

11—2 知能数理研究分野

知能数理研究分野

教 授 中垣俊之（名大院，学博，2013.10～）
准教授 佐藤勝彦（京大院，理博，2014.12～）
准教授 佐藤譲（東大院，学博，2017.4～）
助 教 西上幸範（兵大院，理博，2018.9～）
学 生（平成30年～現在）

博士課程3名

修士課程7名

学部学生3名

研究生1名

1. 研究目標

生き物の賢さは一体どのようにして生み出されるのだろうか？ 生命システム特有の情報処理のしくみは、古代ギリシャ時代から今日に至るまで、その時代の学問を総動員して連綿と問い直されてきた問題である。これに取り組むことは、基礎学問として、人間そのものの理解を深めるであろう。生物らしい情報処理の方法を捉えることができれば、人間になじみの良い知能機械の設計応用も期待できる。

我々は、細胞の行動を主な対象として、生物の情報処理能力の高さを実験により評価し、さらにそのしくみをダイナミクスの観点から解明することを目指す。単純な体制を活かして、モノの運動法則から生物行動を理解するという、いわば生命情報処理の原点を志向している。そのために、理論や実験ならびにフィールド調査を、また生命科学や数物科学および情報科学を活用する。

具体的には9つの研究テーマを掲げている。(1)単細胞生物からヒトにいたる生命知の基本アルゴリズムの探求、(2)生体システムの用不用適応則から読み解く形状と機能の最適化、(3)原生生物と線虫の行動に関するバイオメカニクスと細胞生物学、(4)微小な生物の動きを捉えるイメージング技術の開発、(5)繊毛虫の遊泳力学と電気生理学、(6)アメーバの這行力学と高分子レオロジー、(7)胚発生の形態形成における細胞集団の力学解析、(8)収縮性タンパク質のレオロジーから読み解く細胞運動、(9)ランダム力学系の数理と非線形現象への適用。

2. 研究成果

(a) 生体システムの用不用適応則から読み解く形状と機能の最適化：町と道の共発展ならびに樹木の風揺動特性

生物システムのつくる構造物は優れた機能性を有しているとしばしば指摘される。そのような機能的な構造がどのようなアルゴリズムによって設計されているかは、興味深い問題である。本研究では、真正粘菌モジホコリという真核単細胞生物がつくる輸送ネットワークの設計方法にヒ

ントを得た構造物の設計方法を検討した。最たる特徴は、「よく使われる部分は強化され、そうでない部分は弱化される」という、いわゆる「用不用則」である。この適応規則がシステムの局部で自律的かつ分散的に作用することによって、全体としてある種の最適性が実現される。以上の成果を踏まえて、(1)街と交通網の共発展現象、(2)樹木の構造力学を検討した。

前者では、集住地形成モデルを従来の経済モデル（重力モデル）に倣って構成し、流量強化則による交通路形成との相互作用をモデル化した。このモデルを現実の地形情報（標高や河川湖沼海の存在）に合わせて計算機シミュレーションした。ケーススタディとしてイタリアを取り上げ、現実の町の分布（人口ランクと地理分布）と比較検討した。

後者では、流量強化則を樹木の樹形形成に拡大適用した。すなわち、樹木の局部が、かかる力の負荷に応じて成長するという性質を、我々の流量強化則で数理モデル化した。樹木は、吹く風に揺さぶられることにより樹形を整えていき、他方樹木全体で揺れることで巧みに力学エネルギーを散逸することで全倒壊しにくい構造を獲得する。このような樹木の構造特性の実験的評価と力学機構を調べるために、北大苫小牧研究林にてホウノキを、また北大和歌山研究林にてバリバリノキの揺動実験を行い、その振動特性を計測した。従来の主流である縦揺れ模型の問題点を解明し、より良い模型として横揺れ模型を構築できた。



(b) 線虫の行動学

C. elegans (線虫) は生物の業界で最もよく調べられているモデル生物の一つであり、例えばゲノムすべて明らかにされている。しかしながら、その行動についてはそれほどよく調べられていない。特に、dauer と呼ばれる耐性状態の行動はあまり調べられていない。これらの行動には自然界で生き延びる知恵が隠されていると考えられている。近年我々は耐性幼虫が尻尾だけで立ち上がった状態から (nictation) 高速で空中に飛び上がることを発見した。今年度、我々は高速ジャンプのメカニズムとらえるために、尻尾と基盤の界面エネルギーを変える実験と外的環境を変える実験を行い、高速ジャンプの仕組みを大まかにとらえることに成功した。さらなる解析を行っている。

(c) 鞭毛虫クラミドモナスの運動学

クラミドモナスは単細胞真核生物であり葉緑体を持ち光

合成することが知られている。また二本の鞭毛をもち光に向かって泳ぐ正の走光性が報告されている。本研究ではクラミドモナスが集団で形成するパターンに注目した。上述の通りクラミドモナスは正の光走性があるが、細胞集団に対して部分的な光照射を行うと、明暗境界に細胞が集積することが知られている。我々は、特定の条件で照射光が対象でもクラミドモナスの集合パターンが非対称になることを発見し、この機構を明らかにするため実験および数値計算を行った。その結果、クラミドモナスが示す螺旋遊泳軌道が、非対称マクロパターン形成に重要であることが分かった。

