

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－スウェーデン研究交流）

1. 研究課題名：「生物輸送ネットワークのダイナミクス」
2. 研究期間：平成23年4月～平成26年3月
3. 支援額： 総額22,100,000円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	中垣俊之	北海道大学	教授
研究者	田中良巳	横浜国立大学	准教授
研究者	手老篤史	九州大学	准教授
研究者	伊藤賢太郎	広島大学	助教
研究者	國田樹	北海道大学	博士研究員
研究者	黒田茂	北海道大学	助教
参加研究者 のべ			12名

相手側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	デビットサン プター	ウプサラ大学	教授
研究者	アンデーシュ ヨハンソン	イエーブレ大学	講師
研究者	アンドレアペ ルナ	ウプサラ大学	博士研究員
研究者	スタムニコリ ス	ウプサラ大学	博士研究員
研究者	チーマ	ウプサラ大学	大学院生
研究者	ナタリアザブ ジナ	ウプサラ大学	大学院生
参加研究者 のべ			6名

5. 研究・交流の目的

単細胞生物である粘菌は神経系を持たないにもかかわらず血管網のような輸送管ネットワークを形成する。この粘菌ネットワークは、環境依存的にめまぐるしく形を変え、つねにその多機能性が最適化されると考えられている。その能力は未だ計り知れず、そのしくみが興味深い。すなわち、めいめいの管が自身の流れに応じて太さをかえるという「流量強化則」に過ぎない。にもかかわらず、有効な最適化手法になっていると予想されるので、その詳細を解明することを目的とする。主に三つのサブテーマを設定する。(1) 粘菌の細胞レオロジーから管形成機構を読み解き、(2) 流量強化則を表す数理モデルを構成しその数学的性質を解析し、(3) 粘菌に端を發した「流量強化則」がアリ道や骨の形づくりなど他の生物系に拡大適用できるか検証し「流量強化則」の一般性を調べる。そのために、数学分野から生物分野を研究するスウェーデンチームと、生物分野から数学分野へシフトしてきた日本チームとが国際共同研究をおしすすめ、相乗効果をねらう。両チームは、すでに3年間の共同研究（ヒューマンフロンティアサイエンスプログラム）をしてきており下地は十分に出来ている。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

粘菌ネットワークが出来る物質的基盤として、管の前駆体である流路の形成が、空間一様な流れの不安定性によるだろうことを提案できた。細胞内では、どこも同じ速さでモノが流れるのではなく、ある場所だけが活発に流れるようになることが、ゾルゲル二相からなる流体方程式の解析から、また単純化した細胞溶液（アクチン溶液）の挙動観察から明らかになった。これらをうけて、粘菌ネットワーク形成の数理モデルを「流量強化則」に焦点をあてて構成した。ミクロな確率過程モデルとマクロな決定論的モデルを比較し、またマクロなモデルの収束性について数学的に解析した。この粘菌モデルが、アリ道やヒト歩行者の近道形成のみならず、ヒト大腿骨の形状や骨梁パターン形成にも拡大適用できることがわかった。以上の成果は、モバイル情報端末間のアドホックネットワーク構成アルゴリズムや、構造物のデザイン手法へのイノベーションをもたらしたばかりか、物理エソロジー（物理行動学）とも呼ぶべき新たな研究分野を拓きつつある。

6-2 人的交流の成果

三年間にわたり定常的な議論を維持しながら、毎年定期的にワークショップを共同開催し進捗を調整した。若手研究者が積極的に発表討議することで、国際科学コミュニケーションの経験を積み、自信とスキルを身につけられた。引き続き共同研究を続けていくための関係強化がなされた。また、スウェーデンチームの自国外共同研究者とも副産物的に交流できた結果、フランス（ツールーズ大学）やオーストラリア（シドニー大学）とも共同研究が進展し始めた。また、スウェーデンのルンド大学リンク教授を代表とする欧州共同体内国際共同研究プロジェクトFP7が立ち上がり、そこに参画することになった。

7. 主な論文発表・特許等（5件以内）

相手側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	備考
論文	Tanya Latty, Kai Pamsch, Kentaro Ito, Toshiyuki Nakagaki, David J. Sumpter, Martin Middendorf, Madeleine Beekman: "Structure and formation of ant transportation networks", Journal of The Royal Society, Interface. doi:10.1098/rsif.2010.0612, 2011	共著
論文	Kentaro Ito, Anders Johansson, Toshiyuki Nakagaki, Atsushi Tero: "Convergence properties for the Physarum solver", arXiv:1101.5249v1[math.OA], 2011	共著
論文	Qi Ma, Anders Johansson, Atsushi Tero, Toshiyuki Nakagaki, David J. T. Sumpter: "Current reinforced random walks for constructing transport network", The Royal Soc. Interface, Vol. 10, 20120864, 2013	共著
論文	Itsuki Kunita, Katsuhiko Sato, Yoshimi Tanaka, Yoshinori Takikawa, Hiroshi Orihara, and Toshiyuki Nakagaki: "Shear Banding in An F-actin Solution", Physical Review Letters, Vol. 109, 248303, 2012	共著
論文	Robert D. Guy, Toshiyuki Nakagaki and Grady B. Wright: "Flow-induced channel formation in the cytoplasm of motile cells", Physical Review E, Vol. 84, 016310, 2011	共著