

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 辻 大輔

論 文 題 目 Relaxation dynamics of granular-heap structure  
under vertical vibration (鉛直振動下における粉体ヒープ構造の緩和  
ダイナミクス)

### 論文審査担当者

主 査 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授 桂木洋光

副 査 名古屋大学大学院環境学研究科 教 授 渡邊誠一郎

副 査 名古屋大学大学院環境学研究科 教 授 渡辺俊樹

副 査 金沢大学理工学域 准教授 隅田育郎

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、傾斜角を持つヒープ状（砂山状）粉体層の鉛直振動による形状緩和動力学について、実験・数値計算・モデリングの手法を総合して研究した成果を報告するものである。粉体ヒープの振動による崩壊は、地震により誘起される地滑りや太陽系固体天体表面での衝突励起地震によるクレーター形状緩和など、多くの地球惑星科学現象で見られる普遍的現象の一つである。特に天体表面でのクレーター形状緩和過程の解明は、近年盛んに観測が行われている太陽系小天体の表面地形史を正しく読み解くための重要な鍵になると考えられている。しかし、クレーターをはじめとした傾斜地形の振動による緩和の動力学過程は未だ十分に理解されていない。また、粉体ヒープの振動による形状緩和の動力学は、基礎物理的観点からも興味深い問題である。粉体ヒープの傾斜角は安息角と呼ばれる安定性の限界を持ち、安息角を越えた粉体ヒープは何らかの流動化を起こすことが昔からよく知られていた。しかし、安息角以下の傾斜角を持つ粉体ヒープにおいても振動等の外部摂動を加えることによりその形状は不安定化し、傾斜角の緩和現象が見られる。すなわち、粉体ヒープは重力の影響下で準安定状態であり、摂動により真の安定状態へ向けた緩和が促進されると考えられる。このような非平衡緩和の問題は現代物理学における中心的課題の一つである。以上で示したように、本研究で注目する系は、非常にシンプルなセットアップでありながら、地球惑星科学的応用と基礎物理学的側面の両方において重要な課題について取り組む格好の対象であると言える。本研究は、この問題に対して主に基礎物理過程を明らかにする姿勢に立ち、様々な手法を用いることによりその全貌解明を目指した意欲的取り組みである。

本論文は、全体で7章による構成となっている。第1章では粉体の一般的導入とともに、粉体流のレオロジーや振動粉体層の流動化に関する最近の研究成果についての包括的レビューが展開されている。続く第2章では、実験系の詳細な説明が与えられ、第3章に系統的实验により得られた成果とそれを説明する非線形拡散輸送モデルが導入・説明されている。特に、非線形拡散輸送モデルが実験結果を精度良く説明することが明らかにされている。しかし一方で、ヒープ内部の流動状態の詳細等については、実験およびモデルによる考察では限界があることも明らかにされている。そこで、更なる詳細を調べるために取り組んだ数値計算のセットアップが第4章で述べられ、数値計算で得られたヒープ内の流動状態の解析結果が第5章に報告されている。第6章では、これまで得られた結果をもとに、本研究で導入されたモデルの妥当性や限界、先行研究との関係、天体地形現象への応用の可能性などが網羅的に議論されている。最後の第7章では、結論がまとめられている。

本研究では、実験、数値計算、モデリング等の様々な手法を駆使することにより、従来明らかにされていなかった粉体ヒープの振動による緩和の様子全体の全体像を明確に描き出すことに成功しており、その完成度は高い。特に、時々刻々と緩和を続ける非定常粉体ヒープの動力学を支配する法則を緻密な解析と検討により明らかにしている本研究は、定常状態における動力学に注目しているこれまでの粉体流についての先行研究の多くとは一線を画するものとなっている。このように、粉体流の物理的研究の新たな方向性に先鞭をつけた本研究の学術的意義は大きい。今後、地球惑星科学関連の他、粉体工学などの様々な分野での応用展開も期待される。よって本論文の提出者である辻大輔氏は、博士（理学）の学位を授与される資格があるものと判定した。