

JAMB Newsletter No. 31

数理生物学懇談会
ニュースレター

第31号

2000年4月

*Japanese Association
for
Mathematical Biology*

第10回数理生物学シンポジウムのお知らせ

下記の要領で「第10回数理生物学シンポジウム」を開催します。今年度は、昨年度好評であったオーガナイズドセッションとポスター形式発表を継続します。オーガナイズドセッションを提案される方、講演を希望される方は、以下の申し込み要領をよく読んでご応募ください。

日時:2000年10月12日(木)ー14日(土)

場所:静岡大学工学部佐鳴会館及びホール、システム工学科

静岡県浜松市城北3-5-1

(参考:<http://www.eng.shizuoka.ac.jp/acsess.html>)

第10回数理生物学シンポジウムの基本方針

昨年に引き続き、若い方々に是非聞いてほしい内容の講演をオーガナイズドセッションでそろえます。一般講演は多くの方々に発表の機会を与えるとともに発表者と自由に討論できる場を保障するためポスター形式を可能な限り取り入れます。以下の要領でオーガナイズドセッションの企画と一般講演を募集しますので、趣旨をご理解の上ご応募ください。

オーガナイズドセッションの企画募集

上記方針に基づいて、3時間程度のオーガナイズドセッションを2件程度設けます。企画を公募しますので、お寄せください。内容は1時間程度の講演を3本程度とし、短時間の講演に細分化することのないようにご配慮ください。また、ニュースレターで連載している「入門以前」的講演を最初にしていただくと若い方々に魅力的であると考えています。参考までに昨年度のオーガナイズドセッションは1. 山口先生追悼:2. カオス結合系でした。なお、応募多数の場合は事務局で選択いたします。また今回は第1回大久保賞受賞者の Martin Nowak 氏の記念講演を予定していますが、その講演と関連するセッションを提案していただけると幸いです。応募締め切りは5月31日(水)とします。

一般講演の募集

生物学の分野における数理的研究および関連する数理的手法について一般講演

を募集します。今回はポスター形式と口頭発表形式を時間を区切って併用する予定です。プログラムの作成の都合上、まず一般講演の申し込みをいただき、事務局で調整をした上で講演要旨の執筆をお願いすることにいたします。なお、例年通り会員でない方の講演も歓迎いたします。

講演ご希望の方は、講演者氏名・演題・希望講演形式(口頭発表の場合は希望講演時間)・連絡先(住所とできれば電子メールアドレス、ない場合は電話番号とファックス番号)を明記して(できれば電子メールで)6月10日(土)までに事務局まで申し込みください。

講演要旨及びプロシーディングのwwwページによる公開について

講演要旨の締め切りは7月14日(金)とし、講演要旨集の書式・投稿に関する詳細につきましては、6月30日(金)までに講演希望者に電子メール又はファックスでご連絡させていただきますが、下記の点にご留意された上で、あらかじめ準備を進めていただければ幸いです。

講演要旨は次号ニュースレターに掲載させて頂くほか、事前にwwwページにて公開を予定しております。書式は、昨年同様1講演につきB5版用紙1ページ(周囲に2cm以上の余白をとること)までとし、行数、配置等については特に制約を設けません。なお、投稿媒体につきましては、wwwページへの掲載を考慮して、<<テキスト形式、Html形式、ワード、エクセル、TeX、各種画像ファイル>>で、E-mail またはフロッピーディスクにてお送りいただけると助かりますが、従来どおり紙でお送りいただいても結構です。ただし、紙でお送りいただいた場合、wwwによる公開に支障を来す可能性はございますが、その点はご了承願います。

また、プロシーディングにつきましても、予算の都合上、印刷物として発行できる見込みはありません。従って、昨年同様wwwページにて公開を予定しておりますことをあらかじめご了承下さい。

申し込み・問い合わせ先

432-8561 浜松市城北3-5-1 静岡大学工学部システム工学科内数理生物學懇談会事務局(竹内康博) e-mail:y-takeuchi@eng.shizuoka.ac.jp

Tel・Fax: 053-478-1200

2000年3月21日

数理生物学懇談会会員各位

数理生物学懇談会事務局長 竹内康博

大久保賞選考委員の選出方法について

大久保賞選考委員会 はSMBとJAMBの双方から3名ずつの委員を選出して組織することになっています。委員の任期は3年で毎年1名交代という規定になっています。一昨年度に3年任期の委員を1名、2年任期の委員を1名、1年任期の委員を1名選出し、その結果1年委員が重定南奈子氏、2年委員が三村昌泰氏、3年委員が巖佐庸氏となりました。昨年度の数理生物学懇談会総会で重定氏の難波氏への交代が承認されました。今年の懇談会総会では三村氏に交代する委員を決定しなければなりません。

そこで昨年同様に以下のような手続きで選考委員を決定します。

1. ニュースレターを通して候補者の推薦をお願いします。
2. 複数の候補者が推薦された場合は総会で投票して決定する。
3. 推薦者が出なかった場合は事務局が推薦して総会で承認を受ける。

大久保賞選考委員候補者推薦のお願い

数理生物学懇談会(1998年10月16日制定)第16条に基づき、以下のように大久保賞選考委員候補者の推薦をお願いします。

1. 被推薦者…………… 本会会員であることを要しない。
2. 推薦方法…………… 電子メールまたは郵送により、数理生物学懇談会事務局長あてに候補者名を送る。
3. 推薦の締め切り… 2000年8月31日

特集:博士論文・修士論文・卒業論文

お寄せいただいた論文要旨を順不同で収録いたしました。

平成 11 年度 修士論文概要

拡張された更新切断を用いたコンタクト・プロセスの生存確率の評価

横浜国立大学大学院 工学研究科 生産工学専攻 今野研究室 林 俊一

コンタクト・プロセスは 1974 年数学者 T.E.Harris によって導入された。コンタクト・プロセスは「接触過程」(あるいは「接触感染過程」)と呼ばれ、伝染病や噂の伝播、森林火災など、方向性のある浸透のモデルとも考えられる。また、簡単な粒子の生成消滅モデルとの解釈もできる。本論文では 1 次元のコンタクト・プロセスの生存確率の評価に対する結果について報告する。

1978 年に, Holley-Liggett は 1 次元コンタクト・プロセスの臨界値の上限と生存確率の下限を求めるために更新測度を用いた。それに対して, 1990 年に香取-今野は, K-型相関関数を導入することにより見通しのよい議論ができると考えた。そして, その議論の中で, 1 次元コンタクト・プロセスの不変測度に対して, K-型相関関数の間に成り立つ, K-型相関等式のヒエラルキーの第 1 式を含めたいくつかの等式を, 適切な切断を行うことにより閉じさせるような新しい測度を見つける工夫をした。そこで, 本研究では更新切断をさらに拡張した新しい切断として, 1 変数および 2 変数関数を導入して K-型相関関数にパラメータ $p \in [0, 1]$ を入れて近似した。そのとき, $p = 0$ のときは, Holley-Liggett の結果に一致し, $p = 1/2$ のときは香取-今野の結果に一致している。この意味で, 本研究で導入した拡張された近似は, これらの結果を含んでいることがわかる。

本研究の結果より, 以下のことがわかった。

- (1) $0 < p < 1/3$ のとき: λ の値は上限の評価としては大きな値なのでよくない。
- (2) $p = 0$ のとき: $\lambda = 2$ (Holley-Liggett の第 1 近似と一致している)
- (3) $1/3 \leq p \leq 1$: $p = 1$ のとき粒子間ペア近似になっている。この $p = 1$ の値, $\lambda = 1.84715$ は, 香取-今野の結果 $p = 1/2$ ($\lambda = 1.78989$) より悪いが, $p = 0$ の Holley-Liggett が求めた $\lambda = 2$ よりよい値を与えている。

1 次元コンタクト・プロセスの A から出発した生存確率 $\sigma(A)$ は以下で与えられていた。 $\sigma(A) = 1 - \nu_\lambda\{\eta: \text{任意の } x \in A \text{ に対して, } \eta(x) = 0\}$ 。特に, $A = \{0\}$ とすると, $\rho_\lambda = \sigma(\{0\})$ 。ここで, 基本的な考え方として, 真の ρ_λ を求めることはできないので, ν_λ をどのように近似するかが大切な点である。この, ν_λ を更新測度などで近似したのが 1978 年の Holley-Liggett の手法であり, 1990 年の香取-今野の手法であった。本研究では, 香取-今野の考え方をさらに拡張して, ρ_λ の近似としての p 依存性を検討した。

今後の課題として, まず, $p = 1$ の場合に得られた近似的な生存確率 $\rho_\lambda^{(1)}$ が, 本当に ρ_λ の下限になっているのかを証明することである。その方法としては, 1978 年に Holley-Liggett が, 行ったように Harris の補題を用いて $\Omega(h(A)) \geq 0$ を任意の $A \in Y$ に対して示すことが必要となる。次に, 任意の $p \in (0, 1)$ に対して, 上記と同様のことが証明できるかどうか検討することが考えられる。

参考文献: [1] Holley, R. and Liggett, T. M., The survival of contact processes, *Annals of Probability*, 6(1978), 198-206. [2] 香取眞理, 今野紀雄, Contact Process の定常状態における相転移現象について, 統計数理, 38(1990), 243-256.

非吸収的確率セルオートマトンの相関不等式

横浜国立大学大学院 工学研究科 生産工学専攻 今野研究室

高橋佐良人

セルオートマトンは、John von Neumann によって導入されて以来、生態系、社会システム、そして環境システムなど、様々なモデルに用いられてきた。本研究では、セルオートマトンの中でも、最も単純なルールによって定義されるモデルの1つである「Domany-Kinzel モデル」について考察する。このモデルは、1984年に Domany and Kinzel によって最初に提案されたモデルであり、パラメータ $p, q (\in [0, 1])$ を持つ1次元離散時間マルコフ過程である。

今現在、吸収的な (attractive) 領域 ($q \geq p$) では、様々な結果が証明されているが、非吸収的な (non-attractive) 領域 ($p > q$) で証明されている結果は、ほとんどない。そこで、本研究では、非吸収的な領域での以下の2つの不等式について、シミュレーション、及び数学的解析を行った。但し、初期状態 A から出発したときの粒子の消滅確率を以下のように定義する。

$$\nu(A) = P(\text{ある時刻 } n \geq 0 \text{ で, } \xi_n^A = \emptyset).$$

1) Harris-FKG タイプの不等式：任意の $A, B \subset 2\mathbb{Z}$ に対して、

$$\nu(A \cup B) \geq \nu(A)\nu(B)$$

2) BFKL タイプの不等式：任意の $A, B \subset 2\mathbb{Z}$ に対して、

$$\nu(A \cap B)\nu(A \cup B) \geq \nu(A)\nu(B)$$

この BFKL タイプの不等式は、Harris-FKG タイプの不等式を精密化した不等式であり、吸収的な領域で成立することが1997年に、Belitsky, Ferrari, Konno and Liggett によって証明されている。研究方法として、まずこれらの不等式の特別な場合について、Visual Basic でプログラムを組み、シミュレーションを行い、非吸収的な領域で不等式が成立するか否か確認した。その後で、それらの証明に取り組んだ。Harris-FKG タイプの不等式のいくつかについては証明に成功したが、BFKL タイプの不等式については、数学的な結果を得ることはできなかった。今後の課題としては、非吸収的な領域において、部分的な場合の証明方法をもとに、一般の $A, B (\subset 2\mathbb{Z})$ に対し、上記の不等式が成立するか否かの決着をつけることである。

参考文献:[1] Domany, E., and Kinzel, W., Equivalence of cellular automata to Ising models and directed percolation, *Physical Review Letters*, **53**(1984)311-314. [2] 今野紀雄, ある無限粒子系の局所性と大域性— Domany-Kinzel モデルの相転移現象, 数理科学, (1999)10月号, 37-43. [3] Belitsky, V., Ferrari, P.A., Konno, N., and Liggett, T.M., A strong correlation inequality for contact processes and oriented percolation, *Stochastic Processes and their Applications*, **67**(1997)213-225.

