

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：17102

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2013～2017

課題番号：25103011

研究課題名（和文）非熱的に駆動されたバイオマターの非平衡動力学

研究課題名（英文）Non-equilibrium dynamics of bio-matter driven by non-thermal fluctuations

研究代表者

木村 康之（Yasuyuki, KIMURA）

九州大学・理学研究院・教授

研究者番号：00225070

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 86,500,000円

研究成果の概要（和文）：非熱的場により駆動されたバイオマターとそのモデル系のメソスケールのゆらぎと力学応答に関する実験的研究を行った。流れや揺らぎに対して多重のフィードバックで追従しながら計測を行うマイクロレオロジー測定系を開発し、生きている細胞内部や細胞抽出液のレオロジー計測を行った。その結果、細胞質は混みあいによりガラス化するが、細胞内部は代謝活性により流動化していることが明らかとなった。非熱的に駆動された非平衡流体である液晶電気対流とバクテリア懸濁液に関して、前者では拡散定数と非平衡度の関係を、後者では系の特徴的なサイズと相互作用源の濃度により、その揺らぎがガウス分布とレビ分布の間を変化することを見出した。

研究成果の概要（英文）：We experimentally study fluctuation and mechanical response in bio-matter and its model system driven by non-thermal field at mesoscopic scale. A new measurement method of microrheology which is able to measure the local mechanical properties of bio-matter even in flow and with large fluctuation is developed using multiple feedback method. This method is applied to living cells and cell extracts. It is revealed that the cytoplasm is vitrified by crowding, but the interior of the cell is fluidized by metabolic activity. We also study the fluctuation and dynamics of electro-convection in liquid crystals and bacteria bath as typical active fluids. In the former system, the relationship between the active diffusion constant and the degree of non-equilibrium is clarified. In the latter system, the distribution of fluctuation is found to vary from Gaussian to Levy with change in the size of the system and the concentration of bacteria.

研究分野：物性物理学

 キーワード：マイクロレオロジー 非熱的ゆらぎ フィードバックマイクロレオロジー 細胞 混み合い効果 液晶  
電気対流 アクティブ拡散

## 1. 研究開始当初の背景

生き物の最小単位である細胞の自律運動やその他の機能は熱的・非熱的に駆動された柔らかいバイオマター（生体物質）が担っているため、生命現象は非線形・非平衡力学過程を伴う。その動作原理を支配する普遍的な法則を究明することにより、生命現象の本質的理解を深めることは現代科学の重要な使命の一つである。例えば、細胞の力学的な性質にしても、従来考えられてきたように、単純に細胞骨格の平衡物性から直接的に推測することは困難であり、非平衡環境下における揺らぎと構造の協奏が細胞の機能発現に本質的な役割を果たしていると考えられる。

## 2. 研究の目的

申請者は、バイオマターの複合体が織りなす非線形・非平衡系の動力学を究明するための有効な手段として、メソスケールの揺らぎと力学応答を同時に観測する技法（active/passive マイクロレオロジー）を開発してきた。当該技法は、“揺動散逸定理の破れ”の大きさから非平衡環境下に置かれた系の非平衡度を定量検出することが可能な点で他に例のない特徴を有している。

そこで、本研究では、active/passive マイクロレオロジーを様々な非熱的場（例えば、細胞内で自発的に生成される力場など）により駆動されたバイオマターに適用し、メソスケールの揺らぎと力学的性質に関する実験的研究を行う。特に、バイオマターの複合体である細胞の力学的物性に焦点を当てつつ、細胞モデルと培養細胞の両者を用いて研究を遂行する。具体的には、強い多体相互作用が存在する非平衡系での揺らぎのダイナミクス、および非熱的に駆動されたガラス状物質としての細胞の内部環境の非平衡ダイナミクスの実験的研究を行い、これを記述する物理を確立するための知見を与えることを目指した。

