

# 日本数理生物学会

## ニュースレター

第95号

2021年9月





## 追悼 三村昌泰先生

### 若き日の三村さん — 追憶と感謝

三村昌泰様ご逝去との突然のお知らせに、私はとても信じられない思いで暫く茫然としていました。

三村さんと私は同い年で、共に京都大学で学んだかけがえのない友人でした。長いお付き合いでしたので何からお話して良いか迷ったのですが、皆様があまりご存知ないのではと思われる、京大の学生時代から広島大学に移られるまでの、京都で過ごされた若かりし頃の思い出を話させていただきます。

京都大学での三村さんの指導教官は山口昌哉先生、私の方は寺本英先生、お二人のご専門はそれぞれ数学と物理学でした。ところが、私達が大学院生の頃、お二人は日本ではほとんど注目されることのなかった数理生物学に興味を持たれるようになり、やがて寺本研究室では数理生物学セミナーが定期的で開催されるようになりました。そして、山口先生が三村さんと一緒にセミナーに参加して下さったのが最初の出会でした。

1970年、三村さんは大学院を修了されると直ぐに神戸にある甲南大学に採用され10年間勤められました。ただ、お住まいは依然京都でしたので、寺本研究室にはしばしば立ち寄って下さり、それまでと変わらぬ気さくで楽しい研究交流が続いたのです。中でも忘れがたいのは、当時日本ではまだ殆ど話題になっていなかった非線形力学系の分岐理論やカオス理論などについて、いち早く紹介して下さった事です。私も含め研究室のメンバーは、自ら構築した数理モデルの解析に役立てようと、夢中になって勉強していたのが懐かしく思い出されます。

1976年に三村さんはOxford大学のMurray教授の研究室に留学されました。その時お聞きした“優雅でダイナミック”な体験談は、私の留学願望を益々駆り立てました。

1979年、私達家族(夫、息子、私)はNew Yorkにいました。夫と私は、それぞれ希望するNew Yorkの大学に留学を果たしたのです。ある時三村さんから電話があり、“今、New Jersey州Rutgers大学のH. Othmer教授の研究室に滞在しているのだけど、暫く研究に没頭していたので息抜きにNew Yorkに遊びに行ってもいい?”と言うお尋ねでした。もちろん私達は大喜び

でお迎えしました。来られた時は少しお疲れの様でしたが、久しぶりの再会なので積もる話は尽きませんでした。私は、そろそろ夕食の準備をとその日たまたま手に入ったロブスターの料理を始めると、三村さんがやってきて、讃岐うどんを作ってあげようか?メリケン粉はある?とおっしゃったのです。私は三村さんのお疲れもすっかり忘れて即座に“お願い!”とお返しました。三村さんのメリケン粉をこねる手つきはまるで玄人の様、最後にポリ袋に入れて足でしっかり踏んで出来上がり。お陰でとてもユニークな和洋折衷料理に仕上がりに、みんなが“美味しいね”と何度も呟いたので、三村さんも私もとてもHappyでした。

翌日は、三村さんが新聞で見つけたNew Yorkで開催されるポール・アンカのライブを聞きに行かれました。それはとても満足されたようで澁刺として帰ってこられました。学生時代にバンドを結成した事もある三村さんの音楽好きが彷彿される一齣でした。

それから1年後、三村さんは広島大学に移られ、お会いするのは主に研究会や学会、国際会議になりました。いつも話題は、新しい分野「現象数理学」の事でした。そしてついに、明治大学にその研究拠点MIMSが創設されたのです。三村さんの溢れんばかりの情熱と確かな実行力には感動させられるばかりでした。

三村さんは私に沢山の楽しい思い出を残して下さいました。同時に、私が切羽詰まっている時には、何時もさっと手を差し伸べて下さった優しく暖い方でした。

心よりご冥福をお祈りいたします。

重定南奈子

### 三村先生の思い出

原稿の依頼をお受けしたとき、研究に関することよりも三村先生の昔の思い出や人となりを想像できるような文章を書くことにしました。

三村先生と初めてお会いしたのは広島大学大学院修士課程の入学試験の面接のときでした。先生の研究室を希望する切っ掛けは、広島大学に進学した大学時代

の先輩から今度新進気鋭の教授が着任して、面白いことを研究しているので受験してみないかと誘われたからです。それがなければ、三村先生に研究のご指導を受けることもありませんでした。

修士から博士課程にかけては重定-川崎-寺本モデルの定常解の存在を、その後 Hodgkin-Huxley モデルの2種類の進行波解の存在を調べていました。ある時、コックローチモデルをやらないかと先生から共同研究を持ちかけられました。当初1次元モデルでは左右を見て個体数の多い方に異動する特徴を持つ生物モデルでした。議論の中で2次元に拡張するにはどうしたらいいだろうということになり、直接個体数を評価するのではなく糞などの排出物の効果を入れるのが良いだろうということになりました。結果として増殖項を持つ Keller-Segel モデルに行きつきました。数理モデルの作り方に関して多くの教えを頂きました。

修士2年の時、三村先生は外国出張が多く、夏休みに2週間帰国されその間も宮崎大学で研究集会を開催されるなど、お忙しくされていました。ほとんど直接指導を受けることなく修士論文を書くことになりましたが、論文提出日に研究室に何うと「出しといて、これから帰るから」と言われてびっくりしました。明日には修論が帰ってくるからじっくり見るよ、表題とページ数さえ変更なければいいのと言われました。大らかな時代だったのかもしれませんが。

また博士1年の夏休み連日のように1対1でセミナーをしました。これからは特異摂動法も重要な解法の1つだよと、FiFeの論文を中心に読みましたが、日本にこの方法を広めたのは三村先生ではないでしょうか。その頃はこの方法に興味を持つ研究者は少なく私の知る限りでは故細野雄三先生、伊藤正幸先生などが精力的に研究をされていました。その後、西浦廉政先生、藤井宏先生が特異極限法を開発され解の安定性の議論ができるようになりました。

三村先生は若いころスポーツを楽しまれていて、旧広島大学千田町キャンパス時代はソフトボールに明け暮れていました。お昼時間はグラウンドで数学教官チームの一員として1塁を守られていました。あまりにも真剣になりすぎて、数学科のソフトボール大会で教官2名が試合中に骨折してしまいました。そのうちの1名が三村先生です。その後テニスに移られ、ご子息にも熱血指導をされたようです。研究連絡で伺った時、広島大学の小林亮先生と三村先生対私とご子息で試合をしたことがあります。奥様も観戦に来られ白熱した試合に応援を頂きました。楽しい思い出です。

三村先生の恩師は故山口昌哉先生です。山口先生も厳しい方だったようで、三村先生が研究成果がなかなか得られない時期、先生の研究室の前の廊下を避けて行かれたと聞いています。三村先生は学生の頃ギターが趣味で、山口先生から研究者になるのかギターで飯

を食っていくのかはっきりしなさいと言われ、研究者の道に進まれたそうです。山口先生とは亡くなられる少し前に瀬田駅のバスターミナルでお会いして、大学までの車中で「今、数理社会学に興味があって…」と熱心に話されていたことが印象的でした。三村先生に最後にお会いしたのは明治大学の退官記念パーティーでしたが、「これからどうされるのですか」とお聞きしたところ、まだまだ研究するよと言われていました。その後、武蔵野大学に移られました。

最後に連絡を取り合ったのは今年の10月頃でした。「現在は、脳腫瘍に関連している Glioma invasion のモデリングを研究しています。話す機会があれば嬉しいです。」と暖かいお返事を頂きました。研究への情熱は尽きることなく、恩師の山口先生の教えを受け継がれたのでしょうか、私も三村先生の研究に対する真摯な取り組みを見習いながら現在も研究を続けています。

三村先生ありがとうございました。ご冥福をお祈りいたします。

日本数理生物学会会員  
辻川 亨



### 三村先生が残してくれたもの

森田善久（龍谷大学）

突然の三村先生の訃報に接してから、この原稿を書いている時点ですでに3ヶ月経ちましたが、その衝撃があまりに強く、未だにどこか受け入れられずにいる自分を感じます。追悼記事の依頼を受け、大変光栄なことなのでお引き受け致しましたが、業績等はとても語りきれないので個人的な思いをしたためることで、この記事を読まれる方々と三村先生を偲ぶ気持ちを少しでも共有できたら幸いです。

大学院に進学した頃、数理生物（あるいは生物数学）を研究したいという希望を持っていました。それは、三村先生の影響に他なりません。故山口昌哉先生が主催されていた土曜日のセミナーで、特異摂動法を使った反応拡散系の空間パターンの研究や、現在、数学分野では Shigesada-Kawasaki-Teramoto モデルとして確立している交差拡散競合系の棲み分け解の研究にいち早く着手し、その成果を講演されていた三村先生を今でも思い出します。とても格好い数学に見えて、このようなパターン形成の研究が将来できたらと憧れました。三村先生は昔からエネルギーで人を惹きつける魅力に富み、周りの者をその気にさせる不思議な力がありました。お弟子さんを始めとして多数の人た

ちが大きな影響を受けているのは、研究テーマの面白さだけでなく個人的な魅力に依ることは容易に想像できます。

三村先生の口癖とも言ってもいいのではないかと思うことに、「なんでその問題やるの?」、「その研究のどこが面白いの?」という問いかけをよく耳にしました。もちろん、もう少しソフィステートされた形で質問されるのですが、親しい間ではこんな感じです。このような質問は、ある問題を研究するなら、どうしてその問題に取り組むかについて研究者は自分の意見を持つべきであり、また、そのどこが面白いかわかっていながらこそ、その問題に気持ちを込めて取り組めるはずだ、という意味での問いかけでした。これは三村先生自身の研究にかける姿勢そのもので、この問題のどこが面白いから研究しているのだ、という研究に対する強い思いを常に大事にされており、それが周囲の人々に対する影響力になっていたのだと思います。たまに講演者の研究の面白さが掴めず、否定的なニュアンスで講演者に質問することがあるのですが、一旦その問題の本質をつかむと、この問題なかなか面白いやろ、と周りの人に宣伝するくらい自分の問題に昇華されているのを何度か見ました。この前言っていたことと違うな、と思いつつ、新しいものをいつの間にか吸収して研究の幅を拡げていく三村先生の凄さを実感します。数学者の場合、研究に打ち込むと内向きになる傾向がありますが、三村先生はそのオープンな性格から周囲をうまく巻き込みながら数理生物に限らず応用数学の幅広い分野で、新しい領域を開拓し重要な貢献をなされました。三村先生は所属を何度も変わられていますが、それと呼応するかのよう研究の幅を広げていき、明治大学で現象数学という新しい分野の構築に向かったのも、その開拓精神と内から湧き上がる情熱の自然な帰結に見えます。

私個人の話で恐縮ですが、最初はなかなか研究を認めてもらっている気がせず、垂鈴領域における反応拡散系の縮約系を導いたとき、そういうことができるんだね、と言ってもらえ、やっと認められた気がしました。最近になって、君は歳を取ってきからの方が良くなってきているね、というお褒め言葉を頂けるようになり励みになっていたのも、残念でなりません。今ごろ、向こうの世界で後輩の細野雄三先生とお二人で、イタリアワインを前に、きっと若かった頃の話で盛り上がっているかな、いや、細野君この問題面白いやろ、一緒にやらない? という声が聞こえてきそうです。

## 先生と私と東大数理

稲葉寿 (東京大学大学院数理科学研究科)

新型コロナ流行中に届いた三村先生の訃報はとてもショックだった。東京での仕事を終えて広島に帰られて、さあこれからというときである。はやすぎる。ちょうど我々の共通の恩師である山口昌哉先生と同じく、御自分の仕事を十二分に果たされて、足早に去っていかれたのは、しかし先生らしいとも言えるなあ、と嘆息した。三村先生の多産多彩な経歴の全貌についてはほとんど知らないままでしたから、私自身の運命にとって決定的な出会いだった三村先生の東大数理時代について記して、追悼の文とさせていただきます。

### 1 邂逅

三村昌泰先生とぼくの最初の出会いがいつであったか、良く覚えていない。山口先生の京大工学部時代の高弟として、学生時代から名前は良く知っていたと思うけど、おそらく直にお目にかかったのは、1991年10月の京大数理研における第二回数理生物学シンポジウムではなかったか。数理生物学シンポジウムは、1989年に三村先生、山口先生、寺元英先生等の主導で発足した数理生物学懇談会(JAMB)の年會に相当していた。

しかし最初に挨拶以上の話をしたのは1992年の6月、フランスはPauでのコンファレンス第3回 Mathematical Population Dynamics だったと思う。この會議は1986年に第一回が開催され、その後3年おきに開かれていた、かなり数学的な内容の會議だが、80年代における数理個体群動態学の興隆を象徴する會議だった。Pauには約200名が集まった。ホストはこの分野のリーダの一人だったOvide Arinoで、後年、彼はこのシリーズの會議中、ポーランドで客死したと聞く。いまは彼の息子さんであるJulienがやはり生物数学研究者として跡を継いでいる。この會議のプロシーディングスは3巻本として出版される予定だったが、残念なことに第1巻を出しただけで出版社が倒産した。おかげで第3巻に収録されるはずで、査読もすんでいた僕の論文はいまだにワーキングペーパーのままである。

Pau會議の直後、アムステルダムのCWIに場所を移して、Odo Diekmannの主催で僕たちは小さな會議をもった。そこで何を話したかも良く覚えていないのだが、僕のPhD指導教員であったDiekmannと三村さんが親しい間柄であったことが、その後の僕の進路にかかわってくる。ちなみに、僕をDiekmannに紹介したのは山口先生であったから、発端はすべて山口先生である。無常なことに、ライデン留学時代から知遇を得て、アムステルダムでも再会したDiekmannの奥さんと、CWIで初対面だった若き数学者のBetty Tangはその後亡くなってしまった。





写真1 Pauにて。左からOdo Diekmann, 三村先生, Hans-Otto Walther



写真2 Amsterdamにて。左から三村先生, Diekmann 夫人, Glenn Webb, Odo Diekmann

## 2 転進

1995年の春頃であったか、僕は当時勤務していた厚生省人口問題研究所を辞めるつもりで、駒場に赴任されていた三村先生を一研(旧駒場南寮を改造した研究棟)に訪ねた。新築された数理棟に移転する前の話である。どこかの大学の口を紹介してもらおうとおもったのであるが、今思うとずいぶん虫のいい頼み事であるけど、その頃の人事はそんなものだった。三村先生に相談したのは、軽井沢であったC&Cセミナーで山村則男先生に会って、偶々そういう話しになって勧められたせいであったかもしれない。

人口研を辞めようかと考えたのは、省庁再編のあおりを受けて研究所の再編成の話しが進行中で、その過程で部長や所長に不信感を持ったことがきっかけだった。当時、厚生省の労働組合「全厚生」の研究所支部長として、いろいろな交渉があるなかで、研究所指導部の定見のなさに愛想が尽きたというところが本音だった。しかし10数年も大学外にいた人間が、そうおいそれと戻れるポジションなどあるはずがない。大学院重点化とともに単独の研究科として理学部から独立した東大数学科が、大学院数理科学研究科として発足し、三村先生が応用数理のキーパーソンとして赴任

されたばかりのことである。先生の提案はこうだった「次年度に助教授を6名ほど採用する予定で公募があるから、よかったら応募してみないか。」

そのとき何を考えたのかはあまり記憶にない。だめもとで応募してみようとは思ったが、東大には何の縁もなかったし、純粋数学とはかけ離れた数理生物学や人口数学が評価されると思えなかったので、結果を期待していたわけではない。しかし三村先生が主導して応用数理を拡充していこうという路線には共鳴したと思う。伝統的な数学科では僕は当然採用されないだろうし、やっていけるはずもない。実際、一度京大教養部への異動の話が流れたことがあった。

9月になって、しかし意外なことに、三村先生から「採用について内定した。ついては研究所長に割愛の挨拶にかがいたい」という電話があった。当時の落合研究科長と三村先生が、来所されて、話しはとんとん拍子に決まってしまったが、一つだけ気になることがあった。所長に会う直前に、3人で話したときに、落合さんが、「東大数学科には、一度外に出ないと助教授を教授に内部昇格させないという内規がある。それでもいいか」というのである。僕は驚いた。ぼくのようなそもそも外部からきた人間にもそれを適用するのだろうか？応募要項に書いていない条件を割愛願いの面会直前にだしてくるとはどういうことか？

今の僕なら、そういう労働条件を確かめずにオファーを受けることはなかっただろうと思う。しかし、これから所長に会うというときにちゃぶ台をひっくり返す勇気というか、機転は、そのときの僕には無かった。ただ、いずれは外に出て行くのだから、それもいいかと漠然と考えていた節がある。今思うと、お二人も異動は教員の常で、あまり重要なこととは考えていなかったのではなかったか。一介の助教授のキャリアパスまで心配してくれた形跡はない。しかしこのことは、ある意味で長く後を引く問題であった。割愛について当時のA所長に異存は無く、ぼくは翌年4月に東大数理に「出向」した。当時は同じ国家公務員だから、辞令は「辞職」「採用」ではなかったのである。

駒場に着任してしばらくして、落合先生が電話してきて、「あなたに関しては例の内規は適用しないことになった」と告げられた。電話一本ですませるような話しではないだろうに、という不信感が残ったが、一応僕の処遇を気にしてはいたのだろう。結局の所、その後数年して内規そのものが消滅したが、その功罪は不明なままである。そのほかにも大学院化にあたって不可解な内規や取り決めがあって、それによって運命が変わってしまった人が、数理には少なからずいたのである。今のモラルの水準からすれば、非常に透明性、公平性に欠けた「内部の論理」だけで物事を決めている印象があった。労働組合に長く身を置いた立場からすれば、労働法規をなんと考えているのか疑問を持た

ざるを得なかった。そんなことではグローバルな労働市場などに接続できるはずもないのである。

### 3 挫折

異動して3年ほど経った頃か、ある日一研にあった僕の研究室に三村先生がひょっこり訪ねてきた。実は、異動してからもぼくはまったく単独で研究していて、いわゆる「三村組」とは離れていたから、三村先生とさして親しく話すのは珍しいことだった。ぼくは薩摩先生と岡本先生にひっぱられて、教養学部後期課程の基礎科学科に深く関わるようになっていて、数理科学研究科の動きには疎かった。話しはこうだ。「稲葉君、キミには申し訳ないけど、ぼくは東大を辞めて広島に戻る」「もうここにいてもしょうがないんや」。青天の霹靂とはこのことである。

三村さんが広大から東大数理に移籍したについては、当然ながら三村さんが東大数理における応用数理学、現象数理学の拠点形成するという「三村・落合構想」があったはずである。東大数理が単独の大学院研究科として独立するためには、応用数理の拡充は絶対に外せないアルキメデスの支点だった、ということは今日、文科省の役人と話しても感じるどころである。むろん、実際なにがあったか僕は知らないが、純粋数学の研究教育だけで、外部から支援を受けられる時代ではなくなっていたことは確かだろう。「応用数理」は、数理と社会のインターフェースであり、数理科学研究科が掲げる「羊頭」であったはずである。

三村構想というものがあったとすれば、そのために、京都からは山田さん、石岡さん、東工大からは柳田さん等が呼び集められていた。ぼくはいわば番外編、おまけだったろう。「いろんなやつがおったほうがええのや」という山口・三村スピリットとDiekmannの推薦のおかげだったのだろう。しかし、その構想半ばにして放棄して広島に戻るという。そのときぼくはこの重大性をわかっていなかった。ボスが消えるということは、助教授にとっては、はしごを外されたも同然、研究の理解者、ディフェンスする人がいなくなるということだった。だから、三村さんは「すまないが」といったのだ。実際、その後、教授へ内部昇格したのは山田先生だけで、柳田さんも石岡さんもいち早く外部に出てしまった。出て行く先もなく取り残された僕の昇格が議題に上るのは、その後10数年たって、専門外ながら楠岡先生が発議の労をとってくださったおかげである。ちなみに、この店ざらしに懲りて、ぼくは自分が教授になったあとに、発議者のありなしにかかわらず、准教授全員に対して内部昇格のためのピアレビューを定期的に行うべきだと主張して、河野研究科長の時代に実現した。おかげで少しは昇格が早まった人もいると思うが、ただこれは余計なお世話である、という批判もあるだろう。

