

2017流行大賞?!

ボトルブリック

～指令！水の動きを追跡せよ～



碧南市立西端中学校
3年C組 谷 直柔

I 研究の動機

ある日、理科の先生に「こんな動画、知ってる？」と、ペットボトルに水を入れ投げ上げて床に立てるといふ動画があることを教えてもらった。家に帰ってインターネットで調べてみたら、この遊びは「ボトルフリップ」といふことや、アメリカで少しずつ流行っていることなどが分かった。しかし、このボトルフリップの成功のコツやなぜうまく着地させられるのかをくわしく説明している動画はどこにもなかった。そこで、自分で実験して解明しようと思った。

II とりあえずやってみた!!

やってみなければ何も分からないと思ったので、とにかく実験してみることにした。

実験 1

ペットボトルのサイズは、動画でよく使われている500mLを使用することにした。お茶が入っていたものを使い、水の量は最も成功しやすいとされる1/3とした。

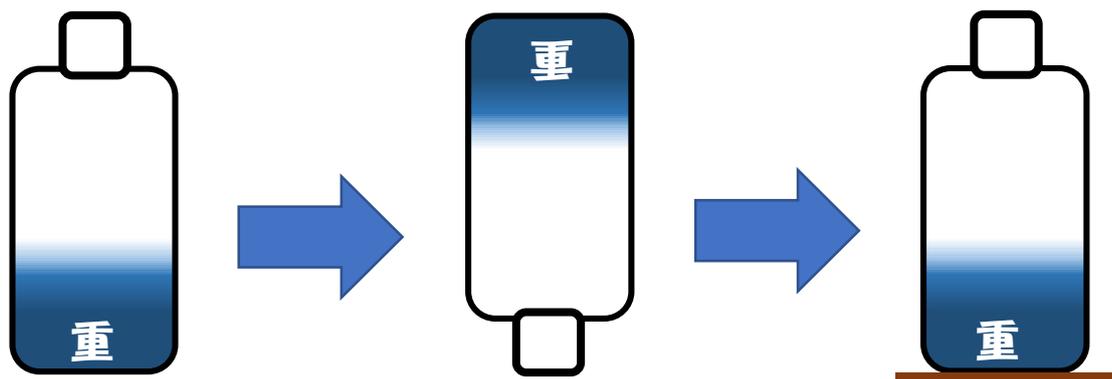
床に座り、ボトルのキャップ部をもって前方に振りながら手を離す。今回は、自分だけでなく、家族にもやってもらった。

結果 1

| 投げた人 | 成功するまでの回数 |
|------|-----------|
| 自分 | 8回目 |
| 弟 | 6回目 |
| 母 | 5回目 |
| 父 | 3回目 |

コツをつかむまでに少しかかるが、全員10回以内に成功した。

ボトルフリップが成功する理由を考えてみた。経験上、空のペットボトルだと床で跳ねてうまく着地しそうにないことは予想できる。ボトルに水を入れることでバドミントンの羽根のように水で重くなっている底部が下になってうまく着地すると考えた。(下図)



予想 2

バドミントンの羽根は、頭の部分が重いため、投げ上げれば必ず重い頭が下になって着地する。おそらくこれが、ボトルフリップの原理だろう。

実験 2-1

ペットボトルの中には水を入れることになっているが、バドミントン理論から水溶き片栗粉を用い、底部に固まった状態で実験してみる。分量は、水の場合と同じ $1/3$ とした。