(d) 非線形確率現象における確率カオスの研究

非線形確率現象のひとつである確率カオスをランダム力学系理論の立場から概念化、定式化し、不変量の定量化に成功した。とくにランダム次元写像における異常拡散を発見し、その間欠的ダイナミクスと劣拡散の性質を解明した。確率共鳴、ノイズ同期、確率カオスといった非線形確率現象は生物系にも普遍的に存在する。

(e) ブレブ駆動型アメーバの形状と運動

アメーバ運動の機構としてアクチン重合依存的な運動がこれまでによく研究されているが、アクトミオシンの収縮を駆動力とするアメーバ運動（ブレブ駆動型アメーバ運動）は近年多くの細胞で報告されているが、その機構は不明な点が多い。アメーバ運動は接着性の細胞が細胞変形を伴いながら移動する方法で、細胞形状の変化が運動において本質的であると考えられている。そこで本研究では典型的なブレブ駆動型アメーバ運動を行う *Amoeba proteus* を用いて、その運動と細胞形状の関係に関して調べた。その結果、細胞の運動活性は活性化および非活性化状態に分かれることが分かり、この変化の過程で細胞形状に対称性の破れが重要であることが明らかになった。またこの細胞活性は超臨界ピッチフォーク分岐となることが分かった。

(f) ブレブ駆動型アメーバにおける牽引力測定

ブレブ駆動型アメーバ運動は多くの細胞で行われていることが近年報告されているが、その機構に関しては不明な点が多い。本研究では典型的なブレブ駆動型アメーバ運動を行う *Mayorella viridis* がアメーバ運動に伴い、接着基盤に伝える牽引力の測定を行った。その結果、細胞の辺縁部で収縮力が生じていた。また前端部ではアクチン重合依存的なアメーバ運動に典型的な進行方向と逆の力は観測されず、ブレブ駆動型アメーバ運動に特徴的な牽引力分布が確認された。

3. 今後の研究の展望

(a) 用不用適応則から読み解く形状と機能の最適化

粘菌が形成する管ネットワークの発達の仕組みは、「多く流れる部位は発達し、そうでない部位は衰退する」という用不用則に依っている。この生物式適応ネットワーク形成の基本設計則に基づいて、欧州と日本の異なる二地域において町と道の共発展を検討した。今後、さらに異なる地域、時代における町と道の共発展現象を検討し、人間社会の基盤となる町と道のパタン形成機構を考察して行きたい。

樹木の風揺動特性については、独自の力学モデルを提案するに至ったので、これに基づき樹種、樹齢、生息地の違いを計測し、風揺動耐性（エネルギー散逸機構）を調べたい。

(b) 繊毛の運動の力学モデル

繊毛は真核生物のほとんどすべての細胞に生えており、細胞の感覚器官、運動器官として重要な役割を果たしている。繊毛の異常は直ちに真核生物の表現型の異常につながってしまうほど、真核細胞の最も重要な器官の一つである。繊毛は基本的には微小管の束（9本もしくは9+2本）からできており、キネシンなどの分子モーターなどの駆動力、相互作用によって波うち運動のような多種多様な動きができることが知られている。しかしながらその力学的メカニズムは未だ明らかにされていない。微小管、分子モーター、結合分子の相互作用を力学モデルで表現し、単純な力学相互作用だけでこれらの繊毛の運動が再現できるかを確認する。

(c) マイクロ流路によるマイクロエソロジー研究の確立

今年度、笠晴也氏らナノ加工・計測技術班の協力によりゾウリムシ等の繊毛虫が遊泳可能なサブミリオオーダーの流路をガラス基板上に自在に実現する為のノウハウの蓄積を行った。今後、これらの技術を基盤として繊毛虫の為の系統的な行動研究法を確立し、新たな研究分野を開拓することを目指す。

(d) 単細胞生物の自発運動の時系列解析

微生物の自発運動の実験データから空間運動のダイナミクスを抽出し、その異常拡散性について、ランダム力学系理論の観点から解析する。リターンマップにより単体の自発運動のダイナミクスを離散写像系でモデル化し、集団の運動をモデル化する。少数の単細胞生物の相互作用による空間運動の多様性のメカニズムを探る。

(e) 高速牽引力顕微鏡の作製

原生生物の中には非常に高速な運動を行うものが知られており、従来の牽引力顕微鏡では時間分解能の問題で細胞の移動に伴う牽引力を測定することが難しい。そこで、本研究では従来の方法の50倍程度の速度で牽引力測定可能な方法の開発を行う。

4. 資料

4.1 学術論文 (査読あり)

