

JAMB Newsletter No. 17

数理生物学懇談会
ニュースレター

特集 第6回 数理生物学シンポジウム

第17号

1995年9月

*Japanese Association
for
Mathematical Biology*

前号で紹介したとおり、第6回数理生物学シンポジウムが開催されます。講演のプログラムが以下のように決まりましたのでご案内します。

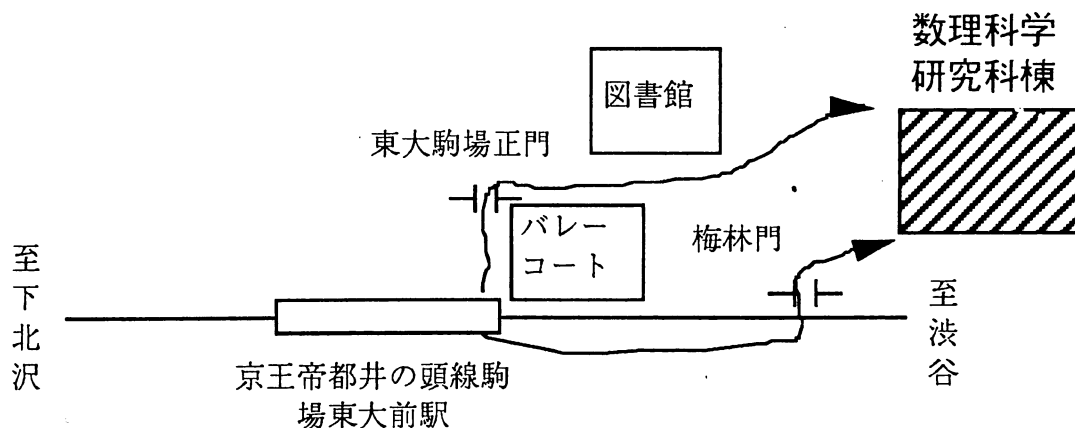
1995年 数理生物学シンポジウム 日程*

場所：153東京都目黒区駒場3-8-1 (京王帝都井の頭線駒場東大前駅下車すぐ)
 東京大学大学院数理科学研究科新棟 (下記地図参照)

日時：1995年11月6日(月)～8日(水)

- | | | | |
|------|----|------------|--|
| 11/6 | 午後 | 1:00-4:30 | 一般講演 (進化/セルオートマトン) |
| | | 4:50-6:00 | Organized Session B 構成論的生命観
(Constructive Approaches to Life) 世話人 池上高志 (東大教養) |
| 11/7 | 午前 | 9:00-12:00 | 一般講演 (パターン形成) |
| | 午後 | 1:00-1:30 | 数理生物学懇談会総会 |
| | 午後 | 1:30-4:00 | Organized Session A 視覚領におけるパターン形成
世話人 倉田耕治 (大阪大・基礎工学部) |
| | | 4:30-6:00 | 特別講演 山田義雄 (早稲田大・理工) |
| | | 6:30～ | 懇親会 |
| 11/8 | 午前 | 9:00-12:00 | 一般講演 (個体群動態) |
| | 午後 | 1:30-4:00 | 一般講演 (自己臨界現象/ニューラルネットワーク) |

*日程は一部変更されることがあります。



第6回数理生物学シンポジウムプログラム

(注：講演末尾の数字は講演要旨掲載頁です)

11月6日(月)午後 一般講演(進化/セルオートマトン)

- 13:00-13:30 梅原郁恵(東京大院・理・生物) 聾の遺伝と手話の伝達 10
- 13:30-14:00 高橋亮(東京大・理・生物) 文化の伝達様式と進化的帰結 11
- 14:00-14:30 高須夫悟(奈良女子大・理・情報科学) パラサイトの繁殖戦略様式とホストの対抗手段の進化について鳥類の育児寄生の場合 12
- 14:30-15:00 杉本裕介・檜森与志喜・神原武志(電気通信大学) 適応生物の遺伝子変化様式は環境変化プロセスに依存する 13
- 15:00-15:30 望月敦史・巖佐庸・武田裕彦(九大・理・生物) ゲノミックインプリンティングの進化 - なぜインプリンティングされる遺伝子はこれほど少ないのか? - 14
- 15:30-16:00 釜江素子(阪大・理・数学) 2次元ユークリッド空間上の伝染病の感染モデルとその拡がり方 15
- 16:00-16:30 川崎廣吉(同志社大・工・知識)・高須夫悟・大澤範子・重定奈南子(奈良女子大・理・情報)・H. Caswell(WHOI, USA) 生物の分布域の拡大速度 - セル・オートマトンモデルより - 16

(休憩)

16:50-18:00 **Organized Session B 構成論的生命観(Constructive Approaches to Life)**

世話人 池上高志(東大・教養・広域システム系)

池上高志(東大・教養) 「自己複製と記述の進化のダイナミクス」 8

郡司幸夫(神戸大) 演題未定 9 (欠落)

11月7日(火)午前 一般講演(パターン形成)

- 9:00-9:30 藤谷洋平(東大・医・細菌)・山本健二(東大・医・細菌)・小林一三(東大・医科研・生物物理化学) 相同組換えの頻度の相同領域の長さへの依存性 17
- 9:30-10:00 森田利仁(千葉県立中央博物館) 巻貝の巻き方決定機構、その機能的意味と進化パターンへの影響 18
- 10:00-10:30 近藤滋(京大遺伝子実験施設)・浅井理人(京大瀬戸臨海実験所) 熱帯魚の体に存在する活きた反応拡散波 19
- 10:30-11:00 前田卓哉・中島久男(立命館・理工)・馬渡峻輔(北大・理) コケムシの群体パターン形成の数理的解析 - ヒラハコケムシ (Membranipora) とタランポレラ (Thalamoporella) の比較 - 20
- 11:00-11:30 関村利朗(中部大学) The diversity in shoot morphology of herbaceous plants in relation to light capture by leaves. 21
- 11:30-12:00 本多久夫・吉里勝利(新技術事業団・吉里再生機構プロジェクト) 血管系の構築 - 毛細血管網から血管分岐系へ 22

11月7日(火) 午後(総会/シンポA/特別講演)

13:00-13:30 数理生物学懇談会総会

13:30-16:00 **Organized Session A** 視覚領におけるパターン形成

世話人 倉田耕治(大阪大・基礎工学部)

1. 中内茂樹(豊橋技術科学大学・情報工学系) 視覚大脳皮質における色情報表現構造の自己組織化モデル 5
2. 田中繁(理化学研究所・脳回路モデル研究チーム) 自己組織化、視覚情報表現、トポロジー 6
3. 倉田耕治(大阪大・基礎工学部) 引き込み現象とトポグラフィ形成 7

(休憩)

16:30-18:00 特別講演 山田義雄(早稲田大・理工) Cross-diffusion 効果をもつprey-predatorモデルの正值共存解について」 4

11月8日(水) 午前 一般講演(個体群動態)

- 9:00-9:30 瀬野裕美(奈良女子大・理)・中島久男(立命館大・理工) 周期的攪乱下における一回繁殖型植物個体群の存続に関する遷移行列モデル 23
- 9:30-10:00 竹内康博(静岡大学工学部システム工学科) 時間遅れを持つSIR 伝染病モデルの安定性—人口が一定でない場合— 24
- 10:00-10:30 嶋田正和・津田みどり(東大院・広域システム・生物) アズキノウムシ集団における遅れの密度効果:バアさんの存在が振動を生む! 25
- 10:30-11:00 津田みどり(東大・広域システム) 動態と集団の時空間構造:捕食者—被食者実験系の解析 26
- 11:00-11:30 高田壮則(北海道東海大学・国際文化) 繁殖遅延はどのような場合に有利となるか? 27
- 11:30-12:00 入江治行(広島大学総合情報処理センター)・坊垣貴夫(広島大学理学部) 格子生態系における空間構造と戦略の時間発展 28

11月8日(水) 午後 一般講演(自己臨界現象/ニューラルネットワーク)

- 13:30-14:00 檜森与志喜・久保健・神原武志(電気通信大学 電子物性工学科) アリジゴクの巣穴における自己組織的臨界状態の役割 29
- 14:00-14:30 舟久保博文・檜森与志喜(電気通信大学)・田中尚樹・内藤正美(日立基礎研)・神原武志(電気通信大学) 応答特性におけるカオスの縁状態の役割—シンシウム構造を持つ感覚受容器の場合 30
- 14:30-15:00 成田佳應・檜森与志喜・神原武志(電気通信大学)・佐々木直幸(日本歯科大学) 魚群の集団行動における自己組織的臨界現象 31
- 15:00-15:30 河野一成・田村尚隆・檜森与志喜・神原武志(電気通信大学) メンフクロウの音源定位の神経回路モデル 32
- 15:30-16:00 脇和規・星野修・檜森与志喜・神原武志(電気通信大学) 動的に変化するシナプス結合をもつニューラルネットワークの動的性質 33

Cross-diffusion 効果をもつ prey-predator モデルの 正值共存解について

山田義雄（早稲田大学理工学部）

本講演で扱う問題は以下のような準線形拡散方程式のシステムである。

$$(P) \quad \begin{cases} u_t = \Delta[(1 + \alpha v)u] + au(1 - u - cv) & \text{in } \Omega \times (0, \infty), \\ v_t = \Delta[(1 + \beta u)v] + bv(1 + du - v) & \text{in } \Omega \times (0, \infty), \\ u = v = 0 & \text{on } \partial\Omega \times (0, \infty), \\ u(\cdot, 0) = u_0, \quad v(\cdot, 0) = v_0 & \text{in } \Omega. \end{cases}$$

ここで α, β は非負の定数, a, b, c, d は正定数, u_0, v_0 は非負の初期関数である. このよう
な偏微分方程式は population biology の分野で現れ, 同一の生息領域 Ω における prey と
predator の生存競争をモデルとしている. u は prey の個体密度, v は predator の個体密度
を表している. (P) において通常のランダムな線形拡散に加え, 他種の population pressure
に起因する非線形の拡散が考慮されている. 非線形の拡散項 $\alpha v, \beta u$ は cross-diffusion の
項と呼ばれ, 1979年競合モデルにおける棲み分け現象を記述するために, Shigesada-
Kawasaki-Teramoto によって初めて提案されたものである.

我々は cross-diffusion の効果が prey-predator の共存状況にいかなる影響を及ぼすかを
調べたい. 数学的には, (P) が大域解を持つかどうかは大事な問題であるが, ここではひ
とまず不問に付して, (P) に対する定常問題を考える.

$$(SP) \quad \begin{cases} \Delta[(1 + \alpha v)u] + au(1 - u - cv) = 0 & \text{in } \Omega, \\ \Delta[(1 + \beta u)v] + bv(1 + du - v) = 0 & \text{in } \Omega, \\ u = v = 0 & \text{on } \partial\Omega, \end{cases}$$

u, v の意味を考えると非負の解を調べればよいが, とりわけ興味があるのは正值解である.
 u, v ともに正の解は, prey と predator の共存している状態に対応している. (SP) におい
て cross-diffusion の効果がないとき, a, b がしかるべきパラメータ範囲にあれば, 共存解
の存在が知られている. (数値実験のうえではただ一つということも予想されている.) こ
の講演では, cross-diffusion という効果が, パラメータ空間 (a, b) における共存解の存在範
囲にどのような影響をもたらすか, また共存解の個数がどのようになるかなどを話す予定
である. おおざっぱに述べると, α, β が c, d よりも小さいときには線形拡散のケースでの
prey-predator モデルと類似の結果が成り立つ. しかし, α, β , とくに β が大きくなると,
線形拡散のもとでの競合モデルにたいして現れるのと同様の複雑な状況が生まれてくる.

視覚大脳皮質における色情報表現構造の自己組織化モデル

中内 茂樹 (豊橋技術科学大学 情報工学系)

視覚皮質の神経細胞の刺激選択性とその配列様式にはある種の対応関係が存在し、視覚皮質地図と呼ばれるシステマティックな情報表現構造を見出すことができる。さらに、こうした構造は自己組織的に形成されることが知られており、そのメカニズムは古くから研究が進められてきた。細胞は自分自身や隣の細胞のもつ受容野特性、それが担っている視覚情報などを直接知ることはできない。すなわち、こうした構造は、神経細胞の発火パターンの相関によってのみ知り得る、近傍の細胞との類似度を手がかりとして形成されるものと考えられる。本研究では、視覚刺激の性質と受容野特性から神経細胞の応答相関値を求め、隣接する神経細胞の応答相関値を最大化するようこれらの細胞を配置する問題として皮質地図形成の問題を捉え、得られた結果についてこれまでの実験的知見と比較した。

ここでは、簡単のため3種類の最適空間周波数、12種類の方位選択性と、broad-band あるいは color-opponent 特性 (RG, YB) の組合せから成る合計60種類の受容野タイプを考え、これらが、それぞれ網膜上に一様に分布しているものとした。また、任意の2つの神経細胞の応答相関値を、それらの受容野の色特性、周波数、方位選択性など受容野タイプで決まる相関とその2つの受容野中心の網膜上の距離できまる相関の2つの相関値の積として記述した。なお、この応答相関値は自然画像の統計的性質を模擬した視覚刺激に対する応答を用いて求めた。また、細胞を配置する皮質として 50×50 の格子点を考えた。すなわち、60種類の受容野から成る2500個の神経細胞を、隣接する細胞間の応答相関値が最大となるように配置する。なお、相関値を最小化する方法として、2個の神経細胞をランダムに選び確率的に交換していく組合せ論的アニーリング法を用いた。

形成された方位地図、最適周波数地図、色選択性地図を解析した結果、従来の知見で示されたある程度の特徴を再現できることがわかった。特に、色選択性をもたない細胞と色選択性をもつ細胞では住みわけが見られ、2種の色細胞もそれぞれ同じ色特性をもつ細胞同士が局在化する傾向を持つことが分った。ここで用いた隣接する細胞の相関を高くするという基準は、近傍の細胞間の相互情報量を大きくすることと関係している。また、第一次視覚野と次のレベル、例えば第二次視覚野との結合が一般的な Hebb 学習によって決まっているものとするれば、隣合う細胞の相関が高いときにその結合が局所的になることが予想され、今後、応答相関値の性質と神経結合様式の経済性との関係についても議論していく必要がある。

自己組織化、視覚情報表現、トポロジー

田中 繁 (理化学研究所脳回路モデル研究チーム)

外界に関する情報は、脳内でどのように表現されているのであろうか。哺乳類大脳皮質一次視覚領を例にとり、光刺激に対する細胞の応答特性とコラムと呼ばれる脳内情報表現の基盤であるモジュール構造の自己組織化とモラムパターンにみられる位相幾何学的性質について論じる。

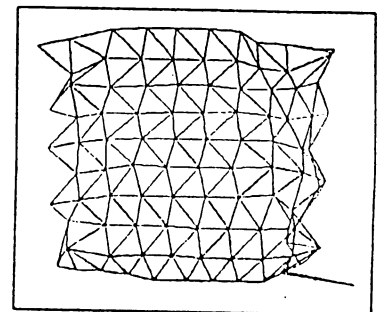
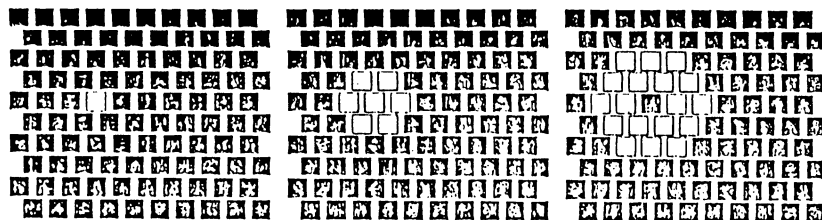
学習記憶の素過程と考えられているシナプス可塑性に対する生物学的仮説に基づいて構築された神経回路自己組織化の統計力学的モデルは、視覚野のコラム構造をよく再現する。このモデルの成功は、脳の構造形成を無秩序状態から秩序状態への相転移として捉えることが可能であることを示唆するものである。また本講演においては、最適応答を呈する方位、位相および運動方向のコラムパターンにみられる特異点や不連続線が位相幾何学におけるホモトピー論によって分類できることを示し、そういった特異性の出現機構と計算論的解釈について議論する。

生物の脳では、感覚受容器の位置関係が、その感覚の処理を行なう領野においても保存されているような投射が広く存在する。これをトポグラフィックな投射と呼び、その形成メカニズムは、長年にわたって、生理学者はもとより数理工学、物理学系研究者の興味を引いている。従来のマップ形成モデルで、その生理学的妥当性をいくらかでも考慮して作られたものは、すべて神経場の定常な興奮に基づいていたが、神経場上の興奮現象としては、その他に興奮波が古くから知られている。われわれは、これまでマップ形成の基礎として省みられなかった興奮波に基づくトポグラフィ形成モデルを提案した。

このモデルは、前層、後層と呼ぶ二枚の神経場(神経細胞モデルを平面上に並べたもの)と、前層から後層に投射する興奮性の可変層間結合からなる。両層の各細胞は層内の周囲の細胞と興奮性の固定シナプスで相互に結ばれており、一個の細胞が興奮すれば、ドミノ倒しのように周りに興奮が伝わって行く。これは興奮波の最も簡単なメカニズムとして採用したもので、興奮波さえ起きれば他の神経場でもモデルの本質に影響はない。前層のすべての細胞から後層のすべての細胞にシナプス結合が形成される可能性があると考えるが、その強さは、ロジスティック成長、シナプス前または後細胞を共有するシナプス同志の競合、ヘブ学習(同時に発火した2個の神経細胞を結ぶシナプスが強められる)の三つの効果によって変化して行く。

われわれは、前層の細胞をランダムに一つ選んで刺激して興奮波を起こし、一つの興奮波が神経場の端に到達して消えた後、また新たに細胞を選んで刺激するということを繰り返した。後層には形成中の層間結合を介した前層からの刺激により興奮波が生ずる。トポグラフィの傾向の弱い層間結合から出発すると、約100回の興奮波により興奮波の引き込みが成立してトポグラフィがほぼ完成し、以後安定に保たれることが確認された。

このモデルは神経場の興奮力学間の引き込みを利用している点で原理的に新しく、細胞間の興奮相関だけでなく興奮の時空間パターンとしての性質が決定的な影響を持つ点で、他のモデルと本質的に異なっている。また、発生途中のイタチの網膜に自発性の興奮波の存在が確認されており、これによって網膜-LGN間の結合の修正が起きるとする予想があるが、このモデルは、この予想の一つの理論的基盤を与えるものと考えている。



興奮波とそれによって形成されたマップ

自己複製と記述の進化のダイナミクス

池上高志 (東京大学・教養・広域システム系)

一定以上の複雑さを持ったシステムが、完全な自分を複製を行うためには、自分を直接観測してはダメで観測により乱されない静的な記述が必要である。システムはこの記述を「読む」ことによって、記述に書かれた「自己」を安全に複製することができる。このvon Neumannの理論が出た後実際生物システムは、タンパクとその記述である遺伝子によって自己複製が行われている事が分かり、自己複製というプロセスの必然的な2重性が明らかになった。

しかし例えばLangtonの研究にみるように、システムが記述を読む文法が一通りしかないならば、その「2重性」が存在しなくても、自己複製が可能のように見える。この2重性が問題になるのは次の場合である。1)複製したがっているシステムが複数存在して、それがめいめい異なる文法を持って記述を読もうとする場合。2)記述が複数存在して、その内容が互いに矛盾しあう場合。3)記述を読み解く際に、エラーが生じる場合。この時初めて、記述とシステムの分化という2重性は意味を持ち始めるのである。

ここでは特に1)と3)の問題が生じている際に、

いかにして自己を記述するコードが進化しえたか。記述の不安定性は、どのような形で出現するのか。

について、抽象的なモデルを考える事で明らかにしたい。それは次のようなものである。

システムには、マシンとテープというふたつのカテゴリーがあらかじめ存在する。マシンはテープを「読む」ことによって、テープに書かれたマシンとそのテープ自身を複製しようとする。この「読む」というプロセスは、テープを複製し、翻訳しようとする際にマシンが寄与することによってなんらかの「跡」が複製されたテープ上に残ってしまうということを表している。その結果として翻訳もマシンを介した翻訳ということになるのである。

システムではふたつのエラーが問題とされる。ひとつは外部ノイズによって、マシンが自分のプログラムにない書き換えをしてしまうことによるエラーで、もうひとつはマシンが、もとのテープを複製できないという意味でのエラーである。前者は確率的に行なわれ、後者は決定論的に行なわれる。前者のノイズによる読み書きの揺らぎは、化学反応の不正確さ(かならずしも同じ生成物をつくれないという意味で)を表しており、後者のエラーは「複製」的ではなくて「転写」的な働きをするマシンの動作をあらわしている。

最初の問題に戻って考えると、自己のシステムの記述というものが他のシステムとは無関係に存在できないということが重要な点である。ひとつのコードが読み手によっていろいろな読み変えられる事、自分が読みたいコードだけでなく不可避免的に他のシステムのコードも読んでしまう事。そのために記述はネットワークとしてのみ存在し、複雑化するるのである。さらにコードの進化におけるエラーの重要性に注意を促しておきたい。いくつかのマシンはエラーを受けにくい記述を進化させ、いくつかはエラーを受けやすい不安定な記述を進化させる。つまり記述の生成は単にどういうマシンをコードするかのみでなく、どういうマシンに読み間違えられるかというダイナミカルな側面が重要な要素としているのである。これらのことは単にこの特別な抽象モデルにおいてみられるだけでなく、自己の記述をつくらうとするシステム、つまり生物系に普遍的にみられるものだと考えている。

聾の遺伝と手話の伝達

梅原 郁恵 (東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻)

理論集団遺伝学の手法を用いて、遺伝性の聾と手話伝達の問題を考え、聾が遺伝するときに付随して親から子へ手話伝達が起こるとき、集団中から手話が失われないための条件を求める研究をおこなった。