結果 2-1

固まった状態で底部にくっついており、着地したときにはゴムボールのようにととてもよく跳ねた。100回やっても1回も立たなかった。

考察 2-1

完全に底部に固まった状態では、立たないことが分かった。そこで、水ほどではないが多少動くことが必要ではないかと考えた。

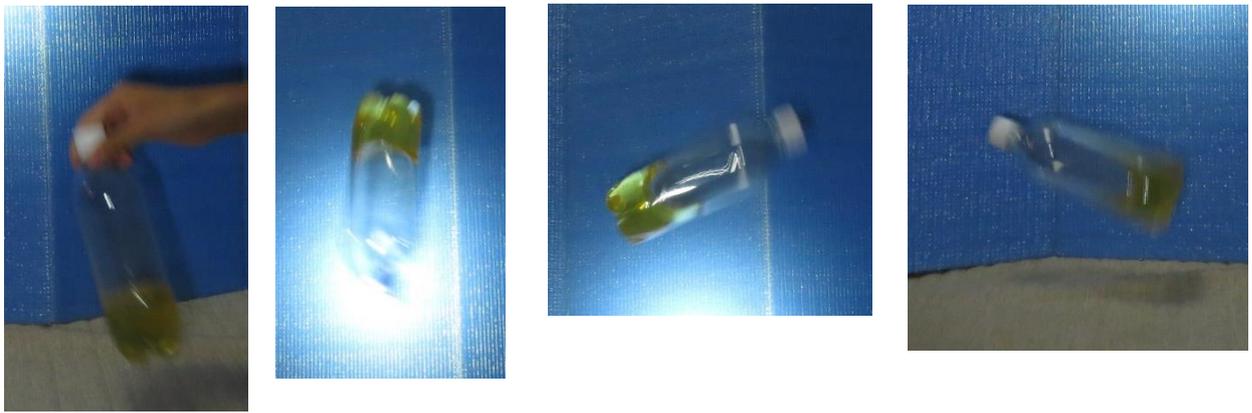
実験 2-2

水溶き片栗粉よりも動きやすく、水よりも粘性の高いハチミツシロップに代えてみた。今回も分量は、水の場合と同じ $1/3$ の量とした。

結果 2-2

写真のように、どれだけ回転させても粘性の高いハチミツは底部にへばりついたまま、移動することは観察されなかった。

実験 2-1 の水溶き片栗粉と同様に、きれいに着地した場合でも弾んで倒れてしまった。100回投げても、1回も立つことはなかった。



考察 2-2

ボトルフリップの成功には、粘性があるものは適さず、水のようなサラサラの「流体」が必要だろう。

考察 2-2 で、ボトルの中身には、流体の水が適していると判断したが、そもそも真っすぐ落としさえすれば、うまく着地できるのではないかと考えた。

実験 3

水を 1/3 入れたペットボトルを高さ 10 cm から真っすぐ落とす。

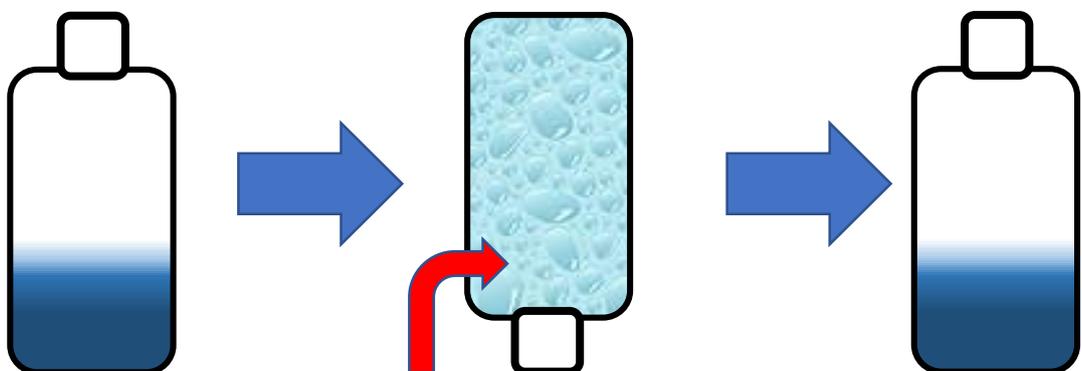
結果 3

10 cm の高さから落とすだけなのだが、100 回やっても 1 回も立たなかった。床に着地すると 1 cm ほど跳ね上がり、転んでしまう。

考察 3

ボトルフリップを成功させるには、中身は流体である水が適しているが、ある程度の「回転」が必要だと考えた。

あらためて、家族がやっているところをよく観察すると、確かに初めに考えたようにボトルの底部に水がとどまらず、キャップ部のほうへ移動しているように見えた。



