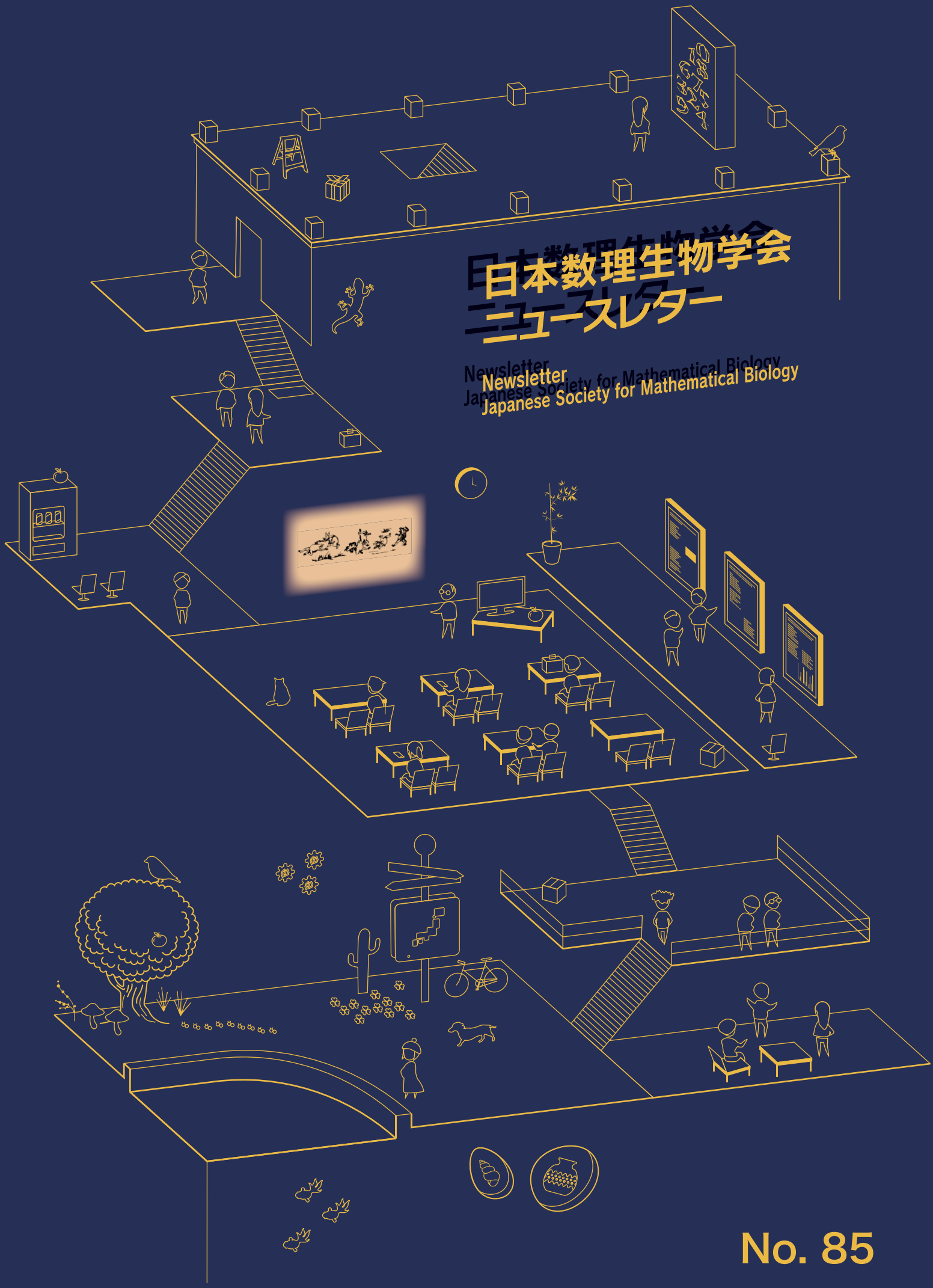


日本数理生物学会ニュースレター

Newsletter
Japanese Society for Mathematical Biology

No. 85

目次

【2017 年研究奨励賞受賞者特別寄稿】
カタツムリから考える種分化・多型の維持・共進化
山道真人 2

【2017 年研究奨励賞受賞者特別寄稿】
使命感、のち、虜
水本憲治 7

【第 2 回 数理生物学対談「小林亮 教授」】
自らを縛る枠とそれを破る興味
小林亮，岩見真吾 11

【第 2 回 トラノマキ企画】
数理生物学古典論文必読 100 選
ニュースレター編集部 19

【第 2 回 数理生物学 Q&A への駆け込み寺】
シドニーマップ: SMB/JSMB2018 に向けた現地調査報告
柿添友輔 21

【数理の小ネタ】
私が愛する一本の数式
加納剛史 23

【第 2 回 著者による最新論文の日本語解説】
ゴルジ体は自己組織化する
立川正志 27

【第 1 回 ホットスポット企画】
数理生物学若手の会　設立と展望
山口諒 30

【報告】
第 4 回数理生物学交流発表会
佐藤一憲 33

【特集】
2018 年度　卒業論文・修士論文・博士論文 35

【第 2 回 ニュースレター読者アンケート】
読者調査から見えたニュースレターの実態と課題
ニュースレター編集部 39

学会事務局からのお知らせ 41

日本数理生物学会ニュースレター編集部の HP では、
ニュースレターに関連する様々な情報を掲載しております。
https://jsmbnewsletter.weebly.com

【2017 年研究奨励賞受賞者特別寄稿】

カタツムリから考える種分化・多型の維持・共進化

山道真人 *

この度は研究奨励賞という栄誉ある賞を頂き、大変光栄に存じます。私は、大学院では佐々木顕教授（総合研究大学院大学）、ポスドクでは Stephen P. Ellner 教授（コーネル大学）、前職では山内淳教授（京都大学）にお世話になりつつ、生態学・進化生物学の研究を行ってきました。このように書くと、いわゆる伝統的な「数理生物学」のキャリアなのですが、学部では農学部フィールド科学専修に所属し、大学院では印南秀樹准教授・長谷川眞理子教授にも副指導教員としてお世話になっていました。また、ポスドクとしての正式な受け入れ先は Nelson G. Hairston Jr. 教授であったため、実質的に数理生物学と陸水学という 2 つの研究室に所属していました。このような研究生活の中で、集団遺伝学の塩基配列データ解析や、プランクトンの培養実験・フィールドワークなど、さまざまな研究アプローチについての経験を積みつつ、生態学・進化生物学の理解を深めるために、数理モデルがどのような貢献をできるのかについて、考えてきました。主な研究テーマとしては、迅速な進化と生態学的プロセスの間のフィードバックについて、数理モデルと連続培養系（ケモスタット）実験を組み合わせて理解することを目指しています。本稿では、迅速な進化研究のかたわらで、2009 年の数理生物学会を機に始まった、カタツムリの進化についての一連の研究について紹介させて頂きます。

1. 1 遺伝子種分化

2009 年 9 月に東大駒場キャンパスで開催された数理生物学会で、「左右性進化研究の理論と実証」と題したシンポジウムを、佐々木先生と企画しました。その際に、カタツムリとヘビの研究で有名な細将貴博士を招待し、同時に細博士の研究テーマから着想を得た数理モデルを発表したことから、カタツムリの種分化理論の研究を始めることになりました。

この研究のそもそもの始まりは、ドブジャンスキーやミュラーによって、種分化が起こるためには 2 つ以上の遺伝子座が必要だと提唱された、1930 年代に遡ります (Orr 1996)。彼らは種分化、すなわち生殖隔離の進化の過程として、母集団から 2 つの娘集団に分かれ、それぞれが進化していくプロセス（異所的種分化）を考えました。この時に、1 遺伝子座上の 2 つの対立遺伝子 A と a が一緒になると不和合が生じる（図 1A）という「1 遺伝子種分化」(single-gene speciation) の状況では、母集団と片方の娘集団の間にも不和合が生じ、対立遺伝子 A のみで構成される母集団に、突然変異によって生じた対立遺伝子 a が侵入することは不可能に思われます（図 1A）。一方、ドブジャンスキー・ミュラーのモデルでは、2 つの遺伝子座上にそれぞれ 2 つの対立遺伝子があり、対立遺伝子 a と b が同じ個体に存在する場合、エピスタシス（遺伝子座間相互作用）によって不和合が起こると考えます。この場合、A と b、a と B の間には不和合がないため、母集団との生殖不和合を回避しつつ、2 つの娘集団の間の生殖隔離を達成することができます（図 1B）。そのため、種分化の遺伝学においては、1 遺伝子種分化は起きにくいだろうと考えられてきました。

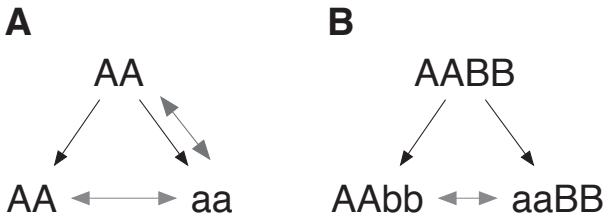


図 1 A: 1 遺伝子種分化モデル。対立遺伝子 A と a の間で不和合が生じる。B: ドブジャンスキー・ミュラーモデル。対立遺伝子 a と b の間でエピスタシスにより不和合が生じる。黒矢印は母集団から娘集団への進化を、灰色矢印は生殖不和合を示す。

しかし、ドブジャンスキーらの提唱から 60 年ほど経った 1991 年に、カタツムリにおける 1 遺伝子種分化の起こりやすさを調べた理論研究が発表されました (Orr 1991)。カタツムリと呼ばれる陸棲の巻貝では、右巻きと左巻きの個体の間でめったに交配が起こらないこと (Johnson 1982) から、左右性の逆転が種分化に直結するというアイディアが提出されていました (Gittenberger 1988)。地球上の大半のカタツムリは右巻きなのですが、左巻きの種も存在しています。カタツムリでは 1 遺伝子座 2 対立遺伝子によって左右性が

*東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学系

決まるため、図 1A のように、右巻きだらけの集団に突然変異によって左巻き個体が生じた際には、周囲の個体は右巻きだらけで、交配相手がいないはずです。それでは、どのようにして左右性が逆転し、1 遺伝子種分化が起こったのでしょうか。

カタツムリの特殊性としてまず挙げられたのが、遅滞遺伝（delayed inheritance）という遺伝様式です。遅滞遺伝では、母親の遺伝子型が子供の表現型を決める、すなわち遺伝子が 1 世代遅れて発現します。カタツムリの左右性の場合、胚発生のらせん卵割の際に母親の遺伝子が影響し、子の巻き方向を決めると考えられています。その結果として、左右性の遺伝子型と表現型にミスマッチが生じます。例えば、同じヘテロ接合の個体であっても、母親が右巻きホモであれば右巻きに、左巻きホモであれば左巻きになります（図 2）。 する

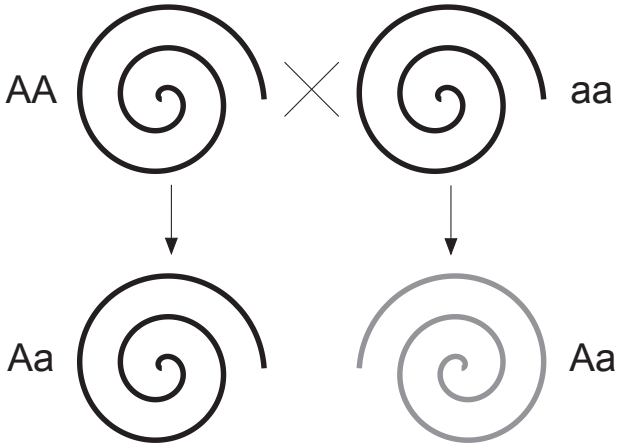


図 2　遅滞遺伝の例。右巻きの対立遺伝子 A が優性で、左巻き対立遺伝子 a が劣性の時、通常の遺伝様式ではヘテロ接合個体 Aa は右巻きになるが、遅滞遺伝の場合、母親の遺伝子型が右巻きホモ接合 AA（左上）ならば右巻き（左下）に、左巻きホモ接合 aa（右上）ならば左巻き（右下）になる。ちなみに、カタツムリは雌雄同体である。

と、最初に突然変異が生じて左巻き対立遺伝子をヘテロで持って生まれた個体は、母親が野生型なので、右巻きの表現型を持っているでしょう。それに加えて、左巻き対立遺伝子が劣性であれば、ヘテロ接合個体の子（2 世代目）も全て右巻きになります。3 世代目にして初めて左巻き個体が現れることになりますが、それまでに数を増やすことができれば、交配相手を見つけることは難しくないでしょう。さらに、カタツムリは移動能力が低いため、集団が分断化されやすく、遺伝的浮動が強く働くと考えられています。Orr (1991) では、遅滞遺伝と遺伝的浮動が同時に働くことで、左巻き対立遺伝子が侵入しやすくなることが、有限集団のシミュレーションで示されました。その後、空間を明示的に組み込んだシミュレーションでも同様の傾向が確かめられる一方で (van Batenburg and Gittenberger 1996, Stone and Björklund 2002)、実証研究も蓄積されてきました (Ueshima and Asami 2003, Hoso 2012)。

さらに 2000 年代になって、カタツムリを専門に食べるある種のヘビは、行動や歯の数が左右非対称になって右巻き個体に特化している (Hoso et al. 2007) ため、右巻き個体の生存率が下がって、左巻きへの進化（種分化）を促進しているのではないか、というアイディアが提唱されました (Hoso et al. 2010, 細 2012)。そこで我々は、右巻きの生存の不利さと左巻きの繁殖の不利さを含んだ、集団遺伝学的な離散世代・個体数一定のライト-フィッシャーモデルを考えました (Yamamichi and Sasaki 2013)。ここでは異所的種分化を考えるので、ある集団において左巻き突然変異が生じ、ヘテロ接合の 1 個体から出発して集団の全体を占めるに至る確率（固定確率）を調べます。半数体の場合、左巻き対立遺伝子の頻度を p とすると、頻度動態は

$$\begin{aligned} \tilde{p} &= \frac{p[p+(1-r)(1-p)]}{1-2rp(1-p)}, \\ p' &= \frac{(1+s)\tilde{p}}{1+s\tilde{p}}, \end{aligned} \tag{1}$$

と表されます。ここで、$\tilde{p}$ は交配後の頻度、p' は 1 世代後の頻度、r は生殖不和合の強度、s は右利きの捕食者による左巻きの生存率の有利さを表現するパラメータです。倍数体・遅滞遺伝のモデルはさらに複雑になりますが、同様な式が得られます。

このようなモデルを、集団サイズが大きい場合の拡散近似、集団サイズが小さい場合の first step analysis、シミュレーションをもちいて解析した結果、ヘビの捕食がない場合、遅滞遺伝が固定確率を上昇させることが確認できました。遅滞遺伝では、母親と父親の遺伝子を受け継いでいるにも関わらず、母親の遺伝子型のみが表現型に影響するために、選択圧が表現型を介して遺伝子型に及ぼす影響の強さが半分になります。その結果として、生殖不和合によって多数派が有利となる「正の頻度依存選択」（positive frequency-dependent selection）の効果が弱まって中立に近づき、左巻き対立遺伝子が固定しやすくなります。また、過去の研究では優性と劣性の突然変異の相対的な固定しやすさについて、初期頻度の効果も含めて整理されていない状態でした (Orr 1991, van Batenburg and Gittenberger 1996)。本研究で、集団サイズが大きい場合は優性と劣性の突然変異の固定確率が等しくなりますが、集団サイズが小さい場合は劣性対立遺伝子の方が固定しやすくなることを明らかにしました。ヘビの捕食によって右巻きの生存率が低く、生殖不和合が弱い場合には、左巻き対立遺伝子が優性の方が固定しやすくなるため、カタツムリを食べるヘビがいる地域といない地域の左巻き対立遺伝子の優劣を調べることで、理論予測を検証していくことが可能になると考えられます。また、

この論文の中では異所的種分化のシナリオで固定確率を調べましたが、実際のカタツムリでは右巻きと左巻きの集団間で遺伝的な交流があることが確認されている (Davison et al. 2005, Richards et al. 2017) ため、今後は側所的種分化のシナリオにおいて遅滞遺伝とヘビの捕食がどう働くのか、調べていく必要がありそうです。

2. 多型の維持

1 遺伝子種分化の文脈で正の頻度依存選択を調べた次は、少数派が有利になる「負の頻度依存選択」（negative frequency-dependent selection）を考えることにしました。というのも、ほとんどのカタツムリでは、種内で右巻きか左巻きに固定していますが、東南アジアの樹上性カタツムリであるマレーマイマイ（*Amphidromus*）属では、種内に右巻きと左巻きがほぼ 1:1 の頻度で存在し、そのような多型が長期間に渡って維持されてきたことが知られていたためです (Sutcharit et al. 2007)。ふたたびライト-フィッシャーモデルをもちいて拡散近似とシミュレーションによって解析を行ってみると、正の頻度依存選択と同様に、負の頻度依存選択でも遅滞遺伝によって選択の効果が弱まり、遺伝的浮動の効果が強くなって、遺伝的多型が失われやすくなることがわかりました (Yamamichi and Hoso 2017)。

一方、時間的に変動する選択（temporally fluctuating selection）によって遺伝的多型が維持される場合には、逆の結果になることがわかりました。つまり、遅滞遺伝がある方が、多型が維持されやすくなるのです。遺伝的多型が時間的に変動する選択によって維持されうるのか、という問いは 1950 年代に遡ります。半数体では幾何平均適応度が同一でないと多型が維持されないが、倍数体で完全優性の場合、ある限られた条件下で維持されることがわかっていました (Dempster 1955, Haldane and Jayakar 1963)。完全優性の場合、ヘテロ接合個体で遺伝子型と表現型のミスマッチが生じることになります。ここでは、劣性対立遺伝子が優性の表現型の中に隠れることによって不利な環境を一時的にやり過ごし、多型が維持されるようになります。その後の研究によって、完全優性以外にも、重複世代 (Ellner and Hairston 1994)、性特異的な形質 (Reinhold 2000) やエピスタシス (Gulisija et al. 2016) によっても不利な環境をやり過ごして多型が維持されやすくなることが知られていました。我々の研究では、遅滞遺伝が世代重複と同じ効果をもたらし、遺伝子型と表現型のミスマッチを促進することで、より安定して多型を維持することができる（図 3）ということを示しました (Yamamichi and Hoso 2017)。

マレーマイマイに話を戻すと、時間的に変動する選択というよりは、右巻きと左巻きが交配しやすい結果として負の頻度依存選択が働き、多型が維持されているようです (Schilthuizen et al. 2007)。遅滞遺伝によって選択の効果が弱められているにも関わらず多型が維持されるということは、かなり選択圧が強いのか、そもそも右巻きと左巻きで同類交配を行う他のカタツムリとは真逆の異型交配が、なぜマレーマイマイで進化したのか、謎は尽きません。

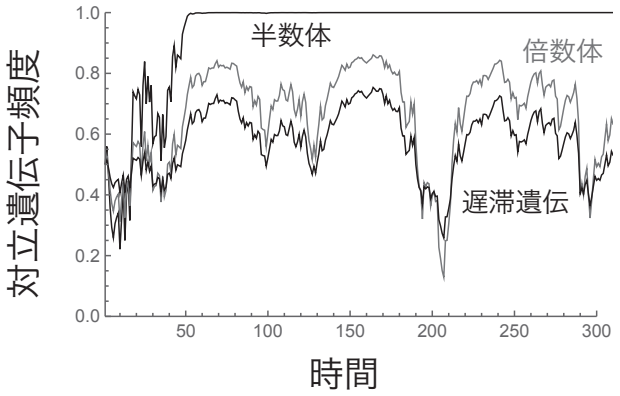


図 3 時間的に変動する選択圧のもとでの対立遺伝子頻度の変動。半数体（黒点線）は多型を維持できずに固定する。倍数体（灰色実線）と遅滞遺伝（黒実線）は多型を維持できるが、遅滞遺伝の方が選択から受ける影響が小さいため、振幅が小さい。

3. 共進化

さて、ヘビとカタツムリの系についてよく考えてみると、ヘビは右巻き個体に適応して「右利き」に進化し (Hoso et al. 2007)、カタツムリはそれに対応して交配の難しさがあるにも関わらず、左巻きに進化しつつあるようです (Hoso et al. 2010)。それでは、今後順調に左巻きの個体が増えていけば、「左利き」のヘビも進化するのでしょうか。それとも、「右利き」への進化は袋小路になっていて、左巻きに対応できずに絶滅してしまうのでしょうか。このような共進化の帰結について、微分方程式を使って考えました (Yamamichi and Ellner 2016)。ここでは話を簡単にするために、捕食者は量的形質で、被食者は 1 遺伝子座 2 対立遺伝子で決まる形質を持ち、両者の形質の値が近いと捕食が起きやすくなると考えました。これまでの共進化モデルでは、1 遺伝子座上の対立遺伝子の頻度動態を考えるもの (Seger 1988) や、量的形質値同士の動態を考えるもの (Gavrilets 1997) が多く、連続な形質と離散的な形質の間の共進化はほとんど調べられていませんでした。

また、近年になって、進化が短い時間スケールで起きて、生態学的なプロセスに影響していることが普遍的であるとわかってきました (Hairston et al. 2005)。生態学的なプロセスは進化にも影響するため、生態と進化の間にフィードバックが起こり得ます。このような生態-進化フィードバック（eco-evolutionary feedback）のコンセプトを取り入れるべく、ロジスティック成長

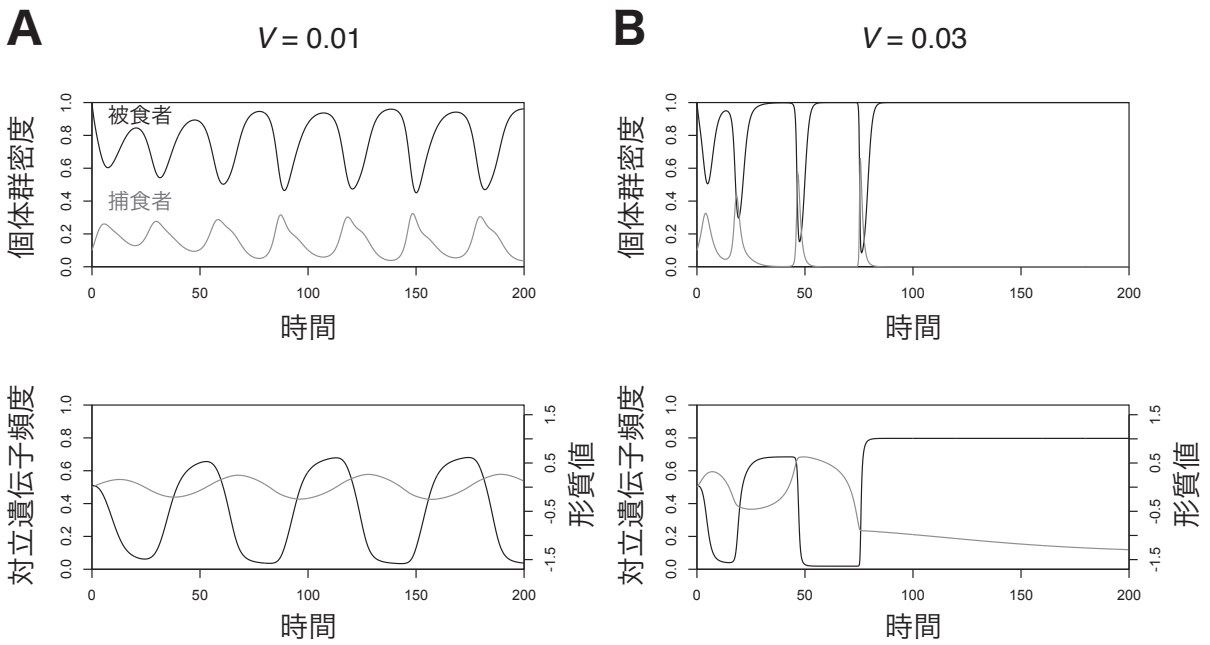


図 4　量的形質とメンデル形質の共進化の帰結。A: 捕食者の進化が遅ければ（$V = 0.01$）、両者は共存する。B: 捕食者の進化が速ければ（$V = 0.03$）、捕食者が絶滅する。黒線は被食者を、灰色線は捕食者を示す。

