



1. 檜脳粒に見られる集団運動の解析 2. IPMCActuator に見られる屈曲運動の解析

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

明治大学大学院先端数理科学研究科特任講師

専門・学位：数学，博士（理学）・東北大

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) 檜脳粒に見られる集団運動の解析

水に浮かべた檜脳粒は、適当な条件の下では自発的に運動をすることが知られている。この現象はモデル方程式における分岐現象として捉えられ、進行波解によって特徴付けられる。実はこの檜脳粒を複数個水面に浮かべると集団運動を始めることが知られている。特に、1次元的な水路では檜脳粒の個数に応じて、空間的に粒子密度が異なる状態、いわゆる「渋滞現象」が観察できる。この現象も分岐解として特徴付けられることが期待されているが、直接解析を行うことは非常に煩雑であり難しい。そこで、モデル方程式を簡約化することが重要である。本研究では、モデル方程式に中心多様体論を適用し、反応拡散方程式を基礎とする偏微分方程式系を常微分方程式系に縮約することに成功した。これにより、モデル方程式における進行波解の分岐解析を行うことが容易になった。実際、任意のパラメータに対して線形安定性解析を行い、分岐解の構成に成功した。

(2) IPMCActuator に見られる屈曲運動の解析

プラスチックをベースとした電気で駆動する高分子アクチュエータは、金属製のモータなどと違い軽量で柔軟であり、人工筋肉の有力候補でもある。高分子アクチュエータの1つとしてイオン導電性高分子・貴金属接合体(Ionic Polymer-Metal Composite : IPMC)がある。IPMCはフッ素系イオン交換樹脂膜の表面に金や白金などの貴金属を接合したもので、その接合体に対して1~2V程度の低電圧を加えることで高速に屈曲する。しかしながら、アクチュエータがどのようなメカニズムで屈曲するのかは明らかになっていない。本研究は、銀メッキを施したSelemion IPMCの低湿度条件下における屈曲運動を調べ、弾性体モデルを適用することで運動の再現に成功した。さらに、アクチュエータの屈曲において、銀の酸化還元反応が最も重要なことが示唆された。通常の屈曲運動では、アクチュエータ内部で分極が起こることが重要であると言われているが、我々が得た結果はこの指摘とは異なるものである。したがって、IPMCやメッキの種類によって、屈曲運動には様々なメカニズムが存在することが分かった。

生物・無生物の集団が形成する 秩序パターン



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
明治大学大学院先端数理科学研究科特任講師

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

1. 化学濃度場で結合した自己駆動粒子の集団運動

樟脳粒は水面における樟脳濃度勾配に起因して自発的に運動するため、複数の粒が存在すると樟脳濃度場を介して相互作用する。本研究では、円形の水相表面に複数の樟脳粒を浮かべ、その集団運動を観察・解析した。粒の直径および数に依存して、連続運動、間欠運動、停止の3種類の運動挙動を確認した (Fig. 1)。また、間欠運動において、数が多いほど速い運動のタイミングが同期する現象が認められた (Fig. 2)。この間欠運動は、樟脳濃度場を介した粒同士の斥力相互作用が運動を抑制する効果（停止状態）と、熱ゆらぎによる樟脳粒の運動および濃度場の不均一性に誘起される粒の運動で成り立っていると考えられる。

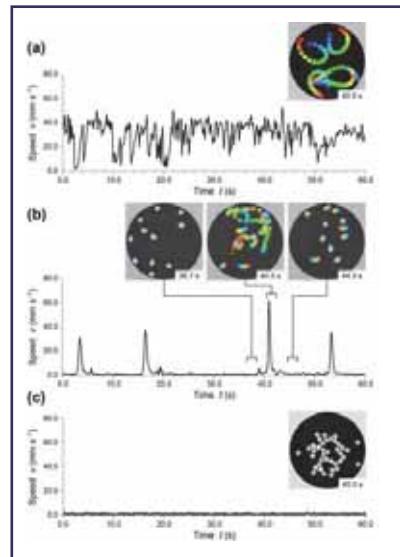


Fig. 1 3つの集団運動

2. 光応答性微生物の集団パターンの制御

負の走光性を示すミドリムシの培養液を薄く広げ、下から均一に光を照射

すると、生物対流が形成される。照射光の強度を周期的に振動させると、一度形成された局在対流パターンが外側に広がりながら消滅し、新たに小さな局在対流パターンが再構成された (Fig. 3)。照射光の周期 (20 s) は、対流内をミドリムシが一周するのにかかる時間とほぼ同じであることから、外部の光周期と対流周期の結合により生みだされた特異的な挙動であると考えられる。

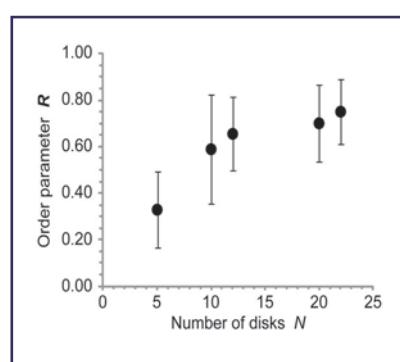


Fig. 2 同期現象

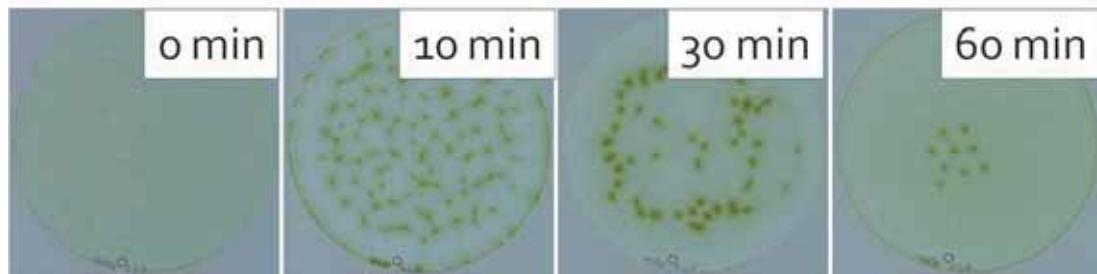


Fig. 3 時間周期的な光照射 (Light: 15 s, Dark: 5 s) で形成された生物対流パターン。

時系列・時空間解析手法の開発と社会に かかわる工学・経済学分野への応用



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
明治大学大学院先端数理科学研究科特任講師

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、時空間解析手法の一つである逐次データ同化手法については、地盤工学分野への応用をこれまでに引き続き行うとともに、手法面での整理を進め、新しい手法を整備した。また、経済時系列解析として、国債利回り変動の解析を大学院生と共同で行った。

数値シミュレーションと観測データを統合するデータ同化については、これまで、従来からの適用分野である気象・海洋学分野以外の分野にも適用対象を広げてきた。近年行ってきた地盤工学分野への適用については、学外の研究者とともに手法を開発してきたが、本年度は、これらの成果の発表を行うとともに、新しい手法の開発も行った。特に、データ同化と統計的モデル選択を組み合わせることで、計測器配置にかかるコストを考慮に入れた最適計測点配置手法について検討を進め、定式化を行った。これは、今後増えていく社会インフラ更新における、更新の優先順位づけやそのためのモニタリングに関する新しい考え方につながると期待される。

経済時系列解析については、大学院生である井上総一郎氏とともに、KM2O-ランジュヴァン方程式論の異常解析をさまざまな残存期間の国債利回り時系列に網羅的に適用した。その結果、利回り時系列の異常が出る時期が、短期の残存期間のものと長期の残存期間のもので異なる時期に出る傾向にあること、すなわち、異常発生時点に関する残存期間別のクラスタ構造があることを発見した。これに基づいて解析対象期間を数種類の期間に分類し、その背景についての考察を進めた。KM2O-ランジュヴァン方程式論は、モデルリスクを可能な限り排除するような仮定を置きながら解析を進めていく手法であり、従来手法では見つからなかったような時系列の特性に関する分類が可能となった。今後は結果の評価と解釈をさらに進めていくことになる。

これらの成果の他、データ同化については、感染症伝播モデルへの適用について検討を進めた。時系列解析については、音楽情報処理に関する前年の若手プロジェクトの成果を整理して、大家・徳永両氏との共著国際会議録として発表した。

