

課 題	自発の流れ・集中化現象の新しい数理と応用
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 (明治大学大学院先端数理科学研究科・教授) 岩 見 真 吾 (九州大学理学研究院・准教授) 坂元(奥田)孝志 (明治大学理工学部・講師) Jong-Shenq Guo (Tamkang University・Professor) François Hamel (Université d'Aix-Marseille・Professor)
研究期間	2年研究の2年目

1. 2014年度の研究計画

交通流や生物集団に見られる自発の流れと、渋滞や細胞・生体内で観察される集中化現象に着目し、モデリングと数理解析を中心にしてその背景にある数理的構造の解明に取り組み、新しい理論の構築を目指す。同時に研究を将来的に発展させていくために研究者間の人的ネットワークを強化することも目的としている。今回のプロジェクトを通して、「現象数理学」の関西における独自の拠点を確固たるものにする活動を展開する。具体的には以下のような問題に取り組む。

- 1) 交通流における渋滞発生メカニズム、相転移現象を解明する数理的手法と理論を発展させる。
- 2) 免疫の働きや細胞の極性の発現などのマイクロなレベルで起きている生理的現象のメカニズムを解明する数理的手法と理論を発展させる。
- 3) 生物集団の棲み分けや感染症の伝播など、マクロなレベルでの現象を数理的に研究する手法と理論を発展させる。
- 4) 局在パターンが伝播する現象のモデリングと解析の数学的基盤を確立する。

研究において重要なのは、プロジェクトの組織内だけでなく、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。できるだけ、多角的な方面から研究者を招き議論していきたい。また、現場でデータを集めている研究者との意見交換も必要である。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・非線形現象の数理解析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。
- (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の数理解析のために、岩見が中心になって研究打ち合わせをおこなう。
- (4) Guo教授とHamel教授に来訪してもらい、国内からも関連した研究をおこなっている研究者をよびワークショップを開催する。

これらの研究課題に共通する「自発の流れ」と「集中化」という現象を、研究のキーワードにして、理論の発展と研究の深化を目指す。

2. 研究実績の概要(研究経過と成果)

- (1) 研究代表者の森田は、細胞極性の発生のメカニズムを数理的に説明するモデル方程式について局在パターンが安定になる数学的根拠について解析し、保存則が重要な役割をしていることを示した。また、四ツ谷はこのような極性モデルの解の楕円関数表示による研究によって分岐構造を解明した。
- (2) 松木平は保存則をもつセルオートマトンモデルについて新しい Max-min-plus 表現を得ている。
- (3) 小川はパターンダイナミクスにおける新規の数理モデルについて研究し、そのモデルにおける進行波の発生するメカニズムを明らかにした。
- (4) ウイルス感染において感染細胞内における感染過程は、実験では直接観測できず、細胞内で何が起きているか不明で暗黒期と呼ばれている。岩見は間接的な実験データを詳細に分析し、細胞外に放出されるウイルス個体数の分布がガンマ分布に従うことをつきとめ、これを記述する新しい数理モデルの構築を行った。
- (5) 坂元は、数理生物のモデル方程式の解の解析に重要な分岐解析の理論と、その応用手法を整理しまとめた。
- (6) J.-G. Guo 教授と F.Hamel 教授を招へいし、生物集団の伝播現象に関連した反応拡散方程式の進行波の研究について議論した。特に、Guo 教授と森田、四ツ谷は大域的な解の存在研究を推し進め、現在も共同研究を継続中である。

以上の成果は学術論文や、学会等の招待講演で発表している。

- (7) 現象数理の拠点の確立に向けて、定期的に京都駅前セミナーを開催し、他分野との交流を行った。合計で6回、13名の講演者を招いて活発な議論や意見交換を行い、我々の活動を印象付けた。また、特別企画として、岡山駅前セミナーと大阪駅前セミナーも開催し、その活動の範囲が大きく広がった。特に岡山では医学分野の研究者の参加もあり、新しい人脈のネットワークの構築に大いに役立った。