## 3. 研究の方法

本研究課題では、マイクロレオロジー(MR)法を用いて、バイオマターとその複合体である細胞のメソスケールの力学的特性の測定を行う。その際に細胞内部を模した試料中に、力学場や熱的な場、化学的な場を人工的に形成し、これにより非熱的に駆動された非平衡環境下で測定を行う。このような制御された非平衡環境下におけるバイオマターの力学測定により、従来の平衡状態における巨視的な力学測定では得ることのできない、新たな知見を得ることで、新しい物理的な観点から生命理解を目指した研究を展開する。

木村（研究代表者）は、光ピンセット等で発生させた局所力学場の下で、多数の粒子を駆動し、流体力学相互作用がメソスケールの物体の集団運動にどのような影響を与えるかを実験的に明らかにする。また、制御された非平衡揺らぎが存在する媒質中でのア

クティブ拡散の定量的な理解を目指して、系の非平衡度を印加する電圧で制御可能な液晶電気対流中でアクティブ粒子拡散を実験的に解明する。

水野（研究分担者）は、非熱的に駆動されたガラス状物質としての細胞内部環境の理解を目指す。この際、コロイドガラスや細胞骨格からなる複合資料を自発的な力生成体（モータータンパク質、微生物）で駆動することで、非平衡な細胞内部環境のモデルシステムを調整する。この細胞モデルの非平衡度（揺らぎ）と力学的な性質は、光ピンセットやレオメータを用いて印加した力学外場に強く依存して変化する。これを系統的に観測することで、細胞内部環境の力学を支配する非平衡・非線形なメカニズムの理解を目指す。

## 4. 研究成果

### (1) 流体相互作用する駆動多粒子系が形成するクラスター構造の解明（木村）

流体中を運動する微粒子および微生物系では、流体相互作用に起因した非自明な集団運動や動的な構造形成がしばしば報告されている。本研究では、流体相互作用しつつ運動する微粒子系の単純なモデルとして、同一円周上を一定の駆動力を与えられて運動する多粒子系をリング光渦により実験的に実現し、この系で現れるさまざまな集団運動を実験および数値シミュレーションを用いて研究した。同径粒子系では、流体相互作用により自発的にクラスターが形成されるが、2粒子以上のクラスターが不安定なため、クラスターの形成と崩壊を伴う動的構造形成を示す。一方、異径粒子系では、そのサイズ比が臨界値を越えると動的クラスタから定常クラスターへの相転移が起こることを見出した。また、粒径サイズと同程度の空間拘束下では、2粒子クラスターが1粒子より速度が小さいために空間束縛がない場合のリズム運動と逆の特徴的な運動が現れることを見出した。これらマイクロ流体系でのアクティブ粒子を用いたモデル実験は、微生物における集団運動やマイクロ流路中での微粒子の能動的輸送に対して基礎的な知見を与えるものと考えている。

### (2) 液晶電気対流での粒子の運動（木村）

熱対流や生物対流中でのメソスケール粒子の運動は、定常的なエネルギー注入により形成される対流による非平衡揺らぎに駆動された運動として理解できる。このとき、長時間での粒子運動は拡散的となるが、その拡散定数はアクティブ流体の速度に依存して、エネルギー注入のない平衡系での分子拡散とは異なるものとなる。本研究では電圧で制御可能なアクティブ流体である液晶電気対流系を用いて、対流中での粒子の輸送現象を調べた。以下ではネマチック液晶中で1次

元の周期的対流ロールが発生するウィリアムズドメイン中での粒子運動をその例として取り上げる。低電圧下では、粒子はロール対流による往復運動をしつつ、1つのロール中をロール軸に沿って並進運動する様子が観察された。また、高電圧下で発生するロール構造が乱れる欠陥乱流状態では、ロールの組換えに従って軸と垂直方向に拡散的な運動を示すことがわかった。粒子の回転速度、拡散定数が印加電圧に対して単調に増加していくことがわかった。さらに、観測された拡散定数は平衡状態での粘性から予想される値の数百の大きな値を示した。観察された挙動はロール内での回転運動とロールを超えての確率的なホッピング運動を考慮したシミュレーションと定量的に良く一致した。さらに、非平衡度の高い、高電圧下で観察される3次元乱流状態において、蛍光粒子を用いて同様の非平衡拡散の実験を行い、その結果、この系を等方性乱流と見なしたとき、短時間の速度相関関数から得られる平均速度および相関時間を用いて予測される拡散係数と長時間での非平衡拡散定数が定量的に良い一致を示すことを明らかにした。