する被食者と、Holling の I 型機能的反応をする捕食者の個体群動態を考えました。このモデルでは、進化なしでは安定な平衡状態に落ち着きますが、共進化が起こることによって系が不安定化し、個体群動態にさまざまな影響をもたらすことになります。規格化した被食者の密度 N、捕食者の密度 P、被食者の対立遺伝子頻度 p、捕食者の量的形質値 $\bar{x}$ の動態を表す式は、

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= N(1-N-\bar{a}P), \\ \frac{dP}{dt} &= P(\bar{a}N-d), \\ \frac{dp}{dt} &= p(1-p)P[p(2\bar{a}_2-\bar{a}_1-\bar{a}_3)-\bar{a}_2+\bar{a}_3], \\ \frac{d\bar{x}}{dt} &= V\frac{\partial}{\partial\bar{x}}\left(\frac{1}{P}\frac{dP}{dt}\right), \end{aligned} \tag{2}$$

となります。ここで、被食者はハーディー・ワインベルク平衡にあり（$\bar{a} = p^2\bar{a}_1 + 2p(1-p)\bar{a}_2 + (1-p)^2\bar{a}_3$）、両者の形質値が離れると $\bar{a}_i = \alpha\exp[-(\bar{x}-\theta_i)^2]$ という形で捕食率が減少していくとしたため、パラメータは、捕食者の死亡率 d、捕食の強さ α、捕食者の進化の速さ V、被食者の遺伝子型 i の形質値 θ_i のみになります。

解析の結果、初期値に応じて共進化の帰結が異なる双安定性が現れること、捕食者-被食者サイクルのずれが逆位相や同位相といった奇妙な個体数振動を示すこと、カオス的な振動が現れることがわかりました。さらに興味深いことに、捕食者の進化が速いほど（式 2 の V が大きいほど）絶滅しやすくなるというシミュレーション結果も得られました（図 4）。ここでは、被食者の形質は離散的ですが、捕食者の形質は連続的なため、捕食者が被食者に追いつこうと努力するほど振幅が大きくなり、振り払われてしまうということだと考えられます。ただし、実際のヘビ-カタツムリ系では右巻きと左巻きの交配しにくさがあるため、カタツムリがヘビを振り払うのは容易なことではないでしょう。また、ヘビの形質が量的で、連続的に変化するという仮定を置きましたが、こちらも 1 つの突然変異によって左右性が逆転するようなことも起きるかもしれません。

4.　自然史、生態学・進化生物学、そして数理生物学

2009 年の数理生物学会以降、カタツムリの特徴である、1 遺伝子座 2 対立遺伝子で遅滞遺伝によって左右の巻き方向が決まること、巻き方向の異なる個体同士は交配しにくい（しやすい）こと、多数派である右巻きのカタツムリに特化した捕食者が存在することなどの自然史的な知見から、いくつかの数理モデルを考案し、生態学・進化生物学の一般的な理論の発展に貢献することを目指して研究を行ってきました。これまでの進化生物学の歴史の中で、カタツムリ研究から数多くの一般的な知見が得られてきました (千葉 2017) が、現在においても、自然史研究の個別例から数理モデルによって帰納的に一般則を見つけ出し、生態学と進化生物学の理解を深めていくということが有効なアプローチであると言えそうです。今後は進化と生態のフィードバックについての理論と実証の研究を進めつつ、フィールド・実験から数理モデルへつながるような研究と教育に取り組んでいきたいと考えています。

最後になりましたが、これまで研究活動を支えてくださった、指導教員・共同研究者の方々をはじめとす

るたくさんの皆様と、家族にお礼を申し上げます。また、本稿の執筆にあたりましては、細将貴博士（東京大学）、原朱音さん、伊藤悠介さん（九州大学）にお世話になりました。合わせてお礼申し上げます。

参考文献

千葉聡. 2017. 歌うカタツムリ：進化とらせんの物語. 岩波書店.

Davison, A., S. Chiba, N. H. Barton, and B. Clarke. 2005. Speciation and gene flow between snails of opposite chirality. PLoS Biology **3**:e282.

Dempster, E. R. 1955. Maintenance of genetic heterogeneity. Pages 25-32 in Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. Cold Spring Harbor Laboratory Press, NY.

Ellner, S., and N. G. Hairston, Jr. 1994. Role of overlapping generations in maintaining genetic variation in a fluctuating environment. The American Naturalist **143**:403-417.

Gavrilets, S. 1997. Coevolutionary chase in exploiter-victim systems with polygenic characters. Journal of Theoretical Biology **186**:527-534.

Gittenberger, E. 1988. Sympatric speciation in snails: a largely neglected model. Evolution **42**:826-828.

Gulisija, D., Y. Kim, and J. B. Plotkin. 2016. Phenotypic plasticity promotes balanced polymorphism in periodic environments by a genomic storage effect. Genetics **202**:1437-1448.

Hairston, N. G., Jr., S. P. Ellner, M. A. Geber, T. Yoshida, and J. A. Fox. 2005. Rapid evolution and the convergence of ecological and evolutionary time. Ecology Letters **8**:1114-1127.

Haldane, J. B. S., and S. D. Jayakar. 1963. Polymorphism due to selection of varying direction. Journal of Genetics **58**:237-242.

細将貴. 2012. 右利きのヘビ仮説：追うヘビ、逃げるカタツムリの右と左の共進化. 東海大学出版会.

Hoso, M. 2012. Non-adaptive speciation of snails by left-right reversal is facilitated on oceanic islands. Contributions to Zoology **81**:79-85.

Hoso, M., T. Asami, and M. Hori. 2007. Right-handed snakes: convergent evolution of asymmetry for functional specialization. Biology Letters **3**:169-172.

Hoso, M., Y. Kameda, S. P. Wu, T. Asami, M. Kato, and M. Hori. 2010. A speciation gene for left-right reversal in snails results in anti-predator adaptation. Nature Communications **1**:133.

Johnson, M. S. 1982. Polymorphism for direction of coil in *Partula suturalis*: behavioural isolation and positive frequency dependent selection. Heredity **49**:145-151.

Orr, H. A. 1991. Is single-gene speciation possible? Evolution **45**:764-769.

Orr, H. A. 1996. Dobzhansky, Bateson, and the genetics of speciation. Genetics **144**:1331-1335.

Reinhold, K. 2000. Maintenance of a genetic polymorphism by fluctuating selection on sex-limited traits. Journal of Evolutionary Biology **13**:1009-1014.

Richards, P. M., Y. Morii, K. Kimura, T. Hirano, S. Chiba, and A. Davison. 2017. Single-gene speciation: Mating and gene flow between mirror-image snails. Evolution Letters **1**:282-291.

Schilthuizen, M., P. G. Craze, A. S. Cabanban, A. Davison, J. Stone, E. Gittenberger, and B. J. Scott. 2007. Sexual selection maintains whole-body chiral dimorphism in snails. Journal of Evolutionary Biology **20**:1941-1949.

Seger, J. 1988. Dynamics of some simple host-parasite models with more than two genotypes in each species. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences **319**:541-555.

Stone, J., and M. Björklund. 2002. Delayed prezygotic isolating mechanisms: evolution with a twist. Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences **269**:861-865.

Sutcharit, C., T. Asami, and S. Panha. 2007. Evolution of whole-body enantiomorphy in the tree snail genus *Amphidromus*. Journal of Evolutionary Biology **20**:661-672.

Ueshima, R., and T. Asami. 2003. Single-gene speciation by left-right reversal: A land-snail species of polyphyletic origin results from chirality constraints on mating. Nature **425**:679.

van Batenburg, F. H. D., and E. Gittenberger. 1996. Ease of fixation of a change in coiling: Computer experiments on chirality in snails. Heredity **76**:278-286.

Yamamichi, M., and S. P. Ellner. 2016. Antagonistic coevolution between quantitative and Mendelian traits. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences **283**:20152926.

Yamamichi, M., and M. Hoso. 2017. Roles of maternal effects in maintaining genetic variation: Maternal storage effect. Evolution **71**:449-457.

Yamamichi, M., and A. Sasaki. 2013. Single-gene speciation with pleiotropy: Effects of allele dominance, population size, and delayed inheritance. Evolution **67**:2011-2023.

【2017 年研究奨励賞受賞者特別寄稿】

使命感、のち、虜

水本憲治 *

1. はじめに：御礼

この度は、名誉ある賞を賜りましたこと、心より感謝しております．歴代の受賞者の方々に少しでも早く肩を並べられるよう、引き続き研鑽していく所存です．また、このような賞をいただけるに至ったのは、研究指導いただいてきた山本太郎先生（長崎大学）、西浦博先生（北海道大学）、また Gerardo Chowell 先生（米国ジョージア州立大学）のおかげです．この場を借りて、御礼申し上げます．さて、私を知らない方も多くおられると思うので、感染症数理モデルの門を叩くに至った経緯も含め、これまでの軌跡を、現在直面している課題など含め、率直に記させていただければと思います．一部、数理生物学分野とは離れた内容となりますこと、お許しください．

2. 厚労省以前

医学生時代、貧困・飢餓・疾病に直面する弱者の方々の一助になりたいという思い、現場を見るべきという思いから、現地 NGO 団体等と連携し、アフガニスタン戦争・イラク戦争後の避難民キャンプ等に訪問し、救援物資配布・報告会活動に携わっていた．一方、片方の当事者である米国の学生の意見を知るため、某学生会議等へも参加する等し、バランスの取れた視点を保つようしていた．そうした国内外での活動が評価され、奨学金を獲得でき、集大成として医学部在学中に米国公衆衛生大学院に留学した． この留学以降、感染症対策・疫学の専門家を目指すようになっていた．疫学を学んだ学生によくあるのだが、マス（ヒト集団）を対象にした手法に、強い興味を抱き、ヒト個人の危機管理とも言える医療から、公衆衛生の危機管理を目指した．現場の実情を垣間見たことで、「現場」への還元を大きくしたいという思いとも一致したことから、自然な流れだった．

3. 厚労省時代：新型インフルエンザ発生時の被害想定の担当

2010 年からの 2 年間、医系技官として、厚生労働省結核感染症課で勤務し、2009 年から世界的流行をした新型インフルエンザ (A/H1N1) 対策に従事した．流行 2 年目の 2010 年度は、致命割合が当初想定（致命割合 0.53-2.0%, 死亡者数 17-64 万人）よりも低かったこともあり、厚生労働省新型インフルエンザ対策本部は大幅縮小された．専任担当者数は、流行前の 2008 年でさえ約 8 名いたが、2010 年度は申請者含めて約 3 名という状況になっていた（2009 年の流行当時は 100 人規模.）．国の新型インフルエンザ対策は、主に次の 7 つに分類される（サーベイランス, リスクコミュニケーション, 水際対策・検疫, 公衆衛生対策（学校等の臨時休業等）, 医療体制, 抗インフルエンザ薬（備蓄）, ワクチン（接種体制・備蓄））．2010-12 年、この 3-4 つの主担当、残りを補佐という形になり、実務を担うと同時に、総括会議等の改善点を踏まえ改訂作業に従事していた． 残業時間が、土日を除いても 230 時間を越えていたのを覚えている．当時、医者仲間から、「お役人さんだと、『クジゴジ』（9AM − 5PM）の勤務？楽だね．いいねぇ.」と言われたときに、「そうね.『クジサンジ』（9AM − 3AM）やね.」と回答したのを覚えている．クレイジーだったが、新型インフルエンザ対策が全ての感染症への対策のベースになることから、包括的、かつ PDCA(Plan-Do-Check-Analysis だが、Do-Check-Analysis-RePlan) サイクルを一通り経験させていただいたことは、感染症対策を肌感覚レベルで理解できた（と思っている）という点で、大変貴重な機会だったと思う．

また、対策が見直される中で、新型インフルエンザ行動計画の根拠であり、数理モデルを用いて算出されているという被害想定（致命割合、死亡者数、入院患者数等）も再検討されることになり、その担当となったことが、この分野に関わることになった契機である．といっても、当然と言えば当然であったが、周りには教えてくれる方などいなかった．元担当者に聞き周ったが、誰も推定方法・妥当性まで理解していなかった．仕事が落ち着いた深夜に、稲葉寿先生の「感染症の数理モデル」、巌佐庸先生の「数理生物学入門」を引っ張り出し、「これ、『入門』か !?」と叫びながら、連日格闘した（負け続けましたが…）のを今でも鮮明に覚えている．そうした中、藁にもすがる思いで、感染症数理モデルを専門とされる研究者の先生方に連絡をとり、相談させていただいたのが、稲葉寿先生（東京大

*米国ジョージア州立大学公衆衛生大学院
疫学生物統計部門

学)、佐々木顕先生（総合研究大学院大学）であり、西浦博先生（当時、ユトレヒト大学）だった．

4. 香港時代～

厚労省勤務時、科学的根拠に基づく政策決定の重要性を認識したことから、人事交流期間終了後、ユトレヒト大学から香港大学公衆衛生大学院に異動されていた西浦先生にお願いし、研究指導をいただく機会をいただいた．その後、東京大学時代、北海道大学時代含め、4年強の期間、徹底的にご指導いただいた．いま、まがりなりにも研究者を続けられているのは、世界で戦い抜くための研究の厳しさとともに、諦めず、粘り強く、期待をかけ続けていただいたからである．

また、当時、同じチームとして一緒になった大森亮介先生（現、北海道大学)、江島啓介（現、Indiana University, USA）先生にも感謝している．特に香港時代、研究経験が浅いことから、頼らせていただいたことが多かった．私にとって初めての国際学会発表が確か2014年6月にスウェーデンで開催されたECMTBだったが、ホテルの部屋で何度もプレゼン練習に付き合っていただいた．流行途中に分析を実施するリアルタイム研究のときは、自身の研究能力が及ばずに悔しい思いをしたことも多々あったが、発奮材料となった．そうした経験も、また、最近では、挫折しそうになる時に踏みとどまれているのには、毎日乗った24時過ぎ発の最終ミニバスの手荒い運転に座席から吹っ飛ばされそうになったり、研究が長引いたときに夜マクドナルドでムシャムシャ食べて腹ごなしをする等の苦楽を共にさせていただいた当時の仲間二人が、研究を続けられている姿に刺激を受けているからでもある．この場を借りて、御礼を伝えたい．

5. 海外挑戦：GSU：生き残るために　衝撃

2017年1月から、研究の場所を、米国アトランタ市にあるジョージア州立大学に移し、Gerardo Chowell先生に指導をいただきながら、研究に専念する機会を得ている．アトランタは、アメリカ南部有数の都市であり、また、アメリカ疾病管理予防センター（Centers for Disease Control and Prevention：CDC）が立地し、学術集会等が多い．Chowell先生を訪問される研究者も多く、感染症研究専門家との交流機会を多く得られている．

また、CDCは、保健福祉省所管の感染症対策の総合研究所であり、創設は1946年．アメリカ国内・国外を問わず、人々の健康と、安全の保護を主導する立場にある連邦機関であり、その主目的は、健康に関する信頼できる情報の提供と、健康の増進である．人類に脅威となる疾病には国内外を問わず駆けつけ、調査・対策を講じる上で主導的な役割を果たしている[1]．こちらでは、今後、テニュアポジション（終身雇用）を目指す流れになるが、こちらでテニュアポジションにつながる、テニュアトラックポジションを得る必要があり、そのための条件のひとつとして言われているのが、（大型）Grant獲得である．

具体的には、NIH, NSFグラントになるが、日本円にして年間1000万程度の研究費を獲得できるかが、ここ数年の試金石になっている．NIHとは、米国国立衛生研究所(National Institute of Health)のことであり、その傘下に27の国立研究所や研究センターを持つ研究機関であるが、同時に米国の大学や研究機関に対して競争的研究資金を配分するファンディングエージェンシーである[2]．NSFとは、国立科学財団（National Science Foundation）は米国連邦政府の独立機関の一つで、科学・工学分野における基礎研究と教育の振興を任務とするファンディングエージェンシーである[3]．また、グラント獲得には、自身の業績に加えて、「オリジナリティ」が評価されると言われる．博士課程在籍時の指導教官の名前がAuthor listに入っていないpublicationがあるか、自身の専門分野が指導教官と同一ではないか、自身の研究手法・着眼点があるか、などである．当たり前のことだが、つまり、言われたとおりのことをやれているだけでは独立した研究者としてみなされず、独立できない．評価基準は、自身に研究遂行能力がある客観的証拠を示せ、ということだと理解している．また、こうしたグラント申請には、アメリカ市民であるか、大学等の研究機関においてAssistant Professorまたはそれに準じる職位以上が、基本的に必須となる．Chowell先生の協力をいただき、先般、ようやくこの資格を満たすことが出来、スタートラインに立てた．これからの数年間、上述の、自身の「オリジナリティ」を示すこと共に、グラント獲得の勝負期間となる．

また、この機会に、米国における感染症数理モデル研究者を取り巻く環境についても、情報共有させていただきたい．感染症数理モデル研究者数が（比例級数的に）増加してきているのは予想してきたが、次の経験でそれは確信に変わった．CDCは、2年前から、フルチャレンジ(Flu challenge)プロジェクトを実施している[4]．担当部署が、当該年度のインフルエンザ関連のデータを逐次提供し、その流行予測を、流行期間中、国内外の多研究機関に競わせるというものである．具体的には、流行入りのタイミング、ピークのタイミングとその患者数、4週間先の患者数等、であり、その予測手法は多岐にわたる．この流行予測プロジェクトは、インフルエンザだけにとどまらず、デング熱流行予測プロジェクト等もある[5]．インフルエンザ流行予測プロジェクトは、国外からも参戦可能であり、来年度も実施予定とのことなので興味ある方は是非挑戦されたい．さらに、同一データを、多研究機関の数理モデル研究チームで分析・解析し、その比較を行うというプロジェクトは少なくなく、論文出版も多くされて

きている[6]．また、私が知る狭い範囲かもしれないが、米国では数理モデルの意義が十分評価され、公衆衛生大学院（School of Public Health）においても、一人は数理モデル研究者がいる流れが拡大してきているように感じる．日本の大学で、医学部・公衆衛生大学院で職を得て活動している感染症数理モデル専門家が極めて限定的であることを考えると、小講座制と大講座制の違いを加味しても、かなり遅れをとっているのは明らかだ．

6. 離れてわかる師匠の言行の数々：「リアルタイムスタディ」etc…

この原稿の執筆中に、リアルタイムスタディに初めて自身のアイデア・手法で挑戦しているが、研究をリードする立場になってようやく、当時のリーダーとしての西浦先生の苦労の一端が理解できるようになった．今回、一息ついた際に、データ分析を一人ですすめていたところ、フィッティングがうまくいかない箇所があったが、再確認後、データ修正が必要と判明した．昔、自身がデータ担当の際、小休止後にデータの誤りを指摘されたことがあったが、あれは、小休止中にデータ分析を進められていたため判明したということを悟った．また、投稿にあたって、迅速に査読してもらえるReview candidate listが必須になるが、裏を返せば、自身も短期間での査読依頼を普段から受けていることになる．また、投稿すれば、その雑誌から別の査読依頼がすぐに舞い込む．チーム研究として、メンバーの努力を無に帰させないため、なんとかランドオン（publish）させるため、投稿後も関連情報収集・追加分析等、気が休まるときがない．

当時、一メンバーとしての負荷も相当だった（研究中、1週間の睡眠時間合計が10時間、泊まり込んでいた西浦先生ラボのある本郷から、職場のあった駒場に向かう電車の通勤時間が唯一の睡眠時間だったりもし、睡眠不足で慢性的に頭痛を覚えていた．同僚の中にはこの2週間の研究密度が、一年間分にあたる、と言うものもいた.）と思っていたが、私たちが知る由もない時間にも対応されていたことを今になってようやく認識した．

7. これから：「Motivation」と「モビルスーツ」

―「Motivation」

Evidence based policyの、感染症対策・健康政策への導入が、研究としての使命と考えてきた．厚生労働省で、流行中の新型インフルエンザ(A/H1N1)対策を担当した2010年、十分な科学的根拠に基づかず（基づけずに）政策決定されている行政の現場を目の当たりにし、感染症数理の世界に身をうつし、厳しい場を敢えて選び、疫学データ収集と分析・解析をする専門家として研鑽を積んできた．感染症流行ダイナミクスを、統計・疫学・数理モデル等を用い、定式化・構造化して捉え、死亡・流行・輸入リスク推定、医学的介入（予防接種・予防内服）・公衆衛生的介入（検疫・学校閉鎖等）の効果推定、疾病負荷・費用効果分析等の定量的評価を含め、感染症関連リスクを可視化し、政策現場に還元するように努めてきた．各プロジェクトで技術的目標を明確・高度に設定し、幅広い感染症領域を研究課題に据えることで、感染症制御の課題において、科学に基づいた適切かつ柔軟な政策意思決定を実現し、また、実践的な政策決定に対応可能な人材になるべく準備をしてきた．常に共通のテーマとするオペレーション目標は、感染症対策の効果推定を通じた「健康政策に関係する意思決定の科学」だった．

上記のように、「使命感」先行であり、自身の唯一の売りが、「断固たる意思」であるからこそ、一方で、昨今の感染症数理モデル研究者の増加に、危機感と共に満足感を抱いてしまったところもあり、正直なところ、Motivationの維持にここしばらくの間苦しんでいた．現場で、医療の現場で、政策の現場で困窮・困っている方たちを多く目にしてきたからこそ抱いていた、現場が直面している課題を解決しなければいけないという思いに息切れを起こしていた．

