

# 電車の綱引き

神奈川県立西湘高等学校  
山本 明利

作用反作用の理解は力学の初学者にとって大きな関門である。力のつり合いとの混同や「力が強い方が相手におよぼす力が大きい」という素朴概念の壁を乗り越えなければいけない。そのための気付きを促す優れた演示が YPC メンバーによって開発されてきたが、ダイソーのおもちゃの電車でもこれらに匹敵する実験を手軽に行うことができる。

## 1. これまでの研究

綱引きを題材に手軽な演示実験により、力学入門時の誤りやすい課題を整理させる教授法として右近修治氏が開発した「綱引きのモデル実験」<sup>(1) (2) (4)</sup>がある。同仕様の2台の模型トラクターにいくつかの条件下で綱引きをさせ、その勝敗を生徒に予想・討論させながら正しい理解へと導く手法である。

この場合の正しい理解とは、綱引きをする2台のトラクターが互いに引き合う力は（たとえ一方の電池の電圧を半分にしてモーターのパワーを落ととしても）作用と反作用の関係にあるので常に大きさが等しいが、両者の重量に違いがあれば摩擦力に差異を生じるので、力のつり合いが破れ、必ず「重い方が勝つ」という論理に気付くことである。

水上慶文氏は「演示実験 戦車の綱引き」<sup>(3)</sup>において得意の黒板実験によって演示する手法を示し、キャタピラの下にゴム板を挿入して摩擦係数を変更する実験を加えて、摩擦力が勝敗を左右することを端的に示した。

一方、鈴木健夫氏はダイソーのゼンマイ仕掛けで四足歩行する動物のおもちゃに同様の綱引きをさせることで極めて安価に（1体 105 円）かつ手軽に実験する方法を開拓し、班実験・個別実験により生徒の予想・討論活動を活性化することを提案した。<sup>(5)</sup>

本稿は以上の流れを踏まえて、さらに手軽で効果的なモデル実験を提案するものである。

## 2. 実験の準備

実験道具として以下のものを用意する。すべて百円ショップ・ダイソーで手に入る。

- ①ザ・トレイン「スーパーエクスプレス タイプ1・駆動車」(105 円) 2 台
- ②単三電池 新品のアルカリ電池 2 本と弱って起電力が 1.2V 以下に落ちたもの 1 本
- ③50～100g 程度のおもり (単二または単一の乾電池で可)

①の車両は5種類あるが「タイプ1」(写真1)が屋根の上が平坦で突起物がなく、おもりをのせやすいので都合がよい。必ずモーターを内蔵した駆動車を購入すること。スイッチ部の接触不良がある製品も時々あるので、余分を用意するか、接触不良を改善する努力を事前に行うとよい。

車両の動輪のゴム輪は両方ともとりはずしておく(写真2)。机の表面の材質によっ



写真1 タイプ1・駆動車



写真2 動輪のゴム輪をとりはずす

ては摩擦が大きくなりすぎて回転が止まってしまうからである。適度にスリップするようにするのがポイントである。

さらに一方の車両の連結器をとりはずす。写真3のように軸に通してあるだけなので簡単にはずせる。この軸に他方の車両の連結器のC型部分(写真3右端)をさし込むと手軽に2両を逆向きに連結できる。車両の区別がつくようにカラーシールなどで目印をつけ、押しているのか引いているのかがわかりやすいように、進行方向を示す矢印を描いておくとよい。

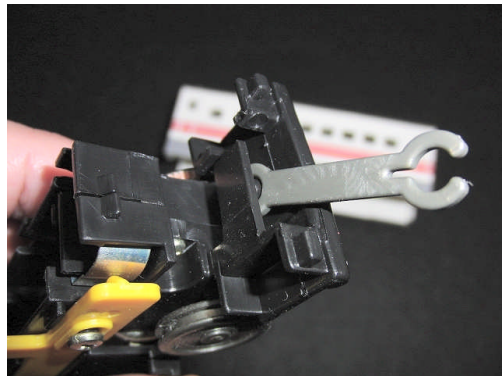


写真3 連結器

### 3. 効果的な実験の手順

はじめは駆動車2両ともに新品の単三電池をセットし、机上で同じ向きに走らせて速さがほぼ等しいことを確認する。この2両を互いに引き合うように逆向きに連結して走らせると、共に車輪がスリップしてどちらにも動かず、引き分けとなる。両者同条件なので、ここでは生徒も迷わない。