### (3) 多重フィードバック下のマイクロレオロジーによる細胞のガラス的挙動の観測(水野)

ソフトマターのメソスケールでのゆらぎや力学応答を観測する手段であるマイクロレオロジー(MR)法を用いた研究を推進した。MR法は、大別してコロイド粒子に外場を加えてその応答を観測する active MR、および、外場を加えずに自発的な揺らぎを観測する passive MR に分けられる。平衡状態では active MR と passive MR が等価な情報を与えるため、両者の差(揺動散逸定理の破れ)が系の非平衡性の指標となる。我々はこれを非平衡環境下で実行するために、流れや揺らぎに対して多重のフィードバックで追従しながら計測を行うシステムを開発した。当該システムを用いて生きている細胞内部や細胞抽出液のレオロジー計測を行った結果、細胞質は混みあいによりガラス化するが、細胞内部は代謝活性により流動化していることが分かった。しかも、生きている細胞内部環境がアレニウスの粘性上昇する strong glass former であるのに対して、代謝の失われた細胞抽出液は、fragility の大きなガラス形成挙動を示すことが分かった。

### (4) 非ガウスかつ非レヴィな非平衡揺らぎの統計分布の解析表現と現実系での検証(水野)

連続体近似が可能な巨視的スケールの物理量を観測する場合、熱平衡系における観測量の揺らぎはガウス分布になる。しかしながら、非平衡系における揺らぎは必ずしもガウ

ス分布に収束しない。その物理的起源が明らかになれば、分布の形状とその時間発展を解析することで、非平衡系の性質や振る舞いを理解できる。そのためには、従来の統計学の基礎的定理(中心極限定理)を超え、非平衡揺らぎを定量的に記述する新たな理論的枠組みが必要である。本研究プロジェクトでは、べき的な相互作用の和として得られる極限分布の新しい解析的な表現を見出した。この新しい極限分布は、系の特徴的なサイズと相互作用源の濃度により、ガウスとレヴィの間を連続的に接続する。我々は、この新しい非ガウス分布の解析的表現が、現実系(遊走微生物懸濁液やアクチン/ミオシンゲル)で観測される非平衡揺らぎを定量的に説明すること実験、理論、および数値シミュレーションを用いて明らかにした。

### (5) 分子モーターキネシンの非平衡エネルギー計測とその収支(水野・有賀)

キネシンは、細胞内で小胞体などの荷物を運ぶ生体分子モーターである。近年、この分子モーターのような、ゆらぎの大きく関わる小さい系でのエネルギー論を記述する非平衡等式が原田・佐々らによって提唱された。この等式により、速度のゆらぎと外力に対する応答を計測することで、系からの非平衡散逸流を定量できる。そこで我々は、高速フィードバック制御を導入した光ピンセット装置を用いた1分子計測手法を用いて、キネシンが荷物となるプローブ粒子を運ぶ際の非平衡散逸流を定量した。2状態マルコフ遷移モデルとランジュバンダイナミクスを組み合わせたモデルの解析を通じて、実験結果の評価も行い、キネシンの非平衡散逸流のエネルギー収支を明らかにした。

## 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16件)

木村康之、齊藤圭太、光の角運動量が誘導する微粒子の自律的ダイナミクス、査読有、レーザー研究、45巻、No. 4、(2018)、205-209. DOI: 10.2184/lj.39.886.

Kenji Nishizawa, Kei Fujiwara, Masahiro Ikenaga, Nobushige Nakajo, Miho Yanagisawa, Daisuke Mizuno, Universal glass-forming behavior of in vitro and living cytoplasm, 査読有, Scientific Reports vol. 7, (2017), 15143.

DOI: 10.1038/s41598-017-14883-y.

