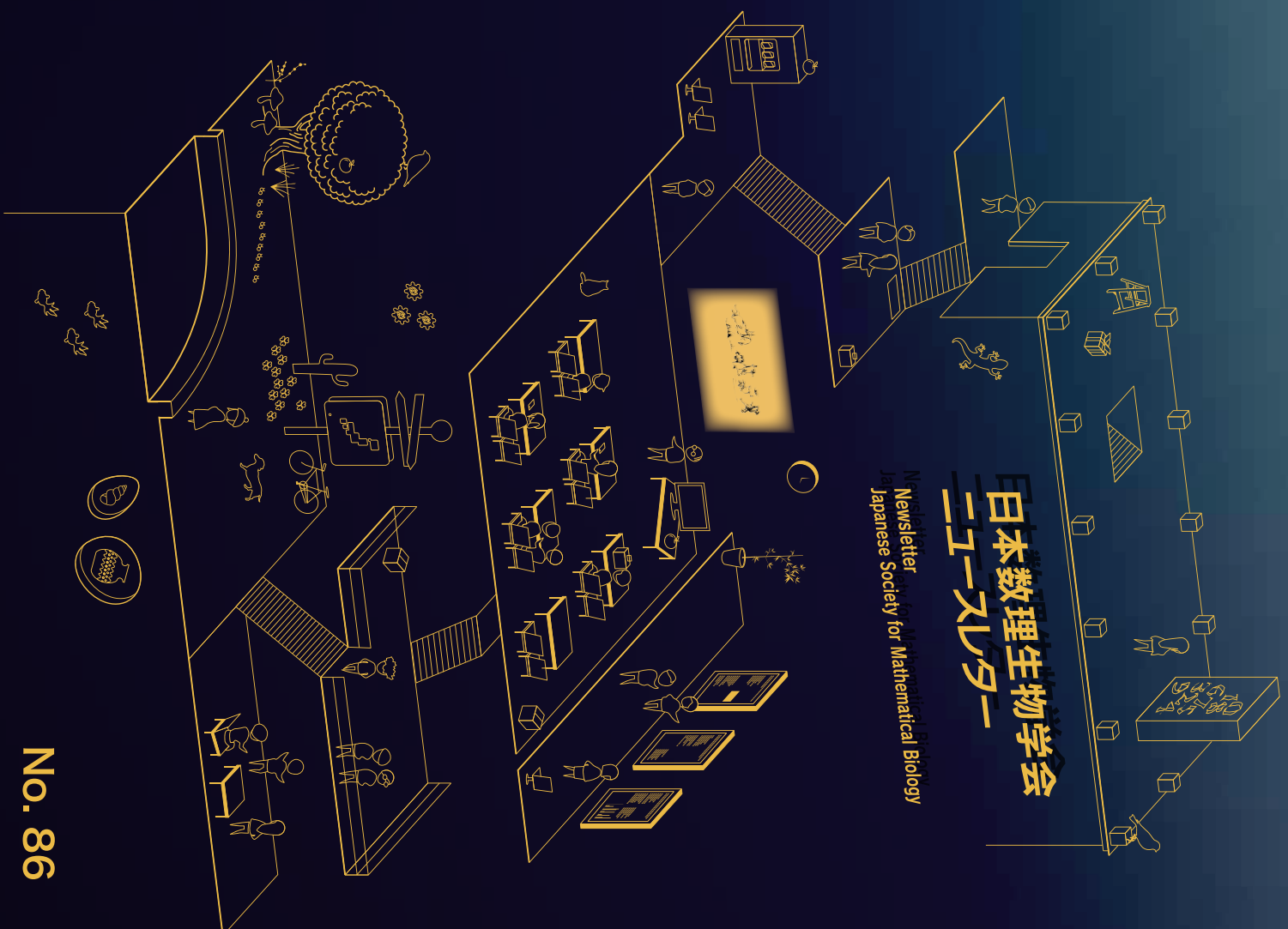


日本数理生物学会



日本数理生物学会
ニユーズレター

Newsletter
The
Japanese Society for Mathematical Biology

目次

【第1回 私と方程式】		
私とロトカ・ヴォルテラ方程式	今隆助	2
【第1回 数理生物学四方山話】		
数理人口論 30年	稲葉寿	10
【第3回 数理生物学対談「山村則男 教授」】		
数理生態学の潮流	山村則男, 岩見真吾	14
【第3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	24
【第3回 数理生物学 Q&A への駆け込み寺】		
JSPS 若手研究者海外挑戦プログラム: シドニー滞在報告記	柿添友輔	32
【報告】		
SMB - JSMB 合同大会参加記 日本数理生物学会 海外渡航支援		34
【報告】		
SMB - JSMB 合同大会参加記 新しい研究の芽を育む会 海外渡航援助		36
【報告】		
ECMTB2018 参加記		38
学会事務局からのお知らせ		39



【第1回 私と方程式】

私とロトカ・ヴォルテラ方程式

今 隆 助 *

数理生物学を研究する上で欠かせないツールとして“方程式”がある。方程式によって記述されたモデル、すなわち、数理モデルが生命現象の本質を捉えられていけば、方程式を考察することによって現象に対する理解や解釈を行うことができる。時には、現象の予測を可能にすることもある。また、同一の方程式であるが全く異なる生命現象を記述できる場合もある。本企画では、数理生物学の歴史を築くことになった重要な方程式を取り上げ、専門家の先生の独自の視点で解説して頂きます。第一回目は、宮崎大学工学教育研究部の今隆助准教授に、進化・生態学分野で広く用いられ、また、最も有名な方程式ともいえる“ロトカ・ヴォルテラ方程式”について長年の研究成果を交えて解説して頂きました。

1. はじめに

本稿では次の常微分方程式をロトカ・ヴォルテラ方程式と呼び、この方程式について紹介する。

$$\frac{dx_i}{dt} = x_i \left(r_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \right) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

ここで、 r_i, a_{ij} ($i, j=1,2,\dots,n$) は定数であり、 x_i は種 i の個体群密度を表す。 a_{ij} は種 j の密度が種 i の増殖率に与える影響を表す。 a_{ij} を (i,j) 成分にもつ正方行列 $A=(a_{ij})$ を相互作用行列と呼ぶ。 r_i は密度効果がないときの種 i の増殖率であるので、種 i の基本増殖率と呼ぶ。基本増殖率からなるベクトルを $\mathbf{r}=(r_1, r_2, \dots, r_n)^T$ とする。この方程式は、一般化ヴォルテラ方程式 [36]、ヴォルテラ系 [28]、ヴォルテラ・ロトカ方程式 [7] などと呼ばれることもある。(1) の特殊な場合である次の方程式はロトカ [19,18] とヴォルテラ [40-42] により独立に提案・研究された (歴史的な詳細は [3,12,31] など参照)。

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(r-ay) \\ \frac{dy}{dt} = y(-s+bx) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $r, s, a, b > 0$ であり、 x, y はそれぞれ被食者、捕食者の個体群密度を表す。ヴォルテラは競争系も同様

の枠組みで表現したり、(2) を (1) の形に一般化して n 種系についても研究している。一方、ロトカは競争系へも拡張できることには気づいていたが、あまり興味をもっていなかったようである [13]。このような背景から、(1) をロトカ・ヴォルテラ方程式と呼ぶことに抵抗をもつ人がいる。また、(1) に拡散項を加えた偏微分方程式や、時間遅れを含む項を加えた方程式をロトカ・ヴォルテラ方程式と呼ぶこともあるが、本項では (1) についてだけ紹介する。

2. 2 種系

数学の生物学への応用に興味をもっていたロトカは、非減衰振動を作り出すシステムとして、化学反応や捕食者と被食者の関係を (2) で表し、非減衰振動が起こることを示した。一方、すでに著名な数学者であったヴォルテラの (2) の研究は、のちに娘の夫となる海洋生物学者のダンコナの疑問から始まる。当時、ダンコナはアドリア海の水揚げ量を調査していたが、第1次世界大戦における漁業活動の中断が、捕食性の魚のみを増加させたことに気づき、この現象を数学的に説明できるかを、ヴォルテラに尋ねた。ヴォルテラは (2) を捕食性の魚とその被食者の方程式として提案し、漁業活動の中断が捕食性の魚の増加を招くことを示した。

ロトカもヴォルテラも、次の関数が (2) の保存量であることを示している。

$$V(x,y) = b \left(x - \frac{s}{b} \ln x \right) + a \left(y - \frac{r}{a} \ln y \right) \quad (3)$$

実際、第1象限に初期値をもつ (2) の解を $(x(t), y(t))^T$ とすると、

$$\frac{d}{dt} V(x(t), y(t)) = 0$$

が成り立つ。また、 V のグラフの形状から、正平衡点 $(\frac{s}{b}, \frac{r}{a})^T$ を囲む周期軌道が無数に存在することがわかり、第1象限に初期値をもつ解はすべて周期解となることがわかる。よって、(2) で表されるシステムは非減衰振動を作り出すことがわかる。ヴォルテラはさらに解の時間平均が正平衡点の座標に次のように一致することを示している。

$$\frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = \frac{s}{b}, \quad \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt = \frac{r}{a}$$

*宮崎大学工学教育研究部

ここで、 T は周期解の周期を表す。漁業活動の中断は r の増加と s の減少に対応するので、その場合、捕食者の平均個体数は増加し、被食者の平均個体数が減少することになり、ダンコナが見つけた現象を説明することができる。

(2)を少し変更して

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(r - \alpha x - ay) \\ \frac{dy}{dt} = y(-s + bx - \beta y) \end{cases} \quad (4)$$

としよう。ただし、 $\alpha > 0, \beta \geq 0$ とする。(3)をすこし変更し、

$$V(x, y) = b(x - x^* \ln x) + a(y - y^* \ln y)$$

としよう。ただし、 $(x^*, y^*)^\top$ は(4)の正平衡点である。このとき、 V はリアプノフ関数となり、正平衡点は存在すれば第1象限で大域漸近安定となることが示され、非減衰振動は起こらないことがわかる。また、正平衡点が存在しない場合には、 (x^*, y^*) を x 軸の平衡点 $(\frac{r}{\alpha}, 0)^\top$ とすれば、 V はリアプノフ関数となり、平衡点 $(\frac{r}{\alpha}, 0)^\top$ が大域漸近安定になることが示される。

2種間の競争を表すロトカ・ヴォルテラ方程式は次のようになる。

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_1(r_1 - a_{11}x_1 - a_{12}x_2) \\ \frac{dx_2}{dt} = x_2(r_2 - a_{21}x_1 - a_{22}x_2) \end{cases} \quad (5)$$

ここで、 $r_1, r_2, a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22} > 0$ であり、 x_1, x_2 は競争関係にある2種の個体群密度を表す。ヴォルテラもロトカもこの方程式を研究しているが、ロトカの(5)の研究への貢献度は(2)の研究ほどではなく、むしろガウゼのほうが貢献度が高いため、ハッチンソン[11]は(5)を(2)と同様にロトカ・ヴォルテラ方程式と呼ぶことに抵抗を感じているようである。[13]はヴォルテラ・ガウゼ方程式と呼ぶ方が適当であるとしている。(5)の振る舞いはよく知られている通り、次の5つの場合にわけられる。ただし、(a), (b)の不等号において等号は同時には成立しないとする。

$$\begin{aligned} (a) \quad & \frac{r_1}{a_{11}} \geq \frac{r_2}{a_{21}}, \frac{r_2}{a_{22}} \leq \frac{r_1}{a_{12}} & (b) \quad & \frac{r_1}{a_{11}} \leq \frac{r_2}{a_{21}}, \frac{r_2}{a_{22}} \geq \frac{r_1}{a_{12}} \\ (c) \quad & \frac{r_1}{a_{11}} < \frac{r_2}{a_{21}}, \frac{r_2}{a_{22}} < \frac{r_1}{a_{12}} & (d) \quad & \frac{r_1}{a_{11}} > \frac{r_2}{a_{21}}, \frac{r_2}{a_{22}} > \frac{r_1}{a_{12}} \\ (e) \quad & \frac{r_1}{a_{11}} = \frac{r_2}{a_{21}}, \frac{r_2}{a_{22}} = \frac{r_1}{a_{12}} \end{aligned}$$

(e)の場合、直線 $0 = r_1 - a_{11}x_1 - a_{12}x_2 (= r_2 - a_{21}x_1 - a_{22}x_2)$ 上の点がすべて平衡点であり、第1象限に初期値をもつ解は初期値に依存してこの直線上の点に収束する。(a)–(d)の場合において、平衡点 $E_0 = (0, 0)^\top$ 、 $E_1 = (\frac{r_1}{a_{11}}, 0)^\top$ 、 $E_2 = (0, \frac{r_2}{a_{22}})^\top$ 、正平衡点 $E_+ = (x_1^*, x_2^*)^\top$ の安定性は次のようになる。

	E_0	E_1	E_2	E_+
(a)	U	S	U	–
(b)	U	U	S	–
(c)	U	U	U	S
(d)	U	S	S	U

ここで、 S は漸近安定を、 U は不安定を表す。(d)のとき、漸近安定な平衡点が2つ(E_1 と E_2)存在するので、このような状況は双安定といわれる。 E_1 と E_2 の吸引域の境界は E_0 の不安定多様体と E_+ の安定多様体となることが示せる。ヴォルテラ[41,42]は資源が1種類のときには、(a), (b)の場合しか起こらず、2種は共存できないことを明らかにしている。正平衡点 $E_+ = (x_1^*, x_2^*)^\top$ が存在し漸近安定なら、

$$V(x_1, x_2) = a_{21}(x_1 - x_1^* \ln x_1) + a_{12}(x_2 - x_2^* \ln x_2)$$

がリアプノフ関数となり、正平衡点は第1象限で大域漸近安定であることが示せる。また、 x_1^*, x_2^* を一般に $0 = r_1 - a_{11}x_1^* - a_{12}x_2^* = r_2 - a_{21}x_1^* - a_{22}x_2^*$ の解とし、 $d_1 = a_{21}, d_2 = a_{12}$ とすると、

$$V(x_1, x_2) = - \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 d_i a_{ij} (x_i - x_i^*)(x_j - x_j^*) \quad (6)$$

は(5)のリアプノフ関数となる。この V の性質から、解は必ずいずれかの平衡点に収束することが示せる(6節参照)。

$n=2$ のとき、(2)の捕食者・被食者系や(5)の競争系の他にも、共生系を考えることができる。 $n=2$ のとき、一般に(1)は孤立周期軌道をもたない[9]。また、(1)は変数変換により、 n 単体上のレプリケータ方程式と軌道同値な方程式に変換される(8節参照)。2単体上のレプリケータ方程式のダイナミクスはE.C. ジーマン[43]により完全に分類されているので、2次元のロトカ・ヴォルテラ方程式のダイナミクスについても、完全に分類されていると言える。

方程式(2)はコルモゴロフ[14]によって

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_1 g_1(x_1, x_2) \\ \frac{dx_2}{dt} = x_2 g_2(x_1, x_2) \end{cases}$$

と一般化され、極限周期軌道の存在条件が与えられている。この条件は、[21,22]にも紹介されているので有名であるが、正確ではないことも知られている[1,2,33]。(1)を次のように一般化した方程式はコルモゴロフ方程式と呼ばれ、生態系モデルの重要な枠組みの1つとなっている。

$$\frac{dx_i}{dt} = x_i g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

3. 3種系

3次元のロトカ・ヴォルテラ方程式の中でも、 r と A が次のように与えられる場合は重要である。

$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} -1 & -\alpha & -\beta \\ -\beta & -1 & -\alpha \\ -1 & -\alpha & -\beta \end{pmatrix}$$

ただし, $0 < \beta < 1 < \alpha$ とする. このような \mathbf{r} , A をもつ ロトカ・ヴォルテラ方程式をメイ・レオナルド方程式という. どの2種も競争関係にあり, 競争のタイプは2節の(a)または(b)に対応する. したがって, どの2種も2種だけにされたとき, 共存することはない. しかし, 3種では共存することがある. メイ・レオナルド方程式は座標軸上の平衡点 $E_1 = (1, 0, 0)^\top$, $E_2 = (0, 1, 0)^\top$, $E_3 = (0, 0, 1)^\top$ を結ぶヘテロクリニックサイクルをもつ. これは $\alpha + \beta > 2$ のとき漸近安定で, $\alpha + \beta < 2$ のとき不安定である. また, $\alpha + \beta < 2$ のときには正平衡点 $\frac{1}{1+\alpha+\beta}(1, 1, 1)^\top$ が大域漸近安定になる.

次節を見るとわかるように, 3次元のロトカ・ヴォルテラ方程式のダイナミクスを分類するのは難しい. しかし, 競争系に限定すればある程度分類することができる. 次の一般的な常微分方程式

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

に対して,

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_j} < 0 \quad (i \neq j)$$

が領域 $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ で成り立つとき, (8) を Ω 上の競争系という (競争系に関しては [6, 34] などを参照). ロトカ・ヴォルテラ方程式の場合には,

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_j} = x_i a_{ij} \quad (i \neq j)$$

であるから, 相互作用行列 A の非対角成分がすべて負であれば, 上の意味で (1) は $\text{int}\mathbb{R}_+^n$ 上の競争系である. ここで, \mathbb{R}_+^n , $\text{int}\mathbb{R}_+^n$ を次のように定義しておく.

$$\mathbb{R}_+^n = \{(x_1, x_2, \dots, x_n)^\top \in \mathbb{R}^n : x_1 \geq 0, \dots, x_n \geq 0\}$$

$$\text{int}\mathbb{R}_+^n = \{(x_1, x_2, \dots, x_n)^\top \in \mathbb{R}^n : x_1 > 0, \dots, x_n > 0\}$$

特に, $r_i > 0, a_{ij} < 0$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$) とすると, (1) は原点以外の \mathbb{R}_+^n 上の軌道をすべて吸引するコンパクトな不変超曲面 Σ をもつ. このような不変超曲面 Σ を環境単体という. ロジスティック方程式の環境収容力を一般化した概念である. 原点以外の \mathbb{R}_+^n 上の点から出発した軌道は Σ に引き寄せられるので, この場合, (1) の漸近挙動は Σ 上の軌道を調べれば十分である. Σ の次元は $n-1$ であるから, 調べなければいけない方程式の次元が1つ下がることになる. $n=3$ のとき, 環境単体は曲面となるので, 平面系に対して使えるポアンカレ・ベンディクソンの定理やベンディクソン・デュラックの判定法などが使える. このような競争系の性質を使い, M.L. ジーマン [44] (E.C. ジーマンの御令嬢) は3種競争系のロトカ・ヴォルテラ方程式のダイナミクスの分類を試みている. しかしながら, 2次元

の場合と異なり孤立周期軌道をもつことがあり, さらにそのような周期軌道が複数存在し得ることも知られている [10]. そのため, 完全な分類には至っていない.

4. カオス

一般に3次元以上の常微分方程式の解はカオスのような複雑な振る舞いを示すことがある. ヴァンス [39] は3次元のロトカ・ヴォルテラ方程式が非周期的な振動を示すことを見つけている. 論文には “Figure D shows that this process continues in a series of quasi-cycles ... I do not know whether the trajectory approaches a truly periodic stable limit cycle.” と書かれている. ギルピン [5] はヴァンスが示した解を3次元相空間上に描き直し, アトラクターの形状からオットー・レスラーが調べていたスパイラルカオスとの関係について言及している. アトラクターの形状を立体的に見せるために, 論文でステレオグラムが用いられているのは興味深い. その後, ポアンカレ断面の形状を調べるなどし, 複雑な振る舞いを作り出す数学的なメカニズムが研究されている ([23, 24, 29, 30] 参照).

符号関数 $\text{sgn}(x)$ を

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & (x > 0) \\ 0 & (x = 0) \\ -1 & (x < 0) \end{cases}$$

と定義し, 行列 $A = (a_{ij})$ に対しても $\text{sgn}(A) = (\text{sgn}(a_{ij}))$ としよう. ヴァンス [39] がカオスを発見したロトカ・ヴォルテラ方程式の \mathbf{r} と A は次の符号パターンをもつ.

$$\text{sgn}(\mathbf{r}) = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}, \quad \text{sgn}(A) = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

この3種系は2種の被食者とそれらを捕食する捕食者からなる系である. ロトカ・ヴォルテラ方程式の \mathbf{r} と A が次の符号パターンをもつ場合は, 田辺・難波 [38] がカオスを発見している.

$$\text{sgn}(\mathbf{r}) = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix}, \quad \text{sgn}(A) = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

この3種系はギルド内捕食を含む捕食者・被食者系である.

5. 正平衡点の安定性

すべての成分が正のベクトルを正ベクトルという. (1) の正平衡点は次の等式をみたす正ベクトル \mathbf{x}^* である.

$$\mathbf{r} + A\mathbf{x}^* = \mathbf{0}$$

したがって, A が正則であれば, \mathbf{x}^* は

$$\mathbf{x}^* = -A^{-1}\mathbf{r}$$

と一意に求まるので, A が正則であれば (1) は複数の正平衡点をもつことはない.

