

大学院教育支援機構 企業寄附奨学制度（DDD） 報告書

氏名	鈴木隆人
研究科・専攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻
修士/博士・学年	修士 2 年
支援企業名	オリエンタル白石

奨学金を得て行った研究の成果

研究の背景

皆さんは、砂やお米などの「つぶつぶの集まり」を研究する物理の分野があることをご存知でしょうか？物理学では、このような粒子の集まりを「粉体」と呼び、古くから研究が行われています。しかし、その性質はまだ謎が多く、液体や固体とは異なる不思議なふるまいを示します[1]。本研究では、その中でも特に興味深い「砂山の記憶現象」に注目しました。

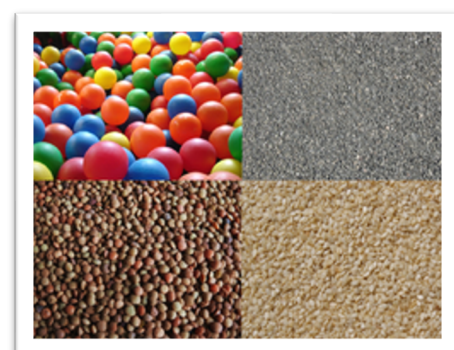


図 1 粉体の例（画像は Wikipedia より引用）。

砂山の記憶現象とは？

1999 年、ヴァネルらの研究によって、砂山の作り方によって底面にかかる力の分布が変わることが発見されました。彼らは、図 2 に示すように、二つの方法で砂山をつくりました。

- ① 漏斗を用いて一点に砂を落とす方法
- ② ザルを使って一様に砂を降らせる方法

どちらの方法でも、見た目はほぼ同じ砂山ができ上がります。しかし、驚くべきことに、底面にかかる力の分布は明確な違いが現れました。

コップに水を注ぐ場合、どのように注いでもコップ壁面にはたらく水圧は変わりませんが、砂山ではその形成過程が力の分布に影響を与えるのです。つまり、砂山は「どのように作られたか」という履歴を底面の力の分布として記憶しているのです。

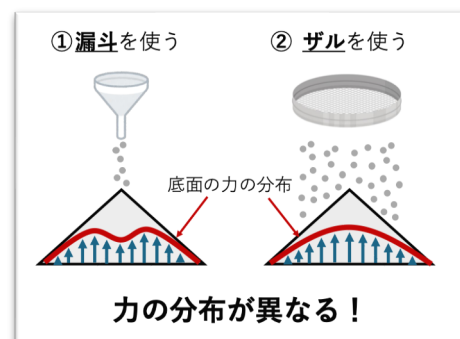


図 2 ヴァネルの砂山実験。漏斗とザルの 2 通りで砂山を作り、底面の力の分布が異なることを発見した。

研究のアプローチ

この記憶現象を理解するために研究を行いました。しかし、砂山は無数の砂つぶで構成されており、また、砂つぶは不規則な形をしていて、そのふるまいを調べるのは困難です。そこで、問題をシンプルにするために、「最も簡単な砂山のモデル」として、3つの円盤を床の上に積み上げた状態を考えました。このシステムに対して、数値シミュレーションを用い、以下の二つの成果を得ることができました。

- 成果 1：記憶の書き込み・読み出しの実現
- 成果 2：破壊と非破壊の転移現象の発見

以下では、それぞれの成果について説明をします。

成果 1 : 記憶の書き込み・読み出しの実現

まず、3つの円盤の積み上げにおいても、砂山のように「積み方」によって異なる力の釣り合い状態が実現できるかを調べました。シミュレーションの結果、見た目が同じに見える円盤の積み上げでも異なる力の釣り合い状態を作れることが判明しました(図3)。さらに、それらの積み上げに対して上から圧縮を加えたところ、見た目は同じでも崩れる力が異なることがわかりました。

この結果、3つの円盤の積み上げにおいて、半導体メモリのように「記憶の書き込み」と「読み出し」が可能であることが示されました。

成果 2 : 破壊と非破壊の転移現象の発見

さらに、円盤を床の上に積み上げ、真上から押し込んだときどのぐらいの力で崩れるのかを調べました。普通は、強い力を加えれば崩れると考えられますが、意外なことに、床との摩擦係数が約0.268を超えると、どれだけ力を加えても崩れないことがわかりました(図4)。この現象は、簡単な実験で確認できます。木の棒を3本用意し(ホームセンターで購入可能)、いろいろな床の上に積み上げて、上から押ししてみてください。床によって、崩れる場合と崩れない場合があることが実感できます。

現在、この現象についてより詳細な解析を進めている最中です。

産学協同の取組における成果

2025年2月3日、オリエンタル白石株式会社様との研究交流会にて、研究発表を行いました。発表後には、工学的な応用や土木分野との関連について、貴重なご意見をいただくことができました。理学の研究に取り組んでいると、社会への還元という視点が希薄になりがちですが、今回の交流を通じて、その重要性を改めて実感しました。

今後の展望

これまでの研究では、砂山の記憶現象を理解することを目指し、最も単純な場合として3つの円盤を積み上げた状態を考察しました。3つの円盤だけでも興味深い現象が数多くわかりましたが、砂山の記憶現象の理解にはまだ至っていません。

今後は、より砂山の現象へ近づくために、円盤の数を増やした場合の影響について調べていく予定です。さらに、粉体は摩擦現象とも深く関係しています。また、摩擦には未解明で興味深い問題が数多く存在します。今後は、こうした摩擦現象の研究にも展開し、より広い視点から粉体といった身近な物理現象を探求していきたいと考えています。

参考文献

- [1] 田口善弘, 「砂時計の七不思議: 粉粒体の動力学」, 中央公論新社, (1995).
- [2] L. Vanel et. al., *Phys. Rev. E* **60**, 5040 (1999).

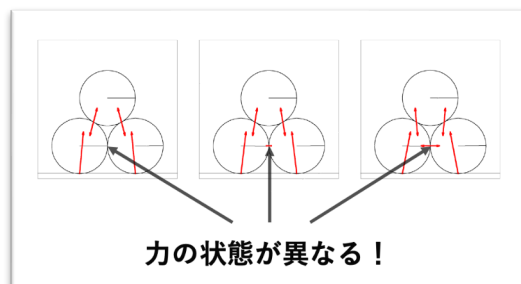


図3 シミュレーションで作成した円盤の積み上げ状態。赤い矢印は円盤にはたらく力を表す。配置は同じに見えるが、力の釣り合いが異なることがわかる。

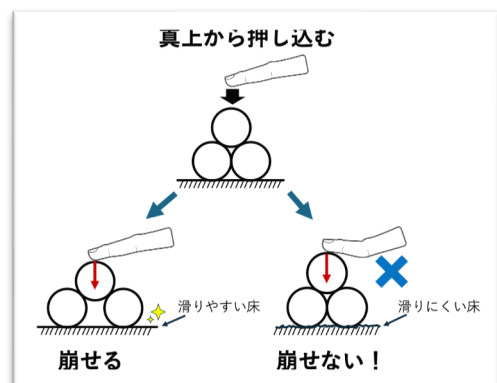


図4 破壊と非破壊の転移現象。真上から円盤を押し込むと、摩擦係数が約0.268未満では崩れるが、それ以上では崩れない。