聾には遺伝性のものも後天的に獲得されるものも知られているが、遺伝性の聾の大半は劣性遺伝であるため、血縁者内に聾者がいる可能性が高く、親から子へ手話が伝達される確率は低いと予想される。その一方で、聾者は聾学校をはじめとして比較的閉じたコミュニティーを形成しており、手話獲得の経路として、親から伝達される垂直伝達以外にも、親以外の集団内の大人からの斜行伝達、同世代の個体からの水平伝達なども考えられる。聾者間では高頻度で選択的な婚姻(同類交配)が行われていることも知られており、このような社会的閉鎖性が、聾者の数は少なくとも、手話が集団中に維持されるのに重要な役割を果たしていると考えられる(Aoki and Feldman 1991; Feldman and Aoki 1992)。本研究では、手話維持における垂直伝達の効果を検討するために、垂直伝達を中心にして、同類交配を取り入れたモデルを作成した。

手話は人工言語ではなく、自然言語の一つであると考えられ、したがって音声言語を考えることにもつながり、特殊なひとつの事例を考えるにとどまらない意義のある問題である。また、言語学分野では手話の歴史や変遷の過程が研究され、医学分野では聾の臨床遺伝学的研究が行われるなど、様々な分野から参考になる資料が得ることが可能で、実際のデータを考慮した議論もできる。

実際的人类集団における聾遺伝子座の数は、日本で5、北アイルランドで30程度という値が報告されている(Furusako 1957; Chung et al. 1959)。これまでの研究では、解析的に扱いやすいことから1ないし2座位を仮定しているが、本研究では遺伝聾が多数の座位に支配されているときの手話の維持条件に関する研究も併せておこなった。座位数が増えるに従って、手話維持における垂直伝達の効率が下がることが知られている(Aoki and Feldman 1994)ので、実際の手話維持に有効に働いている伝達様式を調べるためにも、多座位を仮定した研究の必要がある。まず、一座位のモデル解析を行った。これまでの研究では、(1)聾者のみが手話の獲得が可能であるモデル、あるいは、(2)健聴者の手話獲得も可能で、両親とも手話使用者の場合と、片親のみ使用する場合で、手話伝達の効率が異なるモデルが扱われている(Aoki and Feldman 1991)。これに対して、今回は(3)健聴者が限定的に手話伝達に参加する場合を考えた。すなわち、健聴で手話使用者の親が家庭内にいても、親のどちらか一方が聾でない限り手話伝達は起こらないと考えた。このような仮定の下で、集団から手話使用者が消失した平衡点の安定性を解析するという方法を使った。

解析の結果、手話使用/未使用の別による同類交配のモデルでは、垂直伝達だけで手話を維持していくことは難しいという結果が得られた。これに対して、聾・健聴の別による同類交配では、垂直伝達のみの場合でも手話維持の条件が満たされ、予想されたように、同類交配率が高くなり、聾に対する淘汰が緩くなるほど、手話が維持されやすくなることが分かった。一方で、健聴者が手話伝達に参加することによる手話維持への影響は、予想されたよりはるかに小さいという結果が得られた。

一方、先に述べたとおり、一座位と同様な条件の下で、多座位による遺伝聾の支配を仮定した数値計算による研究も行なった。この場合、垂直伝達の効率は更に落ち、他の伝達経路を考えなくては、手話の維持が不可能であることが確認された。

このように、様々な仮定を前提とする複数のモデルの解析を行い、解析結果の比較検討を行うことで、種々の変数の手話維持における相対的重要性を明らかにしたいと考えている。

(青木健一教授との共同研究)

THE MODES OF CULTURAL TRANSMISSION AND THEIR EVOLUTIONARY CONSEQUENCES
Kiyosi TAKAHASI

現代進化論から見た文化の本質は社会学習による個体間の情報伝達にあり、この点でその通時的な変化の記述に集団遺伝学的手法を適用することができる¹。他方で、文化伝達における、より複雑な伝達様式 (例えば斜行・水平経路の存在) に注目し、疫学研究 (より具体的には寄生体伝達研究) にもとづく方法論の有効性も議論されている²。寄生体伝達の様式に着目した疫学研究からは、例えば、宿主-寄生体の関係性の進化が、寄生体の垂直伝達率によって大きく左右されることが知られている³。ここでは、垂直文化伝達率の進化を記述する理論模型を提出し、基本模型の予備的解析を行う。同時に解析結果を吟味し、今後の展望を議論する。

1. Cavalli-Sforza, L. L., and M. W. Feldman. 1981. *Cultural transmission and evolution: a quantitative approach*. Princeton University Press, Princeton, N.J.
2. Williams, G. C. 1992. *Natural selection*. Oxford University Press, Oxford.
3. Yamamura, N. 1993. Vertical transmission and evolution of mutualism from parasitism. *Theoretical Population Biology* 44:95-109.

基本模型

Consider two dichotomous traits, first of which determines the rate of vertical transmission and second the viability and fecundity of individuals. Let A and a denote the two character states of the first trait and B and b the states of the second. To make the argument clear, we shall deal with the cases with oblique transmission and horizontal transmission separately.

The life cycle starts from the adults of previous generation. The transmission of the first trait is assumed to occur maternally soon after (or simultaneously with) reproduction. The vertical transmission of the second trait then follows. A proportion r_i of offspring of character state i ($i = A, a$) acquires the trait maternally; at this stage of the life cycle, individuals of proportion $1 - r_i$ remain uncultured with respect to the second trait. Among those uncultured offspring, a proportion g_B attains the character state B via oblique/horizontal transmission, and remaining individuals of proportion g_b ($= 1 - g_B$) attain the state b via oblique/horizontal transmission, thus completing the cultural transmission of both first and second traits. The oblique/horizontal transmission coefficient g_j has different forms depending on which of the oblique or horizontal transmission is available. Viability selection then follows.

Let f_j denote the expected number of offspring produced by each adult female of character state j ($j = B, b$). Denoting the viability of j offspring as v_j , we obtain the fundamental recursion as

$$n'_{ij} = [n_{ij} f_j r_i + (1 - r_i) (\sum_j n_{ij} f_j) \cdot g_j] v_j,$$

or in trait frequencies,

$$\bar{W} \cdot p'_{ij} = [p_{ij} f_j r_i + (1 - r_i) (\sum_j p_{ij} f_j) \cdot g_j] v_j,$$

where $\bar{W} = \sum_{ij} n'_{ij} / \sum_{ij} n_{ij}$ is the average fitness of the population.

The viability of the offspring may well be determined by the character state of their mothers, rather than their own; in that case, we have

$$\bar{W} \cdot p'_{ij} = p_{ij} w_j r_i + (1 - r_i) (\sum_j p_{ij} w_j) \cdot g_j,$$

where $w_j = f_j v_j$.

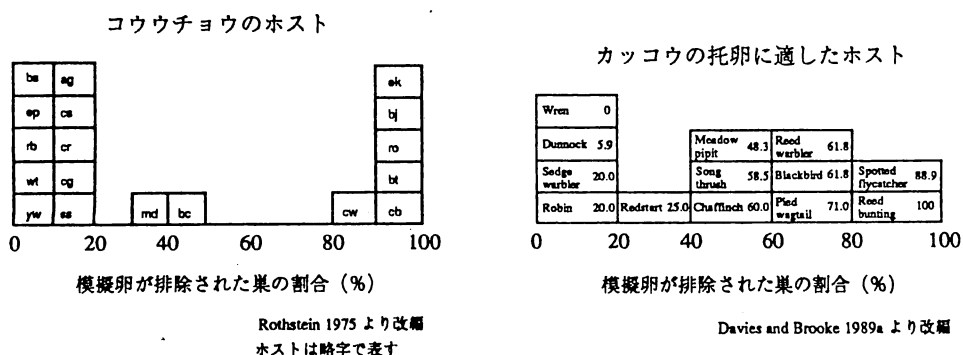
パラサイトの繁殖戦略様式とホストの対抗手段の進化について

鳥類の育児寄生の場合

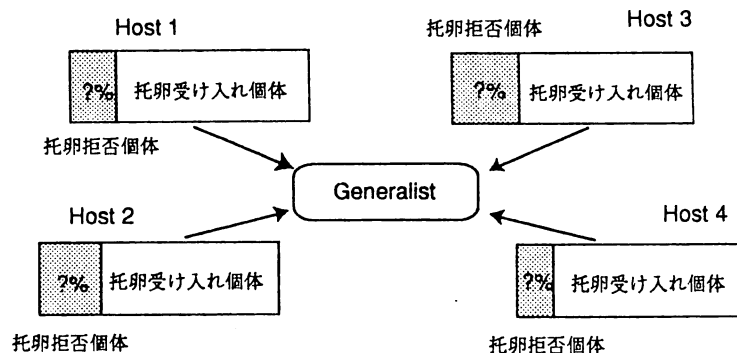
高須 夫悟 (奈良女子大学・理学部・情報科学科)

育児寄生とは、自分では子を育てず他個体（ホスト）の巣に卵を産み込み、その繁殖努力に寄生する繁殖形態を指し、一般に托卵と呼ばれている。托卵はほとんどの場合、ホストの繁殖価を下げる。従ってホスト集団では、托卵による繁殖価の低下を防ぐ形質は淘汰され、進化の過程でホストは托卵に対抗する形質及び行動を獲得していくものと予想される。

模擬卵を用いる実験により、様々な種類のホスト集団について、その卵認識能力が調べられている。Rothstein (1975) はコウウチョウ (Brown-headed Cowbird) に托卵されるホストについて、Davies and Brooke (1989a) はカッコウ (Common Cuckoo) のホストについて卵認識能力を詳細に調査している (下図)。



これらの野外研究を見ると、コウウチョウのホストは、高い認識能力を示すか、ほとんど示さないか、に2分化されるのに対して、カッコウのホストは連続的な拒否率の分布を示すことがわかる。本講演では、ホストの托卵対抗手段が集団中にどのように拡がっていくかを数理モデルを用いて解析する。これを基にして、野外実験で示された卵認識能力の分布の違いは、パラサイトの繁殖戦略の違い— Generalist or Specialist— によって説明できることを主張する。同時にまた、現在のコウウチョウとそのホストの関系の進化的位置づけを行うことを試みる。



適応生物の遺伝子変化様式は環境変化のプロセスに依存する

杉本 裕介 檜森 与志喜 神原 武志

電気通信大学 電子物性工学科

生物は、その環境が変化した場合に、ランダムな遺伝子変化を通して、新たな環境に適した遺伝子をもつものが子孫を残していく。環境変化の始状態と終状態は同じであっても、途中のプロセスが違っていればそのプロセスに適応する遺伝子変化の方式も違ってくる。

遺伝子変化の各方式が、環境変化のどのようなプロセスに適応するのかを調べる目的で、次のような作動ルール（図1）に従って活動する人工生命 Flib (Finite libing blob: デュードニー、日経サイエンス、1986年1月号) を用いてシミュレーションを行なった。Flib は $(\alpha, \beta, \gamma, \delta)$ の4内部状態を持ち、環境からの刺激（入力）に対応して、出力と次の内部状態を決める。環境からの入力は、1が食物、0が毒を意味する。Flib は出力が1のとき、食べる、0のとき食べないとし、食物（毒）を食べるとエネルギーが増す（減少する）。エネルギーがある値以上になると、交配か分裂によって増える。図1のルールを持つ Flib の遺伝子を

$$1\beta 0\delta 0\gamma 0\beta 1\delta 1\alpha 0\alpha 1\gamma$$

によって表す。

交配、分裂の場合に新しく生まれる Flib の遺伝子は、4つの遺伝子変化の様式、(1) 突然変異、(2) 単純交叉、(3) 複雑交叉 (4) 一様交叉 に従って変化する。

各 Flib は、遺伝子変化としてどの様式を用いるか選択確率を持っている。その確率は遺伝するだけでなく、その時、ランダムに微小な変化をする。

このような性質を持つ Flib 集団に、種々の (0, 1) パターンにより作られる環境からの入力を与えて、どのような遺伝子変化の様式を持つ Flib が適応するか調べた。環境として、 $A \equiv (101100)$, $B \equiv (110100)$, $C \equiv (101010)$ を単位としてその組み合わせにより得られるものを用いた。

コンピュータ実験の結果をまとめる。

(i) ゆるやかな環境変化に対しては、突然変異や単純交叉のようなゆるやかに変化する様式を持つ Flib が適応する。

(ii) 急激な環境の変化に対しては、複雑交叉のように急速に新たな環境に適応する Flib を生み出せる様式をもつ Flib のみが生き残る。

環境からの入力

	0		1	
α	1	β	0	δ
β	0	γ	0	β
γ	1	δ	1	α
δ	0	α	1	γ

現 出 次 出 次
 状 力 状 力 状
 態 態 態

図1 Flib 作動ルールの一例

ゲノミックインプリンティングの進化 なぜインプリンティングされる遺伝子はこれほど少ないのか？

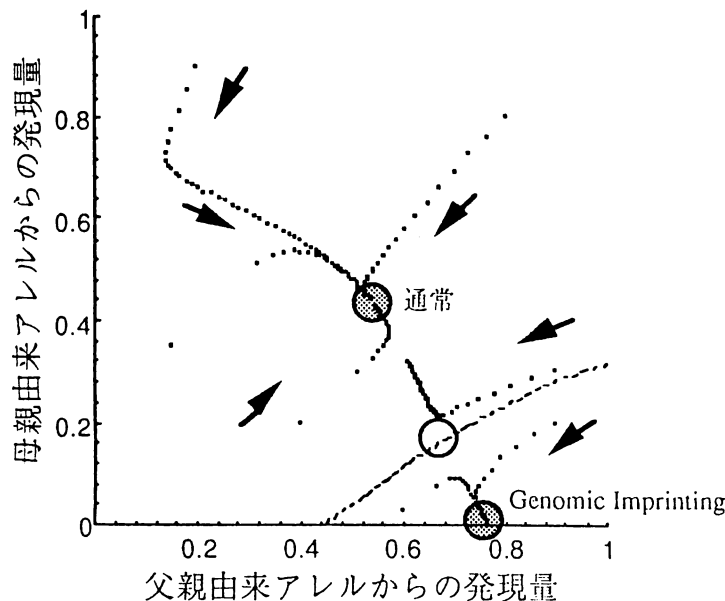
望月敦史・巖佐庸・武田裕彦 (九大・理・生物)

2倍体の生物で、父親由来のアレルと母親由来のアレルとのうち、一方だけから発現する遺伝子が知られており、この現象をGenomic Imprintingという。植物や昆虫などでも知られているが、マウスでよく調べられており、胎児の成長に関わる遺伝子 (Insulin-like Growth Factor) などで見られること、遺伝子が父親由来であるか母親由来であるかがDNA-methylationの程度によって区別されているらしいことなどが分かっている。この現象は、親が仔に与えられる資源が有限であるとき、母親が子供に期待する生存率と父親が期待する生存率とが異なることに起因すると考えられる。

これを以下のようにモデル化した。母親から与えられる栄養がGrowth Factor遺伝子の発現量に比例した値で決まっている、つまり発現量がダイレクトに生存率に影響を与えるようなGrowth Factor遺伝子を考えよう。このときモデルは2通りの定式化の方法が有る。つまり兄弟が一度に生まれ、栄養資源を分け合うとする考え方 (resource allocation model) と、子供は1個体ずつ順に生まれるが、仔の世話が次の仔の出産を遅らせるとする考え方 (sequential care model) である。どちらの場合も、遺伝子の総発現量が多いほど生涯に産める仔の数は少なくなる。父親由来アレルからと母親由来のアレルからとのそれぞれの発現量を量的形質と考え、発現量の進化を量的遺伝の方法で解析した。結果は2つのモデルのどちらでも定性的に同じで、メスがほんの少しでも複数のオスと交尾する可能性があるときは、2アレル間での極端な発現量の差異、つまりゲノミックインプリンティングが必ず進化する。

ところが成長に関わるGrowth Factor遺伝子であっても、必ずしもすべてがインプリンティングされているわけではないし、またヒトでインプリンティングされていないのに、マウスではされているような遺伝子も見つかっている。

このような現実を説明するためには、インプリンティングを起こさないことが利益をもたらすような要因が働いていると考えなければならない。そのような要因として3つの可能性を考察した。



すなわち [1] ラベリングを間違える可能性のリスク、[2] 遺伝子の転写部位が壊れる可能性のリスク、[3] インプリンティングの機構に伴うコスト、である。これらについてそれぞれ解析した。その結果、たとえば [1] ラベリングの間違いモデルでは、間違える頻度が大きいとインプリンティングは進化しなくなること、またパラメータ条件によっては初期状態によってインプリンティングが進化したりしなかったりする双安定状態が実現することなどが分かった。

2次元ユークリッド空間上の 伝染病の感染モデルとその拡がり方

釜江素子 (大阪大学理学研究科数学専攻)

R^2 上にランダムに個体を置いて、伝染病が半径1の円上の個体全部に感染するモデルを考える。このモデルは山火事の拡がりのモデルとしても考えられる。

R^2 上の伝染病の感染モデルは以下のように作られている。 R^2 上に伝染病に感染する個体が、強度(平均密度) $\lambda(>0)$ のポアソン点過程 $X_\lambda = \{X_i \in R^2\}_{i=1}^\infty$ によって分布している。時刻 $t(\geq 0)$ における $X_i, i \in N$ の状態を、

$$\eta_t(X_i) = \begin{cases} 1, & \text{健康な状態 (susceptible)} \\ 2, & \text{感染中} \\ 0, & \text{免疫を持っている状態} \end{cases}$$

とする。個体が伝染病に感染している時間は、1である。時間1後には伝染病は治り、個体は免疫を持ち、2度と感染することはない。個体 X_i が感染すると、感染してから T_i 時間後に、 X_i を中心とする半径1の円 $S_i = \{x \in R^2 \mid |x - X_i| \leq 1\}$ にある X_λ の点全部に、同時に伝染病の細菌を飛ばす。(但し、 $T_i \geq 1$ のときには、実際は細菌は飛んでいないものとする。)ここで、 $T_i, i \in N$ は独立同分布な非負確率変数である。分布関数は F で、 $F(0) < 1, F(1) > 0$ とする。もし細菌が健康な状態の個体に飛んだ場合は、その個体は瞬時に感染する。感染中の個体や、免疫を持った状態の個体に細菌が飛んでも、その個体に変化はない。ここで初期状態を、

$$\eta_0(X_i) = \begin{cases} 2, & \text{if } X_i \in S_0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

(但し、 $S_0 = \{x \in R^2 \mid |x| \leq 1\}$)とする。

γ を伝染病が単位距離を進むのにかかる平均時間とする。 $\gamma > 0$ かつ、伝染病が無限に拡がると仮定する。このとき、伝染病は時間が十分経過すると、時間について線形的に円で拡がるという結果が分かる。

生物の分布域の拡大速度 —セル・オートマトンモデルより—

川崎廣吉（同志社大・工・知識），高須夫悟，大澤範子，
重定南奈子（奈良女子大・理・情報），H. Caswell (WHOI, USA)

氷河の後退や大規模な山火事などによってできた生物空白の地域へ侵入してきた生物は条件さえ良ければ，その分布域を拡大していく．また，人間によって持ち込まれた外来種は競争者や天敵がいなくその分布域を拡大していく．このような侵入生物の分布域の拡大過程の研究は，害虫被害の拡大阻止や病原菌の伝播の阻止にも重要な指針を与える．本研究では生物の分布域の拡大速度を規定する要因の一つとして確率的な効果を取り上げ，セル・オートマトンモデルを用いて考察した．

一般に分布域の拡大過程は，ランダム拡散と増殖の項を持つ拡散反応方程式によって記述されることが多いが，拡散方程式は決定論的方程式であるため確率的な効果を組み込むことが出来ない．そこで，ここでは2次元空間を格子状に分割し，生物がいるかどうかを2状態（0または1）で表わす確率セル・オートマトンモデルを持ちいて分布の広がる過程を解析した．生物は左方より侵入してきたとして，初期状態は左端の1列のみ1状態で，残りのセルはすべて0状態に取った．また，状態遷移規則として単位時間に*i*状態から*j*状態に遷移する確率 $p(i \rightarrow j)$ を次式で与えた．

$$p(0 \rightarrow 1) = \sigma an$$

$$p(1 \rightarrow 0) = 0$$

ただし，*n*は隣接する8つのセルの内1状態のセルの数，*a*は基本遷移確率． σ については次の2つの場合を取り上げた：（1）常に $\sigma = 1$ ，（2）左隣接セルが1の時のみ $\sigma = 1$ ，その他は $\sigma = 0$ ．

まず，計算機シミュレーションを行い，生物の侵入域の空間分布パターンを解析した．分布域の先端は不規則な波状を形成しながら広がって行くが，その確率的な性質は時間的にほとんど変化しない．また，先端の平均位置を定義し，その進行速度と遷移確率との関係を求めた．

つぎに，セル・オートマトンモデルを微分方程式のモデルで近似し，遷移確率と拡大速度の関係を解析的に求めた．その結果は上記シミュレーションの結果とよい一致をみた．また，分布域の拡大速度は対応する決定論的空間セル・オートマトンモデルのそれと比べてほぼ2倍近く大きく，確率的効果によって速度が加速されることが明らかになった．

相同組換えの頻度の相同領域の長さへの依存性

藤谷洋平（東大、医、細菌）、山本健二（同）、小林一三（東大、医科研、生物物理化学）

相同組換えは二重鎖DNA上の、相同な（つまり、全く、あるいは、ほとんど同一の塩基配列を持つ）二つの区間どうしで起こる。しばしば遺伝子の組換えの原因となり、生物における基本的な化学反応の一つである。細菌を使った実験等から、相同組換えの頻度（ F ）は相同領域の長さ、つまり相同領域にある塩基の数（ N ）と $F = aN - b$ の関係があると考えられてきた。ここで a 、 b は正定数であり、 F を N に対して線形にプロットする際の N 軸切片 b/a は関わる酵素等の立体障害による閾値（MEPS = minimal effective processing segment）を示すものとされてきた。ところが最近、哺乳動物細胞を使ったジーンターゲットングの実験で、 F は N の高次の巾ないし指数関数であるという結果が報告された。我々は、これらの異なった依存性を統一的に説明する以下のようなモデルを提唱する。（簡単のため、ホリデーモデルの用語を用いて説明する。）

まず中間体の交叉部は、反応開始の直後のみ、ベースペアー間の長さあたり稀な頻度で生じるとする。できた中間体は交叉部が相同領域に沿ってランダムウオークする間に、最終生成物（即ち組換え体）になるか、壊される（即ち、反応物に戻る等して、組換え体を作ることなく中間体がなくなる）かする。中間体は交叉部が相同領域の端に来ると壊されるか、壊されることなく相同領域にはねかえされる（この確率を反射係数と呼ぼう）かする。我々は交叉部がベースペアー毎に一つあるサイト間を遷移するランダムウオークとしてマスター方程式をたてた。

反射係数が零の場合、固有値問題を解くことでマスター方程式は解ける。近似的に F は N の一次の項と N の双曲線関数の項の和で表わされる。これから、 N が小さい時 F は N の三乗に比例し、 N が大きい時は $F = aN - b$ の形になることとなる。どれくらいの長さで、 N の三乗依存性から一乗依存性に移るかは、中間体の被処理効率のサイト間遷移確率に対する比（RPIP: relative probability of intermediate processing）で決まる。

上記の哺乳動物細胞を使った実験では、データを対数プロットしてみると三乗依存性を示していることわかる。また、一乗依存性と報告された細菌を使った実験のデータは、対数プロットしてみると三乗依存性を示していることがわかった例もあるし、三乗依存性から一乗依存性への遷移を示すと考えられる例もあった。なお、このモデルによれば切片 b/a は酵素等の立体障害を表わすものではなく、RPIPに依存する。哺乳動物細胞で N が相当大きいところまで三乗依存性が見えるのは、RPIPが比較的低い、つまり中間体の相対的な処理効率が低く、端で壊される影響が N の相当大きいところまで無視できないからだと考えればよい。

このように反射係数が零の上記の計算結果は、極めてよく多くの wild-type の系の実験結果を説明するが、比較的広い相同領域の長さにあたって二乗依存性を示す二つの mutant の系のデータは説明できない。生物学的にも充分考えられる反射係数が非零の場合の計算が必要になる。この場合は数列の三項間漸化式の問題を解くことで、解を得ることができる。近似を使うと反射係数があがるにつれて、非線形依存性部分の指数は上述の三乗から減少し、二乗依存性が出現することがわかる。こうして我々のモデルは、これらの mutant の系では反射係数が高いことを予想する。なお、生物では通常 RPIP は充分小さいと考えられ、線形依存性部分の切片 b/a は、反射係数が余程 1 に近い場合を除いて、反射係数にはあまり依存しないし、また、その傾き a は反射係数に依らないことがわかる。

Fujitani, et al. Genetics 140 (1995) 797; Fujitani & Kobayashi, submitted.