3. 研究発表

- (1) C.-N. Chen, S. Jimbo, and Y. Morita: Spectral comparison and gradient-like property in the FitzHugh-Nagumo type equations, *Nonlinearity*, Vol.28 (2015), 1003-1016 (査読有)
doi:10.1088/0951-7715/28/4/1003.
- (2) 森田善久, 「変分的構造をもつ反応拡散系と安定性解析」, RIMS 研究集会「パターン形成と界面ダイナミクスの数理」, 2015年1月6日～7日, 京都大学数理解析研究所(招待講演)
- (3) 森田善久, 「反応拡散系における保存則とパターン形成」, 2014年度応用数学合同研究集会, 2014年12月19日, 龍谷大学瀬田キャンパス(招待講演)
- (4) Y. Morita: Gradient-like property and spectral comparison in a mass-conserved reaction-diffusion system, The 10th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications, July 7-11, 2014, Universidad Autonoma de Madrid, Madrid, Spain (招待講演)
- (5) Y. Morita: Existence and stability of standing wavefronts in FitzHugh-Nagumo Equations, 8th European Conference on Elliptic and Parabolic Problems, May 26, 2014, Hotel Serapo, Gaeta, Italy (招待講演)
- (6) J. Matsukidaira and D. Takahashi: Max-min-plus expressions for one-dimensional cellular automata with second order conserved quantity, SIAM Conference on Nonlinear Waves and Coherent Structures, August 13, 2014, Churchill College, Univ. of Cambridge, United Kingdom (招待講演)
- (7) M. Murai, K. Sakamoto and S. Yotsutani: Representation formula for traveling waves to a derivative nonlinear schrodinger equation with the periodic boundary condition, Proceedings of the 10th AIMS International Conference, AIMS, 掲載予定 (査読有)
- (8) Y. Lou, W.-M. Ni and S. Yotsutani: Pattern formation in a cross-diffusion system, *Discrete and Continuous Dynamical Systems*, Vol.35(2015), 1589-1607 (査読有) doi:10.3934/dcds.2015.35.
- (9) T. Wakasa and S. Yotsutani: Limiting classification on linearized eigenvalue problems for 1-dimensional Allen-Cahn equation I-asymptotic formulas of eigenvalues-, *Journal of Differential Equations*, Vol. 258 (2015), 3960-4006 (査読有) doi:10.1016/j.jde.2015.01.023.
- (10) T. Mori, K. Kuto, M. Nagayama, T. Tsujikawa and S. Yotsutani: Global bifurcation sheet and diagrams of wave-