この形はよく分からないが、
成功の秘密が隠されていそう。

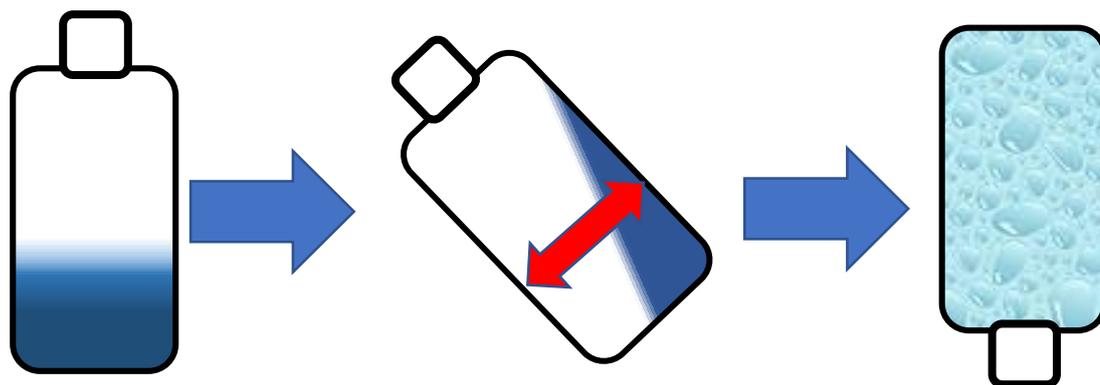
しかし、何度見ても肉眼ではボトルの中の水の動きがはやすぎてどうなっているのかわからなかった。この水の動きを追究すれば、「ボトルフリップ」の成功の秘密に迫れるのではないかと考えた。

Ⅲ水の動きに注目する

ボトルを振り上げてから着地するまでの間に、中の水が一箇所に偏っていないのは分かるのだが、どのような形をしているのかまでは、肉眼ではよく分からなかった。そこで、中の水の動きをデジタルカメラで撮影し、調べることにした。

予想 4

水がペットボトルの側面にぶつかり、シブキ状となって飛ぶだろう。



実験 4 - 1

ペットボトルが空中に飛んでいるところをカメラで連写し、撮影する。

使用機材：Canon Power Shot SX50HS

なお、ここからの実験には凸凹の少ない炭酸用のペットボトルを用い、ボトルの内壁の凹凸で水が余分な動きをしないようにした。

結果 4 - 1

連写スピードが遅く、右のようにブレてしまい、水の動きがはっきり分からなかった。ペットボトルが飛んでいる間に3枚くらいしか撮れなかった。



そこで、撮影モードを切り替え、動画も同時に撮影して確認することにした。

実験 4-2

デジタルカメラのシャッタースピードを上げて、フラッシュをたいて連続撮影する。

結果 4-2

予想したしぶき状ではなく、回転途中で上下に分離していることが観察された。フラッシュをたいたので、うしろに水の影ができ、水の移動の様子が分かる。



実験 4-3

ペットボトル自体や中の水が光を反射していたり、影がボトルと重なっていたりして分かりにくいので、水に色をつけ、フラッシュのかわりにLEDライトを照明として利用し、撮影し直してみた。

