

回れ！ペットボトル

富山県立入善高等学校自然科学コース

1. 動機および目的

1.5 リットルペットボトルに穴をあけ、ストローを取り付けて放水口とする。このペットボトルを水で満たし、天井からつりさげて手を離す。放水口から水が流れ出し、ペットボトルは回転する。さて、どのようにストローを配置すれば1.5リットルという限られた水の量で多く回転する装置を作れるだろうか。

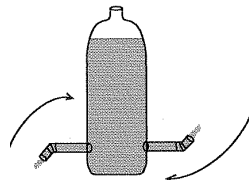


図1 製作の一例

とやま科学オリンピックの高校物理部門の問題である。競技では最大138回、回転させたチームがあったそうである。成績的には振るわなかった出場者(30回転)の話を聞き、一体どのようにストローを配置すればペットボトルが多く回るのかを調べてみることにした。

2. 方法

実験Ⅰ 流れ出す水の速さの測定

ストローから流れ出る水の速さが速ければ、ペットボトルをより多く回転させることが出来るのではないかと考え、穴の大きさや、穴の位置を変えてペットボトルから流れ出る水の速さを測定した。ペットボトルから流れ出る水の速さは、水流の水平到達距離から求める。つまり、流出の初速度を V_0 とし、ほかの文字を図のように定義すると、 V_0 は

$$V_0 = x \sqrt{\frac{2Y}{g}}$$

により計算できる。

このことを利用して穴から図った水位の変化によって水の速さ V_0 がどのように変化をするかを調べた。また、放出口の大きさで水の放出速度が変化するのか、放出口の位置が変化すると「水の放出速度が変化するのかの2点につい

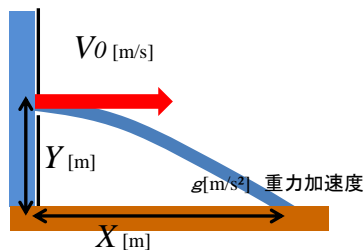


図2 水位と速さの関係

ても調査した。

実験Ⅱ ストローの付け方と回転回数

ペットボトルを実際に回転させ、どのような条件でペットボトルが多く回転するのかを調査する。使ってよいストローの本数などは科学オリンピックの条件で実験する。ペットボトルには1.5リットルの水を注ぎ、2号の糸で吊るして回転の回数を計測する。多く回転するものを政策するために、次のような実験をした。



図3 実験に使用した道具

- (1) 直径4mmのストローを用いて、ペットボトルに装着するストローの長さを5cm, 10cm, 15cmと変えたとき、回転回数がどのように変化するかを調べた。
- (2) 実験Ⅰの結果を踏まえて、流れ出る水の速さが速ければ回転回数が増えるかを調べる。具体的には、直径7mmのストローを4本束ねてペットボトルの底面に装着し、ストローをなるべく下の部分につければ、回転数は増すかを実験した。
- (3) 直径4mmの同じ長さのストローを用いて、ペットボトルの水の放出口の数(4つまで)を変化させたとき、回転回数がどう変化するかを調べた。
- (4) 実験してみると、水が残った状態では、水流が止まってもペットボトルが勢いで回り続けることが分かった。そこで、水を残して慣性を利用すれば、回転回数は増えるかを実験した。

3. 結果と考察

実験Ⅰ

まず、ペットボトルの底から5cmの位置に3mmの穴をあけて水を流出させると、水位(穴からの位置から測った水面の高さ)の変化に伴い、流出する水の速さは、図4のように変化した。穴から測った水位が高ければ、流出する水は速く、 V_0 は h の1/2 乗に

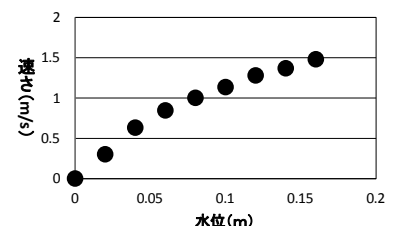


図4 水位と水の速さの関係

比例することが分かった。

次に、穴の直径を変えて測定した。結果を図5に示す。穴の直径を変化させても、その他の条件が同じ時、流出する水の速はほとんど変化しないと言える。

さらに、ペットボトルに穴をあける高さを変化させた時の水の速さへの影響を調べた。結果を図6に示す。穴の位置が変わっても、水位が同じであれば速さは変わらないことが分かった。ペットボトルの太さは底面の高さによって一様ではないが、水の流出速度は穴からの水位によってほぼ決まり、穴より上にある水の体積にはよらないといえる。

