

3. 拠点メンバー・研究概要の紹介

※班リーダー

<2012 年度>

モデリング班

三村 昌泰 ※	自己組織化集合形成の現象数理学
向殿 政男	安全学の体系化とスマートグリッド安全性への適用
刈屋 武昭	欧州国債の実証分析(Credit Risk Analysis on GBs of Euro Countries)
森 啓之	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
小林 亮	動物の運動に学ぶ自律分散制御の数理的研究
荒川 薫	人と関わる視覚・聴覚情報処理
西森 拓	ゆらぐ要素系のダイナミクスの解析
高安 秀樹	金融市場の非ランダムウォーク性の確認とそのモデリング
柴田 達夫	細胞や組織形成のフィジカルバイオロジー
田野倉 葉子	Development of index construction for a financial market with heavy-tailed distributions
若野 友一郎	生物進化の研究:理論と応用

数理解析班

砂田 利一 ※	Topics on Mathematical Crystallography
三村 昌泰	自己組織化集合形成の現象数理学
玉木 久夫	Algorithms for directed pathwidth
小川 知之	反応拡散系のパターンダイナミクス 0:1:2 多重臨界点とその標準形解析
二宮 広和	パターン解の構成とその機能応用

シミュレーション班

草野 完也 ※	太陽面爆発現象の発生機構とその予測
杉原 厚吉	錯視の現象数理学と立体錯視図形の創作
上山 大信	数理生物学における厳密解とその応用

研究協力者

池田 幸太	1. 樟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
末松 J. 信彦	生物・無生物の集団が形成する秩序パターン
中村 和幸	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
木下 修一	非一様興奮場におけるスパイラル波の発生メカニズム
岡嶌 亮子	生物形質・不連続分布の進化:連続的資源に対する選好性が及ぼす影響の検証
町田 拓也	量子ウォークの現象数理学的研究
八島 健太	フラクタル反応理論の生態学への適用

研究協力者

HUNG, Li-Chang	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
SIEW, Hai-Yen	The earthquake prediction based on focal mechanism
参納 弓彦	環境に依存した自己駆動粒子の運動の理解と制御
西村 信一郎	アメーバ様細胞のシミュレーション

MIMS Ph.D.プログラム学生

(2009 年度入学)

土居 英一	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
藤間 真	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

(2010 年度入学)

青谷 章弘	バクテリアコロニーパターンの多様性についての理解
向殿 和弘	マーケットマイクロストラクチャーを用いた市場解析
山口 将大	生物の形態形成の適応性に関する数理解
CHEN, Yan-Yu	Traveling spots in singular limit problems of reaction-diffusion systems

(2011 年度入学)

岩本 真裕子	腹足類の這行運動メカニズムに関する統一的理解
大家 義登	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
永田 真一	マーケットマイクロストラクチャーとシステム・リスクに関する 流動性分析と既存モデルの問題点
IJIOMA, Ekeoma Rowland	Multiscale approach to pattern formation in reverse smoldering combustion
LUKITO, Adi Nugroho	Real Options Application on Franchise Financial Contract

(2012 年度入学)

鈴野 浩大	自己駆動散逸粒子の集団運動
高橋 俊藤	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
坂内 元気	状態空間モデルを用いた時系列データの解析
GANI, Mohammad Osman	Alternans and Spiral Breakup in a modified FitzHugh-Nagumo Model of Cardiac Cell Dynamics
SCOTTI, Tommaso	Reaction-Diffusion Equations in Ecology

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

安全学を体系化するという立場から、多くの安全の分野に関して、体系的、思想的な観点から研究を行った。ここで安全学(Safenology)とは、システムの安全確保に関して、自然科学である技術的側面(物理、化学、数理等)と共に、人文科学である人間的側面(人間工学、認知科学、心理学、意識等)、及び社会科学である組織的側面(基準、法律、管理、組織、社会制度等)の三側面から、総合的に、領域横断的に考察する新しい学問であり、ここでは、三側面を統合する理念的側面(思想、哲学、価値観等)を重視している。今年度の研究は、上記の安全学の視点から、原子力発電を例にしてリスクが極めて高いシステムに対する安全設計思想について、ロボットを例にして人間と機械が共存する場合における安全技術の在り方について、及び、エネルギーを例にして社会における技術リスクの捉え方について、考察をした。特に、今後の社会安全にとって最も重要となると考えられるスマートグリッドを例にして、セキュリティに関する哲学的な考察、及びセキュリティに関する一般消費者の要望について、考察を行った。

参考文献：

- (1) 向殿政男、リスクが極めて高いシステムに対する安全設計思想について～原子力発電に対する一考察～、SE セーフティエンジニアリング、No.170, pp.10-15,総合安全工学研究所、2013-3
- (2) 向殿政男、ロボットの安全技術の概要と最新動向、ロボット No. 211、pp.1-7,日本ロボット工業会、2013-3
- (3) 向殿政男、社会における技術リスクの捉え方、エネルギーレビュー、2013 年 3 月号、pp.18-21,エネルギーレビューセンター、2013-2
- (4) Amy Poh Ai Ling, Sugihara Kokichi, Mukaidono Masao, Enhancing Smart Grid System Processes via Philosophy of Security - Case Study based on Information Security Systems -, Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, Vol. 3, No. 3, pp. 94-112, 2012
- (5) Amy Poh Ai Ling, Chen Yan Yu, Sugihara Kokichi, and Mukaidono Masao, The Essential Identified Consumer Requirements Derived through Descriptive Analysis on the Information Security in a Smart Grid System, International Journal of Modern Engineering Research, Vol. 2, Issue. 5, pp-3347-3366, 2012-9
- (6) Amy Poh Ai Ling, Sugihara Kokichi, Masao Mukaidono, The Japanese Smart Grid-Initiatives, Investments, and Collaborations, International Journal of Advanced Science and Applications, Vol. 3, No. 7: pp. 44-54, 2012