巻貝の巻き方決定機構、その機能的意味と進化パターンへの影響

森田 利仁 (千葉県立中央博物館)

Rihito MORITA(Nat. Hist. Mus. Inst., Chiba)

一枚の殻を有する腹足類、単板類のような軟体動物は巻貝と総称され、地球上に有殻生物が最初に記録された頃(カンブリア紀初期)には、すでにその化石が見出される。これらの殻および殻に閉じこめられた軟体部は不等成長し、進化の初期からその名の通り巻いていおり、カサガイ型 → 平面螺旋型 → 3次元螺旋型 というような巻き方進化に時代的変遷も認められる。従来このような進化パターンは、先行する生活様式の進化に伴って、それに適応的な形態の巻き方が進化したと考えられてきた。

その根拠となっているのが、現生巻貝に認められる生活様式と巻き方との間の対応関係である。すなわち、浮遊・遊泳生活者と左右対称平面螺旋型、底棲匍匐生活と非対称3次元螺旋型あるいはカサガイ型、固着生活と不規則螺旋型、あるいは引き込み型防御行動と密巻き型、吸着型防御行動とゆる巻き型というような対応関係である。さらに、殻の移動や回転など、殻を操作するのに適した筋肉分布が、それぞれの生活様式と巻き方に対応して存在する(下図参照)。生活様式、巻き方そして筋肉分布というこれら3つの形質に見られる対応関係は、それぞれ実によくできた機能的な組み合わせである。

足収縮筋と巻型

収縮筋 巻型	左右対称	非対称	殻口付近に 広く付着	半巻以上 真に付着
左右対称 (平面巻き)			影部: ・進化上実現は困難 ・機能的組合せ ・発生的に可能な組織	
非対称				
ゆる巻き				
密巻き				

一方、現生巻貝の発生学的研究から、2つの機構によって巻き方が決定されていると推定できる。第一の機構は、隣接組織との間に空間的なゆとりのある方向への成長促進である(空間競争)。軟体部の中でも大きな体積を占め、体全体の巻き方にも大きく貢献すると考えられる内臓塊の不等成長を特に支配する機構と考えられる。第二には、殻の外縁で、殻を分泌する組織(外套膜)に起きる不等成長の機構で、頭足塊との接触による成長の遅滞である(接触遅滞)。ともに、組織内の応力・歪み分布が不等成長を支配しているという考え方に基づいており、また、この機構の中では殻内部の足収縮筋の付着位置が決定的な役割を担っている。この二つの機構によって、すべての巻貝の巻き方決定が支配されていると仮定するならば、筋肉分布パターンと巻き方、そして生活様式との間に認められる機能的対応関係は、同時に発生上の制約としても解釈することができる。

熱帯魚の体に存在する生きた反応拡散波

近藤 滋¹, 浅井 理人²

(¹京都大学遺伝子実験施設 ²京都大学瀬戸臨海実験所)

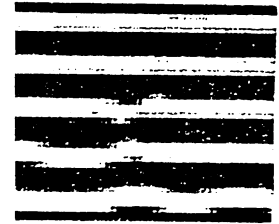
動物の体は、脊椎など多くの繰り返し構造を持っているが、卵や初期胚にはそうした繰り返し構造は存在しない。A.M. Turingは定常波を自発的に生じさせる化学反応系(Reaction-Diffusion System)が存在しうることを数学的に証明し、動物の体の繰り返し構造や豹やシマウマの模様ができる際には、その反応によってできる波 (RD wave = 反応拡散波)が位置情報を提供すると考えた。今までに、数多くの形態形成現象がRD systemに基づいたモデルを使って説明されてきたが、RD systemが現実動物に存在するかどうかについての証明は未だになされていなかった。

RD systemの存在を証明し、それに関与する分子を同定するためには、RD systemを生きたまま維持している動物を探すことが必要である。シマウマ等の哺乳類では、体が大きくなっても縞の本数は変わらず、間隔が広がるだけであり、もし縞模様がRDwaveとして作られたにしても、既にそのメカニズムは機能していないと考えざるをえない。ところが、Pomacanthus属の海産熱帯魚には、成長するに従って縞の本数が増えて行くものがある。特にタテジマキンチャクダイの例では、縞が枝分かれしている場所を中心に非常にダイナミックな変化を見せ、また、その変化はRDsystemに基づくシミュレーションと一致する。Pomacanthus属の縞模様は生きたRDwaveである可能性が極めて高い。

Pomacanthus Imperator



computer simulation



time →

コケムシの群体パターン形成の数理的解析

—ヒラハコケムシ (*Membranipora*) とタランポレラ (*Thalamoporella*) の比較—

前田卓哉、中島久男 (立命館・理工)、馬渡峻輔 (北大・理)

苔虫類は触手動物門に属する固着性生物であり、体長は1 mm程度で、寒天質、キチン質、石灰質などでできた虫室内で生活する。生息域はあらゆる緯度、あらゆる水深に分布し、現生種は5000種程度と言われている。コケムシは初虫と呼ばれる一個虫が基質に付着し、そこから無性生殖を繰り返すことで群体を形成する。この群体の形状は被覆状・葉状・樹状と様々で、種ごとに異なった特徴を持つ。

それぞれの種群体パターンの特徴は、進化の過程で獲得した何らかの適応的意味を持つものと考えられる。我々は、この適応的な群体パターンの形成は個体間の局所的相互作用によって達成されるという仮定の元で、これまでヒラハコケムシ (*Membranipora*) の群体パターン形成の数理的解析を行ってきた。今回は、ヒラハコケムシと同様に平面群体を作るコケムシの一種であるタランポレラ (*Thalamoporella*) を対象として、その群体パターン形成の数理的考察を行い、群体パターン形成ルールについてヒラハコケムシとの比較を行った。

コケムシでは、出芽と呼ばれる無性生殖によって、群体を成長させる。我々が着目している2種のコケムシとも各個虫の出芽は一度だけで、それぞれの個虫は自身の虫室の前方に娘個虫を出芽する。出芽する娘個虫の数は1個か2個であり、2個の出芽の場合、親虫室の前方に並列して出芽する。それにより子孫系列が二つに分かれるため、2個の出芽を「二分岐」と呼ぶことにする。タランポレラもヒラハコケムシも出芽を繰り返して群体を拡大していくが、適当なタイミングで二分岐することにより平面を隙間なく覆いつくすことができる。

タランポレラの群体には、異形個虫と呼ばれる形の異なる個虫が散在している。この個虫はそれ自身摂食行動を行うことができないが、刺のような突起を持っていて、これが外敵から群体全体を防御しているのではないかとされている。そこで、防御という観点から、個虫の分布がどの程度有効な分布となっているかを検証した。また、この異形個虫を生じるのは二分岐の時のみであるため、タランポレラはヒラハコケムシに比べて、より積極的に二分岐を起こしている。ヒラハコケムシでは、空間的に無理のない効率的な頻度で二分岐を生じているが、タランポレラでは積極的に二分岐するため、群体内の空間的余裕がなくなり、出芽を止めてしまう系列が存在する。また、それぞれの個虫の配列はヒラハコケムシに比べて、摂食効率の点ではそれほど効率の良い配置とはなっておらず、摂食効率と外敵からの回避の双方を、あるバランスを持って進化した種ではないかと考えられる。

今回は、これらの問題点に関する数理的な解析結果について報告する。

The Diversity in Shoot Morphology of Herbaceous Plants in Relation to Light Capture by Leaves

Toshio SEKIMURA

College of Engineering, Chubu University,
Kasugai, Aichi 487, Japan

葉の受ける日照量から見た草本植物のシュートの多様性

中部大学 関村利朗

The diversity in shoot morphology of herbaceous plants is examined by using model plants, which are constructed mathematically on the computer and specified by observational data. The analysis is done theoretically and computationally, based on factors possibly influencing shoot morphology, i.e., i) *solar radiation captured by leaves*, ii) *effective usage of resource among leaves, stems, and veins*. We find that the flux of solar radiation per leaf area per day is nearly constant for each phyllotactic pattern. We reveal here that the constancy of flux corresponds to the principle of maximum flux per leaf per day, under trade-offs of resource among leaves, stems, and veins. We further evaluate the relationship between permeability of solar radiation through leaves and internodal distance. Our results indicate that there exists a variety of shoot morphologies or strategies to get the same flux of solar radiation into a given phyllotactic pattern.

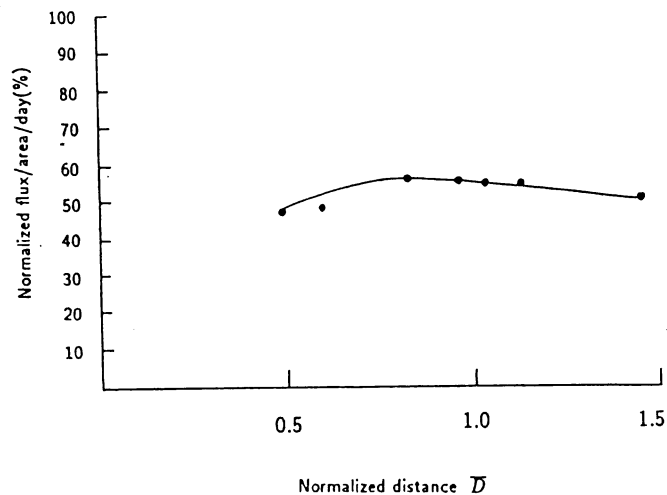


Fig. 1: The flux per leaf area per day against normalized distance $\bar{D} = D/L$ for plants with phyllotactic fraction $2/5$. D = distance on stem between two leaf lamina at the same position; L = lamina length. The values of flux are divided by the value of the non-shaded leaf. Theoretical results by using optimization theory are shown by solid line with resource value $\bar{R} = 18$. Solid circles indicate calculated flux values by using observational data.

血管系の構築—毛細血管網から血管分岐系へ

本多久夫、吉里勝利

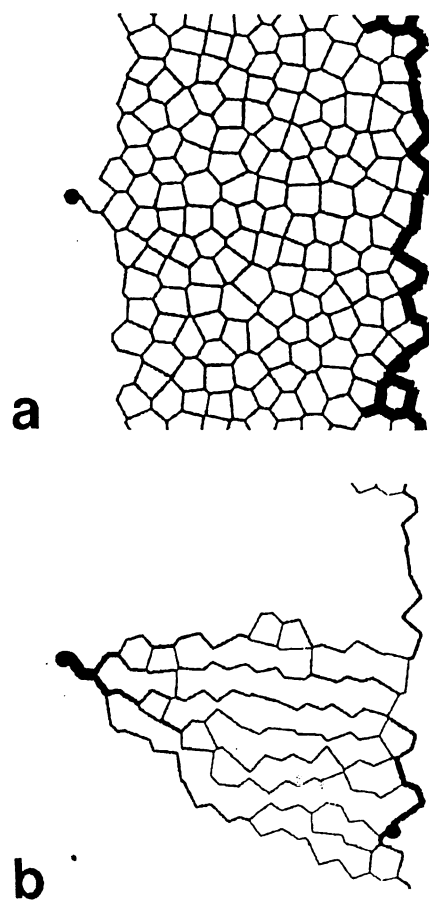
(新技術事業団・吉里再生機構プロジェクト)

血管系は身体の中でどんどん発展していくところがあるかとおもうと、別のところでは退行していく。この現象は、身体全体を見通して血管形成をコントロールしているなにかがあるのではなく、場所ごとに血管自体が応答し自分自身で組織化している結果であると考えられる。この見方に基づいて、ランダムに分布した血島が血液を含んだ袋に変わった後、互いに融合して毛細血管網が形成されるという過程を電算機シミュレーションにより示したことがある。今回の講演では、毛細血管の網目構造から分岐構造が形成される過程について述べる。

ウズラ卵黄上の胚のまわりに孵卵後47時間で毛細血管網が形成されているが、この後、心臓に近い毛細血管が次第に太くなり、太くなった血管は分岐構造を示す。72時間後には見事な血管分岐系が成立している。

この過程を電気回路の電流についてのキルヒホッフの方法を使って電算機シミュレーションをおこなった。すなわち、毛細血管網を導線でできた多角形パターンのネットワークとみなし(図 a)、心臓につながる場所を高電位、周辺を低電位とし、導線には適当な電気抵抗をもつと考えた。各導線に流れる電流値は百数十個の式からなる連立方程式を解けば求められる。ここで導線の抵抗値を可変とし、大きい電流が流れれば流れるほど抵抗値は下がると仮定した。これは血管に血液が流れれば流れるほど、血管は血液を流しやすいように作り変えられるというポジティブ・フィードバックのシステムを考えることに相当する。また導線の電流には閾値を考えた。たとえば、閾値より小さな電流しか流れないと導線は事実上断線すると考える等である。こうして計算を繰り返すと、大きい電流の流れるところとほとんど電流の流れないところがあった。最終的なパターンは血管の分岐を思わせるものになった(図 b)。また、一時期は大きい血流があった血管がその血流を近くの血管にとって代わられて流れが少なくなることがあった。この現象は実際の観察でも見られたことである。結論：血管分岐の形成は、血管網を形成する毛細管が選択を受け、太く発展するものと縮退するものにより分けられる過程であるといえる。

(この講演内容のおおすじは、日本発生生物学会第28回大会[1995年5月30日]において発表したものであるが、数理的な面について議論していただきたくこのシンポジウムに再提出するものである。)



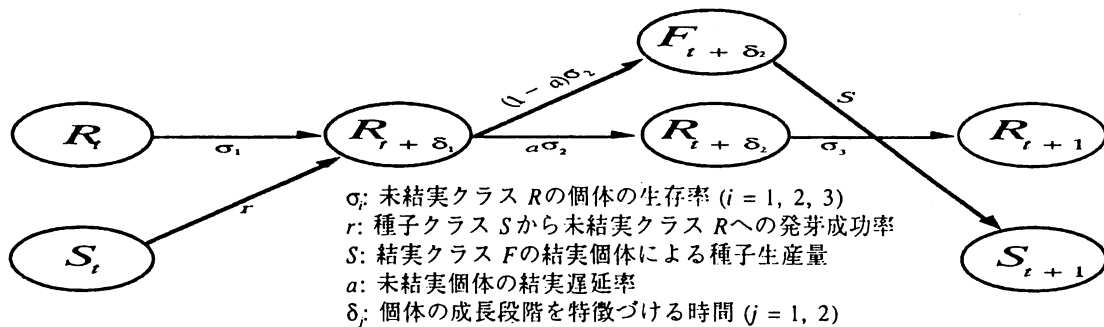
周期的攪乱下における一回繁殖型植物個体群の存続に関する遷移行列モデル Transition Matrix Model for The Persistence of Monocarpic Plant Population under Periodically Ecological Disturbance

瀬野裕美 (奈良女子大・理) 中島久男 (立命館大・理工)

Hiroimi SENO (Nara Women's University) & Hisao Nakajima (Ritsumeikan University)

一回繁殖型草本個体は、開花結実による繁殖活動を一回だけ行った後は枯死してしまい、短命である。そのような植物個体群においては、その生息地に結実後に生態的攪乱が起これば、種子が攪乱によってできたギャップ、あるいは、別の場所にあるギャップに侵入、定着することにより、個体群を更新し、存続を図る。しかし、攪乱が起これなければ、種間・種内競争や生息環境の劣化が原因で個体の生存率が世代と共に低下し、個体群サイズは徐々に小さくなる。特に、埋土種子集団による個体の補充が行われない植物の場合、個体群の絶滅の危険性が高くなる。レッドデータブックにおいて絶滅の危険性ありとされている希少植物であるカワラノギク (*A. kantoensis*) は、攪乱がなければ絶滅してしまうという埋土種子集団を持たないこのような植物のひとつと考えることができる。

本研究では、このような植物個体群のダイナミクスを下記のような基本的な数理モデリングによって構成し、攪乱と環境不適化がどのように植物個体群の存続性に影響を与えているかを考察する。特に、存続性に関して、一年生 ($a=0$) と多年生 ($a>0$) のいずれがどのような場合に有利であるかを議論する。



σ_i, r, S は時間 (世代) t の単調減少関数とする。これにより、考えている個体群にとっての環境の好適性は世代を経るとともに低下することになり、個体群は世代に伴い絶滅へと導かれる状況を考える。攪乱の後、次の攪乱が起こるまでの間の個体群の遷移は、上記の数理モデリングに従って、下記、世代 t における個体群構造 (種子クラス S と未結実クラス R) を表すベクトル V_t と世代 t における個体群成長を表す行列 A_t を用いれば、 $V_{t+1} = A_t V_t$ と表現できる：

$$V_t = \begin{pmatrix} S_t \\ R_t \end{pmatrix}; \quad A_t = \begin{pmatrix} r(t) \cdot (1-a)\sigma_2(t) \cdot S(t) & \sigma_1(t) \cdot (1-a)\sigma_2(t) \cdot S(t) \\ r(t) \cdot a\sigma_2(t) \cdot \sigma_3(t) & \sigma_1(t) \cdot a\sigma_2(t) \cdot \sigma_3(t) \end{pmatrix}$$

生態的攪乱は下記の攪乱行列 Q によって導入する。攪乱は結実個体が種子を生産した直後に起こるものとし、世代 T における攪乱により、攪乱前の個体群 V_T は QV_T に変化する：

$$Q = \begin{pmatrix} q_s & 0 \\ 0 & q_r \end{pmatrix}$$

q_s と q_r はそれぞれ、攪乱における種子個体および未結実個体の残存率である。本研究では周期的に生起する攪乱のみを考える。攪乱後、考えている個体群成長にとっての環境は更新されるものとし、時間の関数 σ_i, r, S はリセットされる。すなわち、個体群成長を表す行列 A_t は周期 T の攪乱の下で下記のような周期的変動をもつ：

$$A_0 \rightarrow A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow \dots \rightarrow A_{T-1} \Rightarrow A_0 \rightarrow \dots \rightarrow A_{T-1} \Rightarrow A_0 \rightarrow \dots \rightarrow A_{T-1} \Rightarrow A_0 \rightarrow \dots$$

したがって、周期 T の攪乱により、個体群は以下のような遷移を繰り返す：

$$V_0 \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow \dots \rightarrow V_{T-1} \rightarrow V_T \Rightarrow QV_T \rightarrow A_0 QV_T \rightarrow A_1 A_0 QV_T \rightarrow \dots$$

本発表では、 $Q \prod_{i=0}^{T-1} A_i$ の固有値解析を通して上記の課題を考察した結果を述べる。

時間遅れを持つ SIR 伝染病モデルの安定性 —人口が一定でないばあい—

竹内 康博 (静岡大学工学部システム工学科)

蚊等の保菌生物を仲介して人間集団に拡がる伝染病に対する数理モデルは 1979 年に Cooke により SIS モデルとして提案された。非感染者 (S) は、感染した蚊から感染媒体を受けとり、蚊は感染者 (I) から感染媒体を受けとる。このとき、(i) 蚊が非感染状態から人間へ感染可能状態に移行するために一定の時間 $\tau > 0$ が必要であり、(ii) 任意の時刻 t における感染した蚊の個体数は時刻 $t - \tau$ における人間の感染者数に比例し、(iii) 時刻 t における集団の感染力は $\beta S(t)I(t - \tau)$ で与えられると仮定された。しかし τ は一定でなく分布パラメータであり集団の感染力は

$$\beta S(t) \int_0^{+\infty} f(\tau) I(t - \tau) d\tau, \quad \int_0^{+\infty} f(\tau) d\tau = 1$$

とした方がより現実的である。ここで $f(\tau)$ は $R_+ = [0, \infty)$ で非負、2乗可積分関数で、感染可能状態となるために時間 τ を要する蚊集団の割合を表す。