ではなぜ、三村先生は東大数理を見限ったのか。これももはやご当人に聞いてみる機会もなくなった。しかしヒントはある。むろん、広島大が新しい生命数理系の大学院という受け皿を作ったことはおおきな要因には違いないのであるが、東大数理にも問題があったのである。ようは助教授に関しては受け入れられた三村構想による人事が、教授では上手くいかなかったのである。あるとき、先生がぼろっと言われたことだが、ある応用系の教授にきてもらおうと教授会にはかっていたところ、純粋数学の某教授から「ぼくはその人の業績内容がわからないから、賛成できない」と反対されたそうである。ご存じのように、いまでも人事教授会は多数決ではなく全会一致が原則である。一人でも反対を続ければその話しは成立しない。しかし実際には、自分とは専門違いで業績を十分理解できなくても、専門分野の近い人の説明や外部審査員のレポートを信頼して合意するのが普通であり、自分がわからないから反対だ、というのでは話にならないし、傲慢でもある。価値観を共有している純粋数学内部ではおおむね上手くいくこの方式も、応用数理という異分野に対してはまったく機能していないのではないか。事実、三村先生が去ったあと、応用数理の有力教授を外部から正教授として招くことには、東大数理は一度も成功していない。それから10数年過ぎて、その反対された教授が、定年間際になるとしきりに応用数理を持ち上げだしたのには内心失笑を禁じ得なかった。時代が変わったということかもしれないが、ご自分が何をしたのかすらわかっていなかったのではあるまいか。

### 4 別離

こうして、三村先生が去るとともに「数理科学研究科」が、数学科大学院以外の何者かになろうとするモメンタムは消えてしまった。それから20年以上が過ぎて、もちろん東大数理を巡る環境は大きく変わった。国立大学法人化があり、COEがあり、FMSP等の大学院プログラムが走り、対社会的な連携基盤センターもできた。社会連携とか社会貢献とかは当然のこととして要求されるようになった。東大数理にも数学の異分野応用や社会的応用で大きな業績を上げておられる先生が幾人もおられる。しかしそうしたことが、研究科の基本的あり方の反映であるかといわれれば、疑問ではある。外部からすると、数理応用分野における東大数理の存在感はまだ薄いようである。純粋数学におけるそのミッションと達成については誰も認めているのだから、他に拠点もできてきていることだし、それでいいのだという考えもあるだろう。しかし急激に変貌を遂げる社会を見ていると、東大数学科を典型とするこれまでの日本の数学のあり方そのものが問われているという状況には変わりがないようにも思える。数理融合研究によってイノベーションの先頭に立ってほ

しいという外部からの期待は相変わらず大きいのではないか。

ぼくは三村構想の置き土産として、ちょっと腰掛けのつもりが、うかうかと四半世紀も過ぎてしまい、東大数理のシンギュラーポイントであり続けたけど、それももう来年度で終わりだから、この際勘弁していただく。特異点こそ構造を決めていたのだ、といえ、ば、「何をバカな」といわれそうだが、しかし、ぼくのような数学科ドロップアウトがいたということこそ、数理科学研究科の初期スピリットの証ではないの、といえ、ば泉下の三村先生は苦笑されるだろうか。初期カオスの名残にすぎないかな。

現象数理学拠点を打ち立てるといふ三村構想は、駒場では挫折したかもしれないが、その後、広島大学や明治大学で花開いた。その偉業の価値はもはやいうまでもない。そして、なにはともあれ、ぼくに駒場という研究の場を与えてくれたのである。先生のご期待に応えられたかどうかは、はなはだ心許ないが、ここに記して感謝いたします、ありがとうございました。(完)



## 想い出

東北大学大学院情報科学研究科 瀬野裕美

三村さんと最初にお話ししたのは、私が大学4回生のとき、ダイヤル式黒電話越しだったかと思います。その頃、私は、寺本英先生の研究室で(卒業研究みたいな)生物科学課題研究という専門科目の「数理生物学」をとっており、1次元反応拡散方程式による不均質環境下における個体群動態モデルの解析に取り組んでいたのですが、吸収壁条件をもつ境界が時間周期的に動く moving boundary problem になっており、解析的なアプローチをあれこれ考えあぐねながらも、数値計算に頼った解析を進めていました。ある時、主に指導してくださっていた重定南奈子先生が、三村さんにアドバイスをもらえるかもしれないと、(その頃、市外通話は条件付きでしかかけられない特例でしたが)広島大学の三村さんに電話して、私と話をする機会を設けてくださったのでした。具体的な話の内容は忘却の彼方ですが、話した時間は短く、有用なアドバイスも得られず、数値計算は難しいよ、という感想をもらっただけのような記憶があります。それ以前に、「山口昌哉(編)入門現代の数学1 非線形の現象と解析 数学セミナー増刊 日本評論社 1979」や、山口昌哉先生や山口先生の研究室の院生の方からうかがって、お名前だけは存じ上げていましたが、その後、親しくさせていただくようになるとはその頃は思いもよりませんでした。

した。

三村さんとは、海外の学術集会で度々ご一緒しました。その最初は、1991年にフランスのGrenoble, L'Alpe d'Huezで開かれた1st European Conference on Mathematics Applied to Biology and Medicineだったと思います。この国際会議では現在のEuropean Society for Mathematical and Theoretical Biologyの設立についての会議も開かれました<sup>1)</sup>。開催地は冬季オリンピックの開かれたスノーリゾートでもあり、自由時間(?)には、池田勉さん(現龍谷大)に誘っていただいてスキーを楽しみましたが、三村さんは、自分はスキーはやめとくよと言っていたのをなぜだか覚えていてます。出張中にスキーで怪我をするようなことはしたくないという理由でしたが... この国際会議参加の機会に三村さんとどんなお話をしたのかもすっかり忘れてしまいました。翌年、私が最初に広島大学に異動することになったきっかけの一つだったかもしれません。私の日本医科大学の助手から広島大学講師への異動に関しては、予期しなかったトラブル<sup>2)</sup>が起これ、三村さんにすっかりご面倒をおかけしました。今となっては本当に思い出深いです。その後、特に、欧州で開催された学術集会で一緒した際には、欧州の空気を気さくに楽しんだ思い出の断片が数多くあります。三村さんも私も、海外の洒落たもの・ことが好きという点では共通していたように思いますが、三村さんの楽しみ方は抜群でした。欧州へのお出張時にもテニスラケットを持参して、出張先で楽しまれていたことは、私よりもよくご存知の方が多いと思います。そもそも、出張時のバックがテニス用のバックだったりしました。私が院生のときに留学していたナポリ(伊)には、2012年にサレルノ近郊で開かれた国際会議の後、ナポリ湾の近くのレストランで三村さんと奥様と一緒に過ごさせていただく機会がありました。(今思うと、もっとナポリナポリしたpizzeriaに行けばよかったかもしれませんが)最上のゆったり時間でした。また、それ以前のことで、パリのアパートで三村さんや俣野博さんらのために、温度のなかなか上がらない電熱調理台で無駄に時間がかかりながらも、ペンネアラビータを作ったこともあり。ローマでご一緒させていただいたときには、昔から知っているというネクタイ専門店に連れて行ってもらったり、ロンドンではTシャツを買いだめとすることでHard Rock Cafeにお付き合いしたこともあり。巨大なショッピングモール的なフランクフルト空港でお互いにうろろして面白そうなお店の情報交換をしながら搭乗を待っていた思い出もあります。楽しく思い出されるこ

<sup>1)</sup>数理生物学懇談会ニュースレター第4号(1991年4月30日)の私の記事をご参照ください。

<sup>2)</sup>私の結婚披露宴の席から始まったものでした。

とが数多くあります。

研究面では、残念ながら、直接的にご一緒させていただく機会は結局ありませんでした。しかし、数理生物学や、生物現象に関する数理モデリングについて、折に触れ、ときに真剣に、ときにざっくばらんに会話（議論）させていただきました。私が最初に広島大学に勤めた時期（1992–1994）の三村さんには、「数理生物学」という分野への三村さん流のスタンスを感じました。欧州の数理生物学を引っ張っていた研究者らのほとんどが数学・応用数学をバックグラウンドにしていたのに対して、日本では、そういう傾向が薄かったことも理由だったのかもしれませんが、三村さんの言葉には、数理モデルの解析における「数学」の尊重についてのこだわりが殊更感じられたのです<sup>1)</sup>。特にこの頃の三村さんとの会話でよく出てきたキーワードが「モデリング」です。それらの会話は、短時間だとしても、私にとってはとても刺激的でしたし、徐々に私自身の研究上の志向を自覚させてくれるものだったと後々思うようになりました。そのような刺激の一端が、数理生物懇談会の第2期事務局を広島大で受け持つことになった際に三村さんがニュースレターに寄せられた挨拶文などからも感じられます<sup>2)</sup>。その後、三村さんは東京大学へ、私は奈良女子大学へ異動しましたが、2000年から再び、広島大学で一緒に過ごさせていただくことになりました。この頃から、私の三村さんへの印象が少し変わります。お歳を経て老成された味わいが深くなり、数理生物学に対しても、やや俯瞰的なスタンスが感じられました<sup>3)</sup>。そもそも、この時期には、数理生物学自体もそれまでの新しく広がる学際分野という段階から、生命科学の諸問題への数理科学的アプローチという、より一般的な意味合いをもつものに変容が進んでいたと思います。とはいえ、以前（1992–1994）にご一緒したときと同様、折に触れての会話は刺激的で、また、楽しくもありました。相も変わらない弾けるような笑い顔が思い浮かんできます。その後、三村さんは広島大学での定年直前の2004年に明治大学に移られ、私も年齢を重ねていくにつれ、お会いする機会がぐっと減りました。2012年に私が東北大学に移って後、仙台で数度お会いすることができた機会は、以前同様、やはり刺激的な会話を楽しませていただきました。明治大での三村さんの様子はまっ

たく知らないのですが、JSMB ニュースレター No.88（2019年5月）の企画記事を読んで、80歳近くになっても変わらない三村節が感じられ、懐かしくも嬉しくも思いました。それから2年足らず、訃報はそういうものなのかもしれませんが、青天の霹靂でした。

この文章を書き始めた6月初旬、夢で三村さんに会いました。いろんな方を巡って、私の番になったのかもしれませんが、きっと、今でも、いろんな方を巡りながら、三村さん流に楽しまれていることと思います。三村さんには、今の私に至るための学びの機会を沢山与えていただきました。本当にありがとうございました。



### 三村昌泰先生の遺志「現象数理科学の形成と発展」

若野 友一郎（明治大学総合数理学部）

私が大学院生だった頃には、三村先生はすでに日本数理生物学会（の前身である数理生物学懇談会）の大御所でおられたので、時折その鋭い指摘が発表者を突き刺す様子を遠くから畏れ多く眺めているという存在でした。個人的な思い出として最初のものは、2001年にハワイで行われたSMBとの合同研究会のときです。このとき私は博士を取ったばかりの若輩で、反応拡散系については素人でしたが、移動中のバスで隣になった私の質問に丁寧に答えてくださり、またエクスカーションではハワイの海と一緒に泳いだことは鮮明に覚えています。その頃から私も反応拡散系のパターン形成についての研究を始め、この分野で多くの重要な先行研究をされてきた明治大学の三村先生の研究室には、度々お邪魔して研究交流をさせて頂きました。その後2007年には、明治大学に先端数理科学インスティテュート（MIMS）設立のための任期付き特任准教授として着任しました。この頃の三村先生は、とりわけ研究のこととなると、ただひたすらに怖い先生でした。三村先生のグループに新しい先生がきたということで、研究室の学生へ挨拶をしたときの学生の恐怖の目は今でも覚えています。「三村先生の部屋の前を通るのが怖いから、廊下を遠回りした」などといった噂は、あながち嘘ではないだろうと想像します。MIMSは順調に立ち上がり、続いて「現象数理科学」を掲げてグローバルCOEに応募するということを決められました。グローバルCOEへの応募では私もかなり深く関わらせて頂き、応募書類を作文推敲する過程で三村先生が構想される「現象数理科学」の理念や、日本の数学の現状に対する先生の想い、海外とのギャップなどを知ることでできる大変貴重な機会となりました。また、「ヒアリングで失敗した」と落ち込んでおられた様

<sup>1)</sup>三村さんによる数理生物学懇談会ニュースレター第4号（1991年4月30日）の自己紹介記事や、同第28号（1999年4月）の山口昌哉先生への追悼文をご参照ください。

<sup>2)</sup>数理生物学懇談会ニュースレター第9号（1993年1月）。また、JSMB ニュースレター No.45（2005年1月）の企画記事もご参照ください。

<sup>3)</sup>JSMB ニュースレター No.74（2014年9月）の三村さんによる企画記事をご参照ください。

子は、これほどパワーとカリスマ性にあふれる先生も人間であること、絶対的なリーダーゆえの孤独と責任感の大きさを感じさせるものでもありました。グローバルCOEは無事に採択され、私も海外の多くの数学・応用数学の研究者と交流を持つようになりました。本格的な数学者にはなんとなく近寄りたいたいという風潮がありますが、お互いから得られるものは実は大きいのです。少し専門的になりますが、フランスの著名な数学者 Benoit Perthame が、Adaptive Dynamics (進化生物学の理論で、原著論文は数学者向けには書かれていない)の数学的精緻化に興味を持ち、パリでその概念について何日もかけて一緒に議論をして共著論文を発表できたのは、「日本の数学は変わらなければならぬ」という三村先生の主張が事実であるということに痛感できた一事でした。

三村先生はその講演の分かりやすさ、面白さでも有名です。当時発表が下手だった私に対して、「君は発表のやり方をもっと考えなあかん」とハッキリ指摘して頂き、指導頂きました。特に分野の異なる人に対して研究の本質を伝える方法論は、数学と生物学との境界領域のみならず、その後私が人類学者や考古学者とも共同研究を始める礎にもなっています。

先生はその後「現象数理学の形成と発展」に向けて尽力され、2013年には明治大学総合数理学部が設立され、私もその現象数理学科に着任しました。この頃から、先生は徐々に温和になられ、若かりし頃の怖さは消えていったように思います。その理由の一つには、先生の研究観を結晶化した「現象数理学」が、具体的な形で認められて世に残せた、ということがあると思います。私の研究人生を振り返ると、三村先生から受けた恩は本当に大きなものであったわけですが、先生の訃報に際してあらためて、残された世代がその遺志を継いでいかななくてはならないと痛感する次第です。ご冥福をお祈りいたします。



### Professor Masayasu (Mayan) Mimura<sup>1)</sup>

1<sup>st</sup> May 2021

Mayan was a close friend as well as an academic colleague for the past 45 years. We started collaborating when he was a postdoc with me in the University of Oxford in 1976-77. He started learning and doing research in mathematical biology amazingly quickly. I was amazed how quickly he grasped the key elements

in a topic he had only recently heard of and came up with original ideas! We published 2 research papers together: Mayan was certainly the senior author.

Mayan and I regularly saw each other at conferences: we kept in touch so we knew which ones we could both go to. The last was in Ireland in 2016 when he, and his kind wife, Yoko, came to the conference in Limerick, Ireland to celebrate my 85<sup>th</sup> birthday.

Mayan was certainly one of the major people in the international world of mathematical and theoretical biology. Each time we were together and talked about the field I learned something new. Mayan's passing is a terrible loss in our academic world and a very sad one in our family.

James D. Murray  
University of Oxford



### In memoriam Mimura-Sensei

In May 1978 a colleague and I travelled from Amsterdam to Nijmegen to attend a lecture on Reaction-Diffusion equations by a visiting Japanese professor, Masayasu Mimura. After the very interesting lecture was over, we gathered courage and approached the speaker, inviting him to come over to Amsterdam for a day and give a lecture there as well. A small event, yet it had a large positive impact on the rest of my life for at least three reasons.

First. Ever since, the work of Mayan has been a source of inspiration. He had this masterly way to extract meaningful insights from biological models by an ingenious combination of singular perturbation methods, numerical analysis and bifurcation methods. His genuinely interdisciplinary approach has set the standard for me and many others.

Second. Mayan Mimura opened Japan for me. He brought me into contact with Y. Nishiura, H. Fujii, Y. Hosono, H. Matano, Y. Morita, H. Inaba and many others. Also, during my first visit to Japan, I had the great pleasure to meet Sensei Masaya Yamaguti, who had introduced Nonlinear Analysis and Mathematical Biology to Japan and was the academic father of most of my newly acquired friends. So through the Mimura-connection I not only learned about science and mathematics, but it also brought me into contact with the culture, landscape and the people of Japan.

<sup>1)</sup>(編集部注)Murray先生からは、最近書かれた文章を送っていただき、このニュースレターに掲載することを快諾していただきました。

---

This has been a most delightful experience, from back in 1978 up to the present day.

Third. Personal friendships provide life with the colours that make it beautiful. Upon hearing of the passing of Mayan, I felt that I lost a friend, not just a colleague. In many ways we lived parallel lives and communicated, often a bit implicitly, about our experiences. The enthusiasm and energy of Mayan were contagious, his curiosity was inspiring. Meeting with him and his wife Yoko was always very agreeable and entertaining.

Through his many publications, Mimura Sensei does still inspire me and a whole new generation of mathematical biologists. Largely due to his stimulating impact, Mathematical Biology is thriving in Japan. Yet knowing that there will not be a next encounter with Mayan makes me sad. Fortunately, lively memories of our conversations during many meetings over many years are a compensating source of joy.

