

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14426

研究課題名（和文）アクティブマターのトポロジカル制御とトポロジカル物性

研究課題名（英文）Topological control and topological phenomena of active matter

研究代表者

西口 大貴（Nishiguchi, Daiki）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・助教

研究者番号：20850556

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：アクティブマターの集団運動のトポロジカル制御の方法論確立と秩序構造のトポロジカル物性の探求を目的として研究を遂行した。まず、遊泳バクテリアの示すアクティブ乱流を題材に、実験・数値計算・解析計算を統合することで、境界の存在下でのバクテリアの渦秩序の安定性やトポロジを評価し、渦の振動状態への転移などあらたな不安定化現象を発見した。さらに、バクテリア乱流を高速で蛍光観察する手法の開発に成功し、トポロジカル物性を検出する基盤を固めた。これらの知見に基づき、バクテリア乱流がトポロジカル物性を発現しうる閉じ込め形状を着想・設計し、一方向の流れが駆動される条件を見出すなどの成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：細胞集団などのアクティブマター実験では、速度場が時空カオス的変動を示すアクティブ乱流状態が頻りに観察される一方、生物の発生過程における細胞集団移動など生命科学上も重要な現実の集団運動は秩序立った振る舞いを示す。本研究は、境界による秩序発現の原理がこれらに貢献している可能性を提示した。
社会的意義：本研究で確立した微生物集団の運動の制御と予測手法は、微生物集団を用いた物質生産の指針やマイクロスケールでの新たな攪拌原理を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：The aim of this research was to establish methodologies for the topological control of collective motion in active matter and exploring the topological properties of emergent order. First, we focused on active turbulence exhibited by swimming bacteria. By integrating experimental, numerical, and analytical approaches, we assessed the stability and topology of bacterial vortex order in the presence of obstacles and boundaries, discovering an unconventional route to turbulence such as transitions to oscillatory vortices. Additionally, we succeeded in developing a high-speed fluorescence observation method for bacterial turbulence, which lays the foundation for detecting topological phenomena. Based on these insights, we conceived and designed confinement geometries in which bacterial turbulence may exhibit topological properties, and identified conditions that drive unidirectional flow.

研究分野：非平衡統計物理学

キーワード：アクティブマター 集団運動 アクティブ乱流 時空カオス バクテリア 非平衡物理学 生物物理学
トポロジカル物性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多細胞生物の発生などにおける細胞集団運動の理解は、発生生物学のみならず非平衡統計物理学の重要課題である。近年、自己駆動する要素の集団を記述するアクティブマターという非平衡統計物理学の枠組みが発展している。バクテリアや培養細胞の集団、生体フィラメント・分子モーター再構成系や自己駆動コロイド粒子系[1]など現実のアクティブマター実験系では、構成要素の運動の向きが局所的には揃うものの大域的には揃わず、速度場が時空カオス的変動を示すアクティブ乱流状態が頻繁に観察され、そのバルクの性質が詳細に調べられてきた。一方で、生物の発生過程における細胞集団移動など、生命科学上も重要な現実の集団運動は秩序立った振る舞いを示すことから、どのような条件下で現実の集団運動が秩序化するのかという問いがあった。たとえば発生過程では、胚や組織形状といった境界条件が集団運動と強く結合している中で秩序が現れていることから、境界条件による秩序化原理の追究が必要である。

バルクとは異なるエッジでの運動状態も、胚などの中に強く閉じ込められた条件下では重要となる。このような、「バルクと異なるエッジ状態」の典型例として、量子ホール効果などのトポロジカル物性が挙げられる。固体物性ではエッジ状態に関する理論的理解が確立されている一方で、ソフトマターやアクティブマターのエッジ状態は理論・実験ともに未開拓である。集団運動のエッジ状態の理解は、生命現象の理解に大きく寄与すると期待できる。