- 1) Davide Faranda, Isaac Pérez Castillo, Oliver Hulme, Aglaé Jezequel, Jeroen S. W. Lamb, Yuzuru Sato and Erica L. Thompson, “Asymptotic estimates of SARS-CoV-2 infection counts and their sensitivity to stochastic perturbation,” *Chaos*, 30, 051107, (2020).
- 2) N. Iijima, K. Sato, E. Kuranagai, and D. Umetsu, “Differential cell adhesion implemented by *Drosophila* Toll corrects local distortions of the anterior-posterior compartment boundary,” *Nat. Commun.* 11, 6320, (2020).
- 3) You Maki, Shigeru Kuroda, Seiji Fujiwara, Seiichi Tanaka, Eka Erzalia, Mizuki Kato, Katsumasa Higo, Toshiaki Arata, Toshiyuki Nakagaki: “Thermal conductivity and thermal diffusivity of slime mold (*Physarum Polycephalum*)”, *Biomedical journal of Scientific and Technical Research*, 31(3) (2020)
- 4) Chao Gao, Chen Liu, Daniel Schenz, Xuelong Li, Zili Zhang, Marko Jusup, Zhen Wang, Madeleine Beekman and Toshiyuki Nakagaki, “Does being multi-headed make you better at solving problem? A survey of *Physarum*-based models and computations”, *Physics of Life Reviews*, 29, 1-26 and 51-54, (2019).
- 5) S. Okuda, E. Kuranaga, K. Sato “Apical Junctional Fluctuations Lead to Cell Flow while Maintaining Epithelial Integrity”, *Biophysical Journal* 116, 1159-1170, (2019).
- 6) Davide Faranda, Yuzuru Sato, Gabriele Messori, Nicholas R. Moloney, Pascal Yiou, “Minimal dynamical systems model of the Northern Hemisphere jet stream via embedding of climate data,” *Earth System Dynamics*, 10(3), 555-567, (2019).
- 7) Yuzuru Sato and Rainer Klages, “Anomalous diffusion in random dynamical systems,” *Phys. Rev. Lett.*, 122, 174101, (2019).
- 8) Nicholas R. Moloney, Davide Faranda, and Yuzuru Sato, “An overview of the extremal index”, *CHAOS*, 29, 022101, (2019).
- 9) Daniel Schenz, Yukinori Nishigami, Katsuhiko Sato and Toshiyuki Nakagaki, “Uni-cellular integration of complex spatial information in slime moulds and ciliates”, *Current Opinion in Genetics & Development*, 57, 78-83, (2019).
- 10) Kuniyuki Esashi, Tamotsu Onozaki, Yoshitaka Saiki, and Yuzuru Sato, “Intermittent transition between synchronization and desynchronization in multi-regional business cycles,” *Structural Change and Economic Dynamics*, 44, pp.68-76, (2018).

4.2 学術論文 (査読なし)

該当なし

4.3 総説・解説・評論等

- 1) 佐藤 譲, 「カルマン旋回龍の確率カオス」, 日本物理学会誌, 74:5, pp.274-278, (2020).
- 2) 折原 宏・佐藤勝彦, “せん断流下におけるソフトマターの構造とレオロジー -共焦点レーザー走査顕微鏡による3次元観察-”, 日本流体力学会 学会誌 「ながれ」 38-4号 pp. 262-269 (2018).
- 3) 高木 清二, 佐藤 勝彦, 中垣 俊之, 「モジホコリ」 生物工学 第96巻 第8号 (2018) pp. 488-492

4.4 著書

該当なし

4.5 講演

a. 招待講演 (国際学会)

- 1) Toshiyuki Nakagaki, “Adaptive development of biological network based on use-and-growth rule”, Exploratory Workshop on Geometry of Complex Webs 2020, Les Diablerets, Swiss (February, 2020)
- 2) “Stochastic bifurcation in a turbulent swirling flow”, invited talk, CRITICS workshop 2020, Imperial College, London, UK, (August, 2020).
- 3) “Stochastic bifurcation in a turbulent swirling flow”, invited talk, CRITICS workshop, Imperial College London, London, (March, 2019).
- 4) Yuzuru Sato, “Anomalous diffusion in random dynamical systems”, The Mathematics of Climate and Environment, IHP, Paris, France, (October, 2019).
- 5) Yuzuru Sato, “Stochastic bifurcation in a turbulent swirling flow”, invited talk, LML summer school, ICTP, Trieste, Italy, (July, 2019).
- 6) Yuzuru Sato, “Anomalous diffusion in random dynamical systems,” invited talk, DCP19, CNR, Pisa, Italy, (July, 2019).
- 7) Toshiyuki Nakagaki, “Transport network in living systems designed by current-reinforcement rule”, 13th Annual qBio Conference San Francisco State Univ., CA, USA (August, 2019).
- 8) Toshiyuki Nakagaki, “Adaptive motion in protozoan ciliate”, ICMMA 2019 Int. Conf. on Spatio-temporal patterns on various levels of hierarchy of life, Meiji University, Tokyo (December, 2019).

- 9) “Stochastic bifurcation in random dynamical systems and its application to modeling atmospheric jet dynamics”, invited talk, “Dynamical Systems and Climate Dynamics,” LSCE/CNRS-Saclay, Saclay, France (October, 2018).
- 10) “Stochastic chaos in a turbulent swirling flow”, invited lecture, LML summer school, London Mathematical Laboratory, London, UK (August, 2018).
- 11) Katsuhiko Sato, “Left-right Asymmetric Cell Intercalation Drives Directional Collective Cell Movement in Epithelial Morphogenesis”, BIT’s 9th Anniversary World DNA Day-2018 (WDD-2018), Dalian International Conference Center, Dalian, China (April, 2018).
- 12) Katsuhiko Sato, “Left-right asymmetric cell intercalation drives directional collective cell movement in epithelial morphogenesis”, Asia Pacific Society for Biology and Medical Sciences 2018 Annual Meeting (APSBMS 2018 Annual Meeting), Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan (July, 2018).
- 13) 中垣 俊之: 「Transport network designed by current-reinforcement rule」、Annual Meeting of Society of Mathematical Biology、university of Sydney、Sydney、2018-07-08/12、plenary talk
- 14) 中垣 俊之: 「Adaptive transport network in a living system designed by current-reinforcement-rule」、SOUTH LAKE WORKSHOP IN BIOINFORMATICS AND SYSTEM BIOLOGY、武漢理工大、2018-11-17/18

b. 招待講演 (国内学会)

