

知能数理研究分野

教授 中垣俊之 (2013.10～)
准教授 佐藤勝彦 (2014.12～)
准教授 佐藤讓 (2017.4～)
助教 黒田茂 (2013.10～2018.3)
*2018.4～、青森大学、准教授
学生 (平成27年4月～現在)
博士課程 2名
修士課程 5名
学部生 3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8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)単細胞生物の行動と情報処理過程の可視化技術の開発、(4)生物行動の多様性と柔軟性を担うダイナミクスの解明、(5)這行運動の一般力学とその制御機構の解明、(6)胚発生の形態形成における細胞集団の力学解析、(7)生体の神経系と身体との相互作用に関する進化的検討、(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。

2. 研究成果

(a) 粘菌の用不用則にならった形状最適化設計法の検討

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体化される」という、いわゆる「用不用則」である。この運動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た。まずは

じめに、流量強化則の事例として交通網と町の共発展現象を検討し、次に構造物に題材を変えてヒト大腿骨におけるリモデリング現象を検討した。そのうち、単純な例題として片持梁のデザインに用不用則を適用した。「どれほど使われるとどれほど強化されるか」を定める関数形(さじ加減)によって、多様なトポロジーをもつ形状が生み出された。また、初期状態をあえて一様でなくして、偏りをつけておくことによって、多様さが生じた。これら二つの要因で形状を調整できることは設計の立場からすると都合がよいと思われる。この最適化法の可能性について議論した。

1)吉原 一詞、中垣 俊之：「粘菌の用不用適応能に倣った形状最適化設計法の検討」、土木学会論文集 A2(応用力学)、72(2): 13-1.11 (2016).

(b) 粘菌の輸送ネットワークの生理と数理

血管や葉っぱの支脈などのような管のネットワークの形成は生物にとって重要である。なぜなら栄養を隅々まで効率よく分配した老廃物を回収しなければならないからである。この管のネットワークは遺伝的に決まっているものというよりは、その場の状況に合わせてフレキシブルに変化するものであり、何によってその形成がコントロールされているのかは未だ謎のままである。

我々この問題に対して、実験と理論の両方からアプローチするために、有用なモデル系である真正粘菌モジホコリの管ネットワークに注目した。その最大の利点は、約一日で複雑な管ネットワークを作り上げることである。粘菌モジホコリの管ネットワークの幾何学を解析するための画像処理ソフトウェアを開発した。ある特定形状の閉鎖空間から脱出するときに見える管ネットワークの輸送性能を評価した。ポアズイユ流を仮定して太さと長さにより管のコンダクタビティを空間の任意の点で出口点を基準に定量化して等高線図を描いた。粘菌の管ネットワークは、空間形状に合わせて効率的な輸送性能を有することがわかった。血管などで知られるマレー則が成立することも明らかになり、生物輸送系一般の共通性を研究する上でも興味深くなってきた。

さらに粘菌の輸送ネットワークの配管規則(空間のどこに管を敷設するかという性質)について調べた。粘菌の輸送管は、細長いジグザグ通路を伸びる時、曲がり角でインコースをなぞるようにできる。そうすることで通路を貫く管路の長さが短くなり輸送効率も上昇する。この管路のコース取りは、これまで知られている流量強化則(管内の流れに強さに依存して管径が変化するという適応性)によるので、流れの方向性を画像処理により見積もることで、管ができるコースを予測した。この予測は、現実と概ね一致した。

また粘菌のネットワーク形成は収縮運動のパターン形成に基づいているので、収縮運動の性質についても研究成果を得た。

- 1) S. Daniel, S. Yasuaki, S. Kuroda, T. Nakagaki and K. Ueda, "A mathematical model for adaptive vein formation during exploratory migration of *Physarum polycephalum*: routing while scouting", *Journal of Physics: Applied Physics*, 50 : 434001(14pp)- (2017).
- 2) D. Akita, T. Nakagaki, D. Schenz, S. Kuroda, K. Sato and K. Ueda, "Current reinforcement model reproduces centre-in-centre vein trajectory of *Physarum polycephalum*", *Development Growth and Differentiation*, 59(5) : 465-470 (2017).
- 3) T. Umedachi, K. Ito, R. Kobayashi, A. Ishiguro and T. Nakagaki, "Response to Various Periods of Mechanical Stimuli in *Physarum Plasmodium*", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50 : 254002- (2017).
- 4) M. Fricker, D. Akita, L. L. Heaton, N. Jones, B. Obara and T. Nakagaki, "Automated analysis of *Physarum* network structure and dynamics", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50 : 254005 (14pp)- (2017).
- 5) 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*, 50 : 154004- (2017).
- 6) D. Akita, I. Kunita, M. Fricker, S. Kuroda, K. Sato and T. Nakagaki, "Experimental models for Murray's law", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50 : doi:10.1088/1361-6463/50/2/024001- (2017).

(c) 真正粘菌変形体の遡巡行動の多様性

真正粘菌変形体は毒物に遭遇すると迷い行動を示した後で、複数の行動の選択肢の中から一つを選んで行動する(行動多様性と呼ぶ)。その粘菌の行動選択の仕組みを明らかにするために、粘菌の行動を再現する数理モデルの構築と解析を行った。その結果、(1) 毒物のみならず栄養物等の複数種類の化学物質で類似の行動多様性がみられたことから、この行動多様性は特定の化学物質に限定した性質ではないこと、(2) 粘菌が化学物質帯に遭遇すると、化学物質帯の直前、途中、直後など異なる場所で立ち止まったことから、さらなる行動多様性が見つかったこと、(3) 粘菌運動の数理モデリングにより、粘菌の内的揺らぎや環境のちょっとしたゆらぎにより、行動多様性が生み出される可能性があることがわかった。

- 1) I. Kunita, K. Ueda, D. Akita, S. Kuroda and T. Nakagaki, "Behavioural differentiation induced by environmental variation when crossing a toxic zone in an amoeba", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50 : 354002 (15pp)- (2017).