正平衡点における (1) のヤコビ行列 $J(\mathbf{x}^*)$ は

$$J(\mathbf{x}^*) = \text{diag}(\mathbf{x}^*)A$$

となる. ここで, $\text{diag}(\mathbf{x}^*)$ は \mathbf{x}^* の成分を対角成分とする対角行列である. 行列 $J(\mathbf{x}^*)$ は群集行列と呼ばれる. 群集行列が安定であれば, 正平衡点は漸近安定である. ただし, 正方行列が安定であるとは, その固有値がすべて負の実部をもつことをいう. \mathbf{x}^* はもちろん \mathbf{r} に依存するので, 群集行列の安定性は相互作用行列だけでは決まらない. しかし, 正平衡点 \mathbf{x}^* がベクトル $(1, 1, \dots, 1)^\top$ のスカラー倍のときには, 群集行列 $J(\mathbf{x}^*)$ の安定性は相互作用行列 A の安定性だけで決まる. 例えば, メイ・レオナルド方程式の場合, 群集行列 $J(\mathbf{x}^*)$ の安定性は A だけで決まる.

相互作用行列が群集行列の安定性に与える影響を明確にするためには, 次の D 安定性を考えると良い.

【定義 1】 正方行列 A が D 安定であるとは, すべての対角成分が正であるような任意の対角行列 D に対して, DA が安定であることをいう.

$\text{diag}(\mathbf{x}^*)$ はすべての対角成分が正の対角行列であるから, A が D 安定であることと, $J(\mathbf{x}^*) = \text{diag}(\mathbf{x}^*)A$ が D 安定であることは同値である. 2 次正方行列 $A = (a_{ij})$ が D 安定になるための必要十分条件は

$$\det(A) > 0 \text{ かつ } \begin{cases} a_{11} \leq 0, a_{22} < 0 \text{ または} \\ a_{11} < 0, a_{22} \leq 0 \end{cases}$$

となる. したがって, この条件を満たす相互作用行列をもつ (1) の群集行列は安定である. 逆に, 相互作用行列がこの条件を満たさないなら, 正平衡点をうまく選べば (1) の群集行列を不安定化させることができる.

相互作用行列のネットワーク構造が群集行列の安定性に与える影響を明確にするには, 符号安定性を考えると良い. そこで, 行列 A と同じ符号パターンをもつ行列の集合を $\mathcal{Q}(A) = \{B : \text{sgn}(B) = \text{sgn}(A)\}$ と定義しておく.

【定義 2】 正方行列 A が符号安定であるとは, 任意の行列 $B \in \mathcal{Q}(A)$ が安定であることをいう.

$\text{sgn}(\text{diag}(\mathbf{x}^*)A) = \text{sgn}(A)$ であるから, A が符号安定であることと, $J(\mathbf{x}^*) = \text{diag}(\mathbf{x}^*)A$ が符号安定であることは同値である. 符号安定性に関して, 次の必要十分条件が知られている.

【定理 1】 対角成分がすべて負の正方行列 A が, 符号安定であるための必要十分条件は次の 2 つの条件が成り立つことである.

- A の長さ 2 のサイクルの符号はすべて負である (相異なるすべての i, j に対して $a_{ij}a_{ji} < 0$).
- A は長さ 3 以上のサイクルをもたない ($k \geq 3$ である相異なるすべての i_1, i_2, \dots, i_k に対して $a_{i_1 i_2} a_{i_2 i_3} \cdots a_{i_k i_1} = 0$).

自己密度依存は多かれ少なかれ存在するであろうから, 相互作用行列 A の対角成分がすべて負であることを仮定するのは自然であろう. A が条件 (a) を満たすなら, 2 種間の相互作用はすべて捕食者・被食者関係か, $a_{ij} > 0, a_{ji} = 0$ や $a_{ij} < 0, a_{ji} = 0$ という一方的な関係しか許されない. また, 2 種間の相互作用を捕食者・被食者関係に限定した場合, 循環的な食物網ネットワークは許されない.

例えば, 符号パターンが (9) のようになる行列 A の長さ 2 以上のサイクルは次の 3 つである (A の符号付有向グラフを描くとわかりやすい).

$$a_{12}a_{21} > 0, \quad a_{12}a_{23}a_{31} > 0, \quad a_{21}a_{13}a_{32} > 0$$

これらの符号から A は符号安定ではないので, A の成分の大きさを調整することで, 群集行列を不安定化させることができる. 実際, 5 節で紹介したように正平衡点は不安定化し, ホップ分岐を起こしたあとカオスのような非周期振動を引き起こす. (10) の場合, 行列 A の長さ 2 以上のサイクルは次の 2 つである.

$$a_{12}a_{23}a_{31} > 0, \quad a_{13}a_{32}a_{21} < 0$$

よって, A は符号安定ではないので, A の成分の大きさを調整することで, 群集行列を不安定化させることができる.

次節で紹介するように, 定理 1 の条件は正平衡点が漸近安定であることを保証するだけではなく大域漸近安定性であることも保証する.

6. リアプノフ関数

関数 V が微分可能であるとし, (8) に対して, 関数 \dot{V} を $\dot{V}(\mathbf{x}) = (\nabla V(\mathbf{x}))^\top \mathbf{f}(\mathbf{x})$ と定義する. $\mathbf{x}^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)^\top$ を (1) の平衡点とする. 次の関数 V はしばしばヴォルテラのリアプノフ関数と呼ばれる.

$$V(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n d_i (x_i - x_i^* \log x_i)$$

ただし, $d_i > 0$ ($i = 1, 2, \dots, n$) とする. この関数は (3) をヴォルテラが一般化したものである. \dot{V} を計算すると,

$$\dot{V}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} (\mathbf{x} - \mathbf{x}^*)^\top (DA + A^\top D) (\mathbf{x} - \mathbf{x}^*)$$

となるので, 次のような行列のクラスが大切であることがわかる.

【定義 3】 正方行列 A が VL 安定であるとは, 対角成分がすべて正の対角行列 D が存在して, $DA + A^\top D$ が負定値対称行列になることをいう.

VL 安定 (Volterra-Liapunov 安定) な行列は対角安定, ディシパティブ [41, 42], S_W [37] ともいわれる. ヴォルテラのリアプノフ関数の性質から A が VL 安定であれば, (1) の正平衡点は存在すれば $\text{int}\mathbb{R}_+^n$ で大域漸近安

定である。2次正方行列 A が VL 安定となるための必要十分条件は $a_{11} < 0, a_{22} < 0, \det(A) > 0$ である。VL 安定であれば D 安定であることがわかる。

符号安定性を定義したときと同様に、定性的 VL 安定行列を考えよう。

【定義 4】 正方行列 A が定性的 VL 安定であるとは、任意の $B \in Q(A)$ が VL 安定であることをいう。

定性的 VL 安定性に関して、次の必要十分条件が知られている。

【定理 2】 対角成分がすべて負の正方行列に対して、定性的 VL 安定であることと符号安定であることは同値である。

次の関数 V はしばしばマッカーサーのリアプノフ関数と呼ばれる。

$$V(\mathbf{x}) = -(\mathbf{x} - \mathbf{x}^*)^\top DA(\mathbf{x} - \mathbf{x}^*)$$

ここで、 D は対角成分がすべて正の対角行列であり、 \mathbf{x}^* は $\mathbf{r} + A\mathbf{x}^* = \mathbf{0}$ の解である。この関数は (6) を一般化した関数で、[20] に登場する。 DA が対称行列であるとき \dot{V} を計算すると、

$$\dot{V}(\mathbf{x}) = -2 \sum_{i=1}^n d_i x_i \left(r_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \right)^2 \leq 0$$

となる。したがって、対角成分がすべて正の対角行列 D が存在し、 DA を対称行列にできるなら、(1) の解はいずれかの平衡点に収束することがわかる。

7. パーマネンス

4 節で紹介したように、3次元以上のロトカ・ヴォルテラ方程式はカオス的な解をもちえる。そのため、漸近挙動を明らかにすることは難しい。しかしながら、生物の共存可能性だけを議論したい場合には、次のパーマネンスという性質を調べるだけで良い。

【定義 5】 (1) がパーマネンスであるとは、次のような正定数 $\delta > 0, D > 0$ が存在することをいう： $\text{int}\mathbb{R}_+^n$ に初期値をもつ任意の解 $\mathbf{x}(t)$ が次を満たす。

$$\delta < \liminf_{t \rightarrow \infty} x_i(t) \leq \limsup_{t \rightarrow \infty} x_i(t) < D \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

パーマネンスは永続的ともいわれる [32]。また、(1) がパーシステンスまたは存続的であるとは、 $\text{int}\mathbb{R}_+^n$ に初期値をもつ任意の解 $\mathbf{x}(t)$ が

$$\liminf_{t \rightarrow \infty} x_i(t) > 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

を満たすことをいう。パーマネンスと異なり、パーシステンスであるためには、 $\text{int}\mathbb{R}_+^n$ に初期値をもつ任意

の解が $t > 0$ で有界である必要はない。また、下極限 $\liminf_{t \rightarrow \infty} x_i(t)$ は、初期値を変えるごとに、どんなに小さくてもかまわない。パーシステンスの定義において、下極限を上極限 $\limsup_{t \rightarrow \infty} x_i(t)$ に置き換えたものが成り立つとき、(1) は弱意のパーシステンスであるという。さらに、パーシステンスの定義において、各解の下極限が初期値に無関係な正定数 $\delta > 0$ よりも大きい場合、一様パーシステンスであるという。まとめると、

$$\begin{aligned} \text{パ} &\Leftrightarrow \forall \mathbf{x} \in \text{int}\mathbb{R}_+^n, \forall i, \liminf_{t \rightarrow \infty} x_i(t) > 0 \\ \text{弱意のパ} &\Leftrightarrow \forall \mathbf{x} \in \text{int}\mathbb{R}_+^n, \forall i, \limsup_{t \rightarrow \infty} x_i(t) > 0 \\ \text{一様パ} &\Leftrightarrow \exists \delta > 0, \forall \mathbf{x} \in \text{int}\mathbb{R}_+^n, \forall i, \liminf_{t \rightarrow \infty} x_i(t) > \delta \end{aligned}$$

となる。ただし、「パ」はパーシステンスを表す。定義から分かるように、次のような関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} \text{パーマネンス} &\Rightarrow \text{一様パーシステンス} \\ &\Rightarrow \text{パーシステンス} \Rightarrow \text{弱意のパーシステンス} \end{aligned}$$

(1) がいずれかの性質をもつとき、どの生物種の個体群密度も $t \rightarrow \infty$ で零に収束することはないという意味で、生物の共存が保証される。しかし、パーマネンスや一様パーシステンスはある意味でロバストな生物の共存を保証する。例えば、 $r_i = a_{ij} = 0$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$) なら、 \mathbb{R}_+^n 上のすべての点が (1) の平衡点となり、(1) はパーシステンスであるが、一様パーシステンスではない。このとき、摂動がどれほど微小でどれほど稀であっても、摂動がある限り個体群密度は零にいくらでも近づくことがある。しかし、パーマネンスや一様パーシステンスであれば、 δ は初期値に依存しない定数であるから、微小な摂動が稀にしか加わらないなら、生物の絶滅は起こらない。マルサス方程式

$$\frac{dx}{dt} = rx \quad (11)$$

は、一様パーシステンスだがパーマネンスではない。(2) はパーシステンスだが一様パーシステンスではない。また、 $\alpha + \beta > 2$ のとき、漸近安定なヘテロクリニックサイクルをもつメイ・レオナルド方程式は、弱意のパーシステンスであるがパーシステンスではない。また、上の4つの概念は、方程式に対する性質であり、方程式の1つ1つの解に対する性質ではないことに注意しよう。

(1) のパーマネンスの十分条件として、次のものが知られている。

【定理 3】 (1) は散逸的であるとする。このとき、正ベクトル \mathbf{p} が存在して、任意の境界平衡点 \mathbf{x}^* に対して

$$\mathbf{p}^\top (\mathbf{r} + A\mathbf{x}^*) > 0$$

が成り立つなら、(1) はパーマネンスである。

8. 同値な方程式

次の常微分方程式はレプリケータ方程式といわれる。

$$\frac{dy_i}{dt} = y_i((By)_i - \mathbf{y}^\top By) \quad (i=1,2,\dots,n+1) \quad (12)$$

ここで, $(By)_i$ はベクトル By の第 i 成分を表す. 行列 B は利得行列と呼ばれ, y_i はゲームをするプレイヤーのうち戦略 i をとっているプレイヤーの頻度を表す. そのため, n 単体

$$S_{n+1} = \{\mathbf{y} \in \mathbb{R}_+^{n+1} : y_1 + y_2 + \dots + y_{n+1}\}$$

の上で (12) を考える. ロトカ・ヴォルテラ方程式 (1) は

$$\begin{aligned} y_i &= \frac{x_i}{1+x_1+x_2+\dots+x_n} \quad (i=1,2,\dots,n) \\ y_{n+1} &= \frac{1}{1+x_1+x_2+\dots+x_n} \end{aligned} \quad (13)$$

と変数変換すると, (12) と軌道同値な方程式に変換される [7]. 得られるレプリケータ方程式の利得行列は

$$B = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & r_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & r_2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} & r_n \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

となる. どのようなレプリケータ方程式もその利得行列 B の $n+1$ 行目が零となるように変形できる. \mathbb{R}_+^n から $S_{n+1} \setminus \{y_{n+1}=0\}$ への変換 (13) は逆変換

$$x_i = \frac{y_i}{y_{n+1}} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (14)$$

をもつので, S_{n+1} 上のレプリケータ方程式は \mathbb{R}_+^n 上のロトカ・ヴォルテラ方程式へ変換される. S_{n+1} の面 $y_{n+1}=0$ は \mathbb{R}_+^n の無限遠に対応する. したがって, (1) を (12) に変換することによって, (1) の無限遠における振る舞いが取り扱いやすくなる. そのため, レプリケータ方程式の面 $y_{n+1}=0$ の安定性を調べることで, ロトカ・ヴォルテラ方程式の散逸性を調べることができる. この性質により, ロトカ・ヴォルテラ方程式の散逸性を保証する相互作用行列のクラスである \mathbf{B} 行列とよばれる行列のクラスが定義される.

ロトカ・ヴォルテラ方程式 (1) の原点以外の \mathbb{R}_+^n 上の点を初期値とする軌道を考えよう. そのような軌道を原点から放射線状に平面 $x_1+x_2+\dots+x_n=1$ へ射影する. \mathbf{r} が $(1,1,\dots,1)^\top$ のスカラー倍であるとき, $x_1+x_2+\dots+x_n=1$ に射影された軌道は A を利得行列としてもつ S_n 上のレプリケータ方程式がもつ軌道と一致する. したがって, 変数変換 (14) を用いると, $n-1$ 次元のロトカ・ヴォルテラ方程式に変形され, 次元を1つ下げることができる. 例えば, メイ・レオナ

ルド方程式は S_3 上のレプリケータ方程式に変形して考えるとわかりやすい.

1 回繁殖型レスリー行列モデルは基本再生産数が 1 に十分近いとき, $\mathbf{r} = (1,1,\dots,1)^\top$ で A が巡回行列のロトカ・ヴォルテラ方程式 (1) で近似できることが知られている [4,15,16].

9. 離散時間版

$n=1$ のとき, (1) はロジスティック方程式になる. 実際, $n=1$ のとき, $x=x_1, r=r_1, K=-r_1/a_{11}$ とすると, (1) から

$$\frac{dx}{dt} = r \left(1 - \frac{x}{K}\right) x \quad (15)$$

を得る. これをオイラー法で離散化しよう. $x(t)$ を (15) の解とすると, $\frac{dx(t)}{dt} = r \left(1 - \frac{x(t)}{K}\right) x(t)$ が成り立つので, $\frac{dx(t)}{dt}$ を $\frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t}$ と書き換え, $x_k = x(k\Delta t)$ とおくと,

$$x_{k+1} = x_k + r\Delta t \left(1 - \frac{x_k}{K}\right) x_k$$

が得られる. 変数変換 $\frac{r\Delta t}{(1+r\Delta t)K} x_k \rightarrow x_k, 1+r\Delta t \rightarrow a$ を用いると,

$$x_{k+1} = ax_k(1-x_k) \quad (16)$$

が得られる. これはロジスティック写像と呼ばれる. カオスの発見において重要な役割を果たした. この方程式を n 種系へと拡張することもできる. しかし, \mathbb{R}_+^n が正不変とならないため, (1) の離散時間版の方程式としてはあまり好まれない.

(15) を解くとわかるように, (15) の解 $x(t)$ は

$$x(t+\Delta t) = \frac{x(t)Ke^{r\Delta t}}{K + (e^{r\Delta t} - 1)x(t)}$$

を満たす. $x_k = x(k\Delta t)$ とおき, $\lambda = e^{r\Delta t}, a = (\lambda - 1)/K$ とすると,

$$x_{k+1} = \frac{\lambda x_k}{1 + ax_k}$$

が得られる. これはベバートン・ホルト方程式と呼ばれる. ロジスティック写像とは異なり, 解はすべて平衡点に単調に収束する. この方程式を n 種系へと拡張した次の方程式は, しばしば (1) の離散時間版の方程式として扱われることがある.

$$x_{i,k+1} = \frac{\lambda_i x_{i,k}}{1 + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{j,k}} \quad (i=1,2,\dots,n)$$

ただし, $\lambda_i > 0, a_{ij} > 0$ ($i, j=1,2,\dots,n$) である. これはレスリー・ガワー方程式と呼ばれる n 種競争系である.

マルサス方程式 (11) の解 $x(t)$ は

$$x(t+\Delta t) = x(t) \exp(r\Delta t)$$

を満たすので, $x_k = x(k\Delta t)$ とおけば,

$$x_{k+1} = x_k \exp(r\Delta t)$$

を得る。ロジスティック方程式 (15) は (11) の r を $r(1 - \frac{x}{K})$ に置き換えたものであるとみて、 $r\Delta t \rightarrow r$, $r\Delta t/K \rightarrow a$ とすれば、離散時間版の方程式は

$$x_{k+1} = x_k \exp(r - ax_k)$$

となる。これはリッカー方程式と呼ばれる。この方程式を n 種系へと拡張した次の方程式も、しばしば (1) の離散時間版の方程式として扱われることがある。

$$x_{i,k+1} = x_{i,k} \exp\left(r_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{j,k}\right) \quad (i=1,2,\dots,n)$$

この方程式はレスリー・ガワー方程式とは異なり、競争系だけでなく捕食者・被食者系や共生系も表現できる。また、解の長時間平均が平衡点の座標に一致するというロトカ・ヴォルテラ方程式がもつ特徴と同様の特徴をもつ。そのため、定理3と同様の定理が成り立つ。

他にも、ニコルソン・ベイリー方程式

$$\begin{cases} N_{k+1} = \lambda N_k \exp(-aP_k) \\ P_{k+1} = cN_k \{1 - \exp(-aP_k)\} \end{cases}$$

が (2) の離散時間版として扱われることがある。

10. おわりに

本稿で述べたロトカ・ヴォルテラ方程式に関することの多くは [9] にまとめられている。[9] は [8] の構成を変えただけでなく、[9] には載っていないが [8] には載っていることもあるので注意が必要である。また、[9] の原本には載っていないが、その訳本には載っていることもある。他にも、ロトカ・ヴォルテラ方程式に関する重要な本としては [17,31,35] がある。[25,27,32] にもわかりやすくロトカ・ヴォルテラ方程式に関する結果がまとめられている。ニュースレターでは中岡慎治さんがロトカ・ヴォルテラ方程式を紹介している [26]。

ニュースレター編集長の岩見真吾さんから「私とロトカ・ヴォルテラ方程式」というタイトルで原稿を依頼された。「私と」の部分を書き添えておく。私がロトカ・ヴォルテラ方程式を初めて知ったのは、学部3年生のとき、当時室蘭工業大学にいらした佐藤一憲先生の授業を受けていたときである。授業では進化遺伝学に関するテキストを輪読した。テキストには競争系のロトカ・ヴォルテラ方程式が紹介されていた。常微分方程式に関しては初等解法やその力学への応用ぐらいしか知らなかったので、ロトカ・ヴォルテラ方程式の意味や、相平面を用いた解析、結果の解釈など新鮮に感じた。室蘭工業大学の図書館には当時静岡大学にいらした竹内康博先生が翻訳された [8] の訳本が置いてあり、その中にもロトカ・ヴォルテラ方程式を見て