本講演では、人間集団を非感染者 (S)、感染者 (I)、回復者 (R ; 免疫あり) の3つのクラスに分割し、モデル

$$\begin{aligned} (1) \quad & \dot{S}(t) = -\beta S(t) \int_0^{\infty} f(\tau) I(t - \tau) d\tau - \mu_1 S(t) + \frac{b(S(t) + I(t) + R(t))}{S(t) + I(t) + R(t)} \\ (2) \quad & \dot{I}(t) = \beta S(t) \int_0^{\infty} f(\tau) I(t - \tau) d\tau - \mu_2 I(t) - \lambda I(t) \\ (3) \quad & \dot{R}(t) = \lambda I(t) - \mu_3 R(t). \end{aligned}$$

を考察する。ここで μ_1, μ_2, μ_3 (S, I, R の死亡率)、 b (出生率で新生児は全て S)、 λ (回復率) は全て正の定数である。(3) の正の平衡点 $E_+ = (S^*, I^*, R^*)$ は伝染病が集団に定着した状態、また $E_0 = (\mu/b, 0, 0)$ は伝染病がフリーの状態を表す。次の結果が示される。

(I) $\mu_i = \mu$ ($i = 1, 2, 3$), $\mu = b$ (人口が一定のばあい): E_+ が存在すれば E_+ は常に局所的に漸近安定、 E_+ が存在しなければ E_0 が局所的に漸近安定。

(II) (1) で $b(S + I + R)$ を b に変更したばあい: 人口 $S(t) + I(t) + R(t)$ は有限であり、 E_+ と E_0 の安定性に関しては (I) と同様な性質が成立。

(III) 一般のばあい: (III-1) 集団の感染力を表す項を時間遅れを無視して $\beta S(t)I(t)$ とすると、 E_+ が存在すれば常に漸近安定。(III-2) 時間遅れの効果をいれたモデル (1)(2)(3) については、 E_+ が存在しても不安定になり周期解 (伝染病の定期的な流行) が可能である。

参考論文 1. Beretta, E. and Takeuchi, Y. J.Math.Biol.33, 250-260(1995)

2. Takeuchi, Y. and Beretta, E. preprint.

アズキゾウムシ集団における遅れの密度効果：バアさんの存在が振動を生む！

○嶋田 正和・津田 みどり（東大院・広域システム・生物）

アズキゾウムシ (*Callosobruchus chinensis*) の実験個体群を、アズキ5gの資源を7日毎または10日毎で更新して長期間維持したところ、7日毎更新系では羽化成虫数に7週間周期の振動が見られたのに対して、10日毎更新系ではきわめて安定した動態になった(図1)。短期実験として、アズキ5gに羽化直後の成虫の密度を変えて産卵させ、7日後または10日後まで生き残った個体数と、それ以降死ぬまでの1雌当たりの産卵数を調べた。その結果、7日後の測定では、成虫密度に依存して生存率も1雌当たりの産卵数も増加する傾向が見られた。10日後では、生存率は増加したものの卵はほとんど生まれなかった。以上の実験から、7日毎更新系では高密度の後には多くの雌が生き残り、それらは老齢になっても産卵するために若い成虫の産んだ卵の孵化率を低下させ、強い密度効果が遅れてかかるので、これが個体数振動を引き起こしたものと示唆される。

この解釈が成立することを齢構成集団の行列モデルで確かめた。7日毎更新系は、アズキゾウムシの7日毎の齢期に応じて孵化卵・終齢幼虫・蛹・若い成虫・老齢成虫からなる齢構成ベクトルを持ち、10日毎更新系は若齢幼虫・蛹・若い成虫・老齢成虫からなる。7日毎更新系は5行x5列、10日毎更新系は4行x4列のLeslie行列で表され、密度依存的な増殖率と生存率は差分ロジスティック式(Shimada, 1989)で表された。若い成虫と老齢成虫の間には相互に密度効果が作用する。また、短期実験の結果に応じて、10日毎更新系では老齢成虫の産卵は起こらないとした。この行列モデルの計算結果は、7日毎更新系では実験系とほぼ同じ周期と振幅の振動を示し、また10日毎更新系では同様に安定な動態を示した(図2)。これにより、資源の更新期間と成虫寿命との関係で生じる遅れの密度効果が、個体数の振動を規定する主要な要因であることが分かった。

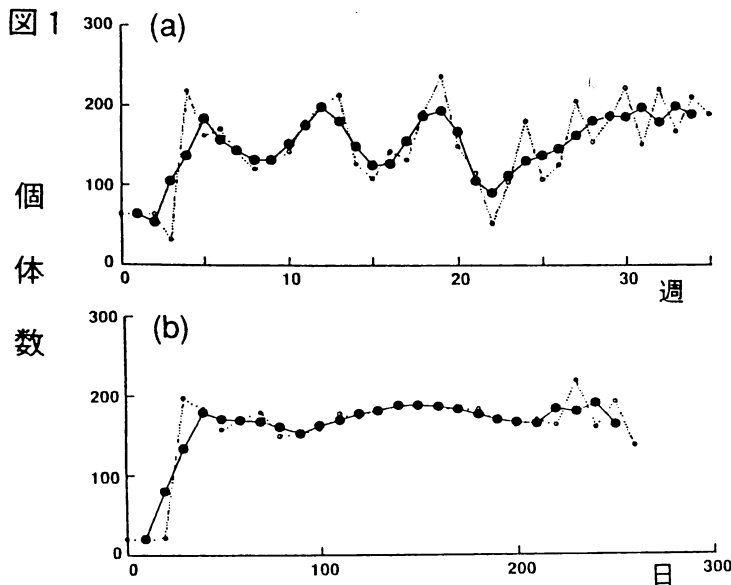


図1 実験値。(a) 7日毎更新系、(b) 10日毎更新系。
点線：羽化成虫数、黒丸実線：3点移動平均。

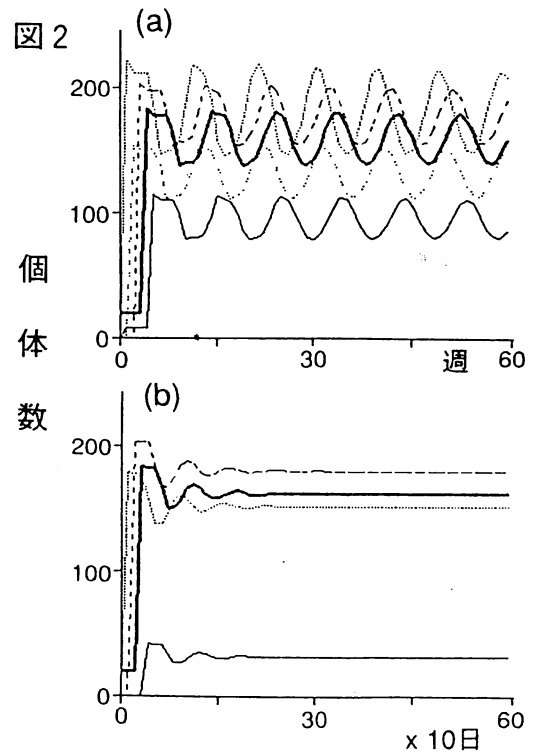


図2 モデル。(a) 7日毎更新系、(b) 10日毎更新系。
太実線：若い成虫数、細実線：老齢成虫数。他は幼虫・蛹期。

動態と集団の時空間構造：捕食者－被食者実験系の解析

津田みどり（東大・広域システム）

齡構造や資源パッチ構造によって相互作用が局所化すると、動態安定性に様々な影響を及ぼすことがこれまでの理論的研究でわかってきた。本研究では、時空間構造をもつ資源－寄主－捕食寄生者のいくつかの実験系を例に、系の動態特性にもたらす集団の時空間構造の影響を明らかにする。次の2つのアプローチとその結果を紹介したい。

- 動態そのものの現象論的な解析（図1）
 - 実験系をもとにしたメカニズムリッチなモデル（図2）における動態特性の感度分析
- さらに、700日以上続いた資源－寄主－捕食寄生者の共存系の動態と生活史のデータから、集団構造の時間的変化の可能性を指摘する。

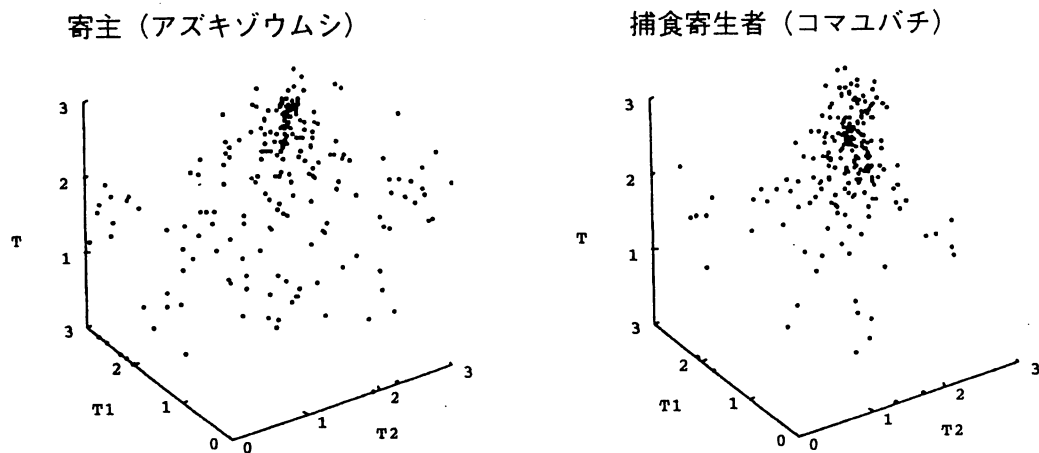


図1 Utida (1957) の資源－寄主－捕食寄生者系の動態。Ellner and Turchin (1995) の推定法による最大リアプノフ指数は、寄主 -0.07、捕食寄生者 -0.17。T、T1、T2: x_t 、 x_{t-1} 、 x_{t-2} (x : $\log(\text{個体数} + 1)$)。

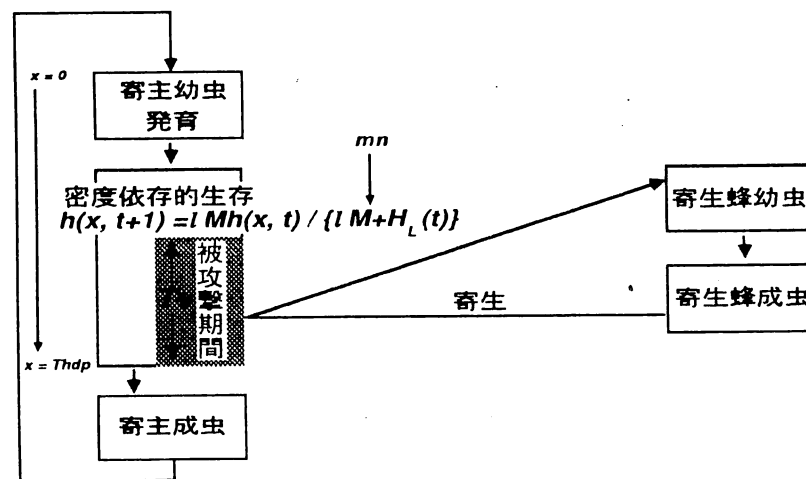


図2 豆あたりの幼虫収容力と被攻撃期間を取り入れたモデル (cf. Tuda and Shimada 1995)。

参考文献

- Ellner S. and P. Turchin (1995) Chaos in a noisy world: new methods and evidence from time-series analysis. *American Naturalist* **145**: 343-375.
- Tuda M. and M. Shimada (1995) Developmental schedules and persistence of experimental host-parasitoid systems at two different temperatures. *Oecologia*, *in press*.
- Utida S. (1957) Cyclic fluctuations of population density intrinsic to the host-parasite system. *Ecology* **38**: 442-449.

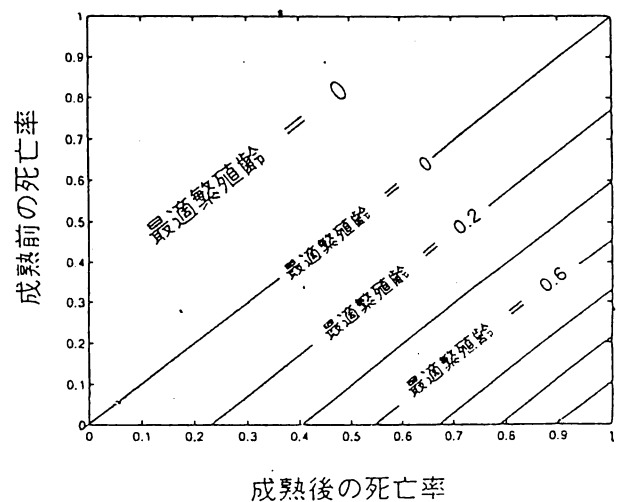
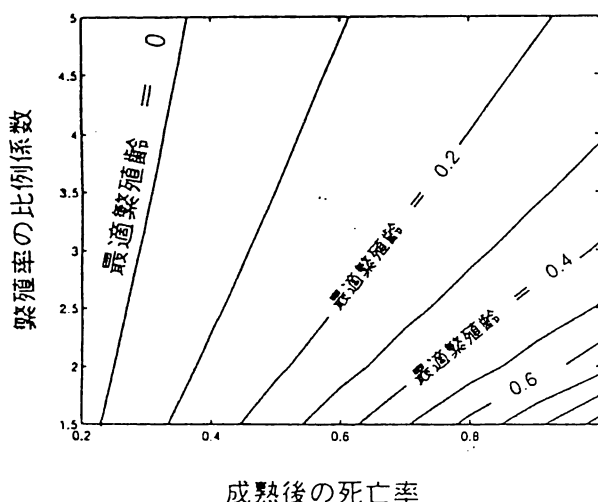
繁殖遅延はどのような場合に有利となるか？

高田 壮則（北海道東海大学・国際文化）

もし個体が誕生後すぐに成熟し繁殖を開始するならば、その個体は高い適応度を得ることができるだろう。しかし、多くの生物が誕生後すぐに繁殖を開始せずに繁殖を遅延させていることから、繁殖遅延の問題は生活史戦略の進化に関する重要な問題の一つとして位置づけられてきた。あるいくつかの分類群において実際に繁殖開始齢が調べられた報告によれば (Bell 1980)、一つの分類群の中でも繁殖開始齢は大きくばらついており、またある1種の中でも環境条件が異なる場所に生育する個体群間では繁殖開始齢に有為な差が検出されている (Stearns 1983)。そのため、繁殖開始齢に対して何らかの選択圧がかかっていると考えられている。

どのような選択圧がかかれば繁殖遅延が有利になるのか、という問いにはすでに二つの仮説が提唱されている。一つは、繁殖が遅れることによって成熟したときの繁殖率が増加することが繁殖遅延を有利にしているというものであり (Roff 1984, Kozłowski and Wiegart 1987)、もう一つは繁殖が遅れることによってその子供の死亡率が減少することによるというものである (Stearns and Crandall 1984)。これら二つの仮説については、齢構造モデルによってそれらの仮説の可能性がすでに確かめられている。しかし、繁殖遅延を有利にするための条件が統括的に調べられているわけではない。そこで、本講演ではサイズ構造モデルを用いてどのような場合に繁殖遅延が有利になるかを調べた結果を報告する。その結果、3種類の場合が考えられ、前者二つは上記の二つの仮説に対応していることがわかった。しかし、3番目の場合（成熟後、個体の生存率が不連続に減少する場合）でも繁殖遅延が有利になる可能性があるということがわかった。繁殖に多大なコストがかかりその結果親個体の生存率が急激に減少する場合には、この3番目の条件が満たされている。

下図には、繁殖率が齢に比例し、成熟前・成熟後の死亡率が不連続に変化する場合の具体的な計算例の結果が示されている。これらの図から最適繁殖開始齢は成熟前・成熟後の死亡率の差に依存し、差が大きいほど繁殖が遅延される。また、繁殖率の比例係数が大きいほど繁殖を早めた方が最適であることが分かる。



格子生態系における空間構造と戦略の時間発展

入江 治行¹ (広島大学総合情報処理センター)、 坊垣 貴夫² (広島大学理学部)

1. はじめに

近年、ある種の最適化問題の解法として、いわゆる遺伝的アルゴリズムが注目されている。これは、生物の遺伝のしくみに着想を得て、対象を遺伝子としてコーディングし、遺伝子の増殖・突然変異・交叉・淘汰といった事柄を模倣することで、最適の解を持つ遺伝子を得ようとするものである。この手法は、人工生命の枠組みでも応用されている。個体それぞれにとって最適な行動の様式と、集団にとって最適な行動の様式とが異なるような生態系に遺伝的アルゴリズムを適用すると、遺伝子の内容で見た集団が自己組織化を起こすことがある³。

本講演では、生態系のモデルとして、被食-捕食関係にある2種の生物を考え、格子ロトカボルテラ法⁴により時間発展を追った。その際、各個体に簡単な戦略を遺伝子として持たせ、系の時間発展にどのような影響が現れるかを調べた。

2. 被食-捕食 格子生態系

次の式で表されるような、被食-捕食の関係にある X, Y の2種の生態系を考える。

$$X + O \rightarrow 2X, \quad Y + X \rightarrow 2Y, \quad Y \rightarrow O \quad (1)$$

種 X は近傍の空白 O を食べてそこに自分の子供を産み、種 Y は近傍の X を食べて X のいた位置に自分の子供を産む。さらに、 Y の一部の個体が死に、空白 O ができる。

ここでは、 100×100 の格子からなる仮想生態系を考え、各格子点には位置を固定されて動かない生物が一個体のみ存在しうとする。時間発展は、次の (i)~(iv) の4ステップを1単位時間とし、2000単位時間追う。

- (i) X, Y の各個体は前後左右の向きと、前方が餌かどうかで回転するかしらないかの4種類の戦略表 (I型~IV型) を持つ。境界条件は、前方が壁のときは無条件に回転するものとする。
- (ii) 各個体は、このステップで1だけ年を取る。
- (iii) X, Y は、前方が餌の場合、つまり X にとっては O が、 Y にとっては X がいる場合、それを食べて自分の子供を産む。前方の餌を自分と同種の他の個体が狙っている場合、最高齢の個体が上記の動作をする。子供は生まれた時点では親と同じ向きを持ち年齢は0である。また、親から戦略を受け継ぐ。その際、一定の確率 μ で戦略の一部が変化する。
- (iv) 年齢が寿命 λ に達した Y は死亡して、占めていた格子点を空白 O にする。

3. シミュレーション結果

格子ロトカボルテラ法を用いて 100×100 の2次元格子点上に、 O, X, Y を置いて、つぎの (A)~(B) の3つの場合について時間発展をみた。(A) は解析的取り扱いである平均場近似と比較するため行った。(C) については前節に記した。

(A) 位置を攪拌

時間が1単位時間進むごとに個体の位置を攪拌すると、平均場近似と非常に良く合う。個体数空間で眺めると、 $\lambda \leq 2$ では定常状態に落ち着き、 $\lambda > 2$ ではその点が不安定渦心点となり、ホップ分岐をしてリミットサイクルとなることがわかる。

(B) 位置固定、向きはランダム

位置を固定して向きをランダムにするときは、(A) の

位置を攪拌したときと違って、平均場近似は成り立たず、空間的パターンを形成する。 $\lambda > 2$ でもリミットサイクルを描かず、近似的な定常状態になる。定常状態になったときの個体数空間の X と Y の分布は、不定型のクラスタを形成している。

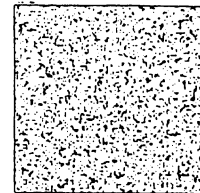
(C) 位置固定、向きは戦略表参照

位置を固定して向きは戦略表を用いて決定する。初期に、各格子点に O, X, Y のいずれかを等確率で割り当て、 X, Y には向きと $0 \sim \lambda - 1$ の年齢をランダムに与え、IV型の戦略を与える。時間発展の方法は前節2. に記した。突然変異率を $\mu = 10^{-4}$ とした。

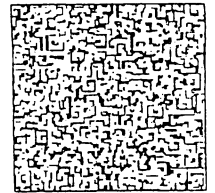
寿命 λ が1のときは、 Y にとって環境が厳しすぎて、ほぼ全領域を X が占拠して安定となる。

$\lambda \geq 2$ では次の通りである。初期状態では戦略表として、IV型だけが与えられている。まず、ランダムな配置の状態のままでは個体数がかなり減少し、その後、 X, Y を含む縦横の縞模様の小さなクラスタができて拡がり、この戦略種だけで準安定的な状態に落ち着く (図 (b))。しばらくすると、突然変異で生まれた X のII型が勢力を伸ばし始め、それに呼応して、 Y のII型も勢力を伸ばし始める。 X, Y のII型が混合した小さなクラスタは協同して、準安定状態を作っていた X, Y のIV型を駆逐していき (図 (c))、領域全体を占領して斜めの縞模様の安定状態に落ち着く (図 (d))。ただし、個体数においては (準) 安定状態でも、格子空間では逐次変化している。図 (a)~(d) は $\lambda = 5$ のときである。このような、準安定状態から安定状態への転移が起こるためには、 X, Y 両方の戦略が変化しなければならない。実際、 X, Y のいずれかの突然変異が起こらないようにすると、突然変異をする方の種にはII型が生まれはするが、勢力を伸ばせなかった。I型、III型も、突然変異により生まれはするが、どんな場合でも勢力を増すことはなかった。

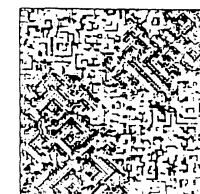
$$\lambda = 5$$



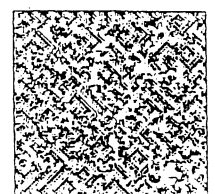
(a) $t = 0$



(b) $t = 300$



(c) $t = 900$



(d) $t = 1380$

4. おわりに

被食-捕食関係にある2種類の生物を格子空間に配置し、簡単な戦略 (遺伝子) を持たせて戦略と格子空間の様子の時間変化をみた。同じ戦略が両生物で優勢となり、格子空間ではクラスタを作り、その戦略に対応した空間パターンが全空間に広がる。この傾向はIV型にもII型の戦略にもあてはまる。 X と Y の種間の競合というより、むしろ、IV型とII型の戦略間の競合といえる。戦略間の競合に両種が協調して加わっているのである。

第6回数理生物学シンポジウム (1995.11.6-8, 東京大学)

¹ haru@ipc.hiroshima-u.ac.jp

² 現在、日本システムエンジニアリング株式会社

³ 北野宏明 編「遺伝的アルゴリズム」(産業図書, 1993)

⁴ K. Tainaka, J. Phys. Soc. Jpn. 57, 2588 (1988).

