

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24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

マクロスケールの藻類の挙動・分布を解析する際には、流体の質量保存則と運動方程式、藻類の数密度の保存則、栄養素等の物質の移流拡散方程式を連立し、流体の運動方程式中の粒子応力テンソル、藻類の数密度の保存則の自己拡散テンソル、物質の移流拡散方程式の物質拡散テンソルをデータベースから代入する必要がある。平成24年度は、主に非流動下および特定の流動下における細胞懸濁液の応力テンソル、自己拡散テンソル、物質拡散テンソルの解明と、各テンソル量をデータベース化することを目的とする。藻類の形状は球形だけでなく、楕円体も取り扱えるよう、計算手法の改良も行う。さらに、*Volvox* および *Chlamydomonas* を用いた実験も行い、自己拡散係数と物質拡散係数を計測することで、解析結果の妥当性も検証する。

2. 研究の実施状況

平成24年度は、非流動下および特定の流動下における細胞懸濁液の応力テンソル、自己拡散テンソル、物質拡散テンソルの解明とデータベース化に取り組んだ。

多数の微細藻類を含む懸濁液の解析は多体問題となるため、ストークス動力学法を用いて効率的に、かつ高精度で解析した。細胞形状を楕円体とした際には、ストークス動力学法を適用することが困難なため、境界要素法を用いた。通常境界要素法は *single layer potential* を用いるが、本研究では *double layer potential* を用いることで、計算の大規模化・並列化に対応した。昨年度購入したGPU並列計算機を用いることで、100体以上の楕円体モデルの多体干渉問題を高精度で解くことが可能となった。

また、*Volvox* と *Chlamydomonas* 用い、3次元遊泳挙動に及ぼす周囲の流れ場の影響、走光性・走地性の影響を明らかにした。印加した流れ場は、データベース構築のための単純せん断流れ、および工学応用を意識したエアレーション気泡流の2種類とした。そして藻類の単一細胞挙動、および群運動を3次元位置計測システムや共焦点 *micro-PIV* システムを用いて計測した。これらの実験結果を用い、自己拡散係数と物質拡散係数を算出することで、解析結果の妥当性を検証した。

さらに、流体の質量保存則と運動方程式、藻類の数密度の保存則を連立し、応力テンソルと拡散

様式19 別紙1

テンソルをデータベースから随時参照する、藻類懸濁液の数理モデルの基礎を開発した。このモデルでは、海洋で報告されるプランクトン高濃度層を予測できるだけでなく、バイオリアクターの配管内の藻類分布も予測しうる可能性を示した。この成果は、流体力学の分野で最も権威のある *Journal of Fluid Mechanics* 誌に査読付き雑誌論文として公表された。

平成 24 年 12 月 27 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、「微生物シミュレーションで切り拓く人と地球の豊かな未来」と題して講演することで、国民との対話にも努めた。また、市民講座の様子を Web 上で公開した。