欧州国債の実証分析

Credit Risk Analysis on GBs of Euro Countries



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，Ph.D.・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

In this research we make a comprehensive credit risk analysis on government bonds (GBs) of Germany, France, Italy, Spain, Greece and Germany over the period 2007.4-2012.3, where interest rate (IR) differential, government bond (GB) price differential, default probability (DP) and CDS are considered. First, applying the GB-pricing model in Kariya et al. (2012) to these GB prices, we first derive the term structures of interest rates (TSIRs) and discuss on the Maastricht convergence condition for IR-differentials among these states relative to the German TSIRs and make some observations on divergent tendencies. The results are associated with business cycles and budgetary condition of each state.

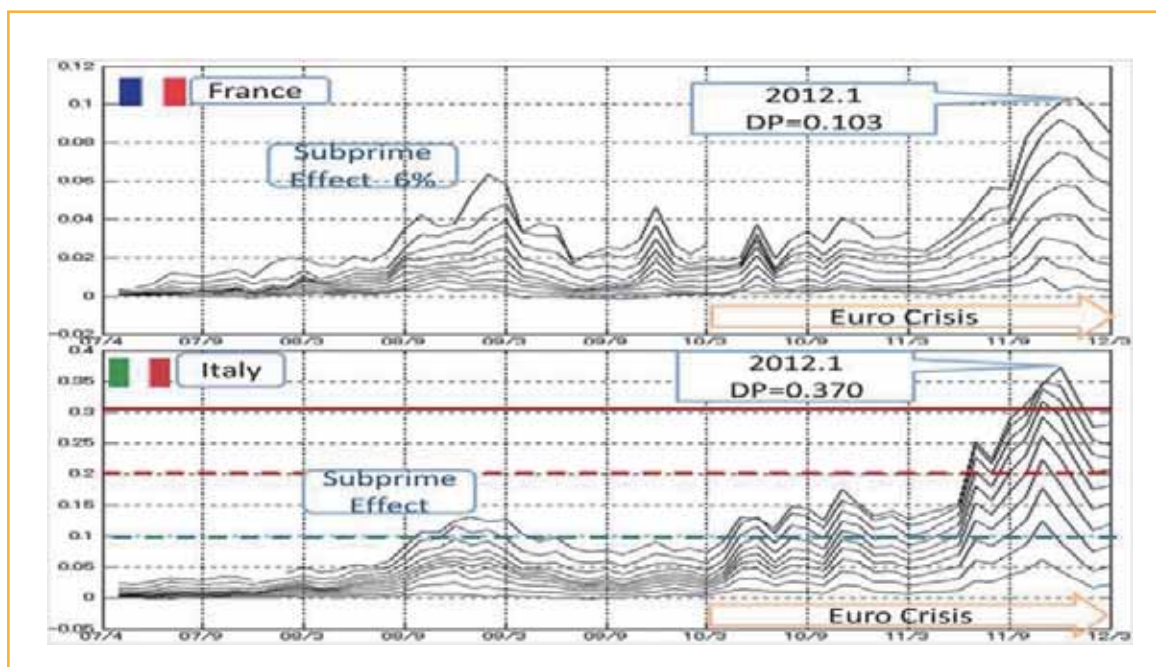


Fig. Term structure of default probabilities of France and Italy

In the second part, we derive term structures of default probabilities (DPs) for French, Italy, Spanish and Greek Government Bonds (GBs) relative to German GBs. In the period of the Euro Crisis, the DPs are higher than 30 % in case of Italian GBs of 10 year maturity, while those of French GBs of 10 year are high enough to hit 10%.

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

本年度の「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、3つのことについて研究した。まず、気象条件によって出力変動する再生可能エネルギー電源を持つスマートグリッド環境下の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) の最適配置と最適出力のコーディング方式について研究した。このFACTS配置問題は非線形混合整数計画問題として表現され、それを高速に解くために、ハイブリッドコーディングを考案した[1]。

次にスマートグリッド環境下の配電ネットワークにおいて電圧偏差を最小化する目的のキャパシタ配置問題で、並列双対タブサーチを考案した。キャパシタ配置問題は事前に定められたノードにおいて電圧調整に必要な最適なバンク数を決定する組合せ最適化問題である。その問題を解決するために、タブサーチの近傍生成において近傍分割、タブリストにおける多様化を導入した並列タブサーチの初期値に対して双対コードを考慮した方式を開発し、従来法と比べて良好な結果を得た[2]。

さらに、太陽光発電の短期予測において従来のニューラルネットであるRBFN(Radial Basis Function Network)を改善するために、RBFNを一般化したGRBFNの利用、メタヒューリスティクスのEPSO(Evolutionary Particle Swarm Optimization)によるニューロンの重み最適化、過学習防止のためのニューロンの重み減衰法、GRBFNの初期中心を決定するためのDeterministic Annealingによるデータクラスタリングを融合した手法を提案し、その手法の有効性を示唆した[3]。

参考文献

- [1] H. Fujita and H. Mori, “Development of Hybrid-Coded EPSO for Optimal Allocation of FACTS Devices in Uncertain Smart Grids,” *Procedia Computer Science* (Elsevier), Vol. 12, pp.429-434, Nov. 2012.
- [2] Y. Ogita and H. Mori, “Parallel Dual Tabu Search for Capacitor Placement in Smart Grids,” *Procedia Computer Science* (Elsevier), Vol. 12, pp.307-313, Nov. 2012.
- [3] 高橋政人, 森啓之: 「EPSOを用いたGRBFNによる太陽光発電出力予測」, 電気学会論文誌B, Vol. 133, No.1, pp. 72-78 (2013-1)

