

反応拡散方程式系における パターン形成問題



池田幸太 IKEDA Kota

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員
明治大学研究・知財戦略機構特任講師

専門・学位： 数学，博士（理学）・東北大学

研究内容： 反応拡散方程式，パターン形成問題の数理的解析

研究概要

(1) シャドウ系における2次元スパイクパターンのダイナミクス

未知関数を2つ持つ反応拡散方程式系において、2つある拡散係数の内、1つの拡散係数は十分大きいと仮定し、極限を取る。ここで得られた方程式はシャドウ系と呼ばれる。ギーラー・マインハルト方程式に対するシャドウ系におけるスパイクパターンのダイナミクスを明らかにした。この内容に関する論文をまとめ、論文誌に受理された。

(2) 2変数反応拡散方程式系のパルス型進行波解の安定性解析

FitzHugh-Nagumo 方程式に代表される興奮型の反応拡散方程式系にはパルス型の進行波解が存在する。パルス型の解には遷移層が2つ含まれる。進行波解の安定性解析に成功している既存の研究では、遷移層が1つだけ含まれ、線形安定性解析が比較的容易である。本年度の研究によって、パラメータを制限することによってパルス型進行波解の安定性を調べることに成功した。拡散項が無い場合は安定であるという既存の結果の、追証明に成功した。一方、拡散項が含まれる場合は不安定であることが示され、新しい結果を得ることに成功した。

(3) Lotka-Volterra 方程式における多種共存条件

拡散項を持った、2変数強競争系 Lotka-Volterra 方程式の凸領域における解の時間大域的な挙動を考えると、解は必ず一様定数解に収束することが知られている。これは、単純な領域では2種の生物が共存できないことを意味する。一方、2つの凸領域を細い領域でつないだダンベル領域では、種が共存することが知られている。これは Levin が提唱した compartment モデルと呼ばれる常微分方程式系からも期待できることである。若野氏（明治大学）、三木氏（国立台湾大学）、三村氏（明治大学）との共同研究で、拡散項付き Lotka-Volterra 方程式と compartment モデルの関係性を数値計算によって示した。また、定性的に与えられていた compartment モデルにおける dispersal rate を、観測可能な量で特徴付けた。さらに、近似の根拠となったラプラシアン固有値と固有関数を数値的に特徴付け、分岐がこれらによって引き起こされることを確認した。同内容に関して論文を作成し、論文誌に受理された。

集団が形作る秩序パターンの発見と解析



末松 J. 信彦 SUEMATSU J. Nobuhiko

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員

明治大学研究・知財戦略機構特任講師

専門・学位： 物理化学，博士（理学）・筑波大学

研究内容： 微生物の集団運動による巨視的な時空間パターン，無生物系自律運動粒子の集団運動，神経軸索の結合系における確率共鳴

研究概要

アリの行列や魚の群れ，渡り鳥の隊列など，生物では集団運動による時空間パターンの形成が認められます。これらの集団パターンは遺伝子にプログラムされているわけでも，個体の運動特性が複雑なわけでもありません。単純な個体の運動特性から集団の秩序構造が生まれる機構の解明は，生命現象を理解する一つの有効な手段です。本研究では，単体の挙動が比較的単純な，微生物や自発的に運動する無生物の集団運動を観察し，発現される時空間パターンの形成機構の解明を試みています。

ミドリムシという微生物は走光性を示す鞭毛虫で，強い光を照射すると光から逃げる方向へ泳ぎます。このミドリムシの培養液を薄く広げ，下から強い光を照射すると，細胞密度の高い領域がスポット上に出現し，時空間パターンを形成します（Figure 1）。この時空間パターンは対流により形成されており，各々のスポットでは下降流が起きています。微生物により形成される対流パターンは生物対流と呼ばれ，すでに多くの報告がありますが，一部分に集まった局在化パターンは我々の研究で初めて報告されました。この局在化の原因として，光場を介したフィードバック機構を提案しています。現在は，提案した機構の裏付けを進めると共に，集団が形成する巨視的なパターンと微生物個体の生体反応の関係を調べています。

無生物系では，水面を自発的に滑走する樟脳船や化学反応波を対象としています。樟脳船の実験では，一次元水路において自由流と渋滞流（Figure 2），およびアリの行列で認められるようなクラスターモードが確認されています。現在はこの様な集団運動の機構を解明するために，樟脳船間の相互作用について詳細に調べています。また，2次元系に拡張することで，昆虫やバクテリアの集団運動のモデル実験系へと発展させる予定です。

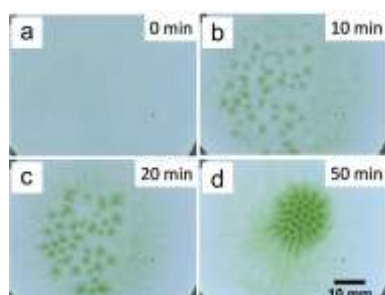


Figure 1. ミドリムシの生物対流。

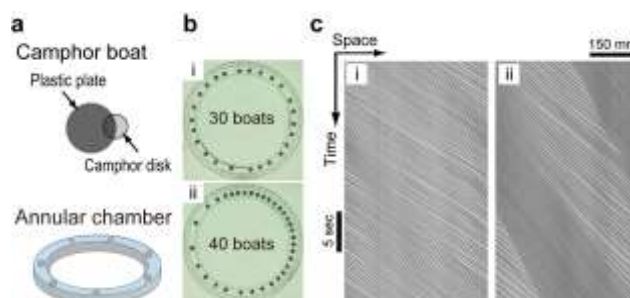


Figure 2. 樟脳船の集団運動。

高頻度データの非線形時系列解析と データ同化手法の開発と 経済・地盤工学・地球科学への応用



中村和幸 NAKAMURA Kazuyuki

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員

明治大学研究・知財戦略機構特任講師

専門・学位： 統計科学，博士（学術）・総合研究大学院大学

研究内容： 時系列，時空間データの統計的モデリングと解析，
地球物理学・地盤工学・生命科学におけるデータ同化

研究概要

本年度は高頻度データの代表例となる経済時系列データ，地盤工学データ，ならびに地球科学データに対して，従来の非線形時系列解析手法ならびにデータ同化手法の開発を進展させて，新たな知見の獲得を可能とする新たなデータ解析手法の開発を目指した。

データ同化とは，実際の現象を模倣する計算機シミュレーションと，現実を観測されたデータを統合して新たな知見を獲得し，また実現象の予測の精度を向上する手法である。従来は気象学を中心とした地球物理学分野において発展してきた手法であるが，近年の情報通信技術と計算技術の発達に伴って，生命科学や地盤工学・航空工学といった大規模解析を必要とする分野にも広く用いられるようになってきている。

任意の非線形推定問題を扱うことが可能な非線形時系列解析手法である粒子フィルタは，データ同化への適用における有力なアプローチの一つであるが，多量の計算機資源を必要とするために，他の手法に比べて適用例が未だ少ない。そのため，知見を積み重ねる必要があり，同時に解決すべき退化の問題も考慮する必要があるなど，研究を進めるべき点はまだ多い。

本年度は，これまでに引き続き実現象との関わりを重視し，各分野の研究者と共同研究しながら，粒子フィルタを中心とした知識発見のための時系列解析アルゴリズムの開発を進めている。

経済物理学モデルである PUCK モデルについては，粒子フィルタによる直接推定アルゴリズムを開発し，その有効性を，実際の為替時系列を模したシミュレーションデータによって確認した。従来は，ポテンシャル中心は過去の移動平均に依存するという強力な仮定をおいていたが，本年度開発したアルゴリズムによって，本来市場がもつ情報そのものを表現するパラメータ推定が可能となった。引き続き，実際の為替データへの適用性を検証する。

また，為替取引における市場不安定性の可視化についても新たに考察し，為替時系列データから世界的な不安定性伝播を表現する可視化プログラムを開発した。これにより，世界的に伝播していく市場不安定性について，従来以上にはっきりと識別することが可能となった。

地盤工学データについては，実際の地盤沈下データについて，京都大学・岡山大学の研究者と共同研究を行い，オンライン予測の精度向上について，従来以上に精度が得られることを確認した。

地球科学データに関しては，地球磁気圏のデータを九州大学の研究者とともに取り扱った。こちらは，SSA による異常発見についてアルゴリズムの開発を共同で進め，オーロラ嵐現象の解明に寄与する，精緻な異常発生時点検出アルゴリズムを開発した。

