

タイトル	接触のしくみから摩擦の法則を学習しよう							
対 象	□専門家 ■大学生 ■中高生 □小学生 □未就学児童							
スタイル	■講義・実験ショー □ブース形式 □参加型							
難 易 度	準備(素材の入手, 作製のスキル)	簡単	1	②	3	4	5	難しい
	実演・説明(再現性)	簡単	1	②	3	4	5	難しい
概 要	<p>これまでの摩擦力の教育内容は、粗い水平面に載せた物体には摩擦力が働くという現象を説明した上で、摩擦の法則であるクーロン・アモントンの法則が成り立つことを説明するものである。しかし、この教育内容は、単に摩擦力があるという現象やクーロン・アモントンの法則が成り立つという事実のみを説明するものであり、摩擦力の発生機構に基づいた説明が与えられていない。</p> <p>摩擦の研究では、20世紀に入り、摩擦力の発生機構においては、平らで滑らかな面にも細かな凹凸があり、それらの凸部どうしが接触していることが明らかとなった。また、クーロン・アモントンの法則が接触の機構から説明できるようになった。</p> <p>そこで、物体を動かすために必要な力が荷重に比例し、見かけの接触面積に依存しないことを真実接触点の数と関係づけて理解するための発問、教材例を示す。</p>							
用意するもの	<p>実験装置の作成のために、次のものを準備する。(代替できるものがあれば、適宜身近に有るものを持ちいて差し支えない。)</p> <p>(1) アクリル製の箱(たて20cm×横10cm×高さ5cmのものを5個)</p> <p>(2) アクリル板(たて60cm×横45cm×厚さ0.5cmか、これより大きいもの)</p> <p>(3) ビー玉(直径2cm程度のものを30個程度)</p> <p>(4) すべり止めマット</p> <p>(5) プラスチック製のコップ</p> <p>(6) たこ糸</p> <p>(7) プーリーセット</p> <p>(8) 食器洗浄用のスポンジ(7個程度)</p> <p>(9) 方眼紙(5mm方眼または1cm方眼のもの)</p> <p>(10) スタンプ台</p> <p>また、予め発問を記したものを発問毎に配布できるように準備しておく。(発問の内容は、後述。)</p>							
実験装置の作り方	<p>(1) 物体を動かすために必要な力の計測装置</p> <p>①アクリル製の箱の中に、箱の底面の大きさに切ったすべり止めマットを敷き、ビー玉を3個入れたものを4組準備する。</p> <p>②プラスチック製のコップに穴を2カ所空けたものを準備する。</p> <p>③実験を行う机の上に、アクリル板とプーリーセットを固定する。(固定はビニールテープ等で行う。)</p> <p>④③で固定した板の上に、①で準備したアクリル製の箱を載せ、たこ糸でプーリーを介し</p>							

て、アクリル製の箱とプラスチック製のコップを結ぶ。プラスチック製のコップは机の下に垂らす。

⑤プラスチック製のコップにビー玉を一個ずつ入れることで、アクリル箱が動き出すときのビー玉の数がわかる。この数が、アクリル箱を動かすために必要な力の大きさに相当する。

※ビー玉をアクリル箱に入れているのは、ビー玉を真実接触点と結びつけて考えることで、生徒が真実接触点の数とアクリル箱を動かすために必要な力とアクリル箱の荷重を関連づけて考えやすくすることをねらっているためである。

(2) 真実接触面積を計測する装置

①アクリル箱の面の面積と同じ大きさになるように、スポンジを組み合わせ固定する。

②スポンジの表面を手でつまんで取り去り、凹凸を作る。(特定の箇所に著しく凹凸が偏らないように留意する。)

③②で加工したスポンジをアクリル箱(1個)に①を貼る。また、アクリル箱に(1)で用いたビー玉と同じものを3個入れておく。

④③のスポンジにスタンプ台で着色しておき、静かに方眼紙の上に乗せると、スポンジと方眼紙の接触した部分に色が付く。色が付いた部分の方眼を数えていくと大まかな接触面積がわかる。実際に調べると、接触面を変えても、大きくは方眼の数は変わらない。(例えば、見かけの接触面積が2倍変化しても、方眼の数はそれほど変わらない。)



