

粉体、摩擦そして破壊

九州工業大学 工学部 那須野 悟¹

摩擦力が発生する状況は実に多種多様である [1, 2]. このため、摩擦の発生メカニズムについては、それぞれの状況に応じて様々な描像が提案されている. 一方、実際に観測される摩擦現象は、しばしば個々のシステムの詳細によらない普遍的な振る舞いを示す [3]. 例えば、非常に多くの滑り系において、低速度で系を駆動するときに静止と滑りを交互に繰り返す運動 (“stick-slip”) が生じる. さらに、このような不連続な滑り運動は、通常、駆動速度を増していくとある臨界速度で滑らかな滑り運動へと変化する. このことは、摩擦のメカニズムになにか個々の系の詳細によらない普遍的なものが存在していることを示唆している. 実際、stick-slip を示す様々な系に対して現在提案されている摩擦の発生機構に関するモデルの多くに、ある種の共通性があることに気がつく. それは、2つのすべり運動する物質の間に何らかのミクロな接合が多数生じ、それらの接合が2つの物体の滑り運動を妨げる結果、マクロな摩擦力が現れるという点である. 例えば、2つの滑り運動する物質の間が非常に薄い潤滑剤の膜 (分子サイズの数倍程度の膜厚) によって隔てられている場合には、低速度で駆動しているときには、ずり応力に対して固体的に振る舞うようなミクロな硬い領域が層内に多数存在し、それらの接合領域が生成と崩壊を繰り返していると考えられている [3, 4]. また、物質の間に潤滑膜のような介在物が存在しない場合には、2つの物質は表面のミクロな凹凸の為にじつは非常にミクロな面積でしか接触しておらず、その接触点で凝着が生じるために摩擦が現れると考えられている [5, 6]. 物体を動かすには、これらミクロな接合を破壊する必要がある、それがマクロな摩擦力として現れるというのである.

このように、摩擦現象は、一種の「破壊」を伴う現象であると考えることができる. しかし、これらの破壊は、我々が、通常、破壊という言葉から連想する現象、つまり物質の構成要素間の結合が外から加えられた応力により連鎖的に切断されることによって亀裂が進展するという現象 (brittle fracture) というよりはむしろ介在物自体の動力的状態変化によるもう少し広い意味での破壊と考えるべきであろう. ちょっと極端な例だが、粒子間引力が全く存在しないさらさらに乾いた粉粒体に応力を加えた場合にも、摩擦や破壊という言葉がまさにぴったりの現象が色々生じることが報告されている (ただし、ここでいう摩擦や破壊とは粉体粒子サイズよりもずっと大きなスケールでの現象を指す). 粉粒体の層を介在物として通常と同様の摩擦実験を行うと、上に述べたような stick-slip 運動や滑らかなすべり運動への分岐、あるいは最大静止摩擦力の log 的時間依存など他の摩擦系と殆ど同じような現象が現れるのである [7]. また、もっと大きな垂直応力と剪断応力を加えると、一般に shear band と呼ばれる一種の割れ目のような狭い帯状の領域が形成されそれに沿って滑りが生じる [8]. これらの現象の一部は、外力による押しつけにより粒子間に見かけ上の引力が働いていると解釈すればたしかにある程度説明することはできるが、単に

¹ E-mail: nasuno@ele.kyutech.ac.jp

それだけではなくもっと面白い普遍的な物理がそこにあると著者は思っている。例えば、境界条件により強く制約された粒子集団のダイナミクスや応力集中のメカニズムあるいはエネルギー散逸のメカニズムなどの問題を解明することにそのような普遍的な部分が見えてくるのではないだろうかと期待している。

参考文献

- [1] 松川宏, 川端和重, 固体物理 **35** (2000) 437.
- [2] G.B.Lubkin, *Physics Today*, Vol.**50**, No.9 (1997) 17: 日本語訳, *パリテイ*, Vol.**13**, No.2, (1998) 36.
- [3] B.N.J.Persson, *Sliding Friction* (Springer-Verlag, 1998).
- [4] S.Granick, *Physics Today*, Vol.**52**, No.7 (1999) 26: 日本語訳, *パリテイ*, Vol.**15**, No.5, (2000) 11.
- [5] C.H.Scholz, *The Mechanics of Earthquakes and Faulting* (Cambridge Univ. Press, 1990).
- [6] F.Heslot, T.Baumberger, B.Perrin, B.Caroli and C.Caroli, *Phys. Rev. E* **49** (1994) 4973.
- [7] S.Nasuno, A.Kudrolli and J.P.Gollub : *Phys. Rev. Lett.* **79** (1997) 949; S.Nasuno, A.Kudrolli, A.Bak and J.P.Gollub : *Phys. Rev. E* **58** (1998) 2161; W.Losert, J.-C.Géminard, S.Nasuno and J.P.Gollub : *Phys. Rev. E* **61** (2000) 4060.
- [8] J.A.Åström, H.J.Herrmann and J.Timonen, *Phys. Rev. Lett.* **84** (2000) 638.