌子浩登、手老篤史、山口幸

大久保賞選考委員:

竹内康博 (任期 2014年10月～2017年9月)

近藤倫生 (任期 2013年10月～2016年9月)

巖佐庸 (任期 2012年10月～2015年9月)

3. 旧事務局からの挨拶

2013年1月より2年間事務局を務めさせて頂きました。三村昌泰会長、山内淳前幹事長をはじめとする前事務局の皆様、そして会員の皆様に支えられて任期中を全うすることができました。この間のご協力、本当にありがとうございました。若野・大槻・小林という経験不足のメンバーによる運営で、いろいろと至らないところもあったと思いますがお許し下さい。

この2年間には、2013年の静岡大会(泰中大会委員長、佐藤一憲実行委員長)、2014年の大阪日米合同国際大会(三村大会委員長、難波実行委員長)の2つの年会有りました。これらの大会はそれぞれの大会委員長のもと、各実行委員会の皆様のご尽力で成功裏に終了することができました。いずれも数理生物学の発展と若い世代の活躍を実感できる良い大会でした。米SMBとの合同国際大会の成功はSMBからも高く評価され、次の合同大会を2018年にオーストラリアのシドニーで開催する方向で検討が始まっています。これらの年会の開催を支えて頂いた皆様、本当にありがとうございました。

事務局による学会運営に関わることとしては、前事務局の方針を引き継ぎ、我々も学会業務の外部委託体制への移行を進めて来ました。過去には事務局員の完全な手作業であった住所やメールアドレスの変更などは外部委託に完全に移行し、一部の有志のボランティアによって運営されていた学会ホームページ用サーバーも、我々の任期中に外部委託へと移行できました。サーバー関係の外部委託の際に、WEB上でログインして自分で住所変更などを行えるシステムも提案したのですが、諸般の事情で実現できませんでした。また会則の変更を行い、学会の住所を明記し「会計」という名前の役員を新設することによって、学会の成長に合わせて拡大した会計業務をスムーズに運用できるようにしました。

数理生物学会は、すべてを会長や幹事長がやるには大きすぎるが、すべてを外注するには小さすぎるという難しいサイズにあります。戦略的に安く抑えられている年会費から、どのようにして運営の負担を担っていくかということが長期的に重要な課題と考えます。佐々木徹幹事長を中心とする新しい事務局は、今期事務局の多少の成果と多くの至らなかった点を顧みつつ、今後の学会のますますの発展のためにご尽力して頂けると信じております。

最後に、この2年間本当にありがとうございました。

(文責：若野)

4. 第10回(2015年度)日本数理生物学会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。この度、2015年(第10回)の候補者の推薦をお願いすることになりました。研究奨励賞の推薦に関しては、候補者自身が自薦されても、他の方が候補者を他薦されても構いません。

研究奨励賞の候補者を自薦または他薦される場合について、次の書類を(送付先)まで郵送またはメールでお送りください。

- (1) 推薦者の名前, 住所, 電話番号, 所属. (自薦の場合は不要)
- (2) 候補者の名前, 住所, 電話番号, 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. ただし, 様式は問わない.
- (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

2015年3月31日(火)

とします。候補者の推薦をお待ちしております。どうか、よろしくお願ひします。御質問がありましたら、(送付先)まで御遠慮なくお問い合わせください。

(送付先)

〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中3-1-1

岡山大学環境理工学部

日本数理生物学会事務局幹事長

佐々木徹

E-mail: sasaki@ems.okayama-u.ac.jp

※ PDFによる応募も受け付けます。

◆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), 大森亮介氏(Weill Cornell Medical College in Qatar)
- ◇ 2014年(第9回): 三木健(National Taiwan Univ), 山口幸(神奈川大学)

5. 事務的事項のお問い合わせについて

入会、退会の申し込み、会員情報(所属, 住所, ニュレター送付先など)の変更は、業務委託先の土倉事務所(bwa36248@nifty.com)にご連絡ください。会費の納入状況の確認などの事務的問い合わせにつきましても、土倉事務所までお問合わせください。それ以外の事項につきましては、幹事長の佐々木徹(sasaki@ems.okayama-u.ac.jp)へお問い合わせください。

6. 2014年1月以降の入退会者(敬称略)

入会(27名)

