

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400396

研究課題名(和文) 生物流体における階層的流れ構造の形成機構の解明

研究課題名(英文) Analysis of the formation mechanism of the hierarchical flow structure in biofluid mechanics

研究代表者

飯間 信 (Iima, Makoto)

広島大学・理学研究科・准教授

研究者番号：90312412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ミドリムシの個体及び集団運動に伴う流れの階層構造形成と情報処理の関係を調べた。特に光勾配の強さに比例した数密度流束の存在を示唆する結果等を得た。これらの結果を基に局在生物対流のモデル方程式を構築し、局在生物対流の再現や、これまでの実験結果で示唆されている、臨界密度近傍での状態の双安定性の再現に成功した。昆虫飛翔解析に関して、階層的流れ構造の自律的な形成過程を研究するために単一渦近似と呼ばれる方法を用いて剥離渦の挙動を低次元力学系で記述する手法を開発し、幾つかの系への応用を試みた。

研究成果の概要(英文)：We investigated the relationship between information processing of *Euglena* and the hierarchical flow structure caused by individuals and their collective motion. A number density flux was suggested proportional to the intensity of the optical gradient. This result was incorporated to construct a model equation of localized bioconvection. This equation reproduces the localized bioconvection as well as the bistability of the state, which is suggested by the experiments. For flapping flight, we developed a method to describe the behavior of separation vortices in a low-dimensional dynamical system by using the single vortex approximation.

研究分野：流体物理学

キーワード：生物対流

1. 研究開始当初の背景

生物流体における流れ構造は、昆虫や微生物等の個体が翼や鞭毛の駆動により局所的な流れ場を作り、周囲の流れ、あるいは翼や鞭毛、胴体、他の個体と相互作用することで階層的に形成されてゆく。個体近傍の流れ場は流れや運動の詳細により異なる特徴を持つが、個体から十分離れた流れでは詳細な特徴は失われる。一方で、遠方での流れ場は、生物に働く力やモーメント、また個体間流体力学的相互作用の特徴を決めるなど重要な役割を果たす。生物に関わる階層流構造の形成においては、流体力学的効果に加えて視覚や走性等の情報処理を含めた集団運動ダイナミクスを考える必要があるため、マクロ流れの形成過程における流体力学的効果の影響は自明ではない。代表者はこれまで、主にははばたき飛翔のモデルや局在熱対流構造の相互作用と微生物の集団運動の類似性という観点から、はばたき飛翔モデルにおいては翼運動、重心運動、渦構造形成の関係や遠方場とはばたき飛翔により生み出される力の関係、また局在熱対流構造については2種混合液体の熱対流系 (binary fluid 系) における特徴的な空間局在パターンの数値構造や、光走性微生物 (ミドリムシ) 懸濁液に下から強い光を当てた時発生する生物対流が示す空間局在パターンと binary fluid 系の空間局在パターンとの類似性という観点から研究を行ってきた。こういった先行研究の知見を基に、幾つかの具体例を階層流構造の形成過程と流体力学的効果とそれ以外の効果との関係という観点から研究するという着想を得た。

2. 研究の目的

昆虫のはばたき飛翔における渦構造や遊泳微生物の集団運動が作る対流構造などのマクロ流れは生物運動にとって重要である。こうしたマクロ流れの多くは境界駆動や個体運動に伴う一次流れから階層的に形成される。そこでは渦の生成と運動、あるいは生物間の流体相互作用と情報交換といった複雑な非線形過程、確率過程が起こっており、その詳細な構造形成の過程は明らかではない。本課題では生物流体における階層流構造のマクロ流れ構造の流体力学的形成過程を明らかにし、その生物運動への影響を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

研究対象として主に微生物の集団運動に伴う生物対流の階層構造形成過程と、2次元平板翼からの剥離渦の形成過程、および関連する現象を取り扱う。微生物の集団運動の解析においてはミドリムシの集団運動を対象とし、実験および理論の両面から解析を行う。

