

**液体を使って落下する卵を守る**  
**Protecting a Dropping Egg with Liquid**  
**森本 拓実 月原 拓光**  
**MORIMOTO Takumi , TSUKIHARA Takumi**

**1. 研究目的**

現在、物体にかかる衝撃を和らげることは物資の運搬には欠かせない。そのため、衝撃吸収材としては様々なものが開発されている。高い反発性をもつスポンジやゴムをはじめ、衝撃吸収ゲルなども登場してきた。そこで我々は、最も身近な物質である水を使って物体を守ることはできないだろうかと考えた。先行研究を調べたが、液体を衝撃吸収材として用いた研究は見つからなかった。また、エッグドロップコンテスト(参考文献)という大会では、保護用紙の形状を工夫して卵を落下の衝撃から守るということを行っており、我々はこれを参考にして、落下する卵を液体で包んで保護することで衝撃から守ろうと考えた。そこで、まずペットボトルと水を用いて卵を守る装置を作り、それを落下させることで液体に浮かべた卵の模型の運動解析を行った。そして、作成した装置と本物の卵を用いて、この簡単な方法で何 m まで卵を守れるのか調べた。

**2. 予備実験 水に浮かべた状態で落下させた物体の運動を調べる**

水に浮かべた物体が地面衝突時にどのような運動をするのか調べた。まず、500ml のペットボトルを用意し、その中に容量の半分である 250ml の水を入れた。そして、そこにスーパーボールを浮かべ (図 1)、ペットボトルごと落下させた。落下させる際、筒を紙で作成し (図 2)、ペットボトルがまっすぐ落ちるようにした。落とす高さは、ペットボトルの底を基準として床から 1m、落とす場所は教室の床 (木製) とした。

また、プラスチックを用いて、本物の卵に近い形状の模型を作成し (図 3)、同様の方法で落下させ、違いを調べた。使用する卵の模型の中には、ラップで包んだ紙粘土を入れ、質量は 50g とした。

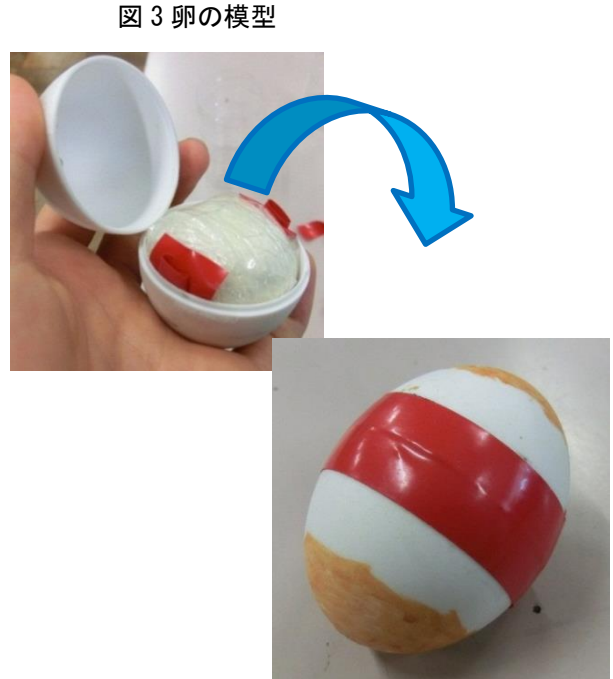
なお、実験の様子はスーパースローカメラを使って撮影し、運動の仕方の違いを観察した。