(d) 適応的這行運動の力学的数理モデル

ムカデやヤスデといった脚式這行動物やナメクジやミミズといった非脚式這行動物は、ともに体軸に沿って配置された多数の身体部位を時空間的に高度に協調(「運動波」と呼ばれる)させて移動している。我々はある種のムカデが接地面の状況により逆向波と順向波を使い分けているこ

と、更に逆向波から順向波へまたはその逆方向への連続的な歩容遷移等が存在することを発見した。本年度は、運動波を用いた這行移動の力学的数理モデルを構成し多自由度系の自律分散式適応制御の観点から解析を行い以下の有力なシナリオを得た：(1) 各身体部位の周期的な基本運動は中枢神経系によりルーズに規定され、それ自体は多様な歩容を包含する。これら多様な潜在的歩容リズムは、(2) 接地による地面と体の力学的相互作用の情報が筋肉の力学的状態を感知する自己受容性感覚神経系から中枢神経系へフィードバックされることにより単一の歩容が安定化される。(3) このフィードバック様式が状況依存性・種依存性を持つことにより状況依存的・種依存的歩容が生じる。

(e) 流れによって誘起される相分離現象(シアバンディング)の直接観察

コロイド溶液や高分子溶液などのような複雑液体は単純ずりに対して複雑なレオロジ的挙動を示すが、その中の興味深い現象の一つにずり流動下で溶液が粘性の高い状態と低い状態に自発的に分離する現象(シアバンディング)がある。この現象は非平衡での相分離現象であるのにもかかわらず、平衡で観測される液体-気体相分離現象(一次相転移)と同じ挙動を示す。その相分離の原因は溶液内のマクロ分子の状態が変化するからだと考えられてきていたが、その直接的な検証はこれまでなされていなかった。我々はアクチンフィラメント溶液がシアバンディングを示すということとアクチンフィラメントは蛍光タンパクで直接観察できるという2つの事実を用いて、シアバンディングを起こしている溶液内のマクロ分子の配向を直接観測することに成功した。PIVと共焦点顕微鏡を用いた。この直接観測によってシアバンディングのメカニズムの解明が大きく進むことが期待される。

- 1) K. Sato, I. Kunita, Y. Takikawa, D. Takeuchi, Y. Tanaka, T. Nakagaki and H. Orihara, "Direct observation of orientation distributions of actin filaments in a solution undergoing shear banding", *Soft Matter*, 13, 2708-2716 (2017).

(f) 繊毛虫テトラヒメナの空間記憶能

生物の記憶や学習の物理機構を明らかにするために、繊毛虫テトラヒメナの空間適応能を調べてきた。生物実験からテトラヒメナが空間の形状や大きさに対する記憶能を持つことを示した。テトラヒメナ遊泳速度や方向は、それを司る膜電気現象の動態によっているので、ホジキンハクスレー方程式の考え方にならって、単純化した数理モデルを構成した。膜電位をもたらすカルシウムイオンチャネルの運動に関わる遅い緩和モードのはたらきによって、空間記憶能がもたらされることをつきとめた。

- 1) I. Kunita, T. Yamaguchi, A. Tero, M. Akiyama, S. Kuroda and T. Nakagaki, "A ciliate memorizes the geometry of a swimming arena", *J. Roy. Soc. Interface*, 13 : 20160155- (2016).

(g) 繊毛虫ゾウリムシの学習行動における実験的評価とその動力学的機構

単細胞生物繊毛虫のゾウリムシに着目して、数分程度で起こる学習行動のメカニズムの解明を試みた。ゾウリムシは繊毛という小器官を打つことによって遊泳する。そしてその繊毛運動は、膜電位やCa²⁺によって制御されていることがよく調べられており、行動と生体内反応が対応付けられている。また、その膜電位の挙動がHodgkin-Huxleyタイプのモデル方程式で説明できることが知られている。このことは、学習行動のしくみが膜電位方程式に帰着できることを示唆している。したがって、ゾウリムシは学習行動のメカニズムを研究するうえで非常に良いモデル生物である。

本研究での成果は以下の3点である。(1) キャピラリー空間に閉じ込められた際に生じる新規学習行動の発見。ゾウリムシは転回できないほど細いキャピラリー空間に閉じ込められると、それまで見られなかった長期後退遊泳を示すようになった。(2) キャピラリー空間での運動経験がもたらす新規学習行動の発見。ゾウリムシはキャピラリー空間をしばらく遊泳すると、その後、広い空間に出た後も直線的な遊泳を示すようになった。(3) これらの実験により発見した新たな学習行動のメカニズムを解明するための数理モデルの提案。従来の膜電位方程式と繊毛打調節の関係を再検討し、新たな膜電位方程式を構成した。このモデルは、我々が発見したゾウリムシの新規の学習行動を再現した。モデルからの解析により、ゾウリムシの学習行動をもたらす機構は、繰り返し起こる壁との衝突刺激によってCa²⁺チャンネルが遅い時間スケールで反応することが鍵であることが示唆された。より一般的にいうと、短時間の学習行動が膜電位の挙動として理解できることを示した。これはゾウリムシの短期学習機構の新しい概念といえる。

1) S. Kuroda, S. Takagi, T. Saigusa and T. Nakagaki, "Physical ethology of unicellular organism", Brain evolution by design -From Neural origin to cognitive architecture- (Ed. by S. Shigeno, Y. Murakami, T. Nomura) ISBN: 978-4-431-56467-6, Springer-Verlag : 3-23 (2017).

(h) 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。特に集団的な振り舞いや、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、生物学的にも重要なテーマとなっている。集団運動に関しては、昨年度、我々はC. elegansを高密度で寒天上に放置すると、自発的に集合し、ある特有のパターンを作ることを発見した。今年度、我々はその現象に対する数理モデルを作成し、線虫がパターンを作る仕組みを提案した。耐性幼虫の行動学に関しては耐性幼虫をある状況下に設定すると高速で移動することを発見した。その高速移動

が力学的メカニズムと生物学的意義を考察した。

(i) 鞭毛虫クラミドモナスの運動学

クラミドモナスは古くから繊毛の動力学や走光性などのメカニズム解明のためによく用いられているが、そのアプローチは分子的なものがほとんどであり、運動学的、力学的なアプローチはほとんどない。我々はクラミドモナスが光の明暗の境界に集まることに注目し、クラミドモナスがマクロ的に作る集合パターンを調べた。新奇なパターンを発見した。そのパターンの生成メカニズムを実験と数理との両方から解き明かすことに挑戦している。

(j) 上皮細胞の集団運動のメカニズムの解明

多細胞生物は一つの受精卵から細胞分裂を繰り返してその形を形成していくが(形態形成)、その駆動力は胚を覆っている上皮細胞シートの折れ曲がりや伸張、移動であることが高い精度の観測によって明らかにされてきている。これまでの先行研究によって細胞シートの折れ曲がりや伸張のメカニズムは解明されてきていたが、上皮細胞シート内の細胞の集団移動のメカニズムは明らかにされていなかった。我々は上皮細胞シートのダイナミクスを適切に表現できる数理モデル(vertex model)を用いて細胞間に働く収縮力と細胞間の接着力の強さの違いがあると細胞シート内で上皮細胞は集団で一方向に動きうることを示した。またその仮説の妥当性をショウジョウバエの蛹での性器の回転運動で確認した。

1) K. Sato, "Direction-dependent contraction forces on cell boundaries induce collective migration of epithelial cells within their sheet", Development, Growth & Differentiation 59, 317-328 (2017).

2) K. Sato, T. Hiraiwa, and T. Shibata, "Cell chirality induces collective cell migration in epithelial sheets", Phys. Rev. Lett. 115, 188102 (2015).

3) K. Sato, T. Hiraiwa, E. Maekawa, A. Isomura, T. Shibata, and E. Kuranaga, "Left-right asymmetric cell intercalation drives directional collective cell movement in epithelial morphogenesis", Nat. Commun. 6, 10074 (2015).