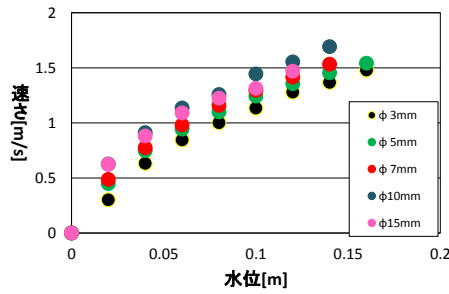


図5 放出口の大きさの変化と速さの関係

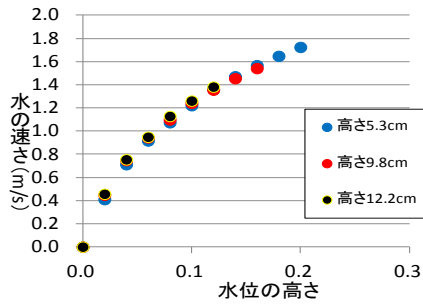


図6 放水口の高さと水の速さの関係

実験Ⅱ

(1) ストローの長さと、平均回転回数は図7のようになった。

ストローの長さが長いとモーメントが大きくなり、回転に関して有利に働くと予想したが、結果は逆だった。ストローを流れる水の速さが、摩擦で小さくなったことや、ストローと水の速さの相対速度の変化が影響した可能性がある。

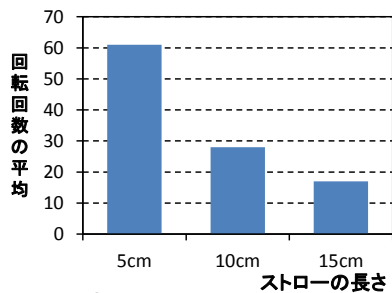


図7 ストローの長さによる回転回数の変化

(2) ペットボトルの水位+20cmだと147回転、ペットボトルの水位+10cmだと117回転だった。水位が高いほど多く回転することが分かった。

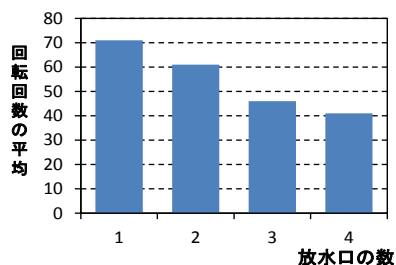


図8 放水口の数と回転回数

た。

(3) ペットボトルと水の放出口の数と平均回転回数は図8のようになった。放水口の数が多い事で回転の速さが増す一方で、水の減りは早くなる。それぞれの効果の恩恵を受けられる本数があると考えていたが、結果的には水の減りを極力ゆっくりにした方が有利という

結果だった。
(4) 表に示すように、水が多く残る慣性の大きいペットボトルにくらべ、小さいペットボトルのほうが回転回数が多いという結果であった。

大きい	慣性	小さい
19.5cm	ストローの位置	6.5cm
	形状	
17回	回転回数	32回

実験(1)~(4)より、ペットボトルを多く

回転させるには、慣性を利用せず(水を使い切り、ストローを用いて水位を高くして、ペットボトルの水の放出口の数を1つとし、放水口となるストローの長さを短くするとよいことが分かった。その結果をふまえて実際に図9のようなペットボトルを製作したところ、最大で242回転させることができた。

4. 反省と課題

今回製作したものはあくまで一例であり、他にも底の部分につけるストローの太さなど、検討できる条件は多い。

また、とやま科学オリンピックの最後の問題には、「この装置を現実的にどのように応用するか」との問いがある。例えば雨樋に装着して、雨水を利用して発電することが考えられるが、ペットボトルにモーターを取り付けて、回転運動からエネルギーを得ようという試みは、モーメントが非常に小さくて上手くいかなかった。モーターが回るだけのものを作って1.5Lで、どれだけの発電ができるのかを確かめてみたい。



図9 一番多く回転したペットボトル