N 種サイクリック系の平均場モデルとその安定性

横浜国立大学大学院 工学研究科 生産工学専攻 今野研究室

古林 正

本研究では、 N 状態に値をとる離散時間のサイクリックである遷移モデルについて研究する。生態系のモデルとして考えると、状態数は種数とみなすことができる。具体的には、状態 i の最近接に存在する状態 $(i+1)$ の個数によって、状態 i から状態 $(i+1)$ に確率的に遷移する確率モデルについて考える。このとき、 N 状態モデルに対する、その定常確率測度に関して研究し、安定性についても検討することが目的である。但し、最近接サイトの個数は n とする。このモデルにおいて、我々が得ている結果について述べる。まず、確率測度の空間 $\wp$ を以下で与える。

$$\wp = \{ \mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N) : \sum_{i=1}^N \mu_i = 1, \mu_i \geq 0 \ (i = 1, 2, \dots, N) \}.$$

この $\mu \in \wp$ に対して、 $I(\mu) = \prod_{i=1}^N \mu_i$ とおく。また、このモデルのダイナミクスは以下で定義される。

$$(\mu'_1, \dots, \mu'_N) = (\mu_1, \dots, \mu_N) \begin{pmatrix} \sigma(\mu_2) & 1 - \sigma(\mu_2) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma(\mu_3) & 1 - \sigma(\mu_3) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \sigma(\mu_4) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 - \sigma(\mu_1) & 0 & 0 & \dots & \sigma(\mu_1) \end{pmatrix}$$

但し、 $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_N)$, $\mu' = (\mu'_1, \dots, \mu'_N) \in \wp$, $\sigma(\mu) = (1 - p\mu)^n$ とする。

本研究では、まず以下3つの場合について定常確率測度を求めた ($I(\mu)$ に関しては (2), (3) で用いた)。

- (1) $N = 3$, $\sigma(\mu) = \sigma$ (定数) (2) $N = 2$, $n \geq 1$, (3) $N \geq 3$, $n = 1$

特に、(3) の結果と連続時間モデルの平均場近似の従来の結果 ($N = 3$) とを比較し検討した。

次に、残りの $N \geq 3$, $n \geq 2$ の場合の安定性を解析した。まず、 $n \rightarrow \infty$ の場合について検討し、安定性に関して、初期値に依存する結果が得られた。さらに、平衡点付近での固有値の n, p 依存性についての結果より、臨界線が求まった。この臨界線をもとに、確率測度がどのような軌跡を描いているかをシミュレーションにより調べた。その結果、安定なリミットサイクルの存在を確認した。このことは、ある初期値から時間発展させると中立安定になるということを示している。

最後に、遷移率 p, q, r の1カ所だけを変えて、連続時間モデルと離散時間モデルとを比較した。このとき、連続時間モデルの場合、間接効果があらわれたが、離散時間モデルではそれを見ることが出来なかった。

植生遷移モデルの密度分布, 相図, 相関不等式

横浜国立大学大学院 工学研究科 生産工学専攻 今野研究室

川東 真人

無限粒子系 (特にコンタクト・プロセス) を数学的に解析する近似法として, 相関不等式 (Harris-FKG, BFKL 不等式) を用いる手法がある. 初めに, Harris-FKG 不等式は以下のようなタイプをいう:

$$\frac{\rho(ij)}{\rho(j)} \leq \rho(i), \quad \frac{\rho(ij)}{\rho(j)} \geq \rho(i) \quad (i, j \in \{0, 1\}).$$

この不等式は, 最近接にある 2 サイト間の相関を表している. 一方, BFKL 不等式は以下のようなタイプをいう:

$$\frac{\rho(ijk)}{\rho(jk)} \leq \frac{\rho(ij)}{\rho(j)}, \quad \frac{\rho(ijk)}{\rho(jk)} \geq \frac{\rho(ij)}{\rho(j)} \quad (i, j, k \in \{0, 1\}).$$

この不等式は, 隣接 3 サイト間の相関を表す. これらの相関不等式は, コンタクト・プロセスが「単調性」, 「2 状態」という性質を持っていることが, 成立するための一要因となっている. 従って, 相関不等式の今後の課題としては, 上記の 2 つの性質のいずれかが欠けたときに, 相関不等式が成立するか, ということが考えられる.

そこで本研究では「単調性」という性質を持たない, 3 状態無限粒子系について, 相関不等式を含めた広い分野の解析を行う. 具体的には, Sato and Konno (1995) により導入された, 3 状態植生遷移モデルのクラスについて検討する. このクラスの特別な場合には, Matsuda, Ogita, Sasaki and Sato (1992) によって, ペア近似とシミュレーションを用いて, また Durrett, Swindle, Schinazi 等によって, 数学的に研究されている. このような状況をふまえて, 我々は, 平均場近似とモンテカルロ・シミュレーションにより解析を行った.

モンテカルロ・シミュレーションについては, 様々な初期状態から始め 1500 step まで続ける. 格子サイズは $100 \times 100 = 10000$ である. また, プログラムに関しては, C 言語と Visual Basic により作成した.

それにより次のような結果が得られた. 相図と密度変化については, 平均場近似とシミュレーションの結果が定性的に類似した結果になった. 相関不等式については, 植生遷移モデルとは異なる 3 状態モデルの結果と比較して考察を進めた. これらの結果より, 定常分布は最近接粒子の影響を強く受ける. 言い換えると, 同種が集まりやすく, クラスターを形成する傾向にあることが分かった. しかしながら, どの相関不等式が成立するかについては, モデルのパラメーターに強く依存しているように思われるため, 相関不等式に関して統一的な結果は得られなかった.

参考文献: [1] Sato, K., and Konno, N., Successional dynamical models on the 2-dimensional lattice space, *Journal of the Physical Society of Japan*, 64(1995), 1866-1869. [2] Matsuda, H., Ogita, N., Sasaki, A., and Sato, K., Statistical mechanics of population - the lattice Lotka-Volterra model, *Progress of Theoretical Physics*, 88(1992), 1035-1049.

3 状態投票者モデルの相関不等式と共存－非共存

横浜国立大学大学院 工学研究科 生産工学専攻 今野研究室

浦野 将人

本研究では、3 状態無限粒子系の 1 つである 3 状態投票者モデルについて解析した。通常、格子モデルを解析する場合は、平均場近似とペア近似という手法が使われる。その場合、空間構造を無視した平均場近似よりも、限定的ながら空間構造を考慮にいたしたペア近似の方がモデルの性質を良く記述することが多い。しかしながら、この格子上の 3 状態投票者モデルでは、安定性に関してペア近似が平均場近似よりも良くないという興味深い結果が得られている。そこで、定常状態における以下の 2 つの相関不等式について調べることにした。

Harris-FKG 不等式は以下のようなタイプをいう：

$$\frac{\rho(ij)}{\rho(j)} \leq \rho(i) \quad \text{あるいは} \quad \frac{\rho(ij)}{\rho(j)} \geq \rho(i) \quad (i, j \in \{0, 1, 2\}). \quad (1)$$

この不等式は、隣り合う 2 つの格子点の相関を表す。この式は、着目する格子点が状態 i である確率と、状態 j である格子点の隣に状態 i の格子点が存在する確率を比較したものである。BFKL 不等式は以下のようなタイプをいう：

$$\frac{\rho(ijk)}{\rho(jk)} \leq \frac{\rho(ij)}{\rho(j)} \quad \text{あるいは} \quad \frac{\rho(ijk)}{\rho(jk)} \geq \frac{\rho(ij)}{\rho(j)} \quad (i, j, k \in \{0, 1, 2\}). \quad (2)$$

この不等式は、隣り合う 3 つの格子点の相関を表す。この式は、状態 j である格子点の隣に状態 i である格子点が存在する確率と、状態 $j-k$ である格子点の隣に状態 i の格子点が存在する確率を比較したものである。

これらの相関不等式は 2 次元正方格子上 (100×100) で、C 言語によるモンテ・カルロシミュレーションにより解析した。その結果、定常状態では同種の粒子が固まりやすく、クラスターを形成しやすい傾向にあることがわかった。この様子は Visual Basic による結果から、確認することができた。それによると、3 種が固まって大小様々なクラスターを形成し、その空間パターンは非常に複雑なものとなっている。そこで、このクラスターを特徴づけるため、クラスターの周 (l) と面積 (S) の間に、 $S \propto l^\alpha$ なる関係があることを明らかにし、 $\alpha \simeq 1.4$ であることを示した。さらに、この関係から、定常状態におけるクラスターの周のフラクタル次元 (D) が約 1.43 であることもわかった。また、空間パターンについては、その他の 3 状態モデルの結果と比較して考察を進めた。

このモデルを最初に解析した泰中啓一氏 (静岡大学) は、相互作用する格子点が最近接格子のみの場合、2 次元上では初期条件によらず各種の密度が $1/3$ に漸近的に近づく一方、1 次元では初期条件によらず 3 つの状態が共存せず、1 種のみで占めらる定常状態が表れると報告している。そこで、1 次元格子上 (10000 個) において、相互作用する格子点の数 (z) を増加した場合、定常状態において 3 種が共存するかどうかをモンテ・カルロシミュレーションにより調べた。その結果、 $z = 2 \sim 10$ までは 3 種が共存するような定常状態は得られなかったが、 $z = 12$ 以上 (20 まで) では、それぞれの密度が常に振動するようになり、3 種が共存する定常状態が得られた。また、その振動の中心は 3 種の密度が等しい点 ($\rho(0) = \rho(1) = \rho(2) = 1/3$) であることもわかった。

非対称 Domany-Kinzel モデルにおける Arrowsmith-Essam の公式

横浜国立大学 工学部 生産工学科 今野研究室 栗津 真一

1) 研究目的：方向性のあるサイトーボンド・パーコレーションモデルにおいて、1977年に Arrowsmith and Essam によって提案された Arrowsmith-Essam の公式が知られている (i) 式). 1999年には Konno and Katori によりその適用できる範囲を Domany-Kinzel モデルにまで拡張された式が (ii) 式のように提案された。

$$\begin{aligned} P_n(x_1, x_2, \dots, x_k) &= \sum_{g \in G_n(x_1, x_2, \dots, x_k)} \left(-\frac{1}{\alpha}\right)^{l(g)} (\alpha\beta)^{b(g)} \\ &= \sum_{g \in G_n(x_1, x_2, \dots, x_k)} (-1)^{l(g)} \alpha^{s(g)-1} \beta^{b(g)} \end{aligned} \quad (i)$$

$$P_n(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sum_{g \in G_n(x_1, x_2, \dots, x_k)} \left(\frac{q-2p}{p^2}\right)^{l(g)} p^{b(g)} \quad (ii)$$

Domany-Kinzel モデルは左右対称の確率モデルであるが、本研究では Domany-Kinzel モデルのダイナミクスを左右非対称の場合まで拡張したときに、上記の Arrowsmith-Essam の公式に対応するものを予想し、その証明を試みるのが本研究の目的である。

2) 研究方法：左右非対称な Domany-Kinzel モデルにおいて、帰納法を用いた証明方法を用いる。

3) 結果・考察：方向性のあるパーコレーションモデルにおいて、右（左）方向に浸透するボンドをそれぞれ β_r (β_l) とし、(i) 式より次のような予想をたてた。

$$P_n(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sum_{g \in G_n} (-1)^{l(g)} \alpha^{s(g)-1} \beta_r^{b_r(g)} \beta_l^{b_l(g)} \quad (iii)$$

この (iii) 式は、方向性のあるパーコレーションモデルの場合であるので、これを Domany-Kinzel のモデルの式に変換したのが次式である。

$$P_n(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sum_{g \in G_n} (-1)^{l(g)} \left(\frac{p_r p_l}{p_r + p_l - q}\right)^{s(g)-1} \left(\frac{p_r + p_l - q}{p_l}\right)^{b_r(g)} \left(\frac{p_r + p_l - q}{p_r}\right)^{b_l(g)} \quad (iv)$$

この式が非対称な Domany-Kinzel モデルの場合に成立するか検討する。

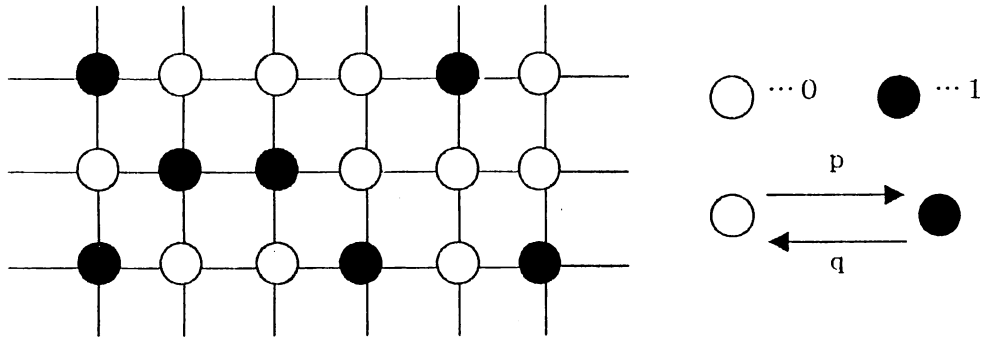
4) 結論：(iv) 式は、特別な $\{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ の場合には証明することができ、それを組み合わせることにより一般の場合も示すことができると考えられる。

参考文献：[1] D.K.Arrowsmith and J.W.Essam: Percolation theory on directed graphs, *J. Math. Phys.* 18 235-238 (1977). [2] N.Konno and M.Katori: Extension of the Arrowsmith-Essam formula to the Domany-Kinzel model, preprint (1999).

