

## 定常的な表面流を持つ粉体積層における遅い運動の実験的研究

原研 環境科学部 大気環境研究グループ 小松 輝久  
Department of Environmental Science, JAERI

茨大 理学部 数理科学科 中川 尚子  
Faculty of Science, Ibaraki University

九工大 工学部 電気 那須野 悟  
Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology

粉体集団の見せる独特な振舞 [1, 2, 3] は、ここ 10 年来、物理学者の研究対象として注目を集めている。しかしながら、時には流体的に、時には固体的に振舞う粉体の現象を、驚掴みに記述しようとする、難しい問題が散在している [4, 5]。粉体の見せる時間の対数的に遅い緩和現象 [8, 9, 10] や履歴に依存した振舞 [8, 12] は、取り扱いが難しいものの例である。これらは流動化と固体化が複雑に入り組んで起こっている現象である。

我々は、流体的な振舞いと固体的な振舞いの切替えが起こっているような系を実験的に観察し、素朴に何が起きているのかを調べた。[11] このような目的の為に、流体的な振舞いと固体的な振舞いの切替えが、出来るだけ奇麗に起こっていると思われる系を調べるのが適している。そこで我々は「雪崩現象」に着目した。雪崩は、粉体積層の表面が、ある臨界角度以上に傾いた場合に起きる現象で、素朴に考えると表面に流動化した粉体層があり、下方に固体的な動かない層があると考えられている。ここでは、実験、観測を容易にするために、平行平板間に挟まれた準 2 次元的な系を考え、湿度の影響を受けにくく粒子間の引力が存在しないような十分に大きい（数 mm 程度）、サイズの揃った粒子集団を用いることにした。また、自然現象におけ

る雪崩は非定常現象で、間欠的に起きるのが常であるが、実験的に調べ易いように、定常的に表面流が起きるように斜面の上流から粒子を供給し続けた系を用いて、いわば「定常なだれ系」を構成した。

この実験系の観測から以下のことがわかった。

1. 一般に動いていないと信じられている表面から十分に深い層（素朴には固体層だと思われる）の粒子も実はゆっくりと動いている。すなわち、全く動かない固体層の上に流動層が乗っかっている」という雪崩の素朴な描像は不成立。
2. そのゆっくりした運動の速度プロファイルは深さの指数関数で表される。
3. その指数関数の特徴的長さは、粒子サイズでスケールされ、ほぼ粒子サイズのオーダーである。
4. 粒子形状は、球形のみならず、異方性を持つような粒子形状（細長い種）、ゴツゴツした形状（砂粒）でも指数関数的な速度が観測される。
5. 指数関数的な速度プロファイルは、粒子間の組替え運動が律速して起きていると考えられる。
6. この組替え運動は、一種の stick-slip 運動として観測される。

今後は、この stick-slip 運動が、表層まで、どのように変化していくかを考えることで、素朴に固体的、流体的と認識している粉体の振舞に迫る予定である。

## References

- [1] H.M. Jarger, S.R. Nagel & R.B. Behringer, Rev. Mod. Phys. **68** 1259 (1996).
- [2] 田口善弘, 砂時計の七不思議 (中公新書, 1995)
- [3] 早川尚男 & 那須野悟, 粉体の物理 (現代物理学最前線第1巻)
- [4] L.P. Kadanoff, Rev. Mod. Phys. **71** 435 (1999).

- [5] P.G. de Gennes, *Rev. Mod. Phys.* **71** 5324 (1999).
- [6] P.A. Cundall & O.D.L. Strack, *Geotechnique* **29** 47 (1979).
- [7] 田口善弘, *物性研究* **61** 1 (1993).
- [8] Knight, Fandrich, Lau, Jaeger & Nagel, *Phys. Rev. E.* **51** 3957 (1995).
- [9] Jaeger, Liu & Nagel, *Phys. Rev. Lett.* **62** 40 (1989).
- [10] Losert, Geminard, Nasuno & Gollub, *Phys. Rev. E* **61** 4060 (2000).
- [11] T.S. Komatsu, S. Inagaki, N. Nakagawa, & S. Nasuno, *cond-mat/0008086*.
- [12] Vanel, Howell, Clark, Behringer & Clement, *Phys. Rev. Lett.*
- [13] Howell & Behringer, *Phys. Rev. Lett.* **82** 5241 (1999).
- [14] Losert, Bocquet, Lubensky & Gollub, *Phys. Rev. Lett.* **85** 1428 (2000).
- [15] Mueth, Debregeas, Karczmar, Eng, Nagel & Jaeger, *Nature* **406** 385 (2000).