July 31 2021, Odo Diekmann, Utrecht University

---

~~~~~

【2020年研究奨励賞受賞者特別寄稿】

## 僕は論文が書けない

入谷亮介\*1

### ■ 序言

光栄なことに、日本数理生物学会から、「研究奨励賞」を授かった。その奨励賞に寄せる本稿は、研究内容を整理したり将来の展望を説く、良い機会と思える。しかしそれはしない。かわりに、賞に無縁で自信喪失的で論文をテンポよく出版できぬ、真面目だがいかにも無精者だったかを、意味ある形で、おもに私より若いステージの方へ向けて、述べたい。本稿が少しでも励みになると嬉しい。以下、私は「真面目系」という言葉を頻用するが、それはあくまで私自身のみを指す批判的な表現とする。また、以下には少しだけの見栄・自慢も含まれる。だが私が大学院生の間に自慢できることはほとんどない。

### ■ 真面目系無精者の誕生と、自立した研究者への推移

#### 転機 1 研究より勉強

私の研究活動は M1/2011 年 4 月、九州大学大学院（当時）・巖佐庸教授の研究室への進学時に始まった。私はまず移動分散の進化に興味を持った。特に移動分散が血縁者間競争を軽減するという、Hamilton and May [1977] の観点が面白かった。しかし解析法は複雑で、勉強が必要だった。かくも学習意欲はくすぐられ「研究より勉強！」という真面目系への一歩を踏み出した。

そこで手にとったのは、DS Falconer『量的遺伝学入門』（田中嘉成・訳）、粕谷英一『行動生態学入門』、安田徳一『初歩からの集団遺伝学』であった。また当時、巖佐研には森下喜弘さん、野下浩司さん、廣中謙一さんら、勉強熱心な方々がおられ、多様体論・情報幾何学・微分幾何学・機械学習・統計力学等さまざまな勉強会を実施した。更に、もともと英語が好きなのもあり、使えそうな英語表現をノートに箇条書きにしていた。とにかくインプットを楽しんでいた。

M1 の秋に、数理生物学会（於 明治大学）で口頭発表した。Hamilton and May [1977] の移動分散を、条件付けられた 2 形質（表現型可塑性）に拡張したものである。結果は、端的に言えば二次元の形質の進化動態が中立安定。以上。生物学的に同じ機能を持つ形質群をひとつ追加しただけでは、自然選択がこれら形質の違いを「見分ける」ことができないことによる、中立性である。つまり新しい発見はない（M1 の学生の成果をここまで辛辣に書くのは、あくまでも自分のことだから、である）。

この自明な結果をどうふくらませるか。そのアイデアがなかった。Hamilton and May [1977] の拡張論文の多くでは集団遺伝学・合祖理論に基づいた非常に技巧的な計算が行われていた。理解には勉強が必要だった。研究アイデア不足（目的）の問題を、勉強不足（手段）のみの問題とすり替えてしまった。真面目に勉強するが論文を出版しない“無精者”の誕生だった。\*2

あたたかい環境にいたことは、私の場合、幸であり悲劇でもあった。インプットだけは豊富なので、他者の研究を批判・指摘・分析・提案することは、さも

\*1 略歴：2007 年–2011 年：京都大学（理学部・数学科）。2011 年–2016 年：九州大学大学院（巖佐研）。博士（理学）。2016 年（4 月–9 月）：九州大学・研究員。2016 年 9 月–2019 年 2 月：UC Berkeley 研究員（英国 Exeter 大学からの派遣研究員）。2019 年 3 月より数理創造プログラム・研究員。

\*2 この点については、巖佐先生が、私に明確な助言をくださっていたことは断っておく：「あまり勉強しすぎると、アイデアが凝り固まって、自由な発想ができなくなってしまう」。私は「僕の苦勞は天才にはわからへんのやろな」等と、なんとも失礼な解釈をした。

いっちょ前にできてしまった。更にはこうした「曲芸」を学会でも披露したりことで、「デキる学生」という過大評価が、直接的にも間接的にも耳に届いた。こうして私は、自分の方向性は正しいという勘違いをした。おだてられた真面目系。愚直に勉強に傾倒するも、結果の出ぬ日々が続く、研究室への足は重くなり、夜型生活へ移行して生活リズムは乱れ、飲酒量は増え、果には悩んで一日中寝ている日もあった。

こうした、自律神経の問題はおそらく、潜在的には多くの研究者が経験したことのあるものだと思う。私の場合、サッカーする友人、雑談する友人、旅行する友人といった、気晴らし仲間本当に恵まれていた。私は医者ではないので、医療に関する助言はできないのだが、カウンセラーを受けるという選択肢のハードルがさがると良いと感じる。

さて、どの甲斐あったか、着想を得て、論文の執筆を開始できたのは M2 の秋だった。巖佐先生は幸い、1 週間以内にチェックできた所までチェックしたうえで、原稿を返送してくださった。結局、論文の投げあいは数回で済んだ。英語が好きなのは、執筆にも多少なりとも活かされ、初めての原稿にしては、英語だけはそれなりのものを書けたように思う。別誌でのリジェクトを 2 回ほど経て、Theoretical Population Biology に投稿したのは、D1 の夏前だった。

## 転機 2 : 海外経験からの自我の芽生え

D1/2013 年夏前その頃だったと思う。巖佐先生に、「論文を書き、外国へ行き、学位をとる。この限りは、何をしても構いません」と言われた。当時の私はただ「そんなん、研究者として当たり前やんか」と思った。「わかりました、そうします」と答えたと思う。巖佐先生から、私が学生として受けた主たる助言はこれに尽きる。博士課程に入ってから、巖佐先生に研究内容の相談をしなかった。おそらく数回は議論を試みたが、「難しい問題に取り組んでるなあ！（ケラケラ）」という反応を受けるばかりだった。巖佐先生とは、お茶部屋で雑談をしたり、他の人のセミナーの場で雑談したりすることはあったので、もちろん巖佐先生は私への指導をおおなりにされていたわけでは無い。しらんけど。

同年の夏には、イギリスのヨークとロンドン、二つの学会をハシゴする 20 日間ほどの旅をした。自

分の獲得した資金で自分ひとりで国外に渡航するのは初めてだったし、特に前者の学会は、日本人は私一人だった。しかし、Axel Rossberg 博士や、Zena Hadjivasiliou 博士（当時学生）といった、日本でできた知己に助けられ、当時の拙い英語でも孤立せずに親交の輪を広げられた。家族・指導教員から物理的・経済的に離れた、生の実感すら憶えた。私は日本からの研究者が多く参加するような国際学会を避ける「楽しさ」を知った。「せつかくの国際学会やし、英語で生きたい！」と思った。

だが、そんな国際的な場でできた友達に、自分の研究内容を気に入ってもらえたわけではない、という実感は、残酷なまでに味わった。論文出版経験のない Ryosuke Iritani なる学生の複雑な名前は覚えてもらえず、“I'm a PhD student with Yoh Iwasa” 一言で文脈が形成されるその恩恵にあやかっていた。それを人脈の恩恵として活用できるか、あるいは屈辱を憶えるか。個人差があるだろう。私は、完全に、後者だった。

今の私なら分かるが、巖佐先生の「論文・外国・学位」の真意は、「自立せよ」だったのだ…と思う。巖佐先生は、早い段階から、論文出版のない私を研究者として認め、自立を促してくださったのだろう。論文は、指導教員の名前を言わなくても通じる実績・ネームである。外国は、指導教員から物理的に離れた研究舞台である。学位は、指導教員から巣立つ資格である。これらは研究者としての自立の構成要素だ。

私自身、件の屈辱から、“Yoh Iwasa's (student)” であんなに欲しかった。便利な名刺だったが、それは“私”ではない。かといってその名刺なくして、当時の私には誰も興味を持たない。自己を確立、つまり自立して、巖佐先生のもとからいち早く離れたかった。論文を自分で書き、自分の意志で生きる場所を決め、次のステップにつなげたかった。真面目系は欲張りなのだ。

同年 10 月にアクセプトされた初めての論文 Iritani and Iwasa [2014] は、不完全な解析、図の拙さには大いなる余地がある。好意的な査読者と巖佐先生の助けがなければ、そもそも出版すら叶わなかっただろう。査読者からの “I fully support the publication of the ms” は、私が学生であることを考慮してのものだったと思う。<sup>\*3</sup>これは、巖佐先生の力を借りた最初（…で最後…？）の論文である。なお、出版社のウェ

<sup>\*3</sup> この経験から、私も若手研究者の論文を査読する時には、華美でなくとも称賛の言葉を含めるようにしている。

ブサイトで、自身の論文が見れるようになった時の感動は今でも忘れられないが、出版社上で、Ryosuke & Yoh (accepted) というやけにフレンドリーな表示を目にし、血の気が引いていく思いは、それ以上に忘れられない。そう、私は姓と名を間違えて Proof を提出していた。良い子の皆は気をつけよう。

同年 10 月。フランス・モンペリエへ渡航し、6 週間を過ごすことになった。モンペリエは、もちろん自分で決めた場所である（詳しい経緯は、JSMB の NL2017 年 9 月第 83 号を読みたい）。巖佐先生からは、「モンペリエは昔ぼくも行ったんや。野生のウマがいるんやで」と聞いていた。「え！マジスカ！！」と心躍らせつつ、旅に出た。だが当時は乗り継ぎのある飛行機旅程の予約法すらも知らず、乗り継ぎのある複数の国際便を別々に予約してしまった。するとバリ・シャルル・ド・ゴール空港での乗り継ぎの間に荷物を拾う必要が生じ、そのせいで乗り継ぐべき飛行機に乗り遅れた。もはや、急いで走って滑り込もうなる気力すら沸かない。打った瞬間にホームランを確信したバッターの気分はこれか、よし、気分転換に晩飯だ！と、空港のレストランに入り、ステーキを注文すると、出てきたのはステーキ・タルタル。これはユッケ、いわば生肉ステーキである。状況は完全に Mr. Bean (Restaurant episode 参照) である。衝撃的で全く味がしなかった。

そんなホームランの結果、一便ズラして乗継便に搭乗し、モンペリエ市街の駅で、深夜を迎えた。そのせいで、宿泊先の AirBnB のホストがすでに就寝しており、締め出されてしまった。人生初の野宿ははじめて降り立つ地、モンペリエ駅。輝かしい野宿デビューである。しかもモンペリエを常夏の楽園と勘違いし、半袖しか持ってきていなかった。夜間の冷え込みはひどい。首にタオルを巻いてがたがた震えながら、盗まれまいとキャリーケースを抱いて駅で寝た。巖佐先生を頼っていれば、こんなことはなかっただろう。自立の一步としては散々だった。ちなみに本稿掲載までに、本件を巖佐先生に報告したことはない。野生のウマ？見つけたらチタタブしてスキヤキにして食べたわ！

悪夢の一晩は無事に明け、心機一転、初めての国外生活を迎えた。よく言う「フランスでは英語は使わない」なる冗談は、そういう印象を抱く方が多くても仕方ない、という程度には当たっていた。街中

やルームメイトはもちろん、研究所 (CEFE) でも公用語はフランス語だ。英語で接してくれる方にも、拙い英語でしか返せない自分自身が悔しかった。しかし、人々と主体的に繋がっていく実感をおぼえた。滞在中には招待をうけ 3 つの研究グループで発表をさせてもらったし、分野が遠い人と知り合っていくのは楽しかった。とにかく、自由だった。また、英語を話さないスーパーやレストランの店員や、ときにはまわりの客までもが、一生懸命に英語を使って私と意思疎通しようとしてくれる優しさには、感涙をワインとともに飲み、バゲットやチーズを口に運んだ。結果、フランスに馴染む努力の一環、そしてフランス語圏を将来の居住地の可能性として高めるべく、フランス語と英語を学ぼうと決めた。美食に魅了された節は否めない。

D1/2013 年の 11 月末。国外で刺激をたっぷり浴びた身のままに帰国した。そこから執筆開始し、12 月に投稿した論文 Iritani [2015] は、修士二年の冬休みに学んだ凸解析 (Kuhn-Tucker の定理) を用いて、Iritani and Iwasa [2014] を拡張したもので、巖佐先生には解析内容も原稿も見せていない、単著論文である (解析には、実は、非常に大いなる余地がある…)。当時の私は「どんな些細な結果も論文にする」と息巻いていて、真面目系がちょっと研究者らしくなったのだろう。しかし、同論文は投稿から査読にまわるまで (査読が完了するまで、ではない) 10 ヶ月かかり、更にはハンドリングエディタ (HE) が途中で降りてしまうという事件に見舞われた。これを主エディター (CE) である Sergei Petrovskii 博士に申し出ると、丁寧にハンドリングしてくださって、査読・改訂後、すんなりアクセプトされた。<sup>\*4</sup> 査読にまわってからは一ヶ月半程度だったと思う。それまでの 10 ヶ月の損失は、博士課程の学生にはあまりにも大きい痛手であった。掲載は、投稿からは実に一年以上が経過した D2 の 12 月だった。巖佐先生にメールで出版報告したところ、「おめでとう。これからもがんばってください」というシンプルな言葉を頂いた。自立に一步近づいた気がした。

時は前後、D1/2014 年 1 月に、モンペリエに再渡航した。研究の発展には相変わらず苦勞した。たくさんさんの協働研究に取り組むぞ！と息巻いていたが、多くは空振りに終わった。Pierre-Olivier Cheptou 博士からのサポートで執筆した論文 Iritani and Cheptou

<sup>\*4</sup> 降りてしまった HE とは 2019 年の国際学会で再会して話をし、和解に至った。

[2017] は、植物の種子散布と繁殖様式（自殖率）の適応動態モデルを解析した成果である。投稿までには時間はかかったが、なんとか憧れだったジャーナル、*Evolution* 誌にまず投稿した。結果は再投稿可のエディターリジェクト。コメントに沿って改訂して再投稿したが、別のエディターにハンドルされてエディターリジェクト。これで3ヶ月ロス。

次に *American Naturalist* (Am Nat) 誌に投稿した。しかし「似た原稿が投稿されており、査読に回すかの判断を保留する」という、今思うと投稿を取りやめるに値する理由で、査読にまわるまで3ヶ月かかった。

査読にまわってから2ヶ月後、つまり投稿から5ヶ月後、二人の査読者からの非常に好意的なレポートを受けとった。査読者1: “This is an ambitious model, and I commend the authors for tackling such a challenging question” (意訳: 野心的なモデルであり、こんなに挑戦的な問題に取り組んだ著者たちを讃える); 査読者2: “In conclusion, I like this theoretical excursion a lot” (意訳: 結論、私はこの理論遊覧をとて気に入った) …なんとも恐れ多い! こんなに褒められたことないわ!

だが HE は非常に不満だったらしく、“I was not as enthusiastic about the manuscript as the reviewers” (意訳: 私は査読者たちほどには感心していない) …そして HE 自身から 50 はあろうかという、客観的にも過度に辛辣なコメントが添えられていた。判定は「再投稿可リジェクト」。イケそうだ。D3 の冬、学位公聴会の直前のことであつたと思う。

数ヶ月後、学位公聴会も終え、コメント通りに改訂し英文校閲にも出し、同誌に再投稿した。あとはエディターと意思疎通とりながら原稿を改訂していけばよいという自信があつた。しかし、原稿はなぜか別のエディターにまわされ、査読にまわることなく、エディターリジェクトされた。エディターリジェクトの理由は、「数学的な解析 XX が複雑で多すぎる」。第一回目の投稿時に HE から「数理解析 XX がされていない」と言われたから追加したのに、である。要

求に答えた結果としてそれが原因でリジェクトされたことで、ジャーナルへの信頼そのものが地に落ちた。初めて投稿してから10ヶ月目。ポスドク一年生になった春のことであつた。このときの私は、出版した論文が2報だつた。<sup>\*5</sup>

博士課程で一番胸を張れるのが、理論の勉強と語学(英語・フランス語)の上達だつた。そんな博士だつた。かたや、学年こそ一つ下の山口諒さんが、巖佐先生と頻りに議論しながらテンポよく論文を出版されていた。自分が、心の底から不甲斐なかつた<sup>\*6</sup>。学位を取ってから、巖佐先生にメールで「もっと論文を書かないといけません」という叱咤を頂戴した。当然だつた。

一つ余談かつ問題提起をしたい。先程の、ジャーナルでの原稿の取り扱いについてである。私は、(1)「リジェクト〜。はい、別誌に投稿よろしくどうぞね」とは言わずに、「再投稿したら検討するか」と再投稿インセンティブを与え、(2) 出版時に公開される「初投稿」の日付を後ろ倒しにする<sup>\*7</sup>ことであたかもジャーナルでの原稿のハンドリングが迅速かのように見せかける、という二重の搾取システムに、まったく賛同しない。再投稿へのインセンティブは、ポジティブに捉えればチャンスだが、私の例のように、別のエディター、別の査読者に原稿を回される<sup>\*8</sup>というのでは、別のジャーナルに投稿するのとはほとんど変わらない。「科学的正当性に対する判断」という大義名分には反論の余地はないが、学生著者の限られた時間の重要性を過小評価したシステムには道義的問題があるとすら感じる。こうした理由で、*Evolution* 誌や Am Nat 誌には主著論文を投稿していないし今後もしない(選択肢を減らしても特に困っていない)。共著者としてもこれらの事実は主著者に正直に伝える。もちろん、投稿先を決定するのは主著者の自由判断である。

それと同時に、営利団体ではなく学会などの学術団体の運営するジャーナルに積極的に投稿し、それら団体を間接的にサポートするようにしている。こ

<sup>\*5</sup> 結果として同論文は、*Journal of Evolutionary Biology* に掲載され、Stearns Prize の学生論文賞の最終候補にまで残った(受賞は逃した)。しかも、Am Nat に投稿したときには見落としていた、同論文のベースになっていた先行研究での計算ミスを発見し、真面目系らしく論文中で指摘するという結果にも繋がった。Am Nat に掲載されていたら、私たちの論文にも同じミスが系統的に残っていただろう。

<sup>\*6</sup> もちろん山口さんも勉強はされていた。バランス良く研究と両立されていたのだ。私にとっては見習うべきロールモデルの一人である。

<sup>\*7</sup> そうすると、真の初投稿は記録にカウントされない。

<sup>\*8</sup> *Evolution* 誌にはこのあとも一度投稿したことがあるが、またこれが起こった。

れまで掲載されたものは Evolution Letters や Journal of Evolutionary Biology (ともにヨーロッパ進化学会)、Journal of Ecology (英国生態学会)、Ecology and Evolution (それらの協同運営)、Ecology Letters (フランス国立科学研究センター) などが中心なのはそうした事情も背景にある。Am Nat や Evolution もまた、学会の運営するジャーナルであることから、投稿しないという意思決定については口惜しい気持ちはある。しかし、ジャーナルとの付き合い方も自分で決めたいと思うのである。もちろん、三者三様の経験や好みがあるであろう。あくまで、例として捉えていただきたい。あるいは、投稿経験のある仲間同士で標的ジャーナルを狙上にあげると、悲喜こもごも、様々な感想を共有してもらえらるだろう。私はアメリカではこうしたトピックについての英会話も楽しんだ。In vino veritas – 英語雑談テーマとしてもおすすめである。

### 転機 3 : 泳げぬまま大海へ“歩む”決意とその過程

また時は前後し D2/2014 年の冬から D3/2015 年の夏にかけて、スイスのローザンヌへ渡航した。Laurent Lehmann 研究室で、包括適応度理論の実践的手法について学ぶためだ。そしてフランス語だけでなく英語も公用語である国に住みたかった。この場に及んでなお、勉強とは呆れたものであるが、これほどまでに朝から晩まで、研究で用いる手法について手を動かし論文の計算を復元するという徹底的な訓練に集中できた時期はない。文字通り、滞在期間中ずっと、とにかく計算をしていた。そして電車に乗る間はずっと、フランス語を勉強していた。

2015 年 8 月にそのローザンヌで開催された、ヨーロッパ進化学会にも参加した。そのときにはフランス語も少しは話せるようになっていた(飲み仲間からの、“I’m impressed with your French.” は私の小さな矜持となった)。ので、日本人研究者をパブやレストランにガイドしたりもしていた。さらに、それまで参加した国際学会や、モンペリエで知り合った方々と再会したり、果には知り合い同士をつないだりするのが、心の底から楽しかった。自分自身が、主体的に、ネットワークの中に実在し、ネットワークを提供している気がした。

自己紹介には、巖佐先生の名はもう要らなかった。

大きさでなく私は、飲み会のヒーローだった(もちろん、研究のヒーローではない)。というのも、日本から持ってきた日本酒やお茶っ葉を、学会で知り合った人に振る舞い配るという“水商売”を行っていたのである。懇親会の開催されていたキャンパスの小さなベンチコーナーで気分よく酔歩していた私は、仲よさげに話している 2 人の研究者のグラスに日本酒を注いだ。中洲川端の日本酒バー店長もびっくりする気前の良さである。ついでに、進んでなくせに研究の話もした。自己紹介すらしていない。私は酔うと、英語でも冗長になる。そのお二人とは、やたらと話が噛み合う。「んお? あんさんら、何者や?」…と、名前を尋ねてびっくり、私の専門の包括適応度理論研究の世界的リーダー、Stuart (Stu) West さんと Troy Day さんだった(Stu とは後々、一緒に論文も書いた: Iritani et al. [2021], Abe et al. [2021])。研究者の自立の方向性としては疑問符こそ残るものの、そうした水商売の中でできた紐帯は強く、Stu も Troy も、翌日以降の学会で出くわすたびに、いろいろな人を紹介してくれた。

水商売を果たした学会も無事に明けて帰国してからは、申請していた学振 PD にも海外学振にも不採用だったことや、外国での自立活動があまりに楽しかったこと、そして電子応募の手軽さから、国外ポスドクに応募し始めた。ちなみにこの頃には精神的なストレスも大きく、学位を取る半年後には無職であることを想像し、家庭教師のトライの求人募集を調べる傍ら、10 年後にもこの状況が続いて両親や姉姉に見捨てられた挙げ句に橋の下で生活を送ることになったりするのではないかと、などの想像を逞しくしていた。

就活は実際、なかなかうまくいかなかった。思い切って Troy にメールを送った。すると、研究費で雇えるかも知れないと言われた。だが、奇遇にも、Mike Boots 博士から、Exeter 大学の研究員として UC Berkeley で働く機会を頂いた。2016 年 1 月のことだった。Troy に事情を説明すると、世界的に大きな大学である UC Berkeley に行けと言われた。UC Berkeley で働くことが決まった。学会で Troy と会うと、いつもこの話をする。周りの人に「Ryo は僕のところに来てくれなかったんだよ〜」と、バーでの笑い話にして頂いている。

しかし当時の私は、大海の先の地平線ばかり見ていて、泳ぎ方を知らなかったし、ずぶずぶと深みへ歩

みを進めていた。自己のことだからこそ辛辣な言い方をすれば、泳ぎ方を自分が知らないことすら知らなかったと思う。外国に数年住むとなると、溺れて沈んでしまえば、取り返しがつかないかもしれない。

#### 転機 4 : 浮遊・連動・呼吸

泳げぬ自覚すらない私だったが、私の研究者人生を決定的に影響を与えたであろう助言をご紹介します。

一つ目は「作図の高品質化と自動化」である。私の作図は雑だった。グラフを出力し、ラベルをちまちま変えたり、更新するたびに貼り直したりするのが苦痛だった。そして図より数式のほうが重要だと思っていた。しかし私はそれまでの論文にあるような、雑で手作業更新の多い図作成方針をやめた。研究のコンセプト図を作ること、見やすいグラフの作成を学んだ。見栄えの印象は重要であるという人間の特性を受け入れた。これは、科研費の申請書や、発表スライドのデザインでも然りである。そしてそれらをより効率的に行うべく、**Matheamtica** ファイルひとつでラベル・配色・フォント・サイズが見やすく調節されたグラフの PDF ファイルを指定ディレクトリに出力させる、というセミ自動化を学んだ。これらを組み合わせた、プレゼン・マテリアルの質には、相当の自信がついた。真面目さは、ラクするためなら不惜の努力をする。

二つ目。これは立木佑弥さんからの助言で、「研究には、“いつ終わるか”ではなく“いつ止めるか”しかない」というものである。プレゼン準備・図作成・申請書・論文・解析、どれも「終わり」はない。止めた時が終わる時だ。特に数理解析は、いくら真面目にやっても不満な点があるので、自己満足との戦いだ。あらゆる研究過程で、やめる決断が必要であると思う（勿論、現在の私にとって、学生時代の粘り強い挑戦は、間違いなく貴重な経験だ）。さもないと終わらない。主体的に終わらせる。

三つ目に、より技術的な側面であるが、**Andy Gardner** 博士からの助言を紹介する。それは「生物学的な式変形をすること、生物学的な解釈を必ず与えること」である。数理生物学において、**Mathematica** などの数式計算ソフトにはまだできないことがある。それは、導出された数式に、生物学的な解釈を与えることである。たとえば、移動分散率を  $d$  とすると、 $1-d$  は移動しない確率である。**Mathematica** ではこれを降べきの順に  $-d+1$  と表示させる（もちろん、並び

替えるための関数は存在するが）。さらにたとえば、同じバッチ由来の個体との競争（局所競争）を回避できる確率  $1-(1-d)^2$  という量が、無限島モデルに基づいた包括適応度理論では頻繁に現れるが、**Mathematica** はこれを展開し、 $2d-d^2=d(2-d)$  と表示してしまう。これは、確率  $d$  で分散したら局所競争を確率  $1$  で回避でき、 $1-d$  で分散しなかった場合は、割合  $d$  だけいる移入個体と競争すれば局所競争を経験しない、ということで  $d \cdot 1 + (1-d) \cdot d = d(2-d)$  だ。複雑な量になればなるほど、無機質な操作だけでは生物学的な意味が不透明になることは想像に難くないだろう。これが起こる要因は、解析（たとえば微分）によって意味のあるパーツがバラバラになることが多いためである。

もちろん、解釈を与えるといっても、それは、「こじつけ」ではない。手元にある数式を、仮に「親式」とする。親式を微積分・方程式を解くなどの解析的な「操作」によって得られる式を「子孫式」とし、その操作が非自明な場合を考える（たとえば、常にゼロを返すような操作は、自明である）。すると、親式が持っていた情報は、子孫式に「遺伝」（継承）される。遺伝されたその情報は、乖離（上の例でいうと  $2d-d^2$ ）・融合（ $d(2-d)$ ）することもあるが、いずれにせよ、いかにそれらを明確に統合・分解するかという過程には、研究者による解釈が必然的に介入する。これらは、計算機による決定論的・確率的シミュレーションだけでは困難であることも多いため、数理解析の大きな意義と言える。私はこの、生物学的な意味の提示を目指した系統的な数理解析に、相当の自信を持っている。その矜持には、現在所属している数理創造プログラムの研究員としての活動も大きな助けとなっているが、学生の頃に我武者羅に勉強していたために数学へのハードルが無いというのも大きい。学生の頃の勉強は無駄でなかったと今では確信している。

上の三要素はあくまで私個人のケースだが、私自身に欠けている技能であることとして具体的に意識・習得したのが肝である。泳ぐためには手足で水を掻き、思考・感覚で全身を律動させ、タイミングよく息継ぎして前へ進む、という総合的律動が必要である。同じく研究でも、問題点・目的・解決方策と実践という具体的なアプローチが必須である。研究の“才能”とか“素質”とか“○○力”ではない。研究のスキル・問題点・課題などは、あらゆる原因が具体的

である。あるいは、具体化する必要がある。そうすると自分では解決できない要因も認知できて、社会問題として共有できる（たとえば博士課程の経済支援問題などはそうであろう）。

たとえば、仮に「論文執筆力」という力が存在するとする。あるいは「論文執筆力を身に着けろ」という助言を賜ったとする。その力とは、一体、何か？そもそも論文を執筆するとは、論理的に文章の構成、丁寧な図の作成、英語の文法の知識、文章の簡潔化、結果の見せ方、書くモチベーション、身体的な体力、思考を集中させるための休憩、長期的にそれを継続・実行するだけの十分な睡眠、研究しない時間を作って休憩、等等、数え切れぬほどに多次元なスキルや習慣の総体である。執筆力という次元に射影されて情報量が少なくなった曖昧な概念としてではなく、自身の研究に必要な技能を照らし合わせ、それを具体的に課題として明確に意識し、質問・勉強・訓練・技能習得できないだろうか。それが難しいなら、その弱点を補う方法を考え、実践できないだろうか。「水泳力を身につけるのだ」という決意を胸に、ただ手足をバタバタさせて沈みゆくだけでは前に進めない。人はそれを「溺れる」と呼ぶ。世間の言う「○○力」にも、全く同じ論理が適用できると感じる。分析して具体化すべきだと思う。

## 転機 5 : 「自立あつての協働」を知った

学生の頃は、単独研究はしていても協働研究がうまくいかないことから、自分の能力を疑い続けていた。だがそもそも、自立あつての協働なのだ。たとえば泳げない二人が手をつないで泳ぐのは困難だし、陸上から海でバタバタしている人を引き上げるのは、協働研究という観点からは困難である。モンペリエでの協働研究の試みの多くが空振りに終わったのは、私が自立に程遠かったからだ。もちろん、学生の頃から協働研究を主導した方々は素晴らしいと思う。しかしそれが学生時代にできなかったとして、何も自己批判する必要はないし、ごく普通のことであると思う。

## ■ 僅かばかりのフィードバック

以上のことからわかるように、私は本当に恵まれていて、極めて幸運だった。もちろん、私は他者の実績に「幸運だ」という評価をあてはしない。しかし私の場合はどう判断しても、幸運という首の皮一枚でつながったギリギリ状態だった。幸運を引き寄せられたのは、自身の主体性、自己の確立、自立への強い飢餓があったからかもしれない。人と積極的に関わること、そのために英語・フランス語を学び使用すること、結果が出ないのに学会に出て発表だけはする<sup>9)</sup>こと、そして何より、自分で論文を書くこと、自分の生き先を自分で決めること。自立への徹底的な執着心があった。

私のマインドセットあるいはモットーに、「ネットワークよりフットワーク」がある。ネットワークは、社会に既存のものであり、環境（アカデミア）に備わったものであると言える。しかし、フットワークは様々な手で、主体的に身につけられる。私は、ネットワークは多かれ少なかれ個人が集団に調和して埋め込まれる受動的な過程なのに対して、フットワークは個人の主体的な行為であるように思う。Yoh Iwasa's student のままでしたら、ネットワークの中でちやほやされて、いい気分になれただろう。だが泥沼ズブズブの自分を掬い取り、陸へ立つことを目指すには、自分の手足を動かすしかなかった。

学生の頃、論文が出ないのはとても苦しかった。他者への嫉妬は積もるばかりだった。あるいは、執筆しても論文投稿後の不運に見舞われた。未来の不確実性に備えることはできないが、過去から学べることは多いはずだ。私は研究者のサクセスストーリーだけでなく、分析的な苦悩ストーリーも若者にとっては参考になるだろうと考えた。本稿はそれゆえ、羞恥に満ちた内容になった。私よりも若いステージにある方には、他者との比較や競争意識よりも、自立と協働の両立へ向けて、自信を持って研究を楽しんで欲しいと感じる。研究者としての道を選ばないとしても、研究で培ったスキルや経験は社会のどこでも貴重だし、研究をやめるという意味決定は、敗北や恥ではなく、新しい段階への輝かしいステップだ。若手にとって助けとなる激励を、私自身が今後の活動を通じて、幅広い人達に及ぼしていきたいと

<sup>9)</sup> だが学会中は陰鬱で、素晴らしい研究者の受賞講演は欠席して海を見ているなどもあった

考えている。

最後に、モットーを要約する。人生は一度きりなので、教訓とまでは言えないが、皆さんがどう考えるかは、ぜひ、知りたい。

- 論文を書く。書けないなら理由を解明・対策する。
- 分析する。本質的な情報を落とした過度な射影をしない。
- 解析・プレゼンの質にこだわる。マテリアルの効率的な自動化を検討する。
- 人と話す。学会とセミナーへ出る。質問をする。英語を使う。
- 何事も主体的に終わらせる。
- 自立する。自立するとは何か、そのために何をすべきかを検討・実践する。
- ジャーナルとの付き合い方を主体的に決める。
- 受動ネットワークより能動ネットワーク。
- 自立あつての協働。
- 楽しむ。

## 参考文献

Hamilton, W. D., and May, R. M. Dispersal in stable habitats. *Nature*, 269(5629):578–581, 1977. doi:

10.1038/269578a0.

Iritani, R., and Iwasa, Y. Parasite infection drives the evolution of state-dependent dispersal of the host. *Theoretical Population Biology*, 92:1–13, 2014. doi: 10.1016/j.tpb.2013.10.005.

Iritani, R. How parasite-mediated costs drive the evolution of disease state-dependent dispersal. *Ecological Complexity*, 21:1–13, 2015. doi: 10.1016/j.ecocom.2014.10.008.

Iritani, R., and Cheptou, P.-O. Joint evolution of differential seed dispersal and self-fertilization. *Journal of Evolutionary Biology*, 30(8):1526–1543, 2017. ISSN 1420-9101. doi: 10.1111/jeb.13120. URL <http://dx.doi.org/10.1111/jeb.13120>.

Iritani, R., West S. A., and Abe, J. Cooperative interactions among females can lead to even more extraordinary sex ratios. *Evolution Letters*, 5(4): 370–384, 2021. doi: 10.1002/evl3.217.

Abe, J., Iritani, R., Tsuchida, K., Kamimura, Y., and West, S. A. A solution to a sex ratio puzzle in *Melittobia* wasps. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(20): e2024656118, may 2021. doi: 10.1073/pnas.2024656118.

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

## Dynamics of Structured Populations (Part IV)<sup>1</sup>

Lectures at East China Normal University,  
Shanghai, July 5 to 12, 1988

Odo Diekmann

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