ある非吸収的2状態平均場モデルの相図の単調性

横浜国立大学 工学部 生産工学科 今野野研究室 墳崎 正則

研究目的:



下記で定義されるモデルは、2次元正方格子に2種類の粒子0, 1が存在する無限粒子系である。上の図において ($\longrightarrow$) とは、矢印の始点の状態から、矢印の先の状態に移ることを意味する。但し、この変化が起こる確率は、 $p, q \in [0, 1]$ と注目するサイトの最近傍にある、これから移ろうとする状態の数によって決まる。例えば、状態「0」の粒子が、その最近傍に k ($k \in \{0, 1, \dots, 4\}$) 個の状態「1」の粒子があると考え、このとき、状態「0」から状態「1」に変化する確率を $P(k: 0 \longrightarrow 1)$ と書くと

$$P(k: 0 \longrightarrow 1) = \begin{cases} 1 - (1-p)^k & (k \in \{0, 1, 2, 3\}) \\ 1 - (1-p)^4 & (k=4) \end{cases}$$

とし、 $P(0 \longrightarrow 1)$ を $P(k: 0 \longrightarrow 1)$ の $k=1$ から $k=4$ の和で定義したモデルについて考える。この場合に、 θ に対する相図の単調性を示すことが本研究の目的である。

研究方法:

上記のモデルにおいて $0.75 \leq \theta$ のときは吸収的 (attractive), $0 \leq \theta < 0.75$ の場合は非吸収的 (non-attractive) と呼ばれる。本研究では非吸収的モデルにおいて、 $p, q \in [0, 1]$ を固定したときの θ に対する単調性について考察した。まず定常状態になったときの各サイトの確率測度が求められるよう推移確率行列を求めた。次にこの行列を用い、 θ の値を変えたとき、プログラムによる解析を行い、定常状態における3つの状態間の相図を比較検討した。さらに上記で求めた結果により、予想される θ に対する単調性のある仮定のもとで証明した。

◆

結果:

プログラムによる解析の結果、 θ が小さくなると共存状態となる領域が広くなることが予想できた。そこで定常状態における3つの状態間の臨界線を具体的に求め、この臨界線が θ に対して単調性があることを利用し、 θ と定常状態において共存状態となる領域の間に単調性があることを証明した。

アカハラヤッコ *Centropyge ferrugatus* では、通常、雌の性転換は雄の行動干渉によって社会的に制御されており、雄の死後、第一位雌が性転換を行う（後継性転換）。しかし、いくつかのハレムが互いに隣接して存在する場合には、ハレム分割性転換が起こる。すなわち、隣接するハレム内でいずれかの雄が死亡すると、生き残った雄がハレムを統合するが、その後最大雌が性転換してハレムの一部を獲得するという事象である。これは、統合されたハレムの面積や雌の数が大きすぎ、雄1匹では全ての雌の性転換を制御できないために発生すると考えられる。このような隣接しあうハレム内で似た体長の個体がいる場合、雌が産卵頻度を低下させる行動（産卵拒否行動）が観察されており、低頻度で産卵を行う雌は早く成長する傾向があることが確認された。このことから、アカハラヤッコの雌は産卵よりも成長にエネルギーを投資することで、似た体長の近隣の雌個体に対し社会的優位性を維持し、次代の雄の座を獲得しようとしていると予想される。

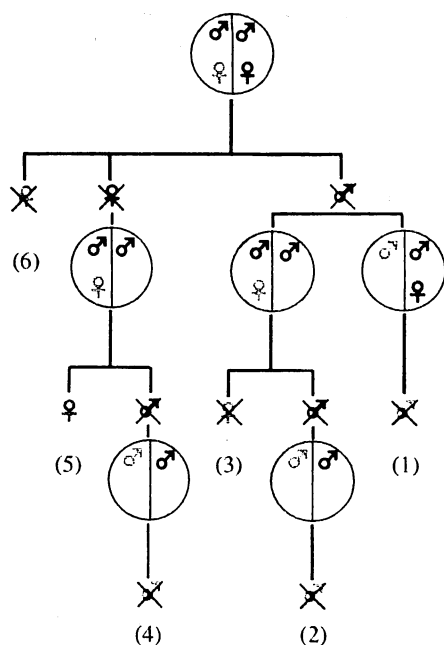


図1 注目雌のとりうる生活史
白抜き文字が注目雌、黒文字が他個体
(雄、対立雌)を表す。×印は死亡を
○内はハレムの状態を表す。

本研究では、Sakai(1996b) のフィールド調査に基づき、2つのハレムが隣接しあう状況におけるハレム分割性転換を想定する。各ハレムは、それぞれ雄が1個体と雌が n 個体で構成されており、対立する2つのハレムの第1位雌のうち一方を注目雌、もう一方を対立雌と呼ぶ。両雌は産卵頻度を下げることで次の雄の座を競い、

$$\rho(\phi_f, \phi_o) = \frac{(\phi_n - \phi_f)^T}{(\phi_n - \phi_f)^T + (\phi_n - \phi_o)^T}$$

の確率で注目雌が勝利するとする。ここで γ は産卵拒否効率で、大きければ雌の成長効率が良くなる。この仮定の下で優位雌のとりうる生活史について ESS モデルを構築し、進化的に安定な最適産卵頻度を解析した。その後、雄の雌に対する社会的制御の強さが、最適産卵頻度にどのような影響を与えているのかを拡張モデルによって調べた。

基本モデル

まず、注目雌が死亡するまでに2ハレム内で起こる、性転換や個体の死亡等の事象を生活史として仮定した(図1)。ハレムの状態変化は時刻 t_1, t_2, t_3 で個体の死亡によって起こるとした。

$$w_1 = 2\delta_m^2 \rho \int_0^\infty \int_0^{t_2} \{\phi_f t_1 + \phi_m(t_2 - t_1)\} \exp(-\delta_m t_2 - \delta_m t_1 - 2\delta_f t_1) dt_1 dt_2$$

$$w_2 = 4\delta_m^3(1-\rho)\int_0^\infty\int_0^{t_3}\int_0^{t_2}\{\phi_{\text{f}}(t_2)+\phi_{\text{m}}(t_3-t_2)\}\exp(-\delta_{\text{m}}t_3-\delta_{\text{m}}t_2-2\delta_{\text{f}}t_2-\delta_{\text{f}}t_1)dt_1dt_2dt_3$$

$$w_3 = 2\delta_m \delta_f (1 - \rho) \int_0^\infty \int_0^{t_2} \phi_f \exp(-2\delta_m t_2 - 2\delta_f t_2 - \delta_f t_1) dt_1 dt_2$$

$$w_4 = 2\delta_m^{-2}\delta_f \int_0^\infty \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} \{\phi_f t_2 + \phi_m(t_3 - t_2)\} \exp(-\delta_m t_3 - \delta_m t_2 - \delta_f t_2 - \delta_f t_1) dt_1 dt_2 dt_3$$

$$w_3 = 2\delta_f^2 \int_0^\infty \int_0^{t_2} \phi_f \exp(-2\delta_m t_2 - \delta_f t_2 - \delta_f t_1) t_2 dt_1 dt_2$$

$$w_6 = \delta_f \int_0^{\infty} \phi_f \exp(-2\delta_m t_1 - 2\delta_f t_1) t_1 dt_1$$

$$\phi_m = \phi_0 + \phi_n (n-1)$$

:雄の繁殖率

 ϕ_f : 注目雌の繁殖率 ϕ : 対立雌の繁殖率 ϕ_0 : 正常雌の繁殖率 n :ハレム内の雌数 δ_2 : 雄の死亡率 δ_f : 雌の死亡率

図1の各ルートにおける平均適応度は上の式で表される。このとき、対立雌が進化的に安定な産卵頻度で産卵しているとして、最大の適応度を得ることができるESSの産卵頻度 ($\Phi^* = \phi^*/\phi_n$) を求めた。解析結果より (図2, 図3)、死亡率の雌雄比 ($D = \delta_m/\delta_f$) が雌に偏るほど、またハレムサイズが大きくなるほど最適産卵頻度が低下し、極端な場合には、産卵を完全にやめる状況や、反対に後継性転換のように全く産卵頻度を下げない状況があることがわかった。

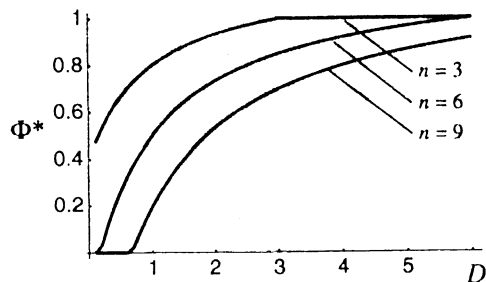


図2 進化的に安定な産卵頻度 Φ^* の雄の雌に対する死亡率の比 D 依存性
産卵拒否効率 $\gamma=1$, ハレムサイズ $n=3, 6, 9$

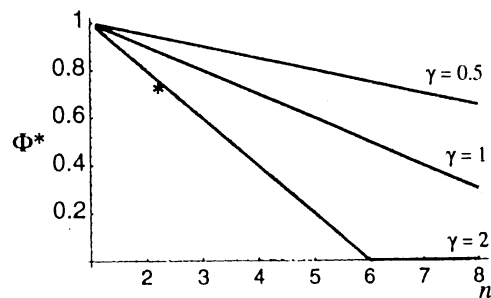


図3 進化的に安定な産卵頻度 Φ^* のハレムサイズ n 依存性
雌雄の死亡率比 $D=1$, $\gamma=0.5, 1, 2$ の場合
図中*はアカハラヤッコの産卵頻度

拡張モデル

基本モデル (図1) では、雄の死後、統合ハレムの状態を省略し、即座に注目雌または対立雌が性転換を行いハレムを乗っ取ると仮定した。しかし、雄の社会的制御が強い場合、雄の死後すぐに性転換が起こることなく、統合されたハレムが長期間維持されることが予想される。よって拡張モデルでは、統合ハレムの状態を考慮に入れ、雌の性転換が起こるまでに個体が死亡するというルートを新たに加味した。統合ハレムからの状態遷移は図4に示す。注目雌、対立雌が性転換をする確率はそれぞれ

$$a = \alpha(\phi_n - \phi_f)^\gamma$$

$$a^* = \alpha(\phi_n - \phi_n)^\gamma$$

と定義した。ここで、 α の逆数を雄の社会的制御の強さとし、社会的制御が強ければ統合されたハレムの状態が長く維持されると仮定した。これらの仮定の下で新たに加味されたルートについて同様にモデルを構築し、統合ハレムの維持期間を変化させ解析を行った。すると、雄の社会的制御が非常に強い場合は、産卵拒否は全く起こらず、社会的制御が適度に存在する場合に、最適産卵頻度が最も低くなるという結果が得られた (図5)。

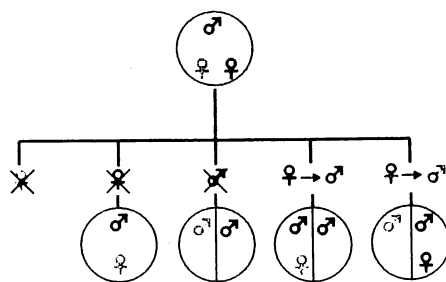


図4 統合ハレムからの状態遷移

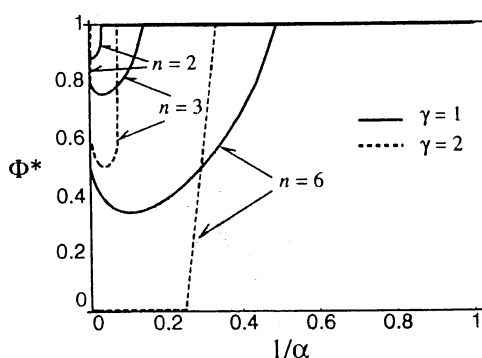


図5 雄の雌に対する社会的制御の強さ $1/\alpha$ と最適産卵頻度 Φ^* の関係。雌雄の死亡率比 $D=1$
実線は $\gamma=1$ 、破線は $\gamma=2$ を表す。

これらの結果から、産卵拒否行動は、ハレム分割性転換を見越した行動であり、雌雄の死亡率やハレムサイズなどの環境と密接な関係があることがわかった。また一般に、社会的制御が弱まったときに産卵拒否が行われている可能性が示唆された。

奈良女子大学大学院人間文化研究科情報科学専攻

大澤恭子

choko@ics.nara-wu.ac.jp

現在、地球上では森林、湿原、河川、サンゴ礁など、生物の生育場所が急速に面積を縮小し消滅しつつある。それに伴い、多くの生物が絶滅したり絶滅の危機にさらされているといわれている。自然界は、そこに生息する生物とそれらを取りまく環境からなる複雑なシステムである。つまり、生物は食う食われるの関係や競争関係、寄生関係、共生関係など様々な生物間相互作用によって関わりあう一方で、台風、水害、山火事などの様々な非生物的環境の影響を受けている。このような生物間の相互作用や環境の不均一性は、生物の共存にどのような影響を及ぼしているのだろうか。

本研究では、生物の生息環境が2次元格子の上にパッチ状に分布している状況を考える。各パッチ内では、 N 種類の種が共通の資源を求めて競争し、かつ、パッチ間を移動拡散している。さらに、環境は、自然あるいは、人為的な攪乱を受けて周期的に変動しているとする。この状況をモデル化し、解析することにより、複雑に絡み合った生物間の相互作用ならびに攪乱などによる環境変動が、生態系における種多様性にどのような影響をもたらしているか、そのメカニズムを明らかにすることを試みた。

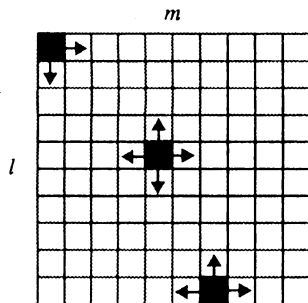


図1. 2次元格子状コンパートメントモデル
各パッチ内では N 種類の種が種間競争を行い、
また一定の割合で隣接パッチに移動拡散する。
(10×10)格子の境界は完全反射条件を満たしている。

$$\frac{dX_i(l,m)}{dt} = \{ \varepsilon_i - \lambda_i X_i(l,m) - \sum_{\substack{j=1 \\ (i \neq j)}}^N \beta_{ij} X_j(l,m) \} X_i(l,m) - 4D_i X_i(l,m) + D_i \{ X_i(l-1,m) + X_i(l+1,m) + X_i(l,m-1) + X_i(l,m+1) \}$$

