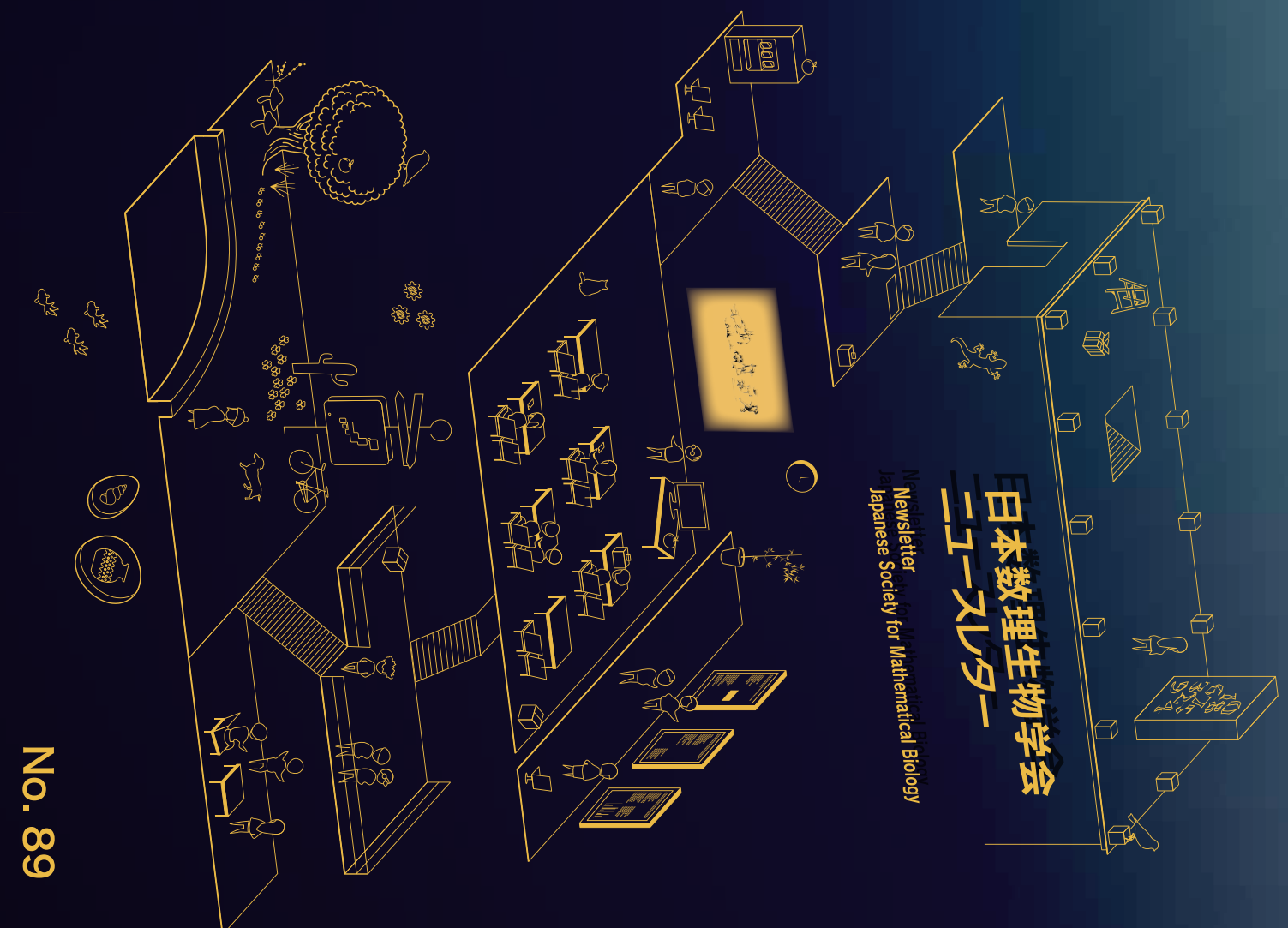


日本数理生物学会



日本数理生物学会
ニユーズレター

Newsletter
The
Japanese Society for Mathematical Biology

目次

【細野雄三先生を偲んで】 数理生物学のパイオニア：細野雄三 先生	岩見真吾	2
【研究奨励賞受賞者特別寄稿】 どんぐり豊凶の進化生態学	立木祐弥	6
【最終回 数理生物学対談 「重定南奈子 教授」】 生物の拡散をやってみようと思った	重定南奈子, 岩見真吾	11
【第6回 トラノマキ企画】 女性から見た科学者像③-社会の一員としての科学者-	根上春	23
【第4回 数理生物学四方山話】 個体群生態学理論の発展の渦中で	高田壮則	29
【第3回 ニュースレター読者アンケート】 読者調査から見えたニュースレターの実態と課題	ニュースレター編集部	35
学会事務局からのお知らせ		37
2018年度決済		41
2019年度予算執行状況・2020年度予算		42



【細野雄三先生を偲んで】

数理生物学のパイオニア：細野雄三 先生

企画者：岩見真吾*

京都産業大学 名誉教授 細野雄三 先生が2019年2月14日にご逝去されました。謹んで哀悼の意を表します。

“おい、岩見、元気か?”と、まだ僕が大学院生の時代に研究集会や学会で会うたびに話かけてくれて良く一緒に飲んだことを覚えています。お酒を飲んでいるときに、話しかけると少しうつむき加減で瓶ビールを飲んで微笑んでいる姿が好きでした。そんな細野雄三先生が亡くなられた事を聞いたのは、2019年3月に東京工業大学で行われた日本数学会年会でした。一緒に喫茶店に向かう道中、龍谷大学の森田善久先生から聞かされました。

細野先生に初めて出会ったのは2006年12月8日、大阪大学の基礎工学研究科にて鈴木真先生が開催されていた「数理医学セミナー」でした。当時、僕は大阪府立大学大学院工学研究科で修士課程の学生で、博士後期課程から進学する予定であった静岡大学の竹内康博先生(現所属は青山学院大学)が講演されることを知り、参加したのを覚えております。懇親会の席で細野先生と隣になり、当時ただの一学生であった僕に話しかけて下さり、いろいろと研究の話聞いて頂いたことを鮮明に覚えております。数理生物学のパイオニアであり、反応拡散系の進行波解の仕事をはじめとした細野先生の研究が国内外で高く評価されているのを知ったのは、僕自身の不勉強が原因でしばらく後のことでした。

その後、学会や研究集会で細野先生と何度も会う機会があり、会うたびにかわいがって頂きました。僕自身が細野先生の体調が優れないことを知ったのは2016年の初夏でした。直接の先輩でもあり共同研究者でもある北海道大学の中岡慎治先生と2016年9月26日-27日に京都大学数理科学研究所にて企画した“RIMS 共同研究ワークショップ「現象を捉える数学」”では、ユトレヒト大学のOdo Diekmann教授を招待することが決まっており、Odoと親交の深い国内の先生方に講演を依頼していた時です。細野先生にも久しぶりに連絡し、講演依頼をしたところ、体調が良くないことを知らされました。それでも細野先生は、研究会前に体調が落ち着いていたら、是非とも講演し、Odoと

も会いたいと言っていました。残念ながら体調が思わしくないというキャンセルの連絡を頂き、2016年9月27日(火)13:30-14:20細野雄三(京都産業大学)“Invasion waves for the Lotka-Volterra predator-prey system with diffusion”を聞くことはできませんでした。

僕自身がお世話になっていたこともあります。細野雄三先生の仕事は日本数理生物学会にとってはもちろん、数理生物学という分野自体の発展にも大きく貢献されています。多大なる貢献を下された細野先生のご功績を称え、記録として残すという意味でも、日本数理生物学会会長である東京大学の稲葉寿先生と相談して、ニュースレターにて本企画を実施することを決めました。以下では、細野先生とご友好が深かった先生方へお願いし、本企画にご寄稿頂いた原稿を紹介したいと思います。

「細野雄三氏を偲んで」三村昌泰(広島大学)

細野君は私がこれまで進めてきた研究において最初に出会った友である。彼と私は京都大学工学部数理工学科、大学院数理工学専攻、そして研究者への道に進むという全く同じ道筋であったが、かなり年齢が離れていたため、いわゆる先輩、後輩の直接的な関係ではない。私の指導教授であった山口昌哉先生と彼の父親である細野武男氏が友人であったことから、細野氏は雄三君を山口先生に紹介したことから、私は彼を学部時代からよく知っていた。彼は卒論(1970年)、修論(1972年)を通して数値解析学をやっていたが、1973年博士課程を中退し、埼玉大学理工学部で職を得たことから、それまで住んでいた京都を離れて関東に移ったのである。一方、私は甲南大学理学部にいたが、同じ年に、京都大学から学位を頂いた。だが、二人に共通した研究の悩みは、彼は修論を続けていくのかどうかであり、私は学位論文の延長として研究をするべきかであった。色々話し合った結果、数理生物学に関連する反応拡散方程式は一見単純そうに見えるが、解の振る舞いはかなり奥深いことをお互いに理解し得たのであった。2人にとって大きな分岐点1977年であった。彼は京都産業大学理学部に職を得ることができ、関東から京都に戻ることができた。その年、私は1年間い

*九州大学大学院理学研究院生物科学部門

たオックスフォード数学研究所から「反応拡散系の空間パターンの解析に特異摂動法が有効である」という情報を手土産に帰ってきた。しかしながら、当時の我々には特異摂動法の知識は全くなく、周りでも専門家はいなかった。我々は空間パターンを理解するためには特異摂動法が重要であると信じて(1976年に出版された) Paul Fife 氏の論文を読む(解説?) ことから始めた。当初は全くわからなかった。それは証明内容だけではなく、彼がなぜそのような考えに思い至ったかという動機を知ることであった。二人で何ヶ月もかけて数えられないほど同じ箇所を読み返した。そのうちに、徐々に、Fife 氏の気持ちがわかってきた。その喜びを分かち合えたことは今でも鮮明に覚えている。こうして特異摂動法が我々の解析法の原点になったのである。このように、細野君は私にとって先輩、後輩の関係ではなく「若き日に一緒に苦労を共にした同志」であったのである。こうして40年以上前に出会った二人は以後、数理生物学の世界に進出し、なんとかこれまで研究が続けられてきたのである。同志を失うことは無念であり、悲しいことは当然であるが、今は彼への深い感謝の気持ちで一杯ある。合掌。

「紫明通りの鴨居」西浦廉政(北海道大学)

最初の出会いは、故山口先生の土曜セミナーであった。確かその折にソリトンの薩摩さんともお会いしたかもしれない。私がまだ修士の学生で、細野さんは当時、博士の院生(数理工学)であった。土曜セミナーは多士済々で、経済、生命から物理、数学と内容的には消化不良も多かったが、雑学的な雰囲気が好きなおこともあり、ちょっとしたサロンの面白さを味わうことができた。最初の就職先は、藤井宏さんのおかげで京都産業大学にお世話になることとなり、細野さんはここでも先輩であった。私は博士課程を退学したばかりで、学生気分も抜けきらない、なんとも未熟な教員であったが、そこらを優しく受け入れてくれたのは細野さんであった。当時は分岐理論と特異摂動理論の大域的な関係を反応拡散系の枠組みで考えていたが、細野さんはつかず、離れずというスタンスで付き合ってくれた。ノイマン遷移層の話のきっかけは、そのような議論の中で出てきたように記憶している。数値計算も横目でいつも見させてもらっていた。研究の関係でイタリヤ、とくにフィレンツェによく行かれていたが、帰られるとその話でいつも盛り上がった。現在、龍谷におられる森田さんもそのような場の常連であった。碩学で法社会学の第一人者であったご尊父様がおられたご実家(確か紫明通りのあたりだったと思う)に一度お邪魔した折に、やや薄暗い中で鴨居が本の重みで傾いでいたのをはっきりと覚えている、どうして入れてもらったのか、一緒に遅くまで飲み過ぎて帰れなくなったのか、その理由は忘れてしまったが、それを聞

く機会はもう戻ってこない。森田さんの手を煩わせて昨年の夏頃から会う機会を模索していたが、新たな治療のための検査等で逸してしまった。どこか人懐っこい笑顔は今も私の中で35年前のままである。

「細野さんとの出会いと思い出」森田善久(龍谷大学)

故細野雄三氏との思い出は尽きません。若いときから親しくして頂いたので以下では細野さんと呼ぶことにします。もう40年くらい前になりますが、私が京都大学の大学院に進学した頃、数理解析研究所の「数値解析セミナー」と、故寺本英氏の研究室の「数理生物セミナー」(正式名称は記憶にないが)に顔を出すのが日課でした。この両方の場で、細野さんと毎回のようにお会いし、この頃から親しくお付き合いさせて頂くようになったと記憶しています。当時、細野さんは反応拡散系の進行波の存在を特異摂動の手法を用いて三村昌泰氏と共同研究されていました。私から見るとすごく難しく、しかし憧れの研究テーマでした。その後ロトカ・ボルテラ競争系に拡散移動が入った場合の進行波解の研究によって博士の学位を取得されました。競争する一方の種は通常の拡散で、もう一方は集団圧力効果の非線形拡散を入れた系の研究でしたが、その数学的な扱いは大変難しく、素晴らしいアイデアで進行波解を構成することに成功したという記憶があります。この頃は学位の基準が高く、就職してある程度の研究経歴を経てから学位を取得するのが普通でした。学位の公聴会の後、自宅で開かれた祝宴に参加させて頂き楽しい時間を過ごしたことをよく覚えています。この後、細野氏は英国にご家族と一緒に渡航し、オックスフォード大学の数理生物センターで海外研究員として1年間従事されています。当時のセンター長はJ. Murray さんでした。私はその年の9月に凶々しく細野さんのオックスフォードのアパートに遊びに行かせてもらいましたが、そのとき光栄にもMurray さんに紹介して頂きました。

その後、私も家庭を持つようになってからは家族ぐるみでお付き合い頂きお世話になっています。忙しくなってからはお会いすることが少なくなりましたが、研究会や学会でお目にかかるとうよく夕食を一緒にさせて頂き楽しい時間を過ごしました。

細野さんの進行波の研究になかなか追いつけなく、最近になってそのパイオニア的な業績の凄さを実感しています。12年前に細野さんの還暦祝いの集会を小川知之氏と一緒に企画しましたが、お世話になった細野さんにはもっと恩返しがあったと改めて感じています。もう一緒にお酒を飲むことができないと思うと残念でありませんが、私の心の中ではいつも明るく楽しい細野さんがいて、これからも励ましてくれると思っています。



1994年に上海の復旦大学で開催された研究集会の後、杭州に足を延ばした時の写真(左:細野さん、右:森田)。

“Yuzo Hosono”

Odo Diekmann (Utrecht University)

As far as I remember, I met Yuzo Hosono for the first time in the early eighties of the last century when, at the recommendation of Masayasu Mimura, he and Hiroshi Fujii came for a short visit to the Centre for Mathematics and Computer Science in Amsterdam. What I do remember very vividly, is the warm hospitality with which Yuzo invited me for a lovely dinner in his home in Kyoto during my first visit to Japan in 1985. In fact, it has always been a great pleasure to meet him, both because of his gentle personality and because we would have stimulating discussions on problems in mathematical ecology and epidemiology. So I feel very sad that his untimely death will prevent future encounters.

My favourite Hosono paper is ‘The minimal speed of travelling fronts for a diffusive Lotka-Volterra competition model’, *Bulletin of Mathematical Biology* (1998) 60: 435-448, dedicated to the memory of Akira Okubo and triggered by a 1989 paper of Okubo, Maini, Williamson and Murray on the spatial spread of the gray squirrel in Britain. When a competitively superior species is locally introduced, one expects that it invades successfully, expands systematically in space in a wave like manner and ultimately replaces the resident everywhere. The question ‘how is the speed of spatial wave expansion determined?’ arises naturally. Hosono has been a pioneer in addressing this question. Both his results and the methods he developed are still of great value, see for instance the much more recent paper ‘The effect of competition on the neutral intraspecific diversity of invasive species’, *Journal of Mathematical Biology* (2015) 71 : 465-489, by L. Roques, Y. Hosono, O. Bonnefon, T. Boivin.

Mathematical biology has grown rapidly and diversified enormously. Yet some themes are as vibrant today as they were decades ago. In spatial ecology and epidemiology, models formulated in terms of nonlinear partial differential equations, in particular reaction-diffusion equations, are still of great interest and, in this context, the characterization of spreading speeds is very relevant, but often a major technical challenge. Up to this day, anyone aspiring to characterize a spreading speed for competitively interacting species, should start by reading Yuzo Hosono’s work in this area. It is a big loss for our community that no new papers written by him will appear.

「細野先生のご逝去を悼む」稲葉寿 (東京大学)

京都産業大学名誉教授細野雄三先生が去る2月14日に逝去されたとの訃報に接し、心よりご冥福をお祈りするとともに、日本数理生物学会会長として日本数理生物学会およびその前身である数理生物学懇談会への長年のご貢献に深く感謝申し上げたいと思います。細野先生は1989年の数理生物学懇談会の旗揚げ当初からの会員であり、反応拡散系の数学的理論、とくに進行波解の解析や、その感染症数理モデルへの応用において顕著な業績を上げてこられました。また京都で開催された各種の国際会議におけるホスト役として惜しめない努力をされ、多くの外国人参加者に感銘を与えてこられました。

私個人としては、日本ではじめての感染症数理モデルを解説したテキストを共著として2008年に出させて頂き、その改訂版のご相談をと思っていた矢先でしたので、とても残念です。また2006年那須で開催され

た新型インフルエンザ流行防御のための数理モデル専門家ワークショップで一緒させていただいて、9月の陽光のなかで、親しくいろいろな話しをさせていただいたことが思い出されます。気さくで、誰に対しても親切なお人柄は、多くの人々の暖かな記憶として残るに違いありません。

先生が逝去されてから気がつきましたが、細野先生の御尊父は細野武雄氏(1912-1994)といい、高名な法社会学者として立命館大学の総長まで勤められ、かつ京都教育センターの初代代表として京都教育界に多大な貢献をされた方だったそうです。その御尊父のことを細野先生ご自身が語られた一文が、京都教育センター通信復刊第51号(2011年2月10日発行)に、「父細野武男を語る!-「センター50周年祝賀会でのご挨拶から-」として収録されています。細野先生とそのご一家の歴史を知る貴重な証言だと思いますので、是非ご一読ください。同通信はウェブ上で公開されています。

【研究奨励賞受賞者特別寄稿】

どんぐり豊凶の進化生態学

立木佑弥*

1. はじめに

この度は日本数理生物学会研究奨励賞を賜り、誠にありがとうございます。歴代の受賞者には尊敬する先輩方が名を連ねており、大変喜ばしいと同時に、身の引き締まる思いです。これを励みに今後より一層、自身のオリジナリティを深めていければと思っております。

今回、本稿を執筆させていただく機会をいただきましたので、これまでの研究を振り返りとして大学院在籍時に行った豊凶の進化生態学研究について書かせていただこうと思います。その中で生物の生活史進化に対して基本的な量的形質の進化モデルを適用する研究の面白さを伝えることができればと思います。まだまだ生物の生活史には興味深く未解明な現象がたくさんあると感じています。直感的に理由がよく説明できないときに、シンプルな数理モデルを用いて解析することで理由を与える研究は、とてもおもしろいということが少しでも伝われば幸いです。

2. 樹木豊凶現象

九州大学理学部生物学科数理生物学研究室での卒業研究から博士論文までのテーマとして、樹木の豊凶(マスティング)現象の進化理論の構築に従事しました。多年生植物は生涯に複数回繁殖を行います。多くの種で、繁殖への努力は毎年一定ではなく、大きく変動します。また、その変動が個体群で同調することが知られています。これは豊凶と呼ばれ、植物が進化の結果獲得した繁殖戦略であると考えられています。

豊凶の内生要因として、資源収支モデルが提案されてきました(Isagi et al. 1997)。このモデルでは、各個体が毎年一定量の資源を蓄積し、繁殖の際に資源を投資する動態を考えます。毎年の資源獲得によって、蓄積量が閾値を超えると開花・結実します。繁殖時には資源を投資しますが、投資量が大きい場合には、蓄積資源の枯渇がおり、次に閾値を超えるまで開花できません。これにより間欠的な開花が実現します。個体間で開花が同調する仕組みは花粉交換により説明されます。ある年にある個体が開花したとしましょう。こ

のとき他に開花個体がない場合にはこの個体は結実に失敗してしまい、果実や種子に資源投資しません。そのため、資源は枯渇せず、すぐにまた開花閾値を超えるでしょう。このようにして非同期的に開花した個体は頻繁に開花を行うことで、いつかは他の個体と同時開花することになります。多くの個体が同時に開花したときには、一斉に大量の資源を繁殖に投資することで同調が実現します(Satake & Iwasa 2000)。資源収支モデルは、個体の内的資源量のカオスの振動が、花粉交換を通して結合しているカオス結合系として捉えることができます。

実際に植物が資源収支と花粉結合によって豊凶を実現しているのか否かについては議論がありましたが、Crone et al. (2009)が2年周期で開花する多年生草本を用いて花序を取り去る実験を行うことで以下の3点を確認しました。

1. 開花年に花を取り除かれて受粉、結実に失敗した個体は翌年も開花する。
2. 他個体が開花しない年に開花した個体は結実に失敗して資源枯渇が起こらず翌年も開花する。
3. 1と2によって同期から外れた個体も他の個体が開花した年がやってくると結実に成功し、その翌年は開花しない。