- 1) 中垣 俊之, “外遊・宇宙遊・逍遙遊”, 札幌圏大学国際交流フォーラム設立30周年記念講演会, 札幌市, (2020年1月).
- 2) 中垣俊之, “アメーバとヒトの行動に共通した「知的」なるもの〜比較生物行動学の視点から〜”, 第45回札幌市医師会医学会特別講演, 札幌市, (2020年2月).
- 3) 中垣 俊之*: 「単細胞のちょっと賢い話」、第60回生物物理若手の会 夏の学校、オンライン開催、メインセミナー (2020-08)
- 4) 中垣 俊之*: 「生物の用不用則に基づく形状最適化」、第1回設計・ネットワーク最適化に関する分野融合研究会、オンライン開催 (北陸先端科学技術大学院大学主催)、(2020-09)
- 5) 中垣 俊之: 「単細胞の賢さを探る」、第32回上田記念講演会 (応用物理学会東海支部主催)、名古屋大学、2019-01-05
- 6) 西上 幸範, “流れ場における遊泳原生生物の生存戦略”, 第9回分子モーター討論会, 三島, (2019年6月).
- 7) 中垣 俊之, “単細胞生物である粘菌は本当に「単細胞」なのか?”, 第92回日本細菌学会総会市民公開講座, 札幌市, (2019年4月).
- 8) 中垣 俊之, “粘菌の用不用適応能に倣った形状最適化”, 日本補綴歯科学会第128回学術大会 特別講演, 札幌市, (2019年5月).
- 9) 中垣 俊之, “右へ行くべきか左へ行くべきか、それが問題—アメーバからヒトまで—”, 第57回全国大学保健管理協会北海道地方部会研究集会, 室蘭市, (2019年8月).
- 10) 中垣 俊之, “「粘菌に学ぶ知能と数理科学」北緯43度からの独創研究発信”, 応用物理学会秋季講演会第80回記念シンポジウム, (2019年9月).
- 11) 中垣 俊之, “単細胞生物にみる社会づくりの基本設計”, 北海道技術者養成プラットフォーム シンポジウム, 札幌市, (2019年10月).
- 12) 佐藤勝彦, “細胞間の方向依存的な収縮力による上皮細胞の集団移動”、定量生物学の会 北海道キャンペーン2019、札幌市、(2019年11月).
- 13) 中垣 俊之: 流れと淀みと語る会、国立遺伝学研究所、三島市、2018-06-10
- 14) 中垣 俊之: 「粘菌における行動の多様性と選択について—モデルを介してみるノイズの役割—」、レーザー学会「レーザーのカオス・ノイズダイナミクスとその応用」、北大学術交流会館、2018-07-22
- 15) 中垣 俊之: 「原生生物粘菌のアメーバ運動と集団パターン形成」、細胞凝集研究会2018、酒田市ホテルリッチガーデン、2018-07-27
- 16) 中垣 俊之: 「単細胞に学ぶ形作り」、2018 武蔵野大学数理工学シンポジウム、武蔵野大学有明キャンパス、東京、2018-08-28
- 17) 中垣 俊之: 「蠕動的這行運動のバイオメカニクス」、第8回数理科学研究会、岐阜県下呂温泉、2018-10-27
- 18) Yukinori Nishigami: 「An asymmetric aggregation of *Chlamydomonas* generated by symmetric photo-irradiation」、Active Matter Workshop 2021、Meiji University (on-line webinar)、2021-1-22

c. 一般講演 (国際学会)

- 1) Yuzuru Sato, “Anomalous diffusion in random dynamical systems,” poster presentation, Dynamics Days Digital, Amsterdam, Netherland, (August, 2020).
- 2) Yuzuru Sato, “Noise-induced degeneration in online learning,” Dynamical systems and machine