### IV. Nonlinear Problems

In general the price for realism in models is untractability. But sometimes one is lucky. In this chapter I sketch some techniques and tricks to analyze nonlinear models.

**IV.1. Monotonicity.** Example 6 (page 9): *Epidemic Spread*  
Clearly

$$i(t, \tau) = i(t - \tau, 0) = S(t - \tau) \int_0^\infty A(\sigma) i(t - \sigma, 0) d\sigma$$

and

$$\frac{dS}{dt}(t) = -i(t, 0).$$

Combining these two we find

$$\frac{dS}{dt} = +S(t) \int_0^\infty A(\sigma) \frac{dS}{dt}(t - \sigma) d\sigma$$

which is a time translation invariant equation (but requires  $S$  to be defined on  $(-\infty, t]$ ). If we consider an initial value problem we write

$$\frac{dS}{dt}(t) = +S(t) \int_0^t A(\sigma) \frac{dS}{dt}(t - \sigma) d\sigma - g(t)S(t)$$

where  $g$  is the infectivity at time  $t$  due to individuals that were already ill at  $t = 0$ . Integrating from 0 to  $t$  we obtain

$$\ln \frac{S(t)}{S(0)} = \int_0^t A(\sigma) \{S(t - \sigma) - S(0)\} d\sigma - \int_0^t g(\tau) d\tau$$

Define

$$u(t) = -\ln \frac{S(t)}{S(0)} \quad \text{then}$$

$$u(t) = S(0) \int_0^t A(\sigma) \left(1 - e^{-u(t-\sigma)}\right) d\sigma + \int_0^t g(\tau) d\tau$$

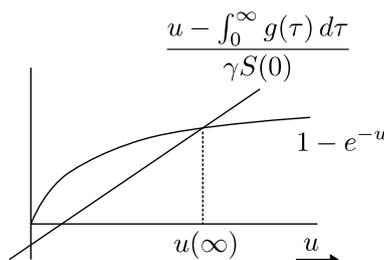
---

<sup>1</sup>This manuscript is Part 4 of Lecture Note by Prof. Odo Diekmann (Utrecht), which was given in 1988 at East China Normal University, Shanghai. Part 1-3 was published in JSMB Newsletter No. 93 (2021), pp. 6-15 and No. 94 (2021), pp. 6-21. The original hand-written manuscript was typed by Ryohei Saito (Hokkaido Univ.), and edited by Hisashi Inaba (Tokyo Univ.) and Kazunori Sato (Shizuoka Univ.).

which is a nonlinear renewal equation. Since  $S(0)$ ,  $A$  and  $g$  are nonnegative and  $1 - e^{-u}$  is monotone increasing one can conclude immediately that  $u$  is monotone increasing and tends to a limit  $u(\infty)$  which satisfies

$$u(\infty) = \gamma S(0) \left(1 - e^{-u(\infty)}\right) + \int_0^\infty g(\tau) d\tau$$

where by definition  $\gamma = \int_0^\infty A(\sigma) d\sigma$ .



We are especially interested in the question: when does the introduction of very few infectives cause a major epidemic outbreak?

If  $\int_0^\infty g(\tau) d\tau \rightarrow 0$  then there are two possibilities:

$$- \gamma S(0) < 1 \quad \text{implies} \quad u(\infty) \downarrow 0$$

$$- \gamma S(0) > 1 \quad \text{implies} \quad u(\infty) \downarrow \text{positive root of } \frac{u}{\gamma S(0)} = 1 - e^{-u}$$

So the key parameter is the reproductive number  $\gamma S(0)$  (Exercise: find the biological interpretation of  $\gamma S(0)$ .) and 1 is a *threshold* value for this parameter.

In the case of spatial spread we find by similar manipulations:

$$u(t, x) = \int_0^t \int_{\mathbb{R}^2} \left(1 - e^{-u(t-\tau, y)}\right) S_0(y) A(\tau, x, y) dy d\tau + \int_0^t g(\tau, x) d\tau$$

and one has a similar threshold phenomenon. In addition one can characterize the asymptotic speed of spatial propagation as follow. Assume:

$$S_0(x) = S_0, \quad \text{a constant}$$

$$A(\tau, x, y) = H(\tau) V(|x - y|)$$

and introduce

$$L_c(\lambda) = S_0 \int_0^\infty e^{-\lambda c \tau} H(\tau) d\tau \int_{\mathbb{R}^2} V(|x|) e^{-\lambda x_1} dx$$

If  $L_c(0) > 1$  (which means we are super-threshold) then

$$c_0 = \inf\{c > 0 : L_c(\lambda) = 1 \text{ for some } \lambda > 0\}$$

makes sense and for suitable (compactly supported) initial conditions

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\sup\{u(t, x) : |x| \geq ct\}) = 0, \quad \forall c > c_0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\inf\{u(t, x) : |x| \leq ct\}) = \text{positive root of } \frac{u}{\gamma S_0} = 1 - e^{-u}, \quad \forall c \in (0, c_0)$$

where now  $\gamma = L_c(0) = S_0 \int_0^\infty H(\tau) d\tau \int_{\mathbb{R}^2} V(|x|) dx$ . Therefore we say that  $c_0$  is the asymptotic speed of propagation.

Clearly one has to work much harder to prove these results, but the basic idea, *monotonicity*, remains the same! One can formulate analogous models for the geographical spread of invading species and these have been applied to various data by F. van den Bosch, see F. van den Bosch, J. A. J. Metz, O. Diekmann,

The velocity of population expansion, *Journal of Mathematical Biology*(1990) 28: 529-565.

#### IV.2. Stable distributions.

Consider

$$\frac{dn}{dt} = h(E)An - \mu(E)n$$

Here  $\mu$  is a uniform (i.e. i-state independent) death rate and  $h(E)$  is a scalar factor multiplying the linear infinitesimal generator  $A$ . For instance, if in example 2 both  $g$  and  $\beta$  depend on  $S$  through the same multiplicative function and  $\mu$  is independent of  $x$  we are in this situation. The key point is that one can construct the solution modulo a scalar factor by a time scale transformation applied to the solution of the linear problem.

Write as an “Ansatz”

$$n(t) = \alpha(t)w \left( \int_0^t h(E(\tau))d\tau \right)$$

where  $\alpha(t) \in \mathbb{R}$ , then

$$\frac{d\alpha}{dt}w + \alpha h(E)\frac{dw}{dt} = h(E)\alpha Aw - \mu(E)\alpha w$$

which can be decoupled into

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dt} &= Aw - \lambda_d w \\ \frac{d\alpha}{dt} &= (\lambda_d h(E) - \mu(E))\alpha \end{aligned}$$

where  $\lambda_d$  is the dominant eigenvalue of  $A$ . So under suitable hypotheses on  $A$  we find that for  $t \rightarrow \infty$   $w$  converges to the dominant eigenvector of  $A$ . The limiting behaviour is therefore completely determined by the “amplitude” equation for  $\alpha$ , which is coupled to the environmental equations. Recently Cushing (J. M. Cushing, A competition model for size-structured species, *SIAM J. Appl. Math.* (1989) 49: 838-858) has used this “trick” to study the competition of size-structured species.

#### IV.3. Linear chain trickery. (a problem raised by J.A.J. Metz)

The general structure of physiologically structured models with environmental input is

$$\frac{dn}{dt} = A^*(E)n + B^*(E)n$$

where  $A^*(E)$  describes the smooth i-state change and death and  $B^*(E)$  describes birth. We can describe the “output” by  $C^*(E)n$  where, for instance,  $C^*(E)$  describes the consumption of substrate (which is a component of  $E$ ). So  $C^*(E)$  maps  $M(\Omega)$  into some finite dimensional space, and feedback through the environment is incorporated by allowing the equations for  $E$  to depend on  $C^*(E)n$ .

Let  $P : M(\Omega) \rightarrow \mathbb{R}^k$  be a mapping such that

$$P(A^*(E) + B^*(E)) = M(E)P$$

for some  $k \times k$  matrix family  $M(E)$ . Then  $N(t) := Pn(t)$  satisfies the ode

$$\frac{dN}{dt} = M(E)N$$

If, in addition, a matrix  $\Gamma(E)$  exists such that  $C^*(E) = \Gamma(E)P$  then the output  $C^*(E)n = \Gamma(E)N$  and consequently a coupled system for  $N$  and  $E$  describes the

interaction completely. Once  $E$  is defined as a solution of this system one can consider  $E$  to be known and study

$$\frac{dn}{dt} = A^*(E)n + B^*(E)n$$

as a non-autonomous (i.e. time dependent) but linear equation. A special case of particular importance arises if one can conclude from the  $(N, E)$ -system that  $E$  approaches a limit (or a periodic solution) as  $t \rightarrow \infty$ . In that case the linear equation for  $n$  is asymptotically autonomous (periodic) and one can base further conclusion on the known asymptotic behaviour.

EXAMPLE 3. *Cell Division.* (We work with densities rather than general measures.)

Define

$$P\psi = \int_{x_{\min}/2}^{x_{\max}} x\psi(x) dx$$

Then  $P(-\beta(\cdot)\psi(\cdot) + 4\beta(2\cdot)\psi(2\cdot)) = 0$  since mass is conserved in the division process. In other words:  $PB^*(E)\psi = 0$ . Let the growth rate  $g$  be of the form  $h(E)x$  then

$$PA^*(E)\psi = - \int x \frac{\partial}{\partial x} (h(E)x\psi(x)) dx = +h(E) \int x\psi(x) dx = +h(E)P\psi.$$

Assume chemostat dynamics:

$$\frac{dE}{dt} = D(E^i - E) - kh(E) \int xn(t, x) dx$$

where  $D$  is the dilution rate,  $E^i$  the concentration of the limiting nutrient in the inflowing fluid and  $k$  a conversion factor.

In the terminology from above we have  $C^*(E)n = kh(E)Pn$ . The ode system

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= h(E)n - DN \\ \frac{dE}{dt} &= D(E^i - E) - kh(E)N \end{aligned}$$

has a globally asymptotically stable steady state under appropriate conditions.  $\square$

Under further conditions one can obtain stronger results. The idea is that one can solve for the zero'th generation (the solution of  $\frac{dn_0}{dt} = A^*(E)n_0$ ) explicitly (and that  $n_0$  tends to zero as  $t \rightarrow \infty$ ; or at least  $B^*(E)n_0 \rightarrow 0$ ), so that whenever  $B^*(E) = \Lambda(E)P$  for some mapping  $\Lambda(E) : \mathbb{R}^k \rightarrow M(\Omega)$  one can write down the solution  $n$  explicitly in terms of  $n_0$  and  $N(t)$ . Therefore we shall first investigate under what condition on the growth rate  $v$  and the death rate  $\mu$  one has  $PA^*(E) = H(E)P$  for some matrix  $H(E)$  and some mapping  $P$ . If one can satisfy the relation  $PA^*(E) = H(E)P$  and, moreover,  $B^*(E) = \Lambda(E)P$  and  $C^*(E) = \Gamma(E)P$  then the infinite dimensional system is reduced to a system of ode's and, conversely, one can recover the solution of the original system from the solution of the ode system and the variation-of-constants formula for the growth-death part  $\frac{dn_0}{dt} = A^*(E)n_0$ .

Assume that  $P$  is of the form  $P\theta = \int_{\Omega} \varphi(x)\theta(dx) = \langle \varphi, \theta \rangle$  for some  $\varphi \in C_0(\Omega)$ , i.e. assume that  $P$  has one-dimensional range and is defined by a pairing with an element of the pre-dual space  $C_0(\Omega)$ . Then  $PA^*(E)\theta = \langle A(E)\varphi, \theta \rangle$  and so we have to satisfy  $A(E)\varphi = \lambda(E)\varphi$  for some function  $\lambda(E)$ , i.e.  $\varphi$  has to be an eigenvector of  $A(E)$  with  $E$ -dependent eigenvalue  $\lambda(E)$ .

We now restrict ourselves to the case of a one-dimensional i-state space. Then

$$-v(x, E)\varphi'(x) + \mu(x, E)\varphi(x) = \lambda(E)\varphi(x)$$

or

$$\frac{\mu(x, E) - \lambda(E)}{v(x, E)} = \frac{\varphi'(x)}{\varphi(x)}$$

So we find that it must be possible to find a function  $\lambda$  of  $E$  and a function  $f$  of  $x$  such that

$$\boxed{\frac{\mu(x, E) - \lambda(E)}{v(x, E)} = f(x)}$$

and then we may choose  $\varphi(x) = e^{\int^x f(\xi) d\xi}$  where we still have an integration constant at our disposal to satisfy a boundary condition zero at  $\partial\Omega_-$ , if  $\partial\Omega_-$  is non-empty.

EXAMPLE 1. (*age-dependent population dynamics*)

If  $v(x, E) = 1$  the condition is simply that  $\mu$  is the sum of a function of  $x$  (which we shall call  $a$  now) and a function of  $E$ . Note that then  $\lambda$  is determined modulo constants only and that, consequently, we have a one-parameter family of  $\varphi$ 's. This gives greater flexibility for satisfying the remaining conditions for  $B^*(E)$  and  $C^*(E)$ .  $\square$

EXAMPLE 2. (*size dependent population dynamics*)

If, for instance,  $\mu$  is independent of  $x$  we choose  $\lambda(E) = \mu(E)$  and  $f(x) = 0$ , hence  $\varphi(x) = 1$ . (This simply means that  $N$  is total population.) So it requires that both  $\beta$  and the consumption rate  $\gamma$  are independent of  $x$ .  $\square$

We next consider  $P$  with two-dimensional range and put

$$P\theta = \int_{\Omega} \Phi(x)\theta(dx) = \langle \Phi, \theta \rangle \quad \text{where } \Phi(x) = \begin{pmatrix} \varphi_1(x) \\ \varphi_2(x) \end{pmatrix}$$

The condition now is that

$$-v(x, E)\Phi'(x) + \mu(x, E)\Phi(x) = H(E)\Phi(x)$$

Let  $\psi_i(E)$ ,  $i = 1, 2$ , be the left eigenvectors of  $H(E)$  corresponding to the eigenvalues  $\lambda_i(E)$  then

$$\lambda_i(E)\langle \psi_i(E), \Phi(x) \rangle = \mu(x, E)\langle \psi_i(E), \Phi(x) \rangle - v(x, E)\langle \psi_i(E), \Phi'(x) \rangle$$

which we can rewrite in the form

$$\frac{\mu(x, E) - \lambda_i(E)}{v(x, E)} = \frac{\langle \psi_i(E), \Phi'(x) \rangle}{\langle \psi_i(E), \Phi(x) \rangle}, \quad i = 1, 2$$

EXAMPLE 2 (Continued). Still assume that  $\mu$  is independent of  $x$ . Choose  $\varphi_1(x) = 1$  and  $\varphi_2(x) = x$ . We want that

$$-v(x, E) \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} + \mu(E) \begin{pmatrix} 1 \\ x \end{pmatrix} = H(E) \begin{pmatrix} 1 \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11}(E) + h_{12}(E)x \\ h_{21}(E) + h_{22}(E)x \end{pmatrix}$$

Choosing  $h_{12} = 0$  and  $h_{11} = \mu(E)$  we can make an identity for the first component without any requirement for  $v$ . However, the second component requires that  $v$  is of the form  $v(x, E) = a(E) + b(E)x$ . Then we choose  $h_{21}(E) = -a(E)$  and  $h_{22}(E) = \mu(E) - b(E)$  so

$$H(E) = \begin{pmatrix} \mu(E) & 0 \\ -a(E) & \mu(E) - b(E) \end{pmatrix}$$

Therefore  $\lambda_1(E) = \mu(E)$ ,  $\lambda_2(E) = \mu(E) - b(E)$  and  $\psi_1(E) = (1 \ 0)$ ,  $\psi_2(E) = (a(E) \ b(E))$ .

Note that

$$\frac{\langle \psi_1(E), \Phi'(x) \rangle}{\langle \psi_1(E), \Phi(x) \rangle} = 0 = \frac{\mu(E) - \lambda_1(E)}{v(x, E)}$$

and

$$\frac{\langle \psi_2(E), \Phi'(x) \rangle}{\langle \psi_2(E), \Phi(x) \rangle} = \frac{b(E)}{a(E) + b(E)x} = \frac{\mu(E) - \lambda_2(E)}{v(x, E)}$$

Also note that we can immediately extend the example to three and more dimensions by choosing

$$\Phi(x) = \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ \frac{1}{2}x^2 \\ \vdots \end{pmatrix}$$

□

It is a conjecture that, modulo  $E$  independent change of  $i$ -state variable, this type of example is essentially all one can obtain with mappings  $P$  with finite dimensional range (assuming a one-dimensional  $i$ -state).

The problem is not completely understood and this paragraph has an open end!

#### IV.4. Time scale arguments. (Model simplification)

EXAMPLE 5. *Cannibalism*

If only very young individuals suffer from cannibalism we may, as an idealization, model this as an instantaneous reduction of the birth rate (i.e. only the “eggs” are eaten) in the hope that this idealization leads to a more simple mathematical model. With the notation of page 9 we take

$$C(a) = \frac{1}{\varepsilon} \zeta\left(\frac{a}{\varepsilon}\right)$$

where  $\zeta$  is some nonnegative function with support in, say,  $[0, 1]$ . Note that

$$\int_0^\infty C(a) da = \int_0^1 \zeta(\tau) d\tau =: \theta$$

which means that, although the intraspecific predation is restricted to a smaller and smaller age interval (if we let  $\varepsilon \downarrow 0$ ), nevertheless the total effect is more or less independent of  $\varepsilon$  since the survival function component for this effect is

$$e^{-\int_0^a C(\alpha)k(t-a+\alpha) d\alpha}$$

In the limit this factor is:

$$e^{-\int_0^a \frac{1}{\varepsilon} \zeta\left(\frac{a}{\varepsilon}\right) (t-a+\alpha) d\alpha} = e^{-\int_0^{a/\varepsilon} \zeta(\tau)k(t-a+\varepsilon\tau) d\tau} \xrightarrow{\varepsilon \downarrow 0} e^{-\theta k(t-a)}$$

In particular we obtain for  $a = 0$  a reduction factor  $e^{-\theta k(t)}$  for the birth rate. □

EXAMPLE 7. *prey-predator-patch models*

Suppose the prey exhaust their host plants very quickly compared with the time scale of dispersal, then the founding of a new prey colony leads almost instantaneously to the production of new searching prey unless predator invasion precludes overexploitation, in which case the yield consists of predators rather than prey. By some tedious exercises one can transform the verbal description given above into a limiting argument which leads to the ode system

$$\begin{aligned} \frac{dn_0}{dt} &= f(n_0) - \zeta n_0 P \\ \frac{dP}{dt} &= x_{\max} \zeta n_0 P e^{-\omega Q} - \mu P \\ \frac{dQ}{dt} &= \zeta n_0 P h(Q) - \nu Q \end{aligned}$$

where

$$\omega = \int_1^{x_{\max}} \frac{\eta(\sigma)}{\alpha\sigma} d\sigma \quad \text{and} \quad h(Q) = \frac{\beta}{\gamma} \int_{1+\frac{\gamma}{\beta}}^{1+\frac{\gamma}{\beta}x_{\max}} y d \left[ 1 - e^{-Q \int_1^{\frac{\beta}{\gamma}(y-1)} \frac{\eta(\sigma)}{\alpha\sigma} d\sigma} \right]$$

and where  $\alpha$ ,  $\beta$ , and  $\gamma$  stem from the choice