これらの予測が確認されたことによって、資源収支モデルの基本的アイデアは豊凶現象の重要な要因として認識されるに至ります。

資源収支モデルの提案は豊凶の生態学研究に大きな影響を与えました。特に、モデルが各個体の資源動態を追跡することから、野外観測においても個体を意識したデータ収集が必要になります。しかしながら、古典的研究は豊凶を林分レベルの現象と捉えており、ある森が大規模に開花・結実したのかどうかという解像度のデータがほとんどでした。資源収支モデルが提案されて以降、個体レベルで開花記録を記載することの重要性が認識され、その事はさらなる研究の展開を生みます。例えば、北海道恵山のブナ林では、1 haの調査プロット内に生育する170個体すべての開花記録が13年間取得されてきました(Abe et al. 2016)。古典的豊凶研究では、リタートラップと呼ばれる、地面に

*首都大学東京大学院理学研究科生命科学専攻
tachiki@tmu.ac.jp

おいた籠のようなものに落ちてくる花や種子を収集して開花・結実の記録を得ていました。もしくは、よりオーダーの小さい個体数を広範囲にわたって低解像度に観察していました。毎年すべての個体の樹木の枝を観測し、開花量を定量化する作業はずっと労力の大きいものだと思いますが、Abe et al. (2016) はこのようにして得られた個体レベルの豊凶データと周辺環境情報を解析したことに加え、数理モデル解析とモデルのパラメータを決定するための化学分析など、複数の方法論を統合することで、複雑な開花結実動態が、資源収支および花粉結合と環境条件が相互に関連して説明されることを示しました。

3. 樹木豊凶現象の進化モデル

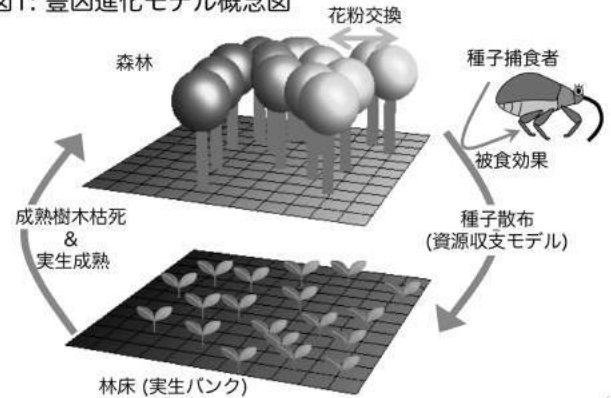
さて、私の研究テーマは豊凶の進化条件を探ることでした。豊凶は多くの樹木および多年生草本で観察されていますが、一方では毎年比較的コンスタントに開花する植物も存在します。よって、毎年繁殖と豊凶を分かち条件が知りたいと思いました。そこで、資源収支モデルにおいて、一度の繁殖機会での資源投資量をコントロールするパラメータに注目しました。このパラメータは資源減少係数(resource-depletion coefficient)と呼ばれ、これが小さいときには、一度の繁殖機会での資源投資が小さくなり、結果的に毎年繁殖できるようになります。逆に、これが大きいと一度の繁殖機会での資源枯渇が大きくなって、回復までに数年間かかってしまいます。こちらが豊凶というわけです。よって、このパラメータを進化形質として、数理モデルを構築することになります。

豊凶がどのような理由で進化したのかを探る研究は、これまで、種子生産や種子の生存上の有利性が強調されてきました。例えば、種子を捕食する生物の個体数を凶作年に減少させ、豊作年に食べきれないほどの種子を生産することで、種子の生存率を最大化しようというものです。これは、捕食者飽食仮説と呼ばれています(Janzen 1971)。その他にも受粉効率仮説と呼ばれる仮説では、同調して同時に開花することによって受粉率を最大化するという仮説です。これらの仮説は、おもに、林分での開花レベルの大きさと種子の生存率や結実率との関係性を調べることによってなされ、これを支持する研究例がありました(例えば Kon et al. 2005)。

これらの研究では、開花前後にみられる生態学的イベントと結実の関係性に注目していました。しかし、私はもう少しだけ異なる視点も重要なのではないかと思います。随分前のある人から、

「森の木はたくさんのどんぐりをつくるけれども、その樹木が生涯に作ったどんぐりのたった二つだけでも大人にまで育てば、成功と言えるんだよ」

図1: 豊凶進化モデル概念図



と言われたことがありました。この事を思い出したときに、種子が生産される場所だけではなく、その後の種子が芽生え、おとなになるまでの生涯を考えると、つまり生活史と世代交代をしっかりと考えることが重要なのではないかと思います。

森林の樹木は、ギャップ更新という世代交代様式を示します(図1)。植物は光を巡って競争しており、芽生えの直上にそれよりも大きな植物が存在すると成長することができません。芽生えは暗い林床ではそれほど高く成長せず、生存の維持を行います。このため林床には、芽生えや稚樹の集団(実生バンク)が維持されます。一度、林冠の樹木が枯死して倒れると、林床の光環境が改善され、芽生えが成長できるようになります。つまり、林冠を形成している親木の枯死と新世代の定着がセットになっているわけです。この世代交代様式はロッターモデル(Chesson & Warner 1981)として定式化されます。

ロッターモデルは死亡により形成された空き地が新規個体によって占められるプロセスを表現するのに適していますが、新たな個体は誰によって、いつ生産されたものなのかが問題になります。基本モデルではそのタイミングにおける繁殖努力量に比例した確率によって新規定着個体を決定します。しかしながら上述の通り、森林植物の世代交代を考える際にはこれだけでは不足しています。種子からの芽生えは種子生産されてからしばらくは暗い林床でも生存可能であり、林床に芽生えの個体群を形成します。そこで、芽生えは一定の生存率を持つと考え、空き地が形成されたときには、芽生え個体群の中から1個体が選択されてその空間を占めると考えました。

以上のように、資源収支モデルに基づいて生産された種子が芽生え、ギャップ更新のもとで世代交代していく様子をロッターモデルによって表現しました。その上で、植物の一回の繁殖機会における繁殖努力量(resource-depletion coefficient)の進化を議論しました。

4. 世代交代様式の重要性

豊凶の進化モデルを解析した結果、豊凶が進化するためには林床において芽生えが十分に高い生存率を保持していることが必要であることを導きました (Tachiki & Iwasa 2010)。芽生えの生存率が小さい場合を考えてみましょう。このときには、親木の枯死により空き地が形成された際、林床で待機している芽生えはほとんどがその年に生産されたものになっているでしょう。そのため、世代交代の競争で優位性を確保するためには毎年繁殖したほうが良いとなりました。この世代交代の制約は非常に強く、非同期的に繁殖したときの種子生産や生存上のコストによって生涯の種子生産量は少なくなったとしても、毎年種子を林床に供給することが進化的に有利になります。豊凶は、ある年には大量に種子を生産するものの、その後しばらく種子生産を行わないため、これが世代交代の機会を逃してしまうというデメリットが存在することがわかりました。

逆に、芽生えの生存率が高いときには、林床には複数の年に生産された種子が混在することになるので、豊凶によって豊作年に大量に生産された種子が複数年に渡って空き地の獲得競争で優位性を発揮します。これにより、豊凶のデメリットである不作年に更新の機会を逃すことが緩和されました。

豊凶に伴う更新上のデメリットを緩和する方法にはもう一つ提案することができます。それは、空き地が必ずしも空いたその年に占められるとは限らず、種子の生産高が少ないときにはそのまま空き地として残る可能性があるような場合です。空き地が占められる確率をポアソン分布を用いて表現し、種子生産高についての増加関数であると考えた場合、少ない種子生産でも空き地が占められやすい場合には毎年繁殖に、大量の種子が要求される場合には豊凶に進化しました (Tachiki & Iwasa 2008)。この場合にも、林床における芽生えの生存を考えた場合と同様、世代交代様式が豊凶の進化に重要であることを意味します。

これまでの豊凶研究で主張されてきた、捕食者飽食仮説などの種子生産や生存上での有利性は豊凶の進化にとってどのような位置づけになるのでしょうか。それは、豊凶の進化を促進するけれども、必要条件でも十分条件でもない。ということでした。唯一の必要条件は世代交代に際して豊凶のデメリットである更新機会を逃すことが緩和されることでした。試しに、種子捕食者の存在時と不在時で豊凶の進化に必要な芽生えの生存率を比較したところ、種子捕食が存在する場合、不在の場合に比べて芽生えの生存率がより小さな場合でも豊凶が進化しました。しかしながら、芽生えの生存率が著しく小さい場合にはたとえ種子捕食者が存在したとしても毎年繁殖するように進化しました

(Tachiki & Iwasa 2010)。

5. 有限集団の効果

上記の研究では、有限個体数の親木の資源動態をすべて追跡する個体ベースモデルを用いて進化シミュレーションを行っておりました。解析的にはやや困難があるかと思ったのですが、個体群に一つの表現型しか存在せず、しかも資源動態が完全に同調している場合においては、決定論的に進化を議論できると思ひ至りました。具体的には、無限集団を想定し、完全に同期して繁殖している野生型個体群にごく少数の突然変異体が侵入してきた状況を考え、突然変異体の侵入可能性を議論するというものです。どのような表現型(ここでは resource-depletion coefficient)を持つ変異体が出現した場合でも、変異体が増加できずに絶滅してしまうような野生型が存在するとき、その野生型がもつ表現型を進化的に安定な戦略 (Evolutionarily Stable Strategy (ESS); Maynard Smith & Price 1973) と呼びます。資源の動態がしばしばカオスの振る舞いを示すため、結果的には広い範囲について網羅的に長時間の数値計算を行い、変異体の数が少ない状況における増殖率の幾何平均を侵入適応度として定義し、侵入可能性を議論しました。

その結果、芽生えの生存率を少しずつ大きくしていくと、ある閾値で、不連続的に毎年繁殖から豊凶への進化的に安定な戦略の推移が起こることがわかりました。これは、芽生え生存率の値が増加するに従い、サドルノード分岐によって、毎年繁殖するという進化的に安定な戦略が消失することに起因していることがわかりました (Tachiki & Iwasa 2012)。このことは、毎年繁殖の状態から少しずつ繁殖の振動が大きくなっていくわけではなく、ある条件によって、はっきりと毎年繁殖の状態と豊凶の状態が区別できるという予測を導きます。

また、サドルノード分岐が起こることは、芽生えの生存率増加にともない、毎年繁殖戦略の進化平衡点への吸引流域 (basin of attraction) が小さくなっていく効果があります。このため、無限集団の解析結果とは異なり、個体ベースモデルによる有限集団の確率シミュレーションの場合には、無限集団のモデルが予測する毎年繁殖から豊凶への推移する閾値よりも小さな芽生え生存率で豊凶への推移が起こりました。これは有限集団に伴う確率的浮動の効果と、吸引流域の大きさのバランスで最終的にどの進化平衡点に長時間滞在するのかが決まっていることを意味します。今回の豊凶進化に関しては、集団サイズが小さくなって浮動の効果は卓越した場合には、豊凶がより進化しやすくなるという結果でした (Tachiki & Iwasa 2012)。

6. 共進化的軍拡競争

無限集団への近似によって決定論的に記述できたことは、数理モデルの拡張性を高めることにつながり、より複雑な現象を取り扱うことを可能にしました。捕食者飽食仮説 (Janzen 1971) で登場した種子捕食者ですが、豊凶が示す変動種子繁殖にただ翻弄されているわけではありません。カオス的な変動を示す種子の供給に対して最適化された個体群動態を示します。私が注目したのは、種子散布前に卵を産み付け、幼虫が種子の内部を食べる昆虫、特にゾウムシ類です (Maeto & Ozaki 2003)。ゾウムシ類の幼虫は種子を捕食した後に土に潜って越冬した後に羽化しますが、孵化の翌年にすべての個体が羽化するわけではありません。同じコホートのうち何割かが翌年に羽化し、それ以外の個体は蛹化を遅延させ、それ以降の年に羽化します。これは、休眠延長戦略と呼ばれ、豊凶による種子生産の変動のような不確実な環境のもとでのリスクヘッジ戦略の一種であると考えられています (Menu et al 2000)。そこで、樹木の豊凶と、種子食昆虫の休眠延長が共進化する状況を考えました (Tachiki & Iwasa 2013)。

種子捕食者の休眠延長戦略に関してですが、まず一定の環境であった場合には、休眠延長はしないほうが適応的であることがわかります。これは、毎年羽化してすべての個体が繁殖を行ったほうが複利の効果によって個体群増殖率が高くなるからです。一方、不確実な環境である場合、極端な例としては、ある年に種子の生産がまったくないような状況が一年でもあると、その年には産卵する対象の種子が存在しないので、種子捕食者の個体群は絶滅してしまいます。そのため、少しでも変動がある場合には、一定割合の休眠延長を示すほうが適応的になります。

一方で、樹木としては、捕食者が一年生であり、毎年すべて羽化するような場合には2年に一度だけ繁殖すれば十分に種子捕食者の個体数を減らすことができます。しかしながら、種子捕食者が休眠延長を行うような場合には、2年に一度の繁殖では十分に捕食者の個体数を減らすことができないので、もっと周期を長くするほうが良いかもしれません。

数値解析の結果、被食者である樹木と捕食者である昆虫の間でどちらか一方が戦略を強化する方向に進化すると、もう一方もその戦略への対応を進化させる応酬が occurred。この研究では、樹木が捕食から逃れるために、豊凶を進化させると、昆虫は休眠延長の進化により個体群密度を高め、それによって生じた種子捕食圧がまた、豊凶の淘汰圧となって豊凶周期がより長く進化し、さらに与えられた豊凶周期に対応した休眠延長率へと進化していきました (Tachiki & Iwasa 2013)。

このように、互いが武器を増強することへの対応と

して自身の武器を強化していく様は、さながら敵対する国家同士の軍拡競争に見えることから共進化的軍拡競争 (coevolutionary arms race) と呼ばれます。有名な例では、ツバキの種子に産卵するツバキシギゾウムシの口吻とそれに対応して果皮を厚くしていくツバキの関係 (Toju 2011) は、まるで矛と盾を強化していく軍拡競争そのものに思えます。豊凶と種子捕食者の関係は目に見える武器ではないのですが、時間的な戦略の軍拡競争であると言えます。

7. 謝辞

豊凶を植物の繁殖戦略として捉え、その進化条件を探る研究を行ってきました。その中で、種子生産だけではなく、世代交代様式つまり生活史全体を見通して数理モデリングを行うことで、世代交代様式の重要性に気付かされました。豊凶の進化に関して、これまでほとんど言及されなかった側面から新たな仮説を提案できました。また集団の有限性の効果や種子捕食者との軍拡競争など、より広い観点から現象を捉えることで、一層興味深い現象に出会うことにつながりました。

植物の豊凶現象の進化生態学研究から研究キャリアをスタートできたことは非常に幸運だったと思います。現象が非常に興味深く、魅力的であることに加えて、数理生物学研究の素養である力学系の解析、数値計算法、シミュレーションの基本技術を実践を通して身につけることができたと思います。卒業研究の際のテーマ選びから、大学院までの期間指導して下さった巖佐庸氏に深く感謝申し上げます。学位取得後はJSPS特別研究員として佐竹暁子氏に受入研究者になっていただきました。その後JST CREST特定研究員として、佐藤佳氏、岩見真吾氏に受け入れていただきました。JSPS海外特別研究員として、シェフィールド大学のMark Rees氏に受け入れていただきました。指導教員や受入研究者と様々な観点から議論できたことで、科学者としてのスタイルを確立できたと思います。また、彼らはたくさんのチャンスを与えてくださいました。その多くについて未だ満足いく成果を挙げたとは言い難いことは私自身の力不足によるものであります。更に精進し、成果を形にしていきたいと思えます。

近年、数理的手法を含む科学技術の発展は生態学のより一層の深化を推し進めています。そういった観点から編者として2019年に「遺伝子・多様性・循環の科学」を上梓させていただきました (門脇 & 立木 2019)。共同編集者の門脇浩明氏には、企画を提案していただき、共に書籍の編集に加わらせていただきました。大変勉強になるとともに、個人的には新たな形で学術の発展に関われたことを大変うれしく思います。

多くの共同研究者や同期、研究室メンバーに恵まれ充実した研究者生活を送ることができています。個別

のお名前を上げることは差し控えさせていただきますが、大きな感謝を申し上げるとともに今後も共に生物学の探求ができれば嬉しいです。生物学の魅力的な世界をご教示いただき、この道を勧めてくださった竹上俊也氏に特別の感謝を申し上げます。最後になりますが、妻と子供たちからの支えと励ましがあって日々研究を行うことができています。普段は迷惑ばかりかけていますが、今後の研究成果でお返しさせていただければと思います。

参考文献

- [1] Abe, T., Tachiki, Y., Kon, H., Nagasaka, A., Onodera, K., Minamino, K., Han, Q., & Satake, A. 2016. Parameterisation and validation of a resource budget model for masting using spatiotemporal flowering data of individual trees. *Ecology Letters*, **19**(9), 1129-1139.
- [2] Chesson, P. L., & Warner, R. R. 1981. Environmental variability promotes coexistence in lottery competitive systems. *The American Naturalist*, **117**(6), 923-943.
- [3] Crone, E. E., Miller, E., & Sala, A. 2009. How do plants know when other plants are flowering? Resource depletion, pollen limitation and mast seeding in a perennial wildflower. *Ecology Letters*, **12**(11), 1119-1126.
- [4] Isagi, Y., Sugimura, K., Sumida, A., & Ito, H. 1997. How does masting happen and synchronize?. *Journal of Theoretical Biology*, **187**(2), 231-239.
- [5] Janzen, D. H. 1971. Seed predation by animals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **2**(1), 465-492.
- [6] Kon, H., Noda, T., Terazawa, K., Koyama, H., & Yasaka, M. 2005. Evolutionary advantages of mast seeding in *Fagus crenata*. *Journal of Ecology*, **93**(6), 1148-1155.
- [7] Maeto, K., & Ozaki, K. 2003. Prolonged diapause of specialist seed-feeders makes predator satiation unstable in masting of *Quercus crispula*. *Oecologia*, **137**(3), 392-398.
- [8] Maynard Smith, J., & Price, G. R. 1973. The logic of animal conflict. *Nature*, **246**(5427), 15.
- [9] Menu, F., & Debouzie, D., 1993. Coin-flipping plasticity and prolonged diapause in insects: example of the chestnut weevil *Curculio elephas* (Coleoptera: Curculionidae). *Oecologia*, **93**, 367-373.
- [10] Satake, A., & Iwasa, Y., 2000. Pollen coupling of forest trees: forming synchronized and periodic reproduction out of chaos. *Journal of Theoretical Biology*, **203**(2), 63-84.
- [11] Tachiki, Y., & Iwasa, Y. 2008. Role of gap dynamics in the evolution of masting of trees. *Evolutionary Ecology Research*, **10**(6), 893-905.
- [12] Tachiki, Y., & Iwasa, Y. 2010. Both seedling banks and specialist seed predators promote the evolution of synchronized and intermittent reproduction (masting) in trees. *Journal of Ecology*, **98**(6), 1398-1408.
- [13] Tachiki, Y., & Iwasa, Y. 2012. Evolutionary jumping and breakthrough in tree masting evolution. *Theoretical Population Biology*, **81**(1), 20-31.
- [14] Tachiki, Y., & Iwasa, Y. 2013. Coevolution of mast seeding in trees and extended diapause of seed predators. *Journal of Theoretical Biology*, **339**, 129-139.
- [15] Toju, H. 2011. Weevils and camellias in a Darwin's race: model system for the study of eco-evolutionary interactions between species. *Ecological Research*, **26**(2), 239-251.
- [16] 門脇浩明, 立木佑弥 (編). 2019. 遺伝子・多様性・循環の科学: 生態学の領域融合へ. 京都大学学術出版会.

【最終回 数理生物学対談「重定南奈子 教授」】

生物の拡散をやってみようと思った

語り手 : 重定南奈子*

聞き手 : 岩見真吾†

はじめに

私達編集部が立ち上げ、手がけ、2年間に渡りお送りしてきた“数理生物学対談”も編集部の任期終了に伴い最終回を迎えました。数理生物学会ニュースレター史上に名を刻む『超人気伝説的企画』になったのではないかと自負しております。編集長の岩見が聞き手となって、日本数理生物学会編集部のメンバーと共に東奔西走し、語り手となる大御所を直撃して、研究の話はもちろん、先生方が大切にしているポリシー、若い会員が知らない昔話、また、これからの数理生物学会の在り方など、存分に語って頂いております。大変お忙しい中、対談の時間を頂きました語り手の先生方に感謝申し上げます。また、ICレコーダーで記録した対談の文字起こし、原稿作成、写真撮影等ほとんど全てを行ってくれた九州大学・大学院理学研究院・生物科学部門・数理生物学研究室のメンバーには深く御礼申し上げます。聞き手の岩見自体は、ふんふん、と調子に乗りながら語り手の先生と楽しく話をしているだけで、このような大変な作業に関しては、偉そうにただ指示を出しているだけという状況で、何もしていなかった点、猛省しております。九州大学の数理生物学研究室でなければ、この企画は成立しなかったと思っています。次の編集部、あるいは、未来の編集部の方々が新しく立ち上げる企画の参考になれば幸いです。

さて、最終回は、生物の拡散運動のパイオニアである奈良女子大学名誉教授の重定南奈子先生を直撃しました。重定先生にはいつも「岩見さん、そんなこと言ったらだめよ。いろいろな人の気持ちを考えなくっちゃ!」とお叱りを受けるのですが、僕は、現在の日本数理生物学会が欧米諸国の学会と互角に渡り合える研究を展開できるようになってきたのは、重定先生が統括としてまとめ上げられた、科学技術振興機構(JST) さきがけの「生命現象の革新モデルと展開」領域があったからこそだと思っています。“重定領域”には、過去の数理生物学対談でも語り手となって頂いた巖佐庸先生や合原一幸先生、三村昌泰先生など名だたる先

*奈良女子大学 名誉教授

†九州大学大学院理学研究院生物科学部門

生方がアドバイザーとして参画しており、領域会議では建設的な意味で非常に厳しい目線から研究に対するアドバイスを頂きました(時には炎上するような「神」領域会議も何回かあって大変記憶に残っております)。今日の日本数理生物学会は、重定先生なくしてあり得ない、と思っていますので、何が何でも最終回は重定先生にお願いしたかったのです。前置きが長くなってしまっただけですが、皆様、今回の対談も是非お楽しみください。

岩見 今日わざわざ来ていただいてありがとうございます。よろしくお願ひします。

重定 こちらこそよろしくお願ひします。

物理から生物へ

岩見 巖佐先生(巖佐庸:関西学院大学・教授)は頑張られてたんですか(笑)?

