

京都駅前セミナー特別企画

「博多駅前セミナー:生命科学に現れる新しい数理モデルの数学的基盤の構築に向けて」

非線形現象に関する諸問題をディスカッションする場を目指して、月1回程度の頻度で京都駅前にあるキャンパスプラザ京都で開催されている「京都駅前セミナー」の特別企画。今回は、博多駅前セミナーと名称を改め博多駅前にて開催いたします。若手2名に加え、普段は多忙でなかなか都合がつかない大御所・超大御所を無理やり招いて、特に生命科学に焦点を当てた基礎研究を発表して頂きます。このセミナーを研究交流の場、新たな研究アイデア発掘の場として活用してもらえれば幸いです。

開催日：2月18日（火）

場所：リファレンス駅東ビル 会議室 T (<http://www.re-rental.com/>)

時間：9時50分～17時40分（開場は9時30分からです）

世話人：岩見真吾（九州大学）、森田善久（龍谷大学）

協力：龍谷大学科学技術共同研究センター 2013年度研究プロジェクト

「自発的流れ・集中化現象の新しい数理と応用」（代表：森田善久）

プログラム：

午前9時50分～午前10時00分

岩見真吾 九州大学大学院理学研究院 「はじまりの挨拶」

午前の部（座長：森田善久）

午前10時00分～午後10時25分

岩見真吾 九州大学大学院理学研究院生物科学部門

「タイムラグをもつ微分方程式を用いたデータ解析-ウイルス感染におけるタイムラグを明らかにする-」

午前10時35分～午後11時00分

村川秀樹 九州大学大学院理学研究院数理学研究院

「細胞接着・選別の数理モデルについて」

午前11時10分～午後12時00分

稲葉 寿 東京大学大学院数理科学研究科

「基本再生産数理論の最近の進歩」

午後12時00分～午後13時30分まで昼休憩

午前の部（座長：岩見真吾）

午後 13時30分～午後 14時20分

巖佐 庸 九州大学大学院理学研究院生物科学部門

「熱帯林における不法伐採と汚職についての進化ゲーム理論」

午後 14時40分～午後 15時30分

小林 亮 広島大学大学院理学研究科数理分子生命理学専攻

「生物と数学とロボットと」

午後 16時00分～午後 17時30分

三村昌泰 明治大学先端数理科学インスティテュート

「競争排他・競争緩和と共存問題を数理解析から眺める」

午後 17時30分～午後 17時40分

森田善久 龍谷大学理工学部数理情報学科 「おわりの挨拶」

懇親会：午後 18時30分～

場所：博多水炊き濱田屋（<http://mizutaki-hamadaya.jp/>）

※ 店の大きさの関係で30名程度まで受け付けます。参加したい方は事前にお知らせください。

会場の席数の都合上、参加希望の方は以下の出席表を岩見（siwami@kyushu-u.org）までご返信いただければ幸いです。なお、お店の予約を確定する都合上、懇親会に参加する予定の皆様は、1月31日までにご連絡いただければ幸いです。セミナー・懇親会共に空席がある場合のみ2月1日以降(当日参加も含む)も受け付け致しますがお断りする場合もございます。ご了承下さい。

*****出席表*****

所属：〇〇大学〇〇学部〇〇学科

氏名：

セミナー：（参加・不参加）

懇親会：（参加・不参加）

時間遅れをもつ微分方程式を用いたデータ解析：

ウイルス感染における時間遅れを明らかにする

岩見真吾 九州大学大学院 理学研究院 生物科学部門

今日まで、ウイルスダイナミクスを記述する基本モデルとして $T'(t) = -\beta T(t)V(t)$, $I'(t) = \beta T(t)V(t) - \delta I(t)$, $V'(t) = pI(t) - cV(t)$ という常微分方程式が用いられてきた。この基本モデルを用いて時系列データを解析する事で多くのウイルスダイナミクスを定量的に扱う事が可能になった。しかし、基本モデルでは感染細胞は感染後すぐにウイルス産生を行う事を仮定している。例えばヒト免疫不全ウイルスの場合、実際には感染してウイルスゲノムが宿主のゲノムに組み込まれ、転写、複製、放出といった過程を経なければならない。より現実的なモデルを構築し、より詳細なパラメータを推定するためにはこのような過程を考慮した数理モデルが必要となる。

近年、私達は京都大学ウイルス研究所の三浦智行准教授と協力して、培養細胞を用いた感染実験により「感染細胞集団におけるウイルスタンパク質産生細胞の頻度」を計測する事に成功した。本講演では、(1)非線形最小二乗法等の統計的な手法を駆使する事でこれらのデータからウイルス感染における時間遅れがどのようになっているのかを解明し、(2)時間遅れをもつ微分方程式によりこれらの“遅れ”を記述する数理モデルを構築して行く。また、(3)構築した数理モデルを用いてウイルス感染実験データを解析した結果、どのような点で従来の方法を改善するかを説明して行く。