いたと思う。大学院修士課程時代はロトカ・ヴォルテラ方程式の専門家である竹内先生に指導を受けた。竹内先生のロトカ・ヴォルテラ方程式に関する著書 [35] がちょうど出版された頃である。また、大学院博士課程時代に、ちょうど [9] が出版され、それをセミナーで輪読した。[9] の翻訳も静岡大学で行われていた。大学院在学中に、[17] の著者であるロゴフェット先生が静岡大学のセミナーで講演されていたのを記憶している。博士課程3年のときには、巖佐庸先生が代表をされていたプロジェクトの予算で、1ヶ月間、[8,9] の著者の1人であるウィーン大学のホッフバウアー先生の元で研究することができた。また、長いポストドク時代にも、そこで2年間研究することができ、ロトカ・ヴォルテラ方程式についての多くを学ぶ機会を得た。静岡大学の関係者で企画されていたイッキ読み合宿セミナーでは、[31] をイッキ読みした。[31] は20世紀前半に出版されたロトカやヴォルテラ、コスティッチンたちの原著を英訳しそれらをまとめたものであり、[31] をイッキ読みすることにより当時の様子を知ることができた。本稿では、これまでに学んだことをまとめたが、内容に偏っているところがあると思う。参考文献をなるべく載せたので参考にしてほしい。

参考文献

- [1] F. Albrecht, H. Gatzke, A. Haddad, and N. Wax. The dynamics of two interacting populations. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 46:658–670, 1974.
- [2] F. Albrecht, H. Gatzke, and N. Wax. Stable limit cycles in prey-predator populations. *Science*, 181:1073–1074, 1973.
- [3] N. Bacaër. *A Short History of Mathematical Population Dynamics*. Springer, 2011.
- [4] O. Diekmann and S. A. van Gils. On the cyclic replicator equation and the dynamics of semelparous populations. *SIAM J. Appl. Dyn. Syst.*, 8:1160–1189, 2009.
- [5] M. E. Gilpin. Spiral chaos in predator-prey model. 113(2), 1979.
- [6] M. W. Hirsch and H. Smith. Monotone dynamical systems. In *Handbook of Differential Equations: Ordinary Differential Equations*, volume 2, pages 239–357, 2006.
- [7] J. Hofbauer. On the occurrence of limit cycles in the Volterra-Lotka equation. *Nonlinear Analysis-Theory Methods & Applications*, 5(9):1003–1007, 1981.
- [8] J. Hofbauer and K. Sigmund. *The Theory of Evolution and Dynamical Systems: Mathematical Aspects of Selection*. Cambridge University Press Cambridge, 1988. (竹内康博 (翻訳), 生物の進化と微分方程式, 現代数学社, 1990)
- [9] J. Hofbauer and K. Sigmund. *Evolutionary Games and Population Dynamics*. Cambridge University

- Press, Cambridge, 1998. (竹内康博, 宮崎倫子, 佐藤一憲 (翻訳), 進化ゲームと微分方程式, 現代数学社, 2001)
- [10] J. Hofbauer and J. So. Limit cycles for three dimensional lotka-volterra equations. *Applied Mathematics Letters*, 7(6):64–70, 1994.
- [11] G. E. Hutchinson. *An Introduction to Population Ecology*. Yale University, 1978.
- [12] S. Kingsland. *Modeling Nature*. The University of Chicago Press, 1995.
- [13] S. Kingsland. Alfred J. Lotka and the origins of theoretical population ecology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(31):9493–9495, 2015.
- [14] A. N. Kolmogorov. Sulla teoria di Volterra della lotta per l'esistenza. *Giornale Istituto Ital. Attuari*, 7:74–80, 1936.
- [15] R. Kon. Non-synchronous oscillations in four-dimensional nonlinear semelparous leslie matrix models. *Journal of Difference Equations and Applications*, 23(10):1747–1759, 2017.
- [16] R. Kon. Stable bifurcations in multi-species semelparous population models. In *Advances in difference equations and discrete dynamical systems*, volume 212 of *Springer Proc. Math. Stat.*, pages 3–25. Springer, Singapore, 2017.
- [17] D. Logofet. *Matrices and Graphs: Stability Problems in Mathematical Ecology*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 1993.
- [18] A. J. Lotka. Undamped oscillations derived from the law of mass action. *Journal of the American Chemical Society*, 42:1595–1599, 1920.
- [19] A. J. Lotka. Analytical note on certain rhythmic relations in organic systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 6(7):410–415, 1920.
- [20] R. MacArthur. Species packing and competitive equilibrium for many species. *Theoretical Population Biology*, 1(1):1–11, 1970.
- [21] R. M. May. Limit cycles in predator-prey communities. *Science*, 177(4052):900–902, 1972.
- [22] R. M. May. *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton University Press, 1973.
- [23] M. Mimura and Y. Kan-on. Predation-mediated coexistence and segregation structures. In H. Takaaki Nishida, Masayasu Mimura, editor, *Patterns and Waves*, pages 129–155. Kinokuniya, Kinokuniya.
- [24] 森田喜久, 生物モデルのカオス, 朝倉書店, 1996
- [25] 中島久男, 群集構造の安定性, 日本数理生物学会 (編, 瀬野裕美責任編集), シリーズ数理生物学要論, 巻1, 「数」の数理生物学, 共立出版, 2008
- [26] 中岡慎治, Lotka-Volterra 方程式, 日本数理生物学会 ニュースレター, 83, 17–18, 2017.
- [27] 難波利幸, 種間相互作用と群集動態の理論, 佐藤宏明・山本智子・安田弘法 (編), 群集生態学の現在, 京都大学出版, 2001
- [28] R. Redheffer and Z. Zhiming. Global asymptotic stability for a class of many variable Volterra prey-predator systems. *Nonlinear Analysis, Theory, Methods and Applications*, 5(12):1202–1209, 1981.
- [29] W. M. Schaffer. Order and chaos in ecological systems. *Ecology*, 66(1):93–106, 1985.
- [30] W. M. Schaffer and M. Kot. Differential systems in ecology and epidemiology. In A. V. Holden, editor, *Chaos*, pages 158–178. Princeton University Press, Princeton, 1986.
- [31] F. Scudo and J. Ziegler. *Lecture Notes in Biomathematic*, volume 22 of *Lecture notes in Biomathematics*. Springer, 1978.
- [32] 重定南奈子, 数理生態学, 甘利俊一他 (編), 生命・生物科学の数理, 岩波書店, 1993
- [33] K. Sigmund. Kolmogorov and population dynamics. In E. Charpentier, A. Lesne, and N. Nikolski, editors, *Kolmogorov's Heritage in Mathematics*, pages 177–186. Springer, 2007.
- [34] H. L. Smith and P. Waltman. *The Theory of the Chemostat: Dynamics of Microbial Competition*. Cambridge University Press, 1995.
- [35] Y. Takeuchi. *Global Dynamical Properties of Lotka-Volterra Systems*. World Scientific Publishing Co., Inc., River Edge, NJ, 1996.
- [36] Y. Takeuchi, N. Adachi, and H. Tokumaru. The stability of generalized Volterra equations. *J. Math. Anal. Appl.*, 62(3):453–473, 1978.
- [37] Y. Takeuchi, N. Adachi, and H. Tokumaru. Global stability of ecosystems of the generalized Volterra type. *Math. Biosci.*, 42(1-2):119–136, 1978
- [38] K. Tanabe and T. Namba. Omnivory creates chaos in simple food web models. *Ecology*, 86(12):3411–3414, 2005.
- [39] R. R. Vance. Predation and resource partitioning in one predator-two prey model communities. *The*, 1978.
- [40] V. Volterra. Fluctuations in the abundance of species considered mathematically. *Nature*, 118:558–560, 1926.
- [41] V. Volterra. Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi. *Memoria della Regia Accademia Nazionale dei Lincei*, 6(2):31–113, 1926.
- [42] V. Volterra. Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi. *Memorie del R. Comitato Talassografico italiano, Memoria*, 131:1–142, 1927.
- [43] E. C. Zeeman. Population dynamics from game theory. In Z. Nitecki and C. Robinson, editors, *Global Theory of Dynamical Systems*, volume 819 of *Lecture Notes in Mathematics 819*, pages 471–497. Springer, 1980.
- [44] M. L. Zeeman. Hopf bifurcations in competitive three-dimensional Lotka-Volterra systems. *Dynam. Stability Systems*, 8(3):189–217, 1993.

【第1回 数理生物学四方山話】

数理人口論 30 年

稲葉寿*

四方山話（よもやまばなし）とは、方々の話、種々雑多な話、つまり、世間話という意味です。数理生物学会で様々な分野を牽引してきて下さった先生方に登場して頂いて、まさに“数理生物学の四方山話”に花を咲かせて頂きましょう。その様な新しい企画です。記念すべき第一回目は、感染症疫学の数学理論が構築されていく時代をまさに間近で見られて、また、日本における『感染症の数理』の第一人者である東京大学大学院数理科学研究科の稲葉寿教授にご寄稿頂きました。

1. はじめに

昨年4月にシュプリンガーから拙著 Hisashi Inaba. (2017). *Age-Structured Population Dynamics in Demography and Epidemiology*. Springer. を出版した。ニュースレター編集部からおすすめを戴いたので、この機会に同書の成り立ちと、それにまつわる思い出を書かせていただいて、紹介とさせて頂きたい。本書は2002年に東京大学出版会から出した和書「数理人口学」の英訳として始め構想された。「数理人口学」は年齢構造化人口モデルと感染症数理モデルを扱った邦書としてははじめてのもので、2004年に日本人口学会賞も受賞したが、長い間在庫がはず、その後同分野が広く認知されたとも思えないので、あまり「数理人口学マニフェスト」として成功したとは言えなかったのは残念であった。実は80年代末に、Mathematical Demography に関心を持つ人口学者が協力して国際雑誌 *Mathematical Population Studies* を創刊したのだが、30年たってみると、当初の期待に反して、どうやらサバイバルしてはいるものの、発展したとは言い難い。純粋な人口学の数理モデル分野は研究分野としてそもそもあまり肥沃ではなかったというべきか。ただそれと対照的に、感染症数理モデルは世界的に爆発的に発展した。数理生物学会などでも研究者が増えてきたことについては一定の貢献ができたかと思っている。また同書の構想そのものはミンモ・イアネリの有名なモノグラフ（これは2014年に拡大日本語版「人口と感染症の数理」を共著として東大出版から出版した）から多くの着想を得ているのは付言しておきたい。

*東京大学大学院数理科学研究科

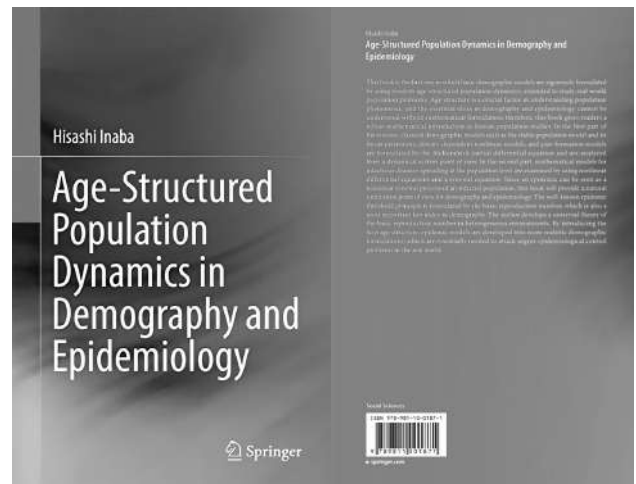


図1 人口学関連書籍として出版されたため「赤い」本となった本書

2. 出版の経緯

さて、「数理人口学」出版直後に、恩師の Odo Diekmann 教授（ユトレヒト大学）から「英訳しては」という話しが来て、プリンストン大学出版局（プリンストン UP）を紹介された。今も続いていると思うけど、サイモン・レビン教授監修のプリンストンモノグラフシリーズの一冊としてどうか、という話しであった。当時レビン教授から、「ネイティブでない人間が英訳するのは大変だが、お前だいじょうぶか?」「ほら、このメールのお前の英語、もうおかしいぞ」というメールをもらって苦笑したことを思い出す。悪気はないと思うが、どうもディスカレッズなメールであった。東大出版とプリンストンの話しは順調に進み、英訳の契約をおこない、多少の一時金ももらった。それがいまから15年くらい前の話である。その後、毎年英訳の努力は続けたが、その間にも理論は日進月歩、自分の思想も変わってきて、なかなか脱稿に至らないまま、あっという間に10年以上の歳月が過ぎてしまった。今から思うと、全部自分でやらないで、費用をかけても下訳にだせばよかったのだが、後の祭り。一方、自分でやっていたおかげで内容は格段に改善して、翻訳ではなく事実上の新版になったことは良かったとおもうのだが、そのためにますます作業は遅れ、エンドレスの様相を呈してきた。その間、プリンストンの担当編

集者も何代も変わったが、毎年「進捗状況はどうか」というメールのやりとりをしていたので、じつは当初の契約期間を過ぎていたと思うのだが、まあ大丈夫だろうと思っていた次第である。しかしこのままではいけないということで、数年前に意を決して脱稿して、プリンストンに送ってみた。実は「こんなもんでどうか」という予備的な打診のつもりでネイティブチェックなどはまだだったが、先方はすぐにレビューに回してしまった。結果は賛否両論であったが、プリンストンUPの判断は、出版不可であった。理由はレビュー内容ではなく、「契約期限が過ぎてる」ということで、唾然とした。毎年催促のメールをしてきてそれはないだろう、と思ったが、これがビジネスというものか、たった一通のメールで10数年の関係は終わった。一応「とても遺憾に思う」という嫌みはいつておいたが、おそらく実際の理由は、売れそうもない、ということであったろう。シュプリンガーやエルゼビアのような巨大な商業出版と違って、大学出版部は経営的に厳しいのであろうと思う。原稿はそのまま店ざらしかと思っただが、たまたま人口学会での欧文シリーズ出版の相談で来訪されたシュプリンガー・ジャパンの平地さんに事情を話したところ、是非出版したいというお話。とんとん拍子に審査は進んでようやく日の目を見たわけであった。ただし、人口学分野の書籍とされたために、社会科学書としての出版となったのはご愛敬である。しかしこれも今おもうと、怪我の功名といおうか、自分の思想的発展からすれば良かったのではないかと思っている。つまり、厳密な応用数学というよりは、Population Scienceという対象科学こそが主題だからである。

3. 数理人口学の30年

本書の内容についてはシュプリンガーのHPなどで序文・目次を読んでもいただければわかると思うので、ここでは繰り返さず、本書の背景になった数理人口学の過去30年の発展について話しておきたい。

ぼくが1982年に京都大学を卒業して人口問題研究所の研究者になったとき、数理人口学とよべるほどのものは何もなかったし、そういう研究ができることを期待していたわけでもなかった。多少の数学が使えて、社会問題の解決に貢献できればいいぐらいの気持ちの腰掛け研究者だった。バブル経済の前、まだ高度成長の夢の余韻が残る80年代前半は、人口問題研究そのものが、いわば忘れられた分野であって、研究所の入居する霞ヶ関の旧海軍省ビルにはほんとにぺんぺん草がはえていた。当時の文献としては、KeyfitzやCoale古い70年代のテキストしかなく、勃興してきた多状態人口学には数学的基礎が欠けていた。おかげで、そのギャップを埋めるのが最初の仕事になった。84年に機関誌に書いた最初の論文をよむと、関数空間の発展作

用素として人口過程を考察したいという思想が書かれている。結局、その路線でいままで来たわけで、初発の理念というのは変わらないものらしい。思想はあれど方法論がなかったが、豈図らんや、ちょうどWebb, Song, Metz and Diekmannの本が85~86年前後にでてきて、関数解析的アプローチを学べた。

山口昌哉先生の紹介で、ライデンとアムステルダムで、Diekmannのもとで学位研究を始めたのは1988年夏だが、その時点での構造化個体群ダイナミクスの理論的成果の頂点は、Metz and Diekmannの編著とWebbのモノグラフだった。当時のDiekmannたちの研究の焦点は、いまではsun and star calculusといわれている共役空間を経由して、非線形摂動をもつ発展方程式を半線型問題として扱う枠組みだった。ある日、サボ(木靴)をはいた風変わりな数学者がやってきて、sun and starを使わずに、稠密でないドメインをもつ微分作用素の半群生成定理を活用して非線形境界値問題を処理できる、という話しをアムステルダムのCWI (entrum Wiskunde & Informatica)でした。それがHorst Thiemeとの最初の出会である。彼とはそのときが初対面だったが、その前に東京で僕の弱エルゴード性論文に関する懇切丁寧なレビューの手紙を受け取っていた。一見すると愛想なしだが、実は非常に親切な男である。一方、感染症数理モデルは、Diekmannの学位論文以来の関心事で、Hans Metz, Hans Heesterbeekと共同のセミナーを定期的に行きながら、後にモノグラフになる感染症数理モデルの基礎的な概念構築をおこなっていた。building blocksと呼ばれたその当時の草稿の一部は、今でも手元に残っている。その最初の成果は1990年にJournal of Mathematical Biology(JMB)にでた有名な基本再生産数の定義に関する論文である。これ以降、感染症数理モデルは彼等の概念をもとにして発展したのであるから、まさに画期的だった。

ライデン時代にぼくがやったのは、ひとつは年齢構造化SIR感染症モデルの解析で、これはある日、Diekmannと図書室で会ったときに渡されたDavid Greenhalghの論文がきっかけである。当時Greenhalghは年齢構造化SIRモデルに関していくつものペーパーを出していたが、そのなかで正の定常解分岐が発生する閾値のある種の正積分作用素のスペクトル半径で定義するというアイデアを出していた。この考えは、90年のDiekmann達の論文での明確な R_0 の定義へ発展するのだが、プライオリティは微妙である。たぶん独立した発見と思うが、Davidは L^2 で理論を書いていたので、生物学的意味はあまり考えていなかったのかもしれない。僕も実はDiekmann達のセミナーに出ていたが、その意義はあまりわかっていなかった。ただ L^1 が自然であるので、そこを変更して、さらに一般の(変数分離ではない)年齢依存伝達係数を考えて、Davidの

予想を証明することにした。僕の結果は Diekmann 達の「定義論文」と同じ号に掲載されたが、結果として L^1 で次世代作用素を定義して、定常解分岐とその安定性を示した最初の論文になった。いまだにぼくの論文のなかで、この論文が一番サイテーションが多いのは喜ぶべきか悲しむべきか。もう一つのテーマは漸近的に自律的になる非自律的安定人口モデルのエルゴード定理と制御問題への応用だったが、考えてみれば周期系も検討しておけばよかった。弱エルゴード定理を証明したときに、周期系に応用できることはわかっていたが、具体的なシステムに適用してみることを怠っていた。Thieme の周期系の再生定理の論文も CWI で見ていたのに、そのまま放置していた。結局、2006 年に Nicolas Bacaër が周期系の R_0 の定義を出してきて、その話しを重慶 (The First China-Japan Colloquium of Mathematical Biology, April 24-28, 2006, Southwest University, Chongqing, China) で聞いてようやく周期系の重要性に気がついたが、これまた後の祭り。その頃、Diekmann のラボでの PhD リサーチの同僚は Jan van Neerven と Hans Heesterbeek である。ヤンは半群理論の専門家になった。Heesterbeek は獣医学部教授で、感染症数理モデルの専門家になったが、彼の学位論文のタイトルは一文字「 R_0 」で、まさに building blocks セミナーの成果であった。あるとき、Kermack and McKendrick の古い論文を読むセミナーがあって、その意義のわからないぼくは居眠りしていた。10 年くらい後に基礎科学科の 4 年生とセミナーで読んで、その意義を再認識して論文を書く羽目になった。驚いたことに、1930 年代に、Kermack and McKendrick は再感染現象を捉えるモデルを考えていたのである。これは後にインフルエンザ進化モデルへ発展した。



図 2 1989 年 6 月のライン川河口への自転車旅行 (バイキング) の際の筆者と Diekmann 教授

ぼくがライデンで学位を得たのは、1989 年 11 月だったが、この年は内外共に大きな歴史の変動の年だった。日本では前年における昭和天皇の崩御によって、「平成」が始まった。6 月には中国で天安門事件がおきて、おおくの中国人学生がオランダにも亡命してきた。ベ

ルリンの壁の崩壊で冷戦が終結へ大きく動いたのが、この年のまさに 11 月である。1989 年の日本の人口動態統計は合計特殊出生率が戦後最低となったことを報じた。いわゆる「1.57 ショック」である。これが今日に至る少子化対策の原点となる政治的エポックであり、現代日本の人口問題が大きくクローズアップされることになった。一方、目立たないながら、この年の 1 月にエイズ予防法が制定された。80 年代に流行の始まった HIV/AIDS に関して、法的な対応が図られ、統計データもでてくるようになった。エイズ流行は、天然痘の撲滅 (1980 年) に象徴される戦後世界における感染症対策の楽観的見通しを粉砕して、その質的飛躍を促す分水嶺だったのである。そう思うと、平成の 30 年というのは、人口学にとっても感染症疫学にとっても、きわめて意義の深い年月だったなあ、といまさらながら思う。

