

京都大学教育研究振興財団助成事業 成 果 報 告 書

平成31年 4月 22日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会 長 藤 洋 作 様

所属部局 理学研究科

職 名 講師

氏 名 市川 正敏

助 成 の 種 類	平成 30 年度 ・ 研究活動推進助成			
申請時の科研費 研究 課 題 名	ニュートラルスイマーの非線形性で明らかにする自発運動液滴と微生物遊泳			
上記以外で助成金を 充 当 した 研 究 内 容	なし			
助成金充当に関 わる共同研究者	(所属・職名・氏名) なし			
発表学会文献等	(この研究成果を発表した学会・文献等) "Influence of cellular shape on sliding behavior of ciliates" Y. Nishigami, T. Ohmura, A. Taniguchi, S. Nonaka, J. Manabe, T. Ishikawa, M. Ichikawa, Comm. & Integ. Biology 11, e1506666 (2018). 他、別紙参照。			
成 果 の 概 要	研究内容・研究成果・今後の見通しなどについて、簡略に、A4版・和文で作成し、添付して下さい。(タイトルは「成果の概要／報告者名」)			
会 計 報 告	交付を受けた助成金額	1,000,000 円		
	使用した助成金額	1,000,000 円		
	返納すべき助成金額	0 円		
	助成金の使途内訳	費 目	金 額	
		物品費	502,130	
		旅費・学会参加費	497,870	
当財団の助成に つ いて	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) ご支援頂きまして誠に有り難うございました。お陰様で科研費申請の際に計画していた実験を進められた他、査読中の論文の追加実験を問題無く行う事ができ、大きな停滞を回避することができました。今後も引き続き、京都大学の研究・教育を支えていただきますようお願い申し上げます。			

1. 自己推進する遊泳体

水中で手を動かすと水の抵抗を感じる事を、我々は体感として知っている。その様な水中を動く物体に掛かる力やその後の運動といったものは、個々の計算の難易度を別にすれば大学で習う流体力学でほとんど十分な理解が得られる。一方、微生物など自分で泳ぎ続ける物体の場合には、速度を与えられた単純粒子の場合を基準に考えると、周囲に生み出される流動場が全く異なる事が古くから指摘されていた。近年、バクテリア集団の運動、卵管を泳ぐ精子の運動などの微生物の生態、培養槽などでも見られる生物対流などの、生き物らしい多彩な性質が、自己推進物体の物理学や流体力学によって理解できるとの認識が広がり、盛んに研究が行われている。

2. 壁をスライドする繊毛虫

我々はこれまでに、表面に生えた多数の繊毛をこぐことで水中を遊泳する体長 $200\mu\text{m}$ ほどの水棲微生物の繊毛虫に着目し、彼らが壁に張り付きスライディングする生態が、繊毛打を壁感応的に停止するマイクロな機構と自己推進粒子の流体力学とで理解できることを見出してきている。また、完全な球形と長楕円体でスライディングでは、停止した状態で張り付くか停止せずにスライディングするかが分かれる事を明らかにしている。

本課題では、これらの知見を発展させ、回転楕円体に近似的に看做せる繊毛虫の形状、楕円体の長軸短軸比、に関してスライディング運動の可否をシミュレーションによって評価し、実験と比較した[1]。また、繊毛虫に加えて油水のエマルジョンや運動タンパク質分子で構成した自己推進系や自己運動系などのモデル系での研究も平行して行った[2-8]

3. 形状がスライディングに与える影響の評価 [1]

楕円体のアスペクト比と、微生物が固有に持っている繊毛の長さに相当する計算上の設定値 stop beating area (SBA) の2つを変化させてスライディング運動の評価を行った。図1にあるように、壁上でのスライディング、壁からの離陸（壁に張り付かない）、壁上での停止、の3状態を分ける相図が得られた。また、スライディング時に楕円体が示す壁との釣り合い角度を見ると、アスペクト比が長楕円側に大きくなるほど遊泳物体の釣り合い角は水平に近づくことが分かった。