動物の運動に学ぶ 自律分散制御の数理的研究



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

動物のロコモーションに学ぶことにより、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。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、それを様々なタイプのロボットに適用することで、その有効性を示してきた。本年度はヒラムシをメインのターゲットとして、その運動の解析を行い、ヒラムシロボットの製作を行った。また、腹足類の這行における摩擦制御の担い手としての粘液に関する研究を行った。さらに、視覚共有に基づくロボットのナビゲーションシステムを構築した。

*ヒラムシの運動の計測とモデル化及びロボット製作

ヒラムシの持つ多様な運動形態の中で、這行と遊泳の運動解析を行った。這行の運動計測に基づき、ヒラムシの2次元的這行の数理モデルを構築した。遊泳に関しては、ヒラムシはその体側に、前方から後方に向かって波を流すと同時に、体軸を振動的に折り曲げている。我々は、この遊泳パターンを再現するソフトロボットを製作し、効果的な遊泳を行うための体側波と体軸の折れ曲がり振動の位相関係を明らかにした。

*腹足類等の這行運動における粘液の力学的役割の解明

粘液のレオロジーがある種のヒステリシスを持つという実験事実に基づき、Direct wave 型と Retrograde wave 型の両這行様式が、粘液により自然に実現されることを、数理モデルによって示した。

*視界共有を用いた直感的ヘビ型ロボット操縦シミュレータの開発

ロボットの操縦を高度なレベルで行うためには、できるだけ多くの感覚を、ロボットと操縦者の間で共有することが望ましい。そのための第一歩として、ヘビ型ロボットと操縦者の視界共有による直感的なロボットナビゲーションシステム "Snake Vision Simulator" を構築した。操縦者とモデルをつなぐインターフェースとして、角度検知が可能なヘッドマウントディスプレイを導入し、これにより視覚共有と同時に操縦者の視線による方向制御を可能にした。

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・聴覚情報処理について以下の研究を行った。

- (1) 対話型進化計算を用いた立体感のある顔画像似顔絵作成
- (2) 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一検討
- (3) 成長期の年齢変化を伴う顔画像による人物認証
- (4) 方向性メディアンフィルタを用いたインペインティング法による古い動画画像のスクラッチ除去

(1)では、これまでの平面的に仕上がる似顔絵に対し、陰影をつけることによって立体感を持たせ、より表現力のある似顔絵作成の方式を提案した。これは、本人の顔写真の輝度値をある割合で平面的な似顔絵に混合させることにより実現するものである。また、その混合率を対話型進化計算で人が主観的に良好と思える値に設定する。これにより、人が見ても自然で好ましい立体感のある似顔絵を作成できることが示された。

(2)では、対話型進化計算を用いた顔画像美観化システムをスマートフォンやタブレット端末で実装するに当たり、昨年度、内分及び外分を用いることにより、効果的に利用者の好みの顔画像が得られるという方式を提案したが、その有効性を定量的に確認した。スマートフォンアプリとしてこの顔画像美観化システムを実装すると、あまり多くの顔画像をディスプレイに表示できないため、少ない候補顔画像から効率よく望ましい美観化顔画像が出現される必要がある。本研究では、従来の交叉法と内分・外分を導入した交叉法の特性を定量的に比較し、内分・外分を導入することにより、より早く理想の顔画像が実現できることを示した。

(3)では、小学生のときに撮影した顔写真から、中学生になった時の人物認証を行う方式を提案し、その有効性を示した。顔画像による人物認証にはいろいろな方式が提案されているが、成長期における年齢変化があると、顔の構造が変わり認証が難しい。本研究では、ブロックマッチングを採用し、成長により顔の各部位が移動しても本人特有の部位の形状を見つけるものである。また、特に、目の特徴が本人の認証に重要な役割を担うことに着目し、目に重きを置いた認証法を提案し、約9割の精度で本人を認証できることを示した。

(4)では、動画画像の傷を消すことに用いられているインペインティング法に方向性メディアンフィルタを組み合わせることで古い映画などの動画画像に含まれるスクラッチと呼ばれる垂直状の傷を除去する方式を提案した。方向性メディアンフィルタを用いることにより、インペインティング法の限界を補い、良好な画像修復を行うことができることを示した。

ゆらぐ要素系のダイナミクスの解析



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群れがある。魚、鳥、昆虫の群れなどが身近な例である。また、車の群れ、歩行者の群れなど人工物や人間自身からなる群れもある。これまでの群れの集団運動に関する理論研究の多くは、i)個々の構成要素の運動をできるだけ単純化した上で、ii)群れ全体として表出する複雑な運動を再現し、iii)そこから群れの集団運動の本質を抽出する、という流れに沿った研究であった。一方で、冒頭で示した様々な群れにおいては、構成要素の持つ、これ以上単純化できない内部自由度こそが、群れ全体の複雑な振る舞いに決定的な影響を与える可能性も排除できない。

そこで、2012年度の我々の研究目標の一つとして、いくつかの群れの集団運動において、実験的観測とその解析をこれまで以上に詳細に進め、個々の要素の単純化できない内部自由度の存在を吟味することで、群れの集団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. 円環状水路内の前後対称樟脳船集団の交通流の実験と数理モデルによる解析