重定 そうですね。大学院に入ってこられたときから気迫が違ってましたね。大学院を修了される頃には、すでに、教授の風格がありました。学生さんの中には、巖佐教授と呼んでいたい人もいたぐらいだから。本シリーズの巖佐さんとの対談(本誌第1回対談企画にて)では“半年すれば教授と同じ”といっておられますが、巖佐さんに限っては確かにその通りでしたね(笑)。

岩見 先生は寺本研の助教をされてたんですか?

重定 助手です。その頃は助教というポジションはなかった。

岩見 助手と助教の違いはあったんですか?

重定 よく分からないけど、単に助手のことを助教と言ひ換えただけのことと思うんだけど。

岩見 そうですね。4年生の時からですか?寺本先生の所に行かれてたのは。

重定 そうですね。理学部には分属というのがあってね、山村さん(山村則男:京都大学・名誉教授)も言っていたけど(本誌第3回対談企画にて)。3年生になって初めて各学科に分属するの。それまではどの分野に進むか決めないでよい。それで私は最初は数学科に行こうと思っていたのだけど。それはすぐにやめたのだ。

岩見 なんでやめたんですか?

重定 ついていけないと感じたから。
 岩見 そんなことないでしょ(笑)！
 重定 それで物理学科に変えました。
 岩見 でも物理の方が難しいイメージがありますけど。



図1 奈良女子大学名誉教授 重定南奈子先生

重定 山村さんも言ってたけど、当時、物理学は、素粒子関係は別として、学問としてはほぼ完成しているように思われていた時代だった。教科書がしっかりあって。だからまともに勉強すれば、学部で学ぶ範囲ではついていけます。それから上に行くとかやることが急に難しくなるけど。大学院は統計物理学がご専門で、生物物理学に関心を寄せておられた寺本英先生(寺本英：京都大学・教授)の研究室に入った。

岩見 巖佐先生はいつぐらいに登場したんですか？

重定 巖佐さんは1975年に寺本研究室に大学院生として入って来られた。実は、それより5年前に、私が物理でドクターコースを終えた頃、寺本先生は、理学部に新しく設置された生物物理科に移られたの。ありがたいことに、私は翌年(1970年)寺本研の助手にしていた。その時、山村さんら物理学科の学生も一緒に生物物理学科に移って、これから何をするか、必死に模索していましたね。以前その頃の雰囲気をも誌(No.22,2014“数理生物学黎明期”)に書いたのだけど。巖佐さんの到来は、生物物理学科に寺本研が開設されて丁度5年後になります。

岩見 やっぱスーパースターの登場みたいな感じでしたか？

重定 そうですね。私たちにとっても巖佐さんにとっても、とてもいい時に来られたと思います(笑)。巖佐さんは、当時日本に入ってきたばかりの「進化生態学」をいち早く勉強されて、私達に紹介してくれた。最初はみんな、それまで聞いたこともない、最適戦略やゲーム理論に目をぱちくりしていたけど、やがて、山村さんをはじめ多くの学生さんがこの分野に次々と入っていったの。巖佐さんは確かにスーパースターでしたね。

岩見 流石ですね。

過去の研究にとらわれない

重定 とにかく、それまでの模索時代は、無我夢中でしたね。寺本先生は“これからは、従来の物理学にとらわれない、生物らしい問題に柔軟に取り組んでみよう”と、学生とともに自らを鼓舞しておられましたね。

岩見 いいですね。

重定 私が大学院でやっていたのは化学反応理論だった。化学反応といっても溶液中を、ランダム拡散している分子の化学反応を多体問題として拡散反応方程式を用いて解析すると言うものでした。

岩見 ああ、そうなんですね。

重定 その時に、ランダム・ウォークやブラウン運動と拡散方程式との関係について古典と言われる論文をいくつか、寺本先生や先輩と一種に読みましたね。

岩見 そうですね。専門家ですもんね。

重定 それで化学反応に関する論文を寺本先生と何本か書いて、学位をとりました。

岩見 あ、そうなんですね、ドクターの時はそのテーマだったんですね、知りませんでした。

重定 寺本先生は本来は、高分子物理や統計物理学の問題を研究しておられたのですが、それを捨て、全く新しいところで、なにかを始めてみようと思われたのでしょうか。

岩見 けどそれすごいですね。ラボ立ち上げて、別のテーマでやるっていう。

重定 当時そんなことは寺本先生以外には出来なかっただろうから、寺本先生無くしては今の巖佐さんも私もありえないと言ってよいか。いや、巖佐さんなら寺本先生とはひと味違う新領域の開拓をされたかもしれませんね。(笑)。

岩見 いやー確かに。そういうことですか。そのはじめの五年間くらいは、数理生態学に行き着くまでにどういうことをされてたんですか。

重定 私事になりますが、生態学をやりたいと思った理由は、分子のように見えないものに飽きたからかな。生物の世界は、微生物は別として、目に見えるでしょう。(笑)。

岩見 なるほど、重要ですね(笑)。

重定 物理が扱うものは、増殖しない、死にもしない、進化もしない。その3つがあると、何が違うのか未知の面白さに惹かれたのです。でも、生物学は、高校時代に一年ほど学んだだけで何も知らなくて。それで、勉強しなければと思ったの。早速、生態学の入門書を読み始めてみたけど、中に出てくる生物の名前が全然覚えられないの。

岩見 無理ですよ(笑)。

重定 もう全く分からない。それで、しょうがないから、混乱するような名前にはAとBとかに置き換えて

済ませていた。

岩見 AとB(笑)。

重定 我ながら情けないですね(笑)。これでは先が思いやられる、もう少しまじめにならなければと思って(笑)。その頃、ちょうど運良くね、週刊朝日がフランスのラルースっていう百科事典を出している会社と提携して「週刊世界動物百科」という、薄っぺらだが大きなサイズの写真集を毎週出版するようになったので、早速それを契約して、結局三年間、毎週そのリアルな動物写真を楽しんで眺めてた。

岩見 へえ、すごい。

重定 すると、ちょっとずつだけ慣れてきてね。それは、素晴らしく魅力的なんですよ。動物の個性が写真に表われてて。

岩見 やっぱ目に見えるものですね(笑)。

重定 しかも、著名な専門家の楽しい解説がついているの。それが2ページぐらいですぐ読めるから。

岩見 確かにごつかったら読まないですね(笑)。

重定 まあそれでちょっとAとかBはやめました(笑)。

岩見 なるほど(笑)。じゃあそれが一番初め、生態学を勉強し始めたきっかけ、というか導入ですね。

重定 それでなんとか生物の名前に馴染んできた頃、学生さんが“こんな本を見つけたよ”と言って「生態学と拡散」というあまり見慣れないタイトルの本を見せてくれました。

岩見 ぴったりじゃないですか！

拡散運動が動物に使える

重定 そうなんですよ！著者は大久保明(Akira Okubo: New York 州立大学・教授)って書いてあって。知ってる？

岩見 もちろん知ってます。

重定 それがその当時は私を含め周りの人達は誰も知らなかったの。私達はこの分野の新参者やしね。大久保先生のご専門が海洋学だったからかもしれませんね。

岩見 大久保賞の大久保先生ですよ？

重定 そうですよ。それで、とにかく読んでみると、動物のランダム拡散や走化性を拡散方程式に組み入れた数理モデルが沢山紹介されていたの。ということで、私は大学院時代に勉強した拡散方程式が、生態学の分野でどれほど役立っているのか、とても好奇心を持って読みました(「生態学と拡散」は日本では廃版になっているが、1980年にSpringerから英訳版が出版され、さらに大久保先生が残されたメモを元に、S.Levinさんと大久保先生の研究仲間がその後の成果を追加した拡張版”Diffusion and ecological problems: modern perspectives”が2001年に発行されている)。

岩見 いろんな動物に関する。

重定 そう。その中でね、大久保先生が特に高く評価

された日本の昆虫学者らの業績に私はまず心惹かれましたね。それは、昆虫の多くは個体群密度が上がると個体間の干渉が強まるため分散力が上がる。つまり拡散係数が高くなる、という発見でした。例えば、水面に浮かぶヒメアメンボウの集団は、密度の高いところではランダム分散がはげしいけれども、密度が低いところでは動きが小さくなる。これにより、昆虫の密度は自然にフラットになっていくと言う現象です。

岩見 密度依存的な拡散があると。

重定 それは、物理では聞いたことのない現象だから、驚きましたね。それで、ちょっと私もこの問題をやってみようと思って。

岩見 それは日本の先生方が昆虫で見つけたと。

重定 そうです。その中に、生物の分布様式を示すI δ 指数の考案などで国際的に著名な森下正明先生が京大におられたので、まずその先生のところに行って、色々お尋ねして。

岩見 おお、いい環境ですね。

重定 で、たくさん教えてもらった上に、環境密度論など先生の主要論文のコピーをいただき感激しましたね。それで、そのデータを拡散方程式を用いて解析すると、拡散係数が密度に比例して増加する($D=an+bn$: D , 拡散係数; n , 個体密度)というモデルが、ぴったり合うことが分かったのです。その他の日本の昆虫学者のデータもやはり良く合うので、とてもハッピーでしたね。

岩見 ほお、なるほど。単純というか。

重定 そう、予想以上に単純な式だったのです。これで、密度の高いところでは分散が早いため、より速く一様になりながら。

岩見 広がっていくんですね。

重定 そう。それで、非線形拡散モデルをもう少しやってみようという気になって。これまでは一つの種内で起こる個体群圧力の話だったけど、もし二つの種の間に個体群圧力が働くとどんなことが起こるか！踏み込んでみることにしたの。当時、生態学者の間では、同じニッチを好む2種類の競争種は、同所的な共存はできないという共存排他則が盛んに議論されていた頃です。

岩見 競争排除ですね。

重定 そうそう。そこで、二つの種が移動分散をしないで同じ場所にいる場合、やがてどちらかの種が競争に負けて死滅するロトカ・ボルテラ型の競争関係にある場合を取り上げて、移動分散の効果を調べてみました。2種はいずれも、普通のランダム拡散と同時に、同じ好適環境へと方向性をもった走化性をそなえているとします。このときは、必ずどちらかが死滅するのに対して、ランダム拡散に種間の個体群圧力が加わると、両者は適度に分布域をずらせて共存する様になることが分かったの。

岩見 へえ、それは面白いですね。なるほど。相手の密度にも依存して拡散。

重定 高等動物だと、競争相手の密度が高い方向を避けて移動するかもしれない。そうした方向性のある高度の移動は出来ない生物でも、種間個体群圧があれば、棲み分けにより共存が可能になるかもしれないということです。この仕事は、川崎廣吉さん(同志社大学・教授)と寺本先生との共同研究でして、特に川崎さんとはその後もほとんどの論文で共同研究を行ってきました。今後はそのこと一々触れないかもしれませんがご了解くださいね。

岩見 わかりました。ところで、先生も本書かれていますよね。

重定 そうね、今日はなにかに役立つかと思って2冊持ってきました。

岩見 あ、これ僕、学部時代めっちゃ読んで勉強しましたよ(侵入と伝播の数理生態学/東京大学出版会)。僕の棚にまだあります。

重定 ほんと?! いやー嬉しいわあ。



図2 著書を開きながら対談を行った

江戸っ子、大久保明先生

岩見 じゃあ話を戻しますね。その競争種の棲み分けをした後に、大久保先生のところに留学されたんですか? ニューヨークに。

重定 そうです。大久保先生は素敵な方でしたね。

岩見 あ、そうなんですか、紳士的な?

重定 江戸っ子ですよ。

岩見 江戸っ子ですか! ニューヨークにいるのに(笑)?

重定 サムライ精神というか、キリッとしてるっていうのかな。私は岡山県の倉敷出身だからそういうのは分からないんだけど(笑)。

岩見 すごいですね(笑)。

重定 それでまた、研究仲間はもちろん学生からも大変慕われていましたね。講義の学生評価は何時もNo.1だったそうです。

岩見 ああ、授業アンケートみたいな。今もやらされ

てますよ僕も。いつも一番ですか! すごいですね。

重定 岩見さんも、人気高そうですね。

岩見 ありがとうございます(笑)。

重定 大久保先生は、私にもとても親切にして下さったわ。いろんな所に連れて行って貰った。1つか2つお話ししましょうか。

岩見 はい、ぜひ。

重定 ニューヨークに行ってもなかったと思うのだけど、大久保先生から、ニューヨークのCourant Instituteのセミナーで、あなたが発表するようにアレンジしようと思うんだけどいいかって言われてね。

岩見 カッコいいですね。いいじゃないですか。

重定 いやいや、そのころは私まだうぶだったのよ(笑)。それまで国外に出たこと無い。Courant 数理論理学研究所で物理の授業で数理論理学の分野で指折りの研究所と聞いていたので、びっくりしちゃって。どうしようと思ったのだけど、アレンジしてあげようって言ってくださった方にそんなこと言えないよねえ(笑)。

岩見 言えないですね(笑)!

重定 それで、覚悟して、さっき話した競争種の棲み分けをもたらす非線形拡散モデルの話をしました。

岩見 それはみんな興味あったんじゃないですか。

重定 その日は、粘菌の走化性の拡散モデルで有名な、Lee Segelさん(Lee Aaron Segel: Rensselaer Polytechnic Institute・教授。対流、粘菌、走化性などの研究で知られる)が参加されていて“面白かった”と仰ってくださった事でいっぺんに緊張がとけましたね。もしかして、大久保先生は、私をSegelさんに会わせる為にお膳立てをして下さったのかなと、後で思ったりしました。

岩見 Keller-SegelモデルのSegelですか?

重定 そうそう。

岩見 おーすごいですね!

重定 実際、Segelさんとは亡くなるまで、親しくしていただきましたね。

岩見 すごいですね。

重定 もう1つは、大久保先生が私をSimon Levinさん(Simon Asher Levin: プリンストン大学・教授)に紹介して下さった事。大久保先生は、当時Levinさんがいたコーネル大学、それはニューヨークからだいぶ北方にあるのだけど、私をそこまで案内して下さったの。驚いたことに、その日はLevinさん朝から夕方まで付き合ってくださいました。とても忙しい方なのにね。大久保先生は特別みたい。私は関係ないのよ(笑)?

岩見 ははは(笑)!

重定 お二人はすごい楽しそうに議論しておられてね。時々、ジョークが飛び交って笑われるの。私はもちろんすぐには分からないのだけど。よく聞いていると、大久保先生のジョークは江戸落語から来ているようでし

たね。

岩見 ええ、すごいですね！けど江戸落語でジョークってかっこいいですね、江戸っ子ですね！

重定 そうそう、江戸っ子。で、Levinさんは、その活きのいい響きが気に入って楽しんおられたようです。

岩見 ええ、すごいですね、Simon Levin。超有名ですよ。

重定 そのときね、今は大変に有名になられた、Peter Kareiva (Peter Kareiva: UCLA・教授)さんがおられて、彼を知ってる？

岩見 もちろんです。

重定 彼はその時まで Levinさんの学生でした。

岩見 あ、学生だったんですか。おっほっほ。

重定 Levinさんは、彼がキャベツ畑でチョウチョのランダムフライトの軌跡を追ってるから、ちょっと相談に乗ってやってくれてと言われて、農場に送り出してくれたの。Cornell大学は、農学部が有名と聞いていたので、喜んで付いて行ったわ。Kareivaさんは、私に、キャベツ畑の上を飛ぶチョウチョは、純粋なランダムウォークをしているのか、それとも correlated ランダムウォークをしているか、知りたいと問いかけてきた (correlated ランダムウォークとは random walk において、1回の flight の方向と、一つ前の flight の方向との間で相関があるマルコフ過程の事を言う)。私は、昔、高分子物理学の本で読んだ方法が使えると思って教えてあげたところ、彼は直ぐに理解して、その方法を取り入れた論文を早速書き上げた。

岩見 なるほど。1つ前だけの記憶があるマルコフ過程のことですね。

重定 その時は予想もしなかったんですが、この方法は今も結構たくさんの人に使われているようで、嬉しいことです。

岩見 なるほど、重要な仕事なんですね。

重定 彼にとってはね。私はただ手法を教えてあげただけですけど。

岩見 いやけどそれは重要ですよ。アイデアがないとできないですからね。ニューヨークには何年くらいいたんですか？

重定 ニューヨークには1年、2年目は、Stanford大学のRoughgardenさん (Joan Roughgarden: Stanford University・教授)のところに visiting scholar として行きました。

岩見 Roughgarden、巖佐先生も行かれてましたよね。

重定 そうそう、私の後にね。

岩見 なるほど、じゃあ巖佐先生いい感じですね。先に重定先生が行ったところに巖佐先生が行って、地ならしされたところに行ってるんですね (笑)。

重定 そうそう (笑)。巖佐さんはそこでも期待通りの素晴らしい成果あげましたよ。

岩見 いやそれはもう、僕は身をもって。下にいましたから (笑)。

重定 その間にも大久保先生は、西海岸の方にも友達がいてね、ついでにStanford大学に寄って下さった。やり残していた論文もそこで仕上げましたね。

岩見 いいですねえ。

環境が一様でない時の生物の拡散

重定 前にも言いましたが、大久保先生の専門は海洋学で、乱流拡散の研究で大変有名な方ですが、当時は、侵入生物の分布拡大に関心を寄せておられ、中でも、イギリスの物理学者のSkellam (John Gordon Skellam: イギリスの統計学者および物理学者)の研究を高く評価しておられた。当時は、まだ、彼の仕事はあまり知られていなかった頃で、先見の明がお有りでしたね。

岩見 そうですね。

重定 ご存知の方も多いと思うけど、Skellamは、チェコスロバキアのプラハ近くで飼われていた5匹のマスカラット (ジャコウネズミの1種)が逃げだして、その後彼らの子孫が広がっていった分布域の追跡データを分析した結果、マスカラットは、逃亡地点を中心にほぼ同心円状に広がっていったこと、更に、その前線もほぼ一定速度で前進したことを明らかにした。更に、彼はこの現象を増殖項を伴う拡散方程式を用いて見事に説明してみせたのだ。

岩見 そうですよ。

重定 それで、大久保先生は侵入生物の分布拡大のデータに出会えば、Skellamの法則が成り立っているか、チェックしておられた。

岩見 ああ、じゃあいろんな動物の拡散の例を探して。

重定 でも、時には同心円状に広がらないものもある。そんなときには、ここはちょっと環境条件が違うので速度も違うんだ、これを補正すれば一定になるはずと、苦笑いしながら言っておられた (笑)。

岩見 なるほど (笑)。

重定 こうした話を伺っている内に、帰国したら、私も、侵入生物の分布拡大の問題をやって見ようと思うようになっていましたね。

岩見 へえ、それで帰国されたんですね。その頃のニューヨークはどんな感じだったんですか？

重定 侘びしかったですね。

岩見 侘びしいんですか？!

