

安全学の体系化と スマートグリッド安全性への適用



向殿政男 MUKAIDONO Masao

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート副所長
明治大学理工学部教授

専門・学位： 安全学，工学博士・明治大学

研究内容： 不確定なシステムのモデリングおよび解析

研究概要

システムの安全性確保は、技術的側面(例えば、物理、化学、数理、工学的側面等)だけでは実現できない。システムを設計、運用、管理する人に関する人間的側面(例えば、人間工学、認知科学、心理学、錯誤、安全意識的側面等)、及び、システムの設計、運用、管理、保守等に関するルールや基準などの組織的側面(例えば安全基準、管理体制、法律、標準、社会制度等の仕組み)の三側面が、更に、その上に安全の理念的側面(例えば、安全哲学、安全思想、安全文化)を置き、その下に統一的に、整合的に、総合的に適用されなければならない。このような新しい学問は、自然科学、人文科学、社会科学を包含した領域横断的なものであり、筆者はこれを「安全学」と名付けて、その体系化に取り組んでいる。ここでの重要な要因は、安全という客観性の基づく科学的事実と、それを受け入れる価値観に基づく人間の主観的な安心との関係であり、システムにおける不確定性は、システムと人間とのはざまに大きく横たわっている。

本年度は、安全学の体系化とその最上位に位置付けされる安全思想について考察し、その考え方を、将来、消費者とインフラストラクチャを包含するシステムに発展することが確実視されているスマートグリッドの安全性とセキュリティに対して適用することを試みた。

参考文献

- (1) 向殿政男、安全学の体系化について～安全曼荼羅をベースに考える～、日本安全学教育研究会誌、Vol.4, pp.47-53, 日本安全学教育研究会, 2011-8
- (2) 向殿政男、安全設計の思想、福島第一原子力発電所事故後の電気エネルギーの円滑な供給に向けて、pp.7-10, EAJ Information, No.150, 日本工学アカデミー, 2011-12
- (3) Amy Poh Ai Ling , Masao Mukaidono, Selection of Model in Developing Information Security Criteria on Smart Grid Security System, Journal of Convergence, Vol.2, No.1, pp.39-46, 2011-6
- (4) Amy Poh Ai Ling and Masao Mukaidono, Grid Information Security Functional Requirement Fulfilling Information Security of a Smart Grid System, International Journal of Grid Computing & Applications, Vol. 2, No. 2, pp. 1-19, 2011-6
- (5) Amy Poh Ai Ling and Masao Mukaidono, Smart Grid Information Security (IS) Functional Requirement, International Journal of Emerging Sciences, Vol.1, No.3, pp. 371-386, 2011-9

金融リスクマネジメントの高度化

— 国債価格・社債価格分析 —



刈屋武昭 KARIYA Takeaki

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
 明治大学大学院先端数理科学研究科，グローバル・ビジネス研究科教授
 一橋大学名誉教授

専門・学位： 金融工学，PhD・ミネソタ大学，理学博士・九州大学
 研究内容： 金融のモデリングおよび解析

研究概要

2006年9月から2010年8月までの日本国債価格データと米国国債価格データに基づいて、各月末時のクロスセクションデータにより、価格モデルを推定し、価格に対して、帰無仮説 H_0 : 属性効果なし、に対して、対立仮説 H_1 : 満期選好の属性あり、 H_2 : クーポン選好の属性あり、 H_3 : 満期選好・クーポン属性あり、を検定した。その結果、すべての時点において、すべての対立仮説に対して帰無仮説を棄却するが、その意味は、数理ファイナンスの無裁定理論のパラダイムを否定するという意味で重要である。

この事実に基づいて、社債価格の基礎分析を行った。2010年8月末での社債価格に対して、業種と格付の情報をを用いながら、国債価格に対して社債価格スプレッドを算出する。その場合、上での仮説検定の結果により、社債の満期とクーポンを考慮した「無リスク社債価格」(国債理論価格)を推定し、市場社債価格からこの無リスク価格を差し引き、スプレッドを分析した。この結果、格付け会社の格付けが業種内でなく業種間に対して整合的でないと判断されるので、現在スプレッドに基づいて統計的な格付けを行う方法を考察している。図1参照。

さらに、Kariya(2012)の提案する社債価格モデルのもとで、業種と格付けの情報のもとにデフォルト確率の期間構造を導出する研究をしている。以下の図2はその一部(電力のみ)である。

この研究は、刈屋・山村・乾・王の共同研究。

Kariya, T.(2012) A CB (corporate bond) pricing model for deriving default probabilities and recovery rates, To appear from Contributions to Probability and statistics in honor of Morris L. Eaton, Institute of Mathematical Statistics

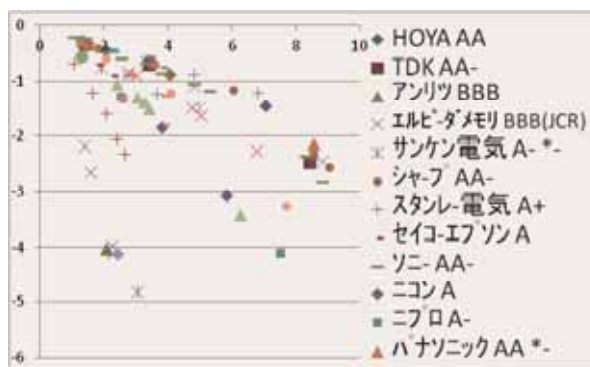


図1 価格スプレッドの基礎分析(2010. 8)

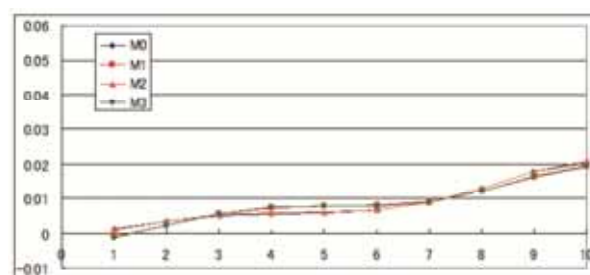


図2 デフォルト確率の期間構造(2010. 8)