- learning, Imperial College London, London, UK, (September, 2020).
- 3) Yukinori Nishigami, Takuya Ohmura, Masatoshi Ichikawa, "The mechanism of swimming ciliates, *Tetrahymena pyriformis*, resisting the flow," poster presentation, JSP/KSOP Joint Online Meeting 2020 (November 2020)
 - 4) Takuya Chiba, Takuma Sugi, Yukinori Nishigami, Toshiyuki Nakagaki, Katsuhiko Sato, "Nematodes *Caenorhabditis elegans*' phoretic behavior to insects using an electrostatic field," poster presentation, The 21st RIES-Hokudai International Symposium, online (December 2020) .
 - 5) Syun Echigoya, Yukinori Nishigami, Katsuhiko Sato, Toshiyuki Nakagaki, "The physical mechanism of behavioral change in the ciliate, *Stentor coeruleus* in narrow areas," poster presentation, The 21st RIES-Hokudai International Symposium, online (December 2020) .
 - 6) Genta Matsumoto, Nishigami Yukinori, Sato Katsuhiko, Nakagaki Toshiyuki, "Elucidation of the Mechanism of Amoeboid Motion in *Arcella* sp," poster presentation, The 21st RIES-Hokudai International Symposium、online (December 2020) .
 - 7) Koki Kanda, Yukinori Nishigami, Katsuhiko Sato, Toshiyuki Nakagaki, "Behavioral pattern diversity and quantitative analysis of *Halteria*," poster presentation, The 21st RIES-Hokudai International Symposium, online (December 2020) .
 - 8) Mai Onishi, Yukinori Nishigami, Katsuhiko Sato, Toshiyuki Nakagaki, "Bioconvection shown by the ciliate *Tetrahymena*," poster presentation, The 21st RIES-Hokudai International Symposium、online v (December 2020) .
 - 9) Yukinori Nishigami, Takuya Ohmura, Masatoshi Ichikawa, "Resistance to the flow shown by ciliates *Tetrahymena*," poster presentation, The 21st RIES-Hokudai International Symposium、online v (December 2020) .
 - 10) Yuzuru Sato, "Anomalous diffusion and intermittency in deterministic /random dynamical systems", contributed talk, RIMS workshop, Kyoto University, Kyoto, (September, 2019)
 - 11) Yuzuru Sato, "Noise-induced Statistical Periodicity in Lasota-Mackey Maps", contributed talk, RIMS workshop, Kyoto University, Kyoto, (August, 2019).
 - 12) Yuzuru Sato, "Stochastic bifurcation in a turbulent swirling flow", ICIAM, Valencia, Spain, (July, 2019).
 - 13) Yukinori Nishigami, Takuya Ohmura, Masatoshi Ichikawa, "The cellular shape affects the behavior of ciliates", VIII European Congress of Protistology, Roma, Italy, (July, 2019)
 - 14) Takuya Chiba, T. Sugi, Y. Nishigami, T. Nakagaki, K. Sato, "Physical mechanisms behind high speed jump of nematode *Caenorhabditis elegans*", The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium, Hokkaido University, Sapporo, (December, 2019)
 - 15) Syun Echigoya, Katsuhiko Sato, Toshiyuki Nakagaki, Yukinori Nishigami, "The shape of ciliate, *Stentor coeruleus*, decides its swimming and adhesive behavior", The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium, Hokkaido University, Sapporo, (December, 2019)
 - 16) Kosuke Iizuka, Ken-ichi Wakabayashi, Ritsu Kamiya, Yukinori Nishigami, Toshiyuki Nakagaki, Katsuhiko Sato, "Asymmetric patterns appearing in collective photobehavior of *Chlamydomonas*", The 20th RIES-HOKUDAI International Symposium, Hokkaido University, Sapporo, (December, 2019)
 - 17) Katsuhiko Sato, "Direct observation of orientation distributions of actin filaments in a solution undergoing shear banding", Annual European Rheology Conference 2018 (AERC 2018) Sorrento, Italy (April, 2018).
 - 18) Yukinori Nishigami, " "Statistical analysis of amoeboid locomotion on the constant photoirradiation", International Conference on Advances of Physics of Emergent Oeders in Fluctuations 2018 (APEF 2018) Tokyo, Japan (November, 2018).
- d. 一般講演 (国内学会)
- 1) 佐藤 謙, "Noise-induced degeneration in online learning," 数理科学の諸問題と力学系理論の新展開, RIMS, 京都大学, (2020 年 9 月).
 - 2) Yuzuru Sato, "Stochastic bifurcation in a turbulent swirling flow", contributed talk, JSIAM, University of Tokyo, Tokyo, (September, 2019)
 - 3) 西上幸範, 野村真未, 谷口篤史, 野中茂紀, Rieu Jean-Paul, "這う原生生物の行動研究", 生体運動研究合同班会議 2020, 京都, (2020 年 1 月).
 - 4) 飯塚 洸介, "クラミドモナスの集団光応答に現れる非対称パターン", 2019 年度北海道植物学会大会, 札幌市, (2019 年 12 月).

- 5) 佐藤 勝彦, 奥村 悦子, 越智 翔大, 黒田 茂, 中垣 俊之, 杉 琢磨, “線虫の高速ジャンプ”, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 同志社大学京田辺キャンパス(京田辺市多々羅) (2018 年 9 月).
- 6) 西上 幸範, 大村 拓也, 市川 正敏, “繊毛虫の固液界面への集合”, 第 51 回日本原生生物学会大会, 島根大学松江キャンパス (松江市) (2018 年 10 月).
- 7) 中垣 俊之: 「細胞マターの流量強化則に基づくスマートネットワークの設計原理」, 第 41 回日本分子生物学会 セッション「自然界の様々な階層で見られるスマートマターによる集会的知性の創成 (佐藤、阿部)」, パシフィコ横浜, 2018-11-29

e. 研究会・シンポジウム・ワークショップなど (学会以外)