実験においては、マイクロ流れの解析では主に顕微鏡と高速度カメラによる撮影とマクロレンズによる撮影、マクロ流れについてはデジタルカメラを用いたタイムラプス撮影等により微生物の数密度分布やそれに伴う流れ場を画像解析により解析する。この解析により一個体の鞭毛運動に伴うマイクロメートルオーダーの流れから、外部環境の影響をうけて発生する局在生物対流およびその相互作用に対応するセンチメートルスケールに至る階層流構造を解析した。解析においてはスケールに応じてストークス流れ、あるいはナビエ-ストークス方程式に基づくモデル方程式と微生物運動の計測結果に基づく物理モデルを融合させたモデルを用いて解析を行い、それぞれ実験結果と比較した。集団運動における生物情報処理の解析としては局在生物対流の主要な生成要因と考えられる光走性を計測する。特に、光勾配下でのミドリムシ運動の計測に基いた環境応答の式を流れ構造の解析モデルに取り込む。飛翔における遠方場の形成過程を調べる上でははばたき運動により形成される剥離渦がそれまでに形成された剥離渦とどのように相互作用するか、特に剥離により形成される渦構造がどの程度頑健であるかを調べることが重要である。このため、複素関数論を用いた簡潔な記述が可能な2次元非粘性流体に剥離モデルを組み込んだモデルに着目し、落下物体に伴う渦構造の形成や、平板からの渦剥離のダイナミクスについての知見を得ることを目的とし、そのための理論的手法を構築・検討して解析を行うことにした。

4. 研究成果

微生物個体の遊泳に伴う流れ構造を計測し、ミドリムシ鞭毛の特徴的な運動を見出し、モデル化をおこなった。それに伴う力の大きさを抵抗力理論および数値解析により見積もり、計測結果と定性的に一致する結果を得た。微生物個体周辺の流れ場をPIV解析により計測し、時間平均した流れ場はpullerと呼ばれるタイプの流れの典型例であることを明らかにした。また個体運動と情報処理の関係をしらべるため光勾配環境下でのミドリムシの個体及び集団運動を調べた。一様環境下での個体運動はある種のLévy walkとなっている。集団運動では、光勾配の強さに比例した数密度流束を示唆する結果が得られた。その符号は平均光強度に依存する。また光勾配環境下の個体運動では、全体として光勾配に応答し、応答過程はマルコフ連鎖モデルでよく再現できる。これらの結果はナビエ-ストークス方程式に盛り込まれ、局在生物対流のモデル方程式の構築に生かされた。このモデル方程式は局在生物対流を再現し、これまでの実験結果で示唆されている、臨界密度近傍での状態の双安定性を再現する。このように、この系における階層流構造を、

段階的なスケールに分け、それぞれに応じたモデルにより解析することでほぼ切れ目なく階層構造の形成過程を理解することが出来た。例えばマクロ流れで拡散項として処理されている微生物の運動であっても、個体間相互作用を無視できる個体運動の計測では必ずしも通常拡散とならない場合が示唆されるなど、流体力学的相互作用の役割が予想される場合があり、普遍性の発現に流れ構造が重要な役割を果たしている可能性がある。

また昆虫飛翔解析に関しては、流れ構造の自律的な形成過程を研究するために個体から剥離する渦の挙動を解析する必要があるため、単一渦近似と呼ばれる方法を用いて剥離渦の挙動を低次元力学系で記述する手法を開発した。この系を用いて非対称物体(円錐形)の2次元モデルであるV字型物体の落下運動に関わる渦構造の形成や、昆虫の翼に見られる滑らでない境界における渦構造、あるいは平板からの剥離渦の剥離渦ダイナミクスの頑健性の解析への応用を試みた。

研究事業としては、論文発表や研究発表に加えて研究課題に関する研究の現状調査と関連研究者との議論の場を設定するため、京都大学数理解析研究所との共催で、研究集会「生物流体力学における計測問題」(2014/11/4-2014/11/6)、「生物流体力学における運動の諸相」(2015/10/26-2015/10/28)「生物流体力学におけるミクロ運動とマクロ運動」(2016/10/24-2016/10/26)を開催した。2015年度、2016年度の研究集会では海外研究者からの参加もあり、実質的には国際研究集会となった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 20 件)