実験・実演の手順

手順は、問題用紙の配布→回答の予想→(可能であれば)討論→実験による確認を繰り返していくものである。

最初に、次の問題を配布する。

【問題A】

平らで滑らかなアクリル板の上にアクリル板でできた箱(アクリル箱)を載せます。アクリル箱を押しバネではじくと、アクリル箱はしばらく進んで止まります。

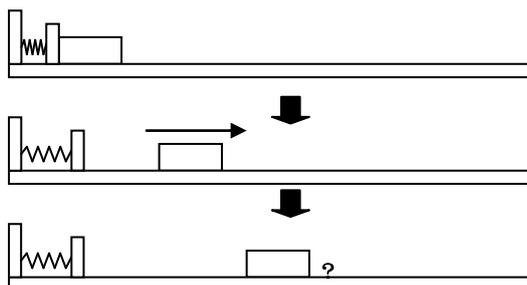
それでは、この実験を無重量状態で行うと、アクリル箱はどのように動くでしょうか。

ア アクリル箱は、重量がある状態と同じ距離だけ進んで止まる。

イ アクリル箱は、重量がある状態よりも短い距離だけ進んで止まる。

ウ アクリル箱は進み続け、板の上から飛び出す。

エ アクリル箱は、押しバネではじいても止まったままである。

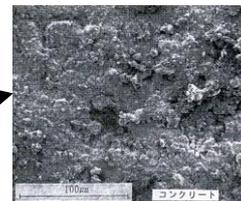
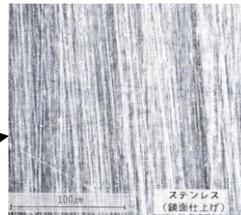


この後、生徒に回答を予想させ、選択肢ごとに何人が予想しているかを確認する。その後可能であれば討論させ、回答を変更したい生徒がいれば変更させる。

そして、回答が「ウ」である旨説明する。可能であれば、問題の実験を実際に演示して確かめる。次に、以下の説明資料を配付し、講師か生徒が読み上げる。

【説明 A】

私たちの身のまわりには、アクリル板の他にも、台所のシンク、プラスチックの容器、コンクリートブロックのシンクの表面のように、平らで滑らかなものがたくさんあります。しかし、これらを拡大してみると、細かな凸凹があることがわかります。



次に、次の問題を配付する。

【問題 B】

アクリル板の上に、ビー玉を3つ入れたアクリル板でできた箱（アクリル箱）を4つ、次の(a)、(b)のように載せます。そして、アクリル箱と糸でつないだコップに重りを1個ずつ入れていきます。すると、ある重りの数で箱が動きます。

(a)と(b)で箱が動き出す重りの数を比べると、どのようなことが言えるでしょうか。

- ア (b)が動き出す重りの数は、(a)の約4倍である。
- イ (b)が動き出す重りの数は、(a)とほぼ同じである。
- ウ (b)が動き出す重りの数は、(a)の約1/4である。



(a)



(b)

この後、生徒に回答を予想させ、選択肢ごとに何人が予想しているかを確認する。その後可能であれば討論させ、回答を変更したい生徒がいれば変更させる。

そして、問題の実験を実際に演示して、回答が「イ」となることを示す。

次に、以下の問題を配付する。

【問題C】

ビー玉3個が入った亚克力箱の表面を拡大した模型があります。表面の凹凸はスポンジを適当に削ったものです。この亚克力箱を紙の上に(a)、(b)のように置きました。スポンジの凸凹と紙の接触している部分の面積は、(a)と(b)を比べると、どう言えますか。

なお、亚克力箱の底面の面積を比べると、(b)は(a)の2倍です。

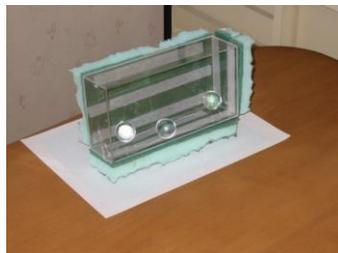
ア スポンジの凹凸と紙が接触している面積は、(b)が(a)の約2倍である。

イ スポンジの凹凸と紙が接触している面積は、(b)、(a)でほぼ同じ大きさである。

ウ スポンジの凹凸と紙が接触している面積は、(b)が(a)の約 $1/2$ である。



(a)



