

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2023

課題番号：18K13456

研究課題名（和文）受精ダイナミクスに潜む連続体の数理：実験データに基づいた理論的アプローチ

研究課題名（英文）Continuum mechanics in fertilization dynamics: A mathematical approach based on experimental data

研究代表者

石本 健太 (Kenta, Ishimoto)

京都大学・数理解析研究所・准教授

研究者番号：00741141

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000 円

研究成果の概要（和文）：精子に代表される微小生物の流体中のダイナミクスに対し、実験データに基づく弾性体と流体の両方を考慮した連続体の数理モデリング手法の開発に取り組んだ。顕著な成果として、バクテリアのフックの柔軟性によって起こる弾性流体不安定性を理論的に解明した。また、鞭毛波形を自動検出できる手法を開発し、多数の精子サンプルの解析が可能になった。微小生物の遊泳ダイナミクスにおける弾性・流体の結合問題の遊泳公式の導出に成功し、適切な形状空間の設計指針を与えることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

精子を含む微生物の遊泳ダイナミクスは、感染症や不妊治療といった医学的観点だけでなく、細胞スケールのマイクロロボットの開発の基礎ともなる。このような複合的な学際領域における、数理的な基盤やモデリング手法の基礎づけは、広範囲の学術的分野を支える知見となる。特に成果のあったバクテリアの壁面近傍の挙動に関しては、バイオフィルムの形成メカニズムを理解する上でも重要だと考えている。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we have aimed at establishing modelling methodology for fluid-structure coupling problem of microswimmers such as spermatozoa. Notable achievements include elastohydrodynamic instability of bacterial swimming via a flexible hook. Also, in this project, a novel automatic detection of flagellar shape has been invented, and this method enables one to analyse a large amount of flagellar samples. We also successfully derived swimming formula for the fluid-structure coupling problem, which is helpful in designing a proper shape space.

研究分野：応用数学

キーワード：流体力学 連続体力学 数理モデル

1. 研究開始当初の背景

精子を含めた微生物は、そのサイズがミクロスケールであるため、まわりの流体運動は慣性が無視できる低レイノルズ数流れでよく記述できる。つまり、流体運動は Stokes 方程式に従う。この偏微分方程式は線形であり、生物表面での境界条件によって解が定まる境界値問題である。しかし、生物は自発的に変形し、境界条件が時間的に変化し移動する移動境界問題となっており、一般にその挙動は複雑になる。シンプルな方程式ではあるが、複雑な境界条件によって、方程式の解として多様な微生物運動が現れる。

精子の遊泳は受精において重要であるため、古くから応用数学者が流体方程式に基づいた解析を行ってきた [Gray & Hancock, 1955]。2010 年代に入り、観測技術と計算機の発達により、応用数学の果たす役割が顕著となってきた [Gaffney et al., 2011]。特に、研究代表者たちのグループは、実際のヒト精子鞭毛の高速度映像を元に、鞭毛波形を低次元の主成分空間内のリミットサイクル軌道として捉え、計算機内で鞭毛波形を再構成し Stokes 方程式の高精度の数値計算を行うことで、実際の遊泳の細部まで数理的に再現できることを確認した [Ishimoto et al., 2017]。

しかし、これらは変形データを既知とした数理モデリングに基づく。実際の生物の変形は、生物自身の柔軟性である弾性と、周囲の流体環境との結合問題になっている (流体構造連成問題)。弾性体や流体をあわせて連続体力学というが、これらの数理モデリングと実験データとの融合が必要さが認識されていた。

2. 研究の目的

そこで本研究では、精子に代表される微小生物のダイナミクスに対し、実験データに基づく弾性体と流体の両方を考慮した連続体の数理モデリング手法の開発を目的とした。

3. 研究の方法

弾性体と流体の結合系である弾性流体力学 (elastohydrodynamics) の理論と、実験データを数理モデルと接続するための 2 つの課題を設定し、最終的にそれらを統合することで、数理モデリング手法を確立することを目指した。具体的な課題としては、(1) 微小生物のダイナミクスを記述する弾性流体力学 (elastohydrodynamics) の数理構造の探索、(2) 非線形力学の手法を用いた精子鞭毛波形の個体間揺らぎの特徴付けと計算機内での再構成、(3) 実験データの揺らぎを考慮した鞭毛波形の弾性流体力学の記述法の構築、と分類することができる。

4. 研究成果

(1) 微小生物のダイナミクスを記述する弾性流体力学 (elastohydrodynamics) の数理構造の探索

弾性流体力学の数理的な難しさは、流体方程式の境界条件である形状が未知関数で、弾性方程式と同時に解かねばならない点にある。そこで、まずは、弾性の自由度が少数で記述できる系としてバクテリアの遊泳問題を検討した。

