

課 題	<b>自発的流れ・集中化現象の新しい数理と応用</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) 四ツ谷 晶二 (理工学部・教授) 小川知之 (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) Xingbin Pan (East China Normal University・教授)

## 1. 2013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数理モデルにおける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・小川・坂元、現象の偏微分方程式モデルの理論的研究で成果を上げている四ツ谷・Pan、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、ウイルス感染やその免疫の機能について研究で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、それぞれの分野で共通する性質や構造をもった「自発的流れ」と「集中化現象」の数理の問題に取り組む。

研究において重要なのは、プロジェクト内だけでなく、他分野や外部の研究組織との交流である。外部の研究機関で活躍している第一線の研究者を招聘し、定期的にセミナーを開催する。セミナーでは、研究成果の講演だけでなく、未解決の問題や今後の研究動向についても議論しながら意見交換する。

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龍谷大学に招いて講演をお願いし、討論・情報交換を行う。講演者としては応用を意識した高いレベルの研究を行い、その研究活動は国内外から高く評価されている方を招く。
- (2) 明治大学先端数理科学インスティテュートでは「現象数理学」に関連して様々な活動を行っているので、明治大学の小川と坂元を中心にして研究打ち合わせをおこなう。
- (3) HIVなどのウイルスの感染メカニズムに関する数理解析のために、岩見が中心になって研究打ち合わせをおこなう。
- (4) Pan教授と共同で、日本と中国の若手を中心とした非線形偏微分方程式の研究者をそれぞれ集め、若手の研究者のためのワークショップを龍谷大で開催する。

これらの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。

## 2. 研究実績の概要(研究経過と成果)

- 1) 生物の形態形成、細胞膜における極性の発生など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道具である。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の安定性に関して非局所的効果が有効に働いていることを数学的に解明した。この数学的な結果をさらに拡張して、FitzHugh-Nagumo 方程式系と呼ばれるパターン形成の基本的モデル方程式に対しても適用できることを示した。
- 2) 松木平は、渋滞のセルオートマンモデルに関するルールを、さらに現実に近い形の改善したモデルを考察し、ある条件の場合にはMax-Minの発展方程式で表せることを示した。また、束を用いたECAの初期値問題の解法を新たに提案した。
- 3) 四ツ谷は、生物モデルの一種である交差拡散系モデルのパターンを表現する解の安定性について研究し、その解構造の解析から新しい結果を得た。

- 4) 小川は、反応拡散系のパターンの安定性に関してフィードバック効果による安定化という新しい観点から研究し、成果をあげている。
- 5) 岩見は、実験と数理科学的考察を融合した計算ウイルス学を發展させ、SHIV ウイルスの増殖率を数理的な考察を基に実験データから定量的に決定する方法を開発した。
- 6) 坂元(奥田)は保存則のある反応拡散系において、1モード解の周期的振動が非定数定常解の2次分岐によって起こることを分岐解析によって証明した。
- 7) Pan は磁場の効果が数理モデルに及ぼす影響について、微分作用素の磁場を導入した場合の解の性質について研究し成果をあげている。

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10月25-27日に、研究代表者の森田と共同研究員の Xingbin Pan が中心になって、中国から6名、国内から6名の招待講演者を招き、以下の集会を深草キャンパスで開催した：

Workshop on Nonlinear Partial Differential Equations  
Japan-China Joint Project for Young Mathematicians 2013

講演者は活発な研究活動をしている若手を中心に選び、加えて第一線のシニア研究者も招待して大変意義のある集会になった。以下のウェブのサイトにそのときのプログラムと講演要旨が掲載されている。

<http://www.math.ryukoku.ac.jp/~www-morita/JCW2013/program.pdf>

<http://www.math.ryukoku.ac.jp/~www-morita/JCW2013/abstract.pdf>

- [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。

「2013年度、京都駅前セミナーの講演者と講演題目」

- 2013年4月26日(金)14:00-17:30

高木 拓朗(奈良県立医科歯科大学)

「細胞の自発運動ゆらぎと走性応答における機能的意義」

西村信一郎(九州大学大学院理学研究院)

「細胞遊走のシミュレーション」

- 2013年5月17日(金)14:00-17:30

本多 久夫(神戸大学大学院医学研究科)

「遺伝子から形への道筋がついた」

石原 秀至(東京大学大学院総合文化研究科)

「形態形成の力学的制御」

- 2013年6月14日(金)14:00-17:30

川上 竜樹(大阪府立大学)

「時間発展する境界条件付き半線形楕円型方程式の時間大域挙動」

大塚 浩史(金沢大学)

「2次元ゲルファント問題における爆発解析と点渦系のハミルトニアン」

- 2013年7月19日(金)14:15-15:45

赤木 剛朗(神戸大学)

「Stability of asymptotic profiles for fast diffusion equations」

坂上 貴之(京都大学)

「二次元多重連結領域の渦力学とその応用」

○2013年7月26日(金)14:00-17:30

近藤 倫生(龍谷大学)