図 1 水に浮かべたスーパーボール



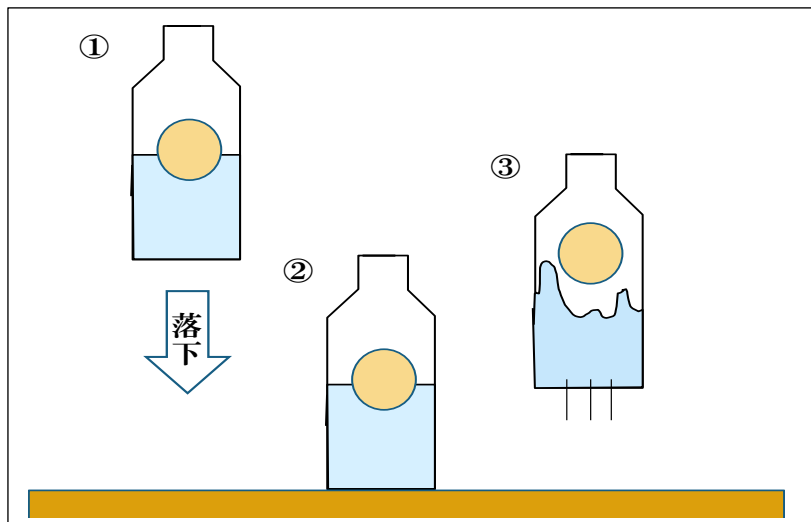
図 2 紙製の筒



実験前、我々はスーパーボールも卵の模型も、ペットボトルの地面衝突後、慣性で水に沈むと仮説を立てていた。しかし、地面衝突後スーパーボールは水面から激しく跳ね上がり、ペットボトルの上端に衝突した。卵の模型もスーパーボールほどではないが、同様に水面で跳ね上がった。このことから、ペットボトルを用いて物体を水に浮かべた状態で落下させると、地面衝突後、物体は水面で跳ね上がることがわかった（図 4）。

図 4

- ① 落下
- ② 地面に衝突
- ③ 模型は水面から跳ね上がる



### 3. 装置の作成と実験方法の確立

予備実験を踏まえて、ペットボトルを落とす高さや地面衝突後の模型の跳ね上がる高さの関係を詳しく調べる実験を行うことにした。そこで我々は、実験で使用する装置の作成と、最適な実験方法の模索・確立を行うことにした。

#### <ペットボトルの大きさ>

予備実験から 500ml のペットボトルでは、模型が水面で跳ね上がったときにボトルの上端に接触してしまい、跳ね上がる高さを観測できないことがわかった。そこで、ペットボトルを縦に 4 本つなげることで、それを防ぐことにした。これにより、今回実験した教室で計測できる限界の高さである 200cm から落としても、模型が水面で跳ね上がってボトルの上端に接触することはなくなった。以下、このペットボトルに水と卵の模型を入れたものを「ボトル装置」と呼称する。（図 5）

#### <自由落下させるための工夫>

実験の様子が観察しやすいように、ボトル装置をまっすぐ自由落下させるために使っていた筒の材料を紙から透明なクリアファイルに変えた（図 6）。しかし、筒を用いて実験を行うと、同じ高さから落としてもその跳ね上がる高さの値には大きなばらつきが見られた。このような結果になった主な原因として、ボトル装置が筒を通過するときの摩擦力が考えられる。

落下時に摩擦力が加かるといことは、ボトル装置が抵抗を受け、自由落下をしていないということであり、これによって実験結果にばらつきが出たのではないかと考えた。そこで、筒を用いることを止め、代わりにペットボトルのふたに糸を取り付け（図 7）、ボトル装置をスタンドに吊るした状態から落下させることにした（図 8）。こうして、ボトル装置をより自由落下に近い状態で落とせるようになった。

