

さいとう くによす  
齊藤 国靖理学部 准教授  
博士(理学) / 理学博士  
京都大学

## ホームページ URL

<http://www.cc.kyoto-su.ac.jp/~sithuny/>

## 主な研究業績

- Kuniyasu Saitoh and Takeshi Kawasaki, "Critical scaling of diffusion coefficients and size of rigid clusters of soft athermal particles under shear", *Front. Phys.* 8, 99 (2020).
- Kuniyasu Saitoh, Takahiro Hatano, Atsushi Ikeda, and Brian P. Tighe, "Stress relaxation above and below the jamming transition", *Phys. Rev. Lett.* 124, 118001 (2020).
- Atsushi Ikeda, Takeshi Kawasaki, Ludovic Berthier, Kuniyasu Saitoh, and Takahiro Hatano, "Universal relaxation dynamics of sphere packings below jamming", *Phys. Rev. Lett.* 124, 058001 (2020).
- Kuniyasu Saitoh and Brian P. Tighe, "Non-local effects in inhomogeneous flows of soft athermal disks", *Phys. Rev. Lett.* 122, 188001 (2019).
- Norihiro Oyama, Hideyuki Mizuno, and Kuniyasu Saitoh, "Avalanche interpretation of the power-law energy spectrum in three-dimensional dense granular flow", *Phys. Rev. Lett.* 122, 188004 (2019).
- Kuniyasu Saitoh, Norihiro Oyama, Fumiko Ogushi, and Stefan Luding, "Transition rates for slip-avalanches in soft athermal disks under quasi-static simple shear deformations", *Soft Matter* 15, 3487 (2019).
- Kuniyasu Saitoh, Rohit K. Shrivastava, and Stefan Luding, "Rotational sound in disordered granular materials", *Phys. Rev. E* 99, 012906 (2019).
- Kuniyasu Saitoh and Hideyuki Mizuno, "Anisotropic decay of the energy spectrum in two-dimensional dense granular flows", *Phys. Rev. E* 96, 012903 (2017).
- Kuniyasu Saitoh and Hideyuki Mizuno, "Enstrophy cascades in two-dimensional dense granular flows", *Phys. Rev. E* 94, 022908 (2016).
- Kuniyasu Saitoh and Hideyuki Mizuno, "Anomalous energy cascades in dense granular materials yielding under simple shear deformations", *Soft Matter* 12, 1360 (2016).
- Kuniyasu Saitoh, Satoshi Takada, and Hisao Hayakawa, "Hydrodynamic instabilities in shear flows of cohesive granular particles", *Soft Matter* 11, 6371 (2015).
- Kuniyasu Saitoh, Vanessa Magnanimo, and Stefan Luding, "A Master equation for the probability distribution functions of forces in soft particle packings", *Soft Matter* 11, 1253 (2015).
- Kuniyasu Saitoh and Hisao Hayakawa, "Quantitative test of the time dependent Ginzburg-Landau equation for sheared granular flow in two dimensions", *Phys. Fluids* 25, 070606 (2013).
- Kuniyasu Saitoh and Hisao Hayakawa, "Weakly nonlinear analysis of two dimensional sheared granular flow", *Granular Matter* 13, 697 (2011).
- Kuniyasu Saitoh, Anna Bodrova, Hisao Hayakawa, and Nikolai V. Brilliantov, "Negative normal restitution coefficient found in simulation of nanocluster collisions", *Phys. Rev. Lett.* 105, 238001 (2010).
- Kuniyasu Saitoh and Hisao Hayakawa, "Motion of a free-standing graphene sheet induced by a collision with an argon nanocluster: Analyses of the detection and heat-up of the graphene", *Phys. Rev. B* 81, 115447 (2010).
- Kuniyasu Saitoh and Hisao Hayakawa, "Simulation of depositions of a Lennard-Jones cluster on a crystalline surface", *Prog. Theor. Phys.* 122, 1081 (2009).
- Kuniyasu Saitoh and Hisao Hayakawa, "Rheology of a granular gas under a plane shear", *Phys. Rev. E* 75, 021302 (2007).