1. T. Ogawa, S. Izumi and M. Iima, Statistical model of individual motion of photosensitive alga, *Euglena gracilis*, Journal of Physical Society of Japan, 査読有, in press.
2. M. Iima, H. Kori, and T. Nakagaki, Studies of the phase gradient at the boundary of the phase diffusion equation, motivated by peculiar wave patterns of rhythmic contraction in the amoeboid movement of *Physarum polycephalum*, Journal of Physics D: Applied Physics, vol. 50, 査読有 (2017) 154004.
3. A. Satake, M. Seki, M. Iima, T. Teramoto, Y. Nishiura, Florigen distribution determined by a source-sink balance explains the diversity of inflorescence structures in Arabidopsis, Journal of Theoretical Biology, vol.395, 査読有 (2016)

p.227-237

4. T. Ogawa, E. Shoji, N. J. Suematsu, H. Nishimori, S. Izumi, A. Awazu, and M. Iima, The flux of *Euglena gracilis* cells depends on the gradient of light intensity, PLoS ONE, vol.11, 査読有 (2016) e0168114
5. T. Watanabe, M. Iima, Y. Nishiura, Detailed bifurcation structure and heteroclinical connections among the steady even-symmetric pulses in binary fluid convection, SIAM Journal on Applied Dynamical Systems, 15, 査読有 (2016) p.789-806
6. 飯間信, 微生物の局在対流形成機構に関する光走性の数理モデル, 数理解析研究所講究録, 1985, 査読無 (2016) p.138-143
7. 山田稔太, 飯間信, ミドリムシ遊泳における方向転換時の鞭毛運動の解析, 日本流体力学会年会 2016 講演論文集, 査読無し, 巻なし (2016) CD-ROM
8. 飯間信, 山口崇幸, ミドリムシ生物対流における局在対流セル間相互作用の解析, 日本流体力学会年会 2016 講演論文集, 査読無し, 巻なし (2016) CD-ROM
9. 山口崇幸, 飯間信, 流体制御に向けた不安定不動点の近傍を通る軌道における摂動の長時間挙動の解析, 日本流体力学会年会 2016 講演論文集, 査読無し, 巻なし (2016) CD-ROM
10. A. Kawaharada, E. Shoji, H. Nishimori, A. Awazu, S. Izumi, M. Iima, Cellular automata automatically constructed from a bioconvection pattern., Recent Advances in Natural Computing, vol.14, 査読有 (2015) p.15-26
11. T. Yamaguchi and M. Iima, Numerical analysis of transient orbits by the pullback method for covariant Lyapunov vector, Theoretical and Applied Mechanics Japan, vol.63, 査読有 (2015) p.91-96
12. 飯間信, 二次元流中における非対称剥離渦が物体に及ぼす力の解析, 日本流体力学会年会2015講演論文集, 2015, 査読無し, 巻なし (2015) CD-ROM
13. 横山直人, 飯間信, 流れが駆動する平板のピッチ運動, 日本流体力学会年会 2015, 査読無し, 巻なし (2015) CD-ROM
14. 横山直人, 飯間信, 泉田 啓, 平井 規央, 蝶の羽ばたき飛翔の縦方向運動の時間スケール, 数理解析研究所講究録, vol.1900, 査読無 (2014) p.48-51
15. 庄司 江梨花, 泉 俊輔, 西森 拓, 粟津 暁紀, 飯間信, ミドリムシ生物対流の局在構造ダイナミクスの解析, 数理解析研究所講究録, vol.1900, 査読無 (2014) p.76-84
16. 風間 俊哉, 飯間信, 小林 亮, ヒラム

シに見る柔構造と渦構造の相互作用による効率的な遊泳メカニズム, 数理解析研究所講義録, vol.1900, 査読無(2014) p.120-127

17. 飯間 信, 庄司 江梨花, 山口 崇幸, 粟津 暁紀, 泉 俊輔, 西森 拓, 光強度勾配に比例する走光性をもつ生物対流モデルと局在対流構造, 日本流体力学会年会 2014 講演論文集, 査読なし, 巻なし(2014) CD-ROM
18. 庄司 江梨花, 末松 信彦, 泉 俊輔, 西森 拓, 粟津 暁紀, 飯間 信, 生物対流ハターン形成機構の理解に向けたミドリムシの走光性特性の計測, 日本流体力学会年会 2014 講演論文集, 査読なし, 巻なし(2014) CD-ROM
19. 大山達之, 飯間信, 二次元流中における非対称剥離渦が物体に及ぼす力の解析, 日本流体力学会年会 2014 講演論文集, 査読なし, 巻なし(2014) CD-ROM
20. 横山直人, 飯間信, 平板のピッチ運動と流れの相互作用, 日本流体力学会年会 2014 講演論文集, 査読なし, 巻なし(2014) CD-ROM