E.Coli の遺伝子ネットワーク構造と コアネットワークの抽出



木下修一 KINOSHITA Shu-ichi

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員
明治大学研究・知財戦略機構研究推進員（共同研究員）
GCOE-現象数理 SPD

専門・学位： 数理生命科学，博士（理学）・新潟大学

研究内容： 遺伝子ネットワークと遺伝子発現パターンの関係，
遺伝子ネットワークの進化

研究概要

遺伝子の網羅的な解析の進展に伴い，幾つかの種類の生物において遺伝子データベースが整備されつつある。そこで，現象数理学の一つの特徴である単純なモデルを用い現実の細胞をどの程度説明できるのかについて，遺伝子データベースを用いその遺伝子ネットワーク上での単純なモデルの振る舞いを調べた。2010年度は主に現実の遺伝子ネットワーク構造から遺伝子制御にとって重要な役割を果たすネットワーク構造を抜き出す事に取り組んだ。具体的には，まず E.Coli(k-12)の遺伝子データベース（RegulonDB version6.0 <http://regulondb.ccg.unam.mx/>）を用い遺伝子制御ネットワーク（GRNs）を作成し，以下の2点について数値計算を用い研究を進めた。

- 1, GRNs の構造的な特徴
- 2, GRNs の中で重要な役割を果たすコアネットワーク構造の抽出

1 としては GRNs と人工的なネットワーク（スケールフリーネットワーク）のネットワーク構造について比較し，ネットワークのリンク数分布（次数分布）については GRNs は入力リンク数分布は概ねポアソン分布を示し，出力リンク数分布はベキ分布に従っている事が分かった。また，次数相関についても調べた。GRNs では次数相関は非常に小さい値となり，我々が使用したスケールフリーネットワークでは大きな値となった。この結果は，E.Coli の GRNs において多くの入力を受ける遺伝子が必ずしも多くの出力を他の遺伝子に与えている訳ではない事を表わしており，GRNs の構造上の特徴が GRNs 上の情報の流れに方向性を与える可能性がある事を示唆する結果である。続いて，2 についてはこれまでの私の研究ではランダムブーリアンダイナミクスを用いてコアネットワークを同定してきた。しかし，今回データベースからブーリアン関数を決定する事が困難であったため，ネットワーク構造のみを用いコアネットワークの抽出を試みた。これまでの我々の研究結果から有向ネットワーク上での情報の流れを考える場合にはループ構造が重要な事が分かっている。そこで，GRNs の中からループ構造部分のみを抽出した。その結果自己フィードバックループがある場合と無い場合とでコアネットワーク構造が大きく異なる事が分かった。

これらの結果から遺伝子ネットワークをモデリングする場合に次数相関の大きさや自己フィードバックループ構造を制御する事が重要である事が確認された。特に，小さい次数相関については他の生物の遺伝子ネットワークでも確認されており，社会的なネットワークには無い特徴である。つまり，生物の遺伝子ネットワーク特有の特徴の一つである事が示唆される。

生物系における大規模集団運動の数理



占部千由 URABE Chiyori

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員
明治大学研究・知財戦略機構研究推進員（ポスト・ドクター）
GCOE-現象数理 PD

専門・学位： 非平衡統計物理学，博士（人間・環境学）・京都大学

研究内容： 集団運動・感染症伝播の数理

研究概要

誘引物質による集団運動の数理モデルと感染症伝播の数理モデルについて現象数理学的手法を用いて研究を行った。以下ではそれぞれの研究について概要を述べる。

集団運動の数理モデルについては、2010 年度新たに三村昌泰教授・出原浩史研究員との共同研究として始めたものである。蟻やゴキブリといった昆虫は誘引物質を放出・感知することで集団運動を制御している。特にゴキブリでは誘引物質を感知し集団形成をし、適度な個体数密度をとることで次世代の繁殖や成長を有利に進めていると考えられている。このような誘引物質を介した集団運動について、我々はミクロな視点とマクロな視点から研究を行っており、報告者は主に前者の研究に従事している。ミクロな視点から個体の運動を調べるため、個体の運動と誘引物質の時間・空間変化についてシミュレーションを用いて調べている。個体が2次元の離散的な空間上でランダムウォークしながら誘引物質を放出し、誘引物質の濃度の時間発展は拡散方程式に従って拡散するというハイブリッドモデルを採用した。また、誘引物質濃度の高い場所にいる個体はその場に留まりやすいとした。誘引物質の濃度勾配に依存して個体の移動が変わるとすれば、個体が自己組織的に集団を作るとは理解しやすいが、本研究ではそのような効果がない場合でも集団を作ることができるのかということに着目し研究を行っている。これまでのハイブリッドモデルの数値シミュレーションの結果から、誘引物質の濃度の高い場所に留まりやすいという効果だけで個体集団が形成されうるということがわかってきている。

感染症伝播の数理モデルについても、三村教授との共同研究である。近年、新型インフルエンザや家畜の感染症として知られている口蹄疫の流行があり、感染症の流行を如何に抑止するかということが社会的に重要な問題である。本研究では、特に感染症伝播と潜伏期の関係について着目し、各個人をランダムウォークする粒子を用いて表し、数値シミュレーションを行った。各個人は[感受性者]・[潜伏期の感染者]・[感染能力をもつ感染者]・[回復者]の4つに分け、この4状態を個々の粒子の4つの内部状態とする。我々のモデルでは空間上の同じ位置に[感受性者]と[感染能力をもつ感染者]が存在することで感染するとした。また、本研究では感染し症状が現れたために自宅で療養したり、行政による移動制限などを想定して、感染症の発病にともなう移動低下の効果を導入した。この結果、移動低下がある場合でも潜伏期が存在することで、感染症伝播の最終規模は移動低下が無い場合と大きな違いは現れないことがわかった。一方で、移動低下があり潜伏期が無い場合には感染症伝播の最終規模は大幅に抑えられることがわかった。このことから、潜伏期が短い感染症については即時の感染の疑いのある人の自宅待機などの移動低下をもたらす措置が非常に有効であるのではないかと考えている。

錯視現象から見る渋滞緩和策



友枝明保 TOMOEDA Akiyasu

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員
明治大学研究・知財戦略機構研究推進員（ポスト・ドクター）
GCOE-現象数理 PD

専門・学位： 渋滞学，博士（工学）・東京大学

研究内容： 渋滞現象の解明から錯視を用いた渋滞緩和策

研究概要

我々の身の回りには様々な渋滞現象が潜んでいる。特に、高速道路の渋滞を引き起こす最も大きな要因は、「サグ部」と呼ばれる場所であることが知られている。サグ部では、実際は上り坂であるにもかかわらず、その傾斜変化が緩やかであるため、ドライバーは上り坂だと気付かず、適切な加速ができないまま走行してしまう。その結果、車の速度が無意識に低下してしまい、その速度揺らぎの影響で渋滞が形成されることが過去の渋滞研究から明らかになった。これは、上り坂であるという道路傾斜を正しく認識できない錯視現象が引き起こしている渋滞現象と考えることができる。この錯視現象は「縦断勾配錯視」と呼ばれ、韓国済州島のトケビ道路、四国の屋島ドライブウェイなど、多くの道路で実際に観測されている。そこで、道路傾斜を誤認してしまう錯視現象を解消し正しく認識させることが渋滞緩和を実現するために必要となる。本年度は、道路傾斜を正しく認識させる方法を提案し、縦断勾配錯視現象をどの程度コントロールできるかを検証した。

縦断勾配錯視を解消するアイデアとして、側面に描かれるストライプパターンを考案した（下図）。これらのストライプパターンに対して傾斜をどのように認識するかをアンケートによって調査し、その錯視解消策の有効性について検証した。その結果、周辺情報に強く影響を受けていることが分かり、ストライプパターンの変化に伴って、道路の傾斜認識も変化していることがわかった。特に、ストライプパターンを水平面と認識する傾向が強く、道路の傾斜認識はストライプパターンからの差分によって判断していると考えられ、この方法を用いることで、道路の傾斜誤認を軽減する可能性が示唆された。本研究における提案手法は、高速道路の防音壁や傾斜の誤認が生じやすいトンネル内部の壁面へペイントを施すことだけで容易に実現でき、渋滞緩和を実現するための錯視解消法として現実的かつ効果的なものと考えられる。



