

バナナの皮の科学

北里大学医療衛生学部医療工学科教授 馬淵 清資

1. バナナの皮の世界へ

工学部の学生だった40年前から、一貫して人工関節の潤滑設計を研究課題としてきた。その中でヒトや動物の関節の潤滑の仕組みについても調べていた。そうした生物の摩擦現象を対象とする分野、バイオトライボロジを論じた著書の中で、関節の潤滑の仕組みの解説をした際、軟骨からしみ出す関節液の働きによる滑りの良さが、バナナの皮の滑りを連想させると記述した¹⁾。それがバナナの皮の世界に足を踏み入れたきっかけである。

滑りがよいというのは、摩擦が低いということである。当時、世界中に知られたありふれた事実なので、どこかに摩擦測定の結果ぐらい公表されているだろうと、軽く考えていた。それでも少し気になっていたので、近年になってインターネットで飛躍的に増した調査力によって、検索を試みた。その結果、バナナの皮をグリースの代わりに船の進水に用いた実例²⁾とか、バナナの皮などの滑り易いゴミを路上に放置してはならないといったケンブリッジ市の条例³⁾といった事実があるものの、バナナの皮の滑りに正面から科学的に取り組んだ研究は見つからなかった。誰もいないならば、これを測定することは、バイオトライボロジ（生物摩擦学）の研究者としての責務である。自分で測ってみよう。そう思い立ったのは、十年ほど前のことである。

2. バナナの皮の摩擦測定

バナナの皮は、どのくらい滑りやすいのか。文学的な表現で言えば、ぎしぎし、ごつごつ、ざら

ざらなどの滑りの悪い尺度から、スキーやスケートの「つるつる」という滑りのよさの尺度まで、様々である。では、うどんを食べる時の、「のどごし」とバナナの皮のどちらがよく滑るのか。あるいは、すべすべの人肌と比べてどうか。そうした比較をするには、何か客観的な尺度、つまり、数字が必要になる。温度が30℃とか体重が60 kgといった数字である。

滑りのよさの尺度となる数字は、摩擦係数である。その数字が小さいほど滑りがよい。この数字を他の現象と比較すれば客観的な評価ができる。摩擦係数は、初等物理学レベルの実験で測定できるのだから、求めるのはたやすいはずだ。実験材料はバナナの皮だから、いくらでも手に入る。

そこで、とりあえず卒論テーマに生物組織の摩擦測定という課題を掲げ、その中にバナナの皮の摩擦測定を含めようとした。しかし、誰も振り向いてくれなかった。仕方がないので、自分で実験することにした。研究室のスタッフや学生諸君は、妙な実験をやっていると思ったようだ。あまり周りの目は気にせず、新しい事実を明らかにすることの面白さに突き動かされて実験を進めた。幸い、関節機能を調べる目的で導入した摩擦測定装置が

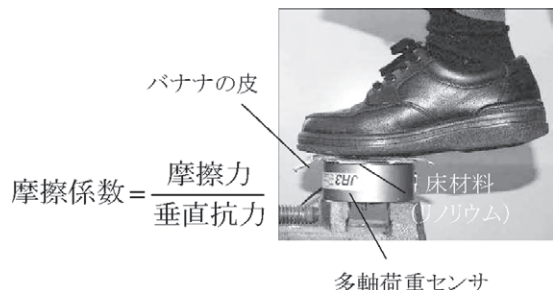


図1 荷重センサを用いた摩擦測定の様子

実験室に豊富にある。それを使えば、踏んだ瞬間の摩擦を測定できるはずだ。そこで実際に試みたのは、多軸荷重センサの上に床材を固定し、その上にバナナの皮を置いて、それを自らの足で踏んだ瞬間の垂直抗力と摩擦力を同時検出する方法である(図1)。学生諸君の論文作成の実験が一段落する春休みを狙って重点的に実験を進めた。

60回の測定の平均の結果、靴と床材料の間の摩擦係数は、0.412で、それが、バナナの皮を挟むと0.066に低下した(図2)。つまり、約6倍ほど滑りやすくなることがわかった⁴⁾。