図5 ボトル装置 図6 クリアファイルの筒

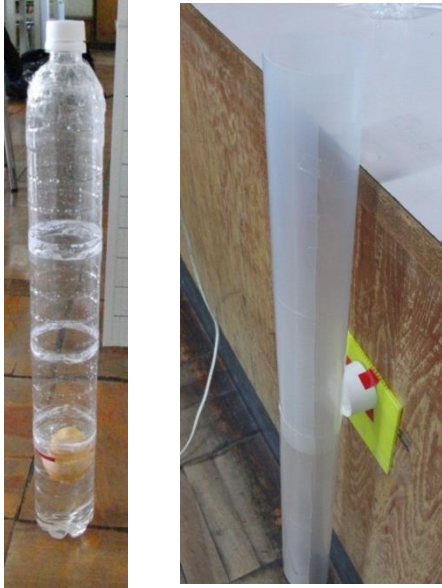


図8 実験装置全体図



図7 ふたに取り付けた糸

<水に浮かべる物体とその質量>

後述する実験 1 において、ボトル装置に入れる卵の模型は予備実験で使ったものを使用する（図 3）。質量は予備実験のときと同じで 50g とした。

このとき、水に浮かべた模型は体積のおよそ 3 分の 2 が水に浸かっていた。ところが、ここで試しに本物の卵を食塩水を用いて浮かべてみると、50g の模型と浮き方が違っており、その体積のほとんどが水に浸かっていた（図 9）。食塩水を飽和まで濃度を上げても浮き方にほとんど変化はなく、飽和食塩水よりも密度の大きい液体も探したが、落下させて使用するには危険なものばかりであった。したがって、液体の密度を変えることで、卵の浮き方を変えることは断念し、模型の質量を変えることで、模型の浮き方を本物の卵に近づけようとした（図 10）。その結果、62g のものを作成するに至った。

図9 食塩水に浮かべた卵



図10 浮き方を本物の卵に近づけた



#### 4. 実験方法

##### 実験1 地面衝突後の模型の運動を調べる

ボトル装置を落とす高さや地面衝突後の模型の跳ね上がる高さの関係を詳しく調べた。

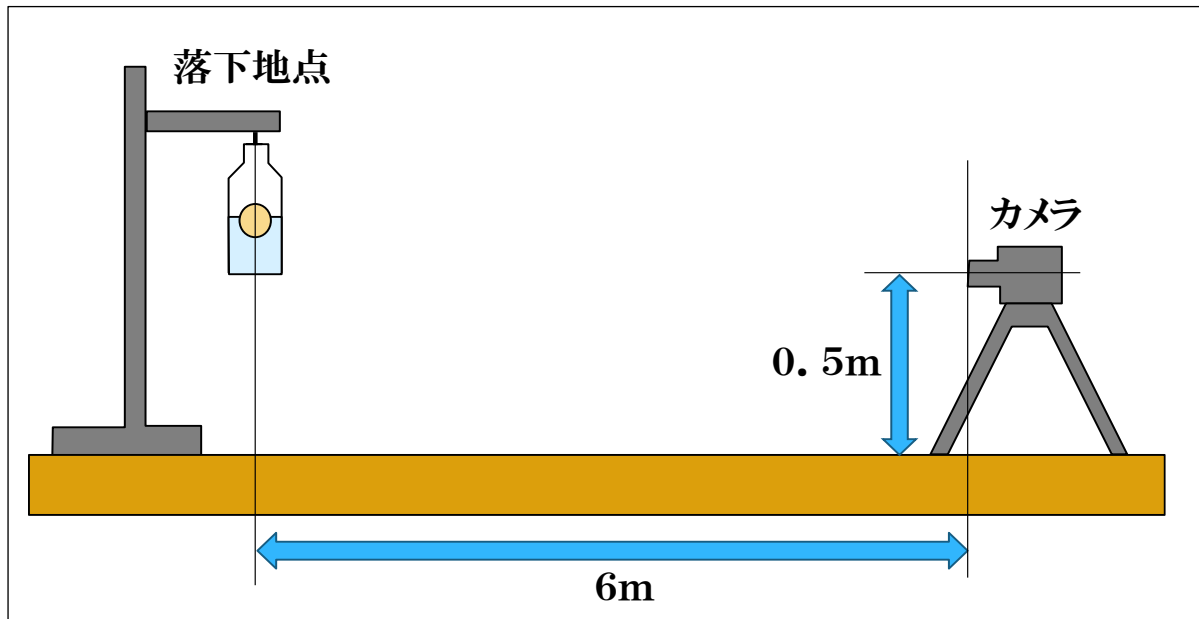
ボトル装置に入れる水の量は 200ml とし、卵の模型は前述した 50g と 62g のものを使用した。(水の量を 200ml としたのは、将来「水の量」を変数として実験を行うことを考慮し、今回の実験における適当な水の量を考えた結果である。)

