

## 模型自動車を用いた摩擦実験の教材化

### —タイヤが滑りだすときの摩擦力の変化と摩擦係数の測定—

○ 野村法雄<sup>A</sup>, 中山迅<sup>A</sup>, 秋山博臣<sup>B</sup>

○Norio Nomura<sup>A</sup>, Hayashi Nakayama<sup>A</sup>, Hiroomi Akiyama<sup>B</sup>

宮崎大学大学院教育学研究科<sup>A</sup>, 宮崎大学教育文化学部<sup>B</sup>

【キーワード】 高校物理 I 摩擦 教材開発

#### 1. はじめに

摩擦は古代から、人類の生活と関係している。例えば、摩擦によって生じる熱を利用して、火をおこすなど、摩擦は古くから人類の生活の中で利用されてきた。また、ピラミッドを作るときには、石の下に丸太を敷き、摩擦を減らして運びやすくするなどの工夫をしていたと言われている。そして、摩擦について多くの研究も行われてきた。

その成果として、アモントンやクーロンによって発見された摩擦の法則がある。摩擦の法則とは、

- (1) 摩擦力は垂直抗力に比例する。
- (2) 摩擦力はみかけの接触面積に依存しない。
- (3) 動摩擦力はすべり速度に依存しない。

という3つである。この摩擦の法則は、実験によって導き出された経験則であり、例外も存在するが、広い範囲で成り立つ。

では、なぜ摩擦の法則が成立するのか。それを説明するものに、「凝着説」がある。物体の表面は、平らに見えても凹凸がある。そのため、見た目には面全体が接触しているように見えても、実際に接触しているのは、ほんの一部である。これをみかけ上の接触面積と区別して、真実接触面積という。真実接触面積は非常に小さく、そこでは、分子間力による凝着が生じる。この凝着が摩擦の原因であり、真実接触面積が垂直抗力に比例するために、摩擦力と垂直抗力が比例するのである。しかし、凝着説も定説になるまでには至って

おらず、現在も摩擦について様々な研究がなされている。

また、摩擦は、高等学校の物理 I (文部省 1999) で取り扱われ、生徒は摩擦法則について学習する。この摩擦法則は、実験から得られた経験則である。そのため、学習の際にも、実験が不可欠である。しかし、摩擦は物質の種類や表面の粗さ、速度、温度などが影響するため、実験をすることは容易ではない。これまでも、摩擦角を用いた斜面の実験などが考えられているが、斜面の傾きに応じて、垂直抗力が変化するため、計算式が複雑になり、学習者にとって理解しづらいものとなっている。そこで、高等学校での摩擦法則の学習に有用な摩擦の実験方法の開発に取り組んだ。

#### 2. 研究の目的

本研究の目的は、摩擦法則のうち、垂直抗力と摩擦力の比例関係を見いだせるように、摩擦係数の測定を目的とした実験を考案することである。

#### 3. 研究の方法

今回の実験は、図 1 のように、身近な玩具であるミニ四駆を用いて、タイヤから板にはたらく摩擦力を測定するものである。摩擦力の測定には力センサー(A)を用いた。固定したミニ四駆(B)のタイヤが回転するとき、タイヤが摩擦で板(C)を引っ張り、さらに板が

センサーを引っ張る。この力を力センサーで測定し、板にはたらく摩擦力とした。また、板(C)と台(D)の間の摩擦力を減らすために台と板の間に、直径 0.2~0.3mm のプラスチック製ビーズ<sup>1</sup>(E)を敷き、タイヤが板を引っ張る摩擦力のみを測定した。

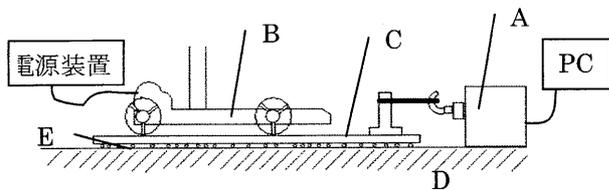


図 1. 実験装置の概要

一方、ミニ四駆自体の質量が約 80g あり、板にはたらく垂直抗力が大きすぎるため、そのままでは、ミニ四駆のタイヤは回転しなかった。そこで、図 2 のように、ミニ四駆を天秤の片方の端に固定し、その反対側の端におもり（カウンターバランス）を乗せ、天秤がつり合っている状態にして、ミニ四駆が板を垂直に押す力を 0 にした。その上で、ミニ四駆側に分銅を乗せていくことで、分銅の重さが垂直抗力となるようにした。

