

平成21年6月4日現在

研究種目： 若手研究（スタートアップ）  
 研究期間： 2007～2008  
 課題番号： 19840027  
 研究課題名（和文） 粉粒体媒質のガラス化とその力学的非線形応答に関する実験的研究

研究課題名（英文） Experimental study about glass transition of granular media and its nonlinear mechanical response

研究代表者 稲垣 紫緒（INAGAKI SHIO）  
 京都大学大学院・理学研究科・研究員（科学研究）  
 研究者番号：20452261

研究成果の概要：粉粒体のように、離散的な媒質の巨視的な物性はその媒質の形成過程（粒子配置）に強く依存し、連続体記述における定量的な議論に至っていない。我々は、粉粒体の静力学における基礎方程式を確立することを目指す。数値計算によって、二次元粒子の充填過程を系統的に変化させることにより、ヤング率やポアソン比といった円盤媒質の巨視的な物性の変化を観察した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,350,000	0	1,350,000
2008年度	1,350,000	405,000	1,755,000
総計	2,700,000	405,000	3,105,000

研究分野：数物系化学

科研費の分科・細目：数理物理・物性基礎

キーワード：粉粒体物理・非平衡散逸系・充填問題・分子動力学計算・連続体記述

## 1. 研究開始当初の背景

粉粒体や泡沫状媒質、多孔質物質、ガラスなど、長距離秩序のない不均一な微視的構造を持つ媒質は多く存在する。そして、これらの媒質が、高圧・高密度な相（ジャミング相）においてガラス相やエイジング効果、記憶効果など、非常に似通った性質を示すことがわかっている。近年になって、これら共通の振る舞いを統一的な枠組みで理解しようと試みられてきた。力学的な特性はその微視的な構造に強く依存し、巨視的な振る舞いを理解予測するのに微視的構造の理解が不可欠である。本研究において我々は、粉粒体の立場からこの問題に取り組む。

## 2. 研究の目的

粉粒体は粒子同士の衝突によって常にエネルギーを散逸し続けるため、流動的な状態を保つには、外的駆動によって常にエネルギーを供給し続けなければならない。ひとたびエ

ネルギーの供給を止めれば瞬時にエネルギーを失い、固体の状態に陥る。粉粒体における最も特徴的な性質の一つは、このように粒子が準安定な粒子配置で固化した場合の振る舞いである。媒質の巨視的な物性はその媒質の形成過程（粒子配置）に強く依存し、圧力や充填率などの状態量から一意的に決定できず、弾性体力学などでの定量的な議論に至っていない。我々の研究の最終的な目的は、粉粒体の静力学における基礎方程式を確立することである。

## 3. 研究の方法

(1) 2次元の円盤堆積層の実験における平均配位数の測定に関する困難：実際の物理実験において、カメラで円盤粒子の動きを観察する際に生じる、粒子間の接触判定に関する困難について研究を行う。平均配位数は、粒子配置の幾何学的特徴を表す最も基本的な量であり、これを正しく測定する方法を確

立することは非常に重要である。実際物理実験を行う際に、構成要素の粒子の半径が、実際には公称値の周りでわずかに分布しており、その誤差のせいで、粒子中心と公称値の半径が分かっているにもかかわらず、接触判定が正しく行えない。与えられた粒径分布に対して、接触点数を正しく見積もる手法を確率モデルを用いて考案する。さらに、得られた手法がどれくらい有効かを、離散要素法による数値計算で検証する。

(2) **粉粒体の巨視的媒質の履歴依存性** : 粉体媒質の最も興味深い問題の一つである、巨視的物性の履歴依存性について、離散要素法による数値計算を用いて研究を行う。円盤媒質の形成過程を系統的に変化させる手法を考案し、形成過程によって巨視的媒質がどのように変化するか、調べる。また、その際に円盤粒子の微視的構造の特徴と巨視的物性の関係についても調べる。

#### 4. 研究成果

(1) **2次元円盤堆積層の実験における平均配位数の測定に関する困難** : 粒径がある一定の分布をしているという仮定のもとで、接触している粒子同士が**接触していない、と間違ってみなされてしまう確率**を考えた。さらに、その確率モデルを拡張し、平均接触点数をより精度よく見積もる手法の考案に成功した。また、離散要素法を用いた数値計算でこの手法の有効性を検証した結果、従来の方法では**実際の平均配位数の10%程度あった誤差が1%程度まで改善**できたことがわかった。このような研究は測定の技術的な問題に関するもので、前例がない独創的な研究課題である。また、正しい平均配位数を知ること、連続体記述を試みる際に**定量的な議論**をするうえでも非常に重要である。