1990 年の夏に帰国して厚生省人口問題研究所に復帰したときに自然に直面したのはまさにこの「二つの人口問題」、少子化とエイズ、であった。日本の少子化、つまりは出生率の低下をとらえるモデルというのは、年齢別出生率のデータフィットモデルしかなかった。ところが、婚姻出生力はあまり変化はなく、夫婦あたり二子という規範は強固だった。問題は結婚だが、安定人口モデルには結婚というファクターはない。しかし感染症の SIR モデルをやった立場からすると、ホスト人口を未婚、既婚、離婚にわけてコンパートメントモデルを作製するのは自然な発想だった。それで初婚再生産モデルを作ったところ、およそだが、初婚タイミングの遅れで出生率変動は再現できることがわかった。所内研究会で報告すると、当時の所長は「ほんとかねえ」と懐疑的だったが、同期の金子さんは「目から鱗」といつてくれた。この考え方はいまでも推計の基本になっている。もう一つの問題はエイズの感染者数推定である。当時の高橋部長に連れられて、エイズ疫学研究班の末端に連なることになったが、驚いたことに数理モデルはまるで理解されていなかった。エイズの感染者は直接観測されないので、発症者データから推定する必要がある。数学的には第一種ヴォルテラ方程式の反転問題になる。当時既に欧米では逆算法 (Back calculation) が標準的な手法として確立されていたが、疫学班では「順計算法」という独自の手法を推奨していた。しかし少し考えてみると、この手法には基本的な欠陥があることがわかった。将来推計も直線を引いただけというお粗末さで、啞然とした。順計算を批判して、安定人口モデルの応用として推計をおこなうペーパーを提出したが、全く反応はなかった。実は当時他の研究班から直線当てはめのような手法への批判はでていたのだが、外部批判を受け付けなかつたこつぽ状態はなら改善されなかったのである。日本で正統的な感染症数理モデルの現場への応用がはたさ

れるのは、10年くらい後、西浦博氏の出現をまたねばならなかった。

先に述べたように、10年くらい前に重慶での会議のうちに、Nicolas Bacaër にあって、周期系の基本再生産数の定義に出会うまで、基本再生産数について深く考えることはなかった。ハンスがなぜ、そのことばかりで論文をかくのかもよくわかっていなかった。しかし、Bacaër の論文を読んでいくと、閾値としての意義はわかるけど、Diekmann 達の「定義論文」のような世代解釈との整合性が気になりだした。いろいろ考えると、Diekmann 達の定義自体に解釈の「隙」みたいなのがあった。次世代作用素が作用する L^1 空間は時間に依存する世代分布そのものではなくて、それを時間について集計したものである。ということは、それ以前の合成積が事の本質で、それは時間依存の再生方程式を逐次的に解く場合、次世代分布をつくる積分作用素だから、それこそ次世代作用素というべきだが、そうはいえないから、世代推進作用素 (generation evolution operator: GEO) と名付けた。そうすると、一般の時間変動環境でも GEO は一意的に定義できて、そのスペクトル半径が変動環境の R_0 だと予想がつく。実際、定常環境の世代推進作用素に時間集計化をすれば、Diekmann 達の次世代作用素が得られるし、周期

化作用を施せば Bacaër の作用素が得られる。これは6年前に JMB に書いた話だが、そのときの R_0 の定義は、時間も含んだ拡張された状態空間 (時状態空間: time-state space) において GEO が作り出す n 世代目の世代分布のサイズの n 乗根の上極限というものだった。世代推進過程が弱エルゴード的であれば、この値は初期条件に依存しないで一意的に決まる。なおかつ定常系と周期系では通常の次世代作用素のスペクトル半径として計算される。

4. おわりに

本書出版の時点では、 R_0 が GEO のスペクトル半径だとは証明できていなかったのであるが、最近、Thieme が書いている一次同次系に対する基本再生産数の定義の話に利用される錐スペクトル半径の理論を見ると、僕の定義は GEO の local spectral radius として R_0 を定義したことになっていて、それは L^1 で考える限り GEO のスペクトル半径に等しいことがわかった。ということで、線型理論の範囲では時間変動環境での R_0 の定義の話は結論が出たと思っている。非線形非自律系における R_0 の役割の検討は今後の課題だろう。本書は僕の30年の決算だけど、Diekmann、Metz、Thieme、Iannelli、Webb、Gyllenberg といった偉大な先生達に捧げるオマージュでもある。FIN

【第3回 数理生物学対談「山村則男 教授」】

数理生態学の潮流

語り手 : 山村則男*

聞き手 : 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々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、第三弾では、日本の数理生態学を作り上げてきた、京都大学名誉教授の山村則男先生を直撃しました。皆様、是非お楽しみ下さい：

岩見 現在数理生物学会ニュースレターの編集長をしておりまして、今回が3号目となります。今回の対談企画は、日本の数理生態学を引っ張ってこられた山村先生のお話を聞ければと思いお願いいたしました。雑談のような感覚でお話いただければと思います。今日はよろしくお祈りします。

山村 はい、よろしくお祈りします。

岩見 先生の経歴を拝見した時にびっくりしたんですが、一番初めは物理だったんですか。

山村 そうですね、大阪の大手前高校出身で、高校で数学と物理が好きでしたから。

岩見 あ、大手前なんですか！そうなんですね、僕の友達が教師をやっていますね。進学トップ校ですよね、大手前高校って。

山村 大阪には5つか6つくらい有名校があって、年によって、というか時代によってトップが変わったりするんですけど、大手前は今はトップ校じゃないんじゃないかな。

岩見 けど四條畷とか大手前とかはいつも賢いですよね！

山村 そう、あと巖佐先生（巖佐庸：関西学院大学・

教授）の出身校の北野とかね。

岩見 あー確かに北野賢いですね。大手前って大阪城の近くですよ。見えますよね。

山村 そう、大阪城の西側で、高校のマラソン大会は大阪城を2周でしたね。

岩見 そうですね！大手前は何回か出前講義みたいな感じで行きました。それで大手前から京都大学の物理に。



図1 京都大学名誉教授 山村則男先生

山村 そうですね。その頃は、入学の時は理学部で一括でとって、3年生になるときに、希望者が各学科に所属してたんですよ。

岩見 ああ、そうでしたね。理学部全員一緒ですね。

山村 それで、定員をオーバーすると試験があったんですよ。私は物理に行ったんですけど、私が4年生の時に、ノーベル賞を受賞された湯川先生（湯川秀樹：京都大学/大阪大学・名誉教授）の退官前の一年で、先生の講義を聞いたんです。

岩見 へえーすごいですね！

生命の基本原則を物理学で説明する

山村 でもよくわからなかった。なんかもじやもじやって言いながら黒板に数式を書いて「うんうん」と自分で納得しながら進めてました。学生に理解させようという気はないようで、よくわからなかったですね（笑）。それで、物理学を色々勉強したけども、なんか

*京都大学 名誉教授

†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

もう（学問として）出来上がってしまっているように思っ

岩見 ああ、それは確かに。皆さん言われますよね。

山村 もう新しいことはあんまりないんじゃないかなと。学問の分野で、新しいことがないってことはないんだけど、大きなことはもうあんまりないんじゃないかと。その頃、物理学科に寺本先生（寺本英：京都大学・名誉教授）の生物物理の研究室が当時あって、「生命の基本原則を物理学で説明するんだ」と先生が言われるのを聞いて「あ、これは面白そうだな」と思って、そこへ行きました。

岩見 あ、そうだったんですね。

山村 それから、M1の途中で生物物理学科ができて、そこに研究室が移動したんですよ。研究室の助教授の先生は物理学科に残られて、寺本先生が生物物理学科に移られたんで、研究室メンバーも5分の3くらいは移りました。

岩見 重定南奈子先生（奈良女子大学・名誉教授）はそのときいらっしやったんですか？

山村 そう、一緒に移りました。重定さんは、僕が4年生で研究室に入ったとき、D3だったと思います。

岩見 そうなんですね！

山村 それで、生物物理に移られたときに助手になられた。

岩見 巖佐先生はもう少し後に来られたんですか？

山村 そう、巖佐さんは僕の5つくらい下です。

岩見 あ、5つも下なんですね。

山村 それから僕のと川崎さん（川崎廣吉：同志社大学・教授）が入って、そのあとに巖佐さんが入った。川崎さんの次の年からは、生物物理学科の方で学生を取るようになったんですけど、それまではどこからか移動して来たっていう学生でしたね。

岩見 錚々たる面々ですね。

架空の研究者、MUMEI TANSKY

山村 その頃、僕たちの数理生態学をやるグループってのが6人で、その6人で頭文字を合わせてMUMEI TANSKYっていう架空の著者名で論文を出してたんですよ。寺本先生はだいたいカッコいいことが好きなんですね（笑）。物理ではブルバキ（Nicolas Bourbaki：フランスの数学者集団のペンネーム。架空の数学者。）という名でよく論文が出て。著者たちの頭文字をとって、共著の論文だけれどもブルバキっていう単名にして出していました。多分それを真似されたんだと思うんだけどね。

岩見 TANSKYのTが寺本先生ですか？

山村 そう。寺本英、芦田廣（防衛医科大学校・退職）、中島久男（立命館大学・名誉教授）、重定南奈子、川崎廣吉、山村則男でTANSKYです。

岩見 なるほど。MUMEIの方は何か意味があるんですか？

山村 あ、MUMEIっていうのはね、6名という意味と、6人が迷う（六迷）という意味と、「今は無名だけど、そのうちに有名になる」という、そういう意味があったと。

岩見 うわーカッコいいですね！これで何本出されたんですか？

山村 しっかりは数えてないんだけど、5、6本はあるんじゃないかな。

岩見 すごいですね！

山村 まあ寺本先生そういうカッコいいことが好きだったからね。

岩見 カッコいいことが好きっていいですねえ。他にも、遊びが好きだったとか。

山村 そうそう。研究室で遠足とかもありましたね。

岩見 その遠足が実はずっと続いてて、巖佐先生が九大で数理生物学研究室の教授をされていた時にもあったんですよ。それで僕らもその影響で、4月か5月に遠足みたいなことしてます。

山村 そうなんだ。当時は、ハイキングに行って、昼ごはんは煮炊きを自分たちでやってた。巖佐さんもその写真を持ってるんじゃないかな。

岩見 あー、ありましたね。若かりし頃の。今でも続いていますよ、ハイキングは。

山村 スポーツもよくやってね。私はソフトボールとバレーボールをやりました。

岩見 結構激しいですね！

山村 ソフトボールは、当時の理学部の生態の研究室、白浜の臨海実験所（瀬戸臨海実験所）などの生態関係のグループの対抗戦で、春に1回または春秋で2回、ソフトボール大会やってました。バレーボールは、物理学科の研究室間でやってましたね。

岩見 へえ、楽しそうですね！生態学会はフットサルもありますよね？

山村 そうですね。ちょうど生態学会でフットサルをやったときに、僕も京大生態研センターチームに入りました。元々サッカーは高校でやってて、京大に入った時にもサッカー部に入ったけど、1週間でやめたんですよ。

岩見 えっ、なんでですか？

山村 というのは、サッカー部は授業の4コマ目から練習するので、4コマ目の講義は出られないと分かったからですね。入った頃は真面目だったから、こりゃいかんと思ってやめたんですよ。でもしばらくたつてみたら講義にあんまり出なくなったから、やめる必要はなかったんですけどね。

岩見 そういうもんですね（笑）。

山村 そのあと、30歳の時に初めて就職した佐賀医科大学（現在は佐賀大学と統合し、佐賀大学医学部と

なった)にサッカー部ができて、創設されたばかりだったから1年生しかなくて。サッカー部の人数が足りなかったの、僕も選手の一人として出たんですよ。

岩見 試合も出たんですか？

山村 出ましたよ。そりゃ正式なものには出れなかったけど、練習試合とかには。

岩見 いい時代ですね(笑)。

山村 それでしばらくやめてただけど、生態学会でフットサルが始まったので、ほぼ毎年出ました。それで、去年の3月が定年退職で最後のフットサルをやって、それで表彰してもらいましたよ(笑)。

岩見 表彰ですか！

山村 最高年齢でプレーするのも記録だし、最高年齢のゴールもあったからね。トータルで3、4点は取っているとと思うんだけどね。

岩見 おおー！すごい！さすがですね！スポーツもかなり打ち込まれてたんですね。ちなみに、数理生態学は先生方の時代に始まったと思いますが、元々どのようにして生態学に数理が持ち込まれたんですか？

山村 寺本先生は最初、生物物理学科で生体高分子を物理的に研究することによって生命現象の本質に迫る、というように考えられていたみたいだけど。

岩見 タンパク質とかからですよ。

山村 それとDNAですね。でも実際少しやってみると、なかなかそのアタックが難しかったようで。分子生物学とか遺伝子の研究が、結局生命の本質を解き明かすことに繋がって行ったと思う。それで生態学の方にシフトした。なんで生態学かという、山口先生(山口昌哉：京都大学・名誉教授)という数学の先生がおられて、物理学者が書いた生態系のことに関する論文を、寺本研究室で紹介されたんですよ。それなら新しい分野だし、先は有望じゃないかということで、生態系生態学から始まったんです。

岩見 最初はどんな論文だったんですか？

山村 私が著者となった分は私の論文リストに出てます。実は僕の退官記念の時に、CDを作ってもらったんです。これに、僕の65歳までの論文がみんな入ってるんで、それ見てもらったらわかると思います。

岩見 うわー頂いていいんですか！ありがとうございます！

山村 それで、ここ(CDのジャケット)に鳥獣戯画があるでしょ？これはね、寺本先生が本物を模写されたんですよ。

岩見 あ、そうなんですか！そういうことだったんですね！

山村 今は京都の高山寺に本物がありますけどね、どこでかは知らないけども模写されて、これを先生が色々なことに使われてて、数理生物学会のロゴみたいにもなってますね。

岩見 そこが由来なんですか。学会ホームページと

かでも使われてるので、なんで鳥獣戯画なんだろうってずっと気になってたんですよ。

山村 格好いいのが好きだっていうのと、学問ってのは遊びみたいなもので、みんなが楽しく遊ぶのがいいっていう考えもあったと思います。

岩見 なるほど、そうなんですか！

山村 私もこれに倣ってよく遊んで、私の研究室ができた時も学生さんによく遊べと指導しました(笑)。

岩見 ははは、最高ですね！ちなみに数理の人で一番初めに生態学会に行ったのは寺本先生たちなんですか？

山村 それは、巖佐さんがM1で僕がD4の頃だったと思う。僕らは、それまでは生物物理学で発表してたんですよ。だけど、「そろそろ生態学会に出にゃあかんのやないか」っていうことになって。

岩見 それで乗り込んだんですか(笑)。

山村 そうそう、生態学会に初めて行ったのは、数理生態をやり始めてから5年くらいですね。生態学会といっても、理論自体は我々が初めてやるわけではなくて、当然すでに理論はありました。データ解析に必要なモデルとか、いろんな指標を扱うものとか、成長の数理モデルとかね。だから決して(理論は)ゼロじゃなかったんで、そういう数理をやってる人を集めて、巖佐さんとシンポジウムを企画しました。いきなり行って白い目で見られるのも嫌だったので、理論の先輩の方にも参加してもらって、「我々はどういうことやりたいんですけど、どうでしょうか」という形で入っていった。

岩見 なるほど、仁義は通すんですね(笑)。

山村 そうそう、そういう感じ(笑)。

岩見 そうか〜。けど、今はもうほんと数理的手法は生態学会で一つの認められたものになってますもんね。

山村 そうですね。だから多分、仮説や理論を与えてデータを検証するような形で日本の数理生態学を発展させたのは、我々がしてきたことだという気がしますね。

岩見 すごく大きな仕事ですよ。

山村 あと、数理生物懇談会っていう、今の学会の前身があつて。

岩見 あれも一年に一回、今の学会みたいな感じであつたんですか？

山村 そうですね。で、その2年後くらいに、新しい研究の芽を育む会っていうのをやって。

岩見 あれは元々どういう経緯でできたんですか？

山村 数理生物の研究室というのが、日本では寺本研が初めてで、その後に松田先生(松田博嗣：九州大学・名誉教授)の九大の研究室ができたんですね。それでお互いに数理生物をやっている学生がいるんで、交流してたんですよ。それで行ったり来たりしてたんですけど、当時学生も貧乏でお金がなかなかないっていうので、そういう会を作って交流しようっていうのが始

まりだったように思います。

岩見 ああ、そういうことなんですね。福岡と京都をつなぐためのものだったんですね。

山村 他の大学にも個人単位で数理生物をやっている人がいたので、懇談会は研究交流の場になってました。学生の交流の資金援助ということでは、寺本先生が寄付した資金をもとにして、「新しい研究の芽を育む会」ができて。それで今、難波さん（難波利幸：大阪府立大学・名誉教授）がその会長をやってるんだけど、もうその使命は終わったってことで、もうそろそろ残ってるお金を全部使って解散しようっていうことになってますね（笑）。

数理生物学会は第2学会に

岩見 そうしたことだったんですね。知りませんでした。

山村 それから僕は、数理生物学会は第2学会にするべきやと思ってて。

岩見 なるほど。それはメイン学会があって、両方っていう意味ですよ。

山村 そう。いろんな学会のタイプがあるかもしれないけど、数理生物学会っていうのは方法論で共通点があるんで、情報交換の場としていいんだけど、やっぱり研究対象の学会に行き、実証研究をやっている人たちの話を聞くというのが重要やと。

岩見 そうですよ。重要ですよ。

山村 僕にとっては、それは生態学会とか、個体群生態学会とか動物行動学会で、そこでいろんな話を聞いて、研究のシーズの仕入れはほとんどそこでやってきた。生態学会行って面白そうな話で、理論化ができそう、あるいは理論でやってるんだけど、こうやったらもっとうまく行くんじゃないかというような話を見つけて、発表者と話をして。それを機会に共同研究をしていくというパターンが結構多かったです。だから、興味ある分野、対象でメインな学会に入って、そこで新しい話とか面白い話とか聞いて、自分もそこで発表して反応見るとということが大事やと思いますね。

岩見 なるほど。確かに。

山村 僕は何年か、数理生物学会に行かなかった時期があったんです。それは、数理生物学会に出るよりも、他の学会行ったほうがいいかなと思ってたからです。でも結局は、数理生物学会でいろんな情報とか話を聞くのも勉強になるんで、行かなあかんと思ってまた帰ってきたんですけども。

岩見 なるほど。でもそうですよね。やっぱり両方やらないとですよ。

実証研究の中にテーマがある

山村 研究対象の学会へ行っているとテーマはつきませ

んよ。実証研究の中にテーマがあると思います。数理でやれそうな問題は必ずあるはずなので。

岩見 そうですね、確かに。これからの時代は結構、いろんな学会と一緒にやらないとダメだっていうのが世間的な流れでもありますね。あと、先生は海外との共同研究も結構されてますよね。

山村 それも、国際学会の時に他人の発表を聞いて、話をして、それで共同研究をやろうとなるのが結構多い。あと、僕は35の時に初めて海外留学したんだけど、半年間メイナードスミスのところに行って、半年間カナダのベッドフォード海洋研究所に行ったんです。メイナードスミス（John Maynard Smith：サセックス大学・名誉教授、『進化的に安定な戦略（ESS）』の提唱者）のところに行った時は、進化とゲーム理論の本を執筆中で。僕もちょうどゲーム理論をやりかけてたところだったんで、自分のやってることを聞いてもらったりして、その経験がその後の研究につながっていきました。カナダでは、海洋研究所での動物プランクトンの季節消長のテーマのほかに、別の大学にヨコエビの交尾前ガードの研究してる人がいて、その最適タイミングを数理モデル化しました。その研究があとあとまずいことになって。しばらくして、イギリスの理論生態学者が、僕らがやってたことと全く同じ内容の論文を発表したんです。論文の著者とカナダの研究者は知り合いだったみたいで、そこから話が漏れたんじゃないかなという気もしますが、真相はわかりません。

岩見 それはひどいですね。

山村 でも、その論文はまた別の観点から作り直して、問題の論文の発展形として出版できたので、それはそれでいいかなと。

ビール片手にディスカッション

岩見 あ、それならまだ救われましたね。ちなみに、メイナードスミスの研究室ってどんな感じだったんですか？

山村 彼には自分の学生はほとんどいなくて、研究室に他の大学の人がどんどんやってくるんですよ。みんなメイナードスミスに話を聞いてもらいたいから、話をして、セミナーやって、意見をもらって、参考になったと言って帰っていくっていうのが多かったですね。

岩見 へえ、そういうスタイルなんですね。

山村 はい。それで、5時くらいになったらみんなでパブに行くんですよ。

岩見 5時ですか！早いですね（笑）。

山村 みんなでパブに行くとね、ビールを1ポイント注文するんです。日本でいう大ジョッキかな。で、つまみはピーナッツなんだけど、その1ポイントのビールを飲む間に、ピーナッツは2、3個しか食っちゃいけ