- 1) 飯塚洗介, “クラミドモナスの集団光応答に現れる非対称パターン”, 第 13 回クラミドモナス研究会, 東京, (2019 年 9 月).
- 2) 西上幸範, “繊毛虫テトラヒメナの走流性に関して”, 2020 年原生生物合同ゼミ, オンライン開催 (2020 年 10 月)
- 3) 越後谷駿, 西上幸範, 佐藤勝彦, 中垣俊之, “繊毛虫ソライロツバムシの形状遷移定量化”, 2020 年原生生物合同ゼミ, オンライン開催 (2020 年 10 月)
- 4) 中垣 俊之*: 「アメーバに学ぶ鉄道網設計」, 啓成高校 SSH 特別科学講演会、北海道立啓成高校 (2020-12-08)
- 5) 中垣 俊之*: 「単細胞の知恵とヒトの知恵」, JR タワーおとな大学、札幌駅エスタ (2020-12-02)
- 6) 中垣 俊之*: 「単細胞の賢さを探る」, 鳥取県立博物館 令和 2 年度企画展「こんなにちは変形菌」 (20200718~20200829) 講演会、鳥取県立博物館 (2020-07-25)
- 7) Yuzuru Sato, “Stochastic bifurcation and intermittency in random dynamical systems”, contributed talk, RIMS workshop, Kyoto University, Kyoto, (October, 2019).
- 8) Yuzuru Sato, “Anomalous diffusion in random dynamical systems,” summer school lecture, Shiga, Japan, (October, 2019)
- 9) Yuzuru Sato, “Anomalous diffusion and intermittency in random dynamical systems”, Seminar at Tokyo Metropolitan University, Tokyo, (September, 2019).
- 10) Yuzuru Sato, “Stochastic bifurcation in a turbulent swirling flow”, contributed talk, RIMS workshop, Kyoto University, Kyoto, (June, 2019).

- 11) Katsuhiko Sato, “Direction-dependent contraction forces on cell boundaries induce collective migration of epithelial cells within their sheet”, GSS international Mini-Symposium “Soft Matter Deformation and Function”, Sapporo, Japan, (July, 2019).
- 12) Katsuhiko Sato, “Left-right asymmetric aggregation in Chlamydomonas”, 2019 RIMS Workshop “Mathematical Methods in Biofluid Mechanics”, Hyogo, Japan, (October, 2019).
- 13) Toshiyuki Nakagaki, “Transport network designed by an amoeboid organism”, Russia-Japan Scientific Forum, on Environmental Science, Moscow, Russia, (September, 2019).
- 14) Toshiyuki Nakagaki, “Nature-inspired design of transport network -how the natural system works properly-“, The 2nd General Assembly Meeting of The Association of Institutions of Higher Education of The Russian Federation and Japan. 2nd Russia-Japan Student Forum, Moscow, Russia, (September, 2019). - Public Interactive Lecture
- 15) Toshiyuki Nakagaki, “Transport network theoretically modeled by current-reinforcement rule”, UC Davis Science Summer Camp COSMOS, California, USA, (July, 2019).
- 16) 中垣 俊之: 「粘菌、運動、知恵」, 第 100 回北大 CoSTEP 主催サイエンスカフェ札幌。北大農学部講堂、2018-06-03
- 17) 中垣 俊之: 「自然知能と人工知能-アメーバとヒトの比較から-」, 第 27 回先端科学移動大学市民講演会、函館市総合保健センター、2018-11-17
- 18) 中垣 俊之: 「単細胞の賢さを探る-アメーバと人の比較から-」, SSH 岩見沢農業高校講演会、2018-11-07
- 19) 中垣 俊之: 「自然知能と人工知能-アメーバとヒトの比較から-」, 第 27 回先端科学移動大学、函館中部高校 2018-11-16.

4.6 シンポジウムの開催

- 1) 共同利用・共同研究拠点 MIMS 現象数理学研究拠点 共同研究集会「幾何学・連続体力学・情報科学の交差領域の探索」, オンライン (Zoom: Webinar 機能利用)、12 月 4 日ー 5 日、中垣俊之、佐藤勝彦ら (2020) .
- 2) 第 6 回北大・部局横断シンポジウム、北海道大学医学部学友会館フラテホール (web 開催), 11 月 19 日, 西上幸範ら (2020).
- 3) Katsuhiko Sato, Nishigami Yukinori, The 21st RIES-Hokudai International Symposium, online virtual symposium (December 10, 2020)

- 4) Yuzuru Sato, Chief-organizer, Conference on "Random Dynamical Systems Theory and Its Applications", RIMS, Kyoto, Japan, (August, 2019).
- 5) Yuzuru Sato, Chief-organizer, Data analysis and machine learning in dynamical systems, University of Tokyo, Tokyo, Japan, (May, 2019).
- 6) 北海道大学共同利用・共同研究拠点アライアンス 部局横断シンポジウム「計算科学が拓く汎分野研究」, 北海道大学医学部学友会館フラテホール, 10月31日, 中垣俊之, 佐藤譲ら (2019).
- 7) 第5回北大・部局横断シンポジウム、北海道大学医学部学友会館フラテホール, 11月6日, 佐藤勝彦ら (2019).
- 8) 電子科学研究所附属社会創造数学研究センター主催 公開シンポジウム「数理連携の現状と未来」、北海道大学鈴木章ホール、8月24-25日、長山雅春、小松崎民樹、中垣俊之、佐藤勝彦、佐藤譲ら (2018).

4.7 共同研究

a. 国内大学、研究機関との共同研究

- 1) 佐藤譲：「機械学習と確率的力学系」大阪大学, 筒井大二、藤原彰夫 (2018-).
- 2) 佐藤勝彦、中垣俊之：「クラミドモナスの行動学」東京工業大学、若林憲一 (2018-).