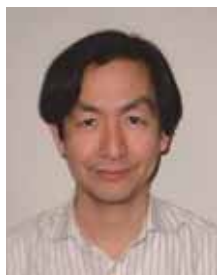
を行った。1に関しては、前年度までの研究に引き続き、採餌歩行中のアリ(トビイロケアリ)の帰巢経路構築の実験を行い、アリがフェロモンによる化学情報だけでなく、採餌途上におけるランドマークなどの視覚情報も利用しながら時々刻々の自分の位置を把握し、採餌経路を構築していることを定量的に示した。また、視覚情報の利用が、記憶の保持と関連していることも明らかにしてきた。また、樟脳船集団の運動に関しては、明治大学特任講師の末松信彦氏や、広島大学 GCOE 研究員参納弓彦氏らと共同し、表面張力差で自己駆動する前後対称および前後非対称な樟脳船の集団を円環状水路に並べ、その数密度に依存して、2つの集団運動モード---密度波前方伝搬モードと密度波後方伝搬モード---の間の切り替えが起こることを示した。

上記の群れ運動とは独立して、地形学における要素系の運動として

3. 砂丘のダイナミクスの新しい縮約モデルの構築

を行った。具体的には、砂丘の尾根線を砂丘の形状における基本要素と見て、砂丘のダイナミクスを「紐の運動」として表現する偏微分方程式系を提案し、これを理論的に解析することで、砂丘の典型的形状がゆらぎに対して安定か否かを議論した。

金融市場の 非ランダムウォーク性の確認と そのモデリング



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

金融市場における価格の変動は、伝統的にランダムウォークモデルで記述するアプローチが主流であるが、高頻度の実データを丁寧に解析すると、この標準モデルでは説明できないような様々な特性が観測される。今年度は、この点に関して様々な方向から分析を進め、現実の非ランダムウォーク性と整合するような市場のモデル開発を行った。

下記論文[1]では、ドル円市場の為替レートの秒刻みのデータを解析し、価格の変位の分布が2つの意味で非定常性を示すことを明らかにした。一つ目の非定常性は24時間の周期で変動する成分であり、もうひとつは、1週間程度の時間スケールのポアソン過程で近似できるようなランダムに発生する非定常成分である。

論文[2]では、同じく為替市場の市場価格の上がり下がり発生事象が、直近の過去の上がり下がりの履歴に依存していることを条件付き確率の観測によって実証した。また、論文[3]では、上がり下がりの時系列に対して網羅的な連検定を行い、一日よりも短い時間スケールでは一般に上下変動は相関を有することを明らかにした。

これらの非ランダムウォーク的な観測事実と矛盾しないような市場のモデルとして、仮想的なディーラーの集団行動をシミュレートするスプレッドディーラーモデルを構築した。このモデルでは、ディーラーがトレンドを追従する効果を付加することにより価格の上がり下がりの基本特性を再現できるだけでなく、日銀の介入などの極端に非定常な市場の状態もパラメータを調整することによって再現することができる。

2012年度発表論文（査読付き）

- [1] Takaaki Ohnishi, **Hideki Takayasu**, Takatoshi Ito, Yuko Hashimoto, Tsutomu Watanabe, Misako Takayasu: On the nonstationarity of the exchange rate process, *International Review of Financial Analysis* 23, 30–34 (2012)
- [2] Y. Hashimoto, T. Ito, T. Ohnishi, M. Takayasu, **H. Takayasu**, T. Watanabe: Random walk or a run. Market microstructure analysis of foreign exchange rate movements based on conditional probability, *Quantitative Finance*, 12, 893-905 (2012)
- [3] Yoshihiro Yura, Takaaki Ohnishi, Kenta Yamada, **Hideki Takayasu**, Misako Takayasu: REPLICATION OF NON-TRIVIAL DIRECTIONAL MOTION IN MULTI-SCALES OBSERVED BY THE RUNS TEST, *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, Vol. 16, 136–148 (2012)
- [4] 松永健太、山田健太、**高安秀樹**、高安美佐子: スプレッドディーラーモデルの構築とその応用, *人工知能学会論文誌*, 27, 365–375 (2012)

他 5 編

細胞や組織形成の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、発生過程で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るのです。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か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。

Development of index construction for a financial market with heavy-tailed distributions



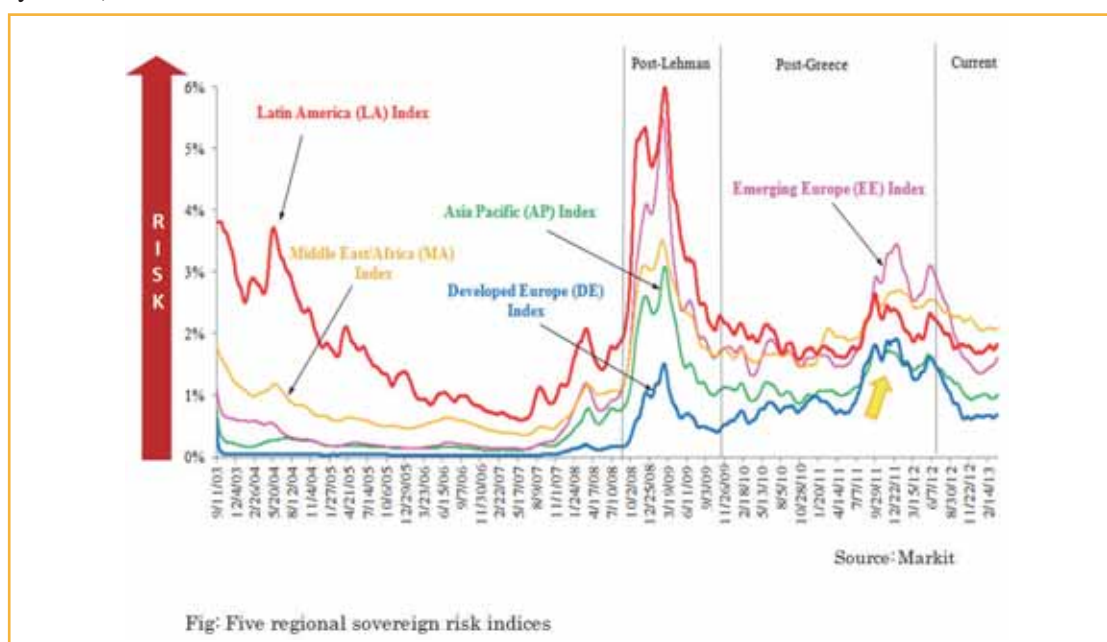
田野倉葉子 TANOKURA, Yoko

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： 時系列解析, 博士 (学術)・総合研究大学院大学
 研究内容： 金融・経済・社会現象のモデリングおよび解析