昔、同僚の一人から、「水本さん、自分が作ったモデルをデータにうまくフィットできてきれいな線を描けても興奮を覚えないでしょ」と言われたことを思い出すことが多くなっていた．そんな折、上述のリアルタイムスタディ中、寝床にはいってしばらくして、フィッティングが悪い箇所を解決するアイデアを思いつき、起き出して深夜にオフィスに向かうことが何回かあり、研究に魅了されている、と気づけたことが最近の何よりも大きい収穫である．

―「モビルスーツ」

「退職したら、ただの人」「いつまであると思うな、親と恩師」．過去、多岐に渡る格言（自作造語）があるが、この言葉の意味を今、ひしひしと感じている．以前のラボでは、研究費が潤沢であり、研究方針も明確・適切、研究指導も多かった．その場にいるときは、その恩恵を感じにくいが、一歩外に出て、この「モビルスーツ」を脱ぐと、たちまち自身の非力さを痛感し、どれほど恵まれた環境にいたのか、精神的に依存してしまっていたのかを、痛感するようになる．また、Reviewer list一つとってしても、自前のリスト（ネットワーク）が必要になる．

有名ラボにいる方は、恵まれた環境にいることを早期自覚し、その間に、意識的に独立できる環境を整えることをお進めする。自身としては、以前より遥かに研究での失敗が多くなったが、試行錯誤しながら、その過程を苦し楽しめている．また、国際学会等の機会を活用して自前のネットワークを拡大していこうと考

えている．

8. 最後に

行政担当者・医療関係者との積極的な会話、また「育て合う」ことが今後必要になってくるのではないかと感じる．(もちろん、行政担当者にもそういう意識が重要）欧米の研究者と比較し、国内の数理モデル研究者の中には、「こなれた」方が少ない印象を受ける．つまり、自身の専門分野において、医学的知識も十分有し、自身の研究分野を包括する行政官との会話が出来る方（立ち回って、研究費を分捕れる方）であり、自身の研究チームの中に医療関係者がいなくても、「現場感覚」を、コミュニケーションを通じて補完できる方（アイデアをとれる、意見を聴ける)、という意味である．米国では、上述のように、行政担当者との交流機会が多いことで、研究者側は、コミュニケーション方法を学び取り、いい意味で、「こなれて」いる方が多い印象が強い．以前、欧米の大学の博士研究員（バックグラウンド：非医学）の研究プレゼンを聞いた同僚研究者（バックグランド：医学）が、その抱負な知識が医学知識にも及ぶことに圧倒され、「強みがない」と落ち込んでいたことを覚えている．

医学・公衆衛生等が元のバックグラウンドで、数理生物の門を叩かれた方へ．世界的に見て、医学部等を出たことの優位性はほぼない、と思ったほうがよく、逆に遠回りである、というのが率直な感想である．研究畑を歩いてきた方ですら、研究者を続けられる方は一握りであり、さらに国際的競争力を獲得できるのはごく一部であろう．だからこそ、諦めるというのではなく、相当の覚悟で研究に専念する必要がある、と自戒も含めて記しておきたい．ただ、一方で、強みもある．現場を知っているというのは確かに強い（と信じたい)．科学的なインパクトの大きさと、解決策としての社会実装可能性は別次元の話になる．例えば、ワクチン接種対策の有効性は、科学的には、個人レベルでは接種後の抗体価、集団レベルでは集団免疫度 (Herd immunity) という指標等で評価されるが、流行時の感染症対策という観点からは、様々な理由で接種しない感受性集団（susceptible pocket）の存在、ワクチン運搬時間・現場で接種を担当する医療資源数等も重要な要素になる．最適な抗インフルエンザ薬の備蓄数は推定できるかもしれないが、高齢者には少なからず認知症等で内服し忘れることが多く、結核とまではいかないがDOTS（短期間直視下服薬確認（DOTS : Direct Observation Therapy with Short course）も実際には検討される意義はあるだろう．さらに、大規模感染症流行時、拡大防止に中心的な役割を担うのは保健所である．大都会を除き、その管轄人口は約10万人であるが、公衆衛生的対策を実施する単位であるこの単位を有機的にイメージできる感染症数理研究者は非常に限定的である．

こうした現場・実情を知っている強みがある一方で、やはり課題は、そうしたアイデアを、統計・疫学・数理モデル等を用い、定式化・構造化して捉え、プログラミング言語を駆使して推定するまでに至るのには、優れた指導者の下で、多くの年数を必要とすることであると感じる．何事も一人前になるまで、「2万時間」必要と聞いたことがある．一日12時間、年間300日研究に充てるとして5年強．実感として、それくらいの年数は最低限必要とかんじる．また、以前の勤務先で、「あ、お医者さんね」と言われたことがあったが、元もとのバックグランドが医学・公衆衛生の方の中にも、同様に、研究者と区別されると感じる機会が少なからずあると思う．そのときは、それを発奮材料として、浅い研究経験を素直に認め、根気よく、粘り強く、研究技術の向上に努めてもらいたいと願う．さらに、数理・統計・情報科学等を専門とする研究者と、同じ釜の飯を食べてもらいたいと思う．私は恵まれていたと思う．オールドルーキーである方も少なからずいると思うが、素直に頭を下げて、教えを請える姿勢が最も大切と感じる．

9. おわりに

現時点での感染症数理モデル研究者としての実力というのは、自身が最も承知している．そういう点でも、いつか、やはりこちらの賞がふさわしかったと言っていただけるよう、自身の役割を自覚し、また強みを発揮しながら、研鑽を続けていく所存です．伏せておくべきかもしれない経験も含めて、この機会に共有させていただいた．こちらの原稿が、後進の研究者の方が挫折しそうになったとき、同様な経験をした方がいたんだと、踏みとどまってもうひと頑張りできる活力の一助になればと願っている．

参 考 文 献

[1] Centers for Disease Control and Prevention, USA: https://www.cdc.gov/ https://ja.wikipedia.org/wiki/アメリカ疾病予防管理センター

[2] National Institute of Health, USA. Available from: https://www.jsps.go.jp/j-bilat/u-kokusen/foreign/washington-h181221.html

[3] National Science Foundation, USA. Available from: http://www.zam.go.jp/pdf/00000321.pdf

[4] Flu challenge. Centers for Disease Control and Prevention, USA. Available from: https://predict.phiresearchlab.org/

[5] Dengue Forecasting http://dengueforecasting.noaa.gov/

[6] Menzies NA, et al. Cost-effectiveness and resource implications of aggressive action on tuberculosis in China, India, and South Africa: a combined analysis of nine models. Lancet Glob Health. 2016;4:e816-e826.

【第 2 回 数理生物学対談「小林亮 教授」】

自らを縛る枠とそれを破る興味

小林亮 *, 岩見真吾 †

はじめに

数理生物学会ニュースレターの新しい試みとして、いわゆる “大御所” と呼ばれる先生方との対談企画を前号より行っております。編集長の岩見が聞き手となって、日本数理生物学会編集部のメンバーと共に東奔西走し、語り手となる大御所を直撃します。研究の話はもちろん、先生方が大切にしているポリシー、若い会員が知らない昔話、また、これからの数理生物学会の在り方など、存分に語ってもらおうと思います。先生方が非常にお忙しいのは百も承知ですがもしも依頼があった場合には、是非、対談のお話をお受け頂ければ嬉しいです。さて、第二弾では、ユニークな研究で人々を魅了してきた、広島大学大学院理学研究科数理分子生命理学専攻数理計算理学講座複雑系数理学研究室 (寿限無?) の小林亮教授を直撃しました。皆様、是非お楽しみ下さい：

岩見　前号から数理生物学会ニュースレターの編集委員長をしてまして、この対談企画も今回が第二弾となります。非常に面白い研究をなさっている小林先生にぜひお話をお聞きしたいと思いお願いいたしました。今日はよろしくお願いします。
小林　よろしくお願いします。

笑いに包まれた研究

岩見　早速ですが、先生のグループの今日のお話（この対談は、九大の岩見グループと広大の小林グループの忘年セミナー中に行われた）もそうだったんですけど、結構笑いに包まれたような研究をされてるじゃないですか。
小林　いやその笑いに包まれた研究っていうのはようわからへんねんけど（笑）。笑いに包まれてるの？
岩見　いや包まれてると思いますよ！
小林　自分ではそういったこと全然考えたことないけどねえ。
岩見　けど学会でもみんな笑いません？

*広島大学大学院理学研究科
†九州大学大学院理学研究院生物科学部門
数理生物学研究室

図 1　広島大学　小林亮教授

小林　それは〜まあ僕が大阪の人間やから、「なんか喋るからにはウケんと」とか思うからやと思いますけどね（笑）。研究自体が笑いになるというよりはまあ、発表なんかではウケなあかんから。
岩見　外国でもすごいウケてますよね。
小林　いやそれはもうどこで喋ってもウケな嫌やん（笑）。それはもう血のようなものですね、大阪で生まれ育ったので。
岩見　意地でも笑い取るぞと。
小林　いや意地ではないけどね（笑）。でも岩見君もそんなことない？
岩見　まあ一応プレゼンの始めとかに、少し雰囲気和らげるために笑いを入れようとはしますけど、僕の研究だとメインの成果でドーンっていくことはないんですよね。でも先生の研究だと、例えば蛇のロボットとか粘菌の映像とか、ああいうのすごいなと思って。
小林　面白いんですかね、よーわからんけど。やってるのは真面目にやってるんですけどね（笑）。
岩見　いやもちろん研究内容はすごい面白いですけど、専門的じゃない人が聞いても面白いってのがやっぱり大きいですよね。
小林　やっぱりあんまりそういう（専門的な）方向に行かへんからやろうね。そもそもシンプルな疑問があって、それを研究しようとするケースが多いので。

岩見　なるほど。僕が一番初めに先生の研究の話を聞いたのが、数理解析研究所で長山先生 (長山雅晴：北海道大学・教授) の研究集会で粘菌の話してた時ですね。
小林　何年くらいかな、だいぶ前だよね。
岩見　そうですね、僕がまだ修士とか博士の前半ぐらいだったので。
小林　じゃあ 2000 年ぐらい？
岩見　そうですね、2003,4 年くらいでしたかね。
小林　それはもう中垣さん (中垣俊之：北海道大学・教授) と共同研究始めてた時で、それで話したんよね。
岩見　あれは、初めに先生が作ったモデルを中垣先生が見てから共同研究始めたんでしたっけ？
小林　いや違う違う。実は中垣さんと僕が同じ研究所で、僕は 5 階におって中垣さんがその斜め下の部屋にいたんよ。で、お互い知ってたんやけど意外と一緒にやる機会なくて、なんかどっかの外国の国際会議で一緒になって。
岩見　外国で（笑）？
小林　そうそう、普段 10m ぐらいのとこに居るのに (笑)。それで一緒にやろうやっていう話になって、ていう流れやったと思う。ちょうどあの時 Nature に載った迷路の話（真正粘菌が迷路を解き、さらに最短経路を求めるという計算をやってのけることを示した）は知ってたので。同時に僕は元々、生きてないもの（無生物）のパターン形成を結構やってたのね。
岩見　ああ、結晶成長とか。
小林　そうそう、そういう自発的に構造が形成されていくという現象に興味があって、そういうのをやってんけど、やっぱり形言うても生きてるものの形と生きてないものの形って違うやん？雪の結晶がいかに綺麗でも、僕が「お一綺麗や。」と思ったからって来年ようけ降るかといったらそんなことないわけでね。
岩見　確かにそうですね。
小林　だから 1 億年前に降った雪も今降ってる雪も多分一緒なんやけど、生き物の場合は機能と結びついているので、同じやったらそっちの方が面白いかな、と思ってた時に、本多さん (本多久夫：元兵庫大学・教授) と血管網の形成の話をちょっと一緒にやったことがあって。うずらの卵の卵黄の上に分岐型の血管網ができていくっていう話なんやけど、元々はランダムなネットワークだったのが血流が生じると分岐型のネットワークになるっていうので、それはモロに形と機能の話になってて、そうこうしてめっちゃおもろいなーと思ってるところに中垣さんと出会って。形と機能の所を計算までやってるっていうね。しかもそんな高度な生物じゃなくて、原形質の塊みたいなやつも計算するって、これもう絶対モデル化したらなあかんわと思うじゃないですか、意地でも。
岩見　そうですね！
小林　なんとか再現したいな、とか思うし、そういうことで、まあなかなか運命的なアレ（出会い）ですよね。ちょうどそういうこと（生き物の形）をやりたいと思ってる時に、中垣さんと出会って、これ以上はないという恰好のネタだったので。でまあ、中垣さんって数理のことをよくわかってはるんだけど、それでもなかなか最初言葉が通じなくて、だいぶ引っかかりましたね、ちゃんとわかるようになるまで。
岩見　何が一番通じなかったですか？モデルの精神とかそういう部分ですか。
小林　いやそれは割と共通のものがあったと思うんですけどね。やっぱりこう言葉が微妙にずれてたかな、そら他の生物の人と比べれば（ずれは）ナッシングですけどね。
岩見　ナッシング（笑）。確かに。
小林　それでもやっぱり結構時間かかったかな。僕が数理のモデル説明してて、「ふーん」て感じやったのに、半年後くらいに「わかった！ええモデルやん！」とか言ってて。「いや俺なんべんも言うたやん！」て。「なんやわかってへんかったんかいな。」てことありました。
岩見　それが一回目ですよね、イグノーベル賞（※『人々を笑わせ、考えさせてくれる研究』に対して与えられるノーベル賞のパロディ）。
小林　そうですね、1 回目のイグノーベル賞ですね、だから 1 回目のは迷路の時ですよね。

二度にわたるイグノーベル賞の受賞

岩見　あれはいきなり（受賞の）連絡が来るんですか?
小林　いやあれはね、中垣さんの所にまず打診みたいなのが来た。あれ辞退する人もいるらしいんで。
岩見　え、そうなんですか?!
小林　その時は意外ではあったけどね、まさかそんな話が来ると思えへんから。でもまあ考えようによっては、自分らとしては真面目にやってたけど、言われてみたらイグノーベル賞的な面白さっていうのは確かにあるかなと。
岩見　うんうん、面白いですね。
小林　単細胞生物が、ちゃんと迷路を解くって言うのが実験で示されたってのは、それはまあ言われてみたら確かにイグノーベル的な面白さはあるなということで納得はしたんですね。それでまあ僕も関西人ですから、やっぱり人を笑わせて考えさせた研究っていうのが受賞対象になるので、ちょっと誉れかなと。
岩見　誉れ（笑）。確かに。
小林　でまあ喜んで受けたんですけどね。だから授賞式行ったんだけど...。
岩見　あれどんな感じなんですか授賞式は。
小林　あれね、ハーバードのサンダースシアターなんていう立派なとこでやるんですけど、受賞講演っての

が各受賞者であるんだけどこれすごいレギュレーションが厳しくて。制限時間何分やと思う？

岩見　普通 15 分とかですかね。

小林　違う違う、これ 1 分。

岩見　1 分?! どうするんですか。

小林　その 1 分で人々を笑わせて、それから考えさせないといけない。

岩見　めちゃめちゃシビアですね（笑）。

小林　そうそう、それでその時は僕と中垣さんと手老君 (手老篤史：九州大学・准教授) の 3 人で行ったんやけど、ちょうど授賞式の前にビール飲んどったんや、3 人で。それで中垣さんがメインのプレゼンターやから、ネタ考えてるやろなーって思って聞いたんよ。そしたら「いや考えてへん。」て言うから、「いやいやちょっと待ってよ、まずいやろ！」て言って、必死になって考えて。

岩見　え、そこで考えたんですか！さすがですね、むちゃくちゃですね（笑）。

小林　それで真性粘菌って英語で “True slime mold” っていうのね。だから僕が「ドミソの三声ハモをやろう。」って言って、「true（ド）slime（ミ）mold（ソ）♪ 」っていうやつをやって、三人でピタッと終わらせて、んで「Ladies and gentlemen.」って中垣さんが入って、しゃべくりしたらどうやっていう。

岩見　いやあーハート強いですね！

小林　それでみんな、合わす自信ないとかいうから、「いや中垣さんなんでもいいから音出して。僕がそれに合わせてミ出すから。」て言いつつ、ちょっと僕、手老君（ソ担当）音外すんちゃうかなって期待してたんけど、きっちり外してくれて、そこで笑いを取れて。その写真配信されてるよ確か。

岩見　その写真ちょっと欲しいですね。あ、今見れるんですか。

小林　見れますよ。でもこれ初めスベるかなってごっつい不安に思ってたんよね。

岩見　でもこの場で滑ったらそれはそれですごいですよね（笑）。

小林　うん。て思ってたんやけど、実はイグノーベル賞の会場って、ほとんどもう飽和状態で、みんな「笑うぞ笑うぞ」って。

岩見　なるほど、もうみんな笑う気満々なんですね。

小林　もう箸コロンって転がしただけでも絶対に笑うというような状況やったんよね（笑）。でもそれこっちはそんなん知らんやん、前もって。でもまあ実はそういう状況だったので、後から考えたら心配することなかったんですけどね。で、これずっと紙飛行機が投げ込まれてくるんですよ、壇上にね。

岩見　へー！なんかかっこいいですね。

小林　んでこれがサンダースシアターなんですよ。

岩見　うわーすごい！

小林　でこれがね、ちょっと有名なんやけど、1 分間超えたら “Miss Sweety Poo” っていう 7 歳か 8 歳ぐらいの女の子が来て、壇上に向かって「プリーーズ ストップ。アーーイム ボアード。プリーーズ ストップ。アーーイム ボアード。(Please stop, I’m bored.)」て、延々言い続けるんですよ！

岩見　ははははは（笑）！それやばいですね！

小林　それで流石にね、結構神経太いやつでも負けるんですよ。で、このさっき言ってた紙飛行機を掃除してるベトコンみたいなおっちゃんおるやろ？でもこの人はほんまのノーベル賞受賞者。2005 年かな。この人はほんまもんのノーベル賞。MIT とかハーバードだから、そんなんようけおるんですよ。

岩見　ゴロゴロいそうですね。

図 2　イグノーベル賞授賞式の様子を説明する

小林　でなんか鉄板ネタっていうのがあって。毎年来る人がおって、これがそのうちの一人なんだけど、この女の人シカゴの人なんやけどね。例えばもし東京の地下街で火事にあったりしたら怖いやん。その時にここ（胸元）からズバッと（下着を）抜いて、それでこうやったら（口に当てたら）ちゃんとガスマスクになってるらしい。で、ウリは、『友達も一人助けられる』。

岩見　ははは！確かに 2 つありますからね、「一個あげるよ」なんて言って。

小林　そうそうそう、これ確かその場で取りだしたはずやで。この (口に当てている) 人も多分ノーベル賞学者とちゃうかな。そういう鉄板ネタがあって 。

岩見　すーごいですね！面白いですね。

小林　そうそう、まあ岩見君も是非狙ってください。

岩見　いやいやいや（笑）。

小林　で、これがその “True slime mold” やってるとこですね。

岩見　へえ〜すごいですね、いや初めて見せてもらいました。

小林　これは 2 回目の写真ですね。2 回目は僕はちょっと行けなかったんだけどね。1 回目を受けて “True

slime mold is back.” なんて言ってまた歌ってるとこですね。

岩見　2回目は交通網のやつでしたっけ。Scienceでしたっけ。

小林　そうそうそう、だからNature（1回目のイグノーベル賞を受賞した研究）とScienceってのが雑誌的にはすごく立派だよね。

岩見　いやあーほんとすごいですよね。

小林　でも実は二度目の時は、中垣さんと「どうしようかね。」て言ってて。「ちょっとくどくない？」ていう話が出たんよね確かに。ネタが違えばいいけど、ネタがほぼ近いので。てか、そもそも何でそんなウケるのって。よもや2回目も来るって思えへんやん。

岩見　まあ確かにそうですね。

小林　1回でもびっくりしてるのに、2回目って、「なんでこの研究そんなに好きなんやろう、このコミュニティ。」と思って。まあこういうのは色物やからね、2回やったらくどいんちゃうかって、僕はちょっと思ったのは覚えてるな。でもまあええんちゃう、もらえるもんはもらっといて、って。

岩見　確かに。あれは最適化問題解いてるみたいな感じになってるんですか？粘菌の迷路は。

小林　うーん、まあ何を最適と呼ぶかによるけどね。元々、最短経路探索問題っていうのは評価基準が一個だけやから割と優しいんやけど、ネットワークって、いろんな評価基準があるから。例えば鉄道網とかやったら輸送網だよね。そういうものの評価基準って、例えば1つは輸送効率ってのがあるよね。もちろん輸送ネットワークやから輸送効率が大事なんやけど。それからコストがあるでしょ？いくらお金かけてもいいわけやないし。それから耐故障性。一箇所壊れて全部ダウンしてしもたら困るから。ていう、そういういろんなことを、財政状況とか社会的な重要性を考えてデザインするっていう話なんだけど、それをまあ粘菌はちゃんとやっとると。だからその三つの評価基準で比較したら、（粘菌の輸送網は）人間の作った鉄道網、もしくはそれ以上という、そういうことだったね。

岩見　あれはすごい不思議な気がしてました。

小林　まあでもね、あいつらそれを何億年もやってるわけやからね。

岩見　確かに（笑）。

小林　人間はたかが100年、200年のことやから、よー考えたら人間はよー頑張ったんちゃうかなぁ、キャリアが全然違うからね。

岩見　そうですねー、けどアイデアってどっから出てくるんですか？ああいうのは。

小林　んー、でもこれに関してはやっぱり中垣さんの実験がすごいなと思うね 。

岩見　なるほど。実験ですか。

小林　ただまあ僕らがまた大真面目にそれを数理的に、数理モデルを作って一生懸命研究してるってのもまあアレなんかもしれないけど 。

岩見　もちろんそうですよね。

小林　うん、やっぱりあれ（中垣さんの実験）は粘菌の心がわかってるとしか思えない。だって迷路を解かそうとか、こうしたら解くやろうとかいうのは、ずっと毎日毎日粘菌見てて、心が分かってなかったらそんなん思いつかへんと思うわ。

基本的に業界の真ん中にいない

岩見　やっぱそこなんですね。まあでもそういうのもあっていつも笑いに包まれてるんですかね。

小林　うん、まあだからある意味ね、例えば僕らの1回目のCREST、中垣さんと僕と石黒さん (石黒章夫：東北大学・教授) でしょ？今はまた別のやってますけど、基本的に絶対業界の真ん中にいないというか、外れてるやつばっかり。

岩見　確かに（笑）。まあでも、僕がすごい面白いなと思うのは、理論とか解析の結果とかを、ハードウェアとか生物に実装されてるっていうのが...