回収率=0 M0-M3 は仮説 H_0 - H_3 に対応

スマートグリッドにおける インテリジェント予測・最適化の研究



森啓之 MORI Hiroyuki

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学理工学部教授

専門・学位： 知能情報学，工学博士・早稲田大学

研究内容： インテリジェントシステムのモデリングおよび解析

研究概要

2011年度の「スマートグリッドにおけるインテリジェント予測・最適化の研究」として、まず、大規模太陽光発電所であるメガソーラが設置された送電ネットワークにおいて電力制御機器であるFACTS (Flexible AC Transmission System) の最適配置について研究した。FACTSの一つであるUPFCを最適配置するためには、その設置場所であるノード番号とその出力である有効電力と無効電力を決定する必要がある。配置場所は、離散数であり、出力は連続数であるため、混合整数計画問題を解くことになる。電力自由化が行われている送電ネットワークでは、ある複数の発電会社からある複数の配電会社に電力をできるだけ多く送電することが重要である。しかし、メガソーラが設置されている送電ネットワークでは、その出力が確率的に変動するため、FACTSの最適配置の確率的評価が必要となる。そこで、確率的に出力変動する複数のメガソーラが存在する送電ネットワークにおいて複数のUPFCを設置する問題を進化的計算法であるEPSO (Evolutionary Particle Swarm Optimization) を使用して解くことについて研究した。具体的には、混合整数計画問題を解ために、2段階のEPSOを考案した。ここで、2段階のEPSOとは、1段階目でUPFCの設置場所候補を選定し、2段階目で各設置でUPFCの出力を最適化し、その中で最良の解を選び、その解を初期値にして反復計算を行う。1段階目で2進コードを用いた離散型EPSO、10進コードを用いた2段階目で連続型EPSOを使用した。さらに、計算時間を高速化するため、2進コードと10進コードを併用したハイブリッドコードを提案し、良好な結果を得た。

次に、送電ネットワークにおける確率供給信頼度を求めるための多目的最適化手法について研究した。スマートグリッドにおいて発電出力が顕著に変動する再生可能エネルギーが導入されると、不確定性が増大するため、供給電力の確保を目指すことが重要視されている。そのような環境下では、確率的な供給信頼度の研究が急務となっている。この研究では、目的関数として送電ネットワークで発生確率の最大化、かつ供給支障電力の最大化を満足する系統状態をパレート解集合として求めるために、確率的シミュレーション法であるモンテカルロシミュレーションではなくて多目的メタヒューリスティクスで評価する手法を提案した。提案法において具体的にパレート解を求める手法は多目的メタヒューリスティクスであるSPEA2 (Strength Pareto Evolution Algorithm 2) において解の多様性について効率のよい戦略を導入したため、非常に良好な結果が得られた。ここで、SPEA2はGAを基にして考案された多目的メタヒューリスティクスであるが、解探索の停滞が報告されている課題があった。そこで、提案した戦略とは、シェアリング関数に制約条件を課す方法で解の多様性を実現し、解探索を効果的であることである。

動物の運動と制御の数理的研究



小林亮 KOBAYASHI Ryo 副リーダー

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員

広島大学大学院理学研究科教授

専門・学位： 現象数理学，博士（数理科学）・東京大学

研究内容： 生物の構造形成・運動・情報処理の数理的研究

研究概要

動物に学ぶことにより、動物並みにしなやかにロバストに、複雑で不確定な現実の環境の中を動き回れるロボットを作ることを目指して、生物学者・数学者・工学者からなるチームで研究を行なっている。キーとなるのは、自律分散制御と自己組織化によるロコモーション生成である。我々は、粘菌の運動の数理モデルから「齟齬関数」という概念を抽出し、それを用いた自律分散制御方策を提案した。そして、それをアメーバ様ロボット・ヘビ型ロボット・クモヒトデ型ロボット・4脚歩行ロボットなどに適用し、その有効性を示してきた。

* 這行力学の一般化モデルとその実験的検証

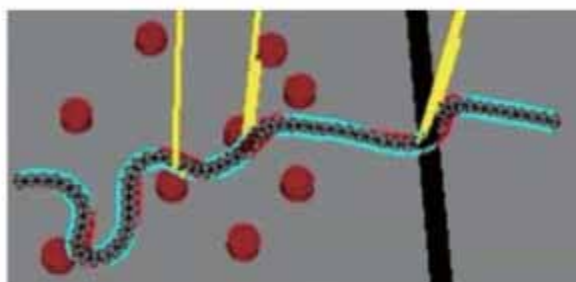
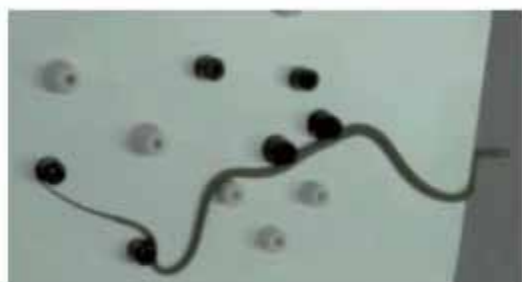
ミミズやカタツムリのような生物が行なっている蠕動的這行のモデルが、拡散方程式に帰着されることを示した。摂動法を用いた理論解析とシミュレーションを行い、力学的機構を明らかにした。さらに、ムカデやヤスデなどの多足類の脚歩行が、蠕動的這行の力学的原理を流用していることを示し、環形動物から多足類への進化において、運動様式が連続的に継承されたことを示した。現在、この理論の実験的検証を様々な動物で行なっている。

* 真正粘菌変形体が示す自発的なアトラクタ遷移の発現機序解明とロボットへの実装

原形質量保存則を考慮した結合振動子系と齟齬関数に基づく局所的なセンサフィードバックから、粘菌に見られるような自発的なアトラクタ遷移が生み出されることを示した。また、粘菌振動子ロボットによる実機検証を行った。