2. 研究の目的

本申請計画では、アクティブマターの集団運動の(A)トポロジカル制御の方法論確立と、(B)秩序構造のトポロジカル物性の探求を目的とした。具体的には、幅広い実験系に普遍的に現れるアクティブ乱流中に、実空間のトポロジカル欠陥を人為的に導入することで運動を秩序化させる実験とその方法論の数値計算・理論による構築、および、その秩序構造の波数空間でのトポロジカル物性計測の基礎固めをおこなった。

3. 研究の方法

具体的な研究題材としては、異なるアクティブマター系で広く観察されるアクティブ乱流扱った。連続場記述による理論が提案され、実際に実験で得られる速度場のスペクトルを再現するなど、バルクの運動の定量的理解がなされていた。そこでまず、連続場記述の境界条件などの特徴付け[2,3,4,5]を、遊泳バクテリア *Bacillus subtilis* (枯草菌)の濃厚懸濁液でのアクティブ乱流を用いて実施した。並行して、数値計算手法を開発した。実施した研究項目は以下のとおりである。

- (1) 境界の存在下でのアクティブ乱流の振る舞い：トポロジカル欠陥と乱流化シナリオ
- (2) エッジでの個々のバクテリア遊泳挙動の特徴づけ：擬2次元での遊泳の特異性
- (3) トポロジカル物性の観測へ向けた高速蛍光観察法と微小流体デバイスの開発

4. 研究成果

- (1) 境界の存在下でのアクティブ乱流の振る舞い：トポロジカル欠陥と乱流化シナリオ

まず、周期的に配置した微小な柱構造中において、アクティブ乱流が隣同士逆回転する渦格子秩序構造へと自己組織化する実験結果[2]を再現する流体法定期の境界条件を実験から推定し、

アクティブ乱流の障害物の存在化での振る舞いを予測する数値・理論手法を開発した[3]。このなかで、微小な柱はアクティブ乱流中の速度場に内在するトポロジカル欠陥をピン留めする効果があることが判明し、柱を配置することによってアクティブ乱流の挙動をトポロジカルに制御する方法論を確立した[3]。

さらに実験系のデザインを効率化するために、このアクティブ乱流の数値計算コードの改良をおこなった。境界の存在下でアクティブ乱流の示す時空間構造を数値的に予測し、実験系の設計を効率化するために、任意の境界形状下でアクティブ乱流の流体方程式を計算できるコードをGPUベースで構築した。

このGPU数値計算コードもちいた高解像度の数値計算により、トポロジカル物性を発現させる微小流体デバイス設計の基礎となる境界形状でのアクティブ乱流の振る舞いを詳細に調べた。具体的には、円形閉鎖領域内で、閉じ込め半径を徐々に大きくしていった際に、小さい半径での1つの安定な渦への自己組織化から、大きい半径での時空カオス的乱流状態へどのように遷移していくかを調べた。この遷移過程において、まず最初に定常な渦から渦が反転する振動状態へのヒステリシスを伴う転移が生じることを見出した。定常渦が不安定化する最初のプロセスとして渦の発見した振動現象への転移を、弱非線形解析により解析的に調査し、その力学系としての特徴を解明した。加えて、数値計算・理論予測に対応する半径近傍で多数のサンプルを用意する大規模実験を実施した結果、実験的にも渦の反転が周期的に起こる現象を見出した。さらに半径を大きくしていった場合に最終的に時空カオス状態に至るまでの道筋については、数値計算によって調査した。結果として、周期解から時空カオスに転移するまでの過程において、準周期解・単周期解・カオス解を行き来するリエントラント転移を示すという、従来知られていなかった乱流化シナリオを経ることがわかった(図1)。数値計算の結果に関しては論文を執筆・投稿[5]し、実験と解析計算を加えた内容については論文投稿段階まで進んだ。