結果 4-3

予想したしぶき状ではないことが、はっきりした。

写真 1



写真 2



写真 3



写真 4



写真 5



写真 6



写真 7

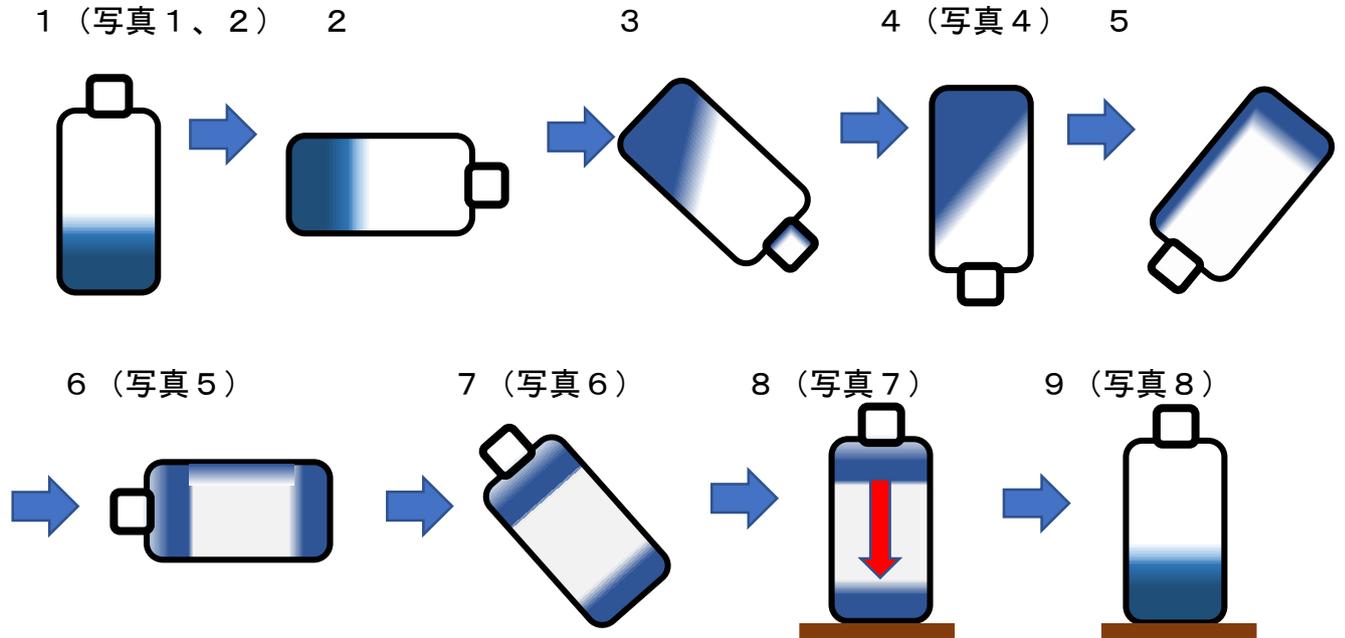


写真 8



考察 4

水に色をつけても不鮮明なところはあったが、これまでの写真と同時に撮影した動画とを総合的に分析すると、だいたい下のような模式図となる。



- ・ 図 3～4 (1/2 回転) にかけて、水が側面を伝ってキャップの方に流れ落ちていくように見える。これは、水に慣性をはたらいており、ボトルの回転についていけず、遅れて回転し始めるためこう見えると考えた。図 6 (3/4 回転) でも、まだ側面で水はつながっており、完全に分離していない。しかし、着地直前の図 7～8 では完全に上下に分離している。
- ・ 図 8～9 で、着地のときにキャップ付近にあった水が底部に落ちることによって、重心が急に低くなり、ボトルが上から押さえつけられた状態になり、安定して倒れにくくなると考えた。

IVなぜ水が上下に分かれるのか

実験 4-1～3 から、ペットボトルに水を 1/3 入れて一回転させると、3/4 回転あたりから水が上下に分離していくことが分かった。これが、ボトルフリップの成功にどのような影響を与えているのだろうか。