$$v(x) = \alpha x \quad , \quad g(x, y) = \alpha x - \beta y \quad , \quad h(x, y) = \gamma y$$

If we take  $\eta(x) = \alpha\delta x$  then

$$h(Q) = \left( \frac{\beta}{\gamma} + x_{\max} \right) \left( 1 - e^{-\omega Q} + \rho \left( \frac{1 - e^{-\omega Q}}{\omega Q} - 1 \right) \right)$$

where

$$\rho = \frac{x_{\max} - 1}{x_{\max} + \beta/\gamma}.$$

For certain parameter values the ode system has *two stable* steady states, one in which the prey keep the plants at a low level and one in which the predators keep the prey at a low level. See O. Diekmann, J. A. J. Metz, M. W. Sabelis, *Mathematical models of predator/prey/plant interactions in a patch environment*, *Experimental & applied acarology* (1988) 5: 319-342 and *Reflections and calculations on a prey-predator-patch problem*, *Acta Applicandae Mathematica* (1989) 14: 23-35.  $\square$

Such result are helpful in guiding simulation studies of the more complicated versions of the model! And in interpreting the outcome of such studies.

#### IV.5. Steady States.

Consider the system

$$\frac{dn}{dt} = A^*(E)n \quad \frac{dE}{dt} = F(E, C(E, n))$$

where  $C(E, n) = \langle \gamma(E, \cdot), n \rangle$  (think of “consumption”). In order to obtain a steady state  $E = \bar{E}$ ,  $n = \bar{n}$  we have, first of all, to determine  $\bar{E}$  such that  $A^*(\bar{E})$  has dominant eigenvalue zero. Then  $\bar{n}$  is of the form  $K(\bar{\theta})$  with  $\bar{\theta}$  the normalized eigenvector and  $K$  a constant which we have to determine from the requirement

$$F(\bar{E}, KC(\bar{E}, \bar{\theta})) = 0$$

Once we know a steady state we want to determine its stability by linearization. Write  $E = \bar{E} + e$  and  $n = K\bar{\theta} + u$  then, formally,

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= A^*(\bar{E})u + \left. \frac{d}{dE} A^*(E) \right|_{E=\bar{E}} e\bar{n} \\ \frac{de}{dt} &= \frac{\partial F}{\partial E} e + \frac{\partial F}{\partial C} \left\{ \frac{\partial C}{\partial E} e + \frac{\partial C}{\partial n} u \right\} \end{aligned}$$

Note that  $\frac{\partial C}{\partial n} u = C(\bar{E}, u)$  since  $C$  is linear in  $n$ . The corresponding spectral problem is

$$\begin{aligned} \lambda u &= A^*(\bar{E})u + \frac{d}{dE} A^*(\bar{E}) e\bar{n} \\ \lambda e &= \frac{\partial F}{\partial E} e + \frac{\partial F}{\partial C} \left\{ \frac{\partial C}{\partial E} e + C(\bar{E}, u) \right\} \end{aligned}$$

The first equation gives

$$u = (\lambda I - A^*(\bar{E}))^{-1} \frac{d}{dE} A^*(\bar{E}) e\bar{n}$$

and if we substitute this into the second we obtain the characteristic equation

$$\det \left( \lambda I - \frac{\partial F}{\partial E} - \frac{\partial F}{\partial C} \left\{ \frac{\partial C}{\partial E} + C \left( \bar{E}, (\lambda I - A^*(\bar{E}))^{-1} \frac{d}{dE} A^*(\bar{E}) \bar{n} \right) \right\} \right) = 0$$

(we assumed that  $E$  is finite dimensional). These formal calculations have to be made precise and justified, in particular the meaning of  $\frac{d}{dE} A^*(\bar{E})$ . It seems in fact reasonable that only  $C(E, U^E(t, 0)\theta)$  needs to be differentiable with respect to  $E$ !

It would be nice to have the principle of linearized stability, the center manifold theorem and the Hopf bifurcation theorem for this class of problems.

### Addendum

2021/08/05

It is a great pleasure to thank Hisashi Inaba for rescuing these notes from oblivion. After first stimulating some young researchers to read the handwritten version, he asked Ryohei Saito to transfer them into  $\text{\TeX}$ . I am most grateful to Ryohei Saito for doing a wonderful job and to Hisashi Inaba and Kazunori Sato for the editing work that led to the publication in three parts in this Newsletter of the Japanese Society for Mathematical Biology.

Much has happened in the 33 years that passed since these notes were written. I hope that the pointers to the more recent literature, given below, will enable interested readers to get an impression of the current state of the art.

The book “Population and Community Ecology of Ontogenetic Development” by A.M. de Roos and L. Persson (Princeton University Press, 2013) provides an excellent introduction to the ecological motivation for structured population models and, in addition, shows how the analysis of such models can unravel the relationship between mechanisms at the  $i$ -level and phenomena at the  $p$ -level. For a slightly different approach see “Data-driven Modelling of Structured Populations” (Springer, 2016) by S.P. Ellner, D.Z. Childs and M. Rees.

The book “Age-structured Population Dynamics in Demography and Epidemiology” by H. Inaba (Springer, 2017) focusses on human populations. It introduces a powerful mathematical framework for the rigorous analysis of the semilinear PDEs arising in the context of age-structured models, with much attention for the Basic Reproduction Number. The earlier book “Mathematics in Population Biology” by H.R. Thieme (Princeton University Press, 2003) contains a lot of material on stage structured models.

The lecture notes “Structured Population Models in Biology and Epidemiology”, edited by P. Magal and S. Ruan (Springer, 2008) is a collection of six papers on as many topics. Ten years later Magal and Ruan published the monograph “Theory and Applications of Abstract Semilinear Cauchy Problems” (Springer, 2018) devoted to a mathematical theory based on Integrated Semigroups. An alternative approach is presented in the paper “Twin semigroups and delay equations” (Journal of Differential Equations (2021) 286: 332–410) by O. Diekmann and S.M. Verduyn Lunel and is partly motivated by the framework for model formulation presented in the two papers

O. Diekmann, M. Gyllenberg, J.A.J. Metz, H.R. Thieme  
On the formulation and analysis of general deterministic structured population models. I. Linear theory  
Journal of Mathematical Biology 36 (1998) 349–388

O. Diekmann, M. Gyllenberg, H. Huang, M. Kirkilionis, J.A.J. Metz, H.R. Thieme  
On the formulation and analysis of general deterministic structured population models. II. Nonlinear theory  
Journal of Mathematical Biology 43 (2001) 157–189

The ‘Linear Chain Trickery’ problem, described in IV.3 above, was finally solved, see the three papers

O. Diekmann, M. Gyllenberg, J.A.J. Metz  
Finite dimensional state representation of linear and nonlinear delay systems.  
Journal of Dynamics and Differential Equations (2018) 30 : 1439–1467

O. Diekmann, M. Gyllenberg, J.A.J. Metz  
Finite dimensional state representation of physiologically structured populations.  
Journal of Mathematical Biology (2020) 80 : 205–273

O. Diekmann, M. Gyllenberg, J.A.J. Metz  
On models of physiologically structured populations and their reduction to ordinary differential equations  
Journal of Mathematical Biology (2020) 80 : 189–204

Concerning the stability of steady states, as discussed in IV.5 above, see

O. Diekmann, M. Gyllenberg, J.A.J. Metz, S. Nakaoka, A.M. de Roos  
Daphnia revisited : local stability and bifurcation theory for physiologically structured population models explained by way of an example  
Journal of Mathematical Biology (2010) 61 : 277–318  
Erratum: (2017) 75 : 259–261

and a forthcoming paper “On the formulation of size structured consumer resource models (with special attention for the principle of linearized stability)” by C. Barril, A. Calsina, O. Diekmann and J. Z. Farkas.

Finally, a very recent development brings numerical bifurcation analysis within reach, see

F. Scarabel, D. Breda, O. Diekmann, M. Gyllenberg, R. Vermiglio  
Numerical Bifurcation Analysis of Physiologically Structured Population Models via Pseudospectral Approximation  
Vietnam Journal of Mathematics (2021) 49 : 37–67



Odo Diekmann

## 社会的文脈での感染症とグローバル・ヘルス

小島響子\*

### はじめに

新型コロナウイルスが発生してから一年半余りが経過した。この過程で私たちは様々な影響を被っている。実際に罹患し、生活もままならない時を過ごすという感染症の医学的な影響だけでなく、時短営業や外出自粛、マスク生活、オンライン化、行事の中止、経済の停滞など、常時では考えられなかった社会生活における「当たり前」の更新も、挙げ出したらキリがない。さらには、クラスターや感染者の風評被害、自粛警察、政策・政治不信、感染経路の特定に伴う社会不安や世代間不信、フェイクニュースの流布など、社会的歪みも露見した。

数理生物学で扱うのは、ウイルスが体内で引き起こす症状、あるいは感染・蔓延を阻止すべき対象としての感染症である。だが私たちが社会に生きる上で接している感染症には、歴史的・社会的に醸成された文脈での側面がある。それは例えば、近所に感染者が出たらしいと聞いて漫然と覚える一抹の不安のような類のものである。

私は、私たちが対峙する感染症というものについて、あるいは今生きる感染症社会というものについて、より多様な文脈でその性質を見出し、専門外の人々とも共有することが必要だと考える。個々人が知見を得るだけでなく、その視点を共有し媒介となる意味では、サイエンス・コミュニケーションと関わると考える。

そういった意識から、今回は感染症にまつわる現代社会の問題、インフォデミックとポストトゥルースについて取り上げた。今回はその続編として、感染症が人類史において何度も繰り返され社会変容や文明の衰退興隆を決定づけてきた事実に対し、人類が感染症そのものをどう捉えてきたのか、また今日のグローバル化の中でどのように感染症を捉えていくべきかについて、共有したい。

### 感染症は格差を助長するのか？

BBC ワールド・サービスの調査(2020年6月実施)<sup>1</sup>では、27カ国の計2万7000人超に対して、新型コロナ

ウイルス感染症の蔓延を受けた収入の増減を聞いた。その結果、収入が減ったと答えたのはOECD加盟国では45%だったが、非加盟国では69%に上った。欧州や北米よりも、南米やアジア、アフリカの方が、大きな影響を受けていると回答する人が多く、割合の多い順にはケニア(91%)、タイ(81%)、ナイジェリア(80%)、南アフリカ(77%)、インドネシア(76%)、ベトナム(74%)だったということだ。この結果からも、感染症による経済的影響には、そもそも国の生活水準に基づく格差があるというのは想像に容易い。

ちなみに、パンデミックにより格差は拡大するか、については両極論があるが、例えばFuceri et al. “Will Covid-19 affect inequality? Evidence from past pandemics” (2020)<sup>2</sup>では、「パンデミックにより格差は拡大する」と結論づけている。この根拠として、2000年以降に出現したSARSなど5回のパンデミックを取り上げた結果、①ジニ係数の上昇、②高所得者層の所得割合の上昇、③教育水準の低い人の就業率の相対的低下をもたらしたと述べられている。

いずれにしてもコロナ禍においては、各国の国内格差も深刻な問題となっている。ロックダウンを行った場合、リモートワークが可能な一部のホワイトカラーは、所得への影響が実質的には少ない。だが、市場で商売をする人々などは、突如生計手段を失ってしまう。しかも、貧困の加速化に対し、こうした労働者を救う社会補償は十分ではないことがほとんどだ。ILOの調査によれば、今世界の就業者人口の61.2%に当たる20億人がインフォーマル経済(法令・慣行上、十分に取決め適用を受けていない経済圏を指し、発展途上国によく見られる)で働いている。衛生用品の普及等も十分ではなく、場合によっては水道設備もない、密な住宅内で暮らしている。

例えばアメリカでは、黒人、ヒスパニック、アジア系の患者は、白人よりも罹患率・死亡率ともに高い。その理由は有色人種の方が、いわゆる密な、不衛生な場所での生活を強いられていたりと、「エッセンシャルワーカー」であるが故に在宅勤務ができなかったり、あるいは十分に医療にアクセスできないという背景があることが明らかにされている<sup>3</sup>。

新型コロナウイルス感染対策で世界中から賛辞を集

\*名古屋大学 大学院理学研究科生命理学専攻 異分野融合生物学研究室

めたアーダーン首相率いるニュージーランドのような国でも、経済はいわゆる「K字回復」（富裕層がさらに富み、低所得者層はさらに貧しくなる状態）をたどっている<sup>4</sup>。病としての感染症から回復し克服することのみが感染症対策ではないということが示されている。

こうしてみると、先進国・途上国間の格差（それは医薬品アクセスやワクチンの普及率、医療、社会補償の差などに現れる）だけでなく、差別のもとで営まれている従来の社会生活自体が、罹患の差に繋がっている。人種差別だけでなく、女性差別（例えば経済的困窮の場面で、教育の機会を排除されるのは女性の方が高いという途上国の現実が未だにある）、LGBTQ+差別（性的嗜好により十分な医療が補填されないなど）においても同様である。以上から、感染症のもたらす社会は、今まで培われてきた差別的枠組みの土壌の上で、その不平等性を露呈しているという側面がある。ここで、歴史的、社会的に醸成された文脈での感染症が見えてくる。

## 感染と差別意識の歴史

感染症と差別意識の因果関係の歴史は、古代ギリシアまで遡る。トゥキディデスの『戦史』によれば、紀元前430年、アテナイで大規模な疫病が流行した。ペロポネソス戦争の真っ最中だ。高熱、目の充血、喉の炎症、異様な臭気を帯びた息ののち、「大多数のものはいくぶんかの体力を残しながら、高熱のために7～9日目に死んだ」という<sup>5</sup>。疫病に耐性のない当時の人々にとっては、前代未聞の大厄災である。何の手立てもないまま社会は錯乱し、栄華を誇ったアテナイの都市は荒廃の一途を辿る。当時、その原因の一つは、「汚れ (miasma)」によるものだと考えられた。汚れを持つ罪人を共同体から追放することで、共同体は浄化される。そしてそれは、神が怒り、求めればこそだ、とされていた。

時を経て中世ヨーロッパでは、ハンセン病患者をユダヤ人と同視する思想が広まった。ヴォルテールは「ユダヤ人が天然痘を我々のヨーロッパに持ち込んだ」と述べ、ここにきて「汚れ＝異端的な教え」であるとすり替えられる。つまり、病の伝染と同じように、異教徒の教えは人々を精神的に汚染して広まる、という意味で同視されていくのである。ペストがヨーロッパに蔓延する頃には、ユダヤ人とハンセン病患者は明確に結びつけられ、ユダヤ人が作った毒薬が原因という説に多くの者が便乗し架空の根拠を与え、結果としてユダヤ人の大虐殺が起きた。歴史学者カンパティエは、この虐殺が起きた理由を、ペスト流行の噂が「住民の間に神経過敏と恐怖の状態を培った」ためであると分析している<sup>5</sup>。精神は未知の不安の解決と特定を求め、また中世キリスト教社会は、異教徒の排除を感染症の

持つ外敵というニュアンスを利用することで確固なものにした。（そもそも、伝染病には外部から見舞われる「外敵」であるというイメージがある。アメリカの作家、スーザン・ソントグの言葉で、梅毒がイギリスでは「フランス病」と呼ばれ、パリでは「ゲルマン病」と呼ばれ、フィレンツェでは「ナポリ病」と呼ばれた、というのは有名である。）

しかし、ペストの脅威から解放された18世紀以降、感染症の種は都市内部（例えば貧民街）にあると認識されるようになった。墓地は郊外に移され、不衛生の象徴だった監獄や病院は、新しく衛生的な施設として作られることになった。ベンサムによるパノプティコン構想も、衛生的施設としての監獄改革案であった。

感染症の対策には権力が社会を監視し統治することが必要だ、という意識の台頭により、今日でいう「公衆衛生」の基礎が培われた。1832年にパリを襲ったコレラの惨禍の後には、コレラの死亡率と不衛生な住宅が結びつけられた<sup>5</sup>。ここにきて、感染症対策として「貧困」「格差社会」という問題に焦点が当たるのである。パリの貧困地区の死亡率が富裕地区のおよそ2倍であるという事実が、その問題の根深さを根拠づけた。ヴィクトル・ユゴーは、「癩病が身体の病気であるのと全く同じように、貧困は政治体の病気である」と述べた。繰り返されるコレラの脅威の中で、不衛生な地域でとりわけ死亡率が高かったことは、その地域に住む人々の生活そのものを統治することに正当性を与えた。それは、都市統治において厄介であった暴動、結社、ノマド、独身、酒場、売春など、「不衛生で不健康なもの」を感染症の温床として管理することが主張されるようになった<sup>5</sup>。こうして、賛否はあるが、衛生にはある種国家統治のイデオロギーとしての機能が付与された。

## 今日の感染症に対するグローバル・ヘルス

さて、今日では、個々人の健康は、国家統治からグローバル統治へとスケールが移行している。これには二つの意味がある。一つ目は、グローバル社会において、感染症は今や一部の地域国家ではなく、全世界的に一気に蔓延するという意味だ。二つ目は、個々人の健康が、地球規模で保障すべき権利であるという認識における、グローバル・ヘルスとしての意味である。現在、病という人類共通の脅威に対して、全世界レベルでの協力体制があり、これがグローバル・ヘルスと呼ばれるものである。グローバル・ヘルスの枠組み自体はまだ日が浅く、ペストが流行した14世紀ヨーロッパでは、協力体制の必要性が共有されたが、その後第一次世界大戦後に国際連盟が発足するまで、世界的な枠組みはなかった。

コロナ禍では、先に述べたような国家間、人種間で

はじめとするグローバルヘルスの不平等性が顕在化している。Black Lives Matter、脱植民地化、人道主義者を含むレイシズム国際協調など、その取り巻く範囲と論点は広範だ。しかし概観すると、医療体制や社会保障の格差、医療や薬品へのアクセス、罹患率やワクチン普及率の格差が具体的問題となっている。

一方、法的枠組みについては、健康への権利とその平等な実現の明文化が定着している。1946年のWHO憲章はその序文で、健康を「身体的・精神的、社会的福利のことで、単に疾病又は病弱の存在しないことではない」と定義している。WHOによると、健康への権利には、医療・医薬品へのアクセスのほか、健康的糧、健康に関する教育と情報の提供などが含まれる。また1948年の世界人権宣言25条には、「健康であることは、すべての人の権利である」と示されている。各国の憲法でも、健康への権利について言及されるものは少なくなく、日本国憲法第25条においても、「健康で文化的な最低限度の生活」という文言で、生存権が保障されている。

このように明文化が定着してきた健康への権利だが、実際の具体的枠組みはほとんど整備されていないのが現状だ。WHOの推定によれば、世界の三割の国では医薬品規制が存在しないか、ほとんど機能しておらず、質の悪い薬の横行や価格の高騰を招いている。途上国では保健関連予算が圧倒的に不足し、また医療保険制度が整っておらず、患者の医療費負担は50%を超えている<sup>6</sup>。日本国内でも、ワクチン配布量は都内の自治体内で最大15倍の差があり、なかなか接種できないという声がよく報道されている<sup>7</sup>。生まれついた個人、社会によって健康格差が決まる側面があるからこそ、今回のコロナ禍においても、健康の問題は、社会の不平等の問題としても翻訳できる。言い換えれば、その不平等を正当化する差別の問題と捉えることもできる。

## どうしたらグローバル・ヘルスは平等であり得るのか

国際NGO「オックスファム」が2020年に行った調査によれば、世界の富裕層上位26人の資産額と、世界人口の約50%にあたる貧困層（約38億人）の資産額がほぼ同じであった。2021年度の報告の題は、「不平等なウイルス」と題され、富裕層が9ヶ月で経済回復した一方、貧困層が新型コロナの被害から回復するには10年ほどかかるという推定を明らかにし、格差の拡大を示した<sup>8</sup>。そのような現実的な富の不平等性を前に、グローバル・ヘルスは平等であり得るのだろうか。不平等性に差別意識が潜み、利害が絡む場合はどうか。そこに構造的な矛盾はないのか。コレラの時代に、パリの貧困地区の死亡率が富裕地区のおよそ2倍

であった頃と同種の縮図が、今なお継続し、同質の問題として再提起され続けている。

国際社会の協調という観点で見ると、冷戦中、アメリカとソ連がそれぞれ対抗的にマラリアと天然痘対策のイニシアティブを取ろうとしたことで、結果的にWHOの元に多くの資金が集まりキャンペーンを展開し、天然痘が撲滅された例がある。パワーバランスや多様なアクターの利害対立が、水面下で軋み合っていた時代に、米ソの共同研究すら見られた。冷戦終結には繋がらなかったが、パワーバランスの利用という仕方、グローバル・ヘルスが実質的に一歩進んだ例を経た。

一方現代のコロナ禍では、米中の新たな冷戦、と揶揄された。問題は、こういった政治的対立がグローバル・ヘルスの先導を担う組織であるWHOにも持ち込まれた点だ。感染が拡大し始めた2020年7月、当時のトランプ大統領は「WHOは中国寄り」として脱退を通知。中国は、感染症の抑え込みに成功した台湾が、WHOにオブザーバー参加することに反対し阻止した。医療体制の構築強化や、途上国支援についての連帯が、初期段階で実質的に足踏みした。「グローバルな公共財」と位置付けられたはずのワクチン開発における協力体制、公正な配分も未だ実現できていない<sup>9</sup>。

組織的な体質と構造の再検討は必要だが、解決の担い手を国や国際社会に任せることも現実的ではない。「グローバル・ヘルスにおける権力の非対称性について」<sup>10</sup>という論文において、自分自身の地位や行動、無意識バイアスを常に省みなくてはならない、と指摘した上で、エチオピア内分泌学者のフィーシャ氏の言葉が引用されている。「我々は皆壊れたシステムの一部である。アイデンティティと、その者をその他大勢の者に反して特権をえるに至らしめたシステムに対して批判的な目を向けるということが重要だ。」これは、アメリカ内で白人初め「特権」を持つグループを想定した言葉だが、例えばワクチン接種にアクセスできている自分、などについても同様の気づきを与えている。差別意識は、国家や組織以前に人間の内部に存在し、集団の中で顕在化し醸成されてきた。そうであれば、真に平等なグローバル・ヘルスは、多様な立場にある人間の気づきと行動の連帯の先に創出されると考える。

まとめると、感染症と格差社会という視点は、感染症史の始まりから受け継がれてきた、不平等の根底にある社会の恒常的な病に目を向けるものであり、ポストコロナの時代も個人と多様なアクターに問いかけ続ける、常時の課題なのである。

## 参考文献

1. BBC NEWS JAPAN (2020年9月11日)「新型コロナウイルスの影響、貧困国と先進国で大きな差＝BBC

- 調査」
2. Furceri et al. (2020) Will Covid-19 affect inequality? Evidence from past pandemics. *Covid Economics Vetted and Real-Time Papers 2020*, 12 (1.5.): 138-157.
  3. Mitchell H. Katz (2021) Racial and Ethnic Health Disparities Related to COVID-19. *JAMA* 325(8): 719-720.
  4. ロイター (2021年4月19日) 「アングル：賞賛浴びたNZのコロナ対応、住宅高騰で格差拡大」
  5. 西迫大祐 (2020) 感染症と法の社会史 病がつくる社会 新曜社
  6. 詫摩佳代 (2020) 人類と病 国際政治から見る感染症と健康格差 中公新書
  7. NHK 首都圏ナビ (2021年4月21日) 「コロナのワクチン 自治体配布量に最大15倍の格差 なぜこんなことが？」
  8. Esmé Berkhout, Nick Galasso, Max Lawson, Pablo Andrés Rivero Morales, Anjela Taneja, Diego Alejo Vázquez Pimentel (2021) *The Inequality Virus*, Oxfam International
  9. NHK スペシャル (2020年12月6日放送) 「パンデミック 激動の世界 (5) 「コロナ禍 米中 新たな“冷戦”」
  10. Abimbola S, Asthana S, Montenegro C, Guinto RR, Jumbam DT, Louskieter L, et al. (2021) Addressing power asymmetries in global health: Imperatives in the wake of the COVID-19 pandemic. *PLOS Medicine* 18(4): e1003604.
-

【第5回 数理生物研究 × 計算機】

# 実データの単回帰分析

一ノ瀬元喜<sup>\*</sup>, 二宮理徳<sup>†</sup>, 渡邊颯汰<sup>‡</sup>, 宮川大樹<sup>§</sup>

## 1. はじめに

この連載も第5回目の最終回となりました。今回は実際の生物のデータを使ったデータ解析をPythonでやりたいと思います。今回の手順は以下となります。まず実際のデータをPythonから読み込みます。次にこのデータの基本統計量をPythonで算出します。その後、データから単回帰モデルを構築し、データの関係性を予測します。

今回紹介するプログラムのソースコードは、過去4回と同様にGitHub (<https://github.com/igenki/biomathNL>) [1] に置いてあります。ファイルのダウンロード方法は第1回、第2回の記事の説明を必要に応じてご参照ください。今回は、プログラムのすべてをDataAnalysis.ipynbの1つのファイルに記述しますので、GitHubからこのファイルをまずダウンロードしてください。以降のプログラムの内容はこのファイルを参照しながら読み進めていただければと思います。

## 2. データセットと基本統計量

今回は実際のデータを分析します。手元に適切な生物の実データがありませんので、サンプルのデータセットを使います。Pythonの場合、scikit-learn<sup>1)</sup>などにサンプルデータセットが含まれていますが、種類数が少ないです。一方、統計解析のプログラミングでよく用いられるR言語には約750種類ものデータセットがデフォルトで付属しており、これらのデータを簡単に使用することができます。またこのRのサンプルデータセットは、Pythonから簡単に読み込むことができます。本連載記事ではPythonを用いていますので、今回はこの方法を用いて実データを分析していきます。

## 2.1 PythonからのRのデータセットの読み込み

RのデータをPythonで読む方法としてPyDatasetというPythonライブラリを使う方法があります。これを次のようにpip installでインストールします。