奥の道路面はどのような傾斜になっているか？左図は水平面と認識し、右図は上り坂と認識する傾向がみられた。

※ 本研究は、北岡明佳氏、對梨成一氏（以上、立命館大学）、杉原厚吉氏（明治大学）との共同研究である。

人類進化の3大問題の理論的研究



中橋 渉 NAKAHASHI Wataru

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員
明治大学研究・知財戦略機構研究推進員（ポスト・ドクター）
GCOE-現象数理 PD

専門・学位： 理論人類学，博士（理学）・東京大学

研究内容： 学習能力の進化，性淘汰理論

研究概要

人間とは何か、この問いに答えるためには、ヒトがいかにして、ただのサルから今ある姿へと進化してきたのかを知らねばならない。古人類学研究から、この進化過程には重要な3つの段階があったことが分かっている。1つ目は、600-800万年前ごろに起こったチンパンジーの系統との分岐と直立二足歩行の獲得である。これにより、ヒトの系統はヒトへの進化を始め、一方チンパンジーの系統はただのサルの範疇をいまだ脱せない。2つ目が200-300万年前ごろに起こったホモ属の出現と脳容量の増大である。これと前後して始まった石器使用により、ヒトの祖先集団は適応度を高め、分布域をアフリカ外まで広げた。そして3つ目が、20万年前ごろに起こった我々ホモサピエンスの出現と、多様で複雑な文化・行動の発生である。これにより、ヒトは全世界へと分布域を広げ、爆発的な人口増大を達成した。

第1段階の直立二足歩行の獲得がなぜ起こったのかに関しては、数十を超える仮説があり、いまだ決着はついていない。その中で最近注目されている仮説がLovejoy説である。繁殖行動の変化が起こり、オスがメスに好まれるよう食料を多く運ぶ必要が生じたため、食料を多く運ぶのに適した直立二足歩行が進化した、という仮説である。直立二足歩行の獲得と同時期に犬歯の小型化が起こっており、これがオス間の直接的闘争が弱まり、メスに好まれることの重要性が増した傍証とされている。この仮説の論理的妥当性を検証するため、明治大学の堀内史朗氏と共同で、どのような条件下でどのような繁殖戦略が進化するのかを研究した。その結果、ヒト的な繁殖形態は、チンパンジー的な複雄複雌の乱婚社会からではなく、ゴリラ的な一夫多妻社会から進化した可能性が高いことが分かった。古人類学的証拠からもこの結果は支持される。これにより、ヒト社会の祖形としてチンパンジー的社会を暗に想定しているLovejoy説に対して疑問を投げかけた。

第2段階の脳容量の増大に対しては、昨年度までの研究で、200-300万年前ごろに起こったアフリカ大陸の乾燥化に伴ってそれまでの本能行動が不適化し、学習による情報獲得の重要性が増したことの影響であると指摘している。

第3段階のホモサピエンスにおける多様で複雑な文化・行動の出現に関しては、社会学習戦略の変化が関係した可能性が議論されている。そこで、University of British ColumbiaのJoseph Henrich氏と明治大学の若野友一郎氏と共同で、どのような条件下でどのような社会学習戦略が進化するのかを研究した。その結果、ホモサピエンス特有の有効性を確認しつつ行動を社会学習する戦略は、環境が空間的に異なる場合ではなく時間的に変動する場合に進化することを示した。ホモサピエンスで文化が爆発的に多様化したのは急激な気候変動が多かった6-3万年前ごろであり、その関連性が示唆される。

特性曲線法に基づく 流体数値計算法の構築



野津裕史 NOTSU Hirofumi

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員
明治大学研究・知財戦略機構研究推進員（ポスト・ドクター）
GCOE-現象数理 PD

専門・学位： 偏微分方程式の数値解析，博士（数理学）・九州大学

研究内容： 特性曲線法を用いた偏微分方程式の数値計算スキームの
開発・解析・シミュレーション

研究概要

本研究のキーワードは「特性曲線法」です。特性曲線とは、時間とともに移動する流体粒子の軌跡を表す曲線のことで、文字通り流体の特徴的な曲線です。同曲線を利用して偏微分方程式の解を捉える方法を特性曲線法と呼びます。私は同法に基づく数値計算法を研究しています。特性曲線法のアイデアは、有限差分法や有限要素法といった偏微分方程式の主要数値解法に導入できます。私は有限要素法と特性曲線法を組み合わせた「特性曲線有限要素法」の可能性に注目しています。特徴は、有限要素法が持つ領域形状の柔軟性や進んでいる数学的基盤に加えて、特性曲線法の導入によって、最終的に解くことになる大規模連立一次方程式の係数行列が対称となるため計算時間とメモリが半減することです。すなわち、数学的信頼性をもった実用的な数値解法といえます。

コンピュータの発展に伴って 3 次元現象をそのままシミュレーションすることが可能となり、それが今後シミュレーションの標準的手段になると予想されます。そのために、3 次元計算を意識した計算スキームが必要であり、このことに対応すべく Hughes ら[1986]による 3 次元計算を容易にするブレイクスルーがありました。特性曲線有限要素法は 3 次元大規模並列化の世界的な動きの中で遅れていましたが、近年、我々は流れ問題の基礎式である Navier-Stokes 方程式のための圧力安定化特性曲線有限要素スキーム [野津・田端, 2008, Notsu, 2008] を開発しました。これは 3 次元計算に有用な改良された特性曲線有限要素法です。現在、同スキームの有用性を示しつつ、次世代の特性曲線有限要素法の構築を進めています（図 1 参照）。

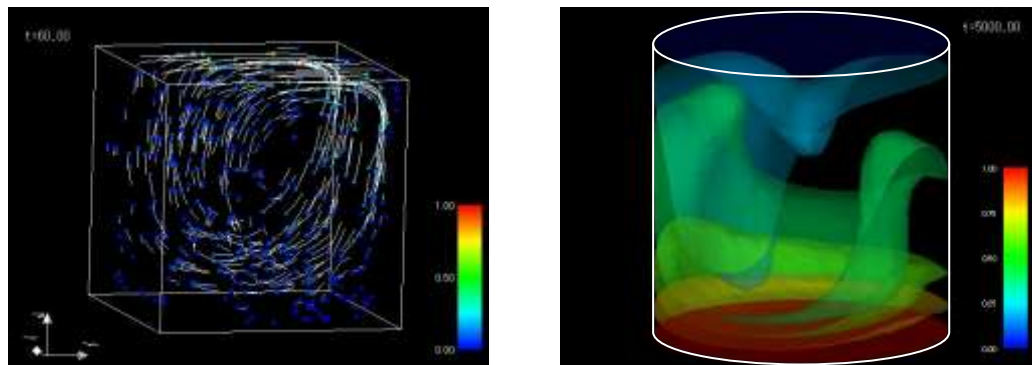


図 1：キャビティ流れ（左， $Re=1,000$ ，流速）と熱対流問題（右， $Ra=10^5$ ，温度）の計算結果。

地域間交流が創る新文化



堀内史朗 HORIUCHI Shiro

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員
明治大学研究・知財戦略機構研究推進員（ポスト・ドクター）
GCOE-現象数理 PD

専門・学位： 数理社会学，博士（理学）・京都大学
研究内容： 集団サイズの研究，集団間関係の研究

研究概要

大航海時代に端緒の開かれた人々の大規模な移動は、冷戦が終わってからはグローバリゼーションと呼ばれ、いっそう激しさを増してきている。人々の大規模な移動は社会に様々な影響をもたらすとされている。そのひとつに地域文化の消滅を挙げることができる。私が以前から調査対象としてきた山村の文化も、多くが消滅の傾向にある。山村から都会へ多くの人々が移動する一方、都会文化を経験して山村へ戻ってきた人が都会的な生活をそこで送ろうすることに、その原因を求めることができる。

ところが一部の山村では、その地域文化を観光化して観光客を積極的に呼び寄せることで、地元の文化を復活することに成功している。観光化は、グローバリゼーションの端的な例の一つであり、地域文化を破壊する側面がこれまでの研究の中では強調されてきた。しかし私自身の研究調査の中では、観光客との相互作用があることが、地元独自の地域文化の創造につながる傾向や、温故知新的に地域土着の文化の意義が再発見されるきっかけになる傾向が見出されてきた。