3. 研究発表等

雑誌論文	(掲載済み一査読有り) 計14件
計16件	<ol style="list-style-type: none"> (1) T. Ishikawa Vertical dispersion of model microorganisms in horizontal shear flow <i>Journal of Fluid Mechanics</i>, 705, 98-119 (2012) (2) T. Ishikawa Models and Numerical Methods for a Suspension of Swimming Microorganisms: Review <i>International Journal of Offshore and Polar Engineering</i>, 22, 270-275 (2012) (3) T. Omori, T. Ishikawa, D. Barthes-Biesel, A.-V. Salsac, J. Walter, Y. Imai and T. Yamaguchi Tension of red blood cell membrane in simple shear flow <i>Physical Review E</i>, 86, 056321 (2012) (4) N. Matsuki, S. Ichiba, T. Ishikawa, O. Nagano, M. Takeda, Y. Ujike and T. Yamaguchi Blood oxygenation using microbubble suspensions <i>European Biophysics Journal</i>, 41, 571-578 (2012) (5) J.-J. Christophe, T. Ishikawa, Y. Imai, K. Takase, M. Thiriet and T. Yamaguchi Hemodynamics in the pulmonary artery of a patient with pneumothorax <i>Medical Engineering & Physics</i>, 34, 725-732 (2012) (6) T. Miki, X. Wang, T. Aoki, Y. Imai, T. Ishikawa, K. Takase and T. Yamaguchi Patient-specific modeling of pulmonary air flow using GPU cluster for the application in medical practice <i>Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering</i>, 15, 771-778 (2012) (7) Y. Imai, T. Miki, T. Ishikawa, T. Aoki and T. Yamaguchi Deposition of micrometer particles in pulmonary airways during inhalation and breath holding <i>Journal of Biomechanics</i>, 45, 1809-1815 (2012) (8) H. Ueno, T. Ishikawa, K. H. Bui, K. Gonda, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Mouse respiratory cilia with the asymmetric axonemal structure on sparsely distributed ciliary cells can generate overall directional flow <i>Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine</i>, 8, 1081-1087 (2012) (9) T. Tanaka, T. Ishikawa, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, H. Ueno, N. Matsuki, T. Yamaguchi Separation of cancer cells from a red blood cell suspension using inertial force <i>Lab on a Chip</i>, 12, 4336-4343 (2012) (10) H. Kamada, Y. Imai, M. Nakamura, T. Ishikawa, T. Yamaguchi Computational analysis on the mechanical interaction between thrombus and red blood cells <i>Medical Engineering & Physics</i>, 34, 1411-1420 (2012) (11) D. Alizadehrad, Y. Imai, K. Nakaaki, T. Ishikawa, T. Yamaguchi Quantifying the deformation of red blood cells in microvessels <i>Journal of Biomechanics</i>, 45, 2684-2689 (2012)

	<p>(12) T. Omori, T. Ishikawa, Y. Imai and T. Yamaguchi Membrane tension of red blood cells pairwise interacting in simple shear flow <i>Journal of Biomechanics</i>, 46, 548-553 (2013)</p> <p>(13) Y. Imai, I. Kobayashi, S. Ishida, T. Ishikawa, M. Buist and T. Yamaguchi Antral recirculation in the stomach during gastric mixing <i>American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology</i>, 304, G536-542 (2013)</p> <p>(14) T. Omori, T. Ishikawa, Y. Imai and T. Yamaguchi Shear-induced diffusion of red blood cells in a semi-dilute suspension <i>Journal of Fluid Mechanics</i>, 724, 154-174 (2013)</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計2件</p> <p>(1) R. Lima, T. Ishikawa, Y. Imai, T. Yamaguchi Chapter 20 "Blood flow behavior in microchannels: past, current and future trends" <i>Single and two-Phase Flows on Chemical and Biomedical Engineering</i>, pp. 513-547, Bentham Press (2012)</p> <p>(2) R. Lima, R. J. Joseyphus, T. Ishikawa, Y. Imai, T. Yamaguchi Chapter 23 "Micro-flow visualization of magnetic nanoparticles for biomedical applications" <i>Single and two-Phase Flows on Chemical and Biomedical Engineering</i>, pp. 600-612, Bentham Press (2012)</p> <p>(未掲載) 計0件</p>
<p>会議発表 計15件</p>	<p>専門家向け 計14件</p> <p>(1) T. Ishikawa, N. Yoshida, H. Ueno, M. Wiedeman, Y. Imai, T. Yamaguchi Energy efficiency in collective motions of swimming bacteria Beijing, 2012.5.26-31, <i>World Cong. Med. Phys. Biomed. Eng.</i></p> <p>(2) T. Ishikawa Transport Phenomena in Suspensions of Swimming Microorganisms France, 2012.6.25-7.7, <i>Biological Complex Fluids</i></p> <p>(3) S. Nix, Y. Imai, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Dynamics of capsules near a plane wall France, 2012.6.25-7.7, <i>Biological Complex Fluids</i></p> <p>(4) J. Ferracci, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa Hydrodynamic entrapment of ciliates at the air-liquid interface France, 2012.6.25-7.7, <i>Biological Complex Fluids</i></p> <p>(5) K. Kyoya, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa Double-layer representation of model microorganisms by a boundary element method USA, 2012.6.20-23, <i>ASME 2012 Summer Bioengineering Conference</i></p> <p>(6) T. Miyagawa, Y. Imai, I. Kobayashi, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Development of a multi-phase flow model for simulating solid particle motion in the stomach USA, 2012.6.20-23, <i>ASME 2012 Summer Bioengineering Conference</i></p> <p>(7) N. Takeishi, Y. Imai, K. Nakaaki, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Development of a numerical model for micro-scale blood flow simulation using GPGPU USA, 2012.6.20-23, <i>ASME 2012 Summer Bioengineering Conference</i></p> <p>(8) S. Nix, Y. Imai, D. Matsunaga, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Dynamics of a spherical capsule in a near-wall shear flow USA, 2012.6.20-23, <i>ASME 2012 Summer Bioengineering Conference</i></p>