$X_i(l,m)$: l 行 m 列目のパッチ上の i 番目の種の個体数

ε_i : i 番目の種の内的自然増加率

λ_i : i 番目の種の種内競争係数

β_{ij} : j 種が i 種に及ぼす種間競争係数

D_i : i 番目の種の拡散係数

各パッチ内での種間競争としては、上位の種が下位の種に一方的に干渉を及ぼすような偏害的干渉競争系と各種が相互に干渉的に影響を及ぼしあうような一般干渉競争系について調べた。こうした枠組みのもとに計算機シミュレーションを行い以下の結果を得た。

・偏害的干渉競争系

まず、空間内で種が単独で生存する為に最低限必要な空間の広さ（クリティカルパッチサイズ）を解析的に求めることで、内的自然増加率/拡散係数の値の小さな種から順に絶滅することを導いた。さらに、攪乱のないときの競争系における個体群動態を数学的に求めた上で、攪乱が加わると、競争種の個体群動態がどのように変化するかをシミュレーションにより解析した。その結果、常に攪乱のかかっている（永久攪乱）環境では内的自然増加率と拡散係数の比の値の大きい種ほど生存しやすい。また、攪乱のかかる範囲や到来頻度に依存して、絶滅する種の順序を予測することができる。さらに、周期的に攪乱がかかるような生息域や種間の相互作用が大きく働くような系においては、攪乱の程度の違いが種組成や各種の個体数に大きな変動をもたらすことが分かった。

また、この結果を生息地破壊と種の絶滅について解析した Tilman のメタポピュレーションモデル(1997)と比較し、両モデルの相違を拡散様式や攪乱パターンと対応づけて議論した。

・一般干渉競争系

一般干渉競争モデルでは、初期状態に依存して一般に複数の周期的平衡状態が存在することが示された。すなわち、攪乱面積が大きいときには初期状態の片寄りが消滅しやすく、逆に、攪乱面積が小さいとき初期状態のわずかな片寄りを反映して異なった安定パターンが出現する。特に攪乱のかかる時間の長さが適度に短かく、また、攪乱面積がある程度大きいときには二つの平衡状態が異所的にバランスを保って安定に維持される、つまり種が空間的にすみ分けることで種の多様性が高まることが示唆された。

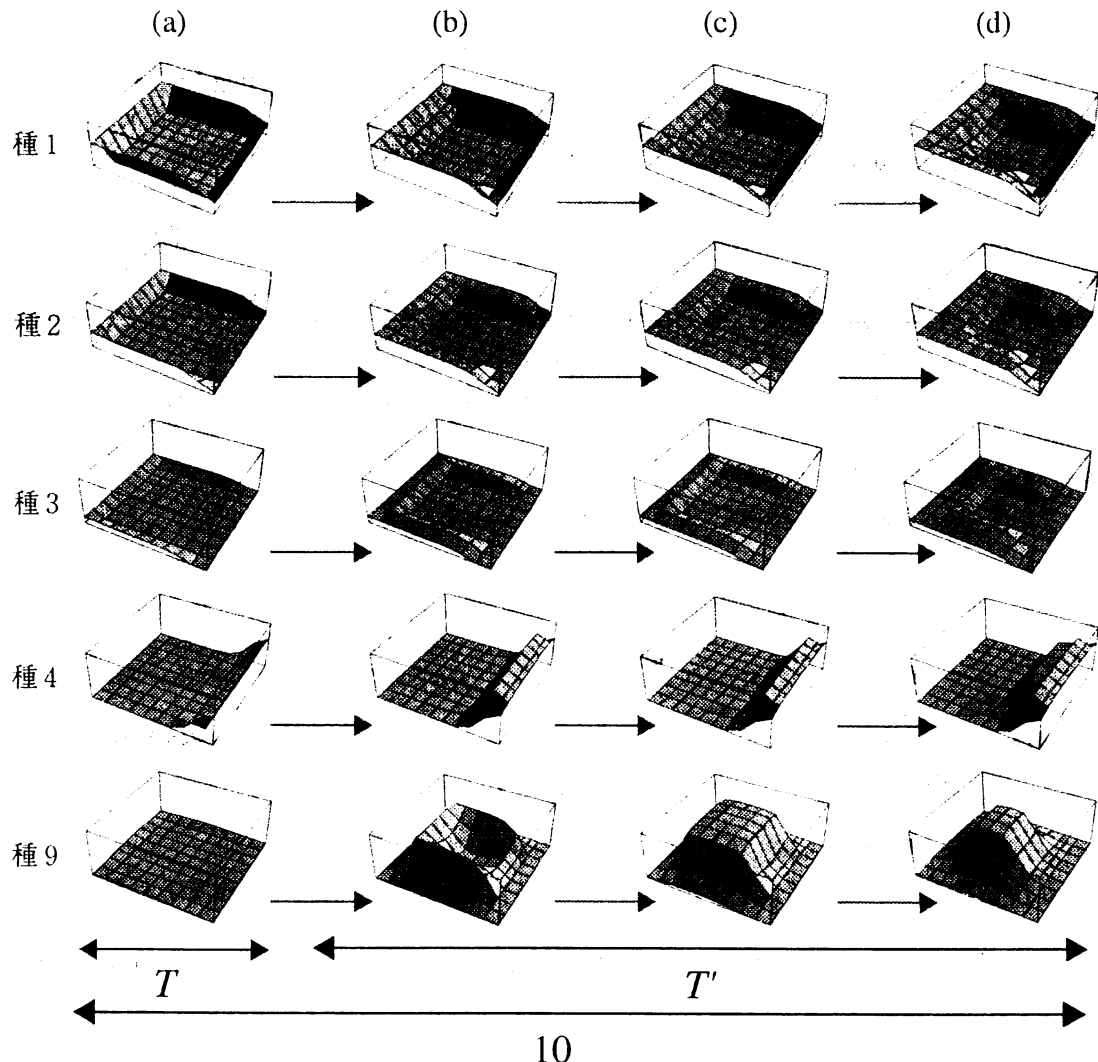


図2. 一般干渉競争系における周期的平衡状態での空間分布の変遷の様子。

攪乱のかかっている時間と攪乱のかかっていない時間の長さをそれぞれ T , T' としている。競争種の数をも 10 種とし、各種は内的自然増加率の高い順にランク付けされているこの系では、攪乱のないときにはランクの高い種 1, 種 2, 種 3 のみ生存できる。(a) 空間の中央部に攪乱がかかっている間は、どの種も攪乱地で生存できない。(b),(c) 攪乱がかからなくなると攪乱地の周囲で生存している種のうち、拡散能力の大きい種、この場合は種 9 がすばやく侵入し、増殖している。(d) 周囲から遅れて侵入してくるランクの高い種との競争の結果、種 9 の個体数は減少してしまう。このとき、種 1, 種 2, 種 3 が共存するパッチ群と種 1, 種 4 が共存するパッチ群が空間的に二つに分かれ、両者がバランスを保って安定に維持されている。このような空間内で二つの平衡状態が異所的にバランスを保つ解は、初期状態や攪乱のかかる時間や場所、攪乱面積に依存して、多数存在する。

宇宙ステーション等の閉鎖系で生物を長期間にわたり飼育する為には、生物の排泄物(アンモニア等)を内部で処理しなければならない。自然界では生物由来のアンモニアは亜硝酸菌によって亜硝酸に、亜硝酸は硝酸菌によって毒性の少ない硝酸に酸化される事から閉鎖系に於いても硝化細菌による分解処理法が有効な方法として注目されている。

志村ら(1995)は、スペースシャトルでの宇宙実験(IML-2)に搭載された水棲動物飼育装置の為に高い硝化能を保有するバイオフィルター作製へ向けて2つの実験を行った。実験1では、シポラックス上($V_s=230\text{cc}$)に定着したキンギョ由来の硝化菌によって、排泄されるアンモニア($4\text{mg NH}_4^+-\text{N/day}$)が分解される過程を追跡している。実験2では、実験1で最終的に得られたシポラックスを種菌(100cc)にして、アンモニアの間欠的添加(5ppm/2days)の基に、菌未担持シポラックス(900cc)に種菌が定着・増殖する過程を追跡している。ここで、シポラックスとはガラス製多孔質濾材(ショット日本(株))であり、ポンプで水槽($V(L)$)の飼育水を循環させている。両実験で得られる、アンモニア、亜硝酸、及び各酸化能の時間変化を図2(□, ■)に示す。

本研究では上記の実験に基づいて、亜硝酸菌と硝酸菌の増殖並びに両菌のアンモニア、亜硝酸酸化過程のメカニズムを組み入れた数理モデルを構築し、両菌の硝化能力、増殖速度並びにシポラックスが保有する菌密度の経時的変化を定量的に求め、理論面より高硝化能を達成する為の条件や動的特性について考察する。

硝化細菌定着過程のダイナミクス

アンモニアが亜硝酸に酸化され硝酸に至る過程を図1に示す。

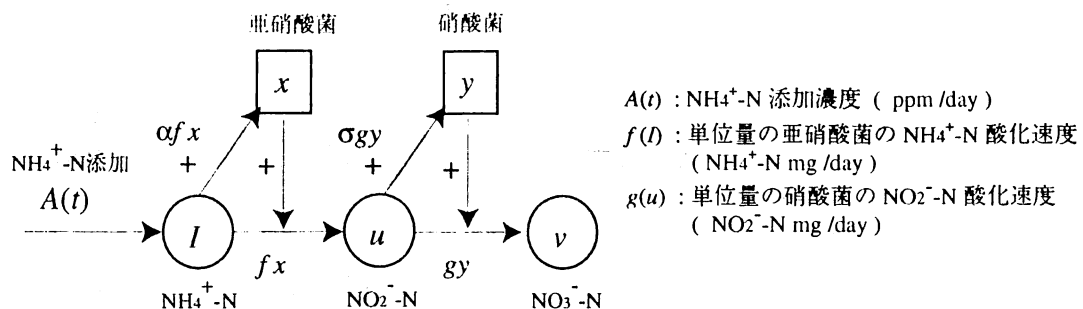


図1.硝化過程の流れ図。+は反応速度、あるいは菌の増殖速度を促進する効果を表す。

この過程を基に変数 I (アンモニア濃度)、 x (亜硝酸菌密度)、 u (亜硝酸濃度)、 y (硝酸菌密度)の時間変化が以下の式で表されるモデルを考えた。

$$\frac{dI}{dt} = A(t) - \frac{V_s}{V} f(I)x \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = \alpha f(I) \left(1 - \frac{x}{k_x} - \gamma_y y\right) x \quad (2)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{V_s}{V} f(I)x - \frac{V_s}{V} g(u)y \quad (3)$$

$$\frac{dy}{dt} = \sigma g(u) \left(1 - \gamma_x x - \frac{y}{k_y}\right) y \quad (4)$$

(1) 式は、 I の時間変化がアンモニアの添加濃度 $A(t)$ と亜硝酸菌によって消費される量 $f(I)x V_s/V$ の差で与えられる事を表している。(2) 式は、 x の時間変化がLotka-Volterra タイプの増殖に従うとし、 k_x は亜硝酸菌が単独に増殖する時のシポラックス1cc当たりの環境収容量、 γ_x は亜硝酸菌と硝酸菌の間の相互作用係数である。亜硝酸菌は密度が低い時、増殖率 $\alpha f(I)$ で指数的に増え、密度が高くなると、シポラックスの収容

量に限りがある為 x の値に依存して増殖率が減少すると仮定する。 $\gamma > 0$ の時は亜硝酸菌の増殖に負の効果をもたらす種間競争、 $\gamma < 0$ の時は亜硝酸菌の増殖に有益な共生作用となる。以下では、亜硝酸菌と硝酸菌の酸化速度 $f(I)$ 、 $g(u)$ を Michaelis-Menten の関数型を用いて表す事にする (Yoshioka et al. 1982)。

$$f(I) = \frac{\mu_a I}{g_a + I} \quad g(u) = \frac{\mu_u u}{g_u + u} \quad (5)$$

シミュレーションの結果

振とう培養実験より 2 種の菌の増殖率は $\mu_a \alpha = 0.58$ 、 $\mu_u \sigma = 0.81$ である事が分かっている (Yosioka et al. 1982, Nakamura et al. 1991)。残りの未知パラメーターについては様々な数値を代入し、数値計算を行った結果、実験 1、2 のデータと最も良く一致したものを採用した。この時のシミュレーション結果を図 2 (実線、波線) に示す。又、シボラックス中の菌密度の変化は図 2 (c)、(f) の様になる。すなわち、実験 1 に対応するシミュレーションでは、亜硝酸菌は約 20 日目、硝酸菌は約 40 日目から急激に増加し、約 50 日目にはどちらも飽和して一定になっている。一方、実験 2 では両菌は共に単調に増加し、約 30 日目にはほぼ一定値になっている。

まとめ

- ・両菌は指数的に増殖し、最終的にシボラックスへ定着した菌密度は硝酸菌の方が多い (約 1.3 倍)。
- ・亜硝酸菌は硝酸菌に依存せず増殖するが、硝酸菌は亜硝酸菌の存在により増殖速度が増す ($\gamma_x = 0$ 、 $\gamma_y = -8.33$)。硝酸菌が長期間単独で培養する事が困難であると経験的に知られていたが、今回このパラメーター値から亜硝酸菌が硝酸菌に対して片利共生的作用を及ぼしている事が定量的に示されたと言える。
- ・アンモニア添加濃度が約 5ppm/2days の時、菌密度を 1/10 希釈したシボラックスの硝化能力は約 30 日で回復する。