アリジゴクの巣穴における自己組織的臨界状態の役割

榎森 与志喜 久保 健 神原 武志 (電気通信大学 電子物性工学科)

目的. 相互作用のある大規模系では、自己を臨界状態へと絶えまなく組織しており、その状態では、ちょっとしたことが破局を含むあらゆるサイズの連鎖反応を起こし得る。このことは自己組織的臨界現象と呼ばれ、雪山の雪崩、森林の自然火災、地震など、我々の周辺にも多く存在している。しかし、このように自然界ではよく見られる自己組織的臨界現象がどのように役立っているのかは明らかではない。我々はその一例として、アリジゴクの巣穴が自己組織的臨界状態であることを示し、なぜ、このような状態が必要であるかを議論する。

結果.

(1) 巣穴の動的性質

巣穴のモデルは $N \times N$ の正方格子内の各セルに対して高さを変数としてセルオートマトンの計算を行なう。このとき、あるサイトから他のサイトへ砂が落ちる規則を設定する。初期状態として急激な勾配を持つ逆円錐形の巣穴を正方格子内の中央につくり、この条件にそって砂崩れをおこさせ、それが安定した状態をアリジゴクの巣穴とする。そこで、この巣穴にランダムに1粒砂をおとすと、この巣穴は自己組織的に他の定常状態へむかうが、このとき砂崩れの間動いた砂の総数 s と砂崩れが続いた時間 T の分布 $D(s), D(T)$ を計算する。Fig. 1 には、10000回の砂崩れに対応する $D(s)$ のグラフを示す。図より $D(s) \sim s^{-1}$ が成り立ち、この巣穴が自己組織的臨界状態としての性質をもつことがわかる。

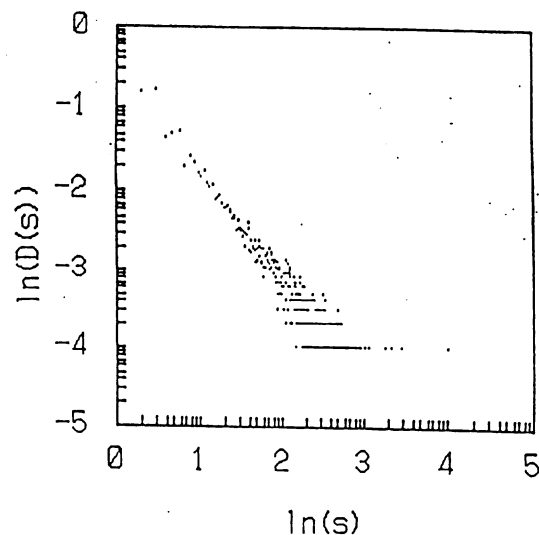


Fig. 1

(2) 自己組織的臨界状態の役割

巣穴の自己組織的臨界状態としての性質が、どのようにアリをつかまえるのに役立っているか調べるために、アリジゴクがアリをつかまえるまで底にある砂を何個放り投げたかで1匹のアリを捕まえるのに必要な労力を定義する。このとき、巣穴の状態として Fig.2 に示すような3つの状態、劣臨界状態、優臨界状態、臨界状態、に対して、この労力を計算した。Table. 1 に、各状態に対してそれぞれ10回の測定をくりかえした労力の平均値を示す。これより、臨界状態ではその労力が一番小さく、効率的にアリを捕獲できることがわかる。アリジゴクは、アリを捕まえるために、自己組織的臨界状態としての性質である安定性と不安定性のバランスをうまく利用することによって、これを実現している。

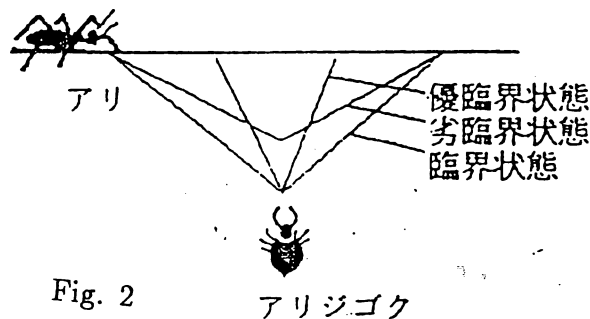


Fig. 2

労力	劣臨界状態	臨界状態	優臨界状態
労力	2199	1199	1447

Table 1

応答特性におけるカオスの縁状態の役割— シンシチウム構造を持つ感覚受容器の場合

舟久保博文 a 榎森与志喜 a 田中尚樹 b 内藤正美 b 神原武志 a

a 電気通信大学、電子物性工学科, b 日立、基礎研

1. はじめに 視覚、聴覚、味覚のようないくつかの感覚器において、多くの受容細胞は gap junction を通して細胞内につながっている、シンシチウム構造を持っている。受容細胞系の応答特性におけるシンシチウム構造の役割というものはまだ明らかになってない。刺激への受容細胞の応答性は、細胞膜のイオンチャンネルを通過するイオン電流から誘導される膜電位の変化によって作られる。gap junction を通して細胞間に結合がある場合には、条件により膜電位のゆらぎが、周期的、カオスの、カオスの縁的となる。刺激への応答性が各状態でどのように違ってくるのか、適当なモデルを作り調べた。

2. モデル チャンネルのゲーティングが確率的であることは、多くのイオンチャンネルのモデルにおいて考えられてきた。しかし、最近、イオンチャンネルゲーティングの時間的な変化が、決定論的に生じることが単一イオンチャンネルにおける電荷分布の解析をもとに示された。Liebovitch と Toth は確率的なゲーティングモデルと決定論的なモデルをもとにして、チャンネルを通過するイオン電流のゆらぎを解析し、チャンネルのゲーティングがカオス状態になることが可能であることを示した。我々は、Liebovitch と Toth のマッピングモデルを拡張した決定論的ゲーティングモデルを用いた。ゲート状態の量 $z(t+1)$ は、マッピング関数により $z(t)$ によって与えられる。 $z(t+1) = a_1(2d_2 - z(t))z(t); 0 \leq z(t) < d_1, (d_2 - z(t))/(d_2 - d_1); d_1 \leq z(t) \leq d_2, a_2(z(t) - 1)(z(t) - 2d_2 + 1) + 1; d_2 < z(t) \leq 1$ 。ここで、 a_i, d_i は定数パラメータ。ゲートは $0 \leq z(t) < d_1$ の時、閉じ、 $d_2 < z(t) \leq 1$ の時、開いている。これによって決まるイオンチャンネルのゲーティングには、周期的とカオス状態がある。

さらに、受容細胞シンシチウムのモデルを作った。各細胞はアピカル膜に p 個の Na^+ , q 個の K^+ チャンネルを持っている。 N 個の受容細胞はリニアに配列し、二つの隣接した細胞は、イオンを滑らかに通す gap junction でつながっている。細胞 n の膜電位 V_n は次式で与えられる。

$$C \frac{dV_n}{dt} + J_n(Na) + J_n(K) = I_{n-1} - I_n \quad (1)$$

$J_n(X)$ ($X = Na, K$) はそれぞれ、 n 番目のアピカル膜の X チャンネルを流れる電流、 C は膜のキャパシタンス、 I_n は n 番目の細胞から $(n+1)$ 番目の細胞へ gap junction を通じて流れる電流を表している。チャンネル電流は、

$$J_n(Na) = g_{Na} \sum_{k=1}^p x_{n,k} (V_n - E_{Na}), \quad J_n(K) = g_K \sum_{k=1}^q y_{n,k} (V_n - E_K) \quad (2)$$

で与えられ、 $x_{n,k}, y_{n,k}$ はそれぞれ、 Na^+, K^+ チャンネルのゲーティング量、 g_X, E_X ($X = Na, K$) はそれぞれ、 X チャンネルの電気電動度と X イオンの平衡電位である。電流 I_n は膜電位 V_n を用いて、 $I_n = (V_n - V_{n+1})/r$ のように表せる。 r は gap junction の抵抗である。チャンネルゲーティング関数の膜電位依存性として次式を考えた。

$$a_i(t+1) = a_{i0} + \epsilon \tanh\left[\frac{F(V_n - E_{Na})}{2RT}\right] \quad (3)$$

この膜電位への依存を通じて各チャンネルのゲーティングは、関連を持つことになる。

3. ゲーティングの集団運動と系の応答性 $r, g_{Na}, g_K, a_{i0}, \epsilon$ の値によって、チャンネル集団のゲーティングが周期的、カオスの、カオスの縁の状態をとる。それに伴って各細胞の膜電位のゆらぎも、周期的、カオスの、カオスの縁の状態となる。これらの状態において、その応答性を調べるために二つの細胞に微小なサイン波電流を注入し、その時間的、空間的相関を調べた。カオスの縁状態の時のみ、二つの入力のコヒーレントな相関を持つことがわかった [1,2]。今回は、ノイズを持つ入力電流を全ての細胞に注入した場合にカオスの縁状態において、ノイズは消されコヒーレントなシグナル部分のみに応答できることを示す。

[1] 榎森 et al. イオンチャンネル集団の時空パターンと細胞におけるその役割、電気学会研究会資料 IP-95-17(1995) pp.33-46

[2] Y.Kashimori et al. Effect of intercellular coupling through gap-junctions on dynamics of ion channel gating: role of edge of chaos state on response characteristics, Proc. of ICONIP'95(1995, Beijing) in press.

魚群の集団行動における自己組織的臨界現象

成田 佳應、樫森 与志喜、神原 武志、佐々木 直幸

(電気通信大学) (日本南科大学)

特定のリーダーが存在しない魚の群れにおいては、個々の魚は他の魚との相互作用により行動する。その結果として自己組織的に群れが形成され、群れ全体として秩序のある行動が現れる。安定した群れが形成されるためには、以下の様な相互作用が必要であることが、これまでのコンピュータシミュレーションによる解析の結果、解ってきた。^{[1][2]}

(1) 魚の行動ルール：個々の魚には、死角を除いた範囲で最も近くにいる魚までの好適距離が存在し、その範囲内であればその魚に平行して泳ごうとする。また、距離が近すぎる場合は離れようとし、離れた場合は近寄ろうとする。ただし、最も近くの魚だけに注目して行動すると、群れは形成されない。

(2) 他の魚との相関関係：他の魚のスピードおよび方向との相関関係については、最隣接魚との相関関係が最も強いわけではなく、また、いかなる魚とも強い相関は見られない。ある魚のスピードと方向は、群れ全体の平均値と強い相関を持っている。ただし、単なる平均ではなく、距離に反比例した重み付けを行った値の平均である。すなわち、最も近くにいる魚から、最も強く影響を受けることになる。

(3) 視覚と側線の役割：個々の魚が群れの中で位置を保つためには、視覚と共に側線が重要な役割を果たしている。魚は側線を利用して群れ全体の行動を把握していると考えられる。個々の魚が視覚だけで群れを形成すると、群れは形成されるが、小さくまとまりすぎる傾向がある。また、側線の働きのみを考えて、群れ全体の重み付き平均スピードと方向のみに合わせて個々の魚が泳ぐと、群れが全体に広がりすぎる傾向が見られる。

すなわち、個々の魚は、側線から得られた情報と、目から得られた情報に、それぞれ重み付けを行い、各々の値を総合して次の行動を決定する。目から得られた情報の割合を多くすると群れの密度は高まり、これは群れが外敵などの危険にさらされた状態と考えられる。対照的に、側線から得られた情報の割合を多くすると群れの密度は低くなるが、これは危険がなく悠々と泳いでいる状態と考えられる。

今回は、これらの集団行動を行っている魚群が、岩や流木、あるいは捕食者など、外部からの刺激に遭遇した場合に、どのように乱れを生じるのか、そしてそれらの外部刺激が無くなった場合に、どうなるのかを調べた。

魚群の集団行動は、自己組織的臨界状態^[3]にあることを示唆する結果が得られている。魚群の動的状態を示す指標として、各魚が情報を得るのに視覚を用いる割合（残りの情報は側線から得る）を用いる。刺激によって集団行動が乱されると、視覚を用いる割合が増加して、視覚主体となるが、刺激が無くなるとやがて、元の側線主体の行動に戻る。このような視覚主体の状態から側線主体の状態に戻るまでの時間 T の頻度が $T^{-\nu}$ に比例しており、 ν が 1 に近い値になる。

[1] I. Aoki: Bull. Jpn. Soc. Sci. Fisheries 48, 1081-1088 (1982)

[2] 佐々木 et al. 統計数理研究所共同研究レポート 76, 144-156 (1995)

[3] 神原 et al. パソコンで探る生命科学シミュレーション (ブルーバックス) 第7章 (1994)

メンクロウの音源定位の神経回路モデル

河野一成^a 田村尚隆^a 檜森与志喜^b 神原武志^{a,b}

電気通信大学 ^a情報システム学研究所 情報ネットワーク学専攻、^b電子物性工学科

1 はじめに

生物の聴覚の基本的能力の一つに、音の来る方向を察知する“音源定位”がある。音源定位を行う上で、生物は一般的に両耳間での音の伝わる時間差 (ITD) と音の強さすなわち圧力差 (IID) を用い、脳内でこれらの情報を融合して音源の位置を特定している。世界中に広範囲に生息する夜行性のフクロウであるメンクロウは、あらゆる生物の中で最も正確に音源を特定することができる。メンクロウの耳は左右で上下の高さが異なっており、また、方向の指向性も上下に異なっているのが特徴である。その上下の指向性の相違による音圧差 (IID) により音源の垂直方向を、時間差 (ITD) により音源の水平方向を定位している。このフクロウの検知できる時間差は十数 μsec 単位であるが、これは、一般的な神経細胞の活動サイクル時間 (msec 単位) を大幅に上回る [1]。どのようなメカニズムでこれを検知できるかは未だに明らかにされていない (hyper-acuity)。生物のニューロンによる ITD 検出回路として提案されている Jeffress model でもこの現象を説明するのには不十分である。そこで、入力層に Jeffress model を用いる多層型のネットワークモデルを考える。モデルは Jeffress model を入力層とし、On 中心 Off 周辺型の側抑制を層間のパルス伝達に用い、同一層内での結合は無いものとした。

2 結果と議論

これまでの研究によって [2]、実際のものと同じ精度で ITD を検知することができ、素子の精度以上のデータを測定する hyper-acuity 実現の可能性を示した (Fig 1)。Fig 1 を見ると、入力層に近いところでは、細胞が全体的に発火してしまって、正確に ITD が検出できていないが、入力層から遠い層に情報が流れるにしたがって On 中心 Off 周辺型の側抑制の効果によって、いらぬ情報が削られて正確な ITD だけが検出されている事がわかる。[2] また、単一の周波数の音を聞かせると複数の時間差に反応してしまう“位相多義性”と呼ばれる現象も、周波数別に測定した ITD の結果を総合して処理すると、解消することができるという事実も証明できた。しかし、そこで用いた ITD 検出モデルは前述の通

り Jeffress model を基本にしている。ただ、Jeffress model は 1 次元のネットワークモデルで、生理学的に妥当なモデルとは言いがたい。また、良好な結果を出すためにかなりネットワークを多層化しなければならなかった。

今回は、これら生理学的な知見に適応しない点をひき、これまでの一次元的配列の ITD 検出ニューラルネットワークを二次元的なネットワークに拡張し、多層化することなしに hyper-acuity が実現することを旨とした。結果の詳細については講演で報告します。

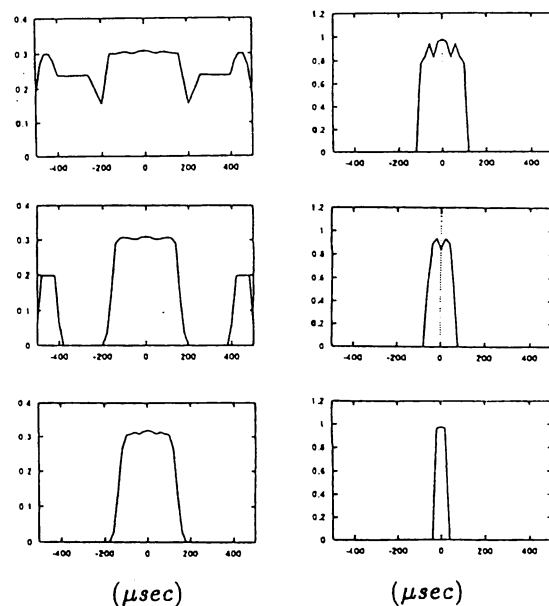


Fig 1 :左の3つのグラフでは、上段からそれぞれ 2,3,4 層でのニューロンの膜電位と、脱分極しているニューロンの位置により時間差がわかる。また右の4つのグラフでは、上段からそれぞれ 4,6,9 (最終層)でのニューロンの発火率で、発火しているニューロンの位置により時間差がわかる。

参考文献

- [1] 小西正一 「メンクロウの両耳による聴覚情報処理」, 日系サイエンス, pp.90-99, 1993年6月号
- [2] Tamura N., Kashimori Y., and Kambara T. 「A neural network model of nucleus laminaris for sound location of barn owl」 In *Proceeding of International Conference on Neural Information Processing*, Vol.1, pp.671-675, 1994

動的に変化するシナプス結合をもつ ニューラルネットワークの動的性質

脇和規 †, 星野修 †, 檜森与志喜 ‡, 神原武志 †

電気通信大学 †情報システム学研究所 情報ネットワーク学専攻, ‡電子物性工学科

1 はじめに

「ニューロンあるいはニューロン集団の何によって、情報がコードされているか？」という問題は、脳研究における中心課題の一つである。大別して二つの仮説が提出されている。(1) 個々のニューロンの平均発火率が情報をコードし、一つのニューロンが一つの情報を認識する特徴抽出細胞になっている。(2) ニューロン集団の発火パターンによって情報がコードされる (population coding)。

情報はニューロン集団の静的発火パターンではなくて、時間的相関も含んだ spatiotemporal pattern にコードされていることが、最近、Abeles や Aertsen らによって実験的に示されている。

我々は、この立場に立って、各情報に対応する spatiotemporal pattern を発生する動的ニューロン集団が形成されるメカニズムを研究している。この動的集団は、情報処理のプロセスにおいて、タスクに応じて短時間に形成され必要がなくなれば消えるものであるから、シナプス結合を動的に取扱うことが不可欠である。我々は、そのような性質をもつニューラルネットワークモデルの動的性質を調べることにより、動的ニューロン集団形成のメカニズム解明への足掛かりをつかんだ。

2 モデルの概要

このモデルは、二組の力学方程式からなる。ニューロンの活動度の状態変化についてのものと神経の活動度の相関に依存した、シナプスの変化についてのものである。

活動度については、ボルツマンマシンと同様に確率的にニューロンの動作を決める。各主要ニューロンはその出力 V_i の値として、確率的に 0 または 1 のどちらかをとる。ニューロン i が出力 1 を出す確率を $p(V_i = 1)$ 、出力 0 を出す確率を $p(V_i = 0)$ と表すと、これらは次のように与えられる。

$$V_i = \begin{cases} 1, & p(V_i = 1) = \frac{1}{2} \{1 + \tanh(\alpha u_i)\} \\ 0, & p(V_i = 0) = 1 - p(V_i = 1) \end{cases} \quad (1)$$

u_i はニューロン i の膜電位であり、 α は定数である。また、 i 番目の抑制性の介在ニューロンの出力 Q_i も同様に次式で定義する。

$$Q_i = \begin{cases} 1, & p(Q_i = 1) = \frac{1}{2} \{1 + \tanh(\beta S_i)\} \\ 0, & p(Q_i = 0) = 1 - p(Q_i = 1) \end{cases} \quad (2)$$

S_i は i 番目の介在ニューロンの膜電位であり、 β は定数である。

神経回路網は n 個の主要ニューロンと n 個の介在ニューロンからなる。主要ニューロンの膜電位 u_i は、

$$\tau_i \frac{du_i}{dt} = -u_i + \sum_j^n W_{ij} V_j + a I_i + r R_i - q Q_i \quad (3)$$

によって与えられる。 τ_i は時定数、 W_{ij} はニューロン j より i への結合荷重、 R_i は隣合ったニューロンからのランダムに洩れる電流であり、 I_i は i 番目のニューロンへの外部入力刺激であり、 a, r, q は定数である。また、介在ニューロンの膜電位 S_i は、

$$\tau_{S_i} \frac{dS_i}{dt} = -S_i + b V_i \quad (4)$$

で与えられる。 τ_{S_i} は時定数であり、 b は定数である。結合荷重の時間的変化は、

$$\begin{aligned} C_{ij} \frac{dW_{ij}}{dt} &= -W_{ij} + \int_{-\infty}^t k e^{-\frac{t-x}{\alpha}} V_i(t) V_j(x) dx \\ &= -W_{ij} + V_i(t) \int_{-\infty}^t k e^{-\frac{t-x}{\alpha}} V_j(x) dx \end{aligned} \quad (5)$$

によって与えられる。 C_{ij} は時定数であり、 α, k は定数、 $\exp(-(x-t)/\alpha)$ は、 $V_j(x)$ の寄与の減衰を示す項である。

この式が表している学習則は、従来から多く用いられているシナプスの変化法則であるヘップの学習則 (D.O. Hebb, 1948) と同じものではない。時間がたつにつれて減衰していく $V_j(x)$ を $-\infty$ から t まで積分することにより、スパイクの平均発火率ではなく、スパイクの時系列間の発火のタイミングが情報としてコードされ (temporal coding)、それと $V_i(t)$ との相関によって W_{ij} を変化させるというものである。