Kenji Nishizawa, Marcel Bremerich, Heev Ayade, Christoph F. Schmidt, Takayuki Ariga, Daisuke Mizuno, Feedback-tracking micro-rheology in living cells, 査読有, Science Advances, vol. 3, No. 9 (2017), e1700318. DOI: 10.1126/sciadv.1700318.

Yasuyuki Kimura, Hydrodynamically

Induced Collective Motion of Optically Driven Colloidal Particles on a Circular Path, 査読有, Journal of the Physical Society of Japan vol. 86, (2017),101003/1-7. DOI: 10.7566/JPSJ.86.101003.

Takashi Kurihara, Masato Aridome, Heev Ayade, Irwin Zaid, Daisuke Mizuno, Non-Gaussian limit fluctuations in active swimmer suspensions, 査読有, Physical Review E, vol. 95, (2017), 030601(R). DOI: 10.1103/PhysRevE.95.030601.

Tomohiro G. Noguchi, Yasutaka Iwashita, and Yasuyuki Kimura, Dependence of the Internal Structure on Water/Particle Volume Ratio in an Amphiphilic Janus Particle–Water–Oil Ternary System: From Micelle-like Clusters to Emulsions of Spherical Droplets, 査読有, Langmuir, vol. 33, (2017), 1030-1036. DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b03723.

Yuta Tamura and Yasuyuki Kimura, Two-dimensional assemblies of nematic colloids in homeotropic cells and their response to electric fields, 査読有, Soft Matter, vol. 12, (2016), 6817-6826. DOI: 10.1039/C6SM00929H.

Irwin Zaid and Daisuke Mizuno, Analytical Limit Distributions from Random Power-Law Interactions, 査読有, Physical Review Letters, vol. 117, (2016), 030602. DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.030602.

Yuta Tamura and Yasuyuki Kimura, Fabrication of ring assemblies of nematic colloids and their electric response, 査読有, Applied Physics Letters vol. 108, (2016), 011903. DOI: 10.1063/1.4939627.

Shogo Okubo, Shuhei Shibata, Yuriko Sasa Kawamura, Masatoshi Ichikawa and Yasuyuki Kimura, Dynamic clustering of driven colloidal particles on a circular path, 査読有, Physical Review E vol.92, (2015), 032303. DOI:10.1103/PhysRevE.92.032303.

Kentaro Takahashi and Yasuyuki Kimura, Dynamics of colloidal particles in electrohydrodynamic convection of nematic liquid crystal, 査読有, Physical Review E vol. 90, (2014), 012502/1-5. DOI: 10.1103/PhysRevE.90.012502.

Sayuri Tanaka, Yuma Oki, and Yasuyuki Kimura, Melting process of a single finite-sized two-dimensional colloidal crystal, 査読有, Physical Review E vol. 89, (2014), 052305/1-9. DOI: 10.1103/PhysRevE.89.052305.

David A. Head, Emi Ikebe, Akiko Nakamasu, Peijuan Zhang, Lara Gay Villaruz, Suguru Kinoshita, Shoji Ando, and Daisuke Mizuno, High-frequency affine mechanics and nonaffine relaxation in a model cytoskeleton, 査読有, Physical Review E vol. 89, (2014) 042711/1-5. DOI: 10.1103/PhysRevE.89.042711

Kuniyoshi Izaki and Yasuyuki Kimura, Hydrodynamic effects in the measurement of

interparticle forces in nematic colloids, 査読有, Physical Review E, vol. 88, (2013) 54501. DOI: 10.1103/PhysRevE.88.054501.

Yasutaka Iwashita and Yasuyuki Kimura, Stable cluster phase of Janus particles in two dimensions, 査読有, Soft Matter 9, (2013) 10694-10698. DOI: 10.1039/C3SM52146J

David A. Head and Daisuke Mizuno, Local mechanical response in semiflexible polymer networks subjected to an axisymmetric prestress, 査読有, Physical Review E, vol. 88, (2013) 022717/1-10. DOI: 10.1103/PhysRevE.88.022717.