更に、このモデルを用いた試行実験では、菌の増殖速度がアンモニアの添加方法 (連続的に添加する方法、1 日に 1 回離散的に添加する方法) に依存しないという結果も得られた。今後、このモデルを用いれば、菌密度を希釈したシボラックスにおける必要な酸化能力回復日数を予測する事や、実験的に検証困難な条件や環境下での硝化細菌の動態を推定する事が可能になると思われる。

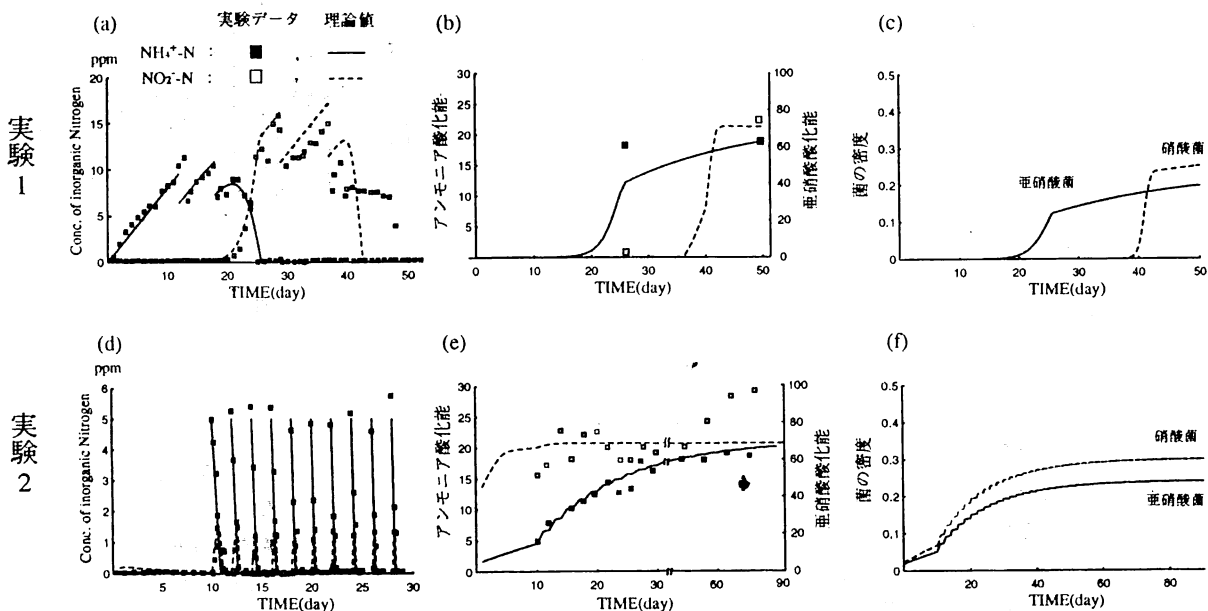


図 2. 実験 1 における, (a) アンモニア、亜硝酸濃度 (b) アンモニア、亜硝酸酸化能 (c) 亜硝酸菌、硝酸菌密度, の経時的変化。実験 2 における, (d) アンモニア、亜硝酸濃度 (e) アンモニア、亜硝酸酸化能 (f) 亜硝酸菌、硝酸菌密度, の経時的変化。実験データ: ■ ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), □ ($\text{NO}_2^-\text{-N}$). 理論値: — ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), --- ($\text{NO}_2^-\text{-N}$).

ムシクイアイゴの模様形成に関する考察

大阪大学大学院基礎工学研究科システム人間系専攻

紀田 馨

1 はじめに

ムシクイアイゴは、図1に示すように体側全体に虫食い状の斑点がある。これは一種の迷路模様だが、縞模様がはっきりとした角をなして折れ曲がっているのが特徴である。本考察では反応拡散方程式を用いて、ムシクイアイゴの特徴的なもようの形成に関して考察する。

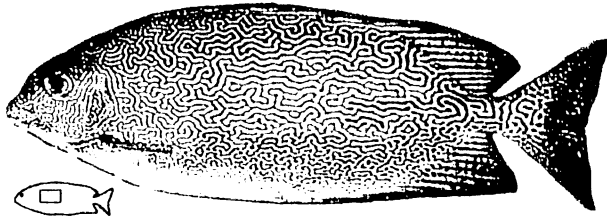


図1: ムシクイアイゴ (*Siganus vermiculatus*)

撮影 吉野雄輔, 編 監修 岡村収 尼岡邦夫
山溪カラー名鑑 日本の海水魚 山と溪谷社 (1999) より

2 モデルとシミュレーション

ムシクイアイゴの特徴的な縞模様は、六方最密構造状にならんだうろこが縞模様の形成に影響することによって形成されているのではないだろうか。すなわち、うろこの位置は模様の決定に先立って決定され、模様はうろこの配置から弱い影響を受けながらも、ほぼ独立な反応拡散系によって形成されるのではないだろうか。うろこのきまりかたは遺伝的に決定されていると考えてもよいし、別の反応拡散系によって作られると考えてもよい。以下のこのモデルを数式を用いて表す。

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} u_1(x, y, t) \\ u_2(x, y, t) \end{pmatrix} = D \nabla^2 u + \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1(u_1)^3 \\ b_2(u_2)^3 \end{pmatrix} + \varepsilon \begin{pmatrix} u_0(x, y) \\ u_0(x, y) \end{pmatrix}$$

$a_{11} = a_{21} = 3.5, a_{12} = -4, a_{22} = -4.6, b_1 = b_2 = -1.0$ としてシミュレーションを行った。結果を図2に示す。図2Aはうろこの配置による六方最密の影響パターンを示す。図中の白い部分では $u_0 = 1$ 、他の部分では0となっている。図2Bは図2Aに示したうろこの影響を考えた場合 ($\varepsilon = 0.05$) の結果である。図2Cはうろこの影響がない場合 ($\varepsilon = 0$) の結果である。縞模様がどの方向をむいてい



図2: 反応拡散方程式によるシミュレーション結果 - 16 -

るか、すなわち画像の濃淡のグラジェントの方位のヒストグラムを図3に示す。図3Aが図1の長方形で示された部分の濃淡、図3Bがうろこの影響がない場合、図3Cがうろこの影響がある場合の u_1 から求めた。横軸の0度は図1、図2の水平右向きに対応する。

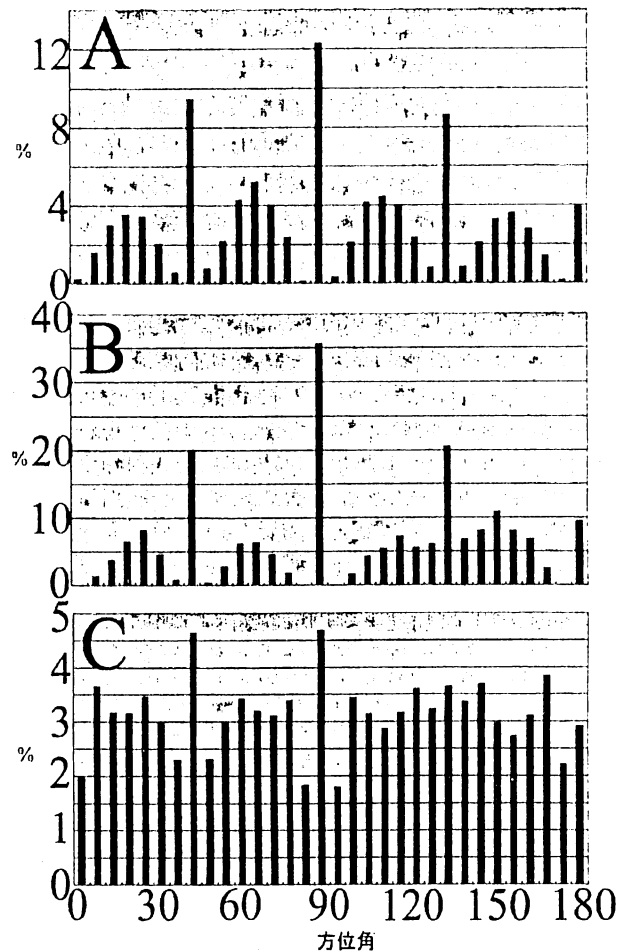


図3: 縞模様の方向

3 結論

図3からはっきりと図2Bが図1の縞模様の方位の分布に似ている事がわかる。3つのピークの両側で方位分布が落ち込んでいる事が、引き込み現象を強く示唆している。実際はどのようにうろこが並んでいるかを調べることができればよいのだが、ムシクイアイゴはかなり希少な種であり、実物で確認をとる事はできなかった。

アリの生活史戦略

九州大学理学部生物学科 別府 弥

アリの女王制について

アリには、一個の巣に女王が一個体存在する“単女王制”のものと、複数の女王が存在する“多女王制”のものが見られる。

“単女王制”のものは、比較的安定した土地（森など）に存在し、新たな巣の創設は、新女王が単独で、元の巣から離れたところで行う（ex. *Mymica rubra macrogyne*）。“多女王制”のアリは空き地などの不安定な土地に見られ、新しい巣は、新女王が元の巣のワーカーを引き連れ、元の巣の近くに創設する（ex. *Monomorium pharaonis*）。環境変動の激しい土地＝攪乱の大きいところでは遠距離に分散するものの方が有利であると考えられるが、アリではそのような場所で近距離に分散する“多女王制”のものが観察されている。

どのような時、近距離に分散するものが有利になるのか？分散戦略に注目し、空間構造を考慮したモデルで、攪乱の起こりやすさ・広がりやすさが異なる場合についての解析を行った。

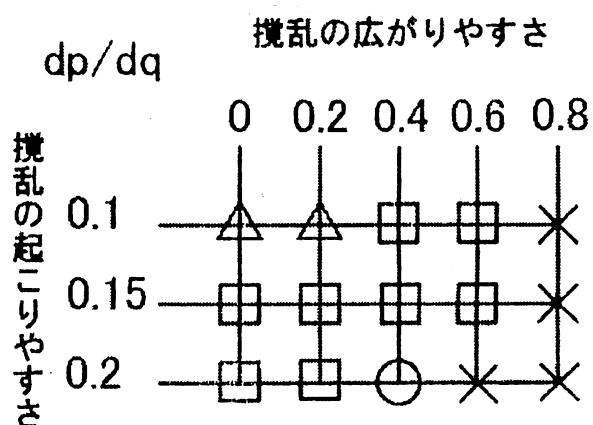
格子モデルによる解析

2つの戦略の分巢距離のみを異なるものとし、両戦略ともに分巢が等しい確率で起こる場合について格子モデルで解析した。シミュレーションに加えて、ペア近似という近似計算も行ったところ、攪乱の起こりやすさ・広がりやすさを問わず、常に“多女王型”の分散戦略は“単女王型”のものが占めている空間に侵入できないことが分かった。

カップルドマップラティス

次に、実際のアリでは分巢のタイミン - 17 -

グは巣のサイズによって決まると言われているところから、巣のサイズがロジスティックに成長し、巣サイズが一定の値に達したときに、分巢が起きるシミュレーションを行った。こちらの結果では、攪乱がある程度強いときに“多女王型”の分散戦略が有利になる場合が見られ、格子モデルとは異なる結果となった。



カップルドマップラティスの結果

攪乱の起こりやすさ (dp)・広がりやすさ (dq) が異なる場合の全試行中もっとも多かった結果 (○: 多女王型、□: 単女王型、×: 全滅、△: 引き分け)

まとめ

格子モデルによる解析の結果より、分巢距離の違いのみに着目すると、“多女王型”のものは“単女王型”のものが占めている空間に侵入できなかった。しかし、巣サイズ依存の分巢を行うカップルドマップラティスによるシミュレーションの結果は、ある程度の攪乱が発生する場所では、“多女王型”のものも有利になる場合があることを示した。

これにより、攪乱の起こりやすい場所で、“多女王型”の分散戦略が進化するには、巣サイズに依存した分巢タイミングが必要であると言える。

(1) 翅模様の多型の維持機構：ミュラー型擬態

ミュラー型擬態とは、味のまずい複数の擬態種が互いの模様が似るよう進化するものである。集団中に似た翅の模様が多いと、捕食者に味のまずさと模様とを関連付けて覚えられやすいために捕食されにくく有利である。逆に少ない模様の頻度は不利である。このような頻度逆依存選択がはたらくので、一つの模様に収斂されると予想される。ところが、南アメリカのドクチョウ *Heliconius erato* と *H. melpomene* は、翅模様に多数のタイプがあり、モザイク状に地理的に分離している。また同じ生息地の2種は、似た翅模様をもつ。本研究では異なるモルフの分布境界線の動きを考え、この地理的モザイクが安定に維持されるかどうかを反応拡散方程式を用いて解析した。

1次元の連続空間に翅模様A、Bを持った2種類のチョウがいる仮定する。どちらの種の翅模様Aも、模様Bより味がまずいとか目立つなどの理由で捕食者に覚えられやすく有利とし、頻度逆依存淘汰を仮定して偏微分方程式モデルを立てた。

進行波解析から、2種の翅の模様がある程度類似していると、2種の進行波は同期して進むようになるという結果を得た。また、2種間で翅模様が類似しているほど進行波の移動速度は遅くなることがわかった。1次元での解析から、2種のチョウの地理分布の同期は説明できた。しかし、2種が擬態していても進行波は遅くはなるが、止まることはないため、現在見られる翅模様の多型は非平衡のもので、やがて1つの有利な模様で占められてしまうことが示唆された。