重定 今のような明るく自信にあふれたニューヨークと全然違ってね。ベトナム戦争という挫折の体験をしてまだ4年しか立っていなかったし、それに、オイルショックと重なった年でもあったの。でも、私が親しくなった人達は皆さん、フレンドリーで、明るく、オープンで、しっかりと自分の意見を持っている。まさに、自由の国、アメリカ国民という感じでしたね。

岩見 あ、そうなんです。

重定 それが何年か経ってニューヨークに行ったら、前と全く違う。日本とも全然違う。

岩見 キラキラしてますよね。

重定 アメリカの底力を感じましたね。

岩見 なるほど、底力がね。で、そのまま京都大学に帰国された？

重定 そうです、帰国したのは1981年。

岩見 で、帰ってきてから環境が一樣でない場合の拡散の仕事をされたんですか？

重定 そう。よくご存知ですね。じゃあその辺のお話をしましょうか？

岩見 お願いします！

重定 日本に帰国後は、まず、大久保先生も気にしておられた、人間が環境を破壊した結果不均質になった環境の中に侵入した生物の分布拡大について研究することにしました。とは言え、不均質な環境を Skellam の拡散反応方程式で表現する場合、拡散係数や増殖率が場所に依存して変動することになる。そうすると、もはや拡散方程式から分布域の拡大速度を解析的に求めるのは不可能になりますね。

岩見 なるほど、まあそうですね。

物理からアイデアを得た

重定 そこで、せめて環境が周期的に変動をしている場合はどうかと考えてみたの。それでふと物理の学生時代に学んだ半導体の電気伝導の理論が浮かんだの。それは、1次元の半導体結晶の中で周期的なポテンシャルに誘導される電子の運動をシュレディンガー方程式を用いて解く問題になるのだけど、残念ながら、これが解けるのは、ポテンシャルが最も単純な矩形の周期的ポテンシャルのときだけ。幸い、そうして解いた結果は、定性的ながら、半導体の性質を見事に説明出来ると言うことで、印象に残ったの。

岩見 移動していく。

重定 そう。シュレディンガー方程式と拡散方程式は全く違うものだけど、とりあえず同じように、周期的に変動する環境を生存に良い場所と悪い場所が交互に周期的に繋がっている矩形関数で表すことにして解いてみた。すると、分布の先端はその形を周期的に変えながら平均的には一定速度で進む周期的進行波 (travelling periodic wave) に収束していくことが分かり、また、進行波の速度も explicit に求めることが出来たの。ということで、環境の良い場所と悪い場所での侵入生物の増殖率や拡散係数がそれぞれ分かれば、周期的矩形環境に侵入した生物の分布拡大速度が推定できることが分かった。

岩見 それすごいですね。かなり物理からのアイデアを使って。

重定 うーん、記憶力は良くないのだけど、これは覚えていたのよね。

岩見 けどすごいですよね、なかなか。

重定 ぼんやり聞いていても、面白いものは残っているのね。

岩見 まあ確かにそれはそうですね。

重定 ただし、このモデルは、好適環境と不適環境が一次的に配置された空間を想定していたでしょう。

岩見 そうですね。

重定 多くの生物にとって生活空間は2次元なので、2次元への拡張もやって見ようと思っていた矢先、大久保先生から私の誕生日のお祝いにと、いつもはカードだけなんだけど、その時は本を送ってくださったの。

岩見 本が置いてたんですか (笑)。

重定 本とタイトルは「Dynamics of Biological Invasion」(R Hengeveld, 1989)でした。で、“勉強しなさい”ということだと思って読み始めたら、なんとね、Skellam の同心円状に一定速度でという原則に矛盾するような例がいっぱい紹介されているの。例えば、鳥や、昆虫、植物の場合はとくに、侵入種の分布域は、ひとかたまりで広がるのではなく、あちこちに飛び地を作りながら分布域を広げていく。そのため、広がる速度 (全分布域を円と見なしたときの円の半径) は一定では無く、時間と共に増えていくの。大久保先生はこれを読まれたとき、どんなお気持ちだったろうと思いましたね。

岩見 そうですね。

重定 でもこれを送って下さったのだから、大久保先生もこれは見過ごせないと思われたのでしょうね。

岩見 まあそうですね、違うこと言ってますからね。

重定 それで私は、これやらなければと思ったわけ。ということで、Skellam モデルに新しく飛び火を加えた、階層的拡散モデル (Stratified diffusion model) を作ったの。

岩見 それは？

重定 図がないと分かりにくいですが、階層的拡散モデルを簡単に紹介しましょう。まず、最初にやってきた侵入者の子孫は、Skellam のランダム拡散モデルに従って同心円状に広がっていきますね。ただ、その中に、たまに、長距離移動する個体が確率的に出現し、親集団の外に新しい飛び地を作る。その飛び地も親集団と同じように一定速度で広がりながら同時に飛び火を放出するという、文字どおり階層的な分散モデルです。Skellam モデルに、新規に長距離移動個体を追加しただけ。以前はこうした長距離移動個体の存在は問題にされなかったのだけど、最近では、重要視されるようになっていきますね。例えば昆虫の例では、大多数は自力で飛翔するんだけど、中に気流に乗ってオーダーの違う距離を飛ぶものが見つかっている。

岩見 そうですか。

重定 それで、このプロセスを数理モデル化する際に、まずは、von Foerster の年齢構造モデルを使うことを思いついたの。だけど、親集団も飛び地も共に大きくなっていき、やがてはぶつかり合う様になる。そうなるこのモデルはそのままでは使えない。

岩見 あーそうですね！



図3 拡散モデルを説明する重定先生

重定 融合するわけね。で、それも考慮して、全体の広がる速度を求める方法を考えましたね。

岩見 あ、それは面白いですね。なんか僕が今やっているやつと少し似てるかもしれないです。

重定 ほんとうー！

岩見 なんか細胞の上でウイルスが広がると、広がったところの色が白く変わるんです。けどそういうプラークがいくつかできて、プラークのサイズがちっちゃい時はまあいいんですけど、おっきくなるとくっつくんですよ。おんなじです。

重定 あーそうですね！

岩見 ちょっと読んでみます。

重定 ただ、融合する場合は exact に解けませんよ。

岩見 難しそうですね。

重定 そう。このモデルが出来て、そろそろ京大を卒業しようと思っていた頃、同年齢で親しくしていたた三村昌泰さん（本誌第5回対談者）が、奈良女子大学に新設学科が出来たので推薦してあげると仰って下さって。

岩見 あ、そこで移られたんですね。

重定 そう。でも、すぐじゃなかったの、この間に、京大でやってきたことをまとめておこうと思った。岩見さん、日高敏隆先生（京都大学教授・動物行動学者）ご存知？

岩見 知らないです。

重定 チョウなどの昆虫や動物の行動学で有名な先生でね。東大出版の UP Biology の編集者でいらしたのでしょ。 “なにか、これまでやってきたことをまとめない。UP Biology のシリーズに加えたいの”と仰ってくださったの。

岩見 あ、それがこの本なんですわ！（侵入と伝播の数理生態学/ 東京大学出版会）

重定 それで、これは京大にいる間にとっと思って、一年足らずで書き上げたの。

岩見 ええ、すごいですね。

重定 スッキリするからと思って。

岩見 素晴らしいですね。僕も一冊だけ本書かせてもらったことあるんですけど、5年とかかかりましたね。催促され続けて、全然書かなくて。

重定 私の方は、必要に迫られて。

岩見 確かに、立場が違うんですね、なるほど（笑）。これ、すごい勉強しました。わかりやすくて。

重定 そう？それは何より。数式があまりないからねえ。

岩見 いや、ありますけどね（笑）。けどわかりやすい。

がんにも応用された拡散モデル

重定 先程話した、階層的拡散モデルの続きだけど、奈良女子大学に移動後しばらくして、京大時代に親しかった岩田和朗さん（奈良県立医大・講師、物理学者）が、その頃、肝臓ガンの成長と転移のサイズ分布について研究しておられ、それに階層的拡散モデルが使えるそうだといって訪ねてこられたの。既に、論文はかなり出来上がっていて、素晴らしいなど、まず、感激しましたね。

岩見 はい。肝臓ガンですよ。

重定 そうそう。彼は、医学部に努めておられたので、6年間に渡って原発ガンとその転移ガンの成長過程をとった貴重なCT写真をもっておられ、それを階層的拡散モデルに応用されたの。

岩見 ああなるほど、すごいですね。

重定 それで彼が見つけたのは、原発ガンが、何年前に発生したか。また、観測できないものも含めて現在存在する転移癌のサイズ分布の推定など、綺麗に計算して見せてくれたの。素晴らしいでしょう。この分野でも、最近、こういった数理モデルが少しづつ注目されているようですが、その多くが岩田モデルを基本にしたとか、岩田モデルを改良しているといったことが書かれているのにはビックリです。

岩見 僕ちょっと存じ上げなかったですけど。岩田先生。読んでみます。

重定 なんだか、自分の仕事が出来上がった時より喜びが大きかった。

岩見 まあけど先生が作られたモデルを元にされてるんだからやっぱ先生が一番偉いんじゃないですか（笑）。

重定 いやいやいやいや（笑）。

岩見 えーすごいですね。で、そのあとは、同志社に。

重定 そう。

岩見 じゃあ13年くらい奈良女にいらしゃった？
 重定 奈良女ってご存知ですか？
 岩見 名前は知ってますけど行ったことはないです。
 重定 そうね、男性禁止（男性は入学できない）と思われているかな（笑）？
 岩見 女子大学ですからね（笑）。
 重定 実は、そんなことないと思うよ。川崎さん、よく来てくださってたしね（笑）。奈良女の雰囲気は、京大と似てる所も有り、違うところもある。
 岩見 ああ、カラーが違うんですね。
 重定 京大は周りは全部男性だったけど。今度は女性だけ。奈良女は、昔の帝国大学のミニチュア版だという自覚があってね、理学部は数学、物理、化学、生物学科で構成されてるの。今は少し変わってきているけど（笑）。
 岩見 あ、すごいですね！
 重定 そんな大学あまりないでしょ？
 岩見 そうですね。
 重定 スケールは小さいのだけど。
 岩見 小さいんですか（笑）。
 重定 だから、学校全体もなんていうか静かだね。穏やかで、落ち着いていて、勉強するには良いところ。どこからも干渉されることがないという雰囲気ですよ。
 岩見 先生何学部に行かれたんですか？
 重定 理学部に新しく出来た情報科学科です。新設学科だから、学生さんは好奇心もあって、そもそも理系だものね。
 岩見 なるほど。
 重定 ここで、やりたいことをやろうって感じ。もちろん、全員じゃないですけど（笑）。
 岩見 へえ、じゃあいいですね。学生のモチベーションも高くて。
 重定 私それに感動してね、一緒にやりましょってなってね。
 岩見 優しいですね。
 重定 ほんとに楽しくやったのよ。中には、自分で問題を考えてきて、立派な論文書いた人もいましたよ。でも大方は、私が京大で溜めてた問題を。どれでもいいよって。そしたら私の力の入れようでも分かったのでしょう、皆さんマツ枯れをやろうとしてね。
 岩見 ははは、空気読んだんですね（笑）。

マツ枯れに取り組んだきっかけ

重定 でも、複数の学生さんが、同じ時に同じテーマをやるということはなかったですね。本誌対談で話しておられた巖佐さんと同じ考えで、で、学生さんも私もマツ枯れに熱中してましたね。なぜかっていうと、当時、私は、先に話した、UP Biology「侵入と伝播の

数理生態学」を拡張した英語版 Biological Invasions: Theory and Practice (Oxford University Press, 1997) を川崎さんと共著で出版したの。ありがたいことに、巖佐さんが、この本について日本生態学会誌に書評を書いてくださった（日本生態学会誌 1997年 47巻 3号）。巖佐さんは書評の最後に、“本書は侵入生物の広がり数理解析に関して直ちに古典となるべき本だと思う”と、思わぬお言葉をくださり恐縮したのですが。その上で、ただ一つだけ注文が付いていて、“実例であげられている野外研究のほとんどがアメリカとヨーロッパのもので、日本の例がほとんど無い。せめて、改版する機会には、著者らがやりかけているマツ枯れの広がりに関する研究例を加えてほしい”と。実は私も全く同じ思いでしたので、そうだと本気でやってみようという気になったのです。

岩見 そこでマツ枯れに来たんですね（笑）。
 重定 そう。で、奈良女子大学の高須さん（高須夫悟：奈良女子大学・教授）ご存知でしょ？
 岩見 はい。
 重定 もちろん同志社大学の川崎さん、それから、マツ枯れのフィールド研究の第一人者富樫一巳さん（東京大学・教授）にもお願いしてね。学生さんと一緒に頑張りましたね。
 岩見 なるほど、そういう裏話があったんですね。確かにこれは日本の例が一個しかない。
 重定 奈良女では、もちろん他の問題も幾つかやっていたんですけど、特にマツ枯れには力を入れましたね。
 岩見 いいですね。
 重定 マツ枯れは、マツノザイセンチュウという線虫の感染によって起こるのだけど、線虫は動けないので、移動は、マツに産卵するマツノマダラカミキリに附着して健康なマツに運ばれる。一方、カミキリも、線虫感染で弱ったマツに産卵するので、線虫とカミキリは相利共生の関係ある。こうしたマツ、線虫、カミキリの個体群ダイナミクスをモデル化して、マツ枯れの分布拡大の予測を試みた。3種の間のローカルな個体群動態は、富樫さん等をはじめ多くの研究者のデータがあるので、良く合うモデルが得られたのだけど。一方の飛翔距離は、mark recapture 法で測ってみると、なんと40m ぐらいしかない。

岩見 え?! そうなんすか! 昆虫なのに（笑）？
 重定 そう。でも、実際にはマツ枯れの前線は数 km/年のオーダーで広がっている。
 岩見 なのに、カミキリムシは40m 程度しか行かないと。
 重定 そうそう。だから、これは、カミキリの中に、長距離移動をする個体がいるとらんだの。
 岩見 へえ、面白いですね。
 重定 そこで、例の階層的拡散モデルを用いて、シミュレーションをしたところ、カミキリの1割近くが、長

距離移動してるのが分かった。

岩見 それは自分で移動するんですか、それとも何かを持って行かれて？

重定 いやそれがね、長距離移動個体はなんと数キロのオーダーで飛んでいることが予測されるの。そんなに飛ぶはずないじゃないと思うでしょう。

岩見 そうですね、昆虫ですし。

重定 恐らくは、風や対流に乗って運ばれるか、人間の乗り物にまぎれて運搬されるとか、そういう passive な運動によるのだろうと思いますね。

岩見 ああ、そうなんです。なるほど、面白いですね。あと、2次元でも traveling periodic wave を。これは僕も何回か聞いたことがありますよ、京都駅前セミナーとか。

重定 岩見さんとは中国の重慶で初めて会って、2次元の進行波の話聞いて貰ったように思いますね？

岩見 そうですね、あそこで初めてお会いしました。

重定 あれは、後に大学の先生になった杵崎さん（杵崎のり子：奈良産業大学・教授）が中心になってやった仕事ですね。2次元上に広がる縦縞状の周期的変動環境のどこか一点に侵入した個体群が、その後どのように分布域を広げるかというテーマでした。彼女は色々シミュレーションしてみて、分布域の先端は楕円状になって拡大することをまず見つけた。そして、杵崎さんのシミュレーション結果と川崎さんのひらめきがマッチして、見事に楕円の広がる速度公式を見つけたというものです。

岩見 なんかランダムなやつとかありましたよね。

重定 それは、好適環境と不適環境の幅が周期的ではなくて、ランダムに変動する場合の話だと思います。それも面白い結果があるのですが。それとは違って、杵崎さんは、2次元の周期的環境として、もっと複雑なパターン、例えば、好適な一様空間の中に、不適な環境が格子状に走っている（例えば道路が縦横方向に規則正しく並んでいる等）と、好適環境が孤立しますね。そうなる、進行波の波形と進行速度はどうなるか、得意のシミュレーションでいろいろと面白い結果を見つけていましたね。

岩見 一人でやっちゃいましたか（笑）。

重定 そうね。奈良女の学生さんは、落ち着いているし、ねばり強かった。残念ながら、ほとんどは会社に就職しましたね。でも満足感あるんじゃないかな。あれだけ一生懸命勉強したのだから。

岩見 まあそうでしょうねえ。就職するにしてもやっぱり一生懸命やったほうがいいですよ。

互いを補い合う良き共同研究者

重定 わたし、最初の方で、私の研究のほとんどは、川崎廣吉さんとの共同研究です、と言いましたよね。

岩見 確かにそうですね。

重定 でそれはなぜかと。

岩見 お、それは聞きたいです！

重定 川崎さんはね、理論も数理解析にも並外れた才能をお持ちの方ですが、その上に、コンピュータのメカも強いし、コンピュータシミュレーションも、超一流なんです。それで、議論をしていても、お互いに違う角度から発想するでしょう。その相乗作用で、思った以上にいいアイデアが出てくることもあるの。今思えば、それを繰り返してきましたね。

岩見 いい共同研究者に巡り合えて。

重定 そう、川崎さんにはほんとに感謝しています。私はコンピュータシミュレーションも頼りきりで（笑）。

岩見 まあけど巖佐先生だってできないですからね（笑）。

重定 できる人はいいですねえ。でも、相手があまり出来すぎると、やる気が起きなくなりますよ。かなり頑張ってみても依然として差が縮まらないからね。

岩見 なるほど。

重定 理論だったらね、まあ対等に、勝った負けたとか言えるけどね（笑）。

岩見 何年くらい一緒にされてるんですか？

重定 彼は、1973年に寺本研に入ってこられた。当初からコンピュータに詳しい方ということで評判でしたよ。当時は、偏微分方程式などのシミュレーションは、京大にただ1つある大型計算機センターに、プログラムを預けて2、3日して結果をもらいに行くと言った時代でしたね。今は、手元のコンピュータで一瞬に答えが返ってくる。想像できないでしょう。大型計算機センターに預けた川崎さんのプログラムは、ほとんど間違いが無くて、予期した通りの結果がでると嬉しかったですね。

岩見 時代が違いますね。で、2005年に同志社大学に移られたんですね。

重定 同志社大学は自由で明るく開放的でしたね。その前に、奈良女では、最後の二年間は副学長だったの。

岩見 ああそれは大変ですね。副学長ですか、すごいですね。

重定 常に、10ぐらい委員会の議長に指名され、朝から晩まで会議をしていました。規模が小さい大学ということもあって。その2年間、研究はお預けでした。講演などいろいろ頼まれても全て断って、ちょっと残念でしたね。

岩見 まあそうっすね。

重定 でも、管理職は初めての経験ですし、いろいろ面白い事も教わりましたね。ホッとしていると、川崎さんから同志社大学に来ませんかというお誘いをいただいたの。

岩見 なるほど。

重定 それで、もちろん喜んでお受けいたしました。

私が同志社に移って、まず感動したのは、分かるでしょ？男女共学ですよ。今までになかった。

岩見 確かに。いやけど京都大学も一応共学ですよ(笑)!

重定 共学だなんて胸をはって言えませんよ。私が京大に入った時は、理学部の学生160名の中で女性はたった3人。その3人も、3つのクラスに分けられて。クラスに1人じゃないですか。

岩見 確かに、それ嫌ですね(笑)。

重定 一人だと、自分が男とか女とか思わなくなりますね。

岩見 なるほど、確かに一人だったらね(笑)。

重定 それはちょっとよくないと思いましたね。

岩見 そうですね。そこからいきなり女子大に行って、全員女子。

重定 で、女子大もいいなーって思って、それから同志社に移って、やっと、まともな男女共学。やはり、いいなーって思いましたね。

岩見 やっと共学(笑)!

重定 どこもそれぞれ個性があって良かったんですけど。でも京大はもっと女性が増えなければ。数理生物学会も同様に女性会員がもっともって増えていくことを期待していますよ。私の個人的感覚では、数理生物学は女性に向いている気がしますね。この分野は生まれたばかり。ミクロからマクロまで色々なレベルで次々と新しい問題が生まれている。柔軟で自由な女性の発想をこの環境で発揮してほしいですね(笑)。

岩見 ははは、間違い無いです(笑)。それでその後、さきがけの統括になられたんですね。

さきがけ:生命現象の革新モデルと展開

重定 そうですね。同志社大に移って2年目だったかな。同志社の自由で明るい気風がとっても好きだった。それに、私立大学だけあって、教育熱心なものには感心しましたね。学部学生の授業の準備が大変だったけど、それもいい経験だった。ただ、さきがけが始まると、授業の上にさきがけの運営も加わりやはり忙しくなっていましたね。

岩見 しんどかったですか。

重定 でもまあ、皆さんの話聞くの楽しかったね。

岩見 いやほんとに、さきがけは良かったですよ。先生のさきがけは。かなり数理生物学会のレベルが上がりましたよ。

重定 あ、そう?新しい方がたくさん入ってきてる?

岩見 あ、入ってきます。やっぱり先生の1期2期3期、僕3期生なんですけど、みんな活躍されていますよね。

重定 それは嬉しいですね。あと分野限ってなかったでしょ。あのさきがけ領域は、遺伝子、細胞、形態形

成、免疫、生物社会、生態など、ミクロからマクロまでの様々な生命現象を扱う異分野研究者の集まりだったでしょ。彼らが互いに刺激しあうことで、新しいアプローチを見つけてもらえればと思って。

岩見 そうですね、広がったですね。数理モデルっていうところが。

重定 生命科学は分野によって、人材に偏りがあるのが現実だけど、でも、様々な角度から多様なアプローチがないと、本質的なところで何かを見失うかもしれないと思って。その後、この手のプロジェクトはもうないみたいね。

岩見 そうですね、数理生物が完全にカバーされてるような奴はなかなか。

重定 やっぱり目的がはっきりしているテーマが優先されるのね。

岩見 そうですね。で、2012年に同志社大学を退職されたっていう。

重定 そうですね。2012年に退職して、その一年後にさきがけが終わったね。

岩見 そうですね。

重定 で、私はほんとにフリーになったので、次は何をしようかなって思ったんだけど、まだ少しやり残した問題があったので、川崎さんと一緒に、それをなんとか仕上げました。

岩見 いや、すごいですね。

重定 その内の一つは、H. Weinbergerさん(Hans. F. Weinberger: Minnesota大学・名誉教授/偏微分方程式の大家)との共同研究です。Weinbergerさん、ご存知ですか?

岩見 はい。

重定 残念ですが、彼は、2017年に88才でお亡くなりになりました。川崎さんと私はWeinbergerさんとemail 交信だけで、3回も共同研究をしたの。いずれも、周期的変動環境での拡散反応方程式、或いは、積分差分方程式の進行波解の存在と安定性に関するものでした。

岩見 そうなんですか。

重定 Weinbergerさんと交流は、1999年にMinnesota大学で開催された数理生物学関係のワークショップでお会いしたのがきっかけでした。私は、例の2次元の周期的変動環境で現れる進行波解について話したのですが、彼は、これは面白い、研究交流しましょうと言ってくれたのでした。

岩見 すごくですね!