研究概要

For making a financial market view, the movements of all prices or returns in the market should be fully considered. Although their distributions should be reflected, they are often heavy-tailed and possibly skewed and identifying them directly is not easy. To address these difficulties, we proposed a statistical method of constructing a price index of a financial market where the price distributions are skewed and heavy-tailed. Firstly, we apply the Box-Cox transformation where the parameter is determined by minimizing the AIC with respect to the original prices. Then, we estimate the long-term trend of the distributions by fitting a new trend model with time-varying observation noises. Finally, we define the index by taking the inverse Box-Cox transformation of the optimal long-term trend. To show the effectiveness of our method, we constructed the regional indices of the sovereign Credit Default Swap market where the number of observations varies over time due to the immaturity. As a result, the worldwide spillover effects of the European debt crisis were detected. Applying our method to the markets with insufficient information such as fast-growing or immature markets can be effective.

This is the joint research with Hiroshi Tsuda (Doshisha University), Seisho Sato (The University of Tokyo) and Genshiro Kitagawa (Research Organization of Information and Systems).



生物進化の研究：理論と応用



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

本年度も引き続き、生物進化現象に対する数理モデル研究を行った。2012 年に主に 2 つの大きなプロジェクトを実施した。

理論面：JST さきがけ（生命モデル領域）「生物進化の 2 大理論の統一的理解」

応用面：科学研究費（新学術領域研究）「ネアンデルタールとサピエンス交替劇の真相」

理論面プロジェクトは、包括適応度理論(IFT) と Adaptive Dynamics 理論(ADT)との統一的理解が目標であった。特に近年の IFT の目覚ましい発展は、一方で血縁選択とは何かというやや哲学的な問題を提起し、Nature 誌上などで活発な議論が行われている。IFT に対する誤解も、未だに存在する可能性も高い。IFT の正体を明らかにし、その長所短所を明らかにするため、従来直感的な記述がされてきた IFT を、数学理論として再構築する論文を発表した。また、ADT において重要な現象である進化的分岐を、IFT 理論の観点から解明する研究をスタートした。

応用面では、人類進化の大型プロジェクトに参加している。これは、5 万年前ごろに起きたネアンデルタールからサピエンスへの交替劇を扱うプロジェクトで、化石人骨を扱う自然人類学者だけでなく、遺跡調査を行う考古学者、サピエンスに特有の学習能力を探る脳科学者、当時の環境を計算する古気候学者、現在の狩猟採集民族を研究する文化人類学者など、多岐にわたる研究者が参加する学際的プロジェクトである。このプロジェクトの格子は、「サピエンスは優れた個体学習能力によりネアンデルタールを駆逐した」という学習仮説であって、これは理論研究から生まれた仮説である。この仮説は、サピエンスの時代以降に石器が急速に変化(発展)することから、間接的には支持されているが、では何故サピエンスにだけ高い個体学習能力が進化したのかについては、明らかではない。私は、青木や中橋、Lehmann、Feldman らと共同で、学習能力の進化モデルの研究を続けてきている。2012 年は、特に個体の生活史戦略として最適な学習スケジュールにいて、最適制御理論を用いた研究成果をいくつか挙げる事ができた。

最終的に 2012 年に公表した査読付国際学術誌における論文数は、6 件であった。

Topics on Mathematical Crystallography (数学的結晶理論)



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

In July 2012 the General Assembly of the United Nations resolved that 2014 should be the International Year of Crystallography, 100 years since the award of the Nobel Prize for the discovery of X-ray diffraction by crystals. Towards this special occasion, I started to study several topics in mathematical crystallography. Especially motivated by the recent development in systematic design of crystal structures, I tried to find relationships among seemingly irrelevant subjects; say, standard crystal models, tight frames in the Euclidean space, rational points on Grassmannian and quadratic Diophantine equations. Thus my view is quite a bit different from the traditional one focusing mainly on crystallographic groups.

The central object in this study is what we call crystallographic tight frames, which are, in a loose sense, considered a generalization of root systems. We shall also pass a remark on the relations with tropical geometry, a relatively new area in mathematics, especially with combinatorial analogues of Abel-Jacobi map and Abel's theorem.

As is well known, root systems are completely classified by means of Dynkin diagrams. I have shown that similarity classes of crystallographic tight frames are parameterized by rational points on Grassmannians. Quadratic Diophantine equations show up when we explicitly relate rational points to crystallographic tight frames. In the 2-dimensional case especially, we may parameterize the (oriented) congruence classes by "rational points" on a certain complex projective quadric. A rational point we mean here is a point in a complex projective space each of whose homogeneous coordinate is represented by a number in an imaginary quadratic field.