しかし、見られているような多型は本当に非平衡なのであろうか？別の機構により安定に維持されているのではないか、と思い空間を2次元に拡張し、簡単にするために種数を1種に落として解析を行った。

1種2次元のモデルの挙動は基本的には1次元モデルと同じだが、2次元では模様の境界の形が進行波の速度に影響する。本研究では2次元の進行波を界面のダイナミクスとしてとらえ、進行波解を解析的に求めた。2次元での結果はまとめると以下ようになる。

(1) 初期分布の状態によっては翅模様Aが有利でも、模様Bが全空間を占めてしまうことがある。(2) 頻度だけではなく密度の効果を考えた。生存に不利な場所で環境収容力が低いところがあると言うような、環境が場所に依存する場合は、進行波がその近辺を境界

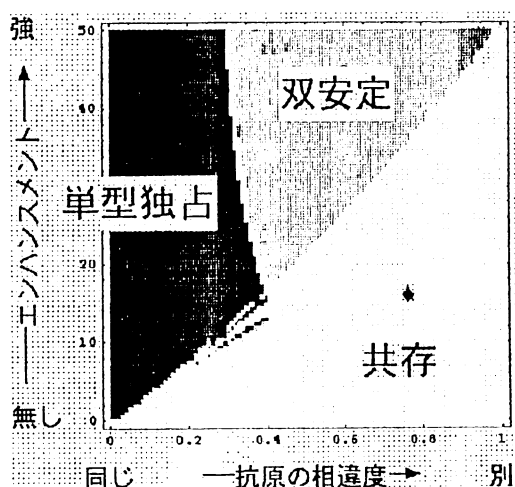
にして停止し、2つの翅模様が安定に共存することがわかった。またこれと同様にして、移住率が場所に依存する場合も同様の結果を得た。

現在南アメリカでミューラー型擬態の翅模様の多型が見られるのは、実は非平衡の状態なのかもしれない。しかし川や谷などの、生存に不利だったり移動が困難な場所があると、そこを境界にして翅の多型は1種だけでも安定に維持される。

(2) 異なる抗原亜型の共存条件：デングウイルス

デング熱は東南アジアや中南米などの熱帯、亜熱帯地方で周期的に流行するウイルス性感染症である。デング熱を引き起こすデングウイルスには4つの異なる抗原亜型があり、これらの遺伝的距離は他のウイルスの亜型間と比べて非常に離れている。よって相同性が低い交差免疫が成立せず、1つの抗原に感染されても別の抗原に再感染されうる。この再感染時には症状が重症化し、死亡率が増加するエンハンスメントが知られている。本研究では2種系に拡張したSIRモデルを用いて、交差反応とエンハンスメントが、異なる抗原型の共存にどのように影響するかを解析した。

集団に2種の抗原があり、それぞれに対してホストは未感染(S)、感染(I)、免疫保持(R)の状態にあるとする。1抗原のみの平衡集団への別抗原の侵入可能性を解析し、2つの抗原型の共存条件を求めた(下図)。結果はエンハンスメントがない場合、交差反応が強くて共存できるが、エンハンスメントが強い時には、共存するには交差反応が十分に弱い事が必要ということがわかった。これはエンハンスメントが強いデングウイルスで抗原亜型の遺伝的距離が離れている理由を示唆しているといえる。



増殖項つき走化性方程式の数値解法

相田征史 (阪大・工・応物)

e-mail: aida@ap.eng.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

数理生態学の分野において細胞性粘菌の集合体形成を記述したモデルが Keller と Segel によって提案されている [KS70]. Keller-Segel モデルは細胞性粘菌のランダムな拡散と走化性によって引き起こされる集合体形成の過程をモデル化したもので、全体の個体数は保存されるという性質をもっている. これに対し三村・辻川は大腸菌の集合体形成のモデルとして Keller-Segel モデルにさらに個体数の増減の効果を取り入れた形の方程式を提案した [MTKU93]. この三村・辻川モデルでは、Keller-Segel モデルでは見られなかったパターン形成などの複雑な解が存在することが、これまでの数値実験の結果などから示唆されている.

本論文では三村・辻川モデルに対して中口・八木らによって安定性および収束性が保証されたスキーム [NY99] を適用して計算アルゴリズムを構成し、一次元および二次元領域での数値計算の結果を通してスキームの有用性を考察するとともに、パターン形成などの現象がモデルから再現できるかを検証する.

2. 三村・辻川モデル

培地の上に細菌集団がつくるコロニーパターンの形状は、外的環境の違いによって様々なものが観測される. 1990 年, Burdrene と Berg は大腸菌の集合体形成の様子を観察し、これが走化性と増殖による相互作用によるものであると考えた [BB91]. 三村・辻川は大腸菌のこのような現象を数理的な立場から調べるために、 u を大腸菌の個体群密度、 ρ を誘引物質の濃度として、次のような数学モデルを提案した.

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = a\Delta u - b\nabla \cdot \{u\nabla \chi(\rho)\} + c(u) & \text{in } \Omega \times (0, \infty), \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} = d\Delta \rho + fu - g\rho & \text{in } \Omega \times (0, \infty), \\ \frac{\partial u}{\partial n} = \frac{\partial \rho}{\partial n} = 0 & \text{on } \partial\Omega \times (0, \infty), \\ u(x, 0) = u_0(x), \quad \rho(x, 0) = \rho_0(x) & \text{in } \Omega. \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 Ω は $\mathbf{R}^1$ の有界区間、または $\mathbf{R}^2$ の有界凸多角形領域である. a, b, d, f, g はすべて正定数、 $u_0(x)$, $\rho_0(x)$ は初期関数である. u についての方程式はランダムな拡散と走化性、増殖の項からなり、 ρ についての方程式は拡散と大腸菌による生成、そして消滅の項からなる. $\chi(\rho)$, $c(u)$ については次のように与える.

$$\chi(\rho) = \rho^2, \quad c(u) = u(u - 0.1)(1 - u)$$

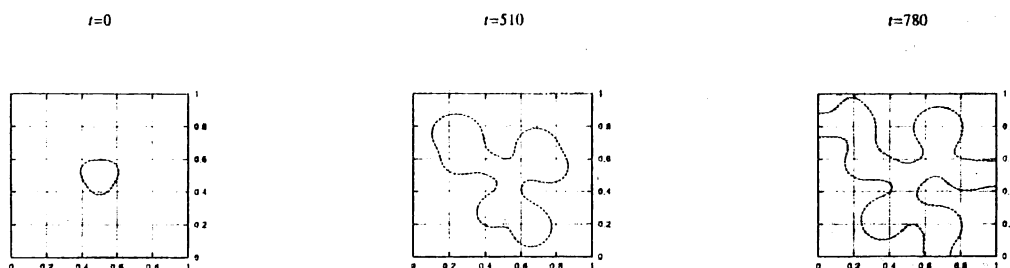
3. 方程式の離散化

方程式(1)において $\Omega = (0, 1)$ および $(0, 1) \times (0, 1)$ として、空間変数の離散化に有限要素法、時間変数の離散化に陰的 Runge-Kutta 法を用いた全離散スキームを適用する. 有限要素法については 1 次元問題では区間を分割数 K で等分割し、2 次元問題では x, y 方向をともに分割数 K で等分割するとする. また、陰的 Runge-Kutta 法については 2 段 3 次の解法を用いた. これによって、 $4K$ 個の未知数の非線形連立方程式を解くことで 1 ステップ先の時刻の数値解を得るという問題に帰着される. このスキームの空間の刻み幅に対する誤差の次数は 1 次元問題について 1 次、2 次元問題について 0.5 次で評価されている [NY99]. また、今回の数値実験の結果からは、1 次元問題については実際には 2 次であることが数値的に示された. モデルの性質から 2 次元問題が特に興味深いのが、このスキームは 2 次元問題に適用した場合に計算コストが膨大となることが予想されたため、いかにして低コストなアルゴリズムを構成するかが重要な課題となった. これに対し本論文では未知数 $2K$ の連立方程式 2 本の系として分割して解く方法を用い、さらに各行列要素の並べ替えを行うことで行列のバンド幅を圧縮してメモリの節約をはかる. また、非線形連立方程式の解法については非線形項に現れる時刻 $\Delta t + 1$ の解に時刻 Δt の近似解を初期値として反復計算を行うことで線形化し、これを LU 分解法で解く.

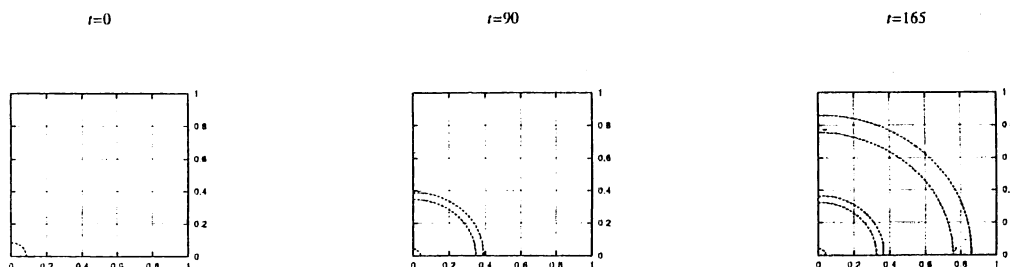
4. 数値計算の結果

計算精度についてはパラメータの選び方が大きく影響すると考えられるが、1次元問題では空間分割数を1024として計算を行い、興味深いケースについての計算の信頼性を数値的に保証することができた。また計算に必要なメモリ容量について、1次元問題では分割数に対して1次のオーダーであったのに対して2次元問題では3次のオーダーとなったため、2次元問題では空間分割数は256が限界(およそ3.2 GByteのメモリが必要)であった。そのため離散化誤差の影響が強く精度的な問題が生じたが、空間パターンのおおまかな形状をとらえることができた。そこで現段階で得られている数値解のうちで特徴的なものを以下に紹介する。下の図は u の分布をあらわし、 $u = 0.1$ の等高線をプロットしている。case 1では領域の中心に集まっている大腸菌が増殖しながら枝分かれのパターンが作っていく。case 2では大腸菌は原点付近に多く存在し、そこ以外では一様に分布している状態から計算を始め、次々にリングができていく様子がわかる。これらの興味深いパターンをより正確に計算するためにさらなるアルゴリズムの改良が必要である。

case 1: $\alpha = 0.000025$, $d = 0.01$, $b = 0.001$, $f = g = 1$



case 2: $\alpha = 0.000064$, $d = 0.0016$, $b = 0.00384$, $f = g = 1$



参考文献

- [BB91] E. O. Burdrene and H. C. Berg, *Complex patterns formed by motile cells of Escherchia coli*, Nature **349** (1991), 630–633.
- [KS70] E. F. Keller and L. A. Segel, *Initiation of slime mold aggregation viewed as an instability*, J.Theor.Biol **26** (1970), 399–415.
- [MTKU93] M. Mimura, T. Tsujikawa, R. Kobayashi, and D. Ueyama, *Dynamics of aggregating patterns in a chemotaxis-diffusion growth model equation*, Forma **8** (1993), 179–195.
- [NY99] E. Nakaguchi and A. Yagi, *Error estimates of implicit Runge-Kutta methods for quasilinear abstract equations of parabolic type in Banach space*, Japanese Journal of Mathematics **25** (1999), 181–226.

免疫応答に時間遅れの見られる2つの様式があるときの最適な分配について

九州大学・理・生物 首藤 絵美

はじめに 高等脊椎動物の獲得免疫応答では、細胞性免疫と液性免疫という2つのシステムが見られる(図1)。これらのシステムは、最終的にはマクロファージの貪食効率を上げる。なぜ同じ作用を及ぼす2つのシステムがあるのだろうか。そこで、本研究では、応答開始時刻に違いのある仮想的な2つの免疫応答システムを考えて解析を行った。

モデル 抗原(病原体)は指数増殖すると仮定した。免疫システムは抗原の増殖率を抑えるように働くとする。早く応答しはじめるシステムを「Earlyシステム」、時間遅れで応答しはじめるシステムを

「Lateシステム」と呼ぶ。それぞれの応答開始時刻を L_1 、 L_2 、投資量(どの程度そのシステムを起動させるか)を x 、 y 、免疫効果を e_1 、 e_2 とした。

$Damage \equiv$ 全抗原量積分とした。生体はこのダメージを減らすために免疫応答を行うが、それによって自己組織が破壊されることが考えられる。これをコストと考えた。 $Cost \equiv c_1 x + c_2 y$ (c_1 、 c_2 はコスト係数) ダメージとコストの和 $\Psi \equiv Damage + Cost$ とし、 Ψ を最小にする (x^*, y^*) が生体にとっての最適な免疫応答であると考えた。 Ψ の極小点は唯一であり、最適値 (x^*, y^*) はただひとつに決まることが証明された。図2より、双方のシステムを併用することは実現されにくいことがわかる。

Earlyシステムの免疫効率が高ければ、Lateシステムを使わなくても最適になる。一方、Lateシステムの免疫効率が高くても、Earlyシステムの免疫効率によって、最適分配が変わる。 N_0 (抗原量の初期値)や r (病原体増殖率)が大きいほど、Earlyシステムを積極的に使うことがわかった。

考察 実験報告から、抗原が高濃度のペプチドや細菌、原虫であれば細胞性免疫が誘導され、低濃度のペプチドや線虫であれば液性免疫が誘導されるといわれている。たとえば、 N_0 が大きいときをペプチドが高濃度であるとし、細菌の増殖率は線虫よりも大きいとすると、このモデルから、Earlyシステムが細胞性免疫にあたるのではないかと考えることができる。すると、液性免疫よりも細胞性免疫のほ