「生態系における種間相互作用の多様性と個体群動態の安定性」

守田 智(静岡大学)

「移動拡散によるリスク分散モデルの解析」

○2013年10月11日(金)14:30-18:00

上地 理沙(京都大学大学院情報学研究科)

「生命現象における保存則とその解析」

水藤 寛(岡山大学大学院環境生命学研究科)

「胸部大動脈の形状と渦構造との関係」

○2013年11月1日(金)15:00-18:30

川崎 廣吉(同志社大学文化情報学部)

「侵入生物の空間伝播について」

西 慧(北海道大学電子科学研究所)

「円環水路の樟脳ろ紙集団の運動の分岐解析」

○2013年12月6日(金)14:00-17:30

鳴海 孝之(関西学院大学)

「液晶電気対流系の非平衡ゆらぎ—記憶関数による解析—」

三竹 大寿(広島大学サステナブル・ディベロップメント実践研究センター)

「Hamilton-Jacobi 方程式の解の長時間挙動—非線形随伴法を用いた解析—」

○2014年1月21日(火)13:00-17:15

大坂 元久(日本獣医生命科学大学)

「心臓突然死の機序の数理解析から臨床応用へ」

二又 裕之(静岡大学大学院工学研究科)

「微生物生態系の持つ原理とはナニかな—複雑系における役割分担と調和—」

春田 伸(首都大学東京大学院理工学研究科)

「微生物エコシステムの形成と多様性維持の機構」

(計9回, 招待講演者18名)

以上に加え, 2月28日には特別企画として「博多駅前セミナー: 生命科学に現れる新しい数理モデルの数学的構築に向けて」を博多駅前で開催した. このときのプログラムは

<http://www.math.ryukoku.ac.jp/~www-morita/KES/hakata.pdf>

にある. 講演に加え, 生物モデルに関する様々な可能性について活発な議論がなされ大変盛況な集会となった.

このような活動を通して, 「非線形偏微分方程式の解の研究」, 「群集生物モデルの研究」, 「数理の臨床への応用」, 「微生物生態系の研究」, 「生物の形態形成」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.

### 3. 研究発表

- (1) C.-N. Chen, S.-Y. Kung and Y. Morita, "Planar standing wavefronts in the FitzHugh-Nagumo equations", SIAM Math.Anal., Vol.46 (2014), 657-690.
- (2) S. Jimbo and Y. Morita, "Lyapunov function and spectrum comparison for a reaction-diffusion system with mass conservation", Journal of Differential Equations, Vol.255 (2013), 1657-1683.
- (3) T. Ikegami, D. Takahashi and J. Matsukidaira, "On solutions to evolution equations defined by lattice operators",

- Japan J. Indust. Appl. Math. (2014) 31:211230
- (4) T. Okumura, J. Matsukidaira and D. Takahashi, "Max-min-plus expressions for one-dimensional particle cellular automata obtained from a fundamental diagram", J. Phys. A., Vol.46 (2013), 295101.
  - (5) M. Murai, W. Matsumoto and S. Yotsutani, "Representation formula for the plane closed elastic curves", Dynamical Systems and Differential Equations, PCDS Supplement (2013) 565-585.
  - (6) Y. Lou, W.-M. Ni and S. Yotsutani, "Pattern formation in a cross-diffusion system", The special issue of DCDG-A on "Dissipative Systems and Applications with emphasis on nonlocal or nonlinear diffusion problems", 掲載予定.
  - (7) E. Ijioma, A. Muntean and T. Ogawa, "Pattern formation in reverse smouldering combustion: a homogenization approach", Combustion Theory and Modeling, Vol.17(2) (2013), 1-39.
  - (8) K. Kashima, T. Ogawa and T. Sakurai, "Feedback Stabilization of Non-uniform Spatial Pattern in Reaction-Diffusion Systems", Proceedings of American Control Conference (2013), 3759-3764.
  - (9) T. O. Sakamoto, "Hopf bifurcation in a reaction-diffusion system with conservation of mass", Nonlinearity Vol. 26 (2013), 2017-2049.
  - (10) S. Iwami, Y. Koizumi, H. Ikeda and Y. Kakizoe, "Quantification of viral infection dynamics in animal experiments", Frontiers in Virology, 掲載予定.
  - (11) 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, Vol.87:1 (2013).
  - (12) J. Chen and X. Pan, "An extended magnetostatic Born-Infeld model with a concave lower order term", J. Math. Phys. Vol.54 (2013), 111501, 29pp.
  - (13) J. Chen and X. Pan, "Functionals with operator curl in an extended magnetostatic Born-Infeld model", SIAM J. Math. Anal. Vol.45 (2013), 2253-2284.
  - (14) Y. Almog, B. Helffer and X. Pan, "Superconductivity near the normal state in a half-plane under the action of a perpendicular electric current and an induced magnetic field", Transactions of Amer. Math. Soc., Vol.365 (2013), 1183-1217.