非一様興奮場における スパイラル波の発生メカニズム



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

興奮性媒体におけるスパイラル形成は幾つかの生物システムにおいて見られ、システム維持のための機能を担う面もあれば逆にシステム崩壊に至る場合もある。前者の例としては、ハチ (*Apis dorsata*) が巣の防御のために巣表面上で振る舞う集団的な防御行動があり、後者の例としては心臓において現れるスパイラル波（スパイラルリエントリー）が上げられる。このような現実の興奮系においては多くの場合、空間的な非一様性が存在しスパイラル波の発生に寄与している可能性がある。

そこで、本研究では空間的な非一様性が興奮場における電位伝播に与える影響に着目し、特にスパイラル波が発生するメカニズムを数値計算と実験により明らかにした。なお、本研究は共同研究であり数値計算については私と立石恵大氏（明治大）が担当し、実験については岩本真裕子氏（明治大）、末松 J. 信彦氏（明治大）が担当した。我々は特定のシステムと言うよりむしろ空間的に非一様な興奮性媒体において現れる普遍的な特徴を明らかにする事を目的とし「光感受性 BZ 反応系」、「離散 FitzHugh-Nagumo モデル (D-FHN)」、「Cellular Automaton モデル (CA)」の 3 つの手法を用いスパイラル波の形成メカニズムについて調べた。まず、実験系として空間的に非一様な興奮性を持つ光感受性 BZ 反応系を構築し興奮波の伝播を調べた結果、波の伝播を一方向からのみ許すパスの存在がスパイラル波の原因となる事を見つけた。さらに、2 値の結合強度をランダムに割り当てた 2 次元離散 FHN モデルを用い光感受性 BZ 反応系と同様にスパイラル波が発生する事を確認し一方向性を持つパスの存在がその原因となってる事を見つけた。また、CA モデルにおいても上記の結果を支持する結果を得た。これら 3 つの結果は光感受性 BZ 反応や D-FHN モデルの非線形ダイナミクスと空間的な非一様性の相互作用により一方向なパスが出現する事を示唆しており、非一様な興奮場においてスパイラル波を生み出す原因として一方向性を持つパスが重要であるという事を意味する。

生物形質・不連続分布の進化： 連續的資源に対する選好性が及ぼす 影響の検証



岡嶺亮子 OKAJIMA, Ryoko

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：数理生物学，博士（生命科学）・東北大学
研究内容：数理生物学，理論形態学，バイオメカニクス

研究概要

生物の形質はしばしば不連続に分布している。この生物不連続性は、生物多様性や種分化において重要な現象であり、非常にさまざまな研究が成されてきた。近年、この不連続分布の生成機構として、従来言われてきた制約や競争に加え、機能におけるトレードオフの重要性が明らかとなっている。では、複数の適応的形質に特化したスペシャリストによる不連続分布において、ジェネラリストは進化するのだろうか。もし進化するとすれば、多様な斜度の表面を這うジェネラリスト的な種は、特異的な斜度の表面を好むスペシャリストに対してどのような形態へと進化するのか。更にそのような種がいることは、個体群全体の分布にどのような影響をもたらすのかを研究した。

本研究では不連続分布の一例として、陸生巻貝の殻形態に焦点をあてた。陸生巻貝の殻形態は、それぞれが移動する表面上で良いバランスを持つように進化していることが知られている。各表面への選好性および選好性の幅に対して、適したバランスを持つ形態を推定した。まず、ラウプモデルを用いて、多様な殻形態を理論的に評価した。そして野下らのプログラムを用い、それらさまざまな形態の殻がもつバランスを求めた。

その結果、陸生貝殻形態の頻度分布における二つのピーク（横長と縦長の殻形態）の間にくるような貝が、ジェネラリストとしては長けていることが示された。そして、横長の貝について、地上性の貝と樹上性の殻形態を比較したところ、樹上性のものの方が有意に大きな縦横比をもつ（より丸い形状である）ことが明らかとなった。以上の結果より、水平もしくは垂直な面に特化したスペシャリストに対して、樹という環境に存在する多様な資源に適したジェネラリストが存在することが支持された。

量子ウォークの現象数理学的研究



町田拓也 MACHIDA, Takuya

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，博士（工学）・横浜国立大学

研究内容：数学一般（含確率論・統計数学），量子ウォーク

研究概要

ランダムウォークの量子版と考えられる量子ランダムウォーク（以下、量子ウォーク）は、これまでに量子コンピュータ（アルゴリズム）の基礎理論構築を背景にして、活発に研究されてきた。ランダムウォークやブラウン運動が、拡散現象、ロボット制御、確率的探索アルゴリズム、生物の進化モデル、株価の変動予測など、物理学、工学、情報理論、生物学、経済学など様々な分野で現象を記述して、重要な役割を担っているように、量子ウォークも同様な効果が期待されている。量子ウォークの確率分布はランダムウォークのそれとは大きく異なる。

本研究では、1次元格子上の離散時間量子ウォークの長時間後の漸近的な振る舞いを捕らるために、いくつかの具体的な量子ウォークのモデルに対し極限定理を導出した。中心極限定理がランダムウォークの長時間後の漸近挙動を表しているように、極限定理は量子ウォークにおいても同様な役割を果たす。研究方法としては、フーリエ変換を用いて、時間発展作用素であるユニタリ行列の固有値解析を行う方法を用いた。実験的に長時間後の状態を観察することが難しい量子ウォークにとって、極限定理は重要である。

格子上のランダムウォークの研究では、原点から出発するランダムウォークがしばしば注目され、これと同様に量子ウォークも原点に局在化した初期状態で出発する場合が注目される。このような局在化した初期状態で出発する量子ウォークに対する長時間極限定理は2002年以降、数多く導出してきた。

一方、本研究結果のひとつでもある極限定理の結果は初期状態が局在化していない場合であった。非局在化した初期状態をもつ量子ウォークの極限分布は、興味深い様々な極限密度関数を生み出すことが分かった。古典確率論でも様々な分野で現れる、Gauss分布、Wigner半円則、逆正弦則、そして一様分布なども一次元格子上の量子ウォークの非局在化した初期状態を制御することにより長時間極限にて実現可能であることが分かった。Gauss分布、Wigner半円則、逆正弦則は量子確率論でも量子中心極限定理の密度関数として現れる。この結果は、量子ウォークと量子確率論の関係を探る上でのきっかけになるかもしれない。

また、一様分布は一様乱数の生成への応用が期待できる。コンピュータ・サイエンスの世界では、一様乱数の生成アルゴリズムは大きな研究テーマのひとつである。これはp量子計算による一様乱数生成可能性を示唆する結果でもあり、同時に、量子力学に基づく現象で一様乱数を生成するために一考すべき理論結果とも言える。



フラクタル反応理論の生態学への適用

八島健太 YASHIMA, Kenta

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：数理生物学・物理学、博士(工学)・慶應義塾大学
研究内容：数理生物学（理論疫学）、物理学（半導体物理）

研究概要

従来の数理生態学では、環境の不均質性を扱うための理論的枠組みとして、正常拡散を仮定し質量作用則を用いてきた。しかしながら、環境の不均質性に伴い個体の移動パターンが異常拡散を示す際には、このような理論的枠組みは十分ではなく、フラクタル反応理論を用いた定式化の必要性が、不均質溶媒中における化学反応の知見から、示唆されている。

本研究では、これらの植物病虫害を念頭においていた病害虫と被害植物からなる個体群動態の数理モデルを作成し、フラクタル反応理論に基づいた理論解析の有効性を検証した。具体的には、格子モンテ・カルロ法を用いて環境の不均質性を直接取扱った数値シミュレーションを行い、それとフラクタル反応理論から理論的に計算される病虫害の侵入条件を、基本増殖率を用いることで評価し、環境の不均質性の効果を考慮できているかを調べた。