3 結果

種々の情報に対応する種々の spatiotemporal stimuli ($a I_i(t)$) を与えることによって、それに対応する動的発火集団の形成を調べている。定常的な spatial patterns の入力に対しては、それに対応するアトラクターが形成され、それらのアトラクター間の相転移的な転移が起こることが分かった。

しかし、spatiotemporal stimuli に対応して発火の spatiotemporal patterns が形成されるまでには至っていない。さらに詳しくニューラルネットワークの動的性質を調べることが必要である。

飛び魚の最適飛行経路

稲田喜信（新技術事業団河内微小流動プロジェクト）

河内啓二（東京大学先端科学技術研究センター教授）

1. 概要

飛び魚は捕食者である大型の肉食魚から逃げるために滑空し、この時の飛行経路はほぼ水平に近い。この理由を捕食者から最も遠くに逃げるため（飛行距離最大）、もしくは捕食者から最も長い時間逃げるため（飛行時間最大）という2つの観点から解析した。解析においては飛行時のエネルギー消費を考慮した解析的な方法と、最適制御理論を利用した数値解法を用いた。解析的な方法では滑空機が距離または時間を最大にするために行う経路角一定の降下飛行（以下、定常滑空）と飛び魚が行う水平飛行とを比較した。その結果前者の方が距離や時間を最大にできるが、飛び魚の形態的な緒元からその有利さは滑空機の場合と比べてごくわずかであることがわかった。このため定常滑空の際の初期高度を得るための上昇に伴うエネルギーロスが大きければ、水平な飛行の方が飛行距離や時間を大きくできる可能性を見いだした。また地面効果（地面付近を飛行する際に揚力が高くなる効果）を利用した場合では地面付近を水平に飛行する方が定常滑空より優れていた。さらに最適制御理論を利用した数値解法を用いた結果では時間を最大にする場合は定常滑空に近い方法が良いが、距離を最大にする場合は水平な飛行が良いことがわかった。ただし地面効果がある場合はどちらも水平な飛行経路が適していた。このことから飛び魚の水平な飛行は波などの影響で地面効果が利用しにくい環境では距離を最大にすることを目的としており、また地面効果が利用できればさらに滞空時間も最長にできる利点を持つことがわかった。

2. 解析的な方法による比較

図1のように初期高度 h_0 から距離最大もしくは時間最大になる経路角で定常滑空した場合と、始めから水平に飛行した場合とで距離および時間を比較した。ただし定常滑空の場合でも地面まで降下した後は失速速度まで水平に飛行できるとした。ここで用いた比較の方法や本論分の内容の詳細は文献[1]を参照されたい。パラメータを変えながら距離および時間の比をプロットしたものが図2.3である。ここで横軸は初期状態で持っているエネルギーを飛び魚と滑空機でのサイズの違いを除外するために無次元化したものである。比較に用いた飛び魚と滑空機の緒元を表1に載せる。飛び魚が水面から飛びたつ際の速度は横軸の0～1の間に相当し、滑空機は30～50の間の値を取る。その結果、地面効果がない場合は距離・時間ともに定常滑空の方が有利であるが、飛び魚の場合は滑空機に比べてその差はわずかであることがわかる。ただし縦軸のスケールからわかるように最大滞空時間を目指した方が最大距離を目指した場合よりも定常滑空の有利さは大きい。一方地面効果がある場合では飛び魚では水平飛行が有利、滑空機では定常滑空が有利となる。

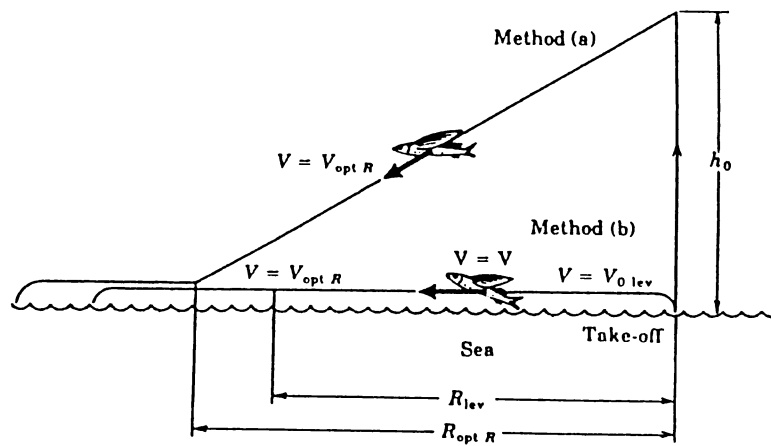
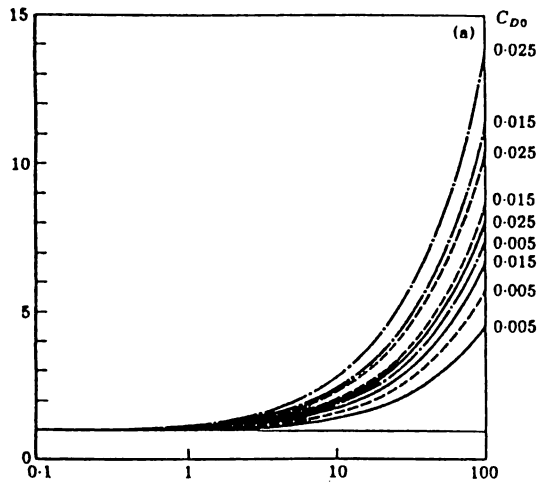


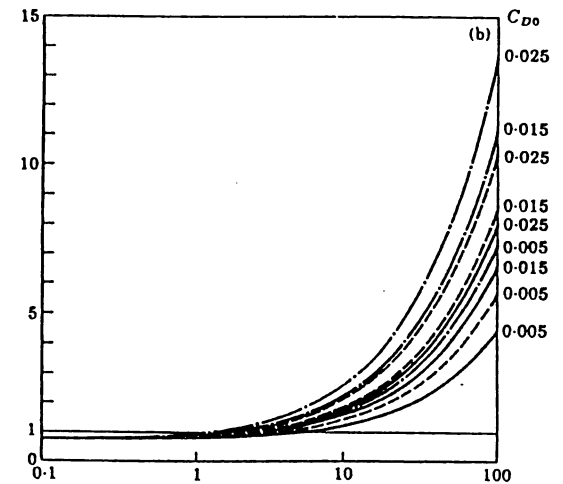
図1^[1] 2つの飛行方法の比較. h_0 :初期高度; R_{lev} :水平飛行による飛行距離;
 $R_{opt R}$:定常滑空による飛行距離; V :飛行速度; $V_{0 lev}$:初期速度; $V_{opt R}$:定常滑空による飛行速度

距離の比 (定常滑空/水平飛行)



初期エネルギー $[(h_0/b)/\mu]$

距離の比 (定常滑空/水平飛行)

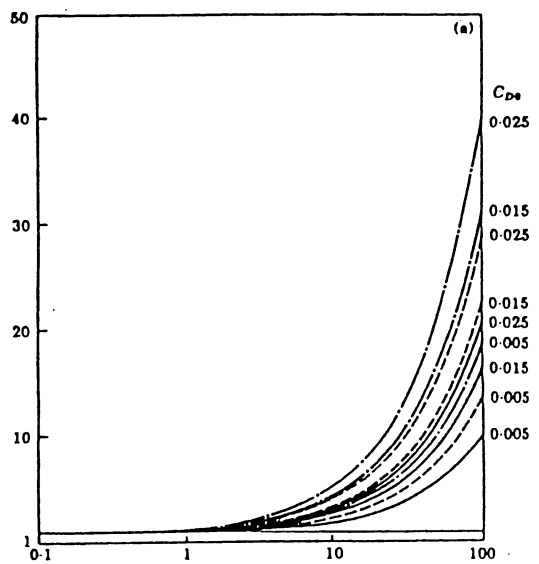


初期エネルギー $[(h_0/b)/\mu]$

図2^[1] 2つの飛行方法による飛行距離の比. (a) 地面効果なし. (b) 地面効果あり.

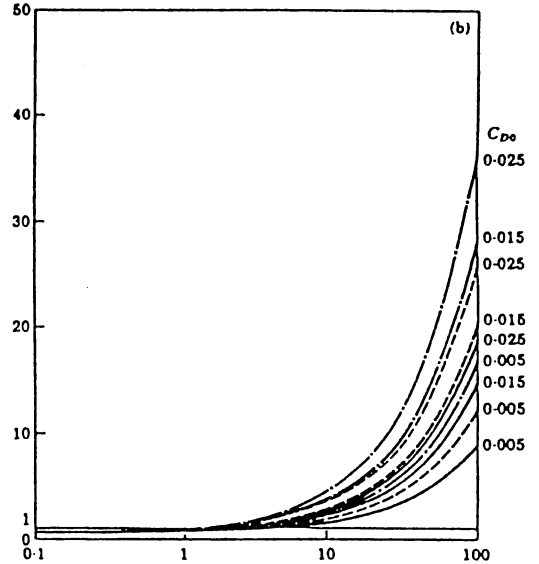
AR , (—), 5; (---), 10; (- - -), 20.

時間の比 (定常滑空/水平飛行)



初期エネルギー $[(h_0/b)/\mu]$

時間の比 (定常滑空/水平飛行)



初期エネルギー $[(h_0/b)/\mu]$

図3^[1] 2つの飛行方法による飛行時間の比. (a) 地面効果なし. (b) 地面効果あり.

AR , (—), 5; (---), 10; (- - -), 20.

3. 数値解法による比較

ここでは文献[2]に述べられている解法を用いて飛び魚の最大滑空距離、および最大滑空時間の際の飛行経路を調べた。まず飛び魚の飛行時の運動方程式を以下のように与え(式(1)~(4))、最適化したい評価値を距離、もしくは時間で与えた(式(5)、(6))。

$$dV/dt = g \sin(-\gamma) - (1/2)(\rho V^2 S/m)(C_{D0} + C_L^2/\pi AR^*) \quad (1)$$

$$d\gamma/dt = -(g/V) \cos \gamma + (1/2)(\rho V S/m) C_L \quad (2)$$

$$dh/dt = V \sin \gamma \quad (3)$$

$$AR^* = \begin{cases} AR & (0.35 \leq h/b) \\ AR / \{(-1/0.35^2)(h/b - 0.35)^2 + 1\} & (0 < h/b < 0.35) \end{cases} \quad (4)$$

$$l = \int_{t_0}^{t_f} V \cos \gamma dt \quad (5)$$

$$t = \int_{t_0}^{t_f} dt \quad (6)$$

この際拘束条件として境界条件と揚力係数の非失速条件、および高度が負にならない条件を設定した(式(7)~(10))。

$$\left. \begin{array}{l} V(t_0), \gamma(t_0); \text{ given} \\ h(t_0) = h_{\min} \end{array} \right\} \quad (7)$$

$$h(t_f) = h_{\min} \quad (8)$$

$$-0.5 \leq C_L \leq 1.4 \quad (9)$$

$$h_{\min} \leq h \quad (10)$$

数値計算の結果得られた経路を図4に示す。地面効果がない場合、距離最大の経路は飛び出し角によって変わってくるが、飛び魚のように水面を滑走してから浅い角度で離陸する場合はそのまま水平に飛行した方が適していることがわかる。一方時間最大の場合は離陸後一旦上昇してから定常滑空に近い状態で降下した方が良いことがわかる。これは上昇時のエネルギーロスが距離の場合は定常滑空の有利さをキャンセルし、時間の場合はそうならない程度の大きさであるためと思われる。一方地面効果があればどちらの場合もこれを利用して水平に飛行する方が適していることがわかる。

4. まとめ

以上のことから飛び魚のような諸元では滑空機などで用いられる定常滑空の有利さは少なく、このため距離を最大にする場合は上昇時のエネルギーロスを避けて飛び出したまま水平に飛行する方が距離を延ばせることがわかった。また地面効果が利用できる場合には水平な飛行が距離、時間ともに最長にできることがわかった。このことから飛び魚の水平な飛行は距離を最大にすることが第一の目的であり、水面がおだやかで地面効果が利用できる場合には時間も最大にできる利点を持っていることがわかった。

表1^[1] 飛び魚と滑空機の緒元

Name	Flying fish†			Artificial glider‡	
	<i>Cypselurus heterurus doederleini</i>	<i>Cypselurus agoo agoo</i>	<i>Cypselurus pinnatibarhatus japonicus</i>	Standard Libelle	Siren C-30S
Wing area, S (m ²)	0.0225	0.0262	0.0341	9.80	12.50
Wing span, b (m)	0.347	0.383	0.418	15.0	15.0
Mass, m (kg)	0.226	0.243	0.303	290	380
Wing loading, mg/S (N m ⁻²)	98.4	90.9	87.1	290	298
Mass ratio, μ	23.6	19.7	17.5	1.61	1.65
Aspect ratio, AR	6.28§	6.43§	5.57§	23.0	18.0
Parasite drag coefficient, C_{D0}	0.020	0.018	0.020	0.010	0.008
Max. lift drag ratio $(L/D)_{max}$ ¶	15.7§	16.7§	15.0§	42.5	42.0

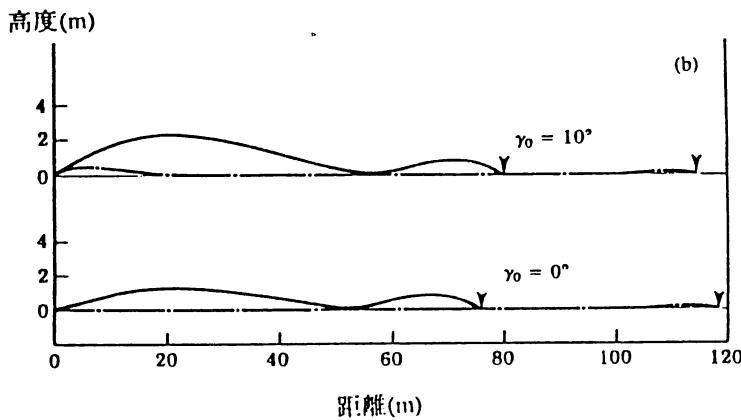
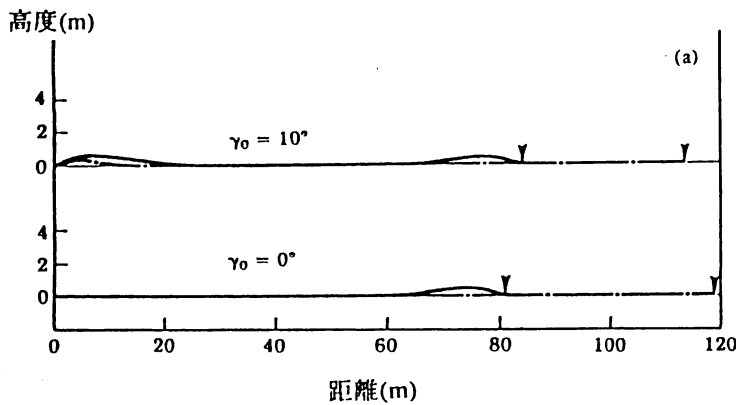
† Measured by authors.

‡ Data from *Jane's All the World's Aircraft 1971-1972* (Taylor, 1972).

§ Including the effect of pelvic fin.

|| Estimated by the method presented in *Fluid-Dynamic Drag* (Hoerner, 1958).

¶ Estimated by eqns (1) and (2).



用語の説明

- AR アスペクト比 $=b^2/S$
- b 翼幅
- C_D 抵抗係数 $=D/(1/2)\rho V^2S$
- C_{D0} 摩擦抵抗係数
- C_L 揚力係数 $=L/(1/2)\rho V^2S$
- D 抵抗
- g 重力加速度
- h 高度
- h_0 初期高度
- L 揚力
- m 重量
- S 翼面積
- t 時間
- t_f 終端時間
- t_0 初期時間
- γ 飛行経路角
- μ 重量比 $=m/\rho S b$
- ρ 空気密度

図4^[1] 最適飛行経路。(a)距離最大。(b)時間最大。(—), 地面効果なし。(---), 地面効果あり。

参考文献

[1]K.Kawachi, Y.Inada and A.Azuma(1993). *Optimal Flight Path of Flying Fish. J.theor.Biol.* 163,145-159.

[2]Wu,A.K.& Miele,A.(1980). *Sequential Conjugate Gradient Restoration Algorithm for Optimal Control Problems with Non-differential Constraints and General Boundary Conditions, Part 1. Optimal Control Applications and Methods* 1, 69-88

骨え

糸

飛す雛昇うれ

はまに水用

品川嘉也先生の思い出^{注1}

瀬野裕美（奈良女子大）

品川先生が1992年11月24日に亡くなられるときには既に私は日本医科大学から広島大学に移って8カ月近くを過ごしていました。そして、最後にお会いしたのは、日本医科大学付属病院のベットのうえにあぐらをかいて座っていらっしゃる先生だったと記憶しています。そのころは手術のあとでもあり結構やせていらっしゃったのですが、ラップトップのパソコンでまだ原稿を書かれていらっしゃったのはさすがでした。

私は、松田裕之さんの後任として1989年10月より日本医科大学基礎医学情報処理室に2年3カ月ほどお世話になりました。私の後任は、再び、京都大学理学部の理論生物物理学研究室の後輩である渡部昇君（現職）です。基礎医学情報処理室ができてからの助手をそのように品川先生が理論生物研から採用してこられたのは、品川先生が生理現象（特に、脳波）を数理的に考察しようという関心を強くもたれていたからだと思います。その関心は、（後述の松田さんの文章にもありますし、品川先生の雑談にもよく表れていましたが）先生ご自身のいろいろな数理研究者らとの交流のなかで育っていたものなのでしょう。

松田さんの文章にもあるように、品川先生は「弟子は育てるものではなく、育つものである」の態度かのように、在任中、私もすっかり自由を謳歌（？）させていただいていた。実際、私は特にこれこれをやってほしいということすら言われた記憶がありません。（私の頑固さをはじめっから見抜いていらっしゃったのかもしれませんが）品川先生は脳波の実験があるとき以外、特に情報処理室のほうに長くいらっしゃるということはあまりなかったのですが、都合のつく限りだいたい午後3時くらいに私たちとお茶を飲みに行っていました。そのときの雑談が膨らんでできあがったのが、品川先生と共著になる東京書籍「医学・生物学とフラクタル解析—生物に潜む自己相似性を探る—」です。その発行日1992年10月27日は先生がなくなられて三日後の日付です。（幸い、出版社のご好意もあり、ご存命のうちには手渡せたと聞いています）私はフラクタル解析に関心があって勉強していたので、それが多少なりとも品川先生が関心を持たれていた脳波の数理的解析の展開の一部にお役にも立ち、私自身も実際の脳波データを解析するという得難い経験をもつことができ、しかも、勉強していたことをまとめる機会が得られたというのは私にとっては本当に幸運でした。上記の本の中にも書かれていますが、品川先生は「脳波現象」の数理解モデルをカオス力学系によってつくれないかというアイデアももっていらっしゃったようです。それは私にとっても面白そうなアイデアで、それについてもっといろいろとお話しできたらと今更ながら思います。

品川先生の、自他共に認める執筆の速さと量に象徴され、他方ではのんびりとした広い

^{注1} 数生懇ニューズレター前編集担当の瀬野裕美と現編集担当の松田裕之は、本会会員だった故品川嘉也氏により日本医科大学に採用されました。そこで紙面を借りて我々二人による追悼を述べさせていただきます。

視野をもつという人物像は他に例をみないほどのものだったと感ずります。私は、医科大学での助手という経験の中で、生理現象への関心をふくらませることもできましたし、そんな品川先生との交流の2年間余は、本当にのびのびのんびりと今の自分に大きな影響を残す自分を育てる経験の得られた期間だったと思います。品川嘉也先生、本当にどうもありがとうございました。

松田裕之（九州大）

私が最後に品川嘉也先生に会ったのは1992年10月の基礎老化学会である。「死から見た老化」という演題で招待講演に呼ばれた品川先生は、すでに病状も思わしくなく、自ら死期が近いことを承知の上で、私と共同講演という形でこの招待講演を受けられたのである。なぜ基礎老化学会に招待されたかと言えば、品川先生と私とで著した『死の科学＝生物の寿命はどのように決まるのか』（光文社カッパサイエンス）という本が学会主催者の目に止まったからのようである。品川先生の数ある著書の中で、これは最後から2冊目であった。『死の科学』を出版した1991年末には、すでに不治の病に冒されていたことを後で知った。最後に死を論じてなくなるという巡り合せを思い出すたびに、今も深い衝撃に襲われる。

私は京都大学理学部の理論生物物理学研究室（寺本英教授）で学位をとった。当時学位を取っても全く就職できずにいるのが当たり前であった研究室で、私は数理生態学などという、品川先生によれば「飯が喰えない」研究を続けていたが、品川教授が日本医科大学で基礎医学情報処理室の室長を兼務されるにあたり、1985年に私を雇ってくれた。私が生態学の研究を続けることを禁じることなく、採用の条件として情報処理室の計算機の世話と、生理学の共同研究を行なうことを要求された。今までの研究も続けられ、新たな研究の機会も与えられるというのは願ってもないよい条件であった。

初めは半透膜の糖輸送の数学模型を計算することを依頼された。私は「飯が喰えない」ことを理由に専門を変えようとは思わなかったが、飯を喰わせて貰っている以上、教授の要求にはこたえなくては行かない。教授も、何とか私を生理学に専念させようと考えていたようだが、いくら私に自由を与えてその気にさせようとしても私が期待にこたえないのに不満を持っていらっしやっただと思う。G大学のS先生は学会で私に会うたびに生理学は面白いだろうと事例を挙げて説いて下さった。

そのうち、脳波のフラクタル次元を計算する研究を情報処理室の計算機で進めるようになった。室でやることがはっきりしたので、脳波測定の被検者になったり、もう一人の室員である河野喜美子さんの計算の手伝いをすればよくなった。品川先生の脳波はとても興味があったが、本人は被検者にはなろうとしなかった。私は本当に期待外れの役立たずで、品川教授はなぜ松田を雇ったのかと外部の人が不思議がっているという雰囲気も伝わってきた。けれどもこの頃から品川先生は私に対して悟りの境地に達してきた。