小林　生物に実装はでけへんけどね、神様やないんやから（笑）。

岩見　まあ確かに生物に実装っていう言い方はアレですよね、なんというか…

小林　生物から学ぶんですよね。生物から学んだことを、ロボットに注入するというか。

岩見　なるほど。あのー、ヒトデでしたっけ、ロボットのやつ。ああいうのとかもある意味実装というか、手を切ってやるていうのはまあ実装してるようなもんですよね。

小林　それはまあ実装ですね。いや、初めね、クモヒトデってヤツが、あれ足5本あるやん？でもあれ自切（クモヒトデは、危機に陥った時自分の足を自ら切断して危機を逃れる）して、んでまた再生してくるんよね。だから足欠けてるやつもよくおるんやけど、どれを見てもちゃんと歩いてる。で、それをよく見たら、確かにこの足の残り方やったらこの歩き方が最適かな、みたいな歩き方をしてるんで、これどうしてるんやろっていう話がずっと疑問やったんですよね。で、彼ら棘皮動物だから脳はないんですよ。神経環ていう神経の輪っかはあるんだけど脳がなくて。そんな奴らやねんけどそういうことができるっていうのは、やっぱ先祖がいろんなとこでひどい目にあって色んな足の切れ方をしたので、その時にこう動いたらええというのをちゃんと先祖から受け継いでDNAに書いてあるんかと言うと、そんなことはないやろうと。

岩見　そんなことはないですね（笑）。

小林　だとしたらこいつらはどうしとるんやろ、という感じになって、その時にあるアイデアがあって。『手

応え』っていう。つまり要は、まず環境と相互作用してみて、自分の意図とマッチする手応えが得られたらその運動を強化して、そうじゃなかったら止めるみたいなシンプルな制御則みたいなのを考えてロボットに入れてみたら、確かにほとんどのあいつらのやってることが再現できると。

岩見　すごいですよね。

小林　だからすごくシンプルなルールでやってるに違いないと。まあもちろんコレ本当の意味での証明にはなってないけどね。

岩見　まあもちろん。けどなんか革命的ですよね。その、ロボット業界というか…。

小林　まあそんなことやってる人いないですもんね。

岩見　けど元々王道にいってたんですか？王道というか、コンピューティングでガーって計算してみたいな。

小林　うーん、まあ今いっしょにやってる大須賀さん (大須賀公一：大阪大学・教授) という人がいるんですけど、その人は割と初め王道やったんやけどだんだん外道になってきちゃった。

岩見　外道（笑)。いやでもいい外道ですよね 。

実はサイエンスに貢献できていた

小林　その流れは僕も経験したんだけど、例えばフェーズフィールド法をやった時ね、その当時僕のいた三村研は多分日本でも一番進んでる応用数学の研究室だったと思うんですけど、でもやっぱりあの 1980 年代当時の三村研で生産された論文っていうのは全部証明。普通の従来の数学のスタイルで書かれてて。だから証明できへんと論文書けへんやんか。

岩見　そうですね、まあ数学ですもんね。

小林　そうそうそう数学教室やったしね。で三村さん (三村昌泰：武蔵野大学・教授) は三村さんで、モデルを作ってその中から証明できる部分をちゃんと抜き出してきてそこを証明するみたいなスタイルやったんよね。シミュレーションはシミュレーションでやるけれどという感じだったのね。で、俣野さん (俣野博：明治大学・特任教授)っていうものすごい天才的な人がいて、その人はすごいアイデアで誰もできんかったことをズバッと証明するんよ。それ見てあーすごいなって思うんやけど、僕はシミュレーションずっとやってるから、証明された内容は、いやそれはまあシミュレーションしたら当然やんって。

岩見　なるほど（笑)。

小林　パターン形成ってのは基本的にシンプルなものから複雑な形が出てくるところが面白いんやけど、もうそうなってくると証明できへんからね。

岩見　まあ確かにそうですね。

小林　だけどその三村研ていうのは、例えば吉川さん (吉川研一：同志社大学・教授) とか甲斐さん (甲斐昌一：九州大学・名誉教授) とか沢田さん (沢田康次：東北工業大学・教授) とか、なんかともかくめっちゃ面白いパターン形成のネタの宝庫みたいな人たちがよく出入りしてて、それを僕は見てたでしょ。二十歳代後半くらいの時に。だからどうしてもそっちの方にひかれるじゃないですか。

岩見　そうですよね。

小林　だけど数学教室に居るから、証明はできへんと。で、全然論文書けなくて。今やったら考えられないくらい全然書けてない時間が長くて。

岩見　あーそうだったんですか！いやーそれは知りませんでした。

小林　それで、ある時に NISTっていうでかーい研究所がアメリカのメリーランドにあるんですけど、そこで数学とマテリアルサイエンスの合同のカンファレンスがあって。当時すでにアメリカではマテリアルサイエンスと数学がすごくいい関係でやってて、そこへ行って、当時はもう論文書けへんからともかくビデオに撮って作ってたのを見せたのね。そしたらむっちゃくちゃ受けて、びっくりするぐらい受けて、で「この後ニューメキシコの国際学会行く」って言ったら「行くな！」と。

岩見　え、なんでですか。

小林　「うちの大学きてともかくこの話をしろ」と拉致られて。

岩見　拉致られたんですか（笑)！

小林　プリンストンかどっかに拉致られて、まあ独占したかったやろね今考えたらね。だから光栄っちゃ光栄なんだけど。それで物質科学の人が、これ絶対何かあると思ったみたいで。僕のやつは純物質なんだけど、彼らマテリアルサイエンティストにとって大事なのは合金なのね。これを絶対合金でやるぞって言ってダーってそれをやる人がいっぱい出てきて、それを見て、「あ、もうええわ。別に証明できんかったって俺は結構サイエンスに contribute できとるやん。」てそう思って。

岩見　いや相当できてますよね。

小林　そこで吹っ切れたんですね。で、別に証明しなくたってやることいっぱいあるやんって思ったら、なんか憑き物が落ちたように論文書けるようになって。

自らを縛る枠を壊す

岩見　そこからなんですね。フェーズフィールド法の実証性示したのも先生が初めてでしたよね。

小林　実証性というか、もともとフェーズフィールド法ってのはなかった訳じゃないんだけど、別にそれほど盛んに研究されてたわけじゃなくて、でもデンドライト（樹枝状結晶。雪の結晶などがこれにあたる。）が本当にシミュレーションできるっての示したのが僕な

ので、それを見て、「あ、できるやん。」てことになってワーって広まってですね。
岩見　そこからですよね、いろんな分野で使われるようになったのは。
小林　そうですね。
岩見　それはさっき言われてたみたいに、数学的な証明ができなくてやってたんですか？
小林　いやいやできなかったというか、デンドライトは前からなんとか再現できるモデルを作りたいと思ってたんで、そこは純粋に作りたいっていうことで作った結果で。当然あんな形が出てくるような複雑なヤツって証明できないので、まあもうそれはもうそれで仕方ないなという感じやったんですけどね。今から考えたらなんてことはなかったんだけど。だからいつもみんなに言うんだけど、一回自分が作った枠ってあるやん。自分がここで仕事をするっていう枠。これってなかなか壊す、そこを破るってのが難しいんですよね。しかも、枠の中で仕事してたら楽は楽なんですよね。
岩見　囲まれて安全ですからね。
小林　まあ型も出来てるしね。だけどその枠の中では解決できないようなことに興味を持ってしまったら、その興味を諦めるか、枠を破るかどっちかしかないので。
岩見　なるほど。
小林　だからそういう意味では、中垣さんとか石黒さんとか大須賀さんとか今僕らと一緒にやってる人達は、一回枠を破ってる人達ですよね。
岩見　確かにそうですね。
小林　もし笑いが取れてる、面白いっていうんだったらそこかもしれないね。
岩見　なるほど。枠を壊して。
小林　そうそう、今例えばロボットのことやってるけど、今の制御の枠組みではどうしてもうまくいかないってことがあっても、この制御理論の枠ってものすごい強固なのがあるんですよね。岩見君も知ってると思うけどね。
岩見　確かにそうですね。
小林　でも移動ロボットを作ろうと思うと、あれではうまくいかない。となると、そのロボット作るの諦めるか、枠にとどまることを諦めるかどっちかしかないんで。
岩見　とどまることを諦める（笑）。確かに。
小林　だからそういう人たちの集まりですね、うちのCREST はね。
岩見　あーなるほど、そういうことなんですね。
小林　だからなにがしか面白いと思ってもらえる部分があるとしたらその辺からかもしれないですね。
岩見　それが結構周りにもいろんな影響を与えて…。なんか先生の周りって、先生にすごく影響を与えられる人が多いような気がするんですけど。
小林　それ自分ではよう分からへんのやけどね。
岩見　そうですかね。やっぱりけど傍から見てたらそんな気がしますけど。
小林　まあ自分ではそんなことないと思うんやけど、ただ阪大のね、制御理論の物凄い秀才の人がいるんやけど、ウチの CREST の中に。（小林先生の）還暦のパーティーに来てくれた石川さん (石川将人：大阪大学・教授) て人なんだけど、その人が何かボソっと言ってたのは、「あの還暦のパーティー行ってみてとても勇気づけられました！」って。だから「何が？」って言ったら、「いや少なくとも 60 まではこんな楽しくできるんや」って。
岩見　少なくとも 60（笑）。確かに。前例がね（笑）。
小林　そういうこと言われて、それはそれで嬉しかったですね。そんな影響かもしれない。
岩見　いやけどすごい影響力でかいと思いますよ。

不良数学者

小林　うーん、まあ数学教室にいたのに、もう証明せんでいいわなんていう居直りはその当時は不良みたいな感じやったよね。不良数学者やったけどさ。
岩見　不良ですね（笑）。
小林　ただ昔はロックやってるだけで不良や言われてたからね（笑）。
岩見　確かに（笑）。
小林　今はそんなこと誰も言わへんやろ？今はもうそういうスタイルでやってたって不良や言われへんやろ？そんな感じ。
岩見　じゃあ音楽出てきたんでついでになんですけど、先生は音楽いつからやってたんですか？
小林　ギター始めたのは中 1。
岩見　あ、中 1 ですか！早いですね。
小林　姉貴がクラシックギター習ってて、クラシックギターが置いてあって、禁じられた遊びの楽譜があったんで、テレレレってやったのが初めてかな。
岩見　定番のやつですね。
小林　でもあの頃はまだフォークソング全盛期で、あれ何年ぐらいかな、60 年代後半か。
岩見　そうですね。
小林　で、友達とフォークソングとかやってたのね。ただでもね、幸いなことにね、あんまり才能がなかったので道を誤ることはなかったんよ。ていうのはさ、僕が一番危ないと思うのは、なまじな才能があって音楽の世界行っちゃうのやばいじゃん（笑）。
岩見　微妙な才能があると確かにやばいですね（笑）。
小林　ちょうど僕の中学でやってた時にいろんなバンドがいっぱいあったんやけど、そん中にやっぱすごい上手い奴がいて、後に世良公則&ツイストのギタリストやってたやつが中学の同期やったんよね。そんなや

つ見てたら、「あ、これは全然違うからこれはあかんわ。」と。別にプロになろうとは初めから思ってなかったけど、それ以来ずっと趣味でやってますね。ずっとって言っても実は一回就職してから 20 年ぐらいやってないかな。だから 40 代半ばでまた始めて、北大行ってる時にまた再開して。

岩見　その時のバンド名なんだったんですか？

小林　えー、ワイルドタイプ。

岩見　ははは、天才（笑）。さすが。ワイルドタイプて（笑）。

小林　ちょっと生物と関係してるね（笑）。

岩見　ワイルドタイプでその次何でしたっけ？

小林　ワイルドタイプが北大の時の名前で、広大来てから一個目は the mixture かな。それは年齢から性別から好みからいろんな人が集まって the mixture だったんだけど。で、今は実はクロマチンプロジェクトってのがあって、もう今終わったところなんですけど、たまたまそのプロジェクトのメンバーでバンドができたので、ザ・クロマチンズ。

岩見　最高ですね（笑）。ザ・クロマチンズは今も活動してるんですか？

小林　今も活動中。3 日後にライブがあります。

岩見　それはオリジナル曲ですか？

小林　オリジナルはやってないです。昔はちょっとやったときもありましたけど、今もうやってないです。

岩見　この間、博多になんかライブ見に来てましたよね。

小林　あーそうそう、あれはうちの嫁はんがスターダスト★レビューが好きで、なんかけったいなの見つけてきよったんや。「もうホテル取ったしな。」とか言われて。スターダスト★レビューとパフィーと、ご当地 CHAGE やね。そういうジョイントのライブがあって。

岩見　それはどういう感じなんですか？ライブ中にそれぞれ曲をやるんですか。それとも何かくっついてやるんですか。

小林　あー、バックはずっとスターダスト★レビューがやってんねんけど、初めスタレビ単体でやってて、そっから PUFFY 出てきて、でも PUFFY は片っぽが病気で出られへんかったから片割れだけ出てきて。

岩見　片割れいないのばっかりですね（笑）。

小林　それ言われとった言われとった（笑）。だから CHAGE が「俺がここの相手役やる」とか言って二人でハモっとった。

岩見　博多のどこであったんですか？

小林　大きなちゃんとしたホールであったんやけど、ところがね、ホテルニューオータニってホテル泊まっとったんやけど、歩いて北に行って 30 分ぐらいのとこなんよね。

岩見　30 分 ?!

小林　だから当然、タクシーで行くつもりやったんやけど、前に立ってるボーイさんにタクシー呼んでて言うたら、今日はタクシーはありませんって言われて、さっきのお客様も 30 分経って諦めて出られましたよとかいうから、何かなと思ったら、ヤフオクドームで三代目 J Soul Brothers かなんかが来てて、それで道路全部詰まってて、結局 30 分歩いたよ。

岩見　えーそれは結構大変ですね。30 分は…。

小林　まあでもぎりぎり間に合ったんやけどね。

頭の良さより芯の太さ

岩見　よかったです。じゃあちょっと最後に。先生の弟子ってユニークで結構全然違うことされてるじゃないですか。何がそうさせてると思われますか？

小林　弟子ってほとんどいてないよ？

岩見　けど二、三人？手老さんとか秋山さん (秋山正和：北海道大学・助教) とか。

小林　まあ、僕みたいなスタイルはある意味リスクが高いので、あまりおすすめできないというね。枠を破ることを前提としたスタイルって危なくて。普通はね、まずはちゃんとは枠の中でお仕事して、ていうのがあるのでね。だからあんまりお勧めできないスタイルなので。だからそれでもし生き残ってるとしたら多分本物なんでしょうね。だから（大事なのは）なまじっか頭がええとかよりも何というか、芯が太いというかね。

岩見　それは重要ですねやっぱり。

小林　多分どの業界でもそうやけど、生き残る奴ってそういうやつでしょ。長山君見ててもそんな感じするやん。体だけやなくて太そうやん。

岩見　確かに。間違いないです（笑）。

小林　まあ岩見君も結構太いような気がするけどね（笑）。

岩見　いやいや、負けますよ（笑）。いやー、楽しかったです。ありがとうございました。

【小林亮教授プロフィール】

氏名：小林　亮（こばやし　りょう）
職位：広島大学大学院理学研究科・教授
生年月日：1956 年 3 月 11 日

略　歴

1979 年　3 月	京都大学理学部卒業
1982 年　9 月	京都大学大学院工学研究科博士課程中退
1982 年 10 月	広島大学理学部助手
1989 年　4 月	龍谷大学理工学部講師
1995 年　4 月	北海道大学電子科学研究所助教授
2004 年　3 月～現在	広島大学大学院理学研究科教授

業　績

(英文原著論文)

1. R. Kobayashi (1993) Modeling and Numerical Simulations of Dendritic Crystal Growth. Physica D. 63(3), 410-423
2. R. Kobayashi, J. A. Warren and W. C. Carter (2000) A Continuum Model of Grain Boundaries. Physica D. 140, 141-150
3. J. A. Warren, R. Kobayashi, A. E. Lobkovsky and W. C. Carter (2003) Extending phase field models of solidification to polycrystalline materials. Acta Materialia. 51, 6035-6058
4. A. Tero, S. Takagi, T. Saigusa, K. Ito, D. P. Bebber, M. D. Fricker, K. Yumiki, R. Kobayashi and T. Nakagaki (2010) Rules for biologically-inspired adaptive network design. Science. 327, 439-442
5. Y. Tanaka, K. Ito, T. Nakagaki and R. Kobayashi (2012) Mechanics of peristaltic locomotion and role of anchoring. J. R. Soc. Interface. 9(67), 222-233

など　98 編

(著書・総説)

1. 小林 亮、高橋 大輔 (2003)
『ベクトル解析入門』東京大学出版会
2. 小林 亮、手老 篤史、中垣 俊之 (2007)
『粘菌による迷路の解法』細胞工学 26(7): 769-773
3. 小林 亮 (2010)『フェーズフィールド法のおもしろさ』計算工学 15(2): 2287-2290
4. 小林 亮 (2014)『粘菌の経路探索における最適化』日本ロボット学会誌 32(6): 530-535

など　著書 6 件　総説・解説 12 件

(賞など)

1. Ig Nobel prize,
“COGNITIVE SCIENCE PRIZE”, 2008 年 10 月
2. Ig Nobel prize,
“TRANSPORTATION PLANNING PRIZE”,
2010 年 10 月

【第２回 トラノマキ企画】

数理生物学古典論文必読100選

ニュースレター編集部*

数理生物学、という学問分野は生物学、医学、数学、物理学、社会科学と非常に幅広い領域を跨いでいます。現在、数理モデルやコンピュータシミュレーション、統計解析を駆使した融合的なアプローチが様々な生命・社会科学分野のデータ解析で真価を発揮しつつあることにより、数理生物学という分野自体の重要性が認識され、世間から大きく期待されています。しかし、国内では “数理生物学” という看板を掲げている研究室数自体は多くなく、学部レベルで数理生物学に関する授業を履修できる機会、となると一部の大学を除いて極めて限定的です。また、数理生物学では、数理モデルやコンピュータシミュレーションといった数理科学的な手技が必須である（と思われている）ことによって、生命・社会科学の実験やフィールド分野出身の人が新規参入する場合、非常に敷居を高く感じてしまいます。もちろん、数学や物理学、情報学出身の数理生物学者が多い一方で、生物学や医学をバックグラウンドに持つ数理生物学者も相当数いるのが事実です。初学者が効率よく分野の重要研究を学び、解析手法を取得し、歴史的な動向を知るには、適切な論文を読んで理解する必要があります。もちろん、数理生物学に限ることなく、様々な分野を勉強する上で必ず読むべき金字塔的な論文を把握することは、研究を進める上で必須であり、重要です。

数理生物学で使われる手法をベースとして、バイオインフォマティクス解析、シングルセル解析、次世代シークエンス解析やマルチオミックス解析など，時代を象徴する最新技術との融合研究を展開する場合、古典的な理論を理解し、使いこなさなければなりません。第２回トラノマキ企画では「数理生物学古典論文必読100選」と題して、多岐にわたる数理生物学の様々な研究分野を勉強する上で欠かせない論文をリストアップして行きます。本号では、ニュースレター編集部が事前に依頼した有識者による論文調査から選出した数理生物学古典論文について報告致します。

*九州大学大学院理学研究院生物科学部門
数理生物学研究室

1. 学際的な数理生物学の研究分野について

一言で「数理生物学」といっても極めて多様です。誤解を恐れずに言うと生命現象に関連している内容であれば、対象は何だって良く、研究分野が限定されないことが数理生物学の強みの１つです。しかし、他方、その様な広大な分野から必読古典論文を選ぶとなると困難を極めます。そこで、まずは過去に開催された日本数理生物学会、米国数理生物学会、欧州数理生物学会の年会プログラムを中心に、数理生物学の “研究分野” の分類をレトロスペクティブに調査しました。大きすぎたり小さすぎたりすると結局何がしたいかわからなくなるので、有識者の意見を参考にニュースレター編集部では、学際的な数理生物学の分野を以下のカテゴリ通り分類しました：

- 生態
- 適応と進化
- 社会と文化
- 集団遺伝と分子進化
- 感染症動態
- 発生と形態形成
- 分子制御
- リズムと概日時計
- 高分子と生物物理
- 脳と神経
- 生物数学

これらの研究分野のカテゴリは、今後の数理生物学会年会などでシンポジウムや口頭・ポスター発表を分類する上でも役立つと考えています。

2. 事前調査で選出した数理生物学古典論文について

分類した研究分野のカテゴリ全体をカバーできるように、また、ジェンダーバランスや年齢も考慮して約30人程度の数理生物学会員に事前にアンケートを取りました。特に、論文業績としての金字塔的であるだけでなく「読んで身になる、ためになる論文」、古典論文ということなので厳密ではありませんが「90年代くらいまでの論文」、である点に注意して選んで頂きました。図は、今回選ばれた全127報の論文についての統計データをまとめたものになります。

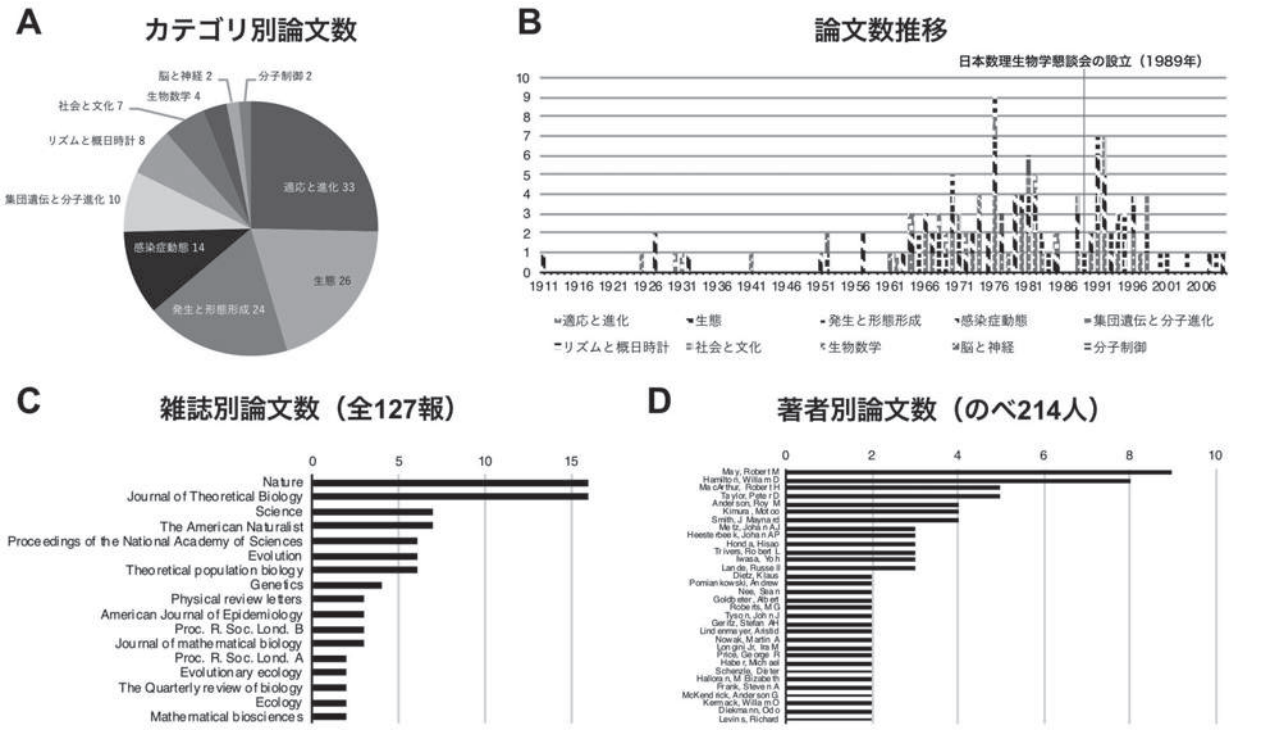


図 1　事前調査で選出した数理生物学古典論文、全 127 報の A. カテゴリ別論文数、B. 年代別論文数推移、C. 雑誌別論文数と D. 著者別論文数

図 A は、カテゴリ別にした論文数を示しております。“生態” や “適応と進化” という分類は、かなり広いこともあり、約半数の論文がこれらのカテゴリに該当しております。一方で、“脳と神経” や “分子制御” 等は、日本数理生物学会では中心的な話題でないこともあり、少なくなっております。“高分子と生物物理” に関しては、現時点で該当なし、という結果になっております。