- [1] T. Sunada, Topological crystallography----With a View Towards Discrete Geometric Analysis---, Surveys and Tutorials in the Applied Mathematical Sciences, Vol. 6, Springer, 2012.
- [2] T. Sunada, Lecture on topological crystallography, Japan. J. Math. 7 (2012), 1--39.
- [3] T. Sunada, Standard 2D crystalline patterns and rational points in complex quadrics, arXiv:submit/0620196 [math.CO] 23 Dec 2012.

自己組織化集合形成の現象数理学



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特任教授

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

本年度は自己組織化による集合形成を反応拡散系モデルとその解析という現象数理学を行なうことであった。その成果をテーマ毎にに列挙する：

- ① すず combustion に現れる燃焼パターンのモデル解析からの解明 ([1])
- ② 増殖する腫瘍細胞に現れる接触抑制効果のモデル解析からの解明 ([2])
- ③ 競争—拡散系に現れる競争排他・共存問題の数理解析 ([3], [5])
- ④ 自己組織化集合のモデル解析からの解明 ([4], [6])

特に、④においては、自己組織化集合形成に対して、個体を記述するミクロレベルモデルとポピュレーションを記述するマクロレベルモデルを提案するとともに、2つのモデル間のリンクを特異極限と流体力学極限という2つの極限法もちいることから明らかにした。

- [1] K. Ikeda and M. Mimura: Traveling wave solutions of a 3-component reaction-diffusion model in smoldering combustion, Communications on Pure and Applied Analysis, 11, 275-305 (2012)
- [2] M. Bertsch, D. Hilhorst, H. Izuhara and M. Mimura: A nonlinear parabolic-hyperbolic system for contact inhibition of cell-growth, Diff. Eqs. Appl. 4, 137-157 (2012)
- [3] D. Hilhorst, S. Martin and M. Mimura: Singular limit of a competition-diffusion system with large interspecific interaction, J. Math. Anal. Appl., 390, 488-513 (2012)
- [4] S.-I. Ei, H. Izuhara and M. Mimura: Infinite dimensional relaxation oscillation in aggregation-growth systems, Discrete and Continuous Dynamical Systems- Series B, 17, 1859-1887 (2012)
- [5] C.-C. Chen, L.-C. Hung, M. Mimura and D. Ueyama: Exact traveling wave solutions of three species competition-diffusion systems, Discrete and Continuous Dynamical Systems- Series B, 17, 2653-2669 (2012)
- [6] T. Funaki, H. Izuhara, M. Mimura and C. Urabe: A link between microscopic and macroscopic models of self-organized aggregation, Networks and Heterogeneous Media, 7, 705-740 (2012)

Algorithms for directed pathwidth



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, Ph.D.・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

I have continued the research on directed pathwidth computation part of which was done in academic year 2010. The algorithm obtained then that was claimed to run in $n^{k + O(1)}$ time, where n is the number of vertices and k is the pathwidth, has contained a serious flaw. I have spent a large amount of time on fixing this flaw and succeeded in recovering an algorithm with running time $n^{2k + O(1)}$, but has not been able to retrieve the originally claimed running time. My current plan is to publish this weakened result and continue working on the complete fix for some extended period of time, as the problem appears really difficult.

On the other hand, this weakened result is sufficient for many theoretical applications. Indeed, building on this result, I have developed, with my students Kenta Kitsunai, Yasuaki Kobayashi, Keita Komuro, and Toshihiro Tano, a non-parameterized $O(1.89^n)$ time algorithm for directed pathwidth which improves the running time of $O(1.996^n)$ the undirected pathwidth algorithm due to Suchan and Villanger.

I also continued the work on the two-layer graph drawing problem reported last year and have obtained a non-trivial improvement to the one-sided crossing minimization algorithm due to Yasuaki Kobayashi and myself and obtained a kernel result for two-layer crossing minimization with Yasuaki Kobayashi, Hirokazu Maruta, and Nakae Yusuke. The first result will appear in Algorithmica and the second result has appeared in COCOON 2013 (The 19th Annual International Computing and Combinatorics Conference).

反応拡散系のパターンダイナミクス

0:1:2

多重臨界点とその標準形解析



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
明治大学理工学部教授
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

反応拡散系のパターンダイナミクスの分岐を大域フィードバックの観点から整理し, 0:1:2 モードの相互作用から振動タイプの2次分岐やヘテロクリニックサイクルが生じることを明らかにした。

力学系の分岐理論は特異点のまわりで系の振る舞いがどのように変わるかを記述するものである。なかでも特異性の高い多重臨界点の構造から全貌が明らかになることが多い。一般に1次元のパターンの問題などで生じる多重特異点は隣り合うフーリエモードが同時に臨界になる点である。また特に周期境界条件やノイマン境界条件など自然な境界条件設定の場合は系が0(2)対称性をもつので、 $n:(n+1)$ -モードが同時に臨界になる0(2)対称な力学系がパターンの分岐に関する主要な研究対象になる。 $n>1$ であれば得られる複素2次元の標準形は非常に単純で解析は容易である。しかし唯一1:2-モードが同時に臨界になる点は例外で、0(2)対称であっても、2次の共鳴項があるために独立な振幅方程式が導けないような標準形が得られる。これに対しArmbrusterたち(Physica D29, 257-282, 1988. 以下AGH)は2次項の係数の積の正負により系がきわめて特徴的なダイナミクスを持つ事を示した。すなわちその積が負であれば、またそのときのみ、進行波解や漸近安定なヘテロクリニックサイクルを持つ事を示した。一方、Smithたち(Physica D211, 347-376, 2005)は0:1:2モードが同時に臨界になる3重の多重臨界点を考えると基本的にAGHを内包するような2次の共鳴項を持つ標準形が得られて、やはり2次項の係数の積が負であれば、豊富な解構造を持つ事を示した。このような状況下で、我々は反応拡散系に0:1:2モードが同時に臨界になる3重の多重臨界点があることを示し、さらに奇関数対称性を課すと2次でなく3次の共鳴項をもつ標準形が得られることや、そこでは2次項の係数の積の正負いずれのタイプのAGHも内包するようなダイナミクスがあることも明らかにした。そこで、この3次の共鳴項をもつ標準形を詳細に解析しその分岐構造を決定した。