品川先生は俳人でもあり、良夜と名乗っている。俳句の同人誌を主宰されていたが、そ

の後継者である実の妹君に「弟子は育てるものではなく、育つものである」と言われたそうである。これが私に対する品川先生の晩年の態度であった。私の方は「何でも自由にやらせてくれて、一つくらい共同研究を命じてくれる」教授を理想の教授と公言していた。

その後、『死の科学』の執筆の話が持ち上がり、品川先生に出版社まで斡旋していただいた。品川先生は哲学にも通じ、京大文学部哲学科で講義をした経験談は何度も聞いた。理学部、文学部、さらに計算機センターにまで出入りしていた文字通り多才な学者であった。ただし、まわりがほめないとすぐに自画自賛を始めるのが癖だった。この自画自賛は自分でも承知の上であり、私が留学中に頂いた手紙には、「（『死の科学』が出版できたのも）エヘン、私の名があったからですぞ」と書いてあった。私をもっと感謝と賞賛の気持ちを表していれば、きっと謙譲の美德を如何なく発揮していただろう。

ともかく、「死」はまさに絶好の主題であった。品川先生は死の生理学を論じ、私が死の生態学を論じるということで、共同執筆の話がまとまった。ようやく日本医科大学に来たかきが少しでてきたと思う頃に、僕に転職の機会が訪れた。日本医大に来て4年後のことである。行く先は水産庁で生理学とは無関係だが、「東大海洋研の白鳳丸に乗せろ」というありがたい条件で気持ちよく転職を許され、さらに後任に私の京大の後輩の瀬野裕美君を採用していただいた。白鳳丸乗船の機会を設ける前に亡くなられたのが心残りである。

品川先生は気功の研究も進められた。気功を超自然現象としてではなく、未知の自然現象として理解しようという観点で研究していたと理解している。眉唾ものの研究課題を敬遠するのではなく、非科学的に礼賛するのでもなく、未知だからこそ科学的に研究するという視点は、私が生態学に興味をもった理由と共通していると感じる。意外なことに、西洋医学では不治の病に冒された後も、気功師の治療を受けようとはしなかった。気功の効果を信じるがゆえに、より悪くなることを恐れていたようである。品川先生は出版やテレビ出演などマスコミは大好きだったが、公私の区別が厳格であるのはさすが学者であると感心した。

品川先生は亡くなった後も私を助けてくれた。私を九州大学の助教授に推薦していただき、その後すぐに亡くなられた。農水省は若手研究者の大学への流出を厳しく制限していたが、恩師の急逝を知って私の辞職を認めてくれた。私には数々の恩師がいるが、一人だけ名をあげるとすれば、品川嘉也先生の他にない。彼から得た私の教条を繰り返すと、

「弟子は育てるものではなく、育つものである。教官の役目はその育つ邪魔をしないことである。」

九州大に着任後、思わず学生の邪魔をしている自分に気づく度に、この格言を頭の中で繰り返すことにしている。

品川嘉也先生、本当にありがとうございました。まだまだ本に書きたいことがたくさんあったでしょうが、少しはその肩代わりができるよう、頑張ります。

数理生物若手の夏の合宿 in 川渡農場

九州大学・理学部・生物 原口佳大

8月31日から9月1日にかけて、数理生物に興味を持っている若手を対象に合宿を行いました。この会の趣旨は交流です。最近、生態のみならずさまざまな生物の分野で数理生物の重要性が増してきているように思われます。しかし、その一方で、この世界にどのような学生がいるのか、どういったことをやっているのかといった情報を知る機会は少ないように思われます。特に、同じ分野の学生について知ることは、自分の研究を進めていく上で重要であり、また刺激にもなります。そこで、交流の場と研究発表の場としてこの会を催しました。

場所は東北大学の川渡農場です。東北線の古川駅から車で、1時間程度のところにあり、温泉があることでも有名です。農場は非常に広く、国立大学の中では1番の面積を誇ります。当日はあいにくの雨でしたが、静かな環境の中で会を進めていくことができました。

開会は予定より30分遅れの1時半から始まりました。最初に、私の方から挨拶とこの会の趣旨を簡単に紹介した後、参加者に自己紹介と研究紹介を5分程度してもらいました。今回の参加者は全体で25人（男子19人、女子6人）。生態学会の後に開いただけあって、数理生物関係のみならず生態学の人も多く参加していました。また、これから数理生物の勉強をしようという4年生や、生態人類学の人など幅広く参加してもらいました。地域別に見ても、西は福岡、広島から北は北海道とこれまた広い範囲の参加でした。

次に研究室紹介です。発表は九州大学・数理生物、東北大学・動物生態、東北大学・植物生態、東京大学・生態人類学の四校です。どの研究室もスライドやOHPなどをつかってわかりやすく説明してもらいました。特に、東北大学の動物生態・植物生態の発表では、実際の研究フィールドや実験室等をスライドで見せていただき、普段計算機しか扱っていない私としては興味深いものがありました。

最後にメインイベントの研究紹介です。研究紹介は希望者を募り一人30分で発表してもらいました。一日目は進化を中心に、二日目は進化、個体群動態、生存戦略をジャンルに話してもらいました。数理モデルを中心とした話では、高橋亮さんの文化伝達、高須夫悟さんの托卵、原田祐子さんの交尾グラフ、酒井聡樹さんの自殖他殖のモデル、山内淳さんの複数の回遊路を持つ魚と漁獲量と個体群動態、石井励一郎さんの斜面環境での低木種の生存戦略があげられます。遺伝学の応用から、実際の現象のモデル化、最適な漁獲の方法など、内容のみならず質問も多岐にわたり、データやモデルの細かい話に至るまで話題がつきませんでした。

また、生態学として実際のフィールドからの話は、林直道さんは、フタリシズカの開放花と閉鎖花の割合、内藤和明さんのムラサキとススキと野焼きの関係について、安田雅俊さんにはマレーシアの樹木の種子散布とそれに関わる動物達について、それぞれ話してもらいました。モデルへの拡張性という点で最初の二つは議論に花が咲きました。安田さんの話は実際のフィールドでの苦勞も交えて話していただき、数理だけを扱っているものからは伺えないような世界について語っていただきました。

吉田純子さんには、現在興味を持っている論文に関し紹介してもらいました。数学的な話だったのですが、生物学的にも応用できる話でした。また、1日目の研究紹介の後、大阪女子大学の江副日出夫さんにコメントをいただいたのですが、みずからの研究紹介を始められ、これまた議論に花が咲きました。

今回の研究紹介はジャンルとしても見る物の対象や視点としても充実しており、実に有意義な時間だったと思います。意見交換や、モデルへの発展などの議論もこちらの日論み以上に白熱したと思います。ただ、時間が十分に取れず、一人に与えられた時間が限られていたので満足のいった議論ができなかったかも知れませんが、メールなどを活用して足りない分を補充し、かつ交流が深まることを期待して会の幕を閉じました。

研究の話ばかりかといったらそうではなく、1日目のスケジュールが終わると、近くの川渡温泉まで皆で繰り出しました。一風呂100円、硫黄泉でほのかな硫黄の香りが鼻を刺激します。一日の疲れをゆっくりと落とすはずが、洗い場が少ないために、そこが空くまでのあいだ湯船で熱く議論をかわしているものもいました。

温泉の後は、焼き肉大会です。初めは、何となくぎこちない雰囲気も酒が進むに連れなごやかに、8時から始めたのが1時すぎまでドンチャンやっていました。次の日の目覚め時には半分以上記憶がないほど飲んでいたために、この場を詳細にわたって書こうにも書けない状態ですのであしからず。

以上が今回の合宿のおおよそのあらましです。数理生物としてはこのような会は初めてだと思います。ほかの生物の分野では、若手を中心とした会は大いぶ昔から頻繁に行われていますので、数理生物は出遅れの状態といえます。しかし、それを悪いとはせずに、これからも第二回、第三回と開催し、会を広げていき発展につなげていけたら良いと思います。また、今回は生態に関わる人が多かったのですが、分野にはこだわらず面白いものは取り込んでいくような柔軟性があれば、今までにない会として大きくなっていくと思います。

最後になりましたが、会を開く際、東北大学の酒井聡樹先生およびその院生、また川渡農場の西脇亜也先生とその院生の方には送迎、会場準備、コンパ準備などいろいろ協力をしていただきました。ご協力がなければ、開催されなかったといっても過言ではありません。たいへん有り難うございました。

では、皆さん第二回（多分、4月上旬、東京でしょう）でお会いしましょう。

数理生物若手の夏の合宿に参加して

東北大・院・理・生物 酒井聡樹

若手と言うにはおこがましい年齢なのですが、会場の世話の仲介役（実際の世話を下さったのは川渡農場の方たちです）ということで今回の合宿に参加いたしました。今回の合宿は、参加者の内、American Naturalistあるいは/oおよび Evolution に論文のある人が少なくとも6人はいるというハイレベルな聴衆の中で行われました。当然のことながら議論も活発で、どの研究発表にもするどい質問が飛び交っておりました。確かに、質疑応答の時間がもう少し欲しかったとは思いますが、その不足分は夜の部の議論で十分補えたと思います。夜の部の学問的充実度は特記すべきものがあり、8時から翌朝1時くらいまで、ほとんど研究の話

しかしていなかった気がします。

ただ一つ残念だったのは、修士課程の学生や学部学生の研究紹介が少なかったことです。この会の趣旨は、未完成でもいいから話題提供してもらい、今後の発展のために議論を重ねていこうというものでした。ですから、こうした若手ほど積極的に研究紹介をしてもらいたかったと思います。私自身、若手の実力派として認知された人たちの研究紹介だけではなく、これからこの道に入ろうとする人たちのフレッシュな話を是非聞きたいものだと思いました。これから修士論文（あるいは卒業論文）になろうとしている研究の紹介も、こうした合宿においては非常に重要です。来年以降は、これら未知の若手の積極的な研究紹介を期待いたします。

それにしても九州大学の若手は元気がありますね。今回の合宿の運営を成功させたのも九大の若手のバイタリティーですし、議論を活発に盛り上げたのも彼女・彼らの積極的な発言によるところが大でした。九大（そしてもちろん他大学の）元気ある若手と接触したことは、内の大学の若手にも大いに刺激になったようです。私の研究室の学生は、「うーん」と沈黙考し電子メールの利用申請をしていました。

最後になりますが、来年の合宿には、今回参加しなかった新しい若手が参加して下さることを期待いたします。会の活性を保ち続けるのは新しい若手の参加であり、また、新しい若手の参加そのものがこの会の目的の一つであると思います。新しい若手の参加がなく、毎年一つづつ平均年齢が上がってはいけません。そのためには、教官や先輩の積極的勧誘が大切ですから、みなさん是非とも勧誘活動に精を出して下さい。どうぞよろしく！

数理生物若手の夏の合宿 in 川渡農場プログラム

8月31日

-- 自己紹介 --

-- 研究室紹介 --

九州大学 理 生物 数理生物 原口佳大

東北大学 理 生物 植物生態 小川秀樹

東北大学 理 生物 動物生態 奥田夏樹

-- 研究紹介 パート1 --

1：「文化伝達と進化」 高橋亮

2：「托卵鳥と宿主の共進化について」 高須夫悟

3：「彼女はどちらを望むのか？：交尾グラフと世話グラフ 配偶システムを探る」

原田祐子

この日のコメント 江副日出夫

9月1日

-- 研究紹介 パート2 --

4：「花の性の進化を私も探る：虫媒花における自殖率の不思議」 酒井聡樹

「フタリシズカにおける開放花と閉鎖花の生産パターン」 林直道

5：「論文紹介： Competition for space in a heterogeneous environment.

T.Namba. J.Math.Biol.(1989)27:1-16」 吉田純子

6：「複数の回遊経路を持つ魚の漁獲と個体群動態」 山内淳

7：「ムラサキの生態と個体群管理」 内藤和明

8：「種子散布はいかにして調査されているか～現場からの報告～」 安田雅俊

9：「斜面環境での低木種の生存戦略-サクラツツジの樹形の持つ意味」 石井励一郎

研究室紹介

東京大学 大学院理学系研究科

生物科学専攻において理論集団生物学を研究するヒトたち

... などというよくわからない標題になってしまったのは、この紹介文の主人公たちを包括する呼称がないからです。かれらは生物科学専攻内の生態人類学研究室に所属していますが、この研究室には、理論集団生物学のほかにも、サルの行動・生態学、比較民族学を専攻する学生が在籍しています：大学院研究生3名、博士課程学生3名、修士課程学生3名、計9名。このうち、青木 健一 現研究室担当教官が赴任されてから、理論集団生物学を学ぶ目的で当研究室に進学した学生(と教官)の研究を、これから紹介します。

青木さんは生物学科在学中から理論集団遺伝学に関心を持ち、Wisconsin、遺伝研において、利他性の進化、理論模型の比較検討、群淘汰などを主眼とした理論研究を続けてきました。'80年代中葉よりStanfordのDr.M.W.Feldmanと共同で文化伝達、遺伝-文化共進化の研究を進め、人類学教室(当時)に赴任してからは、特にヒトの進化に関心を持っているようです。(想像される) 現在の研究課題；社会学習能の遺伝的起源、音声言語・手話言語の起源と進化、近親交配とその禁忌の進化、成人乳糖分解能と牧畜の共進化、農耕の伝播と日本人起源論、北米大陸へのアジア系集団の初期移住、etc.

研究室では、現在3名の学生が青木さんに師事して、理論集団生物学研究に勤しんでいます。修士課程では、上の課題の1つについて青木さんと共同で研究を進め、その過程で理論集団遺伝学における模型解析の方法論を修得することを目標にしています。4月に進学した井口は、近親交配とその禁忌の進化を研究課題として選びました。彼はサルなどで観察される雌雄の群間移動に関心を持ち、移動様式と近親交配の回避との間の機能的関連を探ろうとしています。その前段階として、これまで植物を例とした二遺伝子座模型の解析を進め、自殖率と近交弱勢の問題を扱ってきました。今後は、近親交配の禁忌が文化的に決定される場合を考えて、ヒトの社会進化を併せて論じたいと考えているようです。

研究室の中で、人文・社会科学への指向性がもっとも強い梅原は、ヒトの行動・社会の研究にも、その歴史性・適応性を考慮することが重要だと考えています。修士課程では遺伝聾と手話伝達に着目し、将来は人文・社会科学研究への理論集団遺伝学の適用を目指しています。青木さんとDr.Feldmanの先行研究は、1~2個の座位によって遺伝聾が支配されていると仮定したのですが、梅原は多遺伝子座模型の数値解析により議論の現実化を図り(臨床遺伝学研究からは、常染色体性劣性遺伝聾に寄与する座位数は5~6であると推定されています)、座位数が増えるほど手話維持に対する垂直伝達の効率が低下することから、逆に斜行・水平伝達の重要性を検討したいと考えているようです。

梅原とは対照的に、高橋は表現型進化研究の一環として文化伝達に着目しています。修士課程では文化伝達能の遺伝的起源を雄親による仔の世話との共進化という観点から論じ、単婚的状况で文化伝達能が進化しやすく、逆に文化伝達における雄親の役割が充分重要であるときには、父性的世話の進化が容易になることを示しました。現在は、文化の伝達様式とその進化的帰結に関して、寄生体の伝達様式と共生様式との関連性を参考にしながら研究を進めています。これまでの文化伝達研究によって、垂直伝達の一般的側面に関しては多くの知見が得られていますが、斜行・水平伝達に関しては、まだまだやることがたくさん残されており、その進化的意義は、理論的にも、また実証的にも明らかにして行かね

ばならない問題です。斜行・水平伝達の実証研究の例を1つ。大学院研究生の田中さんは、ニホンザルの野外研究から、順位の高い家系ほど、毛繕い様式の変異に富むことを見出しています。これは、一般にニホンザルの毛繕いは低順位個体から高順位個体に対して一方向的に行われるものであることから、高順位家系の個体ほど、低順位家系の個体からの斜行・水平伝達によって毛繕い様式を獲得する機会に恵まれているためだと考えられます。

また、文化伝達においては、当然のことながらメンデル則は成立せず、文化形質に直接自然淘汰が作用しなくても、偏向した伝達 *biased transmission* によって形質頻度に決定論的变化が生じることがあります。このような場合、偏向をもたらず究極要因が本質的な問題であり、偏向性自体が遺伝的に決定されるならば、文化伝達の問題は、遺伝伝達の問題に帰着することになります。近年の進化研究の1つの特色として、個体発生(発達)過程に関心が寄せられていることが挙げられますが、特に文化伝達では偏向の方向性により進化動態が全く異なる様相を呈することから、今後は形質の獲得過程・機構に目を向けた進化心理学的研究が重要になると考えられます。事実、動物の社会学習能に関する実験心理学的研究からは、その至近的機構に関して多くの知見が得られています。

研究室では、今後、文化伝達のみならず、広く表現型進化の理論研究を推し進めていきたいと考えています。研究室の特色として、理論集団遺伝学の教育・研究が中心であることが挙げられます。今後の進化研究の発展次第で、分子 vs 表現型という単純な二項対立など意味がなくなるのですが、大多数の理論集団遺伝学者の目が分子レベルの現象に向けられている現在の状況は、表現型進化に関心を持つ者としては寂しい気がします。特に文化伝達の理論研究は非常に寒い状況にあり、Dr.Feldman の研究室でも、文化伝達に関心を持つ学生は2人だけだそうです(1人が Dr.K.Laland. 最近、文化伝達がある場合の性淘汰・種分化を扱った論文を *T.P.B., Evolution* に発表しているので、ご存じの方もいるかも知れません)。幸い当研究室では、2人の人類学教室学部4年生が進学を希望してくれています。この4月の大学院重点化に伴う専攻改組により、今回から大学院の入試方式も変わるようですが、その入りやすさは基本的に変わらないと想像されます。2人とも、来年度からは研究室の一員として理論研究に励んでくれるでしょう。

また、今回の改組で、専攻内に進化多様性生物学大講座が新設され、集団生物学研究室の担当教官として、遺伝研から田嶋 文生さんを迎えることができました。この3月に京都大学の宮田 隆さんの研究室を卒業し、集団生物学研究室の最初の学生として入学した三沢もまた、(生態人類学研究室で居候生活を送りつつ) 理論集団生物学を学ぶ1人です。彼は、卒業研究において、アミノ酸配列の解析に高速フーリエ変換を応用して、従来の方法に比べて計算量の少ない新しい数理解析法を開発しました。今後は、適応放散(初期分化)、種分化について理論的、データ解析的研究を進めていくようです。

集団生物学研究室も生態人類学研究室も若い研究室ではありますが、理論集団生物学研究の活性化に寄与することを目指し、多くの俊英が、進学先、就職先、留学先、あるいは訪都の際の訪問先として考慮の対象に加えて頂けることを期待しております。その際、この紹介文を参考にして頂ければ幸いです。質問、ご意見等、お待ちしております。

文：高橋 亮

takah@tansei.cc.u-tokyo.ac.jp. 敬語を使うのはあきらめました。

この原稿は、進化学研究会機関誌SHINKA第5巻第2号41-43頁にも同時掲載されます。

研究室紹介

ノートルダム清心女子大学・情報理学研究所・サイバネティックス研究室

研究室紹介記事の依頼の電子メールが舞い込んできて、二つ返事でお引き受けしたものの何を書いてよいか分からず、あわてて過去のニュースレターをさかのぼってみました。するとどうでしょう。な、なんと、著名な大学の大きな講座の紹介ばかりが載っているではありませんか。それに比べれば、私の研究室など、さながら測度ゼロ。almost surelyで、無きに等しい！なーんちゃって。でもね、それはあくまで絶対連続測度で測った場合の話。世の中には都合のいいDirac測度なるものがあるではありませんか。たとえ無限小の山椒でも、無限大に辛ければ、その存在の意味はあるのです。

さあ、みなさん、聞いてやって下さいな。

私の研究室、正式には情報理学研究所サイバネティックス研究室といいます。名称はちょっとしたのですが、構成員は兼任教授1名に専任講師が1名のみ。(ちなみに、情報理学研究所には他に天体物理学研究室と数理物理学研究室がありますが、こちらは一応今回の紹介には入っていません。ただ、私の研究室の兼任教授は、実は数理物理学研究室の教授だというつながりがありますが。)従って、堂々と紹介できるように整然と研究室が整っているわけではなく、研究方針などあるわけもないのです。「好きなことをやったらいい、予算だけは取ってきてあげるから」といって下さる非常に民主的な教授(科学朝日のマドンナ記者高橋真理子さん《いまは大阪本社の科学部デスク!》が取材に来られたときにうちの教授に下さった名誉の称号!)といえは聞こえはいいのですが、指導はいっさいなし。ただひたすら自分の好きなこと、あるいは興味がわくことを研究しています。

指導はなしといっても、それはサイバネティックスについてのことで、実はこの民主的な教授は英語英文学科出身の私に、物理学の基礎だけはコツコツと教えて下さったのです。そのノートはもう20冊近くになっています。(名付けて「物理の王道シリーズ」)でも、ご本人の専門分野を反映して、内容は場の量子論や量子力学、それに素養としての古典力学に限られているようです。ですから、サイバネティックスや生体科学に使われる物理の理論といったら、統計力学や力学系と相場は決まっているにもかかわらず、私の研究テーマは、民主的な教授により、場の量子論や量子力学の基本的な枠組みがそのまま使える範囲に、無理矢理(?)歪められてしまったのです。えーん! («好きなことをやったらいい」というのは、実は、あくまで自分がよく分かる範囲でという条件付きのことだったのです。)

というわけで、私の研究室の当面の課題は、脳や生体の素過程を場の量子論の枠組を使って解明するというもので、量子脳力学(Quantum Brain Dynamics)とか、量子生体力学(Quantum Biodynamics)と呼んでいる新しい分野の開拓を目指しています。具体的には、細胞質中の微小管やフィラメントなどの近くの水の分子場と電磁場との間のコヒーレントな相互作用に起因する巨視的量子現象を場の量子論の枠組みで調べているのですが、このような理論は実は1960年代に既に見出されていたものです。場の量子論の世界的大家として知られる、アルバーター大学の梅沢博臣先生と高橋康先生が、脳の記憶のメカニズムを与える物理理論として世界で最初に提唱されていたのです。

この紹介記事が載る頃には、民主的な教授との共著が新刊で出ていると思いますので、是非にもお買い求め下さい。書誌情報は次のとおりです:

Mari Jibu and Kunio Yasue, "Quantum Brain Dynamics and Consciousness -- An Introduction" Advances in Consciousness Research No. 3(John Benjamins, Amsterdam, 1995)

Pb 90 272 5123 1Hfl. 70.-- (安い!)