3. 今後の研究の展望

(a) 用不用則による交通輸送ネットワークの構築

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、現実社会の様々なネットワーク(北海道の交通網や国際的光ケーブル網など)の設計を、複要因間の最適トレードオフの観点から検討する。また更に進んで、町と道の共発展モデルを考察する。

(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、集団の運動を結合写像系でモデル化する。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。

4. 資料

4.1 学術論文（査読あり）

- 1) C. Gao, C. Liu, D. Schenz, X. Li, Z. Zhang, M. Jusup, Z. Wang, M. Beekman and T. Nakagaki: “Does being multi-headed make you better at solving problem? A survey of *Physarum*-based models and computations”, *Physics of Life Reviews* (2018) in press.
- 2) S. Daniel, S. Yasuaki, S. Kuroda, T. Nakagaki and K. Ueda, “A mathematical model for adaptive vein formation during exploratory migration of *Physarum polycephalum*: routing while scouting”, *Journal of Physics: Applied Physics*, 50 : 434001(14pp)- (2017).
- 3) I. Kunita, K. Ueda, D. Akita, S. Kuroda and T. Nakagaki, “Behavioural differentiation induced by environmental variation when crossing a toxic zone in an amoeba”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50 : 354002 (15pp)- (2017).
- 4) D. Akita, T. Nakagaki, D. Schenz, S. Kuroda, K. Sato and K. Ueda, “Current reinforcement model reproduces centre-in-centre vein trajectory of *Physarum polycephalum*”, *Development Growth and Differentiation*, 59(5) : 465-470 (2017).
- 5) T. Umedachi, K. Ito, R. Kobayashi, A. Ishiguro and T. Nakagaki, “Response to Various Periods of Mechanical Stimuli in *Physarum Plasmodium*”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50 : 254002- (2017).
- 6) M. Fricker, D. Akita, L. L. Heaton, N. Jones, B. Obara and T. Nakagaki, “Automated analysis of *Physarum* network structure and dynamics”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50 : 254005 (14pp)- (2017).
- 7) B. Meyer, C. Ansorge, T. Nakagaki, “The Role of Noise in Self-organized Decision Making by the True Slime Mold *Physarum polycephalum*”, *PLOS ONE*, 12(3) : e0172933- (2017).
- 8) 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*, 50 : 154004- (2017).
- 9) S. Kuroda, S. Takagi, T. Saigusa and T. Nakagaki, “Physical ethology of unicellular organism”, *Brain evolution by design -From Neural origin to cognitive architecture-* (Ed. by S. Shigeno, Y. Murakami, T. Nomura) ISBN: 978-4-431-56467-6, Springer-Verlag : 3-23 (2017).
- 10) D. Akita, I. Kunita, M. Fricker, S. Kuroda, K. Sato and T. Nakagaki, “Experimental models for Murray’s law”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50 : doi:10.1088/1361-6463/50/2/024001- (2017).
- 11) K. Sato, I. Kunita, Y. Takikawa, D. Takeuchi, Y. Tanaka, T. Nakagaki and H. Orihara, “Direct observation of orientation distributions of actin filaments in a solution undergoing shear banding”, *Soft Matter*, 13, 2708-2716 (2017).
- 12) Enoki,R. and Ono,D. and Kuroda,S. and Honma,S. and Honma,K-I., “Dual origins of the intracellular circadian calcium rhythm in the suprachiasmatic nucleus”, *Scientific Reports* 7, 41733 (2017).
- 13) K. Sato, “Direction-dependent contraction forces on cell boundaries induce collective migration of epithelial cells within their sheet”, *Development, Growth & Differentiation* 59, 317-328 (2017).
- 14) S. Ishiwata, M. Miyazaki, K. Sato, K. Nakagome, S. A. Shintani, F. K. Shimozawa, N. Fukuda, K. Suzuki, J. Takagi, Y. Shimamoto and T. Itabashi, “Dynamic properties of bio-motile systems as a liquid-crystalline structure”, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 647, 127-150 (2017).
- 15) Davide Faranda, Yuzuru Sato, Brice Saint-Michel, Cecile Wiertel, Vincent Padilla, Bérengère Dubrulle, François Daviaud, “Stochastic chaos in a turbulent swirling flow”, *Physical Review Letters*, 119, 014502, (2017).
- 16) Anna Maria Cherubini, Jeroen S W Lamb, Martin Rasmussen, and Yuzuru Sato, “A random dynamical systems

perspective on stochastic resonance,” *Nonlinearity*, vol. 30, pp. 2835–2853, (2017).

- 17) 吉原 一詞、中垣 俊之：「粘菌の用不用適応能に倣った形状最適化設計法の検討」、*土木学会論文集 A2 (応用力学)*、72(2)：1.3–1.11 (2016).
- 18) I. Kunita, T. Yamaguchi, A. Tero, M. Akiyama, S. Kuroda and T. Nakagaki, “A ciliate memorizes the geometry of a swimming arena”, *J. Roy. Soc. Interface*, 13 : 20160155–(2016).
- 19) Koutaro Nakagome, Katsuhiko Sato, Seine A. Shintani, Shin’ichi Ishiwata, “Model simulation of the SPOC wave in a bundle of striated myofibrils”, *Biophysics and Physico-biology Vol. 13*, pp. 217–226 (2016).
- 20) Shigeru Kuroda, Seiji Takagi, Toshiyuki Nakagaki and Tetsuo Ueda: “Allometry in *Physarum plasmodium* during free locomotion: size versus shape, speed and rhythm”, *Journal of Experimental Biology*, Vol. 218, 3729/3738 (2015). doi: 10.1242/jeb.124354
- 21) K. Sato, T. Hiraiwa, and T. Shibata: “Cell chirality induces collective cell migration in epithelial sheets”, *Phys. Rev. Lett.* 115, 188102 (2015).
- 22) K. Sato and S. Shima: “Various oscillation patterns in phase models with locally attractive and globally repulsive couplings”, *Phys. Rev. E* 92, 042922 (2015).
- 23) K. Sato, T. Hiraiwa, E. Maekawa, A. Isomura, T. Shibata, and E. Kuranaga: “Left-right asymmetric cell intercalation drives directional collective cell movement in epithelial morphogenesis”, *Nat. Commun.* 6, 10074 (2015).

