

課 題	<b>現象数学における諸問題の数理的研究</b>
研究組織	森田善久 (理工学部・教授) 研究代表者 松木平 淳太 (理工学部・教授) 樋口三郎 (理工学部・講師) 二宮広和 (明治大学・教授) 岩見真吾 (九州大学・准教授 JST・さきがけ研究員) 坂元(奥田)孝志 (明治大学・講師)

## 1. 2012年度の研究計画

本プロジェクトメンバーは、数理科学の諸分野に現れる非線形偏微分方程式で記述される数理モデルにおいてパターン形成やパターンダイナミクスの研究を行ってきた森田と二宮、渋滞現象のモデルに超離散とよばれる手法を用いて成果を上げてきた松木平、ネットワークなどの離散構造の統計力学を研究してきた樋口、感染症・ウイルス学の数理モデルの研究で多数の成果をあげている岩見からなる。本プロジェクトにおいては、異なるバックグラウンドを持つ各メンバーが、現象数学における数理的研究成果を検証し、未解決の課題や、他分野との交流を通して得られる新しい問題に取り組む。特に、渋滞学、数理生物学、パターン形成、計算ウイルス学などの分野に現れる現象数学の諸問題に対して、これらの研究に携わっている学外の専門家と交流しながら、様々な観点から研究を拡げる。具体的には以下のような計画を予定している。

- (1) 生物モデルや非平衡非線形現象の数理的研究において第一線で活躍している研究者を招いて講演してもらい、討論・情報交換を行う。
- (2) 明治大学先端数理科学インスティテュートでは「現象数学」に関連して様々な活動を行っているので、明治大学に所属する二宮を通して緊密な研究関係を構築していく。
- (3) HIVなどのウイルスの感染メカニズムの数理モデルの構築や、その数理解析のために、九州大学に所属する岩見と研究の打ち合わせをおこなう。

これらを研究計画を柱にして、各プロジェクトメンバーは日常的に議論を重ね、研究を進めていく。なお、本プロジェクトは2年計画で2012年度は2年目にあたる。

## 2. 研究実績の概要(研究経過と成果)

以下、その研究経過と成果を要約する。

- 1) 森田や二宮は反応拡散方程式の進行波解を研究し、森田は多次元空間における進行波の問題に対して、新しい数学的特徴づけを行った。一方、二宮は進行波の新しい運動パターンを示す数学的な解を見つけた。
- 2) 生物や細胞内の動的平衡状態を理解する数理モデルとして、反応拡散方程式系は有力な数学的道具であることが知られている。森田はある種の反応拡散方程式系に現れる局在パターンに関する数学的研究を行い、安定性に関する新しい数学的な結果を得た。この数学的な結果を、細胞極性のモデリングに応用できるように、この数学的理論を拡張中である。
- 3) 松木平は、渋滞のセルオートマトンモデルに関するセルの移動ルールを、さらに現実に近い形のルールに改善したモデルを考察した。このモデルは粒子数を保存する5近傍セルオートマトンで、一般に扱うことは難しいが、ある条件の場合にはMax-Min代数の手法を用いて解析でき、多くのルールをMax-Minの発展方程式で表わすことに成功した。
- 4) 樋口はネットワーク上の組み合わせ最適化問題に関連して、期待値から確率モデルのパラメタを推定する逆イ

ジング問題とよばれる学習の問題に対して提案された Susceptibility Propagation の方法を研究した。

- 5) 岩見は計算ウイルス学を発展させ、HIV ウイルスなどの実験と数理科学の融合研究を推進し、多数の成果を得た。
- 6) 坂元(奥田)は反応拡散系におけるパターン形成・パターンダイナミクスに関する新しい数学的研究として3重退化特異点における分岐解析から安定な空間的非一様な振動解やカオティックな時空振動する解を示した。