バクテリアの鞭毛は螺旋形状の比較的剛性の高い物質であるが、菌体と鞭毛の間にあるフックと呼ばれる構造に柔軟性が顕著に現れることに注目した。フックの角度の自由度を形状空間の自由度と設定することで、理論的な解析が容易になった。複数鞭毛を持つバクテリア遊泳の力学的安定性の問題に対して、その線形安定性を解析的に解決することに成功した [Ishimoto & Lauga, Proc. R. Soc. A, 2019]。

一般の N 本の鞭毛が対称的に配置された場合、静止状態が力学系の固定点となる。この点のまわりの不安定次元は最大で 6 になることがわかった。これは、剛体運動の自由度 (重心の並進と回転運動) に対応している。さらに、鞭毛の回転速度が大きくなっていく際に、はじめに不安定になる方向が、ある軸周りの回転をとともなる推進運動に対応しており、これは実際の生物運動とも整合的である。また、回転方向を逆転すると、この固定点は安定になることから、バクテリアのラン・アンド・タンブル運動とも整合的であり、生物の運動様式を (有限の) 一般次元の力学系の固定点の安定性として特徴づけることに成功した。また、この研究は日本流体力学会年会の注目研究 2019 に選出され、日本流体力学会誌「ながれ」の表紙にも選ばれた。

さらに、この解析手法のアイデアを壁面境界付近で見られるバクテリアの独楽のような運動に適用した。バクテリアの境界付近の運動は、増殖した細菌の構造物であるバイオフィルムの形成初期で重要な役割がしていることが知られている。ここでは、先と同様にバクテリアの鞭毛の基部にあるフックの角度変数を形状自由度とした。境界要素法によるストークス方程式の直接数値計算と、鞭毛の回転軸の周りの軸対称性を仮定した抵抗力理論による線形安定性解析の異なる解像度の解析手法を用いたが、この両者による解析手法が定量的にもある程度的一致を見せた。これにより、複雑な物体構造連成問題に対して対称性を課すことで、力学的なメカニズムが解釈可能な数理モデルとなることがわかった[Ishimoto, J. Fluid Mech, 2019]。

(2) 非線形力学の手法を用いた精子鞭毛波形の個体間揺らぎの特徴付けと計算機内での再構成

鞭毛波形の取得は、実験的には高速度顕微鏡映像から行うことが多い。しかし、光学顕微鏡での計測では、高倍率と高いフレームレートが必要となり、鞭毛画像検出は容易ではない。それでも、これまで様々な画像解析手法が開発されてきた。研究代表者のグループは、鞭毛波形を自動検出できる手法として、中心軸変換を用いた手法を提案した[Walker et al. Sci. Rep. 2019]。これまでは、多数のサンプルの解析が困難であったが、この手法によりサンプル間の比較が可能になり、実際この手法を異なるウシ精子の複数のサンプルに適用した[Walker et al., R. Soc. Open Sci. 2020]。また、主成分分析をおこなうことで、それぞれのサンプル間、あるいはサンプル内での精子鞭毛波形の特徴付けが可能になった。低次の主成分によって容易に鞭毛波形を計算機内で再現することにも成功した。

生物周りの流れ場は生物の複雑形状や変形のために、多様なパターンを示すが、物体から離れた遠方での流れ場はストークス方程式の基本解やその低次の多重極解によって表現できることが実験的に知られていた。しかし、物体近傍の流れ場を捉えるためには多重極を多数用意する必要があり、流れ場の簡潔な記述は難しいとされていた。そこで、ストークス方程式の基本解の正則化表現である正則化ストークス極によって近傍の流れ場が表現できないか検討した。まず、境界要素法による直接数値計算によってバクテリア周りの流れ場を求め、これを少数の正則化ストークス極によって近傍まで精度良く表現することに成功した[Ishimoto et al. Phys. Rev. Fluids, 2020]。

さらに、この表現を用いて多数のバクテリアの集団運動の数値シミュレーションを実施することに成功した [Ishimoto, Springer Proc. Math. Stat., 2023]。この数値シミュレーションは、過去の研究で使用した数値計算コード[Ishimoto & Gaffney, Sci. Rep, 2018]に基づくもので、バクテリア近傍の流体相互作用が考慮されている点の特徴である。実際、多数の集団運動としてアクティブ乱流と呼ばれる一定の大きさの渦の不規則な運動で特徴づけられる時空カオスが確認された。この流体相互作用が無い場合には、乱流状態には至らず、流体相互作用の重要性が明らかになった。

