

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25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・教授
氏名	石川 拓司

1. 当該年度の研究目的

平成25年度は、まず始めに楕円体形状の藻類モデルを開発する。細胞が楕円体になると流れの伸長方向に配向する性質が現れるため、藻類懸濁液の粒子応力テンソル、自己拡散テンソル、物質拡散テンソルは球形の場合と大きく異なる。そこで数値シミュレーションを用いて、これらのテンソル量をデータベース化する。計算の高速度化も重要な課題であり、double layer potential で表記する境界要素法の計算コードを GPU 並列計算機に実装することで、計算時間の問題を克服する。そして作成したデータベースを用いることで、マクロスケールの藻類の挙動・分布を解析する連続体モデルの開発を行う。また、局所平衡を仮定できないシステムにおける数理モデル化にも取り組み、さまざまな環境下における藻類の分布を高精度で予測できる、革新的な数理モデルを開発する。

2. 研究の実施状況

まず始めに、楕円体形状の藻類モデルを開発した。解析手法には double layer potential を用いた境界要素法およびストークス動力学法を用い、藻類懸濁液の粒子応力テンソル、自己拡散テンソル、物質拡散テンソルをデータベース化した。計算の高速度化・並列化は、計算コードを GPU 並列計算機に実装することで、計算時間の大幅な短縮を図った。これらの数値解析により、微生物の遊泳モードによってメソスケールの集団遊泳構造が大きく変化し、結果として自己拡散係数などのマクロな物理量が異なる特性を示すことが明らかとなった。こうした知見は、自然界や工業界のさまざまな微生物懸濁液の特性を統一的に議論できるため、非常に有用である。

次に、作成したデータベースを用いて局所平衡を仮定することで、マクロスケールの藻類の挙動と分布を解析する連続体モデルを開発した。さらに数理モデルの適用範囲を飛躍的に拡張するため、局所平衡を仮定できないシステムの数理モデル化にも取り組んだ。藻類の方向ベクトルの1次モーメントおよび2次モーメントを用い、適切な境界条件を与えることで、解析的に藻類の分布を求める新しい手法を提案した。これらの成果は、査読付き雑誌論文として投稿中である。これにより、従来の数理モデルに対して藻類の分布を高精度で予測できる、革新的な数理モデルが開発できた。

これらの当初予定していた課題に加えて、腸内細菌の分布を予測する数理モデルの開発、微小流体流路を用いた細胞操作技術の開発、GPU クラスタを用いた超高速解析手法の開発、繊毛流れの機能の解明も行った。こうした派生的な研究は本研究課題の裾野を広げ、かつ、将来的な応用課題に結び付く可能

様式19 別紙1

性が高く重要である。

研究成果は査読付き雑誌論文、国際会議および国内学会にて報告した。また、高校生を対象とするオープンキャンパス、および一般の方を対象とする市民フォーラムを開催し、国民との科学・技術対話を推進した。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 9 件</p>	<p>(掲載済み－査読有り) 計 8 件</p> <p>(1) A. Takamatsu, T. Ishikawa, K. Shinohara and H. Hamada Asymmetric rotational stroke in mouse node cilia during left-right determination <i>Physical Review E</i>, <b>87</b>, 050701(R) (2013)</p> <p>(2) A. Takamatsu, K. Shinohara, T. Ishikawa and H. Hamada Hydrodynamic Phase Locking in Mouse Node Cilia <i>Physical Review Letters</i>, <b>110</b>, 248107 (2013)</p> <p>(3) T. Yaginuma, M. S. N. Oliveira, R. Lima, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Behavior of red blood cells in a hyperbolic microchannel: the extensional flow effect <i>Biomicrofluidics</i>, <b>7</b>, 054110 (2013)</p> <p>(4) H. Kamada, Y. Imai, M. Nakamura, T. Ishikawa and T. Yamaguchi Computational simulation of thrombus formation regulated by platelet membrane receptors and blood shear <i>Microvascular Research</i>, <b>89</b>, 95-106 (2013)</p> <p>(5) J. Ferracci, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, Y. Imai, T. Yamaguchi, T. Ishikawa Hydrodynamical entrapment of ciliates at the air-liquid interface <i>PLoS ONE</i>, <b>8</b>, e75238 (2013)</p> <p>(6) K. Kiyota, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta, T. Haga, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa Fluctuation of cilia-generated flow on the surface of tracheal lumen <i>Amer. J. Physiol. - Lung Cellular and Molecular Physiology</i>, <b>306</b>, L144-L151 (2014)</p> <p>(7) T. Ishikawa, T. Shioiri, K. Numayama-Tsuruta, H. Ueno, Y. Imai, T. Yamaguchi Separation of bacteria using the near-wall drift velocity in a microchannel <i>Lab on a Chip</i>, <b>14</b>, 1023-1032 (2013)</p> <p>(8) T. Omori, H. Hosaka, Y. Imai, T. Yamaguchi, T. Ishikawa Numerical analysis of a red blood cell flowing through a thin micro-pore <i>Physical Review E</i>, <b>89</b>, 013008 (2014)</p> <p>(掲載済み－査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 1 件</p> <p>(1) P. Kaneh and T. Ishikawa Fluid mechanics of swimming bacteria with multiple flagella <i>Physical Review E</i>, in press (2014)</p>
<p>会議発表 計 20 件</p>	<p>専門家向け 計 19 件</p> <p>(1) Y. Imai, N. Takeishi, T. Ami, T. Ishikawa and T. Yamaguchi A cellular flow simulation on graphics processing unit Spain, 2013.6.17-19, <i>ECCOMAS. COUPLED2013</i>.</p> <p>(2) T. Yamaguchi, Y. Imai, T. Omori, H. Ueno, K. Numayama-Tsuruta and T. Ishikawa Integrated Biomechanics for Physiological Flow Problems Korea, 2013.8.29-31, <i>Asian Pacific Conference on Biomechanics</i></p>