* 非構造環境下でのヘビのロコモーションに内在する自律分散制御則の理論的考察

ヘビの代表的な運動モードである Lateral undulation においては、側方からの陸学的支持が本質的に重要で、側方への十分な摩擦が見込めない状況においては、ヘビは何らかの「とっかかり」を利用する。深部体性感覚情報に基づく曲率微分制御と、体壁の表在感覚情報に基づいた反射メカニズムの組み合わせで、とっかかりを利用した自律分散的なロコモーションが効果的に実現されることを理論的に示した。



人と関わる視覚・聴覚情報処理



荒川 薫 ARAKAWA Kaoru

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学理工学部教授

専門・学位： 画像・音声信号処理，工学博士・東京大学

研究内容： 知覚システムのモデリングおよび解析

研究概要

人と関わる視覚・聴覚情報処理として，以下の研究を行った。

- (1) スマートフォンアプリによる実装のための対話型顔画像美観化処理の操作性改善
- (2) 中国人が発声した日本語音声の特徴解析とその自動認識のための方式の提案

(1) では，本研究が先に提案した非線形デジタルフィルタバンクを用いた対話型顔画像美観化システムをスマートフォンなどの小型情報端末で実装することを目的として，少ない候補顔画像の表示と少ない繰り返し回数で，利用者が十分満足できる顔画像を得られるために，遺伝的アルゴリズム(GA)の改良を行った。このシステムはGAに基づく対話型進化計算により，顔画像美観化フィルタシステムの複数のパラメータを主観的に最適設計するものである。提示される 10 枚程度の美観化候補顔画像から利用者が各自の主観に基づいて望ましいと思う顔画像を何枚か選ぶという操作を複数回繰り返して顔画像の美観化を行うものであるが，小型情報端末では，表示できる候補顔画像の数が制限される。また，この場合，十分満足できる顔画像が得られるまで，多くの繰り返し回数を要し，操作性が低下する。そこで，過去に得られた最適パラメータデータ集団を用いた初期設定法と，選択された候補顔画像の内分と外分を取り入れた世代交代を用いた進化計算法を新たに提案した。実際に複数の利用者に本システムと従来システムを使用してもらい，本システムでは 6 枚の候補顔画像の表示で，従来より少ない繰り返し回数で，十分満足できる美観化顔画像が得られることが示された。利用者によるアンケート結果でも，本システムの方が，操作性が高く，また，最終的に得られた顔画像も従来法より主観的に高く評価されるということが示された。

(2) では，中国人が発声した日本語音声の特性解析を行い，より精度良く音声認識を行うための方式を提案した。中国人が発声した日本語音声に対して日本語音声認識システムを適用した場合，その認識率は日本人の音声に対するものより低い。音声の特徴解析をしたところ，中国人は日本人より，母音を長く伸ばす傾向があることが示された。このことは，中国人の日本語音声に対する認識率の低下につながっている。そこで，中国人の日本語音声に対して，母音の長さを短縮することにより，日本語音声認識システムに対する認識率を向上させる方式を提案した。33 人の中国人の日本語音声データ 115 個に対して適用した結果，本提案手法を用いない場合の正答率が 68.5%であったのに対し，本提案手法適用後の正答率は 80.2%となった。

この他，経年劣化により傷が生じた映画フィルムの画質改善を行う画像処理法，登録顔画像から加齢により顔形状が変化した人物の個人認証法に関する研究を行った。

ゆらぐ要素集団の ダイナミクスと機能の解明



西森拓 NISHIMORI Hiraku

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員

広島大学大学院理学研究科教授

専門・学位： 非平衡物理学，理学博士・東京工業大学

研究内容： 協同現象のモデリングおよび解析

研究概要

我々を取り囲む自然の中には様々なタイプの要素集団がある。魚・鳥の群れ，昆虫の群れなどが身近な例である。また，車の群れ，歩行者の群れなどについては，流れを遮断する因子の特定が社会全体の生産性に大きく関連してくる。従来の群れ運動の理論模型の多くは，各構成要素の運動を単純なルールで表し，群れ全体として観察される複雑な運動と比較し，群れ運動の基本機構を探って来た。一方で，現実のシステムにおいては，構成要素自身の持つ複雑な内部自由度が，群れ全体の運動に決定的な影響を与える可能性も排除できない。そこで，2011年度の我々の研究目標の一つとして，いくつかの群れ運動において，実験的観測と理論模型作成を並行して進めることで，現実に応じた群れ運動の機構の理解をめざした。具体的には，

1. アリの集団採餌行動における，化学情報と視覚情報の利用の優先順位決定機構の解明
2. 円環状水路内の樟脳船集団の交通流と渋滞の実験と数理模型による解析

を行った。1に関しては，前年度までの研究に引き続き，採餌歩行中のアリ(トビイロケアリ)の帰巢経路構築の実験を行い，アリがフェロモンによる化学情報だけでなく，採餌途上におけるランドマークなどの視覚情報も利用しながら時々刻々の自分の位置を把握し，採餌経路を構築していることを定量的に示した。2に関しても，前年度までに引き続き，明治大学特任講師(GCOE 研究協力者)の末松信彦氏や，広島大学 GCOE 研究員参納弓彦氏らと共同し，表面張力差で自己駆動する前後対称および前後非対称な樟脳船の集団を円環状水路に並べ，従来知られていない新たな形の集団運動モード=クラスター状態を発見し，その機構のモデル化と理論的な解明を行った。

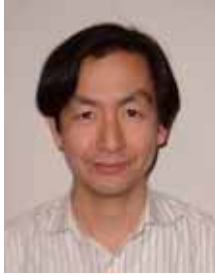
上の群れ運動の研究とは独立して，非線形ダイナミクスにおけるゆらぎと機能の関係を知らるために，

3. 確率共鳴を起こす素子集団におけるゆらぎの非一様性と，確率共鳴効率の関係

を FitzHugh-Nagumo 素子系について調べ，さらに人工内耳装置の高性能化における確率共鳴の利用に関しても，主に理論的に考察を行った。

以上の成果は，学術雑誌などで出版され，国際会議においても発表された。

経済物理学による 金融危機の動力学の解明



高安秀樹 TAKAYASU Hideki

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学研究・知財戦略機構客員教授
ソニーコンピュータサイエンス研究所・シニアリサーチャー
専門・学位： 非線形物理学，理学博士・名古屋大学
研究内容： 経済物理学の基礎から応用まで

