

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19340023

研究課題名（和文） 生物における構造形成と情報に関する数理的研究

研究課題名（英文） Mathematical studies of biological pattern formation and information processing

研究代表者

小林 亮 (KOBAYASHI RYO)

広島大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：60153657

研究代表者の専門分野：応用数学

科研費の分科・細目：数学・数学一般（含確率論・統計数学）

キーワード：真正粘菌変形体，血管網形成，卵割，細胞運動，数理モデル

1. 研究計画の概要

本研究では、生命現象を物質と情報の相互作用の場としてとらえることで、生物の構造形成を記述する新しい方法論を打ち立てることを最終的な目標とする。具体的には以下の研究目標で挙げる4つの系を対象として、実験家と協力しながら、生物における構造形成についての数理的研究を行う。

- (1) 真正粘菌変形体をモデル生物とした研究
- (2) 血管網を題材とした適応的ネットワークの研究
- (3) 発生初期、特に卵割の研究
- (4) アメーバ運動の研究

(1)では均質な要素からなる系の集団運動から情報機能が創発するしくみの解明、(2)では合目的的な流路系が構築されるための内皮細胞の環境に対する適応ルールの解明、(3)では細胞分裂による形作りの数理的記述の基礎の構築と、実際にそれを律するメカニズムの解明を目標とする。(4)では細胞のアメーバ運動の記述と、その自律分散制御の仕組みの解明を目標とする。

2. 研究の進捗状況

(1)真正粘菌変形体の迷路解きのモデルとして開発した Physarum Solver をベースとして、NP 完全問題であるスタイナー問題を近似的に解く方法を開発した（拡張型

Physarum Solver)。また、変形体を CPG の集合体と見なすことで、自律分散制御における「齟齬関数」という概念を提案し、実際のロボットに適用した。さらに、変形体に首都圏の鉄道網を模したネットワークを作らせる実験を行い、このネットワークが効率・コスト・対故障性という多目的の最適化問題の良い解（実際の鉄道網と同程度）を与えていることを確認した。また拡張型 Physarum Solver を利用して、粘菌や実際の鉄道網より優れたネットワークをデザインできることを示した。

(2) Chick の卵黄嚢に展開される血管網の変化をリアルタイムで観察できるシステムが研究分担者の三浦によって開発された。血管形成の専門家より、早期における内皮細胞の分化の可能性を指摘され、当初モデルの再検討中。

(3) 中心体の運動が動物極・植物極から生成されるモルフォゲンによってコントロールされるという仮説をもとに、卵割の数理モデルを提案した。シミュレーションによって、ウニの正常卵割および各種の摂動実験の結果を、第4卵割まで再現することに成功した。モルフォゲンの複雑な空間分布を仮定せず、両極でのモルフォゲンの生成を時間的にコントロールするだけで、各段階の卵割において経割・緯割の選択がコントロールできることを示した。

(4) フェーズフィールド法と SPH 法をカップリングによって、アメーバ運動の数理モデルを提案した。また、アメーバプロテウスで観察される振動的運動に関する数理モデルを提案した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

テーマにより進捗状況に差があり、(1)は計画以上に進展し、(2)は当初の仮説に疑問が生じたため、やや遅れ、(3)、(4)は予定通りである。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 「知性」から一度離れて「運動」のモデルを今一度考える。

(2) 血管網形成の早期に内皮細胞が動脈系と静脈系に分化しているという仮定の下に、数理モデルを組み直す。

(3) らせん卵割へのモデルの拡張。モルフォゲンを実験的に特定する。

(4) 仮足の形成と縮退を記述できる数理モデルを構築する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

すべて査読有り

①M. Akiyama, A. Tero and R. Kobayashi : “A Mathematical Model Of Cleavage”, *J. Theor. Biol.*, 264(1) : 84-94 (2010)

②T. Umedachi, K. Takeda, T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Ishiguro : “Fully decentralized control of a soft-bodied robot inspired by true slime mold”, *Biol. Cybern.*, 102 : 261-269 (2010)

③A. Tero, S. Takagi, T. Saigusa, K. Ito, D. P. Bebbler, M. D. Fricker, K. Yumiki, R. Kobayashi and T. Nakagaki : “Rules for biologically-inspired adaptive network design”, *Science*, 327 : 439-442 (2010)

④ T. Nakagaki, M. Iima, T. Ueda, Y. Nishiura, T. Saigusa, A. Tero, R. Kobayashi and K. Showalter : “Minimum-risk path finding by an adaptive amoebal network”, *Phys. Rev. Lett.*, 99 : 068104 (2007)

⑤A. Tero, R. Kobayashi and T. Nakagaki : “A mathematical model for adaptive transport network in path finding by the true slime mold”, *J. Theor. Biol.*, 244 : 553-564 (2007)

[学会発表] (計 42 件)

①R. Kobayashi : “A Mathematical Model of Amoeboid Locomotion”, *Reaction-Diffusion Systems: Modeling and Analysis*, Universite de Paris-Sud 11, Orsay, France (2009-06-02)

②T. Nakagaki, R. Kobayashi and A. Tero : “Biologistics learned from adaptable transport network of food locations in slime mold”, The 2nd Ladenburger Kolleg meeting on “From Bio-inspired Logistics to Logistics-Inspired Bio-Nano-Engineering”, Berlin, Germany (2009-04-07)

③R. Kobayashi : “A Mathematical Model of Amoeboid Locomotion”, *Dynamics Days Asia Pacific 5*, Nara (2008-09-09)

④R. Kobayashi, A. Tero and T. Nakagaki : “Dynamical Synchronization in True Slime Mold - Maze Solving Amoeba -”, The 23rd Symposium of the Society of Population Ecology “Spatial Structure and Dynamics of Ecological System”, Sapporo (2007-10-19)

⑤R. Kobayashi, A. Tero, T. Nakagaki and K. Yumiki : “A Biologically Motivated Shortest Path Finding Algorithm”, The Workshop on Mathematical Modelling and Analysis of Biological Pattern Formations and the Related Topics, Nagoya (2007-09-25)

[図書] (計 1 件)

小林 亮 : 「フェーズフィールドモデル」、シリーズ 数理生物学要論 巻2 「空間」の数理生物学、共立出版、第 10 章を分担執筆 : 167-180 (2009)

[その他]

①Toth Agota、山田 裕康、石黒 章夫、手老 篤史、中垣 俊之、小林 亮 : 中国新聞 2008 年 10 月 04 日 「広島大の小林教授、イグ・ノーベル賞 単細胞が迷路解く」

②手老 篤史、小林 亮、中垣 俊之 : 東京新聞 2008 年 10 月 12 日 「「パズルを解く粘菌の研究」に対するイグノーベル賞認知科学賞受賞の報道」

③中垣 俊之 : 朝日新聞 2008 年 10 月 13 日 「「ひと」欄にノーベル賞のパロディ「イグノーベル賞」を受けたとして紹介記事掲載」

④手老 篤史、小林 亮、中垣 俊之 : 読売新聞 2008 年 11 月 10 日 「考える粘菌、迷路で最短ルート、光さける工夫も」

⑤手老 篤史、小林 亮、中垣 俊之 : 毎日新聞 2008 年 11 月 23 日 「単細胞生物なのに迷路が得意な粘菌一同質集まり賢さ実現一」

⑥中垣俊之他 : 毎日新聞 2010 年 1 月 22 日 「粘菌が描く「関東の路線図」」

⑦中垣俊之他 : 日経新聞 2010 年 1 月 22 日 「粘菌が描く「路線図」」

⑧小林亮他:中国新聞2010年1月22日 「通信網整備に粘菌の知恵」