- (3) H. Ito, Y. Imai, D. Matsunaga, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  
A Numerical Analysis of the Rheology of Capsule Suspensions Containing Different Size Capsules  
Korea, 2013.8.29-31, *Asian Pacific Conference on Biomechanics*
- (4) K. Kyoya, D. Matsunaga, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  
Collective Swimming of Ellipsoidal Microorganisms  
Korea, 2013.8.29-31, *Asian Pacific Conference on Biomechanics*
- (5) T. Miyagawa, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  
Numerical simulation of motion of solid particles in the stomach  
Korea, 2013.8.29-31, *Asian Pacific Conference on Biomechanics*
- (6) S. Nix, Y. Imai, D. Matsunaga, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  
Mechanism of capsule migration near a plane wall  
Korea, 2013.8.29-31, *Asian Pacific Conference on Biomechanics*
- (7) A. Ami, Y. Imai, T. Ishikawa and T. Yamaguchi  
Modeling of cytoadhesion in malaria infection  
Korea, 2013.8.29-31, *Asian Pacific Conference on Biomechanics*
- (8) Y. Nonaka, H. Ueno, K. Numayama, T. Omori, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  
Effect of Aeration on the Bioconvection Pattern in a Microalgae Suspension  
Korea, 2013.8.29-31, *Asian Pacific Conference on Biomechanics*
- (9) N. Takeishi, Y. Imai, T. Ishikawa and T. Yamaguchi  
Margination of white blood cell in various sizes of circular micro-channel  
Korea, 2013.8.29-31, *Asian Pacific Conference on Biomechanics*
- (10) N. Takeishi, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  
Margination of leukocyte in different sizes of circular micro-channel  
Taiwan, 2013.11.18-20, *7th East Asian Consortium on Biomedical Engineering. National Taiwan University*
- (11) D. Matsunaga, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  
Viscosity of Dense Capsule Suspension Under Simple Shear Flow Condition  
Taiwan, 2013.11.18-20, *7th East Asian Consortium on Biomedical Engineering. National Taiwan University*
- (12) S. Kajiki, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  
Nutrient uptake in a suspension of squirmers  
USA, 2013.11.24-26, *Bulletin of the American Physical Society*
- (13) K. Kyoya, D. Matsunaga, Y. Imai, T. Yamaguchi, and T. Ishikawa  
Collective Swimming in a Suspension of Ellipsoidal Squirmers  
USA, 2013.11.24-26, *Bulletin of the American Physical Society*
- (14) D. Matsunaga, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  
Viscoelasticity of dilute capsule suspension under Stokes flows  
USA, 2013.11.24-26, *Bulletin of the American Physical Society*
- (15) N. Takeishi, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  
Numerical analysis of margination of a cancer cell in microcirculation  
Singapore, 2013.12.11-14, *APCOM · ISCM*
- (16) Y. Ichikawa, Y. Imai, D. Matsunaga, T. Yamaguchi, and T. Ishikawa  
A numerical analysis of a capsule containing multiple small capsules in simple shear flow  
Singapore, 2013.12.11-14, *APCOM · ISCM*
- (17) T. Ishikawa  
A Bottom-Up Approach in Biological Flow Studies  
Tokyo, 2014.3.14, *Advances in Computational Fluid-Structure Interaction and Flow Simulation*
- (18) Y. Imai, I. Kobayashi, T. Miyagawa, S. Ishida, T. Yamaguchi and T. Ishikawa  
How Does Gastric Mixing Proceed over Minutes?  
Tokyo, 2014.3.14, *Advances in Computational Fluid-Structure Interaction and Flow Simulation*