様式19 別紙1

	<p>(9) 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 USA, 2012.6.20-23, <i>ASME 2012 Summer Bioengineering Conference</i></p> <p>(10) J. Ferracci, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa Hydrodynamical entrapment of ciliates at the air-liquid interface USA, 2012.11.18-20, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(11) H. Hosaka, T. Omori, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa Analysis of red blood cell behavior in a narrow tube USA, 2012.11.18-20, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(12) T. Omori, T. Ishikawa, Y. Imai and T. Yamaguchi Off-plane motion of a non-spherical capsule in simple shear flow USA, 2012.11.18-20, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(13) K. Kiyota, H. Ueno, T. Ishikawa, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, T. Omori and T. Yamaguchi Measurement of ciliary flow generated on the surface of tracheal USA, 2012.11.18-20, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>(14) T. Maeda, T. Ishikawa, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai and T. Yamaguchi 3D-PTV measurement of the phototactic movement of algae in shear flow USA, 2012.11.18-20, <i>Bulletin of the American Physical Society</i></p> <p>一般向け 計1件</p> <p>1. 石川拓司 微生物シミュレーションで切り拓く人と地球の豊かな未来 仙台, 2012.12.27, せんだいメディアテーク</p>
<p>図書 計 0件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状 況 計 0件</p>	<p>(取得済み) 計 0件 (出願中) 計 0件</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 12 月 27 日 場所： せんだいメディアテーク（仙台） 対象者： 一般市民 参加者数： 約 70 名 内容： 「微生物シミュレーションで切り拓く人と地球の豊かな未来」の演題で講演し、 国民との対話に努めた。 URL： http://cat-vnet.tv/movie/tu_2012_winter/001_01.html</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載 計 0件</p>	
<p>その他</p>	

様式19 別紙1

4. その他特記事項

なし

実施状況報告書(平成24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	26,400,000	45,000,000	0
間接経費	34,800,000	13,380,000	7,920,000	13,500,000	0
合計	150,800,000	57,980,000	34,320,000	58,500,000	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	700,449	26,400,000	0	27,100,449	27,095,723	4,726	0
間接経費	0	7,920,000	0	7,920,000	7,920,000	0	0
合計	700,449	34,320,000	0	35,020,449	35,015,723	4,726	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	14,654,295	モノクロ高速CCDカメラ、201万画素カラーカメラシステム、並列計算機システム 等
旅費	1,952,172	研究成果発表旅費(APS-DFD学会) 等
謝金・人件費等	8,989,960	研究専念助教および事務補佐員人件費
その他	1,499,296	英文校閲料、論文投稿料 等
直接経費計	27,095,723	
間接経費計	7,920,000	
合計	35,015,723	

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
モノクロ高速CCD カメラ	HAS-220M	1	825,300	825,300	2012/7/12	東北大学
無停電電源装置	SUA3000RMJ2UB 3W	4	262,500	1,050,000	2012/10/25	東北大学
201万画素カラーカ メラシステム	FR-210M	1	619,500	619,500	2012/12/11	東北大学
201万画素カラーカ メラシステム	FR-210M	1	619,500	619,500	2013/2/22	東北大学
並列計算機システ ム	Precision R5500	1	9,789,199	9,789,199	2013/2/14	東北大学