落とす高さは 50cm、100cm、150cm、200cm の 4 通りを実施し、各高さ 10 回ずつ、2 種の模型で合計 80 回実験を行った。

##### <測定方法>

スタンドに吊るしたボトル装置の後ろに、方眼紙で作成した目盛り用紙を設置した(図 8)。目盛り間隔は 1.0cm とした。スーパースローカメラを落下地点の前方 6m、床から 0.5m の位置に固定し、実験を撮影し、その後、撮影した動画から、模型およびボトル装置の跳ね上がる高さを測定した(図 11)。ここでボトル装置の跳ね上がる高さも測定したのは、模型がボトルに対してどのくらい跳ね上がるのか調べるためである。

図 11 実験環境図



また、測定の基準は、

- ・(ボトル装置の跳ね上がる高さ) = (床からボトル装置の下端まで)
- ・(模型の跳ね上がる高さ) = (床から模型の下端まで) - (水深)

と定めた(図 12)。



<仮説>

図 12 で、 $H$ …ボトルを落とす高さ、 $h$ …模型・ボトルが跳ね上がる高さとする。このとき、自由落下の公式より、衝突直前のボトル装置の速度  $v_1$  は重力加速度を  $g$  とすると

$$v_1^2 = 2gH \quad \dots (1)$$

と表せ、衝突後の運動を鉛直投げ上げとみなすと、衝突直後の模型（もしくはボトル）の速度  $v_2$  は

$$v_2^2 = 2gh \quad \dots (2)$$

と表せる。そして、反発係数の公式に  $v_1, v_2$  を代入して、

$$e = -\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{2gH}} = \sqrt{\frac{h}{H}}$$
$$\therefore h = e^2 H \quad \dots (3)$$

(3) 式で、反発係数  $e$  は定数であるので、ボトルを落とす高さ、模型・ボトルの跳ね上がる高さは比例すると考えた。

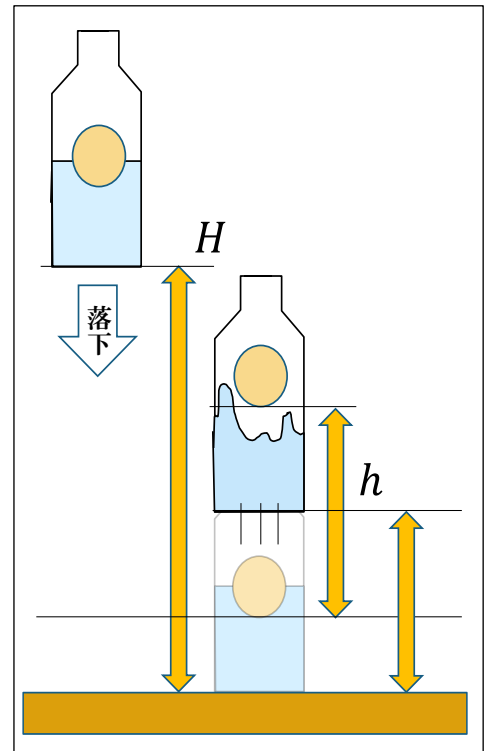


図 12 高さ  $H$  から落としたボトル装置の運動

## 実験 2 本物の卵を用いて卵が割れない限界の高さを調べる

ボトル装置に本物の卵を入れて落下させ、卵が割れない限界の高さを調べる実験を行った。

ボトル装置に飽和食塩水 200ml と卵を入れ、落下させた。ここで卵を浮かべるのに飽和食塩水を用いるのは、水では卵を浮かべられないからであり、また飽和状態にすることで食塩水の濃度の統一を容易にするという目的もある。