[学会発表](計 53 件)

1. 飯間信, 遊泳微生物の集団運動が作る生物対流, 第 21 回関西大学先端科学技術シンポジウム, 2017/1/19, 関西大学(大阪) (招待講演)
2. M. Lima, T. Yamaguchi, Interaction of localized convection cells in the bioconvection of *Euglena gracilis*, 69th Annual Meeting of The APS Division of Fluid Dynamics, 2016/11/20, (Portland). USA
3. M. Lima, Hierarchical structures of the collective motion of a photosensitive microorganism, Interdisciplinary Applications of Nonlinear Science, 2016/11/3, Kagoshima University(Kagoshima) (招待講演)
4. 山田稔大, 飯間信, 単一鞭毛による微生物の方向転換機構, 生物流体现象におけるマクロ運動とミクロ運動, 2016/10/24, 京都大学数理解析研究所(京都).
5. 山口崇幸, 飯間信, 流体制御に向けた不安定不動点の近傍を通る軌道における摂動の長時間挙動の解析, 流体力学会年会 2016, 2016/9/26, 名古屋工業大学(名古屋).
6. 山田稔大, 飯間信, ミドリムシ遊泳における方向転換時の鞭毛運動の解析, 流体力学会年会 2016, 2016/9/26, 名古屋工業大学(名古屋).
7. 飯間信, 山口崇幸, ミドリムシ生物対流における局在対流セル間相互作用の解析, 流体力学会年会 2016, 2016/9/26, 名古屋

工業大学(名古屋).

8. 山田稔大, 飯間信, ミドリムシ遊泳における方向転換時の鞭毛運動の解析, エアロ・アクアバイオメカニズム学会第 35 回定例講演会, 2016/9/20, 北海道大学(函館).
9. 小川拓馬, 西森拓, 粟津暁紀, 泉俊輔, 飯間信, ミドリムシ遊泳のマルチスケール特性, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016/9/13, 金沢大学(金沢).
10. 飯間信, 単一渦近似における剥離渦の切り離し基準, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016/9/13, 金沢大学(金沢).
11. M. Lima, hierarchical structure of spatially localized bioconvection of photosensitive microorganism, 24th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, 2016/8/21, (Montreal). Canada
12. M. Lima, Localized bioconvection patterns: Experiments and Theories, Patterns and Waves 2016, 2016/8/1, Hokkaido University(Sapporo), (招待講演)
13. M. Lima, Experiments and modeling of spatially localized bioconvection patterns, Workshop on interface motions and free boundary problems: mathematical analysis, numerical analysis, modellings and experiments, 2016/7/8, Isuru-no-ie(Karuizawa) (招待講演)
14. M. Lima, Formation of spatially localized bioconvection patterns by suspension of photomovement microorganism, *Euglena gracilis*., Fourth International Conference: Nonlinear Waves -- Theory and Applications, 2016/6/25, (北京). 中国, (招待講演)
15. 小川拓馬, 西森拓, 粟津暁紀, 泉俊輔, 飯間信, 光強度勾配下におけるミドリムシの運動特性の解析, 日本物理学会第 71 回年次大会, 2016/3/19, 東北学院大学(仙台).
16. 飯間信, 単一渦近似を用いた翼からの剥離渦運動の解析, 日本物理学会第 71 回年次大会, 2016/3/19, 東北学院大学(仙台).
17. M. Lima, Localized Bioconvection, New Frontiers in Nonlinear Sciences, 2016/3/6, Hotel Kannronomori (Niseko). (招待講演)
18. M. Lima, Separation vortices dynamics of the single vortex model, The second workshop on Applied and Computational Complex Analysis (ACCA-JP/UK), 2016/1/18, Kyoto University(Kyoto), (招待講演)
19. M. Lima, T. Yamaguchi, Stability of