T.Ogawa and T. Okuda, "Oscillatory dynamics in a reaction-diffusion system in the presence of 0:1:2 resonance", Networks and Heterogeneous Media, 893 - 926, Volume 7, Issue 4, December 2012

パターン解の構成とその機能応用



二宮 広和 NINOMIYA, Hirokazu

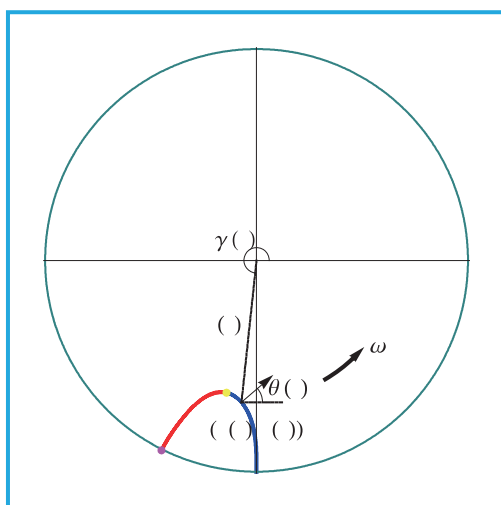
所属・役職： 先端数理科学インスティテュート所員
明治大学理工学部教授

専門・学位： 非線形偏微分方程式，博士（理学）・京都大学

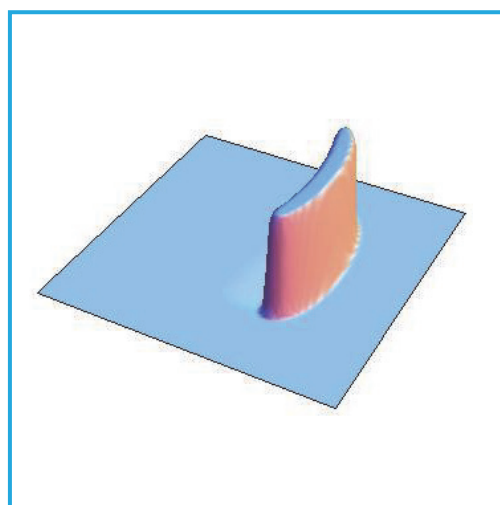
研究内容： 拡散・伝播現象やパターン構造の数理

研究概要

パターンをもつ反応拡散系の解の構成をおこなっている。反応拡散系の特異極限問題の進行スポット解の構成や自由境界問題の回転孤立波の構成，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回転孤立波



(b) 反応拡散系の進行スポット解

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. Y.Y. Chen, J.S. Guo and H. Ninomiya: Existence and uniqueness of rigidly rotating spiral waves by a wave front interaction model, Physica D, Volume 241, Issue 20, (October 2012), 1758-1766

太陽面爆発現象の発生機構とその予測



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
名古屋大学太陽地球環境研究所教授
独立行政法人海洋研究開発機構 招聘上席研究員 地球内部
ダイナミクス研究領域 階層システム研究チームリーダー
明治大学研究・知財戦略機構客員教授

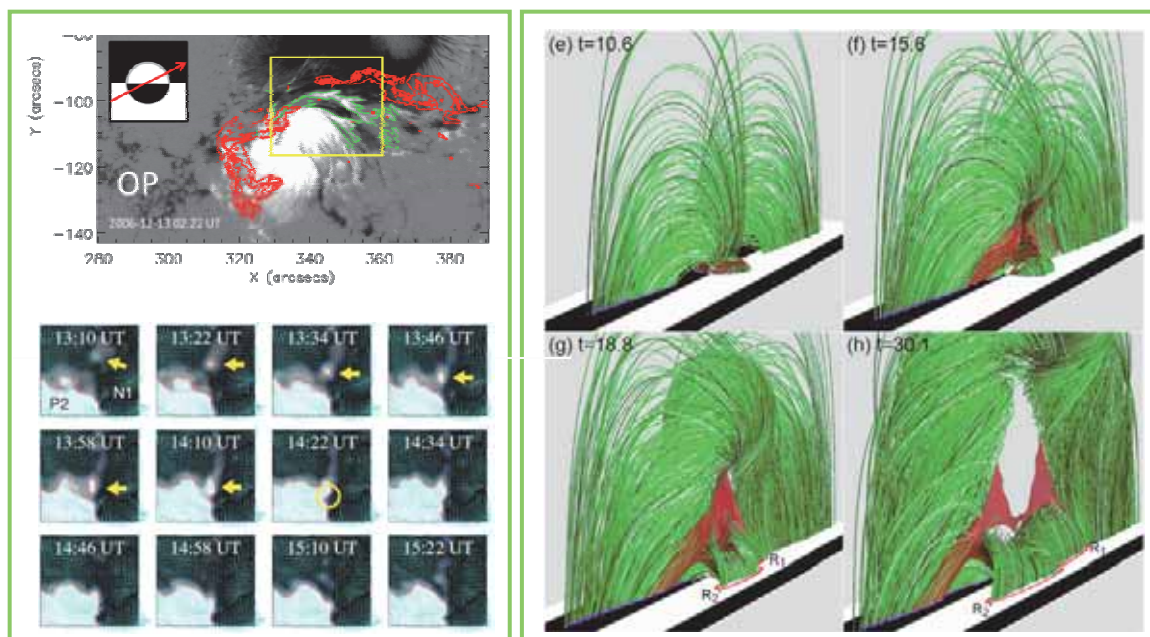
専門・学位： シミュレーション科学，理学博士・広島大学

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

太陽黒点は太陽表面を横切る巨大な磁束管であり 10^{32} エルグの膨大なエネルギーを蓄積している。そのエネルギーの一部はしばしば爆発的に解放され、高温プラズマと大規模な放出を引き起こすことがある。太陽フレアやコロナ質量放出と呼ばれるこの太陽面爆発現象は地球の環境や衛星・通信・電力・エネルギーに関わる社会システムに多大な影響を与えることがある。それ故、その発生機構を理解すると共にいつ、どこで、どれほどの爆発が起きるかを予測することが求められている。