細胞接着・選別の数理モデルについて

村川秀樹 九州大学大学院 理学研究院 数理学研究院

多細胞生物のからだを構成する細胞は独立に存在するのではなく、細胞同士が接着したり、細胞外基質に接着して存在している。細胞同士の接着は細胞接着または細胞間接着と呼ばれる。Armstrong、Painter、Sherratt (2006)は細胞集団の挙動を理解するために、細胞接着を考慮した数理モデルを提案した。そのモデルは多くの研究者の興味を引き、精力的に研究が進められているが、数値実験の結果からはそのモデルが現象を記述しているとは言い難い。その数理モデルの問題点を精査し、現象を記述する新たな数理モデルを提案する。

基本再生産数理論の最近の進歩

稲葉 寿 東京大学大学院 数理科学研究科

個体群ダイナミクスにおいては、基本再生数の概念は基礎的な重要性をもっている。実際、基本再生産数は個体のライフサイクルパラメータから計算されるが、集団のマルサスパラメータと特性関係式を通じて結びついていて、集団の成長特性を表すと同時に、定常状態の存在条件としても機能する。そのルーツは人口学であるが、1990年に Diekmann, Heesterbeek and Metz によって、個体特性を考慮した個体群に関して、初めて数学的に適切な定義が導入され、それ以来、特に感染症モデルにおけるキーコンセプトになったが、最近では空間拡散を含む生態学的モデル等でもその重要性が認識されてきている。2006年には Bacaer 等によって、時間的に周期的な環境における基本再生産数が定義された。

本講演では、一般的な構造化個体群において、時間変動環境における基本再生産数がどのように定義されるべきか、またそれによってどのような挙動が規定されるか、について近年に得られた結果や展望について紹介したい。

参考文献

- [1] H. Inaba (2012), The Malthusian parameter and R_0 for heterogeneous populations in periodic environments, *Math. Biosci. Eng.* 9(2): 313-346.
- [2] H. Inaba (2012), On a new perspective of the basic reproduction number in heterogeneous environments, *J. Math. Biol.* 65: 309-348.
- [3] H. Inaba (2013), On the definition and the computation of the type-reproduction number T for structured populations in heterogeneous environments, *J. Math. Biol.* 66: 1065-1097.
- [4] T. Kuniya and H. Inaba (2013), Endemic threshold results for an age-structured SIS epidemic model with periodic parameters, *J. Math. Anal. Appl.* 402: 477-492.

熱帯林における不法伐採と汚職についての進化ゲーム理論

巖佐 庸 九州大学大学院 理学研究院 生物科学部門

協力を維持する上に、違反者を監視し処罰することが重要である。しかし、生態系管理や生物多様性保全にとって最も大きな障害は、取り締まるべき監視者が賄賂を受け取って違反を見逃すところから生じる。たとえば、熱帯域における森林伐採の半分以上が不法伐採によると推定されている。本講演では、どのような状況で不法伐採がはびこり、どのようにすれば防げるかを議論するために、進化ゲーム理論にもとづくモデルを展開した。

モデルの仮定：

[1-1] 複数の林業者 (Harvester) が森林にいて作業をするが、そのとき森林の多様性保全に役立つ作業をする (協力 C) か、材木を伐採して売り払う (非協力 D) か、の2つの行為の何れかをとる。しかし深い森での作業のため、何れを行っているかは知られない。このとき協力的行動をとると、森林の環境が改善されるため他の林業者にとって有利な結果をもたらす。しかし本人の収入は減る。利得構造は囚人のジレンマゲームになる。

[1-2] 複数の林業者の全員がお金を出し合うと監視者 (Enforcer) を雇用することができる。その監視者は林業者をチェックし、伐採を行っている場合には罰金を課すことにより、林業者間の協力を維持させる。伐採を行う非協力的林業者は、監視者に賄賂を払って見逃してもらおうとありうる。監視者には、賄賂の受け取りを拒否する良心的タイプ (Honest) と、賄賂を受け取るタイプ (Corrupt) とがある。

[1-3] 林業者の協力的／非協力的に加え、監視者にお金を出すか／出さないかの組み合わせで調べると、次の3つのタイプだけが残ることがわかる、

- Committed Defector: 監視者にはお金を払うが、森林伐採する。
- Defector: 監視者にはお金を払わず、森林伐採する。
- Conditional Cooperator: 他の林業者が監視者をサポートするときにかぎり、自らもサポートしかつ協力的 (森林伐採をしない) が、そうでないと自らは非協力 (伐採する)。

[1-4] 林業者の3タイプと監視者の2タイプのそれぞれについて利得行列を計算し、それらの割合はレプリケータ力学に従うとする。力学は3次元 (林業者の構成が2次元、監視者の構成が1次元)。

モデルの挙動：

[2-1] 基本モデルにおいては、平衡状態が連続的に並び林業者が全員協力する「協力的平衡群」、平衡状態が連続的に並び、そこでは林業者全員が森林伐採をする「非協力的平衡群」、の2つがある。初期値によっていずれかに収束することがわかる。系は双安定で、100%の協力か100%の非協力の何れかになる。

[2-2] ごく小さい確率で別のタイプにランダムに変化する突然変異を考慮すると、監視者に起きる突然変異のバランスによって、どの初期値からでも1つの進化平衡状態に収束するようになる。その最終状態ではほぼ全員の協力か、全員の非協力かは、監視者に起きる突然変異のバランスによって決まる。