落とす場所は校舎の端に設置された非常階段（屋外）を利用した（図 13）。ボトル装置を落下させる際、場所を階段に移したため、装置を吊るすスタンドを固定することが難しく、ボトル装置の落下は人間の手で行うことにした。ふたに取り付けた糸をつまんで静かに落下させた。

落下させる高さは、最初は 3m からとし、落下後の卵の状態をみて、徐々に高くしていった。使用する卵は L サイズ（農林水産省の定めた規格で、64g 以上 70g 未満のもの）で、10 個を使用した。

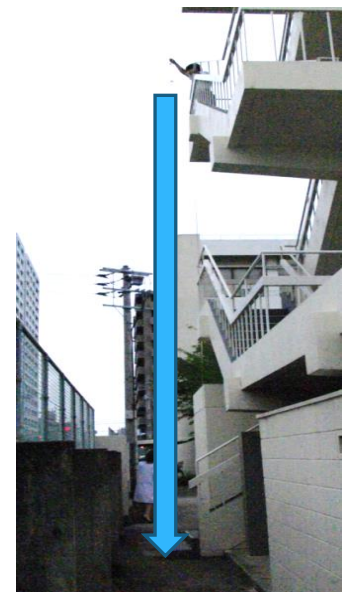


図 13 実験環境図

<測定方法>

地面衝突後に卵が割れたかどうかは、スーパースローカメラで確認した。落下後、卵が割れていなければもう 1m 高いところから落とすことにし、卵が割れていたときは、新たな卵にかえて実験を再開することにした。なお、今回の実験では、ボトル装置の地面衝突直後に卵が割れていなければ、たとえそれ以降にボトル装置が倒れるなどして卵が割れても、「卵は守れた」と判断した。実験の進行は卵が守れたかどうかで決めていったため、高さによってボトル装置を落とす回数は違っている。

## 5. 結果と考察

### 実験 1

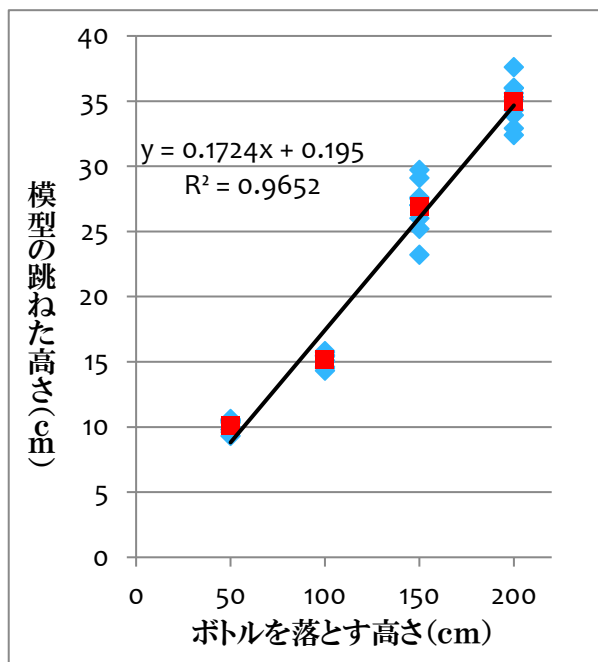
グラフの横軸はボトルを落とす高さ、縦軸は模型・ボトルの跳ねた高さを表している（グラフ 1~4）。グラフを近似して直線を引くと、仮説通り落とす高さと同様に跳ね上がる高さは比例に近い関係にあることがわかった。しかし、ボトル装置を落とす高さが 50cm と 100cm の場合の測定値が直線から少しずれていることがわかる。我々は、仮説の式を立てる際に、反発係数  $e$  は定数として扱っていたが、ここで実際に各高さの反発係数  $e$  の値を計算すると、50cm から落としたときの値が他の高さから落としたときの値と大きく異なっており、またその値は最も大きな値であるとわかった。これは、ボトル装置を 50cm という低い高さから落としたため、ボトルの底の変形が小さく、よく跳ねたからであると考えた。