うが応答開始時刻が早いと予想できる。また、Earlyシステムが細胞性免疫にあたると考えると、細胞性免疫効率が高いときには液性免疫を併用しないほうがよいが、液性免疫効率が高くても細胞性免疫効率によっては併用しうると予想できる。

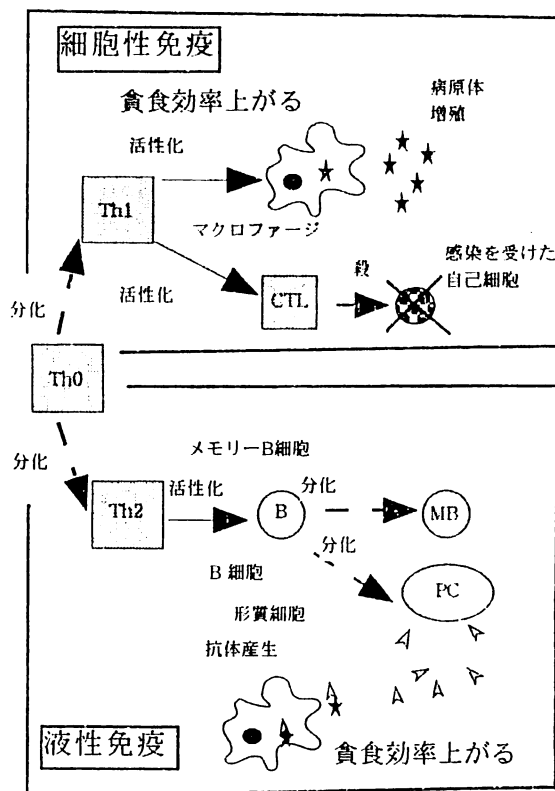


図1 獲得免疫応答

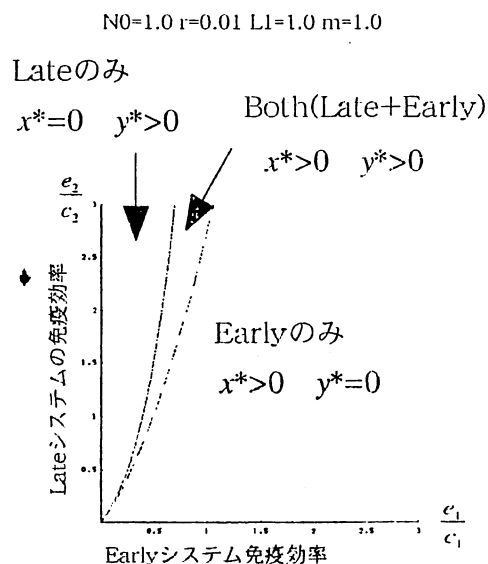


図2 実現される (x^*, y^*) 別の領域

環境変動が森林にもたらす同調した繁殖のシミュレーションによる解析

九州大学理学部生物学科 数理生物学講座 4 年 田中 英典

成熟した森林内にいる多くの樹木種は同調した繁殖(マスティング)を見せる。マスティングにおける繁殖活性は年によってかなりの変動があり、また個体間で同期していることがよくある。

本研究においては、マスティングを起こす要因として、花粉の交流による繁殖時期の個体間での調整などの個体間相互作用ではなく、森林内のすべての個体が共通して経験するような環境変動を想定している。このとき、植物集団の繁殖がどのような振る舞いを見せるか、ということをシミュレーションによって解析した。

最初に、1 回繁殖型の植物集団に、共通の環境変動ノイズを与えた場合と与えない場合について、その繁殖頻度に関して比較検討を行った。その結果、共通の環境変動を経験した植物集団は、ほぼ完全な繁殖時期の同調を見せた。一方、共通の環境変動を経験しなかった植物集団は、同調を示さなかった。また、個体間で異なったノイズを経験する場合においては、集団全体で共通のノイズを経験する場合に比べて繁殖時期の同調が崩れる、という結果となった。

つぎに、多回繁殖型の植物について、Isagi らによって提案されたモデルの変形を行い、年間総光合成量に対する周期的な環境変動ノイズを導入し、樹木の繁殖の様子を無次元化された蓄積資源量の変動を探ることで解析した。また、異なる初期条件を持つ 2 本の樹木が存在するときに、共通の環境変動ノイズを年間総光合成量に与えたとき、蓄積資源量が相関関係をどのくらい示すか、またノイズ成分のパラメータである、ノイズの振幅と周期が異なる 2 つの蓄積資源量の相関に対してどの程度の影響を与えているのか、解析した。その結果、異なる 2 つの蓄積資源量の相関に関して、共通のノイズ成分が存在しなければ相関は全く見られず、共通のノイズ成分が存在するとき異なる 2 つの蓄積資源量に相関が見られることがわかった。また、ノイズ成分の周期の年数によっても、異なる 2 つの蓄積資源量の相関が変化することがわかった。樹木の持つ蓄積資源量の変動は、蓄積資源減少係数の値の範囲に依存してカオスであり、ノイズを与えない状態では無相関だった異なる 2 つの蓄積資源量が、周期的なノイズによる外力を加えることによって相関を持つようになる、ということが以上の結果より示唆される。これらの結果より、個体間での相互作用を考慮しない場合において、集団全体が共通して経験する環境変動ノイズが、集団の同調した繁殖を引き起こす可能性が見出された。

結論として、本研究では個体間の相互作用を全く考えていない、という特殊な場合を想定しているが、そのことによって、集団内のすべての個体に共通の環境変動が同調した繁殖をもたらすことができる、という可能性について検証することができた、と思われる。実際の森林において、共通の環境変動だけで集団の繁殖の同調が引き起こされているとは考えにくく、花粉の交流を介した個体間での繁殖時期の調整などの、個体間での相互作用との兼ね合いでこのような繁殖の同調は行われている、と考えられる。これらのことを検証するためにも、野外で実際の集団にもたらされている共通の環境変動としての要因にはどのような現象があるのか、またその影響はパラメータとしてどのくらい、どのように現れてくるのかを調査する必要がある。さらに、その対極にあるとも言える、花粉の交流を介した個体間での相互作用の強さ、花粉が実際にどの程度の割合で飛来するのか、どのくらいの距離まで運ばれるのか、などを詳しく調査し、より実態に近い状況を把握した上で、これら 2 つの効果、すなわち共通の環境変動による効果と個体間の相互作用による効果を相対させながら研究を進めていくことが、今後の進展をさらに深めることになるとと思われる。

エラーはシグナル分化にどのような影響を及ぼすか

九大・理・生物・平 健

動物間のコミュニケーションでは、シグナルが用いられる。意味の異なったシグナルは誤解をさけるため、全く異なるシグナルに進化すると考えられるが、これは自明ではない。なぜなら、少しでも異なりさえすれば学習の結果、区別可能となるからである。が、送受信時にエラーが発生する場合には、似たシグナルは区別されにくくなるため、より異なったものへと進化するだろう。

本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いてシグナルの進化とエラーの影響を調べた。各個体は二つの異なる目標物を意味する二つのシグナルと、意味を解読するための意志決定装置＝ニューラルネットワーク (N. N.) を持つ。シグナルは 4×4 格子からなり、うち 8 格子が黒、残りが白からなり、初期にはランダムに白黒を割り当てた。N. N. の初期状態は $(-1, 1)$ の一様乱数を割り当てた。各個体は他個体と会話を行い (図 1)、意志の疎通がうまくはかれた個体が次の集団に子を残せるとした。子を残す時にシグナルと N. N. に少しの変異が加わるとした。この、より良い個体を集団中に残す過程を学習と呼ぶ。親個体の変異個体よりも正しい会話が行えた時に学習を終了させ、その時の二つの目標物に対応するシグナルの距離を調べた (図 2)。この学習を 100 回独立に行い、シグナル間の距離はエラーのある時とない時でどの程度異なるかを調べた。

結果は、送受信時のエラーがなくてもシグナルはランダム分布から有意にずれ、より異なったシグナルへと進化する (ランダム分布では平均 8 の二項分布)。これは、N. N. が般化性を持ったため、似ているシグナルは誤解を生じるため嫌われるからであろう。送受信時にエラーが発生すると、シグナル間の距離の分布はよりランダム分布からずれた (図 3, $p < 0.01$, χ^2 -test)。

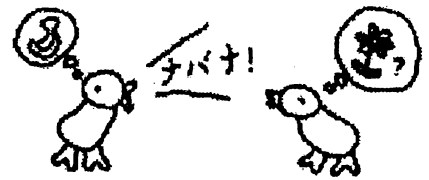


図 1: 会話風景

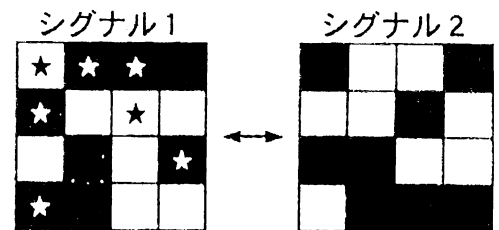


図 2: シグナル間の距離: 距離 = 7

このことから、エラーが起こることによってシグナルはより異なったものへと進化するということが示唆される。また、エラーが多すぎる時には、逆にランダム分布に逆戻りすることも確認された。

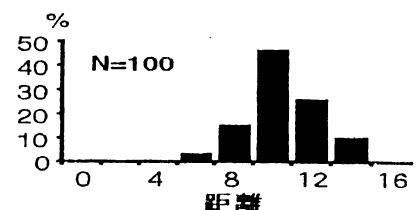


図 3: 100 個独立に訓練した 2 シグナル間の距離の分布

数理モデルによるショウジョウバエ概日時計の研究

；リミットサイクルが出る条件

九州大学理学部生物学科数理生物学研究室 4 年 黒沢 元

概日時計はショウジョウバエについて特によく調べられ、PER と TIMELESS の 2 つのタンパクが重要な役割を果たしていることがわかってきた。2 つのタンパクはヘテロダイマー（複合体）を作り、核内でそれが自身の遺伝子の転写抑制をする。ここで問題とするのはタンパクが「核の外でリン酸化のような修飾を受けること」や「複合体を作ること」が概日振動のようなりミットサイクルの形成に必要なのかどうかである。

概日時計の数理的な先行研究には Goldbeter のものがある。彼はこれについて数理モデルを作り numerical なシミュレーションを行った。そして 2 種のタンパクが複合体を形成する 2 遺伝系の方が 1 遺伝子系よりも、リミットサイクルを作れるパラメーターの領域が広いという結果を得た。それにより複合型モデルの方がリミットサイクルを作りやすいと結論した。

我々は彼のものをよりシンプルにした 3 つのモデルを作り、上に挙げた 2 つの問題を考えた。ここでは平衡点が局所安定であるかどうか注目し、どのような時にモデルがリミットサイクルを作り得るのかを調べた。

例えば「3 変数モデル」(per-mRNA (M), 核外のタンパク PER(P), 核 PER(P_N))は以下の式からなる (V_m と V_d は分解の、 K_s は転写の、 K_{in} は核内への K_{out} は外への移行の速度定数。

転写抑制の式は Hill 型。)

$$\frac{dM}{dt} = \frac{V_s K_h^n}{K_h^n + P_N^n} - V_m M$$

$$\frac{dP}{dt} = K_s M - V_d P - K_{in} P + K_{out} P_N$$

$$\frac{dP_N}{dt} = K_{in} P - K_{out} P_N$$

これを平衡点の近傍で線形解析すると平衡点からのズレが起こす変化を示す固有値は、以下のような式を満たしている (a_1, a_2, a_3 は正の定数)。

$$\lambda^3 + a_1 \lambda^2 + a_2 \lambda + a_3 = 0$$

このとき $a_1 a_2 - a_3 > 0$ ならば $\text{Re}(\lambda) < 0$ であり、局所安定となる (ラウスフルビッツ)。さらに、1 回の修飾を受ける「4 変数モデル」、「複合型モデル」も含めこうした解析をした。ここで抑制の非線形性を表す n が大きいほど $\text{Re}(\lambda) > 0$ となり易かったのをこれを基に安定性を比較した (結果を下に示す。○は $\text{Re}(\lambda) > 0$ となり得ることを示す)。

n	3 変数	4 変数	複合型
1	×	×	○
2	×	○	○

「 n が小さくても局所安定性が失われるのは？」と見ると、タンパクの核外での修飾や複合体の形成がリミットサイクルを作りやすくすることを示す。また同様に見ると 3 変数を拡張したい時、複合体を形成するとした方が修飾を受けるとした方よりリミットサイクルを作りやすいことを示す。

【目的】 1980 年代前半の乱獲により,ミナミマグロの資源状態は急激に悪化した.そのため,1985 年以降漁獲規制が行われ,これにより未成魚はすぐに回復したが,成魚はその後も減り続け,近年ようやく回復の兆しが見えてきている.このような成魚が今後も順調に回復していくのか,またその回復がミナミマグロ保存委員会の定める回復目標(2020 年までに親魚量を 1980 年レベルに戻す)に見合ったものなのかを検討し,適切な管理についても考察する.