まず、環境の不均質性を直接扱える格子モンテ・カルロ法を用いて、病害虫および被害植物からなる個体群動態の数値シミュレーションを行うことで、不均質な環境下での病害虫の移動パターンを評価した。計算格子上に植物を配置し、植物およびその周辺が病害虫にとり好適な領域と設定した。ここで、環境の不均質性を特徴付けるパラメーターとして好適な環境の割合 p とその空間配置の相関の大きさ η を用いる。数値解析の結果、病害虫の移動パターンは p および η の増加に伴い、移動個体の平均二乗変位が経過時間に対して線形增加よりも小さくなる異常拡散を示した。このことより、病害虫の植物への定着プロセスにおいてフラクタル反応が生じていることが理論的に示唆された。

このことから、植物病虫害モデルを作成し、病害虫の植物への定着プロセスをフラクタル反応理論にて定式化を行った。これにより、環境の不均質性を考慮した病虫害の基本増殖率を明示的に書き下すことができ、実際に常微分方程式を用いた植物病虫害モデルにおいて侵入条件を記述できることを示せた。今後は、格子モンテ・カルロ法における不均質環境下における病虫害の侵入条件および伝播速度を、フラクタル反応理論を用いて記述できないかを行っていく予定である。これまでの成果は、2012年6月の個体群動態理論の国際シンポジウム（京都大学）、2012年10月のRIMS研究集会（京都大学）、2013年2月のBiophysical Society（Philadelphia, USA）等にて研究発表を行った。

1. Exact solutions of a Morisita-Shigesada system: periodic stationary solutions and sharp wavefront solutions

2. Blow-up in reaction-diffusion systems under Robin boundary conditions



洪立昌 HUNG, Li-Chang

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, Ph.D. National Taiwan University
 研究内容：反応拡散系の進行波解, 偏微分方程式の厳密解と半厳密解

研究概要

1. Exact solutions of a Morisita-Shigesada system: periodic stationary solutions and sharp wavefront solutions

Under the condition that the population disperses to areas of lower density faster as the population gets more crowded, the Morisita-Shigesada system of three species is considered instead of the classical Lotka-Volterra system. Motivated by the results in [3] and the approach adopted in [5], exact periodic stationary solutions and sharp wavefront solutions for the Morisita-Shigesada system of three species are constructed. In addition, certain numerical simulations of the Morisita-Shigesada system of three species and of two species are also included.

When the nonlinear diffusion terms are replaced by the linear diffusion terms, the scaled Morisita-Shigesada system becomes the classical competitive Lotka-Volterra system.

To the best of our knowledge, very little is known about the existence of solutions for the competitive Lotka-Volterra system of three species. Under certain restrictions on the parameters, however, the question whether traveling wave solutions of the competitive Lotka-Volterra system of three species exist or not is answered affirmatively in [1, 2] by constructing exact solutions. Also, some interesting numerical results are given there. In general, one of the difficulties in tackling this question arises due to the failure of the maximum principle for system the competitive Lotka-Volterra system of three species. As a result, the method of sub- and supersolutions generally is not available for constructing solutions to the competitive Lotka-Volterra system of three species. Furthermore, when phase plane analysis is used to find solutions of the Morisita-Shigesada system of three species, it is necessary to deal with a system of six ODEs. We note however that, by means of explicit construction of solutions from solutions for the heat equation, it can be shown that three new types of solutions exist for the competitive Lotka-Volterra system of three species ([4]).

The main purpose of our study is to show that, motivated by the results in [3], periodic stationary solutions and sharp wavefront solutions can be found by virtue of the approach adopted in [5]. Also, this approach provides an alternative to obtain such two solutions, which are given in [3].

Since in [2], under certain conditions on the parameters, we find numerically and explicitly the traveling wave solution of the competitive Lotka-Volterra system of three species having the profiles with $u(z)$ being increasing (respectively, $u(z)$ being decreasing) in z , $v(z)$ being decreasing (respectively, $v(z)$ being increasing) in z , and $w(z)$ being a pulse. It is natural to propose the following problem for the nonlinear diffusion case, i.e., for the Morisita-Shigesada system of three species, does there exists a solution with similar profiles? We show that this question is answered affirmatively by giving numerical experiments.

2. Blow-up in reaction-diffusion systems under Robin boundary conditions

We apply the differential inequality technique of Payne et. al to show that a reaction-diffusion system admits blow-up solutions, and to determine an upper bound for the blow-up time. For a particular nonlinearity, a lower bound on the blow-up time, when blow-up does occur, is also given.

The physical meaning of the Robin boundary conditions can be explained as follows. Suppose that u and v represent temperature, and are governed by the equations in our problem. Then the Robin boundary conditions mean that the heat flux on the boundary of the domain are proportional to the temperature u and v on the boundary of the domain, respectively. Due to the Robin boundary conditions, it follows that the larger the heat flux is, the smaller the temperature is. We note that, from the biological point of view, the temperature and the heat flux can be substituted respectively to population density and population flux. In other words, the larger the population flux is, the smaller the population density is. As a consequence, when the population flux on the boundary is large, the population density on the boundary is small. The low density of u and v on the boundary then may result in the blow-up of u or v since the large flux flows into the domain but on the boundary of the domain, the density of u and v are restricted to be small. Therefore, u and v are may be forced to aggregate together so that blow-up occurs.

References

- [1] C.-C. Chen, L.-C. Hung, M. Mimura, M. Tohma, and D. Ueyama, Semi-exact equilibrium solutions for three-species competition-diffusion systems, Hiroshima Mathematical Journal, 43 (2013), pp. 179–206.
- [2] C.-C. Chen, L.-C. Hung, M. Mimura, and D. Ueyama, Exact travelling wave solutions of three-species competition-diffusion systems, Discrete Contin. Dyn. Syst. Ser. B, 17 (2012), pp. 2653–2669.
- [3] M. Guedda, R. Kersner, M. Klincsik, and E. Logak, Exact wavefronts and periodic patterns in a competition system with nonlinear diffusion, manuscript.
- [4] L.-C. Hung, Diffusion-induced long-term coexistence: constructing solutions for a diffusive lotka-volterra system from solutions of the heat equation, submitted.
- [5] L.-C. Hung, Exact traveling wave solutions for diffusive Lotka–Volterra systems of two competing species, Jpn. J. Ind. Appl. Math., 29 (2012), pp. 237–251.

The earthquake prediction based on focal mechanism



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 this study, we tried to predict the occurrence time and magnitude of aftershocks based on the information of past occurrences. This work was collaborated with Professor Ah-Hin Pooi of the Sunway University of Malaysia. We studied in detail the aftershock data of the great Wenchuan earthquake that occurred in 2008, China. In this work, the data in which we included the information not only the occurrence time, but also the depth of plane, magnitude, the azimuth, dip and slip angles of the moving plane. We fitted those variables to a multivariate powered normal distribution and then calculated the conditional densities of the time between two consecutive occurrence and magnitude of an event given the past history. The conditional densities allowed us to find the confidence intervals of the prediction of the time elapsed before the next occurrence and the magnitude of the next occurrence. As a result, it showed that the model gave a good model if we included the information up to lag 4, which produced prediction interval and coverage length of time and magnitude are, which are 96% and 1.38 days, 98.5% and 1.78Ms, respectively. We also applied the lag 4 model of Wenchuan data to Tohoku earthquake, which gave a prediction on the occurrence of time gaps and magnitude of Tohoku earthquake (2011) with accuracy of 84% and 86%, respectively. This result implied that we could predict the aftershock of one place by using the historical earthquake data of other places. The result of this study is published at ScienceAsia (2013, 39S, 6-10, doi: 10.2306/scienceasia1 513-1874. 2013.39S.006).

Besides that, I also studied with Prof. J. Zhuang of the Institute of Statistical Mathematics the semi-parametric solution to estimate the intensity (hazard) function of the modulated renewal processes: a non-parametric estimate for the baseline intensity function together with a parametric estimate of the model parameters of the covariate processes. Based on the martingale property associated with the conditional intensity, we constructed a statistic from residual analysis to estimate the baseline renewal intensity function, when the model parameters of the covariate processes are known. 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. For illustration, we applied the proposed estimation procedure to data simulated from a gamma renewal process and the aftershock data of the Wenchuan earthquake. The result has been written as a research paper which is now under revision.