ないんですよ（笑）。

岩見 ははは、厳しいですね（笑）！

山村 武士は食わねど高楊枝の世界でね、ビールを飲みながらディスカッションをする。だいたい研究の話をするんですけど。一番落ちて、宗教の話とか政治の話とかそれくらいで、芸能の話とか絶対出てこないですね。パブで研究の情報交換をしてるみたいです。

岩見 紳士の会ですね。5時からパブっていうイメージに反してすごい真面目ですね（笑）。

山村 それから、別の先生のホームパーティーに行った時に、「昔は木のおもちゃだったけども、最近はプラスチックのおもちゃが出てきた。これはどっちがいいか」について、ディスカッションしようということになって。ここからこっちは木組、ここからこっちはプラ組、と半分に分けて、それぞれにいい点と悪い点を言い合おうんです。そういうのでディスカッションの練習をしましたね。

岩見 デイベートみたいな感じですね。

山村 そうそう。メイナードスミスはビール好きだからね、昼も学食に行くとき、小さいサンドイッチ持って行って、1パイントのビールを飲んでた（笑）。メイナードスミスのホームパーティーに呼ばれて行ったときは、ハムがちょっとだけ置いてあって、「ミートを食べ。ミートを食べ。」っていうわけ（笑）。あとは野菜とかお菓子とかでした。

岩見 かなり質素ですね（笑）。

山村 日本みたいにいっぱいいろいろなものを食うんじゃないくて、ビールとか、冬ならホットワインを楽しんで、食後に甘いお菓子が出てくる。そんな贅沢なものは食わないで、飲みながらディスカッションを楽しむという感じだった。僕は英語は下手くそだったし、なかなか苦しい生活だったね（笑）。

岩見 確かに、かなり英語ができないと苦しいですね（笑）。

山村 それから、オックスフォード大学にハミルトン（William Donald Hamilton：包括適応度の提唱したイギリスの進化生物学者）さんを訪ねた時は、自宅に泊めてもらいました。

岩見 すごいですね！あのハミルトン！

山村 蝶々のコレクションがあって、すごい昆虫少年だったそうです。だいたい欧米では昆虫少年、昆虫コレクターってものすごい変人と見られるみたいで。

岩見 え、そうなんですか！

山村 だいたい生態学者はバードウォッチャーなんです。生態学者が日本に来て、グループでどこかに鳥を見に行くのが多い。だからその中で虫好きってのは、ファーブル（Jean-Henri Casimir Fabre：『昆虫記』で知られるフランスの博物学者）も書いてたんだけど、変人とみなされる。ハミルトンは変人で、虫好きで、すごく虫を集めてた。それで、日本に来た時に、伊藤

嘉昭（名古屋大学・名誉教授）先生が、ピュッとだとパッと開く日本の昆虫網をあげたらすごい喜んでたね（笑）。

岩見 ははは、それは喜びますね（笑）。

山村 ハミルトンもメイナードスミスも亡くなりましたけどね。

岩見 そうですね。けど本や論文はみんなが読んでますね。ハミルトンの論文はちょっと読みにくいですけどね。



図2 メイナードスミスについて語る

イギリスの博士号のレベルは一定

山村 ハミルトンの最初の包括適応度の論文を読んだけど、結局フォローできなかったね。細かい部分が難しく。そもそも、計算が正しいのかどうかもいまだによくわからないけどね。あの包括適応度の論文はドクター論文で、メイナードスミスがドクターの審査したそうです。イギリスのドクター学位のシステムは、イギリス中でその分野の専門家を3、4人選ぶ。だから、イギリスの学位はどの大学出てもおんなじレベル。ハミルトンも論文も理論生物学だから、メイナードスミスのところに当然審査が回って来て、他の審査員はよく分からなかったんだけど、メイナードスミスは「これはすごい論文だ、これは是非学位をやらないといけない」と言っただけらしい。

岩見 へえ、そうなんですか！すごいですね。それ知らなかったな。今もそういうシステムになってるんですか？

山村 なってると思いますね。学位のレベルは一定にするために。

岩見 それは確かにいいですね。外部審査員入れるっていうのは日本でもまああるけど、ちょこっとですもんね。

山村 そうそう、知り合い入れるとかね。

岩見 それはまあ、レベルも高くなりますよね。海外に行かれたのは、佐賀医大の時ですか？

山村 はい。佐賀医大には30歳から48歳まで18年い

ました。

岩見 で、その後京都の方に。

山村 そうですね。生態研センター（京都大学・生態学研究センター）に移って60歳までいて、そのあと地球研（総合地球環境学研究所）に5年いて、同志社大学に5年いて、去年の3月に退職となりました。

岩見 生態研センターに行かれた時は元々理論のグループはなかったんですか。

山村 東さん（東正彦：京都大学・在職中死去）が僕よりも3年くらい前に生態研センターに入っていました。理論が一人ではちょっとやりにくいから是非来て欲しいということで。もちろん公募で審査がありました。それで、生態研センターに僕が入った年に、大学院一年生が理論全部で4人入った。加藤元海（高知大学・講師）、若野友一郎（明治大学・専任教授）、近藤倫生（東北大学・教授）、吉山浩平（滋賀県立大学・准教授）。その次の年に瀧本岳（東京大学・准教授）が入ったと思う。最初の4人は東さんが面接したんだけど、その次の年から面接は自分でやりました。

岩見 強烈ですね！すごい人ばかりですね。

山村 その頃の生態研センターは、ものすごく人気があって受験生が結構多かったんで、入学試験の倍率も高かったですね。

岩見 名だたる人達ですね。本当に。じゃあ近藤倫生先生とか加藤元海先生とかは一番初め先生のとこだったんですね。

山村 そう。加藤と若野は僕が指導教官ということで、東さんが近藤と吉山の指導教官になりました。

岩見 三木先生（三木健：龍谷大学・教授）はだいぶ後ですか？

山村 三木さんはね、4年目ぐらいの学生かな。

岩見 中澤先生（中澤健史：成功大学・台湾）とかも先生の教え子ですか。

山村 うん、中澤くんが生態研センターで面倒を見た最後の学生。

岩見 山内先生（山内淳：京都大学・教授）はいつぐらいに生態研センターに行かれたんですか。先生がいらっしゃった後ですか。

山村 後ですね。4、5年してからじゃなかったかな。

岩見 なるほど。鏡味麻衣子先生（横浜国立大学・教授）は... あの人には理論じゃないですかね。

山村 鏡味さんは生態研センター初期の学生で、理論じゃないけど、理論グループと親しかったと思う。

岩見 一大勢力ですね、生態学の。近藤倫生先生も4月から東北大学の教授になられて、すごいですよね。

山村 はい、すごいですね。

岩見 今、三木先生が龍谷ですよ。

山村 近藤先生の後任ですね。

岩見 先生はそこから地球研に移られた後は、結構プロジェクトベースの研究みたいな感じでしたよね。モ

ンゴルの何かもされてましたね。

山村 そうそう、地球研自体が、プロジェクトだけをやる研究所で、その研究の資金は、一応一年間に何個か研究のプロジェクトが走るような形で運営費としてもらってた。今は、それはかなり減ってしまって、競争資金ベースでやってると思うんだけど、最初の頃はその資金があるんで、科学研究費になんか応募しないようになって言われてた。

岩見 バブリーですね！できてすぐ先生が行かれたんですか？

山村 いや、最初は、生態研から和田さん（和田英太郎：京都大学・名誉教授）、東さん、中西さん（中西正巳：京都大学・名誉教授）、中野さん（中野繁；京都大学・在職中死去）の4人が予定されてて。でもメキシコで事故が起こって、先生が3人亡くなりました。それで地球研に行く予定だった人が2人亡くなって、代わりに中静透（総合地球環境学研究所・特任教授）さんと谷内茂雄（京都大学・准教授）さんも行きました。僕は数年後ですね。もともと地球研には行くつもりがなかったんだけど、ちょうどモンゴルは藤田さん（藤田昇：総合地球環境学研究所・退職）がやっていたし、熱帯林は酒井章子さん（京都大学・准教授）がやったので、その二人に手伝ってもらえるってことで、モンゴルと熱帯林のプロジェクトを企画しました。

岩見 それは先生が60歳ぐらいの時ですか？

山村 ちょうど60歳、そこから5年間。地球研のプロジェクトは、環境問題といっても人間ベースの環境問題で、人間と自然の関わり合いがテーマですね。

岩見 社会科学と生態学の間みたいなの、そういう感じでしたよね。

山村 そうそう。それでモンゴルの方は藤田さんに調べてもらって、文系のメンバーを集めてもらいました。

岩見 ああ、文理融合の研究所ですもんね。

山村 大学とか研究所に勤めてる研究者をメンバーに加えて、ポスドクを募集してメンバーを揃えましたね。

岩見 モンゴルも実際に行かれたんですか。

山村 モンゴルは年に一回か二回は行ったから7、8回は行ったんじゃないかな。

岩見 すごいですね！どんな感じなんですか？僕まだ行ったことないんですけど。

山村 まず、モンゴルの食べ物には多様性が全くない。

岩見 ははは！ないんですか（笑）。何食べるんですか？肉ですか。

山村 ウランバートルだけが街だから、各国の料理のレストランとかあるんだけど、ちょっと田舎行くと何も無い。だいたい羊だけ。

岩見 あ、羊。遊牧民だから。

山村 そうそう。それで小麦粉は中国から輸入で入ってくるので、羊肉がメインの焼うどんや肉うどん、それから米も入ってくるから焼き飯とか。それにほとん

ど味をつけない。「味をつけると肉の味がわからなくて不味くなる」って、モンゴル人は言うわけですよ。

岩見 おお、辛いですね。

山村 で、羊を茹でる時も塩をちょっとだけ入れてね、もうほとんど味無しのやつで、羊が苦手な人はものすごく困ってたね。匂いもきついから、その人はもう何も食べません。

岩見 それ味は勝手につけちゃダメなんですか。

山村 田舎に行く調味料自体がないんです。置いてあったら使うけれども、置いてない。

岩見 は一、そうなんですね。あと寒いですよ、モンゴル。

山村 夏に行けば涼しくていい感じだけでも、モンゴルは1年のうちのほとんどが冬で、冬はむちゃくちゃ寒い。マイナス30度くらいになります。

岩見 マイナス30?!

山村 風が強くて吹き飛ばされるから、雪はそんなに深くなくて、うっすら積もるくらい。ものすごく寒くて凍りついているけど、放牧は冬でもやります。

岩見 ほんとですか!

山村 家畜は何を食うかという、雪の下の夏の枯れ草を掘り出して食うんですよ。

岩見 厳しいですね。人々はみんな毛皮か何かを着てるんですか?

山村 うん、羊の毛皮のコート。定住して牧場を作っている人もいるけど、ほとんど成功してないですね。結局、天候の変動が大きくて、雨も降ったり降らなかったりで、温度も湿度も変わるから、移動しないとかなかなかやっていけない。それで、遊牧になるんです。

岩見 あ、そういうことなんですね! 気候がそうだから、遊牧が発達したんですね。へえ、面白いですね!

山村 それで、ゲルっていうテントで移動していくんだけど、羊、やぎ、牛は、ゲルから毎朝、草の多い場所へ連れてって、夕方戻ってくるっていうのを繰り返して、その近辺の草がなくなったらまた次のところに移動する。馬は適当に放牧して帰ってこないんだけど、焼印が押してあって、どの辺にいるのかわかってるから、必要な時は遊牧民が連れ戻しに行きます。

岩見 すごいですね、めっちゃめっちゃラフですね(笑)。そんなんでいけるんですか、すごいですね!

山村 それで春は、馬乳酒を作るので、雌馬を連れて帰ってきて繋いでおいて、子馬も一緒にいないといけないので子馬も一緒にいて、それで絞った馬乳からお酒を作る。

岩見 馬乳酒ってどんな味するんですか?

山村 なにか酸っぱくて、なんていうかな...。

岩見 マッコリみたいな感じですか?

山村 まあそんな感じですね。あれのもうちよっと酸っぱいような感じで、そんなに濃くはないんだけど、とにかく酸っぱい。

岩見 美味しいんですか?

山村 美味しい... というより、僕はまあ飲めたという感じ(笑)。調査メンバーの中には全然飲めない人もいましたよ。

岩見 微妙なんですね(笑)。

山村 春に遊牧民のところに行くと、春だと馬乳酒が出てくるんだけど、その馬乳酒がなかなか危険で。いっぱい注いでくれて、飲むとまたすぐ入れてくれるんですよ。

岩見 なるほど、わんこそばみたいですね。

山村 よっぽど強く断らないと、どんどん注がれる。だから危険なんです(笑)。

岩見 それは恐ろしいですね(笑)。お腹壊したりはないんですか?

山村 ああ、僕は大丈夫だったけど、苦手な人は大変だったみたい。

岩見 その地球研のあと、同志社に移られたんですね。

山村 そうです。

岩見 それは重定南奈子先生の後ですか?

山村 重定さんは、寺本研のあと奈良女子大に行って、そのあと川崎さんが同志社に呼び寄せたんですよ。そのポストが、65-70歳までっていう珍しいシニアのポストで、それで重定さんが70歳で退職になるときに、僕は地球研を終えるときで、そのあとそこに行きました。

岩見 同志社はどういう雰囲気だったんですか?

山村 同志社は、やはり教育です。僕は、佐賀医大の一般教育で数学と統計学を教えました。数理生物もちょっと教えましたけど。それから次の生態研センター行ったら大学院生とポスドク。その次に同志社に行って、学部学生と付き合いしました。だから一応、全ての学生層に教育をできたので、教育の面でも多様性があって、なかなかいろんな経験ができたなあと思います。

岩見 なるほど、確かにそれは貴重な経験ですよ。

山村 同志社は私学だから、当然講義の数が多くて、週に7回とか8回とかありましたね。

岩見 週7回きついんですね(笑)。

山村 しかも卒研生が10人以上とか来る。一番多いときで16人だったかな。自分でテーマ考えられる人は「考えろ」って言いましたが、なかなか難しかったですね。それでも「自分はブリの釣りが好きだからブリをやりたい」とか、「かわいいからアライグマをやりたい」とか、そういう人もいて。そういう、動物や植物の数理モデルをテーマにしたのが半分くらい。あとはデータサイエンス。例えば、自分のクラブで野球やってたら野球のこと、テニスやってたらテニスのことをテーマにしました。

岩見 例えば野球だったらどんな解析になるんですか?

山村 例えば、日本とアメリカの野球がどう違うのか

とか、プロ野球で公式球が重くなったり軽くなったりした時に、成績がどう変わったのかとかをデータ解析する。スポーツのデータはインターネットに結構あって、割と細かいのもあるので、これを統計分析することになります。

岩見 最近っぽいですね、データマイニング。

山村 はい。主に重回帰分析をやらせてたんですよ。例えば、試合の成績がどういう要因で決まるか、つまり守備が強い方が勝つのか、攻撃が強い方が勝つのかっていうような解析です。

岩見 普段の指導はどんな感じでされていたんですか？

山村 割と放任かな。まあ、何をやりたいか聞いて、これやりたいっていうのがあればやらせます。研究室のセミナーでは、順番に発表させて質問する。それで普段はあんまり指導しない。それは、寺本先生の伝統で、セミナーで学生が発表したとき、寺本先生は、よくわからないことがあると「んーちょっと待てよ」と言って、ちゃんとした発表やったら「よし！」って言って終わりでしたね（笑）。

岩見 ははは、終わりなんですか（笑）。

山村 だからみなさん自分でやってくださいということです。学生が最初に英語の論文を書いた時にはそれは丁寧に見ました。一回丁寧に見て直すと、2回目からは自分でできるようになります。

岩見 そういう感じなんですか。

山村 話は変わりますが、佐渡にある新潟大学の朱鷺自然再生研究センターの所長を3年半くらいやりました。

岩見 え、先生がですか？

山村 そうです。

岩見 トキってあのトキですよ。鳥のトキですよ。すごいですね！それは主に何をされてたんですか？

山村 新潟大学の研究室でのディスカッションや運営の会議に出ました。研究に関しては、鳥が専門の永田さん（永田尚志：新潟大学・教授）がとったデータをもらって、時系列解析を同志社の学生にやらせましたね。今のままで行ったら将来トキは増えていくかどうか。これを確率モデルで解析しました。人工的変動と環境変動の2つを入れて、どっちが効くのかというような話です。

岩見 そうだったんですね、それはちょっと知りませんでした。

山村 トキのセンターは、学長の特定プロジェクトというか、大学にサポートしてもらってプロジェクト形式でやってたので、私はそこから給料をいくらもらってたんですよ。そんなプロジェクト形式ではいかなかったっていうことで、正式な大学の組織として改組されました。それで外部の人が所長なのは良くないということで、僕は引き上げました。

岩見 センター自体は佐渡にあるんですか？

山村 はい。センターのメンバーは佐渡に半分いて、新潟大学の新潟市のキャンパスに半分いて、両方に研究室があった。佐渡は、なかなか楽しかったですよ。

岩見 いいですね、佐渡まだ行ったことないんですよ。あれってフェリーで行くんですか？

山村 うん、水中翼船で50分くらいかな。フェリーで行くと2時間半くらいかかる。その代わり水中翼船の料金は2倍するんよね。ただ、冬は波がすごく高くなるんですよ。

岩見 ああ、日本海ですもんね。

山村 それで水中翼船はすぐに欠航になって、フェリーの方は大型なんで割といけるんだけど、それでも非常に波が高いと欠航になります。でね、月に1回か2回（佐渡島に行くの）を3年半続けたけど、新潟まで行ったのに佐渡に行けなくて引き返したことが2回ありました。

岩見 ええ！厳しいですね！

山村 だから、旅行会社も冬はなかなかツアーを組めない。すぐ欠航になるから。それで、佐渡の旅館は夏の間で一年分稼ぐ必要があるから、結構高いんですよ。

岩見 おほほ、そうなんですか。

山村 まあうまいもんは食べますけどね。

岩見 食べ物は美味しそうですね。魚介とか日本酒もいいですよ。

山村 うん、日本酒もいいんだけど、寿司屋がいいです。回転寿司もすごくて、関西の回転寿司と全然違う。ネタが2倍も3倍も大きくておんなじ値段。

岩見 えー！いいですねえ。佐渡行ってみたい。ちなみに、ここまでいろいろな所で研究を続けられてきて、これはうまくいったと思う研究とか、あるいはその逆とかってありますか？

山村 うーん、うまくいった研究はそんなに記憶していません。うまくいかないことの方がよく覚えています。レフェリーとの喧嘩で腹が立ったりもしましたね。例えば、「親による子の保護の進化」の論文。母親が子育てするか、父親が子育てするかは動物の分類群で割合が異なる。それで、なぜそういう風になるかっていうのをモデルを使って解析した。ジャーナル名は忘れたけど、投稿したら、レフェリーが「この辺を少し変えて出してくれ」って言うんで、リバイズして出したんですよ。でも、レフェリーからの2回目のコメントで、その研究は2遺伝子座単数体のモデルだから、「こんな動物はいない、これはダメだ」ってリジェクトが来たんですよ。理論的に2遺伝子座で解析するのに一番簡単なモデルは単数体モデルなので、それまでも多くの人が使ってた。普通に使われてるのになんでそんなこと言うんだって文句言ったんですけど、エディターが取り合ってくれなくて駄目になりました。それは非常に腹が立ちましたね。

岩見 確かにそうですね、みんな使ってるのに。

リジェクトされても悲観しない

山村 結局、別のジャーナルに出したら通ったので、それはそれでよかったんですけどね。包括適応度の提案者のハミルトンさんもよくリジェクトされてたようです。彼の場合は非常に独創的なことを書くので、リジェクトされる可能性も高いだろうと思いますけどね。彼に「どういう論文がリジェクトされるか」と聞くと、「どんな論文でもリジェクトされる」と。「どういう人がリジェクトされるか」と聞くと、「どういう人でもリジェクトされる」と。そう話してました。だから、リジェクトされても悲観することは全くありません。

岩見 カッコいいですね。けど、今と比べるとレビューの速度とかも相当遅かったですよね。手紙でやりとりしてましたよね。

山村 そうですね。何部かを印刷して送ってました。いつしかメールになりましたけど、初めは手紙でしたね。

岩見 僕が一番初め投稿した時は、もう全部インターネットのメールの世界でしたね。

山村 スピードが全然違いますよね。手紙の頃は、半年から1年ぐらいじーっと待ってたってこともありました。レフリーがなかなか見てくれなくて。

岩見 けど論文投稿したら「あなたの論文は投稿されました」とかそういう返事は来るんですか？それすらも来なかったですか？

山村 来た時もあつたし来ない時もありました。

岩見 それは不安ですよ。今どのプロセスなのかってのが全然わかんないですよ。今だとホームページとかマイページに行けば全部書いてるじゃないですか。

山村 そうね。今だったら、落ちたらすぐ次のジャーナルへ投稿できますね。

色んな学会に出て、色んな人と話して

岩見 そうですよ。けど、それでも100本くらいかかれていますよね、論文。

山村 うん、それは、ほとんどが共同研究で。とても楽しいんだけど、やっぱり責任があるので、それでなんとか完成させたっていうのもたくさんありますね。今までどんな論文書いてきたかって考えると、いっぱい計算したりとか、難しい理論を使ったりとか、そういうのはないんですよ。「君の研究はアイデアだけだね」って言われたこともあって。でもそれこそが僕の研究なのかなと思います。色んな学会に出て、色んな人と話して、テーマを見つけて、ちょっとした組み立てでみんなを感心させてやろうっていう。