## キーワード

## 分子動力学計算、非平衡統計力学、ジャミング転移

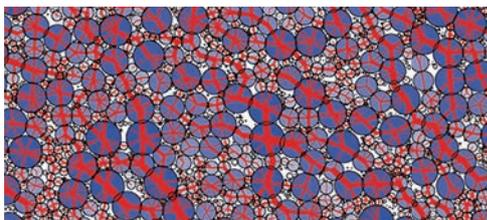
## 研究テーマ Research theme

## 粉粒体など散逸粒子系の分子動力学計算と非平衡統計力学

## 概要 Overview

粉粒体をはじめ、コロイド、エマルジョン、泡など、巨視的な粒子の集りは「散逸粒子系」と呼ばれ、人々の生活に欠かせない物質であり、産業界でのニーズも高く、工学的な応用研究が大切です。特に、化学的な状態変化を除けば、レオロジーやメカニクスなど、その力学特性を理解することが最重要課題の一つです。これまで実験室などで力学特性を調べる研究が進められてきましたが、近年はコンピューターを使って粉粒体の全粒子の運動をシミュレーションで調べる手法が確立しています。これは「分子動力学計算」と呼ばれ、実験での測定が難しかった粉粒体のミクロな現象を精密に調べられるという利点があります。また、散逸粒子系を物理学として理解しようとする動きもあり、従来の統計力学や数値物理学を発展させた「非平衡統計力学」という学問分野が確立してきました。

本研究では、粉粒体をはじめとする散逸粒子系のマクロな力学特性を、個々の粒子が従うミクロな物理法則に基づいて理解することを目指しています。そのために、分子動力学計算を駆使し、工学的にも重要な様々なレオロジー試験やメカニクスのコンピューターシミュレーションを行っています。また、全粒子の位置や速度といった大量のデータを解析し、非平衡統計力学の観点から複雑な力学特性を解明しようとしています。例えば、圧縮した粉粒体が剛性を獲得する「ジャミング転移」という現象があり、粘性率など力学特性を測るパラメータの幾つかが臨界的な発散を示します。そこで、分子動力学計算で剪断によるレオロジー試験を再現し、ジャミング転移に伴う降伏応力の発生と、粒子速度の乱流的な統計則との関係を明らかにしました。また、降伏を引き起こすミクロな応力ネットワークの組み換えをコンピューターで計算し、確率論的な遷移率によって力学応答を予測することにも成功しています。さらに、粉粒体の音波特性と粒子間摩擦の関係や、降伏状態における雪崩の統計則も明らかにしており、最近ではジャミング転移点近傍における臨界緩和と固有振動の孤立モードの関係、相関長の発散と拡散係数の臨界スケーリング、粘弾性の統一的理解、および応力の非局所的な構成則などの成果があります。



分子動力学計算による散逸粒子系のコンピューターシミュレーション。粒子の色は粒径の大きさを表し、赤い実線は計算した応力鎖の大きさを表しています。

## 応用分野 Application areas

本研究の特長は、散逸粒子系の動きをコンピューターシミュレーションで再現し、レオロジーやメカニクスなど力学特性を理論的に予測することです。粉粒体など散逸粒子系を扱う現場において、これら「再現」と「予測」が活用されることを期待しています。例えば、製薬や食品加工など粉粒体を扱う様々な工学プロセスを分子動力学計算で再現すれば、試験に必要な機材や試料にかかるコストを大幅に削減できるかもしれません。また、理論的な予測に基づいた、全く新しい商品開発の可能性もあります。

## 共同研究等へのニーズ Need for joint research

分子動力学計算や非平衡統計力学はあくまで理論的な研究手法であり、実際にある多様な物理的要因の全てを考慮している訳ではありません。従って、研究成果を実用に移すには、実物を使った実験や試験が必要不可欠です。これを可能にする大学や企業(製薬や食品関連など)の研究機関との共同研究へのニーズは非常に高いと言えます。なお、本研究ではこれまでに、海外ではデルフト工科大学とトゥエンテ大学、国内では東京大学、京都大学、大阪大学、名古屋大学との共同研究実績があります。