b. 産業界等との共同研究

- 1) 中垣俊之、佐藤勝彦、西上幸範、佐藤譲：株式会社ジイ・シイ企画、「集团的知性の探求ならびにその社会動態や経済現象への展開応用に関する研究」, 2019～2020年度, 1,000千円

c. 国際共同研究

- 1) 佐藤譲：CEA-CNRS, France と流体力学・気象データ解析に関する共同研究.
- 2) 中垣俊之：オックスフォード大学植物科学科マーク・フリッカー博士, 町と道の共発展ダイナミクスに関する研究
- 3) 西上幸範, 佐藤勝彦, 佐藤譲, 中垣俊之：リヨン第1大学, ジャンポール・リユー教授, 細胞運動の力学に関する研究

d. 外国人研究者の招聘

- 1) Davide Faranda, France, (23-30 May, 2019).
- 2) Prof. Jean Paul Rieu, University of Lyon 1, (13-20 June, 2019)
- 3) Prof. Helmut Brand, University of Bayreuth, (4-7 September, 2019)

- 4) Dr. Yunchang Seol, National Chia-Tung University, Taiwan (19 July - 3 August, 2019)
- 5) フランス ポールサバチエ ツールーズ大学、Audrey Dousstour 教授、2019年1月9-10日
- 6) ドイツ バイロイト大学 Helmut Brand 教授、9月12-14日 (2018).
- 7) フランス クロードベルナル リヨン第一大学、Jean Paul Rieu 教授、11月10-11日 (2018).
- 8) 台湾国立交通大学、Yaw Kan Li 教授、7月7-9日 (2018).

4.8 予算獲得状況（研究代表者、分類、研究課題、期間）

a. 科学研究費補助金

- 1) 佐藤 勝彦：研究代表者, 「3次元空間内に埋め込まれた細胞集団運動の新しいメカニズム」, (基盤研究(C)) 20K03871, (2020-2023).
- 2) 佐藤譲：研究代表者, London Mathematical Laboratory Fellowship, London Mathematical Laboratory, UK, (2020-2021).
- 3) 佐藤譲：研究分担者, 「ランダムな実および複素力学系, 正則写像半群とフラクタル幾何学の研究」, 科学研究費補助金 基盤(B) No.19H1790, 日本学術振興会 (2019-2023).
- 4) 佐藤譲：研究分担者, 「確率過程論的アプローチによるランダム力学系の理論研究」, 科学研究費補助金 基盤(B) No.19H21834, 日本学術振興会 (2019-2021).
- 5) 佐藤譲：研究代表者, London Mathematical Laboratory Fellowship, London Mathematical Laboratory, UK, (2019-2020).
- 6) 西上幸範：研究分担者, 「再構成アプローチで解明するダイナミンの膜切断機構とその破綻に起因する疾患発症機序」, 国際共同研究強化(B) No. 19KK0180, (2019-2023).
- 7) 佐藤譲：研究代表者, 「ランダム力学系理論に基づく確率カオスの現象論とその応用」, 科学研究費補助金 基盤(C) No.18K03441, 日本学術振興会 (2018-2020)
- 8) 佐藤譲：研究代表者, London Mathematical Laboratory Fellowship, London Mathematical Laboratory, UK, (2018-2019).
- 9) 佐藤 勝彦：研究分担者, 「粘弾性流体に特有な渦の数理解析」, 基盤研究(B) 18H01135, (2018-2022)
- 10) 佐藤譲：研究分担者, 「古典および量子統計的システムにおける新規な情報幾何構造の探究」, 科学研究費補助金 基盤(B) No. 17H02861, 日本学術振興会 (2017-2021).
- 11) 佐藤譲：研究代表者, "Understanding the dynamics of atmospheric circulation", PICS grant, LSCE, CEA, France, (2017-2020).

- 12) 佐藤 勝彦: 研究代表者, 「上皮細胞の集団運動: 形態形成の基礎メカニズムの解明」, 学術研究助成基金助成金 (基盤研究(B)) 17H02939, (2017-2020).

b. 大型プロジェクト・受託研究

- 1) 佐藤 謙: 研究代表者, London Mathematical Laboratory Fellowship, London Mathematical Laboratory, UK, (2019-2020).
- 2) 西上 幸範: 「原生生物の行動原理の解明」, 次世代研究者育成プログラム (2018-2023).
- 3) 佐藤 謙: 研究代表者, “Understanding the dynamics of atmospheric circulation”, PICS grant, LSCE, CEA, France, (2017-2020).

4.9 受賞

- 1) Takuya Chiba, the 21st RIES-Hokudai International, Poster award (December, 2020)
- 2) 西上 幸範: 第 51 回日本原生生物学会大会ベストプレゼンテーション賞 (2019)
- 3) 飯塚 洸介: 第 13 回クラミドモナス研究会「学生優秀発表賞」東京工業大学 (2019/9/5)
- 4) 飯塚 洸介: 第 20 回電子研国際シンポジウム「優秀ポスター賞」北海道大学 (2019/12/2)
- 5) 千葉 拓也: 北海道大学共同利用共同研究拠点アライアンス部局横断シンポジウム「計算科学が拓く汎分野研究」「優秀ポスター賞」北海道大学 (2019/10/31)