また、模型の質量が 50g のときと 62g のときで模型・ボトルの跳ね上がる高さを比較すると、模型が 50g の場合は、どの高さにおいてもボトルよりも模型のほうが高く跳ね上がっていることがわかる。一方模型が 62g の場合、模型とボトルの跳ね上がる高さは変わらない。このことから、地面衝突後、50g の模型は水面で跳ね上がり、62g の模型は水面で跳ねずにボトルと一体となって運動していることがわかった。実際に撮影した動画を確かめても、模型はそのように運動していた。

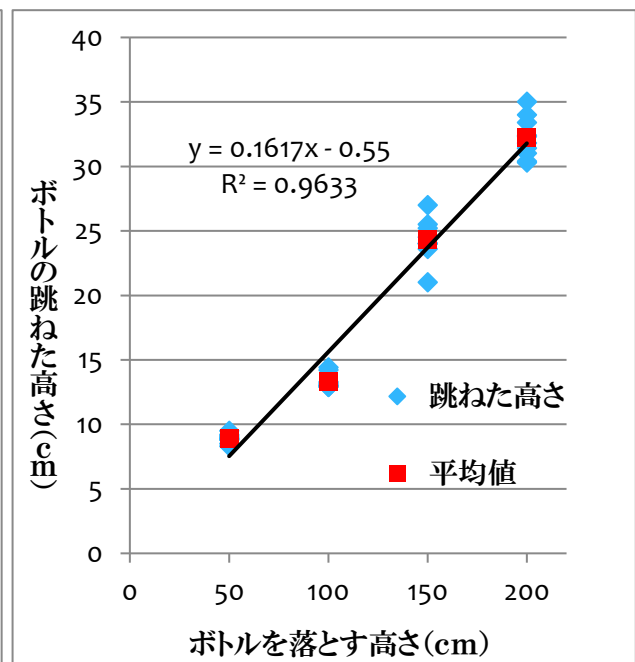
このように、模型の質量が 50g と 62g のときでは模型に対する水のふるまい方に違いがあった。この理由として考えられるものの 1 つに慣性の違いが挙げられる。質量を変えるとすることは、物体の慣性の大小、すなわち動きにくさを変えるということである。受ける力が同じでも慣性の小さい方が動きやすい。つまり、50g の模型のほうが跳ねやすいのではと考えた。また、水への浮き方も原因の 1 つだと考えられる。水への浮き方が違うと、水に触れる面積が変わる。すると、模型への衝撃の伝わり方に違いがで、模型の表面にかかる合力が変わる。この合力の違いが、跳ね方の違いとして現れたと考えた。