なぜ観光化は、いっぽうでは地域文化を破壊するのに、他方では地域文化を創造することがあるのか。このメカニズムを明らかにするために、計算機上にエージェント・ベース・モデルを構築して分析を行った。モデルの中では、複数の地域を用意し、各地域には複数のエージェントが滞在している。エージェントは特有の文化を変数（戦略）として持っている。同じ地域の中でエージェントは調整ゲームをおこなう。同じ文化を変数として持つエージェント同士が相互作用すると利得を得るが、異なる文化を変数として持つエージェント同士の相互作用では両者ともに利得を得られない。もし、地域間をエージェントがランダムに移動（この移動を「拡散」と定義）できる設定にすると、拡散の確率が低くても、十分な時間が経過すればすべての地域社会を単一の文化が支配することになる。しかし、エージェントが拡散だけでなく、自分と同じ文化を変数として持つエージェントが多数派の地域に選択的に移動（この移動を「逃走」と定義）できる状況を考え、また拡散・移動ともに近隣の地域だけでなく遠く離れた地域へも可能な場合を考えた。その結果、拡散に比して移動の比率が高い場合、そして拡散・移動が可能な地域が遠方にも広がっている場合、地域文化の多様性が高くなる結果が得られた。

以上の計算機実験の結果は、グローバリゼーションの二側面を示唆している。人々が無目的に移動する傾向が大きいと地域文化の画一化が起こる。しかし、より目的意識を持って人々が移動し、また各地域が自分たちの情報を正確に発信するのならば、グローバリゼーションを利用することで地域文化の多様化が可能になるのである。

接触抑制モデルの解析



若狭徹 WAKASA Tohru

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員
 明治大学研究・知財戦略機構研究推進員（ポスト・ドクター）
 GCOE-現象数理 PD
 専門・学位： 数学(大域解析学)，博士(理学)・早稲田大学
 研究内容： 反応拡散方程式，非線形常微分方程式，楕円型・放物型偏微分方程式，分岐理論

研究概要

腫瘍の数理モデル研究は近年活発に行われ，生命科学や医学的見地からも大きな注目を集めるようになった。本研究の目的は腫瘍浸潤のプロセスを簡略化しこれより得られる，「接触抑制効果」を伴う2種の細胞集団モデルを用いて，現象数理の立場から腫瘍浸潤の本質を抽出することにある。

今年度の主な課題は，数理解析によって(1) 接触抑制モデルの分離進行波解の性質を調べること，(2) 接触抑制モデルの交差定常解の性質を調べること，の2点である。モデル方程式に対する永田裕作氏(MIMS 研究員)によるシミュレーションは，方程式の解の振る舞いは最終的に分離進行波解ないし交差定常解によって支配されることを示唆し，またどちらの解が現れるかはモデル方程式のパラメータに応じて決まる。接触抑制モデルにおいてこのような全く異なるダイナミクスが観察される背後にどのような数理的構造があるか，これを最終的に解明したい。

(1)に関しては分離進行波解の速度が特定のパラメータ k にどのように依存するかを調べた。さらにこれを精密化し， k を 0，ないし無限大に近づけた際の分離進行波解の極限が，それぞれ対応する1種細胞集団モデルの進行波解に収束することを証明した。(2)に関しては交差定常解が存在するための必要条件を与えた。交差定常解の構成については相平面解析の方法を利用している。その存在証明について新たな着想を得ることができたが，解決に至るには問題点も多く現在も検証中である。また分離進行波解についても，安定性の解析など，重要かつ困難な多くの課題が残っており，引き続き検証を進めたい。

今年度の内容を含む接触抑制モデルの一連の研究成果に関して，投稿論文の準備が進められている。これと合わせて特に研究会やセミナー等での研究発表を積極的に行った(講演発表 11 件，ポスター発表 2 件)。このうち代表的な研究会を以下に挙げる：AIMS 国際会議(5 月，ドイツ)，日本応用数理学会年会(9 月，明治大学)，京都駅前セミナー(10 月，京都)，「Far from Equilibrium Dynamics 2011」(2011 年 1 月，京都大学数理解析研究所)，「九州における偏微分方程式研究集会」(1 月，九州大学)，「藤田保健衛生大学数理講演会」(3 月，同大学)。また，「現象数理の形成と発展」教育研究拠点の活動の一環として，11 月に若手シンポジウム「細胞・腫瘍の数理」を開催した。シンポジウムでは腫瘍浸潤モデルを中心とする細胞や腫瘍の数理に深く関わる研究者 6 名を招へいし，研究交流・情報交換を行うと同時に，現象数理の観点から当分野の重要性について議論した。

今年度の研究活動費の多くは研究集会出现の旅費に充てられ，上述の AIMS 国際会議を含む 4 件について個人研究費から捻出している。うち 2 件について研究発表，残り 2 件は学生引率や研究交流・情報収集を主目的とした。

Modulated renewal processes for inter-event times of aftershocks



蕭海燕 SIEW Hai-Yen

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員
明治大学研究・知財戦略機構研究推進員（ポスト・ドクター）
GCOE-現象数理 PD

専門・学位： 統計科学，博士（統計科学）・総合研究大学院大学

研究内容： 統計的モデリングおよびデータ解析

研究概要

In last fiscal year, I have been working on the modeling of the time gaps of earthquake aftershocks using modulated renewal processes. In this study, I propose a semi-parametric solution to estimate the intensity (hazard) function of modulated renewal processes to study the survival pattern of the processes: a non-parametric estimate for the baseline intensity function together with a parametric estimate of the model parameters of the covariate processes. Modulated renewal processes have been widely used in reliability, seismology and biomedicine to explain the patent of recurrent events. An example of recurrent events is that the repeated episodes of illness based on patients' disease history. Numerous literatures are available to provide approaches to estimate the intensity functions, such as partial likelihood, Bayesian and robust estimations, such as Lin and Fine (2009, *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, **71**, 3–23). In most literatures, a renewal process is taken as a starting point to model a sequence of such renewal events. In this type of processes, the lengths of the time—intervals between each pair of neighboring events are identically and independently distributed. In order to make use of the analyzing techniques from survival analysis, each inter—event interval is re—arranged as an individual sample, starting at 0, and dying off after it survives a period of time of the same length as this interval. This treatment has also been used in more complicated models that are extended from the renewal processes, such as the modulated renewal processes that firstly proposed by Cox (1972, *Stochastic Point Processes*, 55–66). Based on the martingale property associated with the conditional intensity, I construct a statistic from residual analysis (see Zhuang, 2006, *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, **68**, 635–653) to estimate the baseline renewal intensity function, when the model parameters of the covariate processes are known. Moreover, I also suggest using penalized regression splines with B-spline basis functions to smooth the estimator. On the other hand, when the baseline intensity is obtained, the model parameters can be estimated using the usual maximum likelihood estimation. In practice, both the baseline intensity and model parameters are suggested to be estimated simultaneously via an iterative manner. Using this method, the estimators of model parameters enjoy the good properties of full likelihood, such as consistency and convergence to normality asymptotically. The proposed estimating procedure is also compared with the existing methods that derived from the survival analysis. To illustrate the performance of the proposed method, two sets of data are analyzed: a dataset simulated from a simple Weibull renewal process and the aftershock data occurred at Wenchuan, China, in 2008. For the first data set, I simulated a process following a Weibull distribution and the estimator of the baseline intensity function is estimated. For the latter example, the covariate process is chosen to follow an Omori–Utsu formula that explains the behavior of the rate of aftershocks, which is proportional to the inverse of time since the mainshock. For both analyses, the proposed estimating process provided quite successful estimators to the datasets. The result of this study was presented at the annual meeting of the Japanese Society of Computational Statistics and the Second International Conference on Mathematical Sciences (ICMS2–2010), Kuala Lumpur, Malaysia. It will be completed as a research paper for submission to a journal.

