

摩擦力の理解を支援するシミュレーション教材

加藤 徳善

摩擦力を受ける物体の運動を扱う際には、静止摩擦力から動摩擦力への不連続な移行や摩擦力の向きの変化により、条件によっては運動の解析に複雑な場合分けを要し、運動理解に困難が生じることがある。そこで、多様な条件下での運動をコンピュータシミュレーションにより視覚化し、摩擦力を受ける物体の運動理解を支援する教材を作成した。その内容について報告する。

キーワード 摩擦, コンピュータシミュレーション, ICT, 物理教材

1 摩擦を含む運動の特徴と扱う際の課題

高校物理では、物体が滑っていないときにはたらく静止摩擦力、その大きさの上限としての最大摩擦力、および滑っているときにはたらく動摩擦力など、アモンソン・クーロンの法則¹⁾に基づく内容を学ぶ。大学入試においても摩擦を含むさまざまな問題が出題されており、摩擦は物理における重要な学習内容の一つである。

摩擦を扱う際には、以下の点に注意する必要がある。

- ① 静止摩擦力は、力のつり合いによってその大きさと向きが決まる。
- ② 静止摩擦力から動摩擦力への移行、および動摩擦力から静止摩擦力への移行はいずれも不連続であり、その移行条件には最大摩擦力が関与する。
- ③ 摩擦力の向きは、接している相手との相対的な運動を妨げる向きとなる。
- ④ 摩擦力は非保存力であり、摩擦力の仕事によって物体の力学的エネルギーは変化する。

①および②に関しては、静止摩擦力は物体が滑り出す直前には最大摩擦力となる。一方、滑っている状態から一瞬停止してそのまま静止し続けるためには、静止するために必要な摩擦力の大きさが最大摩擦力以下であることが条件となる。この条件が満たされなければ、物体は再び滑り出す。

③および④に関しては、図1に示すような、動いているベルトコンベア上の物体が受ける摩擦力に関する問題などにおいて、特に注意が必要である。例えば、ベルトの運動方向に摩擦力がはたらき、ばねの弾性エネルギーが増加する場合のように、摩擦力が正の仕事をすることもある。

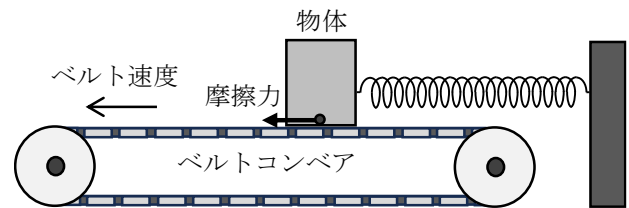


図1 ベルトコンベアに関する問題の例

このような理由から、摩擦を受ける物体の運動を扱う際には、物体が滑り出す条件や滑る方向が変化する条件、さらには力学的エネルギーの変化によって滑っている状態から停止する条件などを吟味し、慎重に場合分けを行って論じる必要がある。しかし、条件設定によっては場合分けが複雑になり、一般的な解を求めることが困難になる場合も多い。

例えば、図1のベルトコンベアの問題では、ベルトの速度が物体の運動に比べて小さい場合、運動の途中で物体がベルトに対して一瞬停止したり、ベルトに対する運動方向が変化したりすることがある。それに伴って摩擦力の扱いも変化するため、そのような変化が生じる位置や時刻を求めて場合分けを行う必要があり、多くの手数を要することになる。

このように、摩擦を含む問題では解を求めることが困難になる場合があるが、コンピュータシミュレーションを用いることで、さまざまな条件下における運動を視覚的に確認し、多様な場合を容易に試すことができる。そこで、摩擦力を受けて運動する物体についての理解を深めることを目的として、多様な条件を再現可能なコンピュータシミュレーション教材を作成した。

2 作成した教材の特徴

作成したシミュレーション教材は、水平面上に置かれた物体が摩擦力を受けて運動する場合を対象としたものである。図2に画面の例を示す。画面上に表示された手のアイコンを、PCではマウス操作により、タブレット端末などでは指によるタッチ操作により動かすことで、ばねを介して物体に弾性力を加えることができる。また、本シミュレーションは以下のような機能を備えている。

- ① 静止摩擦係数 μ 、動摩擦係数 μ' 、および物体の質量の値を変更できる。
- ② 物体にはたらく力のベクトルを表示し、力を視覚的に確認できる。
- ③ 物体を剛体として扱った際に、慣性力も含めた物体にはたらく力のモーメントのつり合いから、物体にはたらく抗力の作用点位置の変化を反映できる。また、物体が傾く場合にはメッセージが表示される。
- ④ 床面をベルトコンベアに切り替え、ベルト速度を変更できる。
- ⑤ 運動をスローで再現できる。

設定条件や物体にはたらく力を変えながら試行することで、物体に作用する力と運動の関係について多様な場合をコンピュータグラフィクスを通して確認でき、疑似的に体験することが可能である。

3 本教材の利用法

本シミュレーション教材は、Webページで公開しており²⁾、PCやタブレット端末などからイン

ターネットを介してアクセスすることで、いつでもどこからでも利用することができる。

ページ内の目次にある「I 運動と力の分野 6. 摩擦力 ～摩擦力を受ける物体の運動を調べてみよう～」のリンクからアクセス可能である。

本教材は JavaScript でコーディングされており、Webブラウザ上で直ちに実行され、特別な設定やソフトウェアのインストールは不要である。PCやタブレット端末に加えてスマートフォンでも動作するが、画面が小さいため、操作性の面ではやや制限がある。

また、本Webページには本教材以外にもさまざまな物理シミュレーション教材³⁾を掲載しており、授業等で幅広く活用することが可能である。

参考文献

- 1) ウィキペディア 「摩擦」
<https://ja.wikipedia.org/wiki/摩擦> (2026年1月30日参照)
- 2) 気づきのための物理シミュレーション
<https://www2.biglobe.ne.jp/norimari/physicsjs/index.html> (2026年1月30日参照)

URLのQRコード



- 3) 加藤 徳善 「シミュレーションを用いた主体的な活動を取り入れた学びー万有引力の分野での試みー」東北物理教育 第30号(2020) pp3-6

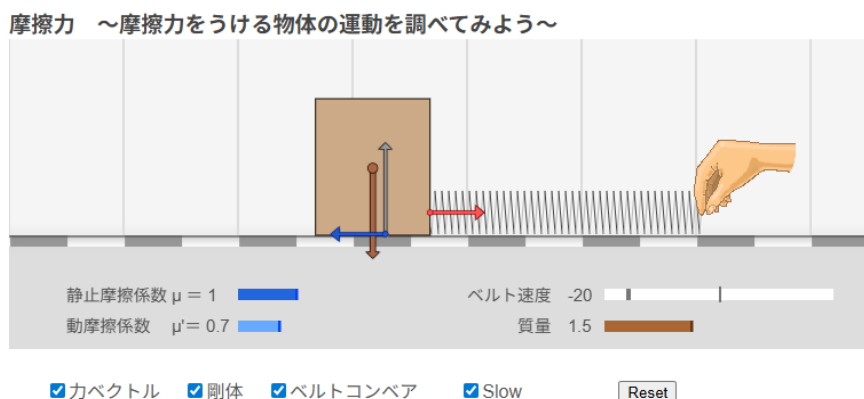


図2 シミュレーション教材の画面の例