ボトルを落とす高さと同様に模型（50g）およびボトルの跳ねた高さの関係

グラフ 1（模型 50g）

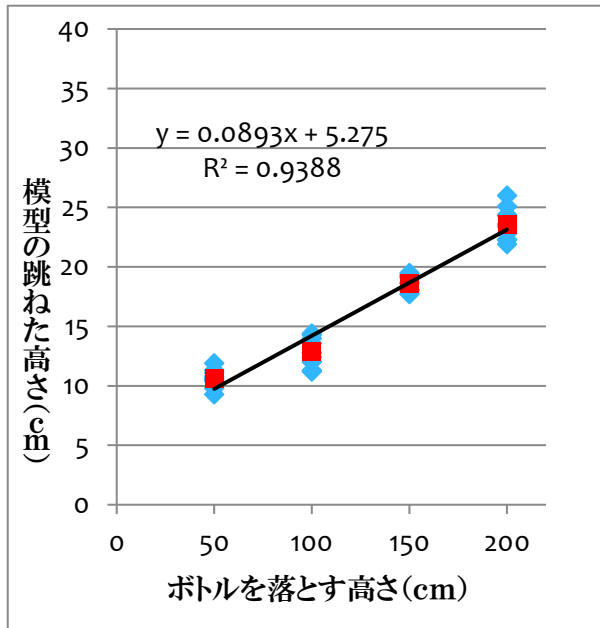


グラフ 2（ボトル）

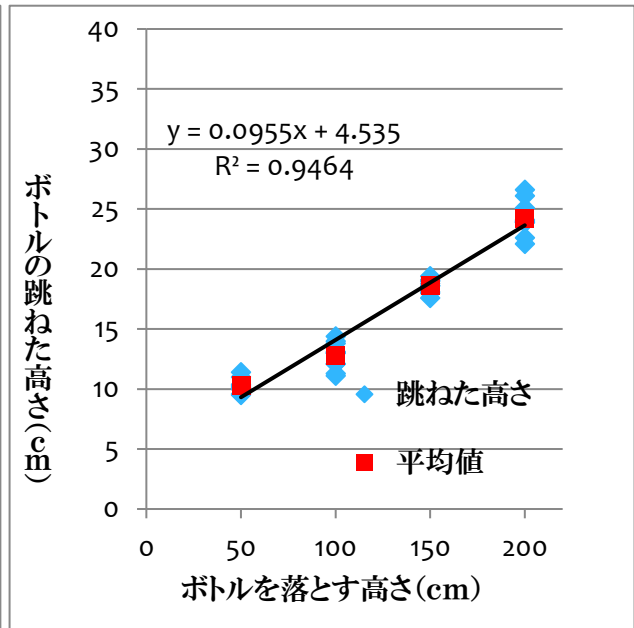


ボトルを落とす高さとの関係

グラフ 3 (模型 62g)



グラフ 4 (ボトル)



## 実験 2

実験結果を表にまとめた (図 14)。表中の①～⑩の番号は、落とした卵の順番を示している。表中の◎は割れてない、○は守れたがその後ペットボトルが倒れるなどして割れた、－はペットボトルが変形して折れ曲がることで卵が割れたり、落下した場所が、階段の角や溝などであったために割れたりして、測定不可となったことを表している。また、前述のとおり、実験の進行は卵が守れたかどうかで決めていったため、高さによってボトル装置を落とす回数は違っている。(例えば、6, 7m からはそれぞれ 3 回落としていたのに対して、9m からは測定不可が多くなったために 5 回落としている。)

表から、この装置では 8～9m まで卵を守ることができるとわかった。しかし、落とす高さが高くなるほど、装置をまっすぐに落とすことは難しく、測定不可となることが多いことがわかる。

今回は、ペットボトルを落とす高さが高くなると、ペットボトルを真っ直ぐに落とせず壊れてしまうことが多くなり、卵を守る限界の高さを正確に測定できなかった。そのため、もしこの装置を 9m 以上の高さからでも真っ直ぐに落とすことができたら、更に高いところからでも卵を守ることができるかもしれないと考えている。そのための装置の改良例として、ペットボトルに羽を取り付ける、重心を正確に固定する、斜めに落としても折れ曲がらない装置を作成する、等を考えている。

図 14 ボトル装置に本物の卵を入れて落下させ、卵が割れない限界の高さを調べる実験

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
3.0m	◎	◎								
4.0m	◎	◎								
5.0m	○	◎								
6.0m		○	◎	◎						
7.0m			◎	—	◎					
8.0m			○		◎					
8.5m										—
9.0m					◎	—	◎	—	—	
9.5m							○			
10.0m					—					

◎:割れてない ○:守れたが割れた —:測定不可

## 6. 結論

実験 1：衝撃吸収剤としての水のふるまいは、そこに浮かべる物体の質量によって変わる。

実験 2：今回作った我々の装置では、卵を 8～9m からの落下まで守ることが可能。

## 7. 参考資料

エッグドロップ甲子園-ものづくりキッズ基金

<http://monodzukurikidsfund.org/eggdropkoshien/>

## 8. 謝辞

今回の研究を遂行するにあたり、終始御指導及び御教示を賜りました高松第一高等学校の本田一恵先生、ならびに高松第一高等学校の先生方に深く感謝申し上げます。