以上の研究実績による成果の一部は、研究成果として発表されている(3. 研究発表参照)。未発表の成果についても、今後論文等で公表していく予定である。

次に研究集会を中心とした活動について報告しておく。

- [1] 2013年2月28日(木)～3月2日(土)に、本プロジェクトの研究員である森田、松木平、二宮が中心となり、本プロジェクトの支援で、龍谷大学大宮キャンパスにおいて、The 4th Taiwan-Japan Joint Workshop for Young Scholars in Applied Mathematics を開催した。この集会は若手の応用数学分野の研究者による研究集会で、日本側から東京工業大学・広島大学・明治大学・龍谷大学、台湾側から国立台湾大学・淡江大学・国立清華大学・国立中央大学・国立台南大学が参加した。発表者は全て若手であったが、その研究内容は現象数理学に密接に関わる最先端の研究成果を含んでおり、盛況な研究会となった。ウェブのサイト  
[http://www.math.ryukoku.ac.jp/~morita/Lab/4th-J-T/Poster\\_2013\\_ryukoku.pdf](http://www.math.ryukoku.ac.jp/~morita/Lab/4th-J-T/Poster_2013_ryukoku.pdf)  
[http://www.math.ryukoku.ac.jp/~morita/Lab/4th-J-T/Program-2013\\_workshop.pdf](http://www.math.ryukoku.ac.jp/~morita/Lab/4th-J-T/Program-2013_workshop.pdf)  
にそのときのポスターとプログラムがある。

- [2] 1年間を通しての活動として、学外者を招待して「京都駅前セミナー」を開催し、国内外の応用数学者や非線形科学関係の研究者と研究交流を行った。その詳細なスケジュールと講演者リストは以下の通りである。

#### 「2012年度、京都駅前セミナーの講演者と講演題目」

- 2012年4月2日(金)14:00-17:30

木下 修一(明治大学先端数理科学インスティテュート(MIMS)研究推進員)

「ネットワーク構造により異なるプーリアンダイナミクスのアトラクターの性質」

時田 恵一郎(大阪大学サイバーメディアセンター)

「ランダム群集モデルの統計力学」

- 2012年5月25日(金)14:00-17:30

物部 治徳(明治大学研究・知財戦略機構研究推進員)

「細胞運動に関連する自由境界問題の球対称解の存在と挙動」

町田 昌彦(日本原子力研究開発機構システム計算科学センター)

「超伝導物理における研究の現状と展望(私的見地からのレビュー)」

- 2012年6月15日(金)14:00-17:30

菅 徹(東北大学大学院理学研究科)

「2次元円環領域における Liouville-Gel' fand 方程式の解の分岐構造」

吉川 周二(愛媛大学大学院理工学研究科)

「形状記憶合金の等温 Falk-Konopka モデルの解の三次の漸近形」

- 2012年7月13日(金)14:00-17:30

水口 毅(大阪府立大学大学院工学研究科)

「不安定解の探査と役割・生物集団の構造」

竹内 一将(東京大学大学院理学系研究科)

「ゆらぐ界面成長の普遍法則と「目で見る」ランダム行列理論の統計則」

- 2012年10月19日(金)14:00-17:30

萩原 俊子(城西大学理学部)

「順序保存力学系と生物分子モーターモデルへの応用」

大塚 岳(群馬大学大学院工学研究科)

「駆動力付き曲率流方程式における渦巻曲線の運動での束の安定性およびインアクティブペアにおける定常解の存在」

○2012年11月30日(金)14:00-17:30

野村 泰伸(大阪大学・大学院基礎工学研究科・機能創成専攻)

「柔軟かつ安定なヒト立位姿勢の神経制御とその崩壊メカニズム」

立木佑弥(九州大学システム生命科学府)

「植物-土壌相互作用の数理モデリング: 外来種侵入問題、群集多様性維持機構」

○2013年1月23日(水)14:30-17:30

高畠 美弥(京都大学・大学院理学研究科)

「化学的界面不安定性が引き起こす自己推進運動」

西田孝明(京都大学名誉教授)

「圧縮性粘性流体の熱対流問題の解析」

(計7回, 招待講演者14名)

この講演者のリストとその講演題目からも容易にわかるように, その話題は多岐に渡る. このセミナーを通して, 「非線形偏微分方程式の解の研究」, 「群集生物モデルの研究」, 「生物分子モーター・細胞運動モデルの研究」, 「化学的界面の不安定性・成長モデル」, 「超伝導研究」など幅広い分野の問題について, 第一線の研究者の研究成果に触れ, また, 講演者との直接的な意見交換により, その問題の理解を深めることができた. 現象数理学の諸問題に対する研究のアプローチや, 新しい観点について得るものが多く, 新しい共同研究についても話し合われた.