〔学会発表〕(計 210 件)

木村康之、エキゾチックな相互作用を用いたコロイド構造体創成の試み、日本化学会分散凝集の学理構築への科学と技術戦略研究会(招待講演)、2018年。

有賀隆行、Nonequilibrium Energetics of Single Molecule Motor, Kinesin-1、62nd Annual Meeting Biophysical Society、2018年。

水野大介、Non-Gaussian limit fluctuations in active swimmer suspensions、アクティブマター研究会 2018(招待講演)、2018年。

木村康之、光を用いたソフトマターのミクロ物性測定と制御、量子エレクトロニクス研究会(招待講演)、2017年。

水野大介、細胞サイズと力学特性、2017年度生命科学系学会合同年次大会(招待講演)、2017年。

有賀隆行、Nonequilibrium Energy Dissipation from Molecular Motor kinesin、ISFSE2017、2017年。

池永匡宏、Universal Glass-Forming Behavior of Living Cytoplasm、ISFSE2017、2017年。

Fransisca Arianne Suzanne van Esterik、Mechanics of the Nucleus and Cell Body during Early Mouse Development: Implications for Developmental Biology、ISFSE2017、2017年。

西澤賢治、Actively-Fluidized Cytoplasm become Strong Glass Former、ISFSE2017、2017年。

池田豊和、3-dimensional tracking of colloidal particles by holographic microscopy、ISFSE2017、2017年。

菅真梨子、Switching of characteristic motion for swimming nematic liquid crystal droplets in concentrated surfactant solution、ISFSE2017、2017年。

齊藤圭太、Collective motion of hydrodynamically coupled colloidal particles driven by optical tweezers、ISFSE2017、2017年。

木村康之、Non-equilibrium fluctuation and self-organized structure in driven colloidal systems、ISFSE2017、(招待講演)、2017年。

菅真梨子、水中を自走する液晶液滴の運動、第7回ソフトマター研究会、2017年。

齊藤圭太、光駆動コロイド粒子の流体力学相互作用を介した集団運動、第7回ソフトマ

ター研究会、2017年。

高田哲弘、コレステリック液晶電気対流中でのコロイド粒子のアクティブ拡散、第7回ソフトマター研究会、2017年。

水野大介、Glassy dynamics of cell interiors studied with feedback-tracking microrheology、アクティブマターの概念で繋ぐ生命機能の階層性(招待講演)、2017年。

永尾渉、細胞競合現象におけるメカニクス、日本物理学会秋季大会、2017年。

荻原僚、応力印加下での濃厚コロイド懸濁液のマイクロレオロジー、日本物理学会秋季大会、2017年。

梅田勝比呂、The dynamics of Intracellular Environments during Cell-cycle progression、日本生物物理学会第55回年会、2017年。

①有賀隆行、Nonequilibrium energetics of kinesin、日本生物物理学会第55回年会、2017年。

②池永匡宏、Universal glass-forming behavior of living cytoplasm、日本生物物理学会第55回年会、2017年。

③Fransisca Arianne Suzanne van Esterik、Mechanics of the Nucleus and Cell Body during Early Mouse Development: Implications for Developmental Biology、日本生物物理学会第55回年会、2017年。

④西澤賢治、Molecular crowding glass driven by metabolic activity in cells、日本生物物理学会第55回年会、2017年。

⑤菅真梨子、自走する水中油滴の運動、第68回コロイドおよび界面化学討論会、2017年。

⑥木村康之、液晶電気対流中でのコロイド粒子のアクティブ拡散、第68回コロイドおよび界面化学討論会、2017年。

⑦木村康之、Dynamics of rotating particles controlled by structured light、新学術領域第4回領域研究会(招待講演)、2017年。

⑧齊藤圭太、光駆動粒子系のリズム運動、日本物理学会第72回年次大会、2017年。

⑨菅真梨子、自己推進液晶液滴のダイナミクス、日本物理学会第72回年次大会、2017年。

⑩棚町昂平、生体高分子ゲル中を遊走する微生物による非熱的揺らぎ、日本物理学会第72回年次大会、2017年。

⑪有賀隆行、キネシンの非平衡エネルギー計測と解析、日本物理学会第72回年次大会、2017年。

⑫西澤賢治、非熱的に駆動された細胞内部の混み合い状態、日本物理学会第72回年次大会、2017年。

⑬池永匡宏、細胞内力学の生体高分子込み合い依存性、日本物理学会第72回年次大会、2017年。

⑭水野大介、FDT violation and Non-Gaussian Glassy Dynamics in jammed and active cell interior、ジャムドマターの非ガウス揺らぎとレオロジー(招待講演)、2017年。

