

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2007～2010

課題番号：19686016

研究課題名(和文) 生体流体解析モデルの細胞レベルからの構築的再構成

研究課題名(英文) Reconstruction of a bio-fluid dynamics model from the cellular level

研究代表者

石川 拓司 (ISHIKAWA TAKUJI)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20313728

研究分野：生物流体力学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：生物流体、サスペンション、微生物、赤血球、数理モデル

1. 研究計画の概要

血球、腸内細菌、微生物などのサスペンションは、全て細胞サスペンションと分類することができる。細胞の特性には変形能、遊泳能力、走性などが挙げられるが、これらは固体力学、流体力学によるモデル化が可能であり、基礎物理学により定式化された現象を丹念に追うことで現象を記述することが可能である。しかしながら、定式化が非常に複雑となるため、細胞レベルから積み上げられた流体力学モデルは未だ完成していない。本研究課題は、細胞レベルの物理現象を、実験や数値シミュレーションを用いて解明する。そして細胞レベルの現象の数理モデル化を行い、それを構築的に積み上げることで、マクロスケールの新しい生体流体解析モデルを再構成する。

2. 研究の進捗状況

昨年度は、藻類やバクテリアなどの微生物や、赤血球や癌細胞などの細胞の力学モデルを構築した。また、繊毛反応などの生理的反応のモデル化も行った。本年度はこうした数理モデルをベースとし、生物学的反応を含む細胞モデルの大規模シミュレーションを行った。そして、シミュレーションによって細胞の拡散テンソルや溶液のレオロジー特性など、マクロな連続体モデルに必要な物理量を求めることに成功した。現在はこれらの値のデータベース化と、流動下における各テンソル量の数理モデル化を行っている。また、マクロスケールの生理流体解析にも取り組み、小腸内における細菌分布を議論するための腸内フローラシミュレータを開発し、次年度行うマルチスケールシミュレーションの

下準備を完了した。

今年度の顕著な成果としては、以下の2つがあげられる。

(1) ボルボックスのダンスの解明

「Dancing Volvox: Hydrodynamic bound states of swimming algae (ボルボックスのダンス：遊泳藻類の流体力学的均衡)」という論文を連名で Physical Review Letters 誌に発表した。この論文では、藻類の Volvox がワルツやメヌエットなどのダンスを踊る姿を世界で初めて発見したことを報告し、そのメカニズムを流体力学で説明した。掲載誌は物理学の最高峰の雑誌であり、この論文はその表紙を飾った。また、この成果は Nature や Science 等の科学誌のみならず、各種メディアのニュースとして取り上げられた。

(2) JRS Interface 誌の Review 論文

「Suspension biomechanics of swimming microbes」という題目で、Journal of the Royal Society Interface 誌に単著で Review 論文を発表した。Interface 誌は生物と物理の境界領域の格式高い雑誌であり、申請者が細胞溶液の流体力学の分野で、世界の第一人者になりつつあることが分かる。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している

(理由)

現在までに、微生物の集団遊泳に関する数値シミュレーションを行い、微生物の作り出す様々な遊泳パターンが、本研究課題で構築された流体力学モデルで表現できることを世界で初めて示した。こうした成果は、アメリカ物理学会の最高峰誌である Physical Review Letters 等に掲載されている。この他

にも、微生物遊泳や赤血球の挙動に関する細胞レベルの実験を行い、細胞やトレーサー粒子の拡散現象を解明した。また、数値シミュレーションによるパラメトリックスタディを行い、各テンソル量のデータベース化を進めている。こうした成果は、査読付英文雑誌論文に40編、国際会議論文に89編の論文として発表している。また、国際会議における基調講演、招待講演なども行い、研究成果を広く世界に発信している。

4. 今後の研究の推進方策

これまでに開発してきた、細胞溶液の大規模シミュレーションとデータベースを用い、平成22年度は小腸内の腸内フローラに対するマルチスケールシミュレーションに新たに取り組む。また、マラリア感染血液や血小板血栓などの疾患を対象にした、血流シミュレーションにも取り組む。さらに、これまでの3年間で取り組んだ課題も発展させ、生体流体解析モデルを細胞レベルから構築的に再構成する。

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40件: 全て査読あり)

① T. Ishikawa, Suspension biomechanics of swimming microbes, *Journal of the Royal Society Interface*, 6, pp.815-834 (2009)

② K. Drescher, K. Leptos, I. Tuval, T. Ishikawa, T. J. Pedley and R. E. Goldstein, Dancing Volvox: Hydrodynamic bound states of swimming algae, *Physical Review Letters*, 102, 168101 (2009) (cover)

③ H. Fujiwara, T. Ishikawa, R. Lima, N. Matsuki, Y. Imai, H. Kaji, M. Nishizawa and T. Yamaguchi, Red blood cell motions in high-hematocrit blood flowing through a stenosed microchannel, *Journal of Biomechanics*, 42, pp.838-843 (2009)

④ T. Ishikawa, J. T. Locsei and T. J. Pedley, Development of coherent structures in concentrated suspensions of swimming model micro-organisms, *Journal of Fluid Mechanics*, 615, pp.401-431 (2008)

⑤ T. Ishikawa and T. J. Pedley, Coherent Structures in Monolayers of Swimming Particles, *Physical Review Letters*, 100, 088103 (2008)

[学会発表] (計85件)

① T. Ishikawa and T. Yamaguchi, Shear-induced fluid-tracer diffusion in a

semi-dilute suspension of spheres, *Bulletin of the American Physical Society*, DFD 2009, Vol.54, No.19, p.293, 2009.11.22, Minneapolis, USA

② T. Ishikawa, Diffusion in concentrated suspensions of biological cells, *Computational Vision and Medical Image Processing - VipIMAGE 2009*, CRC press, pp.327-330, 2009.10.17, Porto, Portugal

③ T. Ishikawa, H. Fujiwara, R. Lima, N. Matsuki, Y. Imai, T. Yamaguchi, Mixing of red blood cells in high hematocrit blood flow in micro-channels, *Proc. 3rd Switzerland-Japan Workshop on Biomechanics 2009*, p.47, 2009.9.4, Engelberg, Switzerland

④ T. Ishikawa, J. T. Locsei, and T. J. Pedley, Fluid Particle Diffusion in a Semi-dilute Suspension of Model Micro-organisms, *The 4th International Symposium on Aero Aqua Bio-Mechanisms 2009*, CD-ROM S01, 2009.8.30, 上海, 中国

⑤ T. Ishikawa, Computational biomechanics of malaria and arterial diseases, 37th Int. Cong. Physiol. Sci. (IUPS2009), PSJ II-7-4, 2009.7.6, 京都, 日本

[図書] (計2件)

① T. Ishikawa, T. Yamaguchi and T. J. Pedley, Properties of a Semi-dilute Suspension of Swimming Micro-organisms, *Bio-mechanisms of Swimming and Flying*, pp.17-28, Springer-Verlag (2007)

② R. Lima, M. Nakamura, T. Omori, T. Ishikawa, S. Wada and T. Yamaguchi, Microscale Flow Dynamics of Red Blood Cells in Microchannels: An Experimental and Numerical Analysis, *Advances in Computational Vision and Medical Image Processing, Methods and Applications Series: Computational Methods in Applied Sciences*, 13, 203-220, Springer (2008)

[その他]

研究成果のホームページ:

<http://db.tohoku.ac.jp/whois/detail/5e15d83900e65b755d2af8dd6a078164.html>