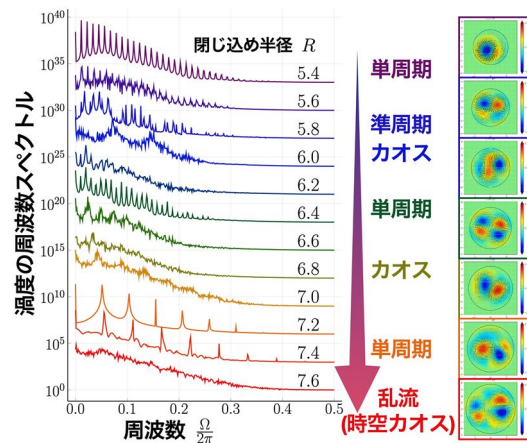


図1 乱流化におけるリエントラント転移

(2) エッジでの個々のバクテリア遊泳挙動の特徴づけ：擬2次元での遊泳の特異性

境界条件下でのアクティブ乱流に発現するトポロジカル物性を実現するために、一匹一匹のバクテリアと境界の相互作用を理解することは必要である。そこで、アクティブ乱流を構成する

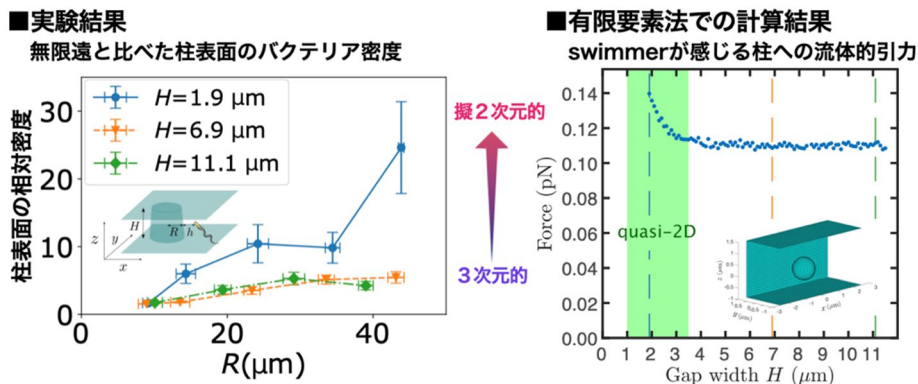


図2 ギャップ幅 H を小さくして擬2次元性を強めると、バクテリアにかかる壁方向の流体的引力が増大し、結果として柱表面により多くのバクテリアが集積する。

バクテリア単体の境界での振る舞いおよび集団運動の境界条件の空間次元依存性を理解を目指し、バクテリアを3次元的な空間および擬2次元的な薄い流体層中に閉じ込めた場合の微小な柱周りの運動を解析した。結果として、擬2次元性が強くなると、3次元的な場合に比べてバクテリアが感じる壁方向の引力が急激に増大することを実験で見出した(図2)。この結果は有限要素法の数値計算でも再現に成功し、擬2次元の流体相互作用の特異性として理解できた。これらは、境界とバクテリアの相互作用のみならず、バクテリア間の相互作用やそれに伴う集団運動状態の次元依存性の理解へとつながる結果である。これらの結果は論文へまとめ、出版された[6]。

(3) トポロジカル物性の観測へ向けた高速蛍光観察法と微小流体デバイスの開発

バクテリア集団運動に発現するトポロジカル物性を検出するためには、バクテリアの数密度の時空間的変動を高速で検出する必要がある。そこで、まず、バクテリア乱流を高速共焦点顕微鏡で観察するために必要な、十分な輝度となる蛍光染色方法および十分な酸素供給や気液界面の平坦性を確保する微小流体デバイスの開発を終え、観察手法を確立させた。これを用いて、バクテリア乱流中の密度ゆらぎやキラリティの破れなど当初から目的としていた測定対象を定量的に評価することに成功するとともに、バルク中でのキラリティの破れなど新たな現象を見出すことができた。

これらの知見に加えて、上記(1)(2)で理解が得られた渦の安定性や境界での運動に関する実験・数値計算・解析理論の結果を統合することで、バクテリア集団運動がトポロジカル物性を発現しうる閉じ込め形状を着想した。非対称な幾何形状を設計することで、トポロジカル物性の発現に必要な条件を実験的に詳細に検討を進めたことで、一方向の流れが駆動される条件を見出すなど一定の成果を得た。

本研究全体を通して、バクテリア集団に発現するアクティブ乱流を題材として、渦という実空間の集団運動を実空間トポロジーに基づいて制御する方法論を確立したとともに、その理解に基づき集団運動を設計し、そこに発現するトポロジカル物性という波数空間トポロジーを開拓する端緒を斬り拓くことができた。

引用文献

[1] Daiki Nishiguchi, Masaki Sano, “Mesoscopic turbulence and local order in Janus particles self-propelling under an ac electric field”, *Physical Review E* **92**, 052309 (2015).