岩見 なるほど、カッコいいですね。やっぱり色んな学会に出るのは大事ですよ。では最後にちょっと、

山村先生の研究以外の部分についてもお伺いしたいと思います。最近はどうな生活を送られてるんですか？

山村 今はね、老人大学に入学してます。

岩見 老人大学ですか？初めて聞きました。どういうところなんですか？

山村 60歳以上で入学できる大学で、各県にだいたい1つずつあると思うけど、その園芸学科に入って、野菜などを作ってます。

岩見 へえ、そういうところがあるんですね。

山村 生態学の実習みたいなものをしてる感じです。園芸だからそんなに自然なものではないですけど。

岩見 先生が受けてるんですか？

山村 はい。

岩見 先生が教える側じゃなくて学生なんですよ（笑）。

山村 そうです（笑）。生態研センターの自分の学生だった人が先生でいたりします。それからボランティア活動で、天津市の観光ガイドもやっています。月1回の料理教室も通っています。今は、朝飯と夕飯を僕が作って、家内が昼飯を作っています。まあそういう生活です。

岩見 凄いアクティブですね！今日は、数理生物の始まりの部分のお話が聞けてとても新鮮でした。ありがとうございました。

あとがき：

古いことで記憶がはっきりしないこともあり、少々事実と違うことがあるかもしれませんがお許しください。また、くだらない話で貴重な紙面を使ってしまったこともお詫びします。（山村）

【山村則男名誉教授プロフィール】

氏名：山村 則男（やまむら のりお）

職位：京都大学・名誉教授

連絡：norio.yamamura@yahoo.co.jp

生年月日：1947年2月5日

略 歴

1970年3月	京都大学理学部・物理学科卒業
1971年3月	京都大学大学院 理学研究科博士課程修了 理学博士取得
1975年4月	日本学術振興会奨励研究員
1977年4月	立命館大学理工学部非常勤講師
1978年4月	佐賀医科大学医学部助教授
1995年1月	佐賀医科大学医学部教授
1996年4月	京大学生態学研究センター教授
2007年6月	総合地球環境学研究所教授
2012年4月	同志社大学文化情報学部教授
2017年	同定年退職

業績

(英文原著論文)

1. Teramoto, E., Ashida, H., Nakajima, H., Shigesada, N., Kawasaki, K. and Yamamura, N. (1978) Switching Effect in Prey-predator System. *Journal of Theoretical Biology* 70: 263-271.
2. Yamamura, N. (1986) An Evolutionarily Stable Strategy (ESS) Model of Postcopulatory Guarding in Insects. *Theoretical Population Biology* 29: 438-455.
3. Yamamura, N. (1993) Vertical Transmission and Evolution of Mutualism from Parasitism. *Theoretical Population Biology* 44: 95-109.
4. Higashi, M., Takimoto, G. and Yamamura, N. (1999) Sympatric Speciation by Sexual Selection. *Nature* 402: 523-526.

5. Yamamura, N. (2007) Conditions under which plants help herbivores and benefit from predators through apparent competition. *Ecology* 88: 1593-1599.

など 95 編

(著書・総説)

1. 山村 則男 (1986) 『繁殖戦略の数理モデル』東海大学出版会
 2. 山村則男・早川洋一・藤島政博 (1995) 『寄生から共生へー昨日の敵は今日の友』平凡社
 3. 嶋田正和・山村則男・粕谷英一・伊藤嘉昭 (2005) 『動物生態学新版』海遊社
- など 著書 16 件 総説・解説 30 件

(賞など)

1. 第5回日本生態学会賞 2007年3月
-

【第3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*

ニュースレター編集部では、事前に依頼した30名程度の有識者および数理生物学会員の皆様（biomath-mlおよび日本数理生物学会ニュースレターNo.85にて募集）に、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調査致しました。現在、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図1のカテゴリに分類しました。

そして、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、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、有識者および数理生物学会員の皆様に合計134報を選んで頂きました。第3回トラノマキ企画では、調査により選出された全134報の数理生物学古典論文の中から選ばれた

「数理生物学古典論文必読100選」を報告致します。プロセスの概要は図1にまとめていますが、最終的にはニュースレター編集部と有識者により“被引用数”や“カテゴリ間のバランス”、“論文の年代”等を考慮して決定いたしました。

適切な論文を読み、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。これらの100選は、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ぐ数理生物学について、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上で重要な役割を果たすと考えています。また、数学や物理学、情報学出身に限らず、生命・社会科学の実験やフィールド分野出身者の多くが数理生物学分野に新規参入し、今後ますます数理生物学という学際分野の重要性が認識されることに貢献していくと思っています。

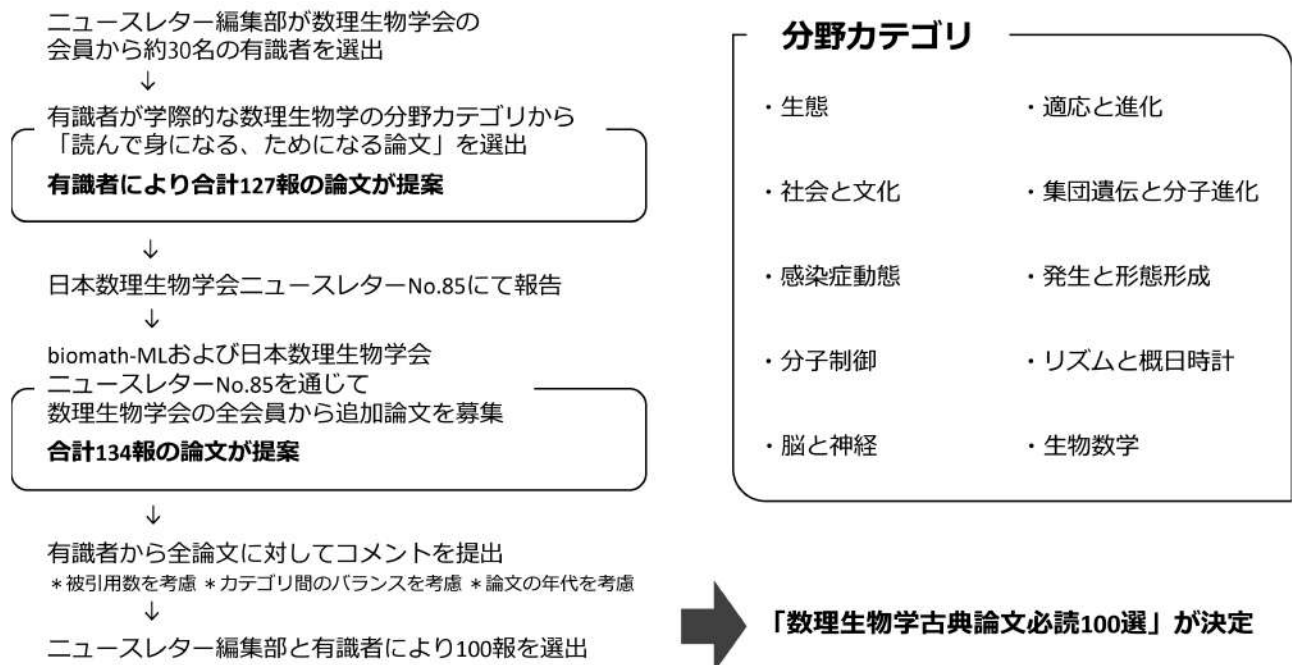
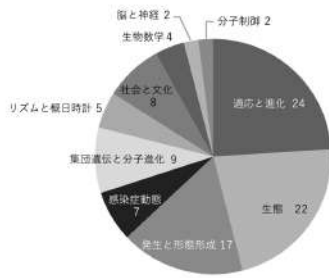


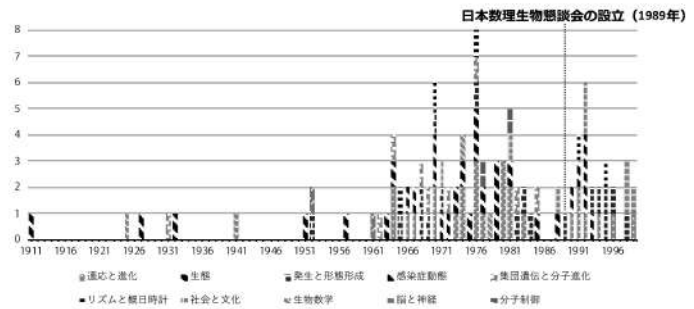
図1 「数理生物学古典論文必読100選」が決定されるまでのプロセスの概要

*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

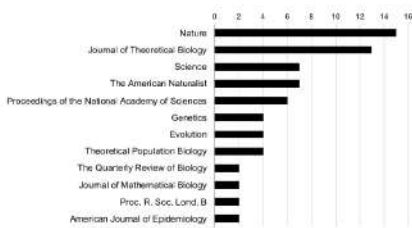
A. カテゴリ別論文数



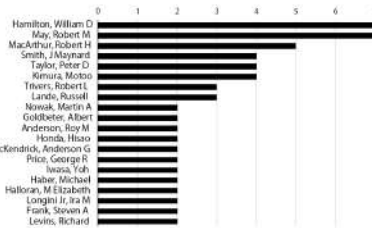
B. 論文数推移



C. 雑誌別論文数



D. 著者別論文数



E. 被引用数別論文数

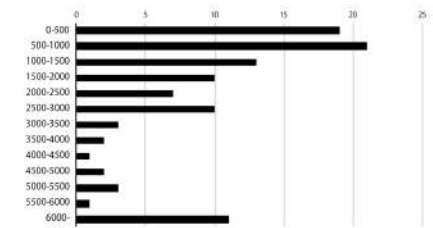


図2 最終調査で選出した「数理生物学古典論文必読100選」のA. カテゴリ別論文割合、B. 年代別論文数推移、C. 雑誌別論文数、D. 著者別論文数とE. 被引用数別論文数

「数理生物学古典論文必読100選」に関して、図Aはカテゴリ別にした論文数、図Bは選出されたカテゴリ別論文の出版年代の推移、図Cは雑誌別にした論文数、図Dは著者別の論文数を示しております。また、事前調査時の要約図に加えて、図Eの被引用数別論文数も追加しております。数理生物学が生態学や進化学を中心として、様々な学問と相互に作用することで発展してきたこともあり、多くの論文が“生態”や“適応と進化”のカテゴリに該当しています。一般誌であるNatureやScience、Proceedings of the National Academy of Sciencesから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に加えて、理論生物学のトップ誌であるJournal of Theoretical Biologyは数理生物学にとって特別な雑誌であることが分かります。

そして、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やHamilton D Williamの影響が非常に大きいことはもちろん、中立進化説の木村資生、形態形成の本多久夫、進化生態学の巖佐庸などの日本人

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。さらに、選出された論文の多くは被引用数が500を超え、中には6000を超えるまさに“歴史に名を刻む論文”も含まれていました。また、今回の調査では非常に重要な論文であっても、例えば、2000年代の論文等は“対象外”としていますので時代に依じて「数理生物学古典論文必読100選」は更新されていく必要がある、と考えております。

古典的な理論を理解し、使いこなすことで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を礎に、これからも数理生物学は、時代を象徴する次世代シークエンス解析やマルチオミックス解析などの最新技術との融合研究を展開する上で、ますます注目されていく分野になるはずで。

以上の分析を通じて、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」は以下の通りとなります。なお、複数報の一連の論文は、まとめてカウントすることに致しました。

数理生物学古典論文必読100選

生態

- [1] Sharpe, Francis R; Lotka, Alfred J.(1911) L. A problem in age-distribution. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, Taylor & Francis, 21, 124, 435-438. 引用数 : 545 件
- [2] Skellam, John Gordon.(1951) Random dispersal in theoretical populations. **Biometrika**, JSTOR, 38, 1-2, 196-218. 引用数 : 2509 件
- [3] MacArthur, Robert H.(1957) On the relative abundance of bird species. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America**, National Acad Sciences, 43, 3, 293-295. 引用数 : 1187 件
- [4] MacArthur, Robert H; Wilson, Edward O.(1963) An equilibrium theory of insular zoogeography. **Evolution**, Wiley Online Library, 17, 4, 373-387. 引用数 : 2519 件
- [5] MacArthur, Robert; Levins, Richard.(1964) Competition, habitat selection, and character displacement in a patchy environment. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America**, National Acad Sciences, 51, 6, 1207-1210. 引用数 : 897 件
- [6] Cohen, Dan.(1966) Optimizing reproduction in a randomly varying environment. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 12, 1, 119-129. 引用数 : 1247 件
- [7] MacArthur, Robert; Levins, Richard.(1967) The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. **The American Naturalist**, Science Press, 101, 921, 377-385. 引用数 : 3138 件
- [8] MacArthur, Robert.(1970) Species packing and competitive equilibrium for many species. **Theoretical Population Biology**, Elsevier, 1, 1, 1-11. 引用数 : 725 件
- [9] Simon A Levin.(1970) Community equilibria and stability, and an extension of the competitive exclusion. **The American Naturalist**, 104, 413-423. 引用数 : 584 件
- [10] Rosenzweig, Michael L.(1971) Paradox of enrichment: destabilization of exploitation ecosystems in ecological time. **Science**, American Association for the Advancement of Science, 171, 3969, 385-387. 引用数 : 1699 件
- [11] May, Robert M.(1972) Will a large complex system be stable?. **Nature**, Nature Publishing Group, 238, 5364, 413. 引用数 : 1968 件
- [12] Stewart, Frank M; Levin, Bruce R.(1973) Partitioning of resources and the outcome of interspecific competition: a model and some general considerations. **The American Naturalist**, University of Chicago Press, 107, 954, 171-198. 引用数 : 374 件
- [13] May, Robert M.(1974) Biological populations with nonoverlapping generations: stable points, stable cycles, and chaos. **Science**, American Association for the Advancement of Science, 186, 4164, 645-647. 引用数 : 1697 件
- [14] Murdoch, William W; Oaten, A.(1975) Predation and population stability. **Advances in Ecological Research**, Elsevier, 9, 1-131. 引用数 : 1540 件
- [15] May, Robert M.(1976) Simple mathematical models with very complicated dynamics. **Nature**, Nature Publishing Group, 261, 5560, 459. 引用数 : 6884 件
- [16] Charnov, Eric L.(1976) Optimal foraging, the marginal value theorem. **Theoretical Population Biology**, Elsevier, 9, 2, 129-136. 引用数 : 4881 件
- [17] Holt, Robert D.(1977) Predation, apparent competition, and the structure of prey communities. **Theoretical Population Biology**, Elsevier, 12, 2, 197-229. 引用数 : 2083 件
- [18] Shigesada, Nanako; Kawasaki, Kohkichi; Teramoto, Ei.(1979) Spatial segregation of interacting species. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 79, 1, 83-99. 引用数 : 781 件

- [19] Chesson, Peter L; Warner, Robert R.(1981) Environmental variability promotes coexistence in lottery competitive systems. **The American Naturalist**, University of Chicago Press, 117, 6, 923-943. 引用数 : 1114 件
- [20] Levin, Simon A.(1992) The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur award lecture. **Ecology**, Wiley Online Library, 73, 6, 1943-1967. 引用数 : 6608 件
- [21] Matsuda, Hirotugu; Ogita, Naofumi; Sasaki, Akira; Satō, Kazunori.(1992) Statistical mechanics of population: the lattice Lotka-Volterra model. **Progress of Theoretical Physics**, Oxford University Press, 88, 6, 1035-1049. 引用数 : 448 件
- [22] Zeeman, Mary Lou.(1993) Hopf bifurcations in competitive three-dimensional Lotka-Volterra systems. **Dynamics and Stability of Systems**, Taylor & Francis, 8, 3, 189-216. 引用数 : 201 件

適応と進化

- [23] Hamilton, William D.(1964) The genetical evolution of social behaviour. I. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 7, 1, 1-16.
Hamilton, William D.(1964) The genetical evolution of social behaviour. II. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 7, 1, 17-52. 引用数 : 17039 件
- [24] Smith, J Maynard.(1966) Sympatric speciation. **The American Naturalist**, Science Press, 100, 916, 637-650. 引用数 : 1074 件
- [25] Hamilton, William D.(1967) Extraordinary sex ratios. **Science**, Citeseer, 156, 3774, 477-488. 引用数 : 3411 件
- [26] Price, George R.(1970) Selection and covariance. **Nature**, Lond., 227, 520-521. 引用数 : 1614 件
- [27] Hamilton, William D.(1970) Selfish and spiteful behaviour in an evolutionary model. **Nature**, Nature Publishing Group, 228, 5277, 1218. 引用数 : 835 件
- [28] Smith, J Maynard; Price, George R.(1973) The logic of animal conflict. **Nature**, Nature Publishing Group, 246, 5427, 15. 引用数 : 5740 件
- [29] Trivers, Robert L.(1974) Parent-offspring conflict. **Integrative and Comparative Biology**, Oxford University Press, 14, 1, 249-264. 引用数 : 4099 件
- [30] Smith, J Maynard.(1974) The theory of games and the evolution of animal conflicts. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 47, 1, 209-221. 引用数 : 2332 件
- [31] Stearns, Stephen C.(1976) Life-history tactics: a review of the ideas. **The Quarterly Review of Biology**, Stony Brook Foundation, Inc., 51, 1, 3-47. 引用数 : 3678 件
- [32] Trivers, Robert L; Hare, Hope.(1976) Haplodiploidy and the evolution of the social insect. **Science**, American Association for the Advancement of Science, 191, 4224, 249-263. 引用数 : 1399 件
- [33] Smith, John Maynard; Parker, Geoffrey A.(1976) The logic of asymmetric contests. **Animal Behaviour**, Elsevier, 24, 1, 159-175. 引用数 : 1860 件
- [34] Hamilton, William D; May, Robert M.(1977) Dispersal in stable habitats. **Nature**, Nature Publishing Group, 269, 5629, 578. 引用数 : 1228 件
- [35] Michod, Richard E; Hamilton, William D.(1980) Coefficients of relatedness in sociobiology. **Nature**, Nature Publishing Group, 288, 5792, 694. 引用数 : 201 件
- [36] Lande, Russell.(1980) Sexual dimorphism, sexual selection, and adaptation in polygenic characters. **Evolution**, Wiley Online Library, 34, 2, 292-305. 引用数 : 1537 件
- [37] Hamilton, William D.(1980) Sex versus non-sex versus parasite. **Oikos**, JSTOR, 282-290. 引用数 : 1296 件
- [38] Lande, Russell.(1981) Models of speciation by sexual selection on polygenic traits. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, National Acad Sciences, 78, 6, 3721-3725. 引用数 : 2196 件

- [39] Iwasa, Yoh; Higashi, Masahiko; Yamamura, Norio.(1981) Prey distribution as a factor determining the choice of optimal foraging strategy. **The American Naturalist**, University of Chicago Press, 117, 5, 710-723. 引用数 : 569 件
- [40] Eshel, Ilan.(1983) Evolutionary and continuous stability. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 103, 1, 99-111. 引用数 : 582 件
- [41] Taylor, Peter D.(1990) Allele-frequency change in a class-structured population. **The American Naturalist**, University of Chicago Press, 135, 1, 95-106. 引用数 : 173 件
- [42] Pomiankowski, Andrew; Iwasa, Yoh; Nee, Sean.(1991) The evolution of costly mate preferences I. Fisher and biased mutation. **Evolution**, Wiley Online Library, 45, 6, 1422-1430. 引用数 : 413 件
- Iwasa, Yoh; Pomiankowski, Andrew; Nee, Sean.(1991) The evolution of costly mate preferences II. The “handicap” principle. **Evolution**, Wiley Online Library, 45, 6, 1431-1442. 引用数 : 728 件
- [43] Taylor, Peter D.(1992) Altruism in viscous populations an inclusive fitness model. **Evolutionary Ecology**, Springer, 6, 4, 352-356. 引用数 : 518 件
- [44] Frank, Steven A.(1994) Kin selection and virulence in the evolution of protocells and parasites. **Proceedings of the Royal Society of London B**, The Royal Society, 258, 1352, 153-161. 引用数 : 123 件
- [45] Taylor, Peter D; Frank, Steven A.(1996) How to make a kin selection model. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 180, 1, 27-37. 引用数 : 432 件
- [46] Dieckmann, Ulf; Doebeli, Michael.(1999) On the origin of species by sympatric speciation. **Nature**, 400, 354-357. 引用数 : 1553 件