- ・里居 伸祐(九州大学・システム生命科学府 数理生物学研究室)
- ・右衛門佐 誠(大阪府立大学大学院・工学研究科 数理工学分野)
- ・田中 吉太郎(明治大学大学院先端数理科学研究科)
- ・小田 安希子(奈良女子大学大学院・人間文化研究科 情報科学専攻)
- ・豊田 悟史(早稲田大学大学院)
- ・勝又 雄基(静岡大学)
- ・小林 祐一朗(東京大学大学院総合文化研究科・嶋田研究室)
- ・伊藤 真利子(総合研究大学院大学・先端科学研究科)
- ・反田 直之(東京大学農学生命科学研究科)
- ・朽木 優貴(総合研究大学院大学)
- ・史 蕭逸(東京大学大学院医学系研究科)
- ・前田 一貴(独立行政法人理化学研究所 望月理論生物学研究室)
- ・國田 樹(北海道大学)

- ・佐藤 純 (金沢大学)
- ・竹内やよい (独立行政法人国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター)
- ・境 祐二 (理化学研究所)
- ・青柳 富誌生 (京都大学情報学研究科複雑系科学専攻)
- ・岡田 崇 (独立法人理化学研究所・望月理論生物学研究室)
- ・水野 晃子 (名古屋大学・地球水循環研究センター)
- ・エコノモ エヴァン (沖縄科学技術大学院大学)
- ・武田 裕彦
- ・秦 重史 (独立行政法人海洋研究開発機構・数理科学・先端技術研究分野)
- ・Schluter Jonas (総合研究大学院大学)
- ・南 佑樹 (理化学研究所・望月理論生物学研究室)
- ・山神 尚人 (名古屋市環境科学調査センター)
- ・太田 健一郎 (京都大学大学院農学研究科)
- ・南 就将 (慶應義塾大学医学部)

退会 (55名: 会費滞納による自動退会含む)

宮路 智行・井碓 直行・中河 嘉明・西澤 裕文・山口 将大・佐藤 勇起・西嶋 翔太・高科 直・李 貞憲・堀端 泰樹・遠藤 辰弥・王金良・高橋 尚敬・蜂谷 菜保子・玲玲・渡邊 大樹・宗像 佳菜子・花本 惣平・津金澤 裕一・木下 瑛翔・大石 晃史・佐藤 雄稀・守永 一彦・酒井 佑禎・梅田 民樹・山口 陽子・稲川 健太郎・橋本 康・森 禎弘・中嶋 美冬・水野 昇治・田中 嘉成・広永 良・秋田 鉄也・手老 篤史・元池 育子・柳下 浩紀・鈴木 健大・加藤 直人・松浦 弘典・内山 有祐・瀧川 裕貴・松野 文俊・相田 拓洋・西浦 廉政・間野 修平・伏見 昭秀・内田 さちえ・生塩 研一・佐々木 貴教・長江 成典・山田 翔一・池末 成明・増田 愛・鈴木 彩香

現会員数: 469名 (2014年12月31日現在)

編集後記

明けましておめでとうございます。今回の号から新しい企画をスタートさせました。ニュースレターには、現在の研究紹介など専門的な研究結果の報告がよく記事になりますが、大学院生レベルではそれを読んでも詳細を理解するのに予備知識が足りない場合があります。そのため、研究成果の紹介と学部教育の間の橋渡しになるような教育的記事があれば役に立つだろう、と「数理の工具箱」という連載を始めました。基礎から始まって学術論文の手前までわかるような記事を狙っています。この企画が若い人たちが数理生物学に関心を持つよいきっかけになれば幸いです。また、この企画を軌道に乗せるために、新たな道具の掲載を希望する方を募集します。ご希望があれば、気軽に編集局 (jsmb.newsletter@gmail.com) までご連絡・ご相談ください。

さて、今回の号では、事務局報告の中でとても重要なアナウンスが行われています。「第10回 (2015年度) 研究奨励賞候補者募集」がそれです。この賞は若手研究者が対象のもので、締め切りが3月末日になっております。積極的に候補者をご推薦いただければと思います。

また、特集記事「研究と育児の両立」では、寄稿を募集しています。今回までは、女性研究者による寄稿をお願いしていましたが、視点を変えて「女性研究者を母にもつ」方がおられれば、その方からの原稿を募集しています。奮ってご応募ください。 文責: 高田

日本数理生物学会ニュースレター第75号
2015年2月発行

編集委員会 委員長 高田 壮則
jsmb.newsletter@gmail.com

北海道大学地球環境科学研究院

〒060-0810 札幌市北区北10条西5丁目

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