図 B は、選出されたカテゴリ別論文の出版年代の推移を示しております。90 年代くらいまでの古典論文が大半を占め、現代数理生物学の基礎となる「古典的な理論」を効率よく勉強するという面ではバランスの良い選出になっていると思われます。また、日本数理生物学会の前身である “日本数理生物学懇談会” が設立された 1989 年は、重要な数理生物学研究が多数発表された時代の最中であったことも分かります。

図 C は、雑誌別にした論文数を示しております。一般誌である Nature や Science、PNAS に、重要でエポックメイキングな研究成果が発表されることは、どのような科学分野においても共通の認識だと思います。しかし、理論生物学のトップ誌である JTB は、数理生物学にとっては特別な雑誌であることが分かります。多くの重要な数理生物学研究が JTB を通じて、世に知れ渡ったことを示していると思います。

図 D は、著者別の論文数を示しております。生態、適応と進化、社会と文化や感染症動態等の幅広い分野でまさしく金字塔的な仕事をした、Robert M May の影響が非常に大きいことが分かります。中立進化説の木村資生、形態形成の本多久夫、進化生態学の巌佐庸などの日本人による研究も数理生物学の発展に大きく貢献してきたことが伺えます。

皆様、現時点での数理生物学古典論文のリストについて、どのような感想を持たれましたか？例えば、この重要な論文が何故選ばれていないのか？30 名程度の有識者は、本当に分類した研究分野のカテゴリ全体をカバーできているのか？など、もちろん、賛否両論あると思います。そこで、数理生物学会員の皆様にも、以下のリンクから同様のアンケートにお答え頂きたいと考えております：

`https://goo.gl/forms/xucdo6rBnsD1NLlp2`

今後、biomath-ml にて締め切り等の詳細ならびにアンケートへの参加呼びかけも進めて参ります。今回の企画「数理生物学古典論文必読 100 選」は、若い数理生物学会員のため、ひいては数理生物学会全体のためにもなると考えております。皆様、非常にお忙しいと思いますがアンケート、どうぞご協力頂ければと思います。次号、ニュースレター編集部及び有識者で取りまとめた「数理生物学古典論文必読 100 選」を発表する予定です。読者の皆様とインタラクティブに良いニュースレターを作っていきたいと考えております。

【第 2 回 数理生物学 Q&A への駆け込み寺】

シドニーマップ: SMB/JSMB2018 に向けた現地調査報告

柿添友輔 *

1. はじめに

前号から始まりました「数理生物学 Q&A への駆け込み寺」を引き続き行なっていきます。前号の企画「学会発表において意識すべき事は？」では、総合研究大学院大学の佐々木顕教授と大槻久講師のお二人に学会発表において重要なこと、意識すべきことに関して分かりやすく教えて頂きました。本企画は、学生や若手研究者にとってとてもためになる情報が豊富で、好評だったとお聞きしております。

第 1 回を終え、引き続きアンケートを集計した所、第 2 回は「シドニーマップ: SMB/JSMB2018 に向けた現地調査報告」を行う事になりました。今年は、日本数理生物学会 (JSMB) が国内で開催されず、米国数理生物学会 (SMB) との合同大会がシドニーにて開催されます。海外での開催という事もあり、事前に知っておいた方がいい事や注意しておく事、お役立ち情報などを掲載しました。本調査は筆者が JSPS 若手研究者挑戦プログラムを利用して、シドニーの Miles Davenport 教授 (ニューサウスウェールズ大学) で中期滞在するための事前打ち合わせの際に行いました。

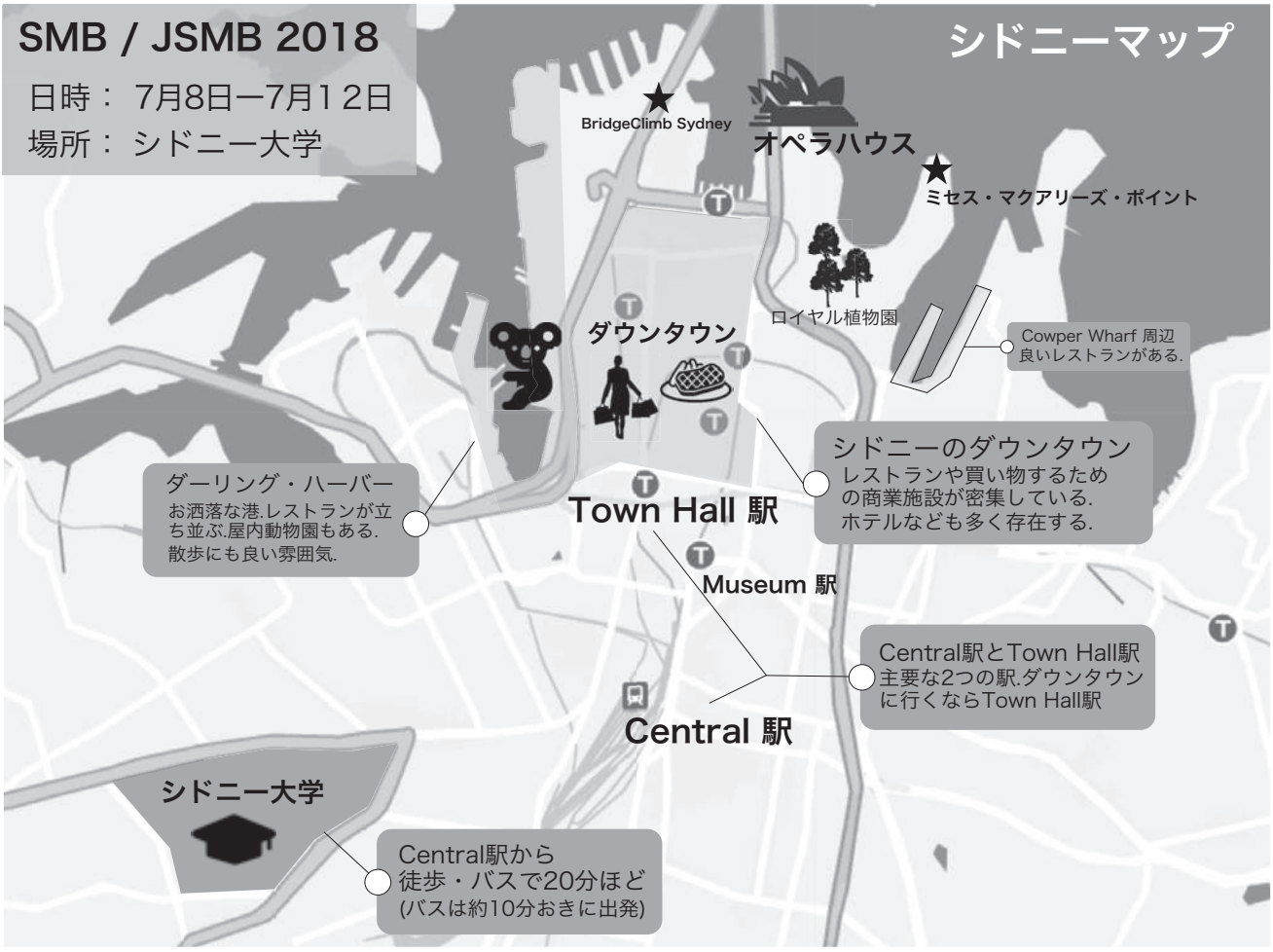


図 1　　シドニー大学と周辺地域のマップ

*九州大学大学院システム生命科学府
数理生物学研究室

2. シドニーに行くに当たっての注意

シドニーは日本との時差が2時間で大きな時差はありません。また、市内は治安が良く日本とほとんど変わらない雰囲気で、とても過ごしやすいと思います。ただ、シドニーに行くに当たって次の2点だけは注意して頂ければと思います。1つ目は、シドニーは南半球にあるため開催時期の7月は冬であるという事です。コートなどの冬用の服装でシドニーに向かわれて下さい。1年を通して雪はほとんど降る事はなく、年間最低気温も5度ほどであるため、それなりに暖かい服装を持っていけば大丈夫と思います。2つ目は、オーストラリア観光ビザETASの手続きについてです。日本国民がオーストラリアへ入国するためにはビザが必要です。ETASは、オーストラリアに滞在する期間が3ヶ月以内の方のみに、Web上でビザ発行手続きを行うことができるシステムです。Australian Electronic Travel Authorityのサイト上で、氏名、生年月日、パスポート番号など情報を登録すれば、ビザ申請を行う事ができます。この申請には、システム利用料として20豪ドルが必要です。

3. シドニー中心へのアクセス

まずは、皆さん航空機を使ってシドニー国際空港に到着されると思われます。空港から市内へのアクセス方法は、鉄道、シャトルバス、タクシーなど複数存在しますが、一番のオススメは、エアポートリンクと呼ばれる鉄道を使った経路です。シドニー空港内に到着したら標識に従って歩けばすぐに駅に向かう事ができます。駅についたら窓口にて、オパールカード(Opal card)と呼ばれる交通カードを購入されて下さい。オパールカードは、シドニーにおけるICカードで、鉄道に加えてバス、フェリー等で使用する事ができます。窓口で適当な金額を係りの人に口頭で伝えてチャージすれば、購入できます。後はゲートを通過して、Airport Lineに乗車してCentralやMuseum、Town Hallなどの駅で降りて頂ければシドニー中心の市内に行く事ができます(図1)。Airport Lineは、およそ10分おきに運行しており、国際線駅からCentral駅まで13分ほどで着きます。価格は約20豪ドルと高めですが、比較的容易かつ早くシドニー中心に向かう方法です。

4. 宿泊先について

もう既に宿泊先を押さえている方が多いと思いますが、シドニーの宿泊料金はとてつもなく高いです。学生寮などの、比較的安価な宿泊施設でも週あたり日本円にして5万円ほどです。開催される時期が冬でオフシーズンという事もありますが、1泊1万〜2万円は見積もっておいた方がいいかもしれません。ホテルは基本的に空港付近や中央街とその周辺に多く存在します(図1)。中央街は、少し値段はしますが、レストランなどの飲食店も沢山あるためオススメです。またもし研究室から複数人参加されるような場合でしたら、AirBnBなどの民泊検索サイトを用いて民泊を探し共同で宿泊すると、中央街などの高価な地域でも安く泊まる事ができます。

5. お食事場所

シドニー市内では、食事に関しては全く困る事がないと言っていいと思います。オーストラリアのレストランは日本のそれと同様のものだと思われて大丈夫です。ダウンタウンでは、ステーキなどの肉料理のお店をはじめ、韓国料理、タイ料理に加えて寿司やラーメン等の日本料理のお店も多数存在します(図1)。一風堂シドニー店に筆者は行きましたが、日本のものと全く同じ味ビックリしました！シドニー滞在中に、日本料理(ラーメン)が恋しくなったら行かれるといいかもしれません。また、Central駅から少し北に歩けばチャイナタウンがあるので、そこで中華料理を楽しむ事もできます。とにかく、食事に関して困る事はありません。ニュースレター編集部のHPを通じてガイドブックには掲載されていない、シドニーの“いい店”を随時紹介していこうと思います。詳しくは、以下のリンクをご覧ください：

https://jsmbnewsletter.weebly.com

6. 観光に関して

もし観光する時間があるならば、シドニー大学周辺ではオペラハウスや動物園が観光スポットになると思います。オペラハウスは有名なあのオペラハウスで皆さんがよく知っているあの光景を眺める事ができると思います。またダウンタウンから少し西に歩くと、WILD LIFE Sydney Zooと呼ばれる動物園があります。この動物園は少しコンパクトな印象ですが、オーストラリア名物であるコアラやカンガルーに加えて、タスマニアンデビルなどの珍しい動物を見る事もできます。その他にも、ロイヤル植物園やハーバーブリッジなどがあります。

以上のように、シドニーに渡航される際に役に立ちそうな情報を紹介させて頂きました。第1回の「学会発表において意識すべき事は？」に対して、少しゆるめ？の内容だったかもしれませんが、何卒ご容赦頂ければ幸いです。「数理生物学Q&Aへの駆け込み寺」はこれからも継続して行なって行きたいと考えておりますので、皆さまからの沢山のQをお待ちしております。

【数理の小ネタ】

私が愛する一本の数式

加納剛史 *

従来，数理モデルは何らかの要請に応える形で構築されてきた．たとえば，数理生物学者は生命現象の本質を理解するために，工学者は実用につながる何らかのタスクを達成するために，数理モデルを用いてきた．ところが，ここで紹介する数理モデルはそうではない．「遊び心で創った」モデルであり，何の意味があるのか，何の役に立つのか，モデルを創った私自身もよくわからない．だが，このモデルには奥深い何かがありそうな気がして仕方がないので，ここに紹介する．

1. 最初のモデルの誕生

2013年7月21日，私は海外出張の帰りの飛行機の中で，共同研究者の大須賀公一先生が書かれた「とあるアイデア」に関する文書を読みながら，深く思いを巡らせていた（公式文書ではないので，ここでは詳細は差し控えさせて頂く）．そして，「大須賀先生のアイデアは，人間社会における交友関係の生成・崩壊過程と似ているのではないか？」とふと思ったのである．

私は早速思いついたイメージを数理モデルにしてみた．このモデルは幾分複雑であるため詳細はここでは述べないが，簡単に述べると，人の性格を「位相」で表現し，人の位置と位相が相手との相互作用により変化するという，Swarm oscillatorモデル [1] に似たモデルであった [2–5]．家に帰った私は早速プログラムを作成して シミュレーションしてみた．実に多様なパターンが出るではないか（図1）！シミュレーションで見られた挙動は，まるで生物のように「生き生き」としていた．

私はこのモデルを，数理生物学会を含むいろんな学会で発表した．シミュレーションムービーを見せると，大抵の方は面白がって見て下さったのだが，学術的な評価となるとイマイチであった． 実際の社会現象を忠実に再現しているのかどうかも不明だし，かといって抽象的なモデルとしては中途半端に複雑でパラメータも多い．Swarm oscillatorモデル [1] のように，精緻な理論解析の帰結として導かれたモデルでもない．そもそもこのモデルを通して何が言えるのかがよくわからない… こうして苦悶の日々が始まったのである．

*東北大学電気通信研究所

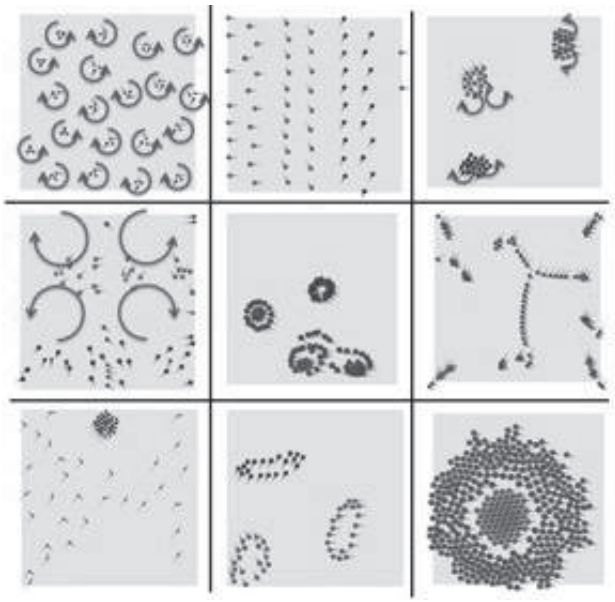


図1：最初に思いついたモデル [2-5] のシミュレーション結果

2. 夢の中での閃き

学会で皆様から頂いた意見は，大きく2つに分かれていた．「実際の人間関係はもっといろんな要因があるのだからもっとモデルを複雑にすべき」という意見と，「パラメータが多くて複雑だからもっと単純にすべき」という意見である．どちらもごもっともで，最初に思いついたモデルは中途半端だったのである．どちらの方向性に行くかは私の意思次第だったのだが，私は後者の意見に従うことにした．依然このモデルが何を意味するのかはよくわからなかったのだが，とにかくモデルを単純化しようと考え始めたのである．

2014年9月20日の朝方のことである．私は海外出張先のパリで，私が参画するCRESTのプロジェクトのメンバーとともにアパートの一室で眠っていた．浅い眠りの中で，私はモデルについて考えていた．そして，ついに思いついて目が覚めたのである！

そのモデルを紹介しよう．実空間内の二次元平面上にN個の素子が存在している．各素子は一個人を表しており，i番目の素子の位置$\mathbf{r}_i$の時間発展を以下のように記述する：

$$\dot{\mathbf{r}}_i = \sum_{j\neq i} (k_{ij}|\mathbf{R}_{ij}|^{-1} - |\mathbf{R}_{ij}|^{-2})\hat{\mathbf{R}}_{ij}. \qquad (1)$$

ただし，$\mathbf{R}_{ij} = \mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i$, $\hat{\mathbf{R}}_{ij} = \mathbf{R}_{ij}/|\mathbf{R}_{ij}|$ である．k_{ij} は i が j をどれだけ気に入っているかを示すパラメータであり，右辺第一項は，k_{ij} が正の時は j 番目の素子に向かう効果，負の時は j 番目の素子から遠ざかる効果を表す．右辺第二項は排除体積効果を表し，これは他人が自分に接近し過ぎると居心地が悪いと感じる心理に由来している．第一項，第二項ともに素子間距離に対してベキで減衰するのは，一般に近傍にいる人ほど密に関わるためである．本モデルで重要な点は，一般に相互作用が非対称 ($k_{ij} \neq k_{ji}$) であることである．この非対称性ゆえに，エネルギ・運動量の保存が成り立たない非平衡系となるのである．

申請者は早速このモデルを用い，パラメータ k_{ij} の値を変化させてシミュレーションを行った．結果を図 2 に示す（動画は `https://www.youtube.com/watch?v=1doJowB9yc0&feature=youtu.be` からダウンロード可能である）．最初のモデルと同様，多様なパターンが出るではないか！学術的な意義はさておき，たったこれだけの式でこれだけのパターンを出せることに，私は何とも言えない達成感を感じたのであった．

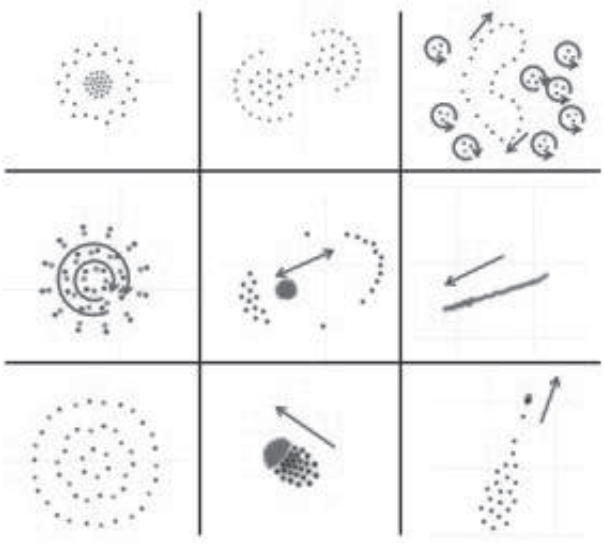


図 2 : (1) 式のシミュレーション結果 [6-8,10]

3. 論文にならない...

学会でこの新しいモデルについて話すと [6–8]，比較的好評だった．このモデルにいろんな可能性を秘めているように感じて頂けたからなのだろうと思う．だが，論文となるとやはりそんなにうまくはいかなかった．ただ単に面白いパターンが出るだけでは学術的価値を認めてもらえなかったのである．例えば，最初に出したジャーナルのレフェリーからのコメントには，I don't think readers can learn anything after reading this paper と書かれていた．まあ確かにそうかもしれない．自分が同様の論文のレフェリーを受け持ったとすれば，そのように書くかもしれない...