社会と文化

- [47] Trivers, Robert L.(1971) The evolution of reciprocal altruism. **The Quarterly Review of Biology**, Stony Brook Foundation, Inc., 46, 1, 35-57. 引用数 : 11586 件
- [48] Axelrod, Robert; Hamilton, William Donald.(1981) The evolution of cooperation. **Science**, American Association for the Advancement of Science, 211, 4489, 1390-1396. 引用数 : 36159 件
- [49] Rogers, Alan R.(1988) Does biology constrain culture?. **American Anthropologist**, Wiley Online Library, 90, 4, 819-831. 引用数 : 527 件
- [50] Nowak, Martin A; May, Robert M.(1992) Evolutionary games and spatial chaos. **Nature**, Nature Publishing Group, 359, 6398, 826. 引用数 : 3344 件
- [51] Boyd, Robert; Richerson, Peter J.(1992) Punishment allows the evolution of cooperation (or anything else) in sizable groups. **Ethology and Sociobiology**, Elsevier, 13, 3, 171-195. 引用数 : 1342 件
- [52] Nowak, Martin A; Sigmund, Karl.(1998) Evolution of indirect reciprocity by image scoring. **Nature**, Nature Publishing Group, 393, 6685, 573. 引用数 : 2381 件
- [53] Watts, Duncan J; Strogatz, Steven H.(1998) Collective dynamics of ‘small-world’ networks. **Nature**, Nature Publishing Group, 393, 6684, 440. 引用数 : 37067 件
- [54] Barabási,Albert-László; Albert, Ré.(1999) Emergence of scaling in random networks. **Science**, American Association for the Advancement of Science, 286, 5439, 509-512 . 引用数 : 31793 件

集団遺伝と分子進化

- [55] Wright, Sewall.(1931) Evolution in Mendelian populations. **Genetics**, Genetics Soc America, 16, 2, 97-159. 引用数 : 9417 件
- [56] Kimura, Motoo.(1962) On the probability of fixation of mutant genes in a population. **Genetics**, Genetics Soc America, 47, 6, 713-719. 引用数 : 900 件
- [57] Kimura, Motoo; Crow, James F.(1964) The number of alleles that can be maintained in a finite population. **Genetics**, Genetics Soc America, 49, 4, 725-738. 引用数 : 2769 件

- [58] Kimura, Motoo.(1968) Evolutionary rate at the molecular level. **Nature**, 217, 5129, 624-626. 引用数 : 3676 件
- [59] Kimura, Motoo; Ohta, Tomoko.(1969) The average number of generations until fixation of a mutant gene in a finite population. **Genetics**, Genetics Soc America, 61, 3, 763-771. 引用数 : 599 件
- [60] Ewens, Warren J.(1972) The sampling theory of selectively neutral alleles. **Theoretical Population Biology**, Elsevier, 3, 1, 87-112. 引用数 : 2091 件
- [61] Lande, Russell.(1976) Natural selection and random genetic drift in phenotypic evolution. **Evolution**, Wiley Online Library, 30, 2, 314-334. 引用数 : 1362 件
- [62] Kingman, John FC.(1982) On the genealogy of large populations. **Journal of Applied Probability**, Cambridge University Press, 19, A, 27-43. 引用数 : 1598 件
- [63] Barton, Nicholas H; Hewitt, Godfrey M.(1985) Analysis of hybrid zones. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, 16, 1, 113-148. 引用数 : 2506 件

感染症動態

- [64] Kermack, William O; McKendrick, Anderson G.(1927) A contribution to the mathematical theory of epidemics. **Proceedings of the Royal Society of London A**, The Royal Society, 115, 700-721. 引用数 : 26 件
- Kermack, William O; McKendrick, Anderson G.(1932) Contributions to the mathematical theory of epidemics. II.The problem of endemicity. **Proceedings of the Royal Society of London A**, The Royal Society, 138, 834, 55-83. 引用数 : 5407 件
- [65] Anderson, Roy M; May, Robert M.(1979) Population biology of infectious diseases: Part I. **Nature**, Nature Publishing Group, 280, 5721, 361. 引用数 : 2745 件
- May, Robert M; Anderson, Roy M.(1979) Population biology of infectious diseases: Part II. **Nature**, Nature Publishing Group, 280, 5722, 455. 引用数 : 1005 件
- [66] Dietz, Klaus; Schenzle, Dieter.(1985) Proportionate mixing models for age-dependent infection transmission. **Journal of Mathematical Biology**, Springer, 22, 1, 117-120. 引用数 : 166 件
- [67] Anderson, Roy M; May, Robert M.(1988) Epidemiological parameters of HIV. **Nature**, 333. 引用数 : 502 件
- [68] Diekmann, Odo; Heesterbeek, Johan Andre Peter; Metz, Johan AJ.(1990) On the definition and the computation of the basic reproduction ratio R_0 in models for infectious diseases in heterogeneous populations. **Journal of Mathematical Biology**, Springer, 28, 4, 365-382. 引用数 : 2636 件
- [69] Halloran, M Elizabeth; Haber, Michael; Longini Jr, Ira M; Struchiner, Claudio J.(1991) Direct and indirect effects in vaccine efficacy and effectiveness. **American Journal of Epidemiology**, Oxford University Press, 133, 4, 323-331. 引用数 : 250 件
- [70] Halloran, M Elizabeth; Haber, Michael; Longini Jr, Ira M.(1992) Interpretation and estimation of vaccine efficacy under heterogeneity. **American Journal of Epidemiology**, Oxford University Press, 136, 3, 328-343. 引用数 : 183 件

発生と形態形成

- [71] Turing, Alan Mathison.(1952) The chemical basis of morphogenesis. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences**, The Royal Society, 237, 641, 37-72. 引用数 : 11706 件
- [72] Raup, David M; Michelson, Arnold.(1965) Theoretical morphology of the coiled shell. **Science**, American Association for the Advancement of Science, 147, 3663, 1294-1295. 引用数 : 292 件
- [73] Lindenmayer, Aristid.(1968) Mathematical models for cellular interactions in development I. Filaments with one-sided inputs. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 18, 3, 280-299. 引用数 : 2696 件

- Lindenmayer, Aristid.(1968) Mathematical models for cellular interactions in development. II. Simple and branching filaments with two-sided inputs. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 18, 3, 300-315. 引用数 : 2696 件
- [74] Wolpert, Lewis.(1969) Positional information and the spatial pattern of cellular differentiation. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 25, 1, 1-47. 引用数 : 2681 件
- [75] Keller, Evelyn F; Segel, Lee A.(1970) Initiation of slime mold aggregation viewed as an instability. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 26, 3, 399-415. 引用数 : 2244 件
- [76] Honda, Hisao.(1971) Description of the form of trees by the parameters of the tree-like body: Effects of the branching angle and the branch length on the shape of the tree-like body. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 31, 2, 331-338. 引用数 : 348 件
- [77] Cooke, John; Zeeman, Erik Christopher.(1976) A clock and wavefront model for control of the number of repeated structures during animal morphogenesis. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 58, 2, 455-476. 引用数 : 669 件
- [78] Kuhl, Frank P; Giardina, Charles R.(1982) Elliptic Fourier features of a closed contour. **Computer Graphics and Image Processing**, Elsevier, 18, 3, 236-258. 引用数 : 1629 件
- [79] Honda, Hisao.(1983) Geometrical models for cells in tissues. **International Review of Cytology**, Elsevier, 81, 191-248. 引用数 : 206 件
- [80] Kendall, David G.(1984) Shape manifolds, procrustean metrics, and complex projective spaces. **Bulletin of the London Mathematical Society**, Oxford University Press, 16, 2, 81-121. 引用数 : 1408 件
- [81] Bookstein, Fred L.(1989) Principal warps: Thin-plate splines and the decomposition of deformations. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, IEEE, 11, 6, 567-585. 引用数 : 5082 件
- [82] Glazier, James A; Graner, François.(1993) Simulation of the differential adhesion driven rearrangement of biological cells. **Physical Review E**, APS, 47, 3, 2128. 引用数 : 724 件
- [83] Niklas, Karl J.(1994) Morphological evolution through complex domains of fitness. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, National Acad Sciences, 91, 15, 6772-6779. 引用数 : 128 件
- [84] Vicsek, Tamás; Czirók, András; Ben-Jacob, Eshel; Cohen, Inon; Shochet, Ofer.(1995) Novel type of phase transition in a system of self-driven particles. **Physical Review Letters**, APS, 75, 6, 1226. 引用数 : 4973 件
- [85] Kondo, Shigeru; Asai, Rihito.(1995) A reaction-diffusion wave on the skin of the marine angelfish *Pomacanthus*. **Nature**, Nature Publishing Group, 376, 6543, 765. 引用数 : 689 件
- [86] Collier, Joanne R; Monk, Nicholas AM; Maini, Philip K; Lewis, Julian H.(1996) Pattern formation by lateral inhibition with feedback: a mathematical model of delta-notch intercellular signalling. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 183, 4, 429-446. 引用数 : 392 件
- [87] Anderson, Alexander RA; Chaplain, MAJ.(1998) Continuous and discrete mathematical models of tumor-induced angiogenesis. **Bulletin of Mathematical Biology**, Springer, 60, 5, 857-899. 引用数 : 987 件
- 分子制御**
- [88] Gillespie, Daniel T.(1977) Exact stochastic simulation of coupled chemical reactions. **The Journal of Physical Chemistry**, ACS Publications, 81, 25, 2340-2361. 引用数 : 8318 件
- [89] Goldbeter, Albert; Koshland, Daniel E.(1981) An amplified sensitivity arising from covalent modification in biological systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, National Acad Sciences, 78, 11, 6840-6844. 引用数 : 1127 件

リズムと概日時計

- [90] Goodwin, Brian C.(1965) Oscillatory behavior in enzymatic control processes. **Advances in Enzyme Regulation**, Elsevier, 3, 425-437. 引用数 : 90 件
- [91] Winfree, Arthur T.(1970) Integrated view of resetting a circadian clock. **Journal of Theoretical Biology**, Elsevier, 28, 3, 327-374. 引用数 : 359 件
- [92] Pittendrigh, Colin S; Daan, Serge.(1976) A functional analysis of circadian pacemakers in nocturnal rodents. **Journal of Comparative Physiology**, Springer, 106, 3, 223-252. 引用数 : 2188 件
- [93] Tyson, John J.(1991) Modeling the cell division cycle: cdc2 and cyclin interactions.. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, National Acad Sciences, 88, 16, 7328-7332. 引用数 : 409 件
- [94] Goldbeter, Albert.(1995) A model for circadian oscillations in the Drosophila period protein (PER). **Proceedings of the Royal Society of London B**, The Royal Society, 261, 1362, 319-324. 引用数 : 514 件

脳と神経

- [95] Hodgkin, Alan L; Huxley, Andrew F.(1952) A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. **The Journal of Physiology**, Wiley Online Library, 117, 4, 500-544. 引用数 : 20869 件
- [96] FitzHugh, Richard.(1961) Impulses and physiological states in theoretical models of nerve membrane. **Biophysical Journal**, Elsevier, 1, 6, 445-466. 引用数 : 5199 件

生物数学

- [97] M'Kendrick, AG.(1925) Applications of mathematics to medical problems. **Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society**, Cambridge University Press, 44, 98-130. 引用数 : 1141 件
- [98] Feller, Willy.(1941) On the integral equation of renewal theory. **The Annals of Mathematical Statistics**, 12, 3, 243-267. 引用数 : 509 件
- [99] Gurtin, Morton E; MacCamy, Richard C.(1974) Non-linear age-dependent population dynamics. **Archive for Rational Mechanics and Analysis**, Springer, 54, 3, 281-300. 引用数 : 756 件
- [100] Taylor, Peter D; Jonker, Leo B.(1978) Evolutionary stable strategies and game dynamics. **Mathematical Biosciences**, Elsevier, 40, 1-2, 145-156. 引用数 : 2688 件
-

【第3回 数理生物学 Q&A への駆け込み寺】

JSPS 若手研究者海外挑戦プログラム：シドニー滞在報告記

柿添友輔*

1. はじめに

数理生物学 Q&A への駆け込み寺も 3 回目を迎える事になりました。前号では、「シドニーマップ」と題しまして SMB2018 に参加する方々に向けたシドニーの情報を事前にご案内させて頂きましたが、いかがだったでしょうか。また本誌でのシドニー周辺の情報に加えて Web ページ上でのオススメのお食事所も紹介させて頂きました。これらの企画で SMB2018 をより有意義に過ごす事ができていたならば、数理生物ニューズレター編集委員として嬉しい限りであります。

さて本号では、若手研究者の研究費取得の情報共有と致しまして、私が現在支援を受けている日本学術振興会 (JSPS) の「若手研究者海外挑戦プログラム」に関するご報告をさせて頂くことになりました。

若手研究者海外挑戦プログラムは、日本の大学に在籍する博士後期課程 (いわゆる博士課程) の学生及び、博士後期課程へ進学見込みの修士課程 2 年生を対象とした海外渡航を支援するプログラムです。具体的には、今までに連続して 3ヶ月以上の海外渡航歴がない方を対象に、3ヶ月~1年間海外渡航の滞在費+渡航費を支援するものになります。申請書内容は学振 DC に比べると分量は多くはなく、現在までの研究状況が 1 ページ、研究成果等が 0.5 ページ、派遣先における研究計画が 1 ページと最後に外国で研究することの意義が 0.5 ページほどの量となっております。採択率も例年 40%ほどと高いので、博士後期課程の皆様は是非ともチャレンジするべき物だと思われます。私は、平成 30 年度のプログラムにて生物系科学の生物物理の分野で採用され、2018 年 6 月 3 日から 8 月 31 日までの 3ヶ月間、オーストラリアのシドニーに留学させて頂くことになりました。

2. Miles Davenport 先生の研究室

訪問先はニューサウスウェールズ大学 (UNSW) の Miles P. Davenport 教授のもとになります (図1)。Miles 先生のグループでは、HIV やマラリアなどをはじめとした、様々な感染症に対して実験科学と数理科学による融合研究を展開する事で、ウイルス排除の条件を検討したり、新規薬剤開発を模索したりしている、非常

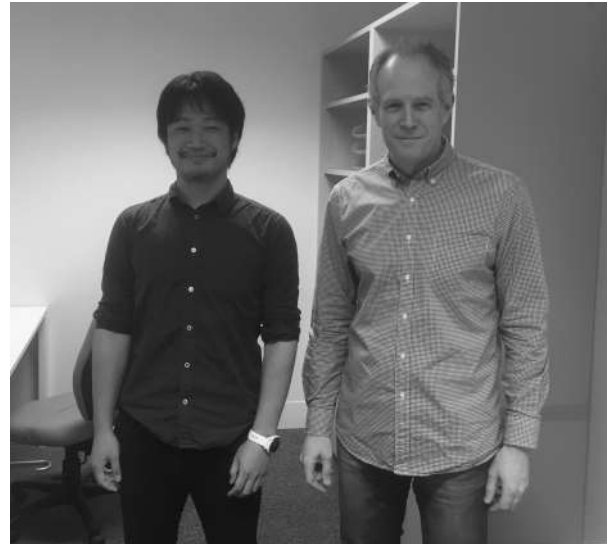


図1 私と Miles 先生

に先進的な研究室になります。Miles 先生の事は、学部時代より論文を通して知っていたのですが、2016 年に九州大学で開催された日本数理生物学会にて初めて直接お会いしました。そして Miles 先生が滞在している間に時間をとって頂き、自身の研究内容に関して研究議論を行いました。その時以来、Miles 先生とは定期的に連絡を取るようになり、今回のプログラムを機に留学を受け入れてもらいました。

研究室は、ポストドクターの研究員や博士課程の学生を含めて 10 人ほどで出身分野は数学、生物学などと異なっており、また出身地も世界中の様々な場所から来ていて、非常に多様な背景を持つ人々が集まる研究室といえます。広い大部屋に机が並べられていて、オープンな雰囲気です。学生同士や先生と気軽にディスカッションできます。研究室の定例行事としては、週に毎週水曜日にミーティングの機会があり、この時に自身の研究内容の進捗を報告する事ができます。また、木曜日には Miles 先生より基礎生物学の講義があります。これは、数学やコンピュータ科学出身の人たちのために PCR やフローサイトメトリー、シーケンシングの原理 (サンガー法から次世代シーケンシング) などを講義する時間になります。これらに加えて必要に応じて各人ディスカッションの時間を設けて研究をする

*九州大学大学院システム生命科学府数理生物学研究室

いった感じになります。

大学が基本的には9:00-17:00までしか空いていなくて、それ以外の時間帯では専用のカードを用いて入退室する必要があります。滞在しようと思えばそれ以外の時間帯も可能なのですが、研究室の学生の皆も先生方も17時になると帰宅するという感じで、とても早く帰宅するという事が印象的でした。家ではみな家族との時間を過ごすなどした後、早めに寝て早く起き、早朝からランニングやカフェに寄ってくるなどするようです。そのため自分も早寝早起きする習慣が付き、最低でも夜の12時には寝るといった習慣に変わりました。この習慣が日本に戻ってからでも続くといいのですが笑

3. 研究の合間にて

研究の合間にちょっとした観光もしました。シドニーは観光地という事もあって、訪れるべき場所やすべき事などたくさんあります。例えば、6月にはVivid Sydneyと呼ばれるイベントがあり、これは開催期間中の夜にシドニーの街全体の高層ビル群や植物園やオペラハウスなど街全体がイルミネーションされるイベントで、全員無料で参加できます。本当に街全体がイルミネーションされていて現実にいるとは思えない幻想的な感じでした。

また休日は、近くにあるタロンガズーと呼ばれる場所にいきました。オーストラリアの観光地と言えばやはり動物園です。動物園では象や虎など日本でもよく見る事のできる動物もいますが、それらに加えてカンガルー、コアラ、タスマニアンデビルなど、オーストラリア特有の動物を見る事ができます。どの動物も初めてみるものばかりで、とても新鮮な気分を味わえました。どちらもいい息抜きになったと思います。

4. Tips 的な何か

滞在中に便利だったものといえば、まず思い浮かぶのは現地のプリペイドSIMカードを購入した事かと思っています。シドニー国際空港に着いてすぐに現地キャリアのプリペイドSIMカードを購入しました。SIMカードといっても契約内容などによって、データ通信のみのものであれば現地内に限って使える携帯電話番号付きのSIMカードなど色々あると思います。その中でも私は、国際電話もかけられるSIMカードがオススメです。というのは、私の場合シドニーに到着してすぐにトラブルが発生して、学振に連絡をしなければいけなかったのですが、その時に自分の携帯電話から国際電話をかける事ができたのでスムーズに対処できました。滞在中には日本に連絡をしなければいけないという事は起こりうるので、国際電話可能なSIMカードをオススメ致します。電話番号を持っていたら携帯電話からUber(自動車配車アプリ)を使用したり、現地のレストランを予約する時などで便利だったりす

るので、持っていて損はないと思います。

後は宿選びについてでしょうか。これは国にもよると思いますが、基本的には民泊検索ウェブサイトのAirBnBを利用して宿を検索するといいかと思われます。数週間などの滞在であればホテルでももちろんいいのですが、数ヶ月となると宿泊費がとんでもなく高くなってくると思います。そうすると現地のマンスリータイプのアpartメントを契約という選択肢もあるでしょうが、契約書や現地での契約なども全て英語で行わなければいけないので、海外留学初心者には少々ハードルが高いと思われます。そんな時に便利なのがAirBnBで、サイト上に自分のアカウントを作成して、クレジットカード情報を登録しておけば、後は滞在地と期間を指定して検索すれば貸し出しをしている民泊を検索する事ができます。非常に便利なサイトで今回の留学のみならず国際学会への参加でも利用しています。

5. 最後に

シドニーは観光地という事もあり、交通環境も整っていますし、レストラン、スーパー等が至るところにあり海外留学初心者の私としては非常に過ごしやすい都市でありました。そのため、大学での研究や英語学習に集中的に時間を割く事ができたと実感しております。もし、受け入れ研究室選びで複数選択肢があるなどして迷っている人がいるとしたら、都会の場所を選ぶのも一つの基準かもしれません。

以上のように私は、JSPS若手研究者海外挑戦プログラムの支援を受けて、今回Miles先生の元に留学する事ができました。私にとって比較的長期間一日中英語の環境に身を置くという事が初めてであり、日本語のように100%正確に情報が伝えられないという状況の中、いかに情報を細やかに伝えるかというのは苦労しました。それは研究議論においてはもちろんで、またあまり本質的な事ではありませんが、街中のファーストフード店でのオーダーなどちょっとした事でも苦労しました。慣れるとそんな大した事ではありませんが、最初は結構戸惑っていました。この3ヶ月間の滞在中で、確実に英語で議論する能力は向上したと思いますし、海外の研究室に滞在し、そこでの文化や雰囲気を感じる事は、今後研究者を目指すために非常に貴重な体験であると思います。私は今回のサポートにより海外留学を経験させて頂いて、次の機会ではより長く海外に滞在して研究を続けたいという気持ちが強くなりました。このように海外留学は、その研究室で学ぶ事自体に加えて自身のマインドを変えるいい機会になると思います。そして、その様な留学をサポートする若手研究者海外挑戦プログラムは素晴らしいプログラムだと思いますし、たくさんの学生が挑戦していければと思います。

