

課題番号	GR007
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成23年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	細胞レベルから構築した微生物サスペンション力学による藻類の分布予測モデルの革新
研究機関・ 部局・職名	東北大学・大学院工学研究科・准教授
氏名	石川 拓司

1. 当該年度の研究目的

平成23年度は、静止流体中およびせん断流れ中における、単一藻類の運動挙動の数理モデル化を主要な目的とする。*Volvox* と *Chlamydomonas* を用いる実験系を確立し、様々な条件下での藻類の運動を解析する。実験には共焦点 micro-PIV システムおよび3次元位置計測システムを用い、単一の藻類の運動や周りの流れ場を高精度で計測する。そして運動挙動を統計物理学の観点から整理することで、走地性と走光性、遊泳能を表現できる数理モデルを開発する。数値解析手法のベースは申請者がこれまでに開発した境界要素法であるが、今後藻類の多体干渉を計算するためには、更なる高速化が必要となる。そこで境界要素法の改良に取り組み、計算の大規模化・並列化に対応する準備を行う。開発したモデルの妥当性は、実験結果と比較することで検討する。この他にも、今後行う予定の多体干渉の基礎方程式系を整理し、多体干渉の予備実験等も進めていく。

2. 研究の実施状況

平成23年度当初は東日本大震災の影響で研究活動に影響が出たが、不眠不休で復興にあたったため5月末には復旧し、現在では当初の予定以上に研究が進んでいる

本年度は、静止流体中およびせん断流れ中の藻類の単一細胞に対し、走地性と走光性、遊泳能を考慮した数理モデルを確立した。まず始めに、静止流体中およびせん断流れ中における、*Volvox* と *Chlamydomonas* の3次元遊泳挙動および周囲の流れ場を計測する実験系を構築した。遊泳軌跡の計測には3次元位置計測システムを、流れ場の計測には共焦点 micro-PIV システムを用いた。これらの実験から、静止流体中およびせん断流れ中における、単一藻類の運動挙動を明らかにした。

次に、得られた実験結果を統計物理学の観点から整理することで、走地性と走光性、遊泳能を表現できる数理モデルを開発した。方程式の離散化は、申請者がこれまでに開発した境界要素法をベースとしたが、今後藻類の多体干渉を計算するためには更なる高速化が必要となる。そこで、従来の *single layer potential* ではなく、*double layer potential* を用いた境界要素法に改良し、計算の大規模化・並列化に対応する準備を行った。これにより並列計算に適した手法となり、本年度購入した GPU 並列計算機で、大規模かつ高速な計算が可能となった。

様式19 別紙1

さらに、藻類の単一細胞周りの物質輸送現象に対する基礎方程式を整理し、境界要素法とブラウン動力学法を組み合わせた新しい数値解析手法の開発にも取り組んだ。これにより、単一細胞の代謝を考慮できるモデルへの道も拓いた。

この他にも、今後行う予定の多体干渉の基礎方程式系を整理し、試行解析を行った。また、多体干渉の予備実験等も行い、協調して遊泳する細胞挙動の計測にも成功した。

また、平成24年3月18日に市民講座「世界をリードする東北大学機械系の若手研究者が目指す未来社会」を開催し、「微生物の泳ぎの驚くべき戦略」と題して講演することで、国民との対話に努めた。