4.2 学術論文 (査読なし)

該当なし

4.3 総説・解説・評論等

- 1) 中垣 俊之：「庭先にしゃがみ込んで」、*近畿化学工業界 きんか*、68(10)：5–7 (2016)
- 2) 中垣 俊之：「人工知能と自然知能」、*情報処理*、57(10)：2–3 (2016)
- 3) 中垣 俊之：「物理エソロジーの道すがら」、*人工知能学会誌*、30(4)：525–531 (2015)
- 4) 黒田 茂、田中 良巳、中垣 俊之：「脚式と非脚式の這行ロコモーションにおける運動モードスイッチングの共通力学」、*計測と制御*、54(4) (2015)
- 5) 中垣 俊之：「粘菌の情報伝達メカニズム」、*週間日本医事新報*、*医事新報社*、(4752)：63– (2015)
- 6) 中垣 俊之：「単細胞生物の物理エソロジー —輸送現象論から読み解く賢さのしくみ—」、*化学と工業*、68(4)：342–344 (2015)
- 7) 中垣 俊之、黒田 茂：「生命トポロジー —位相幾何学による生命観—」、*トポロジー理工学 (丹田聡、G. Volovik、松山豊樹編集)*、朝倉書店、(2015)

- 8) 石渡信一、佐藤勝彦：「心筋収縮系にみる自励振動現象SPOC」、*日本物理学会誌* 第70巻 7号 「交流」 (2015)

4.4 著書

該当なし

4.5 講演

a. 招待講演 (国際学会)

- 1) T. Nakagaki* : “Introduction to Recent Advances in RIES; Transport Network in Living Systems Designed by Current-Reinforcement Rule.”, 2017 RIES Hokkaido University – CIS National Chiao Tung University Taiwan Symposium, National Chiao Tung University, Taiwan, Taiwan (Province of China) (2017–10)
- 2) T. Nakagaki* : “Adaptive motions in protozoan ciliates”, The 8th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, Hokkaido University, Sapporo, Japan (2017–06)
- 3) T. Nakagaki* : 「Ethology of the plasmodium of *Physarum polycephalum*」、The 9th International Congress of Systematics and Ecology of Myxomycetes、和歌山県田辺市紀南文化会館、Japan (2017–08)
- 4) 4) K. Sato*: “Direction-dependent contraction forces on cell boundaries induce collective migration of epithelial cells within their sheet”, 17th International Conference CoMFOs17: Mathematical Analysis of Continuum Mechanics, OIST, Okinawa (2017–09).
- 5) Y. Sato: “Stochastic chaos in a turbulent swirling flow”, invited lecture, CIMPA spring school, Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Vietnam (2018–03).
- 6) Y. Sato: “Stochastic chaos in a turbulent swirling flow”, Lorentz Center Workshop on Random Dynamical Systems, Leiden, Netherlands, (2017–12).
- 7) Y. Sato: “Anomalous diffusion and intermittency in random dynamical systems,” Statistical and nonlinear physics seminar at CNRS, Saclay, France, (2017–11).
- 8) Y. Sato: “Anomalous diffusion and intermittency in random dynamical systems,” Marseille neuroscience workshop, Marseille, France, (2017–11).
- 9) Y. Sato: “Anomalous diffusion and intermittency in random dynamical systems,” ANOCOS, Tempere, Finland, (2017–08).
- 10) Y. Sato: “Stochastic bifurcation in random logistic maps,” SIAM Conference on Applications of Dynamical systems, Snowbird, USA, (2017–05).
- 11) Y. Sato: “Noise-induced bifurcations in a random logistic map,” Kyoto Dynamics Days: Random Dynamical Systems Theory and Its Applications, Kyoto University, Kyoto, Japan, (2017–04).

- 12) Y. Sato: "Anomalous diffusion and intermittency in random dynamical systems," Kyoto Dynamics Days: Random Dynamical Systems Theory and Its Applications, Kyoto University, Kyoto, Japan, (2017-04).
 - 13) T. Nakagaki*: "physical ethology of single-celled organism", The 31st International Congress of Psychology, invited symposium [Ig Noble prize winners talk about the evolutionary basis of the human mind], Pacifico Yokohama (2016-07)
 - 14) T. Nakagaki*: "Transport network in a micro-organism", MANA International Symposium 2017, Tsukuba International Congress Center (2017-02 ~ 2017-03)
 - 15) T. Nakagaki*: "Transport network in living systems designed by current-reinforcement rule", Asia pacific Consortium of Mathematics for Industry, Forum Math-for-Industry 2016, Agriculture as a metaphor for creativity in all human endeavors, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia (2016-11)
 - 16) T. Nakagaki*: "Pattern formation of spatial distribution of town and transportation network -a case study on Hokkaido region-", Interdisciplinary Applications of Non-linear Science, Kagoshima University (2016-11)
 - 17) Katsuhiko Sato, "Left-right asymmetric cell intercalation drives directional collective cell movement in epithelial morphogenesis", invited talk, Current and Future Perspectives in Active Matter, Koshiha Hall, The University of Tokyo, Tokyo, Japan (2016-10).
 - 18) Kuroda,S. "Dynamic gait generation in the crawling locomotion: observation and modelling", HOKUDAI-NCTU Joint Symposium on Nano, Photo and Bio sciences in 2016, Oct 4-5, 2016 (2016-10)
 - 19) T. Nakagaki : "Adaptive dynamics for shape optimization inspired by the use-and-growth rule in a simple organism of slime mold", The 9th International Conference on Bio-inspired information and Communications Technologies, Columbia University, New York, USA (2015-12). plenary talk.
 - 20) T. Nakagaki : "Biomechanics of peristaltic crawling in limbless and legged organism", International Conference on Mathematical Modeling and Applications 2015 -Self-organization Modeling and Analysis-, Meiji University, Tokyo (2015-10)
 - 21) T. Nakagaki : "Physical ethology of an amoeba", 4th IFAC Conference on Analysis and Control of Chaotic Systems (IFAC CHAOS 2015), 首都大学東京 (2015-08), plenary talk.
 - 22) R. Kobayashi and T. Nakagaki : "Mechanics of Smart Behaviors -From amoeba to robot-", International Conference on Systems Biology (ICSB2015), Biopolis, Singapore (2015-11)
 - 23) T. Nakagaki : "Capacity of learning the shape of arena in the single celled swimmer, viewed from slow dynamics of membrane potential", International Workshop on New Frontiers in Nonlinear Sciences, Niseko, Hokkaido (2016-3-6/8)
 - 24) T. Nakagaki : "Physical ethology of single-celled organism", The 5th International Symposium on Primatology and Wildlife Science Inuyama International Sightseeing Center, Aichi (2016-3-3/6)
 - 25) K. Sato: "Why does shear banding behave like first-order phase transitions? Derivation of a potential from a mechanical constitutive model", International Conference CoMFoS15, Kyushu University, Nishijin Plaza (2015-11)
 - 26) Kuroda,S. (2015) "Physical ethology and animal walking", CIAC 2015 Hakodate Workshop 3, Nov 8-9, 2015, Hakodate, Japan.
 - 27) Kuroda,S. and Nakagaki,T. (2015) "Transition among possible modes in crawling locomotion", Mini-workshop on "A crossroad of biology and mathematics -Modeling and Computation-", Apr 30 - May 1, 2015, Sapporo, Japan.
- b. 招待講演 (国内学会)**
- 1) 中垣 俊之*: 「絨毛虫の物理エソロジー」、8 8 回日本動物学会、富山県富山市富山県民会館、Japan (2017-09)
 - 2) 中垣 俊之*: 「粘菌の用不用則に倣ったネットワーク設計」、生態系バイオミメティクスの新潮流と自然史博物館の役割、東京上野 国立科学博物館、Japan (2017-06)
 - 3) 中垣 俊之*: 「粘菌の流れと知性」、流れと澱みを語る会、名古屋大学医学部、Japan (2017-06)
 - 4) 中垣 俊之*: 「物理エソロジーから読み解く自然知能の基本設計」、第 1 回クレスト「ビッグデータ応用」若手研究者合宿研究会、兵庫県シーサイドホテル舞子ビラ神戸、Japan (2017-06)
 - 5) 中垣 俊之*: 「生物の用不用則に基づく機能的な形づくり」、第 1 2 回理研「バイオものづくりシンポジウム」、理化学研究所、和光市 (2017-03)
 - 6) 中垣 俊之*: 「粘菌の物理エソロジー」、レーザー学会「ナチュラルコンピューティングとレーザーカオス」シンポジウム、徳島大学 (2017-01)
 - 7) 中垣 俊之*: 「単細胞のちょっと賢いはなし」、明治大学MIMS共同利用研究集会「比較動物学と現象数理学から考える「海の霊長類」の知の表現法」、明治大学中野キャンパス (2016-12)
 - 8) 中垣 俊之*: 「テトラヒメナにおける空間形状への適応的遊泳」、日本微生物生態学会 日本原生生物学会共催シンポジウム「原生生物の環境センシングと運動」、横須賀市文化会館 (2016-10)