【方法】 Polacheck et al.(1997)による 1990 年および 91 年のデータを用いて,年あたりの生存率と産卵率をもとめ,レスリー行列をつくる.産卵率においては,8 歳で成熟し,産卵量は体重に比例すると仮定する.また,自然死亡係数は不確実であるため,妥当な 10 通りの年齢別自然死亡係数の値を仮定する.これらの行列が等しい確率で生じ,毎年独立に変化するとして 1000 回のシミュレーションを行い,その平均値をそれぞれの年のおよその資源量として 2020 年までの資源量の推移を予測する.

【結果】 成魚は順調には回復せず,2000 年頃から再び 5 年ほど減り,その後も振動しながら回復すると予測された(図 1).これは,成熟までに時間のかかる生物では未成魚を保護し始めてから成魚が回復するまでには時間遅れがあるため,資源がいったん回復してきたからといって将来を楽観視してはいけない.また,今のままの漁獲では回復目標には達しず,目標達成には漁獲による死亡を今より 30%削減する必要があることが示された(図 2).また,現在は産卵バイオマスを中心とした管理を行っているが,産卵ポテンシャルを用いた管理のほうが未成魚の資源量や年齢構成を考慮できるため有効であると考えられる.

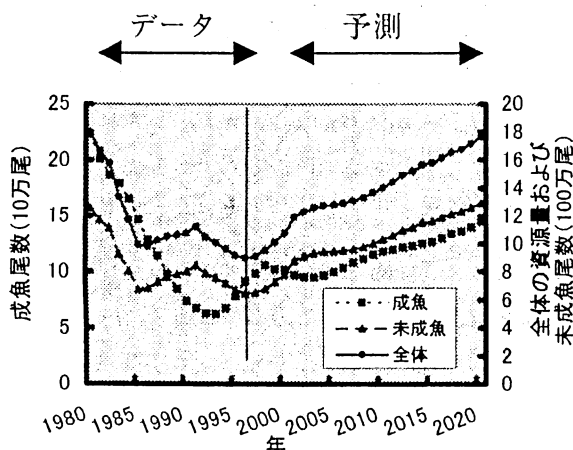


図1.全体の資源量および成魚・未成魚の変動

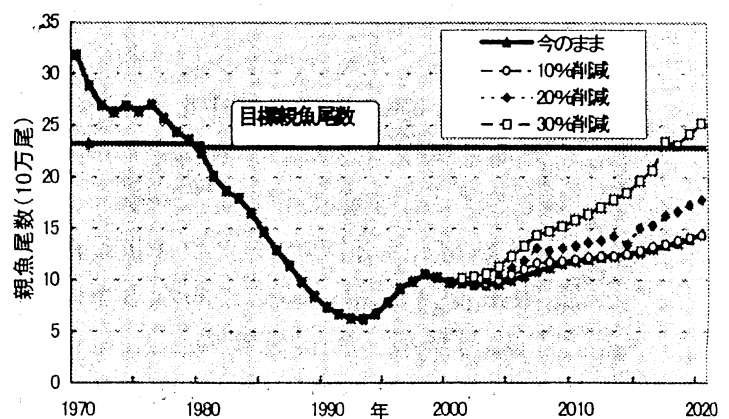


図2.今のままの漁獲を続けた場合と漁獲係数を今より削減10%, 20%, 30%した場合の親魚尾数の推移

セミナー記録

お寄せいただいたセミナー記録を収録しております。掲載を希望されるセミナーの世話人の方は、編集局までお知らせください。

大域情報セミナー(GI seminar)記録

◆場所:奈良女子大学理学部

GI セミナー# 36

2000年3月1日(水)午後3時～

正木 隆

森林総合研究所東北支所育林技術研究室

人間による干渉が森林の群集構造に及ぼす影響

GI セミナー# 37

2000年3月16日(木)午後3時～

瀬野 裕美

奈良女子大学大学院人間文化研究科・複合領域科学専攻

動物の最適行動を組み入れた個体群動態モデルの数理モデリング要論

◆問い合わせ先: ◆

高須夫悟

奈良女子大学理学部情報科学科自然情報学講座2

〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋西町

phone & fax. 0742-20-3983

email. takasu@ics.nara-wu.ac.jp

ME seminar

九州大学理学部生物学科生物学講座 講演記録
1999 年 4 月から 2000 年 2 月まで

- 4 月 8 日 (木) 午後 4:00 から
田中嘉成(横浜国立大学環境科学研究センター)
生物集団の絶滅リスクについて:環境の化学物質および近交弱勢によるリスクの推定
- 4 月 27 日 (火) 午後 1:30 から
向 草世香(九大・理・生物・数理生物)
環境の空間異質性が種の共存に及ぼす影響
- 5 月 18 日 (火) 午後 1:30 から
山下 仁(九大・理・生物・数理生物)
DNA コンピューティングにおけるハイブリダイゼーションプロセスの検証
- 5 月 25 日 (火) 午後 1:30 から
鈴木 亮(東京都立大学・理・生物)
二年草同齡集団にみられた時期で異なった死亡要因の解析
- 6 月 1 日 (火) 午後 1:30 から
上野高敏(九大農生防研)
子の餌にすべきか、それとも自分が食べるべきか? — 寄生蜂の寄主摂食意思決定 —
- 6 月 10 日 (火) 午後 1:30 から
中丸麻由子(科学技術振興事業団、CREST 研究員)
DDT の生態系への影響とマラリアを防ぐ効果をどのように定量的に評価するか?
- 6 月 14 日 (月) 午後 2:00 から
川口 聡(理化学研究所)
Hormone-dependent model on seed germination sensitive to growth stage
- 6 月 15 日 (火) 午後 1:30 から
佐々木顕(九大、理、生物)
ミューラー擬態の地理的多型と界面ダイナミクス
- 6 月 22 日 (火) 午後 4:00 から
中丸麻由子(科学技術振興事業団、CREST 研究員)
The Evolution of Social Interaction in a Spatially Structured Population
(空間構造の社会的相互作用の進化への影響について)
- 6 月 23 日 (火) 午前 10:00 から
河田雅圭(東北大・理・生物学)
交配前隔離・交配中隔離と多様性の進化
- 6 月 29 日 (火) 午後 1:30 から
武田裕彦(九大・理・生物学)
ゲノムインプリンティングの数理モデル: 一遺伝子座にまつわる諸考察

- 7月 6日 (火) 午後 1:30 から
津田みどり(九大・農・生防研)
寄主-寄生蜂系の共進化動態と持続性:包囲作用とその対抗形質が種内競争力と trade-off
するとき
- 7月 8日 (木) 午前 10:30 から
鈴木 亮(東京都立大学・理・生物)
1. 二年草個体群に考えられる時間的に異なる2集団が同一空間に混在する条件
2. Spatial Autocorrelation Analysis(Moran's I)における問題点とその解消案
- 7月 12日 (月) 午前 10:00 から
Daniel Falush (Dep. Biology, Kyushu Univ.)
Equilibrium array size distribution for Huntington's disease.
- 7月 13日 (火) 午後 1:30 から
山下 仁 (九大・理・生物)
保全のアダプティブマネジメント:不確実性にいかに対処するか
- 7月 29日 (木) 午後 1:30 から
大野克嗣(Dep. Physics and Beckman Institute Univ. Illinois)
相変化ダイナミクスと関連したパターン形成---informal introduction
- 7月 30日 (金) 午後 1:30 から
Jeffrey David Wall (University of Chicago)
A comparison of estimators of the population recombination rate.
- 9月 14日 (火) 午後 1:30 から
川口 勇生(九大・理・生物)
異なる抗原タイプの共存可能性〜デングウイルス〜
- 9月 17日 (金) 午後 2:00 から
土居雅広(科学技術庁放射線医学総合研究所・比較環境影響研究グループ)
微生物実験生態系における個体群動態の計算機シミュレーションによる機能的解析
- 9月 20日 (月) ワークショップー数理発生学ー
- 10月 19日 (火) 午前 11時から
Charles E. Smith (Dept of Statistics, Biomath Program North Carolina State Univ.)
Approximations for Skewed probability densities based on Laguerre series and biological
applications
- 10月 26日 (火) 午後 1:30 から
堀本 勝久(佐賀医科大学・一般教育等・数学)
環状ゲノム構造比較における遺伝子の空間配置情報の数量化
- 11月 2日 (火) 午後 1:30 から
佐々木顕(九大・理・生)
ホスト・パラサイト共進化とメタ個体群 II-- ペースメーカー個体群はなぜ出現するのか?

- 11 月 9 日 (火) 午後 1:30 から
加茂将史(九大・理・生物)
小さなサンゴと元気なポリプ
- 11 月 12 日 (金) 午後 3:30 から
辻 宣行(佐世保高専電子制御)
温帯におけるワーカー産卵の包括適応度モデル
- 11 月 25 日 (木) 午後 4:00 から
三村昌泰(広島大学・院・理)
バクテリアコロニー形成と微小重力場での燃焼過程の間に相似性はあるか?
- 11 月 30 日 (火) 午後 1:30 から
武田裕彦(九大・理・生物)
地球史 7 大イベントについて- 対流現象だと信じて生命発展の”場”の遷移を整理する -
- 12 月 13 日 (月) 午後 1:30 から
島谷健一郎(Michigan State University, Department of Forestry)
Marked point process による遺伝子平面分布データの解析とモデル
- 12 月 21 日 (火) 午後 1:30 から
昌子 浩登(九大・理・生物)
拡散反応方程式のパターン形成: 空間異方性を考えたシミュレーション
- 1 月 11 日 (火) 午後 1:30 から
望月敦史(九大・院理・生物・数理生物)
バクテリアの化学走性に関する情報伝達回路の数理的解析
- 1 月 18 日 (火) 午後 1:30 から
中丸麻由子(科学技術振興事業団 CREST 研究員)
DDT の絶滅リスクセグロカモメの生態濃縮を例に一
- 1 月 25 日 (火) 午後 1:30 から
松本顕(九大・大学教育研究センター)
ショウジョウバエの概日時計機構解析
- 2 月 15 日 (火) 午後 1:30 から
向 草世香(九大・理・生物)
固着性生物のダイナミクスー種組成を決定する要因は何か

◆
連絡先: 中丸麻由子
九州大学理学部生物学科 数理生物講座
〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1
tel (092) 642-2641 fax (092) 642-2645
e-mail : nakamaru@bio-math10.biology.kyushu-u.ac.jp

編集後記

本号は、編集長の西村が国外出張中のため、松石が編集を担当いたしました。不慣れのため、至らぬ点多かったこととお詫び申し上げます。

修士論文・卒業論文については興味深い研究要旨をたくさんお寄せいただき有り難うございました。3年前からの収録数は10→15→24と急激な増加をしておりましたが、今年は19編となり、やや落ち着いた感があります。来年も同時期に募集しますので、今から気に留めておいていただければと思います。

事務処理の都合上、毎年4月号に掲載しておりました会計報告および予算案は次号に掲載する予定です。(松石)

JAMB Newsletter 編集局

〒041-8611 函館市港町3-1-1 北海道大学水産学部内

西村 欣也 (北海道大学水産学部)	kinya@fish.hokudai.ac.jp
菅野 泰次 (北海道大学水産学部)	kanno@fish.hokudai.ac.jp
岸 道郎 (北海道大学水産学部)	kishi@salmon.fish.hokudai.ac.jp
松石 隆 (北海道大学水産学部)	matuisi@fish.hokudai.ac.jp
高田 壮則 (北海道東海大学国際文化学部)	takada@dc.htokai.ac.jp
原 登志彦 (北海道大学低温科学研究所)	t-hara@orange.lowtem.hokudai.ac.jp

目次

第10回数理生物学シンポジウムのお知らせ	表紙見返し
大久保賞選考委員選出方法について	竹内 康博 2
特集:博士論文・修士論文・卒業論文	
拡張された更新切断を用いたコンタクト・プロセスの 生存確率の評価	林 俊一 3
非吸収的確率セルオートマトンの相関不等式	高橋 佐良人 4
N 種サイクリック系の平均場モデルとその安定性	古林 正 5
植生遷移モデルの密度分布, 相図, 相関不等式	川東 真人 6
3状態投票者モデルの相関不等式と共存-非共存	浦野 将人 7
非対称 Domany-Kinzel モデルにおける Arrowsmith-Essam の公式	栗津 真一 8
ある非吸収的2状態平均場モデルの相図の単調性 なぜアカハラヤツコは産卵頻度を下げるのか?	墳崎 正則 9
ー成長と繁殖のトレードオフに関する数理モデル 競争系の多様性と攪乱の効果	濱口 弓佳 10
ーコンパートメント・モデルによる数理的研究	大澤 恭子 12
閉鎖系に於ける硝化細菌の増殖と定着に関する数理的研究	久保 香子 14
ムシクイアイゴの模様形成に関する考察	紀田 馨 16
アリの生活史戦略	別府 弥 17
多型の維持機構に関する理論的研究: ミューラー型擬態とテングウイルス	川口 勇生 18
増殖項つき走化性方程式の数値解法	相田 征史 20
免疫応答に時間遅れの見られる2つの様式があるときの 最適な分配について	首藤 絵美 22
環境変動が森林にもたらす同調した繁殖の シミュレーションによる解析	田中 英典 23
エラーはシグナル分化にどのような影響を及ぼすか	平 健 24
数理モデルによるショウジョウバエ概日時計の研究: リミットサイクルが出る条件	黒沢 元 25
ミナミマグロの資源回復予測および管理	森 光代 26
セミナー記録	
大域情報セミナー	27
MEセミナー	28
会員情報の更新('00.1~'00.3)	
編集後記	裏表紙見返し