

粉体と摩擦の物理

那須野 悟¹九州工業大学工学部²

本講演で取り上げた「粉体」とは、なにも特別なものを意味するのではなく、ごく日常的に我々の身の回りに存在する砂や米粒のようなマクロな粒子が多数集合したもののことである。そのような粉体は、固体のように外力に抗することができる一方で、突然なだれを起こして液体のように流れだしたりする。粉体を構成する粒子はマクロであると述べたが、通常、我々が粉体粒子の集合体を巨視的な「粉体」として捉えているときには、そのなかには少なくとも 10^6 個もの粒子が含まれている。この数は、通常の統計力学で扱われる 10^{23} 個に比べるとかなり小さいが、全ての粒子の運動方程式を扱うのには十分に多すぎる数である。やはり何らかの形で、「粉体」の巨視的振る舞いを記述するための統計力学的手法が必要であることは明らかである。しかし、(1) 粉体の構成要素である粒子のサイズが大きいため熱的揺らぎの影響は無視でき、さらに、(2) 粒子間の相互作用は非弾性的衝突を通して行われる散逸的なものである、という点で従来の統計熱力学が相手としてきたミクロな原子・分子の集団とはだいぶ趣を異にする。このため、粉体に対して従来の統計熱力学的手法はそのまま適用することはできない。ところで、統計力学云々を議論する前に、そもそも、粉体の振る舞いというのは、少数の巨視的変数によって記述できるものなのであるだろうか？まず、そのことを明確にしておく必要がある。本講演では、粉体の層に剪断応力を加えたときの粉体の振る舞いに関する我々の最近の実験の結果を例にとり、この問題を議論した。詳しくは、文献 [1, 2, 3, 4] に譲るが、実験結果を見る限りにおいては、粉体の巨視的振る舞いは、確かに少数の巨視的変数によって記述できそうである。たとえば、ガラス球からなる粉体の層を2枚の板で挟んで、上の板をバネを用いて横方向にゆっくりと押すと、板の間にある粉体層が固化と流動化を交互に繰り返すことによって、上の板は静止 (stick) と滑り (slip) を交互に繰り返しながら横方向に動いていく。この上の板の stick-slip 運動は、粉体層の巨視的振る舞いを、粉体層から上の板に及ぼされるマクロな「摩擦力」という形で見たものであるが、その運動は少数の巨視的変数を使った現象論的モデルにより記述可能な決定論的で比較的単純な振る舞いを示した。よって、統計力学的に扱えそうであることは確かなようだが、現時点では具体的にどのようなにしたらよいのかは不明である。

ところで、剪断応力下の粉体層の振る舞いは、いま述べたように「摩擦」の問題とも密接に関連している。「摩擦」は、「粉体」と同様に、未だ物理的にきちんと理解されていない問題の一つである。摩擦の発生起源は、今のところまだはっきりとはしていないが、いずれにせよ、摩擦というのは、2つの滑り運動をする物質の接触面付近や2つの面間に存在する他の物質（潤滑膜）を構成する分子・原子集団のダイナミクスに起因する巨視的現象であることは間違いなく、これもまた、統計力学的扱いをなされるべき問題であろう。しかし、実際に表面付近の分子・原子のミクロな状態を十分にコントロールした上で、そこでなにが起きているのかを直接観測することはなかなか難しく、そのことがこれまで摩擦の研究の進展を阻んできた。一方、我々の粉体を用いた実験系では、マクロな摩擦の担い手は「巨大

¹Electronic address: nasuno@ele.kyutech.ac.jp²〒 804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1

な」粉体粒子であるので、実験におけるコントロールも容易であり、その振る舞いも容易に直接観察することができるという利点がある。実際、この利点により、再現性の良い実験が可能となり、我々は、stick-slip 運動が粉体層の流動化と固相化の繰り返しに関連していることや slip 中の摩擦運動の詳細を明らかにすることができたのである。もしかしたら、この剪断応力下の粉体層の振る舞いという全く新しい摩擦へのアプローチをすることにより、これまで見えなかった多彩な摩擦現象の背後にある普遍的側面も見えてくるかもしれない。

参考文献

- [1] 那須野悟:第 43 回物性若手夏の学校テキスト（物性研究掲載予定）.
- [2] S. Nasuno, A. Kudrolli and J. P. Gollub: Phys. Rev. Lett. **79** (1997) 949.
- [3] S. Nasuno, A. Kudrolli, A. Bak and J. P. Gollub: to appear in Phys. Rev. E.
- [4] グロリア・ラブキン: パリティ, Vol.13, No.2, (丸善, 1998) 36.