論文の内容を充実させるため，理論解析して各パターンの定常解や線形安定性を求めたりもしたのだが，結局 2 誌からリジェクトされた．そのうち，私自身も「どうせ他のジャーナルに出しても同じような反応が返ってくるんだろうな」と思うようになり，途方に暮れてしまった．

4. 振る舞いを特徴づける指標の発見

このモデルについて周囲からよくアドバイスされたのが,「パターンをうまく分類することはできないか?」ということだった．私自身，その必要性は感じていた．だが，あまりに多種多様なパターンが出るため，どう手をつけてよいかがわからなかったのである．それでも，諦めずに考えると見えてくるものがあるものである．図 3 は k_{ij} の値を

$$k_{ij} = \begin{cases} k_a & (\ 1\leq i\leq 25,\quad 1\leq j\leq 25), \\ k_p + k_m & (\ 1\leq i\leq 25,\ 26\leq j\leq 50), \\ k_p - k_m & (26\leq i\leq 50,\quad 1\leq j\leq 25), \\ k_b & (26\leq i\leq 50,\ 26\leq j\leq 50), \end{cases}$$

のように設定し，k_p, k_m を変えて作った相図である（アルファベットはムービー中の各パターンを示す）．ある時，この相図をじっと見ていて，$k_p = |k_m|$ のラインに沿って「生き生き」とうごめく複雑なパターンが存在し，$k_p < |k_m|$ では静的なパターンが，$k_p > |k_m|$ では素子が散り散りになるパターンが発現することに気がついた．そこで，次の指標を定義した：

$$X = \left(N^{-1} \sum_{i=1}^{N} |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_g| \right)^{-1},$$
$$V = \quad N^{-1} \sum_{i=1}^{N} |\dot{\mathbf{r}}_i - \dot{\mathbf{r}}_g|.$$

ただし，$\mathbf{r}_g$ は素子の重心位置である．X は素子の散らばり具合，V は素子の重心に対する相対速度を特徴づける量になっている．この指標を用い，次の 6 つのカテゴリに分類してみた：

Class I : $X = V = 0$ に収束
Class II : $X \neq 0$, $V = 0$ の点に収束
Class III: $X = 0$, $V \neq 0$ の点に収束
Class IV: $X \neq 0$, $V \neq 0$ の点に収束
Class V : $X - V$ 平面上でリミットサイクルを描く
Class VI: $X - V$ 平面上で不規則な軌道を描く

この分類をもとに相図のアルファベットを色分けしてみると，$k_p < |k_m|$ では静的なパターンである class II, IV，$k_p > |k_m|$ では素子が散り散りになる class I, III，そして $k_p = |k_m|$ のラインに沿って複雑なパターンである class V, VI が発現していることがわかったのである．かの有名な「カオスの縁」[9] みたいではないか！まだこのモデルが何を意味するのかはよくわからなかったが，それでも少し光が見えてきたような気がした．

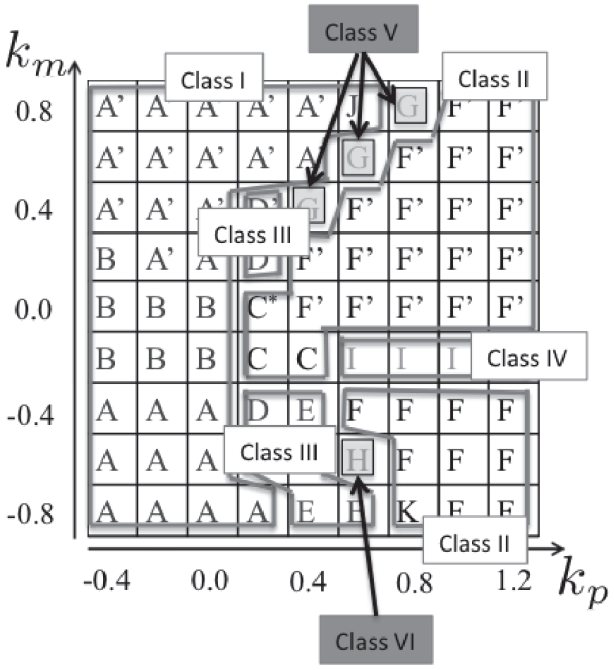


図 3：相図（詳細は文献 [10] 参照）

5. やっとのことでのアクセプト

結局，publish を急ぎたいということで，原著論文ではなく ECAL 2017 という人工生命系の国際会議のプロシーディングスに，モデルの提案と上記パターン分類の内容で投稿することにした．人工生命分野なら抽象的なモデルに対する理解があるのではないかという思惑もあった．早速原稿を書き，投稿した．もしこれでリジェクトされたらどうしよう，という不安もあったが，2017 年 6 月 21 日，ついに採択通知がきた [10] ! 最初のモデルを思いついてから約 4 年の月日が過ぎていた．

6. その後の発展と今後の展望

ECAL 採択後，提案したモデルに関連していくつか研究成果を出している．一つは，上に述べた各パターンの定常解や線形安定性を求めた理論解析であり，これは最近 Jounal of the Physical Society of Japan (JPSJ) にアクセプトされた [11]．また，active matter の研究をされている広島大学の田中晋平准教授と，oil droplet の集団運動の発現メカニズムについて，提案したモデル（(1) 式）をベースに考察を行った [12,13]．

工学的な方面では，群ロボット（複数のロボットが協働してタスクをこなすことができるロボットシステム）への応用を考えた．たとえば，提案したモデルを発展させることで，空間的に分布したタスクを同時並行でこなすことが可能な群ロボットの制御方策を構築した（パナソニックとの共同研究）[14]．また，提案したモデルを実世界で実現すべく，ハードウェアの製作も行った [15]．

依然としてこの研究に何の意味があるのかはわからないし，「ただの数式遊び」だと言われたらそうなのかもしれない．ただ，個人的にはこういう研究があっても良いのではないかと考えている．遊び心で始めたことが思いもよらぬ発見につながる可能性は，なきにしもあらずなのだから...

もしこの記事を読んで，私が創ったモデルに興味をお持ちの方がいらっしゃれば，是非ご連絡いただけると幸いである．

謝　辞

本研究の共同研究者である東北大学電気通信研究所の石黒章夫教授，大阪大学大学院工学研究科の大須賀公一教授，東北大学大学院理学研究科の川勝年洋教授，東北大学電気通信研究所の松井尚輝氏とは提案モデルについて多くの議論をさせて頂きました．広島大学大学院総合科学研究科の田中晋平准教授とは active matter へのモデルの適用，パナソニック株式会社ビジネスイノベーション本部の青島武伸氏，内藤栄一氏とは群ロボットへの応用について，多くの議論をさせて頂きました．また，広島大学大学院理学研究科の小林亮教授，パリ第 7 大学の関本謙教授，名古屋大学情報科学研究科の杉山雄規教授，有田隆也教授と有田研究室のメンバーの皆様，東北学院大学教養学部の菅原研教授をはじめとして，多くの方からアドバイスを頂きました．ここに謝意を表します．

参考文献

[1] D. Tanaka, General chemotactic model of oscillators. *Phys. Rev. Lett.*, vol. 99, 134103 (2007)

[2] 加納剛史, 大須賀公一, 小林亮，青沼仁志，石川将人，杉本靖博，大脇大，石黒章夫，交友関係の自己組織化過程の数理モデル，第 19 回交通流のシミュレーションシンポジウム， pp. 89-92, (2013)

[3] 加納剛史, 大須賀公一, 小林亮，青沼仁志，石川将人，杉本靖博，大脇大，石黒章夫,「個性」を持つ粒子集団が創り出す動的秩序～人間社会における交友関係を採り上げた事例研究～，第 26 回自律分散システムシンポジウム資料，pp.243-248 (2014)

[4] T. Kano, K. Osuka, T. Kawakatsu, and A. Ishiguro, Self-organization of Motile Oscillators Inspired by Friendship Formation, *Proceedings of the 2014 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2014)*, pp. 341-344 (2014)

[5] 加納剛史，大須賀公一，小林亮，青沼仁志，石川将人，杉本靖博，大脇大，石黒章夫，人間社会の生成崩壊ダイナミクスの数理モデル，第 23 回日本数理生物学会大会予稿集，pp. 166 (2013)

[6] 加納剛史，大須賀公一，川勝年洋，石黒章夫，非対称相互作用に起因する秩序形成のミニマルモデル，第 20 回交通流のシミュレーションシンポジウム，pp. 11-14 (2014)

[7] 加納剛史，大須賀公一，川勝年洋，石黒章夫，非対称相互作用から生み出されるコト，第 27 回自律分散システムシンポジウム資料，pp. 125-130 (2015)

[8] 加納剛史，大須賀公一，川勝年洋，石黒章夫，非対称相互作用から生み出されるコト　—5 素子系の理論解析-，第 28 回自律分散システムシンポジウム資料，pp. 141-146 (2016)

[9] C.G. Langton, Computation at the Edge of Chaos: Phase Transitions and Emergent Computation, *Physica D*, vol. 42, pp. 12-37 (1990)

[10] T. Kano, K. Osuka, T. Kawakatsu, N. Matsui, and A. Ishiguro, A Minimal Model of Collective Behaviour Based on Non-reciprocal Interactions, *Proceedings of the 14^{th} European Conference on Artificial Life*, pp. 237-244 (2017)

[11] T. Kano, K. Osuka, T. Kawakatsu, A. Ishiguro, Mathematical Analysis for Non-reciprocal-interaction-based Model of Collective Behavior, *Journal of the Physical Society of Japan*, vol. 86, 124004 (2017).

[12] S. Tanaka, S. Nakata, and T. Kano, Dynamic Ordering in a Swarm of Floating Droplets Driven by Solutal Marangoni Effect, *Journal of the Physical Society of Japan*, vol. 86, 101004 (2017).

[13] S. Tanaka and T. Kano, Collective Dynamical Orderings of Oil Droplet Suffers, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM 2017)*, pp. 272-273 (2017).

[14] T. Kano, E. Naito, T. Aoshima, and A. Ishiguro, A Simple Decentralized Control Scheme for Swarm Robots That can Perform Spatially Distributed Tasks in Parallel, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM 2017)*, pp. 260-261 (2017).

[15] 松井尚輝，加納剛史，内藤栄一，青島武伸，石黒章夫，非対称相互作用により動的秩序を生み出す群ロボット，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会（ROBOMEC2017），講演論文集 (CD-ROM), 1A1-F07 (2017)

【第 2 回 著者による最新論文の日本語解説】

ゴルジ体は自己組織化する

紹介論文
“M. Tachikawa & A. Mochizuki, Golgi apparatus self-organizes into the characteristic shape via postmitotic reassembly dynamics, ***Proc Natl Acad Sci USA***, 114:5177-5182 (2017).”

立川正志 *

1. はじめに

数理生物学はこの２０年でその守備範囲を広げて、多くの実験生物学の結果を説明することに成功し、さらには実験生物学と融合することにより新たな研究分野を形成した。この成果は学会員諸先輩方の不断の努力によって成し遂げられたものである。もうひとつこの流れを方向づけた要因として、GFP 遺伝子のクローニング[1] に始まるライブセルイメージング技術の発展を欠かすことはできない。イメージング技術の発展によって、生体のダイナミクスがまるごと可視化されるようになった。それまで、分子生物学実験により得られた分子や遺伝子の有無によって変わる生体の様相は、分子・遺伝子間の相互作用ネットワークという“ロジック”で記述されてきた。しかし、この見えるダイナミクスという実験結果には、それを説明するロジックが新たに必要となり、微分方程式やそれに基づくシミュレーションを用いた数理生物学研究と結びつき、新しい分野の形成に至った。

このような実験生物学と数理生物学の融合は、発生生物や細胞運動の分野で起こっている一方、オルガネラ（細胞小器官）などを扱ういわゆる細胞生物学の分野ではまだ低調である。これは扱う現象のサイズが小さいためイメージングが困難であるという、至極単純な理由によるところが大きい。光学顕微鏡で観測する可視光の回折限界（解像度の限界）が 200nm 程度であるのに対し、オルガネラの構造を解析するには 10nm の解像度が必要である。しかし驚くべきことに、現在の超解像顕微鏡などのイメージング技術はこのギャップを埋めつつあり、オルガネラのダイナミクスも部分的に可視化されつつある。この後には、数理生物学的ロジックと細胞生物学の融合が起きることは想像に難くない。これまでの分野融合の成功が新しい融合を加速させることも考えられる。筆者は幸運にもその機運をいち早く知ることができ、その先鞭をつけることを目標として、「ゴルジ体再集合過程の物理モデルシミュレーションによる再現」を行った。

今回紹介する M. Tachikawa & A. Mochizuki, ***Proc Natl Acad Sci USA***, 114:5177-5182 (2017)[2] では、哺乳類細胞の分裂時におけるゴルジ体の形成過程を物理シミュレーションを用いて再現し、未解明な分子メカニズムを提案すると共に、細胞内膜システムの自己組織化ダイナミクスを考察している。

*理化学研究所　望月理論生物学研究室

2. 真核細胞とゴルジ体

真核細胞はバクテリアなどの原核細胞と異なり、細胞核とともに多種のオルガネラ（細胞小器官）とよばれる脂質膜からなる構造物を細胞内に持つ。オルガネラは各々の内部や表面で特殊化された化学反応を行うことにより、細胞全体で高度な分業を達成し、複雑な細胞体制や細胞機能、延いては多細胞システムを可能としている。オルガネラ同士は直接接触あるいは膜小胞（ベシクル）の輸送を介して脂質分子やタンパク質のやり取りを行う。後者は細胞骨格とモータータンパク質による輸送ネットワークを構成しており、膜交通システムと呼ばれている[3]。

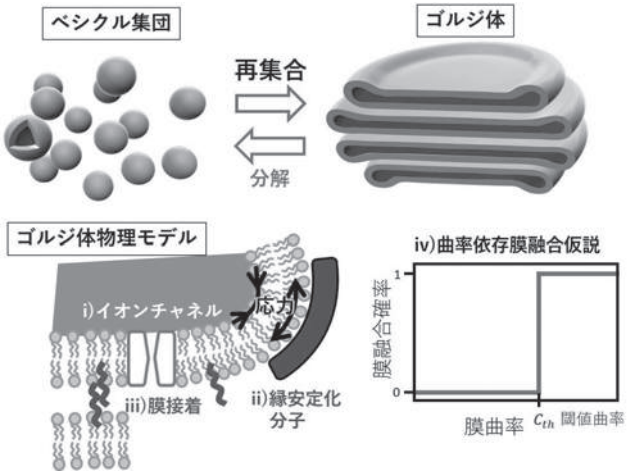


図 1　哺乳類細胞分裂期におけるゴルジ体のベシクルへの分解と再集合過程の模式図（上）と、再集合過程を再現する物理モデル（下）。

ゴルジ体はほとんどの真核生物にみられる普遍的なオルガネラで、小胞体からベシクルとして送られてきた脂質膜とタンパク質を、各オルガネラで機能するもの、細胞外に放出されるものなど、目的地ごとに仕分けして出荷しており、膜交通システムの hub として機能している[4]。また同時に、配送されるタンパク質の糖鎖修飾も行う。ゴルジ体の形態的特徴はほとんどの真核細胞で良く保存されており、ゴルジ体の機能と密

接に係っていることが推察されている[5]。

ゴルジ体は主に脂質膜からできており、扁平な袋状の槽が積み重なった特徴的な形態を持つ。哺乳類細胞では細胞分裂時にゴルジ体は小胞の集団にまで分解され、形態的特徴をなくす。そして、この小胞が各娘細胞に分配され再集合することにより、形態を回復する（図 1 ）。ゴルジ体を構成する分子については、分子生物学の発展により多くのことが解明されている。一方で、ゴルジ体の形の成り立ちに関しては不明な部分が多い。ゴルジ体のサイズは、各槽の厚みが数十 nm、長軸のサイズが数百 μ m 程度である。全体の形を観察するためには、電子線トモグラフィーや連続切片法などの三次元電子顕微鏡観察が必要であり、当然ダイナミカルな振舞を観察することはできない。このことが形態形成メカニズムの解明を困難にしている。

一方、ゴルジ体の主要な構成要素である脂質膜は、その物理的性質が良く調べられており、現象論的エネルギーに基づく形態理論が発達している。そのため、ゴルジ体の振舞は物理学として理解される可能性がある。そこで本論文では、ゴルジ体の物理モデルを作成し、コンピューターシミュレーションを用いてゴルジ体形成メカニズムに迫ることを目指した。再現する現象として哺乳類細胞分裂時の再集合過程に注目した。この現象は細胞が空間的に一様なベシクルの集団からゴルジ体を作りだすプロセスであり、ゴルジ体形態の成り立ちを理解する上で最良の現象と考えられる。さらにこの再集合過程は破砕した細胞を用いて試験管内にて再構成されており[6]、このことは、この現象が条件がそろえば物理化学プロセスによって自発的に進行することを意味している。

3. 膜シミュレーターと間期ゴルジ体の物理モデル

閉じた袋状の脂質膜がある形状をとった時、その形に蓄えられるエネルギーは主に、曲げ弾性エネルギーと浸透圧によるエネルギーの二つである。曲げ弾性エネルギーは Helfrich 自由エネルギーとして

$$F_b = \frac{\kappa}{2}\int (c-c_0)^2 da \qquad (1)$$

と与えられる。ここで、κ は曲げ弾性定数、c は膜上の各点での平均曲率、c_0 は自発曲率で、積分は膜面全体に対して行う。ガウス-ボネの定理により膜のトポロジーが変化しない限りガウス曲率はエネルギーに影響を与えず、細胞内ではトポロジー変化をともなう膜の変形は主に ATP の加水分解を用いた非平衡プロセスとして進むため、通常の変形においては平均曲率のみを考える。浸透圧差によるエネルギーは、浸透圧差 P を膜内腔の体積 V をとして

$$F_P = PV \qquad (2)$$

で与えられる。

まずゴルジ体の形態を評価し、既知のゴルジ体分子に関する情報を参考にゴルジ体の物理モデルを構成した。ゴルジ体の各槽は扁平なディスク状であり、内腔が小さくて縁に曲がった膜領域がある事を示している。この特徴を再現するために、**i) 浸透圧**と **ii) 縁安定化分子**を導入した（図 1 ）。ゴルジ体膜には複数のイオンチャネルがあることが知られており、これは浸透圧の働きを強く示唆している。縁分子はコートタンパク質[7] を想定し、細胞質に分散して、曲がった膜に選択的に吸着し曲率を安定化させるよう設計した。膜の形をポリゴン（多角形）で表現する動的三角分割膜モデル[8] に基づき、モンテカルロ法によって時間発展する生体膜シミュレーターを開発した。実際に i,ii) を組み込んだ膜物理モデルのシミュレーションを行い、あるパラメタ範囲でディスク状の単槽が安定に存在することを確認した。

ゴルジ体全体としてはさらに複数の槽が密接に接着し、膜同士が融合・分離を繰り返すことにより、動的に形態を安定化させている。そこで **iii) 膜接着力**を導入し（図 1 ）、ゴルジ体層構造が安定化すること確かめた。さらに、ゴルジ体再集合過程を再現するために、膜融合過程をポリゴン膜モデルのモンテカルロステップとして組み込んだ。

このモデルのもとで再度ゴルジ体形態の安定性を評価すると、膜融合に制限が必要であることがわかる。完成したゴルジ体では、近接している槽間で膜融合が起こらず、槽の縁と膜小胞との間で膜融合が促進されていると考えられる。つまり、場所依存的に膜融合が制御されている。この傾向を示す物理的に妥当なモデルとして **iv) 平らな膜同士は融合しにくく、曲がった膜同士は融合しやすい**というモデル（曲率依存膜融合仮説）を導入した（図 1）。

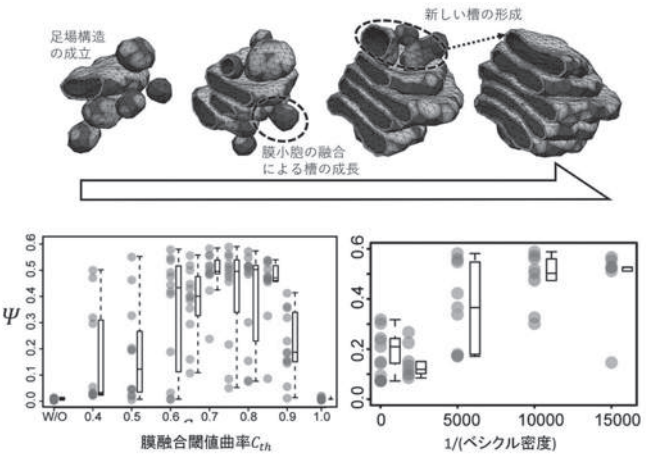


図 2　シミュレーションにより得られた再集合過程のダイナミクス (上)、と膜形態の平行度オーダーパラメタの物理パラメタ依存（下）。

4. ゴルジ体再集合シミュレーション

小胞が細胞内で拡散により集合する状況をシミュレーター内に再現し、物理条件をさまざまに変えて探索した結果、ゴルジ体様の構造が形成される過程を再現することに成功した（図2）。ゴルジ体の物理モデルは間期の安定なゴルジ体形態のみを参考にしている。このモデルが、形態的特徴のない小胞の集団からゴルジ体様の形態を生み出した、つまり再集合ダイナミクスを再現したことは、膜物性に由来する自発的な形態形成メカニズムが働いていること示唆している。実際、この過程の観察から、ゴルジ体様の構造が作られる場合には、初期の少数の膜小胞が融合した段階で槽のもととなる扁平な足場構造が作られ、それをコアとして全体の構造が自己組織化的に作られることを発見している。

このシミュレーターを用いてさらに解析を進め、物理条件に応じてどのように形態が変化するか調べた。膜の平行度に関するオーダーパラメタ

$$\Psi = \frac{4}{N_v(N_v-1)}\sum_{i>j}^{N_v}(|n_i\cdot n_j|-0.5) \qquad (3)$$

を定義し、物理パラメタに対しその形態がどう変化するか調べた。ここで N_v はポリゴン膜の頂点の数、n_i は i 番目の頂点の法線ベクトルである。その結果、適度な膜融合制限（膜融合閾値曲率）の場合に膜の平衡度が増し、制限が強くても弱くても、きれいな層構造にならないことが分かった（図２）。制限が弱い場合はいたるところで膜融合がおきてスポンジ状構造へ成長し、逆に制限が強い場合は膜融合頻度そのものが低下し、ベシクル集団のままとどまる。また、ベシクル濃度が十分低濃度である場合に、きれいな層構造が作られることを示した（図２）。これは、小胞集合、膜変形、膜融合の三つのプロセスの時間スケールが適度な関係が重要であることを示唆している。ベシクル濃度が高い場合、できかけたゴルジ体コア構造の形が十分緩和する前に次々とベシクルの衝突・融合が起こり、このことが全体にわたるコヒーレントな構造の生成を妨げている。

5. まとめ

本稿では、最近出版した表題論文について、特にその背景に力点をおいて解説を試みた。はじめにでも述べたように現時点で細胞内構造の理論は未発達であり、今後の発展が期待される分野である。この新しい分野に学会員諸氏（特に若い方）の参加を期待したい。

参考文献

[1] Prasher DC, Eckenrode VK, Ward WW, Prendergast FG, Cormier MJ, Primary structure of the Aequorea victoria green-fluorescent protein. Gene 111 (2): 229-233 (1992).

[2] Tachikawa M, Mochizuki A, Golgi apparatus self-organizes into the characteristic shape via postmitotic reassembly dynamics. Proc Natl Acad Sci USA 114:5177-5182 (2017).

[3] 福田光則，吉森保　編，メンブレントラフィック，化学同人社 (2016).

[4] Glick BS, Nakano A, Membrane traffic within the Golgi apparatus. Annu Rev Cell Dev Biol 25:113-132 (2009).

[5] Klute MJ, Melançon P, Dacks JB, Evolution and diversity of the Golgi. Cold Spring Harb Perspect Biol 3:a007849 (2011).

[6] Rabouille C, Misteli T, Watson R, Warren G, Reassembly of Golgi stacks from mitotic Golgi fragments in a cell-free system. J Cell Biol 129:605-618 (1995).

[7] Jackson LP, Structure and mechanism of COPI vesicle biogenesis. Curr Opin Cell Biol 29:67-73 (2014).

[8] Gompper G, Kroll DM, Network models of fluid, hexatic and polymerized membranes. J Phys Condens Matter 9:8795-8834 (1997).