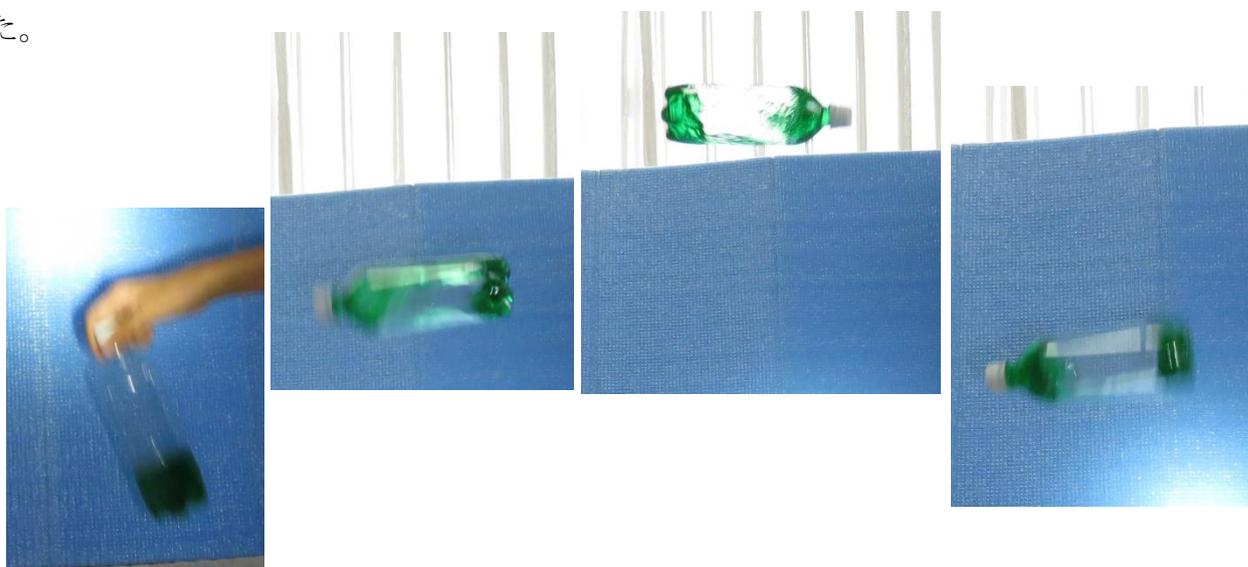
これまで行った実験は、全て一回転を考えていたが、高速回転させれば空中でのボトル内の水の様子が顕著になると考えた。

実験 5

ペットボトルを力いっぱい投げ上げ、できるだけ回転させた時の水の動きを観察する。今回は、空中でのボトル内の水の様子を観察することが目的であるため、ペットボトルが床に立たなくてもよいとする。

結果 5

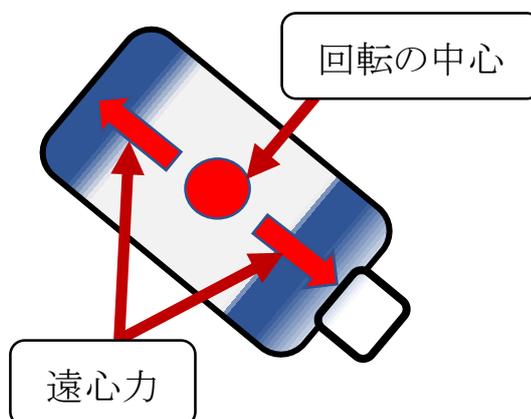
下の写真のようになり、高速で回転しても水はきれいに上下に分離するところが観察された。



考察 5

ボトルフリップの動画から、投げ上げたボトルが回転する中心は、図1のように見えた。そこを中心として回転しているので、中の水には遠心力がかかる。そのため、ボトルの上下（キャップ部と底部）にだいたい同じくらいの量で水が分離すると考えられる。