⑮水野大介、FDT Violation and Non-Gaussian Glassy Dynamics in Active systems、Workshop

on “Stochasticity and Fluctuations in Small Systems”、(招待講演)、2016年。

⑯水野大介、非平衡系としての生き物の揺らぎと力学特性、東大物性研機能物性セミナー(招待講演)、2016年。

⑰水野大介、Non-Gaussian glassy dynamics in living cells and cytoskeletons、International Workshop on “Hydrodynamic Flows in/of Cells”、(招待講演)、2016年。

⑱本田菜月、Mechanical properties of cytoskeletal networks measured by dual-feedback microrheology、第54回日本生物物理学会年会、2016年。

⑲有賀隆行、Non-equilibrium dissipation of kinesin、第54回日本生物物理学会年会、2016年。

⑳梅田勝比呂、The dynamics of Intercellular Environments during Cell-cycle progression、第54回日本生物物理学会年会、2016年。

㉑西澤賢治、Intercellular Crowding mechanics driven by athermal force、第54回日本生物物理学会年会、2016年。

㉒水野大介、非平衡媒質中における非ガウス揺らぎと異常拡散、異常拡散現象をめぐる最近の進展、(招待講演)、2016年。

㉓水野大介、Non-Gaussian limit distribution out of truncated power-law interactions、One-day meeting on non-Gaussian fluctuation、(招待講演)、2016年。

㉔本田菜月、Dual-feedback microrheology in cytoskeletal networks、APS March meeting 2016、2016年。

㉕本田菜月、多重フィードバックによる細胞骨格のマイクロレオロジー計測、第5回ソフトマター研究会、2015年。

㉖木村康之、エキゾチックな粒子間相互作用によるコロイド構造体の形成、第5回ソフトマター研究会、(招待講演)2015年。

㉗水野大介、Rheology and fluctuations in active system、3rd east asia joint seminar on statistical physics、(招待講演)2015年。

㉘水野大介、Microrheology in cells under dual feedback control、The first International Symposium of “Cell Composition”、(招待講演)2015年。

㉙水野大介、Microrheology towards the characterization of forces and mechanics in living cells、第26回CDBミーティング、(招待講演)2015年。

㉚木村康之、光で駆動されたコロイド粒子の集団運動、第66回コロイドおよび界面化学討論会、2015年。

㉛有賀隆行、Non-equilibrium energy measurement of molecular motor kinesin、ISFSE 2015、2015年。

㉜木村康之、Dynamics of Colloidal Particles in Electrohydrodynamic Convection of Nematic Liquid Crystal、ISFSE2015、2015年。

㉝木村康之、Collective Behavior of Optically Driven Particles on a Circular Path、ISFSE2015、