3. 研究発表等

雑誌論文	(掲載済み一査読有り) 計 11件
計 16件	<ol style="list-style-type: none"> 1. T. Omori, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa Reorientation of a non-spherical capsule in creeping shear flow <i>Physical Review Letters</i>, 108, 138102 (2012) 2. D. Alizadehrad, Y. Imai, K. Nakaaki, T. Ishikawa, T. Yamaguchi Parallel simulation of cellular flow in microvessels using a particle method <i>Journal of Biomechanical Science and Engineering</i>, 7, 57-71 (2012) 3. T. Tanaka, T. Ishikawa, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, H. Ueno, T. Yoshimoto, N. Matsuki and T. Yamaguchi Inertial migration of cancer cells in blood flow in microchannels <i>Biomedical Microdevices</i>, 14, 25-33 (2012) 4. T. Ishikawa, T. Sato, G. Mohit, Y. Imai and T. Yamaguchi Transport phenomena of microbial flora in the small intestine with peristalsis <i>Journal of Theoretical Biology</i>, 279, 63-73 (2011) 5. T. Omori, T. Ishikawa, D. Barthes-Biesel, A.-V. Salsac, Y. Imai and T. Yamaguchi Comparison between spring network models and continuum constitutive laws: application to the large deformation of a capsule in shear flow <i>Physical Review E</i>, 83, 041918 (2011) 6. Y. Imai, K. Nakaaki, H. Kondo, T. Ishikawa, C. T. Lim, T. Yamaguchi Margination of red blood cells infected by <i>Plasmodium falciparum</i> in a microvessel <i>Journal of Biomechanics</i>, 44, 1553-1558 (2011) 7. T. Ishikawa, N. Yoshida, H. Ueno, M. Wiedeman, Y. Imai and T. Yamaguchi Energy transport in a concentrated suspension of bacteria <i>Physical Review Letters</i>, 107, 028102 (2011) (<i>Editors' Suggestions</i>) 8. C. Huang, T. W. H. Sheu, T. Ishikawa, T. Yamaguchi Development of a particle interaction kernel for convection-diffusion scalar transport equation <i>Numerical Heat Transfer, B</i>, 60, 96-115 (2011) 9. H. Kamada, K. Tsubota, M. Nakamura, S. Wada, T. Ishikawa, T. Yamaguchi Computational study on effect of stenosis on a primary thrombus formation <i>Biorheology</i>, 48, 99-114 (2011) 10. V. Leble, R. Lima, R. Dias, C. Fernandes, T. Ishikawa, Y. Imai and T. Yamaguchi Asymmetry of red blood cell motions in a microchannel with a diverging and converging bifurcation <i>Biomeicrofluidics</i>, 5, 044120 (2011) 11. A. A. Evans, T. Ishikawa, T. Yamaguchi and E. Lauga Orientational order in concentrated suspensions of spherical microswimmers <i>Physics of Fluids</i>, 23, 111702 (2011) (<i>Featured as "Research Highlights"</i>)

様式19 別紙1

	<p>(掲載済み一査読無し) 計 5件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. T. Yamaguchi, T. Ishikawa and Y. Imai Computational biomechanics of blood flow at macro- and micro-scales Nano-Biomedical Engineering, pp.53-62, Imperial College Press (2012) 2. C. Chuang, T. Ishikawa, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai and T. Yamaguchi Gradient diffusion of red blood cells flowing in a straight microchannel Nano-Biomedical Engineering, pp. 63-69, Imperial College Press (2012) 3. J. Ferracci, T. Ishikawa, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai and T. Yamaguchi Entrapment of fresh water ciliates at the interface fluid-air Nano-Biomedical Engineering, pp. 70-76, Imperial College Press (2012) 4. S. Nix, Y. Imai, D. Matsunaga, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Behavior of a spherical capsule in simple shear flow near an infinite plane Nano-Biomedical Engineering, pp. 122-127, Imperial College Press (2012) 5. M. Saadatmand, T. Ishikawa, N. Matsuki, H. J. Abdekhodaie, Y. Imai, H. Ueno and T. Yamaguchi Radial dispersion of tracer particles through high-hematocrit blood flow within a capillary tube Nano-Biomedical Engineering, pp. 134-143, Imperial College Press (2012)
<p>会議発表 計 11件</p>	<p>専門家向け 計 10件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. H. Ueno, T. Ishikawa, K. Gonda, K. H. Bui, T. Ishikawa, Y. Imai, K. Numayama-Tsuruta, T. Yamaguchi Analysis of ciliary motion and fluid flow on the surface of tracheal cells Portugal, 2011.5.30-2011.6.1, Tohoku University GCOE & University of Porto 2. D. Matsunaga, Y. Imai, T. Omori, T. Miki, T. Ishikawa, T. Yamaguchi High performance GPU computing of capsule flow using boundary integral method Portugal, 2011.5.30-2011.6.1, Tohoku University GCOE & University of Porto 3. T. Ishikawa Suspension biomechanics of swimming micro-organisms USA, 2011.6.19-2011.6.24, The International Society of Offshore and Polar Engineers 4. T. Ishikawa Computational Mechanics of Suspensions of Swimming Micro-organisms USA, 2011.7.25-2011.7.28, National Congress on Computational Mechanics 5. T. Shioiri, T. Ishikawa, K. Numayama-Tsuruta, H. Ueno, Y. Imai and T. Yamaguchi Development of a microdevice for sorting motile bacteria USA, 2011.9.26-2011.9.27, American Society of Mechanical Engineers 6. H. Ueno, T. Ishikawa, K. H. Bui, K. Gonda, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Analysis of ciliary motion and the axonemal structure in the mouse respiratory cilia China, 2011.11.4-2011.11.8, Shanghai Society of Biophysics 7. Y. Imai, D. Matsunaga, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Development of GPU computing for simulating dense suspension of capsules China, 2011.11.4-2011.11.8, Shanghai Society of Biophysics 8. A. Evans, T. Ishikawa, T. Yamaguchi, E. Lauga Instabilities and global order in concentrated suspensions of spherical microswimmers USA, 2011.11.20-2011.11.22, American Physical Society 9. T. Ishikawa, N. Yoshida, H. Ueno, M. Wiedeman, Y. Imai, T. Yamaguchi Energy Transport in a Concentrated Suspension of Bacteria USA, 2011.11.20-2011.11.22, American Physical Society 10. T. Ishikawa Transport phenomena in suspensions of swimming microorganisms Singapore, 2011.12.12-2011.12.14, Tohoku University GCOE & National University of Singapore <p>一般向け 計 1件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 石川拓司 微生物の泳ぎの驚くべき戦略 仙台, 2012.3.18, 東北大学