環境に依存した自己駆動粒子の運動の理解と制御



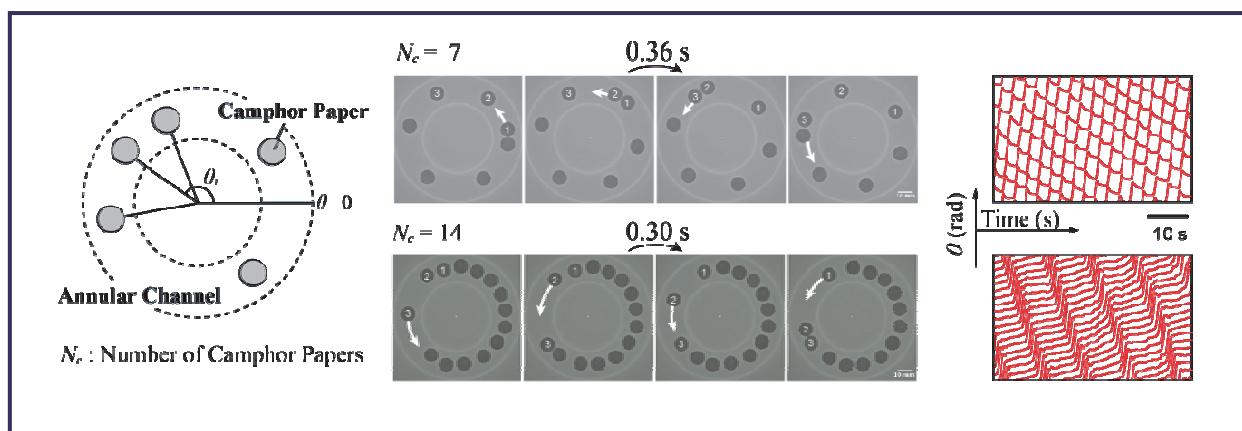
参納弓彦 SANNOU, Yumihiko

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：現象数理学、博士（理学）・金沢大学
 研究内容：非線形自立運動素子の運動解析と制御

研究概要

界面活性剤の一種である樟脳塊を水に浮かべると水面を自走します。この現象は、界面活性剤の一つの特徴である水の表面張力を低下させる効果によって生じると知られています。つまり、樟脳分子が水面に展開した際に、樟脳塊のある位置を中心に局所的な表面張力の低下が生じ、結果として樟脳塊は表面張力が高い方へ移動するのです。自分自身が引き起こす表面張力変化によって駆動する粒子(自己駆動粒子)に関する最初の報告は、イギリスのレイリー卿によるもので 100 年以上も過去に遡り、以来、自己駆動粒子は生命が持つ分子モータを模倣する画期的な動力として注目されてきました。また、この様な分子モータを利用して構築された非生命系を理解することは、系自身が持つ性質を知ることができ、生命活動の解明へ繋がると期待されています。

今回、我々は樟脳により駆動する自己駆動粒子の一次元的な集団挙動について調査し、この系が持つ性質について実験的な視点から見解を示しました。具体的には、環状水路上^{*1}にろ紙樟脳^{*2}を複数浮かべたとき、その数に依存して異なる 2 つの集団挙動が存在することを見出しました(下図)。これらの挙動の分類を行い、発生機構の違いを水面に展開する樟脳分子の密度と関連付けて示唆しました。特に、本研究にみられる水路に沿って玉突きの伝播が続く運動の報告は樟脳系ではこれまでになく、この系についての理解は集団挙動に対して新しい知見を与えると考えられます。



ろ紙樟脳による環状水路での集団挙動。水路上のろ紙樟脳の数に依存して集団挙動が変化する。ビリヤードの玉突きのような挙動と、渋滞のような挙動が観測できる。

*1. テフロン板上にリング状のプラスチックフィルムを乗せそこに水を注ぐと、水はテフロンにはじかれリング状プラスチックフィルム上に集まる。これを環状水路とした。

*2. ろ紙の目に樟脳分子を組み込んだものをろ紙樟脳と名付けた。樟脳塊と同様に水上で自走する。

アメーバ様細胞のシミュレーション



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

地球上の生物はウィルスを除けばすべて細胞で構成されている。細胞には自ら運動が可能なものが多いため、例えば大腸菌は、菌体から生えている鞭毛を回転させて推進している。真核生物であるゾウリムシは体にビッシリと生えた纖毛で遊泳する。水中を泳ぐ大腸菌やゾウリムシとは対照的に、動物の免疫細胞などは、何らかの足場に張り付いて運動している。これらの細胞は時にアメーバ様細胞と呼ばれ、不規則に変形しつつ動く。動物ではない細胞生粘菌の細胞などもアメーバ的に運動する。細胞生粘菌のいくつかの分子は動物とほぼ同じものであることから、アメーバ様細胞の運動方式は動物が進化する以前からほぼ完成していたと思われる。これらのアメーバ様細胞は何らかの分子濃度を感知すると濃度勾配に従って動くことが多く、これをケモタキシスという。私がおこなったアメーバ運動のシミュレーションは、細胞はケモタキシスだけでなく、もっと賢い運動ができる事を示した。図1のように細胞とシグナル物質発生源を仮定する。細胞とシグナル発生源の間には壁があり、シグナル物質はこの壁を透過できるが細胞は通ることができない。細胞がシグナル発生源に到達するためには迂回しなければならないが、はたして細胞にそのようなことができるのだろうか？シミュレーションは、細胞にはそれが可能であることを示している。壁を超えないことをしばらく覚えていて、壁のない方向にランダムに動くことにより最終的に迂回路を発見できる。

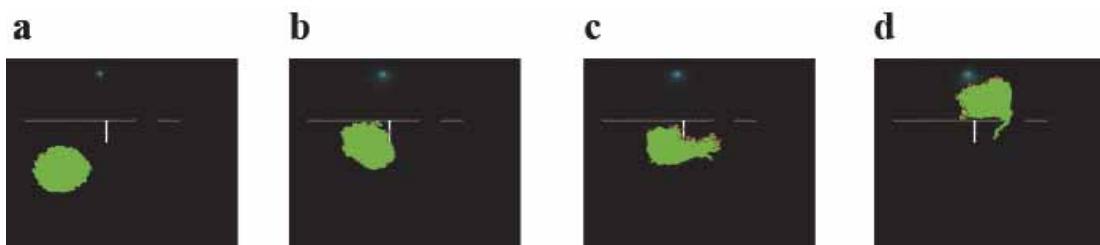


図1 細胞は緑で、シグナル分子は青で表示されている。細胞は壁（白及び黄）を通り抜けることはできない。**a,b:** 細胞は壁で阻まれてシグナル発生源にたどり着けない。**c,d** しかし、最終的に迂回路を発見する。

実証的に有効なJGB価格付けモデルと 金融危機時の金利の期間構造分析



土居英一 DOI, Eiichi

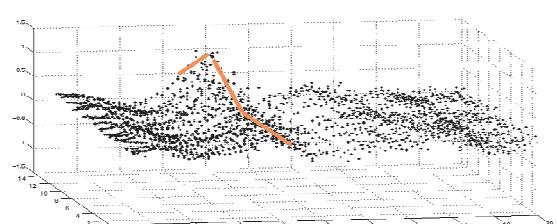
所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理学専攻博士後期課程3年
 チームフェロー：指導教員 刈屋武昭（モデリング班），
 砂田利一（数理解析班），王京穂，山村能郎（シミュレーション班）
 研究課題：社債データによる業種・格付け別倒産確率の期間構造と
 回収率の推定モデルの実証