次に、一方の電池を起電力の落ちたものに替える。同じ方向に同時に走らせると明らかに速さが違う。ここで引き合いをさせたらどうなるかを予想させる。多くの生徒はパワーの大きい方が勝つと予想する。しかし、実験をしてみるとやはり引き分けとなる。討論を通じて、「引く力が強い方が勝つ」と考えるのは誤りで、連結部分での作用と反作用は常に等しいことに気付かせるるとよい。このような結果になるのは空回りしている車輪が床から受ける動摩擦力は回転の速さによらないからである。摩擦力も等しいなら、全ての力がつりあって「あいこ」になる他はない。

しかし、どちらかにおもりをのせると形勢は一転する。おもりの質量は50~100g程度が適当で、単二または単一の乾電池で代用できる。動輪が浮かないように、動輪の真上付近におもりをのせるのがコツである。実験の結果は電池の起電力や車輪の回転の速さに関係なく、常に重い方が勝つ。摩擦力が大きくなるからだ。綱引きは体重

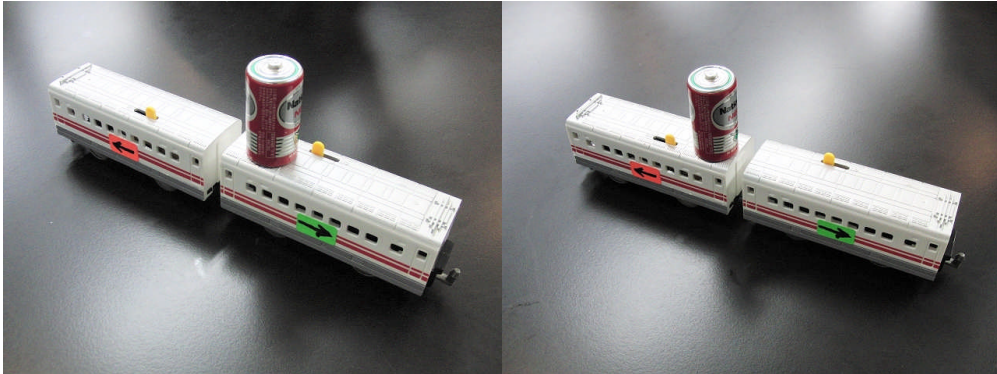


写真4 右におもりをのせると右へ

写真5 左にのせれば左に動く

の勝負だということがわかる。この実験も事前に結果を予想させるとよい。これらの結果に基づき運動会の綱引きの必勝法などを議論させれば盛り上がるだろう。

摩擦力が勝敗の決め手であることをさらに裏付けるには、水上氏の実践<sup>(3)</sup>にならって、おもりをのせないで「あいこ」状態で滑っているどちらかの動輪の下に、滑りにくい素材や滑りやすい素材のシートをさし込んでみればよい。あるいは準備段階ではずしておいた動輪の滑り止めゴム輪を一方の車両にだけ装着すれば、その車両が圧倒的な優位に立つことになる。こうした追加実験を生徒に発想させることができればなおよい。

#### 4. まとめ

綱引きや押し相撲は「筋力が強い方が相手におよぼす力が大きい」「力が強い方が勝つ」というミスコンセプションを確認しやすい良い事例である。言葉の上では「作用と反作用は等大で逆向きの力である」とわかったつもりでいても、ではなぜ綱引きや押し相撲の勝負がつくのかと問いかければたいの初学者は悩む。

このことを自らの手で納得いくまで実験して確かめられる好適な教材が大変安価に入手できることは喜ばしいことである。できれば班の数だけそろえたい。ダイソーの商品はいつまでも安定供給されるとは限らないので、早めの確保をお勧めする。

#### 5. 参考文献

- (1) 右近修治「綱引きのモデル実験」YPC 例会速報 1998/05/20  
<http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/ypc/ypc985.htm>
- (2) 右近修治「綱引きのモデル実験」YPC ニュース No.127 1998/10/13
- (3) 水上慶文「演示実験 戦車の綱引き」YPC ニュース No.135 1999/06/05  
<http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/ypc/ypc995.htm>
- (4) 右近修治「綱引きのモデル実験」物理教育 48(3), 236-237, 2000/06/15
- (5) 鈴木健夫「ブタの綱引き」YPC ニュース No.195 2004/06/19  
<http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/ypc/ypc045.htm>