この摩擦係数は、スキーやスケートと比べるとわずかに大きい。ただし、関節軟骨面の摩擦係数は、さらにかなり小さい値で、そこには届かなか

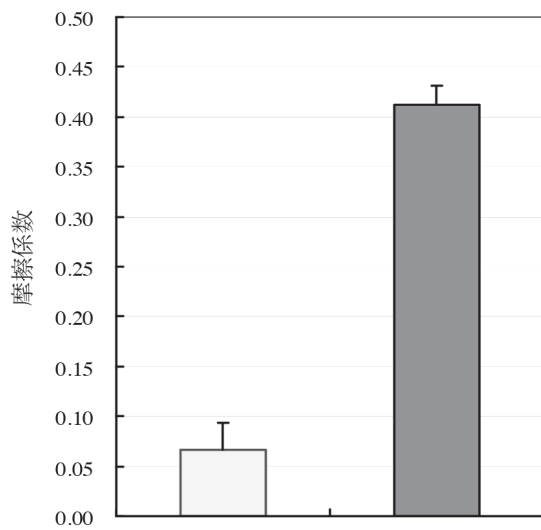


図2 バナナの皮と床材の摩擦係数⁴⁾

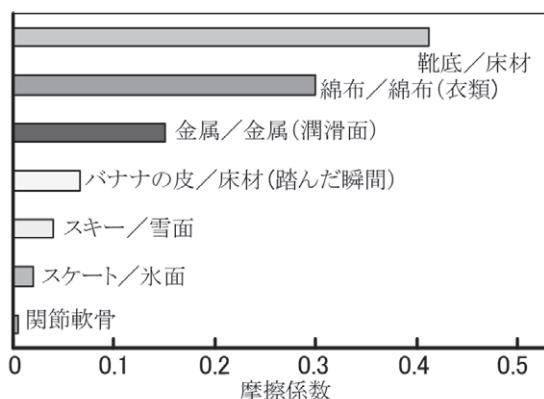


図3 いろいろな材料の摩擦係数⁴⁾

った(図3)。この摩擦係数で、はたして、ヒトは滑って転ぶのか。図4のように、踏み出した足の角度が、摩擦角を超えると、危険である。摩擦係数0.066の場合、摩擦角は3.8度であるから、歩幅が15cmを超えると危険である。バナナの皮が落ちていることに気づかずに踏めば、確実に転倒するのである。ちなみに、安全工学では、摩擦係数が0.1以下になると、9割の確率で転倒することが知られている⁵⁾。また、摩擦角より小さい歩幅を維持すれば、たとえ氷面でも転倒しない。スケートの初心者がリンクの上でよちよち歩きするのは、そのためである。

3. バナナの皮が滑る仕組み

バナナの皮が滑ることを客観的なデータとしたという意味で、新規性は十分である。しかし、結果がグラフ1枚では、論文が書けない。そこで、いくつかの実験を追加した。表裏を裏返すと摩擦が倍になること、乾燥させると、全く滑らなくな

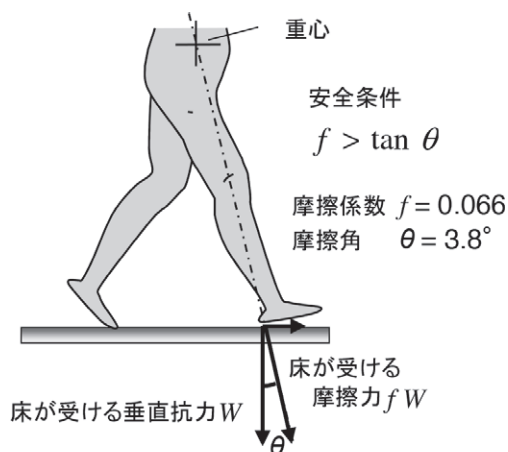


図4 歩行の安全条件

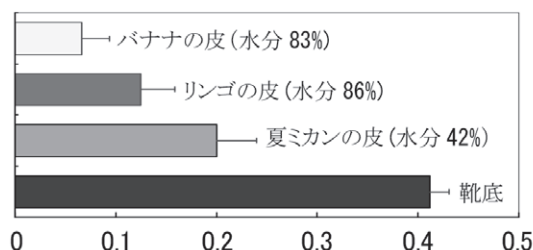


図5 果物の皮と床材の摩擦係数⁴⁾

ること、ミカン、リンゴなど他の果物の皮より、よく滑ることなどを明らかにした。これらのデータを基に、滑りの良さを支える仕組みを考察した。

乾燥すると硬く固化して滑りの良さが失われることから、バナナの皮の潤滑の主役は、油脂ではなく水分と推定した。しかし、バナナの皮より水分含有量の多いリンゴの皮は、バナナの皮より摩擦係数が大きかった（図5）。