[2] Daiki Nishiguchi, Igor S Aranson, Alexey Snezhko, Andrey Sokolov, “Engineering bacterial vortex lattice via direct laser lithography”, *Nature Communications* **9**, 4486 (2018).

[3] Henning Reinken, Daiki Nishiguchi, Sebastian Heidenreich, Andrey Sokolov, Markus Bär, Sabine HL Klapp, Igor S Aranson, “Organizing bacterial vortex lattices by periodic obstacle arrays”, *Communications Physics* **3**, 76 (2020).

[4] Daiki Nishiguchi, “Deciphering Long-Range Order in Active Matter: Insights from Swimming Bacteria in Quasi-2D and Electrokinetic Janus Particles”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **92**, 121007 (2023)

[5] Sora Shiratani, Kazumasa A. Takeuchi, and Daiki Nishiguchi, “Route to turbulence via oscillatory states in polar active fluid under confinement”, arXiv: 2304.03306 (2023)

[6] Yuki Takaha and Daiki Nishiguchi, “Quasi-two-dimensional bacterial swimming around pillars: enhanced trapping efficiency and curvature dependence”, Phys. Rev. E **107**, 014602 (2023).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Daiki Nishiguchi	4. 巻 92
2. 論文標題 Deciphering Long-Range Order in Active Matter: Insights from Swimming Bacteria in Quasi-2D and Electrokinetic Janus Particles	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 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.92.121007	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 Sora Shiratani, Kazumasa A. Takeuchi, Daiki Nishiguchi	4. 巻 2304.03306
2. 論文標題 Route to turbulence via oscillatory states in polar active fluid under confinement	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.48550/arXiv.2304.03306	査読の有無 無
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 西口 大貴	4. 巻 126
2. 論文標題 微生物遊泳と壁の協奏現象：個と集団の制御(特集 複雑な流れ現象 -機械工学の視点から-)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Mechanical Engineers	6. 最初と最後の頁 14~17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmemag.126.1255_14	査読の有無 無
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 Takaha Yuki, Nishiguchi Daiki	4. 巻 107
2. 論文標題 Quasi-two-dimensional bacterial swimming around pillars: Enhanced trapping efficiency and curvature dependence	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 14602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.107.014602	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 -

1. 著者名 Nishiguchi Daiki	4. 巻 91
2. 論文標題 Physics of Bait Balls: How Do Schooling Fish Form Rotating Clusters?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JPSJ News and Comments	6. 最初と最後の頁 64806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJNC.19.13	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 -

1. 著者名 西口 大貴	4. 巻 1
2. 論文標題 アクティブマター物理学：集団運動の秩序とゆらぎ	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 物性若手夏の学校テキスト	6. 最初と最後の頁 304 ~ 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.57393/natsugaku.1.0_304	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 Junichiro Iwasawa, Daiki Nishiguchi, Masaki Sano	4. 巻 3
2. 論文標題 Algebraic correlations and anomalous fluctuations in ordered flocks of Janus particles fueled by an AC electric field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 43104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.043104	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 Henning Reinken, Daiki Nishiguchi, Sebastian Heidenreich, Andrey Sokolov, Markus Baer, Sabine H. L. Klapp, Igor S. Aranson	4. 巻 3
2. 論文標題 Organizing bacterial vortex lattices by periodic obstacle arrays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-020-0337-z	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 Alexis Poncet, Olivier Benichou, Vincent Demery, Daiki Nishiguchi	4. 巻 103
2. 論文標題 Pair correlation of dilute active Brownian particles: From low-activity dipolar correction to high-activity algebraic depletion wings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 12605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.103.012605	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