研究概要

国債（JGB）価格付けモデルの割引率を表現するものとして金利の期間構造¹⁾は有用であり、特にゼロカーポン債の割引率を表現するものとして表現される。その情報は、基本的に各時点の国債価格全体にある。実際には、多くの国債はカーポン債であり、価格も含めた国債全体の価格の背後にある「²⁾全体の」³⁾として表現される。この「²⁾」の導出の仕方も、個別銘柄属性をどの程度考慮するかで結果は大きく異なる。無裁定価格理論では、個別銘柄の属性を無視し、割引債を前提としてスポットレートモデルやフォワードレートモデルなどの特定なモデルによってモデル化し、可能なら解析的に割引率を導出し、未知パラメータをデータから推定する。前者の代表的なモデルはCJRモデルであり、後者の代表的なモデルはHJMモデルである。他方、本研究でのモデルは、銘柄属性を積極的に考慮する刈屋(1995)、Kariya and Tsuda(1994)によるモデル化を基礎とする。その結果、個別銘柄の数自体が資産数となり、非完備な状況を最初から設定することになり、リスク中立測度は一意的に存在しないのであるから、実測度のもとでの評価を対象とする。さらに特定なモデルを前提とせずに個別銘柄属性を考慮したフォワードレートの期間構造表現による割引率を平均値とそこからの乖離に分解し、前者を多項式近似し、乖離の部分には確率的な相関構造を想定して一般化最小二乗法により統計的に処理する（図表1）。国債価格情報は、景気変動についての投資家のフォワードルッキング⁴⁾な評価として将来動向を潜在的に表現した情報の集合として捉えることができるという考えに基づく。更に本研究では、これらの実証として金融危機時周辺のデータを使用し導かれた6次の多項式により近似される平均割引率関数を提案すると伴にゼロイールド等を叙述（図表2）。

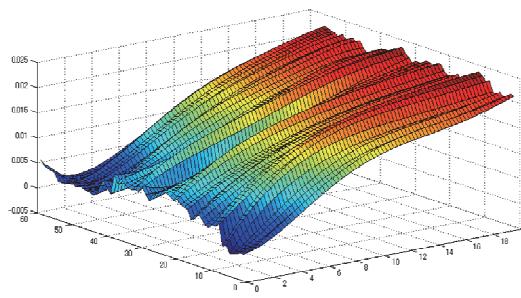
図表1

金融危機時の個別銘柄の残差パフォーマンス



図表2

金利の期間構造



弱小種の侵入による競争緩和共存に起因するパターン形成に関する研究



藤間真 TOHMA, Makoto

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理学専攻博士後期課程3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

複数の生物種が相互関係の結果、どのような時間的空間的様相を示すかという問題は、生態学において重要な問題である。この問題において、重要な経験則はロシアの生態学者 G. F. Gause によって提唱された「競争排他律」である。競争排他律は、同じ生態学的地位にあって競合する二種の生物は共存できないと主張する経験則であり、Gause 自身の実験や、Lotka-Volterra 型と呼ばれる数理モデルで確認されている。しかし、現実の自然界では複数の生物種が競争しながらも共存している。報告者は、この「競争緩和共存」状態について、「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」という視点から、数理モデルを通じた理解を目指している。

過年度より、競合する三種をモデル化した三種競合 Lotka-Volterra 型反応拡散モデルにおいて、空間の効果を考慮しない場合には共存できないにも関わらず、拡散の効果を導入することによって動的共存状態が発生する場合について研究を進めてきている。特に、二種が競合しながら拡散する状態に弱い第三種が侵入することによって発生する動的共存状態の発生メカニズムについて研究している。過年度、三変数すべてに関わるヘテロクリニックな一次元非自明安定進行波の存在が、回転する螺旋状の共存状態の一つの必要条件となることを数値的に示した。それをふまえ、一次元安定進行波解の二次元的組み合わせに着目して研究を進めた。着目しているパラメータ領域では、安定な一次元進行波解として、侵入第三種の存在しない二種ヘテロクリニック進行波と、侵入第三種が既存二種に挟まれたプロファイルをした三種ヘテロクリニック進行波の二つが存在する。そして、二種進行波の方がわずかに速い場合には三種進行波に追いつく形で安定なホモクリニック進行波解を構成できるが、三種進行波の方が速い場合には追突時に消滅するので構成できることを数値的に示した。更に、安定進行波が正面衝突時に消滅すること、二種進行波が三種進行波より十分速い場合には、追突時に反射したかの様に両方に進む三種進行波が発生すること、そして、速度差が適当であれば、反射と消滅を繰り返すことにより、二次元的な不規則動的パターンが発生することを数値的に確認した。

更に、競争排他状態・不規則パターンによる動的共存状態・規則的螺旋状動的共存状態という三つの状態が、二種進行波と三種進行波の相互作用と速度差によって説明できることを、数値的に確認できた。また、競争排他が起きる場合の漸近挙動についての数値実験結果を検討し、楔形をした二次元的な進行波を発見し、この楔型進行波解が追突すると消滅する二つの一次元進行波解が斜めに組み合わさってできること、発生する角度に関する条件、進行方向と速さの定量的評価を数値的に確認した。

上記研究の一端は、9月に開催された応用数理学会研究大会、12月に開催された応用数学合同研究集会および2月に開催された北陸応用数理研究会で報告した。

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：大学院先端数理科学研究科現象数理学専攻博士後期課程3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 (1991,1995) は、寒天培地で走化性をもつ大腸菌株(HCB317tsr)を培養する際に、寒天培地に含まれる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（ディスク状に広がるパターン、クラスターが放射状に配置されたパターン、クラスターの配置がヒマワリの種子配列に類似したパターン）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、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。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。

また、Budrene, Berg(1991)は、走化性を持つ大腸菌株(HCB4368tsr)において雁木模様のパターンを観察している。雁木模様については三村-遠藤(2003)が再現し、クラスターが交互に並ぶ市松構造が本質であることを示唆しているが、なぜ市松構造が現れるかということは説明に至っていない。さらに、同様に市松構造を持つ擬ヒマワリ模様との違いを作る要因についても明らかになっていない。

これらをふまえて、モデルに与えた仮定の妥当性を議論するとともに、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ことを目的として研究を行っている。

今年度の研究の成果は2012年度応用数学合同研究集会（於 龍谷大学）にて発表した。

マーケットマイクロストラクチャーを用いた市場解析



向殿和弘 MUKAIDONO, Kazuhiro

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理学専攻博士後期課程3年
チームフェロー：指導教員 戸屋武昭（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、現在のハイフリークエンシー（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つたような 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、日経平均株価のインデックスベースでのマーケットマイクロストラクチャー分析なども行った。「取引所の高速化が市場流動性に与えた影響」（JARIP リスクと保険9号）

本研究は、自己の職務経験で得たアイディ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くたい。

生物の形態形成の適応性に関する 数理的理



山口将大 YAMAGUCHI, Masahiro

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理学専攻博士後期課程3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

生物や自然界に見られるパターン形成は、その形成過程やダイナミクスのみならず、機能性、適応性、自発性、ロバストネスなど、様々な側面から見て非常に興味深い現象である。また、形態と機能には密接な関係があり、機能的な構造は、それを特徴付けるダイナミクスとプロセスを経て形成されている。ある機能を持った形に注目するのならば、その基となるダイナミクスの理解をしなければならない。数理モデル化は現象のダイナミクスを記述するための有効な方法であり、一般化やアナロジーなどの考え方を通して様々な現象の理解に不可欠である。

数理モデルによるパターン形成の先行研究は、反応拡散系モデルに代表されるように、動物の体表模様や化学反応過程の空間パターン、生体信号の伝播、個体群の空間パターンなどを数理的に説明する。中でも所謂 Turing モデルは、対象となる現象の種別を超越したものである。「優れた数理的コンセプト(例えば"Turing instability")は様々な現象のモデル化に現れ、その理解に強力な指針となる。」と言えるであろう。そのような数理的コンセプトを生物の形態形成の適応性に関して構築することを目標に研究を行ってきた。

現在、真正粘菌変形体の輸送ネットワークの数理モデルからヒントを得て、"antagonistic adaptability"という数理コンセプトを基に、適応性を内包したネットワークを作り出す現象の数理モデルを構築し、その数理的機構の解明を行っている。また、最短経路などのある種の最適化能を持つつつ、対障害性などの冗長性をバランスよく実現するこの数理コンセプトを、医学や工学などへ利用する、新たな応用モデルを構築することも目指している。

Traveling spots in singular limit problems of reaction-diffusion systems



陳彥宇 CHEN, Yan-Yu

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理学専攻博士後期課程3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

Recently, there are many kinds of patterns was observed on experiments or numerical simulation. However, the tool to analyze these patterns is not built very well. To study this phenomenon, the bifurcation analysis is one of the methods. In this work, we try to treat the pattern which is called traveling spot by singular limit analysis.