重定 それから暫くして、emailだけの研究交流が始まったの。最初の2論文では、私達はただ数理モデルの説明をしたり、Weinbergerさんが希望されたsimulationを川崎さんが作って差し上げる程度しか貢献できなかったの。彼から頻りに送ってこられた定理の証明がとても難解でついて行けなかった事もあって。

岩見 そんなことないでしょう（笑）。

重定 そうなの。でも3つめは、周期的変動環境下での拡散反応方程式に、走化性を組み入れた新しいモデルを私達から提案しました。このモデルでも、例の矩形の周期的環境については、explicitに解を求めていたので、それが少しは役だったかも知れない。でも、彼の定理の証明はやはり難解だった。その頃から、彼の定理は、私たちが求めた最もsimpleな系の進行波解が持つ特性が、どの程度一般性を保持しているのか教えてくれるものとして、その重要性が理解出来るようになりましたね。私にとって、それがこの共同研究の一番の収穫かな。

岩見 すごいですね。

重定 それで数学ってすごいなと感心したのですが、でも数学やめといてよかったなって（笑）。

岩見 やめといてよかった（笑）。

消去法で生きてる

重定 だいたい私はね、消去法で生きてるの。

岩見 消去法で生きてるんですか！

重定 まず、中学校までは文学少女だったの。

岩見 あ、そうなんですか！

重定 それが、高等学校になると、学区が急に広くなり、秀才も集まるでしょ。で、その中に語学が際立って出来る方がいたの。彼女とはとても仲の良い友達になったのだけど、親しくなればなる程その能力に圧倒されたの。一方、彼女の方は私の数学好きにコンプレクスを感じると言っていたけど。ということで、私はやはり理系しかないなと思った。だから消去法でしょ（笑）。

岩見 面白いですね（笑）。

重定 で、次は大学で、あこがれていた数学も、とてついでいけなさとさっさと消去。物理学も何を専門にするか迷って（笑）。寺本先生がおられてよかったって感じで。

岩見 でも自分が得意なのは何かわかってるってすごいですね。

重定 いやいや。とにかく、消去法で人生送ってきたのね。それでも好きなことをやれたのは寺本先生と大久保先生に出会ったおかげと思っています。岩見さんも、将来、先生に出会ってよかったと言われるようになって下さいね。いや、きつとなりますよ。

岩見 そうなるといいですね！今日はありがとうございました。

【重定南奈子教授プロフィール】

氏名：重定 南奈子（しげさだ ななこ）

職位：奈良女子大学・名誉教授

連絡：nshigesa@oak.dti.ne.jp

生年月日：1941年7月7日

略 歴

- | | |
|----------|---|
| 1969年3月 | 京都大学大学院理学研究科
博士後期課程数理物理学専攻
(単位修得退学) |
| 1970年6月 | 京都大学理学部助手 |
| 1979年2月 | 米国 ニューヨーク州立大学 客員研究員 |
| 1980年2月 | 米国 スタンフォード大学 客員研究員 |
| 1992年12月 | 奈良女子大学理学部教授 |
| 2003年4月 | 奈良女子大学副学長（研究・企画担当） |
| 2005年4月 | 同志社大学文化情報学部教授 |
| 2010年4月 | 同志社大学文化情報学部特別客員教授 |

業 績

(英文原著論文)

1. N. Shigesada, K. Kawasaki and E. Teramoto. Spatial segregation of interacting species. *Journal of Theoretical Biology*. 79: 83-99 (1979)
2. P. M. Kareiva, and N. Shigesada. Analyzing insect movement as a correlated random walk. *Oecologia*. 56: 234-238 (1983)
3. N. Shigesada, K. Kawasaki and E. Teramoto. Traveling periodic waves in heterogeneous environments. *Theoretical Population Biology*. 30: 143-160 (1986)
4. N. Shigesada, K. Kawasaki and Y. Takeda. Modeling stratified diffusion in biological invasions. *American Naturalist*. 146: 229-251 (1995)
5. K. Kawasaki, A. Mochizuki, M. Matsushita, T. Umeda and N. Shigesada. Modeling spatio-temporal patterns generated by *Bacillus subtilis*. *Journal Theoretical Biology*. 188: 177-185 (1997)
6. K. Iwata, K. Kawasaki and N. Shigesada. A dynamical model for the growth and size distribution of multiple metastatic tumors. *Journal of Theoretical Biology*. 203:177-186 (1997)

など、その他64編

(著書・総説)

1. 重定南奈子, 寺本英 編著 (1975) 『数理を通してみた生命』岩波書店
2. 重定南奈子 著 (1992) 『侵入と伝播の数理生態学』東京大学出版会
3. N. Shigesada and K. Kawasaki. *Biological Invasions: Theory and Practice*. Oxford Series in Ecology and Evolution. Oxford University Press (1997)

など、著書 15 件 総説・解説 25 件

(賞など)

1. 日本生態学会第 7 回 Ecological Research 論文賞 2006 年 3 月
 2. The American Academy of Arts and Sciences, Foreign Honorary Member 推挙 2007 年 10 月
 3. 日本応用数理学会 JJIAM 部門論文賞 2008 年度
 4. 第 8 回日本生態学会賞 2010 年 3 月
 5. 2013 Akira-Okubo Prize (lifetime achievement), Society for Mathematical Biology 2013 年 6 月
-

【第6回 トラノマキ企画】

女性から見た科学者像③ -社会の一員としての科学者-

根上 春*

1. はじめに

リレー企画の3人目のご指名を受けまして書かせていただきます根上春と申します。東京大学アイソトープ総合センターにて協力研究員として在籍しています。私自身はマイノリティの女性であるというだけでなく、日本では少しユニークな進路を歩んでいます。修士課程の途中から大学数学を勉強し始めて創薬への応用に挑戦し、幾何学の分野で学振特別研究員(DC1)を取得しました。しかし体調不良に苦しんだこともあり、博士課程の途中で在籍しながら就職しました。そののちに、数学のない生活は耐えられない!と会社を辞めて、改めて復学しました。この点でもユニークであるということで今回の寄稿のご指名を頂いたようです。「好きなだけ書いてください!」とってくださった岩見先生の度量と問題解決への熱意に感謝し、この機会をお借りして、集団の中でマイノリティとして生きることの面白さや困難について書いていこうと思います。プライベートでは今年の1月に結婚しました。夫とは、毎週末に1日6時間以上やる純粋数学のガチセミナー、「数学カフェ」で研鑽しあいながら信頼を深め、結婚に至りました。思いがけない縁に恵まれ、女性としての生き方を改めて問うこの頃です。実は、女性研究者についての特集を組むことについて疑問を持たれる方も少なくないのではないかと懸念しています。こうして個人にスポットライトが当たるのも女性だからだと思うと少し複雑な気持ちにもなります。性別の違いによって学業や研究に求められるクオリティに差があるはずもなく、その点で言えば、私から見た科学者像は多くの男性から見たものと変わらないのではないのでしょうか。私自身も、この場で経験を語ることがどのような意義を持つのか分からずにいました。そこで、まずは女性個人としての発信が科学のコミュニティに対してどのような意義をもたらすのか、過去の事例や先行研究を引用しながら考えてみたいと思います。私自身の人文系・社会学系分野の素養の不足により、理解や引用に誤りがある部分がありましたらご指摘ご助言賜りますと幸いです。

2. 女性としての発信についての考察

2.1 戦前の科学者と社会の関わり

社会学などの分野で大きな功績を残した Max Weber (1864-1920) は、その著書「職業としての学問」[1]の中で、「こんにちなにか実際に学問上の仕事を完成したという誇りは、ひとり自己の専門に閉じこもることによってのみ得られるものである」(21頁)「こんにち世界に存在するさまざまな価値秩序は、たがいに解きたい争いのなかであり、このゆえに個々の立場をそれぞれ学問上支持することはそれ自体無意味」(53頁)と語り、実践的政策的な主張を行うことと学問的分析を切り離し学問的作業に専心することを強く主張しました。しかし学問はこの実践的政策的主張に対してただ無意味ではなく、「自分の党派的意见にとって都合の悪い事実のようなものを承認することを教えること」(52-53頁)は有能な教師の第一の任務とも述べています。全く同時期に政治学者として得た知見を積極的に社会活動に反映させた方として吉野作造(1878-1933)が挙げられます。1916年に雑誌「中央公論」にて「民本主義」という言葉を用いて、現在でいう民主主義の重要性を解きました。市民運動に学術的知見を取り入れながら大正デモクラシーを推し進め、1925年の普通選挙法制定に多大な貢献をしました。これら2人の研究者の生き方・考え方から学ぶことができました。まず科学者としての訓練を通じて、時には個人にとって都合の悪い、しかし認めなければいけない事実についても受け止める視座を持てること、そして、得られる知見を社会に還元すれば、多くの人の幸福な生に寄与することができる可能性があるということです。Weber や吉野らの生きた時代は技術革新が盛んになり科学万能主義が浸透していたとされ、理論として研究されていた優生学が優生運動として盛んになっていた頃です[2]。Weber の死後になりますがナチスの台頭が代表的でしょう。Weber の視点はこのような当時の状況を鑑みれば、科学万能主義に基づいた社会に対する急進的な働きかけに対して冷静さを呼びかけるような意義を持っていたのではないかと考えます。Weber は[1]において科学的知見がいつか時代遅れになることも指摘しています(29-30頁)。

*東京大学大学院工学系研究科

2.2 科学技術社会論とその実践

科学技術社会論 (Science, Technology and Society; STS) とは、簡単に言うと科学技術をどう活かせば、よりよい社会が作れるかを考える学問のことを指します [3]。STS の一領域である「フェミニズム科学論」と呼ばれる研究群ではジェンダーと科学技術の関連が扱われており、一見客観的で社会的価値観を一切含まないように見える自然科学の知識や、テクノロジーに潜むジェンダーバイアスやその政治性が論じられているそうです [4]。科学を制度として捉え社会学の研究対象とする試みは、R.K. マートンによる研究によって始まり 1960 年代頃から専門分野として確立されたとされています [5]。マートンはその著書「Social theory and Social structure」のなかで、それまで軽視されていた科学のコミュニティが社会の構造の影響を受けることを指摘しました [6]。そして、70 年代頃から科学者が社会に対して活動を行うという流れが発生しました。英米では一般教育プログラムの改革運動が起こり、MIT, Stanford などの理工系学部の全学共通プログラムとして、「科学・技術と社会プログラム (STS Program)」がスタートしました (なお、日本ではこうした科学教育プログラムが設置されている大学は 2001 年時点では未だにないとのことでした)。時を同じくして 70 年代前後はウィメンズリブというフェミニズム運動が盛んになり [7]、アメリカでは、性別を理由とした雇用機会や賃金の格差を禁止する法案である公民権法第 7 編も 1964 年に制定され、この中にマイノリティへの差別是正のための優遇措置、アファーマティブ・アクションが織り込まれました。しかし、法律が制定された後も、時間が経てば自然と状況が変化しただけではない、とアメリカの分子生物学者であり MIT の教授でもある Nancy Hopkins は指摘しています [8]。図 1 は MIT, school of science における女性ファカルティの数の変化を示しています。男性のファカルティの数はグラフの上に記されています。女性ファカルティの数は 2 箇所大きなジャンプを示していますが、1972-1976 年はアメリカ労働長官からの働きかけという外圧があったこと、1997-2000 年は女性ファカルティらが学部長に働きかけ実現し、学部長の交代によって増加が停止していることが明らかになっています。総長などの強い決定権を持つ人物が女性の登用に積極的な態度を示したことが大きな変化をもたらしたと指摘しています (男性ファカルティの数の減少の理由についても記載されていますので詳細は文献を御覧ください) [8]。上に挙げたように、科学者が実践的活動を行い、研究環境が大きく変化するという例が見られました。研究環境の改善への働きかけと STS という研究領域の発展が時期を同じくしていることは大変興味深いです。まだ十分な先行研究調査を行っていませんが、調べていくうちに社会的な背景と研究者を巡る環境の変化が強く

結びついていることを実感しており、今後も調査を続けたいと思います。



図 1 MIT School of Science における女性ファカルティの数 (1963-2006)[8] より

2.3 ローカルノレッジの重要性

日本における STS 領域の代表的な研究者の一人として藤垣裕子氏が挙げられます。藤垣氏の研究成果が著書の「専門知と公共性」[9] にまとめられており、関連部分の概要を以下に簡単にまとめてご紹介します。

【概要】 科学的事実の主張とは常に、科学者共同体の中で同意された、ある理想的成立条件に「状況依存」するというのが科学論における考え方だ。現代の STS は、今まさに作りつつある知識のところでの社会的判断、知識の状況依存性が問題となるところでの社会的判断を必要とする場面を扱っている。このような問題は、不確実性を含む。そのため科学者にも答えられない問題であり、科学的合理性のみならず公共の意思決定の根拠、つまり社会的合理性が必要である。社会的合理性が担保されるには、意思決定の主体や選択肢の多様性の保証・必要な情報の開示・意思決定のプロセスの透明性と手続きルールの明確化が必要とされている。また、科学的知見を適用しようとする場面では、その知見を得るための理想的な条件が成立しないことが多い。現場条件に「状況依存した」知識、現場の勘のことをローカルノレッジと呼ぶ。ローカルノレッジによって、専門家によって得られる以外の選択肢が提供される。【概要おわり】

マイノリティの待遇改善などアカデミアの環境改善の問題は、未だアカデミアが経験していない状況を目指した試行錯誤を含むものであり、社会における人権感覚や理想的な働き方も日々変化しています。こうした観点から、科学的知見を取り入れた環境改善は現代の STS が問題とする場面の一つの例であると考えられます。一個人としてマイノリティの経験を伝えるということは、STS の観点でいえばローカルノレッジの提供です。この観点と先の科学者たちが社会に対して働きかけた例も合わせると、一個人の体験について発信することも研究への貢献になりうると考えます。

2.4 ローカルノレッジ発信上の注意

研究を通じて私達は、一つの現象を観察する時に慎重で客観的な視点が重要であるということを知っています。しかし先にも挙げたように、身近な生活にまつわる様々な課題についてはしばしばそのことを忘れ、個人の経験に基づいて少ないサンプル数で偏った判断を下すこともあります。「性別」とは、子供が小さい頃から経験的に習得する、人間の分類の一つです。「女性」とラベル付けられた人は多くの場合小さい頃からごく身近に存在するものですから、よく理解できると錯覚しがちです。しかし、よく心を開いて人と対話してみると、実は自分の考えというものは経験に基づいた大きなバイアスに満ちていることがわかります。今回の記事は私が女性であるがゆえに書くものであり、女性の声を一部代弁する機会を得たわけですが、私自身の経験もまた集団全体の傾向からは著しく離れたものである可能性が大いにあります。また、女性以外の人の抱える困難について否定するものでもありません。マイノリティの抱える課題について議論する際には、私個人が経験していない他者の困難を軽視しないよう努めたいと思います。

3. Minority in STEMとして生きる面白さ

ここからは私の個人的な経験について話します。Minority in STEMとして生きていて良かったと思うことは、自分がただ生きていてだけで、物の見方や価値観について「人と比較」し考察する機会に恵まれ、その過程で考えが深まることです。科学的思考の実践において「比較」は非常に重要な方法です。マイノリティとして生きていると、研究や勉強をしているとき以外にも思考力を磨ききっかけが沢山あると実感します。しかし、無意識に過ぎしがちな日常の事柄について敢えて思いを至らせるのは、自分にとって困難が生じ考えざるを得ないから、という背景もあります。そのような生活の上での困難はネガティブなものに捉えてしまいがちですが、科学者としての訓練を受ける立場であることを考えれば、日常の常識を疑って考えを深める訓練を積めるという点で必ずしも悪いことばかりではなかったと思います。「人と異なること」が視野を広くさせてくれると気づいた一番古い記憶は、小学校3年生で転校した初登校日のこと。以前の小学校はコンクリートの校庭で、上履きのまま校庭に行くのがルールでした。新しい小学校でも同様に上履きで校庭に出ると、「上履きで外に出てる！バッカじゃないの！」と突然クラスメイトの女の子に言われました。何も考える必要がないほど浸透した行動に対し突然の批判を受けてとても驚きましたが、見ると校庭は土で出来ていて砂埃だらけ。そこは土足に履き替えて校庭に行く

ことが常識の世界だったのです。「この子は上履きで校庭に出る学校があることを知らないんだ！知らないということが分からず、自分の目で見える世界が全てだと思って人をバカだと言っている。世の中を知らないということは、なんて怖いことだろう。」とそのとき思ったことを強烈な体験として覚えています。私は転校生として異なる学校を経験し、「アタリマエ」を疑うことによって世界を見る視点が広がる可能性に気づくことができました（今この出来事を振り返ると、更に、当たり前過ぎて無意識の行動の中にも、他の人とは全く異なる習慣によって衝突を招く事がありうるのだなとも気づかされます）。私は人生の様々な場面で、「日本人の普通とは違う」決断をしましたが、その決断を後押ししたのは、このときの強烈な体験に続く「アタリマエ」を疑う思索の積み重ねであると思います。たとえ自分がごくごく少数派であっても、マジョリティとしての在り方は本当にそうあるべきなのかと疑問を持ち、恐れず選択する勇気が培われました。科学の探求とはこれまでにない新しい知見を積み重ねていくことですから、その意味では多数派ではない選択を積み重ねることのできるマイノリティの方は、よい訓練を積んでいると言えるのではないのでしょうか。

4. ロールモデルの存在

数学者の Jules-Henri Poincar (1854-1912) は、著書「科学と方法」[10]の緒言の中で「科学の方法は観測と実験に存する。(中略) 科学者は一切を視つくすほどの時間、ましてまた一切を正しく視つくすほどの時間を持たない。また下手に視るくらいならば、むしろ全然視ないに如かぬ。よってここに選択の必要が生ずる。」と述べています。ここでいう選択、とは、観測結果の解釈や妥当性の評価を意図していると私は理解しています。女性研究者がほとんど観測されない場合、女性が研究者に向かないと結論づけてしまうのは実に自然なことだと思います。しかし更にまた、生物学上の男女比がおおよそ1:1であることから、研究者の男女比の著しい偏りについては何らかの社会構造による力が働いている可能性に思い至ることも自然です。前者のような考えを持つ人の場合、マイノリティのロールモデルの存在は(少ない)反例となって大きな意味を持ちます。私も幼い頃から、そして今も、素晴らしいロールモデルに出会って導かれています。私が書籍を通じて出会ったロールモデルのひとりが緒方貞子さんです。1990年から2000年にかけては国連難民高等弁務官として紛争地帯にも赴き、難民問題の解決に尽力されました。90年代はコソボや旧ザイールでの大きな紛争もあり、小さい子供でもニュースで衝撃的な戦争の光景を目にする機会がありましたので、数学の面白さに目覚めるまでは、ずっと国際政治に関わりたと思っていました。紛争下、女性でありながら誰よりも熱い解

決への思いと行動力を持ってお仕事をされてきたエピソードを聞くと、その勇気と献身、知性に胸が熱くなり、何度も本を読み返しました。異性の目を気にする時期になると、女性は若くて男性より賢くない方がいいという価値観をよく耳にするようになりましたが、そんな中でも自分の学業に打ち込めたのは、緒方貞子さんへの強い尊敬の念があったからです。同じ女性だからこそ、自分自身の人生設計（高い確率で起こるであろう出産と子育て）と照らし合わせ、その生き方に強い感銘を受けたのだらうと思います。ロールモデルとして尊敬する先人の方々の生き方に触れて動機づけられると同時に、自分の中で湧き起こる強い不安がありました。それは、「女性は出産・子育てをするために自分のキャリアを一部・一定期間諦めないといけないのだろうか。」という絶望感や諦めの感覚です。緒方貞子さんのような国際社会に大きな貢献をするほどの優秀な方であっても、出産や子育てのために自分のキャリアより家庭を優先している時期がありました。先程挙げた Nancy Hopkins 教授も、女性が出産により男性と同様なハードワークが出来ずキャリアを妨げる問題について、「ポストクの時に離婚をし、子供を持たず二度と再婚もしないと決めた」ことによって解決したと語っています [11][12]。更に、初めて配属された研究室で助教の方が妊娠・出産をされました。当時私がいた東大薬学部は 24 時間明かりがついていてハードワークだという評判があり、多くの男性研究者たちが家庭を気にせず朝早くから遅くまで研究をしていました。その一方で女性の助教さんは、悪阻が酷く車で動けなくなってもミーティングに遅れないようにするためにいつもの 2 時間前に家を出るようにしていましたし、生まれたあとは子供を保育園に迎えに行くためになんとか実験をやりくりして 17 時に帰宅していました。その姿を見て、女性は出産をすれば男性の何倍も高い能力がなければ同等の能力があると認められないという現実を強く実感したのです。大学に入ってから、ジェンダーの違いより経済的な不安の方が強くひたすらバイトに打ち込む日々でしたが、あまりにも経済的な意味で辛すぎて、お金も稼げないし、出産・子育てへの対策が整っていないから、研究者には絶対にならないし、働いていっぱい稼いで大変な生活から脱出するぞ！と誓っていたくらいでもあります。

5. 女性が抱える困難

このように、出産にまつわるキャリアプランは多くの女性がまだ 10 代のうちから向き合う困難の一つです。また先程、男女比の著しい偏りの原因には、何らかの社会構造による力が働いている可能性があること述べましたが、女性だからこそ抱えるその他の困難も依然として存在します。[11],[12],[13],[14] などによると課題は主に次のようなものが挙げられます。

- 学業への意欲を損なう社会通念
- セクシャル・ハラスメント
- 出産・育児にまつわる困難
- 評価へのバイアス

5.1 学業への意欲を損なう社会通念

1988 年には日常的経験が女性の「成就欲求」を低下させることが指摘されています [15]。近年では学業面での性差は縮小傾向にあるとも報告されており [14]、社会化に因るジェンダー規範の内面化には慎重な議論が重ねられています。しかし、幼児・小学生の段階から男女で希望する職業に大きな差が存在する [16]、理系は男性が選ぶものという考えがあり理系を選択しにくいと考える [13] など、男女の指向性には大きな違いが見られます。この点についてまだまだ明らかでないことも多いようなので、個人の経験に絞って話したいと思います。学ぶことをよしとしない人が（自分の周りには）多く存在する、と強く意識するようになったのは高校生の頃です。当時東京大学に 10 人以上、早慶にのべ 200 人以上合格する進学校に通っていました。私の周りの女性の友人達は、小説や美術への造詣が深く、家庭における豊かな教育がなされていた人が多かったように思います。そのような環境に育ちながらも、女性の友人たちはいわゆる「バリキャリ」よりは家庭を第一に考えることをよしとする価値観を持っていました。私自身も家に帰れば第一子の女子として、病気の母親の代わりに家事を担う生活をしていました。「女の子なのだから家事が出来ないと、いくら勉強が出来てもあなたはダメ」と言われて育ったのです。このような環境で私が数学の楽しさに出会えたのは全くの幸運です。高校 1・2 年生の時に塾に行かなかったため、ヒマがあって却ってじっくり考える時間がありました。学校で配られた問題集にゆっくり取り組み自分で完璧に説明できたと思うまで考える余裕があったし、毎日放課後は時間ギリギリまで学校に残って数学をし、様々な別解を考える楽しさでいっぱいになっていました。ちょっとした証明の回答の一言が含む意味の重要性に圧倒されたり、一つの問題にも様々な取り組み方がある自由に驚かされたり。その圧倒的な楽しさのおかげで、数学は男子がやるものだという価値観に染まらないでいられたのだと思います。しかし、数学にのめり込んでいる間にも意欲が損なわれかねない場面は度々ありました。よい成績を取ったり意見をはっきり言うと女性としての魅力がないと示唆され、「勉強や仕事に打ち込んで、結婚しない・子供の居ない人生もありだと思うけど、自分の人生も”も”楽しんで欲しい」と親友に強く説得されました。学業に打ち込みすぎる女性は結婚できない、数学に打ち込むことは人生の楽しみを捨てていることだ、という考えが根底