[学会発表] 計60件 (うち招待講演 17件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 バクテリア乱流の渦秩序と不安定化
3. 学会等名 第48回エアロ・アクアバイオメカニズム学会定例講演会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Daiki Nishiguchi
2. 発表標題 How spatial dimensions and confinement influence single & collective bacterial swimming
3. 学会等名 Active Matter x Complex Flow (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 バクテリア集団運動の空間構造への応答：渦秩序の制御とキラリティー
3. 学会等名 2023年度べん毛研究交流会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 「高密度細菌集団の秩序創発・状態制御を司る熱統計力学原理の探究」関連成果
3. 学会等名 新学術領域「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」終了報告会・第8回領域会議
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 バクテリアの渦の乱流化シナリオと集団でのキラリティ反転
3. 学会等名 新学術領域「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」終了報告会・第8回領域会議
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 Vortex in Active Matter...and beyond
3. 学会等名 生物普遍性ワークショップ
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Daiki Nishiguchi
2. 発表標題 Vortex reversal as a precursor of active turbulence
3. 学会等名 Advanced core-to-core network for the physics of self-organizing active matter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 バクテリア集団運動の空間構造への応答：渦秩序の制御とキラリティー
3. 学会等名 第61回日本生物物理学会年会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流の3次元構造と制御方法の開拓
3. 学会等名 JSTさきがけ「複雑流動」第5回領域会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流の3次元構造と制御方法の開拓：集団運動秩序の構造予測と制御とキラリティー
3. 学会等名 第17回さきがけ研究者交流会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 気液界面におけるバクテリア乱流のキラリティー発現
3. 学会等名 日本流体力学会年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流は如何にして乱れるか？集団運動秩序の構造予測と制御とキラリティ
3. 学会等名 日本流体力学会年会2023 さきがけ「複雑流動」特別セッション フラッシュトーク&ポスター発表
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Daiki Nishiguchi, Yuki Takaha
2. 発表標題 How dimension matters for bacterial swimming: Enhanced attractions in quasi-two dimensions
3. 学会等名 STATPHYS28 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Daiki Nishiguchi
2. 発表標題 Topology and chirality in bacterial active turbulence
3. 学会等名 Japan-China Workshop on Bio-Soft Matter 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Daiki Nishiguchi
2. 発表標題 Emergent chirality in bacterial turbulence at liquid-air interfaces
3. 学会等名 Frontiers in nonequilibrium physics: Active matter, topology and beyond (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 複雑環境による群体のトポロジカル制御と力学計測
3. 学会等名 第1回「群体理工学」研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 バクテリア遊泳と空間次元とトポロジー
3. 学会等名 最先端クロストーク（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流の3次元構造と制御方法の開拓
3. 学会等名 JSTさきがけ「複雑流動」第4回領域会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T.P. Shimizu, D. Nishiguchi, *K.A. Takeuchi
2. 発表標題 Machine tells you how many variables are at least needed to describe space-time chaos you see
3. 学会等名 APS March Meeting 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 上杉佑人, 谷田桜子, Claudio Feliciani, 村上久, Xiaolu Jia, 西口大貴, 竹内一将
2. 発表標題 ミナミコメツキガニ集団の行動と機能
3. 学会等名 新学術領域研究「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」 第7回領域会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上杉佑人, 谷田桜子, Claudio Feliciani, 村上久, Xiaolu Jia, 西口大貴, 竹内一将
2. 発表標題 ミナミコメツキガニ集団の群れ行動と群れ機能
3. 学会等名 第22回関東ソフトマター研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Uesugi, S. Tanida, C. Feliciani, H. Murakami, X. Jia, D. Nishiguchi, K. A. Takeuchi
2. 発表標題 Swarm behaviors and functions of soldier crabs
3. 学会等名 2023年生物リズム若手研究者の集い
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Uesugi, S. Tanida, C. Feliciani, H. Murakami, X. Jia, D. Nishiguchi, K. A. Takeuchi