In this study, we consider the FitzHugh-Nagumo type equations as follows.

$$\begin{cases} u_t = \Delta u + \frac{1}{\varepsilon^2}(f_\varepsilon(u) - \varepsilon\beta v), \\ v_t = g(u, v). \end{cases}$$

As $\varepsilon \rightarrow 0$, we can expect u converges to 1 at the region $\Omega(t)$ and otherwise converges to 0. Also ,we obtain the interface equation as follows.

$$\begin{cases} V = C(v) - \kappa, & (x, y) \in \partial\Omega(t), t > 0, \\ v_t = g(\chi_{\Omega(t)}, v), & (x, y) \in \mathbb{R}^2, t > 0 \end{cases} \quad (1)$$

where $c(v) = a - bv$. The **traveling spot** means the solution $(\Omega(t), v(x, y, t))$ of (1) which satisfies

$$\begin{cases} \Omega(t) = \{(x + ct, y) \in \Omega(0)\}, \\ v(x, y, t) = v(x - ct, y, 0) \end{cases} \quad (2)$$

Our main theorem of this research states in the following.

Theorem. For any $c \in (0, a)$, there is a positive constant b such that the traveling spot solution (Ω, v) of (2) exists. Moreover, $\partial\Omega$ is C^2 , $v \in C^1(\mathbb{R}^2 \setminus \partial\Omega) \cap C^0(\mathbb{R}^2)$, and Ω converges to a disk with radius $1/a$ as c closed to 0 and is non-convex if c closed to a .

This is a joint work with professors Hirokazu Ninomiya and Yoshihito Kohsaka.

腹足類の這行運動メカニズムに関する統一的理解



岩本真裕子 IWAMOTO, Mayuko

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理学専攻博士後期課程2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）
 末松 J. 信彦・小林亮（モデリング班），三村昌泰（数理解析班）
 研究課題：腹足類の這行運動に関する統一的理解

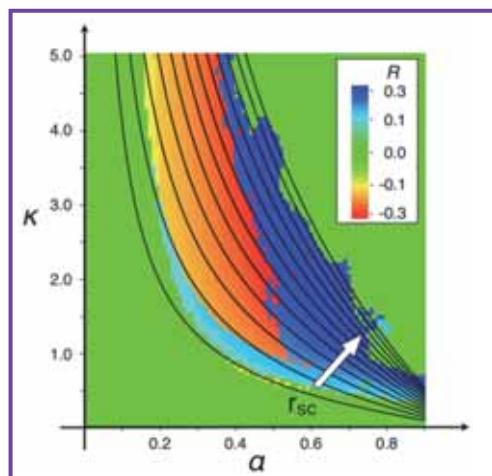
研究概要

カタツムリやナメクジなどの腹足類が這って動く様子を接着面の裏側から見ると、筋収縮のパターンが波となって伝播する様子が肉眼で観察できる。我々は、生物が見せる様々な運動形態に共通のメカニズムが潜んでいると考え、本研究は、腹足類が見せる筋収縮波にその共通メカニズムを見いだすためのヒントを得ようとするものである。

腹足類の這行運動のメカニズムを追っていく過程で、特有のネバネバした粘液が運動に重要な役割、つまり接地摩擦を制御する役割を持つことが示唆された。筋収縮と粘液の動的粘弾性特質を記述した数理モデルを構築し、そのモデルの数値計算により、粘液の性質と筋肉の硬さ(図:縦軸)が運動様式を決定づける要因となることがわかった。A.E.Hosoi 氏等のロボット工学的な研究と比較して、筋肉の収縮率(図:横軸)により、Direct wave(図:R>0)とRetrograde wave(図:R<0)の選択が決定づけられる可能性を示唆した。

また、バナナナメクジの粘液が持つ動的粘弾性特質を、他の種は持つか。つまりモデルは這行運動する腹足類の多くの種の運動を記述するモデルとなっているのかを検証するために、レオロジー測定に関する基礎知識を蓄え、実際にナメクジやツブガイなどの種に対してレオロジー測定を行った。詳細なデータはまだ得られていないが、バナナナメクジと同様の波形が採取した全ての種で見られ、腹足類の粘液が弹性固体と粘性流体の2つの性質をスイッチングする特徴を持つことが示唆された。一方、数理モデルを数学的な視点から考えると、運動様式の選択を分岐現象として捉えることができる。今後の数学的な解析へと繋げていく予定である。

これらの研究成果について、国際会議 Gordon Research Conference でポスター発表し、海外研究者との活発な議論を行うことができた。また、日本応用数理学会にてポスター発表、数理生物学会にて口頭発表、他国内研究会等で3件発表を行った。日本応用数理学会2012年度年会では、優秀ポスター賞を受賞し、高い評価を得た。



津波浸水警報の実現に向けた、陸上建造物の モデリングとパラメータ決定手法の改良



大家義登 OHYA, Yoshito

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理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）
高安秀樹（モデリング班），中村和幸（シミュレーション班）
研究課題：津波遡上の高精度推定法

研究概要

2011年3月の東北地方太平洋沖地震は大規模な津波を引き起こし、その結果14000名の死者と壊滅的な被害を東日本沿岸にもたらした。現在、気象庁で行われている津波警報はそのような津波災害への対策手段の一つである。しかしながら、津波避難に重要であろうと考えられる、自分が今いる場所でどの程度の浸水が何分後に襲来するかという情報は予測できていない。

一方で近年の計算機の高速化、計算科学の更なる進展で津波の陸上への浸水計算がリアルタイムで可能になりつつあり、津波浸水警報の実現への期待が高まっている。その浸水計算の際に、陸上に存在する建物などの障害物の影響をどのように計算するかという問題が存在する。相当粗度モデルはその効果を、津波が地表面から受ける抵抗として表現する方法である。この抵抗の大きさを表すパラメータは等価マニニング粗度と呼ばれる。この方法は津波浸水計算を行う際に一般的ではあるが、その等価マニニング粗度の建物別の区分けや、値の大きさに関しては経験的に決められているにすぎない。

本研究では未知の津波をより精度良く推定するという観点から、経験的に決められている等価マニニング粗度に対して、新たな決定方法を提案し、また数理的な根拠を与えるものである。具体的な提案する手法は、には既存の手法の線形結合として等価マニニング粗度を与え、その結合係数を過去の津波波形と浸水データから推定する決定方法である。

この手法に対して、多数の仮想津波波形と浸水データを用意し、ジャックナイフ法を用いて検証を行った結果、一次元のケーススタディでは既存の手法に対して2割弱の予測精度の向上が見られた。現在は実観測データと二次元浸水計算を用いて、手法の有効性を確認中である。なお、本研究成果は日本応用数理学会、日本地震学会、理論応用力学講演会等で発表した。

マーケットマイクロストラクチャーとシステムック・リスクに関する流動性分析と既存モデルの問題点



永田真一 NAGATA, Shinichi

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理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）
 乾孝治（数理解析班），三村昌泰（シミュレーション班）
 研究課題：金融工学・高頻度データを用いた株式市場分析

研究概要

(1) リーマンショック後、欧米ではシステムック・リスクが新たな研究テーマとして盛んに議論されるようになった。システムック・リスクとは、個別金融機関固有のリスクが経済的ストレス等によって様々な経路を経て拡大、最終的には経済危機にまで発展する可能性があるリスクの事である。

昨年までは Brownlees and Engle[2011]で紹介されたモデルを使って、国内金融機関のシステムック・リスク分析を行ったが、先行研究の様な一定の説明力を得た検証結果は得られなかった（海外と国内では金融システムや制度・法律等が異なり、海外で一定の成果を上げたモデルを直接輸入しても国内で同じような検証結果が得られるとは限らない）。そこで本年は新たなモデルを検証、或いは構築し国内金融機関のシステムック・リスクを計量することが目的である。

(2) 東京証券取引所に2010年1月に導入されたアローヘッドシステムの効果に関して分析を行っている。アローヘッドシステムとは、超高速売買を特徴とする機械取引である。従来このようなマーケットマイクロストラクチャーの効率性分析では、kyle[1985]の指標を用いることが一般的だったが（国内でも kyle[1985]の指標を用いた先行研究は多く存在する）、もともと kyle[1985]はマーケットメカニズム（人間が気配値を提示して、それによって売買が執行される制度）の市場を想定としたモデルであって、国内のオーダードリブン制（様々な投資家の注文によって売買が執行される制度）の市場には適合しないと考えられる。実際にこの指標を使った分析は、直感的ではあるが、納得のいく検証結果ではなかった。