研究概要

ブラックマンデー(1987年)、アジア通貨危機(1997年)、リーマンショック(2008年)、・・・、世界の金融市場は、ほぼ10年ごとに大きな危機を迎えている。これらの現象に関しては、これまでも様々な分析がなされているが、私は、物理学の視点から経済現象を解明することで、金融危機はなぜ起こり、どのように発展するのかに関する新しい知見を得ることができ、次の金融危機の発生を回避する手掛かりが得られるものと考えている。システムとして見た時、現在の金融市場は、物質で言えば、ガラスのような脆弱性を内在していることがわかってきた。

金融市場を構成するそれぞれの金融機関は金融機関同士でお金の貸し借りをしている。注目すべきは、一度でも返済の約束を破ると、その金融機関は他の全ての金融機関との取引が停止され、倒産したものとみなされることが世界的な金融機関のルールになっていることである。健全に見える金融機関でもお金のやりくりで失敗すると突然倒産することは、ガラスのような脆性物質に歪を加えたとき、あるレベルにまで達すると突然破壊することと酷似しており、どちらの現象も、しきい値動力学でモデル化することができる。

また、ひとつの金融機関がお金のやりくりで失敗して倒産すると、その金融機関にお金を貸していた金融機関はあてにしていたお金が入らなくなり、お金のやりくりが困難になり、連鎖的に倒産する可能性が高くなる。このことは、脆性破壊において一か所で破壊が起こると、そこで支えていた歪が周囲に分配され、連鎖的に破壊が続くことと対応がつく。そのような状況になると、金融機関同士でいつ相手金融機関が倒産するか疑心暗鬼になり、新たなお金の貸し借りが行われにくくなり、資金繰りは一層困難になる。100年以上の歴史があった世界的な金融機関リーマンブラザーズ社が倒産した直後には、まさに、このような状況になり、もしも各国政府が緊急に無制限でそれぞれの国の金融機関にお金を貸し出す決断をしなかったならば、世界中に金融機関の連鎖的倒産が波及していた可能性が高い。

物質の場合には、塑性変形するような物質は脆性破壊を起こさない。このアナロジーに基づいて考えれば、金融システムに欠如しているのは、歪に対して塑性変形するような効果であり、私は、事前に金利を決めておくのではなく、結果に応じて返済額が変わるような仕組みを導入することによって実現できるものと期待している。

参考文献：

高安秀樹 ”金融市場におけるリスクと特性－複雑系システムの物理学の視点から”、金融危機とマクロ経済学－資産市場の変動と金融政策・規制（岩井克人・瀬古美喜・翁百合編、東京大学出版会、2011年、第7章、163－187。

フィジカルバイオロジー



柴田達夫 SHIBATA Tatsuo

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学研究・知財戦略機構客員准教授
(独) 理化学研究所 発生・再生科学総合研究センターユ
： ニットリーダー，大阪大学大学院生命機能研究科招へい
： 教授，広島大学大学院理学研究科客員教授
専門・学位 フィジカルバイオロジー，博士(学術)・東京大学
研究内容 細胞および発生の理論的・実験的研究

研究概要

計測技術の発達で、発生や再生に関わる細胞や組織の構造形成や情報処理などの機能発現のダイナミックなプロセスが見えてきました。生きた細胞や細胞の集団が示す、真に生物らしいダイナミックな現象は、分子や遺伝子などの多くの要素が協力して働くことで生み出されています。そのような、多くの要素が協力して生み出す、生物の複雑な現象の動作原理や設計原理の理解を目指す、統合的でシステム論的な研究の必要性が高まっています。そのためには、高度な計測技術と連動する数理的な方法論の発展が必要です。こうした新しい生命科学の課題に、物理学や数理科学などの数理的な発想や方法論を用いて解明することを目指しています。

近年、細胞内部において反応拡散系的な仕組みによって時間-空間的構造形成の起こることが多数報告されています。それらには時間的振動、空間パターン、多安定性などが含まれ、それぞれの文脈で重要な機能を担っています。細胞のスケールでは反応の確率的性格は顕著だから、それらの構造形成の仕組みは確率的なノイズに対して頑強である必要があります。一方で構造形成の仕組みは、素過程の確率性を巨視的スケールに増幅し細胞の振る舞いに多様性をもたらす、一見相反する性質を兼ね備えています。これらがどのようにして可能になるかを実際の1細胞蛍光イメージデータの解析や数理モデルの構築・解析を通じて研究を進めています。

また、発生は細胞内の反応プログラムを正確に作動させて、1細胞から様々な種類からなる細胞を生成し空間的に調和のとれた構造を形成する過程であります。組織の構造形成には細胞を基本単位とする粘弾性体のような力学過程が関与しており、それがさらに遺伝子やシグナルなどの反応拡散過程と相互に作用しあっています。細胞や組織の実際の形態形成では、初期条件や境界条件がしばしば本質的に重要な役割を果たすことがあります。そして、それらの初期条件や境界条件もまた他の生命過程によって作られています。全体の現象のうち、どの部分をモデルとして切り出して、またどの部分を初期条件や境界条件として記述するのは興味深い問題です。これらの問題を発生再生総合科学研究センターや広島大学のグループと協力して、数理的、定量的な手法を用いて理解する取り組みをしています。

Researches on Biological Evolution: Theory and Applications



若野友一郎 WAKANO Joe Yuichiro

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学大学院先端数理科学研究科特任准教授
専門・学位： 数理生物学，博士（理学）・京都大学
研究内容： マクロ生物系・生態系のモデリングおよび解析

研究概要

I have continued researches on biological evolution using mathematical models. Currently, I am involved in the following two major projects:

Theoretical research: JST PRESTO, "Unified understanding of two major theories of biological evolution"

Applied research: JSPS Grand-in-Aid for scientific research on innovative areas, "Replacement of Neanderthals by modern humans: Testing evolutionary models of learning"

In the theoretical research (which is a single-researcher type project), the ultimate goal is to obtain the unified understanding of inclusive fitness theory (IFT) and adaptive dynamics theory (ADT). The project lies between biology and mathematics, with more focus on mathematics. This year I have mainly worked on ADT, to provide a mathematical framework to clarify convergence stability, evolutionary stability, and evolutionary branching. Despite its history, we have found that convergence stability might be more natural concept when we consider individual-based theoretical models based on population genetics. I want to understand evolutionary stability and evolutionary branching more in depth in the following years.