2. 発表標題 Collective escape of soldier crabs
3. 学会等名 生物普遍性ワークショップ
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Y. Uesugi, S. Tanida, C. Feliciani, H. Murakami, X. Jia, D. Nishiguchi, K. A. Takeuchi
2. 発表標題 Collective escape of soldier crabs
3. 学会等名 新学術領域研究「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」終了報告会・第8回領域会議
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 内田善人, 西口大貴, 竹内一将
2. 発表標題 幾何学的形状がもたらす非自明なバクテリア集団運動
3. 学会等名 新学術領域研究「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」第7回領域会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Uchida, D. Nishiguchi, K. A. Takeuchi
2. 発表標題 Geometry vs. Collective Motion
3. 学会等名 生物普遍性ワークショップ
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 内田善人, 西口大貴, 竹内一将
2. 発表標題 Geometry vs. Collective Motion: 幾何学的構造による集団運動の制御
3. 学会等名 新学術領域研究「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」終了報告会・第8回領域会議
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 後藤崇志, 西口大貴, 竹内一将
2. 発表標題 バクテリア集団運動の磁場応答と立体相互作用、走気性
3. 学会等名 新学術領域研究「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」 第7回領域会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 後藤崇志, 西口大貴, 竹内一将
2. 発表標題 磁性細菌の集団運動と磁気応答
3. 学会等名 第22回関東ソフトマター研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Goto, D. Nishiguchi, K. A. Takeuchi
2. 発表標題 Investigations of collective motion of magnetotactic bacteria in quasi-2D system
3. 学会等名 生物普遍性ワークショップ
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Daiki Nishiguchi
2. 発表標題 Route from vortex order to active turbulence
3. 学会等名 Japan-France joint seminar "Physics of dense and active disordered materials" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流の気持ち：如何にして秩序化し、如何にして乱れるか？
3. 学会等名 統計物理学懇談会（第10回）（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流と境界とトポロジー
3. 学会等名 JSTさきがけ「複雑流動」数学・幾何セミナー（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流の3次元構造と制御方法の開拓
3. 学会等名 JSTさきがけ「複雑流動」第3回領域会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流の3次元構造と制御方法の開拓
3. 学会等名 第16回さきがけ研究者交流会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流の3次元構造と制御方法の開拓
3. 学会等名 JSTさきがけ「複雑流動」第2回領域会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流は如何にして乱れるか？ 集団運動秩序の構造予測と制御とキラリティ
3. 学会等名 新学術領域「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」第6回領域会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流のトポロジカル制御、そして3次元時空間ダイナミクス測定への挑戦
3. 学会等名 第14回「光塾」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹内一将, 西口大貴
2. 発表標題 バクテリア集団の統計力学実験
3. 学会等名 新学術領域「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」第5回領域会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブマター物理学：集団運動の秩序，ゆらぎ，波，かたち
3. 学会等名 流体若手夏の学校2022（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブマター物理学：集団運動の秩序とゆらぎ
3. 学会等名 第67回物性若手夏の学校（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤崇志，西口大貴，竹内一将
2. 発表標題 Active matterに外場を印加する：磁性細菌による実験系の構築
3. 学会等名 新学術領域研究「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」第6回領域会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高羽悠樹，西口大貴
2. 発表標題 擬2次元での遊泳バクテリアと柱の相互作用：トラップ能率の増大と曲率依存性
3. 学会等名 新学術領域研究「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」第5回領域会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白谷空, 竹内一将, 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ流体モデルが閉鎖領域で示す振動転移と履歴現象
3. 学会等名 新学術領域研究「情報物理学でひもとく生命の秩序と設計原理」第5回領域会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白谷空, 竹内一将, 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ流体モデルが閉鎖領域で示す振動転移と履歴現象
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤崇志, 西口大貴, 竹内一将
2. 発表標題 環境への応答から探る生物集団運動の秩序形成 - 磁性細菌による探索 -