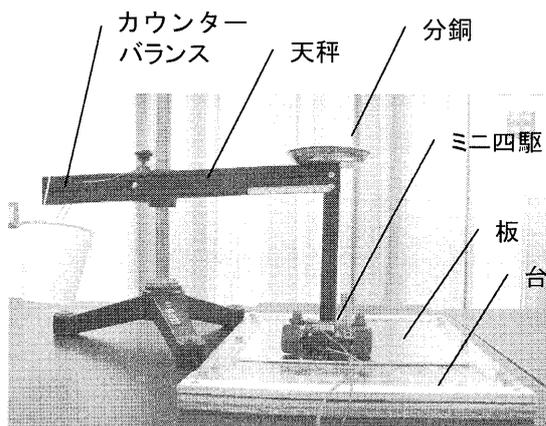


図 2. 実験装置の写真

#### 4. 結果

実験で得られた摩擦力の変化の一例を図 3 に示す。

電圧を徐々に大きくすると、摩擦力も徐々に大きくなり (a)、タイヤがすべりだした時

に、急に小さくなっている (b)。すべりだした後は、ミニ四駆が前後に振動し、摩擦力は一定にならなかった (c)。

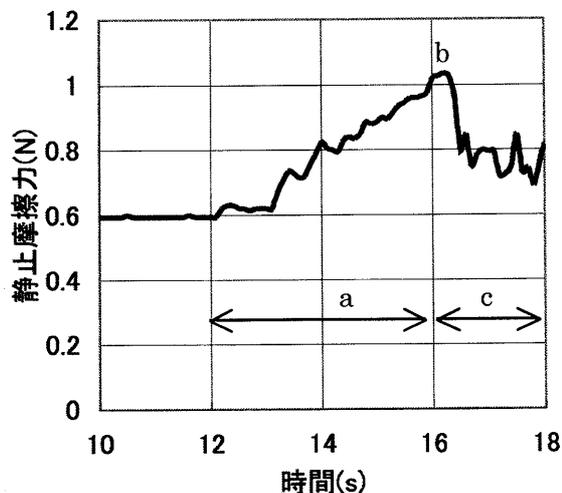


図 3. 摩擦力の変化の例

そこで、グラフからすべりだす直前の最大静止摩擦力を読み取り、縦軸に最大静止摩擦力を、横軸に垂直抗力を取り、グラフにプロットした。その結果を図 4 に示す。タイヤと板との状態を変えるために、タイヤにゴムタイヤとスポンジタイヤを使用し、板はアルミ板およびアルミ板に貼り付けたコピー用紙の上で実験した。また、グラフの傾きから静止摩擦係数を求めた。

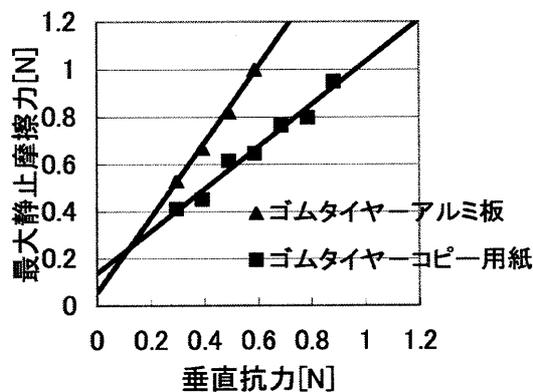


図 4. 最大静止摩擦力

図4の結果から、垂直抗力と最大静止摩擦力に比例関係が見られた。また、ゴムタイヤ-コピー用紙のように、多少ばらつきが見られ、原点から外れるものもあったが、おおむね原点近くを通っており、組み合わせによる違いも見られた。表1にまとめたように、ゴムタイヤ及びスポンジタイヤにおけるアルミ板とコピー用紙の静止摩擦係数には違いが見られ、どちらもアルミ板との組み合わせの方が、コピー用紙との組み合わせよりも、静止摩擦係数が大きかった。また、アルミ板との組み合わせでは、ゴムタイヤとスポンジタイヤでの違いは小さなものであった。

表1. 物質の組み合わせと静止摩擦係

組み合わせ	ゴムタイヤ-アルミ板	ゴムタイヤ-コピー用紙	スポンジタイヤ-アルミ板	スポンジタイヤ-コピー用紙
静止摩擦係数	1.59	0.893	1.64	1.24

次に動摩擦力の測定結果について述べる。動摩擦力を測定するためには、タイヤをすべらせなければならない。しかし、タイヤがすべっている状態では、ミニ四駆自体が前後に振動してしまい、動摩擦力を正確に測定することができなかった。そこで、振動している間の動摩擦力を平均し、最大静止摩擦力のときと同様に、動摩擦力と垂直抗力のグラフをかいた。その結果を図5に示す。