- 9) 中垣 俊之* : 「生物の用不用則に基づく適応的なネットワーク設計」、電子情報通信学会情報ネットワーク科学時限研究専門委員会 (NetSci) / 複雑コミュニケーションサイエンス研究専門委員会 (CCS) 共催ワークショップ、余市町中央公民館 (2016-08)
- 10) 中垣 俊之* : 「繊毛虫の学習行動」、津田一郎教授退官記念一複雑系数理の新展開一、北海道大学 (2017-02)
- 11) 中垣 俊之* : 「あるアメーバ型細胞の作る細胞内輸送ネットワーク」、ナノ学会ナノ機能応用部会講演会、秋田県グランドパレス川端 (2016-12)
- 12) 中垣 俊之* : 「A ciliate memorizes the geometry of a swimming arena」、RIMS研究集会「集団ダイナミクスに現れる時空間パターンの数理」、京都大学数理解析研究所 (2016-10)
- 13) 中垣 俊之* : 「粘菌：生きたゾルゲル変換体の形作りと機能作り」、第67回コロイドおよび界面化学討論会、旭川市民文化会館 (2016-09)
- 14) 中垣 俊之* : 「粘菌、数理モデリング、共同研究」、数理で解き明かす森羅万象～小林亮とゆかいな仲間たちの研究会～、広島大学 (2016-08)
- 15) 中垣 俊之* : 「粘菌の形作りと機能作り～力学の視点から～」、電気学会 新しい原子分子組織化物質・材料創出に向けた光・量子ビーム応用技術専門委員会講演会、札幌市定山溪ビューホテル (2016-06)
- 16) 中垣 俊之* : 「原生物粘菌の構造物最適化設計法一用不用則なる適応能から一」、土木学会応用力学委員会主催第19回応用力学シンポジウム、北海道大学、札幌 (2016-05)
- 17) 中垣俊之 : “物質科学から生命知の基本アルゴリズムに向かつて”、北海道大学物質科学フロンティアを開拓するAmbitiousリーダー育成プログラム?東北大学マルチディメンジョン物質理工学リーダー養成プログラム共催合同シンポジウム、基調講演、北海道大学 (2016-03-17/18), 基調講演
- 18) 中垣 俊之 : 「繊毛虫の空間学習とその膜電位機構」、新学術領域研究「ゆらぎと構造の協奏」班会議、学習院大学 (2016-03-09)
- 19) 中垣 俊之 : 海外で研究実績を持つ研究者によるリレートーク、北海道科学英語発表・交流会、札幌市青少年科学館、札幌市 (2016-03-12)
- 20) 中垣 俊之 : 「オックスフォードで見上げた単細胞の底力」、北海道日英協会新年会講演会、札幌グランドホテル、札幌 (2016-01)
- 21) 佐藤 勝彦, “上皮細胞の集団運動”, invited talk, 第35回エアロ・アクアバイオメカニクス学会, 北海道大学 函館キャンパス 講義棟大講義室, 北海道 函館市 (2016-9)
- 22) 佐藤勝彦: ”上皮細胞の集団運動1”、基生研研究会「物理学は生物現象の謎を解けるか」、基礎生物学研究所 (NIBB) (2016-01)
- 23) 佐藤勝彦: ”上皮細胞の集団運動”、公開シンポジウム「ソフトマターを基盤とするバイオ系の構築」、首都大学東京 南大沢キャンパス (2016-01) 招待講演
- 24) 中垣 俊之 : 「粘菌 一その驚くべき知性一」、全国自治体病院学会、函館 (2015-10)、特別講演
- 25) 中垣 俊之: 「巨大細胞粘菌がつくる輸送ネットワークの構造と機能」、高分子学会北海道支部サマースクール、札幌 (2015-08)
- 26) 中垣 俊之 : 「単細胞に学ぶ問題解決法」、函館市産学連携「クリエイティブネットワーク」講演会、函館市函館国際ホテル (2015-06)
- 27) 中垣 俊之 : 「生き物の這う運動のバイオメカニクス」、第75回大阪大学機械工学系技術交流会、大阪大学吹田キャンパス (2015-05)
- 28) 中垣 俊之 : 「粘菌がつくる交通網一ノベーションにつながる情報処理一」、北海道室蘭栄高校スーパーサイエンスハイスクール情報講演会、北海道立室蘭栄高等学校、室蘭 (2015-12)
- 29) 中垣 俊之 : 「粘菌 一偉大なる単細胞が人類を救う一」、日本技術士会 北海道支部講演会、札幌市 (2015-10)
- 30) 中垣 俊之 : 「這行運動のバイオメカニクスと行動制御」、名古屋大学情報科学研究科創発システムセミナー、名古屋大学 (2015-07)
- 31) 中垣 俊之 : 「単細胞生物の賢さを探る」、第6回公開セミナーサイエンスインターハイ@SOJO(崇城大学主催)、崇城大学、熊本市 (2015-07)
- 32) 中垣 俊之 : 「単細胞って「単細胞」? 一見方を変えると見え方がかわる一」、TEDx Sapporo -Beyond the border-, 北翔大学 (2015-07)
- 33) 中垣 俊之 : 「粘菌一偉大なる単細胞が人類を救う一」、大阪大学サーチプロジェクト 知と感性のネットワークシリーズ クロージングトーク「アート&サイエンス『ニューコロニー/アイランド』のその先へ」、京阪電車なにわ橋駅アートエリアB1、大阪 (2015-06)
- 34) 中垣 俊之 : 「単細胞生物粘菌の賢さを探る一生命情報処理の物質的基盤一」、平成27年度 第1回油化学セミナー、東京 (2015-05)

c.一般講演 (国際学会)

