

流体力学的相互作用を組み込んだ粉体なだれのパターン形成 Pattern formation of granular avalanches simulated by particle method with hydrodynamics interaction

新屋 啓文^{1*}, 粟津 暁紀¹, 西森 拓¹
NIIYA, Hirofumi^{1*}, Akinori Awazu¹, Hiraku Nishimori¹

¹ 広島大学大学院 理学研究科 数理分子生命理学専攻
¹Department of Mathematical and Life Sciences, Hiroshima University

なだれは雪崩に限らず、岩屑流や火砕流、土石流などの重力流や密度流といった大規模な斜面崩壊現象の類として取り扱われる。これらの流れは粉体と流体が混合した状態で斜面を下り、なだれ前端に大きな物質が集まり頭状の大きな膨らみ、なだれ後端に小さな物質が集まり尾状の細長い、頭部-尾部構造と呼ばれる共通の構造を形成することが知られている。そして、頭部-尾部構造を形成する要因として、空気抵抗と重力の比率が重要と考えられている。例えば、ポリスチレンのような低密度粒子を斜面上に流した場合、頭部-尾部構造が形成され、かつ、なだれ前端に波上のパターン（複数の頭部）が形成される [1]。さらに、形成される頭部の大きさは用いる粒径に依存すると報告されている。一方で、ガラスビーズのような高密度粒子を斜面上に流した場合（空気抵抗 \ll 重力）、頭部-尾部構造は形成されないが、低密度粒子流と同様に波状のパターンが形成される [2]。これらの実験結果を説明する理論的考察として、なだれを流体と仮定する流体モデルや、なだれを一つの大きな粒子と仮定する質量中心モデルなどが存在する。しかしながら、なだれを構成している物質はポリスチレンやガラスビーズのような粉体であり流体ではない。また、上記モデルで考慮されていない粉体間の相互作用が非自明な役割を果たしている可能性もある。そこで、我々は既存モデルの欠点を打開するため、以下の粒子モデルを提案する。

モデルは以下の3つを仮定する。まず、粉体は球状粒子（3次元）で表現され、2次元平面上のみを運動する。次に、粒子の回転を無視し、並進運動のみを考慮する。最後に、粒子に働く力として、(i) なだれの駆動力である重力、(ii) 排除体積効果を引き起こす粉体間の接触力、(iii) 流体から受ける抵抗力の3つを取り入る。

我々は上記モデルを用い、一定角度の斜面上に粒子を運動させることで、なだれ前端に生じる不安定化及びパターン形成に着目した。そして、用いる粒子数を2000と固定し、初期配置にi) 円型とii) 直線型の2種類を使用した。その結果、i) 円型の場合、粒径に依存せずに単体の頭部が形成され、なだれ内部に渦対の発生を確認した。一方で、粒径の増加は後方に位置する粒子を前方へ引き出す効果を高めている。ii) 直線型の場合、空気抵抗によりなだれ前端が不安定化し、波状のパターン（複数の頭部）が形成された。また、頭部の幅は粒径と線型の関係にあることが分かった。

References

- [1] Y. Nohguchi and H. Ozawa: *Phys. D* **238** (2009) 20.
- [2] O. Pouliquen, J. Delour and S. B. Savage: *Nature* **386** (1997) 816.
- [3] C. Hartel, E. Meiburg and F. Necker: *J. Fluid Mecha.* **418** (2000) 213.
- [4] Y. Nohguchi: *Ann. Glaciol* **13** (1989) 215.

キーワード: なだれ, パターン形成, 粒子法, 数値計算

Keywords: avalanche, pattern formation, particle method, numerical simulation