3. 学会等名 第14回「光塾」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Daiki Nishiguchi, Andrey Sokolov, Henning Reinken, Sebastian Heidenreich, Markus Baer, Sabine H.L. Klapp, Igor S. Aranson
2. 発表標題 Novel boundary conditions and topology-induced vortex order of bacterial turbulence
3. 学会等名 Biofluid Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流の3次元構造と制御方法の開拓
3. 学会等名 JSTさきがけ「複雑流動」領域キックオフミーティング
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブ乱流の3次元構造と制御方法の開拓
3. 学会等名 JSTさきがけ「複雑流動」領域 討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブマターの秩序とトポロジー
3. 学会等名 駒場物性セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daiki Nishiguchi
2. 発表標題 Electrokinetic Janus particles: from self-organized flagella to winged pair correlation
3. 学会等名 Experimental active matter seminar, Matiere et Systemes Complexes laboratory, Universite Paris Diderot (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 生命現象と生き物っぽい現象とアクティブマター
3. 学会等名 第61回生物物理若手の会夏の学校（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高羽悠樹, 西口大貴
2. 発表標題 擬2次元での遊泳バクテリアと柱の相互作用：トラップ能率の増大と曲率依存性
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daiki Nishiguchi, Andrey Sokolov, Henning Reinken, Sebastian Heidenreich, Markus Baer, Sabine H.L. Klapp, Igor Aranson
2. 発表標題 Novel boundary conditions and flow topology of bacterial turbulence
3. 学会等名 Grand Views of Soft and Liquid Matter Physics（新型コロナウイルス感染症のため中止）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daiki Nishiguchi
2. 発表標題 Novel boundary conditions and topology of bacterial turbulence
3. 学会等名 Workshop on Physics of Soft, Active and Living Matter
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西口大貴, Alexis Poncet, Olivier Benichou, Vincent Denery
2. 発表標題 低密度アクティブブラウン粒子の pair correlation における双翼状枯渇領域とスケーリング則:理論と電場駆動ヤヌス粒子実験
3. 学会等名 日本物理学会 第76回 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブマターの集団運動における秩序発現と普遍法則に関する実験
3. 学会等名 日本物理学会 第76回 年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daiki Nishiguchi
2. 発表標題 Electrokinetic Janus particles: from self-organized flagella to winged pair correlation
3. 学会等名 アクティブマター研究会2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西口大貴, Henning Reinken, Sebastian Heidenreich, Andrey Sokolov, Markus Baer, Sabine H.L. Klapp, Igor Aranson
2. 発表標題 バクテリア乱流の境界条件と渦秩序のトポロジカル制御
3. 学会等名 日本物理学会 2020年 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西口大貴
2. 発表標題 アクティブマターの物理学：集団運動の秩序・ゆらぎ・トポロジー
3. 学会等名 茨城大学オンライン集中講義（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 西口大貴	4. 発行年 2021年
2. 出版社 医学書院	5. 総ページ数 6
3. 書名 生体の科学 "群れの秩序と乱れ - 遊泳バクテリアによるアプローチ"	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Daiki Nishiguchi's webpage https://sites.google.com/site/daikinishiguchi/ 竹内研究室webページ 研究内容（バクテリア集団運動における秩序） http://lab.kaztake.org/research/bacterialturbulence/index-j.html 東京大学理学部広報・リガクル「美しい群れに潜む普遍法則を探す」 https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/rigakuru/research/jInPTU4V/ 東京大学理学部オープンキャンパス2022講演「泳ぐ微生物、泳ぐコロイド、そしてその群れを物理する」 https://www.youtube.com/watch?v=BhcW0KCa10o 東京大学理学系研究科物理学専攻「ほのぼの物理キーワード事典」の動画『アクティブマター』 https://www.youtube.com/watch?v=v3rjXlipNpE 東京大学新聞オンライン アクティブマター物理学 西口大貴「群れ」はなぜ生まれるのか https://www.todaishimbun.org/new_generation_nishiguchi/ Daiki Nishiguchi's webpage https://sites.google.com/site/daikinishiguchi/ バクテリア乱流ってなんだ【学術対談】（YouTuberヨビノリとの学術対談） https://youtu.be/kZD2E47bvEQ 「群れ」に普遍的な構造はあるか？【学術対談】（YouTuberヨビノリとの学術対談） https://youtu.be/Ui7KsHLKrc4</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
---------	---------