In the applied research, I am involved in a large project on the evolution of human. Focusing on the replacement of Neanderthals by Homo sapiens that was estimated to have occurred 50,000 years ago, this large-scale multidisciplinary project is participated by researchers from a wide range of academic fields. The research group consists of physical anthropologists studying fossil human bones, archaeologists researching sites, brain scientists studying the learning ability unique to modern human, paleoclimatologists calculating the ancient environment, cultural anthropologists studying modern hunter-gatherers, and theoretical biologists analyzing mathematical models. We have found that the schedule of learning (individual or social learning when young or mature) is a very important factor to consider cultural evolution in human.

Topological Crystallography



砂田利一 SUNADA Toshikazu 数理解析班リーダー

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学理工学部教授

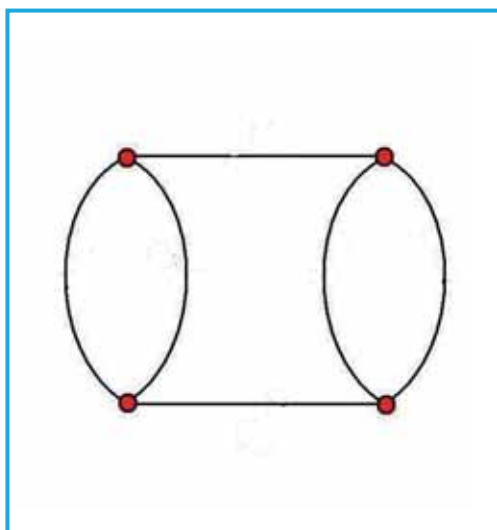
専門・学位： 離散幾何解析学，理学博士・東京大学

研究内容： ネットワークシステムの解析

研究概要

The primarily purpose of this project was to provide a mathematical insight into the modern crystallography, a typical practical science that originated in the classification of the observed shapes of crystals. The tools we employed are adopted from algebraic topology, a field in pure mathematics cultivated during the first half of the last century. More specifically the elementary theory of covering spaces and homology is effectively used in the study of 3D networks associated with crystals. Further we formulate a minimum principle for crystals in the framework of discrete geometric analysis, which provides us with the concept of standard realizations, a canonical way to place a given crystal structure in space so as to produce the most symmetric microscopic shape. In spite of its pure-mathematical nature, this concept combined with homology theory turns out to fit with a systematic design and enumeration of crystal structures, an area of considerable scientific interest for many years. Meanwhile, standard realizations show up in asymptotic behaviors of random walks on topological crystals, the abstraction of crystal structures, and are closely related to a discrete analogue of Abel-Jacobi maps in algebraic geometry.

The outcome of this project was published in the paper “Lecture on topological crystallography”, Japanese Journal of Mathematics, 7 (2012), 1-39. A full account will be given in the forthcoming book “Topological Crystallography” published from Springer.



生物，化学系に現れる 自己組織化パターンのモデル支援解析



三村昌泰 MIMURA Masayasu リーダー（研究統括）

所属・役職 : 先端数理科学インスティテュート所長
 明治大学大学院先端数理科学研究科教授
 専門・学位 : 現象数理学, 工学博士・京都大学
 研究内容 : 非線形非平衡現象の数理解析

研究概要

生命、生物現象をはじめとする自然界のさまざまな営みを理解するうえでのキーワードは非線形・非平衡である。特に、自己組織的に形成されるパターンや形態、爆発・凝縮といった特異性などの出現がその主役である。これら現象の背後には非線形性が潜んでおり、その解明なくして現象を理解することはできない。「非線形」という言葉は物理学、化学、生物学などの自然科学や工学の分野に現れており、数学の分野においても「非線形の数理」という言葉が良く用いられている。しかしながら、「非平衡系の数理」という視点からの研究はいまだ確立されていない。最近では、他分野との連携、コンピュータの急速な発展により、モデリング、数値的研究そして純数学的理論研究が相補的に遂行できるようになったことから現象数理学とよばれる数理科学的方法論が確立されて来た。本年度は、非線形非平衡現象を記述するモデルとしての反応拡散系に対して、の純数学的理論研究の視点から、「特異極限解析法」の開発に力を入れた。その応用として、数理生態学に現れる競争拡散系に対していくつかの成果をあげた([p2], [s2], [s3])。

2011年度発表論文(査読付き)

- [p1] M. Henry, D. Hilhorst and M. Mimura: A reaction-diffusion approximation to an area preserving mean curvature flow coupled with a bulk equation, Discrete and Continuous Dynamical Systems – Series S, 4 no.1, 125-154 (2011)
- [p2] J. Y. Wakano, K. Ikeda, T. Miki and M. Mimura : Effective dispersal rate is a function of habitat size and corridor shape: mechanistic formulation of a two-patch compartment model for spatially continuous systems, Oikos, 120, 1712-1720 (2011)

他2編

2011年度国際会議での招待講演

- [s1] Dynamics of soliton-like dynamics in excitable reaction-diffusion systems, International Conference on Perspective in Mathematics and Life Sciences, June 8, 2011, Granada, Spain
- [s2] Competitive exclusion and competitor-mediated coexistence, Fronts and Nonlinear PDEs, June 21, 2011, Ecole Normale Superier, Paris, France
- [s3] Competitor-mediated coexistence, Mathematical Frontiers in the life Sciences, July 5, 2011, Limerick, Ireland