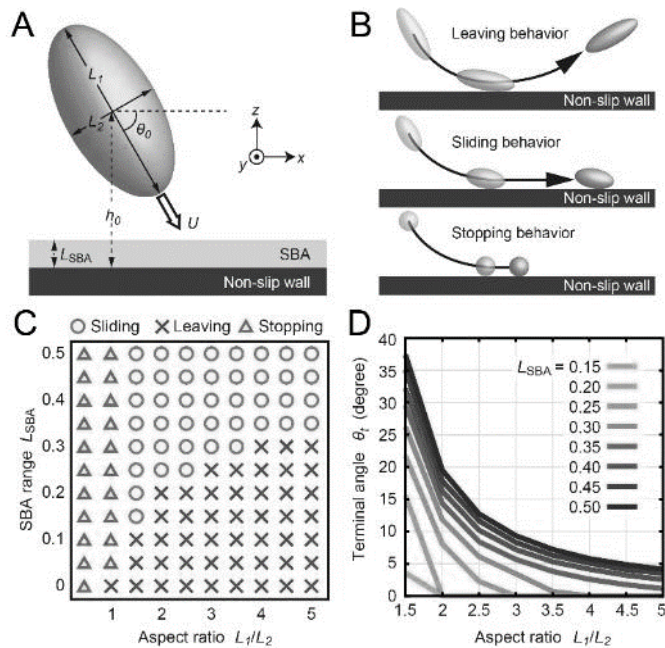


図1. 長楕円体のアスペクト比を変化させた時のスライディング運動。SBA は想定される繊毛の長さの短軸長に対する比。参考文献 [1]より。(a) 計算条件の模式図。(b) 結果の概要。定常的な挙動は3状態に分かれる。(c) 壁上でのスライディング、壁からの離陸（壁に張り付かない）、壁上での停止、の3状態を評価した相図。(d) スライディング時に楕円体が示す壁との釣り合い角度。

4. 結果のまとめ

自己推進する長楕円体のアスペクト比に着目して壁スライディング運動を評価し、繊毛打の壁感応が有る場合のスライディング転移する条件を明らかにした。ゾウリムシやテトラヒメナのアスペクト比や繊毛長などの性質は、この転移線から繊毛の長さを僅かにスライディング側に寄った所に設定されており、繊毛長の調整によっても調整可能な、水中遊泳と壁スライディングの片方に偏らないバランスが生存に有利な事が示唆される結果が得られた。

5. 本課題による発表文献・学会発表

[1] "Influence of cellular shape on sliding behavior of ciliates" Y. Nishigami, T. Ohmura, A. Taniguchi, S. Nonaka, J. Manabe, T. Ishikawa, M. Ichikawa, *Comm. & Integ. Biology* 11, e1506666 (2018). (本報告書の内容に対応する成果)

- [2] "Self-propelled motion switching in nematic liquid crystal droplets in aqueous surfactant solutions" M. Suga, S. Suda, M. Ichikawa and Y. Kimura, *Physical Review E* 97, 062703/1-8 (2018).
- [3] 市川正敏, 「繊毛メカノセンシングによる個体運動・集団運動のスマート制御機構」, 第41回日本分子生物学会年会, 2018年11月28日～30日 パシフィコ横浜.
- [4] Saori Suda, Takuya Ohmura, Tomoharu Suda and Masatoshi Ichikawa, "Motion transition of a self-propelled water-in-oil droplet studied with measurements of the internal convection" 国際会議 Soft Matter Physics: from the perspective of the essential heterogeneity, 10th-12th December 2018, Nishijin Plaza, Kyushu University, Fukuoka, Japan.
- [5] 須田沙織、大村拓也、須田智晴、市川正敏, 「内部対流の測定で明らかにする遊泳液滴の運動モード転移」第28回非線形反応と協同現象研究会, 2018.12.15, 東京工科大(蒲田キャンパス).
- [6] 大村拓也, 西上幸範, 市川正敏, 「遊泳繊毛虫の走流性」, 日本物理学会第74回年次大会, 2019年3月14～17日, 九州大学(伊都キャンパス).
- [7] 竹中亮太, 西上幸範, 宮崎牧人, 市川正敏, 「細胞質分裂機構の解明を目指した再構築系開発の試み」, 日本物理学会第74回年次大会, 2019年3月14～17日, 九州大学(伊都キャンパス).
- [8] 幕田将宏, 西上幸範, 市川正敏, 「アクトミオシンを内包した細胞サイズドロップレット内部の微小粒子の異常拡散」, 日本物理学会第74回年次大会, 2019年3月14～17日, 九州大学(伊都キャンパス).