(b)



解答を予想したら、スポンジにインクをつけて、方眼紙に載せて、色のついた方眼紙の数を数えて比べてみましょう。

この後、生徒に回答を予想させ、選択肢ごとに何人が予想しているかを確認する。その後可能であれば討論させ、回答を変更したい生徒がいれば変更させる。

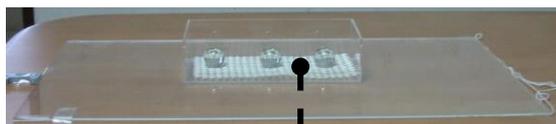
そして、問題の実験を実際に演示して、回答が「イ」となることを示す。

次に、以下の説明資料を配付し、講師か生徒が読み上げる。

【説明 B】

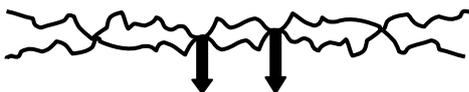
亚克力板の表面のように、一見平らで滑らかなものの表面でも、拡大してみると凸凹があります。このため、実際に接触しているのは、山のてっぺんどうしになります。

この接触している部分は極めて小さく「**真実接触点** (しんじつせつしよくてん)」と呼ばれています。



拡大すると・・・

アクリル箱の表面



アクリル板の表面

真 実 接 触 点

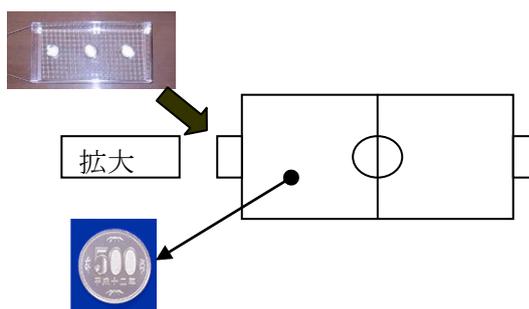
次に、以下の質問を配布する。

【質問】

ビー玉3つを入れたアクリル箱をアクリル板の上に載せます。

アクリル箱の底面の大きさを拡大して、サッカーコートと同じ広さとする、凹凸で接触している点（真実接触点）は、500円硬貨の枚数で何枚ぐらいになるでしょうか。なお、サッカーコート全体を500円硬貨で敷きつめるには、約900万枚いります。

- ア 約 1,000,000枚
- イ 約 10,000枚
- ウ 約 1,000枚
- エ 100枚以下



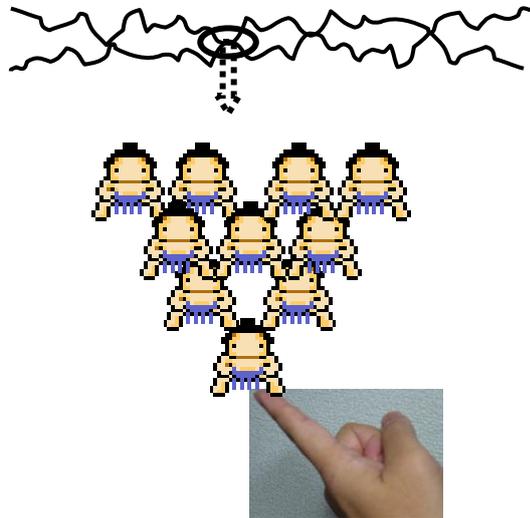
この後、生徒に回答を予想させ、選択肢ごとに何人が予想しているかを確認する。その後可能であれば討論させ、回答を変更したい生徒がいれば変更させる。