紹介者: 治部眞里 (じぶまり)



Second Circular and Call for Papers

*K*yo*t*o *C*onference on *M*athematical *B*iology '96

June 9-13, 1996
Kyoto, Japan

AIMS & SCOPE

The aim of the meeting is to exchange information and discussion on new developments in mathematical biology.

The meeting will focus on studies on population dynamics, ecosystem processes, evolutionary ecology and pattern formation. A broad range of topics, from theoretical to applied, will be presented and discussed.

ADVISORY BOARD

E. Teramoto (Kyoto Univ., Japan), A. Okubo (SUNY, USA), S.A. Levin (Princeton Univ., USA), H. Matsuda (Kyushu Univ., Japan)

ORGANIZING COMMITTEE

N. Shigesada, chair (Nara Women's Univ., Japan), V. Capasso (Univ. Milano, Italy), D. DeAngelis (Univ. Miami, USA), O. Diekmann (Centre for Math. & Comp. Sci., The Netherlands), L. Edelstein-Keshet (Univ. British Columbia, Canada), C. Godfray (Imperial College Silwood Park, UK), A. Hastings (UC Davis, USA), M. Mimura (Univ. Tokyo, Japan), N. Yamamura (Saga Medical College, Japan), H. Nakajima (Ritsumeikan Univ., Japan), K. Kawasaki (Doshisha Univ., Japan), T. Namba (Osaka Women's Univ., Japan), Y. Iwasa (Kyushu Univ., Japan), M. Shimada (Univ. Tokyo, Japan), M. Higashi (Kyoto Univ., Japan), H. Matsuda (Kyushu Univ., Japan), H. Seno (Nara Women's Univ., Japan), F. Takasu (Nara Women's Univ., Japan)

The conference is co-organized by The Japanese Association for Mathematical Biology, and sponsored by The Ecological Society of Japan, The Society of Population Ecology, The Biophysical Society of Japan, The Japan Society for Industrial and Applied Mathematics, The Society for Mathematical Biology, and The European Society for Mathematical and Theoretical Biology.

SCHEDULE

'96	6/9	Sun.	(evening)	<i>Registration & Reception</i>
	6/10	Mon.	(morning) (afternoon)	<i>Special Lectures</i> <i>Poster session</i>
	6/11	Tue.	(morning)	<i>Session 1: Population Dynamics</i> organized by K. Kawasaki, O. Diekmann & A. Hastings
			(afternoon)	<i>Session 2: Ecosystem Processes</i> organized by M. Higashi & D. DeAngelis
	6/12	Wed.	(morning)	<i>Session 3: Evolutionary Ecology</i> organized by Y. Iwasa & C. Godfray
			(afternoon)	<i>Session 4: Pattern Formation</i> organized by M. Mimura, V. Capasso & L. Edelstein-Keshet
	6/13	Thu.		<i>Excursion</i>

The conference begins Monday, June 10, at 9:30 a.m. and ends Wednesday, June 12, at 5:00 p.m.

Special lectures on the morning of the 10th of June will include one by Simon Levin in honor of Ei Teramoto and Akira Okubo for their dedication to the promotion of mathematical biology, and in commemoration of the 70th anniversary of their birth.

There will be only one session, either oral or poster, open at a time throughout the conference.

The detailed program and information will be given in the third circular.

CONFERENCE LOCATION

The conference will be held at Doshisha Neesima Kaikan (同志社新島会館), located right in Kyoto City and next door to Kyoto Imperial Palace.

Kyoto City, the prefecture capital of Kyoto, is situated 500 km south west of Tokyo, almost in the center of Japan's chain of islands. Kyoto was the capital of the country and the center of the nation's civilization for more than 1000 years. It became the nation's capital at the beginning of the Heian Period (794-1192 A.D.). Kyoto was always the place where the Imperial family lived and arts and culture flourished, until 1868 when the Edo Period was over and the Emperor Meiji established his new capital at Tokyo. Today, though Kyoto is part of modern-day Japan, with almost 1.5 million of population, so much tradition survives here: Scattered around the city are numerous tranquil, beautiful sites, including two magnificent Imperial Villas, 400 Shinto shrines and 1650 Buddhist temples - rich in history, unique architectural beauty and art treasures - as well as over 60 exquisite temple gardens.

OFFICIAL LANGUAGE OF CONFERENCE

Official language of conference is English.

SUBMISSION OF PAPERS

The conference includes both oral and poster sessions. The number of oral presentations, including invited ones, is limited to around 30. Each oral presentation is for 20 minutes including discussions. Those who wish to make an oral or poster presentation at the conference are requested to send an English abstract, along with the form for paper submission, to KCMB96 Secretariat by

January 31, 1996 [*DEADLINE FOR SUBMISSION*].

The abstract must be typed on ordinary A4-size paper (297 mm × 210 mm). The text must be camera-ready and typed within the frame of 227 mm × 170 mm. The abstract must not be beyond one page, and should start with title, author name(s), affiliation(s). Only black and white illustrations and photographs are acceptable. Preference for oral or poster presentation should, if any, be indicated in the form for paper submission.

Regarding contributed papers, decisions will be made for acceptance and assignment to oral or poster presentation. The authors will be notified of the decision by February 29, 1996.

ACCOMMODATION

We will have reserved a limited number of rooms at Holiday Inn Kyoto available at a special rate (around 7,500 Yen/single; 13,000 Yen/twin; tax and service charges are all included) for foreign participants. Foreign participants who want to book rooms at the hotel should indicate it in the registration form.

A confirmation notice of reservation will be sent as soon as the reservation is made.

REGISTRATION

For advanced registration, please return the registration form by e-mail, fax or ordinary mail to KCMB96 Secretariat by

May 10, 1996 [*DEADLINE FOR ADVANCED REGISTRATION*].

REGISTRATION FEES

With the registration before May 10, the conference fee is

15,000 Yen/Japanese participant; US\$150/foreign participant.

Without the registration before May 10, the fee is

18,000 Yen/Japanese participant; US\$180/foreign participant.

The fee for students is *half* the amounts indicated above: 7,500 (9,000) Yen for Japanese students and

US\$75 (90) for foreign students with (without) registration.

The organizing committee invites foreign participants to the reception by courtesy. For Japanese participants, reception fee is 8,000 Yen (4,000 Yen for a student).

The payment of registration fee should be made at the registration desk on the evening of the 9th of June. Only cash in US dollar or Japanese yen will be acceptable. Japanese participants can pay registration fee in advance by transferring it to the following bank account:

Account Number: 3846344
Bank Connection: 三和銀行 奈良支店
Name: KCMB96

FORTHCOMING INFORMATION

The third announcement, which includes the program of conference and the travel information, will be sent out to all participants by one month before the conference.

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE

For any inquiries regarding the conference, including conference schedule, paper submission and accommodation, please contact

KCMB96 Secretariat
H. Seno
Department of Information and Computer Sciences
Nara Women's University
Kita-uoya Nishimachi, Nara 630
Japan

PHONE. & FAX. +81-742-20-3442/ EMAIL. seno@ics.nara-wu.ac.jp

KCMB
96

Kyoto Conference on Mathematical Biology '96
June 9-13, 1996
Kyoto, Japan

FORM FOR PAPER SUBMISSION

TITLE & NAME: _____

MAILING ADDRESS: _____

COUNTRY: _____

PHONE: _____

FAX: _____

E-MAIL: _____

PAPER TITLE: _____

PRESENTATION MODES:
(please check where appropriate)

I prefer:

- an oral presentation.
- a poster presentation.

I can make:

- either an oral or a poster presentation.

Kyoto Conference on Mathematical Biology '96

June 9-13, 1996

Kyoto, Japan

REGISTRATION FORM

TITLE & NAME: _____

I am a student.

MAILING ADDRESS: _____

COUNTRY: _____

PHONE: _____

FAX: _____

E-MAIL: _____

CONTRIBUTION TO THE CONFERENCE:

Participation in the Conference

Submission of a paper entitled:

RECEPTION ON THE 9TH OF JUNE:

I plan to attend

I do not plan to attend

ACCOMMODATIONS:

I want to make hotel reservation for

____ single room(s) and ____ twin room(s);
____ night(s) from _____ to _____

EXCURSION ON THE 13TH OF JUNE:

I plan to participate

I do not plan to participate

DATE: _____

SIGNATURE: _____

編集後記

編集局にいながらほとんど手伝いもせず、松田編集委員長にすっかりお任せしていましたが、九大編集局の担当期間も無事に終わって次の編集局にバトンタッチできることになりました。会員の皆様からみれば不十分と感じられる点も多々あったと思いますが、その点は遠慮なくお伝えください。運営が改善されるよう次期の編集局に申し送りをして参考にしていただきます。ともあれ、松田編集長をはじめ編集局員の皆様、ご苦労さまでした。

振り返ってみますとJournal of Theoretical Biologyに掲載された論文の著者に研究の紹介をお願いするという企画は成功だったと思います。

数理生物学懇談会にとってはニュースレターの刊行はシンポジウム企画とならんで重要な事業です。だから懇談会の性格や将来を決定する上に重要な役割を果たすものです。

Gordon conferenceの理論生物学といったセッション名を見ますと、生理学関係の数理モデリングがかなり重要な位置を占めています。それに対して日本では数理生物学の中では生態学がとて有りで、集団遺伝学も伝統があり、発生や形態形成関係もがんばっておられます。しかしそれ以外の、たとえば内分泌生理学や生化学反応、筋肉の収縮、サーカディアンリズムなどといった生理学系統の仕事を盛り立てていく必要を感じていました。日本でそのような分野の方が本当におられないのではなくて、単に私たちが知らないだけなのではないか、と常々感じています。

現在の会員メンバーだけではカバーできない分野の方、我々とは違った視点の方に門戸を開いて入ってきて貰うよういつも努力することが必要だと思います。もっと非線型数学の人や確率過程の専門化など数学の方、また農学や医学、工学関係の方、経済学・社会学関係の方などとも交流をし、できたら将来は加わっていただけるようにと努力していくことが必要だと思います。先のジャーナルに掲載された論文からコンタクトすることは続けられるとよいと思いますが、その他にもいろいろと方法があるのではないのでしょうか？会員の皆様からお知恵を拝借したいと思います。

このような比較的小さな学会は、安易に運営するとどうしても同窓会的になってしまいがちです。ゲストエディターやゲストオーガナイザーをお願いしていくという手を考えて、今年の東京大学での数理生物学懇談会シンポジウムでは新しい試みを行ないました。ニュースレターでも懇談会の多様性を保てるように、また新しい分野の方が入ってきてやすいように、常に努めておくことが大切だと思います。

いまは研究紹介として数ページにわたって説明していただいています。それと平行して、若手の育成ということについていえば、たとえば、会員が何らかの形で指導した修士論文の要旨を1-2ページ程度乗せるということも考えられます。修士論文の中にはまだジャーナルに掲載されていないものもあるでしょうから。物理学では物性研究というもので修士論文の(そのままの)掲載をしているように聞いていますし、他の分野でも修士論文の要旨を掲載している学会があるそうです。これらは我々の分野の若手を育てるということだと思います。他にもいろいろなアイデアがあると思います。

新編集局の皆様、いろいろな新しい企画をご検討下さい。

(編集局長 巖佐)

原稿が集まらないと嘆いていた2年間で夢幻のように過ぎました(事務局はあと1年九大で続けます)。原稿を頂いて本号に掲載が間に合わなかった方や、執筆承諾済みの方も何人かいらっしゃいますが、次期編集局に引き継がれます/最近、会員向けに電子ニュースを始めしています。ニュースレターでは間に合わない緊急の案内を行うためのものです。投稿ご希望の方は事務局(佐々木顕 asasascb@mbox.nc.kyushu-u.ac.jp)まで連絡してください。また、電子住所を新規開設・変更された方は上記事務局まで連絡してください/(ま)

JAMB Newsletter No.17

目次

1.特集 第6回数理解生物学シンポジウム (東京大学駒場キャンパス1995年11月6日~8日)	
プログラム	1
予稿集(詳しい目次はプログラムを参照して下さい)	4~33*)
2.論文、研究紹介	
飛び魚の最適飛行経路	稲田喜信・河内啓二 34
3.寄稿、研究会報告	
品川嘉也先生の思い出	瀬野裕美・松田裕之 38
数理生物若手の夏の合宿 in 川渡農場	原口佳大・酒井聡樹 41
4.研究室紹介	
東京大学 大学院理学系研究科 生物科学専攻において理論集団生物学を研究するヒトたち	高橋 亮 44
ノートルダム清心女子大学・情報理学研究所・サイバネティックス研究室	治部真理 46
5.新入会員、会員情報変更	47
6. Kyoto Conference on Mathematical Biology '96, 2nd Circular and Call for Papers	瀬野裕美 49
編集後記	裏表紙見返し
目次	裏表紙

*)本号は9頁がなく、1頁目が表表紙見返しとなります。

数理生物学懇談会ニュースレター第17号

1995年9月発行

〒812 福岡市東区箱崎6-10-1

九州大学理学部生物学強室内

数理生物学懇談会編集局

印刷・製本 (株)うめだ印刷

内部観測を語るということ：モデルとメタモデルの不可分性およびその例
一般的相転移臨界現象としての $1/f^\alpha$ と普遍的 $1/f$

郡司ペギオ幸夫（神戸大・理・地球惑星科学）

1 内部観測

生物システムをシミュレートすること、それは生物システムを計算機とみなすことには他ならない。その根底には、観測者・対象の二元論があり、対象は記号世界に写し取られ表象される。素朴実在論が認められる。もし観測者の観測基底またはその客観性に疑義が向けられないなら、我々は世界を写し取る観測者について一切の語る必要がない。この限りで対象のシミュレーションは、観測者と無関係に実行される。観測基底は、根拠を持たない。さらには、観測者は無根拠に対象を表象する、といった言明すら観測行為と無関係となる。

生物システムを計算機とみなそうとすること、生物システムの記述内部に観測者が逆照射される。酵素反応を論理素子とみなそうとすると、入力値の同定中に新たな入力値が素子に受け付けられる過程を認めざるを得ない。このとき、入力値を同定する意味論の複数性に直面する。意味論を、素子の同定という変化の瞬一瞬で分類せねばならず、この分類は無限退行する。簡単に、局所的意味と文脈依存的意味の不可分性がパラドクスを構成する、と言えよう。これによって我々は、対象を表象する認識論的観測者の、基底解体をみる。解体されるか否かは、対象に依存する問題ではない。生物システムに固有の問題ではない。逆に、ある現象を表象しようと試み、結果的に基底の解体に直面するとき、我々はその現象を行為、生命、そして内部観測過程と呼ぶことができる。

2 個別／普遍軸への隠喩として使われる特殊／一般軸の逆理

表象基底は、対象／（認識論的）観測者の二元論から成立する。すなわち観測者は、対象を特定の位置に規定する全体的一般的規程として振舞う。ここには、特殊／一般の対立軸が設けられ、両者は論理的に無矛盾な契機として設定されている。内部観測が現前する問題は、特殊／一般軸の不備である。特定の特殊／一般軸が正当化されないことを通して、特殊者・一般者と名辞される契機が、実は論理的・語用論的ステータスを異にする点が明らかにされたのだ。生物哲学、理論生物学といった分野では、早くから特殊／一般軸から、個別／普遍軸への転換が唱えられてきた。私の主張は、特殊／一般軸の逆理を、個別／普遍軸への隠喩として使用せんとするものだ。具体的にそれは、次のように構成される。まず特定の論理（論理はシンタクス・セマンティクスの分節で特殊／一般軸を内包する）と、それが内包する特殊／一般軸の不備を（一見）解消した論理が用意される。ここで内部観測過程は、第一の論理上に表象することで発生する矛盾が、第二の論理上へ変換されることで解消され、かかる解消が第一の論理へ再度変換されることで新たな解消されるべき矛盾を継起する一連の過程として構成される。つまり、状態概念は、それを確定しようとする観測過程を、または、ノイズを除去する（確定する）ことでノイズを発生させる内部観測者を、伴って構成される。これが内部観測の隠喩的モデルとして与えられる。

3 モデルとモデルについて語ることの不可分性

二つの論理間の均衡＝不均衡化過程、これによって説明されるものがある。ここでは特にツリーとループという各々有限・無限を含意する束間の均衡＝不均衡化過程を構成し、そこから $1/f$ ゆらぎが説明される点を見る。しかし我々は説明したのではない。にもかかわらずそれは、単純な機構で説明できなかったパターンを複雑な機構で説明できた、といった状況と区別できないではないか？一見困難なパターン（ $1/f$ ）が得られた、これだけではその通りである。し

かし我々は、我々のモデルの使われ方を以下のように明示することができる。ツリーとループ間のモデルは、特殊な条件を一般化することで生ずる矛盾として観測過程を構成している。逆にここから特殊・一般が一致したと仮定される状況、観測過程が無視される状況を構成できる。それによって、観測過程を考慮しない地平が、観測過程を考慮する地平の理想化された極限として構成される。我々のモデルは、そのような全体的枠組みを提供し、かかる極限において $1/f^\alpha$ が相転移臨界現象として見いだされる結果を与える。これは、内部観測過程の特定の縮退形式（結果に対して与えられる特定の意味論）として、観測を無視する状態志向型理論が成立する様相を明らかにする。逆に、極限における $1/f^\alpha$ と $1/f$ との関係から、我々は特殊／一般軸と個別／普遍軸との関係を理解し、 $1/f$ の＜説明＞のされ方が明示される。説明・解釈という地平から抜け出すことが、観測を志向する理論の目的ですらある。極限をとりえるモデル空間が提供されることで、我々は我々のモデルの使われ方を明示し、モデルの意義を理解できる。モデルとその使われ方を提供する方法は、内部観測過程を理解する装置として不可避免的に採用されるものである。

ニューラルネットによる遺伝子制御領域のモデリング

武田裕彦、巖佐庸
九州大学理学部生物学科

A neural net modelling for pair-rule gene expression

Yasuhiko Takeda, Yoh Iwasa

Department of Biology, Faculty of Science, Kyushu University

e-mail address : ytakescb@mbox.nc.kyushu-u.ac.jp

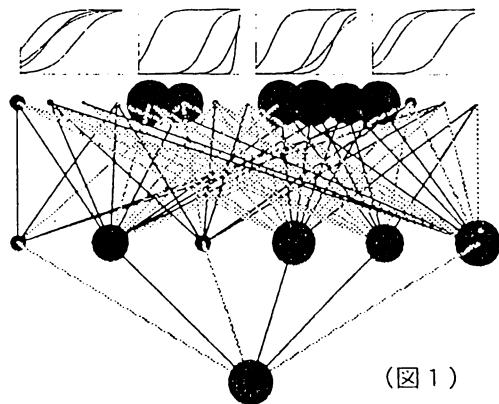
abstract : Gene expression control region is modelled by neural network. To generalize learned results from sparse data, appropriate architecture of the network is needed. We used fuzzy-neuro type architecture. The rules to decide the expression are easily seen from the I/O relation of the network.

ニューラルネットでモデリングをすることを考える。満たすべき写像を再現した上で、未学習データに対する汎化能力を保証するためには、何が必要だろうか。一つは忘却によって過学習を防ぐことである。もう一つは正しい構造を持ったネットワークで学習を行い、対象の性質を反映したネットワークを構成することである。

ここでは、遺伝子の発現調節を例に採り、汎化を保証するための工夫を紹介する。真核生物の遺伝子の調節領域には、多くの因子に対して、親和性の異なる結合部位が存在し、調節因子間の協調・組み合わせ的相互作用が統合された結果として、発現の ON-OFF が決定されている。

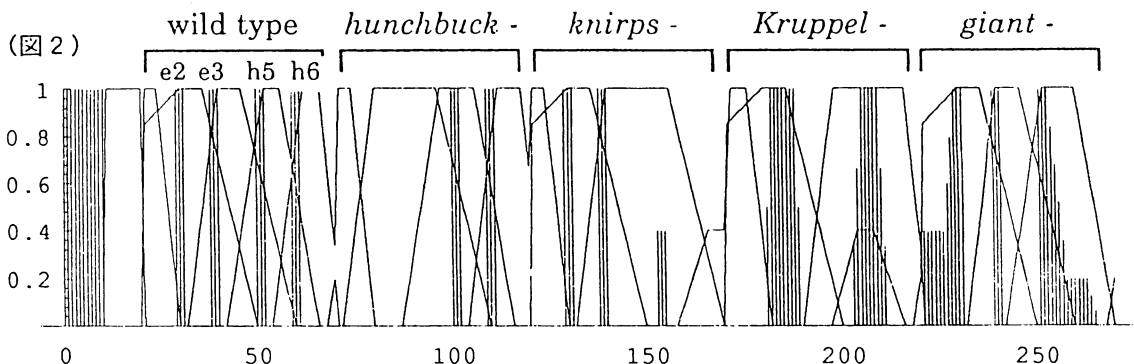
空間的遺伝子発現パターンが与えられたとき、その入出力関係を実現するためだけならば、二層の feedforward network で十分である。しかしこれでは入力因子の各濃度での効果、他因子の存在による変化等が分散した形で表現され、わかりづらい。特徴がわからないということは、汎化も保証されていないということの意味する。

そこで fuzzy-neuro 型の二層の network に構造を制限して学習を行う。“親和性の異なる結合部位”を sigmoid 型の membership 関数として表わし、“協調・組み合わせ的相互作用”を中間素子で、“統合”を出力素子で表わすことによって対象の基本要素を取り込み、学習によって入出力関係を実現する (図1)。



(図1)

具体的例題として、ショウジョウバエの前後軸形成におけるギャップ遺伝子からペアルール遺伝子への遺伝子発現パターンの推移を考える。



(図2)