4.10 アウトリーチ活動

- 1) 中垣 俊之: 「単細胞の知恵とヒトの知恵」, JR タワーおとな大学、札幌駅エスタ 2020 年 12 月 02 日
- 2) 中垣 俊之*: 「アメーバに学ぶ鉄道網設計」, 啓成高校 SSH 特別科学講演会、北海道立啓成高校 2020 年 12 月 08 日
- 3) 中垣 俊之: 「単細胞の賢さを探る」, 鳥取県立博物館令和 2 年度企画展「こんにちは変形菌」講演会、鳥取県立博物館 2020 年 07 月 25 日
- 4) 中垣 俊之: 日本経済新聞 2020 年 09 月 12 日 「イグノーベル賞 なぜ日本人多い」
- 5) 中垣 俊之: 東京新聞 2020 年 09 月 06 日 「イグノーベル賞 30 年」「菌が迷路の最短ルートを探し出す!」
- 6) 中垣 俊之: PBS NOVA 2020 年 9 月 「Secret Mind of Slime」という 57 分の番組が放映された。この番組は、フランス ARTE が製作した科学ドキュメンタリー番組「Genius without brain」をもとに再編集した番組である。2020 年 09 月
- 7) 中垣 俊之: テレビ東京 2020 年 04 月 09 日 「探求の階段 #27 「単細胞」の意味を変える」

- 8) 中垣 俊之: 「イグ・ノーベル賞 2 度受賞 中垣俊之の未来大教授 広い世界に進み出て遊泳せよ」 元日の地域特集「作り出す はこだて未来大学 20 年」北海道新聞, 2020 年 1 月 1 日
- 9) 佐藤 謙: 2020 年 5 月 14 日, 北海道大学プレスリリース「SARS-Cov-2 感染者数漸近予測の不確実性を解明」
- 10) 中垣 俊之: 「粘菌 脳のない天才」 NHK BS1 世界ドキュ選 フランス ARTE 製作科学ドキュメンタリー番組, 2019 年 11 月 25 日, 2020 年 1 月 1 日他
- 11) 中垣 俊之: 朝日新聞 2019 年 01 月 28 日 「科学の扉「粘菌 単細胞でも賢い! ?」-体を伸縮し迷路を解く 交通網などに応用-」
- 12) 佐藤 謙: 2019 年 5 月 14 日, 北海道大学プレスリリース「ノイズの伴う力学系での異常拡散のメカニズムを解明」.
- 13) 中垣 俊之: 「ヤンセンは手触りで世の中を理解する」札幌市芸術の森企画展「テオヤンセン展」での研究内容展示, 2019 年 7 月 13 日-9 月 1 日
- 14) 中垣 俊之: 週間プレイボーイ 2019 年 11 月 18 日 「我々の研究対象である「モジホコリ」という原生生物がフランスのパリ動物園で世界で初めて一般公開されたことを受けて、「世界初一般公開! 迷路を解く 単細胞生物「モジホコリ」とは?」という記事 (54 巻 41 号 165 ページ) が掲載された。」
- 15) 中垣 俊之: 北海道新聞 2018 年 11 月 18 日 「がん、気象 先端科学知る - 函館で移動大学 北大教員が講演 -」
- 16) 中垣 俊之: 函館新聞 2018 年 11 月 18 日 「研究者が最新技術紹介 先端科学移動大学に 100 人」
- 17) 中垣 俊之: 北海道新聞 2018 年 11 月 2 日 「北海道から平成がわかる - ノーベル賞 イグノーベル賞 探究心 道民に刺激 -」
- 18) 中垣 俊之: 読売 KODOMO 新聞 2018 年 10 月 4 日 「イグノーベル賞の世界 - 下品が最高 -」
- 19) 中垣 俊之: 北海道新聞 2018 年 06 月 04 日 「粘菌の生態 雌雄逆の昆虫-ユニーク研究を紹介 - 北大で講演」
- 20) 中垣 俊之: 朝日新聞 2018 年 06 月 04 日 「イグノーベル受賞者と語る - 北大で 100 回目「サイエンスカフェ札幌」 -」
- 21) 中垣 俊之: 読売新聞 2018 年 06 月 04 日 「科学を市民に 100 回目講演 イグノーベル受賞者登壇」
- 22) 中垣 俊之: THE BIG ISSUE 日本版 VOL. 332 2018 年 04 月 01 日 「特集「こんにちは! 変形菌」で 2 ページ記事「粘菌がつくる賢いネットワークは知の原型」として紹介された。」
- 23) 中垣 俊之: 日立自動分析情報誌 Lab SCOPE VOL. 56 2018 年 04 月 01 日 「INVITATION コーナーにて「知性とは何か。単細胞生物にそのメカニズムを探る。」と

いう 3 ページ記事。」

- 24) 中垣 俊之 : HTB テレビニュース 2018 年 06 月 03 日
「北大 イグノーベル賞の二人が講演」
- 25) 中垣 俊之 : 和歌山県立自然博物館 平成 30 年度
特別展「小さな粘菌の大きなワンダーランド」7/21-
9/2, 2018
- 26) 中垣 俊之 : 南方熊楠記念館 2018 特別展示「不思議
ないきもの・粘菌展」 2018 年 09 月 15 日～2018 年
11 月 18 日
- 27) 中垣 俊之 : 茨城県自然博物館ミュージアムパーク
の第 71 回企画展「変形菌-ふしぎ?かわいい! 森の
妖精-」に協力 2018 年 02 月 17 日～06 月 10 日
- 28) 中垣 俊之 : 北海道立啓成高等学校スーパーサイエ
ンスハイスクール運営委員 (2016 年 04 月 01 日～
2019 年 03 月 31 日)
- 29) 中垣 俊之 : 旭川明誠成高校の生徒 10 名の一身体
験と見学の受け入れ (2018 年 05 月 01 日)
- 30) 中垣 俊之 : JST さくらサイエンス事業にて外国人学
生と教員ら 5 名の一身体験を受け入れ (2018 年 06
月 19 日)