- localized bioconvection patterns of *Euglena* suspensions, 68th Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics(APS meeting), 2015/11/22, Boston Convention & Exhibition Center(Boston). USA
20. 飯間信, 局在対流のダイナミクス, さきがけ・CREST「数学」領域ワークショップ探索における収穫と今後の熟成について 2015, 2015/11/14, ぶどうの丘(山梨). 日本, (招待講演)
 21. M. lima, T. Yamaguchi, Stability analysis of *Euglena* bioconvection due to photomevements, Workshop on "Aspects of motions in biofluid problems", 2015/10/26, Kyoto University(Kyoto) (招待講演)
 22. 飯間信, 二次元流中における非対称剥離渦が物体に及ぼす力の解析, 流体力学会年会 2015, 2015/9/26, 東京工業大学(東京).
 23. 横山直人, 飯間信, 流れが駆動する平板のピッチ運動, 流体力学会年会 2015, 2015/9/26, 東京工業大学(東京).
 24. 小川拓馬, 西森拓, 粟津暁紀, 泉俊輔, 飯間信, 微生物の遊泳方向変化の流体力学的解析とその統計法則, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015/9/16, 関西大学(大阪)
 25. 飯間信, 山口崇幸, 光走性微生物の生物対流モデルの数値解析, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015/9/16, 関西大学(大阪).
 26. M. lima, Analytical Study of the Dynamics of the Separation Vortices from the Body Using Single Vortex Approximation, 8th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, 2015/8/10, (北京). 中国, (招待講演)
 27. M. lima, Collective Behavior and Localized Bioconvection Patterns of *Euglena* Suspension Illuminated from Below, 8th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, 2015/8/10, (北京). `中国', (招待講演)
 28. M. lima, Bifurcation structure of localized phototactic bioconvection, Bifurcations and Instabilities in Fluid Dynamics, 2015/7/15, (Paris) France
 29. 飯間信, 感光性微生物の集団運動が生み出す空間局在パターン, RIMS 研究集会「気体と流体の数学解析」, 2015/7/8, 京都大学数理解析研究所(京都), (招待講演)
 30. 飯間信, ミドリムシ生物対流における局在パターン, エアロ・アクアバイオメカニズム学会第 32 回定例講演会, 2015/3/23, 東京電機大学(東京). 日本, (招待講演)
 31. 大山達之, 飯間信, 運動直後の非対称剥離渦が物体に及ぼす力・モーメントの解析, 日本物理学会第 70 回年次大会, 2015/3/21, 早稲田大学(東京).
 32. 庄司江梨花, 末松信彦, 西森拓, 粟津暁紀, 泉俊輔, 飯間信, ミドリムシ生物対流の局在構造ダイナミクスと走光性特性, 生命動態の分子メカニズムと数理, 2015/3/16, 京都大学(京都).
 33. 飯間信, 微生物集団運動が生み出す空間局在マクロパターンの形成機構, 鳥取非線形研究会 2014, 2014/12/17, 鳥取大学(鳥取).
 34. 大山達之, 飯間信, 渦剥離の理論モデルによる寺田寅彦の椿花落下運動問題の解析, 鳥取非線形研究会 2014, 2014/12/17, 鳥取大学(鳥取). (招待講演)
 35. 飯間信, 庄司江梨花, 山口崇幸, 水平方向走光性をもつ微生物の生物対流モデルおよび数値計算, 第 28 回数値流体シンポジウム, 2014/12/9, タワーホール船堀(東京).
 36. E. Shoji, N. Suematsu, H. Nishimori, A. Awazu, S. Izumi, and M. lima, Phototactic number-density flux in the localized bioconvection of *Euglena gracilis*, 67th Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics(APS meeting), 2014/11/23, the Moscone (West) Convention Center (San Francisco). USA
 37. M. lima, E. Shoji, T. Yamaguchi, A numerical model of localized convection cells of *Euglena* suspensions, 67th Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics(APS meeting), 2014/11/23, the Moscone (West) Convention Center (San Francisco). USA
 38. T. Kazama, T. Kano, M. lima, R. Kobayashi and A. Ishiguro, On the applicability of the decentralized control mechanism of snake locomotion to sea snake locomotion, ISABMEC2014, 2014/11/13, (Honolulu) USA
 39. K. Senda, N. Yokoyama, S. Lee, H. Yamamoto, N. Hirai and M. lima, A Study on the Flight Control of a Flapping Butterfly Considering Time Delay, ISABMEC2014, 2014/11/13, (Honolulu). 米国
 40. M. lima, Analysis of the dynamics of localized convection patterns, International conference on mathematical fluid dynamics, present and future, 2014/11/11, Waseda University(Tokyo) (招待講演)
 41. 庄司江梨花, 末松信彦, 泉俊輔, 西森拓, 粟津暁紀, 飯間信, 走光性微生物が示す