- 1) T. Nakagaki* : “Introduction to physical ethology”, University of Bremen, Institute for biophysics SONDER-KOLLOQUIUM, University of Bremen, Dept of Physics, Germany (2016-09)
- 2) T. Nakagaki* : “Biomechanics of crawling locomotion in legged and limbless organisms”, Berlin Center for Studies of Complex Chemical Systems regular seminar, Berlin

PTB Institute, Germany (2016-09)

- 3) Y. Sato: "Stochastic chaos in a turbulent swirling flow," RIMS workshop on dynamical systems theory and its applications, Kyoto, Japan, (2017-06).
- 4) Y. Sato: "Stochastic bifurcation in random logistic maps," SIAM Conference on Applications of Dynamical systems, Snowbird, USA, (2017-05)

d. 一般講演 (国内学会)

- 1) 黒田茂 「環境との相互作用をもつ単純なゾウリムシ遊泳モデルにおける複雑分岐現象」日本応用数理学会 2017年 第13回研究部会連合発表会 (平成29年3月6-7日、調布市) (2017-3)
- 2) 黒田茂 「這行ロコモーションにおける動的歩容生成ミニマルモデル」日本応用数理学会 2016年度年会 (平成28年9月12-14日、北九州市) (2016-9)

e. 研究会・シンポジウム・ワークショップなど(学会以外)

- 1) 中垣 俊之*: 「単細胞生物から読み解くヒトの社会」、第26回先端科学移動大学 (北海道青少年科学文化財団主催)、旭川市科学館、Japan (2017-11)
- 2) 中垣 俊之*: 「単細胞生物から読み解くヒトの社会」、北海道青少年科学文化財団主催第26回先端科学移動大学 北海道立旭川北高校講演会、旭川北高校、Japan (2017-11)
- 3) 中垣 俊之*: 「粘菌の用不用則に倣った機能的形状の設計法」、岐阜大学応用数学物理コロキウム、岐阜大学、Japan (2017-07)
- 4) 中垣 俊之*: 「単細胞の知恵に学ぶヒトの知恵」、国立大学附置研究所・センター長会議 X ナレッジキャピタル「日本の研究、最前線」、グランフロント大阪北館1F カフェラボ、Japan (2017-06)
- 5) K. Sato*: "Left-right asymmetric cell intercalation drives directional collective cell movement in epithelial morphogenesis", International workshop on cellular dynamics, Hokkaido university, Sapporo (2017-05)
- 6) K. Sato*: "Direct observation of orientation distributions of actin filaments in a solution undergoing shear banding", 新学術領域研究「ゆらぎと構造の協奏:非平衡系における普遍法則の確立」第4回領域研究会, 東京大学本郷キャンパス, 東京 (2017-06)
- 7) Y. Sato: "Anomalous diffusion and intermittency in random dynamical systems," seminar at Tokyo Metropolitan University, Tokyo, Japan, (2017-06).
- 8) Y. Sato: "Noise-induced bifurcations in a random logistic map," Kyoto Dynamics Days: Random Dynamical Systems Theory and Its Applications, Kyoto University, Kyoto, Japan, (2017-04).
- 9) 中垣 俊之*: 「生物システムの輸送ネットワーク ~ 粘菌モジホコリの循環系を例に~」、大阪大学生命機

能研究科セミナー、大阪大学生命機能研究科 (2016-12)

- 10) 中垣 俊之*: 「単細胞生物の賢さを探る」、第25回先端科学移動大学、釧路市生涯学習センター (2016-11)
- 11) 中垣 俊之*: 「単細胞の賢さを探る」、北海道立釧路江南高校講演会、釧路江南高校 (2016-11)
- 12) 中垣 俊之*: 「単細胞生物の物理エソロジーに向かって」、九州大学理学院化学科セミナー、九州大学伊都キャンパス (2016-07)
- 13) 中垣 俊之*: 「単細胞生物の物理エソロジーにむかって」、中央大学理工学部生命科学セミナー、中央大学生命科学部 (2016-06)
- 14) 中垣 俊之*: 「生き物に学ぶ最適化設計」、パイオミメティック市民セミナー、北海道大学 (2016-04)
- 15) 佐藤勝彦, "Flow-induced phase separation in actin solutions", ダイナミックアライアンス G3 分科会, 北海道大学 フロンティア応用科学研究棟, 北海道 札幌市 (2016-12).
- 16) Kuroda, S. "Minimal model for crawling locomotion with dynamic gait generation", Patterns and Waves 2016, Aug 1-5, 2016, Sapporo, Japan. (2016-8)

4.6 シンポジウムの開催

- 1) 佐藤勝彦、中垣 俊之: "第二回アクティブ・ソフトマター研究会", 20人, 横浜国立大学、横浜 (2017年12月26日~2017年12月28日)
- 2) Y. Nishino, M. Nagayama, T. Nakagaki, S. Noro, K. Ueno, H. Aonuma, C. Li, M. Fujioka, T. Kimura, K. Otomo, Y. Sagara, A. Suzuki, Y. Iseya and S. RIES: "The 17th RIES-HOKUDAI INTERNATIONAL SYMPOSIUM on "柔"[ju] Joint with the 1st International Symposium of Dynamic Alliance for Open Innovation Bridging Human, Environment and Materials (Five-Star Alliance)", 130人, Chateraise Gateaux Kingdom Sapporo (Sapporo) (2016年12月13日~2016年12月14日)
- 3) 中垣 俊之: 「ソフトマター研究会」、100人、北大鈴木章ホール (札幌) (2016年10月24日~2016年10月26日)
- 4) 佐藤勝彦: "第一回アクティブ・ソフトマター研究会", 15人, 小樽市公会堂 2号室、小樽 (2016年11月14日~2016年11月15日)
- 5) 中垣俊之、佐藤勝彦、佐藤譲、黒田茂: International Workshop on Active Soft Matter and Ethology, 20人, 北大電子研セミナー室 (札幌) (2017年8月4日)
- 6) 中垣俊之、佐藤勝彦、佐藤譲、黒田茂: Mini-workshop on non-equilibrium system 2017, 20人, 北大電子研セミナー室 (札幌) (2017年9月13日)