にあるようでしたし、大学に進学してからもこのように言われることは度々ありました。私にとって数学は至上の喜びなのに、なぜ一番仲のいい友人にすら結婚を諦めていると思われてしまうのだろうか（家族にはもちろん理解されませんが）、という孤独感が常にありました。そして、大学進学の際は資格を取って出産・子育てによるブランクに対応できるようにと薬学部を選択してしまいましたし、その後数学科に入り直そうとした際も、当時余命僅かだった親からの全力の反対で叶いませんでした。なぜ理系を選ぶ女子学生が少ないのか、女性はやっぱり理系科目に興味がないのではないのか、という声をよく耳にしますが、意欲がある生徒でさえも、意欲を損なう機会は多いのです。男性からも、数学に打ち込むことを周囲に理解されず辛かったという声をよく聞きます。この点については、アウトリーチの重要性を痛感します。

5.2 セクシャル・ハラスメントについて

2018年の全米アカデミーズの調査によって、物理学専攻の女子学生の74.3%はセクハラ被害を受けているということが明らかになりました[17]。女性同士で会うとこうした問題について話す機会もよくありますが、特に女性がマイノリティである場合、この問題について声を上げることがより困難になります。匿名を希望していても女性が少なすぎて容易に特定されてしまいかねないことや、ハラスメントの辛さが理解されにくいことが理由です。ハラスメントの被害を受けるということは、その被害に対する恐怖心が続くだけでなく、関係者に対する信頼が不可逆的に損なわれるということもあります。科学者としての訓練は非常に厳しく、研究業務に従事する時間も長時間に及びます。信頼関係を築けない相手からこのような指導を受けることは大きな苦痛と困難を伴います。もしハラスメントを見かけることがあったら、その被害を受けた方（もちろん女性に限りません）が周りに対する信頼感を失い安心して教育を受けたり仕事をする機会を失わないためにも、まずはその場で気にかける行動を取ることが重要なのではないかと考えています。

5.3 出産・育児にまつわる困難

国立大学における男女共同参画推進の実施に関する第15回追跡調査報告書の調査結果[18]からは、助教から講師以上になる段階で、女性研究者比率は依然大きく低下する、医療関連分野を除き、女性のほうが任期付き職につく人の割合が高いということが分かります。出産を考えると安定した雇用が必要なのですが、実際は安定していない雇用条件の女性が多い分野があることがわかります。また、男性の方が任期付き雇用の多い分野についても、見過ごされているジェンダー不平等として取り上げる必要があるかもしれません。出産・育児の乗り越え方については私もまだ答え

を見いだせずにいます。日本数理生物学会ではとても素敵な女性研究者たちに出会えました。出産や育児を心から楽しみながら研究にも邁進されている姿を見て、私もとても前向きな影響を受けています。今この場で書きたい気持ちも強くあるのですが、恐らく今後、このリレー企画ではそのような女性の先輩研究者の方々からも寄稿していただけたと思いますので、体験談を拝見するのをとても楽しみにしています。

6. コミュニティ形成による課題の解決

たとえマイノリティで身近にはあまり同じ状況の人がいなかったとしても、学会の集まりに出向けば悩みを共有できる人に出会えますね。また、国際会議に出れば日本より遥かに女性研究者がいるということも分かります。そこで、アカデミアにおける問題を海外諸国は今どのように解決しているかと観察してみると、次のようなことが実践されていることが分かりました。

- twitterのハッシュタグを活用した即時的なノウハウ共有
- 国際会議における women's lunch などマイノリティ同士のコミュニケーション促進
- 学会側からの環境改善に関する署名活動の呼びかけ

短文投稿型 SNS の Twitter では、今、#Academic-Chatter と呼ばれるハッシュタグがあり、毎日のように学生やPIの方々の悩みが投稿され、それに対し即座に世界中からの助言が集まっています。ハッシュタグとは、各投稿に対して投稿者が任意に付けるラベルのことで、ハッシュタグを活用して同じ関心を持った投稿を見つけることが出来ます。Twitterで #Academic-Chatter という文字で検索をすれば、アカデミアにおける様々な問題について発信している海外の研究者を見つけることが出来ます。アメリカでも博士課程で苦しんでいる人が少なくないことを知れましたし、どのように乗り越えたらよいか、様々な解決策が前向きな励ましと共に提示されています。このハッシュタグに限らず、ノウハウが直ちに共有される環境は成長も速くてよいなと思いました。

昨年の日米合同数理生物学会では、women's lunch の機会が設けられました。女性同士が集まり意見を交わす場があることはとても助けになると思います。たとえば出産時期の選択に関連して、卵子凍結の選択肢の存在などといった男性の研究者には相談しにくい有用な話題についても情報交換することが出来ます。研究室ではマイノリティでも、母数が増えれば数も増えるので、学会で集まる機会に女性同士で意見交換ができる場があると良いかもしれません。

アメリカ物理学会では、学会側からの環境改善に関する署名活動の呼びかけのメールが定期的に届きます。2019年に入りアメリカ連邦議会上院においてSTEM

領域におけるセクシャル・ハラスメントへの対策を行う法案が提出され、その成立のための署名活動がアメリカ物理学会やその他の学会組織により行われていました。その働きかけもあり、House on Committee on Science, Space and Technologyにて満場一致で2019年7月に可決されました。署名活動を通じた科学技術政策への働きかけの大きな成功例となりました。

7. おわりに

女性の抱える困難について少し長く述べてしまいましたが、どのように困難があろうとも一番のモチベーションは研究が好きで好きでたまらないということ。一つの対象について、どんなに酔っ払っても熱中して会話ができるような環境にいられるということはとても幸運です。人生の選択を最も重要な点で納得できていれば、自分のコントロールできない要素について乗り越えていけることを実感しつつあります。私は親の反対もあって数学科に行くことは今の所叶っていませんが、数学カフェというアウトリーチも兼ねたコミュニティを作って毎週末に数学のセミナーを通じて数学を学べるようにしました。叶わなかった思いをその分強いモチベーションに変えています。これからも自分がどのような人生を歩むのかまだ分かりませんが、今はただ一日一日の小さな積み重ねを大切に、熱中して生きていきたいと思えます。

参考文献

- [1] M. Weber, 尾高邦雄訳, (1936) 『職業としての学問』, 岩波文庫
- [2] 飯田香穂里, (2011) 『生命科学と社会2009「第8章 欧米における優生学とその影響」』, 総合研究大学院大学講義録
- [3] 藤垣裕子, 東京大学大学院総合文化研究科 藤垣研究室 HP
- [4] 平川秀幸, (2001) 『“STS”とは何か』 大阪大学 平川秀幸教授 HP
- [5] 成定薫, (1994) 『科学論 (岩波講座現代思想第10巻)』 pp.315-336
- [6] R. K. Merton, (1949) Social Theory and Social Structure, Part IV
- [7] 牟田和恵, (2006) 『フェミニズムの歴史からみる社会運動の可能性: 「男女共同参画」をめぐる状況を通しての一考察』, 社会学評論 57(2), 292-310
- [8] N. Hopkins, (2006) Diversification of a University Faculty: Observations on Hiring Women Faculty in the Schools of Science and Engineering at MIT, MIT Faculty Newsletter, Vol. XVIII No. 4, March/April 2006
- [9] 藤垣裕子, (2003) 『専門知と公共性 科学技術社会論の構築へ向けて』, 東京大学出版会
- [10] J-H. Poincar, 吉田洋一訳, (1953) 『科学と方法』, 岩波文庫
- [11] N. Hopkins, (2015) Reflecting on Fifty Years of Progress for Women in Science, DNA AND CELL BIOLOGY, Volume 34, Number 3
- [12] N. Hopkins, (2011) "The Changing Status of Women in Science at MIT: 1999-2011", lecture at U Chicago <https://www.youtube.com/watch?v=IQUB3LeJEJE&t=4s>
- [13] 内閣府男女共同参画局, (2017) 『女子生徒等の理系の進路選択にかかる意識について』
- [14] 古田和久, (2016) 『学業的自己概念の形成におけるジェンダーと学校環境の影響』, 教育学研究 83(1), 13-25
- [15] 天野正子, (1988) 『「性と教育」研究の現代的課題 一かくされた「領域」の接続』, 社会学評論, 第39巻第3号, pp.266-283
- [16] 第一生命, (2019) 『第30回大人になったらなりたいたいの調査』
- [17] National Academies, (2018) Sexual Harassment of Women, National Academies report
- [18] American Physics Society, (2019) Addressing Sexual Harassment in the Sciences,
- [19] 一般社団法人国立大学協会, (2019) 『国立大学における男女共同参画推進の実施に関する第15回追跡調査』

【第4回 数理生物学四方山話】

個体群生態学理論の発展の渦中で

高田 壮則 *

1. 数理生態学への軌跡

「阪神ファンのオモロイ先生が生物物理専攻における」「そういえば、よく木屋町に通っているらしい」。友人のSが喫茶店でチャを飲みながら、私の愚痴を遮った。あまりにも楽しい学生生活を過ごしていたせいであらう。五年目が過ぎようとしていた頃、アモルファス超電導の実験に飽き飽きしてしまった私の愚痴に付き合ってくれたSとのこの会話。まさかこれが私の一生の仕事を決めるきっかけになるとは想像もできなかった。おぼろげな記憶が正しいなら、当時Au（金）とGe（ゲルマニウム）は単金属では低温でも超電導を見出せず、他の金属に比べて結晶構造がタイトであることがその原因であると考えられていた。そのため、結晶構造を緩やかにしたAu-Ge合金アモルファス（非晶質）ではどうなるのか、を調べるのが、私と友人Uに与えられた卒業テーマで、日夜、文字通り12時間交代で真空ポンプを稼働させることに明け暮れていた。ある合金割合で超電導を見出した（らしい？）成果をあげたものの、その結果、とぐろを巻くような愚痴の連発になったわけである。もう、物性物理の大学院に進む気にはなれない。

早速？6年目から寺本英先生の理論生物物理研究室のセミナーに参加し、卒業研究に携わることになった。当時の研究室の先輩たちには、六迷丹須紀 (M. Tansky) のアクロニム著者名で論文 (Tansky 1978) を書いていた芦田廣 (a)、中島久男 (n)、重定南奈子 (s)、川崎廣吉 (k)、山村則男 (y) さんたち[†]や巖佐庸さん、東正彦さん（物故）たちがおられて、ゼミで発表した時の並み居る諸先輩の質問攻撃には困惑を乗り越えて恐怖さえ感じていた。なぜ、発表をしている本人よりも諸先輩たちがより深くモデルの構造を理解できるのか？なぜそのような発想で問いかけが発せられるのか？呆れ果て疲れ果ててゼミ発表を終えることの繰り返しだったが、この先輩たちのおかげで研究者として自立するための修行をкаろうじて修めることができたと思う。蒼蠅驥尾に付して千里を致す、であった。今でも本当に頭が上がらない。当時の研究室の雰囲気を知りたい人には、このニュースレターの73号に重定南奈子さんの

*元北海道大学大学院地球環境科学研究院

[†]無論、Tは寺本先生である。

寄稿がある (重定 2014)。

当時の研究室では種間関係の数理モデル研究が一つの大きいテーマだったので、私の卒業研究では、ロトカ・ヴォルテラ方程式の数値解析を行ったが、個人的にはあまり興味を持たず、むしろ個体群生態学の細かい地道に収集されたデータに関心を持った。当時の関心のキーワードは、個体間相互作用および個体群の内部構造だったと思う。生物集団内の個体差に着目した「個体群の内部構造」という言葉はとても広い概念であり、便利であった。その言葉を使うと集団遺伝学は「個体群内の遺伝構造」の変化に着目した学問となるし、「個体群内の年齢構造」の変化に着目した数理モデルは、年齢構成モデルと呼ばれ、第一回の「数理生物学四方山話」で紹介された東大の稲葉寿先生による数理人口学研究の基本となっているモデルである (稲葉寿 2002)。当時同じ理学部の中に植物生態学の講座があつて、ちょうど一年先輩に甲山隆司さん（元北大・地球環境）や原登志彦さん（現北大・低温研）がおられて、大阪市立大学の植物生態学研究室の研究を教えてもらった。吉良竜夫先生を中心とするその研究室では、すでに1940年代後半から内部構造としてサイズ構造に着目し、個体群密度とサイズ分布動態の関係を調べる研究の蓄積があつた。そのおかげで、もし個体間の相互作用を積分項で表し（「積分的相互作用」と自分勝手に名付けていた）、植物個体群内のサイズ分布に着目すると、新しいモデルが作れるのではないかと、という発想に至りついた。というのも、大阪市大のデータには、一方向的競争 (one-sided competition) と呼ばれる個体間相互作用が要因であると思われる特徴的なサイズ分布動態の結果が得られていたからである (Koyama & Kira 1956)。そこで、一方向的競争を表す積分的相互作用、

$$\int_x^\infty u(x', t) dx'$$

を盛り込んだ数理モデルを使えると思ひ、integro-Von Foerster equation

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(rx \left(1 - \frac{x(1 + A \int_x^\infty u(x, t) dx)}{K_0} \right) u \right) - Mu$$

を作り、解析を始めた。ややこしそうに見える方程式だが、ある程度は解析的に解けるため、クリアな結論を出すことができ、私としては初めて満足な研究ができたと感じることができたひと時だった。この研究が、集団のサイズ構成や生育段階構成に興味をシフトさせる大きな原動力になった (Takada & Iwasa 1986)。

2. 個体群生態学の転換期

ところが、博士課程で一方向的競争の研究をしていた80年代前半は、日本の生態学に新たな大きなうねりが訪れていた時期でもあった。日本の個体群生態学では、前述した大阪市大の研究とほぼ同時期の1940年代以降、京大の内田俊郎氏によってアズキゾウムシの実験個体群の詳細なデータに基づいた研究が行われていた。その延長で、昆虫の野外集団の自己制御メカニズム（裏返して言うと大発生メカニズム）についても研究が行われるようになっていた。南西諸島に侵入した外来種ウリミバエを根絶するというプロジェクトも70年代に入ってから始まった。その時代に、生き物の形質や行動の進化を考える進化生態学的研究という波が海外から押し寄せた。この波は、害虫の大発生や外来種の侵入を制御する個体群動態の研究がなされていた時代から、最適戦略論やESSゲーム理論を応用した研究の時代へと大きな転換をもたらした。最適戦略モデルの代表としては、「大卵少産か小卵多産か？」の問題にアプローチしたOptimal egg-size model (Smith & Fretwell 1974) が提出され、繁殖個体に至るまでの生存率曲線に依存して大卵少産か小卵多産が決まること、同種内では個体の繁殖投資量にかかわらず卵サイズが一定であることが示されていた。個人的には、「大卵少産か小卵多産か？」よりも後者の結論がとても気に入っていた。数理モデルであるからこそ、導くことのできた結論だと強く感じた。当時、数理モデル研究が実際に野外で生き物を研究している生態学者たちに意味のある情報を提供し受容されるだろうかという一抹の不安を感じていたからとても心強かった。後者の結論は、卵サイズを種子サイズに読みかえれば、劣悪な環境に生育している個体も良好な環境に生育している個体も、繁殖に投資できる同化産物量の違いにかかわらず、産出される種子のサイズは変わらない（種子数は変わるが）ということの意味する。その結論は人類と植物の関係の古い歴史に想像をかきたてる。ダイヤモンドの重さの単位に使われるcaratはイナゴマメの学名に由来すると言われている。アラビア商人たちがダイヤの商いのために、細かい重さを測ることのできる分銅の代わりとしてイナゴマメの乾燥種子を使っていたなら、どの地域でイナゴマメを収穫しても一粒の重さが同じであることを望んだであろう。きっと彼らは「個体の繁殖投資量にかかわらず種子サイズが一

定である」ことを経験的に知っていた!?

ほぼ同時期に、ESSモデルの代表としては、Hawk-Dove game model (Maynard Smith & Price 1973) が提案され、ダーウィン以来の三大疑問[‡]の一つ、オス同士の「儀式的闘争 (ritual fight)」の進化的意義について混合戦略というキーワードを武器に迫ろうとしていた。「混合戦略」はそもそも1950年代に経済学で発展した概念だったが、進化生態学的文脈で定義した「進化的に安定な戦略 (Evolutionarily Stable Strategy)」の特殊条件下における解として、Hawk 純粋戦略と Dove 純粋戦略の混合戦略が儀式的闘争の進化的意義を説明するために採用された (酒井他, 2012)。後になってわかったことだが、ESSのように突然変異型の侵入不可能性を考える発想の出現は、Maynard Smith たちよりもかなり以前に遡る。1884年にDüsingが、性比が1:1から偏ると他の戦略に負けてしまうことを、単なる四則演算を用いてESS的発想のもと端的に示している。閑話休題、その時代の進化生態学の大きい波はその後世界的にいくつもの最適戦略モデルやESSモデルの誕生をもたらし、70年代後半から80年代にかけて日本の生態学者たちの研究に影響を与えていた。日本の数理生態学分野では、山村則男 (元京大・生態学研究センター) さんや巖佐庸 (元九州大学) さんが、次々とそれらの新しいモデルを発表していた。最適戦略モデルやESSモデルは、従来のロジスティックモデルやロトカ・ヴォルテラモデルとは異なり、常微分方程式を扱ったものではなかったもので、このような数理モデルの枠組みもあるものかと目から鱗だった。と同時に、進化のゴールだけを求めるダイナミクス抜きモデルに対する疑念と不安も感じていた。調べてみると、ゲーム理論の世界ではすでにTaylor & Jonker (1978)、Zeeman (1980) らがmatrix game modelのダイナミクスに関する論文を発表していて、ESSの力学的安定性に保証を与えていた。そこでは、それぞれの純粋戦略を採用する個体の集団内頻度の時間変化を微分方程式で表し、平衡個体頻度の安定性を解析していたのである。今でいうレプリケーター方程式の元祖に当たる研究である。なるほど保証されているのかと思いながら、離散的な戦略をとる個体の「頻度」のダイナミクスではなく、連続変数の「戦略」のダイナミクスならどうなるのだろうと思い、まずは $F(x_1, \dots, x_n)$ をさまざまな戦略群をもつ個体の適応度として、 F が大きい方にダイナミクスが動くという仮定のもとで

$$\frac{dx_i}{dt} = k_i(x_1, \dots, x_n) \frac{\partial F}{\partial x_i} \quad (k_i \text{は正の関数})$$

という戦略 x_i のダイナミクスを記述する方程式を調べてみた。すると、適応度関数が物理量のポテンシャルのように時間とともに単調に増加し、戦略群 x_i べ

[‡]他の二つは利他性の進化と長すぎる雄クジャクの尾羽

クトルの平衡点は力学的に安定であることがわかった(力学系モデルの中で勾配系と呼ばれるモデルに当たる)。世の中とは不思議なもので、一体となっている自主独立体の戦略群は進化のゴールへと一目散に収束するものなのだと不思議な気持ちだった。自主独立体の中では、戦略群の間での矛盾は起こらないのか、なるほど。では、あちらを立てればこちらが立たず、が起こるゲームの世界ではどうなるのだろうか? プレーヤーごとの適応度関数は同じ F で表せるわけではなく、戦略もそれぞれのプレーヤーの独自のものだろうから、矛盾が起こるかもしれない。戦略 x_i を各プレーヤーのものとし、適応度関数も各プレーヤーのもの (F_i) とした共進化モデルを考えると、やはり矛盾が起こった。そこで、ゲーム理論で平衡解の一つであるナッシュ解が進化のゴールにならない可能性を示すという研究に手を染めたりした (Takada & Kigami 1991)。

3. 適応度・デモグラフィ・生活史進化

一世を風靡した進化生態学の潮流の影響を受けて、一段と注目を集めたのは「適応度」であった。「適応度」の定義は、「個体あたりの次代に寄与する子供の数。ただし、生き延びて生殖年齢に達する子の数」とされている。例えば、ある個体が5個体の子供を産出したとする。それらの子供達が親と同じ繁殖年齢に達するまでかなりの数が死んで5分の1だけ繁殖年齢に達したとすれば、適応度は $5 \times 1/5 = 1$ である。適応度が1を超すかどうか、元の繁殖個体が子孫を増やせるかどうかの判定基準になるし、適応度が大きいタイプがよりたくさんの子孫を残し集団を席卷することになる。1930年代以降発展した集団遺伝学モデルでは、わずかの適応度の差が数十世代くらいの間に遺伝子頻度の大幅な逆転をもたらすことが示されているので、適応度という概念は進化を議論する土台として使われてきた。最適戦略モデルにおける適応度最大の戦略を求めるアプローチもそこを根拠にしているので、適応度が注目を集めるのは自然な流れであったが、適応度の定義はなかなかの曲者だった。まず、疑問になるのは、親個体が多回繁殖型であったら、「次代に寄与する子供の数」は多数回にわたる子供の数を単に足し算をしたら良いのか? である。その時、「次代に寄与する子供」は違う時期に成熟個体になるのだから、適応度に基づく未来計算の時間間隔は世代で良いのか? あるいは、繁殖するまでの時間が個体間で異なるなら、「生き延びて生殖年齢に達する子の数」はどうやって平均を取ったらいいのか? 世代を変更する戦略の進化を議論するとしたら、世代単位の適応度は使えなくなるのではないか? 実際に生き物の適応度を測定する困難さを無視しても、原理的な問題点を抱える定義であることがわかる。一生の間に多数回繁殖をすることによって、集団内には年齢の異なる個体達が混在している。その状況

