

平成 21 年 6 月 11 日現在

研究種目： 若手研究 B

研究期間：2007～2008

課題番号：19740233

研究課題名（和文） 高密度粉体の非線形レオロジーに関する数値的・理論的研究

研究課題名（英文） Theoretical and numerical study on the nonlinear rheology of dense granular matter

研究代表者

氏名（アルファベット）波多野恭弘（Takahiro Hatano）

所属機関・所属部局名・職名 東京大学・地震研究所・助教

研究者番号 20360414

## 研究成果の概要：

固体地球科学や化学工学などにおいて重要な、高密度粉体の流動を記述する法則（レオロジー）を理論とシミュレーションによって解明した。とくに、降伏応力発生に伴う 2 次相転移（ジャミング転移）に伴う臨界現象に注目することにより、高密度粉体レオロジーを臨界現象の理論で記述することに成功した。さらに粒子の協同運動を定量化し、その相関長がベキ的に成長していくこと、およびレオロジーへの影響を解明した。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
19年度	2,200,000	0	2,200,000
20年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	120,000	2,720,000

研究分野： 数物系科学

科研費の分科・細目： 物理学 数理物理・物性基礎

キーワード： レオロジー、粉体、離散要素法、ジャミング転移、非平衡・非線形物理学

## 1. 研究開始当初の背景

高密度粉体の流動を記述する法則（レオロジー）は、固体地球科学や化学工学などにおける応用上の重要性を持ちながら、これまで状況に応じた経験法則が知られているのみであり、原理的なことはほとんど分かっていなかった。その原因は、1. 非平衡多体系を記述する理論の不在、および、2. 粒子間相互作用の多様性、の二点にあった。

## 2. 研究の目的

本研究では上記二つの問題を切り分けることにより、粉体のレオロジーを多体系の統

計的性質として理解することを目指す。すなわち、粒子間相互作用については実験との定量的な一致が知られている標準的なモデル（離散要素法）を一貫して用い、そのレオロジー特性を大規模シミュレーションによって明らかにする。そして、そのレオロジーを支配する本質的物理過程を解明する。

## 3. 研究の方法

離散要素法による大規模シミュレーションを用いて、系の持つ統計的性質を明らかにする。密度とせん断率をパラメータとして系統的なデータを収集する。とくに平均的レオ

ロジーと、個別粒子の運動特性の係に注目して解析を行う。

#### 4. 研究成果

平成 19 年度において、系統的なシミュレーションにより、離散要素法モデルの示すレオロジー特性を幅広いパラメタ領域で明らかにした。とくに摩擦係数のせん断率依存性がシンプルなベキ法則で記述されることを発見した。これは地震学をはじめとする固体地球科学分野において重要な特性であり、粉体層が本質的に安定的なすべり方をするこの証拠となる。

平成 20 年度においては、高密度粉体レオロジーにおいて「ジャミング転移」という臨界現象の一種が本質的役割を果たしていることを突き止め、レオロジーが臨界現象の従う特別な数学で記述されることを発見した。さらに、粉体流における粒子の協同運動を世界で初めて定量化することに成功し、この協同運動がレオロジーに本質的な役割を果たしていることを明示した。

#### 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 5 件)

Takahiro Hatano, *Growing length and time scales in a suspension of athermal particles*, *Phys. Rev. E* 79, 050301(R) (2009).

Takahiro Hatano, *Scaling properties of granular rheology near the jamming transition*, *J. Phys. Soc. Jpn.* 77, 123002 (2008)

Takahiro Hatano, *Rheology of a dense granular material*, *J. Phys. Conf. Ser.* 89, 012015 (2007)

Takahiro Hatano, *Power-law friction in closely-packed granular materials*, *Phys. Rev. E* vol.75, 060301(R) (2007).

Takahiro Hatano, Michio Otsuki, and Shin-ichi Sasa, *Criticality and scaling relations in a sheared granular material*, *J. Phys. Soc. Jpn.* 76, 023001 (2007).

{ 学会発表 } (計 6 件)

波多野恭弘「粉体レオロジー、動的不均一、グーテンベルク・リヒター則」日本物理学会第 64 回年次大会シンポジウム「ジャミング転移」(立教大学、2009 年 3 月 28 日) 招待講演

T. Hatano, “The jamming transition: a new kind of phase transition?” Japanese-French Frontiers of Science Symposium (Shonan Village Center, 2009 年 1 月 24-26 日) 招待講演

T. Hatano, “Rheology, relaxation, and critical exponents at the jamming transition” Unifying Concepts in Glass Physics IV (Kyoto University, 2008 年 11 月 26 日) 招待講演

T. Hatano, “Dense granular rheology: from stable flow to unstable sliding” Frontiers of Glassy Physics (Kyoto University, 2008 年 11 月 20 日) 招待講演

T. Hatano, “Dense granular rheology: scaling laws and critical exponents” Dynamical Heterogeneities in Glasses, Colloids and Granular Media (Lorentz Center, Leiden, 2008 年 9 月 3 日) 招待講演

T. Hatano, “Rheology of a Dense Granular Material” in Unifying Concepts of Glass Transition (Kyushu University, 2007 年 11 月 24 日) 招待講演

{ 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〕

・日本物理学会若手奨励賞受賞  
（平成 21 年 3 月）

・新聞報道 1 件

（科学新聞 12 月 18 日付）

・招待講演 8 件

（うち国際会議 5 件）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

波多野恭弘

### (2) 研究分担者

無し

### (3) 連携研究者

無し