(3) 実験データの揺らぎを考慮した鞭毛波形の弾性流体力学の記述法の構築

以上の研究（特に、1,の微小生物のダイナミクスを記述する弾性流体力学の研究）を通して、物体形状を記述する適切な形状空間を設定することで、微小スケールの遊泳問題を、これまでの弾性効果を考慮しない形式に帰着させることがわかった。弾性流体力学における微小生物の遊泳ダイナミクスは、内力によって駆動される形状空間での経路(path)によって決定される、という見方が可能になったとも言える。そこで、形状空間の非相反な変形を自励系で記述する枠組みとして、奇弾性(odd elasticity)という概念を適用することにした。奇弾性は、エネルギー注入が存在する開放系での有効的なアクティブマターの記述法と見なすことができる。

線形弾性体の拡張概念である線形奇弾性を導入することにより、弾性流体力学における遊泳ダイナミクスを一般的に記述することが可能になった[Ishimoto et al., Phys. Rev. E, 2022]。また、環境や物体内部に由来するノイズを含む形で理論を構築することができ、弾性流体力学における一般的な遊泳公式を初めて導出することに成功した。この公式では、遊泳速度は、形状空間における確率流による面積速度と、ストークス接続から導かれる曲率テンソルの、2つの量のある種の積の形で求められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 24件／うち国際共著 19件／うちオープンアクセス 22件）