細胞遊走の数理モデル



西村信一郎 NISHIMURA Shin-ichiro

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート研究員
広島大学大学院理学研究科数理分子生命理学専攻研究員
専門・学位： 理論生物学，博士（学術）・東京大学
研究内容： 細胞遊走，動物の集団運動等に関する理論的研究

研究概要

我々の体は、「細胞」という基本単位でできている。細胞はどろっとした液体の入った袋のようなものだが、自力で移動することができる。細胞の自力移動を専門用語では「遊走」という。この「遊走」の解明こそ、多くの疾患の治癒に関係する重要な課題である。リウマチなどは、自分の体組織を敵と間違えて攻撃する疾患の一つだが、免疫細胞が疾患部位に移動しなければ起こりえない。癌も恐ろしいのは転移するためであり、この転移は、癌細胞が勝手に移動していることを意味する。どのように移動しているかが明らかとなれば、人類を悩ますこれらの疾患の治療法を編み出すことができるはずだ。しかし、いまのところ、細胞の移動機構はあまりに複雑なため未解明である。細胞は極めて多数の種類の分子で構成されていて、それが相互に化学反応をすることで、移動している。さらにこの化学反応は移動だけでなく、情報処理もおこなっている。数理科学によって、この複雑な細胞移動の理解を進めることができるのか？これが私の研究の出発点である。細胞は確かに複雑だが、何か別の視点を導入すれば、シンプルに捉えることができないだろうか？人間の作り出した機械を例に挙げると、トヨタの自動車は数万点の部品から組み上がっているが、自動車の本質はハンドルとエンジンとタイヤに尽きる。私はそのような視点の候補を提案した。細胞の本質は、ブルドーザーの「キャタピラ」のような機構を持っている。ただし、キャタピラと違い、ゲル状（固体）の細胞の外殻が後方へと流れ、最後尾でゾル（液体）化し前方に流れ先端部で再びゾル化する。細胞には前後軸はなく、そのときどきでどちらが頭になるかが変化する。何かがゲルとゾルの流れを制御しているのだ。細胞の外殻となるゲルには多種の分子が含まれており、これらはゲルと一緒に細胞の移動と逆方向に流れていく。後端に達したときゲルはゾル化していくが、ここで一部の分子がゾル化せず、ゲルに残り続けるとしよう。そうするとだんだんとその分子は細胞後部にたまり続ける。この分子がゾル化の促進やゲル化の抑制を担っていると仮定したとき、細胞がある方向に少し移動したとすると、この分子が後部に溜まり、ますます後部のゾル化は促進され、ゾルとゲルの流れが強まる。この分子の分解や拡散を仮定すると、細胞が何らかの拍子で停止したとき、だんだんと様になっていき、細胞の今までの方向に行こうとする傾向が弱まり、ふたたび小さなゆらぎによって別の方向への移動性が強まる。このような性質の過程のもと、数理シミュレーションをおこなったところ、極めて本物の細胞に近い複雑な形や動きが定量的に再現された。この計算結果は、細胞の移動の複雑さは、必ずしも構成分子の種類が多いからではなく、細胞の背後にあるシンプルな機構が作り出していることを示唆している。

進化ゲーム理論における理論研究と それを用いた金融市場のミクロ構造



吉川満 KIKKAWA Mitsuru

所 属 : 大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士後期課程2年
チームフェロー : 指導教員 三村昌泰 (数理解析班),
松山直樹 (モデリング班), 上山大信 (シミュレーション班)
研究課題 : 進化ゲーム理論の数理とその応用

研究概要

現代の様々な経済問題を解決するためには、複雑な経済現象の背後にある経済メカニズムを明らかにする必要がある。この経済現象の背景には個々の人間があるため、人間の意思決定や行動から現象を理解する必要がある。そこで特にここでは人間の限定合理的な行動に着目し、進化ゲーム理論における理論研究とそれを用いた金融市場のミクロ構造について研究を行ってきた。

1. 理論研究

- 1) **Bayes 学習を用いた Nash 均衡への収束性と均衡選択** : 各主体が Bayes 学習を用いて、学習する場合において各主体の戦略の Nash 均衡への収束性を考えた Kalai and Lehrer (Econometrica, 1993) の研究を混合戦略のみが Nash 均衡であるようなゲームにおいても、使用できるように拡張した。特にここでは期待利得のマルチンゲールの収束性に着目し、証明した。さらには尤度が 2 項分布、正規分布に従っている場合を例にとり、均衡選択を行った。
- 2) **非線形効用関数を用いた共有資源のゲーム** : 各主体が利己的に行動すると、共有資源が枯渇するという共有資源のゲームにおいて、線形の効用関数を持つ場合のゲーム (Sethi and Somanathan Amer. Econ. Rev., 1996) を非線形効用関数がある場合に拡張し、Indirect Evolutionary Approach の文脈で協調行動を採用する条件を導出した。さらには異なる資産水準の主体間のゲームに拡張し、同様に協調行動を採用する条件を導出した。
- 3) **実証分析のためのゲーム理論** : ゲーム的な状況にある経済現象の実証分析を行うために、Nash 均衡の第 2 の解釈である統計的母集団を用いたゲーム理論を定式化した Kikkawa (Prog. Theor. Phys., 2009) を用いて、定式化した。またこのゲームに進化的なアプローチを仮定し、動学に拡張した。具体例として、戦略の数が 3 つのゼロサムゲームの実験結果と板情報を取り上げ、各主体がこのゲームをどのように捉えているのかという主観的な利得表を再定義することにより、Nash 均衡を導出した。

2. 応用研究 : 金融市場のミクロ構造

昨年度構築した金融市場のモデルをダブルオークション理論 (Chatterjee and Samuelson, Oper. Res., 1983 を参考) を用いて、モデルを再構築し、金融市場のミクロ構造を記述し、実証分析を行った。その結果投資家は合理的に売買せず、売り急ぎや買い急ぎで売買を行っている場合があるということが分かり、特に理論研究の 3) で導出した関係式を用いることにより、期待利得の分散や出来高の分布が投資家の財に対する評価額の差に比例しているということが実証的に確認された。

市場データを用いた 国債価格推定モデルの実証研究



土居英一 DOI Eiichi

所 属：大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士後期課程2年

チームフェロー：指導教員 刈屋武昭（モデリング班），
砂田利一（数理解析班），王京穗（シミュレーション班）

研究課題：社債データによる業種・格付け別倒産確率の期間構造と
回収率の推定モデルの実証

研究概要

経済成長の伸び悩み、税収の伸び悩み、団塊世代の高齢化による財政負担増加等が将来的にも重なりうる状況にあって、わが国における資金調達における国債の果たす役割がますます大きくなることは間違いないものと考えられる。

本研究は、このような背景および、信用リスクのないものと仮定できる国債の性状の利便性を踏まえ、刈屋（1995）の国債価格モデルである CSM モデルの実証研究と、これらの結果を踏まえたモデルの拡張について検討するものである。この CSM モデルの特徴としては、国債の属性情報（クーポンと償還期間）の違いによる価格の差異を考慮する点が挙げられる。これらは、一般に「クーポン効果」や「満期効果」と呼ばれるものである。さらに CSM モデルでは現在の国債価格を将来の確定したキャッシュフローパターンを各キャッシュフロー発生時点の債券ごとの属性依存型確率的割引関数により現在価値化したものとする。この属性依存型確率的割引関数の定式化において、上記の一般的に国債価格に影響を与えていると考えられるクーポンの大きさや満期までの期間の長さ等を属性として組み込んでおり、市場価格データを用いた一般化最小二乗法により、各債券間の属性等により説明される相関を踏まえたパラメータ推定を実施するもの。

現在、検討のための定式化、および、検討のベースとなるシステム構築を済ませ、実証研究に着手している。より市場価格の説明力の高いモデルとするため実証と改善、また、従来からの一般的な検討モデルとの比較等を進めている。

併せて、国債の市場取引における「クーポン効果」や「満期効果」の影響の大きさ、属性を考慮しない利回りの推移（イールドカーブ）等についてもこのモデルを用いた検討を進めている。

3種の競合する個体群の 螺旋状をした動的な共存状態の研究



藤間真 TOHMA Makoto

所 属：大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士後期課程2年

チームフェロー：指導教員 三村昌泰（数理解析班），
若野友一郎（モデリング班），上山大信（シミュレーション班）

研究課題：反応拡散系におけるパターン形成の数理

研究概要

2009年度に引き続き「自然界では競争関係は2種だけでなく、多くの種が複雑な競争等によって、複雑なネットワークが生じ、それによって強競争関係が緩和され、共存が可能となるのであろう」という主張の可否を確かめるため、反応拡散系を用いたモデル方程式を用いて、数値実験を中心に研究を進めた。研究したモデル方程式系は2次元空間の有界凸領域 Ω 上での反応拡散系

$$\frac{\partial}{\partial t} u_i = d_i \Delta u_i + f_i(u_1, \dots, u_N), t > 0, x \in \Omega, (i=1, \dots, N)$$