以上のような理由から、本年は新たなモデルを構築して、従来に無かった分析法でアローヘッドシステム導入の効果を検証する。

Multiscale approach to pattern formation in reverse smoldering combustion



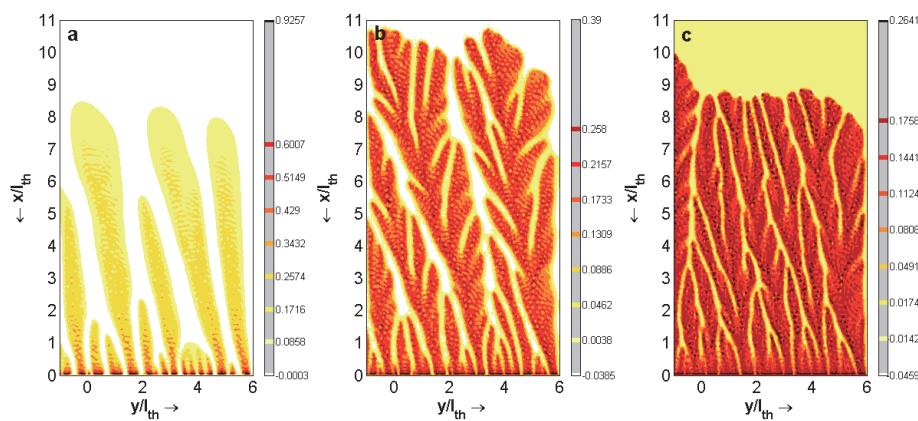
IJIOMA, Ekeoma Rowland

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理学専攻博士後期課程 2 年
 チームフェロー：指導教員 小川知之（シミュレーション班）
 池田幸太（数理解析班），三村昌泰（モデリング班）
 研究課題：Multiscale methods and analysis of reaction-diffusion systems.

研究概要

We approach the problem of reverse smoldering combustion of thin reactive porous materials from the point of view of the homogenization theory. The main objective of this study is to analyze the influence of microstructures on the behavior of structure formation behind a propagating smolder front. To do this, the upscaled model we developed previously for isotropic porous materials is generalized to treat problems posed on anisotropic porous materials. Proceeding in this direction, we attempt to confirm the experimentally observed fingering behavior for highly anisotropic materials, in which the results of this study conforms to experimental findings: the uniformity of the patterns is reduced and the distinct fingering states of the instability are reproducible.

The method of this research is based on a fixed geometry, in which directional fingering of the patterns are shown to be consistent with the orientation of the microstructure of an idealized porous sample. Furthermore, the validity of our derived upscaled model from a basic pore-scale description is assessed through mathematical rigor based on the notion of two-scale convergence and corrector estimates. We show the convergence rate of our homogenization process by first order correction of the homogenized problem.



Structure of distinct fingering patterns for highly anisotropic porous media

REAL OPTIONS APPLICATION ON FRANCHISE FINANCIAL CONTRACT



LUKITO, Adi Nugroho

所 属 : 大学院先端数理科学研究科現象数理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)
 乾孝治 (数理解析班), 三村昌泰 (シミュレーション班)
 研究課題 : Optimization in Business Format Franchising

研究概要

FRANCHISE MINIMUM REVENUE GUARANTEE

In order to survive in the current severe competition, newly established franchises have been looking for new ways to encourage people to become their franchisees. One approach that becoming increasingly widespread is the inclusion of revenue guarantee. This feature attracts risk averse franchisees because it reduces the apparent risk of joining a franchise with the reassurance that they will earn predetermined level amount of income from day one.

This paper develops analytical framework using real options approach to value revenue guarantee in business format franchise. Thus the model will be tested using Monte Carlo simulation to assess the impact of the revenue guarantee agreements on franchisees' Present Value. Result of this paper is that the franchisee will decision on joining guarantee program will be based on projection of future sales and difference in discount rate.

OWNERSHIP REDIRECTION IN FRANCHISE: REAL OPTIONS PERSPECTIVE

Initiated by work of Oxenfeldt and Kelly (1968), the subject of franchise route to ownership redirection hypothesis still attracting many scholars. This paper, differing from previous studies, proposed alternative look for this hypothesis using real options perspective, where franchisor decision to franchise seen as deferring an investment and future acquisition as options to expand.

Real options model build based on Datar-Mathews framework and tested using Monte Carlo Simulation. In our model, options value will be affected by demand uncertainty and monitoring cost. Consistent with real options theory, simulation results reveal the raising of call options importance as uncertainty increase



自己駆動散逸粒子の集団運動

鈴野浩大 SUZUNO, Kota

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理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）
高安秀樹・小林亮（モデリング班），二宮広和（数理解析班）
研究課題：非線形非平衡マルチフィジックスの応用数理

研究概要

我々は群衆運動を模擬した自己駆動粒子系の隘路通過に伴う定常状態(閉塞)の発現について、計算機科学及び物理学的観点からの特徴付け、原理解明およびその制御に関する研究を行っている。

隘路を通過する自己駆動粒子系について、複数のアプローチを用いて閉塞および関連する現象について考察を行ってきた。検討した手法は線形安定性解析、応力鎖、現象論的モデル、生存解析等である。詳細は以下の通りである。

- (1) 粒子が形成するアーチ構造の安定性について、力学系の手法を用いて議論を行った。アーチを模擬した小数粒子系を考えた場合、系の固有値がアーチの崩壊時定数として解釈しうることを解析的に示した。
- (2) 多粒子系を簡易化した現象論的モデルを提案し、いわゆる ”faster-is-slower effect” の原理について物理学的な観点からの説明を与えることに成功した。またモデルから対象の多粒子系についていくつかの性質を予言し、それらが妥当することを social force model を用いて数値的に示した。
- (3) 画像処理を応用し、系の非平衡定常状態を可視化し、典型的な動的構造が存在することを示した。その結果から、隘路手前に障害物を設置した場合の粒子排出機構が画像処理によって議論できる可能性を数値的に示した。

以上の結果はどれも独自性が高く、今後の交通流・散逸粒子系の研究に資するものである。

以上の研究について、研究発表3件を実施済みである。その内1件については受賞している。また本プロジェクトの成果の一部は査読付英文論文誌に投稿中である。

インターネットビジネスにおける 価値評価モデルの作成



高橋俊藤 TAKAHASHI, Toshifumi

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理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）
 三村昌泰（数理解析班），山村能郎（シミュレーション班）
 研究課題：インターネットビジネスにおける価値評価モデルの作成

研究概要

私の研究では、人、物、お金の流れが掴みにくい分野であるインターネットの世界においてビジネスが創出するキャッシュフローを計算する価値評価モデルの構築を試みている。キャッシュフローの算出は、売上や来客数などを確率変数で与え、そして、来客数とそこから得られる売上から広告料金やシステム利用料などを計算し、インターネット事業の価値評価を行えるモデルを提供する。インターネットビジネスの価値評価モデルを作成することにより、事業者の立場からキャッシュフローの予測を行うことができ、実際のビジネスを遂行する際の判断材料として利用することができるようになることが本研究の目的の一つである。また、研究では、インターネットビジネスにおいて事業者がどのような契約形態でサービスを提供することが最適であるかということを分析している。これは事業者がサービス提供価格を検討する際の判断材料として利用できるモデルとすることを目的としている。モデル化では、インターネットビジネスを遂行する上で必要となるシステム開発やITインフラに関わるコストも考慮し、それらの投資の適性度の分析も今後実施していく。具体的には、投資分析において、インフラ投資をリアルオプションと捉え、売上とコストの関係から投資の適性性を分析する予定である。また、インターネットビジネスを営む上でのリスクの資料となるKRIの設定も今後の研究課題としたい。本研究で数理モデルの作成は、金融工学で用いられている手法を参考としている。具体的には、キャッシュフロー計算、時系列解析、確率変数の設定、リアルオプション法による価値評価などにおいて金融工学における手法を利用している。ビジネスにおける数理モデルは作成する人とその視点により、大きく異なるものであるが、私のように一般的なビジネスを数理モデル化して研究している研究は多くなく、その結果は、ビジネスを営む多くの方が興味を持つことができる研究成果となると考えている。