我々はスーパーコンピュータによるシミュレーションと日本の誇る最新の太陽観測衛星「ひので」による太陽フレアの観測データの比較に基づいて、太陽表面の磁場が特殊な構造を持つときに太陽面爆発が発生することを見出した。この構造は磁場の「大規模な捻じれ」と「小規模な擾乱」の相互作用によって生まれるものである。こうしたスケールの異なる磁場成分が磁気リコネクションと呼ばれる相互作用を起こすと磁場構造全体が不安定化して上昇をはじめる。その結果、磁気リコネクションが増幅されるというフィードバックが働き、爆発的にエネルギーが解放されることが理解できた。この結果は詳細な太陽磁場観測とコンピュータシミュレーションの連携によって、太陽面爆発を予測することが可能であることを意味している。



左上: ひので衛星が観測した太陽フレア爆発。磁場(グレースケール)とフレア発光(赤線)。左下: フレア領域の小規模な磁場構造の変化。右: コンピュータシミュレーションで再現された太陽フレアにおける磁力線の構造。

錯視の現象数学と立体錯視図形の創作



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

不可能立体のだまし絵が誘発する錯視の数理モデルを従来から研究しているが，そのモデルの精密化を図り，それに基づいて新しい錯視作品を創作した。今までは立体とその投影像の幾何形状のみに注目してきたが，本年度は立体表面の模様や陰影の影響もモデルに追加した。そして，それがもたらす新しい視覚効果を予測し，その予測に基づいて新しい立体を設計・製作し，予測どおりの錯視が生じることを確認した。具体的に制作した錯視作品には次のものがある。

- (1) カフェウォールビル カフェウォール錯視という 2 次元図形がもたらす錯視は従来から知られていたが，それを 3 次元に拡張し，ビルの壁面模様として実現した。カフェウォール錯視は，長方形をずらして並べると，境界の平行線が傾いてみえる錯視であるが，長方形を平行四辺形に置きかえると錯視量が増すことを発見した。そこでこれをビルの壁という立体に描き，見る方向によって平行四辺形へのひずみの程度を自由に変えられるようにした。これにより，一つの作品でいろいろな平行四辺形を試すことができ，錯視の観察が容易になった。
- (2) フットステップ錯視の一般化とアート化 フットステップ錯視にいくつかのバリエーションがあり，背景と動く図形の相対的な大きさの違いからどのバリエーションがよく起こるかを明らかにした。それに基づき，多くの錯視アートを創作すると同時に，コンピュータ画面を離れて，時計の秒針，斜面を転がる台車，人の動きを利用した看板などの物理的対象によっても同様の錯視アートを実現した。そのいくつかは，国内および海外の錯覚コンテストで受賞を果たしている。
- (3) 合成画像錯視 画像を眺める視点を操作することによって，見る人に異なる立体の印象が与えられることを数理的に整理した。それに基づいて，背景写真の中にコンピュータグラフィックス画像を埋め込んで建物などの完成予想図を作る際に，まわりの空間の中での印象を意図的に変える方法を構成した。これは広告写真による商品の印象の操作につながるので，今後は広告写真規制の指針として提言していきたい。
- (4) 不規則運動錯視の拡張と立体化 浮遊錯視，ドリフト錯視など，静止画が不規則にゆれてみえる錯視があるが，その仕組みを窓枠問題の観点からモデル化し，それに基づいて，同様の錯視をもたらす多くの基本図形を構成した。次にそれを 3 次元立体に貼り付けることにより，ゆれる階段などの立体作品を作って，錯視効果を確認した。

数理生物学における厳密解とその応用



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
明治大学理工学部准教授

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

ある限られた領域に何らかの生物が先住種として生息していたとしよう。例えば人間によって元来そこには存在しなかった種がもたらされ、先住種と侵入種の上に生活場所や餌をめぐる競争が生じ、場合によっては侵入種によって先住種が絶滅させられることがあるだろう。競争関係にどのような条件があれば、先住種の絶滅が生じるのであろうか。一方、生物は競争関係にありながらも、限られた領域内に共存している場合も見受けられる。共存のための条件とは何であろうか。侵入と伝播に関する数理生態学にはその他様々なトピックスがあるが、本研究では特に競争-拡散系とよばれる方程式において求まる進行波解の厳密解を紹介し、数理生態学における厳密解の有効性を示した。

- Semi-exact equilibrium solutions for three-species competition-diffusion systems, C.-C. Chen, L.-C. Hung, T. Tohma, D. Ueyama, and M. Mimura, Hiroshima Mathematical Journal 43(2)(2013), pp.179-206.
- Exact traveling wave solutions of three species competition-diffusion systems, C.-C. Chen, L.-C. Hung, M. Mimura, and D. Ueyama, DCDS-B 17(8) (2012), pp.2653-2669.
- 数理生態学における厳密解，数理科学 2012 年 11 月号，50-55，サイエンス社