4.7 共同研究

- a. 国内大学、研究機関との共同研究

- 1) 佐藤 勝彦、中垣 俊之：北海道大学 大学院工学研究科 折原 宏教授と「アクチン溶液のレオロジー」の共同研究。
- 2) 中垣俊之、國田樹、黒田茂：九州大学マスコアインダストリー研究所手老篤史准教授と「旋毛虫との空間記憶アルゴリズム」の共同研究(物質デバイス共同研究拠点課題)。
- 3) 黒田茂：明治大学研究推進員物部治徳博士と「真性粘菌変形体の多様な形態変形に関する自由境界問題モデリング」並びに「真性粘菌などの細胞運動モデルにおける自由境界問題による定式化」の共同研究(物質デバイス共同研究拠点課題)。
- 4) 中垣俊之、佐藤勝彦：横浜国立大学田中良巳准教授と「粘菌を用いた細胞運動レオロジーとアクチン動態」並びに「木のデザインに見る頑強性としなやかさの共存原理」の共同研究(物質デバイス共同研究拠点課題)。
- 5) 黒田茂：東北大学理学部内田就也准教授と「生物移動におけるメタクロナル波の力学モデル:ゾウリムシからムカデまで」並びに「実験と理論の共同による生物移動におけるメタクロナル波の発生メカニズムの解明」の共同研究(物質デバイス共同研究拠点課題)。
- 6) 中垣俊之、佐藤勝彦、黒田茂：広島大学理学研究科飯間信准教授と「環境に依存した微生物運動の計測及びモデル化」の共同研究(物質デバイス共同研究拠点課題)。
- 7) 中垣俊之、佐藤勝彦、黒田茂：広島大学理学研究科伊藤賢太郎助教と「粘菌行動の数理モデリング」並びに「粘菌輸送ネットワークの数理モデリング」の共同研究(物質デバイス共同研究拠点課題)。
- 8) 中垣俊之、佐藤勝彦、黒田茂：公立はこだて未来大学システム情報科学部櫻沢繁准教授と「インテリジェントゲルロボットの開発」の共同研究(物質デバイス共同研究拠点課題)。
- 9) 佐藤勝彦、中垣俊之：京都大学物質細胞統合システム拠点杉琢磨特任助教と「線虫の行動学」の共同研究(物質デバイス共同研究拠点課題)。
- 10) 佐藤勝彦、中垣俊之：琉球大学工学部國田樹助教と「単細胞生物ゾウリムシの学習能を生み出す行動知アルゴリズムの提案」の共同研究(物質デバイス共同研究拠点課題)。
- 11) 佐藤勝彦、中垣俊之：北陸先端科学技術大学院大学平塚祐一准教授と「空間の形状と微生物の運動に関する研究」の共同研究(物質デバイス共同研究拠点課題)。
- 12) 佐藤勝彦、中垣俊之：中央大学・法政大学研究員神谷律博士(東京大学名誉教授)と「クラミドモナスの行動学」に関する共同研究(一部は物質デバイス共同研究拠点課題)。
- 13) 佐藤勝彦、中垣俊之：蔵本由紀博士(京都大学名誉教授)と「縮約理論による物理エソロジーの展開について」の共同研究。

- 14) 中垣俊之：香川大学教育学部青木高明准教授と「数理地理モデリング」の共同研究。

b. 産業界等との共同研究

- 1) 中垣 俊之(国際高等研究所研究プロジェクト)：「ネットワーク科学」、代表者:郡宏(お茶の水大学)、2014~2016年度、4200千円

c. 国際共同研究

- 1) M. Fricker, T. Nakagaki, N. Jones and A. Pringle (University of Oxford (The Leverhulme Trust, Research Project Grant))：「The third mode of life」, 2015~2018年度, The Leverhulme Trust 財団の Research Project Grant による国際共同研究プロジェクト。
- 2) T. Nakagaki (大学共同利用機関法人 人間文化研究機構 総合地球環境学研究所)：「FS (機関連携型) 共同研究「ヒト・自然・地域ネットワークの再構築：ナラティブとアクションリサーチをつなぐ数理地理モデリング」代表 村山聡(香川大学教育学部教授)」, 2016~2018年度, 国内研究者16名、海外研究者12名からなる国際共同研究
- 3) 佐藤勝彦、中垣俊之：台湾 National Chiao Tung University の Ming-Chih Lai 教授と粘弾性方程式の数値的解法に関する共同研究。
- 4) Y. Sato, CEA, CNRS, France と気象データ解析に関する共同研究。
- 5) 中垣俊之：スウェーデン国、ルンド大学ハイナー・リンケ教授等と欧州共同体科学研究プロジェクト EU-FP7 "A Biological Agent Computing System"
- 6) 黒田茂、佐藤勝彦、中垣俊之：仏国クロード・ベルナール・リヨン第1大学ジャンポール・リュウ教授と細胞運動の力学測定に関する共同研究。
- 7) 佐藤勝彦、黒田茂、中垣俊之：米国カリフォルニア大学デービス校ロバート・ガイ准教授と数値流体力学による物理エソロジーの共同研究。

d. 外国人研究者の招聘

- 1) 英国オックスフォード大学植物科学科マーク・フリッカー准教授(2015年7月5日~8日)。
- 2) 独国パイロイト大学ヘルムート・ブランド教授(2015年9月8日~10日)。
- 3) 中国上海交通大学呂宝糧教授(2015年11月2日~4日)。
- 4) 米国ユタ大学数学科ジェームズ・キーナー特別教授(2015年11月1日~5日)
- 5) 独国パイロイト大学ヘルムート・ブランド教授(2016年08月22日~24日)(2017年09月12日~14日)
- 6) 米国ユタ大学数学科ジェームズ・キーナー特別教授(2016年08月01日~12日)

- 7) 独国マックスプランク協会フリッツハーバー研究所アレキサンダー・ミハイロフ教授 (2016年11月16日～18日)
- 8) 仏国クロードベルナル・リヨン第1大学ジャンポール・リュウ教授 (2017年6月15日～8月20日)
- 9) 独国ブレーメン大学ハンスギュンター・ドブレイナー教授 (2017年8月23日～8月27日)
- 10) 英国オックスフォード大学植物科学科マーク・フリッカー准教授 (2018年1月13日～2月3日) .