に境界条件として反射境界条件、初期条件として適当な非負関数を与えた系である。また、非線形項 f は

$$f_i(u_1, \dots, u_N) = (r_i - a_i u_i - \sum_{j \neq i}^n b_{ij} u_j) u_i$$

に限定している。また、後述する理由で、1次元無限領域でのこの偏微分方程式系についても研究している。

さて、この系について、 $N=2$ の場合は競合排他律が成立していることが知られている。更に $N=2$ として1次元無限区間でこのモデル方程式を扱った場合は、1種が他種を排除するヘテロクリニック進行波解があることも知られている。更に、 $N=3$ の場合について、競合する3種の強さが同程度でしかも拡散効果を見無視した場合は競合排他が成立するにも関わらず、拡散項を導入すると棲み分けている領域が動的なパターンを形成することによって共存が可能となる例が Ei Ikota and Mimura(1999) によって発見されている。

近年侵入する種が拡散の効果を見ない場合は残ることがないという意味で既存の2種より弱い場合でも、動的な螺旋状のパターンが発生して3種ともに死滅しないような共存状態が数値的に発見された。また、この螺旋状パターンが発生するパラメータ域では、三変数すべてに関わるヘテロクリニックな非自明安定進行波が存在することも数値的に示された。

報告者は、過年度に引き続き、この動的な螺旋形状共存状態について理解を深めるため、1次元無限区間としたときの進行波との関係に注目して研究を進めた。その一環として、進行波解の安定性について明確にするために進行波解の分岐構造を数値的に探求した。まず、 b_{23} を支配パラメータとしてそのヘテロクリニック非自明安定進行波の分岐構造を数値的に探求し、 b_{23} を小さくすると極限点に至り、不安定化した枝が戻ってきて、螺旋パターンが発生する範囲では、安定な非自明進行波解と不安定な非自明進行波解があることを数値的に確認した。更に、安定な非自明進行波解と自明進行波解が組み合わさったホモクリニックな非自明安定進行波解が存在することを確認した。更にこのホモクリニック進行波の分岐構造を探求したところ、 b_{23} の変化に伴い、ホップ分岐が発生して周期振動波解が発生することを確認した。このホップ分岐がおきるパラメータ域では2次元問題において勾玉状の複雑なスパイラルパターンが発生することを確認した。2次元問題での複雑なパターンと1次元問題でのホップ分岐の間に関連があると予想されるが、2010年度中には明確な結果を得ることができなかった。

また、関連する研究として、L.C. Hung 等が発見した三種競合系に対する準厳密定常解の安定性や分岐構造についても研究を進めている。

上記研究の一端は、4月に開催された研究集会「偏微分方程式の最近の話題 2010 in 別府」および8月に開催された現象数理若手ミニシンポジウム「進化による安定共存と反応拡散系の形態形成」で報告した。

実験計画法と時系列解析を用いた 広告の効果測定手法の開発



日高徹司 HIDAKA Tetsuji

所 属：大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士後期課程2年

チームフェロー：指導教員 岡部靖憲（モデリング班），

三村昌泰（数理解析班），中村和幸（シミュレーション班）

研究課題：時系列解析手法を用いた，ブランドの売上や価値に対する
広告効果の研究

研究概要

昨年に引き続いて広告の効果測定に関する研究を継続しているが，近年の広告を取り巻く環境の変化を踏まえて測定方法などを軌道修正しながら進めている。従来はPOSデータやアンケート調査による広告効果測定・ブランド診断が主流であったが脳科学アプローチのマーケティング分野への普及から，脳波（Electroencephalogram, EEG）を測定・分析するサービスが急速に増えている。その状況に対応し，かつよりよい測定・分析サービスを提供するための分析手法開発が今年度の新たなテーマである。

EEGは，表題にある「実験計画法」に基づいた，統制された実験が可能であり，同じく表題にある「時系列解析」を適用可能である。一方，POSデータなどは市場のリアルな情報を提供するが，統制された実験を行うのは困難である。つまり従来よりも理想的な測定手法になる可能性があると考えられる。

ところが，いざEEGを測定してみると，いくつか問題があることがわかってきた。第一に被験者の負担の問題である。被験者は電極のついたヘッドセットをかぶるのだが湿式のため頭が洗剤でぬれてしまう。これでは気楽に測定に応じてもらえないし，自然な心理状態を維持できない。次に測定ノイズの問題。脳波は微弱な電磁波なので瞬きなどの筋電位のほうが勝ってしまい必要な情報が消されてしまう。第三に周期性を伴う点。完全な周期的なデータであれば周波数解析で情報を引き出すことも可能だが，周期性自体が時々刻々と変化していて，しかもその時間間隔が非常に短いため扱いが難しい。最後に非線形性の問題。ある程度先行研究からも予想されていたが，古典的な線形モデルでは手に負えないようなデータが得られた。

第一の問題は測定デバイスの急速な進歩により早晩解決するだろう。すでに2011年現在，乾式の電極を用いた安価なデバイスを発表されている。第二の問題は，ひとまず先行研究に従ってノイズの除去を行うことで妥協している。これは高周波フィルタと独立成分分析を用いることで瞬きなどの筋電位を除去するものである。ただし，有用な情報を誤って除去してしまうリスクもあるため，今後の検討課題も残る。第三の問題に関しては時間・周波数解析ではなく「KM20・ランジュヴァン方程式論」を工夫することによって周期成分に左右されずにデータの性質を調べる方法を考案し，その実用性の確認として太陽黒点データのダイナミクスを解析，次期黒点ピークの予測を行った。

最後の問題は「KM20・ランジュヴァン方程式論」で得られた結果に加えてカオス解析も援用することによって非線形性，カオス性に関する性質や解析手法を研究中である。現状ではカオス性を応用した「感情」の測定手法の開発が進行中である。

Evolutionary diversification and the influence of Allee effect in a predator–prey system



祖建 ZU Jian

所 属 : 大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士後期課程2年

チームフェロー : 指導教員 三村昌泰 (数理解析班),
若野友一郎 (モデリング班), 上山大信 (シミュレーション班)

研究課題 : 生態系解明への現象数理学

研究概要

Understanding the mechanism of evolutionary diversification and the influence of Allee effect remains the core problems in evolutionary biology. In this year, I have done the following work.

First, we investigated the influence of Allee effect in a predator–prey system with Holling type II functional response. Compared with the predator–prey model without Allee effect, we find that the Allee effect of prey species increases the extinction risk of both predators and prey. When the handling time of predators is relatively short and the Allee effect of prey species becomes strong, both predators and prey may become extinct. Moreover, it is shown that the model with Allee effect undergoes the Hopf bifurcation and heteroclinic bifurcation. The Allee effect of prey species can lead to unstable periodical oscillation. It is also found that the positive equilibrium of the model could change from stable to unstable, and then to stable when the strength of Allee effect or the handling time of predators increases continuously from zero, that is, the model admits stability switches as a parameter changes. When the Allee effect of prey species becomes strong, longer handling time of predators may stabilize the coexistent steady state. This paper has been published in *Applied Mathematics and Computation* (2010, 217(7): 3542-3556).

Second, with the method of adaptive dynamics and geometric technique, we investigated the adaptive evolution of foraging-related phenotypic traits in a predator–prey community with trade-off structure. Specialization on one prey type is assumed to go at the expense of specialization on another. First, we identify the ecological and evolutionary conditions that allow for evolutionary branching in the predator phenotype. Generally, if there is a small switching cost near the singular strategy, then this singular strategy is an evolutionary branching point, in which the predator population will change from monomorphism to dimorphism. Second, we find that if the trade-off curve is globally convex, the predator population eventually branches into two extreme specialists, each completely specializing on a particular prey species. However, if the trade-off curve is concave–convex–concave, after branching has occurred in the predator phenotype, the two predator species will evolve to an interior singular dimorphism at which they can continuously stable coexist. The analysis reveals that an attractive dimorphism will always be evolutionarily stable and that no further branching is possible under this model. This work has been published in *Journal of Theoretical Biology* (2011, 268(1): 14-29).

Third, I finished the Ph.D. dissertation and got the Ph.D. Degree in this year.

Overall, during the past year, I have done some interesting work. I greatly improved my research ability and learned a lot of methods and techniques to deal with the evolutionary problems in ecology.