そして、次の説明を配布し、講師か生徒が読み上げる。

【説明 C】

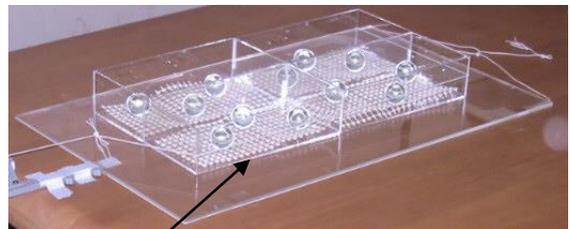
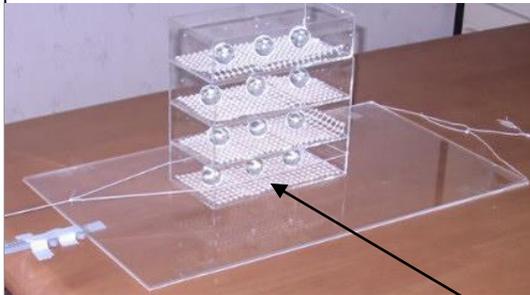
接触しているものの間にできる真実接触点の数は、ゴムのように軟らかい物質の接触や、何トンもの大きな力で接触するもの同士を押しつけるような特殊な場合を除けば、ごくわずかです。質問の場合は数十個程度となり、答えは「エ」です。

真実接触点1個はとても小さく、その数もとても少ないために、真実接触点で接触しているものが受ける圧力はものすごく大きくなります。質問の場合では、 1 cm^2 当たり約 1.3 t 分、つまり人差し指の指先に、体重 130 kg の力士を10人ほど載せた分の力を受けていると言えます。(アクリル箱が 125 g の場合)



ところで、アクリル箱に入っているビー玉の数の合計は、真実接触点の数に関係があります。

例えば、アクリル板の上にアクリル箱4個を、上に積み上げても平らに並べても、ビー玉の数の合計は12個と変わりませんが、真実接触点の数も変わりません。



真実接触点の数は同じ。

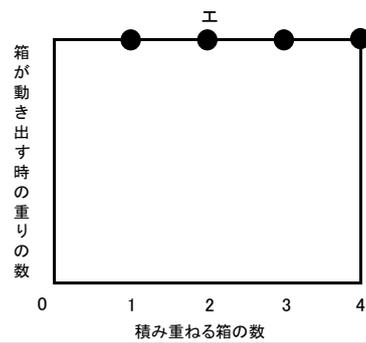
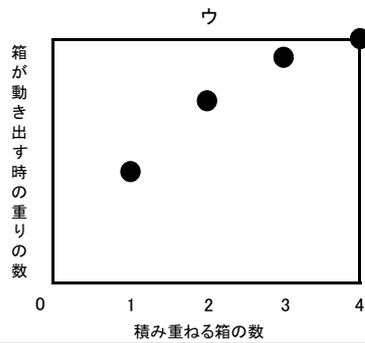
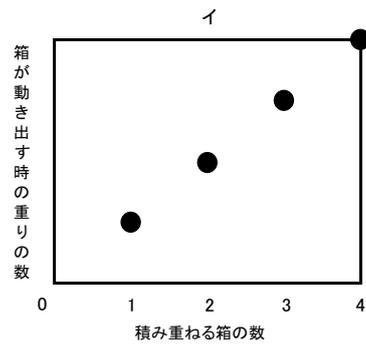
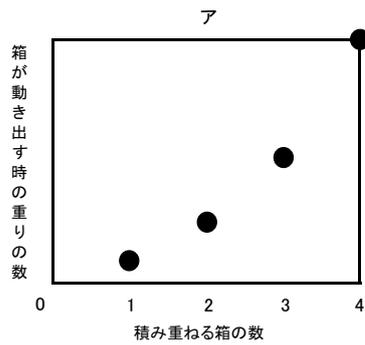
次に、以下の質問を配布する。