(2) **粉粒体の巨視的媒質の履歴依存性** : 我々は数値計算によって、二次元粒子の充填過程を系統的に変化させることにより、ヤング率やポアソン比といった円盤媒質の巨視的物性の変化を観察した。これにより、充填過程を定量的に評価するための系を実現したことになる。さらに、円盤粒子の接触力の空間相関を測定し、巨視的物性との相関も示した。また、実験的にも実現可能な系であることから、現在進行中の光弾性体による系での物理実験による検証も可能なことがこの系の利点でもある。また、この数値実験によって、粒子間の相互作用に摩擦がある場合の2次元粒子系において、ジャミング転移点の履歴依存性も陽に示された。ジャミング転移の履歴依存性については今までよく調べられておらず、これにより新たな知見が得られると期待できる。

#### 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2件)

- ① 稲垣紫緒, E. Kolb, P. Claudin, 平均接触点数を実験で測定するための確率的な手法、物性研究、88巻2号、269-272、2007、査読無
- ② Gary W. Delaney, 稲垣紫緒, Tomaso Aste, Fine tuning DEM simulations to perform virtual experiments with three-dimensional granular packings, Granular and complex materials (Lecture Notes in Complex Systems Vol.8), pp.169-185, 2007, World scientific, Singapore, ISBN 9789812771988、査読無

[学会発表] (計12件)

- ① 稲垣紫緒, E. Kolb, P. Claudin, 平均接触点数を実験で測定するための確率的な手法、第1回ソフトマター物理若手勉強会、宮島(広島県廿日市市)宮島ホテル まこと 2007年8月28日
- ② 稲垣紫緒, 円盤粒子系の平均接触点数の物理実験における推計手法、粉体工学会計算粉体力学グループ会、同志社大学(京都・今出川キャンパス)寧静館 2007年9月11日
- ③ 稲垣紫緒, E. Kolb, P. Claudin, 平均接触点数を実験で測定するための確率的な手法、日本物理学会 2007年秋季大会、北海道大学、2007年9月24日
- ④ 稲垣紫緒, 佐々真一, Characterization of force network of disk packings, Fukuoka International Workshop 2007 - Unifying Concepts of Glass Transition, 九州大学, 福岡、2007年11月23日
- ⑤ 稲垣紫緒, 佐々真一, Characterization of force network of disk packings, 塑性の物理: 破壊現象からのアプローチ、鳥取大学、2007年12月19日
- ⑥ 稲垣紫緒, 佐々真一, 二次元円盤粒子系における接触力ネットワークの特徴と巨視的物性の関係について、日本物理学会 2008年第63回年次大会、近畿大学本部(東大阪)キャンパス、2008年3月26日
- ⑦ 稲垣紫緒, 瀧ノ上正浩, 劉莉, 吉川研一, DNAの高次構造に依存したDNA切断パターン、日本物理学会 2008年秋季大会、岩手大学上田キャンパス、2008年9月21日
- ⑧ 稲垣紫緒, 大槻道夫, 佐々真一, Packing process dependence of elastic material property in granular media,

Frontiers of Glassy Physics、京都大学  
基礎物理学研究所、京都、2008年11月  
21日

- ⑨ 稲垣紫緒, 大槻道夫, 佐々真一、  
Packing process dependence of elastic  
material property in granular media、  
Unifying Concepts in Glass Physics IV、  
京都大学芝蘭会館、京都、2008年11月  
26日
- ⑩ 稲垣紫緒, 瀧ノ上正浩, 劉莉, 吉川研一、  
立体構造特異性の情報を得る数理モデ  
ルの提案、日本生物物理学会 2008年  
第46回年会、福岡国際会議場、2008年  
12月3日
- ⑪ 稲垣紫緒, 大槻道夫, 佐々真一、  
「History dependence of mechanical  
properties in granular system、  
Workshop on Statistical Physics of  
Active Matter、Institut Henri Poincare、  
Paris, France、2009年1月28日
- ⑫ 稲垣紫緒, 大槻道夫, 佐々真一、摩擦  
とジャミングと履歴、日本物理学会  
2009年第63回年次大会、立教大学、  
2009年3月28日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計0件)
- 取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ

<http://www.chem.scphys.kyoto-u.ac.jp/nonWWW/inagaki/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

稲垣紫緒 (INAGAKI SHIO)

京都大学・大学院理学研究科・研究員(科学  
研究)

研究者番号: 20452261