【第1回　ホットスポット企画】

数理生物学若手の会　設立と展望

山口諒 * †

「若手の会」設立の経緯

数理生物学は多岐にわたる生命現象を解き明かす学問分野ですが、皆さんはどのような研究室に所属しているでしょうか？国内で数理生物学と銘打った研究室に所属されている方はおそらく少数派であり、生態学や発生学を中心とする生物学の研究室や、生物工学、応用数学まで様々な分野で活躍されている方が多いと思います。かく言う私も、数理生物学から進化遺伝学へ研究室を移した身であり、周囲には実験を行う研究者の方々が大勢いる環境です。近年、数学・数理科学が生命科学の諸分野と協働する事で、様々な生物学研究を加速・促進させる新しい「融合研究」を展開する事が期待されています。そういった意味で、理論家が実証研究者の近くで議論をしながら研究することはとても大切です。定量・予測のための信頼できる数理科学的な学術的基盤を構築するには、数理科学の専門家とその他の分野（生態学，分子生物学，疫学など）の専門家が分野横断的に取り組むことが必須になりつつあります。また、数理モデルを専門に扱う若手研究者にとっては、あらゆる生命現象に関する話題に対応し、即座に共同研究提案をできる力を備えていく事が今後ますます重要になってくると予想されます。

図 1　数理生物学若手の会のロゴ

*首都大学東京・理工学研究科 進化遺伝学研究室
†Email: ryamaguchi@tmu.ac.jp

その一方で、数理生物学の若手は分野ごとに全国に散在しているため、体系的な数理的手法を習得する機会は多くありません。異なる現象に共通の論理構造を発見し、自身の研究にフィードバックするには、ほかの理論研究者との交流が役立つはずです。このように個人で達成できない課題を解決するため、「数理生物学若手の会」（以下、通称「若手の会」）を発足し、基礎理論の学習機会の提供や情報交換、新規共同研究の展開を目指します。

図 1 は、数理生物学に親しい、数字や代数記号が浮かびあがってくるような趣向を目指して、作成した若手の会のロゴマークです (後述)。若手の会の催し等で自由に使用できるよう、ホームページで公開しています。以下、今後の具体的な運営体制や現在企画中のイベントを紹介していきます。

入会案内と展望

若手の会は設立間も無いため、今後メンバーの拡充と会則・運営の本格化を進めていきます。基本的には数理生物学会とは独立したかたちで活動を行います。若手とは具体的に、学部・大学院生・博士研究員を想定していますが、メンバーは有志で、入会による義務は今のところ発生しません。以下に案内するホームページにアクセスし、簡単にメーリングリストにご登録いただくだけで、入会が完了するスタイルとしました。

数理生物学若手の会 入会ホームページ
https://jsmbpys.weebly.com/enrollment.html

入会後のメール投稿先:
mathbio_wakate@googlegroups.com

メーリングリストは情報交換や質問の場として積極的に活用する予定のため、国内の若手だけでなく、国外に滞在中の学生や博士研究員のご参画もお待ちしております。理論や論文に関する質問から、就職事情まで忌憚のない意見が飛び交うことを期待しています。メーリングリストは登録者のみが投稿やアーカイブを閲覧する権利を持っています。若手の会のスタッフについては、代表を山口が担当し、主に研究集会の企画やメーリングリストの管理、集会開催のための競争的資金獲得や後援依頼を行います。集会企画とは、日本

数理生物学会の年会とは別に若手の会が主催する行事として、学生を対象に講師陣を招いた講義と研究発表交流会を想定しています。現在、すでに 2018 年度「数理生物学若手の会・夏の学校」の開催に向けた準備が進んでおりますので、本稿の最後で告知いたします。また、年 1 度の夏の学校開催を中心に、フォローアップのための小規模スタディーグループ開催や、論文執筆合宿開催も候補として挙がっています。先ほどのメーリングリストを利用して、企画案の募集を行うほか、開催告知をいち早くお届けする予定です。

このような集会企画を通して、若手の交流をはかり、最終的には研究生産性の向上につながることを会の目標とします。若手の会として活動実績を積み上げることで、個人のレベルアップのみならず、数理生物学分野の若手全体が活発になることを願っています。

数理生物学若手の会・夏の学校

2018 年度はオーストラリア・シドニーで SMB と合同の国際数理生物学会が開催されるため、JSMB の国内年会はありません。そこで、海外出張の困難な学生を主な対象として発表・研究交流機会を提供、さらに各分野から計 6 名の講師を招いた理論講習会を開催します。題して「第一回数理生物若手の会・夏の学校」です。下記に案内するプログラムの通り、2018 年 8 月 30 9 月 1 日の 2 泊 3 日で、神奈川県の総合研究大学院大学を開催地としました。参加者は講義受講のほか、1 人あたり 10 分の口頭研究発表の機会が与えられます。また、講師陣と学生を交えたグループディスカッションを行う企画を準備しております。葉山ビーチでの BBQ 懇親会も含め、「よく学びよく遊ぶ」をコンセプトとした夏の学校を目指します。受講者は学部生・大学院生で、25 名を目安に募集を行います。本集会は、若手の積極的な参加を支援するため、中辻創智社の会議開催費助成によって、受講者の旅費を支給する予定です。また、宿泊は総合研究大学院大学の宿泊施設（相部屋）を確保しておりますので、無料で利用することが可能です。よって、受講者には食費や現地での交通費のみを負担していただくことになります。なお、応募者多数の場合は、審査の上、援助の有無をお知らせいたします。もし参加に際して援助が不要な場合は、受講者人数 25 名や学部生・大学院生という制限に関わりなく自由にご参加いただけます。受講者・参加者の募集は、今後各種メーリングリストおよび夏の学校ホームページでご案内しますので、皆さま是非ふるってご参加下さい。現在、募集締め切りは 6 月 30 日を予定しておりますが、最新情報は下記 URL よりご確認ください。

数理生物学夏の学校 HP

`https://jsmbpys.weebly.com/`

～プログラム～

集会名: 第一回数理生物若手の会・夏の学校
日時: 2018 年 8 月 30　9 月 1 日の 3 日間
場所: 総合研究大学院大学 葉山キャンパス
各分野の講師によるレクチャー:
50 分×6 コマ（下記の 6 分野）

8 月 30 日（1 日目）

14:00～14:30 オープニング
　　（山口趣旨説明 + アイスブレイク）
14:30～15:20 疫学からはじめる進化動態入門:
　　佐々木顕（感染症分野）
15:40～16:30 複数個体による最適化
　　～進化ゲーム理論入門～:
　　大槻久（ゲーム理論分野）
16:40～17:30 ショートトーク (10 分×5)
バンケット　逗子駅周辺での夕食会

8 月 31 日（2 日目）

09:30～10:20 量的形質の進化と数理モデル:
　　山口諒（進化学分野）
10:40～11:30 生理と生態をつなぐ数理モデル:
　　佐竹暁子（生態学分野）
11:40～12:30 ショートトーク (10 分×5)
12:30～13:30 ランチ
13:30～14:20 ショートトーク (10 分×5)
14:40～15:30 発生過程の定量と数理:
　　森下喜弘（発生学分野）
15:30～19:00 グループディスカッション&散策
懇親会　　葉山ビーチでの BBQ

9 月 1 日（3 日目）

09:30～10:20 感染過程のネットワークモデル:
　　守田智（ネットワーク分野）
10:30～11:20 ショートトーク (10 分×5)
11:30～12:20 ショートトーク (10 分×5)
12:20～12:30 クロージング
12:30～　　解散

ロゴにこめた想い：久保裕貴より

こんにちは。株式会社 NTT データ数理システムの久保裕貴と申します。このたびは数理生物学若手の会のロゴを制作する機会に恵まれましたことを光栄におもいます。本ロゴを制作するにあたり、はじめに数理生物学を表すモチーフはなにかということを考えました。数理生物学はたくさんの領域にまたがり、さまざまなテーマを含む学問です。いくつかアイデアを出していくうちに特定のモチーフでもって数理生物学を表現するのでは十分ではないと感じました。そこで、みなさんが数理生物学を思い浮かべるときにかならずあるもの、文字通りの「数理生物」という言葉自体から形作ることにしました。デザインの工夫としてはグリッドに沿って大胆なデフォルメを行い、それによって「数理生物」の文字だけでなく、数理生物学に親しい、数字や代数記号が浮かびあがってくるような趣向を目指しました。ロゴの中で「生物」の部分に比べて「数理」の部分は読みにくいかもしれませんが、どうか大目に見ていただいて、たくさんの方々に親しんでいただければ幸いにおもいます。

【報告】

第 4 回数理生物学交流発表会

2018 年 3 月 2 日 (金)〜3 日 (土)　静岡大学浜松キャンパス
http://www.sys.eng.shizuoka.ac.jp/∼sato/4th_program20180302

佐藤一憲 *

「数理生物学交流発表会」は，数理生物学や関連分野を研究している学生の間の交流を目的とした集会です．在籍する大学での発表会が終わった後の年度末に開催しています．4 回目となる今年も大勢の皆さんに参加していただきました．5 名の方々からの感想文を掲載します．

発表会場の様子

■ 樫原拓馬（岡山大学環境数理学科 4 年）

今回，静岡大学浜松キャンパスにて開催された「第 4 回数理生物学交流発表会」に初めて参加させていただきました．岡山大学 4 年生として自身の研究内容を発表する機会をいただき，本交流会を企画・運営して下さった皆様に心より感謝申し上げます．

他大学の方々との交流会は人生で初めてだったので不安で緊張しましたが，交流会後の今では，非常に貴重な体験をさせていただけて参加して良かったと思っております．未だ慣れない人前での発表の経験が積める事はさることながら，他の学生達の発表から伝わりやすいスライドの構成方法や話し方，仕草や質疑応答に臨む態度なども学ぶ事が出来，刺激的な 2 日間でした．

発表会では学部生だけでなく，より専門的な研究をされている修士以上の学生の方々の 1 年間の研究成果の発表を聞く事が出来，これからの研究に対する意欲がわいてきました．また,「ネットワークと感染症の流行」といったようないくつかのトピック同士が関連した研究をしている学生もいて，彼らの着眼点に感心すると共に自分もより応用的な研究がしてみたくなりました．

*静岡大学大学院総合科学技術研究科工学専攻

年ごとに規模が大きくなり，にぎやかさを増すこの交流会で，今より興味深く洗練された研究発表が披露できるよう次回の開催に向けて精進していきます．

懇親会の様子 (1)

■ 加藤颯人

（北海道大学環境科学院　環境起学専攻修士一年）

今回初めて参加させていただきましたが，予想以上に多種多様な研究テーマの発表があり驚きました．研究テーマが多様であるのに伴って研究手法も多様になり，今まで目にしなかった手法を知ることができ，たいへん勉強になりました．それに加え，ある究明したい現象に対して，その現象のうちのどの側面に注目するか，注目した部分をどのように解明するか，といった研究姿勢の違いも随所に感じられ，自分の研究姿勢を相対化する良いきっかけにもなりました．自分の発表では，参加者の学生方からだけでなく，先生方からも示唆に富む質問や有益なコメントをいただくことができ感謝しております．今後の研究に活かせればと思います．また発表後の飲み会では，他大学の学生方と交流でき，他研究室の雰囲気を知ったり，興味の対象の違いを知ったりすることで，たいへんよい刺激になりました．

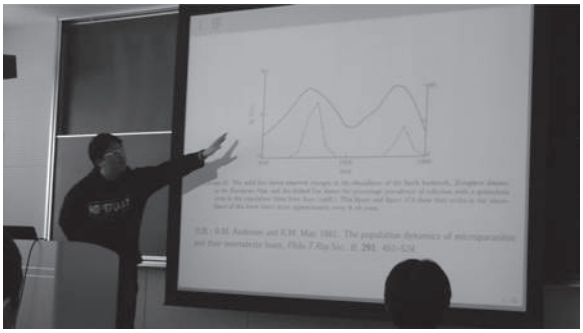
参加者の中では比較的遠方からの参加でしたが，キャンパス内の宿泊施設に泊めさせていただくなど，不便は感じませんでした．手配してくださった佐藤先生には感謝しております．また交流会を企画・運営してくださった皆様に感謝申し上げます．

懇親会の様子 (2)

■ 田村和広（静岡大学大学院　総合科学技術研究科 工学専攻　修士１年）

昨年開催の第三回に引き続き今年も数理生物学交流発表会に参加させていただきました．今年も様々な数理生物学に関連した研究発表を聞くことができ，新たな知識をたくさん取り込むことのできた２日間でした．また，自分の発表を他大学の方々に聞いてもらうことによって，自分では気づけなかった論理の飛躍や研究のポイントに気づくことができました．

昨年もそうでしたが，懇親会などを通して議論することによって研究に対するモチベーションがとても上がります．来年で卒業してしまうため次回の第五回が最後の発表になりますが，それまでにさらに研究を発展させて来年またこの場に参加したいと思います．最後にこの交流発表会を開催して下さった諸先生方にこの場を借りて感謝の意を申し上げます．



発表の様子 (1)

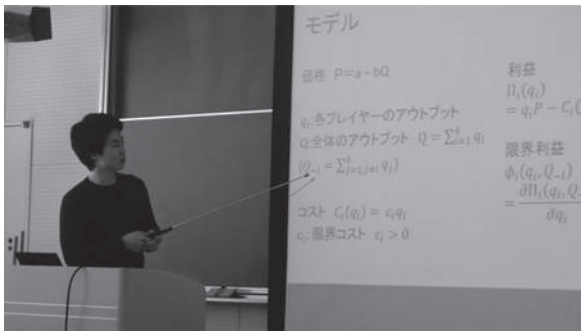
■ 坪内 湧（青山学院大学 理工学部 物理・数理学科 数理サイエンスコース 竹内研究室 ４年）

私は学部生として初めて，静岡大学で行われた数理生物学交流発表会に参加させていただきました．今まで学内で発表したことはありましたが，学外での発表ということで貴重な経験となりました．

数理生物学に対する知識も少ない私にとっては，大学・研究室によって，生態系や感染症，経済学など数多くの研究領域に応用されていることから，数理生物学は汎用性が高く，改めて面白い分野だと感じました．また，研究へのアプローチの仕方も様々で，数理モデルを厳密に考察するものから，プログラミングを用いてシミュレーショを駆使し，実データなどと比較する方法もあり，今後の自分の研究に対する手法を考える機会にもなりました．

青山学院大学には同じ分野の研究室がないので，他大学の方々の発表を聴けることが非常に良い刺激になり，今後の研究のやりがいにもなりました．

最後に，ご質問やご指摘をしてくださった皆様，本交流会を企画および運営してくださった皆様，この度は誠にありがとうございました．来年はさらに，より良い発表や活発な意見交換ができればと思います．



発表の様子 (2)

■ 長峰瑠那（東京理科大学理学部第一部応用数学科４年）

今回，プリオン病の数理モデルに関する発表をさせて頂きました．卒業研究をするにあたり，自分でテーマを設定し，一年間プリオン病や数理モデルについて文献を調べ，勉強をしてきましたが，学内の発表に留まっていたため研究の意義や価値をはっきりと実感できずにおりました．

今回このような発表機会を頂いたことで，今回の研究をわずかながら誇りに思うことができ，学内の発表だけでは得られなかった達成感と将来への自信を得ることができました．一学部生の研究に対して先生がたが真摯に向き合って下さり，貴重なご意見や指摘をして頂けるこの勉強会は，若い研究者にとって代えがたい場であると共に，私のように大学を離れて企業で新しく出発する者にも大きな指針を与えて下さる貴重な場所であると感じました．他大学からの学部生や大学院生の研究発表には，研究内容への興味はもちろんのこと，研究方針・発表や資料の構成など多くの刺激を頂きました．また，懇親会では様々な先生や学生の方から気さくに声を掛けて頂き，研究者としての心構えは勿論のこと，楽しいお話を聴くことができて，とても良い思い出となりました．

今回提案くださった改善点を自身で考えながら，さらに進んだ研究を後輩に渡せることができたらとも思っています．繰り返しになりますが，このような研究発表会に参加させて頂き，誠にありがとうございました．数理生物学交流発表会の今後の益々の発展を心よりお祈り申し上げます．

【特集】

2018 年度　卒業論文・修士論文・博士論文

卒業論文

小林 篤史
大阪府立大学生命環境科学域自然科学類

空間構造が相利共生系内の多様性に及ぼす影響に関する数理モデル

相利共生系内の多様性は, 時間とともに減少することが理論的に予測されているが, 例えば植物と菌根菌の系などのように, 大きな多様性が維持されている系も存在する. 本研究では, 相利共生系内の多様性を維持する要因として空間構造に着目し, 二重格子モデルを用いて, 両方の種がそれぞれ 2 系統からなる相利共生系の進化動態について解析した. 局所個体群中では両種とも一方の系統が優占するが, 空間全体としては異なる系統の異所的な共存が見られた.

西田 幸真
大阪府立大学生命環境科学域自然科学類

二重格子空間上の snowdrift ゲームによる相利共生系の安定性に関する理論的考察

生物個体間の協力に関する多くの理論的研究は, 空間構造が協力の安定化を促す可能性を示唆しているが, それらの研究の多くは囚人のジレンマゲームの枠組に基づいている. 本研究では, 二重格子モデル上での snowdrift ゲームにより, 空間構造が種間の協力の安定化にどのような影響を及ぼすかを調べた. その結果, 空間構造を無視した数学的解析では, 片方の種では協力者のみ, もう一方の種では非協力者のみの状態が唯一の安定平衡状態となった. それに対して, 空間構造を入れた計算機シミュレーションでは, 協力のコストが小さいとき, 両種とも協力者のみが存在する状態が安定となった. このことから, snowdrift ゲームにおいても, 空間構造が種間の相互的な協力関係を安定化させうるということが示唆された.

高木 舜晟
九州大学 理学部 生物学科 数理生物学研究室

がん再発の数理モデルの構築

初発のがんを治療した後に残ってしまった前癌病変, すなわちがんの一歩手前に当たる組織は, がん再発の原因となりうる. 先行研究においても, がんの周辺に存在する前癌病変によって領域再発率が高まるというケースが示されている. しかし, 前癌病変はがんのように識別することが容易ではないため, それを踏まえた治療方針を立てることは容易ではない. そこで, “まだがんではない細胞”が細胞内でどのように広がっているか, そしてどのような条件下で特に再発に影響を与えうるかを調べるためのモデルを構築した. がん化に重要な変異を 1 つも持たない細胞と 1 つだけ持つ細胞は, 正常組織として合計で一定の細胞数を保つが, 変異を 2 つ得てがん化した細胞は, その制限を無視して増殖すると仮定し, モラン過程と分枝過程を組み合わせて, 突然変異の蓄積動態を追った. また, この結果と確率シミュレーションを用いて, 前癌病変が再発に与える影響が大きくなる条件を推定した.

永崎 佑里
筑波大学情報学群情報メディア創成学類

鳥の着地動作に着目した位置/速度/姿勢角制御のための数理モデル

本研究では, 鳥の着地動作における速度制御のメカニズムの解明を目的とした. 鳥は着地の際, 視覚情報や身体が受ける空気抵抗から周囲の環境や気流を把握している. 鳥はこれらの情報に基づき, 自身の姿勢を調節することで適切な位置や速度を制御し, 安全で正確かつ滑らかな着地を実現していると考えられる. そこで本研究では, 鳥が飛行時に受ける基本的な力として重力, 抗力, 揚力を考慮し, これらの力を受けながら鳥が姿勢を制御して着地する動力学モデルを提案した. 次に, 島根県・隠岐島にてカモメ及びトビの着地動作を 2 台のカメラで実際に撮影した. この動画データを個体追跡ソフトとカメラキャリブレーションソフトを用いて解析し, 3 次元空間上での飛行軌跡と体軸を推定した. これらの計測データと構築した数理モデルによる数値シミュレーション結果を比較することで, 数理モ

デルの妥当性を検証した. その結果, 提案モデルは, 鳥が着地動作において鉛直方向に振動しながら減速を行う様子を再現することが分かった.

石谷 真希
奈良女子大学 理学部 環境科学コース 数理生命システム分野

オオカミの分散戦略モデル

オオカミは群れで生活し, テリトリーを持つ. 繁殖のために分散し, 分散するタイミングは個体によって様々である. 成長過程においてどのタイミングで生来の群れを離れ分散するのが最も良いのかを調べた. 二分法を用いて最適分散率を計算したとき, どのクラスでも最適分散率は 1 か 0 におちついた, これは実際の個体の動きとは異なる. 生存率が一定でないモデルとしてクラスの生存率が密度に依存するモデルと, 分散時の生存率が毎年変化するモデルで計算した結果, 密度依存の程度と変動幅が大きいときに中間の値が最適となり, 野外で中間の値の分散率が出るのは密度依存性や周囲の環境による生存率変化が影響している可能性がある.

石井 宙志, 祐川 翼
北海道大学理学部数学科

質量保存を伴う反応拡散方程式系に現れる局在パターンの相互作用

真核細胞や細胞性粘菌などの特定の細胞には，外部からの何らかの刺激により細胞内に一様に分布していた分子が移動し, 濃度分布を局在化させる働きがある. これを細胞極性といい，細胞の機能発揮の基盤となっている．この現象を数学的に記述するために，質量保存を伴う反応拡散系が提案されている．私達の研究はそれに習い，円周上でパルス状に局在する周期解を極性とみなし，2 細胞が各細胞膜全体で拡散結合をしている場合の極性の位置関係の変化を数学的に解析した. その結果，細胞間の極性の活性物質と不活性物質の拡散結合比が大きくなると，極性の位置が揃うことなどを理論的に示すことができた.

修士論文

伊藤 悠介
九州大学大学院 システム生命科学府 数理生物学研究室

細胞の感受性の不均一性を考慮した, HIV-1 多重感染の定量化に関する理論研究

ヒト免疫不全ウイルス (HIV-1) 感染症において, 主要な課題である免疫回避や薬剤耐性は, 遺伝的変異に起因する (Dang et al., 2004). この遺伝的変異を誘引する機構として, 多重感染現象が報告されている (Dang et al., 2004). なお多重感染とは, 複数のウイルスが同時に細胞に感染するウイルス現象である. ここで近年 in vitro 系・in vivo 系・理論的に, HIV-1 多重感染の非ランダム性が着目されている (Chen et al., 2005; Dang et al., 2004; Remion et al., 2016). しかしながら, 重要な要因である細胞の感受性の不均一性を定式化した理論研究はない. 加えて実験解析だけでは, HIV 多重感染を定量化するのは容易ではない (Chen et al., 2005; Dang et al., 2004; Remion et al., 2016). 本研究では, (1) 細胞の感受性の不均一性を考慮した HIV-1 多重感染の非ランダム性に関する理論構築と (2) 培養細胞感染実験データを用いた HIV 多重感染の定量化を行った (Ito et al., 2017). 細胞の感受性の不均一性は連続確率分布である γ 分布に従うと仮定し, 重感染現象での 1 細胞に感染するウイルス数が負の二項分布に従うことを導出した. また非ランダム性の指標であるオッズ比を用いることで, HIV 多重感染の非ランダム性を理論的に予測することに成功した. 加えて培養細胞感染実験データを用いた理論解析を実装することで, 実験科学だけでは容易ではない HIV-1 多重感染の定量化を行った. 特に 1 培養細胞あたり平均 1.02 個から 1.65 個のウイルスが感染していることを明らかにした. さらに, 全感染細胞集団中に最大 40 %多重感染していることを示した. なお本研究は, フランス国立保健医学研究機構 Fabrizio Mammano 教授との共同研究である.