バクテリアコロニーパターンの 多様性についての理解



青谷章弘 AOTANI Akihiro

所属：大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士後期課程 1 年

チームフェロー：指導教員 三村昌泰（数理解析班），

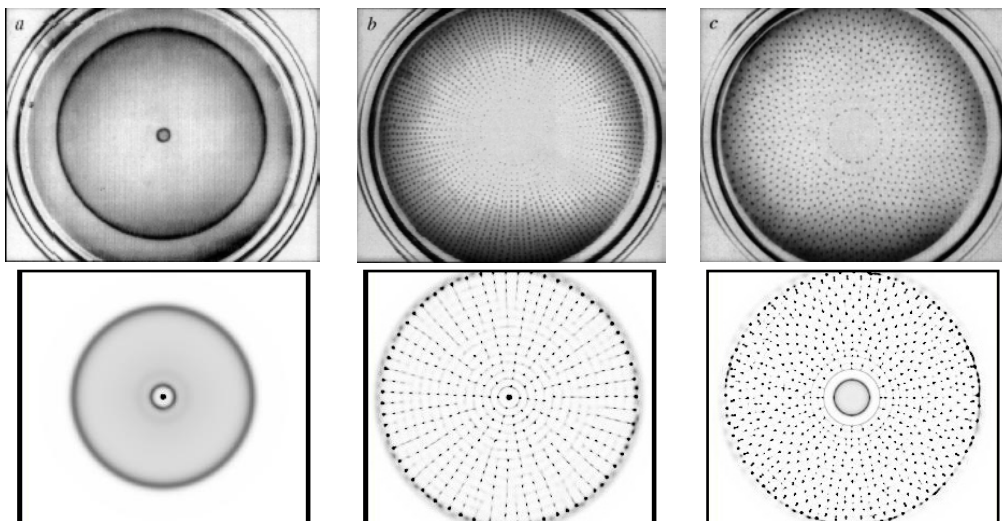
小林亮・西森拓（モデリング班），上山大信（シミュレーション班）

研究課題：バクテリアコロニーパターンのモデリングおよび解析

研究概要

Budrene, Berg(1991)は、寒天培地で走化性をもつ大腸菌株(HCB317tsr)を培養する際に、養分濃度のみを変えることによって、幾何学的に異なる模様を持つ3種類のコロニーパターンを観察し、それらのパターンが出現する要因として、養分摂取による増殖，ランダムな運動，走化性物質の物質，走化性による移動の4つを挙げた。彼等は，パターン形成は遺伝子制御で行われるのではなく，これら4つの要因の適当なバランスで自己組織的に現れるのではないかと述べているが，理由は示していない。

この報告に対して，三村・広山モデル(2002)において適当な条件を定め，養分濃度だけを自由パラメータとして，最終模様および形成過程について実際のコロニーパターンと類似するパターンを再現することができた(図)。この結果から，大腸菌は養分摂取と走化性移動の適当なバランスによって“自己組織的に”幾何学的な構造を持つコロニーパターンを形成する可能性が示唆された。



図：実験によるコロニーパターンとシミュレーションによる再現

これをふまえて，

- (1) モデルを作る際に与えた増殖関数，走化性関数，分泌関数等の妥当性を生物学的視点から議論する。
- (2) モデル方程式を数学的視点から，解の存在，漸近挙動そして平衡解の（パラメータに関して）大域的構造を調べる。
- (3) モデル解析・シミュレーションから，走化性大腸菌のコロニーパターン形成の機構に新たな知見を与える。

を行っている。

風力発電予測手法と その信頼区間の推定方法



飯坂達也 IIZAKA Tatsuya

所 属 : 大学院理工学研究科電気工学専攻博士後期課程 1 年

チームフェロー : 指導教員 森啓之 (モデリング班),
二宮広和 (数理解析班), Mohamed El-Sharkawi (シ
ミュレーション班)

研 究 課 題 : 電力系統におけるインテリジェントシステム

研究概要

地球温暖化対策の1つとして、世界的に風力発電の導入が進められている。風力発電は CO_2 を排出しない利点がある一方、出力変動が大きいことから、電力系統への悪影響が懸念されている。そのため、将来の風力発電の予測値や、想定される予測誤差の幅 (信頼区間) を求めること、およびその値を用いて制御することが重要である。

2010年度は、気象庁が約20kmメッシュで数値計算するGPV気象予報を入力情報として、翌日までの風速予測、風速の信頼区間の推定、発電量予測、発電量の信頼区間の推定を、回帰式とファジィ推論を用いて行った。

風速予測は、3段階のステップからなる。第一ステップは、GPV気象予報を入力とし、風車高さ相当の風速予報を求める。第二ステップは、風車位置の風速に補正する。第三ステップは、現在の予測誤差から未来数時間先までの予測値の補正を行う。

風速の信頼区間の推定は、風速・予測対象時間を考慮してファジィ推論で求める。

複数の風車があるウィンドファームの場合、風上側風車の影響で、風下側風車の発電出力が低下する現象がある。そこで、風向・風速から発電量を換算するモデルを、前述とは別のファジィ推論で構築した。

図1と図2は、提案手法で計算した発電量の予測結果である。実際の発電量は推定した信頼区間内であり、良好な結果を得た。

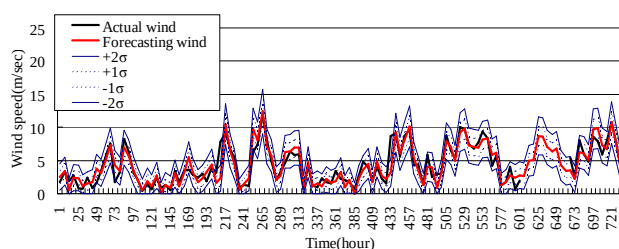


図1 風速の予測結果とその信頼区間
(1時間先予測)

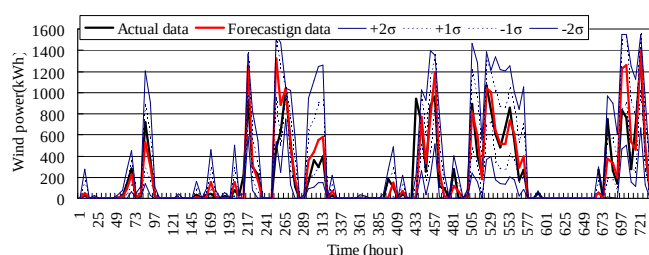


図2 発電量の予測結果とその信頼区間
(1時間先予測)

マーケットマイクロストラクチャー における市場分析



向殿和弘 MUKAIDONO Kazuhiro

所 属 : 大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士後期課程 1 年

チームフェロー : 指導教員 刈屋武昭 (モデリング班),
乾 孝治 (数理解析班), 山村能郎 (シミュレーション班)

研究課題 : マーケットマイクロストラクチャーを用いた市場解析

研究概要

証券市場に関わり続けてきた職務経験を生かしながら、近年発展しつつあるマーケットマイクロストラクチャー分野の研究成果を活用して、国内株式市場および取引所取引における価格形成や取引手法に関わる投資行動を解析することで、市場のボラティリティを高めている要因や制度の問題を考察し成果として発表し、行動ファイナンスに関する要素も勘案しながら株式市場における取引収益機会の更なる発掘とその検証を目的とし行っている。

そこで、自分のビジネス上知り得ているものを用いながらベースとなるような取引収益機会を数多く発見し、それらの取引収益機会をどのように価格評価してゆけば良いかを検討しながら市場データを用い統計用ソフトや計算手法を用いて可視化するべく研究を続けている。使用する市場データは高頻度データ（ティックデータ）を中心に用いることにより、現在のハイレックエンシー（高頻度取引）・アルゴリズム取引（自動売買）や各種バスケットトレードに関する分析も検証しながら研究を行っている。

そのために、先行研究論文のサーベイを行いながら、セルサイドブローカーのレポートなども積極的に利用し研究を進めている。これにより、自分では発見できなかったような **Trading Opportunity** を発見できればそれを発展させて自分の経験をあわせることにより更なる発展が期待できる。

研究方法は、主に過去の株価の推移と取引所の取引システム及びルールの関係性を明らかにするために、統計的なデータ解析や確率モデルを使ったシミュレーション分析が中心となっている。そして、この実証分析に先だって、資産価格理論やマーケットマイクロストラクチャー分野の研究サーベイを実施し、分析のためのモデル候補を現在選定している。

本研究は、自己の職務経験で得たアイデアを取り入れる点において、従来の効率的な市場を前提とする研究とは、その目的や方法、期待される成果について大きく異なるものである。それ故に期待される成果が得られないというリスクも認識しているが、実務経験上特に重要と思われる取引収益機会（トレーディング・オポチュニティ）に注目した分析から優先的に着手し、実際に利用できる形での研究成果を出すことを目指し、徐々に汎用的で体系的な結果を導き出すように努力を継続していきたい。