バナナはリンゴより甘みが強いことが、成分の粘度を上げていると考えられた。また、バナナの皮の内側は、新鮮な状態では白くさらさらしているけれど、踏みつけた後には、褐色に変色する。この変化を詳細に調べるために、実体顕微鏡で観察した結果、新鮮面に見られる白い小胞は、踏みつけると、均一な粘液状に変化していることが見いだされた（図6）。そして、バナナの皮の内側にある小さな細胞が踏みつけることで破裂して、内部の粘液が放出され、それが、潤滑膜を形成するという小胞ゲル潤滑の仕組みが重要であると結論した（図7）。こうして、世界初のバナナの皮の滑りをテーマとした論文が完成した⁴⁾。

4. 粘液そして有機物

バナナの皮の粘液成分が、どのような組成なのか。それを正確に特定するのは難しい。高分子の構造を特定するのが難しい上に、湿潤状態での分析は困難だからである。放置しても異臭を発生しないことからタンパク質由来ではない。甘い果物ほどヌルヌルするといった状況証拠からは、糖類由

来であることが推察できる。植物の粘液として一般的なものはマンナンやフコイダンなどの多糖類である。多糖類という点で、関節液成分のヒアルロン酸などと共通である。

粘性を支える高分子は、すべて有機物である。有機物は、遺伝子の働きによって形成される。一方、現代科学技術は、生物に依存せずに有機物を作ることには、ほとんど成功していない。また、高分子の形成には有機物が不可欠である。結局、高い粘性を有する液体は、すべて生物由来である。一般の機械において用いられている工業用潤滑油も例外ではない。このことは、摩擦を下げて滑りをよくする潤滑技術のすべてが、生物の遺伝子の働きに依存していることを示している。

歩いている、何かぐにゃっとした物を踏んだとき、何かの生き物あるいはその排泄物を踏んだと思う。それは、生命体を形作る有機物が柔らかいからである。その柔らかさを支えるのも高分子である。高分子の分子鎖は、繊維を形成して、しなやかに変形できるから、液体では粘性、固体ではしなやかさを生む。だから、ぐにゃっとした何かを踏めば、そこに生命を感じる。他の生命は、あるときは愛らしく、あるときは有害で、またあるときは気持ち悪い。ぐにゃぐにゃした物には、そうした感情をいただく。