様式19 別紙1

	<p>(19)D. Matsunaga, Y. Imai, T. Yamaguchi and T. Ishikawa Rheological analysis of dense capsule suspension under Stokes flow condition Tokyo, 2014.3.14, <i>Advances in Computational Fluid-Structure Interaction and Flow Simulation</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, 2013.8.25, せんだいメディアテーク</p>
図書 計 1 件	<p>R. Lima, Y. Imai, T. Ishikawa and M. S.N.Oliveira Visualization and Simulation of Complex Flows in Biomedical Engineering Springer, 2013, 240</p>
産業財産権 出願・取得状 況 計 0 件	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 0 件</p>
Webページ (URL)	<p>東北大学 研究者紹介 <a href="http://db.tohoku.ac.jp/whois/detail/5e15d83900e65b755d2af8dd6a078164.html">http://db.tohoku.ac.jp/whois/detail/5e15d83900e65b755d2af8dd6a078164.html</a></p> <p>石川・今井・大森・菊地研究室 HP <a href="http://www.pfsl.mech.tohoku.ac.jp/index.html">http://www.pfsl.mech.tohoku.ac.jp/index.html</a></p>
国民との科学・ 技術対話の実 施状況	<p>高校生を対象とするオープンキャンパス（平成 25 年 7 月）、および下記の市民講座を実施した。</p> <p>標題：市民講座「未来をつくる ―東北大学機械系若手研究者の挑戦―」 実施日：平成 25 年 8 月 25 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 85 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。</p>
新聞・一般雑 誌等掲載 計 0 件	
その他	

4. その他特記事項

なし

## 実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

## 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	71,000,000	45,000,000	0	0
間接経費	34,800,000	21,300,000	13,500,000	0	0
合計	150,800,000	92,300,000	58,500,000	0	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	4,726	45,000,000	0	45,004,726	44,996,174	8,552	0
間接経費	0	13,500,000	0	13,500,000	13,497,434	2,566	0
合計	4,726	58,500,000	0	58,504,726	58,493,608	11,118	0

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	23,751,245	高速度カメラシステム、レーザーユニット等
旅費	2,812,290	研究成果発表旅費(日本機械学会年次大会)等
謝金・人件費等	14,670,434	博士研究員人件費、事務補佐員人件費等
その他	3,762,205	論文投稿料、学会参加登録費等
直接経費計	44,996,174	
間接経費計	13,497,434	
合計	58,493,608	

## 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
ストレージ	(米)DELL社製 Dell社製 MD1200	1	955,639	955,639	2013/5/13	東北大学
共焦点顕微鏡システム用レーザーユニット	横河電機機製 CSULD488-100- TIKSP04	1	2,643,375	2,643,375	2013/9/12	東北大学
グラフィックカード	(株)エルザジャパン 製 Geforce GTX TITAN GDTIT- 6GER	10	136,000	1,360,000	2013/10/31	東北大学
人工気象器	(株)日本医化器械 製作所製 LLPH- 240SP	1	1,342,950	1,342,950	2013/12/10	東北大学
高速度カメラシステム	西華産業(株)製 PSA3	1	4,389,000	4,389,000	2013/12/16	東北大学
グラフィックカード	(株)エルザジャパン 製 Geforce GTX TITAN GDTIT- 6GER	10	135,000	1,350,000	2013/12/19	東北大学
XY軸ポジショニングシステム 外	ピーアイ・ジャパ ン(株)製 P- 733.2CL型 外	1	2,389,590	2,389,590	2014/1/9	東北大学
ストレージ	(米)DELL社製 NX3300	1	804,174	804,174	2014/2/19	東北大学
ストレージ	(米)DELL社製 MD1200	2	956,550	1,913,100	2014/2/19	東北大学
グラフィックカード	(香)GALAXY社製 TITAN BlackEdition PCI-E 6GBDDR5	4	164,000	656,000	2014/3/7	東北大学