他4件

固定パラメータアルゴリズムの 基礎と応用



玉木久夫 TAMAKI Hisao

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学理工学部教授

専門・学位： 計算の理論, PhD・トロント大学

研 究 内 容： 計算とアルゴリズム理論

研究概要

計算困難な問題に対するアプローチのひとつに固定パラメータアルゴリズムがある。これは、問題の大きさ n に加えて問題固有のパラメータ k を考え、計算時間の k への依存度は高いが n への依存度は低いようなアルゴリズムを開発しようというものである。より具体的には、 f を n に依存しない関数として、計算時間が $f(k)n^{O(1)}$ であるようなアルゴリズムを目指す。このようなアルゴリズムが存在するとき、その問題は（そこで選ばれたパラメータに関して）固定パラメータトラクタブルであるといわれる。具体的な問題として、2部グラフの2層描画における辺交差数最小化をとりあげた。2層描画では2部グラフの片方の頂点集合を一本の直線上に、もう一方の頂点集合を第一の直線と並行な直線上に置き、辺はこれらの二つの直線を結ぶ直線分によって表す。片側最適化問題では、一方の層の頂点順が与えられ、もうひとつの層の頂点順を選んで交差する辺の対の個数を最小化する。最適の交差数を k 、グラフの頂点数を n とするとき、 $2^{O(\sqrt{k} \log k)} n^{O(1)}$ 時間の固定パラメータアルゴリズムが知られていた。我々は、この計算時間を改良し、 $O(3^{\sqrt{2k}} + n)$ 時間のアルゴリズムを開発した。指数部 $\sqrt{2k}$ は、よく用いられる計算量的仮定である指数時間仮説 (ETH) のもとでは漸近的に最適である。また、 n に関して線形時間であることも大きな特長である。さらに、アルゴリズム自体はこれまでに知られていた固定パラメータアルゴリズムよりも単純であり、容易に実装できるという利点を持っている。この結果は The 20th European Symposium on Algorithms に採録され 2012 年の 9 月に発表予定である。この研究は、本研究室所属の小林靖明助手との共同研究である。

また、固定パラメータアルゴリズムの基礎として重要な、有向パス幅を求めるアルゴリズムについて、前年度の成果を国際会議 The 37th International Workshop on Graph Theoretic Concepts in Computer Science で発表した。

Dynamics observed in a reaction-diffusion system with triple degeneracy



小川知之 OGAWA Toshiyuki

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学大学院先端数理科学研究科教授

専門・学位： 力学系理論, 博士 (理学)・広島大学

研 究 内 容： 時空パターンの解析・分岐解析

研究概要

There has been a lot of studies about spatiotemporal patterns and their dynamics to systems of reaction-diffusion equations. Let us consider variations of bifurcations from a stationary solution. Suppose this stationary solution is spatially uniform. Then we linearize the equation about this equilibrium and we know a bifurcation occurs only if the linearized problem has zero- or purely imaginary eigenvalues which we call critical eigenvalues. Moreover if this critical eigenvalue is 0 with spatially non-trivial eigenfunction, a stationary bifurcation to non-uniform steady state occurs. One of the typical examples for this is the well-known Turing instability. On the contrary, if the critical eigenvalues are a pair of purely imaginary numbers with spatially non-trivial eigenfunctions, spatially non-trivial oscillations may occur. The so-called wave instability corresponds to this.

Now what can we say about the bifurcations from a spatially non-uniform steady state? Since the linearization about non-uniform steady states is not easy in general, we need to restrict ourselves to some special cases. One of the possibility where we can calculate the bifurcations of non-uniform steady state is to consider about the degenerate instability points.

We focus our attention to the case where the system has the triple degeneracy with 0, 1 and 2 modes (0:1:2-mode interaction). We can, in fact, show that this type of triple degeneracy really occurs in 3-component RD system. And we found the case where the 1-mode stationary solution may become unstable with a pair of purely imaginary critical eigenvalues. Moreover we obtained the complete condition for the Hopf bifurcation from the 1-mode stationary solutions. Thus we can conclude that oscillatory solutions may bifurcate from a non-uniform steady state in 3 component RD systems.

This is the joint work with Takashi Okuda (Takashi Sakamoto) in Meteorological college.

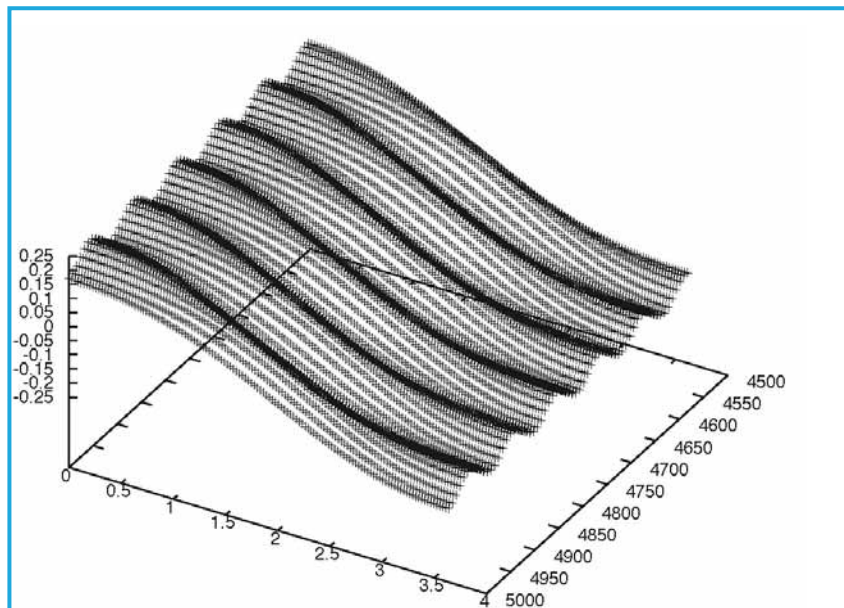


Fig. caption:Periodic motion around 1-mode stationary solution in a RD system.