- 局在対流の生成機構とダイナミクス, RIMS 研究集会「生物流体力学における計測問題」, 2014/11/4, 京都大学数理解析研究所(京都)
42. 大山達之, 飯間信, 単一渦近似法と擬 2 次元での実験による非対称剥離渦が 2 次元物体に及ぼす力の解析, RIMS 研究集会「生物流体力学における計測問題」, 2014/11/4, 京都大学数理解析研究所(京都)
 43. 山口崇幸, 飯間信, Gray-Scott モデルの自己複製ダイナミクスに対する共変 Lyapunov 解析, 第 63 回理論応用力学講演会, 2014/9/15, 東京工業大学(東京).
 44. 飯間信, 庄司江梨花, 山口崇幸, 泉俊輔, 粟津暁紀, 西森拓, 光強度勾配に比例する走光性をもつ生物対流モデルと局在対流構造, 流体力学会年会 2014, 2014/9/15, 東北大学(仙台).
 45. 庄司江梨花, 末松信彦, 粟津暁紀, 西森拓, 泉俊輔, 飯間信, 生物対流パターン形成機構の理解に向けたミドリムシの走光性特性の計測, 流体力学会年会 2014, 2014/9/15, 東北大学(仙台).
 46. 横山直人, 飯間信, 平板のピッチ運動と流れの相互作用, 流体力学会年会 2014, 2014/9/15, 東北大学(仙台)
 47. 大山達之, 飯間信, 二次元流中における非対称剥離渦が物体に及ぼす力の解析, 流体力学会年会 2014, 2014/9/15, 東北大学(仙台)
 48. M. Iima, E. Shoji, A. Awazu, H. Nishimori, and S. Izumi, Localized structures and their dynamics in bioconvection of *Euglena gracilis*, SIAM Conference on Nonlinear Waves and Coherent Structures, 2014/8/11, (Cambridge), UK
 49. E. Shoji, H. Nishimori, A. Awazu, S. Izumi, and M. Iima, Experimental study on the localization mechanism of *Euglena gracilis* bioconvection -- initial state dependency and lateral phototaxis --, the Joint Annual Meeting of the Japanese Society for Mathematical Biology and the Society for Mathematical Biology, 2014/7/28, Osaka International Conventioncenter (Osaka)
 50. M. Iima, E. Shoji, A. Awazu, H. Nishimori and S. Izumi, Localized Bioconvection patterns in *Euglena gracilis* suspensions, the Joint Annual Meeting of the Japanese Society for Mathematical Biology and the Society for Mathematical Biology, 2014/7/28, Osaka International Convention center (Osaka) (招待講演)
 51. M. Iima, E. Shoji, A. Awazu, S. Izumi, and H. Nishimori, Two types of localized bioconvection patterns in *Euglena gracilis* suspensions in an annular container, 7th World Congress of Biomechanics, 2014/7/6, John B. Hynes Veterans Memorial Convention Center (Boston), US (招待講演)
 52. 飯間信, 庄司江梨花, 粟津暁紀, 泉俊輔, 西森拓, 走光性微生物の生物対流に関するある流体力学モデル, 第 12 回日本流体力学会中四国・九州支部講演会, 2014/6/21, 九州大学(博多).
 53. 大山達之, 飯間信, 斜めにおかれた物体から発生する剥離渦のダイナミクス, 第 12 回日本流体力学会中四国・九州支部講演会, 2014/6/21, 九州大学(博多)
- 〔図書〕(計 3 件)
1. M. Iima, T. Yamaguchi, T. Watanabe, A. Kawaharada, T. Tasaka, and E. Shoji, Towards understanding global flow structure, Mathematical Fluid Dynamics, Present and Future, Springer (2016) Chapter 6 pp.139-158.
 2. 飯間信(編), 数理解析研究所講究録「RIMS 共同研究『生物流体における計測問題』」, 数理解析研究所講究録, 1940, (2015)
 3. 飯間信(編), 数理解析研究所講究録「RIMS 共同研究『生物流体における流れ構造の解析と役割』」, 数理解析研究所講究録, 1900, (2014)
6. 研究組織
- (1)研究代表者
飯間 信 (IIMA MAKOTO)
広島大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 90312412
- (2)研究分担者
横山 直人 (YOKOYAMAA NAOTO)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 80512730