```
1 !pip install pydataset
```

ソースコード 1 PyDatasetのインストール

次に、PyDatasetの使い方について説明します。ソースコード2のようにPyDataset内のdataというモジュールを使用すると、Rのデータセットの一覧を表示することができます(図1)。

```
2 from pydataset import data # pydatasetのモジュールdataをインポート
3 data() # Rのデータセットの一覧を表示
```

ソースコード 2 Rのデータセットの一覧を表示

|     | dataset_id    | title                                            |
|-----|---------------|--------------------------------------------------|
| 0   | AirPassengers | Monthly Airline Passenger Numbers 1949-1960      |
| 1   | BJsales       | Sales Data with Leading Indicator                |
| 2   | BOD           | Biochemical Oxygen Demand                        |
| 3   | Formaldehyde  | Determination of Formaldehyde                    |
| 4   | HairEyeColor  | Hair and Eye Color of Statistics Students        |
| ... | ...           | ...                                              |
| 752 | VerbAgg       | Verbal Aggression item responses                 |
| 753 | cake          | Breakage Angle of Chocolate Cakes                |
| 754 | cbpp          | Contagious bovine pleuropneumonia                |
| 755 | grouseticks   | Data on red grouse ticks from Elston et al. 2001 |
| 756 | sleepstudy    | Reaction times in a sleep deprivation study      |

757 rows × 2 columns

図1 Rのデータセットの一覧

## 2.2 カニのデータセット ‘crabs’

では、これらのデータセット一覧の中から実際に生物に関するデータセットを1つ取得してみましょう。今回はカニのデータセット ‘crabs’ (Rのデータセット467番目) を取得します。データセットの取得方法は簡単で、次に示すソースコード3のように、PyDatasetのdata()関数を用いて、df = data(‘crabs’) とするこ

<sup>\*</sup>静岡大学大学院工学領域

<sup>†</sup>静岡大学工学部

<sup>‡</sup>静岡大学工学部

<sup>§</sup>静岡大学大学院

<sup>1)</sup>機械学習用の様々なモジュールが用意されたPythonのライブラリ

とで、データセットを取得することができます(図2)。このデータの構造は、pandasのデータフレーム型なので、以降はpandasを使ってデータを操作していきます。pandasとは、Pythonでデータを扱う際によく用いられるライブラリです。pandasのデータフレームを表示する際に、大量のデータを一覧表示しようとすると、図1のように省略して表示されてしまうため、`pd.set_option('display.max_rows',200)`を行うことで200行目まで一覧表示するように設定します。

```
4 import pandas as pd # pandasをインポート
5 df = data('crabs') # 'crabs'のデータフレームを格納
6 print(type(df)) #
   crabsのデータセットの型を表示
7
8 pd.set_option('display.max_rows',200) # データセットの中身を200行目まで表示する
9 print(df) # 'crabs'の中身を表示
```

ソースコード 3 'crabs'の中身を表示

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
   sp sex index  FL  RW  CL  CW  BD
1   B  M    1   8.1  6.7 16.1 19.0  7.0
2   B  M    2   8.8  7.7 18.1 20.8  7.4
3   B  M    3   9.2  7.8 19.0 22.4  7.7
4   B  M    4   9.6  7.9 20.1 23.1  8.2
5   B  M    5   9.8  8.0 20.3 23.0  8.2
6   B  M    6  10.8  9.0 23.0 26.5  9.8
7   B  M    7  11.1  9.9 23.8 27.1  9.8
8   B  M    8  11.6  9.1 24.5 28.4 10.4
9   B  M    9  11.8  9.6 24.2 27.8  9.7
10  B  M   10  11.8 10.5 25.2 29.3 10.3
11  B  M   11  12.2 10.8 27.3 31.6 10.9
```