反応拡散系の自己組織化機構を利用したメッシュ生成手法の開発



山口将大 YAMAGUCHI Masahiro

所 属：大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士後期課程 1 年

チームフェロー：指導教員 上山大信（シミュレーション班），
三村昌泰（数理解析班），中垣俊之（モデリング班）

研 究 課 題：生物のパターン形成過程にヒントを得た新しい応用モデルの構築

研究概要

反応拡散系の自己組織化機構を利用したメッシュ生成手法の開発

反応拡散系が持つ自発的なパターン形成の性質を利用して、新たなメッシュ生成手法を開発した。反応拡散系の一種である Gray-Scott モデル(GS)は、あるパラメータにおいて、計算領域の形状に適応した等間隔なスポットパターンを生じる。また、拡散係数を空間非一様とすることで、スポットの間隔を連続的に変化させることができる。このスポットを節点として解析領域を分割することにより、偏微分方程式の数値解法である有限要素法(FEM)に用いるメッシュを生成することができると考えた。この手法の利点は複雑形状に適応し、かつ任意座標において要素の大きさをコントロールしたメッシュを統一的なプログラムで生成できることにある。また計算領域を拡大すると、そこに自発的に新たなスポットが生じるので、解析領域の拡大変形に適応するメッシュ生成法ともなりうる。このような反応拡散系が持つ自己組織化機構を利用し、2次元空間の任意形状に対する三角形要素分割法を開発した(図1)。なお、本研究で得られた成果は日本応用数理学会 2010 年度年会にてポスター発表を行い「最優秀ポスター賞」を受賞した[1]。

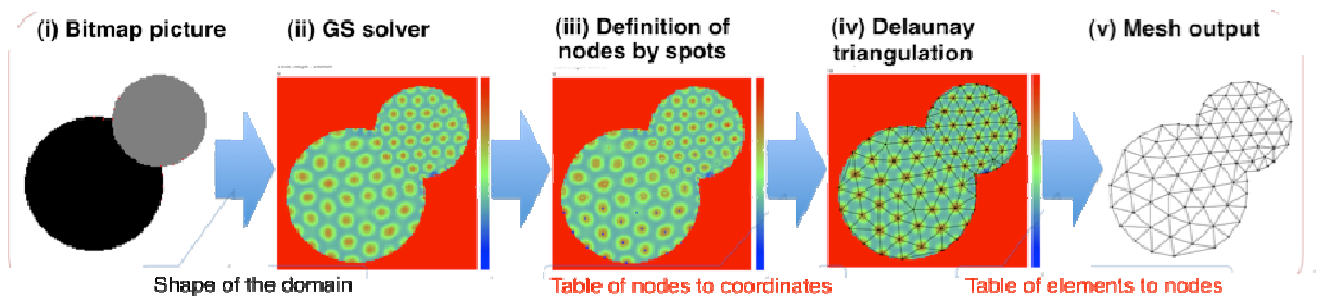


図1 メッシュ生成の手順概要

[1] 日本応用数理学会 第1回 若手優秀ポスター賞 (2010 年度)

<http://www.jsiam.org/modules/xfsection/article.php?articleid=82>

Asymptotic behavior of solutions of reaction-diffusion equations



陳彦宇 CHEN Yan-Yu

所 属 : 大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士後期課程 1 年

チームフェロー : 指導教員 二宮広和 (数理解析班),

三村昌泰 (モデリング班), Guo Jong-Sheng (シミュレーション班)

研究課題 : 反応拡散系に現れるパターンの数理的特徴付け

研究概要

Many physical/chemical phenomena are represented by the partial differential equations. Among them I am interested in the reaction-diffusion systems, which includes the kinetic dynamics and diffusion process as follows:

$$u_{j,t} = d_j \Delta u_j + f_j(u) \quad (j=1, \dots, m) \quad (\text{RD})$$

This system looks simple, but it is important to study the behavior of solutions. For example, the dynamics of tissue formation and angiogenesis is also represented by a couple of reaction-diffusion equations with three components.

To reveal the dynamics of solutions of (RD) we need to study the attractor because all solutions converge to the attractor. It is difficult to investigate the attractor of the reaction-diffusion system in general. So we consider the simplest case as the first step. Now we are treating the following reaction-diffusion equation on R :

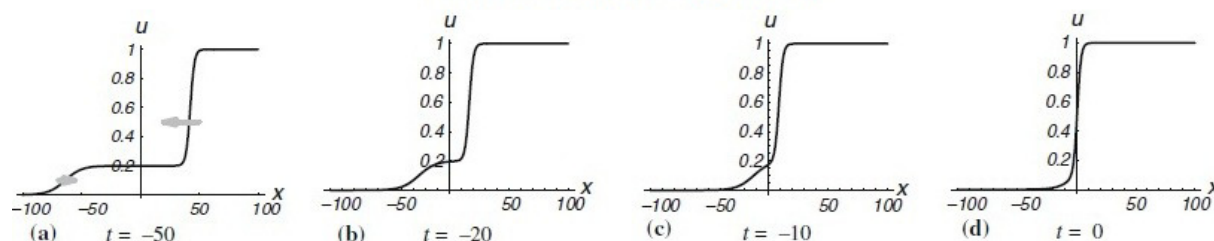
$$u_t = u_{xx} + f(u) \quad (\text{AC})$$

which is called Allen-Cahn equation. Here $f(u)$ is C^2 on an open interval containing $[0,1]$ and

$$f(0) = f(a) = f(1) = 0, \quad f'(1) < 0, \quad f'(0) > 0.$$

The equation possesses three homogeneous stationary solutions: 0, a , 1. The two equilibria are stable, one is unstable under the flow by the ordinary differential equation. The several types of traveling wave solutions are already known. They belong to the attractor of (AC). Now, we are trying to construct the new type of the entire solution of this equation. In professor Ninomiya and Morita's work, we know the existence of entire solutions with merging two fronts. Here, we show that one of the dynamic of this entire solution.

Entire solution with merging two fronts



In fact, there are other kinds of entire solutions. We expect there are entire solutions with merging three fronts or four fronts. Through studying the entire solution, we can obtain more information about the structure of the attractor. As the next step, we will apply this method to the reaction-diffusion systems. Furthermore, the result can help us to understand the pattern in the reaction-diffusion system more clearly.

スマートグリッドシステムに関する 情報セキュリティ基準の開発



傅愛玲 POH Ai Ling Amy

所 属 : 大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士後期課程 1 年
 チームフェロー : 指導教員 向殿政男 (モデリング班),
 三村昌泰 (数理解析班), 杉原厚吉 (シミュレーション班)
 研究課題 : スマートグリッドの情報セキュリティシステム

研究概要

研究の意義: A smart grid can help utilities conserve energy, reduce costs, increase reliability and transparency, and make processes more efficient. The increasing use of IT-based electric power systems, however, increases cyber security vulnerabilities, which increases cyber security's importance. This project looks into the security system of Smart Grid via Smart Planet system, focused on the selection of the model in developing information security criteria on smart grid. The importance of information security criteria is the main aspect perceived to impact customer trust towards the entire smart grid system.

目的: When the information is shared real-time between power generator, distributed resources, service provider, control center, substation, even to end-users, any changes expose to hacker's attack would bring the whole system down to mess. This will dangerously create consumer distrust and dissatisfaction that may lead to other more destructive phenomenon. This project identified the criteria that could enhance information security system of a smart grid project and discussed about the impact and significance of each requirements identified.

内容: In order to realize the Smart Grid, data are gathered from large numbers of intelligent sensors and processors installed on the power lines and equipment of the distribution grid. These data collected will be transferred to central information processing systems which both present the information to operators and use the information to send back control settings. While information and communication seems to be much more importance compare to decades ago, the system has to be mightily strong to protect itself against hacker's attack. This project explains the importance of information security and the information security's impact on consumer trust and satisfaction in a mind mapping portrayed in the figure at the bottom.

期待される成果: Design to prove that there is a significant positive relationship between the consumer requirement and functional requirement elements with the help of fuzzy logic value which would serve to eliminate ambiguity during data insertion and validation. The project takes aim to reveal the significant information security criteria in a smart grid that would impact consumer's trust and satisfaction towards the entire system.