パターン解の構成とその機能応用



二宮 広和 NINOMIYA Hirokazu

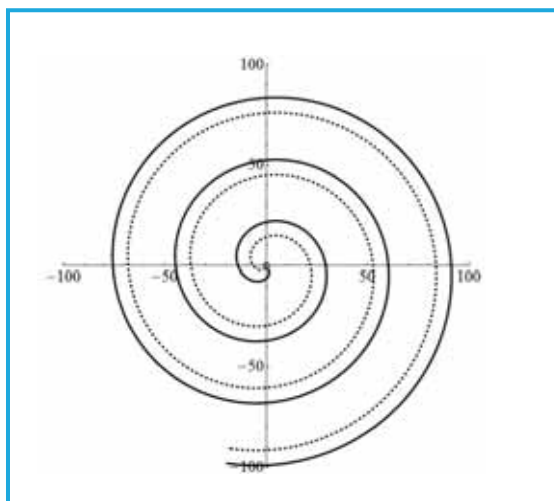
所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学大学院先端数理科学研究科准教授

専門・学位： 非線形偏微分方程式，博士（理学）・京都大学

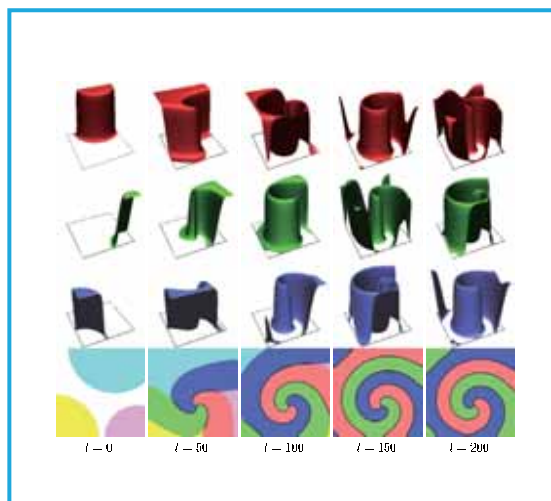
研究内容： 拡散・伝播現象やパターン構造の数理

研究概要

パターンをもつ反応拡散系の解の構成を行っている。反応拡散系の孤立解の構成や自由境界問題のスパイラル波の構成、反応拡散近似による新しい自由境界問題の導出を行った。また、心室細動は、活動電位のスパイラル波の発生が一つの原因と考えられている。スパイラル波の自発的発生メカニズムを調べている。



(a) 自由境界問題から表れるスパイラル波



(b) 反応拡散近似に見られるスパイラル波

業績

1. H. Murakawa and H. Ninomiya: Fast reaction limit of a three-component reaction-diffusion system, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 379 (2011), No. 1, 150-170
2. M. Iida, R. Lui, and H. Ninomiya: Stacked Fronts for Cooperative Systems with Equal Diffusion Coefficients, *SIAM J. Math. Anal.* **43**, (2011) No. 3, 1369-1389

宇宙プラズマ現象のシミュレーションと 太陽フレアの予測研究



草野完也 KUSANO Kanya シミュレーション班リーダー

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学研究・知財戦略機構客員教授
名古屋大学太陽地球環境研究所教授

専門・学位： シミュレーション科学，理学博士・広島大学

研究内容： 大規模階層系のモデリングおよびシミュレーション

研究概要

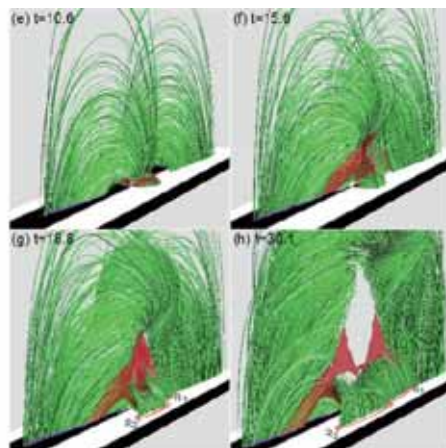
プラズマは宇宙における普遍的な物質の形態であり、そこで生ずる様々な現象は非線形過程の宝庫でもある。我々は様々な宇宙プラズマ非線形現象のメカニズムをシミュレーションを基に解明する研究を行っている。

特に、本年度は太陽フレア爆発のトリガ機構の解明とその予測可能性の研究に関して成果を得た。太陽フレアは太陽黒点の近傍で発生する巨大な爆発現象であり、その影響は地球上の様々なインフラや宇宙飛行士・航空機乗員乗客の健康被害にも及ぶことが指摘されている。太陽フレアは黒点磁場の一部がプラズマの熱と運動エネルギーに爆発的に解放される現象であるが、その発生機構は未解明である。そのため、いつ、どこで、どれ程の規模のフレアが発生するかを正確に予測することは未だに困難である。

我々は太陽フレアが太陽表面における「大規模な磁場の捻じれ」と「小規模な磁場の変化」の相互作用を通して発生するという仮説に基づき、太陽表面磁場とフレア発生との関係をこれまでに無い詳細な計算機シミュレーションによって調査した。スーパーコンピュータを用いて 100 通り以上の異なる磁場構造に関してそれぞれフレア発生の有無を調べる数値実験(電磁流体力学シミュレーション)を行うことで(図)、捻じれた磁場中に「反極性(OP)型」または「逆シア(RS)型」と呼ばれる 2 種類の特殊な構造を持つ小規模な磁場が存在したときにフレアが発生することを解明した。

さらに、この予測を検証する為、2006 年 12 月 13 日及び 2011 年 2 月 13 日に発生した大規模フレアを、太陽観測衛星「ひので」が観測したデータに基づいて詳細に解析した。その結果、シミュレーションが予測した 2 種類の磁場構造がそれぞれ太陽表面に現れた数時間後に、これら2つのフレアがその領域で発生したことが確認された。また、過去に観測された複数のフレアもシミュレーションの予測に一致する磁場構造を伴っていたことを突き止めた。