数理という共通のコミュニケーション手段によって, セミナーという形であるが, このような学際的な研究の場が構築できる. 背後にある共通する数理構造や数理的手法を通して共通の理解・認識を持つことができることは, 大変意義のあることである.

### 3. 研究発表

- (1) Y. Morita, "Nonplanar traveling waves of a bistable reaction-diffusion equation in the multi-dimensional space", RIMS Kokyuroku Bessatsu, B35 (2012), 1-8.
- (2) T. Okumura, J. Matsukidaira and D. Takahashi, "Max-min-plus expressions for one-dimensional particle cellular automata obtained from a fundamental diagram", arXiv:1303.4045.
- (3) T. Ikegami, D. Takahashi and J. Matsukidaira, "Initial value problem of evolution equations defined by lattice operators", arXiv:1302.2734.
- (4) 樋口三郎, 「Susceptibility Propagation と組み合わせ最適化」, 基礎物理学研究所研究会「情報統計力学の最前線—情報と揺らぎの制御の物理学を目指して」会議録, [www-adsys.sys.i.kyoto-u.ac.jp/mohzeki/YSMSPIP/Proc2012/all.pdf](http://www-adsys.sys.i.kyoto-u.ac.jp/mohzeki/YSMSPIP/Proc2012/all.pdf).
- (5) 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, Vol.241 (2012), 1758-1766.
- (6) J.S. Guo, H. Ninomiya, M. Shimojo and E. Yanagida, "Convergence and blow-up of solutions for a complex-valued heat equation with quadratic nonlinearity", Transactions of the American Mathematical Society, Vol.365 (2013), 2447-2467.
- (7) M. Fukuhara, S. Iwami, K. Sato, Y. Nishimura, H. Shimizu, K. Aihara, and Y. Koyanagi. "Quantification of the dynamics of enterovirus 71 infection by experimental-mathematical investigation", Journal of Virology, 87:1 (2013).
- (8) S. Iwami, B.P. Holder, C.A. Beauchemin, S. Morita, T. Tada, K. Sato, T. Igarashi, and T. Miura, "Quantification system for the viral dynamics of a highly pathogenic simian/human immunodeficiency virus based on an in vitro experiment and a mathematical model", Retrovirology. 9: 18 (2012).
- (9) S. Iwami, K. Sato, R. J. De Boer, K. Aihara, T. Miura, and Y. Koyanagi. "Identifying viral parameters from in vitro cell cultures", Frontiers in Microbiology. 3:319 (2012).

- (10) S. Iwami, H. Haeno and F. Michor. A race between tumor immunoescape and genome maintenance selects for optimum levels of (epi)genetic instability, PLoS Computational Biology. 8: e1002370 (2012).
- (11) K. Sato, N. Misawa, M. Fukuhara, S. Iwami, DS. An, M. Ito and Y. Koyanagi. "Vpu Augments the Initial Burst Phase of HIV-1 Propagation and Downregulates BST2 and CD4 in Humanized Mice", Journal of Virology. 86: 5000-5013 (2012).
- (12) M. Horiike, S. Iwami, M. Kodama, A. Sato, Y. Watanabe, M. Yasui, Y. Ishida, T. Kobayashi, T. Miura and T. Igarashi, "Lymph nodes harbor viral reservoirs that cause rebound of plasma viremia in SIV-infected macaques upon cessation of combined antiretroviral therapy", Virology. 423: 107-118 (2012).
- (13) 岩見真吾, 「特集「疾患の数理モデル」にあたって—計算ウイルス学・免疫学の展開—」, 応用数理, 22巻, 4-6 (2012).
- (14) 岩見真吾, 佐藤佳, 小柳義夫, 「ヒト化マウスを用いたヒト特異的疾患研究のイノベーション：応用数理と実験医学の融合」, 応用数理, 22巻, 7-16 (2012).
- (15) T. Ogawa and T. Okuda, "Oscillatory dynamics in a reaction-diffusion system in the presence of 0:1:2 resonance", Networks and Heterogeneous Media, Vol. 7 (2012), 893-926.