【問題 D】

ビー玉を3つ入れたアクリル箱があります。この箱をアクリル板に載せて、箱に糸でつないだコップに、重りを1個ずつ入れていきます。すると、ある重りの数で箱が動きます。

アクリル箱を、1個、2個、3個、4個と積み重ねると、動かすために必要な重りの数はどのように変化するでしょうか。



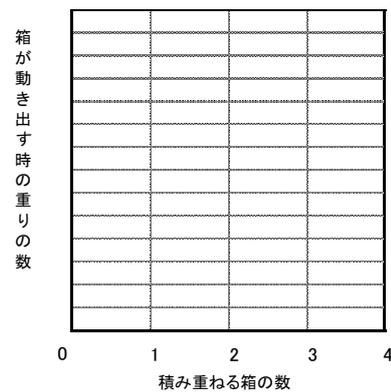


この後、生徒に回答を予想させ、選択肢ごとに何人が予想しているかを確認する。その後可能であれば討論させ、回答を変更したい生徒がいれば変更させる。

そして、問題の実験を実際に演示して、回答が「イ」となることを示す。

なお、実験の結果は、右のようなグラフを予め準備しておき、図示して生徒に示すようにする。

最後に、次の資料を配布し、時間があれば講師が概要を説明する。時間がなければ、帰って読んでほしい旨を伝えて、授業を終える。



【お話】

○あらゆるところで起きる摩擦力

2つのものを接触させて、動かそうと力を加えると起きる力を摩擦力と言います。

地球上では、2つのものが接触していれば、多くの場合摩擦力が起きている、と言っても過言ではありません。そのおかげで私たちの生活が成り立っていることが多々あります。

例えば、私たちの着ている服の生地は、一本一本の繊維が織り上げられてできています。生地に力を加えても繊維がほどけないのは、繊維の間に摩擦力が起きるためです。もし、今突然、地球上から摩擦力がなくなってしまうたら、服の繊維はたちまちほどこけて、人は皆、裸になってしまうでしょう。

また、鉛筆で字が書けるのは、字を書く時に、鉛筆の芯と紙に摩擦力が起きるからです。摩擦力が起きているときに、芯と紙が接触している部分で芯の一部がとれて、紙にくっつくのです。もし摩擦力が起きなければ、芯の一部が紙にくっつくことはなく、鉛筆で字を書くことはできません。

一方、鉛筆の芯と紙が受ける摩擦力が大きくなりすぎると、字が書きづらくてしかたがないでしょう。このように、摩擦力の大きさをうまくコントロールすることも、産業や生活の中の大きな課題と言えます。

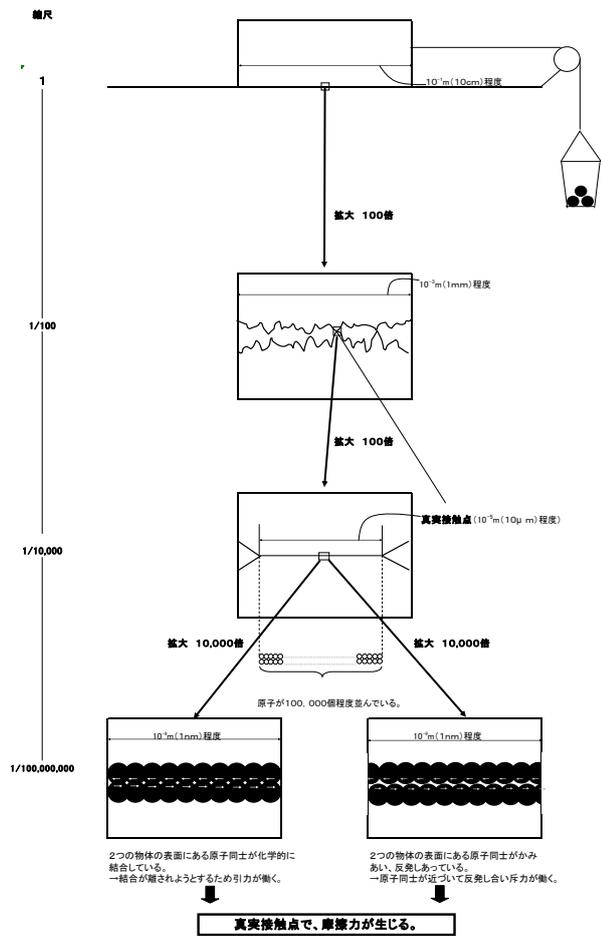
○摩擦力はなぜ起きるのでしょうか？

一見平らで滑らかなものの表面でも、拡大してみると凸凹があります。このため、実際に接触しているのは、山のとっぺんどうしになります。この接触している部分を「真実接触点」と言います。

真実接触点では、表面の凹凸のとっぺんがつぶれて平らになっています。そこでは、ものの表面にある原子が10万個ほど並んでおり、もう一方の表面にある原子と向き合っています。