図 1

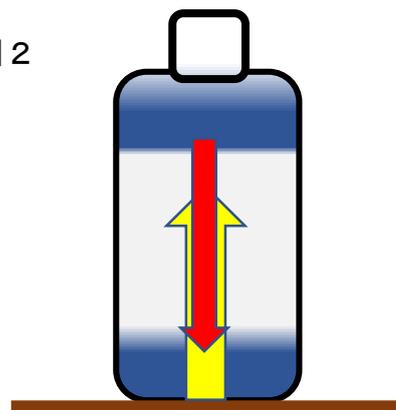


では、この上下に分離した水が、なぜボトルフリップ成功のポイントになるのだろうか。

回転のタイミングが合い、図2のようにきれいにまっすぐ着地した場合、着地した瞬間にペットボトルの回転が止まり、キャップ部の水が重力により鉛直方向下向きに落ち、急に重心が下がって安定する。

実験3で回転させずにボトルを落とすと弾み上がったことから、この下向きの力でボトル自体が床で弾み上がる力（↑）を打ち消しているのではないかと考えた。

図2



ところが、タイミングが少しでも合わず、図3や図4のように、斜めに着地した場合、キャップ側の水は矢印のように重力がかかり、ペットボトルが倒れることになるだろう。

図3

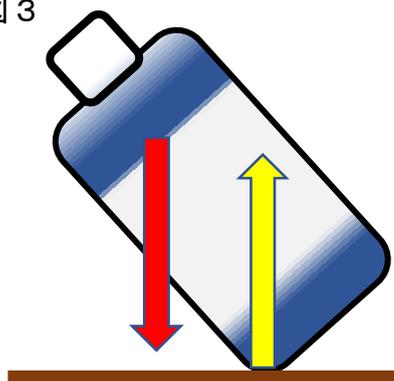
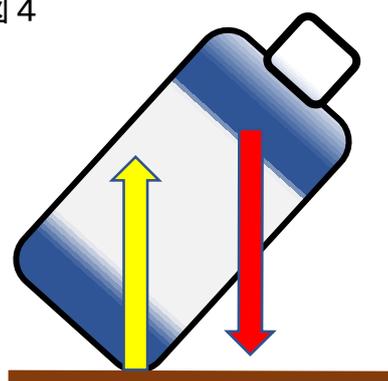


図4



V水の量

水の量は、一般に1/3か1/4くらいが成功しやすいといわれている。これまでの実験では、統一して1/3の量で行ってきた。しかし、実験を進めるうちに、本当にそれが適切な量なのか疑わしく感じてきた。そこで、水の量を変えて、実験してみた。