本研究は太陽フレアの発生機構の理解に大きく貢献すると共に、精密な磁場観測とシミュレーションの連携によって地球規模のインフラに深刻な影響を及ぼす巨大フレアの予測が可能であることを意味していることから、宇宙天気予報の実現のためにも重要な貢献をするものである。



画像知覚のひずみと誇大広告の危険性



杉原厚吉 SUGIHARA Kokichi

所属・役職： 先端数理科学インスティテュート副所長
明治大学大学院先端数理科学研究科特任教授
専門・学位： 幾何数理工学，工学博士・東京大学
研究内容： 物理現象，生体現象，社会現象の計算数理

研究概要

画像から奥行きを知覚する過程の数理モデルを作り、それに基づいて写真を使って実際とは異なる印象を与えることのできる技術を明らかにした。

3次元の世界を直接見て知覚する行為と、3次元世界を2次元平面に投影した画像を見て元の3次元構造を知覚しようとする行為は大きく異なる。その違いの一つは、視点の位置にかかわるものである。3次元世界は、どこに視点を置いて見ても、そこから見た“正しい情景”が見える。一方、画像には、それを撮影した時の視点（つまりレンズ中心）が付随しており、その点が、その画像を眺める“正しい視点”である。それ以外の視点から画像を眺めると、“正しくない情景”を見ていることになる。たとえば「直方体の画像は、レンズ中心以外の視点から見たときいかなる直方体も復元できない」ことが証明できる。ここに、立体を誤って知覚してしまう錯覚の原因が潜んでいる。具体的には、画像を撮影するときのレンズ中心より近い位置で画像を眺めると、実際より奥行きが浅く感じられ、逆にレンズ中心より遠い位置で画像を眺めると、実際より奥行きが深く感じられる。

視点の違いがもっと深刻になるのは、複数の画像を合成する場合である。画像に付随するはずの視点位置が一致しない合成画像は、どこに視点を置いて見ても、“正しい情景”を見ていることにはならない。たとえば、空き地の実写画像と、そこに立てる予定の建物のコンピュータグラフィックス画像を合成して、建物の完成予想図を作る場面では、この視点位置をずらすことによって、建物の圧迫感を実際より小さく感じさせるという操作が可能になる。

これらの性質は、商品の誤った印象を与える広告画像の制作技術にも通じるものであり、その扱いは注意を要する。「撮影時のレンズ中心とは異なる位置から眺めるような環境で広告画像を呈示しない」、「視点位置の一致しない合成画像は商品広告に使わない」などのマナーが必要である。あるいはもっと積極的には、普通の人々が普通に画像を眺めた時、できるだけひずみの少ない立体知覚ができる環境を、規制の形で定めることが必要である。そのためには、視点位置のずれが立体知覚にどのようなひずみを生み出すかの定量的把握が必要となるが、そのための解析方法を作ることができた。

しかし、もう一方で、自由な視点の選択は、マルチパースペクティブなどとよばれる表現技術の側面も持っている。したがって、広告画像制作のマナー・規制は、表現の自由との整合性も取らなければならない。これが次の課題である。

自己組織的パターン形成機構の メッシュ生成への適用



上山大信 UHEYAMA Daishin

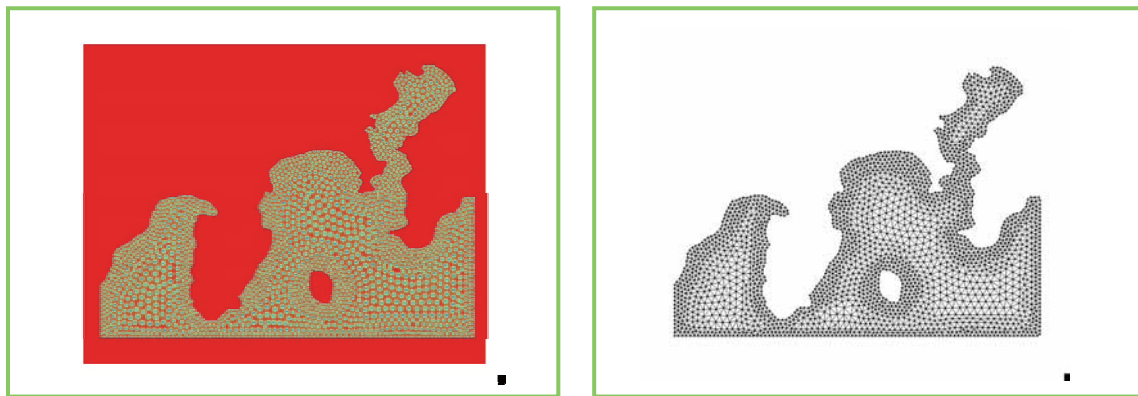
所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学大学院先端数理科学研究科准教授

専門・学位： 現象数理学，博士（理学）・北海道大学

研究内容： シミュレーション支援解析

研究概要

自然界には様々なパターン・模様が存在する。それらは自己組織的に形成されるものが多く、そのメカニズムは、数理科学、物理学、化学、生物学といった様々な分野からのアプローチによって徐々に明らかになりつつある。特に数理科学的なアプローチによる研究では、反応拡散系と呼ばれる系における研究が盛んである。コンピュータ上で、ある種の反応拡散方程式をシミュレーションすると、そこには自然界に見られるような規則正しい模様が現れる。自己組織的機構を持つパターン形成においては、例えば領域形状が複雑な場合でも、その複雑な形状に合わせておおよそ均等なパターンを形成する。本研究ではそのような「性質」をメッシュ生成に活かさないかというアイデアを出発点に、それを実現するプログラムの作成を通じて、その有効性を提案するものである。パターン形成に関する理論の新たな応用として今後の応用分野の拡大に寄与するものと考えている。



図：提案手法によって作成されたメッシュ（右）。自己組織的に生成されるスポットパターン（左）を利用して作成される。方程式中のパラメータを適切に調節することによって、メッシュの粗密も自由にコントロールできる。

- A self-organized mesh generator using pattern formation in a reaction-diffusion system, H. Notsu, D. Ueyama, and M. Yamaguchi, Applied Mathematics Letters 26(2) (2013), pp.201-206.