- pinning in a reaction model for cell polarization, 10th AIMS conference on Dynamical systems, Differential equations and Applications, July 7–11, 2014, Universidad Autonoma de Madrid, Madrid, Spain (招待講演)
- (11) M. Murai, K. Sakamoto and S. Yostutani: Exact solutions for the derivative nonlinear Schrodinger equation with periodic boundary condition, The 10th AIMS conference on Dynamical systems, Differential equations and Applications, July 7–11, 2014, Universidad Autonoma de Madrid, Madrid, Spain (招待講演)
 - (12) 梅津佑介, 小川知之, 加嶋健司: 「反応拡散系における不安定定在波の選択的安定化」, 計測自動制御学会論文集 51巻(2105), 110–119. (査読有)
 - (13) M. O. Gani and T. Ogawa: Alternans and spiral breakup in an excitable reaction-diffusion system: a simulation study, International Scholarly Research Notices, Volume 2014 (2014), Article ID 459675, 14 pages, (査読有) doi:org/10.1155/2014/459675.
 - (14) T. Fatima, E.R. Ijioma, T. Ogawa and A. Muntean: Homogenization and dimension reduction of filtration combustion in heterogeneous thin layers, Networks and Heterogeneous Media, Vol.9 (2014), 709–737, (査読有) doi:10.3934/nhm.2014.9.709.
 - (15) T. Ogawa: Bifurcation analysis of periodic traveling wave solutions to an excitable RD system, AIMS conference on Dynamical systems, Differential equations and Applications, July 7–11, 2014, Universidad Autonoma de Madrid, Madrid, Spain (招待講演)
 - (16) K. Sato, JS. Takeuchi, N. Misawa, T. Izumi, T. Kobayashi, Y. Kimura, S. Iwami, 他 7 名: APOBEC3D and APOBEC3F potently promote HIV-1 diversification and evolution in humanized mouse model, PLoS Pathog. 2014;10(10):e1004453 (査読有) doi:10.1371/journal.ppat.1004453. eCollection 2014 Oct.
 - (17) Y. Koizumi and S. Iwami: Mathematical modeling of multi-drugs therapy: a challenge for determining the optimal combinations of antiviral drugs, Theor. Biol Med Model (2014), Sep 25;11:41 (査読有) doi:10.1186/1742-4682-11-41.
 - (18) H. Ikeda, R.J. de Boer, K. Sato, S. Morita, N. Misawa, Y. Koyanagi, K. Aihara, S. Iwami: Improving the estimation of the death rate of infected cells from time course data during the acute phase of virus infections: application to acute HIV-1 infection in a humanized mouse model, Theor. Biol Med Model, 2014, May 21;11:22 (査読有) doi:10.1186/1742-4682-11-22.
 - (19) S. Iwami: Mechanism-based analysis of drug combination effects on HCV replication in Huh-7 cells, 9th European Conference on Mathematical and Theoretical Biology, June 15, 2014, Gothenburg, Sweden (招待講演)
 - (20) S. Iwami: Toward modeling and data analysis Malaria epidemic in South Africa, SATREPS Symposium on IDEWS (infectious Disease Early Warning System), January 27, 2015, Nagasaki, Japan (招待講演)
 - (21) 坂元(奥田)孝志: レクチャーノート「局所分岐解析の方法」(Webにて公開).
<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmX0YVWthc2hpc2FrYW1vdG9va3VkYXxneDo3NmZiNDQ3NDZkZTM3MWQy>
 - (22) J.-S. Guo and P. Souplet: No touchdown at zero points of the permittivity profile for the MEMS problem, SIAM J. Math. Anal., Vol.47 (2015), 614–625 (査読有) doi:10.1137/140970070.
 - (23) J.-S. Guo and Chang-Hong Wu: Dynamics for a two-species competition- diffusion model with two free boundaries, Nonlinearity, Vol.28 (2015), 1–27 (査読有) doi:10.1088/0951-7715/28/1/1.
 - (24) J.-S. Guo, Recent developments on a nonlocal problem arising in the micro- electro mechanical system, Tamkang Journal of Mathematics, Vol.45 (2014), 229–241 (査読有) doi.org/10.5556/j.tkjm.45.2014.1659. The spatio-temporal dynamics of neutral genetic diversity more
 - (25) O. Bonnefon, J. Coville, J. Garnier, F. Hamel, L. Roques: The spatio-temporal dynamics of neutral genetic diversity, Ecological Complexity Vol.20 (2014), 282–292(査読有) doi:10.1016/j.ecocom.2014.05.003. The spatio-temporal dynamics of neutral genetic diversity
 - (26) F. Hamel and L. Ryzhik: On the nonlocal Fisher-KPP equation: steady states, spreading speed and global bounds, Nonlinearity Vol.27 (2014), 2735–2753 (査読有) doi:10.1088/0951-7715/27/11/2735.
 - (27) F. Hamel, L. Roques: Persistence and propagation in periodic reaction-diffusion models, Tamkang J. Math. Vol.45 (2014), 217–228 (査読有) doi.org/10.5556/j.tkjm.45.2014.1656.