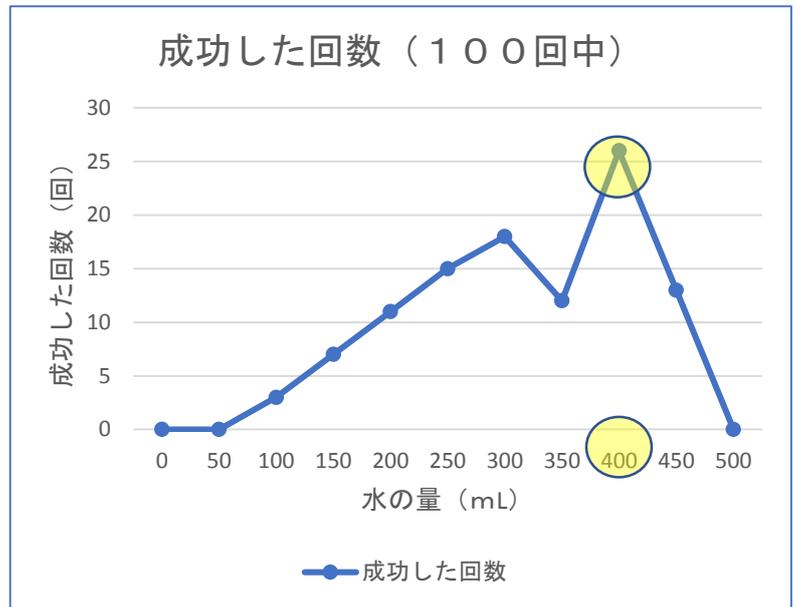
実験6

0 mL から満水の500 mL まで50 mL きざみで水量を変え、100回ずつ投げてみる。

結果 6

結果は、次の表のとおりだった。

| 水の量 (mL) | 100回投げて 成功した回数 |
|-------------|-------------------|
| 0 | 0 |
| 50 | 0 |
| 100 | 3 |
| 150 | 7 |
| 200 | 11 |
| 250 | 15 |
| 300 | 18 |
| 350 | 12 |
| 400 | 26 |
| 450 | 13 |
| 500 | 1 |



- ・インターネットでは、 $1/3$ から $1/4$ くらいの水量がよいと書いてあったが、一番多く成功したのは、400 mL ($4/5$) のときであった。
- ・0～50 mL は、床で跳ねて一度も立たなかった。
- ・100 mL も、跳ねて安定しない。
- ・150 mL は、着地はするものの、軽いのか着地のあとに倒れることがあった。
- ・200～300 mL は、回りにくいが安定している。着地のあとに倒れにくい。
- ・350 mL は、着地の後に倒れやすかった。
- ・400 mL は、重い感じがして着地のときに安定している。
- ・450 mL は、400 mL の半数しか成功しなかった。
- ・500 mL は、逆によく跳ねてしまう。

考察 6

400 mL が立ちやすいのは、水が上下に移動できるスペースがボトル内にあり、重心

移動のバランスがちょうど良い量だったからだと考えられる。

0 mL、50 mL が着地したときに跳ねやすかったのは、キャップ部から底部へ向かって叩きつけられる水量が少なく、ボトルが弾み上がる力を抑え切れなかったからだと考えられる。

逆に、500 mL だとたたきつけられる水量が多すぎ、着地時の重心が高くなってしまいうため、かえって転倒しやすいのだろう。

Ⅵまとめ

- ・ペットボトルに水を1/3入れて一回転させるとき、1/4回転したときは、まだ水が底部に残っている。水は慣性で残り、容器であるボトルだけが回転するため遅れて動き始める。1/2回転すると水はボトルの側面を伝うように見える。3/4回転で、水は底部からキャップ部の方へ手を伸ばしたような形になり、ついには上下に分離する。一回転し、着地したと同時にキャップ部にあった水が底部の方にたたきつけられ、急に底部に向かって重心移動する。この下向きの力でボトルが床で弾み上がる力を打ち消し、着地する。
- ・ペットボトルの中身が固まっているものや粘性の高い液体の場合、着地時に床から跳ね上がって立たない。流体の「水」は回転することで上下に分離するため、ボトルフリップには最適である。
- ・水を入れたペットボトルであっても、そのまま落下させるだけではキャップ部に水がなく、底部に向けた重心移動がないため、ボトルが床で跳ね上がって立たない。ボトルフリップには、水が上下に分離するための「回転」が必要である。
- ・水量は「400 mL」が一番よいことが実証された。水量が少なすぎても底部にたたきつける力が小さく、多すぎても重心が高いうまく立たない。

VII 感 想

最初、僕は「こんな一瞬の出来事を取り上げたテーマで研究なんてできるのか？」と思っていたが、こんなにたくさんのことが次々と解明されていき、いつの間にかのめりこんでしまった。

インターネットの情報とは違った結果を導き出すことができ、科学の奥深さを感じることもできた。

僕がこだわった水の動きは瞬間的なもので、趣味の野鳥観察で用いているデジタルカメラが役に立った。しかし、家で用意する照明装置では、撮影条件に限界を感じた。もう少し照明を工夫できていれば、さらにクリアな画像が撮れたはずである。

今回の研究を通して、研究というものは理屈が分かってでもそれを証明するのが難しいということを実感したが、解明できるわくわく感も同時に味わうことができた。

引き続き、実験を重ね、二回転させて着地するなど新しい技を開発して世界に発信したいと思う。