図2 'crabs'のデータフレームの中身

取得するデータセットの型はpandas.DataFrameとして取得されます。pandas.DataFrameの構造は、values, columns, indexの3つの構造要素からなっており、valuesはNumPy配列(ndarray)、columnsとindexはデフォルトではRangeIndex型で単純な連番となっています。

では次に、カニのデータセット'crabs'の中身の詳細を調べます。PyDatasetで取得できるRのデータセットには説明文が付属しており、以下のソースコード4のように、`data('crabs', show_doc=True)`とすることで説明文を読むことができます。

```
10 data('crabs', show_doc=True) # データセットの説明文を表示
```

ソースコード 4 データセットの説明文を表示

説明文をもとに、'crabs'の中身(図2)が何を表しているのかをまとめたものが表1です。

表1 'crabs'の要素

| 列ラベル  | 説明                                |
|-------|-----------------------------------|
| sp    | 種 (Blue/Orange)                   |
| sex   | 性 (Male/Female)                   |
| index | 種, 性ごとの個体番号 [1:50]                |
| FL    | はさみ状前足サイズ (frontal lobe size)[mm] |
| RW    | 後幅 (rear width)[mm]               |
| CL    | 甲長 (carapace length)[mm]          |
| CW    | 甲幅 (carapace width)[mm]           |
| BD    | 体高 (body depth)[mm]               |

### 2.3 カニのデータセットの基本統計量

次に'crabs'の基本統計量(平均, 中央値, 最大値, 最小値, データ数, 分散, 標準偏差, 相関係数)を見ていきましょう。ソースコードは以下のようになります。

```
11 df = data('crabs') # 'crabs'のデータフレームを格納
12
13 # 列ごとに基本統計量を計算
14 print('平均')
15 print(df.mean()) # 平均
16
17 print('\n中央値')
18 print(df.median()) # 中央値
19
20 print('\n最大値')
21 print(df.max()) # 最大値
22
23 print('\n最小値')
24 print(df.min()) # 最小値
25
26 print('\nデータ数')
27 print(df.count()) # データ数
28
29 print('\n分散')
30 print(df.var()) # 分散
31
32 print('\n標準偏差')
33 print(df.std()) # 標準偏差
34
35 # 各列が表す要素間の相関係数を計算
36 print('\n相関係数')
37 print(df.corr())
```

ソースコード 5 基本統計量の計算

得られた出力結果を図3にまとめます。このようにpandasには基本統計量を一行で算出できる各種の関数が用意されています。またdf.describe()関数を用いれば上記を含む8つの基本統計量をまとめて算出してくれます。

## 3. 単回帰分析

### 3.1 散布図の描画

ここから'crabs'のデータセットを用いて実際に分析してみましょう。今回は、表1で示されるカニの属性の中から「CW(甲幅:甲羅の幅)」と「FL(はさみ

| 列のラベル | 平均    | 中央値   | 最大値  | 最小値  | データ数 | 分散    | 標準偏差 |
|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|
| FL    | 15.58 | 15.55 | 23.1 | 7.2  | 200  | 12.22 | 3.50 |
| RW    | 12.74 | 12.80 | 20.2 | 6.5  | 200  | 6.62  | 2.57 |
| CL    | 32.11 | 32.10 | 47.6 | 14.7 | 200  | 50.68 | 7.12 |
| CW    | 36.41 | 36.80 | 54.6 | 17.1 | 200  | 61.97 | 7.87 |
| BD    | 14.03 | 13.90 | 21.6 | 6.1  | 200  | 11.73 | 3.42 |

| 相関係数 | FL       | RW       | CL       | CW       | BD       |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| FL   | 1.000000 | 0.906988 | 0.978842 | 0.964956 | 0.987627 |
| RW   | 0.906988 | 1.000000 | 0.892743 | 0.900402 | 0.889205 |
| CL   | 0.978842 | 0.892743 | 1.000000 | 0.995023 | 0.983204 |
| CW   | 0.964956 | 0.900402 | 0.995023 | 1.000000 | 0.967812 |
| BD   | 0.987627 | 0.889205 | 0.983204 | 0.967812 | 1.000000 |

図3 'crabs'の基本統計量

状前足サイズ)」の2つの関係性を見ていきます。これら2つの関係性は、散布図で図示して理解することができます。散布図を描画するコードは以下のようになります。

```

1 %matplotlib inline
2 import matplotlib.pyplot as plt #
   Matplotlibのインポート
3
4 x = df.CW # 甲幅
5 y = df.FL # はさみ状前足サイズ
6
7 # 「甲幅」と「はさみ状前足サイズ」の関係を散布図表示
8 plt.figure(figsize=(9, 6))
9 plt.scatter(x, y)
10 plt.xlabel('carapace_width(mm)', fontsize =
   18)
11 plt.ylabel('frontal_lobe_size(mm)', fontsize
   = 18)
12 plt.grid(True)

```

ソースコード6 甲幅とはさみ状前足サイズの関係を散布図表示

このコードでは変数  $x$ ,  $y$  にデータセットの CW 列, FL 列をそれぞれ格納しています。先のプログラムで、変数  $df$  に 'crabs' のデータセットを表形式で格納しており、 $df$  ('列名') とすることでその列を取り出すことができます。このプログラムを実行すると、横軸を  $x$ , 縦軸を  $y$  とした図4の散布図が出力され、「甲幅」と「はさみ状前足サイズ」の間に、線形に近い関係性があることが分かります。

しかし、この散布図をよく見ると、横軸の値が大きくなるにつれ、点の分布が上側のグループと下側のグループに分かれていっているように見えます。そこで 'crabs' のデータセットを見直すと、数値データの他に  $sp$  (種),  $sex$  (性) といった属性があり、これらの違いが点の分布を2分している要因ではないかと考えられます。

では、この予想が正しいか、 $sp$  と  $sex$  でそれぞれ分けて、散布図を描いてみましょう。まずは  $sex$  のオスとメスで分けたグラフが図5です。

この散布図を書くコードは、ソースコード7です。

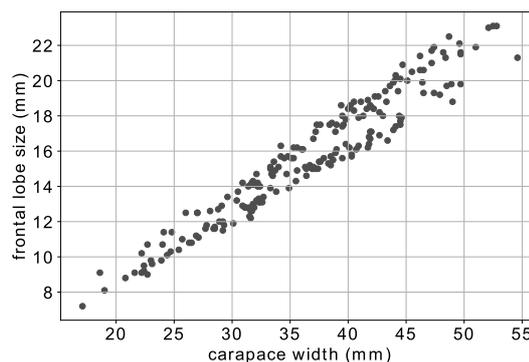


図4 「甲幅」と「はさみ状前足サイズ」の関係を表した散布図

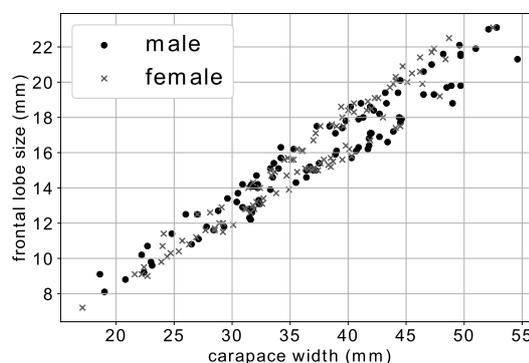


図5 性ごとに分けた散布図

このコードでは、'crabs' の200個のデータセットを  $sex$  の値が M (Male: オス) のものと F (Female: メス) のものに分け、それらの CW, FL の値を別々の変数に格納することで、種ごとにマーカーを変えて散布図を表示しています。

この図では、上の分布にも下の分布にもオスとメスのデータが混在しています。したがって、オスとメスの違いが上の分布と下の分布の違いを生み出す要因ではないことが推測されます。

```

1 import matplotlib.pyplot as plt #
   Matplotlibのインポート
2 %matplotlib inline
3
4 # sex (性) がM (オス) のもの
5 x_m = [df.CW[i] for i in range(1, 201) if df.
   sex[i] == 'M']
6 y_m = [df.FL[i] for i in range(1, 201) if df.
   sex[i] == 'M']
7
8 # sex (性) がF (メス) のもの
9 x_f = [df.CW[i] for i in range(1, 201) if df.
   sex[i] == 'F']
10 y_f = [df.FL[i] for i in range(1, 201) if df.
   sex[i] == 'F']
11
12 # 性ごとに散布図表示
13 fig = plt.figure(figsize=(9, 6))

```

```

14 plt.scatter(x_m, y_m, marker = "o", c="black"
, label = "male")
15 plt.scatter(x_f, y_f, marker = "x", c="red",
label = "female")
16 plt.xlabel('carapace_width(mm)', fontsize =
18)
17 plt.ylabel('frontal_lobe_size(mm)', fontsize
= 18)
18 plt.legend(fontsize=24)
19 plt.grid(True)
20 fig.savefig("scatter-sex.eps")

```

ソースコード 7 性ごとに散布図表示

今度はカニの種類 sp で分けて散布図を描いてみましょう。カニの種類は B (Blue) と O (Orange) の 2 つがあるので、それぞれでデータを分けたグラフが図 6 です。この図を生成するコードはソースコード 8 となります。

散布図を見ると Orange の種が上の分布に対応し、Blue の種が下の分布にきれいに対応することが分かります。よって、種の違いが分布の違いを生み出す要因であり、「甲幅」と「はさみ状前足サイズ」の関係性は種によって異なることが明らかとなりました。

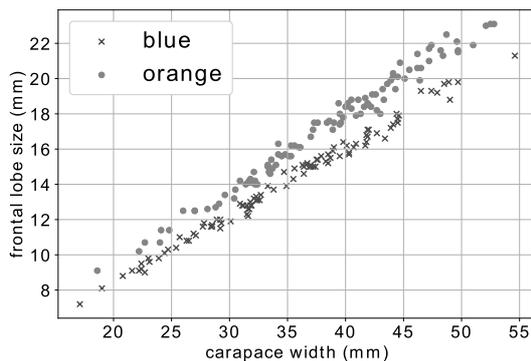


図 6 種ごとに分けた散布図

```

1 %matplotlib inline
2 import matplotlib.pyplot as plt #
Matplotlibのインポート
3
4 #sp (種) がB (Blue) のもの
5 x_b = [[df.CW[i]] for i in range(1, 201) if
df.sp[i] == 'B']
6 y_b = [[df.FL[i]] for i in range(1, 201) if
df.sp[i] == 'B']
7
8 #sp (種) がO (Orange) のもの
9 x_o = [[df.CW[i]] for i in range(1, 201) if
df.sp[i] == 'O']
10 y_o = [[df.FL[i]] for i in range(1, 201) if
df.sp[i] == 'O']
11
12 # 種ごとに散布図表示
13 plt.figure(figsize=(9, 6))
14 plt.scatter(x_b, y_b, marker="x", label="blue
")

```

```

15 plt.scatter(x_o, y_o, marker="o", label="
orange")
16 plt.xlabel('carapace_width(mm)', fontsize =
18)
17 plt.ylabel('frontal_lobe_size(mm)', fontsize
= 18)
18 plt.legend()
19 plt.grid(True)

```

ソースコード 8 種ごとに散布図表示

### 3.2 単回帰分析の適用

散布図からは、それぞれの種で、「甲幅」が長いほど「はさみ状前足サイズ」も大きく、そこには直線関係もありそうであることが読み取れました。したがって、この関係性を単回帰モデルを用いて説明します。「甲幅」を説明変数の  $x$ 、「はさみ状前足サイズ」を目的変数の  $y$  と設定し、この関係が説明変数の 1 次式  $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i$  で表される線形の単回帰モデルで表されるとします。回帰分析の目的は、この回帰式の係数である  $\beta_0$  (直線の切片) と  $\beta_1$  (直線の傾き) を求めることです。今回はよく使われる最小二乗法によってこれらの係数を求めます。最小二乗法は直線からそれぞれのデータ点までの距離 (残差)  $\epsilon_i$  の二乗和が最小になるように直線の係数を求める方法です。残差  $\epsilon_i$  の二乗和を  $L$  とすると、

$$L = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n \{y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)\}^2 \quad (1)$$

と書けます。 $L$  は  $\beta_0, \beta_1$  の 2 変数関数なので、極値をとりうる点は以下の式で求められます：

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial \beta_1} = \sum_{i=1}^n 2\{y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)\}(-x_i) = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \beta_0} = \sum_{i=1}^n 2\{y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i)\}(-1) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

これを  $\beta_0, \beta_1$  について解くと、 $\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x}$ 、 $\beta_1 = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}$  が得られます。ここで、 $\bar{A}$  は  $A_i$  の平均値を表します。この  $\beta_0, \beta_1$  が知りたい値なので、ここに実際のカニの  $x_i$  と  $y_i$  の値を代入して  $\beta_0, \beta_1$  を算出します。

### 3.3 単回帰分析の実装

最後に、この単回帰モデルの  $\beta_0$  と  $\beta_1$  をプログラムで計算し、それらの値を基に散布図に回帰直線を引きます。このプログラムは以下のようになります。

```

1 from sklearn.linear_model import
LinearRegression
2
3 # 青の種について線形回帰
4 lr1 = LinearRegression()
5 lr1.fit(x_b, y_b) #CW(甲幅)とFL(はさみ状前
足サイズ)の関係を学習
6 print('blue')
7 print('coefficient=', lr1.coef_[0]) # 学
習によって得た回帰係数を出力
8 print('intercept=', lr1.intercept_) # 学
習によって得た回帰直線の切片を出力

```

```

9
10 # オレンジの種について線形回帰
11 lr2 = LinearRegression()
12 lr2.fit(x_o, y_o)
13 print('\norange')
14 print('coefficient_=', lr2.coef_[0])
15 print('intercept_=', lr2.intercept_)
16
17 # 図示
18 plt.figure(figsize=(9, 6))
19 plt.scatter(x_b, y_b, marker="x", label="blue
20            ")
21 plt.scatter(x_o, y_o, marker="o", label="
22            orange")
23 plt.plot(x_b, lr1.predict(x_b))
24 plt.plot(x_o, lr2.predict(x_o))
25 plt.xlabel('carapace_width_(mm)', fontsize =
26            18)
27 plt.ylabel('frontal_lobe_size_(mm)', fontsize
28            = 18)
29 plt.legend(fontsize=24)
30 plt.grid(True)

```

ソースコード 9 切片, 傾きの算出と回帰直線の図示

このプログラムでは最初に scikit-learn の LinearRegression クラスをインポートしています。今回はカニの種ごとに分けて2つの線形モデルを生成しており、それが4行目と11行目にあたります。4行目では lr1 という名前で Blue の種用の線形モデルを生成しています。先程のプログラムでは Blue の種の個体について、「甲幅」と「はさみ状前足サイズ」のデータを変数 x\_b と y\_b に格納しました。これを用いて5行目にあるように、(モデル名).fit(データ1, データ2)とすることで、線形モデルに2つのデータ間の重みを学習させています。具体的にはデータを元に、回帰直線の傾き  $\beta_1$  と切片  $\beta_0$  の値を求めるといことが行われています。ここで計算した傾きと切片の値をその後の7行目と8行目で出力しています。図7上がこれらの係数の算出結果を表しており、Blue の種の回帰分析の結果は  $\beta_0 \approx 0.7906$ ,  $\beta_1 \approx 0.3821$  であることが分かりました。

```

blue
coefficient = [0.38210168]
intercept = [0.79057614]

orange
coefficient = [0.43068089]
intercept = [0.69588995]

```

図7 それぞれの種で算出された切片, 傾きの値

11~15行目で Orange の種用の線形モデルに対して同様の操作を行った結果、図7下に示されたように、 $\beta_0 \approx 0.6959$ ,  $\beta_1 \approx 0.4307$  のようになることが分かりました。

これらの算出された値を用いて、18~26行目で回帰直線を先程の散布図の上に重ねて図示しています。21行目と22行目で、(モデル名).predict(データ)とすることで、モデルで求めた回帰直線の式の  $x$  にデータを

代入したときの  $y$  の値が返されます。この値を plot に渡すことで、図8のような直線が引けます。回帰直線の式を求めたことで、未知の個体に対して、「甲幅」のデータをもとに「はさみ状前足サイズ」を予測することができるようになりました。

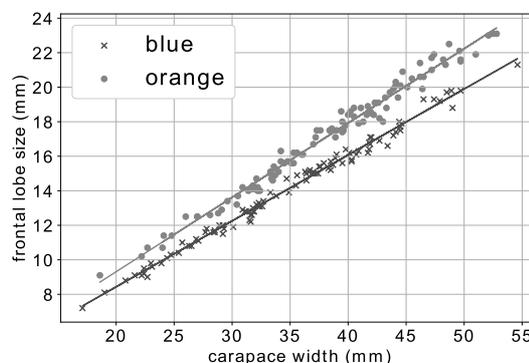


図8 回帰直線の図示

今回は  $\beta_0$  と  $\beta_1$  の値を scikit-learn の LinearRegression クラスを用いて自動的に計算してもらいました。別の方法として scipy の linregress() や statsmodels の OLS モジュールを用いることでも同様の回帰分析ができます。もしくは、 $\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x}$ ,  $\beta_1 = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}$  の式を直接プログラムの中を書くことでも計算できます。

#### 4. おわりに

最終回の今回は、実データの解析を Python で行いました。まず R のサンプルデータからカニの実データを取得し、それぞれの属性について平均などの基本統計量をプログラムで計算しました。次に「甲幅」と「はさみ状前足サイズ」について、種ごとに散布図を描いてみると、そこには直線の関係がありそうということが分かりました。したがって、最後に単回帰モデルにより2つの関係性を分析しました。

この連載記事では、【数理生物研究 × 計算機】をテーマに、数理生物研究に役立つような Python の使い方についてご紹介してきました。第1回の記事で、「本連載では、計算機環境の構築、力学系の数値計算、個体ベースモデル、ネットワーク分析、データ解析などの話題を取り上げる予定です」と書いたのですが、一応当初の予定通りのトピックで記事を書いていくことができました。

これまで主に手で計算されていた方が本記事で Python を学ぶことによって、手計算の手助けやグラフなどの結果の可視化に Python を手軽に使っていただけるようになることがこの連載記事を書いた目的の一つです。もし連載記事の感想をお持ちの方やもっと便利な使い方をご存知の方は、実際にお会いしたときにでも教えていただければ幸いです。それでは、また数理生物学会などでお会いできることを楽しみにし

ております。ありがとうございました。

### 謝辞

以下の方（敬称略）は、本記事に目を通してくださったり、大変有益なコメントを下さいました。心より感謝いたします。

間宮安曇（三菱電機）

以下の編集委員の方々にも本記事をチェックしてい

ただきました。ありがとうございました。

佐藤一憲（静岡大学）、宮崎倫子（静岡大学）、守田智（静岡大学）

### 参考文献

- [1] ニュースレター用の GitHub. <https://github.com/igenki/biomathNL>.
-

## 学会事務局からのお知らせ

### 1. 2021年日本数理生物学会年次総会報告

2021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：2021年9月14日（火）13:30～14:30

場所：オンライン開催

参加者人数：約55名

総会に先立ち、佐藤 一憲 氏（静岡大学）が議長として事務局から推薦され、選出された。

2020年度年会のオンライン開催が決定したこと、先立ち、総会の実施方法について運営委員会で議論をした結果、2020年度の議題については、運営委員会の議論と承認をもって仮の議決とし、翌年に開催される年会において承認されることで正式な2020年度総会の議決とする予定となっていた。2021年の年次総会にて、2020年度の議題並びに2021年度の議題について、以下の通り正式に承認を得た。2020年度の報告事項に関しては、ニュースレター92号を参照のこと。

#### ■議題（2020年度）

(1) 2019年度決算、2020年度予算執行状況、2021年度予算案

中丸 麻由子 氏（東京工業大学）から2019年度の決算、2020年度の予算執行状況、2021年度の予算案について内訳の説明があった。ニュースレター92号に掲載済みの2020年度予算執行状況について、以下の訂正箇所があることが報告された。