[2-3] 監視者が良心的タイプか賄賂を取るタイプかを示唆する情報があると、情報が完全でなくても、協力的な最終状態に収束する初期値の割合が格段に増える。

[2-4] 監視者が良心的かどうかの正確な情報を知るために、林業者はコストを支払う必要があるとする。Conditional cooperatorにも、Committed defectorの中にも、それぞれに情報を得るために金を支払うタイプと支払わないタイプを考える。モデルは、均衡には収束せず、振幅の非常に大きな長周期の振動をいつまでも続ける。この振動のほとんどの時期には、林業者は協力者であるが、時々（森林伐採をする）非協力者と賄賂をとる監視者とが一時的に集団を席卷し、短時間で消滅する。

以上のことより、森林の違法伐採について次のような結論が得られる：

- (1) 違法伐採がほとんど生じない国や地域と非常にはびこる地域があり、互いの様子を理解することが困難である。
- (2) 監視者に対する教育を行なうことが有効である。
- (3) 監視者の信頼性についての情報が、林業者に無料で手に入ることが重要である。
- (4) 現在は協力的で違法伐採が全く行われなくても、それは永遠ではなく、あるとき急に森林伐採が行われるようになるかもしれない。

Collaborators:

- Jung-Hun Lee (九州大学決断科学センター)
- Karl Sigmund (Faculty for Mathematics, University of Vienna, Austria)
- Ulf Dieckmann (International Institute for Applied Systems Analysis, Austria)

生物と数学とロボットと

小林 亮 広島大学大学院 理学研究科 数理分子生命理学専攻

5年半にわたる CREST プロジェクト「生物ロコモーションに学ぶ大自由度システム制御の新展開」で行ってきた研究の紹介を行う。本プロジェクトの目標は、動物のロコモーションを力学と制御の観点から理解し、それをもとに動物のようにしなやかに、かつタフに動くことのできるロボットを作ることである。そのために、数学者と生物学者とロボット工学者からなるチームを作った。

ここで、キーとなる概念は「自律分散制御」である。実際の動物のロコモーションにおいて、自律分散制御が行われていることは、直接的・間接的な証拠によって確実であると考えられている。一方で、現在のほとんどのロボットは、完全な集中制御方式で設計されている。我々は、不確定な環境にリアルタイムでしなやかに対応できるロボットには、大自由度と自律分散制御が不可欠であると考えているが、その設計論は確立していなかった。

この状況に対し我々は、究極の自律分散系とも言うべき生物「真正粘菌変形体」に立ち返って、「齟齬関数」という概念を抽出し、自律分散制御の設計スキームを提案した。それを出発点として、より高等な動物のロコモーションの理解とロボットによる再現を試みてきた。本セミナーでは、ヘビ型ロボットや4脚ロボットなどの事例と、そこから得られる知見を紹介する。また、このチームが工学者を含んでいたことで得られた新しい視点についてもお話したい。

競争排他・競争緩和共存問題を数理解析から眺める

三村昌泰 明治大学 先端数理科学インスティテュート

生物現象に対して、理論的視点から接近するときには、モデルの構築から始まり、その解析をおこなうことから可能となる。どちらに比重を置くかは別として数理生物学、理論生物学分野ではごく一般的なやり方であろう。そこにはフィールドの人あるいは実験屋さん、モデリング屋さんそして解析屋さんが集まる可能性があるのだが、問題によって、なかなか後者の2人は参加出来ないこともあったり、最初の3人だけで充分で、解析屋さんは必要ないこともあったりして、なかなか全員が参加するような問題に出会うことは容易ではなく、かつ、それに成功した例も少ないのではなかろうか。少なくとも私が出席した数理生物関係の研究集会では、「この問題解決にはこのような数学がもう少し必要である」と言った言葉はあまり聞かれない。それは、それぞれの分野の人達のもつ興味の対象が異なることから生じているのかもわからないが、モデリング屋さんの解決したい問題に対して、解析屋さんが答えられないことも大きな理由であろう。

上のことと少しは関係あるのではと思います、今日は数理生態学では誰もが古典的であるとして良く知っている方程式を取り上げ、それに対して、解析屋達は何に関心を持って研究を進めているのかを紹介することにした。そのためにここでは反応拡散系の一つである競争-拡散系を題材にし、競争排他および競争緩和共存問題を扱いたい。

発表者がこの問題を携わったのは1980年JMBに出した川崎廣吉氏（現：同志社大）との共著論文、同じ年にJTBに出した難波利幸氏（現：大阪府立大）との共著論文が最初であるので、びっくりした。実に30年以上前である。もちろん、その後他の問題に手を出して来たのだが、いつも気になっていた問題であることから、これを今日まで長々とやって来た。その結果、解決はおろか、むしろ扱う問題がだんだんと難しくなり、それに振り回されているような感じがしている。

このように長い間やっていると、時代に応じて共著者も替わってきたので全員の名前を列挙することは無理であるが、今日の話は彼等との共同研究の成果であることは記しておきたい。

mimura.masayasu@gmail.com