状態空間モデルを用いた 時系列データの解析



坂内元気 SAKAUCHI, Genki

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理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）
田野倉葉子（モデリング班）、中村和幸（シミュレーション班）
研究課題：高頻度時系列データの解析

研究概要

株価や為替レートなどの経済時系列データにおいてデータの観測時間間隔に注目すると、日毎のデータから秒単位で観測される高頻度なデータに至るまで、様々な時間間隔のデータが存在する。時系列データを解析する際に高頻度データを用いた方が、時間スケール的により細かな解析、より近い将来の予測が行えると考えられる。このような高頻度時系列データをモデル化し、その時系列の特徴を数学的に表現することが目的である。

方法論は時系列解析の手法である状態空間モデルを用いる。今年度は、線形ガウス状態空間モデルを用いたトレンドの推定の理論や、そのトレンドを計算する効率的なアルゴリズムなどについて調査した。

解析対象とするデータは、私達の実生活において身近に存在する音楽情報のデータを扱う。人間が楽器を演奏する際に記録されるMIDI信号の情報は多次元の高頻度な時系列データとして得ることができる。このデータを1次元のデータに変換することも可能である。音楽情報処理の分野では、この得られたMIDI信号を利用した研究が行われている。例えば、MIDI信号から人々の楽譜を復元及び推定する自動採譜の研究や、演奏された曲のテンポを推定する研究などである。

今後の課題として、これらの音楽情報処理の研究を状態空間モデルの枠組みで捉え、研究を行いたいと考えている。楽譜に関する情報を状態、MIDI信号に関するデータを観測データとしてモデル化する場合、状態・データを結ぶ関係は線形とは限らず、ノイズの分布はガウス分布とは限らないと予想される。線形ガウス状態空間モデルから拡げて、一般状態空間モデルの理論及び対応するカルマンフィルタのアルゴリズムについて調査する必要がある。場合によってはカルマンフィルタの改良を行う。

従来の研究では曲中でテンポは急変しにくい（ガウス分布）という仮定が置かれている。状態空間モデルの枠組みで捉えられ、ノイズの分布をガウス分布を重ね合わせた分布とした場合、曲中のテンポの急変をも含めた解析が行うことができ、カルマンフィルタを用いて状態の推定が行える見通しである。現在は構想段階であるので、次年度も継続して研究を行う。

Alternans and Spiral Breakup in a modified FitzHugh-Nagumo Model of Cardiac Cell Dynamics



GANI, Mohammad Osman

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理学専攻博士後期課程1年
 チームフェロー：指導教員 小川知之（モデリング班）
 反枝明保，上山大信（シミュレーション班），
 二宮広和（数理解析班）

研究課題：交通流などの渋滞モデルの境界条件による精密化と数値計算法

研究概要

We introduce a new two-variable partial differential equations model of electrical wave propagation of cardiac cells. We modify the FitzHugh-Nagumo equations [1,2] without changing slow manifold instead changing velocity of each branches of slow manifold. The nullclines of our model are shown in Figure 1(a). Both nullclines intersect each other on the left branch of the u -nullcline only once at a point, which is called the rest state of the excitable media. We investigate numerically the existence of traveling wave solutions of the proposed model of reaction-diffusion system of equations. We study the instability of the periodic traveling wave solutions in one-dimensional simulation. When the parameter b is gradually decreased, the traveling wave loses its stability via a supercritical Andronov-Hopf bifurcation (see Fig. 1(b)). In two dimensions, the emergence of stable spiral wave pattern is observed in the proposed model, which occurs when the heart is malfunctioning (i.e. ventricular tachycardia). The oscillation of spiral pulse width i.e. alternans is observed in a specific parameter regime. We show that unstructured spiral breakup running to complex spatio-temporal pattern occurs as a direct consequence of this instability of traveling wave solution. This chaotic behavior of the medium is called ventricular fibrillation. This is a joint work with Professor Toshiyuki Ogawa.

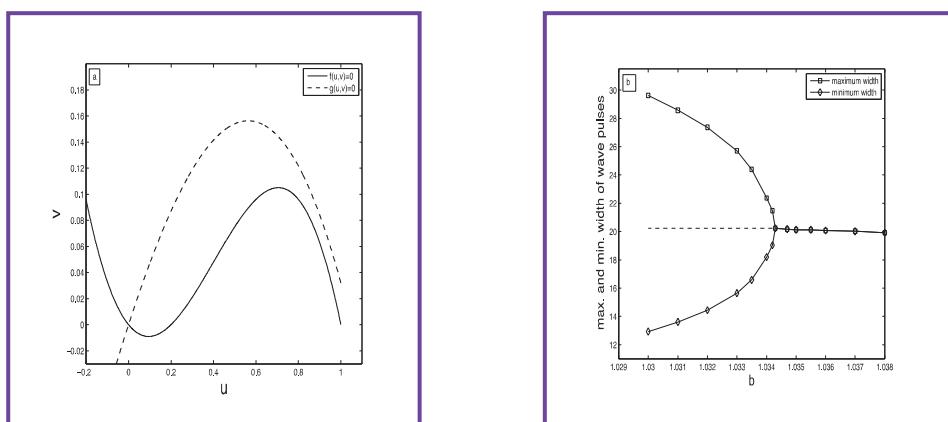


Figure 1: (a) The nullclines and (b) the bifurcation diagram of the proposed model.

References

- [1]. R. FitzHugh, *Impulse and physiological states in theoretical models of nerve membrane*, Biophys. J. 1, 445-465 (1961).
- [2]. J. S. Nagumo, S. Arimoto and S. Yoshizawa, *An active pulse transmission line simulating nerve axon*, Proc. IRE. 50, 2061-2071 (1962).

Reaction-Diffusion Equations in Ecology



SCOTTI, Tommaso

所 属：大学院先端数理科学研究科現象数理学専攻博士後期課程1年
チームフェロー：指導教員 若野友一郎（モデリング班）
三村昌泰（数理解析班），池田幸太（シミュレーション班）
研究課題：反応拡散方程式を用いた数理生態学

研究概要

My research focuses on systems of differential equations that aim to model ecological phenomena, and in particular population dynamics. Currently I am working on a model aimed to give a better understanding of the dynamics of the so-called harmful algal blooms (HAB). This term indicates an algal bloom that has negative impacts on other organisms via the production of toxins, mechanical damage, or by other means. Due to their potential impact on drinking or recreational waters, in the recent years the formation of toxic algal blooms in lakes and rivers has been causing more and more concern. Therefore, I am mainly interested in freshwater HAB and in particular to those caused by cyanobacteria.

In general, toxin-producing species of phytoplankton are poor competitor for resources. Nevertheless, they are observed to coexist with other species and occasionally to form dense blooms. The goal of my research is to show if and in which way toxicity promotes the survival of such species. Also, I investigate whether the selective predatory activity of zooplankton (phytoplankton's natural predator) can promote the formation of toxic blooms. In fact, even though they usually prefer the nontoxic species, zooplankton graze on toxic cyanobacteria despite these latter's toxicity inhibits their growth.

To answer the previous questions, I approach the problem by employing a 3-species Lotka-Volterra system of ordinary differential equations accounting for the dynamics of two prey (toxic and nontoxic phytoplankton) and one predator (zooplankton).

The system is studied using all the classical techniques of linear stability and bifurcation analysis. Using such analysis, I show that a weak toxicity leads to the extinction of the toxic prey. On the other hand, stronger toxicity promotes 3-species coexistence. At this point, I consider the associated reaction-diffusion system. By numerical simulations, I show that when the species move in space, the faster diffusivity of zooplankton can lead to the formation of a patchy pattern consisting of spots with high density of toxic phytoplankton surrounded by an area in which there are almost exclusively the other two species. The same type of pattern can be also commonly observed in nature. Therefore, I argue that the ability of zooplankton to move faster and to direct its grazing effort mainly on the nontoxic prey might be the mechanisms underlying the formation of toxic blooms. This is also in accordance with experimental results.