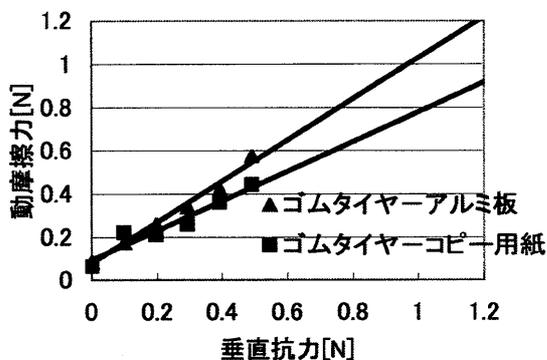


図5. 動摩擦力

また、グラフの傾きから動摩擦係数を求めた。表2に示すように、動摩擦係数では静止摩擦係数と同様に、ゴムタイヤ及びスポンジタイヤにおけるアルミ板とコピー用紙の動摩擦係数には違いが見られ、どちらもアルミ板との組み合わせの方が、コピー用紙との組み合わせよりも、動摩擦係数が大きかった。つまり、動摩擦においても、材質の違いによる動摩擦係数に違いが見られた。しかし、最大静止摩擦力と比較して、ゴムタイヤ-コピー用紙とスポンジタイヤ-コピー用紙の動摩擦係数に大きな差は見られなかった。

表2. 物質の組み合わせと動摩擦係数

組み合わせ	ゴムタイヤ-アルミ板	ゴムタイヤ-コピー用紙	スポンジタイヤ-アルミ板	スポンジタイヤ-コピー用紙
動摩擦係数	0.983	0.599	0.985	0.815

## 5. 考察

図4及び図5のグラフが原点を通っていないのは、ミニ四駆を固定している天秤にも摩擦があるため、その摩擦が垂直抗力に影響したと考えられる。

表1を見ると、アルミ板との組み合わせにおいて、ゴムタイヤとスポンジタイヤでの静止摩擦係数の違いは小さい。同様に、表2を見ると、アルミ板との組み合わせにおいて、ゴムタイヤとスポンジタイヤでの動摩擦係数の違いは非常に小さい。このように、アルミ板との組み合わせにおいて、ゴムタイヤとスポンジタイヤでの静止摩擦係数が近い値となるのは、ゴムタイヤやスポンジタイヤの材質が似ていることや、表面の凹凸にかかわらず、相手側のアルミ板の表面の凹凸がきわめて少ないことが原因であると推定される。

一方、コピー用紙との組み合わせでは、ゴムタイヤとスポンジタイヤとは静止摩擦係数にも動摩擦係数にも違いが見られ、スポ

ンジタイヤとの組み合わせの方が、摩擦係数が大きかった。このように、摩擦係数に違いが現れたのは、コピー用紙の表面の凹凸が大きく、ゴムタイヤとスポンジタイヤの表面の凹凸の違いが静止摩擦係数や動摩擦係数に影響を与えたためであると考えられる。

## 6. 結論

摩擦の実験において、静止摩擦力ははたらく物体には、動きが見られない。そのため、速度の変化から摩擦力を推定することはできない。したがって、静止摩擦力の測定は、運動の変化によってではなく、ばねはかりや力センサーを用いて力を直接測定しなければならない。

そこで、今回の実験では、まず、力センサーを用いることで、摩擦力を正確に測定できるようにした。

次に、ミニ四駆を用いることで、タイヤと路面との摩擦という身近な現象を例にとりながら、静止摩擦力の変化をグラフから読み取ることができるようにした。これによって、摩擦力がはたらく物体のつり合いについての理解を促す効果が期待できる。

日常的に見られるような、すべっている物体がいずれ止まるとい現象は、生徒にとっては、一見すると運動の法則に従っていないように思われやすい。しかし、このような運動も、摩擦力を考慮すると運動の法則に従っているものとして説明できる。ところが、その説明のためには、摩擦についての理解が不可欠である。

そこで、今回の実験を生徒自らが行き、自分たちで垂直抗力と摩擦力の比例関係を見いだすことに成功すれば、物体にはたらく垂直抗力と摩擦力の関係について実感を伴って理解し、摩擦の法則の意味を、より深く理解することになるであろう。

摩擦力は、生徒の日常生活において常に体験しながらも、その存在に気づきにくい力で

ある。このような実験を行った生徒が、身近な物体や、自分自身の体にはたらく摩擦力を実感し、考察できるようになれば幸いである。

## 7. 今後の課題

今回の実験では、最大静止摩擦力の測定及び、静止摩擦係数の測定に成功した。動摩擦力はすべり速度に依存しないとすると、同じ垂直抗力では、動摩擦力は一定になるはずである。

しかし、今回の実験では、ミニ四駆が振動するため、動摩擦力がすべり速度に依存しないというデータを得るには至らなかった。

今回は、平均値をとることで動摩擦係数を算出したが、今後は、ミニ四駆が振動するのをおさえ、動摩擦力が一定の値として得られるように改良することが課題である。

## 註

1. (株)ナリカの商品として発売されている「虹ビーズ」を使用した。

## 参考文献

- 田中久一郎、「摩擦のおはなし」、日本規格協会, 1985.
- パウデン・テイバー著, 曾田範宗訳, 「固体の摩擦と潤滑」, 丸善, 1961.
- 松川宏, 「摩擦の物理」, 日本表面科学会誌, 2003.
- 文部省, 高等学校学習指導要領解説 理科編・理数編, 大日本図書, 1999.