様式19 別紙1

<p>図書 計 1件</p>	<p>1. 石川拓司 生物流体力学, 朝倉書店 (2012), 総ページ数 247</p>
<p>産業財産権 出願・取得状況 計 1件</p>	<p>(取得済み) 計 0件 (出願中) 計 1件 発明の名称: 血液中の粒子分離装置 発明者: 石川拓司, 田中達也, 沼山恵子, 上野裕則, 今井陽介, 山口隆美 権利者: 石川拓司, 田中達也, 沼山恵子, 上野裕則, 今井陽介, 山口隆美 出願日: 平成24年1月26日 出願番号: 特願 2012-013612 国内・外国の別: 国内</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>http://db.tohoku.ac.jp/whois/detail/5e15d83900e65b755d2af8dd6a078164.html http://www.pfsl.mech.tohoku.ac.jp/index.html</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>標題: 市民講座「世界をリードする東北大学機械系の若手研究者が目指す未来社会」 実施日: 平成24年3月18日 場所: 仙台国際センター (仙台) 対象者: 一般市民 参加者数: 約80名 内容: 「微生物の泳ぎの驚くべき戦略」の演題で講演し、国民との対話に努めた。</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計 6件</p>	<p>1. 2011年7月7日掲載, Physics (http://physics.aps.org/) 「Bacteria, live in 3D」 2. 2011年7月11日掲載, NIKKEI 「東北大学、パクテリアの効率的な群泳を発見」 http://www.nikkei.com/ 3. 2011年11月17日掲載, Featured as “Research Highlights” on the Physics of Fluids web site http://pof.aip.org/ 4. 2012年2月14日掲載, Yahoo Japan ニュース, goo ニュース, マイナビニュース 「東北大、哺乳類の「気管繊毛」の3次元構造を解明して繊毛運動の謎を解明」 http://news.mynavi.jp/news/2012/02/14/013/index.html 5. 2012年2月14日掲載, NIKKEI 「東北大、ウイルス・細菌を排除する気管表面の繊毛運動の3次元内部構造を解明」 http://www.nikkei.com/ 6. 2012年3月7日掲載, 日経産業新聞 7面「乳がん細胞 低コスト検出」</p>
<p>その他</p>	<p>なし</p>

4. その他特記事項

なし

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	116,000,000	44,600,000	0	71,400,000	0
間接経費	34,800,000	13,380,000	0	21,420,000	0
合計	150,800,000	57,980,000	0	92,820,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	43,108,294	0	0	43,108,294	42,407,845	700,449	0
間接経費	12,900,000	0	0	12,900,000	12,900,000	0	0
合計	56,008,294	0	0	56,008,294	55,307,845	700,449	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	39,207,639	共焦点micro-PIVシステム、並列計算機システム、細胞位置3次元計測システム 等
旅費	2,266,285	研究成果発表旅費(APS-DFD学会)等
謝金・人件費等	0	
その他	933,921	英文校閲料、論文投稿料 等
直接経費計	42,407,845	
間接経費計	12,900,000	
合計	55,307,845	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
ワークステーション	Dell Precision R5500	1	826,846	826,846	2011/6/28	東北大学
共焦点micro-PIVシステム	CHM-300s	1	21,000,000	21,000,000	2011/9/30	東北大学
並列計算機システム	Dell Precision R5500,TPM,Nシリーズ	1	12,266,400	12,266,400	2011/12/7	東北大学
細胞位置3次元計測システム	DIPP-3DM デイテクト社製	1	2,411,850	2,411,850	2011/8/3	東北大学
人工気象器	日本医化器械製作所社製 LH-120S	1	740,250	740,250	2011/6/27	東北大学