岩波 翔也
九州大学大学院 システム生命科学府 数理生物学研究室

A highly pathogenic simian/human immunodeficiency virus effectively produces infectious virions compared with a less pathogenic virus in cell culture

サル／ヒト免疫不全ウイルス（SHIV）は, ヒト免疫不全ウイルス（HIV）とサル免疫不全ウイルス（SIV）のキメラウイルスであり, 後天性免疫不全症候群（AIDS）

の病態解明を探索する重要なツールとして利用されています．SHIV にのはアカゲザルに対して異なる病原性を示す複数の株が存在するが, それらの定量的な感染動態についてはほとんど研究が進んでいなかった．数理モデルを用いて培養細胞から得られたウイルス感染実験データを解析し, 感染性のあるウイルスの産生効率の違いが高病原性と弱病原性を決定付ける 1 つの要因であることを示唆した．

原 朱音

九州大学大学院 システム生命科学府 数理生物学研究室

アレルギー治療法の理論的解析

アレルギーの発症機序を理解し, 根本的な治療法を明らかにするため, 本修士論文では二章からなる理論研究を行った．初めに, スギ花粉を摂取して花粉症を抑制する「アレルゲン免疫療法」の研究を行った, 数理モデルを用いて, 治療中・治療後の Treg 細胞 (アレルギーの抑制役)・Th 細胞 (アレルギーの引き金) 数の時間変化を予測し, 治療成功の条件を導いた．患者側の条件としては, Treg の寿命が長いことなどが挙げられた．さらに治療自体による発症を防ぐためには, 花粉摂取量を徐々に増加させる期間を長く取ることが有効だと確かめられた．次に, 腸内細菌叢と免疫系との相互作用を表す数理モデルを構築し, 腸内細菌叢を標的としたアレルギーの抑制法を探索した．アレルギー状態と健康な状態とを異なる二つの安定平衡点として表現し, アレルギー状態を生じないための条件式を導いた．さらに腸内細菌に関連するパラメータに着目し, 平衡点での Th 数に及ぼす影響を調べ, アレルギー治療目的での介入対象としての効果を調べた．

柴崎 祥太

東京大学大学院　総合文化研究科　広域科学専攻　広域システム科学系　嶋田研究室

細胞性粘菌のマルチゲームがもたらす　三すくみ共存動態の解析

自身の利益を犠牲にしてでも他個体に利益をもたらす協力行動は, ヒトから微生物まで, 生物に広く見られる．なぜ協力行動が進化し, 維持されているかという問題は, これまで多くの研究がされてきた．ほとんどの研究では, 一つの協力行動しか存在しない場合が扱われてきたが, 生物は複数の協力行動を見せることがある．例えば, 細胞性粘菌 *Dictyostelium discoideum* は飢餓状態に陥ると, 子実体形成とマクロシスト形成という, 二つの協力行動を示すことが知られている．本研究では, 上記二つの協力行動がなぜ進化し, 維持されているのかを進化ゲーム理論を用いて解析した．その結果, 二つの協力行動が相互に進化的安定性の向上に寄与していることが示唆された．

山田 祥伍

東京工業大学　環境・社会理工学院

空間構造上での噂による協力行動の進化と様々な嘘の噂の影響について

協力行動は人間社会の基盤である．相手の情報を事前に噂として知ることができると, 非協力者に協力しなくてすむために協力が進化しやすいという．しかし噂が嘘の場合, 協力が進化する条件とは何であろうか．本研究では, 格子上にプレイヤーが並び, 隣接するプレイヤー間で噂の交換や giving game を行うとし, 噂の流れる速度を制御できるモデルを分析した．嘘の噂の種類として, 自分は良い人という嘘の噂, 全員を良い人という噂, 協力者の悪い噂などを仮定する．すると正しい噂のみを交換する場合, ランダムに出会うプレイヤー間で噂交換を行う場合に比べ, 隣接格子上のプレイヤー間で噂交換すると協力が進化しにくくなる．一方, 自分は良い人という嘘の噂が流れる場合, ランダムに出会うプレイヤー間で噂交換を行う場合に比べ, 隣接格子上のプレイヤー間で噂交換すると協力が進化しやすくなることが分かった．

佐藤 宏樹

東北大学大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻

昆虫個体群における病原微生物による感染症伝染ダイナミクスの数理モデル研究

昆虫個体群における病原微生物（微胞子虫）による感染症の伝染ダイナミクスに関する数理モデルを差分方程式系により構築し，解析した．特に，個体群サイズと有病率の年次変動におけるピークの遅れに着目し，現実の観測から得られる知見と定性的に合致する結果を得た．

谷尾 伊織

北海道大学環境科学院 生物圏科学専攻動物生態学コース

リス科 10 種における個体群統計量の定量的解析： エゾリスの生存率推定を添えて

リス科は世界中に分布しており, 様々な生活史を獲得しているが, リス科全体をまとめて生活史の特徴を

調べた研究は少ない．本研究では, エゾリスを含むリス科 10 種における各種の個体群の特徴を把握し, それぞれの特性の違いを明らかにすることを目的に, 1) 標識再捕獲法を用いてエゾリス個体群の生存率を推定し, 2) 個体群行列モデルを用いてリス科 10 種の個体群統計量を求め, 3) 生命表反応解析を用いて各種の個体群成長率の違いにどの生活史パラメータの違いが影響を与えているのかを調べ, 10 種の個体群の特性を比較した．エゾリスの生存率は同種であるキタリスに比べ低い傾向にあり, 個体群成長率は 1 を下回っていた．また, 個体群成長率に対する生存率や繁殖率などの生活史パラメータの感度は樹上性のリスにおいては共通の傾向がみられたが, 地上性リスでは見られなかった．また, リス科の個体群成長率の変動には, 幼獣の生存率が最も大きく影響を与えることが分かった．

臼井 宏毅
龍谷大学 理工学研究科 数理情報学専攻

個体群モデルにおけるノイズの影響についての研究

生物の個体群の増殖に与えるホワイトノイズの影響を，確率微分方程式のモデルによって研究した．マルサス方程式やロジスティック方程式にノイズを加えた確率微分方程式はこれまでも研究されているが，ロジスティック方程式に捕食の項を付け加えた害虫が突発的に大発生するモデルにノイズを加えた確率微分方程式を新たに調べた．この大発生するモデルは，捕食量を決めるパラメータがある臨界値より小さくなると急激に個体数を増加させる．安定な平衡点の数が 2 つになるようなパラメータに対して，決定論的モデルでは大発生が起きない初期値を取ってもノイズの影響によって大発生が起きる事が判明した．また，2 つの平衡点の安定性の度合いが等しくなるような状況では，ホワイトノイズの大きさによっては通常の状態と大発生が起きた状態を行き来するような個体数変動が数値的に確かめられた．

野田 康矢
龍谷大学 理工学研究科 数理情報学専攻

空間非一様な被食者・捕食者モデルにおいて個体数に与える拡散の影響

本研究では，Lotka-Volterra 被食者・捕食者系において被食者と捕食者が拡散移動するモデルを考える．区間 [0,1] で拡散を考え境界条件としてノイマン境界条件を課し，拡散移動がない場合，区間 [0,1] 内のある領域では共存できるが，残りの領域では被食者のみが生存できる非一様な状況を環境収容力で設定し，定常状態の総個体数（区間全体での積分量）と拡散係数の関係について調べた．その結果，被食者の拡散係数を固定すると，捕食者の拡散が小さい方が捕食者にとって有利であることを確認した．また，捕食者の拡散係数を固定して被食者の拡散係数を大きくすると，被食者は増加し捕食者は減少する．さらに大きくすると捕食者は絶滅するが，絶滅後は被食者の個体数が減ることが数値的に検証された．これにより被食者の拡散が大きいことは，被食者単独の場合には不利に働き，捕食者がいる場合には有利に働くことが示唆される．

【第2回ニュースレター読者アンケート】

読者調査から見えたニュースレターの実態と課題

ニュースレター編集部 *

1. はじめに

この度はニュースレターを手に取って、読んで下さり、有難うございます。より読者のニーズに応じたニュースレター作成のため、第1回アンケートに継続して読者アンケートを実施しました。今回も読者の皆様のご意見を伺い、ニュースレター活用の実態と課題を把握するために、biomath-ml を通じて配信されました。アンケートの内容につきましては、まず前回のアンケートと同じく、「読者層」や「読者のバックグラウンド」、「ニュースレターを過去に読んだことはあるか」、「ニュースレターに期待すること」について伺いました。前回のアンケートと比較することで読者層の変化を見ることができます。記述による意見の投稿は前回同様、より具体的な読者のニーズを知ることができています。また、今回は新たに「2月号で一番興味を持った記事」と「2月号で一番興味が無かった記事」といった記事の内容についてのご意見も頂戴致しました。前回に比べて、より詳細にニュースレターの内容についての読者の意見を知ることができたのではないかと思います。

2. 読者層とバックグラウンド

皆様からの回答を集計した結果、第1回同様、アカデミックポジションに就いている読者が約60%を占めて最も多い結果となりました（**図1,A**）。バックグラウンドは生物学が最も多く、続いて数学と工学となりました（**図1,B**）。

3. 認知度・活用の実態

続いて、ニュースレターの認知度と活用の実態を調査しました。ニュースレターを毎号読んでいる人と興味があれば読む人の割合がほぼ同率となりました（**図1,C**）。今回初めて読んだ人が3%と回答しており、その方はたまたま手に取ったとのことでした。初めて読んだと回答した人が少なかったので、今後は新規の読者の獲得のため、ニュースレターを手に取って頂ける機会の拡充に取り組みたいと思っております。また、既にニュースレターを手に取り、読んで頂いている読者に対しても毎号読んで頂けるような内容の充実と新たな読者の獲得に向けて努めていきたいと思っております。

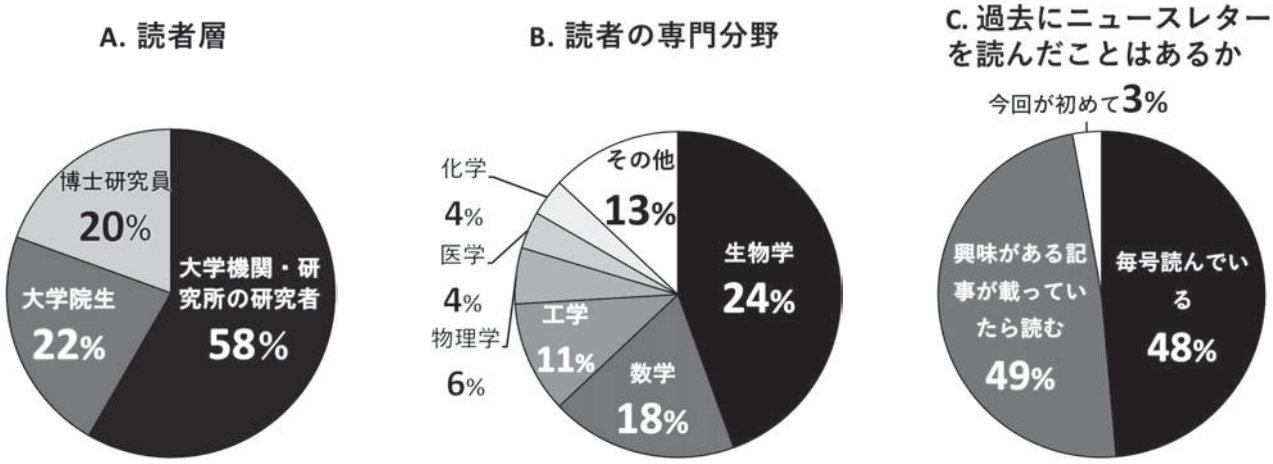


図1 ニュースレター読者の背景

*九州大学大学院理学研究院生物科学部門数理生物学研究室

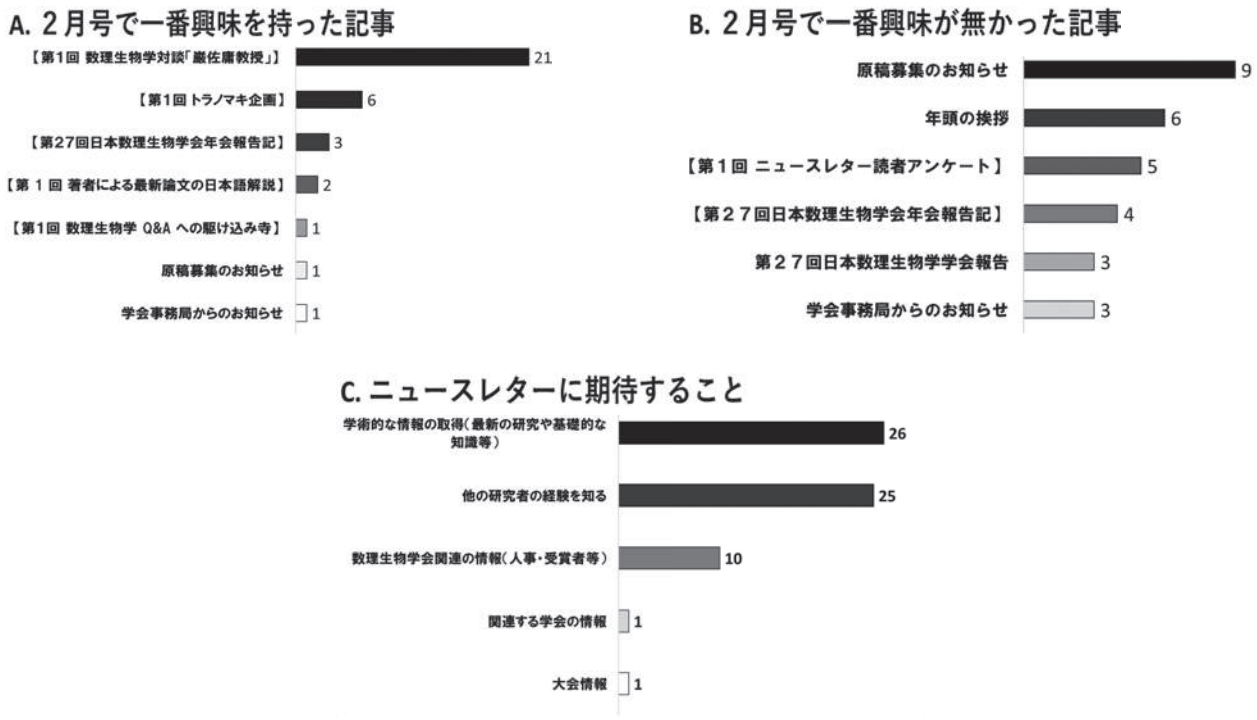


図２　No.84の感想と今後ニュースレターに期待すること

4.　2月号の記事について

2月号で一番興味を持った記事が数理生物学対談で60%を占め、トラノマキ企画、日本数理生物学会年会報告記が続きました（図 **2,A**）。中でも一番関心の高かった記事は、今回は第１回目の企画で巌佐庸教授との対談でした。学術的な情報だけではなく、巌佐庸教授との対談は面白味があって非常に良かったとの意見がありました。対談形式にすることで読者は読みやすく、一番興味を持った方が多かったのではないかと思います。続くトラノマキ企画に関しても対談同様、第１回目の企画でした。今回はDC1/DC2/PD および海外特別研究員についての記事でした。上位２つの記事は2月号から始まった企画であり、次号以降の記事にも注目が集まると期待しています。3番目の記事は数理生物学会年会報告記でした。こちらは第27回目の企画であり、今回は新たな試みとしてランチョンセミナーを実施した内容を掲載しました。一方、2月号で一番興味が無かった記事は原稿募集のお知らせ、年頭の挨拶、読者アンケートと続きました（図 **2,B**）。数理生物学に関する学術的な情報に興味を持つ方が多いことからこのような結果になったと思われます。読者アンケートにつきましては読者の皆様の意見を発信する場として、皆様の意見をより反映していきたいです。数理生物学に関する学術的な記事以外にも興味を持って頂けるように内容の充実に取り組んでいきます。

5.　ニュースレターに求めるもの

最後に、ニュースレターに対する読者の皆様のニーズについても調査しました。最も期待された項目は、学術的な情報の提供でした。次いで他の研究者の経験を知ること、数理生物学会関連の情報（人事・受賞者等）が続きました（図 **2,C**）。この結果は2月号で一番興味を持った記事の上位の記事に反映されており、学術的な情報や研究者の情報の収集を目的にニュースレターを読む方が多いことが分かります。その他にも関連する学会の情報や大会情報を求める意見もありました。また、「学術的な情報以外の雑多な記事の中に面白いものがあるとよい。2月号では巌佐先生の２つの記事や、プレゼンのやり方の記事などは非常によかった。」との意見を頂戴しました。ニュースレターに求めるものに関しましては、記述欄に具体的な意見を書いて下さると直接的に意見を把握できるので、是非アンケート記入の際は記述して頂きたく思います。

6.　最後に

本アンケートを通じてニュースレターの実態と課題を把握できました。今後もアンケート企画を継続し、皆様のニーズに応える内容をお届けするため、編集部一同尽力して参ります。アンケートにご協力頂いた皆様、有難うございました。次回以降も多くの皆様にご協力頂けますよう、宜しくお願い申し上げます。

学会事務局からのお知らせ

1. 2018年日本数理生物学会 年次総会のお知らせ

2018年度の年次総会がSociety for Mathematical Biology (SMB) との合同大会（2018年7月8日～12日・シドニー大学）に合わせて開催されます。 詳しい日時と会場はまだ未定ですので、 追ってbiomath-MLやWebページなどでお知らせします。

■議題（予定）

（1）2020年日本数理生物学会大会について
（2）2017年度決算、 2018年度予算執行状況および2019年度予算
（3）名誉会員の推薦
（4）その他

■報告事項（予定）

（1）2019年日本数理生物学会大会について
（2）その他

2. 会費納入のお願い

日本数理生物学会の年会費は1月～12月の1年分で

正会員 3000円/年
学生会員 2000円/年

です。 会員は数理生物学会年会の登録費割引の特典を受けることもできます。 また、 会員は年会で発表することができ、 学会役員選挙において投票することもできます。 今年度または過去の会費未納の方は、 下記口座への納入をお願いいたします。

【ゆうちょ銀行の振替口座】
口座番号:00820-5-187984
口座名称(漢字):日本数理生物学会
口座名称(カナ):ニホンスウリセイブツガッカイ
【他銀行から振込】
店名(店番):〇八九(ゼロハチキュウ)店（089）
預金種目:当座口座番号:0187984

3. 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ときには、 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にお願いいたします。 つきましては、 未登録の方には、 お手数ですが、 以下のいずれかの方法でBiomathメーリングリストへご登録ください。

(1)Biomathメーリングリストに自分で登録する：
登録は本文も件名も空白の電子メールを
biomath-ml-subscribe＠brno.ics.nara-wu.ac.jp
にお送りいただくと、 確認メールが返送されます。 それに返信していただくと入会することになります。

(2)Biomathメーリングリストに登録するが、
登録作業は事務局にしてもらいたい：
登録を希望する電子メールアドレスを事務局までお知らせください。

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

http://jsmb.jp/biomath/biomath.html

に記載しております。合わせてご覧ください。

4. 事務的事項のお問い合わせについて

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

5. 事務局連絡先

幹事長　　中岡　慎治（Shinji NAKAOKA）
会計　　江夏　洋一（Yoichi ENATSU）
幹事　　佐藤　一憲（Kazunori SATO）
〒153-8505　東京都目黒区駒場 4-6-1
東京大学 生産技術研究所 3 部合原研究室 中岡慎治
E-mail: secretary@jsmb.jp

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

編集後記

10 年以上続けている事は？と聞かれると「ジョギング」と僕は答える。はじめた当初は、体重維持が目的だったジョギングだけど、今では趣味の 1 つになっている。不思議なものでジョギングをする日が続くと走らないという行為が気持ち悪くなるが、ジョギングをしない日が続くと走らない事自体が心地よくなる。人間は怠惰な生き物である、と認識する瞬間でもある。しかし、そんな僕でさえ、季節を問わず国内外の出張先にシューズとウェアを持ち歩く事にしている。研究者の世界にはストイックな人々が多く、マラソンやジョギングを続けている人は少なくはない。僕の場合は、ストイック？というよりもむしろ、初めての土地を堪能するため、あるいは、無になる時間を創るために走っている。これだけの期間、色々な土地を走っていれば、いわゆるお気に入りのコースもできる。冬の早朝の凛とした先斗町、晴れた日の目黒川沿いの歩道、昼下がりの大濠公園、休日のセーヌ川沿いや初夏のユトレヒトのカナル周りなどは大好きで、数え切れないくらい走った。

また、人生に幾度も訪れないであろう、と思えるくらい自分にとって忘れられない、特別で、素晴らしいジョギングを体験できる瞬間もあった。そのうちの一つは、共同研究者であるライルソン大学の Catherine A.A. Beauchemin 教授と壱岐島を訪れた時だった。夕日が綺麗なぽかぽかした夕方、宿の近くの誰もいない港を走っていると、晴れているのに不思議と細かな霧雨が降ってきた。夕日が小さな水滴に反射して空気全体がオレンジ色をおびて輝いている空間の中を走ることができた。もちろん初めての場所であったが、ノスタルジックな空気に包まれた記憶がある。

もう一つは、ニューサウスウェールズ大学の Miles Davenport 教授の研究室を訪問した時であった。約束した夕食までに時間があったので、サーキュラキーの東側に位置する岬であるミセスマクアリーズポイントまでジョギングをした。たった 2 〜 3 分の間だったが、そこから見える、オペラハウス、ハーバーブリッジ、ラグジュアリーホテル群と海に沈む夕日。自然と人工物のコントラストが何とも言えないくらい美しかったのを鮮明に覚えている。気持ちが完全にリセットされて、とてもリフレッシュできた。

これから 30 年以上、僕は研究を続ける事ができる、と期待しているのだが、こんな “ 至極のラン ” にあと何回出会えるのだろうか？リフレッシュした頭で常に最先端の研究ができるように、研究と共にジョギングを続けていきたいと思っている。皆様、前回の数理生物学会ニュースレターいかがでしたか？楽しんで頂けましたでしょうか？今年の数理生物学会は、日米合同大会となりシドニーでの開催ですね。参加される皆様、もし、お時間ありましたら是非ミセスマクアリーズポイントまでお散歩してみてはいかがでしょうか。

日本数理生物学会ニュースレター No.85
2018 年 5 月発行
編集委員会 委員長　岩見真吾・巌佐庸・三浦岳
siwami@kyushu-u.org
国立大学法人 九州大学
大学院理学研究院生物科学部門
〒 819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744
ウエスト 1 号館 9 階 C 棟　数理生物学研究室
発行者　日本数理生物学会
The Japanese Society for Mathematical Biology
http://www.jsmb.jp/
印刷・製本　　（株）ニシキプリント PDF 版

日本数理生物学会