を考えて、「世代が重複する集団」における適応度が必要になるのだが、すでに1930年に R. A. Fisher が

$$\int_0^{\infty} e^{-ra} l(a) b(a) da = 1$$

を満たすパラメーター r を適応度として考えている(実際には r の指数 $\exp(r)$ が適応度)。式中で、 $l(a)$ 、 $b(a)$ はそれぞれ、年齢 a の個体の生残率、繁殖率である。Fisher がその時にすでに知っていたかどうかはわからないが、この方程式はその二十年前に Sharpe & Lotka (1911) が生物集団サイズの年あたりの増加率を求めるために導いた式と同じで、今ではオイラー・ロトカ方程式と呼ばれているものである。DNA も発見されていないし集団遺伝学も確立されていない時代に Sharpe & Lotka が進化を議論する道具として使えることを意識していたかどうかはわからないが、そもそも、適応度概念を用いて生活史の進化を議論するためには生き物の一生全体を総合的に俯瞰しなければいけないのだから、Fisher がデモグラフィパラメーターである生残率や繁殖率を用いるのは当然の展開であったと思う。また、世代時間が異なる遺伝子型間の適応度を比較したければ、年あたりの増加率に基準化して適応度を計算するというのも必然的な流れだったろう。1世紀も前に組み立てられたこれらの理論は、他にも、平均寿命、世代時間、繁殖価などの個体群統計量が求められるほど整備されていた。

デモグラフィパラメーターを扱うモデルは、すでに80年代には別の文脈で新たな発展を遂げていた。それは、レズリー行列モデルに端を発するレフコビッチ行列モデルの出現とそのモデルを使った感度解析という手法の開発であった。スコットランド生まれの研究者レズリーは、1945年に後にレズリー行列モデルと呼ばれるモデルを提案した[§]。このモデルは、時間連続であつかわれていたロトカの研究をその三十年後に時間離散のモデルとして拡張したものだだったが、デモグラフィックパラメーターである各年齢の生存率を s_i 、繁殖率を b_i とし、それらのパラメーターを行列内に配置した単純なものであった:

$$\mathbf{x}_{t+1} = \begin{pmatrix} b_1 & b_2 & \cdots & \cdots & b_n \\ s_1 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & s_2 & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & s_{n-1} & 0 \end{pmatrix} \mathbf{x}_t$$

式中、ベクトル \mathbf{x}_t は各要素が各年齢の t 年目の個体数をあらわす個体群ベクトル (population vector) である。

[§]後に、レズリーよりも四年前に Bernardelli (1941) が、三年前に Lewis (1942) が同じ定式化を行っていたことがわかっている。

この行列の固有値方程式は、固有値 λ をパラメータ r の指数 $\exp(r)$ とすると、オイラー・ロトカ方程式と全く同じである。すなわち、レズリー行列の最大固有値は年あたりの適応度であるとともに、個体群動態における個体群成長率にもなっている。これら一連の理論研究の成果は、生活史戦略の進化研究とデモグラフィ（個体群統計）研究が固有値 λ を媒介にして密接な関係を持っていることを示していた。

ここで使われている行列はとても単純でゼロの要素が多く、10行10列の行列であれば、行列要素の81%はゼロであるから、大げさに行列を用いずに、10変数の連立差分方程式としてモデルを作っても良かったのだと思うが、固有値を求めると個体群成長率がわかることや、線形代数の知見とのつながりを示したかったのだろう。レズリーの論文を読むと、右固有ベクトルが定常状態での年齢構成に対応していることにも言及しているので、少なくとも彼にはその意図があったように思える。歴史的に見ると、このレズリー行列の出現がその20年後に新たな発展を遂げる一つの要因となったと思う。

4. 齢に基づかない新たなデモグラフィと感度分析

1965年、レフコビッチは、甲虫のタバコシバンムシの実験個体群のデータを用いて、日齢ではなく、卵、幼虫、蛹、成体という四つの生育段階に基づいて行列モデルを作成した：

$$\mathbf{x}_{t+1} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{pmatrix} \mathbf{x}_t$$

この導出では、未来の個体群ベクトルが現在の個体群ベクトルの各要素の一次結合で近似されるという仮定から出発している。その結果、面白いことに、この論文では行列要素の数が負の値を持つものまであった。それでも、やはりレズリー行列と同じように、行列から求められた最大固有値は個体群成長率を意味しているし、和が1になるように規格化された右固有ベクトルは定常状態での生育段階構成を意味している。このレフコビッチ行列においては、齢に依存して作られるレズリー行列と比べてゼロ要素の数が減少する。というのも、ある時間間隔の間に必ず次の生育段階に進むわけではないからである。複雑な生活史を示す動植物では、時には生育段階の退行もあるかもしれないが、このモデルのおかげで、そのような生き物の生活史を記述し、デモグラフィの解析を行うことも可能になった。実験個体群研究とは異なり、野外個体群の研究では個体の年齢を推定することが困難な場合が多い。

Lotka や Fisher の発想に基づく理論では、そのような野外集団の個体群成長率や適応度を求めることは不可能だったが、レフコビッチ行列の出現によって、多年生草本のような年齢推定が難しい生き物にまで個体群動態の解析や進化生態学的な考察が可能になったと言っていだろう。さらに、平均寿命、世代時間、繁殖価などの従来用いられていた個体群統計量は、1990年代初めにはすべて行列を用いて公式化されるように再編された (Cochran & Ellner 1992)。

この齢に基づかない新しい行列モデル（一般化されたことを記念して、以下では「個体群行列モデル」と呼ぶことにしよう）の登場は、それまでの個体群生態学理論では開発されなかった新たな個体群統計量、「個体群成長率の感度」や「個体群成長率の弾性度」の登場のきっかけにもなった。個体群成長率の感度とは、個体群成長率の行列要素による一回偏微分 $\partial\lambda/\partial a_{ij}$ のことである。行列の最大固有値は、当然各行列要素の多変数関数であるが、 λ を陽に各行列要素の関数として解析的に求めることは不可能に近い。しかし、キャズウェルは1978年の論文で、この一回偏微分が行列の左・右固有ベクトル (\mathbf{v} , \mathbf{u}) によって求められるという公式を導いた (Caswell, 1978)：

$$\frac{\partial\lambda}{\partial a_{ij}} = \frac{v_i u_j}{\sum_k v_k u_k}$$

左・右固有ベクトルももちろん陽に求めることはできないが、この公式の普及が様々な動植物のデータに対して感度解析が容易に応用される時代を築いた。Google scholar で Sensitivity analysis, elasticity analysis という単語を検索すると、数千の論文がヒットする。 λ を適応度と考えれば、この感度によって、適応度を容易に高めることができる生活史要素（生活史過程）を見つけてことができるのだから、最適戦略論や ESS 理論の勃興とほぼ同時期にこの公式が導かれたのも歴史の必然であったような気がする。

5. 平衡個体数感度と侵入可能性

今まで述べてきたように、進化生態学の大きな波とデモグラフィ理論発展の潮流は1980年代にほぼ同時に日本の生態学に押し寄せた。そこで、博士課程の終了後に、当時の研究テーマ、「個体間相互作用」「個体群の内部構造」の新たな展開を目指し、個体群行列モデルの研究にシフトすることにした。時間差分のモデルに挑戦するのは初めてだったので、どうなることやらであった。特に、個体群行列の密度依存版モデルの研究が旬になることを期待して、まず密度依存的行列モデルの平衡状態における感度公式を求めてみた（残念ながらこの期待は未だに裏切られ続けている）。すると、予想に反して密度非依存モデルの感度公式と全く同型となった。違いは、左・右固有ベクトル (\mathbf{v} , \mathbf{u})

が平衡状態の時の行列の固有ベクトルに変わるだけで何のお釣りも出なかった。これでは、何も新しくない、本当に困った。自分の解析結果が間違っているのかもしれない、間違っていればいいのに、と今でも思っている。進化生態学の大きな波の影響を受けていたこともあって、ちょうど翻訳に携わっていたシルバータウンの教科書(河野他訳 1992)の「自然選択とは集団動態学的過程である」という記述に心を強くし、密度依存の行列モデルの動態を使って再現しようと平衡状態への侵入条件を調べてみることを思い立った。平衡個体数感度($\partial N^*/\partial a_{ij}$)の公式を作り、その公式を利用した侵入条件を求めてみると、密度効果が負に作用する場合には、突然変異型の侵入を繰り返す結果、平衡個体数が増加する(K選択の理論的根拠)ということがわかった(Takada & Nakajima 1992, 1998)。当時は、密度効果が強く働くなら、進化は、平衡個体数があたかも物理量のポテンシャル関数のように大きくなる方向に起こり、それは個体間相互作用が弱くなったり生存率が高くなったりする各生活史過程の小さな進化の集積で実現されると思っていた。当時すでにr-K選択理論に当てはまらない生活史を持つ生物種の存在も認識され、r-K選択理論という二分法では生活史進化全体を説明できないということが明らかになってきていた。今思えば、私の研究は、モデルに設定された仮定が近似的に成立するある条件下ではK選択が起こるけれども、その仮定が大きく崩れることが自然界ではよくあり、K選択が起こらないことがままあるという逆説を示したものだっただけかもしれない。どのように仮定が崩れれば、どのようなことが起こるのか、の一般的な理論研究による生活史全体のパターン分類には今でも未練がある。

6. 個体群行列データベースと新たな解析手法

理論的に言えば、生き物の生活史進化理論は、デモグラフィーを扱うモデルから導かれる適応度が多数のデモグラフィーパラメーター(1世紀前には「各齢の生存率と繁殖率」と呼んでいたが、今やこのように抽象的な言い方しかできない)の多変数関数であることから出発する。多変数関数であるから解析には変数間の交互作用も考慮する注意深さと深さが求められる。おそらく、個体群行列の要素間には、物理学的・生物学的制約に起因する相関関係があるだろうから、種を超えたそれらの制約条件の様態に関する情報も必要になる。ひょっとしたら、制約条件さえもが進化の結果かもしれない。生活史パターンを分類し、多変数関数適応度を上手に扱ってパターン分化の進化的理由を明らかにする研究はEvolutionary demographyと呼ばれるが、生活史のパターン分類をするにしても多量の個体群行列の情報が必要である。残念ながら、二十世紀

の間はそれほど個体群行列のデータは集まっていなかった。1990年代になって「存続可能性分析(PVA)」に行列モデルが用いられるようになり、保全生態学的要請に応える研究が増加したこともあって、私個人の研究も生態学者の方々のデータを使わせていただく研究にシフトしていった。

この保全生態学研究の世界的繁栄はある副産物をもたらした。それは、生活史のパターンを研究するために使えるデータの蓄積である。2015年には、ついに藻類から樹木に至るまでの植物の個体群行列データベース(COMPADRE)がドイツのマックス・プランク研究所のプロジェクトの成果としてオンラインで公開されるようになった。続く2016年には動物のデータベース(COMADRE)が公開され、それらのデータベースの総種数は1200種にまでになり、データベースを利用したメタアナリシスが必要とされる時代が幕開けした(Salguero-Gómez et al. 2015, 2016)。多量のデータを解析するときに必要なものは、解析が目指す明確な方向性とそれを可能にする数理的道具である。Caswellによって開発された感度分析が保全生態学研究の繁栄を牽引したように、数理的道具としての新たな手法や個体群統計量の開発が今求められていると思う。生活史のパターン分類をするにしても、分類には分類の基準となる新たな個体群統計量が必要である。個人的には、Evolutionary demographyを研究するための数理的道具としてランダム行列を応用する研究に手を染めたが、理論的に綺麗な結果を出せずに少々苦しんでいる(Takada et al. 2018)。また、今後面白いと思われるのは、遺伝解析のデータに裏付けられた〈生育段階×遺伝子型〉行列モデルの解析手法と、(短寿命の生物で構わないが)個体の生涯を追いかけた実測データであると思う。個体の成長とともにどのような個体が消えていくのか、を知ることができる一生涯の中での遺伝子型動態のデータ。それを得ようとしている人々が世界のどこかにいるに違いない。それに伴って、新たな解析手法が必要とされるだろう。

この一世紀の間の個体群生態学理論の発展の歴史を振り返ると、歴史的発展にはあるルールがあり、およそ二十年から三十年の間隔で新たな展開を迎えているように思える。新たな理論や数理的道具が開発されるたびに、それらを応用した(する)データ蓄積が起こり、過去の理論の不十分な点を見出し、それを補うために新たなモデルが開発されるというフィードバック過程が繰り返されているように見える。個体群行列モデルの世界では、1986年の弾性度解析以降目立った個体群統計量は開発されていない(de Kroon et al. 1986)が、Evolutionary Demography Societyも2012年に設立された。ポチポチタイミングである。胸躍るこの歴史的発展にもう少し関わり続けていたいと思いつつながら、今日は倉式コーヒー店でチャを飲んでいる。

参考文献

- [1] Tansky, M. (1978). Switching effect in prey-predator system. *Journal of Theoretical Biology*, 70(3), 263-271.
- [2] 重定 南奈子 (2014) 数理生物学黎明期 — 研究室の物語 —, 数理生物学会ニュースレター No. 73; 22-26.
- [3] 稲葉寿 (2002) 数理人口学, 東京大学出版会
- [4] Koyama, H. and Kira, T., (1956) *Intraspecific competition among higher plants*. VIII. Frequency distribution of individual plant weight as affected by the interaction between plants. *J. Inst. Polytech. Osaka City Univ.*, D7: 73-94.
- [5] Takada, T., & Iwasa, Y. (1986). Size distribution dynamics of plants with interaction by shading. *Ecological modelling*, 33(2-4), 173-184.
- [6] Smith, C. C., & Fretwell, S. D. (1974). The optimal balance between size and number of offspring. *The American Naturalist*, 108(962), 499-506.
- [7] Maynard Smith, J., & Price, G. R. (1973). The logic of animal conflict. *Nature*, 246(5427), 15.
- [8] 酒井聡樹、高田壯則、東樹宏和 (2012) 「生き物の進化ゲーム改訂版」 共立出版
- [9] Edwards, A. W. F. (2000). Carl Düsingsing (1884) on the regulation of the sex-ratio. *Theoretical population biology*, 58(3), 255-257.
- [10] Taylor, P. D., & Jonker, L. B. (1978). Evolutionary stable strategies and game dynamics. *Mathematical biosciences*, 40(1-2), 145-156.
- [11] Zeeman, E. C. (1980). Population dynamics from game theory. In *Global theory of dynamical systems* (pp. 471-497). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [12] Takada, T., & Kigami, J. (1991). The dynamical attainability of ESS in evolutionary games. *Journal of Mathematical Biology*, 29(6), 513-529.
- [13] Fisher, R. A. (1930). The genetical theory of natural selection. *Clarendon Press*.
- [14] Sharpe, F. R., & Lotka, A. J. (1911). L. A problem in age-distribution. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 21(124), 435-438.
- [15] Leslie, P. H. (1945). On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika*, 33(3), 183-212.
- [16] Bernardelli, H. (1941) Population waves. *Journal of Burma Research Society*, XXXI, Part I, 1 - 18
- [17] Lewis, E. G. (1942) On the generation and growth of a population. *Sankhya: The Indian Journal of Statistics* 6:93-96.
- [18] Lefkovich, L. P. (1965). The study of population growth in organisms grouped by stages. *Biometrics*, 1-18.
- [19] Cochran, M. E., & Ellner, S. (1992). Simple Methods for Calculating Age- Based Life History Parameters for Stage- Structured Populations: Ecological Archives M062-002. *Ecological monographs*, 62(3), 345-364.
- [20] Caswell, H. (1978). A general formula for the sensitivity of population growth rate to changes in life history parameters. *Theoretical population biology*, 14(2), 215-230.
- [21] 河野昭一、高田壯則、大原雅共訳 (1992) 「植物の個体群生態学」シルバータウン著、東海大学出版会
- [22] Takada, T., & Nakajima, H. (1992). An analysis of life history evolution in terms of the density-dependent Lefkovich matrix model. *Mathematical biosciences*, 112(1), 155-176.
- [23] Takada, T., & Nakajima, H. (1998). Theorems on the invasion process in stage-structured populations with density-dependent dynamics. *Journal of Mathematical Biology*, 36(5), 497-514.
- [24] Salguero-Gómez, R., Jones, O. R., Archer, C. R., Buckley, Y. M., Che- Castaldo, J., Caswell, H., ... & de Buhr, H. (2015). The COMPADRE Plant Matrix Database: an open online repository for plant demography. *Journal of Ecology*, 103(1), 202-218.
- [25] Salguero- G ó mez, R., Jones, O. R., Archer, C. R., Bein, C., de Buhr, H., Farack, C., ... & R ö mer, G. (2016). COMADRE: a global data base of animal demography. *Journal of Animal Ecology*, 85(2), 371-384.
- [26] Takada, T., Kawai, Y., & Salguero- G ó mez, R. (2018). A cautionary note on elasticity analyses in a ternary plot using randomly generated population matrices. *Population ecology*, 60(1-2), 37-47.
- [27] de Kroon, H., Plaisier, A., van Groenendael, J., & Caswell, H. (1986). Elasticity: the relative contribution of demographic parameters to population growth rate. *Ecology*, 67(5), 1427-1431.

【第3回ニュースレター読者アンケート】

読者調査から見たニュースレターの実態と課題

ニュースレター編集部*

1. はじめに

この度はニュースレターを手にとって読んでいただき誠にありがとうございます。私たち編集部では、これまで2回のアンケート調査を実施し、読者の皆様のニーズが何なのかを見つけ出しご期待に応えられるように全力で取り組んできました。それもこの9月号でもって最後にはなりますが、私たち編集部が提供してきたニュースレターがこの2年間読者の皆様にご満足いただけるような内容であったのかを伺うため最後のアンケート調査を実施いたしました。そして今回は今までのアンケート内容に加えて、新たに「一番面白かった企画について教えてください」、「各企画の満足度について教えてください」「現在のニュースレターを楽しんでいただけていますか」、「今後も続けて欲しい企画について教えてください」、といったニュースレターの内容に関するご意見も頂戴いたしました。今回のアンケート調査を通して、読者の皆様が大変満足してニュースレターを楽しんでいただけていることがわかり、私たち編集部一同大変嬉しい限りであると同時に今までご愛読していただいた皆様に深く感謝申し上げます。

2. 読者層とバックグラウンド

はじめに読者層とバックグラウンドについて調査しました。前回同様、「アカデミックポジションに就いている読者」が40%以上を占めているのですが、それとほぼ同率で「大学院生」の方々からもニュースレターを読まれていることがわかりました。またバックグラウンドについては「生物学」が約55%と最も大きな割合を占め、他の分野はどれもほぼ同率であることがわかりました。

3. 認知度・活用の実態

続いて、ニュースレターの認知度と活用の実態を調査しました。ニュースレターの発行を知っている方の割合は100%でした。そのうち「毎号読んでいます」は約70%、「時々読んでいます」は約26%となり、全体でニュースレターを読んでいる方の割合が約96%という結果になりました。前回の調査では約75%の方が読んでいるという結果と比較してより多くの方がニュースレターを読むようになったことがわかりました。