2015 年.  
54 西澤賢治、Microrheology Study of Molecular Crowding Effect in Cells、ISFSE2015、2015 年.  
55 本田菜月、Dual-feedback microrheology in cytoskeletal networks、ISFSE2015、2015 年.  
56 水野大介、Microrheology of Active systems、ISFSE2015、(招待講演)、2015 年.  
57 木村康之、非熱的に駆動されたコロイド粒子系のダイナミクス、揺らぎと構造の協奏第 2 回公開シンポジウム、(招待講演)、2015 年.  
58 高橋健太郎、液晶電気対流を用いた非平衡ダイナミクス、日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年.  
59 栗原喬、遊走微生物懸濁液の非平衡揺らぎの Levy 統計、日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年.  
60 西澤賢治、フィードバックマイクロレオロジーを用いた細胞内部の力学特性計測、日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年.  
61 本田菜月、フィードバックマイクロレオロジーによるソフトマターのゆらぎと応答の観測、日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年.  
62 水野大介、フィードバック MR による細胞骨格の力学挙動観測、領域横断研究会、(招待講演)、2014 年.  
63 水野大介、Microrheology in cells under dual feedback control、The 62th NIBB conference、2014 年.  
64 西澤賢治、細胞内力学特性に対する分子混み合い効果の影響、日本生物物理学会 2014 年会、2014 年.  
65 高橋健太郎、液晶電気対流による粒子輸送ダイナミクス、日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年.  
66 大久保省吾、光で駆動されたコロイド粒子の集団運動、日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年.  
67 栗原喬、遊走微生物が生み出す非平衡揺らぎの統計分布、日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年.  
68 西澤賢治、多成分高分子混み合いによる細胞内部のガラス的挙動、日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年.  
69 水野大介、マイクロレオロジーを用いた細胞内部環境の力学計測、「揺らぎと構造の協奏」第 2 回領域研究会、(招待講演)、2014 年.  
70 高橋健太郎、Dynamics of colloidal particles in electrohydrodynamic convection of nematic liquid crystal、International Conference in Asia (IUMRS-ICA) 2014、2014 年.  
71 大久保省吾、Collective behavior of the optically driven particles on a circular path、SPIE2014、2014 年.  
72 西澤賢治、Intracellular viscosity and the molecular crowding effect、9<sup>th</sup> Liquid Matter conference、2014 年.  
73 大久保省吾、流体相互作用する光駆動粒子系の示すリズム運動、日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年.

74 水野大介、揺動散逸定理を破る生き物の非平衡揺らぎの統計分布、日本物理学会第 69 回年次大会、(招待講演)、2014 年.  
75 高橋健太郎、液晶電気対流中に分散したコロイド粒子系の輸送と拡散、日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年.  
76 西澤賢治、細胞内部の粘性に対する多成分高分子混み合い効果の影響、日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年.  
77 木村康之、Microrheology of equilibrium and non-equilibrium complex fluids、Workshop on Non-Equilibrium Complex Fluids、(招待講演)、2014 年.  
78 有留誠、Non-Gauss athermal fluctuations in Bacterial bath、58<sup>th</sup> annual meeting of Biophysical Society、2014 年.  
79 Heev Ayade、Athermal Fluctuations of Probe Particles in Active Cytoskeleton Networks、58<sup>th</sup> annual meeting of Biophysical Society、2014 年.  
80 水野大介、Levy Statistics and dynamics in active cytoskeleton、15<sup>th</sup> SPVM National Conference in Davao、(招待講演)、2013 年.  
81 西澤賢治、Molecular crowding effects on intercellular mechanical environment、第 51 回日本生物物理学会年会、2013 年.  
82 水野大介、Nonlinear stress propagation, anisotropic stiffening, and nonaffine relaxation in cytoskeletal networks、第 51 回日本生物物理学会年会、2013 年.  
83 西澤賢治、Microrheology study of crowding effects on cell mechanics、ISMC2013、2013 年.  
84 Heev Ayade、Levy statistics and dynamics in active cytoskeleton、ISMC2013、2013 年.  
85 木村康之、Hydrodynamically induced collective motion of optically driven colloidal particles on a ring、ISMC2013、2013 年.  
86 水野大介、Levy Statistics and dynamics in active cytoskeleton、Taiwan International Workshop on Biological Physics and Complex Systems、(招待講演)、2013 年.

〔その他〕  
ホームページ等  
九州大学理学研究院物理学部門複雑物性基礎研究室 HP (木村グループ)  
<http://sm.kyushu-u.ac.jp/~kimuralab/>  
九州大学理学研究院物理学部門複雑物性基礎研究室 HP (水野グループ)  
<http://bio2.phys.kyushu-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木村 康之 (Kimura, Yasuyuki)  
九州大学・理学研究院・教授  
研究者番号：00225070

### (2) 研究分担者

水野 大介 (Mizuno Daisuke)  
九州大学・理学研究院・准教授  
研究者番号：30452741