【報告】

SMB - JSMB 合同大会参加記
〈日本数理生物学会 海外渡航支援〉

2018年7月8日(日)~12日(木) The University of Sydney

■ 伊藤 洋

(総合研究大学院大学 客員研究員)

シドニーに到着してみると現地は思っていたよりも暖かく、晴天で風が穏やかなときは半袖でも寒くないくらいでした。ただし夜はかなり冷え込むので、ジャケットは必要でしょう。シドニーの交通機関の利用にはオパールカードというプリペイドカード(スイカのようなもの)がとても便利で割引率も高いと感じました。

シドニー大学には中庭と回廊を持つネオゴシック調の建物があり、コウモリや蛙など(魔女の使い魔?)の彫刻が外側にせり出していて、蛙がよい表情をしていました。売店のパンは高いですが美味しくて腹もちもいいです。特に、しっとりしたクロワッサンにハムとチーズを挟んでトーストしたサンドイッチは美味しかったです。

学会は会場間の移動が少なく快適でした。丁度よい規模の大会だったと思います。また、会場で出される昼食やおやつが美味でした。ポスターセッションでは少し飲み過ぎたためか、各々の発表を理解するのに時間がかかりましたが、他の参加者と楽しく議論することができました。国際学会には英会話というハードルがありますが、ポスターセッションで客がいない人の発表を聞くと、ゆっくり話してくれますし、その人も自分の発表を聞きに来てくれたりするので、そういうところから仲良くなれたりします。自分とは違う分野でしかも客がいないポスター発表でも、じっくり聞くと面白いことが多いので、おすすめです。

今回の私の発表は「形質空間に時間軸を加えた空間において表現される、適応進化の系統樹の形を Price 方程式によって記述する」というもので、カンファレンスディナーのときに他の参加者と議論し、色々とコメントをもらいました。国際学会で得られるコメントは、論文原稿のイントロやディスカッションを書く際に役に立つと思います。

カンファレンスディナーの前には「サンダル投げコンテスト」というイベントがあり、私は飛距離が一番だったのですが、凄腕の参加者が60cm四方の高得点エリアに投入したため、涙を飲みました。サンダルを遠くに飛ばすためには、ブーメランの投擲と同じよう

にサンダルにスピンをかけると良いようで、なかなか面白いです。賞品として頂いたサンダルでこれから特訓です。

最後に、日本数理生物学会によるシドニー大会への渡航支援に携わった方々、大会開催に携わった方々に厚くお礼申し上げます。

■ 加藤 颯人

(北海道大学環境科学院環境起学専攻 修士課程2年)

7月8日から5日間の日程で数理生物学会の日米合同大会が行われた。会場のあるシドニーは日本から直行便で9時間ほどであり、時差はほとんどない。南半球のため現在は冬だが、札幌と違って雪は降らず、比較的過ごしやすい気候であると感じた。会場のシドニー大学は空港から鉄道と徒歩で40分ほど。歴史を感じさせる建物が多く、緑の多いキャンパスには日本では珍しいタイプの植物が生えている。

三日目の午後に口頭発表があり、現在行っているベイツ型擬態(有毒種が無毒種に姿を似せる擬態)の群集動態モデルの研究について発表を行った。発表に関していくつも有益な質問をいただいた。その一つに、発表で示した帰結がどれほどロバストなのかという質問があり、これはその後、より一般のモデルで帰結のロバスト性を検討し直すきっかけとなった。研究内容について新たな視点を得られ、とても有意義な発表であった。

参加した日程の中で数多くの講演を聞くことができた。英語力が足りておらず、内容を理解できない部分も少なくなかったが、それでもさまざまな種類の興味・関心があることや、新しい手法や現在の潮流を知ることができ、とても勉強になった。また、数理モデルを構築して解析するだけでなく、解析結果からどのような議論を展開するか、そして最初に提起した問題をモデルの結果からどう“再設定”するかといった研究の展開の仕方についても参考になる部分が多かった。そのような中で、数理モデルから得た結果を議論する技術をこれから学んでいかねばならないと感じた。

昼食が学会からケータリングで提供されることや、午前と午後毎回ずつコーヒーブレイクが用意されていることもあり、学会の参加者と話す機会が多かった。英語に自信はなかったが、積極的に話しかければ(こ

ちらに配慮してゆっくり話してくれているのだと思うが)、コミュニケーションをとること自体はそれほど難しくないので気づいた。

今回が国際学会への初めての参加であったため、戸惑うことも多かったが、同時に学ぶことも多く、非常に有意義なものであった。最後になったが、今回の日米合同大会への参加は、日本数理生物学会からの渡航支援によって実現したものであり、日本数理生物学会ならびに対応してくださった学会事務局の中岡慎治さんに感謝を申し上げる。

■ 五島 祐樹

(筑波大学医学群医学類 5年)

学会員の皆様初めまして、筑波大学の五島(ごしま)と申します。今回数理生物学会の渡航支援を受け、シドニーで開催された Society for Mathematical Biology 2018 に参加し、発表いたしました。去年(2017年)の北海道大学での数理生物学会でも口頭発表したので、こうした公式な学会での発表は2回目となりました。本稿では興味深かった発表、自身の発表、日本における学会・研究集会との違いについてつらつら書いていきたいと思います。

私は元々、東京大学の稲葉寿先生(数理科学研究科)のところで偏微分方程式を利用した白血病の再発予測モデルについて研究しておりました。修士を取得後は製薬会社の統計解析部へ勤務し、その後医学部編入という流れで現在に至ります。数学、医学・生物学を学んできた経歴から、今回の学会では、治療や疾患そのものをテーマとした演題を中心に見に行きました。中でも特に印象的だったのは、アメリカの Mayo Clinic という世界的に有名な病院における研究や組織体制についてです(Clinic といっても、規模としては大学病院と同等以上です)。Mayo Clinic には Mathematical Neuro-Oncology という研究室があつて、脳腫瘍の画像解析や数理モデルを利用した薬剤の最適投与などを行なっているという発表がありました。こうした研究自体はすでに他のラボでも行われているものですが、民間病院で生物統計ではなく、数理の部署があるのは驚きました。また、こうした病院では臨床検体が得ら



シドニー・オペラハウス(五島さん撮影)

れやすい、つまり治験を行いやすい環境が整っていて計画からデータの取得までが格段に早いとおっしゃられていました。今後の研究として解析はもちろん重要なのですが、データの収集のために迅速に治験を立ち上げていくシステムの構築も大切だと感じました。

一方、私の発表ですが、内容は白血病の治療に関するものでしたが、なぜか In-host, cell cycle & differentiation という Session での発表となっていました。多分タイトルが分かりにくく、アブストラクトに書いた話が基礎医学の免疫系の話だったからだと思います。そのため、今後海外発表のチャンスがあれば、タイトルやアブストラクト、もちろん発表内容もとにかく分かりやすく、シンプルなものにして参加すべきだと感じました。肝心の発表では前半は病気・病態の説明、後半は数理の説明、統計解析の内容について説明し、質問も2つ頂きました。質問は、事前に共著者である中岡さん(北海道大学)に指摘されていたものでしたので、なんとか答えることができ無事発表を終えることができました。

今回の学会への参加を通じて、私は研究に対する視野が広がりましたし、今後の海外の学会に参加する時にも大いに参考になると感じました。このような海外発表の機会を与えてくださった数理生物学会には深く感謝しております。また、この渡航制度は今後も継続していただければと思います。

【報告】

SMB - JSMB 合同大会参加記 〈新しい研究の芽を育む会 海外渡航援助〉

2018年7月8日(日)~12日(木) The University of Sydney

■ 小熊 俊輝

(九州大学医学研究院系統解剖学分野 博士課程1年)

この度は非常に貴重な機会をいただきありがとうございます。九州大学の小熊俊輝と申します。今回、シドニーにて開催された JSMB-SMB 合同大会に参加させていただきました。初めての海外学会ということもあり当初は不安もありましたが、大変貴重な経験となり満足しています。

まず学会会場に訪れて感じたのは、会場となるシドニー大学の荘厳さでした。まるで大聖堂のように重厚な雰囲気のあるキャンパスと広大な緑地の組み合わせはオーストラリアの旧宗主国イギリスのオックスフォード大学やケンブリッジ大学を彷彿とさせ、このような場所で開かれる学会に参加するということに驚きと興奮を覚えました。自分の発表が終わるまでは余裕がなく、直前にも原稿を直したり補足の資料を作成したりと落ち着けずにおりましたが、そういった焦る気持ちを和らげてくれたように思います。

今回の学会では“Analysis of the effect of cell dynamics on Delta-Notch interaction during retinal vasculature development”という題でポスター発表させていただき、聞きに来ていただいた日韓米豪の様々な先生方に変なご意見・コメントをいただきました。特に普段実験生物学者の比率の高い医学研究院に所属しているため、応用数学を生業とされている先生方に研究の数理解析部分について示唆に富むコメントをいただけ、また議論を交わせたことは大変貴重な経験となりました。

また、拝聴させていただいた Symposium, Plenary talk も大変面白いものでした。Symposium については時間の都合か、最大で10個の演題が同じ時間に発表されており、興味の惹かれた演題を拝聴し切れない場面が何度かあったことは残念でした。一方で自らの不勉強のために理解の及ばないセッションもあり、その分野への学習意欲を掻き立てられると同時に数理生物学の守備範囲の広さを改めて実感いたしました。拝聴させていただいた中で特に印象に残っているのは、日本人の先生方が口頭発表の中で笑いを取っている場面でした。自分は英語が不得意なこともあり内容を伝えることで精一杯でしたが、どのような変化があればそ

ういった才気あふれるプレゼンが出来るようになるだろうか、といったことを考えさせられました。

最後に、渡航費を援助していただき、このような貴重な機会と経験を与えてくださった新しい研究の芽を育む会の先生方、特に難波利幸先生に深く感謝申し上げます。

■ 中原 智弘

(広島大学大学院理学研究科 博士課程前期1年)

2018年7月8日–12日にオーストラリアのシドニーで開催された SMB2018 に参加させていただきましたのでご報告いたします。今回の学会では300を超える講演とおよそ100のポスター発表がされました。

私は飛行機の関係上、学会の全日程に参加することはできませんでしたが、それでも数多くの興味深い講演を聴くことができました。私の研究では反応拡散方程式を扱っているため、特に反応拡散方程式系を用いた研究の講演は大変勉強になりました。様々な講演から興味を持ったことについて学び、知識をより深めることでこれからの研究に生かしていきたいと思えます。

私は初日に行われたポスターセッションにて発表させていただきました。私は今回の学会までにほとんど研究発表をしたことがなくとても緊張しました。また英語での発表でしたので研究の面白さ、内容について伝えることや質問に対する応答に苦戦し、自分の英語力のなさ発表の難しさを感じることができました。これから発表の練習により一層力を注いでいきたいと思えます。それでも研究に対する様々な意見、コメントをいただくことができ、これからの研究の方向性や発展についてのヒントを得ることができました。今回いただいた意見を持ち帰って研究のさらなる発展を模索します。国際学会でのこのような発表は本当に貴重な経験になりました。

余談ではありますが、今回学会が行われたシドニーは冬の気候で日本の7月とは違ってとても涼しく過ごしやすい気候でした。また、会場であるシドニー大学はとても綺麗な大学で、さらに日本とは違った造りの建物もあり異文化を感じることもできました。

最後になりましたが、今回このような機会を与えてくださった私の指導教官である李聖林准教授、そして今回シドニーへの渡航を援助してくださった新しい研

究の芽を育む会の皆様に深く感謝申し上げます。

■ 野間田 匡顕

(広島大学大学院理学研究科 博士課程前期1年)

今回私は2018年7月8日から7月12日までオーストラリアのシドニーで開催された、Society for Mathematical Biology と日本数理生物学会の合同大会 SMB2018 に参加しました。その際に新しい研究の芽を育む会様から援助していただきました。この場をお借り致しましてお礼申し上げます。

私は今回のSMB2018が初めて参加した海外で行われる学会で、大変緊張していました。しかし、シドニーの程良く涼しく非常に過ごしやすい気候と、都会ということもあり、いい意味で海外っぽさのない街並みのおかげで私の緊張も自然とほぐれました。

学会では、300以上の講演が行われました。たくさんの講演の中から自分の興味のある研究の講演を拝聴し、大変勉強になりました。ただ聞いて終わりではなく自分の研究に還元できるよう努めたいと思います。私は初日に行われたポスターセッションにて研究発表をさせていただきました。私は研究発表の経験がまだ少なく、それに加えて英語での発表は初めてだったので、発表直前まで不安でいっぱいでした。もちろん発表が始まっても自分の研究についてうまく伝えることができず語学力のなさを実感しました。しかし、熱心に私の発表に耳を傾けてくださり、私の拙い英語を理解してくださろうとする方々の優しさもあり、私の研究に対する質問やコメントに対して応答することができました。しかし、研究発表の難しさや自分の実力不足を実感したのも事実であり、これからは、自分の研究だけでなく発表にも力を入れて練習する必要があると感じました。今回の学会は、自分の研究においても自分の人生経験においても大変大きな刺激となりました。この経験を生かして自分の研究に励みたいと思います。

■ 森田 麻暖

(奈良女子大学大学院人間文化研究科 博士前期課程2年)

SMB2018が2018/07/08-2018/07/12にオーストラリアのシドニーで開催されました。今回ポスター発表者として参加する機会を頂きましたのでご報告いたします。

シドニーはオーストラリア New South Wales 州の州都で、オーストラリアを代表する都市のひとつです。ダーリング・ハーバーなどの港では、空と海で視界一面が真っ青になる光景が見られ、圧倒されます。私自身シドニーに来るのは初めてでしたが、滞在した一週間通して気候もよく空気の清々しさを感じることができました。

学会場となったシドニー大学は広大で緑が多く、多くの学生がリラックした様子で芝生に寝転んで勉強



シドニーの風景 (森田さん撮影)

していたのが印象的でした。

Eastern Avenue Auditorium で行われたプレナリーセッションでは会場全体の雰囲気でも講義の内容を理解するような気持ちでした。聴講させていただく中で、知識のあまり無かった分野についても垣根なく触れることができ、理解できなかった部分も多くありましたが、日本からの参加発表の先生方が、外国の先生方と英語で熱い議論を交わしている姿には、強く感銘を受けました。と同時に自分の語学力の無さを痛感いたしました。また、今回同年代の参加者の方が口頭で堂々と発表されている姿を見て、私もいつかそのような場に立てれば良いなと思いました。特に同年代の女性がいることは、研究活動を行っていくうえで良い刺激となります。

今回の大会に参加させていただき、様々な研究内容を発表を通し、学べたことは、とても良い経験になりました。また、私自身の研究についても質疑応答の際に様々な意見をいただき、たいへん勉強になりました。いずれも普段の学生生活では体験できない貴重な時間でした。今後研究活動を行っていくうえで活かしていきたいと思います。

最後になりましたが、このような機会を与えて下さいました高橋准教授はじめお世話になった先生方に深くお礼を申し上げます。

【報告】

ECMTB2018 参加記

2018年7月23日(月)~27日(金) University of Lisbon

根上 春*

私は、タンパク質の立体構造のトポロジカルなモデルである fatgraph model¹を用いて、アミノ酸配列と立体構造の関係を研究しています。このモデルに注目しているのは以下のような理由です。

- a. 空間上で離れた場所にある部分構造同士の関係性を明らかにできる
- b. 計算量が非常に少ない
(1タンパク質あたり1ms程度で計算できる)
- c. 数学的な面白さがある(個人の感想です。)

SMBでは、既存の fatgraph modelに改良を加え、抗体タンパク質の1つの変異が立体構造に与える影響を解析した結果をポスター発表しました。また、ECMTBでは、抗菌薬のターゲットとなる細菌の酵素に対して様々な抗菌薬を結合させて得られた立体構造データを解析し、抗菌薬結合部位と酵素活性部位の関係について口頭発表しました。



リスボンの公共図書館



リスボン上空

今夏の国際会議では、多くの方より有用なご意見を頂戴しました。特に、SMBにて頂いたご助言をECMTBでの発表に織り込むことが出来ました。また懇親会では、岩見真吾先生、早瀬友美乃先生、その他海外の先生方よりご助言を賜りました。長い時間とても有意義なご助言を賜り、国際会議に参加する意義を実感しました。皆様に心より感謝申し上げます。

運営の観点では、資源削減のため、水筒とプログラム保存用のUSBが配布されたことに感銘を受けました。この試みは初めての経験です。60カ国から700名にも及ぶ参加者があり、プラスチックと紙の使用量削減に大きな効果があったことと思います。また、私自身の日常での意識も高まりました。環境問題というとても重要なテーマについて注意喚起され、参加者の国でもこの流れが広まっていくと期待しています。

リスボンの街はご飯も美味しく、とても過ごしやすい街でした²。特に素晴らしかったのは公共の図書館です。広々とした2人用の机に対し5箇所の電源プラグと、手続き無しで使える高速なWi-Fi³がありました。PCを開いたまま長時間離席する人も多数おり、治安の良さも伺えました。環境が良いととても魅力的だなあ...と思いながら帰国の途につきました。

²タコのリゾットは最高に美味しかったです。ポルトガルに行かれる方はぜひお試しください。

³日本では時間がかかりすぎてダウンロードを一旦断念したデータもすぐにダウンロードできました。

*東京大学大学院工学系研究科

¹Fatgraph models of proteins R. C. Penner, et al., (2010)

学会事務局からのお知らせ

1. 総会報告

2018年度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：2018年7月11日(水)13:00～13:20

場所：University of Sydney, New Law School-102室

参加者人数：約27名

総会に先立ち、山内淳氏が議長として事務局から推薦され、承認された。

■議題（予定）

(1) 2020年度の年会について

事務局より、2020年度の年会開催候補地を模索中であることが報告された。そもそも、2020年度は世界数理生物学会が北京で開催予定であるため、国内での年会を開催しないという考え方もある。しかし、まだ具体的な見通しがたっていないこと、ここ最近では合同大会が多いこと、国内での開催は旅費の工面がしやすいこと等を考慮して、国内で開催する予定であることが説明された。

(2) 名誉会員の推薦について

事務局より、山村則男氏が推薦され、承認された。また、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2019年1月1日からとする。

(3) 2017年度決算、2018年度予算執行状況および2019年度予算

事務局より、配布資料の説明がおこなわれ、2017年度決算が承認された

(4) その他

会場から、本来ならば、大久保賞選考委員1名の交代がこの総会で承認されるはずではないのかという意見が出された。事務局から、早急に運営委員会で議論して、biomath-MLで承認を得ることが提案され、承認された。

■報告事項（予定）

(1) 2019年度の年会について

事務局より、2019年度の年會会場は、東工大の大岡山キャンパスとなる予定であることが報告された。およそ1年前の今年9月頃に詳細が決まるため、日程など詳細は追って連絡する予定である。

(2) 大久保賞および研究奨励賞の推薦について

事務局より、大久保賞（若手）および研究奨励賞の募集をおこなっているため、自薦または他薦の積極的な応募をして欲しいという呼びかけがあった。

(3) 今大会でのJSMB会員の受賞について

佐々木顕会長より、直前の授賞式でJSMB会員3名が受賞したことが報告された。内訳は、ポスター賞2名、Twitter賞1名。

2. 第29回数理生物学会年会

2019年（9月もしくは10月を予定）、東京工業大学（大岡山キャンパスを予定）にて日本数理生物学会の年会が開催されます。具体的な日時と場所、ミニシンポジウムの締切、アブストラクト登録（ポスター、口頭）、参加登録と大会ホームページについては、決まり次第、ニュースレターやbiomathメーリングリストを通じて追って報告いたします。会員の皆様方からの積極的な発表登録をお願いします。

3. 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ます。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

4. Biomathメーリングリスト登録のお願い

日本数理生物学会では、会員と会員でない数理生物

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

(1) Biomath メーリングリストに自分で登録する

登録は本文も件名も空白の電子メールを

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。

5. 事務的事項のお問い合わせについて

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

(secretary@jsmb.jp) へお問い合わせください。

6. 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)

〒060-0810

北海道札幌市北区北10条西8丁目理学部2号館7階
 北海道大学大学院
 先端生命科学研究院
 数理生物学研究室
 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

日本数理生物学会ニューレター No. 86
 2018年9月発行

編集委員会 委員長 岩見真吾・巖佐庸・三浦岳
siwami@kyushu-u.org

国立大学法人 九州大学

大学院理学研究院生物科学部門

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744

ウエスト1号館9階C棟 数理生物学研究室

発行者 日本数理生物学会

The Japanese Society for Mathematical Biology

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

印刷・製本 (株)ニシキプリント PDF版