表面で向き合っている原子どうしは、大きな力で押しつけられており、とても近づいています。このために、原子どうしがくっついたり、反発し合ったりしています。

このために、板の上に載ったものを動かそうと力を加えたり、板の上に載せたものが動いている時に、摩擦力が起きるのです。



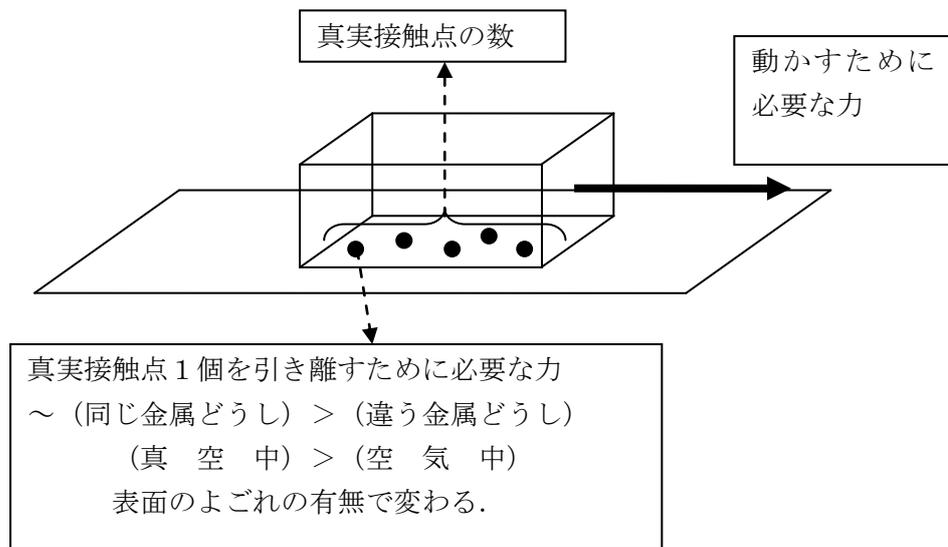
○動かすために必要な力はどのように決まるのか？

平面の上に載せたものを動かすために必要な力は、真実接触点の数に比例しますが、それとともに、真実接触点1個を引き離すために必要な力の大きさにも比例します。したがって、次の式が成り立ちます。

(動かすために必要な力の大きさ)

$$= (\text{真実接触点1個を引き離すために必要な力の大きさ}) \times (\text{真実接触点の数})$$

真実接触点1個を引き離すために必要な力の大きさは、接触している物質の組み合わせや接触している物質のとりまく雰囲気の性質に関係しています。例えば、同じ金属どうしの組み合わせだと、違う金属どうしよりも大きくなります。また、真空中だと空気中に比べて、大きくなります。また、表面のよごれの有無で変わります。



実験結果
と考察

バリエー
ション

参考文献

- ・本実験ノートの詳細については、次の文献を参照されたい。
工藤保広：接触の機構に着目した摩擦の法則の教育内容の設定と教材の構成，教育学の研究と実践，北海道教育学会，4(2009)
工藤保広：真実接触に着目した摩擦現象の授業プラン，教授学の探究，北海道大学大学院教育学研究院教育方法学研究室，25(2008) <http://hdl.handle.net/2115/32329>
- ・実際の授業の運営に当たっては、仮説実験授業の運営方法に準拠することを想定している。仮説実験授業の運営方法についての参考文献として入手しやすいものとして次のものがある。
板倉聖宣：仮説実験授業のABC～たのしい授業への招待～第4版，仮説社(1997)

	<p>・説明Aの中の電子顕微鏡写真は，次の文献より引用した． 吉田光則他：北海道立工業試験場報告,292 (1993)13-22.</p>
費用	<p>概ね2万円以内で収まると思われる．</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) アクリル製の箱 2,000円×5個=10,000円程度 (2) アクリル板 4,000円程度 (3) ビー玉 1,000円程度 (4) すべり止めマット 200円程度 (5) プラスチック製のコップ 200円程度 (6) たこ糸 200円程度 (7) プーリーセット 1,000円程度 (8) 食器洗浄用のスポンジ 300円程度 (9) 方眼紙（5mm方眼または1cm方眼のもの） 300円程度 (10) スタンプ台 1,000円程度 (11) その他諸経費
詳細問い合わせ先	<p>北海道庁，特定非営利活動法人 butukura 工藤 保広 gzzq05637@nifty.com</p>