生物組織の組成は、すべて高分子材料で構成されているから、それを含む水分は粘液として存在する。したがって、バナナの皮だけが特別なので

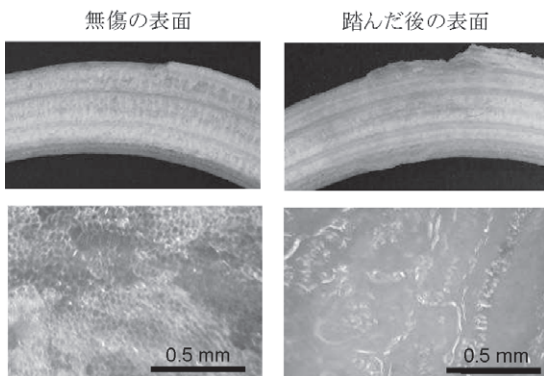


図6 バナナの皮の変化。下図は実体顕微鏡像⁴⁾

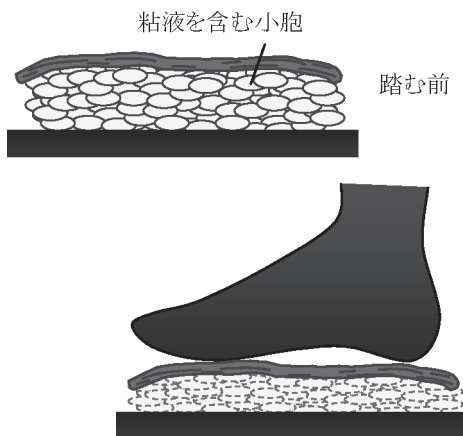


図7 踏みつけによる小胞の破裂⁴⁾

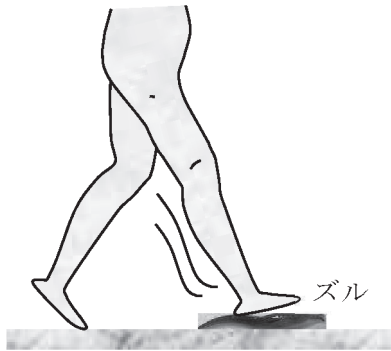


図8 ズルッときたら、それは生き物。

はなくて、道に落ちている濡れ落ち葉やイモムシの死骸など、生物組織の残骸を踏めば滑る。毛虫やヤスデが大量に電車の線路に落ちていると、電車が滑って運行できなくなる⁶⁾。踏めば滑るのは、バナナの皮だけが特殊なのではなく、生物の構造をなす有機物は、すべて踏めば滑るのである。バナナの皮だけが、かくも注目されるようになった理由は、バナナは簡単に皮を剥くことができることから、どの果物より食べやすく、携帯が容易で、街路や床に遺棄される可能性が高いからである。

5. 生命科学への道

生命に由来する有機物は、踏めば、すべて滑る。そこには、粘液が関与する。一方、無機物は粘液を形成できないので、ズルッと滑ることはない。有機物、高分子といった材料の性質がそこに発露するので、当然である。そこから、生物は、ズルッと滑る物という定義が導かれる。生物とは何か。ズルッと滑る物である。この生物の定義は、一見、ユニークではあるけれど、本質に近い。

動物の体は、基本構造が、有機物、高分子によって形成されている。細胞は、高分子を合成する際、糖鎖という繊維を紡いでいく。繊維は、炭素の並ぶ方向に強固な結合を形成することで、形成される。一方、主たる鎖の方向以外には、結合の手を伸ばさない。だからこそ繊維構造が維持される(図9)。

繊維が寄り合わされることで形成された三次元構造においては、布を見れば分かるように、しなやかに変形できる。布は、変形の際、繊維間の滑

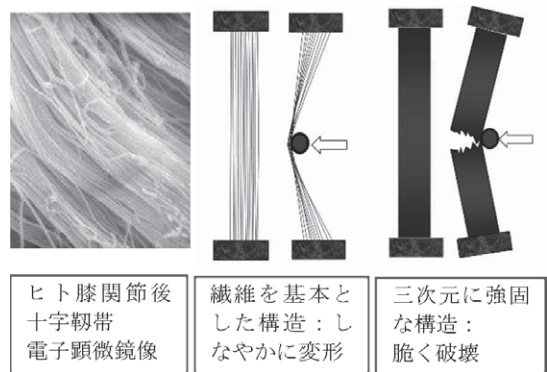


図9 繊維構造の変形

繊維によって形成された構造は、繊維間の滑りによってしなやかに変形できる。三次元に強固な無機物の固体は脆く容易に破壊する。

りが発生する。その滑りの良さが、形全体のしなやかさを発露させるために必要である。

しなやかな変形を必要とする衣服の素材は、すべて、生命に由来している。科学技術のなす物作りの技は、生命の作った有機物にすべて依存している。我々の身の回りにある工業製品の構成材料の中からプラスチックや繊維材料などの有機物をすべて除いたら、まともに機能する物はひとつもないということである。

食料についても、他の生物にすべて依存している。結局、科学技術の活躍する範囲は、衣食住の中でいうと、住の一部に限定される。科学技術は、驚くほど、わずかな範囲でしか、人類の福祉に役立っていないのである。

【参考文献】

- 1) 笹田直, 塚本行男, 馬淵清資: バイオトライボロジ, 産業図書, pp.66-67, (1988) .
- 2) Corsicana Semi-Weekly Light (Corsicana, Texas) - Jan 28, (1941) .
- 3) City of Cambridge, Code of Ordinance 12.16.100.
- 4) Mabuchi K, Tanaka K, Uchijima D, Sakai R: Frictional coefficient under banana skin. Tribology Online, 7 (3) : pp. 147-151, (2012) .
- 5) 長田久雄: 駅床での転びとトライボロジー. トライボロジスト, 56, 4, pp.199-204, (2011) .
- 6) (独) 森林総合研究所ホームページ
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kouho/mori/mori-52.html>