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) 中垣 俊之、基盤研究 B 一般、数理科学と生体生命情報科学との連携による生命知の基本アルゴリズムの探求、2014～2016年度、代表者
- 2) 中垣俊之: 科学研究費補助金 新学術領域研究「ゆらぎの構造と協奏: 非平衡系における普遍法則の確立」計画研究分担者, 平成25-26年度, テーマ: 非平衡定常状態におけるソフトマターのゆらぎとレオロジー, 代表者: 折原宏(北海道大学).
- 3) 佐藤 勝彦: 学術研究助成基金助成金 (基盤研究 (B)) 「上皮細胞の集団運動: 形態形成の基礎メカニズムの解明」、研究代表者、2017年度～2019年度.
- 4) 佐藤勝彦: 科学研究費補助金 新学術領域研究「ゆらぎの構造と協奏: 非平衡系における普遍法則の確立」計画研究分担者, 平成27 - 29年度, テーマ: 非平衡定常状態におけるソフトマターのゆらぎとレオロジー, 代表者: 折原宏(北海道大学).
- 5) 佐藤 勝彦: 学術研究助成基金助成金 (基盤研究 (C)) 「筋肉の自励振動: 心筋拍動のメカニズムに関する新しい視点」、研究代表者、2014年度～2016年度.
- 6) 佐藤讓: 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).
- 7) 佐藤讓: 研究分担者, 「ヒトの脳の形態形成から行動生成に至る発達のダイナミクス」, 科学研究費補助金 基盤 (S) No. 26220044, 日本学術振興会 (2014-2018).
- 8) 佐藤讓: 研究代表者, 「マウス全半球膜電位伝播波の甘利神経場モデルによる解析」, 科学研究費補助金 基盤 (C) No. 26520201, 日本学術振興会 (2014-2018).
- 9) 佐藤讓: 研究代表者, 「低次元の確率分岐の研究」外国人特別研究員, Dr. Thai Son Doan (Imperial College London/ベトナム科学アカデミー), 日本学術振興会 (2015-2017).
- 10) 佐藤讓: 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) 佐藤讓: 研究代表者, “Understanding the dynamics of atmospheric circulation”, PICS grant, LSCE, CEA, France, (2017-2020).
- 12) 佐藤讓: 研究代表者, London Mathematical Laboratory Fellowship, London Mathematical Laboratory, UK, (2017-2018).

b. 大型プロジェクト・受託研究

該当なし

4.9 受賞

該当なし

4.10 アウトリーチ活動

- 1) 中垣 俊之: NHK総合テレビ 2017年09月29日 関西地方限定のシリーズ「かんさい熱視線」において「愛しの粘菌 -身近にある生命の神秘-」なる番組が制作され、当研究室の物理エソロジー研究が紹介された。
- 2) 中垣 俊之: NHK総合テレビ 2017年09月16日 解説番組「時論公論」シリーズにて「イグノーベル賞と日本の科学研究」なる番組が制作され。当研究室の研究内容が紹介された。
- 3) 中垣 俊之: NHK総合 和歌山放送局 2017年08月26日 午後3:05-3:45に放映された番組「NENKIN QUEST 森の宝石といのちの輪」において当研究室の研究が紹介された。
- 4) 中垣 俊之: NHKラジオ第1放送 2017年08月24日 番組「先読み タ方ニュース」の「タ方ホットトーク」コーナーにて「イグノーベル賞受賞者に聞く〜2回受賞の粘菌〜」として15分インタビューを受けた。
- 5) 黒田 茂、佐藤 勝彦、中垣 俊之: ニコニコ生放送 2017年05月18日～2017年05月20日 「日本最大級の動画サービス「niconico」の「ニコニコ生放送」で、粘菌学者・南方熊楠の生誕150周年を記念した番組において、当研究室から、粘菌の様子が48時間にわたり生中継された。放送日時: 5月18日 (木) 14:00～20日 (土) 14:00 【粘菌コンピュータ】人類はどのように世界に広がった? 粘菌さんに教えてもらう生放送 ※番組ホームページ <http://live2.nicovideo.jp/watch/lv298013685>
- 6) 中垣 俊之: 日本経済新聞 2017年10月08日 日曜版 The STYLE の特集記事 (3頁) 「手のひらの科学」人々驚かすにて当研究室の粘菌研究が紹介された。
- 7) 中垣 俊之: フランス Le Monde 紙 2017年06月25日 LE MONDE SCIENCE ET TECHNOコーナーの記事「Le blob, cet étrange genie visqueux, ni plante, ni animal, ni champignon」にて当研究室の粘菌エソロジー研究が紹介された。

- 8) 中垣 俊之：週刊現代 2017年10月14日 特集記事「本当はすごい イグノーベル賞」にて当研究室の研究内容が紹介された。
- 9) 中垣 俊之：生活クラブ事業連合生活協同組合連合会「本の花束」402号(2017年4月3月号) 2017年04月01日～2017年07月01日 「子どもの文化を育む本 NO.717」として自著絵本「かしこい単細胞 粘菌」福音館書店(中垣俊之著、斉藤俊行絵、2015年)の紹介記事『『知的なるもの』って何?』が掲載された。
- 10) 中垣 俊之：毎日小学生新聞 2017年01月08日 「『きょうのなぜ?』欄で「粘菌ってどんな生物? 賢い自律分散方式」云々という見開き2ページの記事で、当研究室の粘菌研究が紹介された。」
- 11) 中垣 俊之：日刊工業新聞 2016年11月23日 「『深層断面』欄にて「イグノーベル賞 人を引きつけ深淵に誘う」という1ページの記事にて当研究室の研究フィロソフィーの一端が紹介された。」
- 12) T. Nakagaki：Die Presse (Austrian newspaper) 2016年06月12日 “Denken ohne Gehrinという1ページの記事で当研究室の粘菌研究の一端が紹介された。”
- 13) 中垣 俊之：社会をたのしくする障害者メディア コトノネ 19巻 2016年08月20日 「『ぶっちゃけインタビュー』欄にて「脳のない粘菌が迷路を解く」という6ページの記事で当研究室の粘菌研究の一端が紹介された。」
- 14) 中垣 俊之、佐藤 勝彦、黒田 茂：NHK総合テレビ「へんてこ生物アカデミー」 2016年04月01日 「午後7時半からの70分間の番組(全国放送)で、5-10分程、粘菌の自然知能に関する当研究室の研究内容が放送された。」
- 15) 中垣 俊之：新潮文庫「たけしの面白科学者図鑑 へんな生き物がいっぱい!」ビートたけし著 2017年02月01日 「全10節中の第9節「粘菌：単細胞だってなめんなよ」(pp. 213-236)にて研究内容が対談形式で紹介された。」
- 16) 中垣 俊之：国立大学附置研究所・センター長会議ホームページ 2016年11月30日 「インタビュー vol.25 「粘菌に「知性」はあるか——。単細胞生物に「人間らしさ」の起源を探る、孤高の研究」(文:竹林篤実 撮影:島田拓身)」
- 17) 中垣 俊之：国立情報研究所researchmap カバーストーリー「知のフィールドを拓く」 2016年08月01日 「<http://article.researchmap.jp/tsunagaru/2016/08/>にて「イグ・ノーベル賞2回受賞の科学者が、粘菌研究を通して見る心と未来」(文:古田ゆかり、写真:水谷充)」
- 18) 中垣 俊之：拙著「粘菌 偉大なる単細胞が人類を救う」が入試問題に利用された 2016年04月01日 「平成28年度愛知工業大学入学試験問題(国語)、平成28年度大分県立看護科学大学一般入試(総合問題)、平成28年度神奈川県立平塚高校入学選抜試験(特色検査問題)。」
- 19) 北海道大学webpage プレスリリース, 2017年7月10日, 「乱流の中に確率カオスを発見」(<https://www.hokudai.ac.jp/news/170710pr.pdf>)
- 20) 黒田茂 TBS 別冊アサ秘ジャーナル(2016年7月3日)