一般会計・収入・繰越（誤）7,570,960（正）7,580,226

一般会計・収入・計（誤）8,440,565（正）8,449,831

一般会計・支出・ニュースレターN90・冬印刷（誤）55,400（正）55,440

一般会計・支出・小計（誤）716,355（正）716,395

一般会計・支出・予備費（次年度繰越）（誤）7,724,210（正）7,733,436

一般会計・支出・計（誤）8,440,565（正）8,449,831

2019年度の決算、2020年度の予算執行状況、2021年度の予算案が承認された。

(2) 大久保賞選考委員1名の交代

事務局より、運営委員会から大久保賞選考委員として増田 直紀 氏（ニューヨーク州立大学）への交代が推薦されていることが報告され、承認された。

(3) その他  
特になし

#### ■報告事項（2021年度）

(1) ニュースレター編集委員の交代  
事務局から、2021年10月からニュースレター編集委員の交代が報告された。編集委員長は佐藤 一憲 氏（静岡大学）から岩田 繁英 氏（東京海洋大学）に交代することが報告された。

(2) 2022、2023年大会の開催場所  
事務局から、2022年は明治大学（大会委員長：西森 拓 氏，実行委員長：若野 友一郎 氏）にてオンライン開催、2023年は奈良女子大学（大会委員長：高須 夫悟 氏）にて大会が開催される予定であることが報告された。若野 友一郎 氏（明治大学）から、2022年の数理生物学会は、9月5日から9月7日にかけてオンライン開催で行われることが報告された。高須 夫悟 氏（奈良女子大学）から、2023年の数理生物学会は、日程は未定であるが奈良女子大学が担当することが報告された。

(3) 2021年度（16回）研究奨励賞授賞者  
事務局から、阿部 真人 氏（理化学研究所・革新知能統合研究センター）、伊東 啓 氏（長崎大学・熱帯医学研究所）が2021年度研究奨励賞授賞者として決定されたことが報告された。また、授賞者2名には2021年度日本数理生物学会年会にて受賞講演を行っていただく予定であることが報告された。

(4) 2021-2022年の役員選挙の実施  
事務局から2021年度大会のあとに役員選挙が行われる予定であることが報告された。

(5) その他  
特になし

#### ■議題（2021年度）

(1) 2020年度決算、2021年度予算執行状況、2022年度予算案

中丸 麻由子 氏（東京工業大学）から2020年度決算が

報告された。つづいて事務局より2021年度予算執行状況、2022年度予算案の説明がなされた。事務局から「新しい研究の芽を育む会」から学会への今年と来年の2年に分けて計140万円の寄付がある予定であることが報告された。参加者から名簿は作ってないので予算から項目を削除して良いのではという意見があり、前幹事長の岩田 繁英 氏（東京海洋大学）から個人情報保護の観点から2019、2020年度は名簿は作成していないことが説明された。また、参加者から大会還元金の還元する年度や特別会計へ差し戻す金額についての質問があった。参加者から出た意見、質問に関して事務局で整理した上で運営委員会に諮り、適宜 Biomath-ML にて報告することが議長から提案され、承認された。

#### (2) 会計監事の交代

事務局から現会計監事中岡 慎治 氏（北海道大学）の交代が必要であることが提議された。次回の会計監事として、岩田 繁英 氏（東京海洋大学）が推薦され、承認された。

#### (3) 大久保賞選考委員1名の交代

運営委員会から高須 夫悟 氏（奈良女子大学）が推薦され、承認された。

#### (4) 名誉会員の推薦

運営委員会より竹内 康博 氏（青山学院大学）、難波 利幸 氏（大阪府立大学大学院）が名誉会員として推薦され、承認された。名誉会員となる期間は承認された時点からとする。会費の免除は2022年1月1日からとする。

#### (5) その他

特になし

## 2. 第16回（2021年度）日本数理生物学会研究奨励賞受賞者のお知らせ

選考委員会から2021年度研究奨励賞選考の結果が運営委員会に報告され、運営委員会によって授賞者が決定しました。受賞者は、2021年度日本数理生物学会年會にて受賞講演を行いました。以下に選考委員会からの報告書を掲載いたします。

選考委員会は、研究奨励賞受賞者として、次の2名の方を推薦いたします。

阿部 真人 氏（理化学研究所・革新知能統合研究センター）

伊東 啓 氏（長崎大学・熱帯医学研究所）

今年度は7名の候補者（男性7名、女性0名）がありました。選考は、まず、選考委員6名のうち、候補者と利害関係のある選考委員（共同研究者や研究資金をやりとりする関係者）を除く選考委員が第1段審査を行いました。第1段審査では、各候補者の主要論文

3編を含む応募書類を各選考委員が個々に吟味し、5段階の絶対評価と所見を委員長に報告しました。そして、その評価結果を選考委員会で共有し、授賞者を決定する第2段審査に進みました。第1段審査の結果、上位4名を第2段審査の審査対象者としてしました。審査員間の意見交換と投票により、全審査員の同意に基づき、2名の授賞者を決定しました。

阿部氏は、2015年に東京大学において博士の学位を取得し、その後、国立情報学研究所にて特任研究員、理化学研究所・革新知能統合研究センターにて特別研究員を経て、現在は、同所の研究員（任期付き）の職に就いています。阿部氏は、生物の移動法則を一つの専門としていますが、生物の社会・生態系や脳科学等といった幅広い分野において、数理モデルと情報科学・機械学習・統計の手法を組み合わせ、理論研究と実証研究の両面から研究を行ってきています。最も評価された点は、レヴィウォークの神経メカニズムを解明するために行った脳の数理モデルとその解析において、システムの状態が安定状態とカオスの間の臨界点近くにあることでレヴィウォークが創発し、外部からの信号に対しダイナミックレンジが最大化され、情報処理の観点で最適であることを示したことです。この成果は単著でPNASに発表され、国際的にも高く評価されています。学位取得後6年目にして国際誌に論文を16報発表、うち6報が筆頭著者の論文であり、業績の主体性が評価できます。今後も、情報科学的なアプローチから数理生物学の様々なトピックに関する貢献が期待される若手研究者であると考えられます。

伊東氏は、2016年に静岡大学において博士の学位を取得し、その後、複数のポストドクを経て、現在、長崎大学・熱帯医学研究所にて助教（任期付き）の職に就いています。伊東氏の研究は、協力行動の進化、生活史の進化と環境適応、感染症の伝搬等、多岐にわたり、数理モデルに基づいた数値計算による解析を主体としています。中でも、社会的ジレンマについての研究には長く取り組んでおり、特に2018年にRoyal Society Open Scienceに発表された協力行動促進機構を視覚的に明らかにした論文は、すでに80回引用されており、伊東氏の代表的な業績の一つとなっています。また、用いるアプローチも、ゲーム理論から個体ベースモデル、力学系など多様であり、数理生物学が分野全体でカバーする多様性を個人研究（あるいは少人数のグループ）で実現しており、高い研究遂行能力が認められます。さらに、学位取得後5年目にして国際誌に論文を36報発表、うち12報が筆頭著者の論文であり、極めて高い研究アクティビティを示しています。論文以外にも、国内外における活発な学会活動や、受賞歴、研究資金獲得という観点からも既に十分な業績を上げており、今後、数理生物学の様々な分野において活躍が期待できる若手研究者の一人であると考えられます。

以上により、本選考委員会は、「数理生物学に貢献をしている本学会の若手会員の優れた研究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、阿部真人氏と伊東啓氏の両氏を日本数理生物学会研究奨励賞の授賞者として推薦いたします。

なお、今回、惜しくも選に漏れた候補者も、それぞれ高く評価されたことを申し添えます。次回以降、再チャレンジを含めて、多くの方が応募されることを期待しています。

日本数理生物学会研究奨励賞選考委員会：  
森下喜弘（委員長）、佐竹暁子、瀬野裕美、中岡慎治、増田直紀、守田智

### 3. 会費納入のお願い

日本数理生物学会の年会費（1～12月の1年分）は  
正会員 3000 円/年  
学生会員 2000 円/年

です。

会員は年会での発表や学会役員選挙における投票をすることができます。また、会員は数理生物学会年会の登録費割引の特典を受けることもできます。

今年度や過去の会費が未納の方は、以下の会員管理システムより会費納入をお願いいたします。

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

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

### 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。

未登録の方は、本文も件名も空白の電子メールを [biomathml-subscribe@brno.ics.nara-wu.ac.jp](mailto:biomathml-subscribe@brno.ics.nara-wu.ac.jp) にお送りください。確認メールが返送されますので、それに返信していただくと Biomath メーリングリストに入会することが出来ます。

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. 事務関係のお問い合わせ

入会、退会の申し込み、会員情報（所属、住所、ニューレター送付先など）の変更や会費の納入状況の確認などは会員管理システムより可能となっております。それ以外の事項につきましては、事務局までお問い合わせください。

### 6. 事務局連絡先

事務局幹事長：中田 行彦

会計：國谷 紀良

事務局幹事：岩本 真裕子、大森 亮介

〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺5丁目10-1  
青山学院大学理工学部 中田行彦

E-mail: [secretary@jsmb.jp](mailto: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

### ＜＜ 編集後記 ＞＞

本年4月8日に三村昌泰先生がお亡くなりになりました。8人の方々から追悼記事を寄せていただきました。三村先生と親交のあった方々は、数理生物学の関係者に限っても編集部ではとても把握しきれませんでしたので、どなたに執筆をお願いしたら良いのかとても迷いました。そこで、何人かの方々からアドバイスをいただきながら決めさせていただきました。何卒ご了承ください。

稲葉前会長の文章の中にも出てくるフランスの Pau の会議には、私も参加していました。会議終了後には、ボルドーのシャトーに、三村先生とご一緒させていただいたことを、当時の写真を見ながら懐かしく思い出

しています。

昨年度の研究奨励賞受賞者の入谷亮介さんに寄稿していただきました。若い人への励ましのメッセージとなっています。ただし、才能に加えて、行動力と決断力はなかなか真似することは難しそうです。最後にまとめていただいたモットーは、若い人に対してだけでなく、広く研究者への指針として当てはまることだと思います。

Odo Diekmann 先生による 1988 年の上海・華東師範大学でのレクチャーノートも最終回です。最後の部分を追記していただきました。この 33 年間の発展については、挙げていただいた文献をぜひ参考にしてください。

前号に続いて、サイエンスコミュニケーターの小島響子さんに執筆していただきました。これまで人類が感染症をどのように捉えてきて、これからどのように捉えていくべきなのか、まとめていただいています。その中で、数理生物学の果たす役割を考えていくことはとても重要だと思います。

一ノ瀬元喜さんたちによる Python の連載記事も最

終回を迎えました。データ解析がテーマです。手元にご自分のデータがある方はぜひ試してみてください。

今号をもちまして静岡大学での編集は終わりです。原稿を送っていただいた皆さんのおかげでとても充実した内容になりました。ここに改めて感謝いたします。(佐藤)

日本数理生物学会ニュースレター No.95

2021 年 9 月発行

編集委員会 佐藤一憲・宮崎倫子・守田智・  
一ノ瀬元喜

sato.kazunori@shizuoka.ac.jp

国立大学法人 静岡大学

〒432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

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  
2020年度決算

会計幹事 中丸 麻由子

| 一般会計               |              | 2020年度予算  | 2020年度決算     |
|--------------------|--------------|-----------|--------------|
| <b>収入</b>          |              |           |              |
| 繰越                 |              | 7,100,000 | 7,580,226    |
| 会費                 |              | 1,000,000 | 1,136,600    |
| 大会還元金              |              | 0         | 85,057       |
| 利子等                |              | 0         | 7            |
|                    | 計            | 8,100,000 | 8,801,890    |
| <b>支出</b>          |              |           |              |
| ニュースレター            | 過年度          | 35,000    | 0            |
| ニュースレターN90         | 冬印刷          | 95,000    | 55,440       |
| ニュースレターN90         | 冬郵便          | 35,000    | 31,935       |
| ニュースレターN91         | 春印刷          | 95,000    | 76,725       |
| ニュースレターN91         | 春郵便          | 35,000    | 36,663       |
| ニュースレターN92         | 秋印刷          | 95,000    | 80,685       |
| ニュースレターN92         | 秋郵便          | 40,000    | 40,389       |
| 会費請求               |              | 40,000    | 32,876       |
| 名簿                 |              | 0         | 0            |
| 選挙(含 発送費, 旅費)      |              | 0         | 0            |
| 通信費等               | 通信費          | 5,000     | 6,152        |
|                    | ドメイン名経費      | 3,000     | 2,970        |
|                    | 奨励賞経費        | 15,000    | 9,174        |
|                    | ポスター賞経費      |           | (*)1 14,542  |
|                    | サーバ維持費       | 40,000    | 29,700       |
| 事務局経費              | 外部委託         | 400,000   | 380,446      |
|                    | 会員管理クラウドサービス |           | (*)2 101,552 |
|                    | Web会議システム    |           | (*)3 67,437  |
|                    | 事務諸経費        | 7,000     | (*)4 146,095 |
| 特別会計へ              |              | 100,000   | 100,000      |
|                    | 小計           | 1,040,000 | 1,212,781    |
| 予備費(次年度繰越)         |              | 7,060,000 | 7,589,109    |
|                    | 計            | 8,100,000 | 8,801,890    |
| <b>特別会計</b>        |              |           |              |
| <b>収入</b>          |              |           |              |
| 繰越                 |              | 2,730,564 | 2,730,564    |
| 繰り入れ(一般)           |              | 100,000   | 100,000      |
| 寄付                 |              | 0         | 0            |
|                    | 計            | 2,830,564 | 2,830,564    |
| <b>支出</b>          |              |           |              |
| 年会大会費(含 託児支援, 旅費)  |              | 400,000   | 300,000      |
| CJJK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         | 0            |
|                    | 小計           | 400,000   | 300,000      |
| 予備費(次年度繰越)         |              | 2,430,564 | 2,530,564    |
|                    | 計            | 2,830,564 | 2,830,564    |

備考

- (\*)1 2020年度ポスター賞は年会大会費ではなく一般会計より支出  
 (\*)2 2020年SmooSy導入  
 (\*)3 2020年Wherebyの導入  
 (\*)4 金則翻訳代68,782円及び土倉事務所データ抽出整形費42,900円を含む

監査報告

日本数理生物学会の2020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。

会計監事

2021年9月10日

中岡 慎治



日本数理生物学会  
2021年度予算執行状況・2022年度予算

会計幹事 國谷 紀良  
(執行状況は2021年9月10日現在)

| 一般会計               |              | 2021年度予算  | 2021年度執行状況   | 2022年度予算     |
|--------------------|--------------|-----------|--------------|--------------|
| <b>収入</b>          |              |           |              |              |
| 繰越                 |              | 7,200,000 | 7,589,109    | 7,039,000    |
| 会費                 |              | 1,000,000 | 612,800      | 1,000,000    |
| 大会還元金              |              | 0         | 0            | 0            |
| 利子等                |              | 0         | 4            | 0            |
|                    | 計            | 8,200,000 | 8,201,913    | 8,039,000    |
| <b>支出</b>          |              |           |              |              |
| ニュースレター            | 過年度          | 35,000    | 0            | 35,000       |
| ニュースレター-N93        | 冬印刷          | 95,000    | 86,625       | 95,000       |
| ニュースレター-N93        | 冬郵便          | 35,000    | 0            | 35,000       |
| ニュースレター-N94        | 春印刷          | 95,000    | 92,565       | 95,000       |
| ニュースレター-N94        | 春郵便          | 35,000    | 0            | 35,000       |
| ニュースレター-N95        | 秋印刷          | 95,000    | 0            | 95,000       |
| ニュースレター-N95        | 秋郵便          | 40,000    | 0            | 40,000       |
| 会費請求               |              | 40,000    | 0            | 0            |
| 名簿                 |              | 0         | 0            | 150,000      |
| 選挙(含 発送費, 旅費)      |              | 150,000   | 0            | 0            |
| 通信費等               | 通信費          | 20,000    | 0            | 10,000       |
|                    | ドメイン名経費      | 3,000     | (*1) 2,970   | 3,000        |
|                    | 奨励賞経費        | 15,000    | 9,284        | 15,000       |
|                    | サーバ維持費       | 30,000    | (*2) 29,700  | 30,000       |
| 事務局経費              | 外部委託         | 400,000   | (*3) 448,850 | 121,000      |
|                    | 会員管理クラウドサービス | 310,000   | 304,260      | 310,000      |
|                    | Web会議システム    | 70,000    | 0            | 0            |
|                    | 事務諸経費        | 15,000    | (*4) 70,849  | 100,000      |
| 特別会計へ              |              | 100,000   | 100,000      | (*6) 400,000 |
|                    | 小計           | 1,583,000 | 1,145,103    | 1,569,000    |
| 予備費(次年度繰越)         |              | 6,617,000 | 7,056,810    | 6,470,000    |
|                    | 計            | 8,200,000 | 8,201,913    | 8,039,000    |
| <b>特別会計</b>        |              |           |              |              |
|                    |              | 2021年度予算  | 2021年度執行状況   | 2022年度予算     |
| <b>収入</b>          |              |           |              |              |
| 繰越                 |              | 2,530,564 | 2,530,564    | 2,030,564    |
| 繰入(一般会計より)         |              | 100,000   | 100,000      | (*6) 400,000 |
| 寄付                 |              | 0         | 0            | (*7) 700,000 |
|                    | 計            | 2,630,564 | 2,630,564    | 3,130,564    |
| <b>支出</b>          |              |           |              |              |
| 年会大会費(含 託児支援, 旅費)  |              | 300,000   | (*5) 600,000 | 300,000      |
| CIJK大会費(含 託児支援)    |              | 0         | 0            | 0            |
| 大久保賞関連             |              | 300,000   | 0            | 300,000      |
| SMB合同大会費(含 若手旅費補助) |              | 0         | 0            | 0            |
|                    | 小計           | 600,000   | 600,000      | 600,000      |
| 予備費(次年度繰越)         |              | 2,030,564 | 2,030,564    | 2,530,564    |
|                    | 計            | 2,630,564 | 2,630,564    | 3,130,564    |

備考

- (\*1) アリクイネット 2022年7月31日まで契約。
- (\*2) アプライド 2022年8月31日まで契約。
- (\*3) 2020年度事務委託費として、2021年度事務委託費の見積金額120,329円は2022年度予算に計上。
- (\*4) ROBOT PAYMENT利用に係る諸費用(サービス利用料・カード手数料・消費税・振込手数料)67,099円を含む。
- (\*5) ハイブリッド開催の準備のために増額。ハイブリッド開催でない場合、増額はほぼそのまま大会還元金に含まれる見込み。
- (\*6) 2021年度年会の還元金として2021年度収入に繰り込まれる予定の300,000円と100,000円の計400,000円。
- (\*7) 「新しい研究の芽を育む会」より。若手研究者の育成と数理生物学の研究の発展と普及のため。



## TABLE OF CONTENTS

Newsletter of the Japanese Society for Mathematical Biology No. 95 September 2021

|                                              |                            |    |
|----------------------------------------------|----------------------------|----|
| 追悼 三村昌泰先生                                    |                            |    |
| 重定南奈子                                        |                            | 1  |
| 辻川 亨                                         |                            | 1  |
| 森田善久                                         |                            | 2  |
| 稲葉 寿                                         |                            | 3  |
| 瀬野裕美                                         |                            | 6  |
| 若野友一郎                                        |                            | 7  |
| James D. Murray                              |                            | 8  |
| Odo Diekmann                                 |                            | 8  |
| 【2020年研究奨励賞受賞者特別寄稿】                          |                            |    |
| 僕は論文が書けない                                    | 入谷亮介                       | 10 |
| Dynamics of Structured Populations (Part IV) | Odo Diekmann               | 18 |
| 社会的文脈での感染症とグローバル・ヘルス                         | 小島響子                       | 27 |
| 【第5回数理生物研究×計算機】                              |                            |    |
| 実データの単回帰分析                                   | 一ノ瀬元喜, 二宮理徳,<br>渡邊颯汰, 宮川大樹 | 31 |
| 学会事務局からのお知らせ                                 |                            | 37 |
| 編集後記                                         |                            | 39 |
| 2020年度決算                                     |                            | 41 |
| 2021年度予算執行状況・2022年度予算                        |                            | 42 |