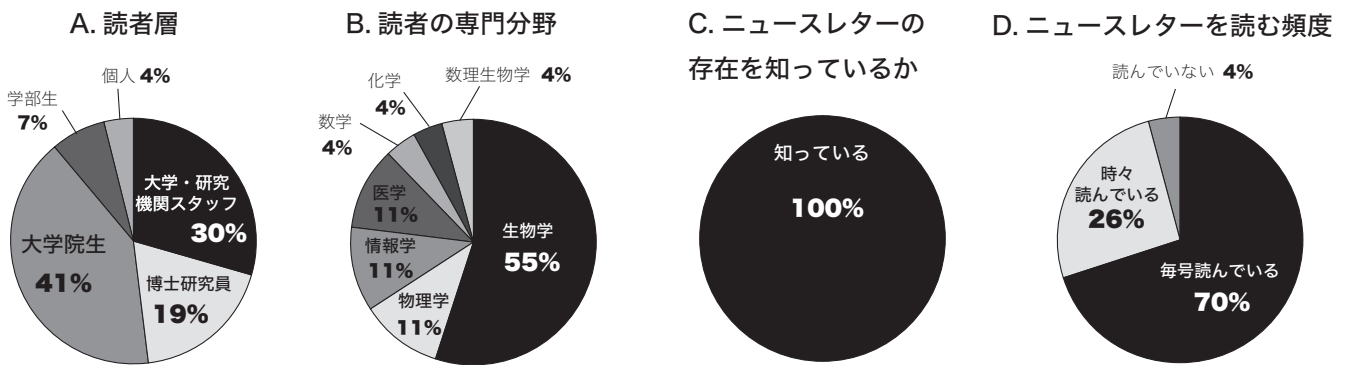


図1 ニュースレター読者の背景

*九州大学大学院理学研究院生物科学部門数理生物学研究室

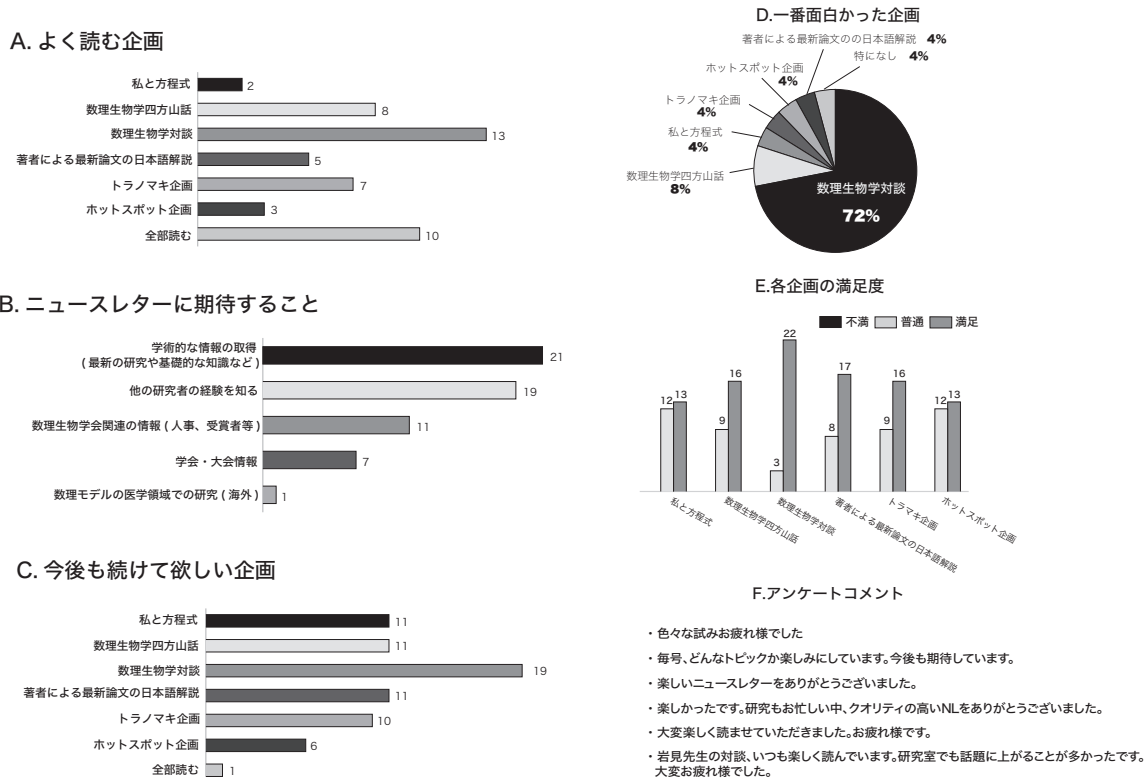


図2 企画の充実度、ニュースレターに期待すること、アンケートコメント

4. 企画の充実度

さらに、企画の充実度について調査しました。よく読む企画については「数理生物学対談」が約50%と半分以上の方が読まれていることがわかり、続いて「数理生物学四方山話」が32%、「トラノマキ企画」が28%という結果になりました。また、「全企画を読んでいる人」が40%という結果から多くの方が全企画を読まれていることがわかりました。次に一番面白かった企画について調査しました。一番票が多かったものは「数理生物学対談」であり、他の企画はどれもほぼ同率でした。そして各企画の満足度における調査でも「数理生物学対談」が「満足」だと答えられた方が最も多い結果となりました。コメントにおいても「岩見先生の対談、いつも楽しく読んでいます。研究室でも話題に上がることが多かったです。大変お疲れ様でした。」等の意見を頂戴したことから、以上の調査を通して「数理生物学対談」が全企画において最も人気のある企画だということがわかりました。そして全体を通してニュースレターを楽しんでいただけているかどうかを0から5段階の評価において調査したところ、5が60%、4が16%、3が24%となり、平均で約4.4と高評価をいただき、多くの方が現在のニュースレターを楽しんでいただけていることがわかりました。

5. ニュースレターに求めるもの

最後に、ニュースレターに対する皆様のニーズについても調査しました。最も期待された項目は、「学術的な情報の取得」でした。次に「他の経験者を知る」、「数理生物学会関連の情報」が続き、前回の調査がそのまま反映された結果となりました。今回の結果からも多くの方が「学術的な情報」の取得のためにニュースレターを読まれているということがわかりました。また、今後も続けて欲しい企画について調査したところ、「数理生物学対談」が最も高い割合で他の企画はほぼ同率でした。以上から多くの方が、「数理生物学対談」を中心に「学術的な情報の取得」を行なっているのではないかと考えられました。

6. 最後に

本アンケートを通して、私たち編集部が多くの皆様のご期待に沿ったニュースレターを実現できたことに一同大変嬉しく思っております。ここまで皆様に楽しんでいただけるようなニュースレターをお届けできたのは、本ニュースレターにご協力いただいた皆様のおかげです。本当に感謝に絶えません。この9月号でもって私たち編集部がみなさんにお届けするニュースレターは最後となりますが、今後ともニュースレターをご愛読いただけますよう、よろしくごお願い申し上げます。

学会事務局からのお知らせ

1. 2019年日本数理生物学会年次総会報告

2019年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：2019年9月15日（日）13:40～14:10

場所：東京工業大学デジタル多目的ホール

参加者人数：約20名

総会に先立ち、瀬野裕美氏が議長として事務局から推薦され、承認された。

■ 報告事項

1) 編集委員の交代について

九州大学の岩見真吾編集委員長（任期2017年10月から2019年9月）から、静岡大学の佐藤一憲氏（2019年10月から2021年9月）を編集委員長として一ノ瀬元喜氏（静岡大学）、宮崎倫子氏（静岡大学）、守田智氏（静岡大学）を編集委員として引き継がれることが報告された。

2) 2020年大会の開催場所

名古屋大学にて、時田恵一郎氏を実行委員長として開催することが報告された。また、時田恵一郎実行委員長より下記の日時で大会が開催されることが報告された。

場所：名古屋大学

日時：2020年9月20, 21, 22日

3) 2018, 2019年研究奨励賞受賞者、大久保賞の報告

2018年の研究奨励賞受賞者として、江夏洋一氏、立木佑弥氏が選出されたこと、2019年の研究奨励賞受賞者として、黒川瞬氏が選出されたこと、大久保賞受賞者として増田直紀氏が選出されたことが報告された。

4) 2021-2022年の役員選挙の実施

2021-2022年の役員選挙が実施されることが報告された。

5) その他

特になし

■ 議題

1) 2021年大会の開催場所

事務局からいくつかの大学に検討をしてもらっている段階であることが報告された。本来は二年前の総会で承認を得る必要があるため、早急に2021年大会の

開催場所を決定した上で、最終的な決定は運営委員会が行うことで承認された。

2) 2018年度決算、2019年度予算執行状況、2020年度予算案について

前年度会計幹事の江夏洋一氏より2018年度会計決算について報告があり、会計監査も含めて承認を得た。続いて2019年度予算執行状況並びに2020年度予算案について現会計幹事の中丸麻由子氏より報告があり、この提案について承認を得た。

3) 大久保賞選考委員1名の交代

山内淳氏の任期満了に伴い、佐竹暁子氏が推薦されて、交代が承認された。

4) 会計監事1名の交代

前会計監事の佐々木徹氏の任期満了に伴い、前幹事長の中岡慎治氏が会計監事に推薦されて、交代が承認された。

5) 学会員の管理、HPに関して

現在、土倉事務所に会員管理業務、ニュースレター送付業務等を委託しているが、管理体制の煩雑さから、今後見直しを含めて検討をすすめることが承認された。

6) その他

・2026年以降にSMBと合同会議をすることに関して
Society of Mathematical Biology(SMB)は2022年に韓国との共催の合同会議を、2024年にEuropean Society for Mathematical and Theoretical Biology (ESMTB)との共催で合同会議をすることになっている(奇数年は、米国内で開催する)。そのため、JSMBとの共催は2026年以降になる。JSMBとしてSMBとの合同会議に対して、どのような立場で臨むのか、2026年の国際大会へどのように取り組むかについて、運営委員会で方針を決める事で承認を得た。また稲葉寿会長から、2019年8月にCIJKがあり、4年後にCIJKを日本でやることになっている予定であるのでJSMBの国内の大会と合同で行うなど視野に入れてほしいとの意見が提示された。

2. 第14回(2019年)

日本数理生物学会研究奨励賞

選考委員会は、本年の研究奨励賞を以下の方に授与することに決定いたしました。

黒川瞬(高知工科大学)

以下に選考委員からの報告を掲載いたします。

今年度は2名の応募者があった。両応募者の本賞についての資格については問題なしと認めた後、2名の応募者を候補者として選考を行うことに決定した。候補者が2名だったので、第一段審査は行わず、それぞれの候補者が授賞にふさわしいか否かを議論した。まず、個々の審査員が、各候補者に対して評価の意見を提出し、それを土台とした選考委員会全体での議論を進めた。議論に挙がり、本選考委員会で申し合わせた重要な項目として、近年は毎年2名が受賞しているが、必ずしも2人の授賞者を出す必要はないこと、本学会への寄与に関する評価については、賞の細則に照らし合わせた結果、基準として用いることを必ずしも正当化できないこと、論文数や引用等の評価をどのようにすべきか、生物学への寄与の程度をどのように判断するか、国際共同研究をどのように評価するか、などがあった。議論の後、各候補者への授賞の採否についてそれぞれの選考委員が独立に各候補者への絶対的な評価として投票を行い、その結果に基づいて本委員会として推薦する候補者の最終案を決定した。

選考に際しては、主要論文の質、論文数、引用数、論文への貢献度、自立性、国際共同研究、実証研究者との協働、学会活動などの従前から検討されてきた評価軸を再検討した。そして、それらに対する従前の評価基準にとらわれずに多角的な評価を行った結果、1名の授賞候補者を推薦する結果になった。

授賞者の黒川瞬氏は、2013年に東京大学大学院理学系研究科において博士号を取得した。その後、約2年半の期間、企業で働いた後、京都大学と中国科学院でのポスドクを経て、2017年10月に、現職である高知工科大学経済・マネジメント学群助教(任期付き)に就職した。黒川氏の専門は、進化ゲーム理論、特に協力行動の進化とその周辺の話題である。数理解析に卓越し、協力行動の進化の数理的基盤について一貫して研究を行っている。有限集団における協力の進化や、情報が不完全な状況における協力の進化などについて数理解析を行い、顕著な業績を著していると評価できる。企業就職でアカデミアを離れていた期間があるにもかかわらず論文の生産性が高く、国際的にも評価されている雑誌にも論文が掲載されていること、国際的な共同研究の発展にも積極的に取り組んでいると評価できること、研究の方向性については数学的な側面に重点がある特徴が認められること、一方進化を含む生物学的な議論についてはまだ発展できる余地が多

くあると考えられること、などの意見が出された。

今回の選考においては、結果的に1名のみを推薦することになった。しかし、本選考委員会としては授賞の閾値を上げた選考を行ったとは考えておらず、その閾値が高いという印象を持たれることを望むものではない。本選考委員会は、再チャレンジも含め、様々な若手研究者からの応募が続くことを願っている。

以上、本選考委員会として、会則における「数理生物学に貢献をしている本学会の若手会員の優れた研究を表彰することにより、研究の発展を奨励しわが国の数理生物学の一層の活性化をはかる」という授賞基準にふさわしい研究者として、黒川瞬氏を日本数理生物学会研究奨励賞の授賞者として推薦する。

日本数理生物学会研究奨励賞選考委員会
増田直紀(委員長)、加茂将史、瀬野裕美、
時田恵一郎、三木健、山内淳

3. 会費納入のお願い

日本数理生物学会の年会費は2019年1月～12月の1年分で

正会員	3000円/年
学生会員	2000円/年

です。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。また、会員は年会で発表することができ、学会役員選挙において投票することもできます。今年度または過去の会費未納の方は、下記口座への納入をお願いいたします。

【ゆうちょ銀行の振替口座】

口座番号:00820-5-187984

口座名称(漢字):日本数理生物学会

口座名称(カナ):ニホンスウリセイブツガツカイ

【ゆうちょ銀行以外から振込】

店名(店番):〇八九(ゼロハチキュウ)店(089)

預金種目:当座口座番号:0187984

4. Biomath メーリングリスト登録のお願い

日本数理生物学会では、会員と会員でない数理生物学に関心をお持ちの方々との交流や情報交換を目的とする、Biomath メーリングリストを運営しています。Biomath メーリングリストには、学会や会員からの重要な情報(大会情報、国内外の公募情報、研究会や定例セミナーの情報、学会賞の情報など)が投稿されますので、日本数理生物学会に新規に入会される際には、合わせて Biomath メーリングリストへの登録をお願いしています。また、現在会員の方で Biomath メーリングリストに未登録の方にもぜひ登録いただきますようお願いいたします。つきましては、未登録の方には、お手数ですが、以下のいずれかの方法で Biomath メーリングリストへご登録ください。

- (1) Biomath メーリングリストに自分で登録する：
登録は本文も件名も空白の電子メールを biomathml-subscribe@brno.ics.nara-wu.ac.jp にお送りいただくと、確認メールが返送されます。それに返信していただくと入会することになります。
- (2) Biomath メーリングリストに登録するが、登録作業は事務局にしてもらいたい：
登録を希望する電子メールアドレスを事務局までお知らせください。

登録された皆様の電子メールアドレスは厳重に管理します。登録者以外からは投稿できないシステムになっておりますので迷惑メールの心配もありません。配送頻度も週に1通程度となっております。その他、Biomath メーリングリストに関しましては

<http://jsmb.jp/biomath/biomath.html> に記載しております。合わせてご覧ください。

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、ニューレター送付先など)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い合わせください。それ以外の事項につきましては、幹事長の岩田繁英(secretary@jsmb.jp)へお問い合わせください。

6. 事務局連絡先

幹事長 岩田繁英 (Shigehide Iwata)
会計 中丸麻由子 (Mayuko NAKAMARU)
幹事 大泉 嶺 (Ryo OOIZUMI)
幹事 立木佑弥 (Yuya Tachiki)
〒108-8477 東京都港区港南4-5-7
東京海洋大学学術研究院 岩田繁英
E-mail: secretary@jsmb.jp

また、業務の一部委託先は次の通りです。
土倉事務所内 日本数理生物学会
〒603-8148 京都市北区小山西花池町1-8
Tel: 075-451-4844 E-mail: bwa36248@nifty.com

編集後記

時代の要請もあり、近年、皆がこぞって“異分野融合”を掲げた研究を実施している。ポリシーがあろうがなかろうが数理科学研究が異分野と融合(あるいは協同し)、数理生物学のような分野が広く認知されることは、個人的には賛成である。僕もそのうちの1人であり、どちらかという研究対象にポリシーなく異分野融合研究を楽しんでいる。いつも生意気なことを言ってる割にはポリシーも持たずに研究しているのか、と怒られそうである。例えば、自分はこのマーカーを発現しているこの細胞にしか興味がなくこの細胞をずっと研究している、私はこの現象にしか興味がなくこれまでこの現象のみを研究してきた、僕はこの分野に興味がありこれからもこの分野の研究を進めていく。そのような確固たる信念を持つ研究者と出会う度に、心の底から尊敬して、この人はサイエンティストなんだな、と感心する。数理科学を背景に持つ僕の場合、特定の現象や分野への興味よりも、数理モデルを駆使した自分の研究が現在の生命科学分野でどこまで通じるのか?、現在の生命科学をどのように変えられるのか?、ということに興味がある。そういう意味で、ポリシーはある。また、いつもそうなのだが、分野を問わずに、好きな人としか共同研究をしない。その人と一緒に仕事をすることで、この研究を楽しめるのか?、その研究は刺激的なのか?、をまず初めに考える。だから、僕と一緒に共同研究をしている人たちは学生を含めて全員が本当に良い人である。信頼関係がないと良い研究には繋がらないし、真の異分野融合にはならないと思っている。なので、僕の中で自分たちが実施している異分野融合研究は非常にしっくりきて、何の違和感もない。よく「異分野融合研究は難しい」とか「異分野融合研究に失敗した」などの声を方々で聞かすが、僕から言わせてもらえば、それはお互いが信頼関係が築けていないか、あるいは、どちらの分野の人も相手の分野にディープダイブできていないことが原因であろう。私達の場合、自らが相手の分野に入り込んで、たくさん話して飲んで異分野融合研究を進める。この方法が最善策であるかどうかは分からないが、1つの良策であると思っている。数理生物学会の良いところは多様な背景を持つ人が多く、そもそも数理生物学の研究には他分野の知識が必要である点だ。みんながみんな異分野融合研究をする必要はないが、少なくとも数理生物学会には異分野融合研究を育む豊かな土壌が広がっていると思う。また、クラシカルな数理生物とモダンな数理生物は、互いに排他的ではなく共存していかなければならない。そして、自身を含めた上の世代の研究者は時代の流れを讀めていないナンセンスな固定観念に囚われることなく、次の世代の若手研究者が良い研究ができるように数理生物学会をより良

くしていく責務があると思っている。

皆様、私達編集部が2年間に渡ってお送りしてきた数理生物学会ニュースレターはいかがでしたか？楽しんで頂けましたか？もちろん、最終号も皆様に楽しんでいただけるよう、全力でお送りしております。次号からは新しい編集部が私達とは違った色のニュースレターを届けて下さると思います。皆様、引き続き、どうぞよろしく願いいたします。最後になりましたが、九州大学理学部生物学科数理生物学研究室のメンバーには大変な負担をかけてしまったことを反省しております。特に、日々の研究で忙しい中でさえ、彼らが文句ひとつ言わずに協力して下さった事には頭が下がり、大変感謝しております。

日本数理生物学会ニュースレター No89

2019年9月発行

編集委員会 委員長 岩見真吾・巖佐庸・三浦岳

siwami@kyushu-u.org

国立大学法人 九州大学

大学院理学研究院生物科学部門

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744

ウエスト1号館9階C棟 数理生物学研究室

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

日本数理生物学会
2018年度決算

会計 江夏 洋一

一般会計		2018年度予算	2018年度決算
収入			
繰越		6,972,888	7,210,020
会費		1,000,000	965,800
大会還元金		0	79,855
利子等		0	5
	計	7,972,888	8,255,680
支出			
ニュースレター	過年度発送費など	0 (*1)	30,528
ニュースレター-N84	冬印刷	90,000	74,844
ニュースレター-N84	冬郵便	30,000	30,560
ニュースレター-N85	春印刷	90,000	94,284
ニュースレター-N85	春郵便	30,000	31,718
ニュースレター-N86	秋印刷	70,000	92,340
ニュースレター-N86	秋郵便	40,000	0
会費請求		40,000 (*2)	35,714
名簿		150,000	0
選挙		0	147,465
通信費等	通信費	5,000 (*3)	6,969
	ドメイン名経費	3,000	2,916
	奨励賞経費	15,000	0
	サーバ維持費	40,000	32,076
事務局経費	外部委託	400,000 (*4)	358,884
	事務諸経費	7,000	2,592
特別会計へ		100,000	100,000
	小計	1,110,000	1,040,890
予備費(次年度繰越)		6,862,888	7,214,790
	計	7,972,888	8,255,680
特別会計			
収入			
繰越		2,808,563	3,208,563
繰り入れ(一般)		100,000	100,000
	計	2,908,563	3,308,563
支出			
年会大会費		400,000	0
CJK大会費(含 託児支援)		0	0
大久保賞関連		0	0
SMB合同大会費(含 若手旅費援助)		0	462,580
	小計	400,000	462,580
予備費(次年度繰越)		2,508,563	2,846,003
	計	2,908,563	3,308,563

備考

- (*1) ニュースレター-N83(2017年度分)の
発送費(秋郵便代)として
- (*2) うち1,640円は2017年度会費請求費として
- (*3) うち1,251円は2017年度通信費として
- (*4) 2017年度事務委託費として

監査報告

日本数理生物学会の2018年度の収入および支出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。

2019年9月15日

会計監事 佐々木 徹

日本数理生物学会
2019年度予算執行状況・2020年度予算

会計幹事 中丸 麻由子
(執行状況は2019年9月11日現在)

一般会計		2019年度予算	2019年度執行状況	2020年度予算
収入				
繰越		7025617	7214790	7100000
会費		1000000	936059	1000000
大会還元金		0 (*5)	0	0
利子等		0	5	0
	計	8025617	8150854	8100000
支出				
ニュースレター	過年度	0 (*1)	31760	35000
ニュースレターN87	冬印刷	90000	92340	95000
ニュースレターN87	冬郵便	30000	31760	35000
ニュースレターN88	春印刷	90000	92340	95000
ニュースレターN88	春郵便	30000	0	35000
ニュースレターN89	秋印刷	70000	0	95000
ニュースレターN89	秋郵便	40000	0	40000
会費請求		40000	10004	40000
名簿		0	0	0
選挙(含 発送費, 旅費)		120000	0	0
通信費等	通信費	5000	1203	5000
	ドメイン名経費	3000	2916	3000
	奨励賞経費	15000	18036	15000
	サーバ維持費	40000	0	40000
事務局経費	外部委託	400000 (*2)	344542	400000
	事務諸経費	7000	6642	7000
特別会計へ		100000	100000	100000
	小計	1080000	731543	1040000
予備費(次年度繰越)		6945617	7419311	7060000
	計	8025617	8150854	8100000
特別会計				
収入				
繰越		3208563	2846003	2730564
繰り入れ(一般)		100000	100000	100000
寄付		0	0	0
	計	3308563	2946003	2830564
支出				
年会大会費(含 託児支援, 旅費)	(*3)	400000 (*4)	0	400000
CIJK大会費(含 託児支援)		0	0	0
大久保賞関連		0	215439	0
SMB合同大会費(含 若手旅費援助)		1000000	0	0
	小計	1400000	215439	400000
予備費(次年度繰越)		1908563	2730564	2430564
	計	3308563	2946003	2830564

備考

(*1) ニュースレター86号(2018年度分)の発送費(秋郵便代)として

(*2) 2018年度事務委託費として

(*3) うち300,000円は託児支援として

(*4) 今の見積もりでは年大会会費で年大会が運営できそうだが、年大会会費の入金状況によっては、特別会計より支出が必要

(*5) 年大会が終わり次第計算