1. 著者名 Walker B.J., Ishimoto K., Gaffney E.A., Moreau C.	4. 巻 942
2. 論文標題 The control of particles in the Stokes limit	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/jfm.2022.253	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Ishimoto Kenta, Moreau Clement, Yasuda Kento	4. 巻 105
2. 論文標題 Self-organized swimming with odd elasticity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 64603
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevE.105.064603	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Walker B.J., Ishimoto K., Moreau C., Gaffney E.A., Dalwadi M.P.	4. 巻 944
2. 論文標題 Emergent rheotaxis of shape-changing swimmers in Poiseuille flow	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 R2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/jfm.2022.474	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Yasuda Kento, Ishimoto Kenta, Kobayashi Akira, Lin Li-Shing, Sou Isamu, Hosaka Yuto, Komura Shigeyuki	4. 巻 157
2. 論文標題 Time-correlation functions for odd Langevin systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 095101 ~ 095101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0095969	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Yasuda Kento, Ishimoto Kenta	4. 巻 106
2. 論文標題 Most probable path of an active Brownian particle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 64120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.106.064120	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Lin Li-Shing, Yasuda Kento, Ishimoto Kenta, Hosaka Yuto, Komura Shigeyuki	4. 巻 92
2. 論文標題 Onsager 's Variational Principle for Nonreciprocal Systems with Odd Elasticity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 33001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.92.033001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Walker Benjamin J., Ishimoto Kenta, Gaffney Eamonn A.	4. 巻 8
2. 論文標題 Hydrodynamic slender-body theory for local rotation at zero Reynolds number	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 34101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.8.034101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Walker Benjamin J., Ishimoto Kenta, Gaffney Eamonn A.	4. 巻 8
2. 論文標題 Systematic parameterizations of minimal models of microswimming	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 34102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.8.034102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Gaffney Eamonn A., Ishimoto Kenta, Walker Benjamin J.	4. 巻 9
2. 論文標題 Modelling Motility: The Mathematics of Spermatozoa	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Cell and Developmental Biology	6. 最初と最後の頁 710825
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fcell.2021.710825	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Walker Benjamin J., Phuyal Shiva, Ishimoto Kenta, Tung Chih-Kuan, Gaffney Eamonn A.	4. 巻 7
2. 論文標題 Computer-assisted beat-pattern analysis and the flagellar waveforms of bovine spermatozoa	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 200769 ~ 200769
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsos.200769	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Walker Benjamin J., Ishimoto Kenta, Gaffney Eamonn A.	4. 巻 5
2. 論文標題 Efficient simulation of filament elastohydrodynamics in three dimensions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 123103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.5.123103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishimoto Kenta, Gaffney Eamonn A., Walker Benjamin J.	4. 巻 5
2. 論文標題 Regularized representation of bacterial hydrodynamics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 93101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.5.093101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishimoto Kenta, Lauga Eric	4. 巻 475
2. 論文標題 The N -flagella problem: elasto-hydrodynamic motility transition of multi-flagellated bacteria	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences	6. 最初と最後の頁 20180690
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rspa.2018.0690	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Walker Benjamin J., Ishimoto Kenta, Gaffney Eamonn A.	4. 巻 4
2. 論文標題 Pairwise hydrodynamic interactions of synchronized spermatozoa	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Fluids	6. 最初と最後の頁 93101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevFluids.4.093101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishimoto Kenta	4. 巻 880
2. 論文標題 Bacterial spinning top	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 620 ~ 652
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2019.714	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Walker B. J., Ishimoto K., Gadelha H., Gaffney E. A.	4. 巻 879
2. 論文標題 Filament mechanics in a half-space via regularised Stokeslet segments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 808 ~ 833
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2019.723	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishimoto Kenta	4. 巻 892
2. 論文標題 Helicoidal particles and swimmers in a flow at low Reynolds number	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Mechanics	6. 最初と最後の頁 A11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jfm.2020.142	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石本健太	4. 巻 682
2. 論文標題 微生物の流体力学	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 数理科学	6. 最初と最後の頁 67 ~ 74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishimoto Kenta, Gaffney Eamonn A.	4. 巻 8
2. 論文標題 Hydrodynamic Clustering of Human Sperm in Viscoelastic Fluids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 15600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-33584-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Walker Benjamin J., Wheeler Richard J., Ishimoto Kenta, Gaffney Eamonn A.	4. 巻 462
2. 論文標題 Boundary behaviours of Leishmania mexicana: A hydrodynamic simulation study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Theoretical Biology	6. 最初と最後の頁 311 ~ 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jtbi.2018.11.016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Walker Benjamin J., Ishimoto Kenta, Wheeler Richard J., Gaffney Eamonn A.	4. 巻 98
2. 論文標題 Response of monoflagellate pullers to a shearing flow: A simulation study of microswimmer guidance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 63111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.98.063111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Walker Benjamin J., Ishimoto Kenta, Wheeler Richard J.	4. 巻 9
2. 論文標題 Automated identification of flagella from videomicroscopy via the medial axis transform	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-41459-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishimoto Kenta, Lauga Eric	4. 巻 475
2. 論文標題 The N-flagella problem: Elastohydrodynamic motility transition of multi-flagellated bacteria	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Royal Society A	6. 最初と最後の頁 20180690
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rspa.2018.0690	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Walker Benjamin J., Phuyal Shiva, Ishimoto Kenta, Tung Chih-Kuan, Gaffney Eamonn A.	4. 巻 7
2. 論文標題 Computer-assisted beat-pattern analysis and the flagellar waveforms of bovine spermatozoa	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 200769 ~ 200769
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsos.200769	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishimoto Kenta	4. 巻 429
2. 論文標題 A Multiscale Numerical Simulation of Quasi-Two-Dimensional Bacterial Turbulence Using a Regularized Stokeslet Representation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Springer Proceedings in Mathematics & Statistics	6. 最初と最後の頁 215 ~ 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-35871-5_11	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 K. Ishimoto
2. 発表標題 Self-organised microswimming of active soft matter
3. 学会等名 9th World Congress of Biomechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石本健太
2. 発表標題 Emergence of motility pattern in elasto-hydrodynamic cell swimming
3. 学会等名 RIMS International Conference: Modeling and Mathematical Analysis of Dynamics of Pattern (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石本健太
2. 発表標題 流れ場中の螺旋微生物の運動
3. 学会等名 日本流体力学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石本健太
2. 発表標題 流体方程式から見る微生物の対称性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Ishimoto, B. J. Walker and E. A. Gaffney
2. 発表標題 A data-driven multi-scale modelling for collective dynamics of human sperm
3. 学会等名 Emerging behaviour in active matter: computational challenges (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石本健太、E. Lauga
2. 発表標題 N鞭毛問題：バクテリア遊泳の安定性
3. 学会等名 日本流体力学会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ishimoto
2. 発表標題 Elastohydrodynamic stability problems in bacterial swimming
3. 学会等名 RIMS Workshop "Mathematical Methods in Biofluid Mechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石本健太
2. 発表標題 細胞運動と流れのダイナミクス
3. 学会等名 メカノバイオロジー研究を学ぶ2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ishimoto
2. 発表標題 Hydrodynamics of bacterial spinning top
3. 学会等名 Annual Meeting of American Physical Society Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石本健太
2. 発表標題 ストークス流れにおける流体運動的対称性
3. 学会等名 現象と数理モデル2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ishimoto
2. 発表標題 Microswimming stability via fluid-structure interactions
3. 学会等名 Fluid-structure interactions: From engineering to biomimetic systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石本健太
2. 発表標題 バクテリア独楽の流体力学的安定性
3. 学会等名 RIMS研究集会「生物数学の理論と応用」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Ishimoto
2. 発表標題 Hydrodynamic modelling of human sperm clustering
3. 学会等名 11th European Conference on Mathematical and Theoretical Biology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ishimoto
2. 発表標題 Collective dynamics of human sperm swimming in a viscoelastic medium
3. 学会等名 71st Annual Meeting of American Physical Society Division of Fluid Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石本健太
2. 発表標題 受精ダイナミクスの流体数理
3. 学会等名 反応拡散系と実験の融合2 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ishimoto
2. 発表標題 Mathematical methods of fluid mechanics at the scale of the cell
3. 学会等名 Interdisciplinary Workshop "Mathematics and Pharmaceutical Sciences" (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究者の個人webページ https://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~ishimoto/jp/</p>
--

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------